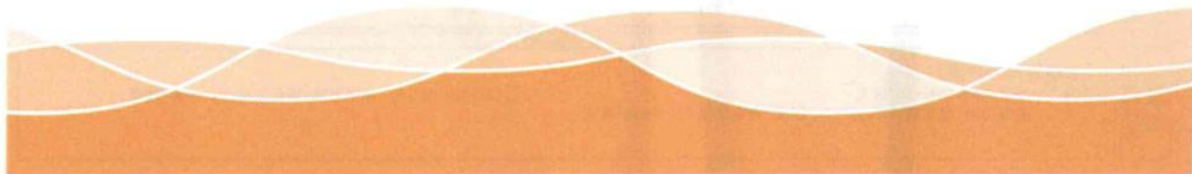


美浜発電所3号炉 地震動評価について

関西電力株式会社

平成28年5月20日



甲第32号証

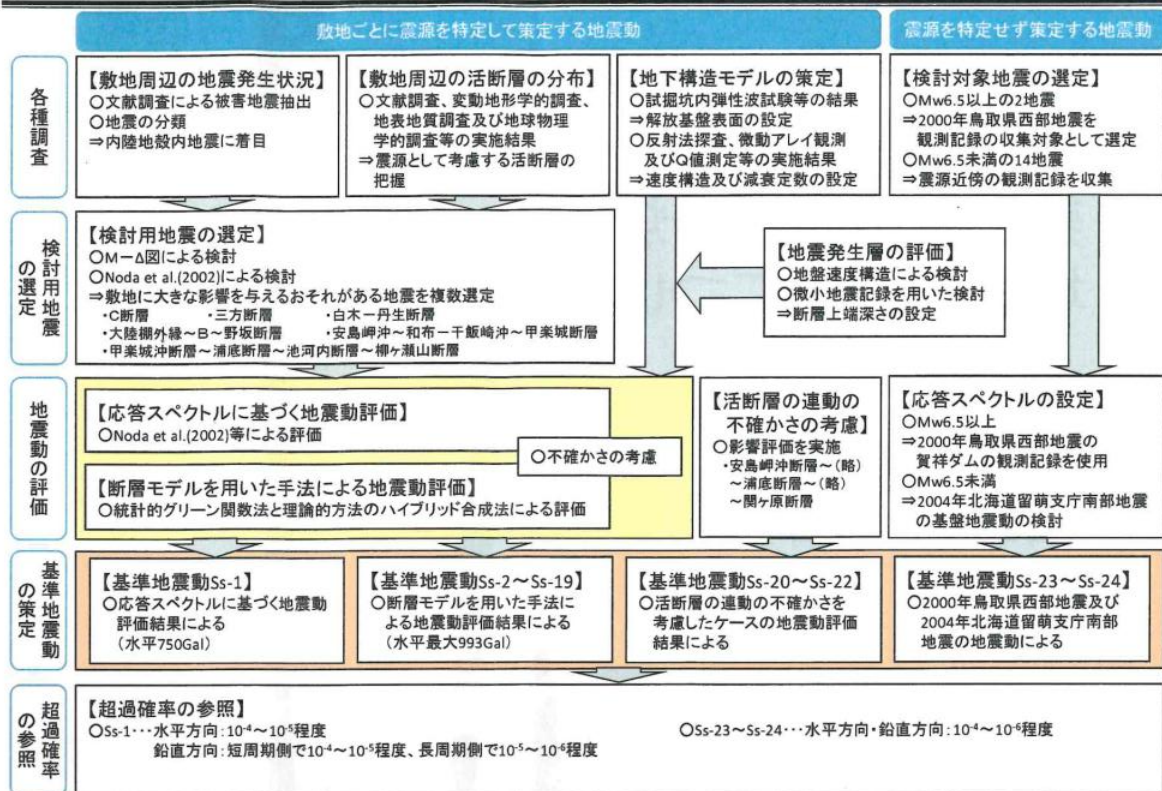
ご説明内容

1

1. 基準地震動Ssの策定の概要	...	2
2. 敷地周辺の地震発生状況	...	3～ 4
3. 敷地周辺の活断層の分布	...	5
4. 検討用地震の選定	...	6～ 10
5. 地下構造モデルの策定	...	11～ 46
6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	...	47～ 73
7. 震源を特定せず策定する地震動	...	74～ 79
8. 基準地震動Ssの策定	...	80～ 98
9. 基準地震動Ssの超過確率	...	99～117
10. 地震動評価のまとめ	...	118
参考文献	...	119～122

1. 基準地震動Ssの策定の概要

2



2. 敷地周辺の地震発生状況

第263回審査会合
資料再掲

3

■敷地周辺における主な地震を分類し、敷地に及ぼす影響について検討

○過去の被害地震

「日本被害地震総覧599-2012」に記載されている震度分布図及び気象庁が公表している震度分布図によると、敷地で震度Ⅴ以上であった地震には、1586年畿内・東海・東山・北陸諸道の地震、1662年山城・大和・河内・和泉・摂津・丹後・若狭・近江・美濃・伊勢・駿河・三河・信濃の地震、1891年濃尾地震、1909年江濃(姉川)地震、1927年北丹後地震及び1963年越前岬沖地震がある。また、被害地震から想定される地震について、規模Mと震央距離Δ及び敷地で想定される震度の関係から、上記6地震以外に敷地で震度Ⅴ以上であったと考えられる被害地震として、745年美濃の地震、1185年近江・山城・大和の地震、1325年近江北部の地震、1819年伊勢・美濃・近江の地震及び1948年福井地震が挙げられる。

○内陸地殻内地震

震度Ⅴ以上の被害地震は、陸域の活断層との関連や地震の発生深さからして、いずれも内陸地殻内地震であると考えられる。抽出された被害地震と活断層について、規模と距離の観点から敷地への影響を検討する。

○プレート間地震

敷地周辺地域では、プレート間地震の可能性のあるものとして、1855年遠州灘の地震や1906年三重県沖の地震が発生している。また、南海トラフに沿ってM8クラスのプレート間地震が繰り返し発生しているが、これらの地震はいずれも敷地から200kmを超える範囲で発生しており、敷地で震度Ⅴ以上が想定される地震はないことから、敷地へ及ぼす影響は大きくない。

○スラブ内地震

敷地周辺地域では、沈み込んだフィリピン海プレート内で発生したと考えられる陸域のやや深い地震として1952年吉野地震や1994年滋賀県中東部の地震等が該当し、それらの地震の多くが近畿中南部で発生しており、敷地で震度Ⅴ以上が想定される地震はないことから、敷地へ及ぼす影響は大きくない。

○アウターライズ地震

海溝軸周辺で発生した地震として、2004年紀伊半島南東沖地震が該当するが、敷地から200kmを超える範囲で発生しており、敷地へ及ぼす影響は大きくない。

○その他の地震

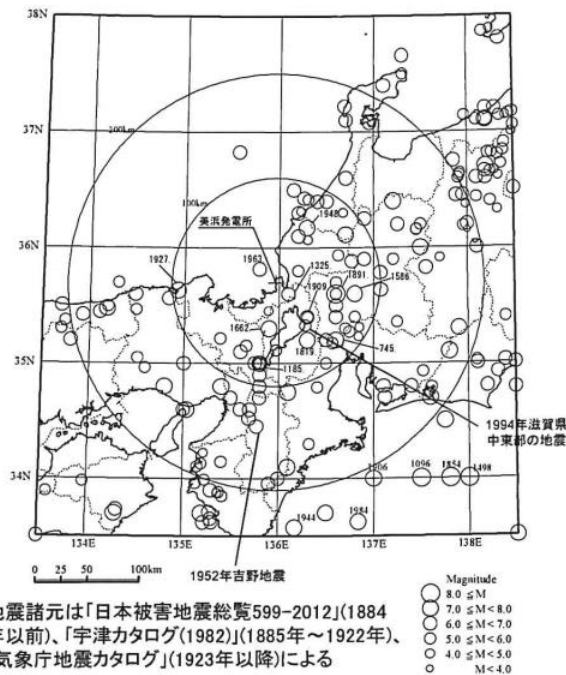
敷地周辺地域では、上記4種類の地震のいずれにも分類されない特徴的な地震は発生していない。

2. 敷地周辺の地震発生状況

第263回審査会合
資料再掲

4

■敷地周辺で過去に発生した被害地震



○内陸地殻内地震

敷地周辺の主な被害地震として、1325年近江北部の地震、1963年越前沖地震、1662年山城・大和・河内・和泉・摂津・丹後・若狭・近江・美濃・伊勢・駿河・三河・信濃の地震、1891年濃尾地震等が発生している。

○プレート間地震

南海トラフに沿ってM8クラスのプレート間地震が繰り返し発生しているが、これらの地震はいずれも敷地から200kmを超える範囲で発生しており、敷地で震度Ⅴ以上が想定される地震はないことから、敷地へ及ぼす影響は大きくない。

○スラブ内地震

敷地周辺地域では、沈み込んだプレート内で発生したと考えられる陸域のやや深い地震として1952年吉野地震、1994年滋賀県中東部の地震等が該当し、それらの地震の多くが近畿中南部で発生しており、また敷地から離れた場所で発生しているため、敷地へ及ぼす影響は大きくない。

○アウターライズ地震

海溝軸付近で発生した地震として、2004年紀伊半島南東沖地震等が該当するが、敷地から200kmを超える範囲で発生しており、敷地へ及ぼす影響は大きくない。

○その他の地震

敷地周辺地域では、上記4種類の地震のいずれにも分類されない特徴的な地震は発生していない。

3. 敷地周辺の活断層の分布

第263回審査会合
資料から変更

5

■若狭湾周辺の主な断層の分布



(注) 敷地から半径約30kmの範囲の主な断層について図示している。

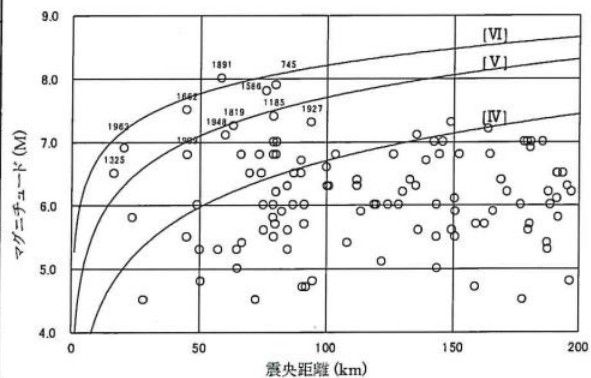
4. 検討用地震の選定

第263回審査会合
資料再掲

6

■敷地に影響を及ぼしたと考えられる過去の地震

番号	発生年月日	マグニチュード	震央距離 (km)	地名 (地震名)
1	745.6.5	7.9	80	美濃
2	1185.8.13	7.4	79	近江・山城・大和
3	1325.12.5	6.5	16	近江北部
4	1586.1.18	7.8	76	畿内・東海・東山・北陸諸道
5	1662.6.16	7.5	45	山城・大和・河内・和泉・摂津・丹後・若狭・近江・美濃・伊勢・駿河・三河・信濃
6	1819.8.2	7 1/4	63	伊勢・美濃・近江
7	1891.10.28	8.0	58	愛知県・岐阜県<濃尾地震>
8	1909.8.14	6.8	45	滋賀県姉川付近<江濃(姉川)地震>
9	1927.3.7	7.3	94	京都府西北部<北丹後地震>
10	1948.6.28	7.1	60	福井平野<福井地震>
11	1963.3.27	6.9	20	福井県沖<越前沖地震>



【Ⅳ】、【Ⅴ】、【Ⅵ】は気象庁震度階級で、震度の境界線は村松(1969)、勝又・徳永(1971)による

敷地周辺の過去の地震のM-Δ図

震度5弱(1996年以前は震度Ⅴ)程度以上と推定される過去の地震を敷地に大きな影響を及ぼす被害地震として、表のとおり抽出する。

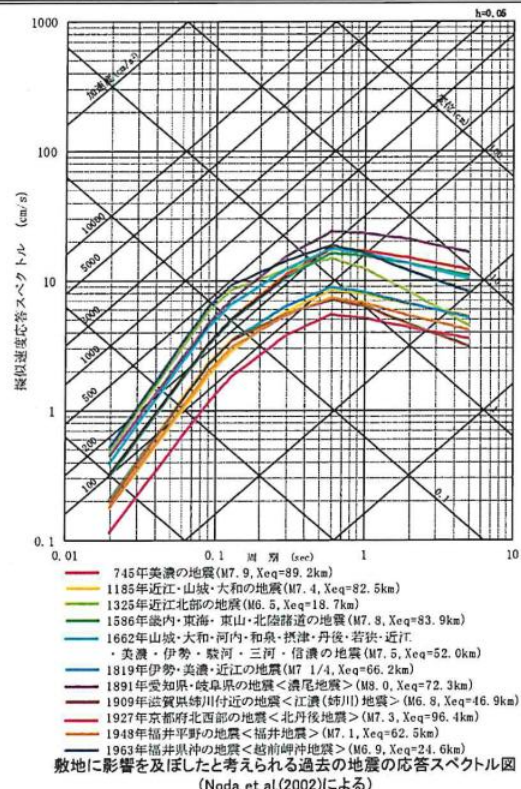
4. 検討用地震の選定

第263回審査会合
資料再掲

7

■検討用地震の選定(過去の地震)

番号	発生年月日	マグニチュード	等価震源距離 (km)	地名 (地震名)
1	745.6.5	7.9	89.2	美濃
2	1185.8.13	7.4	82.5	近江・山城・大和
3	1325.12.5	6.5	18.7	近江北部
4	1586.1.18	7.8	83.9	畿内・東海・東山・北陸諸道
5	1662.6.16	7.5	52.0	山城・大和・河内・和泉・摂津・丹後・若狭・近江・美濃・伊勢・駿河・三河・信濃
6	1819.8.2	7 1/4	66.2	伊勢・美濃・近江
7	1891.10.28	8.0	72.3	愛知県・岐阜県<濃尾地震>
8	1909.8.14	6.8	46.9	滋賀県姉川付近<江濃(姉川)地震>
9	1927.3.7	7.3	96.4	京都府西北部<北丹後地震>
10	1948.6.28	7.1	62.5	福井平野<福井地震>
11	1963.3.27	6.9	24.6	福井県沖<越前沖地震>



4. 検討用地震の選定

第263回審査会合
資料再掲

8

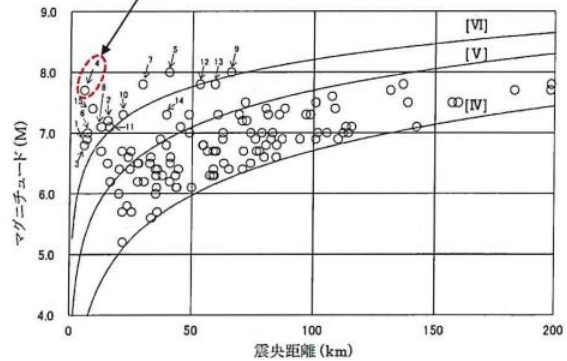
■敷地に影響を及ぼすと考えられる活断層による地震

番号	断層名	長さ (km)	マグニチュード	震央距離 (km) ^{※2}
1	C断層	18	6.9	7
2	三方断層	27	7.2	15
3	白木-丹生断層	15	6.8	6
4	大陸棚外縁～B～野坂断層	49	7.7	6
5	安島岬沖～和布-干飯崎沖 ～甲楽城断層	76	8.0	41
6	浦底-内池見断層	21	7.0	7
7	FO-A～FO-B～熊川断層	63.4 ^{※1}	7.8	30
8	ウツロギ峠北方-池河内断層	24	7.1	13
9	濃尾地震断層系	80	8.0	66
10	柳ヶ瀬断層	31	7.3	22
11	敦賀断層	23	7.1	16
12	琵琶湖西岸断層系	60	7.8	53
13	花折断層	58	7.8	59
14	F _{GA} 3東部断層	29	7.3	40
15	甲楽城沖断層～浦底断層 ～池河内断層～柳ヶ瀬山断層	36	7.4	9

※1:地震動評価上の長さ

※2:断層中央位置からの距離

M-Δ図より、敷地への影響が大きいと考えられる
大陸棚外縁～B～野坂断層を検討用地震に選定する。



【IV】、【V】、【VI】は気象庁震度階級で、震度の境界線は
村松(1969)、勝又・徳永(1971)による

敷地周辺の主な活断層による地震のM-Δ図

震度5強程度以上と推定される活断層による地震を
表のとおり抽出する。

4. 検討用地震の選定

第263回審査会合
資料再掲

9

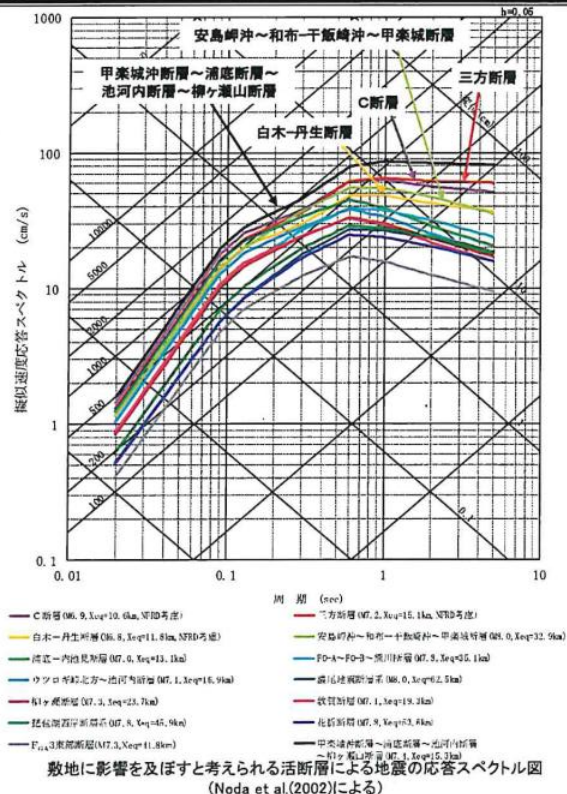
■検討用地震の選定 (活断層による地震)

番号	断層名	マグニチュード	等価震源距離 [※] (km)
1	C断層	6.9	10.6
2	三方断層	7.2	15.1
3	白木-丹生断層	6.8	11.8
4	大陸棚外縁～B～野坂断層	7.7	13.3
5	安島岬沖～和布-干飯崎沖 ～甲楽城断層	8.0	32.9
6	浦底-内池見断層	7.0	13.1
7	FO-A～FO-B～熊川断層	7.8	35.1
8	ウツロギ峠北方-池河内断層	7.1	16.9
9	濃尾地震断層系	8.0	62.5
10	柳ヶ瀬断層	7.3	23.7
11	敦賀断層	7.1	19.3
12	琵琶湖西岸断層系	7.8	45.9
13	花折断層	7.8	53.8
14	F _{GA} 3東部断層	7.3	41.8
15	甲楽城沖断層～浦底断層 ～池河内断層～柳ヶ瀬山断層	7.4	15.3

■ Noda et al.(2002)の適用外

※矩形断層を仮定して算定

M-Δ図及びNoda et al.(2002)による地震動評価結果を基に、
C断層、三方断層、白木-丹生断層、大陸棚外縁～B～野坂断層、
安島岬沖～和布-干飯崎沖～甲楽城断層及び甲楽城沖断層～
浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層による地震を
検討用地震として選定する。



4. 検討用地震の選定

第263回審査会合
資料から変更

10

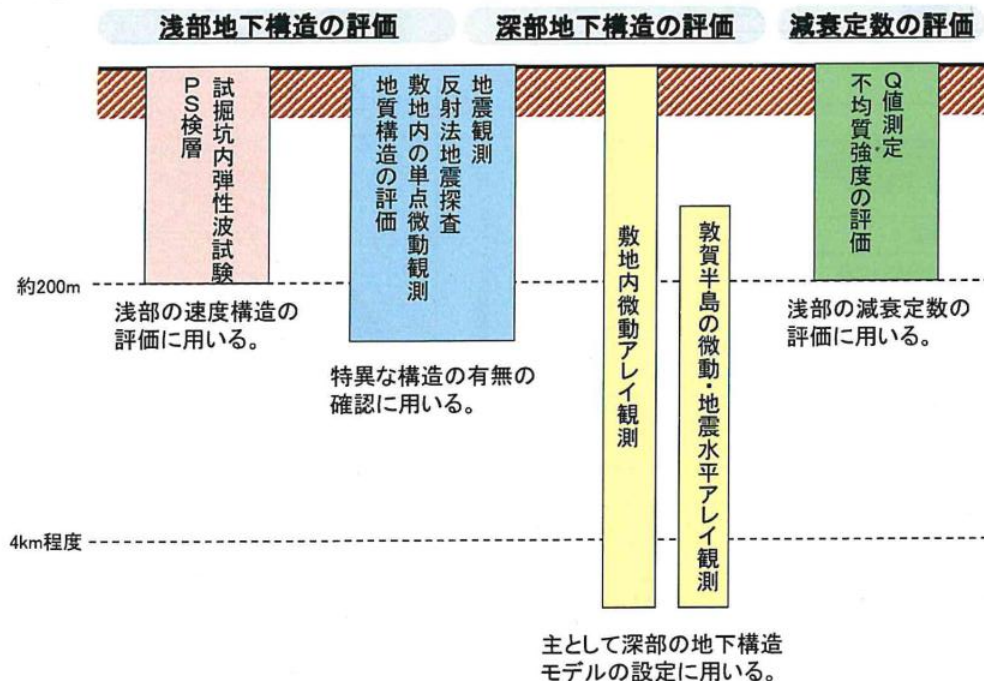
- 敷地周辺の過去の地震及び活断層について、マグニチュード、震央距離及び敷地で想定される震度の関係等から影響の大きい地震を抽出。
- 過去の地震に比べて活断層による地震の影響が上回るため、以下の6つの活断層による地震を検討用地震として選定した。
 - ・C断層
 - ・三方断層
 - ・白木－丹生断層
 - ・大陸棚外縁～B～野坂断層
 - ・安島岬沖～和布－干飯崎沖～甲楽城断層
 - ・甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層

5. 地下構造モデルの策定

第257回審査会合
資料再掲

11

- 敷地周辺で実施した各種調査結果を組み合わせ、地下構造モデルを策定する。

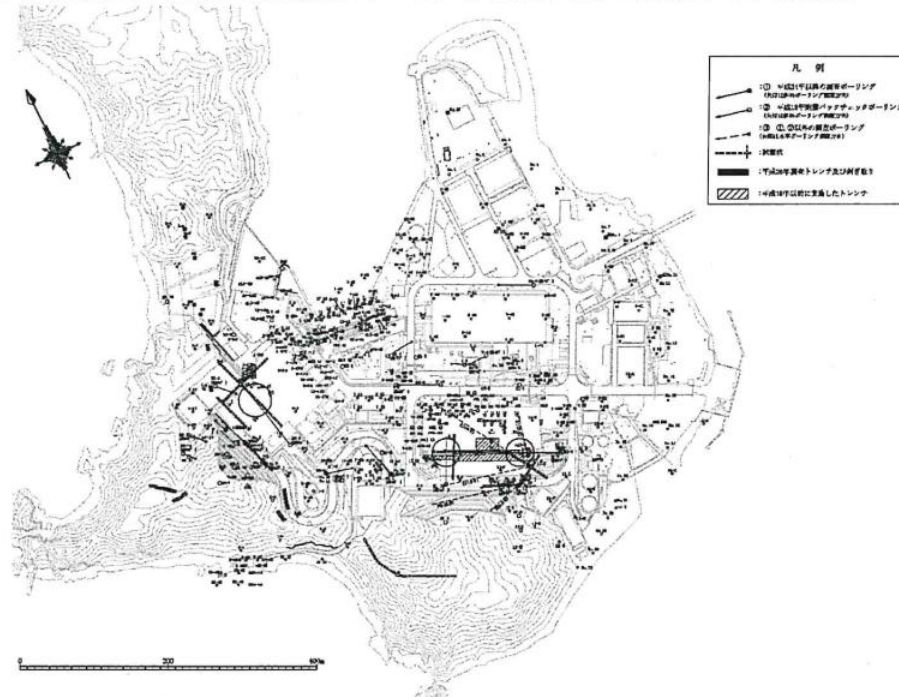


5. 地下構造モデルの策定（地質構造の評価）

第257回審査会合
資料再掲

12

■変動地形学的調査、地表地質調査、ボーリング調査、剥ぎ取り調査等を実施



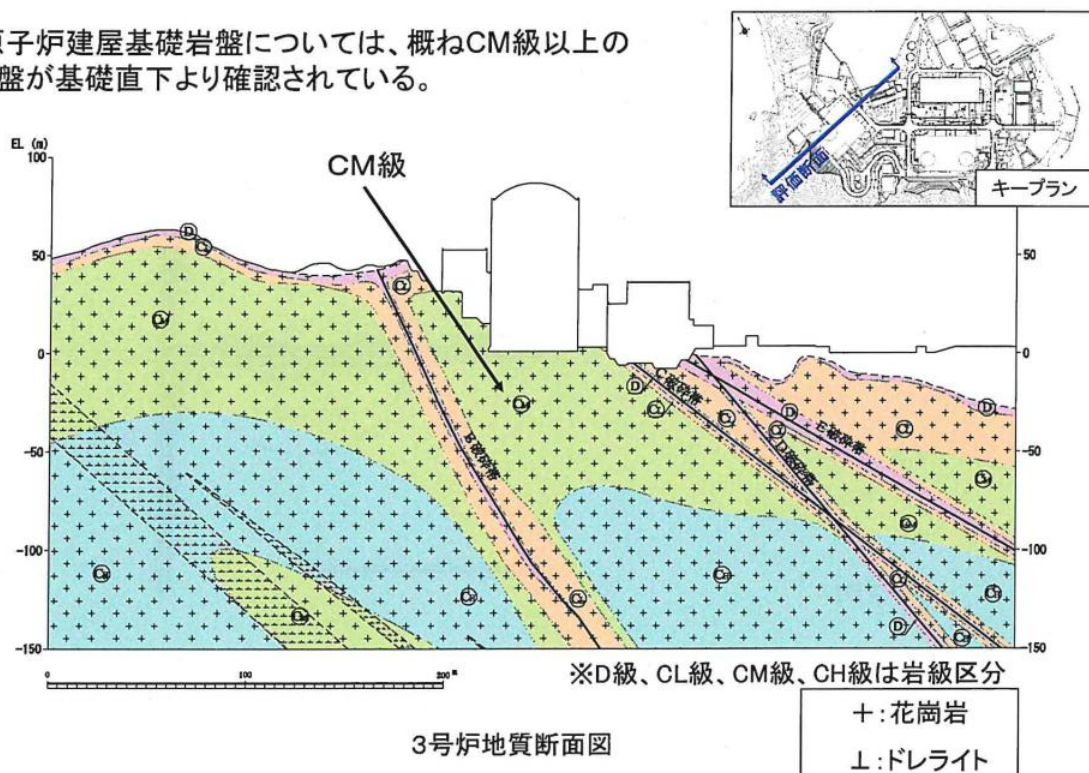
敷地内地質調査位置図

5. 地下構造モデルの策定（地質構造の評価）

第257回審査会合
資料から変更

13

■原子炉建屋基礎岩盤については、概ねCM級以上の岩盤が基礎直下より確認されている。



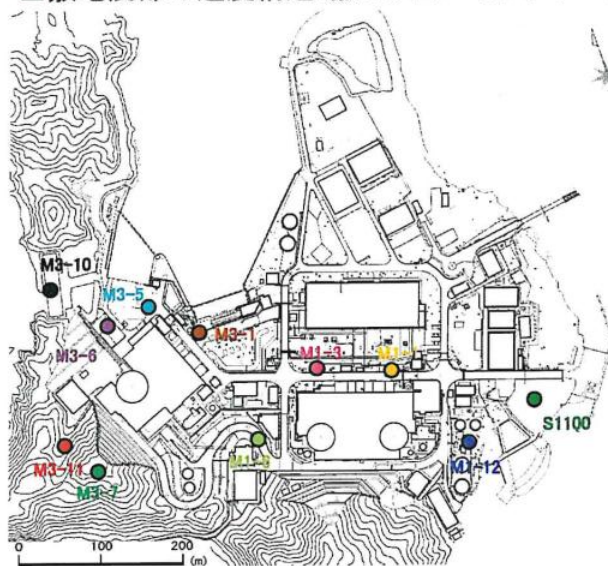
3号炉地質断面図

5. 地下構造モデルの策定（PS検層）

第257回審査会合
資料再掲

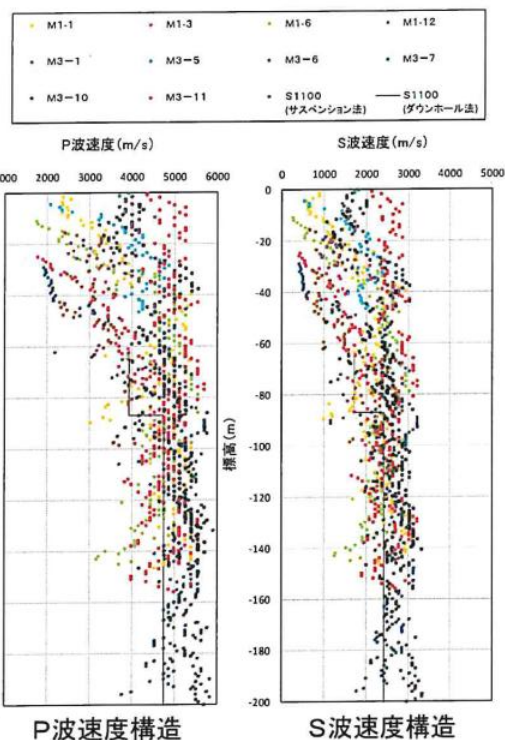
14

■敷地浅部の速度構造（敷地内ボーリングデータ）



美浜発電所 PS検層実施位置

PS検層の結果から、極浅部においては地質の違いや風化の影響等により、ばらつきが見られるものの、敷地全体にわたって硬質な岩盤を確認。

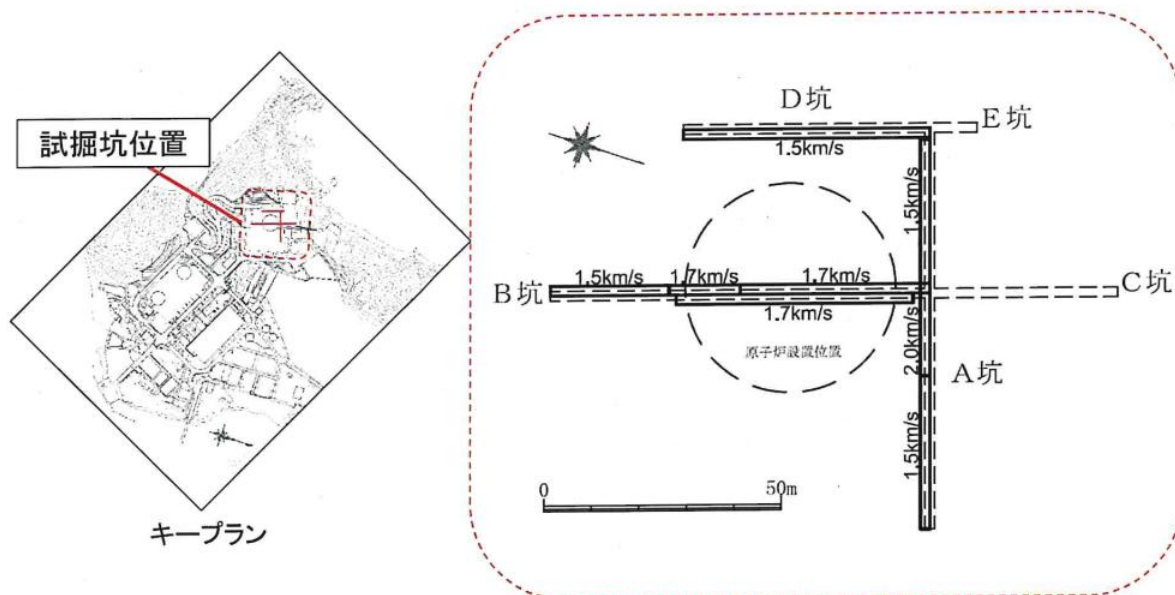


5. 地下構造モデルの策定（試掘坑内弾性波試験）

第257回審査会合
資料再掲

15

■美浜発電所3号炉 試掘坑内弾性波試験結果



試掘坑内弾性波速度図（S波速度）

敷地内での試掘坑内弾性波試験結果より、解放基盤表面のS波速度を1.65km/sと評価した。

5. 地下構造モデルの策定（単点微動観測）

第257回審査会合
資料から変更

16

■美浜発電所敷地内において、約50m間隔の微動観測を実施してH/Vスペクトルを評価し、敷地における解放基盤表面の深度の空間変動を評価した。



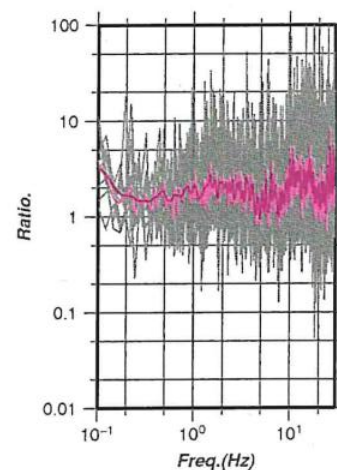
5. 地下構造モデルの策定（単点微動観測）

第257回審査会合
資料再掲

17

■H/Vスペクトルの算定方法

- ①微動観測は1地点につき15分間とする。
- ②観測波形から目視によりノイズの影響の小さい区間を複数選択し、データセットを作成する。
1区間のデータ長は40.96秒とし、データセット数は10区間程度とする。
- ③各区間ごとにフーリエ変換を実施してH/Vスペクトル比を算定し、周波数領域で平均スペクトルを算出する。さらに、得られた平均スペクトルに対して幅0.1HzのParzenウィンドウで平滑化を行う。
なお、H（水平成分）スペクトルは、2方向のベクトル和としたものとする。
- ④H/Vスペクトルの評価においては、信頼性の観点から、1Hz～数Hzの周波数範囲に着目して評価を行う。



灰色：各区間のH/Vスペクトル
薄紫：平均H/Vスペクトル
紫色：平滑化されたH/Vスペクトル

H/Vスペクトルの例

5. 地下構造モデルの策定（単点微動観測）

第257回審査会合
資料再掲

18

■2層地盤によるH/Vスペクトルの同定方法

①2層地盤の仮定

第1層のVs・Vpは、敷地内の各ボーリング孔のPS
検層結果から、表層の埋土部分の平均値を用いる。

(Vs=264m/s、Vp=1,583m/s)

第2層のVsは1,650m/sとする。

密度ρと第2層のVpは、以下の経験式により算定す
る。

$$Vp = 1.29 + 1.11Vs$$

$$\rho = 1.2475 + 0.399Vp - 0.026Vp^2$$

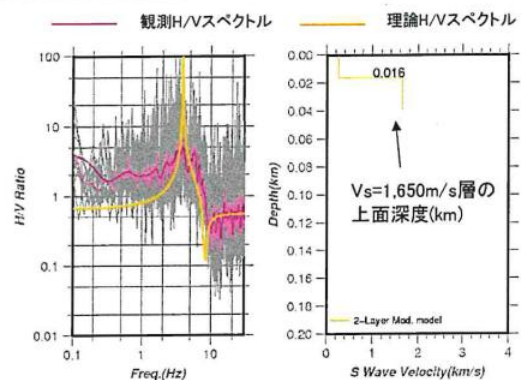
②観測H/Vスペクトルのピーク周波数の読み取り

微動のH/Vスペクトルから、1Hz～10HzでH/Vスペク
トルが最大となる周波数を読み取る。

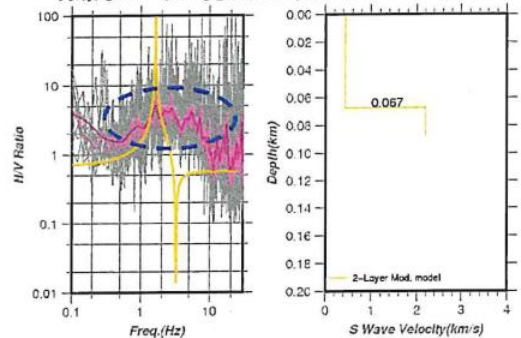
③H/Vスペクトルの同定

①の物性値から算定した理論H/Vのピーク周波数が、
②で求めた観測H/Vのピーク周波数と一致するように、
第1層の層厚を求める。理論H/VはRayleigh波の基
本モードに基づいて算出する。

※なお、1Hz～10Hzに明瞭なピークが見られるもの
のみを対象とする。



明瞭なピークが見られる場合のH/Vスペクトル



明瞭なピークが見られない場合のH/Vスペクトル

5. 地下構造モデルの策定（単点微動観測）

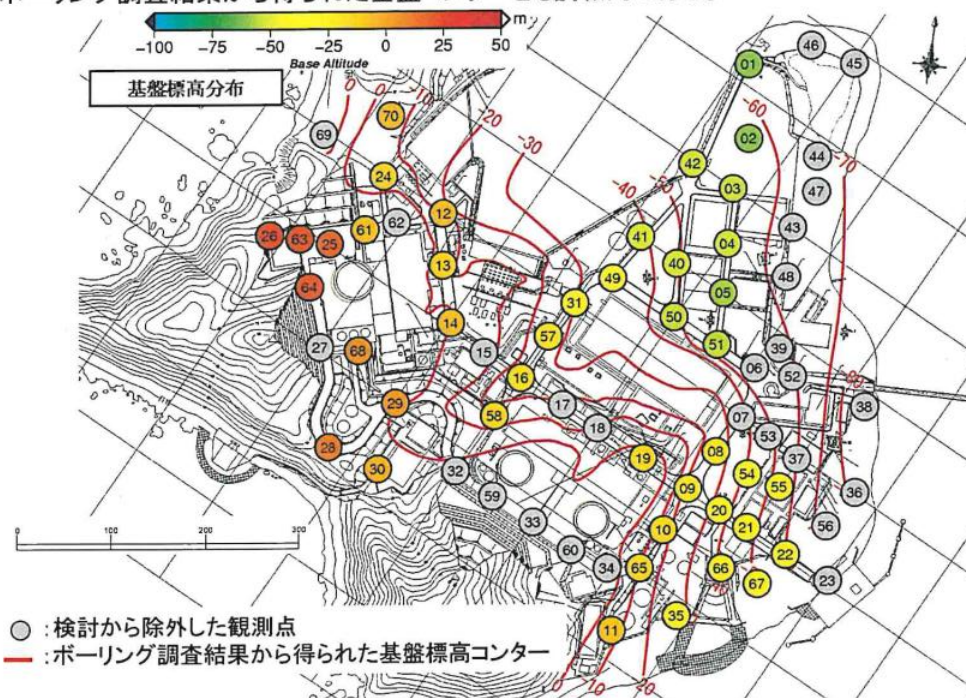
第257回審査会合
資料再掲

19

■H/Vスペクトルの同定結果から得られたVs=1,650m/s層上の深さ分布

敷地の山側から海側に向かうに連れて徐々に下がっていく傾向を示している。

また、ボーリング調査結果から得られた基盤コンターとも調和的である。



5. 地下構造モデルの策定（解放基盤表面の設定）

第257回審査会合
資料再掲

20

■敷地内の試掘坑内弾性波試験結果から、敷地浅部に $V_s=1.65\text{km/s}$ 程度の硬質な岩盤が広がっていることを確認した。

また、地質断面図から、原子炉建屋の基礎直下より概ねCM級以上の岩盤が存在する事を確認した。

■H/Vスペクトルを用いた敷地内の解放基盤表面の深度推定の結果、
 $V_s=1.65\text{km/s}$ の上面深度は概ねE.L.+20m～E.L.-60m程度までの範囲の深さに推定され、解放基盤表面の深度については、敷地全体にわたって著しい高低差がないことを確認した。

■原子炉建屋設置位置付近のE.L.+0mの位置に解放基盤表面を設定した。

5. 地下構造モデルの策定（反射法地震探査）

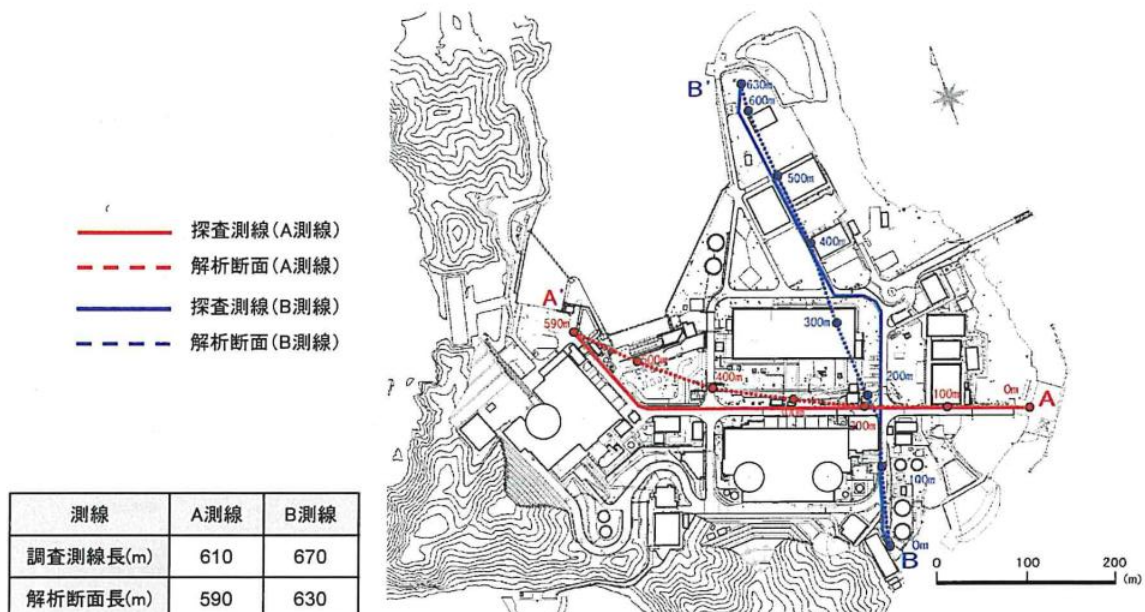
第257回審査会合
資料再掲

21

■地下構造を連続的に把握するため、敷地内2方向の反射法地震探査を実施する。

■極力長く測線を確保できる2測線を選定した。

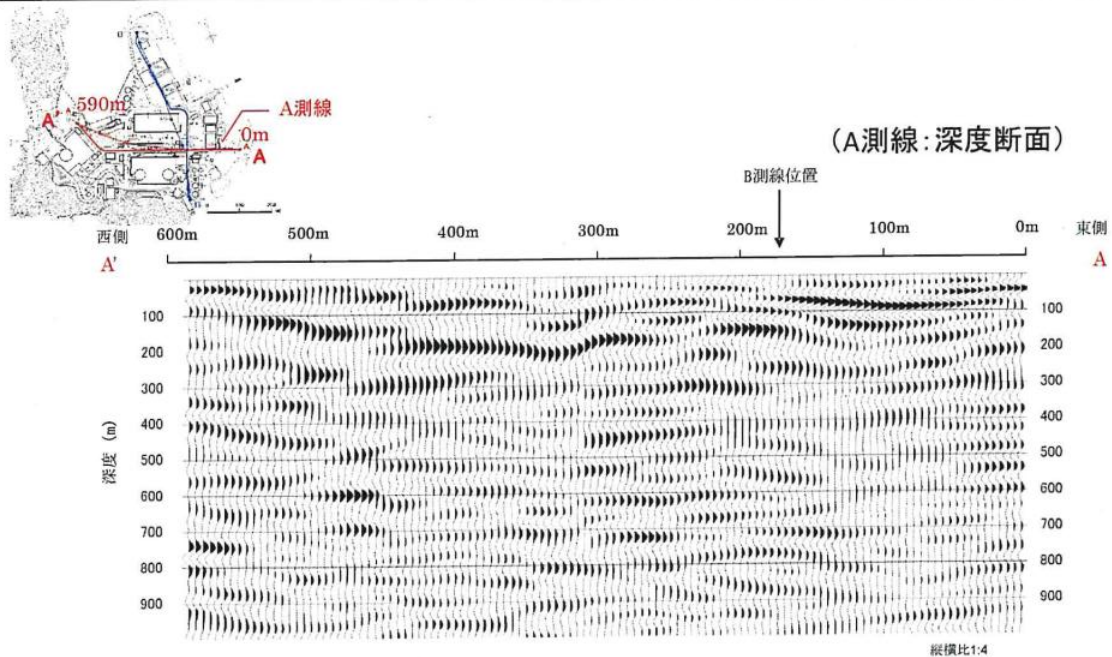
■解析断面については、本調査では一部測線配置が屈曲しているため、反射点分布のほぼ中央付近を通過する解析断面を設定した。



5. 地下構造モデルの策定（反射法地震探査）

第257回審査会合
資料再掲

22

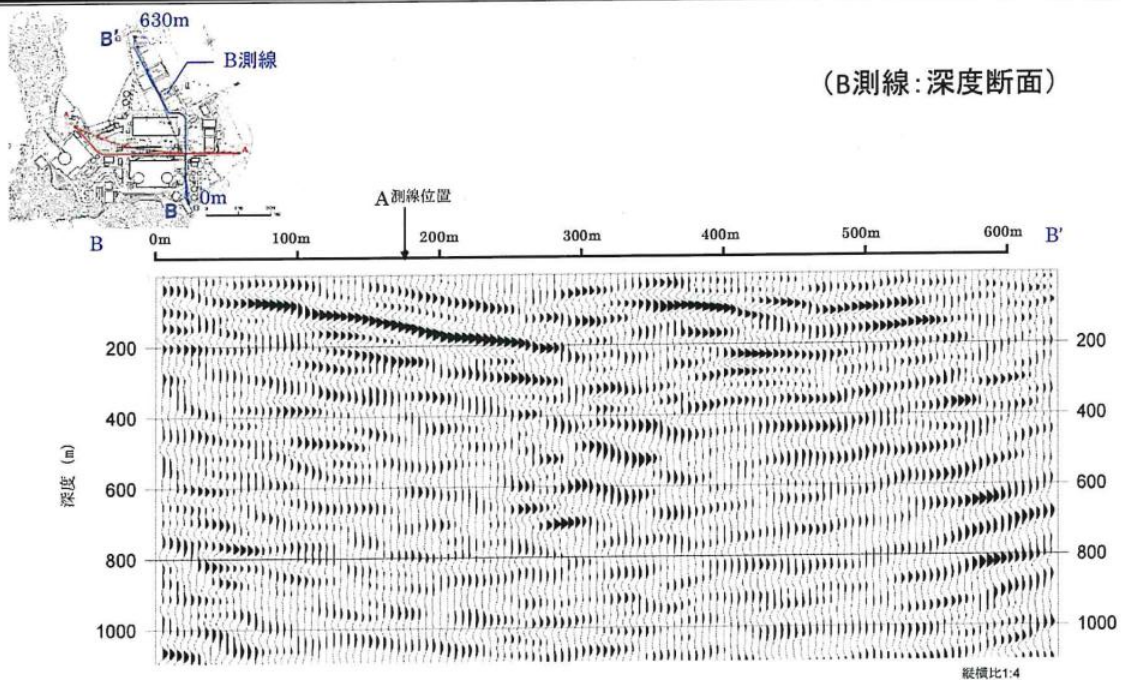


敷地は主として花崗岩からなる地質であり、褶曲構造や極端な落ち込み構造等は確認されず、深さ約300m程度までは特異な構造は認められなかった。

5. 地下構造モデルの策定（反射法地震探査）

第257回審査会合
資料再掲

23



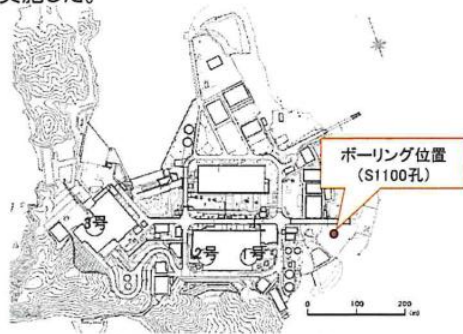
敷地は主として花崗岩からなる地質であり、褶曲構造や極端な落ち込み構造等は確認されず、深さ約300m程度までは特異な構造は認められなかった。

5. 地下構造モデルの策定 (S1100孔ボーリング調査結果)

第257回審査会合
資料再掲

24

■地震計の設置とともに地下深部までの地質及び地盤物性を把握するため、ボーリング調査(S1100孔)を実施した。

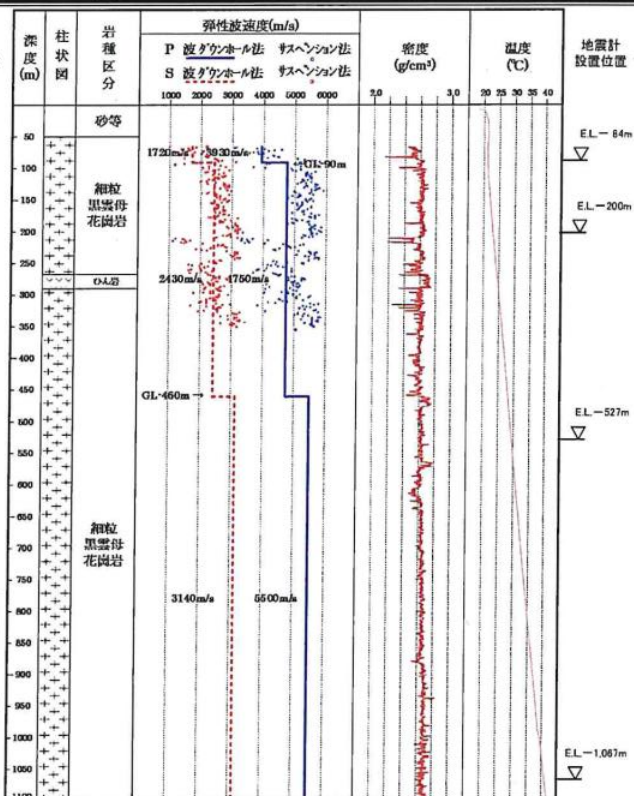


PS検層結果(ダウンホール法)

深度	P波速度	S波速度
50～90m	3,930m/s	1,720m/s
90～460m	4,750m/s	2,430m/s
460～1,100m	5,500m/s	3,140m/s

ダウンホール法が平均的な速度構造を示しているのに対し、サスペンション法は1m区間の局所的な速度を計測している。従って、サスペンション法で測定された速度の最大値は、ダウンホール法の速度よりも大きくなる傾向がある。

ボーリング調査地点(S1100孔)においては、深度50m程度までは砂等であり、それ以深については、主に花崗岩が分布する。

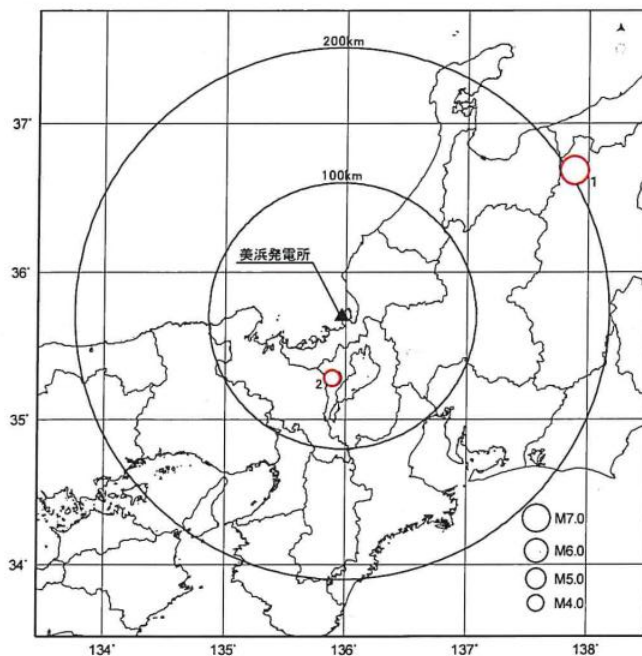


5. 地下構造モデルの策定 (地震観測)

第257回審査会合
資料から変更

25

■地震観測期間(H26.4～H28.3)における主な地震を抽出



敷地で観測された主な地震の震央分布

敷地で観測された主な地震の諸元

No.	発震日時 震源地又は 地震名	震央位置 緯度 経度	M	震源深さ (km)	震央距離 (km)
1	2014.11.22 22:08:18 長野県北部地震	36° 41.5'N 137° 53.4'E	6.7	5	205
2	2014.12.26 22:30:35 滋賀県北部	35° 17.1'N 135° 53.7'E	4.2	14	47

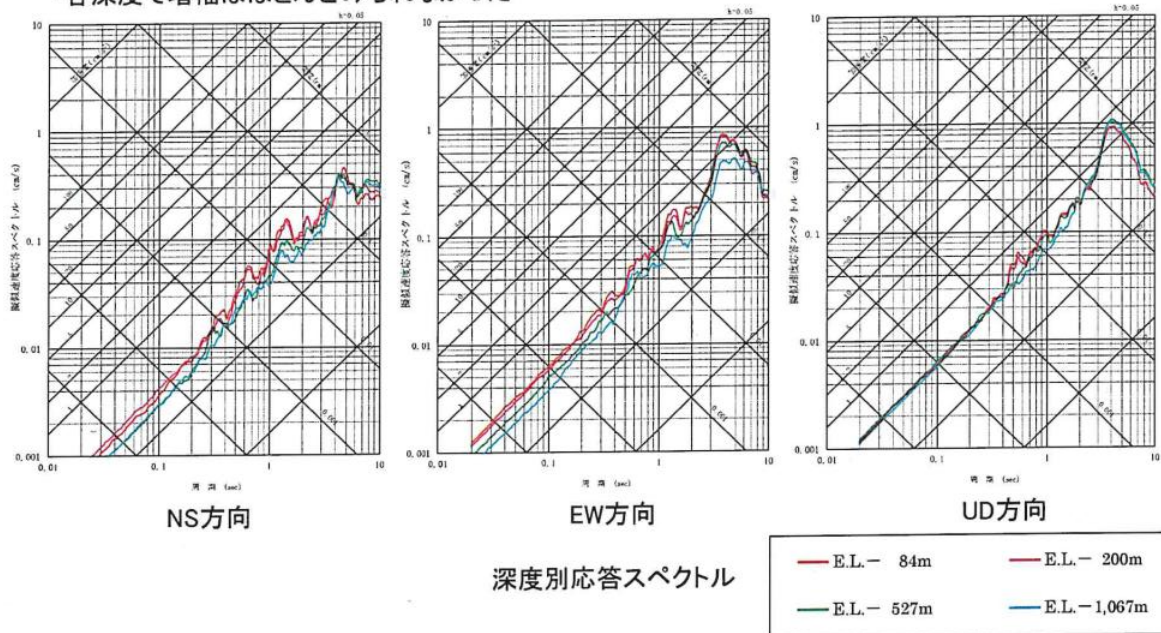
5. 地下構造モデルの策定（地震観測）

第257回審査会合
資料再掲

26

■2014年長野県北部地震(M6.7)の岩盤内における深度別応答スペクトル

- ・地震観測記録は、最大加速度で水平約0.4ガル程度と小さいものであった
- ・各深度で増幅はほとんどみられなかった



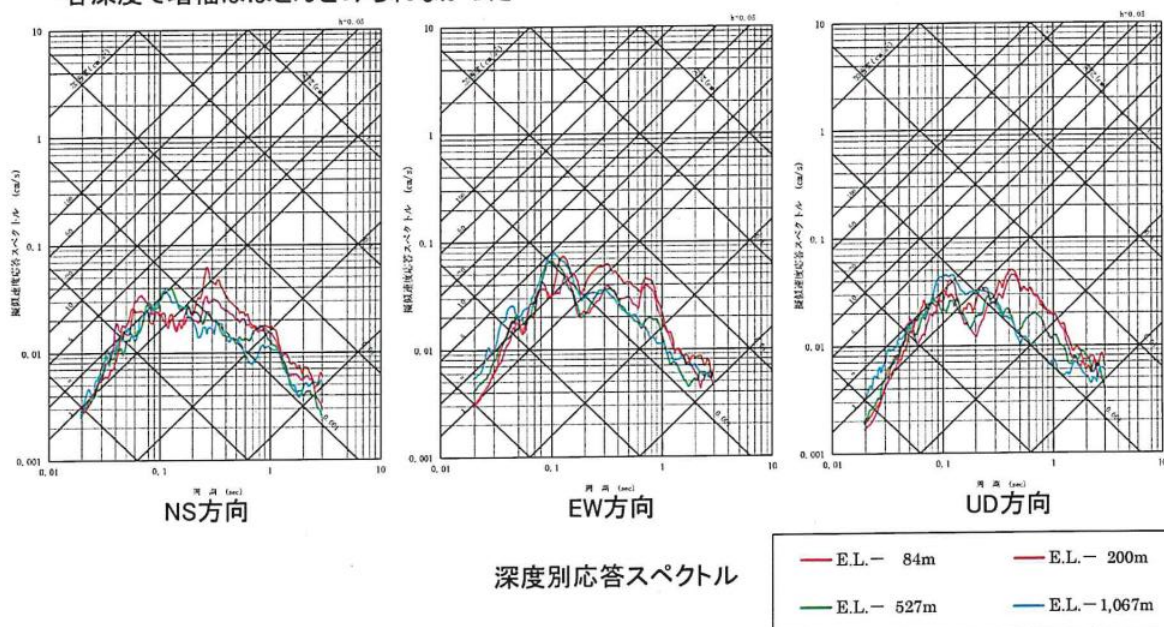
5. 地下構造モデルの策定（地震観測）

第257回審査会合
資料再掲

27

■2014年滋賀県北部の地震(M4.2)の岩盤内における深度別応答スペクトル

- ・地震観測記録は、最大加速度で水平約1ガル程度と小さいものであった
- ・各深度で増幅はほとんどみられなかった

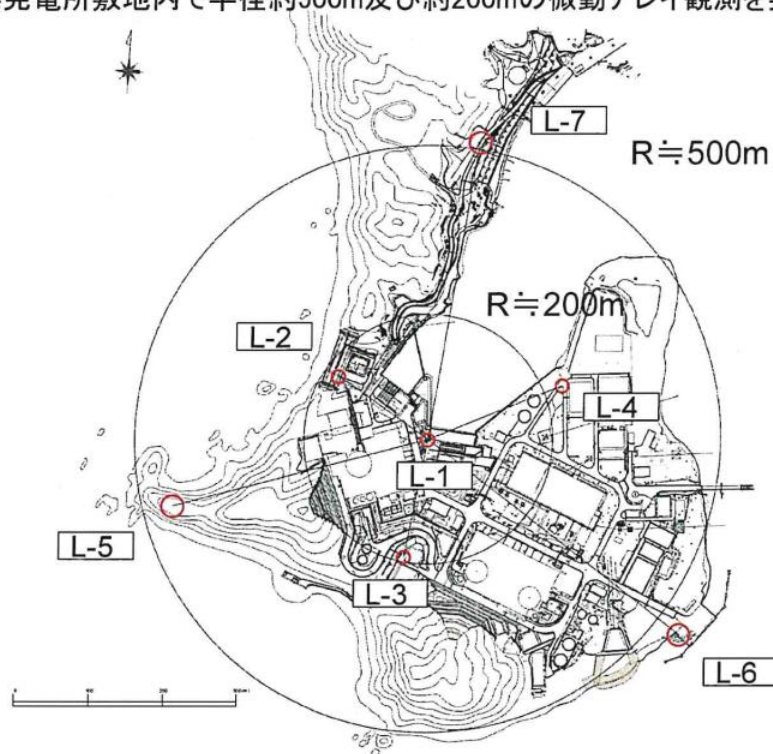


5. 地下構造モデルの策定（微動アレイ観測）

第257回審査会合
資料再掲

28

■ 美浜発電所敷地内で半径約500m及び約200mの微動アレイ観測を実施。

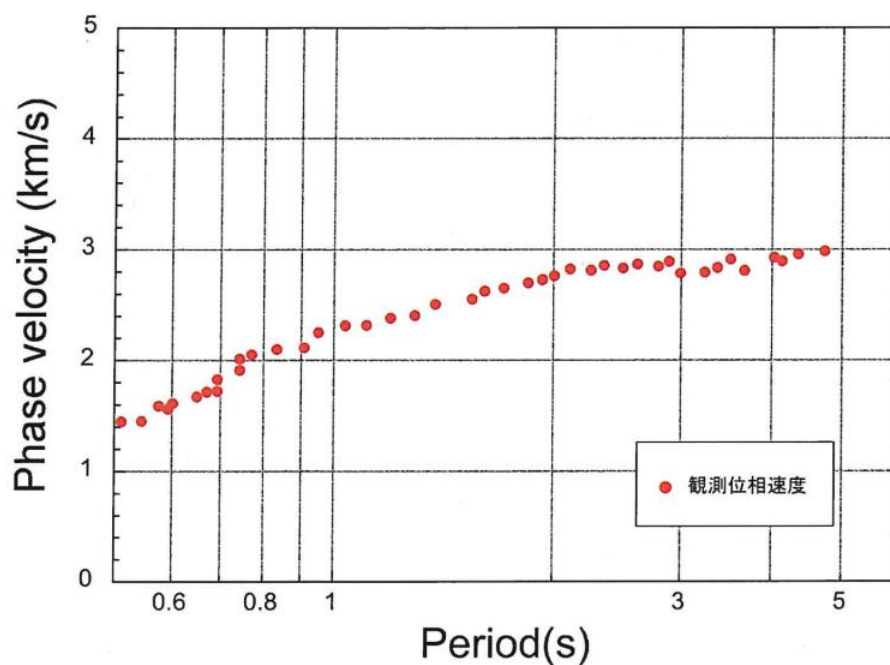


5. 地下構造モデルの策定（微動アレイ観測）

第257回審査会合
資料再掲

29

- 得られた位相速度は、短周期側で約1.5km/s、長周期側で約3.0km/sとなった。
- 得られた位相速度を目的関数としてインバージョン解析を行い、速度構造を推定する。



5. 地下構造モデルの策定（微動アレイ観測）

第257回審査会合
資料再掲

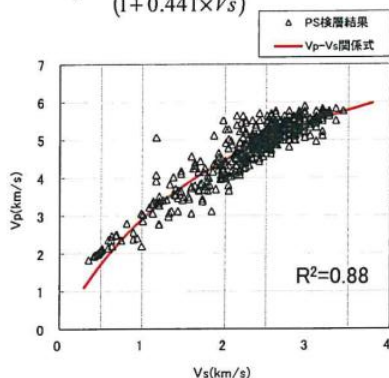
30

■第1層は $V_s=0.5\text{km/s}$ 層、第2層は $V_s=1.65\text{km/s}$ 層、第3層以深は $V_s=1.7\sim 3.6\text{km/s}$ までを 0.1km/s ごとにS波速度を設定し、層厚を下表に示す範囲で探索する。

OP波速度の設定

PS検層データに基づいて得られた以下の関係式(回帰式)を用いて、S波速度の値から設定

$$V_p = \frac{4.212 \times V_s}{(1 + 0.441 \times V_s)}$$



No.	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	層厚 (km)	密度 (g/cm ³)
1	1.7	0.5	0.01 - 0.10	2.0
2	4.0	1.65	0.01 - 0.50	2.6
3	4.1	1.7	0.01 - 0.50	2.6
4	4.2	1.8	0.01 - 0.50	2.6
5	4.4	1.9	0.01 - 0.50	2.6
6	4.5	2.0	0.01 - 0.50	2.6
7	4.6	2.1	0.01 - 0.50	2.6
8	4.7	2.2	0.01 - 1.00	2.6
9	4.8	2.3	0.01 - 1.00	2.6
10	4.9	2.4	0.01 - 1.00	2.6
11	5.0	2.5	0.01 - 1.00	2.6
12	5.1	2.6	0.01 - 2.00	2.6
13	5.2	2.7	0.01 - 2.00	2.6
14	5.3	2.8	0.01 - 2.00	2.6
15	5.4	2.9	0.01 - 2.00	2.6
16	5.4	3.0	0.01 - 2.00	2.6
17	5.5	3.1	0.01 - 2.00	2.6
18	5.6	3.2	0.01 - 2.00	2.6
19	5.7	3.3	0.01 - 2.00	2.6
20	5.7	3.4	0.01 - 2.00	2.6
21	5.8	3.5	0.01 - 2.00	2.6
22	5.9	3.6	—	2.7

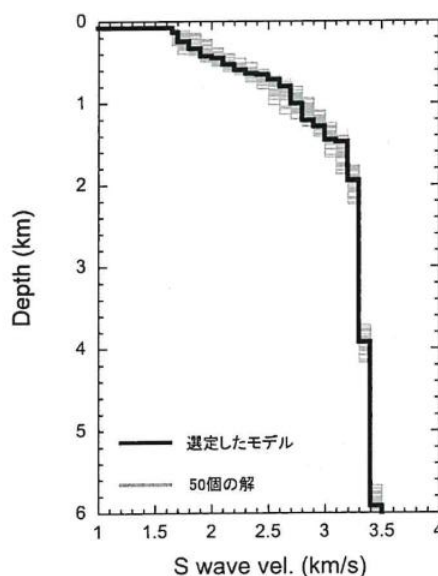
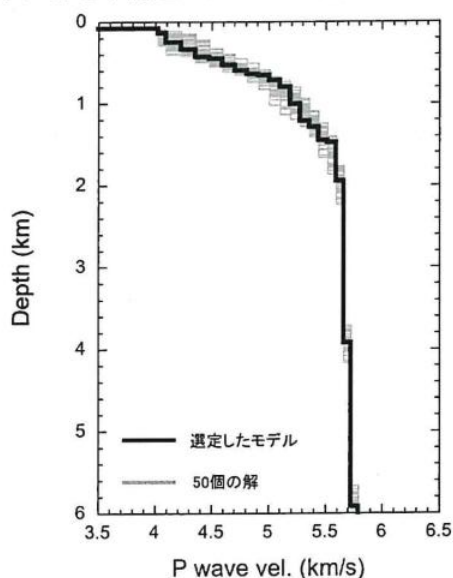
5. 地下構造モデルの策定（微動アレイ観測）

第257回審査会合
資料再掲

31

■速度構造の探索方法

- ・逆解析は、遺伝的アルゴリズムと焼きなまし法という2種類の手法を組み合わせた山中(2007)によるハイブリッドヒューリスティック探索を用いて、初期乱数1個に対し、個体数を20、世代更新回数を800、温度更新回数を5世代ごとに1回として、探索を実施。
- ・以上の探索を50個の初期乱数に対して繰り返し実施し、得られた50個の解から、その平均に最も近いモデルを地下構造モデルとして選定。



5. 地下構造モデルの策定（微動アレイ観測）

第257回審査会合
資料再掲

32

■今回選定された地下構造モデルの諸元は以下のとおりであり、断層上端深さに相当すると考えられる $V_p=5.8\text{km/s}$ 層の上面深度は5kmよりも深く評価された。

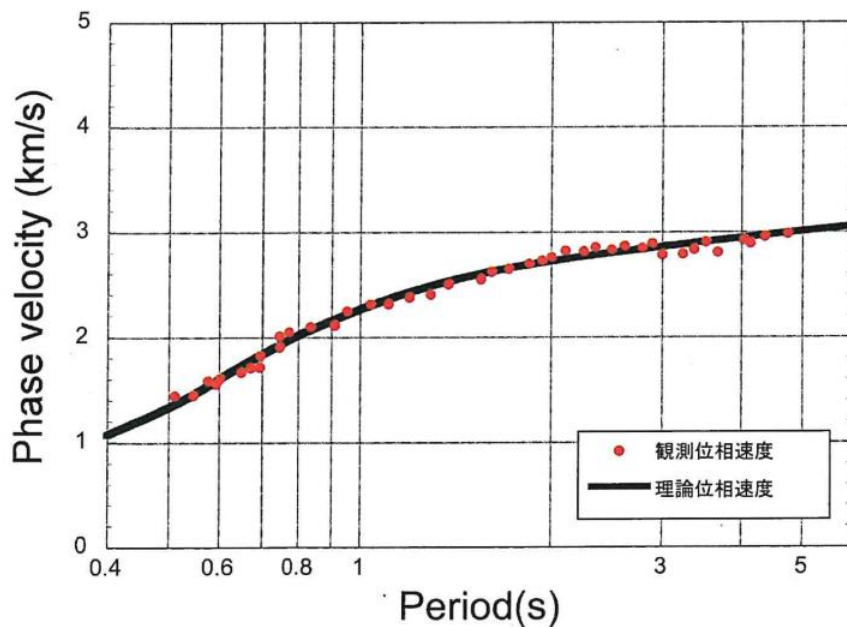
No.	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	密度 (g/cm^3)	層厚 (km)	上面深度 (km)
1	1.7	0.5	2.0	0.08	0.00
2	4.0	1.65	2.6	0.06	0.08
3	4.1	1.7	2.6	0.11	0.14
4	4.2	1.8	2.6	0.09	0.25
5	4.4	1.9	2.6	0.09	0.34
6	4.5	2.0	2.6	0.02	0.43
7	4.6	2.1	2.6	0.08	0.46
8	4.7	2.2	2.6	0.07	0.53
9	4.8	2.3	2.6	0.05	0.60
10	4.9	2.4	2.6	0.01	0.64
11	5.0	2.5	2.6	0.07	0.65
12	5.1	2.6	2.6	0.08	0.72
13	5.2	2.7	2.6	0.21	0.81
14	5.3	2.8	2.6	0.21	1.01
15	5.4	2.9	2.6	0.08	1.22
16	5.4	3.0	2.6	0.16	1.29
17	5.5	3.1	2.6	0.02	1.46
18	5.6	3.2	2.6	0.47	1.48
19	5.7	3.3	2.6	1.98	1.95
20	5.7	3.4	2.6	2.00	3.93
21	5.8	3.5	2.6	1.98	5.93
22	5.9	3.6	2.7	—	7.90

5. 地下構造モデルの策定（微動アレイ観測）

第257回審査会合
資料再掲

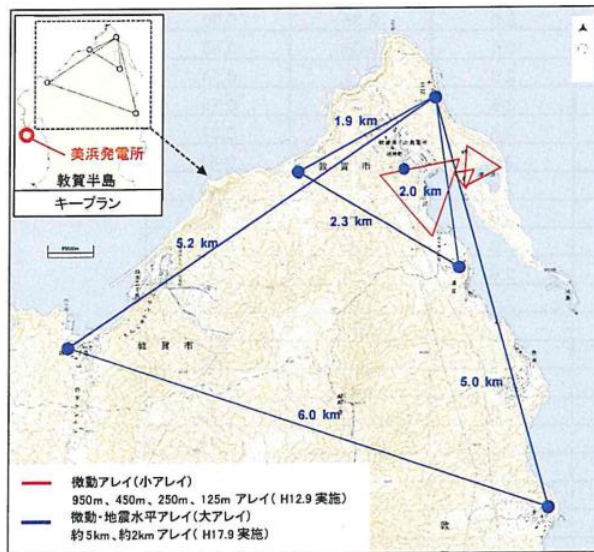
33

■今回選定された地下構造モデルについて、その物性値を用いて算定される理論位相速度を評価した結果、観測位相速度と良く対応していることを確認した。

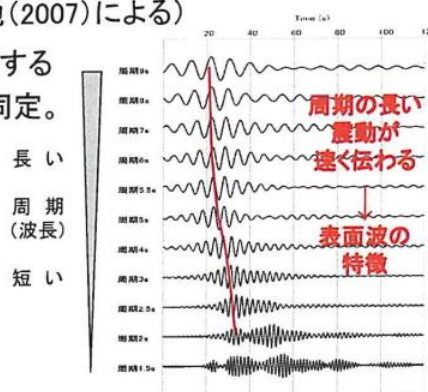


■微動アレイ探査、地震計水平アレイ観測(川里他(2007)による)

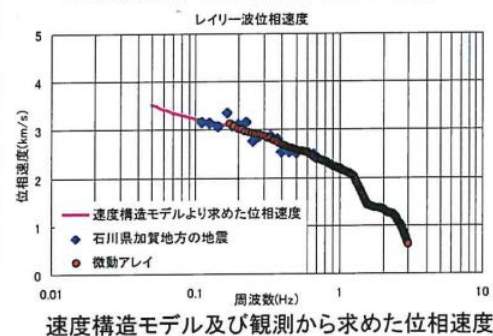
常時微動や自然地震による表面波を観測、分析することにより、表面波が伝播した地盤の速度構造を同定。



微動アレイ及び地震計水平アレイの観測点



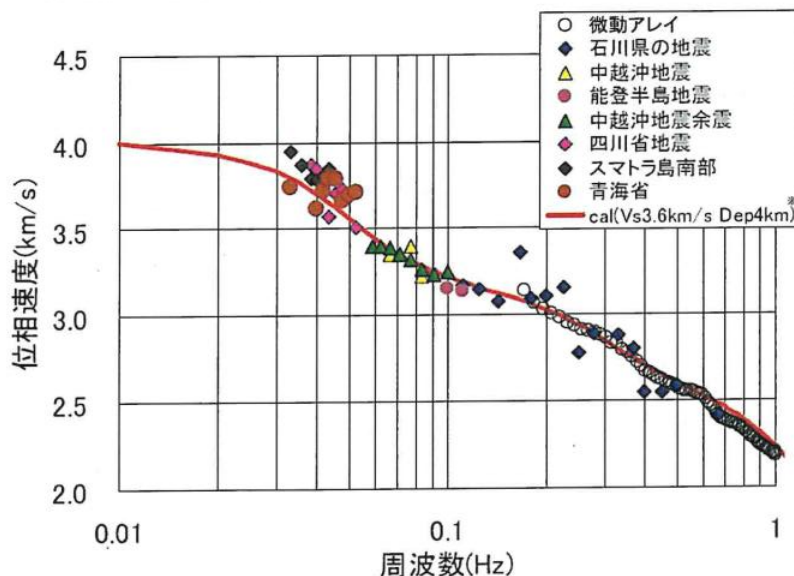
地震観測例 石川県加賀地方の地震



速度構造モデル及び観測から求めた位相速度

■微動アレイ探査、地震計水平アレイ観測(大場他(2010)による)

川里他(2007)に対して、その後の地震観測記録を追加。

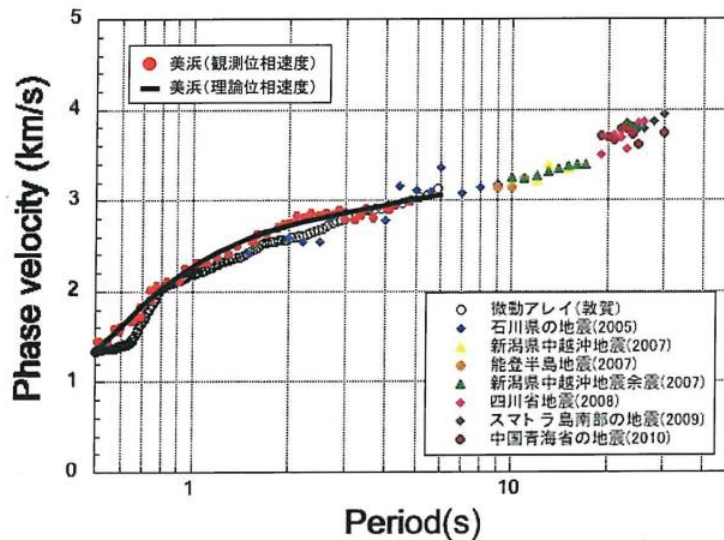


レイリー波の位相速度と微動探査による位相速度との比較

※ Cal は速度構造モデルより求めたレイリー波の理論位相速度

■観測位相速度の比較

大場他(2010)による観測位相速度と、美浜発電所における観測位相速度を比較する。

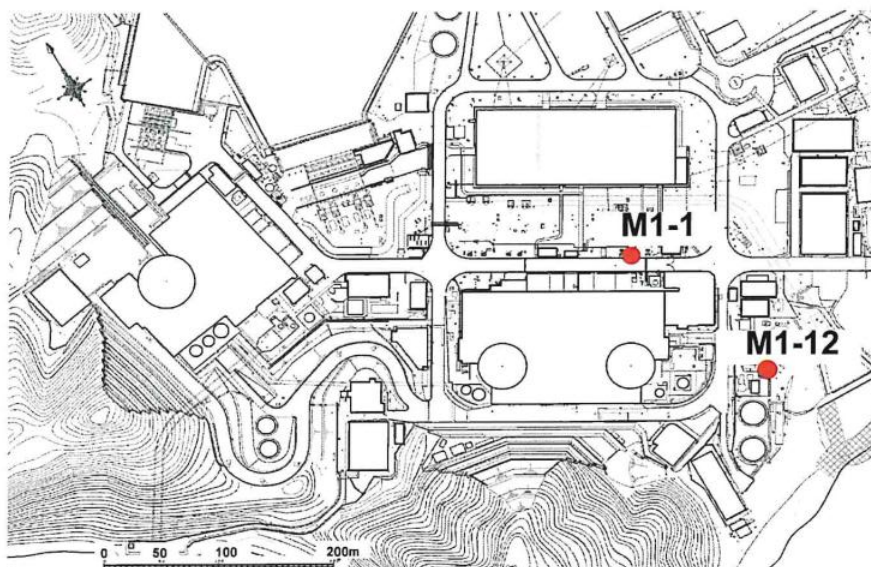


大場他(2010)による観測位相速度と美浜発電所での観測位相速度の比較図

美浜発電所における観測位相速度は、敦賀半島の微動及び地震観測記録を用いて検討された大場他(2010)による観測位相速度と良く対応していることを確認した。

5. 地下構造モデルの策定 (減衰定数)

■敷地内で実施したボーリング孔のPS検層データを用いて地盤の不均質性を検討し、浅部で考慮すべき減衰定数との関係を評価。



●:不均質強度検討に使用したPS検層孔

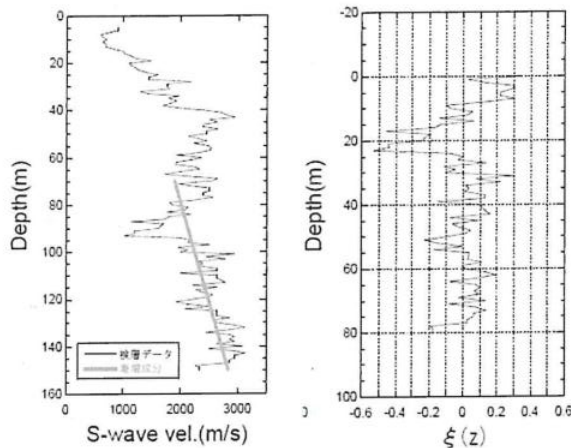
5. 地下構造モデルの策定（減衰定数）

第257回審査会合
資料再掲

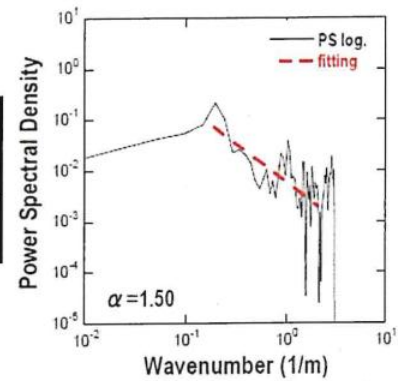
38

美浜発電所(M1-1孔)のPS 検層(S波速度)による不均質性の統計的性質の推定結果

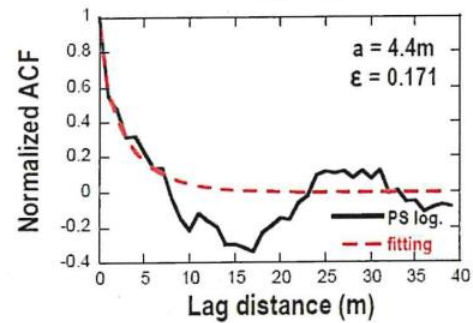
対象 データ 範囲(m)	平均S波 速度 (km/s)	漸増成分 の傾き (1/s)	相関 距離 a (m)	Hurst 指数 ν	標準 偏差 ϵ
G.L.-70 ~150	2.36	11.80	4.4	0.27	0.171



検層データに対するフィッティング結果(左)と
抽出された不均質データ $\xi(z)$ (右)



不均質データのパワースペクトルと
フィッティング結果



不均質データの自己相関関数とフィッティング結果

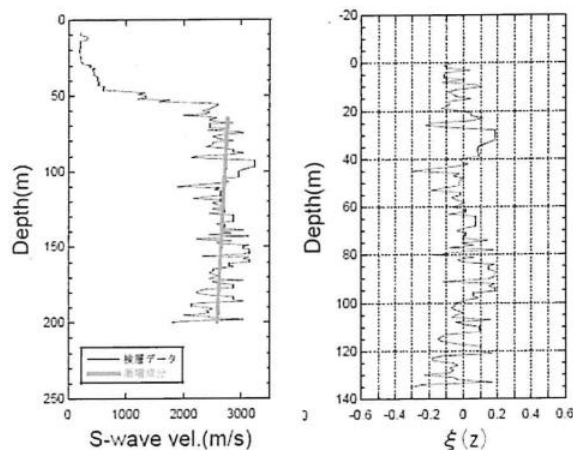
5. 地下構造モデルの策定（減衰定数）

第257回審査会合
資料再掲

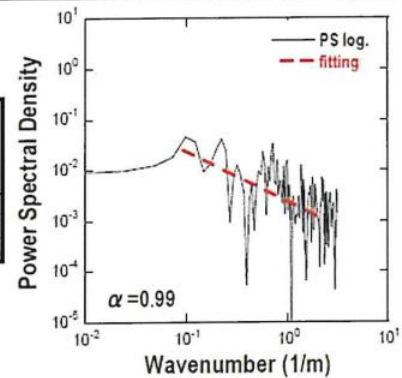
39

美浜発電所(M1-12孔)のPS 検層(S波速度)による不均質性の統計的性質の推定結果

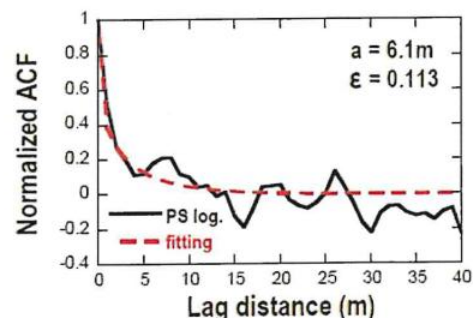
対象 データ 範囲(m)	平均S波 速度 (km/s)	漸増成分 の傾き (1/s)	相関 距離 a (m)	Hurst 指数 ν	標準 偏差 ϵ
G.L.-65 ~200	2.65	-0.44	6.1	0.13	0.113



検層データに対するフィッティング結果(左)と
抽出された不均質データ $\xi(z)$ (右)



不均質データのパワースペクトルと
フィッティング結果



不均質データの自己相関関数とフィッティング結果

5. 地下構造モデルの策定（減衰定数）

第257回審査会合
資料から変更

40

■速度構造の不均質性と付加減衰に関する考察

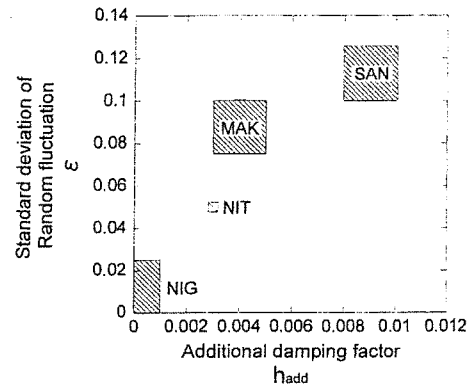
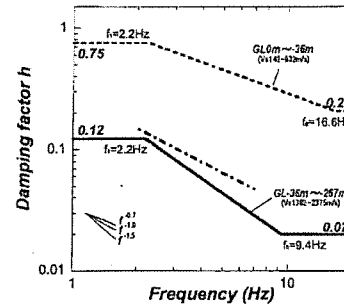
- 不均質強度（標準偏差）は0.11～0.17程度であり、佐藤・山中(2010)の指標を参考にすると、大きめの数字である。
- 佐藤他(2007)による同等の速度構造の減衰定数の下限値と併せて考えると表層の減衰定数は3%程度と考えられる。

広帯域のサイト増幅特性で考慮すべき
不均質性の標準偏差(強度)の目安

	NIG (NIG010)	NIT (NIG011)	MAK (NIG013)	SAN (NIG014)
Standard deviation ε	0 ~ 0.025	0.05	0.075 ~ 0.1	0.1 ~ 0.125

広帯域のサイト増幅特性で考慮すべき
減衰定数の付加量

	NIG (NIG010)	NIT (NIG011)	MAK (NIG013)	SAN (NIG014)
Additional damping factor h_{add}	0 ~ 0.001	0.003	0.003 ~ 0.005	0.008 ~ 0.01



新潟平野地域での広帯域のサイト増幅特性評価において、考慮すべき深部地盤の不均質性強度（標準偏差 ε ）とそれと等価な効果をもたらす減衰定数の付加量 h_{add} の関係

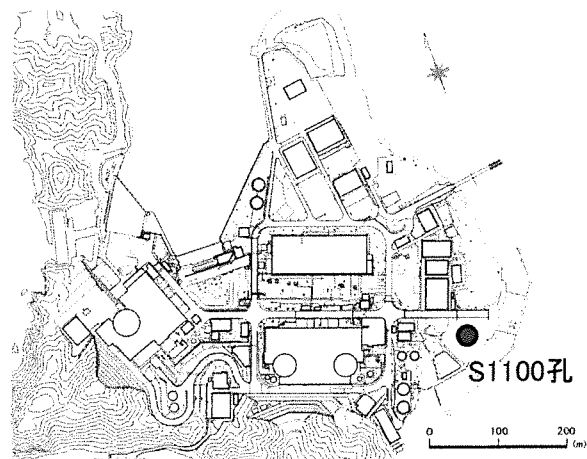
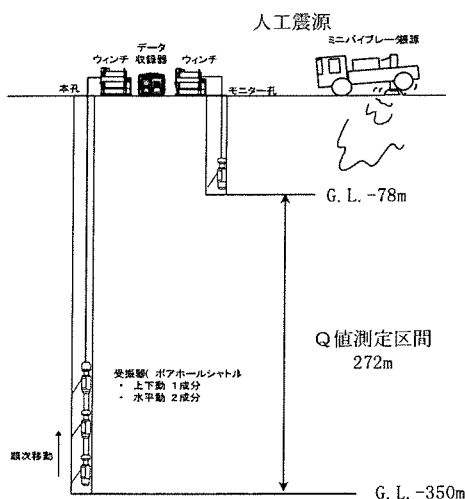
5. 地下構造モデルの策定（減衰定数）

第257回審査会合
資料再掲

41

■敷地浅部の地下構造について（ボーリング孔を用いたQ値測定）

発電所構内のボーリング孔を用いて、ミニバイブレータ及び板たたき起振によるQ値測定を実施。



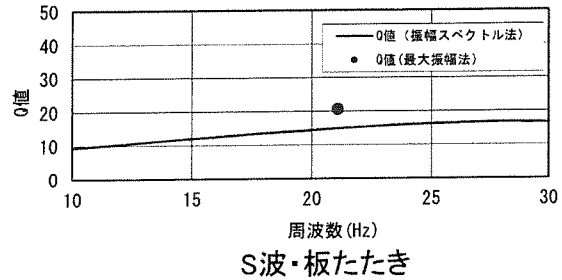
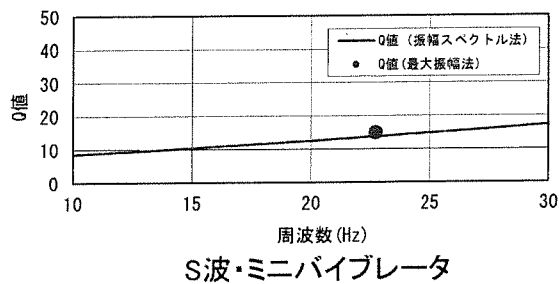
測定位置

5. 地下構造モデルの策定（減衰定数）

第257回審査会合
資料再掲

42

敷地浅部の地下構造について(Q値測定結果)



波種	起振源	解析深度区間 (m)	卓越周波数 (Hz)	Q値 (減衰定数(%))
S波	ミニバイブレータ	78 ~ 350	22.7	15.08(3.32)
	板たたき	78 ~ 350	21.1	20.70(2.42)

5. 地下構造モデルの策定（減衰定数）

第257回審査会合
資料から変更

43

■ 佐藤他(2007)及び佐藤・山中(2010)の知見を基に、敷地内のPS検層結果から速度構造の不均質性と減衰定数の関係について着目して不均質強度を評価した結果、減衰定数は3%程度と判断した。

■ 敷地内でQ値測定を実施した結果、減衰定数は3%程度であった。

⇒ 浅部の減衰定数を3%とする。

5. 地下構造モデルの策定（まとめ）

第257回審査会合
資料から変更

44

■ 以上より、調査結果に基づく地下構造モデルを以下のとおり策定した。

調査結果に基づき策定した地下構造モデル

No.	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	密度※1 (g/cm ³)	層厚 (km)	上面深度 (km)	Qs※2	減衰定数 (%)
1	4.0	1.65	2.6	0.06	0.00	16.67	3.0
2	4.1	1.7	2.6	0.11	0.06	16.67	3.0
3	4.2	1.8	2.6	0.03	0.17	16.67	3.0
3'	4.2	1.8	2.6	0.06	0.20	100.00	0.5
4	4.4	1.9	2.6	0.09	0.26	100.00	0.5
5	4.5	2.0	2.6	0.02	0.35	100.00	0.5
6	4.6	2.1	2.6	0.08	0.37	100.00	0.5
7	4.7	2.2	2.6	0.07	0.45	100.00	0.5
8	4.8	2.3	2.6	0.05	0.52	100.00	0.5
9	4.9	2.4	2.6	0.01	0.56	100.00	0.5
10	5.0	2.5	2.6	0.07	0.57	100.00	0.5
11	5.1	2.6	2.6	0.08	0.64	100.00	0.5
12	5.2	2.7	2.6	0.21	0.72	100.00	0.5
13	5.3	2.8	2.6	0.21	0.93	100.00	0.5
14	5.4	2.9	2.6	0.08	1.13	100.00	0.5
15	5.4	3.0	2.6	0.16	1.21	100.00	0.5
16	5.5	3.1	2.6	0.02	1.37	100.00	0.5
17	5.6	3.2	2.6	0.47	1.40	100.00	0.5
18	5.7	3.3	2.6	1.98	1.87	100.00	0.5
19	5.7	3.4	2.6	0.15	3.85	100.00	0.5
20	5.9	3.6	2.7	—	4.00	100.00	0.5

※1: 浅部は敷地内でのボーリング調査結果から2.6g/cm³として設定し、地質調査結果から浅部と同質の花崗岩が深部まで分布していることから、深部も浅部と同等とみなして設定
2.7g/cm³は「琵琶湖西岸断層帯の地震を想定した強震動評価(地震調査研究推進本部平成16年6月21日)」等でも用いられている値を採用

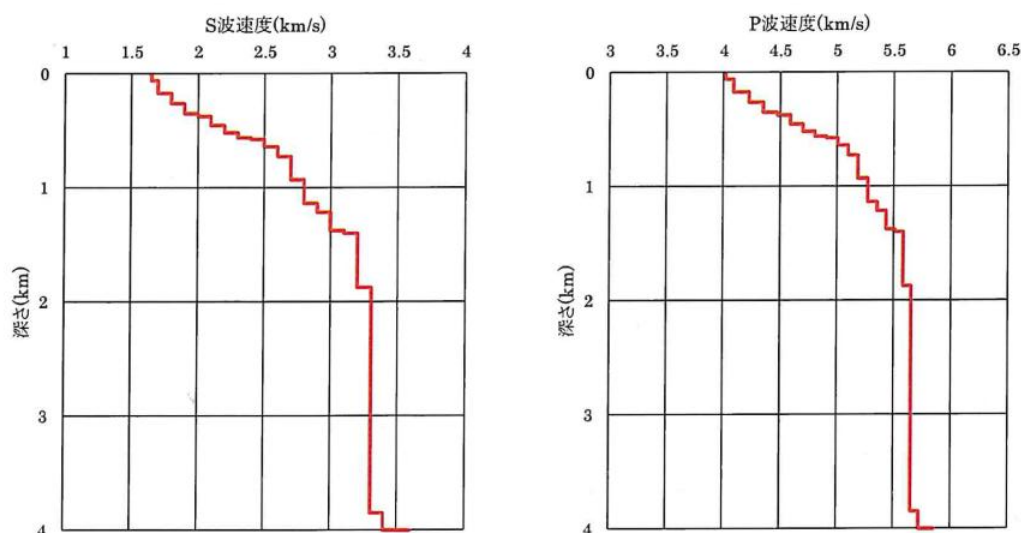
※2: 深さ200m以浅は、地盤の不均質性の評価及びQ値測定の結果を総合的に踏まえてQs=16.67(減衰定数3%)とし、200m以深はQs=100(減衰定数0.5%)として設定

5. 地下構造モデルの策定（まとめ）

第257回審査会合
資料再掲

45

■ 調査結果に基づき策定した地下構造モデルについて、速度構造を以下に示す。



調査結果に基づき策定した地下構造モデル

5. 地下構造モデルの策定（まとめ）

第257回審査会合
資料再掲

46

- 試掘坑内弾性波試験結果等から、E.L.+0mの位置に解放基盤表面を設定した。
- 敷地内の単点微動観測結果や反射法地震探査結果等から、敷地の地下構造に特異な構造がないことを確認したことから、水平成層構造とみなして一次元の速度構造をモデル化した。
- 敷地内における微動アレイ観測結果から位相速度を求め、インバージョン解析により地盤の速度構造を推定した。
- PS検層結果を用いた不均質強度の評価及びQ値測定の結果に基づき、減衰定数を設定した。
- 以上により、調査結果に基づく地下構造モデルを策定した。

6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動（地震発生層の評価）

第257回審査会合
資料再掲

47

■ 地盤速度構造による地震発生層の検討

シナリオ地震の強震動予測

入倉孝次郎・三宅弘恵, 2001, 地学雑誌, 110(6)

微小地震の浅さ限界HsはP波速度5.8～5.9km/sの層の上限と良い相関がある。

近畿地方北部の地震波速度構造と地震発生層

吉井弘治・伊藤潔, 2001, 地球惑星科学連合学会2001年合同大会

1989年に実施された岐阜県藤橋村から兵庫県上郡町における人工地震探査データをもとに、波線追跡法によって地殻の詳細な速度構造を求め、得られた速度構造モデルと、地震活動の深さ断面とを比較し、地震発生層の上限は速度構造が6km/sとなるとところにおおむね一致していることが分かった。

広角反射法および屈折法解析による近畿地方の地殻構造の推定

廣瀬一聖・伊藤潔, 2006, 京都大学防災研究所年報, 第49号B, pp307-321

浅い地殻内で発生する微小地震は、P波速度が5.8～6.4km/sの層に集中しており、その上下には地震波速度境界が存在する。

■地盤速度構造による地震発生層の検討

若狭周辺地域において、大都市大震災軽減化特別プロジェクト(大大特)による大規模な地下構造探査が実施されており、近畿地方北部の浅い地震活動は地震波速度 $V_p=5.8\sim6.3\text{km/s}$ の層に集中し、その深さは約5~16km程度であった。

○新宮—舞鶴測線(2004)の探査結果

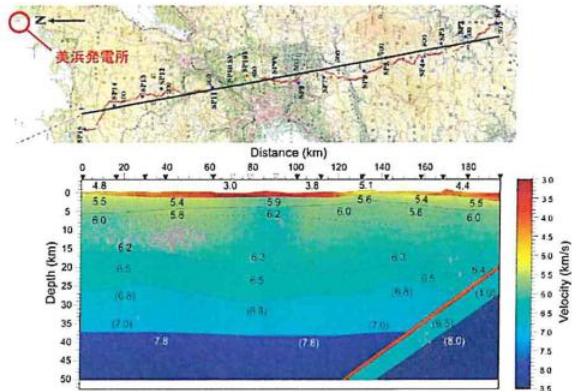


Fig. 9 P-wave velocity structure for the. Numerals show P-wave velocities in km/s. Parentheses show assumed velocity value. Small black and red dots (about 35-40km deep) show earthquakes and low-frequency earthquakes, respectively after Hirose and Ito (2007).

伊藤他(2007)に一部加筆

○藤橋—上郡測線(1989)の再解析結果

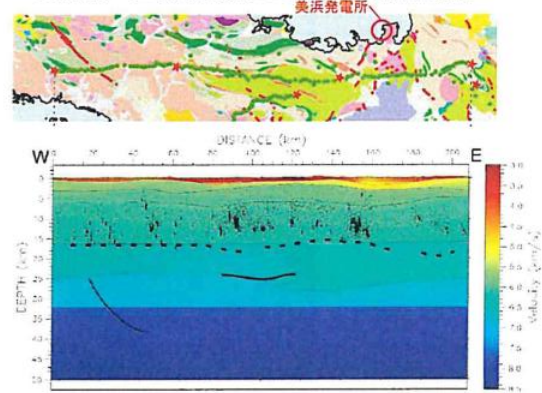


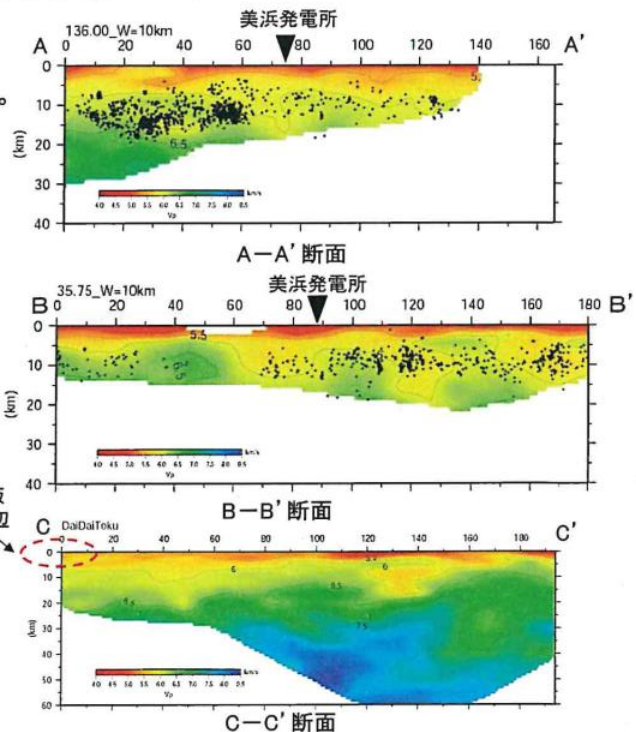
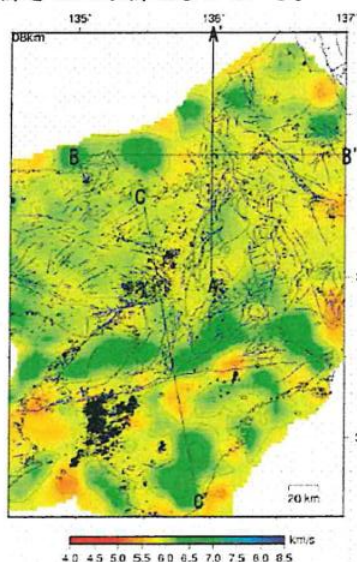
図16 藤橋—上郡測線の地震波速度構造に、測線周辺の震源分布と反射法解析によって見出された反射面を重ねた。

伊藤他(2006)に一部加筆

地震発生層は $V_p=5.8\sim6.4\text{km/s}$ 層に対応すると考えられることから、断層上端深さは $V_p=5.8\text{km/s}$ 層の上面深度により設定する。

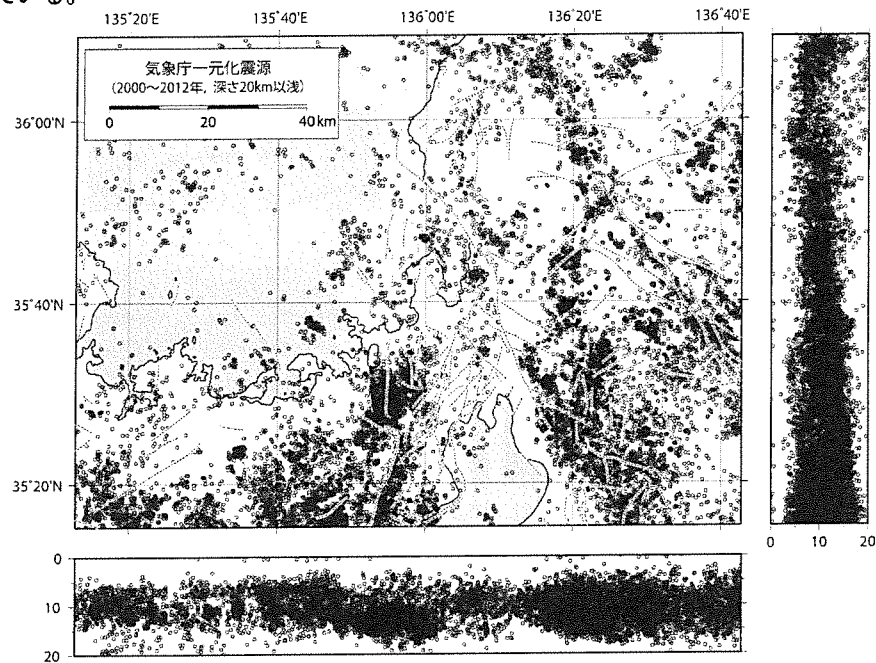
■地震波速度トモグラフィ解析による検討(川里他(2007)による)

敷地周辺を取り囲むような震源と観測点の観測記録を用いて、地震波の伝播をインバージョンし、速度構造が求められている。敷地周辺の地震発生層の上限は、概ね深さ4km以深となっている。



■微小地震に関する検討

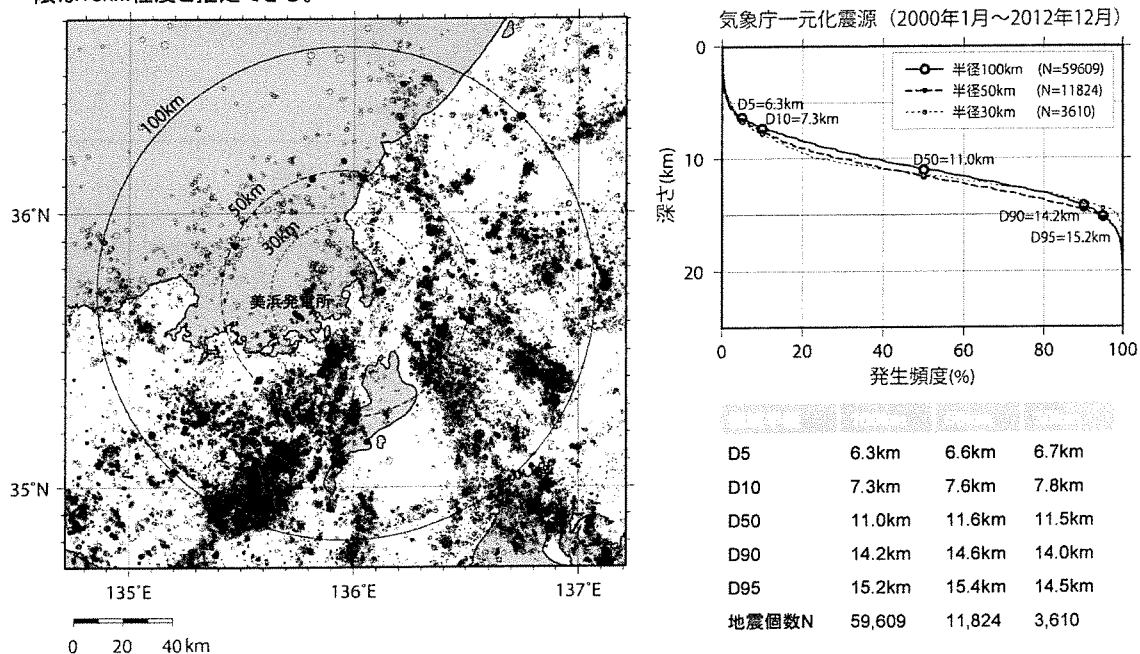
若狭地域の微小地震の発生分布について調査すると、地震の発生は深さ5~20km程度の間に分布している。



■微小地震記録を用いた検討(美浜発電所)

伊藤・中村(1998)を参考に、敦賀半島を中心とする半径100km以内の地震発生状況を統計的に評価すると、地震の10%発生頻度深さ(D10%)は約7km、地震の90%発生頻度深さ(D90%)は約15kmであった。

伊藤・中村(1998)によれば、D90%は地震発生層の下限より2~3km浅いとされていることから、地震発生層の下限は18km程度と推定できる。



① 地盤速度構造による検討

(1) 地盤速度構造による地震発生層の検討

地震発生層に関する文献調査から、 $V_p=5.8\sim6.4\text{km/s}$ 層と地震発生層には相関があることが分かった。

大大特による大規模な地下構造探査によれば、近畿地方北部の浅い地震活動は $V_p=5.8\sim6.3\text{km/s}$ の層に集中し、その深さは約5~16km程度であった。

(2) 地震波速度トモグラフィ解析による検討

川里他(2007)によると、敷地周辺における地震発生層の上限は、概ね深さ4km以深となっている。

(3) 美浜発電所の地下構造モデルによる検討

発電所の敷地内で取得した観測データに基づいて地下構造モデルを検討した結果、 $V_p=5.8\text{km/s}$ 層の上面深度は5kmよりも深く評価された。

② 微小地震記録を用いた検討

(1) 周辺地域における地震発生状況の調査

若狭地域の微小地震の発生分布について調査した結果、地震の発生は深さ5~20kmに見られた。

(2) 地震発生状況の統計的評価

伊藤・中村(1998)を参考に、若狭地域の地震の10%発生頻度深さ(D10%)は約7km、地震の90%発生頻度深さ(D90%)は約15kmであった。



美浜発電所における断層上端深さ及び下端深さは、以下のとおり設定できることを確認した。

上端	下端
4km	18km

■ 近畿地方の地盤速度構造に関する文献調査を行った。

内陸地殻内地震について、地震発生層は $V_p=5.8\sim6.4\text{km/s}$ 層に対応すると考えられることから、断層上端深さは $V_p=5.8\text{km/s}$ 層の上面深度により設定することとした。

■ 敷地周辺の微小地震の発生状況について整理した。

微小地震は深さ約5~20kmの範囲で発生しており、統計的評価から、D10%は約7km、D90%は約15kmであった。

■ 発電所敷地における $V_p=5.8\text{km/s}$ 層の上面深度が5km以深であることや、微小地震の発生状況から、断層上端深さを4km、下端深さを18kmとして設定できることを確認した。

■ 以上の検討結果から、保守的に断層上端深さを3kmと設定する。

また、地下構造モデルについては、深さ3kmまでのモデルを用いて、全ての地震動評価を実施することとする。

6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動(地震発生層の評価)

第263回審査会合
資料から変更

54

■断層モデルを用いた手法による地震動評価のための地下構造モデルを以下のとおり策定した。
美浜発電所の地震動評価に用いる地下構造モデル

No.	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	密度※1 (g/cm ³)	層厚 (km)	上面深度 (km)	Qs※2	減衰定数 (%)
1	4.0	1.65	2.6	0.06	0.00	16.67	3.0
2	4.1	1.7	2.6	0.11	0.06	16.67	3.0
3	4.2	1.8	2.6	0.03	0.17	16.67	3.0
3'	4.2	1.8	2.6	0.06	0.20	100.00	0.5
4	4.4	1.9	2.6	0.09	0.26	100.00	0.5
5	4.5	2.0	2.6	0.02	0.35	100.00	0.5
6	4.6	2.1	2.6	0.08	0.37	100.00	0.5
7	4.7	2.2	2.6	0.07	0.45	100.00	0.5
8	4.8	2.3	2.6	0.05	0.52	100.00	0.5
9	4.9	2.4	2.6	0.01	0.56	100.00	0.5
10	5.0	2.5	2.6	0.07	0.57	100.00	0.5
11	5.1	2.6	2.6	0.08	0.64	100.00	0.5
12	5.2	2.7	2.6	0.21	0.72	100.00	0.5
13	5.3	2.8	2.6	0.21	0.93	100.00	0.5
14	5.4	2.9	2.6	0.08	1.13	100.00	0.5
15	5.4	3.0	2.6	0.16	1.21	100.00	0.5
16	5.5	3.1	2.6	0.02	1.37	100.00	0.5
17	5.6	3.2	2.6	0.47	1.40	100.00	0.5
18	5.7	3.3	2.6	1.13	1.87	100.00	0.5
19	5.9	3.6	2.7	—	3.00	100.00	0.5

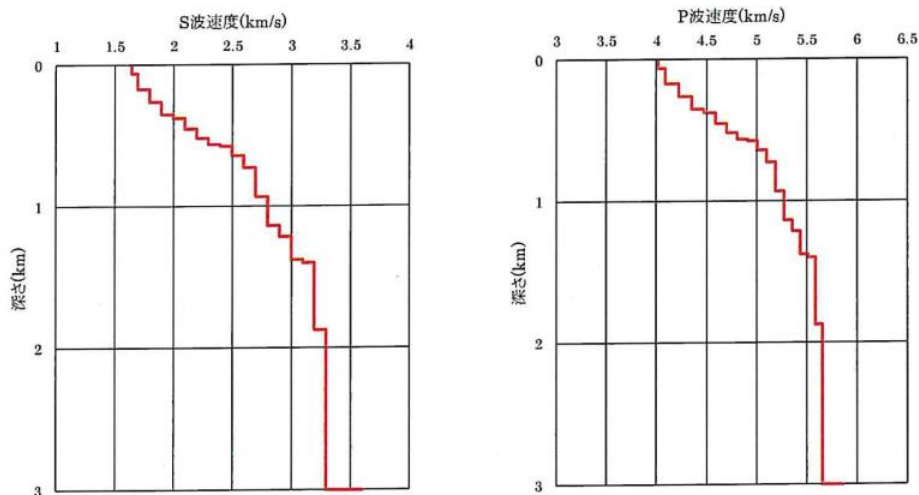
※1:浅部は敷地内でのボーリング調査結果から2.6g/cm³として設定し、地質調査結果から浅部と同質の花崗岩が深部まで分布していることから、深部も浅部と同等とみなして設定
2.7g/cm³は「琵琶湖西岸断層帯の地震を想定した強震動評価(地震調査研究推進本部平成16年6月21日)」等でも用いられている値を採用
※2:深さ200m以浅は、地盤の不均質性の評価及びQ値測定の結果を総合的に踏まえてQs=16.67(減衰定数3%)とし、200m以深はQs=100(減衰定数0.5%)として設定

6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動(地震発生層の評価)

第263回審査会合
資料再掲

55

■断層モデルを用いた手法による地震動評価のための地下構造モデルについて、
速度構造を以下に示す。



美浜発電所の地震動評価に用いる地下構造モデル

■評価手法

○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、震源の拡がりやが考慮できること、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、断層モデルを用いた地震動評価結果を重視
- ・マグニチュードMは松田(1975)により算定

断層名	長さ(km)	マグニチュードM
C断層	18	6.9
三方断層	27	7.2
白木一丹生断層	15	6.9
大陸棚外縁～B～野坂断層	49	7.7
安島岬沖～和布一干飯崎沖～甲楽城断層	76	8.0
甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層	36	7.4

○断層モデルを用いた手法による地震動評価

- ・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(離散化波数法)を適用したハイブリッド合成法により評価
- ・新潟県中越沖地震の反映事項を踏まえて、短周期の地震動レベルを1.5倍したケースも評価

6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動（評価手法）

○応答スペクトルに基づく地震動評価

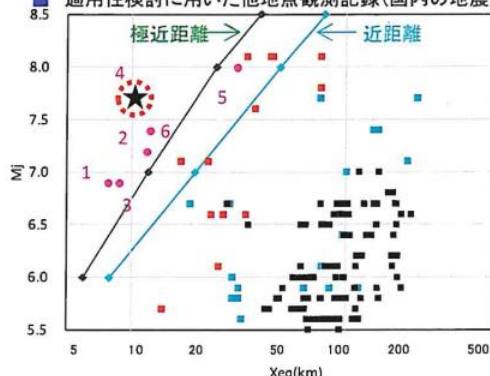
■検討用地震の等価震源距離と耐専式での地震の諸元との比較

1. 回帰分析に用いた地震の諸元
 $5.5 \leq M \leq 7.0$ (M: 気象庁マグニチュード)
 $h \leq 60\text{km}$ (h: 震源深さ)
 $28\text{km} \leq X_{eq} \leq 202\text{km}$ (X_{eq} : 等価震源距離)
2. 観測記録を用いて距離減衰式の適用性について検討した際に用いた地震の諸元
 $5.4 \leq M \leq 8.1$ (M: 気象庁マグニチュード)
 $h \leq 60\text{km}$ (h: 震源深さ)
 $14\text{km} \leq X_{eq} \leq 218\text{km}$ (X_{eq} : 等価震源距離)

■ 回帰式の作成に用いた観測記録

■ 適用性検討に用いた他地点観測記録(海外の地震)

■ 適用性検討に用いた他地点観測記録(国内の地震)



平成21年5月22日原安委意見交換会資料(東京電力)に加筆

No.	検討用地震	M	$X_{eq}^{※}$ (km)
1	C断層	6.9	7.8
2	三方断層	7.2	11.8
3	白木一丹生断層	6.9	8.8
4	大陸棚外縁～B～野坂断層	7.7	10.3
5	安島岬沖～和布一干飯崎沖～甲楽城断層	8.0	31.1
6	甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層	7.4	12.2

※ X_{eq} は基本ケースの値

大陸棚外縁～B～野坂断層については、極近距離との乖離が大きいため、耐専式を適用範囲外と判断する。

○応答スペクトルに基づく地震動評価

■耐専式以外の距離減衰式

国内の地震を含むデータベースにより作成された距離減衰式のうち、大陸棚外縁～B～野坂断層の地震動評価に用いた距離減衰式は以下のとおり

各種距離減衰式のデータベース諸元

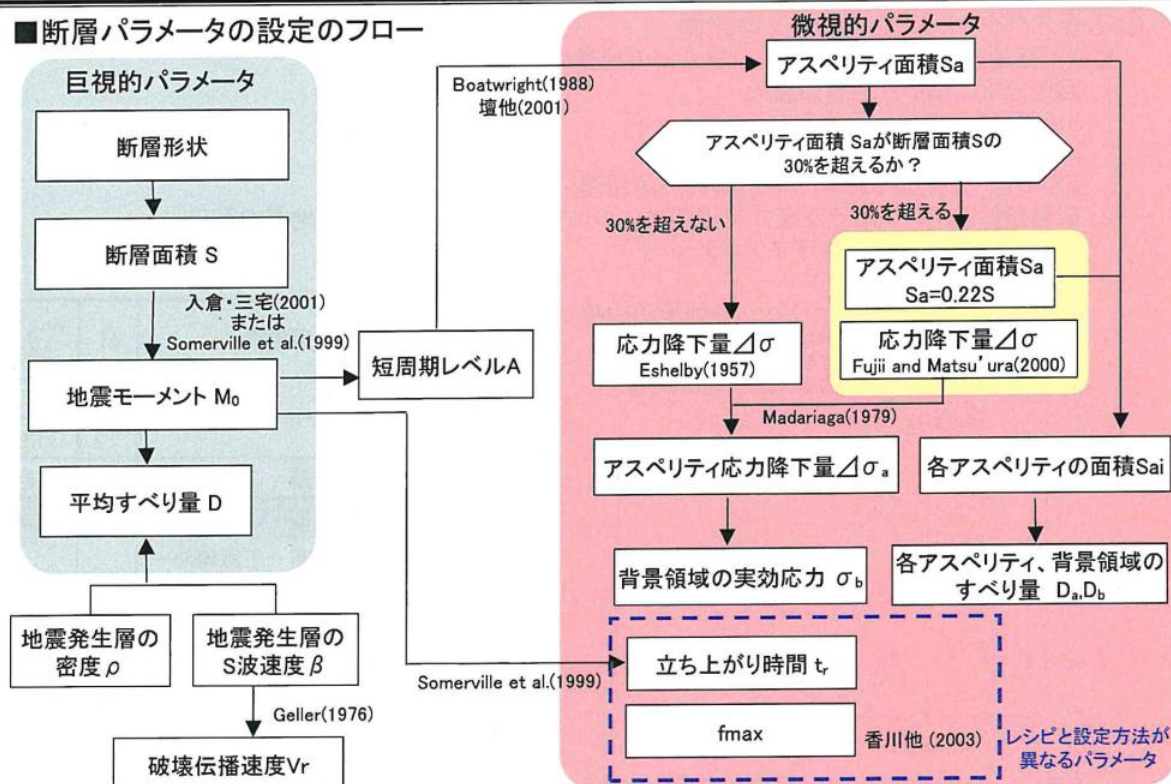
距離減衰式	データベース諸元					サイト補正の考え方
	対象地震	地震種別	Mw※1の範囲	断層最短距離の範囲	地盤種別※2	
Kanno et al.(2006)	主に国内	内陸プレート間プレート内	5.5～8.2	1～500km	100≦Vs30≦1,400m/s (原論文の図から読取)	原論文の評価式を用いて補正
Zhao et al.(2006)	主に国内	内陸プレート間プレート内	5.0～8.3	0.3～300km	・Vs30>1,100m/s ・Vs30>600m/s 等で整理	原論文の評価式を用いて補正
内山・翠川(2006)	日本周辺	内陸プレート間プレート内	5.5～8.3	300km以内	Vs30=500m/s程度の工学的基盤	—
片岡・他(2006)	日本周辺	内陸海溝性	4.9～8.2	250km以内	工学的基盤(31測点)のVs30の平均値は720m/s	—
Abrahamson and Silva(2008)	国内外	内陸	4.27～7.9	200km以内	100≦Vs30≦2,000m/s	原論文の評価式を用いて補正
Boore and Atkinson(2008)			4.27～7.9	400km以内	NEHRP分類A～E	原論文の評価式を用いて補正
Campbell and Bozorgnia(2008)			4.27～7.9	200km以内	150≦Vs30≦1,500m/s	原論文の評価式を用いて補正
Chiou and Youngs(2008)			4.27～7.9	70km以内	100≦Vs30≦2,000m/s	原論文の評価式を用いて補正
Idriss(2008)			4.5～7.7	200km以内	450≦Vs30≦900m/s	原論文の評価式を用いて補正

※1: Mw: モーメントマグニチュード

※2: Vs30: 地表から深さ30mまでの平均S波速度(美浜発電所はVs30=1,650m/s)

6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動（評価手法）

■断層パラメータの設定のフロー



6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動（評価条件）

第263回審査会合
資料から変更

60

■C断層による地震の地震動評価ケースは以下のとおり設定した。

①基本ケース

- ・断層上端深さについては3kmとして設定
- ・震源モデルを調査結果等に基づき、逆断層傾斜角 60° と設定
- ・長さについては、詳細な調査結果等に基づき約18kmと設定

②考慮する不確かさケース

- ・新潟県中越沖地震の知見を踏まえ短周期の地震動レベルを1.5倍としたケースを考慮
- ・敷地に近い断層であるため、断層傾斜角について敷地側へ近くなるように傾斜させた傾斜角 55° としたケースを考慮

なお、アスペリティ位置については、基本ケースにおいて敷地近傍に配置した。

破壊開始点については、すべてのケースにおいて、断層及びアスペリティ下端に複数のケースを設定した。

	短周期の 地震動レベル	傾斜角	アスペリティ	破壊開始点
基本ケース	レシピ平均	60°	敷地に近い 位置に配置	複数設定
短周期の地震動レベルの 不確かさを考慮	レシピ平均 $\times 1.5$ 倍	60°	敷地に近い 位置に配置	複数設定
断層傾斜角の 不確かさを考慮	レシピ平均	55°	敷地に近い 位置に配置	複数設定

 : 不確かさを独立して考慮するパラメータ

 : 不確かさを重畳して考慮するパラメータ

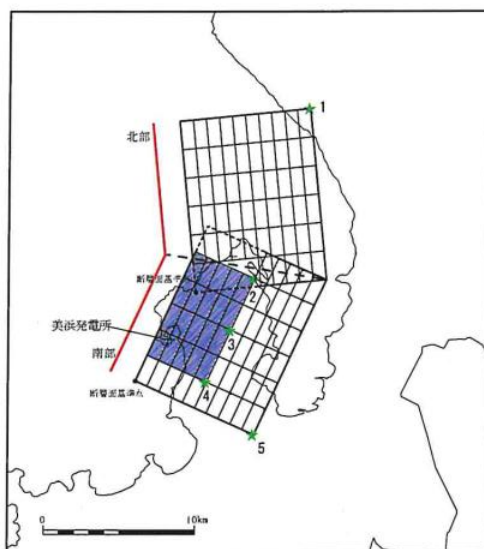
6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動（評価条件）

第263回審査会合
資料再掲

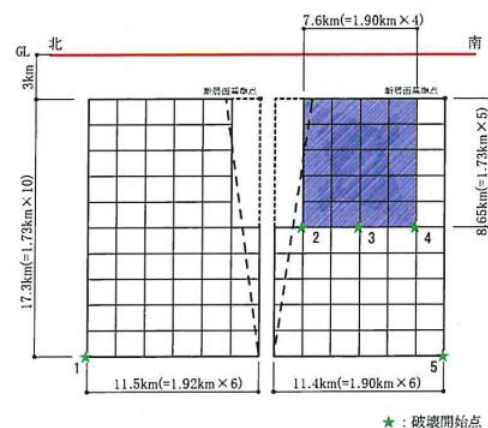
61

■C断層のモデル図

（基本ケース、短周期の地震動1.5倍ケース）

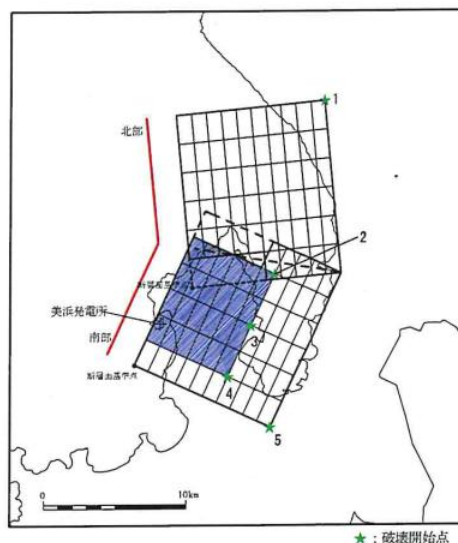


断層配置図

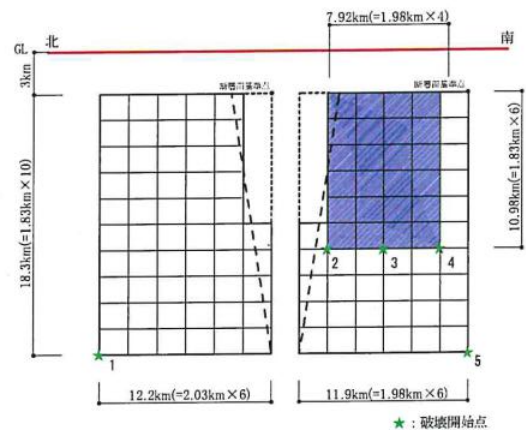


断面図

■C断層のモデル図
（断層傾斜角 55° ケース）



断層配置図



断面図

■三方断層による地震の地震動評価ケースは以下のとおり設定した。

①基本ケース

- ・断層上端深さについては3kmとして設定
- ・震源モデルを調査結果等に基づき、逆断層傾斜角 60° と設定
- ・長さについては、詳細な調査結果等に基づき約27kmと設定

②考慮する不確かさケース

- ・新潟県中越沖地震の知見を踏まえ短周期の地震動レベルを1.5倍としたケースを考慮

なお、アスペリティ位置については、基本ケースにおいて敷地近傍に配置した。

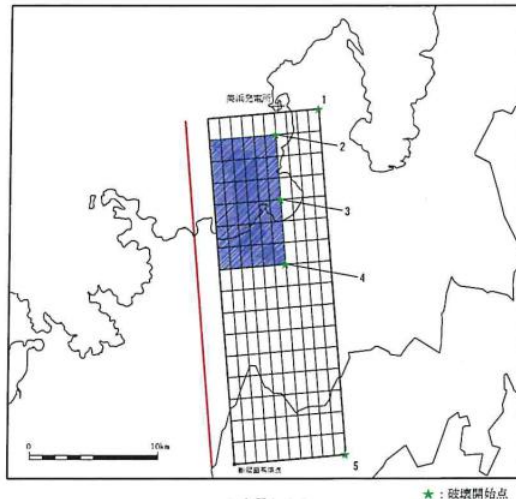
破壊開始点については、すべてのケースにおいて、断層及びアスペリティ下端に複数のケースを設定した。

	短周期の 地震動レベル	傾斜角	アスペリティ	破壊開始点
基本ケース	レシビ平均	60°	敷地に近い 位置に配置	複数設定
短周期の地震動レベルの 不確かさを考慮	レシビ平均 $\times 1.5$ 倍	60°	敷地に近い 位置に配置	複数設定

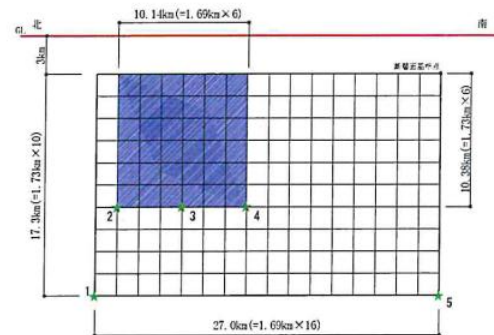
■ : 不確かさを独立して考慮するパラメータ

■ : 不確かさを重畳して考慮するパラメータ

■三方断層のモデル図（基本ケース、短周期の地震動1.5倍ケース）



断層配置図



断面図

6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動（評価条件）

■白木－丹生断層による地震の地震動評価ケースは以下のとおり設定した。

①基本ケース

- ・断層上端深さについては3kmとして設定
- ・震源モデルを調査結果等に基づき、逆断層傾斜角 60° と設定
- ・長さについては、断層の存在が明確な範囲は約15kmであるが、断層両端を延長し20kmと設定

②考慮する不確かさケース

- ・新潟県中越沖地震の知見を踏まえ短周期の地震動レベルを1.5倍としたケースを考慮

なお、アスペリティ位置については、基本ケースにおいて敷地近傍に配置した。

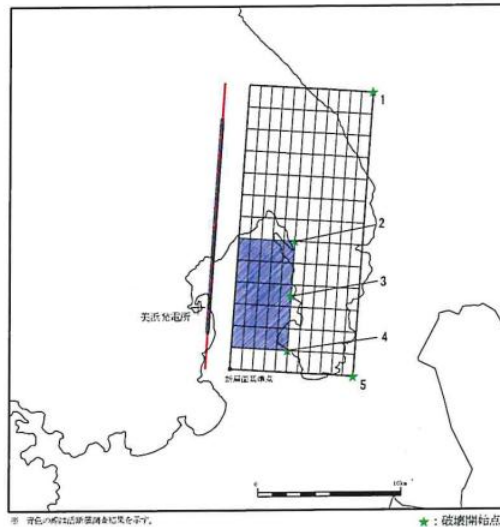
破壊開始点については、すべてのケースにおいて、断層及びアスペリティ下端に複数のケースを設定した。

	短周期の 地震動レベル	傾斜角	アスペリティ	破壊開始点
基本ケース	レシピ平均	60°	敷地に近い 位置に配置	複数設定
短周期の地震動レベルの 不確かさを考慮	レシピ平均 $\times 1.5$ 倍	60°	敷地に近い 位置に配置	複数設定

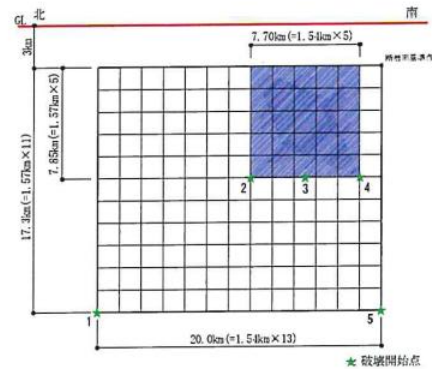
■ : 不確かさを独立して考慮するパラメータ

■ : 不確かさを重畳して考慮するパラメータ

■白木－丹生断層のモデル図（基本ケース、短周期の地震動1.5倍ケース）



断層配置図



断面図

6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動（評価条件）

■大陸棚外縁～B～野坂断層による地震の地震動評価ケースは以下のとおり設定した。

①基本ケース

- 断層上端深さについては3kmとして設定
- 震源モデルを調査結果等に基づき、北部（大陸棚外縁断層）は右横ずれ断層傾斜角 60° 、中部（B断層北部）は左横ずれ断層傾斜角 60° 、南部（B断層南部及び野坂断層）は左横ずれ断層傾斜角 90° と設定
- 長さについては、大陸棚外縁断層、B断層及び野坂断層の連動を考慮し、49kmと設定

②考慮する不確かさケース

- 新潟県中越沖地震の知見を踏まえ短周期の地震動レベルを1.5倍としたケースを考慮
- 長い横ずれ断層であるため、破壊伝播速度については基本ケース $V_r=0.72\beta$ （ β は地震発生層のS波速度）に対して、宮腰他（2003）の知見を参考にして、アスペリティ領域の平均的な破壊伝播速度に標準偏差 1σ を考慮した $V_r=0.87\beta$ としたケースを考慮

なお、アスペリティ位置については、基本ケースにおいて敷地近傍に配置した。

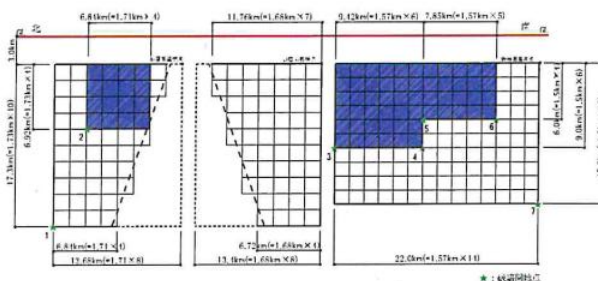
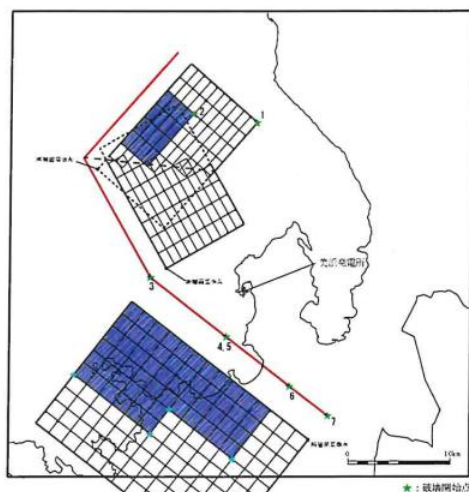
破壊開始点については、すべてのケースにおいて、断層及びアスペリティ下端に複数のケースを設定した。

	短周期の 地震動レベル	破壊伝播速度 V_r	傾斜角	アスペリティ	破壊開始点
基本ケース	レスピ平均	$V_r=0.72\beta$	北部・中部 60° 南部 90°	敷地に近い 位置に配置	複数設定
短周期の地震動レベルの 不確かさを考慮	レスピ平均 $\times 1.5$ 倍	$V_r=0.72\beta$	北部・中部 60° 南部 90°	敷地に近い 位置に配置	複数設定
破壊伝播速度 V_r の 不確かさを考慮	レスピ平均	$V_r=0.87\beta$	北部・中部 60° 南部 90°	敷地に近い 位置に配置	複数設定

■ : 不確かさを独立して考慮するパラメータ

■ : 不確かさを重畳して考慮するパラメータ

■大陸棚外縁～B～野坂断層のモデル図

（基本ケース、短周期の地震動1.5倍ケース、 $V_r=0.87\beta$ ケース）

断面図

※ 傾斜角 90° の断面図は、傾斜角 0° として図化している。

断層配置図

6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動（評価条件）

■安島岬沖～和布一干飯崎沖～甲楽城断層による地震の地震動評価ケースは以下のとおり設定した。

①基本ケース

- ・断層上端深さについては3kmとして設定
- ・震源モデルを調査結果等に基づき、北部（安島岬沖断層）、中部（和布一干飯崎沖断層）は逆断層傾斜角 45° 、南部（甲楽城断層）は左横ずれ断層傾斜角 90° と設定
- ・長さについては、安島岬沖断層、和布一干飯崎沖断層、甲楽城断層の連動を考慮し、76kmと設定

②考慮する不確かさケース

- ・新潟県中越沖地震の知見を踏まえ短周期の地震動レベルを1.5倍としたケースを考慮
- ・横ずれを伴う長い断層であるため、破壊伝播速度については基本ケース $V_r=0.72\beta$ （ β は地震発生層のS波速度）に対して、宮腰他（2003）の知見を参考にして、アスペリティ領域の平均的な破壊伝播速度に標準偏差 1σ を考慮した $V_r=0.87\beta$ としたケースを考慮

なお、アスペリティ位置については、基本ケースにおいて敷地近傍に配置した。

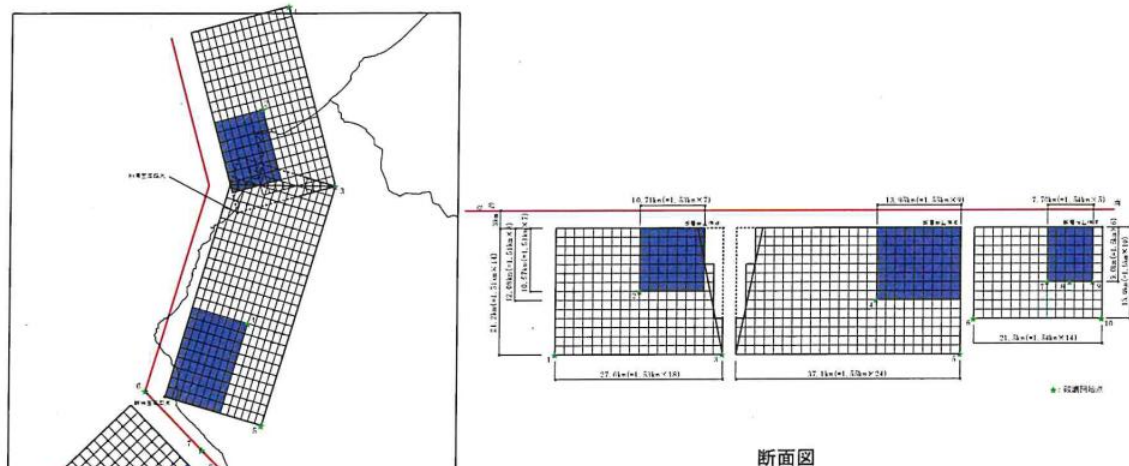
破壊開始点については、すべてのケースにおいて、断層及びアスペリティ下端に複数のケースを設定した。

	短周期の 地震動レベル	破壊伝播速度 V_r	傾斜角	アスペリティ	破壊開始点
基本ケース	レシビ平均	$V_r=0.72\beta$	北部・中部 45° 南部 90°	敷地に近い 位置に配置	複数設定
短周期の地震動レベルの 不確かさを考慮	レシビ平均 $\times 1.5$ 倍	$V_r=0.72\beta$	北部・中部 45° 南部 90°	敷地に近い 位置に配置	複数設定
破壊伝播速度 V_r の 不確かさを考慮	レシビ平均	$V_r=0.87\beta$	北部・中部 45° 南部 90°	敷地に近い 位置に配置	複数設定

 : 不確かさを独立して考慮するパラメータ

 : 不確かさを重畳して考慮するパラメータ

■安島岬沖～和布一干飯崎沖～甲楽城断層のモデル図

(基本ケース、短周期の地震動1.5倍ケース、 $V_r=0.87\beta$ ケース)※ 傾斜角 90° の断面図は、傾斜角 0° として図化している。

断層配置図

■甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層による地震の地震動評価ケースは以下のとおり設定した。

①基本ケース

- ・断層上端深さについては3kmとして設定
- ・震源モデルを調査結果等に基づき、北部（甲楽城沖断層）、南部（浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層）ともに左横ずれ断層傾斜角 90° と設定
- ・長さについては、甲楽城沖断層、浦底断層、池河内断層、柳ヶ瀬山断層の連動を考慮し、36kmと設定

②考慮する不確かさケース

- ・新潟県中越沖地震の知見を踏まえ短周期の地震動レベルを1.5倍としたケースを考慮

なお、アスペリティ位置については、基本ケースにおいて敷地近傍に配置した。

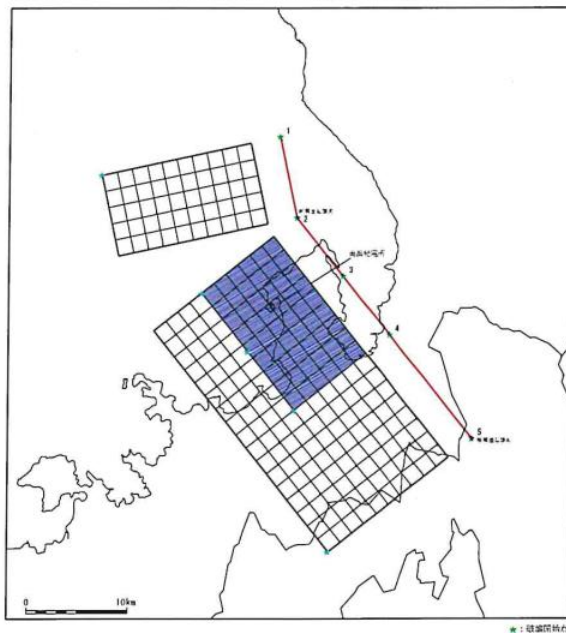
破壊開始点については、すべてのケースにおいて、断層及びアスペリティ下端に複数のケースを設定した。

	短周期の 地震動レベル	傾斜角	アスペリティ	破壊開始点
基本ケース	レシビ平均	90°	敷地に近い 位置に配置	複数設定
短周期の地震動レベルの 不確かさを考慮	レシビ平均×1.5倍	90°	敷地に近い 位置に配置	複数設定

: 不確かさを独立して考慮するパラメータ

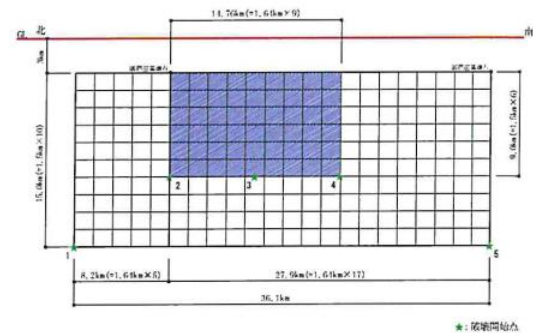
: 不確かさを重畳して考慮するパラメータ

■ 甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層のモデル図
（基本ケース、短周期の地震動1.5倍ケース）



※ 傾斜角90° の断面図は、傾斜角0° として図化している。

断層配置図



断面図

■ 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動については、過去に発生した地震及び周辺活断層による地震のうち、影響が大きい以下の活断層による地震を検討用地震として選定した。

- ・C断層
- ・三方断層
- ・白木～丹生断層
- ・大陸棚外縁～B～野坂断層
- ・安島岬沖～和布～干飯崎沖～甲楽城断層
- ・甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層

■ 各検討用地震について、基本ケース及び不確かさを考慮したケースのモデル化を行った。

■ 以上のモデルに対して地震動評価を行うが、その結果については、「8. 基準地震動Ssの策定」において、まとめて示す。

7. 震源を特定せず策定する地震動

第263回審査会合
資料再掲

74

■ 審査ガイドに示されている16地震について、

- ① Mw6.5以上の2地震(2008年岩手・宮城内陸地震、2000年鳥取県西部地震)については、地域性について整理・分析した結果、鳥取県西部地震を観測記録収集の対象とした。
- ② Mw6.5未満の14地震については、震源近傍の観測記録を収集し、基盤地震動の検討・評価を実施。

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

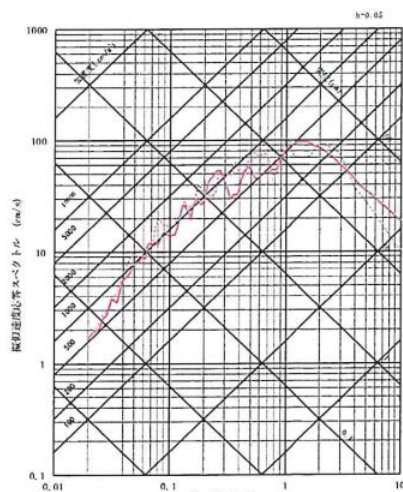
7. 震源を特定せず策定する地震動

第263回審査会合
資料再掲

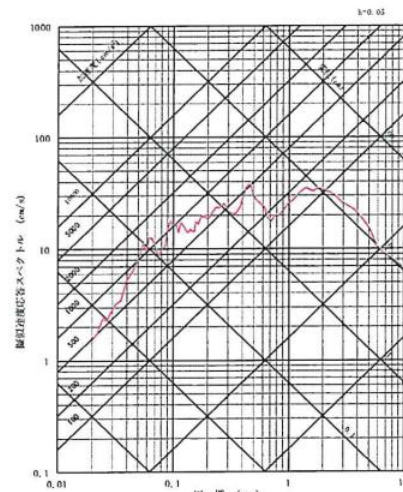
75

■ 2000年鳥取県西部地震について、震源近傍に位置する賀祥ダムで、観測記録が得られている。

■ 賀祥ダムの記録が $V_p=2.0\sim 2.2\text{km/s}$ ($V_s=1.2\sim 1.3\text{km/s}$)程度のCM級岩盤に設置された観測記録であり、美浜発電所の解放基盤表面の $V_s=1.65\text{km/s}$ よりも小さいことから、地盤特性の補正等は行わず、観測記録を震源を特定せず策定する地震動として採用する。



(水平方向)



(鉛直方向)

— 2000年鳥取県西部地震・賀祥ダムの観測記録(NS方向)
- - - 2000年鳥取県西部地震・賀祥ダムの観測記録(EW方向)

— 2000年鳥取県西部地震・賀祥ダムの観測記録(UD方向)

7. 震源を特定せず策定する地震動

第263回審査会合
資料再掲

76

■Mw6.5未満の地震のうち影響の大きい5記録について整理した結果は以下のとおり。

		2004年北海道留萌支庁 南部地震	2013年栃木県北部地震	2011年和歌山県北部地震	2011年茨城県北部地震	2011年長野県北部地震
地盤モデル	使用モデル	佐藤他(2013)のボーリング 結果に基づく地盤モデル	KiK-net観測記録に基づく 地盤同定モデル	KiK-net観測記録に基づく 地盤同定モデル	KiK-net観測記録に基づく 地盤同定モデル	地盤情報が少なくモデルを 構築できない
	既往の知見との 整合性	微動探査による地盤データ と整合 知見で指摘されている非線 形性を考慮	KiK-net地盤データと整合 しない 知見で指摘されている減 衰・方位依存性の影響が 不明	KiK-net地盤データと整合 しない 知見で指摘されている減衰 の影響が不明	観測記録の伝達関数及び KiK-net地盤データと整合 しない 知見で指摘されている減衰 の影響が不明	地盤モデルに関する既往 の知見がない
		○	×	×	×	×
	更なる知見収 集・検討事項	—	地盤モデルの改良 知見で指摘されている特性 に係るデータの取得と影響 度合いの評価	地盤モデルの改良 知見で指摘されている特性 に係るデータの取得と影響 度合いの評価	地盤モデルの改良 知見で指摘されている特性 に係るデータの取得と影響 度合いの評価	地質調査、微動探査等 による地盤情報の取得
はざとり解析	解析手法	非線形性を考慮した等価線 形解析	線形解析	線形解析	線形解析	地盤モデルが構築できな いため、解析できない
	精度	観測記録と整合	はざとり解析の適用性が不 明	はざとり解析の適用性が不 明	はざとり解析の適用性が不 明	はざとり解析の適用性が不 明
		○	×	×	×	×
	更なる知見収 集・検討事項	—	地表・地中観測記録の再 現解析	地表・地中観測記録の再 現解析	地表・地中観測記録の再 現解析	地表観測記録の再現解析
		○	×	×	×	×

7. 震源を特定せず策定する地震動

第263回審査会合
資料から変更

77

■Mw6.5未満の地震のうち、影響の大きい5記録について整理した結果、2004年北海道留萌支庁南部地震のHKD020の記録については、信頼性のある基盤地震動が評価できたと考えられるため、震源を特定せず策定する地震動に反映する。

■2013年栃木県北部地震のTCGH07、2011年茨城県北部地震のIBRH13、2011年和歌山県北部地震のWKYH01の記録については、一次元波動論では信頼性のある地盤モデルが構築できず、はざとり解析による基盤地震動の評価は困難と考えられ、今後とも継続的に知見の収集とはざとり解析等の検討を進め、信頼性の高い解放基盤波の算定を試みる。

⇒現時点において、反映できる知見は得られていない。

■2011年長野県北部地震のNIG023の記録については、地盤情報が乏しいためはざとり解析が困難であり、各種調査により地盤情報の取得が必要。

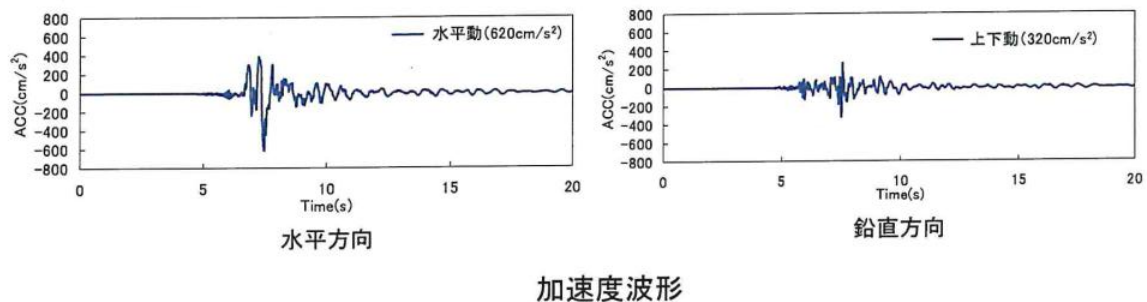
7. 震源を特定せず策定する地震動

第263回審査会合
資料再掲

78

2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果

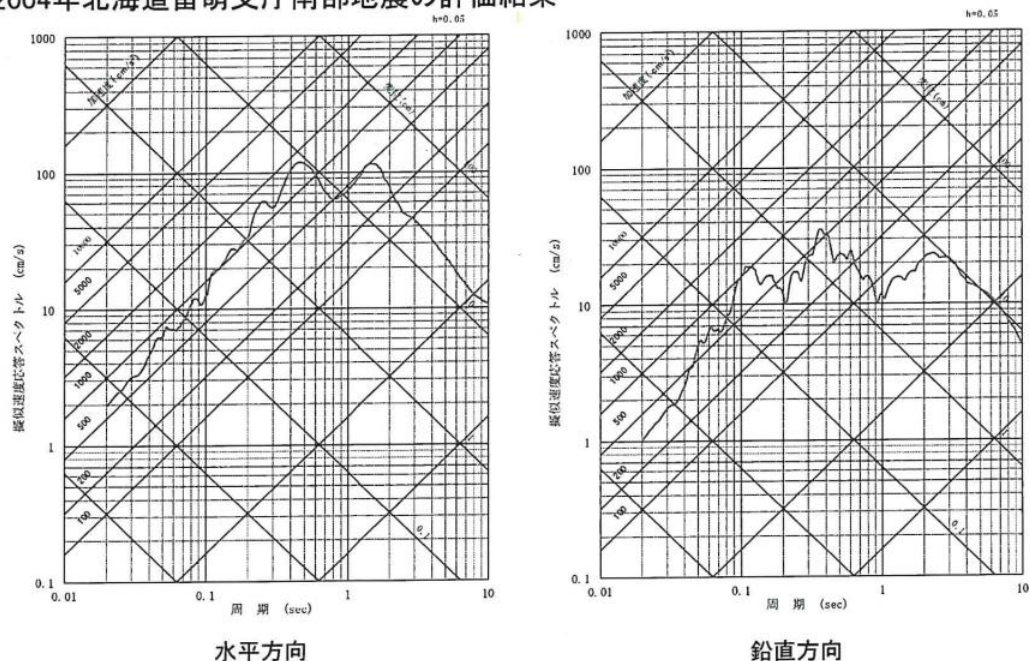
- 2004年北海道留萌支庁南部地震の記録を用いて基盤地震動を求めた結果、水平動 609cm/s^2 、上下動 306cm/s^2 となった。
- 当社として、原子力発電所の耐震性に求められる保守性を勘案して、震源を特定せず策定する地震動として水平動 620cm/s^2 、上下動 320cm/s^2 と設定する。



7. 震源を特定せず策定する地震動

79

■2004年北海道留萌支庁南部地震の評価結果



—— 2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動

8. 基準地震動Ssの策定 (敷地ごとに震源を特定して策定する地震動)

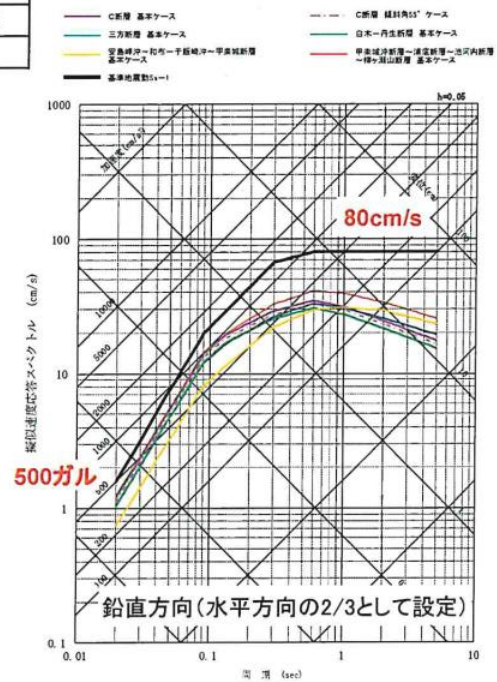
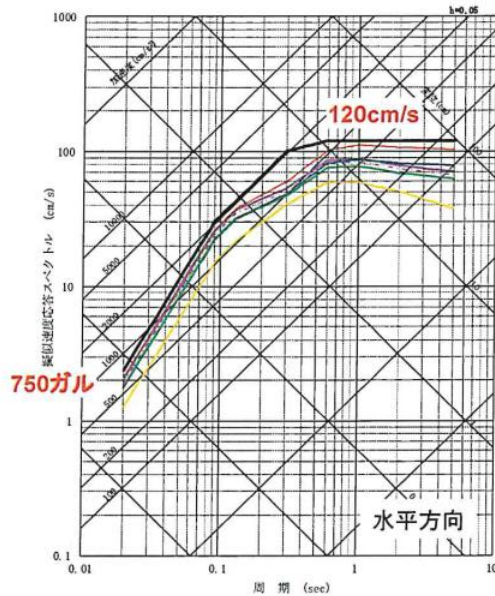
第263回審査会合
資料再掲

80

■ 応答スペクトルに基づく地震動評価結果を踏まえて、基準地震動Ss-1を以下のとおり策定した。

基準地震動Ss-1のコントロールポイント

周期(s)	0.02	0.09	0.13	0.3	0.6	5
水平方向 (cm/s)	2.39	30.08	43.45	100.27	120	120
鉛直方向 (cm/s)	1.59	20.05	28.97	66.85	80	80

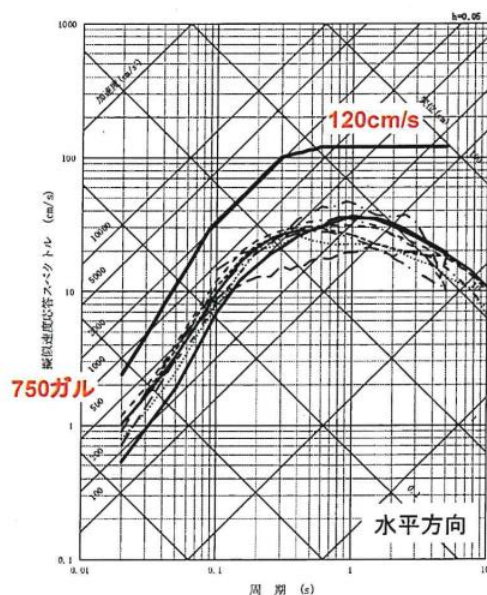


8. 基準地震動Ssの策定 (敷地ごとに震源を特定して策定する地震動)

第263回審査会合
資料再掲

81

■ 策定した基準地震動Ss-1と大陸棚外縁～B～野坂断層における各種距離減衰式の結果を示す。



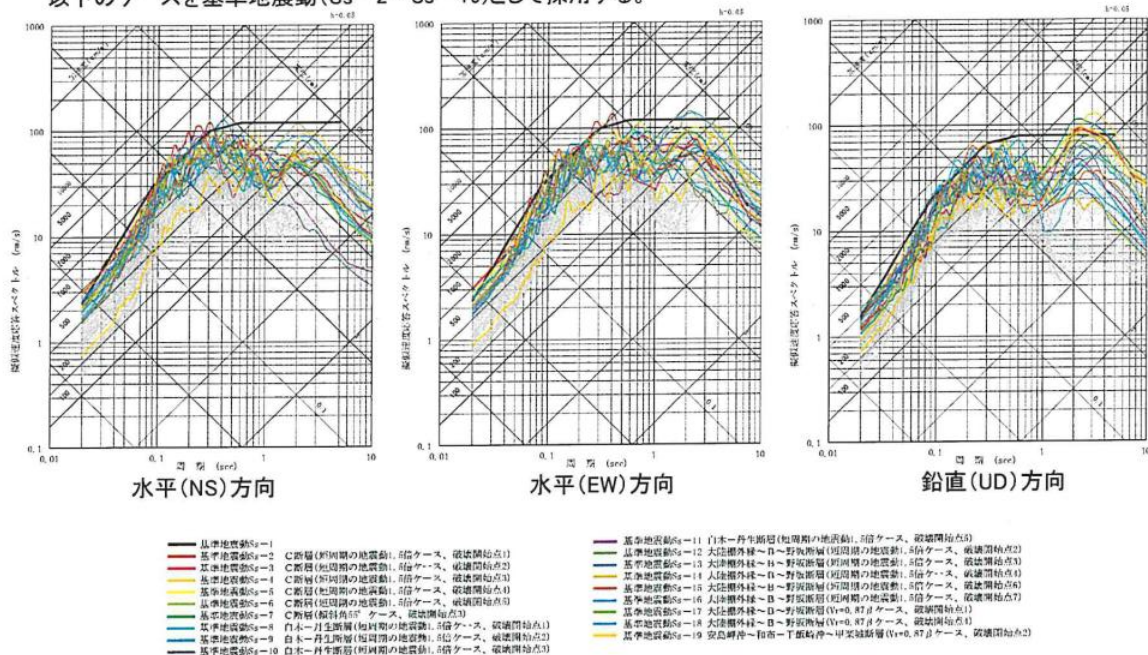
- | | |
|--------------------------------|------------------------------------|
| — 基準地震動Ss-1 | — Abrahamson and Silva(2008) |
| Boore and Atkinson(2008) | Campbell and Bozorgnia(2008) |
| ----- Chiou and Youngs(2008) | ----- Idriss(2008) |
| ----- Kanno et al.(2006) | ----- 片岡他(2006) |
| ----- 内山・翠川(2006) | ----- Zhao et al.(2006) |

8. 基準地震動Ssの策定 (敷地ごとに震源を特定して策定する地震動)

第263回審査会合
資料再掲

82

■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果のうち、Ss-1の設計用応答スペクトルを上回るケースから、以下のケースを基準地震動(Ss-2～Ss-19)として採用する。



灰色:Ssを除く検討用地震の全てのケースの地震動評価結果

8. 基準地震動Ssの策定 (連動の不確かさを考慮した影響検討)

第263回審査会合
資料再掲

83

■安島岬沖～和布一干飯崎沖～甲楽城断層～甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層～柳ヶ瀬断層南部～鍛冶屋断層～関ヶ原断層の連動の不確かさを考慮した地震動評価を行い、基準地震動への影響を検討する。

地震動評価ケース

	短周期の 地震動レベル	傾斜角	アスペリティ	破壊開始点
活断層の連動の 不確かさを考慮	レシピ平均	45° (北部※1) 90° (南部※2)	敷地に近い 位置に配置	複数設定

※1: 北部とは安島岬沖断層、和布一干飯崎沖断層を表す

※2: 南部とは甲楽城断層、甲楽城沖断層、浦底断層、池河内断層、柳ヶ瀬山断層、柳ヶ瀬断層南部、鍛冶屋断層、関ヶ原断層を表す

■ : 不確かさを独立して考慮するパラメータ

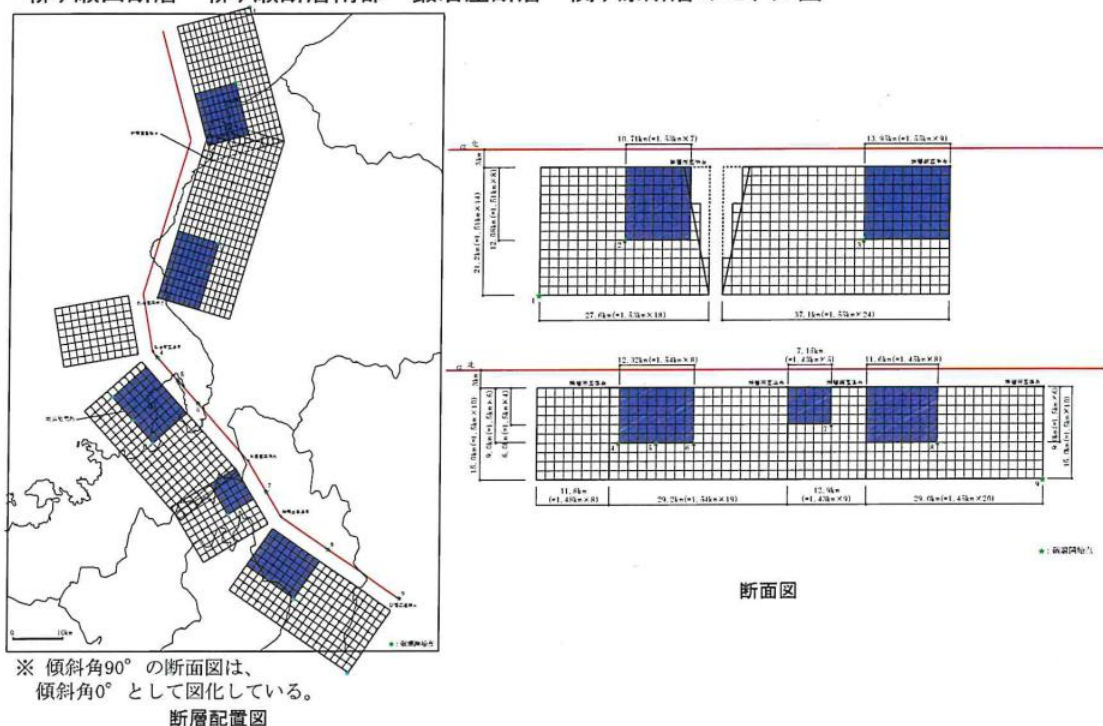
■ : 不確かさを重畳して考慮するパラメータ

8. 基準地震動Ssの策定 (連動の不確かさを考慮した影響検討)

第257回審査会合
資料再掲

84

■安島岬沖～和布～干飯崎沖～甲楽城断層～甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層
～柳ヶ瀬山断層～柳ヶ瀬断層南部～鍛冶屋断層～関ヶ原断層のモデル図



8. 基準地震動Ssの策定 (連動の不確かさを考慮した影響検討)

第263回審査会合
資料から変更

85

■安島岬沖～和布～干飯崎沖～甲楽城断層～甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層
～柳ヶ瀬山断層～柳ヶ瀬断層南部～鍛冶屋断層～関ヶ原断層のパラメータについて、
手法ごとの比較を行う。

断層パラメータ		①Fujii and Matsu'ura(2000)※1	②壇他(2011)※2	③Murotani et al.(2010)※3
断層全体	地震モーメント M_0 (Nm)	3.7×10^{20}	3.0×10^{20}	2.5×10^{20}
	モーメントマグニチュード M_w	7.6	7.6	7.5
	平均応力降下量 $\Delta\sigma$ (MPa)	3.1	3.4	3.1
	短周期レベルA $(N \cdot m/s^2)$	3.8×10^{19}	3.6×10^{19}	3.4×10^{19}
	アスベリティの面積比 Sa/S (%)	22.0	27.9	22.0
アスベリティ (浦底～池河内断層)	地震モーメント M_{0a} (Nm)	2.8×10^{19}	2.9×10^{19}	1.9×10^{19}
	応力降下量 $\Delta\sigma_a$ (MPa)	14.1	12.2	14.1

※1: M_0 及び $\Delta\sigma$ を Fujii and matsu'ura(2000)により求め、 Sa/S を Somerville et al.(1999)に基づいて22%として設定し、 $\Delta\sigma_a$ を Madariaga(1979)により算出

※2: M_0 、 $\Delta\sigma$ 及び Sa/S を 壇他(2011)により設定し、 $\Delta\sigma_a$ を Madariaga(1979)により算出

※3: M_0 を Murotani et al.(2010)により求め、 $\Delta\sigma$ 、 Sa/S 及び $\Delta\sigma_a$ を①と同様に設定

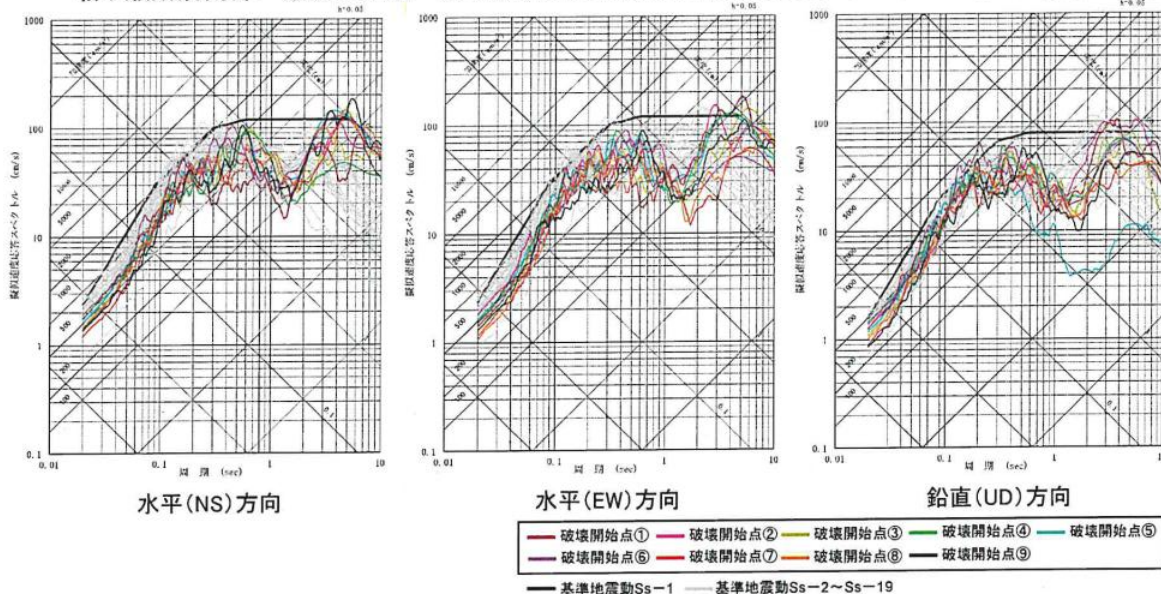
断層全体の地震モーメント、アスベリティの応力降下量が多いFujii and Matsu'ura(2000)による手法で代表して地震動を評価する。

8. 基準地震動Ssの策定 (連動の不確かさを考慮した影響検討)

第263回審査会合
資料から変更

86

■安島岬沖～和布一干飯崎沖～甲楽城断層～甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層～柳ヶ瀬断層南部～鍛冶屋断層～関ヶ原断層の地震動評価結果とSs-1～Ss-19との比較を示す。



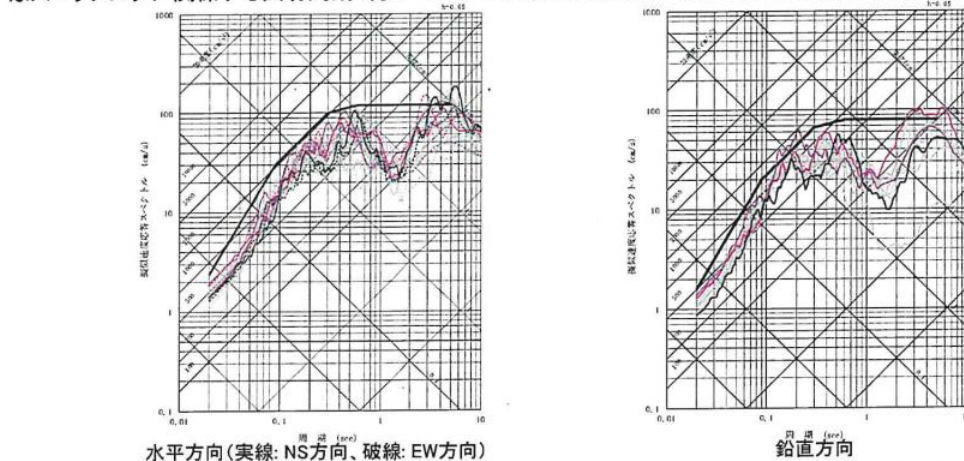
- ・連動の不確かさを考慮した地震動評価結果は、Ss-1～Ss-19を一部周期帯で上回っているが、主として長周期側であり、長周期側で影響が考えられるのはSFPのスロッシングのみである。
- ・新規設計となったフリースタANDINGラックについては、長周期側の影響がないことを確認した。

8. 基準地震動Ssの策定 (連動の不確かさを考慮した影響検討)

第346回審査会合
資料から変更

87

■Ss-1を上回る8波から新たに基準地震動Ssを選定するにあたり、破壊伝播方向(遠方から破壊が向かって来て応答が大きくなると考えられるため、破壊開始点が断層北端付近及び南端付近のケースを重視)、周期特性(長周期側はスロッシングに関係する固有周期(約3～4秒)を重視)、及び水平・鉛直各成分での代表性を踏まえて検討した。



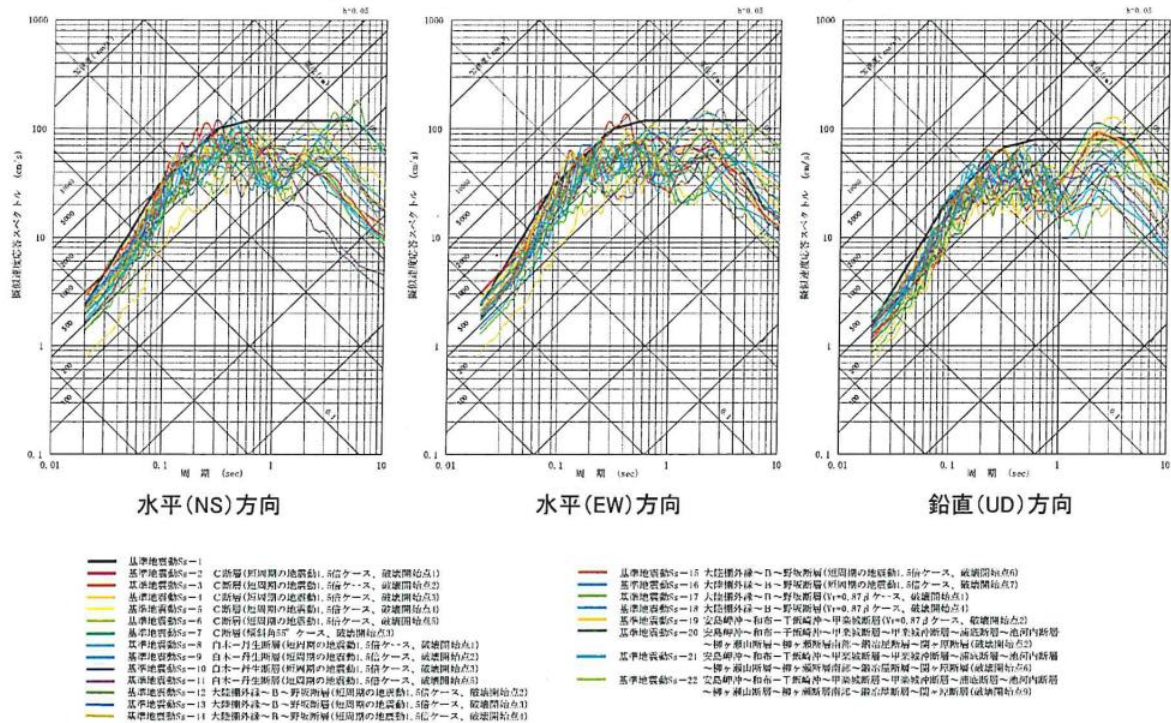
- Ss-1を上回る一部の周期帯での地震動を概ね包絡できる事から、上記8波のうち以下の3波を基準地震動Ssとして選定した。
- ① 破壊開始点2: 断層北端付近から破壊が伝播し、EW方向の長周期側(3秒付近)でピークを有するケース
 - ② 破壊開始点6: 敷地近傍のアスペリティ下端から破壊が伝播し、鉛直方向の短周期側でピークを有するケース
 - ③ 破壊開始点9: 断層南端から破壊が伝播し、NS方向の長周期側(3秒以上)でピークを有するケース

8. 基準地震動Ssの策定 (敷地ごとに震源を特定して策定する地震動)

第263回審査会合
資料再掲

88

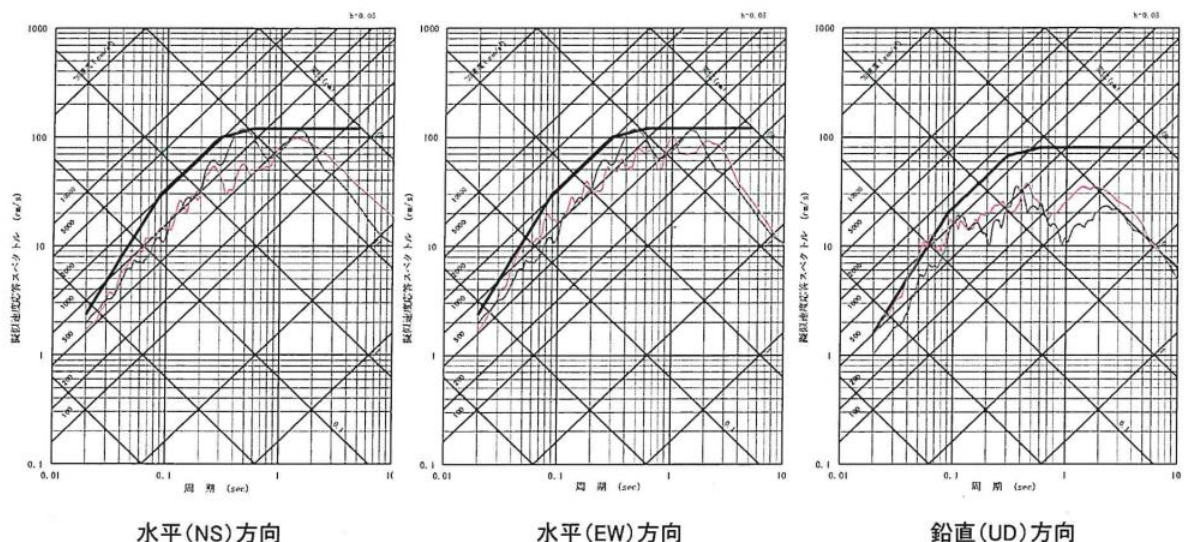
■敷地ごとに震源を特定して策定する地震動として選定した基準地震動Ss-1～Ss-22を以下に示す。



8. 基準地震動Ssの策定 (震源を特定せず策定する地震動)

89

■2000年鳥取県西部地震・賀様ダムの観測記録及び2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動は、基準地震動Ss-1の応答スペクトルを一部周期で上回ることから、基準地震動(Ss-23、Ss-24)として採用する。



8. 基準地震動Ssの策定

90

■以下に示す6つの検討用地震について地震動評価を行った。

- ・C断層
- ・三方断層
- ・白木～丹生断層
- ・大陸棚外縁～B～野坂断層
- ・安島岬沖～和布～干飯崎沖～甲斐城断層
- ・甲斐城断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層

■応答スペクトルに基づく地震動評価結果を踏まえて、基準地震動Ss-1を策定した。
また、断層モデルを用いた手法による地震動評価結果のうち、Ss-1のスペクトルを上回るケースについて、基準地震動Ss-2～Ss-19として選定した。

■安島岬沖～和布～干飯崎沖～甲斐城断層～甲斐城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層～柳ヶ瀬断層南部～鍛冶屋断層～関ヶ原断層の連動の不確かさを考慮し、断層モデルを用いた手法による地震動評価を行い、基準地震動Ss-20～Ss-22を選定した。

■震源を特定せず策定する地震動については、観測記録の収集と基盤地震動の検討結果から、基準地震動として以下の2つを採用した。

- ・Ss-23:2000年鳥取県西部地震・賀様ダムの観測記録
- ・Ss-24:2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動

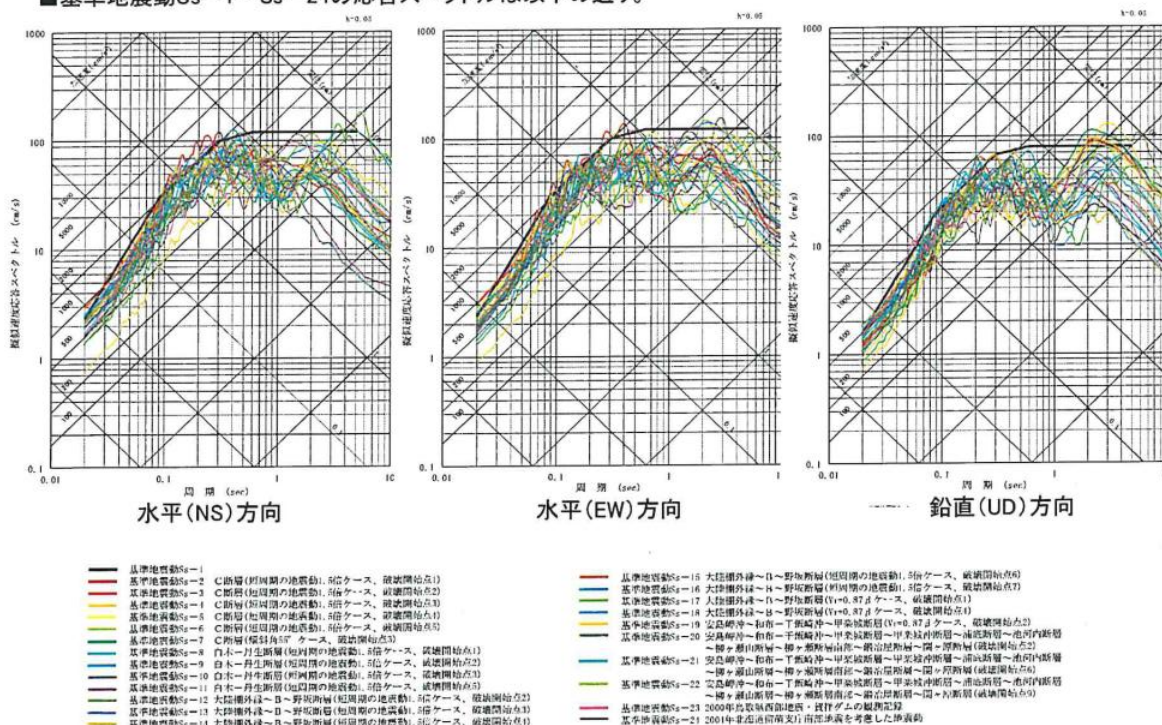
■策定した基準地震動Ss-1～Ss-24について、次ページ以降に応答スペクトル及び加速度波形を示す。

8. 基準地震動Ssの策定

第346回審査会合
資料から変更

91

■基準地震動Ss-1～Ss-24の応答スペクトルは以下の通り。



8. 基準地震動Ssの策定

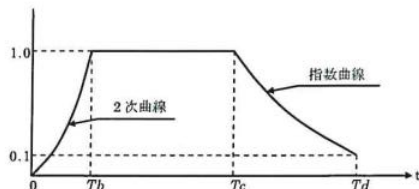
第263回審査会合
資料再掲

92

- 基準地震動Ss-1の応答スペクトルに適合する模擬地震波は、位相角を一樣乱数として与えた正弦波を重ね合わせて、目標とする応答スペクトルに適合するように補正して作成する。
- 振幅包絡線の経時変化についてはNoda et al.(2002)に基づくものとし、マグニチュードM7.8、等価震源距離 $X_{eq}=68\text{km}$ として設定する。

模擬地震波の振幅包絡線の経時変化

マグニチュード M	等価震源距離 $X_{eq}(\text{km})$	振幅包絡線の 経時変化(s)		
		T_b	T_c	T_d
7.8	68	9.3	31.2	83.2

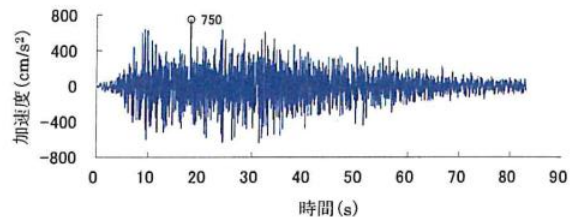


$$E(t) = \begin{cases} (T/T_b)^2 & 0 \leq T \leq T_b \\ 1.0 & T_b \leq T \leq T_c \\ \frac{\ln(0.1)}{T_d - T_c} (T - T_c) & T_c \leq T \leq T_d \end{cases}$$

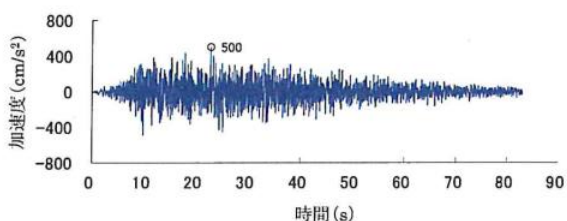
$$T_b = 10^{0.5M-2.93}$$

$$T_c - T_b = 10^{0.3M-1.0}$$

$$T_d - T_c = 10^{0.17M+0.54\log X_{eq}-0.6}$$



水平方向

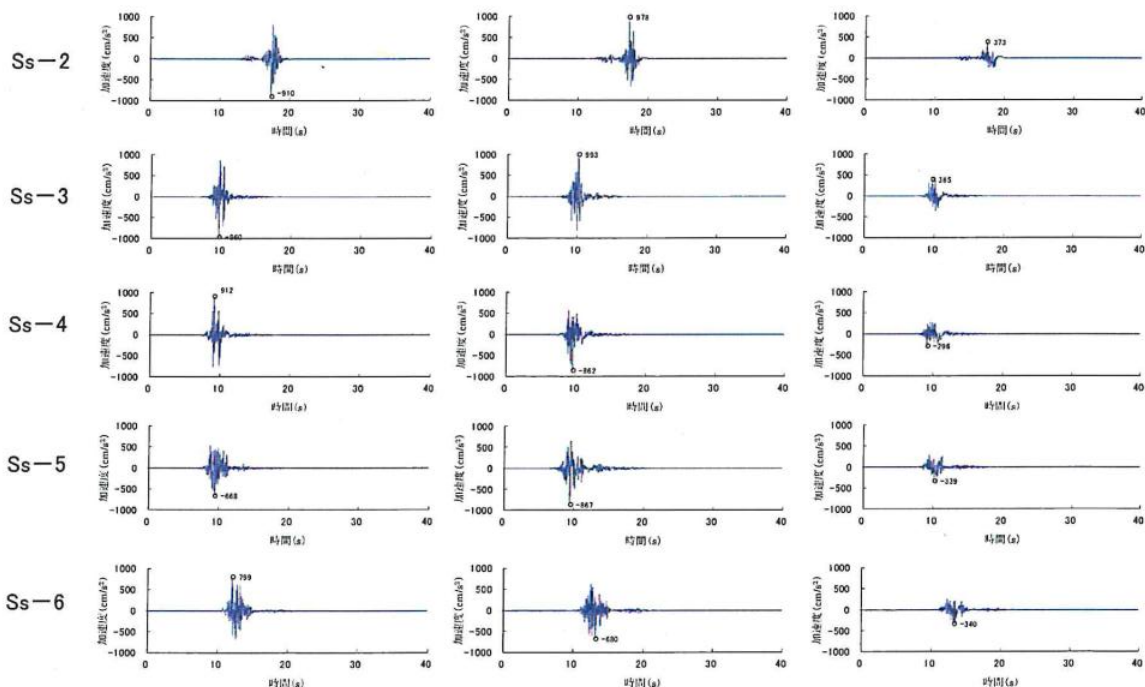


鉛直方向

8. 基準地震動Ssの策定

93

■ 基準地震動の加速度波形 (Ss-2～Ss-6)



水平(NS)方向

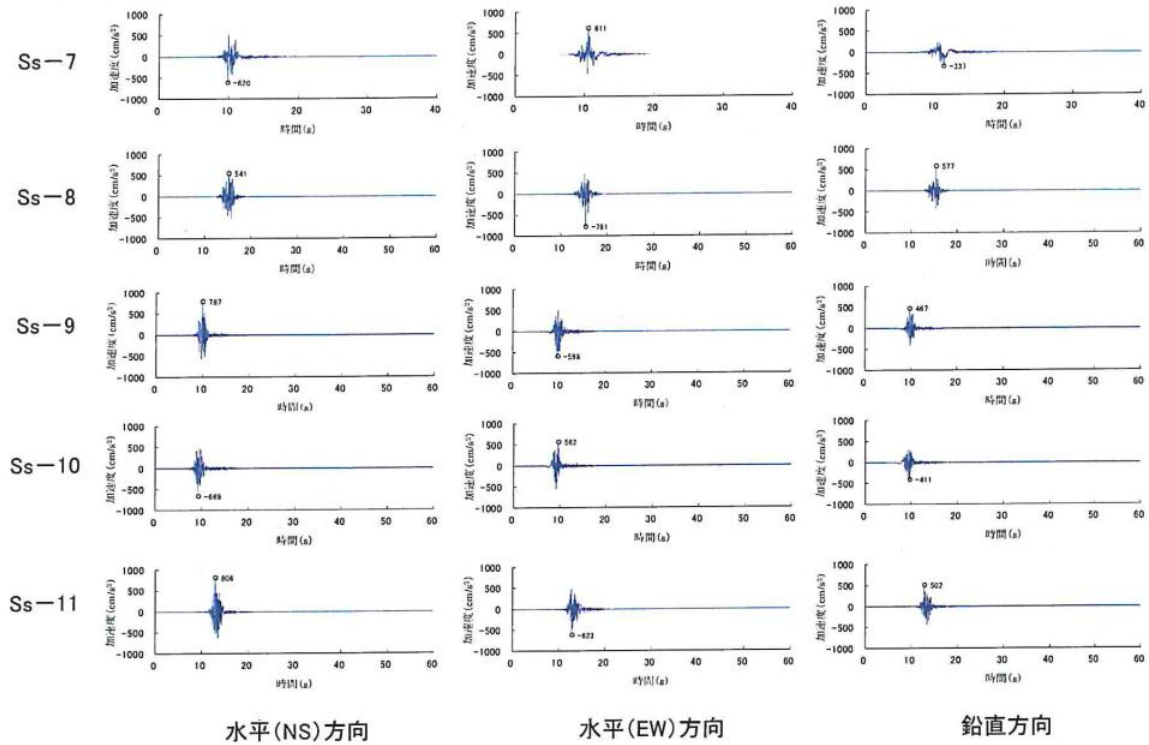
水平(EW)方向

鉛直方向

8. 基準地震動Ssの策定

94

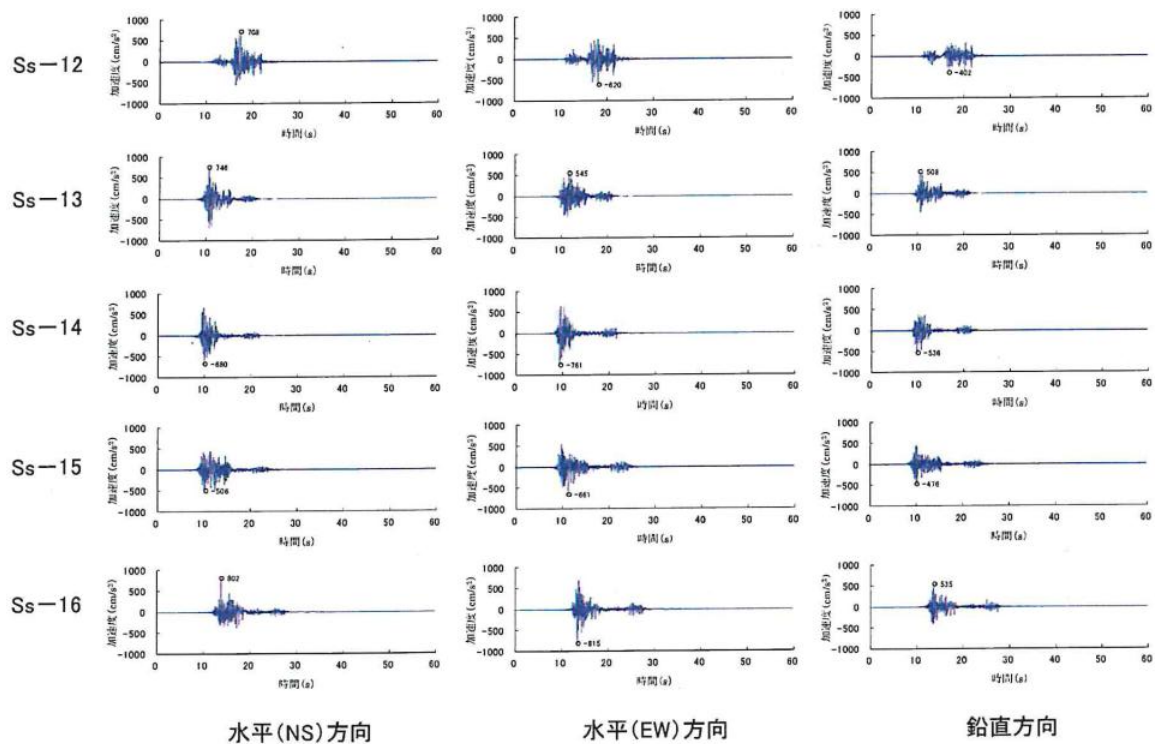
■基準地震動の加速度波形(Ss-7~Ss-11)



8. 基準地震動Ssの策定

95

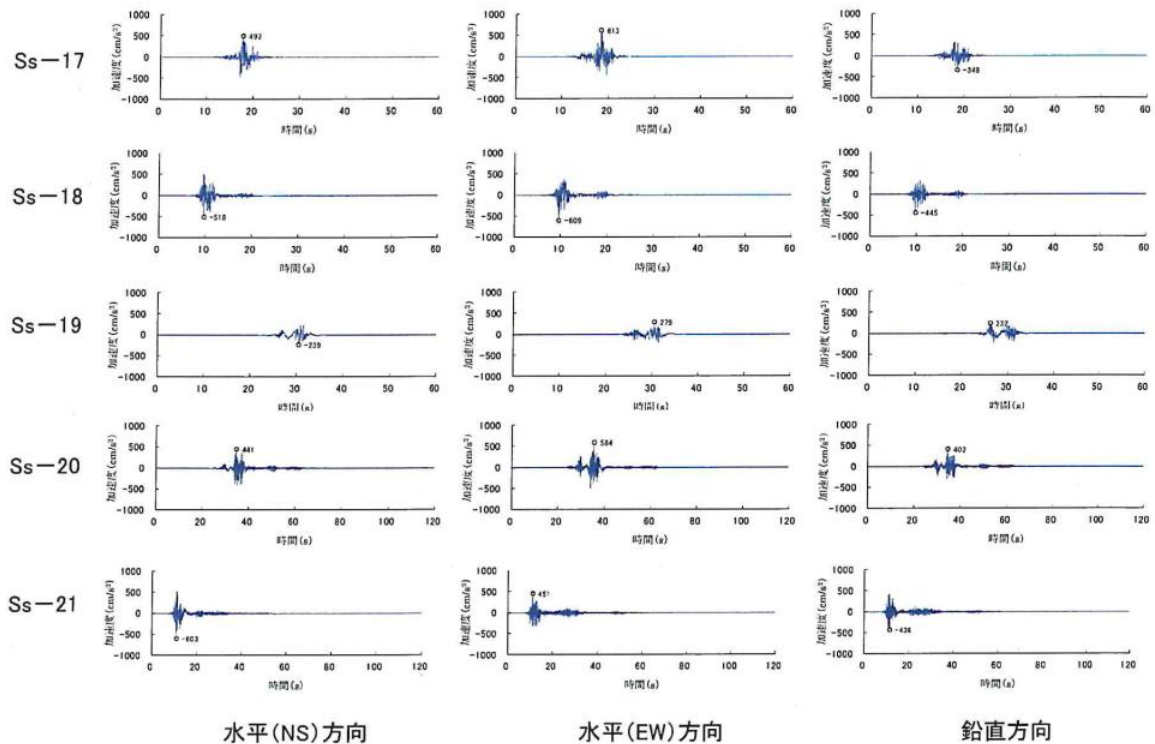
■基準地震動の加速度波形(Ss-12~Ss-16)



8. 基準地震動Ssの策定

96

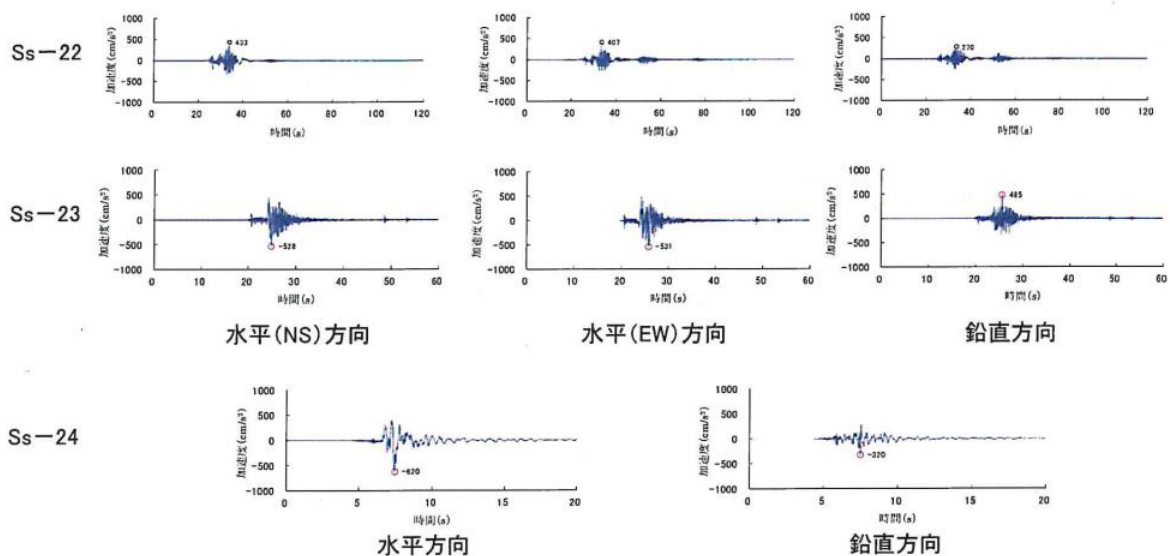
■基準地震動の加速度波形(Ss-17~Ss-21)



8. 基準地震動Ssの策定

97

■基準地震動の加速度波形(Ss-22~Ss-24)



8. 基準地震動Ssの策定

98

■基準地震動の最大加速度

単位: cm/s²

基準地震動		NS方向	EW方向	UD方向
Ss-1	設計用模擬地震波	750		500
Ss-2	C断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点1)	910	978	373
Ss-3	C断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点2)	960	993	385
Ss-4	C断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点3)	912	862	296
Ss-5	C断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点4)	668	867	339
Ss-6	C断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点5)	799	680	340
Ss-7	C断層(傾斜角55° ケース、破壊開始点3)	620	611	337
Ss-8	白木-丹生断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点1)	541	781	577
Ss-9	白木-丹生断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点2)	787	598	467
Ss-10	白木-丹生断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点3)	669	562	411
Ss-11	白木-丹生断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点5)	806	623	502
Ss-12	大陸棚外縁～B～野坂断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点2)	708	620	402
Ss-13	大陸棚外縁～B～野坂断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点3)	746	545	508
Ss-14	大陸棚外縁～B～野坂断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点4)	680	761	536
Ss-15	大陸棚外縁～B～野坂断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点6)	506	661	476
Ss-16	大陸棚外縁～B～野坂断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点7)	802	815	535
Ss-17	大陸棚外縁～B～野坂断層(Vr=0.87βケース、破壊開始点1)	492	613	348
Ss-18	大陸棚外縁～B～野坂断層(Vr=0.87βケース、破壊開始点4)	518	609	445
Ss-19	安島岬沖～和布-干飯崎沖～甲楽城断層(Vr=0.87βケース、破壊開始点2)	239	279	232
Ss-20	安島岬沖～和布-干飯崎沖～甲楽城断層～甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層 ～柳ヶ瀬山断層～柳ヶ瀬断層南部～鍛冶屋断層～関ヶ原断層(破壊開始点2)	441	584	402
Ss-21	安島岬沖～和布-干飯崎沖～甲楽城断層～甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層 ～柳ヶ瀬山断層～柳ヶ瀬断層南部～鍛冶屋断層～関ヶ原断層(破壊開始点6)	603	451	436
Ss-22	安島岬沖～和布-干飯崎沖～甲楽城断層～甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層 ～柳ヶ瀬山断層～柳ヶ瀬断層南部～鍛冶屋断層～関ヶ原断層(破壊開始点9)	433	407	270
Ss-23	2000年鳥取県西部地震の賀様ダムの観測記録	528	531	485
Ss-24	2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動	620		320

(補足) 朱記部分は水平方向及び鉛直方向における最大値を表す。

9. 基準地震動Ssの超過確率

第346回審査会合
資料再掲

99

■日本原子力学会(2007)の方法を基に、専門家活用水準1※としてロジックツリーを作成して敷地における地震動の一樣ハザードスペクトルを算定し、基準地震動の応答スペクトルがどの程度の年超過確率に相当するかを把握する。

■震源モデルの設定

(1) 特定震源モデルに基づく評価

敷地への影響度に応じて、敷地周辺の活断層を以下の(A)～(C)の3種類に分類してモデル化する。

(A) 詳細なロジックツリーを設定する主要活断層モデル

検討用地震として選定したC断層、三方断層、白木-丹生断層、大陸棚外縁～B～野坂断層、安島岬沖～和布-干飯崎沖～甲楽城断層及び甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層については、詳細なロジックツリーに展開して評価する。

(B) 上記(A)以外の主要活断層モデル

上記(A)以外の主要な活断層については、マグニチュードの分岐のみを考慮したロジックツリーで評価する。

(C) その他の活断層モデル

主要活断層モデル以外の活断層を対象に、基本的にサイトから100km程度以内にある

「新編 日本の活断層」に掲載されている確実度Ⅰ及びⅡの活断層をモデル化する。

なお、詳細な地質調査を実施している一部の断層については、調査結果による断層長さを採用する。

(2) 領域震源モデルに基づく評価

領域震源モデルについては、萩原(1991)及び垣見他(2003)の領域区分に基づき、サイトから100km以内の領域を対象とする。

また、地震規模と発生頻度の関係式にはG-R式を用い、各領域の最大マグニチュードは領域内の過去の地震の最大値をもとに設定する。

■地震動評価モデルの設定

地震動評価モデルはNoda et al.(2002)の方法を用いる。地震動評価のばらつきは対数標準偏差で0.53とし、内陸補正のありなしをロジックツリーの分岐として考慮する。

また、基準地震動Ssの策定で断層モデルを用いた手法を重視した大陸棚外縁～B～野坂断層等については、断層モデルを用いた手法もロジックツリーの分岐として考慮することとする。

いずれの手法においても、ばらつきの打ち切り範囲は対数標準偏差の3倍とする。

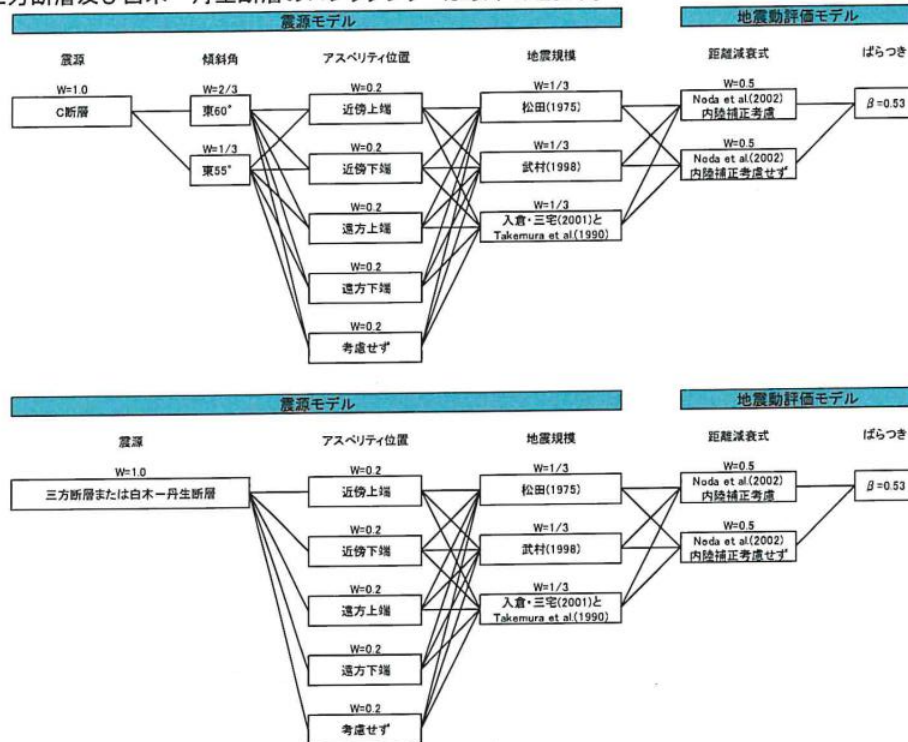
※専門家活用水準1: 地震ハザードの不確実さへの影響が比較的小さい水準を想定し、TI(Technical Integrator, ロジックツリーの技術的な縫め役)が文献レビュー及び自らの経験に基づきコミュニティ分布(科学者集団が総合的に評価するその時点での不確実さの客観的分布)を評価し、ロジックツリーを作成する。

9. 基準地震動Ssの超過確率

第346回審査会合
資料から変更

102

■C断層、三方断層及び白木-丹生断層のロジックツリーは以下のとおり。

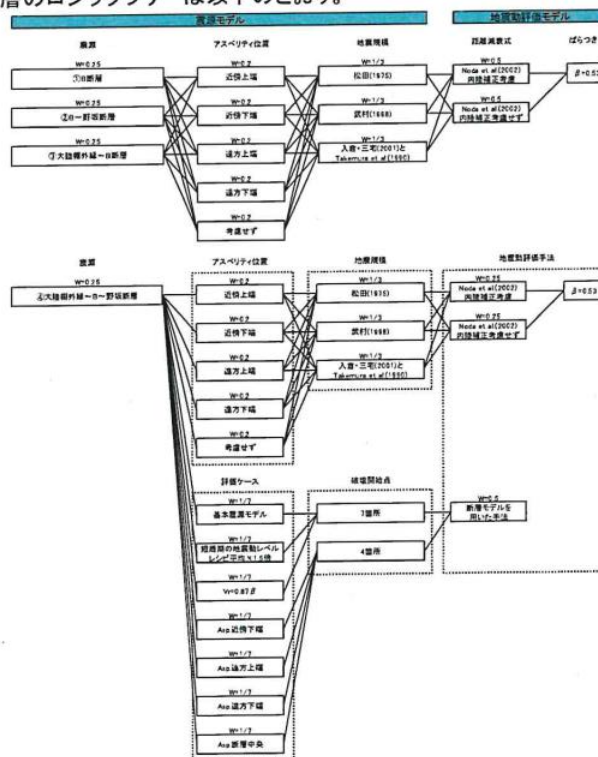


9. 基準地震動Ssの超過確率

第346回審査会合
資料再掲

103

■大陸棚外縁～B～野坂断層のロジックツリーは以下のとおり。

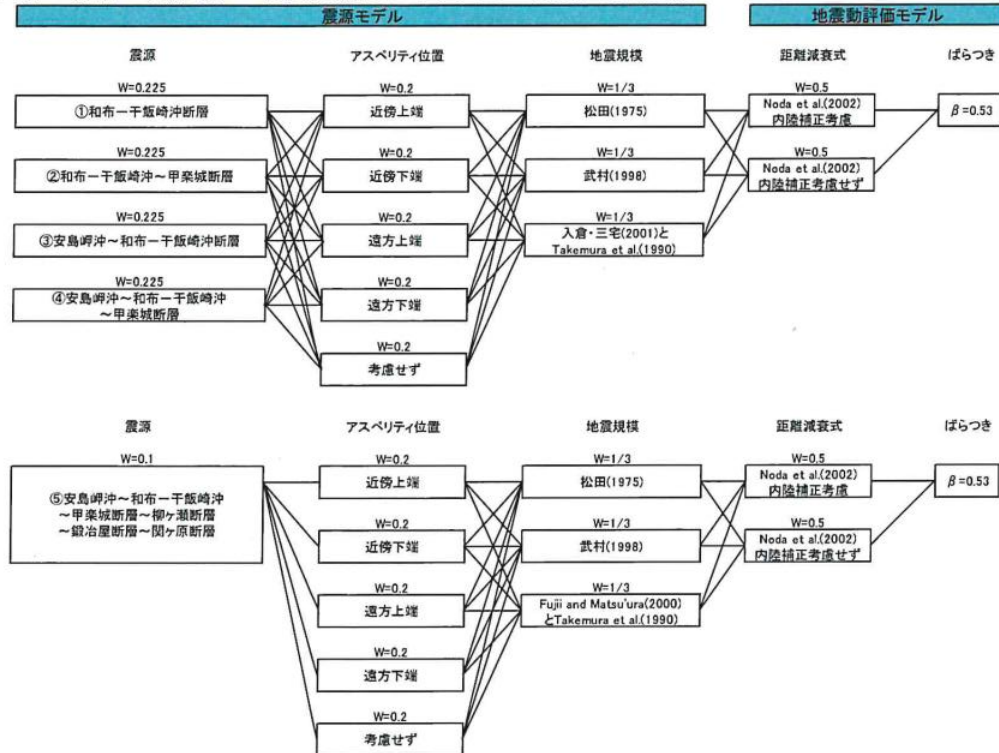


9. 基準地震動Ssの超過確率

第346回審査会合
資料再掲

104

■安島岬沖～和布～干飯崎沖～甲楽城断層のロジックツリーは以下のとおり。

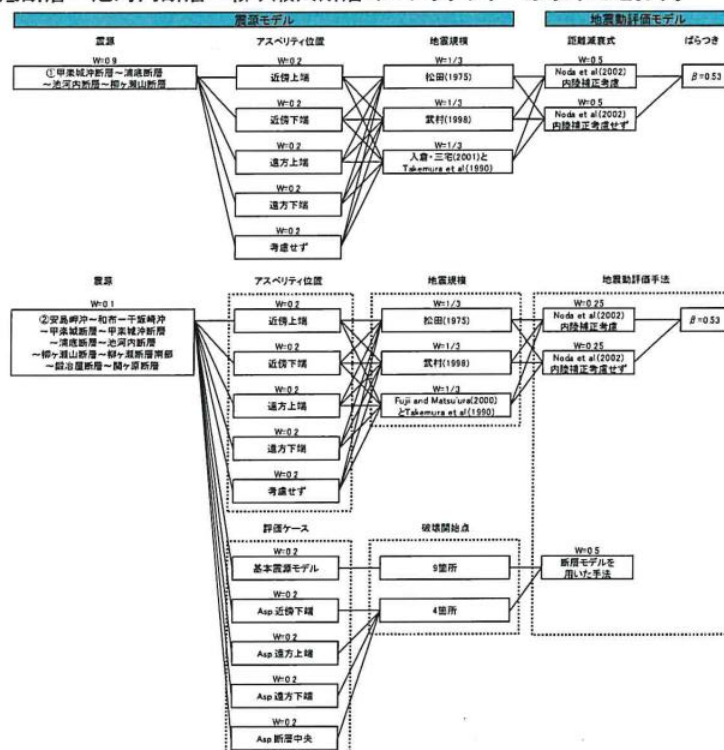


9. 基準地震動Ssの超過確率

第346回審査会合
資料再掲

105

■甲楽城断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層のロジックツリーは以下のとおり。



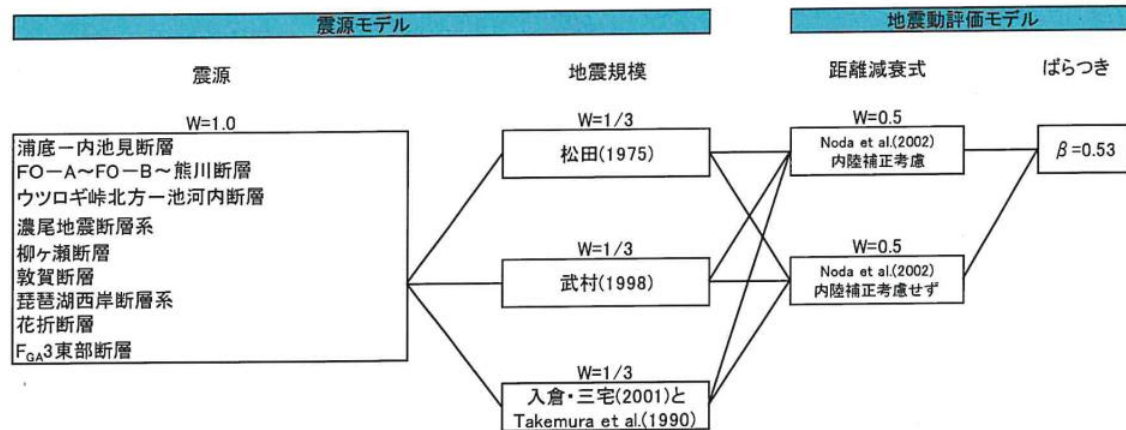
9. 基準地震動Ssの超過確率

第346回審査会合
資料再掲

106

主要活断層モデル(B)の設定

- 検討用地震の選定で検討した断層のうち、C断層、三方断層、白木-丹生断層、大陸棚外縁～B～野坂断層、安島岬沖～和布-干飯崎沖～甲楽城断層及び甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層を除いた下表の断層を対象とする。
- また、地震規模Mの評価式について、ロジックツリーに展開する。
- 地震の年発生頻度、地震規模の評価式は、主要活断層モデル(A)と同様とする。
- 主要活断層モデル(B)のロジックツリーは以下のとおり。



9. 基準地震動Ssの超過確率

第346回審査会合
資料再掲

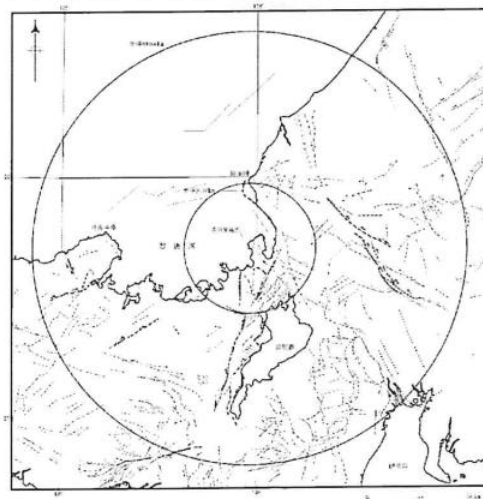
107

その他の活断層モデル(C)の設定

- その他の活断層モデルでは、「新編 日本の活断層」に掲載されている活断層のうち、サイトから100km程度以内※1にある確実度ⅠおよびⅡの活断層等の文献に記載されている断層を対象とする。なお、地震調査研究推進本部の知見を参考に、グルーピングできると考えられる断層については、一つの断層帯として考慮する。
- 各断層の地震規模Mは松田(1975)による。
- 年発生頻度は、主要活断層モデルと同様に算定する。
- 短い活断層については、地震規模をM6.8として評価する※2。また、発生頻度は、M6.8としたときに松田(1975)より得られる断層長さをを用いて算定する。

※1:100km以遠の活断層については、影響が小さいことから評価対象外としている。

※2:短い活断層については重複している可能性もあるが、明確に区分することは困難であるため、それぞれをM6.8として考慮している。



- == 活断層であることが確実なもの(確実度Ⅰ)
- == 活断層であると推定されるもの(確実度Ⅱ)
- - - 活断層の疑いのあるリニアメント(確実度Ⅲ)
- 短線は縦ずれの低下側、矢印は横ずれの向きを示す
- 伏在断層
- 地震断層
- 活傾動
- ← 地形面の傾き下方向

「新編 日本の活断層」に加筆

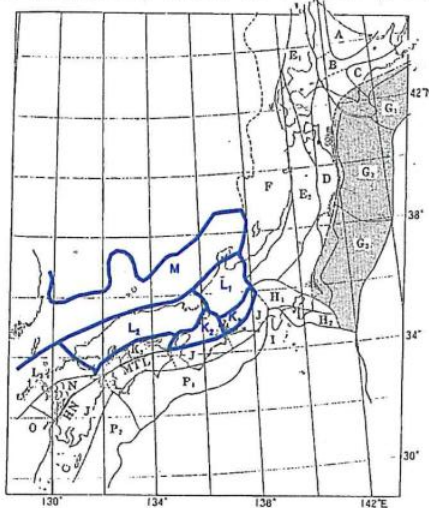
9. 基準地震動Ssの超過確率

第346回審査会合
資料再掲

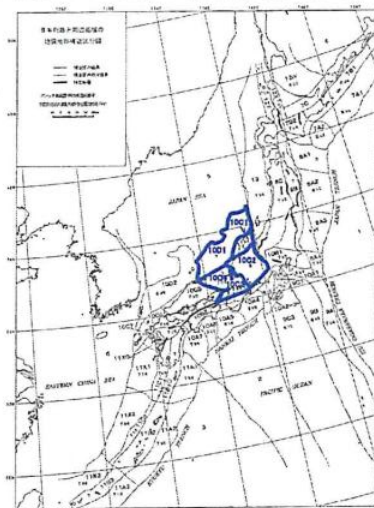
108

■領域震源モデル

萩原(1991)および垣見他(2003)の領域区分のうち、サイトから半径100km以内の領域を対象とする。



萩原(1991)による地震地体構造区分図



垣見他(2003)による地震地体構造区分図

対象領域	構造区
K1	伊那谷-濃尾平野
K2	近畿三角地域
L1	中部山地
L2	中国山地
M	西南日本内帯沿海部

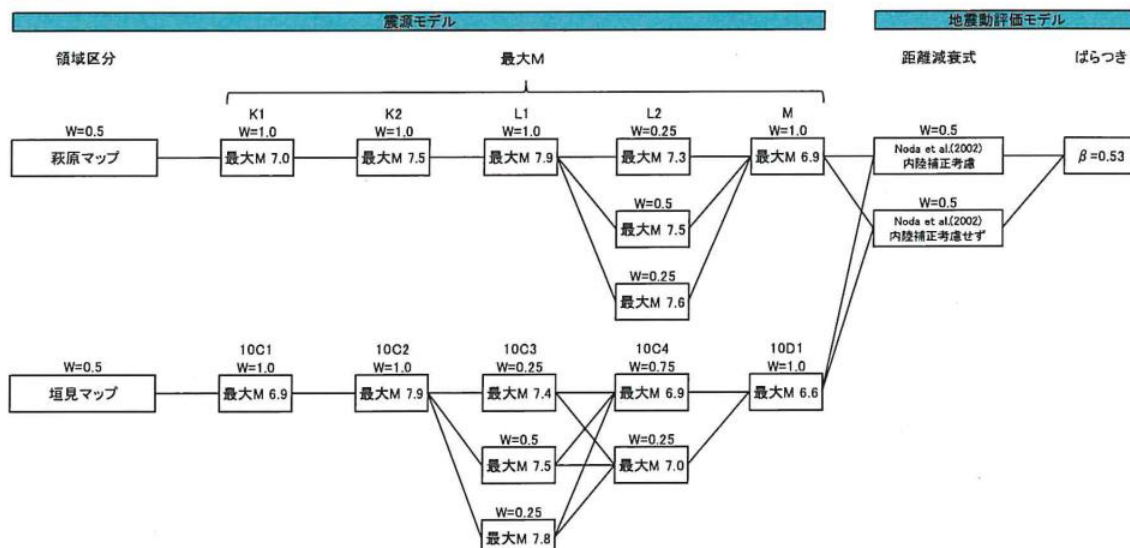
対象領域	構造区
10C1	能登
10C2	中部山岳
10C3	近畿三角帯
10C4	西近畿
10D1	能登・若狭沖海域

9. 基準地震動Ssの超過確率

第346回審査会合
資料再掲

109

- 領域震源の諸元は、各領域における歴史地震データに基づき設定する。
- 最大マグニチュードは、各領域で過去に発生した地震のうち、活断層と関連づけることが困難な地震の最大規模とする。また、地震カタログに記載されている過去の複数の地震の最大マグニチュードに幅がある場合には、その中央値・上限値・下限値をロジックツリーの分岐として考慮する。
- 地震規模および発生頻度はG-R式とし、各領域でb値・発生頻度を設定する。
- 震源深さは、気象庁カタログのデータに基づき各領域で震源深さの頻度分布を求め、正規分布または一様分布でモデル化する。
- 領域震源のロジックツリーは以下のとおり。

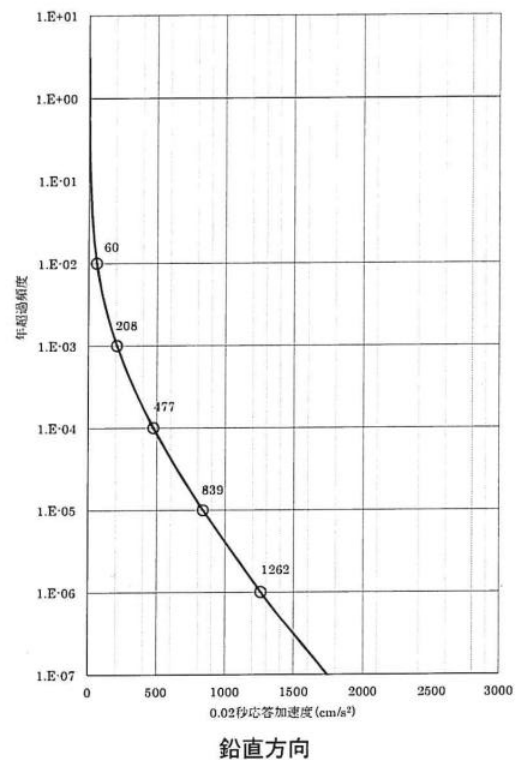
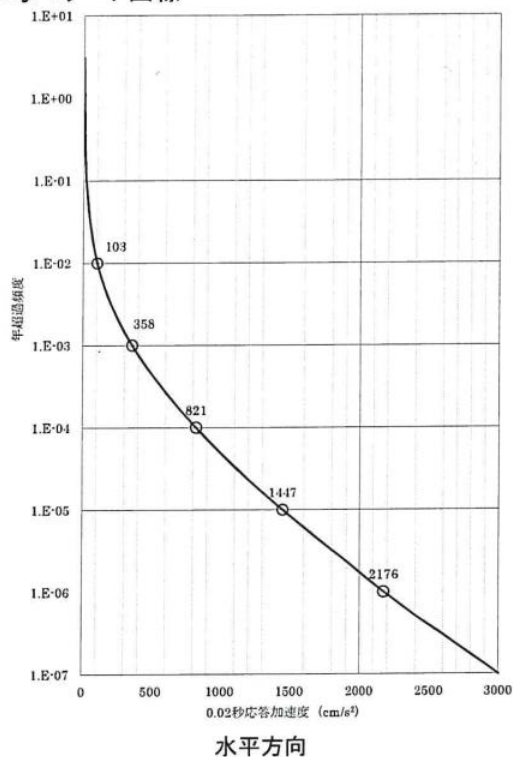


9. 基準地震動Ssの超過確率

第346回審査会合
資料再掲

110

■ 平均ハザード曲線

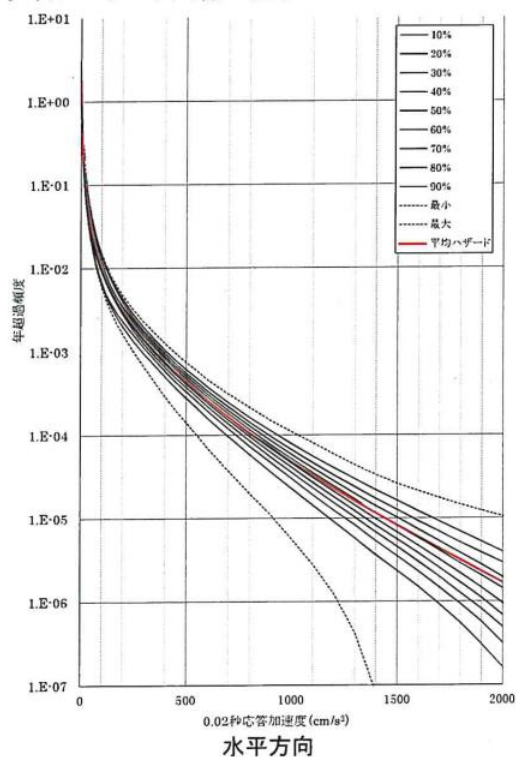


9. 基準地震動Ssの超過確率

第346回審査会合
資料再掲

111

■ 平均ハザード曲線とフラクタイルハザード曲線の重ねがき



9. 基準地震動Ssの超過確率

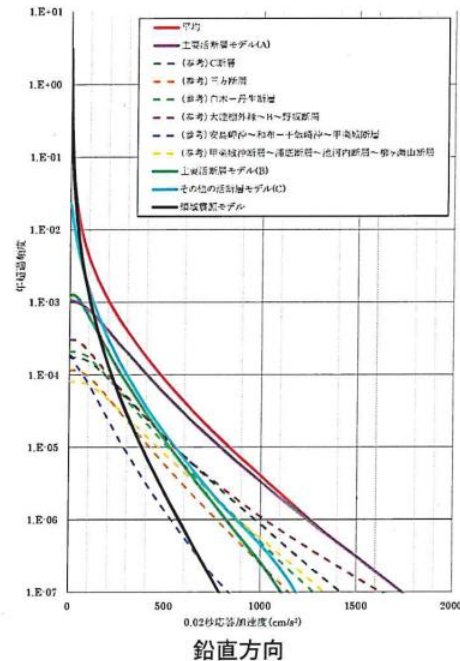
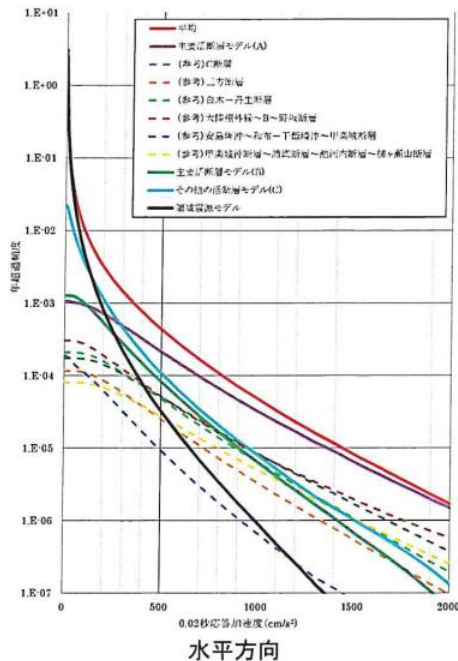
第346回審査会合
資料から変更

112

■震源ごとのハザード曲線

平均ハザード曲線に対する各震源モデルの寄与度を把握するため、震源ごとのハザード曲線を示す。

年超過頻度が大きい範囲では、領域震源モデルやその他の活断層モデル(C)の影響が大きい部分もあるが、全体としては、基準地震動の策定において検討用地震として選定した主要活断層モデル(A)の影響が大きい。



9. 基準地震動Ssの超過確率

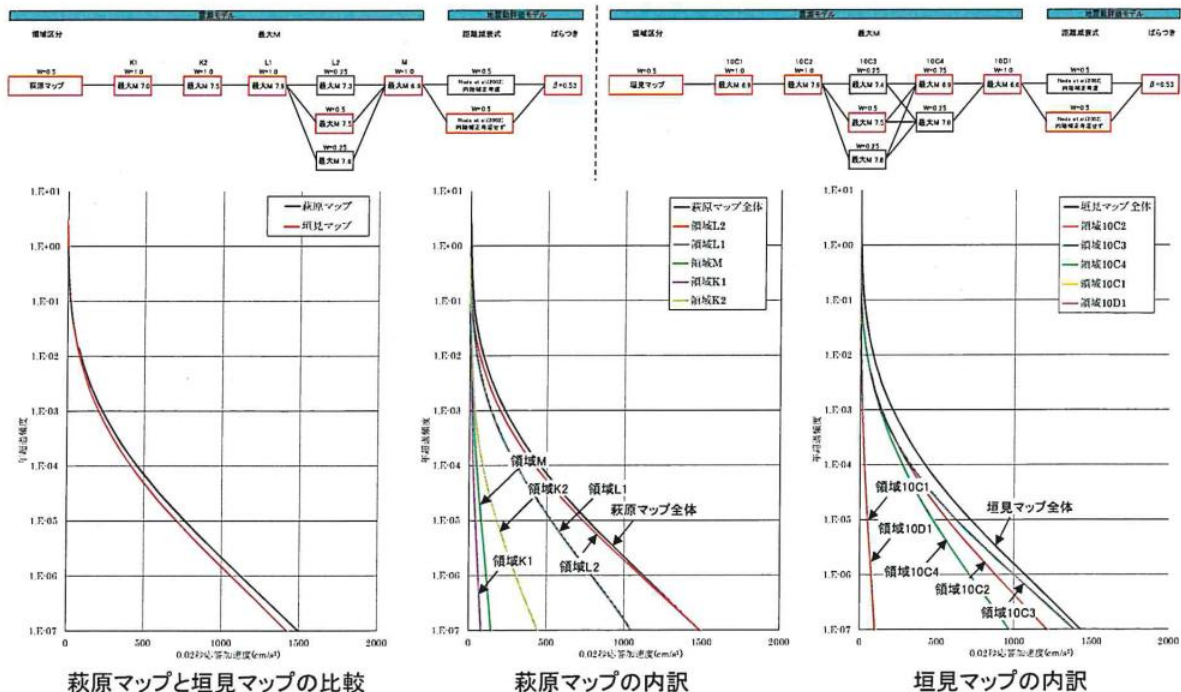
第346回審査会合
資料から変更

113

■領域震源のハザード曲線の内訳(ロジックツリーの分岐の一部に対する解析結果による確認)

萩原マップと垣見マップの領域震源のハザード曲線は、ほぼ同等である。

また、萩原マップ・垣見マップともに、サイトを含む領域(領域L2、領域10C3)が支配的となっている。



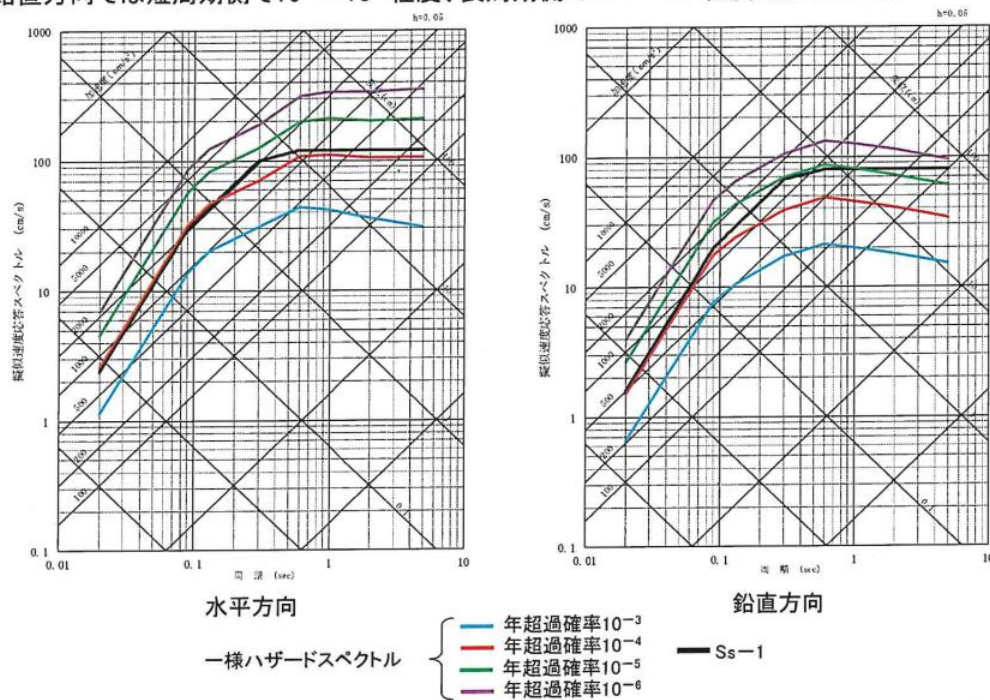
9. 基準地震動Ssの超過確率

第346回審査会合
資料再掲

114

■一様ハザードスペクトルと基準地震動Ss-1の比較

⇒基準地震動Ss-1は、水平方向では全周期帯で $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度であるが、鉛直方向では短周期側で $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度、長周期側で $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 程度となっている。

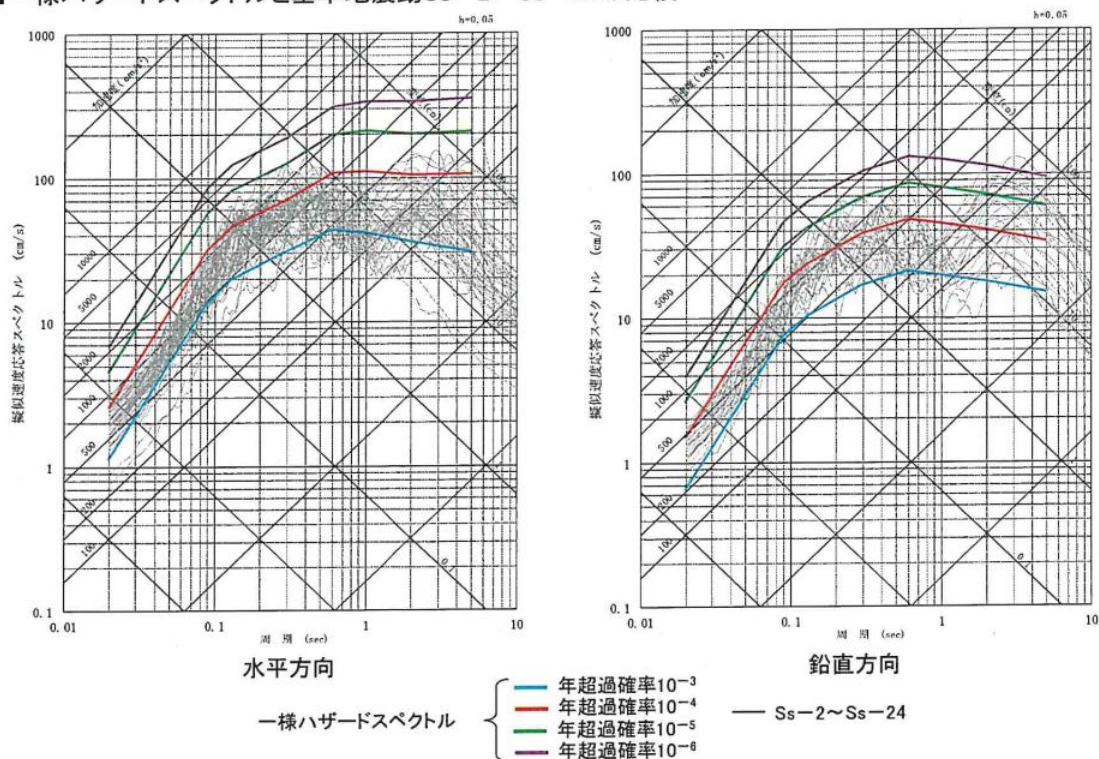


9. 基準地震動Ssの超過確率

第346回審査会合
資料再掲

115

■一様ハザードスペクトルと基準地震動Ss-2～Ss-24の比較

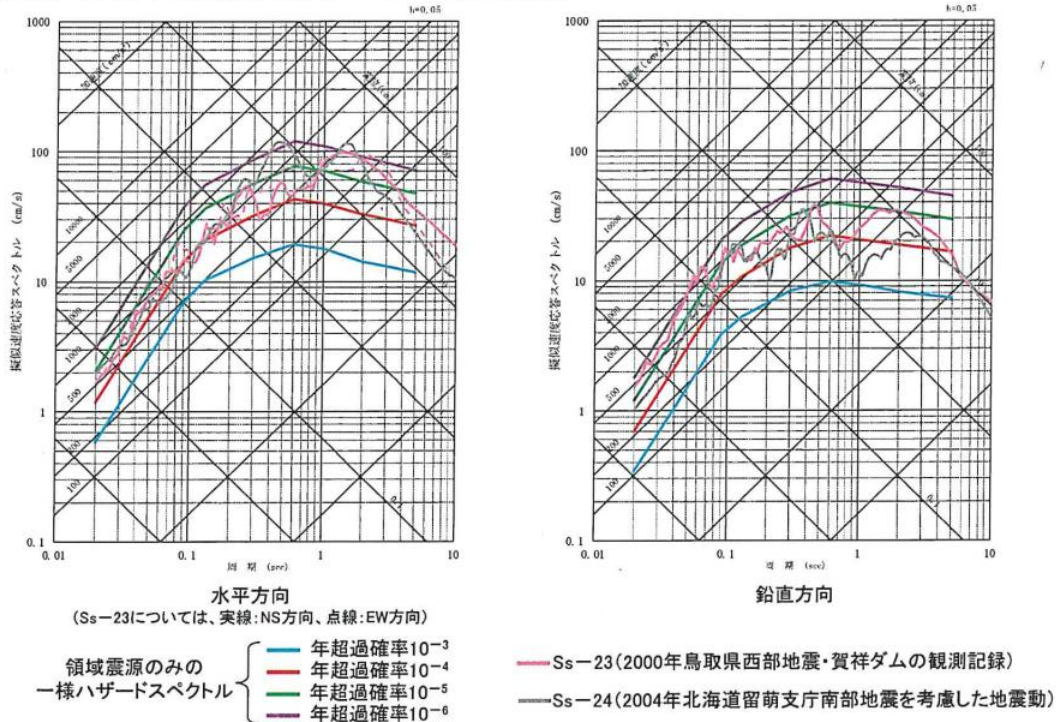


9. 基準地震動Ssの超過確率

第346回審査会合
資料再掲

116

■領域震源のみの一様ハザードスペクトルと震源を特定せず策定する地震動(Ss-23,Ss-24)の比較
Ss-23,Ss-24の年超過確率は、 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度である。



9. 基準地震動Ssの超過確率

第346回審査会合
資料再掲

117

- 特定震源モデルと領域震源モデルを作成し評価した。
- 主要活断層モデルは、ロジックツリーを用いて詳細な評価を行った。
- 一様ハザードスペクトルと基準地震動Ss-1との比較より、基準地震動Ss-1の年超過確率は、水平方向では全周期帯で $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度であるが、鉛直方向では短周期側で $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度、長周期側で $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 程度となっている。
- 領域震源のみの一様ハザードスペクトルと震源を特定せず策定する地震動(Ss-23,Ss-24)の比較により、Ss-23,Ss-24の年超過確率は $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度となっている。

- 敷地周辺の過去の地震や活断層から、検討用地震として以下の活断層による地震を選定した。
 - ・C断層
 - ・三方断層
 - ・白木一丹生断層
 - ・大陸棚外縁～B～野坂断層
 - ・安島岬沖～和布一干飯崎沖～甲楽城断層
 - ・甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層
- 敷地及び敷地周辺で実施した各種地下構造に関する調査結果に基づき、地震動評価に用いる地下構造モデルを設定した。
- 検討用地震についての応答スペクトルに基づく地震動評価、断層モデルを用いた手法による地震動評価及び震源を特定せず策定する地震動に関する検討結果に基づき、基準地震動 $S_s-1 \sim S_s-24$ を策定した。

参考文献

- ・ 宇佐美龍夫・石井寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子(2013): 日本被害地震総覧599-2012, 東京大学出版会
- ・ 気象庁(2013): 地震年報2011年版
- ・ 宇津徳治(1982): 日本付近のM6.0以上の地震及び被害地震の表: 1885年～1980年, 東京大学地震研究所彙報, Vol.57
- ・ 村松郁栄(1969): 震度分布と地震のマグニチュードとの関係, 岐阜大学教育学部研究報告, 自然科学, 第4巻, 第3号, p.168～p.176
- ・ 勝又護・徳永規一(1971): 震度IVの範囲と地震の規模及び震度と加速度の対応, 験震時報第36巻第3・4号p.89～p.96
- ・ 松田時彦(1975): 活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震, 第2輯, 第28巻, p.269～p.283
- ・ 気象庁監修(1996): 震度を知る, ぎょうせい, p.76～p.77
- ・ Noda, S., K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Tohdo and T. Watanabe(2002): RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis, Oct.16～18, Istanbul
- ・ 狐崎長琅・後藤典俊・小林芳正・井川猛・堀家正則・斉藤徳美・黒田徹・山根一修・奥住宏一(1990): 地震動予測のための深層地盤P・S波速度の推定, 自然災害科学9-3p.1-p.17
- ・ Ludwig, W. J., J. E. Nafe, and C. L. Drake: Seismic refraction, in A. E. Maxwell ed., The Sea-Ideas and observations on progress in the study of the seas, 4, Part 1, Wiley-interscience, New York, 1970, p.53-p.84
- ・ 山中浩明(2007): ハイブリッドヒューリスティック探索による位相速度の逆解析, 物理探査第60巻第3号(2007)p.265-p.275
- ・ 川里健・大場政章・引間和人・鈴木晴彦・増田徹(2007): 若狭湾地域における地震発生層の推定 その2—地震波トモグラフィ解析とまとめ—, 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, S152～P016
- ・ 大場政章・鈴木晴彦・野畑有秀・田中清和(2010): 水平アレー地震観測記録を用いた地下深部速度構造の推定, 物理探査学会第123回学術講演会論文集(2010), p.37-p.40
- ・ 佐藤浩章・東貞成・芝良昭・佐藤清隆・高橋裕幸・敦賀隆史(2007): 地震観測記録に基づく地震動の減衰特性(その3)—硬質地盤における減衰メカニズムの解明—, 電力中央研究所報告N07013
- ・ 佐藤浩章(2009): 広帯域強震動予測のための新潟平野における深部地盤のモデル化とサイト増幅特性評価, 電力中央研究所報告N08
- ・ 佐藤浩章・山中浩明(2010): 広帯域サイト増幅特性評価のための深部地盤の不均質性のモデル化に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第648号, p.289～p.298
- ・ 地震調査研究推進本部(2004): 琵琶湖西岸断層帯の地震を想定した強震動評価
- ・ 入倉孝次郎・三宅弘恵(2001): シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, Vol. 110, No. 6, p. 849～p.875
- ・ 吉井弘治・伊藤潔(2001): 近畿地方北部の地震波速度構造と地震発生層, 地球惑星科学連合学会2001年合同大会, Sz-P006

- ・ 廣瀬一聖・伊藤潔(2006): 広角反射法および屈折法解析による近畿地方の地殻構造の推定, 京都大学防災研究所年報第49号B, p.307-p.321
- ・ 伊藤潔・廣瀬一聖・澁谷拓郎・片尾浩・梅田康弘・佐藤比呂志・平田直・伊藤谷生・阿部進・川中卓・井川猛(2007): 近畿地方における地殻および上部マントルの構造と地震活動, 京都大学防災研究所年報第50号B平成19年4月, p.275-p.288
- ・ 伊藤潔・廣瀬一聖(2006): 人口地震記録を用いた近畿地方の地震波速度構造, 大都市大震災軽減化特別プロジェクトI 地震動(強い揺れ)の予測「大都市圏地殻構造調査研究」(平成17年度), p.549-p.559
- ・ 伊藤潔・中村修一(1998): 西南日本内帯による地震発生層の厚さの変化と内陸大地震, 京都大学防災研究所年報, 第41号, B-1, p.27-35
- ・ 原子力安全委員会(2009): 「応答スペクトルに基づく地震動評価」に関する専門家との意見交換会, 地震・地震動評価委員会, 資料第1-1号, 1-2号
- ・ Isao Nishimura, Shizuo Noda, Katsuya Takahashi, Masayuki Takemura, Susumu Ohno, Masanobu Tohdo and Takahide Watanabe (2001): Response Spectra for Design Purpose of Stiff Structures on Rock Sites, SMiRT 16 Paper#1133, p.1-p.8
- ・ Kanno, T., A. Narita, N. Morikawa, H. Fujiwara and Y. Fukushima (2006): A New Attenuation Relation for Strong Ground Motion in Japan Based on Recorded Data, Bull. Seism. Soc. Am., 96, p.879-p.897
- ・ Zhao, J. X., J. Zhang, A. Asano, Y. Ohno, T. Oouchi, T. Takahashi, H. Ogawa, K. Irikura, H. K. Thio, P. G. Somerville, Y. Fukushima and Y. Fukushima (2006): Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period, Bull. Seism. Soc. Am., 96, p.898-p.913
- ・ 内山泰生・翠川三郎(2006): 震源深さの影響を考慮した工学的基盤における応答スペクトルの距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, 第606号, p.81-p.88
- ・ 片岡正次郎・佐藤智美・松本俊輔・日下部毅明(2006): 短周期レベルをパラメータとした地震動強さの距離減衰式, 土木学会論文集A, 62, p.740-p.757
- ・ Abrahamson, N. and W. Silva (2008): Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground-Motion Relations, Earthquake Spectra, Vol. 24, p.67-p.97
- ・ Boore, D. M. and G. M. Atkinson (2008): Ground-Motion Prediction Equations for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, and 5%-Damped PSA at Spectral Periods between 0.01s and 10.0s, Earthquake Spectra, Vol. 24, p.99-p.138
- ・ Campbell, K. W. and Y. Bozorgnia (2008): NGA Ground Motion Model for the Geometric Mean Horizontal Component of PGA, PGV, and PGD, and 5% Damped Linear Elastic Response Spectra for Periods Ranging from 0.01 to 10s, Earthquake Spectra, Vol. 24, p.139-p.171
- ・ Chiou, B. S.-J. and R. R. Youngs (2008): An NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra, Earthquake Spectra, Vol. 24, p.173-p.215

- ・ Idriss, I. M. (2008): An NGA Empirical Model for Estimating the Horizontal Spectral Values Generated By Shallow Crustal Earthquakes, Earthquake Spectra, Vol. 24, p.217-p.242
- ・ 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2009): 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシビ」), 「全国地震動予測地図」技術報告書 付録3
- ・ Somerville, P. G., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith and A. Kowada (1999): Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, Seismological Research Letters, Vol. 70, No. 1, p.59-p.80
- ・ Geller, R. J. (1976): Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 66, p.1,501-p.1,523
- ・ Boatwright, J. (1988): The seismic radiation from composite models of faulting, Bull. Seism. Soc. Am., 78, p.489-p.508
- ・ 壇一男・渡辺基史・佐藤俊明・石井透(2001): 断層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, Vol. 545, p.51-p.62
- ・ Eshelby, J. D. (1957): The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems, Proc. Roy. Soc. London, Ser. A, 241, p.376-p.396
- ・ Fujii, Y. and M. Matsu'ura (2000): Regional Difference in Scaling Laws for Large Earthquakes and its Tectonic Implication, Pure and Applied Geophysics, 157, p. 2,283-p.2,302
- ・ Madariaga, R. (1979): On the relation between seismic moment and stress drop in the presence of stress and strength heterogeneity, J. Geophys. Res., 84, p.2,243-p.2,250
- ・ 香川敬生・鶴来雅人・佐藤信光(2003): 硬質サイトの強震観測記録に見られる高周波低減特性の検討, 土木学会地震工学論文集, p.315, CD-ROM
- ・ 佐藤智美・壇一男・岡崎敦・羽田浩二(2007): 若狭湾周辺の地殻内地震の記録を用いたスペクトルインバージョン解析, 2007年度日本地震学会講演予稿集, p.03-066
- ・ 釜江克宏・入倉孝次郎・福知保長(1990): 地域的な震源スケーリング則を用いた大地震(M7級)のための設計用地震動予測, 日本建築学会構造系論文集, 第416号, p.57-p.70
- ・ Boore, D. M. (1983): Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 73, p.1,865-p.1,894
- ・ Bouchon, M. (1981): A simple method to calculate Green's functions for elastic layered media, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 71, p.959-p.971

- 宮腰研・PETOKHIN Anatoly・長都夫(2003): すべりの時空間的不均質特性のモデル化, 地震災害軽減のための強震動予測マスターモデルに関する研究 成果報告書, p.113-p.123
- Murotani, S., S. Matsushima, T. Azuma, K. Irikura, and S. Kitagawa (2010), Scaling Relations of Earthquakes on Active Mega-Fault Systems, Abstract of AGU fall meeting 2010, S51A-1911.
- 佐藤浩章・芝良昭・東貞成・功刀卓・前田宜浩・藤原広行(2013): 物理探査・室内試験に基づく2004年留萌支庁南部の地震によるK-NET港町観測点(HKD020)の基盤地震動とサイト特性評価, 電力中央研究所報告
- 社団法人日本原子力学会(2007): 原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準:2007, (社)日本原子力学会標準, ASEJ-SC-P006:2007
- 活断層研究会(1991): [新編]日本の活断層, 東京大学出版会
- 萩原尊禮編(1991): 日本列島の地震, 鹿島出版会
- 垣見俊弘・松田時彦・相田勇・衣笠善博(2003): 日本列島と周辺海域の地震地体構造区分, 地震, 第2輯, 第55巻, p.389-p.406
- 奥村俊彦・石川裕(1998): 活断層の活動度から推定される平均変位速度に関する検討, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, 第I部(B), p.554-p.555
- 武村雅之(1998): 日本列島における地殻内地震のスケーリング則—地震断層の影響および地震被害との関連—兵庫県南部地震の発生過程一, 地震, 第2輯, 第51巻, p.211-p.228
- Takemura, M., T. Ikeura, and R. Sato (1990). Scaling relations for source parameters and magnitude of earthquakes in the Izu Peninsula region, Japan, Sci. Rep. Tohoku Univ., 32, p.77-p.89
- 地震調査研究推進本部(2004): 琵琶湖西岸断層帯の長期評価について
- 地震調査研究推進本部(2005): 三峠・京都西山断層帯の長期評価について
- 地震調査研究推進本部(2004): 福井平野東縁断層帯の長期評価について