

志賀原子力発電所2号炉
地下構造評価について

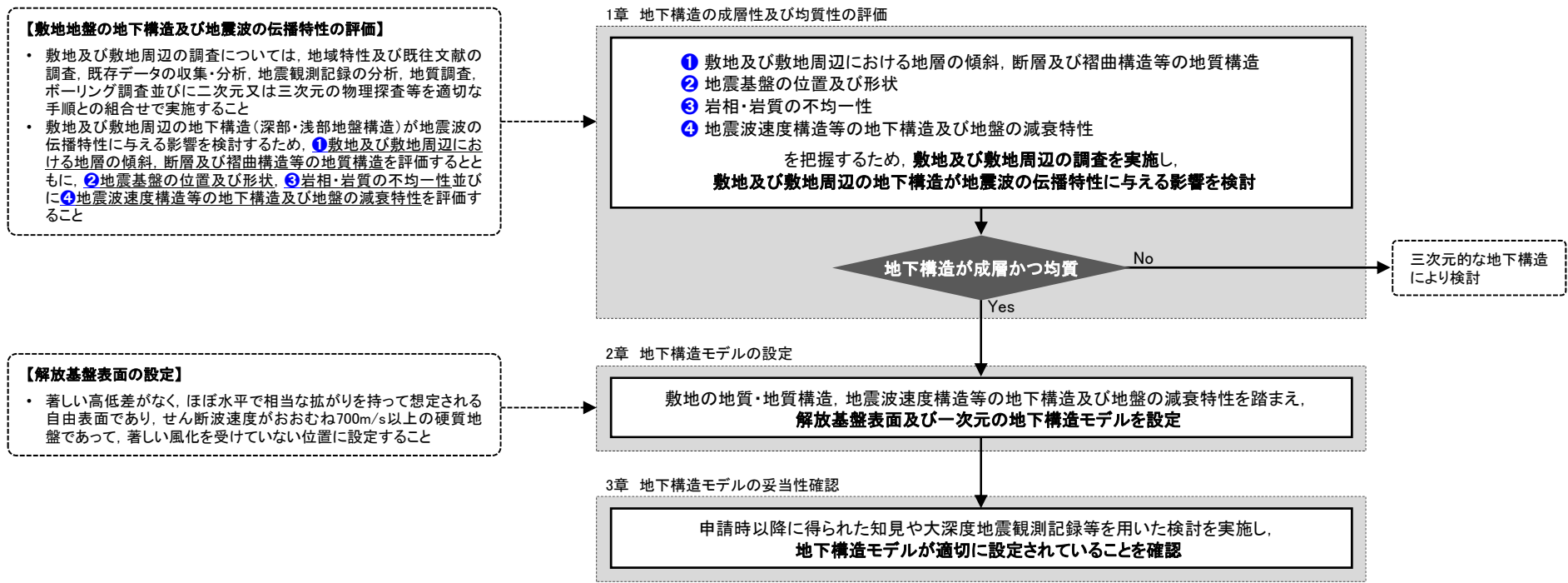
2023年10月20日
北陸電力株式会社

余白

- 当資料は, 申請時以降の調査及び検討を踏まえ, 申請時の評価内容を一部見直し, 地下構造評価の全体についてとりまとめたものである。
- 当資料の冒頭において, 今回とりまとめた資料の概要を以下の項目ごとに整理した。
 - I. 地下構造評価(P.4~15)
 - II. 地震発生層の設定(P.16~19)

I. 地下構造評価 — 評価の流れ —

- 地下構造評価は、「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」別記2（以下、「解釈別記2」という）及び「敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド」（以下、「審査ガイド」という）の要求事項を踏まえ、下記の流れで評価を行う。
 - まず、「①敷地及び敷地周辺における地層の傾斜、断層及び褶曲構造等の地質構造」、「②地震基盤の位置及び形状」、「③岩相・岩質の不均一性」及び「④地震波速度構造等の地下構造及び地盤の減衰特性」を把握するため、敷地及び敷地周辺の調査を実施する。調査については、地域特性及び既往文献の調査、既存データの収集・分析、地震観測記録の分析、地質調査、ボーリング調査並びに二次元又は三次元の物理探査等を組み合わせて実施する。また、上記①～④を把握した結果を踏まえ、敷地及び敷地周辺の地下構造（深部・浅部地盤構造）が地震波の伝播特性に与える影響を検討し、地下構造が成層かつ均質と認められるか評価を行う。（1章で説明）
 - つぎに、地下構造が成層かつ均質と認められる場合は、調査により把握した敷地の地質・地質構造、地震波速度構造等の地下構造及び地盤の減衰特性を踏まえ、解放基盤表面及び一次元の地下構造モデルを設定する。なお、地下構造が成層かつ均質と認められない場合は、別途、三次元的な地下構造により検討を行う。（2章で説明）
 - さらに、申請時以降に得られた知見や大深度地震観測記録等を用いた検討を実施し、地下構造モデルが適切に設定されていることを確認する。（3章で説明）
- 上記の内容を踏まえた地下構造評価フローを下図に示す。

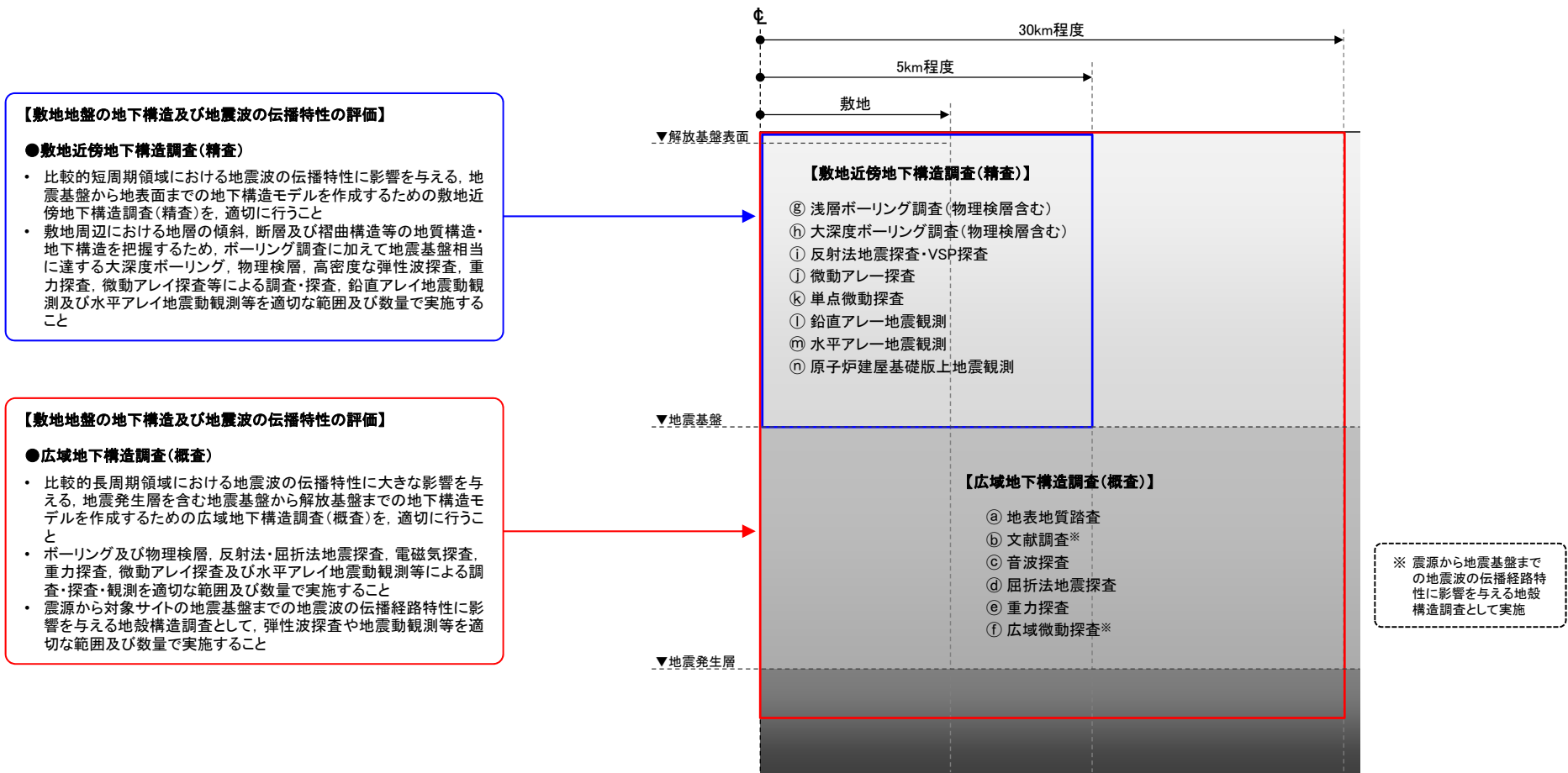


解釈別記2の要求事項

地下構造評価フロー

I. 地下構造評価 — 敷地及び敷地周辺の調査の手法等の概要 —

- 敷地及び敷地周辺の調査については、比較的長周期領域における地震波の伝播特性を対象とした「広域地下構造調査(概査)」及び比較的短周期領域における地震波の伝播特性を対象とした「敷地近傍地下構造調査(精査)」のそれぞれについて、地域特性及び既往文献の調査、既存データの収集・分析、地震観測記録の分析、地質調査、ボーリング調査並びに二次元又は三次元の物理探査等を組み合わせて実施する。
- 「広域地下構造調査(概査)」は敷地から半径30km程度以内の範囲、「敷地近傍地下構造調査(精査)」は敷地から半径5km程度以内の範囲を対象として調査を行う。具体的な調査の手法及び範囲を下図に示す。また、調査の目的と各調査の対象及び手法を整理して、P.6～7に示す。



審査ガイドの要求事項

敷地及び敷地周辺の調査の手法及び範囲

I. 地下構造評価 — 調査の目的と各調査の対象及び手法 — (1/2)

【調査の目的と各調査の対象及び手法(1/2)】

 : 地質・地質構造の調査
 : 物理探査による地下構造の検討
 : 観測記録による地下構造の検討

調査の目的		対象		手法※		詳細説明	
		水平方向	深さ方向	種別	内容		
①	敷地及び敷地周辺の地層の傾斜、断層及び褶曲構造等の地質構造の把握	敷地周辺	地表付近	㉑	地表地質踏査	地質・地質構造を確認する。	P.35～40
				㉒	文献調査	地質・地質構造を確認する。	
				㉓	音波探査	地質・地質構造を確認する。	
		敷地	EL-200m程度以浅	㉔	浅層ボーリング調査	地質・地質構造を確認する。	P.42～54
地震基盤以浅	㉕		大深度ボーリング調査	地質・地質構造を確認する。	P.70～72		
②	地震基盤の位置及び形状の把握	敷地周辺	地震基盤面	㉖	重力探査	ブーゲー異常を確認する。	P.76～77
				㉗	屈折法地震探査	P波速度構造を確認する。	P.80, P.83
		敷地近傍	地震基盤面	㉘	微動アレー探査	S波速度構造を確認する。	P.84～85
				㉙	大深度ボーリング調査	PS検層に基づくS波速度構造を確認する。	P.70～72
		敷地	地震基盤面	㉚	反射法地震探査・VSP探査	反射断面を確認する。	P.86～89
㉛	単点微動探査			地下の速度構造が反映されている微動H/Vスペクトル比を敷地の複数の観測点で比較する。	P.94～95		

※ 青字の調査内容は、地質・地質構造の審査において説明済みの内容

I. 地下構造評価 — 調査の目的と各調査の対象及び手法 — (2/2)

【調査の目的と各調査の対象及び手法(2/2)】

: 地質・地質構造の調査
 : 物理探査による地下構造の検討
 : 観測記録による地下構造の検討

調査の目的		対象		手法※		詳細説明		
		水平方向	深さ方向	種別	内容			
③	岩相・岩質の不均一性の把握	敷地周辺	地表付近	㉑	地表地質踏査	地質・地質構造を確認する。	P.35～40	
				㉒	文献調査	地質・地質構造を確認する。		
				㉓	音波探査	地質・地質構造を確認する。		
		敷地	EL-200m程度以浅	㉔	浅層ボーリング調査	地質・地質構造を確認する。	P.42～54	
地震基盤以浅	㉕		大深度ボーリング調査	地質・地質構造を確認する。	P.70～72			
④	地震波速度構造等の地下構造及び地盤の減衰特性の把握	敷地周辺	地震基盤面	㉖	屈折法地震探査	P波速度構造を確認する。	P.80, P.83	
				地震基盤より深部	㉗	文献調査	屈折法地震探査に基づくP波速度構造を確認する。	P.80～82
					㉘	文献調査	地震波トモグラフィーに基づくP波速度構造・S波速度構造を確認する。	P.78～79
		敷地近傍	地震基盤面	㉙	広域微動探査	地下の速度構造が反映されている広域微動観測記録に基づき複数の観測点ペアで評価した群速度を比較する。	P.90～92	
				㉚	微動アレー探査	S波速度構造を確認する。	P.84～85	
		敷地	地表付近	㉛	単点微動探査	S波速度構造を確認する。	P.94, P.96	
				EL-200m程度以浅	㉜	浅層ボーリング調査	PS検層に基づくP波速度構造・S波速度構造, 密度試験に基づく密度構造及びQ値測定に基づく減衰構造を確認する。	P.55～58, P.73
			地震基盤以浅	㉝	大深度ボーリング調査	PS検層に基づくP波速度構造・S波速度構造, 密度検層に基づく密度構造及びQ値測定に基づく減衰構造を確認する。	P.70～73	
				㉞	水平アレー地震観測	観測点間の応答スペクトル比を確認し, 地震波の到来方向ごとに比較する。	P.115～124	
				㉟	鉛直アレー地震観測	観測点間の応答スペクトル比を確認し, 地震波の到来方向ごとに比較する。	P.125～128	
㊱	原子炉建屋基礎版上地震観測	原子炉建屋基礎版上における加速度時刻歴波形及び応答スペクトルを1号と2号で比較する。	P.129～138					

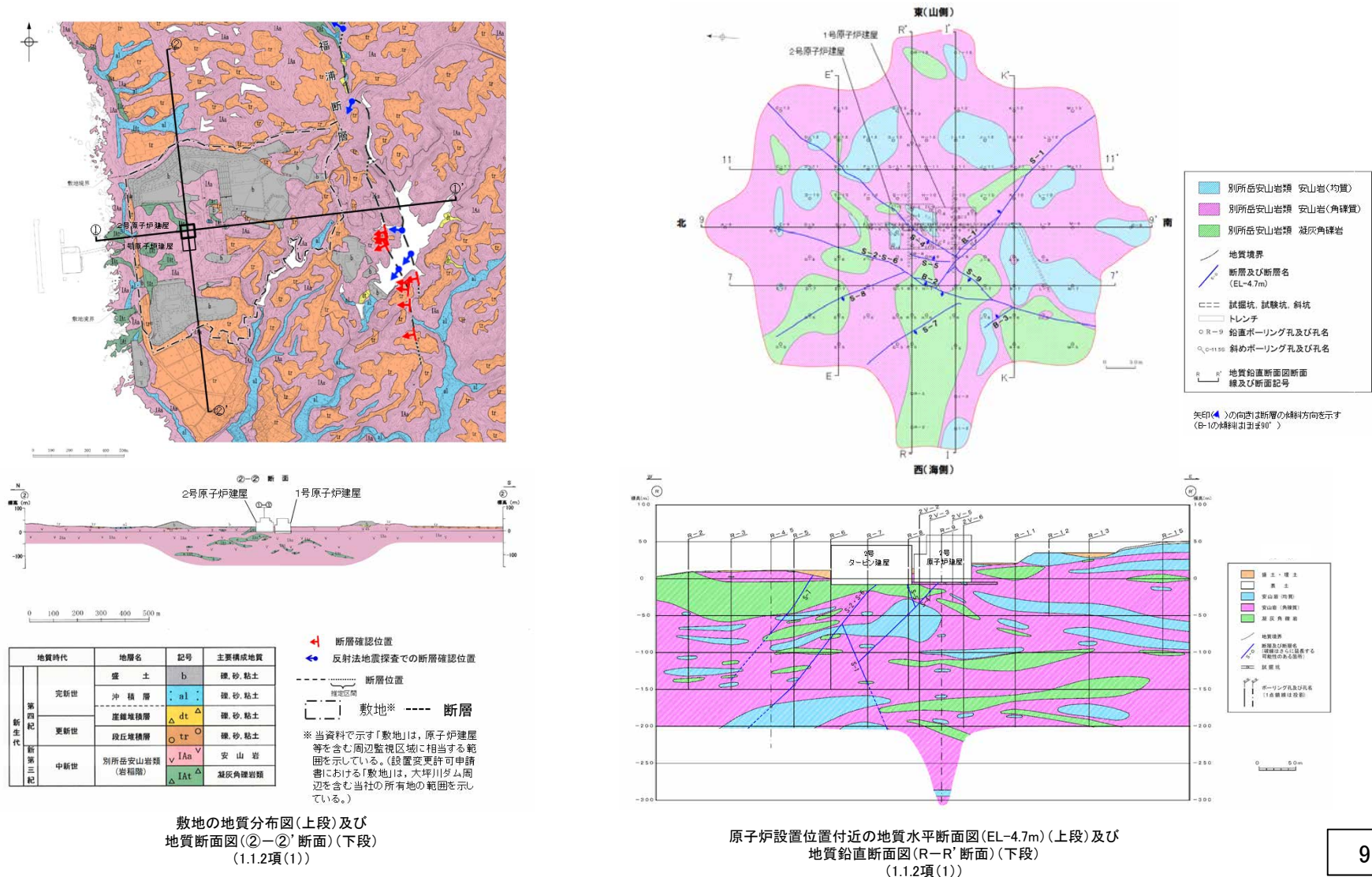
※ 青字の調査内容は, 地質・地質構造の審査において説明済みの内容

I. 地下構造評価 — 評価結果(1章 地下構造の成層性及び均質性の評価) — (2/6)

1.1.2 敷地の地質・地質構造(P.42~73)

(1) 敷地の地質・地質構造

- 敷地の地質は、新第三紀の岩褶階の別所岳安山岩類と、これを覆う第四紀の堆積物からなる。
- 別所岳安山岩類は、敷地に広く分布しており、安山岩を主体とし、凝灰角礫岩を挟在する。
- 原子炉設置位置付近の地質は、別所岳安山岩類の安山岩(均質)、安山岩(角礫質)及び凝灰角礫岩からなる。
- 2号原子炉建屋底盤の岩盤にはほとんど変質部は認められず、主に(Ba)級、(Bb)級の岩級区分を示す安山岩が広く分布している。



敷地の地質分布図(上段)及び地質断面図(②-②'断面)(下段)(1.1.2項(1))

原子炉設置位置付近の地質水平断面図(EL-4.7m)(上段)及び地質鉛直断面図(R-R'断面)(下段)(1.1.2項(1))

I. 地下構造評価 — 評価結果(1章 地下構造の成層性及び均質性の評価) — (3/6)

(2) 原子炉設置位置付近の速度構造等(EL-200m以浅)

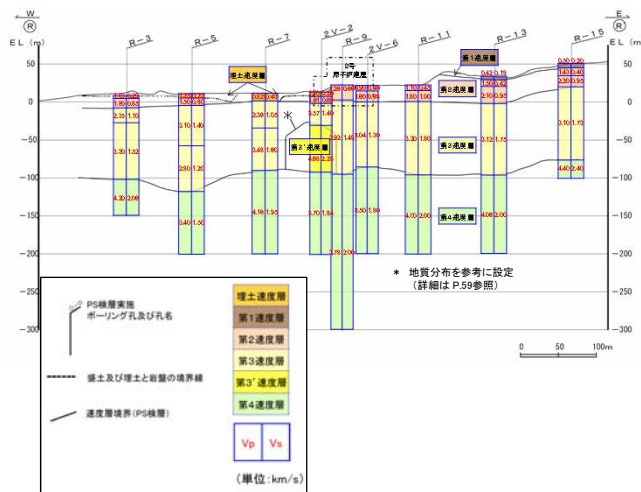
- 26孔で浅層ボーリング調査を実施。
- 原子炉設置位置付近のEL-200m以浅の速度構造は、概ね水平な層構造を呈すものの、周囲と異なる速度特性を示す範囲として、第3'速度層及び第4'速度層が認められる。
- 二次元FEMモデルを用いた地震動シミュレーションによる検討を実施して、第3'速度層及び第4'速度層が地震動へ与える影響を確認した結果、第3'速度層または第4'速度層をモデル化した二次元FEMモデル及び第3'速度層または第4'速度層をモデル化しない二次元FEMモデルを用いた地震動シミュレーションによる応答波形において、顕著な違いはみられないことから、第3'速度層及び第4'速度層が解放基盤表面での地震動へ与える影響は小さいものと考えられる。

(3) 原子炉設置位置付近の速度構造等(地震基盤以浅)

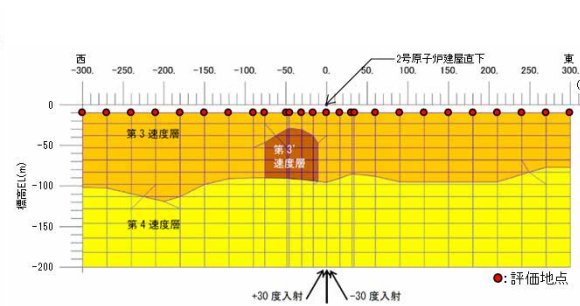
- 2孔で大深度ボーリング調査を実施。
- 原子炉設置位置付近の地震基盤以浅の地質は、下位から先第三紀の花崗岩、古第三紀の椴原階(砂岩と頁岩の互層、礫岩)、新第三紀の岩稲階(安山岩、凝灰角礫岩)からなる。また、花崗岩以浅におけるP波速度及びS波速度はそれぞれ4km/s及び2km/s程度、花崗岩以深におけるP波速度及びS波速度はそれぞれ5km/s及び3km/s程度を示す。
- 敷地の地震基盤面は、D-8.6孔の位置においては、S波速度が3km/s程度以上となる花崗岩上面(深さ1km程度)に位置する。

(4) 原子炉設置位置付近の減衰構造(地震基盤以浅)

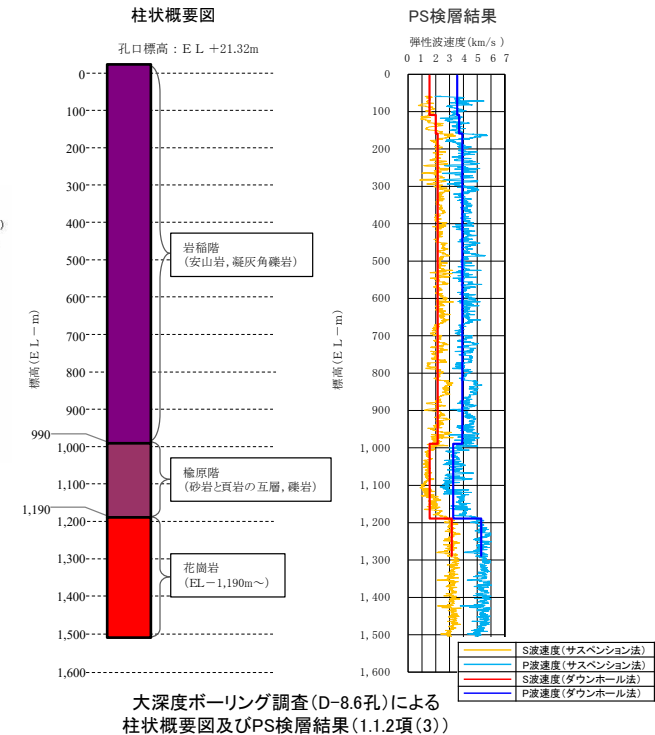
- 2孔でQ値測定を実施。
- 原子炉設置位置付近のQ値は、比較的浅部(EL-200m程度以浅)については10程度、また、それより深部については、深さ方向に大きくなる傾向がみられる。



PS検層結果に基づく速度層断面図(R-R'断面)
(1.1.2項(2))



二次元FEMモデルを用いた地震動シミュレーションの
検討のイメージ(第3'速度層の場合の例)
(1.1.2項(2))



大深度ボーリング調査(D-8.6孔)による
柱状概要図及びPS検層結果(1.1.2項(3))

- 敷地の地質・地質構造の調査の結果、敷地の地質は、新第三紀の岩稲階の別所岳安山岩類が広く分布しており、安山岩を主体とし、凝灰角礫岩を挟在するものの、敷地の速度構造は概ね水平な層構造を呈す。ただし、周囲と異なる速度特性を示す範囲として、第3'速度層及び第4'速度層が認められることについては、二次元FEMモデルを用いた地震動シミュレーションによる検討結果を踏まえ、第3'速度層及び第4'速度層が解放基盤表面での地震動へ与える影響は小さいものと評価した。
- また、敷地の地震基盤面は、D-8.6孔の位置においては、深さ1km程度に位置する。

I. 地下構造評価 — 評価結果(1章 地下構造の成層性及び均質性の評価) — (4/6)

1.2 物理探査による地下構造の検討

地震基盤の位置及び形状、地震基盤より深部の速度構造等を把握するため、物理探査による地下構造の検討を実施。

1.2.1 重力探査(P.76~77)

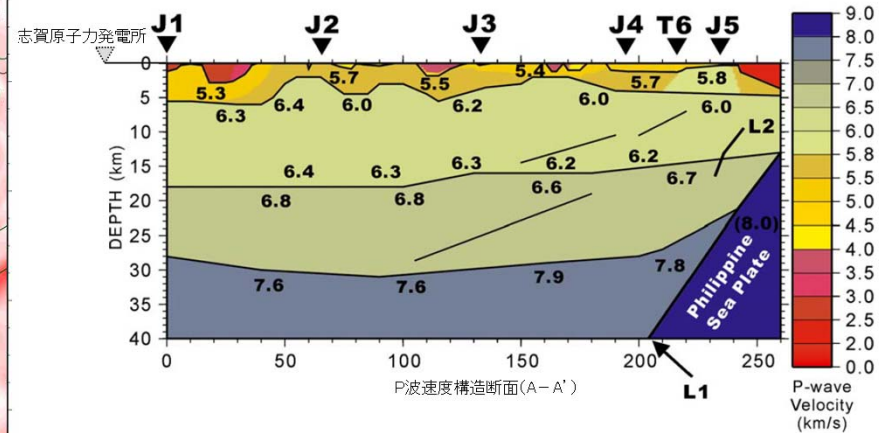
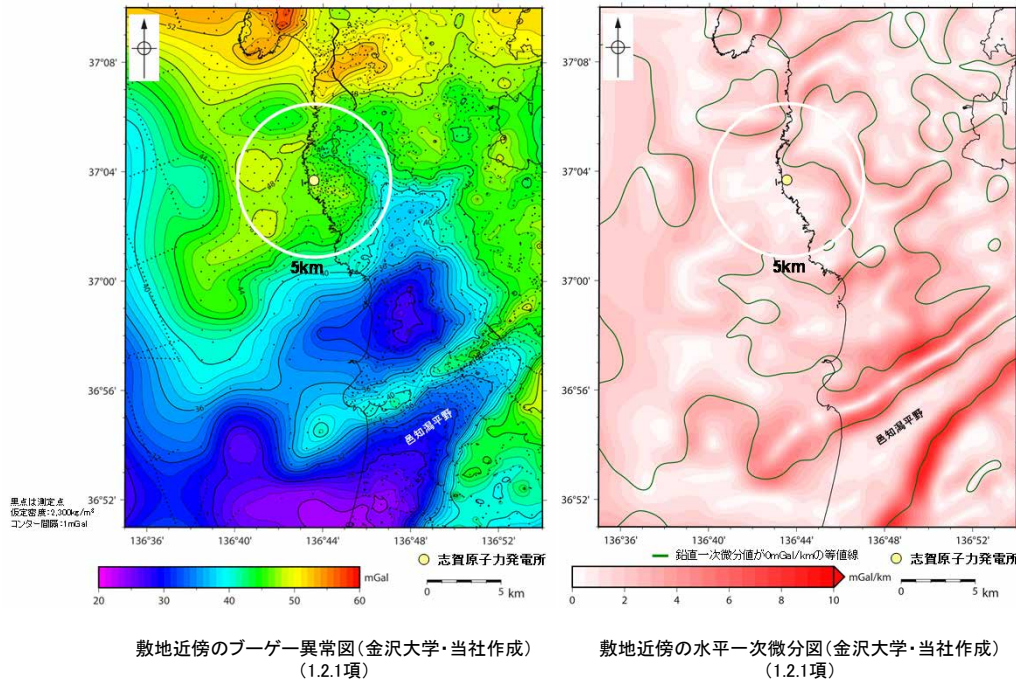
- 敷地周辺の地震基盤面の形状を把握するため、敷地周辺のブーゲー異常図及び水平一次微分図を確認。
- 敷地近傍(敷地から半径5km範囲)の重力異常値はほぼ一定であり、高重力異常域と低重力異常域との境界は明瞭ではなく、敷地近傍には地震基盤面の形状の急激な変化を示唆する顕著な線状の重力異常急変部は認められないことから、敷地近傍の地震基盤面に顕著な不整形はないものと考えられる。

1.2.2 地震波トモグラフィー(P.78~79)

- 敷地周辺の地震基盤より深部(深さ5km程度以深)の速度構造を把握するため、地震波トモグラフィーに基づくP波速度構造及びS波速度構造を確認。
- 敷地から10km程度の範囲においては、深さ5km程度以深の速度構造に顕著な不整形はみられない。

1.2.3 屈折法地震探査(P.80~83)

- 敷地周辺の地震基盤面の位置及び形状、並びに地震基盤より深部の速度構造を把握するため、Iidaka et al.(2003)、Iidaka et al.(2008)及び当社による屈折法地震探査に基づくP波速度構造を確認。
- 敷地周辺の地震基盤面は深さ1km程度であり、概ね水平に分布している。また、敷地から10km程度の範囲において、地震基盤より深部の速度構造に顕著な不整形はみられない。



※Iidaka et al.(2003)に一部加筆

Iidaka et al.(2003)によるP波速度構造断面(1.2.3項)

I. 地下構造評価 — 評価結果(1章 地下構造の成層性及び均質性の評価) — (5/6)

1.2.4 微動アレー探査(P.84~85)

- 敷地近傍の地震基盤面の位置及び形状を把握するため、微動アレー探査に基づくS波速度構造を確認し、地震基盤に相当する層の上面の深さを複数の地点で比較。
- 敷地近傍の地震基盤面は深さ1km程度であり、概ね水平に分布している。

1.2.5 反射法地震探査・VSP探査(P.86~89)

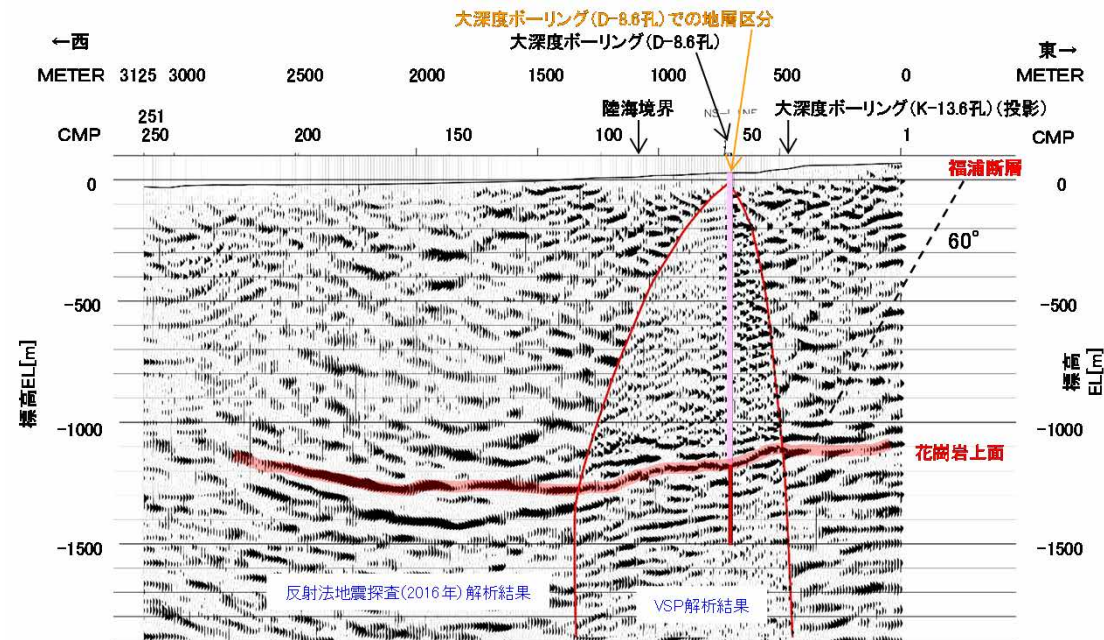
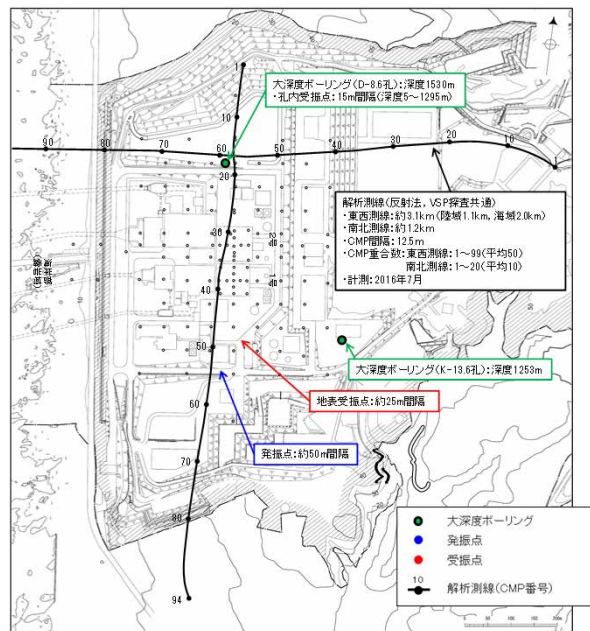
- 敷地の地震基盤面の位置及び形状を把握するため、大深度ボーリング孔を用いたVSP探査及び海陸連続で測線を配置した反射法地震探査に基づく反射断面を確認。
- 敷地の地震基盤面は深さ1km程度であり、概ね水平に分布している。

1.2.6 広域微動探査(P.90~93)

- 敷地周辺の地震基盤より深部の速度構造を把握するため、地下の速度構造が反映されている広域微動観測記録に基づき複数の観測点ペアで評価した群速度を比較。
- 敷地周辺の地震基盤より深部の速度構造を反映していると考えられる周期帯において、群速度はいずれも同様の分散性を示すことから、敷地周辺の地震基盤より深部の速度構造に、顕著な不整形はないものと考えられる。

1.2.7 単点微動探査(P.94~98)

- 敷地の地震基盤面の形状を把握するため、地下の速度構造が反映されている微動H/Vスペクトル比を敷地の複数の観測点で比較。
- 敷地の地震基盤面の位置を反映していると考えられる周期帯において、各観測点の微動H/Vスペクトル比に顕著な違いはないことから、敷地の地震基盤面の形状に、顕著な不整形はないものと考えられる。
- 原子炉設置位置周辺において第3速度層上面の形状を把握するため、敷地の複数の観測点で、微動H/Vスペクトル比を用いた逆解析により第3速度層上面の標高を推定。
- 原子炉設置位置周辺の第3速度層上面はEL-10m以浅に位置しており、顕著な不整形はみられない。



反射法地震探査(2016年)・VSP探査結果(東西測線:深度断面)(1.2.5項)

- 物理探査による地下構造の検討の結果、敷地周辺の地震基盤面は深さ1km程度であり、概ね水平に分布しているものと評価した。
- 敷地周辺の地震基盤面より深部の速度構造に顕著な不整形はないものと評価した。
- 原子炉設置位置周辺の第3速度層上面はEL-10m以浅に位置し、また顕著な不整形はないものと評価した。

I. 地下構造評価 — 評価結果(1章 地下構造の成層性及び均質性の評価) — (6/6)

1.3 観測記録による地下構造の検討

敷地の地震基盤以浅の速度構造を把握するため、観測記録による地下構造の検討を実施。

1.3.1 水平アレー地震観測記録(地表)を用いた検討(P.115~120)

- 地表の水平アレー地震観測点間の応答スペクトル比を確認し、地震波の到来方向ごとに比較。
- 各観測点間の応答スペクトル比の周期0.5秒以上において地震波の到来方向による顕著な違いはなく、概ね1程度であることから、各観測点周辺の地震基盤以浅の速度構造(表層地盤を除く)に顕著な違いはないと考えられる。

1.3.2 水平アレー地震観測記録(地中)を用いた検討(P.121~124)

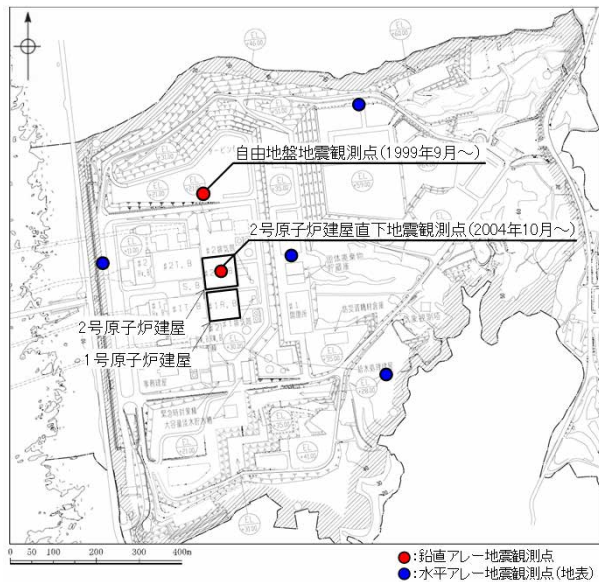
- EL-200mの地震観測点間の応答スペクトル比を確認し、地震波の到来方向ごとに比較。
- 2号原子炉建屋直下EL-200mに対する自由地盤EL-200mの応答スペクトル比に地震波の到来方向による顕著な違いはなく、概ね1程度であることから、2号原子炉建屋直下地震観測点周辺と自由地盤地震観測点周辺において、EL-200m~地震基盤の速度構造に顕著な違いはないと考えられる。

1.3.3 鉛直アレー地震観測記録を用いた検討(P.125~128)

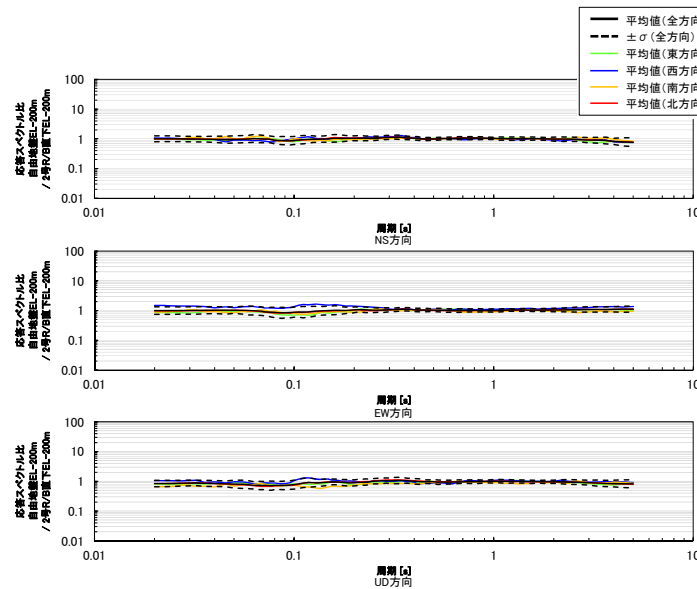
- 鉛直アレー地震観測点間の応答スペクトル比を確認し、地震波の到来方向ごとに比較。
- 自由地盤EL-200mに対する自由地盤EL-10mの応答スペクトル比に地震波の到来方向による顕著な違いはないことから、自由地盤地震観測点周辺のEL-10m~EL-200mに、地震動へ影響を及ぼすような特異な速度構造はないと考えられる。

1.3.4 原子炉建屋基礎版上の地震観測記録を用いた検討(P.129~138)

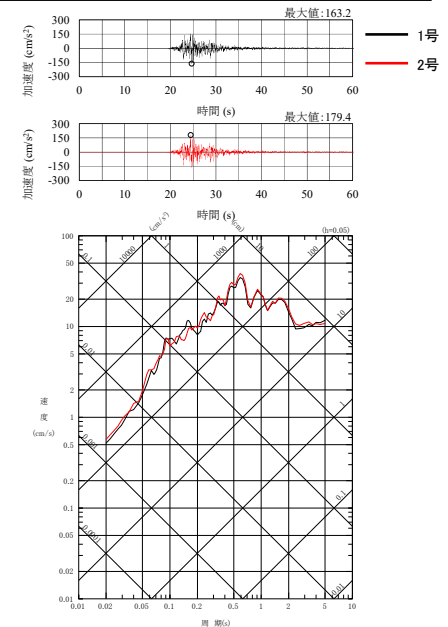
- 原子炉建屋基礎版上における加速度時刻歴波形及び応答スペクトルを1号と2号と比較。
- 加速度時刻歴波形及び応答スペクトルに顕著な違いはないことから、1号原子炉建屋周辺及び2号原子炉建屋周辺において、地震基盤以浅の速度構造に顕著な違いはないと考えられる。



敷地地盤における主な地震観測点配置図



応答スペクトル比(自由地盤EL-200m/2号原子炉建屋直下EL-200m)の地震波の到来方向ごとの比較(1.3.2項)



1号及び2号原子炉建屋基礎版上における加速度時刻歴波形及び応答スペクトルの比較(1.3.4項)

- 観測記録による地下構造の検討の結果、敷地の地震基盤以浅の速度構造に、地震動へ影響を及ぼすような特異な速度構造はないものと評価した。
- 以上の1.1~1.3節の調査及び検討の結果より、敷地の地下構造は成層かつ均質と評価できるものと判断した。

I. 地下構造評価 — 評価結果(2章 地下構造モデルの設定) —

2. 地下構造モデルの設定

「敷地近傍地下構造調査(精査)」及び「広域地下構造調査(概査)」により把握した敷地の地質・地質構造、地震波速度構造等の地下構造及び地盤の減衰特性を踏まえ、解放基盤表面及び一次元の地下構造モデルを設定。

解放基盤表面の設定(P.144)

- 敷地地盤は、安山岩を主体とした別所岳安山岩類が広く分布し、ほぼ水平で相当な拡がりをもっており、せん断波速度が1500m/sである第3速度層において著しい風化を受けていないと判断されるEL-10mの位置を解放基盤表面として設定。

地下構造モデルの設定(P.145~156)

- 一次元の地下構造モデルは、敷地における地盤調査(浅層ボーリング調査、大深度ボーリング調査及び微動アレー探査)の結果に基づき設定。また、これら地盤調査の範囲より深部については文献に基づき設定。
- また、大深度ボーリング調査結果(D-8.6孔)よりS波速度が3km/s程度以上となる地震基盤面が深さ1.19kmに位置すること、及び物理探査による地下構造の検討(1.2節)の結果より敷地周辺の地震基盤面は深さ1km程度であり、概ね水平に分布していることを踏まえ、敷地の地震基盤面はEL-1.19kmと設定。

設定した地下構造モデル

標高EL	層厚(m)	S波速度 Vs (km/s)	P波速度 Vp (km/s)	密度 ρ (t/m ³)	減衰定数 h (%)	Q値
解放基盤表面 ▽	-10m	1.50	3.19	2.37	3.000	16.67
	-108.9m	1.96	3.96	2.38	3.000	16.67
	-200m	2.14	3.92	2.34	1.500	33.33
	-990m	1.56	3.26	2.41	1.000	50
地震基盤面 ▽	-1.19km	3.16	5.29	2.67	0.250	200
	-1.79km	3.3	5.4	2.7	0.250	200
	-3km	3.5	5.6	2.7	0.250	200
	-5.5km	3.6	6.3	2.7	0.185	270
	-18km	3.9	6.8	2.8	0.125	400
	-28km	4.4	7.6	3.1	0.100	500
	∞					

↑ 統計的グリーン関数法 ↓
理論的手法 ↓

:浅層ボーリング調査結果に基づき設定
 :大深度ボーリング調査結果に基づき設定
 :浅層ボーリング調査結果及び大深度ボーリング調査結果に対して安全側に設定
 :微動アレー探査結果に基づき設定
 :文献に基づき設定

※ 統計的グリーン関数法及び理論的手法に用いる範囲を表の右側に示す。

➤ 以上により、上表に示す解放基盤表面及び一次元の地下構造モデルを設定した。

I. 地下構造評価 — 評価結果(3章 地下構造モデルの妥当性確認) —

3. 地下構造モデルの妥当性確認

申請時以降に得られた知見や大深度地震観測記録等を用いた検討を実施し、地下構造モデルが適切に設定されていることを確認。

3.1 地盤増幅特性の妥当性確認

3.1.1 逆解析による地盤増幅特性の検討(P.161~166)

- 敷地の鉛直アレー地震観測記録を用いた逆解析により推定した地下構造モデルと設定した地下構造モデルによる地盤増幅率を比較。
- 設定した地下構造モデルの地盤増幅率は、逆解析により推定した地下構造モデルの地盤増幅率を上回ることから、設定した地下構造モデルは安全側に設定されていると考えられる。

3.1.2 地震動シミュレーションによる地盤増幅特性の検討(P.167~169)

- 敷地の鉛直アレー地震観測記録を用いて、設定した地下構造モデルによる地震動シミュレーションを行い、シミュレーション解析結果と観測記録を比較。
- シミュレーション解析結果は観測記録を上回ることから、設定した地下構造モデルは安全側に設定されていると考えられる。

3.2 減衰構造の妥当性確認

3.2.1 地震波干渉法を用いた減衰の検討(P.171~179)

- 地震波干渉法を敷地の鉛直アレー地震観測記録に適用することにより減衰を推定し、設定した地下構造モデルの減衰と比較。
- 推定したQ値が設定した地下構造モデルのQ値を下回ることから、設定した地下構造モデルのEL-10m~EL-200mの減衰構造は安全側に設定されていると考えられる。

3.2.2 岩石コアを用いた減衰の検討(P.180~183)

- 敷地で実施したボーリング調査により得られた岩石コアを用いて超音波試験により減衰を推定し、設定した地下構造モデルの減衰と比較。
- 推定したQ値が設定した地下構造モデルのQ値を下回ることから、設定した地下構造モデルのEL-200m~EL-990mの減衰構造は安全側に設定されていると考えられる。

3.2.3 S波直達上昇波を用いた減衰の検討(P.184~187)

- 敷地の鉛直アレー地震観測記録のS波直達上昇波を用いて減衰を推定し、設定した地下構造モデルの減衰と比較。
- 推定したQ値が設定した地下構造モデルのQ値を下回ることから、設定した地下構造モデルのEL-200m~EL-1.19kmの減衰構造は安全側に設定されていると考えられる。

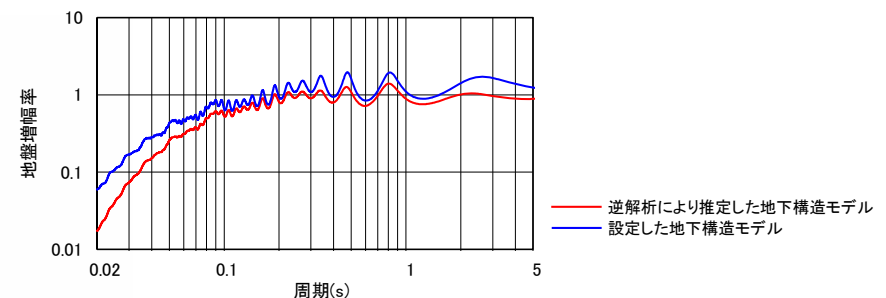
3.3 速度構造の妥当性確認(P.189~191)

- 微動アレー探査により得られた位相速度と設定した地下構造モデルの理論位相速度を比較。
- 微動アレー探査により得られた位相速度と調和的であることから、設定した地下構造モデルのEL-1.19km以下の速度構造は適切に設定されていると考えられる。
- 敷地周辺の微動観測記録により得られた群速度と設定した地下構造モデルの理論群速度を比較。
- 微動観測記録により得られた群速度と調和的であることから、設定した地下構造モデルの地震基盤より深部の速度構造は適切に設定されていると考えられる。
- 申請時以降に得られた知見(Matsubara et al.(2022))において評価された敷地位置における速度構造と設定した地下構造モデルの速度構造を比較。
- Matsubara et al.(2022)により評価された敷地位置における地震基盤面より深部の速度構造と調和的であることから、設定した地下構造モデルの地震基盤面より深部の速度構造は適切に設定されていると考えられる。

層	標高EL (m)	層厚 (m)	S波速度 Vs (km/s)	P波速度 Vp (km/s)	密度 ρ (t/m ³)	減衰定数 h (%)	Q値
解放基盤面	-10m	98.9	1.50	3.19	2.37	3.000	16.67
	-108.9m	91.1	1.96	3.96	2.38	3.000	16.67
地震基盤面	-200m	790	2.14	3.92	2.34	1.500	33.33
	-990m	200	1.56	3.26	2.41	1.000	50
	-1.19km	600	3.16	5.29	2.67	0.250	200
	-1.79km	1.210	3.3	5.4	2.7	0.250	200
	-3km	2.500	3.5	5.6	2.7	0.250	200
	-5.5km	12.500	3.6	6.3	2.7	0.185	270
	-18km	10.000	3.9	6.8	2.8	0.125	400
	-28km	∞	4.4	7.6	3.1	0.100	500

 : 3.1節で確認した範囲
 : 3.2節で確認した範囲
 : 3.3節で確認した範囲

設定した地下構造モデルにおいて妥当性を確認した範囲

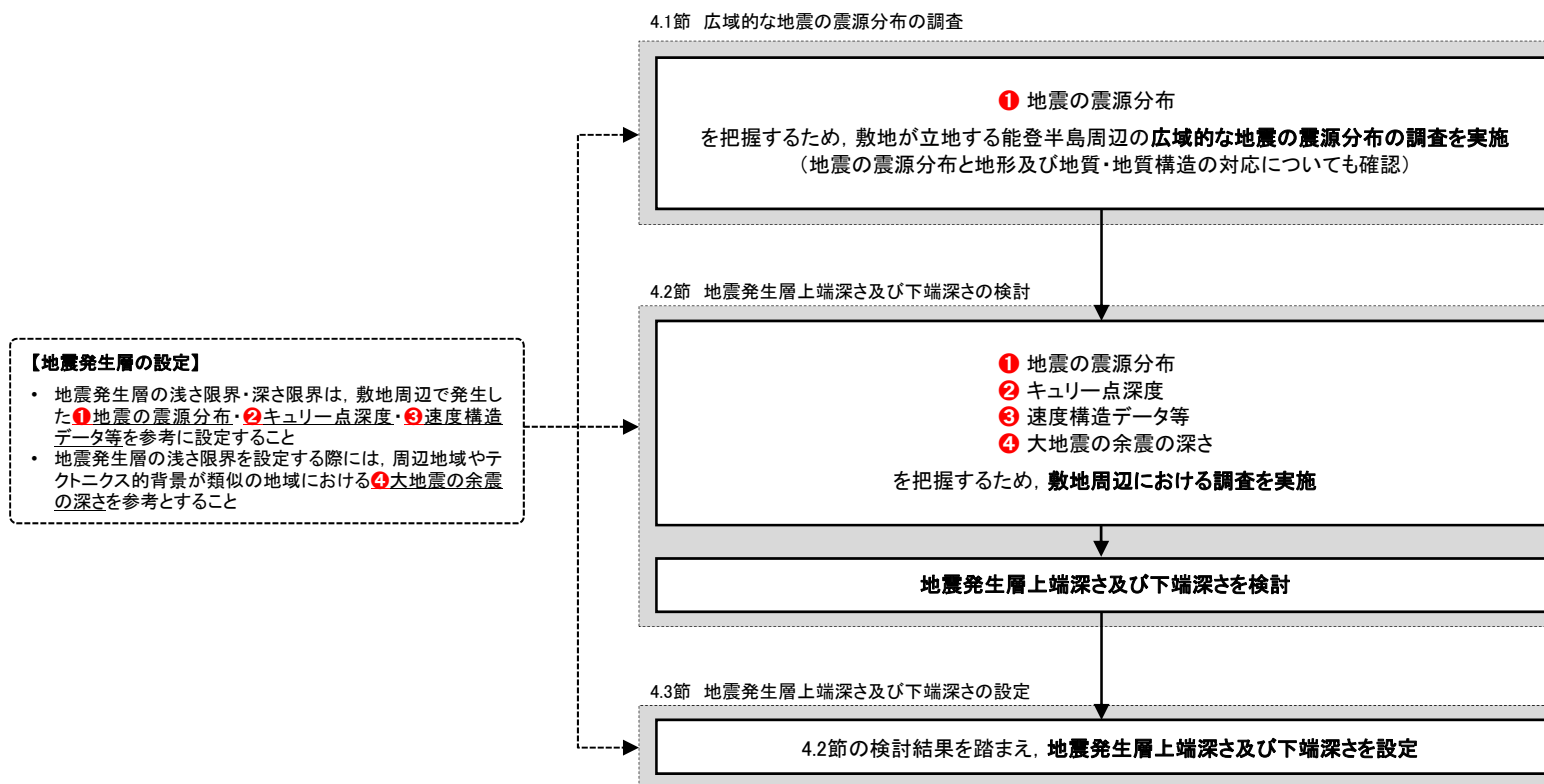


地盤増幅特性の妥当性確認結果(水平方向の地盤増幅率)(3.1.1項)

- 以上により、地下構造モデルの地盤増幅特性、減衰構造及び速度構造は適切に設定されており、地下構造モデルの妥当性を確認した。(追加検討の結果は申請時の検討内容と整合的であり、申請時において設定した地下構造モデルに変更はない)

II. 地震発生層の設定 —設定の流れ—

- 地震発生層は、審査ガイドの要求事項を踏まえ、下記の流れで設定を行う。
 - ・ まず、敷地が立地する能登半島周辺の「①地震の震源分布」を把握するため、広域的な地震の震源分布の調査を行う。(4.1節で説明)
 - ・ つぎに、敷地周辺の「①地震の震源分布」、「②キュリー点深度」、「③速度構造データ等」及び「④大地震の余震の精密調査による観測点直下及びその周辺の精度の良い震源の深さ」(以下、「大地震の余震の深さ」という)を把握するため、調査を実施する。また、敷地周辺の①～④を把握した結果を踏まえ、地震発生層上端深さ及び下端深さを検討する。(4.2節で説明)
 - ・ 最後に、上記の検討結果を踏まえ、地震発生層上端深さ及び下端深さを設定する。(4.3節で説明)
- 上記の内容を踏まえた地震発生層の設定フローを下図に示す。



II. 地震発生層の設定 — 調査の手法等の概要 —

- 4.1節において実施する広域的な地震の震源分布の調査及び4.2節において実施する敷地周辺における地震発生層上端深さ及び下端深さに係る調査の目的と各調査の対象及び手法を下表に示す。

【広域的な地震の震源分布の調査の目的、対象及び手法】

調査の目的	対象		手法		詳細説明
	水平方向	深さ方向	種別	内容	
① 地震の震源分布の把握	能登半島周辺	深さ30km以浅 (内陸地殻内)	気象庁「地震月報(カタログ編)」の震源データに基づく検討	震源データから、地震の震源分布を確認する。 (地震の震源分布と地形及び地質・地質構造の対応についても確認する)	P.201～209

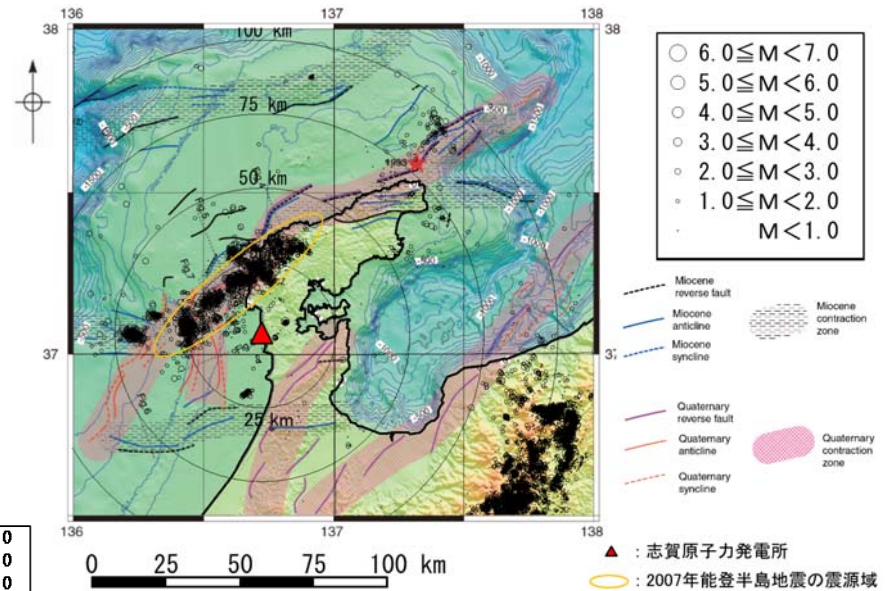
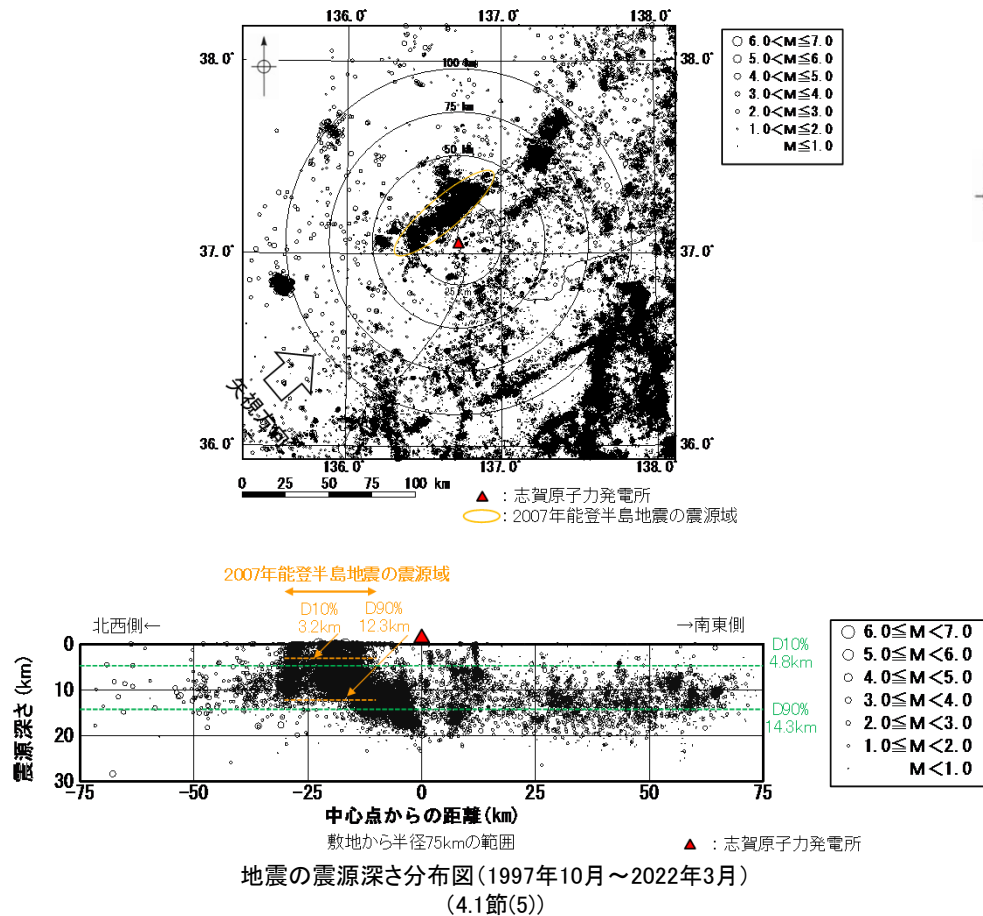
【敷地周辺における地震発生層上端深さ及び下端深さに係る調査の目的と各調査の対象及び手法】

調査の目的	対象		手法		詳細説明
	水平方向	深さ方向	種別	内容	
① 地震の震源分布の把握	敷地周辺	上端深さ 下端深さ	気象庁「地震月報(カタログ編)」の震源データに基づく検討	D10%及びD90%を検討する。	P.213～214
			文献調査	D10%及びD90%を確認する。	P.213, P.215
② キュリー点深度の把握		下端深さ	文献調査	キュリー点深度分布図から、D90%と相関があるキュリー点深度を確認する。	P.226～227
③ 速度構造データ等の把握		上端深さ	文献調査	速度構造断面から、P波速度が5.8km/sの層の上端深さを確認する。	P.216～219
			群速度に基づく検討	敷地周辺の微動観測記録による群速度と敷地の地下構造モデルによる理論群速度を比較することで、P波速度が5.8km/sの層の上端深さを検討する。	P.216, P.220
		下端深さ	文献調査	コンラッド面深さの図から、コンラッド面深さを確認する。	P.221～225
		上端深さ 下端深さ	文献調査	地震調査研究推進本部により評価された主要活断層帯を対象に、地震調査研究推進本部の知見における地震発生層上端深さ及び下端深さを整理し、地震の震源分布、キュリー点深度、速度構造データ等に係る検討結果との整合性を確認する。	P.228～238
④ 大地震の余震の深さの把握		上端深さ	文献調査	敷地周辺で発生した2007年能登半島地震について、当該地震の震源域の上端深さに係る知見を整理し、当該地震の震源域の上端深さを総合的に判断する。	P.239～244

II. 地震発生層の設定 — 評価結果 — (1/2)

4.1 広域的な地震の震源分布の調査(P.199~209)

- 気象庁の震源データを用いて、能登半島周辺の地震の震央分布を確認。
- 能登半島周辺においては、2007年能登半島地震、能登地方群発地震及び1993年能登半島沖の地震の震源域に地震の集中がみられ、これらの地震は、能登半島北岸に沿って北東-南西方向の走向に分布している。
- 能登半島周辺の深さ別の地震の震央分布を確認。
- 敷地周辺では、2007年能登半島地震の震源域において地震が比較的浅く、概ねN50° Eの走向で集中してみられる。
- 2007年能登半島地震の震源域を含む能登半島周辺について、N50° Eに直交する断面の地震の震源深さ分布を確認。
- 2007年能登半島地震の震源域の震源深さは、周辺に比べて浅い傾向が認められる。
- 2007年能登半島地震の震源域の震源深さが浅い地震の震央分布と地形及び地質・地質構造の対応を確認。
- 2007年能登半島地震の震源域における震源深さが浅い地震の震央分布は、能登半島北部に偏在する低山・丘陵の稜線及びその延長方向、並びに能登半島の北東沖から南西沖までの第四紀ひずみ集中帯の一部区間と整合的である。



※岡村(2007)に一部加筆

II. 地震発生層の設定 — 評価結果 — (2/2)

4.2 地震発生層上端深さ及び下端深さの検討(P.211~244)

- 敷地周辺における調査(地震の震源分布, 速度構造, コンラッド面深さ, キュリー点深度, 地震調査研究推進本部の主要活断層帯に係る知見及び2007年能登半島地震に係る知見)により地震発生層上端深さ及び下端深さを検討。検討結果を下表に示す。

4.3 地震発生層上端深さ及び下端深さの設定(P.246~247)

- 地震発生層上端深さ及び下端深さは, 4.2節の検討結果から推定される地震発生層上端深さ及び下端深さを踏まえ設定。

敷地周辺に係る検討

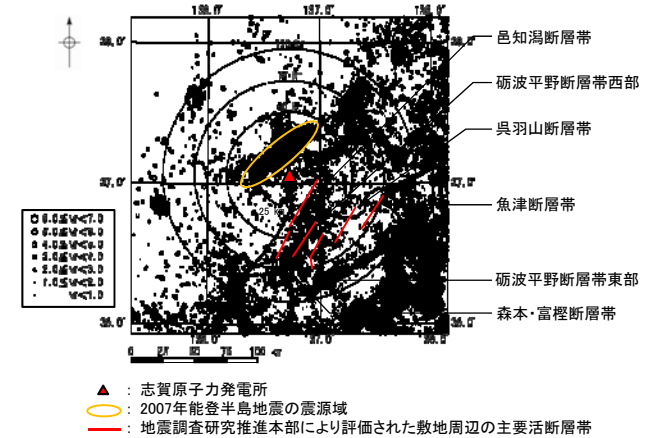
敷地周辺の地震発生層上端深さ及び下端深さの検討結果(4.2.1項~4.2.4項)

検討項目		上端深さ	下端深さ
地震の震源分布	気象庁の震源データ [D10%, D90%]	4.8km	14.3km
	原子力安全基盤機構(2004) [D10%, D90%]	3.2km	10.7km
速度構造	Matsubara et al.(2022)	4km程度以深	*1
	Iidaka et al.(2008)	3kmより深い	*1
	日本海地震・津波調査プロジェクト(2015)	3kmより深い	*1
	群速度	3kmより深い	*1
コンラッド面深さ	Zhao et al.(1994)	*1	14km程度
	河野ほか(2009)	*1	12km程度
	Katsumata(2010)	*1	18km程度
	Iidaka et al.(2003)	*1	18km程度
キュリー点深度	大久保(1984)	*1	9~10km程度
検討結果から推定される地震発生層		③ 3~4.8km	④ 9~18km

地震調査研究推進本部の主要活断層帯に係る知見による地震発生層上端深さ及び下端深さの検討結果(4.2.5項)

検討項目		上端深さ	下端深さ
邑知潟断層帯	地震調査研究推進本部(2014)	2km	18km
	気象庁の震源データ [D10%]	4.4km	*1
	Iidaka et al.(2008)	3kmより深い	*1
砺波平野断層帯・呉羽山断層帯	地震調査研究推進本部(2004)	4km	20km
	気象庁の震源データ [D90%]	*1	16.1km
森本・富樫断層帯	Iidaka et al.(2003)	*1	18km程度
	地震調査研究推進本部(2003)	4km	18km
魚津断層帯	地震調査研究推進本部(2014)	3km	18km
上記の主要活断層帯の地震発生層		③ 3~4.4km	④ 16.1~18km

設定した敷地周辺の地震発生層上端深さ及び下端深さ (安全側に、上端深さは③・④で最も浅い値、下端深さは④・⑤で最も深い値を採用)	3km	18km
---	-----	------



地震の震央分布図(1997年10月~2022年3月)

2007年能登半島地震の震源域に係る検討

2007年能登半島地震の震源域の上端深さの検討結果(4.2.6項)

検討項目		上端深さ
2007年能登半島地震に係る知見	佐藤ほか(2007a, 2007b) [反射法地震探査・余震分布]	2km
	Sakai et al.(2008) [余震分布]	2km
	Yamada et al.(2008) [余震分布]	2km
	地域地盤環境研究所(2011) [D10%]	1.86km
検討結果から推定される地震発生層		2km

設定した2007年能登半島地震の震源域の上端深さ	2km
--------------------------	-----

*1: 検討対象外 *2: 当社が総合的に判断した値

- **敷地周辺の地震発生層上端深さは**, 地震の震源分布及び速度構造による検討結果によれば3~4.8kmとなり, 地震調査研究推進本部の主要活断層帯に係る知見による検討結果3~4.4kmと整合的であることを確認し, これらを踏まえ安全側に**3kmと設定**した。
- **敷地周辺の地震発生層下端深さは**, 地震の震源分布, コンラッド面深さ及びキュリー点深度による検討結果によれば9~18kmとなり, 地震調査研究推進本部の主要活断層帯に係る知見による検討結果16.1~18kmと整合的であることを確認し, これらを踏まえ安全側に**18kmと設定**した。
- **ただし, 2007年能登半島地震の震源域の上端深さについては**, 震源域周辺において実施された臨時地震観測や反射法地震探査等の詳細なデータに基づく知見を踏まえ, **2kmと設定**した。
(申請時の上端深さの設定(敷地周辺全域の上端深さを3kmに設定)を変更)

余白

目 次

はじめに	22	4. 地震発生層の設定	194
1. 地下構造の成層性及び均質性の評価	28	4.1 広域的な地震の震源分布の調査	198
1.1 地質・地質構造の調査	34	4.2 地震発生層上端深さ及び下端深さの検討	210
1.1.1 敷地周辺の地質・地質構造	35	4.2.1 地震の震源分布による検討	213
1.1.2 敷地の地質・地質構造	42	4.2.2 速度構造による検討	216
1.2 物理探査による地下構造の検討	75	4.2.3 コンラッド面深さによる検討	221
1.2.1 重力探査	76	4.2.4 キュリー点深度による検討	226
1.2.2 地震波トモグラフィー	78	4.2.5 地震調査研究推進本部の主要活断層帯に係る知見による検討	228
1.2.3 屈折法地震探査	80	4.2.6 2007年能登半島地震に係る知見による検討	239
1.2.4 微動アレー探査	84	4.3 地震発生層上端深さ及び下端深さの設定	245
1.2.5 反射法地震探査・VSP探査	86	参考文献	248
1.2.6 広域微動探査	90		
1.2.7 単点微動探査	94		
1.3 観測記録による地下構造の検討	101		
1.3.1 水平アレー地震観測記録(地表)を用いた検討	115		
1.3.2 水平アレー地震観測記録(地中)を用いた検討	121		
1.3.3 鉛直アレー地震観測記録を用いた検討	125		
1.3.4 原子炉建屋基礎版上の地震観測記録を用いた検討	129		
2. 地下構造モデルの設定	141		
3. 地下構造モデルの妥当性確認	157		
3.1 地盤増幅特性の妥当性確認	160		
3.1.1 逆解析による地盤増幅特性の検討	161		
3.1.2 地震動シミュレーションによる地盤増幅特性の検討	167		
3.2 減衰構造の妥当性確認	170		
3.2.1 地震波干渉法を用いた減衰の検討	171		
3.2.2 岩石コアを用いた減衰の検討	180		
3.2.3 S波直達上昇波を用いた減衰の検討	184		
3.3 速度構造の妥当性確認	188		

- ここでは、解釈別記2及び審査ガイドの要求事項を整理したうえで、地下構造評価及び地震発生層の設定の流れを項目ごとに示す。
 - I. 地下構造評価(P.23～25)
 - II. 地震発生層の設定(P.26～27)
- なお、当資料の地下構造評価において設定する地下構造モデルは、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」の両者の評価で用いる。

I.(1) 地下構造評価に係る解釈別記2の要求事項の整理

○ 地下構造評価にあたり、解釈別記2の記載事項を踏まえ、地下構造評価における要求事項を整理した。

【解釈別記2】(地下構造評価に係る部分の抜粋※)

第4条(地震による損傷の防止)

5 第4条第3項に規定する「基準地震動」は、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、敷地及び敷地周辺の地質・地質構造、地盤構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から想定することが適切なものとし、次の方針により策定すること。

一 基準地震動は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」について、解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動としてそれぞれ策定すること。
 上記の「解放基盤表面」とは、基準地震動を策定するために、基盤面上の表層及び構造物が無いものとして仮想的に設定する自由表面であって、著しい高低差がなく、ほぼ水平で相当な拵がりを持って想定される基盤の表面をいう。ここでいう上記の「基盤」とは、おおむねせん断波速度 $V_s=700\text{m/s}$ 以上の硬質地盤であって、著しい風化を受けていないものとする。

四 基準地震動の策定に当たっての調査については、目的に応じた調査手法を選定するとともに、調査手法の適用条件及び精度等に配慮することによって、調査結果の信頼性と精度を確保すること。また、上記の「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」の地震動評価においては、適用する評価手法に必要な特性データに留意の上、地震波の伝播特性に係る次に示す事項を考慮すること。

① 敷地及び敷地周辺の地下構造(深部・浅部地盤構造)が地震波の伝播特性に与える影響を検討するため、敷地及び敷地周辺における地層の傾斜、断層及び褶曲構造等の地質構造を評価するとともに、地震基盤の位置及び形状、岩相・岩質の不均一性並びに地震波速度構造等の地下構造及び地盤の減衰特性を評価すること。なお、評価の過程において、地下構造が成層かつ均質と認められる場合を除き、三次元的な地下構造により検討すること。

② 上記①の評価の実施に当たって必要な敷地及び敷地周辺の調査については、地域特性及び既往文献の調査、既存データの収集・分析、地震観測記録の分析、地質調査、ボーリング調査並びに二次元又は三次元の物理探査等を適切な手順と組合せて実施すること。

※ 下線は、下表の要求事項に対応する箇所として当社で追記

解釈別記2の要求事項の整理

項目	要求事項
解放基盤表面の設定	<ul style="list-style-type: none"> 著しい高低差がなく、ほぼ水平で相当な拵がりを持って想定される自由表面であり、せん断波速度がおおむね700m/s以上の硬質地盤であって、著しい風化を受けていない位置に設定すること
敷地地盤の地下構造及び地震波の伝播特性の評価	<ul style="list-style-type: none"> 敷地及び敷地周辺の調査については、地域特性及び既往文献の調査、既存データの収集・分析、地震観測記録の分析、地質調査、ボーリング調査並びに二次元又は三次元の物理探査等を適切な手順との組合せて実施すること 敷地及び敷地周辺の地下構造(深部・浅部地盤構造)が地震波の伝播特性に与える影響を検討するため、①敷地及び敷地周辺における地層の傾斜、断層及び褶曲構造等の地質構造を評価するとともに、②地震基盤の位置及び形状、③岩相・岩質の不均一性並びに④地震波速度構造等の地下構造及び地盤の減衰特性を評価すること (①~④は把握すべき事項)

I.(2) 地下構造評価に係る審査ガイドの要求事項の整理

○ 審査ガイドの記載事項を踏まえ、地下構造評価における要求事項を整理した。

【審査ガイド】(地下構造評価に係る部分の抜粋※1)

5. 地震動評価のための地下構造調査

5.1 調査方針

- (1) 地下構造(地盤構造、地盤物性)の性状は敷地ごとに異なるため、地震動評価のための地下構造モデル作成に必要な地下構造調査に際しては、それぞれの敷地における適切な調査・手法が適用されていることを確認する。
- (2) 地下構造調査により、敷地及び敷地周辺における地層の傾斜、断層及び褶曲構造等の地質構造を把握するとともに、地震基盤・解放基盤の位置や形状、地下構造の三次元不整形性、岩相・岩質の不均一性、地震波速度構造等の地下構造及び地盤の減衰特性が適切に把握できていることを確認する。
- (3) 敷地及び敷地周辺の調査については、地域特性、既往文献の調査、既存データの収集・分析、地震観測記録の分析、地質調査、ボーリング調査及び二次元又は三次元の物理探査等を適切な手順と組合せて実施されていることを確認する。
- (4) 地震動評価の過程において、地下構造が成層かつ均質と認められる場合を除き、三次元的な地下構造により検討されていることを、「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」により確認する。

5.2 地下構造調査

5.2.1 広域地下構造調査(概査)

- (1) 比較的長周期領域における地震波の伝播特性に大きな影響を与える、地震発生層を含む地震基盤から解放基盤までの地下構造モデルを作成するための広域地下構造調査(概査)が、適切に行われていることを確認する。
- (2) 広域地下構造調査(概査)として、ボーリング及び物理検層、反射法・屈折法地震探査、電磁気探査、重力探査、微動アレイ探査及び水平アレイ地震動観測等による調査・探査・観測を適切な範囲及び数量で実施していることを確認する。
- (3) 震源から対象サイトの地震基盤までの地震波の伝播経路特性に影響を与える地殻構造調査として、弾性波探査や地震動観測等を適切な範囲及び数量で実施していることを確認する。

5.2.2 敷地近傍地下構造調査(精査)

- (1) 比較的短周期領域における地震波の伝播特性に影響を与える、地震基盤から地表面までの地下構造モデルを作成するための敷地近傍地下構造調査(精査)が、適切に行われていることを確認する。
- (2) 敷地周辺における地層の傾斜、断層及び褶曲構造等の地質構造・地下構造を把握するため、ボーリング調査に加えて地震基盤相当に達する大深度ボーリング、物理検層、高密度な弾性波探査、重力探査、微動アレイ探査等による調査・探査、鉛直アレイ地震動観測及び水平アレイ地震動観測等を適切な範囲及び数量で実施していることを確認する。

※1 下線は、下表の要求事項に対応する箇所として当社で追記

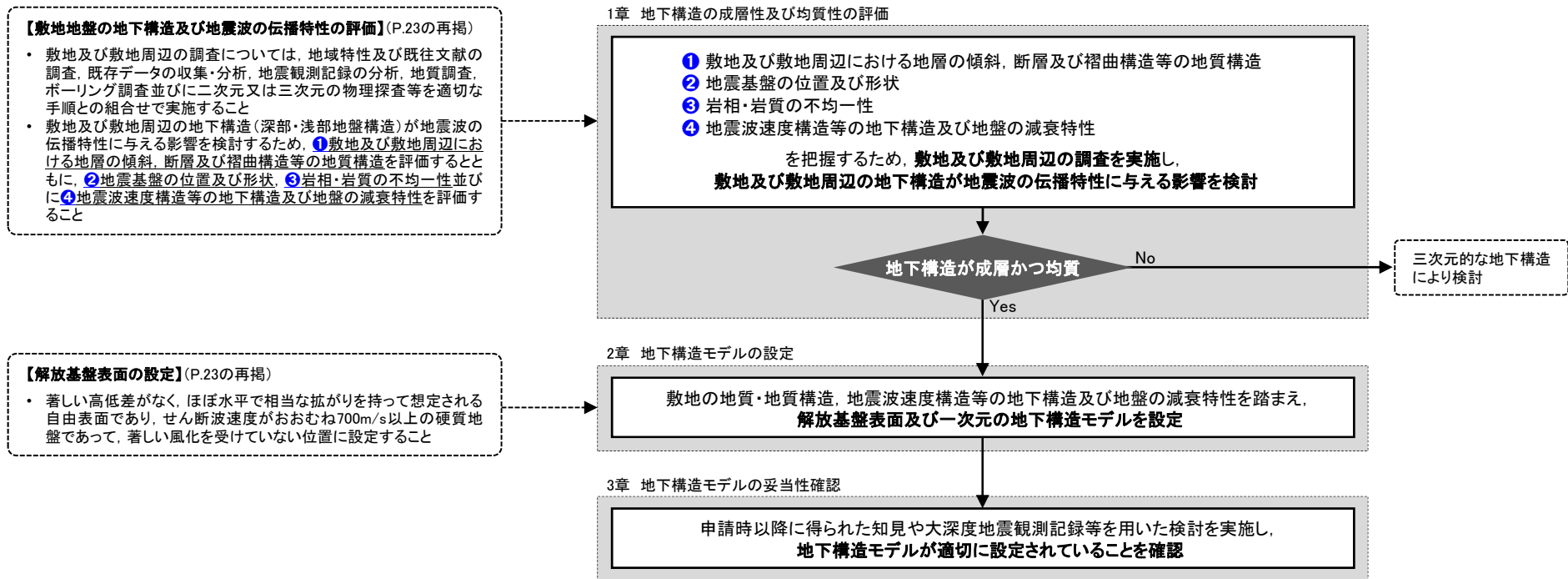
審査ガイドの要求事項の整理※2

項目	要求事項
敷地地盤の地下構造及び地震波の伝播特性の評価	広域地下構造調査(概査) <ul style="list-style-type: none"> ・ 比較的長周期領域における地震波の伝播特性に大きな影響を与える、地震発生層を含む地震基盤から解放基盤までの地下構造モデルを作成するための広域地下構造調査(概査)を、適切に行うこと ・ ボーリング及び物理検層、反射法・屈折法地震探査、電磁気探査、重力探査、微動アレイ探査及び水平アレイ地震動観測等による調査・探査・観測を適切な範囲及び数量で実施すること ・ 震源から対象サイトの地震基盤までの地震波の伝播経路特性に影響を与える地殻構造調査として、弾性波探査や地震動観測等を適切な範囲及び数量で実施すること
	敷地近傍地下構造調査(精査) <ul style="list-style-type: none"> ・ 比較的短周期領域における地震波の伝播特性に影響を与える、地震基盤から地表面までの地下構造モデルを作成するための敷地近傍地下構造調査(精査)を、適切に行うこと ・ 敷地周辺における地層の傾斜、断層及び褶曲構造等の地質構造・地下構造を把握するため、ボーリング調査に加えて地震基盤相当に達する大深度ボーリング、物理検層、高密度な弾性波探査、重力探査、微動アレイ探査等による調査・探査、鉛直アレイ地震動観測及び水平アレイ地震動観測等を適切な範囲及び数量で実施すること

※2 解釈別記2の要求事項と重複している事項は除いて整理

I.(3) 地下構造評価の流れ

- 地下構造評価は、解釈別記2及び審査ガイドの要求事項を踏まえ、下記の流れで評価を行う。
 - まず、「①敷地及び敷地周辺における地層の傾斜、断層及び褶曲構造等の地質構造」、「②地震基盤の位置及び形状」、「③岩相・岩質の不均一性」及び「④地震波速度構造等の地下構造及び地盤の減衰特性」を把握するため、敷地及び敷地周辺の調査を実施する。調査については、地域特性及び既往文献の調査、既存データの収集・分析、地震観測記録の分析、地質調査、ボーリング調査並びに二次元又は三次元の物理探査等を組み合わせて実施する。また、上記①～④を把握した結果を踏まえ、敷地及び敷地周辺の地下構造（深部・浅部地盤構造）が地震波の伝播特性に与える影響を検討し、地下構造が成層かつ均質と認められるか評価を行う。（1章で説明）
 - つぎに、地下構造が成層かつ均質と認められる場合は、調査により把握した敷地の地質・地質構造、地震波速度構造等の地下構造及び地盤の減衰特性を踏まえ、解放基盤表面及び一次元の地下構造モデルを設定する。なお、地下構造が成層かつ均質と認められない場合は、別途、三次元的な地下構造により検討を行う。（2章で説明）
 - さらに、申請時以降に得られた知見や大深度地震観測記録等を用いた検討を実施し、地下構造モデルが適切に設定されていることを確認する。（3章で説明）
- 上記の内容を踏まえた地下構造評価フローを下図に示す。



解釈別記2の要求事項

地下構造評価フロー

Ⅱ.(1) 地震発生層の設定に係る審査ガイドの要求事項の整理

- 審査ガイドの記載事項を踏まえ、地震発生層の設定における要求事項を整理した。

【審査ガイド】(地震発生層の設定に係る部分の抜粋)※

4. 震源断層に係る調査及び評価

4.4 震源断層の評価

4.4.1 震源断層の評価における共通事項

- (2) 地震発生層の浅さ限界・深さ限界は、敷地周辺で発生した地震の震源分布・キュリー一点深度・速度構造データ等を参考に設定されていることを確認する。ただし、地震発生層の浅さ限界を設定する際には、周辺地域やテクニクスの背景が、類似の地域における大地震の余震の精密調査による観測点直下及びその周辺の精度の良い震源の深さが参考とされていることを確認する。
- (3) 地震発生層は、調査結果から判明した浅さ限界・深さ限界を明らかにし、調査の不確かさを踏まえた浅さ限界・深さ限界が設定されていることを確認する。

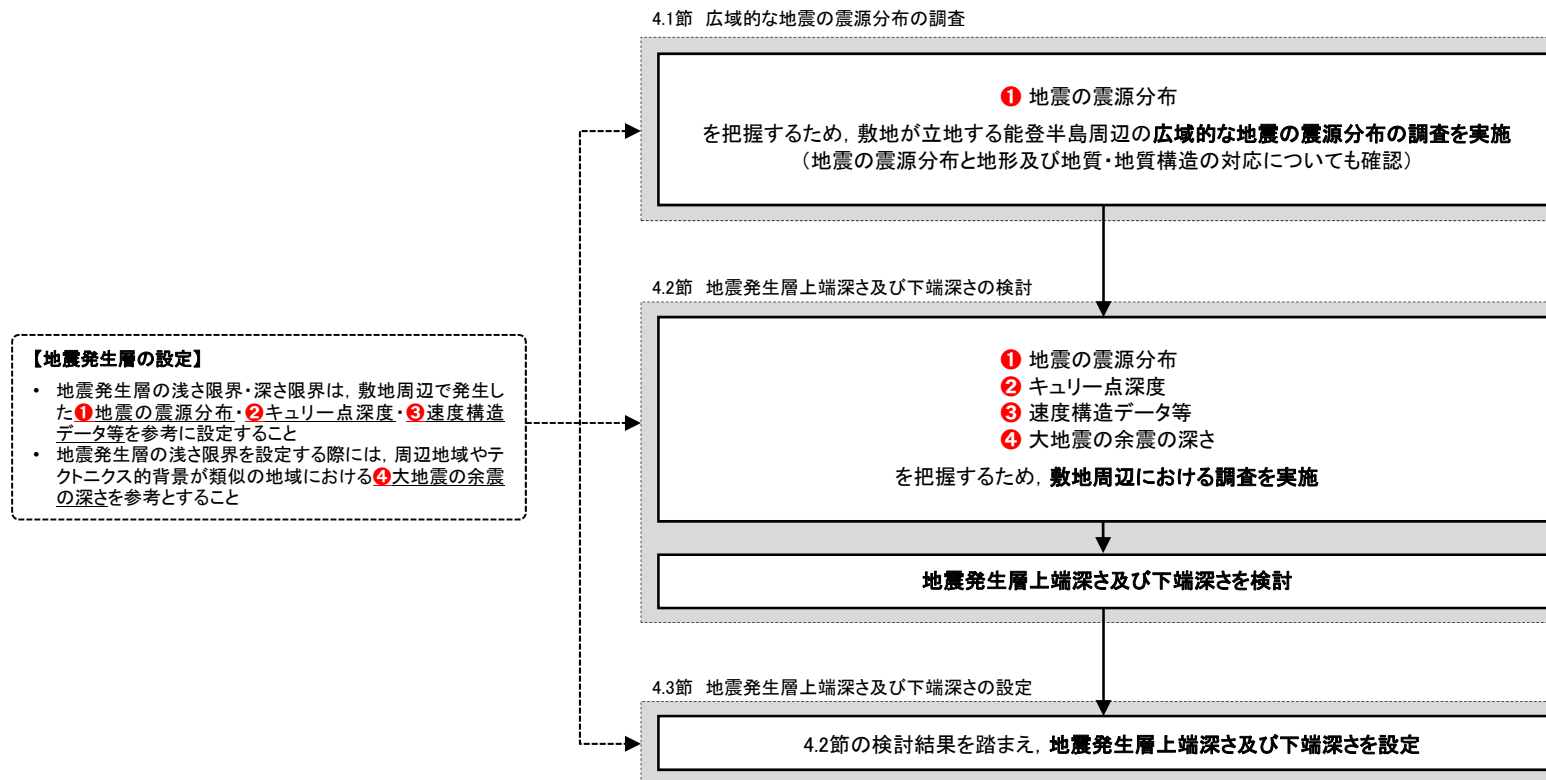
※下線は、下表の要求事項に対応する箇所として当社で追記

↓
審査ガイドの要求事項の整理

項目	要求事項
地震発生層の設定	<ul style="list-style-type: none"> • 地震発生層の浅さ限界・深さ限界は、敷地周辺で発生した①地震の震源分布・②キュリー一点深度・③速度構造データ等を参考に設定すること • 地震発生層の浅さ限界を設定する際には、周辺地域やテクニクスの背景が類似の地域における④大地震の余震の深さを参考とすること (①～④は把握すべき事項)

Ⅱ.(2) 地震発生層の設定の流れ

- 地震発生層は、審査ガイドの要求事項を踏まえ、下記の流れで設定を行う。
 - ・ まず、敷地が立地する能登半島周辺の「①地震の震源分布」を把握するため、広域的な地震の震源分布の調査を行う。(4.1節で説明)
 - ・ つぎに、敷地周辺の「①地震の震源分布」、「②キュリー点深度」、「③速度構造データ等」及び「④大地震の余震の深さ」を把握するため、調査を実施する。また、敷地周辺の①～④を把握した結果を踏まえ、地震発生層上端深さ及び下端深さを検討する。(4.2節で説明)
 - ・ 最後に、上記の検討結果を踏まえ、地震発生層上端深さ及び下端深さを設定する。(4.3節で説明)
- 上記の内容を踏まえた地震発生層の設定フローを下図に示す。



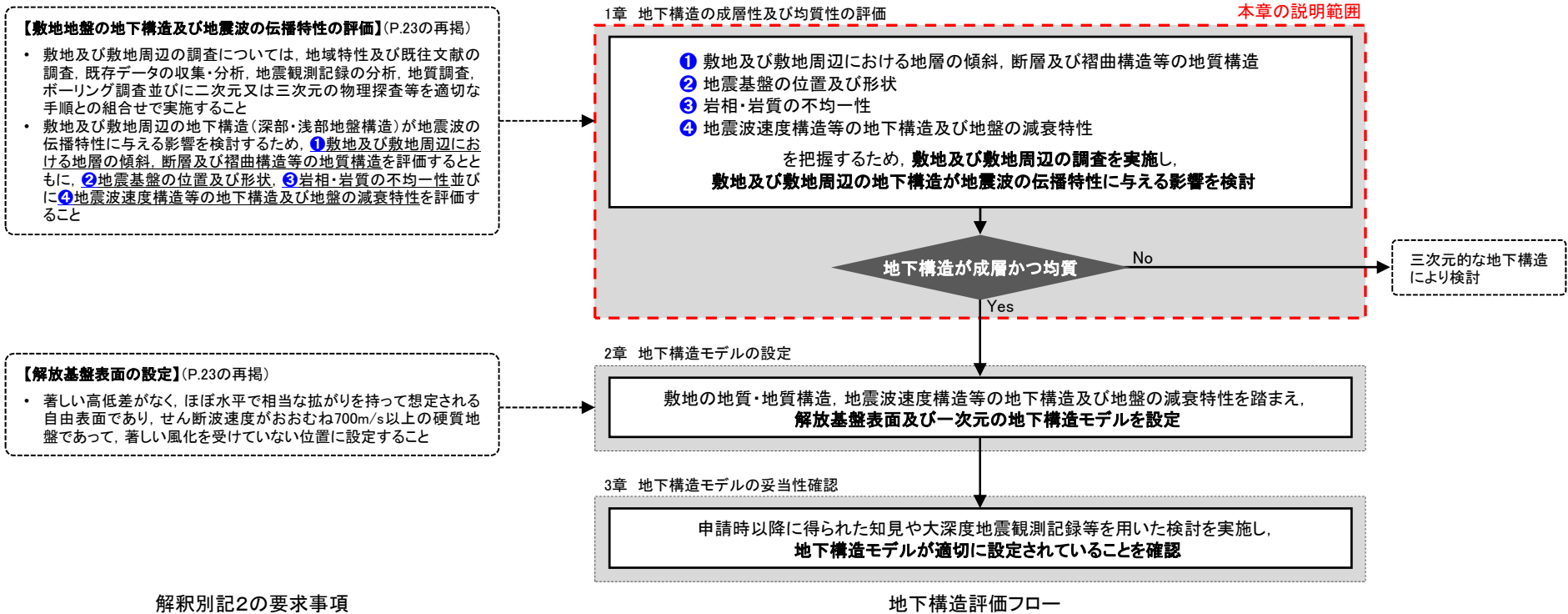
審査ガイドの要求事項

地震発生層の設定フロー

1. 地下構造の成層性及び均質性の評価

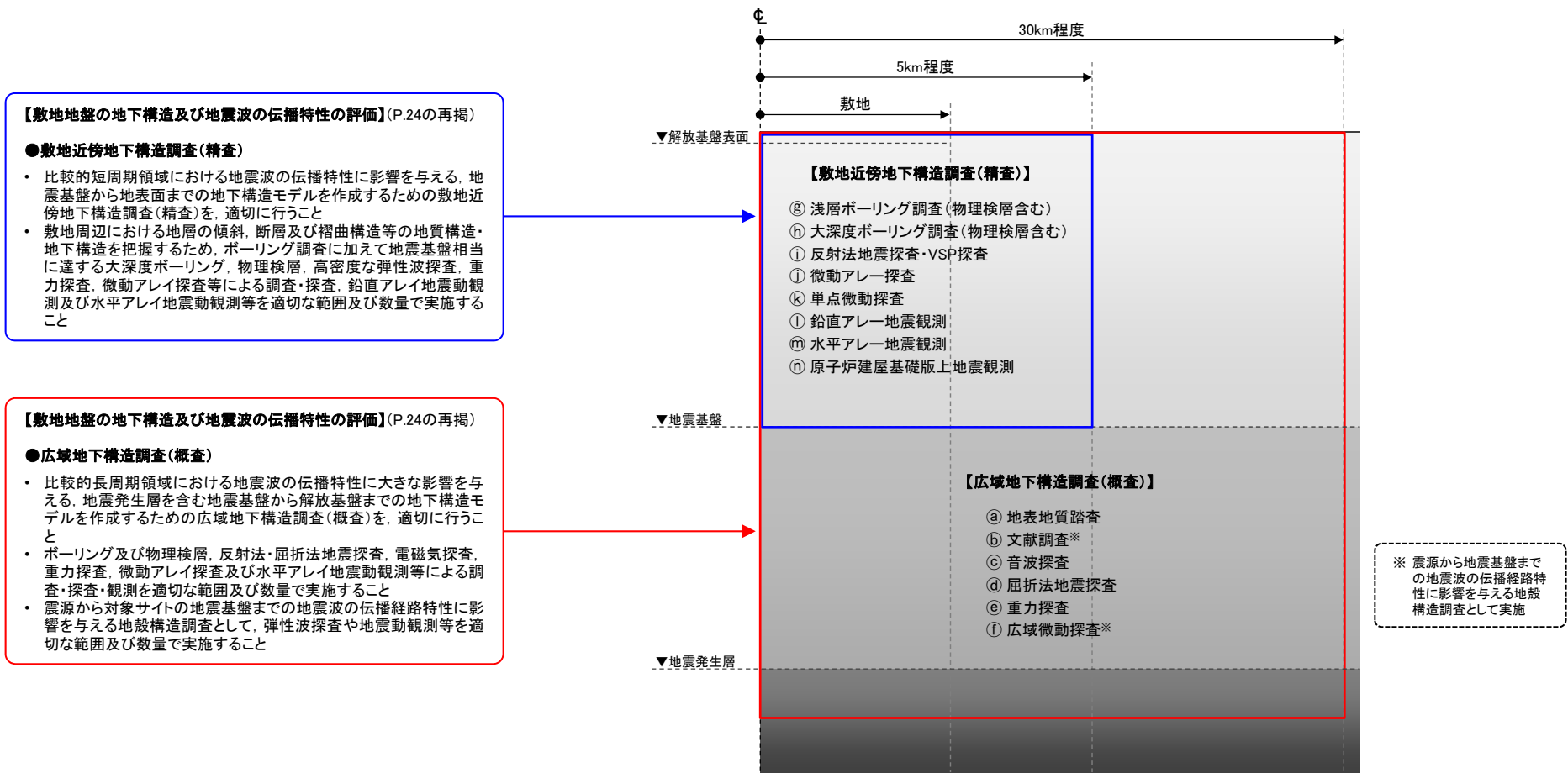
(1) 地下構造の成層性及び均質性の評価方法

- 「①敷地及び敷地周辺における地層の傾斜、断層及び褶曲構造等の地質構造」、「②地震基盤の位置及び形状」、「③岩相・岩質の不均一性」及び「④地震波速度構造等の地下構造及び地盤の減衰特性」を把握するため、敷地及び敷地周辺の調査を実施する。調査については、地域特性及び既往文献の調査、既存データの収集・分析、地震観測記録の分析、地質調査、ボーリング調査並びに二次元又は三次元の物理探査等を組み合わせて実施する。また、上記①～④を把握した結果を踏まえ、敷地及び敷地周辺の地下構造（深部・浅部地盤構造）が地震波の伝播特性に与える影響を検討し、地下構造が成層かつ均質と認められるか評価を行う。
- 敷地及び敷地周辺の調査の手法等の概要を次頁に示す。なお、敷地及び敷地周辺の調査は、「地質・地質構造の調査」(1.1章)、「物理探査による地下構造の検討」(1.2章)及び「観測記録による地下構造の検討」(1.3章)に分類して、説明する。



(2) 敷地及び敷地周辺の調査の手法等の概要(1/4)

- 敷地及び敷地周辺の調査については、比較的長周期領域における地震波の伝播特性を対象とした「広域地下構造調査(概査)」及び比較的短周期領域における地震波の伝播特性を対象とした「敷地近傍地下構造調査(精査)」のそれぞれについて、地域特性及び既往文献の調査、既存データの収集・分析、地震観測記録の分析、地質調査、ボーリング調査並びに二次元又は三次元の物理探査等を組み合わせて実施する。
- 「広域地下構造調査(概査)」は敷地から半径30km程度以内の範囲、「敷地近傍地下構造調査(精査)」は敷地から半径5km程度以内の範囲を対象として調査を行う。具体的な調査の手法及び範囲を下図に示す。また、調査の目的と各調査の対象及び手法を整理してP.31～32に、調査の手順をP.33に示す。



(2) 敷地及び敷地周辺の調査の手法等の概要(2/4)

【調査の目的と各調査の対象及び手法(1/2)】

 : 地質・地質構造の調査
 : 物理探査による地下構造の検討
 : 観測記録による地下構造の検討

調査の目的	対象		手法※		詳細説明	
	水平方向	深さ方向	種別	内容		
① 敷地及び敷地周辺の地層の傾斜、断層及び褶曲構造等の地質構造の把握	敷地周辺	地表付近	㉑	地表地質踏査	地質・地質構造を確認する。	P.35～40
			㉒	文献調査	地質・地質構造を確認する。	
			㉓	音波探査	地質・地質構造を確認する。	
	敷地	EL-200m程度以浅	㉔	浅層ボーリング調査	地質・地質構造を確認する。	P.42～54
地震基盤以浅		㉕	大深度ボーリング調査	地質・地質構造を確認する。	P.70～72	
② 地震基盤の位置及び形状の把握	敷地周辺	地震基盤面	㉖	重力探査	ブーゲー異常を確認する。	P.76～77
			㉗	屈折法地震探査	P波速度構造を確認する。	P.80, P.83
	敷地近傍	地震基盤面	㉘	微動アレー探査	S波速度構造を確認する。	P.84～85
	敷地	地震基盤面	㉙	大深度ボーリング調査	PS検層に基づくS波速度構造を確認する。	P.70～72
			㉚	反射法地震探査・VSP探査	反射断面を確認する。	P.86～89
㉛			単点微動探査	地下の速度構造が反映されている微動H/Vスペクトル比を敷地の複数の観測点で比較する。	P.94～95	

※ 青字の調査内容は、地質・地質構造の審査において説明済みの内容

(2) 敷地及び敷地周辺の調査の手法等の概要(3/4)

【調査の目的と各調査の対象及び手法(2/2)】

: 地質・地質構造の調査
 : 物理探査による地下構造の検討
 : 観測記録による地下構造の検討

調査の目的		対象		手法※		詳細説明		
		水平方向	深さ方向	種別	内容			
③	岩相・岩質の不均一性の把握	敷地周辺	地表付近	㉑	地表地質踏査	地質・地質構造を確認する。	P.35～40	
				㉒	文献調査	地質・地質構造を確認する。		
				㉓	音波探査	地質・地質構造を確認する。		
		敷地	EL-200m程度以浅	㉔	浅層ボーリング調査	地質・地質構造を確認する。	P.42～54	
地震基盤以浅	㉕		大深度ボーリング調査	地質・地質構造を確認する。	P.70～72			
④	地震波速度構造等の地下構造及び地盤の減衰特性の把握	敷地周辺	地震基盤面	㉖	屈折法地震探査	P波速度構造を確認する。	P.80, P.83	
				地震基盤より深部	㉗	文献調査	屈折法地震探査に基づくP波速度構造を確認する。	P.80～82
					㉘	文献調査	地震波トモグラフィーに基づくP波速度構造・S波速度構造を確認する。	P.78～79
		敷地近傍	地震基盤面	㉙	広域微動探査	地下の速度構造が反映されている広域微動観測記録に基づき複数の観測点ペアで評価した群速度を比較する。	P.90～92	
				㉚	微動アレー探査	S波速度構造を確認する。	P.84～85	
		敷地	地表付近	㉛	単点微動探査	S波速度構造を確認する。	P.94, P.96	
				EL-200m程度以浅	㉜	浅層ボーリング調査	PS検層に基づくP波速度構造・S波速度構造, 密度試験に基づく密度構造及びQ値測定に基づく減衰構造を確認する。	P.55～58, P.73
			地震基盤以浅	㉝	大深度ボーリング調査	PS検層に基づくP波速度構造・S波速度構造, 密度検層に基づく密度構造及びQ値測定に基づく減衰構造を確認する。	P.70～73	
				㉞	水平アレー地震観測	観測点間の応答スペクトル比を確認し, 地震波の到来方向ごとに比較する。	P.115～124	
				㉟	鉛直アレー地震観測	観測点間の応答スペクトル比を確認し, 地震波の到来方向ごとに比較する。	P.125～128	
㊱	原子炉建屋基礎版上地震観測	原子炉建屋基礎版上における加速度時刻歴波形及び応答スペクトルを1号と2号で比較する。	P.129～138					

※ 青字の調査内容は, 地質・地質構造の審査において説明済みの内容

(2) 敷地及び敷地周辺の調査の手法等の概要(4/4)

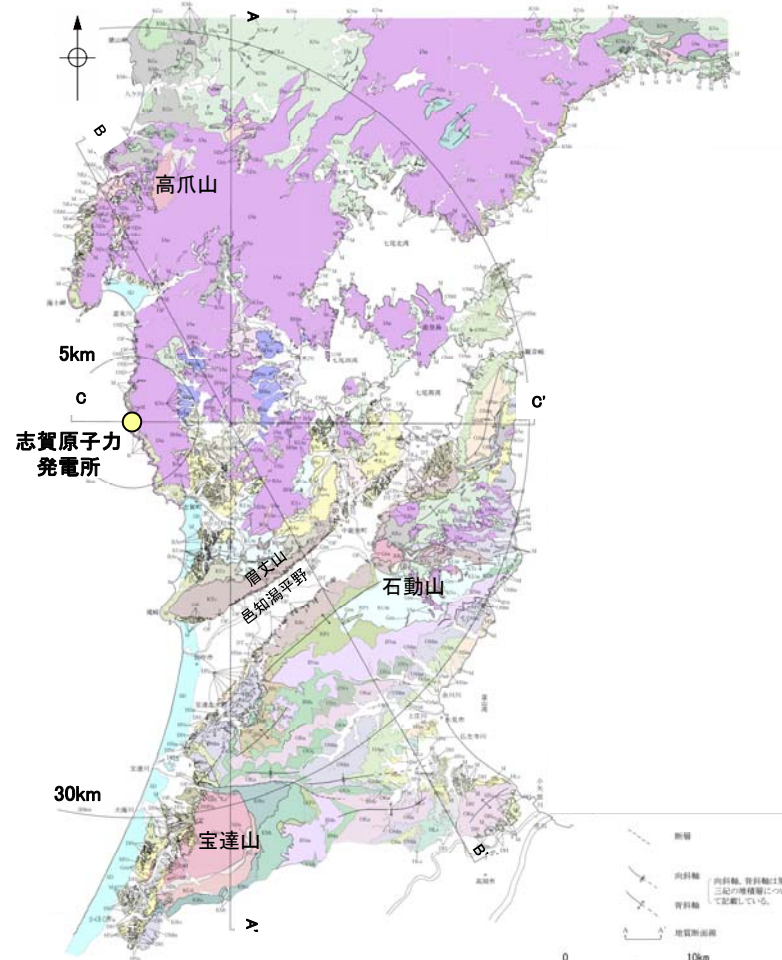
【調査の手順】



1.1 地質・地質構造の調査

(1) 敷地周辺の地質・地質構造 — 敷地を中心とした半径30km範囲(陸域) — (1/2)

- 敷地周辺の地層の傾斜、断層及び褶曲構造等の地質構造、並びに岩相・岩質の不均一性を把握するため、地質・地質構造(敷地周辺の地質・地質構造で説明済み)について確認を行った。
- 敷地周辺陸域の地質は、新第三紀以降の地層が基盤である花崗岩類を直接覆っている。花崗岩の露岩域は、高爪山、眉丈山南東縁、石動山及び宝達山周辺に限定されている。
- 敷地を含む邑知潟平野北側では、大きな褶曲構造は認められない。邑知潟平野南側では、NNE-SSW方向及びNE-SW方向を示す褶曲とE-W方向を示す褶曲が認められる。

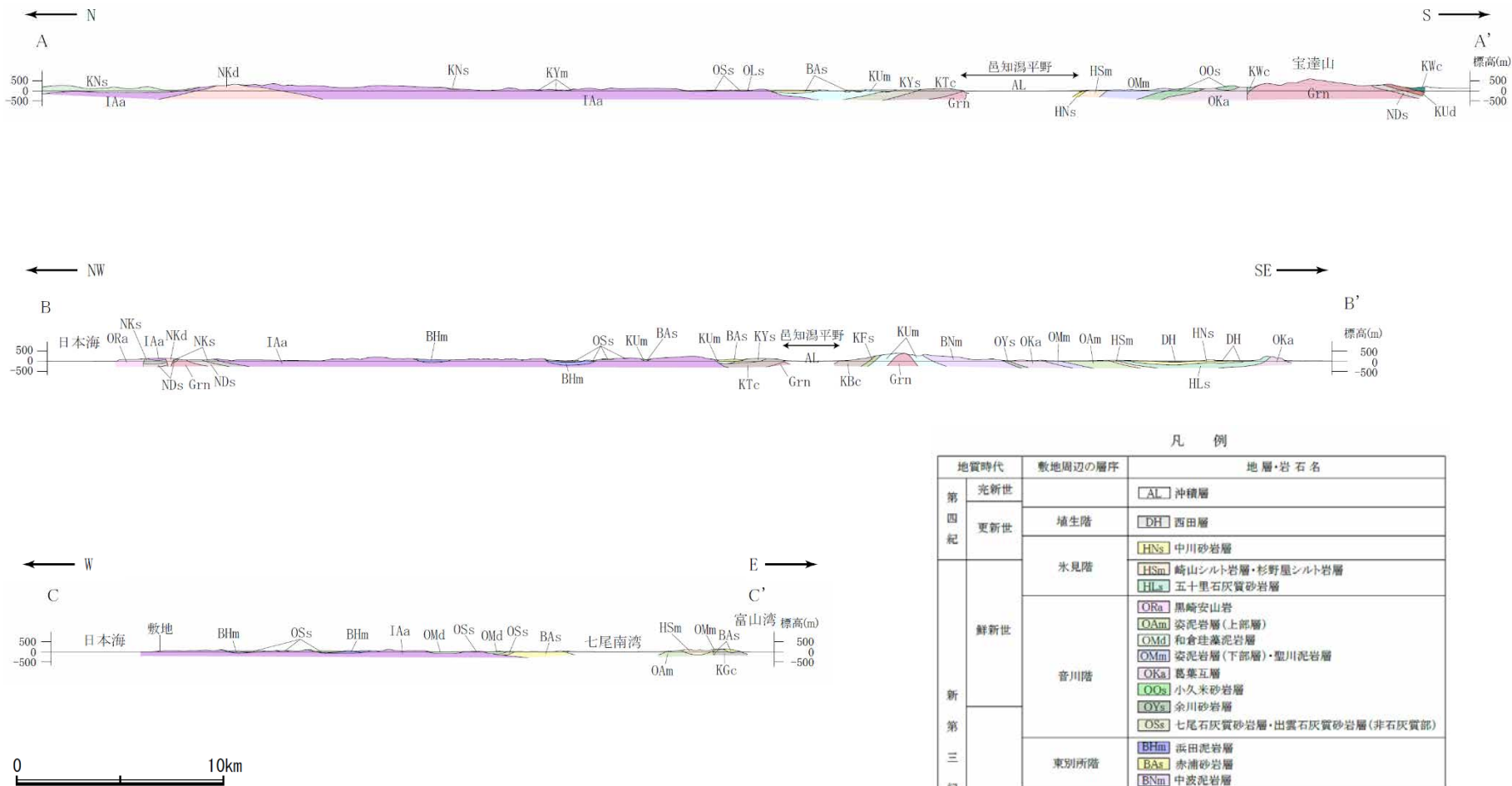


敷地周辺陸域の地質分布図

(絆野(1993)等を踏まえ、地表地質調査結果、各種分析結果を加味し、当社作成)

地質時代	地層・岩石名
完新世	SD 砂丘砂層
	沖積層
第四紀	M 中位段丘堆積層
	DT 高階層
	OH 河成段丘堆積層
更新世	OSD 古砂丘砂層
	古扇状地堆積層
第三紀	DH 堆生累層・西田層
	LI 中川砂岩層・村上シルト岩層・矢田砂岩層
鮮新世	HS 崎山シルト岩層・杉野屋シルト岩層・藪田シルト岩層
	HL 五十里石灰質砂岩層
新第三紀	OR 黒崎安山岩
	OM 前浜泥岩層・和倉丸泥岩層
	OM 虫崎泥岩層・安泥岩層(下部層)・聖川泥岩層・吉倉泥岩層
	OS 敷波互層・須川互層
中新世	OSa 余川砂岩層
	OSs 七尾石灰質砂岩層・出雲石灰質砂岩層(非石灰質部)
	OL 前波石灰質砂岩層・関野鼻石灰質砂岩層・七尾石灰質砂岩層・出雲石灰質砂岩層・安代原石灰質砂岩層(石灰質部)
中新世	BS 赤浦砂岩層
	BSs 新宮砂礫岩層
	BSm 赤毛泥岩層
古第三紀	RM 東印内互層・替月砂岩層
	KG 道下礫岩層・百海礫岩層
	KH 高島礫岩層
	KI 懸札砂岩層・土倉砂岩層
	KY 山戸田泥岩層
	KN 藤文互層・草木互層・多根互層・柳田累層
	KNs 溶結凝灰岩
	KNc 玄武岩
	KU 瓜生累層
	RM 別所安山岩類
IM 高洲山安山岩類	
IM 熊淵火山岩類	
古第三紀	NS 曾山層
	NSs 大角間層
先第三紀	Gm 花崗岩・片麻岩
	LS 石灰岩

【地質断面図】



敷地周辺陸域の地質断面図(当社作成)

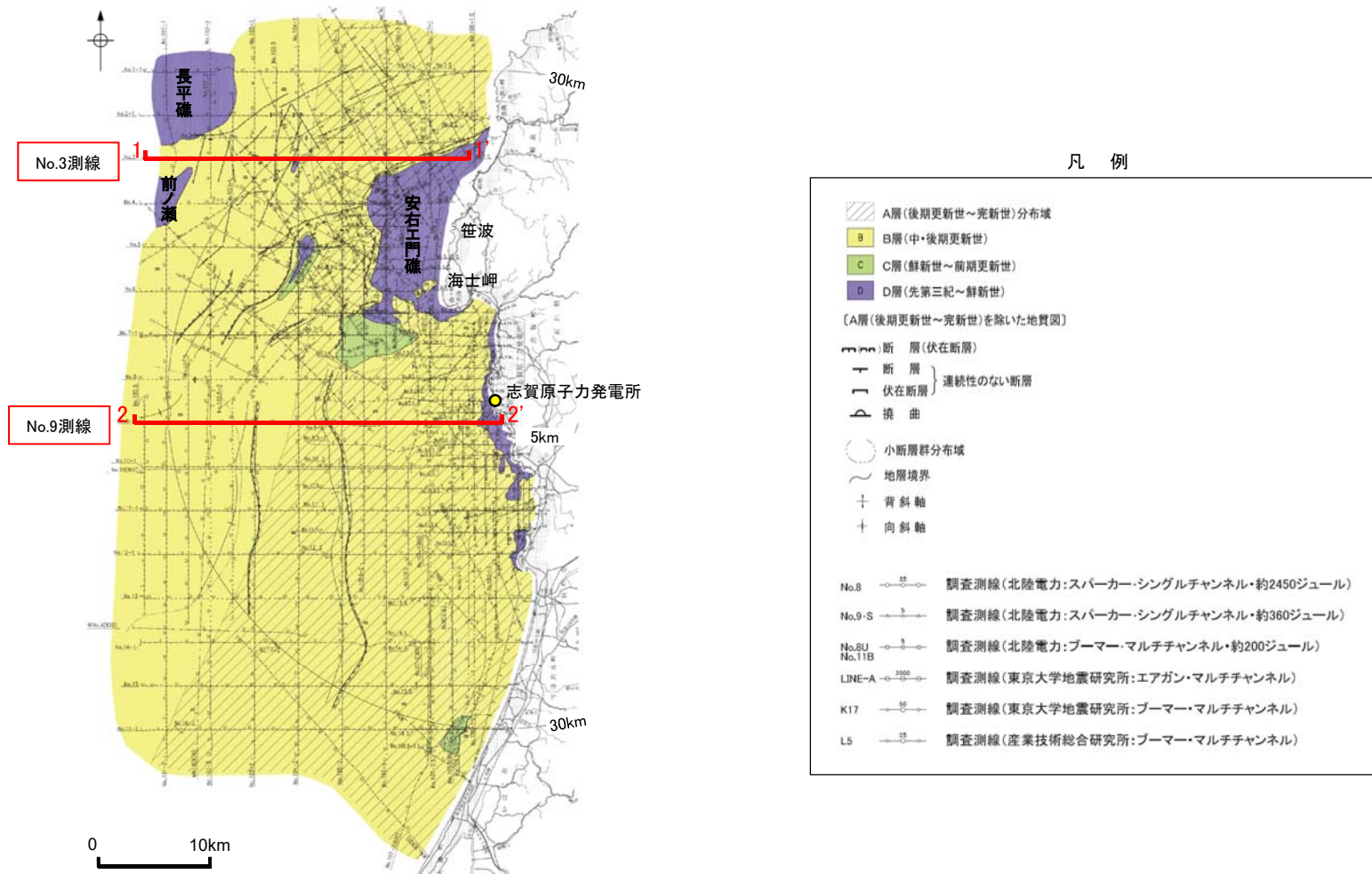
凡例

地質時代	敷地周辺の層序	地層・岩石名	
第四紀	全新世	[AL] 沖積層	
	更新世	[DH] 西田層	
		[HNS] 中川砂岩層	
		[HSm] 崎山シルト岩層・杉野屋シルト岩層 [HLs] 五十里石灰質砂岩層	
新第三紀	鮮新世	[ORa] 黒崎安山岩 [OAm] 姿泥岩層(上部層) [OMd] 和倉埴泥岩層 [OMm] 姿泥岩層(下部層)・聖川泥岩層	
		[OKa] 葛葉互層 [OOS] 小久米砂岩層 [OYS] 余川砂岩層 [OSS] 七尾石灰質砂岩層・出雲石灰質砂岩層(非石灰質部)	
		[BFm] 浜田泥岩層 [BAa] 赤浦砂岩層 [BNm] 中波泥岩層	
		[KGe] 百海礫岩層 [KUm] 上瀬泥岩層 [KYm] 山戸田泥岩層 [KWc] 河合砂礫岩層 [KYs] 後山砂岩層	
		[KBC] 高島礫岩層 [KEs] 懸札砂岩層 [KNs] 瀧又互層 [KTc] 滝礫岩層 [KUd] 瓜生礫層	
	岩橋階	[IAa] 別所岳安山岩類・高洲山安山岩類	
	古第三紀	輪原階	[NKd] 石英安山岩・溶結凝灰岩 [NKs] 大角間層 [NDs] 太田礫層
			[Grn] 花崗岩・片麻岩

(1) 敷地周辺の地質・地質構造 — 敷地を中心とした半径30km範囲(海域) — (1/2)

【敷地前面調査海域 海底地質図】

○A層は、水深約140m以浅の大陸棚のほとんどの海域に分布する。
 ○B層は、海士岬以北の海域の一部を除くほぼ全域に分布しており、水深約140m以浅ではA層に覆われている。
 ○C層は、海士岬以北の海域の一部を除くほぼ全域に分布しており、ほとんどが上位層に覆われている。
 ○D層は、ほぼ全域に分布するが安右工門礁、前ノ瀬及び長平礁付近等を除き、上位層に覆われている。

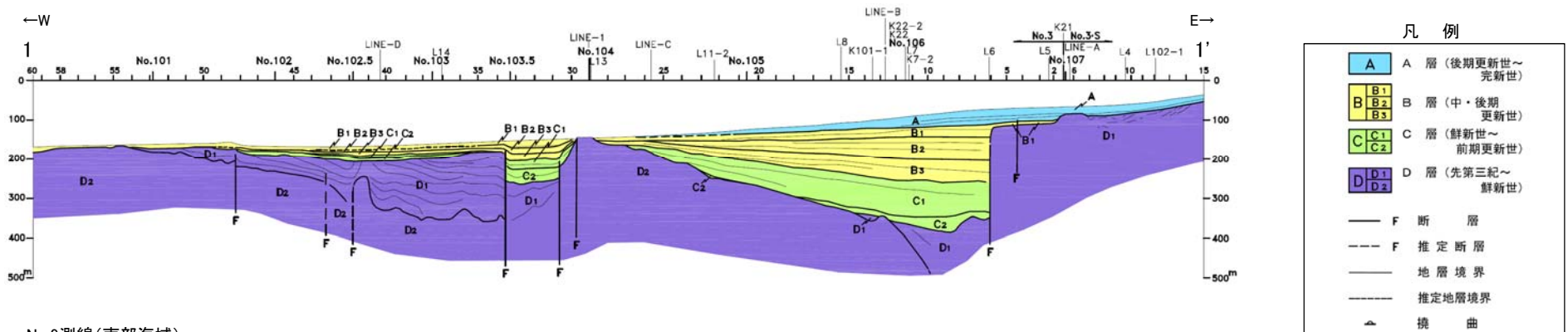


敷地前面調査海域の海底地質図
(音波探査により取得したデータをもとに当社作成)

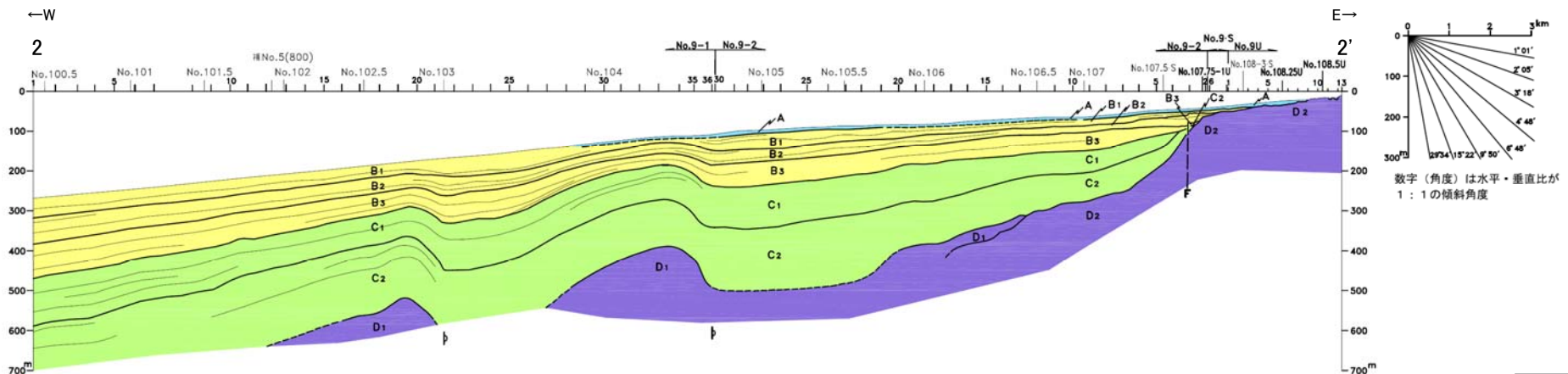
【敷地前面調査海域 海底地質断面図】

- 北部海域は、笹波沿岸及び前ノ瀬・長平礁周辺の顕著なD層の隆起で特徴づけられる。
 笹波沿岸の隆起帯の西方及び南西方に小規模なD層の隆起が認められ、前ノ瀬・長平礁周辺の隆起帯の東方にも小規模なD層の隆起が認められる。これら小隆起帯の北西縁及び西縁の地層は急傾斜している。
- 南部海域は、南西方向に広がる堆積盆地と、厚く堆積するC層及びB層で特徴づけられる。
 C層及びB層中にはN-S方向に伸びる2条の褶曲が認められ、これらの褶曲は東翼が急傾斜している。

No.3測線(北部海域)

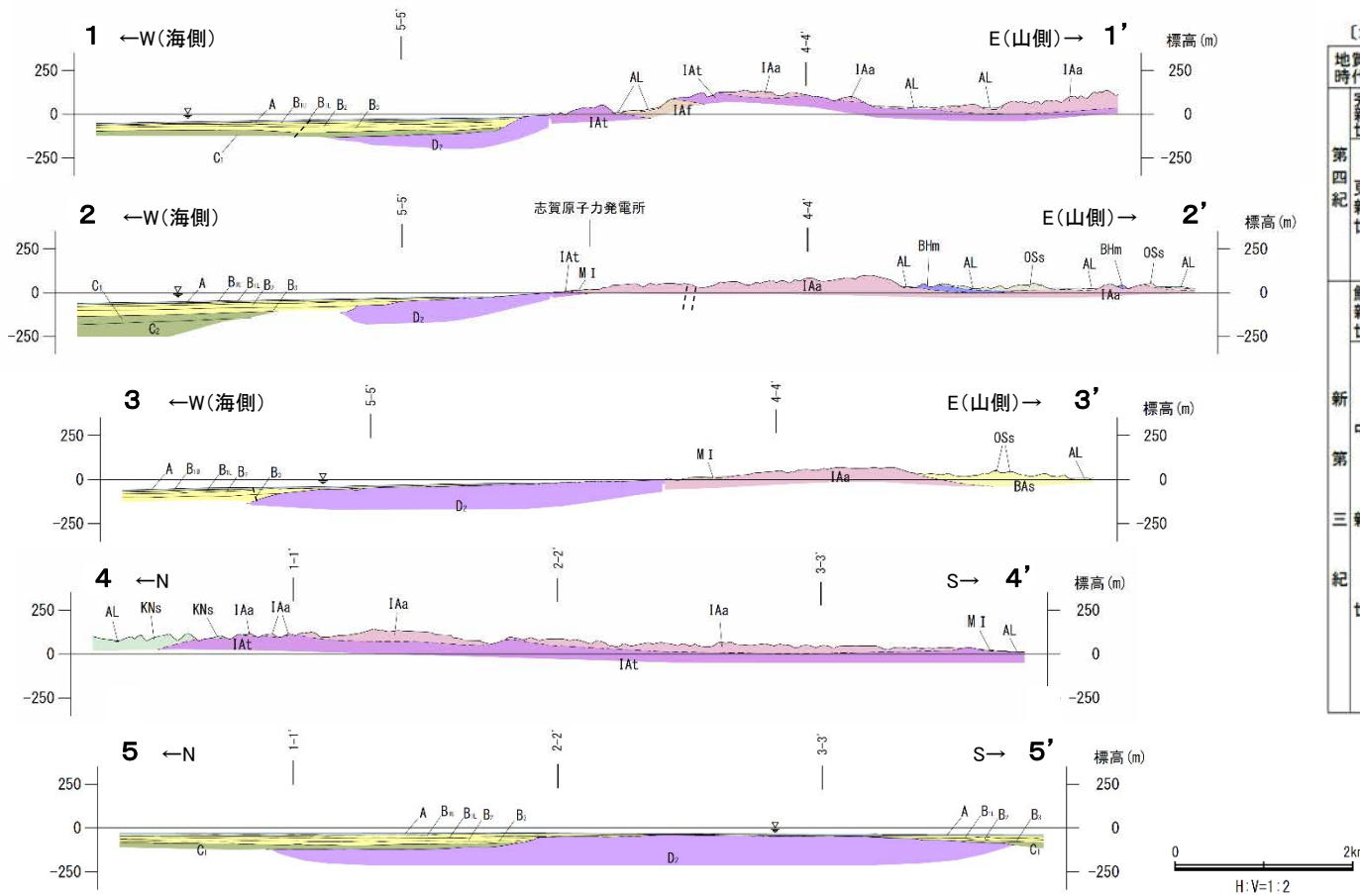


No.9測線(南部海域)



敷地前面調査海域の海底地質断面図
(音波探査により取得したデータをもとに当社作成)

【地質断面図】



地質断面図

【地質】		凡 例	
地質時代	新地層の順序	陸域 地層・岩石名	海域 地層名
第四紀	完新世	AL 沖積層	A A層
	更新世	MI 中段段丘I面堆積層	B ₁ , B ₂ , B ₃ B層
第三紀	鮮新世	OSs 出雲石灰質砂岩層 (非石灰質部)	C ₁ , C ₂ C層
	中新世	BAAs 赤浦砂岩層 BHm 浜田泥岩層	D ₁ D ₁ 層
白堊紀	黒瀬谷階	KNs 草木互層	
	岩室階	IAa 別所岳安山岩類 安山岩	
		IAAt 別所岳安山岩類 安山岩質火砕岩 (凝灰角礫岩) IAf 別所岳安山岩類 安山岩質～デイサイト質火砕岩 (凝灰岩)	D ₂ D ₂ 層

---- 断層

まとめ

(1) 敷地周辺の地質・地質構造 — 敷地を中心とした半径30km範囲 —

- 敷地周辺陸地の地質は、新第三紀以降の地層が基盤である花崗岩類を直接覆っている。
- 敷地を含む邑知潟平野北側では、大きな褶曲構造は認められない。
- 敷地周辺海域の地質は、北部海域は、笹波沿岸及び前ノ瀬・長平礁周辺の顕著なD層の隆起で特徴づけられる。南部海域は、南西方向に広がる堆積盆地と、厚く堆積するC層及びB層で特徴づけられる。

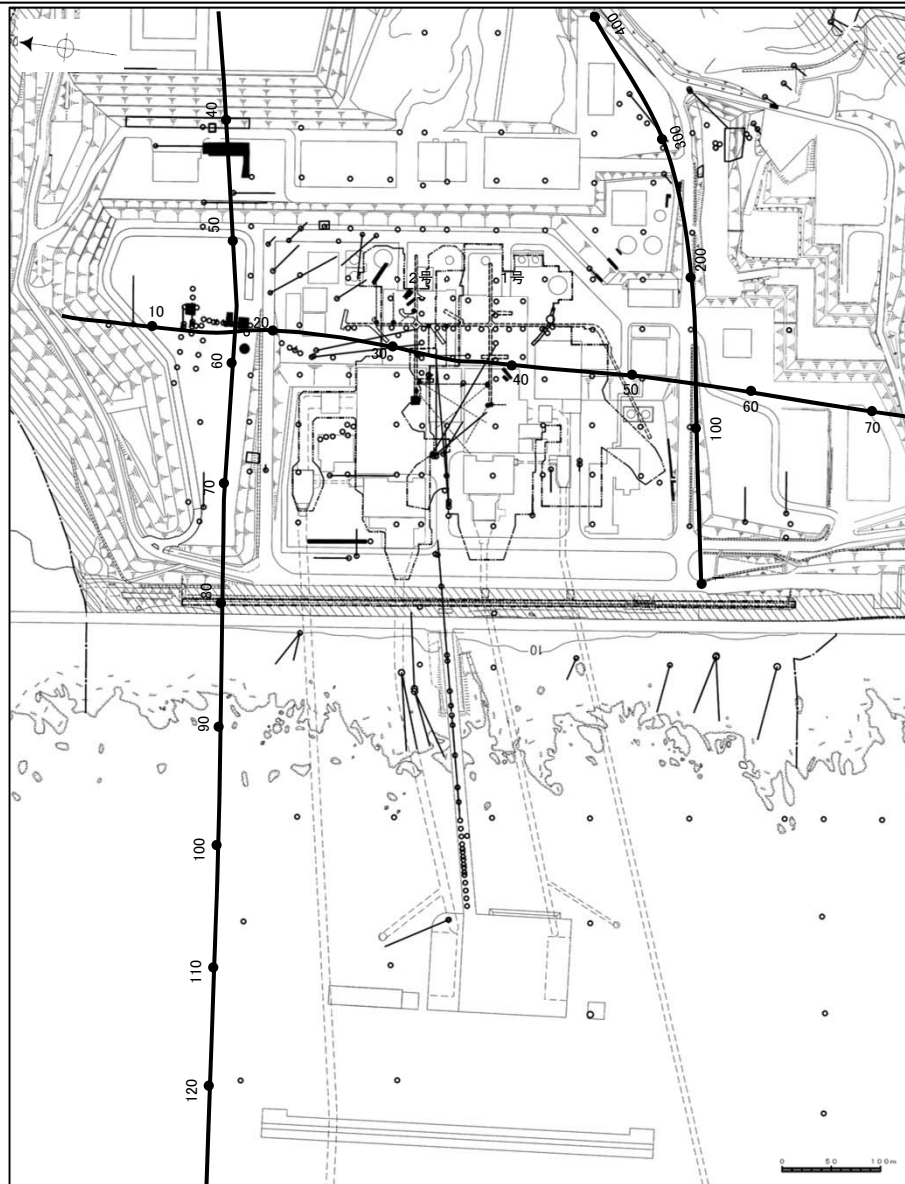
(2) 敷地近傍の地質・地質構造 — 敷地を中心とした半径5km範囲 —

- 海岸に沿って広く分布する新第三紀の岩稲階の別所岳安山岩類は、敷地北方で緩く東に傾斜する凝灰岩を挟む。
- 敷地近傍に分布する新第三紀の地層の傾斜は、概ね水平ないし10°程度を示している。
- 中位段丘堆積層は、ほぼ水平または海側方向に非常に緩く傾斜して分布する。
- 海岸に露出する新第三紀の岩稲階の別所岳安山岩類は海域のD₂層に対比され、D₂層は沖合い方向に徐々に深度を増す。その上部には水深20m以浅の汀線部を除き、C層、B層、A層が分布し、A層及びB層は海底面とほぼ平行して堆積している。

- 敷地周辺の地質は、新第三紀以降の地層が基盤である花崗岩類を直接覆っており、敷地近傍においては岩稲階の別所岳安山岩類が広く分布している。
- 敷地近傍に分布する新第三紀～第四紀の地層は、概ね水平ないし非常に緩く傾斜して分布している。

(1) 敷地の地質・地質構造 — 調査位置図 —

○ 敷地の地層の傾斜、断層及び褶曲構造等の地質構造、並びに岩相・岩質の不均一性を把握するため、ボーリング調査等の地盤調査結果から地質・地質構造を確認した。調査位置を下図に示す。



凡 例

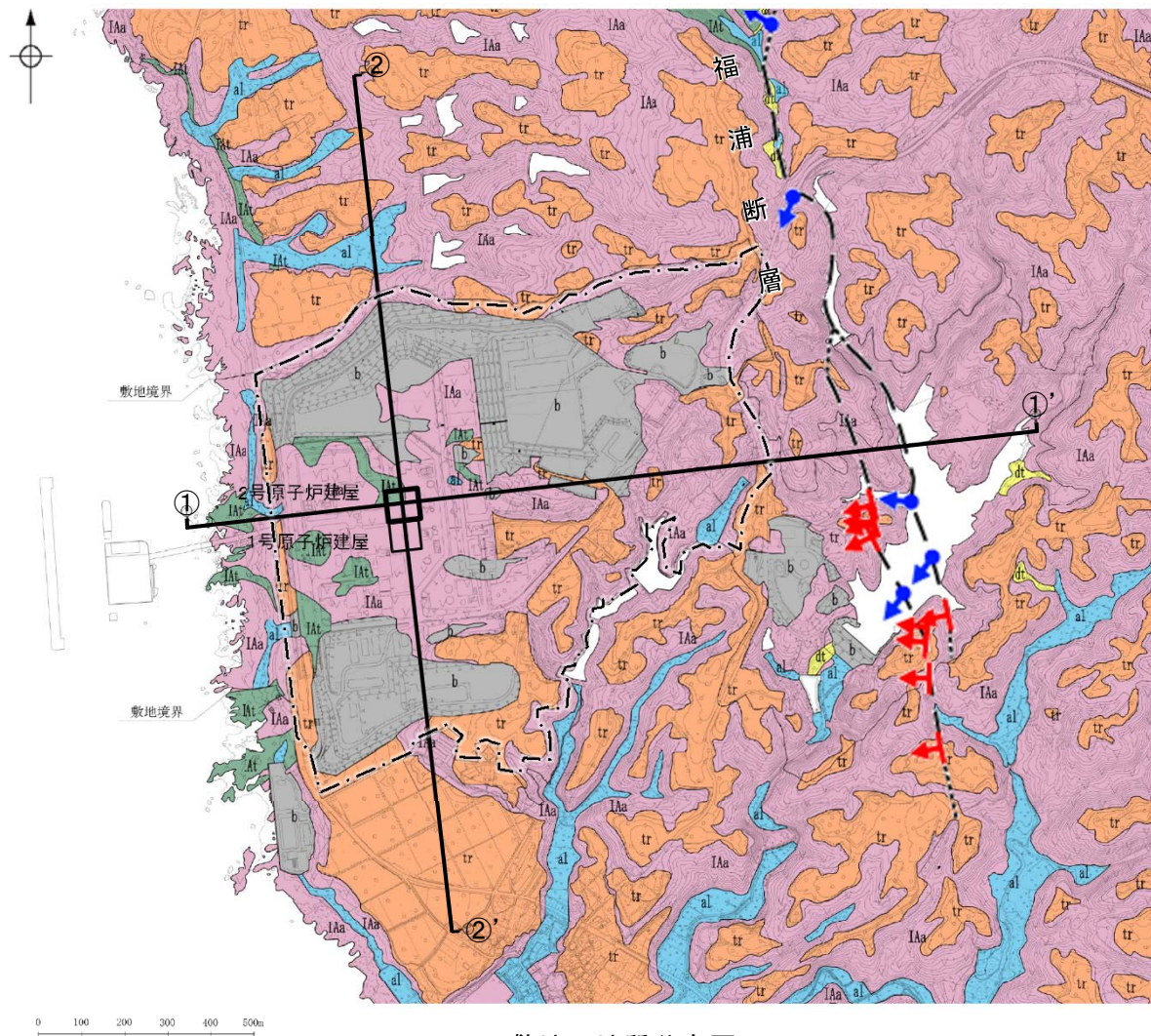
- 鉛直ボーリング孔
- --- 水平ボーリング孔*
- ⦶ 斜めボーリング孔*
- トレッチ*
- 表土はぎ*
- - - 試掘坑・試験坑・斜坑
- ⦶ 岩盤調査坑*
- - - 基礎掘削面(1・2号, 防潮堤建設時の掘削範囲)
- 70 反射法地震探査, VSP探査測線(CMP番号)

※水平ボーリング, 斜めボーリング, トレンチ, 表土はぎ, 岩盤調査坑については, 敷地内断層の分布・性状等を確認するために実施した調査であり, 以降の資料には用いていない。

調査位置図

(1) 敷地の地質・地質構造 — 敷地全体 — (1/2)

- 敷地の地質は、新第三紀の岩稲階の別所岳安山岩類と、これを覆う第四紀の堆積物からなる。
- 別所岳安山岩類は、敷地に広く分布しており、安山岩を主体とし、凝灰角礫岩を挟在する。
- 第四紀の堆積物は、段丘堆積層、崖錐堆積層及び沖積層からなる。



敷地の地質分布図

凡例

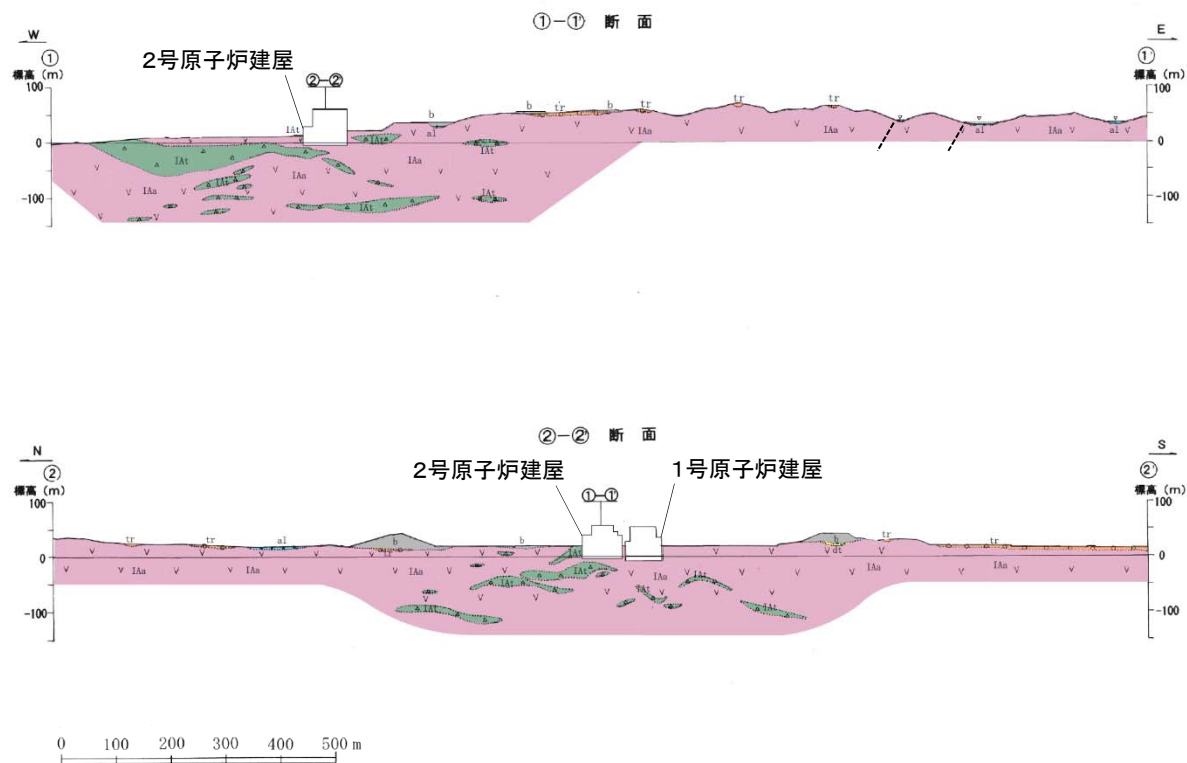
地質時代	地層名	記号	主要構成地質	
新生紀	第四紀	礫土	b	礫、砂、粘土
		沖積層	al	礫、砂、粘土
		崖錐堆積層	dt	礫、砂、粘土
	更新世	段丘堆積層	tr	礫、砂、粘土
新第三紀	中新世	別所岳安山岩類 (岩稲階)	I Aa	安山岩
			I At	凝灰角礫岩類

- 断層確認位置
- 反射法地震探査での断層確認位置
- 断層位置
推定区間

※当資料で示す「敷地」は、原子炉建屋等を含む周辺監視区域に相当する範囲を示している。(設置変更許可申請書における「敷地」は、大坪川ダム周辺を含む当社の所有地の範囲を示している。)

敷地※

【地質断面図】



凡 例

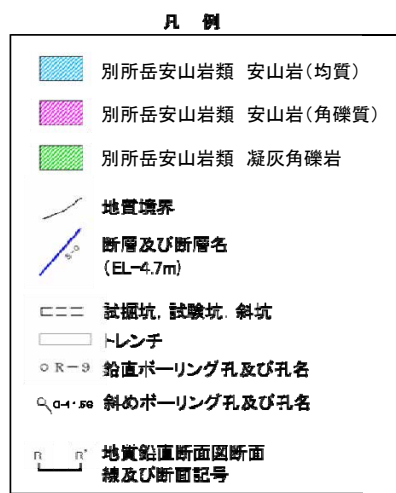
地質時代		地層名	記号	主要構成地質
新 生 代	第 四 紀	盤 土	b	硬砂、粘土
		沖 積 層	al	硬砂、粘土
		崖線堆積層	dt △	硬砂、粘土
	更新世	段丘堆積層	tr ○	硬砂、粘土
新 第 三 紀	中新世	別所岳安山岩類 (岩褶層)	IAa ∇ IAAt △	安山岩 凝灰角礫岩類

---- 断層

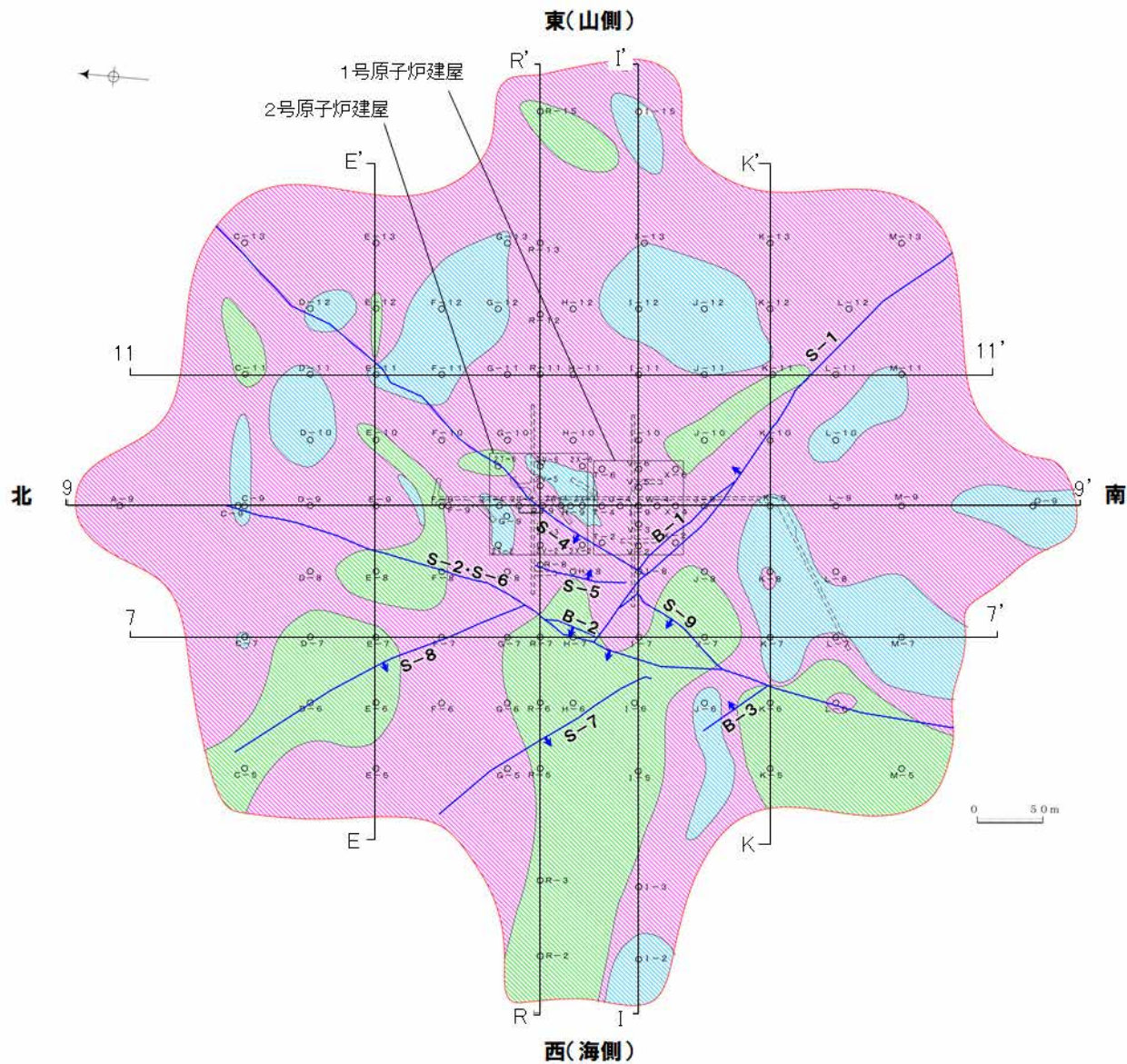
敷地の地質断面図

(1)敷地の地質・地質構造 —原子炉設置位置付近— (1/9)

○ 原子炉設置位置付近の地質は、別所岳安山岩類の安山岩(均質)、安山岩(角礫質)及び凝灰角礫岩からなる。



矢印(↑)の向きは断層の傾斜方向を示す
 (B-1の傾斜はほぼ90°)



地質水平断面図(EL-4.7m)

【敷地の別所岳安山岩類の産状】

○敷地に分布する別所岳安山岩類は、安山岩と凝灰角礫岩からなる。安山岩は岩相により、安山岩(均質)と安山岩(角礫質)に区分される。3岩種の産状は以下のとおり。

岩種	産状
安山岩(均質)	岩相が比較的均質な安山岩質溶岩。暗灰色を呈し、緻密で堅硬である。節理は比較的多く認められる。岩石組織は一様である。
安山岩(角礫質)	角礫状を呈する安山岩質溶岩。暗灰色ないし赤褐色を呈し、安山岩の大小の礫を含む。基質は比較的堅硬である。また、節理も少なく塊状であり、礫と基質の境界は不明瞭な場合が多い。
凝灰角礫岩	節理が少なく塊状で、色調の異なる安山岩質の小礫から中礫を含み、礫と基質の境界は明瞭であり密着している。また、堆積構造が認められる場合がある。

岩石試験一覧表※

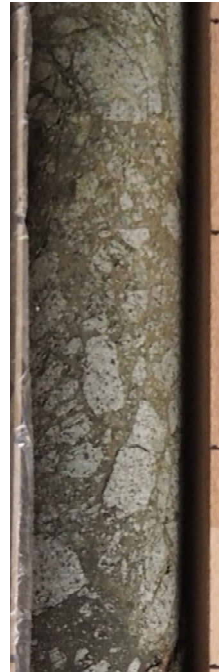
岩種	安山岩(均質)		安山岩(角礫質)	凝灰角礫岩		
	A a	B a	B b	B b		
物理	試験個数	21	123	317	151	
	密度 (g/cm ³)	平均値	2.71	2.68	2.27	2.28
		標準偏差	0.06	0.05	0.09	0.08
	吸水率 (%)	平均値	1.12	1.34	12.58	12.14
		標準偏差	0.58	0.56	2.45	2.92
	有効間隙率 (%)	平均値	2.98	3.53	25.28	24.62
標準偏差		1.41	1.37	3.61	4.40	
試験	試験個数	21	123	317	151	
	P波速度 (km/s)	平均値	5.65	5.53	3.79	3.77
		標準偏差	0.23	0.25	0.41	0.42
	S波速度 (km/s)	平均値	3.06	2.98	1.90	1.89
		標準偏差	0.10	0.18	0.23	0.22
	動弾性係数 (×10 ⁹ N/mm ²) (×10 ⁴ kg/cm ²)	平均値	65.1 (66.4)	61.9 (63.1)	21.8 (22.2)	21.8 (22.2)
		標準偏差	4.9 (5.0)	7.5 (7.6)	5.7 (5.8)	5.5 (5.6)
	動ポアソン比	平均値	0.29	0.29	0.33	0.33
		標準偏差	0.02	0.02	0.02	0.02
	力学試験	試験個数	21	123	317	151
一軸圧縮強度 (N/mm ²) (kg/cm ²)		平均値	156.2 (1,593)	147.9 (1,508)	14.9 (152)	16.4 (167)
		標準偏差	34.9 (356)	33.8 (345)	6.1 (62)	6.4 (65)
静弾性係数 (×10 ⁹ N/mm ²) (×10 ⁴ kg/cm ²)		平均値	59.6 (60.8)	57.3 (58.4)	12.0 (12.2)	12.3 (12.5)
		標準偏差	7.4 (7.5)	8.5 (8.7)	5.5 (5.6)	4.8 (4.9)
静ポアソン比		平均値	0.25	0.25	0.25	0.24
	標準偏差	0.02	0.03	0.06	0.07	
引張試験	試験個数	4	33	65	42	
	引張強度 (N/mm ²) (kg/cm ²)	平均値	10.8 (110)	9.8 (100)	1.5 (15)	1.7 (17)
		標準偏差	—	2.6 (26)	0.6 (6)	0.6 (6)

※敷地全域のボーリングコア等による3岩種の平均物性値[志賀原子力発電所 原子炉設置変更許可申請書(2号原子炉の増設)参照]

・別所岳安山岩類の3岩種のうち、安山岩(均質)は他の2岩種に比べて硬質である(岩石試験一覧表)



安山岩(均質)

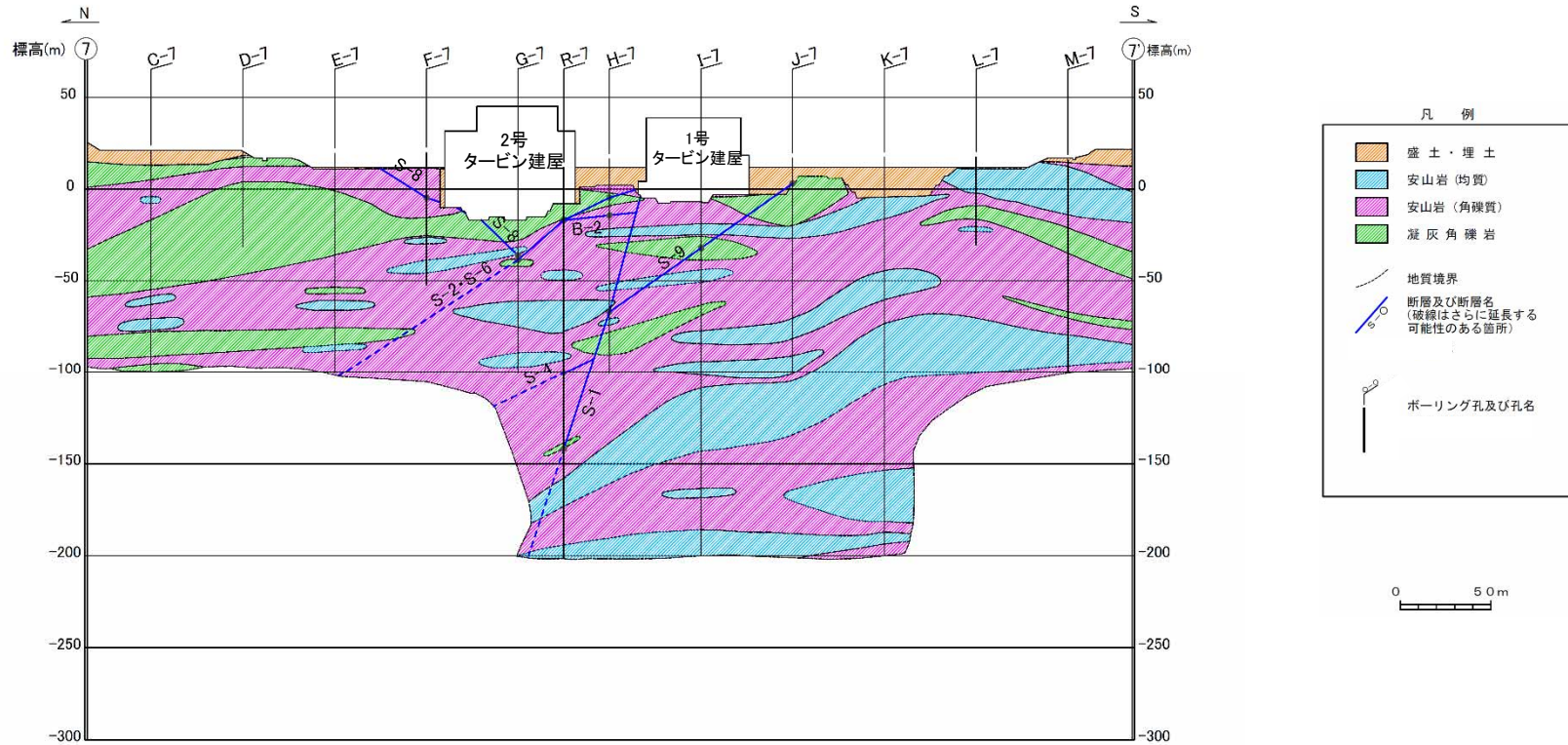


安山岩(角礫質)



凝灰角礫岩

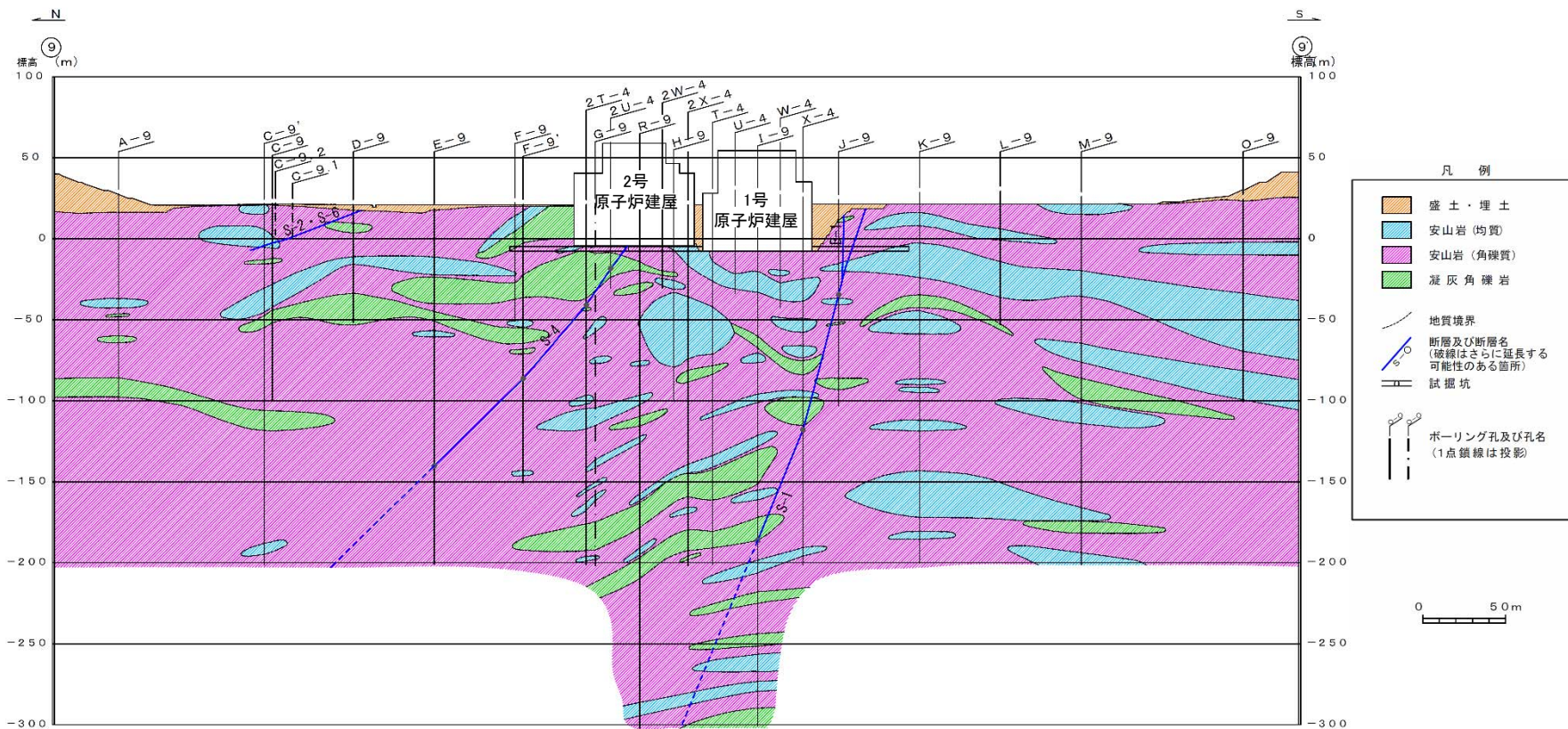
【7-7' 断面】



地質鉛直断面図(7-7' 断面)

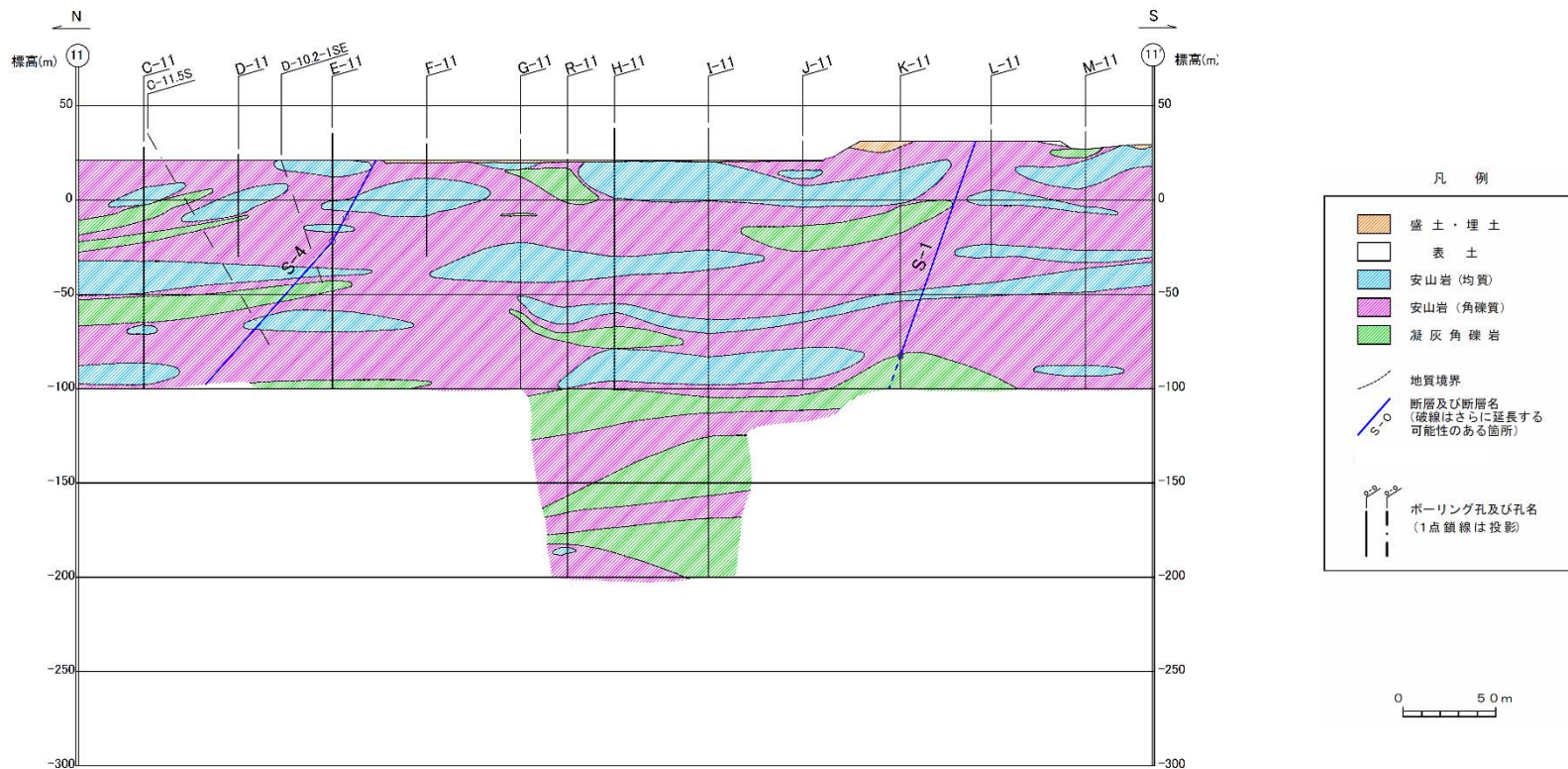
0 50m

【9-9' 断面】



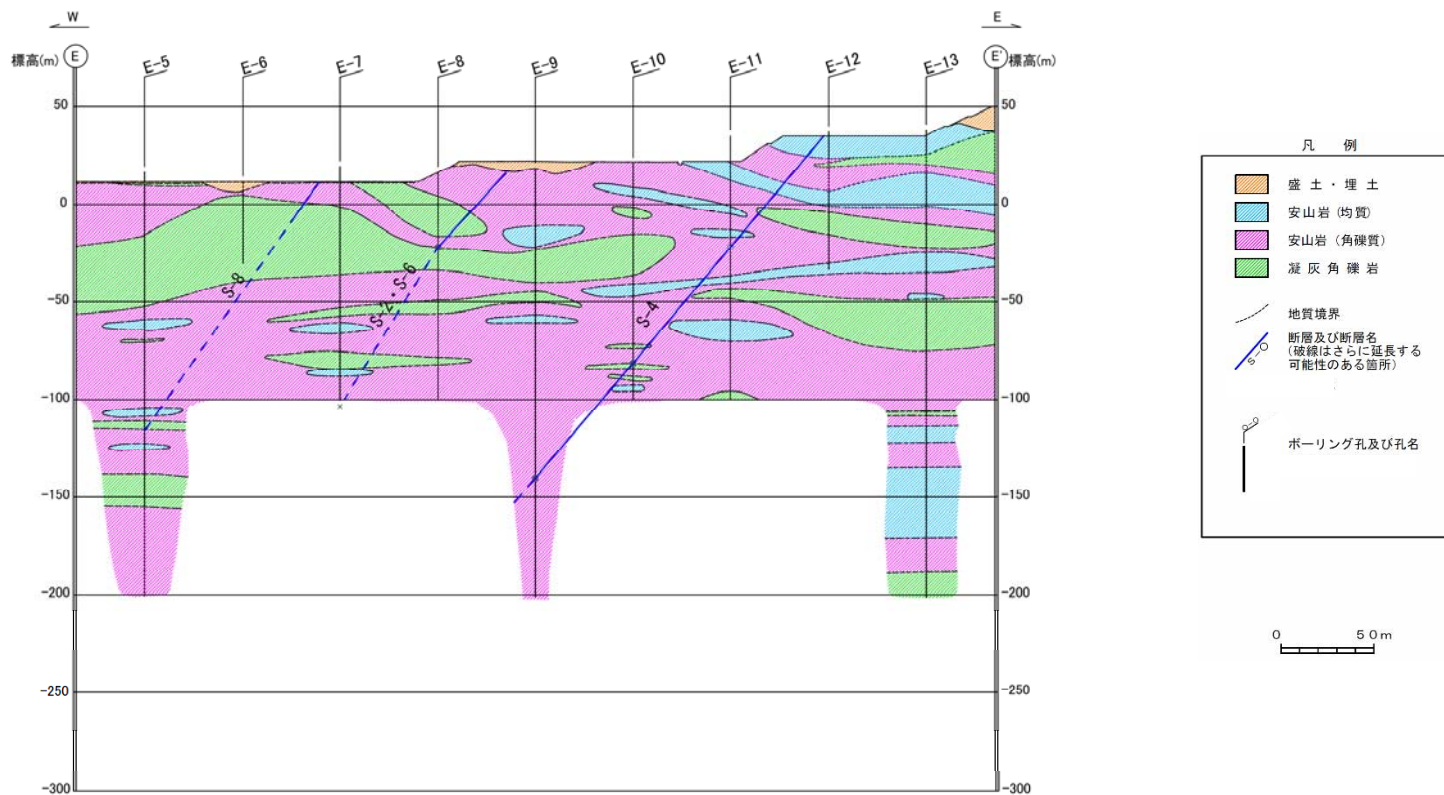
地質鉛直断面図(9-9' 断面)

【11-11' 断面】



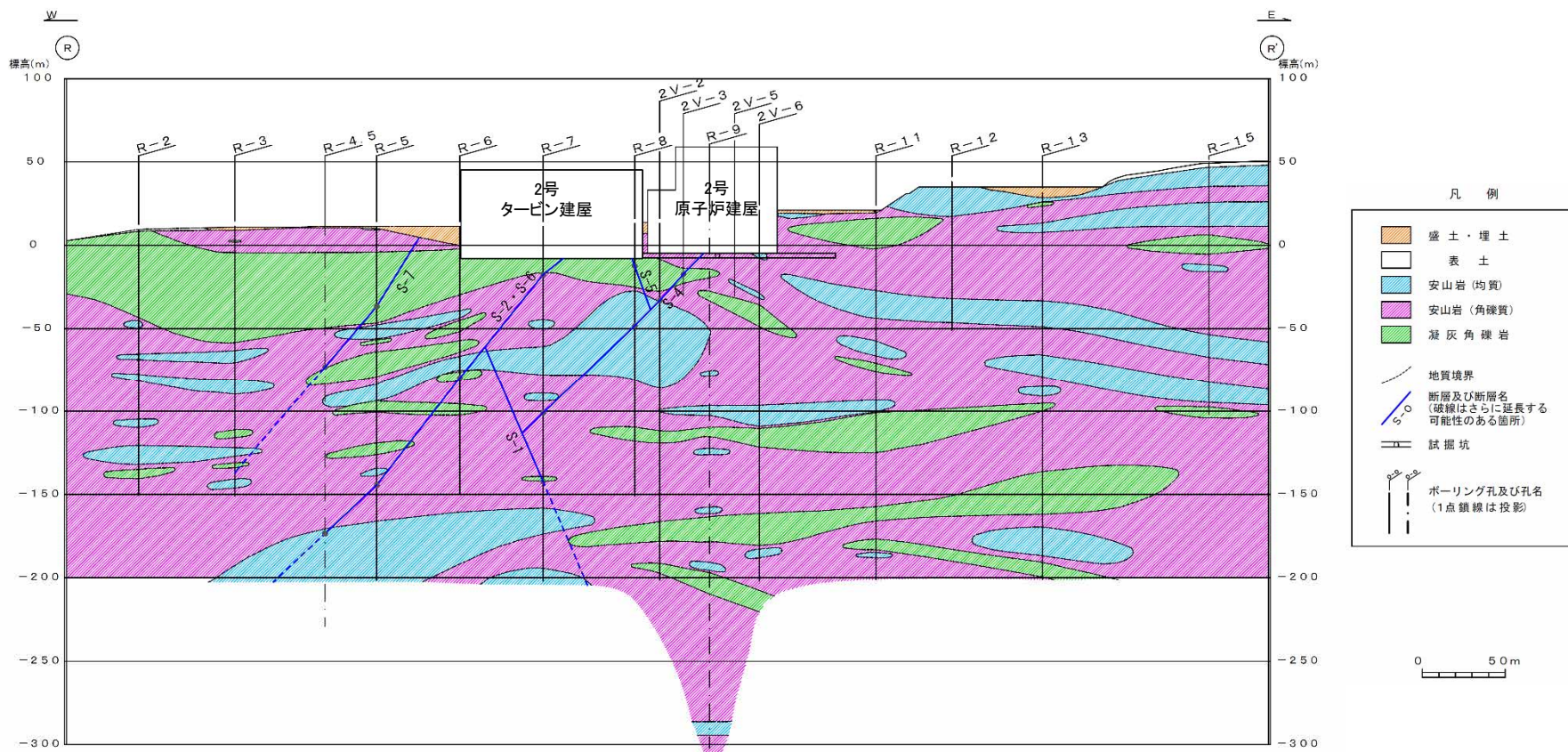
地質鉛直断面図(11-11' 断面)

【E-E' 断面】



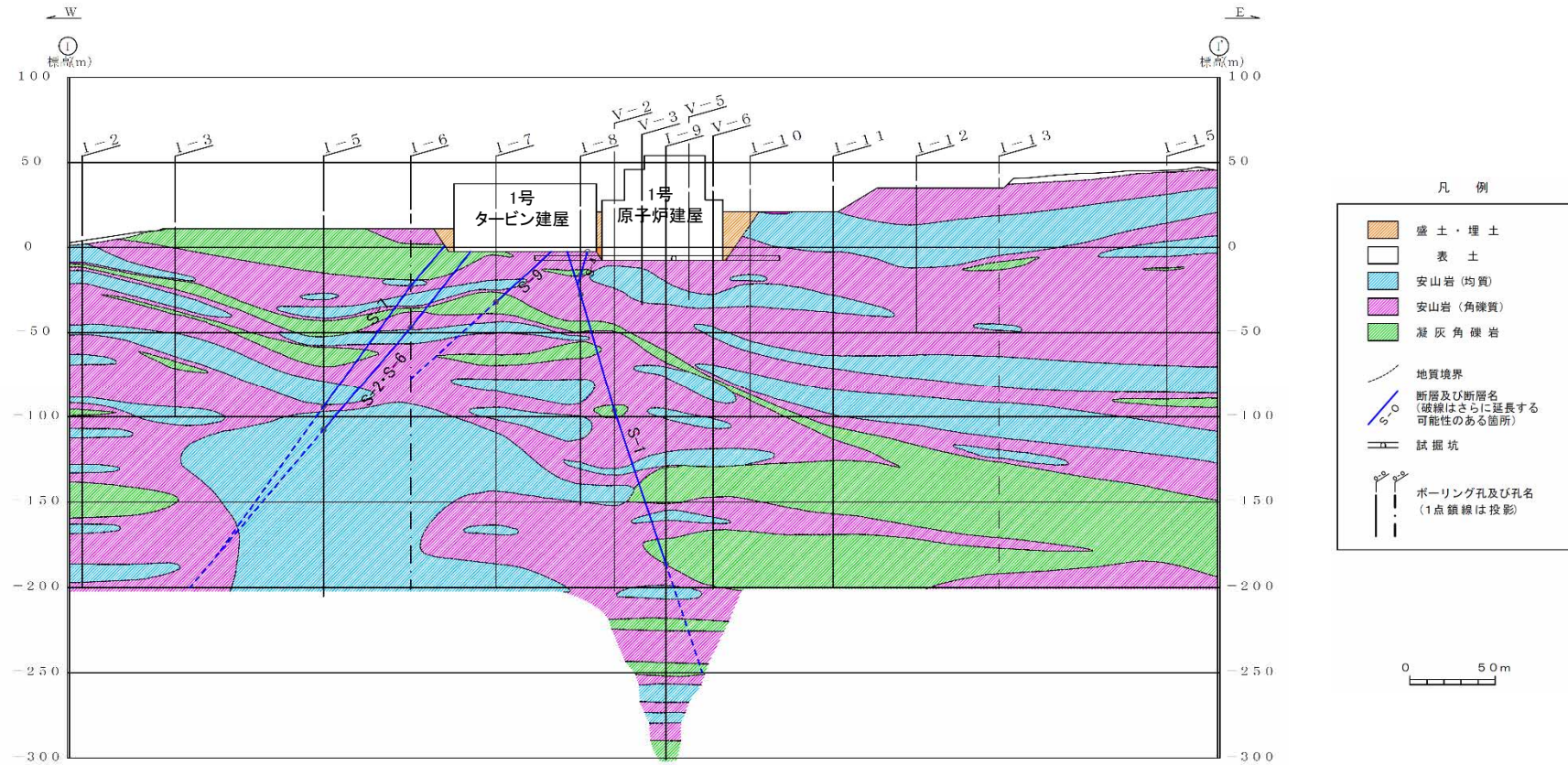
地質鉛直断面図(E-E' 断面)

【R-R' 断面】



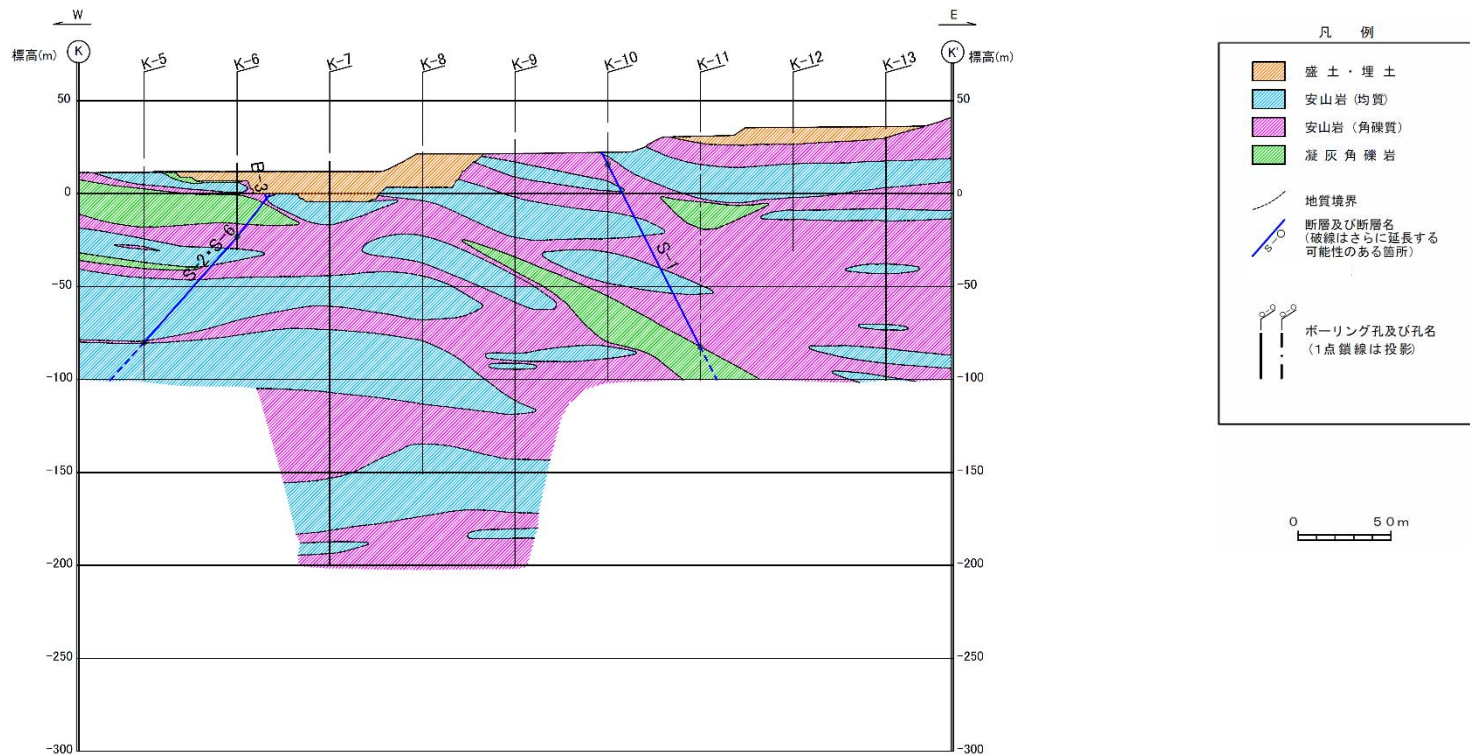
地質鉛直断面図(R-R' 断面)

【I-I' 断面】



地質鉛直断面図(I-I' 断面)

【K-K' 断面】



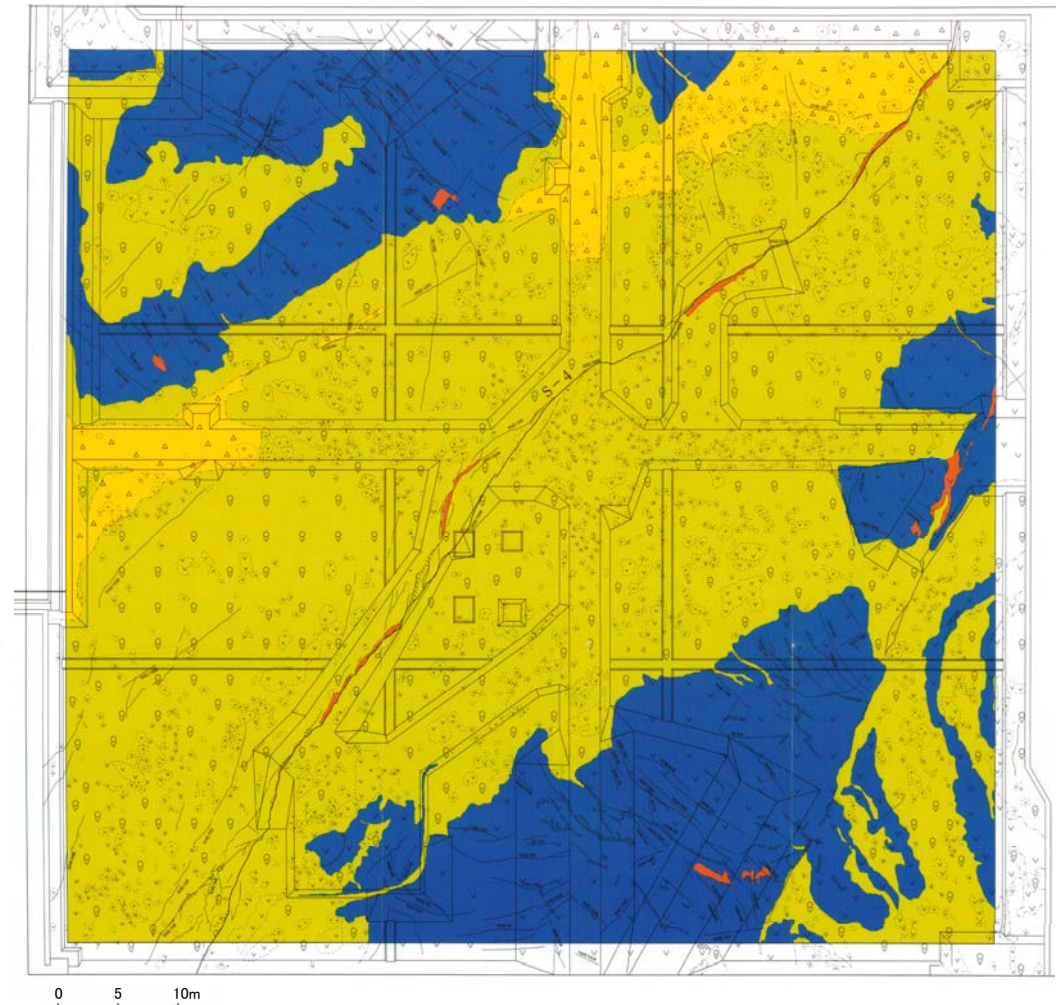
地質鉛直断面図(K-K' 断面)

(1)敷地の地質・地質構造 —原子炉設置位置—

○ 2号原子炉建屋底盤の岩盤にはほとんど変質部は認められず、主に(Ba)級、(Bb)級の岩級区分を示す安山岩が広く分布している。

岩級区分基準

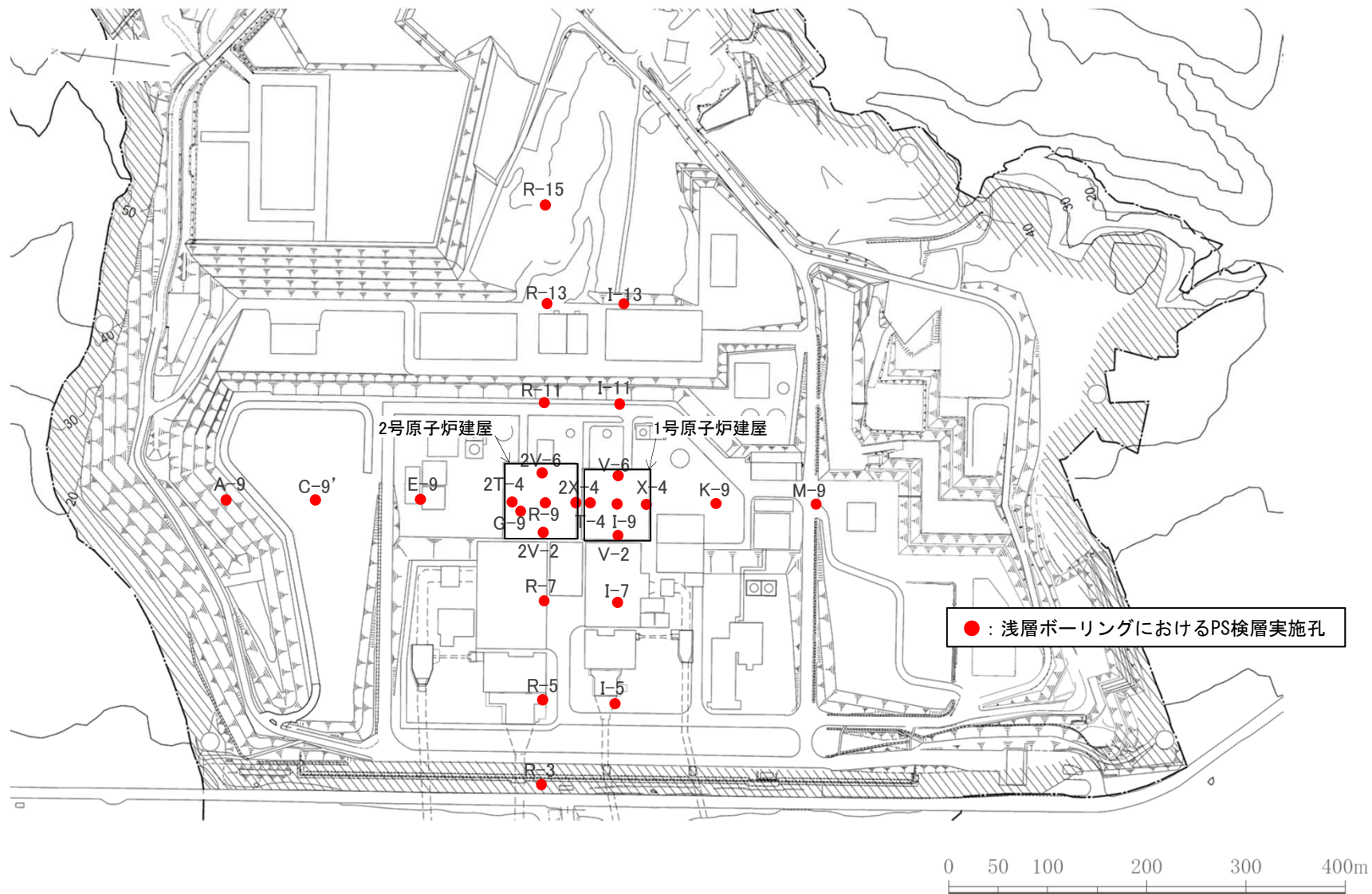
安山岩(均質)		安山岩(角礫質), 凝灰角礫岩	
岩級	特徴	岩級	特徴
(Ba)	<ul style="list-style-type: none"> ハンマの軽打で高音を発する。 節理間隔5cm～50cm程度である。 ハンマの打撃で鋭利な割れ口ができるか割れ目から砕ける。 	(Bb)	<ul style="list-style-type: none"> ハンマの軽打で中高音を発する。 節理はほとんどなく、ヘアクラック程度のひび割れがあり、間隔5cm程度以上である。 ハンマの打撃で鈍い割れ口ができる。
(Ca)	<ul style="list-style-type: none"> ハンマの軽打で低音を発する。 節理間隔5cm程度以下である。 ハンマの打撃で容易に砕ける。 	(Cb)	<ul style="list-style-type: none"> ハンマの軽打で低音を発する。 節理あるいはヘアクラック程度のひび割れがあり、間隔5cm程度以下である。 ハンマの打撃で容易に砕ける。



2号原子炉建屋底盤 岩級区分図

(2) 原子炉設置位置付近の速度構造等(EL-200m以浅) - 調査位置図 -

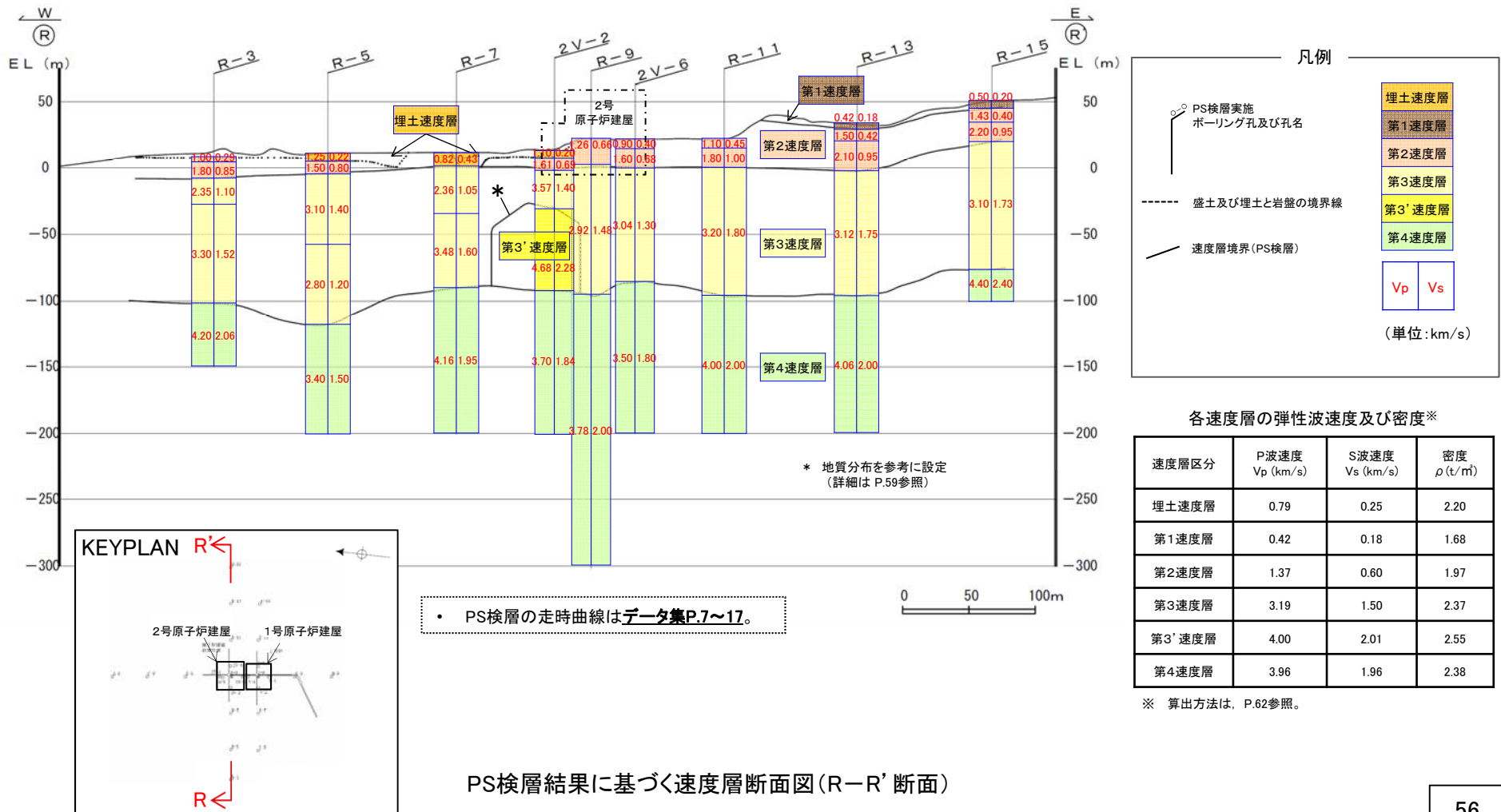
○ 原子炉設置位置付近のEL-200m以浅の速度構造を把握するため、下図に示す26孔の浅層ボーリングでPS検層(ダウンホール法)を実施した。



調査位置図

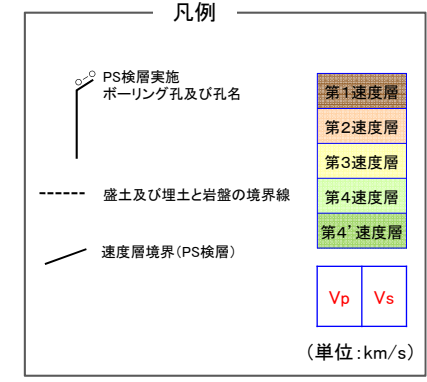
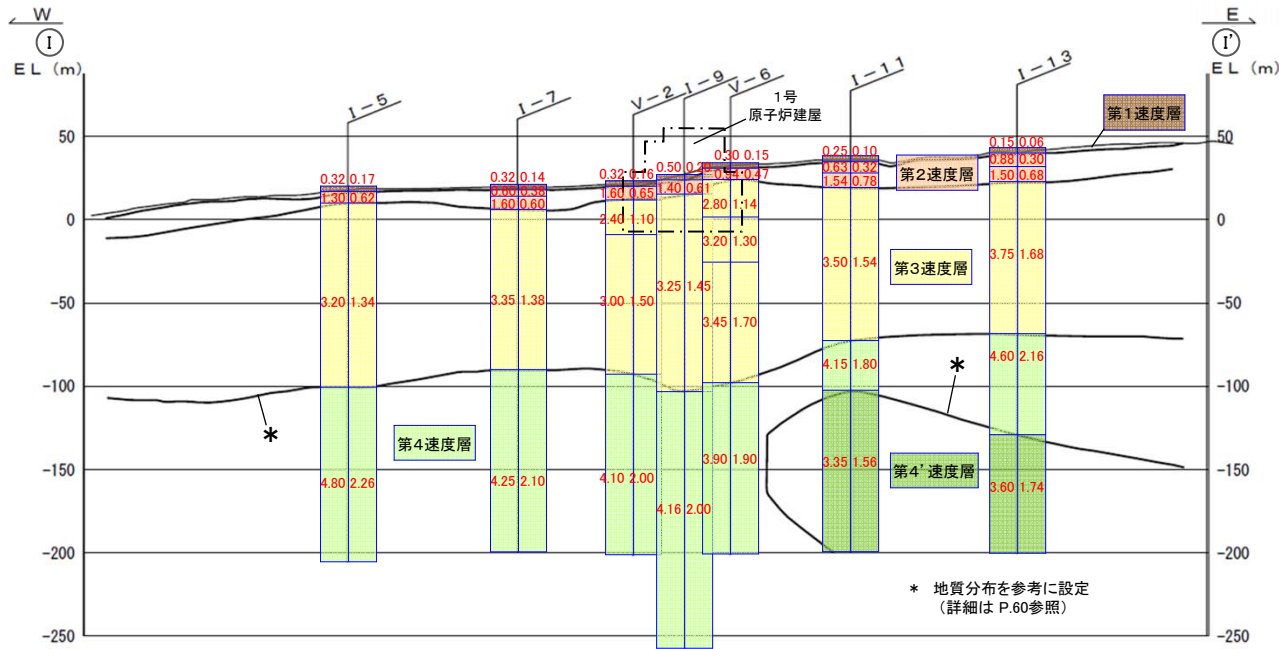
(2) 原子炉設置位置付近の速度構造等(EL-200m以浅) - 調査結果(R-R'断面) -

- 原子炉設置位置付近の東西方向(R-R'断面)の速度層区分は、PS検層実施孔で得られた弾性波速度(V_p , V_s)を踏まえ、埋土速度層及び第1速度層から第4速度層に区分し、第3速度層中において周囲と異なる速度特性(周囲に比べて速度が大きい)を示す範囲を第3'速度層とした。なお、第3'速度層は、第3速度層中に局部的に厚く分布する安山岩(均質)と対応関係が認められる(P.59)。
- 速度層境界は、各孔で得られた速度層境界標高をなめらかに結んだ。
- 浅層ボーリングPS検層結果によれば、原子炉設置位置付近の東西方向(R-R'断面)の速度構造は、概ね水平な層構造を呈す。



(2) 原子炉設置位置付近の速度構造等(EL-200m以浅) - 調査結果(I-I'断面) -

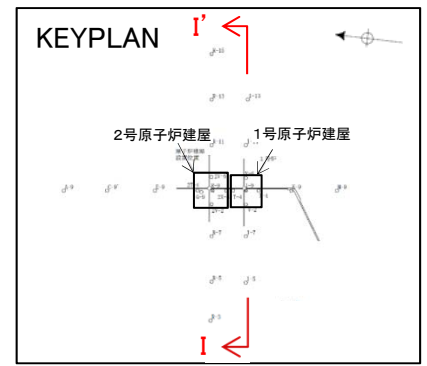
- 原子炉設置位置付近の東西方向(I-I'断面)の速度層区分は、PS検層実施孔で得られた弾性波速度(V_p , V_s)を踏まえ、第1速度層から第4速度層に区分し、第4速度層中において周囲と異なる速度特性(周囲に比べて速度が小さい)を示す範囲を第4'速度層とした。なお、第4'速度層は、第4速度層中に局部的に厚く分布する凝灰角礫岩と対応関係が認められる(P.60)。
- 速度層境界は、各孔で得られた速度層境界標高をなめらかに結んだ。
- 浅層ボーリングPS検層結果によれば、原子炉設置位置付近の東西方向(I-I'断面)の速度構造は、概ね水平な層構造を呈す。



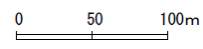
各速度層の弾性波速度及び密度*

速度層区分	P波速度 V_p (km/s)	S波速度 V_s (km/s)	密度 ρ (t/m ³)
第1速度層	0.42	0.18	1.68
第2速度層	1.37	0.60	1.97
第3速度層	3.19	1.50	2.37
第4速度層	3.96	1.96	2.38
第4'速度層	3.45	1.63	2.29

* 算出方法は、P.62参照。



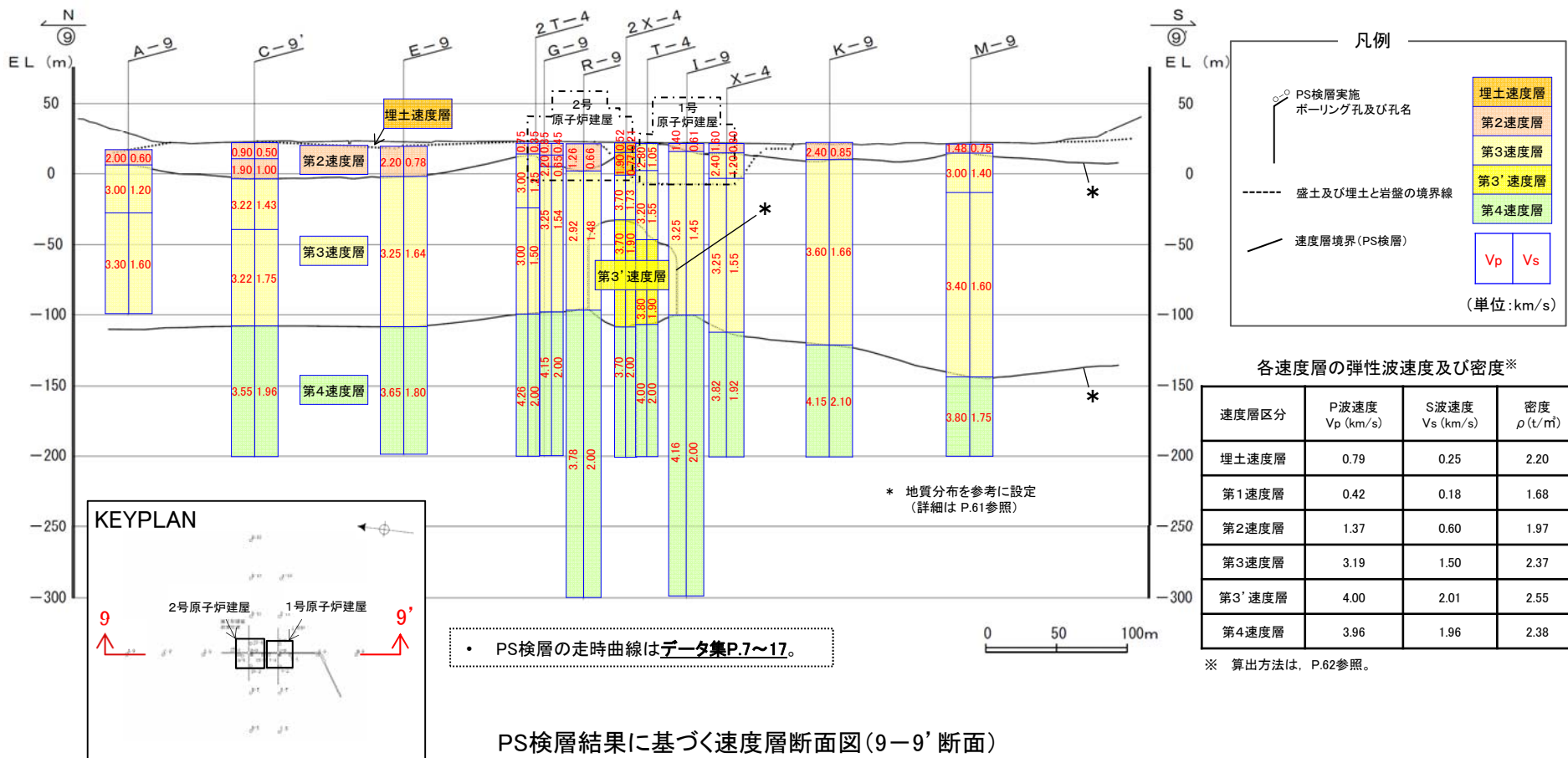
• PS検層の走時曲線はデータ集P.7~17。



PS検層結果に基づく速度層断面図(I-I'断面)

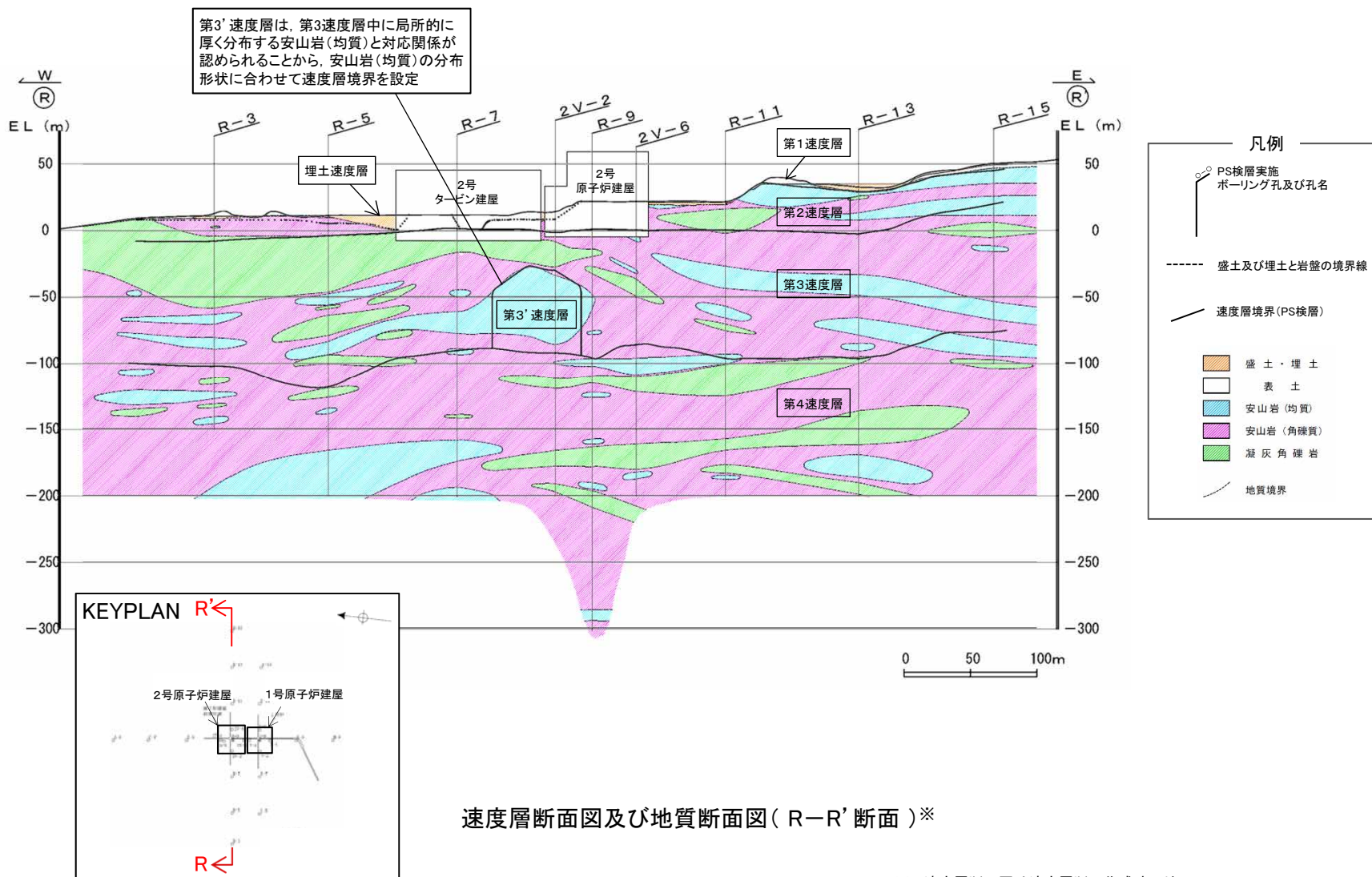
(2) 原子炉設置位置付近の速度構造等(EL-200m以浅) - 調査結果(9-9'断面) -

- 原子炉設置位置付近の南北方向(9-9'断面)の速度層区分は、PS検層実施孔で得られた弾性波速度(V_p , V_s)を踏まえ、埋土速度層及び第2速度層から第4速度層に区分し、第3速度層中において周囲と異なる速度特性(周囲に比べて速度が大きい)を示す範囲を第3'速度層とした。なお、第3'速度層は、第3速度層中に局部的に厚く分布する安山岩(均質)と対応関係が認められる(P.61)。
- 速度層境界は、各孔で得られた速度層境界標高をなめらかに結んだ。
- 浅層ボーリングPS検層結果によれば、原子炉設置位置付近の南北方向(9-9'断面)の速度構造は、概ね水平な層構造を呈す。

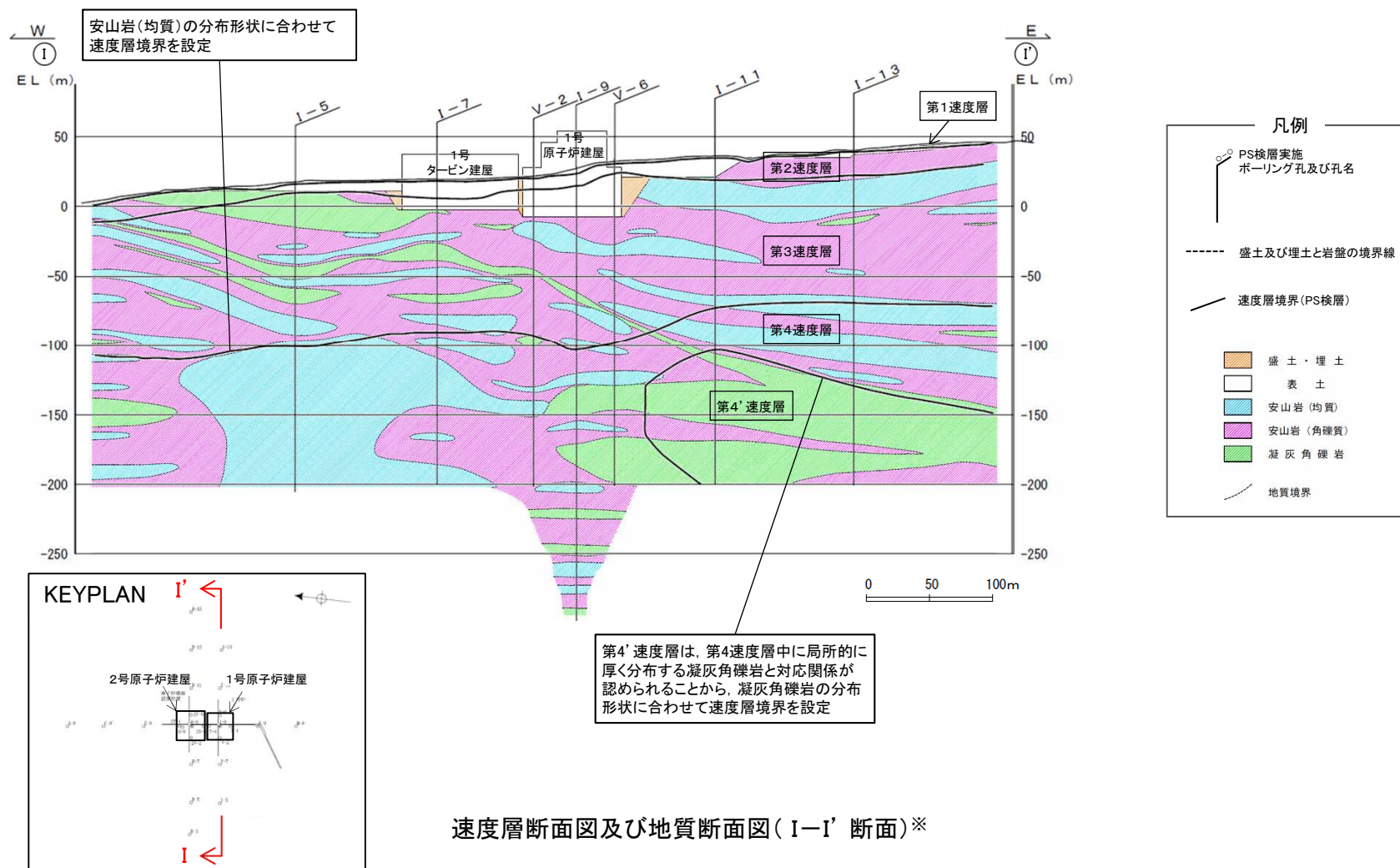


▶ 浅層ボーリングPS検層結果(R断面, I断面, 9断面)によれば、原子炉設置位置付近のEL-200m以浅の速度構造は、概ね水平な層構造を呈すものの、周囲と異なる速度特性を示す範囲として、第3'速度層及び第4'速度層が認められる。

【速度層断面図と地質断面図の重ね合わせ(R-R'断面)】

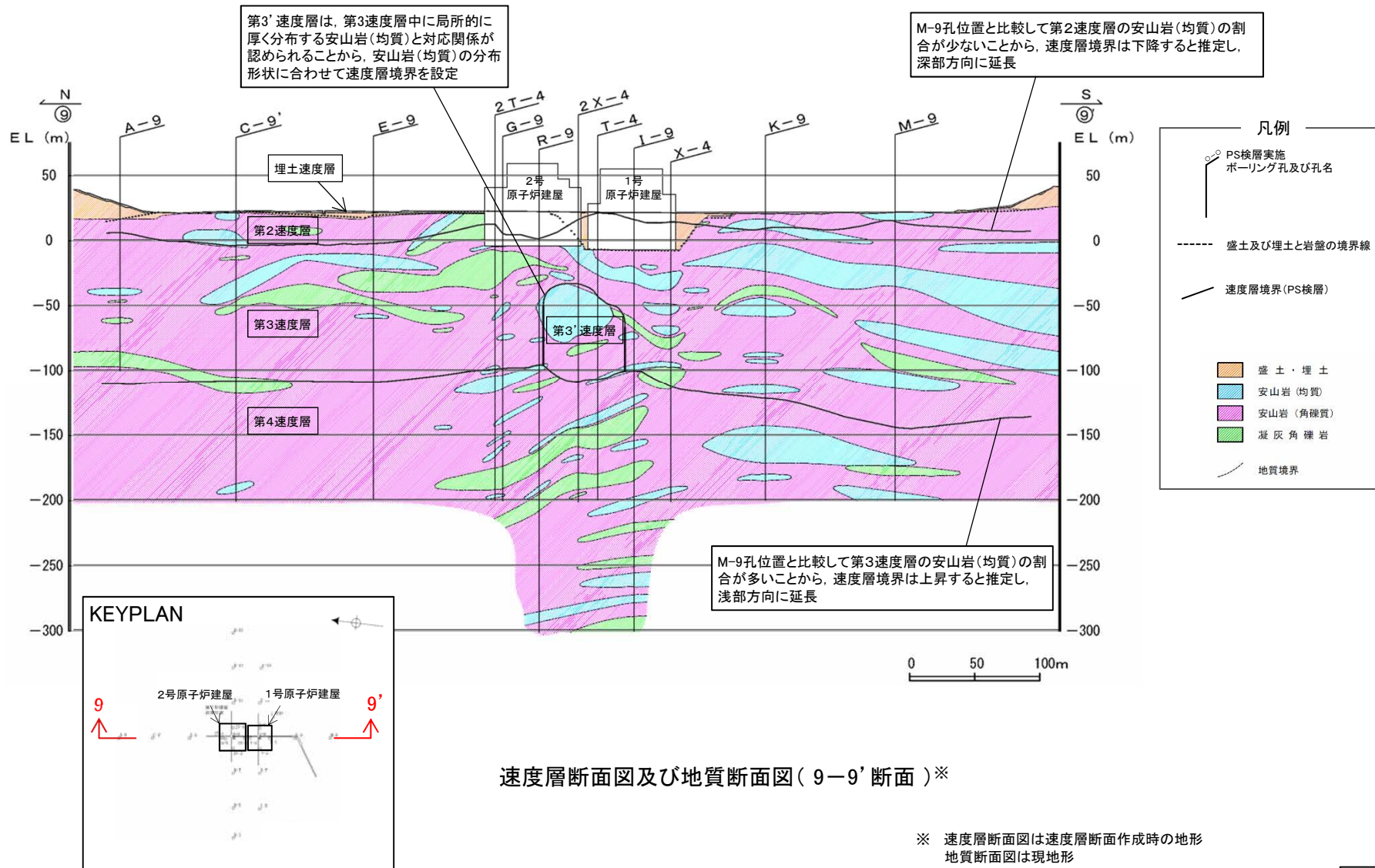


【速度層断面図と地質断面図の重ね合わせ(I-I'断面)】



※ 速度層断面図は速度層断面作成時の地形
地質断面図は現地形

【速度層断面図と地質断面図の重ね合わせ(9-9'断面)】



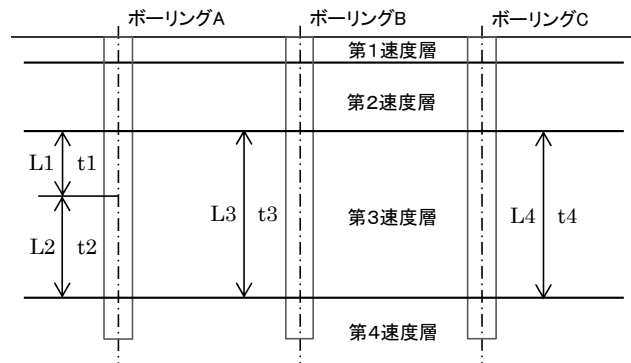
【EL-200m以浅の各速度層の弾性波速度及び密度の算出方法】

■ 弾性波速度 (Vp, Vs)

各速度層の弾性波速度 (Vp, Vs) は、各速度層の全層厚を全伝播時間で割ることにより算出している。

$$\text{各速度層の弾性波速度 } V = \frac{\sum L_i}{\sum t_i}$$

ここに、
 L_i : 速度層の層厚
 t_i : 速度層の伝播時間



上図における第3速度層の弾性波速度の算出例

$$V = \frac{L1 + L2 + L3 + L4}{t1 + t2 + t3 + t4}$$

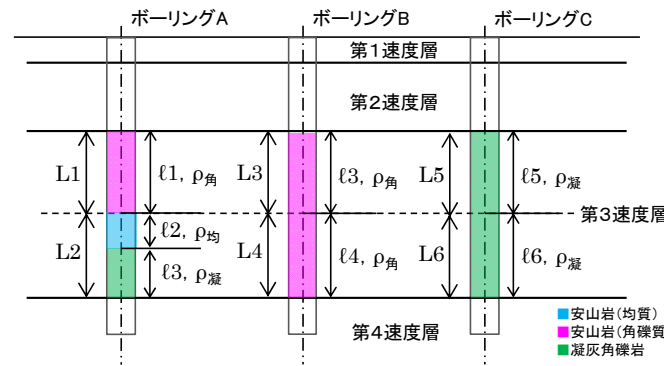
イメージ図

■ 密度 (ρ)

各速度層の密度 (ρ) は、埋土・第1・第2速度層は全層を1区間とし、第3・第4・第3'・第4'速度層は深度方向に概ね20mを1区間として細分化し、地質の密度と区間毎の地質の分布割合をもとに算出している。

$$\text{各速度層の密度 } \rho = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \rho'_j, \quad \rho'_j = \frac{\sum (\ell_i \times \rho_{\text{地質}})}{L_j}$$

ここに、
 ρ'_j : 1区間の平均密度
 n : 区間数
 ℓ_i : 1区間における地質毎の長さ
 $\rho_{\text{地質}}$: 地質毎の密度 (右表)
 L_j : 1区間の長さ



上図における第3速度層の密度の算出例

$$\rho = \frac{1}{6} \times \left\{ \frac{(\ell1 \times \rho_{\text{角}})}{L1} + \frac{(\ell2 \times \rho_{\text{均}}) + (\ell3 \times \rho_{\text{凝}})}{L2} + \frac{(\ell3 \times \rho_{\text{角}})}{L3} + \dots \right\}$$

イメージ図

地質毎の密度

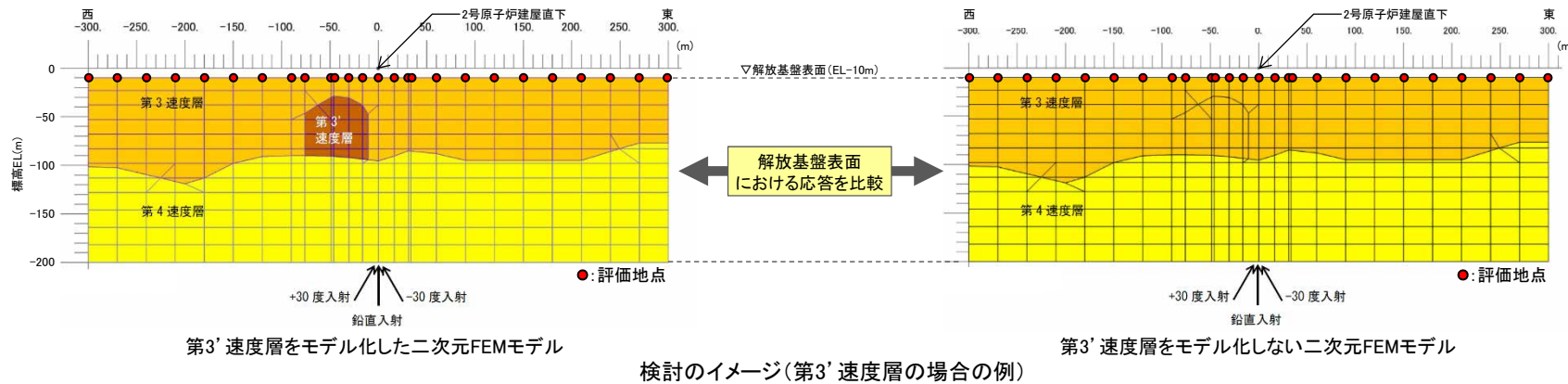
地質	岩級区分	密度 ^{※1} ρ (t/m ³)
安山岩(均質)	[Ba]	2.68
安山岩(角礫質)	[Bb]	2.27
凝灰角礫岩		2.28
安山岩(均質)	[Ca]	2.38
安山岩(角礫質)	[Cb]	2.16
凝灰角礫岩		2.13
安山岩(均質)	[Da]	1.53
安山岩(角礫質)	[Db]	1.51
凝灰角礫岩		1.51 ^{※2}
表土		1.75
埋土		2.20

※1 敷地で実施した試験結果に基づき設定

※2 分布範囲が小さく試験を実施していない凝灰角礫岩[Db級]については、凝灰角礫岩[Bb級]及び[Cb級]と安山岩(角礫質)[Bb級]及び[Cb級]の密度値がそれぞれ同程度であることを踏まえ、安山岩(角礫質)[Db級]と同一の値としている。

(2) 原子炉設置位置付近の速度構造等(EL-200m以浅) — 第3' 速度層・第4' 速度層の影響検討方法 —

- 原子炉設置位置付近のEL-200m以浅の速度構造は概ね水平な層構造を呈すものの、周囲と異なる速度特性を示す範囲として、第3' 速度層及び第4' 速度層が認められることから、二次元FEMモデルを用いた地震動シミュレーションによる検討を実施することで、これらが地震動へ与える影響を確認した。
- 地震動シミュレーションによる検討は、第3' 速度層または第4' 速度層をモデル化した二次元FEMモデルと第3' 速度層または第4' 速度層をモデル化しない二次元FEMモデルにそれぞれ地震波を入力し、解放基盤表面(設定の詳細はP.144参照)として設定したEL-10mにおける応答波形を比較することで行った。
- 地震波は、主要な施設である原子炉建屋及び長周期側の代表的な施設である排気筒の1次固有周期を踏まえ、中心周期0.2秒及び1.0秒のリッカー波を用いた。また地震波の入射方向については敷地近傍の福浦断層等の断層面の位置を考慮し、鉛直入射及び斜め入射(±30°)した場合の検討を行った。検討のイメージと速度層の地盤物性を下記に示す。
- なお、第3' 速度層は原子炉設置位置付近の速度構造のR-R' 断面及び9-9' 断面の両断面にみられるが、第3' 速度層の大きさ及び位置に大きな違いはないことから、ここではR-R' 断面を代表として検討を行った。



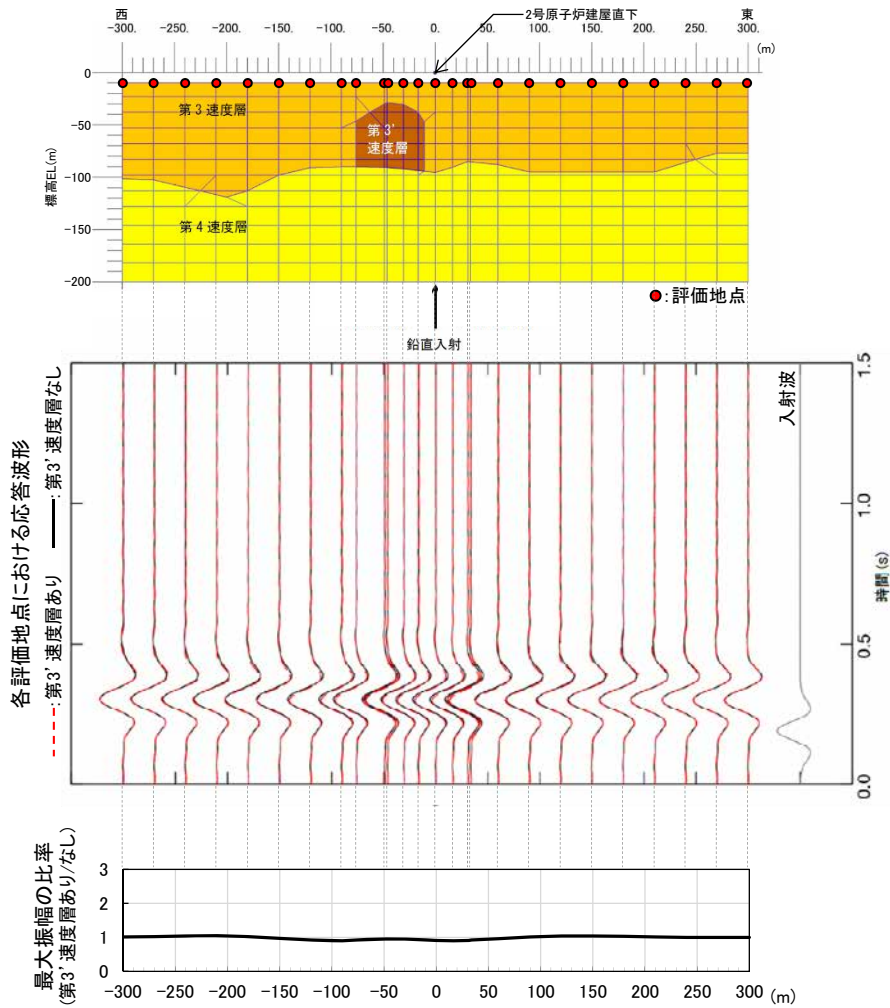
速度層の地盤物性

層区分	Vs (km/s)	Vp (km/s)	密度 (t/m ³)
第3速度層	1.50	3.19	2.37
第3' 速度層	2.01	4.00	2.55
第4速度層	1.96	3.96	2.38
第4' 速度層	1.63	3.45	2.29

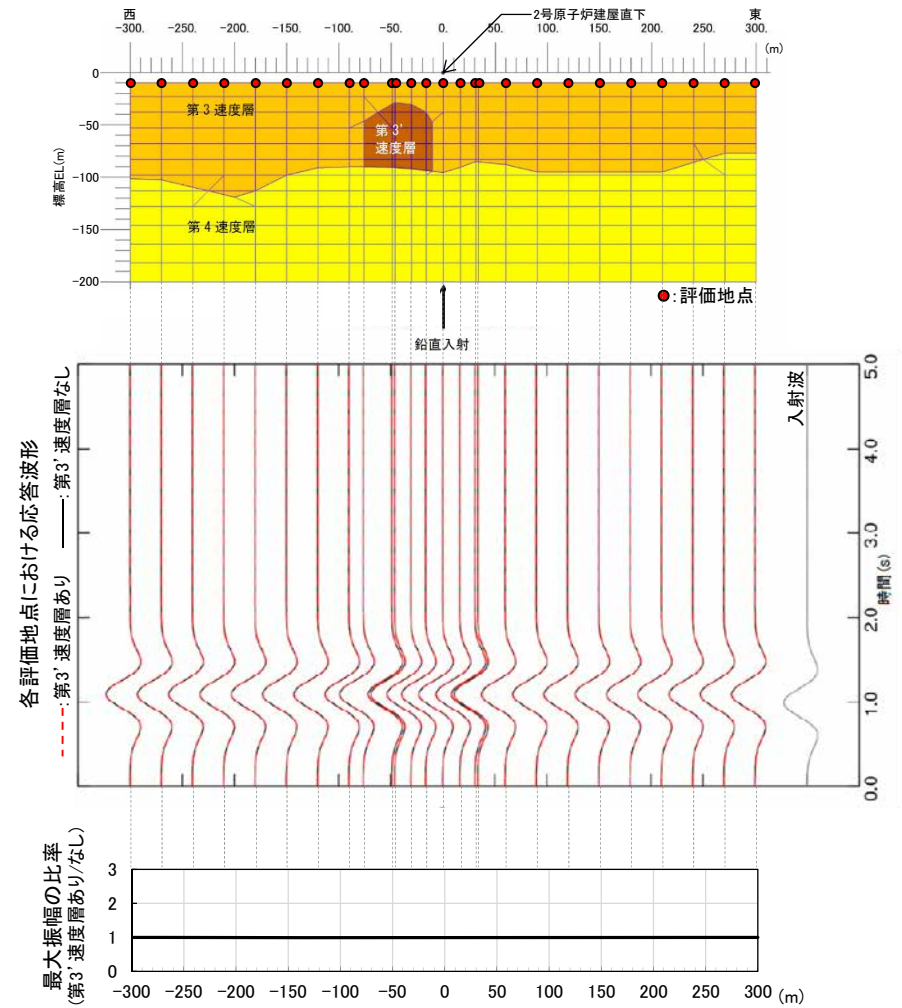
※ 二次元FEMモデルの側面及び底面への波動の逸散を考慮するため、側面はエネルギー伝達境界を設定し、側面境界以遠は、水平成層地盤として仮定する。また、底面は粘性境界を設定し、EL-200m以深の底面物性は第4速度層の値を用いる。

(2) 原子炉設置位置付近の速度構造等(EL-200m以浅) — 第3'速度層の影響検討結果(鉛直入射) —

○ 第3'速度層をモデル化した二次元FEMモデルと第3'速度層をモデル化しない二次元FEMモデルに中心周期0.2秒及び1.0秒のリッカー波を鉛直入射した場合の解放基盤表面における応答波形を比較した結果, 最大振幅及び位相に顕著な違いはみられない。



入射波:リッカー波(中心周期0.2秒)

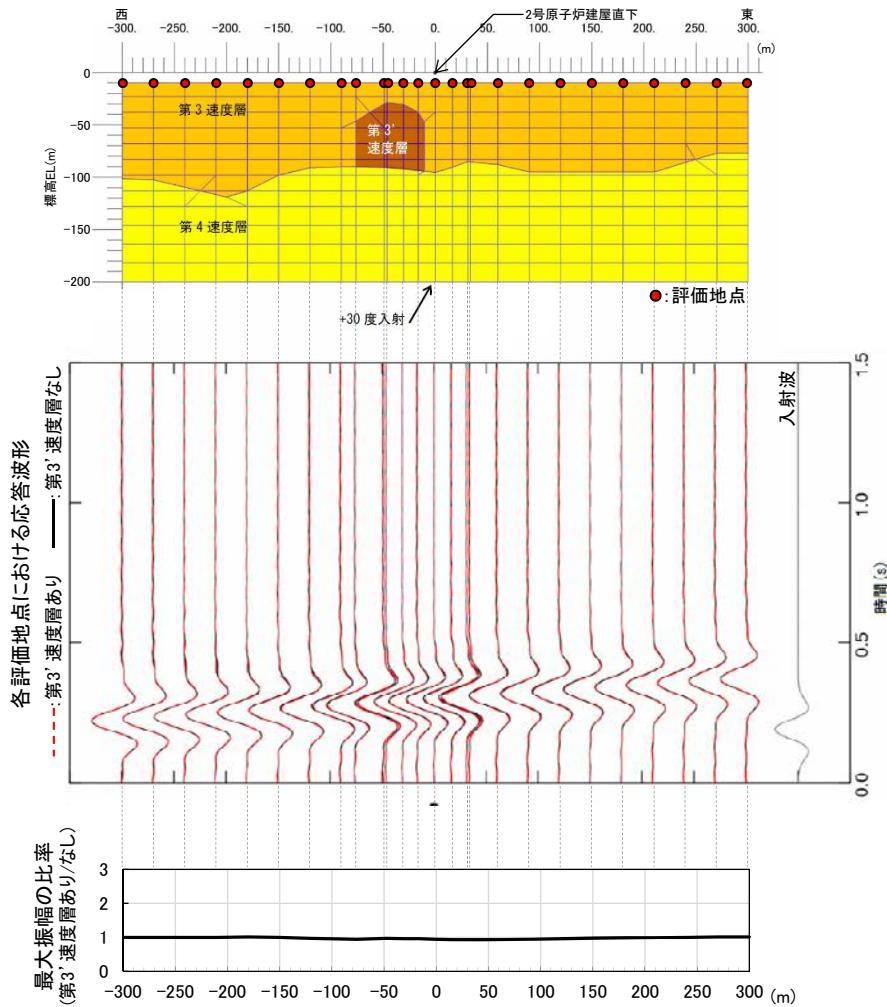


入射波:リッカー波(中心周期1.0秒)

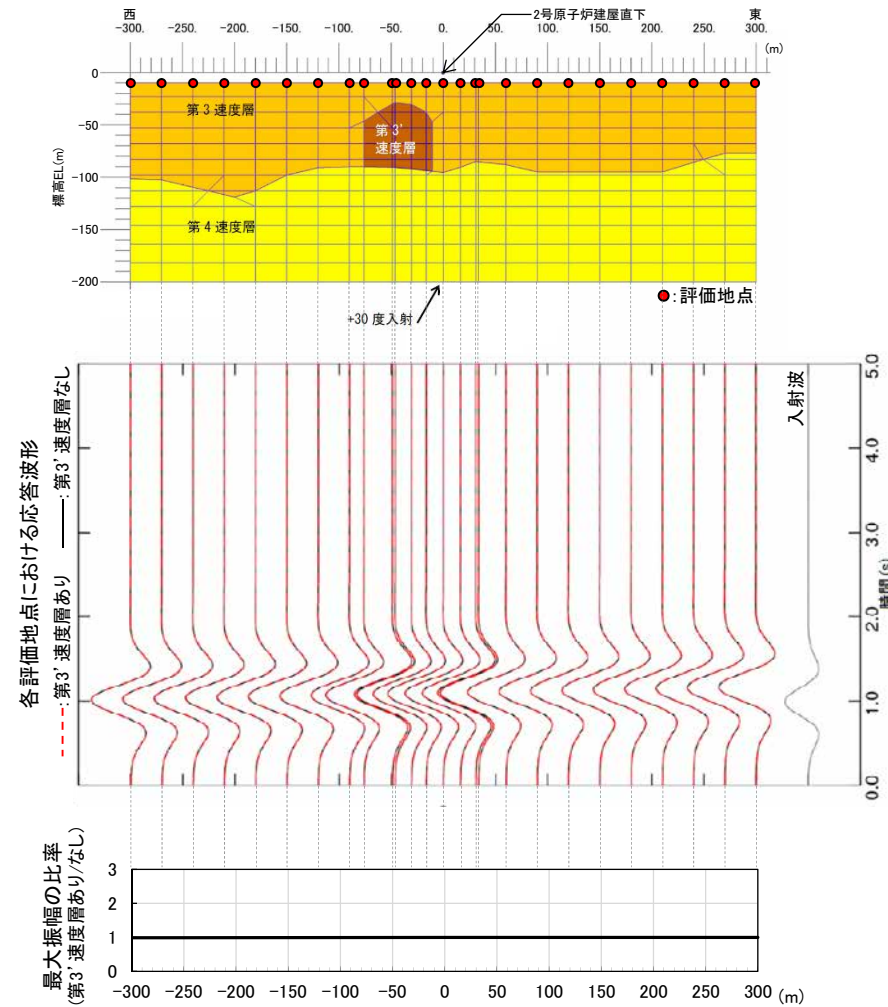
※ モデル図は便宜上, 第3'速度層をモデル化した二次元FEMモデルを示している。

(2) 原子炉設置位置付近の速度構造等(EL-200m以浅) — 第3' 速度層の影響検討結果(斜め入射(+30°)) —

○ 第3' 速度層をモデル化した二次元FEMモデルと第3' 速度層をモデル化しない二次元FEMモデルに中心周期0.2秒及び1.0秒のリッカー波を斜め入射(+30°)した場合の結果は、鉛直入射の場合と同様、最大振幅及び位相に顕著な違いはみられない。



入射波:リッカー波(中心周期0.2秒)

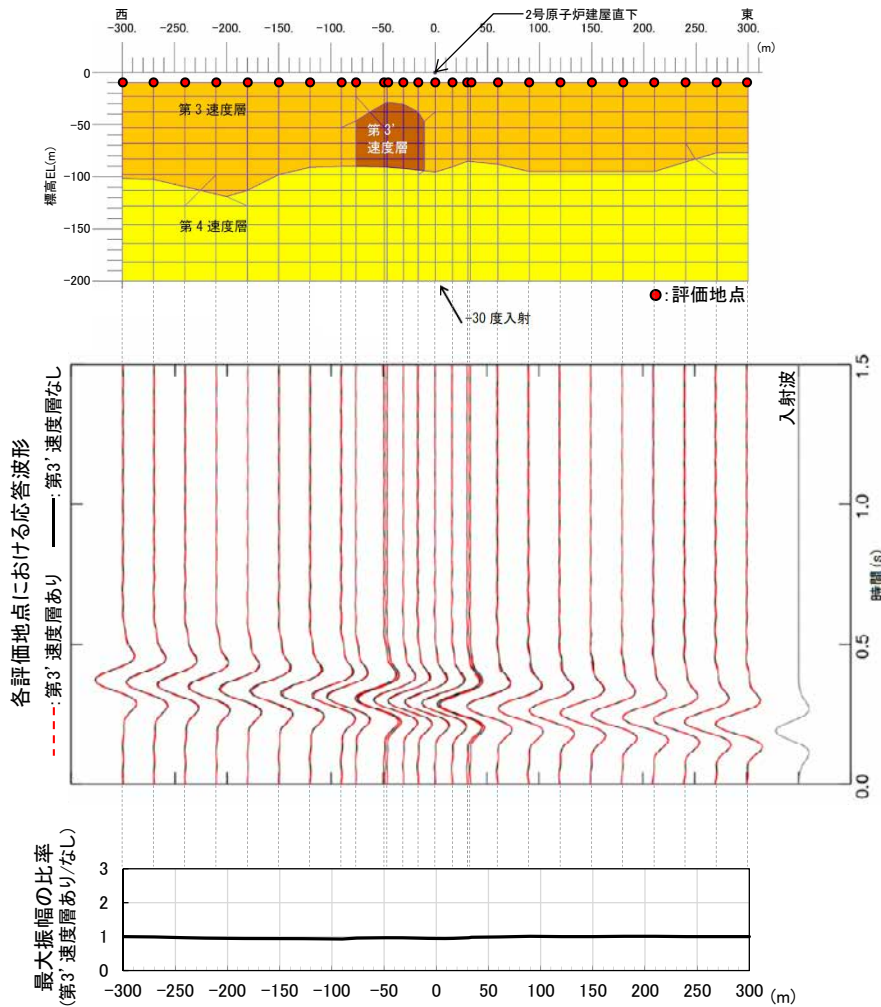


入射波:リッカー波(中心周期1.0秒)

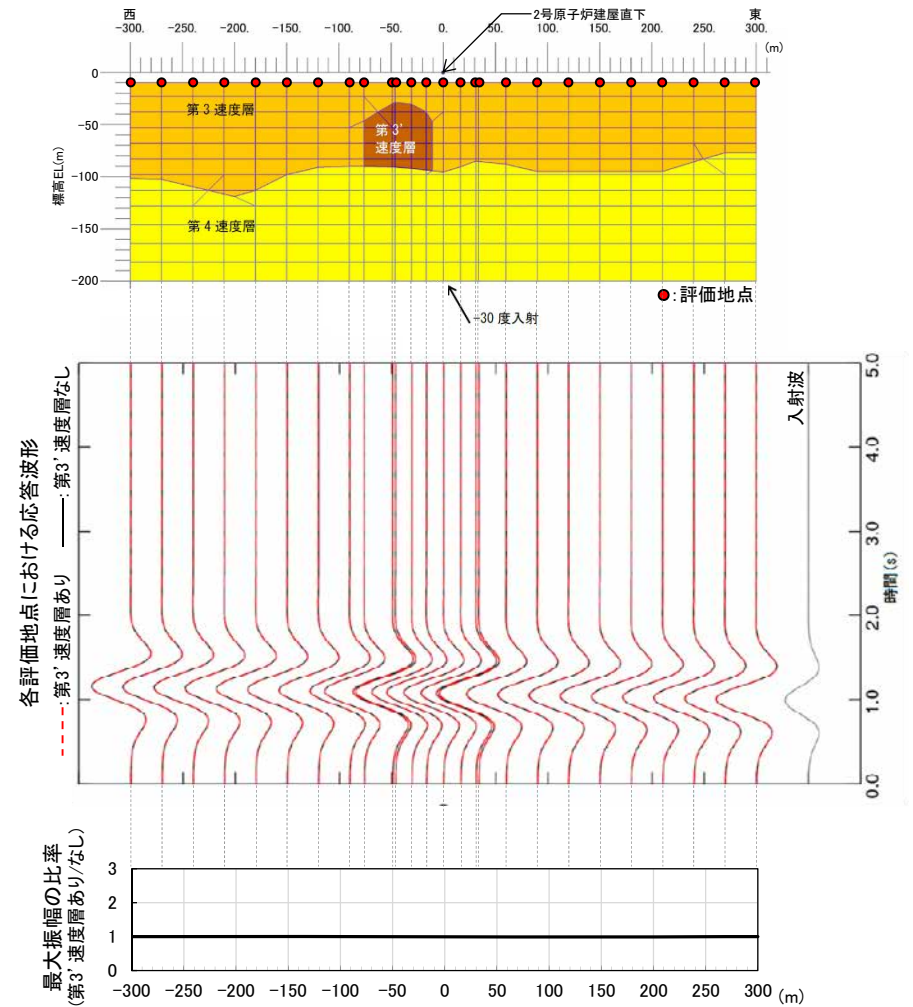
※ モデル図は便宜上、第3' 速度層をモデル化した二次元FEMモデルを示している。

(2) 原子炉設置位置付近の速度構造等(EL-200m以浅) — 第3' 速度層の影響検討結果(斜め入射(-30°)) —

○ 第3' 速度層をモデル化した二次元FEMモデルと第3' 速度層をモデル化しない二次元FEMモデルに中心周期0.2秒及び1.0秒のリッカー波を斜め入射(-30°)した場合の結果は、鉛直入射の場合と同様、最大振幅及び位相に顕著な違いはみられない。



入射波: リッカー波(中心周期0.2秒)

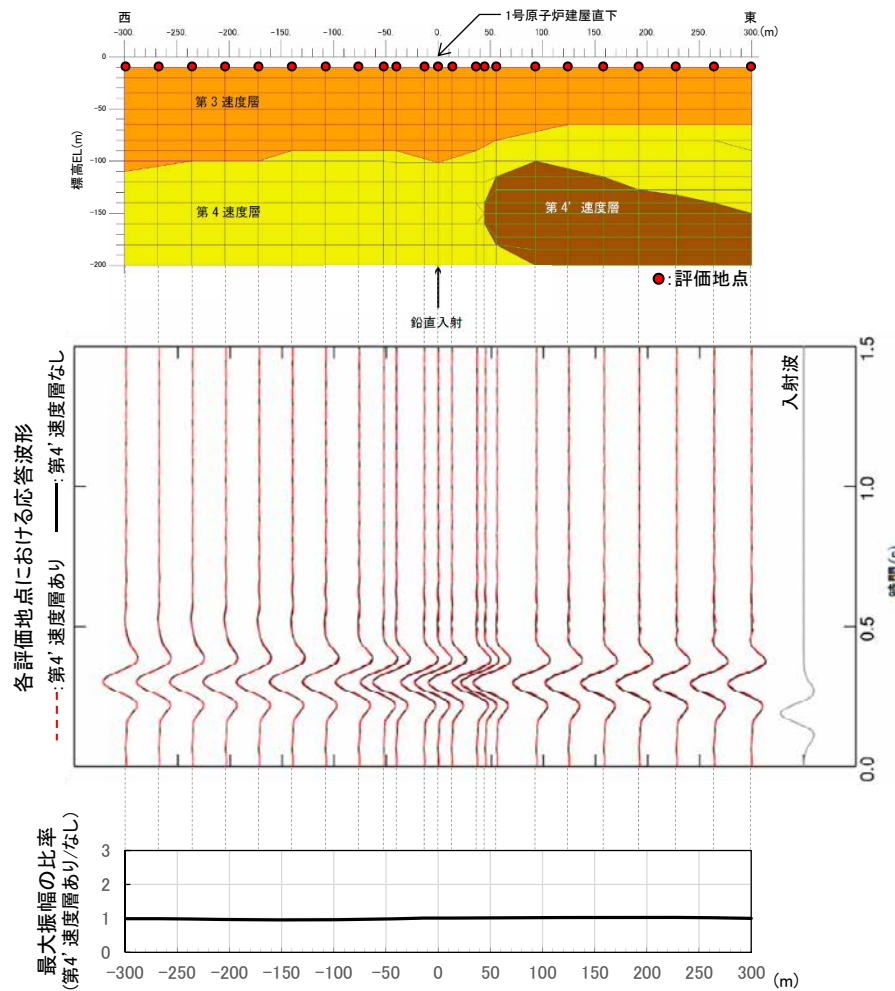


入射波: リッカー波(中心周期1.0秒)

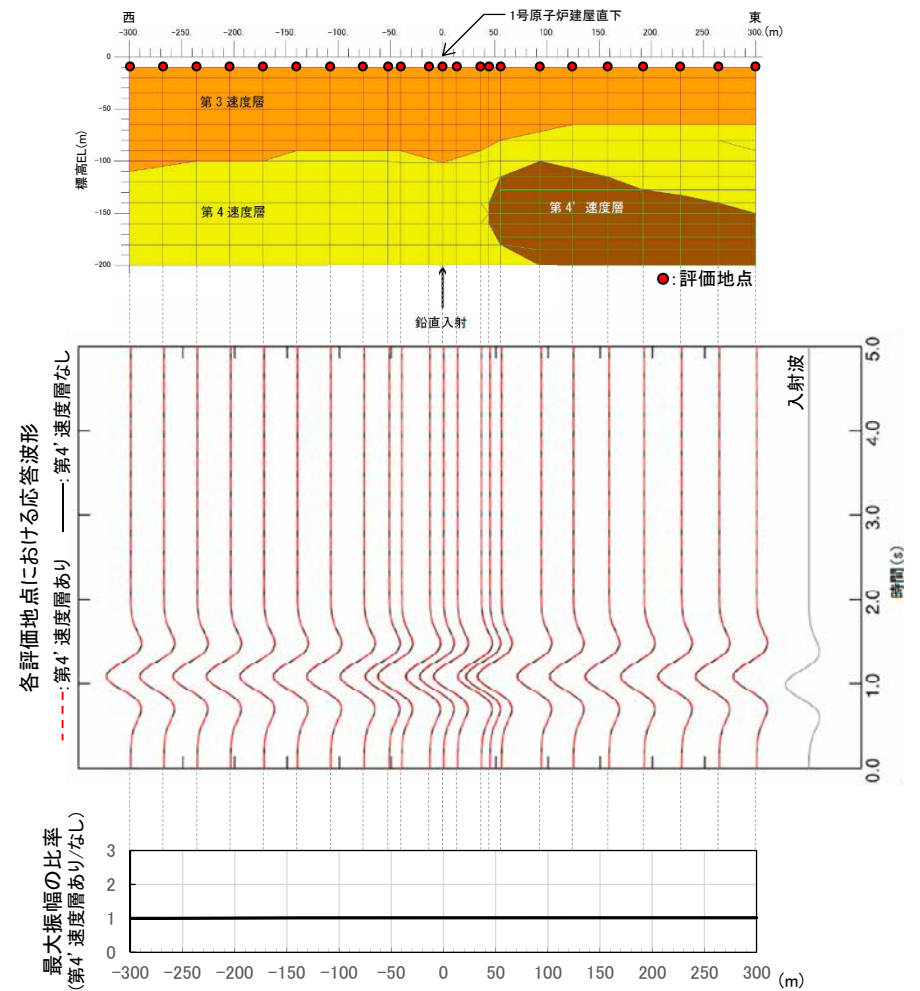
※ モデル図は便宜上、第3' 速度層をモデル化した二次元FEMモデルを示している。

(2) 原子炉設置位置付近の速度構造等(EL-200m以浅) — 第4'速度層の影響検討結果(鉛直入射) —

○ 第4'速度層をモデル化した二次元FEMモデルと第4'速度層をモデル化しない二次元FEMモデルに中心周期0.2秒及び1.0秒のリッカー波を鉛直入射した場合の解放基盤表面における応答波形を比較した結果, 最大振幅及び位相に顕著な違いはみられない。



入射波:リッカー波(中心周期0.2秒)

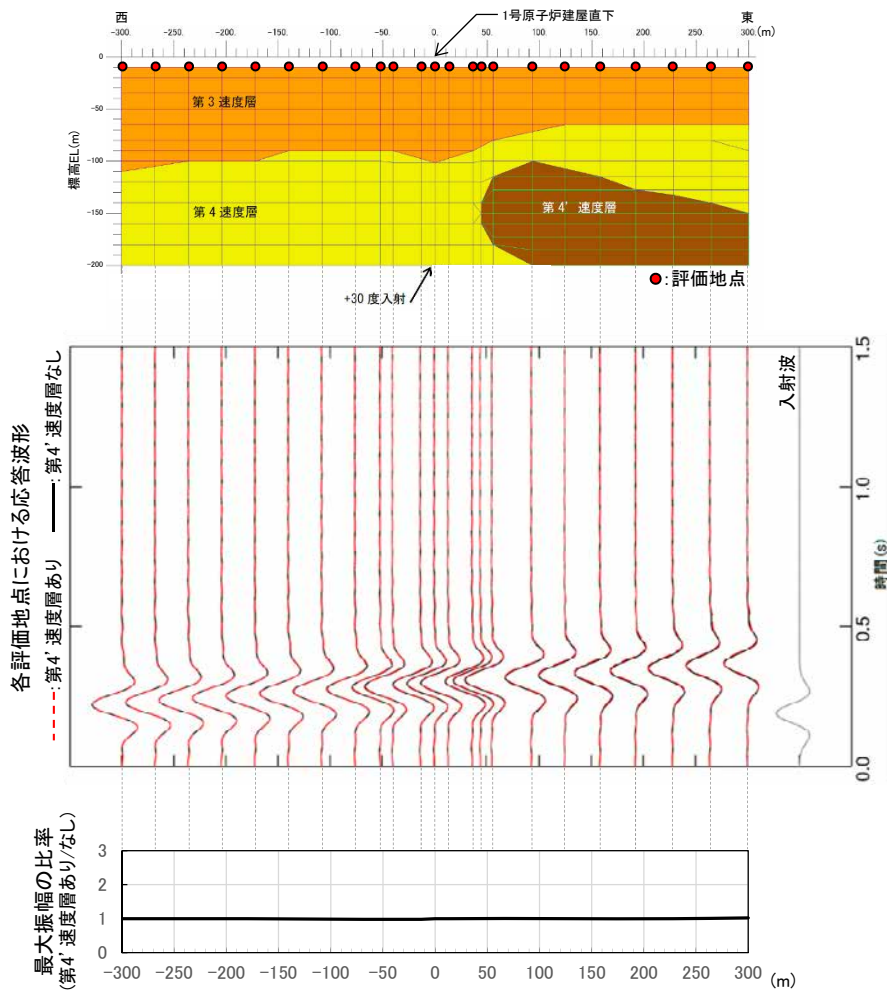


入射波:リッカー波(中心周期1.0秒)

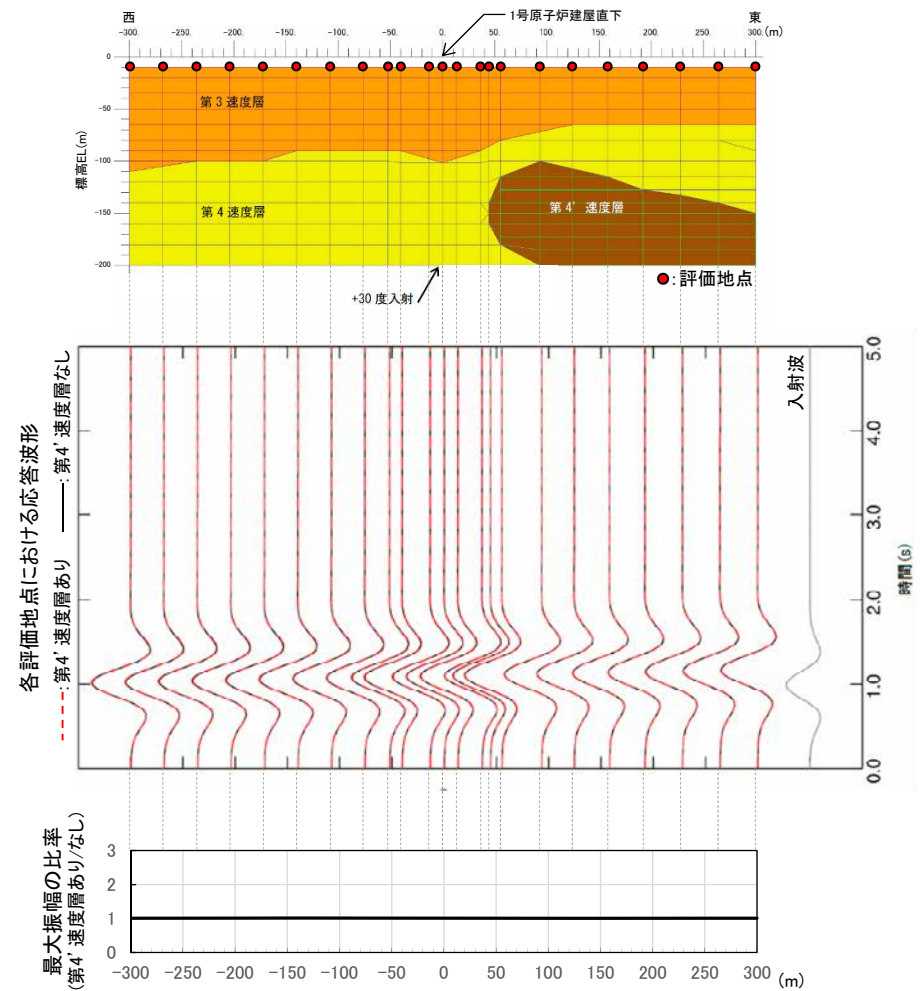
※ モデル図は便宜上, 第4'速度層をモデル化した二次元FEMモデルを示している。

(2) 原子炉設置位置付近の速度構造等(EL-200m以浅) — 第4'速度層の影響検討結果(斜め入射(+30°)) —

○ 第4'速度層をモデル化した二次元FEMモデルと第4'速度層をモデル化しない二次元FEMモデルに中心周期0.2秒及び1.0秒のリッカー波を斜め入射(+30°)した場合は、鉛直入射の場合と同様、最大振幅及び位相に顕著な違いはみられない。



入射波:リッカー波(中心周期0.2秒)

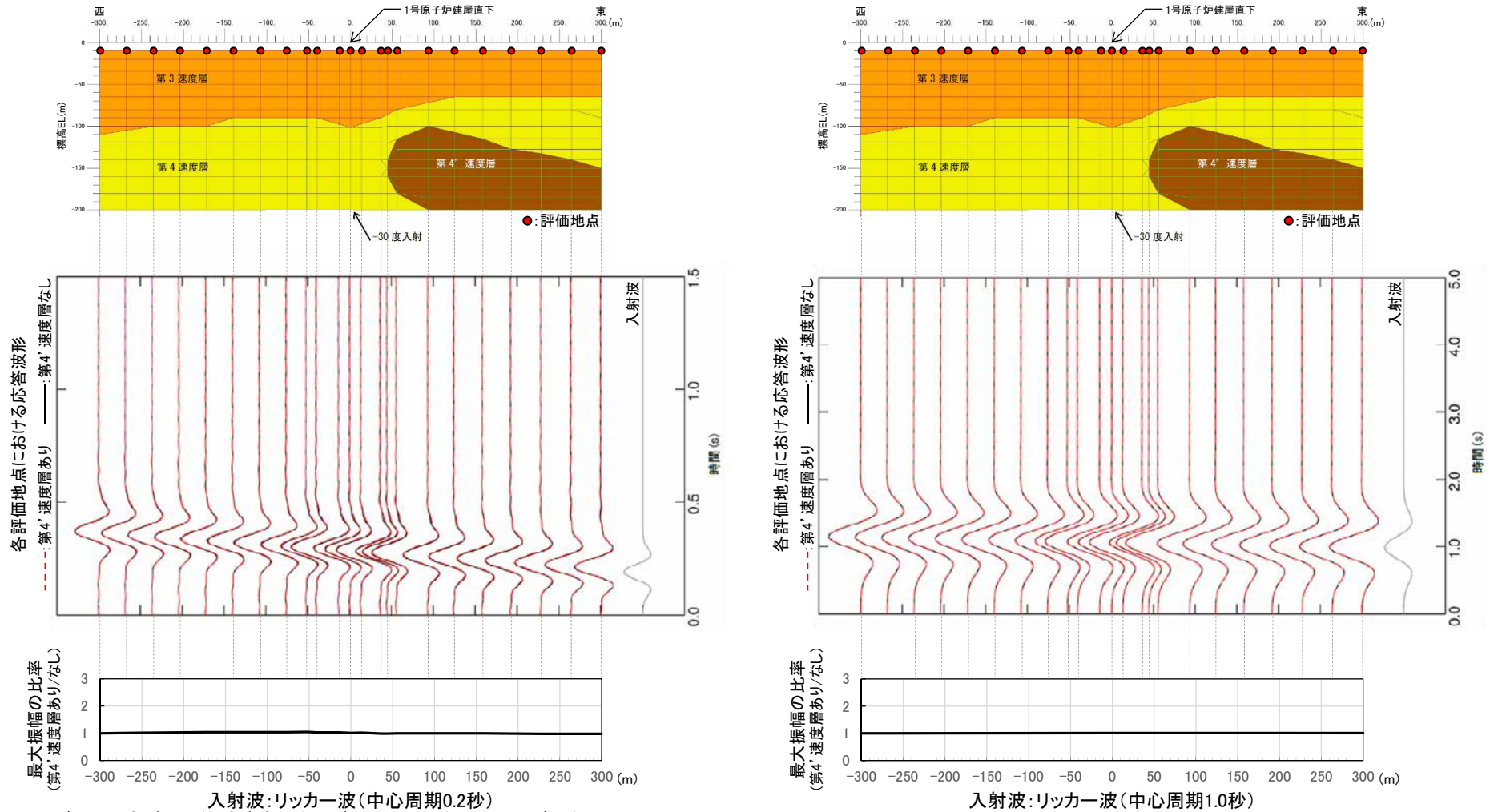


入射波:リッカー波(中心周期1.0秒)

※ モデル図は便宜上、第4'速度層をモデル化した二次元FEMモデルを示している。

(2) 原子炉設置位置付近の速度構造等(EL-200m以浅) — 第4'速度層の影響検討結果(斜め入射(-30°)) —

○ 第4'速度層をモデル化した二次元FEMモデルと第4'速度層をモデル化しない二次元FEMモデルに中心周期0.2秒及び1.0秒のリッカー波を斜め入射(-30°)した場合は、鉛直入射の場合と同様、最大振幅及び位相に顕著な違いはみられない。

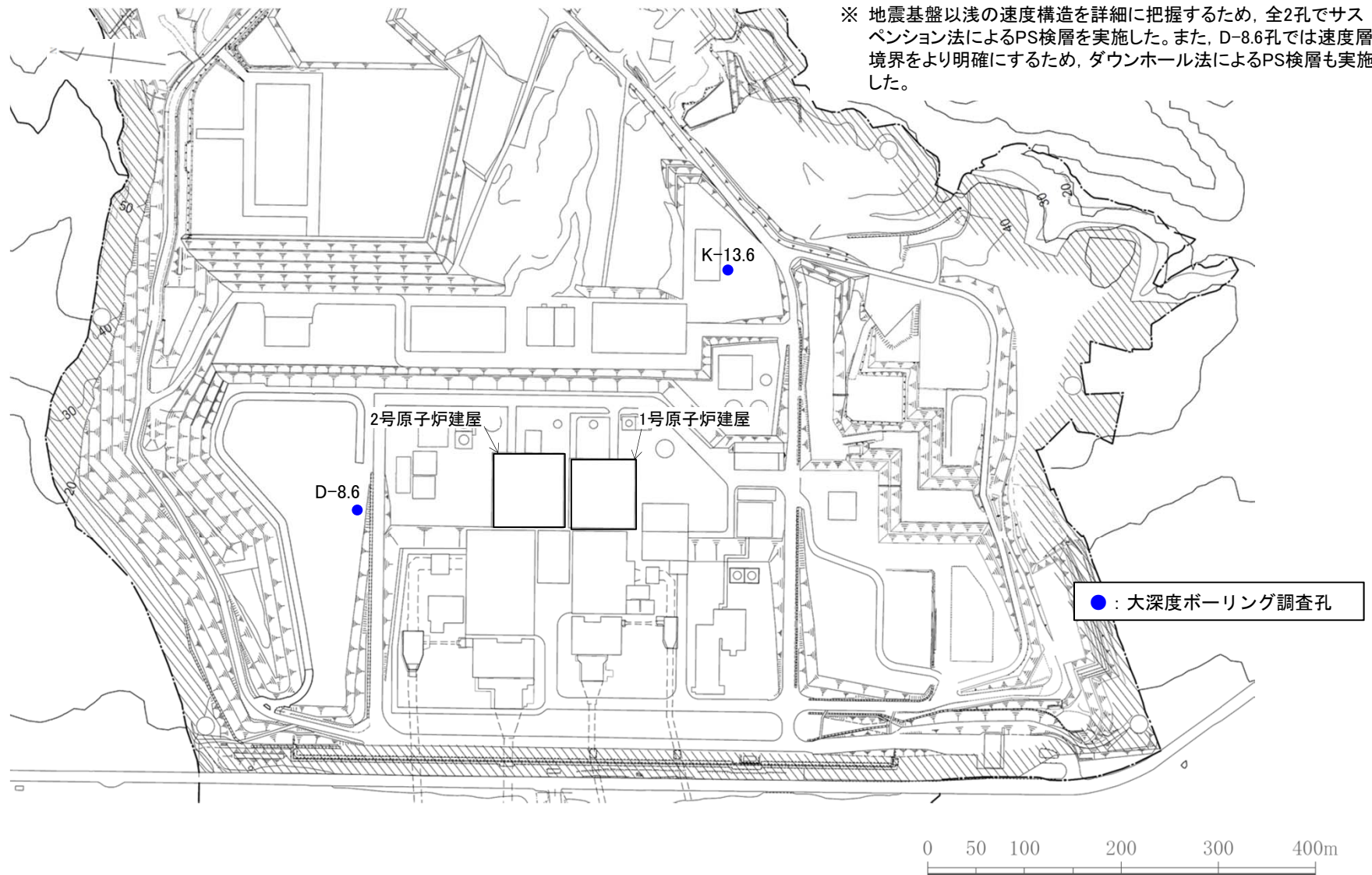


※ モデル図は便宜上、第4'速度層をモデル化した二次元FEMモデルを示している。

➤ 第3'速度層または第4'速度層をモデル化した二次元FEMモデル及び第3'速度層または第4'速度層をモデル化しない二次元FEMモデルを用いた地震動シミュレーションによる応答波形において、顕著な違いはみられないことから、第3'速度層及び第4'速度層が解放基盤表面での地震動へ与える影響は小さいものと考えられる。

(3) 原子炉設置位置付近の速度構造等(地震基盤以浅) ー調査位置図ー

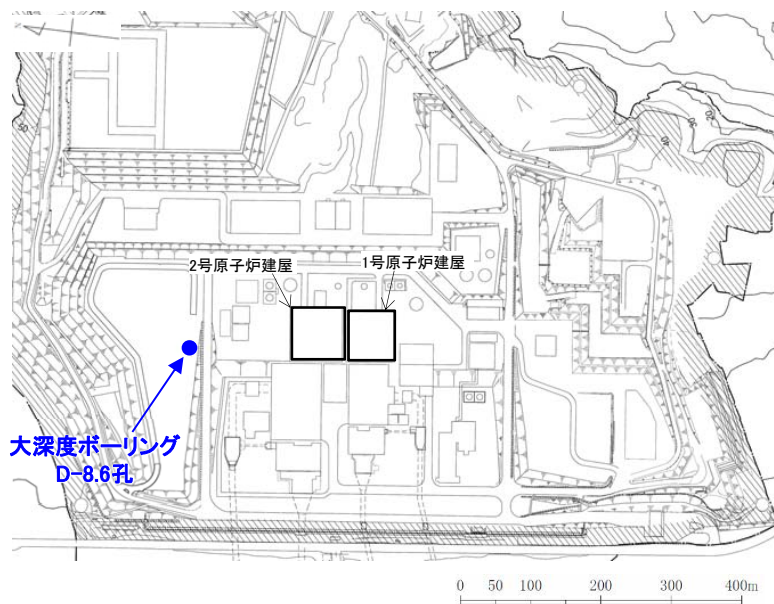
○ 原子炉設置位置付近の地震基盤以浅の地質，弾性波速度及び密度を把握するため，下図に示す2孔で大深度ボーリング調査(PS検層※及び密度検層)を実施した。



調査位置図

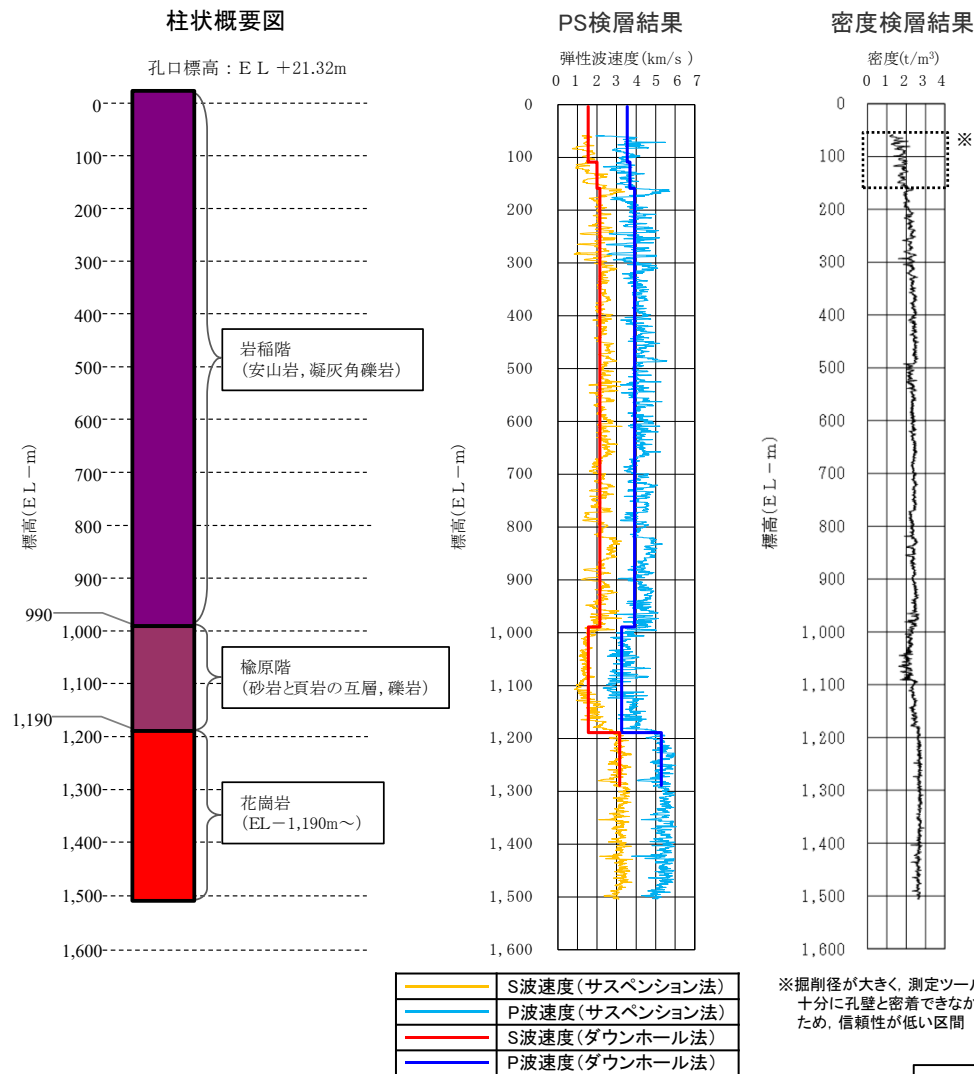
(3) 原子炉設置位置付近の速度構造等(地震基盤以浅) — 地質, 弾性波速度及び密度の調査結果(D-8.6孔) —

- 地質は, 下位から先第三紀の花崗岩, 古第三紀の楡原階(砂岩と頁岩の互層, 礫岩), 新第三紀の岩稲階(安山岩, 凝灰角礫岩)からなる。
- PS検層結果によれば, P波速度及びS波速度は, 花崗岩以浅では4km/s及び2km/s程度, 花崗岩以深では5km/s及び3km/s程度を示す。
- 密度検層結果によれば, 密度は, 浅部区間を除き概ね2~3t/m³の範囲を示す。



大深度ボーリング(D-8.6孔)の調査位置図

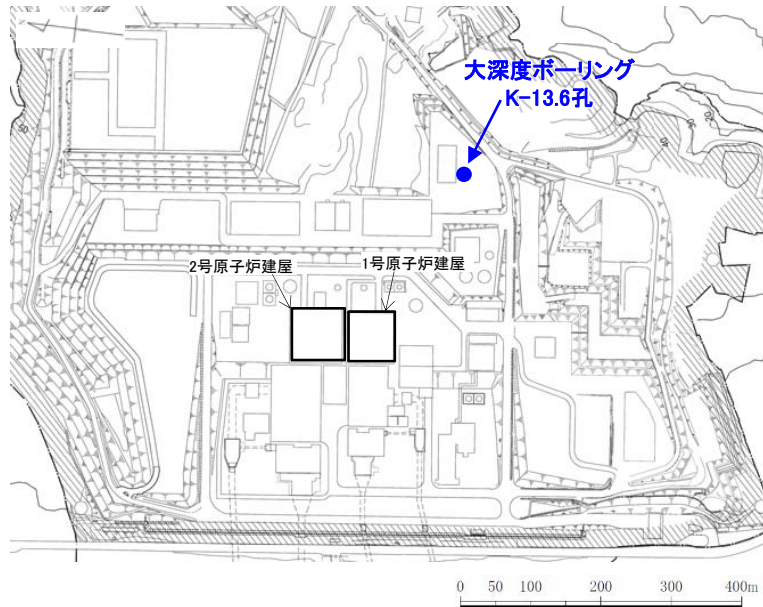
- 大深度ボーリング(D-8.6孔)は, 4区間(EL-1,175.68m~EL-1,183.68m, EL-1,275.68m~EL-1,280.78m, EL-1,375.68m~EL-1,380.78m, EL-1,475.98m~EL-1489.08m)でスポットコアリングによるコア採取を行い, それ以外の区間はカッティングス観察(深度20m間隔)を行った。コア写真, 柱状図, カッティングス写真はデータ集P.129~137。
- 右の柱状概要図は, PS検層結果により地質境界標高を決定し, コア観察, カッティングス観察により地質を判定した。なお, PS検層結果による花崗岩上面標高はEL-1,190mであり, コア観察による花崗岩上面標高EL-1,181.73mと概ね整合する。PS検層(ダウンホール法)の走時曲線はデータ集P.128。



※掘削径が大きく, 測定ツールが十分に孔壁と密着できなかったため, 信頼性が低い区間

(3) 原子炉設置位置付近の速度構造等(地震基盤以浅) —地質, 弾性波速度及び密度の調査結果(K-13.6孔)—

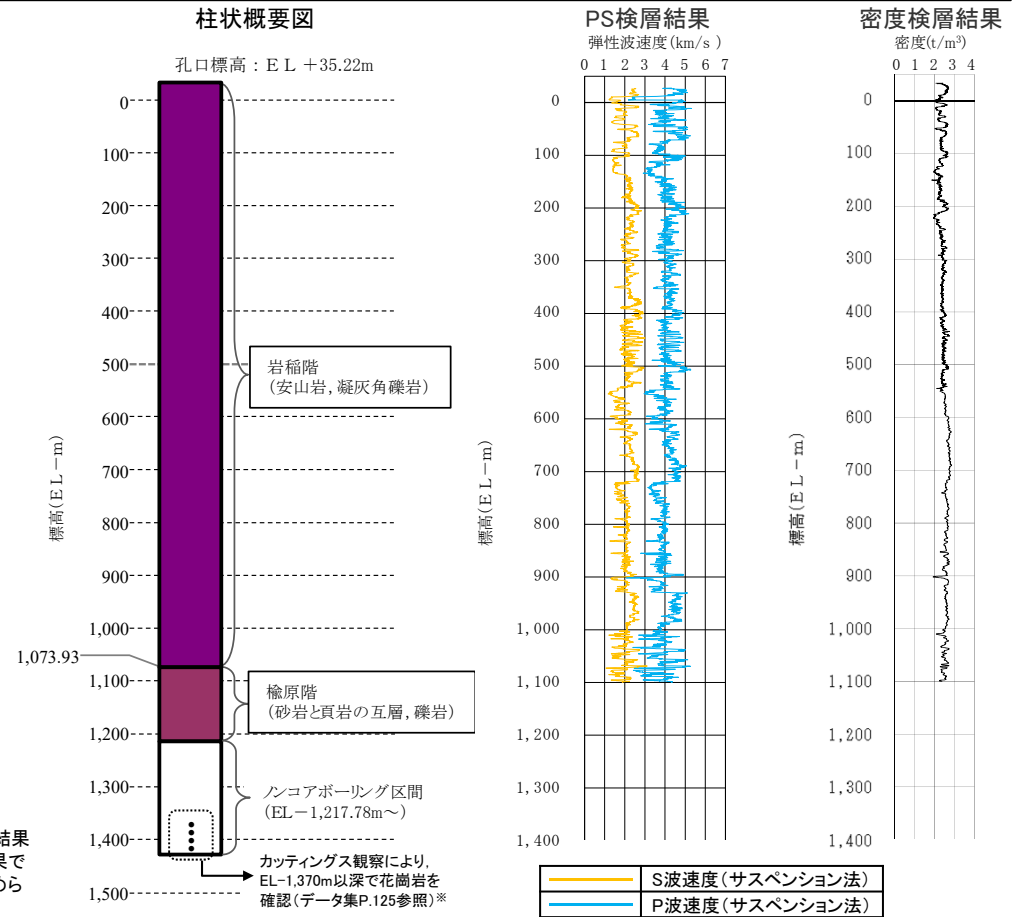
- 地質は, 下位から古第三紀の楡原階(砂岩と頁岩の互層, 礫岩), 新第三紀の岩稲階(安山岩, 凝灰角礫岩)からなる。
- PS検層結果によれば, P波速度及びS波速度は, 4km/s及び2km/s程度を示す。
- 密度検層結果によれば, 密度は, 概ね2~3t/m³の範囲を示す。



大深度ボーリング(K-13.6孔)の調査位置図

- 大深度ボーリング(K-13.6孔)は, EL+ 33.72m~EL-1,217.78mの区間でオールコアリングによるコア採取を行い, EL-1,217.78m以深の区間については, 孔壁崩壊の恐れがあったためノンコアリングにより掘進した。コア写真, 柱状図はデータ集P.19~123。

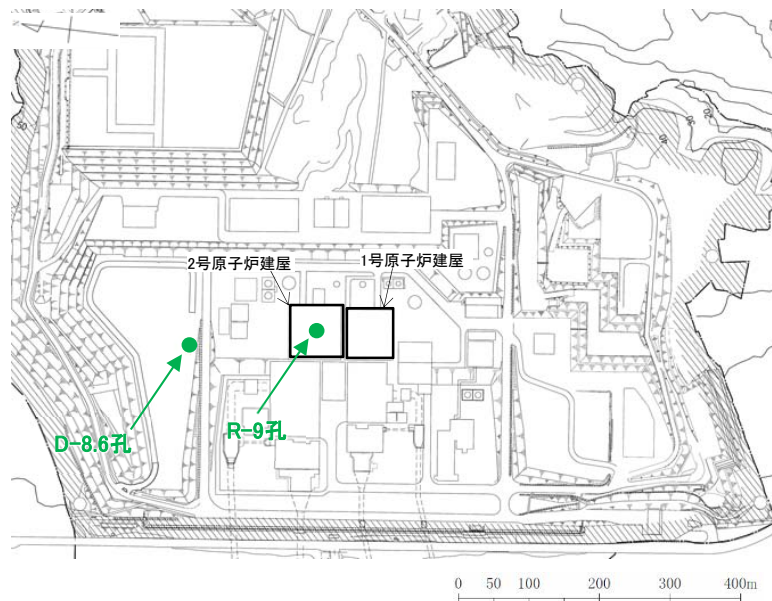
※ K-13.6孔とD-8.6孔(前頁)により確認された花崗岩上面の高度差約180mについては, 重力探査の結果で敷地近傍に顕著な線状の重力異常急変部が認められず(P.77), 反射法地震探査・VSP探査結果で断層が認められないこと, 花崗岩上面に相当する反射面に同程度の高度差(約100~200m)が認められる(P.89)ことから, 敷地の地下深部における花崗岩上面の凹凸の範囲内であると判断した。



- 大深度ボーリング調査結果(D-8.6孔, K-13.6孔)によれば, 原子炉設置位置付近の地震基盤以浅の地質は, 下位から先第三紀の花崗岩, 古第三紀の楡原階(砂岩と頁岩の互層, 礫岩), 新第三紀の岩稲階(安山岩, 凝灰角礫岩)からなる。
- また, 弾性波速度については, 花崗岩以浅におけるP波速度及びS波速度はそれぞれ4km/s及び2km/s程度, 花崗岩以深におけるP波速度及びS波速度はそれぞれ5km/s及び3km/s程度であり, 密度については, 概ね2~3t/m³の範囲を示す。
- 敷地の地震基盤面は, D-8.6孔の位置においては, S波速度が3km/s程度以上となる花崗岩上面(深さ1km程度)に位置する。
- なお, 地下構造モデルの設定においては, より深部まで物性を把握できているD-8.6孔の調査結果(PS検層(ダウンホール法)による速度値及び密度検層による密度値)に基づき設定した。(詳細はP.148参照)

(4) 原子炉設置位置付近の減衰構造(地震基盤以浅) — 調査結果(R-9孔及びD-8.6孔) —

- 原子炉設置位置付近の減衰特性を把握するため、下図に示す2孔でQ値測定を実施した。
- 最大振幅法によるQ値の測定結果を下表に示す。



調査位置図

最大振幅法によるQ値測定結果

調査位置	層区分	標高EL (m)	卓越周波数 (Hz)	Q値
R-9孔	1 (第3速度層)	1 ~ -97	24	10.4
	2 (第4速度層)	-97 ~ -301	25	8.9
D-8.6孔	1 (第3速度層)	-4 ~ -110	32	8.1
	2 (第4速度層)	-110 ~ -160	26	7.6
	3	-160 ~ -990	27	27.4
	4	-990 ~ -1190	22	47.0

➤ Q値測定結果によれば、原子炉設置位置付近のQ値は、比較的浅部(R-9孔のEL-301m以浅及びD-8.6孔のEL-160m以浅)については10程度、また、それより深部については、深さ方向に大きくなる傾向がみられる。

まとめ

(1) 敷地の地質・地質構造

- 敷地の地層の傾斜、断層及び褶曲構造等の地質構造、並びに岩相・岩質の不均一性を把握するため、ボーリング調査等の地盤調査結果から地質・地質構造を確認した。
- 敷地の地質は、新第三紀の岩稻階の別所岳安山岩類と、これを覆う第四紀の堆積物からなる。
- 別所岳安山岩類は、敷地に広く分布しており、安山岩を主体とし、凝灰角礫岩を挟在する。
- 原子炉設置位置付近の地質は、別所岳安山岩類の安山岩(均質)、安山岩(角礫質)及び凝灰角礫岩からなる。
- 2号原子炉建屋底盤の岩盤にはほとんど変質部は認められず、主に(Ba)級、(Bb)級の岩級区分を示す安山岩が広く分布している。

(2) 原子炉設置位置付近の速度構造等(EL-200m以浅)

- 原子炉設置位置付近のEL-200m以浅の速度構造を把握するため、26孔で浅層ボーリング調査を実施した。
- 原子炉設置位置付近のEL-200m以浅の速度構造は、概ね水平な層構造を呈すものの、周囲と異なる速度特性を示す範囲として、第3'速度層及び第4'速度層が認められる。
- 二次元FEMモデルを用いた地震動シミュレーションによる検討を実施して、第3'速度層及び第4'速度層が地震動へ与える影響を確認した結果、第3'速度層または第4'速度層をモデル化した二次元FEMモデル及び第3'速度層または第4'速度層をモデル化しない二次元FEMモデルを用いた地震動シミュレーションによる応答波形において、顕著な違いはみられないことから、第3'速度層及び第4'速度層が解放基盤表面での地震動へ与える影響は小さいものと考えられる。

(3) 原子炉設置位置付近の速度構造等(地震基盤以浅)

- 原子炉設置位置付近の地震基盤以浅の地質、弾性波速度及び密度を把握するため、2孔で大深度ボーリング調査を実施した。
- 原子炉設置位置付近の地震基盤以浅の地質は、下位から先第三紀の花崗岩、古第三紀の楡原階(砂岩と頁岩の互層、礫岩)、新第三紀の岩稻階(安山岩、凝灰角礫岩)からなる。また、弾性波速度については、花崗岩以浅におけるP波速度及びS波速度はそれぞれ4km/s及び2km/s程度、花崗岩以深におけるP波速度及びS波速度はそれぞれ5km/s及び3km/s程度であり、密度については、概ね2~3t/m³の範囲を示す。
- 敷地の地震基盤面は、D-8.6孔の位置においては、S波速度が3km/s程度以上となる花崗岩上面(深さ1km程度)に位置する。

(4) 原子炉設置位置付近の減衰構造(地震基盤以浅)

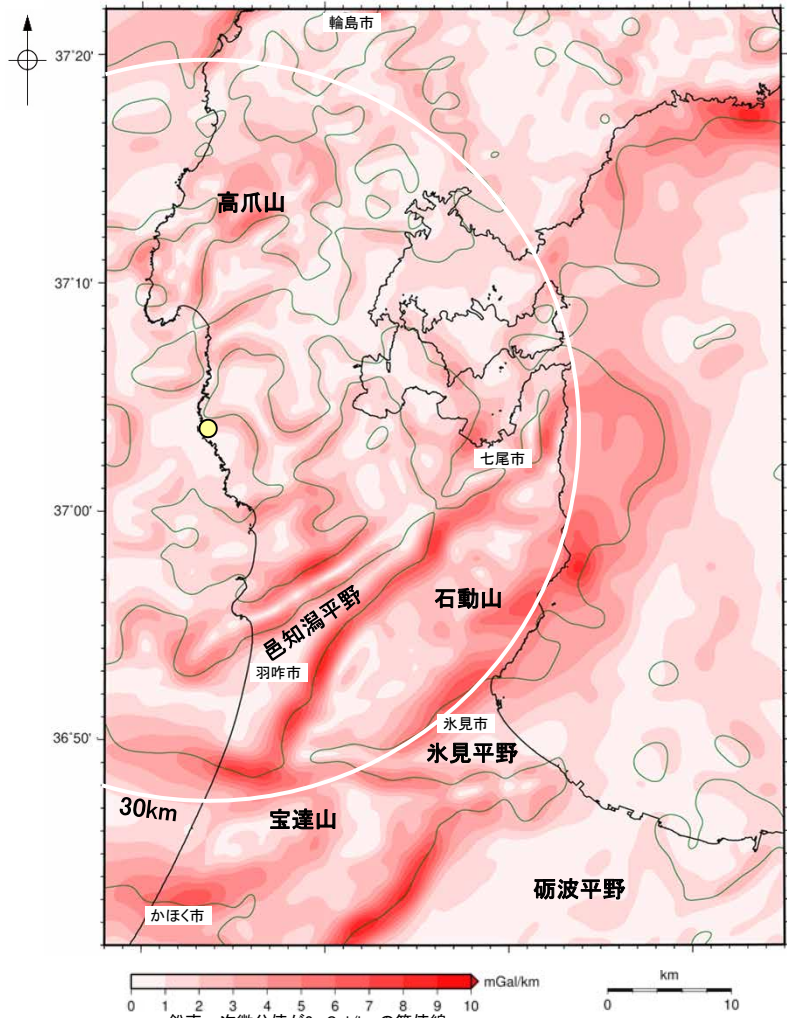
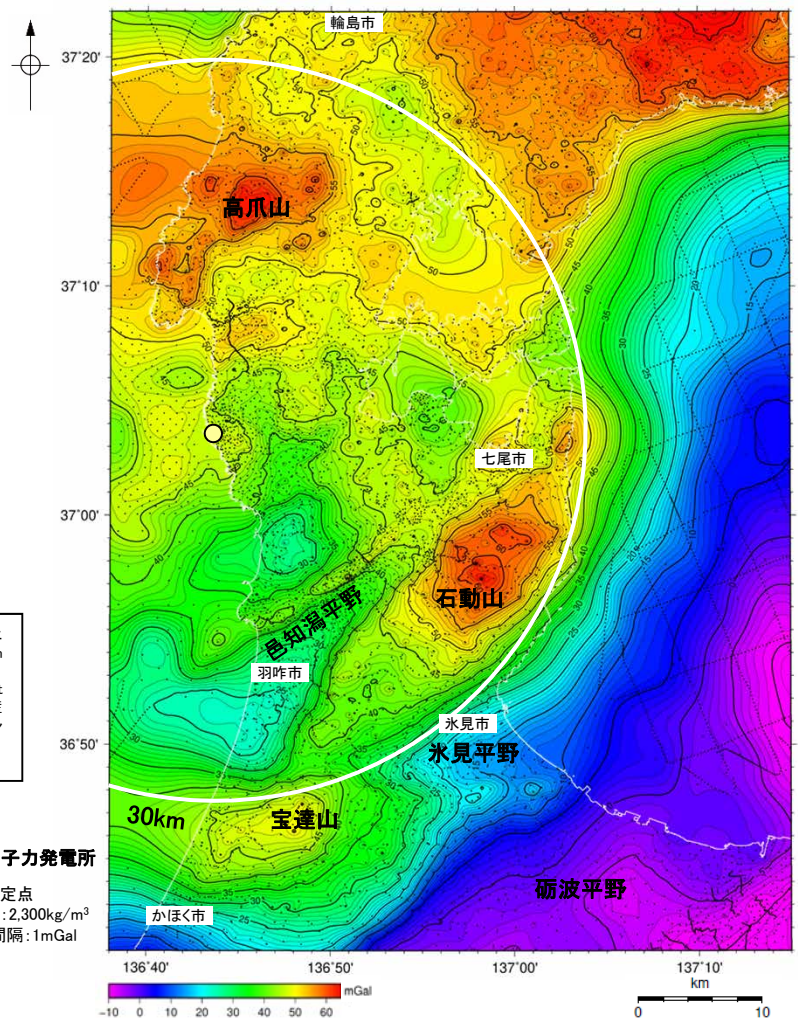
- 原子炉設置位置付近の減衰特性を把握するため、2孔でQ値測定を実施した。
- 原子炉設置位置付近のQ値は、比較的浅部(R-9孔のEL-301m以浅及びD-8.6孔のEL-160m以浅)については10程度、また、それより深部については、深さ方向に大きくなる傾向がみられる。

- 敷地の地質は、新第三紀の岩稻階の別所岳安山岩類が広く分布しており、安山岩を主体とし、凝灰角礫岩を挟在するものの、敷地の速度構造は概ね水平な層構造を呈す。ただし、周囲と異なる速度特性を示す範囲として、第3'速度層及び第4'速度層が認められることについては、二次元FEMモデルを用いた地震動シミュレーションによる検討結果を踏まえ、第3'速度層及び第4'速度層が解放基盤表面での地震動へ与える影響は小さいものと評価した。
- 敷地の地震基盤面は、D-8.6孔の位置においては、深さ1km程度に位置する。

1.2 物理探査による地下構造の検討

(1) 敷地周辺の重力異常(ブーゲー異常図)

- 能登半島では地震基盤である花崗岩を新第三紀以降の地層が直接覆っており(P.35~36), これらの密度差により, 重力異常値は地震基盤面の形状を反映していると考えられることから, 敷地周辺の地震基盤面の形状を把握するため, 敷地周辺のブーゲー異常図及び水平一次微分図を確認した。
- 敷地周辺陸域については, 稠密な調査を実施し, 重力異常図を作成した。周辺に対して高い重力異常を示すのは, 高爪山周辺, 石動山周辺及び宝達山周辺, 低い重力異常を示すのは, 輪島市南部, 羽咋市北部及び邑知潟平野南西部である。
- 規模が大きく直線的に連続する重力異常急変部は, NE-SW方向を示す邑知潟平野の北西縁及び南東縁, 石動山と氷見平野との境界及び宝達山地と砺波平野との境界と, E-W方向を示す宝達山北部及び南部に認められる。
- ブーゲー異常図及び水平一次微分図から, 敷地の位置する能登半島中部には規模が大きく直線的に連続する重力異常急変部は認められない。



・右図は, 陸域は本多ほか(2012), 国土地理院(2006), The Gravity Research Group in Southwest Japan (2001), Yamamoto et al. (2011), Hiramatsu et al. (2019), 澤田ほか(2021), 海域は産業技術総合研究所地質調査総合センター(2013), 石田ほか(2018)を用いて, 金沢大学・当社が作成した。

○ 志賀原子力発電所
黒点は測定点
仮定密度: 2.300kg/m³
コンター間隔: 1mGal

敷地周辺のブーゲー異常図(金沢大学・当社作成)

敷地周辺の水平一次微分図(金沢大学・当社作成)

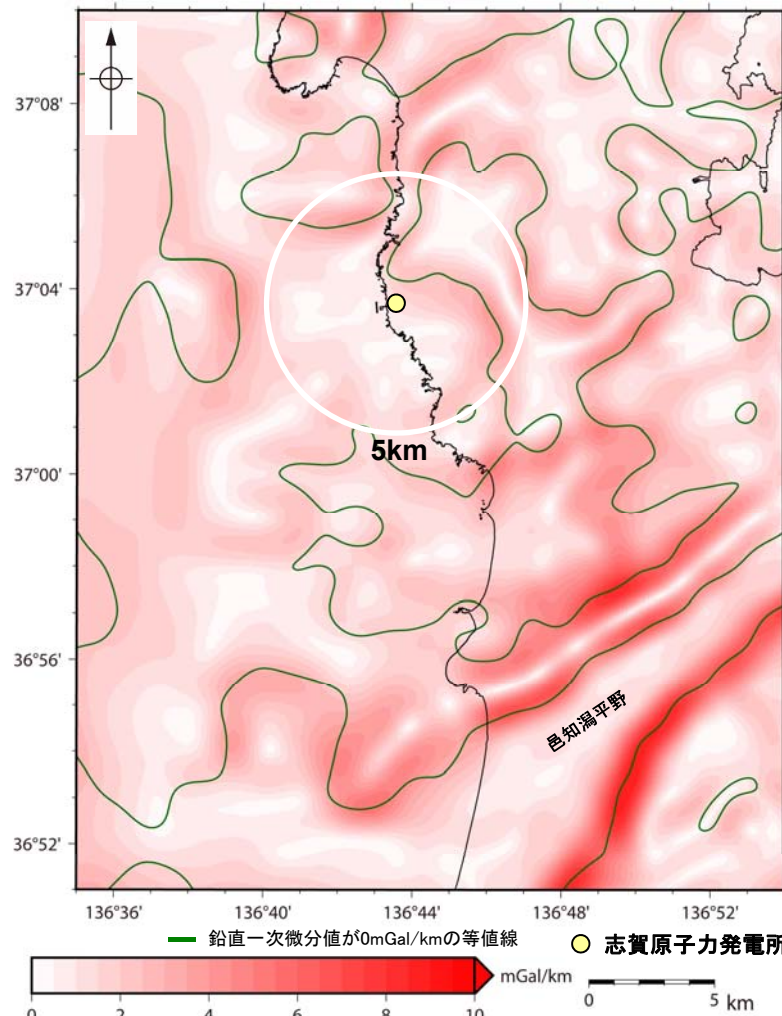
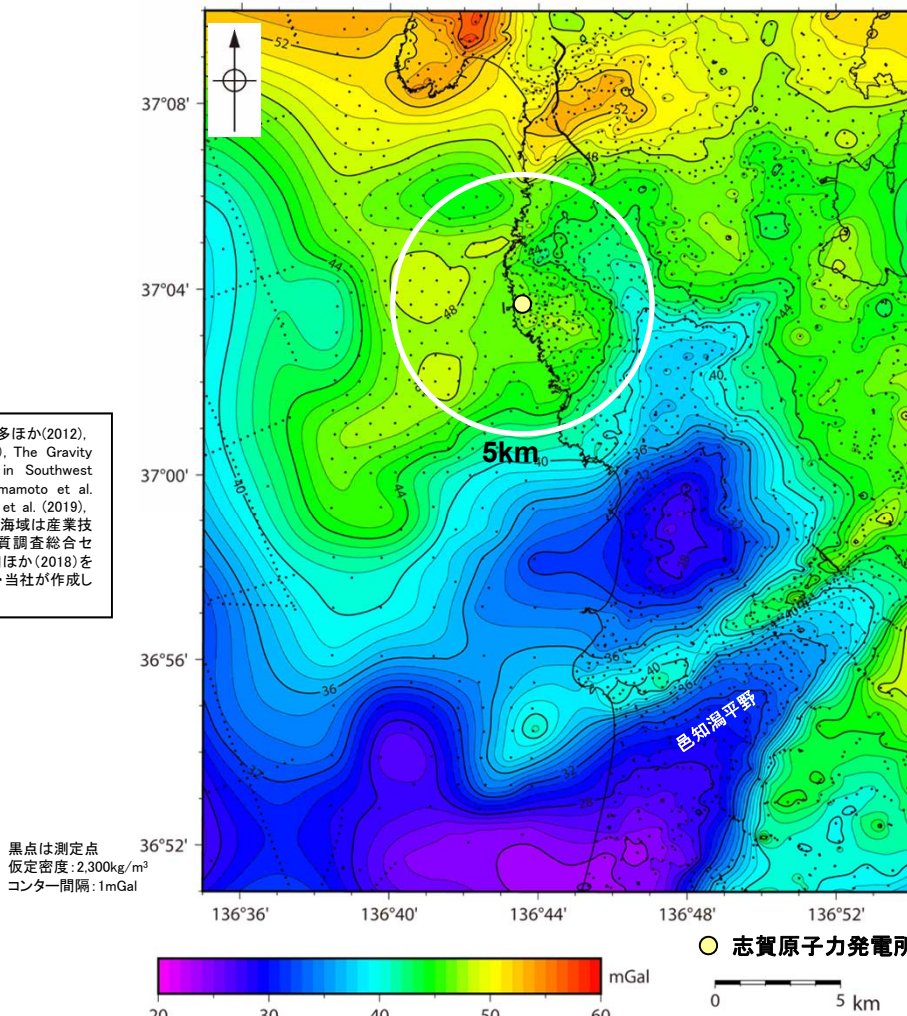
・水平一次微分図は, 作図範囲の大きさ, 調査密度を考慮し, 平面トレンドを除去及び遮断波長4kmのローパスフィルター処理後のブーゲー異常図を基に作成した。

(2) 敷地近傍の重力異常(ブーゲー異常図)

【敷地の地質・地質構造で説明済み】
 第1193回審査会合 資料3-1
 P.37 一部修正

○敷地近傍(敷地から半径5km範囲)の重力異常値はほぼ一定であり、高重力異常域と低重力異常域との境界は明瞭ではなく、敷地近傍には地震基盤面の形状の急激な変化を示唆する顕著な線状の重力異常急変部は認められない。

・右図は、陸域は本多ほか(2012)、国土地理院(2006)、The Gravity Research Group in Southwest Japan (2001)、Yamamoto et al. (2011)、Hiramatsu et al. (2019)、澤田ほか(2021)、海域は産業技術総合研究所地質調査総合センター(2013)、石田ほか(2018)を用いて、金沢大学・当社が作成した。

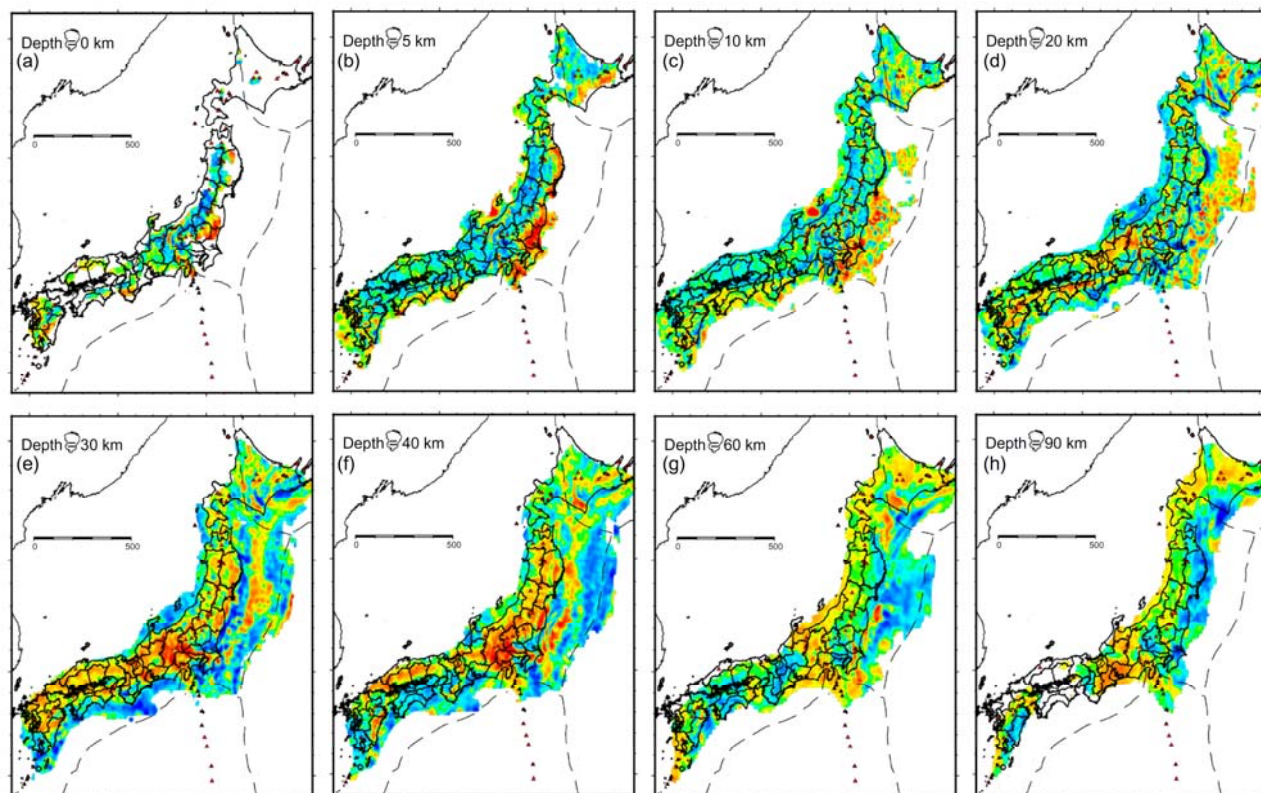


・水平一次微分図は、作図範囲の大きさ、調査密度を考慮し、平面トレンドを除去及び遮断波長3kmのローパスフィルター処理後のブーゲー異常図を基に作成した。

➤ 敷地近傍には地震基盤面の形状の急激な変化を示唆する顕著な線状の重力異常急変部は認められないことから、敷地近傍の地震基盤面に顕著な不整形はないものと考えられる。

(1) 検討方法

- 敷地周辺の地震基盤より深部(深さ5km程度以深)の速度構造を把握するため、地震波トモグラフィーに基づくP波速度構造及びS波速度構造を確認した。
- Matsubara et al.(2022)は、防災科学技術研究所のHi-netやS-netのデータ等を含む地震波トモグラフィーにより、日本海と太平洋を含む日本列島周辺の3次元速度構造を評価している。
- また、防災科学技術研究所は、Matsubara et al.(2022)による3次元速度構造から、地図上で深さや位置を任意に指定して、速度構造断面を表示することが可能なソフトウェアを公開している。(https://www.hinet.bosai.go.jp/topics/sokudo_kozo/software.php?LANG=ja)
- P波速度構造及びS波速度構造の確認は、防災科学技術研究所によるソフトウェアを用い、Matsubara et al.(2022)による敷地周辺の速度構造断面を確認することで実施した。



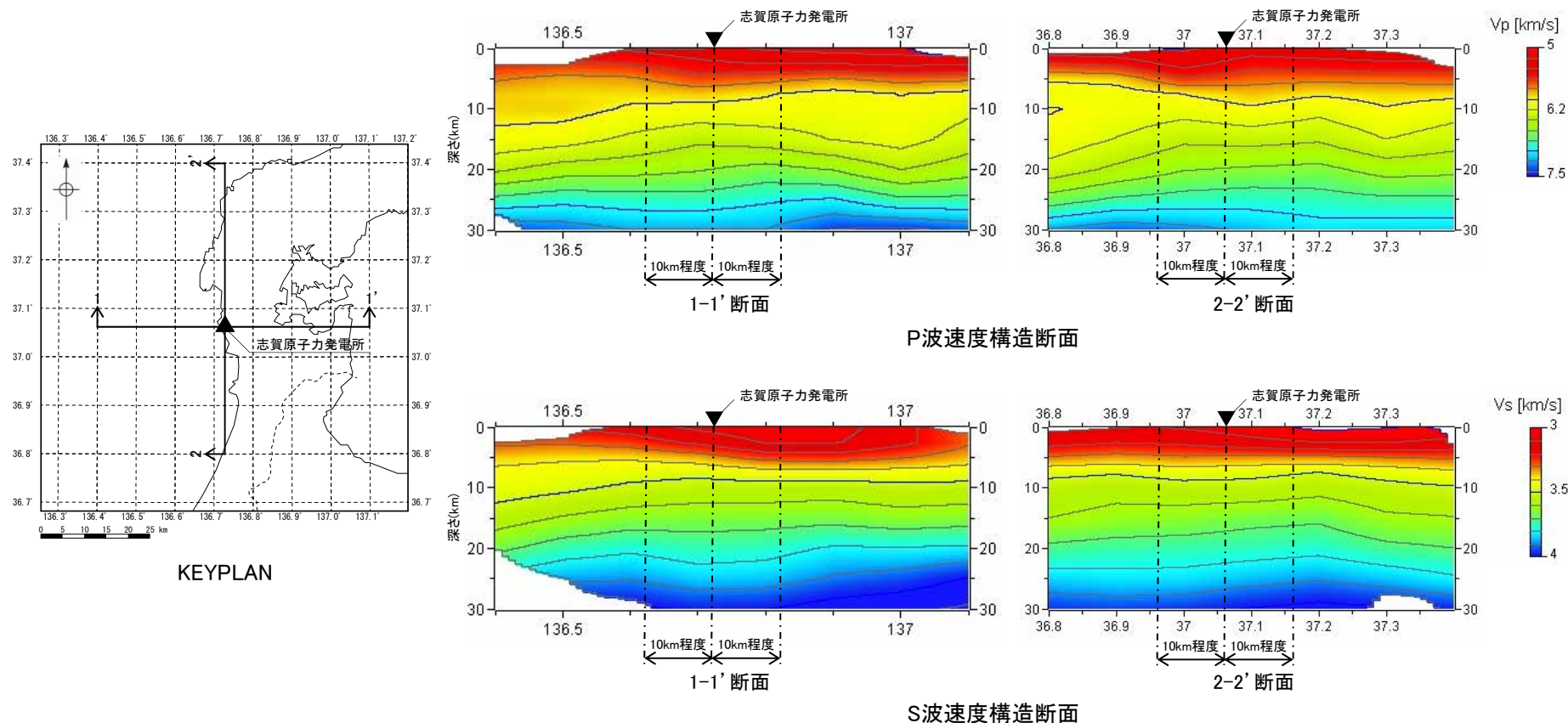
Perturbation of V
-10 -5 0 5 10 %

Matsubara et al.(2022)による深さごとの速度構造マップ(P波速度)

※ Matsubara et al.(2022)より抜粋

(2) 検討結果

- Matsubara et al.(2022)による敷地周辺の速度構造断面を下図に示す。
- この速度構造断面によると、敷地から10km程度の範囲においては、深さ5km程度以深のS波速度構造及びP波速度構造は概ね水平な層構造を呈している。



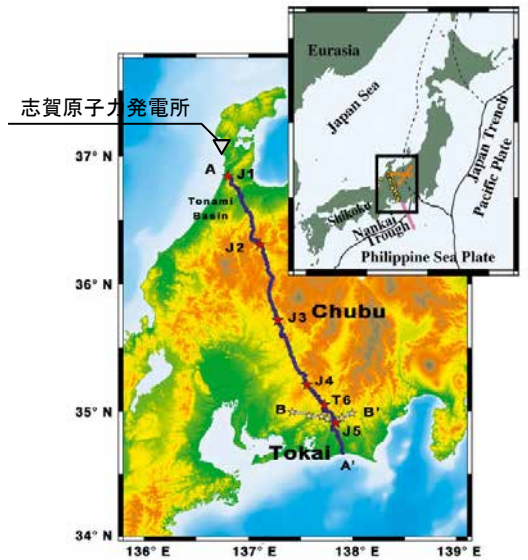
Matsubara et al.(2022)による敷地周辺の速度構造断面

※ 防災科学技術研究所のソフトウェアを用いて表示した図に一部加筆

- Matsubara et al.(2022)による敷地周辺の速度構造断面より、敷地から10km程度の範囲においては、深さ5km程度以深の速度構造に顕著な不整形はみられない。

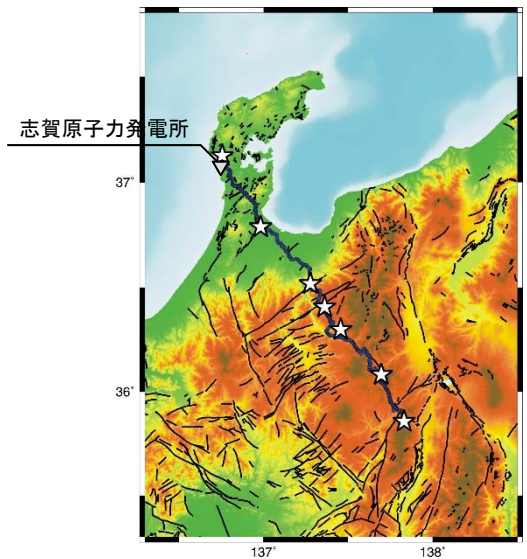
(1) 検討方法

- 敷地周辺の地震基盤面の位置及び形状、並びに地震基盤面より深部の速度構造を把握するため、文献及び当社による屈折法地震探査に基づくP波速度構造を確認した。
- Iidaka et al.(2003)及びIidaka et al.(2008)は、中部日本を横断する測線において、屈折法地震探査を実施し、敷地周辺のP波速度構造断面を評価している。
- また、当社は、敷地から南東方向に約13kmの測線において、屈折法地震探査を実施し、深さ3km以浅のP波速度構造を推定している。



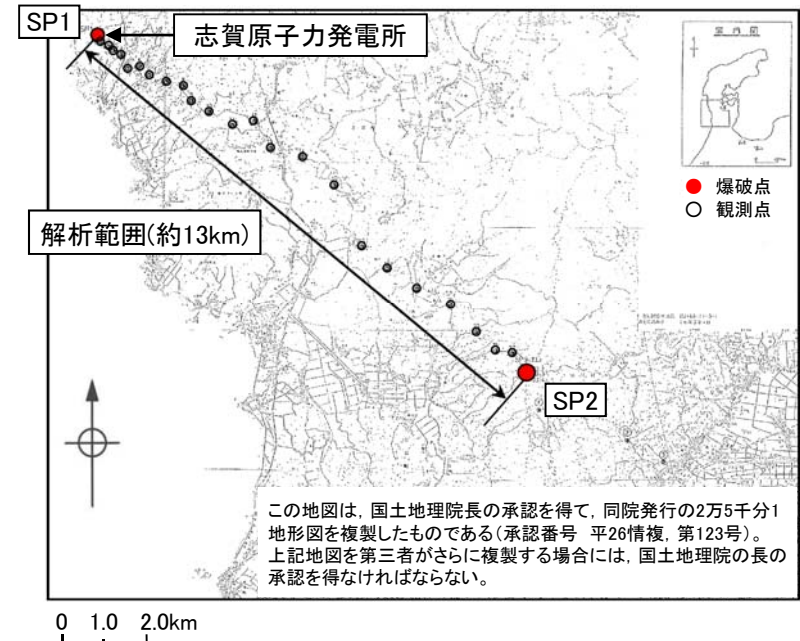
※ Iidaka et al.(2003)に一部加筆

Iidaka et al.(2003)の調査測線図(A-A')
(★は爆破点を示す。)



※ Iidaka et al.(2008)に一部加筆

Iidaka et al.(2008)の調査測線図
(☆は爆破点を示す。)

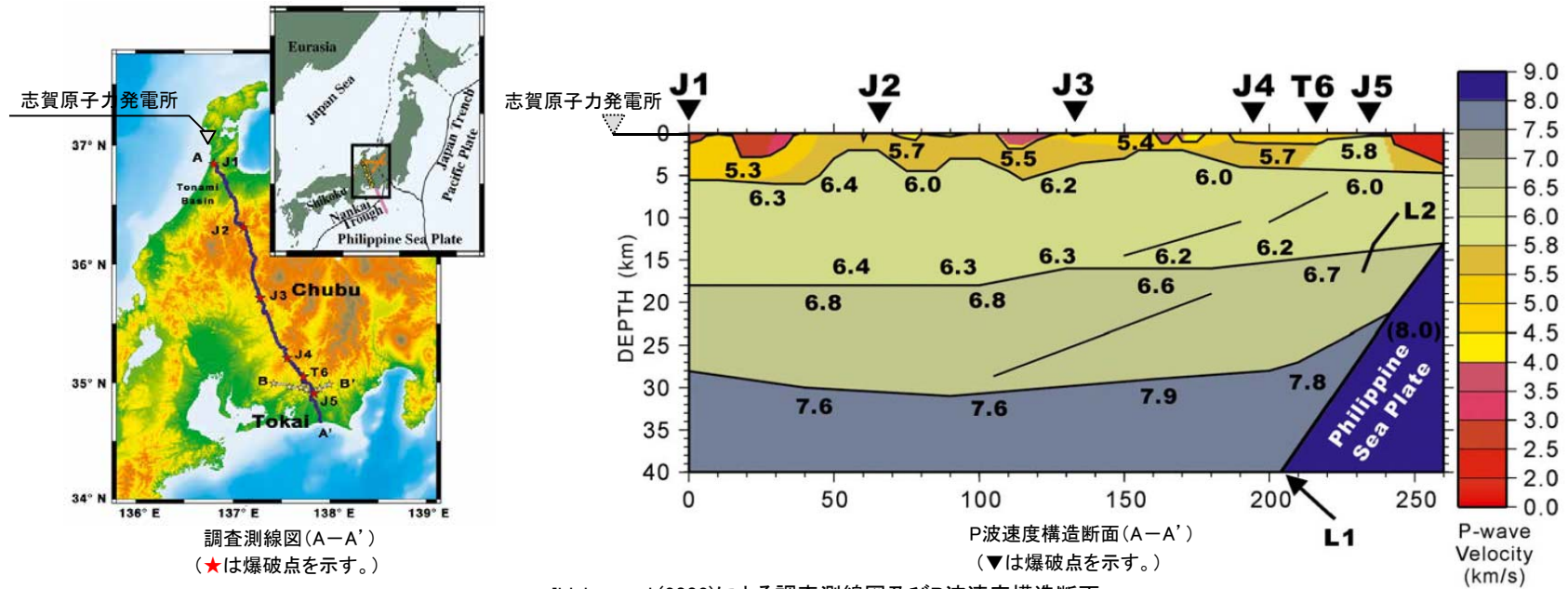


この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の2万5千分1地形図を複製したものである(承認番号 平26情複 第123号)。上記地図を第三者がさらに複製する場合には、国土地理院の長の承認を得なければならない。

当社の実施した調査測線図

(2) Iidaka et al.(2003)による検討結果

- Iidaka et al.(2003)による調査測線図及びP波速度構造断面を下図に示す。
- この断面によると、敷地周辺において、地震基盤に相当すると考えられるP波速度が5.3~5.8km/sの層が広く分布し、この層より深部については、上から、P波速度が6.0~6.4km/s, 6.6~6.8km/s, 7.6~7.9km/sの層が概ね水平に分布している。

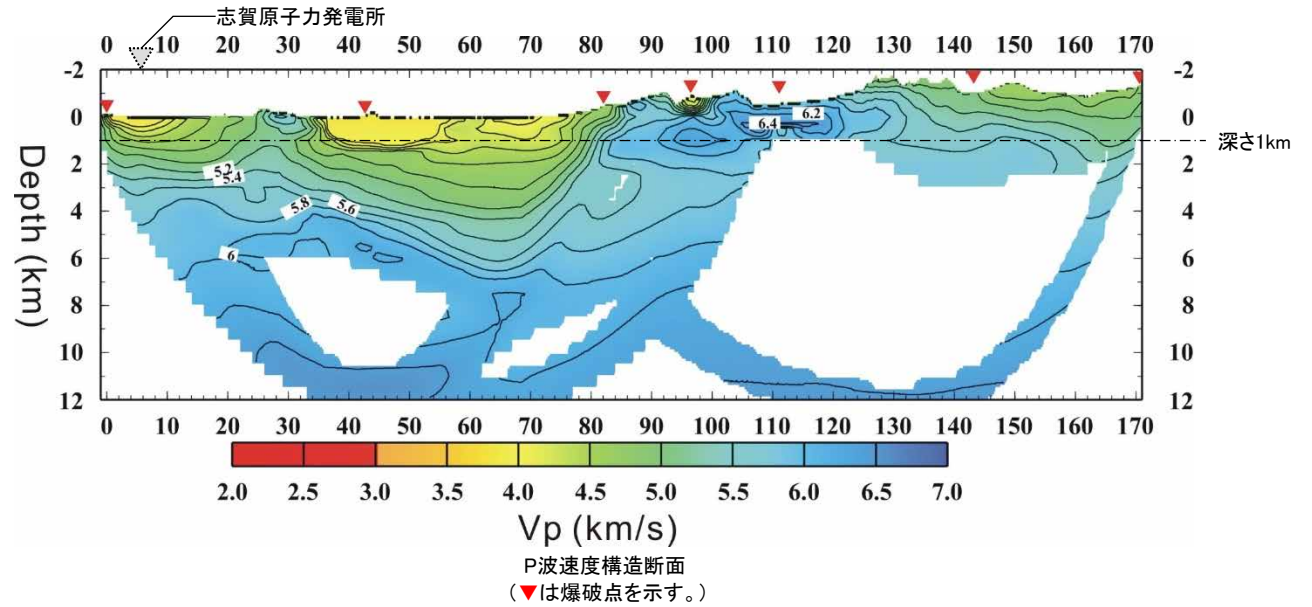
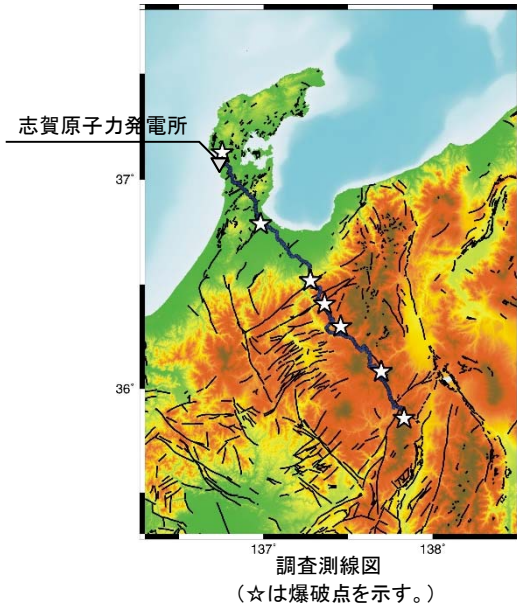


Iidaka et al.(2003)による調査測線図及びP波速度構造断面

※ Iidaka et al.(2003)に一部加筆

(3) Iidaka et al.(2008)による検討結果

- Iidaka et al.(2008)による調査測線図及びP波速度構造断面を下図に示す。
- この断面によると、敷地から10km程度の範囲において、敷地の地震基盤面(深さ1km程度)より深部の速度層は概ね水平に分布している。

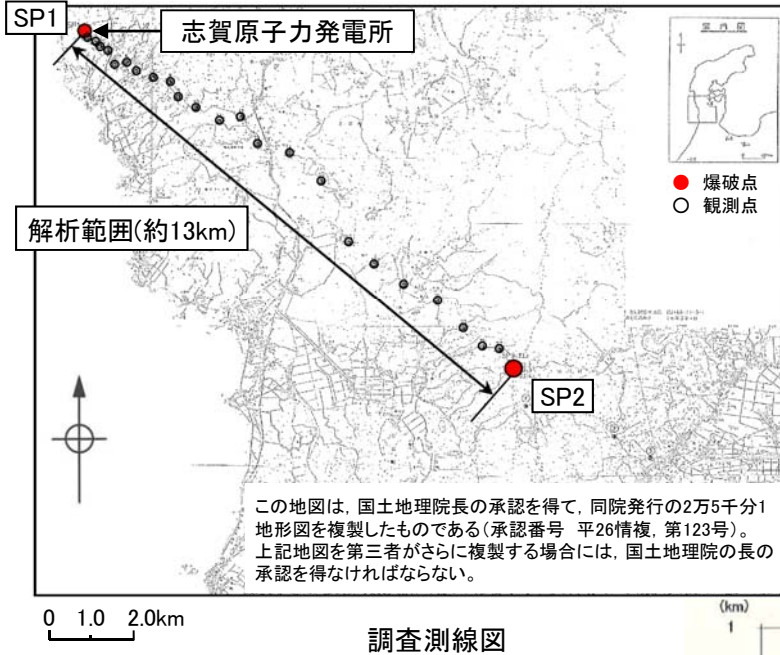


Iidaka et al.(2008)による調査測線図及びP波速度構造断面

※ Iidaka et al.(2008)に一部加筆

(4) 当社による検討結果

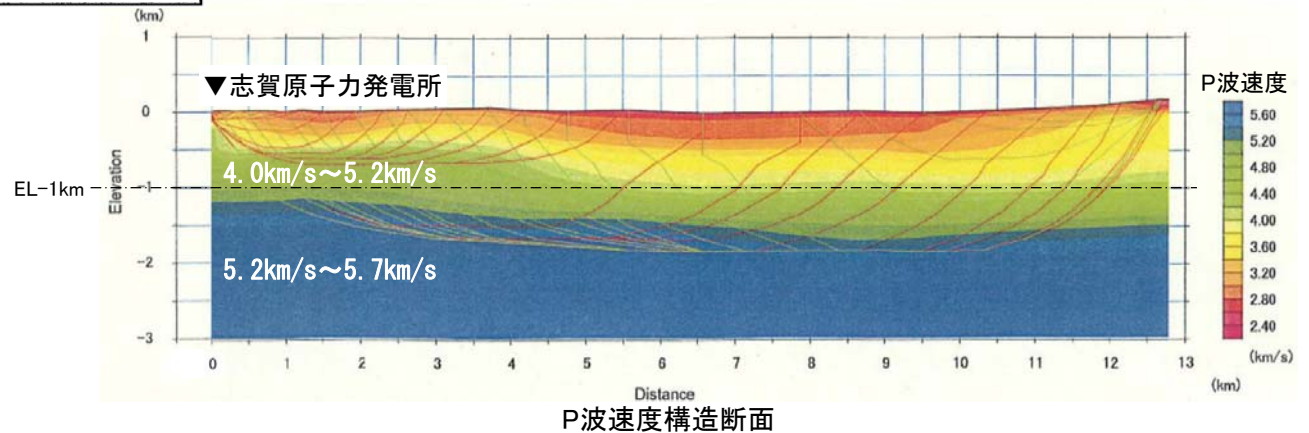
- 当社による屈折法地震探査は、爆破点2地点及び観測点23点において1985年11月24日に実施した。調査測線図、観測装置の仕様及びP波速度構造断面を下記に示す。
- 敷地周辺において、地震基盤面に相当すると考えられるP波速度5.2~5.7km/sの層上面はEL-1km程度の位置にあり、概ね水平に分布している。



調査測線図

観測装置の仕様

項目	仕様
名称	ARP-4400
製造会社	日本物理探査(株)
チャンネル数	4
記録再生方式	FM
成分	3成分(水平動2成分・上下動1成分)
周波数範囲(周波数帯域)	4~100Hz
電源	内蔵電池12V×2

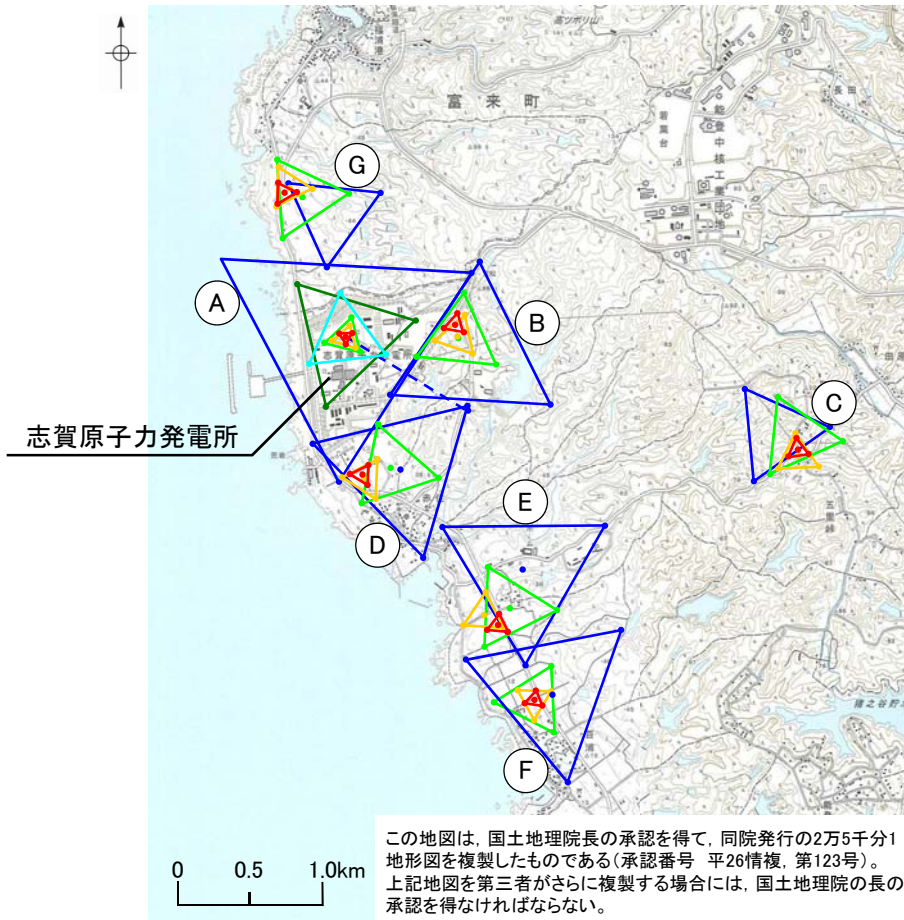


P波速度構造断面

- 「Iidaka et al.(2003)による検討結果」, 「Iidaka et al.(2008)による検討結果」及び「当社による検討結果」より、敷地周辺の地震基盤面は深さ1km程度であり、概ね水平に分布している。また、敷地から10km程度の範囲において、地震基盤面より深部の速度構造に顕著な不整形はみられない。

(1) 検討方法

- 敷地近傍の地震基盤面の位置及び形状を把握するため、微動アレー探査に基づくS波速度構造を確認し、地震基盤に相当する層の上面の深さを複数の地点で比較した。
- 微動アレー探査のための微動観測は、敷地を対象としたAアレーでは半径50～1000mの6種類、敷地の周辺を対象としたB～Gアレーでは半径80～640mの4種類とし、原則としてアレーの中心点1箇所及びその円周上で正三角形となる3箇所に微動計を設置し、2007年11月26日及び27日並びに2008年7月26日から8月1日の期間の中で実施した。微動アレー探査地点及び微動計の仕様を下記に示す。



微動アレー探査地点

微動計の仕様

項目		仕様
地震計	名称	LE-3D/5S 改
	製造会社	レナーツ社(独)
	成分	3成分(水平動2成分・上下動1成分)
	固有周期	5/7秒切り替え式
	電圧	DC12V
	出力感度	4V/kine
収録装置	センサー形式	速度型
	名称	LS-8000SH
	製造会社	白山工業
	チャンネル数	3
	分解能	16bit
	サンプリング周波数	100Hz
	電源	DC6～9V
周波数範囲(周波数帯域)		0.14～50Hz

Aアレー※1

- 半径 = 50m
- 半径 = 100m
- 半径 = 150m
- 半径 = 300m
- 半径 = 500m
- 半径 = 1000m

B～Gアレー※2

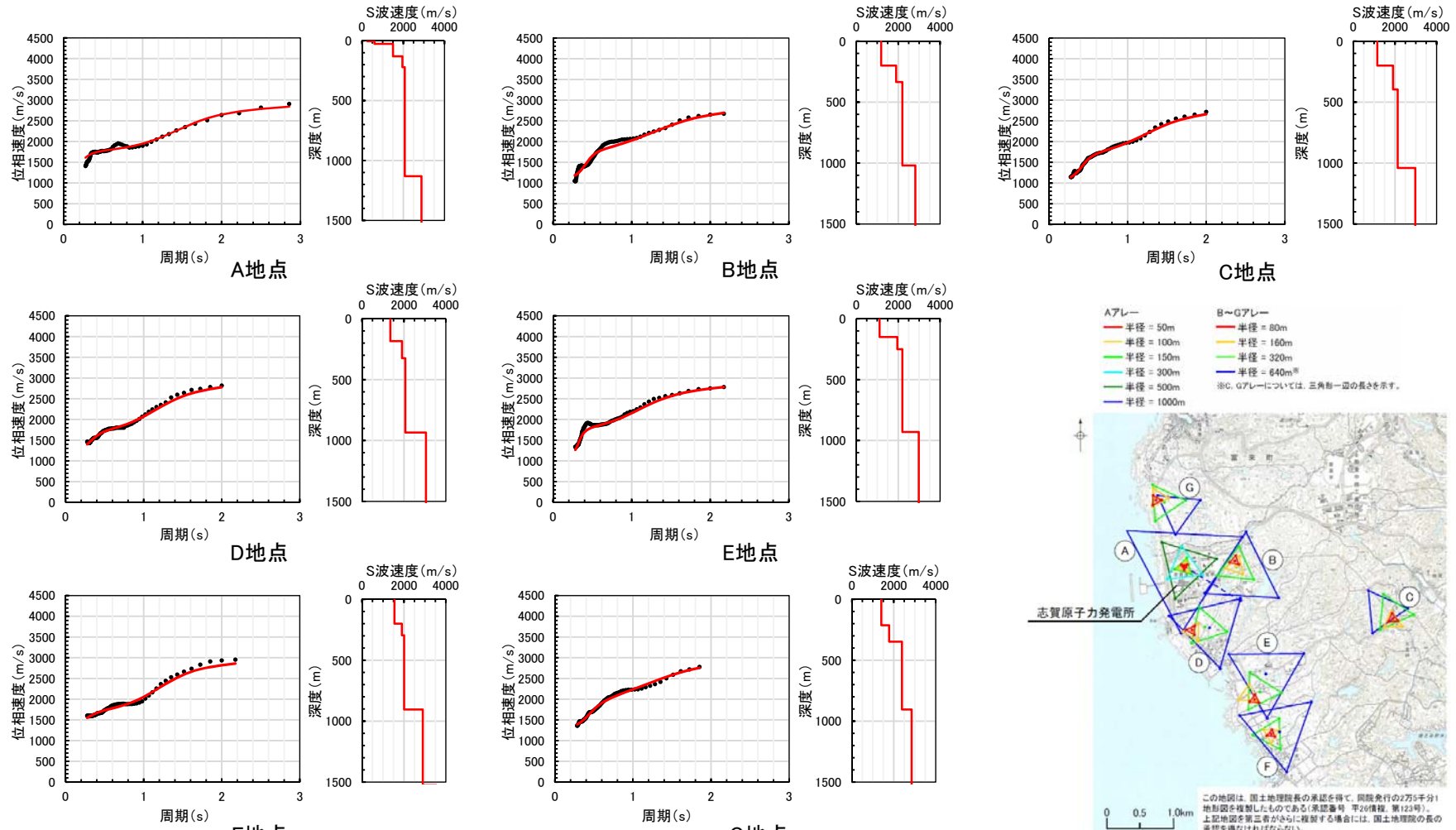
- 半径 = 80m
- 半径 = 160m
- 半径 = 320m
- 半径 = 640m

※1 Aアレーの半径 = 1000mについては、三角形の頂点のうち1箇所が海上となるため、円の中心と反対側に設置する変形アレーを適用した。

※2 C, Gアレーの半径 = 640mについては、半径 = 640mの円周上での設置が困難であったため、三角形一辺の長さが640mとなる中心点なしのアレーを適用した。

(2) 検討結果

- 推定した各地点のS波速度構造を下図に示す。
- 地震基盤に相当するS波速度3km/s程度の層の上面は深さ1km程度の位置にあり、概ね水平に分布している。



各地点の分散曲線(左)及び推定したS波速度構造(右)

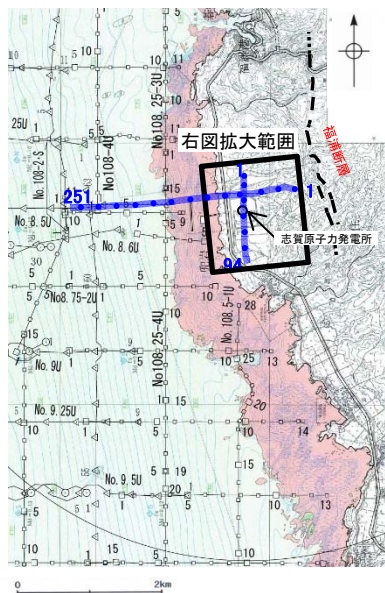
【分散曲線の凡例】 ●:観測 —:理論

微動アレー探査地点

➤ 微動アレー探査に基づく各地点のS波速度構造より、敷地近傍の地震基盤面は深さ1km程度であり、概ね水平に分布している。

(1) 検討方法

○ 敷地の地震基盤面の位置及び形状を把握するため、大深度ボーリング孔を用いたVSP探査及び海陸連続で測線を配置した反射法地震探査(2016年)に基づく反射断面を確認した。



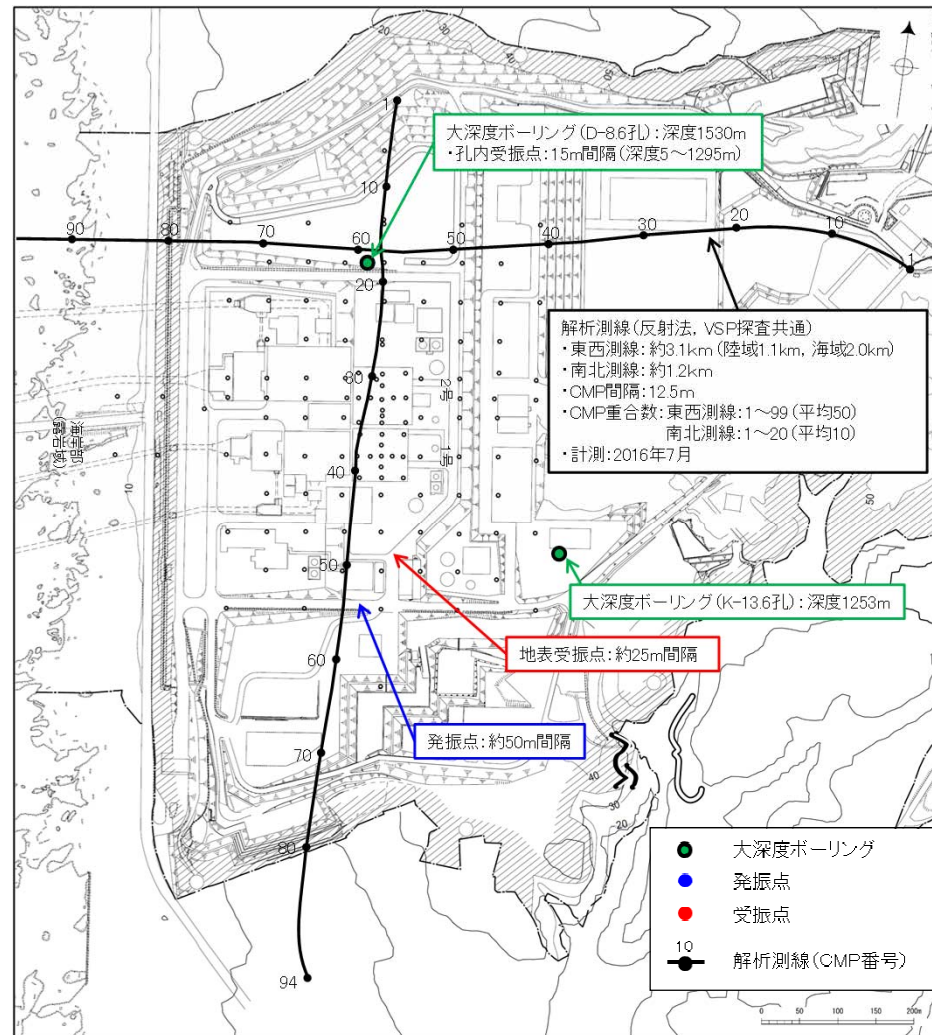
- 凡例
- No.8 調査測線(北陸電力:スーパー・シングルチャンネル・約2450ジュール)
 - No.9-S 調査測線(北陸電力:スーパー・シングルチャンネル・約360ジュール)
 - No.8U 調査測線(北陸電力:ブーマー・マルチチャンネル・約200ジュール)
 - 岩石
 - 中砂
 - 細砂
 - 解析測線
東西測線: 約3.1km (陸域: 1.1km, 海域2.0km)
南北測線: 約1.2km (陸域のみ)

大深度ボーリング孔を通るように、東西測線、南北測線を配置し、発振した地震波を反射法地震探査は地表受振点、VSP探査はボーリング孔内受振点で収録。

調査位置図(石川県, 1997年に一部加筆)

探査仕様

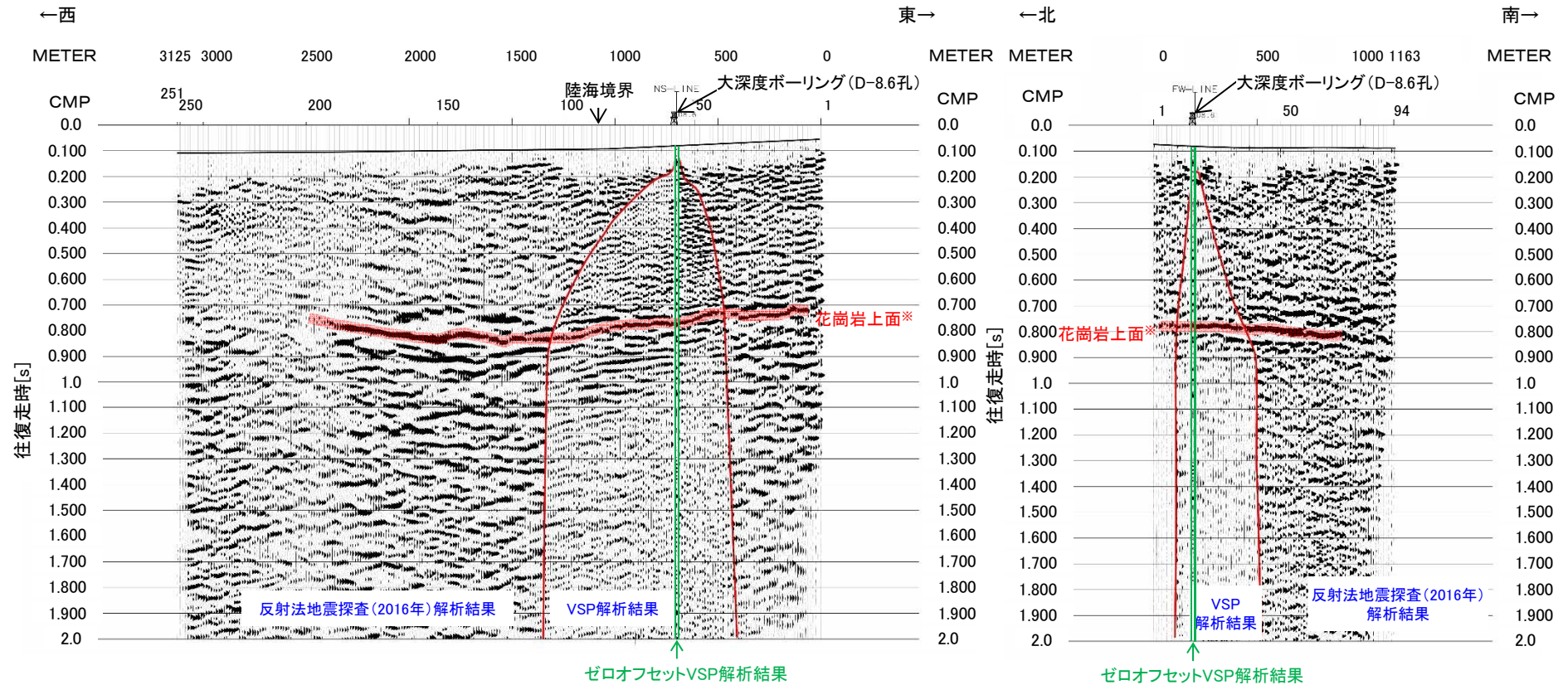
	発振源	仕様	発振間隔	受振間隔
陸域	大型パイプレータ	<ul style="list-style-type: none"> ・18t × 2台 ・起振マス: 2.3t, 2.6t(最大荷重18t) ・発振周波数: 10-70Hz 	50m	25m(地表) 15m(孔内)
海域	エアガン	<ul style="list-style-type: none"> ・480cu.in. 	25m	25m



調査位置図

(2) 検討結果 - マイグレーション処理前の時間断面 -

○ マイグレーション処理前の時間断面を下図に示す。



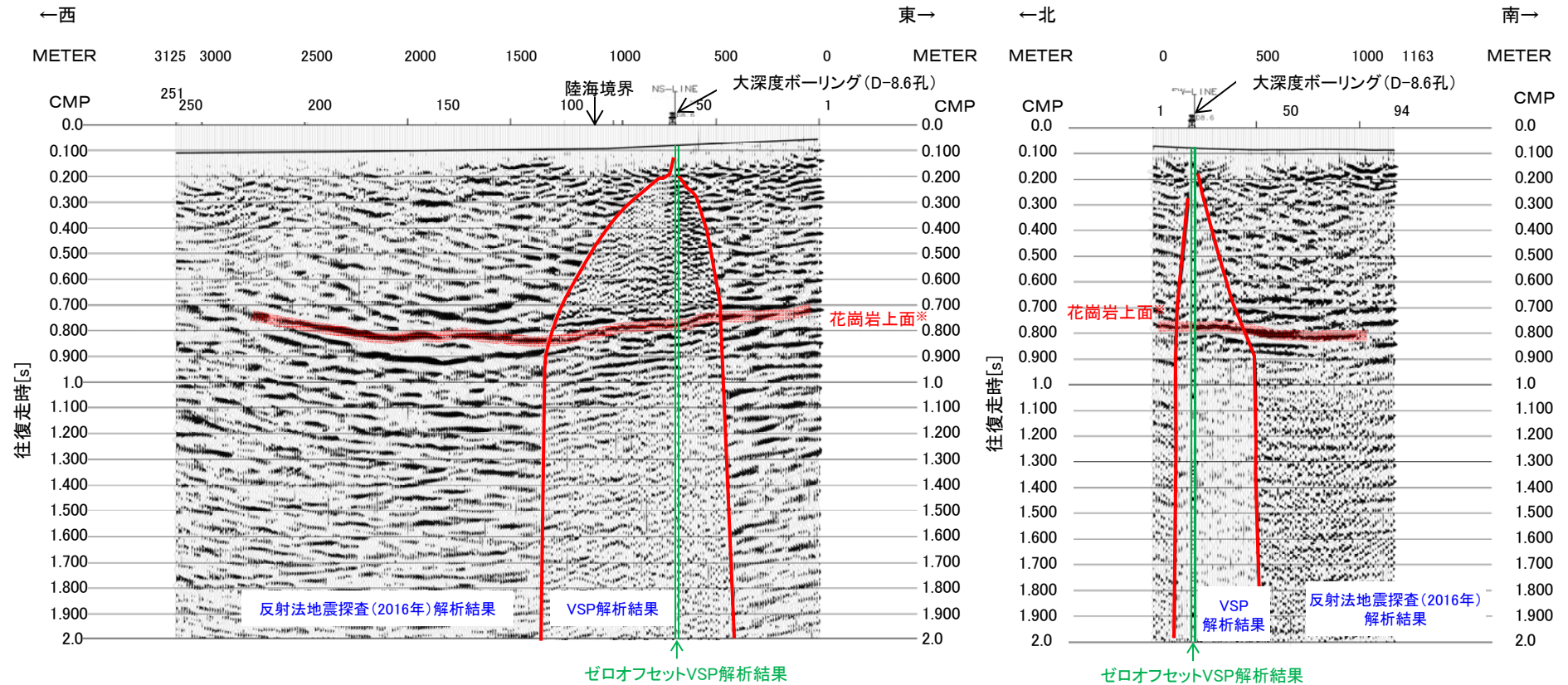
反射法地震探査(2016年)・VSP探査結果
(東西測線:時間断面)

反射法地震探査(2016年)・VSP探査結果
(南北測線:時間断面)

※ 花崗岩上面の解釈線は、重合数が相対的に多い測線中央付近から反射面が連続的に追跡でき、信頼性が高いと考えられる区間について記載

(2) 検討結果 - マイグレーション処理後の時間断面 -

○ マイグレーション処理後の時間断面を下図に示す。



反射法地震探査(2016年)・VSP探査結果
(東西測線:時間断面)

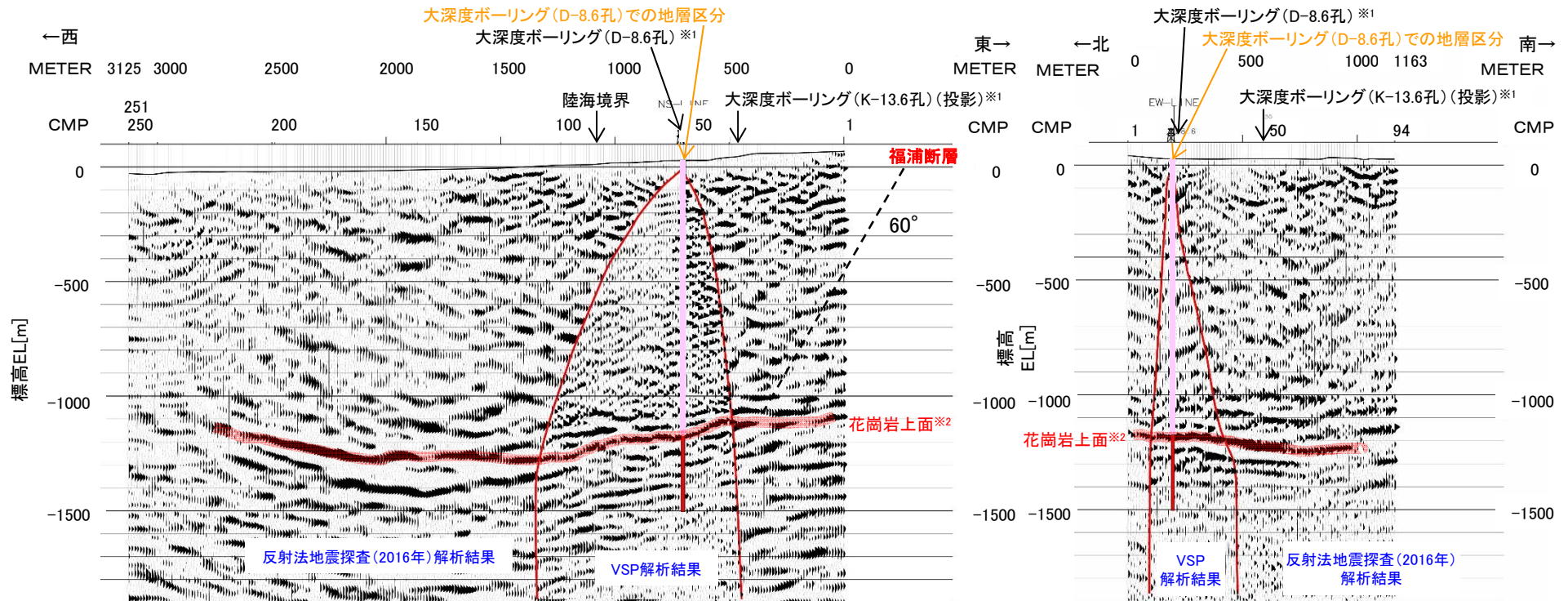
反射法地震探査(2016年)・VSP探査結果
(南北測線:時間断面)

※ 花崗岩上面の解釈線は、重合数が相対的に多い測線中央付近から反射面が連続的に追跡でき、信頼性が高いと考えられる区間について記載

(2) 検討結果 — 深度断面 —

- 深度断面を下図に示す。
- 探査の結果、花崗岩上面(地震基盤面)に相当する反射面は深さ1km程度の位置にあり、EL -1100~-1300mの範囲で概ね水平に分布している。

・マイグレーション処理後の時間断面(前頁)から深度変換を行い作成。



・反射法地震探査区間における花崗岩上面付近での垂直分解能は32~35m程度。

※1 D-8.6孔(P.71)とK-13.6孔(P.72)により確認された花崗岩上面の高度差約180m(P.72)については、重力探査の結果で敷地近傍に顕著な線状の重力異常急変部が認められず(P.77)、反射法地震探査・VSP探査結果で断層が認められないこと、花崗岩上面に相当する反射面に同程度の高度差(約100~200m)が認められることから、敷地の地下深部における花崗岩上面の凹凸の範囲内であると判断した。

※2 花崗岩上面の解釈線は、重合数が相対的に多い測線中央付近から反射面が連続的に追跡でき、信頼性が高いと考えられる区間について記載

大深度ボーリングでの地層区分

- : 古第三系~新第三系
(安山岩、凝灰角礫岩、砂岩と頁岩の互層、礫層)
- : 花崗岩

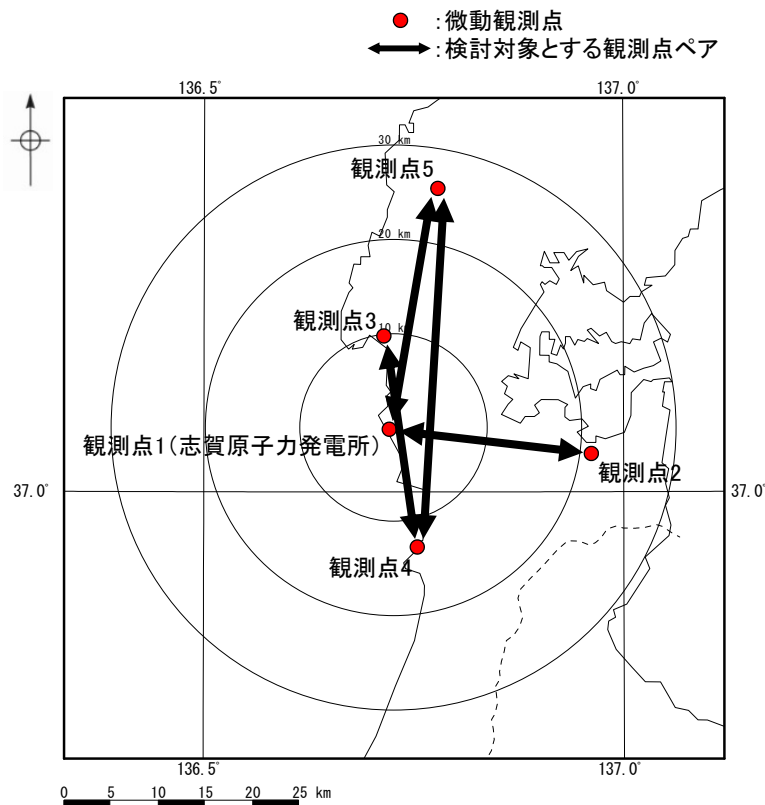
反射法地震探査(2016年)・VSP探査結果
(東西測線: 深度断面)

反射法地震探査(2016年)・VSP探査結果
(南北測線: 深度断面)

➤ 反射法地震探査・VSP探査に基づく反射断面より、敷地の地震基盤面は深さ1km程度であり、概ね水平に分布している。

(1) 検討方法

- 敷地周辺の地震基盤より深部の速度構造を把握するため、地下の速度構造が反映されている広域微動観測記録に基づき複数の観測点ペアで評価した群速度を比較した。
- 微動観測は敷地内外の5地点において、2014年6月26日から順次実施している。微動観測点配置図及び観測開始日並びに微動計の仕様を下記に示す。
- 群速度は、敷地周辺の地震基盤より深部の速度構造を把握する観点から、観測点の一方が敷地となっている観測点ペア及び観測点間に敷地が含まれている観測点ペアのうち観測点間距離が比較的長い観測点ペア(4組)で評価した。



微動観測点配置図

観測開始日

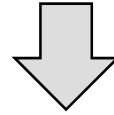
観測点 1,2,3	2014年6月26日
観測点 4	2015年2月10日
観測点 5	2017年1月18日

微動計の仕様

項目	仕様
地震計	3成分加速度計(ミツヨ製JEP-6A3)
データロガー	LS-8000(白山工業製)
電源供給	バッテリー
データ収録	連続観測(100Hzサンプリング) GPSIによる時刻校正

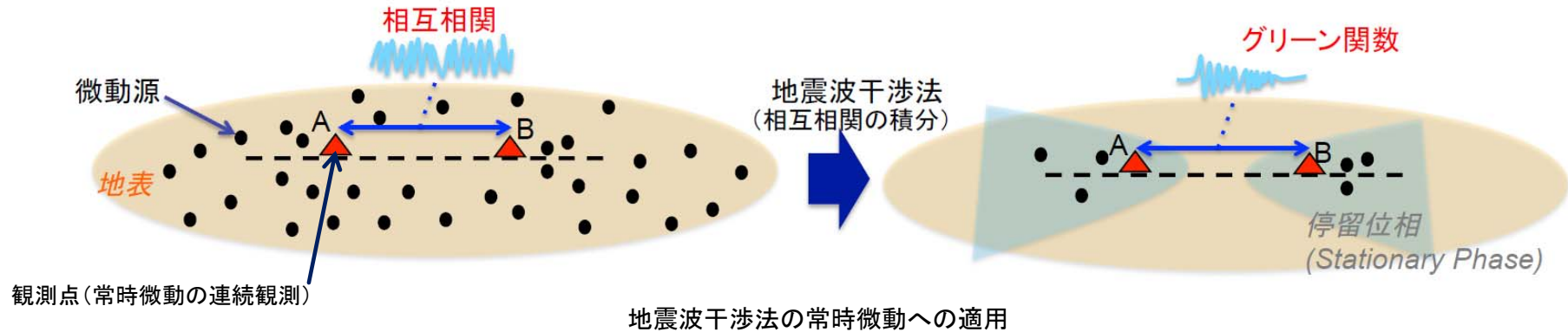
(2) 地震波干渉法の原理及び群速度の評価方法

- 地表の2点間で観測された波動場の相互相関によって、一方の観測点にインパルス信号を与え、もう一方の観測点で観測した際の記録(グリーン関数)を合成できる。(Wapenaar(2004))



常時微動への適用
Shapiro and Campillo(2004)

- 無数の振源で囲まれた領域中の2点間で微動を計測し、各振源による相互相関を全て積分(スタック処理)すると、停留位相点と呼ばれる領域以外の成分は打ち消し合い、2点間のグリーン関数のみが残る。



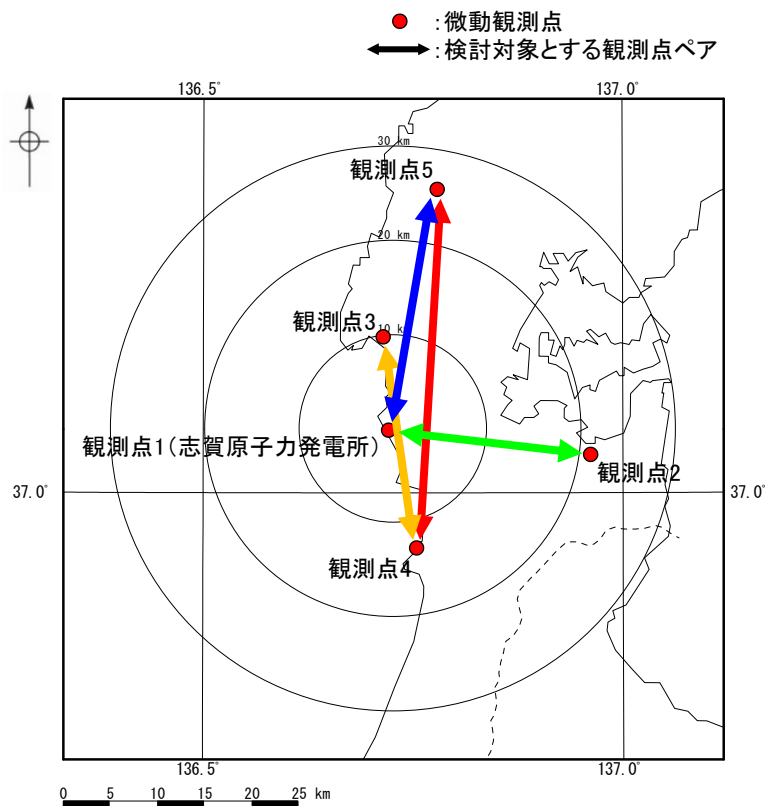
- 群速度の評価方法を下記に示す。

- ① 1時間分の連続記録の相互相関を全日数分スタック処理し、グリーン関数を評価※
- ② グリーン関数の狭帯域フィルタ処理から、周期ごとのフィルター波形とそのエンベロープ(包絡線)を評価
- ③ 観測点間距離をエンベロープの最大値時刻で除し、周期ごとの群速度を評価

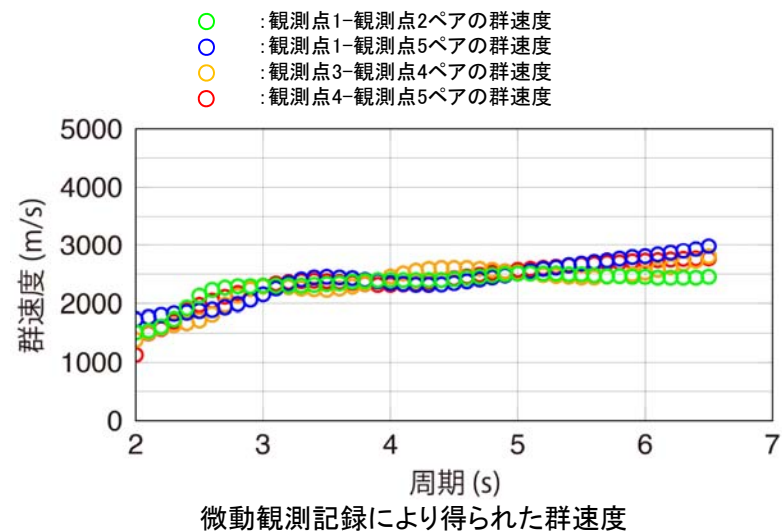
※ 相互相関関数の評価結果は、データ集P.141~149。

(3) 検討結果

○ 微動観測記録により得られた群速度(右下図)は、敷地周辺の地震基盤より深部の速度構造を反映していると考えられる周期2秒程度より長周期側※において、いずれも同様の分散性を示す。



微動観測点配置図



微動観測記録により得られた群速度

※ 群速度における周期2秒程度より長周期側が、敷地周辺の地震基盤より深部の速度構造を反映していると考えられることについては、次頁参照。

➤ 微動観測記録により得られた群速度は、周期2秒程度より長周期側において、いずれも同様の分散性を示すことから、敷地周辺の地震基盤より深部の速度構造に、顕著な不整形はないものと考えられる。

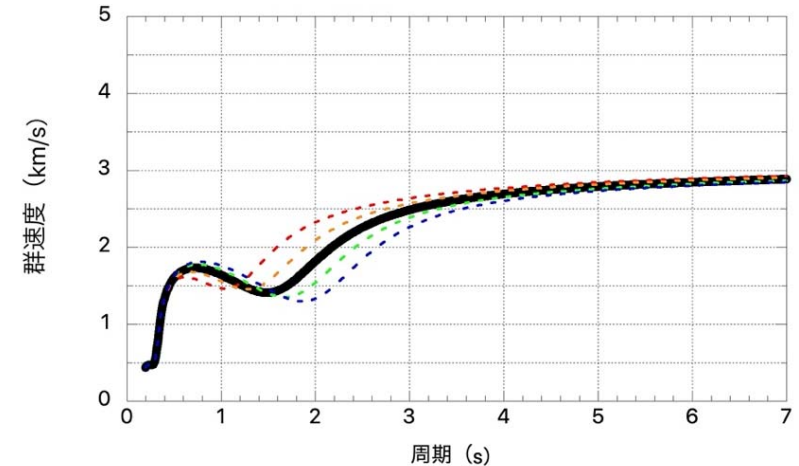
(補足) 検討の対象とする周期帯について

- 検討の対象とする周期帯を確認するため、2章で設定した地下構造モデルの地震基盤面の位置を変動させた場合の速度構造に基づく理論群速度を算定した。算定した結果を右下図に示す。
- 理論群速度が周期2秒程度で変動していることから、敷地の地震基盤面の位置が群速度へ影響を与える周期帯は周期2秒程度であり、群速度において、敷地周辺の地震基盤より深部の速度構造を反映している周期帯は、周期2秒程度より長周期側であると考えられる。

2章で設定した地下構造モデル

標高EL	層厚 (m)	S波速度 Vs (km/s)	P波速度 Vp (km/s)	密度 ρ (t/m ³)	減衰定数 h (%)	Q値
-10m	98.9	1.50	3.19	2.37	3.000	16.67
-108.9m	91.1	1.96	3.96	2.38	3.000	16.67
-200m	790	2.14	3.92	2.34	1.500	33.33
-990m	200	1.56	3.26	2.41	1.000	50
-1.19km	600	3.16	5.29	2.67	0.250	200
-1.79km	1,210	3.3	5.4	2.7	0.250	200
-3km	2,500	3.5	5.6	2.7	0.250	200
-5.5km	12,500	3.6	6.3	2.7	0.185	270
-18km	10,000	3.9	6.8	2.8	0.125	400
-28km	∞	4.4	7.6	3.1	0.100	500

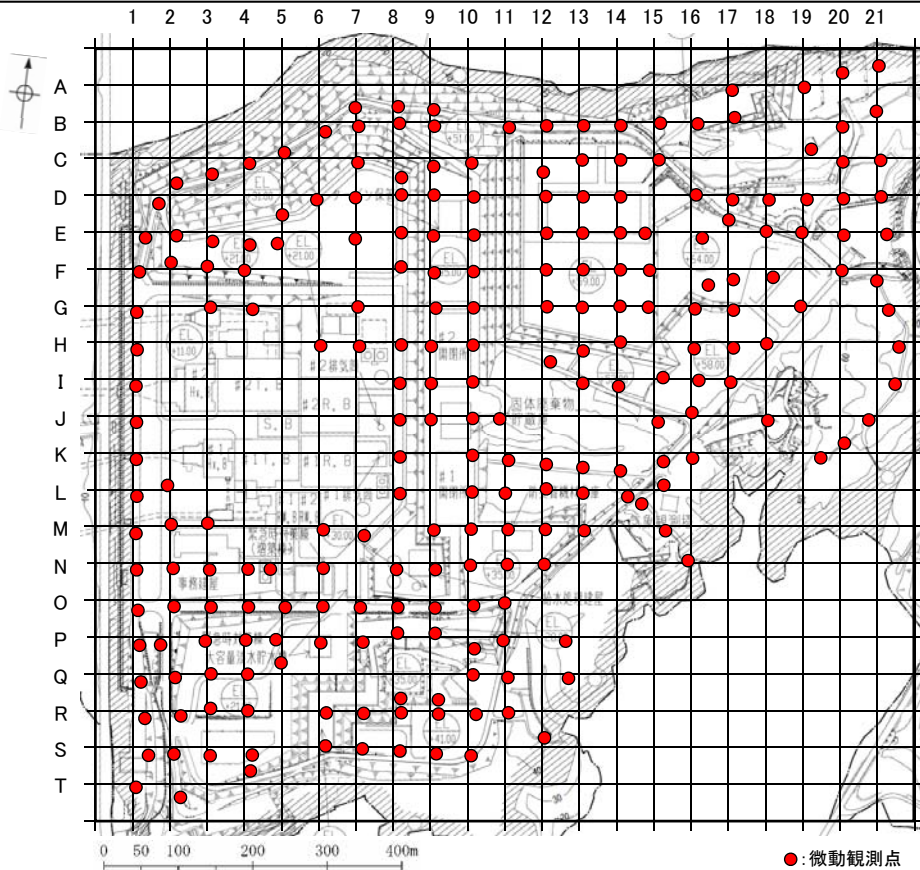
- : 地震基盤面の位置 (EL-1.19km) を200m浅くした場合
- : 地震基盤面の位置 (EL-1.19km) を100m浅くした場合
- : 地震基盤面の位置 (EL-1.19km) を変動させない場合
- : 地震基盤面の位置 (EL-1.19km) を100m深くした場合
- : 地震基盤面の位置 (EL-1.19km) を200m深くした場合



地震基盤面の位置を変動させた場合の理論群速度

(1) 検討方法

- 敷地の地震基盤面の形状を把握するため、地下の速度構造が反映されている単点微動観測記録に基づくH/Vスペクトル比(以下、「微動H/Vスペクトル比」という)を敷地の複数の観測点で比較した。
- また、EL-10mの位置を解放基盤表面として設定する(詳細はP.144参照)ことの妥当性を確認することを目的として、原子炉設置位置周辺においてS波速度が0.7km/s以上となる第3速度層($V_s=1.5\text{km/s}$ 、解放基盤表面は当該層内に設定)上面の形状を把握するため、敷地の複数の観測点で、微動H/Vスペクトル比を用いた逆解析により第3速度層上面の標高を推定した。なお、逆解析は、1層目を第2速度層($V_s=0.6\text{km/s}$)、基盤層を第3速度層とした2層構造を仮定して、各観測点の理論H/Vスペクトル比が微動H/Vスペクトル比に周期0.1~1秒でフィッティングする1層目の層厚を探索することで実施した。
- 微動観測は敷地の232地点※(約50m間隔)において、2014年1月13日~23日の期間の中で実施した。微動観測点配置図及び微動計の仕様を下記に示す。



微動観測点配置図

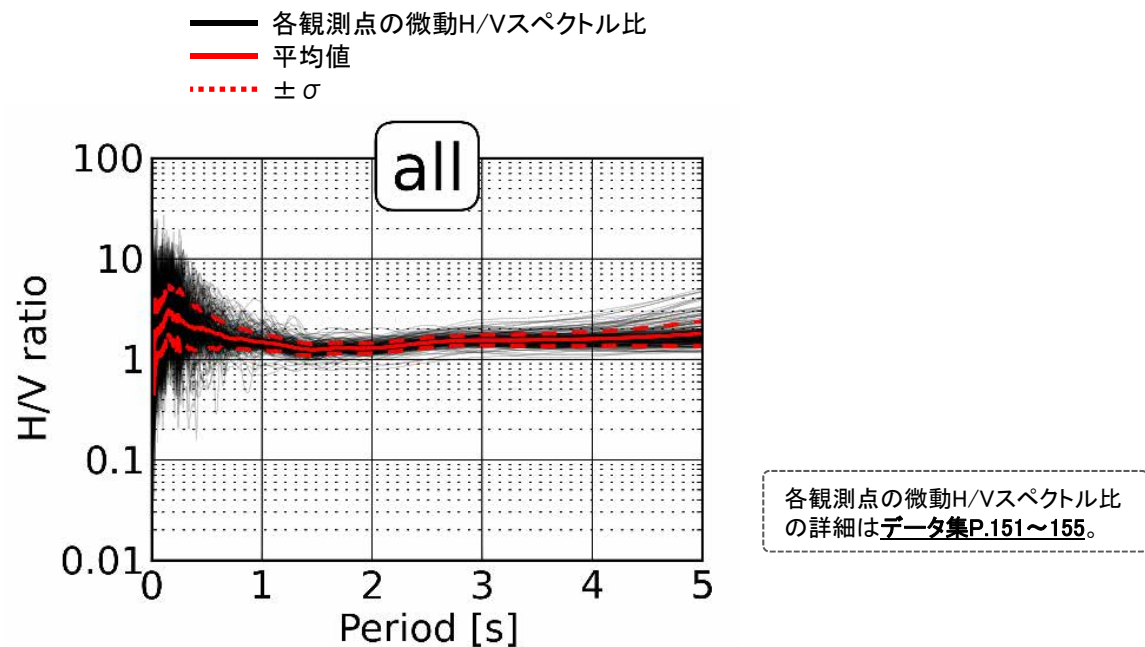
微動計の仕様

項目		仕様
地震計	名称	LE-3D/5S 改
	製造会社	レナーツ社(独)
	成分	3成分(水平動2成分・上下動1成分)
	固有周期	5/7秒切り替え式
	電圧	DC12V
	出力感度	4V/kine
	センサー形式	速度型
収録装置	名称	LS-8000
	製造会社	白山工業
	チャンネル数	3
	分解能	24bit
	サンプリング周波数	100Hz
	電源	DC6~16V
周波数範囲(周波数帯域)		0.14~50Hz

※ 微動観測点は、敷地において約50m間隔に設置することを基本としているが、施設の設置状況や工事状況等を考慮して配置した。

(2) 検討結果 ー地震基盤面の形状ー

- 各観測点の微動H/Vスペクトル比を比較した結果を下図に示す。
- 周期1秒程度より短周期側は観測点により変動がみられる※¹が、敷地の地震基盤面の位置を反映していると考えられる周期2秒程度※²において、各観測点の微動H/Vスペクトル比に顕著な違いはない。



各観測点の微動H/Vスペクトル比の比較

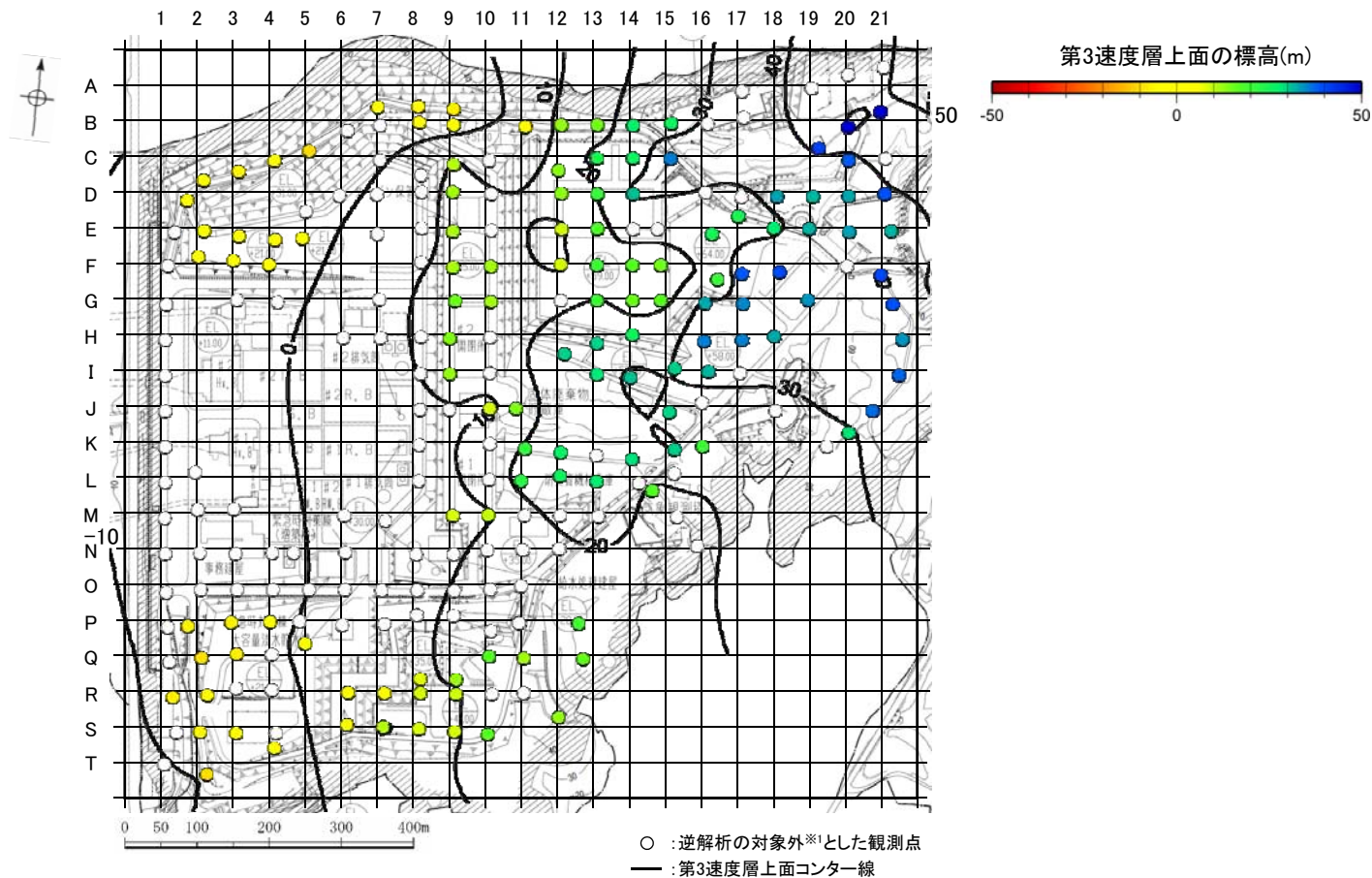
※¹ 微動H/Vスペクトル比における周期1秒程度より短周期側において、観測点により変動がみられることについての分析は、P.97参照。

※² 微動H/Vスペクトル比における周期2秒程度が、敷地の地震基盤面の位置を反映していると考えられることについては、P.98参照。

- 周期2秒程度において、各観測点の微動H/Vスペクトル比に顕著な違いはないことから、敷地の地震基盤面の形状に、顕著な不整形はないものと考えられる。

(2) 検討結果 — 第3速度層上面の形状 —

○ 各観測点の第3速度層上面の標高を下図に示す。



微動H/Vスペクトル比を対象とした逆解析による第3速度層上面の標高※2

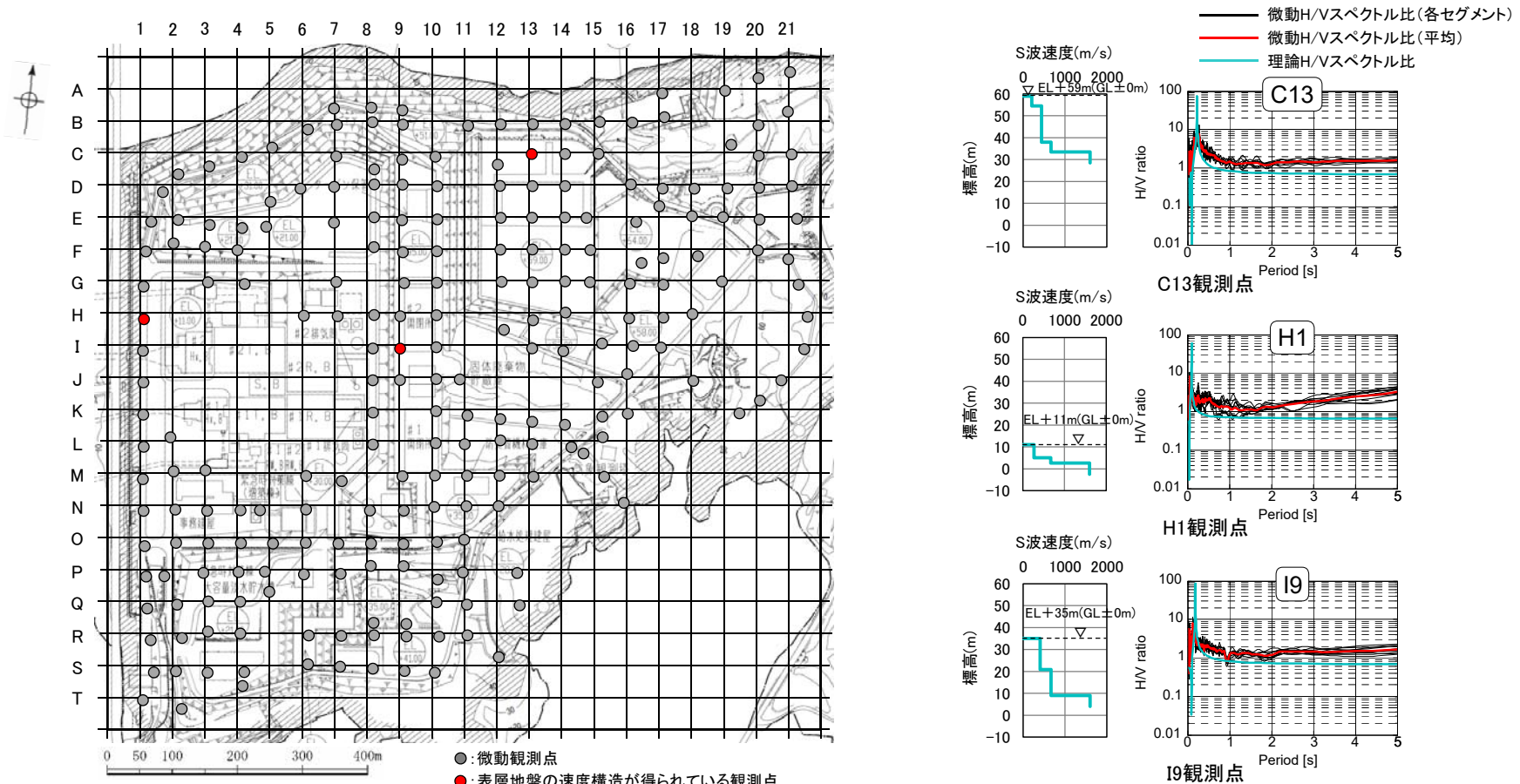
※1 微動H/Vスペクトル比の周期0.1～1秒に明瞭なピークがみられない観測点については、逆解析の対象外とした。

※2 各観測点の微動H/Vスペクトル比と逆解析結果の比較は、データ集P.157～164。

➤ 原子炉設置位置周辺の第3速度層上面はEL-10m以下に位置しており、顕著な不整形はみられない。

(補足) 微動H/Vスペクトル比の短周期側における変動の分析について

- 周期1秒程度より短周期側において、微動H/Vスペクトル比が観測点により変動していることを分析するため、微動H/Vスペクトル比と表層地盤の速度構造に基づく理論H/Vスペクトル比を比較した。
- 比較の対象とする観測点は、微動アレー探査により表層地盤の速度構造が得られている※C13観測点、H1観測点及びI9観測点とし、観測点の配置図及び比較した結果を下図に示す。
- 周期1秒程度より短周期側のピーク形状は、微動H/Vスペクトル比と理論H/Vスペクトル比で同様な傾向を示していることから、周期1秒程度より短周期側において、微動H/Vスペクトル比が観測点により変動していることの要因は、各観測点の表層地盤の速度構造の違いであると考えられる。なお、微動観測記録には、観測点周辺における作業や車両走向等による実体波が一定程度混在し、地形や構造物等により浅部で生じる反射波や散乱波の影響を受けていることも考えられる。



比較の対象とした観測点の配置図

比較の対象とした観測点の表層地盤の速度構造(左)と微動H/Vスペクトル比と理論H/Vスペクトル比の比較(右)

※ 表層地盤の速度構造は、水平アレー地震観測点(地表)の設置に際して、観測点の基礎情報として、観測点の周辺において半径数m程度の三角形アレーを複数配置した微動アレー探査により推定した。

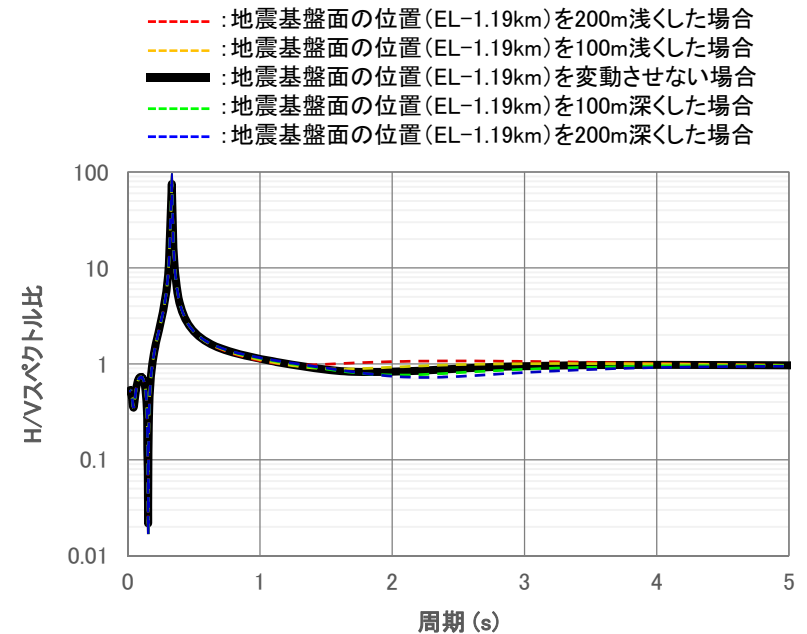
(補足) 検討の対象とする周期帯について

- 敷地の地震基盤面の位置が微動H/Vスペクトル比へ影響を与える周期帯を確認するため、2章で設定した地下構造モデルの地震基盤面の位置を変動させた場合の速度構造に基づく理論H/Vスペクトル比を算定した。算定した結果を右下図に示す。
- 理論H/Vスペクトル比が周期2秒程度で変動していることから、敷地の地震基盤面の位置が微動H/Vスペクトル比へ影響を与える周期帯は周期2秒程度であると考えられる。

2章で設定した地下構造モデル

標高EL	層厚 (m)	S波速度 Vs (km/s)	P波速度 Vp (km/s)	密度 ρ (t/m ³)	減衰定数 h (%)	Q値
-10m	98.9	1.50	3.19	2.37	3.000	16.67
-108.9m	91.1	1.96	3.96	2.38	3.000	16.67
-200m	790	2.14	3.92	2.34	1.500	33.33
-990m	200	1.56	3.26	2.41	1.000	50
-1.19km	600	3.16	5.29	2.67	0.250	200
-1.79km	1,210	3.3	5.4	2.7	0.250	200
-3km	2,500	3.5	5.6	2.7	0.250	200
-5.5km	12,500	3.6	6.3	2.7	0.185	270
-18km	10,000	3.9	6.8	2.8	0.125	400
-28km	∞	4.4	7.6	3.1	0.100	500

地震基盤面
▽



地震基盤面の位置を変動させた場合の理論H/Vスペクトル比

まとめ(1/2)

1.2.1 重力探査

- 敷地周辺の地震基盤面の形状を把握するため、敷地周辺のブーゲー異常図及び水平一次微分図を確認した。
- 敷地近傍(敷地から半径5km範囲)の重力異常値はほぼ一定であり、高重力異常域と低重力異常域との境界は明瞭ではなく、敷地近傍には地震基盤面の形状の急激な変化を示唆する顕著な線状の重力異常急変部は認められないことから、敷地近傍の地震基盤面に顕著な不整形はないものと考えられる。

1.2.2 地震波トモグラフィー

- 敷地周辺の地震基盤より深部(深さ5km程度以深)の速度構造を把握するため、地震波トモグラフィーに基づくP波速度構造及びS波速度構造を確認した。
- 敷地から10km程度の範囲においては、深さ5km程度以深の速度構造に顕著な不整形はみられない。

1.2.3 屈折法地震探査

- 敷地周辺の地震基盤面の位置及び形状、並びに地震基盤面より深部の速度構造を把握するため、Iidaka et al.(2003)、Iidaka et al.(2008)及び当社による屈折法地震探査に基づくP波速度構造を確認した。
- 敷地周辺の地震基盤面は深さ1km程度であり、概ね水平に分布している。また、敷地から10km程度の範囲において、地震基盤面より深部の速度構造に顕著な不整形はみられない。

1.2.4 微動アレー探査

- 敷地近傍の地震基盤面の位置及び形状を把握するため、微動アレー探査に基づくS波速度構造を確認し、地震基盤に相当する層の上面の深さを複数の地点で比較した。
- 敷地近傍の地震基盤面は深さ1km程度であり、概ね水平に分布している。

1.2.5 反射法地震探査・VSP探査

- 敷地の地震基盤面の位置及び形状を把握するため、大深度ボーリング孔を用いたVSP探査及び海陸連続で測線を配置した反射法地震探査に基づく反射断面を確認した。
- 敷地の地震基盤面は深さ1km程度であり、概ね水平に分布している。

まとめ(2/2)

1.2.6 広域微動探査

- 敷地周辺の地震基盤より深部の速度構造を把握するため、地下の速度構造が反映されている広域微動観測記録に基づき複数の観測点ペアで評価した群速度を比較した。
- 敷地周辺の地震基盤より深部の速度構造を反映していると考えられる周期2秒程度より長周期側において、いずれも同様の分散性を示すことから、敷地周辺の地震基盤より深部の速度構造に、顕著な不整形はないものと考えられる。

1.2.7 単点微動探査

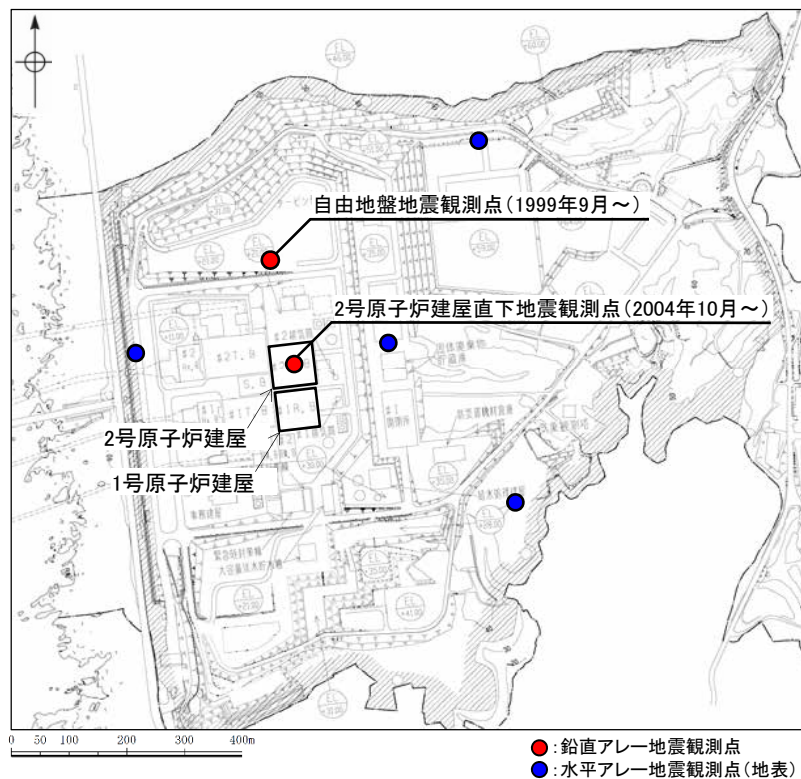
- 敷地の地震基盤面の形状を把握するため、地下の速度構造が反映されている単点微動観測記録に基づく微動H/Vスペクトル比を敷地の複数の観測点で比較した。また、原子炉設置位置周辺の第3速度層上面の形状を把握するため、敷地の複数の観測点で、微動H/Vスペクトル比を用いた逆解析により第3速度層上面の標高を推定した。
- 敷地の地震基盤面の位置を反映していると考えられる周期2秒程度において、各観測点の微動H/Vスペクトル比に顕著な違いはないことから、敷地の地震基盤面の形状に、顕著な不整形はないものと考えられる。また、原子炉設置位置周辺の第3速度層上面はEL-10m以浅に位置しており、顕著な不整形はみられない。

- 敷地周辺の地震基盤面は深さ1km程度であり、概ね水平に分布しているものと評価した。
- 敷地周辺の地震基盤面より深部の速度構造に顕著な不整形はないものと評価した。
- 原子炉設置位置周辺の第3速度層上面はEL-10m以浅に位置し、また顕著な不整形はないものと評価した。

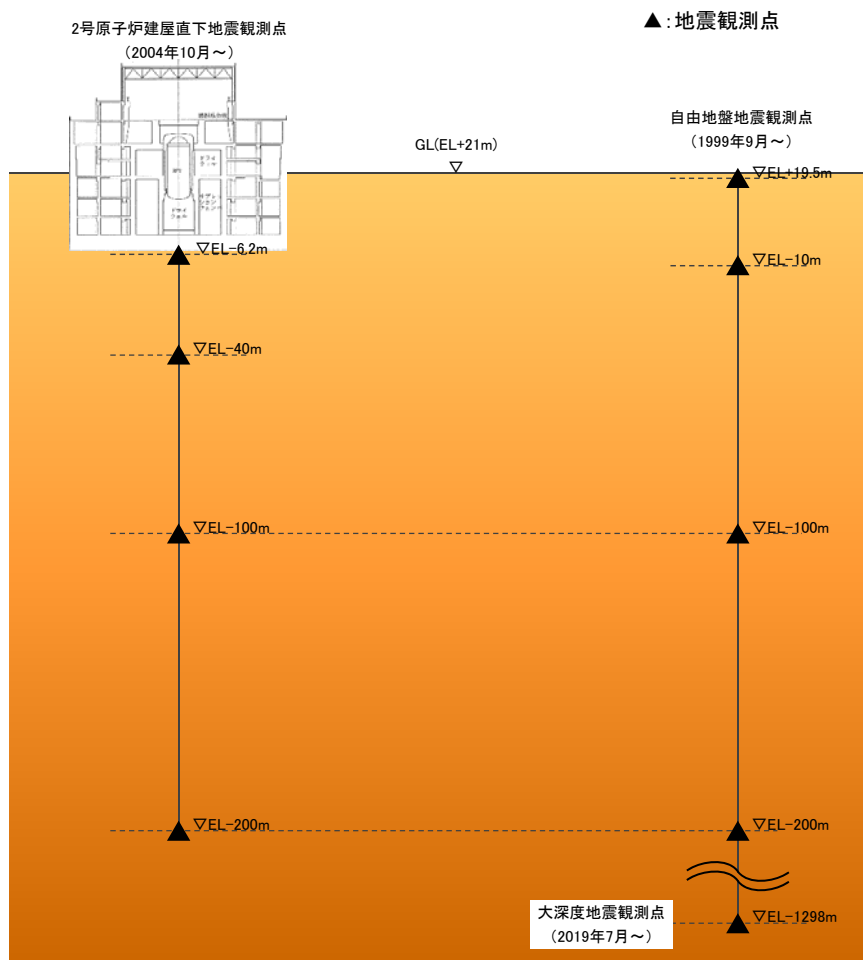
1.3 観測記録による地下構造の検討

(1) 敷地地盤における主な地震観測点

- 敷地地盤における主な地震観測点の位置を下記に示す。
- 鉛直アレー地震観測点については、自由地盤地震観測点において、1999年9月よりEL+19.5m～EL-200mで観測を実施しており、2019年7月よりその深部の大深度地震観測点(EL-1298m)で観測を実施している。また、2号原子炉建屋直下地震観測点において、2004年10月よりEL-6.2m～EL-200mで観測を実施している。
- 水平アレー地震観測点については、敷地地盤の地表4地点において、2016年1月～2018年2月に観測を実施し、2020年10月より観測を再開している。



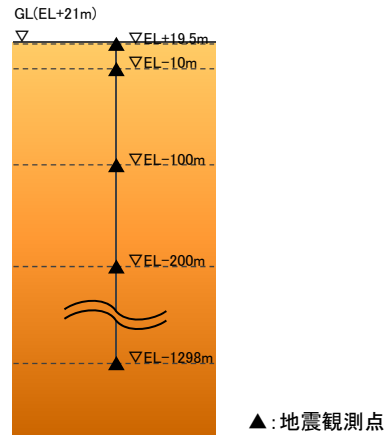
敷地地盤における主な地震観測点配置図



鉛直アレー地震観測点断面図

(2) 自由地盤地震観測点における主な観測地震 —地震の諸元及び震央分布図—

- 自由地盤地震観測点における主な観測地震について、諸元及び震央分布図を下記に示す。
- No.1～4の地震は、2014年の設置変更許可申請書に記載している主な観測地震で、No.5～11の地震は、EL-1298mの大深度地震観測を開始した2019年7月以降に観測された主な観測地震(敷地から100km以内において発生したM5以上の地震)である。

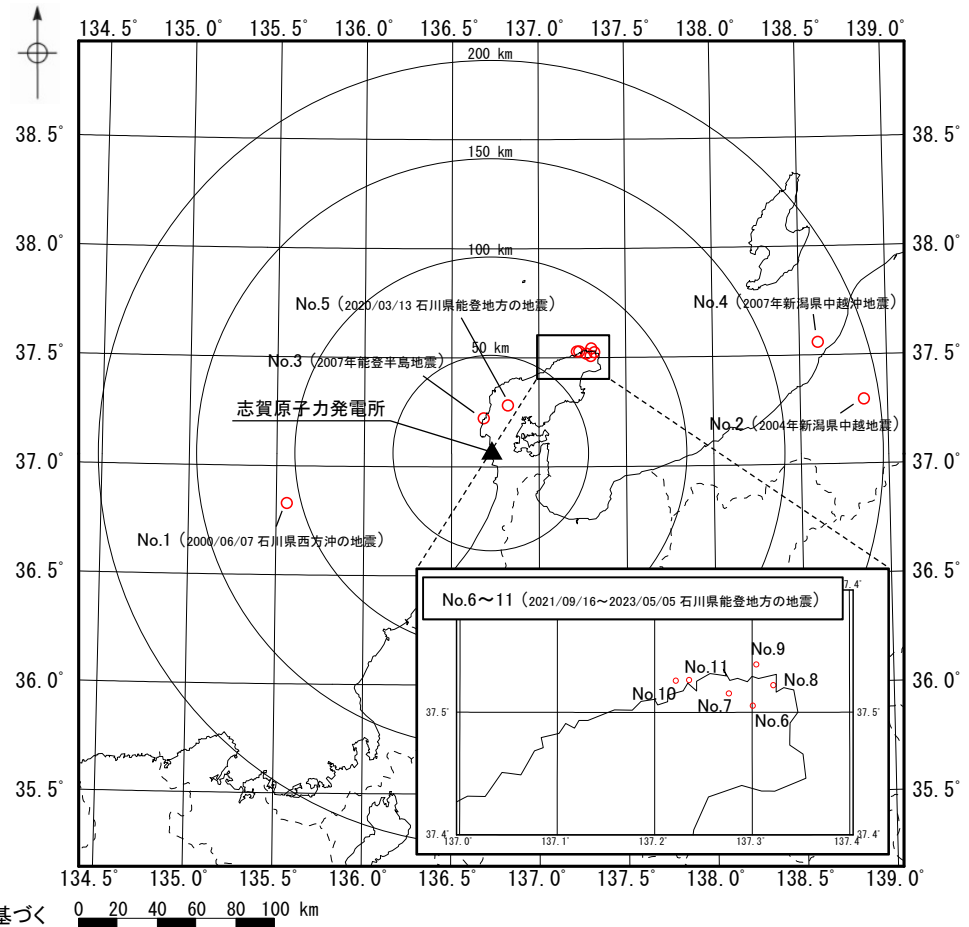


自由地盤地震観測点

主な観測地震の諸元*

No.	震源情報						震央距離 (km)
	日付	時刻	北緯 (°)	東経 (°)	深さ (km)	M	
1	2000/06/07	06:16	36.8265	135.5630	21.30	6.2	106.9
2	2004/10/23	17:56	37.2925	138.8672	13.08	6.8	191.8
3	2007/03/25	09:41	37.2207	136.6860	10.70	6.9	18.1
4	2007/07/16	10:13	37.5568	138.6095	16.75	6.8	175.8
5	2020/03/13	02:18	37.2797	136.8245	12.33	5.5	25.8
6	2021/09/16	18:42	37.5053	137.3008	13.12	5.1	70.9
7	2022/06/19	15:08	37.5153	137.2763	13.14	5.4	70.1
8	2022/06/20	10:31	37.5220	137.3220	13.86	5.0	73.5
9	2023/05/05	14:42	37.5390	137.3045	12.14	6.5	73.8
10	2023/05/05	14:53	37.5257	137.2218	12.81	5.0	67.7
11	2023/05/05	21:58	37.5263	137.2355	13.70	5.9	68.6

* 気象庁「地震月報(カタログ編)」または防災科学技術研究所「Hi-net検測値データ」に基づく



主な観測地震の震央分布図

