

資料2-2

美浜発電所
地下構造評価について

平成27年7月31日
関西電力株式会社

第235回審査会合(平成27年6月5日)コメント内容の後日回答分 及び第246回審査会合(平成27年7月3日)コメント内容		ページ
1	今回作成した地下構造モデルの妥当性については、解析結果の信頼度も含めて、説明を充実させること。	p.41～p.42 p.60,p.62 p.68～p.70
2	地盤モデルの深部を高浜と合わせてインバージョン解析を行うことが、美浜の地盤モデルが妥当か否かを判断する科学的な根拠になるので検討すること。	p.63 ～ p.67
3	微小地震による検討との観点では、日本海地震・津波調査プロジェクトの中で、地震発生層の見直しをしているので確認してみてはどうか。	p.93 ～ p.94

はじめに

■ 関西電力(株)美浜発電所3号機の申請内容に係る主要な論点(H27.4.9審査会合)

1. 敷地の地下構造を把握するのに実施した調査・分析について、特異な傾向の有無を確認するため、全ての評価結果を説明すること。

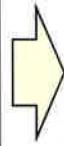
■ 資料構成

1. 調査結果に基づく地下構造モデルの策定
 1. 1. 地下構造モデルの策定の概要 ... 3~5
 1. 2. 浅部地下構造の評価
 1. 3. 深部地下構造の評価
 1. 4. 減衰定数の評価
 1. 5. 地下構造モデルの策定のまとめ ... 85~87
2. 地震発生層の評価 ... 88~97
3. 地震動評価に用いる地下構造モデル ... 98~99

1. 1. 地下構造モデルの策定の概要

地盤モデルの評価の考え方

- ガイドの考え方により、地震観測記録、微動アレイ探査、重力探査、深層ボーリング、2次元あるいは3次元の適切な物理探査等のデータに基づき、モデルを評価する。



浅部地下構造の評価

- ①速度構造について
 - ・PS検層
 - ・試掘坑内弾性波試験
 - ・敷地内ボーリング調査
- 結果 : $V_s = 1.65 \text{ km/s}$ 程度の硬質な岩盤が広がっていることを確認した。
- ②浅部構造の確認
 - ・単点微動観測
 - ・反射法地震探査
- 結果 : 3次元的な特異性は無い。

深部地下構造の評価

- ①岩盤内での増幅
 - ・地震観測
- 結果 : 岩盤内での顕著な増幅は見られない。
- ②位相速度の測定
 - ・微動アレイ観測
- 結果 : 得られた位相速度を目的関数としたインバージョン解析により、深部までの速度構造を推定した。
- ③敦賀半島の微動・地震水平アレイ観測
 - ・大場他(2010)と美浜発電所で求めた位相速度の比較
- 結果 : ②の速度構造の妥当性を確認した。

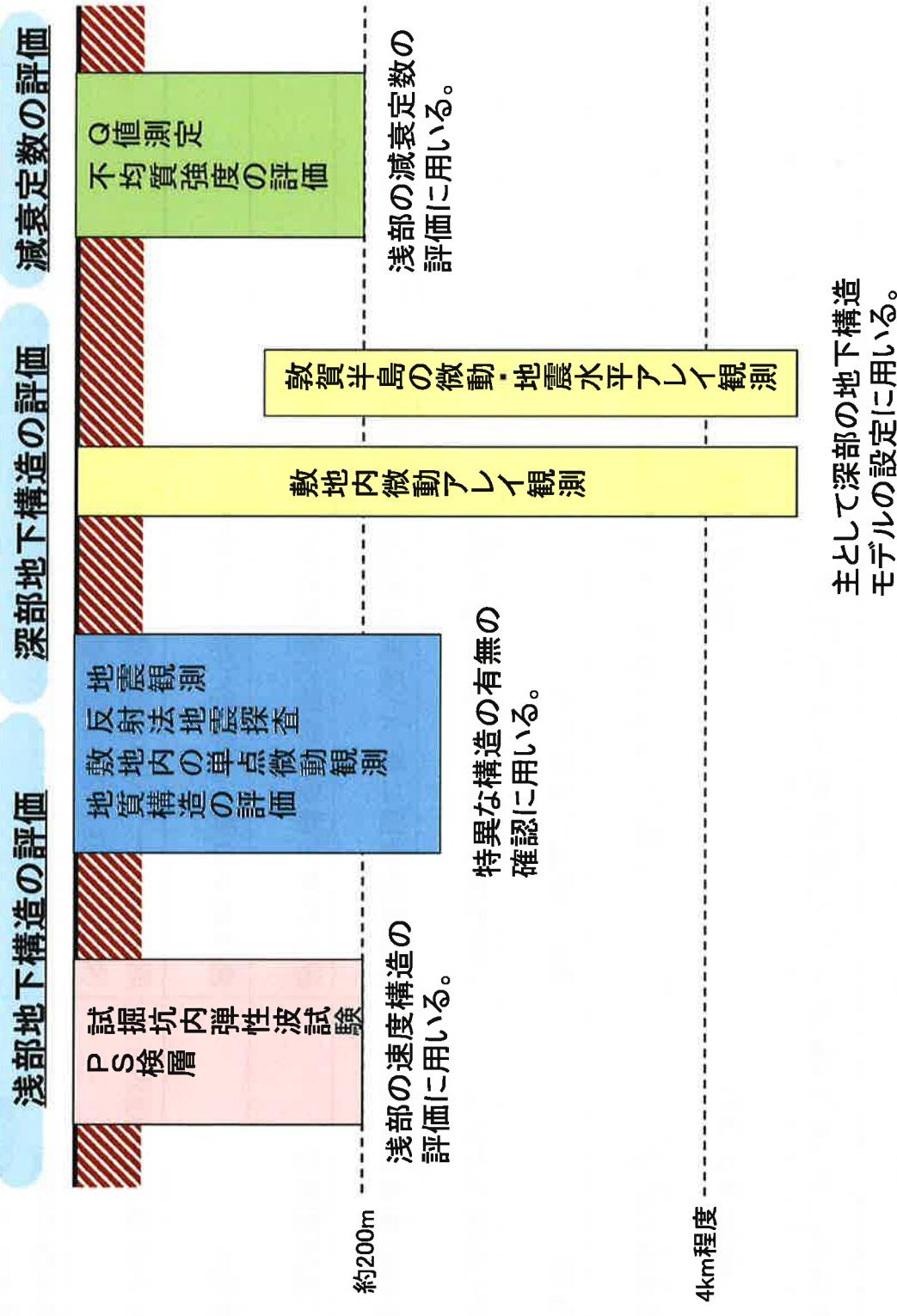


まとめ

- 観測データから敷地周辺の地下構造に3次元的な特異性がないことを確認、これらの観測データを用いて地下構造モデルを策定する。

1. 1. 地下構造モデルの策定の概要

■ 敷地周辺で実施した各種調査結果を組み合わせて、地下構造モデルを策定する。



1. 1. 地下構造モデルの策定の概要

■実施した地下構造モデル策定のための調査

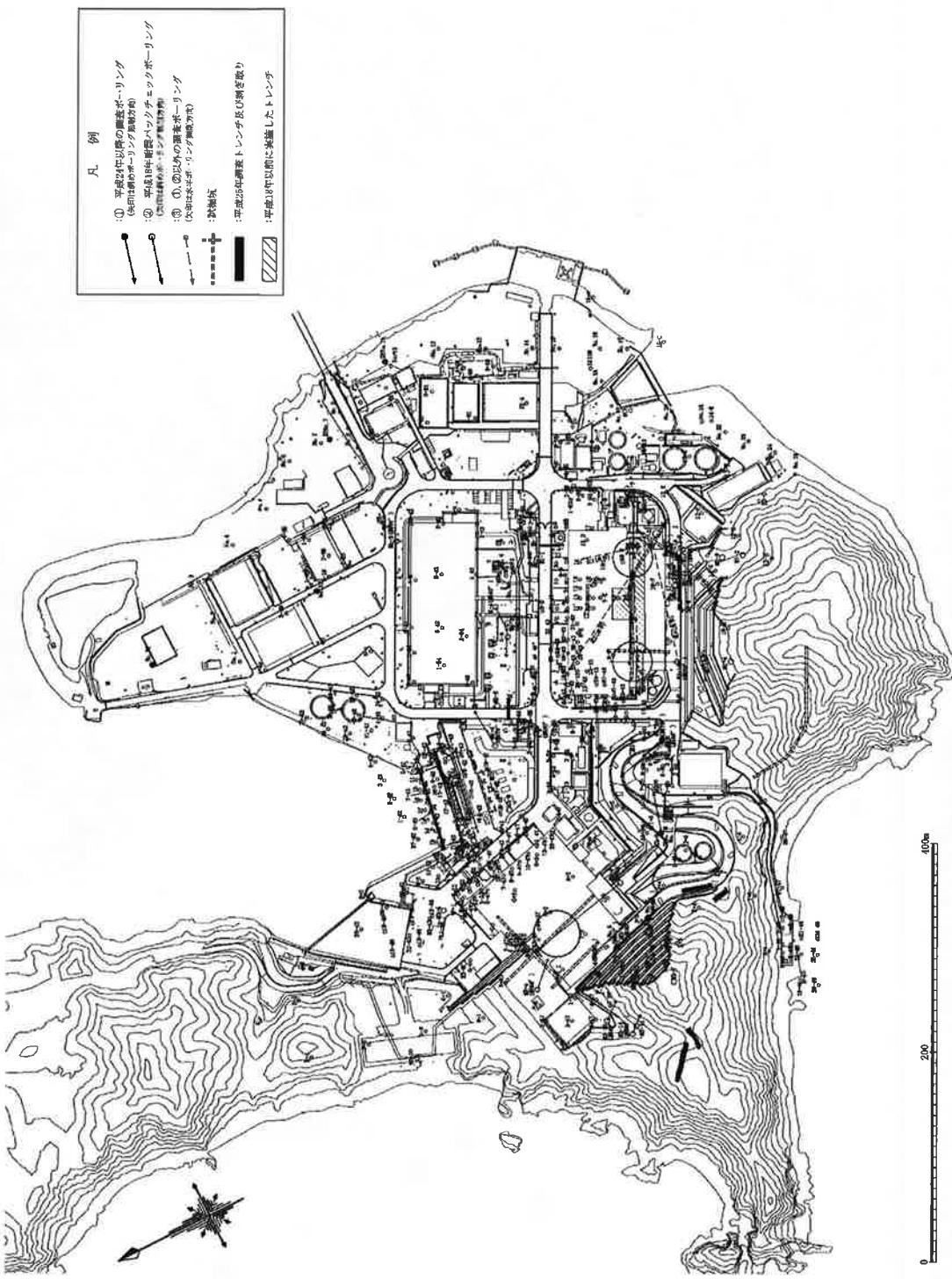
調査・検討項目	検討結果の概要	バックチェック 以降新たに 実施した項目
地質構造の評価	ボーリング調査等により敷地内の地質に特異な構造がないことを確認	<input checked="" type="radio"/>
PS検層	浅部の速度構造の評価	—
試掘坑内弾性波試験	解放基盤表面のP波・S波速度の評価	—
敷地内の単点微動観測	解放基盤表面に著しい高低差等の特異な構造がないことを確認	<input checked="" type="radio"/>
反射法地震探査	敷地の地下構造に著しい増幅が無いことを確認	<input checked="" type="radio"/>
地震観測	岩盤内での著しい増幅が無いことを確認	<input checked="" type="radio"/>
敷地内微動アレイ観測	周期約0.5～5.0秒の位相速度を評価 (複数の手法により、位相速度の妥当性を確認)	<input checked="" type="radio"/>
敦賀半島の微動・ 地震水平アレイ観測	位相速度の妥当性を確認(大場他(2010)を新たに参照)	<input checked="" type="radio"/>
PS検層結果を用いた 不均質強度の評価	浅部の減衰定数の評価	—
Q値測定	浅部の減衰定数の評価	<input checked="" type="radio"/>

1. 2. 浅部地下構造の評価（地質構造の評価）

第235回審査会合
資料再掲

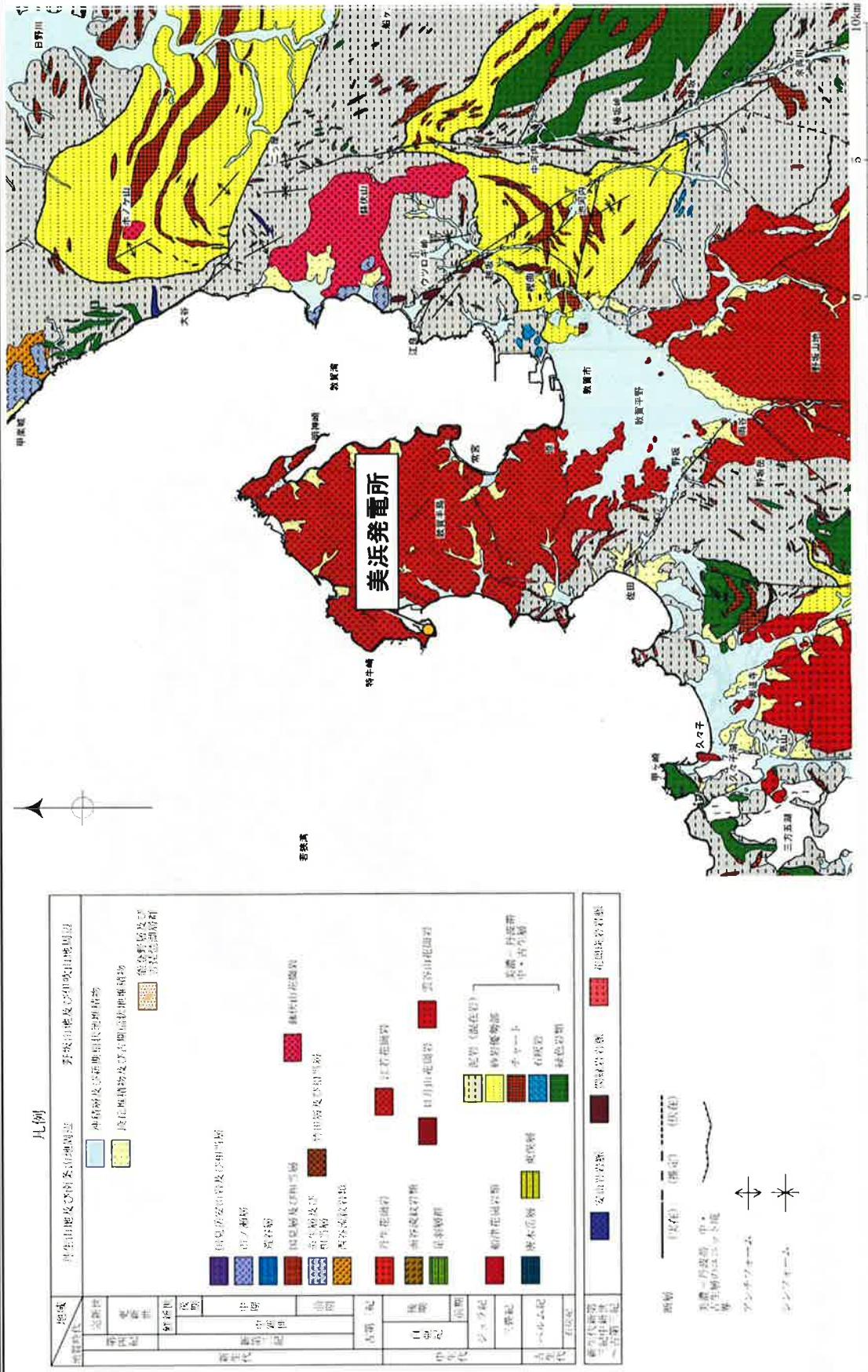
6

■発電所敷地内において439本、総延長約16,850m のボーリング調査を実施



敷地内地質調査位置図

1. 2. 淡部地下構造の評価（地質構造の評価）

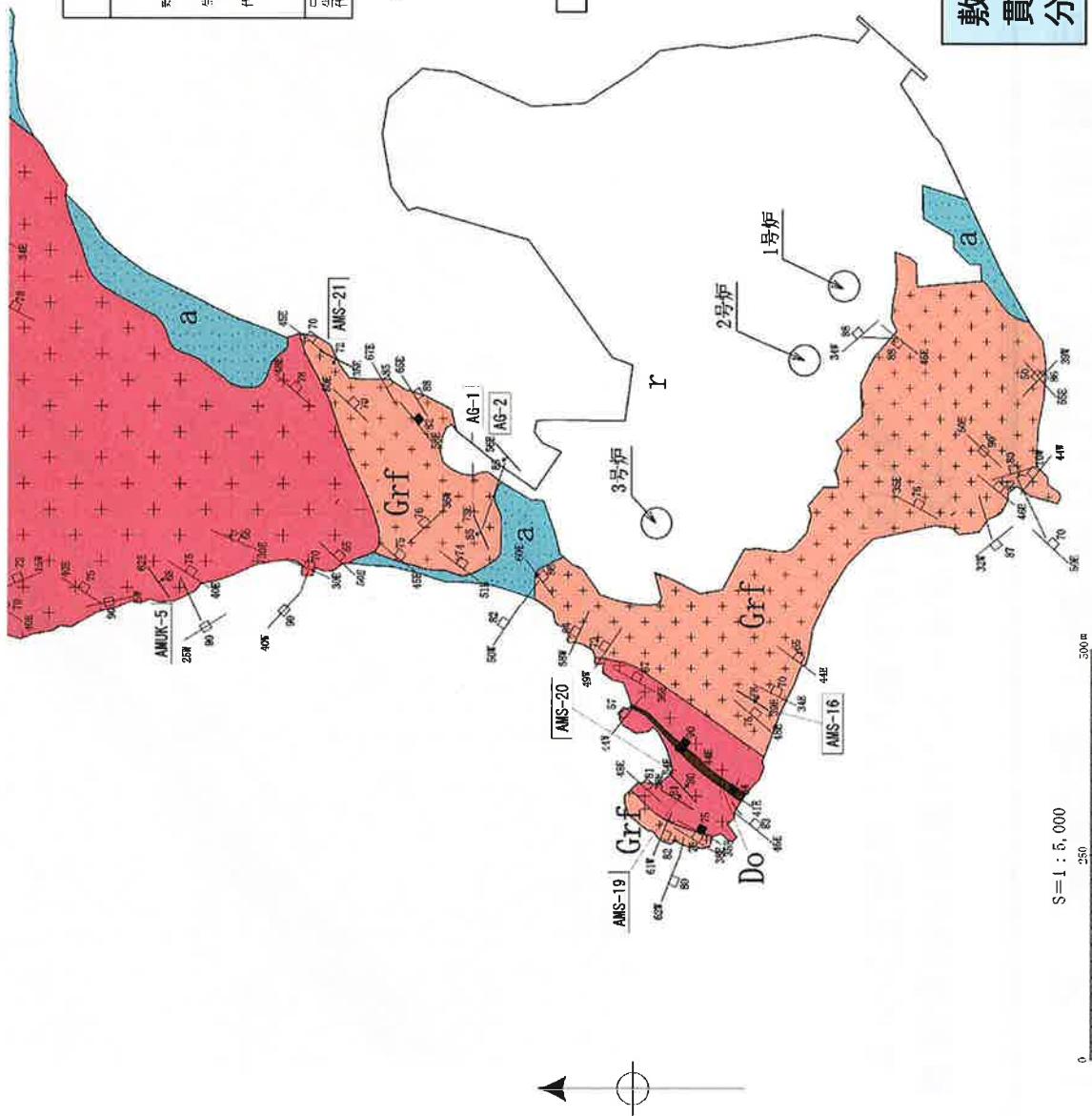


敷地周辺の地質は美濃一丹波帯中・古生層が分布しており、敷地が位置する敦賀半島は
美濃一丹波帯中・古生層に貫入する江若花崗岩が分布している。

1. 2. 浅部地下構造の評価(地質構造の評価)

第235回審査会合
資料再掲

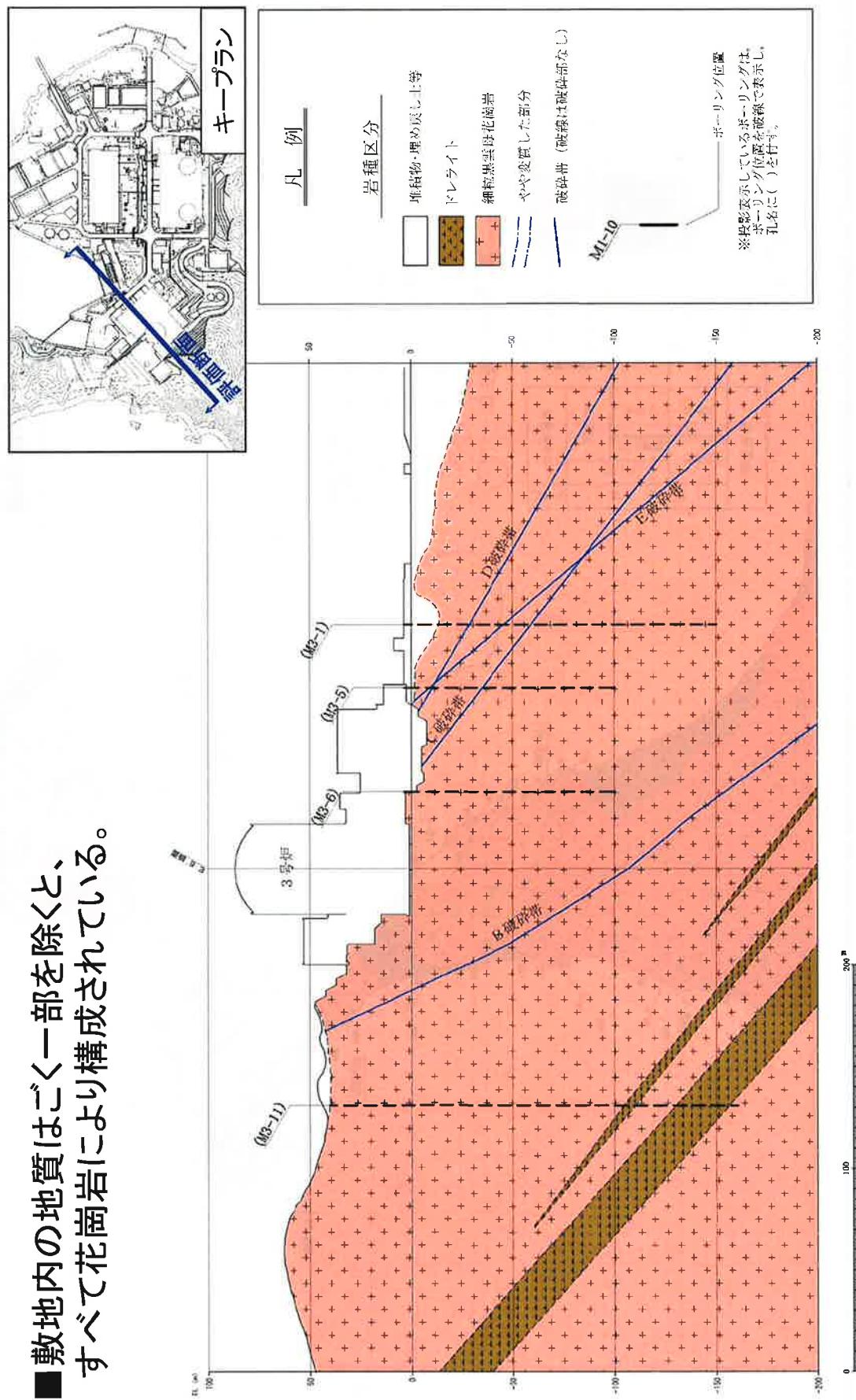
8



敷地の地質は、江若花崗岩とこれに貫入するドレライト及びこれらを覆つて分布する第四系により構成される。

1. 2. 浅部地下構造の評価(地質構造の評価)

■敷地内の地質はごく一部を除くと、すべて花崗岩により構成されている。



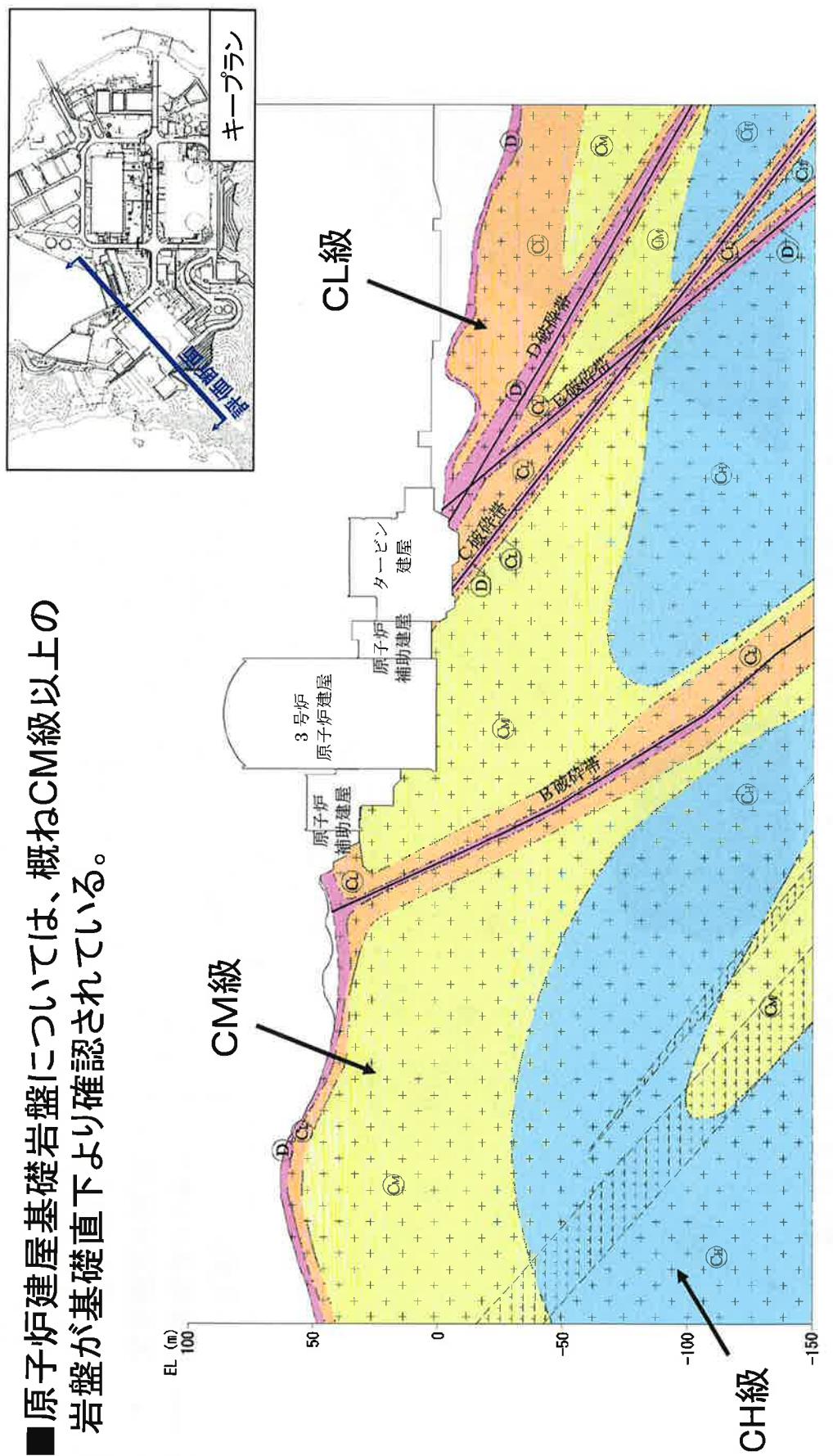
3号炉地質断面図

1. 2. 浅部地下構造の評価（地質構造）

第235回審査会
資料再掲

10

■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級は岩級区分図

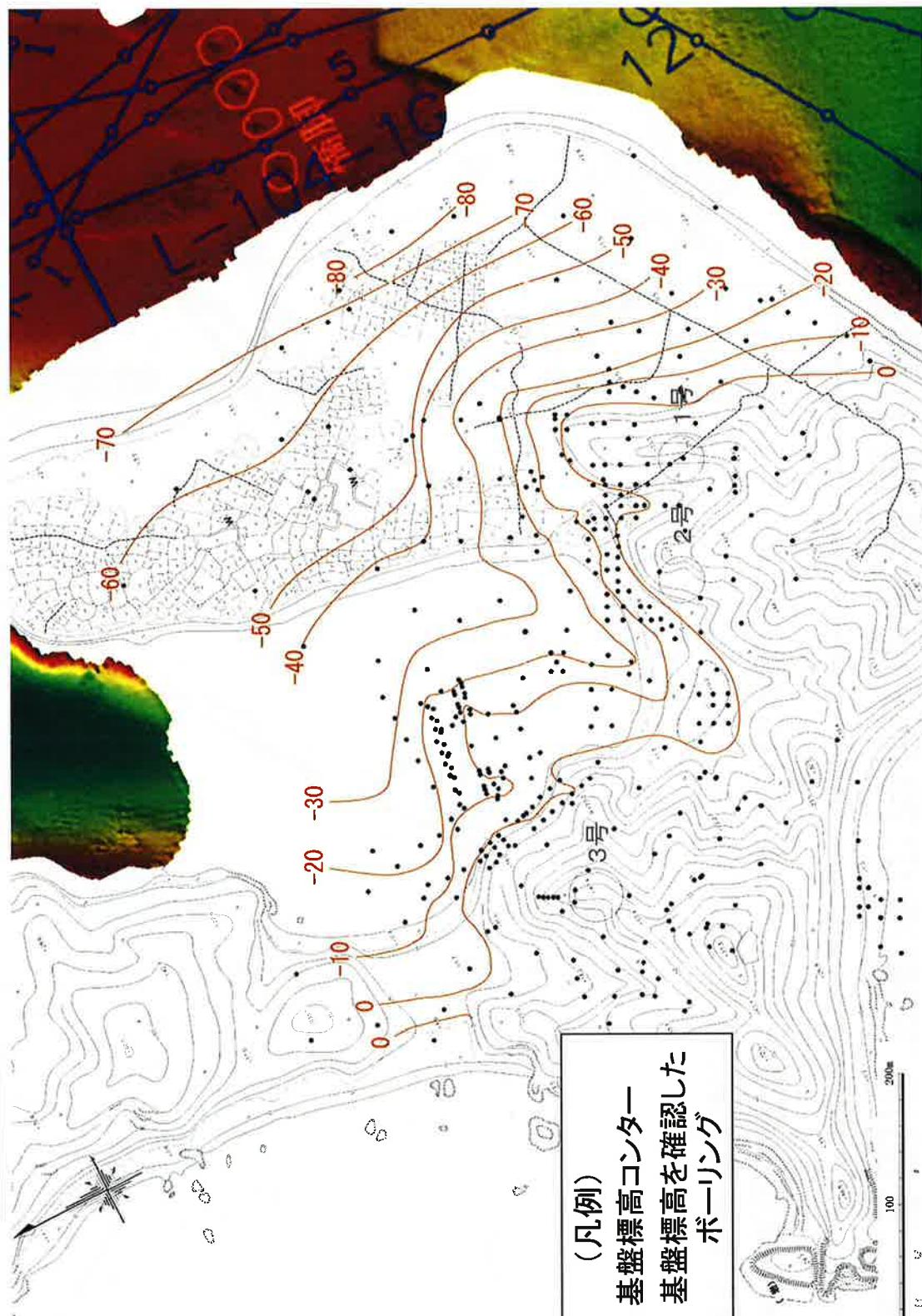
3号炉岩級区分図

+ : 花崗岩

上 : ドレライト

1. 2. 淡部地下構造の評価（地質構造の評価）

■これまでの敷地内のボーリングデータを用いて、基盤センターを作成した。



1. 2. 浅部地下構造の評価（地質構造の評価）

第235回審査会合
資料再掲

12

■作成した基盤センターを現地形上にプロットした。



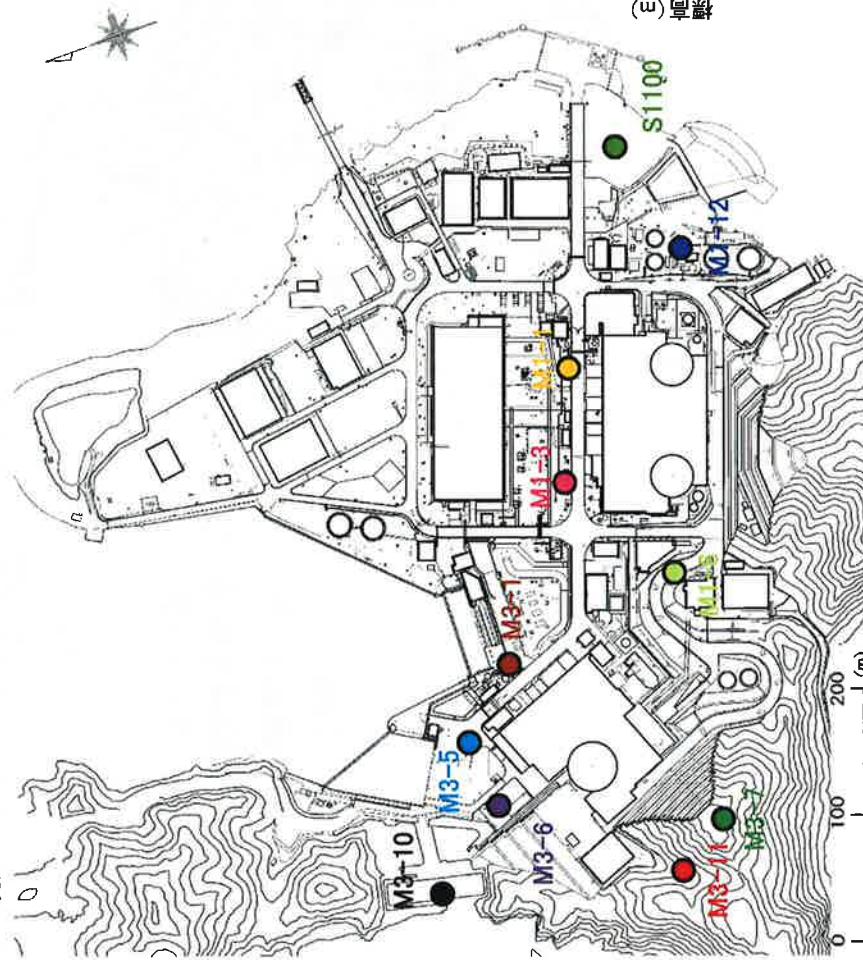
(凡例)

- 基盤標高センター
- 基盤標高を確認したボーリング

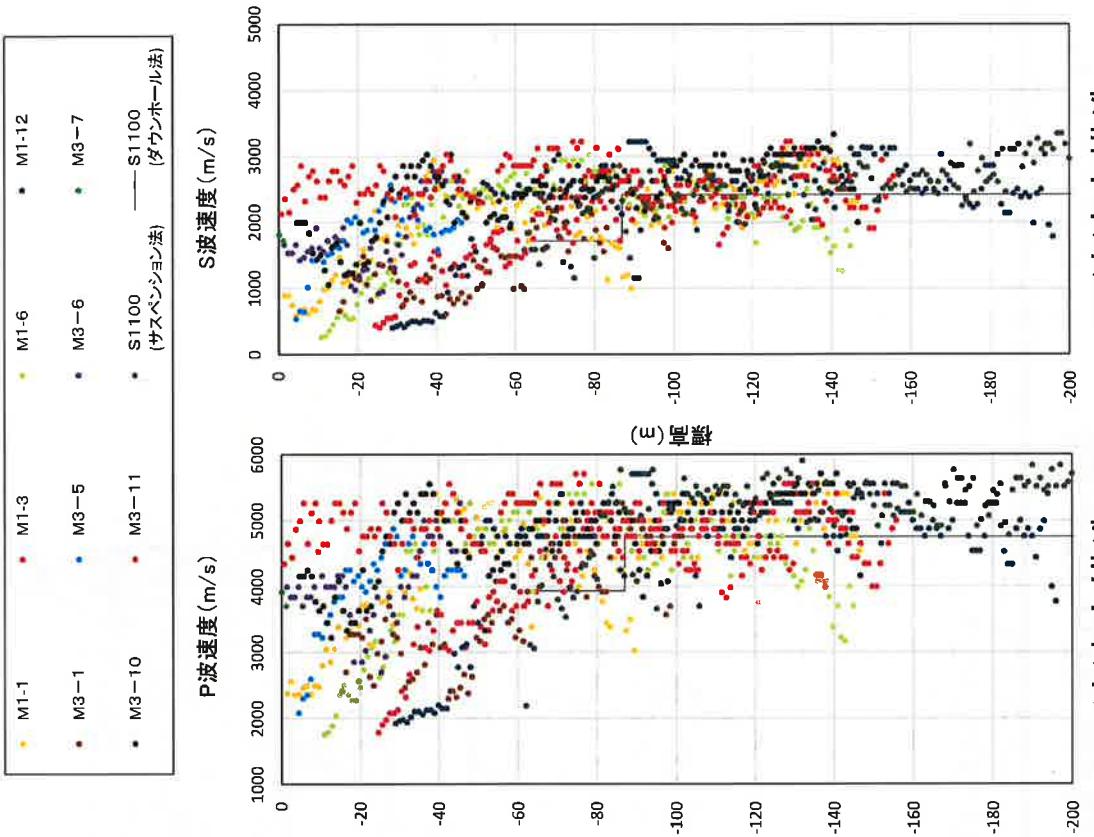
1・2号炉および3号炉の背後の山地より、北東～東方向に向かって基盤は深くなっている。
敷地内においては、北端付近でE.L. -60m程度、東端付近でE.L. -80m程度である。

1. 2. 浅部地下構造の評価(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



P波速度構造

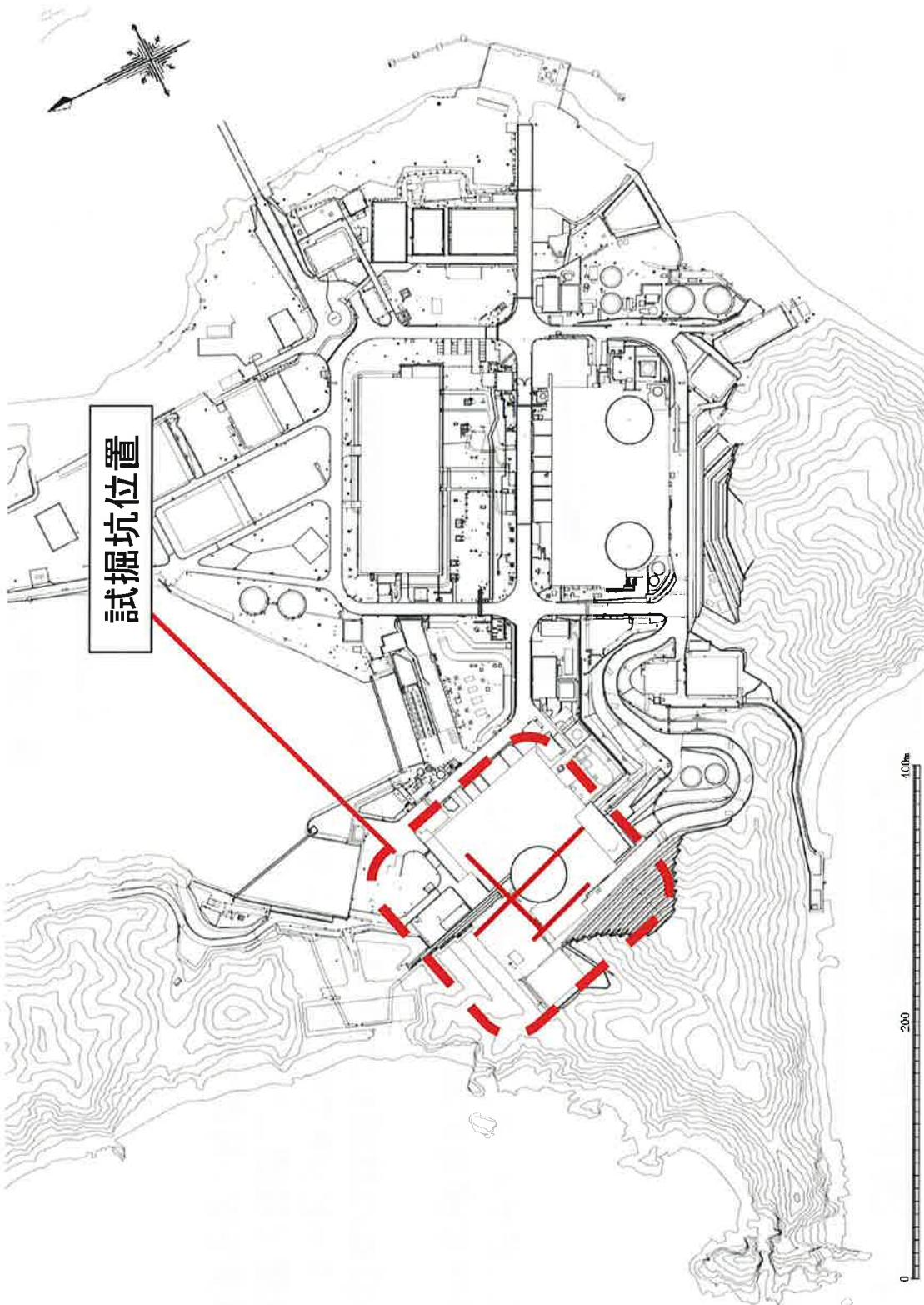
PS検層の結果から、極浅部においては地質の違いや風化の影響等により、ばらつきが見られるものの、敷地全体にわたって硬質な岩盤を確認。

1. 2. 浅部地下構造の評価（試掘坑内弹性波試験）

第235回審査会合
資料再掲

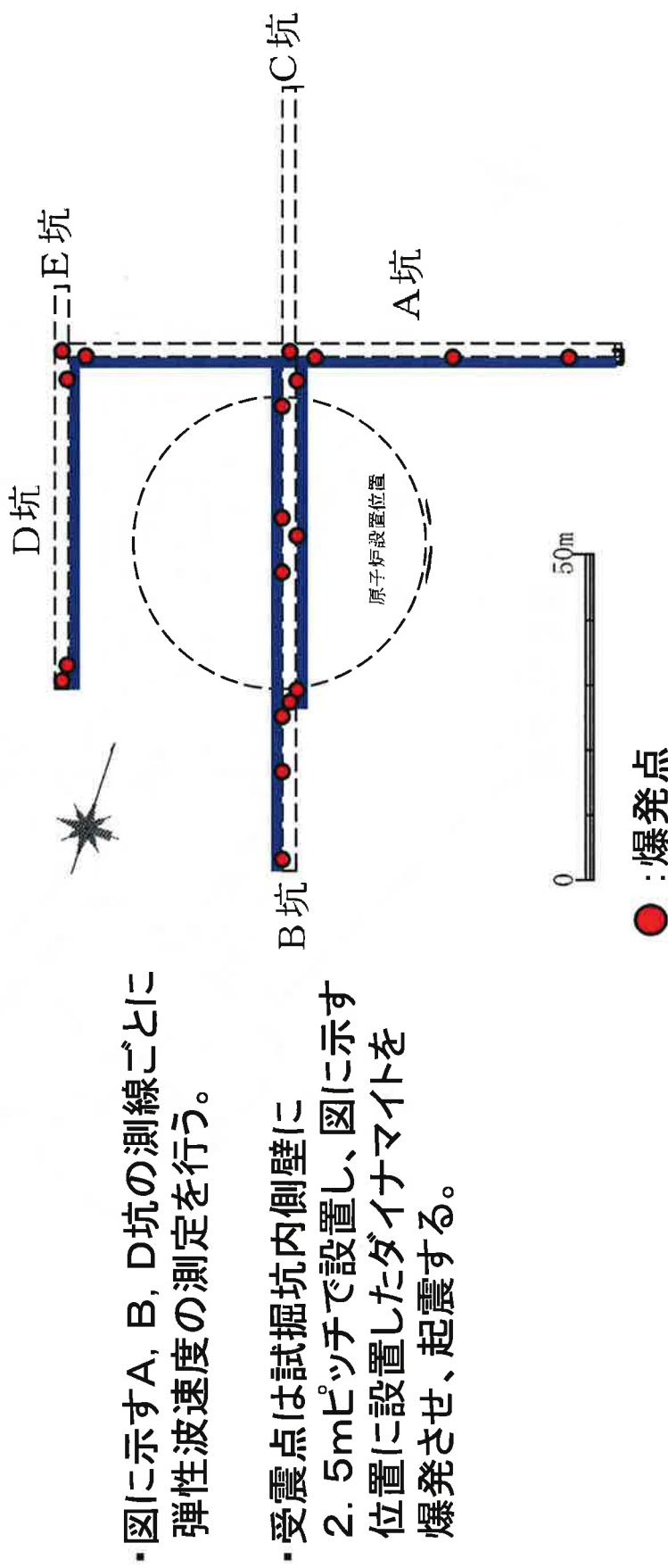
14

■美浜発電所3号炉試掘坑位置



1. 2. 淡部地下構造の評価(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方法

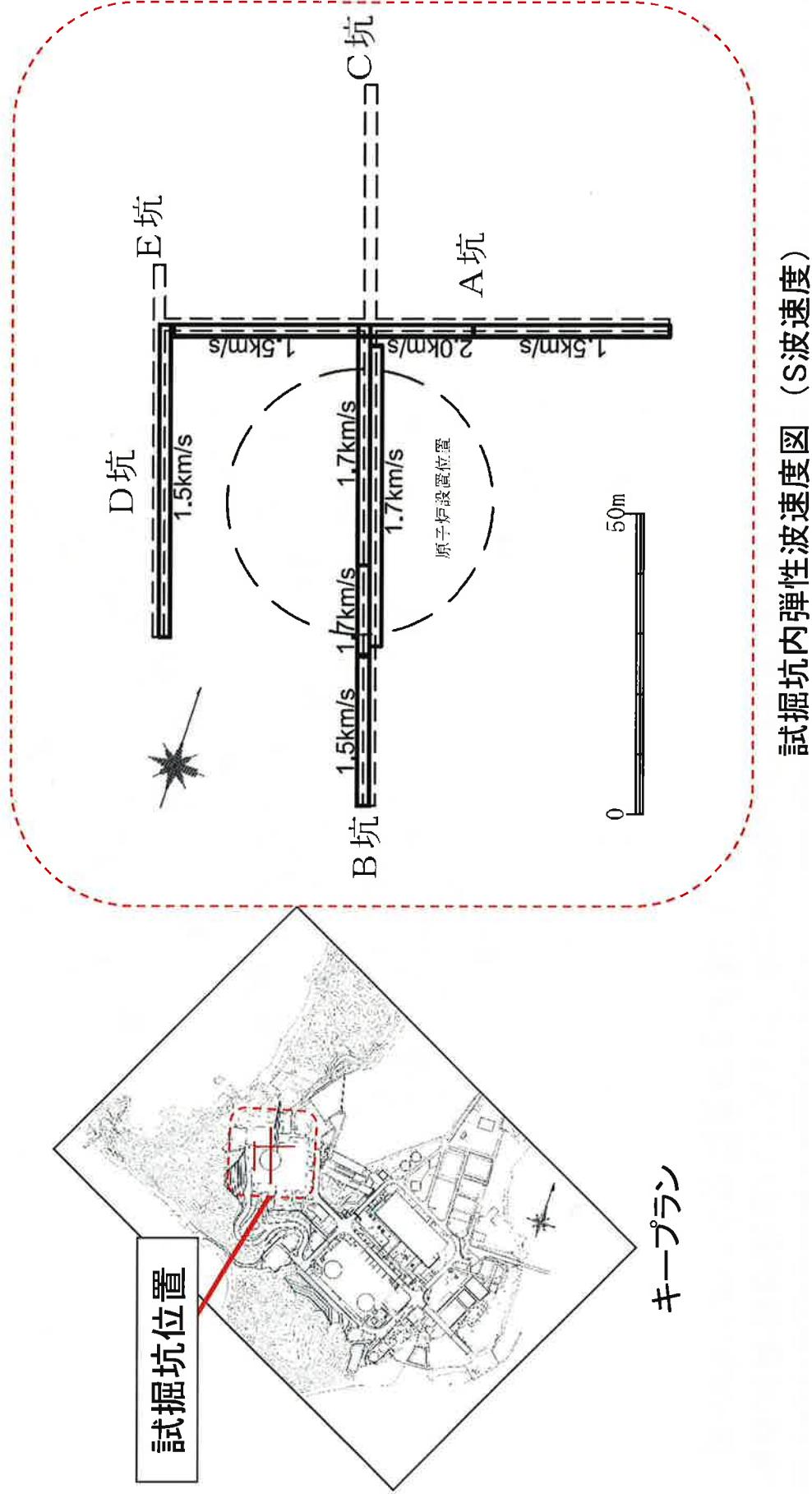


1. 2. 浅部地下構造の評価（試掘坑内弾性波試験）

第235回審査会合
資料再掲

16

■美浜発電所3号炉試掘坑内弾性波試験結果



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。

試掘坑内弾性波速度図 (S波速度)

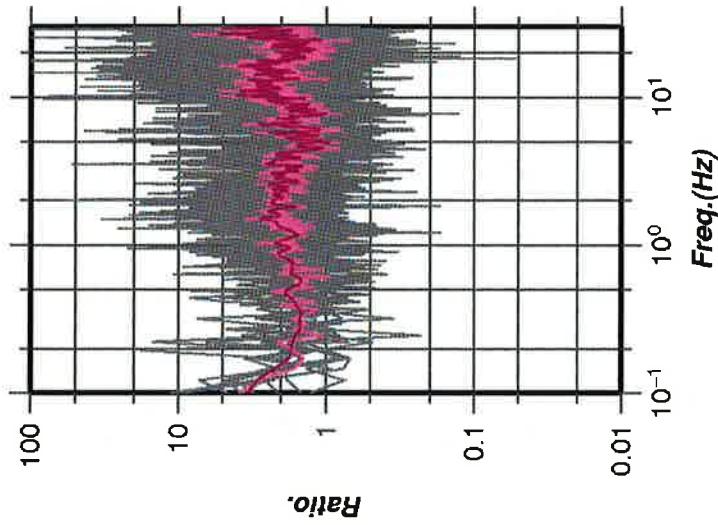
1. 2. 洋部地下構造の評価（単点微動観測）

■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、
敷地内における空間変動を評価した。



1. 2. 浅部地下構造の評価（単点微動観測）

■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。

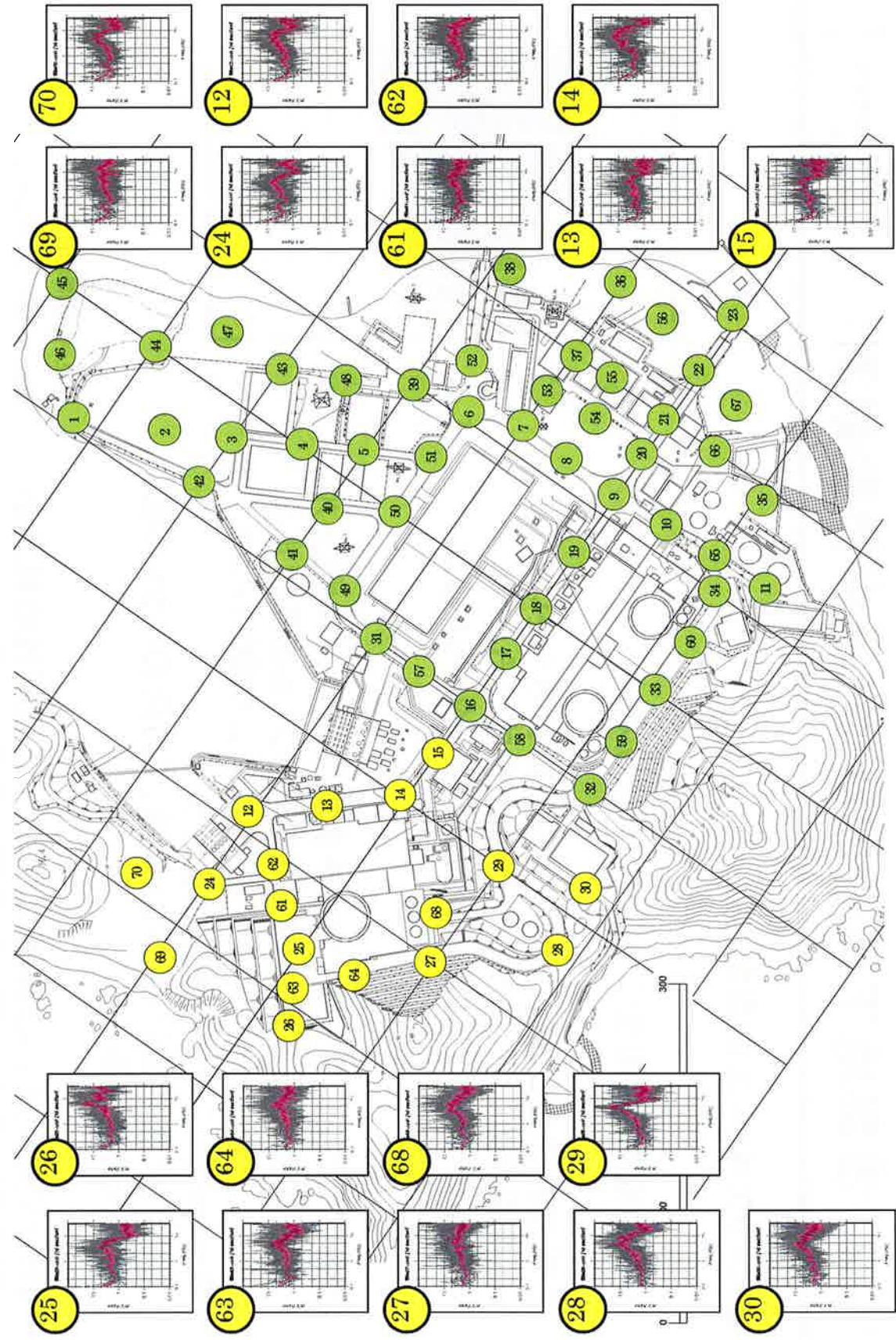
②観測波形から目視によりノイズの影響の小さい区間を複数選択し、データセットを作成する。
1区間のデータ長は40.96秒とし、データセット数は10区間程度とする。

③各区間に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ウイ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。
- H/Vスペクトルの例
- 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

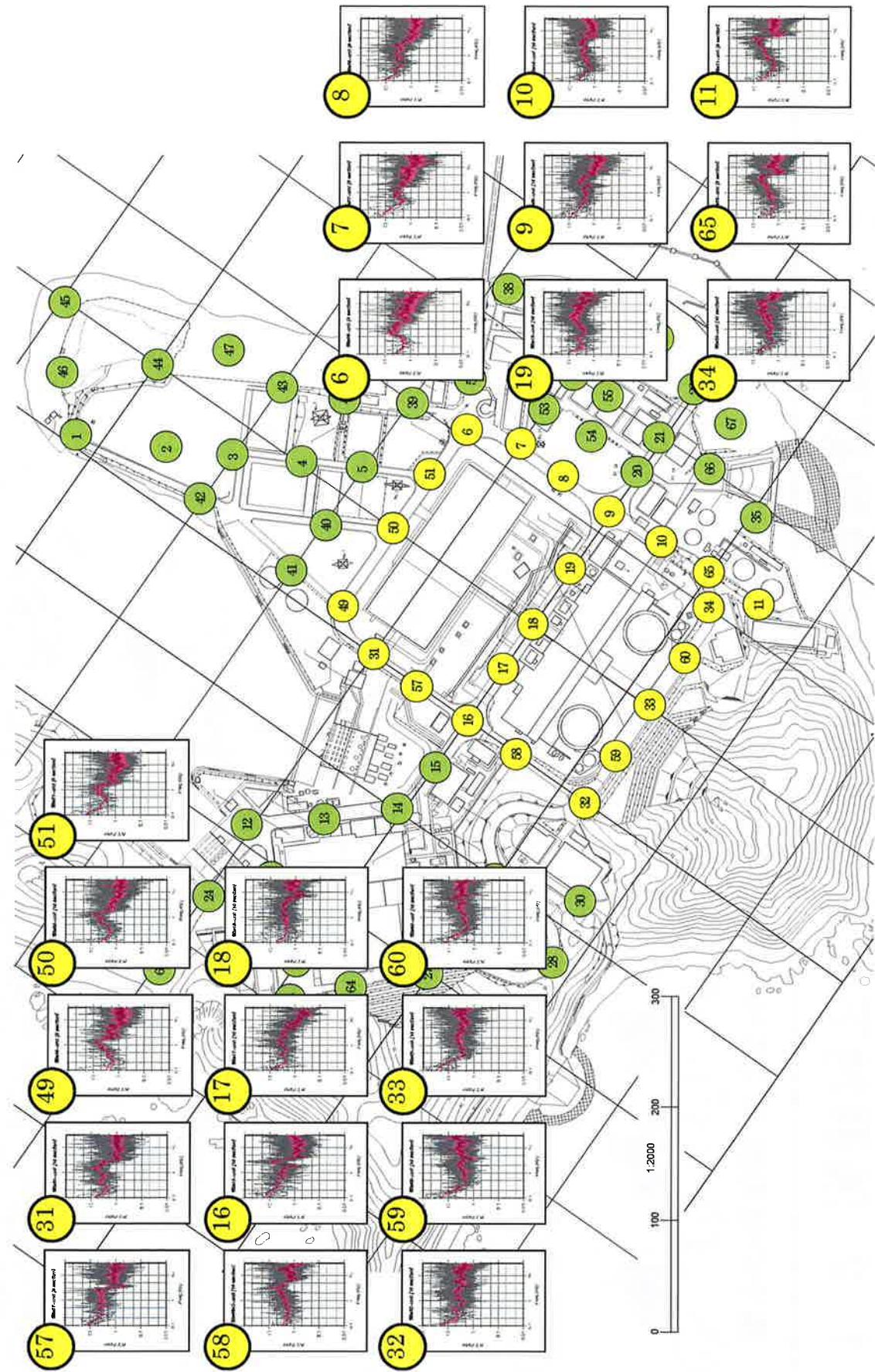
1. 2. 淹部地下構造の評価（単点微動観測）

■3号炉周辺観測点のH/Vスペクトル分布



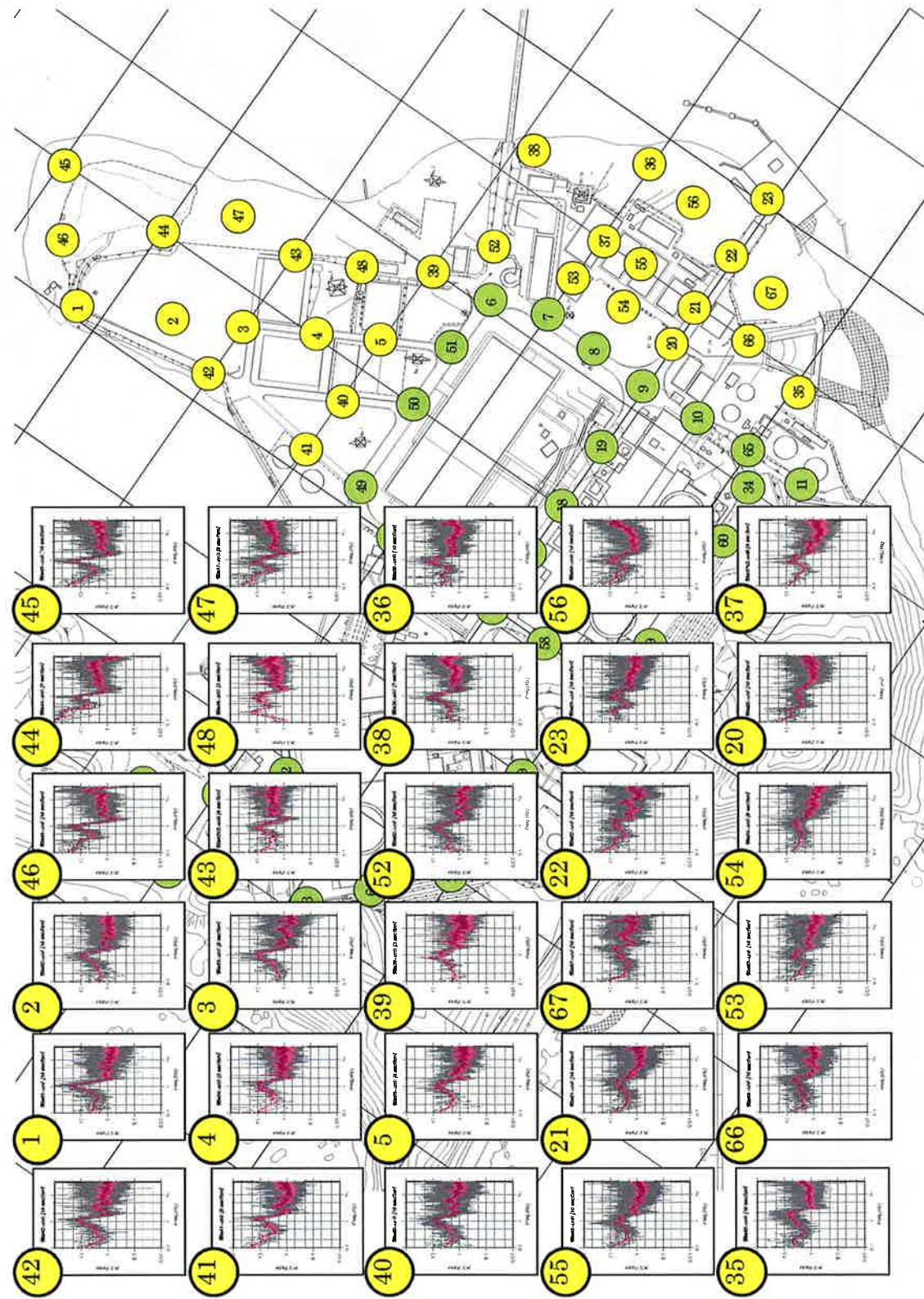
1. 2. 浅部地下構造の評価(単点微動観測)

■1,2号炉周辺観測点のH/Vスペクトル分布



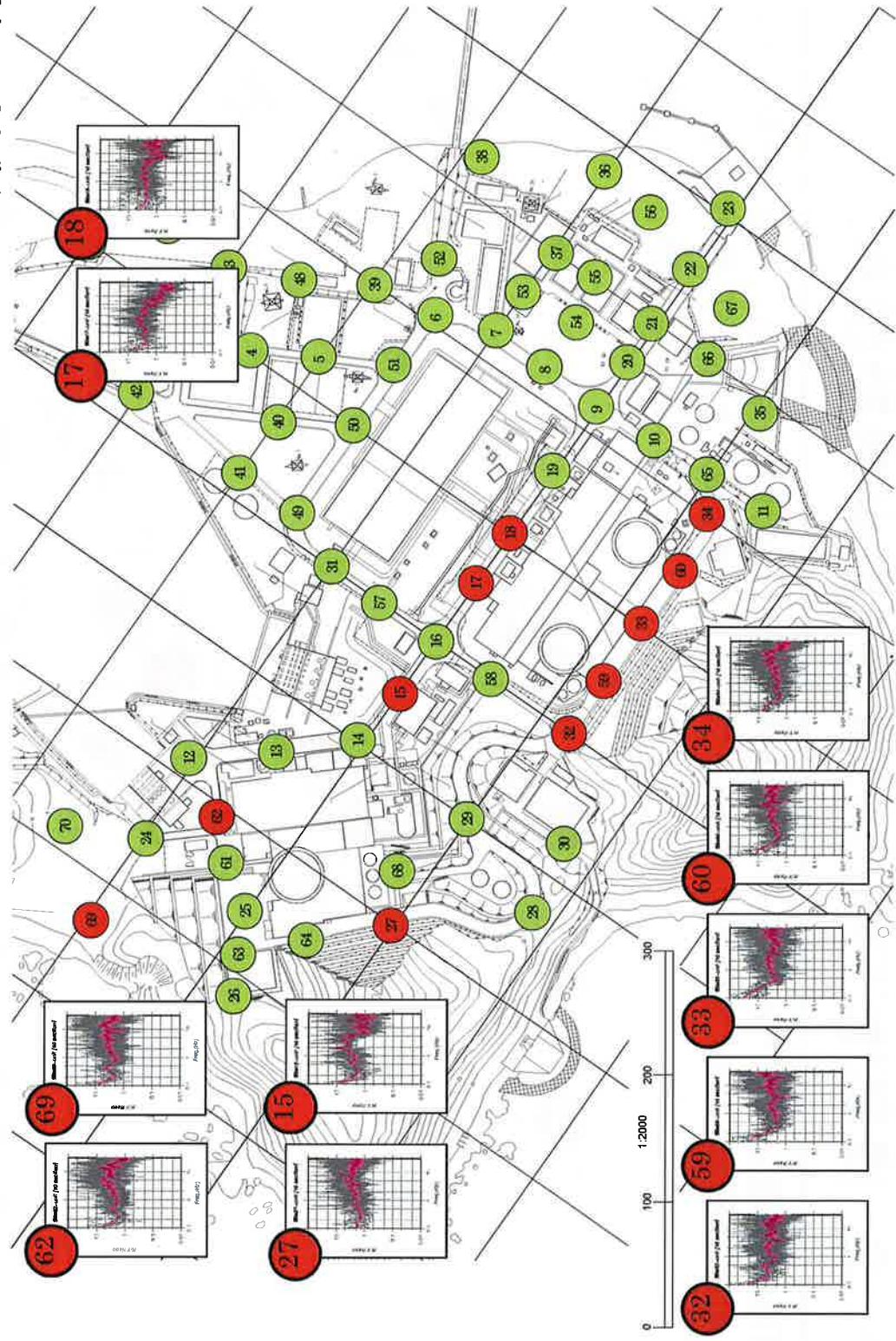
1. 2. 淡部地下構造の評価（単点微動観測）

■ その他の観測点のHVスペクトル分布



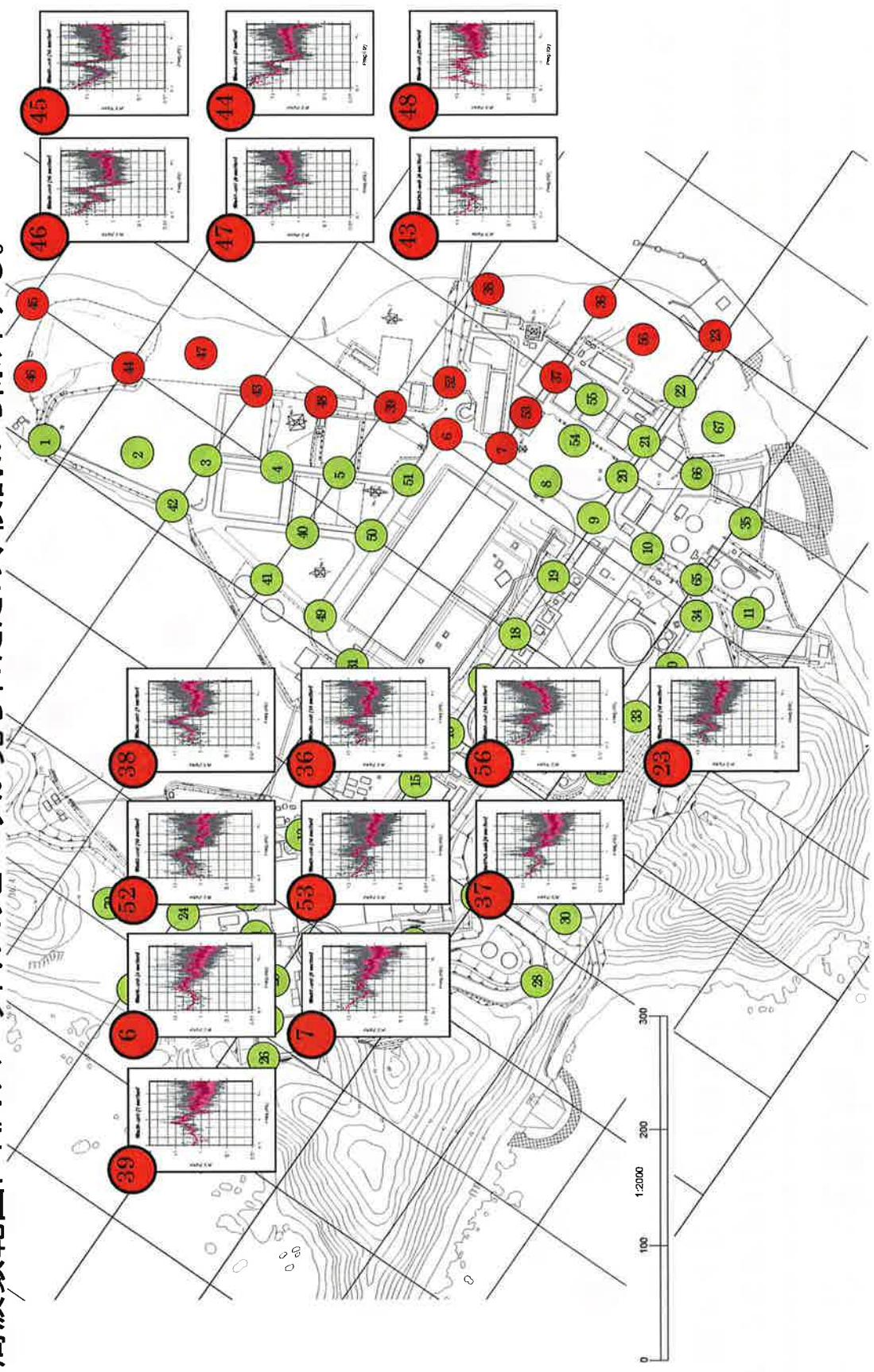
1. 2. 浅部地下構造の評価（単点微動観測）

■1,2号炉及び3号炉の取水口及び背面道路及びアゴ越え付近においては、H/Vスペクトルに空間的な変化は見られず、1～数Hzの周波数範囲において明瞭なピークは見られなかつたため、検討から除外する。



1. 2. 浅部地下構造の評価（単点微動観測）

■物揚岸壁から正門周辺及び敷地北側海岸付近の観測点においては、1Hz以下の周波数範囲にH/Vスペクトルのピークが見られたため、検討から除外する。



1. 2. 浅部地下構造の評価（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。

$$\begin{aligned} V_p &= 1.29 + 1.11 V_s \\ \rho &= 1.2475 + 0.399 V_p - 0.026 V_p^2 \end{aligned}$$

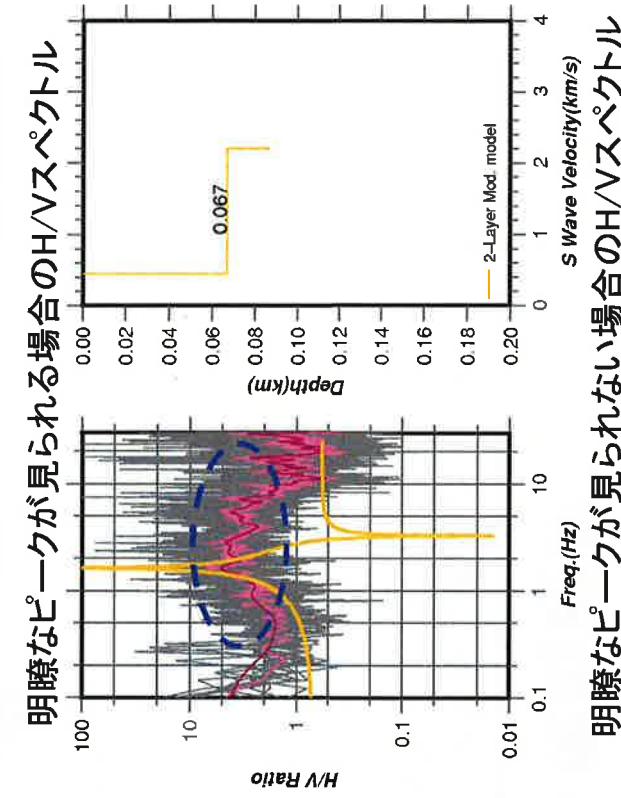
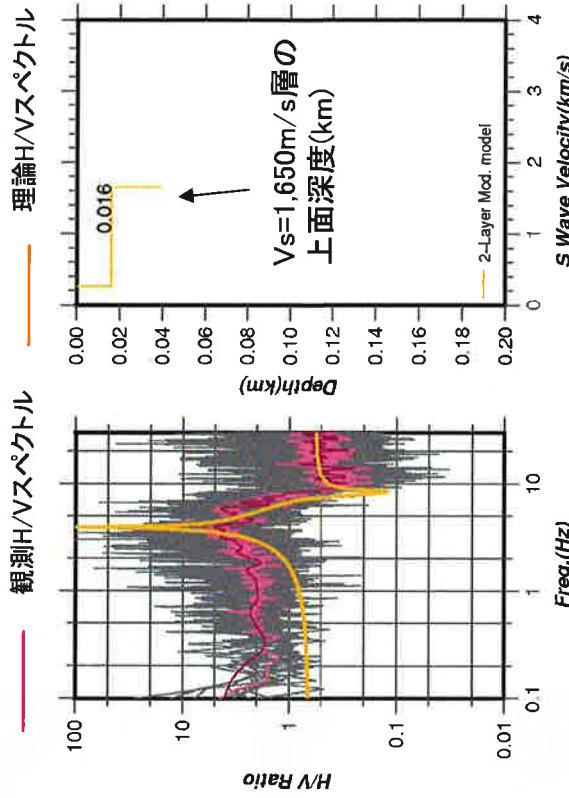
②観測H/Vスペクトルのピーク周波数の読み取り

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

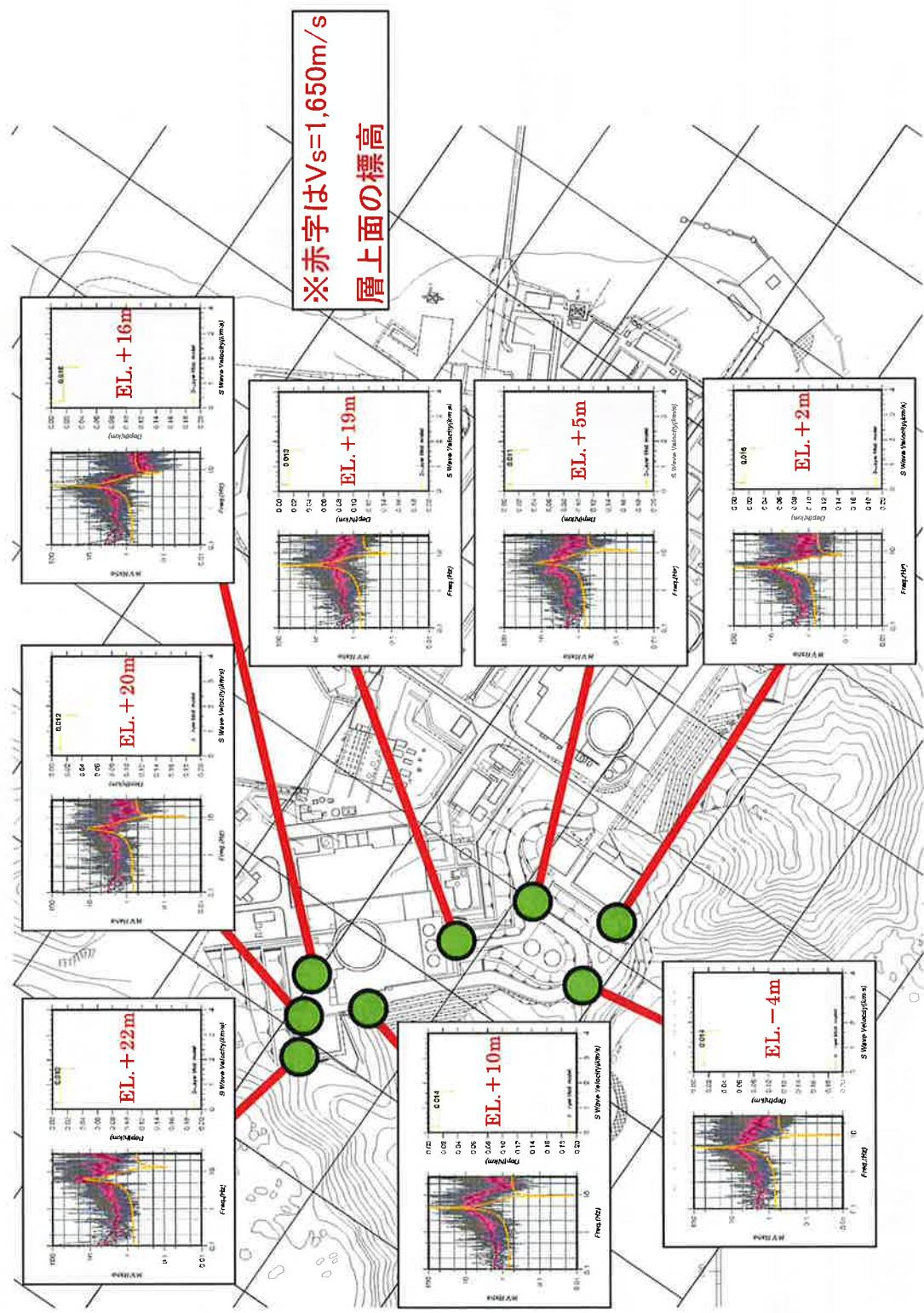
①の物性値から算定した理論H/Vのピーク周波数が、
②で求めた観測H/Vのピーク周波数と一致するように、
第1層の層厚を求める。理論H/VはRayleigh波の基本モードに基づいて算出する。

※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。



1. 2. 浅部地下構造の評価（単点微動観測）

■3号炉背面の山側では、約5Hz付近にH/Vスペクトルのピークがあり、概ね深さ10m付近(標高に換算するとE.L. \pm 0~+20m)に、 $V_s=1,650\text{m/s}$ 層の上面を推定した。

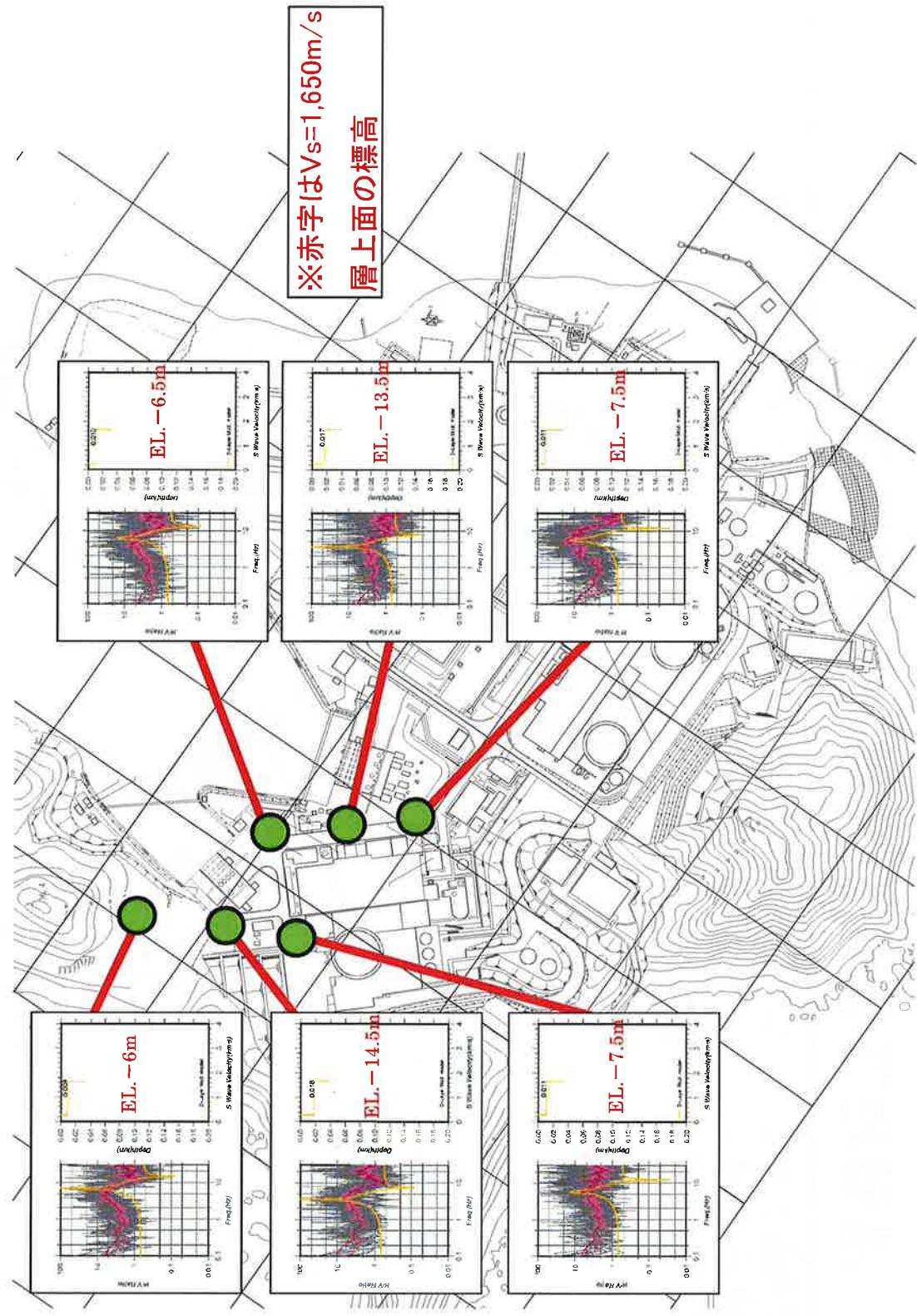


1. 2. 浅部地下構造の評価（単点微動観測）

第235回審査会合
資料再掲

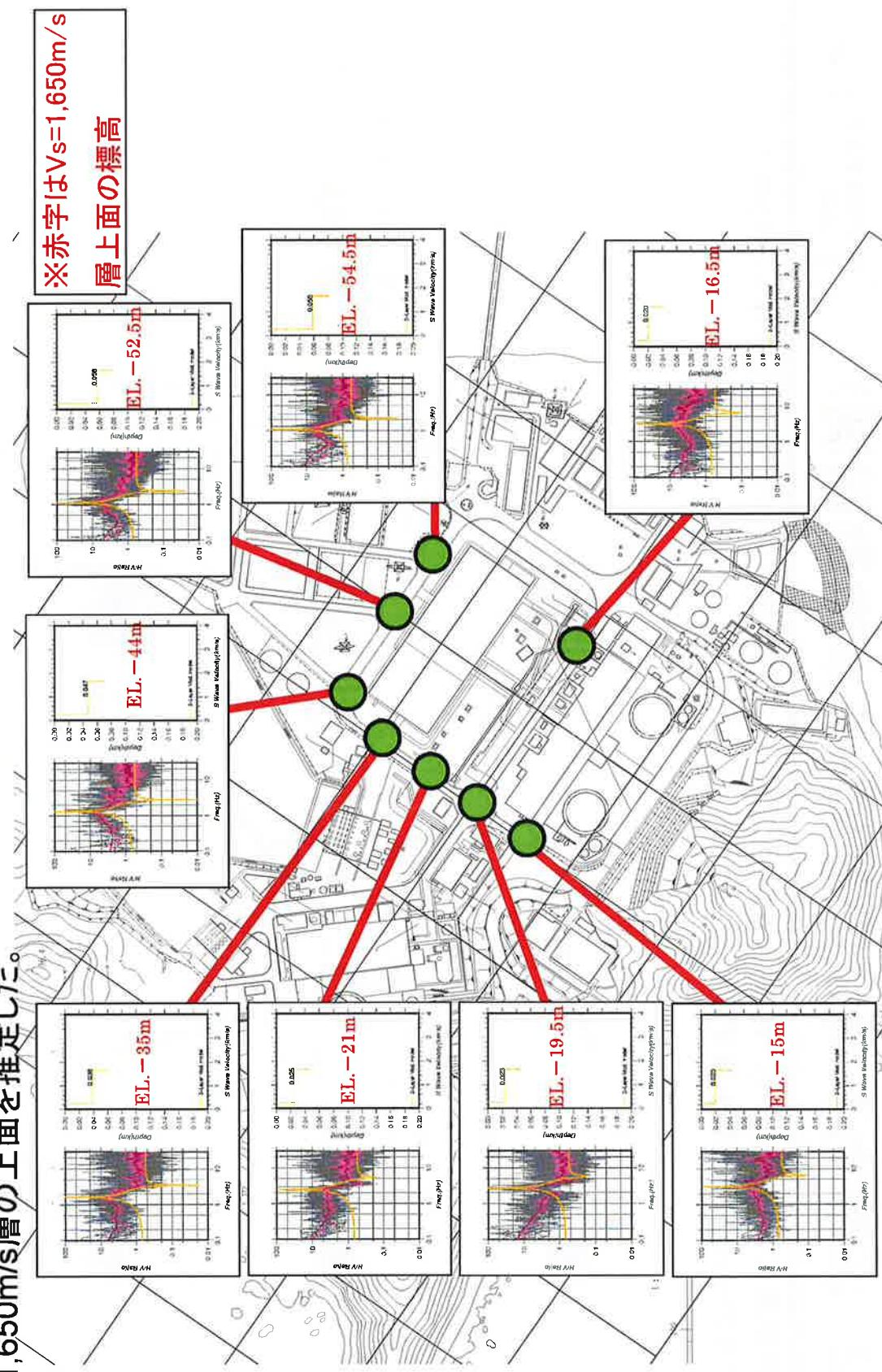
26

■3号炉前面取水口周辺でも、約5Hzにピークが見られ、概ね深さ10m付近(E.L.-6～-15m)に
 $V_s=1,650\text{m/s}$ 層の上面を推定した。



1. 2. 浅部地下構造の評価（単点微動観測）

■1,2号炉周辺では約2～3Hz付近に、特高開閉所周辺では約1～2Hz付近にピークが現れ、それぞれ概ね深さ20m程度(E.L.-15～-20m程度)、深さ30～50m程度(E.L.-20～-50m程度)に、 $V_s=1,650\text{m/s}$ 層の上面を推定した。

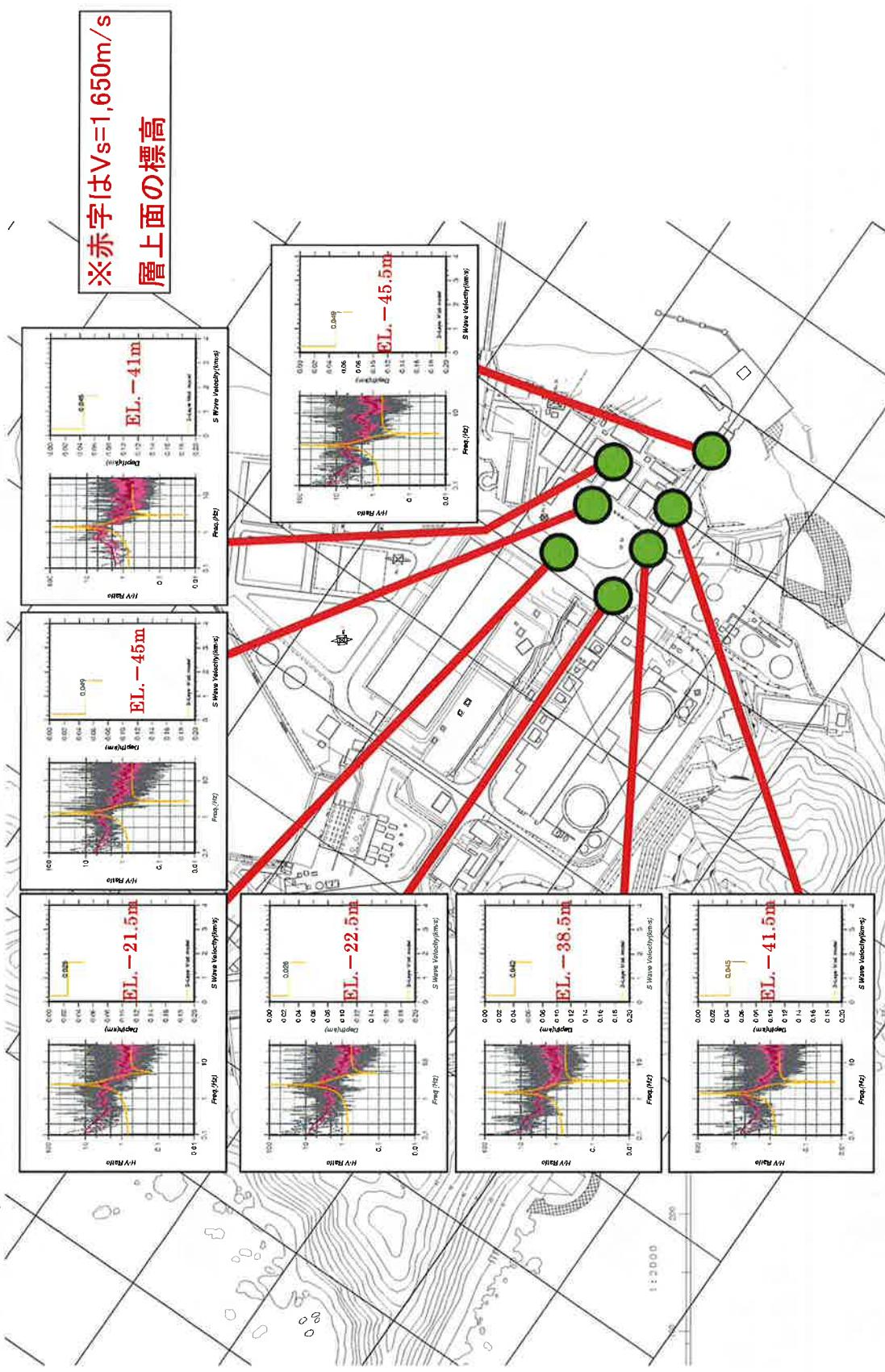


1. 2. 浅部地下構造の評価(単点微動観測)

第235回審査会合
資料再掲

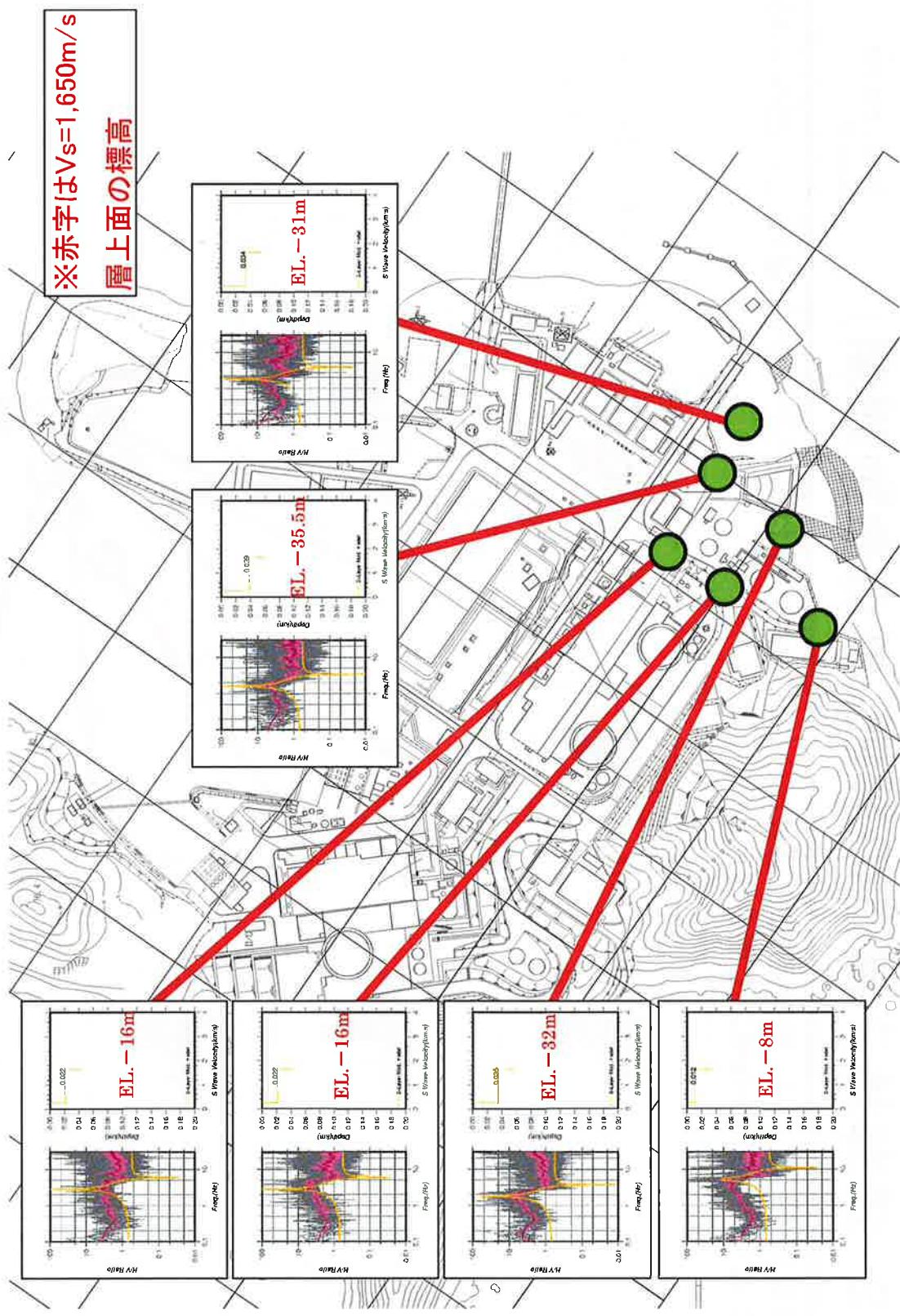
28

■敷地東側(海側)では、約1～3Hz付近にピークがみられ、概ね深さ30～50m付近(E.L.-25～-45m程度)にVs=1,650m/s層の上面を推定した。



1. 2. 洋部地下構造の評価（単点微動観測）

■1,2号炉放水口周辺では、山寄りの1点を除き、約2~3Hz付近にピークがみられ、概ね深さ20~30m付近(E.L. -15~-35m程度)にVs=1,650m/s層の上面を推定した。

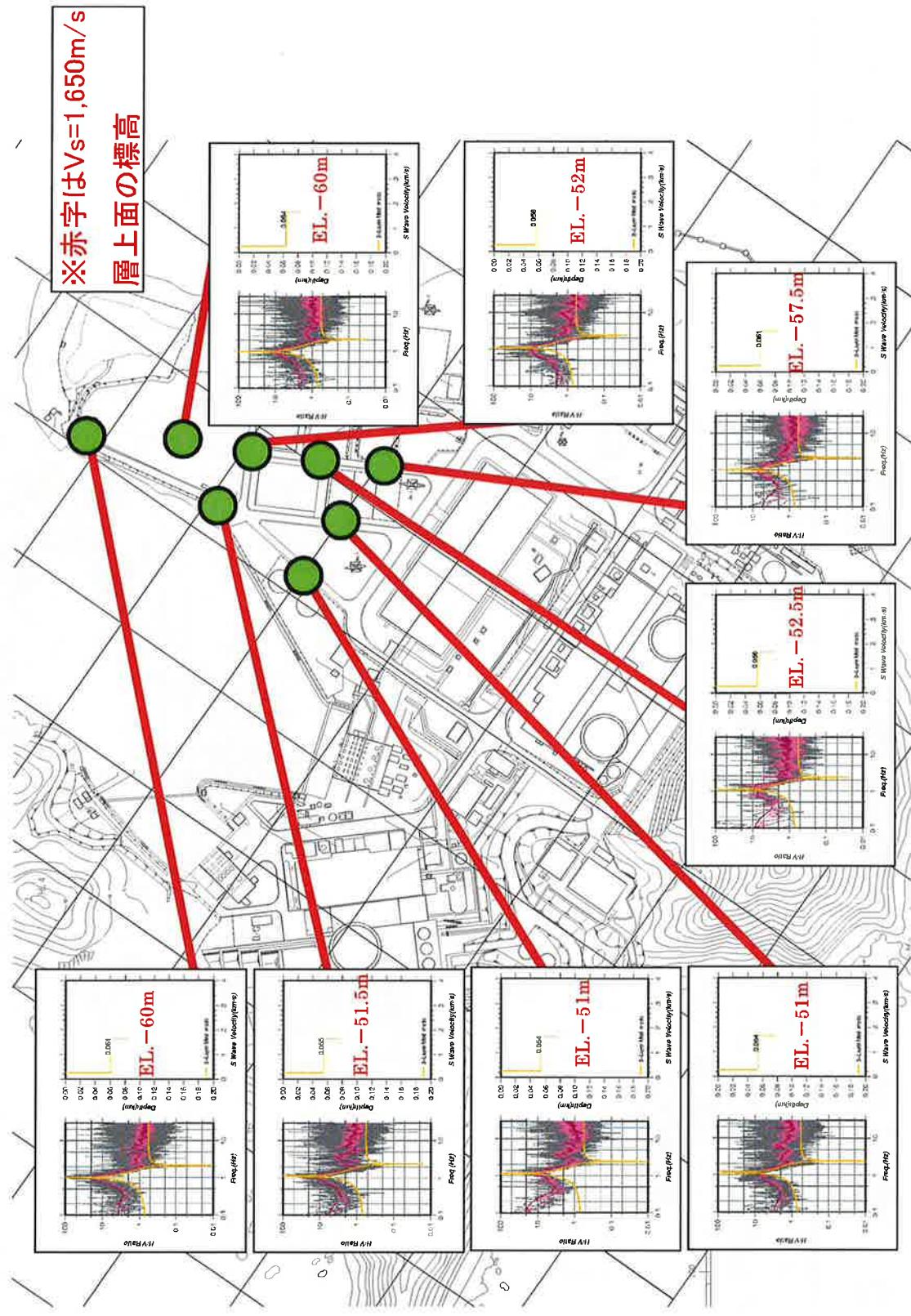


1. 2. 浅部地下構造の評価（単点微動観測）

第235回審査会合
資料再掲

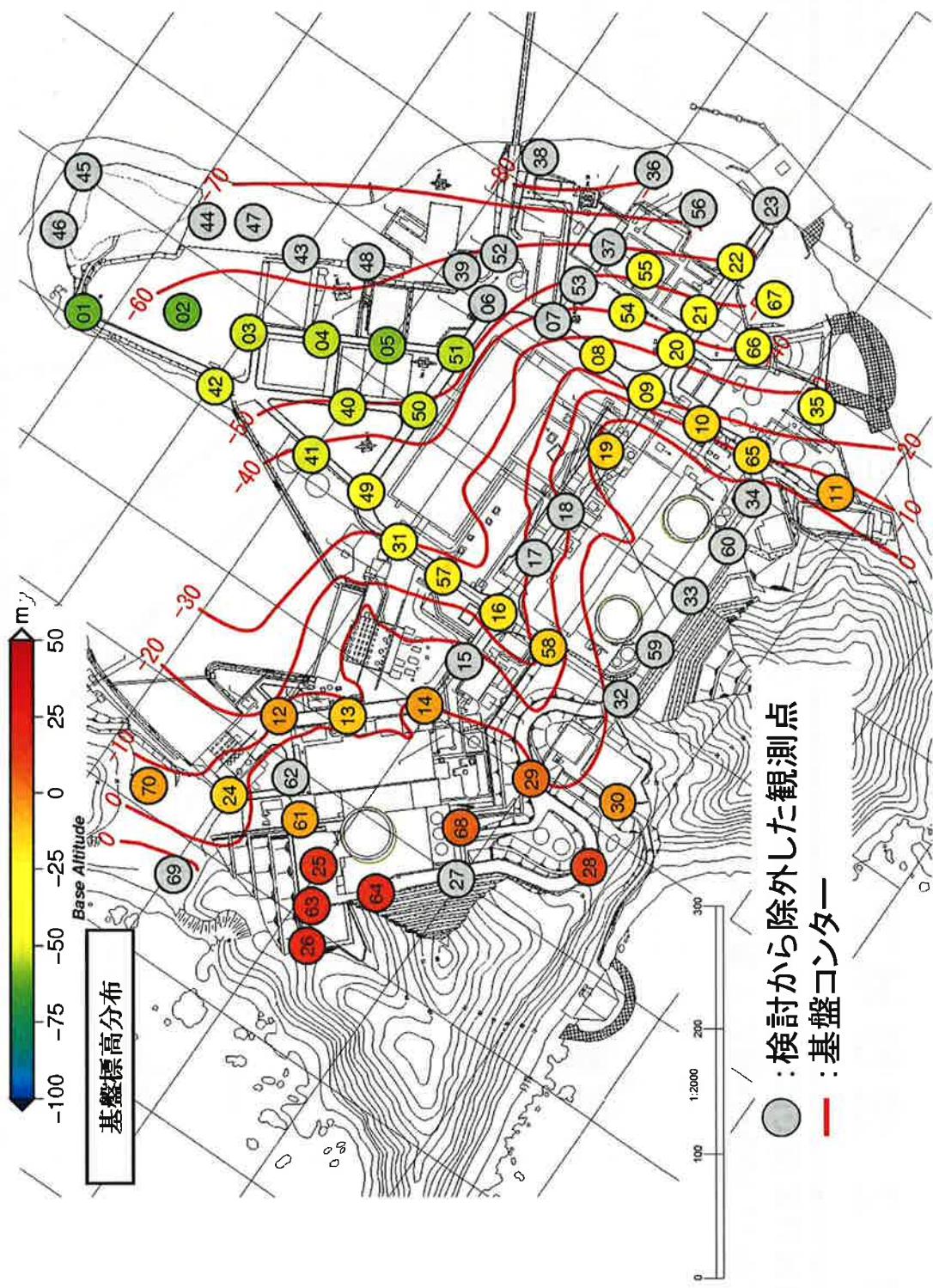
30

■敷地北側では、約1Hz付近にピークがみられ、概ね深さ55~60m付近(E.L.-50~-60m程度)にVs=1,650m/s層の上面を推定した。



1. 2. 淹部地下構造の評価（単点微動観測）

■H/Vスペクトルの同定結果から得られたVs=1,650m/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センターとも調和的である。



1. 2. 浅部地下構造の評価（解放基盤表面の設定）

第235回審査会合
資料再掲

32

■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、敷地全体にわたり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。

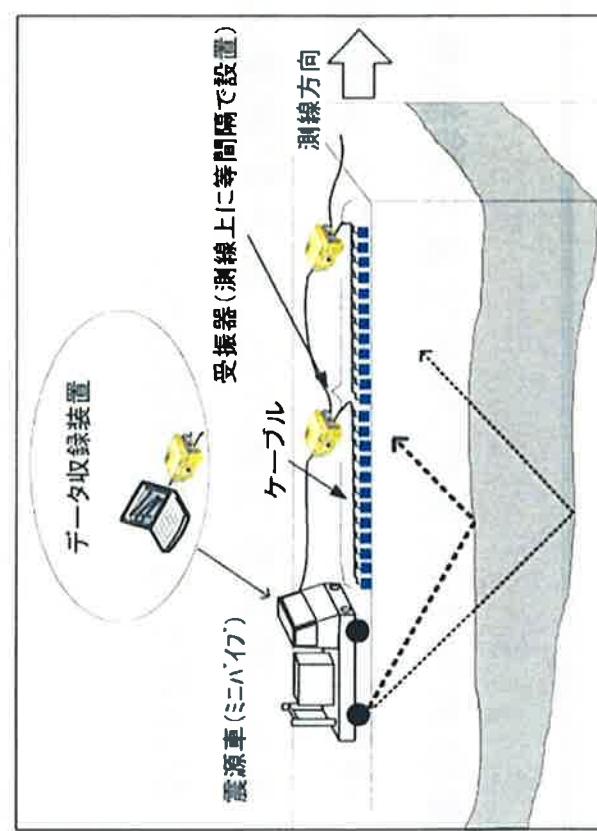
1. 2. 浅部地下構造の評価（反射法地震探査）



観測の様子



反射法地震探査の概念図



- 調査方法 反射法地震探査の概要
- 比較的深い地下構造(反射面位置)を推定するための調査
- 震源車により地表面で人工的に振動を発生させ、測線上に配置したセンサーにより地中から反射してくる波を観測する。

震源車の様子
(発震周波数範囲(スイープ長):10～100Hz(12秒))