



JAEE

甲第^A
331
号証

原子力発電所の地震安全に関する 地震工学分野の研究ロードマップ

2011年3月(第I部)
2011年10月(第II部)

一般社団法人 日本地震工学会

原子力発電所の地震安全問題に関する調査委員会

原子力発電所の地震安全に関する地震工学分野の研究ロードマップ
(日本地震工学会 原子力発電所の地震安全問題に関する調査委員会 報告書)

目次

序	i-1
原子力発電所の地震安全に関する地震工学研究ロードマップ表	i-3

第I部 研究ロードマップの検討結果

1. 総説	I-1
1.1 日本地震工学会「原子力発電所の地震安全問題に関する調査委員会」設立の経緯	I-1
1.2 委員会における討議の要点	I-2
1.3 委員会活動の経緯	I-3
1.4 その他の委員会関連活動	I-5
1.5 本報告書の構成	I-6
2. 原子力発電所の地震安全に関する地震工学分野の研究ロードマップ	I-8
2.1 ロードマップ体系の基本構造	I-8
2.2 ロードマップへの反映事項一覧(ロードマップ課題表)	I-9
3. 原子力発電所の地震安全に関する地震工学分野の研究ロードマップの基本事項	I-12
3.1 地震リスク	I-12
3.1.1 耐震設計	I-12
(1) 原子力発電所の要求性能	I-12
(2) 不確定下の工学的意思決定	I-13
(3) 設計用地震荷重の設定	I-13
3.1.2 システム評価	I-18
(1) 地震PSAの適用性向上	I-18
(2) 深層防護を反映した機能防護システムの評価	I-22
(3) 不確定性の同定・低減	I-25
3.1.3 情報基盤(ナレッジのデータベースの整備)	I-28
(1) 地震リスクに関する情報基盤整備の意義	I-28
(2) 整備すべきナレッジのデータベース	I-28
(3) ナレッジのデータベース整備の課題	I-29
3.2 耐震裕度	I-30
3.2.1 耐震裕度評価の意義	I-30
(1) 耐震裕度評価の地震工学的意義, 地震PSAとの関連	I-30
(2) 耐震裕度評価に関する研究・開発の経緯	I-31
(3) 耐震裕度評価の研究課題	I-32
3.2.2 建屋	I-33
(1) 応答評価に関する課題	I-33
(2) 耐力評価に関する課題	I-35

3.2.3 設備(構造・動的機器)	I-37
(1) 機器・配管系に内在する裕度	I-37
(2) 応答・挙動の解析法	I-37
(3) 裕度評価指標	I-38
3.2.4 地盤	I-39
(1) 地震工学的意義	I-39
(2) 原子力施設における位置づけ	I-39
(3) 研究の現状	I-40
(4) 課題	I-40
3.2.5 屋外重要土木構造物	I-41
(1) 屋外重要土木構造物の位置づけと評価の現状	I-41
(2) 解析手法に関する課題	I-42
(3) 耐力評価に関する課題	I-43
(4) その他課題	I-44
3.2.6 経年プラントの耐震安全性評価	I-44
(1) 現在の状況分析	I-44
(2) 経年プラントの耐震安全性評価の研究課題	I-45
(3) 産学官の役割分担とロードマップの策定	I-46
(4) 技術課題とロードマップ	I-46
3.2.7 破壊のメカニズム	I-47
(1) 建屋	I-47
(2) 設備	I-49
(3) 地盤	I-52
3.3 ハザードの理解	I-54
3.3.1 地震動評価手法の高度化	I-54
(1) 地震動評価手法の現状	I-54
(2) 水平動/上下動	I-56
(3) パルスの扱い方	I-57
3.3.2 地震ハザード評価の高度化	I-59
(1) 地震活動評価	I-60
(2) 地震動評価	I-61
3.3.3 対象地震・地震動の決定プロセス	I-63
(1) 地震工学的意義	I-63
(2) 原子力施設における位置づけ	I-63
(3) 研究の現状	I-63
(4) 課題(破るべき壁)	I-65
4. 研究ロードマップ各論	
4.1 リスク評価法	
4.1.1 リスク論のもとでの基準地震動Ssの決定法	I-67
4.1.2 性能設計の中でのSdの再構築	I-69
4.1.3 観測記録によるサイト特性への反映	I-72
4.1.4 性能規定に基づく設計	I-74
4.1.5 再起動の評価基準	I-77
4.1.6 耐震設計(決定論)と残余のリスク(地震PSA)の統合と体系化	I-80

4.1.7	多数基を対象とした地震リスク評価	I-83
4.1.8	津波 PSA	I-87
4.2	力学モデルに関する共通課題	
4.2.1	耐震裕度	I-89
4.2.2	破壊力学と構造・地盤をつなぐ破壊シミュレーション	I-93
4.2.3	大型振動台による裕度評価・実現象の究明	I-95
4.2.4	減衰(機器・配管系の適切な減衰値)	I-97
4.2.5	機器系で重要となる振動数域まで取り込む動的解析の体系(10~50Hz)	I-100
4.2.6	既設発電所の耐震性能照査	I-106
4.3	建物・構築物	
4.3.1	地震応答解析法のモデル化	I-108
4.3.2	FEMに基づく応答解析と評価体系の確立	I-110
4.4	機器・配管	
4.4.1	機器の地震時の実挙動の解明(観測)	I-113
4.4.2	電気品	I-115
4.5	地盤・斜面	
4.5.1	斜面安定の耐震裕度評価法	I-119
4.5.2	地盤の調査方法と試験方法	I-124
4.5.3	地盤-基礎相互作用系の応答解析法のモデル化	I-127
4.5.4	力の釣り合いと変形を包括できる安定・変形解析法	I-132
4.6	屋外重要土木構造物	
4.6.1	屋外重要土木構造物	I-137
4.7	制震・免震	
4.7.1	制震・免震	I-142
4.8	ハザード	
4.8.1	震源調査におけるユーザー側とプロバイダー側の関係とそれに基づく調査手法の体系化(ハザードの調査の問題)	I-147
4.8.2	不確定性を踏まえた意思決定プロセスの体系化(断層・地震動の評価における工学の責任)	I-151
4.8.3	リスク評価における地震像の明確化	I-153
4.8.4	断層~距離減衰式(スペシフィックとオーバーオール, 整合性の考え方)	I-155
4.8.5	活断層の評価	I-157
4.8.6	津波波源モデルと震源モデルの統合的理解	I-159
4.8.7	正確な上下動のシミュレーション(ハザード側の問題)	I-161
4.8.8	パルスの動特性と衝撃的破壊の関連	I-163
4.8.9	シミュレーション技法としてのパルス予測(ソースの問題, サイトの問題)	I-165
4.9	社会技術的課題	
4.9.1	原子力発電所の耐震における安全と安心の乖離の解消に向けて	I-167
4.9.2	安全に関する技術説明学の分野	I-172
4.9.3	地震防災	I-174
4.9.4	人材育成	I-175
4.9.5	国際リーダーシップ	I-179

第II部 東日本大震災の発生をふまえた補遺

1.	総論	II-1
2.	東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)の発生	II-4
(1)	地震とそれにより生じた地震動, 津波の特性	II-4
(2)	津波による被害	II-8
(3)	人的被害と建物の被害	II-11
(4)	交通施設の被害	II-14
(5)	供給・処理ライフラインの被害	II-17
(6)	地盤災害	II-25
3.	被災地内の原子力発電所の挙動概要	II-30
(1)	被災状況全般	II-30
(2)	福島第一原子力発電所	II-30
(3)	福島第二原子力発電所	II-32
(4)	女川原子力発電所	II-33
(5)	東海第二発電所	II-34
(6)	各発電所の状況の違いを生じた要因	II-34
4.	原子力発電所の挙動から学ぶべき事項	II-37
(1)	リスク課題に関する事項	II-37
1)	詳細な収束シナリオ・事故シナリオ	II-37
2)	津波に対する残余のリスク概念の導入の必要性	II-40
(2)	耐震・耐津波裕度に関する事項	II-43
1)	安定と事故を分けた要因	II-43
2)	耐津波性能に関する「クリフエッジ」の解消	II-52
(3)	本震後の地震工学的事項	II-54
1)	3.11東北地方太平洋沖地震における余震, 誘発地震, 地殻変動の現状	II-54
2)	巨大な余震による地震動の構造物への影響	II-55
3)	余震(誘発地震)に対する津波対策	II-55
4)	地殻変動の問題	II-55
(4)	新しい概念の必要性	II-59
1)	低頻度巨大災害に関する概念	II-59
2)	セーフティ・バースト概念の重要性	II-62
5.	原子力発電所に関する地震工学的研究ロードマップ(第I部)の検証	II-64
(1)	リスク概念, 地震・津波 PSA の徹底	II-64
(2)	リスク論・地震工学・津波工学・システム工学の連携による統合的津波対策評価	II-69
(3)	防潮堤建設の工学的要点	II-72
(4)	プラントの水密化のための「耐津波工学」の体系化(防水, 耐水, 避水による)	II-76
(5)	巨大な余震のハザード評価技術	II-79
(6)	ハザード評価における観測資料と計算機科学の協働	II-81
(7)	東日本大震災を踏まえた今後の技術的課題について	II-83

6. 原子力発電所の地震安全に関する地震工学分野の研究ロードマップ（拡充版） II-86

本報告書の活用に向けて ii-1
むすび ii-2

付録

付録1 委員会名簿 付-1
付録2 委員会開催及び関連活動記録 付-3
付録3 議事録 付-8

4.8.2 不確定性を踏まえた意思決定プロセスの体系化 (断層・地震動の評価における工学の責任)

1. 地震工学的意義

地震ハザードは自然環境により与えられたものであり、基本的に人間が変えることができないものである。地震安全問題における地震ハザード分野の課題は、地震現象に関する現在の認識レベルを踏まえて、不確定性を含めた評価を適切に行うことと考えられる。この課題を系統的に行うのが確率論的地震ハザード解析であり、ロジックツリー手法によりハザード曲線を、不確定性を含めて、評価することができる。入力地震動については、ハザード曲線がかなり大きな地震動レベルまで連続しているという認識に立つと、自然科学的観点だけで決定することには無理があり、別の基準（損傷確率など）が必要と考えられる。

基準地震動 S_5 を設定する問題は、不確定性を踏まえてどのように意思決定をするかという問題であり、この意思決定プロセスを体系化し、第三者による検証を容易にすることは重要な課題であり、工学がイニシアチブを取るべき問題と考えられる。

2. 評価の現状

応答スペクトルに基づく地震動評価と断層モデルを用いた手法による地震動評価の双方を用いた基準地震動 S_5 の策定については、策定過程に伴う不確かさ（ばらつき）について適切な手法を用いて考慮することが要求されている。この課題に関しては、原子力安全・保安院の通知の中の「検討用地震による地震動の評価における震源モデルの不確かさの考慮について」においてより具体化されており、「基本震源モデル」を設定して地震動を評価すること、不確かさを考慮するパラメータを選択すること、パラメータの選択について、選択しなかったものを含めその根拠を明確にすること、不確かさの範囲と程度を想定するとともにその根拠を明確にすること、それぞれ不確かさについて敷地に与える影響を検討し、その不確かさの程度を踏まえて、検討用地震動について余裕をみた震源モデルを設定し、地震動を評価すること、基準地震動を超えるような地震動の発生確率（超過確率）を参照することが要求されている。

検討対象とする地震のモデル化は、発生確率を除けば、確定論的ハザード評価でも確率論的ハザード評価でも基本的に違いはない。地震のモデル化では、活断層帯で発生する地震や過去にプレート境界の同じ領域で繰り返し発生してきた大地震（海溝型地震）のように脅威となる地震の位置（断層面）がほぼ特定できる場合（特定震源）と、ある程度の範囲で発生することが予測できても予め位置を明確に特定することが困難な場合（領域震源）を区別することが一般的である。前者が「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の対象地震、後者中の地点近傍地殻内地震領域が「震源を特定せず策定する地震動」の対象地震である。地震のモデル化に関して、現状では認識論的不確定性の存在は不可避的である。認識論的不確定性を系統的に処理する方法としてロジックツリーは非常に有効と考えられる。

確率論的には、複数セグメントから構成される活断層や海溝型地震（南海トラフ沿いの地震など）の運動に関するモデルを改良し、適切なロジックツリーの分岐を設定することは重要な課題である。また、確定論的には、そうした判断のわかる項目に関して、どの範囲までを考慮するかの判断が重要である。複数セグメントから構成されるように見える活断層に関しては、一般に、

(i) セグメント毎にしか破壊しない（連動しない）、(ii) 全体が常に同時に破壊する（セグメントに分かれない）、(iii) 各種のセグメントの組み合わせで破壊（地震）が発生する、という3つの可能性が考えられる。この中の (iii) が連動の場合であり、長期的な各組み合わせの平均発

生頻度の評価、短期的な各組み合わせの発生確率の評価（例えば、各セグメントの平均破壊間隔とばらつき、最新活動時期から求められる各セグメントの破壊確率をセグメントの組み合わせ（地震）毎の発生確率に「変換」する方法）が必要になる。

地震動評価に用いられるモデルとして、各想定地震に対し基本震源モデルと不確かさを考慮したモデルが設定されており、それぞれのモデルに基づいて地震動が評価されている。不確かさとしては、破壊開始点、断層上端深さ、短周期レベル（1.5倍）、傾斜角、断層長さ、アスペリティ位置、アスペリティの面積、アスペリティの応力降下量などが考慮されている。距離減衰式の場合も断層モデルを用いた手法の場合も推定誤差（ばらつき）については特に考慮されていない。

基準地震動 S_5 の策定においては不確かさを考慮することが求められているが、検討用地震による地震動自体の不確かさの定量的評価は現状では行われていない。不確かさの定量的評価を行う1つの方法は、対象とする地震が発生することを前提として、ロジックツリー手法を適用し、地震動強さの確率分布をフラクタル的に評価することと考えられる。その評価結果が得られれば、確率の非超過レベルとフラクタルレベルの2つを指定すれば、地震動強さを求めることができる。当面の課題として、 S_5 として設定した地震動が、地震動強さの確率分布のどこに位置しているかを評価することが考えられる。

各サイトでPSHAが行われ、基準地震動 S_5 の超過確率が参照されており、多くの場合、 10^{-4} より小さい値が報告されている。ロジックツリー手法が用いられているため、結果はフラクタルハザード曲線の形で得られる。超過確率の参照に用いられているのは算術平均ハザードである。

3. 課題

不確定性を踏まえた意思決定プロセスを体系化するためには、最終的な地震動（応答スペクトル）自体の不確定性評価・確定論的には想定地震が発生するという条件下での地震動分布の評価、確率論的には地震動ハザードの評価・を行うプロセスの整備と得られた結果から基準地震動 S_5 を設定するプロセスの整備が必要と考えられる。それらを進めるための課題として下記のような項目が考えられる。

- 1) 活断層の範囲の認定や複数セグメントの連動の可能性など専門家の判断がわかれた項目をロジックツリー形式で表現し、重みを設定し、確定論的評価や確率論的評価に活用する。（短期的課題）
- 2) 断層モデルを用いた手法による地震動評価においても、平均とばらつき（分布）を評価できる枠組みを整備する。（短期的課題）
- 3) 検討用地震による地震動自体の不確かさの定量的評価を行い、 S_5 として設定した地震動が、地震動強さの確率分布のどこに位置しているかを参照する。（短期的課題）
- 4) 不確定性を系統的に評価する手法としてのロジックツリー手法の実用化（分岐の設定方法、重みの設定方法）を図る。（短期的課題）
- 5) 想定地震が発生するという条件下での地震動分布の評価及び地震動ハザードの評価結果から基準地震動 S_5 を設定する基準を整備する。（中期的課題）

(安中 正)

4.8.3 リスク評価における地震像の明確化

1. 地震工学的意義

日本列島周辺で発生する地震はいくつかのタイプに分けられ、それらの発生確率や、生じる地震動の特性は異なる。サイトの地震環境に応じて想定する地震像を明確にし、その地震動特性を考慮することは、合理的な耐震設計や高精度な地震リスク評価につながるものと考えられる。

図1-1には例として、日本海側と太平洋側の2地点（金沢市、静岡市）における地震ハザードカーブを示す。また、図1-2は同じ2地点における震度と影響度の関係を示す。影響度はハザードカーブの超過確率に対して、個別の地震あるいは地震群ごとの相対的な影響の大きさを表したものである。サイトごとに影響度が大きい地震タイプが異なること、また地震動の大きさにより、影響度が変化することが分かる。つまり、金沢市では震度5弱以下では、南海トラフ巨大地震の影響度が大きい。震度5強以上では、主要活断層帯¹⁾による地震や陸域浅部震源不特定地震の影響度が大きい。それに対し、静岡市では、震度によらず南海トラフ巨大地震の影響度が大きいことがわかる。

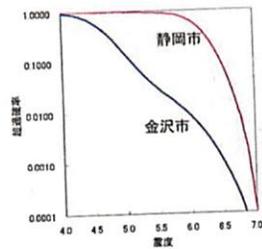


図1-1 地震ハザードカーブの例

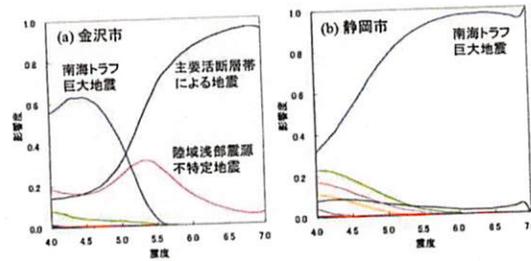


図1-2 震度と影響度の関係の例

2. 原子力施設における位置づけ

原子力発電所の確率論的安全評価（地震 PSA）においては、地震ハザードカーブだけでなく、建屋や機器のフラジリティカーブ（損傷度曲線）が評価される。地震タイプごとに、地震発生確率や地震規模、そして周期特性や継続時間などの地震動特性が異なるため、フラジリティカーブの評価においては、地震動の大きさに応じて地震像を明確化し、その地震動特性を考慮することが重要と考えられる。特に、構造物が強非線形化する強震動時には、地震動振幅のみならず周期特性や位相情報を適切に考慮することが重要となる。

また、残余のリスク²⁾だけでなく、発電施設の継続運転に影響するような中小の地震動に対するリスク評価も重要である。このような地震動は、残余のリスクに影響する大きな地震動と比較して、地震像と地震動特性が異なる場合があると考えられる。地震ハザードに含まれる地震タイプや個別の地震像を明確にし、その特徴を取り入れることが重要と考えられる。

3. 研究の現状

原子力施設の地震リスク評価の実務においては、フラジリティ評価のための入力地震動としては、一様ハザードスペクトルに適合する地震動波形や、設計用基準地震動（Ss）を振幅調整した地震動波形が用いられることがある。Ss は、海溝型地震や内陸型地震を想定して設定されるが、サイト周辺の多くの震源から予測される地震動のスペクトル振幅を包絡するように設定される。また、これらの波形の位相には、ランダムなものが用いられることが多い。したがって、用いる地震動波形は必ずしも、想定する個々の地震による現実的な地震動波形を表すわけではない。また、その地震動波形の生起確率も必ずしも明確でない。

サイト周辺の様々な震源に対して、断層モデルなどにより地震動評価を行い、これらを構造物への入力地震動とするような方法も研究されているが適用例はあまり多くない。また、このような方法を原子力施設の地震リスク評価に適用した例は現状では少ない。

4. 課題

地震ハザードへの影響を考慮した地震像の明確化のためには、まず、地震ハザード評価の高精度化が重要である。中でも、距離減衰式のばらつきとの与え方が、低頻度の地震動レベルに影響するため、ばらつき分類と低減が課題と考えられる。

次に、地震動波形の継続時間や位相の適切な評価手法に関する研究が必要となる。建屋が免震化された場合には、機器の固有周期である短周期成分が大きく低減され、耐震建屋と比較して、地震リスクが大きく低減する可能性がある。一方で、やや長周期地震動との共振や、免震層のハードニングによる建屋と機器への影響が考えられる。また、原子炉建屋とタービン建屋との渡り配管において、変位や繰返し応力による疲労破壊の問題もある。これらの評価のためには、対象となる地震動波形の周期特性と位相特性のリアリティが重要となる。断層モデルに基づく半経験的波形合成法では、それらを考慮することが可能となる。しかし、そのときの各パラメータの設定方法や不確実性の与え方の方法論には、オーソライズされた基準がなく、この分野の研究を進める必要がある。

海溝型地震と内陸型地震では、平均的な再現期間の違いのみならず、地震規模や震源距離、さらに震源位置の特定が可能か否かなど、地震ハザードへの影響が異なる。また、サイトに生じる地震動波形の特性が異なると考えられる。このため、対象サイトの地震環境に応じて、確率論的に影響が大きい地震像を明確にし、それによる地震動の特性を考慮することは、合理的な耐震設計や高精度な地震リスク評価につながるものと考えられ、この分野の研究を進める必要がある。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部：全国地震動予測地図 2010年版, http://www.jishin.go.jp/main/chousa/10_yosokuchizu/index.htm
- 2) 原子力安全委員会：発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針, 2006.

（藤川 智）

4.8.4 断層～距離減衰式 (スペシフィックとオーバーオール, 整合性の考え方)

1. 地震工学的意義

2006年に改訂された「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」では、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」について、応答スペクトルに基づく地震動評価と断層モデルを用いた手法による地震動評価の双方を実施し、それぞれによる基準地震動 S_S を策定することとしている。応答スペクトルに基づく地震動評価は、応答スペクトルの距離減衰式を用いた評価であり、断層モデルを用いた手法による地震動評価は、断層面上での破壊過程 (アスペリティの分布、破壊開始点など) を考慮した半経験的あるいは理論的方法による評価である。なお、震源が近く、その破壊過程が地震動評価に大きな影響を与えられ地震については、断層モデルを用いた手法を重視すべきであることが「指針」の解説の中で指摘されている。

2つの方法を併用していくことは現実的であり合理的と考えられるが、応答スペクトルに基づく地震動評価では、データの回帰式であることから、平均値とばらつき (対数標準偏差) が明示的に得られるのに対し、断層モデルを用いた手法による地震動評価では、不確かさを考慮した複数の震源モデルに対する時刻歴と応答スペクトルの組みが得られるという違いがある。性格の違った2つの方法の整合性についてどのように考えるのか、両者の結果をどのように併用していくかは、基準地震動 S_S の策定において重要な課題と考えられる。

2. 評価の現状

応答スペクトルに基づく地震動評価では、観測記録の飛躍的増加に伴い、各種の影響 (断層タイプ、断層上盤効果など) の取り込みが図られている。また、ばらつきの性質 (距離依存性など) が検討されている。断層モデルを用いた手法による地震動評価では、特性化震源モデルに基づく「レシピ」 (震源断層を特定した地震の強震動予測手法 (「レシピ」) としてまとめられ、修正・改訂が図られている。原子力発電所における評価の現状は下記のようなものである。

応答スペクトルに基づく地震動評価では、耐専式 (等価震源距離を用いた距離減衰式) が基本的に用いられている。ただし、サイトの地震観測記録を用いた補正倍率を用いる例が多くなっており、距離減衰式の絶対値にはあまり依存しなくなっている。補正倍率の推定においては、解放基盤相当位置での解放基盤波 (はぎとり波) を推定し、その応答スペクトルと距離減衰式による応答スペクトルを比較することにより求められている。補正倍率は、プレート間地震、スラブ内地震、内陸地殻内地震などに地震を分類し、それぞれ毎に評価している例が多い。問題は、分類毎の補正倍率にかなり大きな違いが見られることであり、そのため内陸地殻内地震に対する観測記録が得られていない場合には、地震観測記録に基づく補正倍率が適用できなくなっている。本来は、補正倍率が地震の分類にあまり依存しないような距離減衰式が望ましいと考えられる。そのため、地震動強さに対する各種要因の影響をより明確にする必要があると考えられる。なお、距離減衰式として、耐専式以外に、最近の国内の式や米国の次世代型距離減衰式 (NGA) プロジェクトの式が用いられている場合がある。

断層モデルを用いた手法による地震動評価では、統計的グリーン関数法 (短周期) と理論的方法 (長周期) を組み合わせたハイブリッド合成法や経験的グリーン関数法 (短周期) と理論的方法 (長周期) を組み合わせたハイブリッド合成法を用いられている。統計的グリーン関数法では、Booreの方法に基づき要素地震波が作成されており、周波数に応じたラディエーションパターンが考慮されている。地震基盤から解放基盤までの地盤増幅特性は、斜め入射を仮定したSH波とSV波の増幅特性として評価されている。合成には入倉の方法などが用いられている。理論的

方法では、平行成層構造を仮定した例が多い。

地震動評価に用いられるモデルとして、各想定地震に対し基本震源モデルと不確かさを考慮したモデルが設定されており、それぞれのモデルに基づいて地震動が評価されている。不確かさとしては、破壊開始点、断層上端深さ、短周期レベル (1.5倍)、傾斜角、断層長さ、アスペリティ位置、アスペリティの面積、アスペリティの応力降下量などが考慮されている。距離減衰式の場合も断層モデルを用いた手法の場合も推定誤差 (ばらつき) については特に考慮されていない。

最終的な基準地震動 S_S の策定については、各想定地震に対し評価された応答スペクトルを包絡するスペクトルを設定し、それに適合する模擬地震動を作成したケース、断層モデルを用いた手法による地震動評価をそのまま用いたケース、「震源を特定せず策定する地震動」の応答スペクトルに適合する模擬地震動を作成したケースなどがある。時刻歴への変換には応答スペクトル適合模擬地震動を作成する方法が一般的であり、振幅包絡線の経時変化を与え、位相角を一様乱数で与える方法が用いられている。

3. 課題

応答スペクトルに基づく地震動評価で得られる結果は、平均とばらつきである。通常、ばらつきに関しては、エルゴード性が仮定されており、空間的に広がっている多数の点のばらつき分布が、同一地震が繰り返し発生した場合の特定地点におけるばらつき分布に等しいと仮定されている。しかし、同一地震 (固有地震) が繰り返し発生した場合の特定地点のばらつきは、多数の点のばらつきとは性質が異なる可能性があり、本来はそうした場合の分布を評価する必要がある。

一方、断層モデルを用いた手法による地震動評価で得られる結果は、特定の破壊過程をもつ地震に対する結果であり、推定誤差を含んでいる。各想定地震で生じうる破壊過程のパラメータの範囲を限定することができれば、その範囲の破壊過程に対する計算結果と推定誤差を合わせることで、各想定地震による地震動分布を推定することが可能になると考えられる。

2つの方法について、上記のような分布を評価して、比較することにより、2つの方法の整合性を検討できると考えられる。そのための課題として、下記のような項目が考えられる。

- 1) 同一地震 (固有地震) が繰り返し発生した場合の特定地点のばらつきについて、既往の繰り返し地震のデータに基づき検討する。(短期的課題)
- 2) 断層モデルを用いた手法による地震動評価の推定誤差を、既往の地震の観測記録を用いて、定量的に評価する。(短期的課題)
- 3) プレート間地震、スラブ内地震、内陸地殻内地震などに地震を分類し、各地震分類に対し、破壊過程のパラメータの変動範囲を評価する。(短期的課題)
- 4) 固有地震が繰り返し発生する場合の破壊過程のパラメータの変動範囲に関して、既往の繰り返し地震のデータや破壊過程に関する理論的モデルなどに基づいて検討する。変動範囲は、一般的な地震の変動範囲に比べ小さくなると考えられる。(中期的課題)
- 5) 以上の検討結果から、断層モデルを用いた手法による地震動評価において、平均とばらつき (分布) を評価する方法を検討する。(中期的課題)
- 6) 以上の結果に基づいて、最終的な基準地震動 S_S を策定するルール (包絡のルールなど) をより明確にする。(中期的課題)

(安中正)

原子力発電所の地震安全に関する地震工学分野の研究ロードマップ

2011年10月

編集 一般社団法人 日本地震工学会
〒108-0014 東京都港区芝 5-26-20
TEL : 03-5730-2831 FAX : 03-5730-2830
<http://www.jaee.gr.jp/>
e-mail : office@general.jaee.gr.jp

印刷： 昭和情報プロセス（株）