

資料 2



美浜発電所の基準地震動に対する 標準応答スペクトルの影響検討

関西電力株式会社

2021年6月18日



-
1. 検討方針 P. 2
 2. 標準応答スペクトルの影響検討(美浜発電所) P. 3～ 7
 3. まとめ P. 8

参考資料

- ・新規制基準適合性審査会合資料(抜粋) P. 9～51
- ・「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の解釈等の一部改正に係る対応について(指示)(2021年4月26日発信)」に基づく基準地震動の変更が不要であることを説明する文書 P.52～54

1. 検討方針

美浜発電所について、
新たに制定された標準応答スペクトルと基準地震動Ss との比較を行う。

■ 標準応答スペクトルの概要

震源近傍の多数の地震動記録に基づいて策定した地震基盤相当面(地震基盤からの地盤増幅率が小さく地震動としては地震基盤面と同等とみなすことができる地盤の解放面で、せん断波速度Vs=2,200m/s以上の地層をいう。)における標準的な応答スペクトルとして次の図に示すもの。

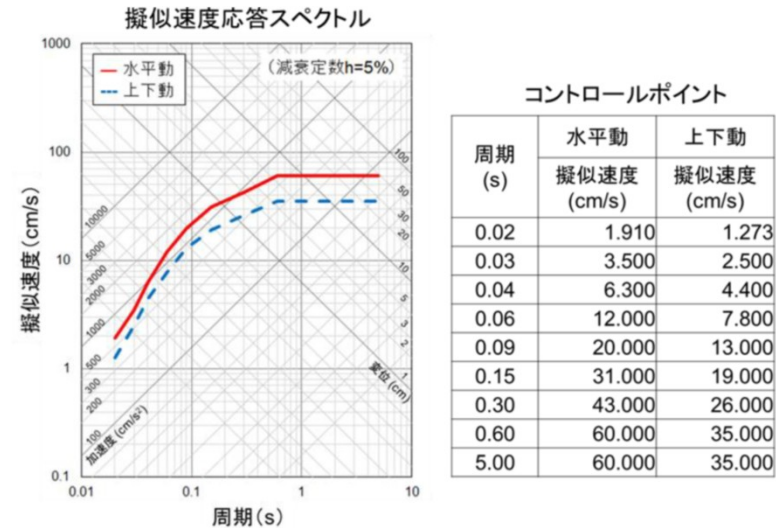
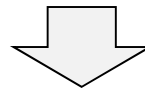


図 地震基盤相当面における標準応答スペクトル
(2021年4月21日原子力規制委員会資料より抜粋)



	基準地震動Ssを策定している 解放基盤表面のせん断波速度Vs	検討方針
美浜 発電所	1.65km/s	標準応答スペクトルに対して、地震基盤相当面から解放基盤表面までの地盤増幅特性を考慮したうえで、基準地震動Ss-1と比較して影響を確認

2. 標準応答スペクトルの影響検討(美浜発電所)

■美浜発電所の地震基盤相当面から解放基盤表面までの地盤増幅特性の考慮方法

- ・解放基盤表面 ($V_s=1.65\text{km/s}^*$) で策定された**基準地震動Ss-1**と、
地下構造モデルによる地震基盤相当面 ($V_s=2.2\text{km/s}$ 層[※]上面) **での基準地震動Ss-1の引戻し波**との
応答スペクトル比を標準応答スペクトルに乗ずることで地盤増幅特性を考慮する。

※鉛直方向については、水平方向のそれぞれの V_s に対応する V_p を有する層を対象に、同様の計算を行う。

第 4.4.3 表 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 (g/cm^3)	層厚 (km)	上面深度 (km)	Q_s	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

▽解放基盤表面
($V_s=1.65\text{km/s}$, $V_p=4.0\text{km/s}$)

▽地震基盤相当面
($V_s=2.2\text{km/s}$, $V_p=4.7\text{km/s}$)

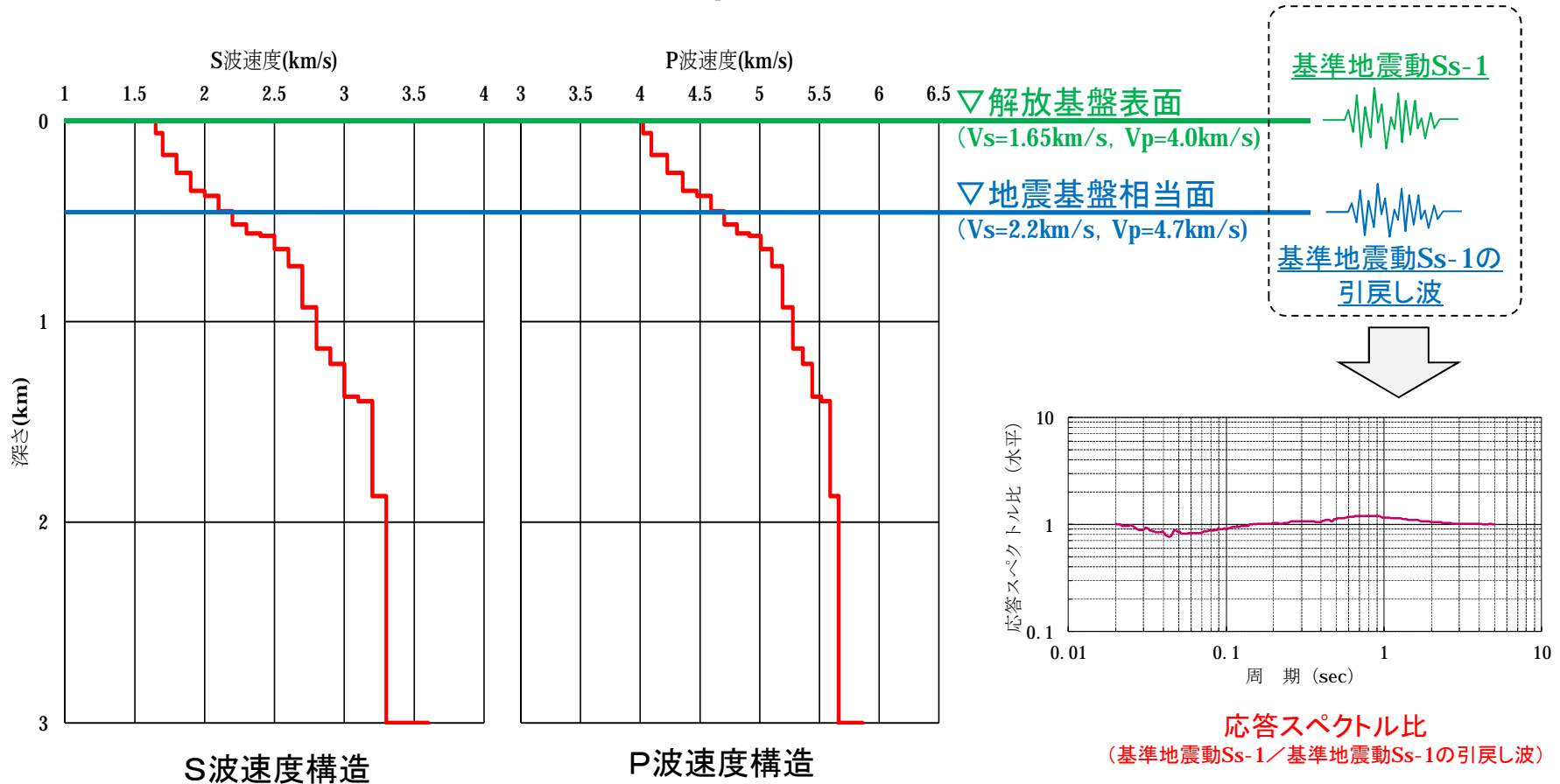
(「美浜発電所3号炉 原子炉設置許可申請書
添付六 第4.4.3表 地震動評価に用いる地下構造モデル」に追記)

2. 標準応答スペクトルの影響検討(美浜発電所)

■美浜発電所の地震基盤相当面から解放基盤表面までの地盤増幅特性の考慮方法

- ・解放基盤表面 ($V_s=1.65\text{km/s}$ ※) で策定された **基準地震動Ss-1** と、
地下構造モデルによる地震基盤相当面 ($V_s=2.2\text{km/s}$ 層※上面) **での基準地震動Ss-1の引戻し波** との
応答スペクトル比 を標準応答スペクトルに乗ずることで地盤増幅特性を考慮する。

※鉛直方向については、水平方向のそれぞれの V_s に対応する V_p を有する層を対象に、同様の計算を行う。

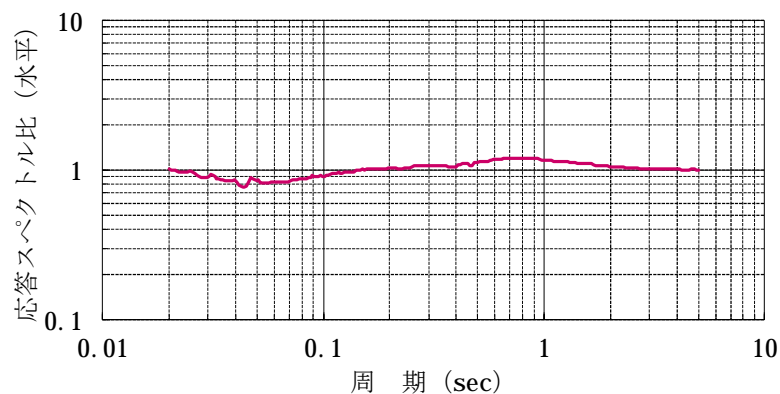


(「美浜発電所3号炉 原子炉設置許可申請書 添付六 第4.4.14 図 地震動評価に用いる地下構造モデル」に追記)

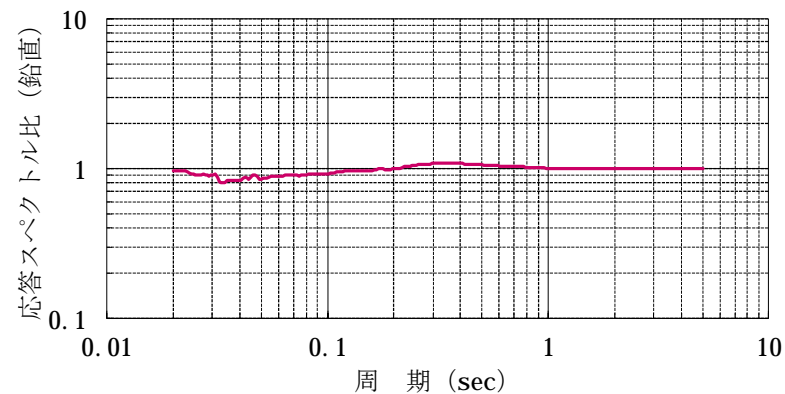
2. 標準応答スペクトルの影響検討(美浜発電所)

■ 美浜発電所の地震基盤相当面から解放基盤表面までの地盤増幅特性の考慮方法

- ・ 基準地震動Ss-1と基準地震動Ss-1の引戻し波により得られた応答スペクトル比を示す。



応答スペクトル比(水平方向)

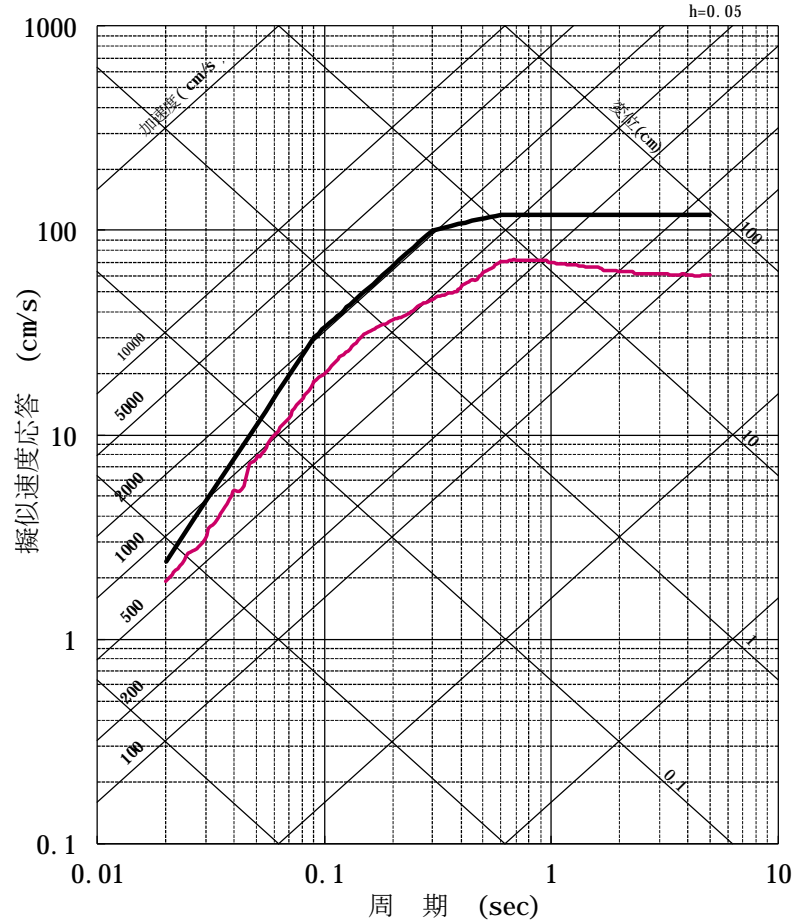


応答スペクトル比(鉛直方向)

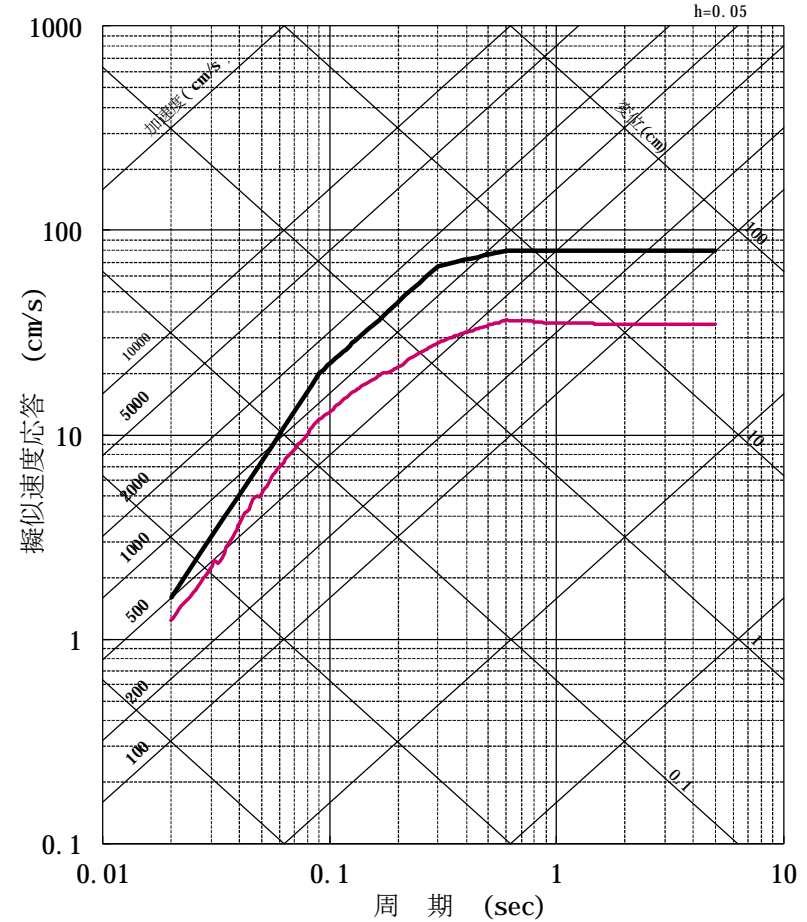
以上より求めた応答スペクトル比を、標準応答スペクトルに乗ずることで地盤増幅特性を考慮する。

2. 標準応答スペクトルの影響検討(美浜発電所)

■標準応答スペクトル(地盤増幅特性考慮)と美浜発電所の基準地震動Ss-1との比較



水平方向



鉛直方向

[凡例] — : 標準応答スペクトル(地盤増幅特性考慮), — : 基準地震動Ss-1

標準応答スペクトル(地盤増幅特性考慮)は基準地震動Ss-1の応答スペクトルに包絡される。

2. 標準応答スペクトルの影響検討(美浜発電所)

■標準応答スペクトル(地盤増幅特性考慮)と美浜発電所の基準地震動Ss-1との比較

疑似速度応答

水平方向 (単位: cm/s)

周期 (s)	標準応答スペクトル (地盤増幅特性考慮)	基準地震動 Ss-1
0.02	1.92	2.39
0.03	3.15	4.73
0.04	5.32	7.68
0.06	9.95	15.20
0.09	18.24	30.08
0.13	26.25	43.45
0.15	31.20	50.13
0.30	46.13	100.27
0.60	70.50	120
5.00	60.32	120

鉛直方向 (単位: cm/s)

周期 (s)	標準応答スペクトル (地盤増幅特性考慮)	基準地震動 Ss-1
0.02	1.23	1.59
0.03	2.25	3.15
0.04	3.67	5.11
0.06	6.96	10.12
0.09	11.92	20.05
0.13	16.54	28.97
0.15	18.26	33.43
0.30	28.09	66.85
0.60	36.39	80
5.00	34.80	80

赤字: 前後のコントロールポイントから線形補間

標準応答スペクトル(地盤増幅特性考慮)は基準地震動Ss-1の応答スペクトルに包絡される。

美浜発電所について、
新たに制定された標準応答スペクトルと基準地震動 S_s との比較を行った。

標準応答スペクトルは地震基盤相当面(せん断波速度 $V_s=2,200\text{m/s}$ 以上)で定義されており、美浜発電所の基準地震動 S_s を策定している解放基盤表面は $V_s=1.65\text{km/s}$ であることから、標準応答スペクトルに対し、地震基盤相当面から解放基盤表面までの地盤増幅特性を考慮したうえで、基準地震動 S_s-1 と比較した。

地震基盤相当面から解放基盤表面までの地盤増幅特性の考慮方法は、解放基盤表面($V_s=1.65\text{km/s}$)で策定された基準地震動 S_s-1 と、基準地震動 S_s-1 の地下構造モデルによる地震基盤相当面($V_s=2.2\text{km/s}$ 層上面)での引戻し波との応答スペクトル比を、標準応答スペクトルに乗ずる手法とした。

以上の検討の結果、標準応答スペクトル(地盤増幅特性考慮)は基準地震動 S_s-1 に包絡されたことから、基準地震動の変更は不要と判断した。

新規制基準適合性審査会合資料(抜粋)

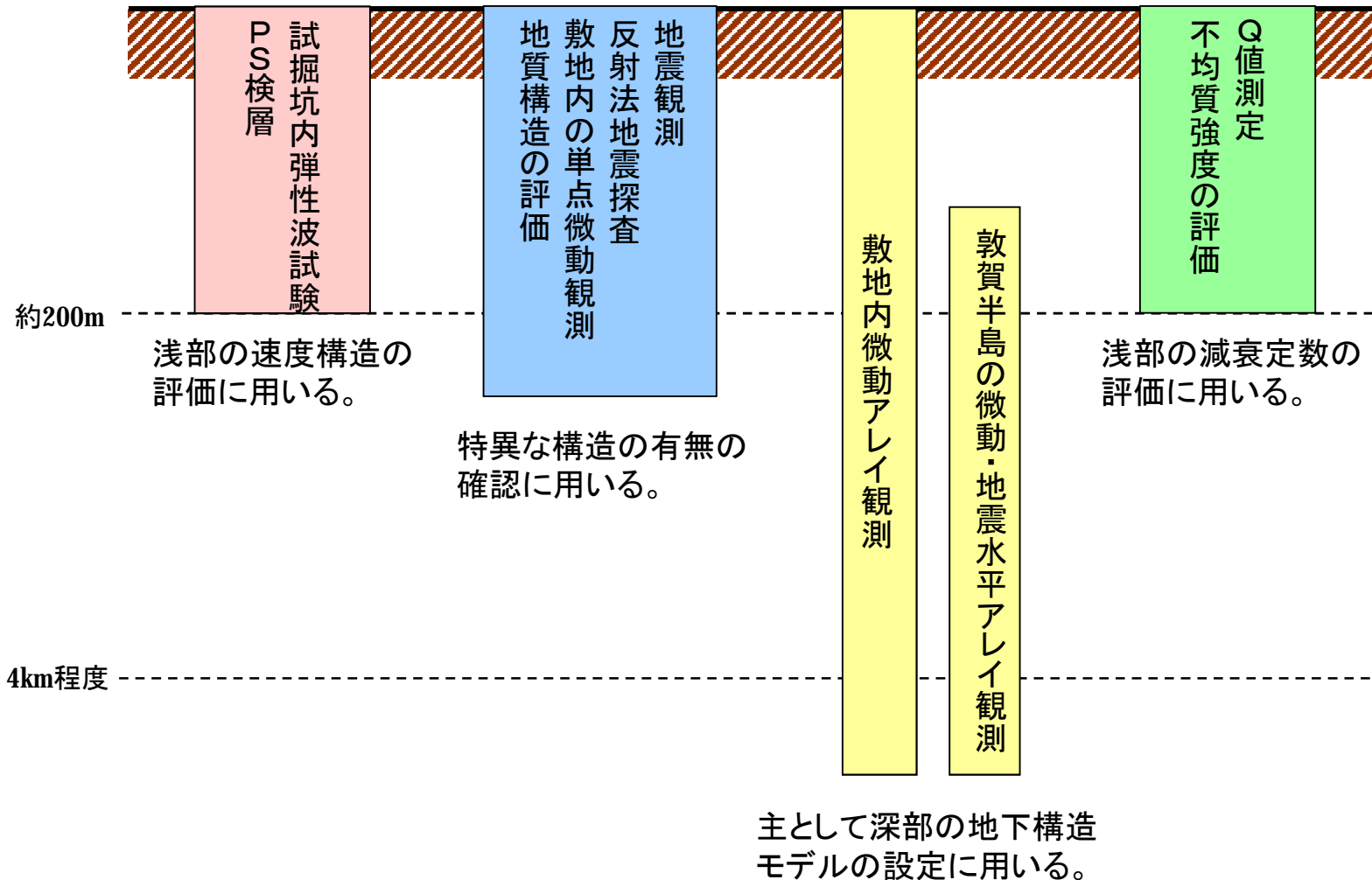
5. 地下構造モデルの策定

■ 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。

浅部地下構造の評価

深部地下構造の評価

減衰定数の評価



5. 地下構造モデルの策定 (地質構造の評価)

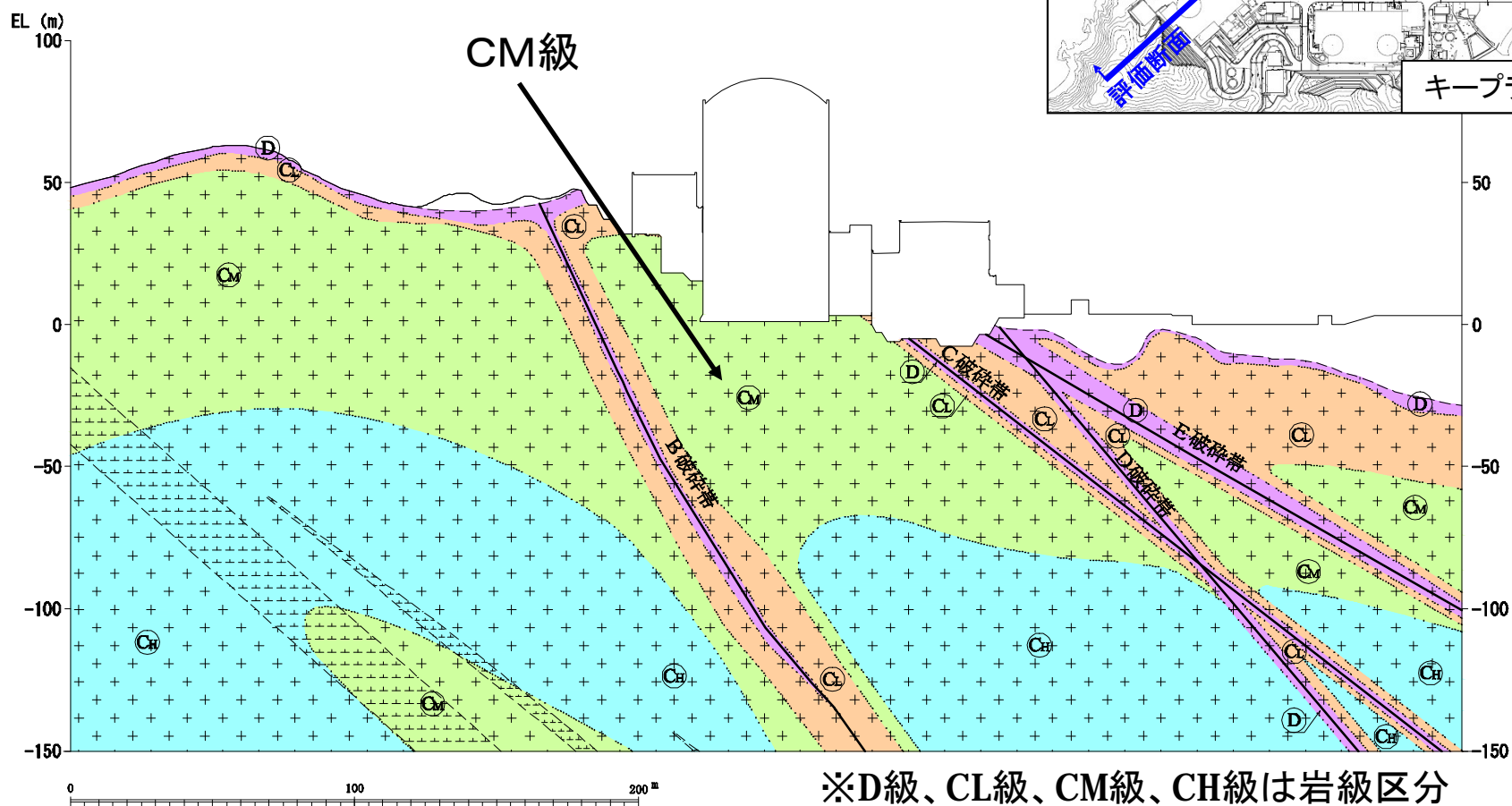
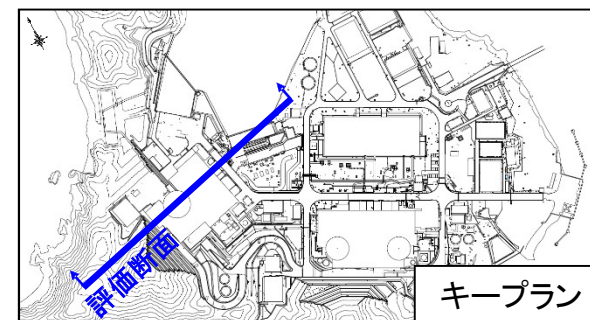
■ 変動地形学的調査、地表地質調査、ボーリング調査、剥ぎ取り調査等を実施



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)

■ 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。



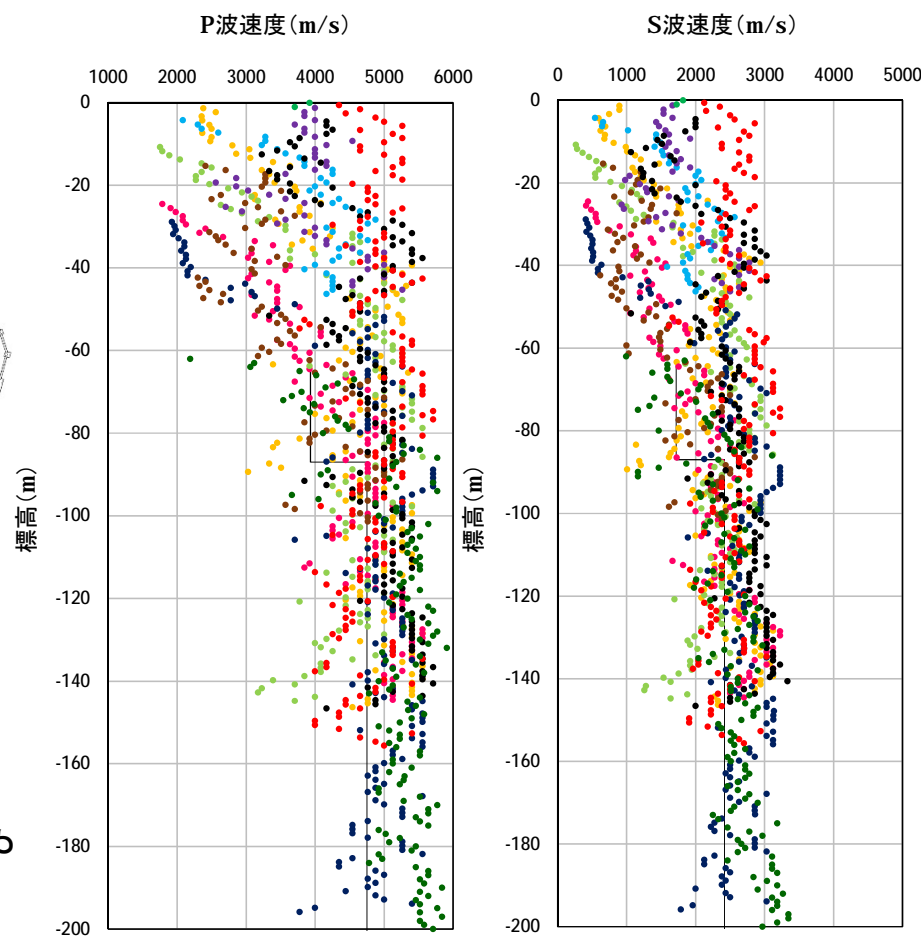
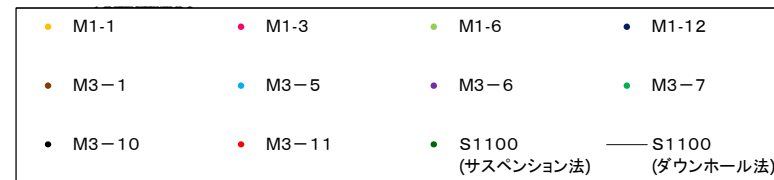
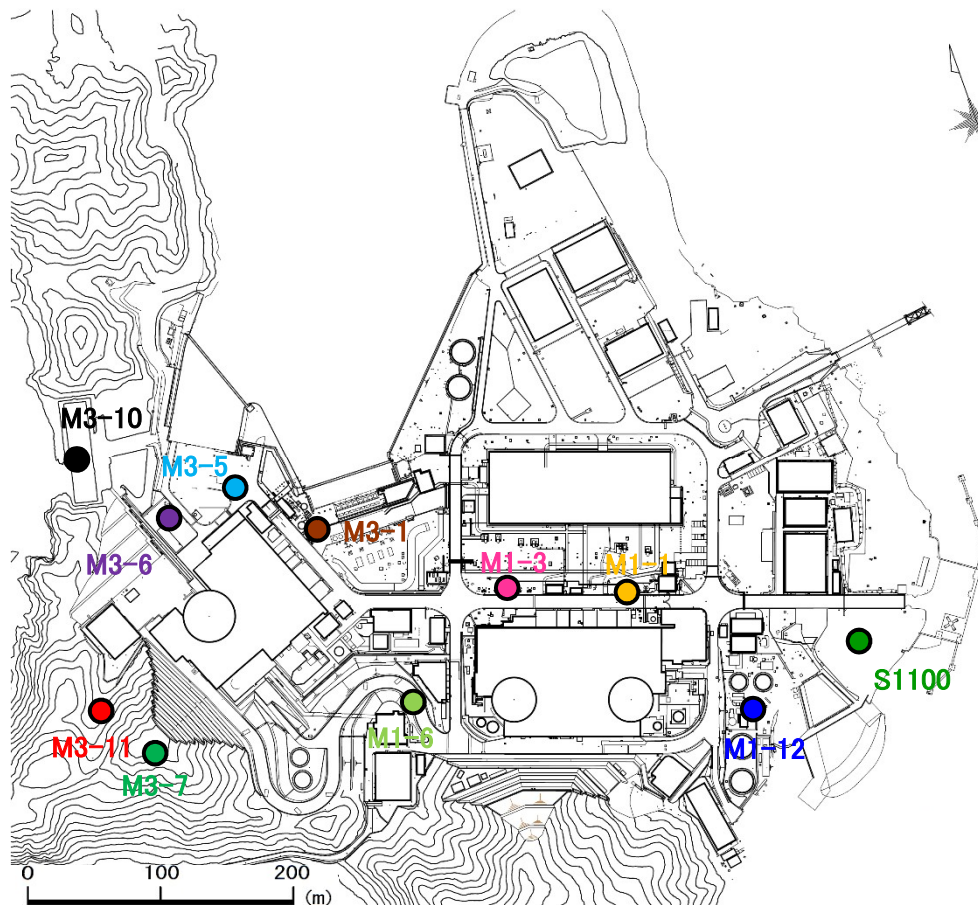
※D級、CL級、CM級、CH級は岩級区分

+ : 花崗岩
⊥ : ドレライト

3号炉地質断面図

5. 地下構造モデルの策定 (PS検層)

■ 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

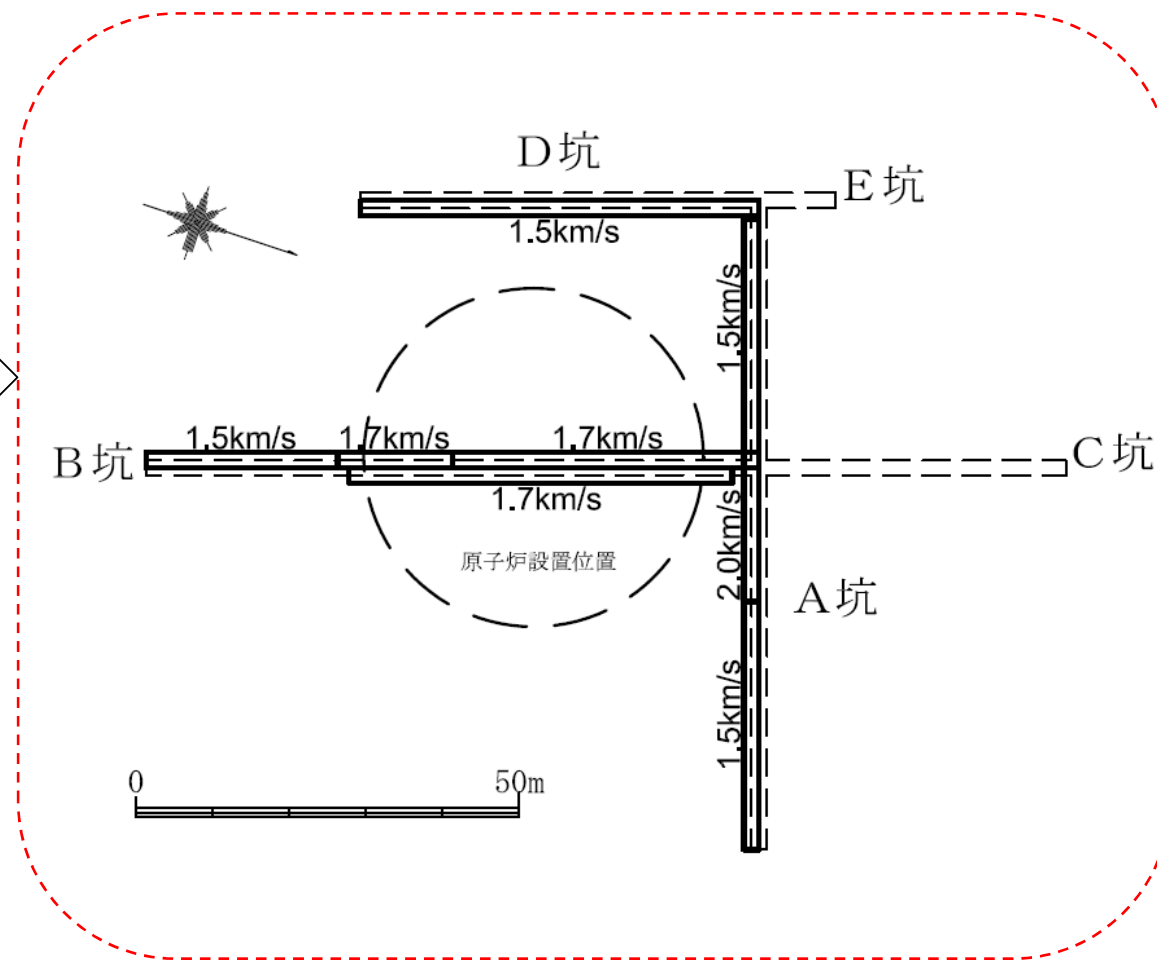
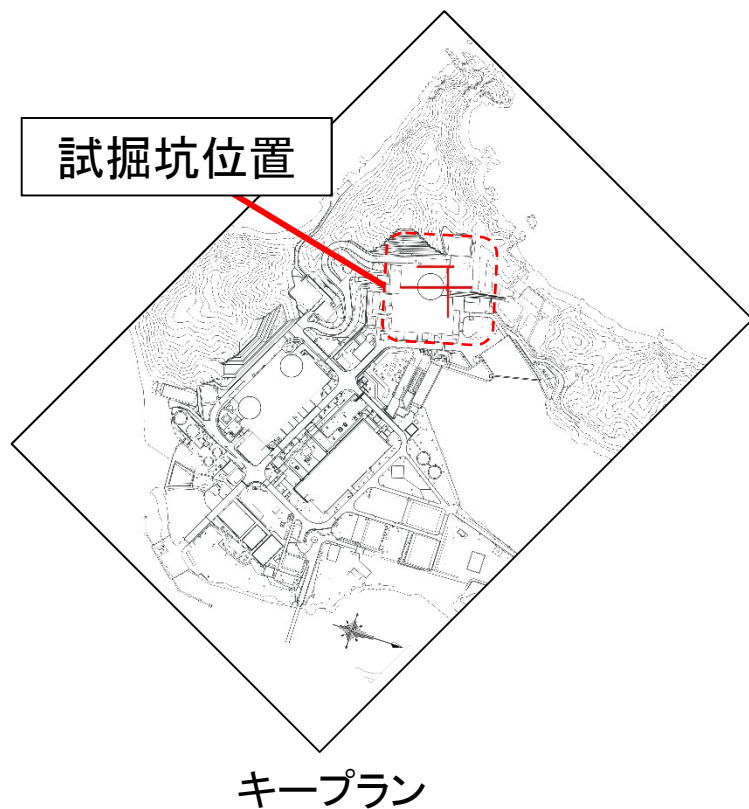
PS検層の結果から、極浅部においては地質の違いや風化の影響等により、ばらつきが見られるものの、敷地全体にわたって硬質な岩盤を確認。

P波速度構造

S波速度構造

5. 地下構造モデルの策定（試掘坑内弾性波試験）

■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。

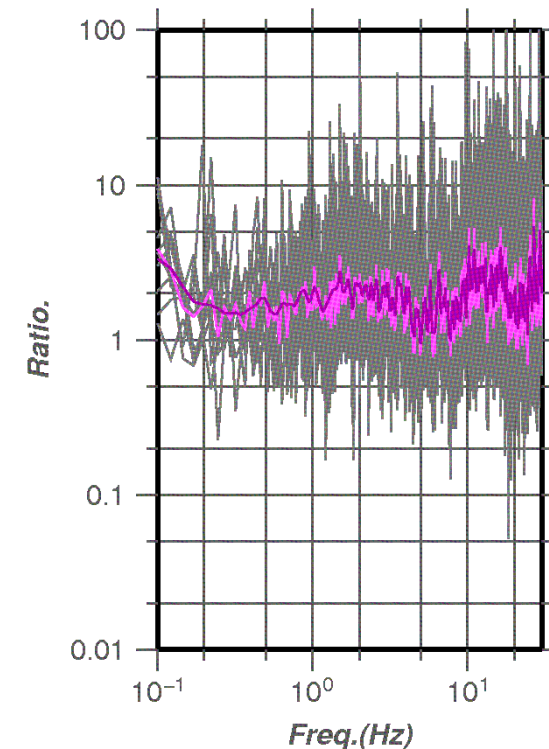
5. 地下構造モデルの策定（単点微動観測）

■ 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。



■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)

■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。

$$Vp=1.29+1.11Vs$$

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

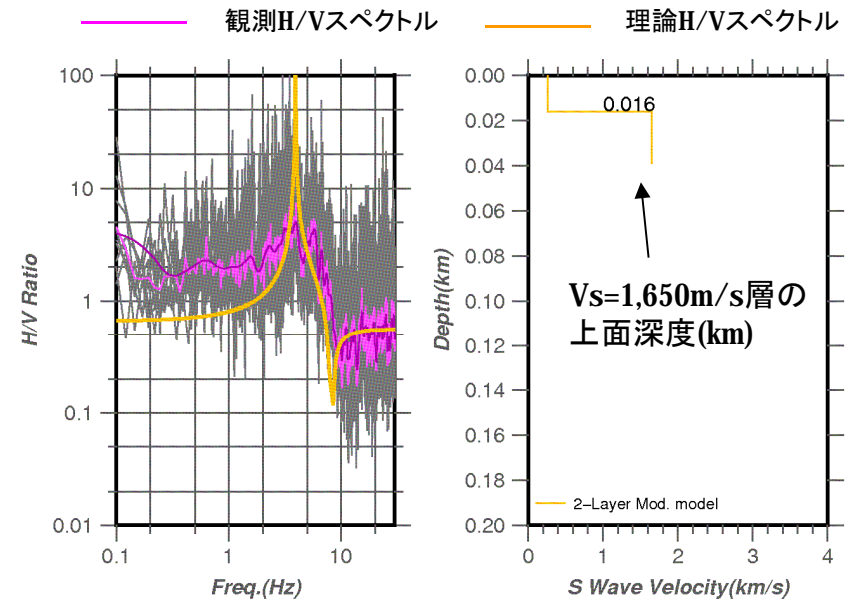
②観測H/Vスペクトルのピーク周波数の読み取り

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。

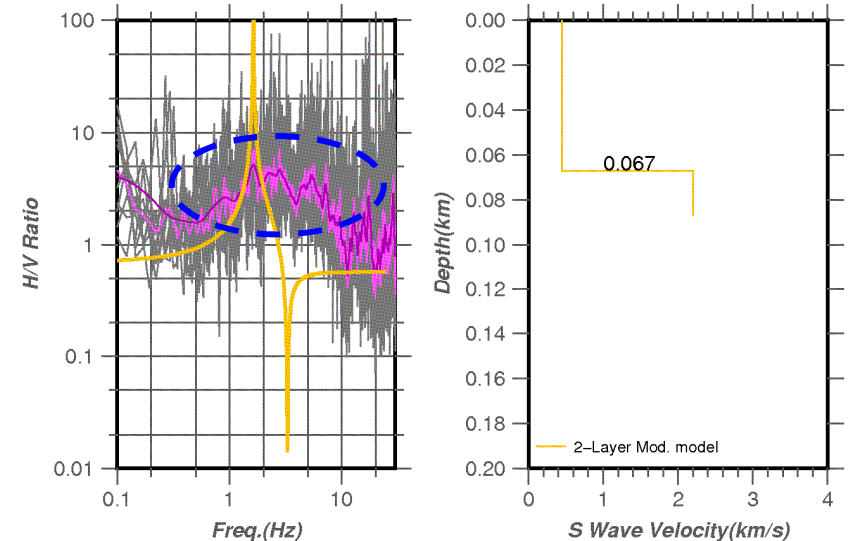
③H/Vスペクトルの同定

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。



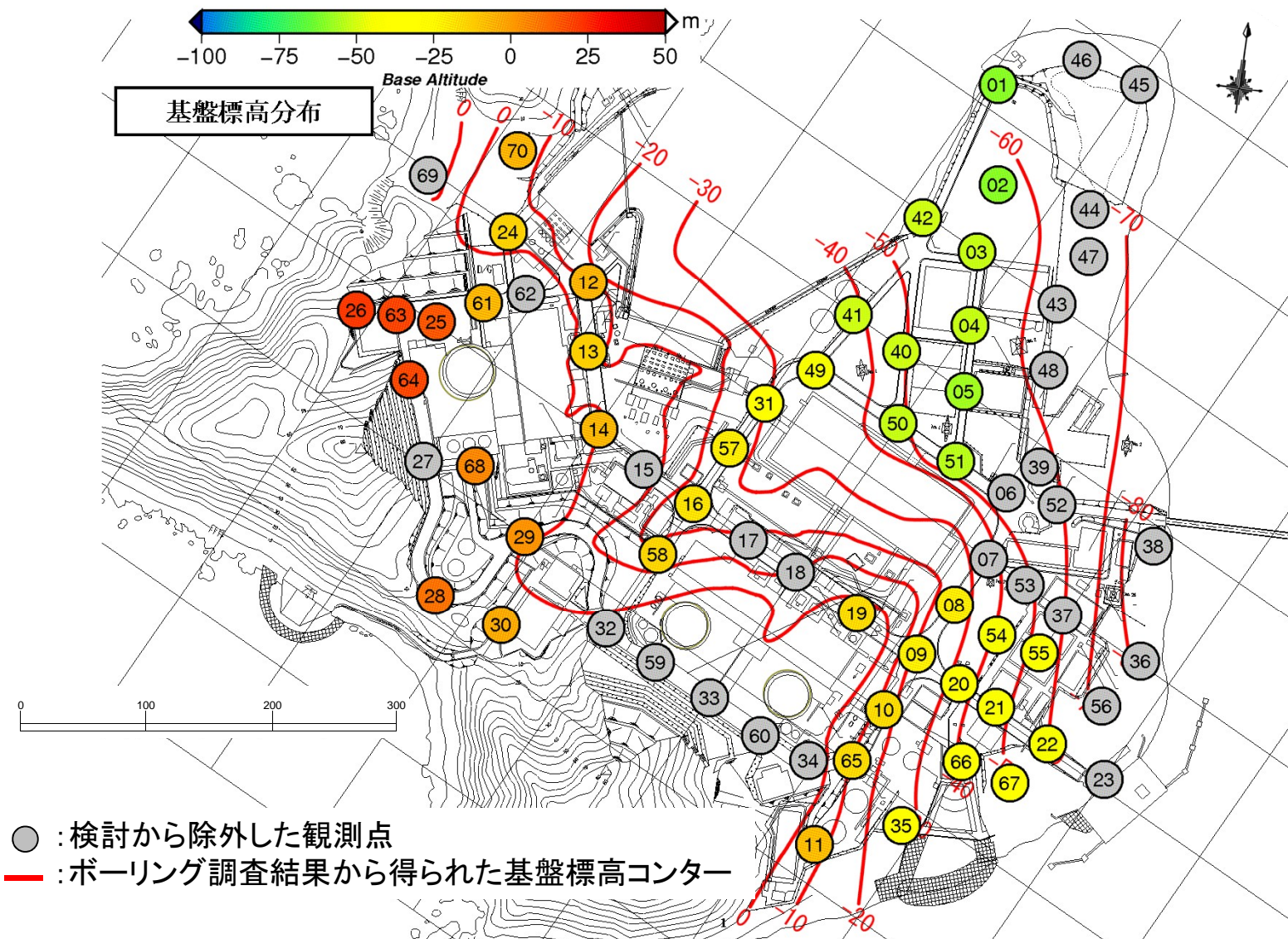
明瞭なピークが見られる場合のH/Vスペクトル



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）

■H/Vスペクトルの同定結果から得られた $V_s=1,650\text{m/s}$ 層上面の深さ分布
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。



- : 検討から除外した観測点
- : ボーリング調査結果から得られた基盤標高コンター

5. 地下構造モデルの策定（解放基盤表面の設定）

■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。

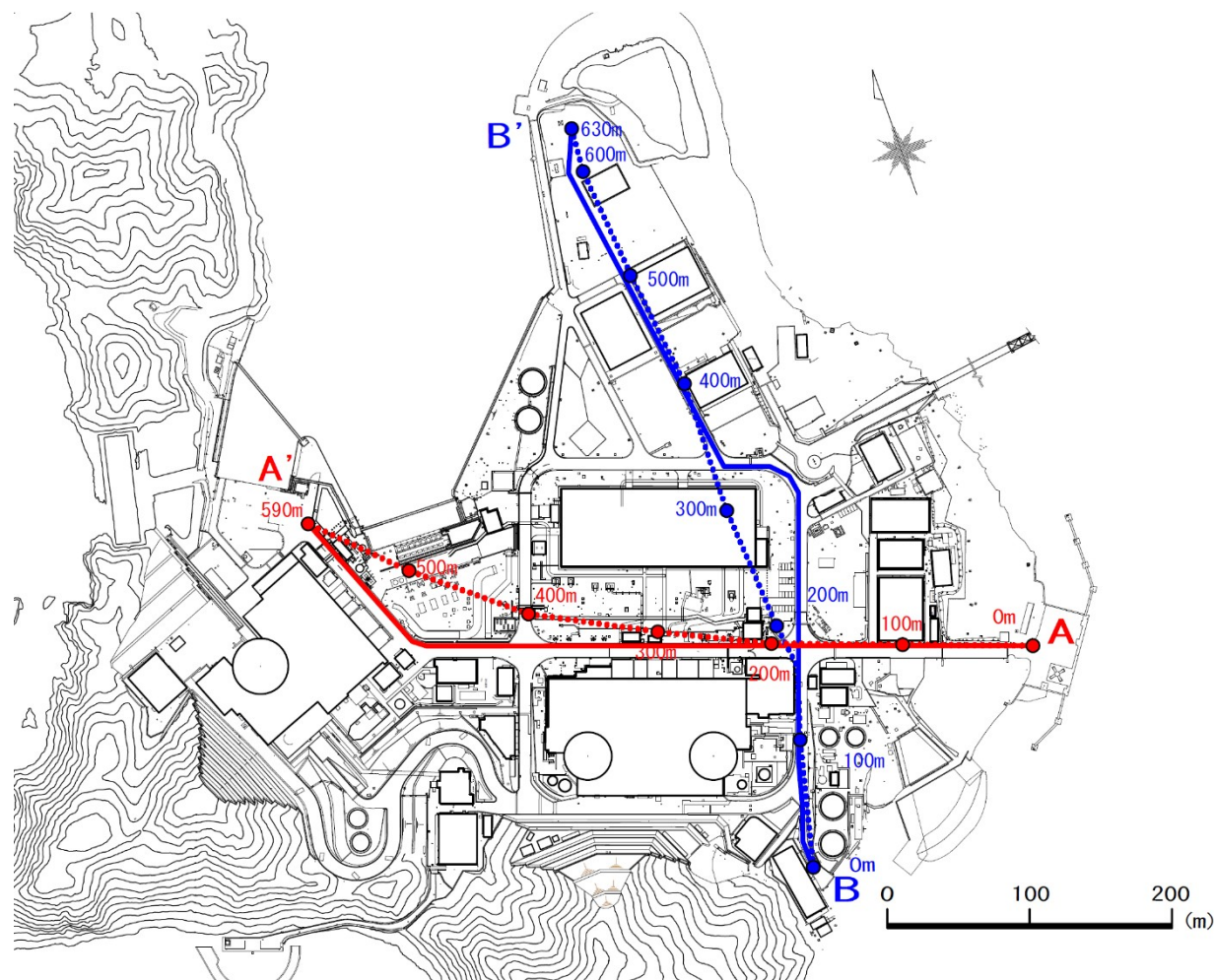
■原子炉建屋設置位置付近のE.L.+0mの位置に解放基盤表面を設定した。

5. 地下構造モデルの策定（反射法地震探査）

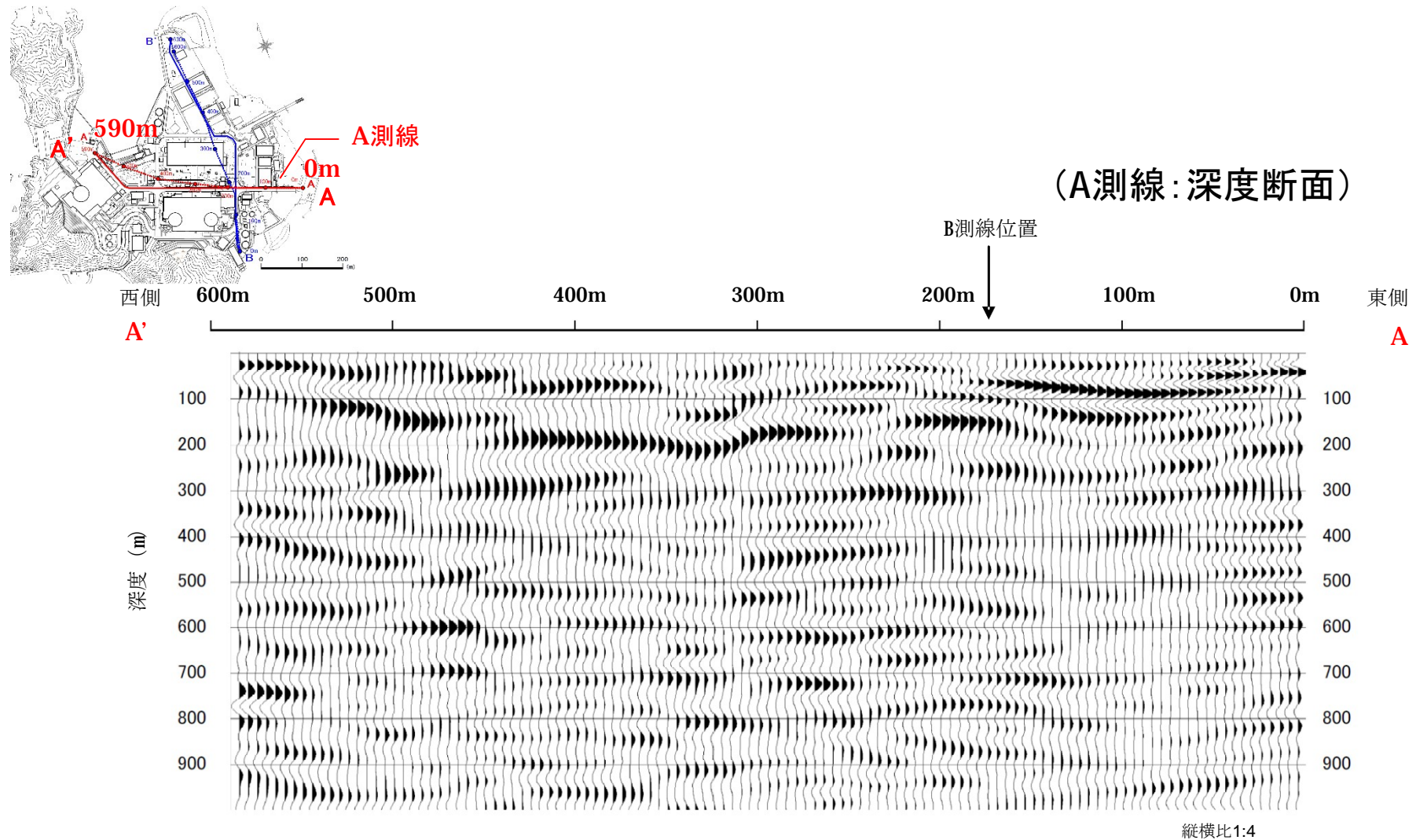
- 地下構造を連続的に把握するため、敷地内2方向の反射法地震探査を実施する。
- 極力長く測線を確保できる2測線を選定した。
- 解析断面については、本調査では一部測線配置が屈曲しているため、反射点分布のほぼ中央付近を通過する解析断面を設定した。

- 調査測線(A測線)
- - - 解析断面(A測線)
- 調査測線(B測線)
- - - 解析断面(B測線)

測線	A測線	B測線
調査測線長(m)	610	670
解析断面長(m)	590	630

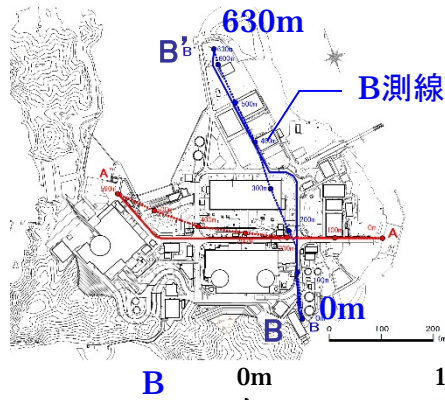


5. 地下構造モデルの策定 (反射法地震探査)

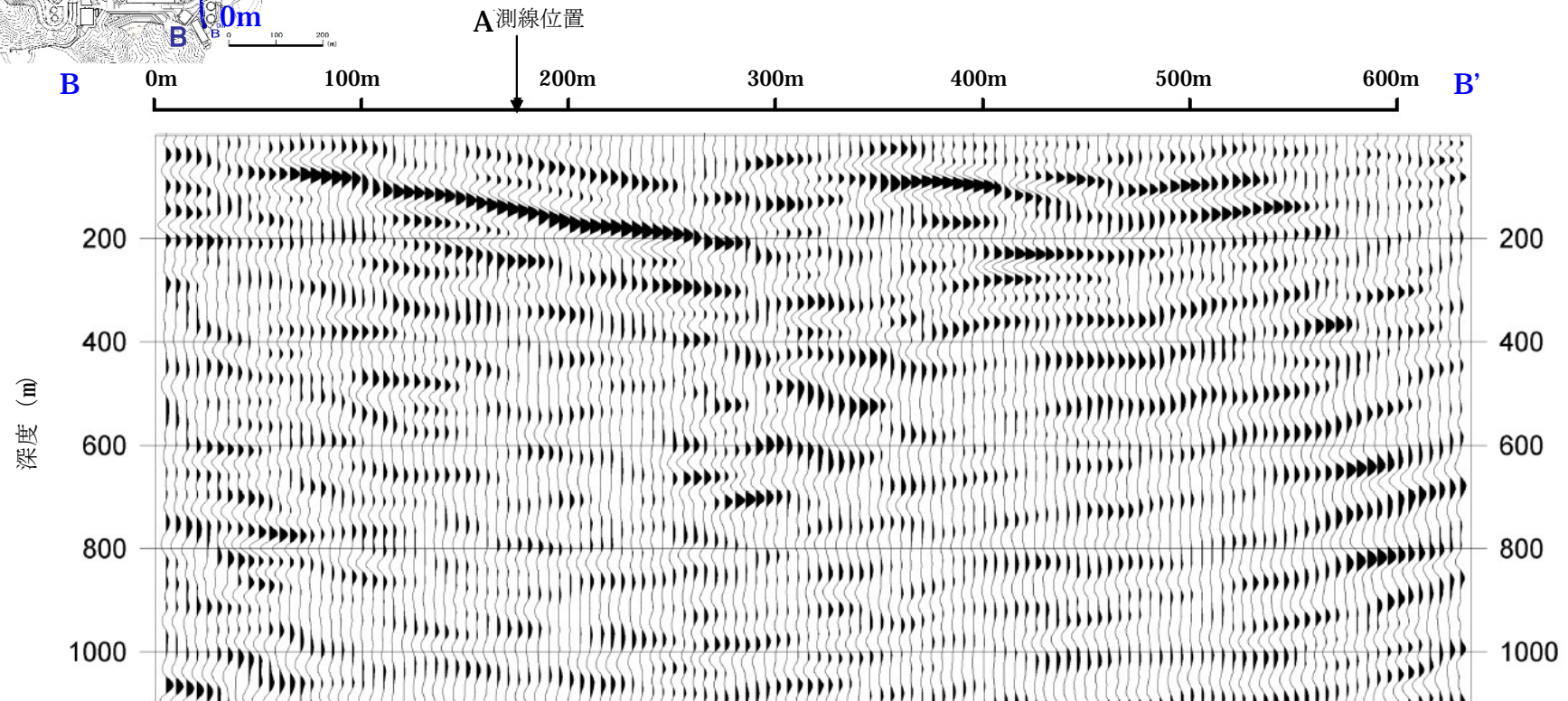


敷地は主として花崗岩からなる地質であり、褶曲構造や極端な落ち込み構造等は確認されず、深さ約300m程度までは特異な構造は認められなかった。

5. 地下構造モデルの策定 (反射法地震探査)



(B測線: 深度断面)

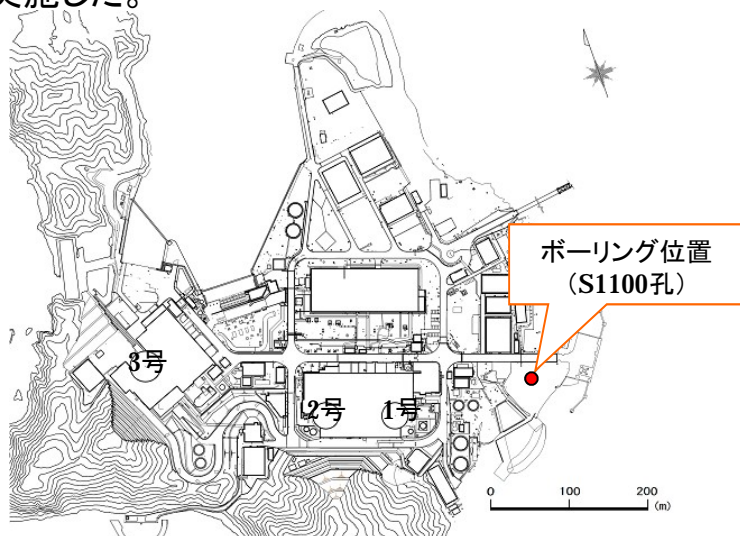


縦横比1:4

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)

■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。

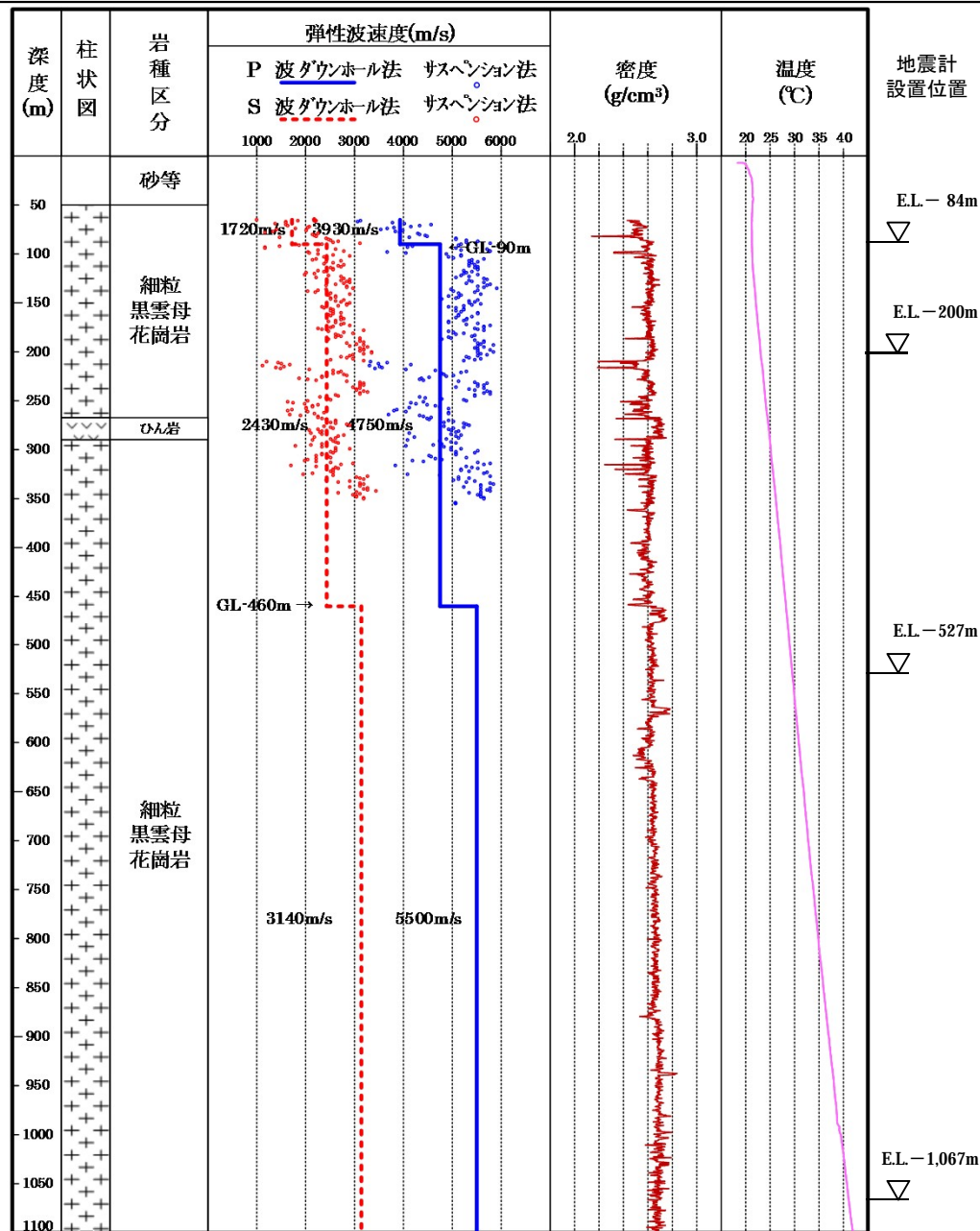


PS検層結果(ダウンホール法)

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

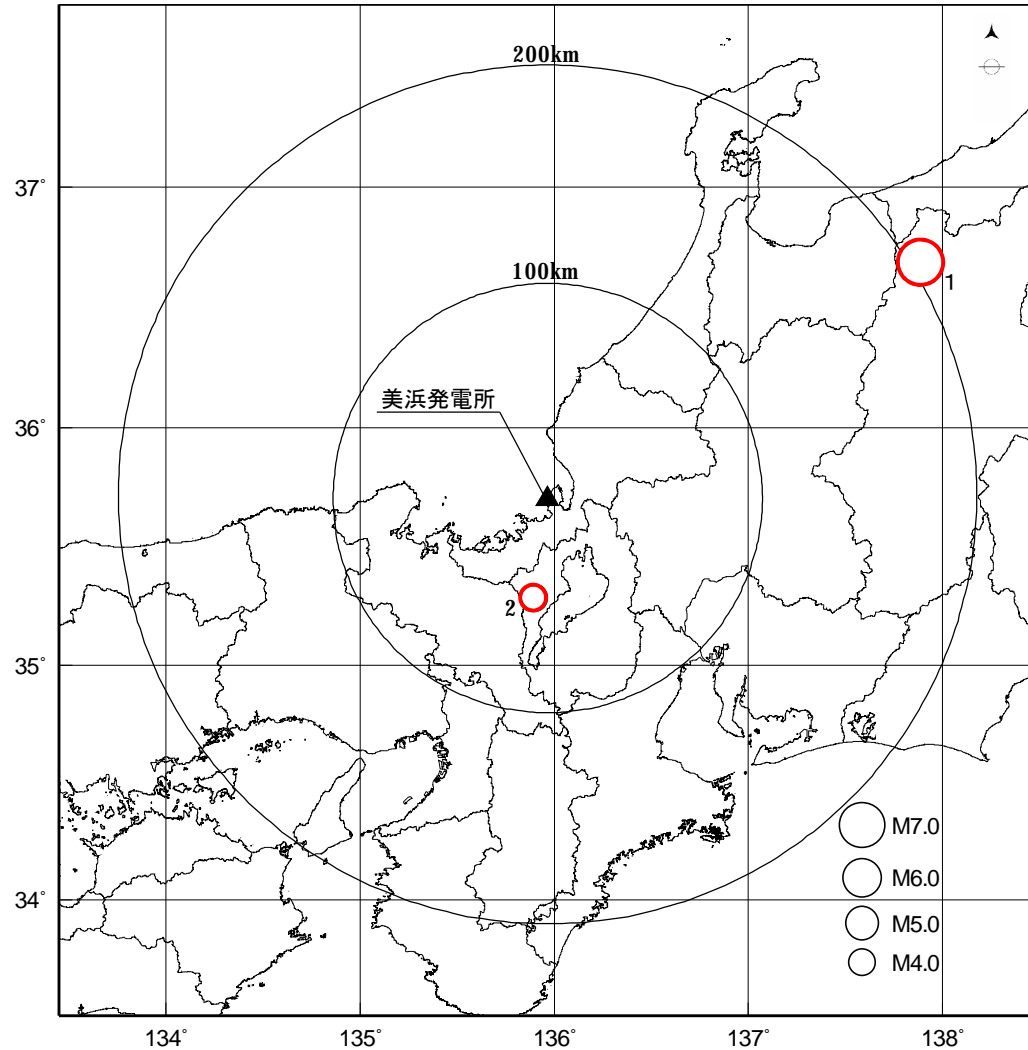
ダウンホール法が平均的な速度構造を示しているのに対し、サスペンション法は1m区間の局所的な速度を計測している。従って、サスペンション法で測定された速度の最大値は、ダウンホール法の速度よりも大きくなる傾向がある。

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）

■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

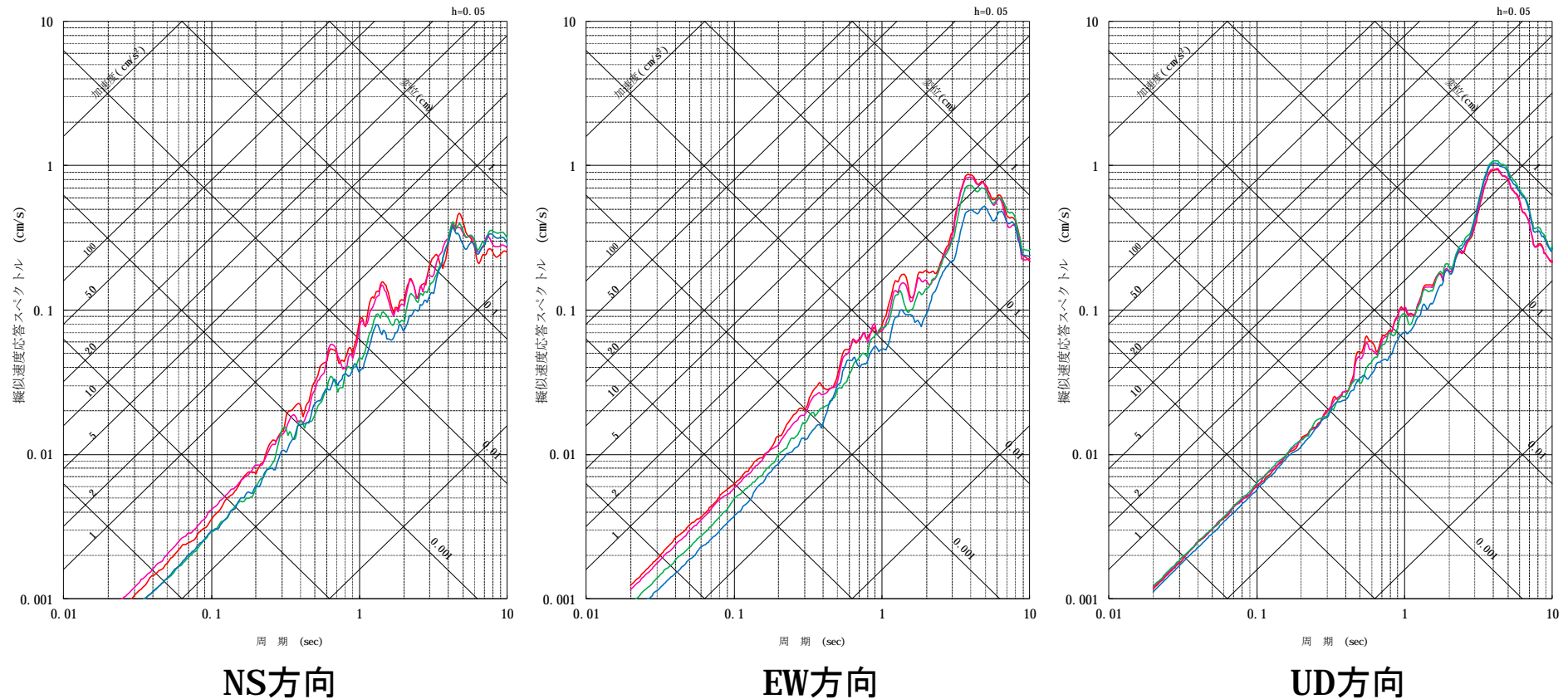
敷地で観測された主な地震の諸元

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)

■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



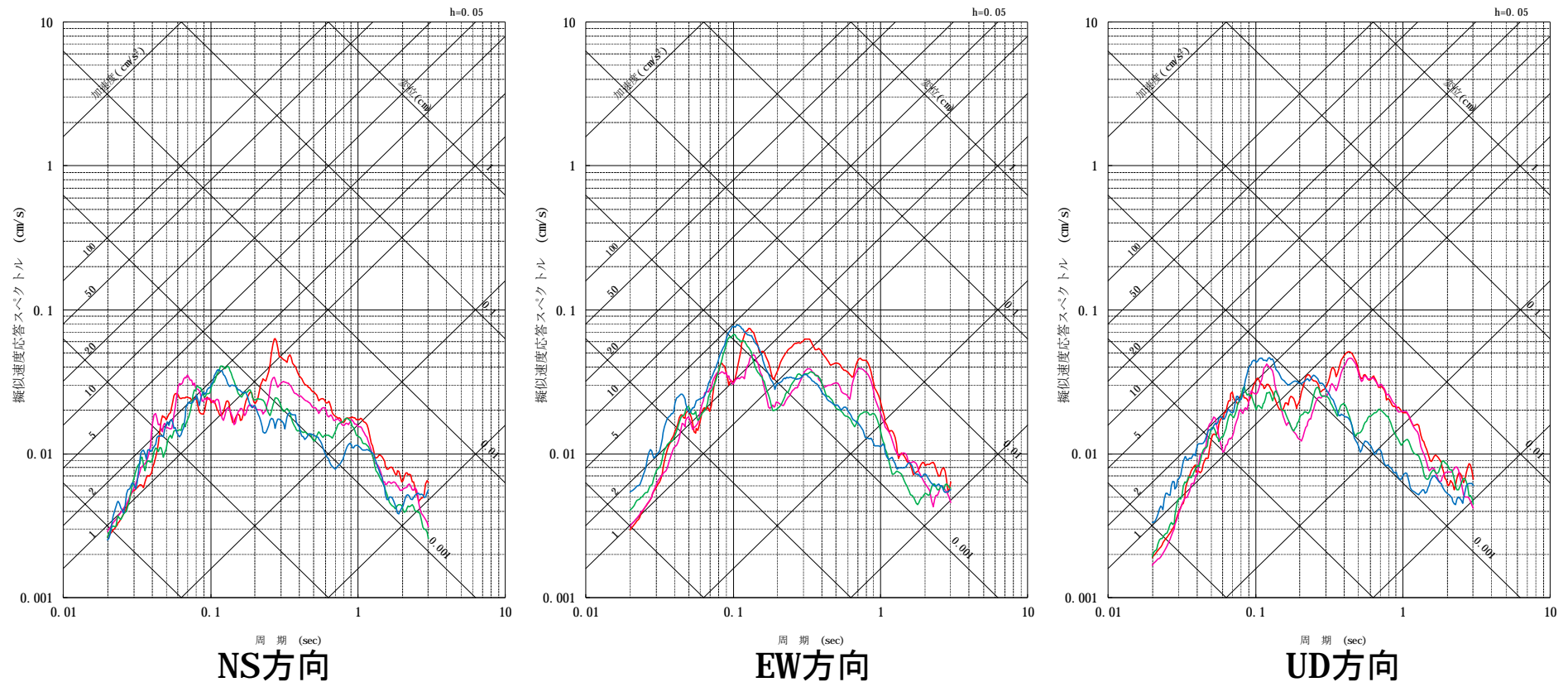
深度別応答スペクトル

— E.L. — 84m	— E.L. — 200m
— E.L. — 527m	— E.L. — 1,067m

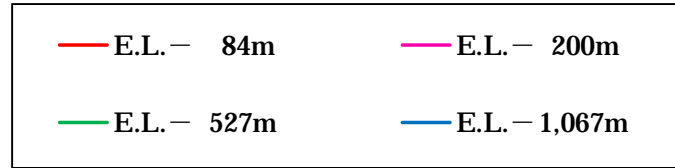
5. 地下構造モデルの策定 (地震観測)

■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

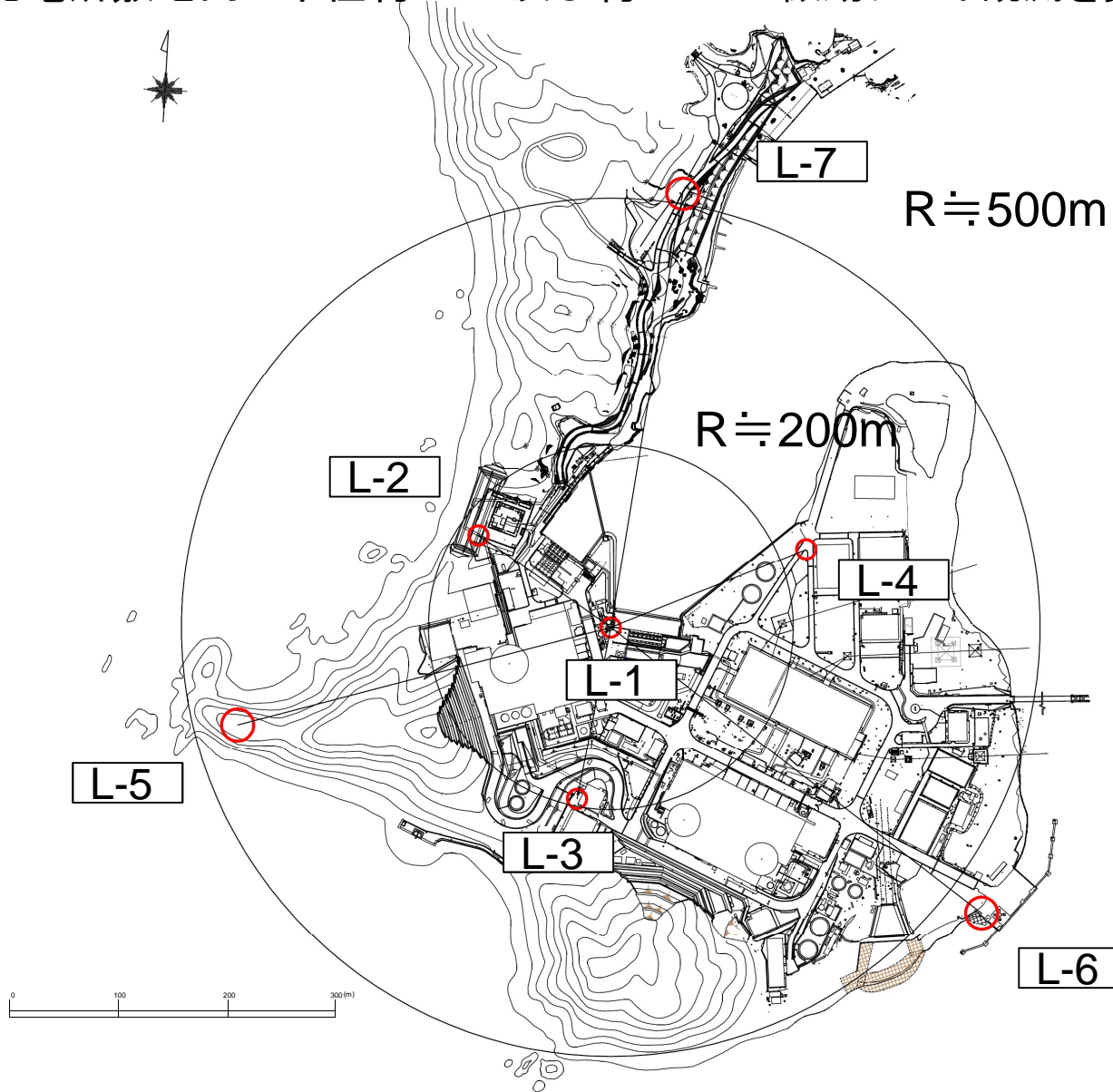


深度別応答スペクトル



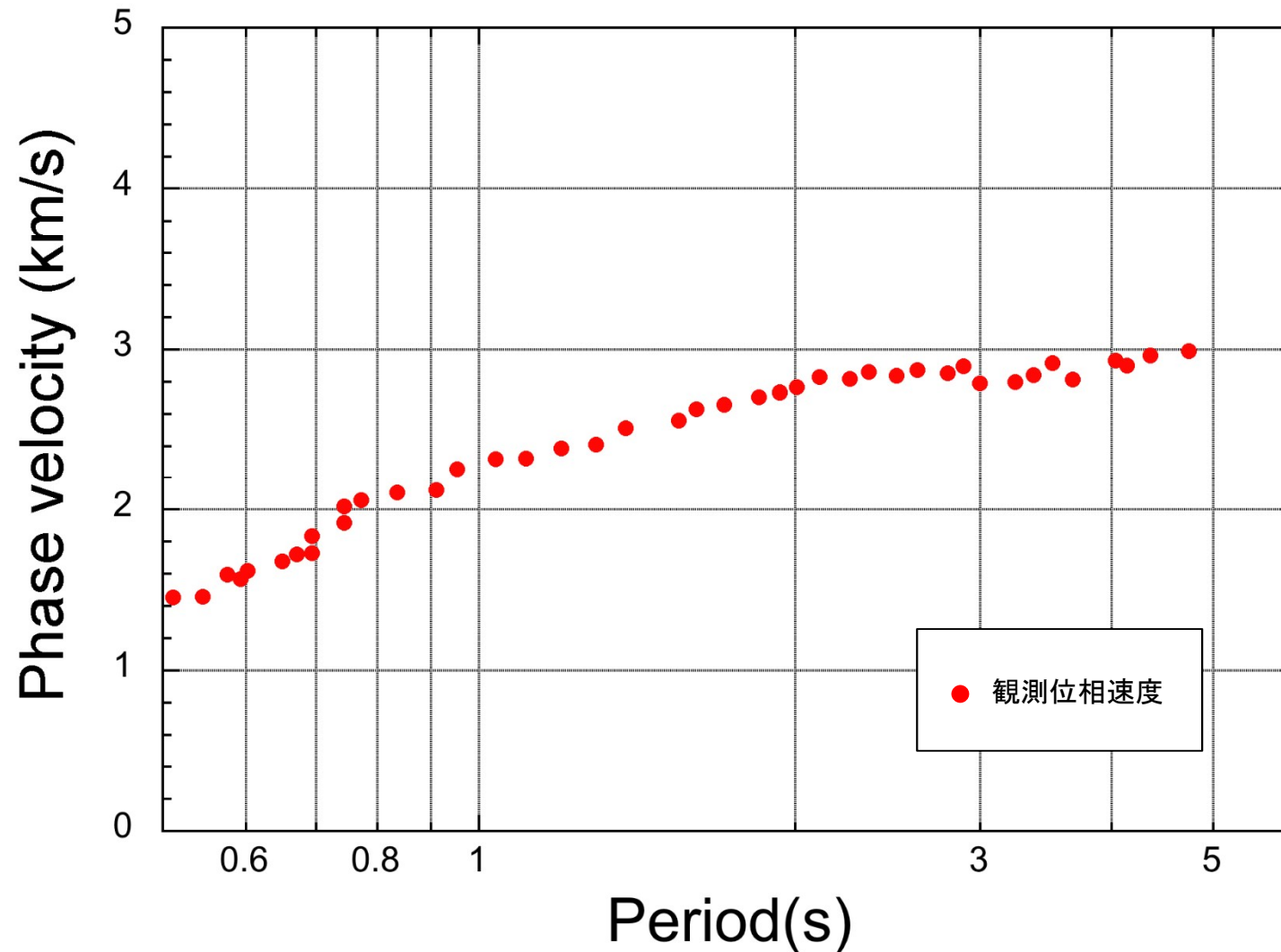
5. 地下構造モデルの策定 (微動アレイ観測)

■ 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）

- 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。



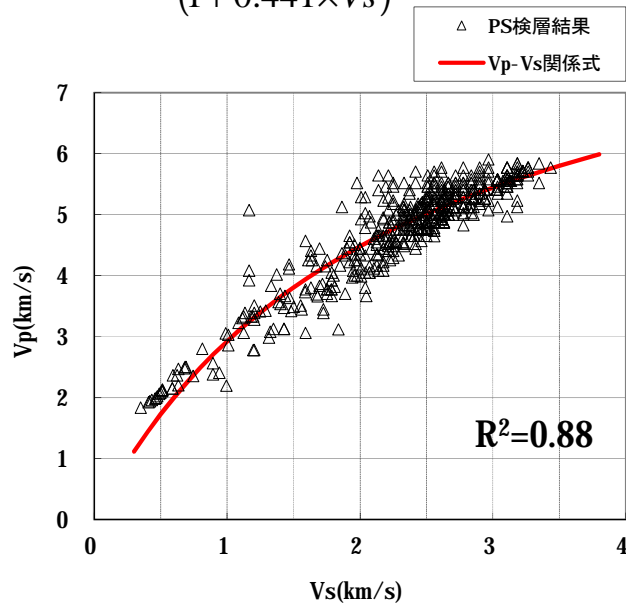
5. 地下構造モデルの策定 (微動アレイ観測)

■第1層はVs=0.5km/s層、第2層はVs=1.65km/s層、第3層以深はVs=1.7~3.6km/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

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

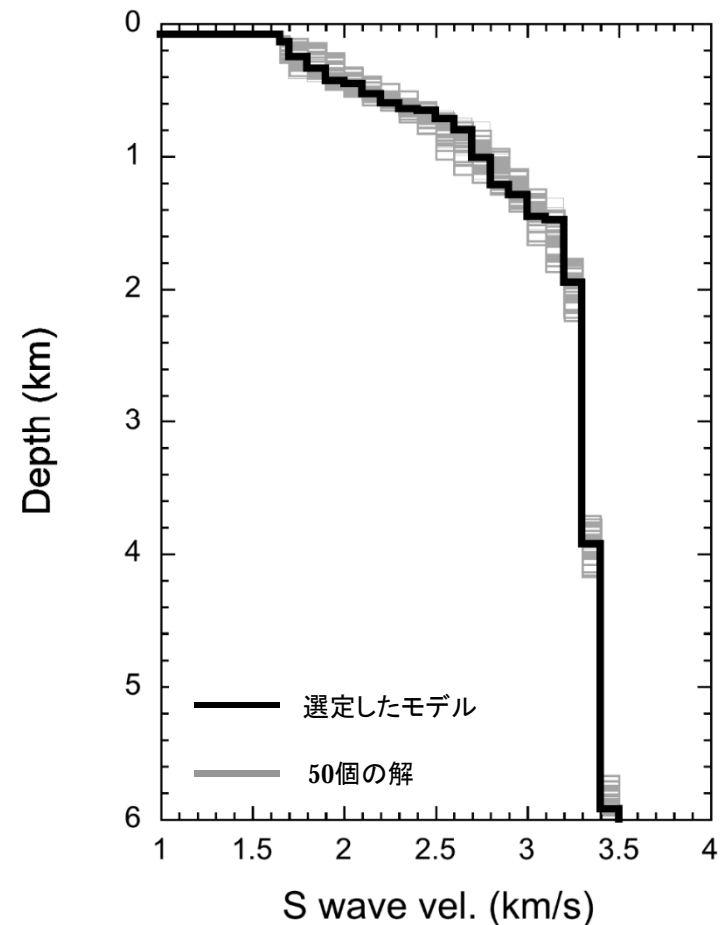
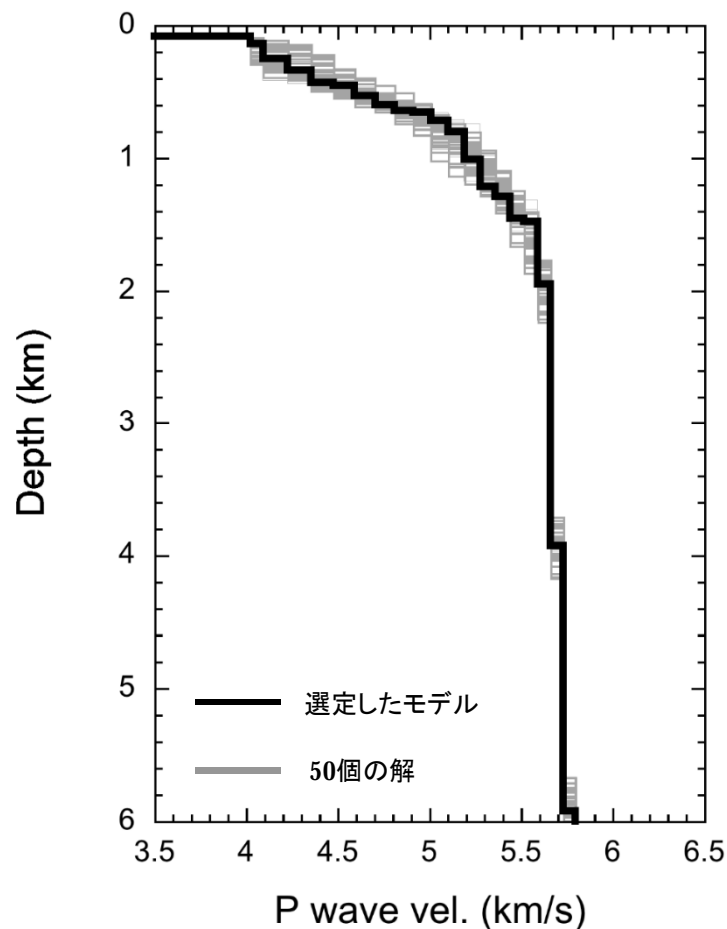


No.	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	層厚 (km)	密度 (g/cm ³)
1	1.7	0.5	0.01 - 0.10	2.0
2	4.0	1.65	0.01 - 0.50	2.6
3	4.1	1.7	0.01 - 0.50	2.6
4	4.2	1.8	0.01 - 0.50	2.6
5	4.4	1.9	0.01 - 0.50	2.6
6	4.5	2.0	0.01 - 0.50	2.6
7	4.6	2.1	0.01 - 0.50	2.6
8	4.7	2.2	0.01 - 1.00	2.6
9	4.8	2.3	0.01 - 1.00	2.6
10	4.9	2.4	0.01 - 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)

■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。



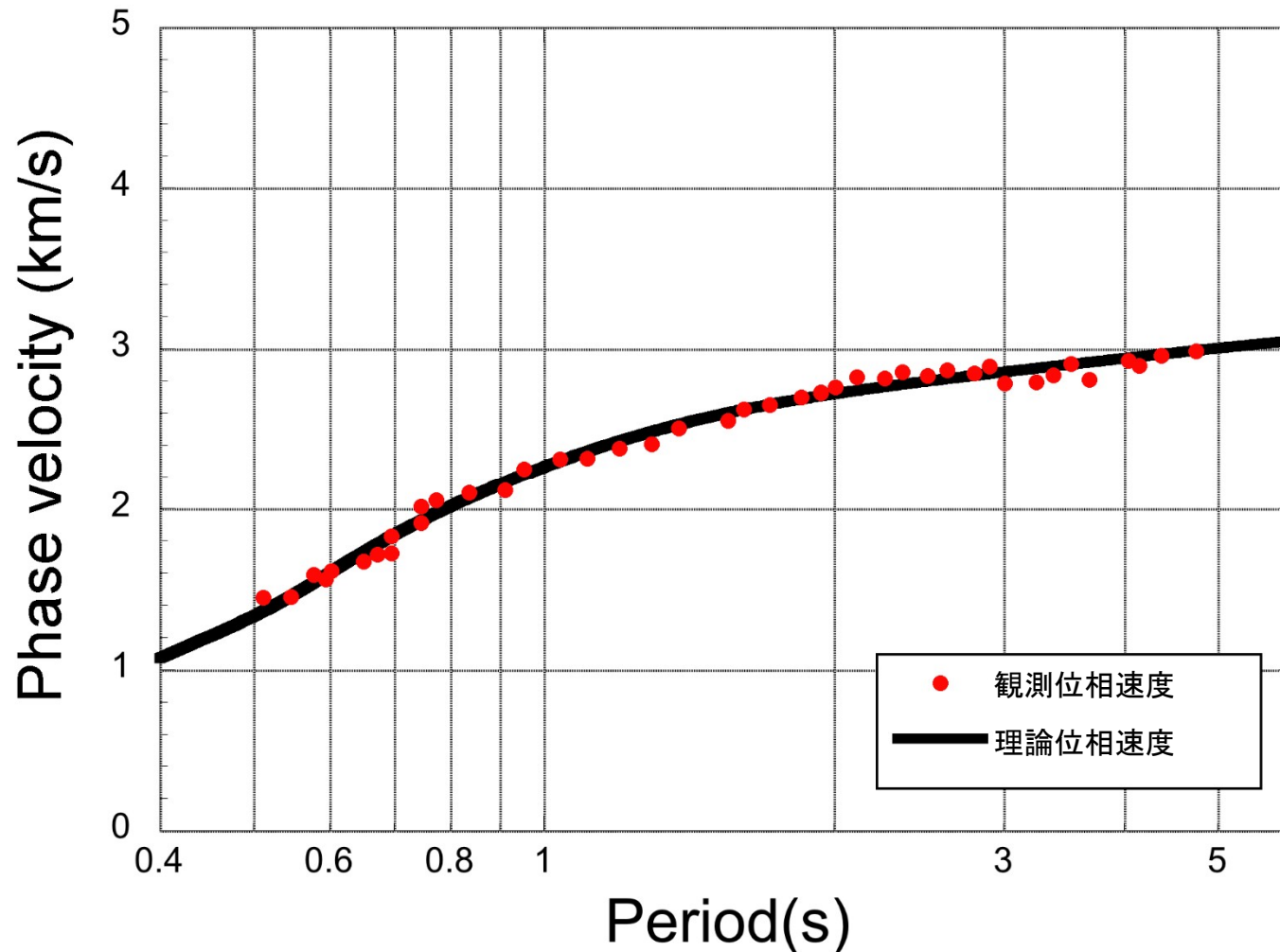
5. 地下構造モデルの策定（微動アレイ観測）

■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）

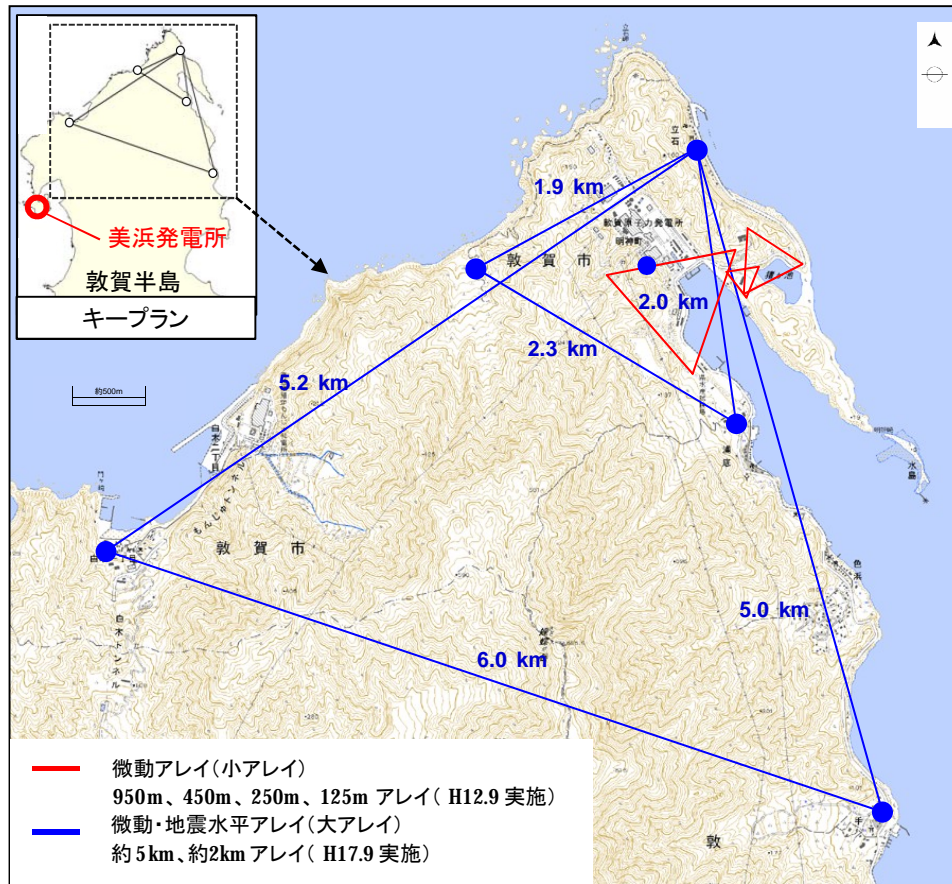
- 今回選定された地下構造モデルについて、その物性値を用いて算定される理論位相速度を評価した結果、観測位相速度と良く対応していることを確認した。



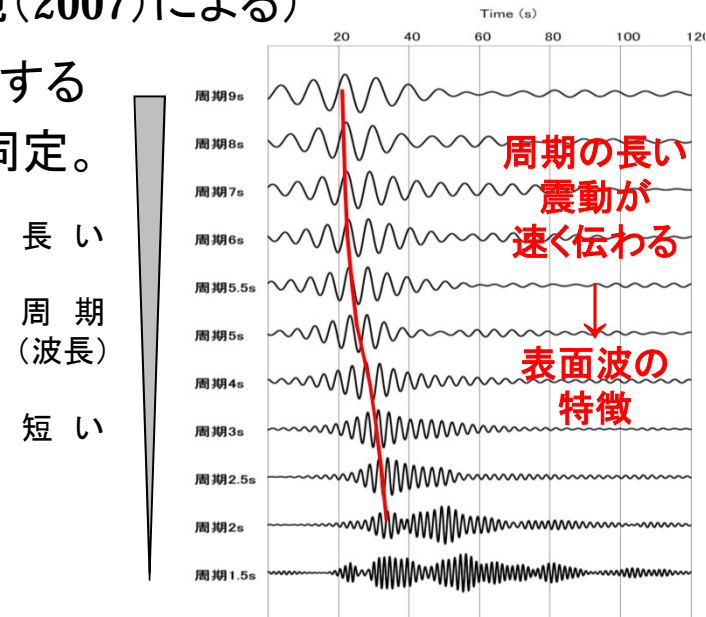
5. 地下構造モデルの策定 (敦賀半島の微動・地震水平アレイ観測)

■ 微動アレイ探査、地震計水平アレイ観測(川里他(2007)による)

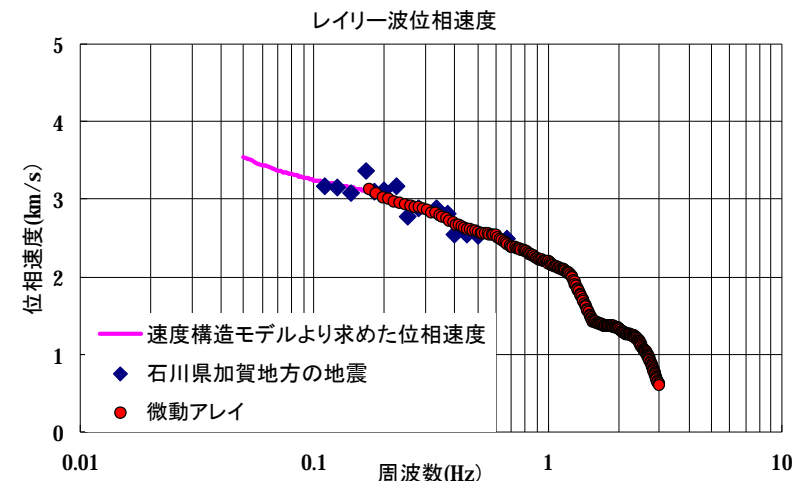
常時微動や自然地震による表面波を観測、分析することにより、表面波が伝播した地盤の速度構造を同定。



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

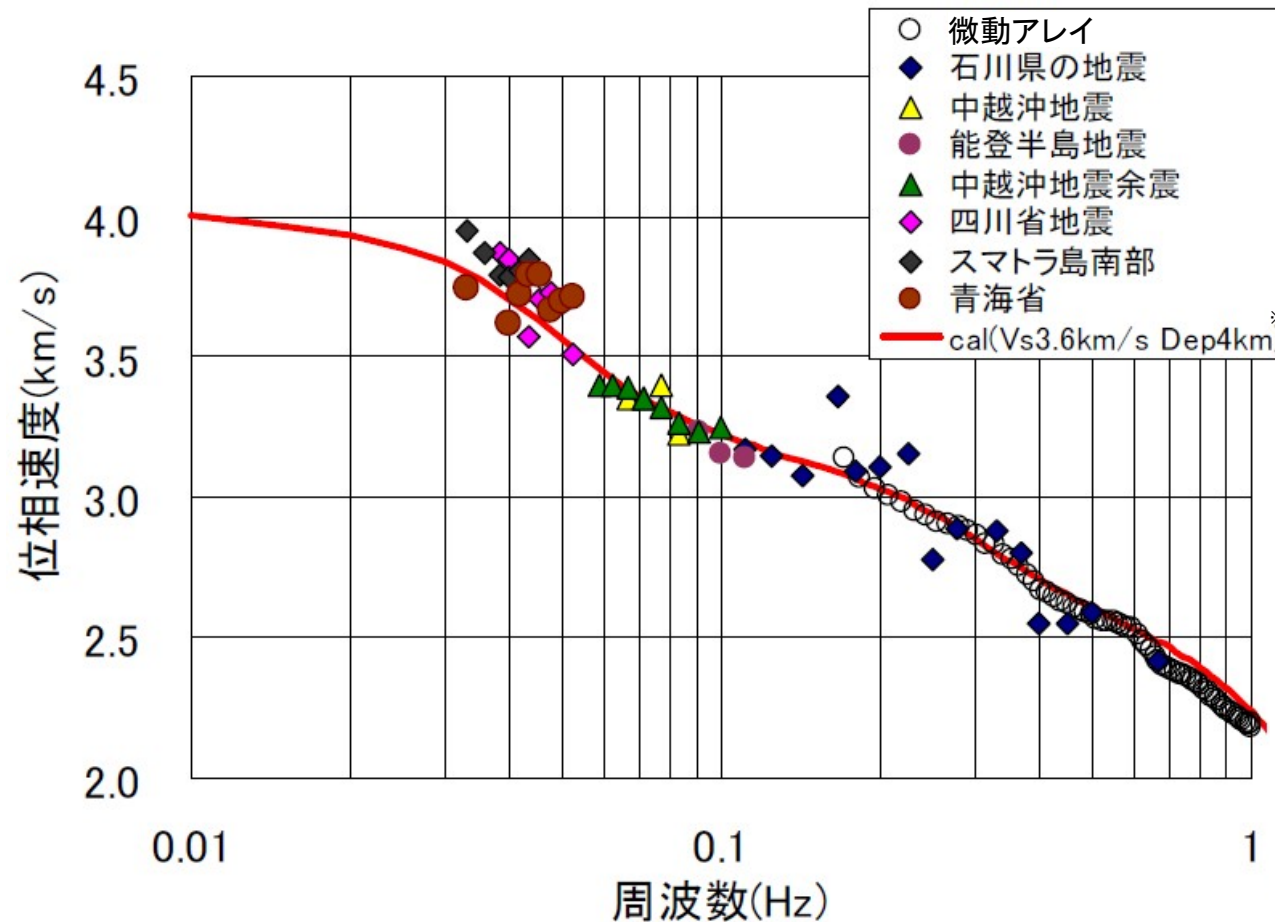


速度構造モデル及び観測から求めた位相速度

5. 地下構造モデルの策定 (敦賀半島の微動・地震水平アレイ観測)

■ 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。

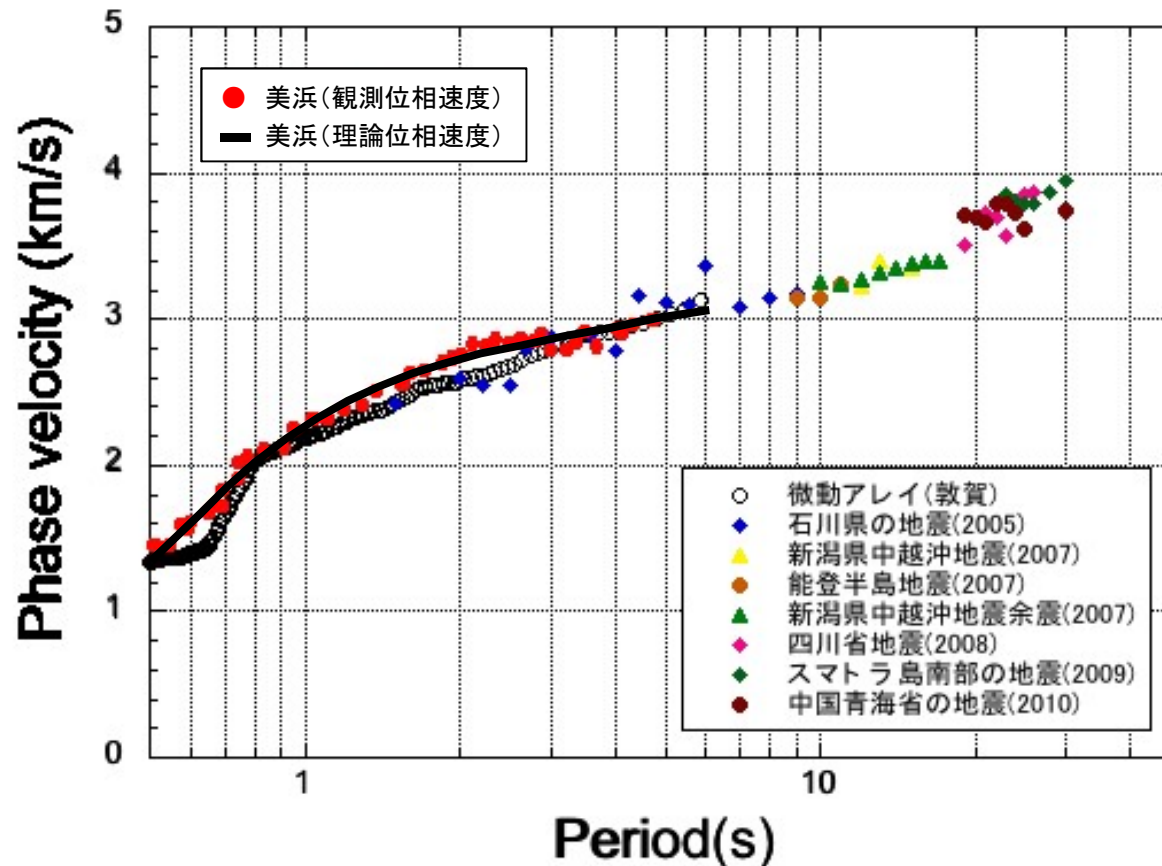


レイリー波の位相速度と微動探査による位相速度との比較

※ 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。

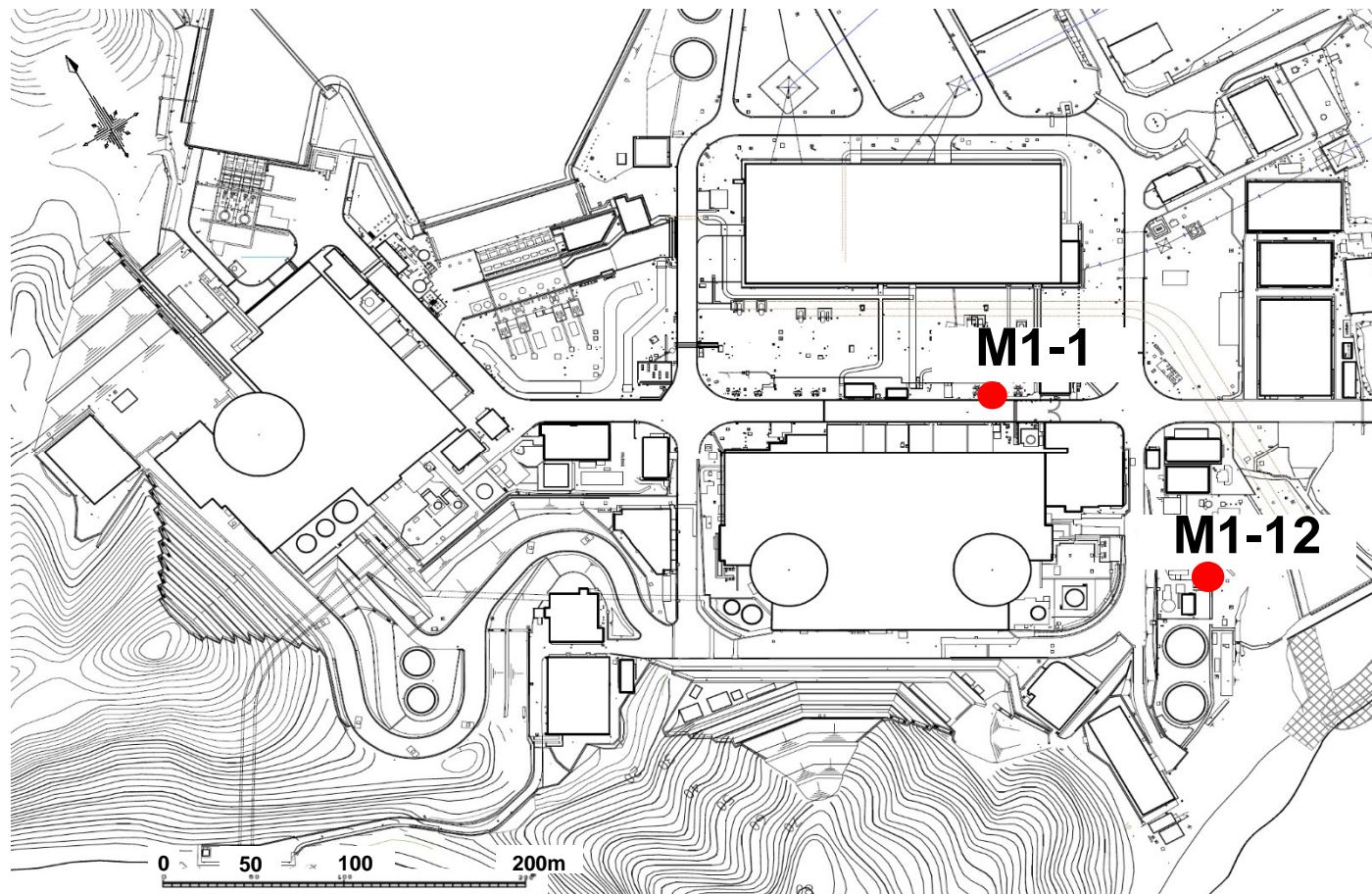


大場他(2010)による観測位相速度と美浜発電所での観測位相速度の比較図

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性を評価。

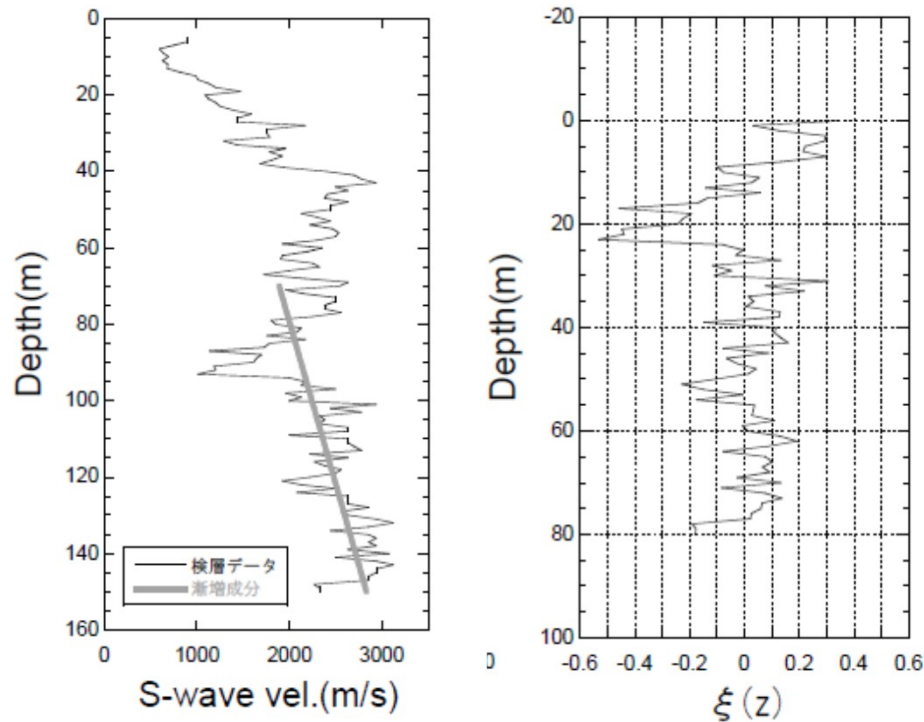


● : 不均質強度検討に使用したPS検層孔

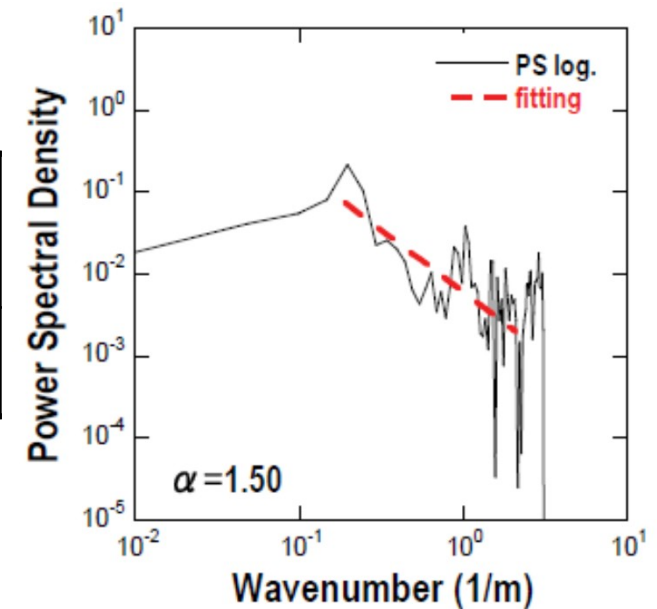
5. 地下構造モデルの策定（減衰定数）

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

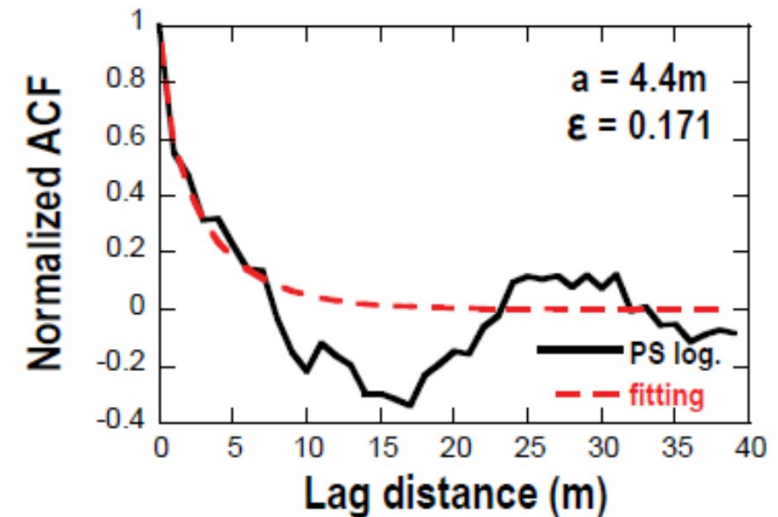
対象データ範囲(m)	平均S波速度(km/s)	漸増成分の傾き(1/s)	相関距離a(m)	Hurst指数 ν	標準偏差 ϵ
G.L.-70 ~-150	2.36	11.80	4.4	0.27	0.171



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

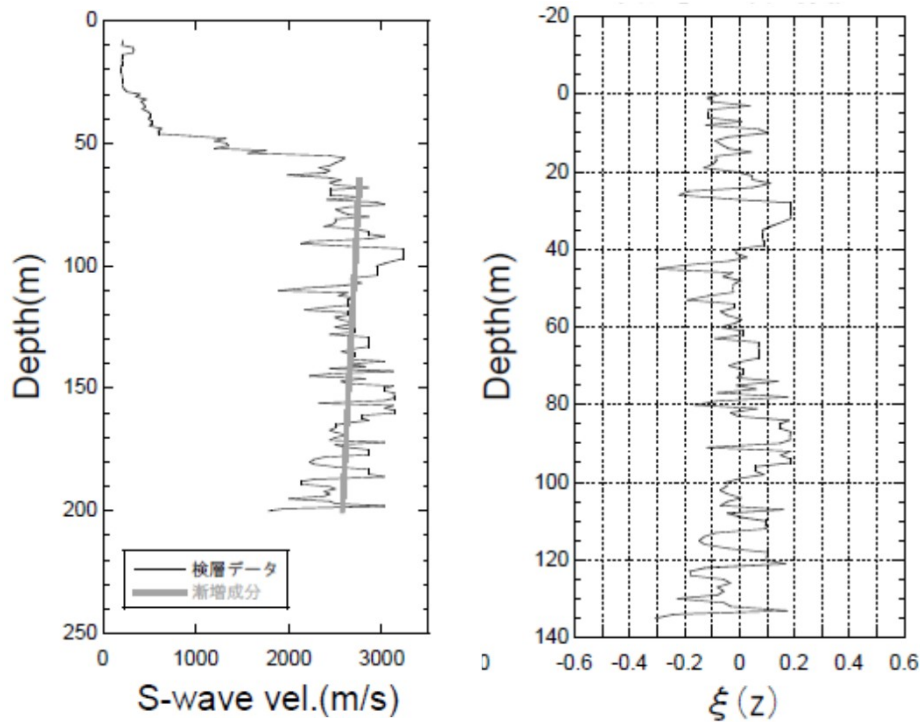


不均質データの自己相関関数とフィッティング結果

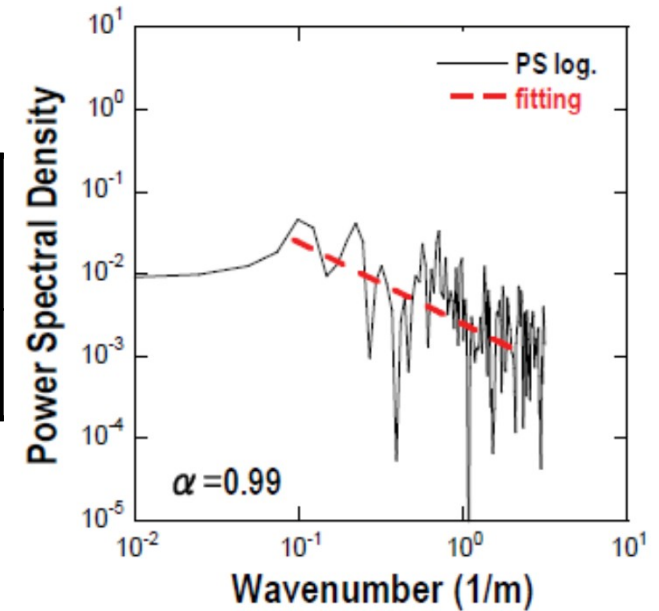
5. 地下構造モデルの策定（減衰定数）

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

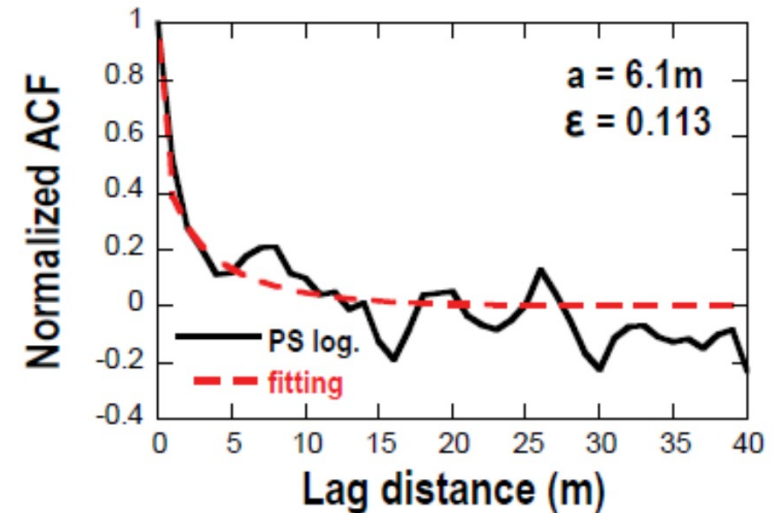
対象データ範囲(m)	平均S波速度(km/s)	漸増成分の傾き(1/s)	相関距離a(m)	Hurst指数 ν	標準偏差 ϵ
G.L.-65 ~ -200	2.65	-0.44	6.1	0.13	0.113



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）

■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。

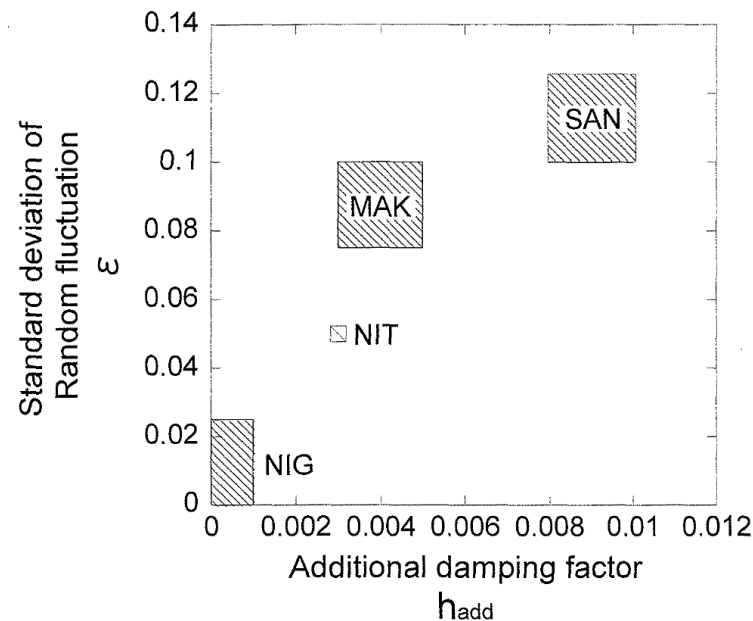
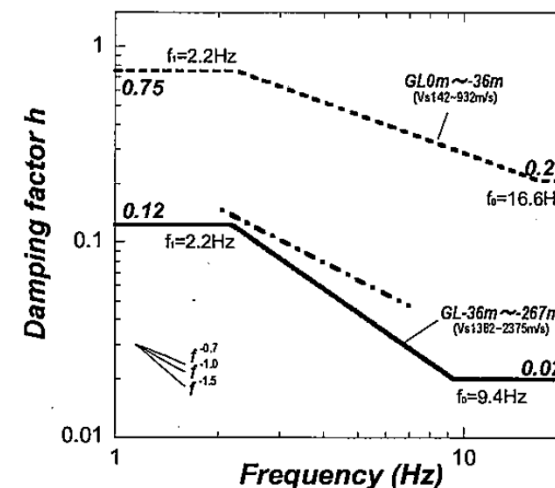
○佐藤他（2007）による同等の速度構造の減衰定数の下限値と併せて考えると表層の減衰定数は3%程度と考えられる。

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

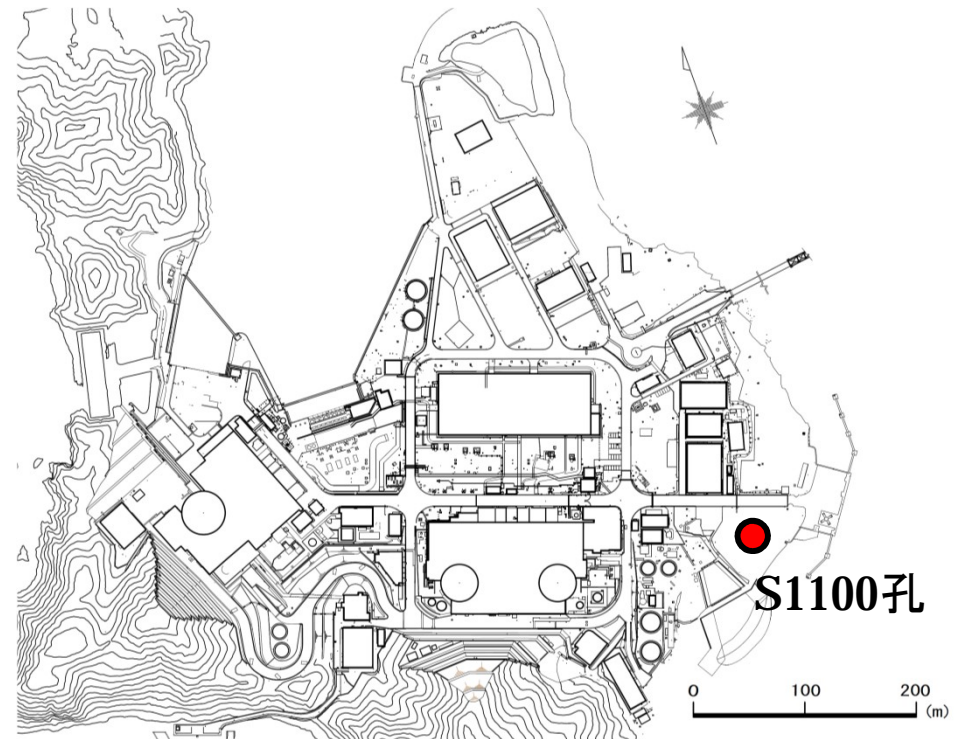
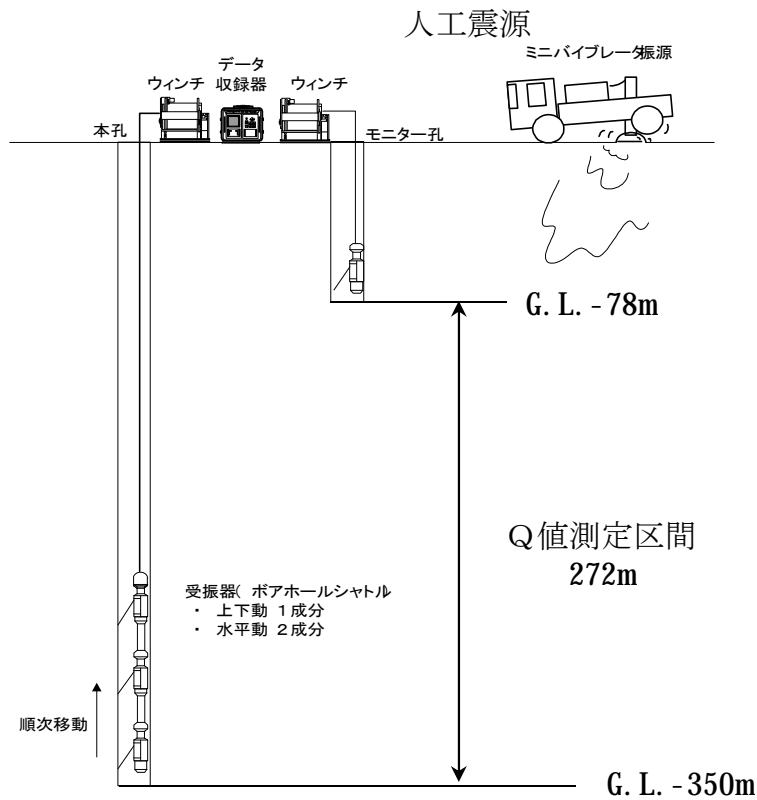


新潟平野地域での広帯域のサイト増幅特性評価において、考慮すべき深部地盤の不均質性強度（標準偏差 ε ）とそれと等価な効果をもたらす減衰定数の付加量 h_{add} の関係

5. 地下構造モデルの策定（減衰定数）

■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)

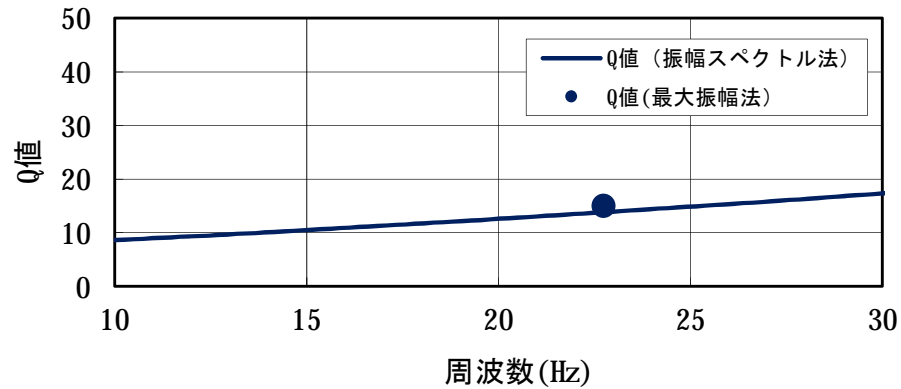
発電所構内のボーリング孔を用いて、ミニバイブレータ及び板たたき起振によるQ値測定を実施。



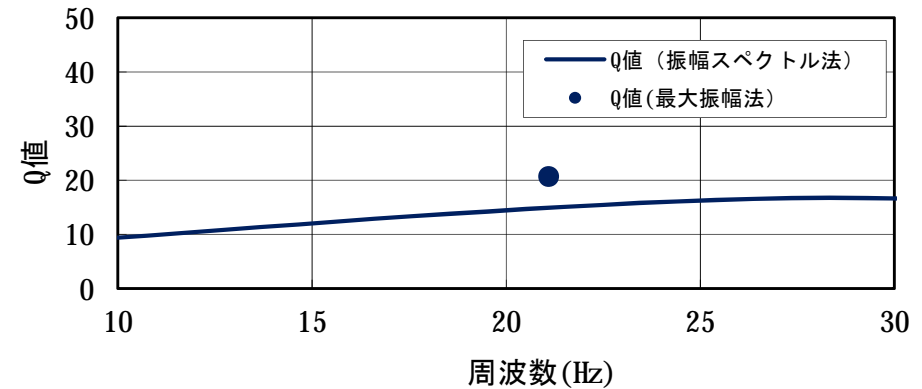
測定位置

5. 地下構造モデルの策定（減衰定数）

敷地浅部の地下構造について(Q値測定結果)



S波・ミニバイブレータ



S波・板たたき

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)

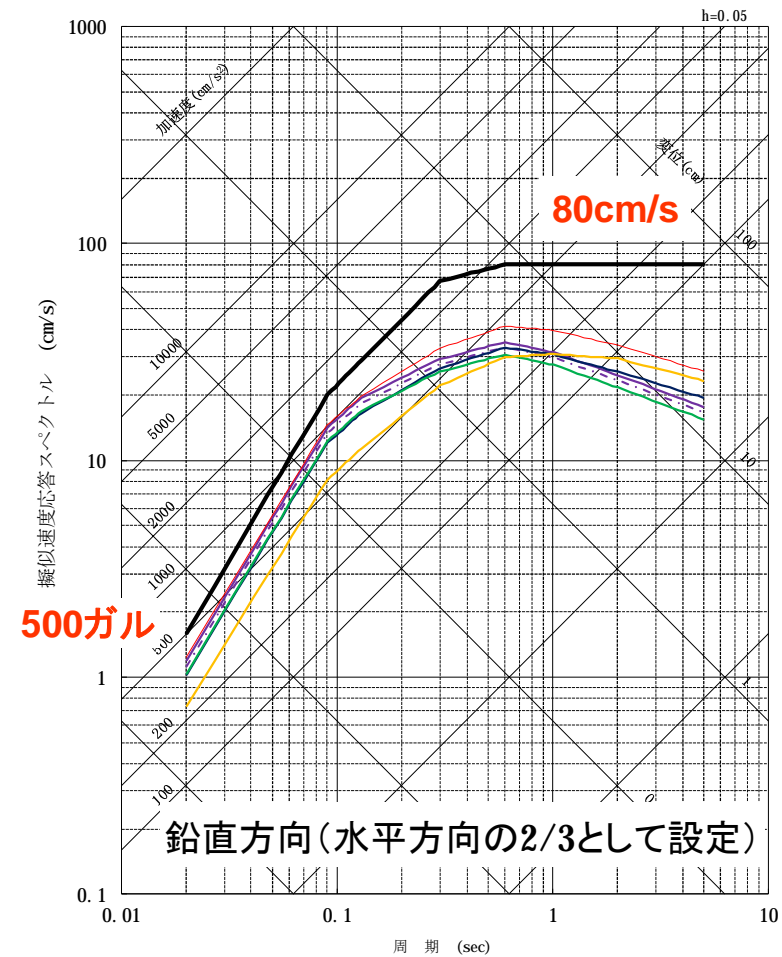
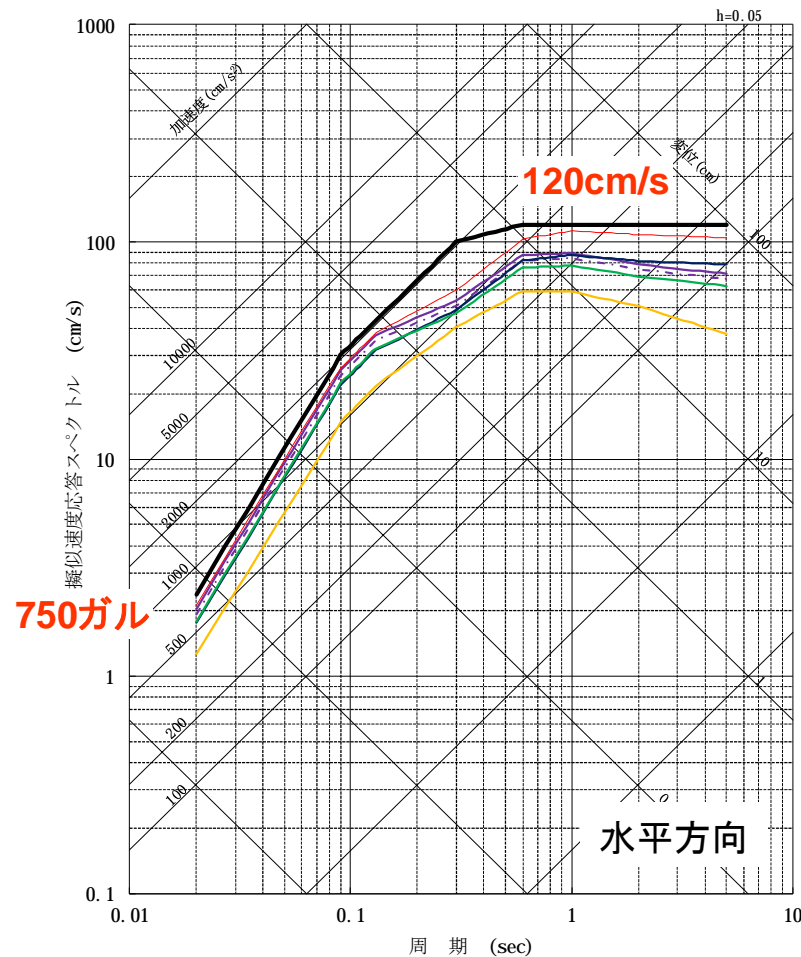
8. 基準地震動Ssの策定 (敷地ごとに震源を特定して策定する地震動)

■ 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

- C断層 基本ケース
- 三方断層 基本ケース
- 安島岬沖～和布～干飯崎沖～甲斐城断層 基本ケース
- 基準地震動Ss-1
- - - C断層 傾斜角55° ケース
- 白木～丹生断層 基本ケース
- 甲斐城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層 基本ケース



8. 基準地震動Ssの策定

- 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

- 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。

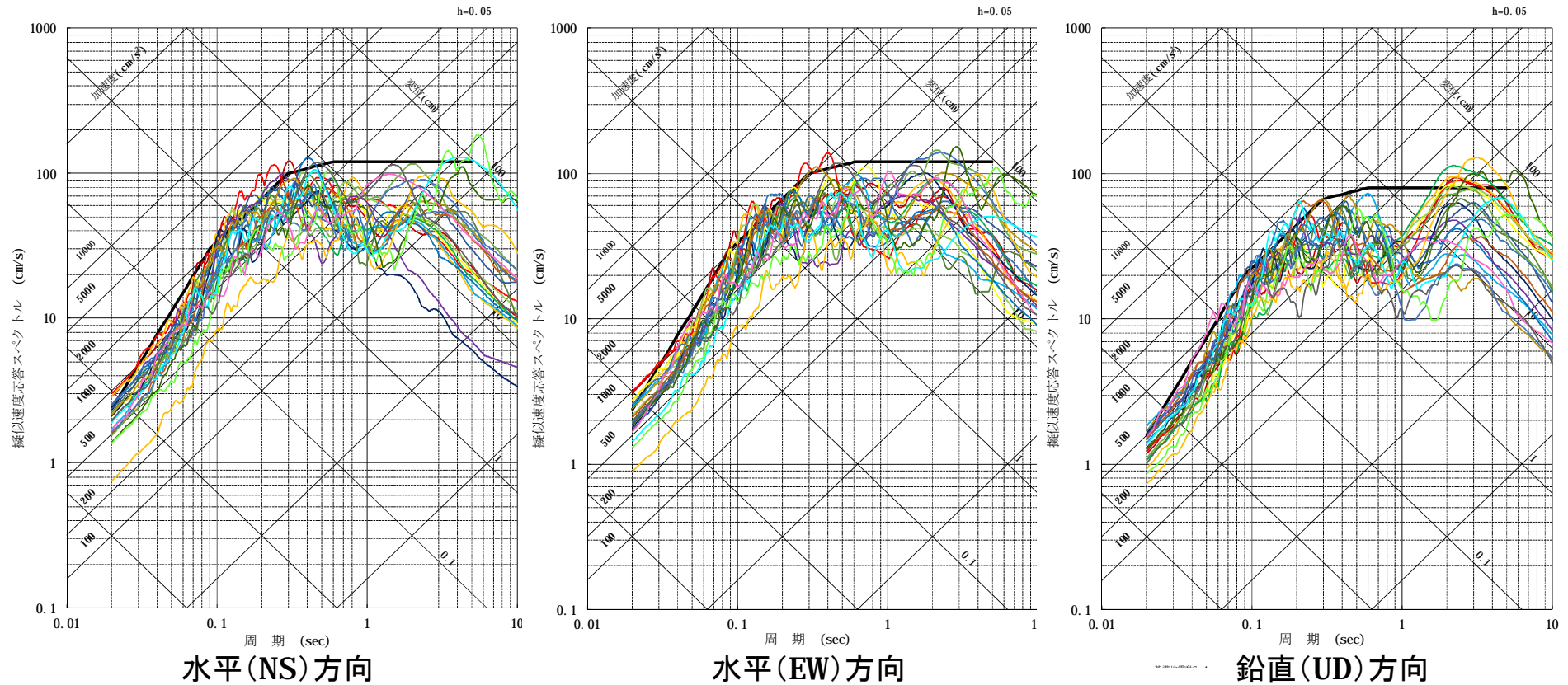
- 安島岬沖～和布－干飯崎沖～甲楽城断層～甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層～柳ヶ瀬断層南部～鍛冶屋断層～関ヶ原断層の連動の不確かさを考慮し、断層モデルを用いた手法による地震動評価を行い、基準地震動Ss-20～Ss-22を選定した。

- 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・賀祥ダムの観測記録
 - ・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

■基準地震動Ss-1～Ss-24の応答スペクトルは以下の通り。



- 基準地震動Ss-1
- 基準地震動Ss-2 C断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点1)
- 基準地震動Ss-3 C断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点2)
- 基準地震動Ss-4 C断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点3)
- 基準地震動Ss-5 C断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点4)
- 基準地震動Ss-6 C断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点5)
- 基準地震動Ss-7 C断層(傾斜角55° ケース、破壊開始点3)
- 基準地震動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)
- 基準地震動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)
- 基準地震動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)
- 基準地震動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)
- 基準地震動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)
- 基準地震動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)
- 基準地震動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)

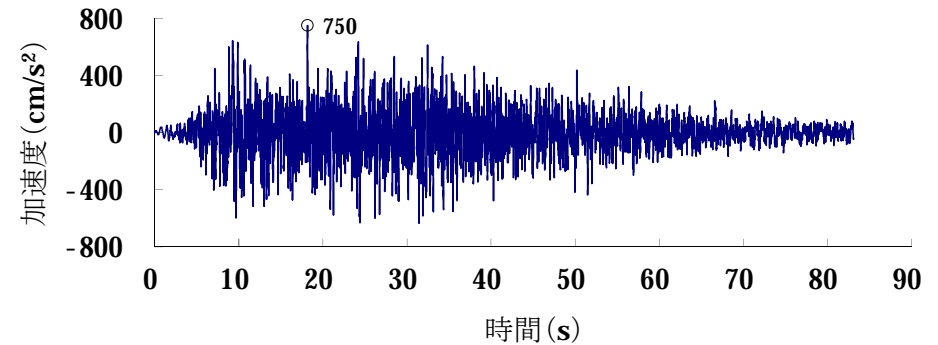
- 基準地震動Ss-15 大陸棚外縁～B～野坂断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点6)
- 基準地震動Ss-16 大陸棚外縁～B～野坂断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点7)
- 基準地震動Ss-17 大陸棚外縁～B～野坂断層(Vr=0.87 β ケース、破壊開始点1)
- 基準地震動Ss-18 大陸棚外縁～B～野坂断層(Vr=0.87 β ケース、破壊開始点4)
- 基準地震動Ss-19 安島岬沖～和布-干飯崎沖～甲楽城断層(Vr=0.87 β ケース、破壊開始点2)
- 基準地震動Ss-20 安島岬沖～和布-干飯崎沖～甲楽城断層～甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬断層～柳ヶ瀬断層南部～鍛冶屋断層～関ヶ原断層(破壊開始点2)
- 基準地震動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)
- 基準地震動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)
- 基準地震動Ss-23 2000年鳥取県西部地震・賀祥ダムの観測記録
- 基準地震動Ss-24 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

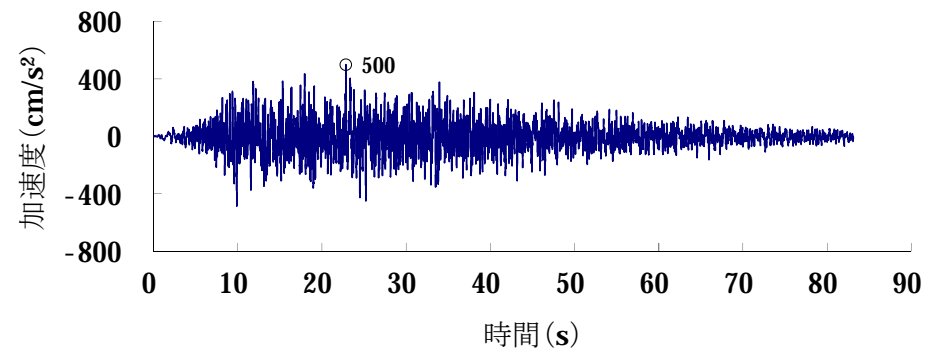
- 基準地震動Ss-1の応答スペクトルに適合する模擬地震波は、位相角を一様乱数として与えた正弦波を重ね合わせて、目標とする応答スペクトルに適合するように補正して作成する。
- 振幅包絡線の経時変化についてはNoda et al.(2002)に基づくものとし、マグニチュードM7.8、等価震源距離Xeq=68kmとして設定する。

模擬地震波の振幅包絡線の経時変化

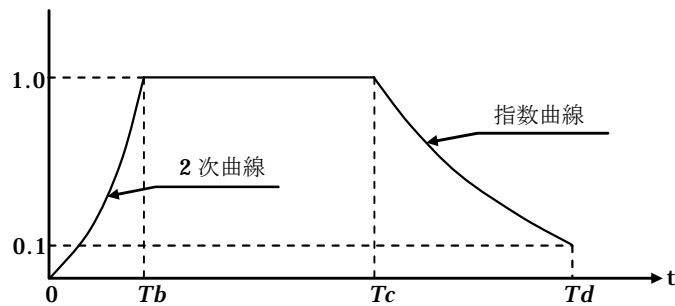
マグニチュード M	等価震源距離 Xeq (km)	振幅包絡線の 経時変化(s)		
		T _b	T _c	T _d
7.8	68	9.3	31.2	83.2



水平方向



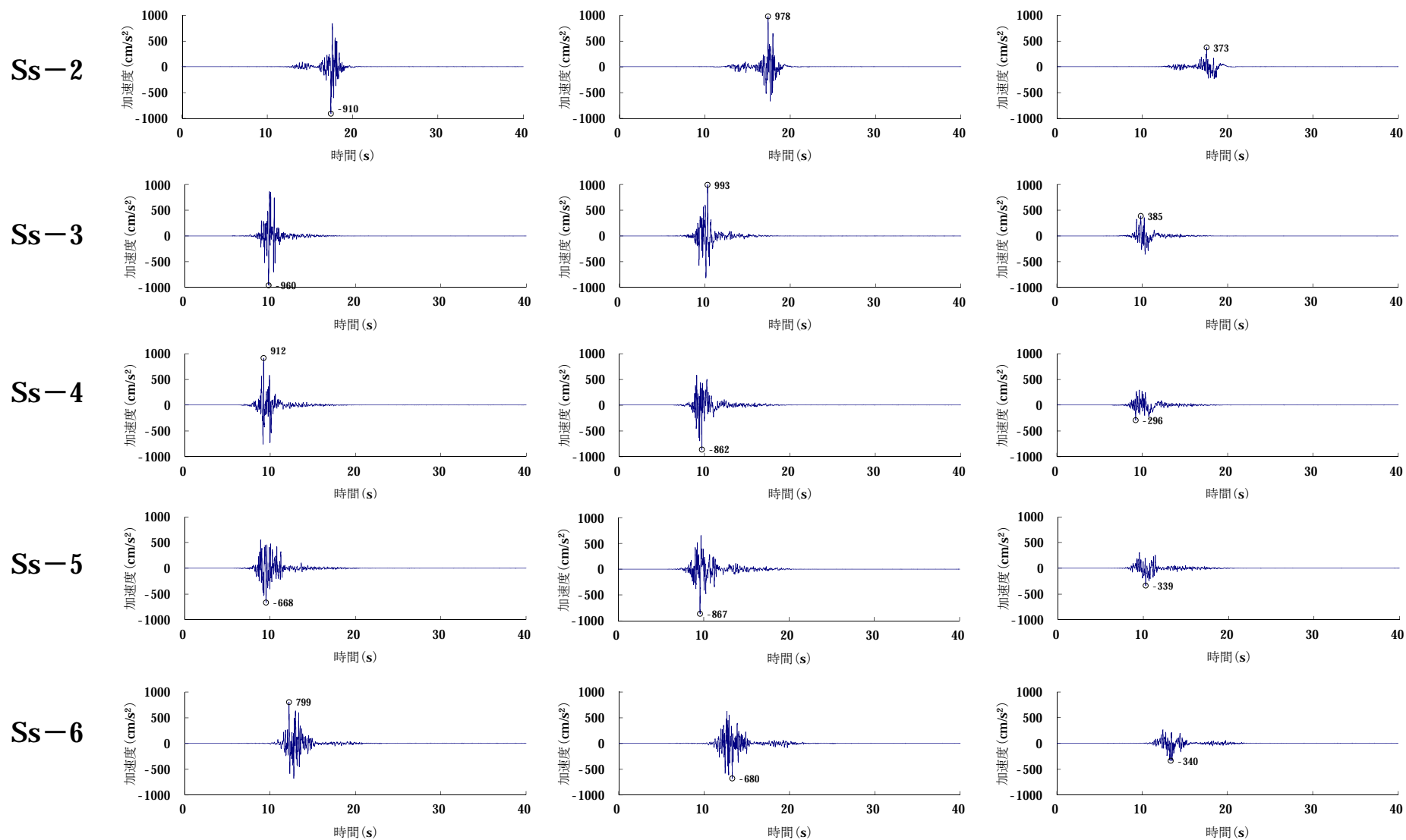
鉛直方向



$$E(t) = \begin{cases} (T/T_b)^2 & 0 \leq T \leq T_b & T_b = 10^{0.5M-2.93} \\ 1.0 & T_b \leq T \leq T_c & T_c - T_b = 10^{0.3M-1.0} \\ e^{\frac{\ln(0.1)}{T_d-T_c}(T-T_c)} & T_c \leq T \leq T_d & T_d - T_c = 10^{0.17M+0.54\log X_{eq}-0.6} \end{cases}$$

8. 基準地震動Ssの策定

■ 基準地震動の加速度波形 (Ss-2~Ss-6)



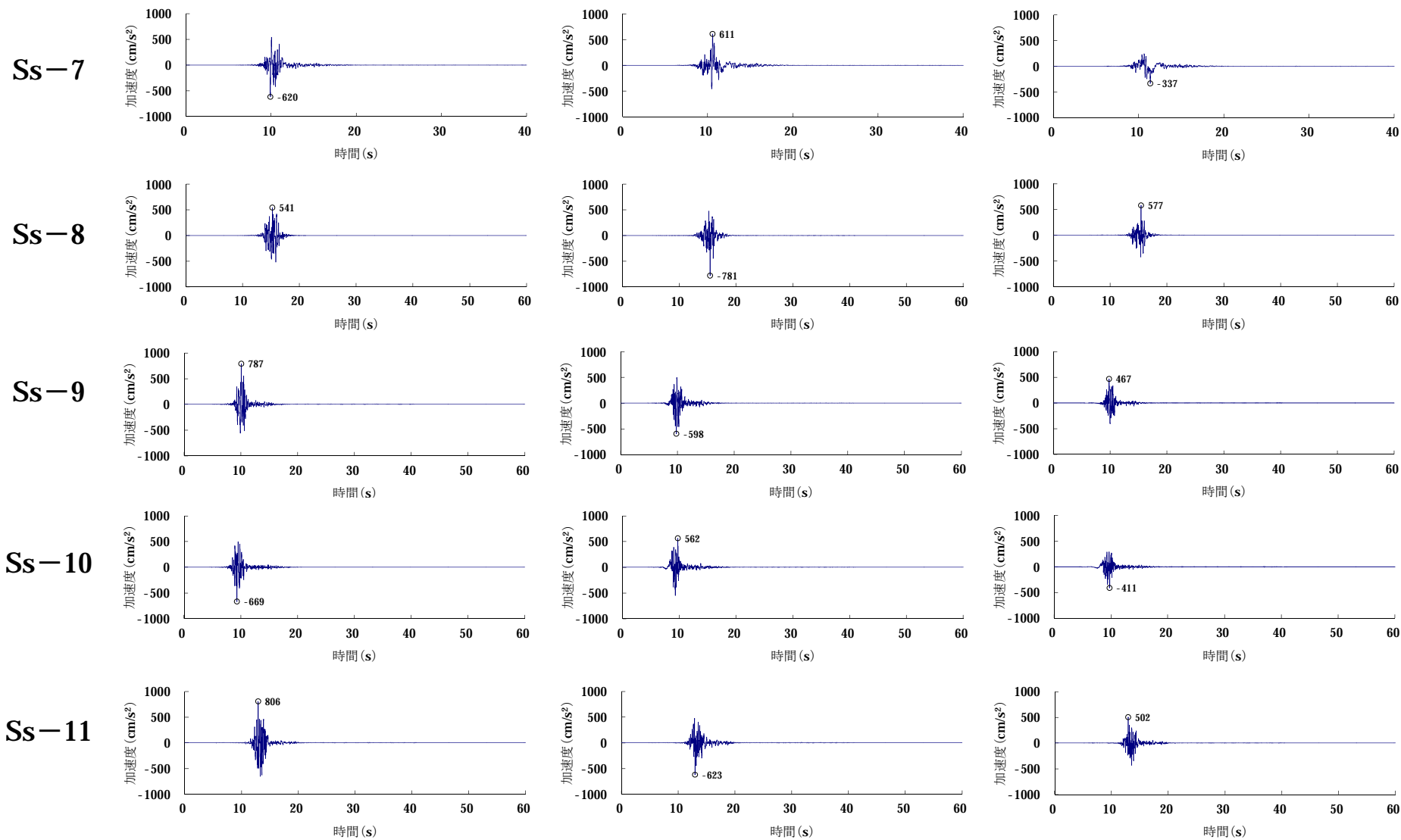
水平(NS)方向

水平(EW)方向

鉛直方向

8. 基準地震動Ssの策定

■ 基準地震動の加速度波形 (Ss-7~Ss-11)



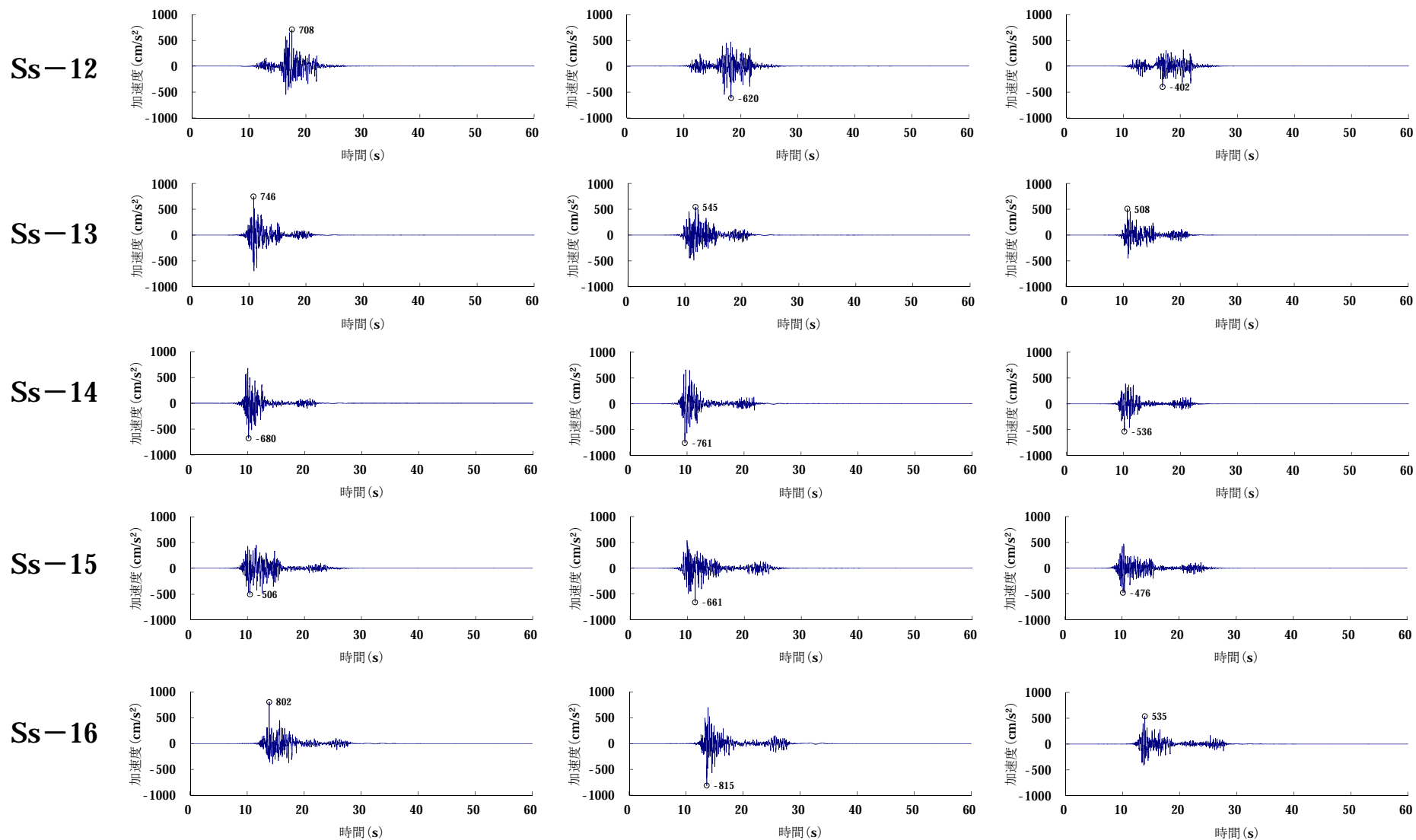
水平(NS)方向

水平(EW)方向

鉛直方向

8. 基準地震動Ssの策定

■ 基準地震動の加速度波形 (Ss-12~Ss-16)



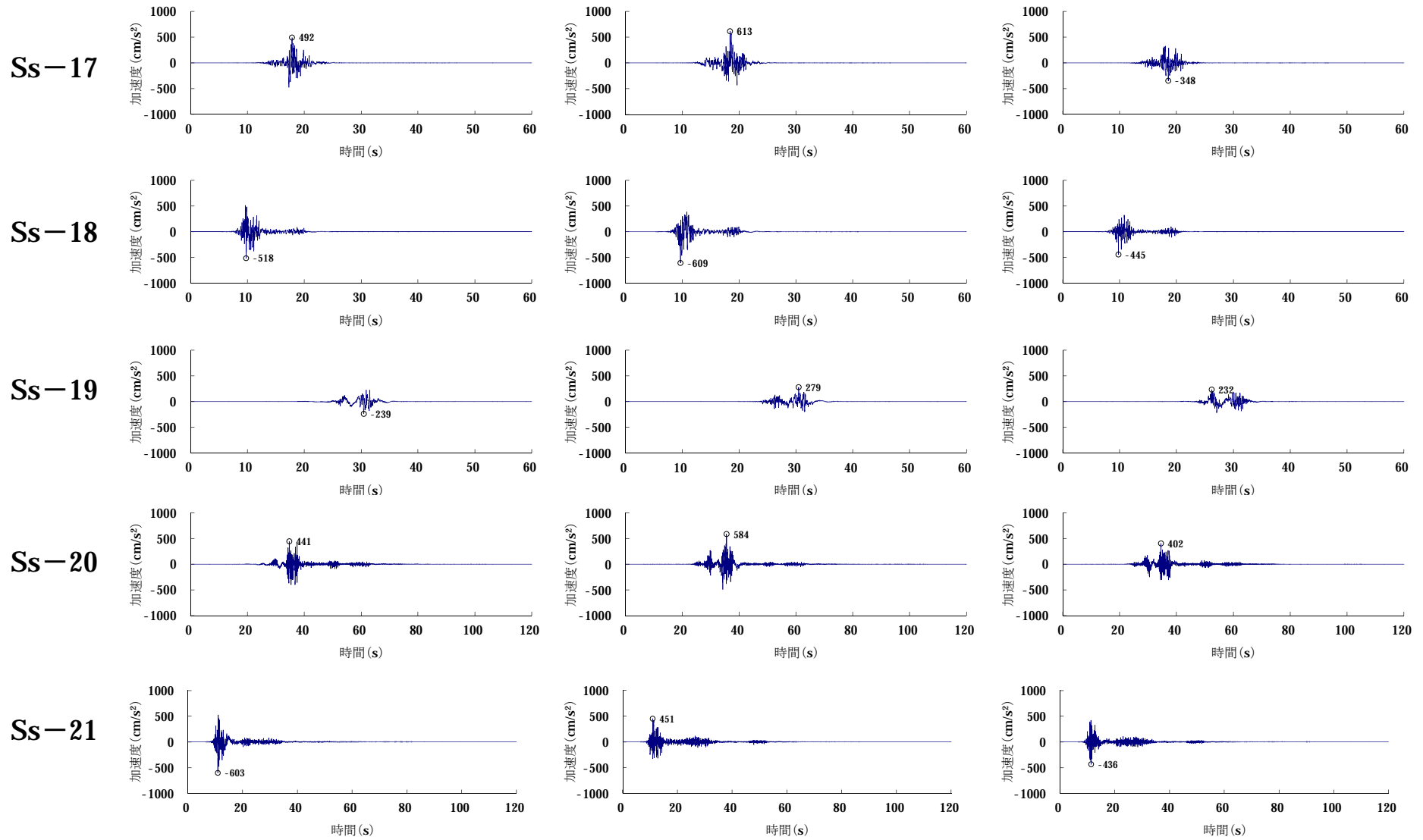
水平(NS)方向

水平(EW)方向

鉛直方向

8. 基準地震動Ssの策定

■ 基準地震動の加速度波形 (Ss-17~Ss-21)



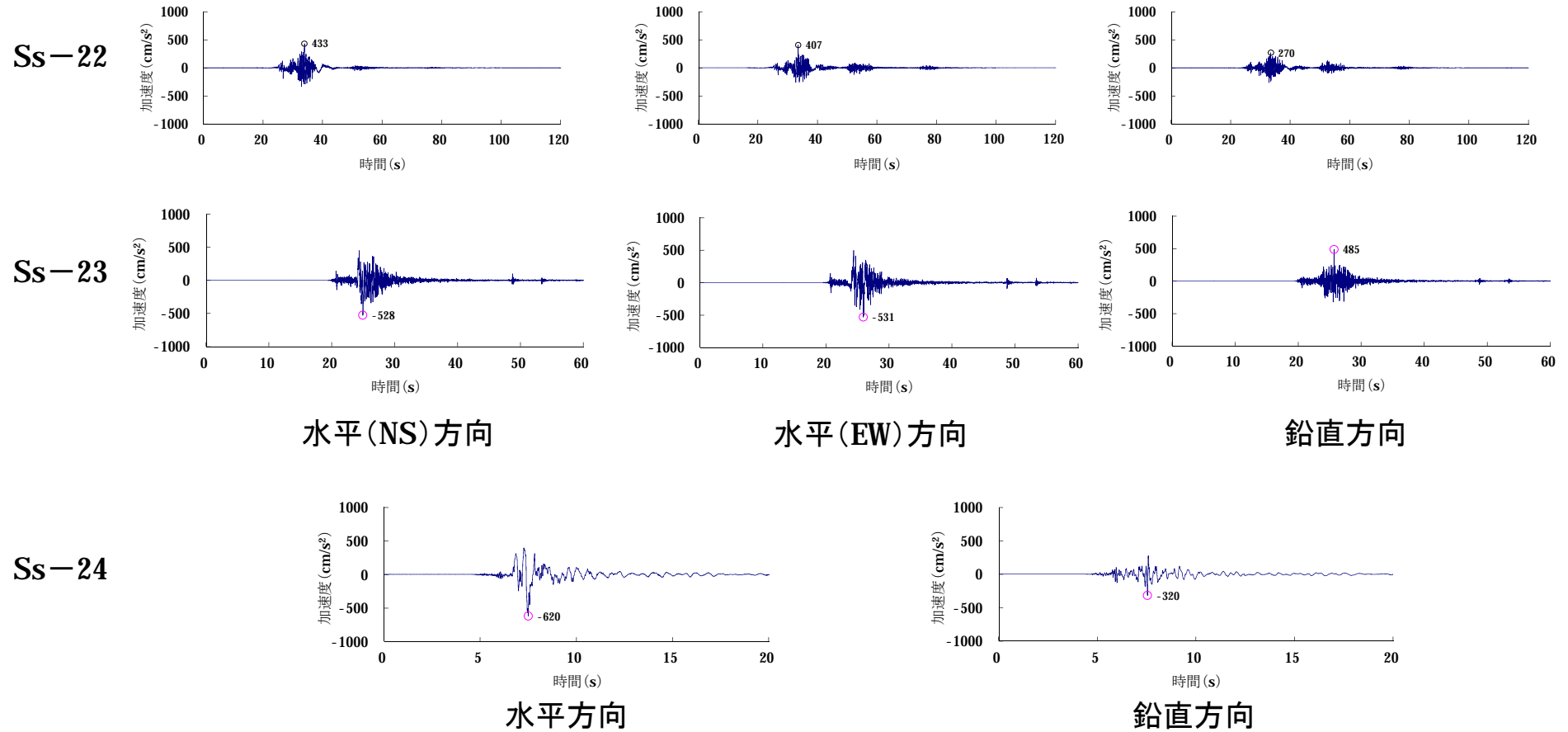
水平(NS)方向

水平(EW)方向

鉛直方向

8. 基準地震動Ssの策定

■ 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

■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(V _r =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(V _r =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(V _r =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祥ダムの観測記録	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。

関 土 建 発 第 1 号
2021年5月12日

原子力規制委員会 殿

大阪府大阪市北区中之島3丁目6番16号
関 西 電 力 株 式 会 社
取 締 役 社 長 森 本 孝

「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の
解釈等の一部改正に係る対応について（指示）（2021年4月26日発信）」
に基づく基準地震動の変更が不要であることを説明する文書

記

標記については、「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の解釈等の一部改正に係る対応について（指示）（2021年4月26日発信）」に基づき、弊社美浜発電所、高浜発電所および大飯発電所について、新たに制定された標準応答スペクトルと基準地震動 S_s との比較を行ったところ、いずれの発電所においても標準応答スペクトルは基準地震動 S_s-1 に包絡されたことから、基準地震動の変更は不要と考える。標準応答スペクトルと基準地震動 S_s-1 の比較結果を添付-1 に示す。

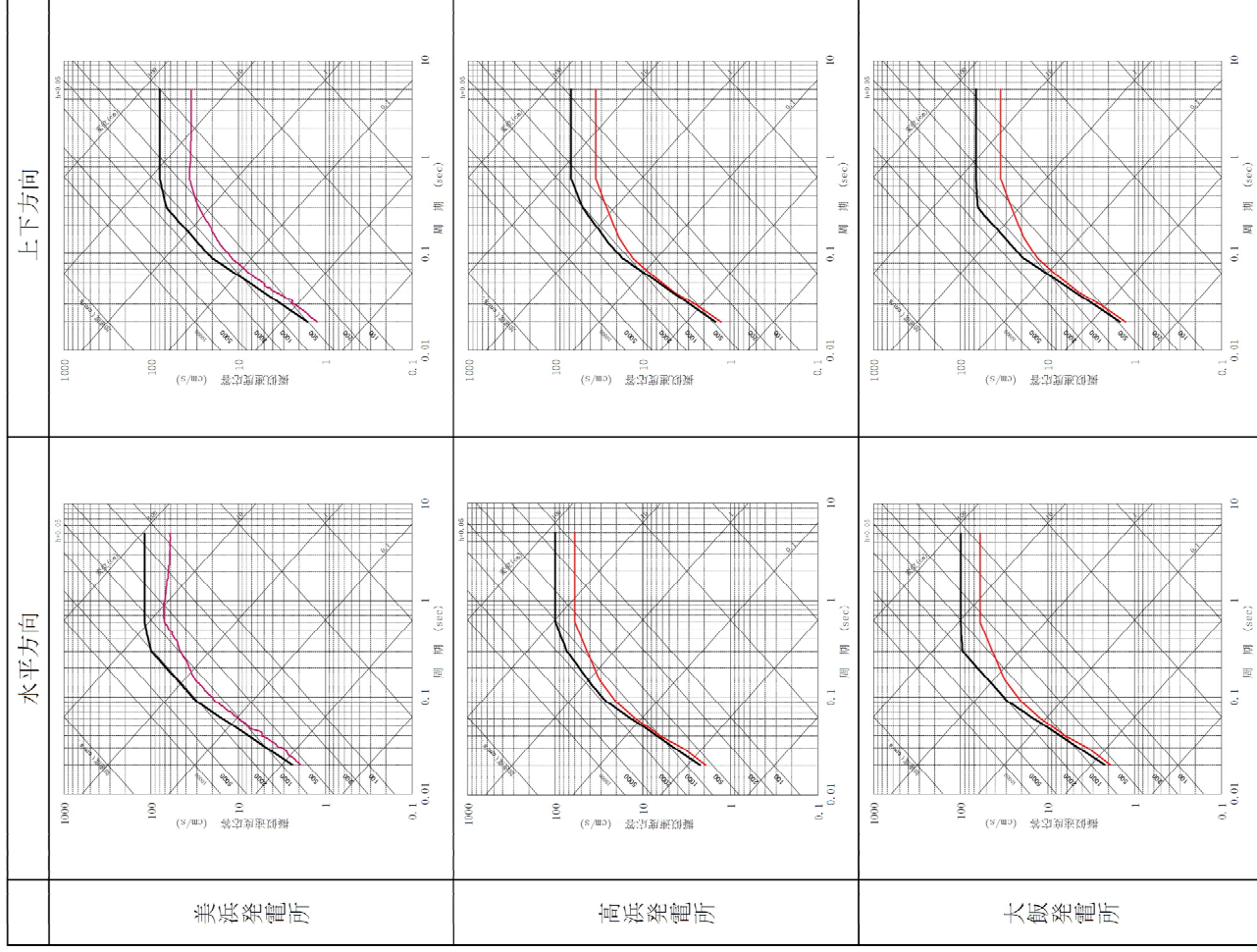
以上

（添付資料）

添付-1：標準応答スペクトルと基準地震動 S_s-1 の比較結果

標準応答スペクトルと基準地震動 Ss-1 の比較結果

[凡例] — : 標準応答スペクトル — : 基準地震動 Ss-1

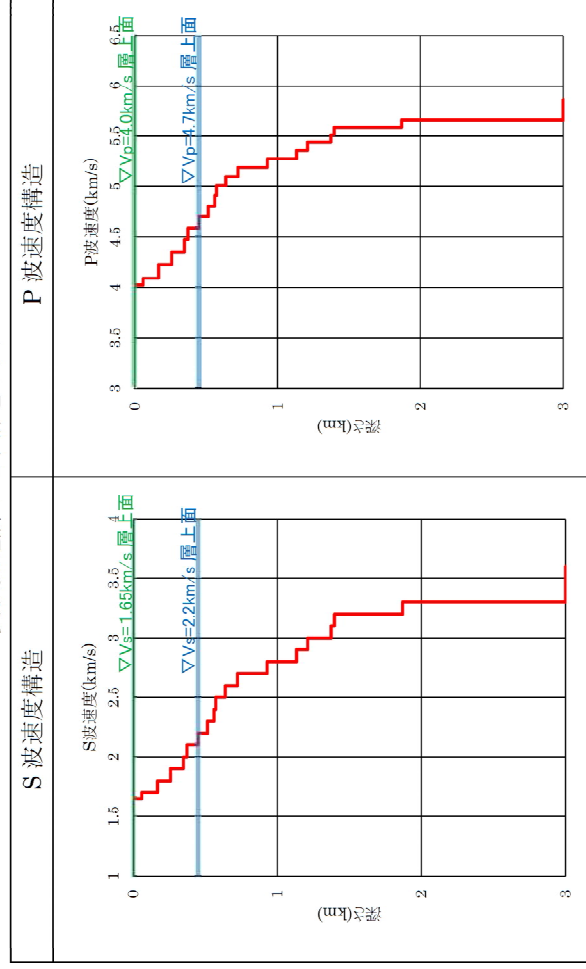


※ 標準応答スペクトルはせん断波速度 $V_s=2.2\text{km/s}$ 以上の地震基盤相当面にて定義されている。高浜発電所および大飯発電所の解放基盤表面は $V_s=2.2\text{km/s}$ であることから、標準応答スペクトルを基準地震動 Ss-1 と直接比較した。美浜発電所の解放基盤表面は $V_s=1.65\text{km/s}$ であることから、標準応答スペクトルに対し地震基盤相当面から解放基盤表面までの地盤補正 (別紙参照) を考慮したうえで、基準地震動 Ss-1 と比較した。

美浜発電所における標準応答スペクトルの地盤補正方法

解放基盤表面 ($V_s=1.65\text{km/s}^*$) で策定された基準地震動 $Ss-1$ と、基準地震動 $Ss-1$ の地下構造モデルによる地震基盤相当面 ($V_s=2.2\text{km/s}$ 層^{*}上面) での引戻し波との応答スペクトル比を求め、これを標準応答スペクトルに乗ずることで地盤補正を考慮する。
 (※ 鉛直方向については、水平方向のそれぞれの V_s に対応する V_p を有する層とする。)

美浜発電所の地下構造モデル



(「美浜発電所3号炉 原子炉設置許可申請書 添付六 第 4.4.14 図 地震動評価に用いる地下構造モデル」に追記)

応答スペクトル比

