

AESJ-SC-P006:2015



日本原子力学会標準

原子力発電所に対する地震を起因とした  
確率論的リスク評価に関する実施基準：2015

2015年12月

一般社団法人 日本原子力学会

甲第86号証  
A

## まえがき

原子力発電所の地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準：2015 は、日本原子力学会が標準委員会・リスク専門部会の下に地震 PRA 分科会を設けて改定を検討し、リスク専門部会、標準委員会での審議を経て策定・発行したものです。原子力発電所の出力運転状態における地震を起因として発生する事故に関する確率論的リスク評価(PRA)の有すべき要件及びそれを満たす具体的方法を、PRA 実施の手順を踏まえて実施基準として規定したものです。

今回の改定は、2007 年に発行した“原子力発電所の地震を起因とした確率論的リスク評価実施基準：2007”が発行後 5 年を経過したことから改定するものでありますが、改定に当たっては、最新知見を踏まえた地震 PRA 技術の向上を反映させるとともに、品質や透明性の確保がより適切に行われるよう、要求事項の見直しを行いました。特に、2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震とそのおよそ 40 分後に相次いで襲来した津波により、福島第一原子力発電所の炉心溶融、放射性物質の放出に至った事故からの教訓や知見は重要なものです。

標準委員会並びにリスク専門部会では、このような深刻な事故を踏まえ、地震 PRA 分科会、並びに傘下の 3 作業会（地震ハザード評価作業会、建屋・機器フラジリティ評価作業会、事故シーケンス評価作業会）を再開し改定作業を開始しました。改定に当たっては、まず地震 PRA 改定に必要な課題を抽出し、それらを実施基準として規定することが短期に可能なものと、技術開発なども伴い規格化を中長期に進めていくものとに仕分けし、前者は本実施基準の規定に記載することとしました。中長期的な課題についても、関連する研究、技術開発の動向などを附属書参考に記載することで、利用者との情報共有を図りました。さらに、改定のもう一つの特徴は、地震に随伴する様々な事象の PRA が可能なように、本実施基準において担うべき点は規定したことです。地震により誘起される事象は内部火災、内部溢水、そして津波との重畳と、多岐多様な事故様態を示します。これらについては、ハザード評価は地震 PRA 実施基準から提供され、シーケンス評価は、当該の地震随伴事象に対する PRA 実施基準において展開されます。フラジリティについては、対象となる機器・構造物のフラジリティ評価の方法を地震 PRA 実施基準のフラジリティの箇条にて提供できるようにしておく、という分担を考えました。例えば、地震と津波の重畳の PRA を行う場合には、本実施基準で、津波対策の機器（防潮堤、水密扉など）のフラジリティ評価の方法を規定しています。これらの改定点については、各分野の項目毎に、解説 1 制改定の趣旨及び主要な改定点に記載しました。

以上の改定を行った地震 PRA 実施基準を用いて地震あるいは地震随伴の事象による PRA を行うことにより、より広い範囲の事象に対して原子力発電所の安全性を向上させることができるリスク情報を獲得することが可能です。

## FOREWORD

A standard for Procedure of Seismic Probabilistic Risk Assessment (PRA) for nuclear power plants:2015 has been established and issued by the Atomic Energy Society of Japan (AESJ) through the discussions at the Seismic PRA Subcommittee under the Risk Technical Committee of the Standards Committee. As an enforcement standard based on the PRA procedure, the standard specifies the requirements which should have the PRA dealing with incidents resulting from earthquakes at nuclear power plants during power operation, and the concrete methods of meeting it.

This 2015 version standard is regular revision. In revising the 2007 version standard, we updated various requirements to reflect advancements in Seismic PRA techniques based on new technological findings after the publication of the previous standard and to improve the quality and transparency of this standard. In particular, the lessons learned and new findings from the severe accidents of Fukushima Dai-ichi nuclear power plants, which occurred on March 11 of 2011, were significant. The reason was that three cores were melted down and large amounts of FP were released in the accidents.

The Standards Committee and the Risk Technical Committee reopened the Seismic PRA Subcommittee and three Working Groups; Seismic Hazard Evaluation WG, Building and Component Fragility Evaluation WG, Accident Sequence Evaluation WG, and resumed the discussion of the Seismic PRA Standard. In the first place the Subcommittee found essential topics for revision of the Seismic PRA Standard and classified them to short term ones, which were able to be provided as implementation requirements at an early date, and medium- and long-term ones, which were considered to require medium to long-term research initiatives. The amendment reflected solutions to short-term topics as requirements. This standard showed information about research and technical development for medium- and long-term topics as referential attachments, too. These attachments are useful for information sharing with users. The revised standard has several remarkable points. First of all, this standard covers the all are as on seismic PRA and includes not only seismic events but also seismic induced events, e.g. seismic induced fire, seismic induced internal flooding, and seismic event combined with tsunami. To be specific, seismic hazard evaluation method comes from this standard, accident sequence evaluation method is based on the each PRA standard, and fragility evaluation method of SSCs (structures, systems and components) for seismic induced event PRA is based on the fragility chapter of this standard. For example, fragility evaluation method of equipments for tsunami ( a seawall , a watertight door and others) is stipulated in this standard in case of seismic event PRA combined with tsunami.

Seismic PRA or seismic induced event PRA can provide risk information to improve safety level of nuclear power plants by using this revised Seismic PRA Standard, which includes the important and useful points stated above.

---

制定：2015年6月12日

この標準についての意見又は質問は、一般社団法人 日本原子力学会事務局標準委員会担当（〒105-0004 東京都港区新橋 2-3-7 TEL 03-3508-1263）にご連絡ください。

## 原子力標準の位置付けについて

### 日本原子力学会における原子力標準の策定について

標準委員会は、原子力安全の確保を目指して公平、公正、公開の原則の遵守のもとに活動を進めています。産業界と学界及び国に広く所属する各分野の専門家が共同して我が国の経済的、社会的環境、国民性、産業構造、技術の発達等を十分勘案し、原子力発電所など原子力に係る製品やシステム、仕組みが健全であると識別する基準を、上述のステークホルダのみならず広く国民に提供することを目指して、合意できるところを原子力標準として随時制定し、それを最新の知見を反映して改定していくことを使命としています。これにより、国民が当該技術についての最新の知見を迅速に利用することが可能になる一方、市場競争を行いながら原子力安全を最優先としている産業界は、当該技術が標準化されたことを前提として、比較優位性を生み出す技術領域の開発に努力することが可能になり、ひいては原子力安全をより確実にすることにも注力することが容易となります。

また、我が国においてはこれまで、国民の生活の質を確保し、経済社会の安定な発展を支えるため、国が規制行政活動の一部として所要の標準を国家標準として制定し、行政判断に使用してきました。この姿勢は、ここ数年来、機能性化として標準策定の活動を学会に委ねる方向に進むこととしたものの、その体系化は整わず、技術革新のスピードが速く、新技術の利用範囲が連続的に拡大していく今日にあり、技術の変化に合わせて国家標準を適正化していく作業が追いつかないため、国としての原子力安全の確保の観点で陳腐化が進んでしまいました。結果、2011年3月11日の福島第一原子力発電所の津波被災が史上稀に見る原子力事故にまで展開する事態となった要因の一つと考えます。このような状況を鑑み、新たに発足した原子力規制委員会の原子力安全を担う独立した行政機関を補足すべく、学会が中心となって原子力安全に係る適正な判断基準を策定する役割を担うことが、重要な教訓の一つと考えます。

このような精神に則り、標準委員会は構成する委員一人ひとりが学会の倫理規程を遵守し、先に示した公正、公平、公開の原則のもとに原子力標準を策定し、国民の合意を得て制定されたいわゆるコンセンサス標準を国の行政ニーズに応じて利用していくことになれば、新しい技術的知見を迅速に、また国民の利用に供することになります。さらに、これを国際標準化していく努力を行うことも学会でこそ可能であり、これの実現は我が国の国際技術戦略上重要な貢献となると考えます。

2015年6月

標準委員会  
委員長 関村 直人

“原子力発電所に対する地震を起因とした確率的リスク評価に関する実施基準:2015”は、1999年9月22日に設置された日本原子力学会標準委員会 (Standards Committee of AESJ) が、原子力施設の安全性と信頼性を確保してその技術水準の維持・向上を図る観点から、原子力施設の設計・建設・運転・廃止措置などの活動において実現すべき技術のあり方を、原子力技術の提供者、利用者、専門家の有する最新の知見を踏まえ、影響を受ける可能性のある関係者の意見をパブリックコメントをも通じて聴取するなど公平、公正、公開の原則を遵守しながら審議し、合意したところを文書化した原子力標準の一つです。

標準委員会は、専門家集団の果たすべきこのような役割と責任を意識しながら、ボランティア精神を基盤に、原子力施設におけるニーズに対応する標準策定活動を行うために、公平、公正、公開の原則に則って定めた運営規約に従い、リスク専門部会でこの標準の原案を作成しました。この標準が標準委員会設置の趣旨を踏まえて各方面で活用されることを期待します。なお、この内容については原則として5年ごとに改定することとしておりますので、本委員会はこの標準の利用に際してのご質問や改定に向けてのご提案をいつでも歓迎します。

2015年6月

標準委員会  
委員長 関村 直人

## リスク専門部会の活動について

リスク専門部会（以下、本専門部会）は、標準委員会の専門部会構成の見直しに伴い、リスク情報活用のための考え方、各原子力施設における PRA（Probabilistic Risk Assessment）の手法及びそれから得られるリスク情報を各分野において活用するための具体的方法などに関連した標準の整備を行う専門部会として、2008年12月以来、活動を行っています。

PRA は 1960 年代に米国において研究開発が進められ、1975 年の WASH-1400、さらに 1991 年の NUREG-1150 に至り、その後の PRA の礎が築かれました。PRA には、原子力施設のリスク抑制の程度に加え、リスクに寄与する要因やその寄与の程度などを把握できるという利点があります。このことを踏まえて、欧米では PRA から得られるこれらのリスク情報の活用が進んでいます。我が国においても、1970 年代に PRA 手法の導入を行い、その後、安全評価としての利用を経て、1990 年代には、アクシデントマネジメント整備の取り組みが具体化し、さらに 2000 年代にはリスク情報を規制や安全確保活動に活用する動きとなり、当時の原子力安全委員会及び原子力安全・保安院からリスク情報を安全規制に活用する基本的考え方などが示され、安全目標、性能目標や規制資源の適正配分の議論も行われてきました。標準委員会は、これらに先駆け、2002 年に“原子力発電所の停止状態を対象とした確率論的安全評価手順”を制定して以来、内的事象のレベル 1PRA、外的事象の地震 PRA などの実施基準策定を行ってきました。

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震とそれに伴う津波により、東日本の太平洋沿岸に大きな被害がもたらされ、福島第一原子力発電所では、設計想定を超える地震と津波のため、全交流電源喪失事象となり、3 基の原子炉が炉心損傷に至り、環境へ大量の放射性物質が放出される事態となりました。震源地に近い宮城、福島、茨城各県のその他の原子力発電所も大きな設備被害を受けましたが、アクシデントマネジメントが功を奏し原子炉停止を達成することができました。これらの事故を PRA の観点から見ると、自然災害のハザード解析、外的事象に対するリスクの把握からのアクシデントマネジメント整備、高影響事象に対する柔軟な対応策整備などの、PRA が貢献できる多くの点があったことが見出せます。

本専門部会としては、シビアアクシデントと公衆や環境への重大な影響の阻止に PRA の活用が不十分かつ不適切であったことを反省し、実効性のある対策につながるリスク情報を与えるとともに PRA の活用促進を働きかけることが最重要課題であると考えています。既に整備してきた標準について、福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえた上で、PRA 技術の進歩、活用事例の増加に伴う評価経験の蓄積などに基づき、より実効的で使いやすいものに見直していくとともに、PRA をはじめとするリスク評価の拡充及び活用分野の拡大に努力していくことが必要と考えています。そのため、傘下にタスクを設け、リスク評価の拡充を図るための整備計画及びリスク情報を意思決定に活用する際に必要な事項について、標準策定の視点からの意見交換を行い、時宜を得て必要な PRA 標準を策定することにより、原子力の安全に役立つリスク評価手法を提供していきます。

本専門部会は公開で行われていますので、事前に連絡いただければ傍聴することができます。また審議過程は議事録として残し、ホームページにも掲載されますので、活動状況を確認いた

だくことも可能です。

標準は、新技術の開発状況や新たに得られた知見に基づいて適切に改定されていくことによって、その利用価値が維持できるものです。そのため、少なくとも年に一度は本専門部会で改定の必要性について検討を行い、原則として 5 年ごとに改定版を作成していくこととしてその原案を作成していきたいと考えています。

2015 年 6 月

標準委員会  
リスク専門部会  
部会長 山口 彰

## 標準委員会, 専門部会, 分科会 委員名簿

## 標準委員会

(順不同, 敬称略)  
(2015年6月12日現在)

委員長	関村 直人	東京大学	委員	高橋 久永	三菱重工業(株)
副委員長	有富 正彦	東京工業大学	委員	谷本 亮二	三菱マテリアル(株)
幹事	山口 彰	東京大学	委員	津山 雅樹	(一社)日本電気工業会
委員	青柳 春樹	日本原燃(株)	委員	鶴来 俊弘	中部電力(株)
委員	姉川 尚史	東京電力(株)	委員	寺井 隆幸	東京大学
委員	井口 哲夫	名古屋大学	委員	中井 良大	国立研究開発法人
委員	伊藤 裕之	(一社)原子力安全推進協会	委員	西野 祐治	日本原子力研究開発機構
委員	大鳥 靖樹	(一財)電力中央研究所	委員	萩原 剛	(株)東芝
委員	岡野 久弥	九州電力(株)	委員	藤森 治男	日立 GE ニュークリア・ エナジー(株)
委員	岡本 太志	富士電機(株)	委員	本間 俊充	国立研究開発法人
委員	岡本 孝司	東京大学	委員	吉原 健介	関西電力(株)
委員	小原 徹	東京工業大学	委員	渡邊 宏	日揮(株)
委員	喜多尾 憲助	ISO/TC85・IEC/TC45 国内委員会			
委員	河井 忠比古	(一社)原子力安全推進協会			
委員	清水 直幸	日本原子力保険プール			

## 旧委員 (所属は委員退任時)

岩田 修一 (事業構想大学院大学), 梅澤 成光 (三菱重工業(株)), 笠野 博之 (九州電力(株)),  
川崎 邦裕 ((独)原子力安全基盤機構), 三枝 利有 ((一財)電力中央研究所),  
谷川 尚司 (日立 GE ニュークリア・エナジー(株)), 千種 直樹 (関西電力(株)),  
常松 聡生 (ウェスチングハウス・エレクトリック・ジャパン(株)), 西岡 周二 (日本原子力保険プール),  
西脇 由弘 (東京工業大学)

## フェロー委員

成合 英樹 (筑波大学), 宮野 廣 (法政大学)

## 常時参加者

伊藤 卓也 (原子燃料工業(株))

## リスク専門部会

(順不同, 敬称略)  
(2015年6月8日現在)

部会長	山口 彰	東京大学	委員	高田 毅士	東京大学
副部会長	山本 章夫	名古屋大学	委員	武部 和巳	日本原燃(株)
幹事	成宮 祥介	関西電力(株)	委員	竹山 弘恭	中部電力(株)
委員	青木 繁明	三菱原子燃料(株)	委員	中田 耕太郎	(株)東芝
委員	阿部 博	(株)テプコスシステムズ	委員	松本 精二	日本エヌ・ユー・エス(株)
委員	岡本 孝司	東京大学	委員	丸山 結	国立研究開発法人
委員	北村 豊	(株)三菱総合研究所			日本原子力研究開発機構
委員	桐本 順広	(一財)電力中央研究所	委員	村田 尚之	(一社)原子力安全推進協会
委員	倉本 孝弘	(株)原子力エンジニアリング	委員	山岸 誠	三菱重工業(株)
委員	栗坂 健一	国立研究開発法人	委員	山中 康慎	東京電力(株)
		日本原子力研究開発機構	委員	吉田 一雄	国立研究開発法人
委員	越塚 誠一	東京大学			日本原子力研究開発機構
委員	鈴木 雅克	日本原子力発電(株)	委員	Steven Woody Epstein	Scandpower Inc.
委員	曾根田 秀夫	日立 GE ニュークリア・ エナジー(株)			

## 旧委員 (所属は委員退任時)

上田 吉徳 ((独)原子力安全基盤機構), 梶本 光廣 ((独)原子力安全基盤機構),  
喜多 利互 ((株)テプコスシステムズ), 鈴木 嘉章 (三菱原子燃料(株)), 関根 啓二 (日本原燃(株)),  
野中 信之 ((独)日本原子力研究開発機構), 橋本 和典 ((一社)原子力安全推進協会),  
福山 智 (日本原子力発電(株)), 藤井 正彦 ((株)東芝), 山下 正弘 ((独)原子力安全基盤機構)

## 常時参加者

菅谷 淳子 (日本エヌ・ユー・エス(株)), 鈴木 俊一 (東京大学), 野村 治宏 (関西電力(株))

## 外的事象 PRA 分科会

(順不同, 敬称略)  
(2015年5月22日現在)

主査	糸井 達哉	東京大学	委員	佐藤 親宏	(株)テブコシステムズ
幹事	桐本 順広	(一財)電力中央研究所	委員	豊嶋 謙介	(株)原子力エンジニアリング
幹事	成宮 祥介	関西電力(株)	委員	中島 正人	(一財)電力中央研究所
委員	岩谷 泰広	中部電力(株)	委員	美原 義徳	鹿島建設(株)
委員	内山 泰生	大成建設(株)	委員	三村 聡	(株)東芝
委員	織田 伸吾	日立GEニュークリア・ エナジー(株)	委員	橋本 和典	(一社)原子力安全推進協会
委員	清浦 英明	東京電力(株)	委員	山野 秀将	国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
委員	栗田 哲史	東電設計(株)	委員	吉田 伸一	(株)大林組
委員	黒岩 克也	三菱重工業(株)			

## 常時参加者

菊池 和彦 (四国電力(株)), 菅原 淳 (関西電力(株)), 根岸 孝行 (原電エンジニアリング(株)),  
野村 治宏 (関西電力(株)), 前田 佳祐 ((株)テブコシステムズ), 村田 尚之 ((一社)原子力安全推進協会)

## 地震 PRA 作業会

(順不同, 敬称略)  
(2015年5月19日現在)

主査	平野 光将	(一財)電力中央研究所	委員	中村 晋	日本大学
副主査	高田 毅士	東京大学	委員	原口 龍将	三菱重工業(株)
幹事	成宮 祥介	関西電力(株)	委員	樋口 智一	(株)東芝
委員	内山 泰生	大成建設(株)	委員	平田 和太	(一社)原子力安全推進協会
委員	蛭澤 勝三	(一財)電力中央研究所	委員	皆川 佳祐	埼玉工業大学
委員	小倉 克規	(一財)電力中央研究所	委員	美原 義徳	鹿島建設(株)
委員	尾之内 厚志	(一財)電力中央研究所	委員	村松 健	東京都市大学
委員	谷口 大輔	日立GEニュークリア・ エナジー(株)	委員	山崎 達広	(一社)原子力安全推進協会
委員	堤 英明	(一財)電力中央研究所	委員	吉田 伸一	(株)大林組
委員	豊嶋 謙介	(株)原子力エンジニアリング			

## 常時参加者

岩谷 泰広 (中部電力(株)), 黒岩 克也 (三菱重工業(株)), 鈴木 義和 ((一社)原子力安全推進協会),  
高橋 容之 (鹿島建設(株)), 竹内 秋利 (四国電力(株)), 根岸 孝行 (原電情報システム(株)),  
林 健太郎 (関西電力(株)), 森山 健一 (大成建設(株))

## 地震 PRA 分科会

(2015年3月外の事象 PRA 分科会発足に伴い、改組。)

(順不同、敬称略)  
(2014年9月10日現在)

主査 平野 光将 (一財)電力中央研究所  
 副主査 高田 毅士 東京大学  
 幹事 成宮 祥介 関西電力(株)  
 委員 内山 泰生 大成建設(株)  
 委員 蛭澤 勝三 (一財)電力中央研究所  
 委員 小倉 克規 (一財)電力中央研究所  
 委員 尾之内 厚志 (一財)電力中央研究所  
 委員 越塚 誠一 東京大学  
 委員 武村 雅之 名古屋大学  
 委員 堤 英明 (一財)電力中央研究所  
 委員 中村 晋 日本大学  
 委員 能島 暢呂 岐阜大学  
 委員 原口 龍将 三菱重工(株)  
 委員 樋口 智一 (株)東芝

委員 久持 康平 日立 GE ニュークリア・  
 エナジー(株)  
 委員 平田 和太 (一社)原子力安全推進協会  
 委員 藤田 聡 東京電機大学  
 委員 藤本 滋 東京都市大学  
 委員 皆川 佳祐 埼玉工業大学  
 委員 美原 義徳 鹿島建設(株)  
 委員 村松 健 東京都市大学  
 委員 山口 彰 大阪大学  
 委員 山崎 達広 (一社)原子力安全推進協会  
 委員 山中 康慎 東京電力(株)  
 委員 吉田 伸一 (株)大林組

旧委員 (所属は委員退任時)

木下 智之 (旧経済産業省原子力安全・保安院), 中村 隆夫 (大阪大学)

常時参加者

岩谷 泰広 (中部電力(株)), 黒岩 克也 (三菱重工(株)), 小林 卓 ((株)テブコシステムズ),  
 鈴木 義和 ((一社)原子力安全推進協会), 豊嶋 謙介 ((株)原子力エンジニアリング),  
 菊池 和彦 (四国電力(株)), 根岸 孝行 (原電情報システム(株)), 橋本 和典 ((一社)原子力安全推進協会),  
 林 健太郎 (関西電力(株)), 森山 健一 (大成建設(株))

## 地震ハザード評価作業会

(2015年3月外の事象 PRA 分科会発足に伴い、改組。)

(順不同、敬称略)  
(2013年12月9日現在)

主査 蛭澤 勝三 (独)原子力安全基盤機構  
 副主査 釜江 克宏 京都大学  
 幹事 安中 正 東電設計(株)  
 委員 足立 高雄 (株)大林組  
 委員 岩淵 洋子 (独)原子力安全基盤機構  
 委員 宇賀田 健 大成建設(株)  
 委員 呉 長江 (独)原子力安全基盤機構  
 委員 奥村 晃史 広島大学  
 委員 奥村 俊彦 清水建設(株)  
 委員 尾之内 厚志 中部電力(株)

委員 隈元 崇 岡山大学  
 委員 高田 毅士 東京大学  
 委員 堤 英明 (独)原子力安全基盤機構  
 委員 能島 暢呂 岐阜大学  
 委員 福島 誠一郎 東電設計(株)  
 委員 伏見 爽 関西電力(株)  
 委員 藤原 広行 (独)防災科学技術研究所  
 委員 水谷 浩之 東京電力(株)  
 委員 藪内 耕一 鹿島建設(株)

旧委員 (所属は委員退任時)

木下 智之 (旧経済産業省原子力安全・保安院)

常時参加者

尾崎 隆司 (中部電力(株)), 藤田 雅俊 ((独)原子力安全基盤機構), 松浦 旅人 ((独)原子力安全基盤機構)

### 建屋・機器フラジリティ評価作業会

(2015年3月外の事象 PRA 分科会発足に伴い、改組。)

(順不同、敬称略)  
(2013年12月10日現在)

主査	山口 彰	大阪大学	委員	篠田 昌弘	(公財)鉄道総合技術研究所
副主査	中村 晋	日本大学	委員	堤 英明	(独)原子力安全基盤機構
幹事	堤 喜隆	中部電力(株)	委員	羽場崎 淳	(株)竹中工務店
幹事	飯島 唯司	日立 GE ニュークリア・エナジー(株)	委員	原口 龍将	三菱重工業(株)
幹事	美原 義徳	鹿島建設(株)	委員	樋口 智一	(株)東芝
委員	石田 暢生	(独)原子力安全基盤機構	委員	福島 誠一郎	東電設計(株)
委員	宇賀田 健	大成建設(株)	委員	藤本 滋	東京都市大学
委員	蛭澤 勝三	(独)原子力安全基盤機構	委員	村松 健	東京都市大学
委員	大島 靖樹	(一財)電力中央研究所	委員	山崎 英一	東京電力(株)
委員	小川 幸雄	清水建設(株)	委員	山崎 宏晃	(独)原子力安全基盤機構
委員	小江 秀保	関西電力(株)	委員	吉田 郁政	東京都市大学
委員	北村 誠司	日本原子力研究開発機構	委員	吉田 伸一	(株)大林組

#### 旧委員 (所属は委員退任時)

木下 智之 (旧経済産業省原子力安全・保安院), 綿引 喜徳 (東京電力(株))

#### 常時参加者

井上 博登 ((独)原子力安全基盤機構), 栗林 俊之 (中部電力(株)), 高橋 容之 (鹿島建設(株)), 田村 正 (清水建設(株)), 成宮 祥介 (関西電力(株)), 李 銀生 ((独)原子力安全基盤機構)

### 事故シーケンス評価作業会

(2015年3月外の事象 PRA 分科会発足に伴い、改組。)

(順不同、敬称略)  
(2014年6月25日現在)

主査	村松 健	東京都市大学	委員	素部 益武	日本原子力研究開発機構
副主査	小倉 克規	(一財)電力中央研究所	委員	谷口 大輔	日立 GE ニュークリア・エナジー(株)
幹事	岩谷 泰広	中部電力(株)	委員	堤 英明	(一財)電力中央研究所
委員	内山 智曜	(株)シー・エス・エー・ジャパン	委員	豊嶋 謙介	(株)原子力エンジニアリング
委員	大島 靖樹	(一財)電力中央研究所	委員	中村 晋	日本大学
委員	黒岩 克也	三菱重工業(株)	委員	藤井 正彦	(株)東芝
委員	小林 卓	(株)アブシシステムズ	委員	菅原 淳	関西電力(株)
委員	関 智矢	日本原子力発電(株)			

#### 旧委員 (所属は委員退任時)

木下 智之 (旧経済産業省原子力安全・保安院), 近藤 敬介 ((独)原子力安全基盤機構), 齋藤 桂一郎 (東京電力(株)), 前原 啓吾 (関西電力(株))

#### 常時参加者

蛭澤 勝三 ((一財)電力中央研究所), 杉原 一洋 (原電情報システム(株)), 成宮 祥介 (関西電力(株)), 橋田 憲尚 (関西電力(株)), 橋本 和典 ((一社)原子力安全推進協会), 藤田 進作 (東北電力(株))

## 標準の利用にあたって

標準は対象とする技術、活動又は結果の仕様についての関係者のコンセンサスを規定しているものです。標準にはこうあるべきという義務的事項の他、こうあってもよいとして合意された非義務的な事項も含まれています。しかし、標準は、対象としている技術、活動又は結果の仕様について、規定している以外のものを排除するものではありません。

また、標準が規定のために引用している他の規格・標準は、記載された年度版のものに限定されます。標準は全体として利用されることを前提に作成されており、公式な解釈は標準委員会が行います。標準委員会はそれ以外の解釈については責任を持ちません。標準を利用するにあたってはこれらのことを踏まえてください。

なお、標準委員会では、技術の進歩に対応するため、定期的に標準を見直しています。利用にあたっては、標準が最新版であることを確認してください。

## 目次

1 適用範囲 .....	1
2 引用規格 .....	1
3 用語及び定義、略語 .....	1
4 評価手順 .....	9
4.1 地震 PRA の評価手順 .....	9
4.2 地震 PRA の品質の確保 .....	10
5 サイト・プラント情報の収集・分析と事故シナリオの概括的分析 .....	10
5.1 サイト・プラント情報の収集・分析と事故シナリオの概括的分析の流れ .....	10
5.2 サイト・プラント情報の収集・分析 .....	12
5.2.1 一般事項 .....	12
5.2.2 地震ハザード評価関連情報の収集・分析 .....	12
5.2.3 フラジリティ評価関連情報の収集・分析 .....	13
5.2.4 事故シーケンス評価関連情報の収集・分析 .....	14
5.3 サイト・プラントウォークダウンの実施 .....	14
5.3.1 一般事項 .....	14
5.3.2 実施計画書の作成 .....	14
5.3.3 実施チームの編成 .....	14
5.3.4 実施範囲の設定 .....	14
5.3.5 対象構築物・機器の選定 .....	15
5.3.6 実施における着眼点 .....	15
5.4 事故シナリオの概括的な分析及び設定 .....	17
5.4.1 事故シナリオの広範な分析及び選定 .....	17
5.4.1.1 炉心損傷シナリオの広範な分析及び選定 .....	17
5.4.1.2 燃料プール内燃料の損傷シナリオの広範な分析及び選定 .....	19
5.4.2 広範な事故シナリオのスクリーニング .....	21
5.4.2.1 炉心損傷に対する広範な事故シナリオのスクリーニング .....	21
5.4.2.2 燃料プール内燃料の損傷に対する広範な事故シナリオのスクリーニング .....	22
5.5 事故シナリオの明確化と起因事象の分析 .....	23
5.5.1 事故シナリオの明確化 .....	23
5.5.1.1 一般事項 .....	23
5.5.1.2 留意事項 .....	23
5.5.2 起因事象の分析 .....	24
5.5.2.1 一般事項 .....	24
5.5.2.2 留意事項 .....	24
5.6 建屋・機器リストの作成 .....	25

5.6.1	一般事項	25
5.6.2	留意事項	26
6	地震ハザード評価	28
6.1	地震 PRA 実施基準策定後の地震からの知見と地震ハザード評価の流れへの反映	28
6.1.1	一般事項	28
6.1.2	地震 PRA 実施基準策定後の地震からの知見の把握	28
6.1.3	地震ハザード評価の流れへの反映	29
6.2	東北地方太平洋沖地震等巨大地震からの知見の反映、不確実さの取扱い及び地震動ハザードの妥当性確認	35
6.2.1	一般事項	35
6.2.2	東北地方太平洋沖地震等巨大地震からの知見の反映	35
6.2.3	地震動ハザード評価における不確実さ要因の取扱い	38
6.2.4	地震動ハザード評価の妥当性確認	39
6.3	震源モデルの設定	40
6.3.1	一般事項	40
6.3.2	震源モデルで対象とする領域の設定	40
6.3.3	対象地震の分類と震源モデルの設定	41
6.3.4	特定震源モデルのパラメータの設定	42
6.3.5	領域震源モデルのパラメータの設定	49
6.4	地震動伝播モデルの設定	56
6.4.1	一般事項	56
6.4.2	サイト周辺及び対象号機周辺の地震動伝播特性の把握	56
6.4.3	地震動伝播モデルの選択	57
6.4.4	距離減衰式を用いる方法におけるパラメータの設定	59
6.4.5	断層モデルを用いる方法におけるパラメータの設定	61
6.4.6	ロジックツリーの分岐として考慮する項目の設定	63
6.5	ロジックツリーの作成	64
6.5.1	一般事項	64
6.5.2	ロジックツリーで考慮すべき不確実さ要因の選定	64
6.5.3	専門家活用水準の設定	65
6.5.4	専門家活用水準ごとのロジックツリー作成手順	66
6.5.5	TI, TFI, 専門家の選定基準	68
6.5.6	ロジックツリー作成における TI, TFI, 専門家の責任の範囲	69
6.6	地震動ハザードの評価	70
6.6.1	一般事項	70
6.6.2	地震動ハザードの概略評価及び内訳表示とスクリーニング	70

6.6.3	炉心損傷頻度評価のための地震動ハザード評価	70
6.6.4	フラジリティ評価用地震動作成のための地震動ハザード評価	73
6.6.5	M9 級巨大地震の余震の地震動ハザード評価	76
6.7	フラジリティ評価用地震動の作成	77
6.7.1	一般事項	77
6.7.2	地震動強さの設定	77
6.7.3	地震動作成手法の選択	78
6.7.4	目標スペクトルの設定	79
6.7.5	時刻歴波形の作成	80
6.7.6	免震型構造物、排気筒等を対象とする場合の留意事項	83
6.8	複数プラントにおけるハザード評価の留意事項	84
6.9	断層変位及び地殻変動のハザード評価	85
6.9.1	一般事項	85
6.9.2	断層変位ハザードの評価	85
6.9.3	地殻変動のハザード評価	89
6.10	複合ハザード評価及び地震随件事象 PRA に用いる地震動ハザード	90
6.10.1	一般事項	90
6.10.2	地震起因の津波ハザードとの重畳評価	90
6.10.3	地震随件事象 PRA に用いるフラジリティ評価用地震動ハザード	93
7	建屋・機器フラジリティ評価	96
7.1	建屋・機器フラジリティ評価の流れ	96
7.2	評価対象と損傷モードの設定	98
7.2.1	一般事項	98
7.2.2	評価対象物の選定	98
7.2.3	損傷モード及び部位の抽出	98
7.2.4	損傷評価の指標の選定	101
7.2.5	機器カテゴリの作成及びカテゴリごとの現実的耐力評価	103
7.2.6	不確実さ要因の分析	104
7.3	評価手法の選択	105
7.4	現実的耐力の評価	106
7.4.1	一般事項	106
7.4.2	現実的耐力の評価方法	107
7.5	現実的応答の評価	109
7.5.1	一般事項	109
7.5.2	現実的応答の評価方法	111
7.6	フラジリティの評価	116

7.6.1	一般事項	116
7.6.2	現実的耐力と現実的応答による方法	117
7.6.3	現実的耐力と応答係数による方法	121
7.6.4	耐力係数と応答係数による方法	125
7.7	損傷の相関及び免震型原子力施設・設備のフラジリティ評価	129
7.7.1	損傷の相関の評価	129
7.7.2	免震型原子力施設・設備のフラジリティ評価	132
8	事故シーケンス評価	136
8.1	事故シーケンス評価の流れ	136
8.2	起因事象の設定	137
8.2.1	起因事象の設定と起因事象をもたらす SSCs の設定	137
8.2.2	起因事象のグループ化と階層化	138
8.3	事故シーケンスのモデル化	139
8.3.1	一般事項	139
8.3.2	安全機能の設定	139
8.3.3	成功基準の設定	140
8.3.4	イベントツリーの作成	142
8.4	システムのモデル化	143
8.4.1	一般事項	143
8.4.2	モデル化の前提条件の設定	143
8.4.3	基事象のスクリーニング	143
8.4.4	フォールトツリーの頂上事象の設定	144
8.4.5	フォールトツリーの作成	144
8.5	事故シーケンスの定量化	146
8.5.1	一般事項	146
8.5.2	燃料の重大な損傷頻度の算出	146
8.5.3	事故シーケンスの条件付き発生確率の評価	147
8.5.4	感度解析	148
8.5.5	不確実さ解析	149
8.5.6	重要度解析	150
8.5.7	損傷の相関の取扱い	150
8.6	格納容器機能喪失シナリオの分析	151
8.6.1	一般事項	151
8.6.2	格納容器機能喪失に至る事故シナリオの分析	151
8.6.3	格納容器機能喪失事故シーケンスの分析	151
9	文書化	153

9.1	一般事項	153
9.2	報告書の記載項目	153
9.3	目的・範囲・結果及び手法等の文書化	154
9.4	規定への適合性の文書化	154
9.5	除外事項等の適用の妥当性の文書化	154
附属書 A	(規定) 地震 PRA の品質を確保するための方策	155
附属書 B	(参考) 地震 PRA の品質を確保するための具体的な方策に関する留意事項	158
附属書 C	(参考) 評価に必要な情報の情報源	160
附属書 D	(参考) 国内の震害事例	163
附属書 E	(参考) 地震ハザード評価関連情報の収集及び分析	189
附属書 F	(参考) 耐震設計審査指針の改訂に伴う原子力発電所の耐震バックチェック資料	197
附属書 G	(参考) 地震本部における情報及び新たな知見	198
附属書 H	(参考) サイト・プラントウォークダウン実施の際のチェックシートの例	203
附属書 I	(参考) 米国 IPEEE におけるサイト・プラントウォークダウンの概要	211
附属書 J	(参考) アクセス性の確認方法の例	213
附属書 K	(参考) 事故シナリオの概括的な分析及び設定における広範な事故シナリオの例	214
附属書 L	(規定) 原子炉施設周辺斜面の崩壊による炉心損傷への影響評価	218
附属書 M	(参考) 炉心損傷に対する事故シナリオのスクリーニングアウトの考え方の例	219
附属書 N	(参考) 斜面崩壊が炉心損傷に及ぼす影響の確認方法	222
附属書 O	(規定) 余震による炉心損傷への影響評価	223
附属書 P	(参考) SSCs に対する余震の影響について	224
附属書 Q	(参考) 余震を考慮した地震 PRA 手法	234
附属書 R	(規定) 経年変化事象を考慮した場合の炉心損傷への影響評価	236
附属書 S	(参考) 経年変化の取扱い	239
附属書 T	(参考) 燃料プール内燃料の損傷に対する事故シナリオのスクリーニングアウトの考え方の例	245
附属書 U	(参考) 起因事象をもたらす SSCs 損傷の明確化の例	253
附属書 V	(参考) 地震動強さに着目した内的事象 PRA との関係の整理	257
附属書 W	(参考) 起因事象の分類の考え方	261
附属書 X	(参考) フラジリティ評価対象の建屋・機器リストの記載内容例	269
附属書 Y	(規定) 地盤崩壊確率の算定方法	272
附属書 Z	(参考) 斜面崩壊による二次的影響評価の参考例	274
附属書 AA	(参考) 地震ハザード評価における予備解析の重要性	281
附属書 AB	(参考) 炉心損傷頻度評価のための地震動ハザード	282
附属書 AC	(参考) 巨大地震等による余震の取扱い	283
附属書 AD	(参考) 地震応答評価用入力地震動を設定するための地震動ハザード	293

附属書 AE (参考) 巨大地震における誘発地震の取扱い.....	294
附属書 AF (参考) 震源を特定せず策定する地震動の取扱い.....	298
附属書 AG (参考) 地震動ハザード評価における不確実さ要因.....	305
附属書 AH (参考) 地震動ハザード評価の有効性と評価方法の問題.....	307
附属書 AI (参考) 特定震源モデル又は領域震源モデルと対象地震との対応付け.....	309
附属書 AJ (参考) 活断層資料を用いた震源パラメータの取扱い.....	312
附属書 AK (参考) 地震発生の周期性の考慮.....	315
附属書 AL (参考) 活断層, 地表地震断層, 震源断層を考慮した断層長さの設定における留意事項.....	320
附属書 AM (参考) 地震の活動性, 活断層区分, 地震発生層の厚さ等を考慮した地震地体区分の設定における留意事項.....	321
附属書 AN (参考) b 値モデルの概要.....	326
附属書 AO (参考) 領域震源モデルにおけるひずみ集中帯の評価例.....	328
附属書 AP (参考) 同一サイト内での地震動伝播特性の違い.....	329
附属書 AQ (参考) 上下動に対する地震動ハザード評価手法.....	333
附属書 AR (参考) 距離減衰式による地震動評価.....	335
附属書 AS (参考) 地震動のばらつきと上限値の取扱い.....	349
附属書 AT (参考) 断層モデルを用いた地震動評価の取扱い.....	355
附属書 AU (参考) 地震動評価のための地下構造調査及び 3 次元地下構造モデルの構築.....	365
附属書 AV (参考) 地震動ハザード評価における不確実さ要因の取扱い.....	369
附属書 AW (参考) 地震動ハザード評価における不確実さ定量評価手法のロジックツリーの取扱い.....	374
附属書 AX (参考) 地震の発生頻度評価手法の取扱い.....	408
附属書 AY (参考) 地震ハザード曲線の評価の取扱い.....	411
附属書 AZ (参考) 地震動ハザード評価の例.....	417
附属書 BA (参考) 地震動ハザードの再分解によるマグニチュード・震央距離の取扱い.....	439
附属書 BB (参考) 周期特性の設定.....	445
附属書 BC (参考) フラジリティ評価用地震動作成の取扱い.....	448
附属書 BD (参考) 断層変位ハザードの評価例.....	469
附属書 BE (参考) 地震動と津波との複合ハザードの取扱い.....	470
附属書 BF (参考) 地震動ハザードのフラジリティへの影響評価の取扱い.....	479
附属書 BG (参考) フラジリティ評価のための算定式及び考え方.....	483
附属書 BH (参考) フラジリティ評価対象の例.....	488
附属書 BI (参考) 最近の震災での被害の特徴.....	494
附属書 BJ (参考) 耐力値の評価におけるスクリーニング基準の検討例.....	500
附属書 BK (参考) 損傷モード及び部位の抽出にかかる参考資料.....	501

附属書 BL (参考) 車両転倒評価方法の例.....	518
附属書 BM (参考) 損傷評価の指標の選定にかかる参考資料.....	520
附属書 BN (参考) 機器カテゴリ分類の例.....	526
附属書 BO (参考) 不確実さ要因の分析にかかる参考資料.....	528
附属書 BP (参考) 評価手法の選択にかかる参考資料.....	536
附属書 BQ (参考) 不確実さ伝播解析手法の選定.....	540
附属書 BR (規定) 建物・構築物の現実的耐力の評価方法.....	543
附属書 BS (参考) 建物・構築物の現実的耐力評価にかかる参考資料.....	548
附属書 BT (参考) 機器・配管系の現実的耐力評価にかかる参考資料.....	554
附属書 BU (参考) 地盤の現実的耐力評価にかかる参考資料.....	566
附属書 BV (参考) サブ応答係数における上下入力地震動の考え方.....	589
附属書 BW (参考) 本震経験後の余震の影響を考慮した建屋・構築物の地震応答解析例.....	590
附属書 BX (参考) 津波を起因としたフラジリティ評価のための扉の FEM 解析例.....	596
附属書 BY (参考) 建物・構築物の現実的応答評価にかかる参考資料.....	598
附属書 BZ (規定) 建物・構築物の現実的応答評価のための標準的なデータベース.....	623
附属書 CA (参考) 機器・配管系の現実的応答評価にかかる参考資料.....	628
附属書 CB (規定) 機器・配管系の現実的応答の評価方法.....	646
附属書 CC (参考) 地盤の現実的応答評価にかかる参考資料.....	648
附属書 CD (参考) フラジリティ曲線の算定例の一覧.....	663
附属書 CE (参考) 現実的耐力と現実的応答による方法を用いたフラジリティ評価例.....	665
附属書 CF (参考) 地震動による原子炉格納容器の耐圧機能の低下の考え方について.....	773
附属書 CG (参考) 損傷評価指標と損傷確率の関係.....	774
附属書 CH (参考) 現実的耐力と応答係数による方法.....	776
附属書 CI (参考) 現実的耐力と応答係数による方法を用いたフラジリティ評価例.....	780
附属書 CJ (参考) 耐力係数と応答係数による方法.....	808
附属書 CK (参考) 耐力係数と応答係数による方法を用いたフラジリティ評価例.....	814
附属書 CL (参考) 損傷の相関の評価にかかる参考資料.....	855
附属書 CM (参考) 免震型原子力施設・設備のフラジリティ評価にかかる参考資料.....	863
附属書 CN (規定) 免震型原子力発電施設における免震層のモデル化.....	889
附属書 CO (参考) 階層イベントツリーの考え方.....	892
附属書 CP (規定) SA 対策として整備した設備, 運転員操作に対する扱いについて.....	897
附属書 CQ (参考) 可搬式設備による SA 対策の有効性評価の例.....	900
附属書 CR (参考) 主観的な確率の付与について.....	902
附属書 CS (参考) 成功基準の例.....	905
附属書 CT (参考) SA 対策の利用を有効とする時間設定のための情報の例.....	911
附属書 CU (参考) 地震に対する許容時間の設定例.....	912

附属書 CV (参考) 代替手段による機能回復操作に対する分析例.....	914
附属書 CW (参考) イベントツリーの作成例.....	917
附属書 CX (参考) 小イベントツリー法と大イベントツリー法.....	925
附属書 CY (参考) フォールトツリーの例.....	927
附属書 CZ (規定) SSCsの地震動による機能喪失における留意すべき事項.....	931
附属書 DA (参考) 熱交換器損傷の例.....	933
附属書 DB (参考) 人的過誤のモデル化の例.....	934
附属書 DC (参考) 地震後の恒設設備に対する復旧操作について.....	943
附属書 DD (規定) 事故シーケンスの定量化手法.....	944
附属書 DE (参考) 地震による起因事象発生確率算出手法の例.....	946
附属書 DF (参考) 条件付き分岐確率イベントツリー法及び最小カットセットの作成の例.....	951
附属書 DG (参考) MCS法による条件付き炉心損傷確率の算出方法の例.....	953
附属書 DH (参考) 感度解析項目の例.....	957
附属書 DI (参考) 余震を考慮することによる影響に関する地震 PRA 感度解析の例.....	958
附属書 DJ (参考) リレーチャタリングに関する地震 PRA 感度解析の例.....	964
附属書 DK (参考) 地殻変動及び断層変位に起因する地盤変状の影響の感度解析の例.....	969
附属書 DL (参考) 不確かさ解析の例.....	972
附属書 DM (参考) 重要度指標の例.....	976
附属書 DN (参考) 相関性の取扱いにかかる留意事項などについて.....	979
附属書 DO (参考) 多数基立地サイトでの設備の共用又は緩和設備の融通に関する扱いについて.....	994
附属書 DP (参考) レベル 2PRA の実施手順の例.....	995
附属書 DQ (参考) 格納容器機能喪失に至る事故シナリオの分析例.....	996
附属書 DR (参考) 格納容器イベントツリーにおけるモデル設定例.....	998
附属書 DS (参考) 文書化における記載項目の例.....	1003
解説 1 制改定の趣旨及び主要な改定点.....	1007
解説 2 この標準の対象とする領域.....	1010
解説 3 原子力に係る品質保証に関する基準について.....	1012

## 日本原子力学会標準

# 原子力発電所に対する地震を起因とした 確率論的リスク評価に関する実施基準：2015

## A Standard for Procedure of Seismic Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plants : 2015

### 1 適用範囲

この標準は、出力運転状態にある軽水型原子力発電所を対象とする確率論的リスク評価 (Probabilistic Risk Assessment : PRA) のうち、地震を起因して炉心の重大な損傷に至る事故シーケンスに着目し、それらの発生頻度を求めるレベル1PRA、使用済燃料プール内の燃料の重大な損傷に至る事故シーケンスの発生頻度並びに地震を起因して格納容器機能喪失に至る事故シーケンスを同定する方法の有すべき要件及びそれを満たす具体的方法を、実施手順を踏まえて実施基準として規定する。加えて、この標準は、地震により発生する火災、溢水及び津波に起因する事象のPRAを実施する際に必要な地震ハザード評価は本標準の方法を用いるよう規定し、また、それらのPRAを対象とする建屋・機器フラジリティ評価に係わる規定も含んでいる。

### 2 引用規格

次に示す規格は、この標準に引用されることによって、この標準の規定の一部を構成する。引用規格とこの標準の規定に相違がある場合は、この標準の規定を優先する。これらの引用規格は、その最新版(追補を含む)を適用する。

AESJ-SC-RK003 原子力発電所の確率論的リスク評価標準で共通に使用される用語の定義

AESJ-SC-RK001 原子力発電所の確率論的安全評価用のパラメータ推定に関する実施基準

AESJ-SC-P008 原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準(レベル 1PSA 編)

### 3 用語及び定義、略語

この実施基準で用いる主な用語の定義は、2 引用規格に示した規格によるほか、次に示す。また、略語の定義を表1に示す。

#### 3.1

一様ハザードスペクトル

地震ハザードの1つであり、応答スペクトルを地震動強さの指標とし、応答スペクトル距離減衰式等によって求めた周期毎の地震ハザード曲線を用いて、任意の超過頻度又は超過確率に対する応答スペクトル値を連ねて表わしたもの。

### 3.2

#### 応答

地震動が作用することによって建屋・機器に生じる加速度、変位、応力など

#### 3.2.1

##### 現実的応答

入力地震動及び物性値などの不確かさを考慮して求められた、確率量で表される建屋・機器の地震時応答。

**注記** 応答のばらつきを含む確率量として評価されることから、応答の確率分布として対数正規分布を仮定し、中央値と対数標準偏差を用いて応答を表すことがある。現実的応答の評価手法については、現実的な建屋・機器などの諸元を用いた地震応答解析を実施する応答解析に基づく方法と、設計応答値などに応答係数を乗じて評価する応答係数に基づく方法の2種類がある。

#### 3.3

##### 応答係数

現実的応答を求めるために、設計応答の保守性を係数で表したもの。

#### 3.3.1

##### サブ応答係数

応答係数をさらに詳細に係数化したもの。

**注記** 現実的応答が対数正規分布に従うと仮定した場合、中央値及び対数標準偏差で表し、設計応答を応答係数で除することで現実的応答を求める。サブ応答係数は中央値と対数標準偏差で表される。

#### 3.4

##### 応答の相関性

複数の建屋又は機器が地震動を受けた場合に、振動特性及び減衰特性の似た複数の建屋又は機器間において、似たような応答を示すこと。

#### 3.4.1

##### 耐力の相関性

複数の建屋又は機器間において、似たような耐力を有すること。

#### 3.5

##### 階層化処理/階層イベントツリー

階層化処理とは、地震発生時に複数の構築物、系統及び機器（SSCs）の故障が同時発生する可能性があるため、様々な単一故障起因事象及び多重故障起因事象のうちプラントへの影響のもっとも厳しい起因事象で代表させ、それらをグループ化する処理。階層イベン

トツリーとは、階層化処理の結果を樹形状に表現したイベントツリー。

### 3.6

#### 機能損傷

ポンプ類などの動作に関する機能（機械的動的機能）又は電気盤類などの電気的なシステムの機能（電気的動的機能）などに対して、地震時又は地震後に機器が動作（起動）しない、動作しても要求される性能を発揮できない、動作していたものが停止してしまう、あるいは誤動作する、などの原因によって、所定の機能を果たすことが出来ない状態。

#### 3.6.1

##### 機能損傷モード

損傷の形態。

#### 3.6.2

##### 機能限界

外的作用によって機能損傷を生じる限界。

### 3.7

#### 構造損傷

地震動が作用することによって、建屋・機器などの構成部材・部品が大変形・破断などを生じ、構造体としての支持機能に関する機能の喪失した状態。

### 3.8

#### 地震動強さ

対象地震によってもたらされる地震動の大きさ。

**注記** 加速度、速度、変位、応答スペクトルなどの指標で表され、地震 PRA では一般に最大加速度が用いられることが多い。

### 3.9

#### 地震動伝播モデル

地震ハザードの評価において、距離減衰式及び断層モデルを用いて、地震動の幾何減衰などを考慮して、任意地点における地震動強さを求めるモデル。

### 3.10

#### 地震地体構造

地震規模、震源深さ、発震機構、地震発生頻度に着目するとき、地震の発生の仕方に共通の性質をもっているある広がりをもった一定の地域の地質構造。

### 3.11

#### 地震ハザード

ある任意地点において将来の一定期間中に襲来するであろう任意の地震動強さと、その強さを超過する頻度又は確率との関係。

#### 3.11.1

##### フラクタイル地震ハザード

地震ハザードの不確実さ評価結果の1つで、信頼度別の地震ハザード曲線群の総称を指す。

### 3.11.2

#### アグリゲート地震ハザード

ロジックツリーを用いて評価した複数の地震ハザード曲線が極端に偏りをもった分布の場合を対象として求めた信頼度別のハザード曲線群をいう。

**注記** 地震ハザード評価においては、地震の発生位置、規模、発生頻度/確率、地震動伝播に関わる不確実さを考慮する。例えば、信頼度95%のフラクタイル地震ハザード曲線というようにいう。アグリゲート地震ハザードも地震ハザードの不確実さ評価結果の1つ。

### 3.12

#### 地震ハザード適合マグニチュード・震央距離

3.13 地震ハザードの再分解によるマグニチュード・距離を参照のこと。

### 3.13

#### 地震ハザードの再分解によるマグニチュード・距離

地震動ハザード曲線上の任意の年超過確率の地震動に寄与する地震のマグニチュードと距離で表すもの。

**注記** 亀田・石川が提案したモデル（土木学会論文集、1989年）である。提案当初は、これらのマグニチュードと距離を、ハザード適合マグニチュード (Hazard-consistent magnitude) とハザード適合震央距離 (Hazard-consistent distance) と定義していたが、1990年後半から、地震ハザードの再分解によるマグニチュード・距離と改訂している。

### 3.14

#### 震源モデル

地震ハザードの評価において、地震の発生位置、規模、頻度を求めるモデル。

### 3.15

#### 設計裕度

対象とする構築物、系統、及び機器(SSCs)の設計で考慮する荷重（又は歪など）に対して、その許容限界値が何倍の大きさであるかを示す指標。

### 3.15.1

#### 安全裕度

対象とする建屋・機器、又は系統に作用する荷重（又は歪など）に対して、構造損傷又は機能損傷に関する限界荷重（又は歪など）が何倍の大きさであるかを表す指標。

### 3.16

#### 専門家

特定の技術問題において、自分自身の判断を提供できる者、又は複数の専門家判断の根

拠を評価し、統合できる者。

### 3.17

#### 専門家活用水準

地震ハザード評価におけるロジックツリーの作成において、専門家判断を活用するために設定した技術的難易度のレベル。

### 3.18

#### 専門家判断

特定の技術問題において、理論、モデル、又は経験の評価を含む論証に基づく解説又は意見を基にした専門家による判断に基づき提供される情報。

### 3.19

#### 損傷

建屋、構造物、機器などが所定の機能を失うことで、地震動に対するこれらの現実的応答が現実的耐力を超えた状態。

### 3.19.1

#### 損傷部位

建屋、構造物、機器などの損傷する場所。

### 3.19.2

#### 損傷モード

その部位での損傷を起こす様態。

### 3.20

#### 損傷確率

作動要求があったときや、定められた基準期間内に、建屋・機器が所定の機能を果たせない確率。

### 3.20.1

#### 条件付損傷確率

ある特定の条件を前提とした場合の損傷確率。

### 3.21

#### 耐震クラス

施設の耐震設計を合理的に行うため、安全上分類したもの。

**注記** この分類は、原子力発電所耐震設計技術指針（電気協会）（以下、耐震設計技術指針という）による重要度分類を示す。

### 3.22

#### 耐力

地震動が作用した時に建屋・機器が耐えうる応力、変形の限界、又は所定の機能が保持される限界。

### 3.22.1

#### 現実的耐力

保守性を含まない耐力。

注記 現実的耐力は現実的応答と同様に確率量として評価される。

### 3.22.2

#### 現実的耐力と応答係数による方法

設計応答値又は応答係数を用いて現実的応答を求め、得られた現実的応答と現実的耐力からフラジリティ曲線を求める手法。

注記 代表的な手法として原研法がある。

### 3.22.3

#### 現実的耐力と現実的応答による方法

現実的なデータ諸元に基づき、地震応答解析を実施して、現実的応答を評価し、得られた現実的応答と現実的耐力からフラジリティ曲線を求める方法。

注記 応答解析に基づく方法ともいう。

### 3.23

#### 耐力係数

安全係数法において現実的耐力を求めるための係数。

注記 設計評価における応答に対する現実的耐力の裕度で表される。設計耐力に対する現実的耐力の裕度とは異なることに注意する必要がある。

### 3.23.1

#### 耐力係数と応答係数による方法

設計で用いられた耐震性評価結果などに基づき、これらの耐力評価及び応答評価に含まれる保守性及び不確実さを定量化し、それを係数表現することで現実的耐力及び現実的応答を評価してフラジリティ曲線を求める手法。

注記 安全係数法と同意。米国で 1970 年代に開発された手法であり、米国イリノイ州にある Zion 原子力発電所に始めて適用されたことから、ザイオン(Zion)法とも呼ばれる。

### 3.24

#### 建屋・機器リスト

地震 PRA で対象とする原子力発電プラントの炉容器、ポンプ、配管、弁又は電気盤、及びこれらが設置される建屋、土木構造物などを含めた建屋・機器のリスト。

### 3.25

#### 断層モデル

地震波を生じる断層面におけるせん断破壊がある破壊伝播速度で有限な断層面上を伝わるという震源断層の破壊過程に関するモデル。

### 3.25.1

#### 断層パラメータ

断層の形状、地震規模、アスペリティの大きさ、応力降下量等の震源特性に関するパラメータ。

注記 断層モデルにより、断層の破壊過程を考慮して地震動を評価することが可能となる。

### 3.26

#### 超過頻度

ある事象の特性をよく反映する指標の大きさに着目した場合に、評価対象事象がその大きさを超える頻度。

### 3.26.1

#### 超過確率

評価対象事象がその大きさを超えて発生する確率。

注記 炉心損傷頻度を求める場合は年超過頻度を、フラジリティ評価用地震動を求める場合は年超過確率を用いる。

### 3.27

#### 二次的影響

地震動による建屋・機器の損傷評価において、機能的に従属関係にある他の建屋・機器の機能の阻害、又は落下・倒壊などに伴う他の建屋・機器の機能阻害による影響。

注記 波及的影響ともいう。

### 3.28

#### 不確実さ(uncertainty)

評価の過程に含まれる物理量、モデル、専門家判断などにおける確実さの度合いの裏返し・ばらつき。

### 3.28.1

#### 偶然的な不確実さ

材料特性などに見られるように対象物が本来持っているばらつき特性による不確実さ。

### 3.28.2

#### 認識論的不確実さ

知識及び認識の不足に係る不確実さ。

注記 PRA では不確実さをもたらす要因を、物理現象のランダム性に係わる偶然的な不確実さ(aleatory uncertainty)と知識及び認識の不足に係わる認識論的不確実さ(epistemic uncertainty)に大別する。偶然的な不確実さは、ばらつきをそれ以上減じることができなく、不確実さ評価における対象要因とはならない。認識論的不確実さは、評価に用いるデータの不足、モデルの詳細度、複数の専門家の解釈の相違などを要因とする。これは、将来、知識の増加又は科学の進展によってそのばら

つきを減じることが期待できる。この要因を対象として、不確実さ評価を行う。

3.29

不確実さ評価

求める物理量（例えば、地震ハザード、フラジリティ、炉心損傷確率、炉心損傷頻度など）に影響を及ぼす認識論的不確実さの要因のうちの重要な要因を対象として、要因ごとに不確実さの範囲（例えば、不確実さの表現としての確率分布形状など）を設定した上で、不確実さ伝播評価を行い物理量の信頼度を確率分布として求めること。

3.30

フラジリティ

地震動の作用に対して建屋・機器が損傷する度合い。

3.30.1

フラジリティ曲線

地震動強さのレベルごとに計算される条件付損傷確率を連ねたもの。

3.30.2

フラジリティ評価

建屋・機器の現実的耐力及び現実的応答を用いて、確率論的にそれらの条件付損傷確率を求めること。

3.30.3

プラントフラジリティ

地震動強さの関数として表現された条件付き炉心損傷確率。

3.31

ロジックツリー

地震ハザード評価における認識論的不確実さの要因の取扱いに関し、専門家間で意見の違いがある場合に、可能性のある考え方を合理的に取り上げ、それらの考え方の組合せを樹状（ツリー状）に表現し、可能性の度合いに応じて重みを設定したもの。

3.31.1

ロジックツリー手法

ロジックツリーを用いて評価された地震ハザード曲線群の確率分布を求める手法。

表1 略語一覧

略語	英語	日本語
BPT	Brownian Passage Time	BPT 分布（更新過程）
FEM	Finite Element Method	有限要素法
JEAG	Japan Electric Association Guide	電気技術指針
LHS	Latin Hypercube Sampling	ラテン超方格サンプリング
MCS	Monte Carlo Simulation	モンテカルロ シミュレーション
MS	Mitigation System	異常影響緩和系

PS	Prevention System	異常発生防止系
SSCs	Structures, Systems, and Components	構築物、系統及び機器
THERP	Technique for Human Error Rate Prediction	THERP（手法）
UHS	Uniform Hazard Spectrum	一様ハザードスペクトル

4 評価手順

4.1 地震 PRA の評価手順

地震 PRA は、図 4.1 に示す評価手順に従い、サイト・プラント情報の収集・分析、事故シナリオの概括的分析、地震ハザード評価、建屋・機器フラジリティ評価及び事故シーケンス評価を実施する。

各箇条に求める調査・評価の結果は、フィードバックすることが必要である。

調査及び評価の内容及び結果については文書化を行う。

注記 1 サイト・プラント情報の収集・分析では、サイト・プラント関連情報の収集・分析を行う。また、チームを編成し、範囲を明確にし、着眼点を整理した上でサイト・プラントウォークダウンを行う。

注記 2 事故シナリオの概括的な分析では、事故シナリオの広範な分析を行った上で、事故シナリオをスクリーニングし、評価対象とする事故シナリオを明らかにする。また、起回事象の分析及び事故シーケンス評価に必要な建屋・機器リストを作成する。

注記 3 地震ハザード評価では、地震ハザード評価における不確実さの要因の分析、地震発生モデルの設定、地震発生・伝播モデルの設定を行う。地震ハザードはロジックツリーを作成した上で、地震動強さをパラメータとして、年超過発生頻度（又は確率）の形で求める。また、フラジリティ評価用の地震動を作成する。

注記 4 建屋・機器フラジリティ評価では、建屋・機器と損傷モードの設定、耐力と応答の評価手法の選択及び現実的な耐力・応答の評価を実施し、フラジリティ曲線を求める。

注記 5 事故シーケンス評価では、起回事象の設定、事故シーケンスのモデル化、システムのモデル化を行い、事故シーケンスを定量化する。

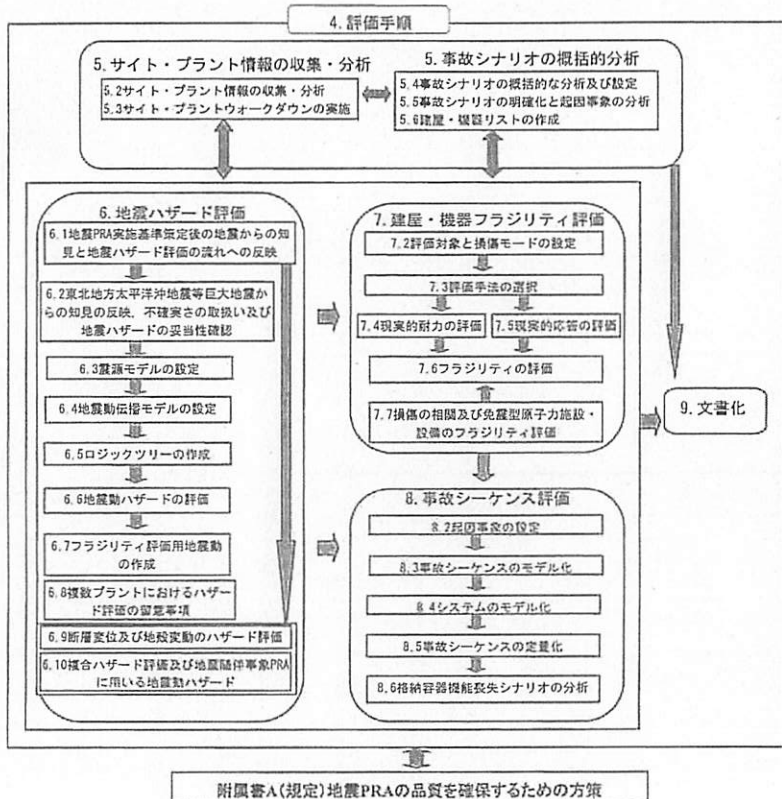


図 4.1—地震 PRA の評価手順

4.2 地震 PRA の品質の確保

地震 PRA の品質を確保するため、専門家判断の活用、ピアレビュー及び品質保証活動を実施する。専門家判断の活用は、地震 PRA の実施の各段階において、附属書 A (規定) A.1a) のいずれかの項目に該当する場合に実施する。ピアレビュー及び品質保証活動は、それぞれ附属書 A (規定) A.2 及び A.3 の要領で、地震 PRA の目的に応じて実施する。【附属書 A (規定) 参照】【附属書 B (参考) 参照】

5 サイト・プラント情報の収集・分析と事故シナリオの概括的分析

5.1 サイト・プラント情報の収集・分析と事故シナリオの概括的分析の流れ

サイト・プラント情報の収集・分析と事故シナリオの概括的分析は、図 5.1 に示す手順で実施する。

- a) **サイト・プラント情報の収集・分析** 情報収集の範囲及び詳細さを十分吟味する。次いで、情報収集の範囲に沿って、最新のプラント状態及び運転経験など関連情報を収集・分析する。
- b) **サイト・プラントワークダウンの実施** 机上で行うプラント情報だけでは十分に得られない情報の収集を実施する。また、安全機能を有する構築物及び機器などの損傷に伴う炉心損傷へ至る広範な事故シナリオの分析のためにも実施する。a)及び b)の情報は、箇条 6、箇条 7 の有用情報となる。
- c) **事故シナリオの概括的な分析・設定** 上記サイト・プラント関連情報及びサイト・プラントワークダウン情報を用いて、地震動による重要な機器の直接的損傷及び斜面崩壊の土壌による間接的な機器損傷も含めた広範な事故シナリオを概括的に分析・設定する。次いで、設定した広範な事故シナリオのスクリーニングを行う。
- d) **事故シナリオの明確化と起因事象の分析** スクリーニングで残った事故シナリオを対象として、事故シナリオを明確化する。また、重大な燃料の損傷に至る起因事象を分析し事象進展の緩和に有効な緩和系を明確にする。明確化された事故シナリオと起因事象の分析結果は、箇条 8 の有用情報となる。
- e) **建屋・機器リストの作成** 事故シナリオの明確化と起因事象の分析結果に基づき、箇条 7 及び箇条 8 に係わる建屋及び機器を同定し、必要な建屋・機器のリストを作成する。

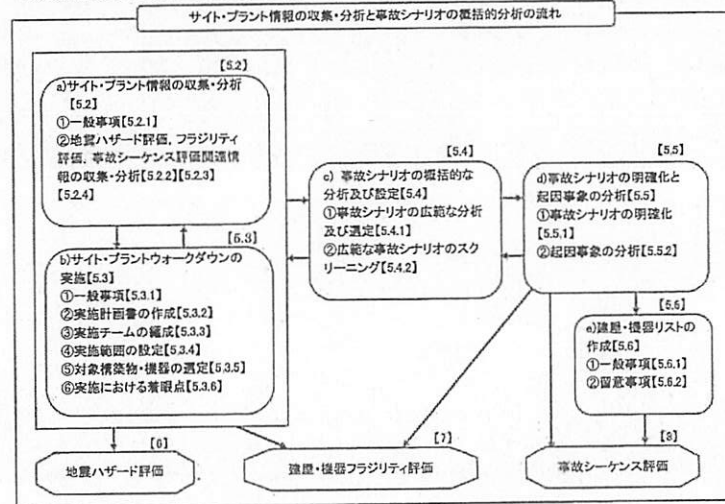


図 5.1—プラント情報の収集・分析と事故シナリオの概括的分析のフロー図

5.2 サイト・プラント情報の収集・分析

5.2.1 一般事項

地震PRAを実施するにあたり必要となる表5.1に示すようなサイトの最新の状況、設計、運転管理などプラント及びサイト関連の固有の情報を幅広く収集する。【附属書C（参考）参照】

それらに加え、既存の地震PRAに関する情報、東北地方太平洋沖地震をはじめとする原子力プラント以外を含めた国内外の地震事例、ならびに、地震・津波の重量、AM設備・緊急対策設備、同一サイト内複数プラントの影響、余震の影響等に関連する文献などの情報も収集する。ただし、プラント固有でない情報を評価に用いる場合には、当該プラントとの類似点及び相違点を分析し、それらのPRAから得られる情報が当該プラントに適用できることを説明する。【附属書D（参考）参照】

表 5.1-地震 PRA の評価作業に必要な情報

PRA の評価作業		必要な情報	
1	プラントの設計・運転の把握	PRA 実施に当たり必要とされる設計、運転管理に関する情報 ・基本仕様 ・系統設備の構成特性 ・耐震設計上の特徴 ・プラントの配置上の特徴	
2	地震ハザード評価	対象サイト周辺地域での地震発生様式を考慮し、震源モデルの設定にかかる震源特性や、地震動伝播モデルの設定にかかる地震動伝播特性に関する情報	
3	建屋・機器フラジリティ評価	プラント固有の建屋・機器の耐力評価ならびに応答評価に関連する情報	
4	事故シナリオの分析 評価	a) 事故シナリオの分析と起回事象の分類	大規模地震時に想定されるプラント状態
		b) 事故シナリオの分析 ・成功基準の設定	・安全系などのシステム使用条件 ・システムの現実的な性能
		・イベントツリーの作成	・運転員による緩和操作 ・対象プラントに則した機器故障モード、運転形態など
		c) システムのモデル化	
		d) 事故シナリオの定量化	
e) 格納容器健全性に関する評価	・格納容器の隔離機能に関する情報		

5.2.2 地震ハザード評価関連情報の収集・分析

a) 情報の収集 広範な地震ハザード評価関連情報を対象として、対象サイト周辺地域での地震発生様式を考慮し、震源モデルの設定にかかる震源特性、及び地震動伝播モデルの設定にかかる地震動伝播特性に関する情報を幅広く収集する。これらのモデル化では、専門家の意見の相違をロジックツリーとして表すために、異なる見解を持つ複数の専門家から情報を収集する。収集に当たっては、対象サイトへの影響が小さいと想定される震源特性及び地震動伝播特性の情報についても、対象サイト周辺の震源モデル及び地震動伝播モデルの設定に参考になる場合もあるので、併せて収集しておくことが望ましい。

地震ハザード評価に非常に大きな影響を及ぼす可能性のある最新知見などが公開さ

れた場合には、情報の再収集の一環として、各種調査を実施し最新情報を入手することが望ましい。【附属書 E（参考）参照】【附属書 F（参考）参照】【附属書 G（参考）参照】

b) 情報の分析 5.4, 5.5, 及び箇条 6 を行う上で、5.2.2 a) で収集した情報が必要十分であるかについて分析する。不足が認められる場合には、追加の情報を収集する。

震源モデルの設定にかかる項目（対象地震の分類、特定震源モデル及び領域震源モデルのパラメータの設定、震源モデルにおける不確実さ要因）について、対象サイト固有の震源特性に着目して分析する。

地震動伝播モデルの設定にかかる項目（距離減衰モデル及び断層モデルの選定、地震動の確率分布の設定、地震動伝播モデルにおける不確実さ要因の分類）について、対象サイト固有の地震動伝播特性に着目して分析する。

5.2.3 フラジリティ評価関連情報の収集・分析

a) 情報の収集 プラント固有の建屋・機器の耐力及び応答評価に関連する情報を収集する。関連情報としては、許認可関連、技術規準関連などが挙げられる。許認可関連では、原子力設置許可申請書、工事計画認可申請書などを、技術指針関連では、日本機械学会編発用原子力設備規格 設計・建設規格（2012 年改訂版）＜第 I 編 軽水炉規格＞、日本電気協会編原子力発電所耐震設計技術規程、同技術指針、日本機械学会、日本建築学会、土木学会の関連指針を参照する。これら以外に耐震設計データ、既往の耐震関連試験結果、地震事例なども参照することが望ましい。

b) 情報の分析 5.4, 5.5, 並びに箇条 7 を行う上で、5.2.3 a) で収集した情報が必要十分であるかについて分析する。不足が認められる場合には、追加の情報を収集する。

1) 耐力評価にかかる情報の分析 5.2.3 a) で収集した許認可関連情報、技術指針関連情報などに加え、追加調査・試験情報も用いて、対象とする建物・構築物、機器・配管系、地盤・斜面などの耐力評価にかかる項目（損傷部位・損傷モード及び損傷指標、これらの不確実さ要因など）について、対象プラント固有の情報に着目して分析する。特に、耐力評価における不確実さ要因の分析については、不確実さ要因（耐力評価式における地盤物性値及び材料定数などのパラメータに含まれる不確実さ）、及び認識論的不確実さ（耐力評価式の不確実さ）に着目して、重要な要因の選定及び不確実さの定量評価に必要な情報を分析する。

2) 応答評価にかかる情報の分析 5.2.3 a) で収集した情報を対象として、応答評価にかかる項目（減衰特性及び振動特性、これらの不確実さ要因など）について、プラント固有の情報に着目して分析する。特に、建物、屋外土木構築物、地盤、斜面などの応答評価における不確実さ要因の分析については、不確実さ要因（応答解析モデル作成のための地盤物性値及び材料定数などのパラメータに含まれる不確実さ）、及び認識論的不確実さ要因（応答解析手法及びモデル化に係る不確実さ）に着目して、重要な要因の選定及び不確実さの定量評価に必要な情報を分析する。

#### 5.2.4 事故シーケンス評価関連情報の収集・分析

- a) 情報の収集 事故シーケンス評価関連情報として、原子炉設置許可申請書、配管計装線図、電気系統図、プラント機器配置図、保安規定、運転手順書、地震後の点検手順などプラントの設計及び運転管理に関する情報を収集する。また、内的事象 PRA、既往の地震 PRA に関する報告書などから、地震 PRA 評価対象プラントへの適用情報として収集し、評価上の留意点として整理することも推奨する。
- b) 情報の分析 5.4, 5.5, 並びに箇条 8 を行う上で、5.2.4 a) で収集した情報が必要十分であるかについて分析する。不足が認められる場合には、追加の情報を収集する。

#### 5.3 サイト・プラントウォークダウンの実施

##### 5.3.1 一般事項

サイト・プラントウォークダウンでは、机上で行うプラント情報（設計情報又は設計、建設、運転時の検査、評価に関する情報の調査など）の収集からは十分に得られない情報の収集を実施する。サイト・プラントウォークダウンは、必要に応じ複数回実施してもよいが、実効的な実施のために、それぞれのサイト・プラントウォークダウンの相互の位置づけ及び関係を明確にする。

##### 5.3.2 実施計画書の作成

サイト・プラントウォークダウンの実施に当たっては、実施計画書を作成する。実施計画書には、実施チームの編成、実施範囲、対象構築物・機器、具体的な実施手順、実施における着眼点を定める。なお、部分的あるいは追加のサイト・プラントウォークダウンを実施する場合には、サイト・プラントウォークダウンの目的に応じた対象に限定した実施計画書とする。

##### 5.3.3 実施チームの編成

品質確保の観点から、専門的知識及び技術を有する者からなるサイト・プラントウォークダウンチームを編成する。チーム構成員に求められる能力、知見、経験の内容を次に示す。ただし、一人が次の要件全てを満足する必要はない。

- ・対象プラントのシステム、安全設計、運転操作、耐震設計、配置設計に関する専門的知識・技術及び経験。特に事故時のシステム挙動あるいは対応操作等に関するものを含む。
- ・地震動下での設備の挙動及び損傷部位・損傷モードに係わる振動試験及び震害調査に関する専門的知識・技術及び経験
- ・地震 PRA における地震ハザード評価、脆弱性評価（建物・構築物、機器）、事故シーケンス評価に関する専門的知識・技術及び経験

##### 5.3.4 実施範囲の設定

実効的なサイト・プラントウォークダウンの実施の観点から、地震 PRA の目的を考慮し、次の事項に留意して実施範囲を設定する。

- ・5.2 で収集した対象プラント固有情報（地震ハザード、機器の耐力及びプラントシステム

の配置など）では十分ではないと判断した構築物・機器を対象範囲に含める。

- ・対象プラントの暫定的地震 PRA 結果、既往地震 PRA の結果がある場合にはこれらを参照して設定する。
- ・他の設備に比べ明らかに損傷確率が大きく、評価上クレジットなしとした設備は、サイト・プラントウォークダウンの対象から除外してもよい。
- ・プラント全体のリスクレベルの把握を目的とした場合には、安全上重要な設備などに焦点を合わせる。
- ・プラント全体のリスクに影響を及ぼすような個別設備の脆弱性の確認を目的とした場合には、対象範囲として影響が大きいと判断される設備に焦点を合わせる。
- ・シビアアクシデント対策として整備した設備（東北地方太平洋沖地震の経験を踏まえ配備した設備を含む）、耐震 BC クラス設備等を地震 PRA で考慮する場合は、当該設備を対象範囲に含める。
- ・同一サイト内の複数のプラントで共用、融通する設備を対象に含める。
- ・津波 PRA で対象とする構築物・機器の地震脆弱性解析を実施する場合は、津波影響に関与する設備（津波防護施設・設備等、津波により漂流物となる可能性のある設備等）を対象に含める。

##### 5.3.5 対象構築物・機器の選定

5.3.4 に従いリストを作成する。リストには、種類、ID 番号、設置位置などの情報とともに、必要に応じて材質、設置方法などに関するデータも集約する。既往地震 PRA で対象外とした構築物・機器（例えば、耐震性を確認されていなかったため対象外とされたシビアアクシデント対策設備、配管及び運転員による復旧操作に関連する機器）も実施範囲に含まれる場合はリストに加える。

##### 5.3.6 実施における着眼点

- a) 一般事項 次の b) から e) に示す着眼点を持って、サイト・プラントウォークダウンを実施する。ただし、地震起因の溢水、火災、及び津波による影響を同時に確認・調査することの有効性を考慮し、建屋開口部の高さ・大きさ、対象設備の高さ等の確認を中心とした津波影響の確認、津波・溢水時における水の伝播経路の確認、溢水・火災源となる設備の調査確認、溢水・火災の区画境界及び区画内の設備の空間的配置の確認、などの着眼点を追加することが望ましい。なお、次の項目のように、対象構築物・機器にアクセスすることが困難な場合には、写真などの情報による確認で代替してもよい。

- ・高線量エリア、汚染の程度が著しいエリアにある構築物・機器
- ・確認する場合に通電部位へ接触するおそれがある構築物・機器
- ・高所・狭隘部にある構築物・機器

【附属書 H（参考）参照】【附属書 J（参考）参照】

- b) 耐震安全性の確認 構造上設計図書から十分に得られない情報について確認する。さら

に情報を付け加える必要があると判断した場合には、次に示すように評価対象構築物・機器の調査・確認を行う。

- ・評価対象プラントの設計書（システム配置図、計装・配管系統図、単線結線接続線図など）と、実際のプラント状態とを比較し、机上の情報では不十分と判断した点について確認する。特に対象設備の基礎部分の調査・確認を重点的に実施する。
- ・損傷確率が他の構築物・機器よりも相対的に小さい場合には、それらの脆弱性の有無を確認し、評価の対象とすかどうかを判断する。

具体的には、次の視点で確認する。

- ・対象設備・アンカーボルトの形状が図面と外見上の相違がないか
  - ・対象設備・配管接合部・アンカーボルト・対象設備と支持構造物との接合部に外見上の異常（腐食、亀裂等）はないか
  - ・アンカーボルトの締め付け強度は適切に管理されているか（ゆるみ止め対策がされているか等）
  - ・アンカーボルト付近のコンクリート部に外見上亀裂がないか
- c) 地震動による設備間の相互干渉の確認 プラント設計書の分析において、フォールトツリー、イベントツリーの作成で考慮すべき対象とすかどうか判断できなかった機器間の相互干渉、システム間の相互干渉、システム間の従属性などプラント固有の特徴を確認する。
- d) 地震による二次的影響の確認 大地震時に対象設備（そのサポート系も含む）の周辺の設備等の変形、離脱、移動などに起因して生じる干渉や衝突などの二次的影響を中心に次の視点で確認する。
- ・周辺の耐震クラスが低い機器、構築物等が倒壊又は損傷することで二次的影響を及ぼすことがないか
  - ・クレーン、燃料交換機他の落下や部材のコンクリート剥落等、建屋の付帯物（照明等）の落下により安全上重要な機器あるいは燃料に影響を及ぼすことがないか
  - ・設計図書に示される構築物間の間隔が適切に与えられているか否か
  - ・安全上重要な機器周辺の固縛されていない重量物の有無
  - ・機器に接続されているケーブルが損傷しない程度の柔軟性を持っているか
- e) 地震後のアクセス性の確認 現場での起動が必要な設備、現場での復旧作業において機能回復が見込める設備にクレジットをとる場合には、地震後の状況下で、次に示すような評価対象設備への操作又は作業が可能かどうかなどのアクセスの可能性を確認する。【附風書 J（参考）参照】
- ・起動・停止を設備の近傍で行う、又は行える設計となっている設備
  - ・地震による一時的な機能喪失に対して、設備の回復、隔離操作、予備品の使用又は応急的な修繕措置によって機能回復を期待する設備

具体的には、次の視点で確認する。

- ・周辺斜面のすべりによる土砂の流れ込みや近傍の設備の倒壊によりアクセスルート及びAM機器の搬入路が塞がれる可能性はないか
- ・対象機器の識別が可能であるか
- ・周辺斜面及び周辺設備からの被害を受けないか
- ・可動部分のある器具は存在しないか
- ・現場での操作が可能であり、且つ操作のための場所が確保できるか
- ・機器の作動状態が確認できるか

#### 5.4 事故シナリオの概括的な分析及び設定

##### 5.4.1 事故シナリオの広範な分析及び選定

###### 5.4.1.1 炉心損傷シナリオの広範な分析及び選定

a) 一般事項 事故シナリオの広範な分析及び選定では、次のような地震時特有の事故シナリオを見落としなく抽出及び選定する。

- 1) 地震時には、複数の SSCs が、地震動という共通要因によって同時損傷し、複数の異常発生防止系 PS 及び/又は異常影響緩和系 MS の安全機能が喪失する可能性がある。PRA の観点からは、PS の機能喪失は主に起因事象を生じ、MS の機能喪失は主に緩和機能を喪失する。地震時には、同一地震動によって複数の PS 及び/又は複数の MS が機能喪失し、複雑な事故シナリオが発生する可能性がある。
- 2) また、設計地震動を大きく超える地震動に対しては、重要な SSCs（例：原子炉建屋、原子炉圧力容器など）の損傷によって炉心損傷に直結する事故シナリオが生じる可能性がある。

事故シナリオの選定に当たっては、地震起因の直接的な損傷による事故シナリオだけでなく、間接的な影響（地震動による二次的影響（斜面崩壊、クレーン落下）、水素爆発による複数基への影響、復旧作業の阻害など）による事故シナリオについても考慮する。評価の目的に応じて、上記主要因による事故シナリオを対象として分析及び選定する。

###### b) 留意事項

- 1) 本震による炉心損傷事故に直接繋がりうる事故シナリオの分析及び選定 安全機能に従属する設備の損傷に伴う波及的な機能喪失を伴う事故シナリオを分析及び選定する。安全機能に直接従属する SSCs の損傷による事故シナリオだけでなく、周辺設備の損傷などについても、1.1)、1.2)の事故シナリオに留意して広範に分析及び選定する。【附風書 K（参考）参照】
- 1.1) 炉心損傷に至るまでの事象進展が必ずしも十分に同定し得ない事故シナリオ
- 1.2) 評価技術が必ずしも十分でないため、炉心損傷頻度の評価の不確実さが大きくなることを想定される事故シナリオ
- 2) 本震による炉心損傷事故に間接的に繋がりうる事故シナリオの分析及び選定

- 2.1) 安全機能を有する SSCs 以外の屋内設備の損傷 炉心損傷に直接繋がらないものの、それらの損傷が安全上重要な SSCs の損傷に直接影響を及ぼし、炉心損傷に間接的に繋がる可能性のある二次的な事故シナリオを分析及び選定する。この事故シナリオには、安全上重要度の低い複数の機器の損傷に伴い、上位の機器への波及的影響を含める。また、設備間の空間的相互作用による炉心損傷シナリオへの影響も含める。
- 2.2) 安全機能を有する SSCs 以外の屋外設備の損傷 上記 2.1)と同様の分析を行い、炉心損傷に間接的に繋がる可能性のある二次的な事故シナリオを選定する。この事故シナリオには、原子炉施設周辺斜面の崩壊による炉心損傷への二次的影響も含める。  
【附属書 L (規定) 参照】
- 2.3) 運転員の操作を阻害する地震時の要因による波及的な機能喪失 地震後の運転員による操作において、地震による高ストレスを受けた条件下で引き起こされる操作失敗、又は作業環境にかかる設備の支障に伴う運転員の回復操作の遅延によって、炉心損傷に間接的に繋がる可能性のあるような事故シナリオを分析及び選定する。  
【附属書 K (参考) 参照】
- 3) 余震にかかわる事故シナリオの分析及び選定 本震の地震動を受けた直後に、余震群による地震動を受けた場合の SSCs の損傷に伴う炉心損傷に繋がる可能性のあるような事故シナリオを分析及び選定する。
- 4) 経年変化にかかわる事故シナリオの分析及び選定 経年変化の有無では、新設時のような SSCs の経年変化事象が生じていない状態か、又は長期運転時における経年変化事象が生じている状態であるかを考慮することとなるが、後者では定期検査及び予防保全計画を踏まえて経年変化の影響を考慮する。経年変化事象を考慮した場合の SSCs の損傷に伴う炉心損傷に繋がる可能性のある事故シナリオを分析及び選定する。
- 5) 複数基が立地するサイトにかかわる事故シナリオの分析及び選定 複数基が立地するサイトにおいては、ユニット間の相互依存関係を考慮し、炉心損傷に繋がる可能性のある事故シナリオを分析及び選定する。【附属書 K (参考) 参照】
- 6) 緊急時対策所における緊急時の復旧対応にかかる事故シナリオの分析及び選定 緊急時対策所は技術助言組織、応急復旧対応（瓦礫の撤去、代替手段の繋ぎ込みも含む）などで中心的な役割を果たすことになるが、劣悪な環境などによって緊急時対策所の機能が低下することを考慮し、炉心損傷に繋がる可能性のある事故シナリオを分析及び選定する。
- 7) 事故シナリオの分析及び選定にかかるシビアアクシデント対策の考慮 地震に起因して炉心損傷に繋がる可能性のある事故シナリオを分析及び選定し、必要に応じて整備されたシビアアクシデント対策（ハード面、ソフト面の対策）を考慮する。
- 8) 地殻変動及び断層変位に起因する地盤変状の影響 地殻変動及び断層変位に起因する地盤変状において、地盤変状量から建屋間（建屋内も含む）にまたがる安全設備

- への影響を考慮して、炉心損傷に繋がる可能性のある事故シナリオを分析及び選定する。【附属書 K (参考) 参照】
- 9) 地震起因における火災、溢水、津波にかかる事故シナリオの分析及び選定 地震起因によって火災、溢水、津波が引き起こされ炉心損傷に繋がる可能性のあるような事故シナリオを分析及び選定する。
- 5.4.1.2 燃料プール内燃料の損傷シナリオの広範な分析及び選定
- a) 一般事項 事故シナリオの広範な分析・選定では、地震時特有の事故シナリオを見落とさず抽出・選定する。  
このために少なくとも次の事故シナリオを考慮する。
- － 燃料プールが燃料プール内の燃料の冷却形状を維持できなくなる事故シナリオ
  - － 燃料プールの冷却機能が喪失し燃料損傷となる事故シナリオ
  - － 燃料プール内の大量の燃料が機械的に損傷する事故シナリオ
- 燃料プール自体が燃料プール内の燃料の冷却形状を維持できなくなる事故シナリオについては、燃料プール自体が損壊しプール水が喪失するシナリオ、プールへの注水配管を介してプール水がサイフォン効果現象で逆流し燃料が露出するシナリオなどを考慮する。
- 燃料プール冷却機能喪失によって燃料損傷となる事故シナリオについては、燃料プール水を循環冷却（除熱）する機能及び燃料プールへ注水する機能の両方の機能が喪失した場合に燃料プール冷却機能が喪失すると評価する。この際、地震の直後に両方の機能が喪失しても燃料プール内燃料が重大な損傷に至る前に復旧する措置が施されている場合には、この復旧措置も失敗した場合に燃料プール冷却機能が喪失すると評価する。復旧措置に対する許容時間の評価にあたっては燃料プールからのスロッシングによる保有水の喪失分を考慮する。
- 燃料プール内の大量の燃料が機械的に損傷する事故シナリオについては、燃料ラックの損傷以外に、上部からの落下物（天井クレーン、燃料交換機など）による損傷を考慮する。
- これらのシナリオの選定に当たっては、炉心損傷の場合と同様に、地震起因の直接的な損傷による事故シナリオだけでなく、間接的な影響（地震動による二次的影響（斜面崩壊）、水素爆発による複数基への影響、復旧作業の阻害など）によるシナリオについても考慮する。さらに、炉心損傷の場合と同様に、経年変化の有無、地震動の形態、事故進展の形態などの主要因を考慮する。
- b) 留意事項
- 1) 本震による燃料プール内燃料損傷事故に直接繋がりを有する事故シナリオの分析及び選定 安全機能に従属する設備の損傷に伴う波及的な機能喪失に伴う事故シナリオを広範に分析及び選定する。【附属書 K (参考) 参照】
- 1.1) 安全機能に直接従属する SSCs の損傷による事故シナリオ

- 1.2) 周辺設備の損傷など燃料プール内燃料損傷に至るまでの事象進展が必ずしも十分に同定し得ない事故シナリオ
- 1.3) 評価技術が必ずしも十分でないため、燃料プール内燃料損傷頻度の評価の不確かさが大きくなることを想定される事故シナリオ
- 2) 本震による燃料プール内燃料損傷事故に間接的に繋がりを有する事故シナリオの分析及び選定
- 2.1) 安全機能を有する SSCs 以外の屋内設備の損傷 炉心損傷の場合と同様に、燃料プール内燃料損傷に直接繋がらないものの、それらの損傷が安全上重要な SSCs の損傷に直接影響を及ぼし、燃料プール内燃料損傷に間接的に繋がる可能性のある二次的な事故シナリオを分析及び選定する。この事故シナリオには、安全上重要度の低い複数の機器の損傷に伴い、上位の機器への波及的影響を含める。また、設備間の空間的相互作用による燃料プール内燃料損傷シナリオへの影響も含める。
- 2.2) 安全機能を有する SSCs 以外の屋外設備の損傷 炉心損傷の場合と同様に、上記 2.1) と同様の分析を行い、燃料プール内燃料損傷に間接的に繋がる可能性のある二次的な事故シナリオを選定する。この事故シナリオには、原子炉施設周辺斜面の崩壊による燃料プール内燃料損傷への二次的影響も含める。【附属書 L (規定) 参照】
- 2.3) 運転員の操作を阻害する地震時の要因による波及的な機能喪失 炉心損傷の場合と同様に、地震後の運転員による操作において、地震による高ストレスを受けた条件下で引き起こされる操作失敗、又は作業環境にかかる設備の支障に伴う運転員の回復操作の遅延によって、燃料プール内燃料損傷に間接的に繋がる可能性のあるような事故シナリオを分析及び選定する。  
【附属書 K (参考) 参照】
- 3) 余震にかかわる事故シナリオの分析及び選定 炉心損傷の場合と同様に、本震の地震動を受けた直後に、余震群による地震動を受けた場合の SSCs の損傷に伴う燃料プール内燃料損傷に繋がる可能性のあるような事故シナリオを分析及び選定する。
- 4) 経年変化にかかわる事故シナリオの分析及び選定 経年変化の有無では、新設時のような SSCs の経年変化事象が生じていない状態か、又は長期運転時における経年変化事象が生じている状態であるかを考慮することとなるが、後者では定期検査及び予防保全計画を踏まえて経年変化の影響を考慮する。炉心損傷の場合と同様に、経年変化事象を考慮した場合の SSCs の損傷に伴う燃料プール内燃料損傷に繋がる可能性のある事故シナリオを分析及び選定する。
- 5) 複数基が立地するサイトにかかわる事故シナリオの分析及び選定 複数基が立地するサイトにおいては、ユニット間の相互依存関係を考慮し、燃料プール内燃料損傷に繋がる可能性のある事故シナリオを分析及び選定する。【附属書 K (参考) 参照】
- 6) 緊急時対策所における緊急時の復旧対応にかかる事故シナリオの分析及び選定 緊急時対策所は技術助言組織、応急復旧対応（瓦礫の撤去、代替手段の繋ぎ込みも含

- む) などでの中心的な役割を果たすことになるが、劣悪な環境などによって緊急時対策所の機能が低下することを考慮し、燃料プール内燃料損傷に繋がる可能性のある事故シナリオを分析及び選定する。
- 7) 事故シナリオの分析及び選定にかかるシビアアクシデント対策の考慮 地震に起因して燃料プール内燃料損傷に繋がる可能性のある事故シナリオを分析及び選定し、必要に応じて整備されたシビアアクシデント対策（ハード面、ソフト面の対策）を考慮する。
- 8) 地殻変動及び断層変位に起因する地盤変状の影響 地殻変動及び断層変位に起因する地盤変状において、地盤変状量から建屋間（建屋内も含む）にまたがる安全設備への影響を考慮して、燃料プール内燃料損傷に繋がる可能性のある事故シナリオを分析及び選定する。【附属書 K (参考) 参照】
- 9) 地震起因における火災、溢水、津波にかかる事故シナリオの分析及び選定 地震起因によって火災、溢水、津波が引き起こされ燃料プール内燃料損傷に繋がる可能性のあるような事故シナリオを分析及び選定する。
- 5.4.2 広範な事故シナリオのスクリーニング
- 5.4.2.1 炉心損傷に対する広範な事故シナリオのスクリーニング
- a) 一般事項 5.4.1.1 b) で選定した事故シナリオを対象として、スクリーニングを行う。  
炉心損傷に至るまでの事象進展が不明確、又は評価技術が十分でない判断される事故シナリオについては、定性的なスクリーニングに比重をおいて判断せざるを得ないことに留意する。スクリーニングで除外されない事故シナリオを、箇条 8 の対象とするか、留意事項として報告書に記載するなど、評価技術の成熟度を考慮して取扱う。
- b) 留意事項 5.4.1.1 b) 1)~4) の項目についてのスクリーニングの方法を次に示す。
- 1) 炉心損傷に繋がる可能性の定量的判断 事故シナリオの発生及び炉心損傷に繋がる可能性を次の手順で判断する。【附属書 M (参考) 参照】
- 1.1) 対象設備の損傷確率などを用いて、評価対象となる事故シナリオの発生の可能性を評価し、波及的な影響を及ぼす可能性がある SSCs の損傷確率又は炉心損傷確率などと比べて、スクリーニングで除外できるか否かを判断する。
- 1.2) スクリーニングで除外されない事故シナリオについては、炉心損傷頻度の評価まで可能かどうかに着目し、次の取扱いとする。
- 1.2.1) 炉心損傷頻度評価まで可能な場合には、事故シーケンス評価の対象とする。
- 1.2.2) 炉心損傷頻度評価まで難しい場合には、感度解析で影響の度合いを確認し、評価対象事象がリスク要因となり得ることを報告書に留意事項として記載する。
- 2) 炉心損傷に繋がる可能性の工学的判断 炉心損傷に繋がる可能性を次の手順で工学的に判断する。【附属書 M (参考) 参照】
- 2.1) 決定論的に評価した情報に基づき判断する。
- 2.2) 運用面での対策及び対応に関する情報に基づき判断する。

- 2.3) サイト・プラントワークダウンによって得た情報に基づき判断する。
- 2.4) 炉心損傷頻度の定量評価が現行技術では難しいものの、工学的判断によって除外できない事故シナリオについては、リスク要因となり得ることを報告書に記載する。

【附属書 N (参考) 参照】

- 3) 余震にかかわる事故シナリオのスクリーニングの考え方 本震の地震動を受けた直後に、余震群による地震動を受けた SSCs の損傷に伴う炉心損傷に繋がる可能性のある事故シナリオを分析及び選定し、附属書 O (規定) の影響評価に基づき除外できるか否かを判断する。【附属書 O (規定) 参照】【附属書 P (参考) 参照】【附属書 Q (参考) 参照】
- 4) 経年変化にかかわる事故シナリオのスクリーニングの考え方 経年変化事象を考慮した場合の SSCs の損傷に伴う炉心損傷に繋がる可能性のある事故シナリオを分析及び選定し、附属書 R (規定) の影響評価に基づき除外できるか否かを判断する。【附属書 R (規定) 参照】【附属書 S (参考) 参照】

#### 5.4.2.2 燃料プール内燃料の損傷に対する広範な事故シナリオのスクリーニング

- a) 一般事項 炉心損傷の場合と同様に、5.4.1.2 b) で選定した事故シナリオを対象として、スクリーニングを行う。スクリーニングは燃料プール内燃料損傷の他の事故シナリオに対して除外できるかを判断する。

燃料プール内燃料損傷に至るまでの事象進展が不明確、又は評価技術が十分でないと判断される事故シナリオについては、定性的なスクリーニングに比重を置いて判断せざるを得ないことに留意する。スクリーニングで除外されない事故シナリオを、箇条 8 の対象とするか、留意事項として報告書に記載するなど、評価技術の成熟度を考慮して取扱う。

- b) 留意事項 5.4.1.2 b) 1)~4) の項目についてのスクリーニングの方法を次に示す。

- 1) 燃料プール内燃料損傷に繋がる可能性の定量的判断 炉心損傷の場合と同様に、事故シナリオの発生及び燃料プール内燃料損傷に繋がる可能性を次の手順で判断する。【附属書 T (参考) 参照】
- 1.1) 対象設備の損傷確率などを用いて、評価対象となる事故シナリオの発生の可能性を評価し、波及的な影響を及ぼす可能性がある SSCs の損傷確率又燃料プール内燃料損傷確率などと比べて、スクリーニングで除外できるか否かを判断する。
- 1.2) スクリーニングで除外されない事故シナリオについては、燃料プール内燃料損傷頻度の評価まで可能かどうか着目し、次の取扱いとする。
- 1.2.1) 燃料プール内燃料損傷頻度評価まで可能な場合には、事故シナリオ評価の対象とする。
- 1.2.2) 燃料プール内燃料損傷頻度評価まで難しい場合には、感度解析で影響の度合いを確認し、評価対象事象がリスク要因となり得ることを報告書に留意事項として記載する。

- 2) 燃料プール内燃料損傷に繋がる可能性の工学的判断 炉心損傷の場合と同様に、燃料プール内燃料損傷に繋がる可能性を次の手順で工学的に判断する。【附属書 T (参考) 参照】

2.1) 決定論的に評価した情報に基づき判断する。

2.2) 運用面での対策及び対応に関する情報に基づき判断する。

2.3) サイト・プラントワークダウンによって得た情報に基づき判断する。

2.4) 燃料プール内燃料損傷頻度の定量評価が現行技術では難しいものの、工学的判断によって除外できない事故シナリオについては、リスク要因となり得ることを報告書に記載する。

- 3) 余震にかかわる事故シナリオのスクリーニングの考え方 炉心損傷の場合と同様に、本震の地震動を受けた直後に、余震群による地震動を受けた SSCs の損傷に伴う燃料プール内燃料損傷に繋がる可能性のある事故シナリオを分析及び選定し、附属書 O (規定) の影響評価に基づき除外できるか否かを判断する。【附属書 O (規定) 参照】【附属書 P (参考) 参照】【附属書 Q (参考) 参照】

- 4) 経年変化にかかわる事故シナリオのスクリーニングの考え方 炉心損傷の場合と同様に、経年変化事象を考慮した場合の SSCs の損傷に伴う燃料プール内燃料損傷に繋がる可能性のある事故シナリオを分析及び選定し、附属書 R (規定) の影響評価に基づき除外できるか否かを判断する。【附属書 R (規定) 参照】【附属書 S (参考) 参照】

## 5.5 事故シナリオの明確化と起因事象の分析

### 5.5.1 事故シナリオの明確化

#### 5.5.1.1 一般事項

5.4 において、地震時特有の事故シナリオを見落としなく抽出及び選定し、スクリーニングを行った結果、事故シナリオ評価が必要と判断された事故シナリオを対象に、次の三項目に着目して整理し明確にする。なお、内的事象 PRA が実施済みの場合は、地震 PRA で考慮している事故シナリオとの関係を整理し、事故シナリオに重複がないように留意する。

- 地震時には有意な確率で発生し、重大な燃料の損傷に至る事象（以下、地震時特有の事故シナリオという）の明確化
- 地震時特有の事故シナリオと内的事象 PRA で考慮している事故シナリオとの調整
- 地震 PRA で対象とする地震動強さの下限範囲の設定

#### 5.5.1.2 留意事項

- a) 地震時特有の事故シナリオの明確化 5.4.2 で残された広範な事故シナリオにかかわる SSCs の損傷を、起因事象及び緩和系のそれぞれにかかわるモデルへ反映するために、地震時特有の事象として次の損傷によって引き起こされる事故シナリオを明確化する。

- 1) 地震動による安全上重要な大型静的 SSCs の損傷 大型静的 SSCs の損傷として、原子炉建屋の損傷、原子炉圧力容器損傷、一次系配管の大規模な破断（例えば、ECCS

性能を上回る一次冷却材の流出を生じる LOCA (Excessive-LOCA:E-LOCA)), 燃料プールの損傷などを考慮する。緩和設備によって事象の進展を抑制することができず、に重大な燃料の損傷に至る可能性がある」と判断する場合には、これらの SSCs の損傷を重大な燃料の損傷に直結する起回事象としてモデル化してもよい。【附属書 U (参考) 参照】

- 2) **地震動による安全機能への重大で広範な影響を及ぼす SSCs の損傷** 安全機能への重大で広範な影響を及ぼす SSCs の損傷として、計装及び制御系、非常用電源系、原子炉補機冷却水系の損傷などを考慮する。これらの損傷は、起回事象又は緩和設備として箇条 8 でモデル化するが、どちらでモデル化した場合においても、起回事象と緩和設備、及び緩和設備間の従属性を適切に考慮する。
- 3) **安全機能に影響する二次的な影響** 安全機能に影響する二次的な影響の有無について、サイト・プラントワークダウンによって得られた情報などを参考に、評価すべきと判断された事故シナリオを明確化する。
- b) **地震時特有の事故シナリオと内的事象 PRA で考慮している事故シナリオとの調整** 内的事象 PRA が実施済みでそれらの事故シナリオを参考とする場合は、地震にかかるものを地震 PRA でも考慮する。ただし、内的事象 PRA で考慮しているランダムな要因による故障の組合せのみによる事故シナリオは、地震動による SSCs の損傷が生じていないため、含めてはならない。【附属書 V (参考) 参照】
- c) **地震 PRA で対象とする地震動強さの下限範囲の設定** 事故シナリオを適切に評価するために、地震 PRA で対象とする地震動強さの範囲の下限は、地震動を地震動感知計で感知して原子炉が自動停止となる信号の設定点を目安として設定する。また、これ以外の手法を用いる場合には、対象とすべき事故シナリオが適切に評価されていることを感度解析などで示す。評価対象とする地震動強さ以上で耐震クラスの低い SSCs が損傷しているものとして、保守的に評価する場合には、その他の保守性とあいまって過剰に保守的な評価とならないよう留意する。【附属書 V (参考) 参照】

## 5.5.2 起回事象の分析

### 5.5.2.1 一般事項

地震時特有の事故シナリオを対象に、地震を起因として重大な燃料の損傷に至る可能性のある起回事象を分析する。また、地震時特有の事故シナリオの特性を考慮して、起回事象を分類するとともに、起回事象にかかる SSCs 及び緩和設備を分析する。なお、内的事象 PRA を実施済みの場合は、そこで分析された起回事象が参考となる場合がある。

### 5.5.2.2 留意事項

- a) **起回事象の分類** 事象の進展が類似している複数の起回事象を一つの起回事象として分類する。起回事象の分類は次の観点から行う。【附属書 W (参考) 参照】
  - 1) 事象の展開が類似しており、複数の起回事象を詳細に区別したとしても評価結果に有意な違いが生じないと判断できる場合には、同様な緩和設備を必要とする複数の起

- 因事象を一つの起回事象に分類してもよい。
- 2) 起回事象の発生による事故シナリオを厳密に分析することが困難な場合には、この起回事象に対する緩和設備には期待しない、又はより厳しい条件となる起回事象に包含させるなど、保守的に簡略化してもよい。
- 3) SSCs の損傷の可能性が非常に小さく、起回事象の発生確率として無視できると判断する場合には起回事象から除外してもよい。
- 4) 起回事象の原因が複数あって、起回事象の発生確率への寄与が他の原因に比べ非常に小さく、無視できると判断する場合には、当該原因は除外してもよい。
- 5) 内的事象 PRA が既に行われており、起回事象の従属性が考慮されている場合は、地震 PRA における起回事象の分析でも留意する。
- 6) 地震動によって直接的な格納容器の損傷を伴うような事象は、早期の放射性物質の放出に至る起回事象となる場合が多いので、その他の事象と明確に区別する。また、簡略化又はスクリーニングを行う場合には、プラント損傷状態の定義又は分類との対応に留意し、異なる定義又は分類の事故シーケンスを代表又は包含しないようにする。
- b) **起回事象にかかる SSCs と緩和設備の分析** 起回事象の要因となる SSCs 損傷の分類の考え方、及び起回事象が発生した場合の緩和設備又は格納容器などの状態を分析し、事故シーケンス評価に必要な SSCs を明確にする。分析の結果、起回事象の要因となる SSCs 損傷、緩和設備、格納容器などの状態を保守的に簡略化した場合、又はスクリーニングによって評価から除外した場合には、その考え方を建屋・機器リストを利用するなどによって明確にする。【附属書 U (参考) 参照】

## 5.6 建屋・機器リストの作成

### 5.6.1 一般事項

5.5 に基づき、箇条 8 に必要な建屋・機器リストを作成する。このリストの作成に当たっては、図 5.2 に示す地震 PRA の一連の作業【箇条 5、箇条 7、箇条 8】の中で調整する。

スクリーニングで残った事故シナリオを対象として、事故シナリオの明確化及び起回事象の分析を行った結果に基づき、地震 PRA で対象とする建屋・機器リストを作成する。【附属書 X (参考) 参照】

建屋・機器フラジリティ評価と事故シーケンス評価の間で相互に調整を実施し、必要に応じて建屋・機器リストの見直しを実施する。

建屋・機器フラジリティ評価では、評価対象の設定における機器及び配管系のカテゴリ化、損傷モードの分析に基づく評価対象の構造損傷又は機能損傷のスクリーニングを行い、これらの情報を上記建屋・機器リストの調整に反映する。

事故シーケンス評価では、事故シーケンスのモデル化を行うが、この際にモデル化すべく選定した SSCs の情報に基づき、上記建屋・機器リストを調整する。

さらに、地震随伴事象（火災、溢水及び津波）も合わせて評価する場合は、評価に必要な機器などを建屋・機器リストに追加する。

なお、津波が地震随伴事象であることを踏まえると、津波 PRA で対象とする建屋や設備・機器について、地震に対して健全であることが津波 PRA 評価の前提条件となる場合がある。しかし、防潮堤のような津波特有の対策設備は、上記で作成する地震 PRA の建屋・機器リストとしては抽出されないことから、将来的に地震随伴事象の評価を行うために、地震 PRA の観点からだけでなく、地震随伴事象を含めた観点から建屋・機器リストの作成を行うておく必要がある。

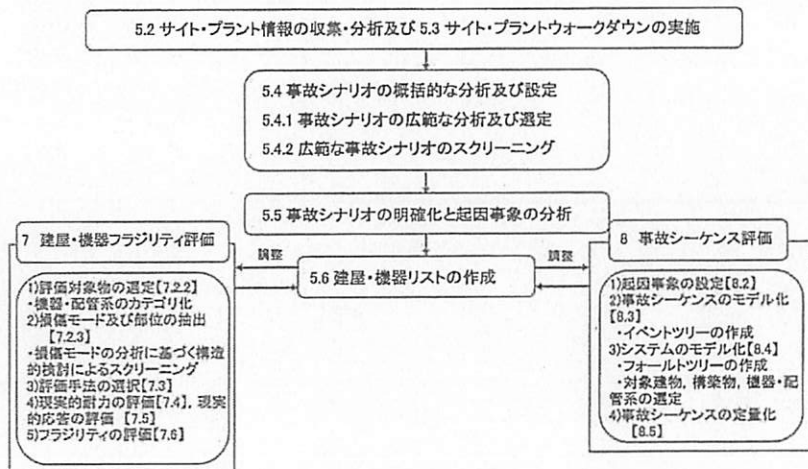


図 5.2-地震 PRA の流れにおける建屋・機器リストの位置付け

### 5.6.2 留意事項

- a) 重大な燃料の損傷の防止のために必要な SSCs の選定 重大な燃料の損傷の防止に必要な機能を抽出し、この機能を達成するために必要な SSCs を選定する際に、システム構成の特徴などを考慮して、次に示すように暫定的に一部を評価から除外してもよい。
- 1) 従属関係にある複数の SSCs で、直列的な構成となっているシステムでの耐力が強い SSCs は除外する。
  - 2) 冗長性を有する複数の SSCs で、並列的な構成となっているシステムでの耐力の弱い SSCs は除外する。
- b) SSCs 間の相対的な重要性の把握 上記 5.6.2 a) 1) の場合で、SSCs を耐力の弱い構成部位で代表させ、既往 PRA で用いているデータ、又は代表機器のデータなどに基づいて評価対象部位を暫定的に評価することで SSCs 間の相対的な重要性を把握する場合、既

往 PRA から準用されるデータ又は代表機器のデータが非保守側の結果を与えないよう留意するとともに、後段の評価に必要な修正ができるように暫定的な評価であることを明記する。

- c) 建屋・機器リストは、サイト・プラントワークダウンにおいて活用することも可能であるので、サイト・プラントワークダウンの反映事項及び留意事項を明記することが望ましい。

## 6 地震ハザード評価

### 6.1 地震 PRA 実施基準策定後の地震からの知見と地震ハザード評価の流れへの反映

#### 6.1.1 一般事項

地震 PRA 実施基準策定後の地震からの知見の把握と地震動ハザード評価の流れへの反映としては、次の項目について、手順に従い実施する。

- ① 地震 PRA 実施基準策定後の地震からの知見の把握 (6.1.2 に記述)
- ② 地震ハザード評価の流れへの反映 (6.1.3 に記述)

#### 6.1.2 地震 PRA 実施基準策定後の地震からの知見の把握

a) 中越沖地震から東北地方太平洋沖地震までの知見の把握 耐震設計に影響を及ぼした最近起こった地震について、得られた知見を整理して地震ハザード評価に反映する。それらの地震の中で、2007年7月16日新潟県中越沖地震及び2011年3月11日東北地方太平洋沖地震(M9級巨大地震)は、地震・地震動に対するハザード評価の枠組みに大きな影響を及ぼしていることから、特に以下の点に留意する。

- ① 新潟県中越沖地震(中越沖地震)では、サイト周辺の深部地下構造が地震動に大きく影響を及ぼすことやひずみ集中帯等の影響が指摘され、複数基立地の取扱いに関する知見が得られた。
- ② 東北地方太平洋沖地震では、巨大地震に伴う大きな余震や誘発地震、地殻変動、地震動と津波の重畳の取扱い等の知見が得られた。また、M9級巨大地震では、複数の破壊域の連動が指摘され、地震動と津波の重畳において、両ハザード評価に用いる震源モデルが整合することが必要との指摘がある。
- ③ 東北地方太平洋沖地震以後、旧原子力安全・保安院の耐震バックチェックの審議では、断層破砕帯に関する議論も行われ、敷地内及び敷地極近傍に位置する断層が活断層か否かの判断と活断層であった場合の断層変位の議論が行われ、断層変位の重要性が認識されている。

b) 地震ハザード評価に係る反映内容 上記 6.1.2a)から、地震ハザード評価への反映内容としては、次のものを考慮する。

- ① ひずみ集中帯、巨大地震、大規模余震、誘発地震、複数の破壊域の連動地震動以外の地震に起因する複合ハザードとしては、次のものを考慮する。

- ① 断層変位ハザードと地殻変動ハザード
- ② 地震と地震起因の津波

地震動ハザードのフラジリティへの影響としては、次のものを考慮する。

- ① 地震起因の周辺斜面崩壊による建屋・構造物・機器のフラジリティへの影響
- ② 地震起因の火災源の発火確率への影響
- ③ 地震起因の内部溢水の構造物・機器への影響

これらの内容は、6.1.3で地震ハザード評価の流れに反映する。

#### 6.1.3 地震ハザード評価の流れへの反映

a) 一般事項 地震ハザード評価は、評価の対象を地震動ハザードとする場合と、複合ハザードとする場合に大別される。地震動ハザードは、加速度及び速度等の地震動に対するハザードを対象とし、複合ハザードは、地震起因による複数の事象のハザードを扱う(地震動と地震起因の津波等)。

地震 PRA 実施基準(2007年版)では、地震動ハザードに対する単一プラントにおける複数の構造物・機器の同時損傷を対象とした。これに対し、改訂されたこの標準では、福島第一原子力発電所の事故を踏まえて、複合ハザードに対する複数プラントにおける複数の構造物・機器の同時損傷を対象とする。地震ハザード評価の流れは、図 6.1 に示すように、地震動ハザード関連と、複合ハザードを含む場合に分けられる。前者の内容は基本的に地震 PRA 実施基準(2007年版)の内容の高度化を意図している。後者は、東北地方太平洋沖地震の教訓や知見の反映を図るものである。

以下、これらの具体的内容を示す。

b) 地震動ハザード評価の流れ 地震動ハザード評価は、5.1で収集・分析した地震ハザード評価関連情報及び東北地方太平洋沖地震からの知見に基づき、図 6.1中に示す手順に従って実施する。

地震動ハザード評価では、長期間の平均的なハザードと、現時点から原子力発電所供用期間のハザードの両方を求める。前者では、長期間の平均的な年超過頻度を評価する。後者では、評価対象時点から、原子力発電所供用期間での超過確率を評価する。前者の震源モデルで求めた地震発生確率(頻度)の情報が後者の評価のための基礎となる。前者の評価では、地震発生確率において、平均活動間隔(発生頻度)のデータを用いて、定常過程(例えば、ポアソン過程)によって供用期間の地震発生確率を求める。一方、後者の評価では平均活動間隔に加えて最新活動時期(ラストイベント)のデータを用いて、更新過程(例えば、Brownian Passage Time 分布(BPT分布))によって、原子力発電所の供用期間での発生確率を評価する。

1) 東北地方太平洋沖地震からの知見の反映と不確実さの取扱い 東北地方太平洋沖地震からの知見の反映では、同地震のようなプレート境界におけるM9級巨大地震の可能性と、内陸及び日本海東縁部で考えられる連動型大地震(長大断層による地震)の可能性の両方を地震動ハザード評価で考慮する。【附属書 E(参考) 参照】

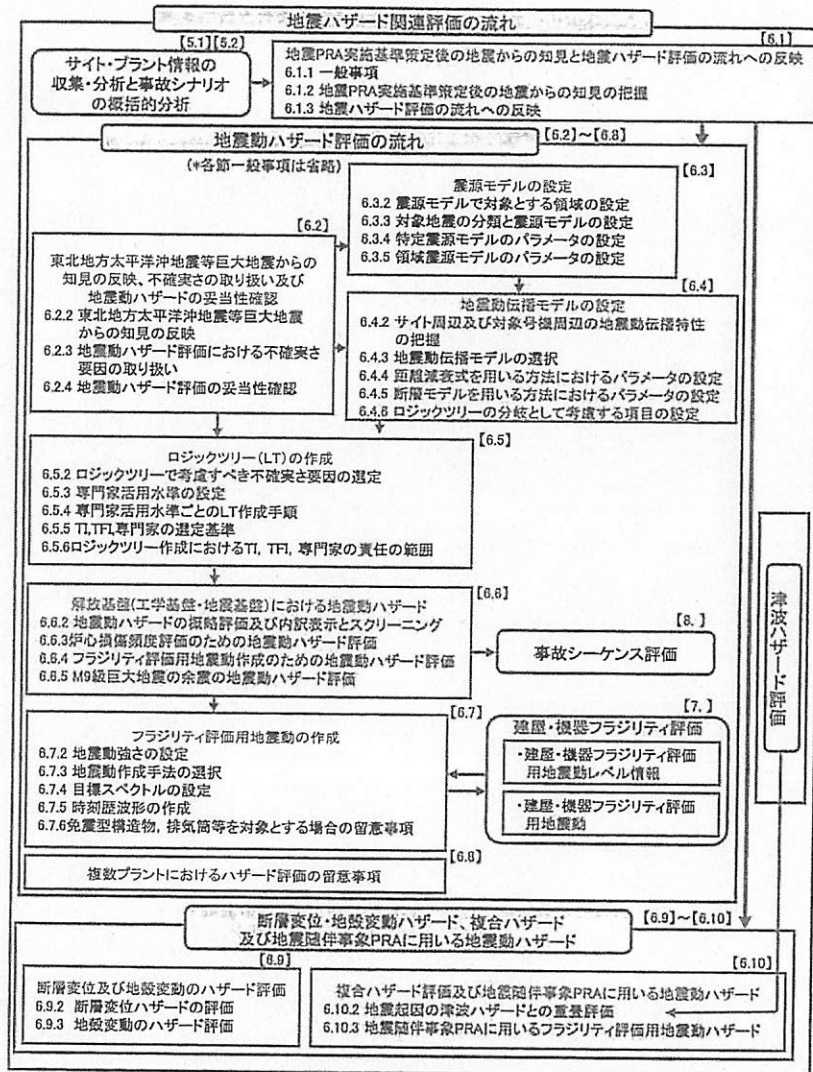


図 6.1-地震ハザード関連評価手順

2) 震源モデルの設定 地震動ハザード評価では、対象サイトに将来影響を及ぼす可能性のある地震の発生を確率モデルで表し、評価対象地震の震源モデルを設定する。

震源モデルの設定では、まず、5.2.2 で分析した震源モデルに関する情報を用いて、対象とする領域の範囲を設定する。特に、5.2.2 の関連情報としては、原子力安全委員会 2006 年耐震設計審査指針改訂に伴う原子力発電所に係る耐震安全性評価(耐震バックチェック) や地震調査研究推進本部・地震調査委員会等の新たな知見や情報に留意する。【附属書 F (参考) 参照】【附属書 G (参考) 参照】

次いで、対象とする地震について地震発生様式を考慮して分類するとともに、震源モデルを特定震源モデルと領域震源モデルに大別して震源モデルを対応づける(6.3.3 参照)。また、特定震源モデルと領域震源モデルにおける不確実さ要因を偶然的要因と認識論的要因に分ける(6.2.3 参照)。特に、地震規模や発生領域のモデル化では、既往最大に囚われず、物理現象や物理探査等に基づく科学的想像力を働かせて設定する。

震源モデルの設定において地震カタログを用いる場合には、従来、大地震の余震と思われる地震は対象外として取り除いてモデル化していた。しかし、この実施標準改訂では、M9 級巨大地震への対応を踏まえて巨大本震(M9 級)と大規模余震(M8 級)並びに、誘発地震の発生を考慮した地震動ハザードを評価することとする。

3) 地震動伝播モデルの設定 地震動伝播モデルの設定では、まず、5.2.2 の地震動伝播モデルに関する情報を用いて、パラメータ設定のために必要な情報を選定する。次いで、対象サイト周辺地域の震源特性や地震動伝播特性を考慮して、特定位置で特定規模の地震が発生した場合に評価対象サイトで生じる地震動強さの確率分布を評価するためのモデルを設定する。これらの地震動強さ及び確率分布のモデル化は、水平動及び上下動の両方に対して行う。

地震動伝播モデルにおける偶然的な不確実さは、特定規模の地震による地震動強さの確率分布(例えば距離減衰式のばらつき分布)として表現する。一方、評価モデルの選択や確率分布のパラメータ等に関する認識論的不確実さ要因をロジックツリーの分岐として選定する。

4) ロジックツリーの作成 ロジックツリーの作成では、まず、上記 2) 震源モデルの設定及び 3) 地震動伝播モデルの設定において、選定した認識論的不確実さ要因から地震動ハザード評価に大きく寄与する要因を選定する。次いで、選定した要因を対象として技術的な難易度を判断し、作業手順の異なる 3 段階の専門家活用水準のいずれかを設定する。それぞれの専門家活用水準における作成手順に従い、ロジックツリーを作成する。

選定した要因に係る情報の質や量が乏しいと判断される場合には、たとえ発生する可能性が極めて低い事象であっても、物理現象や物理探査等に基づく科学的知見

に基づく想像力を働かせ、できる限り考え得る事象を分岐として設定したロジックツリーを構築する。

5) 地震動ハザードの評価 地震動ハザードの評価は、次の活用目的に応じて実施する。

- ① 炉心損傷頻度 (CDF(回/年)) 評価のための地震動強さとその年超過発生頻度(回/年)の関係を示す地震動ハザード
- ② 構造物・機器の fragility 評価における地震応答解析入力地震動の応答スペクトルを設定するための地震動強さと超過確率の関係を示す地震動ハザード
- ③ M9 級巨大地震の余震による地震動ハザード

①では、上記 4) のロジックツリーを用いて、図 6.2 に示すようなフラクタル地震動ハザード曲線群を求める。この地震動ハザード曲線群内の 1 つの曲線は、着目する解放基盤表面での地震動強さ (最大加速度, 最大速度, 応答スペクトルなど) と、ある期間(n年)にそれを超える地震動が発生する確率, すなわち, n年超過確率又は年超過頻度 (回/n年) の関係の評価し、基本的に図 6.3 に示すような地震動ハザード曲線として表現する。評価した地震動ハザード曲線群は箇条 8 の事故シーケンス評価で用いる。

地震動ハザード評価では、まず、概略のハザード評価を行い、特定震源及び領域震源の各震源の内訳を図 6.4 に示すように明示する。次いで、これらの内訳からトータルのハザードに寄与する震源としない震源に大別し、スクリーニングを行う。そして、ハザードに寄与する震源を対象として、震源モデル及び地震動伝播モデルの設定を詳細化する。

②では、上記地震動ハザード曲線群の任意の信頼度の曲線に対応した一様ハザードスペクトル及び地震動ハザードの再分解による想定地震のマグニチュードと距離を求める。【附属書 AA (参考) 参照】 【附属書 AB (参考) 参照】

③では、東北地方太平洋沖地震における大規模余震の知見を考慮して行う。【附属書 AC (参考) 参照】

6) フラグリティ評価用地震動の作成 フラグリティ評価用地震動の作成では、まず、箇条 7 から与えられた情報を用いて、フラグリティ評価に必要な地震動強さを設定する。

次いで、設定した地震動強さごとに、地震動作成用目標スペクトルを設定する。さらに、フラグリティ評価における現実的応答を応答解析に基づき評価する場合には、設定した目標スペクトルに適合した時刻歴波形を作成する。免震施設のための地震動ハザード評価では、地震動の長周期成分の評価に留意する。作成した時刻歴波形を箇条 7 に示すフラグリティ評価に用いる。【附属書 AD (参考) 参照】

7) 複数プラントにおけるハザード評価の留意事項 複数のプラントにおける複数の建物・構築物を対象とする場合の地震動ハザード評価においては、地震動強さの相関として、震源特性、伝播特性、サイト増幅特性のそれぞれにおける不確実性の分離、地点間の距離による相関の定量化など適切に評価する。

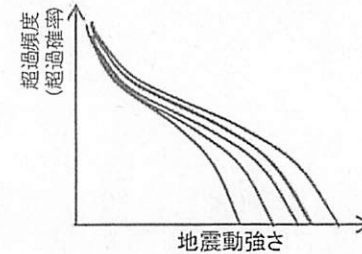


図 6.2—地震動ハザードの曲線群の概念

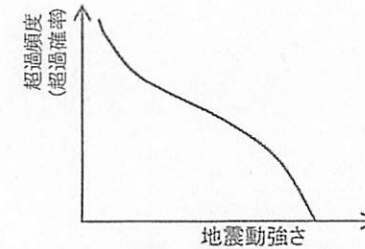


図 6.3—地震動ハザード曲線の表し方

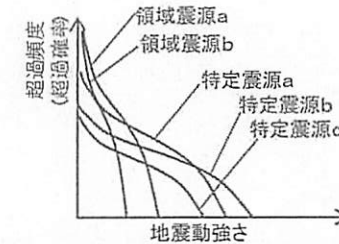


図 6.4—地震動ハザードの内訳の例

### c) 断層変位ハザード、複合ハザード及びフラジリティへの影響

- 1) 断層変位及び地殻変動のハザード評価 断層変位のハザード評価では、まず、対象とする活断層の定義を明確にする。対象活断層としては、主断層に加え副断層も考慮する。次いで、断層変位ハザードの活用先と定義位置を認識する。そして、断層変位ハザード評価手順に従って、ハザードを評価する。同評価手順は、地震動ハザード評価手順と同様な考え方とする。

地殻変動ハザード評価は、サイトで大きな地殻変動（鉛直変位、水平変位、傾斜）が生じる可能性があるサイト近傍の活断層による地震、プレート境界での巨大地震を対象として実施する。地殻変動の評価には、一般に地殻変動データとの整合性がよいと考えられることから、津波ハザード評価用の断層モデル（波源モデル）と同様の考え方に基づくモデルを用いることを基本とする（6.9.3参照）。

- 2) 複合ハザード評価 地震と津波との重畳評価では、地震動と津波との影響を独立に扱わずに、両者の組み合わせが重要となる。その場合、地震後に津波が来襲するとの観点から、最初に地震動による影響を評価し、その結果を反映し、津波による影響を付け加えるのが合理的である。

ハザード評価は、地震動強さと津波高さの2次元確率分布（結合確率）を求める。結合確率は、津波高さを条件とした地震動強さの確率分布、又は地震動強さを条件とした津波高さの確率分布で表現し得る。同確率は、同一地震に対する地震動強さと津波高さのばらつきに相関がないとして求めても良い。

### 3) 地震動ハザードのフラジリティへの影響

#### 3.1) 地震起因の周辺斜面崩壊による建屋・構造物・機器のフラジリティへの影響

サイト周辺斜面は、地震動によって崩壊し、屋外構造物・機器や建屋の損傷に影響を及ぼす。これらのフラジリティは、地震動ハザードに対応して評価する。

#### 3.2) 地震起因の火災源の発火確率への影響

地震起因の建屋内外構造物・機器の火災源としては、電気機器、変圧器内絶縁油、ケーブル等が挙げられる。火災源の発火確率は、地震動で損傷する確率と、損傷した場合に発火するかどうかの条件付き確率を求め、両者を掛け合わせて求められる。地震動による火災源のフラジリティは、地震動ハザードに対応して評価する。

#### 3.3) 地震起因の内部溢水の構造物・機器のフラジリティへの影響

溢水源及び損傷モードとしては、B、Cクラスの配管及びタンクの損傷及び燃料プールのスロッシング等が挙げられる。これらの溢水源が損傷し、他の構造物や機器の機能喪失に及ぼす影響を評価する。溢水源のフラジリティは、地震動ハザードに対応して評価する。

### 6.2 東北地方太平洋沖地震等巨大地震からの知見の反映、不確実さの取扱い及び地震動ハザードの妥当性確認

#### 6.2.1 一般事項 次の項目について、手順に従い実施する。

- ① 東北地方太平洋沖地震等巨大地震からの知見の反映 (6.2.2に記述)
- ② 地震動ハザード評価における不確実さ要因の取扱い (6.2.3に記述)
- ③ 地震動ハザード評価の妥当性確認 (6.2.4に記述)

地震動ハザード評価では、東北地方太平洋沖地震等巨大地震からの知見に十分留意し、評価に反映する。評価に当っては、不確実さの取扱いを考慮する。また、地震動ハザード評価の妥当性の検証にも留意する。

#### 6.2.2 東北地方太平洋沖地震等巨大地震からの知見の反映

- a) 一般事項 東北地方太平洋沖地震等巨大地震の知見としては、次の項目について分析・検討する。

- ① プレート境界におけるM9級の巨大地震 (6.2.2b)に記述)
- ② 内陸地殻内地震及び日本海東縁部で考えられる運動型大地震 (6.2.2c)に記述)
- ③ 活断層が認知されていない地域における地震活動の知見 (6.2.2d)に記述)

東北地方太平洋沖地震のようなプレート境界におけるM9級巨大地震、中国・四川地震のような内陸地殻内地震、日本海東縁部で発生する地震において想定される運動型大地震（長大断層による地震）の可能性を地震動ハザード評価において考慮する。また、活断層が認知されていない地域における地震活動の知見も考慮する。

以下、これらの取扱いについて示す。

- b) プレート境界におけるM9級巨大地震 M9級巨大地震の場合には、本震による強震動だけでなく、地殻変動が生じる可能性がある。その後、余震・誘発地震による地震動等が断続的に続く可能性もある。

特に、海域の地震の場合には、本震による津波がプラントに繰返し来襲し、浸水や波力の繰返し作用により、巨大本震発生時の炉心損傷頻度を増加させる可能性もあることから、本震による津波の継続的作用や、余震及び誘発地震による津波も考慮する。【附属書G（参考）参照】

#### 1) 巨大地震による強震動評価のための震源モデル

##### 1.1) 巨大地震の発生領域

- 1.1.1) プレート境界における巨大地震の発生領域及び規模の設定では、科学的知見を踏まえて、従来想定されていたものを考慮し、さらに物理現象や物理探査等に基づき知見科学的想像力を働かせる。その場合、地震調査研究推進本部や中央防災会議の知見等を参考とし、日本列島のプレート構造やその形状等を考慮して、単独で発生する地震の震源域と、連動して発生する地震の震源域の範囲を設定する。

1.1.2) 太平洋側では、例えば、千島海溝（千島列島から十勝沖までの領域）から日本海溝（三陸沖から房総沖までの領域）まで、南海トラフ（東海から日向灘までの領域）から南西諸島海溝まで、適切に震源域を想定する。

## 1.2) 巨大地震の地震規模

1.2.1) 巨大地震を想定する場合には、断層面積及び平均応力降下量に基づき地震モーメント（モーメントマグニチュード）を設定する。

1.2.2) 東北地方太平洋沖地震の平均応力降下量は3MP程度であり、M8クラス以下の地震とほぼ同程度であったことに留意する。

## 2) M9級巨大地震による余震の取扱い【附属書AC（参考）参照】

2.1) 地震PRA実施基準(2007年版)では、M8.6程度以下の本震による余震の炉心損傷頻度への影響は小さいとして、地震動ハザード評価では余震を取り除いていたことに留意する（6.3.5.2.a)3参照）。

2.2) 一方、M9級巨大地震の東北地方太平洋沖地震では、M7.7の最大余震が観測された。このような余震は、過去の歴史地震の記録や観測記録にもなく、初めての経験である。そこで、M9級巨大地震による余震の地震動ハザード評価を行い、炉心損傷頻度への影響を定量的に示す。

2.3) M9級巨大地震による余震の地震動ハザード評価は、本震の地震動ハザード評価と独立に評価する（後述6.6.5参照）。

2.4) 東北地方太平洋沖地震による余震活動を今後十年程度注視し、余震特性を把握し、上記評価に反映する。

## 3) M9級巨大地震による誘発地震の取扱い【附属書AE（参考）参照】

3.1) 誘発地震は、巨大地震によって誘発されて、巨大地震の震源域から離れた場所で発生すること、及び地震PRA実施基準(2007年版)では、取り扱われていないことに留意する。また、東北地方太平洋沖地震では、同地震の発生に伴い長野・新潟県境付近の地震（2011年3月12日、M6.7）、秋田沖の地震（2011年3月12日、M6.4）、静岡県東部の地震（2011年3月15日、M6.4）、福島県浜通りの地震（2011年4月11日、M7.0）等の大きな誘発地震が発生していることに留意する。

3.2) 評価対象サイト周辺の誘発地震は、サイト周辺の領域震源の活動度を高く設定することや、サイト周辺の活断層（特定震源）がクローン破壊応力などで動きやすくなると想定される場合には、発生確率を高め設定する等により対応する。

## 4) 地殻変動

4.1) 東北地方太平洋沖地震では、岩手県沿岸から福島県沿岸部の地盤が約0.8m～1.2m沈下した。このような沈下の主要因は、地殻変動と想定される。

4.2) 対象サイト周辺の地殻変動を考慮する（6.9参照）。

## 5) 震源モデルと波源モデルの整合性

5.1) 震源モデルと波源モデルの整合性の観点としては、両者のパラメータの設定におい

て整合性に留意する。

5.2) 整合を図る具体的パラメータの例としては、破壊領域、連動、破壊開始位置の取り扱い等が挙げられるので留意する。

## c) 内陸地殻内地震及び日本海東縁部で考えられる連動型大地震

1) 内陸地殻内地震及び日本海東縁部における断層の連動 断層連動の可能性をロジックツリーの分岐の中で考慮する場合、その根拠を明示する。その際、断層連動の可能性について、以下の事項に留意する

1-1) 長さ250km以上の長大断層として、中国・四川地震（モーメントマグニチュード7.9）が2008年5月に発生しており、日本でも、内陸の活断層が連動することにより、従来よりも長い断層が同時に活動する可能性が否定できない。

1-2) 日本海東縁部において、地方自治体の津波想定で長さ220kmの断層（島根県など）や長さ350kmの断層（秋田県）が想定されている。

2) 長大断層による地震の震源モデル 長大断層の震源モデルの区分・区間においては、以下に示すような知見に留意して、連動モデルの長さ・範囲を設定する。また、日本海東縁部の地震については、設定した区分・区間の関係が当てはまるかを検討すると共に、スケーリング則について複数の可能性をロジックツリーの分岐として考慮する。

2-1) 長大な活断層で発生する地震の規模については、「活断層の長期評価手法報告書（暫定版）」（地震本部、2010<sup>(1)</sup>）において、長さ100kmを超えるような長大活断層における活動時のずれの量が飽和する可能性が指摘されている。同報告書では、断層長さが断層幅の4倍に満たない場合には松田式（1975）<sup>(2)</sup>に基づき地震規模を設定し、それを超える場合には長さが幅の4倍を超えないように区分した区間が連動するようなモデルを設定している。

2-2) 断層が長くなると地震モーメントが断層面積に比例すること、即ちすべり量が一定になることは、Murotani et al. (2010)<sup>(3)</sup>などにより指摘され、内陸地殻内地震に対して3段階に折れ曲がるスケーリング則が提案されている。

d) 活断層が認知されていない地域における地震活動の知見 地震PRA実施基準(2007年版)以降の内陸地殻内地震としては、2008年岩手・宮城内陸地震、2010年ダーフィールド地震および2011年クライストチャーチ地震（ニュージーランド）が挙げられ、地震動ハザード評価における領域震源モデル設定の観点から留意する。【附属書AF（参考）参照】

従来活断層が認知されていない地域において、新たに（短い）活断層が認定された場合の取扱いとしては、平成22年12月旧原子力安全委員会「発電用原子炉施設の耐震安全性に関する安全審査の手引き」<sup>(4)</sup>で示されている。

同手引きにおける孤立した短い活断層の取扱いとしては、地表で認められる活断層の長さが震源断層の長さを示さないことから、対象地域での地震発生層の厚さ、重力

異常や地質断層を参考とした地下構造、地質構造を十分に考慮して、断層の長さを設定することに留意する。

6.2.3 地震動ハザード評価における不確実さ要因の取扱い

- a) 不確実さ要因の分類 地震動ハザード評価においては、震源モデルや地震動伝播モデルに存在する偶然的な不確実さ要因と認識論的不確実さ要因を考慮する。
- b) 不確実さ要因の取扱い 偶然的な不確実さ要因は、図 6.5 に示すように、一本の地震動ハザード曲線中で考慮する。認識論的不確実さ要因は、ロジックツリーの分岐として考慮し、複数の地震動ハザード曲線で表現する。

実際には、震源モデルや地震動伝播モデルといった地震・地震動に関する不確実さを科学的な根拠に基づき、厳密に「偶然的な不確実さ要因」と「認識論的不確実さ要因」に分類することが難しい場合も想定される。しかし、上記の取扱いを基本とし、対象サイトにおける地震関連情報の内容に応じて不確実さの扱いを決定する。

また、考慮する不確実さ要因は、感度解析などによって地震動ハザード評価に大きな影響を及ぼすと判断されたものを対象とする。【附属書 AG (参考) 参照】

- 1) 偶然的な不確実さ要因の取扱い 偶然的な不確実さ要因の取扱いは、図 6.6 に示すように、震源モデル内の各種パラメータ評価上の不確実さを地震動強さの不確実さとして表し、それらを組み合わせて一本の曲線に反映する。

同様に、地震動伝播モデル内の地震動評価のばらつきを表わす対数標準偏差等のパラメータも、地震動強さの不確実さとして表し、一本の曲線に反映する。具体的なパラメータの取扱いは、6.3.4.3 特定震源モデルのパラメータの設定手順と、6.3.5.3 領域震源モデルのパラメータの設定手順、6.4.4 距離減衰式を用いる手法におけるパラメータの設定、6.4.5 断層モデルを用いる方法におけるパラメータの設定における記述内容に従う。

- 2) 認識論的不確実さ要因の取扱い 認識論的不確実さ要因の取扱いとしては、震源モデルや地震動伝播モデルにおける各種パラメータで偶然的な不確実さ要因としては取り扱えないもの、例えば専門家間で意見の違いが生じる場合がある。これらはロジックツリーの分岐として考慮する。具体的なパラメータの取扱いは、6.3.4.3 特定震源モデルのパラメータの設定手順と、6.3.5.3 領域震源モデルのパラメータの設定手順、6.4.6 ロジックツリーの分岐として考慮する項目の設定における記述内容に従う。

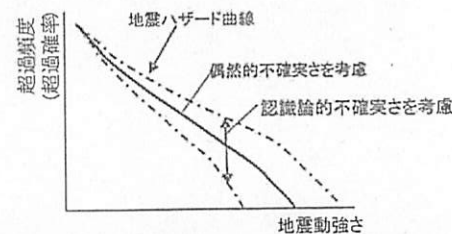


図 6.5—地震動ハザード評価における偶然的な不確実さと認識論的不確実さの取扱い (模式図)

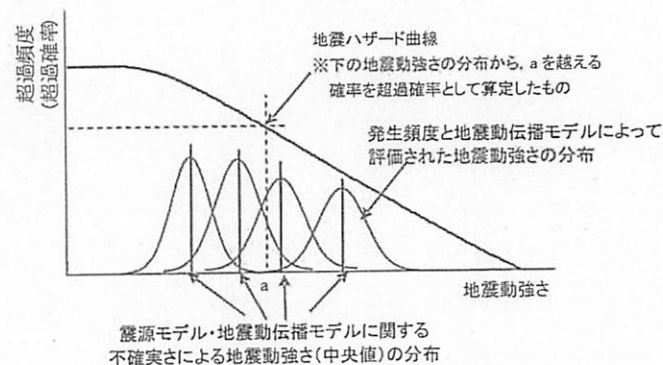


図 6.6—一本の地震動ハザード評価に考慮される偶然的な不確実さの概念図 (模式図)

6.2.4 地震動ハザード評価の妥当性確認

地震動ハザード評価は、対象サイトで将来発生する地震動の大きさとその超過頻度の関係として求められるが、現状では観測期間は長くても 30 年から 40 年程度である。そのため、評価結果の妥当性確認の仕方としては、時間軸を過去に遡って評価した地震動ハザードを、対応する期間内に実際に発生した地震による地震動と対比して確認する手法を用いる等、確認方法に留意する。なお、確認例と問題点も挙げられているので参考とする。【附属書 AH (参考) 参照】

### 6.3 震源モデルの設定

6.3.1 一般事項 震源モデルの設定は、次の項目について、手順に従い実施する。

- ① 震源モデルで対象とする領域の設定 (6.3.2 に記述)
- ② 対象地震の分類と震源モデルの設定 (6.3.3 に記述)
- ③ 特定震源モデルのパラメータの設定 (6.3.4 に記述)
- ④ 領域震源モデルのパラメータの設定 (6.3.5 に記述)

地震動ハザード評価では、対象サイトに将来影響を及ぼす可能性のある地震の発生を確率モデルで表す。

震源モデルの設定では、5.2.2 で収集・分析した情報を用いて、まず、対象とする領域の範囲を設定する。次いで、対象とする地震を分類するとともに、震源モデルを特定震源モデルと領域震源モデルに大別し、両震源モデルと分類した地震との対応付けを行う。

特定震源モデルの設定においては、活断層データ、過去に発生した地震のデータなどを用いて、震源の位置・断層形状、地震規模、地震発生頻度のパラメータを設定する。同時に偶然的不確実さ要因と認識論的不確実さ要因を分離・分析し、選定評価する。領域震源モデルについても同様の作業を行う。

震源モデルに係るパラメータの選定においては、地震動評価で必要となるパラメータとの関連に留意する。

#### 6.3.2 震源モデルで対象とする領域の設定

震源モデルの設定で対象とする領域については、サイトへの影響を考慮して、平面的な範囲と深さの範囲の両方を適切に設定する。

平面的な範囲としては、一般的に、地震動ハザードの観点から評価サイトに影響を及ぼす地震動のレベルと地震動の距離減衰特性を考慮し、サイトから半径 100km～150km 程度までを対象とする。

対象とする深さの範囲は、沈み込む海洋プレート内で発生するやや深発地震を考慮する場合、深さ 150km 程度までを対象とする。陸域地殻内の地震については、サイト周辺の地震発生層に関する知見や地震発生状況に応じて適切に深さの範囲を設定する。

#### 6.3.3 対象地震の分類と震源モデルの設定

a) 一般事項 震源モデルの設定においては、まず、地震発生様式を考慮して、対象地震を分類する。次いで、対象とする個々の地震の位置、規模、頻度が事前にどの程度特定して設定できるかに応じて、それぞれの地震を、特定震源モデル又は領域震源モデルのいずれかでモデル化する。

b) 対象地震の分類 対象とする地震の分類は、次の通りとする。

- ① 内陸の活断層で発生する固有地震（活断層で発生する地震）
- ② プレート境界で発生する固有地震（プレート境界での大地震）
- ③ 活断層が知られていないところで発生する内陸の地殻内地震
- ④ プレート境界やプレート内で発生する固有地震以外の地震
- ⑤ プレート境界で発生する M9 級巨大地震による余震
- ⑥ プレート境界で発生する M9 級巨大地震に伴う誘発地震

c) 特定震源モデル又は領域震源モデルと対象地震との対応付け 上記対象震源を特定震源モデルと領域震源モデルで取り扱う。特定震源モデルは、一つの地震に対して、震源の位置、地震の規模及び発生頻度を特定して扱うモデルとする。また、領域震源モデルは、個々の地震の震源を個別に扱わずに、ある広がりを持った領域の中で発生する地震群として取扱うモデルとする（図 6.7 参照）。【附属書 AI（参考）参照】

- ① 上記 b) の①及び②は、特定震源モデルとして取り扱う (6.3.4 に記述)
- ② 上記 b) の③及び④は、領域震源モデルとして取り扱う (6.3.5 に記述)
- ③ 上記 b) の⑤は、領域震源モデルとして取り扱う (6.6.5 に記述)
- ④ 上記 b) の⑥は、特定震源モデル及び領域震源モデルとして取り扱う (6.3.4.2 b) 2) から 3), 6.3.4.4 g), 6.3.5.2 b) 3) に記述)

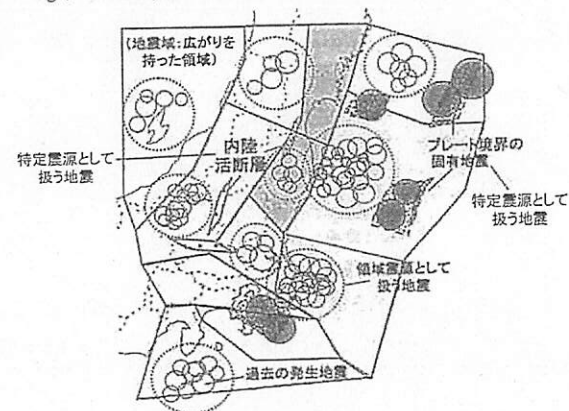


図 6.7—特定震源及び領域震源（模式図）

### 6.3.4 特定震源モデルのパラメータの設定

#### 6.3.4.1 一般事項

特定震源モデルの設定は、次の項目について、手順に従い実施する。

- ① 特定震源モデル設定のための地震関連情報の選定 (6.3.4.2 に記述)
- ② 特定震源モデルのパラメータの設定手順 (6.3.4.3 に記述)
- ③ 特定震源モデルの設定における留意事項 (6.3.4.4 に記述)
- ④ 特定震源モデルにおけるロジックツリーの分岐として考慮する項目の設定 (6.3.4.5 に記述)

特定震源モデルのパラメータの設定では、まず、5.2.2 で整理・分析した情報の中から、特定震源モデル設定のための地震関連情報を選定する。次いで、選定した情報を用いて、偶然的な不確実さ要因として、震源断層の位置・形状、地震規模、地震発生頻度のパラメータを設定する。さらに、認識論的不確実さ要因を対象として、ロジックツリーで考慮する項目を選定する。

以下に、これらにおけるパラメータの具体的な設定手順を示す。

#### 6.3.4.2 特定震源モデル設定のための地震関連情報の選定

a) 地震 PRA 実施基準(2007年版)策定前の地震関連情報 特定震源モデルのパラメータの設定では、①活断層で発生する地震と②プレート境界での大地震を対象とする。そのため、5.2.2 で整理・分析した情報を用いて、特定震源パラメータ設定のために必要な情報を選定する。

1) 活断層で発生する地震関連情報の選定 活断層で発生する地震のモデル化では、地震活動特性を評価するために、原子炉設置許可申請書および“2006年耐震設計審査指針の改訂に伴う原子力発電所に係る耐震安全性評価(耐震バックチェック)”の他、“新編 日本の活断層”<sup>6)</sup>、“活断層詳細デジタルマップ”<sup>6)</sup>、“都市圏活断層図”<sup>7)</sup>などの活断層分布図に加えて、地震調査研究推進本部地震調査委員会による活断層の長期評価、及び個々の活断層に関する調査研究成果などの資料を対象として、特定震源パラメータ設定のために必要な情報を選定する。【附属書 AJ (参考) 参照】

活断層データには、活断層の存在の確からしさが、確実度としてⅠ～Ⅲの段階で示されているものがあるので、それらのモデル化への取扱いや、各種分布図の判読の定義などに留意する。【附属書 AK (参考) 参照】

2) プレート境界での大地震関連情報の選定 プレート境界の大地震のモデル化では、地震活動特性を過去に発生した地震情報に基づいて設定するために、日本被害地震総覧<sup>8)</sup>、日本の地震断層パラメータ・ハンドブック<sup>9)</sup>などとともに、地震調査研究推進本部地震調査委員会による海溝型地震の長期評価、及び個別の地震に関する調査研究成果などの資料を対象として、特定震源パラメータ設定のために必要な情報を選定する。

#### b) 地震 PRA 実施基準(2007年版)後の地震関連情報

- 1) 能登半島地震(2007年, M<sub>j</sub>6.9)及び新潟県中越沖地震(2007年, M6.8)は、震源断層の位置、長さ、傾斜等の全体像が事前に把握されていないことから、伏在断層の特性に留意する。これらの地震は、いずれも原子力発電所の近傍の沿岸海域で発生した地震で、能登半島地震は、断層の横ずれ変位を含み、新潟県中越沖地震は地震発生時に広域的な変形を生じた縦ずれ断層であった。
- 1.1) 震源断層付近の地下構造・海底地形と陸域における変動地形との連続性の評価においては、専門家間で解釈について議論があり、活断層の長さの設定で異なる評価がされており、地震規模の不確実さの評価において留意する。
- 2) 東北地方太平洋沖地震のような海溝型巨大地震の震源域の設定では、地震調査研究推進本部や中央防災会議の知見等を参考とし、日本列島のプレート構造やその形状等を考慮して、単独で発生する地震の震源域の範囲と、連動を考慮した震源域の範囲を設定することが望ましい。
- 2.1) 太平洋側では、例えば、千島海溝(千島列島から十勝沖までの領域)、日本海溝(三陸沖から房総沖までの領域)、南海トラフ(駿河湾から日向灘までの領域)、南西諸島海溝で発生する地震に対して適切に震源域を設定する。
- 2.2) 日本海側では、日本海東縁部(北海道西北部から佐渡島までの領域)での地震の震源域を適切に設定する。
- 2.3) 東北地方太平洋沖地震に伴う福島県浜通りの地震は、誘発地震と考えられ、正断層型として発生した。対象サイト周辺の特設震源で M9 級巨大地震の誘発地震となる可能性がある場合は発生確率を高め設定するなどして可能性を適切に考慮する。

6.3.4.3 特定震源モデルのパラメータの設定手順

a) 震源断層の位置・形状の設定

1) 活断層で発生する地震のモデル化の場合 活断層で発生する地震のモデル化では、まず、評価対象地震ごとに、6.3.4.2 で選定した活断層データを用いて、断層線位置及び長さを設定する。活断層データには、分布が複数の線分や複雑な折線や曲線として記載されているものもあるが、モデル化においては地震本部などでの取扱いを参考に直線に簡略化してもよい。海域の活断層に関しては、詳細な断層線位置及び長さを得る場合には、Digital Elevation Model (DEM)を活用することが望ましい。

次いで、断層面の深さ、幅、傾斜角などの幾何学的パラメータ(図 6.8 参照)を設定する。設定に際しては、当該活断層に関する調査結果、断層周辺で観測された地震の震源分布及び震源メカニズム、当該地域の地震地体構造や地震発生層に基づくことが望ましい。

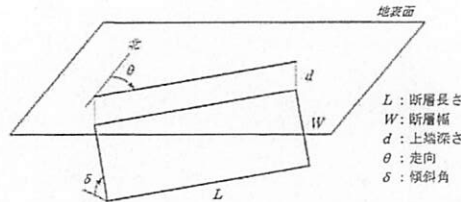


図 6.8—断層面形状パラメータ (模式図)

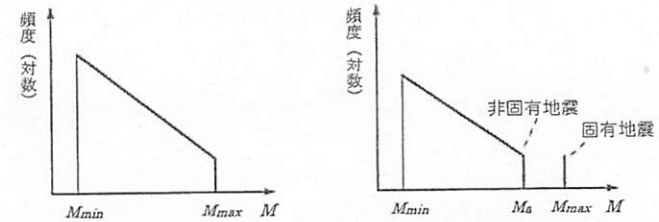
長大な活断層のセグメンテーションや近接する複数の活断層の運動については、現状では確定的に設定することが困難であり、複数のケースを想定するのが多いことに留意する。【附属書 AJ (参考) 参照】

その場合には、松田(1990)<sup>(10)</sup>の「5km ルール」、Wesnousky(2006)<sup>(11)</sup>等のセグメント区分やその運動に関する評価の考え方及び文献を参考にしつつ、地表の活断層分布図と地下構造を示すデータを総合的に判断して、運動の有無や不確実さに対するロジックツリーの分岐を設定すると良い。

横ずれ断層は、地表に現れている複数のセグメントの離隔距離、分布(ステップ、オーバーラップ等)や断層末端の分岐形状等に留意する。逆断層は、周辺のセグメントの傾斜角や走向、変動地形の表れ方等に留意する。

2) プレート境界の大地震のモデル化の場合 プレート境界の大地震のモデル化では、過去に発生した地震の震源断層や当該地域のプレート形状などを参照し、断層形状を設定する。隣接する震源域が運動してより大きな地震を発生させる可能性があるかと判断される場合には、それを表現できるモデルとする。東北地方太平洋沖地震のようなプレート境界における M9 級巨大地震発生の可能性を充分考慮する。

b) 地震規模(マグニチュード)の設定 特定震源の地震活動特性は、図 6.9 (b)に示すように、ほぼ同じ規模・間隔で繰り返すと考える固有地震モデルに基づき評価する。この場合、必要に応じて固有地震の規模(図中 Mmax)の確率分布を考慮する。ただし、ここでのマグニチュードは、特に注記が無い限り気象庁マグニチュードを指す。



(a) b 値モデル (G-R 式)

(b) 固有地震モデル  
(注:  $M_0$  以下は省略可)

図 6.9—地震のマグニチュード—頻度関係モデル (模式図)

1) 活断層で発生する地震のモデル化の場合 地震規模は、対象とする活断層で過去に発生した地震の規模がわかっている場合には、それを参照して設定する。また、当該活断層で発生した地震についての情報が得られていない場合が多いことから、その場合には、活断層の長さや面積などと地震規模との経験的な関係式を用いて、活断層で発生する地震の規模を設定する。

例えば、活断層からの地震の規模は、断層長さが長い程大きくなることが知られており、断層長さとマグニチュードとの関係を定めた種々の経験式が提案されている。日本における活断層の長さや地震規模の関係式としては、松田(1975)<sup>(12)</sup>や武村(1990)<sup>(12)</sup>等の経験式が用いられている。

一方、地震調査研究推進本部による震源断層を特定した地震の強震動予測手法「レシピ」にも取り入れられている地震モーメントと断層面積のスケールリング則に関する式 (Somerville et al.(1999)<sup>(13)</sup>及び入倉・三宅(2002)<sup>(14)</sup>)も提案されている。

これらの式の選択においては、式の違いによる影響を感度解析で示すと共に、ロジックツリーを用いて不確実さを考慮することが望ましい。

2) プレート境界の大地震のモデル化の場合 対象とする地震の過去に発生した規模のデータを用いて、地震規模を設定する。なお、近年歴史地震データによるもの以外に、液状化の痕跡や津波堆積物の検討など地質学的成果もあるので留意する。過去に明確な記録がないような巨大地震を想定する場合は、平均応力降下量と断層面積に基づき地震モーメント(モーメントマグニチュード)を想定する手法を用いることができる。

## c) 地震発生頻度の設定

- 1) 活断層で発生する地震のモデル化の場合 評価の対象とする活断層において、過去に繰返し発生した地震の年代が評価可能なトレンチ調査結果などが存在する場合には、調査結果に基づき地震発生頻度を直接評価する。この方法が適用できない場合には、式(6.3.4-1)に示すように、活断層の年平均変位速度と地震時の断層変位(すべり量)との比より平均的な発生頻度を設定する。

日本では、松田(1975)の関係式(断層変位とマグニチュードとの関係)に基づく次のものが広く用いられている。この式を用いる場合、地震時の断層変位は地表の最大変位を示していることに留意して年平均頻度を求める。

$$v = S/D = (10^{1.1} \cdot S)/L \quad (6.3.4-1)$$

$$\log_{10} D = 0.6M - 4.0 \quad (6.3.4-2)$$

ここで、 $v$ は地震の年平均発生頻度(回/年)、 $S$ は活断層の年平均変位速度(m/年)、 $M$ は気象庁マグニチュード、 $D$ は地震時のすべり量(m)、 $L$ は活断層長さ(km)を表す。

計算によって求められた年発生頻度は、その値の妥当性を確認する。妥当性が十分に確認できない場合は、評価方法(評価式)の不確かさやばらつきをロジックツリーで十分に考慮することが望ましい。

また、他の式を用いてもよいが、松田(1975)の関係式と同様に妥当性を示す。対象活断層の平均変位速度の値が不明で、活動度のクラスのみが既知の場合には、“新編日本の活断層”<sup>(4)</sup>で定義される活動度に対応する平均変位速度の範囲で一様分布とするか、奥村・石川<sup>(15)</sup>に基づき、活動度ごとの平均変位速度の確率分布を設定してもよい。マグニチュードの確率分布を設定する場合には、式(6.3.4-2)に代表的なマグニチュード(平均値や中央値)を与えて式(6.3.4-1)により発生頻度を算定するか、式(6.3.4-1)及び式(6.3.4-2)に確率分布をそのまま適用し、マグニチュードに関して積分して発生頻度を評価する。

- 2) プレート境界の大地震のモデル化の場合 歴史地震データの繰返し情報を用いて、地震発生頻度を設定してもよい。なお、近年歴史地震データによるもの以外に、液状化の痕跡や津波堆積物の検討など地質学的成果もあるので留意する。【附属書 AK (参考) 参照】

## 6.3.4.4 特定震源モデルの設定における留意事項

- a) 活断層か否かの判断 活断層の確か度が低い場合には、地表調査等の結果に基づき特定震源として考慮するか否かの判断が分かれることに留意する。
- b) 断層位置の設定 断層位置の設定においては、以下の事項に留意する。
- 1) 活断層の両端位置の設定、傾斜角の設定などに不確かさが含まれる。
  - 2) 活断層の地震規模の設定は、震源断層の長さに基づくことが基本となる。
  - 3) 観測地震動によると、地表に現れた変位の長さ、活断層の長さや震源断層の長さが必ずしも同じとは限らないことから、活断層のデータに基づく、震源断層長さの解釈に違いが生じる可能性がある。【附属書 AL (参考) 参照】
  - 4) プレート境界での大地震の場合にも、過去の震源断層の推定結果が複数提案されていることがあり、必ずしも一義的には決められない。
- c) セグメンテーションの区分及び連動 セグメンテーションの区分とその連動の判断及びモデル化には、不確かさが含まれることに留意する。
- 特に、長大な活断層の場合に、どの区間を一つの特定震源として考慮するかを判断、若しくは、連動のモデル化などには不確かさが含まれる。セグメント区分とその連動の不確かさの評価に関する資料としては、地震本部、布田川一日奈久断層帯のセグメントの評価や糸魚川-静岡構造線の地震規模に関するロジックツリーの応用事例、カリフォルニアの活断層における連動性の評価事例等の検討例が参考となる。
- d) 地震規模の評価 地震規模の評価においては、以下の事項に留意する。
- 1) 活断層の長さから地震規模を評価する方法(松田式、武村式)、地震時の断層変位量から評価する方法、過去に発生した地震規模に基づく方法など、複数の評価手法を候補とする。
  - 2) 孤立した長さが短い活断層については、断層位置や活動度は、地表・地質調査等の結果に基づいて設定する。
  - 3) 地震規模については、評価地域の地震発生層の厚さや重力異常の急変帯等を考慮し、断層の広がりや考慮して設定することが望ましい。
  - 4) 島崎(2008)<sup>(16)</sup>は、規模に見合った長さの活断層が地表に出現しない場合における地震規模の検討を行っている。この知見に基づき規模を設定しても良い。
- e) 最新活動時期 活断層の最新活動時期の評価においては、以下の事項に留意する。
- 1) 最新活動時期に関する歴史地震との対応が明確な場合を除き、不確かさが存在すること、トレンチ調査などに基づいて最新活動時期を推定する場合には、活動時期の推定に不確かさが含まれることに留意する。
  - 2) プレート境界の大地震の評価においては、過去に発生した地震のデータの仕方での評価結果が異なることに留意する。
- f) 地震発生頻度又は平均活動間隔
- 1) 地震時断層変位量と平均変位速度から発生頻度を算定する場合には、変位量の推定と

平均変位速度の両方に不確かさが含まれる。また、トレンチ調査などに基づいて算定する場合には、過去の活動時期の推定に不確かさが含まれることに留意する。

- 2) プレート境界の大地震評価においては、過去に発生した地震のデータの処理の仕方での評価結果が異なることに留意する。
- g) 誘発地震の取扱い 対象サイト周辺の特定震源で M9 級巨大地震の誘発地震となる可能性がある場合は発生確率を高めに設定するなどして可能性を適切に考慮する。
- h) その他
  - 1) 特定震源モデルについては、地形・地質等の調査、物理探査、地下構造調査及び地震観測記録、震源断層と歴史地震との対応等から推定可能な震源を評価対象とする。
  - 2) 空中写真判読等による変動地形の評価では、専門家による判読及び解釈が震源断層の位置や地震規模の評価に大きく影響することに留意する。
  - 3) セグメントの連動及び孤立した長さが短い活断層については、6.3.4.5 特定震源モデルにおけるロジックツリーの分岐として考慮する項目の設定の中で、不確かさの取扱い方に留意する。
  - 4) 海溝型地震については、過去の観測地震や歴史地震におけるプレート境界で発生する固有地震（プレート境界での大地震及び巨大地震）を評価対象とする。

#### 6.3.4.5 特定震源モデルにおけるロジックツリーの分岐として考慮する項目の設定

特定震源モデルの設定に当たっては、上述 6.3.4.3a) から c) の偶然的な不確かさ要因を対象としたパラメータの設定を参照し、それらによって評価しきれない項目を認識論的不確かさ要因として分析し、ロジックツリーで考慮すべき具体的な項目を選定する。

プレート境界における巨大地震発生の可能性についても分岐として考慮するかどうかを検討する。そのとき、その項目が専門家間で意見が分かれる、若しくは専門家も判断が難しいものであるかについての情報を参考にすると共に、その情報の質や量を勘案する。

特定震源モデルの設定では、震源モデルの断層形状、地震規模及び発生頻度の各評価において認識論的不確かさが存在する可能性がある。そこで、ロジックツリーの作成において、これらの要因を適切に考慮する。

上述の 6.3.4.4a) から h) の項目を参考に認識論的不確かさ要因を分析し、ロジックツリーで考慮する要因を選定する。しかし、これらの要因は、対象とする地震ごとに異なるので、注意して取扱う。【附属書 AG (参考) 参照】

なお、選定した要因に対する情報の質や量が乏しいと判断される場合には、不確かさの幅が大きくなるようにロジックツリーを構築するよう努め、その旨、報告書に示す。

#### 6.3.5 領域震源モデルのパラメータの設定

6.3.5.1 一般事項 領域震源モデルの設定は、次の項目について、手順に従い実施する。

- ① 領域震源モデル設定のための地震関連情報の選定 (6.3.5.2 に記述)
- ② 領域震源モデルのパラメータの設定手順 (6.3.5.3 に記述)
- ③ 領域震源モデルにおける認識論的不確かさ要因の分析・選定 (6.3.5.4 に記述)

領域震源モデルのパラメータの設定では、まず、5.2.2 で整理・分析した情報を用いて、領域震源モデル設定のための地震地体構造区分、過去の地震、余震関連情報を選定する。次いで、選定した情報を用いて、偶然的な不確かさ要因として、震源の発生領域、地震規模、地震発生頻度のパラメータを設定する。さらに、偶然的な不確かさ要因に係わるパラメータの設定におけるモデル化の方法や評価方法を参照して、認識論的不確かさ要因を分析し対象要因を選定する。

以下に、これらにおけるパラメータの具体的な設定手順を示す。

#### 6.3.5.2 領域震源モデル設定のための地震関連情報の選定

a) 地震 PRA 実施基準 (2007 年版) 策定前の地震関連情報 領域震源モデルのパラメータ設定では、5.2.2 で整理・分析した情報を用いて、領域震源パラメータ設定のために必要な情報 (対象とする領域に係わる地震地体構造区分、モデル化に必要な過去の地震、及び余震に係わる情報) を選定する。

1) 地震地体構造区分情報の選定 領域震源モデルのパラメータの設定では、地震地体構造区分図 (又は地震地体構造マップ) を用いて、震源の発生領域を設定するので、地震地体構造区分図を選定する。

地震地体構造区分図 (又は地震地体構造マップ) とは、地質構造が共通している地域ごとに区分を行って、各地震域で発生する地震の特性を評価したものである。日本列島を対象として、地形・地質学的知見、過去の地震の震源分布、活断層分布、重力異常などに基づく種々の区分図が提案されている。

地震地体構造区分図としては、最新の知見を反映した図 6.10 に示す萩原ら<sup>(17)</sup>による区分図、及び図 6.11 に示す垣見らによる区分図がある。両区分図は独立して作成されたものでなく、前者について見直しを行ったのが後者である。これ以外にも区分図はあり、それらの適用を排除するものではない。

垣見他 (2003)<sup>(18)</sup>以降には、客観的な地震地体構造区を作成するために、塚田他 (2010)<sup>(19)</sup>によって、観測地震、活断層分布、重力異常、地震発生層の厚さの各種パラメータを用いた多変量解析を行った統計的考察がなされている。【附属書 AM (参考) 参照】

地震地体構造区分図としては、最新の知見を反映した区分図を選択することが望ましい。

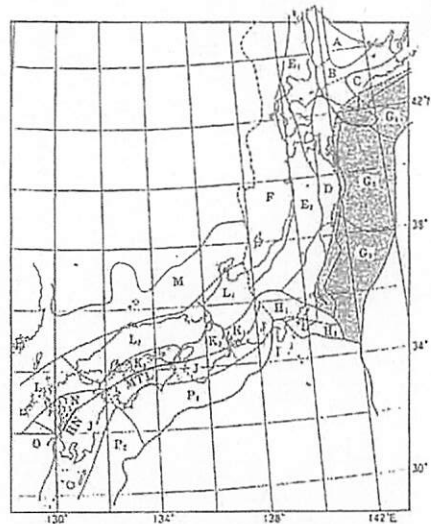


図 6.10—萩原らによる地震地体構造区分図<sup>(17)</sup>



図 6.11—垣見らによる地震地体構造区分図<sup>(18)</sup>

- 2) 歴史地震情報の選定 領域震源モデルのパラメータの設定では、歴史地震情報としての歴史地震カタログを用いて、過去の地震の地震活動特性に基づき地震の規模と発生頻度を設定するために、歴史地震カタログを選定する。

歴史地震カタログとは、ある地域において任意の期間に発生した地震の発生位置(緯度、経度、深さ)、発生時間、マグニチュードなどの震源パラメータを一覧にしたものである。歴史地震カタログとして、次のものが用いられている。

- ① 宇佐美カタログ<sup>(8)</sup> : 歴史年代(416年)から2001年までの被害地震を収録。
- ② 宇津カタログ<sup>(20)(21)</sup> : 1885~1980年の主にM6以上の被害地震を収録。
- ③ 気象庁カタログ : 1885年から地震資料を公表しているが、一般には1926年以降のカタログが用いられている。

上記カタログの収録期間に重複があるため、次の年代について適用してもよい。

- ① 宇佐美カタログ<sup>(8)</sup> : 416~1884年
- ② 宇津カタログ<sup>(20)(21)</sup> : 1885~1925年(1980年)
- ③ 気象庁カタログ : 1926年(1981年)以降

歴史地震カタログには、地域によって収録されている年代が異なっていたり、年代により収録されている地震規模の下限に違いがあるなどの不均質性・不完全性が存在するため、使用に当たってはデータの信頼度に注意する。特に古い年代の地震カタログを用いる場合は、地震動ハザード評価に及ぼす影響を充分吟味して用いる。1885年以前のデータ、殊に安土・桃山時代以前のデータは不完全さの度合いが高いため注意する。なお、評価対象サイト周辺で発生した過去の地震については、原子炉設置許可申請書の記載内容を採用してもよい。【附属書AM(参考)参照】

- 3) 余震情報の選定 領域震源で発生する地震の規模及び頻度の設定では、b値モデルなどの確率・統計モデルを用いて設定するが、基本的には、本震を対象として評価し、余震と考えられる地震や特定震源として考慮される過去の地震を取り除く。

歴史地震カタログから余震を取り除く方法としては、個々の地震に対して、余震であるか否かを判断しながら除去しても良い。余震の定義を、“余震の震央が本震の震央からある範囲内(余震域)に存在し、本震の発生からある期間以内に発生した地震”として、この定義に該当する地震を機械的に取り除いてもよいが、どのような地震を取り除いたかを必ず確認し、明らかに余震でないものを取り除いていないか確認する。

余震域の設定方法としては、本震のマグニチュードと余震域との関係式として、Utsu式や荒川・川島式<sup>(22)</sup>が提案されている。次にUtsu式<sup>(23)</sup>を示す。

$$\log_{10} S = M - 3.7 \quad (\text{海陸平均}) \quad (6.3.5-1)$$

$$\log_{10} S = M - 4.1 \quad (\text{内陸地震のみ}) \quad (6.3.5-2)$$

ここで、Sは余震域面積(km<sup>2</sup>)、Mはマグニチュードを表す。

次に荒川・川島（建設省土木研究所）<sup>(22)</sup>式を示す。

余震範囲 =  $\sqrt{Am}$  (cm) を 1 辺とする正方形の範囲

$$\log_{10} Am = M + 6.8 \quad (6.3.5-3)$$

ここで、本震はマグニチュード M6 以上で震源深さ 60km 以浅と定義する。また、本震は必ずしも余震域の中心となるわけではないので、そのような場合には余震域の位置を適切に移動させることとしている。なお、余震域の面積 Am を km<sup>2</sup> 単位で表せば式(6.3.4-3)は次式のように表せる。

$$\log_{10} Am = M - 3.2 \quad (6.3.5-4)$$

地震調査研究推進本部ではマグニチュード 6 以上の地震の発生後 90 日以内に、震央を中心とする上式による面積 Am の円内で発生する地震を余震と見なしている。

余震の発生期間については、本来、本震のマグニチュードに応じて変動すると考えられるが、余震発生の地域的特徴が明確でない場合には一定値（例えば 100 日程度）としても良い。【附属書 AC（参考）参照】

大地震には前震を伴う場合もあるが、数が少ないので、取り除く対象外として良い。

b) 地震 PRA 実施基準(2007 年版)策定後の地震関連情報

- 1) ひずみ集中帯に関する知見 領域震源モデルの不確かさの設定においては、各地域の地下構造や活断層の特性、地震活動を考慮する。特に、ひずみ集中帯に対しては、GPS による地表変位の分布からその領域を示した文献や、領域震源モデルとして地震動ハザード評価に取り込んだ例が示されているので、参考としても良い。【附属書 AN（参考）参照】
- 2) M9 級巨大地震による余震 東北地方太平洋沖地震に伴う余震の規模は、上記 6.3.5.2a)3) における余震と異なり、過去の歴史地震の記録や観測記録にもない。そこで、後述 6.6.5 に示すが、このような余震の炉心損傷頻度への影響を見るため、独立に地震動ハザードを評価する。【附属書 AC（参考）参照】
- 3) M9 級巨大地震による誘発地震 対象サイト周辺の領域震源で、M9 級巨大地震の誘発地震活動として活動度が高まると想定される場合には、活動度を高めに設定することが望ましい。
- 4) 対象サイト極近傍の地震動の断層モデルによる評価 対象サイト極近傍の領域震源モデルに対して、断層モデルを用いる方法に基づく場合、震源モデルによる短周期地震動、長周期地震動及び永久変位を説明できていることを確認する。

6.3.5.3 領域震源モデルのパラメータの設定手順

- a) 震源の発生領域の設定 領域震源の発生領域は、地震地体構造区分図に基づき、平面的な領域と深さを設定する。

平面的な領域の設定では、その形状について、各領域の地震活動特性を十分表現できるものであれば特に制限はない。傾斜を有する平面や曲面であっても、自由に設定してもよい。ただし、設定の根拠を明示する。

深さの設定では、領域内で発生した過去の地震の震源分布に基づき設定する。プレート境界地震、及びスラブ内地震を対象とする領域震源の深さについては、図 6.12 に示すように、プレートの沈み込み形状を考慮して設定する。また、領域震源の深さを任意の範囲で確率的な分布として設定してもよい。

特に、対象サイトを含む領域の深さの設定に当たっては、設定の仕方によっては、サイトに対する影響を過小又は過大に評価する可能性があるため、十分注意しなければならない。時代が古くなるほど地震の震源位置の不確かさが増し、特に深さについては不確かさが大いいため、対象とすべき地震の震源を領域外と判断して領域内での活動度を低く見積もることがないように配慮する。

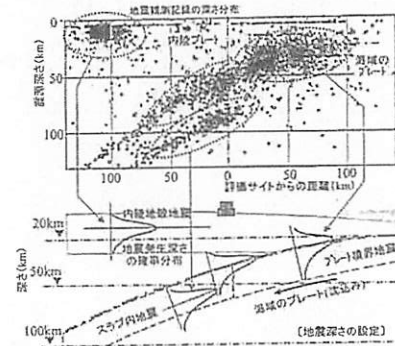


図 6.12—領域震源モデルの深さの設定の概念図

- b) 地震規模(マグニチュード)と地震発生頻度の設定 領域震源で発生する地震の規模及び頻度の設定は、b 値モデルなどの確率・統計モデルに基づいて行う。これは、領域震源では規模と頻度を事前に特定することができない地震を対象とするためである。b 値モデルなどの確率・統計モデルは余震を削除した地震データに基づいて評価する。また、重複した評価を避けるため特定震源として考慮される過去の地震を取り除く。

Gutenberg-Richter 式<sup>(24)</sup>（以下 G-R 式という。）に基づく b 値モデルは、マグニチュードと地震発生頻度との関係式であり、b 値は直線の傾きを表すパラメータである。b 値

モデルでは、最小及び最大マグニチュードを設定しなければならない。b 値は、地震データとして用いる地震のマグニチュードに応じて算定されるので、設定する最小マグニチュードとは関係なく、用いる地震データに欠落がないと考えられるマグニチュードの範囲で求めなければならない。b 値は 1 より小さい値を示すのが一般的であるが、データが少ない場合、それから大きく離れた結果が出ることもある。このような場合にはより広い範囲のデータから b 値を評価し、その b 値を固定して各領域の分布を求める方がよい。

最小マグニチュードとしては、地震被害が想定されるマグニチュードの最小値 5.0、最大マグニチュードとしては、評価対象領域における過去の地震の最大値又は地震地体構造区分上の最大マグニチュードを採用してもよい。その場合、特定震源とした活断層に対応する地震を除く一方、地震地体構造図作成上で最大マグニチュードを決めるために抽出された過去の地震が地震活動に関する最新の知見に照らし合わせ、確かに設定した領域に対応する地震の種類に対応しているかどうかを確認する。

地震調査研究推進本部・地震調査委員会では、2000 年鳥取県西部地震 (M7.3) 及び 2008 年岩手・宮城内陸地震 (M7.2) を踏まえて、確率論的地震動予測地図のうち、各領域の予め震源を特定しにくい地震における最大マグニチュードの上限値及び下限値の見直しが行われているため、これらの情報も参考にするとよい。

領域震源モデルのうち、内陸地殻内地震に対応する領域で最大マグニチュードを決める問題は、活断層データからどの程度の規模の地震まで特定できるかという問題に帰着する。このため単に活断層に対応しない歴史地震データの最大マグニチュードからそれを評価すると、過小評価となる可能性もある。このような場合は、最大マグニチュードをマグニチュード毎の活断層の出現率データなどを参考に確率分布として与えてもよい。

最大マグニチュード c を考慮した G-R 式 (切断 G-R 式, Riznichenko (1964)<sup>(25)</sup>) として、次式を用い得る。

$$\log n(M) = a - bM \quad (M \leq c), \quad n(M) = 0 \quad (M > c) \quad (6.3.5-5)$$

ここに、M はマグニチュード、n は M+dM の地震の数が n(M)dM となる値であり、a 及び b は係数である。

また、宇津<sup>(26)</sup>はマグニチュードの上限 c を含む式として次式を提案している。

$$\log n(M) = a - bM + \log(c - M) \quad (M < c), \quad n(M) = 0 \quad (M \geq c) \quad (6.3.5-6)$$

ただし、式(6.3.5-6)の c の値は、通常不安定であり、データから機械的に決めるのは危険であるため、式(6.3.5-6)を用いる場合は、専門家の判断を取り入れることが望ましい。切断 G-R 式及び宇津のマグニチュードの上限 c を含む関係の概念図を図 6.13 に示す。【附属書 AN (参考) 参照】

また、領域震源のサイズが大きく、その内部における地震活動度が一様でないことを考慮する場合には、領域震源の内部において地震発生頻度及び b 値の空間分布を考

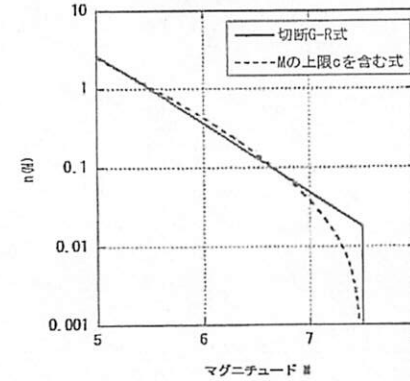


図 6.13—切断 G-R 式及び宇津のマグニチュードの上限 c を含む式の関係 (模式図)

慮したモデル化を行ってもよい。空間分布の設定方法としては、領域震源を等間隔の経緯度線により格子状の小領域に分割し、この小領域ごとに地震発生頻度及び b 値を設定する方法が取られる。この場合、それぞれに対して適切に平滑化を行う必要があり、一般には地震発生頻度より b 値に対する平滑化の程度が大きく設定される。

ひずみ集中帯における領域震源モデルの不確かさの設定においては、各地域の地下構造や活断層の特性、地震活動を考慮する。特に、ひずみ集中帯に対しては、GPS による地表変位の分布からその領域を示した文献や、領域震源モデルとして地震動ハザード評価に取り込んだ例が示されているので、参考とするとよい。【附属書 AO (参考) 参照】

#### 6.3.5.4 領域震源モデルにおける認識論的不確かさ要因の分析・設定

領域震源モデルの設定に当たっては、各震源モデルの偶然的な不確かさ要因を対象としたパラメータの設定を参照して、認識論的不確かさ要因を分析し、具体的な要因を選定する。

【附属書 AG (参考) 参照】 【附属書 AF (参考) 参照】

領域震源モデルの設定では、地震発生領域の区分と各領域で発生する地震の規模及び発生頻度の各評価において、認識論的不確かさが存在する。そこで、ロジックツリーの作成においては、これらの要因を適切に考慮する。

次に、認識論的不確かさ要因となり得る主なパラメータを挙げる。

- ① 対象とする領域の区分モデル (萩原<sup>(17)</sup>マップ、垣見マップ<sup>(18)</sup>など) の設定
- ② 地震規模と地震発生頻度関係のモデル (b 値モデル、宇津の上限 c を含む式など) の設定
- ③ 最大マグニチュード (地震地体構造マップでの値、歴史地震データでの最大値、活断層から特定できる内陸地殻内地震の最小値) の設定

## 6.4 地震動伝播モデルの設定

6.4.1 一般事項 地震動伝播モデルの設定では、次の項目について、手順に従い実施する。

- ① サイト周辺及びサイト内号機周辺の地震動伝播特性の把握 (6.4.2 に記述)
- ② 地震動伝播モデルの選択 (6.4.3 に記述)
- ③ 距離減衰式を用いる方法におけるパラメータの設定 (6.4.4 に記述)
- ④ 断層モデルを用いる方法におけるパラメータの設定 (6.4.5 に記述)
- ⑤ 地震動伝播モデルにおいてロジックツリーの分岐として考慮する項目の設定 (6.4.6 に記述)

地震動伝播モデルの設定では、まず、サイト及びサイト内号機周辺の地震動伝播特性を分析し、地震動伝播特性の違いの有無を把握する。次いで、同伝播特性の違いの有無のいずれに対しても、特定位置で特定規模の地震が発生した場合に対象サイトで生じる地震動強さの確率分布を評価し得るモデルを作成する。評価モデルとしては、対象サイトに生じる地震動強さの分布を経験的に評価する距離減衰式を用いる。若しくは対象サイト近傍に想定する震源に対しては、断層破壊過程を詳細に考慮し得る断層モデルを用いる。

そして、評価モデルの選択や確率分布のパラメータなどに関する認識論的不確実さをロジックツリーの分岐として考慮する。地震動ハザードの評価位置は、基準地震動の定義位置である解放基盤表面とする。ただし、地震動を適切に評価できる場合には、地震動ハザード評価位置を、基準地震動の定義位置とは異なる位置（例えば、地震基盤）とすることができる。

以下に、これらの具体的な設定手順を示す。

### 6.4.2 サイト周辺及び対象号機周辺の地震動伝播特性の把握

地震 PRA 実施基準(2007 年版)の策定以降の新潟県中越沖地震や駿河湾の地震では、同一サイト内の各号機で観測された地震動が大きく異なった。これらの要因として、深部地下構造の影響によって地震動伝播特性が異なることに留意する。【附属書 AP (参考) 参照】

地震動伝播モデルの設定に当たっては、まず、サイト及びサイト内号機周辺の地震動伝播特性を分析し、地震動伝播特性の違いの有無を把握する。

地震動ハザード評価においては、次の項目に留意してサイト内の評価対象号機ごとに、

6.4.3 に示す地震動伝播モデルを選択する。モデルの選択においては、次の事項に留意する。

- a) サイト内の特定の位置で特定の条件のもとで地震動が大きくなる現象が見出された場合には、その要因となる地下構造を調査・推定し、地下構造モデルを作成の上で、解析的手法により地震動への影響を検討する。また、観測記録の分析結果との整合を確認しておくことが望ましい。
- b) サイト内の地震動ハザード評価の対象号機ごとに地震動観測記録が得られていたならば、特定の条件（地震の分類、震源の位置・方向など）に分けて、観測地震動と距離減衰式による地震動の大きさを比較した結果を、地震動強さの確率分布の中央値やばらつきに考慮し、対象号機ごとの地震動ハザード評価を行う。

- c) サイト内の対象号機毎に地震動観測記録が得られていないならば、サイト内の地震動の違いを否定できないとして、認識論的不確実さの考慮として、地震動強さの確率分布のばらつきを大きくとるなどの配慮を行うことが望ましい。
- d) 地震動伝播モデルの設定としては、サイトの地震観測記録を十分に活用する。地震観測記録の役割としては、サイト内の地震動の違いを把握できること、特定の条件のもとで特定の位置で地震動が大きくなるような現象を把握できること、距離減衰式に対する地点補正やばらつきを評価できることなどがあるので、これらに留意する。
- e) サイトの地震観測記録に関して下記の項目を整理する。
  - 1) 観測計器の配置、観測記録が得られた地震
  - 2) 解放基盤波形の推定方法、推定結果
  - 3) 距離減衰式との比較と特徴

### 6.4.3 地震動伝播モデルの選択

- a) 一般事項 地震動ハザード評価では、対象サイト周辺で発生する地震による対象サイトの地震動強さを求めるため、震源と対象サイト間の地震動伝播特性をモデル化した地震動伝播モデルを設定する。設定した地震動伝播モデルを用いて、特定位置において特定規模の地震が発生した場合に対象サイトで生じる地震動強さの確率分布を求める。
- b) 地震動伝播モデルの手法 地震動伝播モデルには、次のものがある。
  - ① 距離減衰式に代表される経験的方法（以下、“距離減衰式を用いる方法”という）
  - ② 断層モデルを用いる方法に分類される半経験的方法、理論的方法、半経験的方法と理論的方法を組み合わせたハイブリッド法（以下、“断層モデルを用いる方法”という）
- c) 地震動伝播モデルの選択における留意事項
  - 1) 地震動伝播モデルとしては、水平動と上下動の両方を評価する。上記 b) の方法のうち、断層モデルを用いる方法は、両地震動の評価が可能である。しかしながら、距離減衰式を用いる方法は、水平動だけのものがあるので注意する。  
ただし、一般に上下動の主要動部分は対象サイト地震基盤に S 波として入射したことから発生したものと考えられることから、上下動と水平動の加速度応答スペクトル比は地震によらずほぼ一定であることに留意する。【附属書 AP (参考) 参照】
  - 2) 地震動伝播モデルとしては、地震のマグニチュードと震源深さ、震源と対象サイト間の距離などに応じて対象サイトに生じる地震動強さの分布を既往の地震観測記録に基づき経験的に評価する距離減衰式を用いる。ただし、対象サイト近傍に想定する震源に対しては、断層モデルを用いる方法で複数のシミュレーションを行う。
  - 3) 断層モデルを用いる方法は、次のように、東北地方太平洋沖地震の現象解明に活用され有用性が確認されている。また、津波波源モデルとの違いを明確にする上でも有用である。
    - 3.1) 東北地方太平洋沖地震では、原子力施設への影響が大きい短周期地震動において、

- 宮城県沖，福島県沖，茨城県北部沖の沿岸域に近い震源域で，複数の領域から強い地震動が放出されたことが指摘されている。
- 3.2) これらの領域は，強震動生成領域（従来，アスペリティと呼ばれていた名称を変更）と呼ばれており，大津波の波源となった海溝軸に近くより浅い大すべり領域と区別されている。
  - 3.3) 大すべり領域の地震動への影響は，海域側の地震動観測記録が得られていないため十分解明されていないが，陸から遠方であり，破壊伝播の方向に対してバックワード側に位置することから，短周期地震動への影響は小さいと見られている。
  - 3.4) 東北地方太平洋沖地震の知見から，巨大地震に対しては，原子力施設における地盤，構造物，機器・配管等の固有周期を考慮し地震動生成領域と津波生成に寄与する大すべり領域を区別した震源特性をそれぞれモデル化し，地震動が評価できる可能性がある。
  - 3.5) 大すべり領域と強震動生成領域は，震源域全体として評価されるべき領域であるが，解析技術の限界もあり，主に長周期帯域地震動による震源インバージョン解析では，大すべり領域が評価されている。
  - 3.6) より広帯域の観測地震動を用いた解析で，海溝軸付近の大すべり領域と沿岸域に近い強震動生成領域の双方を評価した例（Yoshida et al. (2011)<sup>(27)</sup>）もあるので参考とすると良い。
  - 3.7) 地震動と津波の重畳を考慮した地震動ハザード評価は 6.10.2 に示す。

#### 6.4.4 距離減衰式を用いる方法におけるパラメータの設定

- a) 一般事項 地震観測記録に基づいた距離減衰式は，近年，断層面の大きさを考慮したものと観測地点による地震動強さの系統的な違いを考慮して回帰したものが一般的になっている。また，地震の種類を考慮したものも提案されている。原子力発電所への適用を考慮し，地表又は地中の地震動観測記録に基づく応答スペクトルとしての距離減衰式が提案されている。【附属書 AR（参考）参照】
- b) 距離減衰式の選択
  - 1) 距離減衰式の種類
    - 1.1) 地震動強さの指標は，最大加速度，最大速度，最大変位，加速度応答スペクトル等とし，必要に応じて選択する。
    - 1.2) 距離減衰式としては，断層面の大きさを考慮できる式，観測地点による地震動強さの系統的な違い（地点特性）を考慮した回帰によって得られている式を用いる。
    - 1.3) 断層面の大きさを考慮できる式を用いる場合，断層最短距離又は等価震源距離を用いることが望ましい。
    - 1.4) 観測地点による地震動強さの系統的な違いを考慮した回帰によって得られている式には，地盤条件が類似した観測地点の記録だけを用いて得られた式も含まれることに留意する。
  - 2) 地点補正
    - 2.1) 地震動強さは対象サイト下の深部地下構造を含む地盤条件の影響を強く受けることから，対象サイトで得られた地震動観測記録を用いて選定した距離減衰式に対する地点補正を設定することが望ましい。
    - 2.2) 地盤の硬さやサイト特性の評価・不確かさを考慮する。
  - 3) マグニチュードの変換
    - 3.1) マグニチュードについては，気象庁マグニチュードをパラメータとしていることが望ましい。
    - 3.2) 我が国の地震データにおける地震規模は，気象庁マグニチュードであり，歴史地震については，それに準ずるように決められていることが多いために，他のマグニチュード，例えばモーメントマグニチュードを用いた距離減衰式を用いる場合には，データ側ないしは距離減衰式側で気象庁マグニチュードへの変換を行う。ただし，その場合，新たな誤差を含むことに留意する。
    - 3.3) 特に，内陸地殻内地震においては，両者の値は大きく異なるので注意する。
    - 3.4) 地震の種類による影響がある場合は，それに応じて距離減衰式を変更する。【附属書 AR（参考）参照】

c) 距離減衰式による地震動強さの確率分布の設定

- 1) 距離減衰式による推定値の誤差（観測値と推定値の違い）を確率分布として考慮する。
- 2) 距離減衰式による地震動強さの確率分布は、距離減衰式によって求めた値を中央値とする対数正規分布として設定する。
- 3) 地震動強さのばらつきの大きさは対数標準偏差として設定する。
- 4) 地震動強さは現象的に有限である。そこで、対数正規分布の成立範囲を有限として設定する必要があるため、打ち切り範囲を設定する。なお、打ち切り範囲の設定について十分な根拠が得られない場合には、炉心損傷頻度に影響を与える地震動の加速度レベル範囲を考慮して、十分大きな値（たとえば標準偏差の5倍まで）として設定してよい。
- 5) 対数標準偏差は、対象サイトでの地震動観測記録に基づき設定することが望ましい。
- 6) 地震動観測記録が得られていない場合、又は十分なデータがない場合は、一般の距離減衰式に対して評価されている対数標準偏差は不特定多数の観測点の記録に対して求められている場合が多いため、ばらつきを過大評価している可能性があることに留意する。
- 7) 対数標準偏差のマグニチュード依存性や地震動強さ依存性、地震タイプ依存性などを考慮してよい。【附属書 AS（参考）参照】

6.4.5 断層モデルを用いる方法におけるパラメータの設定

- a) 一般事項 断層モデルを用いる方法では、震源特性（巨視的震源特性、微視的震源特性、その他の震源特性）に関する多数のパラメータを用いて時刻歴波形を算定し、地震動強さ（最大加速度、最大速度、最大変位、加速度応答スペクトル）を推定する。この方法でも、距離減衰式の場合と同様に、推定値の誤差（観測値と推定値の違い）を確率分布として考慮する。また、それと合わせて、同じ位置で同じ地震が繰り返し発生する場合の震源特性に関するパラメータの変動による地震動強さのばらつきを考慮する。

【附属書 AT（参考）参照】

断層モデルを用いる方法は、極近傍震源を対象とした地震動の評価に活用し得る手法の1つである。この場合には、サイト近傍の3次元深部地下構造モデルを用いて評価することによって信頼性が高くなる。

b) サイト極近傍震源以外の地震動評価の場合

1) 強震動生成領域の留意事項

1.1) 地震動への影響が大きい強震動生成領域及び破壊点位置の設定に当たっては、サイト内または周辺地域で観測された地震動観測記録及び距離減衰式による評価結果との整合性に留意する。

1.2) 断層モデル（特性化震源モデル）と距離減衰式（司・翠川式<sup>(20)</sup>）による地震動評価結果とを比較し、強震動生成領域を断層中央付近に設定した結果が整合的であるとの結果が報告されているので留意する。【附属書 AT（参考）参照】

2) 個々の地震における推定値の誤差の設定 断層モデルを用いる方法は、一般に、距離減衰式を用いる方法よりも多くのパラメータを用いることから、個々の地震の観測値を距離減衰式よりも精度よく再現できると考えられる。ただし、観測値を完全に再現することは難しいので、距離減衰式の場合と同様に、推定値の誤差を確率分布として考慮する。推定値の誤差の確率分布は、既往の地震に対して観測記録に基づき評価することが望ましい。

3) 震源特性に関するパラメータの変動によるばらつきの設定 対象とする地震に対し、同じ位置で同じ地震が繰り返し発生する場合の震源特性に関するパラメータの変動範囲を設定し、それによる地震動強さのばらつきを評価する。震源特性に関するパラメータの変動範囲は、過去の地震のパラメータの変動範囲を考慮して設定する。

- c) **サイト極近傍震源の地震動評価への適用** 断層モデルを用いる方法によるサイト極近傍震源の地震動評価への適用においては、次の項目に留意する。
- 1) 評価地点近傍に存在する強震動生成領域における応力降下量などの特性に係る最新の科学的・技術的知見を踏まえる。特に、生成強度に関するパラメータ、強震動生成領域同士の破壊開始時間のずれ、破壊進行パターンの設定等、破壊シナリオの不確かさを考慮する。
  - 2) 地表に変位を伴う断層全体（地表地震断層から震源断層までの断層全体）を考慮した上で、震源モデルの形状及び位置の妥当性、敷地及び評価サイトとの位置関係、並びに震源特性パラメータの設定の妥当性について詳細に検討する。
  - 3) サイト近傍の3次元深部地下構造モデルを用いて評価する。【附属書 AU（参考）参照】
- d) **断層モデルを用いる方法における地震動強さの確率分布の設定**
- 1) 断層モデルを用いる方法による推定値の誤差が評価できる場合は、それと震源特性に関するパラメータの変動による地震動強さのばらつきを合わせて、地震動強さの確率分布を設定することが望ましい。
  - 2) 震源特性の不確かさについては、ロジックツリーの分岐として考慮して地震動強さの確率分布を評価してもよい。
  - 3) ただし、現状では断層モデルを用いる方法による推定値の誤差に関するデータが少ないため、確率分布の設定においては、断層モデルによる評価結果と観測地震動又は距離減衰式との対応について確認する。

#### 6.4.6 ロジックツリーの分岐として考慮する項目の設定

- a) **一般事項** 評価モデルの選択、確率分布のパラメータなどに関する認識論的不確かさをロジックツリーの分岐として考慮する。
- b) **距離減衰式を用いる方法の場合【附属書 AV（参考）参照】**
- 1) 距離減衰式は、データが十分にある範囲での適用性は高いが、断層近傍のようにデータがまだ十分でない範囲では、式の形に基づく外挿となる傾向がある。この不確かさを考慮するために断層最短距離を用いる方法による式と等価震源距離を用いる方法による式をロジックツリーの分岐で考慮することが望ましい。
  - 2) 距離減衰式は、一般的に、複数の地点における様々な観測記録に基づき評価されたものが多いため、不確かさ要因としてはサイトの違いや震源の違い、地震種別の違い等によるものが含まれる。そこで、地震種別ごと、若しくは震源の位置がサイトから見て同一方向の地震観測記録のみを対象として地点補正値を評価することによって、このような不確かさを除去することもできる。ただし、地震動観測記録の数が少ない場合、地点補正値の推定誤差は信頼度が低いと考えられるため、地点補正値の推定誤差の扱いについては十分注意する。
  - 3) 地震動観測記録を活用して地点補正値を求めた場合でも推定誤差はある。推定誤差が大きい場合には地点補正値の推定誤差をロジックツリーの分岐で考慮することが望ましい。
  - 4) 評価対象サイトで地震観測記録が得られていない場合、S波速度などの地盤条件に基づく距離減衰式に対する地点補正値の不確かさは小さくない。その場合には、地点補正値をロジックツリーの分岐で考慮することが望ましい。
  - 5) 対数標準偏差及び分布の打ち切り範囲の設定では、不確かさの大きさが無視できないことから、ロジックツリーの分岐で考慮する。
- c) **断層モデルを用いる方法の場合**
- 1) 断層モデルによる地震動評価方法は各種提案されている。評価に用いる方法をロジックツリーの分岐として考慮してよい。
  - 2) 断層モデルを用いる方法が同じでも、震源特性に関するパラメータの設定方法が違う場合がある。震源特性に関するパラメータの設定方法をロジックツリーの分岐として考慮してよい。【附属書 AV（参考）参照】

## 6.5 ロジックツリーの作成

6.5.1 一般事項 ロジックツリーの作成では、次の項目について、手順に従い実施する。

- ① ロジックツリーで考慮すべき不確実さ要因の選定 (6.5.2 に記述)
- ② 専門家活用水準の設定 (6.5.3 に記述)
- ③ 専門家活用水準ごとのロジックツリー作成手順 (6.5.4 に記述)
- ④ TI, TFI, 専門家の選定基準 (6.5.5 に記述)
- ⑤ TI, TFI, 専門家の責任の範囲 (6.5.6 に記述)

ロジックツリーの作成では、まず、6.3 及び 6.4 において選定した認識論的不確実さ要因から地震動ハザードの不確実さに大きな影響を及ぼす要因を選定する。次いで、選定した要因を対象として、技術的な難易度を判断し、作業手順の異なる3段階の専門家活用水準のいずれかを設定する。そして、TI (Technical Integrator: ロジックツリーの技術的な纏め役) 又は TFI (Technical Facilitator / Integrator: ロジックツリーの技術的な纏め役であり、専門家の意見統合の世話役) を選定し、設定した専門家活用水準における作成手順に従い、ロジックツリーを作成する。

ロジックツリー作成に当たっては、現状での不確実さを十分考慮して、分岐を限定しすぎないように注意する。データが十分でないと分岐が少なく、十分であると分岐が多くなるというような傾向が生じないように注意する。ロジックツリー作成における TI, TFI, 専門家の責任の範囲も明記し、科学的合理性のある判断に影響を及ぼさないように注意する。

以下に、これらの具体的な手順を示す。

### 6.5.2 ロジックツリーで考慮すべき不確実さ要因の選定

地震動ハザード評価者は、特定震源モデルの設定について 6.3.4.5、領域震源モデルの設定について 6.3.5.4、地震動伝播モデルの設定について 6.4.6 において、それぞれ選定した認識論的不確実さ要因を対象として、ロジックツリーを作成しなければならない。

対象とする認識論的不確実さ要因は、震源モデル及び地震動伝播モデルを設定する過程において、判断が分かれる項目、評価方法が複数存在する項目等とし、感度解析を適宜実施して、地震動ハザードに大きな影響を及ぼす項目をロジックツリーで考慮すべき認識論的不確実さ要因として選定する。

### 6.5.3 専門家活用水準の設定

- a) 一般事項 ロジックツリー作成に当たっては、対象とする認識論的不確実さ要因の影響の大きさ及び技術的な難易度を判断し、次の3段階の専門家活用水準のいずれかを設定する。専門家活用水準ごとに作業手順が大きく異なるので、作成するロジックツリーに関する信頼性・説明性に留意して、その水準を設定する。【附属書 AW (参考) 参照】
- b) 3段階の専門家活用水準
- 1) 専門家活用水準 1 地震動ハザードの不確実さへの影響が比較的小さい水準を想定し、TI が文献レビュー及び自らの経験に基づきコミュニティ分布 (科学者集団が総合的に評価するその時点での不確実さの客観的分布) を評価し、ロジックツリーを作成する。
  - 2) 専門家活用水準 2 地震動ハザードの不確実さへの影響が比較的大きく、重要項目に対する専門家意見が分かれることを想定する。そして、TI がモデル提案者や関連する専門家と接触して、その見解や根拠を聴取するか、又はそれらの専門家を一同に集めての討論などを通じて、モデルの改善や絞り込みを行い、コミュニティ分布を評価して、ロジックツリーを作成する。
  - 3) 専門家活用水準 3 地震動ハザードの不確実さ要因が広範囲で多岐に渉り、重要かつ複雑と判断され、その評価に関して多大な時間・費用・人的資源を要し、場合によっては各種調査が必要となることを想定する。そして、TFI が専門家によるパネルを編成し、専門家をモデル提案者でなく不確実さの客観的評価者として活用し、パネルが評価したコミュニティ分布を公平に集約して、ロジックツリーを作成する。
- c) 専門家活用水準設定における留意事項
- 1) 専門家活用水準 1 及び専門家活用水準 2 における TI の役割を、地震動ハザード評価者自らが担ってもよい。
  - 2) 専門家活用水準 3 においてロジックツリー適切に作成するのに困難が生じないように TFI 及び専門家の選定においては以下の点に留意する。
    - 2-1) 利益相反により中立性を損なわない。
    - 2-2) 多忙で時間がとれない。

6.5.4 専門家活用水準ごとのロジックツリー作成手順

a) 専門家活用水準1での作成手順 専門家活用水準1のロジックツリー作成手順を次に示す。【附属書AW(参考)参照】

- 1) ロジックツリーの技術的な纏め役(TI)の選出 地震動ハザード評価者は、ロジックツリーで考慮すべき技術的内容に応じて、ロジックツリーを纏める役割を担う TI を 6.5.5 に示す基準に従い選定する。
- 2) ロジックツリーで対象とする項目の選定 TI は、震源モデル及び地震動伝播モデル設定における認識論的不確実さ要因のうち、ロジックツリーで対象とする項目を最終的に選定する。対象項目の選定に当たっては、我が国における過去の地震の収録期間(約千年)や活断層データの有する数十万年の時間情報に対応する超過頻度  $10^{-3} \sim 10^{-5}$  程度(回/年)のハザードレベルに着目し、感度解析を適宜実施して地震動ハザードに大きく影響する重要な項目を選択する。
- 3) ロジックツリーの作成 TI は、図 6.14 に示すように、対象項目ごとに不確実さを分岐とその重みで表し、それらを組み合わせてロジックツリーを作成する。

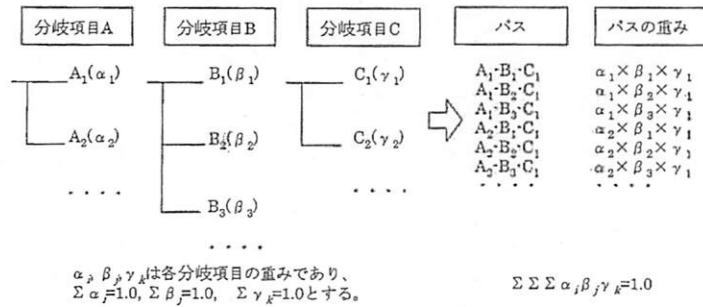


図 6.14—ロジックツリーの対象項目の組み合わせと各パスの重み付けの例(模式図)

b) 専門家活用水準2での作成手順 専門家活用水準2のロジックツリー作成手順を次に示す。【附属書AW(参考)参照】

- 1) TIの選出 地震動ハザード評価者は、ロジックツリーで考慮すべき不確実さ要因の技術的内容に応じて、専門家の意見を抽出・統合し、ロジックツリーを纏める役割を担う TI を選出する。
- 2) ロジックツリーで対象とする項目の選定 専門家活用水準1と同じ取扱いを行う。
- 3) モデル提案者や関連する専門家の選定と情報の収集 TI は、対象項目に関する分野の専門家を 6.5.5 に従って選定し、専門家の意見を抽出することによって関連情報を収集する。専門家の意見を抽出する方法は、アンケート、インタビュー、専門家間の意見交換又はこれらを併用する方法とする。
- 4) 関連情報の絞込み TI は、3)で収集した情報に基づき、モデルの改善や絞込みを行う。
- 5) ロジックツリーの作成 TI は、4)で絞込んだ結果に基づき、モデル提案者や関連する専門家からの意見を反映して、対象項目ごとに不確実さを分岐とその重みで表した暫定ロジックツリーを作成する。そして、その暫定ロジックツリーに関して専門家によるレビューを受けロジックツリーを完成する。また、対象項目の難易度が高く、分岐の重み付けが困難な場合には、重みを等しくしてもよい。

c) 専門家活用水準3での作成手順 専門家活用水準3のロジックツリー作成手順を次に示す。【附属書AW(参考)参照】

- 1) ロジックツリーの総合的な纏め役(TFI)の選出 地震動ハザード評価者は、ロジックツリーで考慮すべき不確実さ要因の技術的内容に応じて、専門家間の相互交流や意見統合を手助けし、ロジックツリーを纏める役割を担う TFI を 6.5.5 に示す基準に従い選定する。
- 2) ロジックツリーで対象とする項目の選定 専門家活用水準1と同じ取扱いを行う。
- 3) 専門家の選定とパネルの編成 TFI は、対象とする項目に関して客観的評価を行う専門家を選定し、それら専門家からなるパネルを編成する。課題が極めて複雑で難易度が高い場合は複数の専門家パネルを編成してもよい。
- 4) 対象項目に関する専門家の意見の抽出 TFI は、専門家パネルでの意見の抽出に当たって、専門家が評価に必要な情報やデータを共有し共通認識を持った上で、専門家意見を抽出するよう配慮する。また、専門家間の相互交流を促進し幅広く意見を抽出することが望ましい。【附属書AW(参考)参照】
- 5) 対象項目に関する専門家の意見の統合 TFI は、4)で抽出した対象項目に関する専門家の意見が十分かつ正確に収集されていることを確認するとともに、専門家パネルの多様な情報を意思決定に活用できる形式に統合する。

6) **ロジックツリーの作成** TFI は、専門家パネルより提示された不確実さの各分岐とその重みについて、その時点における科学者集団の情報や見解が網羅され正確に反映されているかを確認し、それらを集約して暫定ロジックツリーを作成する。そして、その暫定ロジックツリーに関して専門家によるレビューを受けロジックツリーを完成する。

#### 6.5.5 TI, TFI, 専門家の選定基準

a) **TI の選定基準** TI の選定においては、TI が不確実さ評価の過程について、技術課題に関する専門的技術・知識を有し、それらを踏まえて以下の役割を担うことに留意する。

- 1) 技術課題の抽出及び選定
- 2) 専門家の選定
- 3) 技術課題に関する情報の収集とコミュニティ分布の作成
- 4) 専門家による検証への対応
- 5) 文書作成

b) **TFI の選定基準** TFI の選定においては、TFI が不確実さ評価の過程について、以下の知識・見識が必要であることに留意する。

- 1) 対象とする技術課題に関する専門的知識
- 2) 確率論的地震動ハザード解析に関する知識
- 3) 意見の抽出方法に関する専門知識
- 4) 専門分野の科学コミュニティを把握し、広範な技術的解釈を行うための見識  
また、TFI は、上記の知識及び見識を踏まえて、以下の役割を担うことに留意する。
- 5) 技術課題の抽出及び選定
- 6) 専門家の選定
- 7) 技術課題に関する討論と焦点の絞込み
- 8) 確率論的アプローチに関する専門家の訓練
- 9) 専門家パネルの討議の促進及び個別意見の抽出
- 10) 専門家意見の集約及び不一致点の解消
- 11) 文書作成

以上の観点から、TFI は個人ではなく一つのチームとして編成されることが望ましい。

c) **専門家の選定基準** 専門家は、次に示す資質を有していることが望ましい。

- 1) 専門家としての学識、経験、発表論文などより評価される高い専門性を有する
- 2) 特定のモデル、仮説、理論の提案者としてではなく、すべての仮説や理論を客観的に検討する専門家として、データに基づいてそれらの相対的な信頼性を評価できる
- 3) 技術課題を評価する時間の確保とそれを実行する気概を有する
- 4) 対象地域に関する震源特性、又は地震動特性に関する具体的な知識を有する

- 5) 討論に参加して真摯に評価や解釈を披露し、プロジェクトに参加する他の専門家との情報交換において、技術的な立場を公に説明かつ擁護する能力を有する
- 6) 高いコミュニケーション能力、対人能力、融通性、中立性を有し、解釈や技術的な立場について明確かつ簡潔に説明する能力を有する
- 7) 上記1)~6)のような個人的な能力に加え、組織としての見解の範囲を超えて、科学的な意見の多様性を確保することができるような専門家が選ばれることが望ましい。

#### 6.5.6 ロジックツリー作成における TI, TFI, 専門家の責任の範囲

ロジックツリー作成における TI, TFI, 専門家は、提案した技術的内容については責任を負うが、その結果作成された地震動ハザード評価結果及びその結果に基づく原子力発電所の安全性、並びにリスク評価結果の活用に関する責任は負わせないものとする。

6.6 地震動ハザードの評価

6.6.1 一般事項 地震動ハザード評価では、次の項目について、手順に従い実施する。

- ① 地震動ハザードの概略評価及び内訳表示とスクリーニング (6.6.2 に記述)
- ② 炉心損傷頻度評価のための地震動ハザード評価 (6.6.3 に記述)
- ③ フラジリティ評価用地震動作成のための地震動ハザード評価 (6.6.4 に記述)
- ④ M9 級巨大地震の余震の地震動ハザード評価 (6.6.5 に記述)

地震動ハザード評価は、炉心損傷頻度評価とフラジリティ評価用地震動作成のために必要な地震動ハザード曲線を求める役割を有する。

炉心損傷頻度評価のための地震動ハザード評価では、6.5 で作成したロジックツリーを用いて不確実さ評価を行うものとするが、次の手順を踏まえる。地震動ハザード評価の手順としては、まず、概略のハザード評価を行い、これらの内訳から全震源のハザードに寄与する震源としない震源に大別し、スクリーニングを行う。そして、寄与するハザードを対象として、震源モデル及び地震動伝播モデルの設定を詳細化する。

フラジリティ評価用地震動作成のための地震動ハザード評価では、不確実さ評価結果を用いて、フラジリティ評価用地震動作成のための目標応答スペクトルを作成する。

次に、これらの具体的な設定手順を示す。

6.6.2 地震動ハザードの概略評価及び内訳表示とスクリーニング

地震動ハザード評価に当たっては、震源モデルの設定に多くの時間をかけることを避け、効率よくハザード評価を行うことに留意する。そのための手順として、まず、概略のハザード評価を行い、ハザードを特定震源及び領域震源に大別した上で、更に、特定震源及び領域震源のそれぞれに含まれる震源の内訳を明示する。次いで、これらの内訳から全震源のハザードに寄与する震源としない震源に大別し、スクリーニングを行う。そして、ハザードに寄与する震源を対象として、震源モデル及び地震動伝播モデルの設定を詳細化する。

また、理学的観点から震源モデルの設定を検討している段階において、工学的観点から地震動ハザードの概略を明示し、ハザードに寄与する震源について、理学的知見を積極的に活用する。

6.6.3 炉心損傷頻度評価のための地震動ハザード評価

a) 一般事項 炉心損傷頻度評価では、炉心損傷頻度を炉・年当たりの発生頻度 (回/炉・年) として求めるため、まず、評価対象期間の設定に係わる手法を選択する。次いで、地震動の大きさを求めるために、地震動伝播モデルを選択する。さらに、評価対象期間と地震動伝播モデルの組み合わせの選択を行う。そして、各組み合わせを対象として、ロジックツリーを用いて地震動ハザードの不確実さ評価手順に従い、不確実さ評価を行う。

b) 地震動ハザード評価における評価対象期間の設定 地震動ハザード評価では、地震動の強さとその年当たりの超過頻度との関係を地震動ハザード曲線として求める。年当たりの超過頻度の求め方には、図 6.15 に示す地震発生頻度の算定期間のとり方に対応す

る、次の3通りの方法が挙げられるので、評価者は評価の目的に応じて、いずれかの方法を選択する。

- ① 評価時点後 t 年間の平均発生頻度に基づく超過頻度から等価な年超過頻度を求める方法(更新過程に基づく方法)
- ② 評価時点の地震発生頻度に基づく年超過頻度を用いる方法(更新過程に基づく方法)
- ③ ポアソン過程による平均的な地震発生頻度に基づく年超過頻度を用いる方法

【附属書 AX (参考) 参照】

炉心損傷頻度を求める場合は年超過頻度を、フラジリティ用地震動を求める場合は年超過確率を用いる。【附属書 AX (参考) 参照】

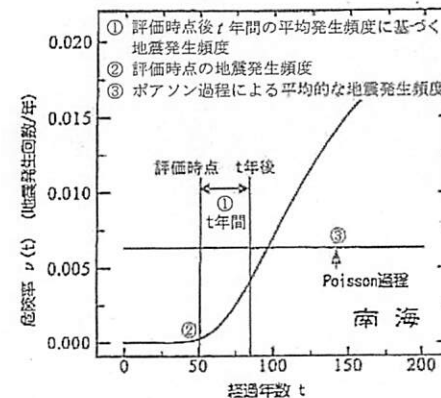


図 6.15 一年当たりの超過頻度を求めるための地震発生頻度の算定期間の取り方 (模式図) (35)

c) 地震動伝播モデルの選択 地震動ハザード評価では、地震動の強さを次の地震動伝播モデルを用いて求める。評価者は、評価の目的に応じて、いずれかの方法又はそれらの組み合わせを選択する。

- ① 最大加速度距離減衰式
- ② 応答スペクトル距離減衰式
- ③ 断層モデルを用いる方法

d) 評価対象期間と地震動伝播モデルの組み合わせの選択 地震動ハザード評価では、上述 b) の対象期間の設定手法で選択した手法と c) の地震動伝播モデルで選択した手法を組み合わせる。

e) 地震動ハザードの不確実さ評価手順 地震動ハザードの不確実さ評価では、6.5 で作成

したロジックツリーを用いて、不確実さ評価手順に従い、不確実さ評価を実施する。

以下に、不確実さ評価手順を示す。

- 1) 感度解析による不確実さ要因の絞込みと地震動ハザードの概略の把握 地震動ハザード評価では、まず、次の項目の各モデルにおける認識論的不確実さ要因の選定結果から、ハザードの不確実さに有意な影響を及ぼすことが想定される要因を選定する。
  - ① 6.3.4 特定震源モデルのパラメータ設定
  - ② 6.3.5 領域震源モデルのパラメータ設定
  - ③ 6.3.5.2b) M9 級巨大地震による余震を対象とした領域震源モデルのパラメータ設定
  - ④ 6.3.5.2b) M9 級巨大地震による誘発地震を対象とした領域震源モデルのパラメータ設定
  - ⑤ 6.4 地震動伝播モデル設定

次いで、選定された要因を対象として感度解析を行う。そして、感度解析結果から地震動ハザードの不確実さに対して影響が大きい要因を抽出するとともに、地震活動域ごとの寄与などの地震動ハザードの概要を把握する。
- 2) ロジックツリーの作成 1)で絞り込んだ重要要因を対象として、それらの要因それぞれの技術的な難易度を分析するとともに、分析結果に基づき 6.5 のロジックツリー作成レベルを判断し、各作成レベルの手順に従い、各評価項目の分岐及び重みを考慮して、ロジックツリーを作成する。
- 3) 地震動ハザード曲線の評価手法の選択と定量評価 地震動ハザード曲線群の算定方法には、次の 2 つの手法がある。作成したロジックツリーの分岐の性質（離散量、連続量）や分岐の総数を考慮して適切な手法を選択する。
  - ① ロジックツリーの全分岐について地震動ハザード曲線を求める手法
  - ② モンテカルロシミュレーションによって地震動ハザード曲線を求める手法

選択した手法を用いて、ロジックツリーの分岐ごとに地震動ハザードを評価し、ハザード曲線群を求める。【附属書 AY（参考）参照】
- 4) 不確実さの定量評価 3)で評価した地震動ハザード曲線群を基に、フラクタイルハザード曲線群を評価し、地震動ハザード評価における不確実さの分布形状を求める。中央ハザード曲線又は平均ハザード曲線については、得られた分布形状を考慮して、地震動ハザード曲線群の代表値としての妥当性を検討する。妥当でない判断された場合には、複数のアグリゲートハザード曲線をもって地震動ハザード曲線の代表値としてもよい。附属書 AY（参考）、附属書 AZ（参考）に評価例を示す。

#### 6.6.4 フラジリティ評価用地震動作成のための地震動ハザード評価

- a) 一般事項 フラジリティ評価用地震動作成のための地震動ハザード評価では、次の手法について、手順に従い実施する。
  - ① 一様ハザードスペクトル（UHS）を用いる手法
  - ② 地震動ハザードの再分解によるマグニチュード・距離を用いる手法
  - ③ 断層モデルを用いる方法

フラジリティ評価用地震動は、フラジリティ評価において応答解析に基づく手法を適用する場合に用いる。また、地震動は、フラジリティ評価における必要性に応じて水平地震動及び上下地震動を作成する。フラジリティ評価用地震動の評価手法として、①一様ハザードスペクトル（UHS）を用いる手法、②地震動ハザードの再分解によるマグニチュード・距離を用いる手法、③断層モデルを用いる手法を用いることができる。上記①及び②の手法に用いる一様ハザードスペクトル及び地震動ハザードの再分解によるマグニチュード・距離は、地震動ハザード評価結果を用いて作成評価する。
- b) 一様ハザードスペクトルの評価手順
  - 1) 関連情報の収集・選択 一様ハザードスペクトルの評価においては、評価条件として応答スペクトルを算定するための減衰定数、評価する周期及び超過確率の設定が必要となる。それらの情報は、箇条 7 に示すフラジリティ評価の対象とする建物・構築物及び機器の評価条件から設定する。
  - 2) 評価手法 一様ハザードスペクトルは、図 6.16 に示すように、応答スペクトル距離減衰式によって求めた周期ごとの地震動ハザード曲線を用いて、任意の年超過確率に対する応答スペクトル値を連ねてプロットし求める。
  - 3) 評価手順 一様ハザードスペクトルは、次の手順に従い評価する。【附属書 AZ（参考）参照】
    - 3.1) 評価対象とする地震動ハザードの信頼度(平均値又はフラクタイル値)を設定する。
    - 3.2) 対象とする減衰定数を設定する。
    - 3.3) 対象とする周期の範囲と評価点を設定する。
    - 3.4) フラジリティ評価に必要な地震動強さに対応する超過確率を設定する。
    - 3.5) 加速度応答スペクトル距離減衰式を用いて評価対象周期ごとの地震動ハザード曲線を求める。設定した超過確率に対応する評価対象周期ごとの応答スペクトル値をプロットして、一様ハザードスペクトルを求める。
    - 3.6) 3.2)～3.5)を繰り返し、対象信頼度ごとに一様ハザード加速度スペクトルを求める。3.1)で設定した信頼度によらず応答スペクトルの形状がほぼ類似の場合は、50%信頼度の応答スペクトルで代表させてもよい。

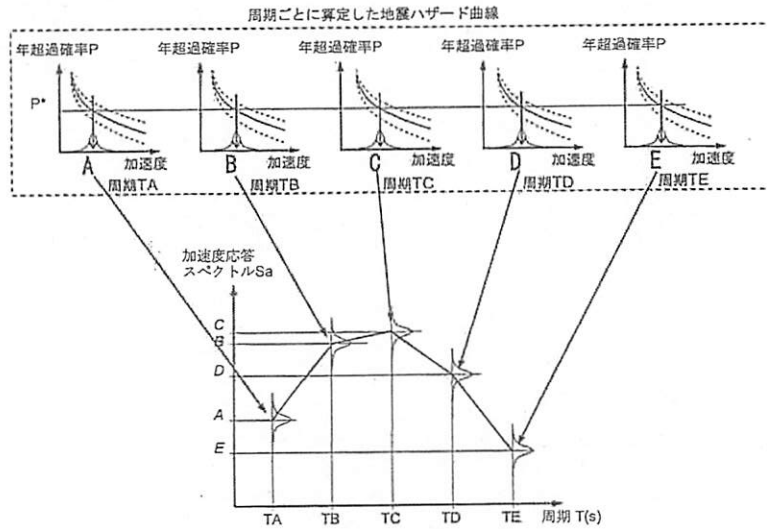


図 6.16 一様ハザードスペクトルの作成手順 (概念図)  
(加速度応答スペクトルの例)

c) 地震動ハザードの再分解によるマグニチュード・距離の評価及び目標スペクトルの評価手順

- 1) 関連情報の収集・選択 地震動ハザードの再分解によるマグニチュード・距離の評価においては、評価する地震動強さを設定する。また、評価したマグニチュードと距離を用いて、地震動作成のための周期特性(目標スペクトル)を作成するために、減衰定数と周期を設定する。それらの情報は箇条 7 に示す fragility 評価の対象とする建物・構築物及び機器の評価条件から設定する。
- 2) 地震動ハザードの再分解によるマグニチュード・距離の評価手法 地震動ハザード曲線の評価では、対象サイト周辺で発生する可能性のあるすべての地震を考慮する。地震動ハザード曲線上のある年超過確率の点に最も寄与するマグニチュードと震源又は震央距離を、年超過確率に対する寄与率 (同時確率密度関数) として再分解することにより評価する (図 6.17 参照)。このマグニチュード・距離を用いて、応答スペクトル距離減衰式から目標スペクトルを求める。

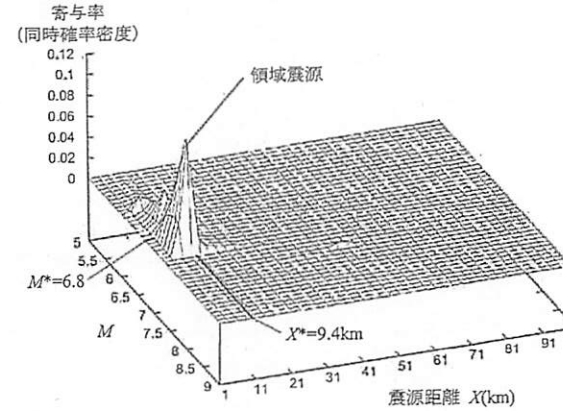


図 6.17 地震動ハザードの再分解によるマグニチュード・距離の評価方法 (概念図)

3) 地震動ハザードの再分解によるマグニチュード・距離を用いた目標スペクトルの評価手順 地震動ハザードの再分解によるマグニチュード・距離を用いた目標スペクトルは次の手順で評価する。

- 3.1) 評価対象とする地震動ハザードの信頼度(平均値, 又はフラクタイル値)を設定する。
- 3.2) fragility 評価に必要な地震動強さに対応する地震動ハザードの再分解による適合マグニチュード・適合距離(震央距離又は震源距離)を震源ごとに求める。
- 3.3) 3.2)で得られたマグニチュードと距離を基に、全地震による適合マグニチュードと適合距離を求める。
- 3.4) 対象とする減衰定数を設定する。
- 3.5) 対象とする周期の範囲を設定する。
- 3.6) 3.2)又は 3.3)で評価したマグニチュードと距離を用いて、応答スペクトル距離減衰式によって評価対象周期ごとの応答スペクトル値を算定して、目標スペクトルを求める。
- 3.7) 3.2)~3.6)を繰り返し、対象信頼度ごとの目標スペクトルを求める。3.1)で設定した信頼度ごとの目標スペクトルの形状がほぼ類似の場合は、50%信頼度の目標スペクトルで代表させてもよい。【附属書 BA (参考) 参照】

### 6.6.5 M9 級巨大地震の余震の地震動ハザード評価

- a) 一般事項 M9 級巨大地震の余震に対するの地震動ハザード評価は、東北地方太平洋沖地震における余震の発生状況に基づき提案された評価手順を用いてもよい。また、大規模余震の取扱いに関する留意事項を参考にするとよい。【附属書 AC (参考) 参照】
- b) 余震のハザード評価手順 M9 級巨大地震の発生確率は BPT 分布などを用いて評価され、本震による地震動の超過確率分布が評価される。

既往のデータに基づき、M9 級巨大地震の余震のマグニチュード傾度分布を設定する。これにより検討対象とする範囲（たとえばマグニチュード 5.0 以上）の余震数  $N$  個が設定される。余震が発生する領域（本震の震源域若しくはそれより少し大きい領域）を設定し、その領域内では余震は一律に分布すると仮定する。

マグニチュード傾度分布と余震発生領域を用いて余震が 1 個発生した場合の地震動の超過確率分布を評価し、それを用いて  $N$  個の余震が発生した場合の地震動の超過確率分布を評価することで、余震によるハザード曲線（地震動強さと超過確率の関係）を求める。また、本震と余震をあわせた地震動の超過確率分布を求めることも出来る。

余震数の時間変化の性質を考慮することにより、本震発生後の任意の期間における検討対象とする範囲（たとえばマグニチュード 5.0 以上）の余震数を設定することが出来る。これとマグニチュード傾度分布、余震発生領域を組み合わせることにより余震のサンプル群を発生させることが可能になり、必要に応じて、余震による時刻歴群のサンプル群を作成することができる。

### c) M9 級巨大地震の余震の地震動ハザードの取扱いの留意事項

- 地震 PRA 実施基準(2007 年版)の地震動ハザード評価では、余震の取扱いにおいて、M8 級以下の地震による余震の地震動はさほど大きくなく、地震動ハザードへの影響が小さいとして除外した。
- M9 級巨大地震による余震について地震動ハザードへの影響を考慮する。東北地方太平洋沖地震の最大余震の M7.7 であり、余震による地震動は基準地震動  $S_s$  を上回ったものも観測された。
- 巨大地震による余震を考慮して地震動ハザードを評価した結果、本震による地震動ハザードより影響が大きくなければ、リスク評価に考慮するかどうかを判断すれば良い。

## 6.7 フラジリティ評価用地震動の作成

### 6.7.1 一般事項

フラジリティ評価用地震動の作成では、次の項目について、手順に従い実施する。

- |                           |             |
|---------------------------|-------------|
| ① 地震動強さの設定                | (6.7.2 に記述) |
| ② 地震動作成手法の選択              | (6.7.3 に記述) |
| ③ 目標スペクトルの設定              | (6.7.4 に記述) |
| ④ 時刻歴波形の作成                | (6.7.5 に記述) |
| ⑤ 免震型原子力発電施設を対象とする場合の留意事項 | (6.7.6 に記述) |

フラジリティ評価用地震動の作成では、まず、フラジリティ評価に必要な地震動強さを設定し、選択した地震動作成手法に従って、設定した地震動強さごとに目標スペクトルを設定する。次いで、フラジリティ評価における現実的応答を応答解析に基づき評価する場合には、地震動の時刻歴波形が必要となるので、設定した目標スペクトルに適合した時刻歴波形を作成する。

免震型原子力発電施設を対象とする場合には、地震動におけるやや長周期領域の影響に留意する。

免震型原子力発電施設を対象とする場合の地震動ハザード評価では、対象免震構造物の支配的な周期がやや長周期になることを考慮し、やや長周期帯域に影響を及ぼす要因として、サイト近傍の震源断層による長周期パルス、遠距離の大地震による表面波及び深部地下構造による伝播経路特性に留意する。

### 6.7.2 地震動強さの設定

- a) 一般事項 フラジリティ評価用地震動は、建物・構築物又は機器が影響を受ける地震動の成分や損傷モードに対応して水平地震動及び上下地震動を作成する。水平地震動と上下地震動は、基本的に同じ手順で作成することができるが、それぞれの地震動強さは b) 及び c) に従い設定する。
- b) 水平地震動 建物・構築物及び機器のフラジリティ曲線は、複数の加速度レベルについて離散的に損傷確率を評価し、それらを補間して算定する。フラジリティ評価用の水平地震動強さとして、損傷確率を算定する最大加速度の離散点と、その上限値を設定する。最大加速度の離散点は、フラジリティ曲線の算定条件又は地震動ハザード曲線の超過確率に対応した加速度レベルとして設定する。また、最大加速度の上限値は、地震動ハザード評価における地震動のばらつきの大きさを考慮し、地震動の物理的な限界から設定する。
- c) 上下地震動 上下地震動の地震動強さは、上下地震動に対する地震動ハザードにおいて、水平地震動の超過確率に対応したものと与える。(図 6.18 参照)
- なお、上下地震動に対する地震動ハザードを用いず、対象サイトに支配的な地震に対する水平地震動強さと上下地震動強さの比を、(6.7.2b) で設定した水平地震動強さに乗

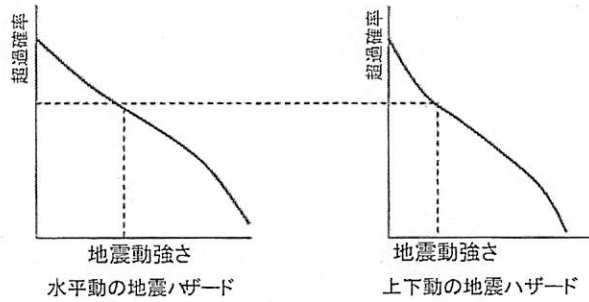


図 6.18—上下地震動の地震動強さ（模式図）

ずることによって上下地震動の地震動強さを評価してもよい。

### 6.7.3 地震動作成手法の選択

地震動の作成手法として、次に示す①～③の手法のうち、いずれかを選択する。選択に当たっては、フラジリティ評価の目的、要求精度、及び評価サイト周辺の震源の分布又は地震発生状況を考慮して選択する。

- ① 一様ハザードスペクトルによる地震動作成手法
- ② 地震動ハザードの再分解によるマグニチュード・距離による地震動作成手法
- ③ 断層モデルを用いる方法による地震動作成手法

### 6.7.4 目標スペクトルの設定

a) 一般事項 フラジリティ評価において、建物・構築物又は機器の現実的応答を、応答係

数を用いて評価する場合には、地震動の時刻歴波形が必要とされないため、b)から d) に示すいずれかの方法を用いて、地震動の目標スペクトルのみを設定すればよい。

ここで、6.5によって得られる異なる信頼度に対するスペクトル形状のばらつきに関しては、フラジリティ評価用地震動の認識的不確実さとして考慮する。ただし、7.6に示すフラジリティ評価対象物の現実的応答評価に支配的な周期範囲において、信頼度ごとのスペクトル形状がほぼ相似であるとみなせる場合、又は、異なる信頼度に対するスペクトル形状のばらつきが6.7.5に示す模擬地震波の適合度に係る誤差に含まれる場合には、フラジリティ評価用地震動の認識的不確実さは考慮しなくてもよい【附属書BB（参考）参照】。

b) 一様ハザードスペクトルを用いる場合 水平地震動、上下地震動ともに、6.7.2で設定した地震動強さごとに、6.6.4b)に示した方法で一様ハザードスペクトルを作成し、それを目標スペクトルとする。

なお、上下地震動の目標スペクトルは、対象サイトに支配的な地震に対する水平地震動の応答スペクトルと上下地震動の応答スペクトルの比を、水平地震動の目標スペクトルに乗じることによって評価してもよい。【附属書BB（参考）参照】

c) 地震動ハザードの再分解によるマグニチュード・距離を用いる場合 水平地震動、上下地震動ともに、6.7.2で設定した地震動強さごとに、6.6.4c)に示した方法で地震動ハザードの再分解によるマグニチュード・距離に対応する応答スペクトルを作成し、それを目標スペクトルとする。

なお、上下地震動の目標スペクトルは、対象サイトに支配的な地震に対する水平地震動の応答スペクトルと上下地震動の応答スペクトルの比を、水平地震動の目標スペクトルに乗じることによって評価してもよい。【附属書BB（参考）参照】

d) 断層モデルを用いる方法の場合 水平地震動、上下地震動ともに、6.7.5 d)で評価された地震動の時刻歴波形の応答スペクトルを評価し、それを目標スペクトルとする。

6.7.5 時刻歴波形の作成

- a) 一般事項 フラジリティ評価において、建物・構築物又は機器の現実的応答を、応答解析に基づく方法で評価する場合には、6.7.4 に従い作成した目標スペクトルに対応した地震動の時刻歴波形を、b)から d)いずれかの方法を用いて作成する。
- b) 一様ハザードスペクトルを用いる場合 6.7.4 b)に従い作成した目標スペクトルを地震動の周期特性とし、位相特性及び経時特性を設定して、正弦波合成法を用いて地震動を作成する(図 6.19 参照)。1)から 4)に地震動の作成手順を示す。
- 1) 周期特性の設定方法 6.7.4 b)で示した方法に従い設定する。
  - 2) 位相特性の設定方法
    - 2.1) 位相特性は、一様乱数、観測記録における位相又は群遅延時間による位相のいずれかを用いる。
    - 2.2) フラジリティ評価における現実的な応答に対して非線形性が強い場合には、位相特性が建物・構築物などの応答に与える影響を無視できない場合があることから、異なる位相特性を有する時刻歴波形を複数作成して用いる。ただし、フラジリティ評価において対象とする建物・構築物若しくは機器の現実的な応答が線形範囲に収まると考えられる場合、又は位相特性の違いが応答に与える影響を別途考慮する場合には、平均的な応答を与える位相特性を有する単独の時刻歴波形を用いてもよい。【附属書 BC (参考) 参照】
  - 3) 経時特性の設定方法 時刻歴波形の経時特性は、対象サイトの地震動ハザードに支配的であると考えられる震源によって得られる地震動と整合するように設定する。【附属書 BC (参考) 参照】  
 なお、対象サイトの地震動ハザードに支配的な震源は、6.6.4c)に示した方法でマグニチュードと距離を評価してもよい。ただし、位相特性として、観測記録における位相又は群遅延時間による位相を用いた場合には、経時特性を設定する必要はない。【附属書 BC (参考) 参照】
  - 4) 周期特性への適合方法 正弦波合成法を用いて作成する。【附属書 BC (参考) 参照】
- c) 地震動ハザードの再分解によるマグニチュード・距離を用いる場合 作成した目標スペクトルを地震動の周期特性とし、位相特性及び経時特性を設定して、正弦波合成法を用いて地震動を次の 1)~4)の手順に従って作成する(図 6.19 参照)。【附属書 BC (参考) 参照】
- 1) 周期特性の設定方法 6.7.4 c)で示した方法に従い設定する。
  - 2) 位相特性の設定方法 6.7.5 b)2)と同様の取扱いとする。
  - 3) 経時特性の設定方法 6.7.5 b)3)と同様の取扱いとする。
  - 4) 周期特性への適合方法 6.7.5 b)4)と同様の取扱いとする。

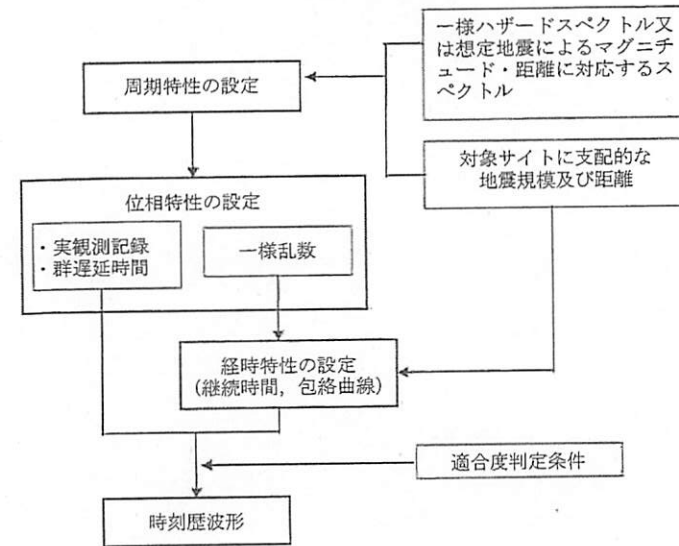


図 6.19一様ハザードスペクトル又は地震動ハザードの再分解によるマグニチュード・距離を用いる場合の地震動の時刻歴波形の作成フロー

- d) **断層モデルを用いる方法の場合** 対象サイトの地震動ハザードに支配的な震源を複数設定し、断層モデルによって地震動の時刻歴波形を直接評価する。求めた地震動の時刻歴波形は、6.7.2で設定した地震動強さごとに分類して用いる。本手法では、地震動ハザード評価において、特定震源に対して断層モデルで評価した地震動を fragility 評価用地震動として用いることができる。

また、地震動ハザード曲線を区間に分割し、区間ごとに貢献度の大きさに応じた比率でシナリオ地震を割り当て、生起確率と断層破壊メカニズムを考慮した地震動波形群を fragility 評価用地震動として用いることができる。【附属書 BC (参考) 参照】

なお、本手法によって、水平地震動と上下地震動をそれぞれ評価することが可能であるが、上下地震動の評価については、評価モデルを十分検討し、評価サイトにおける観測地震動を用いて評価結果を補正するなど十分な吟味する。

#### 6.7.6 免震型構造物、排気筒等を対象とする場合の留意事項

- a) **一般事項** 免震型構造物や排気筒を対象とした fragility 評価の場合には、耐震型構造物を対象とした場合と同様に地震動ハザード評価を行えばよい。しかしながら、これらの構造物の支配的な周期がやや長周期になることを考慮して、やや長周期帯域に影響を及ぼす要因として、サイト近傍の震源断層による長周期パルス、遠距離の大地震による表面波及び深部地下構造による伝播経路特性に留意する。そして、不確実性の設定、ロジックツリーの構築、感度解析におけるスクリーニングを実施する。

これらの構造物は、高減衰機構や制振装置を取り付けるなど、長周期地震動に対する応答を小さくするよう設計されている場合が多く、fragility そのものが小さい可能性が高い。そこで、やや長周期地震動を対象としたハザード評価に対して行う震源のスクリーニングは、対象とする構造物の fragility 評価結果も考慮し、最終的な影響度を勘案した上で行うことが望ましい。

#### b) 構造物・機器の種類ごとの取扱いの留意事項

- 1) **免震型構造物** 原子力発電所施設内の免震型構造物は、応答変位を抑えるために、一般的な免震型構造物と比べると、比較的免震周期が短く設計され5秒以下になっている場合が多い。また、上下免震については実施例がほとんどないものの、仮に設計されたとしても免震周期は1秒程度である。
- 2) **機器免震** 機器免震としては、水平動免震、上下動免震、水平・上下動両用免震が想定される。水平動免震は、上記1)と同様の扱いとする。しかしながら、上下動免震は設定周期が約1秒前後と周期設定の範囲が限られている。その理由は、約1秒以下では加速度低減効果が少なく、約1秒以上では自重支持が維持できないためである。このように上下動免震においては、入力動の周期特性の免震効果への影響が特に大きい。そこで、地震動ハザードからの上下動作成に留意する。
- 3) **排気筒** 排気筒もやや長周期地震動の影響を受けやすい構造物であるが、制振ダンパー等を設置し、応答を低減させている場合も多い。
- 4) **スロッシング** スロッシングは長周期地震動により発生し易いが、スロッシングが発生した場合の構造物や施設に与える影響度を考慮することが重要である。また、長周期のスロッシングが発生しないよう間仕切りを設ける等が行われている場合がある。
- c) **一様ハザードスペクトルの設定** 一様ハザードスペクトルの設定は、一般的には周期5秒以下を対象にして評価される場合が多いが、5秒以上の長周期帯域に対しても一様ハザードスペクトルを評価する場合には、地震動評価において、5秒以上の長周期まで考慮した断層モデルによる結果等を用いるのが望ましい。ただし、周期5秒までの一様ハザードスペクトルに対して、別途、断層モデルによる結果等を参考にして、一様ハザードスペクトルそのものに対して、速度一定若しくは変位一定等の仮定に基づき、5秒以上のスペクトルを直接設定しても良い。

### 6.8 複数プラントにおけるハザード評価の留意事項

複数のプラントにおける複数の建物・構築物を対象とする場合の地震動ハザード評価においては、以下の項目を考慮する。

- a) 全ての対象建物・構築物に対して同一の距離減衰式を適用する場合、観測記録から対象建物・構築物地点の地震動が同程度であることを確認する。観測記録が不十分等の理由から確認できない場合や地点により揺れが異なる場合は、認識論的不確実さとして考慮する。
- b) 観測記録により対象建物・構築物地点の地震動に明確な違いが認められる場合には、違いが認められる地点ごとに異なる距離減衰式を適用してもよい。
- c) フラジリティ評価で複数の対象建物・構築物を評価する場合は、観測記録から地震に対する揺れの相関性を確認することが望ましい。地震動強度の相関は、震源特性、伝播特性、サイト特性のそれぞれにおける不確実性の分離、地点間の距離による相関の定量化など適切に評価する。

### 6.9 断層変位及び地殻変動のハザード評価

6.9.1 一般事項 断層変位及び地殻変動のハザード評価では、次の項目について、手順に従い実施する。

- ① 断層変位ハザードの評価 (6.9.2 に記述)
- ② 地殻変動ハザードの評価 (6.9.3 に記述)

断層変位のハザード評価では、まず、断層変位ハザード評価における対象活断層の定義を明確にする。対象活断層は、主断層・副断層を考慮する。次いで、断層変位ハザードの評価手順に従って、断層変位ハザードを評価する。

地殻変動のハザードは、断層変位ハザードのようなハザード曲線で評価する方法は現状で提案されていないので、必要に応じ、個々の地震動・津波モデルに対して隆起・沈降、傾斜等を評価する。

#### 6.9.2 断層変位ハザードの評価

a) 評価手法の基本的考え方 ここで評価する断層変位とは、断層による変位、即ち食い違いのことであり、確率論的地震動ハザード評価における加速度を2回積分して得られる変位ではないことに留意する。このような定義に基づく断層変位ハザードの評価手法としては、Youngs 他 (2003)<sup>(29)</sup>や高尾他 (2013年)<sup>(30)</sup>の手法が提案されているので、これらを用いてもよい。

高尾他<sup>(30)</sup>の手法では、まず、Youngs 他<sup>(29)</sup>確率論的断層変位ハザード解析手法を参照し、日本国内の逆断層および横ずれ断層のデータに基づき評価式を策定し、次いで、同評価式を用いて、確率論的断層変位ハザードの評価例を示している。そこで、断層変位ハザード評価手法としては、基本的に高尾他の手法を用いることとするが、海外のデータに基づく評価手法も参照してもよい。

b) 評価手順 断層変位の評価手法は、次の通りとする。

- 1) 断層変位の年超過頻度は、図6.20に示すように地表面での主断層及び副断層の2種類の断層による断層変位の頻度の和として評価する。【附属書BD (参考) 参照】
- 2) 主断層による断層変位の年超過頻度の評価
  - 2.1) 主断層とは、地震断層のうち、震源断層と密接に関係している断層と定義する。
  - 2.2) 震源断層との位置づけは、以下とする。
    - 2.2.1) 歴史地震に対する震源断層モデルとの対応を重視し、断層変位の連続性および変位の大きさを考慮する。
    - 2.2.2) 評価地点が活断層の直上に立地している場合は、主断層による断層変位の年超過頻度を考慮する。
    - 2.2.3) 評価地点が活断層の直上に立地していない場合は考慮しなくてよい。

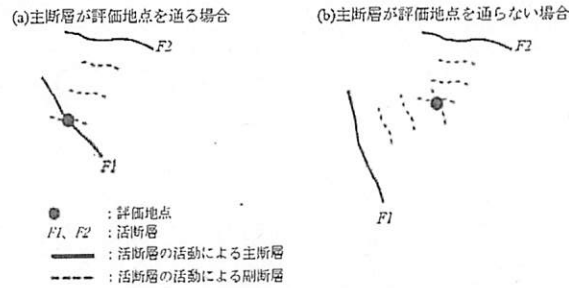


図 6.20—主断層と評価地点との位置関係の概念<sup>(30)</sup>

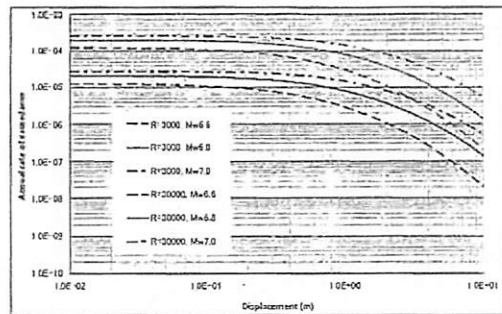
- 2.3) 主断層による断層変位の年超過頻度は、次の頻度又は確率の積として評価する。
- ① 活断層が活動する1年あたりの頻度
  - ② 活断層が活動した時に、主断層の断層変位が地表で発生する確率
  - ③ 主断層による断層変位が地表で発生した場合に、その断層変位が評価地点で発生する確率
  - ④ 主断層による断層変位が評価地点で発生した場合に、その断層変位がある値を超過する確率
- 3) 副断層による断層変位の年超過頻度の評価
- 3.1) 副断層とは、地震断層のうち、震源断層と密接に関係しているとは言えないが、地表に断層変位を生じさせたものと定義する。活断層から離れた場所で、副次的又は従属的に生じる断層変位である。
- 3.2) 副断層による断層変位の年超過頻度は、次の頻度又は確率の積として求める。
- ① 活断層が活動する1年あたりの頻度
  - ② 活断層が活動した時に、主断層の断層変位が地表で発生する確率
  - ③ 活断層が活動した時に、活断層から離れた場所で副断層の断層変位が地表で発生する確率
  - ④ 副断層の断層変位が評価地点で発生した場合に、その断層変位がある値を超過する確率
- 3.3) 副断層を生じさせ得る活断層が評価地点の周辺に複数存在する場合は、評価地点に影響を及ぼし得る活断層を選定した上で、それらの活断層からの副断層による断層変位の年超過頻度の総和を評価する。

c) 断層変位ハザード評価における留意事項

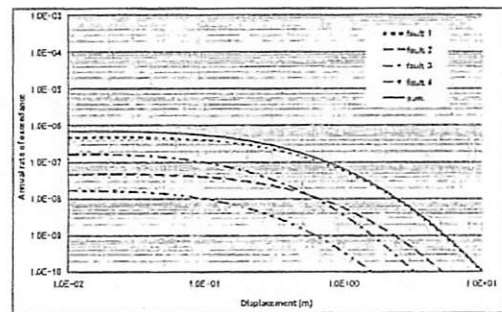
- 1) 主断層の断層変位ハザードの評価条件の設定としては、例えば、表 6.1 に示すものを参照してもよい。表中の条件に基づき評価した断層変位ハザード曲線を図 6.21 に参考に示す。このような評価結果を参照することが望ましい。
- 2) 上記 b) の評価手順においては、認識論的不確実さが考慮されていないので、同不確実さの考慮の場合は地震動ハザード評価の手順を参照してもよい。
- 3) 断層変位ハザードに対する構造物・機器 fragility 評価においては、断層変位ハザード曲線からはスカラー量の変位を与えるだけとなる。そこで、fragility 評価では、スカラー量の変位が与えられた場合の評価手法を検討することが望ましい。

表 6.1—断層変位ハザードの評価条件<sup>(30)</sup>

Case(a)				
評価地点から活断層までの距離	0 km			
再来期間	3,000年、30,000年			
発生する地震の規模	Mw 6.6、Mw 6.8、Mw 7.0			
震源断層域の長さ(活断層の長さ)	22km			
Case(b)				
	fault 1	fault 2	fault 3	fault 4
評価地点から活断層までの距離	5 km	5 km	10 km	10 km
再来期間	3,000年	30,000年	3,000年	30,000年
発生する地震の規模	Mw 6.8	Mw 6.8	Mw 6.8	Mw 6.8



case (a)



case (b)

図 6.21—断層変位ハザード曲線のイメージ図<sup>(30)</sup>

### 6.9.3 地殻変動のハザード評価

#### a) 基本方針

- 1) 地殻変動のハザードは、断層変位ハザードのようなハザード曲線で評価する方法は現状で提案されていない。そこで、必要に応じ、個々の地震動・津波モデルに対して隆起・沈降、傾斜等を評価することが望ましい。
- 2) 地殻変動のハザード評価は、基本として、津波ハザード評価の波源モデルを参照として評価する。地震動・津波評価における基本事項は、以下の通りである。
  - 2.1) 地殻変動を津波評価の観点から捉えることの重要性としては、海域の震源断層による海底地形面の隆起・沈降に伴う海面の変形が初期水位分布となることから、両者の整合性の観点から断層モデルの設定が望ましい。
  - 2.2) 巨大地震による地震動評価と津波評価においては、広域な震源の地殻変動や断層変位は整合性を確保することが望ましい。そこで、その全貌を捉えるためには、地殻変動量等が直接的に影響する津波の情報を活用することが望ましい。

#### b) 地殻変動のハザード評価の留意事項及び課題

- 1) 地殻変動の計算では、半無限一様媒質を仮定して矩形断層モデルの諸元から変位等を計算する Mansinha and Smylie (1971)<sup>(31)</sup>、Okada (1985<sup>(32)</sup>、1992<sup>(33)</sup>) の式が一般に用いられている。Mansinha and Smylie (1971) では、地盤のポアソン比を 0.25 (Lam $\square$ の弾性定数  $\mu$  と  $\lambda$  が等しい) とする条件下で得られているのに対し、Okada (1985、1992)は、 $\lambda$ 、 $\mu$  が任意の場合の式を示していることに留意する。
- 2) 多層媒質に対して地殻変動を計算する方法とプログラムが Wang et al. (2003)<sup>(34)</sup> により示されており、2007 年新潟県中越沖地震の断層モデル設定などで用いられている。
- 3) 波源評価及び地殻変動量の評価精度を向上させるため、最近では解析手法として 3 次元 FEM 解析等が用いられていることに留意する。
- 4) 津波ハザード曲線の横軸 (計算水位) を表現する場合には、T.P. 基準 (地震前の海面基準) とするのではなく、地震後に隆起/沈降したサイト側の視点で実際に来襲する津波水位 (地殻変動量を考慮した津波水位) で表現する方がよいことに留意する。

6.10 複合ハザード評価及び地震随伴事象 PRA に用いる地震動ハザード

6.10.1 一般事項 複合ハザード評価及び地震随伴事象 PRA で用いる地震動ハザードについては、次の項目について、手順に従い実施する。

- ① 地震起因の津波ハザードとの重畳評価 (6.10.2 に記述)
- ② 地震随伴事象 PRA で脆弱性評価に用いる地震動ハザード (6.10.3 に記述)

複合ハザードの評価では、地震起因の津波との重畳ハザード評価を対象とする。①では周辺斜面、火災源、溢水源の脆弱性評価に用いる地震動ハザードを規定する。

6.10.2 地震起因の津波ハザードとの重畳評価

a) 地震と津波ハザードとの重畳評価の考え方 地震と津波ハザードとの重畳評価においては、地震動の影響と津波の影響を全く独立に扱うことはできないことから、両者を併せて評価する。その際、以下の点に留意する。

- 1) 震源特性によっては、地震動の影響はあるものの、津波の影響はない場合と、津波の影響はあるものの、地震動の影響はない場合がある。
- 2) 地震動の影響も津波の影響もある場合に、その地震による地震動と津波の重畳を考慮する。
- 3) 時間的には、最初に地震動があり、その後に津波が来襲する。このような観点からは、最初に地震動による影響を評価し、その結果に基づき、津波による影響を付け加えることが実際の現象に則している。
- 4) 現実的な評価としては、津波の影響がある地震は限られていることから、津波が来襲する前の地震動による影響がどの程度かを評価した上で、地震動と津波の重畳の評価を行うという考え方も成り立つ。
- 5) ハザード評価としては、地震動強さと津波高さの2次元での確率分布（結合確率）を評価する。
- 6) 結合確率は、津波高さを条件とした地震動強さの確率分布、若しくは地震動強さを条件とした津波高さの確率分布で表現することができる。
- 7) 結合確率は、同一地震に対する地震動強さと津波高さのばらつきに相関がないと仮定すれば、容易に求めることができる。【附属書 BE (参考) 参照】

b) 地震と津波ハザードとの重畳評価の手順 地震起因の津波ハザードとの重畳評価としては、次のような手順が提案されているので、これに従って行っても良い。【附属書 BE (参考) 参照】

- 1) 地震動ハザードは、解放基盤における地震動の大きさとその超過頻度の関係を表す曲線として求める (図 6.22 参照)。
- 2) 津波ハザードは、海岸地形の影響を受けないある深さの地点における津波(基準津波と呼ぶ)の水位とその超過頻度との関係を表す曲線として求める (図 6.22 参照)。
- 3) 地震動ハザードと津波ハザードを評価する地震はすべて共通とし、地震ごとに地震動の大きさと津波高さを中央値とばらつきを含めて評価する。ただし、地震動を評価する震源モデルと津波を評価する波源モデルは同一である必要はなく、通常は異なる。
- 4) 地震動と津波のばらつきに相関がないと仮定すれば、地震ごとに特定の地震動の大きさが生じる場合の津波高さの分布、若しくは特定の津波高さが生じる場合の地震動の大きさの分布が得られる。それらを、頻度を考慮して全地震に対して足し合わせれば、全体として特定の地震動の大きさが生じる場合の津波高さの分布、若しくは特定の津波高さが生じる場合の地震動の大きさの分布が得られる。
- 5) 上記の結果を用いて、特定の津波高さが生じる場合にその前に地震動によってどのような損傷となっているかを評価し、それらを考慮して津波による損傷が重なってどのように損傷するかを評価することができる。その手順を全部の津波高さに対して繰り返せば、全体として地震動と津波を重畳させた評価ができる。

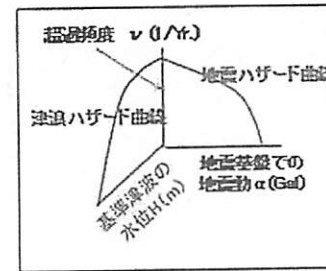


図 6.22—地震と津波の重畳を考慮したハザード評価の概念 (附 BE (1))

- c) 津波ハザード曲線を用いた津波水位レベル毎の津波時刻歴群作成の方法 津波ハザードは、図 6.22 に示すように横軸の津波水位と縦軸の年超過頻度との関係として求める。津波ハザードに対する構造物・機器のフラジリティ評価においては、横軸の津波水位のレベル毎に、波長、周期、位相特性などを考慮した津波時刻歴波形を求める。
- 1) 津波水位のレベル毎に波形を設定するためには、津波ハザードの再分解を行い、各レベルに貢献している波源を抽出し、発生域などに基づきグルーピングする。
  - 2) そして、貢献度を考慮してグルーピングされた波源による代表計算波形を選定する。
  - 3) 代表計算波形は一般には複数であるが、1 個に限定される場合もある。
  - 4) 津波ハザードではばらつきを考慮しているため、一般には、計算波形の津波水位は抽出に用いた津波水位とは一致しない。
  - 5) そのため、波源のすべり量等を調整し、目標水位に一致するように波源を変更する。
  - 6) 津波ハザードの評価位置は、水深がある程度大きい沖合としている。したがって、評価位置では非線形の影響が小さいことから、波源でのすべり量を  $a$  倍すれば、評価位置での水位もほぼ  $a$  倍になる。
  - 7) 津波水位のレベル毎に、上記のように調整した波源モデルを用いて津波計算を行うことにより、津波ハザードの評価位置での津波時刻歴波形群が得られるとともに、それぞれの構造物・機器のフラジリティ評価に用いる波形も同時に得られる。

以上が基本であるが、対象サイト周辺領域だけに計算領域を限定し、境界に入射波を入力する簡便な手法を用いる場合には、正弦波等を入力する方法を用いてもよい。ただし、正弦波の周期は上記のような検討に基づき設定する。また、簡便な手法の有効性を上記のような波源を含む計算結果と比較して検証することが望ましい。

### 6.10.3 地震随件事象 PRA に用いるフラジリティ評価用地震動ハザード

- a) 地震起因の周辺斜面崩壊による建屋・構造物・機器のフラジリティ評価用地震動ハザード 対象サイト周辺斜面は、地震動によって崩壊し、屋外構造物・機器や建屋の損傷に影響を及ぼす。これらのフラジリティ評価は、地震動ハザードの加速度・速度レベル毎に対応して評価されるので、6.6 で評価した地震動ハザードを用いる。【附属書 BF (参考) 参照】
- b) 地震起因の火災源のフラジリティ評価用地震動ハザード 建屋内外の構造物・機器（例えば、電気機器、変圧器内絶縁油、ケーブル等）は、地震動下において火災源となる。火災源の発火確率は、地震動で損傷する確率と、損傷した場合に発火するかどうかの条件付き確率を求め、両者を掛け合わせて求める。地震動による火災源のフラジリティは、地震動ハザードの加速度・速度レベル毎に対応して評価されるので、6.6 で評価した地震動ハザードを用いる。【附属書 BF (参考) 参照】
- c) 地震起因の内部溢水による構造物・機器のフラジリティ評価用地震動ハザード 地震起因の溢水源のフラジリティは、地震動ハザードの加速度・速度レベル毎に対応して評価されるので、6.6 で評価した地震動ハザードを用いる。

## 参考文献

- (1) 地震調査委員会長期評価部会：暫定版「活断層の長期評価手法」報告書，117，(2010)
- (2) 松田時彦 (1975)：活断層から発生する地震の規模と周期について。地震第2輯，28，269-283.
- (3) Murotani, S, S. Matsushima, T. Azuma, K. Irikura, S. Kitagawa, Scaling Relations of Earthquakes on Inland Active Mega-Fault Systems, AGU 2010 Fall Meeting, S51A-1911, 2010.12.
- (4) 原子力安全委員会：発電用原子炉施設の耐震安全性に関する安全審査の手引き，26，(2010.12.20)
- (5) 活断層研究会編 (1991)：「新編日本の活断層一分布図と資料一」。東京大学出版会，437p.
- (6) 中田 高・今泉俊文編 (2002)：「活断層詳細デジタルマップ」。東京大学出版会，DVD-ROM 2枚・60p
- (7) 国土地理院：都市圏活断層図，<http://www1.gsi.go.jp/geowww/bousai/menu.html>
- (8) 宇佐美龍夫 (2003)：最新版日本被害地震総覧 [416] -2001。東京大学出版会，605p.
- (9) 佐藤良輔編著 (1989)：日本の地震断層パラメーター・ハンドブック，鹿島出版会，390p.
- (10) 松田時彦 (1990)：最大地震規模による日本列島の地震分帯図。地震研究所彙報，65，289-319.
- (11) Wesnousky, S. G. (2006). Predicting the endpoints of earthquake ruptures, Nature 444, no. 16, 358-360.
- (12) 武村雅之 (1990)：日本列島及びその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係。地震2，43，257-265.
- (13) Somerville, P.G., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith, and A. Kowada (1999)：Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, Seismological Research Letters, 70, 59-80.
- (14) 入倉孝次郎・三宅弘恵，2001。シナリオ地震の強震動予測，地学雑誌，110，849-875.
- (15) 奥村俊彦・石川 裕 (1998)：活断層の活動度から推定される平均変位速度に関する検討，土木学会第53回年次学術講演会講演概要集，第I部 (B)，pp.554-555.
- (16) 島崎邦彦，震源断層より短い活断層の長期予測，日本活断層学会 2008 年度秋季学術大会予稿集 S-05，2008.11
- (17) 萩原尊禮編：日本列島の地震—地震工学と地体構造—，鹿島出版会，215p. 1991.
- (18) 垣見俊弘・松田時彦・相田 勇・衣笠善博 (2003)：日本列島と周辺海域の地震地体構造区分，地震2，55，389-406.
- (19) 塚田昌孝・隈元崇・後藤秀昭：“地震・活断層・地殻構造データを用いた多変量解析による定量的な地震地体構造区分の考案” 日本活断層学会 2010 年秋季大会.
- (20) 宇津徳治：日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表：1885～1980年。地震研彙報，57，1982年，pp.401-463.
- (21) 宇津徳治：日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表：1885～1980年(訂正と追加)，地震研究所彙報，60，1985年，p639-642.
- (22) 建設省土木研究所地震防災部振動研究室(1983)：前・余震の頻度および規模に関する調査，土研資料，第1995号.
- (23) Utsu, T. (1969): Aftershocks and earthquake statistics(I), J.Fac.Sci.,Hokkaido Univ., Ser.7, 2, 129-195.
- (24) Gutenberg, B. and C. F. Richter: Frequency of earthquakes in California, Bull. Seism. Soc. Am., 34, 185-188, 1944.
- (25) Riznichenko, Y. V.: The investigation of seismic activity by the method of earthquake summation, Izv. Acad. Sci., USSR, Geophys. Ser., 969-977, 1964.
- (26) Utsu, T. (1971): Aftershocks and earthquake statistics(III), J.Fac.Sci.,Hokkaido Univ., Ser.7, 3, 379-441.
- (27) Yoshida, Y., H. Ueno, D. Muto, and S. Aoki : Source process of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake with the combination of teleseismic and strong motion data, Earth Planets Space, Vol. 63 (No. 7), pp. 565-569, 2011
- (28) 司 宏俊・翠川三郎 (1999)：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式，日本建築学会構造系論文集，523，63-70.
- (29) Youngs, R. R., W. J. Arabasz, R. E. Anderson, A. R. Ramelli, J. P. Ake, D. B. Slemmons, J. P. McCalpin, D. I. Doser, C. J. Fridrich, F. H. Swan III, A. M. Rogers, J. C. Yount, L. W. Anderson, K. D. Smith, R. L. Bruhn, L. K. Knuepfer, R. B. Smith, C. M. dePolo, K.W.O'Leary, K. J. Coppersmith, S. K. Pezzopane, D. P. Schwartz, J. W. Whitney, S. S. Olig, and G. R. Toro (2003). A methodology for probabilistic fault displacement hazard analysis (PFDHA), Earthq. Spectra 19, 191-219.
- (30) 高尾誠，土山滋郎，安中正，栗田哲史：確率論的断層変位ハザード解析手法の日本における適用，日本地震工学会論文集，第13巻，第1号，17-36，2013.
- (31) Mansinha, L. and D. E. Smylie (1971). The displacement fields of inclined faults, Bull. Seism. Soc. Am. 61, 1433-1440.
- (32) Okada, Y. (1985). Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bull. Seism. Soc. Am. 75, 1135-1154.
- (33) Okada, Y., 1992. Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space. Bulletin of the Seismological Society of America 82, 1018-1040.
- (34) Wang, R., F. Lorenzo-Martin, and F. Roth (2003). Computation of deformation induced by earthquakes in a multi-layered elastic crust—FORTRAN programs EDGRN/EDCMP, Computers & Geosciences, 29, 195-207.
- (35) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会 長期評価部会，“(改訂試案) 長期的な地震発生確率の評価手法について”，平成11年1月13日

PRAの評価作業		必要な情報	PRAにおける主な情報源 (内的事象 PRA)	地震 PRA における 主な情報源の追加
4 事故シーケンス 評価	a) 事故シナリオの明確化と起因事象の分析及び設定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大規模地震時に想定されるプラント状態</li> <li>・安全系などのシステム使用条件</li> <li>・システムの現実的な性能</li> <li>・運転員による緩和操作</li> <li>・対象プラントに則した機器故障モード、運転形態など</li> <li>・評価結果の妥当性を確認する際に参考となる情報</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1)上記1の情報源</li> <li>2)成功基準に対するシステムの現実的性能評価報告書</li> <li>3)運転手順書(設備別操作手順書, 事故時操作手順書, サーベランス手順書)</li> <li>4)定期検査要領書</li> <li>5)運転員などの訓練プログラム</li> <li>6)先行 PRA 報告書及びそれに関する報告書</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国内外の震害事例</li> <li>・地震後の点検手順(地震後点検手順なども確認)</li> </ul>
	b) 事故シーケンスのモデル化 ・安全機能の設定 ・成功基準の設定 ・イベントツリーの作成			
	c) システムのモデル化			
	d) 事故シーケンスの定量化			
	e) 格納容器機能喪失シナリオの分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>・格納容器の隔離機能に関する情報</li> </ul>		

附属書 D.  
(参考)  
国内の震害事例

序文

この附属書は、国内で発生した地震による原子力発電所への影響の事例を示す。

D.1 国内で発生した地震による発電所への影響の事例

国内で発生した地震による発電所への影響として、次に挙げる地震に対し、施設に影響した地震規模、安全上重要な設備への影響（AM 設備への影響及び波及的影響を含む）、外部電源への影響及び復旧操作へのアクセス性の観点で事例を抽出した。

- － 宮城県沖地震（2005年8月）による女川原子力発電所に対する影響
- － 能登半島地震（2007年3月）による志賀原子力発電所に対する影響
- － 新潟県中越沖地震（2007年7月）による柏崎刈羽原子力発電所に対する影響
- － 駿河湾の地震（2009年8月）による浜岡原子力発電所に対する影響
- － 東北地方太平洋沖地震（2011年3月）による福島第一原子力発電所、福島第二原子力発電所、東通原子力発電所、女川原子力発電所、及び東海第二発電所に対する影響

上記の震害事例を調査した結果、一部の地震において、地震観測記録が発電所設計時に設定された基準地震動  $S_2$  若しくは耐震安全性評価で設定された基準地震動  $S_s$  を上回ることが確認されたが、安全上重要な設備に対する地震による直接的な異常は確認されなかった。また、波及的影響の可能性としては、点検及び仮置き中の重量物の移動又は連へいブロック崩れによる安全上重要な設備への接触、低耐震クラス配管の損傷による溢水、又は津波による浸水、並びに、電気盤火災による波及的影響が確認されている。

このように、震害事例から得られる結果を今後とも分析し、耐震安全性向上の対応策に適切に繋げていく取り組みが必要となる。

- a) 宮城県沖地震（2005年8月）による女川原子力発電所に対する影響 地震発生時に運転中であった1号機、2号機及び3号機は、地震に伴い自動停止。発電所敷地内で観測した地震データを解析した結果、一部の周期で発電所設計時に設定された基準地震動  $S_2$  を上回ることが確認されたが、耐震安全性の評価によって健全性が確保されていることが確認されており、安全上重要な設備に対する影響はなかった。

施設に影響した地震規模及び原子力発電所に対する影響について表 D.1 に示す。

- b) 能登半島地震（2007年3月）による志賀原子力発電所に対する影響 敷地地盤や1/2号機原子炉建屋において観測された地震記録を分析した結果、観測した地震動の応答スペクトルが基準地震動  $S_2$  を長周期側の一部の周期帯において超えている部分があったが、耐震安全性の評価によって健全性が確保されていることが確認されており、安全上重要な設備に対する影響はなかった。

施設に影響した地震規模及び原子力発電所に対する影響について表 D.2 に示す。

- c) 新潟県中越沖地震（2007年7月）による柏崎刈羽原子力発電所に対する影響 地震発

生時に運転中又は起動中であつた2号機、3号機、4号機及び7号機は、地震に伴い自動停止。(1号機、5号機及び6号機は定期検査のため停止中) 発電所敷地内で観測した地震データを解析した結果、耐震設計上考慮すべき地震による地震動の周期帯のほぼ全域にわたって発電所設計時に設定された基準地震動  $S_2$  を上回ることが確認され、機器によっては構造強度や機能維持に影響を与えられと考えられる異常が確認されているものの、重大な損傷をもたらしたのではなく、原子炉の安全性を阻害する可能性のない軽微な事象であつた。

安全上重要な設備への影響については、点検及び仮置き中であつた重量物の移動又は速へいブロック崩れによる安全上重要な設備への接触事例や、地震に伴う消火系配管の損傷による一部 AM 設備の浸水事例が確認されたものの、地震による直接的な異常は確認されなかつた。なお、3号機の所内変圧器のダクトの基礎が不等沈下したことによって火災が発生した。

施設に影響した地震規模及び原子力発電所に対する影響について表 D.3 に示す。

- d) 駿河湾の地震 (2009年8月) による浜岡原子力発電所に対する影響 地震発生時に運転中であつた4号機及び5号機は、地震に伴い自動停止。(3号機は定期検査のため停止中。1号機及び2号機は廃止措置準備中。) 発電所敷地内で観測した地震データを解析した結果、3号機及び4号機については、発電所設計時に設定された基準地震動  $S_2$  による床応答スペクトルを超えるものではなく、設備の健全性が確保されていることが確認されている。5号機については、観測された地震データによる床応答スペクトルが一部の周期帯において基準地震動  $S_1$  による床応答スペクトルを上回っていたが、主要な耐震設計上重要な機器及び配管の固有周期では下回っていたこと、また床応答スペクトルの一部が超えたことについては観測記録による地震応答解析結果によって全ての設備が弾性状態にあつたことから、設備の健全性が確保されていることが確認されている。以上のことから、安全上重要な設備に対する影響はなかつた。

施設に影響した地震規模及び原子力発電所に対する影響について表 D.4 に示す。

- e) 東北地方太平洋沖地震 (2011年3月) による原子力発電所に対する影響
- 1) 福島第一原子力発電所に対する影響 地震時、運転中であつた1号機、2号機、3号機は、地震に伴い自動停止 (4号機、5号機、6号機は定期検査中)。原子炉建屋及び原子炉建屋に設置されている安全上重要な設備 (原子炉格納容器、残留熱除去系配管など) について、地震観測記録及び基準地震動  $S_2$  それぞれによる応答解析を比較した結果、基準地震動による地震荷重より耐力の方が大きく、地震直後、各安全機能は保持されていたものと評価されている。
- しかし、1～5号機については、地震後の津波によって、非常用ディーゼル発電設備、電源設備などが被水、機能喪失したことで全交流電源喪失に至り、1～3号機については最終的に炉心損傷に至つた。5号機及び6号機については、原子炉に燃料が装荷されている状態で、1～3号機同様、津波による影響によって海水系が機能喪失に至つたものの、6号機の空冷式ディーゼル発電設備による電源確保 (5号機については、6号機から電源融通実施) を行うとともに、仮設海水系ポンプによる冷却機能確保な

どの復旧措置によって冷温停止状態への移行及び維持が図られた。

また、全燃料が使用済燃料プールへ取り出されていた4号機をはじめとする、各号機の使用済プール内燃料については、注水又は冷却によって使用済燃料プール水位を確保し、燃料損傷防止が図られた。

施設に影響した地震規模及び原子力発電所に対する影響について表 D.5 に示す。

- 2) 福島第二原子力発電所に対する影響 地震時、1～4号機は運転中であつたが、地震に伴い全号機自動停止。原子炉建屋及び原子炉建屋に設置されている安全上重要な設備 (原子炉格納容器、残留熱除去系配管など) について、地震観測記録及び基準地震動  $S_2$  それぞれによる応答解析を比較した結果、基準地震動  $S_2$  による地震荷重より耐力の方が大きく、地震後、各安全機能は保持されていたものと評価されている。
- 3号機を除く、1号機、2号機及び4号機については、地震後の津波によって、海水系設備が被水することでヒートシンク喪失に至つたものの、外部電源及び3号機非常用ディーゼル発電設備、電源車による電源確保、海水系ポンプの取り替えなどの復旧措置によって、冷却機能を確保することで、各号機とも冷温停止状態への移行、維持が図られた。

施設に影響した地震規模及び原子力発電所に対する影響について表 D.6 に示す。

- 3) 東通原子力発電所に対する影響 地震時において1号機は定期検査のため停止中。発電所敷地内で観測された地震加速度は17galであり、地震による設備への影響はなかつた。また、地震後に外部電源が全て喪失したが、非常用ディーゼル発電機が自動起動し全交流電源喪失には至らなかつた。

施設に影響した地震規模及び原子力発電所に対する影響について表 D.7 に示す。

- 4) 女川原子力発電所に対する影響 地震時に運転中又は起動中であつた1号機、2号機及び3号機は、地震に伴い自動停止。発電所敷地内で観測した地震データを解析した結果、観測された地震データによる床応答スペクトルが一部の周期帯において発電所設計用の基準地震動  $S_2$  による床応答スペクトルを上回っていたが、地震観測結果に基づく原子炉建屋及び耐震安全上重要な主要設備の地震時における機能を概略評価 (建屋については最大応答せん断ひずみ及び層せん断力、設備については影響構造強度評価及び動的機能維持評価) した結果、機能維持の評価基準を下回っていることが確認されている。今後は詳細なシミュレーション解析によって健全性を確認するとともに主要設備以外の耐震安全上重要な設備を含め設備の健全性を確認することとしている。

安全上重要な設備への影響については次のとおりである。1号機において常用系の高圧電源盤火災によって地絡した同期検定器の出力回路ケーブルから非常用母線と予備変圧器の連絡しゃ断器投入コイルに電圧が印加され、非常用母線電圧が瞬時低下したため、同母線から受電していた残留熱除去系ポンプ2台の自動停止が確認された。2号機において海水ポンプ室に流入した海水が地下トレンチを通じて原子炉建屋の一部に流入し、原子炉補機冷却水系の一系統及び高圧炉心スプレイ補機冷却水系の機能喪失が確認された。同冷却水系の喪失によって非常用ディーゼル発電機一系統及び

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機の自動停止が確認された。さらに、常用系の高圧電源盤火災の影響により、非常用ディーゼル発電機が起動していない状態でしゃ断器投入が発生し、非常用ディーゼル発電機界磁回路損傷が確認されたものの、地震による直接的な異常は確認されなかった。

施設に影響した地震規模及び原子力発電所に対する影響について表 D.8 に示す。

- 3) **東海第二発電所に対する影響** 地震時に運転中であった東海第二発電所は、地震に伴い自動停止。発電所敷地内で観測した地震データを解析した結果、観測された地震データによる原子炉建屋の最大応答加速度は、設計時に用いた最大応答加速度及び新耐震指針に基づく耐震安全性評価で設定した基準地震動  $S_s$  の最大応答加速度以下であった。また、観測された地震データによる原子炉建屋の床応答スペクトルが一部の周期帯において発電所設計時に用いた床応答スペクトルを上回っていたが、主要な周期帯で観測地震記録が下回っていることが確認されている。安全上重要な設備への影響については、津波対策工事が完了していなかった一部の海水ポンプ室に海水が浸水し、3 台ある非常用ディーゼル発電機用海水ポンプのうち 1 台が停止したこと、並びに、125V 蓄電池 2B 室のドレンファンネルからの逆流によって床面に 3cm の深さで溢水が確認されたものの、地震による直接的な異常は確認されなかった。
- 施設に影響した地震規模及び原子力発電所に対する影響について表 D.9 に示す。

表 D.1 2005 年 8 月に発生した宮城県沖地震による女川原子力発電所に対する影響

確認項目	確認結果
①施設に影響した地震規模（地震観測記録と基準地震動の関係）	<p>女川原子力発電所 1, 2, 3 号機は、定格熱出力運転中のところ平成17年8月16日に発生した宮城沖を震源とするマグニチュード7.2（震源深さ72km, 震央距離73km, 震源距離84km）の地震の影響によって、11時46分に1号機、2号機、3号機は地震加速度大信号によって原子炉自動停止した。なお、観測された保安確認用地震動は、最大で251.2ガルであった。</p> <p>1号機、2号機、3号機の原子炉建屋で観測された地震動から求めた加速度応答スペクトル（周期ごとの加速度の最大値）は、機器の設置されていない屋上を除き、全ての周期において基準地震動<math>S_2</math>による応答スペクトルを下回っていることを確認した。また、岩盤上で観測された地震データから上部地盤の影響を取り除いたデータを解析したところ、一部周期において基準地震動<math>S_2</math>を超えている部分があることを確認した。今回の地震で、一部の周期において基準地震動の応答スペクトルを超えることとなった要因分析及び評価を行った結果、これは、宮城県沖近海のプレート境界に発生する地震の地域的な特性によるものと考えられるとの結論が得られた。</p>
出典	<p>・(NUCIA) 2005-東北-M005 “8・16 宮城地震による女川原子力発電所全プラント停止について”  <a href="http://www.nucia.jp/nucia/kn/KnTroubleView.do?troubleId=9376">http://www.nucia.jp/nucia/kn/KnTroubleView.do?troubleId=9376</a>          ・総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会（第1回）          配付資料-配付資料  <a href="http://www.meti.go.jp/committee/materials/g60113bj.html">http://www.meti.go.jp/committee/materials/g60113bj.html</a>          ・総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会（第9回）          配付資料-配付資料  <a href="http://www.meti.go.jp/committee/materials/g70416aj.html">http://www.meti.go.jp/committee/materials/g70416aj.html</a></p>
②-1 安全上重要な設備への影響（波及影響も含む）	<p>無し          今回観測された地震データを用いて、安全上重要な設備（建屋及び機器）の耐震安全性の評価を実施し、耐震安全性が確保されていることを確認した。</p>
②-2 既存のAM設備への影響（波及影響も含む）	<p>無し</p>

確認項目	確認結果
③-1 外部電源への影響	無し
③-2 D/Gへの影響	無し
③-3 補機冷却系への影響	無し
③-4 電源融通の可能性	可能
③-5 復旧操作へのアクセス性	重大な影響無し。ただし、構内道路アスファルト亀裂、波うち及び段差が発生した。
出典 ・(NUCIA) 2005-東北-M005 “8・16宮城地震による女川原子力発電所全プラント停止について” <a href="http://www.nucja.jp/nucja/kn/KnTroubleView.do?troubleId=9376">http://www.nucja.jp/nucja/kn/KnTroubleView.do?troubleId=9376</a>	
④その他(安全機能には影響しないもの、留意しておく必要のある事項)	無し

表 D.2 2007年3月に発生した能登半島地震による志賀原子力発電所に対する影響

確認項目	確認結果
①施設に影響した地震規模(地震観測記録と基準地震動の関係)	<p>【志賀1, 2号機】</p> <p>敷地地盤や1/2号機原子炉建屋において観測された地震記録を分析した結果、観測した地震動の応答スペクトルが基準地震動<math>S_2</math>を長周期側の一部の周期帯において超えている部分があったが、この周期帯には、安全上重要な施設がないことを確認した。</p> <p>また、1/2号機の原子炉建屋で観測された地震記録に基づいて原子炉建屋及び同建屋内の安全上重要な機器について検討した結果、各施設とも弾性範囲内に十分収まっており、施設の健全性が十分確保されていることを確認した。</p> <p>タービン建屋内及び海水熱交換器建屋内の安全上重要な機器及び配管、並びに排気筒について、敷地地盤で観測された地震記録に基づいて検討した結果、各施設とも弾性範囲内に十分収まっており、施設の健全性が確保されていることを確認した。</p> <p>さらに、今回の地震において長周期側の一部の周期帯で基準地震動<math>S_2</math>を上回ったことから、長周期側で今回の地震動を上回る地震動(検討に用いた地震動)を想定し、長周期側の主要施設であるタービン建屋基礎版上の原子炉補機冷却水系配管及び排気筒の耐震安全性について確認した結果、耐震安全余裕を有していることを確認した。</p> <p>以上、安全上重要な施設や長周期側の主要施設に関する一連の耐震安全性確認結果から、能登半島地震を踏まえても耐震安全性は十分確保されていることが確認できたと考えられる。</p>
出典 ・能登半島地震を踏まえた志賀原子力発電所の耐震安全性確認に係る報告について <a href="http://www.rikuden.co.jp/press/attach/07041902.pdf">http://www.rikuden.co.jp/press/attach/07041902.pdf</a> ・能登半島地震を踏まえた志賀原子力発電所の耐震安全性確認に係る報告について(追加報告) <a href="http://www.rikuden.co.jp/press/attach/07060102.pdf">http://www.rikuden.co.jp/press/attach/07060102.pdf</a> ・能登半島地震を踏まえた志賀原子力発電所の耐震安全性確認に係る報告について <a href="http://www.rikuden.co.jp/press/attach/07082002.pdf">http://www.rikuden.co.jp/press/attach/07082002.pdf</a>	
②-1 安全上重要な設備への影響(波及影響も含)	【志賀1, 2号機】無し

確認項目	確認結果
む)	
②-2 既存のAM設備への影響（波及影響も含む）	【志賀1, 2号機】無し
③-1 外部電源への影響	【志賀1, 2号機】 供用中の3回線すべてが喪失し外部電源喪失となったが、事象発生後の6分後に復旧した。
③-2 D/Gへの影響	【志賀1, 2号機】無し
③-3 補機冷却系への影響	【志賀1, 2号機】無し
③-4 電源融通の可能性	【志賀1, 2号機】可能
③-5 復旧操作へのアクセス性	【志賀1, 2号機】影響無し
出典	<ul style="list-style-type: none"> <li>・能登半島地震を踏まえた志賀原子力発電所の耐震安全性確認に係る報告について <a href="http://www.rikuden.co.jp/press/attach/07082002.pdf">http://www.rikuden.co.jp/press/attach/07082002.pdf</a></li> <li>・(NUCIA) 2006-北陸-M007 Rev.1 “能登半島地震に伴う水銀灯の落下” <a href="http://www.nucia.jp/nucia/kn/KnTroubleView.do?troubleId=9461">http://www.nucia.jp/nucia/kn/KnTroubleView.do?troubleId=9461</a></li> <li>・(NUCIA) 2006-北陸-S007 Rev.1 “能登半島地震に伴う低圧タービン組み立て中のタービンロータの位置ずれ” <a href="http://www.nucia.jp/nucia/kn/KnTroubleView.do?troubleId=9462">http://www.nucia.jp/nucia/kn/KnTroubleView.do?troubleId=9462</a></li> <li>・(NUCIA) 2006-北陸-S006 Rev.1 “使用済燃料貯蔵プールからの水飛散について” <a href="http://www.nucia.jp/nucia/kn/KnTroubleView.do?troubleId=8754">http://www.nucia.jp/nucia/kn/KnTroubleView.do?troubleId=8754</a></li> </ul>
④その他（安全機能には影響しないもの、留意しておく必要のある事項）	<ul style="list-style-type: none"> <li>■水銀灯の落下 1号機タービン建屋運転階の水銀灯が7個、また2号機原子炉建屋運転階の水銀灯が2個落下した。 また、2号機で落下した水銀灯の破片は、約97%を運転階床上から回収したが、残りの破片については使用済燃料貯蔵プールなどへ落下した可能性があったため、これらの箇所での点検及び清掃を行った。</li> <li>■2号機低圧タービン組み立て中のタービンロータの位置ずれ 組み立て中の低圧タービンロータを仮止めしていた治具が変形し、わずかな位置ずれが生じた。低圧タービンを開放し点検を実施したところ、動翼に微小な接触痕が複数確認された。</li> </ul>

確認項目	確認結果
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■1号機使用済燃料貯蔵プールからの水飛散 使用済燃料貯蔵プールの水約45リットル（放射エネルギー約750万ベクレル）が使用済燃料貯蔵プール周辺に飛散した。そのうち、養生シート外には約8リットル（放射エネルギー約130万ベクレル）の水が飛散した。 飛散した水については速やかに拭き取った。外部への放射能の影響はなし。</li> </ul>

表 D.3 2007年7月に発生した中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所に対する影響

確認項目	確認結果																																																																						
①施設に影響した地震規模（地震観測記録と基準地震動の関係）	<p>【柏崎刈羽1～7号機】</p> <p>新潟県中越沖においてマグニチュード6.8の地震が発生、震央距離16km、震源距離23kmに位置している柏崎刈羽においては、全号機（1～7号機）にて基準地震動を超える加速度を確認、原子炉建屋基礎版上での最大加速度のものは、1号機での680gal（設計時の最大加速度応答値273gal）であった。各号機で原子炉建屋基礎版上での最大加速度（観測値、設計時応答値）は下表の通り。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">観測値</th> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">南北</th> <th colspan="2">東西</th> <th colspan="2">上下</th> </tr> <tr> <th>観測</th> <th>設計</th> <th>観測</th> <th>設計</th> <th>観測</th> <th>設計*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1号機</td> <td>最下階</td> <td>311</td> <td>274</td> <td>680</td> <td>273</td> <td>408</td> <td>(235)</td> </tr> <tr> <td>2号機</td> <td>最下階</td> <td>304</td> <td>167</td> <td>606</td> <td>167</td> <td>282</td> <td>(235)</td> </tr> <tr> <td>3号機</td> <td>最下階</td> <td>308</td> <td>192</td> <td>384</td> <td>193</td> <td>311</td> <td>(235)</td> </tr> <tr> <td>4号機</td> <td>最下階</td> <td>310</td> <td>193</td> <td>492</td> <td>194</td> <td>337</td> <td>(235)</td> </tr> <tr> <td>5号機</td> <td>最下階</td> <td>277</td> <td>249</td> <td>442</td> <td>254</td> <td>205</td> <td>(235)</td> </tr> <tr> <td>6号機</td> <td>最下階</td> <td>271</td> <td>263</td> <td>322</td> <td>263</td> <td>488</td> <td>(235)</td> </tr> <tr> <td>7号機</td> <td>最下階</td> <td>267</td> <td>263</td> <td>356</td> <td>263</td> <td>355</td> <td>(235)</td> </tr> </tbody> </table> <p>*上下方向については、（ ）内の値を静的設計で使用</p> <p>1～7号機で観測された地震観測記録に基づき、設計時の解放基盤表面と原子炉建屋基礎版上の関係を参照し、解放基盤表面における地震動を推定したところ、基準地震動S<sub>2</sub>（450gal）に対して1～4号機で約2.3～3.8倍、5～7号機で1.2～1.7倍の結果であった。</p> <p>設備点検の結果、地震の影響による構造強度や機能維持に影響を与えると考えられる異常が確認されているが、機器の重大な損傷をもたらしたのではなく、原子炉の安全性を阻害する可能性のない軽微な事象であった。</p> <p>安全上重要な設備については、1号機において異常が数例確認されているが、点検、仮置き中だったために転倒、損傷に至ったこと、地震に伴う消火系配管の建屋接続部の損傷に伴う浸水によって機能喪失に至ったことが原因であり、地震による直接的な異常は確認されていない。</p>	観測値		南北		東西		上下		観測	設計	観測	設計	観測	設計*	1号機	最下階	311	274	680	273	408	(235)	2号機	最下階	304	167	606	167	282	(235)	3号機	最下階	308	192	384	193	311	(235)	4号機	最下階	310	193	492	194	337	(235)	5号機	最下階	277	249	442	254	205	(235)	6号機	最下階	271	263	322	263	488	(235)	7号機	最下階	267	263	356	263	355	(235)
観測値				南北		東西		上下																																																															
		観測	設計	観測	設計	観測	設計*																																																																
1号機	最下階	311	274	680	273	408	(235)																																																																
2号機	最下階	304	167	606	167	282	(235)																																																																
3号機	最下階	308	192	384	193	311	(235)																																																																
4号機	最下階	310	193	492	194	337	(235)																																																																
5号機	最下階	277	249	442	254	205	(235)																																																																
6号機	最下階	271	263	322	263	488	(235)																																																																
7号機	最下階	267	263	356	263	355	(235)																																																																
出典	<p>・柏崎刈羽原子力発電所1, 5, 6, 7号機 新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価報告書</p> <p><a href="http://www.tepco.co.jp/cc/press/10031901-j.html">http://www.tepco.co.jp/cc/press/10031901-j.html</a></p>																																																																						

確認項目	確認結果
	<p><a href="http://www.tepco.co.jp/cc/press/10060903-j.html">http://www.tepco.co.jp/cc/press/10060903-j.html</a></p> <p><a href="http://www.tepco.co.jp/cc/press/09062301-j.html">http://www.tepco.co.jp/cc/press/09062301-j.html</a></p> <p><a href="http://www.tepco.co.jp/cc/press/09021202-j.html">http://www.tepco.co.jp/cc/press/09021202-j.html</a></p>
②-1安全上重要な設備への影響（波及影響も含む）	【柏崎刈羽1～7号機】 無し
②-2既存のAM設備への影響（波及影響も含む）	【柏崎刈羽1～7号機】 無し
③-1外部電源への影響	【柏崎刈羽1～7号機】 4回線中、2回線が機能喪失
③-2D/Gへの影響	【柏崎刈羽1～7号機】 無し
③-3補機冷却系への影響	【柏崎刈羽1～7号機】 無し
③-4電源融通の可能性	【柏崎刈羽1～7号機】 無し
③-5復旧操作へのアクセス性	・土捨て場北側斜面の一部が崩落。（復旧操作のためのアクセス性への影響無し。）
出典	<p>・(NUCIA) 2007-東京-M033 “新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所で発生した不適合事象（Bグレード以上80件）について”</p> <p><a href="http://www.nuciac.jp/nucia/kn/KnTroubleView.do?troubleId=10066">http://www.nuciac.jp/nucia/kn/KnTroubleView.do?troubleId=10066</a></p>
④その他（安全機能には影響しないもの、留意しておく必要のある事項）	<p>■3号機</p> <p>原子炉建屋地下2階にあるSLC系注入ライン配管（格納容器外側貫通部）の近傍に置いてあったISI用RPV模擬ノズルが地震によって移動し、配管の板金保温材に衝突したと思われるへこみを確認。配管及びサポートには損傷は無かったものの、安全上重要な設備に影響が及ぶ可能性があったことを踏まえ、室内にて床に固定されていない重量物を固定及び固縛する対策を講じた。</p> <p>なお、所内変圧器のダクトの基礎が不等沈下したことによって火災が発生した。</p> <p>■1号機</p> <p>不等沈下によって消火配管が破断し、漏水及び消火系の機能喪失に至ったものと推定。</p> <p>地震による建屋周辺の地盤沈下などのため、消火系配管が</p>

確認項目	確認結果
	<p>破断（消火系の機能喪失）。</p> <p>さらに、原子炉複合建屋とモニタ建屋（屋外）間のトレンチの沈下によって生じた接続部の隙間及びトレンチ本体のひび割れ損傷部を通じ、消火系から漏れた水が原子炉複合建屋内に流入。</p> <p>その結果、機能要求は無かったものの主蒸気放射線モニタ検出器が浸水によって損傷するとともに、復水補給水ポンプ（AM設備）についても浸水による被害を受けた。</p>

表 D.4 2009 年 8 月に発生した駿河湾の地震による浜岡原子力発電所に対する影響

確認項目	確認結果
①施設に影響した地震規模（地震観測記録と基準地震動の関係）	<p>【浜岡 3, 4 号機】</p> <p>地震観測記録と基準地震動<math>S_1</math>による応答を比較した結果、地震観測記録は基準地震動<math>S_1</math>による応答を十分下回っており、地震時に耐震設計上重要な設備が弾性状態にあったことから、設備の健全性が確保されていることを確認した。</p> <p>【浜岡 5 号機】</p> <p>耐震設計上重要な設備について、地震観測記録と基準地震動<math>S_1</math>による応答を比較し、原子炉建屋の一部の階において地震観測記録における最大加速度が基準地震動<math>S_1</math>による最大応答加速度をわずかに上回っている以外は、地震観測記録における最大加速度が基準地震動<math>S_1</math>による最大応答加速度を下回っていることを確認した。</p> <p>原子炉建屋の地震観測記録の床応答スペクトルは、一部の周期帯において基準地震動<math>S_1</math>の床応答スペクトルを上回っているが、主な耐震設計上重要な機器及び配管系の固有周期では下回っており、地震時に弾性状態にあったことから、これらの機器及び配管系の健全性が確保されていることを確認した。</p> <p>5 号機については、主要な設備は弾性状態にあり、健全性は確保されていることを確認していたが、一部の観測記録で基準地震動<math>S_1</math>による応答加速度を超えたことから、地震観測記録を入力とした地震応答解析を行い、設備の健全性評価の結果は、全ての設備が弾性状態にあったことから、設備の健全性が確保されていることを確認した。</p>
出典	<p>・地震発生後の浜岡原子力発電所の状況について（続報） 建屋地震観測装置で計測した最大地震加速度記録 <a href="http://www.chuden.co.jp/corporate/publicity/pub_release/press/_icsFiles/afiedfile/2009/08/12/1_shiryoul.pdf">http://www.chuden.co.jp/corporate/publicity/pub_release/press/_icsFiles/afiedfile/2009/08/12/1_shiryoul.pdf</a></p> <p>・浜岡原子力発電所における地震観測記録による設備健全性評価結果の報告について 浜岡原子力発電所 3～5 号機 地震観測記録による設備健全性評価結果の概要 <a href="http://www.chuden.co.jp/corporate/publicity/pub_release/press/_icsFiles/afiedfile/2009/08/21/0811hamaoka3.pdf">http://www.chuden.co.jp/corporate/publicity/pub_release/press/_icsFiles/afiedfile/2009/08/21/0811hamaoka3.pdf</a></p> <p><a href="http://www.chuden.co.jp/corporate/publicity/pub_release/press/_icsFiles/afiedfile/2009/08/21/0811hamaoka4.pdf">http://www.chuden.co.jp/corporate/publicity/pub_release/press/_icsFiles/afiedfile/2009/08/21/0811hamaoka4.pdf</a></p>

確認項目	確認結果
<a href="http://www.chuden.co.jp/corporate/publicity/pub_release/press/_icsFiles/afidfile/2009/08/21/1_0811hamaoka5.pdf">http://www.chuden.co.jp/corporate/publicity/pub_release/press/_icsFiles/afidfile/2009/08/21/1_0811hamaoka5.pdf</a> ・浜岡原子力発電所5号機の8月11日に発生した地震における地震応答解析による設備健全性評価結果の報告 <a href="http://www.chuden.co.jp/corporate/publicity/pub_release/press/_icsFiles/afidfile/2009/10/02/211002_3.pdf">http://www.chuden.co.jp/corporate/publicity/pub_release/press/_icsFiles/afidfile/2009/10/02/211002_3.pdf</a> 浜岡原子力発電所5号機 駿河湾の地震における地震応答解析による設備健全性評価結果の概要	
②-1 安全上重要な設備への影響（波及影響も含む）	【浜岡3～5号機】無し
②-2 既存のAM設備への影響（波及影響も含む）	【浜岡3～5号機】無し
③-1 外部電源への影響	【浜岡3～5号機】 3, 4号機: 3ルート6回線すべてが健全 5号機: 2ルート4回線すべてが健全
③-2 D/Gへの影響	【浜岡3～5号機】無し
③-3 補機冷却系への影響	【浜岡3～5号機】無し
③-4 電源融通の可能性	【浜岡3～5号機】可能
③-5 復旧操作へのアクセス性	【浜岡5号機】 タービン建屋の東側屋外エリアの地盤沈下（15m×15m, 10cm程度）を確認した。
出典 ・発電所の運営に関するピックアップ情報 駿河湾の地震における浜岡原子力発電所の状況について <a href="http://www.chuden.co.jp/resource/energy/jishin_suruga_211020jisinjoukyou3u.pdf">http://www.chuden.co.jp/resource/energy/jishin_suruga_211020jisinjoukyou3u.pdf</a> <a href="http://www.chuden.co.jp/resource/energy/jishin_suruga_211020jisinjoukyou4u.pdf">http://www.chuden.co.jp/resource/energy/jishin_suruga_211020jisinjoukyou4u.pdf</a> <a href="http://www.chuden.co.jp/resource/energy/jishin_suruga_211228jisinjoukyou5u.pdf">http://www.chuden.co.jp/resource/energy/jishin_suruga_211228jisinjoukyou5u.pdf</a> ・(NUCIA) 2009-中部-S007 “【駿河湾の地震】駿河湾の地震により発生した浜岡原子力発電所における不適合事象等について” <a href="http://www.nuciac.jp/nucia/kn/KnTroubleView.do?troubleId=10749">http://www.nuciac.jp/nucia/kn/KnTroubleView.do?troubleId=10749</a> ・(NUCIA) 2009-中部-M020 “【駿河湾の地震】主タービンスラスト軸受摩耗トリップ警報点灯及びタービン開放点検の結果” <a href="http://www.nuciac.jp/nucia/kn/KnTroubleView.do?troubleId=10746">http://www.nuciac.jp/nucia/kn/KnTroubleView.do?troubleId=10746</a>	
④その他（安全機能には影	■5号機“補助変圧器過電流トリップ”（常用系）：地震の振

確認項目	確認結果
響しないもの、留意しておく必要のある事項)	動でトリップ接点の接触による保護継電器の誤動作（リレーチャタ発生）⇒より強い耐震性を有する保護継電器への取替を検討した結果、水平3G、上下1G程度の実力のある保護継電器に取替。 ■5号機制御棒駆動機構モータ制御ユニットの故障警報点灯：5号機“補助変圧器過電流トリップ”（常用系）との従属性。 ■原子炉建屋管理区域区分の変更、原子炉建屋5階（放射線管理区域内）燃料交換エリア換気放射線モニタ指示の一時的な上昇：地震の揺れによって、燃料集集体表面の放射性物質を含んだ鉄錆びなどが、プール水に遊離し、プール表面からの放射線線量率が上昇したものと推定。 ■主タービンスラスト軸受摩耗トリップ警報点灯及びタービン開放点検：各種接触痕、変形、ネジ損傷などが見られた。

表 D.5 2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震による  
福島第一原子力発電所に対する影響

調査項目	調査結果																																																							
①施設に影響した地震規模（地震観測記録と基準地震動の関係）	<p>【福島第一～6号機】</p> <p>平成23年3月11日、東北地方太平洋沖地震が発生、福島第一原子力発電所1～6号機の原子炉建屋基礎版上において観測された最大加速度と基準地震動Ssから求めた基礎版上の最大応答加速度を比較した結果、2、3、5号機の東西方向の観測記録が、基準地震動Ssによる最大応答加速度を上回っていた。各号機で原子炉建屋基礎版上での最大加速度（観測値、設計時応答値）は下表の通り。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">観測値</th> <th colspan="2">南北</th> <th colspan="2">東西</th> <th colspan="2">上下</th> </tr> <tr> <th>観測</th> <th>設計</th> <th>観測</th> <th>設計</th> <th>観測</th> <th>設計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1号機</td> <td>460※</td> <td>487</td> <td>447</td> <td>489</td> <td>258</td> <td>412</td> </tr> <tr> <td>2号機</td> <td>348※</td> <td>441</td> <td>550</td> <td>438</td> <td>302</td> <td>420</td> </tr> <tr> <td>3号機</td> <td>322※</td> <td>449</td> <td>507</td> <td>441</td> <td>231</td> <td>429</td> </tr> <tr> <td>4号機</td> <td>281※</td> <td>447</td> <td>319</td> <td>445</td> <td>200</td> <td>422</td> </tr> <tr> <td>5号機</td> <td>311※</td> <td>452</td> <td>548</td> <td>452</td> <td>258</td> <td>427</td> </tr> <tr> <td>6号機</td> <td>288※</td> <td>445</td> <td>444</td> <td>448</td> <td>244</td> <td>415</td> </tr> </tbody> </table> <p>※記録開始から130～150秒程度で記録は中断</p> <p>原子炉建屋及び原子炉建屋に設置される安全上重要な機能及び配管系（主蒸気系配管、原子炉格納容器、残留熱除去系配管、炉心支持構造物及び制御棒（挿入性）など）に加え、1号機については非常用復水器系配管、原子炉再循環系配管などについて、地震観測記録を用いた応答解析と基準地震動を用いた応答解析で得られた地震荷重を比較した結果、ほとんどの機器及び配管系において基準地震動Ssによる地震荷重の方が大きく、それらについては地震直後に安全機能は保持可能な状態であったと評価されている。</p> <p>一部、地震観測記録を用いた応答解析による地震荷重の方が大きかった機器及び配管系についても、適切な応答値を評価するため実物の構造を考慮するなどの解析モデルの見直しを行った結果、基準地震動を用いた応答解析による地震荷重の方が大きく評価された。加えて、現場確認が可能な5号機については、目視によって、可能な範囲で損傷の有無など、現場状況の確認を実施し、主要な弁、ポンプなどの機器及びその周辺の配管などに有意な損傷などは認められなかったことから、地震時及び地震直後においても安全機能を保持可能な状態にあったものと評価されている。</p>	観測値	南北		東西		上下		観測	設計	観測	設計	観測	設計	1号機	460※	487	447	489	258	412	2号機	348※	441	550	438	302	420	3号機	322※	449	507	441	231	429	4号機	281※	447	319	445	200	422	5号機	311※	452	548	452	258	427	6号機	288※	445	444	448	244	415
観測値	南北		東西		上下																																																			
	観測	設計	観測	設計	観測	設計																																																		
1号機	460※	487	447	489	258	412																																																		
2号機	348※	441	550	438	302	420																																																		
3号機	322※	449	507	441	231	429																																																		
4号機	281※	447	319	445	200	422																																																		
5号機	311※	452	548	452	258	427																																																		
6号機	288※	445	444	448	244	415																																																		

調査項目	調査結果
出典	<p>・“平成23年東北地方太平洋沖地震による福島第一及び福島第二原子力発電所の原子炉建屋等への影響・評価について～中間取りまとめ～（平成24年2月16日 経済産業省 原子力安全・保安院）” <a href="http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/backcheck/files/240913-4.pdf">http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/backcheck/files/240913-4.pdf</a></p> <p>・“平成23年東北地方太平洋沖地震による福島第一及び福島第二原子力発電所の原子炉建屋等への影響・評価について～追補版～（平成24年9月13日 経済産業省 原子力安全・保安院）” <a href="http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/backcheck/files/240913-6.pdf">http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/backcheck/files/240913-6.pdf</a></p>
②-1 安全上重要な設備への影響（波及影響も含む）	【福島第一～6号機】 無し（推定）
②-2 既存のAM設備への影響（波及影響も含む）	【福島第一～6号機】 不明（消火系配管に損傷が確認されているが、津波（漂流物含む）による影響と考えられる。）
③-1 外部電源への影響	【福島第一～6号機】 全6回線中、5回線機能喪失 ※1回線は、工事のため受電停止中
③-2 D/Gへの影響	【福島第一～6号機】 影響無し（津波によって喪失。ただし、一部空冷式D/Gについては、津波襲来後も機能維持）
③-3 補機冷却系への影響	【福島第一～6号機】 影響無し（津波によって喪失）
③-4 電源融通の可能性	【福島第一～6号機】 ・影響無し（津波によって喪失） ・5-6号機間については、仮設ケーブル敷設によって電源融通実施
③-5 復旧操作へのアクセス性	・道路に割れ、段差など有り。 ・防災道路ではないが斜面崩落による道路閉鎖箇所有り。
出典	<p>・“福島原子力事故報告書 平成24年6月20日” <a href="http://www.tepco.co.jp/cc/press/2012/1205628_1834.html">http://www.tepco.co.jp/cc/press/2012/1205628_1834.html</a></p>
④その他（安全機能には影響しないもの、留意しておく必要がある事項）	【福島第一～6号機】 詳細確認不可

表 D.6 2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震による  
福島第二原子力発電所に対する影響

調査項目	調査結果																																									
①施設に影響した地震規模（地震観測記録と基準地震動の関係）	<p>【福島第二1～4号機】</p> <p>平成23年3月11日、東北地方太平洋沖地震が発生、福島第二原子力発電所1～4号機の原子炉建屋基礎版上において観測された最大加速度と基準地震動Ssから求めた原子炉建屋基礎版上の最大応答加速度は下表の通り。全号機、原子炉基礎版上（最地下階）で得られた最大加速度は、基準地震動Ssに対する最大応答加速度を下回っていることが確認されている。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">観測値</th> <th colspan="2">南北</th> <th colspan="2">東西</th> <th colspan="2">上下</th> </tr> <tr> <th>観測</th> <th>設計</th> <th>観測</th> <th>設計</th> <th>観測</th> <th>設計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1号機</td> <td>254</td> <td>434</td> <td>230※</td> <td>434</td> <td>305※</td> <td>512</td> </tr> <tr> <td>2号機</td> <td>243</td> <td>428</td> <td>196※</td> <td>429</td> <td>232※</td> <td>504</td> </tr> <tr> <td>3号機</td> <td>277※</td> <td>428</td> <td>216※</td> <td>430</td> <td>208※</td> <td>504</td> </tr> <tr> <td>4号機</td> <td>210※</td> <td>415</td> <td>205※</td> <td>415</td> <td>288※</td> <td>504</td> </tr> </tbody> </table> <p>※記録開始から130～150秒程度で記録は中断</p> <p>原子炉建屋及び原子炉建屋に設置される安全上重要な機能及び配管系（主蒸気系配管、原子炉格納容器、残留熱除去系配管、炉心支持構造物及び制御棒（挿入性）など）について地震観測記録を用いた応答解析と基準地震動Ssを用いた応答解析で得られた地震荷重を比較した結果、一部の機器及び配管系を除き基準地震動Ssによる地震荷重の方が大きく、それらについては地震後に安全機能は保持可能な状態であったと評価されている。一部、地震観測記録を用いた応答解析による地震荷重の方が大きかった機器及び配管系についても、適切な応答値を評価するため実物の構造を考慮するなどの解析モデルの見直しを行った結果、基準地震動を用いた応答解析による地震荷重の方が大きいことが確認されており、地震後に安全機能は保持可能な状態であったと評価されている。</p>	観測値	南北		東西		上下		観測	設計	観測	設計	観測	設計	1号機	254	434	230※	434	305※	512	2号機	243	428	196※	429	232※	504	3号機	277※	428	216※	430	208※	504	4号機	210※	415	205※	415	288※	504
観測値	南北		東西		上下																																					
	観測	設計	観測	設計	観測	設計																																				
1号機	254	434	230※	434	305※	512																																				
2号機	243	428	196※	429	232※	504																																				
3号機	277※	428	216※	430	208※	504																																				
4号機	210※	415	205※	415	288※	504																																				
出典	<p>・“平成23年東北地方太平洋沖地震による福島第一及び福島第二原子力発電所の原子炉建屋等への影響・評価について ～中間取りまとめ～（平成24年2月16日 経済産業省 原子力安全・保安院）”</p> <p><a href="http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/backcheck/files/240913-4.pdf">http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/backcheck/files/240913-4.pdf</a></p> <p>・“平成23年東北地方太平洋沖地震による福島第一及び福島第二原子力発電所の原子炉建屋等への影響・評価について ～追補版～（平成24年9月13日 経済産業省 原子力安全・保安院）”</p>																																									

調査項目	調査結果
<a href="http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/backcheck/files/240913-6.pdf">http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/backcheck/files/240913-6.pdf</a>	
②-1安全上重要な設備への影響（波及影響も含む）	【福島第二1～4号機】 無し
②-2既存のAM設備への影響（波及影響も含む）	【福島第二1～4号機】 影響なし（消火系配管に損傷が確認されているが、津波（漂流物含む）による影響と考えられる。）
③-1外部電源への影響	【福島第二1～4号機】 4回線中、1回線機能停止 ※1回線は停止点検中。さらに1回線は、避雷器の損傷が確認されたため、被害拡大防止を目的として受電停止の上、復旧作業を実施。
③-2D/Gへの影響	【福島第二1～4号機】 影響無し（3号機を除き、津波によって機能喪失）
③-3補機冷却系への影響	【福島第二1～4号機】 影響無し（3号機を除き、津波によって機能喪失）
③-4電源融通の可能性	【福島第二1～4号機】 影響無し（津波によって喪失）
③-5復旧操作へのアクセス性	・道路に割れ、段差など生じるも影響無し。
出典	<p>・“福島原子力事故報告書 平成24年6月20日”</p> <p><a href="http://www.tepco.co.jp/cc/press/2012/1205628_1834.html">http://www.tepco.co.jp/cc/press/2012/1205628_1834.html</a></p>
④その他（安全機能には影響しないもの、留意しておく必要のある事項）	【福島第二1～4号機】 特に影響無し

表 D.7 2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震による  
東通原子力発電所に対する影響

確認項目	確認結果
①施設に影響した地震規模（地震観測記録と基準地震動の関係）	発電所において観測した地震加速度は17ガルであり、設備への影響はなかった。
出典	・東日本大震災後の当社の状況 平成 24 年 2 月 29 日東北電力株式会社 <a href="http://www.tohoku-epco.co.jp/ICSFiles/afiedfile/2012/02/29/12022904_skt.pdf">http://www.tohoku-epco.co.jp/ICSFiles/afiedfile/2012/02/29/12022904_skt.pdf</a>
②-1 安全上重要な設備への影響（波及影響も含む）	無し
②-2 既存のAM設備への影響（波及影響も含む）	無し
③-1 外部電源への影響	むつ幹線（2 回線）、東北白糠線の停止に伴い、外部電源が喪失した。 同日 23 時 59 分に東北白糠線が復旧した。
③-2 D/Gへの影響	外部電源喪失に伴い、非常用ディーゼル発電機が自動起動した。
③-3 補機冷却系への影響	無し
③-4 電源融通の可能性	可能
③-5 復旧操作へのアクセス性	無し
出典	・(NUCIA) 2010-東北-M012 Rev.3 “【東日本大震災関連】東北地方太平洋沖地震による外部電源喪失に伴う運転上の制限逸脱他” <a href="http://www.nucia.jp/nucia/ku/KuTroubleVjvw.do?troubleId=11403">http://www.nucia.jp/nucia/ku/KuTroubleVjvw.do?troubleId=11403</a>
④その他（安全機能には影響しないもの、留意しておく必要のある事項）	■8台あるモニタリングポストのうち4台がバッテリー切れによって停止した。

表 D.8 2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震による  
女川原子力発電所に対する影響

確認項目	確認結果						
①施設に影響した地震規模（地震観測記録と基準地震動の関係）	女川原子力発電所は、1号機及び3号機が定格熱出力一定運転中、また、2号機が原子炉起動中のところ、3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震によって全号機において原子炉が自動停止した。観測された地震加速度は567.5ガル（保安確認用地震計：1号機原子炉建屋地下2階）であり、全号機とも、原子炉保護系が設計どおり作動したことによって自動停止した。 最大応答加速度について基準地震動と観測記録の関係は次の通り。						
原子炉建屋の最大加速度値							
観測位置	観測記録	基準地震動Ssに対する最大応答加速度値(ガル)					
	最大加速度値(ガル)						
	NS方向	EW方向	UD方向	NS方向	EW方向	UD方向	
1号機	屋上	2000 <sup>※1</sup>	1636	1389	2202	2200	1388
	燃料取扱床(5階)	1303	996	1183	1281	1443	1061
	1階	573	574	510	660	717	527
	基礎版上	540	587	439	532	529	451
2号機	屋上	1755	1617	1093	3023	2634	1091
	燃料取扱床(3階)	1270	830	743	1220	1110	968
	1階	605	569	330	724	658	768
	基礎版上	607	461	389	594	572	490
3号機	屋上	1868	1578	1004	2258	2342	1064
	燃料取扱床(3階)	956	917	888	1201	1200	938
	1階	657	692	547	792	872	777
	基礎版上	573	458	321	512	497	476
<small>※1 当該地震計の最大設定値(2000ガル)を上回っているため参考値 ※2 縦横は基準地震動Ssに対する最大応答加速度値を指していることを示す</small>							
出典	・平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震及びそれに伴い発生した津波による原子力発電所における被害状況について（東北電力(株)女川原子力発電所）平成 23 年 9 月 29 日原子力安全・保安院 <a href="http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/shingikai/800/25/001/1-3-2.pdf">http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/shingikai/800/25/001/1-3-2.pdf</a> ・平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による原子力発電所への影響検討について（建築物・構造、機器・配管系の地震応答解析結果）（東北電力(株)女川原子力発電所）平成 23 年 9 月 29 日原子力安全・保安院 <a href="http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/shingikai/800/25/001/1-4-2.pdf">http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/shingikai/800/25/001/1-4-2.pdf</a>						
②-1 安全上重要な設備への影響（波及影響も含む）	【女川1号】 ●タービン建屋地下1階高圧電源盤火災						

確認項目	確認結果
む)	タービン建屋地下1階において高圧電源盤6-1Aからの発煙が発生した。また、高圧電源盤6-1Aの火災の影響によって、S/P水冷却のために手動起動したRHRポンプ(A)及び(C)号機が自動停止した。
②-2 既存の AM 設備への影響 (波及影響も含む)	無し
③-1 外部電源への影響	5回線中4回線が機能喪失 女川原子力発電所には、外部電源として5回線(牡鹿幹線1, 2号線(275kV系), 松島幹線1, 2号線(275kV系), 塚浜支線(66kV系)が接続されている。地震直後は、当社管内の送電線事故に伴う系統保護回路の動作によって、松島幹線2号1回線のみとなったが、3月12日20時12分に牡鹿幹線1号, 同日20時15分に牡鹿幹線2号, 3月17日10時47分に松島幹線1号, 3月26日15時41分に塚浜支線がそれぞれ復旧している。 【牡鹿1, 2号線避雷器の損傷】 地震の揺れによると思われる影響によって、避雷器内部に部分放電が発生した。(地震に伴う牡鹿幹線1, 2号線停止の原因は、避雷器の損傷によるものと考えられる。)
③-2 D/Gへの影響	【女川1号】 ●非常用DG(A)界磁回路の損傷 DG(A)の同期検定器が動作せず、しゃ断器を手動で投入することができなかった。また、DG(A)が起動していない状態でDG(A)のしゃ断器が自動投入される事象が発生した。 ⇒メタクラ6-1Aで発生した火災の影響によって制御ケーブルに溶損などが生じ、地絡が発生した。 【女川2号】 ●浸水によるDG(B)及びDG(H)の停止 海水ポンプ室の取水路側から流入した海水が地下トレンチを通じて原子炉建屋内の一部に浸水し、RCW(B)系及びHPCWの2系統が機能喪失したことによって、DG(B)ならびにDG(H)が自動停止となった。(DG(A)は健全)
③-3 補機冷却系への影響	【女川2号】 ●浸水によるDG(B)及びDG(H)の停止 海水ポンプ室の取水路側から流入した海水が地下トレンチを通じて原子炉建屋内の一部に浸水し、RCW(B)系及びHPCWの2系統が機能喪失した。

確認項目	確認結果
③-4 電源融通の可能性	女川1号にて、地震又は火災の影響によって一部しゃ断器に不具合が生じた。
③-5 復旧操作へのアクセス性	無し
出典 ・東北地方太平洋沖地震およびその後発生した津波に関する女川原子力発電所の状況について 平成23年5月東北電力株式会社 <a href="http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/earthquake/files/houkoku230530-2.pdf">http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/earthquake/files/houkoku230530-2.pdf</a>	
④その他(安全機能には影響しないもの、留意しておく必要のある事項)	【女川1号】 ●高圧電源盤しゃ断器の投入不可 主に定検時に使用する高圧電源盤(1号機所内電源を2号機から受電する際に使用)において、電源盤内に設置しているしゃ断器が地震の振動によって傾き、投入スイッチを入切するためのインターロックローラーが正常位置から外れた。 ●母連しゃ断器制御電源喪失 火災が発生した高圧電源盤の制御電源回路の溶損による地絡や短絡の影響によって、制御電源回路が接続されているしゃ断器用制御電源回路の電圧が変動し、“制御電源喪失”警報が発生した。 ●125V直流主母線盤の地絡(計2件) 高圧電源盤の火災によって、配線に地絡が発生し、地絡警報が発生した。 【女川2号】 特に無し 【女川3号】 ●使用済燃料プールゲート押さえ脱落 使用済燃料プールと原子炉ウェル間の通路部に設置している使用済燃料プールゲート(No.1及びNo.2)を固定しているゲート押さえ金具計4個のうち3個のスイングボルトが外れていた。 ●HPCS圧力抑制室吸込弁自動での全開動作不能 4月7日の余震の揺れによる影響と推定される圧力抑制室の水位変動時に、本来全開するはずのHPCS圧力抑制室吸込弁が、地震による弁の開閉指示を行うスイッチなどの誤動作(推定)によって、全開にならなかった。(手動での全開は可能) 【各号機共通】 ●制御棒駆動系ハウジング支持金具サポートバーのずれ 制御棒駆動機構ハウジングのハウジング支持金具(グリッド)が、

確認項目	確認結果
	1号機で1カ所、2号機で2カ所、3号機で1カ所ずれていることを確認した。これによる制御棒駆動機構ハウジングの落下防止機能への影響はなかった。

表 D.9 2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震による東海第二発電所  
に対する影響

調査項目	調査結果
①施設に影響した地震規模（地震観測記録と基準地震動の関係）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・観測記録に基づく各階の最大応答加速度は、建設時の当初設計時に用いた最大応答加速度及び新耐震設計審査指針に基づく耐震安全性評価で設定した基準地震動Ssの最大応答加速度以下であることを確認した。</li> <li>・原子炉建屋の地震観測記録による床応答スペクトルは、一部の周期帯（約0.65秒から約0.9秒）で建設時の設計に用いた床応答スペクトルを上回っているが、耐震設計上重要な機器及び配管系のうち主要な設備の固有周期では、地震観測記録が工認設計波による床応答スペクトル以下であることを確認した。</li> </ul>
出典	<ul style="list-style-type: none"> <li>・第1回 建築物・構造に関する意見聴取会 資料 1-3-3 “平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震及びそれに伴い発生した津波による原子力発電所における被害状況について（日本原子力発電（株）東海第二発電所）” <a href="http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/shingikai/800/25/001/1-3-3.pdf">http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/shingikai/800/25/001/1-3-3.pdf</a></li> <li>・第6回 福島第一原子力発電所事故に関するセミナー “東北地方太平洋沖地震発生後の東海第二発電所の状況について” <a href="http://www.aesj.or.jp/~safety/H241022seminorsiryu4.pdf">http://www.aesj.or.jp/~safety/H241022seminorsiryu4.pdf</a></li> </ul>
②-1 安全上重要な設備への影響（波及影響も含む）	地震による影響は無し
②-2 既存の AM 設備への影響（波及影響も含む）	地震による影響は無し
③-1 外部電源への影響	3回線中3回線が機能喪失 (13日 12:32 154kV系東海原子力線復旧)
③-2 D/Gへの影響	地震による影響は無し（津波によって DGSW-2C が水没したため、DG-2C は手動停止）
③-3 補機冷却系への影響	地震による影響は無し
③-4 電源融通の可能性	可能（HPCS-DG から 6.9kV の交流電源融通、予備充電器を介して直流電源融通）
③-5 復旧操作へのアクセス性	地震による影響は無し
出典	

調査項目	調査結果
・ (NUCIA) 2010-原電-T012 Rev.3 “【東日本大震災関連】125V 蓄電池 2B 室における溢水について” http://www.nuciac.jp/nucia/kn/KnTroubleView.do?troubleId=11283&keywords=%93%8C%93%FA%96%7B%91%E5%90k%8D%D0	
・ (NUCIA) 2010-原電-T013 Rev.3 “【東日本大震災関連】非常用ディーゼル発電機 2C 用海水ポンプの自動停止について” http://www.nuciac.jp/nucia/kn/KnTroubleView.do?troubleId=11282&keywords=%93%8C%93%FA%96%7B%91%E5%90k%8D%D0	
・ (NUCIA) 2010-原電-S014 Rev.2 “【東日本大震災】東海第二発電所 固体廃棄物貯蔵用サイドバンカプルー水飛散” http://www.nuciac.jp/nucia/kn/KnTroubleView.do?troubleId=11457&keywords=%93%8C%93%FA%96%7B%91%E5%90k%8D%D0	
・ (NUCIA) 2010-原電-M015 Rev.4 “【東日本大震災】東海第二発電所 使用済燃料プルー水飛散” http://www.nuciac.jp/nucia/kn/KnTroubleView.do?troubleId=11436&keywords=%93%8C%93%FA%96%7B%91%E5%90k%8D%D0	
・ (NUCIA) 2010-原電-S013 Rev.1 “【東日本大震災】東海第二発電所で発生した不適合事象 (その他情報)” http://www.nuciac.jp/nucia/kn/KnTroubleView.do?troubleId=11437&keywords=%93%8C%93%FA%96%7B%91%E5%90k%8D%D0	
④その他 (安全機能には影響しないもの、留意しておく必要のある事項)	タービン設備などの一部で、耐震クラスB、Cクラスの設備が損傷を受けた。 【蒸気タービン】 ・低圧タービン及び高圧タービンの動翼と隔板の一部に接触による摺動痕 ・高圧タービンと低圧タービンの中間軸受け基礎グラウト部の割れ、基礎ボルトの緩み (10本中3本) 【主発電機関係】 ・主発電機軸受及び励磁機及び副励磁機廻りに接触痕、間隙拡大などの損傷

附属書 E

(参考)

地震ハザード評価関連情報の収集及び分析

序文

この附属書は、地震ハザード評価関連情報の収集及び分析にかかる留意事項を記載する。

E.1 地震ハザード評価関連情報の収集及び分析

a) 地震ハザード評価関連情報の収集及び分析の観点

1) 関連情報の収集及び分析の観点

- 1.1) 広範な地震ハザード評価関連情報を対象としては、対象サイト周辺地域での地震発生様式を考慮し、震源モデルの設定にかかる震源特性、及び地震動伝播モデルの設定にかかわる地震動伝播特性に関する情報を幅広く収集する。
  - 1.2) これらのモデル化では、専門家の意見の相違が想定されるので、それをロジックツリーとして表すために、異なる見解を持つ複数の専門家から情報を収集する。
  - 1.3) 収集に当たっては、対象サイトへの影響が小さいと想定される震源特性及び地震動伝播特性の情報についても、対象サイト周辺の震源モデル及び地震動伝播モデルの設定に参考になる場合もあるので、併せて収集しておくことが望ましい。
  - 1.4) 収集の結果、サイト固有の情報の質及び量の観点において、信頼性が十分確保できないことが予想される場合には、関連情報を再度詳細に収集及び整理し、信頼性の向上を図ることが望ましい。
  - 1.5) 向上の仕方としては、サイト固有のデータ量の拡充が望ましいが、難しい場合には、関連情報を収集し補充してもよい。
  - 1.6) サイト固有のデータには、質と量とに、トレードオフの関係があることに十分留意する必要がある。
  - 1.7) 加えて、地震ハザードに非常に大きな影響を及ぼす可能性のある最新知見などが公開された場合には、情報の再収集の一環として、各種調査を実施し最新情報を入手することが望ましい。
  - 1.8) 最新情報としては、地震 PRA 実施基準 2007 年 9 月策定以降、国内外において、新潟県中越沖地震 (2008 年 7 月)、ニュージーランド・クライストチャーチ地震 (2009 年 8 月) 及び東北地方太平洋沖地震 (2011 年 3 月) などが発生すると共に、物理探査や地震動観測技術などにかかる多くのプロジェクトが実施されており、これらにかかる最新情報も重要であるので、収集及び分析が必要である。
- 2) 地震 PRA 実施基準制定以降の地震関連情報 地震 PRA 実施基準は 2007 年 9 月に制定されたが、制定後、耐震設計に影響を及ぼすような地震が国内外において発生した。それらの中で地震ハザード評価の枠組みに最も大きな影響を及ぼしたのは 2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震である。

— 2007年3月25日：能登半島地震 (地震規模M6.9, 震源深さH11 km)

- 2007年7月16日：新潟県中越沖地震（地震規模M6.8，震源深さH17 km）
- 2008年6月14日：岩手・宮城内陸地震（地震規模M7.2，震源深さH8 km）
- 2009年8月11日：駿河湾の地震（地震規模M6.5，震源深さH23 km）
- 2011年2月22日：クライストチャーチ地震（地震規模M6.3，震源深さH5 km）
- 2011年3月11日：東北地方太平洋沖地震

一方、2007年9月以降は、物理探査、地震動観測技術等にかかる多くのプロジェクトが実施されており、これらにかかる情報も重要であるので、収集及び分析が必要である。

そこで、関連情報の収集及び分析に当っては、次の項目について、手順に従って実施する。

- 2.1) 地震にかかわる関連情報
    - 2007年地震PRA実施基準制定前の関連情報
    - 2007年～2011.3までの地震関連情報
    - 2011.3東北地方太平洋沖地震関連情報
  - 2.2) 物理探査や地震動観測技術などにかかる関連情報
- b) 地震にかかわる関連情報
- 1) 2007年地震PRA実施基準制定前の関連情報 地震ハザード評価にかかわる主な情報としては、原子力分野以外の公開された情報と原子力分野の詳細な情報がある。主な情報を挙げる。
    - 原子炉設置許可申請書
    - 活断層及び歴史地震カタログ
    - 日本の地震断層パラメーター・ハンドブック
    - 地震地体構造マップ
    - 評価サイトにおける地震動観測記録
    - 文部科学省の地震調査研究推進本部による長期評価結果 など
  - 2) 2007年～2011.3までの地震関連情報
    - 2.1) 基本方針
      - 2.1.1) 2007年以降に公開された原子力発電所に関連する重要な情報や知見としては、2006年に改訂された耐震設計審査指針に基づく各原子力発電所の耐震バックチェックの報告書、2008年以降に開始された旧原子力安全・保安院及び旧原子力安全委員会における耐震バックチェックにかかる審査資料がある。上記の審査資料に関しては、現在、原子力規制庁にて公開されている。
      - 2.1.2) 文部科学省地震調査研究推進本部・地震調査委員会においても、2007年以降にも活断層や海溝型地震の長期評価を含め強震動評価、地震動予測地図などに関する情報を継続的に更新されており、報告書として公開されている。
    - 2.2) 国内における地震
      - 2.2.1) 能登半島地震、新潟県中越沖地震、岩手・宮城内陸地震は、沿岸域及び内陸に分布する逆断層により発生した地震である。これらの震源断層は、位置、長さ、傾

斜などの全体像が事前に把握されていなかった。これらの地震では、多くの観測記録が整備されている。特に、中越沖地震は、柏崎刈羽原子力発電所近傍で発生し、設計地震応答を約2倍上回った。原因としては、深部地下構造の不規則性や震源特性が主な原因であることが究明された。また、同発電所では、多くの観測地震動データが蓄積されると共に、各種知見が得られた。

2.2.2) 駿河湾の地震は、フィリピン海プレート内で発生した地震であり、浜岡原子力発電所近傍で発生した。この地震では、浜岡原子力発電所の各号機で地震観測記録が得られており、5号機の地震動強さが他号機に比べて大きかった。この主原因は、深さ数百mで浅に存在するS波速度が低下した構造と推定されている。

2.2.3) 2008年岩手・宮城内陸地震（M7.2）は、逆断層の変位によって生じた地震であるが、その震源断層が事前に活断層として認定されていなかったため、「地表地震断層が不明瞭な地震」に分類されている（地震本部、2010）。またこの地震は、領域内における過去最大の地震とされていた1914年秋田山北地震（M7.1）よりも規模が大きかったことから、震源を予め特定しにくい地震の最大規模（M7.2）として位置づけられた。一方鈴木(2010)は、詳細調査が未了だったために活断層の存在は事前に不明であったものの、地震後の変動地形学的な調査によって長さ3～4kmの活断層が認定され、短い活断層に関連した地震であることを指摘している。また島崎(2008b)は、上記3～4kmの活断層の一部は地震前にも認定可能と考えた場合、地質断層である餅転一細倉構造線の分布や北上低地断層帯から分岐した断層との位置づけを考慮すると、M7.3を考えると可能であるとし、2008年岩手・宮城内陸地震は、短い活断層（あるいは推定活断層）で発生する地震の最大規模（M7.4程度）の範囲内にあるとされている（島崎、2008b）。

### 2.3) 海外における地震

2.3.1) 2010 ダーフィールド地震（Mw7.1）及び2011 クライストチャーチ地震（Mw6.3）は、日本と同様の島弧-海溝系に位置するニュージーランドにおける逆断層成分をもつ横ずれ断層の変位によって生じた地震であるが、これら震源断層も事前に活断層として認定されていなかった（池田ほか、2012）。ダーフィールド地震に伴って約30kmの地表地震断層であるグリーンデール断層が現れたが、グリーンデール断層の東方延長で発生したクライストチャーチ地震に伴う地表地震断層は報告されていない（GNS Science Web）。

2.3.2) クライストチャーチ地震は、横ずれ断層の地震で、堆積層が厚く、事前に活断層が十分評価されていなかった地域で発生している。

### 3) 2011.3 東北地方太平洋沖地震関連情報

#### 3.1) 特長

3.1.1) 東北地方太平洋沖地震では、地震に伴う津波によって福島第一原子力発電所が炉心損傷事故を起し、放射性物質が敷地外へ放出された。

3.1.2) 同地震及び津波では、超巨大地震に伴う大きな余震や誘発地震の扱い方、地殻変動の扱い方、断層変位ハザードの評価、地震動と津波の重畳、複数基立地の取り

扱いなど各種知見が得られ、これらを地震ハザード評価に反映する必要がある。

- 3.1.3) 地震動と津波の重畳では、両者のハザード評価に用いる震源モデルを整合させることが重要である。

- 3-2) 地震ハザード評価への反映内容 上記3)から、地震ハザード評価への主な反映内容は、以下のとおりである。

- 巨大地震、巨大余震、誘発地震、地殻変動
- 震源と波源の整合
- 余震ハザード
- 断層ハザード
- 地震と津波の重畳
- 複数立地 など

- c) 調査、探査、観測技術などにかかる関連情報 調査、探査、観測技術などにかかる関連情報としては、次の項目を対象とする。

- 断層などの調査手法
- 地震種別ごとの調査の留意事項（陸域及び海域の内陸地殻内地震、プレート間地震、海洋プレート内地震）
- 深部地盤構造の調査、探査、観測
- 敷地内及び敷地極近傍における地盤の変位に関する調査

以下、これらについて記述する。

- 1) 断層などの調査手法 断層などの調査手法としては、既存文献の調査、変動地形学的調査、地質調査、地球物理学的調査などがあり、次に示す各事項の内容を満たすこと。

#### 1.1) 既存文献の調査

- 調査地域の地形、地質などの特性及び敷地からの距離に応じて、地震活動、歴史地震、測地資料、津波、断層など、変動地形、地質及び地質構造、地球物理学的調査研究などに関する文献・地図、地震、地震動観測記録などを収集及び整理し、当該地域で発生した、あるいは発生する可能性のある地震について、断層などとの関連、地震発生様式、発震機構（正断層、逆断層、右横ずれ断層、左横ずれ断層など）及び地質構造との関係などを把握する。
- 遠方の巨大地震や長大活断層（群）などによる敷地への影響が考えられる場合には、これらを含め調査を行う。
- 既存文献の調査を踏まえ、調査地域の地形及び地質などの特性、敷地からの距離や敷地に与える影響に応じ、以下の1.2)~1.4)の調査を適切に組み合わせた十分な調査を実施する。

#### 1.2) 変動地形学的調査

- 地形発達過程（地形の成因を含む。）を重視し、活断層を認定するための根拠などを明らかにする。変位地形の解析からずれ量や活動年代が詳細に検討する。
- 断層通過地点の変動だけでなく、段丘面などに現れている傾動などの広域的な

変位及び変形、地震性地殻変動の存在を示唆する海岸地形についても検討対象とする。

- 海域については、調査地域の特性に応じた十分な精度と解像度を有する測深調査により、詳細な海底地形図が作成され、変動地形学的な検討を行う。

#### 1.3) 地質調査

- 既存文献の調査及び変動地形学的調査の結果を踏まえ、調査地域の広域的な地質及び地質構造を把握するための調査を実施するとともに、断層近傍と推定される地域を精査する。
- 特に、断層露頭や地層が変形している露頭の発見と、その露頭観察による断層活動時期の特定が重要である。こうした露頭と変位地形との位置関係、断層や破砕帯の性状、地層及び岩石の変位及び変形構造を詳細に把握するとともに、地層及び地形面の詳細な編年を行うことにより断層活動の時期を検討する。
- 断層活動の証拠が明確に確認されない地域においては、これをもって直ちに活断層の存在を否定するのではなく、断層などの存否及び活動性の確認について追加調査の実施など、特段の注意を払った検討を行う。
- 段丘面などに現れた広域的な変位及び変形も調査対象として、これらの地形面の構成層と堆積物について、堆積年代を明らかにするための詳細な調査を行う。
- 将来活動する可能性のある断層などと疑われる地表付近の痕跡、累積的な地殻変動と疑われる地形については、個別の痕跡などのみに囚われることなく、それらの起因となる地下深部の震源断層を想定して調査を実施する。その場合、地表付近の痕跡などその起因となる地下深部の震源断層の活動時期及び向きは、必ずしも一致しないことに留意する。

#### 1.4) 地球物理学的調査

- 調査地域の地形、地質などの特性に応じた適切な探査手法及び解析手法を用い、地下の断層の位置や形状及び褶曲などの広域的な地下構造の解明に努める。

- 2) 内陸地殻内地震にかかる調査 内陸地殻内地震にかかる調査については、陸域及び海域に分けて、次に示す各事項の内容を満足していることを確認する。

#### 2.1) 陸域における調査

- 広域的な地形面の変位及び変形から、地下に伏在する活断層や褶曲の存在が想定される場合には、変動地形学的調査、地質調査及び地球物理学的調査によって、その位置及び形状を推定し、その根拠を明らかにする。
- 空中写真判読、航空レーザー測量などから、活断層、活褶曲、活撓曲、広域的な地形面の変位及び変形を認定する場合には、地形発達過程を考慮し、その認定の根拠を明らかにする。
- 陸域で活断層の存在が推定された場合、その存在及び活動年代を確認するため、トレンチ調査が、また、その位置及び形状を確認するため、ボーリング調査などの地質調査を実施する。
- 地質構造との関連を捉えるために必要に応じて深層ボーリングや弾性波探査

などを実施する。

- トレンチ調査などは、断層活動を確認する最も信頼できる手法のひとつであり、適切な掘削場所の選定を行う。

## 2.2) 海域における調査

- 海域においては、適切な各種の調査技術を組み合わせた十分な調査が実施され、広域的な海底地形と海底地質構造から深部の活断層を含め活断層の位置及び形状を推定し、その根拠を明らかにする。
- 反射断面の層序区分が断面の交点全てで矛盾なく行う。
- 海底下の地層の年代が十分な信頼性をもって決定する。

## 3) プレート間地震にかかる調査

- 3.1) 世界で起きた大規模なプレート間地震の発生機構やテクトニクス背景及びプレート境界の巨視的形狀について、日本付近のプレート間地震との類似性を考慮した上で既存文献調査を行う。
  - 3.2) 世界で起きた大規模なプレート間地震の強震動発生域の分布、応力降下量、破壊開始点、破壊過程などについて既存文献調査を行う。
  - 3.3) 歴史記録が存在しない場合でも、古地震学的調査や考古学的調査などの資料などを検討する。
  - 3.4) 海溝付近にプレート境界の分岐断層が露出する場合が知られていることから、既存の海底地形図 (DEM を含む。以下同じ。) 及び弾性波探査記録を用いて、分岐断層の分布と形状を検討する。
  - 3.5) プレート形状、すべり欠損分布、破壊伝播速度、破壊の開始点とアスペリティとの位置関係などについて既存文献などの調査を行う。
  - 3.6) 震源領域については、断層の三次元形状、海底地質構造、海岸の隆起及び沈降などの変動地形学的証拠、地殻変動などの地球物理学的データに関し、既存文献などの調査を行う。
  - 3.7) 海溝沿の破壊が比較的狭い震源領域で止まる場合と、隣接の震源領域が連動して破壊が広範囲に及ぶ場合があるため、敷地周辺における海成段丘面や波蝕台の高度分布、歴史記録、津波堆積物などに関する調査及び研究結果を慎重に検討する。
- ## 4) 海洋プレート内地震にかかる調査
- 4.1) 沈み込む海洋プレート内の地震 (アウターライズ地震) 及び沈み込んだ海洋プレート内の地震 (スラブ内地震) を考慮する。
  - 4.2) 海洋プレート内地震においては、テクトニクス背景を考慮して適切な発生機構であるかを検討する。
  - 4.3) 海洋プレート内地震の地震規模や震源領域の推定にあたっては、観測記録に基づく解析結果などを有効に活用する。
  - 4.4) 海洋プレート内地震については、発生機構やテクトニクス背景が類似の過去に発生した国内及び世界の事例について調査する。
  - 4.5) 津波堆積物の調査に関しては、津波堆積物調査により、適切に実施する。

- 5) 地震動評価のための地下構造の調査、探査、観測 地震動評価のための地下構造調査は、以下の手順で行う。

### 5.1) 調査方針

- 地下構造調査では、敷地及び敷地周辺における地層の傾斜、断層、褶曲構造などの地質構造を把握するとともに、地震基盤、解放基盤の位置及び形状、地下構造の三次元不整形性、岩相及び岩質の不均一性、地震波速度構造などの地下構造及び地盤の減衰特性を適切に把握する。
- 敷地及び敷地周辺の調査については、地域特性、既往文献の調査、既存データの収集及び分析、地震観測記録の分析、地質調査、ボーリング調査、物理探査など必要な調査を実施する。
- 敷地からの距離に応じて、地震基盤から解放基盤までを対象とした地下構造調査 (深部地下構造調査と、解放基盤から表層までを対象とした地下構造調査 (浅部地下構造調査) を組み合わせた調査を実施して、地下構造データを適切に取得する。
- 深部地下構造調査及び浅部地下構造調査においては、それぞれ物理探査と地震動観測などを組み合わせた十分な調査を実施する。

### 5.2) 深部地下構造調査

- 比較的長周期領域における地震波の伝播特性に大きな影響を与える、地震基盤から解放基盤までの「深部地下構造モデル」を作成するための深部地下構造調査 (概査) を適切に行う。
- 深部地下構造調査として、ボーリング及び物理検層、反射法及び屈折法地震探査、電磁気探査、重力探査、微動アレイ探査、水平アレイ地震動観測などによる調査、探査、観測を適切な範囲及び数量で実施する。
- 震源から対象サイトの地震基盤までの地震波の伝播経路特性に影響を及ぼす地殻構造調査として、弾性波探査及び地震動観測など適切な範囲及び数量で実施する。

### 5.3) 浅部地下構造調査

- 短周期領域の地震波伝播特性に影響を及ぼし得る解放基盤から地表面までの「浅部地下構造モデル」作成のための浅部地下構造調査を適切に行う。
- 敷地周辺における地層の傾斜、断層、褶曲構造など地質構造及び地下構造を把握するために、ボーリング調査に加え、地震基盤相当に達する大深度ボーリング、物理検層、高密度弾性波探査、微動アレイ探査などによる調査及び探査、鉛直アレイ地震動観測及び水平アレイ地震動観測などを適切な範囲及び数量で実施する。

## 6) 敷地内及び敷地付近傍における地盤の変位に関する調査

### 6-1) 調査方針

- 重要な安全機能を有する施設の地盤には、将来活動する可能性のある断層などの露頭が無いかどうかを検討する。

- 一 敷地内及び敷地極近傍に将来活動する可能性のある断層などの露頭が存在する場合には、適切な調査、あるいはその組み合わせによって、当該断層などの性状（位置、形状、過去の活動状況）について合理的に説明する。
- 一 将来活動の可能性のある断層とは震源として考慮する活断層の他、地震活動に伴って永久変位の生じる断層と、支持基盤を切る地すべり面も含むようにする。

#### 6-2) 敷地内及び敷地極近傍の調査

- 一 敷地内及び敷地極近傍調査は、上記 1)断層などの調査手法、2)内陸地殻内地震にかかるとの調査、5)地震動評価のための地下構造の調査・探査・観測に基づくこと。
- 一 施設に与える影響を正確に評価するための十分な調査密度や精度を保つこと。

## 附属書 F

(参考)

### 耐震設計審査指針の改訂に伴う原子力発電所の耐震バックチェック資料

#### 序文

この附属書では、耐震設計審査指針の改訂に伴う原子力発電所の耐震バックチェック資料について説明する。

#### F.1 耐震設計審査指針の改訂に伴う原子力発電所の耐震バックチェック資料について

##### a) 原子力発電所の「耐震設計審査指針の改訂に伴う耐震安全性評価結果報告書」

- 1) 2006年に旧原子力安全委員会によって「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」(新耐震指針)が改訂され、旧原子力安全・保安院の指示に基づき、事業者は、新耐震指針改訂に伴う各原子力発電所の耐震安全性評価(耐震バックチェック)を実施し、旧原子力安全・保安院に報告書を提出した。
- 2) 上記報告書には、例えば、地質調査、地形調査、地表地質調査、海上音波探査などを実施し、敷地周辺の活断層、プレート間地震の震源の見直しなどが行われ、基準地震動  $S_s$  が策定されている。

##### b) 旧原子力安全・保安院及び旧原子力安全委員会による耐震バックチェックの審査資料

- 1) 旧原子力安全・保安院及び旧原子力安全委員会のダブルチェック体制のもとで、耐震バックチェックの妥当性の審議が実施された。
- 2) 双方の組織で審議した結果、事業者の報告書に対して、例えば、敷地周辺の活断層における断層長さなどの変更や、基準地震動  $S_s$  の値が変更となったものがある。
- 3) 2011年東北地方太平洋沖地震に伴う福島第一原子力発電所事故によって、耐震バックチェックの審議が中断されたものの、これらの過去の耐震バックチェックにかかる審査資料などに関しては、2012年9月に発足した原子力規制委員会のホームページの「旧組織等の情報」(<http://www.nsr.go.jp/archive/>)で公開されている。

## 附属書 G

(参考)

### 地震本部における情報及び新たな知見

#### 序文

この附属書は、地震本部における情報、新たな知見を示す。

#### G1 活断層の長期評価、主要活断層帯の長期評価による地震発生確率

- 2010年11月25日、地震調査研究推進本部・地震調査委員会(以下、地震調査委員会と記す)より「活断層の長期評価手法(暫定版)」が公表された。これは、従来の活断層の長期評価の見直しの検討に基づき、新たな評価の基本的な考え方及び新たな手法による評価の形式について暫定的な検討結果を取りまとめたものである。
- この報告書には、長期評価の高度化に向けた課題と今後の長期評価手法に反映する事項が多岐にわたって記載されている。例えば、地表の長さが短い活断層の地下における断層の長さの評価、長大な起震断層に対する単位区間(同時に活動する最小の範囲)の設定、複数の単位区間の連動の可能性の評価、地表の証拠からは活動の痕跡を認めにくい地震の考慮などである。
- 2013年2月1日、地震調査委員会より「九州地域の活断層の長期評価(第一版)」が公表された。これは、上記の新たな長期評価手法がすべて反映されたものではないが、評価対象を従来のM7.0以上からM6.8以上としたこと、陸域のみならず沿岸海域の活断層も対象としたこと、地表に現れている部分のみならず地下の延長部も推定して評価したこと、個別の活断層評価に加えて地域単位で活断層を評価したことなどが従来の評価との主な違いとして挙げられる。

#### G2 海溝型地震の長期評価

- 2011年東北地方太平洋沖地震の発生を受けて、地震調査委員会より2011年6月9日に「東北地方太平洋沖地震に伴う長期評価に関する対応」が公表された。
- 従来の長期評価では、同じ領域で同等の規模の地震が繰り返して発生するという考え方で評価していたものを、最も起こりうる地震のみならず、史料や観測記録で発生が確認されていない地震についても科学的根拠に基づき想定できるよう、評価手法の改善を図る、としている。
- その後、2011年11月25日には、「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)」が公表され、新たに、東北地方太平洋沖型地震の評価が追加されたが、評価自体の枠組みは従来の流れに沿うものである。
- 2013年5月24日には、「南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)」が公表された。これは、南海トラフについてこれまでに得られた新しい調査観測及び研究の成果を取り入れ、長期評価を改訂したものであり、従来の固有地震モデルに基づいた評価ではなく、発生しうる地震の多様性を考慮した評価となっていること、データの解釈につ

いて議論の分かれるものは両論併記されていることなどが評価に当たって留意した点とされている。具体的には、従来、南海地震と東南海地震が別々に評価されていたのに対して、第二版では南海トラフ全体を一つの領域と考え、大局的には100~200年間隔で繰返し大地震が発生しているとして評価していること、震源域が西方及び南北に拡張されており、最大クラスの地震としてM9.1までの地震の発生に言及されていることなどが大きな変更点として挙げられる。想定される震源域としては、東海地震と南海地震が連動する場合と2地震が時間差をおいて発生する場合を合わせて15パターンが例示されているが、各パターンの発生確率に関する言及はなく、地震ハザード評価に利用するにあたっては、独自に設定する必要がある。

#### G3 東北地方太平洋沖地震後の活断層の長期評価

- 東北地方太平洋沖地震に関連した注意喚起情報として、「東北地方太平洋沖地震後の活断層の長期評価について 一地震発生確率が高まっている可能性がある主要活断層帯一」を公表した。(日付の記載なし)
- この資料は、3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震とそれ以後の地殻変動のデータを用いて、静的クーロン応力変化量( $\Delta CFF$ )を推定し、その結果から、糸静線断層帯(中部牛伏寺断層)、立川断層帯、双葉断層、三浦半島断層群、阿寺断層帯(主部/北部萩原断層)の5断層について「地震発生確率が高まっている可能性がある」と判断したことを公表したものである。ただし、 $\Delta CFF$ の一覧はあるものの、これら5断層に関して具体的な発生確率がどのように変化したかについて具体的な値の記載は無いため、直ちにハザード評価に反映することはできない。
- これが短期的な影響であるとすれば、ハザード評価にどのように反映するかの議論も必要と考えられる。
- 同様に、地震調査研究推進本部の事務局資料として、「地震発生確率が高まっている可能性のある海溝型地震とその予測震度分布」もWEB上で公表されている。  
([http://www.jishin.go.jp/main/p\\_tohoku.htm#chui](http://www.jishin.go.jp/main/p_tohoku.htm#chui) の中)

#### G4 過去の地震及び主要活断層の強震動評価

- 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)に基づき、主要活断層帯の地震についての地震動評価が実施されている。なお、「レシピ」による地震動予測におけるパラメータ設定は、平均的な地震動レベルを計算するためのものとなっており、不確かさを考慮した地震動予測手法の高度化は今後の課題とされている。
- 長大な断層に対しては、現行の「レシピ」の適用範囲外とされており、長大な断層に対しても適用可能な「レシピ」の構築が今後の課題となっている。

#### G5 全国地震動予測地図(2010年版)確率論的地震動予測地図

- 2005年に作成、公表された「全国を概観した地震動予測地図」は、その後、長期評価の改訂や地震カタログの更新などを反映させた更新が毎年行われ、さらに2009年には

やや大きな改良が加えられて、「全国地震動予測地図」と名称が変更された。2005年以降2010年までは毎年公表されていたが、東北地方太平洋沖地震が発生した2011年版は公表されていない。

- 2009年の改訂は、従来の評価手法と大枠での違いはないものの、表層地盤による増幅率を全面的に見直し250mメッシュで新たに評価したこと、主要活断層帯の震源断層の形状を標準的なルールに基づき全面的に再評価したこと（主として強震動評価を念頭に置いたもの）などが大きな変更点として挙げられる。
- 2012年12月21日には、地震調査委員会より「今後の地震動ハザード評価に関する検討～2011年・2012年における検討結果～」が公表された。この報告書は、東北地方太平洋沖地震を契機として、全国地震動予測地図について解決すべき多くの課題が指摘されたことを受けて、地震調査委員会で検討された内容を中間報告的に示したものであり、検討は継続中であるとしている。この報告書には、従来の方法により「仮に」作成された全国地震動予測地図2012年版が付録として添付されているが、公式の2012年版ではないことに注意が必要である。

#### G.6 長周期地震動予測地図

- 「長周期地震動予測地図」2009年試作版及び2012年試作版において、過去発生した地震による揺れの再現をベースとした長周期地震動の評価が公表されている。東北地方太平洋沖地震の教訓を踏まえ、過去に発生したことが確認されている地震のみならず、科学的に発生可能性がある最大級の地震までを考慮した場合の長周期地震動について、南海トラフの地震及び相模トラフの地震を対象として検討が実施されている。

#### G.7 震源を特定しにくい地震による地域ごとの最大地震規模の設定

- 全国を概観した地震動予測地図（2009年版）では、震源断層を予め特定しにくい地震の最大マグニチュードの設定における下限値（それ以前は6.5）に以下の変更が加えられた。
  - 1) 沈み込むプレートの震源を特定しにくい地震の最大マグニチュードの下限値を6.5→7.0に変更（大きな地震が発生しにくいとされる三陸沖中部などでも7.0地震までの地震が発生しているため）
  - 2) 海域のうち陸側プレートの地殻内及び伊豆諸島以南の最大マグニチュードの下限値を6.5→7.0に変更（陸域と異なり活断層が十分に把握されていないため）
  - 3) 陸域の最大マグニチュードの下限値を6.5→6.8に変更（モデル化されている活断層との対応が取れないM6.8の地震が過去に複数発生しているため）
- 震源を特定しにくい地震の最大マグニチュード設定の基本的な考え方は、別途モデル化している地震（海溝型地震、活断層で発生する地震）以外の既往最大の地震規模としており、既往最大が小さい場合に、下限値が適用される。
- 試作版も含め、下限値を超える地震が発生したことによる最大マグニチュードの見直し事例は以下の通りである。

- 1) 東北地方陸側のやや深いP内地震： 7.1（2003.5.26 宮城県沖）
- 2) 南海トラフ沿いP内地震： 7.4（2004.9.5 三重県南東沖）
- 3) 東北地方内陸西側： 7.2（2008.6.14 岩手・宮城内陸地震）

- 確率的なハザード評価における規模の上限値を超える地震が頻繁に発生することに対して、設定の基本的な考え方や設定値そのものの妥当性の検証は必要と考えられる。

#### G.8 地震ハザードステーション：震源断層モデル、地下構造モデル

- 「全国地震動予測地図」のデータ及び関連する震源断層モデル、地下構造モデルのデータなどが、(独)防災科学技術研究所が運用する地震ハザードステーション J-SHIS (<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>) より公開されている。

#### G.9 強震動予測手法（レシピ）、地震ハザード評価方法

震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）は、地震調査委員会において実施されてきた強震動評価に関する検討結果から、強震動予測手法の構成要素となる震源特性、地下構造モデル、強震動計算、予測結果の検証に関する考え方をまとめたものであり、震源断層を特定した地震を想定した場合の強震動を高精度に予測するための、「誰がやっても同じ答えが得られる標準的な方法論」を確立することを目指している。

現行のレシピでは、平均的な地震動レベルを計算するための手順が示されており、不確かさの考慮についての定量的な手法の確立は、今後の検討課題とされている。また、長大な活断層やスラブ内の地震について適用可能なレシピの構築も今後の課題とされている。

東北地方太平洋沖地震の教訓を踏まえ、地震活動モデルにおいて、科学的と考えられる最大級の地震まで考慮する必要性が高まっており、それら巨大地震に対して適用可能なレシピ構築が今後の重要な課題となっている。

#### 【参考文献】

- (1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会（2010）：「活断層の長期評価手法（暫定版）」報告書、平成22年11月25日。
- (2) 地震調査研究推進本部地震調査委員会（2011）：東北地方太平洋沖地震に伴う長期評価に関する対応、平成23年6月9日。
- (3) 地震調査研究推進本部地震調査委員会（2011）：三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価（第二版）、平成23年11月25日（平成24年2月9日変更）。
- (4) 地震調査研究推進本部地震調査委員会（2011）：東北地方太平洋沖地震後の活断層の長期評価について -地震発生確率が高くなっている可能性がある主要活断層帯- ([http://www.jishin.go.jp/main/chousa/11sep\\_chouki/chouki.pdf](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/11sep_chouki/chouki.pdf))
- (5) 地震調査研究推進本部地震調査委員会（2012）：今後の地震動ハザード評価に関する検討～2011年・2012年における検討結果～、平成24年12月21日。
- (6) 地震調査研究推進本部地震調査委員会（2013）：「九州地域の活断層の長期評価（第一版）」、平成25年2月1日。

- (7) 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2013):南海トラフの地震活動の長期評価(第二版),平成25年5月24日.

## 附属書 H

(参考)

### サイト・プラントウォークダウン実施の際のチェックシートの例

#### 序文

この附属書は、サイト・プラントウォークダウン実施の際のチェックシートの例<sup>1)</sup>を示す。

#### H.1 チェックシートの例

PWRでは、地震PRA実施に伴うサイト・プラントウォークダウンの状況を踏まえ、ストレステスト評価を実施している。主に重要機器についてサイト・プラントウォークダウンを行っており、結果についてはチェックシートと共に、図面、写真などを含めた文書化を行っている。サイト・プラントウォークダウン実施の際のチェックシート例を図 H.1～図 H.3 に示す。

なお、旧原子力安全・保安院は、高浜3,4号機に対して実施している地震PRAに伴うサイト・プラントウォークダウンについては、IAEAの基準(NS-G-2.13)と比較した結果、概ねIAEAの基準を満足する内容であると判断している。また、高浜3,4号機ストレステスト(地震)評価にかかるサイト・プラントウォークダウンについてのIAEA要求との対比例を表 H.1 に示す。

#### 【参考文献】

- (1) 原子力規制委員会ホームページ>旧組織等の情報>旧原子力安全・保安院関連情報>ストレステストの進捗状況>関西電力(株)高浜発電所(3号機)>審査結果取りまとめ(平成24年9月3日公表)>○保安院、(独)原子力安全基盤機構から事業者への質問事項(審査におけるやりとりを含む) - 回答 平成24年8月30日(その9)(平成24年5月7日(9))

: <http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/stresstest/files/kaitou13-9.pdf>

機器名称: パワーセンタ  
 機器ID: 3PC, 4PC 耐震クラス: S  
 建屋: I/B 床高: 10.5M 区画: 付録-6 (Page-14, 20)参照  
 形状: 自立型 支持タイプ: 懸吊 通り筋: 付録-6 (Page-14, 20)参照  
 二次的影響を考慮する設備: なし  
 アクセス系(ハート): —  
 系統図番号: — 機器設置図番号: 付録-6 (Page-14, 20)参照

モデル化の前提条件 (リカバリー条件の概要) / ロジック

条件①  
 条件②  
 .  
 .  
 .

[チェック対象項目]

A) 耐震安全性の確認   
 B) リカバリー操作の確認   
 C) モデル化の前提条件の確認

総合評価 (モデルへの反映方法、取り扱いについての記載)

特記事項なし

実施日: H21年 3 月 11日  
 実施者:                     

図 H.1-チェックシートの例 (1/3) <sup>(1)</sup>

機器ID: 3PC, 4PC

A) 耐震安全性の確認

対象機器本体の評価

	Y	N	U	N/A
1. 対象機器の屋面板 (外形図・耐震計算書等) と外見上相違点は無い	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. 対象機器と支持構造物との接合部に外見上の異常 (腐食・亀裂等) は無い	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. 配管接合部と屋面板に外見上の相違点は無い	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4. 配管接合部に外見上の異常 (腐食・亀裂等) は無い	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

アンカーボルト評価

	Y	N	U	N/A
1. 屋面板 (外形図・耐震計算書等) と外見上の相違は無い	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2. 外見上の異常 (腐食・亀裂等) は無い	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3. 締め付け強度は適切に管理されている (管理要領書等で確認)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

二次的影響について

	Y	N	U	N/A
1. 周辺の耐震クラスが低い機器の例題により被害を受けない	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. 倒壊により被害を与える周辺の機器の耐震性は問題ない (対象機器本体の評価に準じた評価)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. 無縁のブロック壁が近傍になら	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. 周辺機器の損傷時、周辺機器の保水による影響はない	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. 周辺に仮置の火災源はない	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

(記号の説明) Y: YES, N: NO, U: 調査不可, N/A 対象外

図 H.2-チェックシートの例 (2/3) <sup>(1)</sup>

		機器ID: 3PC, 4PC				
<b>B) リカバリー要件の確認</b>						
<u>アクセス性</u>						
1. 対象機器の識別が可能である		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. 周辺設備からの被害を受けない		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. 可動部分のある器具は存在しない		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. 近隣の設備の倒壊によりアクセスルートが 断られる可能性はない		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<u>現場操作性</u>						
1. 現場での操作が可能である		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. 操作のための特別な訓練ができる		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. 機器の作動状態が認識できる		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>C) モデル化の前提条件の確認</b>						
1. モデル化の前提条件①が適切である		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. モデル化の前提条件①が適切でない場合、モデルの変更を行う		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. モデル化の前提条件②が適切である		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. モデル化の前提条件②が適切でない場合、モデルの変更を行う		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
...		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(記号の説明)		Y: YES	N: NO	U: 調査不可	N/A: 対象外	

図 H.3-1 チェックシートの例 (3/3) (3)

表 H.1-1 高浜3, 4号機 ストレステスト (地震) 評価にかかるウオークダウンについての IAEA 要求との対比 (例) (4)

章番号	IAEAウオークダウンにかかる要求事項の要旨	今回のストレステストでの対応
5.9	<ul style="list-style-type: none"> <li>- System walkdown は、予備的な成功パスを検討することを目的としており、システムエンジニア、運転員及び耐震技術者で構成するチームによって実施されるべきである (運転手順書との整合性やSSC候補のレビュー)</li> <li>- System walkdown の最終結果は、評価すべき最終的な成功パス及び選択されたSSCの組合せの選定である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ストレステストでは、運転員、耐震技術者を含む様々な分野の技術者がレビューしており、その結果を評価すべき最終的な成功パス及び必要なSSCの組合せとしている。</li> </ul>
5.32	<ul style="list-style-type: none"> <li>- "Selected SSCs"とは、Seismic Margin Analysis 又はSeismic PSAの目的にとって着目すべきSSCを意味する。Selected SSCsは、SMAに関する安全停止装置のリスト或いはSPSAに関する耐震機器のリストに記載される。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ストレステスト対象評価機器を選定し、ストレステスト報告書に機器リストを記載している。</li> </ul>
5.33	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plant walkdown (PWD)は、SMA及びUSPSA手法の両方に関し、既設設備の耐震安全評価の最も重要な構成要素であり、耐震安全評価実施計画の範囲内で実施されるべき</li> <li>- PWDは次のような多くの目的に役立つ                     <ul style="list-style-type: none"> <li>・評価時の実際のデータ収集と検証</li> <li>・工学的判断に基づき高耐力によるSSCのスクリーニングアウトの検証</li> <li>・安全停止パスの選択の検証 (SMAの場合)</li> <li>・脆弱点の確認、特に耐震時の系統の相互作用の問題 (衝撃、落下、</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 高浜3, 4号機について、地震PRAに関する日本原子力学会基準に準拠し、プラントウォークダウンを実施。ストレステストではこのウォークダウンの情報を活用している。この中で、耐震性の確認として対象機器本体の評価、アンカーボルト評価、2次の影響評価、リカバリー操作の確認として、アクセス性、現場操作性等について現地"as is"の情報で確認を行っている。</li> <li>- プラントウォークダウンの目的                     <ul style="list-style-type: none"> <li>・実際のデータ収集と検証を行っている。</li> <li>・耐力によるスクリーニングアウトの検証。</li> </ul> </li> </ul>

章番号	IAEAウォークダウンにかかる要求事項の要旨	今回のストレステストでの対応
	<p>散水、溢水)の評価</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>プラント内のその他のハザードの特定（一時的に設置する機器含む）</li> <li>明白な脆弱点を低減させるための簡易補修の特定</li> </ul> <p>－ PWD は、停止モードに関連する定検時の配置構成を考えるのにも使用されるべき</p> <p>－ PWD 要領書を作成するべき</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>炉心損傷を回避する成功パスに対しての検証。</li> <li>相互作用を含めて脆弱点をチェックしている。</li> <li>その他のハザードもチェックしている。</li> <li>明白な脆弱点を低減させるための簡易補修の特定は行っていない。</li> </ul> <p>－ ストレステストにおいては原子炉の評価として運転中の評価を行っており、停止時の評価は行っていない。</p> <p>－ 事業者としてウォークダウン要領書を作成した上でウォークダウンを実施している。</p>
5.34	<p>－ PWD は以下を含むべき</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>WD のための机上での準備作業</li> <li>選択されたSSCs についての予備的WD</li> <li>WD 計画</li> <li>詳細WD</li> <li>文書化</li> </ul>	<p>－ウォークダウン全体の内容として左記を含んでいる。予備的WDと詳細WDは特段区別なく予備的WDは詳細WDの準備作業として、メーカー、発電所と連絡・調整しながら実施。</p>
5.35	<p>－ オフィスでの事前準備は以下を含むべき。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>発電所の熟知</li> <li>選択されたSSCs のレビュー（リストの完全性のチェック）</li> <li>最初のスクリーニングの実施（耐震性能に基づく）</li> <li>選択されたSSCs に関するデータの収集</li> <li>アクセスに関する要件の決定</li> </ul>	<p>－事前準備として左記を含んでいる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>評価に必要なデータ等を収集し、プラントを熟知する作業を行っている。</li> <li>耐震関係者とシステム関係者において、選定したSSC のリストが評価範囲として適切であることについて確認している。</li> <li>耐力の観点も含めて、ウォークダウン対象のスクリーニングを</li> </ul>

章番号	IAEAウォークダウンにかかる要求事項の要旨	今回のストレステストでの対応
	<ul style="list-style-type: none"> <li>選択されたSSCs の予備的WD の実施</li> </ul>	<p>行っている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>選択されたSSC に対して必要な情報をまとめチェックシートに取りまとめている。</li> <li>対象各機器についてのアクセス性の検討を行った。</li> <li>上記の事前準備に基づきウォークダウン計画を立案している。</li> </ul>
5.36	<p>－選択されたSSC の予備的WDに関し、接近可能な選択されたSSCは目視で調査されるべきである。</p> <p>－ WD 実施項目。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>選択されたSSCs, それぞれの場所と接近可能性を決定すること。</li> <li>機器グループを特定すること。</li> <li>スクリーニングの確認、地震時相互作用が影響を及ぼさないことの確認</li> <li>提案された簡易補修の実施可能性の検証、及び他の簡易補修の候補の特定</li> <li>詳細WD 計画の確認</li> </ul>	<p>－接近可能なSSC に対して、目視にてウォークダウンを行っている。</p> <p>－ウォークダウン実施項目として左記を含んでいる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>事前の準備において、ウォークダウン対象機器の接近性を検討し、機器の接近に必要な運転・保守の支援の必要性を明確化した。</li> <li>配管、電動弁等をグルーピングし、代表機器を選定し、ウォークダウンを実施している。</li> <li>系統相互作用の確認について、ウォークダウンの対象としている。</li> <li>5.33 に記載のとおり、簡易補修の特定は行っていない。</li> <li>詳細ウォークダウンの計画を確認している。</li> </ul>
5.37	<p>－詳細WD では、スクリーニング、予備的WD で確認できなかった項目、HCLPF かフラジリティ計算のために必要な項目が含まれる。</p> <p>－文書化は、図面、写真、ビデオ等であるべき</p>	<p>－ウォークダウンにおいて、フラジリティ、耐震裕度の評価の前提となる情報の確認を行っている。</p> <p>－ウォークダウン前の準備段階の必要な情報は文書化され、ウォークダウンに活用されており、また、ウォークダウンの文書化には</p>

章番号	IAEAウォークダウンにかかるとする要求事項の要旨	今回のストレステストでの対応
		図面や写真の情報を含んでいる。
5.38	<p>WD メンバー</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>WD チームは、必要に応じて保修・操作・系統技術者と共に適任の地震技術者を含むべきである。</li> <li>地震の技術者には耐震解析の十分な経験があること等</li> </ul>	<p>ウォークダウンメンバーにはプラントの運用に詳しい電力社員、経験を有する耐震技術者、プラント設計、運転情報に詳しいシステム技術者を含んでいる。</p>
5.39	<ul style="list-style-type: none"> <li>WD は空間的相互作用を特定するのを目的とすべき             <ul style="list-style-type: none"> <li>非安全系機器損傷時の波及的影響</li> <li>近接相互作用</li> </ul> </li> <li>溢水、スプレアーの影響</li> <li>溢水源が損傷する可能性があるなら、WD チームは、真通部やドレンなどを通して液体の流路と分散を考慮してからの分散を考慮にいれて、潜在的影響を評価すべき</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>空間的相互作用をチェック項目として含めている。             <ul style="list-style-type: none"> <li>非安全系機器損傷時の波及的影響の有無、隣接機器の影響の有無、溢水の影響の有無についてチェック項目としている。</li> </ul> </li> </ul>
5.40	<p>地震時安全評価の主要な活動として、WD は以下のように適切に記録されるべき。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>概要レポートは、システム全体にわたる課題を要約し、高水準の要約を提供するように書かれるべきである。</li> <li>選択されたSSCs に関する情報</li> <li>最も詳細な水準で、選択されたSSC のリストにある各機器に対するWD のパッケージ分類が作成されるべきである。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>一文書化として、関連データと共にSSC のリストが作成されている。</li> <li>ウォークダウン対象機器の現場確認のパッケージ資料として、現場確認チェックシート、図面、写真をまとめた詳細資料を作成している。</li> </ul>

附属書 I  
(参考)

米国 IPEEE におけるサイト・プラントウォークダウンの概要

序文

米国 IPEEE (Individual Plant Examination for External Events : 外的事象に対する個別プラント評価) では、地震マージン法 (SMA : Seismic Margin Assessment) による地震リスク評価 (EPRI NP-6041<sup>(1)</sup>) の一環として、サイト・プラントウォークダウンを実施している。この附属書では、公開されている IPEEE 報告書<sup>(2)</sup>を調査し、ロビンソン発電所 (PWR) 及びブナインマイルポイント発電所 (BWR) のサイト・プラントウォークダウンの結果の概要をまとめたものである。

I.1 Robinson 発電所での事例

サイト・プラントウォークダウンの結果は次のようにまとめられている。

a) サイト・プラントウォークダウン対象機器のカテゴリ分け

- スクリーニングアウトされたもの
- ハウスキーピング又は軽微な保守上の問題 (例、中央制御室のアンカーされてない本棚、ファイルキャビネットが非安全系の制御盤と干渉する可能性がある。)
- 保修又は改造が必要なもの
- 高信頼度低損傷確率 (HCLPF : High Confidence Low Probability of Failure) 評価を行うもの

b) カテゴリの見直し

1 回目のサイト・プラントウォークダウンでスクリーニングアウトされなかった機器、サブシステムは再度サイト・プラントウォークダウンし、次のようにカテゴリが見直された。

- 33 項目は作業票ベースで処理できる軽微な問題であった。(ハードウェアの交換、ボルトのトルクなど)
- 17 項目は計算で処理できる問題であった。
- 22 項目は計算で処理できず、保修又は改造が必要と確認された。
  - 原子炉補助建屋の水素ガス排気ヘッダー (HVH : Hydrogen Vent Header) エアハンドリングユニットに固縛又は横方向サポートがなく、自由に変位する可能性がある。また、剛な取付配管のため溢水の可能性がある。  
対策 : 水平方向ブレースを設置し、横方向の剛性 (rigidity) を上げる。
  - 非常用 DG 制御パネルが非常用 DG の鉄スキッド上に置かれ、パネ式アイソレータ上にサポートされている。  
対策 : サポート形状を変更し、パネ式アイソレータへの底付けによって生じる衝撃荷重を除去する。
- 20 項目 (弁、熱交換器、タンク、ポンプなど) は HCLPF 手法による耐力評価を行った。

- 5) 電氣的ケーブルルート (raceway) の設置に関連する 16 件は作業票、保修又は改造が必要とされた。

### I.2 Nine Mile Point 発電所での事例

サイト・プラントワークダウンによって 0.5g スクリーニングアウト基準に影響するものとして指摘された主要な項目は次の通りである。

- a) 制御建屋廊下の消火水ヘッダは、0.5gHCLPF を示すため、追加の評価又は補強が必要である。
- b) すべての窒素 (計装用空気) 配管は0.5gHCLPF を確認できなかった。
- c) 外置高圧窒素タンクについては、近隣の縦置タンクの転倒による悪影響の可能性を確認するために、追加解析が必要である。高圧窒素タンクを逃がし安全弁 (SRV: Safety Relief Valve) へ長期的に連結する手順書に、SRVに連なる原子炉建屋内非安全系への供給配管を評価対象部位破断時に隔離する項目を追加する必要がある。
- d) 高圧窒素タンクのHCLPF は、追加解析によって0.23g となったため、低圧注入系によるサクセスパスを0.5gHCLPF サクセスパスから削除した。
- e) 安全関連機器のアンカーに関する弱点は確認されなかった。

#### 【参考文献】

- (1) EPRI, "A Methodology for Assessment of Nuclear Power Plant Seismic Margin (Revision 1)", NP-6041-SLR1, Technical Report, 01-Aug-1991
- (2) USNRC, Final Report, "Perspectives Gained From the Individual Plant Examination of External Events (IPEEE) Program," NUREG-1742, April 2002

## 附属書 J

(参考)

### アクセス性の確認方法の例

#### 序文

この附属書は、サイト・プラントワークダウン実施の際のアクセス性の確認方法の例を示す。

#### J.1 アクセス性の確認方法の例

PWR では、ストレステスト実施に伴うサイト・プラントワークダウンの一環として、アクセスルートの成立性に関するサイト・プラントワークダウンを実施している。高浜 3, 4 号機におけるアクセスルートの成立性に関するサイト・プラントワークダウン概要<sup>(1)</sup>を 図 J.1 に示す。

【ストレステスト時の現場確認概要】

(1) 地震、津波時における防護措置に係る設備の設置場所およびアクセスルートの成立性に関する現場確認

- 実施時期  
平成 24 年 3 月
- メンバー  
関西電力技術者
- 調査内容  
防護措置に係る設備の設置場所およびアクセスルートの成立性に関して、以下の観点から現場にて確認を行っている。

a. 周辺斜面のすべりによる道路面への土砂等の流れ込み  
周辺斜面のうち切土部においては、法面保護工の設置状況を現地において竣工図と照らし合わせながら確認した。また、自然斜面部についても勾配が急な箇所については現地踏査を行い、浮石や転石の有無といった地表面の状況を確認した。

b. 道路面の崩壊  
竣工図により護岸形式、前面水浸等から建立地の傾斜変動が懸念される箇所を抽出したうえで、道路と護岸の位置関係を現地で平面図と照らし合わせながら確認した。また、路盤補強箇所や段差発生箇所についても事前に平面図や竣工図により確かめたうえで、現地で状況を確認した。

c. 津波による道路面へのがれきの散乱  
津波の浸没が予想される方向を想定し、その方向に設置されている機器、建物を現地において確認したうえで、津波によってアクセスルート上にがれきが散乱する状態を想定した。

図 J.1—サイト・プラントワークダウン方法の例<sup>(1)</sup>

#### 【参考文献】

- (1) 原子力規制委員会ホームページ>旧組織等の情報>旧原子力安全・保安院関連情報>ストレステストの進捗状況>関西電力(株) 高浜発電所 (3 号機) >審査結果取りまとめ (平成 24 年 9 月 3 日公表) >○保安院, (独) 原子力安全基盤機構から事業者への質問事項 (審査におけるやりとりを含む) - 回答 平成 24 年 8 月 30 日 (その 9) (平成 24 年 5 月 7 日 (9))

: <http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/stresstest/files/kaitou13-9.pdf>

## 附属書 K (参考)

### 事故シナリオの概括的な分析及び設定における広範な事故シナリオの例

#### 序文

この附属書は、事故シナリオの概括的な分析及び設定における広範な事故シナリオの例を記載する。また、燃料プールにおける重大な燃料損傷の分析及び設定を行う場合にも参考にできる。

#### K.1 事故シナリオの概括的な分析及び設定における広範な事故シナリオの例

この解説の例としては、経年変化を考慮する必要のない設計時におけるプラント状態を対象として、安全機能を有する SSCs の損傷による事故シナリオだけでなく、周辺設備の損傷など、炉心損傷に至るまでの事象進展が必ずしも十分に同定し得ない事故シナリオ、又は評価技術が必ずしも十分でないため、炉心損傷頻度評価の不確実さが大きくなることが想定される事故シナリオについても示す。

次に、本震による事故シナリオを、炉心損傷事故に直接的に繋がりをもの K.2 に、間接的に繋がりをものを K.3 にそれぞれ大別して示す。

#### K.2 本震による炉心損傷事故に直接的に繋がりをもの事故シナリオの例

安全機能に従属する SSCs の損傷が直接的に炉心損傷事故に繋がる可能性がある事故シナリオの例を次に挙げる。

- 1) 耐震重要度 S クラス機器の損傷
- 2) 耐震重要度 S クラスの非常用発電機用の蓄電池の過放電に伴う立ち上り不能

#### K.3 本震による炉心損傷事故に間接的に繋がりをもの事故シナリオの例

安全機能に従属する SSCs 以外のものの損傷と運転員の操作の阻害が間接的に炉心損傷事故に繋がる可能性がある例に分けて述べる。

- a) 安全機能を有する SSCs 以外の設備の損傷 安全機能を有する SSCs 以外の屋内外設備の損傷は、直接的に炉心損傷に繋がらないものの、それらの損傷が安全上重要な SSCs の損傷に直接影響を及ぼし、炉心損傷に繋がる可能性があるため、このような二次的な事故シナリオの例を挙げる。この事故シナリオには、設備間の空間的相互作用による炉心損傷頻度への影響も確認する。安全機能を有する SSCs 以外の屋内設備と屋外設備の損傷に分けて述べる。
  - 1) 屋内設備の損傷
    - 1.1) 天井クレーンの転倒及び落下による原子炉圧力容器、格納容器への影響
    - 1.2) 耐震重要度 B, C クラスの損傷に伴う S クラス機器の損傷
    - 1.3) 主タービンの軸受けなどの損傷に伴うタービンミサイルによる隣接原子炉建屋室内従属設備への影響

- 2) 屋外設備の損傷 安全機能を有する SSCs 以外の屋外設備を対象とし、炉心損傷に繋がる可能性のある二次的な事故シナリオを選定する。この事故シナリオには、原子炉施設周辺斜面の崩壊による炉心損傷への二次的影響も含む。
  - 2.1) スタックの転倒による原子炉建屋又は周辺構造物への影響
  - 2.2) 斜面崩壊による原子炉建屋又は周辺構造物への影響
  - 2.3) 送電網の鉄塔などの損傷に伴う外部電源系への影響
  - 2.4) 安全上重要な設備の冷却に使用可能な工業用水などの原水供給停止に伴う冷却水枯渇への影響
- b) 地震時特有の現象による運転操作の阻害及び地震時の安全機能への人的過誤の影響 地震時の安全機能に影響する可能性のある人的過誤及び地震時の現象による運転操作などの阻害によって、間接的に事故に繋がる可能性がある事故シナリオの例を挙げる。
  - 1) 施設の計画、設計、材料選定、製作、組立、完成検査までのミス
  - 2) 地震時、地震後の従業員など（送電関係など）の操作ミス
  - 3) 変圧器などの碍子類の損傷によるサイト電源の停電に伴うバックアップ操作の支障
  - 4) 地盤液状化、段差形成、よう壁損傷による構内通行支障
  - 5) 二次部材の損傷などの操作員など従業員などへの影響

#### K.4 複数基が立地するサイトにかかわる事故シナリオの分析及び選定

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災において、東京電力福島第一原子力発電所の事故調査報告書<sup>9)</sup>によれば、複数基が立地するサイトにおいて留意すべき事故シナリオに関する情報として、次の項目が想定される。

##### a) 安全系を共用することの適切性

- 1) 安全系を共用することによる安全性の向上 基本的に安全系については、当該ユニット専有であるべきものであるが、適切に独立性が確保されている場合は、必要に応じてユニット間で機能を共有とすることで全体の安全性向上につながる。特に同一原子力発電所内であっても、ユニットに応じて炉型や設備が異なることによって多様性が図られ、一層の安全性向上につながる可能性もある。

**例 ユニット間で共用している設備又は機能の考慮** 福島第一原子力発電所では、地震後、外部電源喪失に至ったものの、1～6号機の全ての号機において非常用ディーゼル発電設備によって交流電源は確保されていた。しかし、その後の津波によって電源盤や非常用ディーゼル海水ポンプなどが被水し、6号機の空冷式非常用ディーゼル発電設備を除き、機能喪失に至った。その後、6号機と隣接している5号機については、仮設ケーブルを敷設することによって被害を免れた6号機の非常用ディーゼル発電機から電源融通を実施し、復水補給水系によって原子炉の水位維持を図ることができた。

- 2) 設備を共用することによる弊害 基本的に安全性の向上に寄与しない限り、安全系を共用することは許容されないが、安全系を共用する場合、様々なプラント状況、事故シナリオを考慮し、事故シナリオの分析を行うことが重要である。

例 ユニット間で共用している設備の系統分離機能喪失 福島第一原子力発電所4号機は、3号機の原子炉格納容器ベント時に水素ガスを含むベント流が4号機に回り込み、原子炉建屋に蓄積、爆発に至ったものと考えられている。具体的には、4号機の格納容器ベント配管は、非常用ガス処理系配管に接続し、排気筒へ導かれているが、排気筒付近で3号機の非常用ガス処理系配管と合流している。ただし、通常は、系統に設置された空気式の弁によって、3号機での格納容器ベント流が4号機側へ逆流することはないものの、全交流電源喪失によって4号機非常用ガス処理系が待機状態で停止し、この系統の弁は開状態となったことが重なり、3号機の格納容器ベント流が4号機側へ逆流したものと考えられている。

b) 複数基同時被災による事故対応シナリオへの影響 複数基同時被災を想定した場合に考慮すべき事項としては、復旧作業の干渉、復旧作業への影響を考慮しなければならない。

1) 復旧作業の干渉 複数基同時被災を想定した場合、複数基の復旧作業を同時並行して実施する必要があり、必要となる資機材や人員がより多く必要となることを踏まえ、事故対応シナリオの成立性確認について資機材及び人員の十分性について確認を行う必要がある。

2) 復旧作業への影響 あるユニットがシビアアクシデントに至るような場合においては、上記K.4b)1)とは別に復旧作業への影響も考慮しておく必要がある。

例 隣接ユニットがシビアアクシデントに至った場合の復旧作業への影響 福島第一原子力発電所2号機では電源車による給電を行うべく復旧作業が行われていたが、1号機での水素爆発の影響にて敷設したケーブルが損傷、受電困難となった。3号機の爆発時には、運転していた原子炉隔離時冷却系の停止に備え、海水注入のために準備していた消防車やホースが損傷し、使用不能となった。また、1号機及び3号機の爆発に伴う瓦礫が散乱した結果、現場の放射線量が非常に高くなり、復旧作業の妨げになった。

c) 許容時間内に意志決定が遅延することによるSA対策の有効性低下 複数基同時被災時においては、各ユニットの事象進展速度や事象の深刻度が異なるため、ユニットによっては意志決定し指示命令するのが遅れ、SA対策の有効性が低下する可能性がある。そのため様々なケースを想定し、実施しうるSA対策の優先順位を含めた実施手順を明確にしておくことが必要である。  
損傷の相関の取扱いについては本体 7.7.1 及び本体 8.5.7 を参照のこと。

#### K.5 地殻変動及び断層変位に起因する地盤変状の影響

地殻変動及び断層変位に起因する地盤変状による影響としては、建屋間相対変位による建屋間を貫通する配管などの損傷、建屋躯体の損傷及び建屋傾斜によるSSCsの損傷又は機能喪失が想定される。

事象収束に必要な安全機能が単一建屋内に設置されている機器のみで確保可能な場合、建屋間相対変位による影響は考慮不要であり、建屋自体の健全性や機器自体の耐震評価のみを考慮すればいいと考えられる。

それに対し安全機能確保のために必要となる機器が複数建屋に設置されている場合については、建屋及び機器の健全性確認に加え、各建屋間を貫通している系統の健全性確認を行う必要があり、各建屋の相対変位量と当該系統の配管系及びケーブル類の許容変位量との比較から機能健全性評価を行う必要がある。

なお、いずれの場合についても、地盤変状の影響として建屋貫通配管の損傷に伴う溢水の影響、建屋境界の損傷並びに配管及びケーブル類貫通部の損傷に伴う建屋止水性能低下による外部からの浸水の影響が懸念される。また、電源母線の損傷による変圧器火災なども懸念される。

#### 【参考文献】

(1) 東京電力“福島原子力事故調査報告書”平成24年6月20日

附属書 L  
(規定)

原子炉施設周辺斜面の崩壊による炉心損傷への影響評価

序文

この附属書は、原子炉施設周辺斜面の崩壊による炉心損傷への影響評価について規定したものである。また、燃料プールにおける重大な燃料損傷への影響評価を行う場合にも参考ができる。

L.1 原子炉施設周辺斜面の崩壊による炉心損傷への影響評価

原子炉施設周辺斜面の崩壊が炉心損傷頻度に与える影響は次の手順で確認する。

- a) 斜面の高さ及び重要施設と斜面との距離から、斜面崩壊による炉心損傷頻度への影響の有無を工学的判断に基づき決定する。
- b) 上記 a) の結果に基づき斜面崩壊が炉心損傷頻度に影響を与えると判断した場合は、斜面の崩壊確率を評価し、影響を与える可能性のある建屋・機器などの損傷確率と比べることなどによって、スクリーニングアウトが可能かどうか判断する。【附属書 Y (参考) 参照】
- c) 斜面崩壊確率の評価によるスクリーニングアウトができない場合は、斜面崩壊後の土塊又は岩塊が炉心損傷頻度に及ぼす影響を確認する。(附属書 N (参考) 参照) (附属書 Z (参考) 参照)

附属書 M  
(参考)

炉心損傷に対する事故シナリオのスクリーニングアウトの考え方の例

序文

この附属書は、炉心損傷に対する事故シナリオのスクリーニングアウトの考え方の例を記載する。

M.1 基本的考え方

事故シナリオのスクリーニングアウトは、複数の取扱いが可能であり、評価の目的などに応じてその扱いを変えることができる。基本的考え方としては、定量的な手法と定性的な手法がある。

- a) 定量的手法 対象設備の損傷確率を定量評価し、従属する他の設備の損傷確率と比較し、十分に小さい場合にはスクリーニングアウトできる。
- b) 定性的手法 次のような手法で行い、その内容を記録として残すことが考えられる。
  - 1) 決定論的な評価に基づき判断する。例えば、対象設備の損傷時に影響を及ぼし得る建屋・機器などとの分離性から判断する。
  - 2) 対象設備の損傷時の影響が、運用面での対策及び対応に基づき低減されているか判断する。
  - 3) 対象設備の損傷時の影響に関して、サイト・プラントウォークダウンによって得た情報に基づき判断する。

M.2 本震による炉心損傷事故に直接的に繋がりを事故シナリオのスクリーニングアウト

安全機能に従属する SSCs の損傷が直接炉心損傷事故に繋がる事故シナリオのスクリーニングアウトの例を述べる。

耐震重要度 S クラス機器の損傷を含む事故シナリオのスクリーニングアウトは原則として行わないで、箇条 8 の対象とする。これは、箇条 5 の段階でスクリーニングアウトすると重要なものを落とす可能性が高いためである。

M.3 本震による炉心損傷事故に間接的に繋がりを事故シナリオのスクリーニングアウト

安全機能を有する SSCs 以外の建屋・機器の損傷と運転員の操作の阻害が間接的に炉心損傷事故に繋がる可能性がある例に分けて述べる。

a) 安全機能を有する SSCs 以外の建屋・機器の損傷

1) 屋内設備の損傷

1.1) 天井クレーンの転倒及び落下による原子炉圧力容器、格納容器への影響

1.1.1) 定量的評価 天井クレーンの転倒及び落下による影響で原子炉圧力容器、格納容

器が損傷する確率と、それ以外の原因も含めた原子炉圧力容器、格納容器の損傷確率の大きさを検討することなどによって、スクリーニングアウトが可能かどうか判断する。これらの評価でスクリーニングアウトができない場合は、事故シーケンス評価の対象とする。

- 1.1.2) 定性的評価 運用面での対策及び対応で判断する。通常運転時には原子炉などの安全機能を有する設備の直上に位置させない運用とし、転倒した場合には原子炉などの安全機能を有する設備の上には落下しないよう距離をとっていることをもって判断する。
- 1.2) 耐震重要度 B、C クラスの損傷に伴う S クラス機器の損傷
- 1.2.1) 定量的評価 上記 1.1) と同様の取扱いとする。
- 1.2.2) 定性的評価 サイト・プラントウォークダウンによって得た情報に基づき判断する。空間的相互作用の有無を確認することによって判断する。
- 1.3) 主タービンの軸受けなどの損傷に伴うタービンミサイルによる隣接原子炉建屋内従属設備への影響
- 1.3.1) 定量的評価 上記 1.1) と同様の取扱いとする。
- 1.3.2) 定性的評価 決定論的な評価に基づき判断する（飛来物が安全上重要な SSCs を破損する可能性を“タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日、原子炉安全専門審査会”を参考とする）。
- 2) 屋外設備の損傷 安全機能を有する SSCs 以外の屋外設備を対象とし、上記 a) 1) と同様の分析を行い、炉心損傷に繋がる可能性のある二次的な事故シナリオを選定する。この事故シナリオには、原子炉施設周辺斜面の崩壊による炉心損傷への二次的影響も含む。
- 2.1) スタックの転倒による原子炉建屋又は周辺構造物への影響
- 2.1.1) 定量的評価 上記 1.1) と同様の取扱いとする。
- 2.1.2) 定性的評価 決定論的な評価に基づき判断する。影響を及ぼし得る建屋・機器などとの距離から判断する。
- 2.2) 斜面崩壊による原子炉建屋又は周辺構造物への影響
- 2.2.1) 定量的評価 上記 1.1) と同様の取扱いとする。
- 2.2.2) 定性的評価 決定論的な評価に基づき判断する。影響を及ぼし得る建屋・機器などとの距離から判断する。【附属書 N（参考）参照】
- 2.3) 送電網の鉄塔などの損傷に伴う外部電源喪失への影響
- 2.3.1) 定量的評価 送電網の鉄塔などの損傷に伴う外部電源喪失に対する影響を確率論的に評価し、スクリーニングアウトが可能かどうか判断する。なお、BWR では保守的に外部電源喪失が必ず起こるものとして評価している場合がある。
- 2.3.2) 定性的評価 決定論的な評価に基づき判断する。
- 2.4) 安全上重要な設備の冷却に使用可能な工業用水などの原水供給停止に伴う冷却水の枯渇への影響
- 2.4.1) 定量的評価 冷却水の枯渇に対する影響を確率論的に評価し、スクリーニングア

ウトが可能かどうか判断する。

- 2.4.2) 定性的評価 決定論的な評価に基づき判断する。
- b) 地震時特有の現象による運転操作の阻害及び地震時の安全機能への人的過誤の影響  
上記 a) のように安全上重要な設備の操作にかからないが、誤操作などによって間接的に事故に繋がる可能性がある事故シナリオの例を挙げる。
- 1) 施設の計画、設計、材料選定、製作、組立、完成検査までのミス
  - 2) 地震時、地震後の従業員など（送電関係など）の操作ミス
  - 3) 変圧器などの碍子類の損傷によるサイト電源の停電に伴うバックアップ操作の支障
  - 4) 地盤液状化、段差形成、よう壁損傷による構内通行支障
- b.1) 定量的評価 上記 b) 1) については、定量的評価の手法は確立されていないので定性的評価による。  
上記 b) 2) から b) 4) については、人的過誤に影響を及ぼす地盤又は構造物の損傷モードに関する損傷確率及び人的過誤確率を評価できる場合は、事故シーケンス評価の対象とするか、若しくは同様の支障をもたらす可能性のある機器などの損傷確率と比べることなどによって、スクリーニングアウトが可能かどうか判断する。損傷確率の評価によるスクリーニングアウトができない場合は、フラジリティ評価又は事故シーケンス評価の対象とする。
- b.2) 定性的評価 上記 b) 1) については、安全上重要な機器については制作、組立、検査などの各プロセスで厳しい品質保証活動が行われている。そのことを考慮しても、地震動の影響を受けて顕在化し、スクリーニングアウトできないと判断する場合には、その旨報告書に記載するとともに、必要に応じ、事故シーケンスの不確実さ評価で考慮する。  
上記 b) 2) から b) 4) については、これらによって影響を受ける可能性が定性的に否定できないと考えられる操作を抜き出した上で、それらの操作が失敗すると仮定した場合に PRA 評価結果に大きい影響を及ぼすかを定性的に検討する。大きい影響を及ぼさないと考えられる場合はスクリーニングアウトし、そうでない場合は、フラジリティ評価及び事故シーケンス評価の対象とするか、又はそれを報告書に記載し、必要に応じて感度解析によって影響を確認する。

附属書 N  
(参考)

斜面崩壊が炉心損傷に及ぼす影響の確認方法

序文

この附属書は、斜面崩壊が炉心損傷に及ぼす影響の確認方法を記載する。

N.1 斜面崩壊が炉心損傷に及ぼす影響の確認方法

斜面崩壊が炉心損傷に及ぼす影響を精度よく算出する方法については、十分に確立されていないものの、次の各種手法及びそれらの組合せを用いて、工学的に判断することが可能である。

- a) 斜面及び壁(建屋などの壁)を不連続体によってモデル化し、崩落してきた岩塊と壁の衝撃荷重を直接算出するか、衝突直前の岩塊の速度から衝撃荷重を算出することによって、壁が崩壊するかどうかを判定する。
- b) Newmark 法によってすべり量を算定し、限界すべり量との比較又はそれから想定される崩壊岩塊による衝撃荷重を推定し、壁が崩壊するかどうかを判定する。
- c) 落石対策検討に用いられている計算法によって、壁が崩壊するかどうか判定する。

なお、上記 a) の不連続体解析においては、落石形状をはじめとする比較的多くのパラメータの設定が必要になるが、これらについて一般的な設定方法が確立していないものがあり、その設定に当たっては十分な検討が必要となる。

また、上記 b) で算定したすべり量の取扱いについても、一般的な限界すべり量の設定方法が確立されておらず、すべり量取扱い方法の妥当性の検証が必要となる。

上記 c) については落石対策便覧(日本道路協会)が参考にできる。

附属書 O  
(規定)

余震による炉心損傷への影響評価

序文

この附属書は、余震による炉心損傷への影響評価について規定したものである。また、燃料プールにおける重大な燃料損傷への影響評価を行う場合にも参考にできる。

O.1 余震による炉心損傷への影響評価

余震による炉心損傷への影響評価においては、評価サイト周辺の活断層及びプレート境界地震などの特定震源、過去の地震について、本震と余震の発生状況を考慮して余震による地震ハザード評価に基づき SSCs の損傷に対する影響を評価する。

なお、余震によるハザード評価又は SSCs の脆弱性評価の結果について、次に示すいずれかの条件を満足し、本震と比べて余震の影響が十分小さいと判断される場合は、その影響を無視してよい。

- a) 評価サイト周辺の特定震源及び過去の地震における本震及び余震の地震情報などに基づいて余震のハザードを評価した結果、超過頻度(超過確率)が本震と比較して十分小さい場合
- b) 評価サイト周辺の震源及び過去の地震などの情報に基づき、本震と余震の種々の発生パターンを考慮して作成した地震動について、本震と比べて余震の地震動が小さい場合、又は余震の地震動が本震を上回る可能性が十分小さいと判断される場合
- c) 炉心損傷に影響が大きな SSCs について、基準地震動を上回る高いレベルの地震動を繰り返し受けても耐力低下又は損傷に至らないことが、試験又は解析などで確認されている場合【附属書 P (参考) 参照】

本震と比較して、余震のハザード又は SSCs の損傷に対する影響が無視できない場合、本震と余震の地震動を連続し受けた場合の事故シナリオを分析して炉心損傷頻度を評価する。余震の影響評価が困難な場合は、炉心損傷頻度の評価において、余震の影響が考慮されていないことを報告書に記載する。【附属書 Q (参考) 参照】

附属書P  
(参考)

SSCs に対する余震の影響について

序文

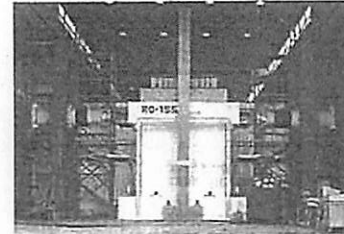
この附属書は、SSCs に対する余震の影響を記載する。また、燃料プールにおける重大な燃料損傷への影響評価を行う場合にも参考にできる。

P.1 原子炉建屋における地震動の繰り返しによる影響 (加力試験及び振動試験例)

原子炉建屋の主耐震要素である鉄筋コンクリート (RC : Reinforced Concrete) 造耐震壁、鉄筋コンクリート製原子炉格納容器 (RCCV : Reinforced Concrete Containment Vessel)、及びプレストレスト・コンクリート製原子炉格納容器 (PCCV : Pre-stressed Concrete Containment Vessel) について、最大耐力あるいは耐力低下後の破壊に至るまでの静的試験又は振動台などによる動的試験はこれまで数多く実施されている。JEAG4601-追補版<sup>(1)</sup>には、それらの試験結果を反映して RC 造耐震壁の復元力特性の評価法が定められており (例えばせん断応力-せん断ひずみの履歴モデルとしては最大点指向型が提案されている)、原子炉建屋の応答評価では、それらの復元力モデルが用いられている。静的試験で履歴特性を評価する場合、一つの加力振幅で2~3サイクルの加力を繰り返し、徐々に振幅を増大させて、最大耐力さらには耐力低下に至るまでの特性を評価する。それらの試験結果から、荷重の繰り返しに対して、各振幅の最大荷重はほぼスケルトンカーブに一致し、繰り返しによる劣化は認められない。

さらに、地震時の耐震壁などの挙動を確認するための動的試験又は仮動的試験<sup>(2)</sup>で、RC 造耐震壁の耐力に相当するせん断変形角  $4 \sim 5 \times 10^{-3}$  程度までは、地震力の繰り返しに対して最大点を指向する復元力特性が維持され、スケルトンカーブの低下が見られないことが確認されている。したがって、本震あるいは余震による応答が、耐力以下であれば、本震と余震の地震動の大きさにかかわらず、原子炉建屋は健全性を保つことができる。

次に、RC 造耐震壁、RCCV 及び PCCV の仮動的試験あるいは動的試験例を示す。



RC造耐震壁の仮動的試験で、終局せん断ひずみを上回るせん断変形角  $2 \times 10^{-3} \sim 7 \times 10^{-3}$  程度までの3レベルの試験を実施。各試験では、ほぼ同じ振幅レベルを2~3回程度繰返した応答を示しているが、履歴特性及びスケルトンカーブの劣化は見られない。

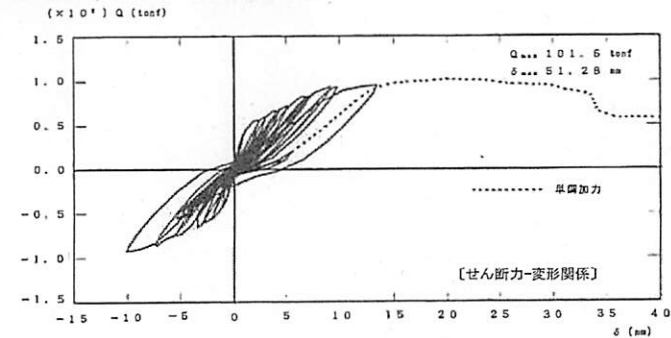
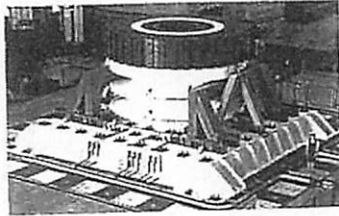


図 P.1-I 型耐震壁の仮動的試験例<sup>(2)</sup>



RCCVについて $S_2$ の9倍の地震動レベルまで振動試験を実施。正側で $S_2$ の4倍(最大耐力時 $R=8 \times 10^3$ 程度)、負側で3倍(最大耐力時 $R=5 \times 10^3$ 程度)まで履歴特性及びスケルトンカーブの劣化は見られない。

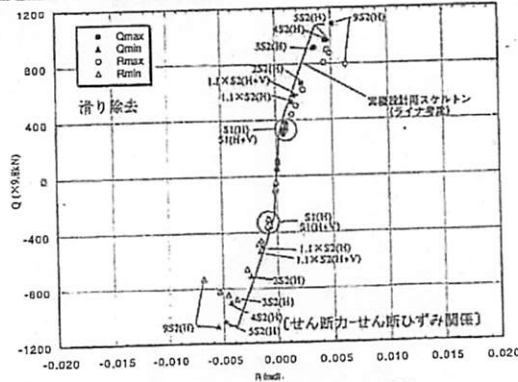
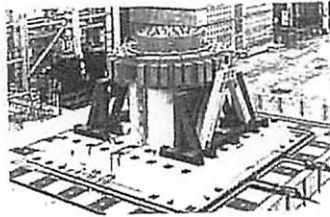


図 P.2-RCCV の振動試験例<sup>(3)(4)</sup>



PCCVについて $S_2$ の5倍の地震動レベルまで振動試験を実施。 $S_2$ の約4倍で最大耐力に達しているが、履歴特性及びスケルトンカーブの劣化は見られない。

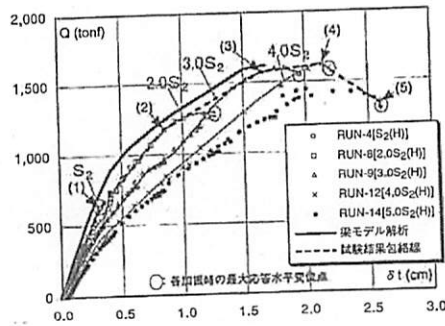


図 P.3 PCCV の振動試験例<sup>(1)</sup>

P.2 配管系の終局強度及び現行耐震設計の安全裕度の評価 (配管系の終局強度試験例)

a) 評価概要 現行の原子力発電施設の配管系の耐震設計は、基本的に材料の弾性挙動範囲内の設計となっており、配管系の機能喪失に至る終局強度は大きな安全裕度を有していると考えられる。原子力発電技術機構では、平成10年より、現行の耐震設計法で設計された一般的な配管系の弾塑性応答挙動及び終局強度を把握し、許容応力に対する安全裕度を把握するための試験及び解析を実施している。安全裕度の確認では、特に設計許容応力を超えた弾塑性領域での配管の応答挙動で問題となるラチェット変形を伴う低サイクル疲労に着目して評価を実施しており、本震と余震による地震動を繰り返し受けた場合の配管系への影響を検討する上で有用な知見が得られている。それらの結果によれば、現行耐震設計法によって設計された配管系は、設計用基準地震動 $S_2$ に対する許容応力度(3Sm)の10倍以上の応力強さにおいても塑性崩壊又は疲労による破損は生じないこと、低サイクル疲労強度は設計疲れ線図を上回る強度を有していることなどが確認されている。したがって、配管系は、破損に対して非常に大きな安全裕度を保有しており、余震による地震動の影響は小さいものと考えられる。次に、それらの試験及び解析概要を示す。

b) 実規模配管系モデルの終局強度試験<sup>(5)</sup> 実規模配管系の耐震信頼性の実証を目的に、耐震上重要な配管系の一般的特徴を有する実規模配管系モデルの振動試験を実施し、設計許容応力を超える高い応答レベルで配管終局強度(破損限界)を把握するとともに、現行耐震設計の安全裕度を確認している。その試験概要及び結果を図P.4に示す。

同図に示すように $S_2$ の1.7倍(振動台の加振限界)の入力地震動に対して、最も応力が大きなエルボ部分の1次繰り返しピーク応力は5.8Smとなっており、地震等価繰り返し数を60回とした場合、設計疲労線図による疲労係数は0.15程度となっている。また、共振波試験で62Sm(設計疲労線図の繰り返しピーク応力の上限值の約2倍)に相当する繰り返しピーク応力まで加振し、疲労による破損及び配管内の漏洩が見られないことを確認している。

c) 実規模配管系の安全裕度の評価<sup>(6)</sup> 現行設計法に基づき設計された実規模配管として、耐震設計条件が厳しいBWRとPWRの給水系配管モデルを選定し、基準地震動 $S_2$ に対する地震応答解析及び非線形有限要素解析を行い、材料試験及び要素試験で評価した低サイクル疲労に対する疲れ線図から安全裕度を評価した。その評価概要と結果を図P.5~P.6に示す。

1回の地震動で配管が疲労破損(等価繰り返し数60回)する入力地震動の大きさと、設計上許容される入力地震動(一次応力が許容応力3Smに達するか、繰り返しピーク応力強さが、疲れ線図の繰り返しピーク応力強さに達する地震動)を比較した結果、前者の地震動の大きさは後者の地震動に対してBWRで約27倍、PWRで約13倍となり、非常に大きな安全裕度を有していることが確認されている。

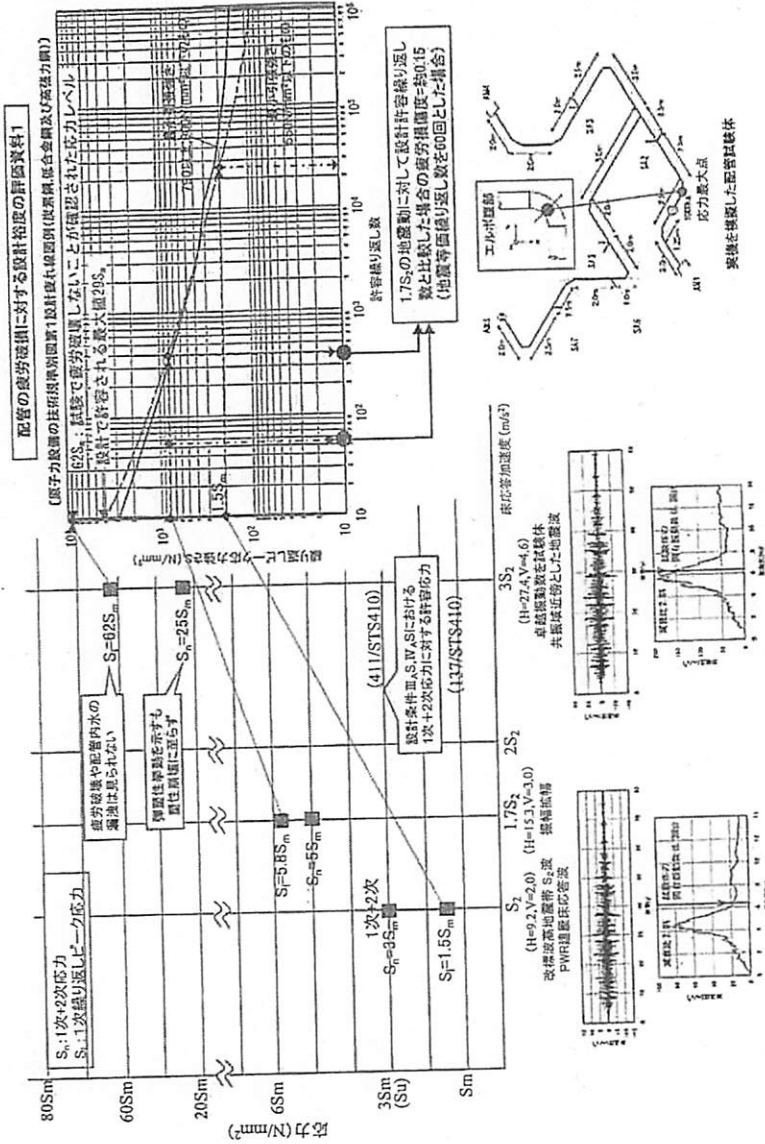


図 P.4—実機配管系モデルの終局強度試験<sup>(5)</sup>

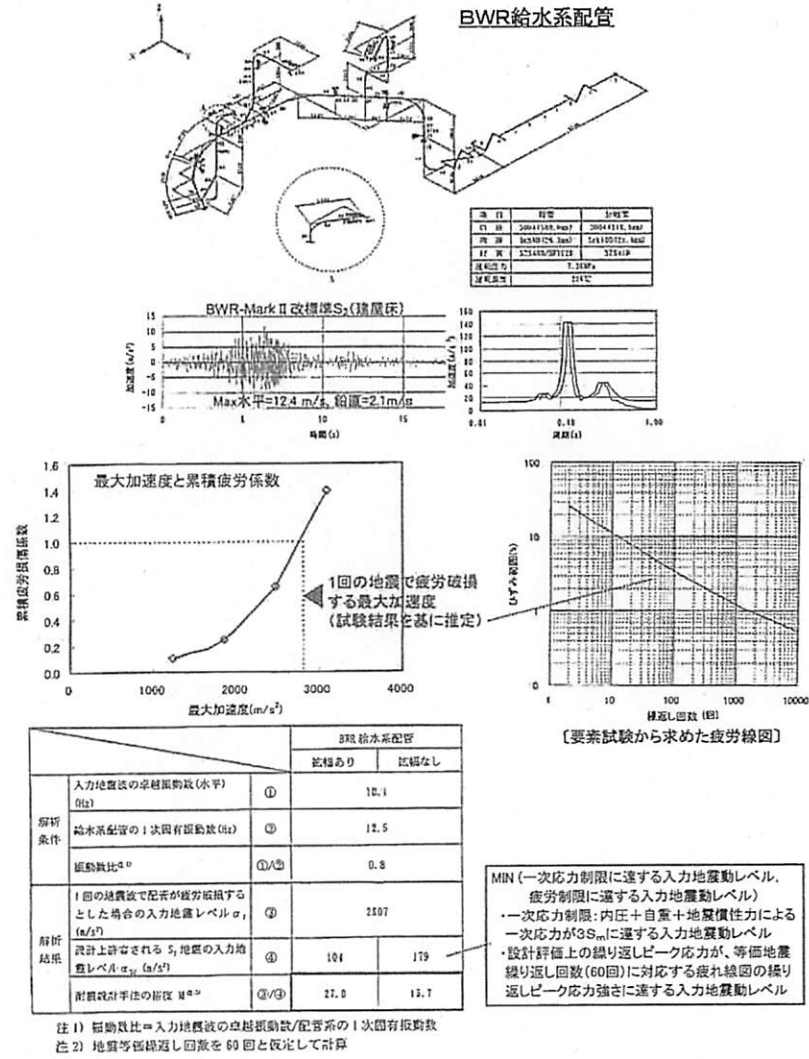


図 P.5—実機配管系の安全余裕の評価例 (BWR 給水系配管)<sup>(5)</sup>

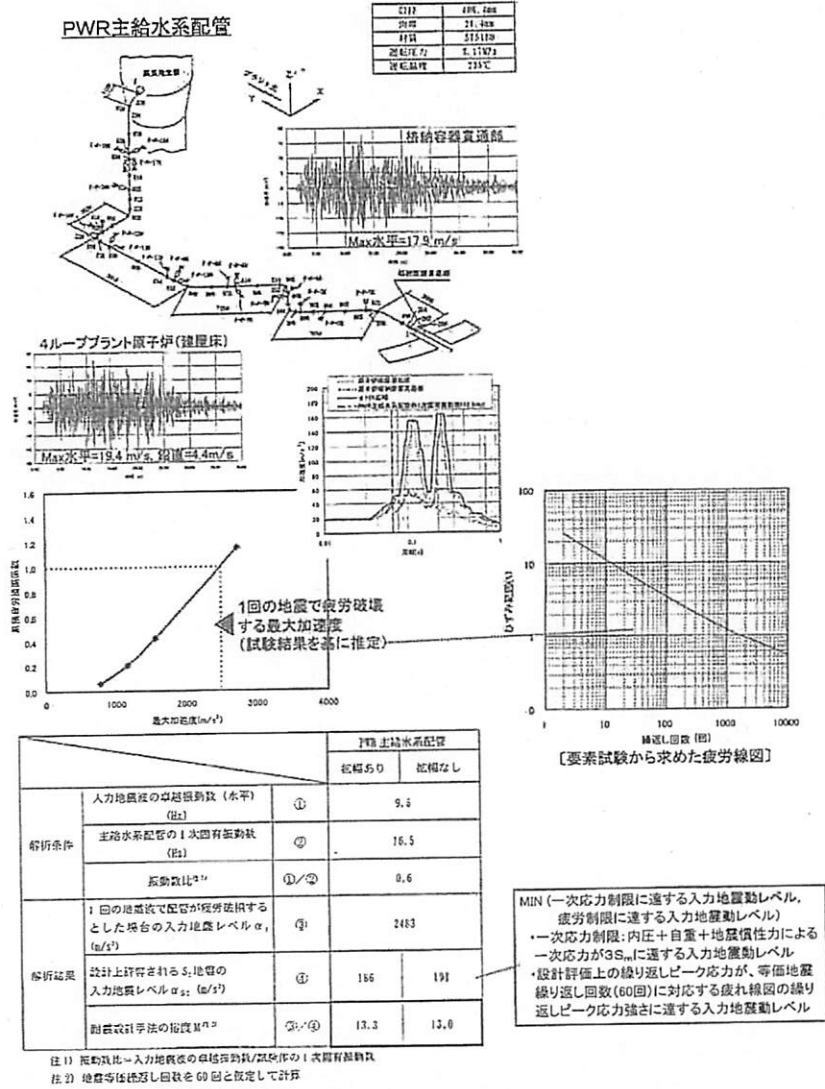


図 P.6—実機配管系の安全余度の評価例 (PWR 給水系配管) (5)

**P.3 動的機器の耐力に対する地震動の繰り返しの影響 (耐力試験例)**

原子力安全基盤機構では、地震 PRA 上重要度が高い横型ポンプ及び電気品の耐力把握することを目的として、部分品及び実機に対して設計条件を大きく超える加速度を入力した加振実験を実施している<sup>(6)</sup>。

実機試験では、試験横型ポンプの代表機種として原子炉補機冷却ポンプ (RCW ポンプ) を対象に最大約 6×9.8m/s<sup>2</sup> の加速度による振動試験を行い、ポンプの運転状態、外観などに異常が見られないことを確認している。また、電気品の実機試験では、原子炉補助盤、中央制御盤、計装ラック及び論理回路制御盤などについて最大約 6×9.8m/s<sup>2</sup> の加速度による振動試験を行い、電気的に異常がないことが確認されている。

これらの振動試験では、図 P.7 の試験実施フロー及び表 P.1 の試験ケース一覧に示すように、1 試験体に対して加振レベルを上げながら繰り返し加振試験を実施して、最終的に機能維持が確認された最大加速度を地震 PRA における現実的耐力値として採用している。したがって、これらの耐力評価結果において、余震による地震動の繰り返しの影響はないものと考えられる (あるいは繰り返しの影響を含めた耐力評価結果となっている)。

**【参考文献】**

- (社) 日本電気協会電気技術基準調査委員会, “電気技術指針 原子力編 原子力発電所耐震設計技術指針” JEAG4601-1991 追補版
- (財) 原子力発電技術機構, 耐震安全解析コード改良試験, “原子炉建屋の弾塑性試験動的復元力に関する報告書” 平成 5 年度, 平成 6 年 3 月
- (財) 原子力発電技術機構, “平成 11 年度原子炉発電施設耐震信頼性実証試験に関する報告書 その 1 コンクリート製原子炉格納容器耐震実証試験 (第二分冊)”, 平成 12 年 3 月
- (財) 原子力発電技術機構, “平成 11 年度原子炉発電施設耐震信頼性実証試験に関する報告書 その 1 コンクリート製原子炉格納容器耐震実証試験 (第一分冊)”, 平成 12 年 3 月
- (財) 原子力発電技術機構 “原子力発電施設耐震信頼性実証に関する報告書, 配管系終局強度”, 平成 10 年度~平成 15 年度
- (独) 原子力安全基盤機構, “原子力発電施設耐震信頼性実証に関する報告書, 機器耐力その 1 (横型ポンプ, 電気品)”, 平成 16 年 7 月

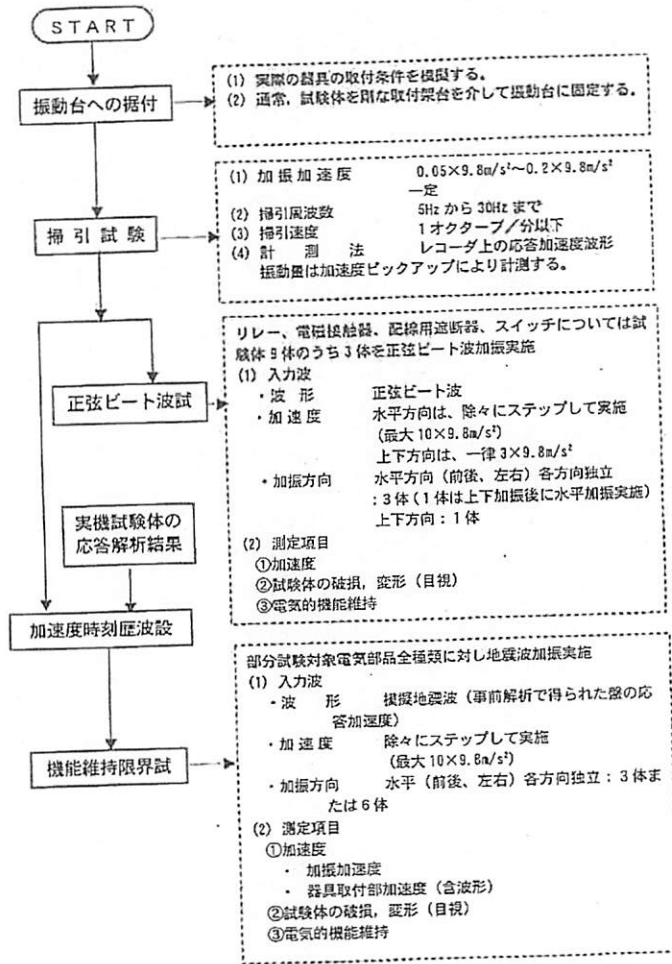


図 P.7—耐力試験実施手順<sup>(6)</sup>

表 P.1—耐力試験ケース例

【横型ポンプ試験ケース一覧】

試験項目	試験ケース	加振方向	入力波	目標最大加速度 ( $\times 9.8m/s^2$ )	試験体条件
予備試験	1	ポンプ軸直角方向 (X方向)	ランダム波	0.4	運転状態
	2	上下方向 (Z方向)		0.4	同上
耐力試験	1	ポンプ軸直角方向 (X方向)	模擬地震波	2	運転状態
	2			3	同上
	3			4	同上
	4			5	同上
	5			6	同上

【電気品試験ケース一覧】

(単位:  $\times 9.8m/s^2$ )

前後方向		左右方向	
加振加速度	GPT取付部 応答加速度	加振加速度	GPT取付部 応答加速度
2	2.26	2	4.40
2.5	2.69	2.5	5.59
3	3.34	3	7.36
3.5	3.98	3.5	10.1
4	4.65	4	10.3
4.5	5.07	5	15.2
5	5.66	6	21.8
6	6.15		

附属書 Q  
(参考)  
余震を考慮した地震 PRA 手法

序文

この附属書は、余震を考慮した地震 PRA 手法の考え方の例を記載する。また、燃料プールにおける重大な燃料損傷への影響評価を行う場合にも参考にできる。

Q.1 余震を考慮した場合の炉心損傷頻度の評価の考え方

余震による炉心損傷への影響を評価するためには、余震のハザード評価、本震と余震の地震動の影響を考慮した SSCs のフラジリティ評価及び事故シーケンス評価が必要となる<sup>(1)</sup>。これらの評価技術は研究段階にあり、評価方法の詳細及び評価例などに関する情報は非常に少ないため、余震による炉心損傷への影響評価の方法を、系統的に示すには至っていない。次は、現段階で得られている情報又は知見から、各評価過程の基本的な考え方を纏めたものである。

なお、余震による炉心損傷への影響評価の方法については、評価技術が研究段階にあるものの感度解析を実施する場合の考え方、感度解析の例、今後の評価手法の改良の可能性を附属書 DI (参考) にまとめている。

Q.2 余震を考慮した地震 PRA

a) 余震のハザード評価 余震のハザード評価では、本震発生以後の余震発生数の経時変化及び規模別発生頻度、最大余震の規模、余震の空間分布などをモデル化し、箇条 6 に示す本震のハザード評価と同様に地震動伝播解析を行い余震群による地震動の超過頻度(超過確率)を評価する。箇条 6 では、余震を除外した本震のみの情報でハザードを評価することとしており、除外した余震の情報を用いてハザードを評価する。余震の評価期間は、プラントがスクラム停止した後、点検可能な停止状態になるまでの期間とする。

余震のハザード評価にかかわる技術として、余震の発生様式のモデル化及びハザード評価例<sup>(2), (3)</sup>が示されており、また、地震調査研究推進本部・地震調査委員会<sup>(4)</sup>においても余震の確率評価手法の考え方が示されている。本震に対する余震の発生位置の分布のモデル及び最大余震の設定方法などについて課題があるが、これらの考え方をを用いて余震のハザード評価は可能である。

b) フラジリティ評価 フラジリティ評価では、本震と余震の地震動を連続して受けた場合の SSCs の損傷確率評価が必要となり、そのための入力地震動の評価が重要である。評価サイトに影響を及ぼす特定の震源及び過去の地震を対象に、本震と余震の発生位置及び規模について種々のパターンを設定して、本震と余震の地震動の組合せを作成するなどの方法が考えられる。また、評価対象機器などの特性に応じて、本震と余震による地震力の繰返しによる応答及び耐力への影響を考慮する必要がある。応答評価

では、基本的に箇条 7 に示す方法を適用する。

なお、原子炉建屋とは構造特性が異なるが、一般構造物の本震及び余震による地震応答への影響について評価した例が文献<sup>(5)</sup>に示されている。

c) 事故シーケンス評価 本震を受けた直後に、サイト周辺で規模が大きな余震群が発生した場合、SSCs が本震後も機能維持し、炉心損傷を回避する事故シーケンスに対して、余震による緩和系の機能喪失及び新たな起因事象の発生による影響の発生確率を評価し、余震による炉心損傷頻度の増加分を評価する<sup>(6)</sup>。

【参考文献】

- (1) 堤英明他, “余震を考慮した地震 PSA 手法の開発”, 2005 年日本原子力学会秋の大会
- (2) 岡田康男他, “確率論的地震動評価のための余震規模及び時空間発生モデルの構築に関する研究(その1)モデル化手法の検討”, 2005 年日本建築学会大会
- (3) 花村正樹他, “確率論的地震動評価のための余震規模及び時空間発生モデルの構築に関する研究(その2)シミュレーション解析”, 2005 年日本建築学会大会
- (4) 地震調査研究推進本部・地震調査委員会ホームページ, “余震の確率評価手法について(平成10年4月8日)”
- (5) Junichi SAKAI, Stephen. A MAHIN, “NONLINEAR RESPONSE SPECTRA FOR STRONG GROUND MOTION RECORDS FROM THE 2004 NIIGATA-KEN CHUETSU EARTHQUAKES”, Journal of Japan Association for Earthquake Engineering Vol.5, No.1, 2005
- (6) “地震に係る確率論的安全評価手法の整備に関する報告書=PWR の事故シーケンスの試解析=(平成17年度)”, (独)原子力安全基盤機構 解析評価部, JNES/SAE06-089, 平成19年2月。

附属書 R  
(規定)

経年変化事象を考慮した場合の炉心損傷への影響評価

序文

この附属書は、経年変化事象を考慮した場合の炉心損傷への影響評価について規定したものである。また、燃料プールにおける重大な燃料損傷への影響評価を行う場合にも参考にできる。

R.1 経年変化事象を考慮した場合の炉心損傷への影響評価

経年変化事象を考慮した場合の炉心損傷への影響評価においては、SSCsの経年変化による地震応答特性の変化又は耐力の低下を、SSCsのフラジリティ評価において考慮する。ただし、新設プラントのように経年変化事象を考慮する必要が無い場合は、フラジリティ評価において経年変化事象を考慮する必要はない。

また、フラジリティ評価において経年変化事象を考慮することで新たな事故シナリオが生じる場合は、事故シーケンス評価に反映する必要がある。

なお、フラジリティ評価に当たっては次の観点によってスクリーニングアウトを行ってもよい。【図 R.1 参照】

- a) 有意な経年変化事象が発生しないものは対象外とする。
- b) 経年変化事象がある場合でも、維持及び管理、リプレースなどの保全によって、耐震上大きな影響が生じないように管理及び対処されるものについては対象外とする。ここで、経年変化事象である機器及び配管系に発生するき裂については、日本機械学会“発電原子力設備規格 維持規格”(JSME SNA1-2004)に基づき安全性が確認されれば、上記、維持及び管理が適切に行われているものと解釈し対象外とする。
- c) 経年変化事象の発生部位(強度部材でない部位又は応答評価上影響のない部位)、形態(金属部材の表面の錆、コンクリート構造物のヘアクラックなど)などの観点から評価対象物の地震応答特性又は耐力に影響がないと定性的に判断できる場合は対象外とする。
- d) 経年変化事象が評価対象物の地震応答特性又は耐力に影響があると判断される場合においても、次の場合については対象外としてよい。
  - 1) 設計上、腐れ代の考慮などによって経年変化事象による耐力の低下に対する余裕が確保されており、かつ、それらの余裕をフラジリティ評価上無視している場合。
  - 2) 経年変化事象によって地震応答特性への影響が考えられる場合でも、フラジリティ評価上支配的な損傷部位における応答に影響がない(応答が変化しない、又は応答が低減する)と考えられる場合。
  - 3) 経年変化事象によって耐力が低下する部位よりも、他の部位がフラジリティ評価上支配的な損傷部位となる場合。
  - 4) 経年変化事象の発生していない状態で、既存の耐震性評価結果などを参考に耐力又は

応答の観点で十分な耐震裕度(フラジリティ)を有しており、経年変化事象による地震応答特性及び耐力への影響を考慮しても炉心損傷頻度への影響が小さいと判断される場合。

- e) 上記a)~d)のスクリーニングアウトを経て、評価対象として残った経年変化事象のうち、現状の知見では評価が困難、又は過度に保守的となるなど合理的に炉心損傷頻度の評価へ反映することが難しい場合には、感度解析で影響の度合いを確認し、評価対象事象がリスク要因となり得ることを報告書に留意事項として記載する。

なお、炉心損傷に直接影響を及ぼさないSSCsであって、その損傷による変形などに起因して、炉心損傷へ影響のあるSSCsへの衝突などの二次的影響を及ぼすものについて経年変化事象の影響を考慮する場合にも、上記のスクリーニングアウトの考えに基づいて判断してもよい。

附属書 S  
(参考)  
経年変化の取扱い

序文

この附属書は、炉心損傷に至る経年変化の取扱いを記載する。また、燃料プールにおける重大な燃料損傷に至る経年変化の取扱いについても参考にできる。

S.1 経年変化の影響

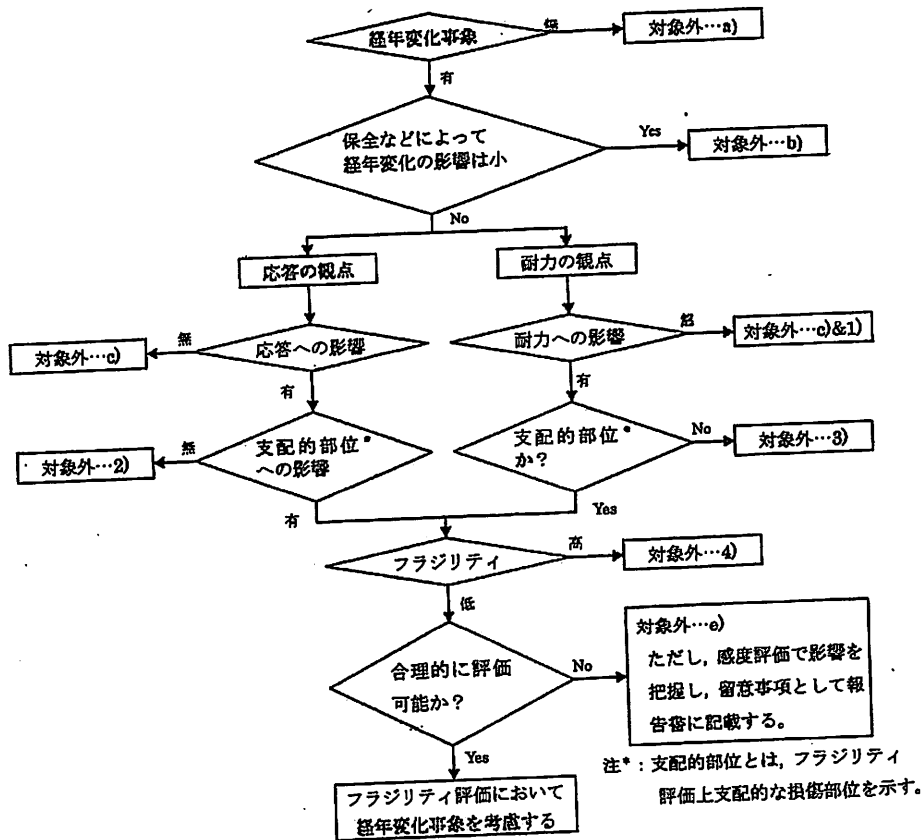
定期検査及び予防保全計画を考慮しても SSCs に耐震設計上要求される性能の低下がある場合は、経年変化事象の影響を考慮して炉心損傷に至る事故シナリオを選定する。

S.2 SSCs の経年変化に対するプラント保守からの対応

- a) 建物及び構築物 建物及び構築物の主要構造材料としては、コンクリートと鋼材がある。コンクリートの経年変化には、温度環境下の強度低下が懸念されるが、CCV 規格<sup>(1)</sup>に示される温度制限値以下の環境が確保されていることによって原子炉施設の供用期間中の強度低下の可能性は小さいと考えられる。また、アルカリ骨材反応に関しても、反応性骨材は事前の検査が実施されており反応現象は発生の可能性は小さいと考えられる。さらに、鋼材に関しては、コンクリートの中性化並びに塩分侵入による腐食が考えられるが、原子炉施設のかぶり厚さは一般の構造物より大きめに設計されていることより、供用期間中の鋼材腐食の可能性は小さいと考えられる。しかしながら、温度環境下のコンクリート強度低下などに関しては PRA のための評価データが十分でないことから、当面経年変化による評価は分析などによる判断が必要であると考えられるが、今後データが収集された段階で、地震 PRA に反映するものとする。
- b) 機器及び配管系 機器及び配管系については、安全上の重要度に基づき定期事業者検査による点検、機器の取替えを実施している。経年変化にかかる対象としては、原子炉再循環系配管などのき裂発生<sup>(2)</sup>の問題があるが、日本機械学会“発電用原子力設備規格維持規格” (JSME SNA1-2008) によって 5 年経過を目途として破壊強度を確保するようになっている。また、配管の減肉<sup>(3)</sup>の問題については、事業者によって減肉配管に対し日本電気協会“原子力発電所耐震設計技術規程” (JEAC4601-2008) に基づく応力評価が実施され設計強度を確保するようになっている。これら局部的なき裂、減肉などは、機器及び配管系の損傷確率に及ぼす影響を評価する必要がある場合は確率的破壊力学手法を用いて評価することができる。

S.3 経年変化にかかる試験事例

経年変化にかかる試験による評価例としては、原子力発電技術機構が国の委託を受け実施した耐震信頼性実証試験<sup>(4)</sup>及び(独)防災科学技術研究所が実施しているもの<sup>(5)</sup>、<sup>(6)</sup>があり、いずれも耐震設計審査指針が改訂される前の事例である。耐震信頼性実証試験は、減肉配



図R.1—経年変化事象のスクリーニングアウトの流れ

管要素試験、減肉配管系試験及び解析評価がなされており、結果として減肉配管の耐震性評価手法の検討、実機減肉配管の耐震性の評価及び耐震信頼性と耐震裕度の検証を行っている。減肉配管の耐震信頼性実証試験のモデル図を図 S.1、減肉配管のひずみ分布図を図 S.2 に示す。また、減肉配管要素試験における減肉配管のき裂貫通状況を配管エルボについて図 S.3、配管ティについて図 S.4 に示す。減肉配管系試験においては、減肉配管の持つ強度上の裕度は、設計値の 10 倍前後であるとの結果が得られている。き裂の発生した配管の試験は、(独)防災科学技術研究所が配管について、さまざまなき裂形態及びき裂の大きさを想定して実施している。それに基づき評価を行えば、肉厚の 50% 深さで全周き裂を考慮しても、配管の応答性状に影響を与えず、かつ、き裂配管の持つ強度上の裕度は、設計値の 6 倍前後であるとの結果が得られている。

#### S.4 日本機械学会“発電用原子力設備規格 維持規格”(JSME SNA1-2008)の解説

原子力発電所は経年変化事象によって必ずある程度は劣化する。その劣化が将来的に原子力発電所の安全性に影響を与えるかどうか、設備の健全性を判断する基準が“維持基準”である。従来は、“設計・製造基準”のみで、新規プラントへの適用基準を運転中の原子力発電所へ適用していた。このため機器などにき裂、ひび割れなどが発見された場合、安全上の問題の有無にかかわらず、“設計・製造基準”に基づいて修理を行っていた。しかし、原子力発電所は、もともと“劣化”を見込んで設計されていたが、その劣化を判定する基準がないため、新品の状態を保って運転しなければならないとされていた。しかし、欧米の維持基準では、使用する機器にひび割れなどが発見されても、安全性にかかわるか否かを評価し、安全性に問題がなければ、状態を監視しつつ、継続使用を認めている。これらの状況を考慮して、1993 年頃から(財)発電設備検査技術協会が維持基準の欠陥評価が審議され、原案が作成された。1998 年頃(社)日本機械学会で、この原案を基に維持規格が審議され、2000 年に日本機械学会発電用原子力設備規格維持規格として発行された後、改定及び追補版発行が行われ、現在の 2008 年版(2011 年追補版)に至っている。

この維持規格では、原子力発電所の機器及び配管系などにき裂又はひび割れなどの劣化が定期事業者検査などによって発見された場合に、そのき裂又はひび割れが一定期間後にどの程度大きくなる(進展する)かを予測し、その予測されたき裂又はひび割れを考慮して評価された強度が、安全率を見込んだ許容限界強度を上回り余裕がある場合、継続使用が可能と判断されるが、下回る場合は、修理又は取換えが必要とされている。

#### S.5 確率論的破壊力学解析手法による配管系のフラジリティ評価

経年変化が配管系の損傷確率に及ぼす影響を考慮して、フラジリティを評価する必要がある場合は、確率論的破壊力学などの手法を用いることができる<sup>(6)</sup>。

a) 確率論的破壊力学 確率論的破壊力学は経年変化事象によるき裂や減肉などの存在及びその進展を考慮して、影響因子の影響効果に関する統計処理に基づく確率モデル及び破壊力学などを用いて、機器や配管系の損傷確率を評価する手法である。軽水炉配管系を対象にき裂の存在を考慮した地震時損傷確率を評価することを目的とした確率

論的破壊力学解析コードとして、米國ローレンス・リバモア国立研究所で開発された PRAISE が挙げられる<sup>(6)</sup>。その一例として、溶接部に存在する初期き裂を考慮した損傷確率の計算流れを図 S.5 に示す。初期き裂の存在率及び寸法分布、疲労及び応力腐食割れ(SCC)などの経年変化事象によるき裂の進展、超音波探傷試験などの非破壊検査によるき裂の検出、貫通き裂による配管の漏えい、き裂を有する配管の破壊などに関する計算モデルやそれらにかかるパラメータの確率分布を考慮し、モンテカルロ法により配管の損傷確率が計算される。近年、国内にも複数の確率論的破壊力学的解析コードが開発、整備されており<sup>(6),(7)</sup>、低炭素系ステンレス鋼応力腐食割れによるき裂の発生や進展、超音波探傷試験によるき裂の検出率、地震動による応答波形などにかかわる国内の知見を反映して、経年変化事象によるき裂の存在を対象とした配管の損傷確率が評価できるようになっている。破壊力学などの演繹的手法を用いて地震荷重の影響効果を考慮しているため、異なる地震動による応答波形や本震、余震の影響を踏まえた損傷確率を求めることができる。また、配管減肉を対象とした損傷確率評価も実施されている<sup>(6)</sup>。

b) 確率論的破壊力学によるフラジリティ評価事例 配管系として BWR 型軽水炉の再循環系配管、経年変化事象として応力腐食割れによるき裂の存在、並びに応力腐食割れ及び疲労によるき裂の進展を考慮して、300A Sch.80 低炭素系ステンレス鋼配管のフラジリティ曲線の評価事例<sup>(6),(8)</sup>を図 S.6 に示す。通常のフラジリティ曲線は地震動レベルの増加に対して、1本の曲線となることに対して、経年変化事象を考慮したフラジリティ曲線は複数の曲線となり、供用年数の増加に伴う経年変化事象の進展により上昇することが示されている。

#### 【参考文献】

- (1) (社)日本機械学会編、“発電用原子力設備規格コンクリート製原子炉格納容器規格”，2003 年 12 月
- (2) (財)原子力発電技術機構、原子力安全解析所，“平成 14 年度 BWR プラントにおける炉内構造物、再循環配管の健全性評価に関する報告書”，INS/M02-30，平成 15 年 3 月
- (3) (財)原子力発電技術機構、原子力安全解析所，“平成 14 年度原子力発電施設耐震信頼性実証に関する報告書 その 2 減肉配管”，平成 15 年 3 月
- (4) (独)防災科学技術研究所，“機器・配管系の経年変化に伴う耐震安全裕度評価手法の研究報告書”，平成 9 年 10 月
- (5) (独)防災科学技術研究所，“繰返し曲げを受ける減肉配管の破損挙動”，平成 16 年 2 月
- (6) (社)日本溶接協会 PFM 小委員会，“リスク活用のための確率論的破壊力学技術—基礎と応用—”，<http://www-it.jwes.or.jp/ae/index.jsp>，平成 24 年 12 月
- (7) Y. Li, H. Ito, K. Osakabe, K. Onizawa and S. Yoshimura, “Benchmark analysis and numerical investigation on probabilistic fracture mechanics analysis codes for NPPs piping”, International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol. 99, 2012

- (8) Y. Li, H. Ito, K. Ebisawa, S. Yoshimura and H. Kameda, "Failure Probability of Aged Piping Based on Probabilistic Fracture Mechanics for Seismic Margin Assessment on NPPs", 1st Kashiwazaki International Symposium on Seismic Safety of Nuclear Installations, Kashiwazaki, Japan, Nov. 24-26, 2010

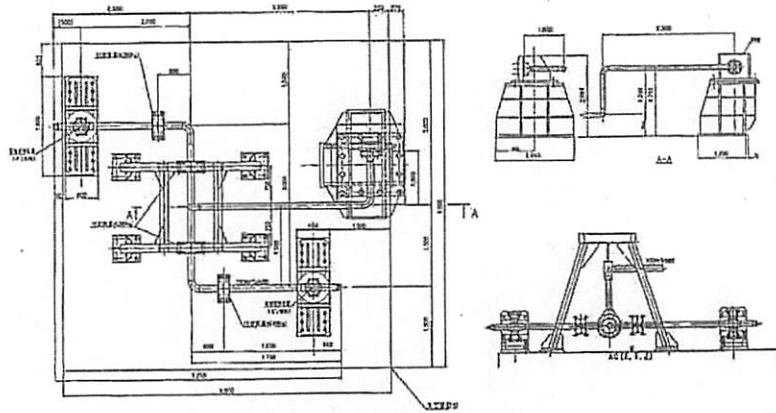


図 S.1—減肉配管の耐震信頼性実証試験のモデル図<sup>(3)</sup>

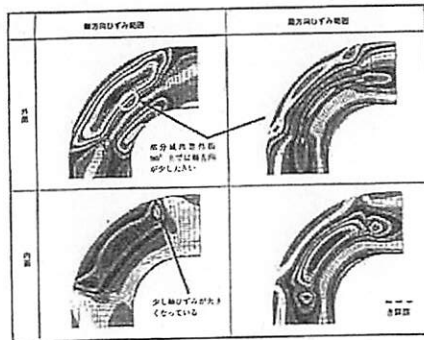
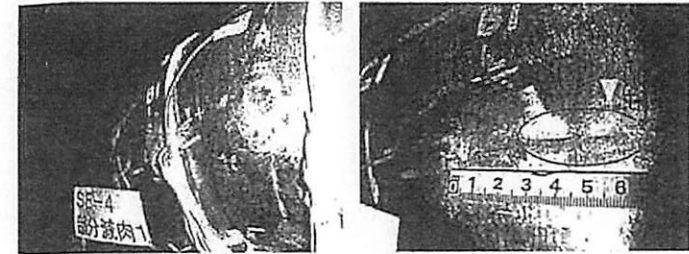
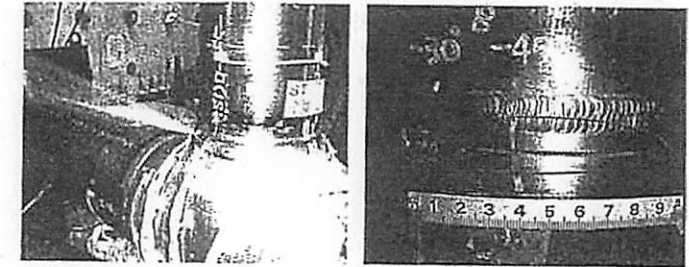


図 S.2—減肉配管のひずみ分布図<sup>(3)</sup>



(a) き裂貫通時の外観  
減肉配管要素試験 減肉エルボ き裂貫通状況

図 S.3—減肉配管 (エルボ) のき裂貫通状況<sup>(3)</sup>



(a) き裂貫通時の外観  
減肉配管要素試験 減肉ティ き裂貫通状況

図 S.4—減肉配管 (ティ) のき裂貫通状況<sup>(3)</sup>

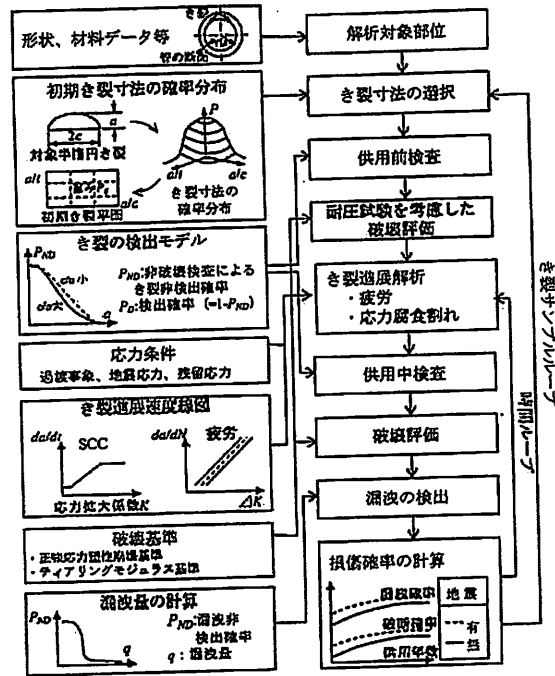


図 S.5—初期き裂を対象とした PRAISE の解析流れ

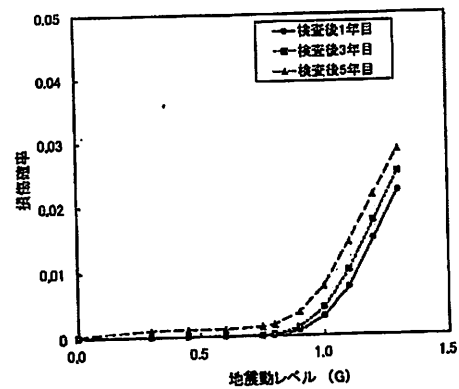


図 S.6—経年劣化を考慮とした fragility 曲線事例<sup>(8)</sup>

附属書 T  
(参考)

燃料プール内燃料の損傷に対する事故シナリオのスクリーニングアウトの考え方の例

序文

この附属書は、BWR及びPWR燃料プール内燃料の損傷に対する事故シナリオを対象として、スクリーニングアウトの考え方の例を記載する。

T.1 燃料プールの冷却機能喪失のシナリオのスクリーニングアウトの考え方

このシナリオは燃料プールの冷却機能が喪失し、燃料プール内の冷却水が蒸発あるいは漏洩によって失われ、燃料プール内の燃料が露出し、その後崩壊熱によって過熱され燃料損傷に至るものである。

a) BWR の燃料プールの冷却機能の概要 BWR の燃料プールは、十分に耐震設計がなされた構造物として、原子炉建屋の最上階に設置されている。図 T.1 に示すように、通常運転中は燃料プール冷却浄化系によって除熱（循環冷却）されている。プール水はプールからスキマせきを通り、スキマサージタンクを経て FPC ポンプで加圧され、燃料プール冷却浄化系の熱交換器で冷却され、燃料プールのディフューザ配管からプールに戻る。このディフューザ配管にはプール水がサイフォン効果現象で逆流し、燃料が露出することを防止するために逆止弁が設けられている。また、燃料プールの低位置にはドレン配管を設けておらず、燃料プール内に保管された燃料位置以下には漏洩経路が存在しない設計となっている。

メンテナンスなどによって炉心燃料を全て燃料プールに取り出す場合など、燃料プール冷却浄化系では冷却能力が不足する場合には図 T.1 に示すように、残留熱除去系の燃料プール冷却モードによって除熱（循環冷却）される。燃料プールにかかわる循環経路、すなわちスキマサージタンクを介してプール水を取水し、ディフューザ配管からプールに戻る経路は残留熱除去系を使用する場合も同じである。

上記の除熱機能（燃料プール冷却浄化系、残留熱除去系）が機能しない場合においても表 T.1 に示すように多数の燃料プールへの注水機能が電源、水源を含めて設けられており、継続した注水を可能とする設計としている。

ただし、これらの機能は全て手動で起動する必要がある。また、消防車による注水は現場での操作が必要となる。

b) PWR の使用済燃料ピットの冷却機能の概要 PWR の使用済燃料ピットは、十分に耐震設計がなされた構造物として、原子炉補助建屋に設置されている。図 T.2 に示すように、通常は、使用済燃料ピットポンプ及び使用済燃料ピット冷却器などから構成される使用済燃料ピット冷却系によって除熱（循環冷却）されている。ピット水は、使用済燃料ピットの上に取り付けられた配管から、使用済燃料ピット冷却系を経由して使用済燃料ピットに戻るが、この注水配管には、ピット水がサイフォン現象で逆流し、燃

料が露出することを防止するためにサイホンブレーカーが設けられている。また、使用済燃料ピットの底部には排水口は設けない設計としている。このように、使用済燃料ピット内に保管された燃料位置以下には、漏えい経路が存在しない設計となっている。

また、使用済燃料ピット冷却系による除熱ができない場合には、燃料取替用水ピット、二次系純水タンクなどを水源とした補給を行うことができ、そのための手順書が整備されている。

さらに、福島第一原子力発電所事故を受け、万一、全交流電源喪失などによって使用済燃料ピットの冷却機能が喪失し、通常の系統を用いて使用済燃料を冷却できなくなった場合の対応として、消火栓（屋内外）による淡水の補給や消防ポンプでの海水の補給など、多様な方法によって、使用済燃料ピットへ水の補給を行い、使用済燃料ピット水量を確保することができるような手順の整備並びに必要な資機材の配備がなされている。【図 T3 参照】

ただし、これらの機能は全て手動で起動する必要がある。また、消火栓などによる水の補給は現場での操作が必要となる。

- e) **スクリーニングアウトの考え方** この例では決定論的評価の情報に基づき、燃料プールの冷却機能喪失のシナリオをスクリーニングアウトするための評価手順を示している。評価によって、“時間的余裕があり、かつ、機能喪失の可能性が小さい冷却手段が準備されていること”により本シナリオの発生確率が無視できると工学的に判断できる場合は、スクリーニングアウトすることが可能と考えられる。

- 1) **時間的余裕について** 燃料プールの冷却機能喪失のシナリオにおいて、運転中の燃料プールの除熱機能（循環冷却）が地震によって機能喪失した場合には、後備の燃料プール冷却機能の設備は全て手動起動する必要があるため、地震後の混乱や高ストレス状態、炉心冷却への対応が優先されることなどを考慮すると、十分な時間的余裕が必要である。

BWRの燃料プールではプール自体が損壊しない限り、ディフューザ配管からのサイフォン効果現象の逆流以外には、漏洩経路は存在しない。ディフューザ配管の上流側は耐震Bクラス配管であるため、このサイフォン効果現象による逆流を防止するために逆止弁が設けられているが、逆止弁自体が機能喪失する可能性は否定できない。しかしながら一般的に逆止弁は地震に対して十分な耐性を有している（フラジリティが小さい）ため、逆止弁のみが機能喪失する可能性は小さい。また逆止弁のランダム故障率は他の設備の地震による機能喪失確率と比べて小さいため、ランダム故障によって機能喪失する可能性も小さい。あるいは逆止弁の機能喪失によってサイフォン効果現象が発生しても燃料露出までに十分な時間余裕があることを示せば、十分な時間余裕が確保されていると判断できる。

この逆止弁が地震に対してもランダム故障に対しても機能喪失する可能性が無視

できると想定される場合、すなわち漏洩経路が無い場合の余裕時間について、次のような評価例がある。

- 1.1) **BWR の評価例<sup>(1)</sup>** “東通原子力発電所第1号機における安全性に関する総合評価（一次評価）の結果について（報告）”では地震時に燃料プールに現実的に考えられる限り最も燃料の崩壊熱が大きくなるように燃料が貯蔵されている場合を想定し、さらに地震によって燃料プール水がスロッシングで失われ、かつ一切の燃料プール冷却機能が喪失した場合を想定した場合の燃料プール内の燃料露出までの時間が評価されている。

この結果、プラント運転中では緊急時に炉内燃料取り出す余裕（1炉心分の燃料分のラックが空）があるため約15日、メンテナンスのために炉内の全燃料を取り出している場合で約3.3日と十分な時間的余裕があると評価されている。

また、PWRについては、漏えい経路がない場合の余裕時間に関して、次のような評価例がある。

- 1.2) **PWR の評価例<sup>(2)(3)</sup>** “東京電力株式会社福島第一原子力発電所における事故を踏まえた大飯発電所3号機の安全性に関する総合評価（一次評価）の結果について（報告）”などでの評価では、プラント運転中では、水温が100℃付近に到達するまで約41時間、プラント停止中にメンテナンスのために炉内の全燃料を取り出している場合で約12時間の時間的余裕があると評価されている。さらに、遮へいの設計基準を超えないと評価される水位に低下するまで（約3mの水位低下に相当）、プラント運転中では約6.3日、停止時でも約2.6日の十分な時間的余裕があると評価されている。なお、この時点でも燃料頂部まで4m以上の水位があり、燃料が露出するまでにはさらに大きな時間的余裕がある。

- 2) **機能喪失の可能性が小さい冷却手段について** 燃料プールの冷却機能には多数の手段が設けられているが、一部の設備は耐震Sクラスで設計されていないこともあり、地震時の燃料プール冷却に使用する設備についてはフラジリティを評価する必要がある。また地震前からの運転を継続しない限り手動起動となるため、人的過誤に起因する機能喪失の可能性も考慮する必要がある。

特に消防車による直接的な注水などの現場作業が必要となる場合には、環境条件が時間と共に悪化すること（プール水の沸騰に起因する蒸気の充満、蒸発によってプールの水位が低下することに起因する遮へい効果の低減による放射線ひばくの増加）によって余裕時間が短くなり、人的過誤確率が大きくなる可能性があることに留意する必要がある。

以上のような決定論的評価の情報、運用面での対策及び対応に関する情報に基づき、次の手順で分析及び評価を行う。この結果、燃料プール内燃料の損傷する確率は無視できる程度と工学的に判断されれば、スクリーニングアウトが可能である。

- 2.1) 地震によって燃料プールの冷却機能が喪失した場合に期待される多数の手段を整

理し、これらの手段が、適切な信頼性（耐震性の高い設備の利用、あるいは地震による影響が配慮された可搬設備の利用）で実施可能となるまでに要する時間を概略評価する。この際、外部支援に期待できることなどに基づき設定される炉心損傷頻度評価における使命時間が適用可能であれば参照してもよい。

- 2.2) 評価された時間が、燃料プールの冷却機能が全て喪失した場合に燃料の健全性が損なわれるまでの時間に対して十分に短い時間であることを、定量的、あるいは定性的に評価する。

なお、スクリーニングアウトの判断が難しい場合には、バウンディング解析のような簡易的な定量評価の利用も有効である。

## T.2 燃料取扱設備落下による燃料プール内燃料損傷シナリオのスクリーニングアウトの考え方

このシナリオは燃料取扱設備（燃料交換機、原子炉建屋天井クレーンなど）が地震によって損壊し、燃料プール内の燃料上に落下することによって、燃料プール内燃料損傷に至るものである。

この例では決定論的評価の情報に基づき、“燃料取扱設備が落下する確率が小さいこと”あるいは“破損燃料からの放出放射線量が判断基準以下に限られ、被ばく影響が無視できること”により、燃料取扱設備落下による燃料プール内燃料損傷シナリオが発生する可能性は無視できると工学的に判断しており、本シナリオはスクリーニングアウトが可能と考えられる。

- a) 燃料取扱設備が落下する確率が小さいことについて 燃料取扱設備の損壊について、これらの設備が地震によって変形などが発生した場合においても、構成する材料の塑性化によるエネルギー吸収によって応答が低減するため、大規模な損壊に至る可能性は小さいと判断される。
- また、燃料取扱設備の落下について、設備自体が浮き上がりや脱線防止する構造となっており、これらの構造が上記と同様に大規模な損壊に至る可能性は小さいと判断される。
- さらに、これらの設備が燃料プール上に存在する期間は原則として定期検査中の限られた時間であり、この間に地震が発生する可能性は小さいと判断できる。
- b) 破損燃料からの放出放射線量が判断基準以下に限られることについて 燃料取扱設備が落下した場合に損傷する燃料集合体数を評価することによって、損傷する燃料集合体数に、燃料取扱設備の事故の評価などにおける燃料集合体1体からの放射性物質の放出量に乗じて放射性物質の総放出量を算出する。これと燃料取扱設備の事故の評価などの合理的な判断基準と比較し、判断基準以下であることを示すことによってスクリーニングアウトすることが可能となる。

以上の決定論的評価の情報、運用面での対策及び対応に関する情報を総合することによ

って、燃料取扱設備が燃料プールに落下する確率は無視できる程度と工学的に判断され、スクリーニングアウトすることが可能と考えられる。

### 【参考文献】

- (1) 東北電力株式会社、東通原子力発電所第1号機における安全性に関する総合評価（一次評価）の結果について（報告）、2011.12.
- (2) 関西電力株式会社、東京電力株式会社福島第一原子力発電所における事故を踏まえた大飯発電所3号機の安全性に関する総合評価（一次評価）の結果について（報告）、2011.10.
- (3) 関西電力株式会社、東京電力株式会社福島第一原子力発電所における事故を踏まえた高浜発電所4号機の安全性に関する総合評価（一次評価）の結果について（報告）-参考資料-、2012.4.

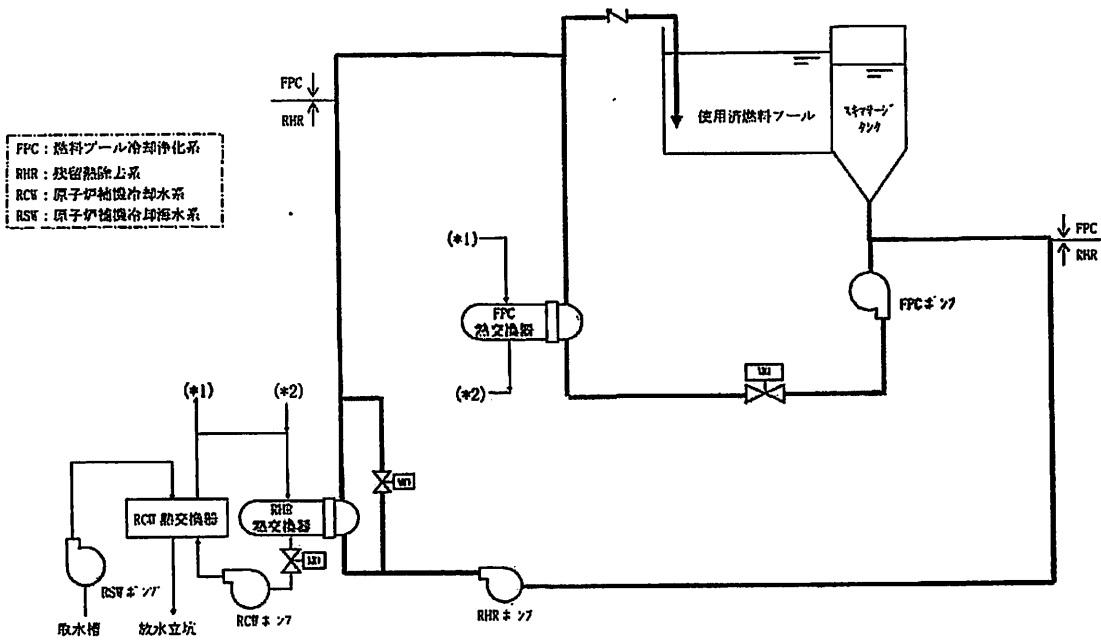


図 T.1-BWR の燃料プールと燃料プール冷却系（燃料プール冷却系，残留熱除去系（燃料プール冷却モード））の系統概要図

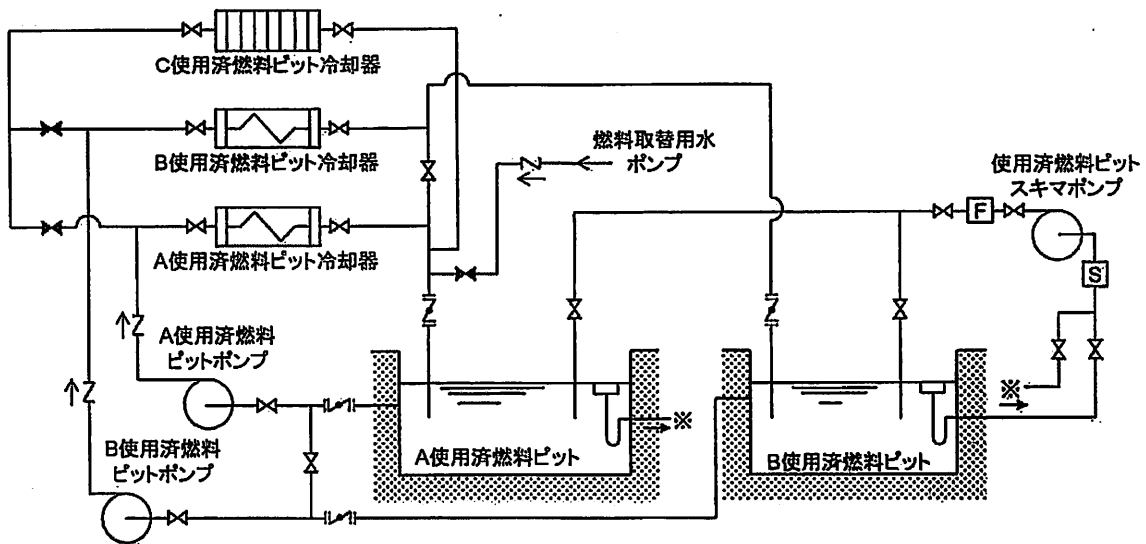
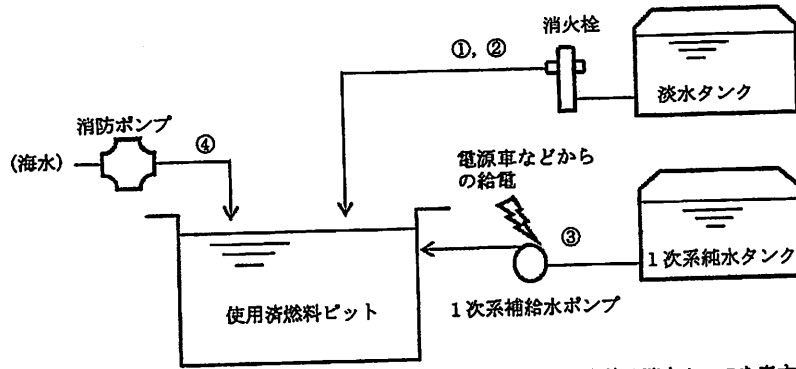


図 T.2-PWR の使用済燃料ピットと使用済燃料ピット冷却系の系統概要図



\*点線は消火ホースを表す

方法①：屋内の消火栓などから、淡水タンクの水を水頭圧にて補給  
 方法②：屋外の消火栓などから、淡水タンクの水を水頭圧にて補給  
 方法③：1次系補給水ポンプに電源車などで給電し、1次系純水タンクの水を補給  
 方法④：消防ポンプで海水を汲み上げ、海水を補給

図 T.3—全交流電源喪失時の使用済燃料ピットへの水補給機能 (PWR プラントの一例)

表 T.1—燃料プールへの注水機能 (BWR プラントの一例)

対象設備	駆動源	水源
燃料プール補給水系 復水補給水系	直流電源 (蓄電池) 電源車 大容量電源装置	復水貯蔵槽 純水タンク ろ過水タンク 防火水槽
消防車	軽油 (軽油タンク)	原水槽 河川水 海水

附属書 U  
(参考)

起因事象をもたらす SSCs 損傷の明確化の例

序文

この附属書は、起因事象をもたらす SSCs 損傷の明確化の例を記載する。

U.1 起因事象をもたらす SSCs 損傷の明確化の例

地震 PRA では、分類した起因事象をもたらす SSCs 損傷を同定し、それらに対するフラジリティを評価する。起因事象をもたらす SSCs 損傷の例を次に示す。

a) 原子炉建屋損傷

- 1) 事象の内容 原子炉建屋が損傷すると、同時に建屋内の格納容器又は原子炉圧力容器などの機器及び構造物が大規模な損傷を受ける可能性がある。これを踏まえ、原子炉停止及び炉心冷却が不可能になるものとして直接炉心損傷に至る事象と仮定することも考えられる。
- 2) 評価対象の考え方 原子炉建屋の損傷によって、原子炉建屋内にある設備の安全機能を期待しない場合には、損傷部位として耐震壁などで代表させることも考えられる。

b) 格納容器損傷

- 1) 事象の内容 格納容器の損傷としては、発生の態様に応じて次のような影響が考えられる。
  - 1.1) 格納容器内の機器又は原子炉圧力容器などの構築物が大規模な損傷を受けて原子炉停止及び炉心冷却が不可能になり炉心損傷に至る。
  - 1.2) 格納容器の耐圧機能が劣化し、格納容器圧力が上昇する事故シナリオにおいて格納容器が過圧破損して炉心損傷に至る可能性がある。
  - 1.3) BWR において格納容器が損傷することによって長期的にはサブプレッションプール水が利用できなくなり炉心損傷に至る。PWR においても、格納容器の損傷に伴い同時に LOCA が発生した場合には、格納容器再循環サンプル水の沸騰によってやがて炉心損傷に至る。
  - 1.4) 格納容器の構造的損傷又は機能喪失時には保守的に直接炉心損傷と格納容器損傷の同時発生に至ると仮定することも考えられる。また、炉心損傷と格納容器損傷の同時発生をもたらすその他の機器の損傷 (PWR における全蒸気発生器の損傷など) を包含させることも考えられる。
- 2) 評価対象の考え方 事象の内容を発生の態様に応じて区別する場合には、評価対象もそれぞれの内容に対応するように区別することも考えられる。また、損傷による影響を厳密に評価することが難しく、格納容器の大規模な損傷に至る可能性のある事象に包含する場合には、発生した場合に格納容器の大規模な損傷に至る可能性が高く、かつ損傷の可能性も高い評価対象で代表させることも考えられる。

## c) 原子炉圧力容器損傷

- 1) 事象の内容 原子炉圧力容器が損傷すると、原子炉の制御が不可能となり、ECCS による炉心冷却効果にも期待できず、直接炉心損傷に至ると考えられる。
- 2) 評価対象の考え方 このような事象の発生要因となる圧力容器の大規模な損傷に至る可能性が高く、損傷の可能性も高い評価対象部位で代表させることも考えられる。

## d) インターフェイスシステム LOCA (ISLOCA: Interfacing System LOCA)

- 1) 事象の内容 ISLOCA は、格納容器バウンダリ内外の高圧配管と低圧配管のインターフェイスの隔離機能が喪失することによって、格納容器外の低圧配管、弁などに一次冷却系の高圧負荷がかかり配管、弁などの損傷を生じ、格納容器外への冷却材流出を引き起こす事象である。
- 2) 評価対象の考え方 このような事象の発生要因となる可能性のある部位は、BWR では低圧配管である低圧炉心スプレイ系 (LPCS)、残留熱除去系 (RHR) などがあり、PWR では余熱除去系 (RHR) がある。これらの系統において高圧設計と低圧設計を隔離している各種の弁 (隔離弁、逆止弁など) が地震動によって隔離機能を喪失するような損傷が考えられる。

## e) LOCA (大 LOCA, 中 LOCA, 小 LOCA 及び E-LOCA)

- 1) 事象の内容 大 LOCA, 中 LOCA 及び小 LOCA は、地震動によって格納容器内の一次系配管又はそのサポート部、ポンプ、弁などが損傷し、原子炉冷却材喪失を引き起こすものである。  
なお、E-LOCA を炉心損傷に直結する事象として設定し、保守的に包含する場合もある。
- 2) 評価対象の考え方 格納容器内の一次系配管には、BWR では再循環系、主蒸気系、給水系、ECCS 系 (高圧炉心スプレイ系 (又は高圧注入系)、低圧炉心スプレイ系、低圧注水系及び原子炉隔離時冷却系 (蒸気抽出ラインを含む)) の隔離弁より原子炉圧力容器側の配管などがあり、PWR では一次冷却材系配管 (加圧器回り配管を含む)、ECCS 系 (高圧注入系、低圧注入系) 及び充てん、抽出系配管の隔離弁より原子炉圧力容器側の配管がある。したがって、LOCA 発生時の評価対象 SSCs としては、上記各系統の配管、配管サポート及び付帯機器 (加圧器、ポンプ、弁など) などが挙げられる。大 LOCA, 中 LOCA 及び小 LOCA に分類する場合には、これら評価対象となる機器などを損傷によって生じる破断規模に応じて分類する。

## f) 二次系破断

- 1) 事象の内容 PWR プラントでは、地震動による起因事象の一つとして二次系破断が考えられる。二次系破断は、地震動によって主蒸気管、主給水管などの二次系の配管が破損及び機器が構造的に損傷し、二次系からの蒸気流出又は蒸気発生器の冷却能力の喪失を招く事象である。なお、二次系の配管は、耐震クラス S クラスと C クラスの配管を有しており、この境界上に隔離弁を設け分離できる設計となっている。
- 2) 評価対象の考え方 このような事象の発生要因となる二次系破断の評価対象部位は、二次系の配管破損及び異クラス接続部の隔離弁の損傷確率を考慮して次の考え方で

設定することが考えられる。

- 2.1) 主蒸気配管 (主蒸気隔離弁より上流側) 又は主給水管 (主給水隔離弁より下流側) の破損によって二次系破断が発生することが考えられる。
- 2.2) 主蒸気隔離弁より下流の配管については、主蒸気隔離弁による隔離に成功すれば、二次系破断とはならないため、各ループの主蒸気隔離機能のいずれかが機能喪失した場合に、二次系破断の発生が考えられる。ただし、主蒸気隔離弁より下流の配管は耐震クラスが低いため、結果に有意に影響しない場合には、地震時には損傷するものとして評価する場合もある。
- 2.3) 主給水隔離弁より上流側での配管破断は、主給水隔離弁による隔離に失敗した場合二次系破断の発生が考えられる。また、隔離に成功した場合には、主蒸気・復水・給水系 (PCS: Power Conversion System) 機能喪失と想定することも考えられる。ただし、主給水隔離弁より上流の配管は耐震クラスが低いため、結果に有意に影響しない場合には、地震時には損傷するものとして評価する場合もある。

## g) 原子炉補機冷却水設備 (CCWS: Component Cooling Water System) 機能喪失

- 1) 事象の内容 地震動によって原子炉補機冷却水設備 (CCWS) 配管などが損傷して、炉心冷却に必要な各種機器の冷却機能を喪失する事象として定義することが考えられる。
- 2) 評価対象の考え方 このような事象の発生要因となる評価対象部位は、原子炉補機冷却水 (CCW: Component Cooling Water) ポンプ廻りの主配管などが考えられる。  
なお、専用の隔離弁が設けられ配管破断時に中央制御室からの隔離操作が可能な場合、当該弁の隔離に成功した場合には原子炉補機冷却水設備 (CCWS) 機能喪失は発生しないと考えるもよい。

## h) 外部電源喪失

- 1) 事象の内容 外部電源喪失は、外部電源設備の地震動による損傷によってプラントへの外部からの電源供給が途絶える事象である。なお、BWR では保守的に外部電源喪失が必ず起こるものとして評価することも考えられる。
- 2) 評価対象の考え方 このような事象の発生要因となる外部電源喪失の評価対象は施設外を含め広範に想定されるとともに、損傷確率を厳密に評価することが困難な耐震クラスの低い機器が対象となるため、海外の先行例又は専門家判断に基づく知見などを参考に、対象部位を選定し、その耐力を保守的に設定し代表させてもよい。例えば NUREG-1150 の地震 PRA では、高圧開閉所内の電気設備の端子 (セラミックインシュレーター) 部の耐力が特に小さく、それが外部電源喪失の評価対象機器とされている。

- i) 初期に PCS が使用不可能な過渡事象 / 初期に PCS が使用可能な過渡事象 過渡事象のうち初期に PCS が使用不可能な過渡事象は、地震動によって PCS を構成する機器が損傷を受け、起因事象の発生と同時に PCS が使用不可能となる過渡事象である。初期に PCS が使用不可能な過渡事象の評価対象機器 / 構造物としては、主蒸気系、復水系及び給水系の各系統を構成する配管、配管のサポート部及び付帯機器が考えられる。

初期に PCS が使用可能な過渡事象は、耐震クラスの低い PCS の機能喪失確率を計算するのが通常困難であるため、初期に PCS が使用不可能な過渡事象（又は主給水喪失）として一まとめで取扱ってもよい。  
なお、内的事象 PRA では、一般には過渡事象を次に示すように PCS が使用可能か否かで大きく分類している。

- 1) 初期に PCS が使用不可能な過渡事象 次の過渡事象が考えられる。
  - 1.1) 主蒸気隔離弁の閉鎖 (BWR)
  - 1.2) 全給水流量喪失 (BWR)
  - 1.3) 復水真空度喪失 (BWR)
  - 1.4) 主給水流量喪失 (PWR)
- 2) 初期に PCS が使用可能な過渡事象 次の過渡事象が考えられる。
  - 2.1) 負荷の喪失 (BWR/PWR)
  - 2.2) 再循環系の故障 (BWR)
  - 2.3) 一次冷却材の流量喪失 (PWR)
  - 2.4) 逃がし安全弁の誤開放 (BWR)
  - 2.5) 制御棒クラスタの異常な引き抜き (PWR)

**附属書 V**  
**(参考)**  
**地震動強さに着目した内的事象 PRA との関係の整理**

**序文**

この附属書は、地震動強さに着目した内的事象 PRA との関係の整理を記載する。

**V.1 地震動強さに着目した内的事象 PRA との関係の整理**

地震 PRA では、地震動による機器などの損傷によって、起回事象の発生又は緩和系の機能喪失を生じて炉心損傷に至る事故シナリオを対象とすることで、地震時のリスクを評価する。したがって、地震 PRA で対象とすべき事故シナリオには、地震動による機器などの損傷と、ランダム要因による故障の組合せで炉心損傷に至る事故シナリオもモデル化する。このとき、地震動による損傷によらないランダム要因による故障のみの事故シナリオは含まれないようにモデル化すべきであるが、厳密に差別化することが難しいことなどによって、地震時のリスクに含まれてしまう場合もある。一般にはこのような事故シナリオの炉心損傷頻度への影響は無視できる程度であるが、種々の保守的な評価条件とあいまって有意に影響してしまい、評価すべき地震時のリスクを適切に把握できなくなる可能性もある。そこで、地震動強さに着目した内的事象 PRA との関係の整理し、ランダム要因による故障についてその取扱いの例を次に示す。

**a) 事故シナリオにおける機能喪失要因の組合せによる整理**

一般的に炉心損傷シナリオは、

“起回事象発生 × 炉心損傷防止に必要な緩和系機能喪失の組合せ”

を、想定されるすべての組合せを考慮して評価する。

内的事象 PRA の場合、基本的にこれらはランダムに発生する（従属故障は別途考慮する）が、地震 PRA では、“地震の発生”による“地震動による起回事象発生及び緩和系機能喪失”を考慮する。また、地震動による起回事象発生は、地震動による機器などの損傷で起回事象が発生する場合と、地震動を検知した直接原子炉停止（以下、地震加速度高”という）信号で過渡事象相当の起回事象が発生する場合が考えられる。これらの組合せを整理すると次のようになる。

- ① 地震の発生×地震損傷による起回事象発生×地震損傷による緩和系機能喪失
- ② 地震の発生×地震損傷による起回事象発生×ランダム要因による緩和系機能喪失
- ③ 地震の発生×地震加速度高による起回事象発生×地震損傷による緩和系機能喪失
- ④ 地震の発生×地震加速度高による起回事象発生×ランダム要因による緩和系機能喪失
- ⑤ 地震の発生×ランダム要因による起回事象発生×地震損傷による緩和系機能喪失
- ⑥ 地震の発生×ランダム要因による起回事象発生×ランダム要因による緩和系機能喪失

注記 複数の緩和設備に期待できる場合には、地震損傷による緩和系機能喪失とラン

ダム要因による緩和系機能喪失の組合せもあるが、ここでは“地震損傷による緩和系機能喪失”で代表して表記する。また、炉心損傷に直結するシナリオはシナリオ①に含めて整理する。

このうち地震 PRA で対象とすべき範囲は次のように考えることができる。事故シナリオ①、②、③は明らかに内的事象 PRA の対象範囲外であり、地震 PRA の対象範囲である。

事故シナリオ④は地震動による機器などの損傷がないため、評価手法としては内的事象 PRA で取扱うことが可能であるが、起回事象の発生要因が地震時に特有のものであることから、地震 PRA の対象範囲と考え、ここでは事故シナリオ④を地震 PRA の対象とするものとして考える。ただし、地震 PRA の対象範囲とする場合には、内的事象 PRA で評価する過渡事象の発生頻度を評価する場合に地震加速度高による原子炉停止事象が含まれないようにするか、重複による影響が有意でないことの確認が前提となる。また、地震時には地震動強さが地震加速度高による原子炉停止信号の設定点に到達する前に、他の信号で原子炉自動停止となる場合も考えられるが、これらの起回事象は発生実績に基づき発生頻度を評価する内的事象 PRA で取扱う方が現実的である。

事故シナリオ⑤は内的事象 PRA の対象範囲外であり、厳密には地震 PRA の対象範囲と考えられるが、現実には、地震の発生とランダム要因による起回事象の発生が重畳する可能性は低く、地震損傷による起回事象が発生していないような地震動強さにおいて緩和系が地震によって損傷することも考え難いことから、寄与小として除外することができる。

事故シナリオ⑥は内的事象 PRA で想定する炉心損傷シナリオが発生した場合に、さらに地震の同時発生を想定したものに相当するものであり、地震 PRA で対象とする必要はなく、内的事象 PRA との重複を避けるために、除外するのが適切である。

以上のことから、地震 PRA で対象とする範囲を整理すると表 V.1 のようになる。地震 PRA ではこれらの事故シナリオを適切に取捨できるように、地震動強さに着目して整理することが合理的である。次では、地震動強さに着目した整理による合理的なモデル化の考え方について解説する。

- b) 地震動強さによる整理 前述の整理において、地震動強さが大きくなるほど地震の発生頻度は低くなるが、地震動による起回事象発生、及び地震損傷による緩和系機能喪失の発生の可能性は、低地震動の領域では無視できる程度であるが、地震動強さが増すとともに有意となるため、ある地震動強さ以上の範囲で炉心損傷頻度の解析結果に有意に影響する。また、地震加速度高で原子炉を自動停止させる設計は、地震動によってプラントの安全性を損なわないことを目的としていることから、この設定によっても小さい地震動において安全上重要な設備が損傷して炉心損傷シナリオ（事故シナリオ①、②）が発生する可能性は低いと考えられる。これらのことから、地震 PRA の対象範囲の下限を、地震加速度高による原子炉自動停止の設定点を目安にそれ以下とすることで、事故シナリオ①、②を適切に考慮しつつ、事故シナリオ③、④を確実に対象範囲とすることができる。事故シナリオ⑤は地震の発生とランダム要因による起回事

象の発生が重畳する可能性が低いことにより、⑥は内的事象 PRA の範囲であることにより、それぞれ地震 PRA の範囲からは除外している。

地震加速度高による原子炉停止の設定点を地震 PRA の対象範囲の下限とする具体的な評価方法としては、起回事象の階層化処理において考慮する最も影響の軽微な起回事象として過渡事象を想定し、その発生確率を“1 - (他の起回事象発生確率の合計)”とする方法などが考えられる。

- c) 耐震クラスの低い設備を保守的に簡易評価する場合の留意点 起回事象の要因となる耐震クラスの低い設備（外部電源系、主給水系など）の損傷の可能性を厳密に評価することが難しい場合には、評価対象とする地震動強さの範囲ではこれらの設備は損傷するものと想定して保守的に評価し、階層化処理において過渡事象を外部電源喪失、主給水喪失などの過渡事象として評価する場合も考えられる。

なお、このような保守的な想定が過度に重なり合った場合には、図 V.1 に示す領域において、事故シナリオ④に相当する炉心損傷頻度が過度に保守的に評価されてしまい、全地震動強さに亘る炉心損傷頻度の合計値に有意に影響する可能性も想定される。このような場合には、耐震クラスの低い設備の損傷の可能性をより詳細に評価することによって、より現実的な地震時のリスクを評価することが望まれる。

表 V.1-事故シナリオの組合せ整理による地震 PRA で対象とすべき範囲

起回事象発生要因	緩和系機能喪失要因 地震損傷（ランダム要因との組合せを含む）による緩和系機能喪失	ランダム要因による緩和系機能喪失
地震損傷による起回事象発生	◎（事故シナリオ①）	◎（事故シナリオ②）
地震加速度高原子炉停止信号による起回事象発生	◎（事故シナリオ③）	◎（事故シナリオ④）
ランダム要因による起回事象発生	×（事故シナリオ⑤）	×（事故シナリオ⑥）

注\*：内的事象 PRA に含めることもできるが、ここでは地震 PRA の対象範囲とした。

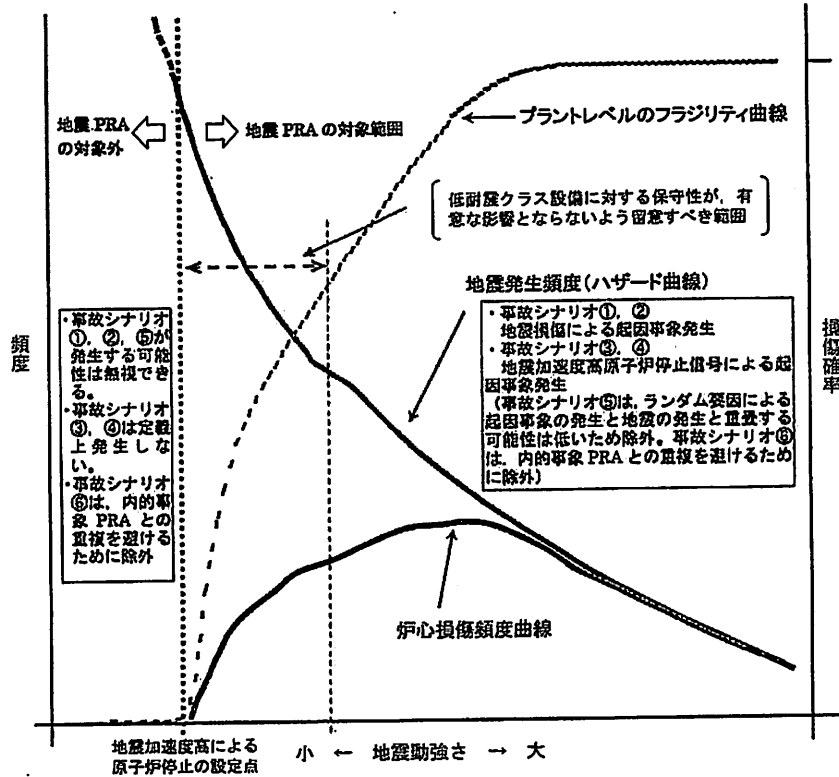


図 V.1—地震動強さに着目した地震 PRA の対象範囲モデルの概念

附属書 W  
(参考)  
起因事象の分類の考え方

序文

この附属書は、起因事象の分類の考え方を記載する。

W.1 起因事象の分類の考え方

起因事象分類の基本的考え方を図 W.1 (BWR の例) 及び図 W.2 (PWR の例) に基づき述べる。図 W.1 及び図 W.2 に示すように、まず、地震 PRA で評価対象とする地震動強さの範囲及び地震特有な要因による事象分類に大別する。

地震動強さに対する安全上重要な機器の損傷の程度に着目して、地震 PRA で評価対象とする地震動強さの範囲に対応する起因事象を選定する。いずれの評価例においても、原子炉が自動停止する地震動強さ以上を地震 PRA の評価対象とするとともに、損傷時に起因事象が発生する SSCs の地震動強さに対する損傷の程度を考慮して、地震 PRA の評価対象とする地震動強さの範囲を設定している。図 W.1 には外部電源喪失事象を、図 W.2 には PCS 機能喪失 (主給水喪失) を例として示している。

地震特有な要因による事象分類については、さらに、次の a); b) のように分類する。

a) 大型静的機器の損傷が要因となる起因事象

- 1) 原子炉建屋の損傷
- 2) 格納容器及び原子炉圧力容器の損傷
- 3) LOCA
- 4) PWR に特有な SG 損傷又は二次冷却系バウンダリの損傷

このうち SG 損傷については、損傷部位、及び損傷の規模に応じて、例えば以下のように分類する場合も考えられ、PRA の目的に即した取扱いに留意する必要がある。

- 一次冷却系バウンダリが損傷した場合：LOCA
- 二次冷却系バウンダリが損傷した場合：二次冷却系の破断
- SG 細管が損傷した場合：
  - ① 損傷の規模が小さく (破損した SG 及び細管本数が限定的等)、炉心が健全な状態で破損 SG の隔離 (主蒸気隔離弁の閉止、作動した主蒸気逃がし弁、主蒸気安全弁の再開止等により、破損 SG の二次側から格納容器外への放出経路を隔離) に期待できると評価した場合：SGTR
  - ② 損傷の規模が大きく、早期に炉心損傷し、破損 SG の隔離にも期待できないと評価した場合：格納容器バイパス事象
- SG の倒壊等の大規模な損傷により、一次冷却系バウンダリと二次冷却系バウンダリが同時に損傷して、早期に炉心損傷し、さらに格納容器外への放出経路が形成されると評価した場合：格納容器バイパス事象

b) 安全機能への広範な影響があるサポート系機器の損傷が要因となる起因事象 サポー

ト系機能喪失としての起回事象以外に、サポート系機能喪失による緩和機能への影響として、フロントライン系への影響を考慮する。

これらのうち、上記 a) 3) の分類について国内での分類例の概要及び米国の例を W.2 に、上記 b) の留意事項について W.3 に示す。

## W.2 LOCA の分類

a) 国内での分類例の概要 地震動による原子炉冷却材圧力バウンダリ配管などの破損によって生じる LOCA の分類は、LOCA 時に必要な緩和系の成功基準に着目して、破断の規模で、大、中、小 LOCA に分類し、さらに、ECCS 性能を上回る一次冷却材の流出を生じる E-LOCA を炉心損傷に直結する事象として個別に分類する。また、地震動による損傷の相関性を考慮すると破断の規模による分類が厳密には難しいことも考慮して、炉心損傷に直結する E-LOCA で代表させてもよい。

b) 米国の例 LOCA の分類は、米国規格協会 (ANSI : American National Standard Institute) 標準規格によると、原子炉圧力容器などの大規模機器の損傷、各種規模の LOCA などが考慮すべき起回事象のリストの例として挙げられている。また、起回事象の階層構造の中で、大規模 LOCA を小規模 LOCA より上位に位置づけることの必要性が指摘されている。

さらに、IPEEE などの米国の地震 PRA における LOCA 関連起回事象の取扱いの状況の概要を表 W.1 に示す。これらは次のように整理される。

Diablo Canyon, DC Cook, Seabrook では、配管破損によって ECCS 性能を上回る一次冷却材の流出を生じる LOCA (E-LOCA) を考慮している。ただし、Seabrook は感度解析で考慮している。

Surry, DC Cook, Seabrook では、大中小 LOCA を考慮している。ただし、Seabrook は感度解析で確認している。

上記 4 プラントのほとんどでは、原子炉圧力容器などの大規模機器の損傷による炉心損傷直結事象を考慮しているとともに、これと格納容器機能喪失が同時に発生するものとして評価している。

## W.3 サポート系機能喪失の取扱いにおける留意事項

地震動によるサポート系の機能喪失は、起回事象として独立に分類する方法と、起回事象とはせずにサポート系の損傷としてモデル化する方法がある。また、サポート系の機能喪失による事故シナリオ及びフロントライン系への従属性を適切に考慮することによって、いずれの方法も適用可能である。

地震動によるサポート系機能喪失を起回事象として分類する場合には、起回事象として定義することに加えて、全起回事象に対して当該サポート系の機能喪失が緩和系 (フロントライン系) の機能に影響する従属性を考慮してモデル化することが重要となる。また、

影響が広範囲にわたるサポート系については、保守的に炉心損傷に直結する事象として評価してもよいが、評価の保守性が解析結果に大きく影響を与えないことを確認することが重要となる。

地震動によるサポート系機能喪失を起回事象とはせずにサポート系の損傷としてモデル化する場合には、従属性を有する緩和系 (フロントライン系) の機能喪失の原因として当該サポート系の損傷を適切にモデル化することに加えて、当該サポート系の機能喪失によるシナリオ展開 (例: PWR における補機冷却水喪失による RCP シール LOCA など) を適切にモデル化することが重要となる。

## W.4 起回事象の簡略化及びスクリーニングアウトの考え方

事故シナリオを詳細に区別したとしても評価結果に有意に影響しないことが明確な場合には、保守的にグルーピングするなどの簡略化を行う。また、損傷の可能性が非常に小さく、起回事象の発生確率が無視できると判断される場合にはスクリーニングアウトするなどの処理を行う場合もある。原子炉冷却材小漏えいに対する取扱いの例を次に示す。

a) 国内での取扱い例の概要 原子炉冷却材小漏えいを独立の起回事象として分類して評価する方法が最も厳密であるが、該当する配管の損傷の可能性及び LOCA に分類した事象の成功基準との比較などを検討する、又は、感度解析を実施することによって、影響が軽微であることが確認できれば、起回事象から除外することも可能である。また、地震動下において保守的に原子炉冷却材の小漏えいが必ず発生するとして充てん機能を必須とする評価も可能であり、その場合には、評価の保守性が解析結果に大きな影響を与えないことを確認するなどの対応を行う。

b) 米国での取扱いの例 ANSI 標準規格では、地震動による原子炉冷却材の小漏えいについて言及している。また、米国の IPEEE では次のような評価例が示されている。

### 1) Surry 炉

1.1) 1/2in 以下の破断として考慮している。

1.2) 事象固有のイベントツリーを展開しているが、定量化内容は記載されていない。

1.3) 高圧注入系 (HPI) 注入モードの期間が長い。

1.4) 運転員が減圧操作をして漏えい流量を低下させれば、再循環モードに移行する前に冷温停止状態に到達すると示されている。

### 2) Diablo Canyon 炉

2.1) 充てんポンプの補給能力 (約 150gpm) を超える LOCA の発生確率の計算には極小の原子炉冷却材バウンダリ配管 (破断時の漏えい量が充てんポンプの補給能力の範囲内) の損傷確率は含まれていない。

2.2) 原子炉冷却材の小漏えいを保守的に評価するために、地震動による起回事象は、炉心水位の維持に充てんポンプを必要とするものとしている。

2.3) 充てんポンプの FV 重要度は  $1.3E-2$  となっている。

以上のことから、Surry のように原子炉冷却材小漏えいを独立の起回事象として分類して

評価する方法が最も厳密であるが、該当する配管の損傷の可能性及び LOCA に分類した事象の成功基準との比較などを検討、又は感度解析を実施することによって、影響が軽微であることが確認できれば、起因事象から除外する場合もある。また、Diablo Canyon のように地震 PRA で対象とする地震動強さにおいて保守的に原子炉冷却材の小漏えいが必ず発生すると仮定して充てん機能を必須とする評価もあり、その場合には、評価の保守性が解析結果に過剰な影響を与えないことを確認するなどの対応がなされている。

なお、地震により複数の小口径原子炉冷却材バウンダリ配管が同時に損傷して LOCA になり得ることに留意する必要がある。

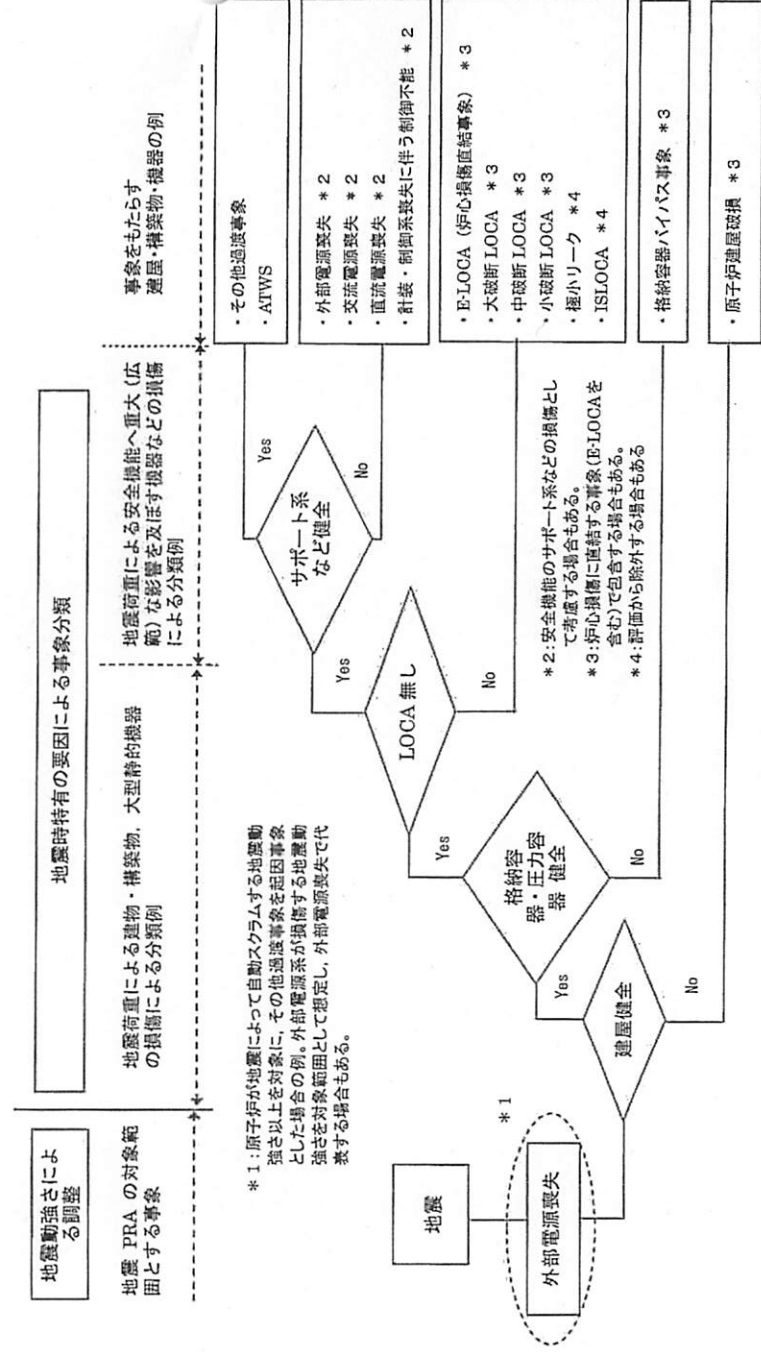


図 W.1-1 起因事象分類の例 (BWR)

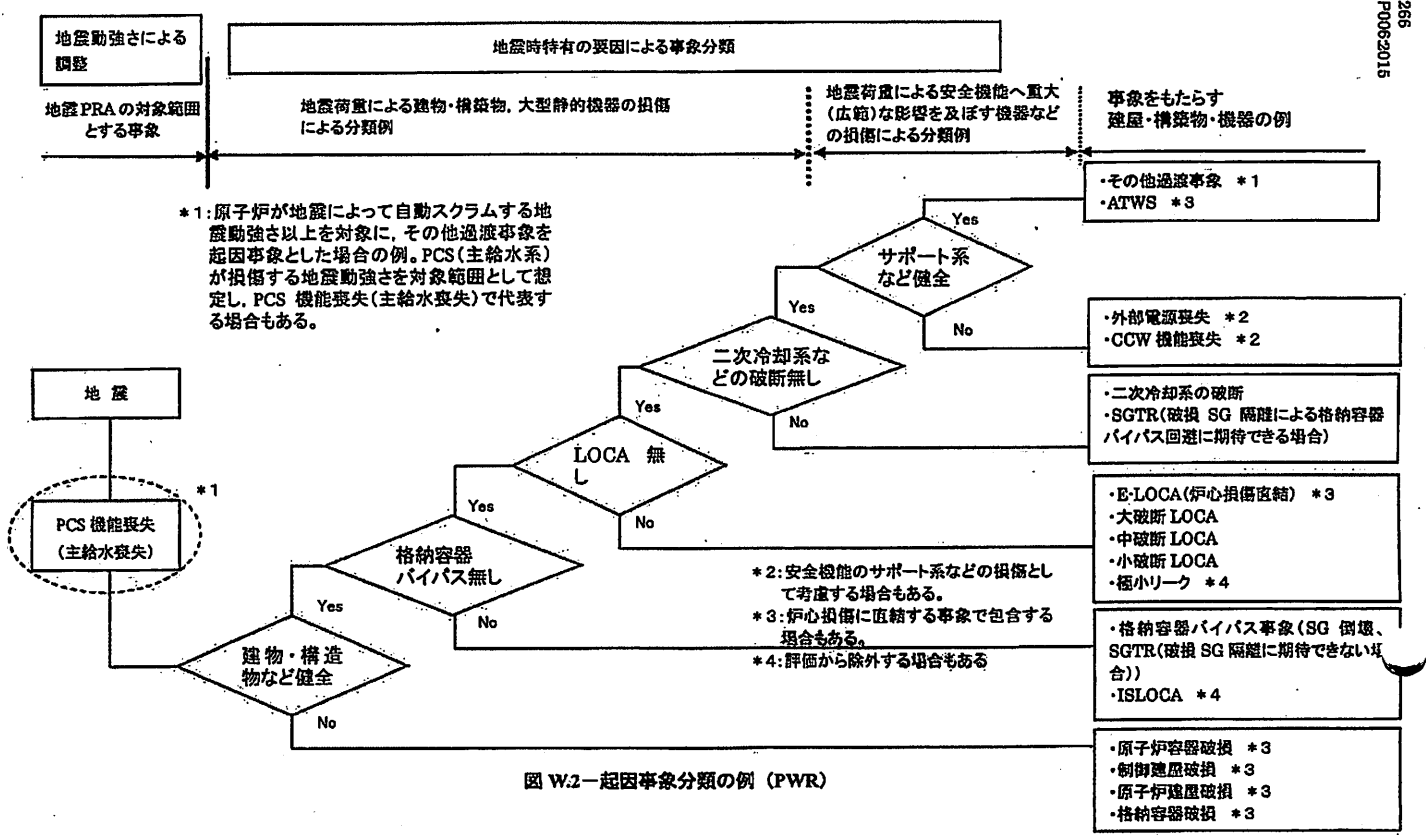


図 W.2—起因事象分類の例 (PWR)

表 W.1—IPEEE などにおける LOCA の分類の取扱い (1/2)

(注) Surry は NUREG/CR-4550, 他は IPEEE によって調査

発電所名	原子炉容器破損/E-LOCA	LLOCA	M/SLOCA	CDF 寄与割合 <sup>a)</sup>
Surry (南東部)	①3 ループ中 2 ループ以上で蒸気発生器 (SG) 又は原子炉冷却材ポンプ (RCP) の同時損傷で原子炉容器破損。E-LOCA はなし。	② 1 ループでの蒸気発生器 (SG) 又は原子炉冷却材ポンプ (RCP) の単独損傷	原子炉冷却系 (RCS) 関連配管の損傷確率に基づき計算 (SSMRP の Zion 解析を引用) ③中 LOCA (2~6 in) ④小 LOCA (1/2~2 in)	全 CDF: 1.16E-4/炉年 (LLNL ハザード), 2.50E-5 (EPRI ハザード) ①3% ②7% ③1% ④6% 最ドミナントは外部電源喪失シーケンスの 73%
Diablo Canyon (西部)	①蒸気発生器 (SG) サポートと原子炉冷却系 (RCS) 及び蒸気発生器 (SG) 接続配管の損傷 (炉心損傷かつ格納容器機能喪失) ②原子炉冷却系 (RCS) 大規模破損による E-LOCA	考慮せず	・中 LOCA は考慮せず ・小 LOCA として以下を考慮 ③加圧器逃がし弁の地震損傷による PORV LOCA ④RCP の地震損傷によるシール LOCA	全 CDF: 4.0E-5/炉年 (プラント固有ハザード) <sup>b)</sup> ・CDF 上位 100 シーケンス (4.5E-8/炉年以上) 内は、③の 2 つのシーケンスのみ。 ①1.93% 最ドミナントは全交流電源喪失シーケンスの 40%
DC Cook (中部北)	①格納容器機能喪失又は蒸気発生器 (SG) 破損 (炉心損傷かつ格納容器機能喪失) ②原子炉圧力容器 (RPV) 破損又は原子炉冷却系 (RCS) 配管損傷 (全ループでの両端ギロテン破断, 炉心損傷で格納容器健全) による E-LOCA	③加圧器, 同サポート及び原子炉冷却ポンプ (RCP) サポートの損傷による大 LOCA	④中 LOCA, ⑤小 LOCA: Surry と同様	全 CDF: 3.07E-4/炉年 (LLNL ハザード), 1.83E-5/炉年 (プラント固有ハザード) <sup>c)</sup> ①3%, ②=0%, ③~⑤: 記載なし。 最ドミナントは外部電源喪失シーケンスの約 90%

表 W1-IPEEE などにおける LOCA の分類の取扱い (2/2)  
(注) Surry は NURBG/CR-4550, 他は IPEEE によって調査

発電所名	原子炉容器破損/E-LOCA 考慮せず	LLOCA ①蒸気発生器 (SG) 又は原子 炉冷却材ポンプ (RCP) 損傷 による大 LOCA	M/SLOCA 考慮せず	CDF 番与割合 <sup>①</sup>
Seabrook (北東部)	原子炉容器破損/E-LOCA 考慮せず (起因事象は大 LOCA, スク ラム不能過渡事象 (ATWS), 過渡事象のみを考慮)	①格納容器破損又は蒸気 発生器 (SG) 破損 (炉心損傷 かつ格納容器機能喪失) ② "原子炉容器、原子炉冷却 系 (RCS) 配管破損 (全ルー プでの両端破断) 又は建屋破 損" ①、②は耐力中央値 0.64g (PGA ベース) のサロゲート 事象として解析。	④中 LOCA, ⑤小 LOCA: Surry と同様	全 CDF: 1.10E-5/炉年 (7 プラント固有ハザード) % ①1.4% 最ドミナントは過渡事象 シナケンスの約 90% 感度解析 ・ E-LOCA 有り: +3.6% ・中 LOCA 有り: +4.7% 全 CDF: 1.19E-5/炉年 (LLNL ハザード), 1.10E-5/炉年 (EPRI ハザ ード) ①約 33% (最ドミナント) ②約 16% (3位) ③、⑤: 約 2%, ④は小さい。
Kewaunee (中部北)	①格納容器破損 (格納容器、補助 建屋、制御建屋、配管室、燃 料ポンプ建屋、CW ポンプ 建屋) を HCLPF 耐力 0.3g の サロゲート事象として解析	③ "原子炉冷却系 (RCS) 損 傷破損" ・加圧器, 同サポータ ・原子炉冷却材ポンプ (RCP), 同サポータ	③MLOCA: HCLPF 耐力 0.3g のサロゲート事象として解析 ④小 LOCA: 起因事象として 考慮	全 CDF: 1.31E-5/炉年 (LLNL ハザード), 1.40E-5/炉年 (EPRI ハザ ード) ①~③約 16% (2位)。 ・最ドミナントはケープ ル損傷シナケンスの約 62%
Point Beach (中部北)				

注<sup>①</sup>: 番与割合は、特に断らない限り、LLNL ハザードによる CDF に対して示す。

注<sup>②</sup>: 地震ハザードはプラント固有の評価値を採用 (LLNL でも EPRI でもない)

注<sup>③</sup>: 地震ハザードはプラント固有の評価値と LLNL ハザードを採用 (EPRI ハザードはない)。

附属書 X  
(参考)

フラジリティ評価対象の建屋・機器リストの記載内容例

序文

この附属書は、フラジリティ評価対象の建屋・機器リストの記載内容例を記載する。

X.1 フラジリティ評価対象の建屋・機器リストに記載する情報

- a) 設計情報
  - 機器名及び機器番号
  - 耐震設計情報 (建屋、配置、耐震クラス)
- b) 特記事項及び関連情報
  - スクリーニングアウト結果及び考え方
  - 相互依存性 (電源、信号、トレン)
  - 損傷による影響
- c) フラジリティ評価関連情報
  - 機器種類/機器カテゴリ (必要に応じ)
  - 損傷モード
  - フラジリティ評価結果 (中央値,  $\beta_r$ ,  $\beta_u$ , HCLPF)
- d) 事故シナケンス評価関連情報
  - 起因事象名及び緩和系統名
  - フォールトツリー基事象名

X.2 具体的なフラジリティ評価対象の建屋・機器リストの例

具体的な事例として、事故シナケンス評価側からフラジリティ評価側に要求する建屋・機器リスト、及びフラジリティ評価側から事故シナケンス評価側に提示されるフラジリティの記載された建屋・機器リストを次に示す。

- a) フラジリティ評価側への建屋・機器リスト 事故シナケンス評価側がフラジリティを必要とする機器を抽出した建屋・機器リストの例である。フラジリティ評価に必要な機器番号、設置場所などの情報を含んでいる。  
フラジリティ評価側への建屋・機器リストの例を表 X.1 に示す。

表 X.1—フラジリティ評価側への建屋・機器リストの例

No	構成機器			設置場所			出典
	系統	機器種類	機器番号	備考	建屋	階	
1	LPCS	電動ポンプ	A01-P		R/B	1階	FL1000
2	LPCS	キャビネット	B01-E	手動スイッチ D01 を格納	R/B	2階	FL2000
3	LPCS	逆止弁	C01-V	格納容器内	R/B		FL3000

b) フラジリティ評価側からの入手リスト フラジリティ評価側から事故シーケンス評価側へ提示される建屋・機器リストは、応答解析結果及び耐力評価結果が含まれていることが必要である。応答結果及び耐力結果を入手することによって機器の損傷確率を計算することができる。

応答解析結果及び耐力評価結果の代わりに、損傷確率計算結果が記載されている建屋・機器リストを入手してもよい。

次に、これらの建屋・機器リストの例を示す。

1) 応答解析結果の例 フラジリティ評価側から事故シーケンス評価側へ提示される応答解析結果の例を表 X.2 に示す。

応答解析結果の建屋・機器リストには、事故シーケンス評価に使用する地震動レベルごとに応答中央値及び不確かさが含まれている必要がある。事故シーケンス評価に使用する地震動レベルとフラジリティ評価側によって提示される地震動レベルが異なる箇所があれば、事故シーケンス評価を行うに当たり適切な内外挿を行う必要がある。

表 X.2—応答解析結果の建屋・機器リスト例

No	構成機器			地震動レベル	応答			備考
	系統	機器種類	機器番号		中央値	$\beta_r$	$\beta_u$	
1	LPCS	電動ポンプ	A01-P	300gal	0.4G	0.3	0.2	
				500gal	0.6G	0.4	0.1	
				1000gal	1.1G	0.3	0.2	

2) 耐力評価結果の例 フラジリティ評価側から事故シーケンス評価側へ提示される耐力評価結果の例を表 X.3 及び表 X.4 に示す。耐力評価結果の建屋・機器リストには、機器ごとに評価される場合及び機器カテゴリごとに評価される場合がある。

表 X.3—耐力評価結果の建屋・機器リスト例（機器ごと）

No	系統	機器	クリティカルな対象要素	損傷モード	耐力			備考
					中央値	$\beta_r$	$\beta_u$	
1	RHR	熱交換器	サポート（脚）	組合せ応力	10G	0.1	0.1	
2	HPCS	配管	レストレイト部材	曲げ	30G	0.1	0.1	

表 X.4—耐力評価結果の建屋・機器リスト例（機器カテゴリごと）

No	機器カテゴリ	適用機器名	耐力			備考 (出典など)
			中央値	$\beta_r$	$\beta_u$	
1	電動ポンプ	横形電動ポンプ	2G	0.1	0.1	
2	大型弁	SRV, 逆止弁	10G	0.1	0.2	

3) 損傷確率計算結果の例 フラジリティ評価側から事故シーケンス評価側へ提示される損傷確率計算結果の例を表 X.5 に示す。

損傷確率計算結果の建屋・機器リストには、事故シーケンス評価に使用する地震動レベルごとに損傷確率中央値及び不確かさが含まれている必要がある。事故シーケンス評価に使用する地震動レベルとフラジリティ評価側によって提示される地震動レベルが異なる箇所があれば、事故シーケンス評価を行うに当たり適切な内外挿を行う必要がある。

表 X.5—損傷確率計算結果の建屋・機器リスト例

No	構成機器			地震動レベル	損傷確率			備考
	系統	機器種類	機器番号		中央値	$\beta_r$	$\beta_u$	
1	LPCS	配管	LPCS-01	300gal	1E-03	0.3	0.2	
				500gal	1E-02	0.4	0.1	
				1000gal	1E-01	0.3	0.2	

附属書 Y  
(規定)  
地盤崩壊確率の算定方法

序文

この附属書は、地盤崩壊確率の算定方法について規定したものである。

Y.1 地盤崩壊確率の算定方法

建屋基礎地盤や周辺斜面などの地盤のすべりによる崩壊確率は、最も危険（設計安全率が小さい）と考えられるすべり面について、すべり面上に作用する滑動力（せん断力）がすべり面のせん断抵抗力を上回る条件付確率として算定する。その場合、せん断抵抗力の評価については、地震時にすべり面に作用する垂直応力の変動を考慮する。地盤崩壊確率の一般的な評価手順を次に示す。【図 Y.1 参照】

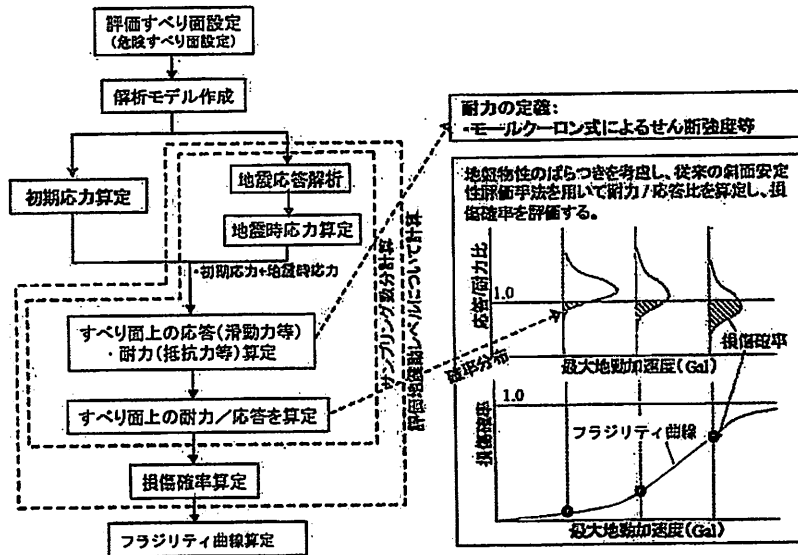


図 Y.1—地盤崩壊確率の一般的な評価手順

- 1) 危険（すべり安全率が小さい）と考えられるすべり面を設定する。
- 2) 地盤物性のばらつきなどを考慮し、モンテカルロ法などのサンプリング法を利用して、地震応答解析に用いる地盤モデルのデータセットを作成する。
- 3) 水平及び上下動を考慮した動的 FEM 解析などによって、各データセットについて地

震時にすべり面上に働く滑動力（せん断力）を算定する。また、同時にすべり面に作用する垂直応力を算定してすべり抵抗力を求め、耐力と応答比（耐力／応答）の確率分布を算定する。ただし、建屋基礎地盤においては、建屋を適切にモデル化し、建屋の地震応答によって地盤に作用する慣性力を考慮する。

- 4) 上記の確率分布に対して、耐力と応答比が 1 以下の場合（応答が耐力を上回る確率）を斜面の損傷とし、損傷確率を算定する。【附属書 CC（参考）参照】、【附属書 CI（参考）参照】

附属書Z  
(参考)

斜面崩壊による二次的影響評価の参考例

序文

この附属書では、斜面崩壊による二次的影響評価の参考例について示したものである。

Z.1 斜面崩壊による二次的影響評価の参考例

a) 個別要素法による土塊及び岩塊の転落範囲の推定方法

- 1) 斜面崩壊確率評価で設定したすべり面から斜面の崩壊領域を設定する。
- 2) 個別要素法によって崩壊領域の斜面が滑落した場合の岩塊の大きさ及び滑落条件を推定する。
- 3) 岩塊の大きさ及び形状、斜面と岩塊の摩擦抵抗などをパラメータとする多ケースのパラメトリック解析を行い、岩塊の滑落範囲を推定する。

b) 個別要素法による落石挙動解析の例1 落石防災対策において、想定される落石規模に対する防護工を設計するために、想定される落石規模(落石がどのような経路、跳躍高さ、及び速度を持って道路へ到達するか)は、個別要素法によって解析している【図 Z.1 参照】。

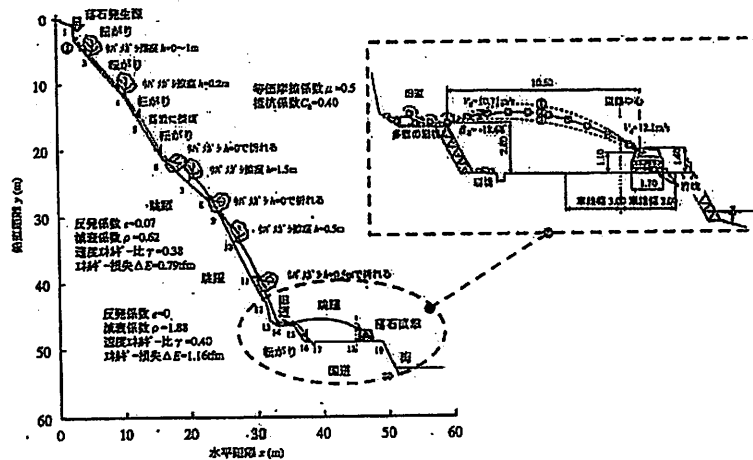


図 Z.1—個別要素法による落石挙動解析の例1<sup>(1)</sup>

- c) 個別要素法による落石挙動解析の例2 建設省土木研究所などが行った落石実験のシミュレーション解析例を示す。実験は、岩石の形状を変えて岩盤斜面上に投下し、その運動を包絡線として整理している。解析は、落石挙動が実験に合うように、パラメータを変えて多ケース行い、解析結果を包絡線として整理している。解析結果は、概ね実験の落石挙動と一致している。【図 Z.2 参照】

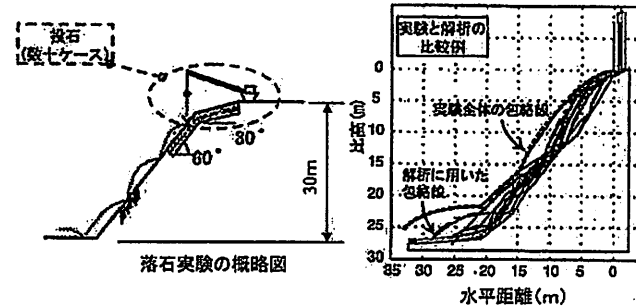


図 Z.2—個別要素法による落石挙動解析の例2<sup>(1)</sup>

d) 不連続変形法による岩盤崩壊解析例<sup>(2)</sup>

- 1) 解析概要 岩盤崩壊の予知を行うために、数値解析による岩盤挙動の再現と予測は、工學上有用な手法である。しかし、現場状況及び試験結果をどこまで数値解析に反映させれば崩壊挙動が再現できるかは不明確である。この例では、全国の岩盤崩壊(自然崩壊)モニタリングのうち、岩盤崩壊に至ったケースの実測データを不連続変形法で再現することによって、岩盤崩壊のプロセスの再現において、岩盤をどのようにモデル化すればよいか、及び岩盤崩落予知に関する数値解析の有効性を検討した。
- 2) 解析条件 岩盤崩壊解析の対象となる斜面の崩壊前の状態を図Z.3に示す。岩盤斜面をa～eのブロックに分割し、さらに各ブロックを要素分割した2次元の解析モデルを図Z.4に示す。解析モデルの物性区分は、図Z.5～図Z.6のブロック部分の物性区分A、Bと不連続面部分の物性区分とする。また、崩壊過程のモニタリング結果によると、まず、ブロックa～dが転倒崩壊し、遅れてeブロックの転倒崩壊していることから、不連続変形法による不連続面部分の物性値を変えた岩盤崩壊の試行解析を行い、上記の崩壊過程を模擬することを試みた。表 Z.1～表 Z.2には、この試行解析によって最終的に求まった物性値を示す。

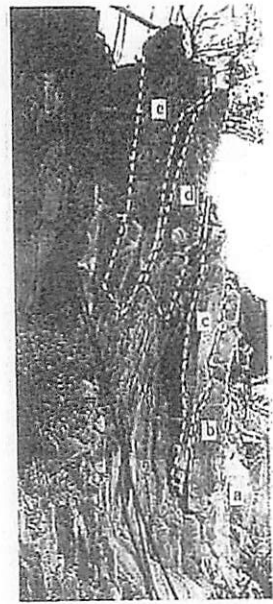


図 Z.3-対象斜面(崩壊前)<sup>(2)</sup>

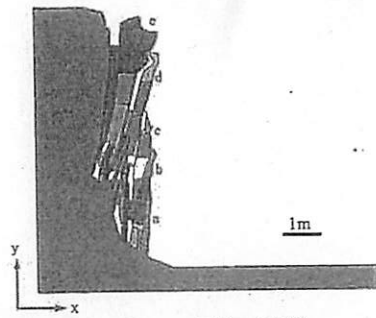


図 Z.4-解析モデル<sup>(2)</sup>

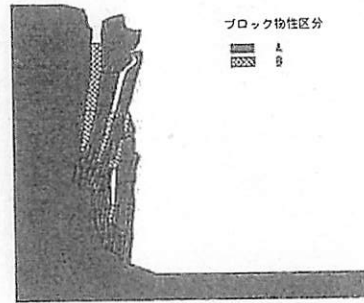


図 Z.5-ブロック部分の物性区分<sup>(2)</sup>

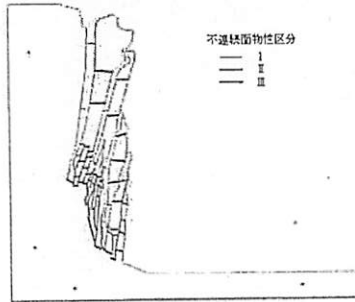


図 Z.6-不連続面の物性区分<sup>(2)</sup>

表 Z.1-解析に用いた物性値(1)<sup>(2)</sup>

岩石	一軸圧縮強度 $\sigma_c'$ (MPa)	63.9
	引張強度 $\sigma_t'$ (MPa)	10.6
	弾性係数 (GPa)	24.5
	ポアソン比	0.2
不連続面	摩擦角 $\phi$ (°)	32.4
	粘着力 c (MPa)	0.056

表 Z.2-解析に用いた物性値(2)<sup>(2)</sup>

項目		値	
解析パラメータ	許容変位比	0.001	
	バネ剛性 P (MN/m)	200	
	ステップ数	8000	
	静的解析ステップ数	300	
	動的解析の時間ステップ幅 (s)	0.001	
岩盤ブロック	区分 A	弾性係数 E (GPa) 24.5 ポアソン比 $\nu$ (-) 0.2	
	区分 B	弾性係数 E (GPa) 2.45 ポアソン比 $\nu$ (-) 0.3	
	不連続面	区分 I	摩擦角 $\phi$ (°) 32.4 粘着力 c (MPa) 0 引張強度 $\sigma_t$ (MPa) 0
		区分 II	摩擦角 $\phi$ (°) 32.4 粘着力 c (MPa) 0.056 引張強度 $\sigma_t$ (MPa) 0
区分 III		内部摩擦角 $\phi$ (°) 45.7 せん断強度 $\tau_c$ (MPa) 3.90 引張強度 $\sigma_t$ (MPa) 3.18	

3) 解析結果 図 Z.7~Z.8 に実際の岩盤崩壊のイメージと解析結果の比較を示す。これらの図は、a~d ブロックの崩壊後に e ブロックが崩壊する過程を再現できており、岩盤強度及び要素分割など入力パラメータを適切に設定することによって、岩盤斜面の崩壊過程を再現できることが確認できた。

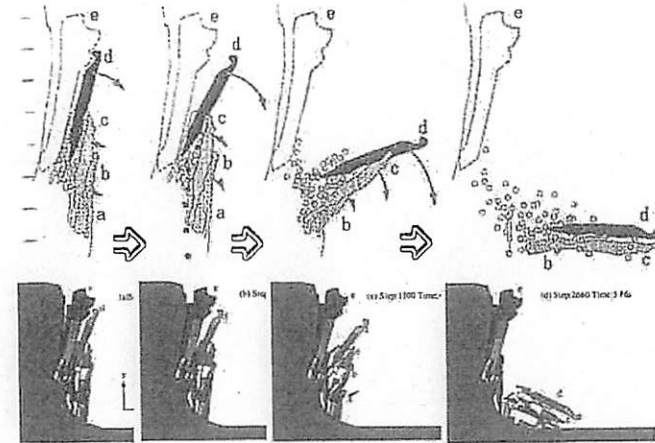


図 Z.7-実際の崩壊イメージ (上段) と解析結果 (下段) の比較 (a~d ブロック)<sup>(2)</sup>

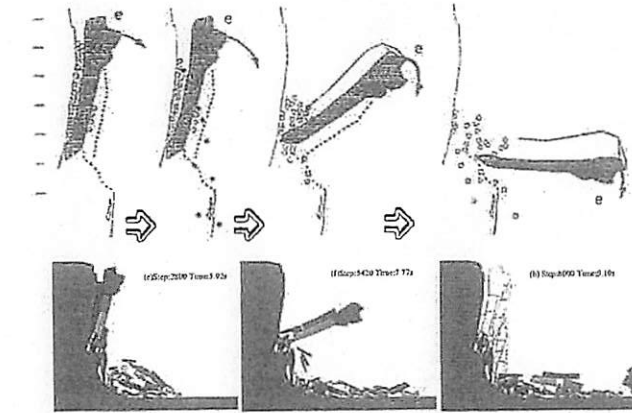


図 Z.8-実際の崩壊イメージ (上段) と解析結果 (下段) の比較 (e ブロック)<sup>(2)</sup>

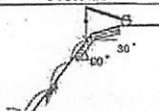
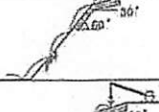
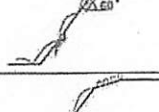
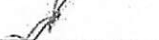
e) 実験及び個別要素法による落石挙動の評価例<sup>(2)</sup>

1) 実験の概要 建設省土木研究所などでは、落石防護柵の安全性の検証などを目的とし

て、多数の落石実験及び実験のシミュレーション解析によって落石運動のメカニズムの解明を試みている。

実験は、岩石の形状を変えて表 Z.3 及び図 Z.9 に示す岩盤斜面上に 200 ケース程投下し、その運動を動画として撮影して、落石の軌跡を図 Z.10 のように整理することによって、落石の挙動はある程度の範囲内にあることを示している。

表 Z.3-実験ケース<sup>(1)</sup>

種類	投石線	投石高さ	実験目的	実験状況
実験 1	I	3m, 6m, 9m	落石の運動エネルギーに関する実験	
実験 2	I	0m	落石の回転エネルギーに関する実験	
実験 3	I	9m	落石の入射角に関する実験	
実験 4	II, III, IV	0m, 3m	総合実験	

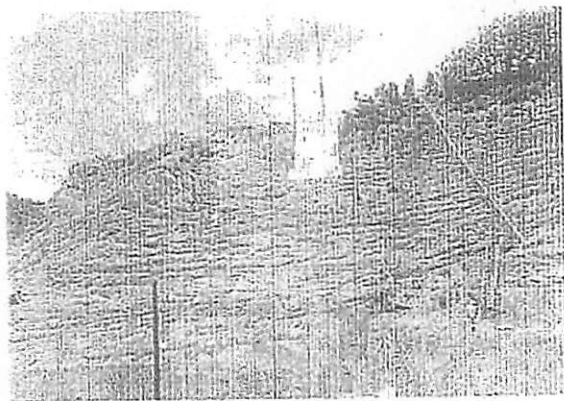


図 Z.9-実験斜面全景<sup>(1)</sup>

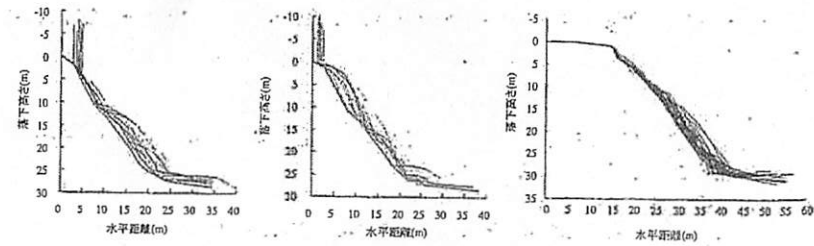


図 Z.10-実験の落石挙動を追跡した線の例<sup>(1)</sup>

2) 解析の概要 この実験に対する解析においては、図 Z.11 の解析の流れに従い、次のような目的で解析を実施した。

- 岩盤斜面におけるパラメータ推定方法の検討及びパラメータの推定
- 解析に影響する要因及びばらつきを与えるための方法の検討
- 個別要素法の現場落石実験への適用性の検討及び今後の課題の抽出

図 Z.2 に示すように実験と解析の落石挙動の比較では、両者は概ね一致している。このことから、個別要素法のパラメトリック解析によって、実験における落石挙動を概ね模擬できたと判断している。

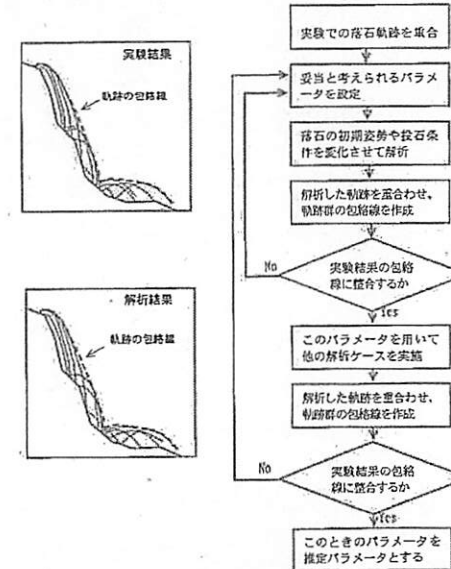


図 Z.11-解析の流れ<sup>(1)</sup>

【参考文献】

(1) “落石対策便覧に関する参考資料 -落石シミュレーション手法の調査研究資料-”

平成 14 年 4 月, 日本道路協会編

- (2) 門間敬一, 千田容嗣, 馬貴臣, 進士正人, 大西有三, “岩盤崩壊メカニズムを評価するための不連続変形法の適用に関する研究”, 土木学会論文集 No.757/III-66, 45-55, 2004-3

## 附属書 AA

(参考)

### 地震ハザード評価における予備解析の重要性

#### 序文

この附属書は, 箇条 6 における予備解析の重要性を記載する。

#### AA. 地震ハザード評価における予備解析の重要性

地震ハザード評価は, “地震”という自然現象を相手にするため各種パラメータを確定的に設定することは難しく, この標準では地震ハザード評価において, 各種パラメータの不確かさをロジックツリーとして表わし, 地震ハザードの不確かさを評価することを基本としている。

ロジックツリーを用いた不確かさ評価を実際に行う場合には, 不確かさ要因に係る各項目について, 多くの予備的な検討を行うことが必要となる。予備検討として, 一般に設計用地震動を評価した場合のサイト周辺の地震関連情報などから設定した基本的なパラメータで地震ハザード曲線を算定し, 各震源が評価結果に与える影響度合いや, 特定のパラメータを変動させて評価結果に与える影響を把握するなどの感度解析が必要となる。

予備的検討の結果などから, 評価結果に影響を与えないパラメータについては不確かさの考慮はそれほど重要ではなく, 結果に影響をあたえるパラメータについて, その不確かさの詳細な検討を行うことが重要となる。

【本体 6.1】

附属書 AB  
(参考)

炉心損傷頻度評価のための地震動ハザード

序文

この附属書は、箇条 6 における炉心損傷頻度評価のための地震動ハザードを記載する。

AB. 炉心損傷頻度評価のための地震動ハザード

地震動ハザード曲線は、炉心損傷頻度 (CDF) 評価のために与条件として用いられ、CDF は年超過頻度で定義された地震動ハザード曲線  $H(a)$  と炉心損傷確率曲線  $CDP(a)$  から次式によって求められる。(CDF : Core Damage Probability)

$$CDF = \int_0^{\infty} \left[ -\frac{dH(a)}{da} \cdot CDP(a) \right] da \quad (AB-1)$$

ここで、 $a$  は地震動の大きさの指標であり、 $dH(a)/da$  は地震動ハザード曲線の勾配を表す。

【本体 6.1】

附属書 AC  
(参考)

巨大地震等による余震の取扱い

序文

この附属書は、箇条 6 における巨大地震による余震の取扱いに係る次の 6 つの項目を記載する。

- ・ AC.1 巨大地震の余震に関する知見
- ・ AC.2 巨大地震における余震の取扱い
- ・ AC.3 余震情報の選定
- ・ AC.4 巨大地震による余震のハザード評価手順
- ・ AC.5 地震動ハザードで大地震の余震を考慮する 1 つの方法
- ・ AC.6 巨大本震に伴う余震や他の外乱を考慮した地震ハザードの評価方法

AC.1 巨大地震の余震に関する知見

大規模地震の最大余震は、一般的に、本震よりもマグニチュード 1 程度小さいとされるが、本震に匹敵する規模の余震が発生することもある。2011 年東北地方太平洋沖地震が Mw9.0 の超巨大地震であったことを考慮すると、M8 クラスの巨大余震が発生する可能性がある。スタイン等は、震源周辺の広い部分にひずみがたまっており、震源域の北や南側で大きな余震が起きる可能性を指摘している。

東北地方太平洋沖地震後の余震発生頻度や余震域、最大余震(Mw7.7 / 2012.11 月現在)の規模等は、これまでの海溝型大地震と同様な性状を示しており、時間と余震発生個数との関係は改良大森公式で、余震の最大マグニチュード(中央値)は、宇津のモデルで推定し得ると考えられる。

姥澤他 (2011 年)<sup>(1)</sup>によれば、同地震後の余震の地震発生モデルは、Gutenberg-Richter 式 (以下 G-R 式) で評価できることが示されている。余震は、本震のほぼ震源域内で発生している。

AC.2 巨大地震における余震の取扱い

巨大地震後の余震の発生状況は、2011 年東北地方太平洋沖地震の知見から、最大余震の規模、発生頻度、発生領域等の性状に基づき、推定できると考えられる。ただし、同地震は、日本周辺の海溝型地震で観測地震や歴史地震でこれまで経験がない巨大地震であることから、評価サイトへの本震のハザードと余震のハザードを比較(内訳を示す等)し、余震の影響の度合いを示す。余震の影響が十分小さければ、最終的な地震ハザード評価に含めなくても良い。なお、東北地方太平洋沖地震後は、今後十年程度余震活動を注視し、特に、規模の大きな余震やその発生位置に留意する必要がある。

巨大地震後の余震に対する地震動ハザード評価は、①本震とその後の余震の発生を合わせた G-R 式で評価する【AC.4 参照】、②本震の発生頻度の条件付き確率として、余震発生モデルを評価する等の方法を用いることできる【AC.5 参照】。

AC.3 余震情報の選定

大地震は余震を伴う場合が多く、特に地震観測網が発達した近年では数多くの余震が観測され、地震カタログにも記載されている。1995 年兵庫県南部地震の余震の例を図 AC.1<sup>⑥</sup> に示す。一方、地震の発生をポアソン過程に従うとした場合、余震を含めて地震活動特性を評価すると地震発生頻度を過大に評価することになるため、余震を地震カタログから除いて地震活動特性を評価しなければならない。

余震を除いて地震活動特性を評価する場合、炉心損傷頻度 (CDF) の評価においては、評価対象とする地震イベントを一連の地震活動において最も規模の大きい本震で代表させることになる。

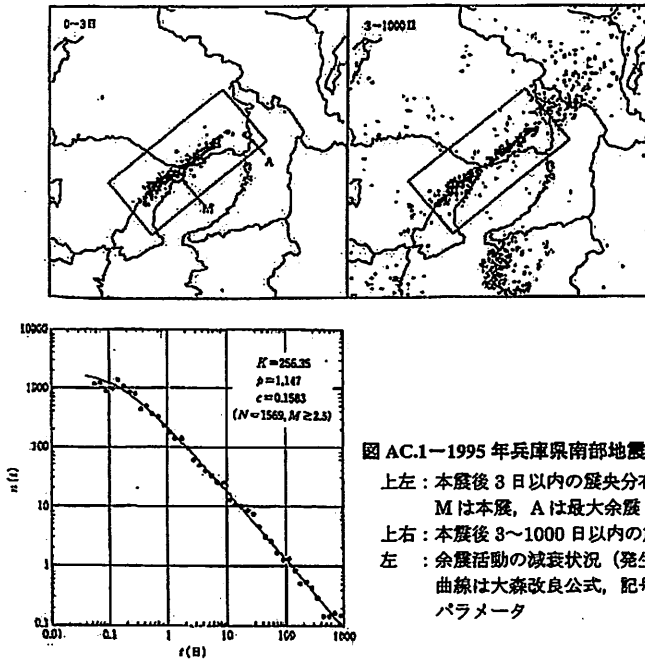


図 AC.1—1995 年兵庫県南部地震の余震<sup>⑥</sup>  
 上左：本震後 3 日以内の震央分布 ( $M \geq 2.5$ )  
 $M$  は本震,  $A$  は最大余震  
 上右：本震後 3~1000 日以内の震央分布  
 左：余震活動の減衰状況 (発生率)  
 曲線は大森改良公式、記号は同式の  
 パラメータ

【本体 6.3.4】

AC.4 巨大地震による余震のハザード評価手順

巨大地震による余震のハザード評価手順としては、2011.3 東北地方太平洋地震における余震の発生状況を検討し、評価手順が提案されている。また同余震の取扱いの留意も示されている。この内容を用いてもよい。

a) 2011.3 東北地方太平洋地震による余震の発生状況 (2011 年時点)

図 AC.2<sup>⑦</sup> に同地震の余震分布を、図 AC.3<sup>⑦</sup> にマグニチュードと断層面積の関係を示す。

- 1) 余震の積算回数、6 月以前の 5 月 6 日現在、 $M_{j5}$  以上が 444 回、 $M_6$  以上 76 回、 $M_{j7}$  以上 5 回であり、最大余震は 3 月 11 日 15 時 15 分の地震規模  $M_{j7.7}$  であった。
- 2) その他の主な余震として、3 月 11 日 15 時 08 分の  $M_{j7.4}$ 、同日 15 時 25 分の  $M_{j7.5}$  (宮城県はるか沖、深さ約 34km)、4 月 7 日 23 時 32 分の  $M_{j7.1}$  (宮城県沖、深さ約 40km)、4 月 11 日の  $M_{j7.0}$  がある。
- 3) 4 月 7 日の余震は、牡鹿半島の東約 40km で発生し、女川原子力発電所で大きな地震動が観測された。
- 4) 6 月以後の  $M_{j7}$  以上の余震は、7 月 10 日の三陸沖における  $M_{j7.3}$  の地震のみである (最大震度 4)。この地震では津波が観測され、最大の津波の高さは仙台港で 12cm であった。

震央分布図  
 (2011 年 3 月 11 日 12 時 00 分 ~ 8 月 4 日 08 時 00 分、深さ 50km 以浅、 $M \geq 5.0$ )

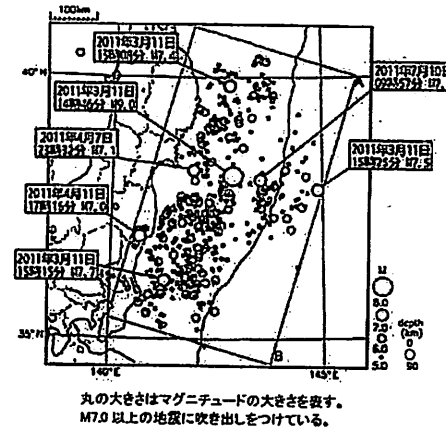
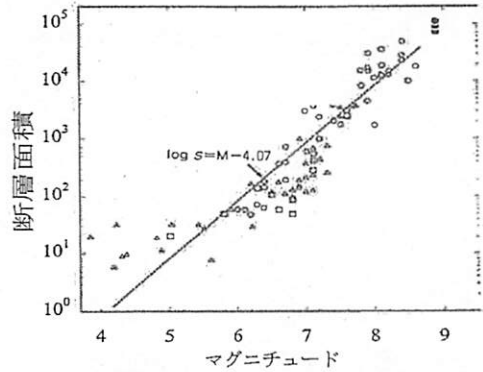


図 AC.2—2011.3 東北地方太平洋地震による余震の発生状況<sup>⑦</sup>



( 原版に 2011.3 地震の断層面積とマグニチュードの関係等を加筆 (縦軸: 断層面積, 図中黒丸) )  
図 AC.3—地震規模(マグニチュード)と断層面積の関係<sup>(7)</sup>

b) 巨大余震のハザード評価手順

- 1) M9 級による巨大な余震による地震動ハザードの評価では、まず、本震の M9 が、従来の G-R 式に従うかどうかを確認する。
- 2) もし従うならば、M9 級の本震を含む G-R 式を求める (図 AC.4.A)。
- 3) 2)の G-R 式を用いて、M9 の発生頻度  $f$  (M9) を求める。
- 4) M9 級の余震の回帰式を求める (図 AC.4.B)。
- 5) 3)の  $f$  (M9) 下での条件付き確率として(4)の回帰式を求める (図 AC.4.C)。
- 6) 5)を用いて、余震の地震動ハザードを求める (図 AC.4.D)。

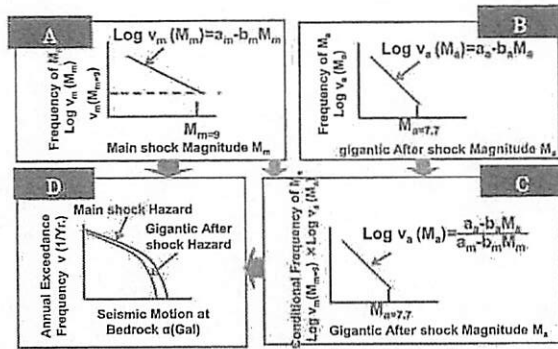


図 AC.4—巨大余震のハザード評価手順

c) 巨大余震ハザードの取扱いの留意事項

- 1) 原子力学会の地震 PRA 実施基準の地震動ハザード評価では、余震の取扱いにおいて、M8 級以下の地震による余震の地震動はさほど大きくなく、地震動ハザードへの影響が小さいとして、除外した。
- 2) 3.11 東北地震の余震の最大 M は 7.7 であり、余震による地震動は設計地震動  $S_s$  を上回ったものも観測された。
- 3) M9 級の巨大な余震による地震動のハザードへの影響を考慮する必要がある。
- 4) もし、巨大余震を考慮して地震動ハザード評価した結果、本震による地震動ハザードより影響が大きくなければ、リスク評価に考慮するかどうかを判断すれば良い。

AC.5 地震動ハザードで大地震の余震を考慮する 1 つの方法

安中・矢代(1998)<sup>(8)</sup>は、地震動ハザードで大地震の余震を考慮する 1 つの方法を提案している。

大地震の余震のマグニチュード頻度分布には Gutenberg-Richter の関係式を適用し、 $b$  値は、宇津・他(1987)<sup>(9)</sup>による余震の  $b$  値の頻度分布から、平均的な値として 0.85 とし、余震数は、宇津・他(1987)<sup>(9)</sup>による本震と最大余震の  $M$  の差の分布に基づき、本震のマグニチュードより 1.3 小さいマグニチュード以上の発生期待値が 1 個となるように決定している。

余震は大地震(本震)に付随するものとし、活動域内で一様に分布するとしている。地震動ハザードの計算では、1 つの本震-余震系列全体による地震動特性値の確率分布(系列全体の中での最大値の確率分布)を、通常地震 1 個に対する確率分布と同様に扱っている。

本震と余震をあわせたマグニチュード頻度分布モデルは Youngs and Coppersmith (1985)<sup>(4)</sup>の固有地震モデルと同じ形で表現している。

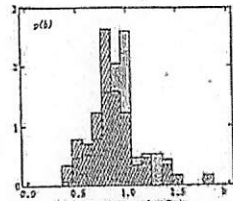


図 5.8 b 値の頻度分布  
 資料は日本付近で起こったそれぞれの余震活動の b 値 (Utsu, T.: J. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. III, 3, 128-135, 1959). 資料は広野各地について求められた地震の b 値 (Utsu, T.: J. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. III, 3, 397-411, 1971: 5.5.1項参照).

宇津・他(1987)による余震の b 値の頻度分布

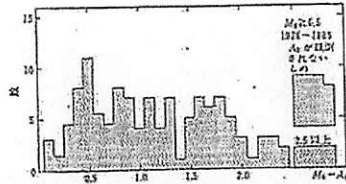


図 5.9 本震と最大余震のマグニチュードの差  
 $M_s < 6.5$   
 1926-1985  
 60 km 以上

宇津・他(1987)による本震と最大余震の M の差の分布

図 AC.5-宇津・他(1987)による余震の b 値の頻度分布と本震と余震の M の差の分布

余震 1 個で a を超える確率を  $P_1$  とすると、余震 N 個で a を超える確率は

$$P_a = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_1)$$

本震 1 個で a を超える確率を  $P_m$  とすると、本震と余震 N 個で a を超える確率は

$$P = 1 - (1 - P_m)(1 - P_a)$$

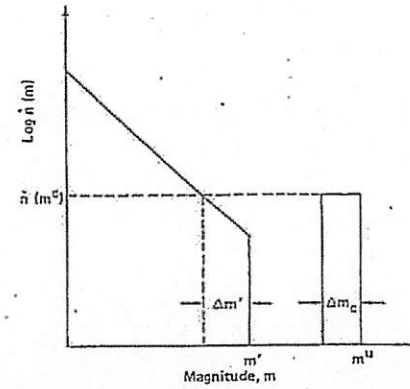


FIG. 10: Generalized frequency magnitude density function for the characteristic earthquake model. Magnitudes are exponentially distributed up to magnitude  $m'$ . The characteristic earthquakes is uniformly distributed in the magnitude range of  $m' - \Delta m'$  to  $m' + \Delta m_c$ .

図 AC.6-Youngs and Coppersmith<sup>(4)</sup>による固有地震のマグニチュード分布モデル

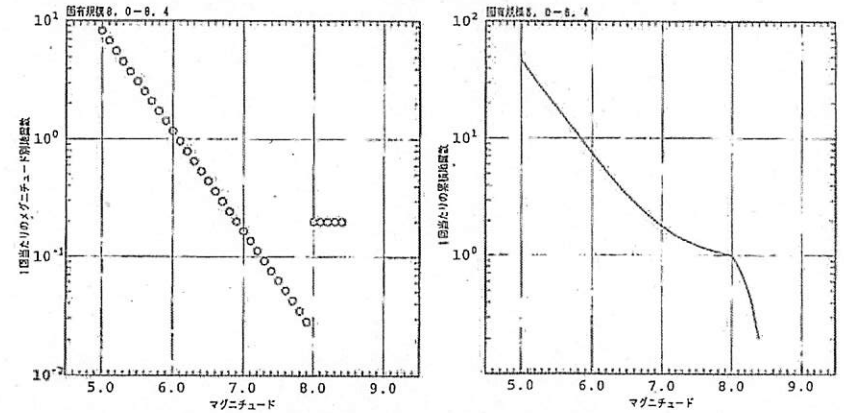


図 AC.7-余震を含む固有地震のマグニチュード分布の例

### AC.6 巨大本震に伴う余震や他の外乱を考慮した地震動ハザードの評価方法

#### a) 巨大本震に伴う余震や他の外乱を考慮した地震動ハザード評価の必要性

M9級の巨大地震の場合には、本震による強震動だけでなく、広域な地殻変動や大規模な断層変位が生じる可能性がある。その後、余震・誘発地震による地震動等が断続的に続く可能性もある。

特に、海域の地震の場合には、本震による津波が繰返し来襲し、プラントが浸水や波力によって影響を受け、これらの外乱の時系列が巨大本震発生時の炉心損傷確率を増加させる可能性もある。余震及び誘発地震による津波も考慮する必要がある。

#### b) 巨大本震発生後の余震の地震動ハザード評価

余震は、巨大地震が発生した場合の条件付き確率として、本震のT時間後からΔT時間内における余震の規模別発生頻度を、改良大森公式(宇津1957)<sup>(6)</sup>を用いて設定する。余震は、本震の震源域にランダムに発生するとし、最大マグニチュードは、宇津のモデルから最大余震規模分布として推定する。図AC.8に評価方法を示す。

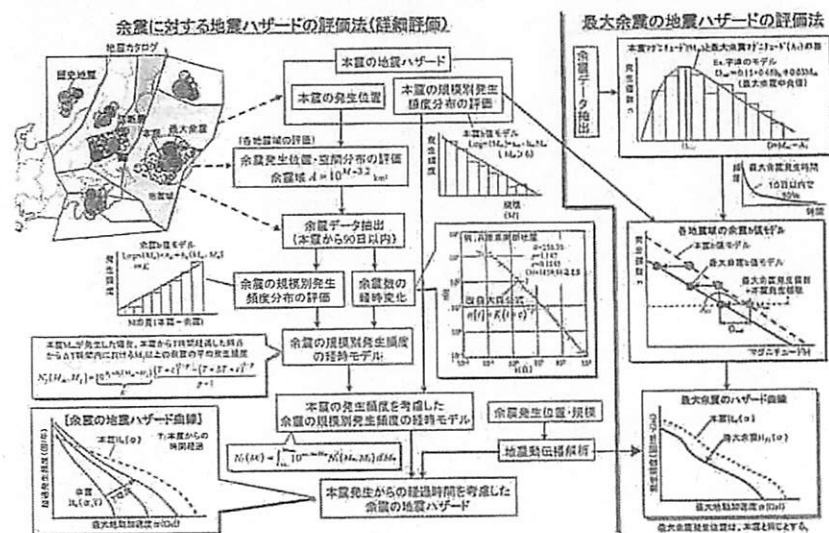


図 AC.8—余震を考慮した地震動ハザードの評価方法

#### c) 巨大本震発生後の余震を含めた地震動の時刻経群

巨大本震による地震動の時刻経群は、適切な震源モデルから、距離減衰式による目標スペクトルに適合した時刻経波形を作成するか、断層モデルにより地震動を直接評価する方法により複数作成する。

余震(敷地近傍の誘発地震を含む)による地震動の時刻経群は、規模と発生頻度の関係の時間変化(本震直後の頻度の上昇とその後の低下)を考慮して、2)の巨大本震のT時間後からΔT時間内の規模別発生頻度と最大マグニチュードを用い、発生位置と発生時刻についてはランダムサンプリングする等により震源をモデル化して、本震と同様の方法を用いて断続的な地震波形の連なりとして複数作成する。

これらを組み合わせて本震と余震の地震動が断続的に連なった時刻経波形(またはそれを簡略化した時系列のパターン)を複数作成し、フラジリティ・事故シーケンス評価において、図AC.9に示すように巨大本震に伴う他の外乱(津波および地殻変動・断層変位)との組合せについて様々な時系列のパターンを設定し、施設の損傷や事故シナリオの分析に用いる。

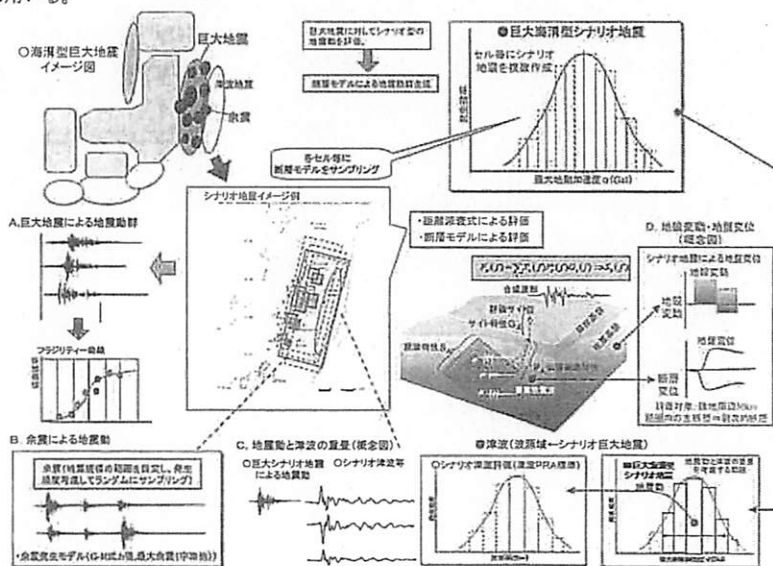


図 AC.9—巨大本震に伴う余震・他の外乱(津波および地殻変動・断層変位)の組み合わせにおける時系列パターン設定

参考文献

- (1) Ebisawa, K., Fujita, M., Iwabuchi Y., & Sugino H., Current issues on PRAre garding seismicand Tsunami events at multi units and sites based on lesson learned fromTohoku earthquake/Tsunami, Nuclear Engineering and Techonology, Vol.44, No.5, pp. 437-452, 2012.
- (2) 安中正・矢代晴実 (1998) : 大地震の発生サイクルを考慮した日本列島の地震危険度解析モデル, 第10回日本地震工学シンポジウム論文集, 489-494
- (3) 宇津, 他編, “地震の事典[第2版]”, 朝倉書店, 2004
- (4) Youngs, R. R. & Coppersmith, K. J., Implications of fault slip rates and earthquake recurrence models to probabilistic seismic hazard estimates, Bull. Seism. Soc. Am., 75, pp. 939-964, 1985
- (5) 宇津徳治(1957), 地震のマグニチュードと余震の起こりかた, 地震2, 10, 35-45
- (6) 気象庁 報道発表資料, “平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震について(第50報)”, 平成23年7月10日11時50分
- (7) 佐藤良輔編著(1989), 日本の地震断層パラメター・ハンドブック, 鹿島出版会, 86p.
- (8) 宇津徳治(1999), 地震活動総説, 東京大学出版会, 331p,342p

附属書 AD

(参考)

地震応答評価用入力地震動を設定するための地震動ハザード

序文

この附属書は, 箇条6における地震応答評価用入力地震動を設定するための地震動ハザードを記載する。

AD. 地震応答評価用入力地震動を設定するための地震動ハザード

炉心損傷確率 (CDP (a)) は, イベントツリーと緩和系の機能喪失確率  $P_{sys}(a)$  を用いて求められる。 $P_{sys}(a)$  はフォールトツリーと機器の損傷確率  $P_{com}(a)$  を用いて求められ, この  $P_{com}(a)$  は, 機器の現実的応答  $R$  が耐力  $C$  を上回った時の条件付き確率として次式で算定される。

$$P_{com}(a) = \int_0^{\infty} f_R(a, x_1) \left( \int_{x_1}^{\infty} f_C(x_2) dx_2 \right) dx_1 \quad (AD-1)$$

$f_R(a, x_1)$  : 地震動が  $a$  のときの現実的応答の確率密度関数

$f_C(x_2)$  : 耐力の確率密度関数

ここで, 現実的応答の確率密度関数  $f_R(a, x_1)$  を求めるときの地震動の応答スペクトル設定には, 応答スペクトル距離減衰式を用いた各周期の地震動ハザード評価結果より, 年超過確率の等しい加速度値を結んだ一様ハザードスペクトルを用いる。

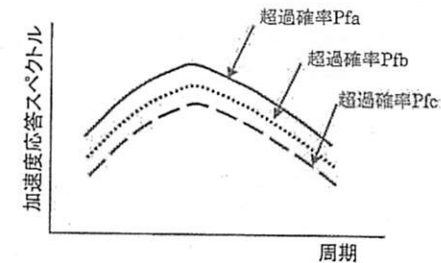


図 AD.1 一様ハザードスペクトル

【本体 6.1】

附属書 AE  
(参考)

巨大地震における誘発地震の取扱い

序文

この附属書は、箇条 6 における巨大地震による誘発地震の取扱いを記載する。

- ・ AE.1 巨大地震における誘発地震の取扱いの考え方
- ・ AE.2 巨大地震後の誘発地震及びクーロン応力の変化の評価例
- ・ AE.3 誘発的に発生した地震や活動した活断層の例

AE.1 巨大地震における誘発地震の取扱いの考え方

誘発地震は、巨大地震に誘発されてその震源域から離れた場所で発生する地震である。巨大地震による大規模な地殻変動は広範囲に影響を及ぼすことがあり、プレート内やプレート境界で、これまで加わっていた応力の急激な変化や大きな歪みを与えている可能性などが考えられている。

巨大地震の発生に伴い、原子力発電所周辺で誘発地震が発生する可能性がより高まる領域(震源)の条件と、そうした震源の誘発地震に対する地震ハザード評価の一つ考え方を以下に示す。

①誘発地震の発生が高まる領域の条件

- ・ 評価サイトに、過去に起きた地震の発生履歴の調査結果から、次の地震の活動時期が迫っていると判断される震源が存在する領域。
- ・ 解析等による対象地域のクーロン応力の変化( $\Delta CFF$ )の評価結果が、評価対象震源の活動を助長する方向に作用している領域。

②誘発地震に対する地震ハザード評価の考え方

- ・ 上記領域に位置する原子力施設周辺に分布する特定震源や領域震源による誘発地震の地震発生確率は、短期的(数年~数十年程度)に地震発生頻度が高まっていることに留意して、地震ハザードを評価する。
- ・ 地震発生確率の設定方法として、巨大地震後の評価対象地域周辺の地殻の  $\Delta CFF$  の相対的な大きさ、ひずみの蓄積度合い及び対象震源の活動時期の切迫性等に留意して、平均活動間隔や発生確率を設定する(図 AE.1 参照)。
- ・ 震源の活動間隔や最近発生した時期が判明している震源は、更新過程を用いて評価すると良い。
- ・ 上記の震源による誘発地震の発生頻度や発生確率等は、不確かさ要因としてロジックツリーの分岐と重みで扱う。

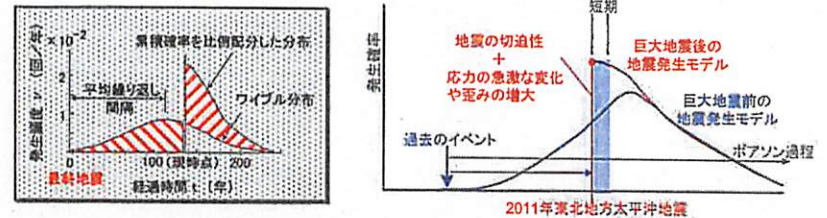


図 AE.1—誘発地震の発生頻度及び発生確率の考え方の例

AE.2 巨大地震後の誘発地震及びクーロン応力の変化の評価例

遠田 (2011) <sup>(1)</sup>により、東北地方太平洋沖地震による 15 地域の  $\Delta CFF$  の増減や地震活動に対する助長の度合いと、観測された地震活動度の傾向(増減)が示されている(図 AE.2 及び図 AE.3 参照)。こうしたデータを参考に、巨大地震後の各原子力施設周辺地域における地殻の  $\Delta CFF$  やひずみ等の変化を考慮して、原子力発電所周辺の特定震源および領域震源における誘発地震評価の参考とする(図 AE.2 参照)。

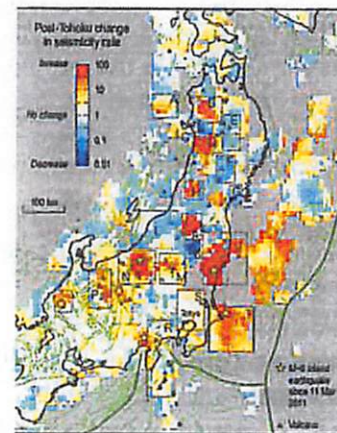


Figure 1. (left) Seismic response of inland Japan to the M=9.0 Tohoku mainshock for  $M_j \geq 0.0$  seismicity (90 days postmainshock compared to 1.2 - year pre-mainshock), with a smoothing radius of 20 km, using the JMA PDE catalog downloaded on 10 June 2011.  $M_c$  is based on Nanjo et al. [2010] for inland Japan;  $M_c$  could be  $-2.0$  post - 11 March 2011. Except for S and T (0-100 km), all boxes use earthquakes at 0-20 km depth. Dark green lines show plate boundaries. (right) Time series for the boxed regions show cumulative numbers of  $M_j \geq 0.0$  earthquakes during 1/1-6/10/2011 (blue); each earthquake is shown as a green stem proportional to JMA magnitude,  $M_j$ .

図 AE.2—2011 年東北地方太平洋沖地震後の誘発地震の発生状況 <sup>(1)</sup>

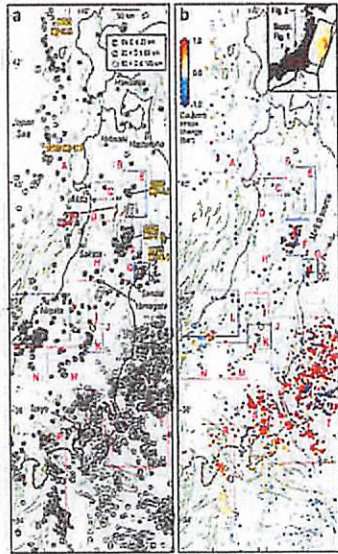


Figure 2. Coulomb stress changes resolved on the nodal planes of small earthquakes as proxies for small active faults. (a) Focal mechanisms from the Fnet catalog (<http://www.fnet.bosai.go.jp/top.php?LANG=en>) since 1997 (depth  $\leq 20$  km for inland areas,  $\leq 50$  km for the eastern margin of Japan Sea region, and  $\leq 100$  km for Kanto); D is depth. (b) Maximum Coulomb stress change from each pair of nodal planes; where earthquakes overlap, the most positively-stressed shocks are plotted on top. The color of the box boundaries indicates the overall seismicity change inside each box: Increase (red) and decrease (blue). Dashed boxes show regions that are not shown in Table 1 for reasons discussed in the text.

Table 1. The Percentage of Nodal Planes That Experienced a Calculated Coulomb Stress Increase and Average Coulomb Stress Change Compared With the Observed Seismicity Rate Change<sup>a</sup>

Box From Figure 1 <sup>b</sup>	Minimum Longitude (deg)	Maximum Longitude (deg)	Minimum Latitude (deg)	Maximum Latitude (deg)	Positive $\Delta CFF$ <sup>c</sup> (%)	Average $\Delta CFF$ (bar)	Seismicity Rate Change	Correlation Between Rate Change and $\Delta CFF$
E	140.85	141.27	39.42	40.29	7	-1.8	Decrease	Positive
F	140.64	141.14	38.70	39.30	12	-3.3	Decrease	Positive
G	141.00	141.34	38.24	38.64	10	-7.7	Decrease	Positive
H	139.79	140.29	38.34	38.74	0	-3.2	Increase	Negative
I	139.74	140.25	37.55	38.00	0	-2.3	Increase	Negative
K	139.80	140.30	37.04	37.46	13	-1.3	Decrease	Positive
L	138.37	139.61	37.25	38.06	17	-0.6	Decrease	Positive
M	139.10	139.80	36.50	37.15	59	0.6	Increase	Positive
O	138.00	139.00	36.50	37.20	15	-0.4	Increase	Negative
N	137.85	138.38	35.61	36.46	62	0.2	Increase	Positive
P	137.20	137.80	35.95	36.80	87	0.3	Increase	Positive
Q	136.29	136.76	35.88	36.36	44	0.004	Increase	(Negative)
R	138.80	139.50	34.00	35.70	82	0.11	Increase	Positive
S	139.61	140.33	35.48	36.37	83	1.2	Increase	Positive
T	140.50	141.70	35.00	36.00	75	2.5	Increase	Positive

<sup>a</sup>There are two for each earthquake. Because of the preliminary state of the aftershock catalog, the correlations are approximate.

<sup>b</sup>Boxes with less than 10 focal mechanisms excluded.

<sup>c</sup> $\Delta CFF$  = Coulomb stress change.  $\Delta CFF$  positive  $\geq 50\%$  (red);  $< 50\%$  (blue). Ave.  $\Delta CFF$  value  $\geq 0$  (red);  $< 0$  (blue).

図 AE.3—2011 年東北地方太平洋沖地震後の  $\Delta CFF$  と誘発地震の発生度合いとの関連<sup>(1)</sup>

### AE.3 誘発的に発生した地震や活動した活断層の例

原子力施設の周辺で、2011 年東北地方太平洋沖地震後に誘発的に発生した地震や活動した活断層の例を以下に示す。

- ①2011 年 4 月 7 日に発生した宮城県北部のスラブ内地震や過去の同様な地震の知見から、プレート境界で巨大地震が発生する可能性がある領域では、原子力発電所近傍で、短期的にスラブ内地震発生の可能性が高い領域震源を設定して、地震ハザードを評価する。スラブ内地震は、その発生域が深いことや地域性に加え、断層破壊形式及び地震動の伝播特性 (HighQ 領域) により、地震規模の比して強い地震動が発生しており、留意が必要である。
- ②2011 年東北地方太平洋沖地震後に誘発的に活動した活断層として、福島第一原子力発電所に付近の井戸沢断層や湯ノ岳断層があげられる。Imanishi et al. (2012)<sup>(2)</sup>によると、井戸沢断層、湯ノ岳断層周辺は 2011 年地震以前から引張応力場であり、2011 年地震後に生じた分岐断層 (Branching fault) の正断層運動によって局所的に引張応力が加わり、両断層の活動が誘発されたと推定されている。井戸沢断層は、トレンチ調査の結果、2011 年地震イベントと過去のイベント (1.3~1.7 万年前) の間に活動は認められていないため (堤・遠田, 2011)<sup>(3)</sup>、やはり活動時期が迫っていた可能性がある。

### 参考文献

- (1) Shinji Toda, Ross S. Stein, and Jian Lin, Widespread seismicity excitation throughout central Japan following the 2011 M=9.0 Tohoku earthquake and its interpretation by Coulomb stress transfer, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 38, L00G03, doi:10.1029/2011GL047834, 2011
- (2) Imanishi, K., Ando, R., Kuwahara, Y., 2012. Unusual shallow normal-faulting earthquake sequence in compressional northeast Japan activated after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake. Geophysical Research Letters 39, L09306, doi:10.1029/2012GL051491.
- (3) 堤浩之・遠田晋次, 2012. 2011 年 4 月 11 日に発生した福島県浜通りの地震の断層層と活動履歴, 地質学雑誌, 118, 559-570.

## 附属書 AF

(参考)

## 震源を特定せず策定する地震動の取扱い

## 序文

この附属書は、箇条 6 における震源を特定せず策定する地震動に関する次の 3 つの項目を記載する。

- ・ AF.1 震源を特定せず策定する地震動に関する 2008 年岩手・宮城内陸地震の知見
- ・ AF.2 震源を特定しにくい地震による地震動の超過確率評価手法の高度化

## AF.1 震源を特定せず策定する地震動に関する 2008 年岩手・宮城内陸地震の知見

2008 年岩手・宮城内陸地震（以下 2008IMEQ という）は、事前に活断層が認定されていない地域において逆断層運動によって生じた Mj7.2 の地震であった。地震 PRA における 2008IMEQ の新知見として、LT 項目に対応した(1) 断層の規模（LT の「活断層か否かの判断」、「断層位置・形状の設定」）、(2) 断層の運動（「最新活動時期」、「地震発生頻度または平均活動間隔」）、(3) 断層から生じる地震の規模（「セグメンテーションの考慮の有無」、「地震規模評価式の選択」）に分けて整理する。

## a) 断層の規模

2008IMEQ の震源断層の長さは、余震分布の広がりから 30~40km に達すると推定される。一方、地震後に行われた空中写真判読によると、変動地形学的に長さ 3~4km の活断層が認定されたため（鈴木、2010）<sup>(1)</sup>、2008 年地震は短い活断層に関連した地震に位置づけられており、Mj7.5 未満の地震では地震規模に見合った長さの活断層が地表に出現しない場合があるという指摘（島崎、2008a）<sup>(2)</sup>と整合的である。地震前に得られる情報から推定される地震の最大規模は、2008IMEQ 震源断層に沿って分布する地質断層である餅屋-細倉構造線（片山・梅沢、1958）<sup>(3)</sup>の長さから Mj7.0、さらに北上低地西縁断層帯からの分岐断層と考えれば Mj7.3 とされている（島崎、2008b）<sup>(4)</sup>。2008IMEQ 震源断層の傾斜は、断層そのものが事前に活断層として認定されていなかったため、地震後に観測された情報のみからの推定になる。余震分布（岡田ほか、2008）<sup>(5)</sup>、GPS 観測による広域地殻変動（Ohta et al., 2008）<sup>(6)</sup>によると、本断層の傾斜は西方傾斜 40 度程度と推定される。

## b) 断層の運動

2008IMEQ 震源断層の最新活動時期は観測事実から 2008 年であり、断層の深部すべりが浅部すべりに比べて著しく大きい伏在逆断層による固有地震であると推定されている（Mats'ura & Kase, 2010）<sup>(7)</sup>。2008IMEQ 震源断層の地震発生頻度は、岩手県一関市巖手町 楓木立でのトレンチ調査により最近 5 千年間に複数回のイベントが検出されたことから数千年程度と推定されている（鈴木、2010）。トレンチ調査の対象となった断層は、西傾斜の主断層に付随して副次的に生じた東傾斜のバックスラストであるが、副次的な断層が活動

した場合には主断層も同時に活動したものとみなすとする解釈（地震本部、2010）<sup>(8)</sup>可能である。

## c) 断層から生じる地震の規模

2008IMEQ 震源断層のセグメンテーションについて、本断層は北上低地西縁断層の南端から鳴子火山まで一続きの断層面であることが破壊過程により示されている（Suzuki et al., 2010）<sup>(9)</sup>。2008IMEQ 震源断層の地震規模評価式の選択について、断層の深部すべりが浅部すべりに比べて著しく大きい伏在断層に対して適用できる評価式は整備されていない。

## AF.2 震源を特定しにくい地震による地震動の超過確率評価手法

本文献<sup>(10)</sup>は、「震源を特定せず策定する地震動」に関して、各原子力発電所で策定する地震動レベルを検討し、「震源を特定しにくい地震」の確率的な地震動ハザードを評価した事例である。以下に、その概要を示す。

## a) 評価対象地震の位置付け

震源を特定しにくい地震は、地震本部による地震の区分の中で、「陸域のプレート内では発生する地震のうち震源を予め特定しにくい地震」を対象とし、活断層調査等を行っても、地表に断層変位等の明瞭な痕跡が見られない潜在断層による地震で、その位置・規模が予め特定しにくい内陸地殻内の地震を対象とする。断層長さ及び地震規模は、①詳細な調査を行っても、地表・地形に断層変位等の明瞭な痕跡が見られない地震、②痕跡の判定が難しく、専門家間で意見が分かれる地震、地震規模等から痕跡が現れない可能性がある地震（グレーな地震）を対象としている。

## b) 評価の流れ

本評価手法では、地震の活動性の違いを考慮し、糸魚川-静岡構造線を境界として、日本全国を東日本と西日本に区分し、Mj5.5~Mj7.3 の地震発生確率を G-R 式により求めた。さらに、震源を特定しにくい地震の規模評価に関しては、地表最大変位（ひずみ）の閾値を設定し、断層による痕跡の地表の非出現率を評価し、地震発生確率の評価で考慮した。

また、種々の震源パラメータの地域性とばらつきを考慮して、モンテカルロ法により震源断層モデルを設定して、統計的グリーン関数法を用いて地震動を評価している。最終的に、地震の発生確率と地震動の不確実さを考慮した超過確率から、震源を特定しにくい地震による地震動の超過確率別スペクトルを評価している（図 AF.1 参照）。

## c) 地表地震断層の非出現率の評価

本研究では、背景領域を考慮して断層すべりによる変位量を地表変位量で判定した。実際の地表地震断層の地形調査と整合させて非出現率を求めるため、断層の出現・非出現は、国内外の地震の観測記録から得られた最大地表変位と、これら地震に対して、くい違い弾性論による Okada (1992) の解析で求めた最大地表変位とを比較して判定した。その際、既往の調査結果などから、地震による地表地震断層や地表変位が確認されている地震と確認されていない地震を判別し、Okada (1992) の方法による解析結果との整合性から、閾値は、

地表地盤の最大ひずみで  $0.5 \times 10^{-4}$  (最大地表変位 20cm に相当) としている (図 AF.2 参照)。

d) 震源断層モデルの設定

本評価手法では、震源断層モデルを a)~c) のように設定している。a) 地震本部の地震地体構区分に基づき地域を 4 つに区分 (東日本、中部・近畿、西日本、九州地方) し、断層の走向方向、傾斜角及びすべり角の分布を検討する。b) 地震規模  $M_j 6.5$  から  $M_j 7.3$  の過去の地震を対象に、アスペリティの位置・面積比及び破壊開始点のばらつきを検討 (図 AF.3 参照) し、モンテカルロ法でそれらの震源パラメータの分布やばらつきを考慮する。c) 応力降下量、高周波遮断周波数に関しては、従来の手法と同様に平均値  $\pm \sigma$  の複数ケースの組み合わせを設定する。

また、地震動の解析手法として、香川 (2004) 5) による長周期帯への適用性を拡張した統計的グリーン関数法を用いている。地震動解析は、評価点を中心に半径約 30km の範囲内に対し、4 分の 1 の対象条件を仮定して評価領域を設定し、この領域に、モンテカルロ法により  $M_j 5.5$  から  $M_j 7.3$  (0.1 刻み) の震源断層各 1000 ケースを設定している (図 AF.4 参照)。

e) 評価結果

地震動の超過確率別スペクトルのレベルは、新指針における「震源を特定せず策定する地震動」で参照している加藤・他(2004) 7) による地震動と比較すると、4 地域で若干の違いが生じているが、0.1 秒以下の短周期成分で  $1 \times 10^{-4} \sim 10^{-5}$ 、0.1 秒以上の長周期は  $1 \times 10^{-4} \sim 10^{-6}$  となっている (図 AF.5 参照)。

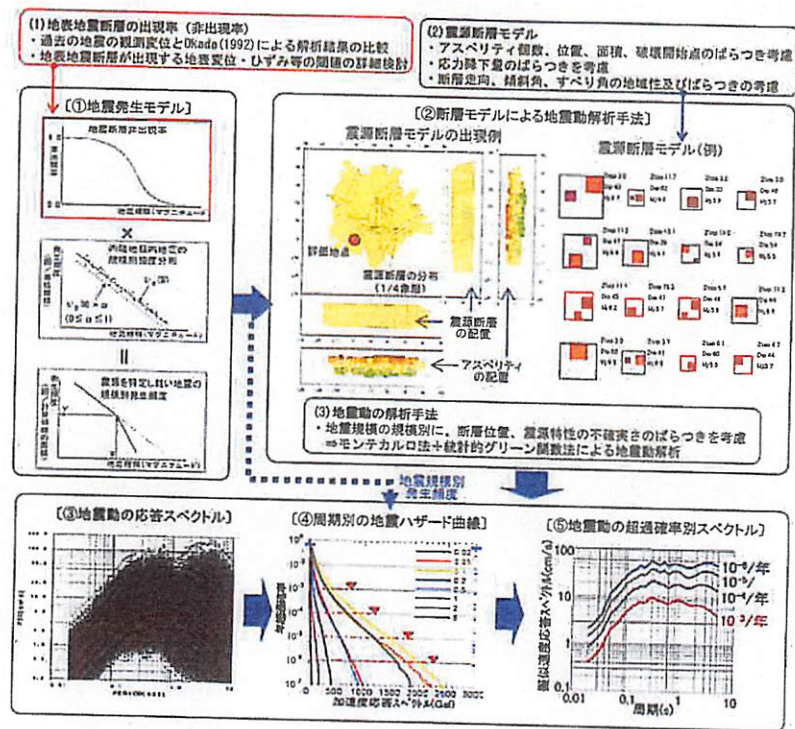


図 AF.1—震源を特定しにくい地震による地震動の確率論評価手法の概要<sup>(10)</sup>

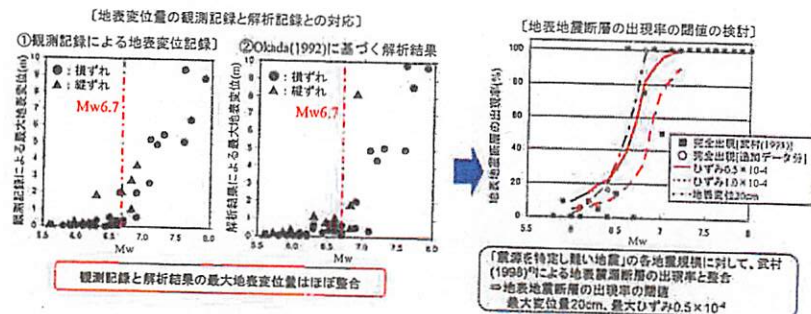


図 AF.2—既往地震の最大地表変位の調査結果と Okada(1992)による解析結果との比較<sup>(10)</sup>

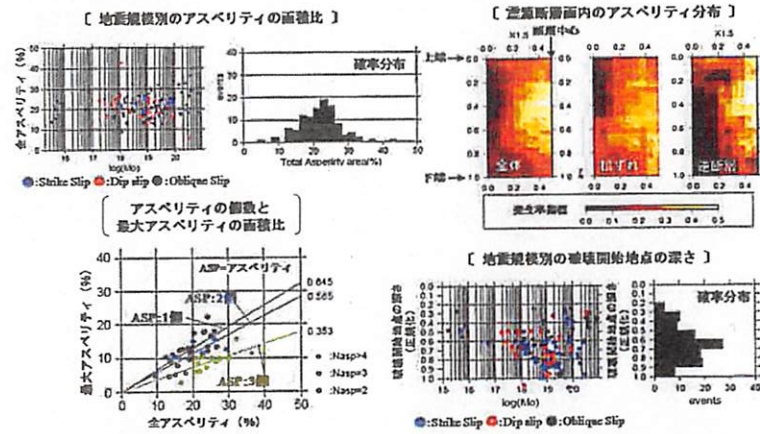


図 AF.3—震源特性の不確かさ (アスペリティの分布・面積比, 破壊開始地点の分布) (10)

■ 震源パラメータの設定例

震源特性	設定値		
	大	中	小
震動円周長ニテニード(単位)	6.0	4.0	3.0
断層幅 W	20.0	10.0	5.0
断層長 L	10.0	5.0	3.0
断層面積	321.54	100.0	45.0
断層モーメント(M0)	7.25E+25	2.33E+25	1.00E+25
第1アスペリティの長さ	6.65	7.05	8.63
第1アスペリティの幅	4.06	5.81	6.54
第1アスペリティの面積	32.49	44.5	56.44
第1アスペリティのモーメント	1.55E+25	2.13E+25	2.77E+25
第1アスペリティのすべり量	147.1	147.1	147.1
第2アスペリティの長さ	4.18	4.89	5.51
第2アスペリティの幅	4.18	4.89	5.51
第2アスペリティの面積	17.47	23.91	30.36
第2アスペリティのモーメント	6.26E+24	8.56E+24	1.09E+25
第2アスペリティのすべり量	108	108	108
アスペリティ間の抵抗力係数	196.76	143.5	112.31
断層領域の面積	271.58	253.13	231.74
断層領域のモーメント	5.01E+25	4.22E+25	3.41E+25
断層領域のすべり量	56	60.4	63.9
断層領域の抵抗力係数	25.93	20.65	16.58

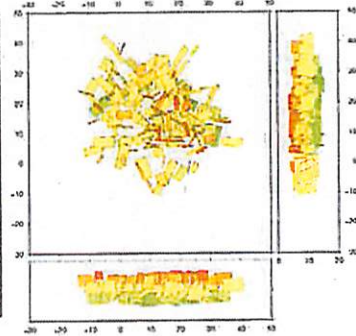


図 AF.4—モンテカルロ法による震源断層の配置例 (ランダムに 1000 ケース配置した例) (10)

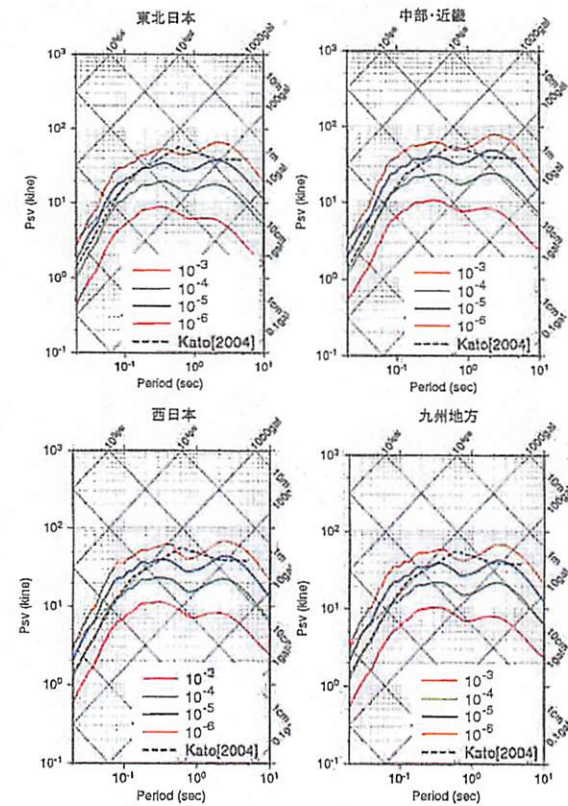


図 AF.5—地域毎の超過確率別スペクトルの評価結果 (10)

参考文献

- (1) 鈴木康弘, 2010. 2008年岩手・宮城内陸自沈と活断層—想定外地震の衝撃—, E-journal GEO 4, 109-116.
- (2) 島崎邦彦, 2008a. 活断層で発生する大地震の長期評価: 発生頻度推定の課題. 活断層研究 28, 41-51.
- (3) 片山信夫・梅沢邦臣, 1958, 7.5 万分の 1 地質図幅「鬼首」及び同説明書. 27p.
- (4) 島崎邦彦, 2008b. 震源断層より短い活断層の長期予測. 2008 年日本活断層学会発表要旨 S05.
- (5) 岡田知己・海野徳仁・長谷川昭, 2008, 2008年岩手・宮城内陸地震緊急余震観測による震源分布・地震波速度構造・メカニズム解分布2008年岩手・宮城内陸地震緊急観測グループ, 日本地震学会2008年秋季大会講演予稿集.
- (6) Ohta, Y., Ohzono, M., Miura, S., Iinuma, T., Tachibana, K., Takatsuka, K., Miyao, K., Sato, T., Umino, N., 2008. Coseismic fault model of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake deduced by a dense GPS network. Earth Planets and Space 60, 1197-1201.
- (7) Matsu'ura, T., Kase, Y., 2010. Late Quaternary and coseismic crustal deformation across the focal area of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake. Tectonophysics 487, 13-21.
- (8) 地震調査研究推進本部, 2010. 「活断層の長期評価手法」報告書(暫定版), 117p.
- (9) Suzuki, W., Aoi, S., Sekiguchi, H., 2010. Rupture process of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku, Japan, earthquake derived from near-source strong-motion records. Bulletin of Seismological Society of America 100, 256-266.
- (10) 独立行政法人原子力安全基盤機構, 2011, 基準地震動の超過確率評価に係わる技術の整備, 安全研究年報(平成 23 年度), <http://www.jnes.go.jp/content/000123375.pdf>

附属書 AG

(参考)

地震動ハザード評価における不確実さ要因

序文

この附属書は、箇条 6 における地震動ハザード評価における不確実さ要因を記載する。

AG. 地震動ハザード評価における不確実さ要因

地震 PRA では不確実さを偶然的な不確実さと認識論的不確実さに分類して評価する必要があるが、現実には地震・地震動に関する不確実さを科学的根拠に基づき厳密に分類することは難しい点が多くある。

評価に当たっては、評価サイトにおける地震関連情報の内容に応じて不確実さの扱いを決定しなければならないが、明確な基準があるわけではない。表 AG1 に震源モデル及び地震動伝播モデルに係わる不確実さの分類の一例を示す。

【本体 6.2.2】

【本体 6.3.3】

【本体 6.3.4】

表 AG-1-地震動ハザード評価における不確実性要因の分類の例

不確実性を考慮している項目	評価上の取扱い		備考
	偶然的要因( $\beta r$ )と考えられるもの	認識的要因( $\beta u$ )と考えられるもの (ロジックツリーによって考慮)	
1) 震源モデル関連			
特定震源	位置・形状	・震源域内で断層の位置に変動を考慮する場合 ・セグメンテーションの考慮の有無	・一般論としては、評価された各パラメータの推定誤差も $\beta u$ に分類される。左記の例では、評価式やデータベースの違いによるパラメータの推定値の違いが推定誤差に該当している。
	地震規模	・地震規模に変動を考慮する場合にはその値	
	地震発生頻度	・地震発生頻度評価方法(データベース含む)の選択 ・地震発生の特系列モデルの設定	
領域震源	位置・形状	・領域内は一律に地震が発生すると仮定(距離の確率分布)	・評価上の分類としては、1本のハザード曲線の算定において $\beta r$ が考慮され、 $\beta u$ はロジックツリーによって考慮されるとする。 ・実現象は震源、伝播、サイト特性が関係する不確実性を有しており、 $\beta u$ として分類している項目であっても、本来は $\beta r$ と考えられる不確実性を含む。
	地震規模	・領域区分モデルの選択 ・b値モデル(データベース含む)の選択 ・最大マグニチュードの設定	
	地震発生頻度	・b値モデル(データベース含む)の選択	
2) 地震動伝播モデル関連			
距離減衰式 (サイト補正含む)	・距離減衰式のばらつき(地震動が有する物理的ランダム性)		・使用する距離減衰式の種類(地震規模と距離の関数としてモデル化することによるモデル化誤差を含む) ・ばらつきを含む
	断層モデルによる地震動評価には、地震動が有する偶然的不確実性( $\beta r$ )と、各種断層パラメータを用いてモデル化する場合の認識的不確実性( $\beta u$ )が存在する。 ・断層パラメータのうち、 $\beta r$ に関わるものが分離できる場合には、地震動強さの $\beta r$ もロジックツリーを採用して評価することが可能である。		

附属書 AH  
(参考)

地震動ハザード評価の有効性と評価方法の問題

序文

この附属書は、箇条 6 における地震動ハザード評価の有効性と評価方法の問題を記載する。

AH. 地震動ハザード評価の有効性と評価方法の問題

a) 地震動ハザード評価の妥当性の評価

- 石川・他(2011)<sup>(1)</sup>は、時間軸原点を過去に遡って作成した確率的地震動予測地図と、対応する期間内に実際に発生した地震による揺れとを対比し、以下の結果を示した。
  - 1) 全国地震動ハザードの総量(論文では、震度 6 弱以上に見舞われた面積割合)は、予測と実績で概ね整合
  - 2) 沈み込むプレートで発生する地震(固有地震、震源不特定併せて)の影響が支配的な地域では、事前の超過確率が高い地点ほど震度 6 弱以上を経験した割合が多く、確率論手法の有用性を支持
  - 3) 陸側プレートの地殻内の地震(活断層、震源不特定併せて)の影響が支配的な地域は、そもそも事前の超過確率が低い地点が多く、震度 6 弱以上を受ける具体的な地域を事前の超過確率の高低から予測することは困難
- 確率的な地震動ハザード評価の問題点の一つに、その妥当性の検証が困難(あるいは不可能)な点が挙げられることが多い。現実には、ハザード評価を構成する個々のモデルや仮定の妥当性の検証を一つずつ積み上げる以外に、有効な方法は少ないと考えられる。
- 石川・他の妥当性評価例における上記 1)を以って「妥当でない」と指摘することに対して、科学的な反論は容易ではない。ただし、これ自体は、ハザード評価への批判よりも確率論(あるいは確率)の否定と旨えるものと考えられる。

b) 東北地方太平洋沖地震に関する認識

- 東北地方太平洋沖地震を例にとれば、マグニチュード 9.0 の地震が元のモデルに含まれていなかったことは明らか問題であり、少なくとも「不確実性」の中では考慮されているべきものであったと考えられる。ただし、地震本部の地震動予測地図には認識論的な不確実性が考慮されていないことは、原子力施設を対象としたハザード評価において地震動予測地図を参照する上で注意すべき点の一つである。

参考文献

- (1) 石川裕・奥村俊彦・藤川智・宮腰淳一・藤原広行・森川信之・能島暢呂(2011): 確率論的地震動予測地図の検証, 日本地震工学会論文集, 第11巻, 第4号, pp. 68-87.

附属書 AI

(参考)

特定震源モデル又は領域震源モデルと対象地震との対応付け

序文

この附属書は、箇条 6 における特定震源モデル又は領域震源モデルと対象地震との対応付けを記載する。

AI. 特定震源モデル又は領域震源モデルと対象地震との対応付け

日本列島周辺で発生する地震は主に内陸地殻内地震, プレート境界地震及びスラブ内地震の3つに大別することができるが, 既知の活断層を震源とする内陸地殻内地震とプレート境界で発生する大地震については, 同一の震源でほぼ同じ規模の地震が繰り返し発生することが知られている場合がある。このような場合, 将来発生する地震の想定破壊領域などの位置情報に加え, 地震の規模や発生頻度に関するパラメータの範囲をある程度特定することが可能であり, 特定震源モデルを適用することを原則とする。ただし, サイトへの影響が小さいことが明らかな地震については, あえて特定震源モデルを適用せず, 領域震源モデルの中で取り扱うことも可能である。

一方, 現在の地震学, 地質学などの知見からは事前に震源として特定できない領域でも地震が発生する。例えば, 内陸地殻内地震やプレート境界地震のうち比較的規模の小さい地震やスラブ内地震については, 将来発生する一つ一つの地震の位置, 規模, 頻度を特定して取り扱うことが困難であるため, 地震活動特性がある程度均質であると考えられる領域内での地震群としての特性を確率モデルで記述する必要がある。このような地震に対しては, 領域震源モデルを適用する。

特定震源モデルと領域震源モデルは, ほぼ同一の規模の地震が繰り返し発生する場合を対象としたものかどうかで区別される。現時点において特定震源モデルでモデル化をすることが可能な地震は, 上記のとおり, 陸域の活断層で発生する固有地震と, 海域のプレート境界で発生する大地震に限定されると考えられ, これら以外は, 領域震源モデルで取り扱うことになる。

特定震源モデルは, 必ずしも一つの固有地震だけを対象とするものとは限らない。例えば, 隣接する特定震源の間の連動をモデル化するなど, 対象とする地震に関する知見に応じた柔軟な対応を妨げるものではない。

特定震源と領域震源を, モデルを構成するパラメータ (位置・規模・頻度) に関する事前の特定性の程度との関連で比較したものが表 AI.1 である。また, 特定震源と領域震源の対象地震の例を図 AI.1 に示す。

【本体 6.3.2】

表 AI.1-震源モデルの取扱いに関する考え方

		内陸地殻内地震	プレート境界地震	スラブ内地震
大 ↑ 位置・規模・頻度の特定性	特定震源	<ul style="list-style-type: none"> <li>●将来発生する地震の震源として、事前に位置、規模、頻度を特定して震源ごとに個別に取り扱う。</li> </ul>		
	領域震源	<ul style="list-style-type: none"> <li>●各種関連情報によって活断層の存在を確認</li> <li>●同一領域において繰り返し地震が発生することが既知</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●同一領域において繰り返し地震が発生することが既知</li> <li>●モデル化に必要な情報が存在</li> </ul>	-
↓ 小	特定震源	<ul style="list-style-type: none"> <li>●将来発生する地震の震源として、地震活動特性がある程度均質であると考えられる領域内での地震群として取り扱う。</li> </ul>		
	領域震源	<ul style="list-style-type: none"> <li>●活断層の知られていないところでも発生し、位置を事前に特定することが困難</li> <li>●規模を事前に特定することが困難</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●特定の領域で同一規模の地震が繰り返し発生すると判断する根拠がない</li> <li>●位置や規模を事前に特定することが困難</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●特定の領域で同一規模の地震が繰り返し発生すると判断する根拠がない</li> <li>●位置や規模を事前に特定することが困難</li> </ul>

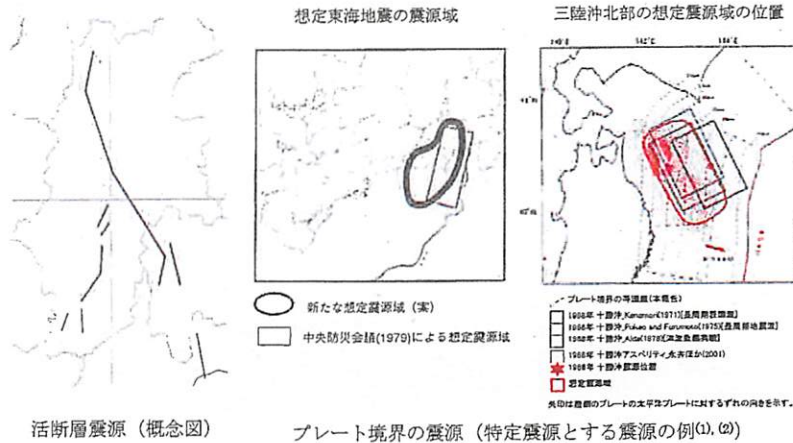


図 AI.1(a)-本標準で「特定震源」として扱う震源の例

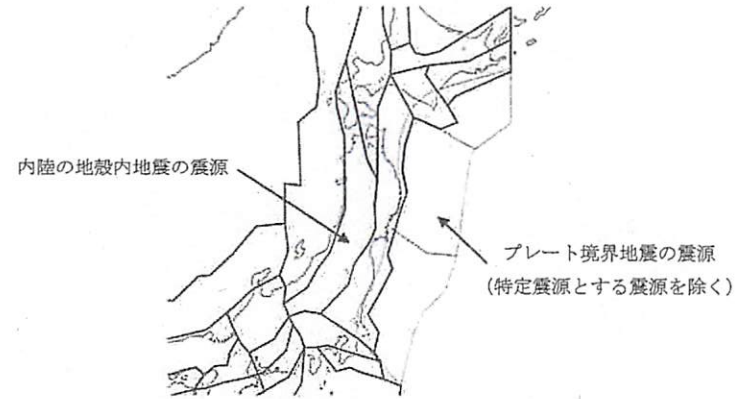


図 AI.1(b)-「領域震源」設定の考え方

参考文献

- (1) 中央防災会議 “東海地震に関する専門調査会” (第6回) 資料, 平成13年6月19日
- (2) 地震調査研究推進本部地震調査委員会, “三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価について”, 平成14年7月31日

## 附属書AJ (参考)

### 活断層資料を用いた震源パラメータの取扱い

#### 序文

この附属書は、箇条6における活断層資料を用いた震源パラメータの取扱いに係わる。次の3つの項目を記載する。

- ・AJ.1 活断層資料の選定について
- ・AJ.2 確実度による評価対象活断層の選定
- ・AJ.3 活断層のセグメンテーションに対する考え方

#### AJ.1 活断層資料の選定について

原子力発電所施設では、サイト周辺の活断層に関する詳細な調査が実施されており、その内容は設置許可申請書に記載されていることから、設置許可申請書の参照は必須である。

一般的な活断層資料としては、日本とその周辺海底での活断層分布とその諸性質を記載した「新編 日本の活断層<sup>①</sup>」が代表的なものであり、活断層の地震活動特性評価上も有用な資料である。ただし、「新編 日本の活断層」は1990年時点での知見の集大成であり、その後の各種調査の知見が反映されていないこと、陸上活断層については確実度と活動度が記載されているものの、海域断層については主に位置情報のみしか記載されていないことに注意が必要である。この他、兵庫県南部地震以後に刊行された「活断層詳細デジタルマップ<sup>②</sup>」も全国を網羅した資料として有用である。ただし、利用に当たっては、活断層の定義が新編日本の活断層とは異なっていることに注意が必要である。さらに、作成地域は限定されているが、国土地理院の「都市圏活断層図<sup>③</sup>」や、地域によっては活断層や活断層に関する知見をより詳細に解説した文献（例えば、(4)、(5)）もあり、併せて利用することが可能である。また、最近では主要な活断層に対するトレンチ調査結果が公表されており、これらの成果に基づいて、地震調査研究推進本部<sup>④</sup>では主要な活断層の評価を公表していることから、これらを利用することも可能である。

資料によって活断層の定義が異なっていることがあり、いずれの資料を利用する場合も活断層の定義を明示したうえで利用しなければならない。

#### AJ.2 確実度による評価対象活断層の選定

地震ハザード評価では、将来評価サイトに影響を与えると考えられる地震発生領域を評価対象とすることを基本方針としていることから、活断層についても、将来の地震発生領域であることの確実さの程度が評価対象として選定する判断基準となる。

例えば、「新編 日本の活断層」では、活断層の存在の確かさ（確実度）をⅠからⅢに区分しており、それぞれ次のように定義している。

確実度Ⅰ：活断層であることが確実なもの。

確実度Ⅱ：活断層であると推定されるもの。

確実度Ⅲ：活断層の可能性はあるが、変位の向きが不明であったり、他の原因、たとえば川や海の侵食による崖、又は断層に沿う侵食作用によってリニアメントが形成された疑いが残るもの。

従って、同資料の定義によれば、確実度Ⅰ及びⅡが評価対象とすべき活断層となる。

ただし、確実度ⅡとⅢの境界は「Ⅲは活断層でない可能性が大きいということによってⅡと区別され、一応その境を活断層である可能性が半ば以上であるか、それ以下であるかにおく」とされているため、評価対象の選定に当たっては、設置許可申請書に記載された詳細な調査結果や最新の活断層調査に基づく評価結果を考慮することも重要である。

なお、海域断層については「新編 日本の活断層」に「確実」と「推定」の2分類しか存在しないため、地震ハザード評価に考慮する場合は、評価サイトへの影響度に基づき適切に判断する必要がある。

#### AJ.3 活断層のセグメンテーションに対する考え方

活断層で発生する地震の規模は、断層長さ（破壊領域）が長いほど大きくなることが経験的に知られており、活断層の長さは地震ハザード評価結果に大きく影響する重要な評価項目である。ところが、有史以来繰返し発生した地震が記録として残り、また近年の観測技術の向上によって破壊領域の推定がある程度可能となったプレート境界地震とは異なり、活断層の場合は一度の地震で破壊する領域を厳密に推定することは難しい。特に、長さが数百キロメートルに及ぶ中央構造線のような長い断層が、一度の地震でどの位の範囲が破壊するのかわりに確たる評価方法が存在しない。

また、活断層マップ上では独立した活断層として記載されている複数の断層が、一度の地震で連動して活動する可能性も考えられる。この場合、連続する短い断層をどの程度まとめ一つの断層として評価するのが難しい。

このように、活断層の地震活動特性評価においては単に活断層マップに示される情報だけでは判断できない問題が存在するが、近接する活断層については、両者の性状及び断層間の地形・地質を調査結果によって確認したうえで、グルーピングを行うかどうかを判断することが重要である。また、近年数多く実施されているトレンチ調査などによって過去の活動時期がある程度判明している場合には、複数の調査箇所における活動時期が同時期か別の時期かを、セグメンテーションやグルーピングを行う際の判断材料とすることもできる。いずれにしても、評価対象領域にセグメンテーションやグルーピングの評価が必要と思われる活断層（群）が存在する場合は、必要に応じて感度解析を実施し、セグメンテーションやグルーピングの評価による影響を把握しておくことが望ましい。

## 参考文献

- (1) 活断層研究会編, “新編 日本の活断層—分布図と資料”, 東京大学出版会, 1991.
- (2) 中田高・今泉俊文編, “活断層詳細デジタルマップ”, 東京大学出版会, 2002.
- (3) 国土地理院, 都市圏活断層図.
- (4) 岡田篤正・東郷正美編, “近畿の活断層”, 東京大学出版会, 2000
- (5) 九州活構造研究会編, “九州の活構造”, 東京大学出版会, 1989
- (6) <http://www.jishin.go.jp/main/index.html>

## 附属書 AK

(参考)

## 地震発生の周期性の考慮

## 序文

この附属書は、箇条 6 における地震発生の周期性の考慮を記載する。

## AK. 地震発生の周期性の考慮

確率論を震源モデルに適用した地震ハザード評価手法が Cornell<sup>(1)</sup> によって提案されて以来、地震の発生は時間的にランダムであり地震の平均発生率が時間に依存しないとするポアソン過程に基づく地震ハザード評価が一般に行われてきたが、近年、プレート境界で発生する大地震や一部の活断層で発生する地震を対象として、地震発生の周期性を考慮した地震ハザード評価が実施されるようになってきている。

評価対象サイト周辺で発生する地震のうち、モデル化に必要な情報が得られている場合には、地震発生の周期性を考慮した地震ハザード評価を行うこともできる。地震発生の周期性を考慮する場合には、一般に地震の発生モデルを更新過程又は時間予測モデルとし、地震発生間隔を適切な確率分布で表現する。地震発生間隔の確率分布としては BPT 分布、対数正規分布、ワイブル分布などが用いられている。<sup>(1),(2)</sup>

例えば、最新の地震発生から  $T$  年経過した時点で、その後の  $dT$  年間に地震が発生する確率  $P(T, dT)$  は信頼度関数  $\phi(T)$  を用いて次のように定義される。

$$P(T, dT) = 1 - \frac{\phi(T + dT)}{\phi(T)} \quad (\text{AK-1})$$

ここで、信頼度関数とは、ある製品（システムや装置）をある時間使った場合に故障する確率がどの程度であるかを評価するのに用いられているものであり、地震を故障の発生と考え、前回の故障（地震）から  $T$  年の間に次の故障（地震）が起こらない確率を喪すものを信頼度関数とする。参考として、BPT 分布及び対数正規分布モデルの場合の信頼度関数を次に示す。

## a) BPT 分布の場合

$$\phi(t) = 1 - \left[ \Phi(u_1(t)) + e^{2/\alpha^2} \Phi(-u_2(t)) \right] \quad (\text{AK-2})$$

$$u_1(t) = \alpha^{-1} \left[ t^{1/2} \mu^{-1/2} - t^{-1/2} \mu^{1/2} \right]$$

$$u_2(t) = \alpha^{-1} \left[ t^{1/2} \mu^{-1/2} + t^{-1/2} \mu^{1/2} \right]$$

$\mu$  : 活動間隔の平均値     $\alpha$  : 活動間隔の変動係数

## b) 対数正規分布の場合

$$\phi(t) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(t) - m}{\sigma}\right) \quad (\text{AK-3})$$

$m$  :  $\ln$ (活動間隔の中央値)     $\sigma$  : 対数標準偏差

$\Phi$  : 標準正規分布の累積分布関数     $\Phi(z) \equiv 1/(2\pi)^{1/2} \int_{-\infty}^z e^{-u^2/2} du$

BPT 分布のモデルは、一定の速度でたまる応力(歪み)と不規則に変化する応力(歪み)からなる物理モデルと対応しており、物理的解釈が理解しやすいという特長がある。

一方、対数正規分布は、プレート境界地震などの発生確率を比較的良く表すとされている。BPT 分布と対数正規分布の地震発生確率の密度関数の例を図 AK.1 に示す。同図に示すように両者の確率分布はほぼ一致しており、性質の違いはほとんど見られない。両モデルについて図 AK.1 の条件から算定した 30 年間の地震発生確率を図 AK.2 に示す。同図から、対数正規分布を用いた場合、平均活動間隔の 2 倍以上の時間が経過すると発生確率が下がり始めるが、BPT 分布ではこうした傾向がみられない。このような差は、確率分布の裾のわずかな性状の違いが原因となって発生していることに留意が必要である。

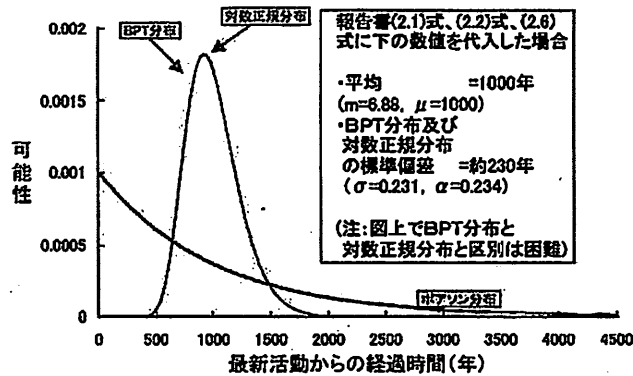


図 AK.1—BPT 分布と対数正規分布の確率分布の比較例<sup>(1)</sup>

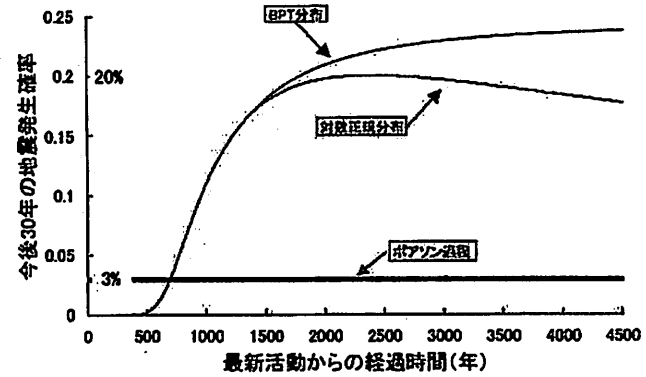


図 AK.2—経過時間時点から 30 年間の地震発生確率の比較例<sup>(2)</sup>

表 AK.1 に繰り返し発生する地震の例を示す。また、図 AK.3 に地震発生間隔の中央値を 100 年、対数標準偏差を 0.25 とした場合の、 $P(T, dT)$  を図化したものを示す。

表 AK.1—繰り返し発生する地震の例

a. プレート間地震である南海地震の発生年と発生間隔

地震発生年月日	発生間隔
684 年 11 月 29 日	202.7 年
887 年 8 月 26 日	211.5 年
1099 年 2 月 22 日	262.4 年
1361 年 8 月 3 日	136.9 年
1498 年 7 月 9 日	106.6 年
1605 年 2 月 3 日	102.7 年
1707 年 10 月 28 日	147.2 年
1854 年 12 月 24 日	92.0 年
1946 年 12 月 21 日	
平均活動間隔	157.8 年

b. 陸域の活断層である阿寺断層の地震の発生年と発生間隔

地震発生年月日	発生間隔
6,496±177 B.C.~8,477±271 B.C.	1,009.5 年
6,458±143 B.C.~6,496±177 B.C.	2,246 年
4,178±160 B.C.~4,284±177 B.C.	2,092 年
1,947±140 B.C.~2,331±146 B.C.	1,982 年
68±96 B.C.~381±216 B.C.	1,742 年
1586 年 1 月 18 日 (天正地震)	
平均活動間隔	1814.3 年

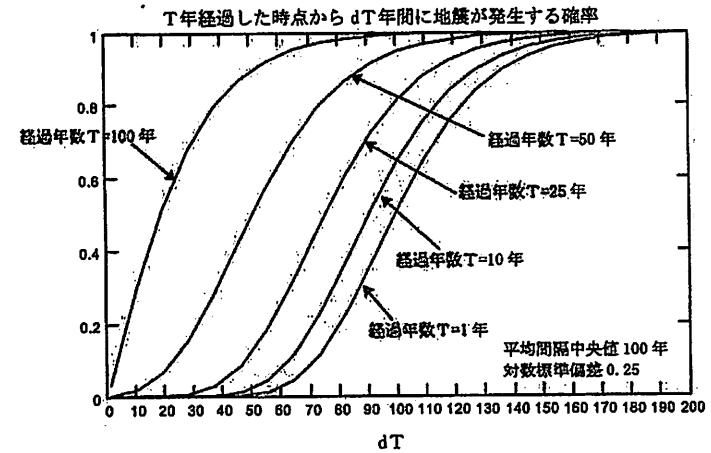


図 AK.3—最新活動からの経過時間 T (年) と将来 dT 年間の発生確率の評価例

参考文献

- (1) Cornell, C. A., "Engineering Seismic Risk Analysis", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.58, No.5, 1968
- (2) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会 長期評価部会, "長期的な地震発生確率の評価手法について", 2001
- (3) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会 長期評価部会, "付録 長期的な地震発生確率についての解説 (地震調査委員会事務局作成)", 平成 13 年 6 月 8 日

附属書AL  
(参考)

活断層、地表地震断層、震源断層を考慮した断層長さの設定における留意事項

序文

この附属書は、箇条6における活断層、地表地震断層、震源断層を考慮した断層長さの設定における留意事項を記載する。

AL. 活断層、地表地震断層、震源断層を考慮した断層長さの設定における留意事項

活断層、地表地震断層、震源断層の定義は、地震学や地質学分野において必ずしも統一されていないようである。定義によってはロジックツリーの対象項目として、断層長さの取扱いが大きく異なる可能性がある。そのため、斯界の多くの専門家からなる原子力安全委員会耐震指針検討分科会において、上記専門用語について討議し、ほぼ合意が得られた定義を示す。

原子力安全委員会 第19回耐震指針検討分科会(平成17年5月27日)での資料(資料番号:震分第19-1号, タイトル:「活断層」, 「地表地震断層」及び「震源断層」について(用語の整理))上記資料から抜粋して記述する。

活断層 : 「最近数十万年間に概ね千年から数万年の間隔で繰り返し活動し、その痕跡が地形に現れ、今後も活動を繰り返すと考えられる断層」と定義した。活断層の認定に当たっては、後期更新世以降(最近の十数万年間)の断層変位地形を特に重視して、地表での変位地形の存在の確からしさをもとに「活断層」と「推定活断層」に区分した。(活断層詳細デジタルマップ(中田・今泉編, 2002年))

地震断層 : 地震に伴って地表に変位(ずれ)をもたらした断層のこと。地下の震源断層の一部が直接的又は間接的に地表に達したもので、地表地震断層と呼ばれることもある。

震源断層 : 地震を発生させた地下の断層のこと。震源断層の一部が直接的又は間接的に地表に達したものを地震断層と呼ぶ。

起震断層 : 活断層は、条件によって単独で活動したりいくつかの断層が同時に活動することが知られている。松田(1990)は断層線の位置関係によって、まとめて1つの地震を発生させる可能性が高い断層のグループを定義し、これを起震断層と呼んだ。カスケード地震モデルに基づけば、同時に破壊しうる活動セグメントの組み合わせのうちで、最も起こりうる組み合わせと見なすことができる。

附属書AM  
(参考)

地震の活動性、活断層区分、地震発生層の厚さ等を考慮した  
地震地体区分の設定における留意事項

序文

この附属書は、箇条6における地震地帯区分の設定および歴史地震情報の選定に関する次の2つの項目を記載する。

- ・AM.1 地震の活動性、活断層区分、地震発生層の厚さ等を考慮した地震地体区分設定
- ・AM.2 歴史地震情報の選定

AM.1 地震の活動性、活断層区分、地震発生層の厚さ等を考慮した地震地体区分設定

垣見ほか(2003)<sup>(1)</sup>の地体構造マップを活用した場合、①活断層による地震も含めた地体区であること、②地体区内の地震活動や活断層分布に粗密な地域が混在すること、③地体区の境界上に活断層が位置している等の課題も挙げられている。最近の研究では、地震活動が活発な地域とそうでない地域を定量的に区分し、地震ハザード評価に有効な地体区分も提案されている。領域震源モデルの選定において、不確かさの観点から新しい知見を用いて、領域震源モデルを設定することが望ましい。

垣見ほか(2003)の地体区では東日本の地体区(地体区8B・8C)の境界は奥羽山脈の東縁に設定され、境界上に北上低地西縁断層帯や福島盆地西縁断層帯が位置している。一方、塚田・他(2011)<sup>(2)</sup>による区分では、上記断層より約10~50km東に境界が設定され、奥羽山脈の形成に寄与する逆断層帯(北上低地西縁断層帯や福島盆地西縁断層帯)が山脈を挟んで1つの地体区が設定されている。また、西南日本では、垣見ほか(2003)では、中央構造線や山崎断層帯の境で地体区が区分されているのに対し、この地体区分では、これらの活断層帯を内包するように設定されている。

## AM.2 歴史地震情報の選定

歴史地震カタログでは、地震の規模を気象庁マグニチュードで表示していることにも注意が必要である。気象庁マグニチュード以外のマグニチュード（例えば、モーメントマグニチュード）をパラメータとしている距離減衰モデルを使用する場合、マグニチュードの変換が必要となるが、変換自体大きな誤差を含むことに注意する必要がある。

次にマグニチュードの種類と概要<sup>(3),(4)</sup>を示す。マグニチュードの評価方法と対象とされる地震波のおよその周波数を表 AM.1、各種マグニチュード間の関係<sup>(4)</sup>を比較した例を図 AM.1 に示す。

なお、地震動ハザード解析に一般的に適用される距離減衰式のうち、耐専スペクトル式と安中式は気象庁マグニチュード Mj が、大野式、Ablahamson & Silva 式及び司・翠川式はモーメントマグニチュード Mw が用いられている。

### a) リヒターのローカルマグニチュード M<sub>L</sub>

リヒター(1935)は、地震の大きさを表す尺度として「震央距離 Δ=100km の地点に置かれたウッド・アンダーソン型地震計(固有周期 T<sub>0</sub>=0.8s, 減衰定数 h=0.8, 基本倍率 V=2800 倍)の 1 成分の記録紙上の最大振幅 A を μm 単位で測り、その常用対数で表す。」と定義した。振幅を震源からの距離 Δ=100km のところの値にするための補正項を logB (Δ) とすると、マグニチュードは

$$M_L = \log A - \log B(\Delta) \quad (\text{AM-1})$$

となる。ここで、logB (Δ) は震央距離 Δ の関数である。

### b) 表面波マグニチュード M<sub>s</sub>

当時の地震計で遠い浅い地震 (Δ ≥ 600km) を観測すると周期 20 秒の表面波がよく卓越するので、その最大振幅値を用いて、リヒターのローカルマグニチュード M<sub>L</sub> と同じような値となるように、グーテンベルク(1945)は、表面波マグニチュードを

$$M_s = \log A_h + 1.656 \log \Delta + 1.818 + C \quad (15 \text{ km} \leq \Delta \leq 130 \text{ km}) \quad (\text{AM-2})$$

で定義した。ここで、A<sub>h</sub> は表面波水平動 2 成分の片振幅合成(μm 単位)、Δ は震央距離(角度)、C は観測点ごとの補正值である。M<sub>s</sub> は世界中どこでも同じ基準で決めることができるために世界的にマグニチュードの標準となった。

### c) 実体波マグニチュード m<sub>B</sub>

深い地震では表面波が発生しにくいので、グーテンベルク(1945)は、P 波や PP 波ないしは S 波など素性が分かる実体波の位相の振幅を用いた実体波マグニチュードを

$$m_B = \log(A/T) + q(h, \Delta) \quad (\text{AM-3})$$

で定義した。A は最大地動振幅、T はそのみかけの周期、q(h, Δ) は補正項で震源の深さ h と震央距離 Δ の関数である。

USGS (米国地質調査所) は同様の考えで実体波マグニチュードを決めており、それらの値が広く発表されているが、用いている地震計の固有周期が 1 s と短く上に、P 波初動から 5 秒以内の最大振幅値を読むという制限を付けているために、大地震ではすぐに値が飽和し

地震規模を表さず、元々の実体波マグニチュードとも大きくことなる値を与えることから m<sub>B</sub> と区別して表されている。

### d) モーメント・マグニチュード M<sub>w</sub>

金森は 1977 年に地震モーメント(M<sub>0</sub>)を用い、巨大地震以外の規模が小さめの地震については M<sub>s</sub> と同じような値を与えるようにするために、M<sub>0</sub> と M<sub>s</sub> の経験的な関係をそのまま用いて、モーメント・マグニチュードを次のように定義した。

$$M_w = (\log M_0 - 9.1) / 1.5 \quad (\text{AM-4})$$

地震モーメント M<sub>0</sub> (N・m) は震源断層の面積 S と平均すべり量 D に、媒質の剛性率 μ を乗じた物理量で、震源断層の規模を表すのに最適な量としてよく用いられる。M<sub>0</sub> は震源から発生した地震波の極長周期成分のレベルに比例する性質があることから、観測や解析の技術の進歩とともに世界中どこで地震が発生しても M<sub>0</sub> が広く決められるようになってきた。それに伴って M<sub>w</sub> は M<sub>s</sub> に変わって、世界のマグニチュードの標準になりつつある。

### e) 気象庁マグニチュード M<sub>j</sub> (2003 年 9 月 24 日以前)

気象庁が発表しているマグニチュード(気象庁マグニチュード) M<sub>j</sub> (本文では M) は当初、気象庁の標準地震計(ウィーヘルト式及びその後継の 59 型地震計)で観測された結果から、グーテンベルクが決める M<sub>s</sub> 相当のマグニチュードを決められるように定義(坪井式)された。1952 年のことである。その後 1964 年に震源深さ H が深い地震に関しては m<sub>B</sub> に準じる定義(勝又式)が考えられ、2003 年 9 月 24 日までは、両者の組み合わせで評価されてきた。

H ≤ 60km の場合 (坪井式)

$$M_j = \log A_h + 1.73 \log \Delta - 0.83 \quad (\text{AM-5})$$

H > 60km の場合 (勝又式)

$$M_j = \log A_h + K(\Delta, H) \quad (\text{AM-6})$$

A<sub>h</sub> は水平動 2 成分の最大値の合成値(みかけの周期 5 秒以下、μm 単位)、Δ は震央距離(km 単位)、H は震源深さで K(Δ, H) は表で示される定数項である。

この他に規模が小さく上記の式で規模を決めることが出来ない地震のための補助として感度が高い速度計の観測結果を用いて決める方式も併用されてきた。

なお、1990 年の武村の検討結果を元に震源深さ H が 60km 以浅の地震の気象庁マグニチュード M<sub>j</sub> とモーメントマグニチュード M<sub>w</sub> の関係を求めると次のようになる。

プレート境界地震

$$M_j = M_w - 0.07 \quad (M_j \approx M_w) \quad (8.0 \geq M_j \geq 5.0) \quad (\text{AM-7})$$

内陸地殻内地震

$$M_j = 1.25 M_w - 1.33 \quad (8.0 \geq M_j \geq 5.0) \quad (\text{AM-8})$$

プレート境界地震では通常の地震で両者はほぼ同じであるが、内陸地殻内地震では、地震規模が大きくなると M<sub>j</sub> が M<sub>w</sub> よりかなり大きくなる性質がある。

f) 気象庁マグニチュード  $M_j$  (2003年9月25日以降)

先に述べたように坪井式による  $M_j$  は、元々  $M_s$  と一致するように決められたものであり、震源が浅い地震では  $M_w$  との一致度もよい(ただし震源が極浅い内陸地殻内地震では規模が大きいものについてはやや大きめの値を与える)。一方震源が深い地震に対して用いられてきた勝又式は  $m_B$  の流れを汲むスケールで  $M_w$  との一致度はそれほどよくない。また速度計による式は坪井式との連続性が悪いという問題をもっていた。このため内陸地殻内地震も含め、浅発地震に対し坪井式で決められている値は従来通りの連続性を保つようにして、また震源の深い地震や規模の小さい地震のマグニチュードは  $M_w$  と同じような値となるように評価方法が改定された。その場合、震源の深さに関係なく一元的にマグニチュードが決められるようにした。用いる式は次のような定義である。

$$M_j = \log A_h + \beta(\Delta, H) + C \quad (\text{AM-9})$$

$A_h$  は水平動2成分の最大値の合成値(みかけの周期5秒以下、 $\mu\text{m}$ 単位)で従来のものと同じ性質を持つように旧来の標準地震計相当の記録に直してもとめたものである。 $\beta(\Delta, H)$  は震央距離  $\Delta$  と震源深さ  $H$  に対する補正項、 $C$  は観測網の変化などに対応した補正項である。この他に速度計に対応する式を併用するのも従来と同様である。

2003年9月25日からはこのような新方式を用い、合わせて過去の地震についても震源の再決定も含めてマグニチュードの見直しが行われている。見直しの結果、過去の地震について、深さ60kmより浅い地震は、震源位置の見直しの影響で多少値が変わったものがあるがほとんど従来のものと変わらず、深い地震や小規模の地震に対しては値が大きく変わったものが多い。

表 AM.1-各種マグニチュードと観測周波数

名称	略号	観測周波数	注意事項
気象庁マグニチュード	$M_j$	約2-5秒	日本での標準的なスケール
実体波マグニチュード(USGS)	$m_B$	約1秒	すぐに飽和するのでほとんど使えない
表面波マグニチュード	$M_s$	約20秒	基本的なスケール
モーメントマグニチュード	$M_w$	数十秒以上	最近基本的なスケールになりつつある

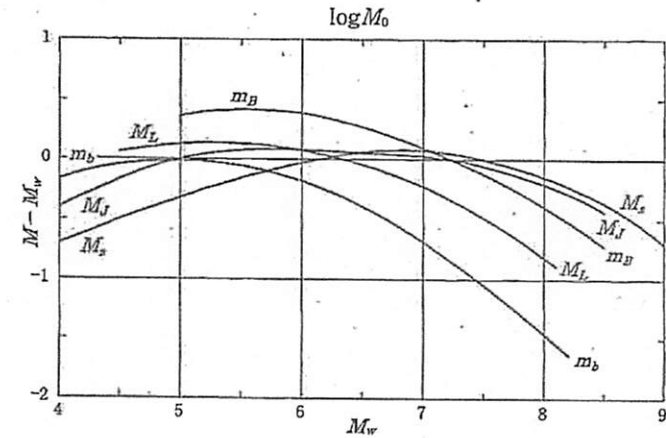


図 AM.1-各種マグニチュード間の関係(宇津,1982 を小修正) (4)

【本体 6.3.4】

参考文献

- (1) 垣見俊弘・松田時彦・相田勇・衣笠義博, 2003. 日本列島と周辺海域の地震地体構造区分, 地震第2輯, Vol.55, pp.389-406.
- (2) 塚田昌孝・隈元崇・後藤秀昭: "地震・活断層・地殻構造データを用いた多変量解析による定量的な地震地体構造区分の考案" 日本活断層学会 2010年秋学大会.
- (3) 文部省国立天文台編, "理科年表 CD-ROM, 1996年版 地震関係公式諸表"
- (4) 宇津, 他編, "地震の辞典[第2版]", 朝倉書店, 2004

附属書 AN

(参考)

b 値モデルの概要

序文

この附属書は、箇条 6 における b 値モデルの概要を記載する。

AN. b 値モデルの概要

Gutenberg-Richter 式 (G-R 式) に代表される b 値モデルは、マグニチュードと地震発生度数の関係式であり、マグニチュードが小さくなると地震の発生度数が指数関数的に増大するとしたモデルである。具体的には、評価対象領域で発生した過去の地震のマグニチュード  $M$  と  $M$  以上の地震の累積発生度数  $N(M)$  の関係を、 $M$  を横軸、 $N(M)$  を縦軸 (対数) としてプロットし、最尤法などによって  $\log_{10} N(M) = a - bM$  のフォーマットに直線近似して定数  $a$  及び  $b$  を評価する。ここで、 $a$  は縦軸の切片で発生頻度を表すパラメータとなり、 $b$  は直線の傾きでマグニチュード分布を表すパラメータとなる【図 AN.1 参照】。地震発生度数  $n(M)$  とマグニチュード  $M$  の関係も同様の式で表され、 $\log_{10} n(M) = a' - bM$  となる (累積発生度数に対する  $a$  と発生度数に対する  $a'$  の関係は  $a' = a + \log_{10}(b \ln 10)$ )<sup>(1)</sup>。

他の b 値モデルとして、図 AN.2 に示す宇津による 3 パラメータ式  $\log(n(M)) = a - bM + \log(c - M)$  がある。このモデルは、マグニチュードの大きな地震の発生数が相対的に少ない領域で、マグニチュードと地震発生度数の関係が上に凸の曲線となる場合に適用性が良いとされる。歴史地震データには年代や地域によってその信頼度に差があることから、歴史地震データと b 値モデルの適合性を検討した上でモデルを選定することが重要である。

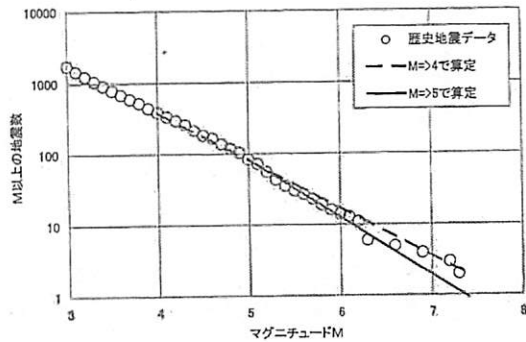


図 AN.1—宇津による b 値モデルの例

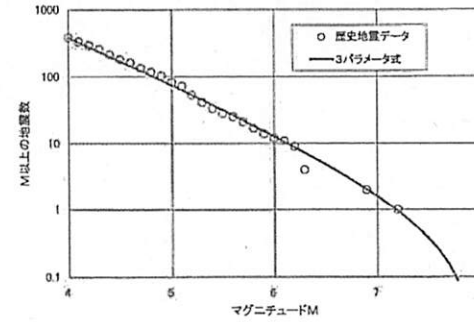


図 AN.2—宇津による 3 パラメータ式の例

参考文献

- (1) 宇津徳治, 地震の規模別度数分布に関する諸問題 (II), 北海道大学地球物理学研究報告, 18: pp.53-69, 1967

附属書 AO  
(参考)

領域震源モデルにおけるひずみ集中帯の評価例

序文

この附属書は、箇条 6 における領域震源モデルにおけるひずみ集中帯の評価例を記載する。

AO. 領域震源モデルにおけるひずみ集中帯の評価例

鷲谷(2007)<sup>(1)</sup>は、GPS による過去 10 年の地表変位から、山形県から大阪湾に至る日本海沿岸地域では、内陸地域と比較して変位量が大きく、近年その領域内では、Mj6~Mj7 の地震の発生が多いことを指摘し、ひずみ集中帯と関連を示唆している。蛭澤 (2011)<sup>(2)</sup>では、地震ハード評価において、垣見マップに対してひずみ集中帯を考慮した領域とした領域震源モデルの考え方を提案している。

参考文献

- (1) 鷲谷威, 2007, 「ひずみ集中帯」とは何か, 科学, Vol55, No.11, pp.1200-1205.
- (2) Ebisawa, K., 2009. Current status and important issues on seismic hazard evaluation methodology in Japan, Nuclear Engineering and Technology, 41, 1223-1234.

附属書 AP  
(参考)

同一サイト内での地震動伝播特性の違い

序文

この附属書は、箇条 6 における同一サイト内での地震動伝播特性の違いに係わる次の 2 つの項目を記載する。

- ・ AP.1 新潟県中越沖地震における柏崎刈羽原子力発電所での地震動伝播特性の違い
- ・ AP.2 サイトの地震観測記録に基づく検討例 (2009 年駿河湾の地震)

AP.1 新潟県中越沖地震における柏崎刈羽原子力発電所での地震動伝播特性の違い

a) 同一サイトにおける地震動レベルの異なる複数の地震動ハザードの意味合い

日本では、多数基/多数サイト/地域がある。地震動は、広域の施設に影響を及ぼす (半径約 30-300 km)。強震動下において、複数の機器が同時に機能喪失する可能性が高い。

新潟県中越沖地震は、2007 年 7 月に柏崎刈羽原子力発電所近傍で発生した。柏崎刈羽発電所は、南北約 2.5km の敷地に、7 つのプラントが設置されている。南側から北側に向かって、1~4 号機、7, 6, 5 号機の順であり、南側の 1~4 号機は大湊地区に、北側の 7~5 号機は荒浜地区に設置されている。柏崎刈羽発電所において観測された地震動は、次のような特徴があった。

- 1) 1 号機~7 号機の原子炉建屋基礎盤上で観測された地震動の最大加速度は、設計基準地震動の応答を超えた。
- 2) 大湊地区の 1 号機での最大加速度は、荒浜地区の 5 号機の約 2 倍であり、深部地下構造の不規則性等により地震動が増幅したためと究明された。
- 3) 中越沖地震の知見から、深部地下構造の不規則性による地震動の相関を考慮することが重要であると認識された。

このように、同一サイト内のプラントでも、深部地下構造の違いによって地震動が大きく異なることが想定される。そこで、深部地下構造が大きく異なることが把握された場合には、複数の異なる地震動ハザードを評価する必要がある。

b) 同一サイトにおける複数の異なる地震動ハザードの評価手順

同一サイトにおける複数の異なる地震動ハザードの評価は、次に手順で行う。

- 1) 同一サイトにおける深部地下構造の違いを把握する。
- 2) 深部地下構造が大きく異なることが予想される場合には、概略の深部地下構造モデルを作成し、プラント毎に、深部地下構造での地盤増幅特性を把握する。
- 3) 地盤増幅特性に基づき、対象プラントをグループ化する。
- 4) グループごとに地震動ハザードを評価する。それぞれの地震動ハザード評価の手順は単一プラントと同様の手順とする。

AP.2 サイトの地震観測記録に基づく検討例 (2009年駿河湾の地震)

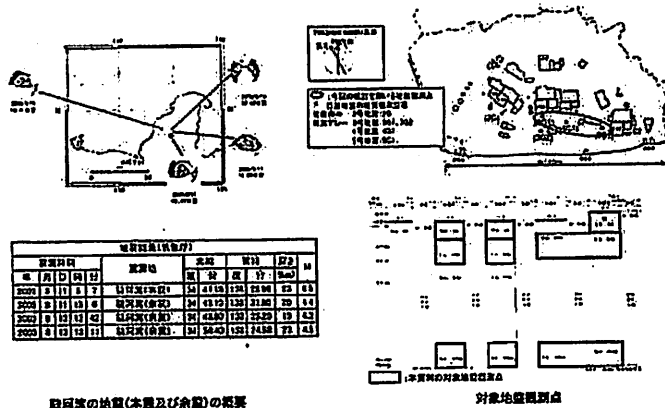
2009年8月11日駿河湾の地震では、中部電力浜岡原子力発電所の各号機で地震観測記録が得られており、5号機の地震動強さが他号機に比べて大きかった。中部電力が総合エネルギー調査会原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会 地震・津波、地質・地盤合同WGに報告した地震観測記録の分析内容を以下に示す。

a) 駿河湾の地震 (本震) の観測記録の特徴

駿河湾の地震 (本震及び余震) の概要および対象地盤観測点を図 AP.1 に示す。

駿河湾の地震 (本震) の観測記録の特徴について図 AP.2 に示す。加速度時刻歴波形を見ると、S波主要動部では、5G1の揺れは他地点に比べ顕著に大きく、P波部・Coda波部では、各地点の揺れは概ね同程度となっている。また、加速度フーリエスペクトルを見ると、周期0.2秒～0.5秒の短周期では、5G1の揺れは他地点に比べ顕著に大きく、周期0.5秒より長周期では各地点の揺れは概ね同程度となっている。

また、3G1に対する5G1の増幅特性の比率についても整理しており、プラントEW方向で2.2～2.3倍程度としている。



駿河湾の地震(本震及び余震)の概要

図 AP.1—駿河湾の地震 (本震及び余震) の概要および対象地盤観測点<sup>(1)</sup>

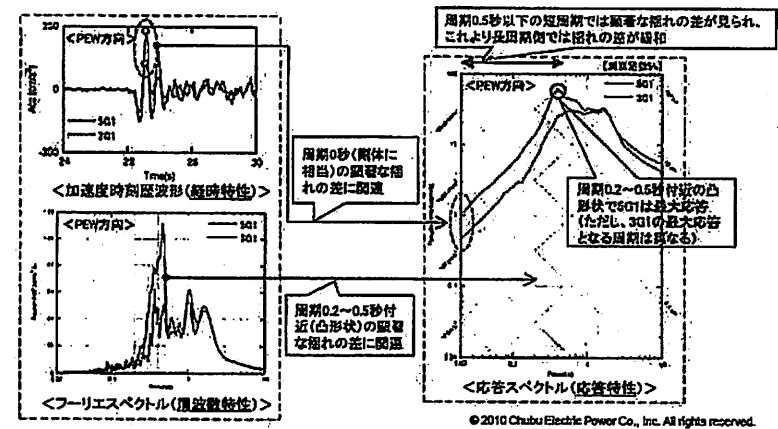


図 AP.2—駿河湾の地震 (本震) の観測記録の特徴<sup>(2)</sup>

b) 地震波到来方向毎の増幅特性の整理

地震波到来方向毎の増幅特性の整理について図 AP.3 に示す。得られた地震観測記録の分析より、駿河湾の地震の方向から到来する地震波については、5G1の揺れは他地点に比べ大きい、その他の方向から到来する地震波については、5G1の揺れは他地点に比べ同程度としている。

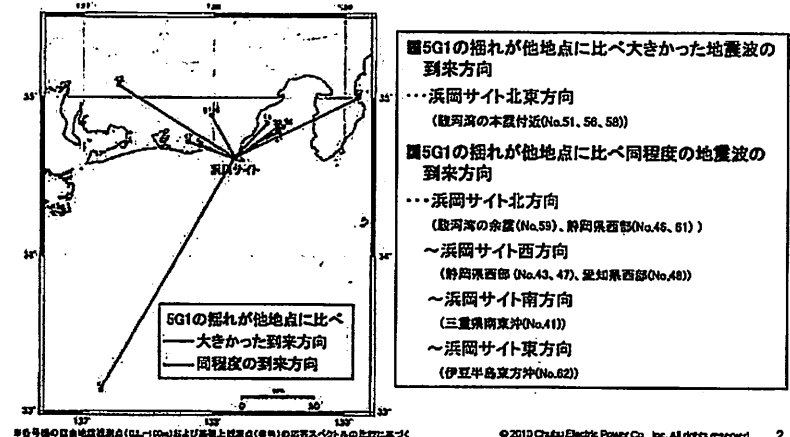


図 AP.3—地震波到来毎の増幅特性の整理<sup>(2)</sup>

参考文献

- (1) 経済産業省 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ 合同W53-2 浜岡原子力発電所の地震観測記録の分析（コメント回答）参考資料2 地震観測記録集 平成22年10月1日 中部電力株式会社  
<http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/shingikai/107/3/053/sankou53-2.pdf>
- (2) 経済産業省 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ 合同W56-3（参考資料）駿河湾の地震を踏まえた浜岡原子力発電所5号機の耐震安全性への影響確認（これまでの報告内容のまとめ）参考資料 平成22年11月16日 中部電力株式会社  
<http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/shingikai/107/3/056/sankou56-3.pdf>

**附属書 AQ**  
**（参考）**  
**上下動に対する地震動ハザード評価手法**

序文

この附属書は、箇条6における上下動に対する地震動ハザード評価手法を記載する。

**AQ. 上下動に対する地震動ハザード評価手法**

**a) 地震動ハザード評価手法の概要**

上下動に対する地震動ハザード評価では、震源モデルは水平動と上下動で同じ取扱いとし、地震動伝播モデルにおいて、上下動に対する地震動伝播モデルを選択して、地震動ハザードを評価する(図 AQ.1)。上下動の評価が可能な距離減衰式として、例えば耐専スペクトル【附属書 AR.2 参照】がある。耐専スペクトルでは、次のように水平動に対する応答スペクトルに地盤増幅の補正項を乗じて上下動のスペクトルを算定する。

$$S_v(T) = S_b(T) \cdot \alpha_v(T) \cdot \beta_v(T) \tag{AQ-1}$$

ここで、 $S_v(T)$ は解放基盤表面の $h=5\%$ の上下動の応答スペクトル、 $S_b(T)$ は地震基盤における水平動の応答スペクトル ( $\text{cm/s}^2$ )、 $\alpha_v(T)$ 、 $\beta_v(T)$ は水平動を基準とした上下動の地盤増幅の補正項である。

また、断層モデルを用いる場合、水平動(2成分)と上下動の地震波を直接評価することができる。その場合、上下動の評価結果については、伝播経路特性やサイト増幅特性などを観測地震動などと比較するなどして補正が必要となる。

**b) 上下動に対するフラジリティ評価用地震動の作成**

上下動の影響が大きな機器などのフラジリティ評価に用いる地震動は、水平動と同様に一様ハザードスペクトルを目標スペクトルとして作成することができる。その場合、フラジリティを評価する各地震動レベルに対応する超過確率は水平動と同じ値を用い、同一超過確率の一様ハザードスペクトルから作成した水平動と上下動をセットでフラジリティ評価に用いる。

フラジリティ曲線の横軸は、代表値として水平動の地震動強さを用い、事故シーケンス解析で最終的に炉心損傷頻度を算定する際には、水平動の地震動ハザード曲線を用いる。

上下動及び水平動の地震ハザード評価手法と対応関係(模式図)

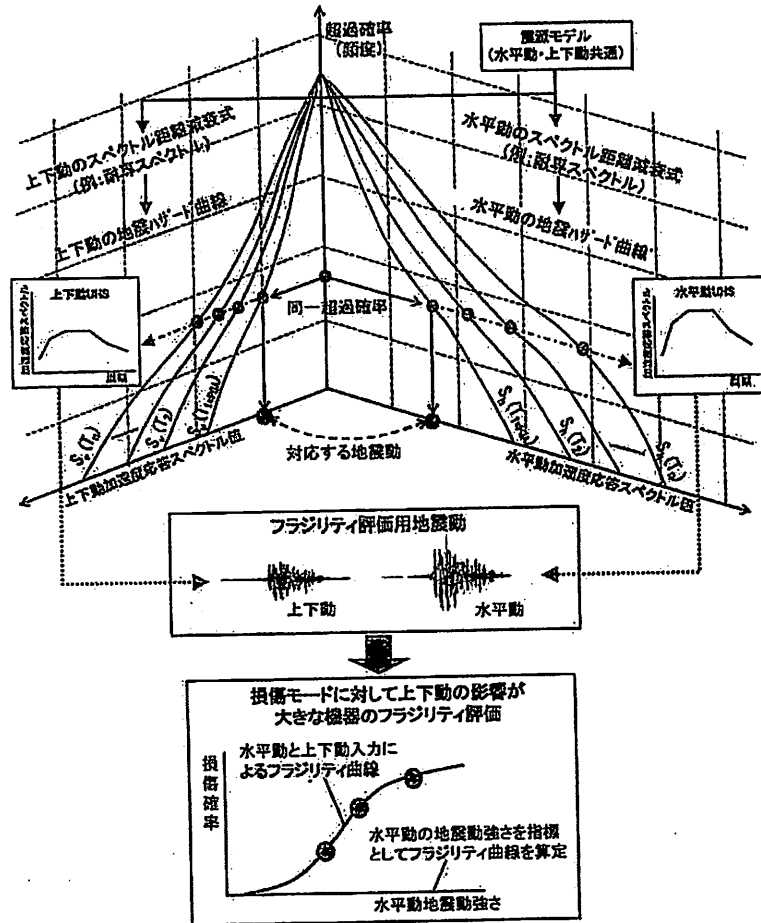


図 AQ.1-上下動に対する地震動ハザード評価手法及び  
フラジリティ評価用地震動の作成方法

附属書 AR

(参考)

距離減衰式による地震動評価

序文

この附属書は、箇条 6 における距離減衰式を用いた地震動評価に係わる次の 4 つの項目を記載する。

- ・ AR.1 最大加速度・速度距離減衰式の例
- ・ AR.2 スペクトル距離減衰式の例
- ・ AR.3 地震動観測記録を用いた距離減衰式に対する地点補正の例
- ・ AR.4 応答スペクトル距離減衰式による地震動評価法の高度化

AR.1 最大加速度・速度距離減衰式の例

最大加速度・速度距離減衰式の例を表 AR.1 に示す。

表 AR.1-最大加速度・最大速度の距離減衰式とその概要(その 1)

提案者(発表年)	安中正, 山谷教, 桃林治彦, 野沢是幸 (1987年)
文献	安中正, 山谷教, 桃林治彦, 野沢是幸, "関東及び周辺地域の地震観測記録を用いた基盤における最大加速度推定式の検討", 第 19 回地震工学研究発表会講演概要, 土木学会, pp.129-132 (1987)
提案式	$\log a = 0.627M + 0.00671H - 2.212 \log D + 1.711$ $D = R + 0.35 \exp(0.65M)$ <p>a : 最大加速度 (ダム地点を除く 31 地点の平均的推定値) M : 気象庁マグニチュード, H : 震源深さ(km) R : 断層面までの最短距離(km)</p>
データベース	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 関東及び周辺地域の 41 観測点で得られた記録の内, 1971 年から 1986 年に発生した震源深さが 100km 未満の 45 個の地震の記録。</li> <li>・ 用いたデータは水平 2 成分の最大加速度の平均値。データ数は 319 個。</li> <li>・ 表層地盤のせん断波速度が 300m/s 未満の観測点については一次元波動理論によって推定される基盤波形を用い, その他の観測点については観測波形をそのまま用いた。</li> <li>・ マグニチュードが大きく震央距離が小さい領域にデータが少ない。最大加速度は部分が数 gal~数十 gal の範囲(100gal 超は 1 個)</li> </ul>
回帰の方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 二段階回帰分析を行った。</li> <li>・ 第一段階で, 距離係数と個々の地震の定数項を個別回帰。</li> <li>・ 第二段階で, マグニチュード係数と震源深さの係数を求めた。</li> </ul>
適用地盤	・ 関東地方の標準的設計基盤, せん断波速度 $V_s=300\sim 500\text{m/s}$ 程度
ばらつきの評価	評価誤差の標準偏差: 0.211(自然対数) 0.485(常用対数)
備考	

表 AR.1-最大加速度・最大速度の距離減衰式とその概要(その2)

提案者(発表年)	福島美光, 田中貞二 (1991年)	
文献	Y.Fukushima and T.Tanaka, "A New Attenuation Relation for Peak Horizontal Acceleration of Strong Earthquake Ground Motion in Japan", Shimizu Tech. Res. Bull. No.10, pp.1-11 (March 1991) 福島美光, "地震波の発生・伝播の理論を背景とした入力地震動の経験的予測", ORI 研究報告 93-07 (1994年3月)	
提案式	地表	$\log A_{max}=0.51M_j - \log(R+0.006 \cdot 10^{0.51M_j}) - 0.0034R + 0.59$ M: 気象庁マグニチュード R: 断層面までの最短距離(km)
	基盤	上記地表の式から得られた値の0.6倍
データベース	近距離の記録を考慮するために、日本のデータに米国他のデータを加えた。 ・日本のデータ : 32地震の555データ, $M \geq 5.0$ , 深さ $\leq 30$ km, 1地震で3箇所以上の観測点で記録された地震。 ・米国他のデータ : 20地震の278データ	
回帰の方法	データのマグニチュードと距離の分布に相関があることを考慮して、二段階回帰分析を行った。 ・第一段階では、距離係数と個々の地震の定数項を層別回帰。 ・第二段階では、マグニチュード係数と定数項を求めた。	
適用地盤	・地表の式は、道路標示方書のI, II種地盤での平均値にほぼ合っている。 ・岩盤の露頭部での値は、地表の式から求めた値の約60%となっている。	
ばらつきの評価	$\log A$ の標準偏差 0.21 常用対数標準偏差 0.483	
備考		

表 AR.1-最大加速度・最大速度の距離減衰式とその概要(その3)

提案者(発表年)	原子力発電耐震設計特別調査委員会(耐特委) (1994年)
文献	社団法人日本電気協会, "基準地震動の策定方法の見直しに関する調査報告書", (1994年3月)
提案式	$A_{max}=S_b(0.02)=2F(0.02)$ $\log F(T)=a(T)M - \{ b(T)X_{eq} + \log X_{eq} \} + c(T)$ $X_{eq}=R/\sqrt{\ln\{1+(R/X)^2\}}$ , $R=10^{0.5M-2.28}$  S <sub>b</sub> (T) : 地震基盤における応答スペクトル 周期 0.02s のスペクトル値 S <sub>b</sub> (0.02) を最大加速度とみなす。 M : 気象庁マグニチュード, X <sub>eq</sub> : 等価震源距離(km), R : 断層半径(km), X : 震源距離(km)
データベース	・1980年6月~1991年12月までに観測された44地震, 214波形 ・マグニチュード M, 震源深さ H, 震源距離 X の範囲は次のとおり。 $5.5 \leq M \leq 7.0$ $0 \leq H \leq 60$ km $27 \leq X \leq 202$ km ・せん断波速度 $V_s > 0.5$ km/s の地表面で観測されたもの、又は地中での観測記録から表層部分の影響を解析的に除去して回帰分析に用いた。
回帰の方法	マグニチュードと距離についての重回帰分析
適用地盤	・せん断波速度 $V_s=2.2$ km 程度の硬質地盤。 ・解放基盤表面における値を求める際には、地盤増幅の補正項を乗じる。
ばらつきの評価	・他地点の観測記録と提案スペクトルの比のばらつきは、対数標準偏差で0.7程度。
備考	応答スペクトルの距離減衰式として以下に示す耐震スペクトルは上記研究と連続するものであり、 $T=0.05$ 秒の $S_h(T)$ の値を最大加速度値と見れば、応答スペクトルと整合した評価をすることができる。

表 AR.1-最大加速度・最大速度の距離減衰式とその概要(その4)

提案者(発表年)	司・翠川式(1999)																				
文献	司 宏俊, 翠川三郎, "断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, No.523, pp.63-70, 1999																				
提案式	<p>[拘束条件を与えた場合] (拘束条件を与えない場合は略, 文献参照) (最大加速度)(地盤上)  <math>\log A = 0.50Mw + 0.0043D + d + 0.61 - \log(X + 0.0055 \times 10^{0.50Mw}) - 0.003X</math>  (最大速度)(表層地盤の影響を取り除いた硬質地盤上)  <math>\log A = 0.50Mw + 0.0036D + d + 0.60 - \log X_{eq} - 0.003X_{eq}</math>  <math>\log A = 0.58Mw + 0.0038D + d - 1.29 - \log(X + 0.0028 \times 10^{0.50Mw}) - 0.002X</math>  <math>\log A = 0.58Mw + 0.0031D + d - 1.25 - \log X_{eq} - 0.002X_{eq}</math></p> <p>A : 地震動の最大振幅  Mw : モーメントマグニチュード  D : 震源深さ(km)  S : 断層タイプ  d : 地震のタイプ別係数</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>地殻内地震</th> <th>プレート間地震</th> <th>プレート内地震</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>最大加速度(X)</td> <td>0.00</td> <td>0.01</td> <td>0.22</td> </tr> <tr> <td>最大加速度(X<sub>eq</sub>)</td> <td>0.00</td> <td>0.09</td> <td>0.28</td> </tr> <tr> <td>最大速度(X)</td> <td>0.00</td> <td>-0.02</td> <td>0.12</td> </tr> <tr> <td>最大速度(X<sub>eq</sub>)</td> <td>0.00</td> <td>0.06</td> <td>0.16</td> </tr> </tbody> </table> <p>X : 断層最短距離(km)  X<sub>eq</sub> : 等価震源距離(km)</p>		地殻内地震	プレート間地震	プレート内地震	最大加速度(X)	0.00	0.01	0.22	最大加速度(X <sub>eq</sub> )	0.00	0.09	0.28	最大速度(X)	0.00	-0.02	0.12	最大速度(X <sub>eq</sub> )	0.00	0.06	0.16
	地殻内地震	プレート間地震	プレート内地震																		
最大加速度(X)	0.00	0.01	0.22																		
最大加速度(X <sub>eq</sub> )	0.00	0.09	0.28																		
最大速度(X)	0.00	-0.02	0.12																		
最大速度(X <sub>eq</sub> )	0.00	0.06	0.16																		
データベース	<ul style="list-style-type: none"> <li>1968年~1997年に日本で発生した地震における観測データ (モーメントマグニチュード 5.8 ≤ Mw ≤ 8.3, 震源深さ ≤ 120km, 震源距離はマグニチュード7以上では300km以内, 6.6以上7以下では200km以内, 6.3以上6.5以下では150km以内, 6.2以下では100km以内)</li> <li>最大加速度は856データ, 最大速度394データ。最大振幅は水平2成分のうち大きい方の値</li> </ul>																				
回帰の方法	<p>回帰モデル  (断層最短距離) <math>\log A = b \cdot \log(X+c) - kX</math> <math>c = 10^{2Mw}</math>  (等価震源距離) <math>\log A = b \cdot \log X_{eq} - kX_{eq}</math>  (共通) <math>b = aMw + hD + EdS + e + c</math></p> <p>2段階の回帰分析。第1段階: 回帰モデルを各地震に適用し係数bを求める。近距離での地震動データがより強く反映されるよう, 震源距離25km以下の場合は8, 25km~50kmまでは4, 50km~100kmまでは2, 100km以上では1の重みをつけて解析。第2段階: 地震規模, 断層タイプ, 震源深さを考慮して係数bについて回帰分析</p>																				
適用地盤	<ul style="list-style-type: none"> <li>最大加速度の式は地盤上の推定式。一方, 最大速度の式は, 地盤の深さ30mまでの平均S波速度が600m/sの硬質地盤に対するものである。</li> </ul>																				
ばらつきの評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>常用対数標準偏差</li> </ul> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">等価震源距離</th> <th colspan="2">断層最短距離</th> </tr> <tr> <th>PGA</th> <th>PGV</th> <th>PGA</th> <th>PGV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>All data</td> <td>0.28</td> <td>0.23</td> <td>0.27</td> <td>0.23</td> </tr> <tr> <td>D ≤ 100km</td> <td>0.24</td> <td>0.22</td> <td>0.25</td> <td>0.23</td> </tr> </tbody> </table>		等価震源距離		断層最短距離		PGA	PGV	PGA	PGV	All data	0.28	0.23	0.27	0.23	D ≤ 100km	0.24	0.22	0.25	0.23	
	等価震源距離		断層最短距離																		
	PGA	PGV	PGA	PGV																	
All data	0.28	0.23	0.27	0.23																	
D ≤ 100km	0.24	0.22	0.25	0.23																	
備考																					

[本体 6.4.2]

AR.2 スペクトル距離減衰式の例

原子力発電所施設に対しての適用性が高いと考えられる距離減衰モデルとしては次のものがある。

- 耐専スペクトル式(X<sub>eq</sub>)<sup>(1),(2),(3)</sup>
  - 安中他の式(1997,R)<sup>(4)</sup>
  - 安中他の式(1997,X<sub>eq</sub>)<sup>(4)</sup>
  - 大野他の式(1999,X<sub>eq</sub>)<sup>(5)</sup>
  - Abrahamson & Silva の式(R,1997)<sup>(6)</sup>
- 注) R : 断層面への最短距離(km)  
X<sub>eq</sub> : 等価震源距離(km)

これらの概要の一覧を表 AR-2 に示す。次に各式の概要を示す。

a) 耐専スペクトル式

耐専スペクトル式<sup>(1),(2),(3)</sup>は, 地盤条件がせん断波速度 Vs=0.5~2.7km/s となる観測点において観測されたマグニチュード M5.5~7.0, 等価震源距離 X<sub>eq</sub>=28~202km, 震源深さ ≤ 60km の記録をもとに作成された応答スペクトル評価式であり, 別途国内外で発生した M8 クラスの強震記録によってその適用性を確認している。また, 本評価式では地震基底 Vs=2.2km/s (鉛直アレー観測記録をもとに, Vs=3km/s 程度までは地震動の強さはそれほど変わらないことを確認している) を基準とし, 評価サイトの地盤条件に応じて増幅特性を考慮することができる。内陸地殻内地震に対して乗じる係数や NFRD (Near Fault Rupture Directivity) 効果を考慮するために乗じる係数なども提案されている。データベースとした地震観測記録と本評価式とのばらつき幅は, 全周期帯で平均すると対数標準偏差で 0.53 とされている。

b) 安中式

安中式<sup>(4)</sup>は, 日本の気象庁 87 型強震計で観測された地震記録 (5.0 ≤ M ≤ 8.1, 震源深さ ≤ 200km, 距離 ≤ 500km) の最大加速度, 最大速度, 最大変位に基づき, 最短距離及び等価震源距離に対して提案された距離減衰式である。

ここで, 用いたデータ数は, 最短距離の式では 388 地震 77 地点 2085 データであり, 等価震源距離の式では 387 地震 77 地点 2075 データである。最短距離の頭打ちの係数は 1979 年インペリアルバレー地震及び経験的グリーン関数法における断層近傍の最大加速度に適合するように設定している。

また, 日本で観測された地震記録の加速度応答スペクトルに基づき, 最短距離及び等価震源距離の応答スペクトル評価式も提案されている。本式は, 日本の気象庁 87 型地震計設置地点の平均的な地盤に対するものであり, S 波速度が 300~600m/s の地盤に対応するとしている。

c) 大野式

大野式<sup>(5)</sup>は, 米国カリフォルニアで発生した 58 地震における 662 の観測記録 (モーメン

トマグニチュード  $4.9 \leq M_w \leq 7.5$ 、震源深さは概ね 20km 以下、等価震源距離  $X_{eq}$  は約 200km (以下) に基づき提案された最大加速度、最大速度及び減衰定数 5% の加速度応答スペクトルに関する距離減衰式である。地盤条件については、第三紀以前、更新世及び完新世のいずれかを選択できる。

なお、第三紀以前として分類した地盤は S 波速度が 600m/s 以上の露頭地盤に概ね相当し、日本における内陸地震に対しても、対応する地盤条件ごとに適用可能であるとしている。

d) Abrahamson & Silva の式

Abrahamson & Silva の式<sup>6)</sup>は、高地震活動域内で発生した 58 の地殻内地震における 655 の観測データに基づき、Abrahamson and Youngs(1992)によって提案された乱数効果モデルを用いて回帰分析を行い得られた距離減衰式である。本距離減衰式は最短距離を指標としており、断層のずれのタイプが変数に含まれていることが特徴的である。

e) その他のスペクトル距離減衰式

その他、原子力発電所施設に対して適用可能と考えられる評価式として、NGA プロジェクトで提案されている複数のスペクトル距離減衰式などがあるが、評価に用いるにあたっては、その適用性、適用範囲を確認しておく必要がある。

【本体 6.4.2】

表 AR.2-1 加速度応答スペクトルの距離減衰式とその適用地盤、周期帯など (1/2)

名称	提案式	適用地盤、対象周期帯 ばらつきの評価	データベース、回帰の方法など
耐専 スペク トル (1), (2), (3)	$S_h(T) = S_b(T) \cdot \alpha(T) \cdot \beta(T)$ $\log S_b(T) = a(T)M - (b(T)X_{eq} + c_0(T))$ $X_{eq}^{-2} = \int e_m X_m^{-2} ds / \int e_m ds$ <p> <math>S_h(T)</math> : 解放基盤表面の h=5% の平均応答スペクトル  <math>S_b(T)</math> : 地盤基盤の応答スペクトル (cm/s<sup>2</sup>)  <math>\alpha(T)</math> : 地盤増幅の補正項  <math>M</math> : 気象庁マグニチュード  <math>X_{eq}</math> : 等価震源距離  <math>X_m</math> : 観測点から対象とする地盤の断層面の各微小領域への距離 (km)  <math>e_m</math> : 断層面上の各微小領域からのエネルギー放出分布で不明の場合は 1 とする。  <math>a(T), b(T), c_0(T)</math> : 回帰係数                 </p>	$S_b(T)$ は $V_s = 2200$ m/s 程度の硬質地盤 (地震基盤) で鉛直アレー記録から $V_s = 8$ km/s 程度まで地震動がそれほど大きく変化しないことを確認している。 解放基盤表面では $V_s$ に応じて $\alpha$ , $\beta$ で補正する。 対象周期帯は 0.02 ~ 5.0 秒 観測記録と提案スペクトルとの比のばらつき程度の標準偏差 (常用対数) は 0.23 程度 (自然対数で 0.53 程度)。	マグニチュードと距離に関する重回帰分析は 1980 年 ~ 1990 年までの計 44 地震、観測記録数は 107 記録。 マグニチュード M、震源深さ H、震源距離の範囲は $5.5 \leq M \leq 7.0, 0 \leq H \leq 60$ km, $27 \leq X \leq 202$ km 記録は第 3 紀以前の地盤で観測されたもの、又は地中の観測記録から表層部分の影響を解析的に除去したもの、な部分、最終形は震源域における大地震記録ならびに海洋型巨大地震の記録と比較し、地震基盤のスペクトルをコンソリッドした地盤内地震と海洋型地震のスペクトルの違いも考慮できようになっている。
安中地の スペクトル (1997 年)	<p>① 最短距離 (R) を用いる場合</p> $\log S_a = C_{m1}M + C_{a1}H - C_{d1} \log D + C_{01} + \Sigma \delta b + \epsilon_1$ $D = R + 0.334 \exp(0.653M)$ <p>② 等価震源距離 (X<sub>eq</sub>) を用いる場合</p> $\log S_a = C_{m2}M + C_{a2}H - \log X_{eq} - C_{d2}X_{eq} + C_{02} + \Sigma \delta b + \epsilon_2$ <p> <math>S_a</math> : 加速度応答スペクトル (cm/s<sup>2</sup>)  <math>M</math> : 気象庁マグニチュード  <math>H</math> : 震源深さ (km)  <math>R</math> : 断層面までの最短距離 (km)  <math>X_{eq}</math> : 等価震源距離  <math>b</math> : 地点補正係数  <math>\delta</math> : Kroncker のデルタ  <math>\epsilon</math> : 各記録に対するランダム変数  <math>d_1</math> : 断層を小領域に分けた時の領域 i のすべり量  <math>X_i</math> : 領域 i と観測点間の距離  <math>C_{m1}, C_{a1}, C_{d1}, C_{01}</math> : 回帰係数  <math>C_{m2}, C_{a2}, C_{d2}, C_{02}</math> : 回帰係数                 </p>	日本全国の工学的基盤 $V_s = 300 \sim 600$ m/s (より硬質な地盤 ( $V_s \geq 1500$ m/s 以下) については地盤補正を行う。) 対象周期帯は 0.04 ~ 4.0 秒 観測記録と提案スペクトルとの比のばらつき程度の標準偏差 (常用対数) は 0.15 ~ 0.19 (地震間), 0.19 ~ 0.25 程度。	二段階回帰分析 データベース: 1988 年 8 月 ~ 1996 年 3 月の気象庁 87 型強震計の全国記録、指令距離 500km 以下の範囲、最短距離の指令距離 77 地点 2085 記録、等価震源距離の場合 387 地点 77 地点 2075 記録を用いる。うち既往文献で断層モデルが設定できず、12 地震について最短距離、等価震源距離を求め整理する。12 地震以外は点震源として震源距離が最短距離と等しいとして扱う。 震源距離の場合、1979 年インペリアルペネトレーン地震と経験的タリーン関数法による最短距離を設定。

表 AR.2-1 加速度応答スペクトルの距離減衰式とその適用地盤、周期帯など(2/2)

名称	提案式	適用地盤、対象周期帯 ばらつきの評価	データベース、回帰の方法など
大野地の スペクトル <sup>(6)</sup> (1999年)	$\log S = E \cdot \delta_e + \left[ \begin{matrix} \log X_{eq} \\ \log(60) \end{matrix} \right] - b X_{eq} + dp \cdot \delta_p \cdot \left[ \begin{matrix} X_{eq} \leq 60 \text{ km} \\ X_{eq} > 60 \text{ km} \end{matrix} \right]$ $E = a M_w + c$ <p> <math>S</math> : 減衰5%の加速度応答スペクトル (cm/s<sup>2</sup>)  <math>M_w</math> : モーメントマグニチュード  <math>X_{eq}</math> : 等価震源距離(km)  <math>\delta_e</math> : 地盤増幅因子  <math>\delta_p</math> : 更新世層別因子  <math>dp</math> : 第三紀以前の地盤に対する更新世の増幅係数  <math>X_{eq}</math> : 等価震源距離<math>\delta_p</math>  <math>a, b, c</math> : 周期ごとの回帰係数                 </p> <p>・60km以上の幾何減衰は、Moho面からの反射を考慮するために、60kmの値に固定。</p>	<p>・第三紀以前、更新世、先新世の地盤。第三紀以前の地盤は Vs600m/s 以上の露頭地盤に相当。</p> <p>・対象周期帯は 0.02~5.0 秒</p> <p>・距離減衰式のはらつきは周期によって異なるが標準偏差(常用対数)で 0.23~0.3 程度。</p>	<p>・地層別回帰</p> <p>・データベースは 1940年~1994年の米国内カリフォルニアにおける 58 地震 662 記録であり、ほとんどが深さ 20km の内陸地盤。データベースのモーメントマグニチュード、等価震源距離の範囲は <math>M_w: 1.9 \sim 7.5</math>, <math>X_{eq}: 4 \sim 174 \text{ km}</math> (断層からの最短距離では 0.8km~174km)。</p> <p>・等価震源距離は次式を用いる。</p> $X_{eq}^{-2} = \sum_k M_{0k}^2 Y_k^{-2} / \sum_k M_{0k}^2$ <p>ここで、添え字 <math>k</math> は断層面上の小領域を示し、<math>M_{0k}</math> は小領域の震源スプレクトル、<math>X_k</math> は小領域から観測点までの距離、<math>M_{0k}</math> とし、断層面上のすべり底が推定されている場合にはそれぞれを用い、断層面の位置、形状のみが既知の場合には次式で断層から断層面値 <math>A</math> を求め、面積 <math>A</math> を持つ内断層層を仮定する方法で <math>M_{0k}</math> を計算している。</p> $\log A = 0.91 M_w - 3.49$
Abrahamson & Silva の スペクトル <sup>(6)</sup> (1997年)	$\ln Sa(T) = f_1(M, r_{rup}) + Ff_2(M) + S f_3(PGA_{rock})$ $S f_3(T) = c_1 T^{-1} - c_2 T^{-2} + c_3 T^{-3} + c_4 T^{-4}$ <p> <math>M</math> : 減衰5%の加速度スペクトル (g)  <math>r_{rup}</math> : モーメントマグニチュード  <math>F</math> : 断層面からの最短距離 (km)  <math>HW</math> : 断層タイプ (逆断層(reverse)=1, 逆又は斜めすれ断層(reverse/oblique)=0.5, その他=0)  <math>S</math> : 断層の上壁地盤 (hanging wall site) に関するダミー変数 (傾斜した断層の上壁地盤=1, それ以外=0)  <math>c_1, c_2, c_3, c_4</math> : 地盤種別に関するダミー変数 (岩盤(rock)=0, 深い地盤 (deep soil) =1)                 </p>	<p>・岩盤(Rock) : Vs &gt; 600m/s の岩盤、又は岩盤上の表層が 20m 未満の薄い場合)と、深い地盤 (deep soil) : 表層の厚さが 20m 以上)に分けて回帰。</p> <p>・対象周期帯は 0.01~5.0 秒。</p> <p>・距離減衰式のばらつきは M に依存、M &gt; 7 ならば、0.43 程度。</p>	<p>・乱数効果モデル (random effect model) を用いた回帰</p> <p>・回帰分析に用いたデータは、58 個の高地震活動域内 (active tectonic region) で発生した地震内地震による 655 個の地震記録。</p>

AR.3 地震動観測記録を用いた距離減衰式に対する地点補正の例

a) 距離減衰式の関数形

距離減衰式は、評価点から震源までの距離を断層面までの最短距離とした場合、次のような関数形で表されることが多い。

$$\log A = b - \log(R+r) - kR \tag{AR-1}$$

ここで、

$A$  : 最大加速度値,  $b$  : マグニチュードに関する項,  $R$  : は断層面までの最短距離,  
 $r$  : 断層近傍の振幅飽和特性を表す項,  $k$  : 距離に関する回帰係数

である。 $b$  は短周期成分に依存する最大加速度を対象とする場合は、次のような M の一次式で近似することが多い。

$$b = aM + e \tag{AR-2}$$

$b$  の項については震源深さや地震の発生様式によって係数を層別化させる研究も行われている。また、右辺第 2 項の  $r$  は幾何減衰を表し、下式で表されることが多い。

$$r = C_1 10^{C_2 M} \tag{AR-3}$$

ここで、 $C_1$  及び  $C_2$  は回帰係数である。右辺第 3 項は粘性減衰を表している。

b) 地点補正の方法

距離減衰式を補正するためには、使用する距離減衰式の適用範囲の地震規模、地震動観測記録がサイト近傍で複数得られていることが必要となる。例えば、福島式の適用範囲は M5 以上、10Gal 以上であり、福島式を補正するためにはこの条件に合った観測記録が必要となる。また、補正に用いるデータ個数が多いほど、精度の良い補正が可能となる。

上記のような距離減衰式の補正方法として、サイト近傍で  $n$  個の地震データが得られている場合、次のように定数項  $e$  を補正することが考えられる (図 AR.1 参照)。

$$e' = e + \sum (\log A_i - \log A) / n \tag{AR-4}$$

ここで、 $e'$  は補正後の定数項、 $A_i$  はサイト近傍での個々の観測データの最大加速度値、 $A$  は距離減衰式から推定される最大加速度値である。定数項  $e$  はマグニチュードや距離に依存しない値であり、サイト固有の地盤増幅特性を表すと考えられる。したがって、距離減衰式の適用範囲であれば、どのようなマグニチュードと距離の組み合わせの観測記録でも補正が可能である。一方、定数項以外の係数(距離やマグニチュードに関する回帰係数)を補正する場合には、新しい式を作成するのと同様のデータベースが必要となる。

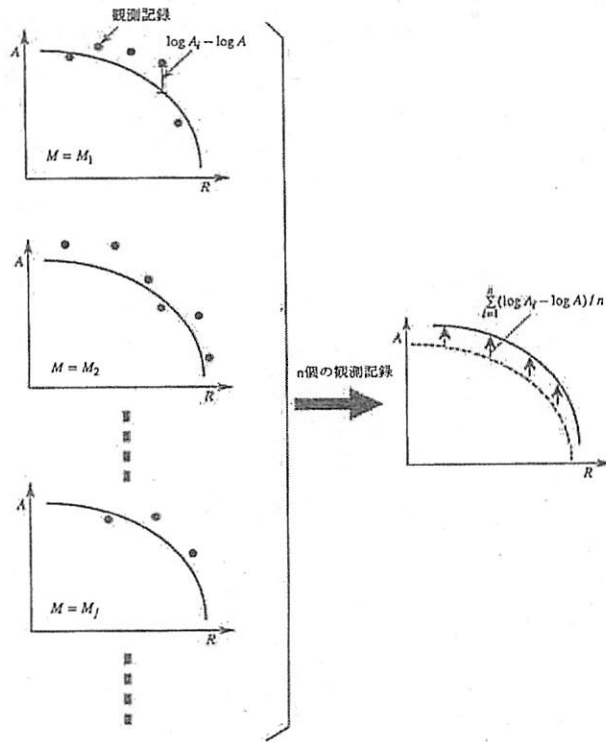


図 AR.1—距離減衰式の地点補正(定数項の補正)

c) 地点補正の例

耐特委スペクトル(1993年)に対して、地震観測データを用いて地点補正を行った例<sup>(7)</sup>を示す。

1) 観測点及び観測データ 静岡県修善寺に位置する岩盤上部の観測点において、1979年8月12日から1988年9月10日までに観測された117地震の中から、M5.5からM7.0の範囲にある6地震を選択した。選択の基準として、観測記録に異常なノイズが含まれていないこと、波形の長周期側の信頼限界周期が極端に小さくないこととした。長周期側の信頼限界周期は、記録によって多少のばらつきはあるが、5秒以上となっている。選択した6地震の諸元を表AR.3に、各地震の震央位置を図AR.2に示す。

2) 補正方法 サイトの地震観測記録を用いたサイト増幅特性(距離減衰式の定数項)の補正方法を図AR.3に示す。同図に示すように、選択した地震観測記録の減衰定数5%

の擬似速度応答スペクトル(NS,EW成分)と、各地震のマグニチュードMと震源距離Xを用いて下式の耐特委スペクトルで求めた地震基盤上での応答スペクトルの差を周期ごとに求める。さらに、周期ごとの差を平均してサイト特性 $c'_i(T)$ とした。

$$S_h(T) = S_b(T) \cdot \alpha(T) \cdot \beta(T) \tag{AR-5}$$

$$\log S_b(T) = a(T)M - \{b(T)X_{eq} + \log X_{eq}\} + c_0(T) \tag{AR-6}$$

$$X_{eq}^{-2} = \int e_m X_m^{-2} ds / \int e_m ds \tag{AR-7}$$

$S_h(T)$  : 解放基盤表面でのh=5%の平均応答スペクトル

$S_b(T)$  : 地震基盤における応答スペクトル (cm/s<sup>2</sup>)

$\alpha(T)$ ,  $\beta(T)$  : 地盤増幅の補正項

M : 気象庁マグニチュード,  $X_{eq}$  : 等価震源距離

$X_m$  : 観測点から対象とする地震の断層面の各微小領域への距離(km),

$e_m$  : 断層面上の各微小領域からのエネルギー放出分布 (不明の場合は1)

a(T), b(T), c<sub>0</sub>(T) : 回帰係数

3) 補正結果 地震観測記録(No.4)の擬似速度応答スペクトルと地震観測記録から求めたサイト増幅特性を用いた耐特委スペクトルで算定した応答スペクトルとの比較を図AR.4に示す。また、地震観測記録によるサイト増幅特性 $c'_i(T)$ と、耐特委スペクトルによるサイト増幅特性 $c_i(T)$ の比較を図AR.5に示す。

表 AR.3—サイト増幅特性の補正に用いた地震観測記録の諸元<sup>(7)</sup>

記録番号	地震発生年月日	最大加速度(Gal)		長周期側信頼限界周期(秒)	気象庁マグニチュードM <sub>j</sub>	震源深さ(km)	震央距離(km)
		NS	EW				
1	1980年6月29日	74.08	73.43	5.0	6.7	10	25
2	1982年12月28日	3.12	1.89		6.4	20	130
3	1983年8月8日	8.64	6.94		6.0	22	61
4	1984年9月14日	4.12	3.18		6.8	2	158
5	1984年9月15日	2.88	2.24		6.2	6	164
6	1986年11月22日	3.36	3.87		6.0	15	70

【本体 6.4.2】

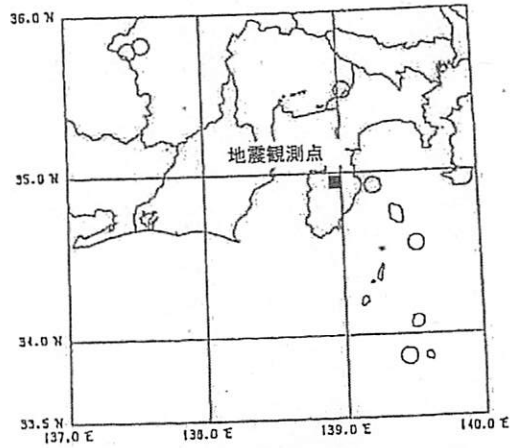


図 AR.2—各地震の震央位置<sup>(7)</sup>

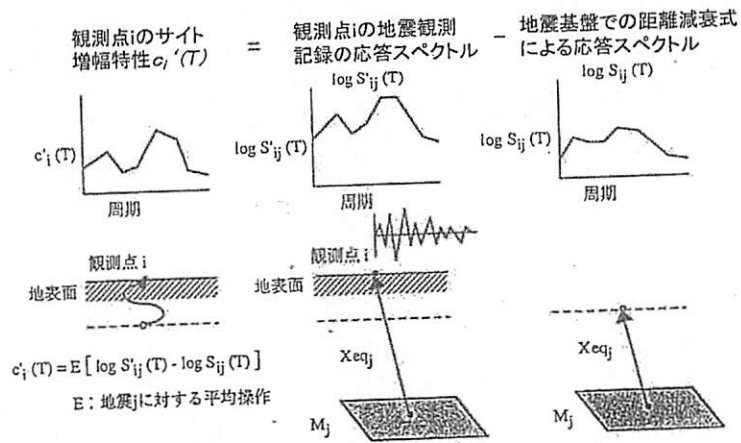


図 AR.3—地震観測記録によるサイト増幅特性の補正方法<sup>(7)</sup>

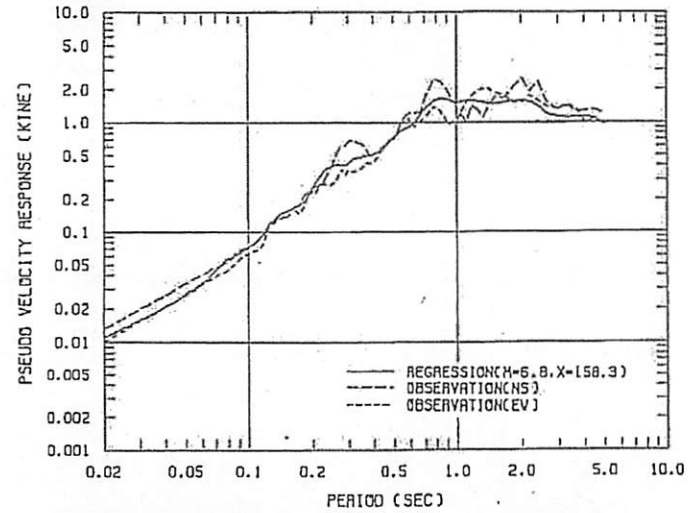


図 AR.4—地震観測記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)と地震観測記録によるサイト増幅特性を用いた耐震スペクトルの算定結果との比較<sup>(7)</sup>

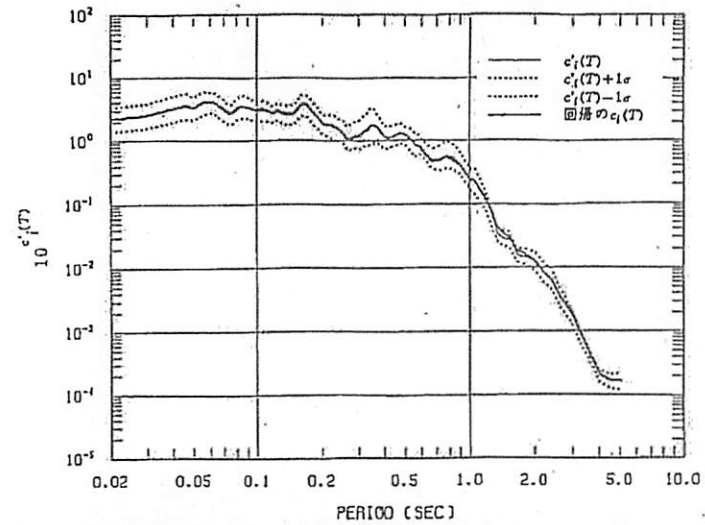


図 AR.5—地震観測記録によるサイト増幅特性  $c'_i(T)$  と耐震スペクトルのサイト増幅特性  $c_i(T)$  の比較<sup>(7)</sup>

#### AR.4 応答スペクトル距離減衰式による地震動評価法の高度化

KIK-net等の地表及び基盤(Vs2000m/s以上)以上で観測された約500個の地震動観測記録\*\*を用いて、基盤面上の水平動及び上下動の応答スペクトルを評価し、モーメントマグニチュードと断層最短距離をパラメータとする距離減衰式が提案されている。この式は、地震規模、断層タイプ、震源深さに応じた距離減衰式の補正係数が設定され、応答スペクトルの評価精度の向上が図られている。また、2008年四川地震、2011年東北地方太平洋沖地震等の巨大地震の観測記録との整合性が確認されている。

#### 参考文献

- (1) Noda, S., K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Todo, and T. Watanabe, "Response Spectra for Design Purpose of Stiff Structures on Rock Sites", OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis, pp.399-408, 2002.
- (2) 高橋克也, 武村雅之, 藤堂正喜, 渡辺孝英, 野田静男, "様々な岩盤上での強震動応答スペクトルの予測式", 第10回日本地震工学シンポジウム, Vol.1, pp.547-552, 1998
- (3) Nishimura, I., S. Noda, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Todo, and T. Watanabe, "Response Spectra for Design Purpose of Stiff Structures on Rock Sites", SMiRT 16, paper#1133, 2001.
- (4) 安中正, 山崎文雄, 片平冬樹, "気象庁8.7型強震計記録を用いた最大地動及び応答スペクトル推定式の提案" 第24回地震工学研究発表会講演論文集, 1997年
- (5) 大野晋, 高橋克也, 源栄正人, "カリフォルニア強震記録に基づく水平動・上下動の距離減衰式と日本の内陸地震への適用", 日本建築学会構造系論文集, 第544号, pp.39-46, 2001.6
- (6) N.A.Abrahamson & W.J.Silva, "Empirical Response Spectral Attenuation Relation for Shallow Crustal Earthquakes", Seismological Research Letters Volume68, Number1 January/February 1997
- (7) (社)日本電気協会, "基準地震動の合理的な策定方法に関する調査報告書", 原子力発電耐震設計専門部会調査報告書 Vol.30, 平成11年3月

#### 附属書 AS

(参考)

#### 地震動のばらつきと上限値の取扱い

#### 序文

この附属書は、箇条6における地震動のばらつきと上限値の取扱いに係わる次の2つの項目を記載する。

- ・AS.1 地震動のばらつきと打ち切りの取扱い
- ・AS.2 文部科学省の地震調査研究推進本部における地震動のばらつきと上限値の取扱い

#### AS.1 地震動のばらつきと打ち切りの取扱い

##### a) 地震動のばらつきについて

距離減衰式のばらつき設定の基となった回帰分析には、通常、多数の観測地点の地震観測記録が用いられているが、同一観測地点のマグニチュード、震源距離、発震機構がほぼ同じ観測記録に限定して回帰分析を行った場合などには、ばらつきが小さくなるという次の文献もあることから、地震動ハザード評価に用いる地震動のばらつきを設定する場合には、これらの最新の知見を参考にすることが望ましい。

##### 1) 震源近傍における地震動のばらつき

主に距離減衰式による地震動のばらつきは、データ数の多い中規模地震の震源近傍から離れたデータにウェイトが置かれており、低確率で問題となる大地震動ではなく中規模地震動のばらつきが反映されている。

実際の地震による距離減衰特性を見ても、図 AS.1<sup>(1)</sup>に示すように中距離でのばらつきは近距離の大地震動域に比べて大きい。このような距離に対応する観測点は広く分布し、地盤増幅特性の差や震源放射特性の差によって、個々の観測地点の地震動に差が生じ易い。一方、震源近傍の狭い領域では地盤条件や震源放射特性の差が比較的小さく、地震動の差も大きくならないものと考えられる。したがって、低確率での大地震動を評価するためには、震源近傍域における地震動のばらつきを適切に評価することが望まれる。日本の強震観測記録を用いたこのような検討が翠川・大竹(2003)<sup>(2)</sup>によって試みられている。ばらつきも、地震動強さ同様に、マグニチュードと距離の関数で表現するなど、今後の展開に期待される。

##### 2) サイトを限定した場合の地震動のばらつき

距離減衰式は地盤条件の異なる複数のサイトにおける記録を統計解析したものであるため、地盤増幅の違いによってばらつきが大きくなることが避けられない。このため、サイトを限定した地震動評価をおこなえば、ばらつきを低減することが可能である。このような検討も、中村・他(1997)<sup>(3)</sup>や池浦・八代(2004)<sup>(4)</sup>によって試みられている。

また、奥村・他(2004)<sup>(9)</sup>では、2003年北海道十勝沖地震の本震・余震記録に基づいて地点が異なることに起因するばらつきを除去した場合の工学的基盤におけるばらつきの値が求められており、常用対数標準偏差が、速度振幅が小さい範囲では0.2(自然対数標準偏差で0.46)、大きい範囲では0.15(自然対数標準偏差で0.35)であるとされている。

b) 地震動の上限打ち切りについて

地震動ハザード評価においては、地震動評価手法(主に距離減衰式)による予測地震動のばらつきに対数正規分布を仮定しているため、低確率になるほど地震動分布の裾野が対象となればばらつきの幅が大きくなり、低確率で非現実的に大きな地震動が評価されることがある。

この問題を避けるため、地震動の分布の裾野の評価に上限(例えば、標準偏差の3倍など)を設け、結果として地震動の上限打ち切りを行うことが現実的な地震現象を再現するためには、必要となる。

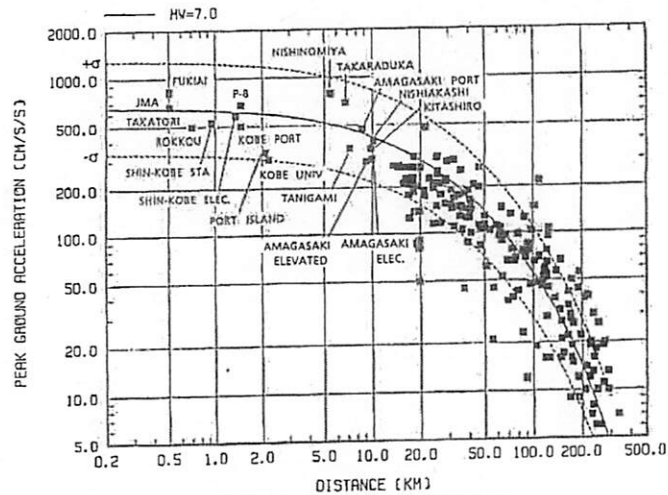


図 AS.1—平成 7 年兵庫県南部地震の距離減衰特性  
[Fukushima and Irikura(1997)<sup>(1)</sup>]

AS.2 文部科学省の地震調査研究推進本部における地震動のばらつきと上限値の取扱い

文部科学省の地震調査研究推進本部地震調査委員会「全国を概観した地震動予測地図報告書 平成 17 年 3 月」(以下、「推本」という)では、工学的基盤(S波速度 400m/s 相当層)での最大速度の推定において、次次に示す司・翠川(1999)による距離減衰式(断層最短距離)を用いている。

$$\log PGV_{b600} = 0.58Mw + 0.0038D + d - 1.29 - \log(X + 0.0028 \times 10^{0.50Mw}) - 0.005X \quad (AS-1)$$

ここで、

- PGV<sub>b600</sub> : S波速度 600m/s 相当の硬質地盤上における最大速度(cm/s)
- Mw : モーメントマグニチュード
- D : 震源深さ(km)
- d : 地震のタイプ別係数
  - 地殻内地震 d=0
  - プレート間地震 d=-0.02
  - プレート内地震 d=0.12
- X : 断層最短距離(km)

司・翠川(1999)式のばらつきは対数正規分布に従うものとして、常用対数標準偏差で 0.23 と求められている。

推本では、このばらつきについて、「地震動の強さの不確実性は、現在のところこのばらつきを用いて評価されているが、様々な地震と観測点の組み合わせからなる観測記録で回帰されているため、確率的な地震動ハザード評価で考慮すべき不確実性以外の要素が入っており、大き目のばらつきになっていると考えられる。」としている。【図 AS.2 参照】

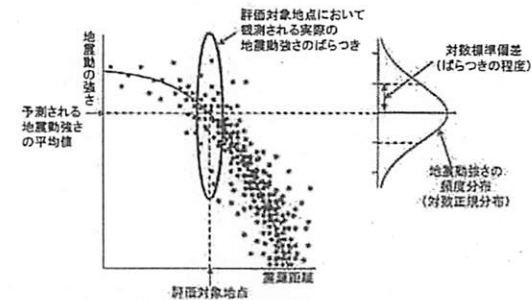


図 AS.2— 距離減衰式で予測される地震動強さの平均値とばらつき<sup>(6)</sup>

そこで、2003年十勝沖地震の記録について検討し、従来のばらつき0.23から地点が異なることに起因するばらつきを除去して、速度振幅が大きくないところでの工学基盤におけるばらつきの値を常用対数標準偏差で0.2(自然対数標準偏差で0.46)とした。翠川・大竹(2003)を参照して、S波速度が600m/sの工学的基盤における最大速度振幅が25cm/s以上の範囲においてばらつきの振幅依存性を考慮している。(図AS.3参照)

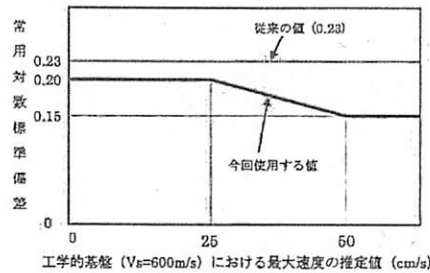


図 AS.3—全国を概観した地震動予測地図で使用するばらつきの値<sup>(6)</sup>

さらに、対数正規分布の裾については対数標準偏差の3倍より外側を打ち切ることとしている。

推本では、地震動強さのばらつきの取扱いについて、「本来ならば、地震Aに対する評価対象地点の地震動強さのばらつきは、震源と対象地点が固定されることから、震源特性によるばらつきが支配的であり、震源から対象地点までの伝播経路特性と評価地点のサイト特性によるばらつきは相対的に小さいと考えられる。」としている。

さらに、「現在の距離減衰式を用いた確率論的な地震動ハザードの解析において、超過確率の小さな地震動の強さは、解析に用いる地震動強さのばらつきの大きさに支配される。距離減衰式による地震動強さ予測値のばらつきは対数正規分布で評価されており、超過確率が小さい場合にはその分布の裾で地震動強さが評価されるため、ばらつきの大きさは地震動の予測結果に大きく影響する。特に、海溝型地震のように発生確率が高くマグニチュードが大きい地震では強い地震動が予測されることから、ばらつきに関する検討は重要である。」としている。

「地震動強さの上限値に関しては非常に強い地震動データが乏しいこともあり、現在も明確な結論が出されていない。距離減衰式によるばらつきは対数正規分布を仮定していることから、分布の裾を打ち切らない限り、地震動強さは無限大まで大きくなる。そのような非現実的な地震動強さを回避するために、専門家の判断によってばらつきの裾を打ち切る取扱いがなされる例が多い。」とし、「必ずしも十分なデータに基づいてはいないが、暫定的なものである。」としている。「今後、より詳細な検討が必要であり、研究の進展によ

って適切な不確定性の取扱いに関する知見が得られれば、その成果を導入していくべきものである。今回の取扱いが無条件に他にも適用できるわけではないということには十分な注意が必要である。」としている。

原子力施設を対象とした地震PRAの地震発生確率のレベルは、推本の「全国を概観した地震動予測地図」が対象とする発生確率のもの(約 $10^{-3}$ レベル)よりも相対的に非常に小さい地震動までも対象としている。従って、原子力施設における地震動ハザード解析における地震動のばらつきと上限値について、さらなる検討が求められると考えられる。

今後50年以内に5%の確率で一定の震度以上の揺れに見舞われる領域(図AS.4)と、距離減衰式のばらつきの違いによるハザードカーブ(図AS.5)を比較した図(推本作成)を以下に示す。図中の「従来のモデル」は、地震動のばらつきを常用対数標準偏差で0.23とした場合で、「今回のモデル」は0.2とした場合である。いずれも地震動の上限値として対数標準偏差の3倍が考慮されている。

#### 参考文献

- (1) Fukushima, Y. and K. Irikura, "Attenuation characteristics of peak groundmotions in the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake", J. Phys. Earth, Vol. 45, pp.135-146, 1997
- (2) 翠川三郎, 大竹雄, "地震動強さの距離減衰式に見られるバラツキに関する基礎的分析", 日本地震工学会論文集, 第3巻, pp. 59-70, 2003年1月
- (3) 中村晋, 末富岩雄, 香川敏生, 蛭沢勝三, "ばらつき低減のためのサイト固有地震動予測式の開発—概要と中小地震動の予測—", 日本原子力学会講演概要集, H8, pp. 563, 1997年10月.
- (4) 池浦友則, 八代和彦, "MとXが一定の条件のもとで同一地点において観測される地震動応答スペクトルのばらつき", 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, p.575, 2004年8月.
- (5) 奥村俊彦・渡辺基文・藤原広行(2004)「2003年十勝沖地震の本震・余震記録に基づく最大速度のばらつきの検討」, 日本地震学会2004年秋季大会講演予稿集, B26
- (6) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会, 「「全国を概観した地震動予測地図」報告書」, 平成17年3月23日

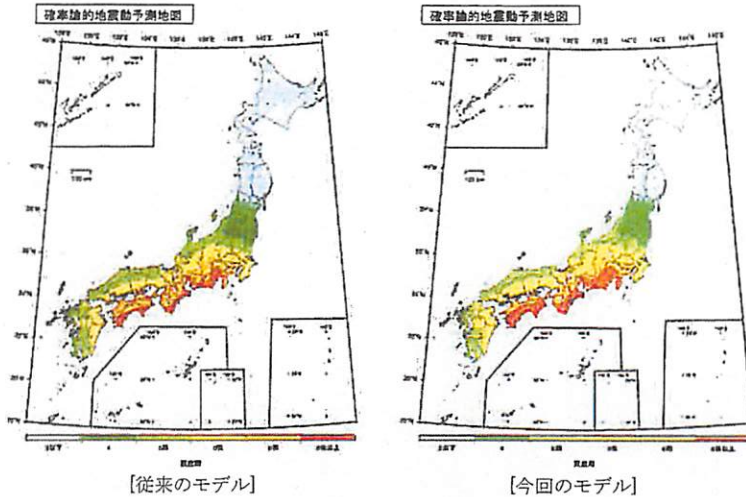


図 AS.4—今後 50 年以内に 5%の確率で一定の震度以上揺れに見舞われる領域<sup>(6)</sup>  
(南海～東南海～想定東海地震のみ)  
\*震度 6 強以上には震度 7 の可能性が含まれる。  
(基準日 2005 年 1 月 1 日)

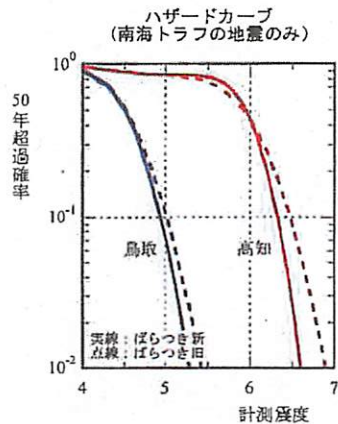


図 AS.5—距離減衰式のばらつきの違いによるハザードカーブの比較<sup>(6)</sup>

附属書 AT  
(参考)  
断層モデルを用いた地震動評価の取扱い

序文

この附属書は、箇条 6 における断層モデルを用いた地震動評価の取扱いに係わる次の 2 つの項目を記載する。

- ・ AT.1 断層モデルによる地震動評価
- ・ AT.2 断層モデル (波形合成法) のパラメータ設定のためのレシビ
- ・ AT.3 震源を特定せず策定する地震動に関する検討
- ・ AT.4 断層モデルを用いた地震動ハザード評価におけるばらつきの取扱い

AT.1 断層モデルによる地震動評価

a) 評価手法の概要

近年の解析技術や各種地下構造調査法の進歩によって、地震動の基本的 3 要素である震源・伝播・サイト増幅の各特性を一括して直接的に考慮することができる、断層モデルを用いた地震動評価が可能となっている。これらの成果を活用すべく、地震動ハザード評価においても断層モデルを用いた地震動評価手法の活用が積極的に進められている。

断層モデルを用いた地震動評価手法は、多くの研究者によって様々な手法が提案されている。活用に当たっては、断層面と評価サイト周辺の地下構造に関して距離減衰式よりも詳細な情報が必要となるとともに、多くの計算時間を要することに留意する必要がある。

断層モデルによる地震動の評価は、図 AT.1 に示すように、震源特性、伝播特性及びサイトの地盤増幅特性 (サイト特性) をそれぞれ個別に評価することが可能で、パラメータが精度良く与えられた場合、距離減衰式に比べて精度良く地震動を推定できると言われる。

断層モデルによる地震動評価方法には、理論的方法、半経験的波形合成法 (経験的グリーン関数法と統計的グリーン関数法の 2 種類の方法がある)、及び両者の特徴を生かしたハイブリッド法がある。

理論的方法は、周期約 5 秒程度以上の長周期領域の地震動を理論的に推定するのに適した方法と言われているが、短周期領域の地震動に関しては、対応する周期帯で十分な震源のモデルができないこと、ならびに波動伝播経路の微細な構造に強く影響されることなどから、評価は困難である。

一方、経験的グリーン関数法は、発震機構や波動伝播経路が大地震と共通する中小地震の観測波形をグリーン関数として考え、それを断層の破壊過程に合わせて重ね合わせることによって大地震の地震動を評価する方法である。

また、統計的グリーン関数法は、他地点で得られた多数の観測波形を統計処理して求

めたスペクトルと経時特性を用いて作成した模擬地震波を要素地震波とし、経験的グリーン関数法と同じく断層の破壊過程に合わせて重ね合わせることによって大地震の地震動を評価し、サイトの地盤特性を考慮して対象地盤の地震動を評価する方法である。

これらの方法では、いずれも震源での地震波のスペクトル特性（震源スペクトル特性）を加速度フーリエスペクトル上で一定とするいわゆる  $\omega^2$  乗モデルの仮定を導入することによって、理論的な方法によっては実現できない短周期地震動の評価をある程度できるようにしている。

**b) 断層モデルによる地震動評価手順**

断層モデルによる地震動評価では、特定震源モデルを対象とし、断層パラメータの不確かさを考慮して地震動を求め、地震動ハザード評価に必要な地震動強さの確率分布を求めらる。

パラメータの設定では、まず、断層モデルを用いる手法で評価する地震に対して、断層の破壊領域を設定し、断層破壊過程の検討、要素地震の検討を行う。断層モデルの検討では、震源付近での媒質の定数の設定を行う。断層破壊過程を考慮する手法による地震動計算に必要な複数の断層破壊パラメータの設定方法として、合理的かつ客観的に設定するための手法（レシピ）が提案されている。

断層破壊過程を考慮する手法を用いて地震動を評価する場合、モデルパラメータの不確かさを考慮するためにロジックツリーを構築して地震動を複数算出し、それぞれの結果に重みを考慮することによって、地震動強さの確率分布を求めることができる。この地震動強さの確率分布と地震発生時系列モデルから評価した地震発生確率と組み合わせてハザード曲線を算定することによって、地震動ハザードを評価する。断層モデルを用いた地震動ハザード評価手順を図 AT.2 に示す。

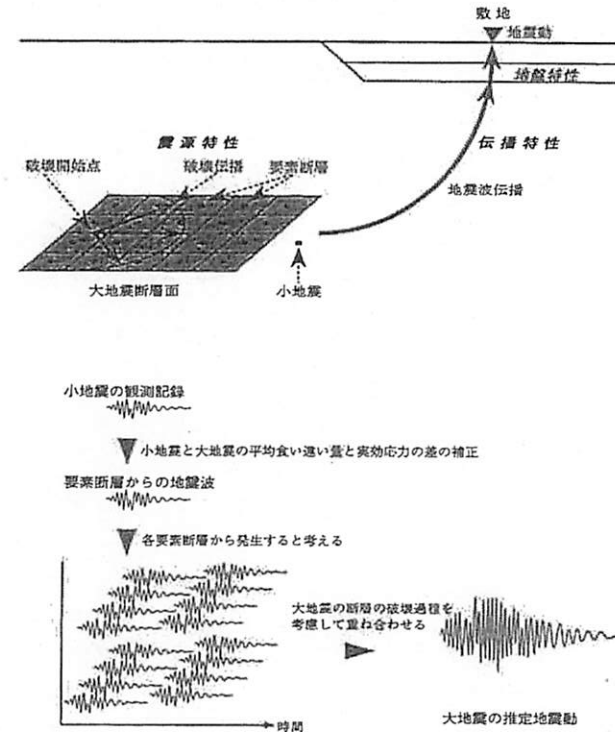


図 AT.1—断層モデルによる地震動評価の概念（半経験的波形合成法の場合）

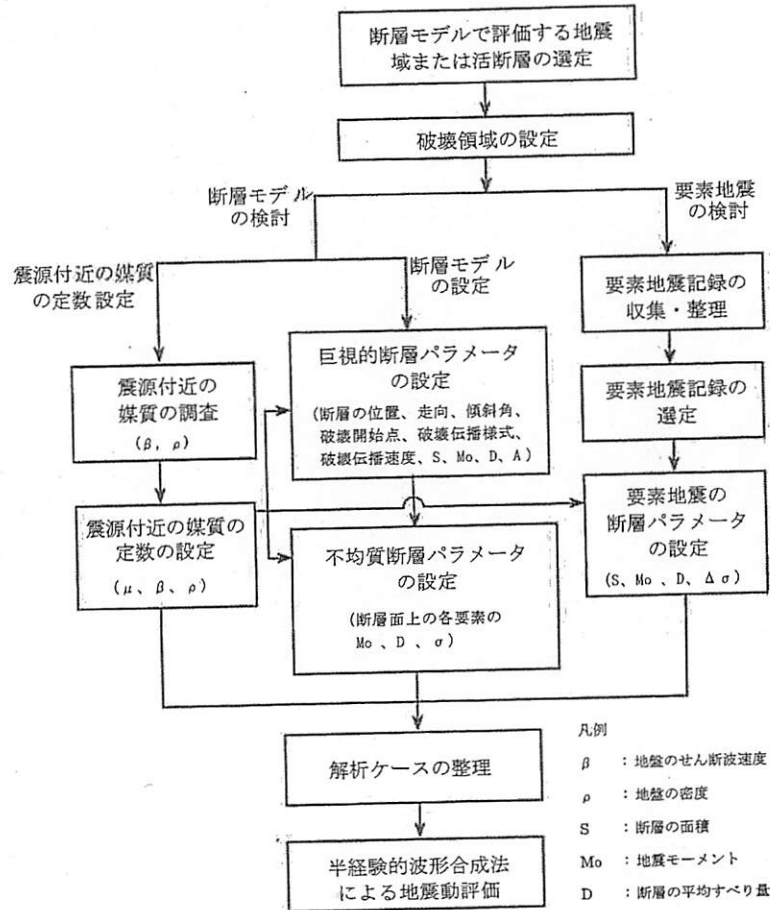


図 AT.2—断層モデルによる地震動評価手順（半経験的波形合成法の場合）

【本体 6.4.3】

AT.2 断層モデル（波形合成法）のパラメータ設定のためのレシピ

波形合成法による地震動の評価では、震源断層の破壊シナリオの設定が評価結果に大きな影響を及ぼす。特に、地震規模と距離のパラメータを用いて地震動を求める距離減衰式などの経験的手法と異なり、断層破壊シナリオには多くのパラメータが必要である。

そのため、自然現象を適切に表現した断層破壊シナリオを、誰でも同様に設定できるルールが必要である。このような断層破壊シナリオを設定する標準的な手順（レシピ）が、入倉・三宅(2001)<sup>(1)</sup>や、入倉・他(2002)<sup>(2)</sup>として提案されている。後者のレシピは、Somerville et al.(1999)<sup>(3)</sup>が整理した非一様断層モデルのスケールリング則を基本としている。これらの考え方は、地震調査研究推進本部などでも採用されている<sup>(4)</sup>。

内陸地震を想定した具体的なレシピを次に概説する。

a) 地表活断層などの情報によって断層長さを、微小地震活動情報などによって地震発生層の上下限深さとメカニズム（傾斜とすべり方向）を設定する。これらの情報から、断層幅、断層面積を設定する。

b) 断層面積と地震モーメントは、次式を用いて設定する。

$$S_0(km^2) = 2.23 \times 10^{-15} \times M_0^{2/3} (dyne \cdot cm) \quad (M_0 < 1.0 \times 10^{26})$$

$$S_0(km^2) = 4.24 \times 10^{-11} \times M_0^{1/2} (dyne \cdot cm) \quad (M_0 > 1.0 \times 10^{26})$$

(附 AT-1)

c) 断層全体の平均応力降下量は、次式によって設定する。

$$\Delta\sigma = \frac{7\pi^{3/2}}{16} \times \frac{M_0}{S_0^{3/2}} \cong 2.436 \times \frac{M_0}{S_0^{3/2}}$$

(附 AT-2)

d) アスベリティの応力降下量の設定方法としては、地震時の全断層面積  $S_0$  とアスベリティの面積比 ( $R_{asp}$ ) から設定する方法と、短周期レベル  $A$  から設定する方法がある。

1) 面積比からアスベリティの応力降下量を与える方法

アスベリティの面積比 ( $R_{asp}$ ) を設定し (Somerville et al.(1999)<sup>(3)</sup>では平均0.22)、次式によってアスベリティ部の応力降下量を設定する。

$$\Delta\sigma_a = \Delta\sigma \times \frac{1}{R_{asp}}$$

(附 AT-3)

2) 短周期レベル  $A$  からアスベリティの応力降下量を与える方法

次式を用いて地震モーメント  $M_0$  (dyne · cm) を介して短周期レベル  $A$  (dyne · cm/s<sup>2</sup>) を求める (壇・他 (2001)<sup>(5)</sup>)。

$$A = 2.46 \times 10^{17} \times M_0^{1/3}$$

(附 AT-4)

次式 (Boatwright, 1988<sup>(6)</sup>) を用いて、断層の等価半径  $R$  (断層面積  $S_0$  を円形と仮定)、 $M_0$ 、震源域の  $S$  波速度  $\beta$ 、短周期レベル  $A$  が与えられた時のアスベリティの等価半径  $r$  を求め、応力降下量を算出する (壇・他 (2002)<sup>(7)</sup>)。

$$r = (7\pi/4) \cdot (M_0 / (A \cdot R)) \cdot \beta^2$$

$$\Delta\sigma_a = (7/16) \cdot M_0 / (r^2 \cdot R)$$

(附 AT-5)

e) アスベリティ位置と破壊開始点位置を設定する。可能であれば地表活断層の情報を活用

する（活動度の高い場所にアスペリティを、断層分岐を考慮して破壊開始点を設定するなど）。ただし、上記の設定法は平均的なパラメータを設定するものであり、それぞれにばらつきを考慮する必要がある。また、アスペリティ位置と破壊開始点位置については、自然現象としての断層破壊による不確かさも大きく、地震動ハザード評価に当たっては取扱いに注意する必要がある。

なお、このような震源破壊シナリオ設定法は、「修正入倉レシピ」で対応可能であるが、その後の被害地震の波形再現による検証を経て、改良が行われているので、このような動向について、今後の十分なフォローが重要である。

#### 【アスペリティの補足説明】

断層面の中で、大地震発生直前までひずみに耐え、応力を支えていた領域。アスペリティ以外の部分は、小地震を発生させたり定常的に滑ったりして既に応力を解放してしまっていると考えられる。アスペリティがひずみに耐えきれずに破壊すると、蓄えていた応力を一気に解放して大きな地震動を放射する。【本体 6.4.3】

#### AT.3 震源を特定せず策定する地震動に関する検討

原子力安全委員会では、地震動解析技術等作業会における震源を特定せず策定する地震動に関する検討で、断層最短距離 20km 以内の地震の最大速度及び最大加速度の観測記録と距離減衰式（司・翠川式）による評価結果との整合性を報告している<sup>(8)</sup>。さらに、断層 Mj6.8 の逆断層を対象に、断層モデル（特性化震源モデル）による地震動評価結果を同距離減衰式の結果と比較し、アスペリティを断層中央付近に設定した双方の結果（最大加速度の平均値、距離減衰特性の傾向）が整合的であることを報告している。

#### AT.4 断層モデルを用いた地震動ハザード評価におけるばらつきの取扱い

断層破壊シナリオ作成のレシピ [入倉・三宅(2001)<sup>(9)</sup>, 入倉・他(2002)<sup>(10)</sup>] で用いられる経験的關係は、あくまで平均的なものであり、現実にはばらつきをもった経験量である。地震動ハザード評価に当たっては、それぞれのパラメータのばらつきを考慮する必要がある。

アスペリティの位置及び破壊開始点の位置について明確な情報が無い場合には、現状の最新知見を反映して考えらえる範囲で複数の破壊シナリオを設定せざるを得ない。このような断層破壊パラメータを変化させた場合に、強震動予測結果に及ぼす影響については、図 AT.3 に示すような大塚・他(1998)<sup>(11)</sup>の検討事例がある。

2007年新潟県中越沖地震においては、震源特性として通常の地震よりも短周期の地震動レベルが大きかったとされており、評価結果に与える影響度が大きいと判断される場合には、応力降下量の不確かさについて、ロジックツリーの分岐として考慮することが望ましい。この場合、①アスペリティの面積を変える、②短周期レベルを変化させる、③応力降下量を変化させる等が考えられるが、地域性や地震のタイプ、深さ依存性等についても検討を行ったうえで、適切な手法を選択する必要がある。

地震動ハザード評価に当たっては、少なくとも平均±標準偏差の範囲で地震動のばらつきを評価しておくことが望ましい。統計処理が行われているパラメータについては、このように標準偏差を考慮することによって、物理的に意味のある範囲でパラメータの設定が期待される。また、自然現象としてのランダムさが避けられないアスペリティや破壊開始点の位置についても、地表断層変位とアスペリティ位置の対応 [杉山・他(2002)<sup>(12)</sup>] や、活断層トレースに応じた破壊開始点の設定 [中田・他(1998)<sup>(13)</sup>] などの情報を活用することによって、パラメータの設定の範囲を限定することが期待される。

断層破壊シナリオを考慮した地震動評価に用いられる多数のパラメータに不確かさを導入し、それぞれにばらつきを考慮して解析を実施すれば、結果として評価される地震動が、距離減衰式など経験的な手法による評価よりも大きなばらつきを持つことが懸念される。断層破壊シナリオを考慮した地震動評価は、十分な事前調査によって設定パラメータのばらつきを小さく評価できる場合に有効であり、情報の少ない場合にはむしろ経験的手法を用いた方が適切な場合があることに留意すべきである。

地震動評価において、不確かさ要因として扱わざるを得ないパラメータも、自然現象として避けられないランダムなものを除いて、さらに高度な物理モデルを構築することによって軽減できる可能性があり、今後の研究成果を取り入れることが期待される。したがって、今後の研究動向を十分にフォローし、知識不足による不確かさが軽減される都度、それを地震動ハザード評価に取り入れてゆくことが望ましい。

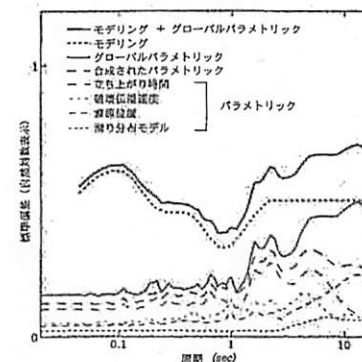


図 AT.4—断層破壊パラメータの変化が地震動に及ぼす影響 [大塚・他(1998)<sup>(11)</sup>]

【本体 6.4.3】

#### 参考文献

- (1) 入倉孝次郎, 三宅弘恵, “シナリオ地震の強震動予測”, 地学雑誌, Vol. 110, pp. 849-875, 2001年
- (2) 入倉孝次郎, 三宅弘恵, 岩田知孝, 釜江克宏, 川辺秀憲, “強震動予測のための修正レシピとその検証”, 第11回日本地震工学シンポジウム講演論文集, pp.567-572, 2002年
- (3) Somerville, P. G., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith and A. Kowada, “Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion”, Seism. Res. Lett., Vol. 70, pp. 59-80, 1999
- (4) 地震調査研究推進本部ホームページ  
[http://www.jishin.go.jp/main/chousa/05mar\\_yosokuchizu/bunsatsu2.pdf](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/05mar_yosokuchizu/bunsatsu2.pdf)
- (5) 壇一男, 渡辺基史, 佐藤俊明, 石井透, “断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形成法による強震動予測のための震源断層のモデル化”, 日本建築学会構造系論文集, 第545号, pp. 51-62, 2001年
- (6) John Boatwright, “The Seismic radiation from composite models of faulting”, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.78, No.2, pp.489-508, 1988
- (7) 壇一男, 佐藤俊明, 入倉孝次郎, “アスペリティモデルに基づく強震動予測のための震源モデルの特性化手法”, 第11回日本地震工学シンポジウム, pp. 555-560, 2002年
- (8) 原子力安全委員会 地震動解析技術等作業会合資料第1号 平成21年11月13日
- (9) 入倉孝次郎, 三宅弘恵, “シナリオ地震の強震動予測”, 地学雑誌, Vol. 110, pp. 849-875, 2001年
- (10) 入倉孝次郎, 三宅弘恵, 岩田知孝, 釜江克宏, 川辺秀憲, “強震動予測のための修正レシピとその検証”, 第11回日本地震工学シンポジウム講演論文集, pp. 567-572, 2002

年

- (11) 大塚久哲, P. G. Somerville, 佐藤俊明, “断層パラメータの予測誤差を考慮した広帯域地震動の評価”, 土木学会論文集, No.584/I-42, pp.185-200, 1998年1月
- (12) 杉山雄一, 関口春子, 栗田泰夫, “活断層情報と不均質震源特性との関係”, 地震災害軽減のための強震動予測マスターモデルに関する研究第1回シンポジウム論文集, 京大防災研究所, 他7機関, pp.37-42, 2002年3月
- (13) 中田高, 島崎邦彦, 鈴木康弘, 佃栄吉, “活断層はどこから割れ始めるのか?”, 地学雑誌, Vol.107, pp.512-528, 1998年

## 附属書AU

(参考)

### 地震動評価のための地下構造調査及び3次元地下構造モデルの構築

#### 序文

この附属書は、箇条6における地震動評価のための地下構造調査及び3次元地下構造モデルの構築に関する次の2つの項目を記載する。

- ・ AU.1 地震動評価のための地下構造調査における留意事項
- ・ AU.2 3次元地下構造調査・モデル構築の実施状況

#### AU.1 地震動評価のための地下構造調査における留意事項

地震動評価のための地下構造調査は、以下の方針及び手順に留意して実施する必要がある。

##### a) 調査方針

- ・ 地下構造調査では、敷地及び敷地周辺における地層の傾斜、断層、褶曲構造等の地質構造を把握するとともに、地震基盤・解放基盤の位置や形状、地下構造の三次元不整形性、岩相・岩質の不均一性、地震波速度構造等の地下構造及び地盤の減衰特性を適切に把握できるよう留意する。
- ・ 敷地及び敷地周辺の調査については、地域特性、既往文献の調査、既存データの収集・分析、地震観測記録の分析、地質調査、ボーリング調査、二次元又は三次元の物理探査等を適切な手順と組合せて実施する。
- ・ 敷地からの距離に応じて、地震基盤から解放基盤までを対象とした地下構造調査（以下「深部地下構造調査（概査）」という。）と解放基盤から表層までを対象とした地下構造調査（以下「浅部地下構造調査（精査）」という。）を組み合わせた調査を行い、地下構造データが適切に取得できるよう留意する。
- ・ 「深部地下構造調査（概査）」及び「浅部地下構造調査（精査）」においては、それぞれ物理探査と地震動観測等を組み合わせた十分な調査を行う。
- ・ 「深部地下構造調査（概査）」は、低密度な物理探査と水平アレイ地震動観測等を組み合わせた調査、一方「浅部地下構造調査（精査）」では、高密度な物理探査と鉛直アレイ地震動観測及び水平アレイ地震動観測、物理検層等を適切に組み合わせて調査する。
- ・ 適切な調査とは、調査により取得された地下構造データに基づき作成された地下構造モデルを用いて、比較的短周期領域における地震動を高い精度で評価可能な地下構造調査を意味する。

##### b) 手順

###### 1) 深部地下構造調査（概査）

- ・比較的長周期領域における地震波の伝播特性に大きな影響を与える、地震基盤から解放基盤までの「深部地下構造モデル」を作成するための深部地下構造調査（概査）を適切に実施するよう留意する。
- ・深部地下構造調査（概査）として、ボーリング及び物理検層、反射法・屈折法地震探査、電磁気探査、重力探査、微動アレイ探査、水平アレイ地震動観測等による調査・探査・観測を適切な範囲及び数量で実施されているに留意する。
- ・震源から対象サイトの地震基盤までの地震波の伝播経路特性に影響を与える地殻構造調査として、弾性波探査や地震動観測等を適切な範囲及び数量で実施されるよう配慮する。

## 2) 浅部地下構造調査（精査）

- ・比較的短周期領域における地震波の伝播特性に影響を与える、解放基盤から地表面までの「浅部地下構造モデル」を作成するための浅部地下構造調査（精査）を適切に実施するよう留意する。
- ・敷地周辺における地層の傾斜、断層、褶曲構造等の地質構造・地下構造を把握するために、ボーリング調査に加えて地震基盤相当に達する大深度ボーリング、物理検層、高密度弾性波探査、重力探査、微動アレイ探査等による調査・探査、鉛直アレイ地震動観測や水平アレイ地震動観測等を適切な範囲及び数量で実施されるよう留意する。

## AU.2 3次元地下構造調査・モデル構築の実施状況

地震調査研究推進本部地震調査委員会では、活断層調査や地下構造調査さらに地震学的調査・研究結果が統合的に評価し、「確率論的地震動予測値図」や「震源断層を特定した地震動予測値図」に活用されている。以下に原子力施設周辺における活断層調査や地下構造調査の最近の実施状況を示す。

### a) 活断層評価のための地下構造探査

活断層調査では、活断層の位置・長さ・活動履歴・変位量等明らかにするために、空中写真判読（活断層予察図の作成）、地形・地質調査や重力探査、地震探査、電気探査、トレンチ調査、ボーリング調査等の地下構造調査を実施し、それらの結果に基づき、地震規模、地震発生頻度、地震動の強さを予測している。

海底地形調査は、調査船直下だけでなく側方まで測深できる調査方法が一般的に用いられるようになり、詳細な3次元地形データを容易に取得できるようになった。その結果、航空写真の精度には及ばないが、海底の断層形状を捉えることができる。また、2008年には、これまで、海洋資源の探査に用いられていた3次元物理探査船「資源」が、新潟県中越沖地震で被災した東京電力柏崎刈羽原子力発電所の沖合の海底地層の調査に用いられた。2次元・3次元反射法音波探査データと既存の反射法音波探査、海底地形ならび海底音響データを用い、海底表層付近の海底活断層をはじめとする3次元的地質構

造および海底活断層の表層形態と深部構造との関係について解明を進めた。

なお、近年「ひずみ集中帯」では、新潟県中越地震、能登半島沖地震、新潟県中越沖地震等の大きな地震が頻発している。「ひずみ集中帯」における活断層・活褶曲等の活構造を解明するとともに、震源断層モデルの構築を目的として、東京大学地震研究所や（独）防災科学技術研究所等により、自然震源と人工震源を組み合わせた地殻構造調査等が実施されている。

### b) サイト特性評価のための地下構造モデル

原子力施設周辺の地下深部の地震基盤の形状、及び地震基盤から地表までの速度構造等の地下構造の特性を把握して、今後、精度の高い強震動予測に資する3次元地下構造モデルを構築し、強震動評価の精度向上や不確かさの低減が必要とされている。特に、最近、原子力規制による専門家の調査や評価において、敷地内や敷地極近傍の断層が活断層の可能性が高いと判断される中で、震源の極近傍の地震動評価は喫緊の課題である。

2007年新潟県中越沖地震では、柏崎・刈羽原子力発電所で基準地震動を大きく上回る地震動が発生し、荒浜側（1～4号機）と大湊側（5～7号機）の地震動のレベルに大きな差が生じた。2008年に、旧原子力安全・保安院による耐震設計審査指針の改訂に伴う原子力発電所の耐震安全性評価において、旧（独）原子力安全基盤機構より「2007年新潟県中越沖地震により柏崎刈羽原子力発電所発生した地震動の分析（合同W9-2-1）」が報告された。この報告の中で、既往の調査データに基づき作成した震源から発電所周辺の3次元地下構造モデルを用いて、3次元差分法により震源からサイトの各号機に到達する地震動の伝播特性を分析し、この地域の地下構造の3次元的不整形性の影響を指摘している[原子力安全基盤機構(平成20年)<sup>(1)</sup>]。

また、中部電力は、2009年8月の駿河湾の地震を踏まえて、詳細な地下構造特性調査（追加調査）および地震観測記録の分析を実施し、駿河湾の地震で発電所敷地内の揺れに違いが生じた要因を分析した。地下構造特性調査結果から、敷地の相良層（砂岩・泥岩による互層）において、局所的に存在する構造として、砂岩の比率が5割を超える砂岩優勢互層が確認され、5号機の地下300～500mで、砂岩優勢互層より上部に、S波の速度が周囲の岩盤に比べて3割程度低下している「低速度層」を確認した。また、その「低速度層」は、反射法地震探査の反射面の特徴などから、5号機周辺から敷地外の東側に局所的に分布しているものと推定した。駿河湾地震の本震（発電所からみて北東方向）の揺れについて、この「低速度層」が駿河湾の地震で5号機の揺れが大きかった主要因であるとしている[中部電力(平成22年)<sup>(2)</sup>]。

#### 参考文献

- (1) 独立行政法人原子力安全基盤機構, “2007年新潟県中越沖地震により柏崎刈羽原子力発電所で発生した地震動の分析”, 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会地震・津波, 地質・地盤合同ワーキンググループ, 合同W9-2-1, 平成20年5月22日
- (2) 中部電力株式会社, “駿河湾の地震を踏まえた検討のうち地下構造調査結果の整理及び更なる追加調査の計画概要について”, 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会地震・津波, 地質・地盤合同ワーキンググループ, 合同W50-2-2, 平成22年7月28日

### 附属書 AV

(参考)

#### 地震動ハザード評価における不確実さ要因の取扱い

##### 序文

この附属書は、箇条6における地震動ハザード評価における不確実さ要因の取扱いに係わる次の2つの項目を記載する。

- ・ AV.1 距離減衰式による地震動評価における不確実さ要因
- ・ AV.2 断層破壊を考慮した強震動評価における不確実さ要因の取扱いの例

##### AV.1 距離減衰式による地震動評価における不確実さ要因

一般的な距離減衰式は、複数のサイトで観測された様々な地震に対する観測記録に基づき回帰されている場合が多い。その結果、得られた距離減衰式のばらつきには、①観測地点の違い、②観測地点からみた震源位置（伝播方向）の違い、③地震種別の違いによるものが含まれる。これらの不確実性は、いずれも観測地点や震源が特定されれば、除去される「認識論的不確実さ」に分類されると考えられる。よって、距離減衰式のばらつきとして地震動ハザード評価に用いるばらつきは、これらの不確実さを除去したものをを用いることが望ましい。

上記のうち、③の地震種別の違いについては、地殻内地震やプレート境界付近の地震ごとに観測記録を分類し、それぞれに対応した距離減衰式を回帰することによって対応することができる。一般的な距離減衰式の多くは、地震種別ごとに回帰係数が評価されている。サイトの観測記録を用いた地点補正を行う場合でも、観測記録を地震種別ごとに分類し、それぞれの地震種別に対応した地点補正係数を評価することで対応できる。

一方、上記のうち①および②に対応した一般的な距離減衰式はほとんどないのが現状である。そのため、実際の適用にあたっては、サイトにおける観測記録を用いた地点補正に基づく評価結果を使用することになる。その際の参考として、既往の研究をいくつか下記に示す。

図 AV.1 は、観測地点ごとにばらつきを評価した場合の一例である。南カリフォルニアで観測された強震記録に対して、21の観測地点ごとに、PGA、PGV、周期0.3sおよび3sのスペクトル加速度値それぞれに対して距離減衰式を回帰して、その残差のばらつきを評価している（●印）。同図には、全観測記録に対する結果（実線は全ての観測記録による距離減衰式のばらつき、点線は観測地点の観測個数を重みにした平均値）も示されている。いくつかの地点では、全観測記録によるばらつきよりも大きい観測地点もあるが、多くの観測地点で、全記録によるものよりもばらつきは小さく評価されていることが分かる。

また、池浦・野田(2005)<sup>(2)</sup>は、東北地方南部太平洋沖から関東南部の地震に対して、マグニチュードと震源距離がそれぞれ等しい2地震を同一地点で観測した観測記録ペアをもと

に、観測地点と M,X を特定した場合のばらつきを評価している。それによると、全体のばらつきは 0.49 であるものの、震源地と深さが同一なものだけを取り出した場合のばらつきは 0.44 となり、ばらつきの大きさは若干小さくなる。さらに、観測地点と M,X を特定した場合のばらつきの要因を図 AV.2 のように分析している。すなわち、観測地点と M,X が同一であっても地震動はばらつくが、その要因は、成分 (EW と NS 成分) によるばらつきと地震 (震源) によるばらつきに分類され、それぞれのばらつきを生じさせる要因を挙げている。このうち、特に「不規則な散乱波による違い」はもつぱら確率論的にしか扱えない、すなわち偶然的な不確実さであることが文献中で指摘されている。このように地震動のばらつき要因を分析することは、サイトで観測された記録を分析し、そのばらつきの大きさを偶然的な不確実さと認識的不確実さとに仕分けするときに役立つと考えられる。

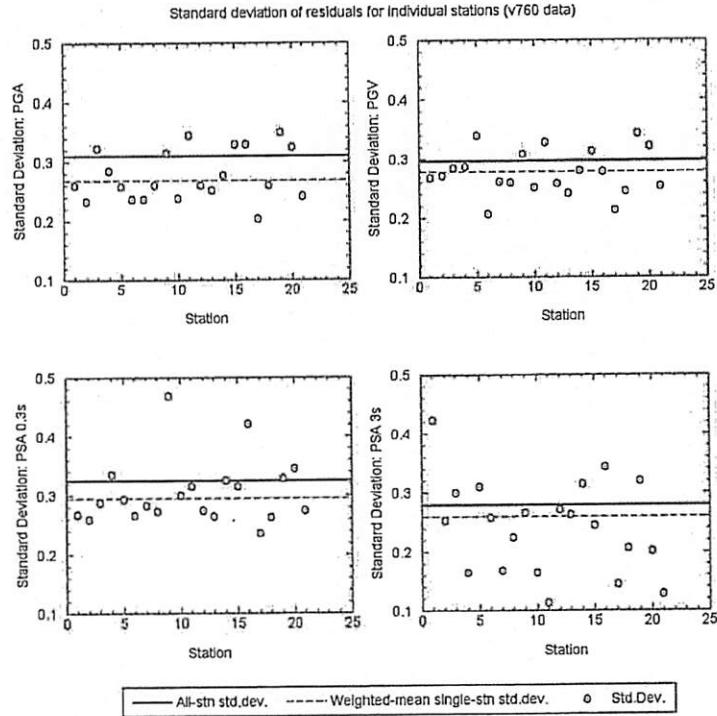


図 AV.1—地震観測点ごとに整理した場合の地震動のばらつき (G. M. Atkinson(2006))<sup>(1)</sup>

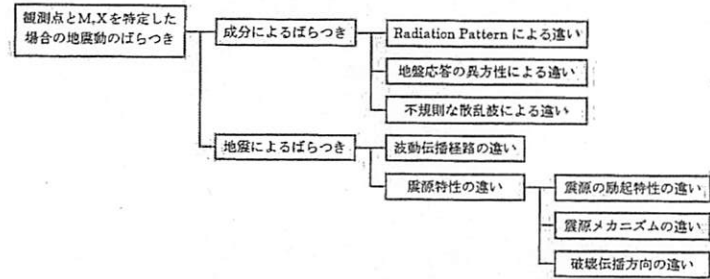


図 AV.2—地震動のばらつきの要因 (池浦・野田(2005))<sup>(2)</sup>

## AV.2. 断層破壊を考慮した強震動評価における不確定要素の取扱いの例

断層破壊を考慮した強震動評価における不確定要素の取扱いの例として、香川の論文(香川, 2004)<sup>(9)</sup>を引用する。

### a) はじめに

ここでは、断層破壊過程をモデル化して強震動予測をおこなう際のパラメータ設定方法を紹介するとともに、それらパラメータの不確定さについて検討する。

### b) 断層モデル作成のレシピ

想定断層の長さが既知の場合、まず地震発生層厚さと断層傾斜から断層幅を与え、断層面積を設定する。次に、断層面積と地震モーメントの経験式 (Somerville et al., 1999)<sup>(4)</sup>、(入倉・三宅, 2001)<sup>(5)</sup>から地震モーメントを推定する。断層面積と地震モーメントから平均的な応力降下量が推定される。全断層面積にアスペリティが占める経験的な割合 (Somerville et al., 1999)<sup>(4)</sup>からアスペリティ面積が推定され、それに反比例してアスペリティ部の応力降下量が推定される。また、地震モーメントを介して立ち上がり時間が設定される。

### c) レシピにおける不確定要因

断層モデル作成のレシピ (入倉・三宅, 2001)<sup>(5)</sup>、(入倉・他, 2002)<sup>(6)</sup>で用いられる経験的関係はあくまで平均的なものであり、現実にはバラツキをもった経験量である。本論ではそれぞれのパラメータのばらつきを紹介する。(Kagawa et al., 2004)<sup>(7)</sup>。アスペリティの位置及び破壊開始点の位置について明確な情報が無い場合は、現状では考えられる範囲で複数の被災シナリオを設定せざるを得ない。次に、断層モデルを変化させた場合、それらが強震動予測結果に及ぼす影響について (大塚・他, 1998)<sup>(8)</sup>紹介されている。

### d) 不確定要因軽減への展望

確率的な地震動評価においては、パラメータの経験的關係に対して、少なくとも平均±標準偏差の設定で地震動を評価しておくことが望ましい。標準偏差を考慮することによって、物理的に意味のある範囲でパラメータが設定されることが期待される。また、地表断層変位とアスペリティ位置の対応 (杉山・他, 2002)<sup>(9)</sup>や活断層トレースに応じた破壊開始点設定 (中田・他, 1998)<sup>(10)</sup>など、事前情報を活用することによってパラメータ設定の範囲を限定することが可能となる。

【本体 6.4.4】

## 参考文献

- (1) G. M. Atkinson: Single-Station Sigma, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.96, No.2, pp.446-455, April 2006
- (2) 池浦友則, 野田静男: 同一地点における地震動応答スペクトルのばらつき—地震規模と震源距離がそれぞれ等しい強震記録ペアの分析—, 日本地震工学会論文集, 第5巻, 第3号, 2005
- (3) 香川, “断層破壊を考慮した強震動評価における不確定性要因”, (独)原子力安全基盤機構地震ハザードワークショップ地震ハザード評価における不確定性の認識と克服—ロジックツリーの活用—予稿集, pp.5-4, 2004.
- (4) Somerville et al., “Characterizing crystal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion”, Seism. Res. Lett., 70, 59-80, 1999.
- (5) 入倉, 三宅, “シナリオ地震の強震動予測”, 地学雑誌, 110, 849-875, 2001.
- (6) 入倉, 他, “強震動予測のための修正レシピとその検証”, 第11回日本地震工学シンポジウム講演論文集, 567-572, 2002.
- (7) Kagawa et al., “Differences in ground motion and fault rupture process between the surface and buried rupture earthquakes”, Earth, Planets and Space, 56, 3-14, 2004.
- (8) 大塚, 他, “断層パラメータの予測誤差を考慮した広帯域地震動の評価”, 土木学会論文集, 584/I-42, 185-200, 1998.
- (9) 杉山, 他, “活断層情報と不均質震源特性との関係”, 地震災害軽減のための強震動予測マスターモデルに関する研究第1回シンポジウム論文集, 京大防災研究所, 他7機関, 37-42, 2002.
- (10) 中田, 他, “活断層はどこから割れ始めるのか?”, 地学雑誌, 107, 512-528, 1998

附属書AW  
(参考)

地震動ハザード評価における不確実さ定量評価手法のロジックツリーの取扱い

序文

この附属書は、箇条6における地震動ハザード評価における不確実さ定量評価手法のロジックツリーの取扱いに係わる次の9つの項目を記載する。

- ・AW.1 SSHAC(米国)レポートにおけるロジックツリー作成の検討レベル
- ・AW.2 専門家活用水準1に相当するロジックツリー作成の例
- ・AW.3 専門家活用水準2に相当するロジックツリー作成の例
- ・AW.4 柏崎刈羽原子力発電所地震動ハザード評価のためのロジックツリー作成例
- ・AW.5 専門家活用水準3に相当するロジックツリー作成の例
- ・AW.6 糸魚川-静岡構造線活断層系を対象としたロジックツリーの作成例
- ・AW.7 地震動ハザード評価のための専門家パネルによるロジックツリーの構築
- ・AW.8 活断層の運動に関するロジックツリー作成における留意事項
- ・AW.9 専門家意見の抽出方法

AW.1 SSHAC(米国)レポートにおけるロジックツリー作成の検討レベル

SSHAC (Senior Seismic Hazard Analysis Committee) レポート<sup>(1)</sup>におけるロジックツリー作成の検討レベルを示す。同レポートでは、課題の重要性に応じて検討のレベル及び検討方法(表AW.1参照)を4つの段階に分けている。これら検討のレベルを、コミュニティ分布(専門家集団が総合的に評価するその時点での不確実さの客観的分布) 評価者及び専門家を活用するレベルの観点から整理すると、検討レベル1においては専門家を活用せずにTI (Technical Integrator:ロジックツリーの技術的な總め役)自らコミュニティ分布を評価する。検討レベル2と検討レベル3では、その検討方法に若干の違いがみられるもののTIが専門家意見を活用してコミュニティ分布を評価する。検討レベル4では専門家パネル内の各評価担当者がコミュニティ分布を評価し、TFI (Technical Facilitator/Integrator:ロジックツリーの技術的な總め役であり、専門家の意見統合の世話役)はそれらのコミュニティ分布を集約する構成となっている。

したがって、本体6.5で定義した専門家活用水準2は、SSHACレポートにおける検討レベル2と検討レベル3に相当する。また、検討レベル4での評価は、対象課題が広範囲で重要かつ複雑と判断され、社会的影響が特に大きな場合に適用される。その実施には多大な時間・費用・人的資源を要し、場合によっては各種調査が必要となることより、その評価例は各国においても現在まで2例<sup>(1)(2)</sup>しか存在しない特殊なケースである。

表 AW.1-ロジックツリーの検討レベル

検討レベル	課題の程度	検討方法
レベル1	ハザードへの影響度が小さい場合	TIが文献レビュー、経験に基づきモデルを評価し、コミュニティの分布を見積もる。
レベル2	ハザードに影響、意見の違いがある場合	TIがモデル提案者や関連の専門家と接触し、見解や根拠を聞き、コミュニティの分布を見積もる。
レベル3	ハザードにも影響、意見の違いあり、複雑な場合	TIがモデル提案者や関連の専門家を一同に集めて討論をもち、提案の改善、絞り込みを行い、コミュニティの分布を見積もる。
レベル4	同上(注)	TFIが専門家パネルを組織し、議論の焦点を絞る。各評価者のコミュニティ分布の見積りを引き出し、集約する。

TFI: Technical Facilitator/Integrator, TI方式の場合ピアレビューが必要  
(注)より組織的に実施する場合

【本体6.5.2】

AW.2 専門家活用水準 1 に相当するロジックツリー作成の例

専門家活用水準 1 に相当するロジックツリー作成の例として、蛭沢・青木の実施例<sup>(4),(5)</sup>に基づきロジックツリーの作成手法とその応用例を記述する。尚、対象項目のコミュニティ分布を評価し、ロジックツリーを作成する TI の役割は、これら文献の筆者が行った。

a) 評価手法開発の背景

原研では、原研東海、浜岡及び敦賀の各サイトの地震危険度の感度解析を行い、各サイトの地震危険度の特徴や重要因子を明らかにした。重要因子としては、どのサイトにも共通なものとして、地震動距離減衰式の選択とその不確かさを表す対数標準偏差の設定が挙げられた。一方、サイト固有のものとしては、浜岡サイトなどにみられるような地震空白域での地震の発生頻度を時間経過を考慮して評価するかどうか（更新過程か）などが挙げられた。これらの因子の不確かさによってもたらされる地震危険度の認識論的不確かさを評価する手法を開発する必要があった。

b) 不確かさ評価手法

評価手順を図 AW.1 に示す。まず、地震危険度の感度解析を行い、不確かさをもたらす重要因子を同定する。次いで、因子ごとに認識論的不確かさの範囲（物理量で表され得る場合は上限値、中間値、下限値、そうでない場合は複数の当該事項）を設定し、各因子の組み合わせを図 AW.2 に示すロジックツリーとして表す。さらに、組み合わせごとに地震危険度を評価し、各地震動レベルごとの超過発生頻度が対数正規分布すると仮定した上で、中央値及び対数標準偏差を求める。そして、これらの値を用い、所定の信頼区間の地震危険度を求める。

c) 地震危険度不確かさ評価で対象とする重要因子の同定方法

不確かさ評価では、地震危険度に大きな影響を及ぼす重要因子を対象とする。重要因子は、地震危険度評価手順内の種々の因子を対象とする感度解析結果から同定される。評価手順は、まず、対象サイト周辺で将来発生すると予想される地震の発生位置、マグニチュード及び発生頻度を歴史地震や活断層データなどを用いてモデル化する（地震発生モデル化）。次いで、それぞれの地震によってもたらされるサイトでの地震動を距離減衰を考慮して計算する（地震動計算のモデル化）。この場合、計算された値のまわりにばらつきを仮定するが、それが対数正規分布に従うとし、中央値は距離減衰式で計算された値、対数標準偏差は距離減衰式そのものが有する偶然的な不確かさの値とする。

d) 評価結果

地震危険度の感度解析から同定された重要因子とその設定範囲について敦賀サイトを例として表 AW.2 に示す。地震発生モデル化に係わるものとしては、地震域の設定、活断層の年平均変位速度の設定、地震の発生頻度の評価手法の選択、活断層長さからマグニチュードを評価する経験式の選択がある。一方、地震動計算のモデル化では、距離減衰式の選択がある。表 AW.2 の設定範囲を対象として、ロジックツリーを作成したところ、すべての組み合わせは 108 通りであった。これらの地震危険度の評価結果を図 AW.3 に示す。図から、

超過発生頻度は、2,000Gal の範囲で 1 桁から 2 桁以内にある。

【本体 6.5.3】



図 AW.1- 地震危険度の不確かさ評価手順

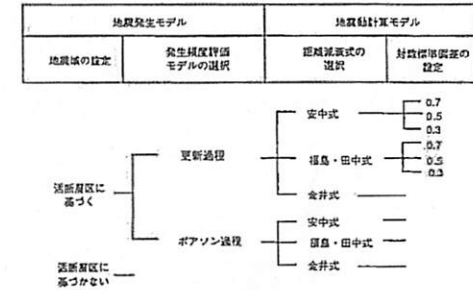


図 AW.2- 各重要因子に基づくロジックツリーの例

表 AW.2- 敦賀サイトでの重要因子と設定範囲

重要因子	設定範囲	
地震発生モデル	地震域の設定	歴史地震の震源位置とする1地震域を1つだけとする
	活断層の年平均変位速度の設定	活断層カタログ中の上限値、中間値、下限値
	地震発生頻度の評価手法の選択	ポアソン過程 非ポアソン過程
	断層長さからマグニチュードの関係式の選択	松田式 原田式
地震動計算モデル	距離減衰式の選択	金井式（適用限界内は一定値とする） 土研式と表式との組み合わせ 安中式

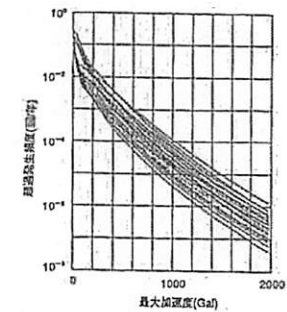


図 AW.3- ロジックツリーに基づく敦賀サイトでの各地震危険度

**AW.3 専門家活用水準2に相当するロジックツリー作成の例**

専門家活用水準2に相当するロジックツリー作成手順と、それに準拠して作成したロジックツリー及び地震動ハザード評価の例<sup>6)</sup>を示す。なお、この例は(財)原子力発電技術機構(以下、「機構」という)において実施されたものである。

**a) 専門家活用水準2に相当するロジックツリー作成手順**

専門家活用水準2に相当するロジックツリー作成手順の例<sup>7)</sup>は図AW.4に示すように11ステップからなる。作成手順の概要は次のとおりである。

**1) 対象サイトの地震関連情報の収集・分析**

対象サイトに関する各専門家の認識を共通なものとするために、地震関連情報はできるだけ広範囲でかつ詳細なものを用意する。

**2) 重要課題の特定**

1)の関連情報の収集・分析結果に基づき、不確定性の要因のうち重要課題を特定する。

**3) 専門家の選定**

2)の重要課題に関する専門家を選定する。選定に当たっては特定の専門分野に限定せず、いくつかの専門分野の専門家を選定する。

**4) TI(Technical Integrator)の選定**

専門家の意見の抽出・統合する重要な役割を果たすTIを選定する。

**5) 専門家の意見抽出方法の選択**

専門家の意見抽出方法としては、アンケート、インタビュー、グループ内の意見交換(少人数のワークショップも含む)などがあるが、アンケート調査方法で実施する。

**6) アンケート調査による専門家意見の抽出**

アンケート調査の設問は、具体的な回答が得られる設問とする。素案を示し修正を求める形式もある。自由回答ができるようにする。専門家の意見を収集する段階で、各専門家の意見が結果にどの程度影響するか感度解析を行い提示する。また、各項目の重み付けを依頼する。

**7) 専門家間の意見交換**

専門家間の意見の相違を明確にするため、議事進行役をTIに依頼し、専門家間の意見の交換を実施する。意見の相違を整理する上で、TIの役割は非常に大きい。6)から7)を2~3回程度繰り返し、意見を集約する。

**8) 暫定ロジックツリーの作成**

7)の意見集約結果に基づき暫定ロジックツリーを作成する。分岐の重みに関するアンケート調査結果から、各専門家がどの意見をどの程度支持しているのかを数字で把握する。ただし、単に平均をとるだけでなく、技術的な観点から重みを判断するという認識が必要である。

各専門家の意見を統合して最終的なロジックツリーの分岐と重みを設定する方法としては、次の2通りがある。

- ・地震動ハザード実施者が専門家の専門家の意見を参照して行う方法
- ・TIが行う方法

**9) 暫定ロジックツリーの専門家によるレビュー**

8)の暫定ロジックツリーのレビューを受ける。

**10) 最終に近いロジックツリーの作成**

9)の結果に基づき最終に近いロジックツリーを作成する。

**11) ロジックツリーの専門家によるレビュー**

**12) ロジックツリーの完成**

**b) 専門家意見の抽出・統合の例**

a)で示したロジックツリー作成手順に準拠し、対象サイトのハザード評価に大きな影響を及ぼす要因として次の2つの課題を設定し、不確定性評価のための専門家意見の抽出・統合を試行した。

(課題1) サイト周辺の地震域の分割方法及び活断層の選定条件について

(課題2) 距離減衰式の選定及びびばらつきの設定について

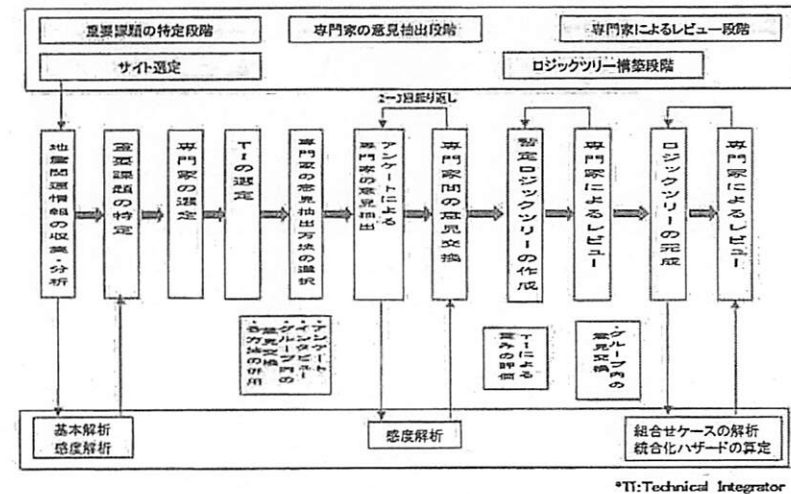


図 AW.4—専門家意見の抽出方法と作成手順の例<sup>6)</sup>

この試行例における実施者、TI及び専門家の役割分担は次のとおりである。実施者は、TIと専門家の選定、課題の設定、意見抽出のためのスケジュール管理、アンケートの作成・回収・整理、意見抽出プロセスの文書化などを行った。TIは、グループ討議の進行及び専門家意見の統合のプロセスに重要な役割を果たした。専門家は、アンケートやグループ討議において、課題に対する自分の意見を明らかにした。

1) サイト周辺の地震域の分割方法及び活断層の選定条件について  
地震域の分割方法及び活断層の選定条件に関しては、TIと5人の専門家を選定し、次に示すステップで専門家の意見を抽出・統合した(図AW.5及び図AW.6参照)。

① 第一回アンケート調査

対象とする課題について、専門家に具体的な意見を聴取した。アンケートの作成に当たっては、設問の選定理由や前提条件を明確に示した。また、回答がなるべく具体的なものとなるように設問を工夫する一方、自由回答欄を設けて、設問に対する回答だけでは得られない専門家意見を収集できるようにした。アンケートは、自由な意見を記述してもらうために匿名とした。

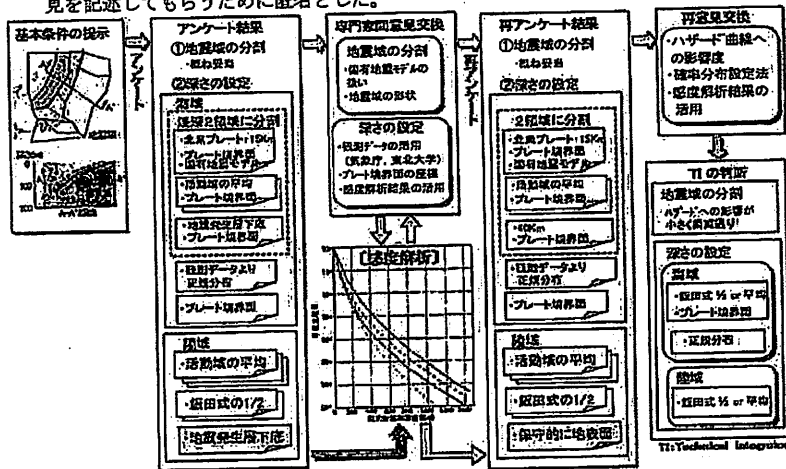


図 AW.5—専門家意見の抽出・統合の例(地震域の分割方法)<sup>(6)</sup>

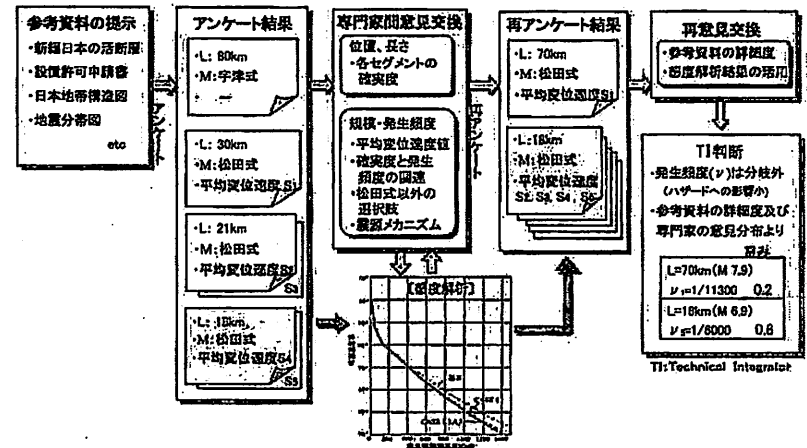


図 AW.6—専門家意見の抽出・統合の例(固有断層の位置と長さ,規模算定式,発生頻度)<sup>(6)</sup>

② 第一回グループ討議

専門家5人全員が参加し、TIが討議の進行役を務めた。グループ討議は、実施者による主旨説明、TIによる討議の目的と進め方の説明、各専門家による自分の意見の発表、課題ごとの討議、の順に進められた。課題ごとの討議では、第一回アンケート調査結果と、抽出された専門家の意見を基に解析条件を定めた地震動ハザードの感度解析結果を各専門家に配布し、TIが各課題に関して重要と思われる具体的な事項を各専門家に問いかける形で行われた。

③ 第二回アンケート調査

グループ討議に参加した5人の専門家に、第一回と同じ設問を繰り返し、5人全員が各自の第一回アンケート調査回答に対して何らかの追加・修正を行った。

④ 第二回グループ討議

第二回アンケート調査結果と、抽出された専門家の意見を反映した感度解析結果を討議の資料とした。グループ討議は、TIによる討議の目的と進め方の説明、各専門家による自分の意見の修正点の発表、TIによる課題ごとの傾向の分析、の順に進められた。

⑤ ロジックツリー作成

専門家の意見抽出結果と感度解析結果を基に、実施者がロジックツリーの分岐を設定し、TIが各分岐の重み付けをした。

2) 距離減衰式の選定及びばらつきの設定について

距離減衰式の選定及びばらつきの設定に関しては、TIと5人の専門家を選定し、次に示すステップで専門家の意見を抽出・統合した(図AW.7参照)。

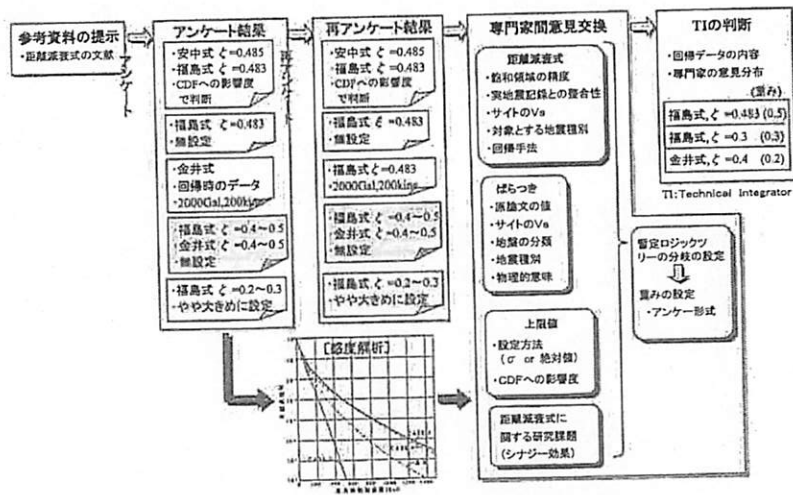


図 AW.7-専門家意見の抽出・統合の例 (距離減衰式の選定及びばらつきの設定)<sup>(6)</sup>

① 第一回アンケート調査

対象とする課題について、専門家に具体的な意見を聴取した。アンケートの作成における留意点は、地震発生モデルと同様である。

② 第二回アンケート調査

第一回アンケートの一次整理結果と第一回アンケート用紙（既に各自の回答が記入済みのもの）を各専門家に配布し、回答の追加・修正の有無をアンケートした。しかし、一部に追加意見の記入があったものの、ほとんど回答の変更は無かった。

③ グループ討議

第二回アンケート調査結果と、抽出した専門家の意見を反映した感度解析結果を各専門家に配布し討議の資料とした。TI が進行役を務め、各専門家の意見の相違点とその理由を確認するとともに、感度解析結果と照らしながら暫定的なロジックツリーの分岐を設定した。グループ討議は、実施者による討議の目的と進め方の説明、各専門家による意見の発表、ロジックツリーに関しての意見交換、の順で進められた。TI は、アンケート調査には参加せず、討議の場で専門家としての意見を述べた。

④ ロジックツリー作成 (第三回アンケート調査)

グループ討議で決められたロジックツリーの分岐に関する重みについて、各専門家にアンケート調査をし、それを基に TI が最終的な重みを設定した。

c) 地震動ハザードの不確かさ評価の例

ロジックツリーを用いた地震動ハザードの不確かさ評価の例<sup>(6)</sup>を図 AW.8 に示す。図中には、上記手順における専門家による意見の交換を行う前と後それぞれの地震動ハザード評価結果を示している。図から、意見集約後に不確かさが低減されていることが示されている。

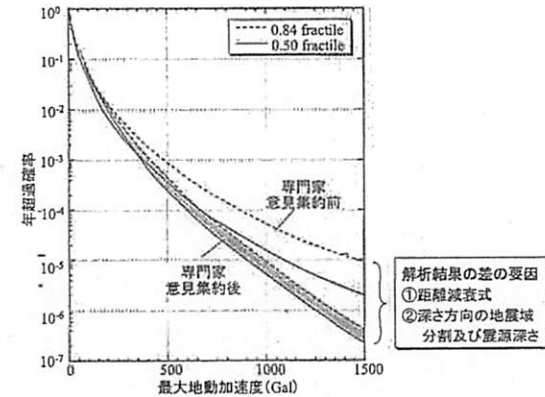


図 AW.8-専門家意見の集約前後の地震動ハザード曲線の比較<sup>(6)</sup>

【本体 6.5.3】

### AW.4 柏崎刈羽原子力発電所地震動ハザード評価のためのロジックツリー作成例

#### 序文

柏崎・刈羽原子力発電所の地震ハザードを評価した事例<sup>④</sup>から、ロジックツリーの作成概要を纏めた。

#### a) 地震動ハザード評価の概要

本地震動ハザード評価は、日本原子力学会(2007)の「原子力発電所の地震を起因とした確率的な安全評価実施基準」に準拠して、当該サイトの地震動ハザード解析を行うとともに、超過確率別スペクトルを算定し、基準地震動  $S_s$  と比較して超過確率を評価している。

地震動ハザード評価では、柏崎刈羽原子力発電所を対象とし、震源モデル及び地震動評価における不確かさ要因について、ロジックツリー(以下、「LT」という。)を作成し、基本パスを設定して感度解析を行い、各震源や不確かさ要因の影響を検討してLTのパスの絞り込むこととしている。さらに、この例では、基本パスの平均ハザードを用いて超過確率別スペクトル(一様ハザードスペクトル)を評価している。

地震動ハザード解析において、敷地周辺(概ね30km以内)の活断層に関する諸元は、事業者の調査結果に基づき設定し、他の活断層に対しては地震本部の長期評価の資料等に基づき設定している(図AW.9参照)。また、領域震源モデルは、地震本部が「震源を特定しにくい地震」の評価モデルを参考として設定している(図AW.10参照)。各震源モデルは、荒浜側と大湊側で共通としている。

地震動強さは、2007年新潟県中越沖地震で地震動強さが大きく異なった荒浜側と大湊側のサイトに分けて評価した。各震源の地震動評価には耐専スペクトルを用い、事業者が、荒浜側と大湊側の地震動観測記録に基づき評価したサイト補正係数を用いて、地震動の代表周期(8周期)について応答スペクトルを求めて、代表周期毎の地震動ハザードを評価している。

#### b) ロジックツリー作成の概要

この事例では、地震動ハザード評価において、評価の期間や評価内容の緊急性を考慮して、本実施標準に記載されたロジックツリー作成における技術的難易度及び専門家活用水準2に対応するとして評価している。

不確かさ要因として、震源モデル(特定震源モデル及び領域震源モデル)、地震動伝播モデル(スペクトル距離減衰式)の設定における認識論的不確かさをLTの分岐として展開している。分岐に展開した不確かさ要因さについて、対象サイトの地震動ハザード評価の難易度と、各不確かさ要因に対する調査内容の詳細度や情報量等(関連文献や調査資料の信頼度、評価対象への適用性、適用に対する専門家意見)参考に、各分岐に対する重み付けを行っている。各不確かさ要因に対するロジックツリーを図AW.11及び図AW.12に示す。

#### c) 地震動ハザード解析結果の概要

上記、モデルやロジックツリーを用いた地震動ハザード評価結果として、各サイト(荒浜側と大湊側)の全震源による地震動ハザード曲線図(LTの基本パス)と各主要特定震源における地震動ハザード評価の分析結果(比較図)を図AW.13及び図AW.14に示す。

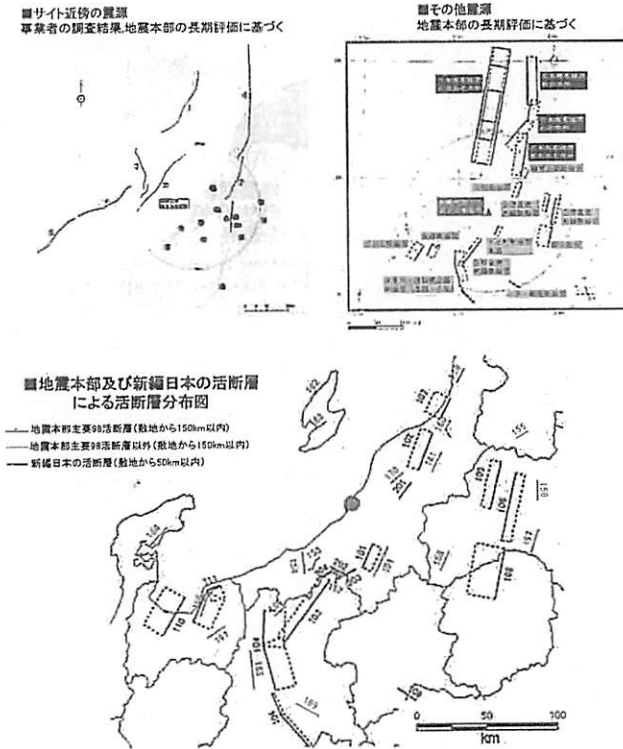


図 AW.9—敷地周辺の特定震源(活断層)の分布<sup>④</sup>

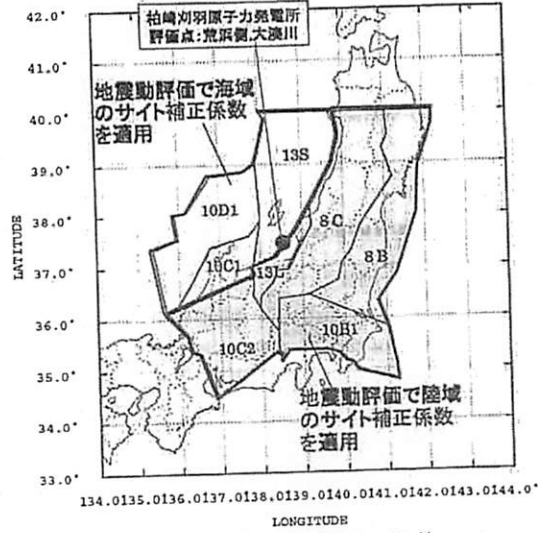


図 AW.10 - 領域震源モデル<sup>(9)</sup>

■ 特定震源(1)

[長岡平野西縁断層帯]

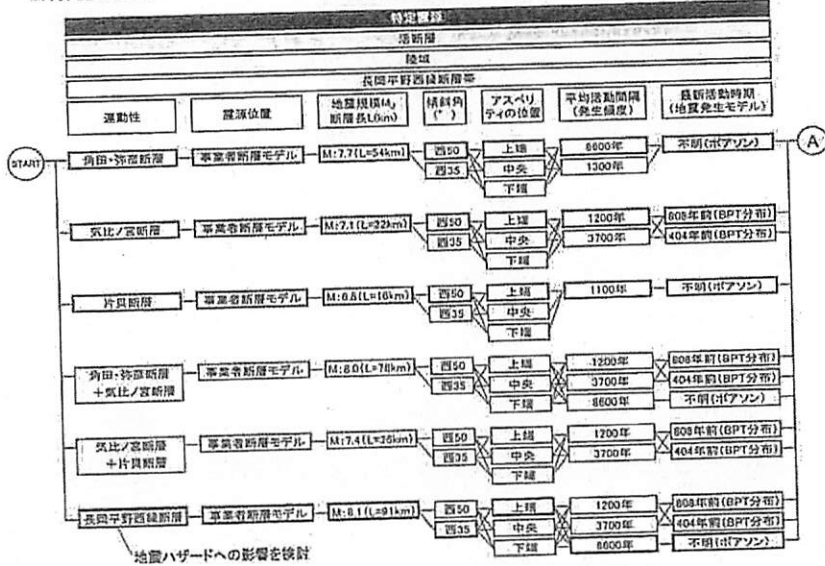


図 AW.11 (a) - LT 展開図 (特定震源モデル例)<sup>(9)</sup>

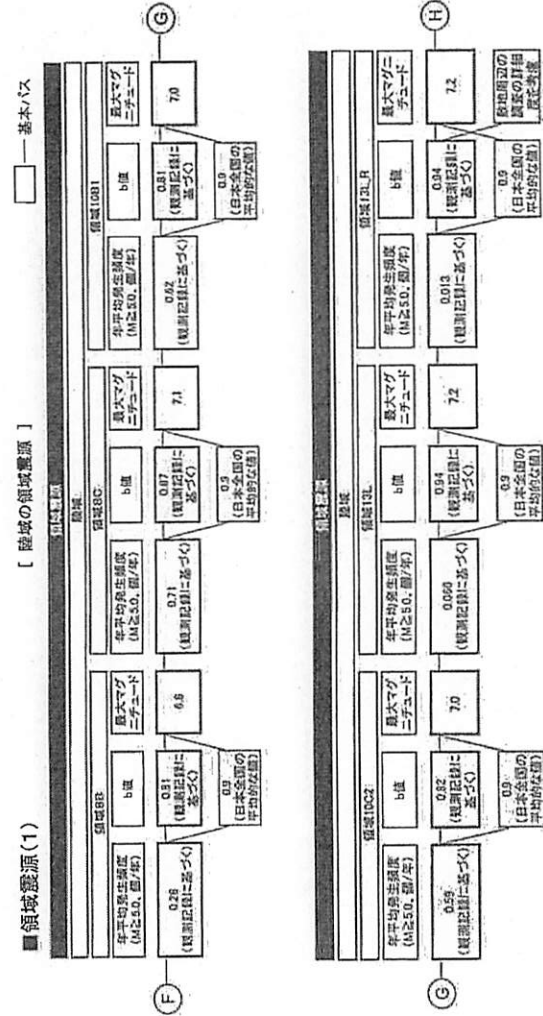


図 AW.11 (b) - LT 展開図 (領域震源モデル例)

数値的評価の信頼性の詳細や物理的性質を考慮して、震源を特定できない地震の最大マグニチュードを設定する。

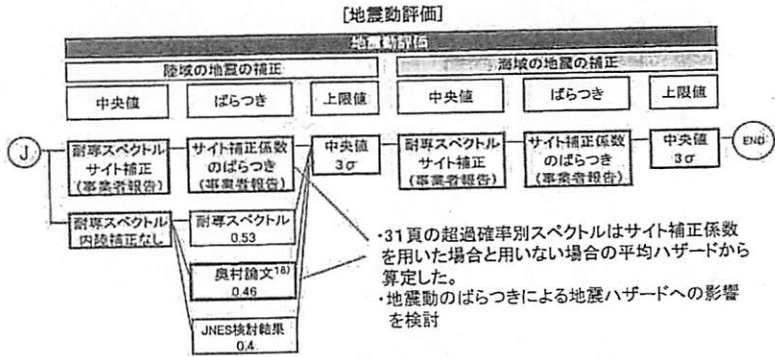


図 AW.12—LT 展開図 (地震動伝播モデル例)<sup>(8)</sup>

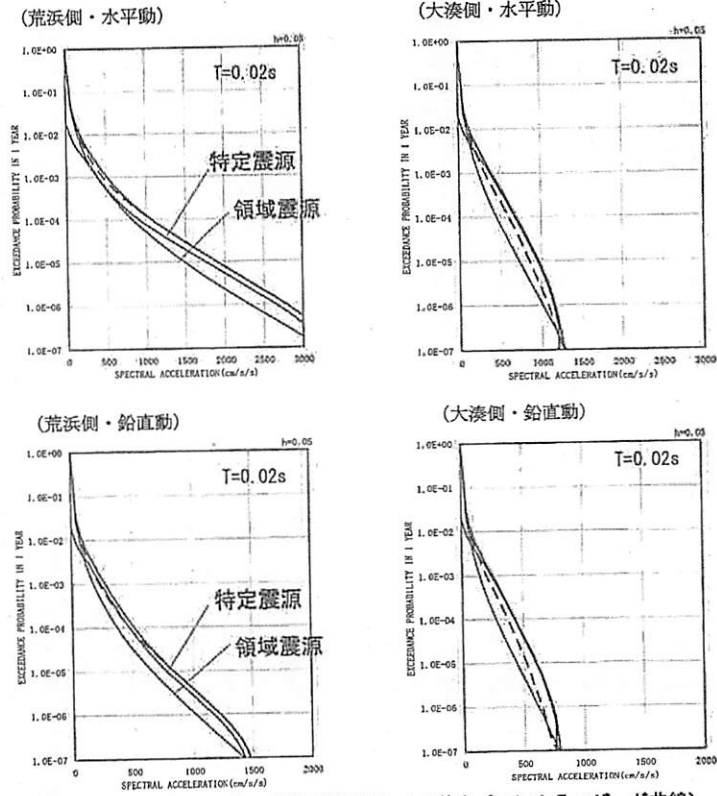


図 AW.13—地震動ハザード評価結果例 (LT の基本パスによるハザード曲線)

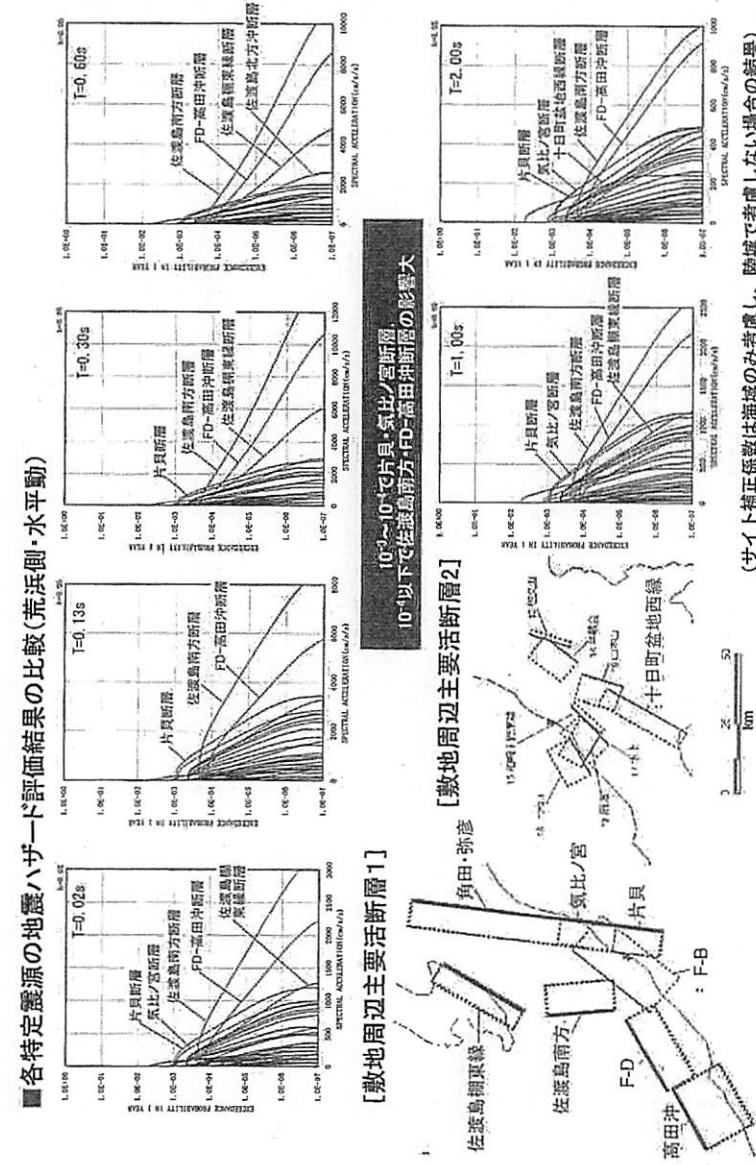


図 AW.14—各特定震源の地震動ハザード評価の結果例 (基本パスの評価結果)<sup>(8)</sup>

### AW.5 専門家活用水準3に相当するロジックツリー作成の例

専門家活用水準3に相当するロジックツリー作成手順と、それをを用いて作成したロジックツリー及び地震ハザード評価の例を示す。

ロジックツリーの作成例としてはユッカマウンテンプロジェクト<sup>(10)</sup>の地震ハザード評価結果を紹介する。

#### a) 概要

ネバダ州のユッカマウンテンにおける使用済核燃料及び高レベル放射性廃棄物の処分場を対象とした確率論的地震ハザード評価のプロジェクトであり、SSHACの定義によるレベル4の手順に準拠したものとなっている。レベル4のPRA研究であることから、認識論的不確定性の定量化に重きがおかれている。確率論的地震ハザード評価の期間は1994年から1998年まで約4年間である。

専門家による最新の実務的抽出プロセス、パラメータや案件に関する共通認識の確認、ワークショップでのデータや情報共有、基本的な解釈の基本となるオープンな情報交換が実施された。

レベル4が実施された理由として、評価の技術的複雑さ、従来ほとんど例のない確率論的断層変位可能性評価が必要であったこと、科学コミュニティを代表する様々かつ十分に広範な技術的解釈に基づく認識論的不確定性を反映させる必要があったこと、プロジェクトの重要性や規制の重要性が挙げられている。

#### b) 組織

図AW.15に示すように、プロジェクト管理組織の下に、①震源特性・断層変位、②地震動特性、③データ管理、④ハザード計算、の4つの技術チームが設置された。このうち、①の震源特性・断層変位と②の地震動特性の技術チームはTFIとして機能し、必要なデータや情報の特定～フィードバック～最終的な不確定性の評価という一連の流れにおけるワークショップの企画、主催、進行を行った。①のTFIチームは7名、また②のTFIチームは3名から成る。

①の震源特性・断層変位に関する専門家は、3名で構成される6つの専門家チームに分かれている。各チームは、Seismic Geology, Regional Tectonicsと当該地域の地震学の専門家の3名で構成されており、チームが一人の専門家のように振舞った。②の地震動特性の専門家は、経験的手法と数値計算手法に通じた6名と核爆発による地動の専門家1名の合計7名である。

また、参加型のピアレビュー方式が採用され、レビューパネルの4名のメンバーはすべてのワークショップに参加し、ワークショップにおいては非公式なコメントを提示し、各ワークショップの後では正式な推奨事項も提示している。

データ管理チームは、それまでの調査結果をはじめとする膨大なデータをデータベース化し、専門家が共通して用いることができるようにした。これは、専門家の意見の相違の大きな原因の一つが、ベースとなるデータの差異にあることから、これによる不確定性を

極力なくすためである。どのようなデータが必要かについては、第一回目のワークショップで専門家自らが特定した。

ハザード計算チームは、専門家の予備評価結果に基づくハザードを計算・提示してフィードバックに資するとともに、最終のハザード計算を行った。

#### c) 震源特性の評価のプロセス

震源に関する特性化の対象は、震源の形状、規模と発生頻度の関係、最大マグニチュードであり、それらに関して専門家チームによる不確定性を反映した代替モデルを構築することを目的としている。全体の作業は、図AW.16に示すように、合計6回のワークショップ（内1回は断層変位に関するもの）と1日の情報抽出ミーティングが行われ、各専門家チームは、重みを付与した代替モデルを作成した。

主たる論点としては、約100の活断層それぞれに関する評価（グルーピングや活断層と認めるかどうかなども含む）、地震活動域の設定とそこでの地震活動度の評価、火山性の地震の取扱いなどが挙げられた。

図AW.17にサイト近傍の活断層の分布とそれらに対するロジックツリー<sup>(11)</sup>を、図AW.18に地域の活断層の分布とそれらに対するロジックツリー<sup>(12)</sup>の一例を示す。また、図AW.19に各専門家チームによる活断層及び領域震源の累積年発生頻度とマグニチュードの関係を示す。

#### d) 地震動特性の評価プロセス

地震記録が少ない地域であるため、既往の距離減衰式や数値シミュレーションなどを通じて、「規模」「距離」「断層タイプ」「振動数」のマトリックスに対して、各専門家が地動の中央値とそのばらつき（偶然的な不確定性）、及び認識論的不確定性を評価する方法がとられた。代替案に対する重み付けの手順は2段階に分かれている。表AW.3に示すように、まずモデルが5つにクラス分けされ、それらの適用性についての判断に基づき各クラスに対して重みの評価を行う。次いで、規模、距離、断層タイプの各範囲に対し、対象地域への適用性に関する各モデルの強みと弱み評価に基づき、各クラス内の各モデルの重み付けを行う。したがって、一つのモデルでも、規模や距離によって異なる重みを与えることが可能となっている。

全体の作業は、図AW.16に示すように、3回のワークショップ、2回の実務ミーティング、及び1日の情報抽出ミーティングを通じて行われた。

主たる課題・論点は、当該地域に卓越する正断層型による地動評価、西海岸との減衰の違いなどであった。

#### e) 地震ハザード曲線

震源特性評価の6つの専門家チームと地震動特性評価の7人の専門家によるそれぞれの認識論的不確定性に関する解釈を踏まえた地震ハザード曲線を図AW.20に示す。平均値ハザードは中央値ハザードよりも大きく、両者の差異は、地動レベルの増加に伴って大きくなる。平均値ハザードと中央値ハザードの違いは、不確実さの分布形状の上側の裾野の影

響を反映していると解釈される。また、震源特性評価の6つの専門家チームごとの平均値ハザード曲線を図AW.21に示す。このハザード曲線の幅がユッカマウンテンPSHAにおける科学コミュニティの認識論的不確定性の程度と考えられる。

【本体 6.5.3】

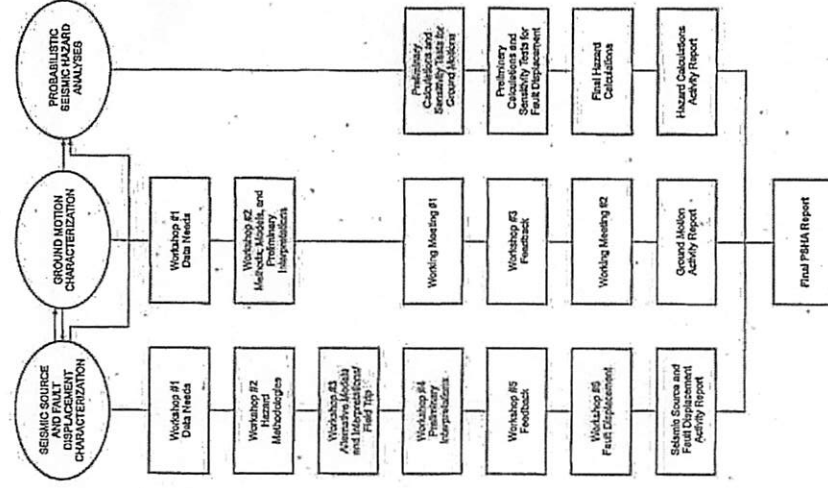
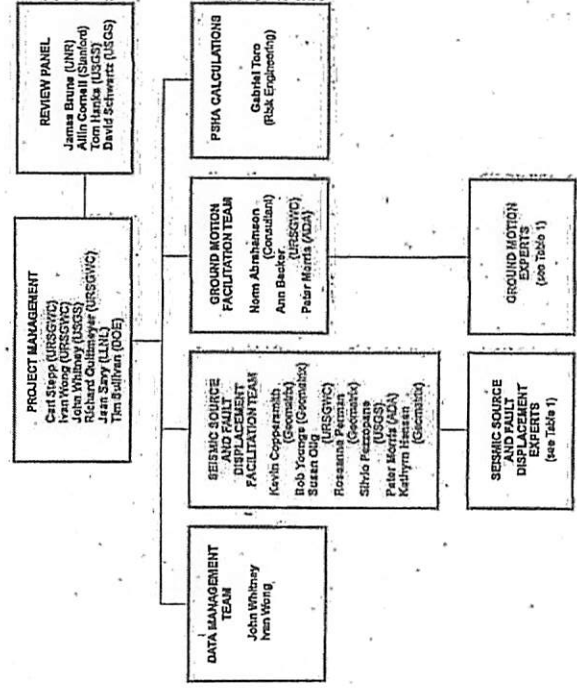


図 AW.16—評価プロセス



URS/GWIC – URS Greiner Woodward-Clyde  
 LLNL – Lawrence Livermore National Laboratory  
 UNR – University of Nevada, Reno  
 USGS – U.S. Geological Survey  
 ADA – Applied Decision Analysis

図 AW.15—評価プロジェクトの組織

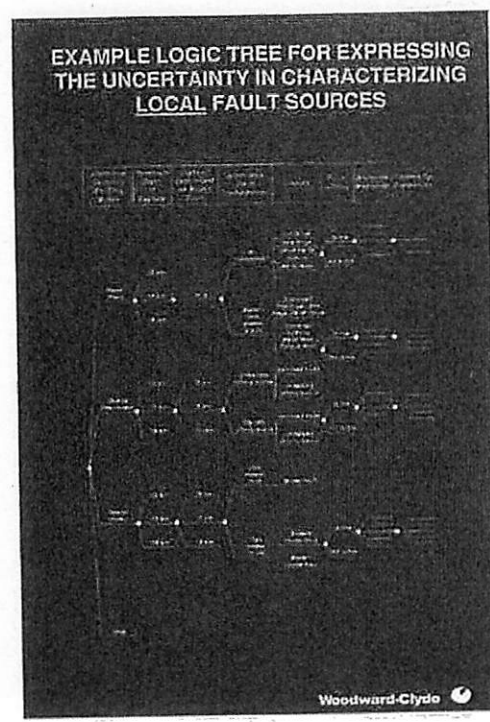
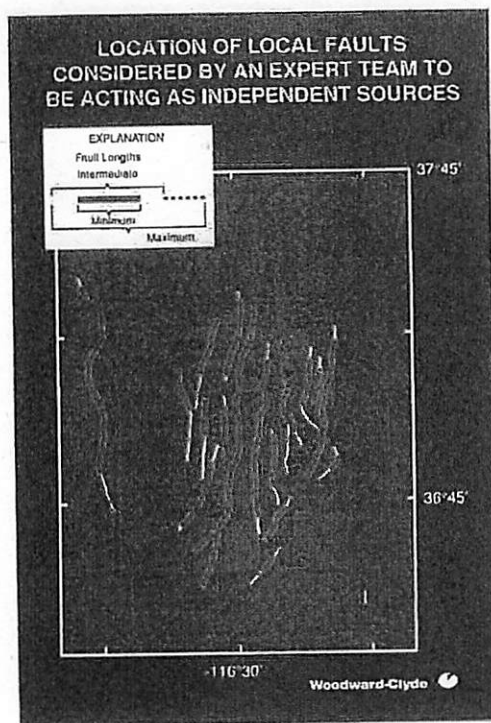


図 AW.17—サイト近傍の活断層の分布とそれらに対するロジックツリーの一例<sup>(11)</sup>

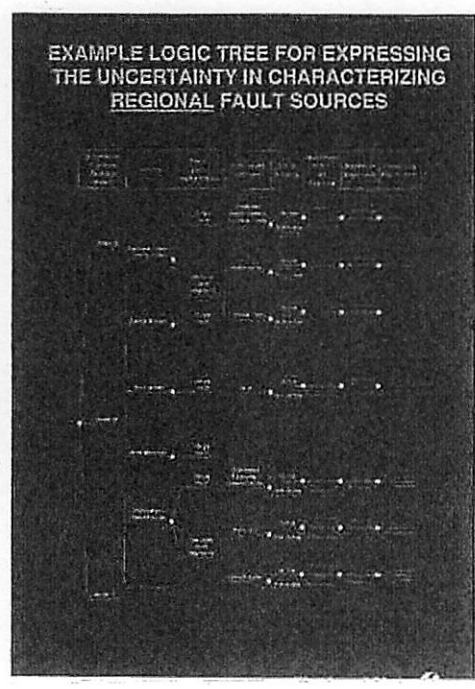
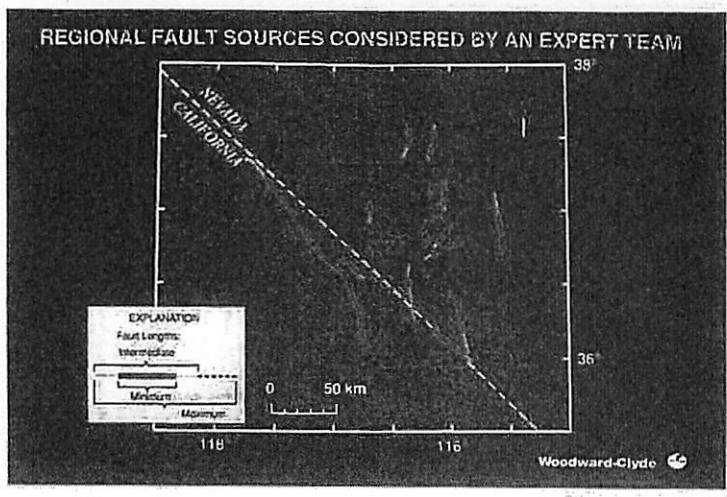


図 AW.18—地域の活断層の分布とそれらに対するロジックツリーの一例<sup>(11)</sup>

表 AW.3—地震動評価モデル<sup>(2)</sup>

Model Class	Proponent Models	Used For Final Estimates?
Empirical	Abrahamson and Silva (1997)	Yes
	Boore et al. (1997) (Va model)	Yes
	Boore et al. (1994) (Class A)	No
	Boore et al. (1994) (Class B)	No
	Campbell (1997) (Soft Rock)	Yes
	Campbell (1997) (Hard Rock)	No
	Campbell (1993, 1994)* (Hard Rock)	No
	Campbell (1990, 1994) (Soft Rock)	No
	Campbell (1990) (Soil, Soft Soil)	No
	Idriss (1993) (Rock, Stiff Soil)	Yes
	Idriss (written comm., 1997) (Rock, Stiff Soil)	Yes
	Joyner and Boore (1988) (Rock)	Yes
	Saigh et al. (1997) (Rock)	Yes
	Sabetta and Pugliese (1996) (Rock)	Yes
	Spudis et al. (1996) (Rock)	Yes
McGarr (1984) (Rock)	Yes	
Hybrid Empirical	Campbell (This Study)	Yes
	Silva (This Study)	Yes
	Somerville (This Study)	Yes
Finite Fault Simulation	Zeng and Anderson (This Study)	Yes
	Silva (This Study)	Yes
Point-Source RVT	Bennett Model 1 (J. Schneider, URSGWC, written communication, 1996)	No
	Bennett Model 2	Yes
	Bennett Model 3	No
Blat		No

\* Campbell (1994) is Campbell and Borzaga (1994).

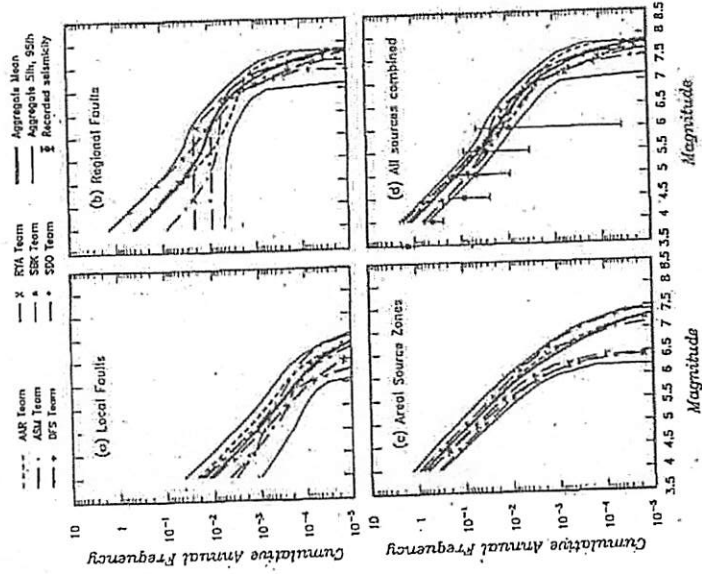


図 AW.19—累積年発生頻度とマグニチュード<sup>(2)</sup>

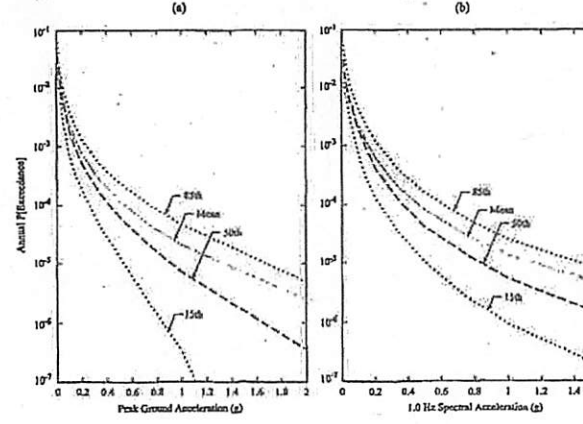


図 AW.20—フラクタルハザード曲線<sup>(2)</sup>

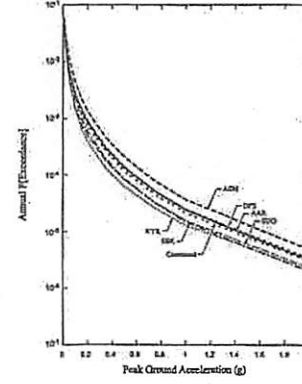


図 AW.21—各専門家チームによる平均値の地震動ハザード曲線<sup>(2)</sup>

AW.6 糸魚川-静岡構造線活断層系を対象としたロジックツリー

専門家水準3によるロジックツリーの作成事例として、隈元ほか(2007)<sup>(12)</sup>によって、糸魚川-静岡構造線活断層系を対象とした長大活断層帯から発生する地震の規模予測の不確定性に着目した検討がなされている。

ロジックツリーの作成手順は、本実施基準と同等の(独)防災科学技術研究所(2004)<sup>(13)</sup>の「地震動予測地図の工学利用-地震ハザードの共通情報基盤を目指して-」を則って行われている。ロジックツリーの構築と各 Path (経路) の重みの設定は、独立行政法人・原子力基盤安全機構による委託研究「不確定性評価手法の整備に関する検討」の中で、アンケート調査及びパネル (専門家で構成される検討会) によって実施されている。

パネルの専門家 (Technical Integrator; TI) は計6名で編成され、専門家の主たる研究分野は、活断層3名、強震動1名、構造地質1名、地震統計1名である。また、専門家を代表して1名が取り纏め役 (Technical Facilitate Integrator; TFI) としてロジックツリーの纏める役を担った (今回の検討では隈元准教授・岡山大学が TFI)。なお、パネルでは、日本原子力学会・標準委員会・発電炉専門部会・地震 PSA 分科会の手順案 (難波私信) での考え方に参考に、3回のアンケート調査と5回の検討会が行われた。

アンケート調査結果及び検討会での討議の結果、地震の規模予測に関連する認識論的不確定性の評価項目として、以下の4つの分岐項目を設定してロジックツリーを構築 (図 AW.22) された。

- (1) セグメント形状 (分岐設定は2)
- (2) 連動シナリオ (分岐設定は21)
- (3) 地震規模推定式 (分岐設定は3)
- (4) 連動時の地震規模評価手法 (分岐設定は2)

各ロジックツリーの分岐項目において、TI 個人の考え方に基づき重み (Personal Weight; PW), TI が各研究分野の動向を踏まえて推定したコミュニティの重み (Estimated Community Weight; ECW), TI の意見をもとにした TFI の判断による重み (TFI judgement) がなされた。ただし、重み付けの作業過程において、「あくまで現段階の限られた情報に基づく重みの設定であること」や「専門家パネルの匿名性の保持」など留意すべき意見が付帯されていることに留意する。重み付けの例として、「(1) セグメント形状の分岐項目」における分岐形状の設定と重みの分布を図 AW.23 に示す。なお、ロジックツリーのパスは計216であり、これを基に松本市を評価地点とした地震ハザード解析結果を図 AW.24 に示す。

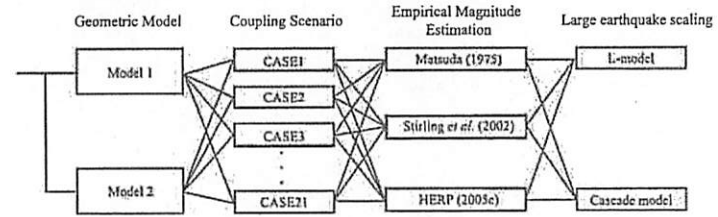


図 AW.22-糸魚川-静岡構造線活断層系の規模評価に関するロジックツリー<sup>(12)</sup>

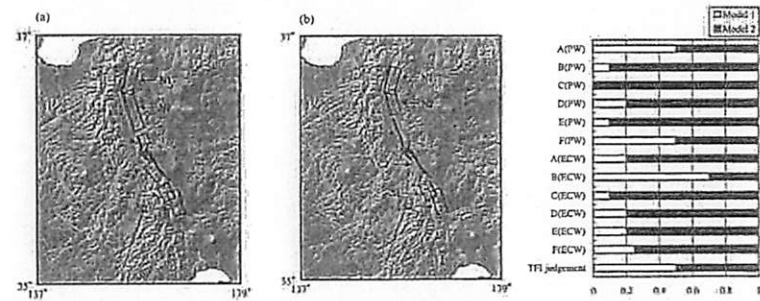


図 AW.23-糸魚川-静岡構造線活断層系の2通りの形状設定 ((a) 形状設定1, (b) 形状設定2) と専門家パネルにおけるセグメントの形状設定に関する重みの分布 (PW: TI 個人の重み, ECW: TI が推定したコミュニティの推定重み)<sup>(12)</sup>

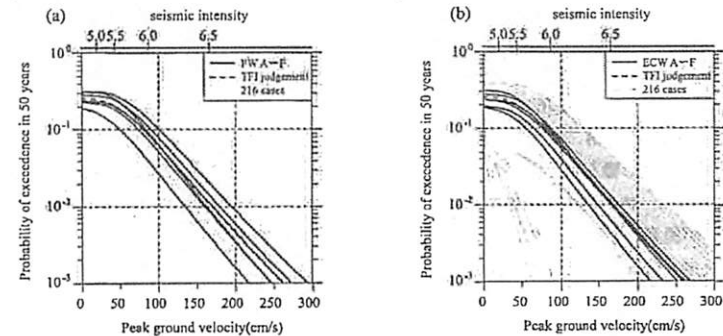


図 AW.24-松本市におけるハザードカーブの比較, (a) ロジックツリーの216通りの Path と TI 個人および TFI の判断による重みを考慮した計算結果, (b) ロジックツリーの216通りの Path と TI が推定した活断層コミュニティの推定重み, および TFI の判断による重みを考慮した計算結果<sup>(12)</sup>

#### AW.7 地震動ハザード評価のための専門家パネルによるロジックツリーの構築

東北地方の原子力発電所計画地を対象として専門家パネルにより導入した例<sup>(14)</sup>を以下に示す。

##### a) 概要

東北地方の原子力発電所計画地を対象として事業者自ら日本原子力学会の手順案<sup>(15)</sup>の専門家活用水準3を参考にして専門家パネルにより導入しロジックツリーの構築を実施した事例である。

##### b) 組織

図 AW.25 に示すように専門家パネルを設置し、TI(technical Integrator)を選定し、TIの進行により専門家の意見交換を進めている。地震および地震動に関する2つの検討会を編成し、地震に関する検討会は4名、地震動に関する検討会は5名の専門家で構成している。専門家は7名で構成され2名は両検討会の構成員となっている。なお、評価者は検討会用資料作成等の事務局としての機能のみをもつ体制としている。

##### c) 評価プロセス

図 AW.26 に示すように、三回の検討会を開催している。第二回は地震および地震動の検討会を個別に開催しているが、第一回と第三回は合同検討会としている。また、検討会での議論を効率的に進めるため、事前にアンケートや感度解析を実施している。

最後に、最終的な地震動ハザード評価結果を専門家に報告し、最終ロジックツリーについて専門家の合意確認を行っている。

##### d) ロジックツリーの評価過程

評価者が第一回検討会の事前資料として図 AW.27 に示す認識論的不確実さを有する項目の重要なものに対して感度解析を実施し、影響の大小を示す参考資料として整理している。

ロジックツリーの初期モデルとして144ケースを想定していたが、第二回の検討会においてロジックツリーは24,768ケース(領域震源288, 特定震源1, 地震動評価86ケース)と大幅に増加した。第二回アンケート調査及び感度解析の結果から、地震動ハザードの評価結果にあまり影響を与えないと判断される分岐を省略したロジックツリー1376ケース(領域震源16, 特定震源1, 地震動評価86ケース)を評価者が提案した。

評価者が提案したロジックツリーを基に、第三回検討会では全ての分岐の最終確認及び重みを決定し図 AW.28 に示す最終ロジックツリーである1824ケース(領域震源24, 特定震源1, 地震動評価76ケース)が決定された。

##### e) 地震動ハザード評価

図 AW.29 に最終の地震動ハザード評価結果を示す。全ケースの地震動ハザード曲線は広く分布しており、これは認識論的不確実さを有する項目を可能な限り抽出した結果と考えられる。一様ハザードスペクトルでは、周期0.5s付近及び2s付近にピークがあり、これは観測記録を用いて距離減衰式を補正する方法に重みが置かれた結果と考えられる。

##### f) 専門家パネルを有効に活用するための留意事項

専門家パネルによるロジックツリーの構築例<sup>(14)</sup>では、専門家パネルを有効に活用するための工夫として以下の項目を挙げている。

- ・専門家パネルでは合同で意見交換を行う方がより充実した議論ができる。
- ・アンケート調査において、できるだけ具体的な質問を設定することで、専門官の意見を的確に反映できる。
- ・アンケート調査については、TIもアンケートに回答することで議論を効率的に進めることが可能となる。
- ・アンケート調査や議論に際し、専門家の確信度を表明することで重みづけの参考となる。

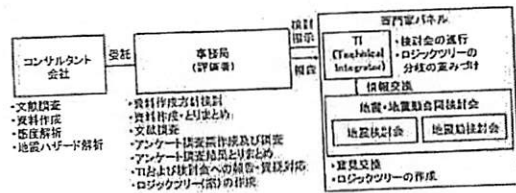


図 AW.25—ロジックツリー構築のための組織<sup>(14)</sup>

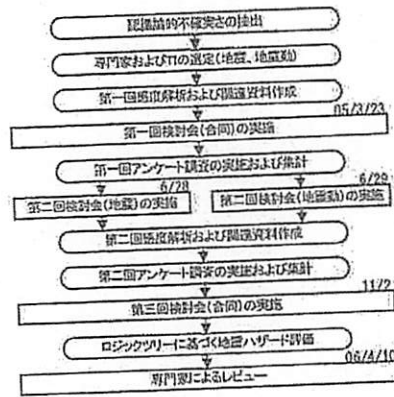


図 AW.26—専門家パネルによるロジックツリー構築の手順<sup>(14)</sup>

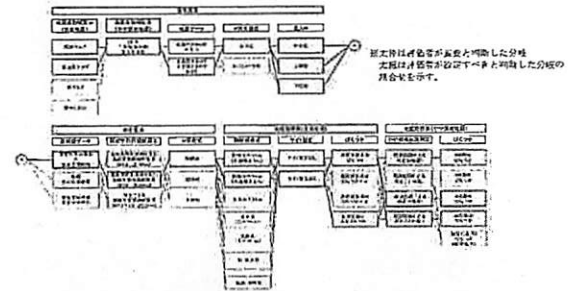


図 AW.27—認識論的不確実さを有する項目の抽出<sup>(14)</sup>

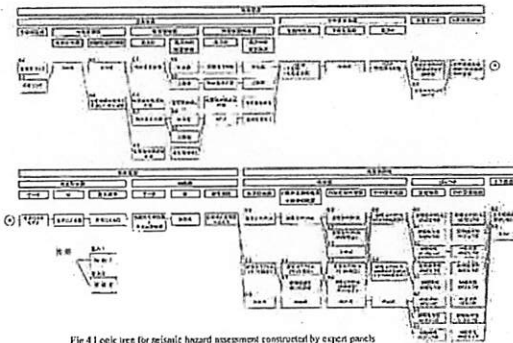


Fig 4 Logic tree for seismic hazard assessment constructed by expert panels

図 AW.28—専門家パネルによる最終ロジックツリー<sup>(14)</sup>

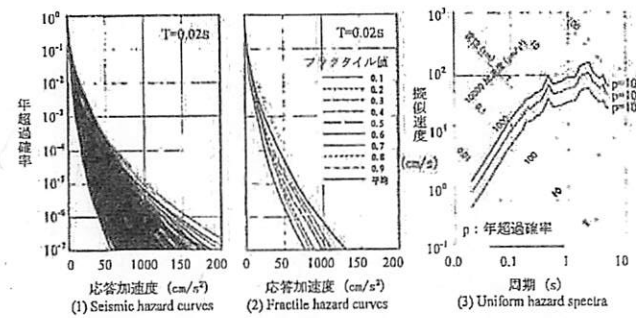


図 AW.29—地震専門家パネルによる地震ハザード評価結果<sup>(14)</sup>

**AW.8 活断層の連動に関するロジックツリー作成における留意事項**

既往の地震動ハザード評価において、活断層の連動に関して不適切なロジックツリーが用いられている例がある。その例を図 AW.30 に示す。角田・弥彦断層、気比ノ宮断層、片貝断層という3つのセグメントから構成される長岡平野西縁断層帯について、6つの分岐が考慮されており、各分岐が1つの震源モデルとしてハザード曲線が評価されている。これは、3つのセグメントが連動する場合に発生する6種類の地震をそのまま分岐としたものであり、分岐は相互に排他的なものを設定しなければならないというロジックツリーの趣旨に反している。特に上の3つの分岐は、他の2つの地震の発生がないとしたものであり、ハザードが過小評価となっている。

連動破壊モデルとして6種類の地震が実際に発生すると考えているのであれば、それは1つの分岐とし、6種類の地震の発生頻度あるいは発生確率を分岐の中の確率モデルとして処理しなければならない。そのためには、6種類の地震の発生頻度を定めるモデルが必要である。例えば、3つのセグメントの平均破壊間隔が同じとし、下記の4つのサイクルが等確率で発生すると仮定すれば、6種類の地震の平均発生頻度が決まる。

・連動破壊モデル：各種の組み合わせで活動する

- サイクル①：角田・弥彦断層、気比ノ宮断層、片貝断層
- サイクル②：角田・弥彦断層+気比ノ宮断層、片貝断層
- サイクル③：角田・弥彦断層、気比ノ宮断層+片貝断層
- サイクル④：角田・弥彦断層+気比ノ宮断層+片貝断層

連動破壊モデルに対して分岐になりうるものは、破壊パターンが固定している固定破壊モデルであり、下記の4つのパターンが考えられる。

- 固定破壊モデル①：角田・弥彦断層、気比ノ宮断層、片貝断層が別々に破壊
  - 固定破壊モデル②：角田・弥彦断層と気比ノ宮断層が同時、片貝断層が別に破壊
  - 固定破壊モデル③：角田・弥彦断層が別、気比ノ宮断層と片貝断層が同時に破壊
  - 固定破壊モデル④：角田・弥彦断層、気比ノ宮断層、片貝断層の3つが同時に破壊
- なお、同様の指摘は Abrahamson (2000)<sup>(46)</sup> でも行われている (図 AW.31)

■特定震源(1)

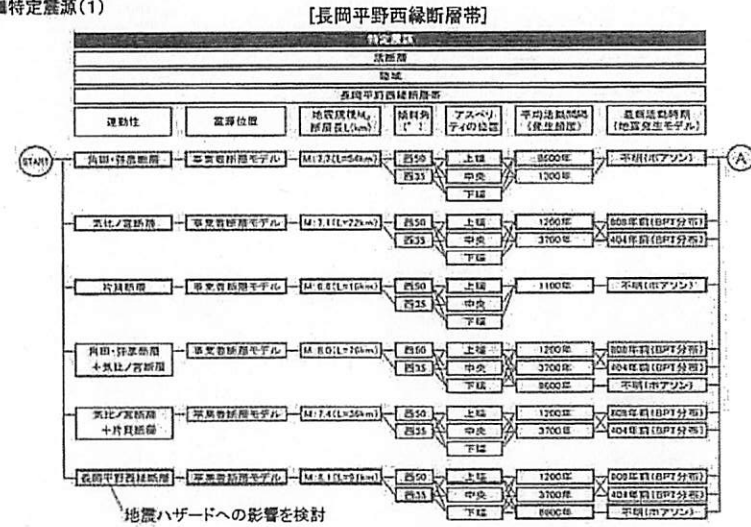
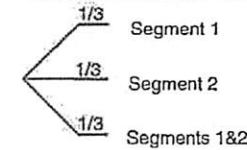


図 AW.30-JNES の検討で用いられていたロジックツリー<sup>(9)</sup>

Incorrect Use of Logic Tree Branches:



Correct Use of Logic Tree Branches:

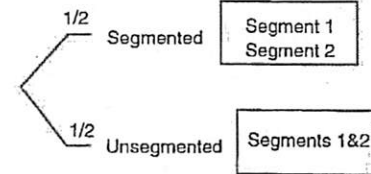


Figure 8: Example of misunderstanding of the branches in logic trees for fault segmentation.

図 AW.31—Abrahamson (2000) による指摘

**AW.9 専門家意見の抽出方法**

専門家意見の抽出方法には、「専門家独自の意見の抽出」と「専門家間の意見交換」を組み合わせた方法が有効である。前者に対しては、アンケート又はインタビュー方式、後者に対しては、専門家間の討議（少人数のワークショップも含む）が標準的な方法である。

**a) アンケート調査による専門家意見の抽出**

アンケート調査によって専門家意見を抽出するには、次に示す項目に留意して実施することが望ましい。

- 1) 質の高い情報の提供と回答項目を設定する。
- 2) 適切な文章解説表現によって誤解や曖昧回答を回避し、具体的な回答が得られる設問とする。
- 3) 自由回答欄を設け多様な意見を抽出する。
- 4) 専門家の意見を収集する段階で、各専門家の意見が結果にどの程度影響するかを、感度解析を行い提示する。

**b) 専門家間の討議による専門家意見の抽出**

専門家間の討議を円滑に進め、専門家意見を効率的に統合する方法を次に示す。これらの観点に留意して、専門家意見を抽出することが望ましい。

- 1) 適切な人数（6～8名程度）で、複数回意見交換を行う。
- 2) アンケート結果などに基き要点・論点を整理した情報と素案を提示する（デルファイ法の適用）。
- 3) 感度解析結果による影響の小さい意見を削除し、意見の統合を図る。
- 4) 意見交換において強制を伴わない。
- 5) 理学情報を重視して課題を分析し、最終的に工学判断によってモデルを設定するプロセスについて専門家間の合意を得る。
- 6) 意見交換プロセスの透明性・説明性を確保する。
- 7) 最後まで意見集約しない項目を明確化する。

**参考文献**

- (1) Practical Implementation Guidelines for SSHAC Level 3 and 4 Hazard Studies, (NUREG-2117, U.S.NRC, April 2012)
- (2) J. Carl Stepp, et al., "Probabilistic Seismic Hazard Analyses for Ground Motions and Fault Displacement at Yucca Mountain Nevada", Earthquake Spectra, Vol 17, No.1, February 2001
- (3) N. Abrahamson, et al., "PEGASOS-A Comprehensive Probabilistic Seismic Hazard Assessment for Nuclear Power Plants in Switzerland", 12th European Conference on Earthquake Engineering, 2002
- (4) 蛭沢勝三, 青木琢磨, "確率論的地震危険度の不確実さ評価手法の開発と応用—手法開発—", 日本原子力学会 1997 年秋の大会, 予稿集 H6, pp.561.

- (5) 蛭沢勝三, 青木琢磨, "確率論的地震危険度の不確実さ評価手法の開発と応用—手法の応用—", 日本原子力学会 1997 年秋の大会, 予稿集 H7, pp.562.
- (6) (独) 原子力安全基盤機構, "地震ハザードの不確実性評価におけるロジックツリーの概要", 原子力安全基準・指針専門部会 耐震設計検討分科会 地震・地震動ワーキンググループ, 平成 16 年 4 月 28 日
- (7) 蛭沢勝三, "JNES における地震ハザード評価手法とロジックツリーの活用", (独) 原子力安全基盤機構地震ハザードワークショップ地震ハザード評価における不確実性の認識と克服—ロジックツリーの活用—予稿集, p.2-1~2-30, 平成 16 年 4 月 27 日.
- (8) Kameda, et al., "Study on Methodology of Seismic Hazard Evaluation in Japan", OECD/NEA Workshop on Seismic Risk, Tokyo, August 1999
- (9) 独立行政法人原子力安全基盤機構, "柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動 Ss に関するクロスチェック解析報告", 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会地震・津波, 地質・地盤合同ワーキンググループ, 合同 W21-2, 平成 20 年 11 月 6 日.
- (10) J. Carl Stepp, et al., "Probabilistic Seismic Hazard Analyses for Ground Motions and Fault Displacement at Yucca Mountain, Nevada", Earthquake Spectra, Vol 17, No.1, February 2001
- (11) Paul Somerville, "Treatment of Uncertainty in Earthquake Source and Strong Ground Motion Characteristics at Yucca Mountain", (独) 原子力安全基盤機構地震ハザードワークショップ地震ハザード評価における不確実性の認識と克服—ロジックツリーの活用—予稿集, p.4-1~4-75, 平成 16 年 4 月 27 日.
- (12) 隈元 崇・藤田雅俊・下橋 優・栗山雅之 (2007): 長大活断層から発生する地震の規模予測の不確実性に対するロジックツリー評価手法の応用事例 —糸魚川-静岡構造線活断層系を対象として—, 活断層研究, 27 号, 95-111.
- (13) 独立行政法人防災科学技術研究所, 2004, 地震動予測地図の工学利用—地震ハザードの共通情報基盤を目指して—, 防災科学技術研究所研究資料, 第 258 号, [http://www.j-shis.bosai.go.jp/j-map/result/tn\\_258/index.html](http://www.j-shis.bosai.go.jp/j-map/result/tn_258/index.html), 2013/10/10.
- (14) 坂本大輔, 仲田満也, 石田寛, 鳥澤一晃, 大塚康弘, 池田 孝, "地震ハザード評価のための専門家パネルによるロジックツリーの構築", 第 12 回日本地震工学シンポジウム(2006)
- (15) (社) 日本原子力学会: 原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価手順: 200X(案), (社) 日本原子力学会標準, AESJ-SC-P00X:200X, 2006
- (16) Abrahamson, N.A. "State of the practice of seismic hazard evaluation." Proceedings of GeoEng. 2000, Melbourne, 19-24 November 2000, vol. 1, 659-685.

**【本体 6.5.3】**

附属書 AX  
(参考)

地震の発生頻度評価手法の取扱い

序文

この附属書は、箇条 6 における地震の発生頻度評価手法の取扱いに係る次の 2 つの項目を記載する。

- ・ AX.1 評価対象期間の設定の違いに対応する発生頻度の評価手法
- ・ AX.2 超過確率と超過頻度の変換

AX.1 評価対象期間の設定の違いに対応する発生頻度の評価手法

地震ハザード評価では、地震動の強さとその年当たりの超過頻度との関係を地震ハザード曲線として求める。年当たりの超過頻度の求め方には、図 AX.1 に示すように、次の 3 通りの方法が挙げられる。

- ① 評価時点後  $t$  年間の平均発生頻度に基づく超過頻度から等価な年超過頻度を求める方法
- ② 評価時点の地震発生頻度に基づく年超過頻度を用いる方法
- ③ ポアソン過程による平均的な地震発生頻度に基づく年超過頻度を用いる方法

地震ハザードは、評価サイト地震動の強さ  $Y$  が  $t$  年間に  $y$  を超える確率（超過確率）を地震ハザード曲線（ $y$  と  $y$  を超える確率の関係）として算定する。すなわち、評価地点において、その周辺で発生する地震（又は地震群）によって  $t$  年間に少なくとも 1 回地震動の強さが  $y$  を超える確率を算定することとなるが、これは、評価地点の周辺で発生するいずれの地震（群）によっても地震動の強さが  $y$  以下である確率を 1 から引くことによって、次式で評価される。

$$P(Y > y; t) = 1 - \prod_k \{1 - P_k(Y > y; t)\} \quad (\text{AX-1})$$

式(AX-1)の右辺の  $P_k(Y > y; t)$  は、 $k$  番目の地震（群）による地震動の強さが  $t$  年間に少なくとも 1 回  $y$  を超える確率であり、次のように評価される。

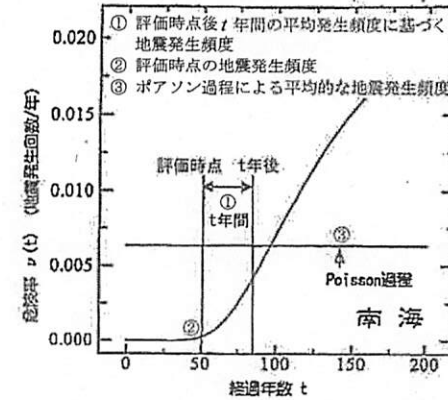


図 AX.1 一年当たりの超過頻度の求め方(模式図) (1)

a) 地震の発生間隔を更新過程で評価する場合(1) (①に対応する手法)

地震の発生間隔の更新過程によるモデル化では、地震発生間隔を確率分布として評価し、最新の地震の発生年から評価の対象とする年までの経過期間 ( $T$  年) を用いて、今後の  $t$  年間に地震が発生する確率を評価する。  $P_k(Y > y; t)$  は次式で評価される。

$$P_k(Y > y; t) = P(E_k : t) P(Y > y | E_k) \quad (\text{AX-2})$$

ここで、 $P(E_k : t)$  は  $k$  番目の地震  $E_k$  が  $t$  年間に発生する確率で、BPT 分布などによって地震発生間隔の確率分布を仮定して算定する。 $P(Y > y | E_k)$  は、地震  $E_k$  が発生したときに地震動の強さが  $y$  を超える確率で、本体 6.4 で示した地震動伝播モデルによって評価された地震動強さの確率分布より算定される。

b) 地震の発生間隔を更新過程で評価する場合(2) (②に対応する手法)

評価時点の発生頻度を用いる方法では、上記の a) において、 $t=1$  とした上で、式(AX-2)で地震活動モデルを計算する。

c) 地震の発生間隔を定常ポアソン過程で評価する場合 (③に対応する手法)

地震の発生間隔の定常ポアソン過程によるモデル化では、今後の  $t$  年間に地震が発生する確率を評価する。  $P_k(Y > y; t)$  は次式で評価される。

$$P_k(Y > y; t) = 1 - \exp\{-\nu_k(Y > y) \cdot t\} \quad (\text{AX-3})$$

ここで、 $\nu_k(Y > y)$  は  $k$  番目の地震によって地震動の強さが  $y$  を超える年あたりの頻度で、次式で算定される。

$$\nu_k(Y > y) = \nu(E_k) P(Y > y | E_k) \quad (\text{AX-4})$$

ここで、 $\nu(E_k)$  は  $k$  番目の地震  $E_k$  の年発生頻度である。

上式で算定される地震ハザード曲線は、 $t$  年超過確率で算定されることになる。ポアソン

ン過程に基づく平均発生頻度を用いる方法では、すべての地震活動モデルに対して式(AX-3)を用いて計算を行う。

【本体 6.6.1】

### AX.2 超過確率と超過頻度の変換

地震 PRA で算定される CDF は 1 年当たりの頻度であることから超過頻度で表現している。これを超過確率に変換する場合には次の方法で行う。具体的には、式(AX-5)で算定される  $t$  年超過確率  $P(Y > y; t)$  と同じ値を与えるような等価な 1 年あたりの超過頻度  $\bar{\nu}(Y > y)$  を次式によって算定する。

$$P_t(Y > y; t) = 1 - \exp\{-\bar{\nu}(Y > y) \cdot t\} \quad (\text{AX-5})$$

これを変換すると次式となる。

$$\bar{\nu}(Y > y) = -\frac{\ln(1 - P(Y > y; t))}{t} \quad (\text{AX-6})$$

絶対値が大きい場合（数百分の 1 程度）には変換精度に留意する必要がある。

【本体 6.6.1】

### 参考文献

- (1) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会 長期評価部会, “(改訂試案) 長期的な地震発生確率の評価手法について”, 平成 11 年 1 月 13 日

## 附属書 AY

(参考)

### 地震ハザード曲線の評価の取扱い

#### 序文

この附属書は、箇条 6 におけるハザード曲線の評価の取扱いに係わる次の 5 つの項目を記載する。

- ・ AY.1 地震ハザード曲線群の評価手法
- ・ AY.2 地震ハザード曲線群における任意地震動強さでの分布形状の特性値（平均値、中央値）の求め方
- ・ AY.3 地震ハザード曲線の重み手法
- ・ AY.4 フラクタイル値と地震ハザード曲線群の総数
- ・ AY.5 アグリゲートハザード曲線

#### AY.1 地震ハザード曲線群の評価手法

地震ハザード曲線群の評価手法としては、ロジックツリーの全分岐について地震動ハザード曲線を求める手法とモンテカルロシミュレーションによって地震動ハザード曲線を求める方法の 2 つの方法がある。

##### a) ロジックツリーの全分岐について地震ハザード曲線を求める手法

この手法では、ロジックツリーの全分岐に対応した地震ハザード曲線を求める。そして、Best Estimate ハザード（各分岐に最良ブランチを設定した場合のハザード）、ロジックツリーの分岐内で最も安全側（又は危険側）となる分岐の抽出など、特定のパスの分析が可能である。ただし、分岐数や各分岐における分岐数によっては、地震ハザード曲線の数が膨大になり、評価が現実的に不可能となる場合もあることから、評価に先立ちパス数の把握が重要となる。

ロジックツリーの全分岐について地震ハザード曲線を求める場合、ハザード曲線群の総数が確定しているため、 $w_1$  未満、及び  $w_n$  超のフラクタイル値は、信頼性の観点からこの範囲内で求める必要がある。

##### b) モンテカルロシミュレーションによって地震ハザード曲線を求める手法

この手法では、1 回の試行において、各分岐の重みに応じたサンプルを発生させて地震動ハザード評価を行い、この試行を数回繰り返す。そして、分岐におけるブランチが離散量である必要がなく、分岐を連続量として取り扱うことができる。

また、サンプル数は解析者が任意に設定できることから、多数のパスが発生しうる状況では実用的な手法である。しかしながら、どのようなサンプルが発生するかは全くの偶然であることから、所定のパスに対する地震ハザードの分析といった活用には不向きである。同様の理由で、Best Estimate ハザード（各分岐に最良ブランチを設定した場合のハザード）

が得られている保証はないことに留意する。

モンテカルロシミュレーションによって地震ハザード曲線を求める場合には、試行数を増やすことで、評価可能なフラクタル値の幅を広げることが可能である。一般には、分布の外側の確率値を $p_{out}$ とした場合、 $10/p_{out}$ 程度の試行数が必要である。例えば、0.95のフラクタルハザードを求める場合、 $p_{out}=0.05$ となり、試行数は200となる。

【本体 6.6.1】

#### AY.2 地震ハザード曲線群における任意地震動強さでの分布形状の特性値（平均値、中央値）の求め方

地震ハザード曲線における不確実さは、所与の地震動強度における年超過頻度（確率）の確率分布で表す。確率分布は必ずしも理論確率分布が当てはまらないため、次に述べる手順によって、フラクタルハザード曲線群で確率分布を表現する。

ロジックツリー解析によって得られた地震ハザード曲線の総数を $N$ とし、所与の加速度値 $a$ について年超過頻度（確率）の小さいものからハザード曲線に番号 $i, i=1, \dots, N$ をつける。また、 $i$ 番目の年超過頻度（確率）を $p_i(a)$ とし、その重みを $w_i$ とする。求めるフラクタル値を $w_j$ とするならば、フラクタルハザードの値 $p_{frc}(a)$ は次式で求められる。

$$p_{frc}(a) = p_j(a) \quad (\text{AY-1})$$

ただし、 $j$ は、

$$w_{frc} = \sum_{i=1}^j w_i \quad (\text{AY-2})$$

より求める。

中央ハザード曲線は、 $w_{frc}=0.5$ として得られるフラクタルハザード曲線である。一方、平均ハザード $p_{mean}(a)$ は次式によって評価することができる。

$$p_{mean}(a) = \sum_{i=1}^N [w_i \times p_i(a)] \quad (\text{AY-3})$$

【本体 6.6.1】

#### AY.3 地震ハザード曲線の重み手法

地震動ハザード曲線 $i$ の重み $w_i$ の評価は、地震ハザード曲線群の評価法によって異なる。ロジックツリーの全分岐について地震ハザード曲線を求める場合、1つのパスにおける分岐の総数を $NB$ とし、各分岐での重みを $w_{ik}, k=1, \dots, NB$ とすると、重み $w_i$ は次式で求める。

$$w_i = \prod_{k=1}^{NB} w_{ik} \quad (\text{AY-4})$$

ただし、 $w_i$ は次式を満たすことが条件となる。

$$\sum_{i=1}^N w_i = 1 \quad (\text{AY-5})$$

一方、モンテカルロシミュレーションによって地震ハザード曲線を求める場合には、試行の総数を $N_{MC}$ とするならば、地震ハザード曲線の重みは、すべて $1/N_{MC}$ である。

【本体 6.6.1】

#### AY.4 フラクタル値と地震ハザード曲線群の総数

フラクタルハザードの分布から理論確率分布の適用が可能であると判断できる場合には、当該確率分布を用いてフラクタル値を評価することもできる。確率分布を用いてフラクタル値を評価する方法としては次の3つなどがある。

##### a) 重みの累積による方法

各PGAにおいて、年超過確率が小さく算定されたパスから順に重みを累積し、重みの累積を用いて任意のフラクタル値を算定する手法である。

##### b) 最尤法

各PGAにおいて、最尤法によって平均値と標準偏差を推定し、全パスの重みの分布が対数正規分布に従うとして、任意のフラクタル値をその累積分布より算定する手法である。

##### c) 積率法

各PGAにおいて、積率法によって平均値と標準偏差を推定し、全パスの重みの分布が対数正規分布に従うとして、任意のフラクタル値をその累積分布より算定する手法である。

主に距離減衰式の不確実さに関するロジックツリーの全パスのハザード曲線群と重みの分布を図AY.1に示す。重みの累積による方法、最尤法、及び積率法によって求めた地震動ハザードのフラクタル曲線を図AY.2に示す。図から分かるように、フラクタルの計算法によって評価結果が異なるため、それぞれの計算法の適用性を十分に検討する必要がある。

【本体 6.6.1】

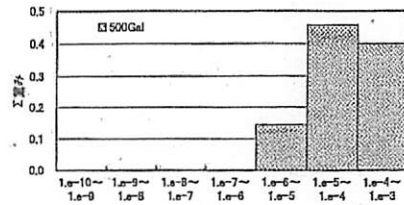
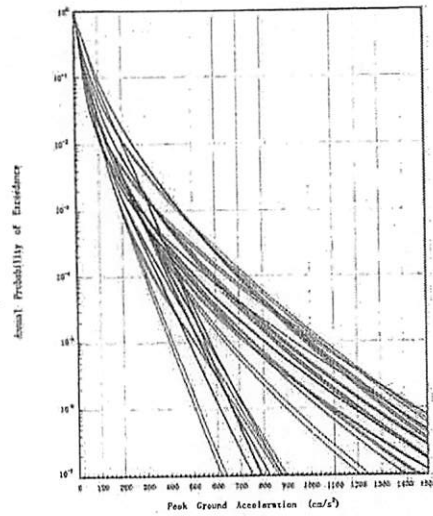
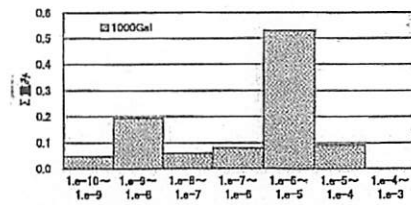


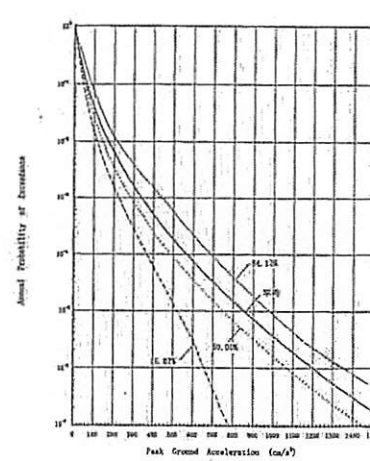
図2 Annual Exceedance Probability

ロジックツリー全パスによる重みの分布(上段 500cm/s²)

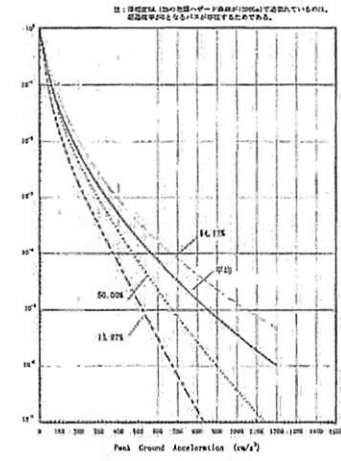


ロジックツリー全パスによる重みの分布(下段 1,000cm/s²)

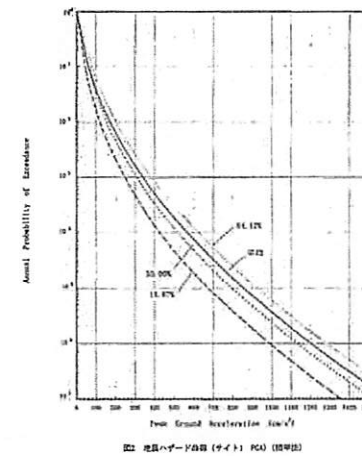
図 AY.1-ロジックツリー全パスの地震動ハザード曲線(PGA)



a.フラクタル地震動ハザード曲線  
(重みの累積による方法)



b.フラクタル地震動ハザード曲線(最尤法)



c.フラクタル地震動ハザード曲線(積率法)

図 AY.2-計算法の違いがフラクタル地震動ハザード曲線に及ぼす影響

AY.5 アグリゲートハザード曲線

ロジックツリーの作成においては、図 AY.3 に示すように、明らかに特性の違う複数のハザード曲線群が存在することがある。このような場合、全曲線を対象として統計処理して得られた中央ハザード曲線や平均ハザード曲線は、定量評価した曲線と大きく異なっている。こうしたハザード曲線群を、特性に応じたグループに分類し、各グループについて代表値を求めるアグリゲートハザード曲線として表すことができる。

なお、アグリゲートハザードで表現された評価結果は、専門家意見の集約が不十分な可能性があり、その評価過程や要因などについて再度見直す必要がある。

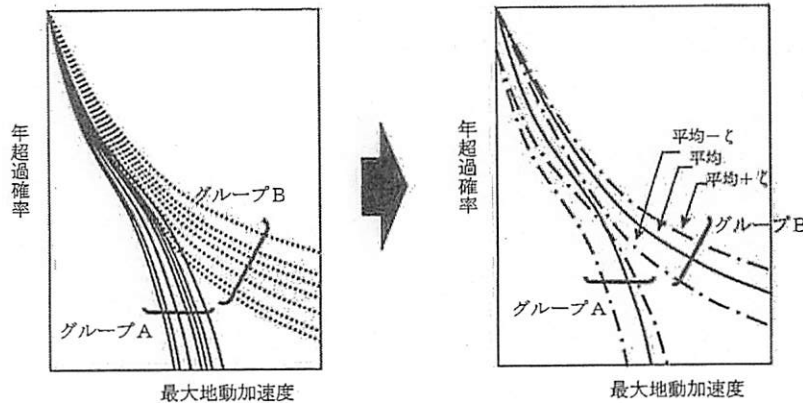


図 AY.3-アグリゲートフラクタルハザードの概要

【本体 6.6.1】

附属書AZ

(参考)

地震動ハザード評価の例

序文

この附属書は、箇条 6 における地震動ハザード評価の例として次の 6 つの例を記載する。

- ・ AZ.1 距離減衰式を用いた地震動ハザード評価の例
- ・ AZ.2 距離減衰式を用いた地震動ハザード不確実性評価の例
- ・ AZ.3 モンテカルロ手法を用いた地震動ハザードの不確実性評価の例
- ・ AZ.4 断層モデルを用いた地震動ハザード評価の例
- ・ AZ.5 距離減衰式と断層モデルを組合せた地震動ハザード評価の例
- ・ AZ.6 一様ハザードスペクトルの評価の例

AZ.1 距離減衰式を用いた地震動ハザード評価の例

a) 評価概要

原研東海を評価点として、その周辺地域の歴史地震及び活断層データを用いて距離減衰式によって地震動ハザード曲線を評価した例を示す。本評価例は、原研で開発した地震ハザード評価コード SHEAT (PC 版) を使用して地震動ハザードを算定した。(なお、本評価内容の詳細は文献<sup>(1)</sup>を参照のこと)

b) 地震動ハザード評価の概要及び評価条件

1) 地震域の分割方法

地震域の分割方法を図 AZ-1 に示す。同図に示すように評価サイトを中心に約 200km 四方を地震域として、ユーラシアプレート内については活断層区分<sup>(2)</sup>に基づき 4 つの地震域に分割し、ユーラシアプレートと太平洋プレートの境界部分については、太平洋プレートの沈み込みを考慮して 2 つの地震域に分割した。

2) 地震発生モデル

評価サイト周辺で発生した歴史地震データを表 AZ.1 に示す歴史地震カタログから抽出し、G-R 式(b 値モデル)に基づいて地震発生モデルを設定し、地震域全体を東西方向 27 分割、南北方向 23 分割にメッシュ分割して、各メッシュの中心に震源を一様分布させて地震発生頻度と地震動の大きさを算定した。

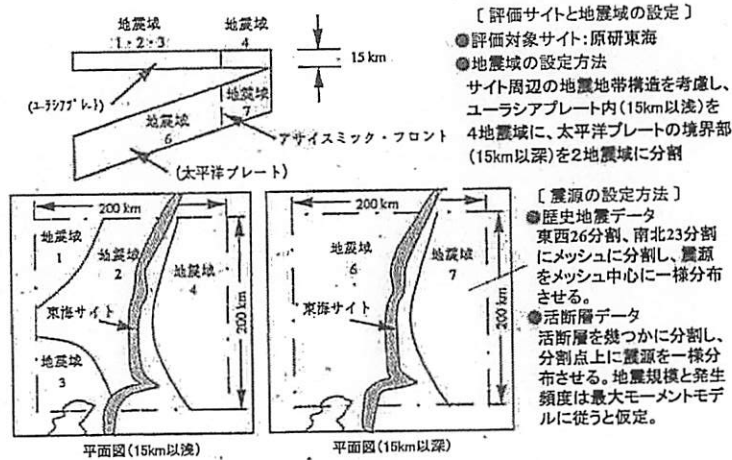
サイト周辺の活断層の分布を図 AZ.2 に、各活断層の諸元を表 AZ.2 に示す。活断層については、地震の規模と発生頻度は最大モーメントモデルに従うとし、活断層を幾つかに分割した分割点上に震源が一様分布するものとして地震発生頻度と地震動の大きさを算定した。ただし、歴史地震データと活断層データの重複を避けるために、歴史地震データに対応する地震断層がある場合は活断層データを用い、歴史地震データから該当する地震を除くようにした。

3) 地震動の推定方法

地震動の推定には福島・田中式(基盤に補正)を用い、ばらつきは対数正規分布を仮定して、対数標準偏差を0.5とした。

c) 地震動ハザードの算定結果

地震動ハザード曲線の算定結果を図AZ.3及び図AZ.4に示す。図AZ.3は年当たりの超過発生頻度を、図AZ.4は、炉心損傷頻度の算定に必要な年・単位加速度当たりの発生頻度を示す。これらの図には、全地震域の地震動ハザードを足し合わせ結果、ユーラシアプレート内の4つの地震域のハザードを足し合わせた結果、プレート境界の2つの地震域のハザードを足し合わせた結果、及びサイト周辺の活断層による結果が示されている。これらの結果から本評価サイトでは、ユーラシアプレート内の地震域のハザードの影響が支配的であることがわかる。



図AZ.1-評価サイト及び地震域のモデル化の概要<sup>(1)</sup>

表AZ.1-歴史地震データの抽出方法<sup>(1)</sup>

マグニチュード (M)	期間 (年)			
	1603	1925	1926	1980
6.0 ≤ M	宇佐見カタログから抽出			
5.5 ≤ M < 5.9	宇佐見カタログから抽出			気象庁カタログから抽出

〔歴史地震データ〕

- 江戸初期以降のM6以上: 宇佐見・宇津カタログ
- M6未満: 気象庁カタログ (データ収集期間と信頼性を考慮して使用データを選択)



図AZ.2-サイト周辺の活断層分布<sup>(1)</sup>

表AZ.2 活断層の諸元<sup>(1)</sup>

断層名	活動度		確率度		断層長さ km	深さ km
	表示	平均変位速度 mm/年	表示	確率値		
1.三郡森	B	0.5	II	0.7	13.3	8.58
2.双葉	B	0.5	II	0.7	48.0	18.22
3.大飯一足沢	B	0.5	II	0.7	9.1	6.83
4.二ツ箭	B	0.5	II	0.7	6.5	5.59
5.湯ノ岳	B	0.5	II	0.7	5.7	5.22
6.井戸沢	B	0.5	II	0.7	10.1	7.28
7.江花一虫笠	B	0.5	II	0.7	12.3	8.19
8.那須湯本北	B	0.5	II	0.7	10.0	7.25
9.那須湯本北東	B	0.5	II	0.7	4.5	4.55
10.大内一倉村	B	0.5	I	1.0	8.0	6.36
11.奥谷	B	0.8	I	1.0	37.5	16.95
12.湯本塩原	B	0.5	I	1.0	6.5	5.63
13.内ノ籠	B	0.5	II	0.7	11.7	7.94
14.荒川	B	0.2	II	0.7	17.6	10.10

注1: 活動度・確率度の表示は、活断層研究会「日本の活断層一分布図と資料」に記載されている記号である。  
注2: 平均変位速度・確率値(確率度を確率で表した値)・断層長さ・深さは、著者等が設定した値である。

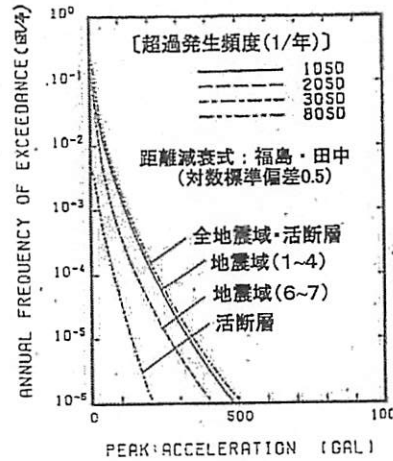


図 AZ.3—地震動ハザード評価結果  
(年当たり超過発生頻度)<sup>(1)</sup>

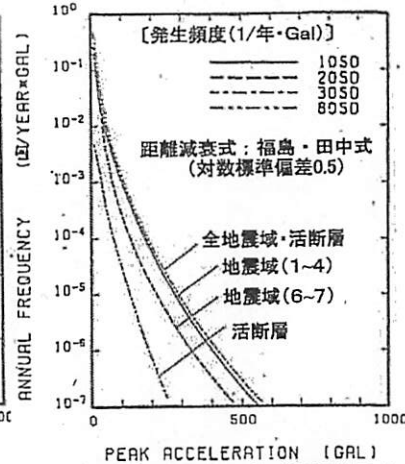


図 AZ.4—地震動ハザード評価結果  
(年当たり・加速度当たり発生頻度)<sup>(1)</sup>

【本体 6.6.1】

## AZ.2 距離減衰式を用いた地震動ハザード不確実さ評価の例

### a) 評価概要

日本海側に位置するサイトを例に、その周辺地域の過去の地震及び活断層データを用いて距離減衰式によって地震動ハザードを評価した例を示す。本評価例では、過去の地震データと活断層データの組み合わせ方、距離減衰式の選択、サイト近傍の主要活断層の諸元についてロジックツリーを構築し、フラクタイルハザード曲線を算定した。(なお、本評価内容の詳細は文献<sup>(9)</sup>を参照のこと)

### b) 地震動ハザード評価の概要及び評価条件

#### 1) 地震域の分割方法

評価サイト及びその周辺の地震域の分割方法を図 AZ.5 に示す。同図に示すように評価サイトを中心に約 200km 四方を評価対象地域として、ユーラシアプレート内について地震地体構造区<sup>(9)</sup>に基づき 7つの地震域に分割した。

#### 2) 地震発生モデル

地震発生モデルの評価条件を表 AZ.3 に示す。地震カタログとして新宇佐美カタログ、宇津カタログ、気象庁カタログを用い、活断層データとして「新編日本の活断層 I,II」及び起震断層を用いた。各地震域における過去の地震及び活断層の分布を図 AZ.6 及び図 AZ.7 に示す。地震発生の時間モデルは、過去の地震、活断層ともにポアソン過程に従うものとし、過去の地震の規模別発生頻度は G-R 式(b 値モデル)、活断層で発生する地震は最大モーメントモデルでモデル化した。

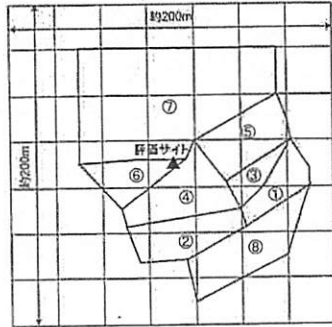
#### 3) ロジックツリー

本評価に用いたロジックツリーと各パラメータの重みの設定を図 AZ.8 に示す。地震動ハザードに有意な影響を及ぼすパラメータについて数ケースの感度解析を行い、ロジックツリーで考慮するパラメータと分岐を決定した。その結果、ロジックツリーで扱う不確実さのパラメータとして、①歴史地震データと活断層データの組み合わせ方法(2 ケース)、②距離減衰式と対数標準偏差( $\zeta$ )の設定(3 ケース)、③活断層の最大地震規模及び平均発生率(3 ケース)を考慮した。距離減衰式は、福島式( $\zeta=0.483$ )、耐特委式( $\zeta=0.3$ )、金井式( $\zeta=0.4$ )をロジックツリーの分岐とし、活断層については、地震動ハザードに大きな影響を及ぼす活断層 5 をロジックツリーの対象とした。

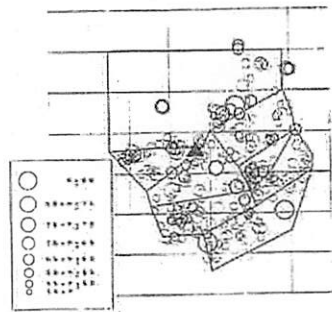
### c) 地震動ハザードの算定結果

地震動ハザードの評価結果として、ロジックツリーの全パスのハザード曲線を図 AZ.9 に、信頼度ごとのフラクタイルハザード曲線を図 AZ.10 に示す。本評価では、全パスのハザード曲線群に対して、最尤法を用いてフラクタイルハザードを算定した。

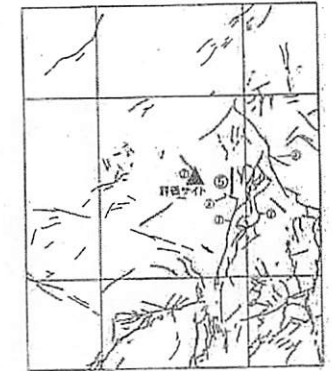
【本体 6.6.1】



図AZ.5—評価サイト及び地震域の設定<sup>(3)</sup>



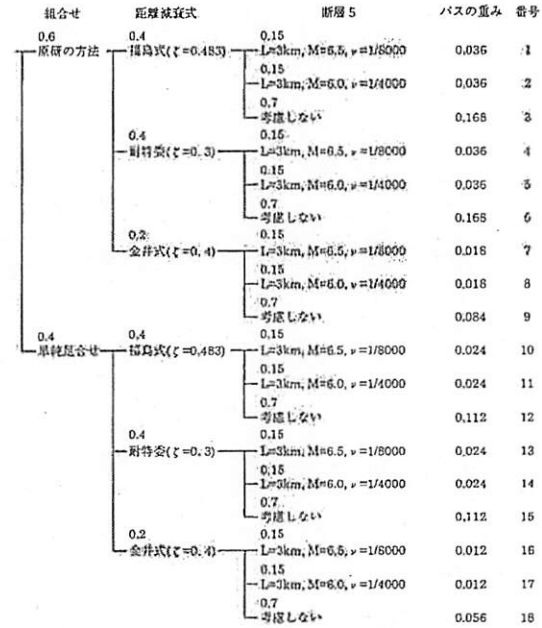
図AZ.6—評価サイト周辺の過去の地震分布<sup>(3)</sup>



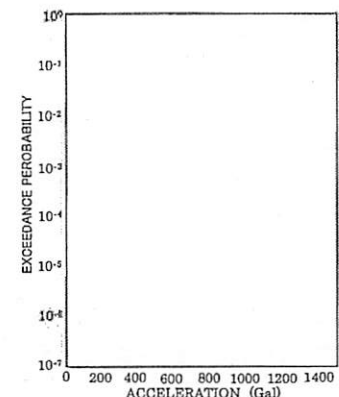
図AZ.7—評価サイト周辺の活断層分布<sup>(3)</sup>

表AZ.3 評価条件一覧

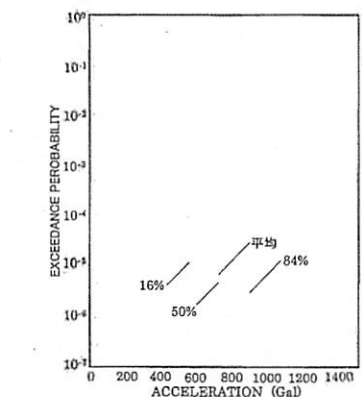
地震活動域の設定	歴史地震データ	ランダムに地震が発生する地震域をサイトより半径200km以内を自発に設定。地震域は地震地帯構造区(萩原 1991)に基づく分割とし、一部地震分帯図(松田 1990)を参考として領域の見直し。
	活断層データ	サイト1と同じ
データベース	歴史地震データ	文献[5]を参考とした以下の区分 新字佐美沖 <sup>1)</sup> : 679~1602年 M $\geq$ 7.0 新字佐美沖 <sup>2)</sup> : 1603~1884年 M $\geq$ 5.0 宇津沖 <sup>3)</sup> : 1885~1925年 M $\geq$ 6.0 気象庁沖 <sup>4)</sup> : 1926~1995年 M $\geq$ 5.5 ただし、深さ100km以上の地震は除外
	活断層データ	「新編 日本の活断層」I,II+超過断層 <sup>5)</sup> このデータベースを基本として、断層5つの諸元をロジックツリーのパラメーターとして考える。 断層5 L=3km, M=6.5, $\nu=1/8000$ L=3km, M=6.0, $\nu=1/4000$ 考慮しない
地震発生時系列モデルと発生頻度の算定	歴史地震データ	ポアソン過程 発生頻度は上記カタログに基づく
	活断層データ	ポアソン過程 発生頻度は平均変位速度と地震時断層変位Dとの比。 $\text{Log}D=0.6M-4.0, M=\text{Log}L+2.9/0.6$ (L: 断層長さ)
地震規模別発生頻度(Mの確率)	歴史地震データ	b値モデル(G-R式)を適用 $5.0 \leq M \leq M_{\text{max}}$ ( $M_{\text{max}}$ : 使用データの最大値)
	活断層データ	最大モーメントモデル MとLの関係は松田式で算定
距離の確率	歴史地震データ	地震域内で一様ランダムに地震の発生を仮定して距離の確率密度関数を作成。 深さは1926~1995年のM $\geq$ 5.0の地震の平均深さを仮定する。距離は距離減衰式の取り方に従い評価する。
	活断層データ	距離は距離減衰式の取り方に従い評価 深さは0 km
データの組合せ方法		ロジックツリーのパラメーターとして以下の組合せ方法を考える。 原研の方法 単純足し合せによる方法
	距離減衰式(式のばらつきは()内の対数標準偏差を用いた対数正規分布により評価する)	ロジックツリーのパラメーターとして以下の評価式を考える 福島・田中式( $\tau=0.483$ ) 耐特委式( $\tau=0.3$ ) 金井式( $\tau=0.4$ )
	最大加速度の上限值	設定しない



図AZ.8—ロジックツリー及び重みの設定<sup>(3)</sup>



図AZ.9—全バスの地震動ハザード評価結果<sup>(3)</sup>



図AZ.10—フラクタルハザード評価結果<sup>(3)</sup>

AZ.3 モンテカルロ手法を用いた地震動ハザードの不確かさ評価の例

a) 評価概要

関東及びその周辺地域を対象とした地震動ハザード評価例を示す。本評価では、判断が分かれる事項に関して複数の選択肢（不連続的な分岐）又は連続的な確率分布を設定し、モンテカルロ法を用いて必要な数の地震動ハザード曲線をサンプリングし、それらの結果からフラクタイトルハザードを評価した。（なお、本評価内容の詳細は文献<sup>(5)</sup>を参照のこと）

b) 地震動ハザード評価の概要及び評価条件

1) 大地震活動領域のモデル化

限定された領域で繰り返し起こる大地震については、歴史地震データと活断層に基づき活動域の分布を設定する。関東及び周辺地域の大地震活動域分布と不確かさの取扱い方法を図 AZ.11 に示す。モデル化の概要と不確かさの取扱い方法は次の通りである。

1-1) 活動域の形状

大地震活動域は一つ又は複数の長方形で表し、基準点位置と傾斜の不確かさを考慮する。

1-2) マグニチュードの分布と発生頻度

マグニチュードの分布と発生頻度は固有地震モデルに基づき設定し、パラメータとしてマグニチュード分布、平均発生間隔とばらつき、最新発生時期を設定する。地震発生間隔は BPT 分布で表す。不確かさ要因として、マグニチュード分布形状と分布幅、中央マグニチュードのばらつき、平均発生間隔とばらつき、最新発生時期を考慮する。

1-3) 複数の活動域(セグメント)の取扱い

複数の活動域(セグメント)から構成される場合の各セグメント破壊確率の与え方は次の2つの方法を分岐として選択した。房総沖、相模湾内、西相模湾断裂の組み合わせの平均発生頻度の評価例を表 AZ.4 に示す。

(i)方法 1(WGCEP の方法<sup>(6)</sup>)

- a) マルチセグメント=過去の発生の 1/2
- b) シングルセグメント=発生期待値の 1/2
- c) 残りの部分=地震数が最小となる最大地震を配分

(ii)方法 2

- a) c)方法 1 に同じ
- b) シングルセグメント=発生期待値×過去のシングルセグメントでの破壊確率

長大活断層で、セグメント区分が明確でないが、複数のセグメントから構成されている可能性がある場合について、次の3つの分岐を考慮した。

- (i) セグメントごとに活動する場合
- (ii) 全体が常に同時に活動する場合(連動セグメントモデル)
- (iii) 各種セグメントの組み合わせで活動する場合(カスケードモデル)

1-4) その他の分岐

- (i) 南海トラフの駿河湾セグメント平均発生間隔=120年及び180年(等重み)
- (ii) 三浦半島断層群、神純・国府津-松田断層帯、鴨川低地断層帯、富士河口断層帯=大地震と連動して発生する場合及び独立に発生する場合(等重み)

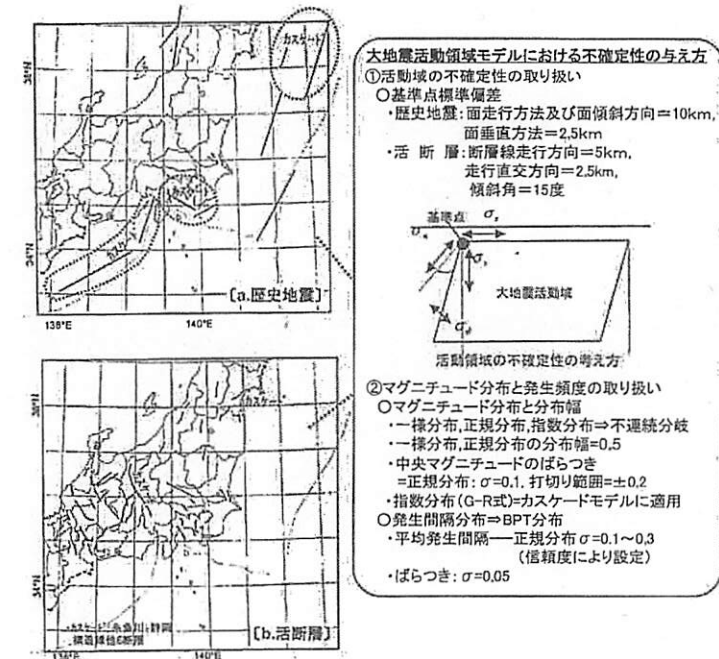


図 AZ.11—大地震活動域の分布とモデル化における不確かさの取扱い<sup>(6)</sup>

表 AZ.4—房総沖・相模湾内・西相模湾のカスケードモデルにおける地震発生頻度の評価例<sup>(6)</sup>

Segment	Method 1			Method 2		
	A	B	C	A	B	C
Rate	0.80	4.54	13.70	0.8	4.54	13.70
Single	0.00	2.27	11.43	0.00	0.00	9.16
A+B	0.00	—	—	0.00	—	—
B+C	—	—	1.47	—	—	3.74
A+B+C	—	0.80	—	—	0.80	—

2) 背景的地震発生活動域のモデル化

2-1) 活動域の区分

背景的地震発生活動域(大地震活動域でモデル化した地震以外の中小地震が発生する活動域)として、大陸プレート、太平洋プレート、フィリピン海プレートの上面などに沿って連続的に設定した。

活動域の区分として、地体構造区分モデル(1モデル,重み=0.5; 図 AZ.12 参照)と機械的区分モデル(4モデル,重み=4×0.125; 図 AZ.13 参照)の分岐を設定した。

2-2) 発生頻度分布

区分した各活動域のマグニチュード分布は、マグニチュード5以上の地震を対象に上限を有する G-R 式(b 値モデル)に基づき設定し、不確定性として地震発生数(正規分布), b 値(正規分布)及び最大マグニチュード(打ち切りを考慮した正規分布)を考慮した。本震-余震系列及び群発地震は、「空間的な近接度」と「時間的な近接度」の積で識別した。

3) 地震動推定に関する不確定性評価モデル

地震動推定モデルでは、距離減衰式の選択、地点補正係数、距離減衰式のばらつき的大小と打ち切り範囲について次のような方法で不確定を考慮した。

3-1) 距離減衰式の不確定性

複数の式を不連続な分岐として考慮し、断層面の大きさを考慮した最短距離と等価震源距離を用いることを可能とした。関東及び周辺地域では、気象庁 87 型強震計録に基づく最短距離式と等価震源距離式を考慮した(等重み)。

3-2) 距離減衰式のばらつきと打ち切り範囲

距離減衰式のばらつきは、対数正規分布で表し、マグニチュードに因らず一定とする場合( $\sigma_1$ )とマグニチュードに依存する場合( $\sigma_2$ )を考慮した(図 AZ.14 参照)。 $\sigma_1$ と $\sigma_2$ は正規分布で表し、対数標準偏差を 0.05 とした。対数正規分布の打ち切り範囲は、 $\pm 2.0\sigma \sim \pm 4.5\sigma$  の範囲で一様分布とした。

3-2) 地点補正係数の不確定性

地点補正係数は正規分布で表し、評価地点の観測記録がある場合とない場合で不確定性の大きさを変えた。

c) モンテカルロ法による地震動ハザードの計算

評価サイトを東京とし、上記の不確定性要因について、モンテカルロ法でモデル及びパラメータ値をサンプリングして多数の地震動ハザード曲線を算定し、それらの結果を統計処理でフラクタルハザード曲線を評価した。モンテカルロ法による地震動ハザード曲線の算定手順を図 AZ.15 に示す。

東京地点を対象として、ポアソン過程を仮定(長期間の平均的な地震動ハザード)した場合について、モンテカルロ法で 200 ケースのハザード曲線を算定した結果を図 AZ.16 に、それらを統計処理して求めたフラクタルハザード曲線を図 AZ.17 に、2002 年からの 30 年間のフラクタルハザード曲線を図 AZ.18 に示す。

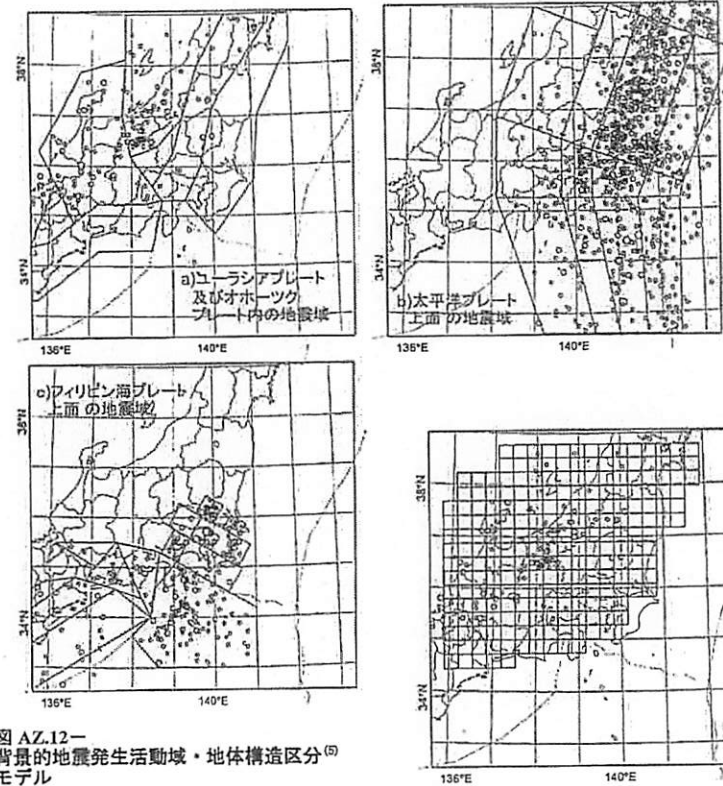


図 AZ.12-  
背景的地震発生活動域・地体構造区分  
モデル

図 AZ.13-  
背景的地震発生活動域・機械的区分  
モデル

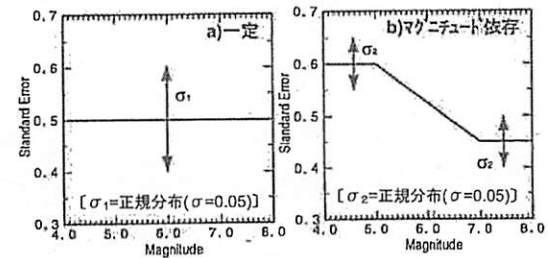


図 AZ.14-距離減衰式の誤差の与え方

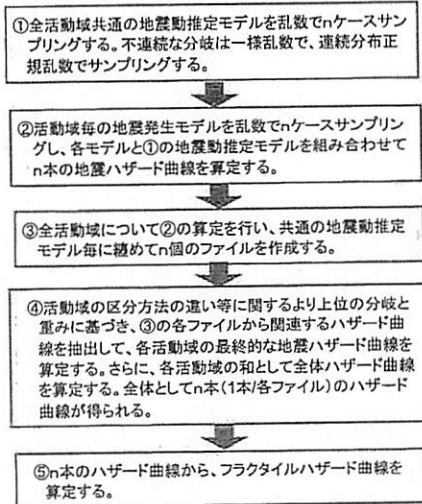


図 AZ.15—  
モンテカルロ法を用いた地震動ハザード曲線の算定手順

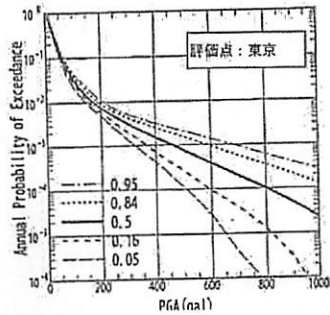


図 AZ.17—  
フラクタイル地震動ハザード曲線  
(年平均)<sup>(5)</sup>

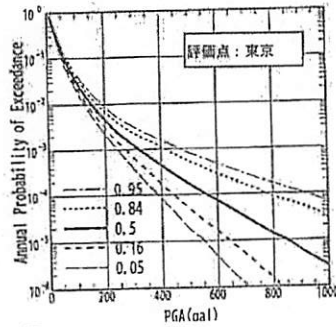


図 AZ.18—  
フラクタイル地震動ハザード曲線  
(30年平均)<sup>(5)</sup>

【本体 6.6.1】

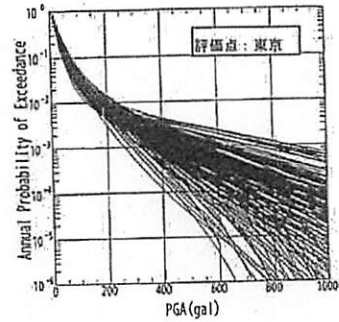


図 AZ.16—  
モンテカルロ法による地震動ハザード曲線  
200 ケース算定結果(ポアソン過程)<sup>(5)</sup>

AZ.4 断層モデルを用いた地震動ハザード評価の例

断層モデルを用いた確率論的地震動ハザード評価手法の例として、半経験的波形形成法を用いた例を示す。

a) 評価条件

半経験的波形形成法を用いた評価手順<sup>(7)</sup>を図 AZ.19 に示す。手順は次の6つのステップからなる。このステップに沿って、評価条件を設定した。

1) 破壊領域の設定

地震動ハザード評価に影響を及ぼす地震断層は、サイトから近距離にあり、かなりの規模を有する断層である。したがって、活断層やプレート境界で発生する大規模な地震のように、震源域が特定しやすく、その規模も比較的特定しやすい地震断層が対象となる。

2) 地震の発生確率の算定

地震の発生時系列モデルは、ポアソン過程又は更新過程でモデル化される。

3) 断層モデルの検討

3-1) 震源付近での媒質の定数の設定

断層モデルによって地震動を評価する場合に必要な震源付近の媒質の定数は、せん断波速度  $\beta$ 、密度  $\rho$ 、剛性率  $\mu$  及び  $Q$  値である。これらの諸定数については、既往の文献及び調査結果などを参考として、適切に設定する。

3-2) 断層モデルの設定 (震源特性)

① 巨視的断層パラメータの設定

修正強震動予測レシビ<sup>(8),(9)</sup>などによって、次の巨視的断層パラメータを設定する。

- ・断層面積 ( $S=L \times W$ ) : 推定
- ・断層の位置 : 走行, 傾斜角, すべり角
- ・破壊開始点 : 緯度, 経度, 深さ
- ・破壊伝播様式 : 例えば, 放射線状
- ・静的応力降下量 ( $\Delta\sigma$ ) : 例えば, 海溝型地震の平均的な値 (30bar)
- ・地震モーメント ( $M_0$ ) :  $M_0 = (16(7 \times \pi^{1.5})) \times \Delta\sigma \times S^{1.5}$
- ・平均すべり量 ( $D$ ) :  $D = M_0 / (\mu S)$
- ・破壊伝播速度 ( $V_r$ ) : 例えば,  $V_r = 0.72 \times \beta$
- ・立ち上がり時間 ( $\tau$ ) : 例えば,  $\tau = W / (2 \times V_r)$

② 微視的断層パラメータの設定

微視的断層モデルの設定方法としては、アスペリティの面積を与える方法を用いる。アスペリティと背景領域において、次の微視的断層パラメータを設定する。

- ・アスペリティの個数及び位置 : 推定
- ・アスペリティの総面積 ( $S_a$ ) : 例えば,  $S_a/S$  の平均値 0.248, 標準偏差

0.076

- ・個々のアスペリティ (半径  $r_i$ ) での変位量 ( $D_{m,asp}$ ) : プレーートの平均収束率や活断層調査などより推定
- ・個々のアスペリティの地震モーメント ( $M_{o,asp}$ ) :  $M_{o,asp} = \mu D_{m,asp} S_{m,asp}$
- ・個々のアスペリティの応力降下量 ( $\Delta\sigma_{m,asp}$ ) :  $\Delta\sigma_{m,asp} = (7/16) \times (M_{o,asp} / (Rr^2))$
- ・背景領域の断層パラメータ (面積, 平均すべり量, 地震モーメント, 応力降下量)

ここに,  $R$  は断層全体の面積を円に置換した時の等価半径,  $r$  はアスペリティの総面積を円に置換した時の等価半径である。

#### 4) 要素地震の設定 (伝播特性)

要素地震の設定は, 対象サイトでの質・量ともに十分な観測波形の有無によって選択する。サイトでの中小地震の観測波形を用いる場合には, 次の要素地震の断層パラメータを設定する。

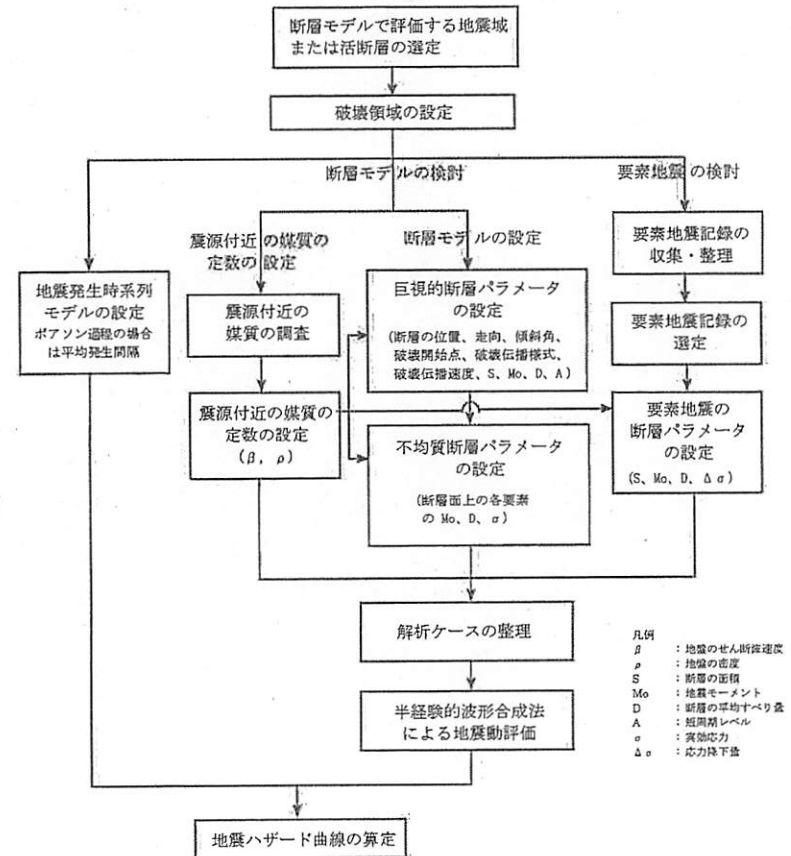
- ・地震モーメント  $M_0$  の設定
- ・臨界円振動数  $\omega_c$  の設定
- ・断層面積, 平均すべり量, 実効応力の算定
- ・立ち上がり時間の設定

#### 5) 地震動評価

3)で設定した断層モデルと, 4)で設定した要素地震より地震動を算出する。ハザード評価における地震動は, いくつかのシナリオを想定した断層モデルから算出される。すなわち, 断層モデルパラメータの不確かさを考慮して, 破壊開始点, 各セグメントのアスペリティ個数及び位置, アスペリティの応力降下量, 要素地震波の種類, 高周波速断特性などのパラメータを対象としてこれらの組み合わせをロジックツリーとして表す。

#### 6) 地震動ハザード評価

2)で設定した地震発生確率と, 5)で算出した地震動の最大加速度からハザード曲線を算出する。算出した地震動の最大加速度又は応答スペクトルと年発生回数の対応表を作成し, その年発生回数を累積して年累積回数を求め, ポアソン近似してハザード曲線を算出する。



- 凡例
- $\beta$  : 地震のせん断伝播速度
  - $\rho$  : 地盤の密度
  - S : 断層の面積
  - $M_0$  : 地震モーメント
  - D : 断層の平均すべり量
  - A : 短周期レベル
  - $\sigma$  : 実効応力
  - $\Delta\sigma$  : 応力降下量

図 AZ.19-断層モデルによる地震動ハザードの評価手順

#### b) 評価例

上記 a)5)で述べたように, 断層モデルパラメータの不確かさを考慮して, 破壊開始点, 各セグメントのアスペリティ個数及び位置, アスペリティの応力降下量を対象としたロジックツリーと, これに基づき作成した評価結果の例を図 AZ.20 に示す。



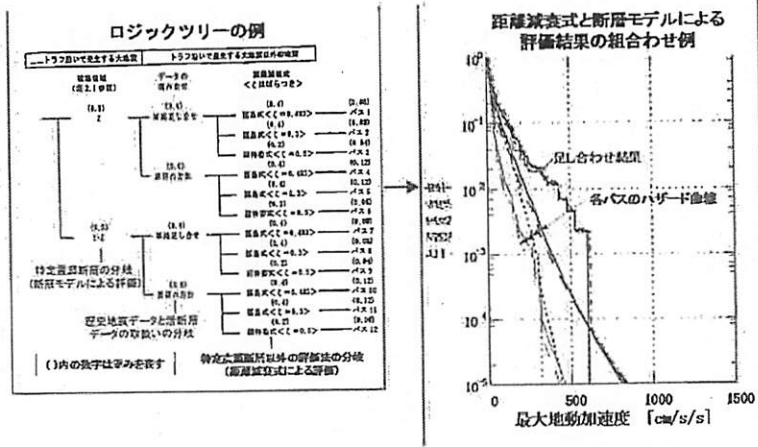


図 AZ.22—距離減衰式と断層モデルによる地震動ハザードの組合せの例<sup>(7)</sup>

【本体 6.6.1】

AZ.6 一様ハザードスペクトルの評価の例

a) 評価概要

スペクトル距離減衰式による地震動ハザード曲線を用いて一様ハザードスペクトルを評価した例を示す。地震動ハザード評価では、スペクトル距離減衰式として安中式と耐特委式を用い、年超過確率  $1 \times 10^{-3}$ ,  $1 \times 10^{-4}$ ,  $1 \times 10^{-5}$  に対する一様ハザードスペクトルを評価した。(本評価内容の詳細は文献<sup>(10)</sup>を参照のこと)

b) 一様ハザードスペクトルの概要及び評価条件

図 AZ.23 及び図 AZ.24 にスペクトル距離減衰式を用いて応答加速度を指標として算定した地震動ハザード曲線の例を示す。この例では距離減衰式として、安中式及び耐特委式(ともに対数対数標準偏差  $\sigma = 0.4$ ) を用いた。

一様ハザードスペクトルの評価対象とする周期を次に示す。安中式によるスペクトルは 12 周期、耐特委式の周期は 14 周期とした。

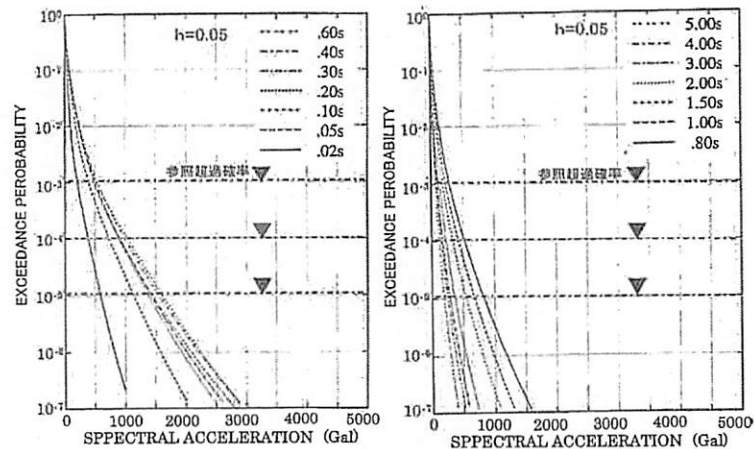
- ① 安中式 : 0.04, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0 (秒)
- ② 耐特委式 : 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 (秒)

c) 一様ハザードスペクトルの算定結果

表 AZ.5 に年超過確率  $1 \times 10^{-3}$ ,  $1 \times 10^{-4}$ ,  $1 \times 10^{-5}$  に対応する一様ハザードスペクトルの計算周期における応答加速度値の一覧を示す。また、安中式及び耐特委式による一様ハザードスペクトルを図 AZ.25 及び図 AZ.26 に示す。

【本体 6.6.2】

図 AZ.23—応答スペクトルによる地震動ハザード評価例 (安中式) <sup>(10)</sup>



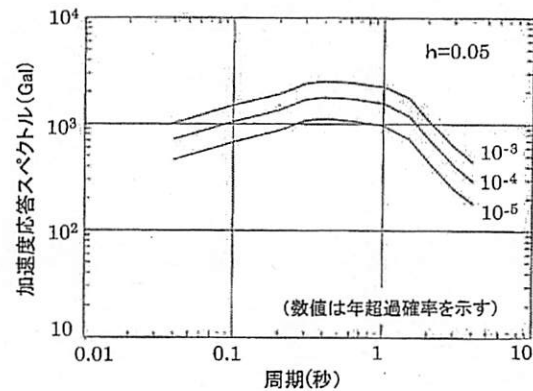
図AZ.24—応答スペクトルによる地震動ハザード評価例 (耐特委式)<sup>(10)</sup>

表AZ.5—一様ハザードスペクトルの計算周期ごとのスペクトル値<sup>(10)</sup>  
(安中のスペクトル、h=0.05)

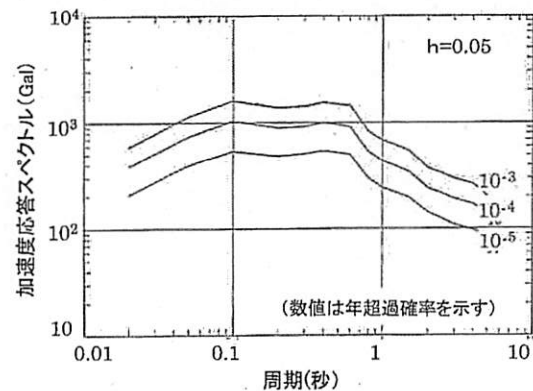
周期(秒)		0.04	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6
スペクトル値 (cm/s <sup>2</sup> )	10 <sup>-3</sup>	459	676	870	1074	1118	1073
	10 <sup>-4</sup>	715	1048	1342	1682	1761	1711
	10 <sup>-5</sup>	1017	1489	1889	2386	2499	2438
周期(秒)		0.8	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0
スペクトル値 (cm/s <sup>2</sup> )	10 <sup>-3</sup>	1009	967	721	448	245	182
	10 <sup>-4</sup>	1619	1564	1184	740	408	295
	10 <sup>-5</sup>	2312	2246	1734	1094	613	442

(耐特委のスペクトル、h=0.05)

周期(秒)		0.02	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6
スペクトル値 (cm/s <sup>2</sup> )	10 <sup>-3</sup>	207	395	540	486	510	547	504
	10 <sup>-4</sup>	387	741	1037	896	920	995	918
	10 <sup>-5</sup>	595	1140	1607	1383	1425	1553	1446
周期(秒)		0.8	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0
スペクトル値 (cm/s <sup>2</sup> )	10 <sup>-3</sup>	299	243	196	143	108	97	87
	10 <sup>-4</sup>	534	436	346	241	190	170	138
	10 <sup>-5</sup>	831	685	549	376	296	263	202



図AZ.25—一様ハザードスペクトルの評価例 (安中式)<sup>(10)</sup>



図AZ.26—一様ハザードスペクトルの評価例 (耐特委式)<sup>(10)</sup>

参考文献

- (1) 山田他, “地震ハザード評価コード SHEAT(PC版)の使用手引き”, JAERI-Data/Code-2002-001, 日本原子力研究所, 2002.3
- (2) 活断層研究会, “日本の活断層一分布図と資料”, 東京大学出版会, 1981
- (3) (財)原子力発電技術機構 原子力安全解析所, “平成9年度地震に係る確率論的安全評価手法の整備(その1-1)=地震ハザードの試解析”, 平成10年3月
- (4) 萩原尊禮編, “日本列島の地震 地震工学と地震地体構造”, 1991
- (5) 安中他, “モンテカルロ法に基づく地震ハザードの不確定性評価方法”, 第11回日本地震工学シンポジウム
- (6) WGCEP, “Seismic Hazards in Southern California”, Probable Earthquakes, 1994 to 2024, Bull. Seism. Am., 85, 379-439, 1995
- (7) (財)原子力発電技術機構, “平成14年度地震に係わる確率論的安全評価手法の整備に関する報告書=地震ハザードの試解析=”, INS/M02-13
- (8) 入倉孝次郎, 三宅弘恵, 岩田知孝, 益江克宏 “周期帯域に応じた強震動評価法の高精化”, 地震災害軽減のための強震動予測マスターモデルに関する研究第1回シンポジウム, 2002
- (9) 入倉孝次郎, 他 “強震動予測のための修正レシビとその検証”, 第11回日本地震工学シンポジウム, 2002
- (10) (財)原子力発電技術機構, “平成11年度地震に係わる確率論的安全評価手法の整備(その1)に関する報告書=地震ハザードの試解析=”, INS/M99-21

附属書BA

(参考)

地震動ハザードの再分解によるマグニチュード・震央距離の取扱い

序文

この附属書は、箇条6における地震動ハザードの再分解によるマグニチュード・震央距離の取扱いに係わる次の2つの項目を記載する。

- ・BA.1 地震動ハザードの再分解によるマグニチュード・距離の作成手法
- ・BA.2 地震動ハザードの再分解によるマグニチュード・距離の評価の例

BA.1 地震動ハザードの再分解によるマグニチュード・距離の作成手法

地震動ハザードにおけるマグニチュード  $m$  と距離  $x$  の寄与率  $w(a|m, x)$  は、年超過確率に対応した評価サイトにおける地震動の強さ  $a$  に対して次式で評価できる<sup>(1)</sup>。

$$w(a|m, x) = \frac{\sum_i v_{0i} \cdot \text{Prob}[A > a|m, x] f_{Mi}(m) f_{Xi}(x)}{\sum_i v_{0i} \cdot \iint \text{Prob}[A > a|m, x] f_{Mi}(m) f_{Xi}(x) dm dx} = \frac{\sum_i v_{0i} \cdot \text{Prob}[A > a|m, x] f_{Mi}(m) f_{Xi}(x)}{H(a)} \quad \text{(BA-1)}$$

ここで、 $v_{0i}$  は震源  $i$  における地震の年発生頻度、 $f_{Mi}(m)$  は震源  $i$  におけるマグニチュード  $m$  の確率密度関数、 $f_{Xi}(x)$  は震源  $i$  における距離  $x$  の確率密度関数、 $\text{Prob}[A > a|m, x]$  は所与の  $m$  と  $x$  に対し地震動の強さが  $a$  を超える確率である。

また、ハザード適合マグニチュード・震源距離  $M^*, X^*$  は、この寄与率を重み係数として算定したマグニチュードの平均値及び震源距離の平均値であり、地震動ハザードに対応する地震をマグニチュードと震源距離の代表値(平均値)で表現するものである。

$$M^* = \iint m \cdot w(a|m, x) dm dx = \frac{\sum_i v_{0i} \cdot \iint m \cdot \text{Prob}[A > a|m, x] f_{Mi}(m) f_{Xi}(x) dm dx}{H(a)} \quad \text{(BA-2)}$$

$$X^* = \iint x \cdot w(a|m, x) dm dx = \frac{\sum_i v_{0i} \cdot \iint x \cdot \text{Prob}[A > a|m, x] f_{Mi}(m) f_{Xi}(x) dm dx}{H(a)} \quad \text{(BA-3)}$$

このように、ハザード適合マグニチュード・震源距離は、参照する年超過確率に応じて算定される。さらに、着目する地震動の周期によっても、ハザード適合マグニチュード・震源距離は異なる値となる。

なお、式(BA-3)は震源距離について評価したものである。上記と同じ考え方にに基づき、ハザード適合震源距離の代わりにハザード適合等価震源距離  $X_{eq}^*$  として評価したり、ハザード適合震央距離  $\Delta^*$  及び深さ  $H^*$  に分解して評価することもできる。

【本体 6.6.2】

## BA.2 地震動ハザードの再分解によるマグニチュード・距離の評価の例

### a) 評価概要

地震動ハザード曲線に対して貢献度が大きい地震規模(マグニチュード  $M$ )と震央距離 ( $\Delta$ ) の組合せを評価するとともに、それらに対応する平均的な加速度応答スペクトルを評価した。(本評価内容の詳細は文献<sup>(2)</sup>を参照のこと)

### b) 評価概要及び評価条件

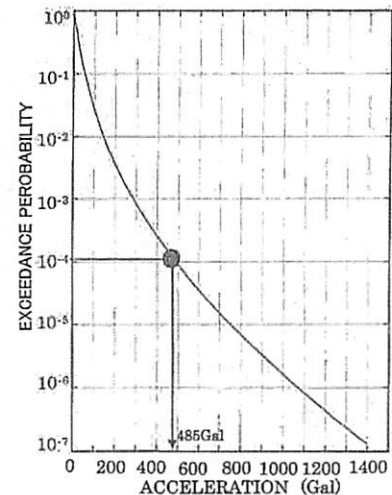
地震動ハザード曲線の年超過確率  $1 \times 10^{-4}$  に対応する3ケースの加速度( $A_{fe}$ )レベルに対して  $A_{fe}$  以上となるような条件の  $M$  と  $\Delta$  の条件付同時確率密度( $p(m_i, \Delta_j | A \geq A_{fe})$ )を評価し、 $p(m_i, \Delta_j | A \geq A_{fe})$  に従った  $M-\Delta$  の組合せをモンテカルロサンプリングで作成する。さらに、 $M-\Delta$  の組合せによってスペクトル距離減衰式を用いて加速度応答スペクトルを作成する。スペクトル距離減衰式として大崎スペクトルを用いた。

上記  $M-\Delta$  の組み合わせの作成において参照した地震動ハザード曲線を図 BA.1 に示す。同地震動ハザード曲線から読み取った年超過確率  $1 \times 10^{-4}$  に対応する加速度レベルは、485Gal となっている。

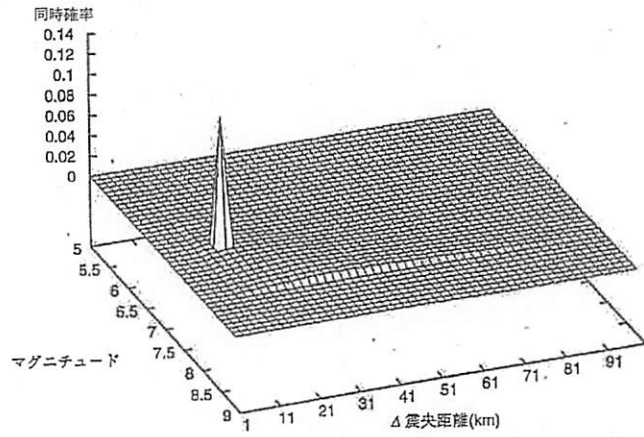
### c) 地震動ハザードの算定結果

図 BA.2 に年超過確率  $1 \times 10^{-4}$  (485Gal) に対応する条件付き同時確率密度を、図 BA.3 に条件付き確率密度に従ってモンテカルロサンプリングで作成した100ケースの  $M-\Delta$  の組合せを示す。また、図 BA.4 に100ケースの  $M-\Delta$  の組合せを用いて大崎スペクトルによって算定した加速度応答スペクトルを示す。

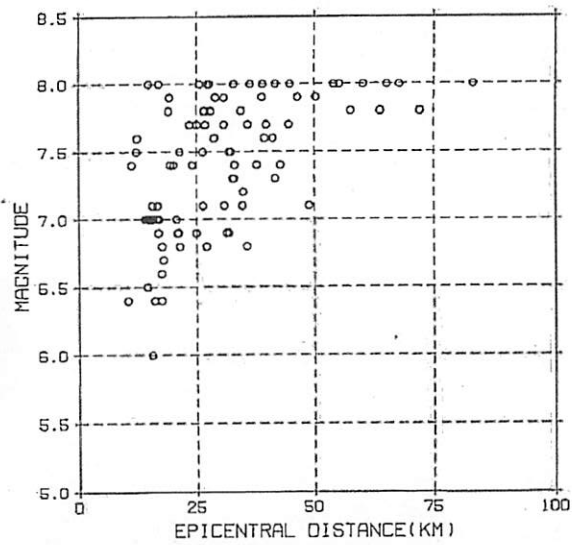
【本体 6.6.2】



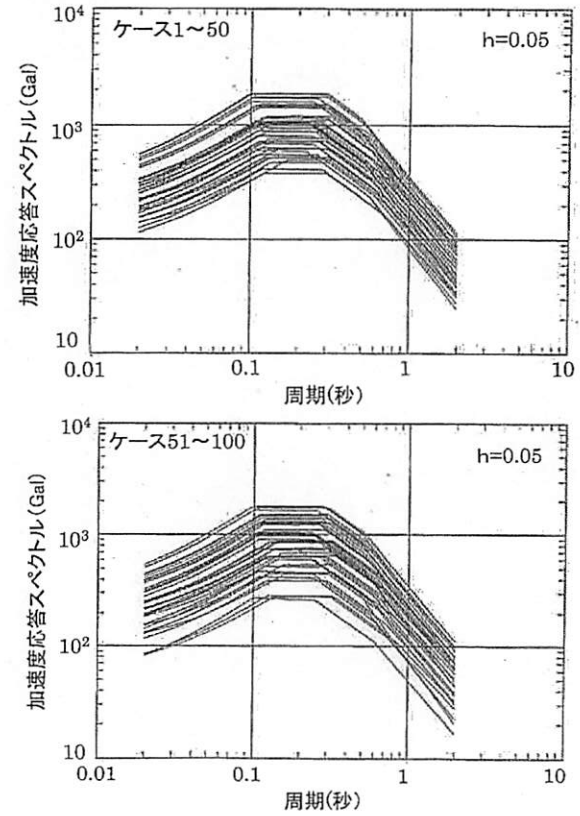
図BA.1-M-Δの組合せ作成で参照した地震動ハザード曲線<sup>(2)</sup>



図BA.2—条件付き同時確率密度 (超過確率 $10^{-4}$ , PGA485Gal以上) (2)



図BA.3—条件付き同時確率密度に従ったM-Δの組み合わせサンプル(100組) (2)



図BA.4—100組のM-Δの組合せによる加速度応答スペクトルの例 (大崎スペクトル, 超過確率 $10^{-4}$ , PGA485Gal以上) (2)

参考文献

- (1) 亀田弘行, 石川裕, “ハザード適合マグニチュード・震央距離による地震危険度解析の拡張”, 土木学会論文集, 第 392 号/I-9, pp.395-pp402, 1998 年 4 月
- (2) 原子力発電技術機構, 平成 11 年度地震に係わる確率論的安全評価手法の整備 (その 1) に関する報告書=地震ハザードの試解析=, INS/M99-21

附属書 BB  
(参考)  
周期特性の設定

序文

この附属書は、箇条 6 における周期特性の設定を記載する。

BB. 周期特性の設定

a) 炉心損傷に支配的な年超過確率における UHS の形状の例

fragility 評価用地震動は、炉心損傷に支配的な年超過確率又は地動加速度レベルに対応したものをを用いる。その場合、地震動の周期特性は、想定する地震動レベルによっても変化するので、 fragility 評価用地震動も、 fragility 評価に必要な地動加速度レベルごとに、そのレベルに応じた周期特性を用いなければならない。

ただし、UHS を用いて fragility 評価用地震動を評価する場合、炉心損傷に支配的な年超過確率範囲で、年超過確率の大きさに係わらず UHS の形状がほぼ相似形になる場合がある。例えば、図 BB.1 は、附属書 AZ.6 に示す評価例を用いて、年超過確率  $10^{-3}$ ~ $10^{-5}$  に対応する UHS を、0.02 秒の加速度スペクトル値 (年超過確率  $10^{-4}$  の加速度スペクトル値) で基準化して重ね書きしたものである。同図によると、周期 1 秒を超える長周期側で、若干差が見られるものの、年超過確率が異なっても、ほとんど相似形になっていることが確認できる。これは、年超過確率  $10^{-3}$ ~ $10^{-5}$  の範囲で、サイトの地震動ハザードに支配的な震源が同じであったためである。

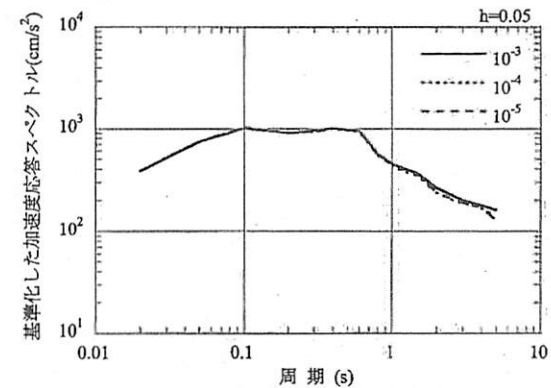


図 BB.1—0.02 秒で、年超過確率  $10^{-4}$  の加速度スペクトル値に基準化した場合の、各超過確率に対応した一様ハザードスペクトルの評価例 (耐特委式)

このように、炉心損傷に支配的な年超過確率範囲において、UHSの形状がほぼ相似形になる場合には、代表的な年超過確率に対応するものをひとつ用いれば、それ以外の地震動レベルに対しては、それを係数倍して用いればよいと考えられる。

**b) UHSを用いる場合の留意点**

UHSは、各周期に対する地震動ハザードに対して、同じ超過確率に対応するスペクトル加速度値を取り出して評価したものであるため、確率的な位置付けが明確であるという利点がある。それに対して、具体的な震源に対応していないという点で問題があるという議論もある。

また、UHSは、周期ごとに評価された地震動ハザードに基づき評価されたものであるため、その中には、すでに震源の違いによるばらつきや距離減衰式のばらつきが適切に含まれていることになる。よって、1次振動数における応答が支配的な建屋・機器類のフラジリティを評価する場合には、スペクトル形状の偶然的な不確かさを考慮する必要はない。ただし、応答に対して、1次振動数だけではなく複数の周期における影響が無視できないような場合には、周期間の相関性の影響を受けることになるが、ひとつのスペクトル形状で与えられるようなUHSでは、そのような周期間の相関性の影響までは考慮できないことに留意する必要がある。

**c) 地震動ハザードの再分解による想定地震のマグニチュード・距離を用いる場合の留意点**

地震動ハザードの再分解によるマグニチュード・距離を用いてフラジリティ評価用地震動を評価する方法としては、年超過確率に対する寄与率（同時確率密度関数）の平均マグニチュード・距離（ハザード適合マグニチュード・距離）を用いる方法【附属書 BA.1 参照】と、年超過確率に対する寄与率に対応したマグニチュードと距離のサンプルを複数発生させる方法【附属書 BA.2 参照】が考えられる。

前者の方法の場合、サイトの地震動ハザードに対する寄与率が同程度の震源が複数ある場合には、ハザード適合マグニチュード・距離として、寄与率が大きい震源とは異なる「平均的な」マグニチュードと距離の組み合わせが得られてしまうことに注意する必要がある。寄与率が同程度の震源が複数ある場合には、それぞれの震源に対してハザード適合マグニチュード・距離を求めて、複数の周期特性を設定して用いることが望ましい。

また、後者の場合は、年超過確率に対する寄与率に応じたフラジリティ評価用地震動が複数発生することになる。この場合、附属書 BA.2 の評価例に示すように、得られた複数のフラジリティ評価用地震動の最大加速度レベルはばらついたものとなり、かつ、想定した年超過確率に対応する地震動ハザード曲線上の地動加速度レベルと一致しない。そのため、これらの地震動の最大加速度レベルを、地震動ハザード曲線上の地動加速度レベルと一致するようにかさ上げして用いることになるが、スペクトル形状の形を変えずにそのままかさ上げすると、長周期側のスペクトルは大きくばらつくことになり、地震動の周期特性におけるばらつきを過大評価してしまう恐れがあることに注意する必要がある。

**d) 異なる信頼度に対するスペクトル形状のばらつきの取扱い**

UHSを用いる場合でも、地震動ハザードの再分解によるマグニチュード・距離を用いる場合でも、ひとつの地震動レベルに対して、平均的なスペクトル形状だけではなく、信頼度ごとのスペクトル形状が得られる。そのため、本体 6.5 に示すロジックツリーに基づき評価された異なる信頼度に対するスペクトル形状のばらつきを、フラジリティ評価用地震動の認識的不確かさとして考慮する必要がある。

ただし、地震動強さの指標を最大加速度として地震動ハザード評価を実施する場合、前述のスペクトル形状の認識的不確かさは短周期側では長周期側と比べて一般的に小さくなるのが考えられる。また、スペクトル形状の認識的不確かさが大きくなる周期範囲とフラジリティ評価対象物の現実的応答に影響を与える周期範囲が異なることも想定される。従って、本体 6.6 に示すフラジリティ評価対象物の現実的応答評価に支配的な周期範囲において、信頼度ごとのスペクトル形状がほぼ相似であるとみなせる場合、もしくは、異なる信頼度に対するスペクトル形状のばらつきが附属書 BC.1 に示す模擬地震の適合度に係る誤差に含まれる場合には、上記の認識的不確かさは考慮しなくてもよい。

【本体 6.7.2】

なる地震 fragility 解析のための評価手法及びインターフェイスの考え方については、本標準の対象範囲とする。

### 3 原子力に係る品質保証に関する基準について

この標準は、原子力発電所の PRA の品質を確保するための方策を規定していることから、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」に規定される原子力発電所の保安活動のため PRA を実施することを想定し、JEAC4111-2009 に従うこととした。

引用規格としては標準制定時の最新版である JEAC4111-2009 としたが、JEAC4111 が改定された際には遅滞なく改訂版に従った品質保証活動が要求されることが想定され、その場合には、原子力発電所の保安活動のための PRA は、引用規格である 2009 年版ではなく改訂版の JEAC4111 に従った品質保証活動が必要となる。

この標準の審議時点において、JEAC4111 の改定作業も進められており、またこの標準の審議中に原子力規制委員会から“実用発電用原子炉に係る発電用原子炉設置者の設計及び工事に係る品質管理の方法及びその検査のための組織の技術基準に関する規則”が平成 25 年 6 月に公布されている。この状況を鑑み、今後この標準を用いる際には、その時点で引用されるべき JEAC4111 との整合性に留意することが必要である。

---

AESJ-SC-P006:2015

日本原子力学会標準

原子力発電所に対する地震を起因とした  
確率論的リスク評価に関する実施基準：2015

2015 年 12 月 25 日 初版 第 1 刷発行

定価（本体 34,375 円＋税）

発行所 一般社団法人 日本原子力学会  
（〒105-0004）東京都港区新橋 2-3-7  
（新橋第二ビル 3 階）  
電話（03）3508-1263；FAX（03）3581-6128  
振替 00130-5-55932 番

印刷 大昭工業写真株式会社  
（〒141-0031）東京都品川区西五反田 6-14-13

---

©2015 Atomic Energy Society of Japan  
ISBN 978-4-89047-389-2 C3058 ¥34375E