

平成23年(ワ)第1291号, 平成24年(ワ)第441号, 平成25年(ワ)第516号, 平成26年(ワ)第328号

伊方原発運転差止請求事件

原告 須藤 昭 男 外1337名

被告 四国電力株式会社

準備書面(42)

2015年4月13日

松山地方裁判所民事第2部 御中

原告ら訴訟代理人

弁護士	薦	田	伸	夫
弁護士	東		俊	一
弁護士	高	田	義	之
弁護士	今	川	正	章
弁護士	中	川	創	太
弁護士	中	尾	英	二
弁護士	谷	脇	和	仁
弁護士	山	口	剛	史
弁護士	定	者	吉	人
弁護士	足	立	修	一
弁護士	端	野		真
弁護士	橋	本	貴	司
弁護士	山	本	尚	吾
弁護士	高	丸	雄	介
弁護士	南		拓	人
弁護士	東			翔

訴訟復代理人

弁護士	内	山	成	樹
弁護士	只	野		靖

はじめに

原子力発電所の耐震安全性は、基準地震動の適切な策定にかかっているところ、過去10年間で6回も基準地震動を超える地震動が原発を襲ったことからすれば、これまでの地震動想定手法には根本的な欠陥があり、著しい過小評価を招いている。

その根本的な欠陥の最大の理由は、基準地震動の策定が、既往地震の地震動の平均像を基礎として行われてきたことにある。平均像からのかい離、すなわち誤差は、どの想定手法によっても既往最大でおおむね少なくとも平均像の4倍程度はとる必要がある（複数の誤差の重なりを考えれば、さらに大きく見積もる必要もある）、既往最大を超える平均像からのかい離を考えれば、少なくとも平均像の10倍はとる必要がある。しかし、このような誤差は考慮されずに無視されている。

そして、これは新規制基準でも全く是正されていない。

また、直下地震の想定（震源を特定せず策定する地震動の想定）も、全ての原発で、 M_w （モーメントマグニチュード）で6.5未満まで考えられるのに、 M_w 5.7の2004年留萌支庁南部地震の地震動、しかも観測された地震動でその地震の最大地震動ではない過小な地震動程度の地震動しか想定しようとせず、本来あるべき想定を大幅に下回る想定しかなされていない。

危険な原発の地震動想定だということをすっかり忘れ去ったかのような、あまりにも過小な地震動想定が、いまだにまかりとおっているのが、今の日本の原発の耐震設計である。

想定を大幅に超える地震動が原発を襲った場合には、安全上重要な設備も同時に想定を超える地震動に襲われるのであるから、炉心溶融などの過酷事故を防止できない。

本書面では、原発の地震動想定手法の誤りについての総論を改めて述べるものである。

目次

第1章	原発の耐震設計（前提）	8
第1	原発の耐震設計の流れ	8
1	原発の基準地震動について	8
(1)	基準地震動と耐震設計審査指針	8
(2)	旧耐震指針における基準地震動(S 1 と S 2)	8
(3)	新耐震指針における基準地震動(S s)	9
2	原発の耐震設計の全体像	9
3	基準地震動 S s 策定の全体像	11
第2	基準地震動 S s の例	14
第3	前提となる事実	17
1	耐震設計の基礎	17
(1)	地震と地震動	17
(2)	地震とは	18
(3)	断層とは	18
(4)	震源断層面, アスペリティ (強震動生成域)	19
(5)	地震 (動) の観測	21
(6)	地震の大きさ	22
(7)	地震動の大きさ	23
(8)	重力(の)加速度	24
(9)	加速度と力の関係	24
(10)	地震動の加速度	25
(11)	地震動の例	26
(12)	小括	27
2	地震動の性質	27
(1)	振動の基本的な性質	27
(2)	地震動の諸性質	28
(3)	周期特性とスペクトル	29
3	地震動の破壊力	31
(1)	地震動と建築	31

(2) 固有周期	32
(3) 共振現象	33
(4) 実際の地震動と建物の共振	33
(5) 応答スペクトル	33
(6) 地震動と応答スペクトル	35
(7) 原発の機器・配管の固有周期は0.02秒～0.5秒程度の短周期に集中していること	37
(8) 耐震設計	40
(9) より詳細な耐震設計	41
(10) 短周期レベルの地震動と応力降下量	41
(11) 物が壊れれば，固有周期が変化すること	43
(12) 震源特性，伝播特性，サイト特性	43
第2章 原発の耐震設計（各論）	45
第1 「不確かさの考慮」が原発の耐震設計では必要となること	45
1 不確かさを考慮しなければならない理由	45
(1) 地震の科学には限界があること	45
(2) 地震学の現状	47
(3) 不確かさを安全側に十分に大きく考慮することが必須である	48
2 新耐震指針(平成18年指針)における不確かさの考慮の要求	50
3 新規制基準における不確かさの考慮の定め	52
4 科学的推定には必ず誤差がある	52
第2 応答スペクトルに基づく手法について	53
1 応答スペクトルに基づく手法とは	53
(1) マグニチュードと震源距離の想定	53
(2) 応答スペクトルに基づく手法の詳細	55
(3) 応答スペクトルに基づく手法の種類	57
2 応答スペクトルに基づく手法の問題	58
(1) 地震規模の想定には，莫大な誤差が伴う	58
(2) 耐専スペクトルも，野田他（2002）の応答スペクトルも平均像を求めるもの	59

(3) 応答スペクトルに基づく手法の誤差（平均像からのかい離の程度）	60
(4) 観測値のバラツキの程度	62
3 小括	64
第3 断層モデルを用いた手法について	66
1 断層モデルを用いた手法とは	66
2 グリーン関数の誤差（不確かさ）が考慮されていない	67
3 強震動予測レシピについて	69
(1) 強震動予測レシピ	69
STEP 1 断層破壊面積	70
STEP 2 地震モーメント	72
STEP 3 平均応力降下量	77
STEP 4 アスペリティの総面積	78
STEP 5 アスペリティの応力降下量	81
STEP 6 アスペリティの個数と配置	82
STEP 7 アスペリティの平均すべり量比	83
STEP 8 アスペリティの実効応力と背景領域の実効応力	83
STEP 9 すべり速度時間関数の設定	84
(2) 地震調査委員会の強震動予測レシピ	84
4 スケーリング則は莫大な誤差を必ず伴う	90
(1) スケーリング則について	90
(2) スケーリング則には必然的に莫大な誤差が含まれる	90
5 応答スペクトルに基づく手法と断層モデルを用いた手法の比較	91
6 平成19年能登半島地震の概要（平均を超えた例）	91
(1) 平成19年能登半島地震の各種パラメータ	91
(2) 平成19年能登半島地震のパラメータと入倉レシピの比較	95
第4 「震源を特定せず策定する地震動」について	97
1 「震源を特定せず策定する地震動」とは	97
2 電力会社がこれまで採用していた「震源を特定せず策定する地震動」	97
3 石橋克彦氏による「加藤ほか(2004)」の応答スペクトル批判	100
4 原子力安全基盤機構（JNES）による検討	100

(1)	「加藤ほか(2004)」の研究の不充分性の指摘	100
(2)	対象地震の選定と「震源を特定せず策定する地震動」の最大規模の推定	101
5	震源を特定せず策定する地震動についてのJNESによる断層モデルでの評価	104
(1)	JNESによって行われた断層モデルによる方法とその結果	104
(2)	JNESの説明の欺瞞性	106
6	規制委員会の考え方	110
7	「震源を特定せず策定する地震動」にも不確かさの考慮が必要	115
8	2004年留萌支庁南部の地震	117
(1)	2004年留萌支庁南部地震の概要	117
(2)	留萌支庁南部地震の地震動	118
(3)	地盤による地震動の増幅	119
(4)	HKD020の観測点の地震動は、留萌支庁南部地震の最大地震動ではない	122
(5)	少なくともMw6.5が想定されるべき	124
(6)	試算	124
(7)	不確かさの考慮	127
(8)	Mw6.5未満の地震を想定することは仮想的か	128
9	2000年鳥取県西部地震（震源を特定せず策定する地震動Mw 6.5以上のもの）	129
(1)	2000年鳥取県西部地震の概要	129
第5	原子力発電所における従前の地震動想定は著しい過小評価であったこと	133
1	従前の地震動想定に対する国会事故調報告書の指摘	133
(1)	国会事故調報告書の指摘	133
(2)	従前の地震動想定は10年間で5ケースも誤ったこと	133
ア	平成17年（2005年）8月16日宮城県沖地震における女川原発のケース	133
イ	平成19年（2007年）3月25日能登半島沖地震	135
ウ	平成19年（2007年）7月16日新潟県中越沖地震	136

エ	平成23年(2011年)3月11日の東北地方太平洋沖地震における福島第一原発のケース	137
オ	平成23年(2011年)の東北地方太平洋沖地震における女川原発のケース	138
2	従前の地震動想定が著しい過小評価となった理由	138
第6	2007年新潟県中越沖地震の知見(地盤による増幅の問題)	142
1	2007年新潟県中越地震とは	142
2	中越沖地震についての電力会社の解析の問題点	144
3	速度構造を知るための多数の調査手法の存在	146
第7	新規制基準においても地震動想定手法は従前のままであり、原発の安全性は到底確保されないこと	147
1	新規制基準においても地震動想定手法は従前のままであること	147
2	従前と同じ手法で地震動想定を続ければ、 S_s を上回る地震動が原発を襲うこと	148
3	「過去最大(既往最大)」を超えることも十分にあり得ること	148
4	失敗した従前の手法のままでは、原発の安全性は到底確保されないこと	149
第3章	本件原発の耐震設計	149
第1	応答スペクトルに基づく手法	149
1	内陸地殻内地震	149
2	海洋プレート内地震	153
第2	断層モデルを用いた手法	156
1	内陸地殻内地震	156
2	海洋プレート内地震	162
第3	基準地震動	163
第4章	結論	165

第1章 原発の耐震設計（前提）

（本章の内容については、当事者間に争いの無い事項であると思われる。）

第1 原発の耐震設計の流れ

1 原発の基準地震動について

（1）基準地震動と耐震設計審査指針

原発の耐震設計は、基準地震動（S1, S2, Ss）を基礎として行われる。基準地震動はその後のすべての設計の基本となるものであって、基準地震動の想定を誤れば、原発の耐震安全性は確保されない。

基準地震動は、全国一律に定められているものではなく、原子力安全委員会の「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」に基づき、各電力事業者が策定してきた。

この耐震設計審査指針は、平成18年（2006年）9月に大きく改訂された。改訂の契機となったのは、平成7年（1995年）の兵庫県南部地震と平成12年（2000年）の鳥取県西部地震である。特に、2000年鳥取県西部地震では地表に現れていた断層から想定される地震動を上回る地震動が観測されたことが直接の契機となり、原子力安全委員会は、平成13年（2001年）から耐震設計審査指針の見直し作業を始めた。

しかし、この見直し作業は難航を極め、最新の地震学の知見などを盛り込んだ新耐震設計審査指針が定められたのは、平成18年（2006年）9月のことであった（以下、2006年に見直された耐震設計審査指針を「新耐震指針」といい、これ以前のものを「旧耐震指針」という。）。

（2）旧耐震指針における基準地震動（S1とS2）

旧耐震指針では、基準地震動は、S1とS2の二つに分けられており、以下のとおり定義される。

S1 設計用最強地震

「歴史的資料から過去において敷地またはその近傍に影響を与えたと考えられる地震が再び起こり、敷地およびその周辺に同様の影響を与えるおそれのある地震および近い将来敷地に影響を与えるおそれのある活動度の高い活断層による地震のうちから最も影響の大きいもの」

S 2 設計用限界地震

「地震学的見地に立脚し設計用最強地震を上回る地震について、過去の地震の発生状況、敷地周辺の活断層の性質および地震地体構造に基づき工学的見地からの検討に加え、最も影響の大きいもの」

このように、原発の基準地震動は、過去の地震および将来の地震のうち「最も影響の大きいもの」(S 1 設計用最強地震)、「地震学的見地に立脚し設計用最強地震を上回る地震について・・・最も影響の大きいもの」(S 2 設計用限界地震)とされており、最大規模の地震動の想定が求められていた。

(3) 新耐震指針における基準地震動(S_s)

これに対して、新耐震指針における基準地震動S_sは、以下のとおり定義される。
「施設の耐震設計において基準とする地震動で、敷地周辺の地質・地質構造並びに地震活動性等の地震学および地震工学的見地から、施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があり、施設に大きな影響を与えるおそれがあると想定することが適切な地震動」

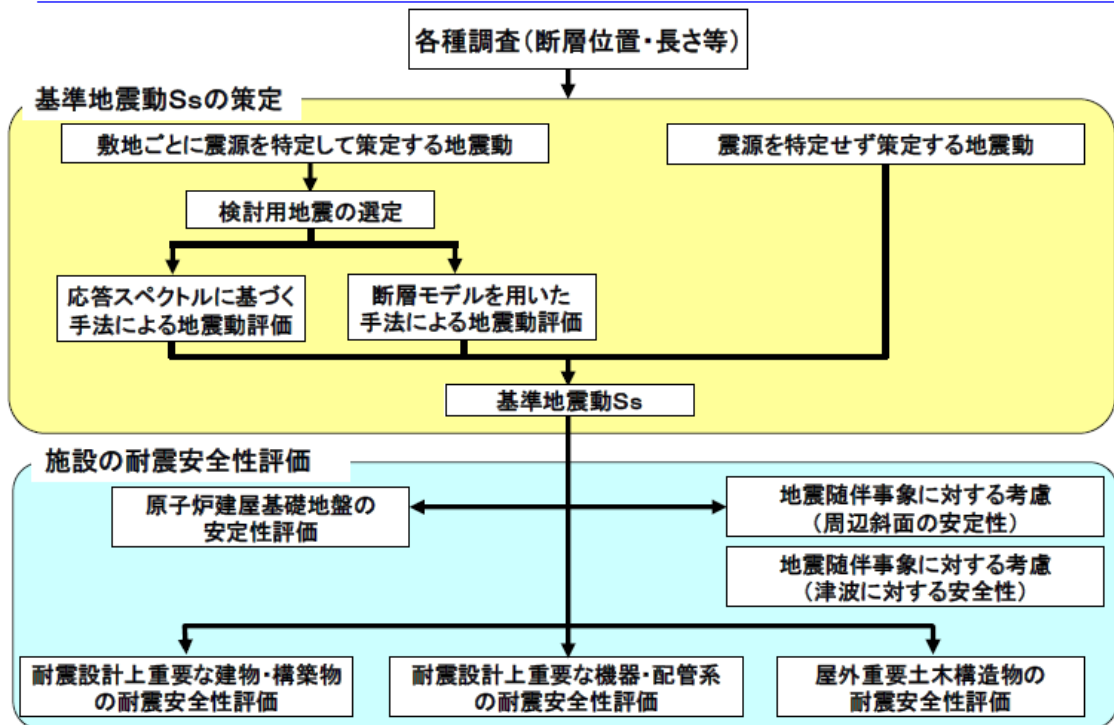
このように、新耐震指針における基準地震動(S_s)は、「極めてまれではあるが発生する可能性があり、施設に大きな影響を与えるおそれがある」とされており、最大規模の地震動の想定が求められることが、より明確になった。

しかしながら、本書面を通じて論ずるように、実際に設定された基準地震動は、全国すべての原発で、「平均像+ α 」でしかなくおらず、最大規模の地震動の想定は全くなされていなかった。

2 原発の耐震設計の全体像

原発の耐震設計は次のような流れでなされている。

耐震安全性評価全体フロー



7

「浜岡原子力発電所 3，4 号機「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果の報告について」平成 19 年 4 月 4 日

これを大きく分ければ，以下の 3 つに分けられる。

- ① 断層位置や長さ等の各種調査
- ② 基準地震動 S_s の策定
- ③ (基準地震動 S_s に基づく) 施設の耐震安全性評価

断層位置や長さ等の各種調査を適切に行うことは当然である。しかしながら，過去に発生した地震を完全に把握することは不可能である。

また，構造物を建設する地点で，将来起こる地震の記録は得られておらず，将来起こると予想される地震の記録と同様の性質を有する地震の記録が得られている場合もほとんどない。

そこで，将来起こる地震の当該地点での強震動を，シミュレーションによって予測することが必要となるのである（甲 129・山中浩明編著「地震の揺れを科

学する一みえてきた強震動の姿」133頁)。

断層位置や長さ等の各種調査を受けてなされる、基準地震動 S_s の策定は、要するに、将来起こる可能性のある最大の地震の揺れ（地震動）を予測することと同義である。

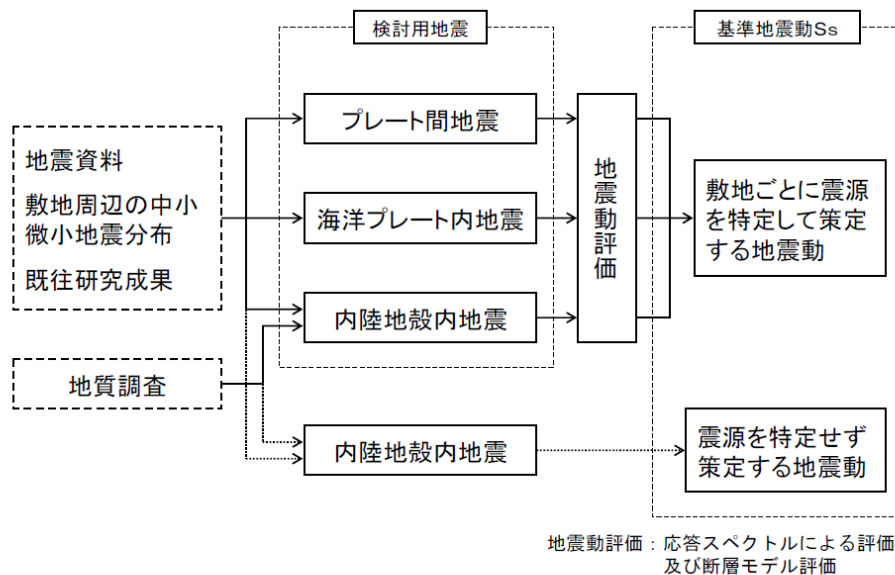
原発の安全性を確保するためには、将来起こる可能性のある最大の地震の揺れ（地震動）に対して、構造物が破壊されないように設計する必要がある。

そして、そのためには、構造物を数値的なモデルで表して、それと地盤が接している部分に入力する地震動（入力地震動ともいう。）を用意し、その地震動を受けた構造物がどのような挙動を示すかをシミュレーションする必要がある。

3 基準地震動 S_s 策定の全体像

基準地震動 S_s の策定は、次のような流れでなされている。

(2) 基準地震動 S_s 策定フロー



これを大きく分ければ、

- ① 地質調査や活断層の評価を前提とする、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

② 震源を特定せず策定する地震動

の大きく 2 つに分かれる。

この点について、新耐震指針は、以下のように規定している。

「5. 基準地震動の策定

施設の耐震設計において基準とする地震動は、敷地周辺の地質・地質構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があり、施設に大きな影響を与えるおそれがあると想定することが適切なものとして策定しなければならない。(以下、この地震動を「基準地震動 S_s 」という。) 基準地震動 S_s は、以下の方針により策定することとする。

(1) 基準地震動 S_s は、下記(2)の「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び(3)の「震源を特定せず策定する地震動」について、敷地における解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動としてそれぞれ策定することとする。

(2) 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」は、以下の方針により策定することとする。

① 敷地周辺の活断層の性質、過去及び現在の地震発生状況等を考慮し、さらに地震発生様式等による地震の分類を行ったうえで、敷地に大きな影響を与えると予想される地震（以下、「検討用地震」という。）を、複数選定すること。

② 上記①の「敷地周辺の活断層の性質」に関しては、次に示す事項を考慮すること。

i) 耐震設計上考慮する活断層としては、後期更新世以降の活動が否定できないものとする。なお、その認定に際しては最終間氷期の地層又は地形面に断層による変位・変形が認められるか否かによることができる。

ii) 活断層の位置・形状・活動性等を明らかにするため、敷地からの距離に応じて、地形学・地質学・地球物理学的手法等を総合した十分な活断層調査を行うこと。

③ 上記①で選定した検討用地震ごとに、次に示す i) の応答スペクトルに基づく地震動評価及び ii) の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。なお、地震動評価に当たっては、地震発生様式、地震波伝播経路等に応じた諸特性（その地域における特性を含む。）を十分に考慮することとする。

i) 応答スペクトルに基づく地震動評価

検討用地震ごとに、適切な手法を用いて応答スペクトルを評価のうえ、それらを基に設計用応答スペクトルを設定し、これに地震動の継続時間、振幅包絡線の経時的変化等の地震動特性を適切に考慮して地震動評価を行うこと。

ii) 断層モデルを用いた手法による地震動評価

検討用地震ごとに、適切な手法を用いて震源特性パラメータを設定し、地震動評価を行うこと。

- ④ 上記③の基準地震動 S_s の策定過程に伴う不確かさ（ばらつき）については、適切な手法を用いて考慮することとする。

- (3) 「震源を特定せず策定する地震動」は、震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に敷地の地盤物性を加味した応答スペクトルを設定し、これに地震動の継続時間、振幅包絡線の経時的変化等の地震動特性を適切に考慮して基準地震動 S_s を策定することとする。」

以上のように、地震動評価の手法については、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動と、震源を特定せず策定する地震動の双方を策定し、前者については、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する、とされている。

なお、これらの基準地震動は、解放基盤表面において設定されるものである。解放基盤表面とは、以下のとおり定義される。

「基準地震動を策定するために、基盤面上の表層や構造物が無いものとして仮想的に設定する自由表面であって著しい高低差がなく、ほぼ水平で相当な広がりを持って想定される基盤の表面。ここでいう「基盤」とは、概ねせん断波速度 $V_s=700\text{m/s}$ 以上の硬質地盤であって、著しい風化を受けていないもの」

第2 基準地震動S_sの例

基準地震動S_sの一例として、九州電力の川内原発の例を挙げる。川内原発でも、上記の「応答スペクトルによる手法に基づく基準地震動」「断層モデルを用いた手法に基づく基準地震動」「震源を特定せず策定する地震動による基準地震動」の3つの検討を行い、基準地震動S_sを策定している。その具体的な基準地震動の形状は、以下のとおりである。

「川内原子力発電所 地震について 平成26年4月23日」

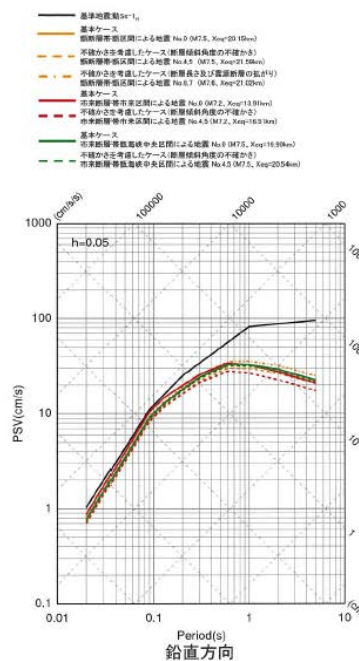
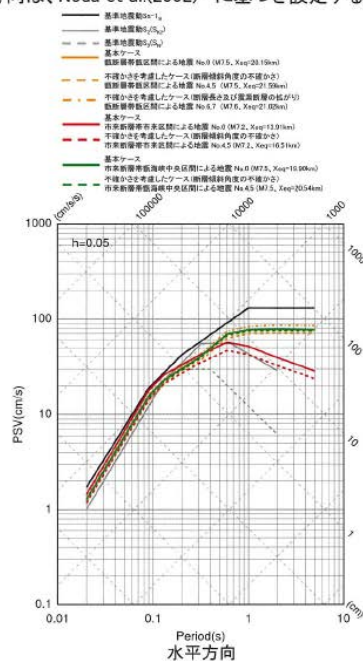
http://www.nsr.go.jp/activity/regulation/tekigousei/h26fy/data/0107_04-1.pdf

http://www.nsr.go.jp/activity/regulation/tekigousei/h26fy/data/0107_04-2.pdf

6.1 応答スペクトルによる手法に基づく基準地震動S_sの策定

応答スペクトルによる手法に基づく基準地震動S_sの策定

- 水平方向の基準地震動S_s-1は、検討用地震の応答スペクトルによる評価結果、及び旧耐震指針に基づく基準地震動S₂を包絡して設定する。
- 鉛直方向は、Noda et al.(2002)¹⁾に基づき設定する。

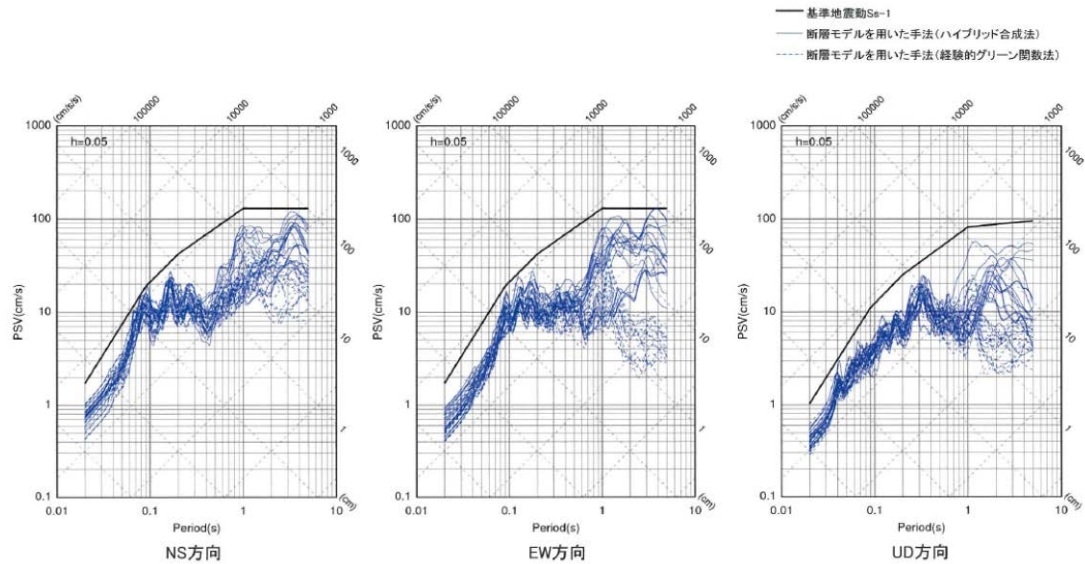


167

6.2 断層モデルを用いた手法に基づいた基準地震動Ssの策定

断層モデルを用いた手法に基づいた基準地震動Ssの策定

- 基準地震動Ss-1は、断層モデルを用いた手法による地震動評価結果を上回ることから、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の基準地震動はSs-1で代表させる。



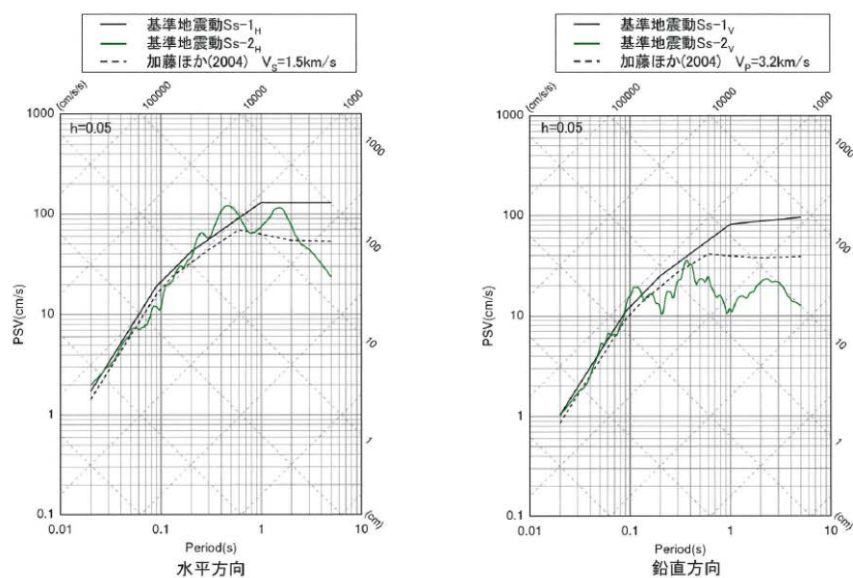
168

6.3 基準地震動の応答スペクトル

震源を特定せず策定する地震動による基準地震動Ssの策定

- 基準地震動Ss-1に加え、「震源を特定せず策定する地震動」として、2004年北海道留萌支庁南部地震におけるK-NET港町観測点の解放基盤波に当社独自の検討から余裕を持たせた地震動を、基準地震動Ss-2として追加。

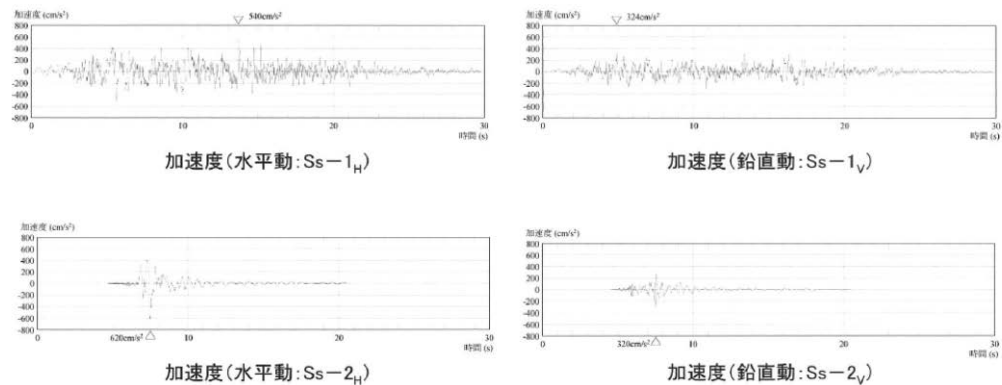
⇒下図中緑線



169

6.4 基準地震動の加速度時刻歴波形

基準地震動の加速度時刻歴波形



基準地震動				最大加速度 (cm/s^2)
基準地震動 Ss-1	設計用模擬地震波	水平成分	Ss-1 _H	540
		鉛直成分	Ss-1 _V	324
基準地震動 Ss-2	2004年北海道留萌支庁南部地震 を考慮した地震動	水平成分	Ss-2 _H	620
		鉛直成分	Ss-2 _V	320

170

以上のとおり，川内原発の基準地震動 S_s は， S_s-1 と S_s-2 の2つが策定されている。

S_s-1 （水平540ガル）は，旧耐震指針の S_2 に基づき策定されたものである。

S_s-2 （水平620ガル）は，2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮したものである。

なお，基準地震動 S_s は，時刻歴波形と応答スペクトルの2つの形で示されている。

時刻歴波形とは，地震計で観測される（観測されるであろう）実際の地震動であり，応答スペクトルとは，地震動が建物に与える影響を示したものである（この応答スペクトルについては，後述する。）。

なお，震源を特定して策定する地震動評価の手法としては，「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」の双方を実施することとされているが，その結果，地震動が建物に与える影響を示したものは，「応答スペクトル」と呼ばれる。

すなわち、断層モデルを用いた手法による地震動評価でも、応答スペクトルが示されるのであって、「応答スペクトルに基づく地震動評価」と「応答スペクトル」とは、名称は似ているが、異なる概念であることに注意を要する。

第3 前提となる事実

耐震設計の手法やその問題点を理解する前提として、応答スペクトルの理解が不可欠であり、応答スペクトルの理解のためには、地震と地震動、及びその地震動が建物に与える影響（すなわち、これが応答スペクトルであるが）についての基本的な理解が不可欠である。

そこで、本項では、これらの耐震設計の基本的な考え方について述べることにするが、本項の内容は、山中浩明編著『地震の揺れを科学するーみえてきた強震動の姿』（東京大学出版会。甲129）と、大崎順彦著『地震と建築』（岩波新書。甲130）、内山成樹著「原発 地震動想定の問題点」（甲215）に基づいている。

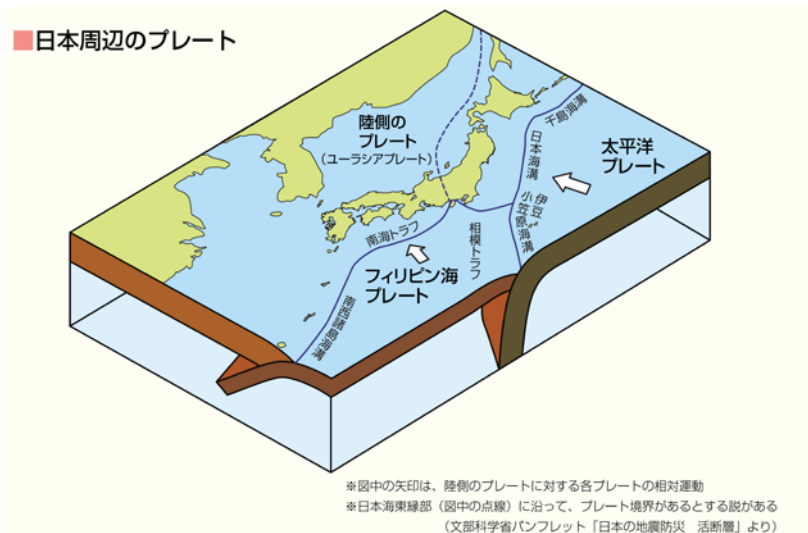
1 耐震設計の基礎

(1) 地震と地震動

地震は、地下の岩盤が急速に破壊されることによって地震波が発生し、それが地殻内をあらゆる方向に伝わる自然現象である。地震動は、その地震がもたらす揺れである。地下の岩盤が大きく破壊されればされるほど、それだけ発生する地震波は大きなものになる。

地震は、ある特定の地点（震源域）で発生するものであり、その大きさは1つの決まった値（推定値）である。これに対して、地震動は、同一の地震であっても、それを観測する地点によって、その大きさは全く異なる。遠くで地震が起きた場合は、揺れ（地震動）は小さいが、近くで地震が起きた場合は、揺れ（地震動）は大きい。このことは、私たちが日常に体験することである。

(2) 地震とは



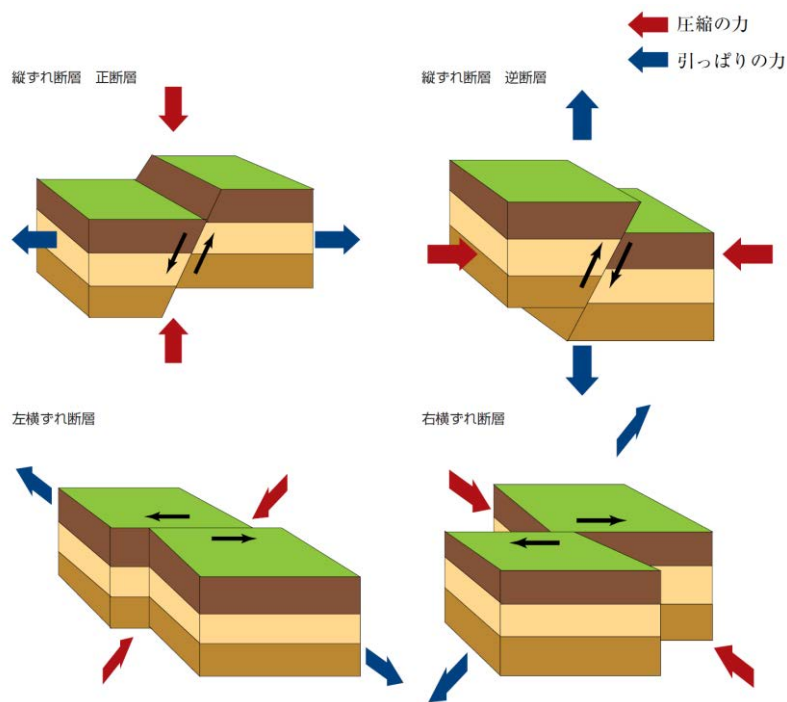
（奈良県ホームページ「地震発生のメカニズム」）

地震発生の原動力は、プレートという地球の表面を覆う硬い岩盤が押し寄せ、日本列島の下に沈み込んでいく力です。日本周辺は、4枚のプレートが押し合っていて、日本列島に歪を与えています。その歪が面的な岩盤のずれ破壊として解消するときに発生するのが地震であり、破壊される面が震源断層面であり、この震源断層面が地表に現れたものの地表での痕跡を断層（活断層）と言います。地下の断層面を断層という場合もあります。

地震には、押し寄せ、沈み込む海洋プレートの内部で起こる海洋プレート内地震（スラブ内地震）、プレートとプレートの境界で起こるプレート間地震、沈み込んだプレートの上にある地殻の中で起こる内陸地殻内地震があります。内陸地殻内地震起こる原動力も、プレートの押し寄せる力ということになります。

(3) 断層とは

断層には、押し合う力（圧縮応力）によって生じる逆断層、すれ違う力（せん断応力）によって生じる横ずれ断層、引っ張り合う力（引張り応力）によって生じる正断層があります。



図は文部科学省小冊子「地震の発生メカニズムを探る」より

5

文部科学省「日本の防災 活断層」

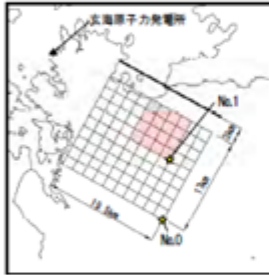
(4) 震源断層面，アスペリティ（強震動生成域）

ズレ破壊の面を、「震源断層面」という。この震源断層面は、鉛直であったり、一定の方向に傾いていたりする。

震源断層面での固着の程度は一樣ではなく、強固に固着されている部分（これを「アスペリティ」といい、断層がズレを起こす場合に特に強い地震波を発する。）と、非強固部分（背景領域）があり、このアスペリティは、各断層ごとに、その位置、大きさ、強固さ、その数を異にする。

震源断層面とアスペリティー

模式図



現実の震源断層面とアスペリティー

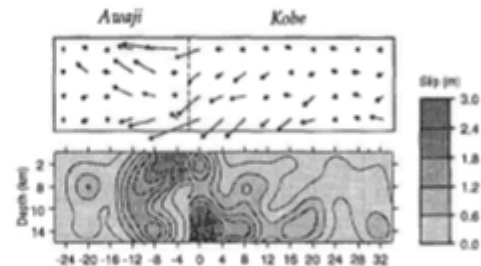


図 13. 新しい震源過程モデルにおけるすべり分布

アスペリティーとは強く固着し、大きな地震動を発生させる領域であり、東北地方太平洋沖地震では「強震動生成域」と称されている

原発の断層モデル(左図 玄海原発 城山南断層)は極めて簡略化したモデル
現実には断層面もアスペリティーも不定形(右図 1995年兵庫県南部地震)
現実の断層では地表の断層の前後の地下で長く断層面が伸びている

(玄海原子力発電所 基準地震動 S_s の策定について 平成21年9月18日
九州電力)

<https://www.nsr.go.jp/archive/nisa/shingikai/107/3/035/35-2-3.pdf>

(震源過程モデルにおける兵庫県南部地震の強震記録の再現性 瀬戸内海
か)

地震は、断層面をはさんで固着していた両側の地盤が、ぱりっと一気にずれて、たまっていた歪を解消させ、大きなエネルギーを周囲に地震動として放散させる現象である。最近の研究により、断層面には、強く固着した部分とそれ以外の部分があることがわかってきた。この強く固着した部分で特に大きな地震動を発生させるが、この領域を「アスペリティー」と呼び、それ以外の領域を「背景領域」と呼ぶ。なお、南海トラフの巨大地震モデル検討会は、大きなすべり量の発生した領域と強い震動が発生した領域が異なる 2011 年東北地方太平洋沖地震の知見を踏まえ、強い地震動を発生させる領域を「強震動生成域」と呼んでいるが、一般には、これをアスペリティーと今でも呼んでいる。

「アスペリティー」は、原発の耐震設計では、四角形で設定され、しかも断層面は地表の断層の真下にしかないと想定する。しかし、実際は、1995 年兵庫県南部地震の例(右図)で見られるとおり、不定形であり、なおかつその領域での固着の

程度も、一定ではない。また、上図で断層面が地表に達したところが野島断層であるが、断層面は、地表断層の前後に長く延びていることがわかる。孤立した短い断層でも、その地下には、大きな断層面があると考えべきこととなっているが（「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の「震源を特定せず策定する地震動」の項）、長い断層でも同様に、地表断層の延長上の地下に断層面が広がっていると考えるのが正しい。少なくとも兵庫県南部地震のように地表断層の延長上の地下に広がっている可能性は、決して否定できない。地表の断層は、地下の断層面での破壊が、地表に達して現れた「氷山の一角」でしかない。だから、地下の断層面の長さは地表の断層の長さより長いのが通例で、地表断層の下にだけに、四角い断層面があるというのは、あまりに簡略化されたモデルでしかなく、過小なモデルでしかない。原発の耐震設計での断層の想定は、相当に大雑把で過小なモデルによるものでしかない。地震現象が、1点での破壊開始から四方に破壊が伝播していく現象であることからすれば、地表の断層から垂直に下ろした線で、破壊が止まって断層面が四角くなるなどということはいえない想定である。一方で、兵庫県南部地震は、隣接した後述する「地表に断層が出現しない可能性のある」地震と連動したととらえることもできるから、いずれにしても地表の断層を大きくはみ出す震源断層面が出現する可能性は、決して否定できない。そして、現にそれが兵庫県南部地震として出現したのである。

アスペリティの実体がどのようなものなのかは、必ずしもよく分かっていない。

しかし、一般的に、震源断層面の両側の地盤の性質や凹凸などの形状によって、固着する部分と固着しない部分とがあるといわれている。

(5) 地震（動）の観測

地震という事象の全体像としての大きさを直接測定する方法はない。地震は地中奥深くで発生するため、直接測定ができないからである。

私たちが観測できるのは地震動であり、地震動は地震計で測定することができるが、地震計は今日では全国中に多数設置されており、一つの地震に対して、瞬時に地震計が揺れを観測する。

このようにして観測された地震動の記録から、地下のどのあたりでどのような規模の地震が発生したのかを推定している。

これが、地震の震源（域）や深さ、大きさ（マグニチュード）として発表されるが、その後、地表での変位のデータや余震分布なども加えて、震源域がより詳細に特定されていくのである。

（6）地震の大きさ

ア マグニチュードについて

地震の大きさ（地震の持つエネルギーの大きさ）はマグニチュード（M）で表わされるが、マグニチュードには幾つかの種類があり、代表的なものとしては、気象庁マグニチュード（M_j）と、モーメントマグニチュード（M_w）とがある。

気象庁マグニチュードは、周期5秒までの強震計の最大振幅を用いて計算するもので、大きな値になると飽和して、それ以上に大きな値にはならない。

そこで、東北地方太平洋沖地震のような巨大地震では、地震モーメント（M_o）によって導かれるモーメントマグニチュード（M_w）が用いられる。

イ 地震モーメント（M_o）について

地震モーメント（M_o）とは、震源断層面の面積（S）と断層面におけるずれ量（平均すべり量D）に、媒質の剛性率 μ （変形のしやすさ＝ずれ面の接着の強さ）を乗じた物理量である（甲129・26頁）。

この地震モーメント（M_o）は、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、後に述べる「断層モデルを用いた手法」において重要な要素となる。

ウ モーメントマグニチュード（M_w）について

モーメントマグニチュード（M_w）は、物理量である地震モーメント（M_o）から、
 $\log M_o = 1.5 M_w + 9.1$ (①)

の式で算出される。

モーメントマグニチュード（M_w）からみれば、

$$M_w = (\log M_o - 9.1) / 1.5 \text{ (②)}$$

となる（甲129・26頁）。

モーメントとは回転力を示すものであって、「力×長さ」であり、単位は、dyne・cm（もしくはN・m）である。

上記式の通り、モーメントマグニチュード(M_w)は地震によって放出されるエネルギーの量を、その対数によって表したものである。(1000 は 10 の 3 乗であるが、10 の何乗かを示す 3 を 1000 の対数という。「1000 の対数は 3 である」ことを「 $\log 1000=3$ 」と書く)。

例えば、 $M_w=6$ と $M_w=8$ を①式の右辺に入れると、それぞれ、 10^{18} と 10^{21} となり、対数で 3 の差があるから、真数では 10 の 3 乗、すなわち、1000 倍の差となり、エネルギーの量には大変な差がある(甲 130・40 頁)。

エ 応力降下量について

応力降下量とは、断層運動生成前に断層面に働いていた剪断応力 σ_0 と、生成後の応力 σ_1 の差 $\Delta\sigma$ ($=\sigma_1-\sigma_0$) のことである。地震動のエネルギーとして放出される応力の解放量と理解できる (単位は、MPa)。

(7) 地震動の大きさ

これに対して、地震動の大きさは、日常的には、震度として示されているが、震度は、人の揺れの体感であるので、科学的厳密さに欠ける。

そこで、より科学的な尺度として用いられているのは、地震動の速度と加速度である。

速度と加速度は、極めて重要な基本的概念であるので、一言しておく。

例えば、A 点から B 点まで 100 m 進むのに 5 秒かかったとすれば、この時の速度は毎秒 20 m となる。

これに対して、A 点を通過する時の速度が毎秒 15 m で、B 点を通過する時の速度は毎秒 25 m だったとすれば、5 秒間に毎秒 10 m の速度の変化があったことになる。これを 1 秒間あたりの速度の変化にすると、毎秒・毎秒 2 m となる。このような、「毎秒ごとに速度の変化する割合」を「加速度」という。

地震動の変位(位置の変化)は単位をセンチメートルで表すから、地面の速度は毎秒何センチメートル、加速度は毎秒・毎秒何センチメートルという表わし方をするが、このような表わし方をした時の加速度(毎秒・毎秒何センチメートル)の単位を「ガル」と名付けている(甲 130・51 頁)。

(8) 重力(の)加速度

重力の加速度についても、後の議論のために、補充しておく。

高いところから物を落とすと、地球の引力に引かれて落ちるが、この時の落下速度は一定ではなく、刻々と速度が加わっていく。つまり物体は加速されている。この時の加速度は、おおよそ 980 ガル(すなわち、毎秒・毎秒 980 センチメートル)という一定の値であるが、これを「重力(の)加速度」といい、1 G (イチジーと読む)ともあらわす(甲 130・52 頁, 54 頁)。

この重力加速度は、物体が鉄であっても、木であっても、羽毛であっても変わらない。

空気抵抗が無ければ、みな同じ時間で落ちるのは、重力加速度のためである。

(9) 加速度と力の関係

加速度は 1 秒あたりの速度の変化であり、速度が変化するということは、その物体に力が作用した、ということの意味している。これは、車を急発進した場合(毎秒ごとに速度が増加する割合が大きい場合)に、体がシートに押さえつけられること、逆に、車を急停止した場合(毎秒ごとに速度が減少する割合が大きい場合)に、体が前のめりになることで、体感できる。

「物体に力が働くとき、物体には力の同じ向きの加速度が生じる。その加速度 a の大きさは、働いている力の大きさ F に比例し、物体の質量 m に反比例する。」というのが、ニュートンの運動の第二法則であり、このように、「加速度と力は比例する」。

例えば、物には重さがある。「重さ」をもたらす力は重力であり、その重力によって生み出される加速度が重力加速度 980 ガル(1 G)である。人間やビルは地面に支えられているが、地面が取り払われれば、980 ガルの加速度で下に落ちる。

このように、物体は支えがあるから落ちていかないだけであって、いつも下方に向かって 980 ガルの加速度をもたらす重力を、地球上のすべての物体は受けているのである。

(10) 地震動の加速度

地震動は、地面の振動である。

振動とはある量のプラスとマイナスが繰り返される状態であり、地面の振動は、

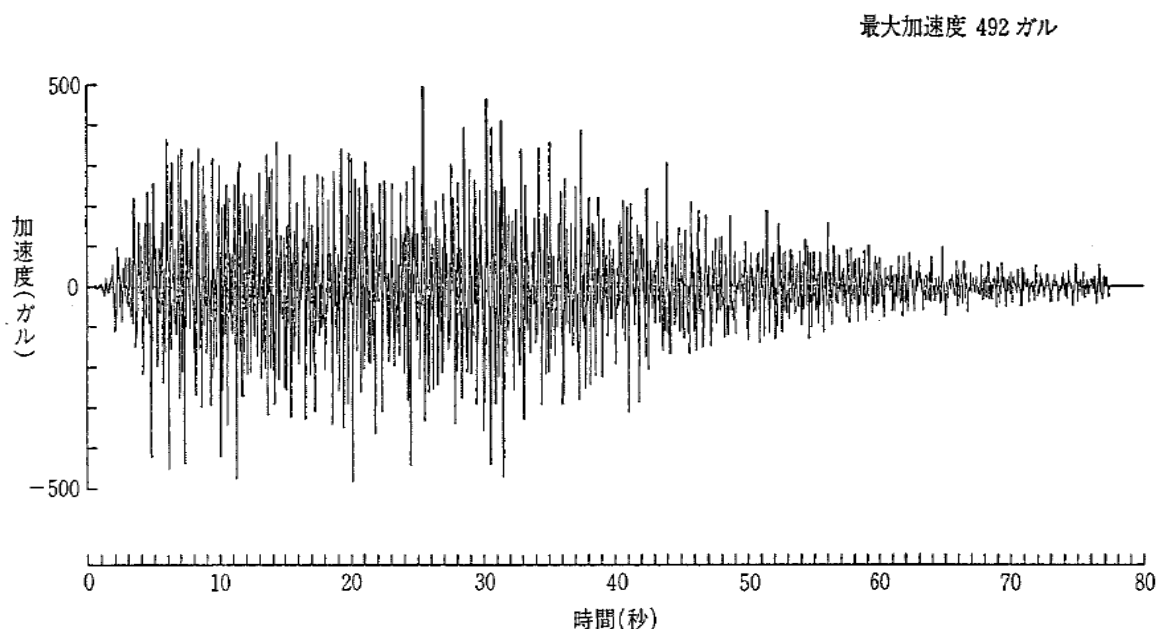


図 I-1 東京大学構内における加速度記録(「東京大地震」)

プラス・マイナスの加速度が繰り返し作用する状態である。これは、車が急発進・急停止・急後進を何度も繰り返している状態と同じである。

加速度は力であり、地震動の加速度によって、地上の物体には力が作用する。

加速度が大きければ、作用する力もそれだけ大きくなり、建築物を壊したりする。

図 I-1 (甲 130・9 頁)は、小説「日本沈没」が映画化された際に、大崎順彦氏が作成した「東京大地震」の推定地震動の加速度記録である(実測ではない)。

この図では、約 80 秒間、大小様々な加速度を繰り返しながら、地面は振動を続けているが、最も大きい加速度は 25 秒付近に表れており、その値は 492 ガルである(甲 130・8 頁)。

したがって、上記の地震は、(最大加速度) 492 ガルの地震といえることができる。

(11) 地震動の例

ただし、最大加速度が同じ地震であれば、その性質（影響）も同じ、というわけではない。むしろ、最大加速度が同じでも、その性質（影響）は全く異なる。

たとえば、次の図V-3（甲130・77頁）では、4つの地震動の加速度記録が並べてある。

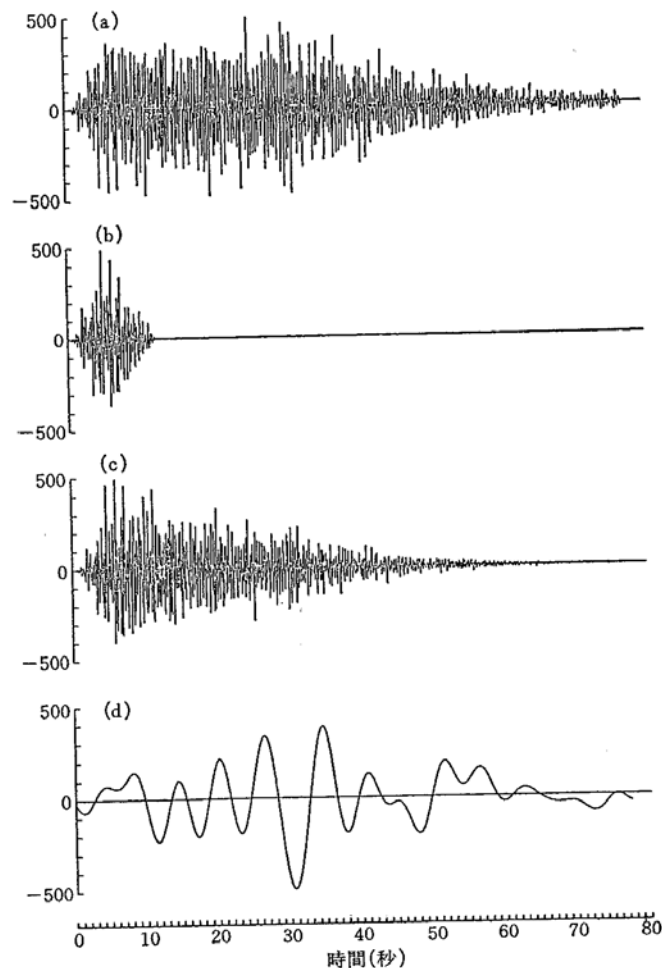


図 V-3 地震動のいろいろ

図V-3（甲130・77頁）の4つの地震動の最大加速度は、すべて490ガルである。ただし、その性質は全く異なる。

(a)は、激しい地震動が80秒近く続いている。

(b)は、継続時間が短く、12秒ほどである。

(c)は、立ち上がり直後にいったん強い加速度が作用するが、徐々に振動が収束す

る。

(d)は、(a)(b)(c)と異なり、長周期のゆっくりとした揺れである。

このように、同じ490ガルの地震でも、その性質は相当に異なる。もちろん、建物や機器・配管に及ぼす影響も全く異なるのである（このことは、後述する）。

(12) 小括

以上のとおり、「最大加速度が大きければ、地震動は強い」と言えることは、間違いない。

だから、最大加速度が大きい地震は破壊力が強く、大きい被害を引き起こす。

破壊力は力であり、加速度も力であるから、 $\text{加速度} = \text{破壊力}$ 、ということが成り立つ。

ただし、最大加速度の大小だけが、破壊力を決定する要因ではない。

地震動の破壊力は、最大加速度以外の特性（特に共振）の総合効果であることから、次に、最大加速度以外の地震動の性質を述べた上で、地震動の破壊力について述べる。

2 地震動の性質

(1) 振動の基本的な性質

振動の基本的な性質は、メトロノームの動きで（後述するように倒立振子でも）イメージできる。メトロノームの振り子は、同一線上を、左右に規則正しく、行きつ戻りつしている。

振り子が1秒間に1回往復する間に経過する時間を、「振動の周期」という。

① 1回往復するのに1秒かかるとすれば、周期は1秒

② 0.5秒かかるとすれば、周期は0.5秒

③ 2秒かかるとすれば、周期は2秒

である。速く繰り返すもの（例えば、0.5秒）を短周期、ゆっくり繰り返すもの（例えば、2秒）を長周期という。

これに対して、1秒間に何回振動するかという回数を、「振動数」といい、その単位はヘルツである。

① 1ヘルツは、1秒間に1回の振動

② 2 ヘルツは，1 秒間に 2 回の振動

③ 0.5 ヘルツは，1 秒間に 0.5 回の振動

となる。

周期と振動数は，逆数の関係になる。

次頁の図 V-1 (甲 130・74 頁) は，周期 0.5 秒の振動を表している。
横軸が周期，縦軸が振れ幅を表す。振れ幅は「振幅」ともいう。

図 V-1 のような同じ状態を単純に繰り返している振動を単振動という。

振幅がいくら大きくなっても，周期が同じであれば，戻ってくる時間は同じあるが，それは揺れの速度が速いということであり，すなわち，速度の変化量＝加速度も大きくなる，ということを意味している。

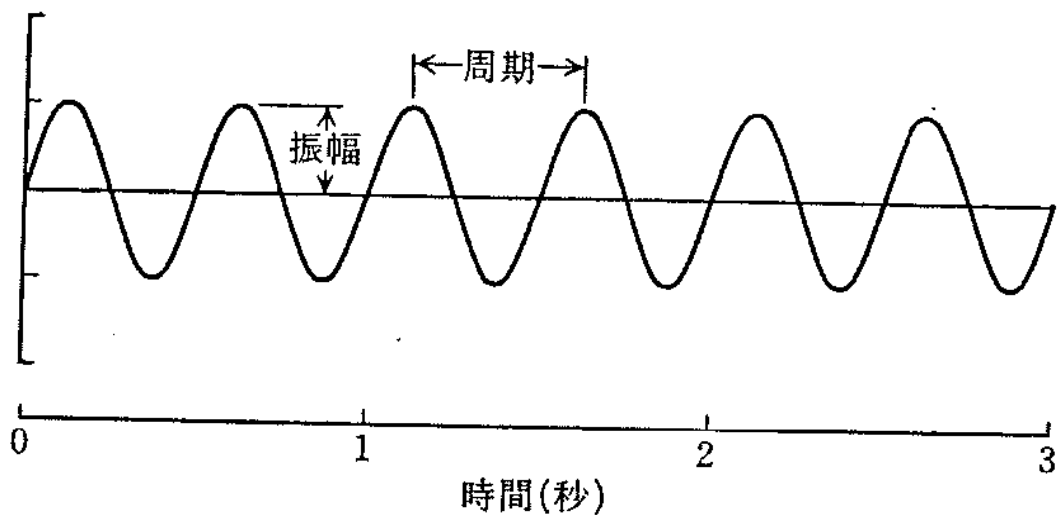


図 V-1 単振動

(2) 地震動の諸性質

実際の地震は，このような単純な振動ではなく，同じ状態が規則正しく繰り返されているわけではない。

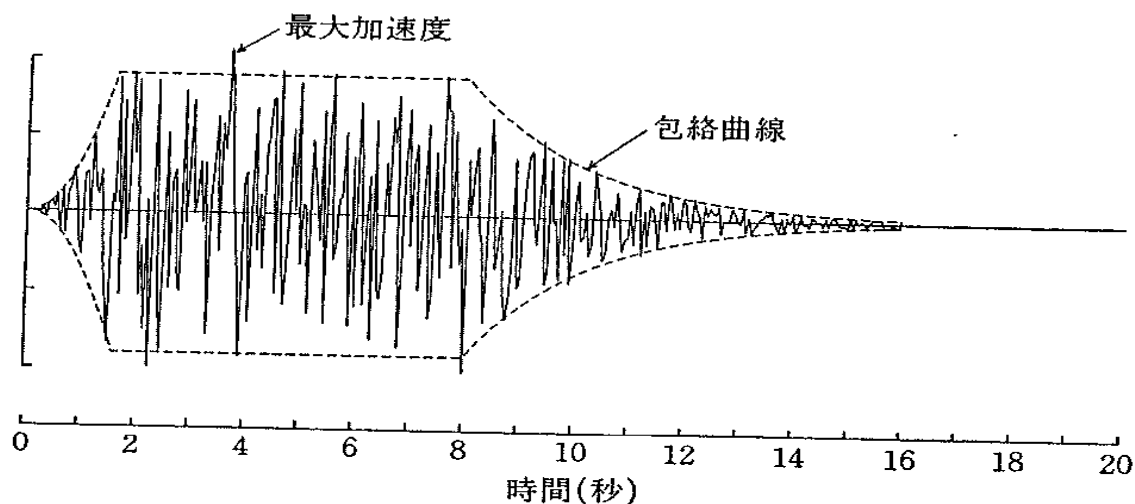


図 V-2 地震動

たとえば、図V-2(甲130・75頁)の地震動は16秒間続いているが、最大のものは3.7秒付近であり、これが、この地震動の最大加速度である。

破線は、地震動の振幅を包み込んでいるという意味で、包絡曲線という。

一見複雑に見える振動も、実は、いろいろな振幅と周期をもった振動の寄せ集めであり、単純な振動に分解することができる(このことは後述する)。

以上をまとめると、地震動の特性としては、

①最大加速度、②継続時間、③包絡曲線、④周期特性
の4つがあげられる。

(3) 周期特性とスペクトル

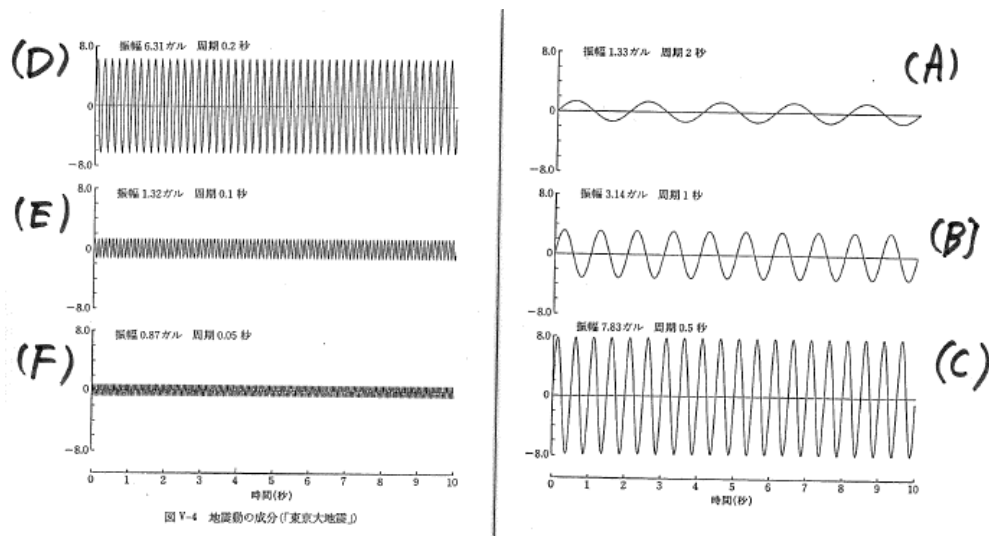
ここで、スペクトルという概念を説明しておく。

スペクトルを一般的に定義すると、「複雑な組成を持つものを、単純な成分に分解し、その成分を、それを特徴づけるある量の大小の順に従って並べたもの」と言える(甲130・83頁)。

地震動の加速度記録は、一見複雑に見えるが、実はいろいろな振幅と周期をもった振動の寄せ集めであり、単純な振動に分解することができる。分解する方法は、創始者である数学者フーリエの名前にちなんで、フーリエ解析と呼ばれている。

前に紹介した図I-1(甲130・9頁)の地震動を分解(フーリエ解析)して、

出てきた単振動(もとの地震動の成分という。)のうち、代表的なものの幾つかを並べたものが、次頁の図V-4(甲130・86頁~87頁)である。



この図V-4に並べた成分は全部単振動であるが、振幅と周期が違う。これをスペクトルの趣旨に従って、周期の大きい順番に並べると以下のようなになる。

- (A) 右上振幅1.33ガル周期2秒
- (B) 右中振幅3.14ガル周期1秒
- (C) 右下振幅7.83ガル周期0.5秒
- (D) 左上振幅6.31ガル周期0.2秒
- (E) 左中振幅1.32ガル周期0.1秒
- (F) 左下振幅0.87ガル周期0.05秒

この結果を、一覧できるようにしたものが、次の図V-5(甲130・89頁)である。

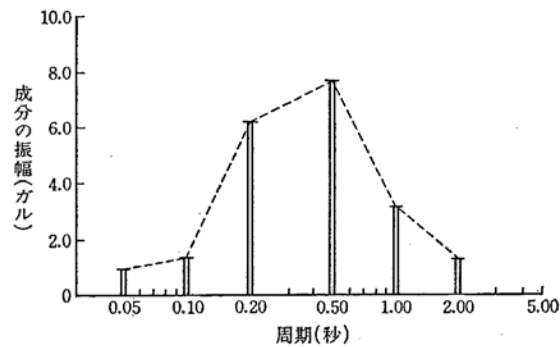


図 V-5 フーリエ・スペクトルの原理

さらに、図 V-5 をより細かく固有周期ごとに計算して一覧したものが、次の図 V-6 (甲 130・89 頁) の曲線である。

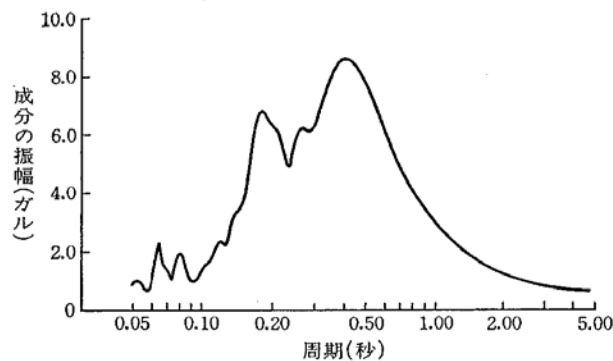


図 V-6 フーリエ・スペクトル(「東京大地震」)

図 V-6 をみると、周期 0.5 秒付近に高い山がある。これは、つまり、元の地震動の中に、周期が 0.5 秒程度の大きな振動が含まれていることによる。

このような性質は、元の地震動記録を見ただけでは分からないものであり、これをはっきりさせてくれるのがフーリエ解析であり、フーリエ・スペクトルである。この曲線は、フーリエの名をとって、フーリエ・スペクトルと呼ばれている(甲 130・88 頁)。

3 地震動の破壊力

(1) 地震動と建築

ここまで述べたことは、地震と地震動のことばかりであり、建築物は不在であった。そこで、ここから、地震動が建築物にどのような影響を及ぼすか、ということを見ていく。

(2) 固有周期

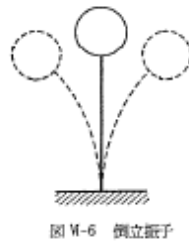
小さな地震（地震動）では建築にはダメージはないが、反対に、大きな地震（地震動）は建築を破壊する。

建築が破壊されるのは、建築が揺れ動くからである。すなわち、建築は、力を加えればそれ自体揺れ動く振動体である。

では、建築は、どのように揺れるのか。

揺れによる破壊を考える場合は、振動体としての揺れ方の性質、すなわち、早く揺れるのか、ゆっくり揺れるのか、という振動の周期が重要となる。

建築には大小様々なものがあるが、板バネ（倒立振子）と錘（おもり）の簡単なモデルで示すことができる（図VI-6。甲130・103頁）。



錘の重さは建築全体の重量を表し、板バネは建築の堅さ・柔らかさを表す。

コンクリートの低層の建物は堅いので「厚くて短い板バネ」といえ、超高層のビルは柔らかいので「薄くて長い板バネ」といえる。

図VI-6の倒立振子を指でつついて揺らすと、振動を始める。

ひとりで揺れ動く振動を「自由振動」という。

この場合の振動の周期は、錘の重さと板バネの強さ（厚さと長さ）で決まる一定の値であって、それ以外の周期をもって自由振動することはない。メトロノームで言えば、錘の位置をずらさないかぎり、一定の周期で揺れるのと同じことである。

このように、自由振動の周期は、それぞれの振子に固有なものであり、これを「固有周期」という。

物にはすべて固有周期があり、建築にも、その重量と剛性で決まってしまうそれぞれに固有な固有周期がある。すなわち、堅い低層建築の固有周期はガタガタ

と速く揺れる短周期，柔らかい高層建築はユラユラとゆっくり揺れる長周期である（甲 130・104 頁）。

（3） 共振現象

では，なぜ，固有周期が問題となるのか。

それは，建物の固有周期と一致する地震動の成分によって，揺れ始めた振動が成長していき，ついには建物を破壊するに至るからである。

たとえば，固有周期が 0.5 秒の振子を想定して，この足下の地面を揺らしてみよう。この時，地面の揺れの周期が振子の固有周期と一致しない短周期（たとえば 0.2 秒）あるいはずっと長周期（たとえば 3 秒とか 5 秒とか）だったとすると，振子はそれなりに揺れるけれども，揺れは成長しない。そして，この場合，揺れが少ないので，建物を破壊することはない。

これに対して，地面の揺れの周期が振子の固有周期と一致する 0.5 秒だとすると，振子の振動は次第に成長し，とめどもなく大きい揺れに成長してしまうのである。揺れが大きくなるということは，それだけ大きな力が振子に加わるということであり，そして，ついには建物を破壊するに至るのである。

このように，「外部から与えられる振動の周期と，物の固有周期とが一致したために，途方もなく大きい振動が出現する現象」を，共振という（甲 130・106 頁）。

（4） 実際の地震動と建物の共振

実際の地震動は，0.5 秒の単周期ではなく，様々な周期の波の集合だということとは前述した。

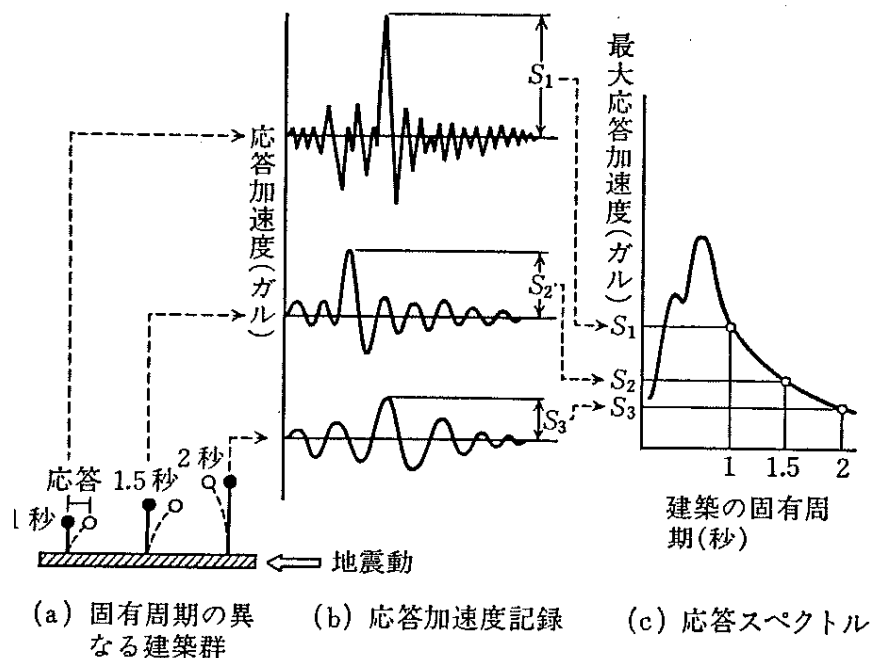
これに対して，物の固有周期は一定（たとえば周期 0.5 秒）であるので，物の側からすれば，いろいろな周期の地震動がやってくるうちの，自分の固有周期に近いものに特に反応して共振し，その都度大きく揺れる，ということになる。

（5） 応答スペクトル

「応答」とは，建築や振子が地震動を受け，地震動とその物（建築物や振子）自体の特性（固有周期）に応じて揺り動かされる，その反応（答え方）のことをいう。

「応答スペクトル」とは、応答のスペクトル、すなわち、建築や振子の反応を、周期の大小の順に従って並べたものであり、「要するに、ある地震動がいろんな建築に対して、どんな力を及ぼすかということ、一見してわかりやすいように描いた図形」（甲 130・107 頁）である。

次の図Ⅳ－8（甲 130・109 頁）は、応答スペクトルの概念を模式的に説明したものである。



図Ⅳ－8 応答スペクトルの説明図

図Ⅳ－8の左側の(a)では、地面を模した台上に、固有周期が異なるモデルを3つ（ここでは1秒，1.5秒，2秒）並べてある。今この台を、ある地震動の加速度で揺らしてみる。すると、3つのモデルは一斉に揺れ出す、つまり、応答を始めるが、その揺れ方は、①地震動の特性（揺れの特性、すなわち最大加速度、継続時間、周期特性など）と、②モデルの特性（固有周期）との関係で、それぞれ違ったものとなる。

この時、振子の錘に加速度計が取り付けられていたとすると、加速度計はそれぞれのモデルが、与えられた地震動（仮にA地震動とする。）に対して応答することによって生じる加速度、すなわち応答加速度をそれぞれ記録する。

この記録が、図Ⅳ－8の真ん中の(b)の「応答加速度記録」である。

(b)の上段の記録は、固有周期が1秒のモデルの応答加速度を示しているが、その最大値がS1である（旧耐震指針のS1ではない）。これが(a)の左端のモデル、つまり固有周期が1秒の建築がA地震動によって揺さぶられている間に、その建築に対して作用した最大の加速度、つまり、A地震動に対する固有周期1秒の建築の最大応答加速度である。

同じように、固有周期1.5秒（(b)の中段）や2秒の建築（(b)の下段）には、それぞれ最大応答加速度S2、S3が作用する。

図IV－8右側の(c)は、横軸に建物の固有周期、縦軸に最大応答加速度を表したものである。(a)の3つのモデルの固有周期（ここでは1秒、1.5秒、2秒）を横軸にとり、それに対応する最大応答加速度S1、S2、S3が縦軸に取られている。その結果が、(c)の白丸点である。

今みてきた固有周期は3つだけであるが、実際にはさらに細かく固有周期を分け、応答加速度を得ることができる。すなわち、さらに多くの固有周期におけるそれぞれの最大応答加速度を調べて、これを隙間無くつなげると、(c)の白丸も隙間なく埋められ、波線が得られる。これが、すなわち、A地震動の応答スペクトルである。

このことから明らかなように、ある地震動に対してはそれに対応した応答スペクトルが得られ、また、別の地震動に対してはその別の地震動に対応した応答スペクトルが得られる。

(6) 地震動と応答スペクトル

ここで、図I－1（甲130・9頁）に示した地震動を、もう一度みる。

最大加速度 492 ガル

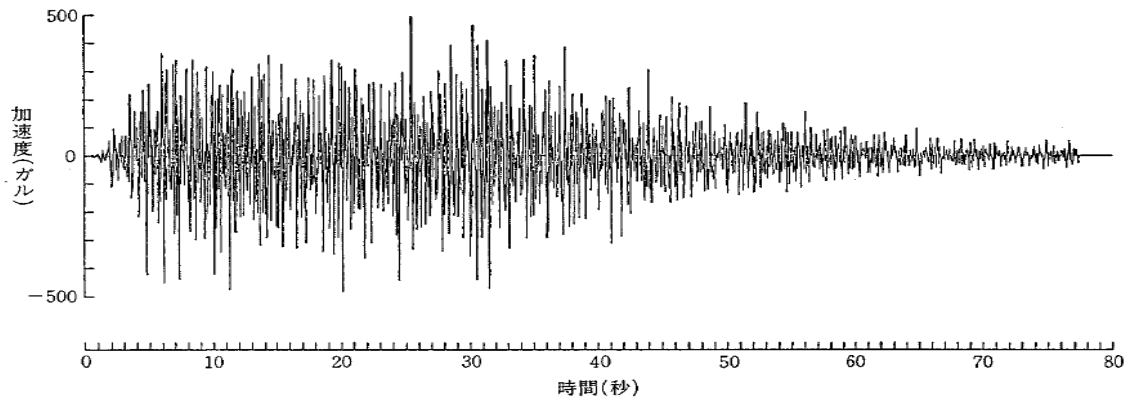


図 I-1 東京大学構内における加速度記録(「東京大地震」)

この地震動(図 I-1)の応答スペクトルが、図 VI-9(甲 130・110 頁)である。この地震動をフーリエ解析した図 V-6(甲 130・89 頁)と並べてみる。

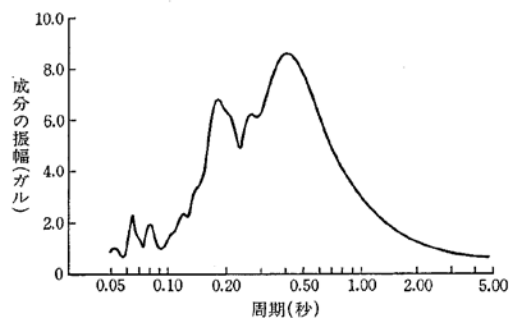


図 V-6 フーリエ・スペクトル(「東京大地震」)

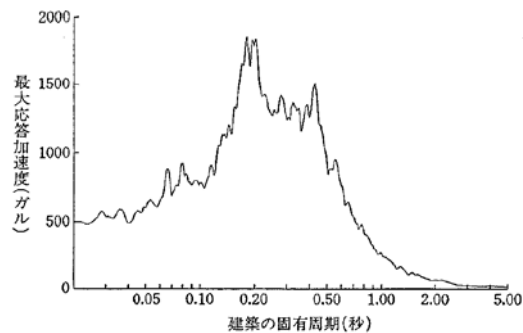


図 W-9 応答スペクトル(「東京大地震」)

図 V-6 のフーリエ・スペクトルでは、周期 0.5 秒付近に高い山(大きな加速度)があり、この地震動では周期 0.5 秒の成分が優勢であった。そして、周期 0.2 秒付近にも、やや低い山がある。

これに対して、同じ地震動に対応する応答スペクトル図 VI-9 でも、0.5 秒と 0.2 秒のところに山があるが、山の高さが逆転しており、0.2 秒付近の方が高い。

ということは、地震動の成分としては、0.5 秒のものがより優勢であるが、建築に与える影響という点からみると、固有周期が 0.5 秒ではなくて、0.2 秒の建築に対してもっとも強く作用する、ということを示している(甲 130・1

13頁～114頁)。

なぜ、このような結果になるのか。

これは、地震動の破壊力は、最大加速度だけでは説明できず、継続時間（さらにその他の特性）も大きく影響することによるからである(甲130・112頁)。極めて単純化して言えば、地震動の中で最大の加速度は周期0.5秒付近の成分だったが、その継続時間は短く、一方で、周期0.2秒付近の加速度は、地震動の中では最大の成分ではなかったが、継続時間が長く、共振により建物の揺れは成長したものだ、ということができる（実際にはさらに複雑であるが、ここまでにとどめる）。

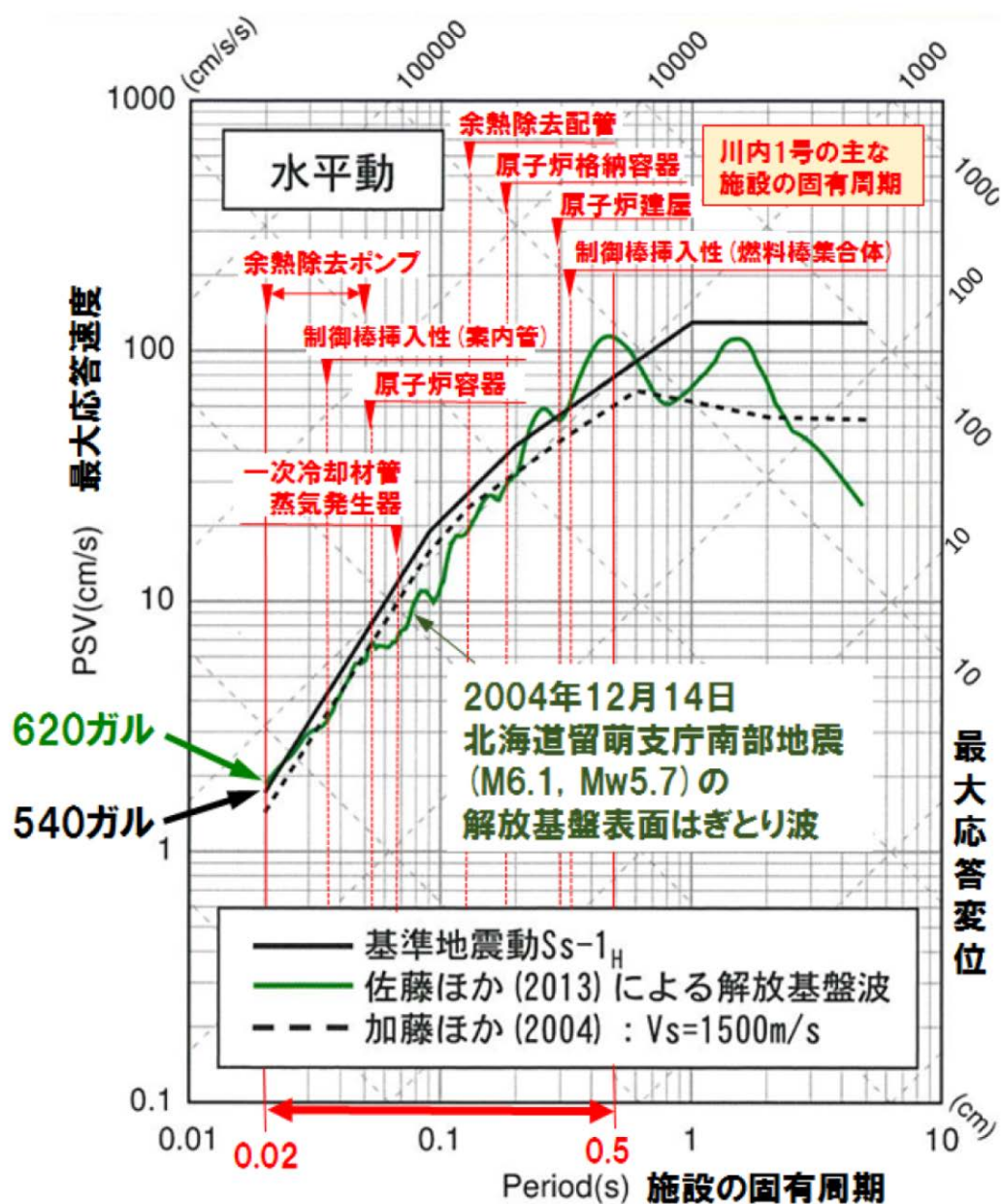
このようにして得られた応答スペクトルは、地震動が建築物に与える影響を集約したものであって、ここに耐震設計の全体が表れるのである。

耐震設計ではこの応答スペクトルが重要であり、地震動の大きさそのものでは、地震の破壊力は示されない。

したがって、「何ガルの地震動にも施設は耐えられる」と言ったところで、それだけでは大した意味はなく、問題は、応答スペクトルが、建物や機器配管などの施設の固有周期付近でどれだけか、なのである。

(7) 原発の機器・配管の固有周期は0.02秒～0.5秒程度の短周期に集中していること

そして、原発の重要な機器・配管の固有周期は、0.02 秒～0.5 秒の短周期に集

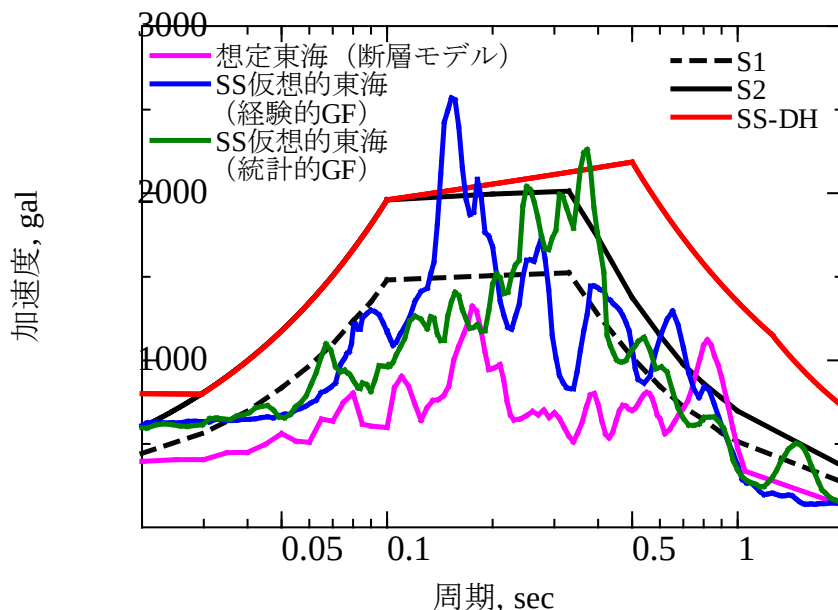


中している。次の図は、原発の重要な機器・配管の固有周期を、応答スペクトルに書き込んだものである。

図4：2014年原子力規制委員会適合性審査における川内1・2号の基準地震動[16]と主な施設の固有周期[12]

地震動の最大加速度だけに目を奪われてはならない。重要なのは、機器・配管の固有周期における応答加速度である。

このことをもっとも端的に表している応答スペクトルが、下記の浜岡原発の基準地震動である。



この図でS 2は6 0 0ガルであった(縦軸において周期 0.02 秒で6 0 0ガルであることが、これを示している)。

これに対して、S S－DHは8 0 0ガルの地震動に引き上げられたとされた。

しかし、その内容は、周期 0.02 秒～0.03 秒までが、引き上げられただけで、それ以降は、S 2と同じ軌跡をたどるというものであった。0.1 秒付近からは、S 2をやや上回る加速度を示しているが、重要な機器・配管における応答加速度には、ほとんど変化がないものであった。

すなわち、本来この地震動が施設に及ぼす影響は、赤線の下に隠れている黒の実線(S 2)の600ガル程度であるはずなのに、中部電力は、この図によって800ガルまで耐えられると喧伝したのである。

この地震動の引き上げは、施設には影響を与えないのであるから、中部電力による耐震偽装として評価されるべきものであった。

このように、生の地震動そのものの値では、地震が施設に与える影響の大きさの評価はできないことには注意が必要であり、問題は実際に当該建物、施設の固有周期に近い応答スペクトルがどうなのかなのである。

(8) 耐震設計

同じ土地の同じ地盤の上に立ち、同じ地震動を受けても、作用する力（すなわち地震動入力）は、建築自体の特性によって違う。

建築の特性を端的に表現し、直接地震動入力に反映させるのに、もっともふさわしい特性値、それが応答スペクトルである。

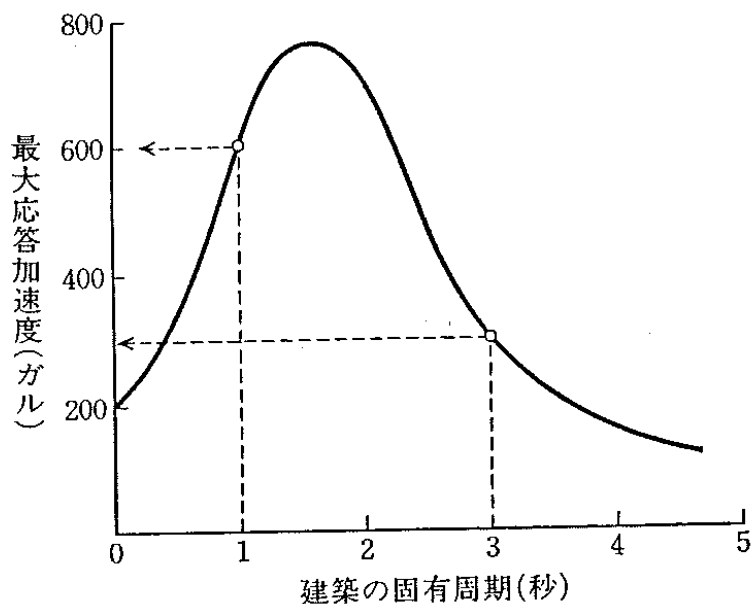


図 VI-10 応答スペクトルの意味

たとえば、建築の固有周期が1秒だと決まると、上の図VI-10（甲130・111頁）の応答スペクトルから、最大応答加速度は600ガルに耐えられるようにすれば良いということになる。もし、この時、建築の固有周期が3秒だとすれば、最大応答加速度は300ガルに耐えられるようにすれば良いということになる。

600ガルというのは、つまり重力加速度（980ガル）のほぼ0.6倍であるから、建築には、その重量の0.6倍の力がかかるということになる。この力に対して壊れないように、部材や寸法など、具体的な設計に取りかかれば良い。

このような考え方が採用されたのは昭和56年（1981年）の建築基準法の改訂時であった。

(9) より詳細な耐震設計

ここまでみてきた応答スペクトルは、錘が一つだけの倒立振子のモデルであった。この錘は建築の全重量をひと塊にしたものと考えているので、これから求められるものは、建築に働く総体の力である。

しかし、建築の総体に働く力はこれでいいが、数階建ての建物の場合の各床に、どのような力が働くかは、これだけでは分からない。

原発では原子炉やポンプ等無数の機器・配管が設置されており、これらの機器・配管は、建物とは別の固有周期を有している。そして、その応答は、それが各階のどこに設置されているかによっても異なる。

そこで、各階の床にどのような力が働くかは、この階数分だけ、錘を縦につなげて串団子のようなモデルを考える必要がある。

このようにして得られた応答スペクトルは、床の数だけ得られるが、これを、「床応答スペクトル」という。

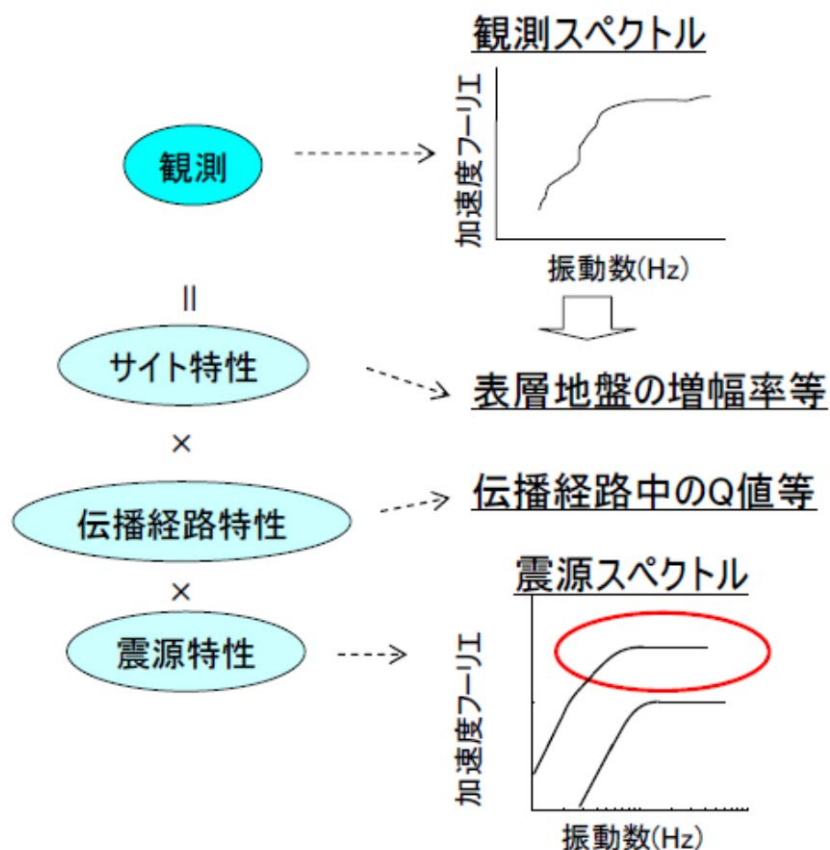
各階の床に設置された機器・配管の設計においては、機器・配管の固有周期を把握し、それを設置する床応答スペクトルから、最大応答加速度に耐えられるように設計しなければならない、ということになる。

このことは、数千本とも数万本とも言われている配管や、その他の機器・設備・施設について同様である。

(10) 短周期レベルの地震動と応力降下量

短周期レベルとは、地表面で観測された地震動から、震源までの間の地盤の影響を取り除いた地震動を導き、それを、周期（振動数）ごとに分解したものが、震源スペクトルで、加速度で見れば「加速度震源スペクトル」となる。。

この加速度震源スペクトルは、高振動数域（短周期域）で平坦となる。そこで、加速度震源スペクトルの高振動数域で平坦な部分が、「短周期レベル」と定義される。下の図は、横軸が「振動数（周波数）」となっているので、右に行くほど、周期で見れば短周期となる。



内陸地殻内地震における短周期レベルの地域的な整理・分析 成果概要

2010/05/20 株式会社構造計画研究所

<http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/senmon/shidai/kaisekigijutu/kaisekigijutu38/siryo4.pdf>

一般に、アスペリティの応力降下量の大きさと短周期レベルの地震動の大きさとは比例的関係にあるので、応力降下量を大きくした割合と短周期レベルが大きくなる割合はおおむね一致する。

平成21年(2009年)4月24日付けの、各原子力事業者への原子力安全・保安院の通知である「耐震バックチェックにおいて地震動評価を行う際の応力降下量の取り扱いについて」

<https://www.nsr.go.jp/archive/nisa/oshirase/2009/files/210427-1.pdf>

では、「基本震源モデルに対して応力降下量を大きくした割合と短周期レベルが大きくなる割合が異なる場合があることが確認されました。」としている。

これは、応力降下量を大きくした割合と短周期レベルが大きくなる割合はおおむね異ならないが、「異なる場合がある」ということを意味すると解される。

(11) 物が壊れれば、固有周期が変化すること

さらにやっかいなのは、物は、壊れれば、その固有周期が変化する、ということである。

前に、物にはすべて固有周期があり、堅い低層建築の固有周期はガタガタと速く揺れる短周期、柔らかい高層建築はユラユラとゆっくり揺れる長周期であると述べたが、今、これが、何らかの理由で壊れかけているとしよう。

そうすると、固有周期が短周期側から長周期側にずれることがあり、元の設計時の固有周期では最大応答加速度以下の応答だったものが（元々そうして設計された。）、固有周期が変化することによって、別の周期で共振することになってしまい、耐震設計時点での期待とは別の挙動を示すことがあり得る。

このとき、建築物にかかる力（すなわち加速度）が小さくなる方向であれば問題はないが、いつもそうだとは限らない。

したがって、物を設計する場合は、これらについても考慮する必要がある。

(12) 震源特性、伝播特性、サイト特性

地震動の地域特性を問題とするときに、問題となるのが、震源特性、伝播特性、サイト特性である。これらを模式的に示したものが次図である（川内原発運転差止仮処分九州電力準備書面9）。

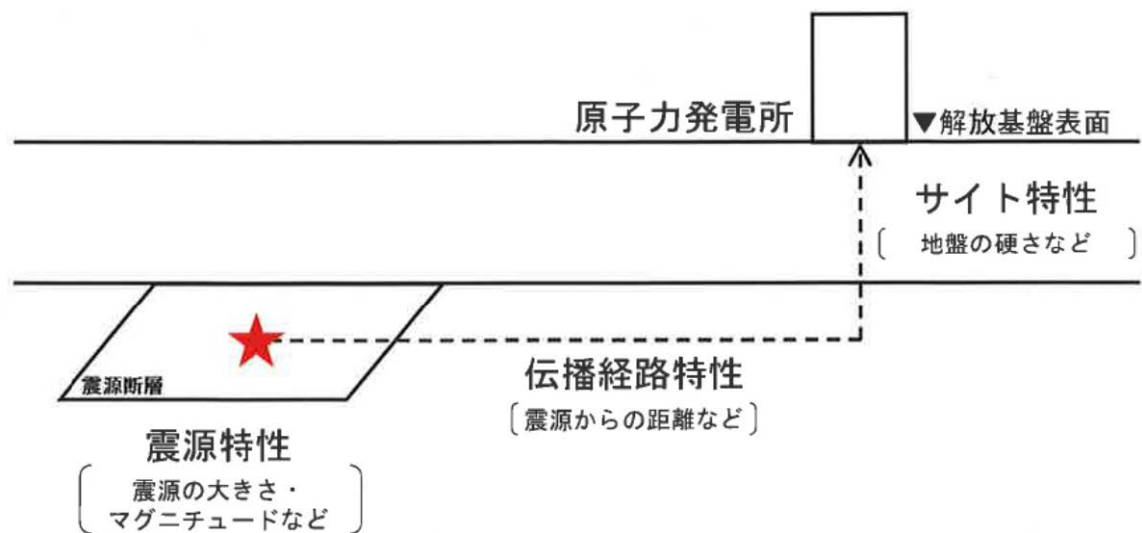


図1 「震源特性」、「伝播経路特性」及び「サイト特性」のイメージ

このうち、サイト特性は、サイト付近の地盤の特性であり、地盤による増幅や減衰が問題となる。伝播経路特性は、震源断層からサイトまでの伝播過程の特性であり、震源特性は、震源断層面面積の大きさやマグニチュードであるが、震源特性は、それぞれの震源自体、すなわち震源断層面の特性であって、その「顔」であるから、対象となる断層面の固着の程度などが問題となり、それぞれの断層によって異なる。伝播経路特性やサイト特性は、他の地震での地震動を観測することによってある程度分かるが、この震源特性は、実際に地震が起こってみなければ分からない性質のものである。

第2章 原発の耐震設計（各論）

第1 「不確かさの考慮」が原発の耐震設計では必要となること

1 不確かさを考慮しなければならない理由

(1) 地震の科学には限界があること

自然現象の測定には必ずある誤差がある。測定の精度は、その測定の対象や手法によって種々であるが、たとえば地盤の速度構造の測定の誤差は決して小さくはない。

岩波書店の雑誌「科学」2012年6月号（「地震の予測と対策：『想定』をどのように活かすのか」・甲17）に掲載された、岡田義光防災科学研究所理事長、瀬瀬一起東京大学地震研究所教授、島崎邦彦東京大学名誉教授の鼎談では、瀬瀬教授と岡田教授の以下の発言が掲載されている。

「瀬瀬 地震という自然現象は本質的に複雑系の問題で、理論的に完全な予測をすることは原理的に不可能なところがあります。また、実験ができないので、過去の事象に学ぶしかない。ところが地震は低頻度の現象で、学ぶべき過去のデータがすくない。私はこれらを「三重苦」と言っていますが、そのために地震の科学には十分な予測の力はなかったと思いますし、東北地方太平洋沖地震ではまさにこの科学の限界が現れてしまったと言わざるをえません。そうした限界をこの地震の前に伝え切れなかったことを、いちばんに反省しています。

編集部 限界があるとして、どういう態度で臨むべきでしょうか。既往最大に備えることになりますか。

岡田 どれくらいの低頻度・大事象にまで備えるかという問題になります。1000年に一度、1万年に一度と、頻度が1桁下がるごとに巨大な現象があると考えられます。大きなものに限りなく備えるのは無理ですから、どれくらいまで許容するかになります。日常的に備えるのは、人生の長さから考えると、100～150年に一度のM8くらいまでで、M9クラスになると、ハードではなくソフト的に、避難などの知恵を働かせるしかないの

ではないでしょうか。

編集部 原発の場合にはどうお考えになりますか。

岡田 施設の重要度に応じて考えるべきですから、原発は、はるかに安全サイドに考えなければなりません。いちばん安全側に考えれば、日本のような地殻変動の激しいところで安定にオペレーションすることは、土台無理だったのではないかという感じがします。だんだん減らしていくのが世の中の意見の大勢のようですが、私も基本的にそう思います。

瀬瀬 真に重要なものは、日本最大か世界最大に備えていただくしかないと最近は言っています。科学の限界がありますから、これ以外のことは確信をもって言うことができません。しかし、全国の海岸すべてで日本最大の津波高さに備える経済力が日本にはないだろうと考えています。そうするとどうするか。それは政治などの場で、あるいは国民に直接決めていただくしかないであろうと思います。

編集部 中越沖地震で号機ごとにゆれがかなり違っていました。地質の影響は本当にあらかじめわかるのでしょうか。

瀬瀬 前述のような科学のレベルですから、予測の結果には非常に大きな誤差が伴います。その結果として、予測が当たる場合もありますし、外れる場合もあります。ですので、その程度の科学のレベルなのに、あのよう

に危険なものを科学だけで審査できると考えることがそもそも間違いだったと今は考えています。」(甲17・636頁～637頁)

また、同じ鼎談の中で、島崎邦彦氏(原子力規制委員会委員長代理)は、「平均像のようなものを見ていることになります。解像度を一生懸命よくしようとしています。ほんとうに中で何がおきているのかには手が届いていない。」とも述べている。(甲17・642頁)。

これらの発言の意味するところは、極めて重大である。

要するに、地震の科学は、対象が複雑系の問題であるので、原理的に完全な予測が困難であること、実験のできるものではないので、過去のデータに頼るしかないが、起こる現象が低頻度であるのでデータが少ないこと、したがって、地震の科学には限界があるということである(瀬瀬)。

また、頻度が1桁下がるごとに大きな現象があると考えられるとされている(岡田)。

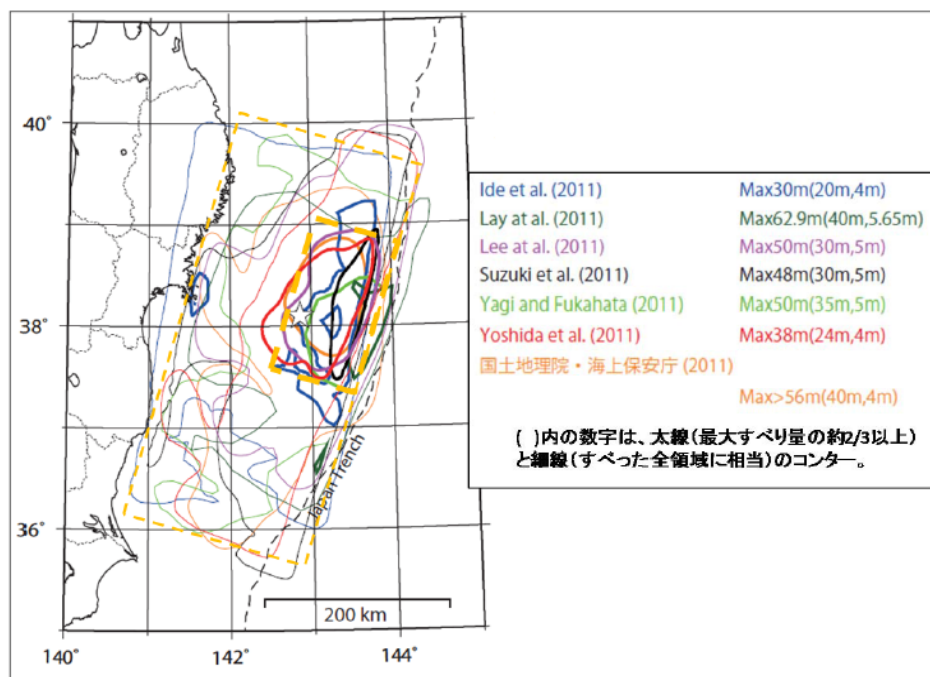
真に重要なものは(既往)日本最大か世界最大で備えるしかない(瀬瀬)とされているが、日本最大、世界最大と言っても、問題は、どれだけの期間での最大かであり、地震はたかだか何百年の間の最大でしかない。それで、何万年、何10万年の間の最大などわかるはずがない。

我々の手にしているデータは僅かであり、とりわけ詳細な地震動のデータは、日本においては、兵庫県南部地震後に多数の強震計が配置された平成9年(1997年)以降のものでしかない。

(2) 地震学の現状

実際に、過去の地震では、それがどのような現象であるのかは必ずしも分かっていない。東北地方太平洋沖地震について見れば、それが良くわかる。

次の2つの図のうち、最初の図Ⅳ. 10は、東北地方太平洋沖地震で、ずれの量がどこでどれだけあったかを示した図である。宮城県沖で大きなずれが発生したことは共通して認められるものの、各見解は相当に異なっている。



図Ⅳ. 10 東北地方太平洋沖地震の地震波形及び地殻変動による震源過程解析結果(関係論文をもとに気象庁気象研究所作成)

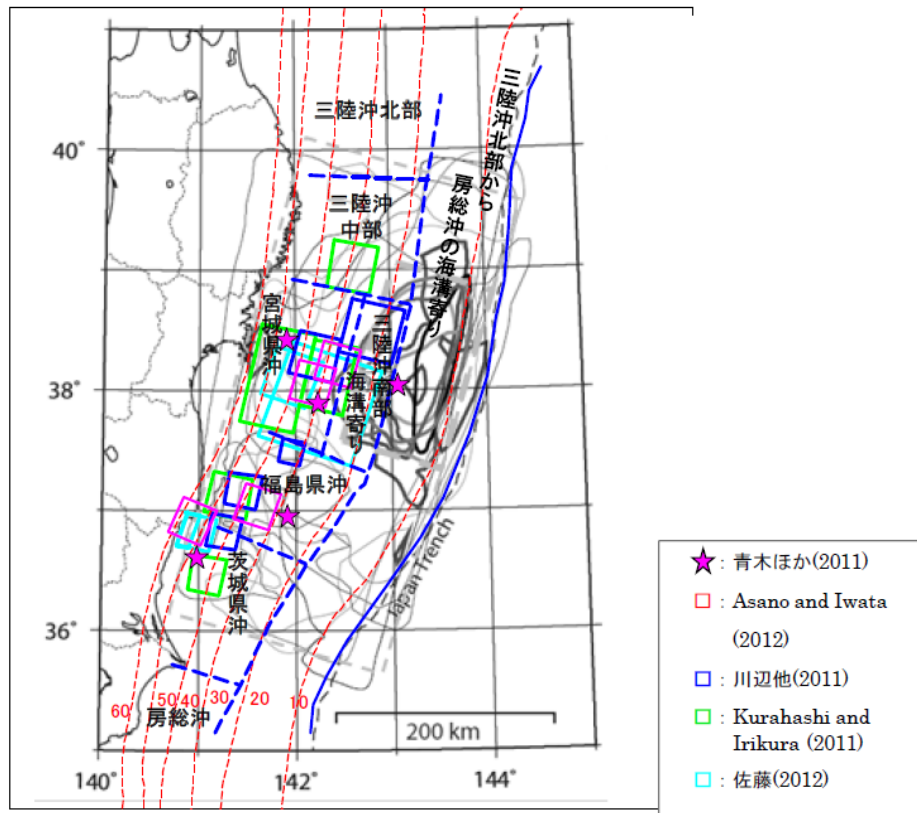


図6. ○ 東北地方太平洋沖地震の地震波形及び地殻変動による震源過程解析結果と強震動生成域

上の図では、強震動生成域（強い地震動を発生させた領域、すなわちアスペリティ）と考えられる領域を4角形で示しているが、見解ごとに大きく異なっている。

このように、実際に起きた地震でも、どんな現象だったかは、正確には分からないというのが、地震学の現状である。

(3) 不確かさを安全側に十分に大きく考慮することが必須である

地震は地下深くで起こる現象であり、それを強震計で地震動を観測し、あるいはGPSでどれだけ地面がずれたかを観測するなどして、それらのデータから、地震現象を推し量ろうとする。

直接、地下深部で起こっていることが観測できるわけではなく、種々のデータから地下での現象を推測するものであるため、地震現象は正確には把握しきれない

い。前記纒纒発言の「隔靴搔痒」とは、まさしくそのような状態を表している。

そもそも過去の現象ですら正確には把握しきれないのに、将来の現象を正確に予測できるはずなどない。

したがって、このことのみからしても、将来の地震・津波の予測には大きな不確かさが必然的に伴わざるを得ないのである。

また、発生する現象である地震や津波も、同じ場所であれば常に同じ範囲で、同じ規模、同じ様相で生じるというわけではなく、発生する現象自体にもばらつき（不確かさ）がある。そして、そのばらつきは、極めて大きい。さらに、断層にはそれぞれ「顔」があり、断層を挟む両側の地質や断層面自体の凹凸など、断層ごとに、その特質が異なる。対象となる断層が、逆断層か横ずれ断層か正断層かも断層の「顔」の一つであり、両側の地盤が押し合う逆断層が起こす地震動は大きくなる傾向にある。横ずれ断層はそれほどではなく、正断層での地震動は他の2つより小さくなる傾向がある。しかし、それも「傾向」でしかなく、同じ横ずれ断層、正断層であっても、起こる地震の地震動のバラツキはやはり極めて大きく、正断層であっても逆断層並あるいはそれより大きな地震動を起こす場合がある。

将来発生する地震や津波の想定は、過去の地震、津波のデータに基づきなされ、また、地盤などの測定データも用いられるが、測定データやデータをもととした推定に誤差があり、さらに、発生する地震、津波という現象そのものにばらつきがあるため、この点からしても、将来事象の想定（推定）には必然的に大きな不確かさを伴わざるをえない。

一方、原発が極めて危険な施設であり、一旦重大な事故を起こしたときには、取り返しのつかない深刻な被害を広範に生ずる。

したがって、原発の耐震設計は「万が一にも」事故を起こさないように、安全側に行わなければならないが、現実には、これまでの原発の耐震設計は、後に詳述するように地震動・津波という現象の推定を「平均像」で行ってきたのである。

平均像で行えば、実際に起こる地震、津波の半分は無視され、著しい過小評価となる。平均像では50%の事象しかカバーできないが、原発という極めて危険な施設の安全性のためには、このような、将来起こる50%でのみ安全が確保されるなどという設計では不足することは明らかである。

福島原発事故は、あらためてこの事実を示した。

したがって、原発の耐震設計において、地震動、津波という現象の推定を、平均像で行なうことは決して許されない。

また、仮にある程度の事象をカバーするように推定したとしても、完全に全ての現象をカバーできるわけではない。現実の地震が想定を上回る可能性は大きく、だからこそ、原発の潜在的な危険性の大きさに鑑みて、不確かさを安全側に十分に大きく考慮することは、原発の耐震設計における地震動評価の際に、地震動評価をするための全ての手法において必須なのである。

2 新耐震指針(平成18年指針)における不確かさの考慮の要求

新耐震指針(平成18年指針)は、不確かさの考慮について、以下のように規定する。

「3. 基本方針

耐震設計上重要な施設は、敷地周辺の地質・地質構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があり、施設に大きな影響を与えるおそれがあると想定することが適切な地震動による地震力に対して、その安全機能が損なわれることがないように設計されなければならない。さらに、施設は、地震により発生する可能性のある環境への放射線による影響の観点からなされる耐震設計上の区分ごとに、適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられるように設計されなければならない。

また、建物・構築物は、十分な支持性能をもつ地盤に設置されなければならない。」

「5. 基準地震動の策定

施設の耐震設計において基準とする地震動は、敷地周辺の地質・地質構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があり、施設に大きな影響を与えるおそれがあると想定することが適切なものとして策定しなければならない(以下、この地震動を「基準地震動」という。

(1) 基準地震動 S_s は、下記(2)の「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」

及び(3)の「震源を特定せず策定する地震動」について、敷地における解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動としてそれぞれ策定することとする。

(2)「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」は、以下の方針により策定することとする。

- ① 敷地周辺の活断層の性質・・・を考慮し、地震発生様式等による分類の上で敷地に大きな影響を与えると予想される地震（「検討用地震」）の複数選定
- ② 「活断層の性質」に関する考慮事項
- ③ 上記①で選定した検討用地震ごとに、次に示す i) の応答スペクトルに基づく地震動評価及び ii) の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。なお、地震動評価に当たっては、地震発生様式、地震波伝播経路等に応じた諸特性（その地域における特性を含む。）を十分に考慮することとする。
 - i) 応答スペクトルに基づく地震動評価
 - ii) 断層モデルを用いた手法による地震動評価
- ④ 上記③の基準地震動の策定過程に伴う不確かさ（ばらつき）については、適切に考慮する。」

また、その（解説）では、以下のとおり解説している。

「(3) 基準地震動 S_s の策定方針について

- ④「基準地震動 S_s の策定過程に伴う不確かさ（ばらつき）」の考慮に当たっては、基準地震動 S_s の策定に及ぼす影響が大きいと考えられる不確かさ（ばらつき）の要因及びその大きさの程度を十分踏まえつつ、適切な手法を用いることとする。経験式を用いて断層の長さ等から地震規模を想定する際には、その経験式の特徴等を踏まえ、地震規模を適切に評価することとする。
- (4) 震源として想定する断層の評価について
- ⑤ 活断層調査によっても、震源として想定する断層の形状評価を含めた震源特性パラメータの設定に必要な情報が十分得られなかった場合には、その震源特性の設定に当たって不確かさの考慮を適切に行うこととする。」

このように、新耐震指針は、「基準地震動 S_s の策定過程に伴う不確かさ」と「震源特性の設定に当たっての不確かさ」の2つの過程での不確かさを考慮するように求めている。

3 新規制基準における不確かさの考慮の定め

平成25年（2013年）6月に定められた新規制基準，すなわち，「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準を定める規則の解釈」でも，次のとおり規定されている。

「選定した検討用地震ごとに，不確かさを考慮して応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価を，解放基盤表面までの地震波の伝播特性を反映して策定すること」

このように，新たに定められた基準でも，新耐震指針を踏襲しており，やはり不確かさの考慮は求められている。

しかし，問題は，「不確かさの考慮」を，どのように行うかの具体的手法である。

この点について，新規制基準は，それ以上具体的規定を置かず，結果として，従来行われてきた全く不十分な「不確かさの考慮」を放置することとなってしまう。

4 科学的推定には必ず誤差がある

地震動想定は，どの手法によるにしても，一つの科学的推定手法であるので，そこには必ず誤差が伴う。その誤差評価は，科学的推定手法である以上，必ず行う必要がある。推定によってどのような値になったにしても，誤差が極めて大きければ，推定値より大幅に大きな値となる可能性があるから，とりわけ危険な原発の地震動推定としては，誤差評価を考えないわけにはいかない。誤差評価を行わない推定は，推定手法として，極めて重要な事項を検討しない，不十分なものである。

本準備書面の基本的な主張は，地震動想定は科学的推定であるから，必ず誤差評価を行うべきだということにある。「不確かさの考慮」は，推定の誤差評価と

して記述される必要があるが、原発推進者は、そのような定量的な表現を使わず、なぜその「不確かさの考慮」で十分かの検討も行わない、極めていい加減な評価手法しかとっていない。後述するように、なぜ断層角度の想定が、原発設置者の想定する角度で十分なのか、なぜ短周期レベルの推定が、レシピの 1.5 倍で十分なのか等々、「不確かさの考慮」は、その「不確かさの考慮」をする根拠がほとんど示されることがない。これを「誤差」と言い換えた途端、誤差評価として十分か否かが直ちに問われることになってしまう。「不確かさの考慮」という表現は、定量的な誤差評価をしないための文言として用いられていると言ってよい。しかし、ことが危険な原発の耐震設計であるから、そのような誤魔化しは、決してしてはならないのである。

第2 応答スペクトルに基づく手法について

1 応答スペクトルに基づく手法とは

応答スペクトルに基づく手法は、地震動評価の手法の 1 つであり、実際の多数の地震の地震動観測記録に基づき、地震の規模、敷地との距離によって分けて、地震動の平均像を求めたものを用いる手法である。

なお、応答スペクトルに基づく手法は、実際に観測された地震動記録に基づく手法であり、後に述べる断層モデルの手法とは全く異なる地震動想定手法である。

以下、応答スペクトルに基づく手法を概略する。

(1) マグニチュードと震源距離の想定

応答スペクトルに基づく手法は、まず当該断層で地震が発生したときの地震の規模（マグニチュード M ）と震源距離（等価震源距離 X_{eq} ）を想定することから始まる。その上で、そのマグニチュード、震源距離に応じた地震動の平均を求める。

2. 敷地周辺の活断層の分布

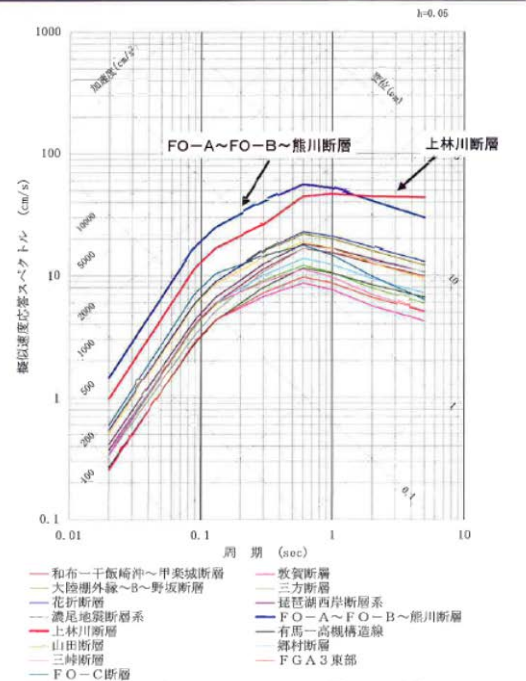
第122回審査会合
資料再掲

8

■検討用地震の選定(活断層による地震)

番号	断層名	マグニチュード	等価震源距離※ (km)
1	和布ー干飯崎沖ー甲斐城断層	7.8	71.5
2	敦賀断層	7.1	51.2
3	大陸棚外縁ーBー野坂断層	7.7	47.5
4	三方断層	7.2	44.5
5	花折断層	7.8	51.4
6	琵琶湖西岸断層系	7.8	65.4
7	濃尾地震断層系	8.0	95.4
8	上林川断層	7.5	24.8
9	有馬ー高槻構造線	7.6	38.6
10	山田断層	7.4	50.9
11	郷村断層	7.4	36.9
12	三峠断層	7.0	60.5
13	FGA3東部	7.3	71.5
14	FOーAーFOーBー熊川断層	7.8	23.5
15	FOーC断層	6.8	20.5

FOーAーFOーBー熊川断層および上林川断層を
検討用地震として選定する。



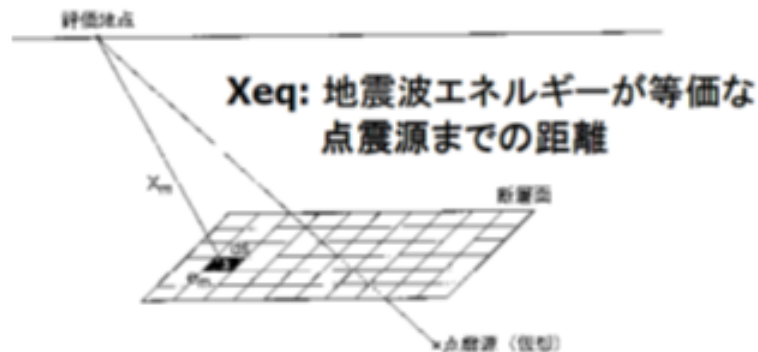
敷地に影響を及ぼすと考えられる活断層の地震による応答スペクトル図

高浜発電所「地震動評価について」平成 26 年 8 月 22 日 関西電力

上記でも、それぞれ M (マグニチュード), X_{eq} (等価震源距離) が記載されており、この手法の出発点が、 M と X_{eq} の想定であることが分かる。上図で見ると「FO-AーFO-Bー熊川断層」では、 $M7.8$, 等価震源距離 23.5 km の地震が平均的にどの程度の地震動をもたらすかを、周期ごとに算出して、それを結んだものが応答スペクトルとなる。

等価震源距離

等価震源距離は、震源断層面の各部から放出される地震動のエネルギーの総計が、特定の1点から放出されたものと等価となるように計算するもの



東京電力 平成21年5月22日 震源近傍における等価震源距離と断層最短距離との関係

ここで等価震源距離とは、「地震エネルギーが等価な点震源までの距離」であり、実際には断層面の上で発生する地震動を、それと同じ（等価な）地震波エネルギーをもたらす点として表すものである。

(2) 応答スペクトルに基づく手法の詳細

応答スペクトルに基づく手法は、下図で見るなら、周期 0.02 秒, 0.09 秒, 0.13 秒, 0.3 秒, 0.6 秒での、「M7.5 震源距離 20.15km」「M7.2 震源距離 16.51 km」などと分類した上での地震動の大きさの平均を求め、プロットし、それをつなげた折れ線を描く方法である。プロットしたポイントを「コントロールポイント」と言う。

耐専スペクトルは折れ線で描く
ポイントを定めそれを結ぶ

周期0.6秒のポイント
周期0.6秒での
応答スペクトルの平均的大きさ

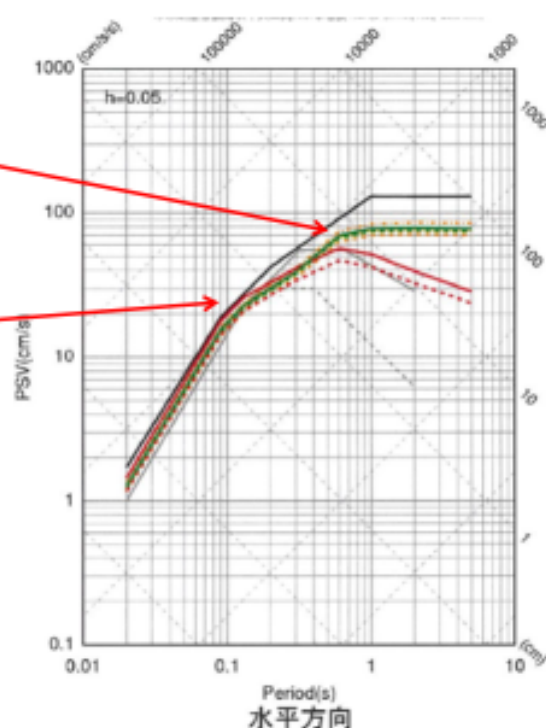
コントロールポイント

周期0.09秒のポイント
周期0.09秒での
応答スペクトルの平均的大きさ

たくさんの地震の記録から
周期ごとに
M、震源距離ごとに平均を求める

決められた周期ごとの平均を
点としてプロットし
その点をつないだ折れ線を求める
その折れ線が耐専スペクトル

ではどうやって決めるか



川内発電所 地震について 平成 26 年 4 月 23 日 九州電力株式会社

http://www.nsr.go.jp/activity/regulation/tekigousei/h26fy/data/0107_04-2.pdf

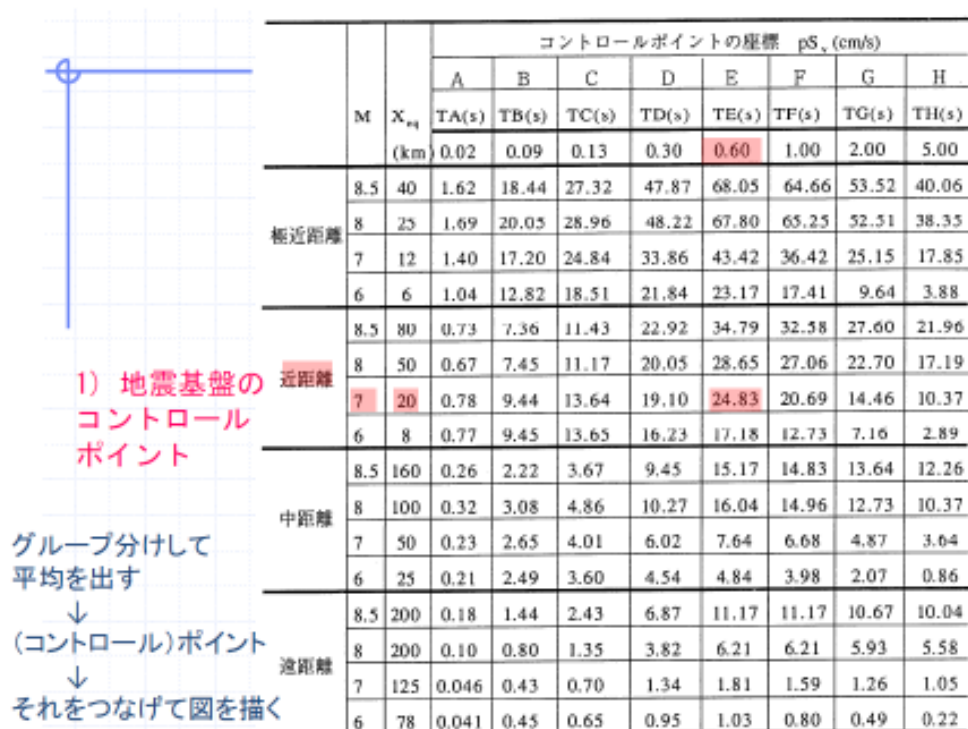


1) 地震基盤の
コントロール
ポイント

グループ分けする

	M	X_{eq} (km)	コントロールポイントの座標 pS_x (cm/s)							
			A	B	C	D	E	F	G	H
			TA(s)	TB(s)	TC(s)	TD(s)	TE(s)	TF(s)	TG(s)	TH(s)
極近距離	8.5	40	1.62	18.44	27.32	47.87	68.05	64.66	53.52	40.06
	8	25	1.69	20.05	28.96	48.22	67.80	65.25	52.51	38.35
	7	12	1.40	17.20	24.84	33.86	43.42	36.42	25.15	17.85
	6	6	1.04	12.82	18.51	21.84	23.17	17.41	9.64	3.88
近距離	8.5	80	0.73	7.36	11.43	22.92	34.79	32.58	27.60	21.96
	8	50	0.67	7.45	11.17	20.05	28.65	27.06	22.70	17.19
	7	20	0.78	9.44	13.64	19.10	24.83	20.69	14.46	10.37
	6	8	0.77	9.45	13.65	16.23	17.18	12.73	7.16	2.89
中距離	8.5	160	0.26	2.22	3.67	9.45	15.17	14.83	13.64	12.26
	8	100	0.32	3.08	4.86	10.27	16.04	14.96	12.73	10.37
	7	50	0.23	2.65	4.01	6.02	7.64	6.68	4.87	3.64
	6	25	0.21	2.49	3.60	4.54	4.84	3.98	2.07	0.86
遠距離	8.5	200	0.18	1.44	2.43	6.87	11.17	11.17	10.67	10.04
	8	200	0.10	0.80	1.35	3.82	6.21	6.21	5.93	5.58
	7	125	0.046	0.43	0.70	1.34	1.81	1.59	1.26	1.05
	6	78	0.041	0.45	0.65	0.95	1.03	0.80	0.49	0.22

岩盤における設計用地震動評価手法(耐専スペクトル)について 2007年8月24日 原子力安全基盤機構



(「岩盤における設計用地震動評価手法 (耐専スペクトル) について」)

このように、応答スペクトルに基づく手法は、たとえば、マグニチュード M6、震源距離 Xeq78 km, M7, Xeq20 kmなどに分け、M7, Xeq20 kmの地震で、周期 0.6 秒の周期で、その地震の応答スペクトルがどれだけの大きさになるかの平均値を算出し、周期ごとに算出したものをプロットして作成する。

(3) 応答スペクトルに基づく手法の種類

応答スペクトルに基づく手法には、いくつかの手法がある。

かつては、大崎順彦氏による「大崎スペクトル」が用いられていた。この大崎スペクトルでは、観測された地震動の最大値がほぼカバーされていて、より安全側に考えられていた。

ところが、現在用いられている、電気協会耐震設計専門部会が作成した「耐専スペクトル」や、野田他 (2002) の応答スペクトルでは、地震動の平均像を求めるものになっている。その他にも、Zhao.et.al (2006) の応答スペクトル等がある。

2 応答スペクトルに基づく手法の問題

(1) 地震規模の想定には、莫大な誤差が伴う

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動（敷地周辺の活断層により発生する地震動）は、いずれにしても地震規模の想定が必要となる。

地表の活断層の長さから出発し、そこからそのまま地震規模を直接推定する方法（松田式）にしても、地表の活断層の知見に加え、地下の震源断層面の長さや幅を推定した上で地震規模を推定する方法（後述）にしても、莫大な誤差という宿命からは逃れられない。

松田式は、断層の長さからマグニチュード（気象庁マグニチュード M_j ）との関係式であり、応答スペクトルに基づく手法では、まず断層の長さからマグニチュードを松田式によって求める。断層の長さからマグニチュードを導く関係式は松田式以外に用いられることはなく、全ての原発で、松田式が用いられている。

高浜原発・大飯原発の場合

2. 地震動評価手法

12

■ 応答スペクトルに基づく地震動評価

- 解放基盤表面の地震動として評価できること、震源の揺がりが考慮できること、敷地における地震観測記録等を用いて諸特性が考慮できること、更に水平方向及び鉛直方向の地震動が評価できることから、Noda et al.(2002)(以下、耐専式という)を基本的に採用
- 検討用地震毎に、耐専式の適用性を検討し、適用が難しいと判断した場合は、断層モデルの結果を重視
- 地震規模は松田式より算定

■ 断層モデルを用いた地震動評価

- 評価地点の震源近傍で発生した地震の適切な観測記録が得られていないため、短周期側を統計的グリーン関数法、長周期側を理論的方法を適用したハイブリッド合成法により評価
- これまでの合同Cサブグループ会合における審議を踏まえ再評価した地盤モデルを用いて評価
- 新潟県中越沖地震の反映事項及び「耐震バックチェックにおいて地震動評価を行う際の応力降下量の取扱いについて(平成21年4月24日:原子力安全・保安院)」を踏まえて、短周期レベルを1.5倍したケースを精査して再計算

新耐震指針に照らした耐震安全性評価

基準地震動 S_s の策定について

(高浜発電所、大飯発電所)

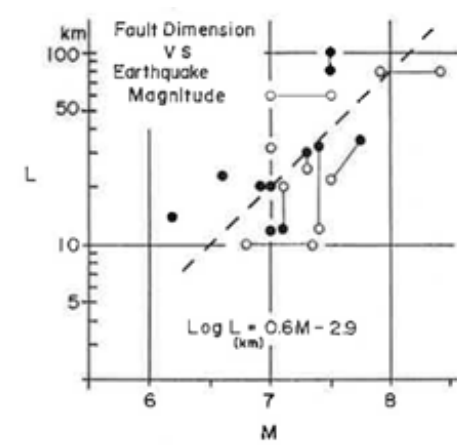
平成22年9月15日

関西電力株式会社

本件原発においても、応答スペクトルに基づく手法の第一段階では、断層長さから地震規模（マグニチュード）を導いており、同様に松田式が用いられているものと考えられる。

松田式は、断層の長さから地震のマグニチュードを推定する式であるが、この

松田式には莫大な誤差がある関係式であり，これを提唱した松田時彦氏自身，単なる目安に過ぎないとしている。その意味は，極めて大きな誤差があるということにはかならない。下図が，その松田式を示す図である。



この図は，縦軸が断層の長さであり，横軸がマグニチュードであり，中央の点線が松田式である。この図を見れば，同じ断層の長さであっても，松田式を超える地震が発生していたこと，マグニチュードで1.0程度上回る地震が現に発生していたことがわかる。マグニチュード1.0は，エネルギーで32倍であり，松田式は，とんでもなく大きな誤差をかかえていたことがわかる。

この松田式，特にそのもととなったデータのバラツキに地域特性があるかを検討すれば，松田式は10個あまりの地震から導かれたものであるもので，地域特性を論ずるのは不可能である。原発事業者が，松田式に地域特性があると主張するのなら，ただ主張するだけではなく，その後の当該地域でのデータを明らかにして，実証すべきであるが，とりわけ多少なりとも規模の大きな地震は，現時点まででも，当該地域のみでは，あっても極くわずかでしかないから，地域特性を論じるまでのデータはあるはずもない。

(2) 耐専スペクトルも，野田他（2002）の応答スペクトルも平均像を求めるもの

耐専スペクトルも，野田他（2002）の応答スペクトルも，基本的には同じデータに基づく同一の手法であるが，その基礎となる観測された地震動記録は極めてわずかなものに過ぎず，そもそも，これによって地震動の最大値を知ることは不可能である。

また、耐専スペクトルも、野田他（2002）の応答スペクトルも、「実現象の平均像を忠実に再現」しようとしたものである。耐専スペクトルについて、これを定めた日本電気協会原子力発電耐震設計専門部会は、次のように説明する。

1-1 なぜ経験的方法が必要か

◆耐専スペクトル

- 距離減衰式に基づく地震動の経験的評価法

◆経験的方法

- 基本式： $S(T) = f(M, X)$

◆経験的方法の必要性

- 実観測記録に基づいて設定
 - ◆ 実現象の平均像を忠実に再現
- 断層モデルを用いた場合も経験式で確認
 - ◆ 例：強震動評価のレシピ

5

（「岩盤における設計用地震動評価手法（耐専スペクトル）について」）

<https://www.nsr.go.jp/archive/nsc/senmon/shidai/taishinpic/taishinpic004/siry04-6-1.pdf>

被告は、耐専スペクトルが近距離では適用ができないとして、ケースによって Zhao 他（2006）など複数の手法も用いているが、被告が用いる他の手法も、全て平均像を求める手法に変わりはない。

（3） 応答スペクトルに基づく手法の誤差（平均像からのかい離の程度）

このように、応答スペクトルに基づく手法は、以前の大崎スペクトルを除き、基本的に平均像を求める手法である。これを原発の耐震設計に用いるのであれば、平均からどれだけかい離し、最大どこまでの値になるかを考える必要がある。それを問題にしないなら、本来危険な原発の耐震設計はできないはずだからである。平均像からのかい離は、応答スペクトルに基づく手法の誤差ということとなる。では平均像から、どれだけかい離した値となりうるのか。

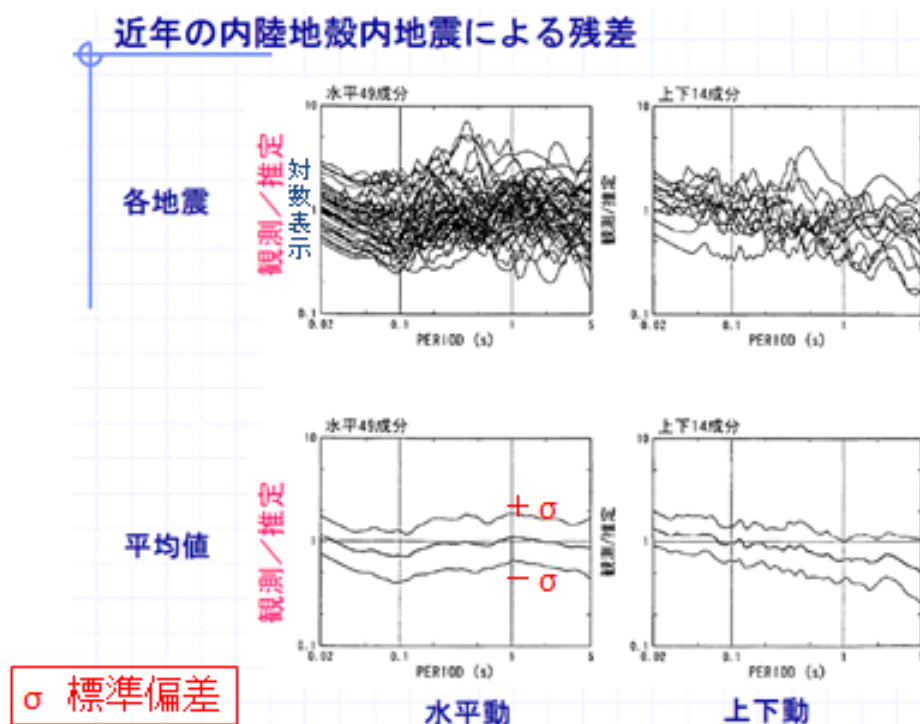
した値と近年の内陸地殻内地震での観測値の比を示すものである。

縦軸は対数表示となっており、観測値と推定値の比を示している。上図では、その比の1倍、2倍、5倍の値がどこになるかを線で示している。横軸は、周期である。描かれている1本1本が現実が発生して観測した地震動の値（推定値の何倍かの値）であり、原発に重要な短周期で、推定値の3～4倍の値となっていて、中には7～8倍程度に達するものも存在する。

これを原発の耐震設計に用いるのであれば、まずは観測された誤差の最大値（既往最大）はとらなければならない。図の多数の線の上限がその最大値であり、その値は、短周期で平均的値の4倍程度となっている。

しかしながら、原発の耐震設計では、これらの誤差については、全く考慮されていない。

(4) 観測値のバラツキの程度



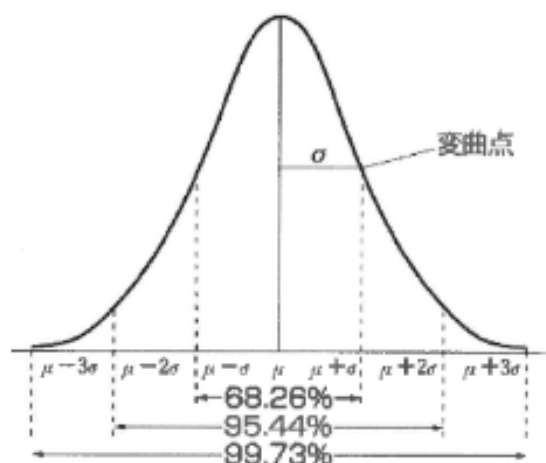
多数の値のバラツキの程度を見るのが、標準偏差（ σ ）である。上図の下側の図には、 $+\sigma$ と $-\sigma$ の線が示されている。

標準偏差とは、値のバラツキを見る指標となるものであり、平均値と各値との差（偏差）を二乗し、それを合算した和をデータの数で割り、それをルートした

値である。

標準偏差(σ)とは、値のバラツキを見る指標

平均値と各値との差(偏差)を二乗し、それを合算した和をデータの数で割り、それをルートした値



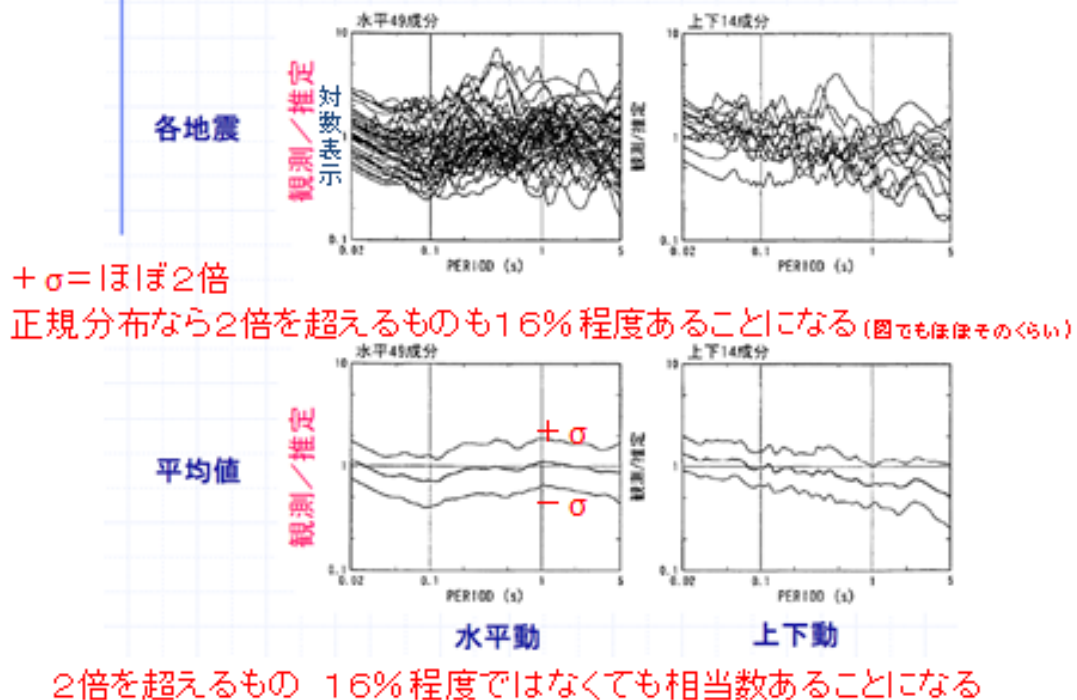
正規分布の図
分布が正規分布かどうかは不明
しかしほぼ変わらない
→参考にできる

+ σ を超えるもの (100-68.26)/2 $\approx$ 16(%)

+2 σ を超えるもの 2.3% +3 σ を超えるもの 0.14%

上図は、正規分布という良く見られる分布の図である。数値のバラツキの仕方には、いろいろなものがあるが、「正規分布」はその代表格のものである。上記観測値と推定値の比のバラツキ(分布)が必ず正規分布であるとまでは言えないが、バラツキの様子は正規分布にそう違わない。ちなみに縦軸は「対数表示」となっていることには注意が必要である。地震動の観測値と推定値の比のバラツキは、対数表示で見ると正規分布に近いものとなるということである。正規分布であるとすれば、+ σ を超えるものは約16%, +2 σ を超えるものも、2.3%あり、+3 σ を超えるものもなおも0.14%(740分の1)あることとなる。+3 σ をとったとしても、740個の地震のうち1個は、3 σ も超えるのである。

近年の内陸地殻内地震による残差



上図を見れば、 $+\sigma$ の値は、ほぼ2倍に近いと見ることができる。 $+\sigma$ を超える観測値も相当あるので、そもそも $+\sigma$ 程度の値を採用するのでは不足する。 $+2\sigma$ でも、なお正規分布なら、 2σ を超えるものも2.3%あることとなるので、原発の耐震設計であることを考えれば、それでも不足すると考えるべきで、 $+3\sigma$ 程度もしくはそれ以上は考えるべきということとなる。 $+2\sigma$ はほぼ4倍に近い、観測値と推定値の比の最大値に近い値である。また $+3\sigma$ で8倍に近い値と見ることができるが、せめてほぼ既往最大である4倍はとるべきであり、また安全性を考えればそれではなおも相当不足し、平均値の8倍もしくはそれ以上を考える必要がある。すると、少なくとも平均の10倍はとるべきという結論となる。

3 小括

前述したように、新規基準(「基準の解釈」)においても、「選定した検討用地震ごとに、不確かさを考慮して応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価を」するよう求められている。ここでは、応答スペクトルに基づく手法においても、不確かさを考慮しなければならないことが、規定の文言で明記されている。しかし、応答スペクトルに基づく手法は、各地の

原発の耐震設計で採用されているが、この手法は、出発点の松田式による地震規模の推定でも、その後の地震動推定でも、平均像を求めるに過ぎない手法である。

そもそも、平均像からのかい離を「不確かさ」と呼ぶこと自体、誤りである。平均像を現実の地震が超えることは、決して不確かなことではない。起こる地震の半数が、平均像を確実に超える。したがって、単に平均像からのかい離でしかないものを「不確かさ」と呼ぶのは相当ではない。特に、原発の耐震設計であることを考えれば、まず平均像を取って耐震設計をしようとする事自体、全くの誤りであって、当初より、平均像ではない、最大値はどれくらいかを考えるべきである。

もっとも、国も電力事業者も、平均像からのかい離自体を「不確かさ」とは呼ぼうとしているわけではない。想定が基本的には平均像でしかないことを十分に知りつつ、平均像からのかい離という観点を取ろうとせず、無視している。この平均像からのかい離を不確かさの考慮と呼ぶとしても、この手法について、どの原発でも、この平均像でしかないことからくる不確かさを考慮していない。もともと、平均像であることからすれば、原発では特に、その誤差（不確かさ）は本来必ず考慮しなければならない。新規制基準でも「不確かさの考慮」が明記され、これがバックフィットされることになったのであるから、各地の原発で耐震設計の見直しがなされなければならない。しかしながら、この点の誤差は、国も電力会社も、無視を決め込んでしまっている。しかし、それが誤りであることは、否定しようのない事実である。

ただし、もし仮に応答スペクトルに基づく手法でも不確かさの考慮をするとしても、その不確かさの考慮は、しっかりとした根拠をもって行わなければならない。間違っても、「ある程度大きめにとっておけば、それで不確かさを考慮した」などとするようないい加減な方法によるわけにはいかない。あるいは多少大きめにとるなどという、お茶を濁すようなことでは足りない。明確に、少なくとも平均像からどれだけのかい離まで想定すべきか、観測記録上の過去最大のかい離はどれだけか、それをも超えるものをどこまで想定すべきか（すなわち何 σ まで想定すべきか）という観点から、最大の地震動想定を行わなければならない。この何 σ まで想定すべきかは、松田式の適用においても考えられなければならない。そのときの不確かさの考慮は、最高裁判所伊方判決が言うような「万が一にも災

害防止上支障のないこと」を実現するように、万が一にも、想定した応答スペクトルをはみ出す地震がないような、すべての考えられる地震・地震動を包絡するようなものとしなければならないである。

以上のとおり、地震動想定手法のうち、「応答スペクトルに基づく手法」は、地震規模の推定における経験的関係式（松田式）でも莫大な誤差があることが明らかであり、その後の地震動想定手法も、実現象の平均像を求めるに過ぎない手法であって、しかもその平均からのかい離は、莫大なものであることが明らかである。しかるに電力会社は、この平均からのかい離を一切顧慮せず、地震動を想定している。そのことのみで、すでに電力会社の想定する地震動が極めて過小であることは明らかである。

第3 断層モデルを用いた手法について

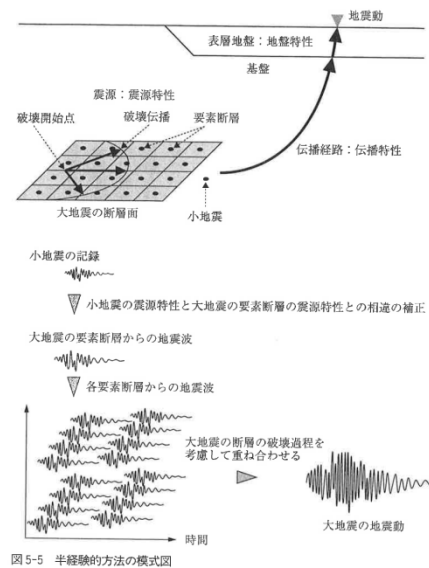
1 断層モデルを用いた手法とは

現在、認識されている地震発生メカニズムは、地下に震源断層面という地震が発生する面があり、そのある1点から破壊が始まり（破壊開始点）、それが伝播して次々破壊が面に沿って進行していき、破壊のたびに地震動を発生させていく、震源断層面の破壊は一様ではなく、アスペリティという固着した領域では、大きな歪みの解放があつて、そこではより大きな地震動が発生する、というものである。

断層モデルを用いた手法とは、地震動評価の手法の1つであり、上記の地震発生メカニズムに基づき、震源断層面を小区画に分け、破壊開始点を定めて、そこから破壊が伝播していき、各小区画の破壊に伴う地震動を算定して、それらが敷地まで達する間にどのように減衰するかを算定し、これら小区画からの地震動をすべて重ね合わせて敷地の地震動を導く手法である。

敷地までの間の経路でどのように減衰するかをグリーン関数と言う。グリーン関数には、近くの実際に起きた小地震の距離減衰の様子をそのまますべての小区画にあてはめて地震動を算定する「経験的グリーン関数」と、近くに適当な小地震がないときに、理論的手法などによって導く「統計的グリーン関数」

とがある。



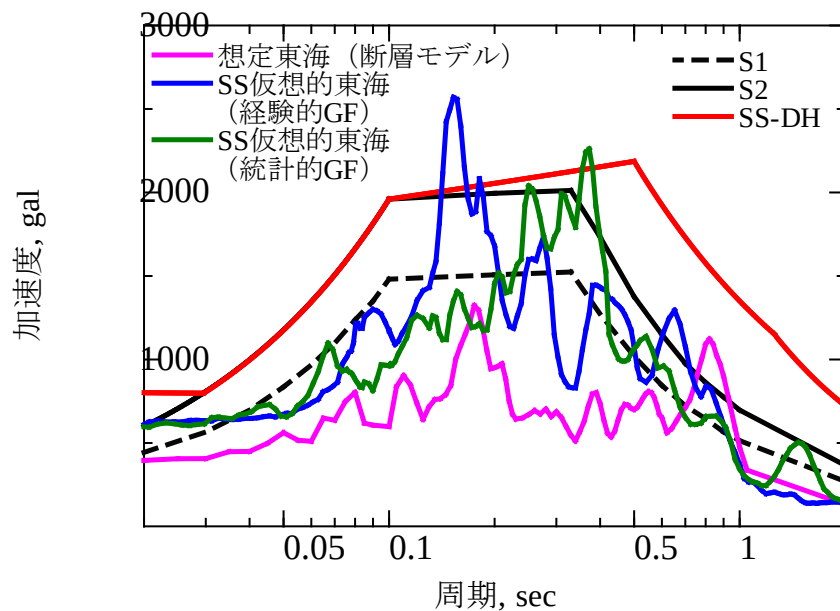
(甲 1 2 9 『地震の揺れを科学する』 1 5 1 頁)

2 グリーン関数の誤差（不確かさ）が考慮されていない

まず、震源断層面から敷地までの間の距離減衰の関係式であるグリーン関数の誤差（不確かさ）について具体的にみることにする。

すでに述べたように、グリーン関数には、経験的グリーン関数と統計的グリーン関数とがある（そのほかに、短周期成分には統計的グリーン関数、長周期成分には他の理論的手法を組み合わせたハイブリッド合成法がある）。経験的グリーン関数法は、近傍の実際に発生した地震（要素地震）の距離減衰式をそのままグリーン関数として用いる手法であるが、適切な近傍の地震がない場合には使えない。その場合には、統計的グリーン関数を用いるほかはない。

この両者を浜岡原発で用いられたもので比較すると、次のとおりである。



(青線が経験的グリーン関数 緑線が統計的グリーン関数)

この経験的グリーン関数では、要素地震として敷地になるべく近い小地震を選ぶのであるが、適切な地震はなかなかなく、多少離れた場所での小地震を選ぶのが通例である。そうすると、どうしても、現実の減衰とは食い違ってしまう。ここで誤差の生ずるのは、性質上まぬかれず、なおかつその誤差の評価は困難である。

そこで、統計的グリーン関数も用いるのであるが、その統計的グリーン関数も、経験的グリーン関数と大きく違うことから明らかなように、統計的グリーン関数自体にも、大きな誤差（不確かさ）があることとなる。

では、グリーン関数にはどれほどの誤差があるのか。上図で、同じ仮想的東海地震の応答スペクトルであるのに、経験的グリーン関数による結果と統計的グリーン関数による結果とが大きく食い違っていることが明らかである。両者のかい離は、最大2倍程度となっている。したがって、少なくとも、この程度の誤差は、グリーン関数に存在するものと見なければならない。

また、統計的グリーン関数自体の誤差がどれだけあるかも、別途検討されなければならない。特に、上図によれば、統計的グリーン関数の方が、経験的グリーン関数より短周期において過小となっていることが問題とされなければならない。原発にとって危険な地震動である短周期地震動が過小に評価されるなら、統計的

グリーン関数によって導いた地震動では、原発の安全性が担保されなくなるおそれが生じてしまう。

「グリーン関数」には、極めて大きな誤差（不確かさ）がある。しかし、「不確かさの考慮」として、どこの原発でも、グリーン関数の不確かさは考慮されていない。この点だけをとっても、電力会社が行っている地震動評価は、明らかな新規制基準違反があるということになる。もっとも、現在進行中の適合性審査の過程でも、グリーン関数の「不確かさ」は一切取り上げられていない。規制委員会自身が、触れるべきグリーン関数の誤差について、一切触れようとしないのであるが、ここには明らかな審査の欠落が存在し、導かれた地震動は、なすべき不確かさ（誤差）の考慮をされていない過小なものとなっている。

現在進行中のどの原発裁判においても、原発事業者は、グリーン関数に誤差があること自体を決して認めようとしない。しかし、科学的推定手法であるグリーン関数に誤差があることは、誰も否定しようのない真実である。まずもって、被告は、グリーン関数に誤差があることを否定するのか認めるのかを明らかにし、誤差の存在を否定できないなら、それがどの程度あるのかも明らかにすることが必要である。もし、グリーン関数に誤差がないと主張するなら、過去のデータによって実証することも必要である。統計的グリーン関数にも、経験的グリーン関数にも誤差が存在しないなら、真実は一つであって真のグリーン関数は一つしかないはずなのに、なぜ双方が食い違ふことがあるのかも説明が必要である。いかに不利な議論であっても、議論から逃げることは許されない。

3 強震動予測レシピについて

(1) 強震動予測レシピ

「強震動予測レシピ」とは、以下のとおり説明されている。

「断層モデルによる強震動予測に関しては、想定する震源断層を設定し、その規模や破壊シナリオを構築する必要がある。しかしながら、その方法に関しては設定者に依存しばらつきの大きなものとなりがちであった。そこで、モデル化に際しての任意性を少しでも小さくするために、入倉孝次郎京都大学名誉教授らによって提案されたものが、「強震動予測レシピ」と呼ばれる非一様断層破壊シナリオの設定マニュアルである。」（甲 1 3 3 平成 1 9 年 4 月

「断層モデルの高度化に関する検討」 2－1)

原発の耐震設計において使用されているのは、入倉孝次郎氏による入倉レシピと、地震調査研究推進本部地震調査委員会のレシピとがある。

ここでは、まず入倉レシピについてみることにする。

<http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/nenpo/no47/47a0/a47a0t02-2.pdf#search='%E5%BC%B7%E9%9C%87%E5%8B%95%E4%BA%88%E6%B8%AC%E3%83%AC%E3%82%B7%E3%83%94'>

(「入倉 2004」)

http://www.kojiro-irikura.jp/pdf/kyoushindouyosoku_recipe.pdf

(「入倉 2008」)

なお、電力会社によっては、地震調査委員会による「震源を特定した地震の強震動予測手法 (「レシピ」)」

http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_yosokuchizu/g_furoku3.pdf

が用いられている場合もあるが、基本的な考え方においては、異なる点はない。

この入倉レシピは、次の 9 つの段階 (step) からなっている。

STEP 1 断層破壊面積

Step 1: 断層破壊面積 ($S = LW$)

断層長さ L を決め、地震発生層厚と断層傾斜を考慮した最大幅 (W_{max}) との関係で断層幅 (W) を設定する。

$$W(km) = L(km) : L < W_{max}$$

$$W(km) = W_{max}(km) : L \geq W_{max}$$

Step1 は断層破壊面積を導くものである。

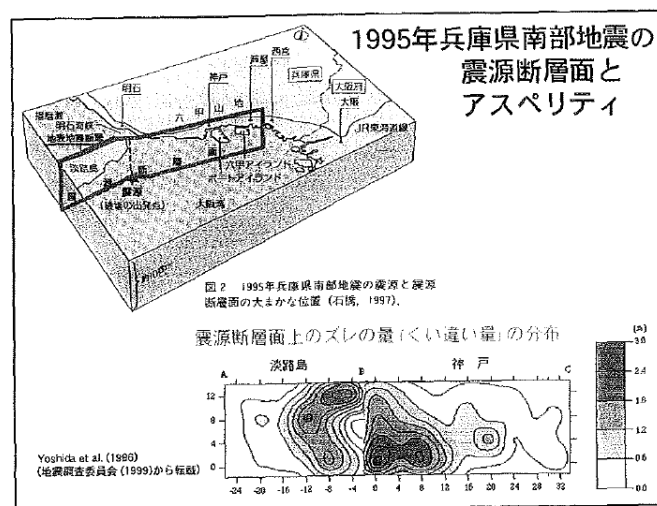
レシピでは、震源断層面を正方形もしくは長方形として想定するので、面積は長さ×幅となる。断層モデルを用いた手法の出発点は、この断層の長さと幅を決めることである。このモデルは、極めて簡略なモデルであり、モデル自体に大きな誤差が含まれている。大飯、高浜を含むどの原発でも、断層の下に四角い震源断層面を想定し、断層からはみ出して前後に続く断層面は、想定しない。しかし、

兵庫県南部地震で見られたように、現実の断層面は地表の断層を大きくはみ出している。少なくとも、その可能性を考えることが原発の耐震設計では求められている。それを無視して策定した断層モデルは、過小なモデルと言うほかない。

この「地表断層を超えて地下で前後に伸びる断層面がある可能性は否定できない」との住民側の主張に対して、現在のところ、どの訴訟においても何の反論もなされていない。実際、兵庫県南部地震では、地表断層を大きくはみ出して断層面が伸びていたので、反論はしようがないと思われる。また、地下で伸びる断層面は、地表に断層を発生させない「震源を特定せず策定する地震動」ととらえることもできるから、この「震源を特定せず策定する地震動」を発生させる地震との連動をとらえることもできる。したがって、地表の断層を大きく超えて地下で断層面が続く可能性は、到底否定のしようのない真実なのである。

一方、短い断層では、ようやく最近になって、地表の断層の前後に断層面が伸びる可能性を認めるに至っている。したがって、同様、長い断層であっても、前後に断層面が伸びることは考えなければならない。

そこで、平成7年（1995年）兵庫県南部地震を見れば、同地震では、地表の断層の長さを大きく超えて、地下の断層は伸びていた（下図）。地表の断層は地下長く続く断層面の冰山の一角にすぎず、断層面の長さがどこまで伸びるかについては大きな不確かさを考慮する必要があるのである。



(甲131 石橋克彦陳述書)

上が震源断層面のモデル、下が現実の震源断層面とアスペリティ（濃い領域がア

スペリティ)

また内陸地殻内地震の震源断層面の幅は、地震発生層の厚さから推定する。震源断層面の長さが地震発生層の厚さと断層傾斜を考慮した最大幅（傾斜があると地震発生層の厚さより長くなる）より短い場合は、長さとは一致していると考え、すなわち震源断層面は正方形と見る、そして長さが最大幅を超えている場合は、最大幅を幅として使用し、長さだけが大きくなる、すなわち震源断層面は長方形と見るというのが、上記の関係式である。

しかし、地震発生層の厚さ（下限深さと上限深さから厚さが導かれる）は、微小地震の発生領域などから推定するが、そもそも微小地震のデータがわずか20年ほどのデータでしかないことから、この地震発生層の厚さの推定にも大きな不確かさが存在する。

一旦、震源断層面の長さと幅が決まれば、面積は長さ×幅で決まるが、実際の震源断層面は、上図の兵庫県南部地震でみられるように4角形ではなく、アスペリティも不定形なものである。この断層モデル自体、極めて簡略化したモデルでしかなく、そこにもすでに大きな誤差の要因があることになる。

STEP 2 地震モーメント

Step 2: 地震モーメント (M_0)

断層破壊面積と地震モーメントの関係式から設定する（図 2.1 参照）。

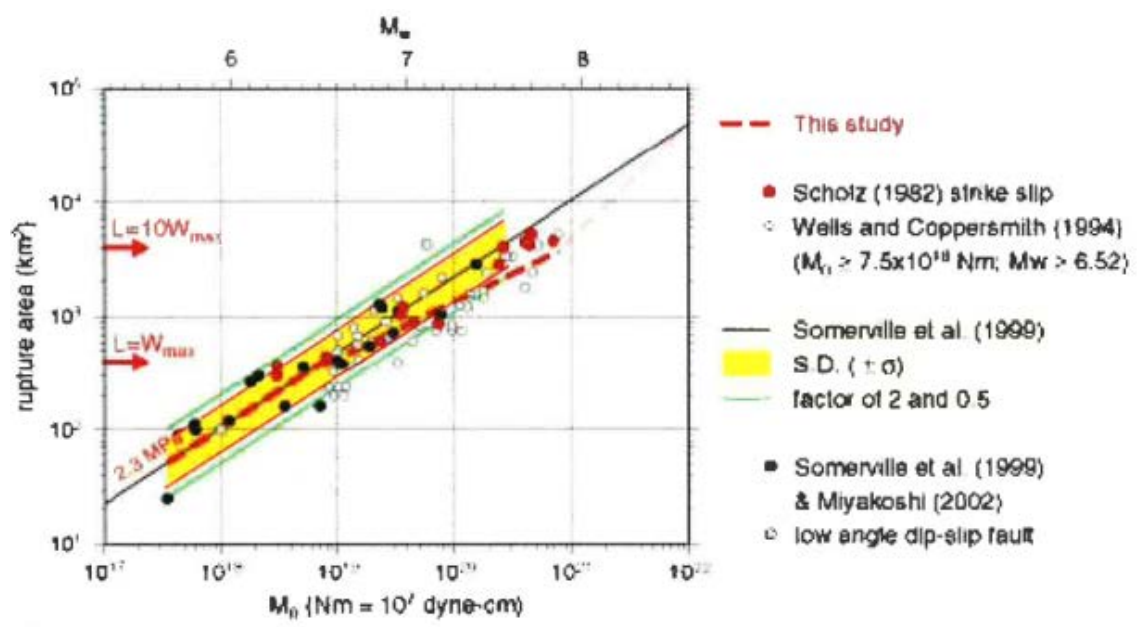


図 2.1 入倉・三宅の (2001) のスケーリング

Step2 は、断層破壊面積（震源断層面の面積）から地震モーメントを導くものであり、上図の関係式によって導かれる。ちなみに上図はいずれも内陸地殻内地震のものである。

上図は、縦軸、横軸ともに対数表示となっていて、大きな 1 目盛が 10 倍である。

図でもわかるとおり、断層破壊面積が大きくなれば、それに応じて地震モーメントも大きくなる。それをスケーリング則と言う。しかし、その関係も、全ての値が 1 つの線の上に乗るものではなく、図のように、相当なばらつきのある関係となっている。

このうち、入倉－三宅の式は、図の赤点線で示されたものであって、 L （長さ） $=W$ （幅）の点で折れ曲がっている。折れ曲がらない黒線がサマービル他（1999）の関係式である。

これらの関係式は、実際に起きた地震の平均を取っている。

黄色の範囲が、中央の線（平均の線）からの $+\sigma$ 、 $-\sigma$ の範囲である。

※ σ = 標準偏差

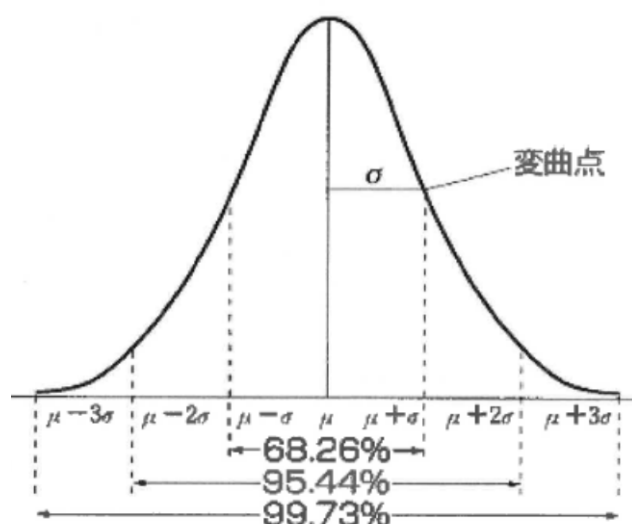
その端に加筆した赤線は、横軸の M_0 の平均像の $1/2$ と 2 倍の線である。この赤線は、同じ断層面積で、 M_0 が $1/2$ の値と 2 倍の値がどこかを示している。ち

なみに、その外側の緑線は、入倉らが引いた同じ M_o での縦軸の断層面積の平均像の $1/2$ と 2 倍の値を示している。

下の目盛りで大きい目盛りから次の右側の小さい目盛りまでの長さは目盛り上「 2 倍」の長さであり、この「 2 倍」の長さは、図のどこでも同じ 2 倍である。したがって、上図のように、平均像の中央の線の 2 倍の値は、平均像の線に平行に引かれることとなる。同様に、 $1/2$ の値の線も、同じ長さで左側に平行に引かれる。

この図の示すところからして、 $+\sigma$ の値は、ほぼ平均像（中央の直線の値）の 2 倍の値となっている。さらにもっとも平均から離れた値を見れば、ほぼ平均像の 4 倍となっていて、 1σ ごとに 2 倍となっているから、この値は $+2\sigma$ の値である。ちなみに $\pm\sigma$ の範囲には、データの 68.26% 、 $\pm 2\sigma$ の範囲にはデータの 95.44% が入る（下図正規分布の図）。 2.28% （ $4.56/2$ ）の地震は、この 2σ をも超えることになる。

再度、正規分布の図をみれば、 $+\sigma$ と $-\sigma$ の範囲に 68.26% の値が入り、 $+2\sigma$ と -2σ の範囲に 95.44% の値が入る。



したがって、平均像の 4 倍をとったとしても、おおよそ 44 （ $=1/0.0228$ ）個に 1 つの地震は、この値を超えてしまい、 $+3\sigma$ の値は、平均像の $2 \times 2 \times 2 = 8$ 倍の値であるが、それでも 0.135% の地震は、その 8 倍の値を超える地震動をも

たらずことは述べたとおりである。すなわち、同様の計算をすれば、740 個に 1 つの地震の地震動は、平均像の 8 倍をも超える。このように少ないデータで、どこまで言えるかは問題があるが、少なくとも、その程度のことは起こりうると思えなければならない。そして、740 個に 1 個程度の可能性なら、起こったときにはあきらめるということでもいいのかというのが、このスケーリング則の問題の帰結の一つである。しかし、起こったときの被害は、福島第一原発事故の程度にとどまる保証はない。このあまりに甚大すぎる被害を考えれば、仮に 740 分の 1 であれ、危険を冒してはならないというのが、常識的判断であるはずである。

仮に、そこまでの値を取らなかったとしても、少なくとも、上図のもっとも平均から値の大きい側（右側）にはずれた値程度は想定すべきであると考えてるのが相当である。少なくとも、それだけはずれた値の地震が現実が発生している以上、少なくともその程度の M_o となる地震は発生しうるものと考えてる必要がある。この値は、平均値の約 4 倍となっている。

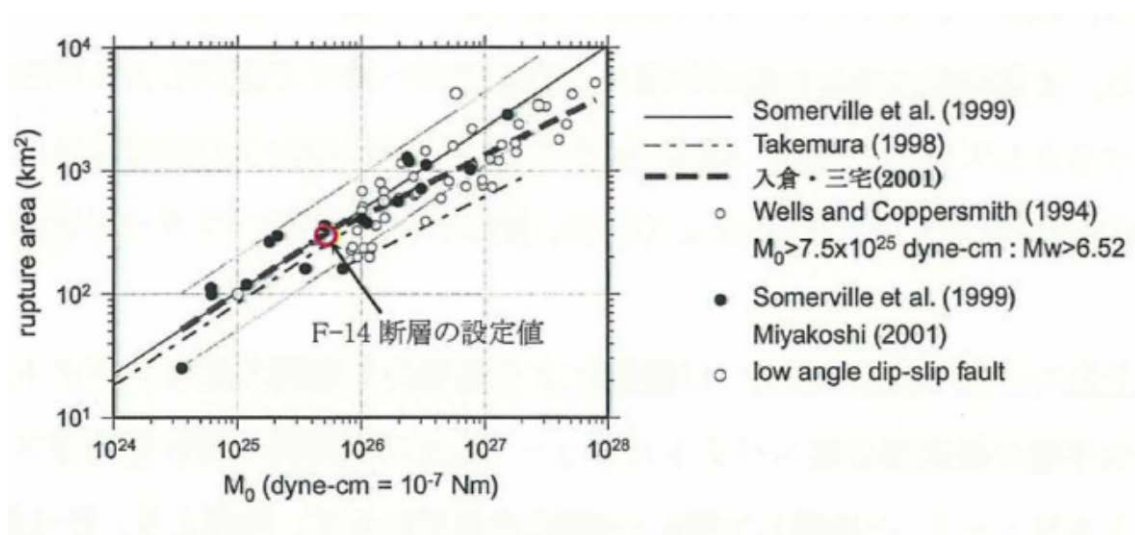
ところで、上の最初の図で、黄色の範囲は、幅が同じである。その意味するところは、データのばらつきは、値の大小にかかわらず、同じということであり、面積 S のいかんにかかわらず、あるいは地震モーメント M_o の大きさいかにかかわらず、せめて 4 倍程度の不確かさは考慮されなければならないということの意味している。

上の「4 倍の値を取れ」というのは「過去最大」の値で想定するということの意味している。しかし、さらに、「過去最大」の平均値からのずれで足りるか、もっと大きな値を取らなければならないのではないかというのが、せめて 3σ まで取るべきだ、あるいは 3σ よりも大きな値も取るべきだという問題である。「過去最大」と言っても、われわれの知識経験は、何 10 年程度のものでしかなく、地質現象の長い長いスパンからしたら、本当にわずかな短い期間の、けし粒ほどの価値しかないものでしかない。だから、その中の「過去最大」など、常に更新し続けていく。スマトラ沖地震も、東北地方太平洋沖地震もそうであった。古くはチリ津波もそうであった。したがって、「過去最大」を上回る現象が起こることは、覚悟する必要がある。このことからすれば、この 4 倍では足らないと考えるべきであり、4 倍という値は最低限のものと考えなければならない。

以上からして、この点での誤差（不確かさ）としては、強震動レシピで決めた平均的 M_0 の値の4倍程度は取るべきだというのは、原発の耐震設計での最低限の要求であり、極めて危険な原発の安全性を考えれば、平均的値の10倍はとる必要があるということになる。

次に示す図は、大間原発における「原子力安全・保安院 平成20年3月 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」p190に記載されたものである。

この図の一番下に引かれた一点破線は、武村雅之現名古屋大学減災連携センター教授の研究結果を示すものである。



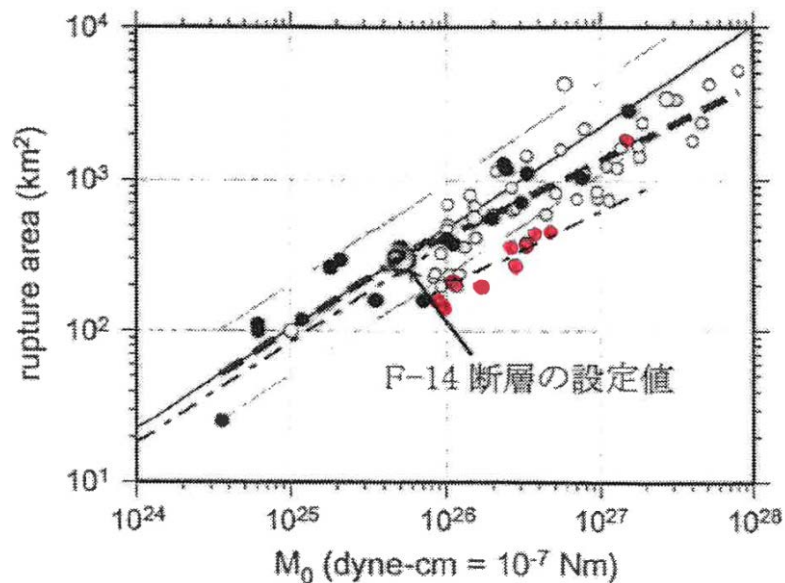
黒線は Somerville *et al.* (1999) によるもので、灰色の領域は標準偏差 ($\sigma = 0.16$) の範囲、実線は点線の倍半分の値を示す。白丸印で示される Wells and Coppersmith (1994) のカタログのデータは地震モーメントが 10^{25} dyne-cm を超える大きな地震で系統的なずれを示す。地震モーメントが 7.5×10^{25} dyne-cm より小さい場合（震源インバージョンの結果のみで回歸）と大きい場合（震源インバージョンの結果と Wells and Coppersmith (1994) のカタログを含めて回歸）に分けて決められた式が点線で示される。一点鎖線は武村 (1998) による経験的關係式を示す。

(入倉・三宅(2001)に加筆・修正)

第 6.1-1 図 断層面積と地震モーメント M_0 の関係

武村教授が示す式は、日本における過去の地震の破壊面積と地震モーメントの平均を取ったものとされている。結果的に、武村式は、入倉式よりも、約4倍以上安全側の式を提案していることになる。しかし、武村式も、入倉式同様にスクエーリング則の式であり、平均像を求めようとする式でしかない。したがって、その背後には、4倍を大きく上回るデータが存在する。念のため、入倉のデータを示した大間原発の上図に、武村のデータを書き加えた図を示しておく。この図に

よれば、武村のデータの中には、入倉の平均値の7倍に及ぶデータが存在する。



耐震設計や耐津波設計において、しばしばこのスケーリング則が用いられる。それは、地震現象や津波現象が、良くは分からないため、多数の事象を集めて、その平均像を求めるしかないというところに、根本の原因がある。すなわち、スケーリング則には必然的に大きな誤差を伴わざるを得ない。そして、このスケーリング則を用いた耐震設計、耐津波設計には、また当然の帰結として、大きな誤差が伴わざるを得ないのである。

しかし、耐震設計は、この平均的な値で行ってはいけない。それでは 50%の地震で、平均値を超えてしまうので、とりわけ危険極まりない施設である原発で、平均値で耐震設計を行うなど到底許されないことである。

STEP 3 平均応力降下量

Step 3: 平均応力降下量 ($\Delta \bar{\sigma}_c$)

クラック理論 [Eshelby (1957)]^(2.5) に基づき設定する。

$$\Delta \bar{\sigma}_c = \frac{7\pi^{1.5}}{16} \cdot \frac{M_0}{S^{1.5}}$$

Step3 は、平均応力降下量を導くものであり、これを導く式が上の式である。

平均応力降下量とは、震源断層面全体の応力降下量を面積で割ったものであり、 S (面積)が一定であれば、 M_o と平均応力降下量とは比例関係にあることとなる。したがって、 M_o が4倍になれば、平均応力降下量も必然的に4倍になる。

STEP 4 アスペリティの総面積

Step 4: アスペリティの総面積 (S_a)

断層破壊面積とアスペリティの総面積の経験則 [Somerville et al. (1999)、入倉・三宅 (2001)] から設定する。

$$\frac{S_a}{S} = 0.22$$

Step4 は、アスペリティの総面積を導くものであるが、これは経験的に震源断層面の22%がアスペリティの総面積であるというものであって、震源断層面の平

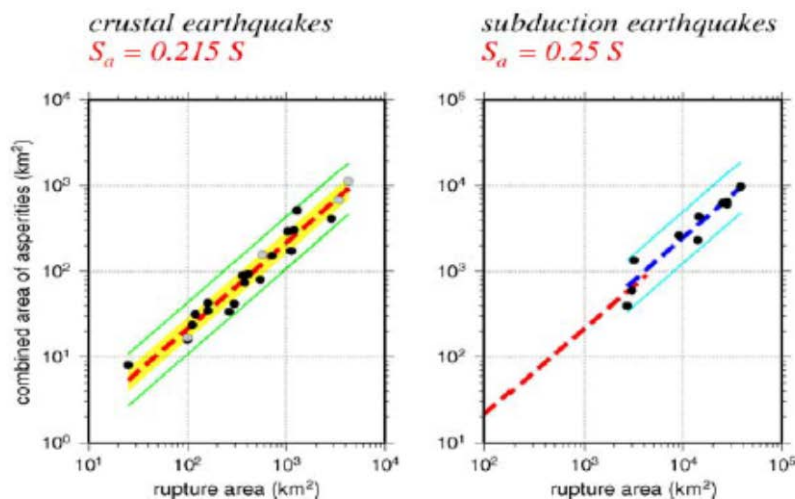


図 3. アスペリティ総面積と破壊域(断層面積)の経験的關係(入倉, 2004)。左図: 内陸活断層地震。右図: 海溝型地震。影部は標準偏差 $\pm\sigma$ を示す。細実線は平均に対する2倍と1/2倍を示す。

均像を示すものである。この関係を見れば、次のとおりである。

「入倉 2008」

上図は、内陸地殻内地震では、アスペリティの面積は、断層の総面積の21.5%，

海溝型地震では 25.5% というのが平均像であることを示している。まず、この図でも、縦軸も横軸も対数表示であり、大きな 1 目盛りが 10 倍を示すことに注意する必要がある。そして、図を見れば、実はデータはやはり極めて大きなばらつきを示していることがわかる。

この図の縦軸はアスペリティの総面積、横軸は断層の総面積で、いずれも対数表示であり、大きな 1 めもりが 10 倍を示している。

この図で、平均（中央の直線）から下に最大はずれた値を見れば、同じ断層面積でも、アスペリティの面積が、平均の 2 分の 1 近い大きさとなる地震があることがわかる。アスペリティの面積比が小さければ、その分、アスペリティの応力降下量が大きくなるというのが、次の Step5 であるが、そうだとすると最低限、面積比を平均の 2 分の 1 として取るのが、危険な原発の耐震設計上での安全側に立った考え方ということになる。しかも、これも「過去最大」（面積比ということでは「過去最小」）ということだけでなく、すでに述べた原発の耐震設計上の原則からすれば、それだけでも足りない。したがって、原発の安全性を十分に確保するためには、さらに面積比を小さくとることも必要である。

ちなみに、内閣府に設けられた南海トラフの巨大地震モデル検討会は、南海トラフ沿いの地域の地震動や津波高の想定を実施したが、そのとき用いた強震断層モデルを見ると、東海域で面積比を 12.44%（下記パラメータ一覧記載の東海域の強震動生成域面積 3661 ÷ セグメント面積 29419）としている。（甲 16 「南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について（第 1 次報告）巻末資料 22 頁）。

http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/pdf/kanmatsu_shiryou.pdf

表2.1 強震断層モデルのパラメーター一覧

全体	面積(km ²)	110,150			
	応力パラメータ (MPa)	2.3			
	平均すべり量(m)	7.6			
	地震モーメント(Nm)	3.4E+22			
	Mw	9.0			
各セグメント	セグメント名	日向灘域	南海域	東海域	駿河湾域
	面積(km ²)	19,053	53,790	29,419	7,888
	平均応力降下量(MPa)	4	4	4	4
	平均すべり量(m)	5.5	9.3	6.9	3.6
	地震モーメント(Nm)	4.3E+21	2.0E+22	8.3E+21	1.2E+21
	Mw	8.4	8.8	8.5	8.0
強震動生成域 SMGA	面積(km ²)	2,047	6,109	3,661	853
	面積比	11%	11%	12%	11%
	平均すべり量(m)	11.1	18.6	13.7	7.1
	地震モーメント(Nm)	9.3E+20	4.7E+21	2.1E+21	2.5E+20
	Mw	7.9	8.4	8.1	7.5
強震動生成域 SMGA①	面積(km ²)	1,018	1,953	910	438
	応力パラメータ (MPa)	34.5	46.4	45.4	34.4
	平均すべり量(m)	11.0	20.5	13.7	7.2
	地震モーメント(Nm)	4.6E+20	1.6E+21	5.1E+20	1.3E+20
	Mw	7.7	8.1	7.7	7.3
強震動生成域 SMGA②	面積(km ²)	1,029	1,615	914	415
	応力パラメータ(MPa)	34.5	46.4	45.4	34.4
	平均すべり量(m)	11.1	18.7	13.7	7.0
	地震モーメント(Nm)	4.7E+20	1.2E+21	5.1E+20	1.2E+20
	Mw	7.7	8.0	7.7	7.3
強震動生成域 SMGA③	面積(km ²)		1,612	913	
	応力パラメータ (MPa)		46.4	45.4	
	平均すべり量(m)		18.7	13.7	
	地震モーメント(Nm)		1.2E+21	5.1E+20	
	Mw		8.0	7.7	
強震動生成域 SMGA④	面積(km ²)		929	924	
	応力パラメータ (MPa)		46.4	45.4	
	平均すべり量(m)		14.2	13.8	
	地震モーメント(Nm)		5.4E+20	5.2E+20	
	Mw		7.8	7.7	
背景領域	面積(km ²)	17,006	47,681	25,758	7,035
	応力パラメータ (MPa)	3.7	3.7	3.7	3.7
	平均すべり量(m)	4.9	8.1	5.9	3.1
	地震モーメント(Nm)	3.4E+21	1.6E+22	6.2E+21	9.0E+20
	Mw	8.3	8.7	8.5	7.9
その他	破壊伝播速度(km/s)	2.7	2.7	2.7	2.7
	fmax(Hz)	6Hz	6Hz	6Hz	6Hz
	剛性率(N/m ²)	4.1E+10	4.1E+10	4.1E+10	4.1E+10

この検討会の値 12.4%は、まさしくアスペリティと総面積の面積比の関係の中の最小値である。検討会は、東北地方太平洋沖地震の知見から、このような値を導いたのであるが、検討会は、入倉レシピを適用する場合に、この面積比については、結果的にではあるものの、既往過去最小（地震動としては過去最大になる）の値を取るべきという立場を取ったということになる。

STEP 5 アスペリティの応力降下量

Step 5: アスペリティの応力降下量 ($\Delta \sigma_a$)

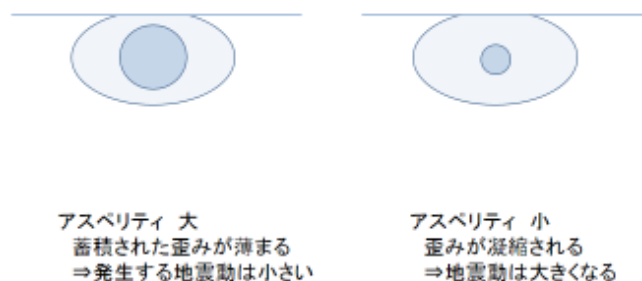
アスペリティ理論から、平均応力降下量に Step4 で設定した比の逆数を掛けて求める
[入倉・三宅 (2001)]。

$$\Delta \sigma_a = \Delta \bar{\sigma}_c \cdot \frac{S}{S_a}$$

Step5 は、アスペリティの応力降下量を導くものであるが、これは、アスペリティ以外の震源断層面の領域（背景領域という）では、応力が蓄積されていない（いつも滑っていて応力がたまっていない）という考えによるもので、応力はすべてアスペリティで蓄積されている、したがって、アスペリティの面積比の逆数を平均応力降下量に（アスペリティが総面積の4分の1なら4倍というように）かければアスペリティの応力降下量となるとするものである。

アスペリティで全ての歪が集中する、すなわち、アスペリティでだけで断層が動かないように支えているということになれば、その面積が小さければ、そこに歪は集中して凝縮され、歪解消となったときに、より大きな地震動を発生させる。そこで、アスペリティの面積比が2分の1になれば、アスペリティの平均応力降下量は2倍となるのである。

アスペリティの面積比



一方、地震モーメント M_0 が、仮に4倍になれば、やはりアスペリティの応力

降下量も必然的に4倍となることになる。

これも簡略化されたモデルで平均像しかない。そもそもアスペリティとされる領域では、どこでも一様の応力降下量となるというわけではない。また本来は、異なるアスペリティで異なる応力降下量となることも考えなければならない。

また上記のように M_o が同じでも、アスペリティの面積が断層面の総面積より小さければ小さいだけアスペリティの応力降下量は大きくなる（step4の不確かさ）。

たとえば、この面積比が22%ではなく、その半分の11%であれば、アスペリティの応力降下量は2倍となってしまう。面積が同じでも、 M_o が4倍になり、さらにアスペリティの面積比が11%であれば、アスペリティの応力降下量は、レシピの8倍となってしまうのである。

これに対して、 M_o の大きさとアスペリティの面積比が独立した変数ではないとの主張もありうるかもしれない。 M_o が大きくなれば、アスペリティの面積比もそれほど小さくはならないという関係性があるかもしれないとの指摘である。しかし、その関係性について明確確実な実証ができていないなら（我々のわずかな知見ではその実証は不可能である）、双方の最大限をとることこそが、原発の安全性という観点では必要である。

STEP 6 アスペリティの個数と配置

Step 6: アスペリティの個数 (N) と配置

アスペリティの個数は対象断層帯のセグメンテーションに依存する。アスペリティの位置は地表変形量から推定して設定する。再来期間の短い地震であれば過去の地震時のアスペリティ位置が参照できる。近年ではGPS観測網が捉えたバックスリップ量が援用できる。

Step6は、アスペリティの個数と配置を決めるものである。過去の地震時のアスペリティ位置がわかる場合以外は、地表での変形量などから推測するが、ここにも大きな不確かさがあり、正しいアスペリティの個数や位置は、実際に地震が起こらなければわからない。

STEP 7 アスペリティの平均すべり量比

Step 7: アスペリティの平均すべり量比 (D_a)

動力学破壊シミュレーション（その手法は6章で紹介する）の結果を基に、STEP6 で設定したアスペリティ個数 (N) に応じて、断層面全体の平均すべり量 (D) に対するアスペリティ部の平均すべり量 (D_a) の比を設定する。

$N=1$ の場合は $D_a/D=2.3$

$N=2$ の場合は $D_a/D=2.0$

$N=3$ の場合は $D_a/D=1.8$

Step7 のアスペリティの平均すべり量比を決めるものであるが、アスペリティの平均すべり量の比は、アスペリティの個数に応じて、上記の式で導かれる。しかし、これも平均像でしかない。

STEP 8 アスペリティの実効応力と背景領域の実効応力

Step 8: アスペリティの実効応力(σ_a) と背景領域の実効応力 (σ_b)

アスペリティ部の実効応力(σ_a) は応力降下量 ($\Delta \sigma_a$) で近似できる。背景領域の実効応力(σ_b)は、動力学破壊シミュレーションの結果より、アスペリティ部の 1/5 程度に設定できる。

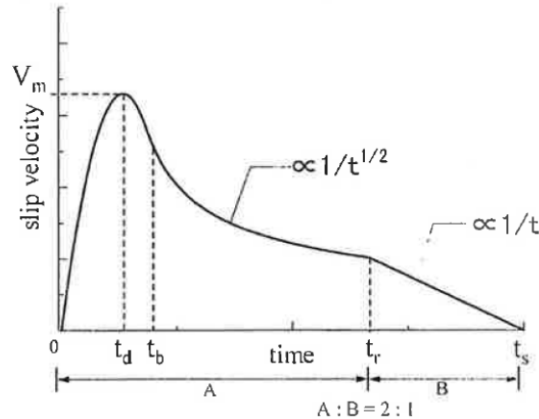
Step8 は、アスペリティの実効応力を導くものである。

地震発生時には、急速に破壊が伝播し、ある領域の破壊とともに、隣接領域に瞬時に歪を与えていく。そこで、本来歪が蓄積していなかった背景領域にも歪が発生して、その歪が解放されることによって、背景領域でも地震動が発生する。そのときの歪の解放量（応力降下量）が実効応力であり、アスペリティ部の実効応力は、蓄積された応力の解放量（応力降下量）で近似することとし、背景領域の実効応力は、アスペリティ部の応力降下量の 1/5 とするというものである。

STEP 9 すべり速度時間関数の設定

Step 9: すべり速度時間関数の設定

Kostrov 型のすべり速度時間関数を想定する [中村・宮武 (2000)]^(2,7)。その際、最大すべり速度は実効応力から、継続時間はアスペリティの大きさと破壊伝播速度から設定する。ここでも、動力学破壊シミュレーションの結果が参照されている (図 2.2)。



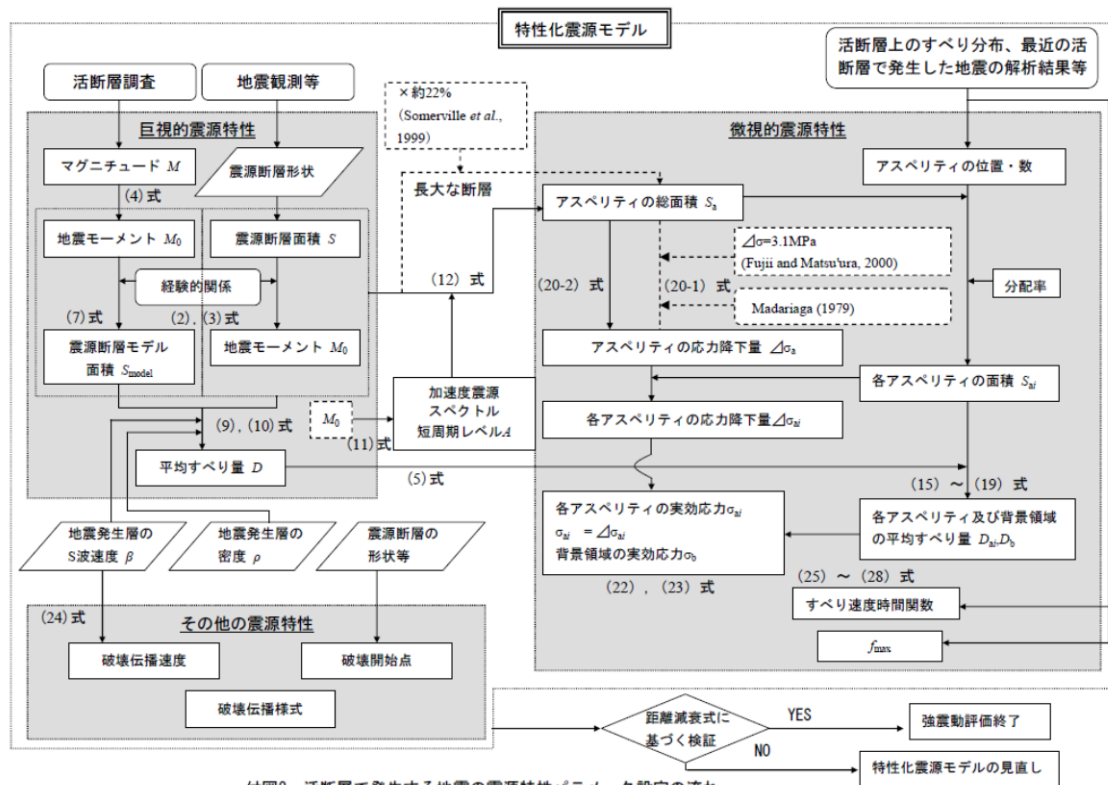
Step9 は、すべり速度が時間によってどう変化するか関数を設定するものである。

以上の 9 つの Step は、「レシピ」であり、レシピによって導かれた値は、平均的な値でしかない。しかし、自然現象としての地震現象はばらつきがあつて、現実の値は、「レシピ」で定めた値の前後にばらついて存在する。要するに、この「レシピ」は平均的な値、平均像を求めるものでしかない。

(2) 地震調査委員会の強震動予測レシピ

地震調査委員会は、特定化震源モデルとして、「震源を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）を提案している。

http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_yosokuchizu/g_furoku3.pdf

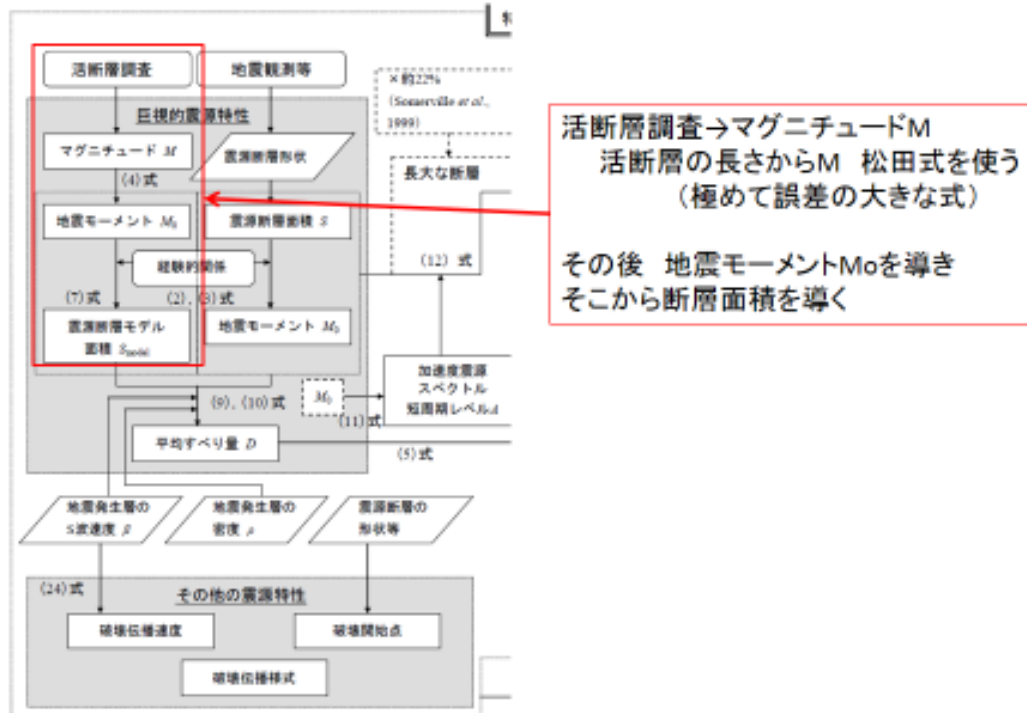


このレシピでも、地震観測等のデータから、震源断層の長さ、幅をだして断層面積 S を算出し、そこから地震モーメント M_0 を導く点は同じである。

入倉レシピとの最大の違いは、アスペリティの平均応力降下量を求める際に、地震モーメント M_0 から短周期レベル A を求め、その上で、短周期レベル A からアスペリティの総面積、アスペリティの応力降下量を導く部分である。

以下ではさらに詳細にこのレシピを見ることとする。

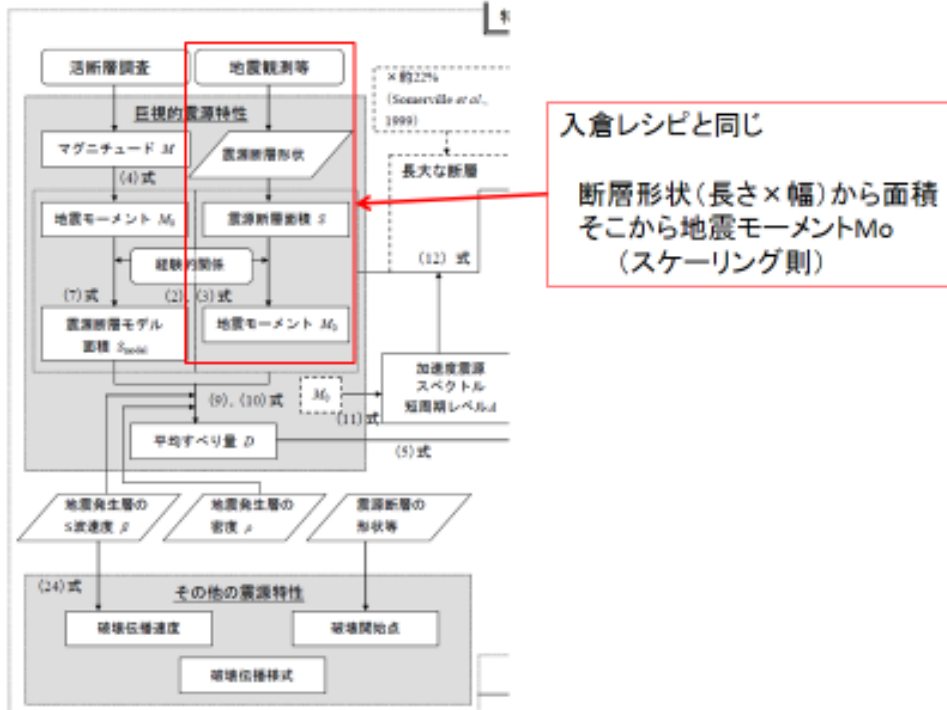
地震調査委員会レシピ



この部分は、活断層調査をして活断層の長さを定め、その長さから松田式を使ってマグニチュード M を導き、そこから地震モーメント M_0 を出し、さらに断層面積 S を出すというものである。

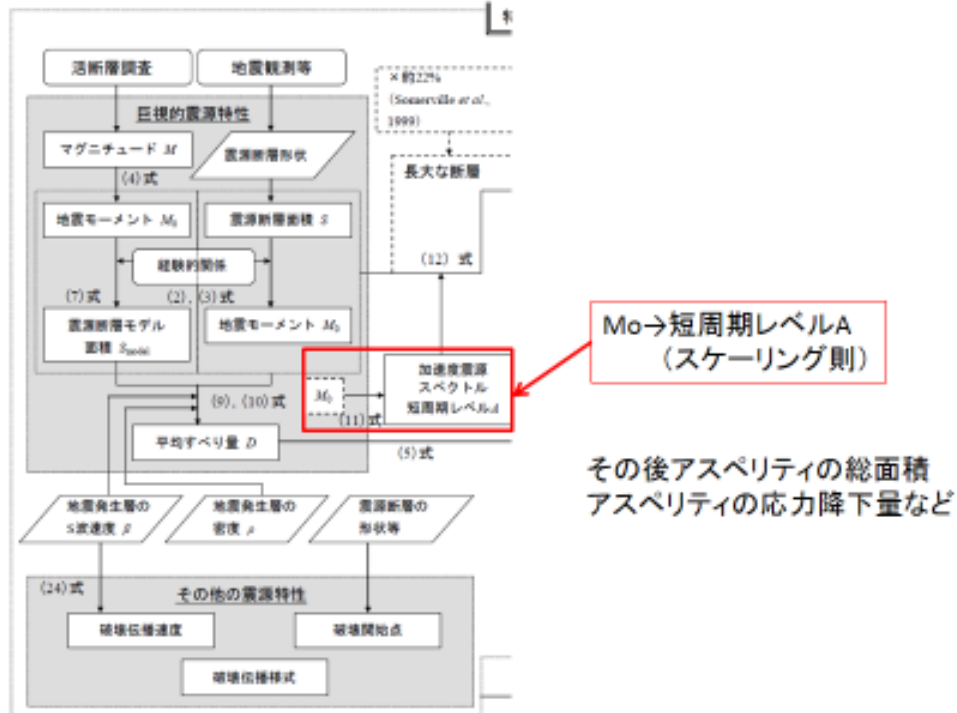
しかし、松田式には莫大な誤差が存在し、その後の過程にも誤差が存在する。したがって、この道筋の地震動想定は必然的に極めて大きな誤差を含んでいる。

地震調査委員会レシピ^①



この部分は、入倉レシピと同じであり、地震観測等から震源断層の形状を導き、そこから断層面積 S を、さらに地震モーメント M_0 を導くものである。

地震調査委員会レシピ^①



さらにその後 M_0 から短周期レベル A を導く。 M_0 から直接、短周期の地震動のレベルを出すという点で入倉レシピとは異なっている。

しかし、この M_0 -A の関係もスケーリング則であり、そこにはまた誤差が存在することは下図を見ればわかる。

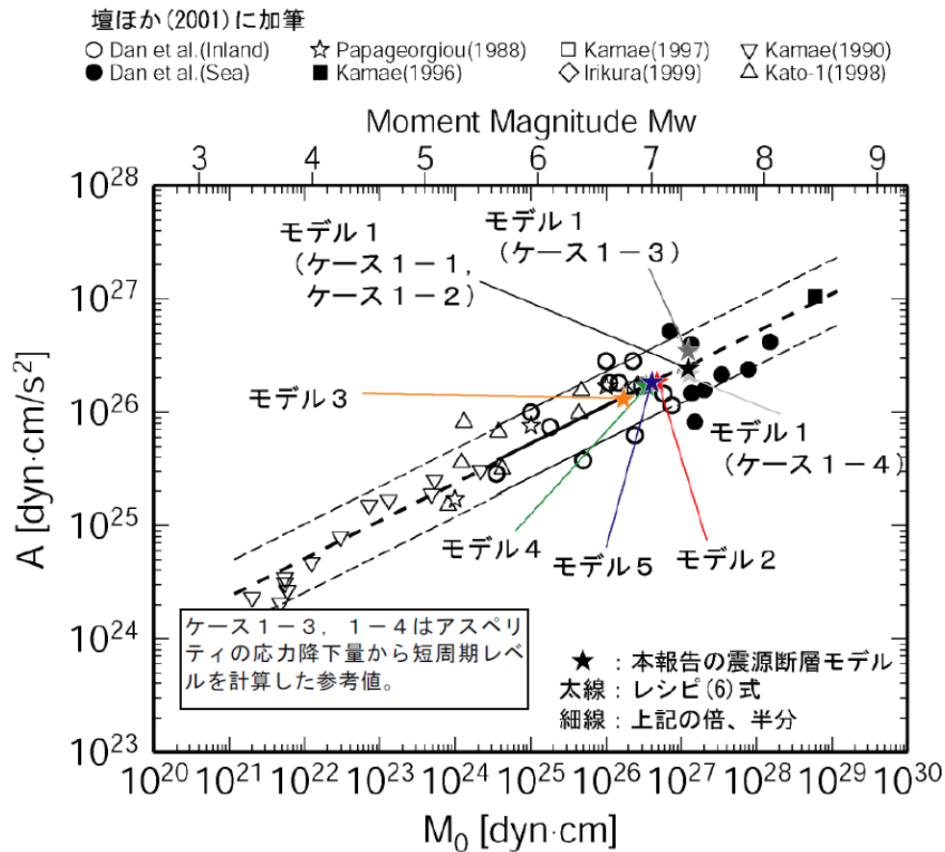


図 1.1 地震モーメント M_0 と断層面積 S の経験的關係 (上) および地震モーメント M_0 と短周期レベル A の關係 (下)

もとは同じで結果も同じで、道筋が変わるだけだから、当然のことではあるが、地震調査委員会のレシピも入倉レシピと同様、極めて大きな誤差を含んだレシピなのである。

特に、入倉レシピの Step2 の M_0 の決定は、そのまま平均応力降下量とアスペリティの応力降下量、背景領域での実効応力に直結し、その平均応力降下量とアスペリティの応力降下量、背景領域の実効応力は、短周期レベルの地震動の大きさに直結する (前記保安院の通知)。したがって、 M_0 が 4 倍の不確かさを持つのであれば、短周期レベルの地震動も 4 倍の値を取る必要がある。それが 8 倍だとすれば、8 倍の値を取らなければならない。この短周期レベルの地震動の大きさこそが、 S_s の大きさを導くものであるから、 M_0 を 4 倍に取るなら、 S_s も 4 倍にすることが求められる。

さらにアスペリティの面積比が小さければ、アスペリティで発生する地震動も大きくなる。アスペリティ面積も小さくなるので地震動を小さくする効果もあるから、そのまま比例的に大きくなるわけではないが、短周期レベルの地震動もさらに大きくなってしまう。しかし、全国の原発では、どこでも、 M_o を何倍にもするなどして、強震動予測レシピの不確かさ（誤差）を考慮し、地震動に反映させるようなことは、全くしていない。

また地震調査委員会のレシピを用いる場合にも、スケーリング則に伴う誤差（不確かさ）は考慮されていない。

きわめて危険な原発の耐震設計において、こうした誤差を無視することは許されない。

4 スケーリング則は莫大な誤差を必ず伴う

(1) スケーリング則について

地震現象は、地下深く起こる現象であるので、これを正確に知ることは極めて困難である（前記瀬戸発言「隔靴搔痒」）。現に発生した地震でさえ、様々な見解がある。いわんや、まだ発生していない地震や津波が、どのようなものとなるかは、正確にはわからない。

そこで、全体の傾向を「スケーリング則」として記述し、それによって各種のパラメータを設定していく。それが強震動予測レシピ（入倉レシピ・地震調査委員会レシピ）と言われるものである。スケーリング則とは、規模に応じて各種の量が、増大するというものであり、前述した断層破壊面積 S と地震モーメント M_o やモーメントマグニチュード M_w の関係などが、スケーリング則である。

(2) スケーリング則には必然的に莫大な誤差が含まれる

地下の現象は、正確には良くわかっていない。そこで、なるべく多数のデータを集めて、その傾向を見出すのが「スケーリング則」である。スケーリング則には、それなりの理論的裏付けもあるが、いずれにしても現実の現象は、極めてばらつきが大きく、到底「スケーリング則」で正確に記述できない。要するに、「スケーリング則」は、基本的に地震等の現象の傾向を見出すにすぎず、そこには必然的に大きなばらつきが伴わざるを得ない。しかも、集めたデータも、極く極く

わずかな期間でのものでしかなく、その程度のデータでは、現象の傾向自体も、正確に把握できるわけではない。

松田式もスケーリング則の1つであるが、スケーリング則には、どうしても極めて大きな誤差が存在する。このスケーリング則を用いる原発の耐震設計は、その誤差を最大限検討すべきであるのに、電力会社も規制委員会も、この誤差について、一切顧慮しようともしていない。

ここにこそ、日本の原発の耐震設計上の極めて大きな問題がある。そして、その莫大な誤差が考慮されない原発の耐震設計は、根本的に誤っており、そうして導かれた地震動は、起こりうる最大限の地震動から比べて、あまりに過小である。

5 応答スペクトルに基づく手法と断層モデルを用いた手法の比較

応答スペクトルに基づく手法は、地表の断層から直接地震の規模を推定し、その上で、多数の地震動記録から、地震動の平均像を導こうとする手法である。一方、断層モデルを用いた手法は、地震動想定を各 Step に分け、段階的に地震動を想定する手法である。しかし、そのそれぞれの Step の相関関係が必ずしも明らかではなく、分析的ではあるものの、全体像がつかみにくい手法であり、一方、応答スペクトルに基づく手法は、分析的ではないため、全体像がつかみやすい手法である。それぞれ一長一短があり、どちらが優先するというわけではないが、全体像をつかみやすい（全体としての誤差評価がしやすい）応答スペクトルに基づく手法の方が、原発の耐震設計には合目的的と言うことができる。

6 平成19年能登半島地震の概要（平均を超えた例）

(1) 平成19年能登半島地震の各種パラメータ

平成19年（2007年）3月25日、能登半島北西部で、 $M_j 6.9$ ($M_w 6.7$) の地震が発生した（「志賀原子力発電所 新耐震指針に照らした耐震安全性評価（基準地震動 S_s の策定について」平成21年1月15日 北陸電力株式会社）。

https://www.nsr.go.jp/archive/nsc/senmon/shidai/taishin_godo_WG2/taishin_godo_WG2_05/siryo3.pdf

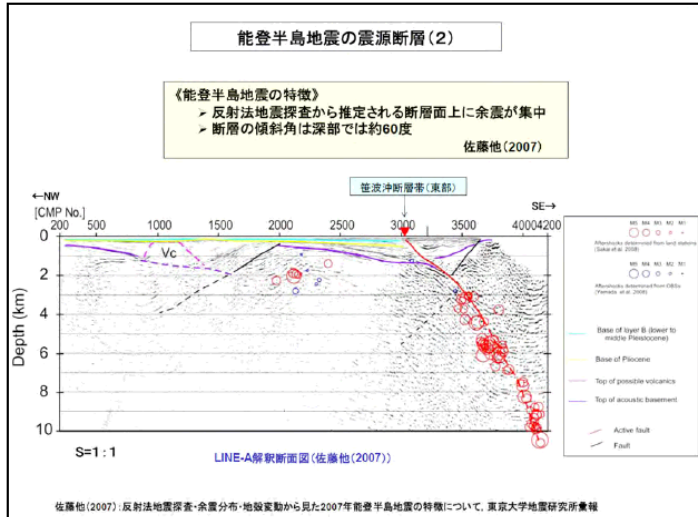
これによれば、この平成19年能登半島地震の震源域、形状は、下図のとおりであった。

断層モデルによるシミュレーション解析を用いた検討③

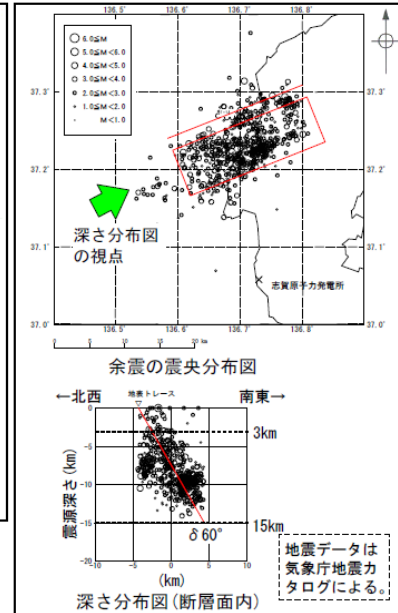
2. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
2-5. 平成19年能登半島地震の知見を踏まえた検討

27

震源断層面の設定 (iii) [断層幅及び傾斜角の設定]



研究機関による知見や気象庁地震カタログを用いた検討から, 断層長さを20.6km, 傾斜角を60°, 断層上端及び下端深さをそれぞれ3km及び15kmと設定。



本震発生から最大余震 (3月25日18時11分) 発生前までの余震分布

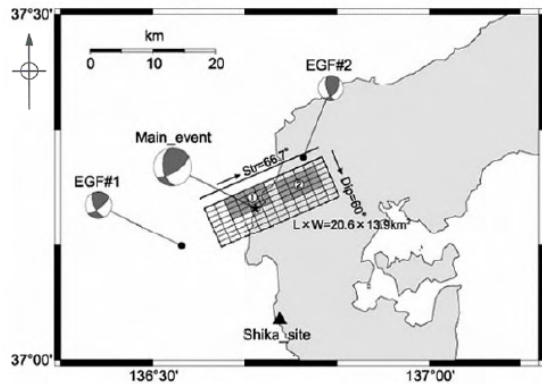
断層モデルによるシミュレーション解析を用いた検討④

2. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
2-5. 平成19年能登半島地震の知見を踏まえた検討

28

シミュレーション解析方針

- ・シミュレーション解析は、震源位置、震源メカニズム、地震波の到来方向等からみて地下構造特性が適切に反映されている観測記録が敷地で得られていることから、それらを要素地震とする経験的グリーン関数法により実施。
- ・再現する記録は敷地地盤の観測地点におけるEL-10mの観測記録とする。



(メカニズム解は(独)防災科学技術研究所広帯域地震観測網(F-net)による)

(注)
断層モデルは、アスペリティ部分において、強震動を発生させるすべり量(地震モーメント)の他に、実効応力が小さく短周期地震動への寄与が少ない背景領域のすべり量(地震モーメント)が付加的に生じるモデルを設定。

要素地震は、本震の震源域付近で発生し震源メカニズム解が整合していること、観測記録にノイズが少なく評価対象とする周期0.02~5秒程度の周期帯域において十分な精度を有していること、に留意して以下の2地震を選定。

要素地震の諸元

地震	年	月	日	時	分	秒	震源位置		震源深さ(km)	マグニチュード
							東経	北緯		
EGF#1	2007	3	26	14	46	34.67	136° 33.11'	37° 09.92'	8.62	4.8
EGF#2	2007	3	25	15	43	30.59	136° 46.31'	37° 17.64'	8.90	4.5
【参考】										
本震	2007	3	25	09	41	57.91	136° 41.16'	37° 13.24'	10.70	6.9

地震諸元は気象庁地震カタログによる。

策定した断層パラメータ

領域	要素地震	要素地震の 応力降下量 $\Delta\sigma_e$ (MPa)	応力降下量 補正係数 C	応力降下量 $C \cdot \Delta\sigma_e$ (MPa)	地震モーメント (N·m)
アスペリティ①	EGF#1	8.6	2.32	20.0	2.72E+18
アスペリティ②	EGF#2	2.0	5.00	10.0	1.91E+18
背景領域	EGF#1	8.6	0.50	4.3	8.97E+18

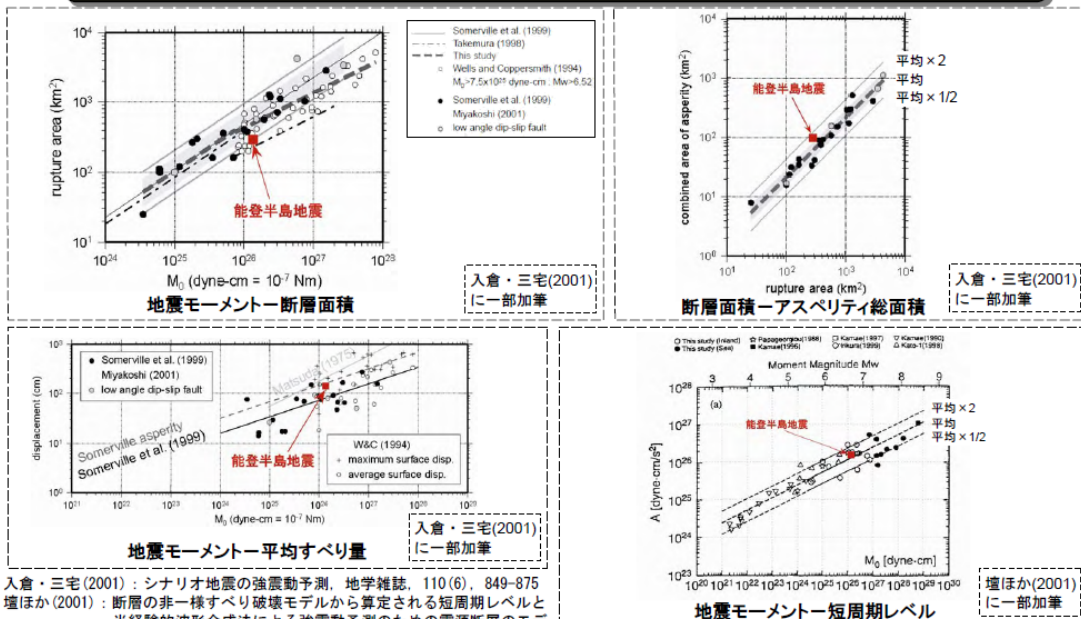
断層モデルによるシミュレーション解析を用いた検討⑦

能登半島地震のシミュレーション解析結果と地震調査委員会の強震動予測レシビ等で用いられている断層パラメータとの関係

2. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
2-5. 平成19年能登半島地震の知見を踏まえた検討

31

他の内陸地殻内の同程度の地震に比べ断層面積がやや小さく、アスペリティ総面積、すべり量及び短周期レベルが大きい傾向がある。



入倉・三宅(2001): シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, 110(6), 849-875
壇ほか(2001): 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合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, 545, 51-62

設定した断層パラメータ

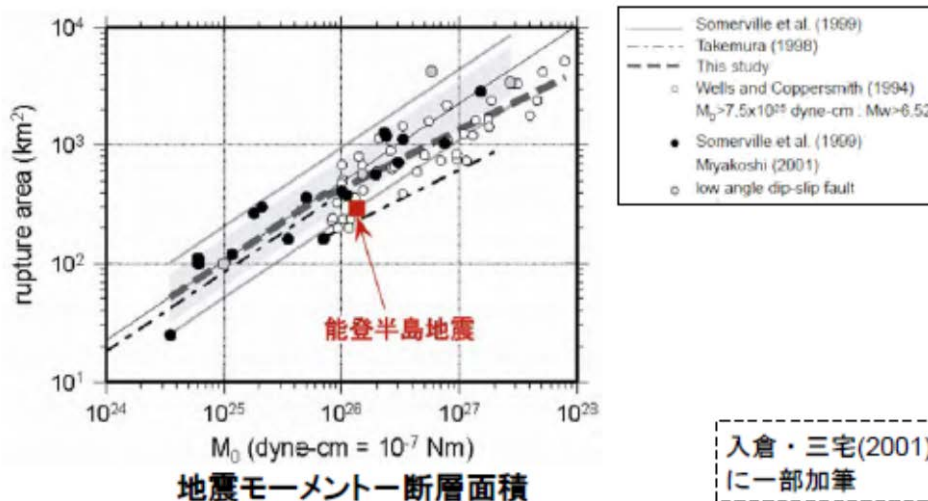
2. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 46
2-6. 検討用地震の地震動評価

項目	【参考】 能登半島 地震	笹波沖断層帯(全長)			設定方法	項目	【参考】 能登半島 地震	笹波沖断層帯(全長)			設定方法
		東部	西部					東部	西部		
基準点北緯	N(°)	37.2207	37.2207	37.0838		面積	S_0 (km ²)	286.3	356.4	384.1	$S_0=S_1$
基準点東経	E(°)	136.5931	136.5931	136.4030		地震モーメント	M_{00} (N·m)	8.97E+18	2.97E+19	3.20E+19	$M_{00}=(M_0 \sum M_{00i}) \cdot S_0/S$
走向	θ (°)	66.7	66.7	52.7	調査結果に基づき設定	すべり量	D_0 (cm)	94.7	251.8	251.8	$D_0=M_{00}/(\mu \cdot S_0)$
傾斜角	δ (°)	60	60	60	調査結果に基づき設定	実効応力	$\Delta \sigma_s$ (MPa)	4.3	4.3	4.3	能登半島地震シミュレーション解析結果
すべり角	λ (°)	132	132	132	能登半島地震シミュレーション解析結果	ライズタイム	T_{r1} (s)	1.2	1.2	1.2	同上
長さ	L (km)	20.6	20.6	22.2	調査結果に基づき設定	高周波減衰特性	f_{max} (Hz)	8.3	8.3	8.3	香川ほか(2003)
幅	W (km)	13.9	17.3	17.3	$W=地震発生層厚さ[15km]/\sin \delta$	バネの剛性率	μ (N/m ²)	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	上部地殻の剛性率
上端深さ	h (km)	3.0	3.0	3.0	微小地震分布等により設定	S波速度	V_s (km/s)	3.5	3.5	3.5	上部地殻のS波速度
断層面積	S_1 (km ²)	286.3	356.4	384.1	$S_1=L \cdot W$	破壊伝播速度	V_r (km/s)	2.5	2.5	2.5	$V_r=0.72 \cdot V_s$ [Geller (1976)]
地震モーメント	M_0 (N·m)	1.36E+19	7.31E+19		$M_0=\mu \cdot D \cdot S$	破壊伝播様式		放射状	放射状		能登半島地震シミュレーション解析結果
平均すべり量	D (cm)	143.6	298.4		$D \propto L$						
平均応力降下量	$\Delta \sigma$ (MPa)	6.84	8.83		$\Delta \sigma=7/16 \cdot M_0 \cdot (S/\pi)^{-3/2}$						
短周期レベール	$A(N \cdot m/s^2)^{1/2}$	1.38E+19	2.41E+19		$A \propto M_0^{1/2}$						
微視的パラメータ	面積	S_{d1} (km ²)	47.7	47.5	47.3	能登半島地震シミュレーション解析結果					
	地震モーメント	M_{0d1} (N·m)	2.72E+18	3.35E+18	3.34E+18	$M_{0d1}=\mu \cdot D_{d1} \cdot S_{d1}$					
	すべり量	D_{d1} (cm)	172.3	213.4	213.4	$D_{d1} \propto A_{d1}$					
	全すべり量	D_{d11} (cm)	267.0	465.3	465.3	$D_{d11}=D_{d1}+D_0$					
	応力降下量	$\Delta \sigma_{d1}$ (MPa)	20.0	24.8	24.8	$\Delta \sigma_{d1} \propto A_{d1}$					
	ライズタイム	T_{r11} (s)	0.6	0.6	0.6	能登半島地震シミュレーション解析結果					
	短周期レベール	$A_{d1}(N \cdot m/s^2)^{1/2}$	1.20E+19	1.49E+19	1.49E+19	$A_{d1}=(\sum A_{d1i})^{1/2}$					
	面積	S_{d2} (km ²)	47.7	47.5	47.3	能登半島地震シミュレーション解析結果					
	地震モーメント	M_{0d2} (N·m)	1.91E+18	2.36E+18	2.34E+18	$M_{0d2}=\mu \cdot D_{d2} \cdot S_{d2}$					
	すべり量	D_{d2} (cm)	121.0	149.9	149.9	$D_{d2} \propto A_{d2}$					
アスペリティ	全すべり量	D_{d21} (cm)	215.7	401.7	401.7	$D_{d21}=D_{d2}+D_0$					
	応力降下量	$\Delta \sigma_{d2}$ (MPa)	10.0	12.4	12.4	$\Delta \sigma_{d2} \propto A_{d2}$					
	ライズタイム	T_{r22} (s)	0.6	0.6	0.6	能登半島地震シミュレーション解析結果					
	短周期レベール	$A_{d2}(N \cdot m/s^2)^{1/2}$	6.73E+18	8.34E+18	8.34E+18	$A_{d2}=(\sum A_{d2i})^{1/2}$					

断層パラメータは平成19年能登半島地震のシミュレーション解析結果を反映して設定

(注) 断層モデルは、能登半島地震と同様アスペリティ部分において、強震動を発生させるすべり量(地震モーメント)の他に、実効応力が小さく短周期地震動への寄与が少ない背景領域のすべり量(地震モーメント)が付加的に生じるモデルを設定。

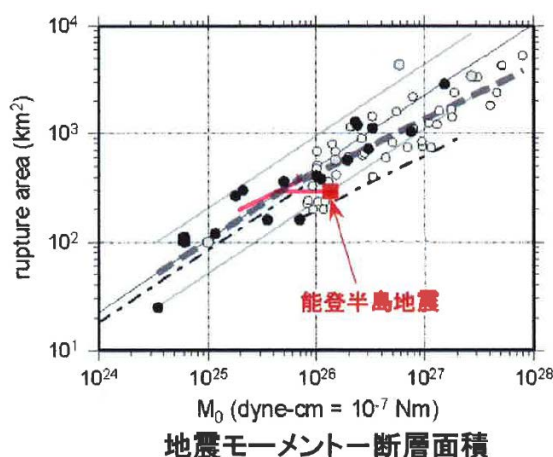
「設定した断層パラメータ」の図で「参考」として記載されているのが、能登半島地震の各種パラメータである。この中で、特に問題となるのが、次の図である。



この図からわかることとして、同じ断層面積の地震の中で、地震モーメントM

o (あるいは M_w) が平均的地震より、相当程度大きいことである。ちなみに、この地震は、地表に断層が現れた断層であるので、上図の太い波線（入倉レシピによる平均像を示すもの）のうち、折れ曲がったものの右側の破線がこの種の地震の平均像を示す入倉の直線である。

そこで、この平均像からのかい離を図で見ると次のとおりとなっている。



(2) 平成19年能登半島地震のパラメータと入倉レシピの比較

この断層面積での平均像を示す入倉レシピによる計算結果と比較すると、次のとおりである。

平成19年能登半島地震のパラメータと入倉レシピの比較

入倉レシピ

断層面積S	地震モーメント M_0	平均応力降下量	アスペリティの応力降下量	モーメントマグニチュード M_w
286.3	3.89061E+25	1.95653E+22	8.89334E+22	6.326678217

平成19年能登半島地震

286.3	1.36E+26	6.84E+22	20.0E+22 (20.0MPa)	10.0E+22 (20.0MPa)
-------	----------	----------	--------------------	--------------------

上の値からして、平成19年能登半島地震は、地震モーメント及び平均応力降下量で、平均の3.5倍となっている。ただし、アスペリティの面積が33%と平均(22%)よりも大きいことから、アスペリティの応力降下量は、平均の2.25倍にとどまっている。いずれにしてもこの地震は平均像の地震ではないことがわかる。

また上の表「設定した断層パラメータ」をみるなら、2つのアスペリティで、応力降下量が大きく違うことがわかる。

策定した断層パラメータ

領 域	要素地震	要素地震の 応力降下量 $\Delta\sigma_e$ (MPa)	応力降下量 補正係数 C	応力降下量 $\Delta\sigma =$ $C \cdot \Delta\sigma_e$ (MPa)	地震モーメント (N・m)
アスペリティ①	EGF#1	8.6	2.32	20.0	2.72E+18
アスペリティ②	EGF#2	2.0	5.00	10.0	1.91E+18
背景領域	EGF#1	8.6	0.50	4.3	8.97E+18

ちなみに、中越沖地震でも、下記のとおり3つのアスペリティの応力降下量は、すべて同じというわけではなかった（入倉ほか「2007年新潟県中越沖地震の強震動」2008年3月19日再修正版）

http://www.kojiro-irikura.jp/pdf/cyuetsu_080319.pdf#search='2007%E5%B9%B4+%E4%B8%AD%E8%B6%8A%E6%B2%96%E5%9C%B0%E9%9C%87+%E9%9C%87%E6%BA%90%E7%89%B9%E6%80%A7'

設定した震源断層モデルの緒元

	Rupture start point	Depth (km)	Mo (Nm)
ASP1	(4,3)	10.0	1.69×10^{18}
ASP2	(5,2)	8.3	1.69×10^{18}
ASP3	(4,5)	11.3	1.02×10^{18}
	L (km) × W (km)	$\Delta\sigma$ (MPa)	Risetime (second)
ASP1	5.5 × 5.5 (N:5 × 5)	23.7	0.5
ASP2	5.5 × 5.5 (N:5 × 5)	23.7	0.5
ASP3	5.04 × 5.04 (N:9 × 9)	19.8	0.45

これまでほとんどの原発で、複数のアスペリティの応力降下量は同じとしてモデルが設定されてきていたが、実は、現実の地震では、必ずしもそうではなく、1つのアスペリティだけが他より、応力降下量が相当に大きくなることもあるのである。

このことからすれば、断層モデルの設定にあたっては、特に敷地直近のアスペリティで、他よりも大きな応力降下量が発生するモデルも検討される必要がある。

また、割り当てられる応力降下量が他の2倍で足りるというわけでもない。さらに大きな応力降下量が1つのアスペリティで発生する可能性も考える必要がある。

このように、現実の地震像は種々であるが、原発の耐震設計は、あくまでも地震の平均像で行われており、様々なバラツキについての考慮が全く不足していることが、この能登半島地震の知見からも明らかとなる。

第4 「震源を特定せず策定する地震動」について

1 「震源を特定せず策定する地震動」とは

「震源を特定せず策定する地震動」とは、新耐震指針で導入された概念であり、旧耐震指針で「直下地震」といわれていたものに相当する。これについて、新耐震指針では、「5 基準地震動の策定」の(3)において、次のとおり規定する。

「震源を特定せず策定する地震動」は、震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に敷地の地盤特性を加味した応答スペクトルを設定し、これに地震動の継続時間、振幅包絡線の継時的変化等の地震動特性を適切に考慮して基準地震動 S_s を策定すること。」

さらに、その(解説)においては、

「震源を特定せず策定する地震動」の策定方針については、敷地周辺の状況等を十分考慮した詳細な地震の全てを事前に評価しうるとは言い切れないことから、敷地近傍における詳細な調査の結果にかかわらず、全ての申請において共通的に考慮すべき地震動であると意味付けたものである。

この考え方を具現化して策定された基準地震動 S_s の妥当性については、申請時点における最新の知見に照らして個別に確認すべきである。なお、その際には、地表に明瞭な痕跡を示さない震源断層に起因する震源近傍の地震動について、確率論的な評価を必要に応じて参考とすることが望ましい。」

とする。

2 電力会社がこれまで採用していた「震源を特定せず策定する地震動」

電力会社がこれまで採用していた「震源を特定せず作成する地震動」は、加藤

ほか(2004)による「震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベル」における応答スペクトルであった。

(2004 年, 加藤研一, 他, 日本地震工学会論文集, 第 4 巻, 第 4 号,
http://www.jaee.gr.jp/stack/submit-j/v04n04/040403_paper.pdf#search='%E9%9C%87%E6%BA%90%E3%82%92%E4%BA%8B%E5%89%8D%E3%81%AB%E7%89%B9%E5%AE%9A%E3%81%A7%E3%81%8D%E3%81%AA%E3%81%84%E5%86%85%E9%99%B8%E5%9C%B0%E6%AE%BB%E5%86%85%E5%9C%B0%E9%9C%87%E3%81%AB%E3%82%88%E3%82%8B%E5%9C%B0%E9%9C%87%E5%8B%95%E3%83%AC%E3%83%99%E3%83%AB%E3%80%8D%EF%BC%882004%E5%B9%B4%E3%80%81%E5%8A%A0%E8%97%A4%E7%A0%94%E4%B8%80%E3%80%81%E4%BB%96%E3%80%81%E6%97%A5%E6%9C%AC%E5%9C%B0%E9%9C%87%E5%B7%A5%E5%AD%A6%E4%BC%9A%E8%AB%96%E6%96%87%E9%9B%86%E3%80%81%E7%AC%AC4%E5%B7%BB%E3%80%81%E7%AC%AC4%E5%8F%B7%EF%BC%89')

この「加藤ほか(2004)」の応答スペクトルの研究は, 日本及びカリフォルニアで発生した 41 の内陸地殻内地震のうち, 震源を事前に特定できない地震として, 9 地震 12 点の計 15 記録 (30 水平成分) の強震記録を用いて行ったものである。9 地震は, 1966 年のパークフィールド地震から 1997 年の鹿児島県北西部地震までの 31 年間のカリフォルニアの 6 地震と日本の 3 地震である。

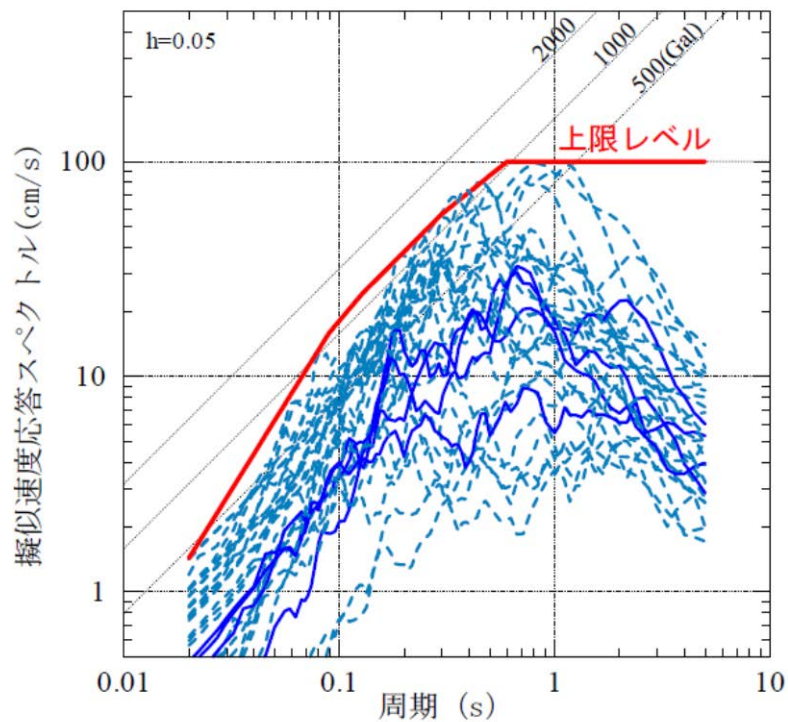


図8 震源を事前に特定できない地震による震源近傍の観測記録の水平動応答スペクトルとその上限レベル

(実線は 1997 年鹿児島県北西部地震の鶴田ダムの特クトル、破線はスケーリングの観点から確実に事前に震源を特定できるとは断定できないと判断した Mj6.5(Mw6.2)以下の 7 地震の特クトル)

この図で明らかなように、「加藤ほか(2004)」の応答スペクトルは、実際の地震動の観測記録をほとんど全て包絡するようには作られており、一見すると安全側に大きめに上限レベルを取っているかのようである。しかし、もともと、「加藤ほか(2004)」の研究は、ごく 31 年間のわずか 9 つの地震の 12 地点の 15 の記録に基づくものでしかなく、データとして全く不十分なものでしかない。そのことは、後述する留萌支庁南部地震が、Mw5.7 という極めて小さな地震でありながら、やすやすと加藤ほか(2004)の応答スペクトルを超えてしまっていることからしても明らかである。要するに、加藤ほか(2004)の応答スペクトルは、限られたデータに基づく、その限りのものでしかないのである。少なくとも 12~13 万年間、もしくは 40 万年間の最大の地震動を想定するには、このデータがあまりに少なすぎるということが明らかであり、だからこそ、留萌支庁南部地震が、これを超えてしまったのである。

3 石橋克彦氏による「加藤ほか(2004)」の応答スペクトル批判

この「加藤ほか(2004)」の応答スペクトルについて、国会福島原発事故調査委員会の委員でもあった神戸大学名誉教授の石橋克彦氏は、「科学」2012年8月号掲載の「電力会社の「虜」だった原発耐震指針改訂の委員たち」(甲134)において、

「震源を特定せず策定する地震動」についての「震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に(中略)基準地震動 S_s を策定する」との規定自体、恣意性と過小評価を許す規定である。具体的な策定値は申請者にまかされるが、電力会社側の日本電気協会が示した加藤ほか(2004)という模範解答では、M7級地震の強い地震動記録をすべて「活断層と関連付けられる」と屁理屈をつけて参照から排除し、M6.6までの地震の揺れしか用いていない。としている。

石橋克彦氏によれば、「加藤ほか(2004)」は、M7級の地震動記録を無理やり排除し、残されたM6.6までの地震動記録のみを対象としたものでしかない。したがって、これが過小なものとなるのは当然のことであった。

4 原子力安全基盤機構(JNES)による検討

(1) 「加藤ほか(2004)」の研究の不充分性の指摘

平成21年3月の原子力安全基盤機構(JNES)作成の「震源を特定せず策定する地震動の設定に係る検討に関する報告書」においても、その「要旨」において

加藤ほか(2004)の課題としては、調査した震源を事前に特定できるとした地震の周辺活断層との関連付けの根拠が明確でないこと、対象とした地震及び震源近傍の地震動観測記録が少なく、地震動の上限レベルの規定の根拠が明確ではないこと等が挙げられた。

とされている。したがって、原子力安全基盤機構も、加藤ほか(2004)の研究では、不十分であることを認めているのである。

しかし、もともと加藤ほかの研究では不十分であることは、もとなつたデータがあまりに少ないことから一見して明らかであった。今回規制委員会が定めた

新規制基準が過去 12, 3 万年間に活動したことの断層を活断層と認めていることからしても、上限レベルは、少なくとも、過去 12, 3 万年間での上限レベルでなくてはならない。そもそも「加速度計による強震観測は、日本国内では昭和 28 年（1953 年）から、米国カリフォルニアでは 1930 年代から開始されて」いるに過ぎないし（平成 19 年 5 月の保安院の前記「震源を特定せず策定する地震動の考え方」）。特に日本で、強震動観測網が整備されたのは、平成 7 年（1995 年）の兵庫県南部地震以降であって、だからこそ気象庁一元化カタログは、平成 9 年（1997 年）以降のものしかないのである。要するに、もともと地震についての強震計による観測が始まってから、まだ 80 年ほどしか経過していないし、詳細な地震記録は、もっと短い期間のものしかない。結局、「加藤ほか(2004)」も 1966 年以降の地震しか対象としていない。極めて頻度の小さい現象である地震の、30 年ほどの観測データからでは、もともと何らか科学的な明確かつ確実な意味を持つ結論を導くことは不可能である。

(2) 対象地震の選定と「震源を特定せず策定する地震動」の最大規模の推定

JNES は、上記報告書において、8 つの地震を選定し、それを 2 つのグループに分けて、検討している。下表のうち、赤枠で囲ったグループ 1 の地震とは、「基本的に震源を特定できない地震」であり、グループ 2 の地震とは、「明瞭な痕跡とみなすかどうか判読が難しく、意見が分かれている」地震である。

新耐震指針の解説においても、「震源を特定せず策定する地震動」の策定方針については、敷地周辺の状況等を十分考慮した詳細な地震の全てを事前に評価しうるとは言い切れない」としているから、上記の「明瞭な痕跡とみなすかどうか判読が難しく、意見が分かれている」地震も、新耐震指針という「震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内地震」ではあると言うべきである。JNES が対象とした地震の中でもっとも大きな鳥取県西部地震について見れば、地震が起こるまで、断層があるとは思われていなかった。この地震やカリフォルニアの 2 地震について、「加藤ほか(2004)」は、「1983 年 Coalinga, 1994 年 Northridge, および 2000 年鳥取県西部地震については、地震前に震源断層に対応する活断層が文献に記載されていなかったが、活褶曲構造等との関連により事前に詳細な調査を行えば震源を特定可能と判断した。」として、対象にはしなかつ

た。しかし、起こってみてから精査したら、わかったはずだという、この後講釈的見解では、少なくとも原子力施設の安全性は到底確保できないし、事前に確実に皆がそこに活断層があると認めるかにも、疑問がある。とりわけ、原子力事業者は、活断層の存在を認めたがらないという傾向も指摘しておく必要がある。

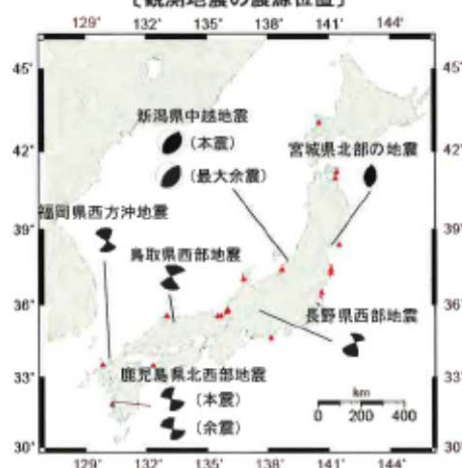
したがって、「判読が難しく意見が分かれている」地震もまた、新耐震指針の考え方からすれば、震源を特定せず策定する地震動の基礎となるべき地震動とすべきこととなる。

表1 震源を特定せず策定する地震動で対象とする地震の諸元

グループ1(図1参照)
グループ2

観測地震	Year	グループ	種別	M _j	Depth(km) ※1 JMA ※2 F-net	観測点	対象V _s (km/s)	Xsh (km)
長野県西部地震	1984	1	横ずれ	6.8	2 ※1	高根第一ダム	—	23.6
						奈川渡ダム	—	32.9
鹿児島県北西部地震 (本震)	1997	1	横ずれ	6.6	8 ※2	鶴田ダム	—	4.6
鹿児島県北西部地震 (余震)	1997	1	横ずれ	6.4	11 ※2	鶴田ダム	—	9.1
宮城県北部の地震	2003	1	縦ずれ 逆断層	6.4	5 ※2	MYGH01(仙台)	3.30	21.7
						MYGH11(河北)	2.66	9.1
鳥取県西部地震	2000	2	横ずれ	7.3	11 ※2	SMNH01(伯太)	2.70	6.1
						TTRH02(日野)	1.50	2.6
						寛井ダム	—	2.4
新潟県中越地震 (本震)	2004	2	縦ずれ 逆断層	6.8	5 ※2	NIGH11(川西)	0.85	8.9
						NIGH12(湯之谷)	0.73	9.5
新潟県中越地震 (最大余震)	2004	2	縦ずれ 逆断層	6.5	11 ※2	NIGH11(川西)	0.85	11.1
						NIGH12(湯之谷)	0.73	11.2
福岡県西方沖地震	2005	2	横ずれ	7.0	5 ※2	FKOH03(宇美)	3.10	27.5
						SAGH04(東笠森)	2.90	36.7

〔観測地震の震源位置〕



ちなみに、JNES は、このデータによって、その後、確率論的ハザード評価手法を用いるとして、「加藤ほか（2004）の応答スペクトルは・・・JNES による超過確率別スペクトルの10の4乗から10の5乗の範囲にある」としている。しかし、

JNES が、確率論的手法によって導き出した超過確率別スペクトルなるものは、基礎となったデータが、確率を論ずるに足りるほどの多数のデータに基づくものではない。確率論的手法も、本来、確かな確率を導くには、多数のデータが必要なのではないから。この示された「確率」は、極めて誤差の大きな確率ではない。特に地震は、時としてけた違いに巨大な現象を引き起こすことは、東北地方太平洋沖地震がはっきりと示してしまった。たかだか 80 年ほどの知見で、1 万年に 1 回（10 の⁻⁴ 乗）、10 万年に 1 回（10 の⁻⁵ 乗）の現象の確率を出すなど、できるはずのないことである。何 10 年単位で起こることがないわけではないものの、一般的には何百年、何千年、何万年あるいは何 10 万年というスパンで生起する現象、それが地質現象なのである。このような長期のスパンで生起する地震、津波という自然現象の確率を求める方法論を、われわれ人類は持っていない。もしそれでも確率を出したいというのなら、新指針の考え方からしても、「確率」自体の「不確かさ」、より厳格に言えば、「確率」の誤差も、同時に示さない限り、誤った結論を導くこととなってしまうはずであるが、この程度のデータで、「確率の誤差」を評価すること自体、不可能である。

こうして JNES は、震源を特定せず策定する地震動の最大地震として、横ずれ断層では鳥取県西部地震の $M_j 7.3$ 、逆断層では新潟県中越沖地震（本震）の $M_j 6.8$ を採用する。その上で、JNES は、基礎となったデータが少ないことを補完するためとして、次の 5 項に述べるような断層モデルによる方法を採用している。

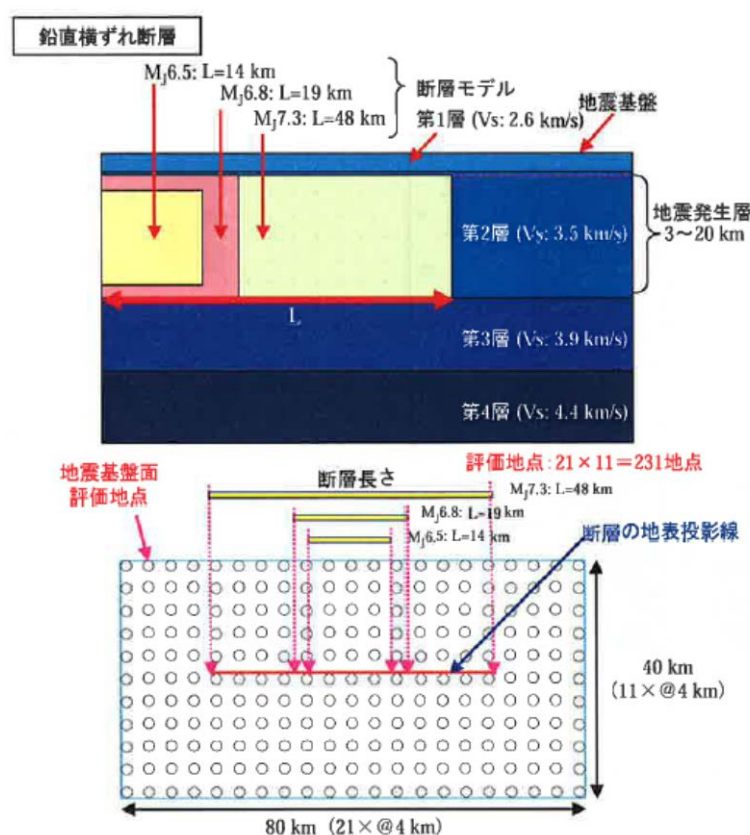
JNES のこの整理は、わずかな期間のわずかなデータからの検討によるものであって、それで十分とは言えず、実際にはさらに大きな規模の地震が「基本的に震源を特定できない地震」、「明瞭な痕跡とみなすかどうか判読が難しく、意見が分かれている地震」として、発生しうることを否定できない。すなわち、ここにも極めて大きな不確かさがあるのであって、JNES の検討は、この点の不確かさについて言及のないところに、極めて大きな問題がある。この点に不確かさの存在することは否定しようがないが、一方で、データが少なすぎるなどからの、この不確かさの評価自体が不可能という重大な問題がある。原発の耐震設計で、「不確かさの考慮」は、必ずすべきものであるが、一方で、詳細なデータが、ほぼ 1997 年以降のものでしかないことなどから、「不確かさの考慮」が本来不可能という、

本質的な問題を，原発の耐震設計がはらんでいることは，忘れてはならない。原発の耐震設計には克服不可能な重大な問題がある。

5 震源を特定せず策定する地震動についてのJNESによる断層モデルでの評価

(1) JNESによって行われた断層モデルによる方法とその結果

JNES は，縦ずれ断層については $M_j 6.8$ ，横ずれ断層については $M_j 7.3$ の地震を採用し，これについても断層モデルによる方法で，評価をした。横ずれ断層についての断層のモデルは次のとおりであった。上図は立面図で，下図は平面図である。



JNES は， $M7.3$ の横ずれ断層による地震について，長さ 48km の断層を設定し，周辺 211 ヶ所で地震動評価を断層モデルによる方法で算出している。その結果が次の図である。

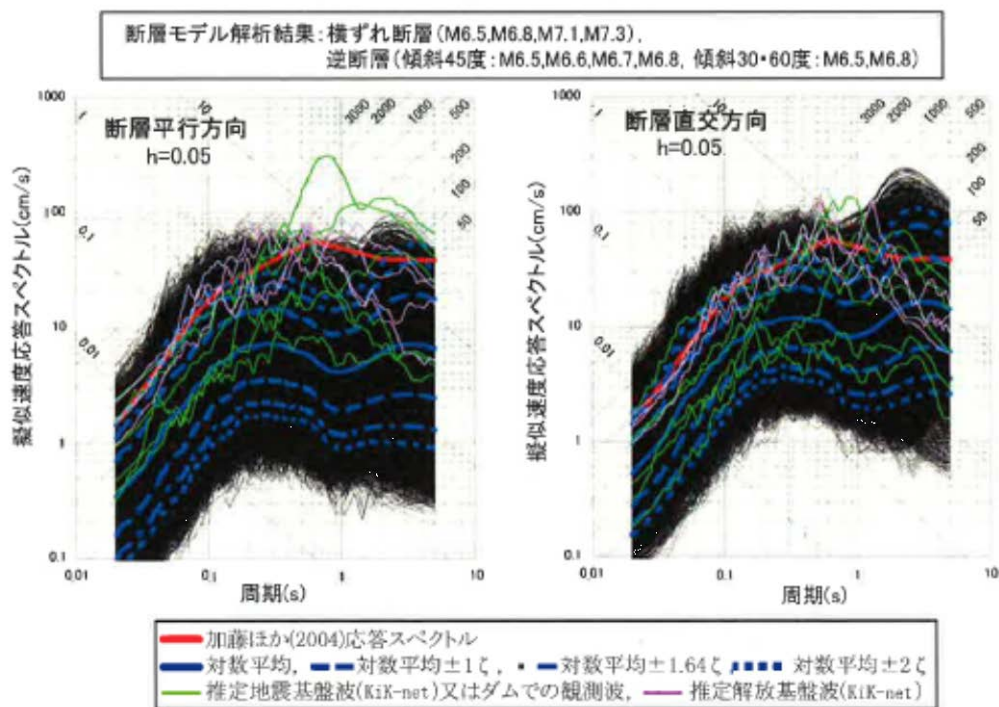


図8 断層最短距離20km以内の観測記録及び断層モデルによる応答スペクトル及び統計量

この図からして、JNES の行った作業の結果、「震源を特定せず策定する地震動」は、周期 0.1 秒前後の短周期の応答スペクトルで 5000 ガル程度にまで達してしまっている。

しかし、この JNES の作業の結果について、「加藤ほか(2004)」の応答スペクトルを大きく上回ってしまったという結果について、JNES は、

その際、設定した地震動を超過する地震動の発生確率を JNES による超過確率別スペクトル（例えば目安値 10 の⁻⁴乗程度）と比較するとともに、超過する地震動を発生させている震源断層の条件を検討して地震動レベルの妥当性を判断する。ミニマムリクワイアメントとしての位置付けから、地震動を最大包絡する考え方は採らない。

とする。

JNES は、「震源を特定せず策定する地震動」が、全プラント共通に設定するものであるから、ミニマムリクワイアメント（最低限の要求）で足りるとされ、出された結果を包絡する線ではなくても良いとした。

その上で、

加藤ほか(2004)による応答スペクトルは、断層からの最短距離が10km以内の応答スペクトルの対数平均+ ξ (信頼度84%)程度、20km以内の応答スペクトルの対数平均+1.64 ξ (信頼度95%)程度に対応し、JNESによる超過確率別スペクトルの10の-4乗から10の-5乗の範囲にある。

として、結局、明言はしていないものの、「加藤ほか(2004)」の応答スペクトルを支持するという結論となっている。

(2) JNESの説明の欺瞞性

しかし、JNESの検討では、多数の小さな地震と合わせることによって、横ずれM7.3の地震の希薄化が行われている。

まず、指摘しておかなければならないことは、この図が、マグニチュード7.3の横ずれ断層による地震の他に、M6.5, 6.8, 7.1の横ずれ断層による地震や、M6.5, 6.6, 6.7, 6.8で、傾斜角も30°, 45°, 60°の逆断層による地震も合わせた図であるということである。

そこで「(対数)平均」と言っているものも、これらの全部の断層モデルを合わせた平均ということになる。このことは、少なくともJNESが最も大きい地震と考えているM7.3の地震での結果を薄めてしまうこととなる。

本来、この作業で、行わなければならないのは、M7.3の横ずれ断層地震だけであり、仮にプラスするとしても、M6.8の逆断層地震だけで良いはずである。どうして小さな規模の地震をこれだけ多数一緒にし、足し合わせて平均値を下げなければならないのか。その例の取り方も恣意的で、そうなら、もっともって多数の、さらに小さな地震も合わせても良いことになってしまう。実際には極めて多数発生する微小地震が②の「基本的に震源を特定できない地震」のほとんどであるから、その考え方であれば、極めて小さい微小地震を多数加えるのが公平であろう。しかし、そのような微小地震を多数合わせてしまえば、微小地震が平均的な地震となってしまう、平均像としては、体感できない地震動にしかなりようがないことになってしまう。さすがにそこまではJNESもできなかったが、このやり方は、あまりに恣意的に過ぎ、公正な評価とは到底認められない。

そして、JNESは、このような結果を出しながらも、「全プラントに共通」とい

う理由で、「ミニマムリクワイアメント」だから、結論的に「加藤ほか(2004)」の応答スペクトルで良いとしている。

しかし、問題は、JNES の結果を示している図に記載された 1 本 1 本の線が、実は、全て、ある評価地点の地震動を示しているものだということである。もし、「加藤ほか(2004)」のスペクトルをはみ出した評価地点のものは、考慮の対象に入れずに排除するなら、要するに一群の評価地点はなかったこととするということにほかならない。それは、具体的には、断層の周辺に敷地があるとき、特に断層の直交方向の近くに評価地点（すなわち原発の敷地）があるときは、考慮の対象外とするということを意味する。しかし、もともと、敷地の直近、直下のどこに断層があるかわからないから、このような作業をしたはずである。横ずれ断層 M7.3 の断層が直近、直下に走行していることは考えず、離れたところに走行している場合だけを考慮するのであれば、震源を定めない地震として最も原発に危険性の高い地震を想定した作業の目的に反することとなる。

以下に述べるように、「ミニマムリクワイアメントで良い」などという言い訳は、全く意味不明であり、「加藤ほか(2004)」の応答スペクトル自体が、「最低限の要求」ではないものとして策定されたものなのである。

JNES は「全プラントに共通するものであるからミニマムリクワイアメントで良い」として、最大の値を取る必要がなく、平均的値で考えればよいとしていたが、そもそも、地震活動には、①事前に判明している地表の断層の、その地下に広がる震源断層面の活動に由来する地震と、②地表に現れない断層の活動に由来して起こる地震（基本的に震源を特定できない地震）や、③地震が起こるまで、そこに断層があるとは思われておらず、あるいは断層があるか否かで意見が分かれていて、事前に震源を特定することが困難な地震とがある。

このうち、①の地震については、活断層の位置を調査することで、どの場所で地震が起こるのか、ある程度特定することができるのに対し、②及び③の地震については、どのような場所で地震が起こるのかが、事前には分からないということとなる。

この②及び③の地震が「震源を特定せず策定する地震動」であり、原発のように、万が一にも苛酷事故を起こしてはならない施設について、耐震設計をするに当たっては、原発施設にもっとも大きい影響を与える場所、すなわち、施設の直

近・直下で、事前に判明していない断層による地震が起こるものとして考慮する必要がある。

このような観点から、前記の JNES の作業は行われたはずである。にもかかわらず、最低限の要求で良いとの理由で、この地震動を切り下げるなら、何のための「震源を特定せず策定する地震動」なのか。それでは、どこかの原発では、切り下げた地震動以上の地震動に襲われる可能性を否定できない。

また信頼度 84% というのは、16% が、その値を超えてしまうことを意味している。このような値では、到底安全性は確保できるはずがない。

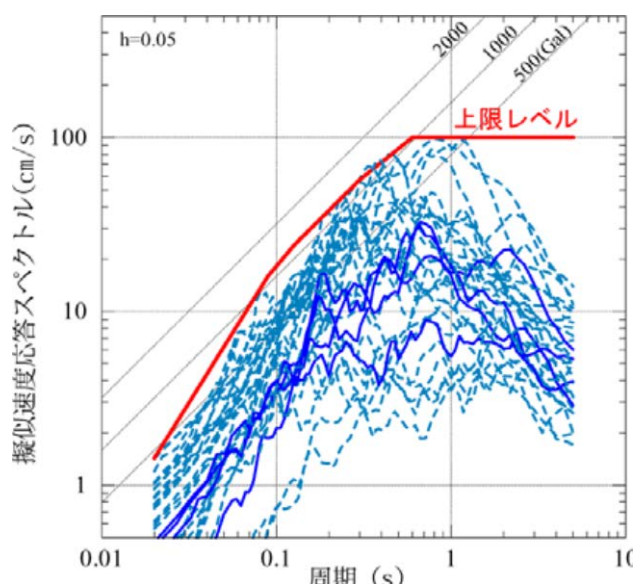
JNES は、全プラントに共通に設定するものだから、としてこれを正当化しようとしている。しかし、全プラントに共通に設定することが、なぜ 84% の信頼度で良いということにつながるのか。そもそも JNES の断層モデルは、全プラントのどこでも起こりえるものだからとして設定したのではなかったのか。直下地震を想定するということは、どこでもその程度の地震は起こりうるということを前提としていたのではなかったか。

全プラントに共通に設定するからとして、「最低限の要求」でよしとするのは、プラントごとに異なる値になるときに、全プラント共通の基準としては、最低限のレベルとならざるをえないということを意味する。それ以外に、全プラント共通だから最低限の要求となるという根拠を見出すことは不可能である。しかし、ここで JNES の行っているのは、決してプラントごとに異なる値を求めるという作業ではない。行っているのは、全プラントに共通の断層モデルによる手法での「震源を特定せず策定する地震動」の算出である。そこに、全プラント共通だから、最低限の要求で良いとする根拠は見いだせない。したがって、全プラントに共通に設定するということが、信頼度 84% 程度で良く、16% の事象が起こったとしても仕方ないとする理由となるという論理は、明らかに破綻した論理である。

もし、JNES の言うように、全プラントに共通であるから、最低限の要求を満たすものであれば良いと言うなら、個別のプラントでは、さらにより厳しい想定が必要とならなければならない。「震源を特定せず策定する地震動」(直下地震)は、まず全プラントに共通の最低限のものを考え、さらにその上で、各プラントごとに、より厳しいものを考えるということになるはずである。しかし、新指針は、そのようには規定していないし、どこのプラントでもそのような作業はしていな

い。すなわち、新指針は、「最低限の要求」ではなく、どのプラントでも、それさえ満たせば直下地震の想定として十分なものを考えている。だから、新指針は、共通に定めた応答スペクトルのほかに、個別に検討することを求めている。

振り返ってみるならば、複数の地震動を包絡するように引かれた「加藤ほか(2004)」の応答スペクトルは、そこまで考慮すれば、どのプラントでも、直下地震の想定として十分な共通の応答スペクトルだとされていたはずである。念のため、「加藤ほか(2004)」の応答スペクトルを見れば、次のとおりである。



ここでは、「加藤ほか(2004)」の応答スペクトルには、明確に「上限レベル」と記載されている。図を見ても、赤線は、まさしく全ての地震動を包絡している「上限レベル」であり、最低限の要求などというものではありません。そして、新指針の「震源を特定せず策定する地震動」の規定の前提に、この「加藤ほか(2004)」のスペクトルがあったことも明らかである。

新耐震指針制定当時はまだ「加藤ほか(2004)」の応答スペクトルが不十分なものとは考えられていなかった。ところが、その後、この応答スペクトルの問題点が指摘され、そのため JNES が、新たな検討を行ったところ、断層モデルによる方法で、「加藤ほか(2004)」の応答スペクトルより、大幅に大きな値が出てしまったのである。この断層モデルによる方法での、「加藤ほか(2004)」の応答スペクトルを大幅に超える値が算出される前に、「震源を特定せず策定する地震動」として採用された「加藤ほか(2004)」の応答スペクトルが、最低限の要求を満たすだけの

ものなどと考えられていなかったことは、明らかである。「震源を特定せず策定する地震動」が「最低限の要求」でしかないなどという言い分は、このとんでもなく大幅な「加藤ほか(2004)」のスペクトル超過という事態を受けて、JNES が初めて言いだしたことでしかない。

そもそも、なぜ、「加藤ほか(2004)」の応答スペクトルでなければいけないのか。「加藤ほか(2004)」の応答スペクトルが不十分なものであることは JNES も認めざるをえなくなっている。もし「震源を特定せず策定する地震動」とは全プラント共通の「最低限の要求」だとするなら、不十分な「加藤ほか(2004)」の応答スペクトルとは無関係に策定するのが当然の理であるはずである。しかし、JNES の行っていることは、単に不十分な「加藤ほか(2004)」の応答スペクトルでも構わないと言っているだけでしかない。これがなんで「震源を特定せず策定する地震動」として妥当なのかは、一切、論じられていない。積極的に、「加藤ほか(2004)」の応答スペクトルこそが、「震源を特定せず策定する地震動」としてとるべきものだとする根拠はどこにもないのである。なぜ「加藤ほか(2004)」の応答スペクトルが「震源を特定せず策定する地震動」なのか。JNES が、根拠が崩れてしまったこの応答スペクトルに固執する理由は何か。

JNES のこの点についての論理は、完全に破綻していると言わざるをえないのである。

念のため、さらに JNES が言及する、超過確率別スペクトルについて見るなら、この超過確率別スペクトルなどという確率的手法を採るには、地震動についての知見は余りに少なすぎる。確率を出すためには、データが相当数に達しなければ、出された確率は、いい加減なものでしかない。「大数の法則」は、データが大きくなれば、一定の値に収束していく法則であるが、「大きな数」になって初めて確率は意味を有するものとなる。しかし、この超過確率自体が、誤差の評定をできないほどの、極めて大きな誤差を含むものとなっており、この方法論で、原発の安全性を議論すること自体、誤りである。

6 規制委員会の考え方

平成25年(2013年)7月8日、新審査基準である「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」及び「実用発電用原

子炉及びその付属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」が施行された。このうち，審査基準を具体的に規定するのは，後者の「解釈」であるが，この「解釈」は「震源を特定せず策定する地震動」について別記2「第4条（地震による損傷）5三において，次のとおり規定する。

上記の「震源を特定せず策定する地震動」は，震源と活断層を関連づけることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し，これらを基に，各種の不確かさを考慮して敷地の地盤物性に応じた応答スペクトルを設定して策定すること。

この規定は，「震源近傍における観測記録を収集し，これらを基に・・・応答スペクトルを設定して策定する」とするものであるが，決して，収集した観測記録そのものを，そのまま「震源を特定せず策定する地震動」とすると規定するわけではなく，「これらを基に・・・応答スペクトルを設定して策定する」としているのみである。そこで問題は，観測記録を基にどのように策定するかであるが，この規則の解釈は，そこまでは規定していない。

次に，この規則及び規則の解釈もとの内規である，「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の総則の中の1.2用語の定義には，下記のとおり規定されている。

http://www.nsr.go.jp/nra/kettei/data/20130628_jitsuyoutaishin.pdf

（6）「震源を特定せず策定する地震動」とは，敷地周辺の状況等を十分考慮した詳細な調査を実施しても，なお敷地近傍において発生する可能性のある内陸地殻内の地震の全てを事前に評価しうるとは言い切れないことから，敷地近傍における詳細な調査の結果にかかわらず，全ての敷地（対象サイト）において共通的に考慮すべき地震動であると意味付けた地震動をいう。

すなわち，「震源を特定せず策定する地震動」は，敷地近傍においてどんなに詳細に調査しても，発生する可能性のある内陸地殻内地震の全てが事前に評価しうるとは言い切れないために策定するものとされている。

また，4．震源を特定せず策定する地震動の項には

4.1 策定方針

- (1) 「震源を特定せず策定する地震動」は、震源と活断層を関連づけることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に各種の不確かさを考慮して敷地の地盤物性に応じた応答スペクトルを設定して策定されている必要がある。

とされ、さらに

4.2 地震動評価

4.2.1 検討対象地震の選定と震源近傍の観測記録の収集

- (1) 震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内の地震を検討対象地震として適切に選定し、それらの地震時に得られた震源近傍における観測記録を適切かつ十分に収集していることを確認する。
- (2) 検討対象地震の選定においては、地震規模のスケーリング（スケーリング則が不連続となる地震規模）の観点から、「地表地震断層が出現しない可能性がある地震」を適切に選定していることを確認する。
- (3) また、検討対象地震の選定の際には、「事前に活断層の存在が指摘されていなかった地域において発生し、地表付近に一部の痕跡が確認された地震」についても検討を加え、必要に応じて選定していることを確認する。

とされたうえで、その解説では

〔解説〕

- (1) 「地表地震断層が出現しない可能性がある地震」は、断層破壊領域が地震発生層の内部に留まり、国内においてどこでも発生すると考えられる地震で、震源の位置も規模もわからない地震として地震学的検討から全国共通に考慮すべき地震（震源の位置も規模も推定できない地震（Mw6.5 未満の地震））であり、震源近傍において強震動が観測された地震を対象とする。
- (2) 「事前に活断層の存在が指摘されていなかった地域において発生し、地表付近に一部の痕跡が確認された地震」は、震源断層がほぼ地震発生層の厚さ全体に広がっているものの、地表地震断層としてその全容を表すまでには至っていない地震（震源の規模が推定できない地震（Mw6.5 以上の地震））であり、孤立した長さの短い活断層による地震が相当する。なお、活断層や地表地震断層の出現要因の可能性として、地域によって活断層の成熟度が異なること、上部に軟岩や火山岩、堆積層が厚く分布する場合や地質体の違い等の地域差があることが考えられる。このことを踏まえ、観測記録収集対象の地震としては、以下の地震を個別に検討する必要がある。
- ① 孤立した長さの短い活断層による地震
 - ② 活断層の密度が少なく活動度が低いと考えられる地域で発生した地震
 - ③ 上部に軟岩や火山岩、堆積層が厚く分布する地域で発生した地震

とした上で

その収集対象となる地震の例として、次の16の地震を挙げる。

表-1 収集対象となる内陸地殻内の地震の例

No	地震名	日時	規模
1	2008年岩手・宮城内陸地震	2008/06/14, 08:43	Mw6.9
2	2000年鳥取県西部地震	2000/10/06, 13:30	Mw6.6
3	2011年長野県北部地震	2011/03/12, 03:59	Mw6.2
4	1997年3月鹿児島県北西部地震	1997/03/26, 17:31	Mw6.1
5	2003年宮城県北部地震	2003/07/26, 07:13	Mw6.1
6	1996年宮城県北部(鬼首)地震	1996/08/11, 03:12	Mw6.0
7	1997年5月鹿児島県北西部地震	1997/05/13, 14:38	Mw6.0
8	1998年岩手県内陸北部地震	1998/09/03, 16:58	Mw5.9
9	2011年静岡県東部地震	2011/03/15, 22:31	Mw5.9
10	1997年山口県北部地震	1997/06/25, 18:50	Mw5.8
11	2011年茨城県北部地震	2011/03/19, 18:56	Mw5.8
12	2013年栃木県北部地震	2013/02/25, 16:23	Mw5.8
13	2004北海道留萌支庁南部地震	2004/12/14, 14:56	Mw5.7
14	2005年福岡県西方沖地震の最大余震	2005/04/20, 06:11	Mw5.4
15	2012年茨城県北部地震	2012/03/10, 02:25	Mw5.2
16	2011年和歌山県北部地震	2011/07/05, 19:18	Mw5.0

しかし、まず「観測記録」は、実際に観測された記録であるが、観測するための機器である強震計が、全ての地震動をカバーできるほど配置されているわけではない。したがって、観測記録だけでは、全く不十分なものでしかない。後述する平成16年(2004年)留萌支庁南部の地震では、断層面の延長上に観測点があったために、極めて大きな地震動を観測した。しかし、このようなことは極めて稀であり、多くは、断層面からある程度離れた地点での観測記録でしかない。だからこそ、JNESの前記報告書の「要旨」で

加藤ほか(2004)の課題としては、調査した震源を事前に特定できるとした地震の周辺活断層との関連付けの根拠が明確でないこと、対象とした地震及び震源近傍の地震動観測記録が少なく、地震動の上限レベルの規定の根拠が明確ではないこと等が挙げられた。

しかも、新規制基準として策定された「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」では、この収集対象となる内陸地殻内の地震の例として挙げるものを

見れば、上記のとおり平成9年（1997年）3月の鹿児島県北西部地震から、平成25年（2013年）栃木県北部地震までの16地震が取り上げられているだけでしかない。

わずか17年間の地震の観測記録だけで、「震源を特定せず策定する地震動」を決めようとしているのである。これは平成7年（1995年）の兵庫県南部地震以降に、強震計が数多く設置されるようになったからのことであるが、要するに観測記録はごくわずかしかなのに、その観測記録だけで、「震源を特定せず策定する地震動」を決めようと言うのである。このようなわずかな記録で、たとえば過去1000年、1万年、10万年の間の「震源を特定せず策定する地震動」の参考となる地震動の最大値を知ることなど不可能である。

確かに、現時点で、発生した地震の詳細な情報の得られている、「震源を特定せず策定する地震動」の基礎となる地震は、わずかしかな。問題は、そこから、どうやって、真に上限となる「震源を特定せず策定する地震動」を策定するかである。この点について「解釈」も「審査ガイド」も「収集された観測記録を基に」としているだけであるから、この収集された観測記録を「基に」どのようにして、「震源を特定せず策定する地震動」を策定するかが問題となるのである。

間違っても、収集された観測点での地震動自体（あるいはその地点での地表近くでの地震動増幅を取り除いた「はざとり波」自体）を「震源を特定せず策定する地震動」としてはならない。そこで、やはりJNESの行った作業や、後述する留萌支庁南部地震から導かれるMw6.5未満の地震での最大地震動を検討することにならざるをえないのである。

ところで、上記のように、規制委員会は、「震源を特定せず策定する地震動」を2つに分け、1つを

- (1)「地表地震断層が出現しない可能性がある地震」は、断層破壊領域が地震発生層の内部に留まり、国内においてどこでも発生すると考えられる地震で、震源の位置も規模もわからない地震として地震学的検討から全国共通に考慮すべき地震（震源の位置も規模も推定できない地震（Mw6.5未満の地震））であり、震源近傍において強震動が観測された地震を対象とする。

とし、もう1つを

(2)「事前に活断層の存在が指摘されていなかった地域において発生し、地表付近に一部の痕跡が確認された地震」は、震源断層がほぼ地震発生層の厚さ全体に広がっているものの、地表地震断層としてその全容を表すまでには至っていない地震（震源の規模が推定できない地震（Mw6.5 以上の地震））であり、孤立した長さの短い活断層による地震が相当する。なお、活断層や地表地震断層の出現要因の可能性として、地域によって活断層の成熟度が異なること、上部に軟岩や火山岩、堆積層が厚く分布する場合や地質体の違い等の地域差があることが考えられる。このことを踏まえ、観測記録収集対象の地震としては、以下の地震を個別に検討する必要がある。

- ① 孤立した長さの短い活断層による地震
- ② 活断層の密度が少なく活動度が低いと考えられる地域で発生した地震
- ③ 上部に軟岩や火山岩、堆積層が厚く分布する地域で発生した地震

とする。

これは、JNES の前記したグループ 1 の地震、「基本的に震源を特定できない地震」と、グループ 2 の地震「明瞭な痕跡とみなすかどうか判読が難しく、意見が分かれている」地震にほぼ相当し、グループ 2 については、それをさらに詳細にしたと言えるものである。

ちなみに、上記の②は、鳥取県西部地震を想定しているものであり、③は岩手・宮城内陸地震を想定しているが、島崎邦彦規制委員会委員によれば、②に該当とされる島根県西部地震は、活動性が小さい地震ではなく、1000 年間に 1 度の M7 の地震を発生させる日本でもっとも活動度の高い活断層に対応するとされている（「科学」2013 年 4 月号掲載論文「地域と活断層：その関係を捉え直す」p450）。したがって、この鳥取県西部地震は、単に「明瞭な痕跡とみなすかどうか判読が難しく、意見が分かれている」地震として分類すべきものであり、その点からすると規制委員会の分類よりは JNES の分類の方が、正しい分類とすることができる。

この 2 つのグループの地震を参照した「震源を特定せず策定する地震動」は、2 つ目のグループについては、鳥取県西部地震を取り上げた JNES の作業によるものを採用すべきであり、一方、「地表地震断層が出現しない断層」（基本的に震源を特定できない断層）については、後述の留萌支庁南部地震から、導かれる地震動が、重要となる。

7 「震源を特定せず策定する地震動」にも不確かさの考慮が必要

強震動予測レシピには大きな不確かさが、各 step で存在することは、すでに詳細に論じた。上記の JNES の作業は、述べたとおり、この強震動予測レシピ（入倉

レシビ)を用いてなされたものであり、(一部+σ程度の考慮はされているが)基本的には平均像によるものである。たとえばアスペリティの面積比にも不確かさが存在することも考慮する必要がある。また、グリーン関数の不確かさも考慮しなければならない。

いくつかアスペリティがあるとき、直近のアスペリティの応力降下量だけは、アスペリティ全体の平均応力降下量よりさらに大幅に大きくなる可能性もある。中越沖地震の際にも、3つあるとされたアスペリティの応力降下量は、同じではなかった。また平成19年(2007年)能登半島地震では、下記のとおり、2つのアスペリティの応力降下量は大きく食い違っていた。

設定した断層パラメータ

2. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 46
2-6. 検討用地震の地震動評価

項目	【参考】 能登半島地震	能登半島断層帯(全長)		設定方法	項目	【参考】 能登半島地震	能登半島断層帯(全長)		設定方法
		東部	西部				東部	西部	
基準点北緯	N(°)	37.2207	37.2207	37.0838	面積	S_0 (km ²)	286.3	356.4	384.1
基準点東経	E(°)	136.5931	136.5931	136.4030	地震モーメント	M_{00} (N・m)	8.97E+18	2.97E+19	3.20E+19
走向	θ (°)	66.7	66.7	52.7	すべり量	D_0 (cm)	94.7	251.8	251.8
傾斜角	δ (°)	60	60	60	実効応力	$\Delta\sigma_b$ (MPa)	4.3	4.3	4.3
すべり角	λ (°)	132	132	132	サイゼタイム	T_{rs} (s)	1.2	1.2	1.2
長さ	L (km)	20.6	20.6	22.2	高周波数特性	f_{max} (Hz)	8.3	8.3	8.3
幅	W (km)	13.9	17.3	17.3	剛性率	μ (N/m ²)	3.31E+10	3.31E+10	上部地殻の剛性率
上端深さ	h (km)	3.0	3.0	3.0	S波速度	V_s (km/s)	3.5	3.5	上部地殻のS波速度
セグメント面積	S_i (km ²)	286.3	356.4	384.1	破壊伝播速度	V_r (km/s)	2.5	2.5	$V_r=0.72 \cdot V_s$ [Geller (1976)]
断層面積	S (km ²)	286.3	740.4		破壊伝播様式		放射状	放射状	能登半島地震シミュレーション解析結果
地震モーメント	M_0 (N・m)	1.36E+19	7.31E+19	$M_0=\mu \cdot D \cdot S$					
平均すべり量	D (cm)	143.6	298.4	$D \propto L$					
平均応力降下量	$\Delta\sigma$ (MPa)	6.84	8.83	$\Delta\sigma=7/16 \cdot M_0 \cdot (S/\pi)^{-3/2}$					
短周期レベル	A (N・m/s ²)	1.38E+19	2.41E+19	$A \propto M_0^{1/2}$					
巨視的パラメータ	面積	S_{a1} (km ²)	47.7	47.5	47.3	能登半島地震シミュレーション解析結果			
	地震モーメント	M_{0a1} (N・m)	2.72E+18	3.35E+18	3.34E+18	$M_{0a1}=\mu \cdot D_{a1} \cdot S_{a1}$			
	すべり量	D_{a1} (cm)	172.3	213.4	213.4	$D_{a1} \propto A_{a1}$			
	全すべり量	D_{a1t} (cm)	267.0	465.3	465.3	$D_{a1t}=D_{a1}+D_b$			
	応力降下量	$\Delta\sigma_{a1}$ (MPa)	20.0	24.8	24.8	$\Delta\sigma_{a1} \propto A_{a1}$			
微視的パラメータ	サイゼタイム	T_{rs1} (s)	0.6	0.6	0.6	能登半島地震シミュレーション解析結果			
	短周期レベル	A_{a1} (N・m/s ²)	1.20E+19	1.49E+19	1.49E+19	$A=(\sum A_{a1})^{1/2}$			
	面積	S_{a2} (km ²)	47.7	47.5	47.3	能登半島地震シミュレーション解析結果			
	地震モーメント	M_{0a2} (N・m)	1.91E+18	2.36E+18	2.34E+18	$M_{0a2}=\mu \cdot D_{a2} \cdot S_{a2}$			
	すべり量	D_{a2} (cm)	121.0	149.9	149.9	$D_{a2} \propto A_{a2}$			
アスペリティ	全すべり量	D_{a2t} (cm)	215.7	401.7	401.7	$D_{a2t}=D_{a2}+D_b$			
	応力降下量	$\Delta\sigma_{a2}$ (MPa)	10.0	12.4	12.4	$\Delta\sigma_{a2} \propto A_{a2}$			
	サイゼタイム	T_{rs2} (s)	0.6	0.6	0.6	能登半島地震シミュレーション解析結果			
	短周期レベル	A_{a2} (N・m/s ²)	6.73E+18	8.34E+18	8.34E+18	$A=(\sum A_{a2})^{1/2}$			

断層パラメータは平成19年能登半島地震のシミュレーション解析結果を反映して設定

(注)
断層モデルは、能登半島地震と同様アスペリティ部分において、強震動を生じさせるすべり量(地震モーメント)の他に、実効応力が小さく短周期地震動への寄与が少ない背景領域のすべり量(地震モーメント)が付加的に生じるモデルを設定。

「志賀原子力発電所 新耐震指針に照らした耐震安全性評価(基準地震動 S_s の策定について)平成21年1月15日 北陸電力株式会社」

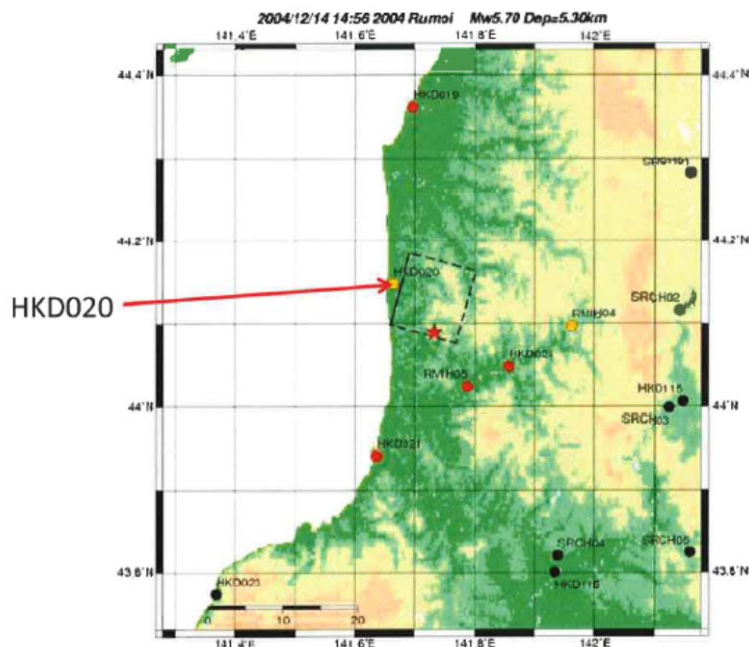
https://www.nsr.go.jp/archive/nsc/senmon/shidai/taishin_godo_WG2/taishin_godo_WG2_05/siryo3.pdf

そうすると、加速度応答スペクトルは、さらに大きくなってしまう。しかし、そのほかにもアスペリティの面積比を2分の1とすれば、アスペリティの応力降

下量は2倍となり、さらにグリーン関数の不確かさを2倍とすれば、もっと相当に大きな加速度応答スペクトルとなる可能性があるのである。

8 2004年留萌支庁南部の地震

(1) 2004年留萌支庁南部地震の概要



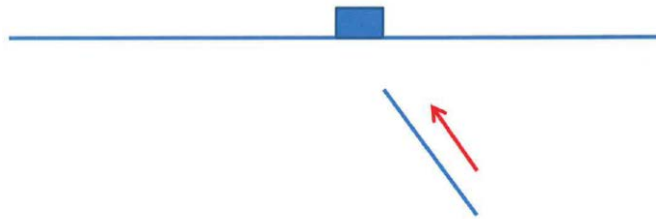
「震源を特定せず策定する地震動について」原子力規制委員会平成 25 年 3 月 25 日

平成 16 年（2004 年）留萌支庁南部地震は、規模も Mw で 5.7（Mj で 6.1）という比較的小規模の地震でありながら、断層面の延長上に極く近い観測点（HKD020）で、1000 ガル超という地震動を観測した（「震源を特定せず策定する地震動 計算業務報告書」、平成 23 年 3 月（財）地域地盤環境研究所）

http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/taishinkojo/pdf/ukeoi_1.pdf

なぜこのような大きな地震動を生じたかについては、破壊伝播効果（NFRD 効果、下図のように、破壊伝播方向に観測点があるとき、破壊伝播の方向と地震動の進行方向が同じために地震動が重なって増幅する効果）によるものとされている。実際、上の地図を見ても、断層面の延長に極めて近くに観測点がある。赤丸と黄

丸は、観測点を表しているが、観測点の配置の密度を見れば、このような地表面にある断層の極く近くに観測点があることが極めてまれなことであることが一目瞭然である。



(2) 留萌支庁南部地震の地震動

HKD020 観測点での応答スペクトルは、次のとおりであった（上記計算業務報告書）。

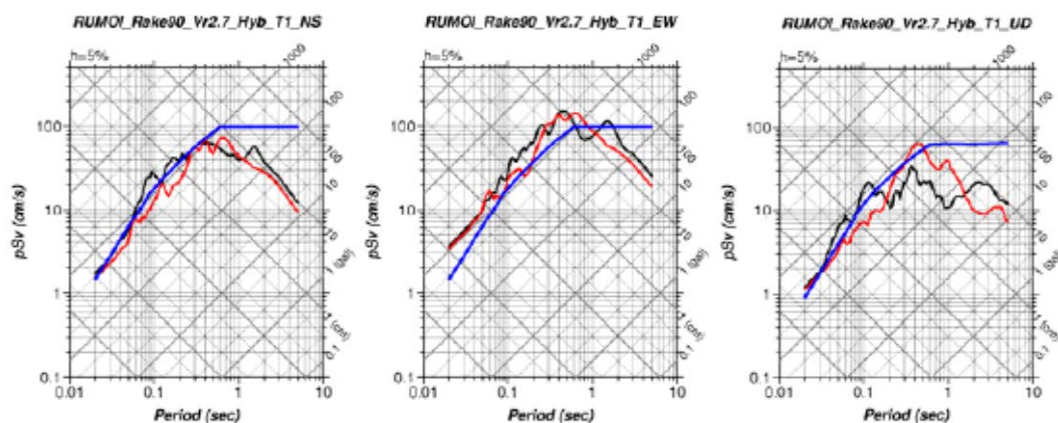


図 2.2-3(2) HKD020 におけるハイブリッド波形（赤）と観測波形（黒）による
疑似速度応答スペクトルの比較（青：加藤スペクトル）

左：NS、中：EW、右：UD

左下から右上にひかれた直線が、加速度応答スペクトルの目盛であり、青線が加藤ほか（2004）の応答スペクトルである。加藤ほか（2004）の応答スペクトルは、周期 0.1 秒から 0.5 秒の短周期で、1000 ガルを少し超える程度となっているが、特に中央の東西成分の図で、黒線の観測波形は、大幅に加藤ほか（2004）のスペクトルを上回っている。

わずかMw5.7の地震で、とりわけ原発にとって厳しい、周期 0.1 秒から 0.5

秒の短周期で、加藤ほか（2004）の加速度応答スペクトルの2倍に及ぶ地震動を実際に観測したのである。

(3) 地盤による地震動の増幅

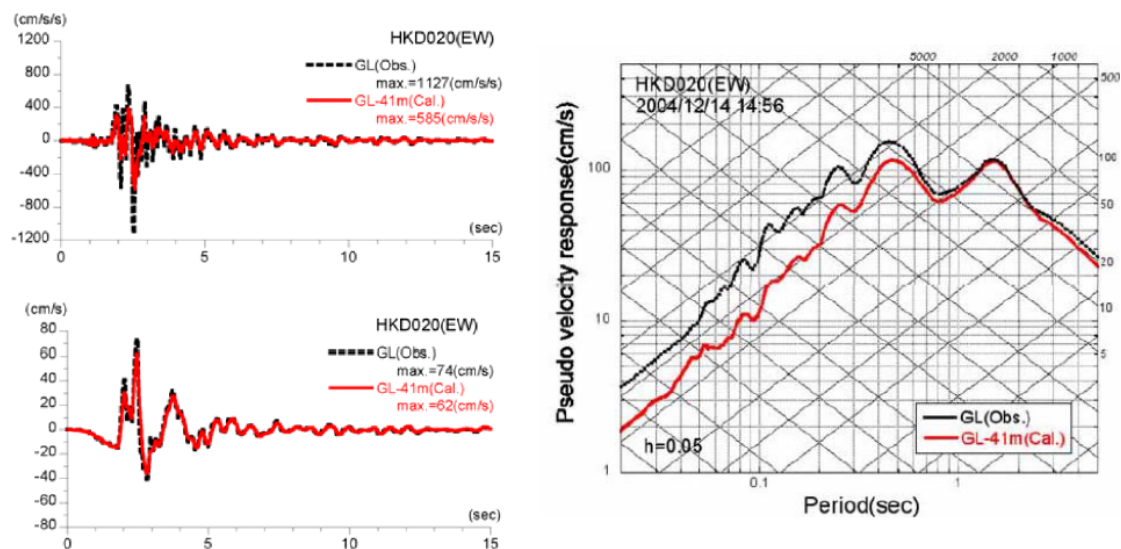
この強い地震動の原因について、佐藤（2013）は、特に地表から13mまでは岩盤は亀裂が多く、岩盤が6mまでの地盤が脆いとし、そのため、地震動が増幅するとして、41mまでの地層を除去したときのはざとり波が次のようになるとした。

佐藤他(2013)によるHKD020観測点の基盤地震動評価

第59回審査会合
資料3に加筆修正

48

- 等価線形解析により、地表観測記録(EW成分)から深さ41mでの基盤地震動を評価した。
- はざとり結果は、最大加速度が585Galとなっており、地表観測記録の約1/2となった。



「高浜発電所・大飯発電所 震源を特定せず策定する地震動について
平成25年12月25日」

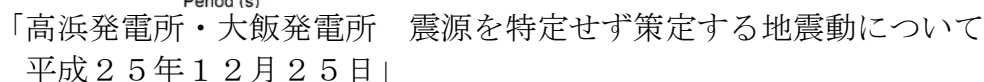
http://www.nsr.go.jp/activity/regulation/tekigousei/data/0063_07.pdf

この赤線が、はざ取り波である。地震動は585ガルであり、応答加速度（右下から左上に伸びる斜線）でみると、周期0.2秒から0.5秒という原発にとっ

ちなみに、地表深さ 6m までの地盤が弱いとする図は次のとおりである。

第59回審査会合
資料3に加筆修正

- ダウンホール法によるPS検層結果のVsが500m/s以下の深さ6mまでのS波速度を、笹谷ほか(2008)による位相速度を説明できるように若干修正し、HKD020の地盤モデルを作成した。
- HKD020の地盤モデルによるSH波の理論増幅特性の卓越周期は、微動H/Vスペクトルの卓越周期と周期0.02秒程度のごく短周期までよく対応。K-NET地盤情報によるSH波の理論増幅特性は、微動H/Vスペクトルの卓越を説明できない。
- 以上から、本研究によるHKD020の地盤モデルは、より妥当なモデルであると結論付けられる。



しかも、この地震動が、わずかMw5.7の地震でもたらされたことが大きな問題である。上のはぎ取り波に原子炉施設が耐えられたとしても、それはわずかMw5.7の地震に耐えられるというだけでしかない。

120

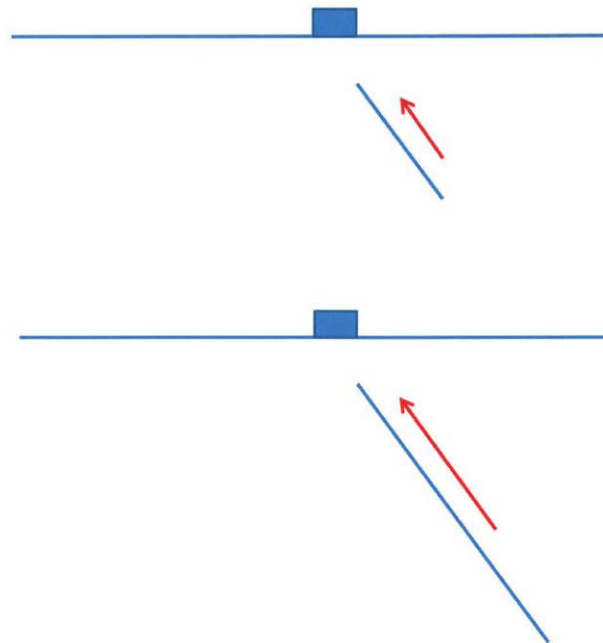
に説明する。

【解説】

(1)「地表地震断層が出現しない可能性がある地震」は、断層破壊領域が地震発生層の内部に留まり、国内においてどこでも発生すると考えられる地震であり、震源の位置も規模もわからない地震として地震学的検討から全国共通に考慮すべき地震（震源の位置も規模も推定できない地震 **(Mw6.5 未満の地震)**）である。

このように新規制基準は、「震源の位置も規模も推定できない地震」をMw6.5 未満の地震としているが、Mw6.5 の地震は、Mw5.7 の地震の 16 倍のエネルギーを有する地震である。

地震の規模が大きくなれば、地震波は、さらにたくさん重なる。そして、破壊伝播効果は、より大きくなることは明らかである。



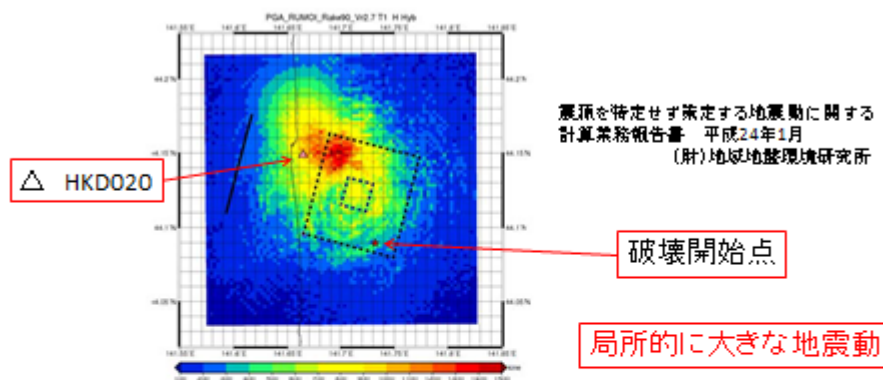
そうであれば、問題は、このMw6.5 未満の地震が、破壊伝播効果（NFRD 効果）のもたらされるような位置で発生したときに、最大限どこまでの地震動が敷地を襲うかである。

このような地震はまさしく「直下地震」である。直下地震は、直下ではない地震に比べ、破壊伝播効果（NFRD 効果）により、格段に大きな地震動を敷地にもたらし。したがって、「震源を特定せず策定する地震動」の中の、特に「地表地震断

層が発生しない可能性のある地震」の想定では、直下地震発生の際の地震動だけを問題にすれば足り、他の想定を考える必要はない。

(4) HKD020の観測点の地震動は、留萌支庁南部地震の最大地震動ではない

留萌支庁南部地震で、地震動がどのように分布していたかを検討したものが、下図である。



(1)PGA 分布 (△ : HKD020 地点, ☆ : 破壊開始点)

実際には、アスベリティ面積比も小さかったとしている

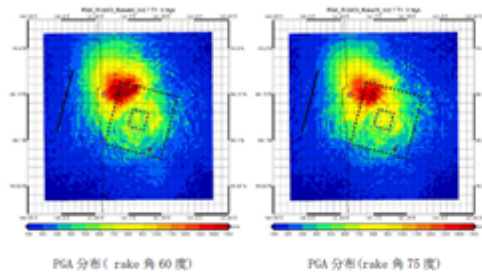
HKD020の観測結果も、留萌支庁南部地震の最大地震動ではない

最大地震動は観測記録の1.5倍程度以上

これは、(財)地域地盤環境研究所の検討結果であるが、この報告書は規制委員会のホームページに掲載されているものである。

これを見れば、留萌支庁南部地震の地表での地震動のうち、HKD020の観測点の地震動は、同地震の最大地震動ではないことが明らかである。もっとも、上記のような局所的地震動分布の中で、たまたまHKD020での地震動が最大地震動となる可能性は、もともとほとんどない。すなわち、同地点の地震動は、決して留萌支庁南部地震の地震動の最大値ではありえないことが確実である。

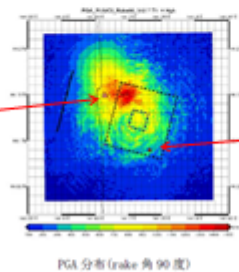
では、最大地震動は、HKD020での観測値をどれだけ上回るか。この点について、この報告書は、下のように、いくつかのシミュレーションを行って検討している。



破壊開始点同じ
rake角を変えた設定例

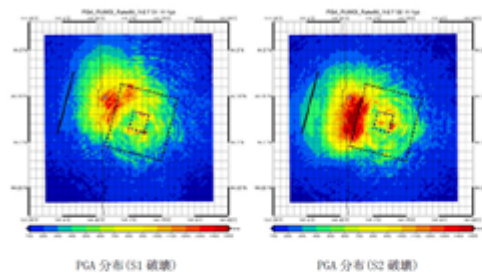
rake角=すべり角
断層面同士のずれの角度
逆断層は90°

△ HKD020



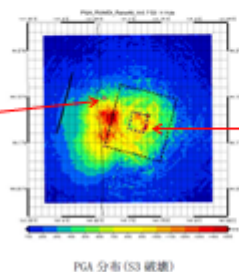
破壊開始点

図 2.3-2 rake 角 60 度、75 度および 90 度の場合の PGA の面的強震動分布
(△:HKD020 地点。☆:破壊開始点)



破壊開始点同じ
Rake角を変えた設定例

△ HKD020



破壊開始点

このケースでは最大地震動は観測記録を
2倍以上上回っている

図 2.3-5 rake 角 90 度における破壊開始点 (S1, S2, S3) を変えた PGA 分布
(△:HKD020 地点。☆:破壊開始点)

これによれば、留萌支庁南部地震の最大地震動は、おおむね HKD020 での観測値の 1.5 倍～2 倍程度、もしくはそれ以上に達している。

(5) 少なくともMw6.5が想定されるべき

Mw5.7 の地震で。これほど大きな地震動をもたらしたのであれば、Mw6.5 未満の地震では最大どこまで大きな地震動が来るのかは、誰でもただちに抱く、極めて素朴な疑問である。この素朴な疑問に、答えるようなものでなければ、原発の地震動想定、耐震設計は成り立ちようがない。

そこで、まずMw5.7 の地震とMw6.5 の地震を入倉レシピ(強震動予測レシピ)の計算式を用い、エクセルで計算すると次のとおりである。

断層面積S	地震モーメントMo	平均応力降下量	アスペリティの応力降下量	モーメントマグニチュードMw
60.483679	4.46684E+24	2.31337E+22	1.05153E+23	5.7
381.62621	7.07946E+25	2.31337E+22	1.05153E+23	6.5

このように、Mw5.7 の地震の断層面積は、60.5 km²、Mw6.5 の地震の断層面積は、381.6 km²となり、これを平方根すれば、1 辺の長さが出る。それは、Mw5.7 の地震の断層面は 7.78 km、Mw6.5 の地震の断層面は 19.5 kmで、Mw5.7 の地震の断層面の 1 辺の長さの 2.5 倍となっている。そうすると、地震波の重なりはおおよそ 2.5 倍とみるのが素直な見方であり、地震動は 2.5 倍余分に増幅する。

一方、壇ほか(2001)の関係式

$$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$$

地震調査委員会強震動予測手法(レシピ)(11)式

によれば、短周期レベルはMoの1/3乗に比例する。この関係式は、Moと短周期レベルAとの平均的な関係を示す関係式であり、Moが大きくなれば面積も大きくなる前提での式である。この式によれば、Mwが0.8大きくなれば、Moは16倍になるから16の1/3乗=2.52倍、短周期レベルが大きくなることを導く。求めるのがMw6.5未満の地震での最大地震動ということからしても、2.52を若干小さくした2.5倍が、やはりこのMwが0.8未満大きくなったときの増幅の程度ということになる。

(6) 試算

「震源を特定せず策定する地震動」が「全国どこでも起こる可能性のある地震」であり、留萌支庁南部地震がそのような地震だとされていること、そうだとすれば留萌支庁南部地震の最大地震動を想定すべきである。そして、留萌支

庁南部地震の最大地震動は、少なくとも現実に観測記録の 1.5 倍程度～2 倍以上の地震動が発生している。

そうすると、留萌支庁南部地震で HKD020 の観測点で観測された地震動から地表の地盤の影響を計算上取り去ったとされる地震動 609 ガルの 1.5 倍ないし 2 倍以上の地震動を、まずは想定しなければならない。1.5 倍だとして 913 ガル、2 倍だとして 1218 ガルであるが、それ以上の地震動となることも想定する必要がある。

さらに、留萌支庁南部地震がわずか Mw5.7 の地震でしかなく、Mw6.5 未満だったらどこまでの地震動となるかも検討する必要がある。Mw0.8 の差は、Mo で 15.85 倍の差となる。それに壇ほか (2001) の式

$$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$$

を当てはめてみる。

そうすると、短周期レベル A は、2.51 倍となることが分かる。

これは Mw5.7 の地震と Mw6.5 の地震を平均的地震像どうしで比べた場合であるが、留萌支庁南部地震の最大地震動を HKD020 観測点の 1.5 倍として、Mw6.5 の地震の地震動計算をすると、それだけで、

$$609 \times 1.5 \text{ (観測点を超える地震動の発生)} \times 2.5 = \underline{2280 \text{ ガル}}$$

となる。

もっとも、留萌支庁南部地震の断層モデルでは、入倉レシピから Mw5.7 の地震での断層面積を導いて出している。繰り返し述べているとおり、入倉レシピは、地震の平均像を前提している。

上記の 2280 ガルは、断層面積と Mo との関係では平均的な地震であった留萌支庁南部地震を、平均像のまま大きくした場合の数字でしかない。

では、平均像を超えた地震の場合、どうなるのか。

留萌支庁南部地震と震源断層面の面積が同じで

Moが平均的値の4倍の場合の地震動

Moが4倍になれば応力降下量も4倍
短周期地震動も4倍

$$\Rightarrow 609 \times 1.5 \times 4 = \underline{3654 \text{ガル}}$$

短周期地震動4倍はMwで+0.4

$$\Rightarrow 5.7 + 0.4 = 6.1 \text{ (Mw6.1の地震でしかない)}$$

さらに+0.4してみる

同じ断層面積でも、既往最大で Mo は平均的値の 4 倍程度となる場合がある。
そうすると、短周期地震動も、そのまま 4 倍となるというのが、入倉レシピの示すところであるから、もたらされる地震動は 3654 ガルとなる。しかし、これもまだ Mw6.1 の地震でしかないから、さらに +M0.4 とすると次のとおりとなる。

壇ほか(2001)の式(短周期レベルAとMoとの関係)

$$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$$

Mw+0.4は、Moで+4倍

4の1/3乗(=1.59倍)できいてくる(上の壇ほか(2001)の式)

$$\Rightarrow 609 \times 1.5 \times 4 \times 1.59 = \underline{5810 \text{ガル}}$$

結論 留萌支庁南部地震の知見からすれば

少なくとも 5800ガル

仮にMoが平均像の4倍ではなく10倍だったら(Mw6.36程度)

$$609 \times 1.5 \times 10 = 9130 \text{ガル}$$

9130ガル ⇒ 9000ガル超程度

さらに+Mw0.14 ⇒ 10500ガル程度は考える必要！

結論としては、少なくとも、5800 ガルの地震動を想定すべきこととなる。

もつとも、同じ断層面積でも、すでに見たとおりさらに大きな M_o となる可能性があり、それを平均的値の 10 倍とするなら、10500 ガルという大きな地震動となる可能性があることとなる。

(7) 不確かさの考慮

審査ガイドは、また次のように規定する。

2. 基本方針

基準地震動の策定における基本方針は以下の通りである。

- (3) 「震源を特定せず策定する地震動」は、震源と活断層を関連づけることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に各種の不確かさを考慮して、敷地の地盤物性に応じた応答スペクトルを設定して策定されていること。

したがって、「震源を特定せず策定する地震動」は、単に「観測記録」を収集しただけでは不足、その上で、「各種の不確かさを考慮」することが必要とされている。「震源を特定せず策定する地震動」も一つの推定であり、推定には誤差があることからして、当然のことである。求められるのは、地表地震断層が生じない地震では、 $M_w6.5$ 未満の地震での最大地震動はどれだけかであるが、留萌支庁南部地震が $M_w5.7$ であることからして、それが $M_w6.5$ 程度だったらどの程度の地震動となるかは、一つの「不確かさの考慮となるはずである。また、留萌支庁南部地震での最大地震動はどれだけかも、また「不確かさの考慮」となる。

では、敷地直下の $M_w6.5$ 未満の地震は最大限どこまでの地震動をもたらすか

壇ほか(2001)の式

壇ほか(2001)の式(短周期レベルAと M_0 との関係)

$$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$$

Mw6.5の地震の M_0 (地震モーメント)はMw5.7の地震の M_0 の約16倍
(マグニチュードが0.2あがるたびに M_0 は2倍となる)

ただし正確には15.85倍

M_0 が15.85倍だと壇ほか(2001)の式によれば、Aは15.85の1/3乗倍
(1/3乗=3乗根 1/2乗=平方根=ルート)

15.85の1/3乗 = 2.51

Mw6.5未満の地震の最大地震動は、Mw5.7の地震の地震動の2.5倍となる

壇ほか(2001)の式によれば、Mw6.5の地震の地震動は、Mw5.7の地震の地震動の2.51倍となる。

地震動は留萌支庁南部地震の2.5倍として

$$609 \times 1.5 (\text{観測点を超える地震動の発生}) \times 2.5 = \underline{2280 \text{ガル}}$$
$$(\text{短周期での応答スペクトル } 1300 \times 1.5 \times 2.83 = \underline{4875 \text{ガル}})$$

しかしこれは平均像でのものしかない

さらにたとえば、断層面積が平均的地震より小さいなど
平均像と異なる地震となる可能性も考える必要がある

(8) Mw6.5未満の地震を想定することは仮想的か

現在、いくつかの訴訟で、被告電力会社は、Mw6.5未満の地震を考えることは、仮想的であり、「震源を特定せず策定する地震動」ではそこまで考慮する必要がないと主張している。その根拠は、審査ガイドが「観測記録をもとに」策定す

ることを求めているからという点だとされる。また、電力会社は、「観測記録をもとに」策定するものであるから、対象とされた地震の最大地震動を想定することも不要だと主張する。その根拠として、「震源を特定せず策定する地震動が、震源を特定して策定する地震動を補完するに」に過ぎないからだとも主張される。しかし、この主張は、そもそもなぜ「震源を特定せず策定する地震動」を想定する必要があるかを忘れた議論である。原発の危険性に鑑みれば、「地表に断層が出現しない可能性のある地震」は、原発直下でもいる発生するかわからないという前提で、耐震設計をしなければならない。それが「震源を特定せず策定する地震動」を定めた理由であり、補完的とされたとすれば、それは「震源を特定して策定する地震動」では不足する穴を埋めるためであり、それで「震源を特定せず策定する地震動」の重要性が減殺されるわけではない。Mw6.5 未満の地震で「地表に断層が出現しない可能性」があるなら、Mw6.5 未満でどこまでの地震動が想定されるか、どこまで大きな地震動が原発を襲う可能性がるかを考えるのが、この「震源を特定せず策定する地震動」を定めた目的に合致する。まして、観測記録だけを用いて、その地震の最大地震動がどれだけかを検討しないという理由はどこにも存在しない。

9 2000年鳥取県西部地震（震源を特定せず策定する地震動Mw 6.5 以上のもの）

(1) 2000年鳥取県西部地震の概要

平成 27 年 3 月 20 日の「地震動評価について」で、被告は、これまで「震源を特定せず策定する地震動の評価の対象としてこなかった 2000 年鳥取県西部地震も、観測記録収集対象となる地震として選定する」としたとしている。

○審査ガイドに準拠し、活断層や地表地震断層の出現要因として「活断層の成熟度」の地域差の観点から、2000年鳥取県西部地震を観測記録収集対象の地震とするか個別に検討した。その結果、伊方発電所立地地点と鳥取県西部地震震源域では地震テクニクスが異なり、活断層の成熟度およびこれに寄与する歪み蓄積速度や地下の均質性において地域差が認められるものの、一方で大局的にはいずれも西南日本の東西圧縮横ずれの応力場である。

○そこで、地震が発生する地下深部の構造について、さらに慎重な検討を行った結果、主に中央構造線や第四紀火山との位置関係に関連して両地域の深部地下構造に違いがあると考えられるものの、一方で重力異常に有意な地域差は認められない。

○以上のように、伊方発電所立地地点と鳥取県西部地震震源域では審査ガイドに示された「活断層の成熟度」に地域差が認められ、地震が発生する深部地下構造にも違いがあると考えられるものの、自然現象の評価と将来予測には不確かさが残るため、大局的にはいずれも西南日本の東西圧縮横ずれの応力場であることを踏まえ、更には原子力安全に対する信頼向上の観点から、より保守的に鳥取県西部地震を観測記録収集対象として選定する。

○なお、当社は深さ2 kmまでの深部ボーリング調査によって地震基盤までの地下構造を詳細に把握しており、平成25年8月から深部地震計の観測を開始している。今後も各種の調査・研究を継続して両地域の地域差に関する科学的知見の拡充に努め、更なる安全性・信頼性の向上に努めることと致したい。



2000年鳥取県西部地震は、次のような地震であった。

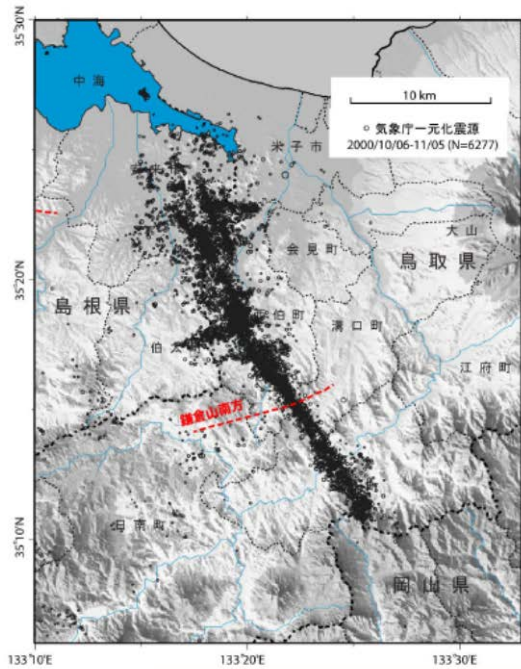
(「高浜発電所 震源を特定せず策定する地震動について (2000 年鳥取県西部地震)」 平成26年4月2日)

<https://www.nsr.go.jp/data/000035666.pdf>

2000年鳥取県西部地震 概要

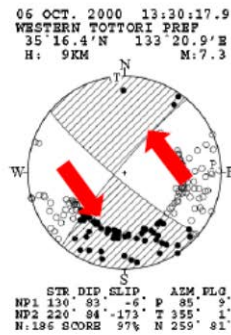
平成26年1月22日
審査会合資料加筆

9



2000年10月6日 13:30
MJ=7.3 (Mw=6.6)

メカニズム解(気象庁の初動解)

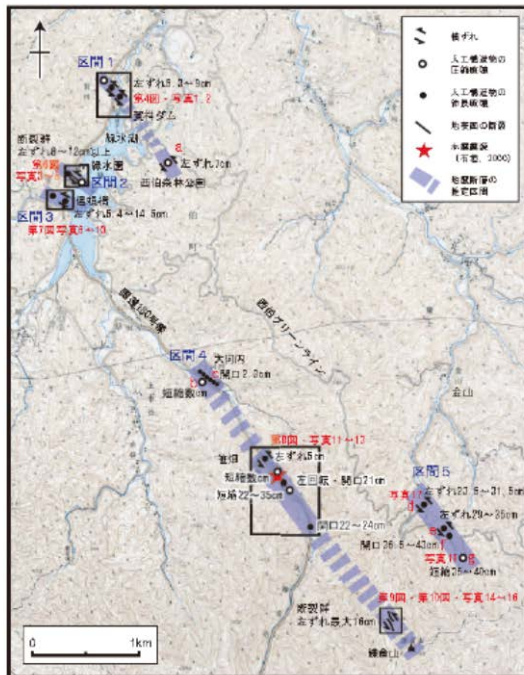


地震規模Mw6.6、北西-南東走向の横ずれ(左横ずれ)断層による地震である。

2000年鳥取県西部地震 地震断層調査結果(伏島ほか,2001)

平成26年1月22日
審査会合資料加筆

10



地表断層および人工構造物の破壊・変形

- ・北西-南東方向に直線状に配列(余震域の伸びの方向と調和的)
- ・本震震央の北西側約4km~南東側約2km、幅1km強の帯状の地域に5つ認められた。
- ・地表面の断層はN40±25° Wの走向
- ・数cm~10数cmの左横ずれ走向隔離
- 地震断層は明瞭ではないが、断続的に出現した。

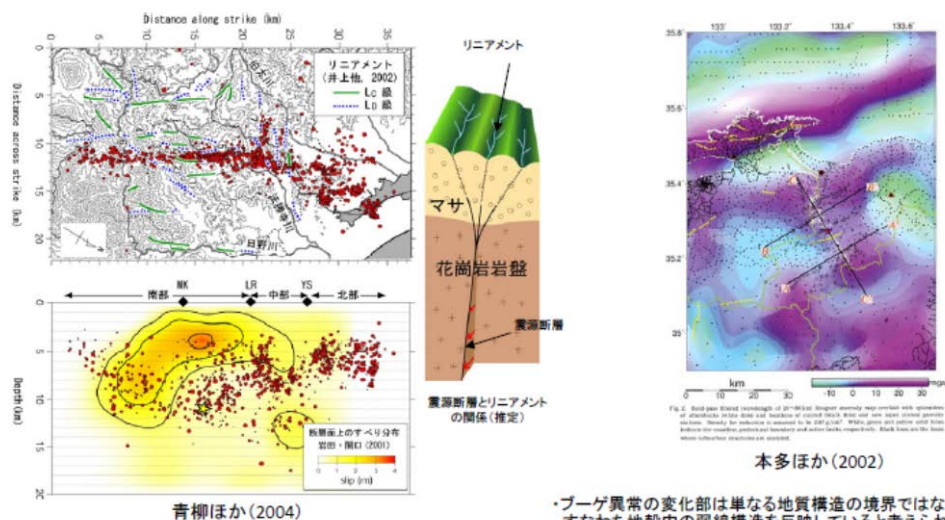
第2図 調査結果の概要。国土院提供の2万5千分の1地形図「井沢」を使用。
Fig. 2 Map showing the outline of the results of our investigation.

伏島ほか(2001):2000年鳥取県西部地震の地震断層調査、
活断層・古地震研究報告, No. 1, p. 1-26.

2000年鳥取県西部地震 震源特定の可能性についての検討

平成26年1月22日
審査会合資料加筆

11



- ・地震前に撮影した空中写真で判読されるリニアメントの方向は、余震分布の形態に対応している。
- ・アスベリティの位置は、リニアメントの分布密度が高い領域と一致している。

- ・ブーグ異常の変化部は単なる地質構造の境界ではなく基盤の断層構造、すなわち地殻内の弱線構造を反映していると考えられる。(省略)北北西-南南東方向の地殻内の既存の弱線を利用して発生したと考えられる。
- ・震源断層の南北には西南日本特有の海溝軸に沿った大規模な地質構造が存在するため、震源断層サイズは弱線構造のサイズ、つまり南端の花崗岩地域以北までに制限されていた可能性が考えられる。

➤事前に詳細な調査を実施すれば、震源の位置、ある程度の規模の予測までが特定可能と考えられるが、地表地震断層としては全体が明瞭に現れておらず、震源が特定しにくい地震であった。

・青柳恭平・阿部信太郎, 2004, 2000年鳥取県西部地震の余震分布と地形・地質との関係—内陸地震のアスベリティ予測に向けて—, 電力中央研究所報告, N04009, 28p.
・本多亮・平松良治・河野芳雄, 2002, 2000年鳥取県西部地震震源域の重力異常とそれらに見た震源断層の特徴, 地震学2巻第5号, p83-88

平成12年(2000年)鳥取県西部地震の断層は、「地表地震断層として全体が明瞭にではなく、震源が特定しにくい地震であった」とされている。

同地震による地表断裂および人工構造物の破壊・変形からして、帯状の5つの区間に分けられると考えられ、一部に地表地震断層が明瞭ではないものの断続的に出現したとされている。

このうち、賀祥ダムは、北部の区間1の領域に存在する。しかし、この地震動が局所的な事象であったと思われるが、賀祥ダムは、本震震源から約4km北北西に離れた位置にあり、大きなすべり量を示した領域(上記青柳ほか(2004)のオレンジ色の領域)から相当程度離れた位置にあった。水平方向でも、賀祥ダムは、本震震源から延びる震源断層面とは1km程度は離れている。したがって、本震震源で垂直に拮がる震源断層面の直上ではない可能性が高い。したがって、この賀祥ダムの地震記録が、2000年鳥取県西部地震の最大地震動ではないこと、しかも賀祥ダムで観測されえた地震動より、鳥取県西部地震での最大地震動は相当に大きかった可能性は極めて高い。

そうすると、この賀祥ダムの観測記録をもって、「震源を特定せず策定する地震動」としてのMw 6.5以上の地震の最大地震動だとするのは全くの誤りと

いうこととなる。

この鳥取県西部地震でも、留萌支庁南部地震と同様に、最大地震動はどれほどの検討が必須であり、賀祥ダムの観測記録を「震源を特定せず策定する地震動」とするのは明らかな誤りであり、鳥取県西部地震での最大地震動を、不確かさを考慮しつつ、算出することが求められる。しかし、それがどれだけの大きさの地震動となるかは、資料がなく分からないが、相当に大きな地震動となる可能性が高い。

第5 原子力発電所における従前の地震動想定は著しい過小評価であったこと

1 従前の地震動想定に対する国会事故調報告書の指摘

(1) 国会事故調報告書の指摘

国会事故調報告書は、原子力発電所における従前の地震動想定について、次のとおり指摘している（「2. 1. 6 検討」の7）a。甲10・193頁）。

<http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/3856371/naiic.go.jp/report/>

「わが国においては、観測された最大地震加速度が設計地震加速度を超過する事例が、今般の東北地方太平洋沖地震に伴う福島第一原発と女川原発における2ケースも含めると、平成17（2005）年以降に確認されただけでも5ケースに及んでいる。このような超過頻度は異常であり、例えば、超過頻度を1万年に1回未満として設定している欧州主要国と比べても、著しく非保守的である実態を示唆している。」

(2) 従前の地震動想定は10年間で5ケースも誤ったこと

上記(1)の指摘は、要するに、原子力発電所における従前の地震動想定は僅か10年間の間だけで5ケースも誤った、ということである。

ここで、平成17年（2005年）以降に確認された5ケースとは、以下の5つを指す。

ア 平成17年（2005年）8月16日宮城県沖地震における女川原発のケース

平成17年（2005年）8月16日に発生した宮城県沖地震は、北緯38度9.0分、東経142度16.7分の宮城県沖を震源とするM7.2の地震である。

この地震の際、東北電力女川原発で観測された地震動は、南北方向では基礎盤上で316ガルを記録した（「今回の地震による女川原子力発電所第1号機の建屋の耐震安全性評価結果について」

<http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g60720c06j.pdf>

当時の女川原発の設計用最大地震動は、S1（設計用最強地震）が250ガル、S2（設計用限界地震）が375ガルであった。

しかも、この地震の規模は、当時想定されていた地震（M7.5）の3分の1の規模に過ぎなかった。

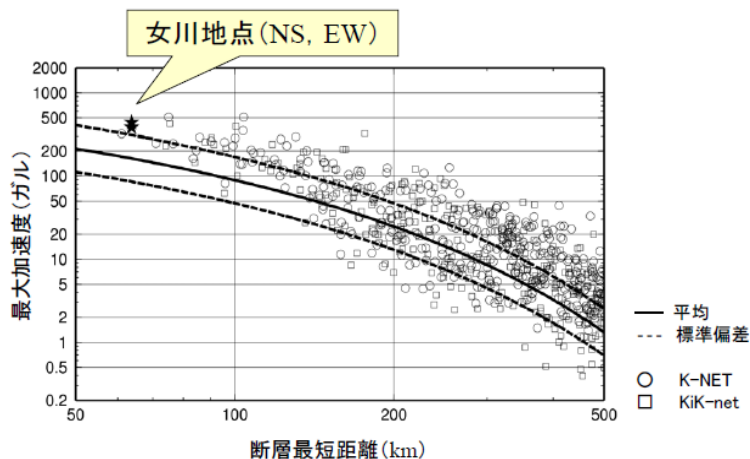
国内の原発で、基準地震動を上回る地震動が確認されたのは、このケースが初めてであった。

このようなこととなった要因とされているのは、「大地震においても顕著に宮城県沖近海の地域特性が現れる」からだとされている。要するに、平均像で行っていたところ、この地域では平均像からはずれたからというのである。

地域特性の一つとして、次の点が挙げられている。

敷地周辺で観測された今回の地震記録の分析結果

今回の地震は、経験式（距離減衰式）よりも最大加速度が大きい。
また、短周期成分の卓越が顕著である傾向が認められた。



司・翠川(1999)による距離減衰式と各観測点で観測された最大加速度の比較

（「女川原子力発電所における宮城県沖の地震時に取得されたデータの分析・評価および耐震安全性評価に係る報告について」東北電力）

<http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/senmon/shidai/taisinbun/taisinbun032/ssiryol.pdf>

もつとも、上図からすれば、平均像からのかい離はそれほどでもなく、もっと大幅にかい離するおそれも否定できなかったということになる。

イ 平成19年（2007年）3月25日能登半島沖地震

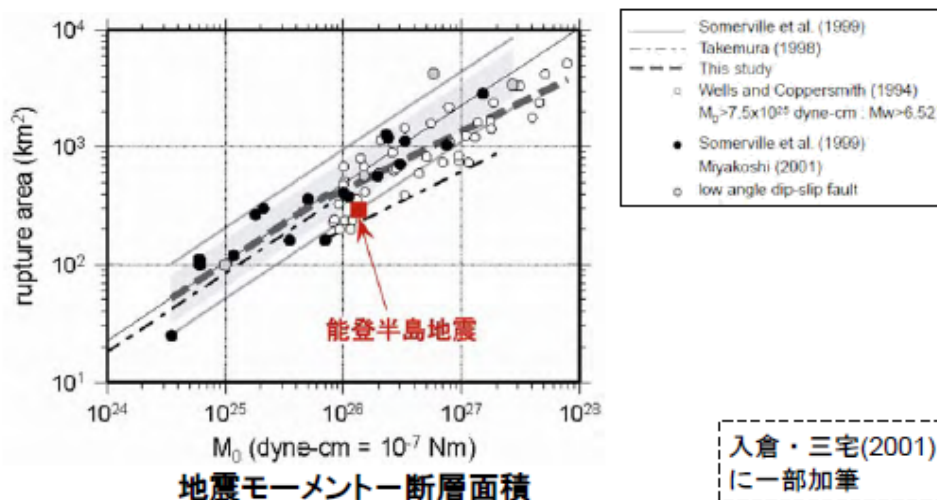
平成19年（2007年）3月25日に発生した能登半島沖地震は、能登半島沖（北緯37度13.2分，東経136度41.1分）で発生したマグニチュード（ M_j ）6.9，震源深さ11キロメートルの地震である。

この地震の際，北陸電力志賀原発1号機及び2号機において，基準地震動（応答）を超過した（「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ついて」5頁及び8頁。<http://www.rikuden.co.jp/press/attach/07041902.pdf>）。

志賀原発の設計用地震動の最大加速度は，1・2号炉とも，S1（設計用最強地震）が375ガル，S2（設計用限界地震）が490ガルであった。

この地震では，下図のように，地震モーメント（ M_o ＝「剛性率〔震源断層面のすべり強度〕×平均すべり量×震源断層面の面積」。単位はNm〔ニュートン・メートル〕）が平均的地震より大きく，これがSsを超えた要因となっている。

ただし，平均的地震より大きいといっても，同じ程度の断層面積で発生した地震における既往最大までは至っていない。



(志賀原子力発電所:「新耐震指針に照らした耐震安全性評価(敷地周辺海域の地質・地質構造)」平成21年1月15日北陸電力株式会社)

http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/senmon/shidai/taishin_godo_WG2/taishin_godo_WG2_05/siryo2.pdf

ウ 平成19年(2007年)7月16日新潟県中越沖地震

平成19年(2007年)7月16日に発生した新潟県中越沖地震は、新潟県中越沖で発生したマグニチュード6.8の地震である。

この地震の際、東京電力柏崎・刈羽原発で観測された地震動は、最大1699ガルであった(「柏崎刈羽原子力発電所の耐震安全性向上の取り組み状況」)。

<http://www.tepco.co.jp/company/corp-com/annai/shiryou/report/bknumber/0806/pdf/ts080601-j.pdf>

柏崎・刈羽原発の設計用地震動の最大加速度は、S1(設計用最強地震)が300ガル、S2(設計用限界地震)が450ガルであった。中越沖地震では、この約4倍(1号機解放基盤面で1699ガル・S2の約4倍)の地震動が観測された。

中越沖地震はM6.8と地震規模はそれほど大きくなく、震源の深さが17kmとそれほど浅い地震でもないのに、旧指針の限界地震の想定を約4倍も超える地震動が発生した。

そして、これによって、柏崎・刈羽原発に、次のような本格的な被害が発生した。

①柏崎・刈羽原発5号機においては、燃料集合体の一つが燃料支持金具から外れていた。

②同7号機の点検作業中に、制御棒205本のうちの1本が引き抜けなくなる異常が

見つかった。東京電力は、「地震の影響が何らかの形で発生したと思う」と説明している。

- ③同 6 号機でも、制御棒 2 本が一時引き抜けなくなった。引き抜けなかった制御棒については、詳細な点検が行われたが、原因は明らかになっていない。
- ④同 5 号機では、炉内の水を循環させるために原子炉圧力容器内の壁に沿って 20 本設置されているジェットポンプの振動を抑えるためのくさび形金具が、水平方向に 4 cm ずれているのが見つかった。
- ⑤これらを含め、この地震の結果、柏崎・刈羽原発は、約 3000 箇所故障が生じた。

柏崎・刈羽原発での当時の基準地震動は S2（設計用限界地震）であったが、新耐震指針における基準地震動 Ss すら超える地震動が観測されてしまったのである。

東京電力は、中越沖地震が Ss（新耐震指針における基準地震動）を大きく上回る地震動を観測したことを受けて、その要因を分析し、アスペリティ（大地震発生時に震源断層面内において特に強い地震波を発生した領域。地震発生直前まで断層面が残りの部分より強く固着していたと考えられることから、もともと「突起」という意味の「アスペリティ」と呼ばれる。）の平均応力降下量（断層がずれた時のエネルギーを示す。これは短周期地震動レベルに直結する。）が平均像の 1.5 倍だったことと、地盤による増幅が 4 倍あったことが原因だとされた。

そこで、原子力安全委員会、原子力安全・保安院は、各原子力事業者に対して、短周期地震動レベルを 1.5 倍とした場合に機器・配管の健全性が保たれるか確認することを求めた。

しかしながら、アスペリティの平均応力降下量が平均像の 1.5 倍程度以上となる地震は無数に観測されている。

したがって、この対応は、単なる弥縫策でしかなかった。

ところが、原子力安全委員会も、原子力安全・保安院も、各原子力事業者も、想定を失敗した根本的な原因について改めることは一切しなかった。

エ 平成 23 年（2011 年）3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震における福

島第一原発のケース

平成23年（2011年）3月11日の東北地方太平洋沖地震は、マグニチュード9の巨大地震である。

この地震の際、東京電力福島第一原発で観測された地震動は、基準地震動を超えた（甲10・国会事故調報告書「2.2.1 東北地方太平洋沖地震による福島第一原発の地震動」）。

そして、この地震動によって原発の配管が破断した可能性も指摘されている（甲10・国会事故調報告書「2.2.2 地震動に起因する重要機器の破損の可能性」）。

オ 平成23年（2011年）の東北地方太平洋沖地震における女川原発のケース

また、平成23年（2011年）3月11日の東北地方太平洋沖地震の際、東北電力女川原発で観測された地震動も、基準地震動を超えた（「平成23年東北地方太平洋沖地震における女川原子力発電所及び東海第二発電所の地震観測記録及び津波波高記録について」）。

<http://www.meti.go.jp/press/2011/04/20110407003/20110407003.pdf>

2 従前の地震動想定が著しい過小評価となった理由

このように、従前の原子力発電所における地震動想定は、著しい過小評価であった。

そして、原発事業者と規制機関たる国が地震動想定に失敗した最大の原因は、その地震動想定手法が、過去に発生した地震・地震動の平均像で想定を行っていたことにある

原子力発電所における地震動想定手法が、過去に発生した地震・地震動の平均像で行われていたことについては、この分野の第一人者であり、原発の耐震設計を主導してきた入倉孝次郎氏自身が認めている。

すなわち、平成26年3月29日付愛媛新聞（本書面141頁）には、入倉孝次郎氏の次の発言が掲載されている。

「基準地震動は計算で出た一番大きい揺れの値のように思われることがあるが、そうではない。（四電が原子力規制委員会に提出した）資料を見る限り、570ガルじゃ

ないといけないという根拠はなく、もうちょっと大きくてもいい。・・・(応力降下量は) 評価に最も影響を与える値で、(四電が不確かさを考慮して) 1.5 倍にしているが、これに明確な根拠はない。570ガルはあくまで目安値。私は科学的な式を使って計算方法を提案してきたが、これは地震の平均像を求めるもの。平均からずれた地震はいくらでもあり、観測そのものが間違っていることもある。基準地震動はできるだけ余裕を持って決めた方が安心だが、それは経営判断だ。」(下線は代理人)。

入倉孝次郎氏は、ついに基準地震動は、目安に過ぎない「平均像」だと認めた。

これを中越沖地震の知見から1.5倍にすることについても、明確な根拠があるわけではないと言う。

そして、その平均像を超える地震はいくらでもある、とまで言う。

過去に発生した地震・地震動の知見の平均像で想定を行っているのであるから、現実に発生する地震・地震動がしばしば基準地震動を超えることは、いわば当然のことであった。

では、そのような基準地震動を金科玉条のように、重要なものとしてこれまで行ってきた耐震設計は、何だったのか。実にいい加減なものだということを、主導してきた入倉孝次郎名誉教授自身が認めたのである。

すでに述べたとおり、原発の耐震設計は、まず基準地震動(S_s)を定めることから始まる。この基準地震動 S_s は

「施設の耐震設計において基準とする地震動で、敷地周辺の地質・地質構造並びに地震活動性等の地震学および地震工学的見地から、施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があり、施設に大きな影響を与えるおそれがあると想定することが適切な地震動」

とされ、要するに、 S_s は、施設を襲うと想定できる最大地震動であるはずであり、それが、原発の耐震設計の根本であったはずである。

ところが、基準地震動は、単なる目安に過ぎない「平均像」だというのである。これでは、原発の耐震設計の根本は、完全に崩れ去ってしまう。したがって原発の耐震設計は、その出発点において、極めて大きな誤りがあったということになり、それを隠し続けてきたのが、原発の耐震設計の歴史だったのである。

したがって、このような耐震設計で、原発の安全性が担保されるわけがない。もは

や原発の耐震設計が、根本から誤っていることは、誰の目から見ても明らかになった。それを明白にしたのが、この入倉発言である。

しかも、入倉孝次郎氏は、あとは「経営判断だ」とすら言う。

しかし、そうであれば、司法が、原発の差し止めを認めないために下すことのできる唯一の論理は、「原発の安全性は電力事業者の経営判断であり、司法がこれに介入することは許されない」ということでしかない。

基準地震動を解く

伊方原発

四国電力伊方原発の基準地震動570 μ は、調査に基づいて活断層の位置や形状で原発に最も影響が大きくなるよう計算した「断層モデル」と（小規模な地震観測記録から大規模地震の波形を合成してつくり出す）経験的な方法で総合的に決めている。

基準地震動は計算で出た一番大きい揺れの値のよつに思われることがあ
るが、そうではない。（四
電が原子力規制委員会に
提出した）資料を見る限
り、570 μ じゃないと
いけないという根拠はな
く、もうちょっと大きく
てもいい。
地震動評価の計算は新

3 京都大名誉教授 入倉 孝次郎氏



3/29 余裕ある設計 確認重要

いりくら・こうじろう 68年京都大大学院理学研究科・地球物理学専攻博士課程中退。同大副学長や日本地震学会会長などを歴任。01～12年、内閣府原子力安全委員会専門委員。強震動地震学。73歳。

がずれた時のエネルギーを使って計算方法を提案し（を示す）応力降下量だ。使ってきたが、これは地震の評価に最も影響を与える平均像を求めるもの。平値で、（四電が不確かさ均からずれた地震はいくを考慮して）1・5倍にらでもあり、観測そのもをチェクした。基準地震動を上げれば設備を全調べ直さないといいな
いので大変だろう。
しかし、基準地震動を
一番弱いところを探す
と、それほど余裕がなかつた。これは重要なポイ
ントで、規制委の審査で
きちんと示されるだろ
う。

570 μ のままにして、それを多少超す地震が来たとしてもすく壊れるこ
とはないと思う。580
 μ としていた女川原発
（宮城県）でも、東日本
大震災のときに600 μ
を超す地震動だったが
耐えられた。伊方でも
それぐらいの余裕は持
造られているはず。基
準地震動以上の揺れで
大丈夫なように余裕の
設計が行われるべき
（聞き手・藤中潤、阪和
舞）

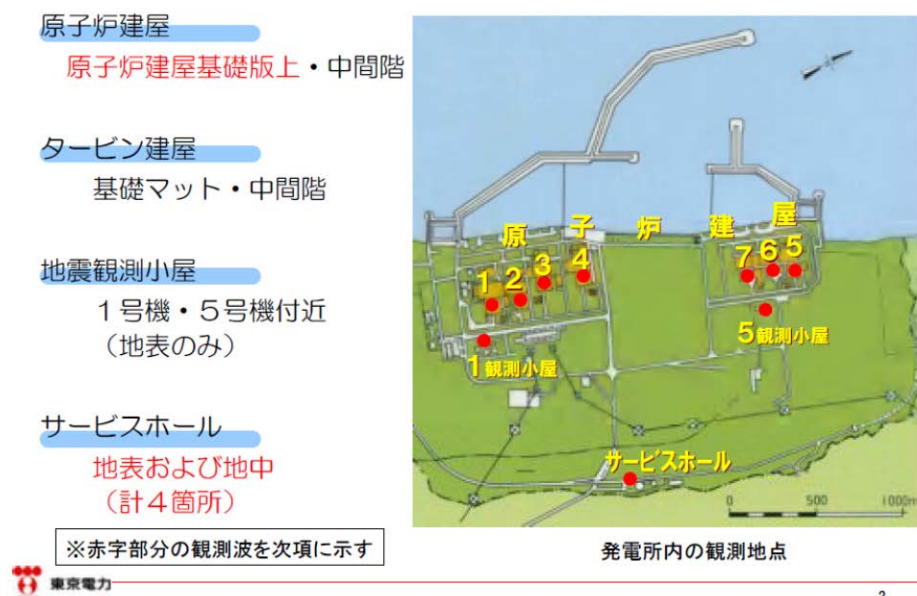
平成26年3月29日付愛媛新聞

第6 2007年新潟県中越沖地震の知見（地盤による増幅の問題）

1 2007年新潟県中越地震とは

2007年7月16日、新潟県の中越沖に地震が発生した。この地震のマグニチュードはMj 6.8であったが、想定以上の地震動が東京電力柏崎・刈羽原発を襲った。地下の岩盤での揺れが1699ガルだったと東京電力によって推計されている。柏崎・刈羽原発は、7機の前発が次のような配置で並んでいた。

観測地点の概要



柏崎・刈羽原子力発電所における平成19年新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析及び基準地震動について 平成20年11月4日 東京電力

<https://www.nsr.go.jp/archive/nisa/shingikai/107/4/022/22-2-5.pdf>

その際の、観測された地震動及び解放基盤表面での加速度（はぎ取り波）は、次のとおりとされた。

1) 敷地内の観測記録に基づく検討

原子炉建屋基礎版上での観測記録と推定された解放基盤表面での加速度の比較

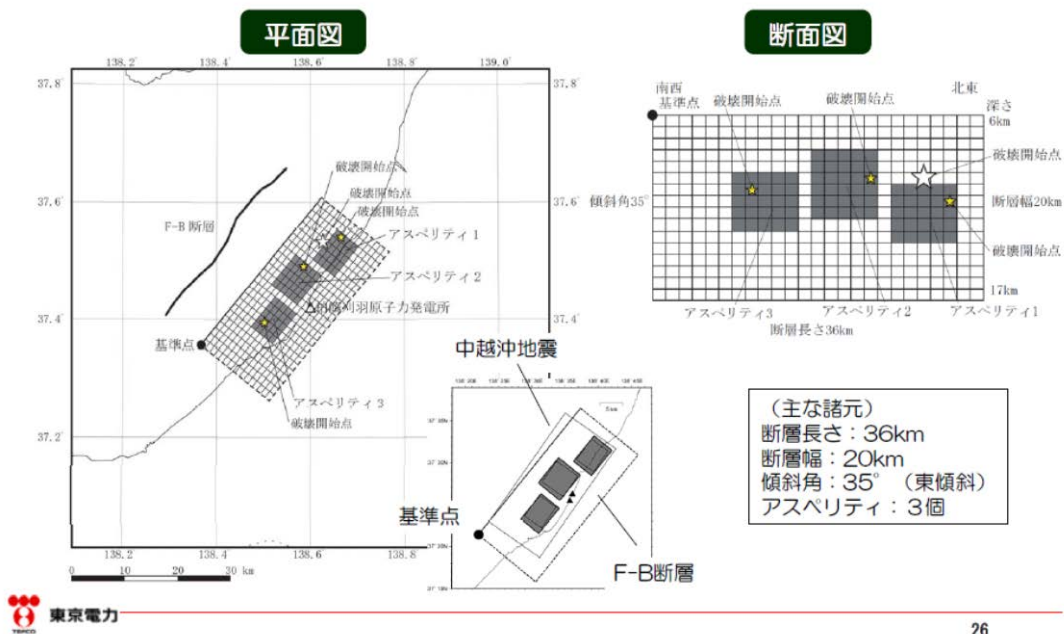
<EW方向>

	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	7号機
原子炉建屋基礎版上での観測記録 (Gal)	680	606	384	492	442	322	356
推定された解放基盤表面での加速度 (Gal)	1699	1011	1113	1478	766	539	613

東京電力の解析では、この地震は、次のような地震だったとされている。

F-B断層の断層モデルの構築⑤

断層モデル (断層長さ36km)



中越沖地震の震源インバージョンと F-B 断層の地震動評価について 平成 20 年 10 月 20 日

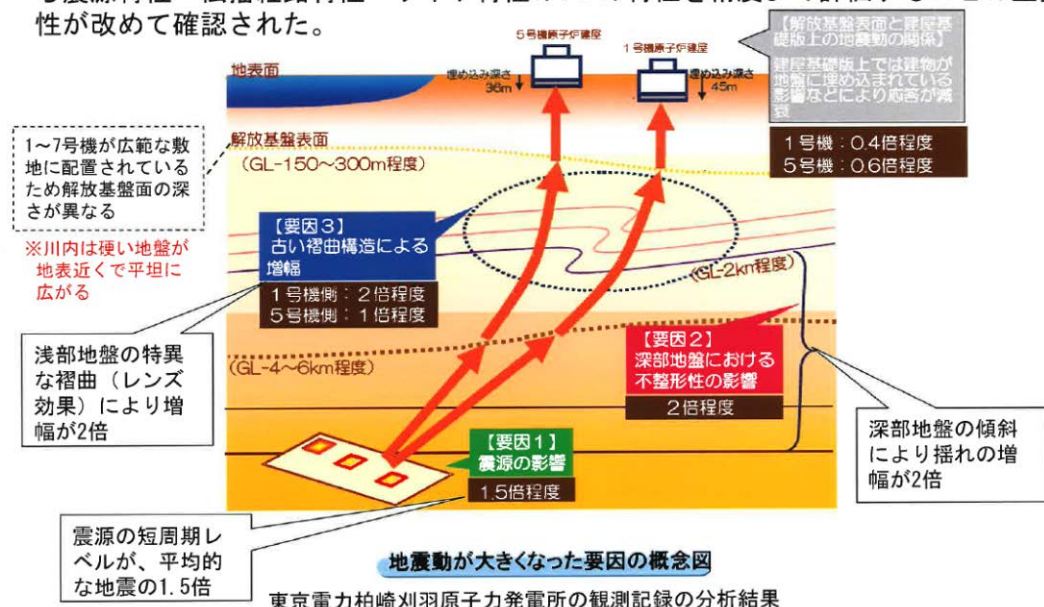
<https://www.nsr.go.jp/archive/nsc/senmon/shidai/kaisekigijutu/kaisekigijutu02/siryo3.pdf>

各アスペリティの応力降下量は、アスペリティ 1 が 25MPa、アスペリティ 2 が 21MPa、アスペリティ 3 が 20MPa とされている。

その要因として、東京電力は、以下のとおり推定している（川内原発仮処分における債務者（九州電力）のプレゼン資料）。

2.4 基準地震動を超える地震動を観測した4地震の分析

- 2007年新潟県中越沖地震は、逆断層型の内陸地殻内地震であり、ひずみ集中帯で発生した地震である。
- 2007年新潟県中越沖地震の東京電力柏崎刈羽原子力発電所の観測記録による分析から震源特性・伝播経路特性・サイト特性の3つの特性を精度よく評価することの重要性が改めて確認された。



45

2 中越沖地震についての電力会社の解析の問題点

上の分析のうち、東京電力は、地盤による増幅が、浅部地盤と深部地盤とで起こり、1～4号機側では、それぞれ2倍（合計4倍）になった、一方、5～7号機では浅部地盤での増幅はなく、地盤による増幅は2倍にとどまったと推定している。このような地盤の特性による増幅は、従前は一切想定されていなかった。

そして、震源の短周期レベルも1.5倍だったと推定されており、アスペリティの応力降下量もそれに応じて1.5倍だったとされている。

しかし、これらの推定はあくまで推定に過ぎない。2倍、2倍、1.5倍という数字が丸い数字で表されていることは、この数値が、それほど厳格に算出され

たものではないことを表している。

波は、波の速度が変化する面が曲がっていることによって増幅したり減衰したりする。レンズは、ガラスの中を進む光の速度が空気中より遅いことと、ガラスと空気との境界面が曲がっていることによって発散したり収束したりするが、地震波も波であるので、地盤の中の地震波の伝わる速度による増幅は、そこを進む地震波の速度の変化によってもたらされる。この地盤の中の地震波速度分布がどのようなになっているかを「速度構造」という。一般的に固くしまった地盤では地震波速度が大きく、圧力の高くなる深い地盤ほど地震波速度が大きくなる。地層が違えば地震波速度も違うとは必ずしも言えないから、地層は直ちには速度構造に反映するものではなく、たとえば浜岡原発では、中部電力は、大きく褶曲していた地層の構造とはかかわりなく、速度構造は、深ければ深いほど地震波速度が大きくなるという「成層構造」だと説明していた。東京電力の上記の説明は、反射法地震探査による地層構造をそのまま速度構造だとするもので、中部電力の浜岡原発地下の速度構造の説明からしても、正しいかどうかは不明であり、地層の褶曲が地震波を増幅させたという説明は、単に「説明」してみたという域を出ない十分な実証性に欠けるものであった。

さらに、東京電力は1～4号機と5～7号機までを、ひとまとめにして検討しているが、しかし、はぎ取り波は、1号機1699ガル、2号機1011ガル、3号機1113ガル、4号機1478ガルとかなりのばらつきがある。1号機の地震動は2号機の地震動の168%、3号機は110%、4号機は146%の地震動となっている。極く近傍の4機の原発の地震動が、これほどバラバラで凸凹であることについては、説明もされていないし、そもそも、検討も一切されていない。

1～4号機と5～7号機は900m程度離れており、この2群の原発での地震動が異なる問題よりは、これだけ近傍の複数の観測点の地震動が、これほどまでにバラバラであることの方が深刻な問題である。

5号機から7号機も実は同様であり、5号機の地震動は6号機の地震動の142%であるが、7号機になるとそれが6号機の114%となっている。

しかも、この地震動のバラツキ方からすると、そもそも1号機の1699ガルが、この近辺、たとえば周囲何kmかの領域での最大地震動であるというわけに

はいかなくなる。たまたま 1 号機の地震動が最大地震動である可能性は、極めて少ない。

そうすると、この近辺の最大地震動がどれだけかを、さらに検討することが必要であり、その最大地震動が、ひいては震源特性にも、響いてくるはずである以上、この点を検討することが最低限求められる。そのためには、少なくとも、もっと詳細で、この地震動のバラツキを、客観的裏付けをもって説明できる地盤モデルの構築のための調査が行われる必要がある。

結局、中越沖地震の（解放基盤表面での）真の最大地震動は、現時点では分からない。1699ガルが最大地震動だと思っただけとはいけない。それが最大地震動である可能性はほとんどゼロである。そこで、現時点で何か結論を出すなら、この点の不確かさ（誤差）の検討が必須である。

ここから言えることは、中越沖地震は、局所的に極めて大きな地震動を発生させたということであり、わずかに離れた場所でも、大きな地震動の変動があるということである。そして、その真の詳細は、分かっていない。

東京電力は、この 1～4 号機間、5～7 号機間の地震動のばらつきについて、そもそも検討しようとしていないが、このことは、このばらつきの原因追求が、極めて困難であることの現れでもある。ばらつきの状況からすれば、比較的浅い地盤に原因があるものと推定できるが、現実起こった地震での、比較的浅い地盤での地震動増幅原因の有無についても、結局のところ正確には分からないというのが、現在の科学の水準なのである。

3 速度構造を知るための多数の調査手法の存在

地下の地震波の速度構造を知る調査手法には、多数の手法が存在する。反射法地震波探査、屈折法地震波探査、P S 検層、微動アレー探査、オフセット V S P 調査などである。これら調査手法は、それぞれ一長一短があり、だからこそ一つの手法ではなく、種々の手法が用いられる。種々の手法が用いられること自体、確実な速度構造を知る手法がないことを示していると言うことができる。特に深い領域では精度よく確実な速度構造を知る手段がないものと思われる。東京電力が、反射波地震波探査の結果の地層構造を、そのまま速度構造だとしたのは、その表れである。多数の手法があるという点を、誤差の観点で見れば、この地震波速度構造を調査する手法にも、大き

な誤差があるということとなる。したがって、各調査手法での誤差評価も必要となるが、各調査手法における誤差評価はなされていない。

要するに、地下での地震波の増幅は、実際、地震が起こってみなければ、本当のところは分からないのであり、いかに事前に調査をしたとしても、そこには限界があり、大きな誤差があるのである。

第7 新規制基準においても地震動想定手法は従前のままであり、原発の安全性は到底確保されないこと

1 新規制基準においても地震動想定手法は従前のままであること

では、3・11福島第一原発事故を受けて、原発の地震動想定手法は変更されたか。結論から言えば、否であり、何ら見直しはされていない。

いわゆる新規制基準のうち、基準地震動の想定や耐震設計に関する「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」

http://www.nsr.go.jp/nra/kettei/data/20130628_jitsuyoutaishin.pdf

を見ると、地震動想定手法は、福島第一原発事故以前と同一であり、従前の考え方をほぼ踏襲しており、しかも、一部ではむしろ後退しているところも存在する。

同ガイドでは、多くの点で「適切に」評価することを確認する等とされているにすぎない。

例えば、同ガイドの「3.3 地震動評価」のみを見ても、
「適切に評価されていることを確認する」、
「適切に設定され、地震動評価がされていることを確認する」、
「適切に選定されていることを確認する」、
「適切に考慮されていることを確認する」、
「適切な手法を用いて震源パラメータが設定され、地震動評価が行われていることを確認する」

など、「適切に」といった文言が実に22ヶ所に及んでいる。

また、同ガイドの「4. 震源を特定せず策定する地震動」以下においても同様であり、多数の「適切に」といった用語が用いられている。

このように極めて多数の項目において「適切に」行う等とされているが、そこでは、何が適切かは全く記載されていない。

断層や地震動の評価において、「適切に評価する、設定する」のは当然のことであり、ことさら審査の基準として「適切に行うように」等と規定する必要はない。

それが審査の基準となるためには、何が適切かをどう判断するかが記載されていることが必要であるのに、具体的な審査の基準の記載がない「審査ガイド」は、全く基準の名に値せず、結局、規制委員会が、どのような審査をしようとしているかは、この「審査ガイド」ではほとんど分からない。

2 従前と同じ手法で地震動想定を続ければ、 S_s を上回る地震動が原発を襲うこと

その結果、原子力事業者による地震動想定においても、現在も相変わらず、平均像を基本として地震動想定をしようとし、それに若干の「不確かさの考慮」をして地震動を算出しており、従来と何ら変わりがないものとなっている。

ちなみに、「不確かさの考慮」でもっとも効くのは短周期レベルを1.5倍することであり、他の「不確かさの考慮」は、地震動の大きさにさしたる影響を与えない。

この短周期レベルを1.5倍にすることにとどめることこそ、前述した中越沖地震の知見を単なる中途半端な弥縫策として用いることにほかならない。

要するに、新規制基準のもとでも、その手法は全く変わっていないのである。

本来、地震動想定に失敗した原子力安全委員会、原子力安全・保安院や原子力事業者は、なぜ想定に失敗したかの原因を追求し、新たな想定手法を採用して、改めて地震動想定を行うべきなのに、単に結果としての地震動の数値を変えて対応しただけだった。

失敗に学ぼうとする姿勢が、原子力安全委員会にも、原子力安全・保安院にも、原子力事業者にも全く欠けていたのである。

そして、このことは、原子力規制委員会が設けられた現在においても同様と言わざるをえない。

このように、失敗した原因を追求せずに、失敗したのと同じ手法で地震動想定を続けていけば、いずれは、大きく S_s （新耐震指針における基準地震動）を上回る地震動が原発を襲うこととなる。

3 「過去最大（既往最大）」を超えることも十分にあり得ること

基準地震動(S_s)の策定は、耐震設計の要である。その要である基準地震動(S_s)

をどこまで上回る地震動が原発を襲うか分からないのでは、そもそも耐震設計のしようがない。

原発の機器・配管のどこが地震に耐えられないか、地震に耐えられない機器・配管が破壊された時にどのような結果となるか等という議論は、全て、襲来する地震動の大きさが分かってからでなければ、なしようがない。

とりわけ、平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震により、津波があれほど想定を大きく上回ってしまった原因は、自然現象が過去最大（既往最大）を容易に超えうることを無視したことにある。ここで、「過去最大（既往最大）」と言っても、それは、たかだか数100年程度の知見でしかない。津波堆積物を考えても、せいぜい1000年～2000年程度の知見でしかない。要するに、そもそも、「過去最大（既往最大）」の知見を得ること自体、容易なことではないが、さらに、その「過去最大（既往最大）」を超えることも十分にあり得る、ということである。

4 失敗した従前の手法のままでは、原発の安全性は到底確保されないこと

以上に述べたとおり、2011年東北地方太平洋沖地震及び福島第一原発事故を踏まえれば、少なくとも、基準地震動(S_s)の策定は、少なくとも「既往最大」を基礎とした上で、さらにその「既往最大」を超える地震・地震動・津波が発生する可能性のあることを前提にして想定を行うことが求められているというべきである。

しかしながら、規制機関たる国も、原子力事業者も、失敗した従前の手法を繰り返しているだけである。

国も、原子力事業者も、何らの反省もなく、失敗した従前の手法を漫然と繰り返し、基準地震動を策定している。このような、過去の失敗に学ぼうとしない手法のままでは、原発の安全性は、到底、確保されようがないのである。

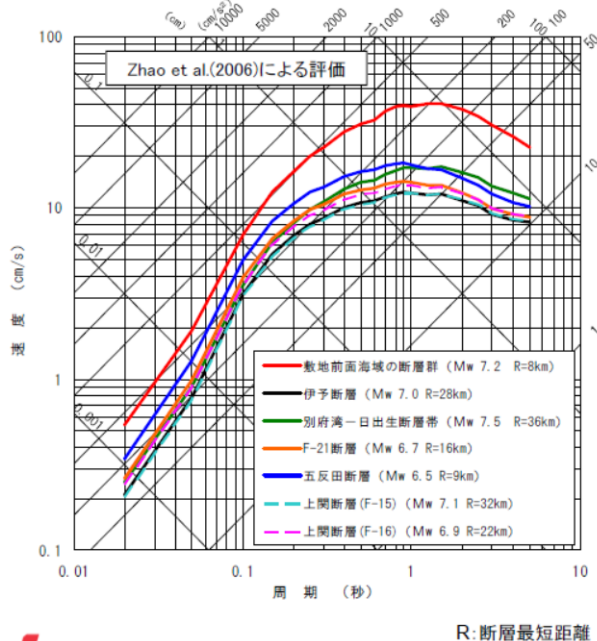
第3章 本件原発の耐震設計

第1 応答スペクトルに基づく手法

1 内陸地殻内地震

まず、各断層で発生する内陸地殻内地震のマグニチュードの推定の問題がある。

【内陸地殻内地震】



地震規模は基本的に断層長さから松田式で設定する。

ただし五反田断層は、審査ガイドに示される「震源を特定せず策定する地震動」の考え方に鑑み、 $M_w 6.5$, $M_0 = 7.5 \times 10^{18} [N \cdot m]$ の地震規模を想定した。

中央構造線断層帯による地震は、敷地前面海域の断層群 ($L=54km$) で代表させて検討



敷地前面海域の断層群 ($L=54km$) による地震が、五反田断層やF-21断層による地震など、他の敷地周辺の断層による地震と比較して、敷地により大きな影響を与えることを確認。



敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯)による地震
を検討用地震として選定



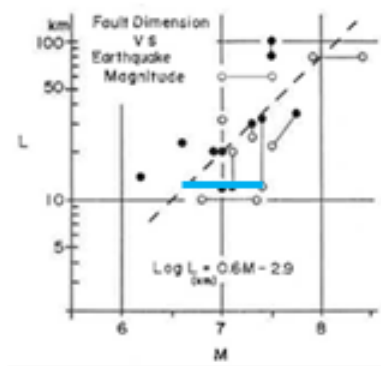
(伊方発電所 地震動評価について 平成27年3月20日 以下も同じ)

ここで記載されているように、「地震規模は基本的に断層長さから松田式で設定する」こととされている。ただし「五反田断層は、審査ガイドに示される「震源を特定せず策定する地震動」の考え方に鑑み、 $M_w 6.5$ ・・・の地震規模を想定した」とされている。

すでに述べたように、松田式は平均像を導くものでしかなく、そこには大きな誤差があるから、原発の耐震設計に用いることを考えれば、平均像からの最大のかい離を考える必要がある。松田式によるかい離は、少なくとも既往最大でMで1.0ほどの差となり、そのときの地震動の大きさは(エネルギーで3.2倍であるので、その1/3乗できいてくるから)3.17倍の差となる(M1.2の差であれば4倍の差)。

応答スペクトルに基づく手法の出発点のマグニチュードの算出

松田式(断層の長さとマグニチュードの関係式)を使う
誤差が極めて大きい



増ほか(2001)の式

$$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$$

Mの差と短周期地震動の差

M0.2の差 ⇒ 2の1/3乗倍 = 1.26倍

M0.4の差 ⇒ 4の1/3乗倍 = 1.59倍

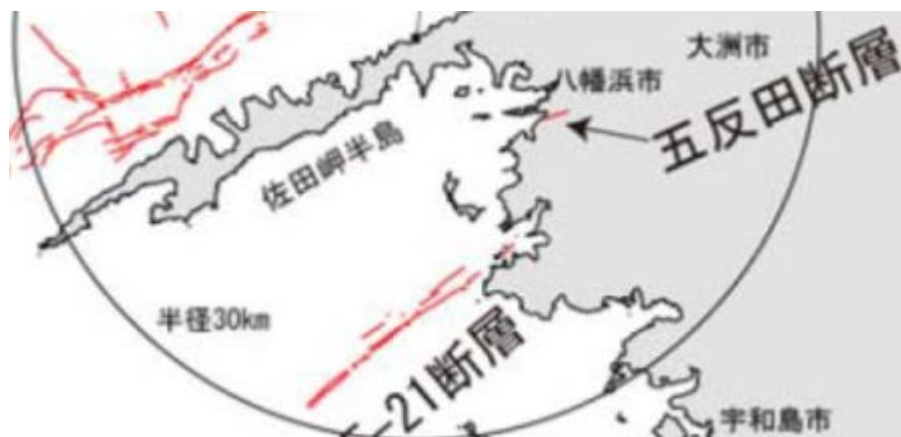
M0.6の差 ⇒ 8の1/3乗倍 = 2倍

M0.8の差 ⇒ 16の1/3乗倍 = 2.51倍

M1.0の差 ⇒ 32の1/3乗倍 = 3.17倍

上図で示した誤差は「既往最大」でしかない
さらに大きな誤差も考える必要がある

ちなみに五反田断層は、次の位置にある断層で、海岸線で途切れてしまっている。



浅い海域では精密な音波探査が困難であることから、海岸線で断層が途切れざるをえないから、この五反田断層はもっと西に続いていると考えるのが相当であり、地形的にも東方では王子の森公園を超えてさらに東方に、西方では諏訪崎から佐島にかけて、ずっと直線的な地形が続いていることからして、さらに長い断

層である可能性は考える必要がある。



そうすると、断層の長さが長くなるだけではなく、断層と敷地との距離も近くなる。その点はおくとしても、審査ガイドでの「震源を特定せず策定する地震動」の規定では、「孤立した長さの短い断層による地震」は、 $M_w 6.5$ 以上とされており、この審査ガイドの考え方に鑑みれば、 $M_w 6.5$ では不足、 $M_w 6.6$ とか 6.7 程度は想定することが必要である。要するに、 $M_w 6.5$ では、審査ガイドの考え方からしても過小である。

上の図は Zhao 他 (2006) による評価であるが、応答スペクトルに基づく手法の誤差は、発生する地震動自体にバラツキがあることによるから、この手法にも耐専スペクトルと同程度の誤差があると考えられ、そうすると、ここでも少なくとも4倍程度、さらに $+3\sigma$ 以上の誤差を考えれば10倍の地震動を考えなければならない。F-21断層を例に見れば、上図で地震動は80ガルほど（上図の左端の値）であるが、10倍で800ガル、松田式の誤差を3倍とすればさらに3倍の2400ガルとなる。周期0.1秒から0.2秒付近を見れば、F-21断層も五反田断層も300ガル付近になっている（右上から左下に引かれた線で読む）が、10倍とするだけで3000ガル前後となり、この付近で、基準地震動を大きく上回るようになってしまう。敷地前面海域の断層群（中央構造線）は、五反田断層、F-21断層を上回る地震動となるとされており、地震動自体として200ガル近い値となっているが、この値を10倍しただけで2000ガルとなってしまふ。

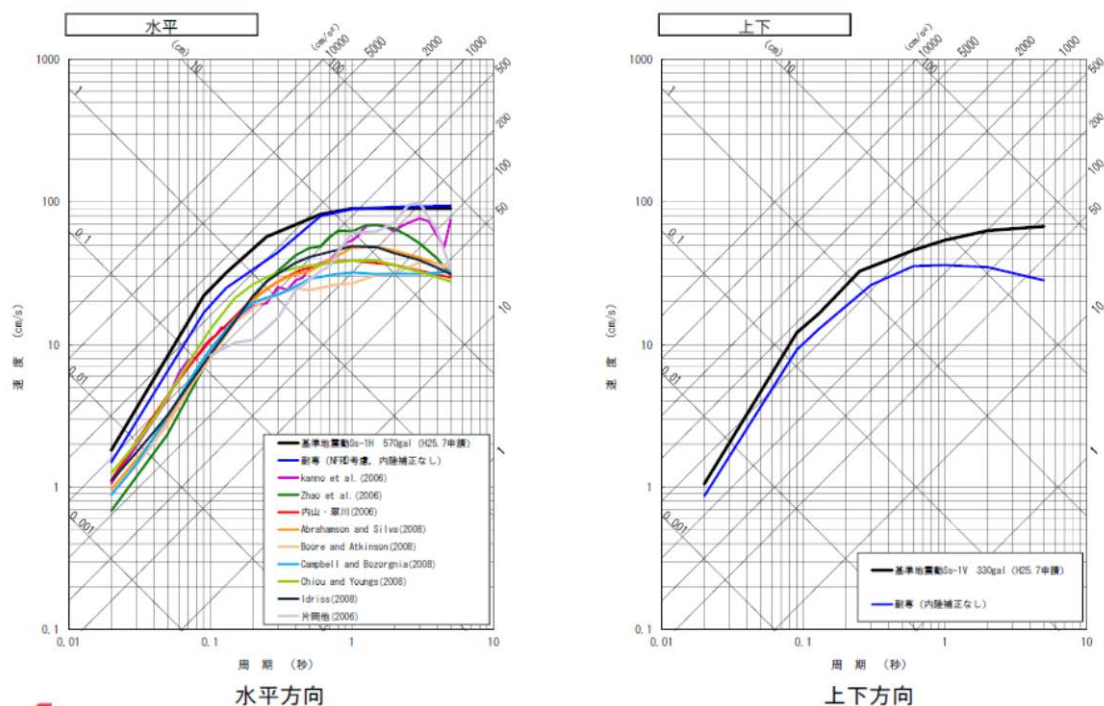
Zhao 他 (2006) の手法自体、下図のとおり、他の手法に比べて比較的小さな値を導く手法であるが、この手法の値を出発点としたとしても、それでもこれだけの大きな地震動を想定すべきこととなってしまうのである。

下図は、480km基本震源モデルの評価結果の図であるが、その中の耐専スペクトルでの値を、平均像からのかい離を考え4倍にすれば約2000ガル、10倍にすれば約5000ガルとなり、大幅に基準地震動を超える値となる。

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

内陸地殻内地震の地震動評価 —評価結果(480km 基本震源モデル)—

平成26年11月7日
審査会合資料再掲



※申請時の基準地震動Ss-1(570Gal)を超過したケースのみを掲載

75

2 海洋プレート内地震

海洋プレート内地震（スラブ地震）は、深部で発生する地震であり、地下の圧力の高い領域で発生するので、短周期の地震が発生しやすい。しかし、その観測記録は少なく、最大どれだけの規模の地震が海洋プレート内地震として発生するかは予測は困難である。

被告の想定するケースは次のとおりである。

断層モデル図とパラメータ表は<添付資料>参照

No.	検討ケース	震源モデルの設定条件					備考
		地震規模	断層面の位置	破壊開始点	アスベリティの位置	傾斜角	
—	検討用地震 1649年安芸・伊予の地震	M6.9	1649年の地震の 震央位置	— ※	— ※	— ※	
0	基本震源モデル 想定スラブ内地震	M7.0 既往最大	敷地真下	破壊開始点 2箇所	海洋マントル上端に 配置	90°	
1	芸予地震の知見を反映 芸予地震モデル	M7.0 既往最大	敷地真下	破壊開始点 3箇所	2001年芸予地震の知見 2001芸予 2001芸予 55° W		2001年芸予地震の再現 モデルをM7.0にスケール アップ
2	アスベリティ深さの不確かさ アスベリティ上端モデル	M7.0 既往最大	敷地真下	破壊開始点 2箇所	アスベリティを断層 上端（海洋性地殻上 端）に配置	90°	
3	地震規模の不確かさ M7.2モデル	M7.2	敷地真下	破壊開始点 2箇所	海洋マントル上端に 配置	90°	
4	共役断層を考慮 敷地東方の低角共役断層	M7.4	敷地東方	破壊開始点 2箇所	海洋マントル上端に 配置	30° (低角共役断層)	

※：検討用地震の選定では断層最短距離を用いた距離減衰式で影響評価を行ったため想定していない

 : 予め基本震源モデルに織り込む不確かさ
 : 不確かさを考慮するパラメータ



上記の基本震源モデルは既往最大をとってM7.0とされ、地震規模の不確かさでM7.2のケースも評価している。しかし、M7.2でとどまる根拠はなく、さらにずっと大きな地震が発生する可能性は否定できない。

また、耐専スペクトルに用いる補正係数を検討するとして、次の図が示されている。

○パラメータ設定(地震規模・距離)

【地震規模】

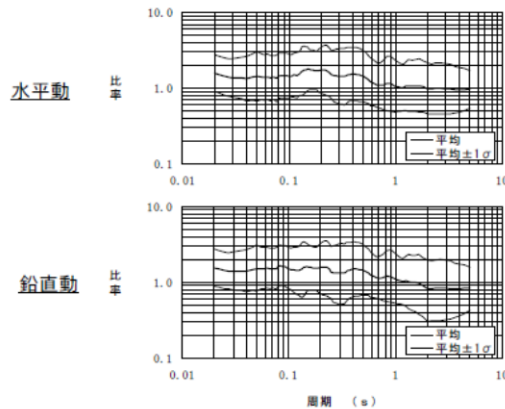
各解析ケースにおいては、地震規模を与条件としているため、この値を用いる。

【距離】

耐専スペクトルにおいては、断層の不均質破壊を考慮して算出した等価震源距離 X_{eq} を用いる。

○耐専スペクトル(Noda et al.(2002))に用いる補正係数

敷地周辺に比較的規模の大きい観測記録(下表)があるため、解放基盤表面のはざとり波の応答スペクトルを求め、それらをNoda et al.(2002)により求めた応答スペクトルで除して補正係数とした。



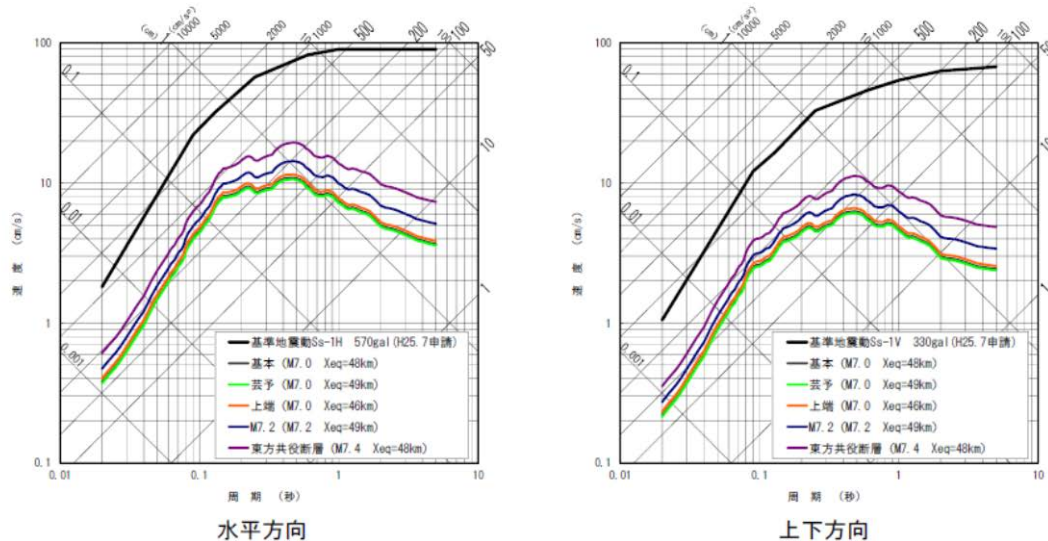
補正係数の算定に用いたM5.1以上の海洋プレート内地震

番号	震央位置 または地震名	発生日時	M	深さ (km)	震央 距離 (km)
1	周防灘	1979年7月13日	6.0	70	47
2	大分県北部	1983年8月26日	6.6	116	66
3	愛媛県南予	1985年5月13日	6.0	39	61
4	伊予灘	1988年7月29日	5.1	53	28
5	伊予灘	1991年1月4日	5.3	58	6
6	愛媛県南予	1993年8月14日	5.3	47	27
7	伊予灘	1993年8月31日	5.1	62	19
8	2001年芸予地震	2001年3月24日	6.7	46	80
9	安芸灘	2001年3月26日	5.2	46	78
10	豊後水道	2001年4月25日	5.7	39	77



上図で見ると、いずれも特に短周期で、耐専スペクトルを相当に上回る地震動となっていることが分かる。また、上図には $\pm\sigma$ の範囲が示されており、おおむね平均の2倍と $1/2$ の値程度となっている。ここでも、 $+\sigma$ で2倍程度となっていて、耐専スペクトルと同程度のバラツキがあることが分かる。したがって、 $+2\sigma$ で4倍、 $+3\sigma$ で8倍という値となるから、せめて平均的値の10倍程度はとらなければならないという、一般論で述べたものと同じ結論が導かれる。

そこで、その評価結果を見ると次のとおりである。



ここで、基本ケースとされているものであっても、おおむね120ガル、M7.2のケースで150ガル、M7.4の東方共役断層で200ガルほどとなっている。そこに10倍をかければ、東方共役断層で2000ガルほどに達する。

その上で、地震規模についての誤差も考慮する必要がある、マグニチュードで0.6の誤差があるとすれば、地震動の大きさはさらに2倍と想定すべきこととなる。海洋プレート内地震のデータが極めて少ないことからすれば、このM0.6の誤差は、比較的控えめな誤差推定と言わなければならないが、それでも、東方共役断層で4000ガルの地震動を想定すべきこととなる。

第2 断層モデルを用いた手法

1 内陸地殻内地震

内陸地殻内地震については、下記のとおり、壇・他(2011)を基本とし、他の手法も不確かさの考慮として行っている。しかし、いずれにしても、スケールリング則を用いて、平均像を求める手法であることには変わりがなく、その平均像が

らのかい離，すなわち誤差を検討して評価し，その最大のかい離をとるという観点を完全に欠いて地震動評価がなされている。

$$\begin{array}{c} \text{断層長さ} \end{array}
 \left(\begin{array}{c} 480\text{km} \\ 130\text{km} \\ 54\text{km} \end{array} \right)
 \times
 \begin{array}{c} \text{考慮する不確かさ} \\ \left(\begin{array}{c} \text{①応力降下量} \\ \text{②北傾斜} \\ \text{③南傾斜} \\ \text{④破壊伝播速度} \\ \text{⑤アスベリティの平面位置} \end{array} \right) \end{array}$$

パラメータ設定に用いるスケーリング則は，壇・他(2011)を基本とする。

そして，480kmと130kmについては，Fujii and Matsu'ura(2000)も用いて不確かさを考慮した検討を実施する。

54kmについても，入倉・三宅(2001)を用いて不確かさを考慮した検討を実施する。



ここで，壇・他（2011）のスケーリング則を見ると，次のとおりである。

壇・他(2011) 種々の関係式

○破壊領域の面積と地震モーメント

「Murotani et al.(2010)による関係式と本論文で得られた関係式はほぼ同じ。」

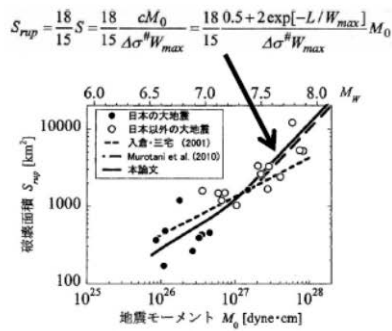


図5 破壊面積と地震モーメントとの関係

○短周期レベルと地震モーメント

「壇・他(2011)による値が、データの平均に比べてやや上にきている」「これは横ずれ断層による内陸地震の短周期レベルが逆断層による内陸地震の短周期レベルより系統的に小さいためである」

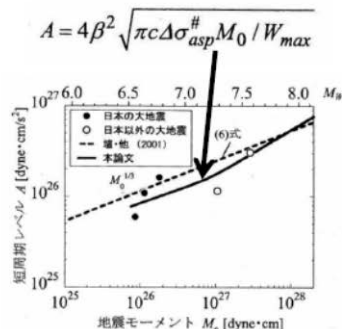


図6 短周期レベルと地震モーメントとの関係

○すべり量と断層長さ

「平均すべり量Dは、震源断層長さが約80kmを超えるとほぼ300cmで一定となる」

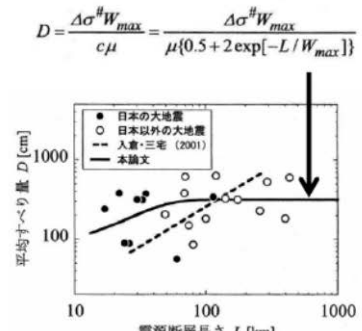


図7 平均すべり量と震源断層長さとの関係



21

スケーリング則のもととなったデータのバラツキは、やはり極めて大きい。また、もととなったデータ自体が、極めて少なく、特に日本の「大地震」とされるもののデータは、1つだけ長さ100km超、Mw7.2ほどのものがあるだけで、Mw6.5～7.0程度の比較的小さな地震のデータしかない。これだけのデータで導かれたスケーリング則の、しかもその平均像で地震動想定はなされているのである。

この壇・他(2011)のスケーリング則に地域特性があるか否かを検討するなら、そもそも日本ではM7.0を超える地震は2つしか存在なく、長さも100kmをいくぶんか超える程度のものが1つあるだけしかない。したがって、地域特性からすれば、日本では、本件で問題となるような中央構造線の130km、まして480kmの断層にこのスケーリング則を適用すること自体が誤りということになってしまい、データのバラツキなど論じようもない。いずれにしても、日本の記録だけを見ても、極めて大きなバラツキが見られる。それが、本件敷地付近で、このスケーリング則にバラツキがなくなるなどということは到底言えない。むしろバラツキがないとすれば、データが皆無なのでバラツキがない(バラツキ

を論ずる前提が存在しない) ということではない。

次に地震動評価を見れば下図のとおりとなっている (アスペリティの応力降下量を平均の 1.5 倍もしくは 20 MPa としたもの)。

しかし, スケーリング則のもととなったデータのバラツキを見れば, 平均の 1.5 倍程度の値では, 到底, バラツキの最大限をもカバーすることができない。上図からすれば, やはり平均の 3~4 倍程度の値は最低限想定することが必要である。すなわち, 被告の「不確かさの考慮」は, 起こりうる地震動の大きさからすれば, 全く不足するという事となる。

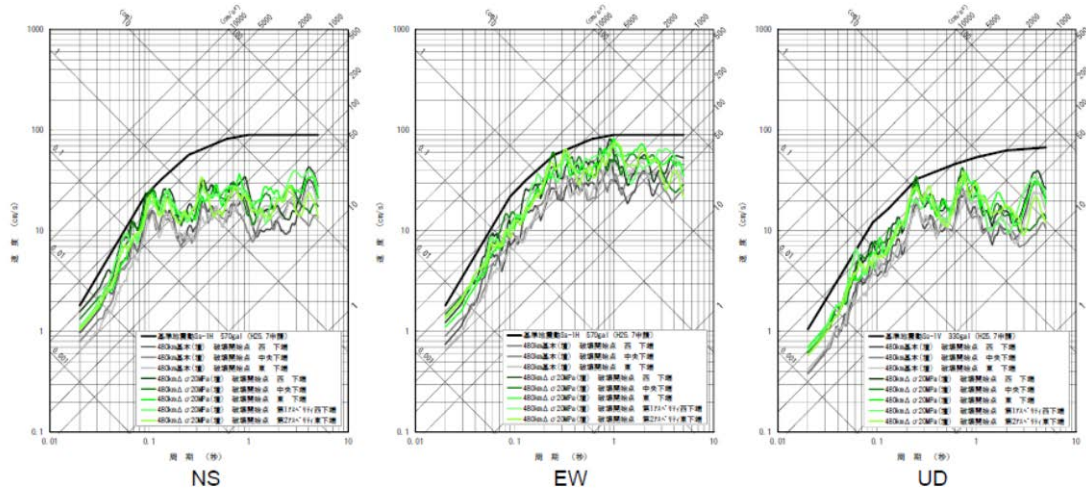
では, 実際の地震動想定の結果を見る。1 つは 480 km のケースで壇・他 (2012) を用いたもの, もう一つは 54 km のケースで, 入倉・三宅のスケーリング則を用いたものである。これらについて見ると以下のとおりである。

(壇・他(2012)で480kmケースの応力降下量の不確かさを考慮したケース)

4. 敷地ごとに震源を特定して算定する地震動

内陸地殻内地震の地震動評価 ―評価結果(480km 壇①応力降下量)―

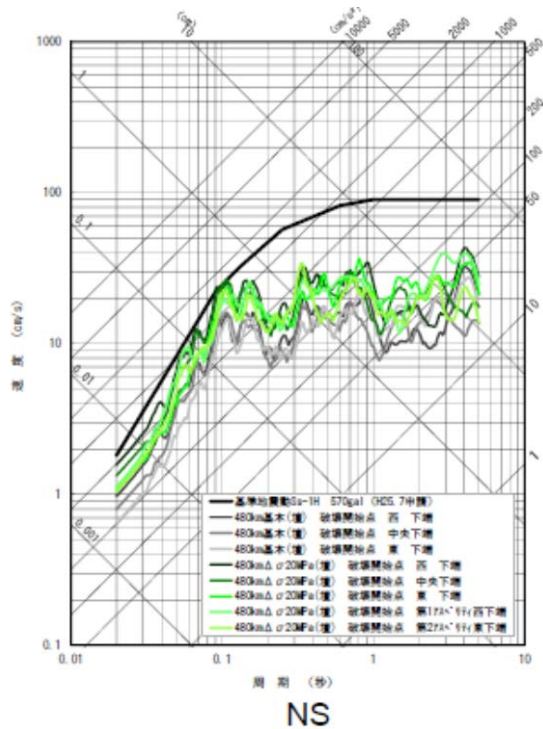
平成26年11月7日
審査会合資料再掲



※申請時の基準地震動Ss-I(570Gal)を超過したケースのみを掲載

82

上図のNS成分のものを拡大すると下記のとおりである。

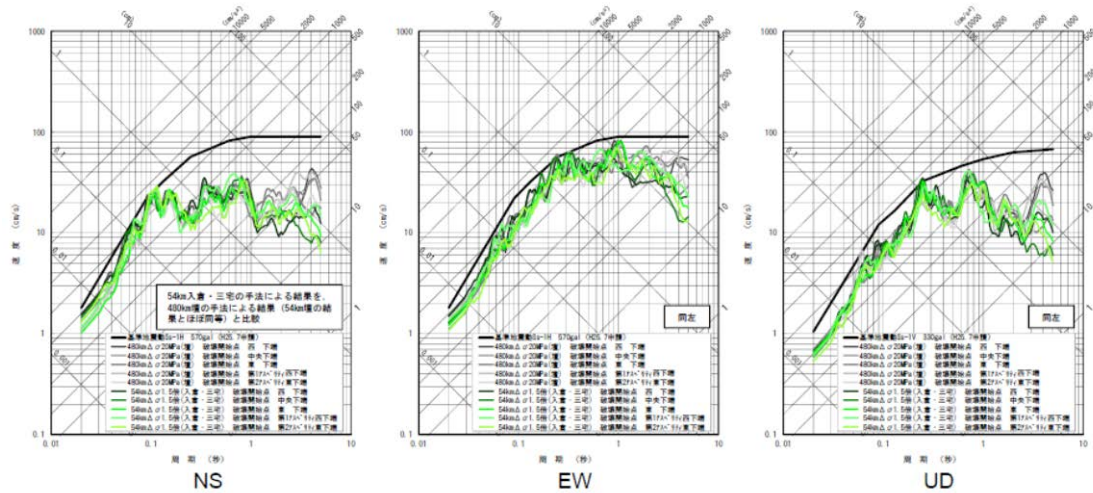


(入倉・三宅で54kmケースの応力降下量の不確かさを考慮したケース)

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

内陸地殻内地震の地震動評価 一評価結果(54km 入倉・三宅 ①応力降下量)一

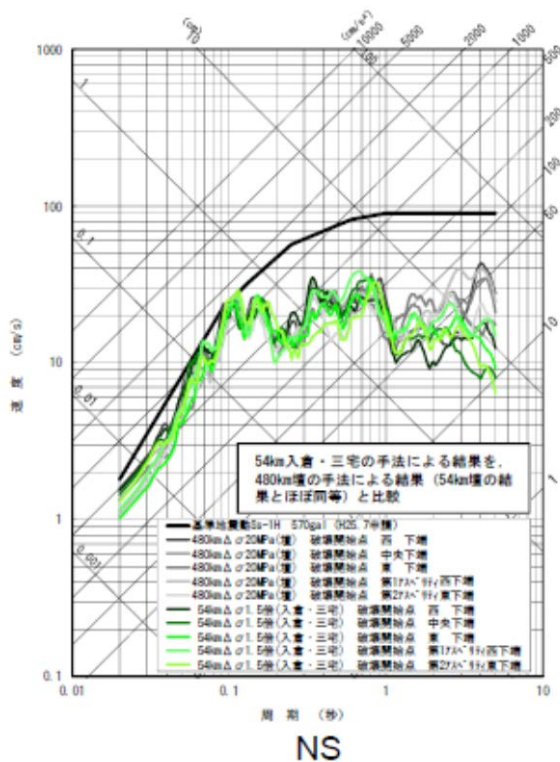
平成26年11月7日
審査会合資料再掲



※申請時の基準地震動Ss-I(570Gal)を超過したケースのみを掲載

86

上図のNS成分のものを拡大すると下記のとおりである。



これらの図を見れば、原発にとって重要な短周期付近ではほぼ基準地震動 $S_s - 1H$ の値に相当する値にすでに達している。したがって、これを6～7倍にすれば ($10 / 1.5$)、想定を大幅に超えた極めて厳しい地震動が原発を襲うことになる。図に左端で読むことのできる地震動そのものの値でも500ガルほどとなっているから、平均的値の10倍の地震動が来るものと考えれば、地震動としても3000ガル超の地震動となる。

2 海洋プレート内地震

海洋プレート内地震については、次のモデルによって地震動評価を行っている。

添付資料

海洋プレート内地震の地震動評価 ー地震動評価解析ケースー

No.	検討ケース	震源モデルの設定条件					備考
		地震規模	断層面の位置	破壊開始点	アスペリティの位置	傾斜角	
ー	検討用地震 1649年安芸・伊予の地震	M6.9	1649年の地震の震央位置	ー※	ー※	ー※	
0	基本震源モデル 想定スラブ内地震	M7.0 既往最大	敷地真下	破壊開始点 2箇所	海洋マントル上端に配置	90°	
1	芸予地震の知見を反映 芸予地震モデル	M7.0 既往最大	敷地真下	破壊開始点 3箇所	2001年芸予地震の知見 2001芸予 2001芸予 55° W		2001年芸予地震の再現モデルをM7.0にスケールアップ
2	アスペリティ深さの不確かさ アスペリティ上端モデル	M7.0 既往最大	敷地真下	破壊開始点 2箇所	アスペリティを断層上端（海洋性地殻上端）に配置	90°	
3	地震規模の不確かさ M7.2モデル	M7.2	敷地真下	破壊開始点 2箇所	海洋マントル上端に配置	90°	
4	共役断層を考慮 敷地東方の低角共役断層	M7.4	敷地東方	破壊開始点 2箇所	海洋マントル上端に配置	30° (低角共役断層)	

※：検討用地震の選定では断層最短距離を用いた距離減衰式で影響評価を行ったため想定していない

■：予め基本震源モデルに織り込む不確かさ
■：不確かさを考慮するパラメータ



（「平成27年3月27日付伊方発電所地震動評価について」添付資料）

このうち、芸予地震モデル以外は、全て（平均）応力降下量は15.37Mpa、アスペリティの応力降下量は（アスペリティの面積比を19.8%として）77.6Mpa となっている。芸予地震モデルについては、応力降下量は9.78MPa、アスペリティの応力降下量は（面積比を10%とするので平均応力降下量の10倍の）97.8Mpa とされている。芸予地震モデル以外は、基本的に海洋プレート

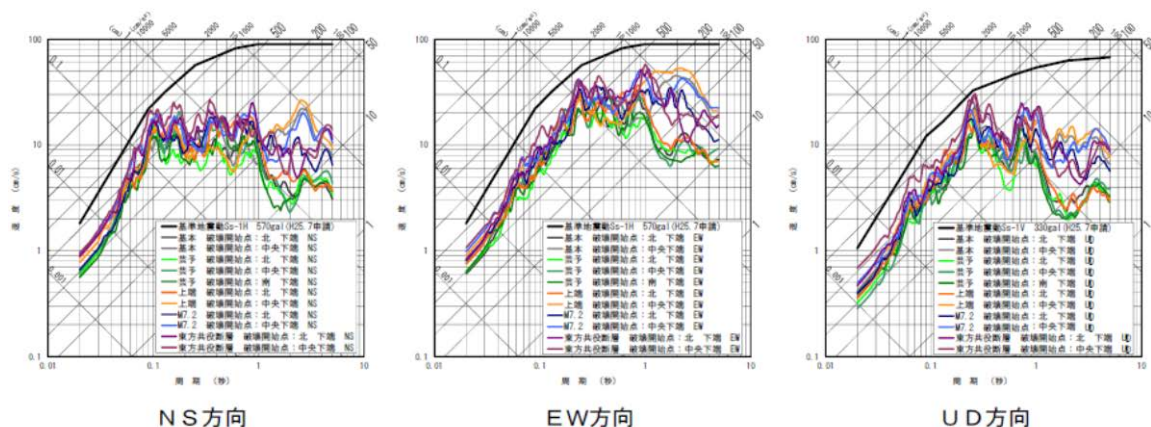
内地震の平均像であると思われ、芸予地震モデルについてはアスペリティの面積比を他のケースのおよそ半分としてアスペリティの応力降下量が大きくなっている。

その結果の地震動評価は次のとおりである。

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

海洋プレート内地震の地震動評価 ―断層モデルを用いた手法に基づく評価結果―

平成26年5月23日
審査会合資料一部修正



90

しかし、平均像であれば、平均からのかい離を考えるべきであるが、海洋プレート内地震では、短周期レベル1.5倍のケースも検討していない。応答スペクトルに基づく手法で見たように、平均の10倍程度は考える必要があることからすれば、1.5倍でも不足であるが、1.5倍にただでの上のNS方向の周期0.1秒付近で、 $S_s - 1H$ を超えてしまう。まして10倍にしたなら、基準地震動を大幅に超えてしまうことが確実である。

第3 基準地震動

本件原発の基準地震動は、応答スペクトルに基づく手法、断層モデルを用いた手法、震源を特定せず策定する地震動、それぞれに作られている。

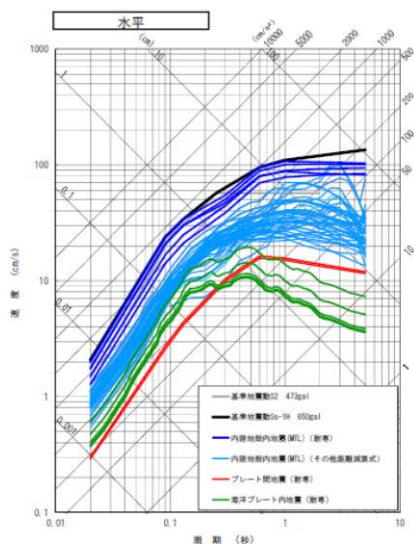
(応答スペクトルに基づく手法による基準地震動 $S_s - 1$)

6. 基準地震動の策定

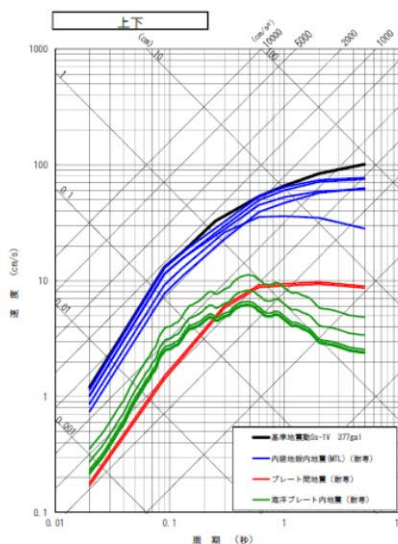
震源を特定して策定する地震動 — 応答スペクトルに基づく手法による基準地震動 $S_s - 1$ —

平成26年11月7日
審査会合資料再掲

○ 応答スペクトルに基づく地震動評価結果および基準地震動 S_2 を包絡するように、水平方向の「基準地震動 $S_s - 1H$ 」を新たに設定する。鉛直動については、 $S_s - 1H$ に対して、耐震スペクトルの鉛直方向の地盤増幅率を乗じて「基準地震動 $S_s - 1V$ 」を設定する。



水平方向



上下方向



113

(断層モデルを用いた手法による基準地震動 $S_s - 2$ 下図の7波)

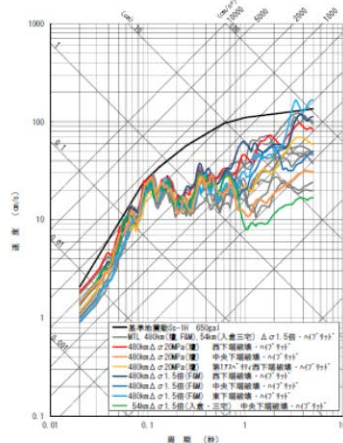
6. 基準地震動の策定

震源を特定して策定する地震動 — 基準地震動 $S_s - 2(1/2)$ —

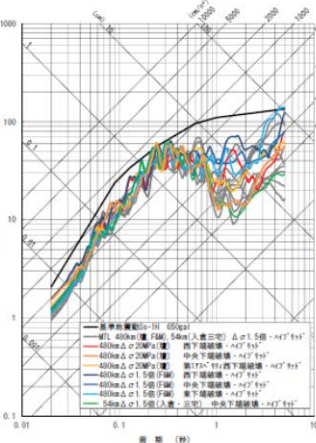
平成26年11月7日
審査会合資料再掲

- 480km × 壇 × 応力降下量, 480km × F&M × 応力降下量, 54km × 入倉・三宅 × 応力降下量ケースについて, 1.5Hz (周期0.6秒)より長周期側を波数積分法により算出し, 周期0.8秒を接続周期としてハイブリッド合成を行った。
- 前ページの経験的グリーン関数法の結果と比較して, NSやUDの長周期側ではハイブリッド合成法の方が大きめの傾向を示していることから, ハイブリッド合成法の結果を基準地震動として採用することとする。
- そして, 新しい基準地震動 $S_s - 1$ を超える7波を基準地震動 $S_s - 2$ として設定する。

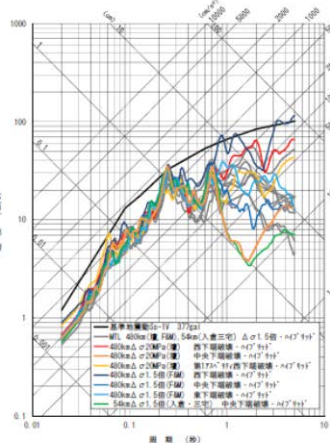
※1: 480km Δ 20MPa (壇) の第1アスベリティ西下端破壊のケースについては, EGFでは $S_s - 1$ を超過していないが, ハイブリッド合成の結果が超過したため, $S_s - 2$ として設定する。
※2: 54km Δ 0.15倍 (入倉・三宅) の西下端破壊のケースについては, 上下方向で $S_s - 1$ を超過するが, 超過する周期帯で480km Δ 0.15倍 (F&M) 西下端破壊のケースに包絡されるため, $S_s - 2$ には設定しない。



NS方向



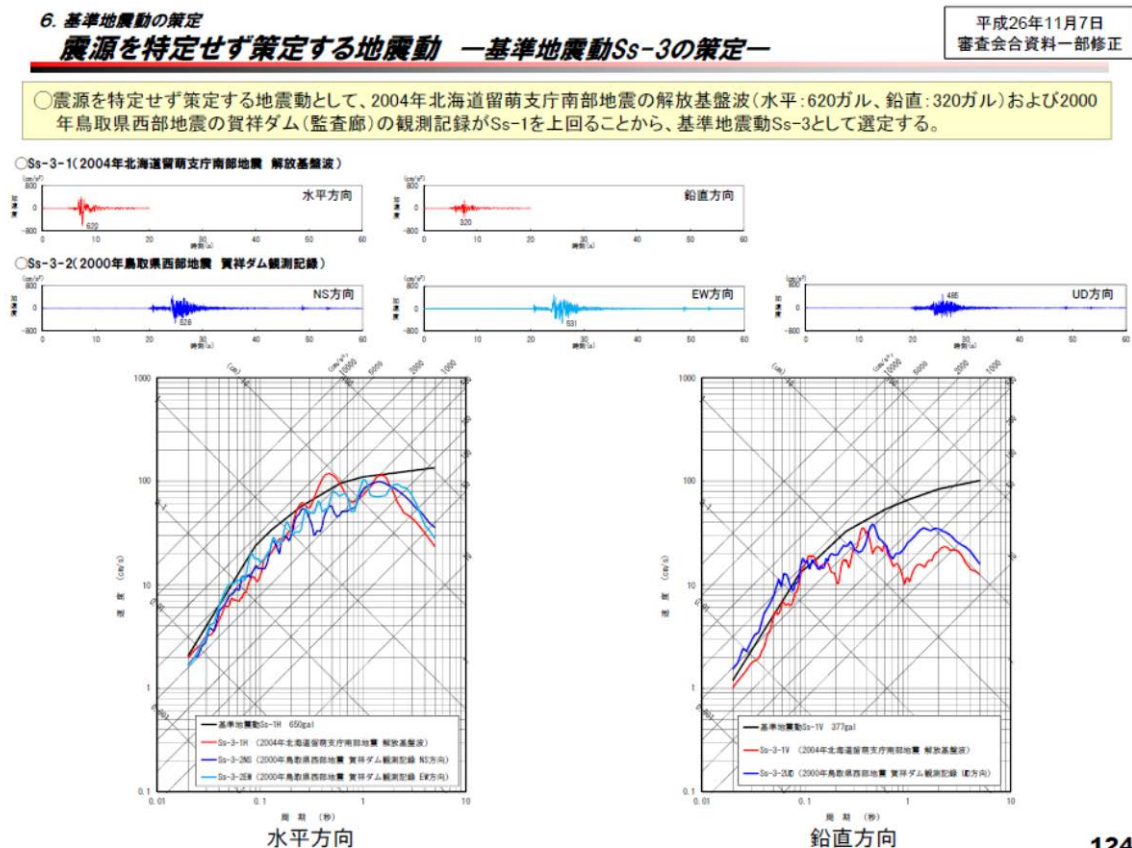
EW方向



UD方向

118

(震源を特定せず策定する地震動 S s - 3)



124

第4章 結論

1 原発の基準地震動は平均でなされており、著しい過小評価である

以上述べたとおり、原発の基準地震動は、既往地震の平均像+ α でなされており、著しい過小評価である。

「応答スペクトルに基づく手法」は、多数の地震・地震動の平均像を求めるものでしかない。代表的な「応答スペクトルに基づく手法」である耐専スペクトルを見れば、平均像の4倍程度の地震動をもたらす地震が現に存在するが、原発の耐震設計では、「応答スペクトルに基づく手法」が平均像でしかないことによる「不確かさの考慮」、具体的には平均像からのかい離(すなわち平均像であることによる誤差)は、一切考慮されていない。

「断層モデルを用いた手法」においても、実際には、同じ断層面積(S)の地震でも、地震モーメント M_0 、そこから導かれるアスペリティの応力降下量(これが短周期レベルの地震動を規定する)が4倍となる地震が現に発生している。

M_oが4倍になれば、アスペリティの応力降下量が4倍になるというのが強震動予測レシピの示すところであり、そうなれば地震動も4倍になると考えられる。また、アスペリティの全断層面積に対する比が平均的値である22%程度の半分であれば、それによっても、地震動はさらに2倍となってしまう。

また、断層面から敷地までの地震動減衰を示すグリーン関数にも、本来は大きな誤差があるはずなのに、これについても一切考慮されていない。これを最大限とるなら、さらに地震動想定は4倍程度にする必要がある。

電力会社が行っているのは、基本は、平均像としての地震動想定であり、それをプラス α した地震動を想定しているだけである。また実際に起こった地震についても、その知見を取り入れたとするが、それはせめて実際起こった地震程度には耐えられるようにしようとする、単なる弥縫策でしかない。

震源を特定せず策定する地震動においても、電力会社が採用してきた加藤ほか(2004)の応答スペクトルもデータが少なすぎる。また、留萌支庁南部地震の知見のみを取り入れたのでは、不十分である。留萌支庁南部地震を考慮したのも、中越沖地震などと同様、現実起きた地震には耐えられるようにしようとするに過ぎないものであり、現実起きた地震、といっても地震現象からすれば、極めてわずかな期間でのものでしかないが、それを超えて最大どこまでの地震動が敷地を襲うかという発想そのものが欠けているのである。

福島第一原発で経験したように、極めて危険な放射性物質を多量に抱え込んだ原発で、平均的な地震動で耐震設計するなどということは、決して許されることではない。したがって、仮に平均像を基本ケースとするにしても、さらに最大限の誤差を考慮することが原発の耐震設計では求められる。

しかも、さらに問題なのは、留萌支庁南部地震や鳥取県西部地震での観測地震動だけしか見ようとせずに、最大地震動はどれだけかを検討しようとしないう点である。この点については、どの原発裁判でも、原発事業者からほとんど何の反論も出されていない。あるのは「震源を特定せず策定する地震動」は観測記録のみによって策定するものだという、理由にもならない言い訳しかない。

「震源を特定せず策定する地震動」が原発の安全性にかかわるものという観点をすっかり忘れて、規制委員会がそのように指示しているとして、自らの責務を放棄している。しかし、規制委員会も、留萌支庁南部地震等の最大地震動を

無視して良いとは、言っていない。否、そのようなことは口が裂けても言えないであろう。原発の安全性からすれば、最低限、留萌支庁南部地震や鳥取県西部地震の実際に起こった最大地震動を無視してはならないこと、この最大地震動を前提にして「震源を特定せず策定する地震動」を想定すべきことは、誰も否定できない当然のことである。

- 2 さらに、地震は、いつも同じ場所で同じ規模で発生するものではない。複数回同じ領域（震源断層面）で発生したとしても、破壊が止まる領域の端では、歪が蓄積される。多数回の地震で累積した変位は、通常の変位が生じる領域では収まりきらず、いずれはその領域の外に破壊を及ぼす。常に一定の箇所で断層の破壊が止まると考えるのは、科学的に通用しがたい考えであり、時折、破壊の規模が拡大するとするのが正しい。とりわけ、断層運動の下端が常に決まっていて、その下端以深には及ばないというのは、下端での累積変位を決して説明することができない、おかしい想定である。

しかし、現在の耐震設計は、破壊が常に一定の領域で起こり、それがその領域の外に拡大することはないという、一種のドグマによってなされている。電力会社の選定した各活断層については、多数回すでに活動していると考えられるが、その累積変位は、通常地震の発生する下限をさらに突き抜けて破壊が及ぶことによって、時折、変位に伴う歪を解消させると解されるべきであるし、少なくともその可能性は否定できない。

もともと地震発生層については、データが少なすぎる中での想定であり、そもそもこの推定には大きな誤差があるが、この点については、一切考慮がなされていない。

そして、地震・地震動のデータは、数10年程度の極めてわずかなものでしかない。特に日本において詳細な地震・地震動の記録を得られるようになったのは、兵庫県南部地震が発生してから各地に強震計が配置されるようになった1997年以降の17年程度のデータでしかない。したがって、何万年、何十万年というスパンで生じる地震現象の想定とするなら、この程度の期間での過去最大の地震動では全く不足する。

断層面積 S と地震モーメント M_0 の関係式の図からすれば、同じ S の断層の活

動による地震動では、統計的に見て観測された過去最大の地震動を超える地震の割合も44個に1つ程度はあると考えられ、地震動が平均像の8倍を超える地震も740個に1つはあると考えられる。そうすると、少なくとも平均像の1桁大きな地震動を考えることが求められる。あるいはさらに安全性を十分に求めるなら、平均像の10倍でも不足する。

この平均像を基本とする推定は、応答スペクトルに基づく手法でも断層モデルを用いた手法でも、複数の段階で行われている。応答スペクトルに基づく手法では、地震規模の推定での松田式、その後の耐専スペクトル等、それぞれで平均像での推定がなされている。断層モデルを用いた手法でも、断層面積－地震モーメント M_o の関係式、アスペリティの面積比、あるいは地震モーメント M_o －短周期レベルAの関係式が、平均像を求めるものである。そもそもスケールリング則自体、平均像を求める式でしかない。したがって、平均像の10倍でも、全く不足することになってしまう。少なくとも、平均像の30倍程度はとることが必要となると思われる。

- 3 平均像で耐震設計をしてはならないなどという問題は、当たり前すぎる問題であった。この「平均像で原発の耐震設計をしてはならない」という問題は、住民側が「もんじゅ」訴訟差し戻し後控訴審において明確に取り上げて以来、原子炉施設事業者も国も十分に承知していた問題であった。にもかかわらず、同事件判決は、このような主張などなかったことにして、争点として取り上げることすらせず判決をし、原発推進者である事業者や国も、この問題にあえて目をつぶり、これまで営々と原子炉を運転し続けてきた。

地震の問題は、最大の地震で想定していると、皆が思わされてきた。おそらく日本政府の中枢も、今でもそのように誤解しているであろう。しかし、「地震動」の推定では、実は、基本的に平均像での想定がなされてきていた。多くの人は、実は耐震設計の前提の地震の揺れは、最大の揺れを想定しておらず、平均の揺れでしか想定していないと聞かされれば驚くだろう。そのような誤解で、原発の耐震設計がなされていたことを、まずもって認識することが必要である。裁判所も、まずもってこの点を十分に認識されることを原告らは望む。

4 また、既往最大で耐震設計をしてはならないという問題も、浜岡原発訴訟第一審で住民側が取り上げた問題であった。この問題も、我々の知見が極めて小さいものであることからしたら、また当たり前に過ぎる問題であった。しかし、浜岡第一審判決は、過去最大を超える地震が発生する可能性を認めつつ、「抽象的危険で、むやみに国の施策に影響を与えることはできない」として、住民側の言い分を排斥した。そして、既往最大を超える東北地方太平洋沖地震が発生して、福島原発事故が発生し、大きな被害をもたらした。

5 原発の耐震設計における当たり前過ぎる問題を、事業者、国、裁判所が一体となって、あえて無視してこれまで原発の運転はなされてきた。しかし、自然は、容赦なく、巨大な現象として立ち現われ、原子炉を破壊に導く。極めて大きな地震動を本件原発に与えたときに、本件原発がその地震動に耐えられる保証は何もない。そのときには、本件原子炉は、新規制基準も認める「大規模損壊」となって、多量の放射性物質を環境中に一気に放出する。福島事故は、想定できる最大の事故ではない。破壊がそれほど大規模ではなかったこと、多くの放射性物質が海洋に流れて内陸に向かわなかったことなど、偶然が重なって、被害は、それでも軽微にとどまったと言って良い。最大級の被害は、最低250kmには及ぶ。真の最大限の被害範囲は、日本をすっぽりと覆うであろう。日本の破滅すらもたらしかねない本件原発の稼働を阻止するのは、まさしく本裁判に与えられた極めて重大な任務である。このことを、当裁判所も肝に銘じて認識する必要がある。

以上