

志賀原子力発電所適合性審査資料

SK2-地074-01

2023年5月18日

志賀原子力発電所2号炉 地下構造評価について

2023年5月18日
北陸電力株式会社

余白

はじめに

- 当資料は、申請時の調査及び検討に加え、申請時以降の調査及び検討も踏まえ、地下構造評価の全体についてとりまとめた。
- 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.4～9)
 - II. 地震発生層の設定(P.10～14)
- なお、2023年5月5日に発生した石川県能登地方の地震(M6.5)を含む一連の地震(珠洲市周辺)については、「I. 地下構造評価」において、2022年6月までに発生した地震の観測記録を用いた検討を実施しているが、今後、2022年6月以降の地震を含めた検討を実施していく。「II. 地震発生層の設定」については、一連の地震の発生位置が志賀原子力発電所から70km程度離れていることから、これらの地震の観測記録は検討に含めていない。

I. 地下構造評価 — 解釈別記2の記載事項の整理 —

○ 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)の記載事項を整理し、地下構造評価において検討すべき事項を抽出した。

【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、ほぼ水平で相当な拡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たの調査については、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。



解釈別記2の記載事項及び検討すべき事項

項目	記載事項	検討すべき事項の抽出
解放基盤表面の設定	著しい高低差がなく、ほぼ水平で相当な拡がりを持って想定される自由表面であり、S波速度が概ね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	① 解放基盤表面の位置及び形状
敷地地盤の地下構造及び地震波の伝播特性の評価	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	② 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 ③ 地震基盤の位置及び形状 ④ 岩相・岩質の不均一性 ⑤ 地震波速度構造等の地下構造 ⑥ 地盤の減衰特性
	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	(地下構造が成層かつ均質と認められない場合、三次元的な地下構造により検討を実施する。)
	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	(検討すべき事項①～⑥を検討するために必要となる調査等を適切に実施する。(詳細はP6))

I. 地下構造評価 – 審査ガイドの記載事項の整理 –

○ 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)の記載事項を整理し、地下構造評価において検討すべき事項を抽出した。

【審査ガイド】(地下構造評価に係る部分の抜粋)

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。

審査ガイドの記載事項及び検討すべき事項

項目	記載事項	検討すべき事項の抽出
敷地地盤の地下構造及び地震波の伝播特性の評価	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)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すること	(検討すべき事項①～⑥を検討するために必要となる調査等を適切に実施する。(詳細はP6))
	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)として、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	

※ 解釈別記2と重複している内容は除く

I. 地下構造評価 — 調査等の概要 —

○ 地下構造評価において検討すべき事項に対して実施した調査等の概要を下表に示す。

地下構造評価において検討すべき事項に対して実施した調査等の概要

No.	調査等の項目	調査等の範囲	調査等の対象	申請時以降の調査等	検討すべき事項					
					①	②	③	④	⑤	⑥
㉑	文献調査	敷地・敷地周辺	地質・地質構造	—		●				
㉒			地下深部速度・密度構造	知見に基づく検討を追加で実施			●		●	
㉓			地下深部減衰構造	—						●
㉔	浅層ボーリング調査	敷地	地質・地質構造	—	●	●		●		
㉕			速度・密度構造	—	●				●	
㉖			減衰構造	—						●
㉗	大深度ボーリング調査	敷地	地質・地質構造	—		●	●	●		
㉘			速度・密度構造	—			●		●	
㉙			減衰構造	—						●
㉚	重力探査	敷地・敷地周辺	地下深部構造	探査地点を追加して実施			●		●	
㉛	屈折法地震探査	敷地・敷地周辺	地下深部速度構造	—			●		●	
㉜	微動アレー探査	敷地・敷地周辺	地下深部速度構造	—			●		●	
㉝	反射法地震探査・VSP探査	敷地・敷地周辺	地下深部構造	新規に実施			●		●	
㉞	広域微動観測	敷地・敷地周辺	地下深部構造	新規に実施					●	
㉟	単点微動観測	敷地	地下深部構造	新規に実施					●	
㊱	水平アレー地震観測	敷地	地下構造	新規に実施					●	
㊲	鉛直アレー地震観測	敷地	地下構造	大深度地震観測点を追加して実施					●	
㊳			減衰構造							●
㊴			地盤増幅特性							
㊵	原子炉建屋基礎版上地震観測	敷地	地下構造	—					●	
㊶	岩石コア超音波試験	敷地	減衰構造	新規に実施						●

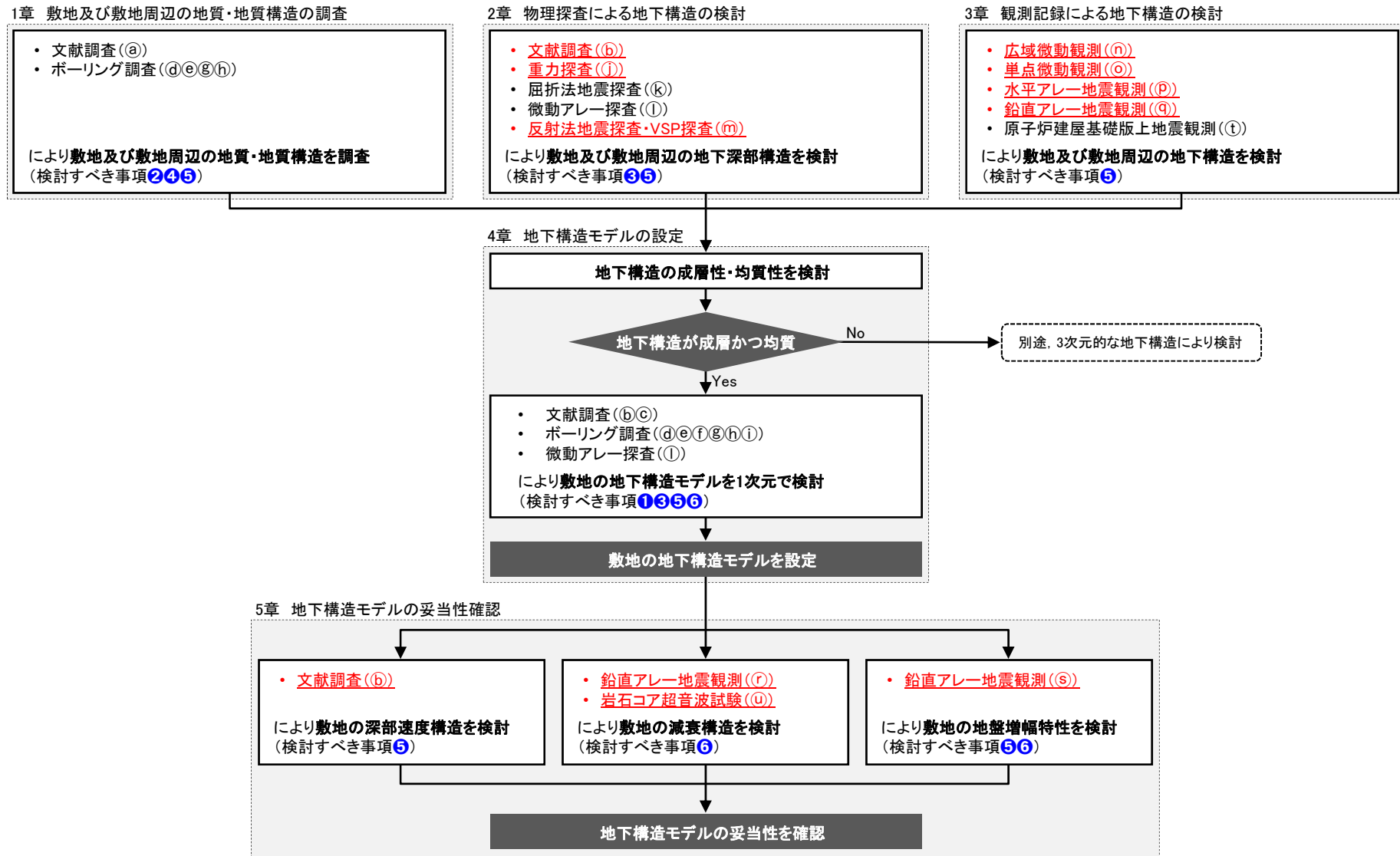
●:調査等によって検討する事項

検討すべき事項:① 解放基盤表面の位置及び形状, ② 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, ③ 地震基盤の位置及び形状, ④ 岩相・岩質の不均一性, ⑤ 地震波速度構造等の地下構造, ⑥ 地盤の減衰特性

※ 赤字下線部は, 申請時以降に新規または追加で調査等を実施した項目

I. 地下構造評価 – 評価フロー –

○ 地下構造評価において検討すべき事項に対する調査等を踏まえた評価フローを下図に示す。



地下構造評価の評価フロー

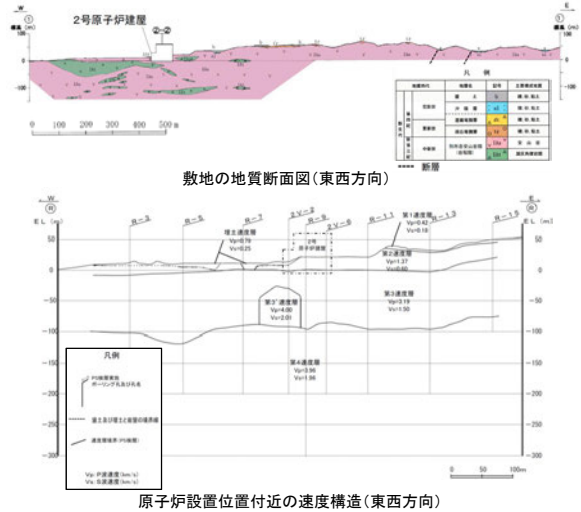
※ 検討すべき事項: ① 解放基盤表面の位置及び形状, ② 敷地及び敷地周辺における地層の傾斜, 断層及び褶曲構造等の地質構造, ③ 地震基盤の位置及び形状, ④ 岩相・岩質の不均一性, ⑤ 地震波速度構造等の地下構造, ⑥ 地盤の減衰特性
 ※ 赤字下線部は, 申請時以降に新規または追加で調査等を実施した項目

I. 地下構造評価 — 評価の概要 —

○ 地下構造評価の評価フローに基づく評価の概要を以降に示す。

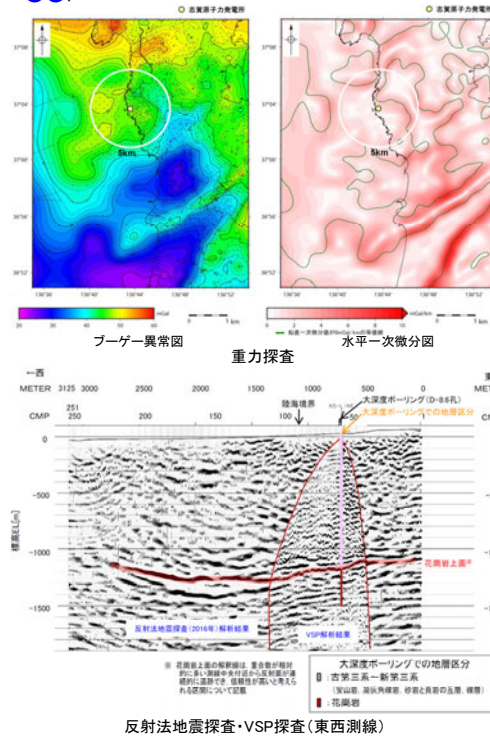
1章 敷地及び敷地周辺の地質・地質構造の調査

- 文献調査及びボーリング調査により、敷地及び敷地周辺の地質・地質構造を調査。
 - 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。(検討すべき事項②)
 - 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。(検討すべき事項②)
 - 新第三紀の岩稲階の別所岳安山岩類は、敷地内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。(検討すべき事項②④)
 - 原子炉設置位置付近の速度構造は、第1速度層から第4速度層に区分され、概ね水平な層構造を呈す。第3速度層中において、周囲と異なった速度特性を示す範囲を第3'速度層として区分した。(検討すべき事項⑤)
 - 大深度ボーリング調査の結果、敷地の地質は、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、花崗岩が浅におけるP波速度及びS波速度はそれぞれ4km/s及び2km/s程度、花崗岩が深における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。(検討すべき事項②⑤)



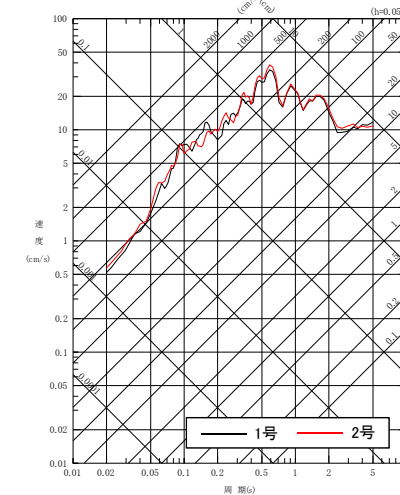
2章 物理探査による地下構造の検討

- 文献調査、重力探査、屈折法地震探査、微動アレー探査及び反射法地震探査・VSP探査により、敷地及び敷地周辺の地下深部構造を検討。
 - 敷地近傍の重力異常値はほぼ一定であり、基盤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。(検討すべき事項③⑤)
 - 文献調査、屈折法地震探査、微動アレー探査による地下深部の速度構造は、概ね水平に分布している。(検討すべき事項③⑤)
 - 反射法地震探査・VSP探査による敷地の花崗岩上面に相当する反射面は、ほぼ水平である。(検討すべき事項③⑤)



3章 観測記録による地下構造の検討

- 微動観測記録及び地震観測記録を用いて、敷地及び敷地周辺の地下構造を検討。
 - 広域における微動観測記録に基づき評価した群速度は、いずれも同様の分散性を示すことから、敷地及び敷地周辺の地下深部に特異な構造はないと考えられる。(検討すべき事項⑥)
 - 敷地内の単点微動観測記録に基づき評価したH/Vスペクトル比は、長周期側は全体的に平坦な形状であり明瞭なピークは認められないことから、敷地の地下深部に特異な構造はないと考えられる。(検討すべき事項⑤)
 - 敷地内の水平アレー地震観測点、鉛直アレー地震観測点の観測点間の応答スペクトル比は地震の到来方向による顕著な違いはなく、そのばらつきは小さいこと等から、敷地の地下構造に特異な構造はないと考えられる。(検討すべき事項⑤)
 - 1号及び2号原子炉建屋基礎版上の地震観測記録を比較した結果、顕著な違いはないことから、敷地の地下構造に特異な構造はないと考えられる。(検討すべき事項⑤)



地下構造評価の概要(1/2)

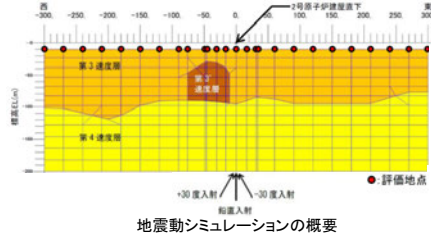
※ 検討すべき事項: ① 解放基盤表面の位置及び形状, ② 敷地及び敷地周辺における地層の傾斜, 断層及び褶曲構造等の地質構造, ③ 地震基盤の位置及び形状, ④ 岩相・岩質の不均一性, ⑤ 地震波速度構造等の地下構造, ⑥ 地盤の減衰特性

4章 地下構造モデルの設定

● 地下構造の成層性・均質性を検討。

- 1章から3章の調査及び検討より、敷地及び敷地周辺の地下構造は、地下深部まで概ね水平な層構造を呈すものの、原子炉設置位置付近の速度構造において、周囲と異なった速度特性を示す範囲(第3'速度層)が見られる。このことを踏まえ、第3'速度層が地震動へ与える影響を確認。

- ✓ 第3'速度層が地震動へ与える影響を確認するため、2次元FEMモデルを用いた地震動シミュレーションを実施。
- ✓ 解放基盤表面として設定したEL-10mにおける応答波形を第3'速度層がある場合とない場合で比較した結果、最大振幅及び位相に顕著な違いは見られず、第3'速度層が解放基盤表面における地震動へ与える影響は小さいことを確認。



➤ 敷地及び敷地周辺の地下構造は成層かつ均質と判断。

● 文献調査、ボーリング調査及び微動アレー探査により、敷地の地下構造モデルを1次元で検討。

- S波速度が1.5km/sである速度層におけるEL-10mを解放基盤表面として設定。(検討すべき事項①)
- S波速度が3km/s以上となるEL-1.19kmを地震基盤として設定。(検討すべき事項③)
- 敷地の速度構造、減衰特性等を設定。(検討すべき事項⑤⑥)

➤ 敷地の地下構造モデルを設定。

設定した地下構造モデル

解放基盤表面	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
地震基盤	-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

- 黄色: ボーリング調査結果
- 紫色: 微動アレー探査結果
- 緑色: Vs-Vp関係(大深度ボーリング調査結果による関係)
- 青色: 文献(岩田・関口(2002))
- 茶色: 文献(lidaka et al.(2008))
- 赤色: 文献(lidaka et al.(2003))
- ピンク: Vs-Vp関係(地殻構造の平均的な関係)

- 各種の調査及び検討を踏まえ、敷地の地下構造モデルを設定。
- また、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追加検討により、地下構造モデルが適切に設定されていることを確認。(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)

5章 地下構造モデルの妥当性確認

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ため、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追加検討を実施。

● 文献調査により、敷地の深部速度構造を検討。

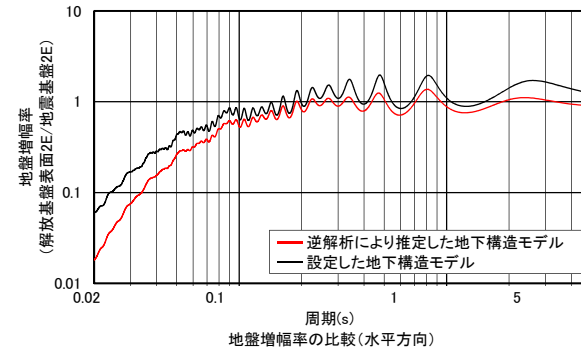
- 申請時以降に得られた知見において評価された敷地位置における深部速度構造は、設定した地下構造モデルの深部速度構造と調和的である。(検討すべき事項⑤)

● 鉛直アレー地震観測及び岩石コア超音波試験により、敷地の減衰構造を検討。

- 地震波干渉法を敷地内の鉛直アレー地震観測記録に適用することにより推定されたQ値は、設定した地下構造モデルのQ値を下回る。(検討すべき事項⑥)
- 敷地内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推定されたQ値は、設定した地下構造モデルのQ値を下回る。(検討すべき事項⑥)
- 敷地内の鉛直アレー地震観測記録(大深度地震観測記録含む)のS波直達上昇波を用いて推定されたQ値は、設定した地下構造モデルのQ値を下回る。(検討すべき事項⑥)

● 鉛直アレー地震観測により、敷地の地盤増幅特性を検討。

- 敷地内の鉛直アレー地震観測記録(大深度地震観測記録含む)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の地盤増幅率を比較した結果、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。(検討すべき事項⑤⑥)



➤ 地下構造モデルの妥当性を確認。

地下構造評価の概要(2/2)

※ 検討すべき事項: ① 解放基盤表面の位置及び形状, ② 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, ③ 地震基盤の位置及び形状, ④ 岩相・岩質の不均一性, ⑤ 地震波速度構造等の地下構造, ⑥ 地盤の減衰特性

Ⅱ. 地震発生層の設定 — 審査ガイドの記載事項の整理 —

○ 審査ガイドの記載事項を整理し、地震発生層の設定において検討すべき事項を抽出した。

【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、周辺地域やテクトニクス背景が、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。



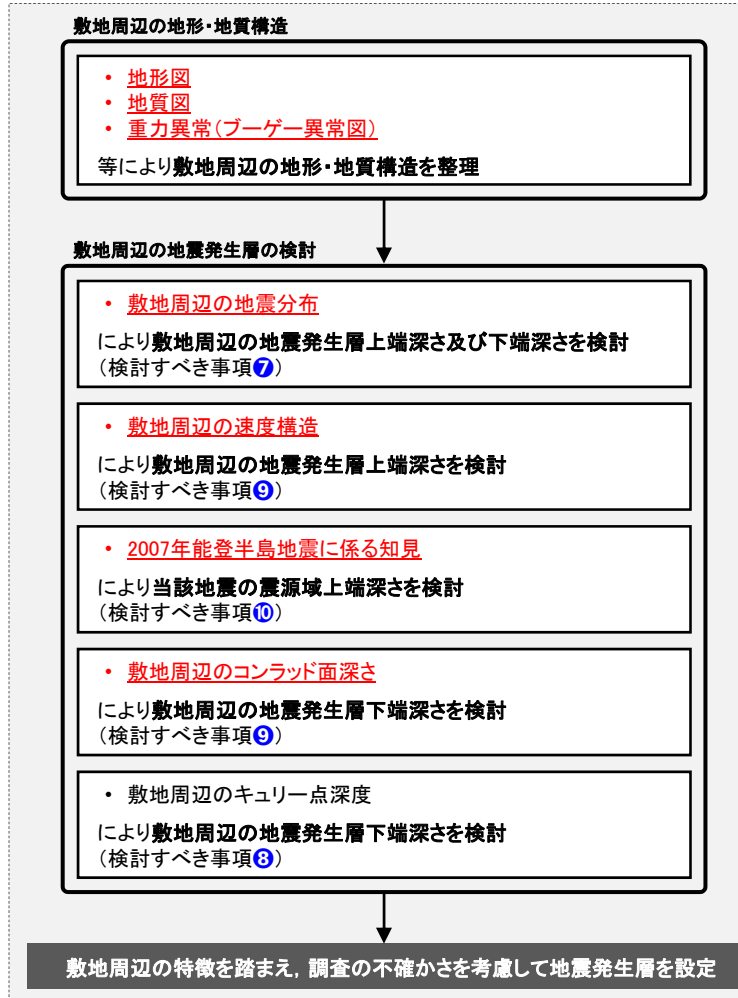
審査ガイドの記載事項及び検討すべき事項

項目	記載事項	検討すべき事項の抽出
地震発生層の設定	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	⑦ 地震の震源分布 ⑧ キュリー一点深度 ⑨ 速度構造データ等
	地震発生層の浅さ限界を設定する際には、周辺地域やテクトニクス背景が、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	⑩ 周辺地域における大地震の余震
	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	(検討すべき事項⑦～⑩の検討結果に基づき、調査の不確かさを踏まえて設定する。)

II. 地震発生層の設定 ー設定フローー

○ 地震発生層の設定において検討すべき事項に対する検討を踏まえた設定フローを下図に示す。

6章 地震発生層の設定



地震発生層の設定フロー

※ 検討すべき事項: ⑦ 地震の震源分布, ⑧ キュリー一点深度, ⑨ 速度構造データ等, ⑩ 周辺地域における大地震の余震

※ 赤字下線部は、申請時以降に新規または追加で検討を実施した項目

II. 地震発生層の設定 ー設定の概要ー

○ 地震発生層の設定フローに基づく設定の概要を以降に示す。

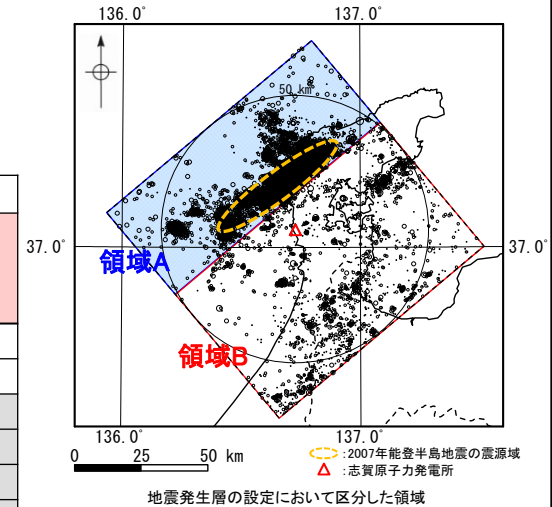
6章 地震発生層の設定

- 地形図、地質図、重力異常(ブーゲー異常図)等により敷地周辺の地形・地質構造を整理。
- 敷地周辺の地形・地質構造や地震分布の傾向を踏まえ、敷地周辺を領域A(2007年能登半島地震の震源域を含む範囲)及び領域B(領域A以外の範囲)に区分し、敷地周辺の地震分布、速度構造、コンラッド面深さ、キュリー点深度及び2007年能登半島地震に係る知見により敷地周辺の地震発生層上端深さ及び下端深さを検討。

➢ 検討結果から推定される地震発生層に対して、調査の不確かさを考慮して地震発生層を設定。

地震発生層の検討結果

検討項目	検討内容	上端深さ		下端深さ		
		領域A	領域B	領域A	領域B	
		2007年能登半島地震の震源域				
敷地周辺の地震分布 (検討すべき事項⑦)	気象庁地震カタログデータ [D10%, D90%]	2.8km	4.5km	11.0km	16.6km	
	(独)原子力安全基盤機構(2004) [D10%, D90%]	3.2km	3.2km	10.7km	10.7km	
敷地周辺の速度構造 (検討すべき事項⑨)	Matsubara et al.(2022)	4km程度以深	4km程度以深	*4		
	Iidaka et al.(2008)	—	3kmより深い	*4		
	日本海地震・津波調査プロジェクト(2015)	—	3kmより深い	*4		
	群速度	—	3kmより深い	*4		
2007年能登半島地震に係る知見 (検討すべき事項⑩) 詳細はP13~14	Sakai et al.(2008) [余震分布]	2km	*4			
	Yamada et al.(2008) [余震分布]					
	佐藤ほか(2007a, 2007b) [反射法地震探査, 余震分布]					
	(財)地域地盤環境研究所(2011) [D10%]					
敷地周辺のコンラッド面深さ (検討すべき事項⑨)	Zhao et al.(1994)	*4		—	14~15km程度	
	河野ほか(2009)	*4		11~12km程度	12~14km程度	
	Katsumata(2010)	*4		16~18km程度	18km程度	
敷地周辺のキュリー点深度 (検討すべき事項⑧)	大久保(1984)	*4		8~12km程度	8~15km程度	
検討結果から推定される地震発生層		2km	2.8km ~4km程度以深	3kmより深い ~4km程度以深	8km ~18km程度	8km ~18km程度
設定した地震発生層		2km*1		3km*2	18km*3	



【地震発生層の設定の考え方】

- *1 領域Aの上端深さは、敷地周辺の地震分布及び速度構造による検討結果を踏まえると、2.8km~4km程度以深である。一方、領域Aで発生した2007年能登半島地震の震源域の上端深さは2kmである。以上のことから、領域Aの上端深さについては、安全側に、全域を2kmと設定。
- *2 領域Bの上端深さは、敷地周辺の地震分布及び速度構造による検討結果を踏まえると、3kmより深い~4km程度以深であるが、調査の不確かさを考慮し、3kmと設定。
- *3 領域A及び領域Bの下端深さは、敷地周辺の地震分布、コンラッド面深さ及びキュリー点深度による検討結果を踏まえると、8km~18km程度であるが、調査の不確かさを考慮し、18kmと設定。

*4 検討対象外

➢ 申請時以降に得られた知見も踏まえ、地震発生層を領域Aについては上端深さ2km、下端深さ18km、領域Bについては上端深さ3km、下端深さ18kmに設定。(申請時の上端深さの設定(領域によらず上端深さを3kmに設定)を変更)

地震発生層の設定の概要

※ 検討すべき事項: ⑦ 地震の震源分布, ⑧ キュリー点深度, ⑨ 速度構造データ等, ⑩ 周辺地域における大地震の余震

II. 地震発生層の設定 — 2007年能登半島地震の震源域の上端深さ—

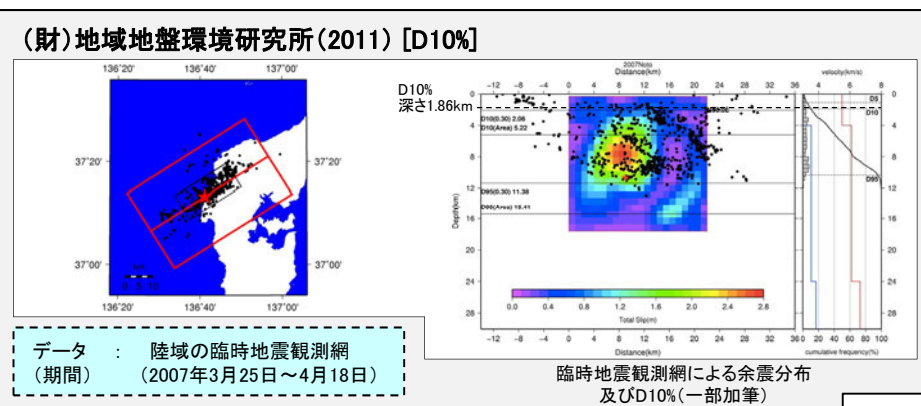
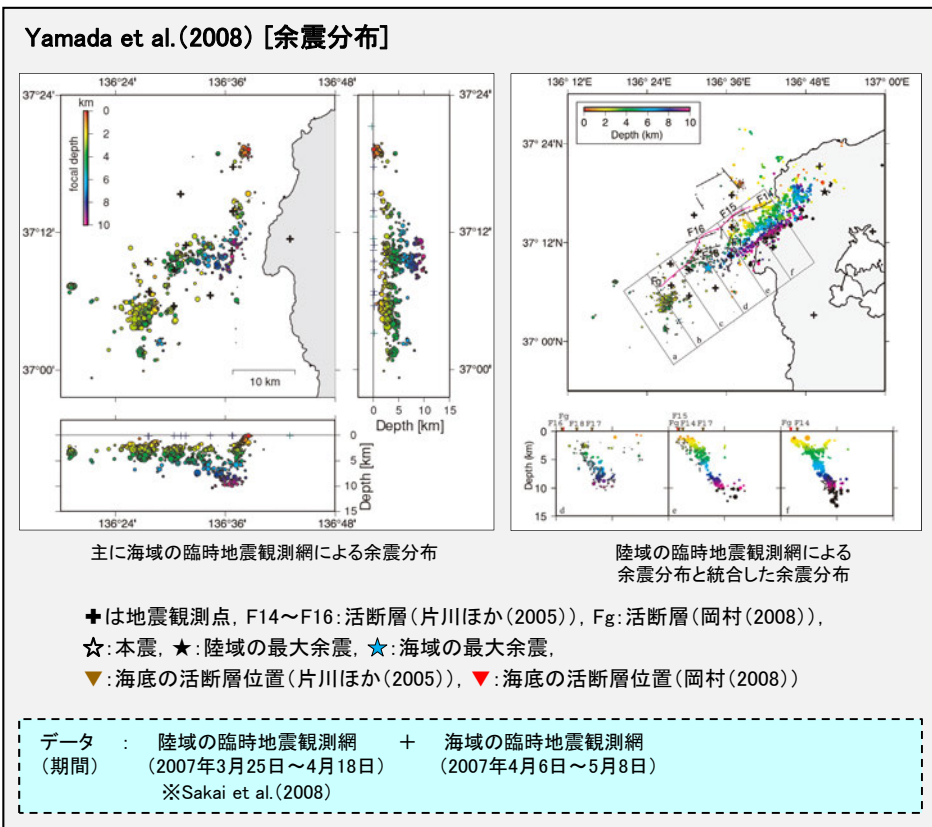
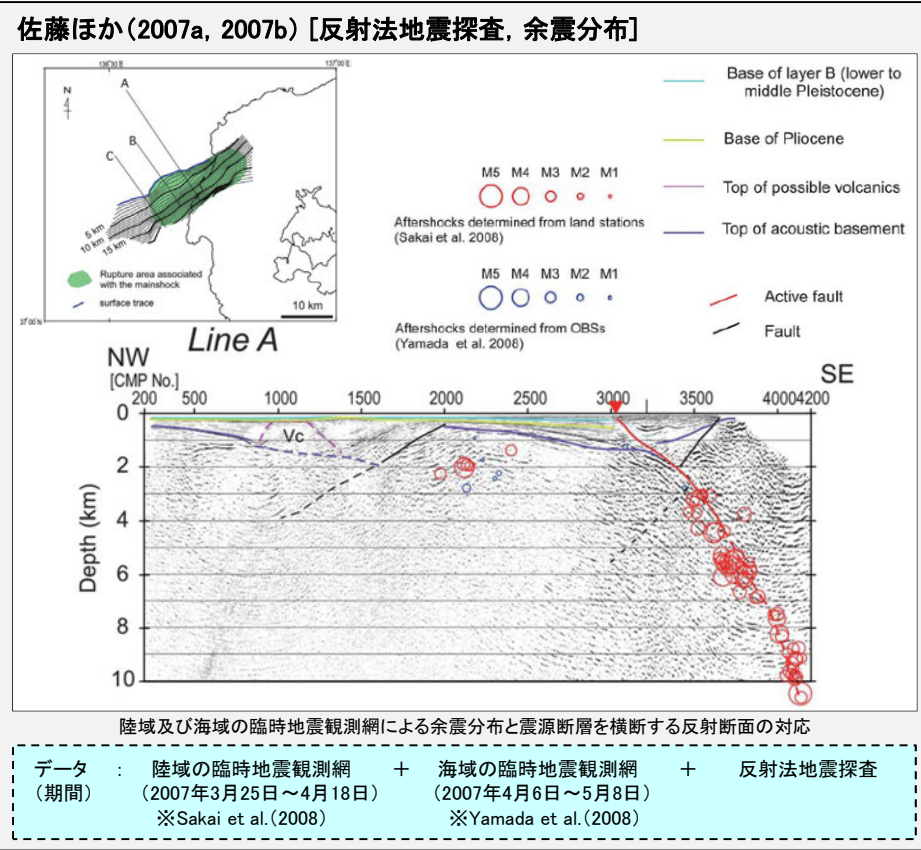
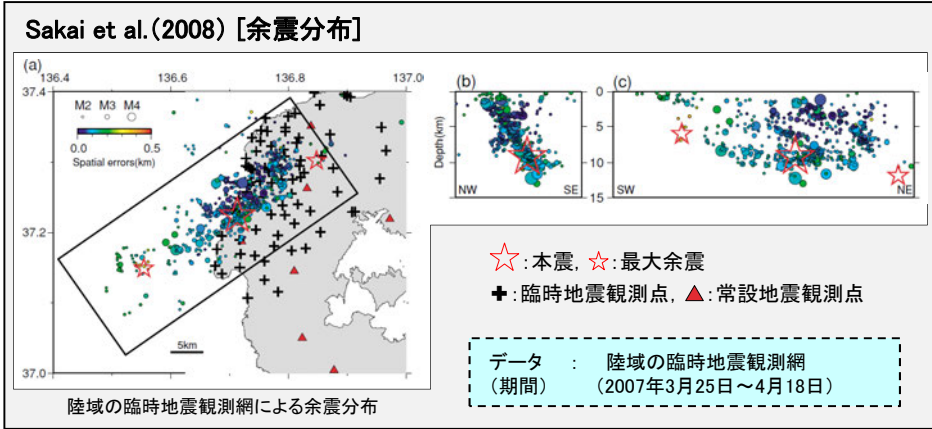
○ 2007年能登半島地震に係る知見について、概要、震源域の上端深さ及び評価に用いたデータを下表に示す。

2007年能登半島地震に係る知見による検討結果

知見	知見の概要 (余震分布等は次頁参照)	震源域の上端深さ	評価に用いたデータ		
			余震データ		反射法地震探査データ
			陸域の 臨時地震観測網	海域の 臨時地震観測網	
Sakai et al.(2008)	<ul style="list-style-type: none"> 震源域周辺の陸域において高密度な臨時地震観測(88箇所)を実施し、余震分布を決定している。 	2km	○ (2007年3月25日 ～4月18日)	—	—
Yamada et al.(2008)	<ul style="list-style-type: none"> 震源域周辺の海域において海底地震計による臨時地震観測(10箇所)を実施し、海域における余震分布を決定している(陸域における地震観測(4箇所)の記録も使用)。 また、決定した震源分布と陸域の臨時地震観測網により決定された震源分布(Sakai et al.(2008))を統合している。 	2km	○ (2007年3月25日 ～4月18日) ※Sakai et al.(2008)	○ (2007年4月6日 ～5月8日)	—
佐藤ほか(2007a,2007b)	<ul style="list-style-type: none"> 反射法地震探査により深さ4～6km程度まで震源断層をイメージングしており、陸域及び海域の臨時地震観測網による余震分布(Sakai et al.(2008)及びYamada et al.(2008))を対応させることで、深さ2～10km程度まで断層傾斜角が60°であるとしている。 また、余震分布や反射法地震探査、地質構造との対応から既存の高角(約60°)断層が右横ずれ成分を持った逆断層運動を行うことによって発生したとしている。 	2km [知見の記載内容から当社が判断]	○ (2007年3月25日 ～4月18日) ※Sakai et al.(2008)	○ (2007年4月6日 ～5月8日) ※Yamada et al.(2008)	○
(財)地域地盤環境研究所(2011)	<ul style="list-style-type: none"> 臨時地震観測網による余震分布からD10%を求めている。 	1.86km	○ (2007年3月25日 ～4月18日)	—	—
2007年能登半島地震の震源域の上端深さ		2km			

➤ 2007年能登半島地震に係る上記の知見を整理した結果、佐藤ほか(2007a, 2007b)は、陸域・海域の余震データ及び反射法地震探査データを組み合わせて震源断層の形状を求めており、最も重視すべき知見と考え、**2007年能登半島地震の震源域の上端深さを2kmと判断する。**

II. 地震発生層の設定 — 2007年能登半島地震に係る知見の余震分布等 —



目次

1. 敷地及び敷地周辺の地質・地質構造の調査	17	3.4.2 応答スペクトル比(自由地盤EL-10m/自由地盤EL-200m)の地震の到来方向ごとの比較	119
1.1 敷地周辺の地質・地質構造	18	(1) 検討の対象とした地震	120
(1) 敷地周辺の地質・地質構造	19	(2) 検討結果	122
(2) 敷地近傍の地質・地質構造	21	3.5 原子炉建屋基礎版上の地震観測記録を用いた検討	128
1.2 敷地の地質・地質構造	23	(1) 検討概要	129
(1) 敷地の地質・地質構造	24	(2) 検討の対象とした地震	130
(2) 原子炉設置位置付近の地質・地質構造	27	(3) 検討結果	131
(3) 原子炉設置位置付近の速度構造	36	3.6 観測記録による地下構造の検討のまとめ	137
(4) 大深度ボーリング調査結果	38	4. 地下構造モデルの設定	139
1.3 敷地及び敷地周辺の地質・地質構造の調査のまとめ	40	4.1 地下構造の成層性・均質性に係る検討	140
2. 物理探査による地下構造の検討	42	(1) 検討概要	142
2.1 重力探査	43	(2) 検討結果	143
2.2 地震波トモグラフィ	46	4.2 地下構造モデルの設定	147
2.3 屈折法地震探査	48	5. 地下構造モデルの妥当性確認	161
2.4 微動アレー探査	52	5.1 深部速度構造の妥当性確認	163
2.5 反射法地震探査・VSP探査	55	5.2 減衰構造の妥当性確認	165
2.6 物理探査による地下構造の検討のまとめ	60	5.2.1 地震波干渉法を用いた減衰の検討	167
3. 観測記録による地下構造の検討	62	(1) 検討概要	168
3.1 広域微動観測記録を用いた検討	68	(2) 検討の対象とした地震	170
(1) 検討概要	69	(3) 検討結果	174
(2) 検討結果	71	5.2.2 岩石コアを用いた減衰の検討	177
3.2 単点微動観測記録を用いた検討	76	(1) 検討概要	178
(1) 検討概要	77	(2) 検討に用いた岩石コア	180
(2) 検討結果	79	(3) 検討結果	181
3.3 水平アレー地震観測記録を用いた検討	82	5.2.3 S波直達上昇波を用いた減衰の検討	182
3.3.1 各観測点の応答スペクトルの比較	84	(1) 検討概要	183
(1) 検討の対象とした地震	85	(2) 検討の対象とした地震	185
(2) 検討結果	87	(3) 検討結果	186
3.3.2 観測点間における応答スペクトル比の地震の到来方向ごとの比較	91	5.3 地盤増幅特性の妥当性確認	187
(1) 検討の対象とした地震	92	(1) 検討概要	188
(2) 検討結果	93	(2) 検討の対象とした地震	189
3.4 鉛直アレー地震観測記録を用いた検討	108	(3) 検討結果	190
3.4.1 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)の地震の到来方向ごとの比較	110	5.4 地下構造モデルの妥当性確認のまとめ	193
(1) 検討の対象とした地震	111		
(2) 検討結果	113		

目次

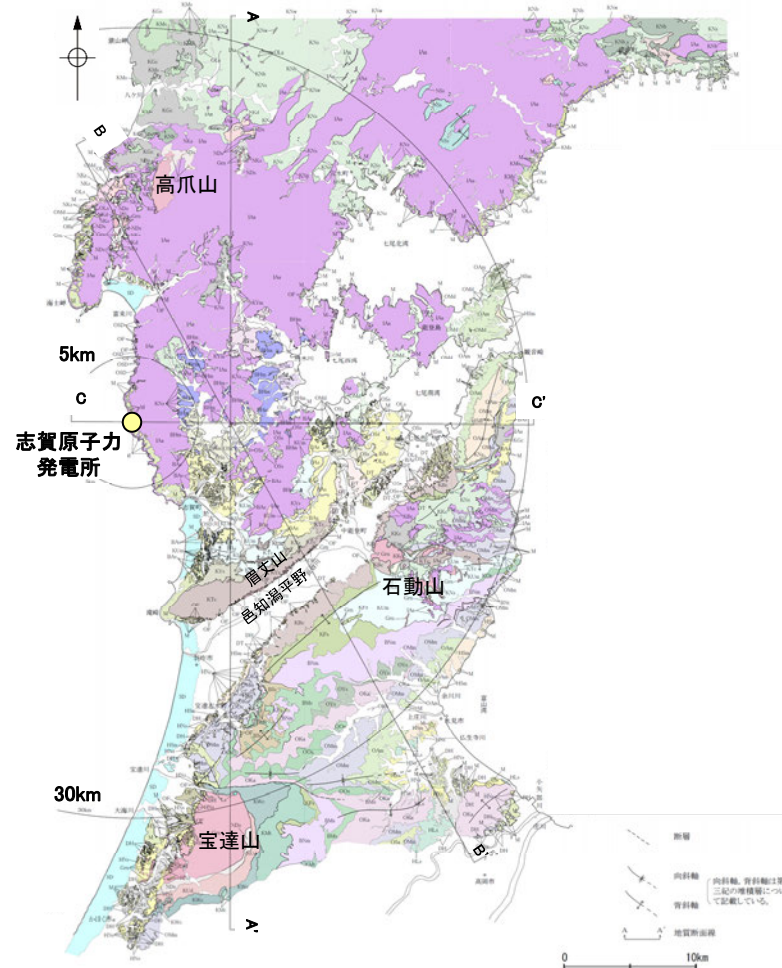
6. 地震発生層の設定	195
6.1 敷地周辺の地形・地質構造	196
(1) 地形図	197
(2) 海底地質図	198
(3) 重力異常(ブーゲー異常図)	199
(4) ひずみ集中帯	200
6.2 敷地周辺の地震発生層の検討	201
6.2.1 敷地周辺の地震分布による検討	202
(1) 気象庁地震カタログデータに基づく検討	203
(2) (独)原子力安全基盤機構(2004)に基づく検討	204
6.2.2 敷地周辺の速度構造による検討	205
(1) Matsubara et al.(2022)に基づく検討	207
(2) Iidaka et al.(2008)に基づく検討	208
(3) 日本海地震・津波調査プロジェクト(2015)に基づく検討	209
(4) 群速度に基づく検討	210
6.2.3 2007年能登半島地震に係る知見による検討	211
(1) Sakai et al.(2008)	212
(2) Yamada et al.(2008)	213
(3) 佐藤ほか(2007a, 2007b)	214
(4) (財)地域地盤環境研究所(2011)	215
(5) 2007年能登半島地震に係る知見のまとめ	216
6.2.4 敷地周辺のコンラッド面深さによる検討	217
(1) Zhao et al.(1994)に基づく検討	218
(2) 河野ほか(2009)に基づく検討	219
(3) Katsumata(2010)に基づく検討	220
6.2.5 敷地周辺のキュリー点深度による検討	221
(1) 大久保(1984)に基づく検討	222
6.3 地震発生層の設定	223
(1) 敷地周辺の特徴	224
(2) 地震発生層の設定	225
参考文献	226

1. 敷地及び敷地周辺の地質・地質構造の調査

1.1 敷地周辺の地質・地質構造

1.1(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。



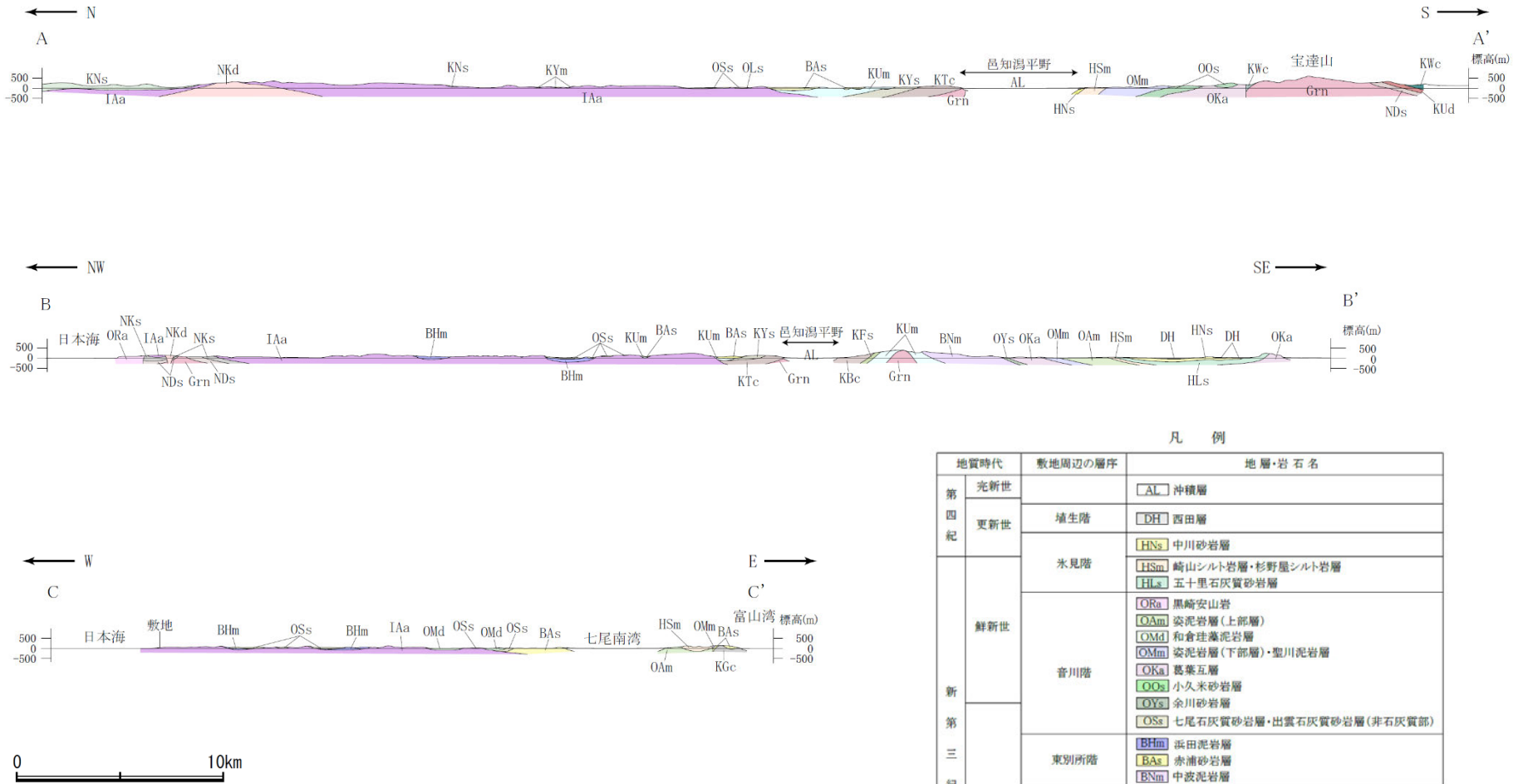
敷地周辺陸域の地質分布図

(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)

凡例

地質時代	地層・岩石名		
更新世	SD 砂丘砂層 沖積層		
第四紀	M 中位段丘堆積層 OSD 古砂丘砂層 DT 高階層 OF 古期扇状地堆積層・河成段丘堆積層		
	更新世	DH 墳生泉層・西田層	
	氷見階	HNS 中川砂岩層・村上シルト岩層・矢田砂岩層 HSm 崎山シルト岩層・杉野屋シルト岩層・藪田シルト岩層 HLs 五十里石灰質砂岩層	
第三紀	前浜泥岩層・和倉珪藻泥岩層 OMa 二穴シルト岩層・委泥岩層(上部層) OMd 前浜泥岩層・委泥岩層(下部層) OMm 虫崎泥岩層・委泥岩層(下部層)・聖川泥岩層・吉倉泥岩層		
	音川階	OSa 敷波互層・頭川互層 OKa 葛葉互層 OYa 余川砂岩層 OOs 小久米砂岩層	
	新第三紀	OLs 七尾石灰質砂岩層・出雲石灰質砂岩層(非石灰質部) OLa 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)	
	東別所階	BBm 浜田泥岩層 BNC 中田凝灰岩層(挟み層) BAS 赤浦砂岩層 BMS 三尾砂岩層・小野砂岩層 BSa 新宮砂岩層 BNm 中波泥岩層・赤毛泥岩層・笠師保泥岩層	
	黒瀬谷階	KMc 東印内互層・替月砂岩泥岩層 KGe 道下礫岩層・百海礫岩層 KKe 高島礫岩層 KUm 上棚泥岩層・国見泥岩層 KLe 懸札砂岩層 KOL 大泊凝灰岩層 KYm 山戸田泥岩層 KMi 宮島凝灰岩層 KNs 縄文互層・草木互層・多根互層・柳田泉層 KNw 溶結凝灰岩 KLC 滝礫岩層・石動山礫岩層 KNv 玄武岩 KYS 後山砂岩層 KUD 瓜生泉層 KKS 谷出礫岩層・コロサ礫岩層	
		岩種階	別所岳安山岩類 (安山岩・安山岩質火砕岩・デイサイト質火砕岩及びデイサイト) IAa 高洲山安山岩類 IAb 熊淵火山岩類
		古第三紀	NSs 曾山層 NKG デイサイト・溶結凝灰岩 NSk 大角間層 NDS 大福寺砂岩層・太田泉層
			先第三紀

【地質断面図】



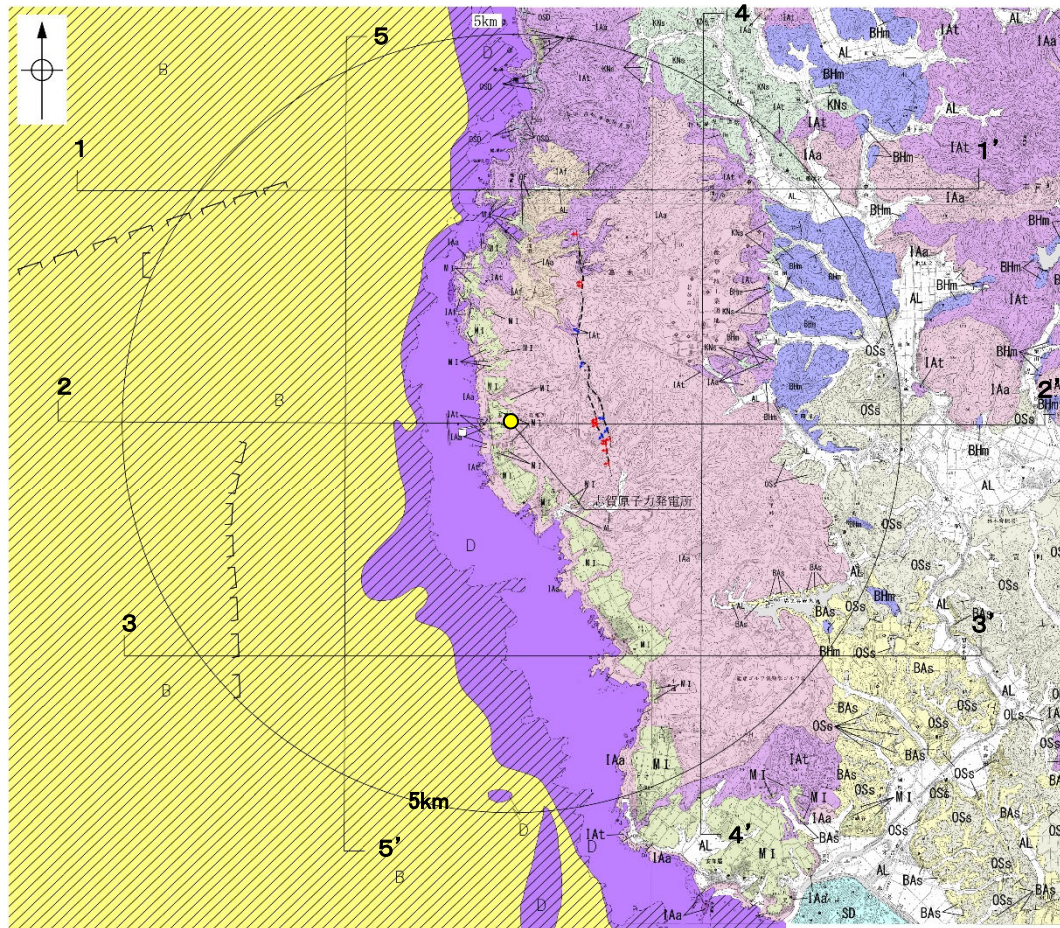
敷地周辺陸域の地質断面図(当社作成)

凡例

地質時代	敷地周辺の層序	地層・岩石名
第四紀	完新世	[AL] 沖積層
	更新世	[DH] 西田層
		[HNS] 中川砂岩層
新第三紀	米見階	[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
	音川階	[ORa] 黒崎安山岩
		[OAm] 姿泥岩層(上部層)
		[OMd] 和倉柱凝泥岩層
		[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)	
	中新世	東別所階
黒瀬谷階		[KGe] 百海礫岩層 [KUm] 上瀬泥岩層 [KYm] 山戸田泥岩層 [KWe] 河合砂礫岩層 [KYs] 後山砂岩層
古第三紀	岩桶階	[IAa] 別所岳安山岩類・高洲山安山岩類
	輪原階	[NKd] 石英安山岩・溶結凝灰岩 [NKs] 大角間層 [NDs] 太田累層
先第三紀		[Grn] 花崗岩・片麻岩

1.1(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。岩稲階を不整合に覆う草木互層、浜田泥岩層、赤浦砂岩層及び出雲石灰質砂岩層(非石灰質部)は、海岸より東方で、別所岳安山岩類上面の凹地を埋積しており、大局的には北から南に向かって順次新しい地層が分布する。これらの地層の傾斜は、概ね水平ないし10°程度を示している。
- 高位段丘堆積層や中位段丘堆積層は、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。



この図は、国土地理院発行の2万5千分の1地形図(等高・中島・能登高島)を使用したものである。

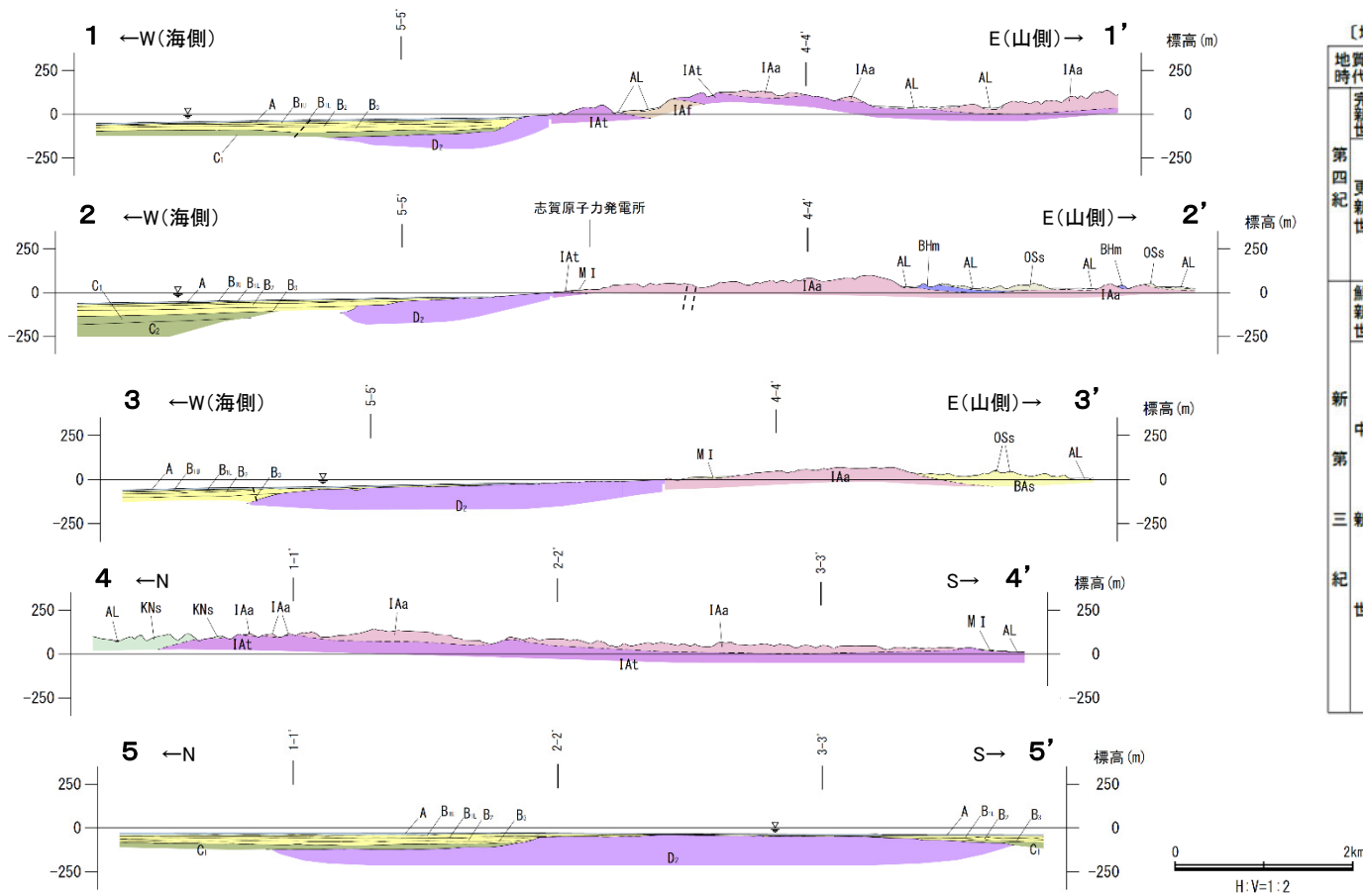
地質分布図

凡例

【地質】			
地質時代	地層階位の記号	陸域 地層・岩石名	海域 地層名
第四紀更新世	SD	砂丘砂層	A層
	AL	沖積層	
	OSD	古砂丘砂層	
	OF	古期扇状地堆積層	
第四紀更新世	MI	中位段丘I面堆積層	B層
	MI	中位段丘I面堆積層	B層
第四紀更新世			C層
第三紀新世	OSs	出雲石灰質砂岩層 (非石灰質部)	D層
	OLs	出雲石灰質砂岩層 (石灰質部)	
第三紀新世	BAs	赤浦砂岩層	
	Bhm	浜田泥岩層	
第三紀新世	KNs	草木互層	D層
	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)	

(記号)	20°/45° 地層の走向・傾斜	20°/45° 節理の走向・傾斜
	地質断面線	
【陸域】		
	断層位置	
	断層位置	
【海域】		
	伏在断層	
		地層境界

【地質断面図】



地質断面図

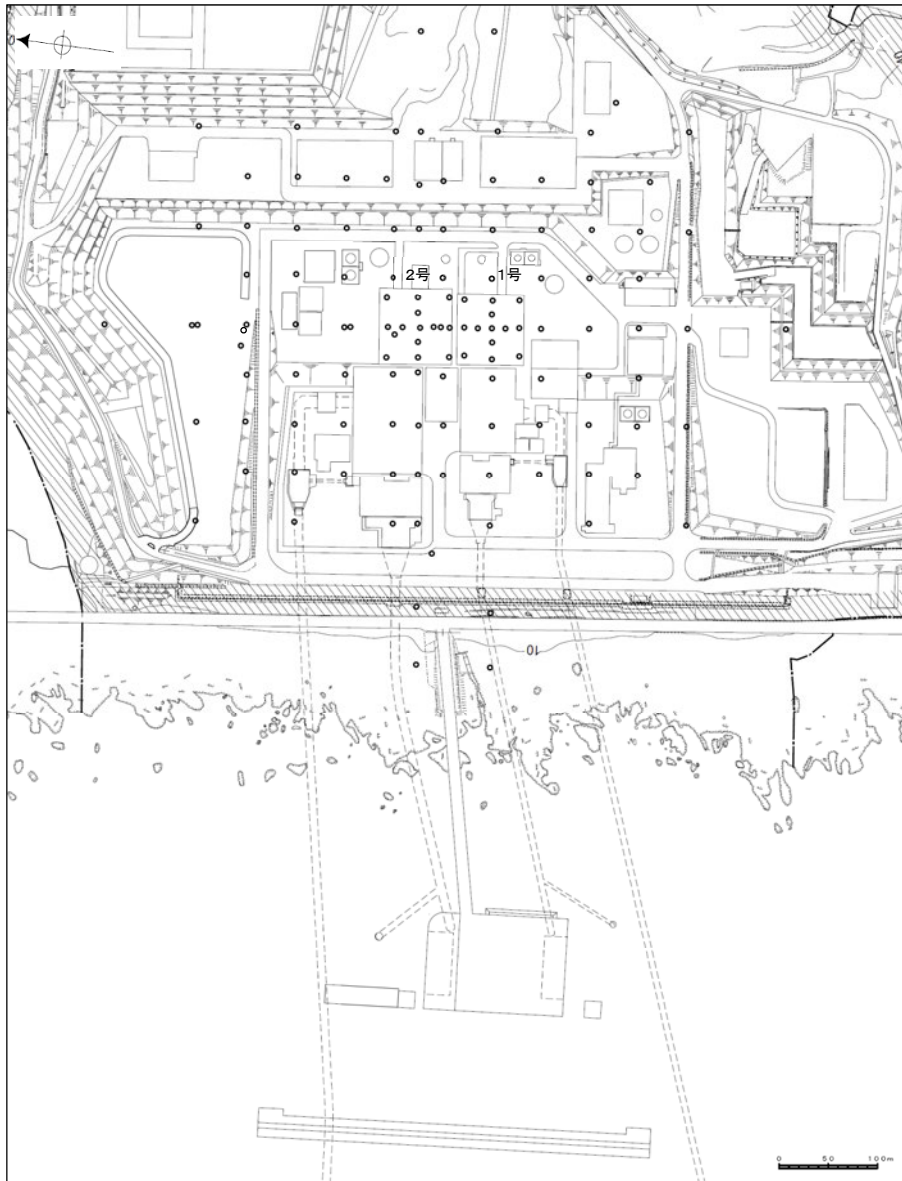
【地質】		凡 例	
地質時代	新地層の順序	陸域 地層・岩石名	海域 地層名
第四紀	更新世	AL 沖積層	A A層
	更新世	MI 中段段丘I面堆積層	B ₁ , B ₂ , B ₃ B層
第三紀	鮮新世	OSs 出雲石灰質砂岩層 (非石灰質部)	C ₁ , C ₂ C層
	中新世	BA _s 赤浦砂岩層 BH _m 浜田泥岩層	D ₁ D ₁ 層
第三紀	中新世	KN _s 草木互層	
	白堊世	IA _a 別所岳安山岩類 安山岩	
		IA _t 別所岳安山岩類 安山岩質火砕岩 (凝灰角礫岩)	D ₂ D ₂ 層
	IA _f 別所岳安山岩類 安山岩質～デイサイト質火砕岩 (凝灰岩)		

---- 断層

1.2 敷地の地質・地質構造

1.2(1) 敷地の地質・地質構造 ー調査位置図ー

○ 敷地の地質・地質構造を確認するため、ボーリング調査を行った。調査位置を以下に示す。

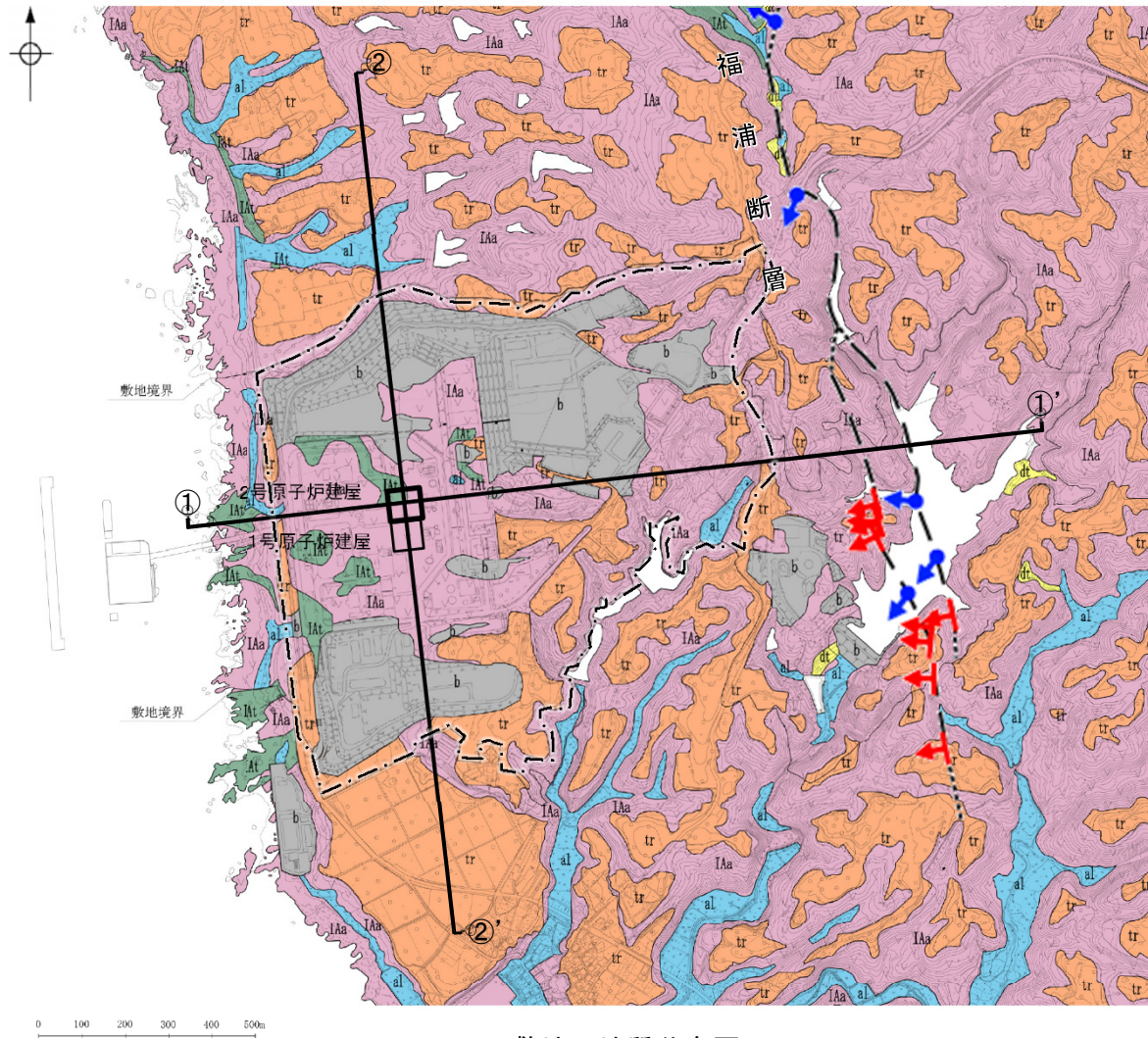


凡 例
○ 鉛直ボーリング孔

調査位置図

1.2(1) 敷地の地質・地質構造 —地質分布図及び地質断面図—

- 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、敷地内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	完新世	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)	IAa	安山岩
			IAt	凝灰角礫岩類

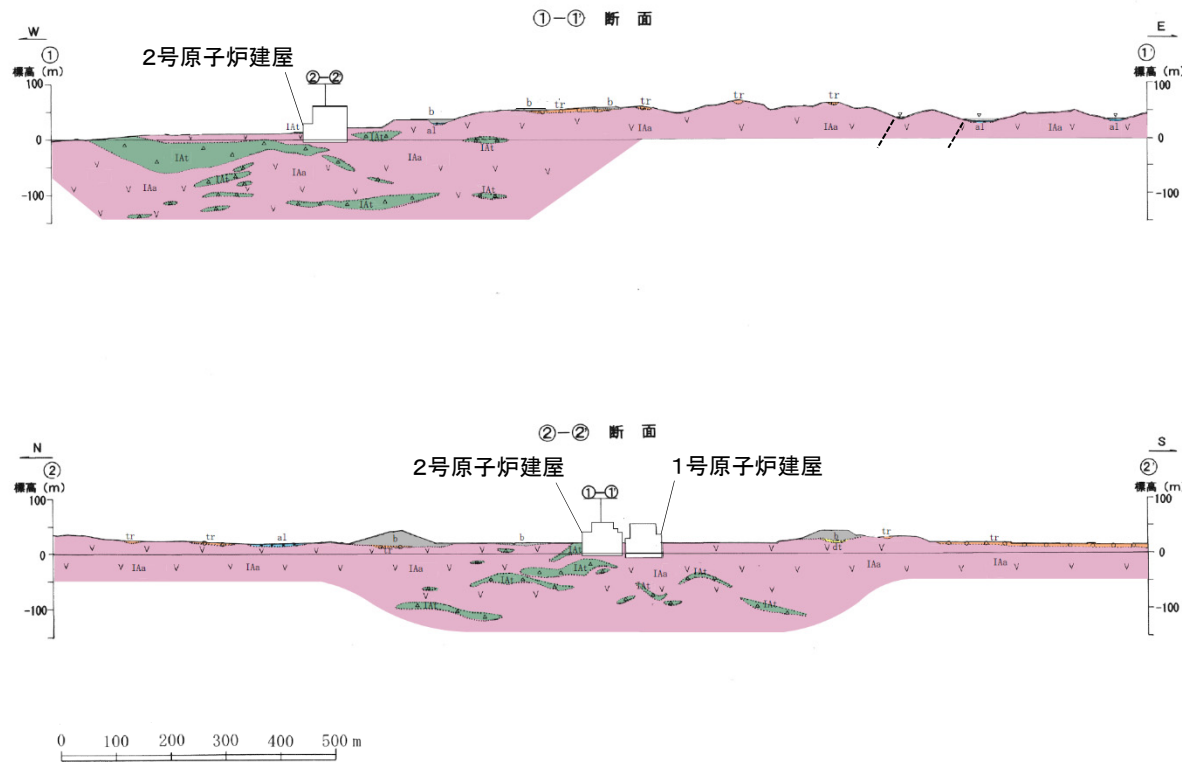
- 断層確認位置
- 反射法地震探査での断層確認位置
- 断層位置
推定区間

敷地※

※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。)

【地質断面図】

○ 敷地の地質断面図を以下に示す。



凡 例

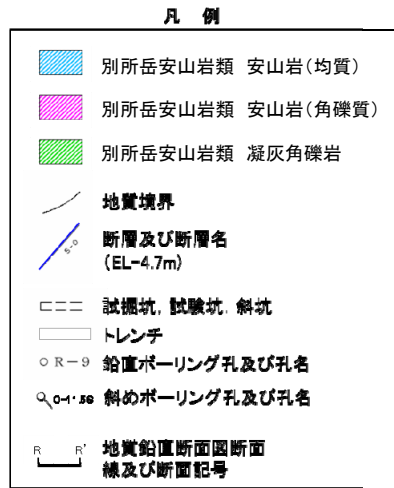
地質時代		地層名	記号	主要構成地質
第四紀 新生代	完新世	盛 土	b	礫, 砂, 粘土
		沖 積 層	al	礫, 砂, 粘土
		崖錐堆積層	dt	礫, 砂, 粘土
	更新世	段丘堆積層	tr	礫, 砂, 粘土
第三紀 新第三紀	中新世	別所岳安山岩類 (岩褶層)	IaA, IAa, IAAt	安 山 岩 凝灰角礫岩類

--- 断層

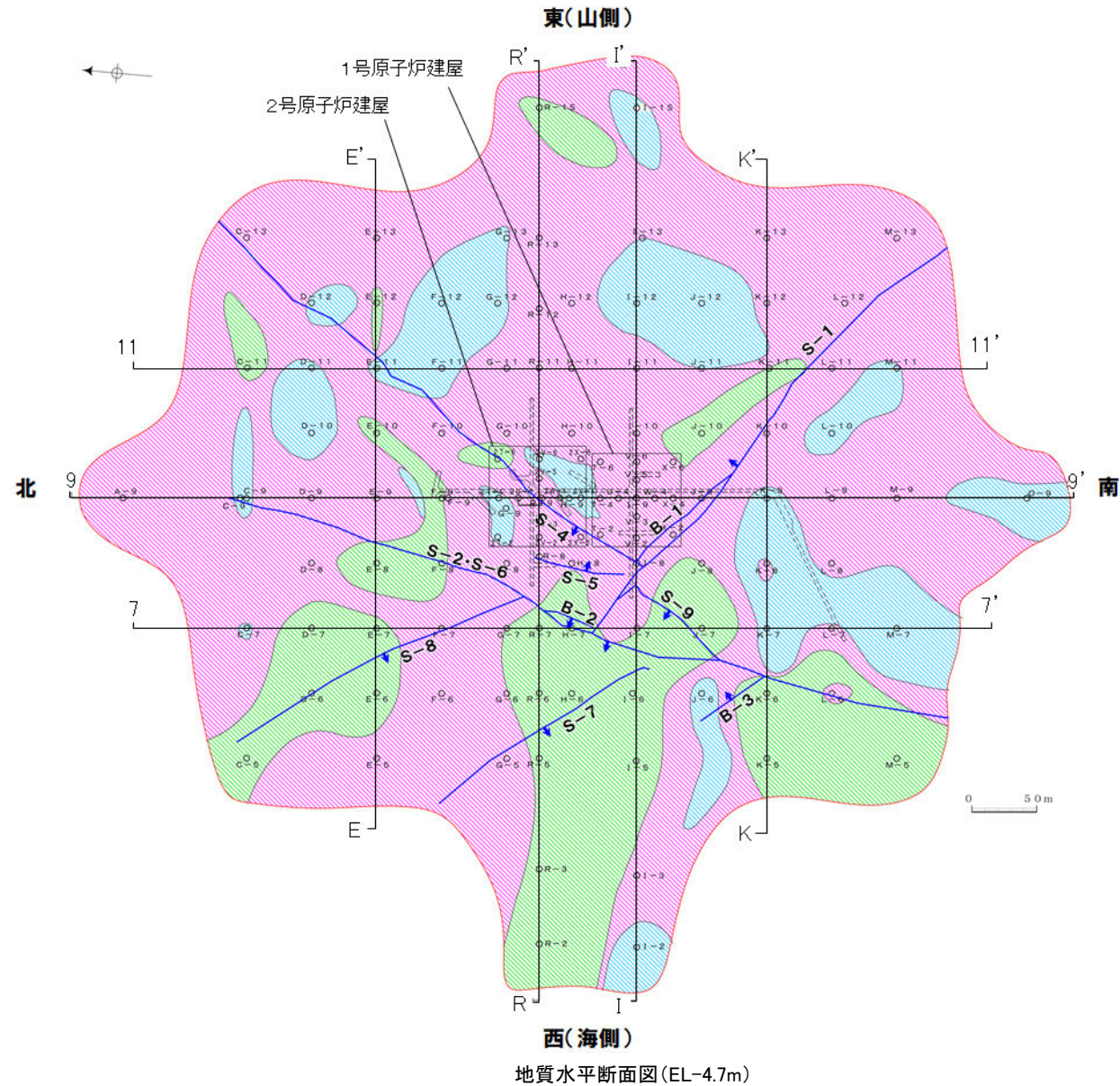
敷地の地質断面図

1.2(2) 原子炉設置位置付近の地質・地質構造

○ 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。



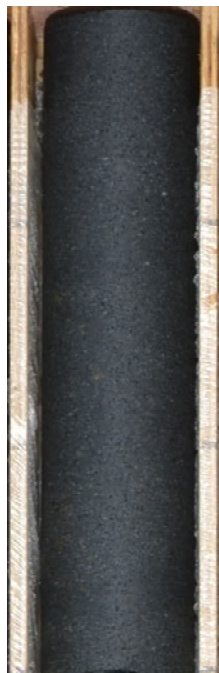
矢印(▲)の向きは断層の傾斜方向を示す
(B-1の傾斜はほぼ90°)



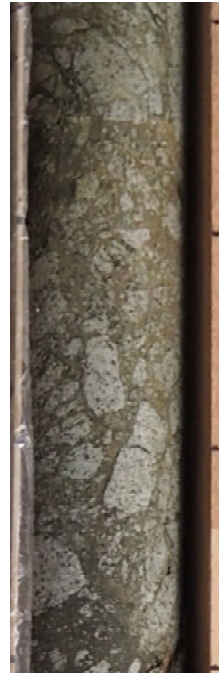
【敷地の別所岳安山岩類の産状】

○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。



安山岩(均質)



安山岩(角礫質)



凝灰角礫岩

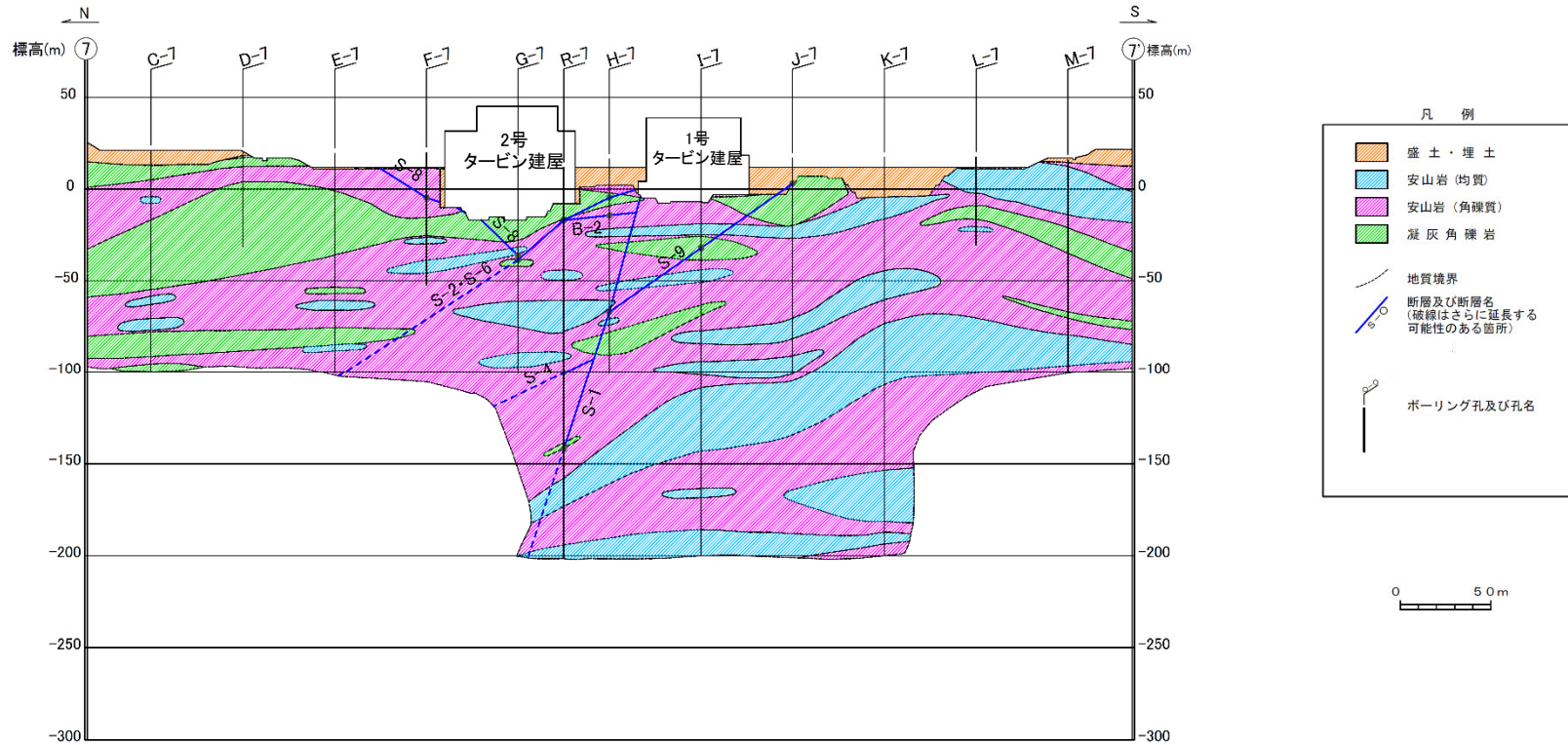
岩石試験一覧表※

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	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	
超音波速度測定試験	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 ³ N/mm ²)	平均値	65.1	61.9	21.8	21.8
		標準偏差	(66.4)	(63.1)	(22.2)	(22.2)
	(×10 ⁴ kg/cm ²)	平均値	4.9	7.5	5.7	5.5
		標準偏差	(5.0)	(7.6)	(5.8)	(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)	平均値	156.2	147.9	14.9	16.4
		標準偏差	(1,593)	(1,508)	(152)	(167)
	(kg/cm ²)	平均値	34.9	33.8	6.1	6.4
		標準偏差	(356)	(345)	(62)	(65)
	静弾性係数 (×10 ³ N/mm ²)	平均値	59.6	57.3	12.0	12.3
		標準偏差	(60.8)	(58.4)	(12.2)	(12.5)
	(×10 ⁴ kg/cm ²)	平均値	7.4	8.5	5.5	4.8
		標準偏差	(7.5)	(8.7)	(5.6)	(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)	平均値	10.8	9.8	1.5	1.7
		標準偏差	(110)	(100)	(15)	(17)
(kg/cm ²)	平均値	—	2.6	0.6	0.6	
標準偏差	—	(26)	(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]

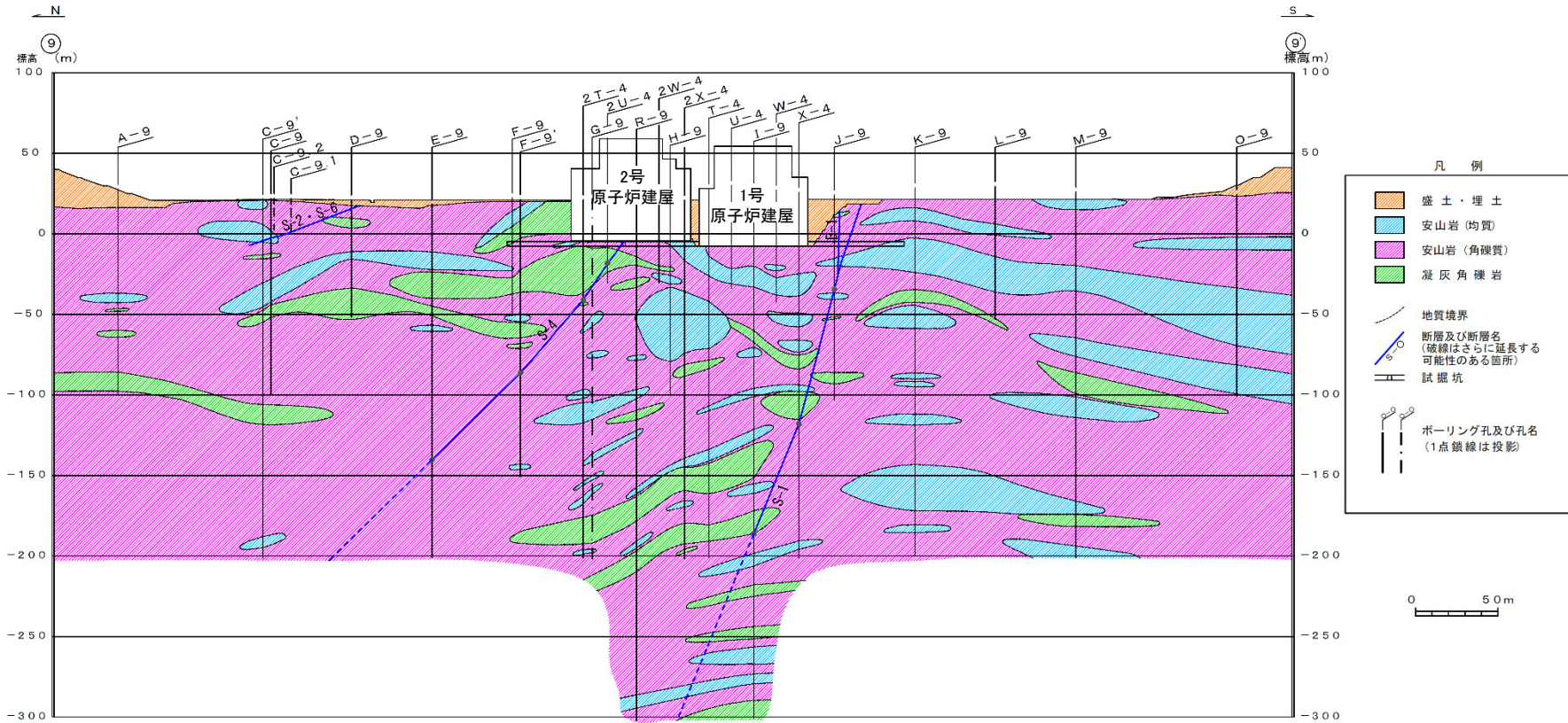
・別所岳安山岩類の3岩種のうち、安山岩(均質)は他の2岩種に比べて硬質である(岩石試験一覧表)

【7-7' 断面】



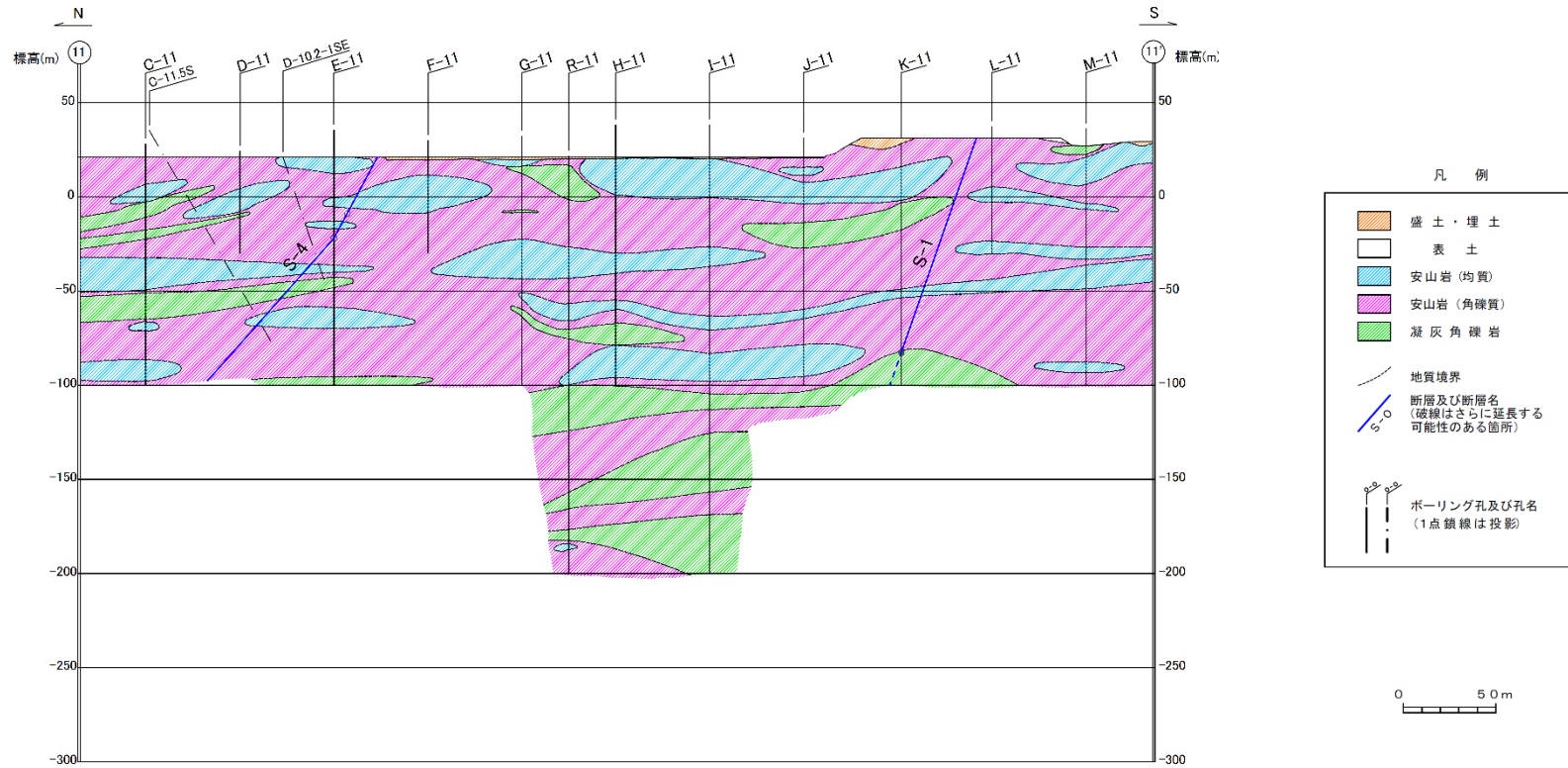
地質鉛直断面図(7-7' 断面)

【9-9' 断面】



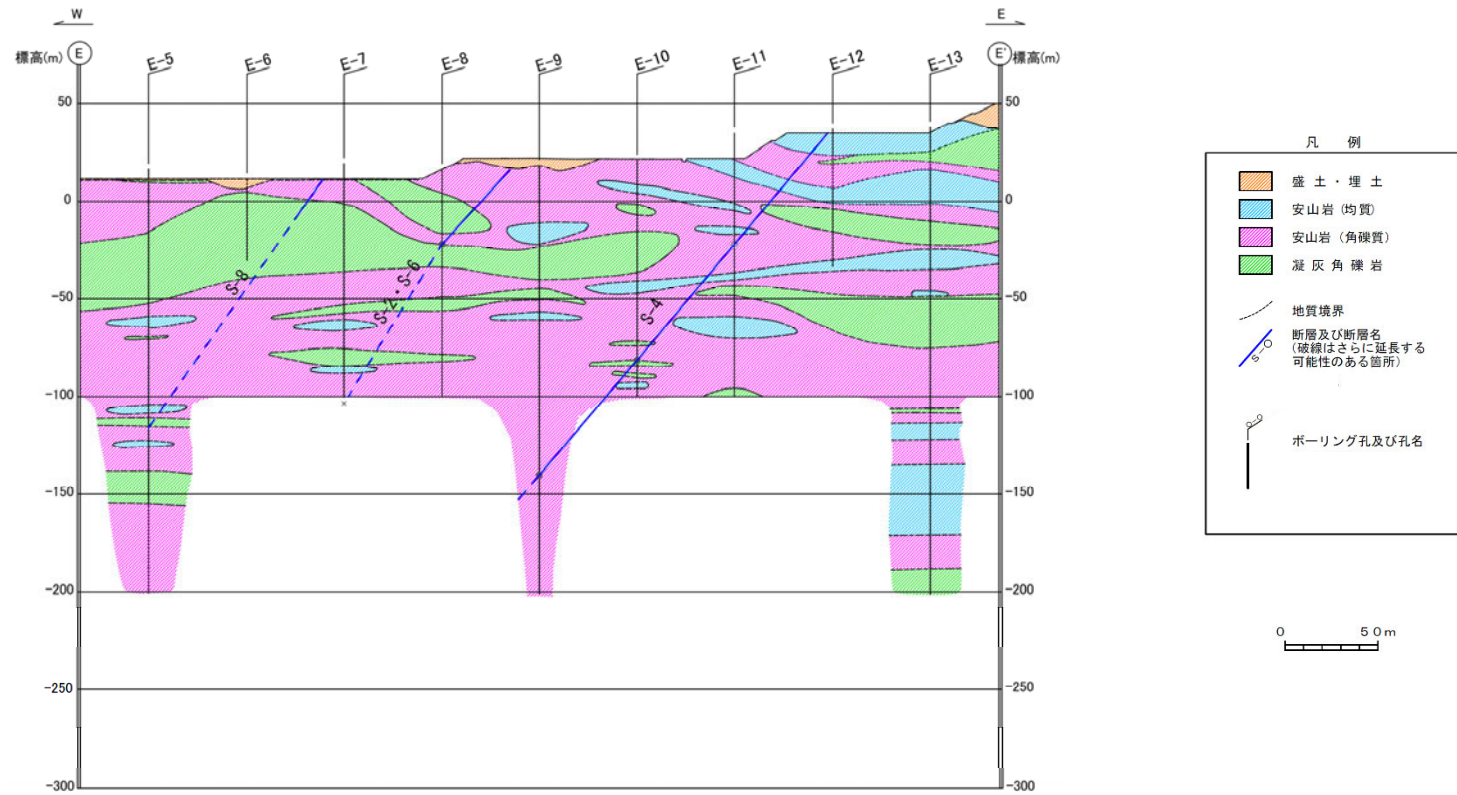
地質鉛直断面図(9-9' 断面)

【11-11' 断面】



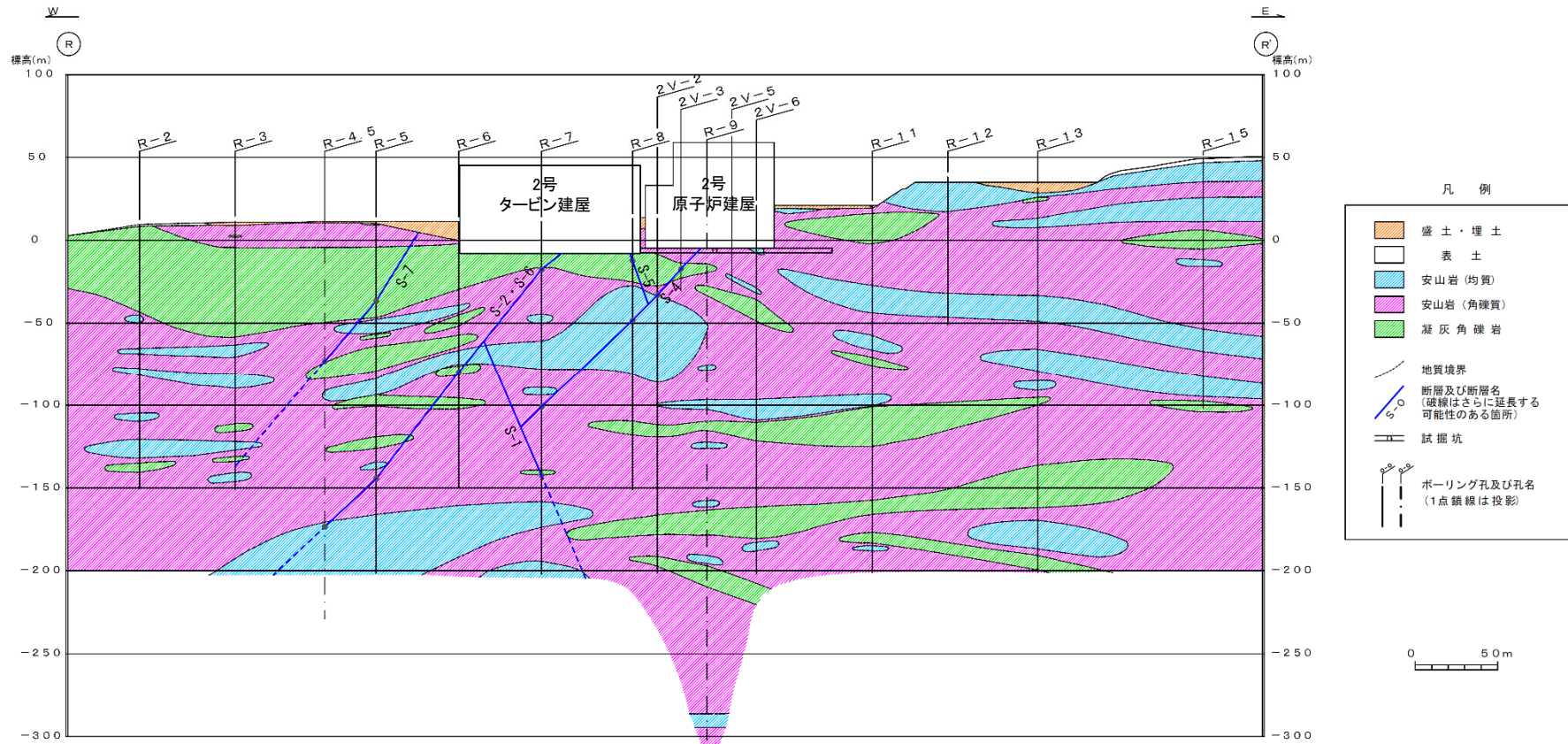
地質鉛直断面図(11-11'断面)

【E-E' 断面】



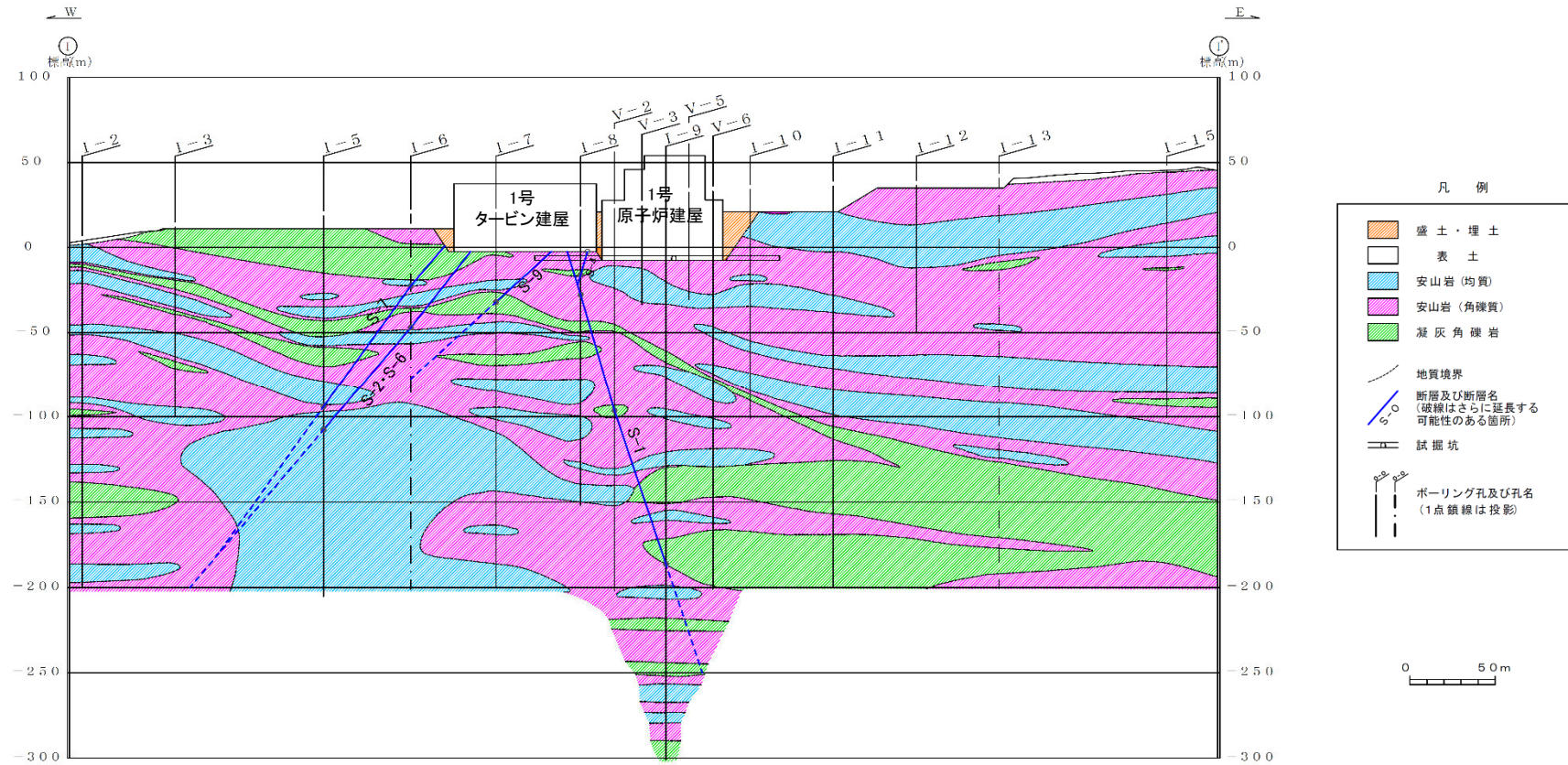
地質鉛直断面図(E-E' 断面)

【R-R' 断面】



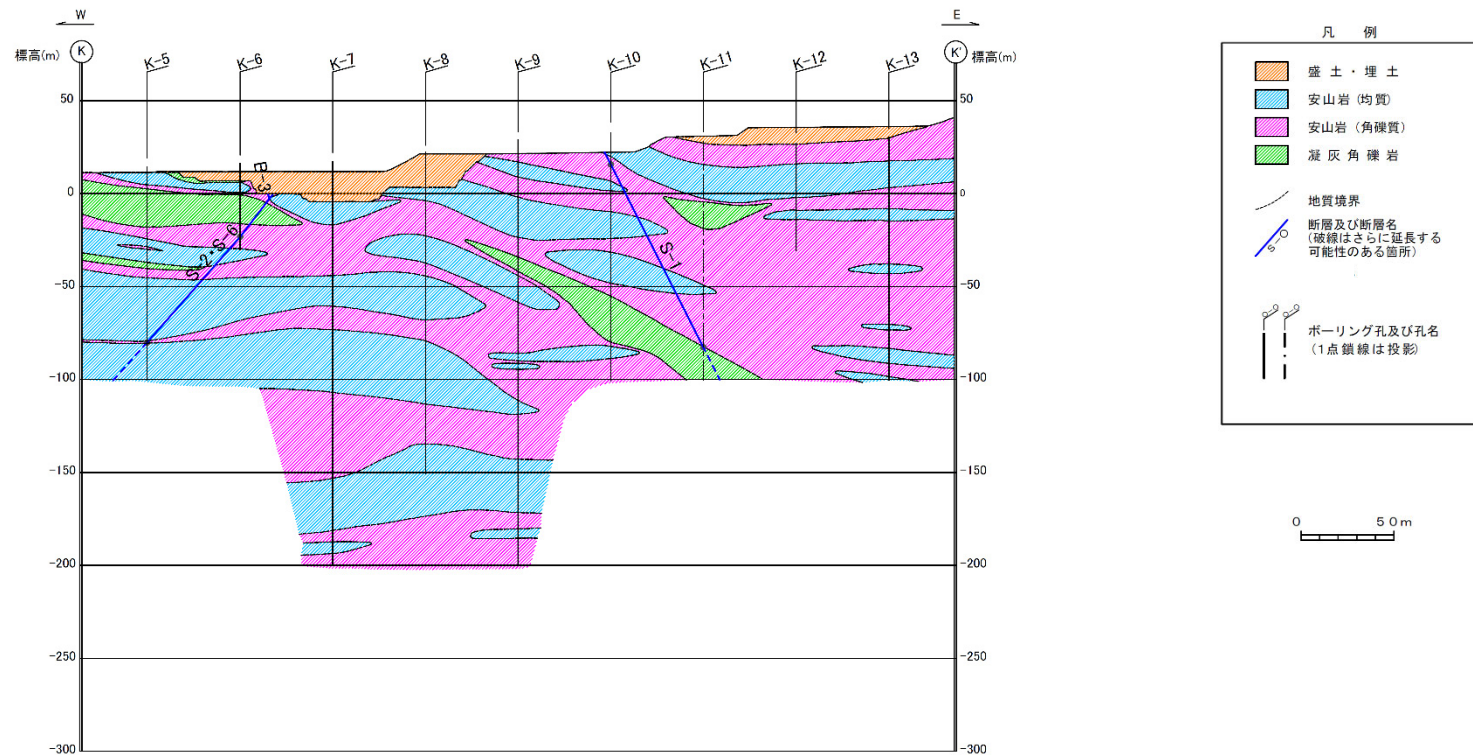
地質鉛直断面図(R-R' 断面)

【I-I' 断面】



地質鉛直断面図(I-I' 断面)

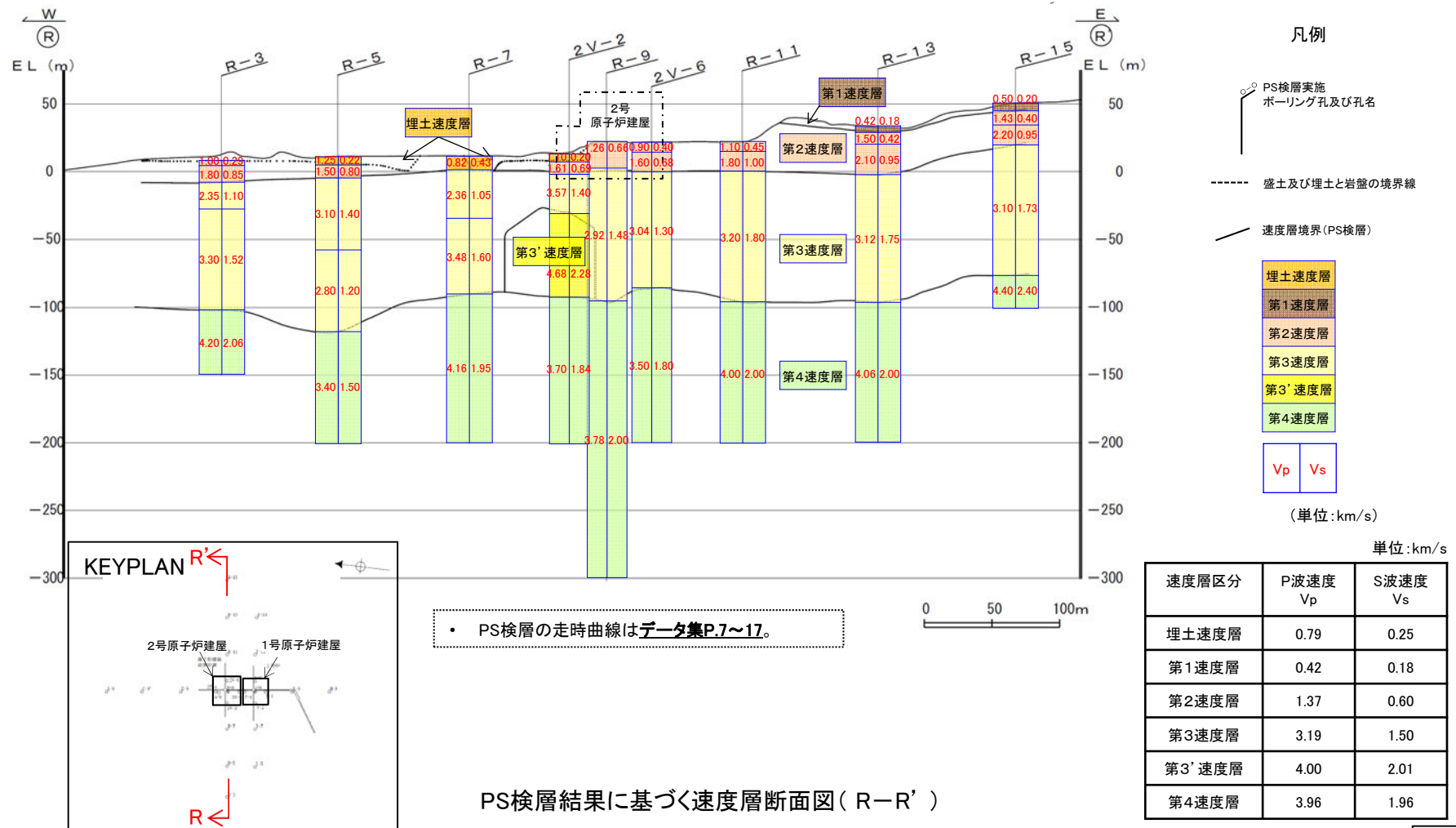
【K-K' 断面】



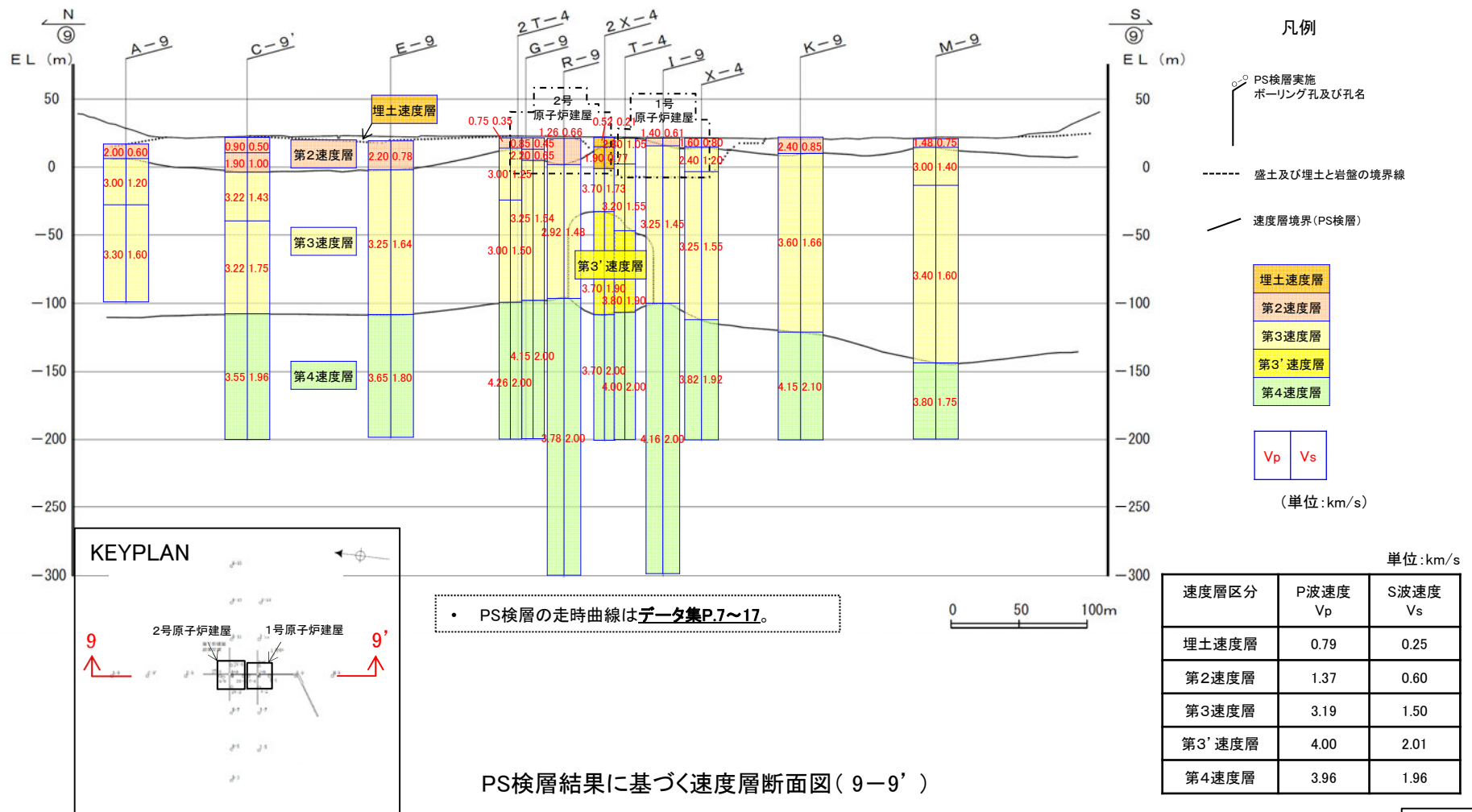
地質鉛直断面図(K-K' 断面)

1.2(3) 原子炉設置位置付近の速度構造

- 原子炉設置位置付近の東西方向の速度構造は、PS検層の評価結果によると、第1速度層から第4速度層に区分され、概ね水平な層構造を呈す。
- 第3速度層中において、周囲と異なった速度特性(周囲に比べて速度が速い)を示す範囲を第3'速度層として区分した。

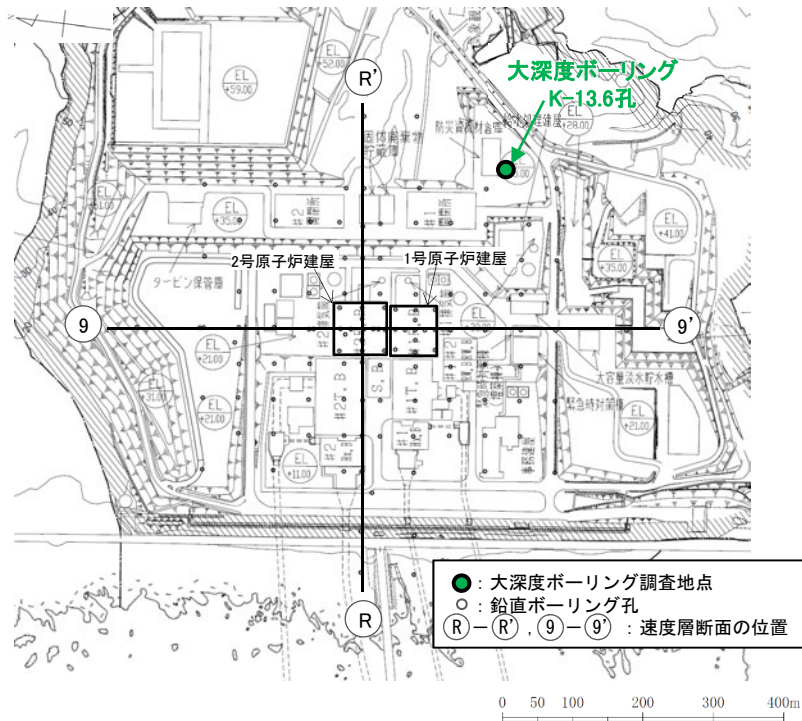


- 原子炉設置位置付近の南北方向の速度構造は、PS検層の評価結果によると、第2速度層から第4速度層に区分され、概ね水平な層構造を呈す。
- 第3速度層中において、周囲と異なった速度特性(周囲に比べて速度が速い)を示す範囲を第3'速度層として区分した。



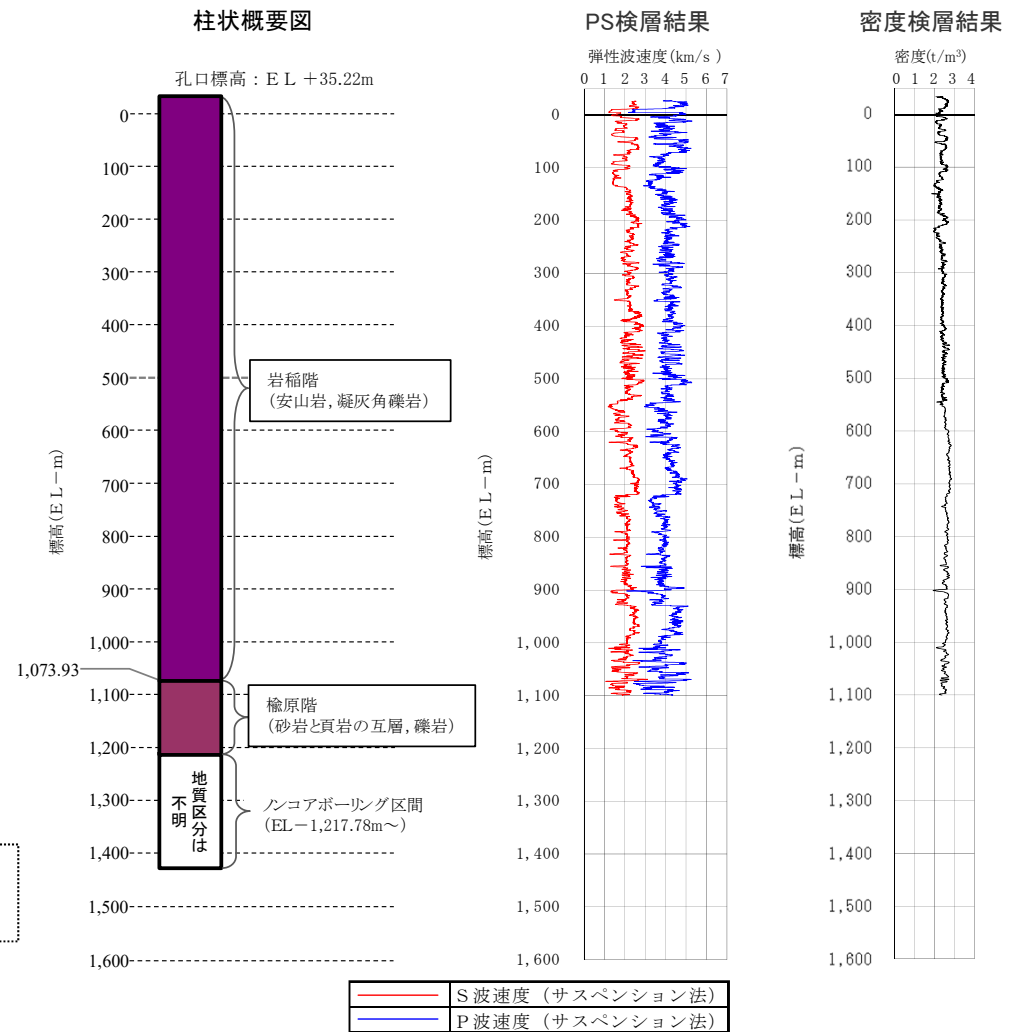
1.2(4) 大深度ボーリング調査結果 -K-13.6孔-

○ 敷地東側で実施した大深度ボーリング(K-13.6孔)調査の結果, 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)からなり, P波速度及びS波速度は, 4km/s及び2km/s程度を示し, 密度は, 概ね2~3t/m³の範囲を示す。



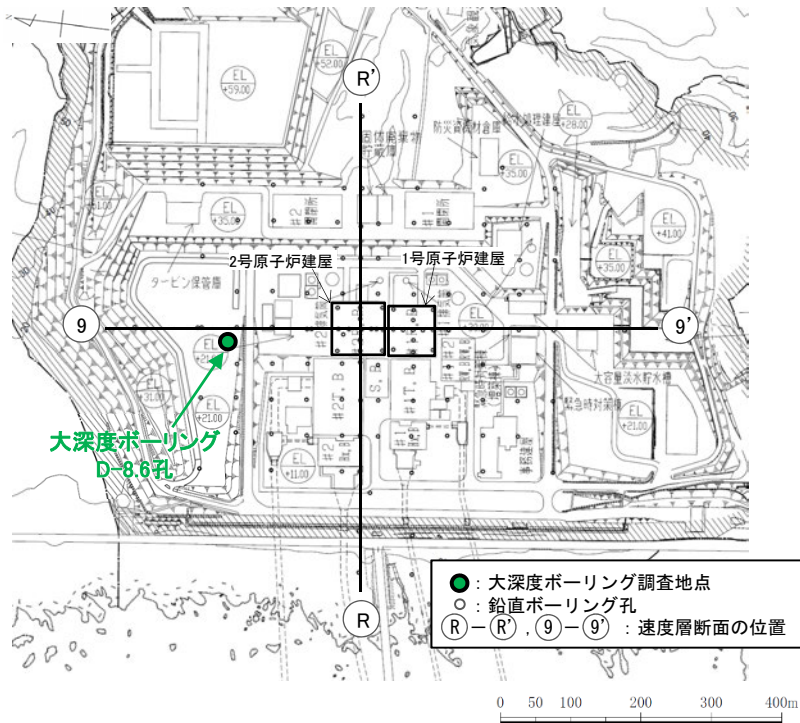
大深度ボーリング(K-13.6孔)の調査位置図

- 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。



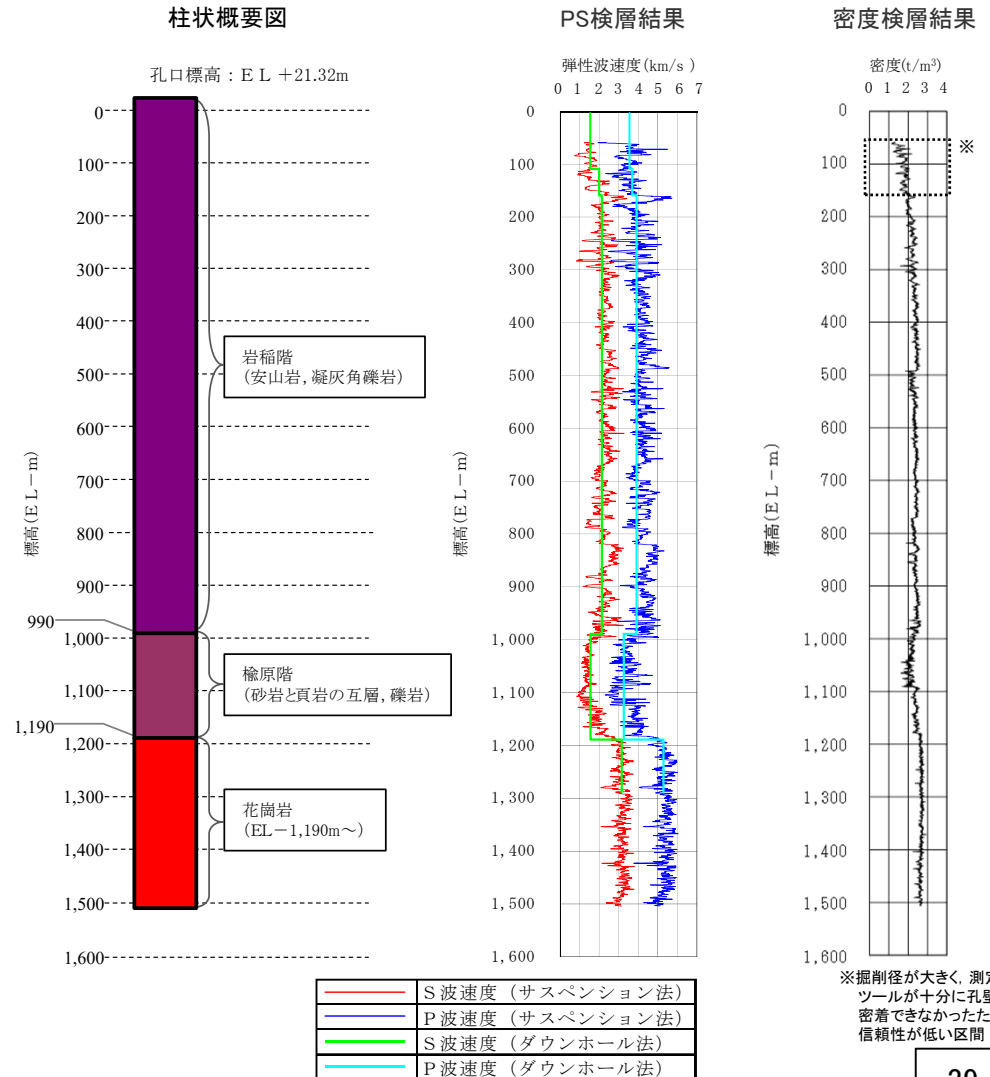
1.2(4) 大深度ボーリング調査結果 -D-8.6孔-

○ 敷地北側で実施した大深度ボーリング(D-8.6孔)調査の結果、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)からなり、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程度を示し、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.127~135。
- 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.126。



1.3 敷地及び敷地周辺の地質・地質構造の調査のまとめ

1.3 敷地及び敷地周辺の地質・地質構造の調査のまとめ

【1.1 敷地周辺の地質・地質構造】

- 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。
- 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。
- 敷地近傍の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中新世の地層の傾斜は、概ね水平ないし 10° 程度を示している。

【1.2 敷地の地質・地質構造】

- 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、敷地内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速度構造は、PS検層の評価結果によると、第1速度層から第4速度層に区分され、概ね水平な層構造を呈す。第3速度層中において、周囲と異なった速度特性(周囲に比べて速度が速い)を示す範囲を第3'速度層として区分した。
- 大深度ボーリング調査の結果、敷地の地質は、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、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、密度は概ね $2\sim 3\text{t/m}^3$ の範囲を示す。

2. 物理探査による地下構造の検討

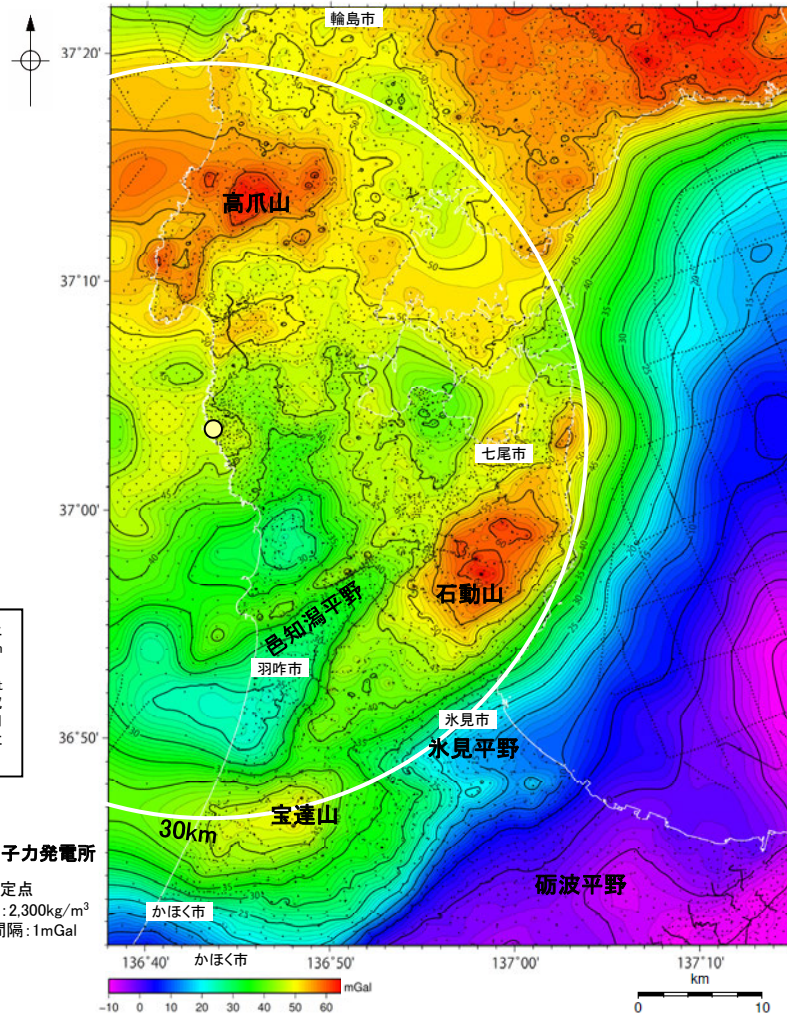
2.1 重力探査

2.1 重力探査 — 敷地周辺の重力異常(ブーゲー異常図) —

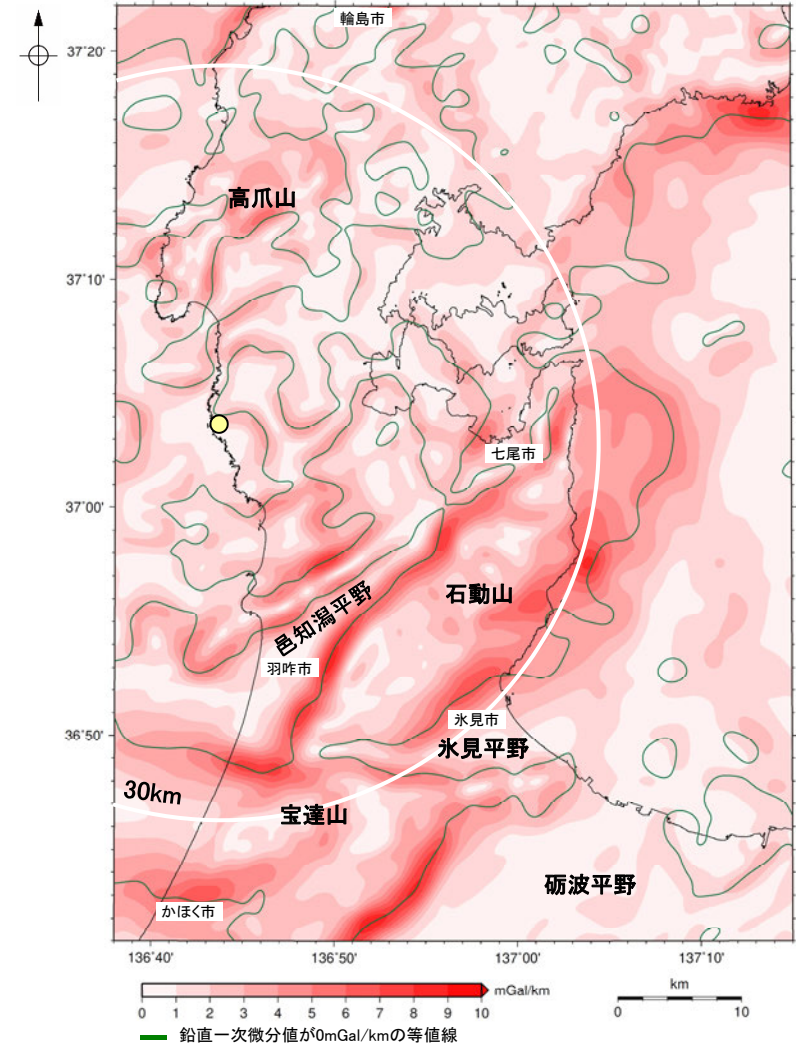
- 敷地周辺陸域については、稠密な調査を実施し、重力異常図を作成した。周辺に対して高い重力異常を示すのは、高爪山周辺、石動山周辺及び宝達山周辺、低い重力異常を示すのは、輪島市南部、羽咋市北部及び邑知湯平野南西部である。
- 規模が大きく直線的に連続する重力異常急変部は、NE-SW方向を示す邑知湯平野の北西縁及び南東縁、石動山と氷見平野との境界及び宝達山地と砺波平野との境界と、E-W方向を示す宝達山北部及び南部に認められる。
- ブーゲー異常図及び水平一次微分図から、敷地の位置する能登半島中部には規模が大きく直線的に連続する重力異常急変部は認められない。

・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)、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)

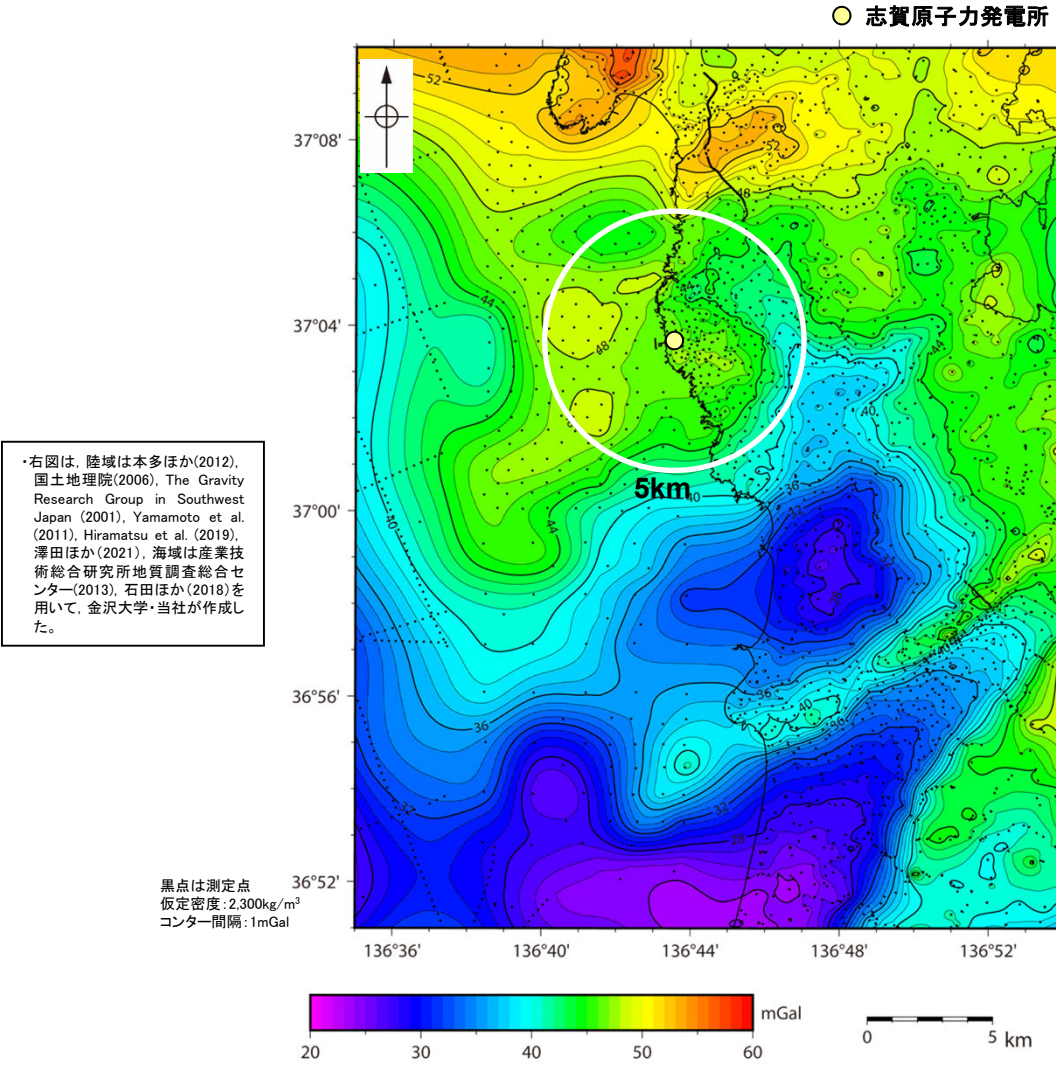


敷地周辺の水平一次微分図(金沢大学・当社作成)

・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。

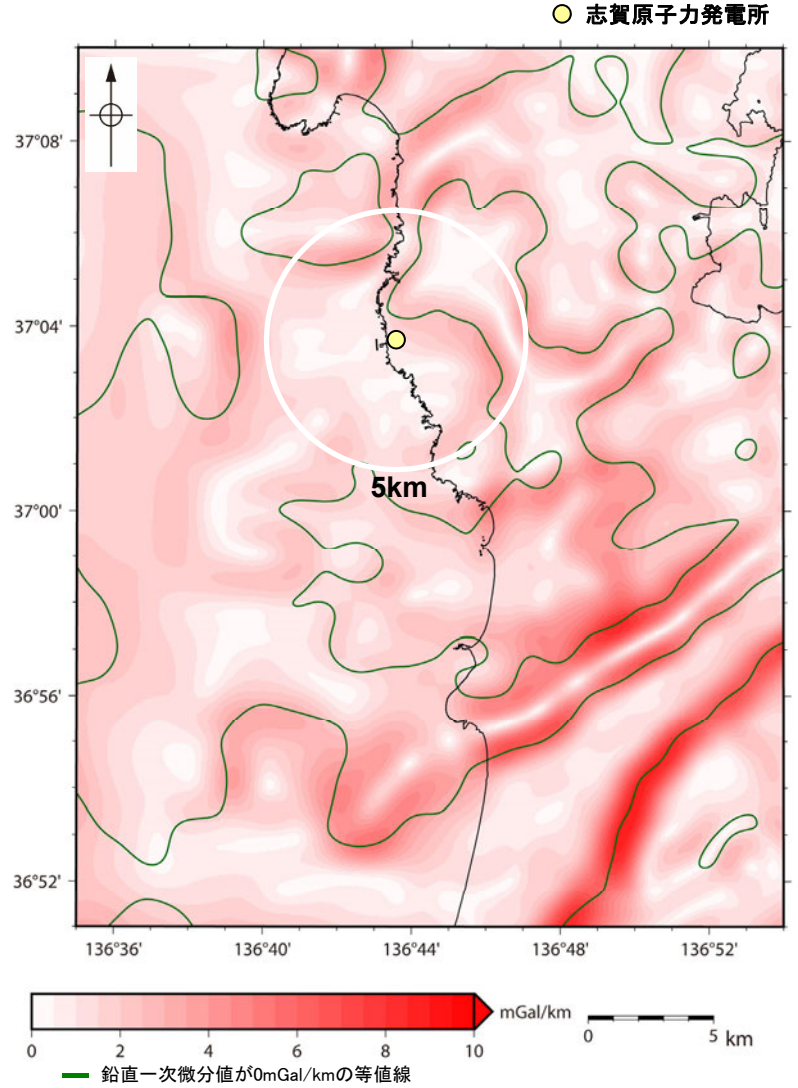
2.1 重力探査 — 敷地近傍の重力異常(ブーゲー異常図) —

○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、敷地近傍には基盤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。

敷地近傍のブーゲー異常図(金沢大学・当社作成)



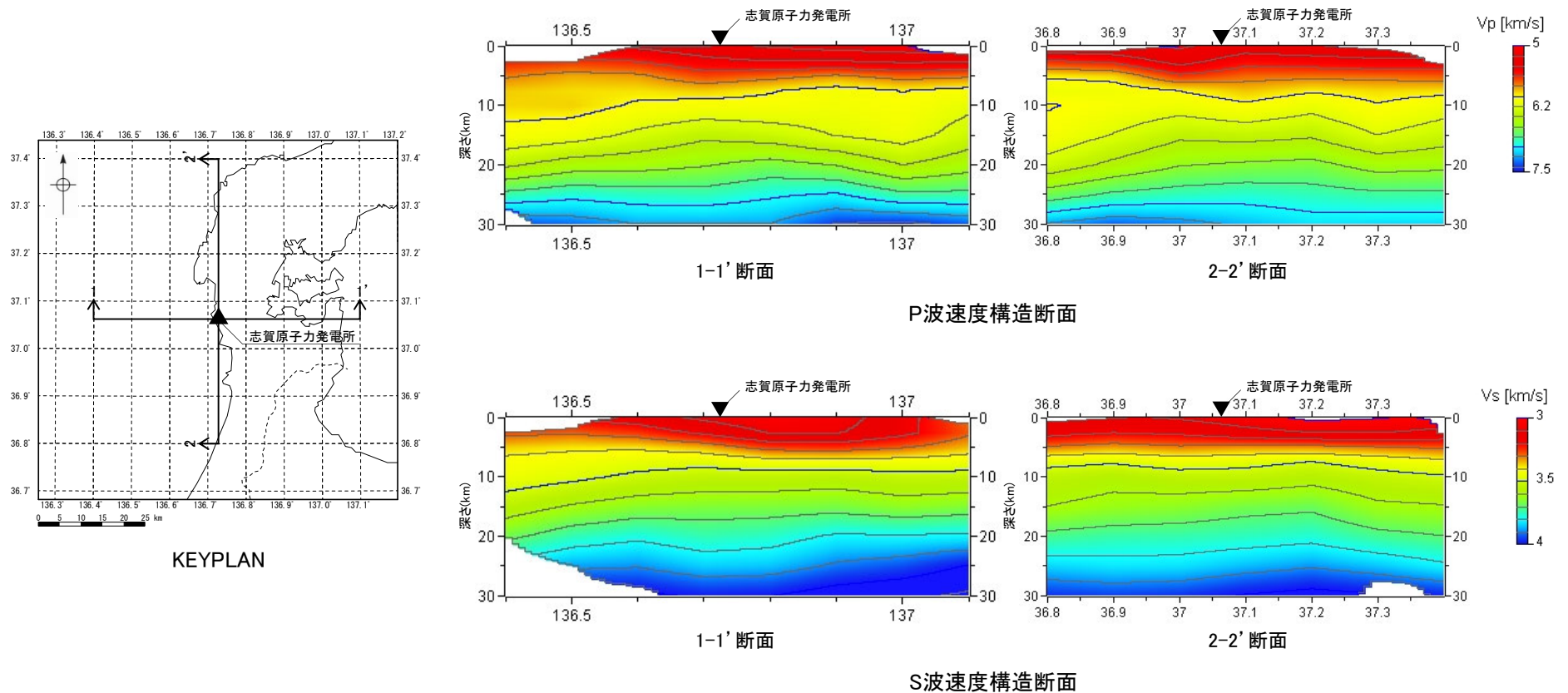
敷地近傍の水平一次微分図(金沢大学・当社作成)

・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。

2.2 地震波トモグラフィ

2.2 地震波トモグラフィー – Matsubara et al.(2022)による敷地周辺の地下深部速度構造 –

- 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。
- 評価された敷地周辺の地下深部の速度構造は、概ね水平な層構造を呈している。



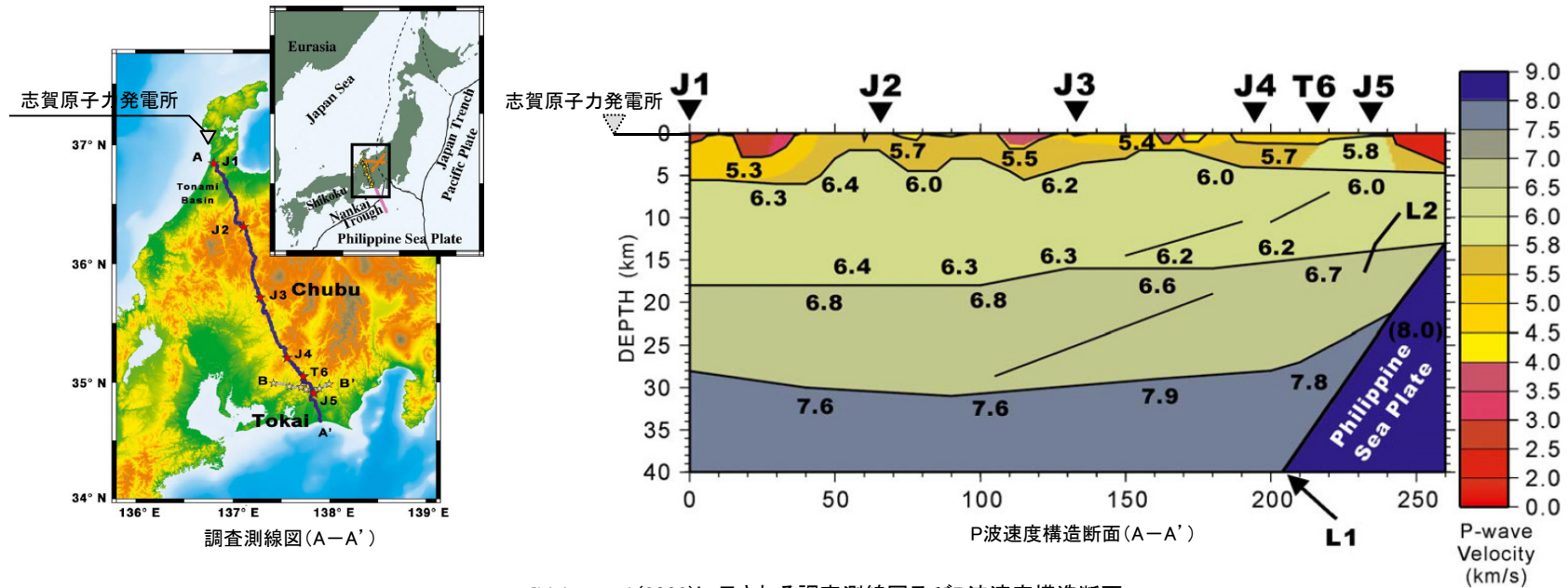
※Matsubara et al.(2022)に一部加筆

Matsubara et al.(2022)により評価された敷地周辺の速度構造断面

2.3 屈折法地震探查

2.3 屈折法地震探査 —Iidaka et al.(2003)による敷地周辺の地下深部速度構造—

- Iidaka et al.(2003)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、地盤のP波速度構造を評価している。
- この断面によると、最上層に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。

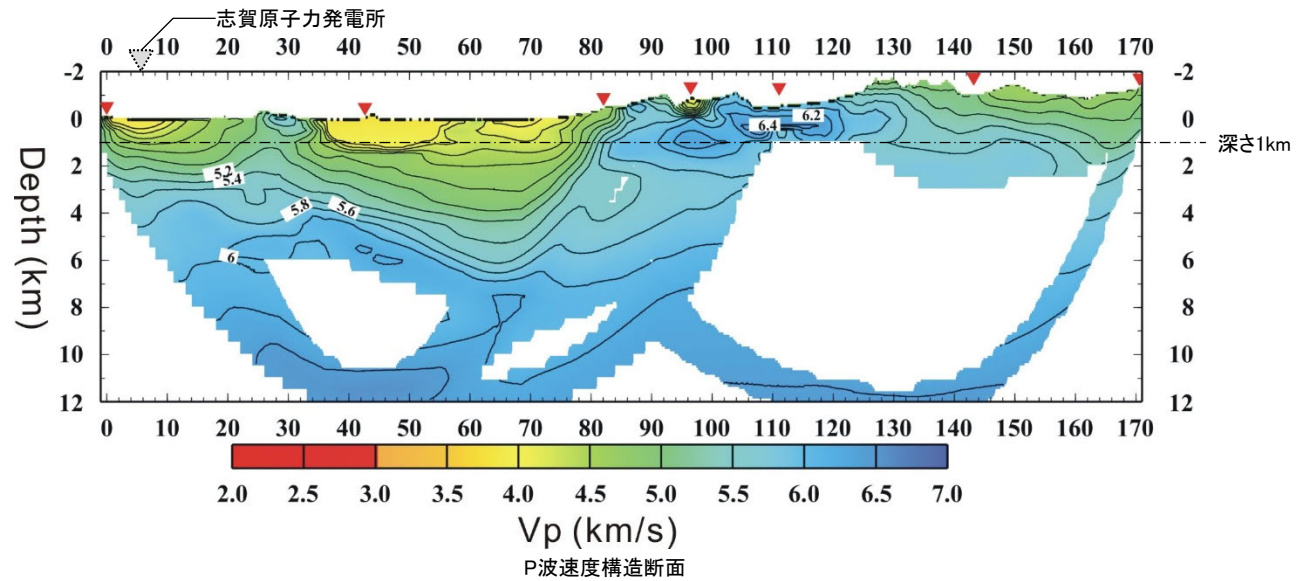
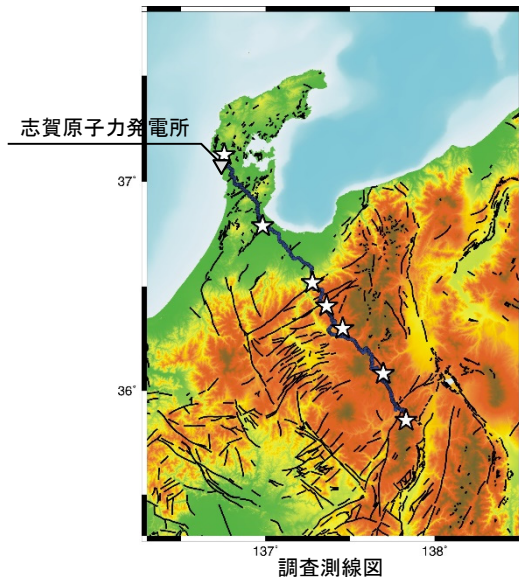


Iidaka et al.(2003)に示される調査測線図及びP波速度構造断面

※Iidaka et al.(2003)に一部加筆

2.3 屈折法地震探査 —Iidaka et al.(2008)による敷地周辺の地下深部速度構造—

- Iidaka et al.(2008)は, Iidaka et al.(2003)と同様, 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, 地盤のP波速度構造断面を評価している。
- この断面によると, 敷地周辺の深さ1km程度より深部の速度層は概ね水平に分布している。

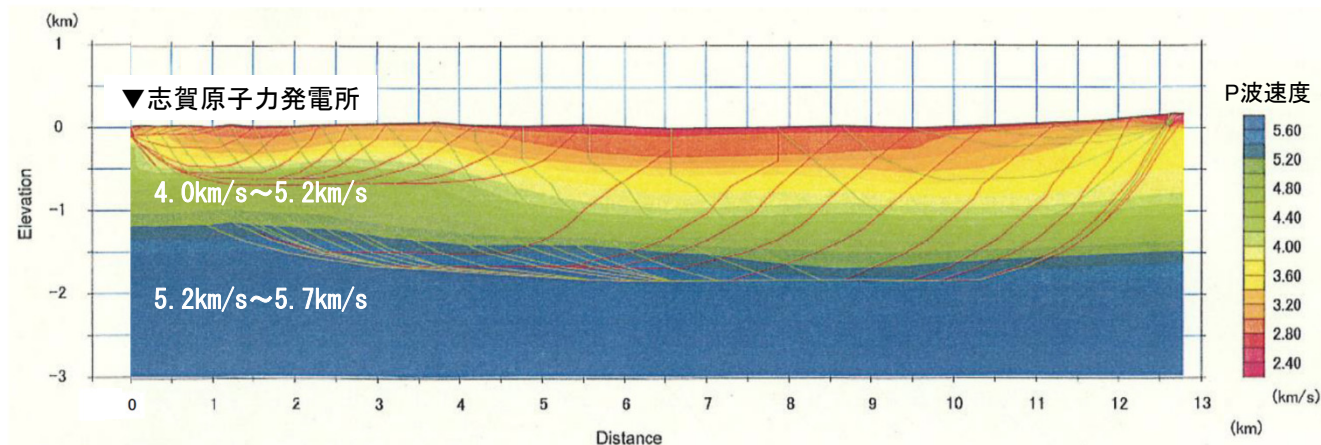
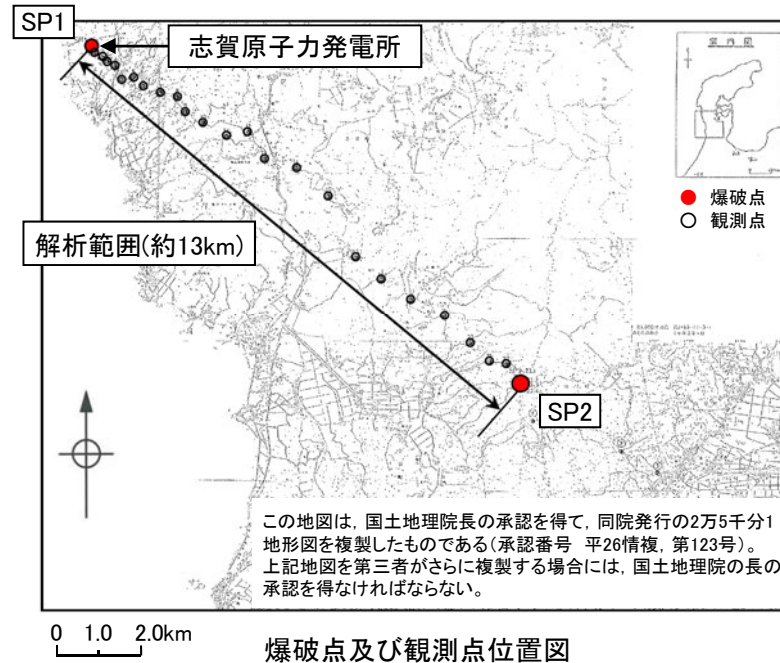


Iidaka et al.(2008)に示される調査測線図及びP波速度構造断面

※Iidaka et al.(2008)に一部加筆

2.3 屈折法地震探査 — 敷地及び敷地周辺の地下深部速度構造 —

- 敷地及び敷地周辺において屈折法地震探査を実施し、地下深部のP波速度構造を推定した。
- 地震基盤に相当すると考えられるP波速度5.2~5.7km/sの層はEL-1kmより深い位置にあり、概ね水平に分布している。

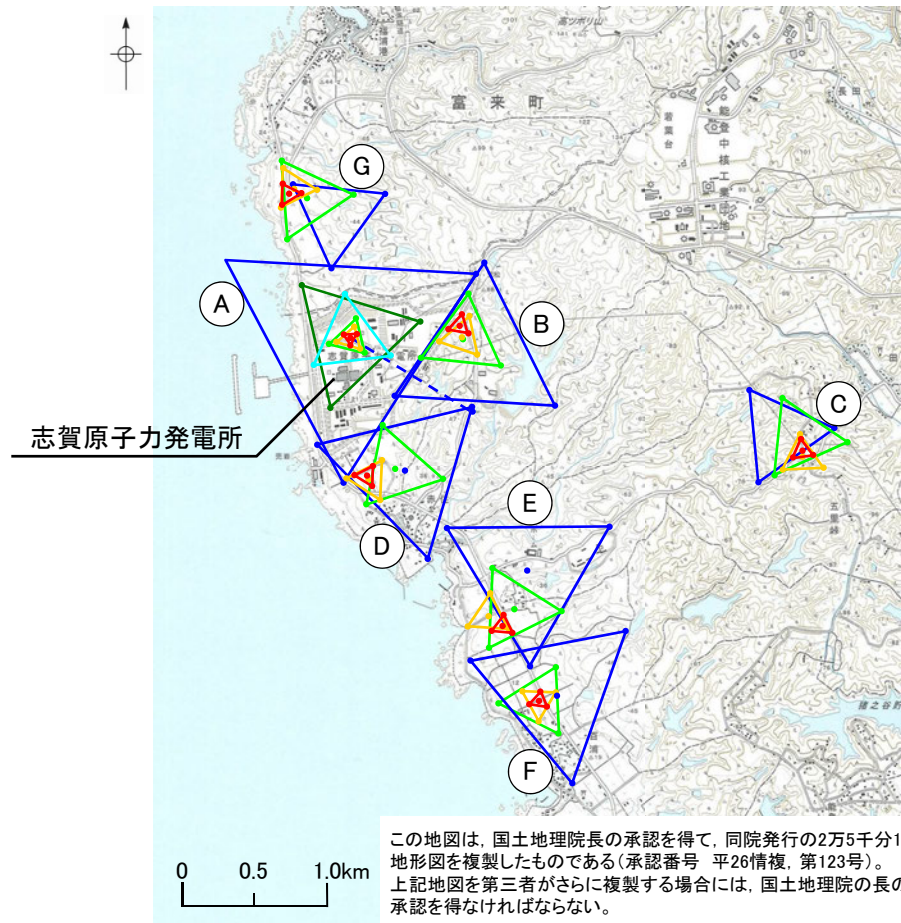


敷地及び敷地周辺のP波速度構造断面

2.4 微動アレー探査

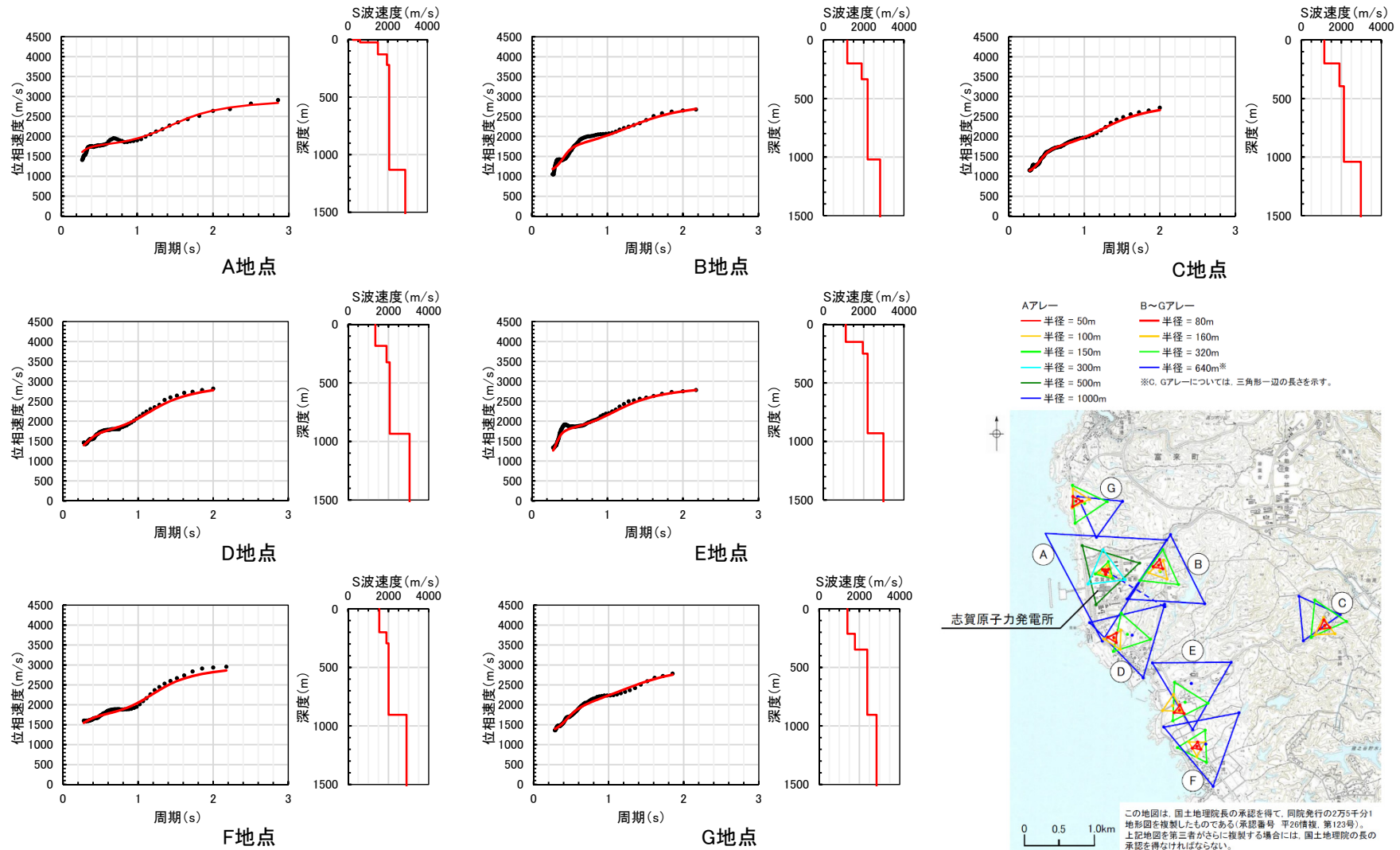
2.4 微動アレー探査 — 敷地及び敷地周辺の地下深部速度構造 —

- 敷地及び敷地周辺において微動アレー探査を実施し、地下深部のS波速度構造を推定した。
- 微動アレー探査地点を下図に示す。



微動アレー探査地点

- 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と考えられるS波速度3km/s程度の層は深さ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)

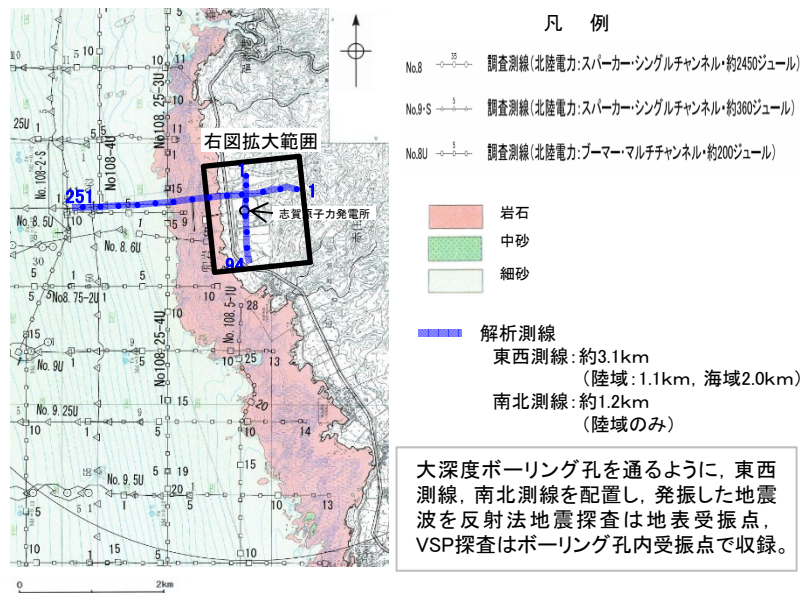
【分散曲線の凡例】 ●:観測 —:理論

微動アレー探査地点

2.5 反射法地震探査・VSP探査

2.5 反射法地震探査・VSP探査 — 敷地の地下深部構造 —

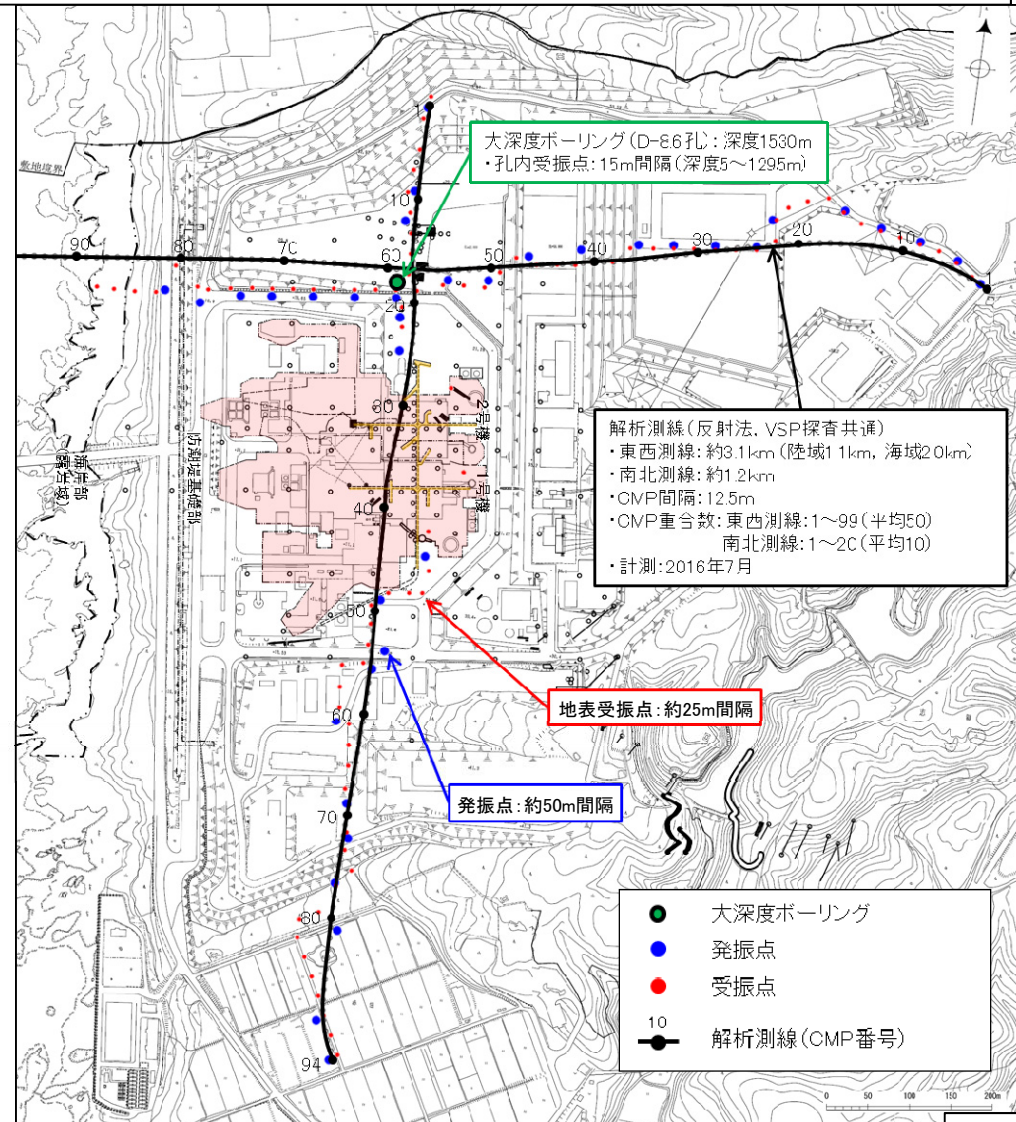
- 敷地の地下深部構造を把握するため、大深度ボーリング孔を用いたVSP探査及び海陸連続で測線を配置した反射法地震探査(2016年)を実施した。
- 探査の結果、花崗岩上面に相当する反射面は、ほぼ水平である。



調査位置図(石川県, 1997に一部加筆)

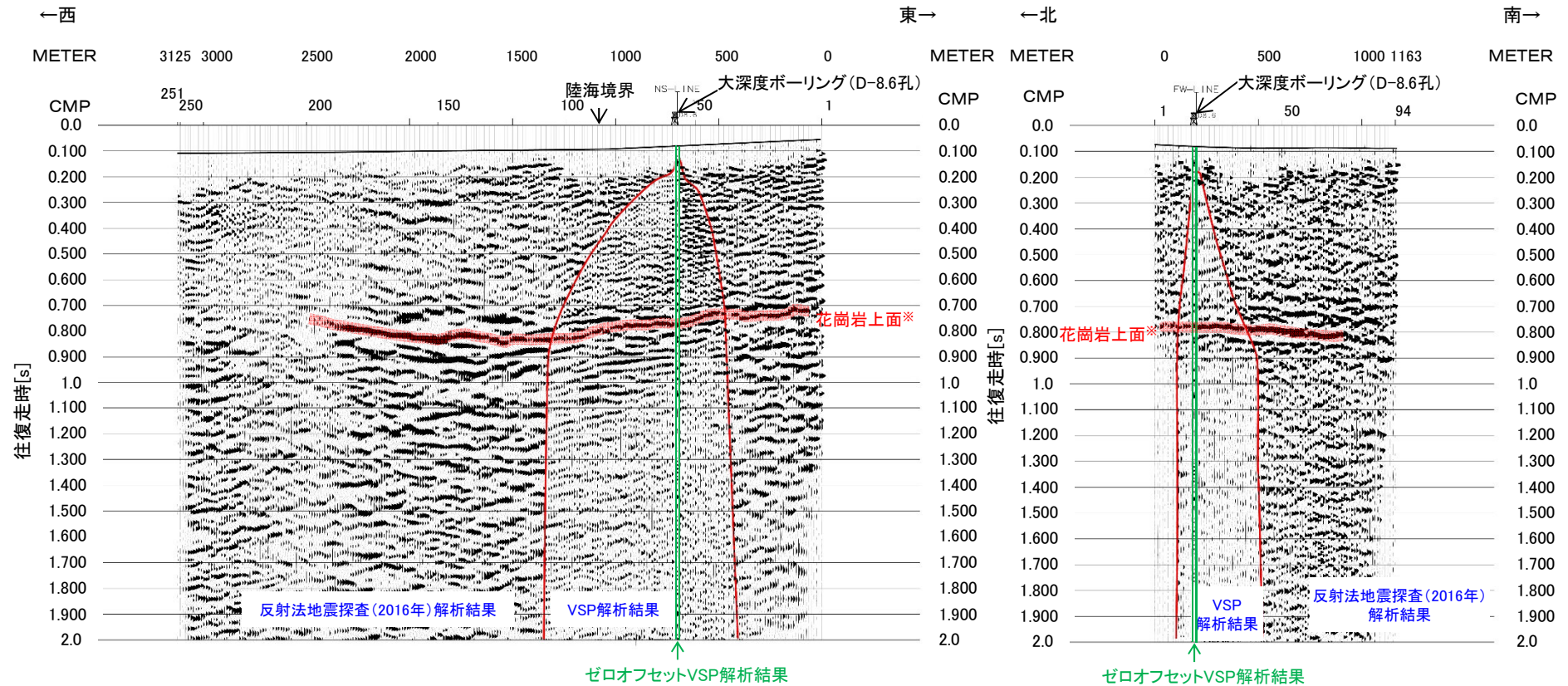
探査仕様

	発振源	仕様	発振間隔	受振間隔
陸域	大型ハイブレータ	<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	・480cu.in.	25m	25m



調査位置図

【反射法地震探査(2016年)・VSP探査結果(時間断面:マイグレーション処理前)】

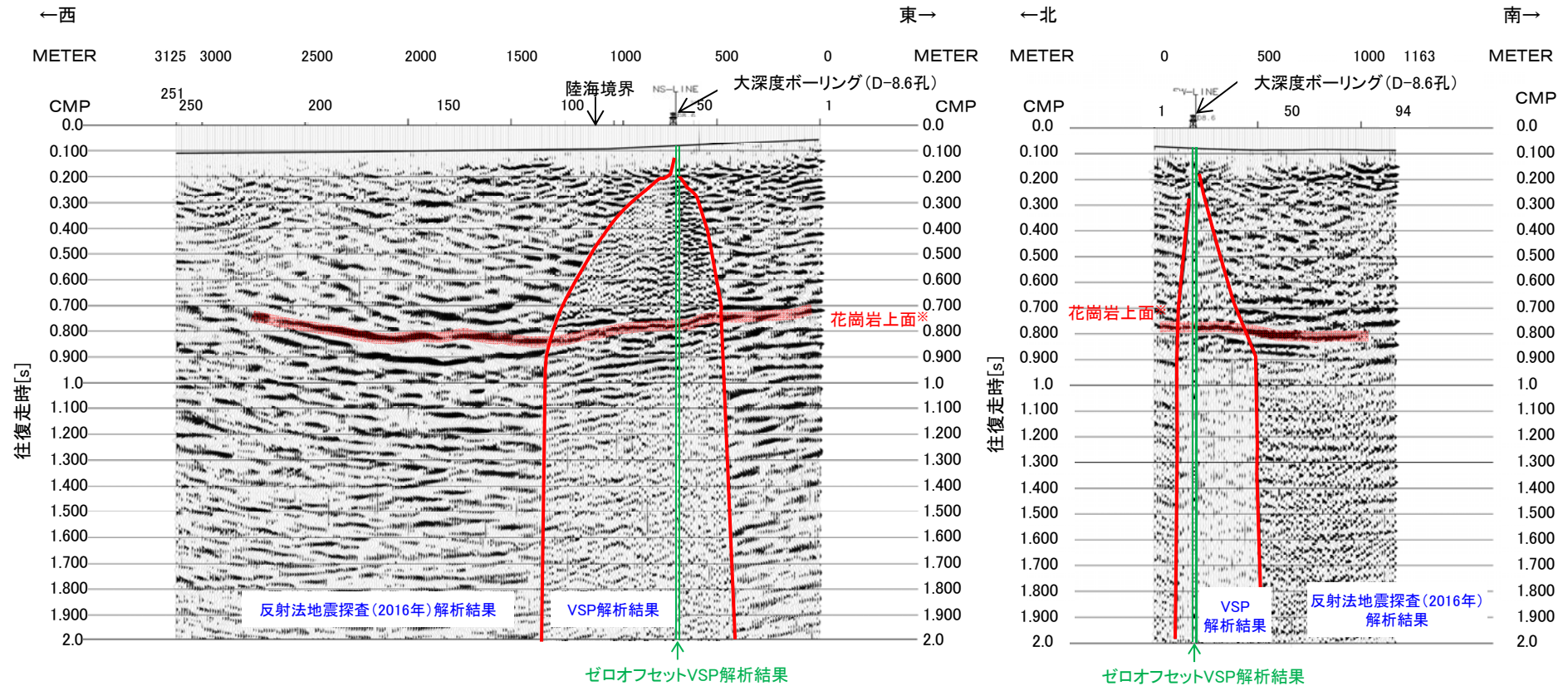


反射法地震探査(2016年)・VSP探査結果
(東西測線:時間断面)

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

【反射法地震探査(2016年)・VSP探査結果(時間断面:マイグレーション処理後)】



反射法地震探査(2016年)・VSP探査結果
(東西測線:時間断面)

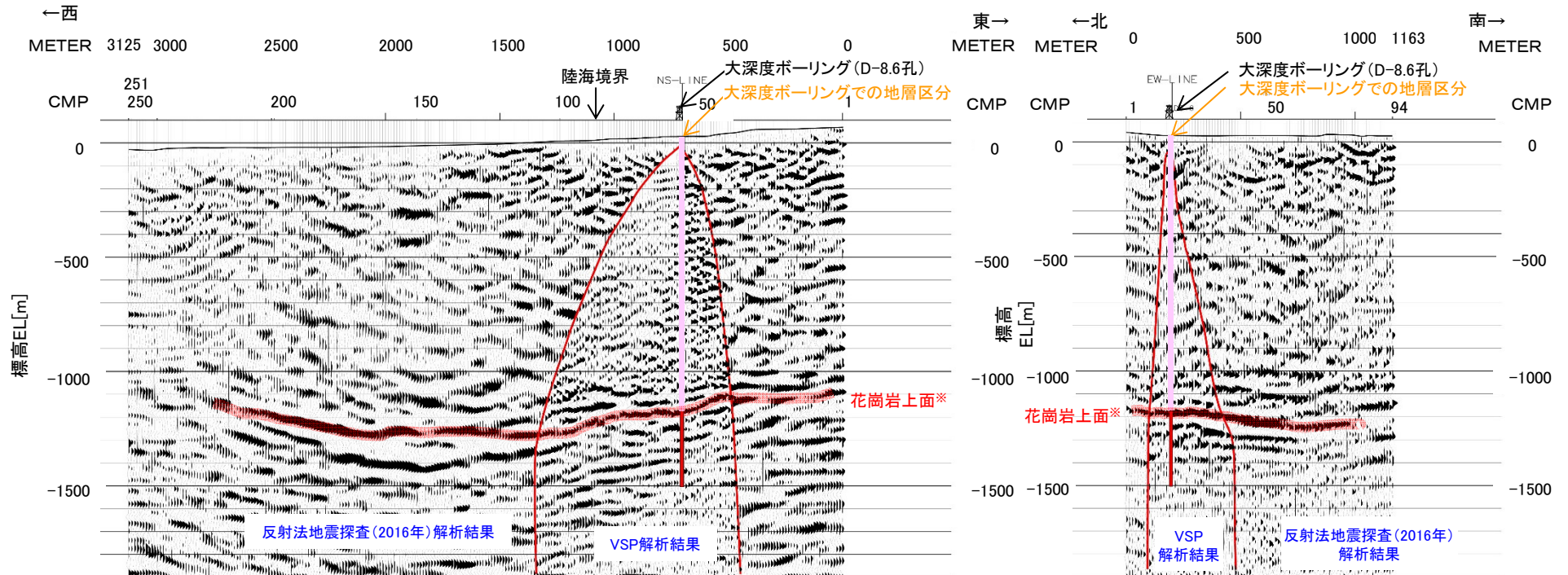
反射法地震探査(2016年)・VSP探査結果
(南北測線:時間断面)

※ 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

【反射法地震探査(2016年)・VSP探査結果(深度断面)】

○ 探査の結果, 花崗岩上面に相当する反射面は, ほぼ水平である。

・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。



※ 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。

2.6 物理探査による地下構造の検討のまとめ

2.6 物理探査による地下構造の検討のまとめ

【2.1 重力探査】

- 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, 敷地近傍には基盤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。

【2.2 地震波トモグラフィー】

- Matsubara et al.(2022)に基づく地震波トモグラフィーによる敷地周辺の地下深部の速度構造は, 概ね水平な層構造を呈している。

【2.3 屈折法地震探査】

- 敷地及び敷地周辺のP波速度構造は, 地震基盤に相当すると考えられる層はEL-1kmより深い位置にあり, 概ね水平に分布している。またそれより深部の層についても概ね水平に分布している。

【2.4 微動アレー探査】

- 敷地及び敷地周辺における各地点のS波速度構造は, 地震基盤に相当すると考えられる層は深さ1km程度の位置にあり, 概ね水平に分布している。

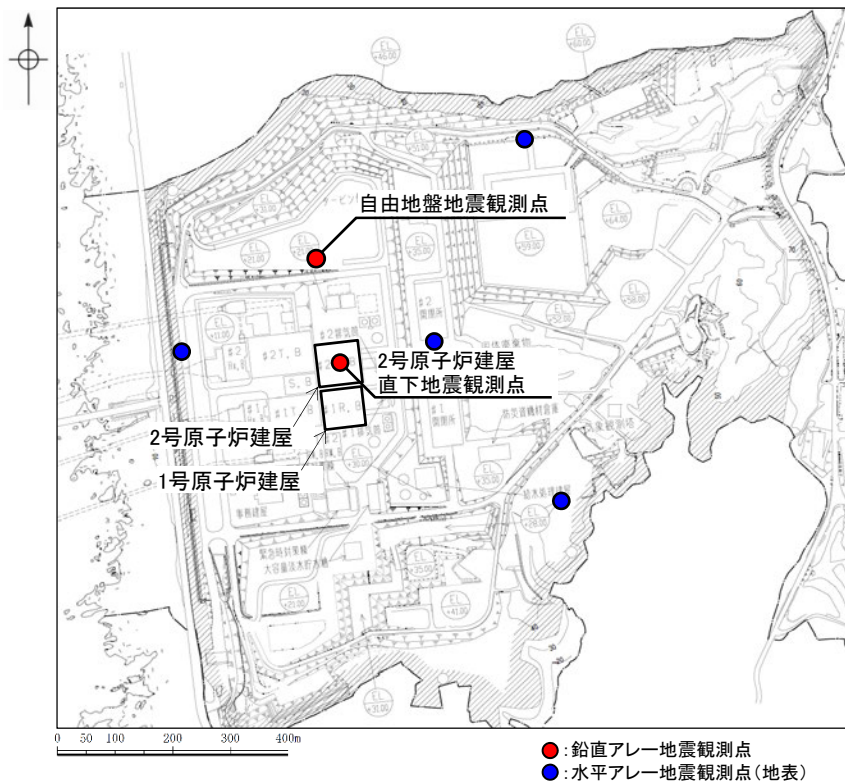
【2.5 反射法地震探査・VSP探査】

- 敷地の花崗岩上面に相当する反射面は, ほぼ水平である。

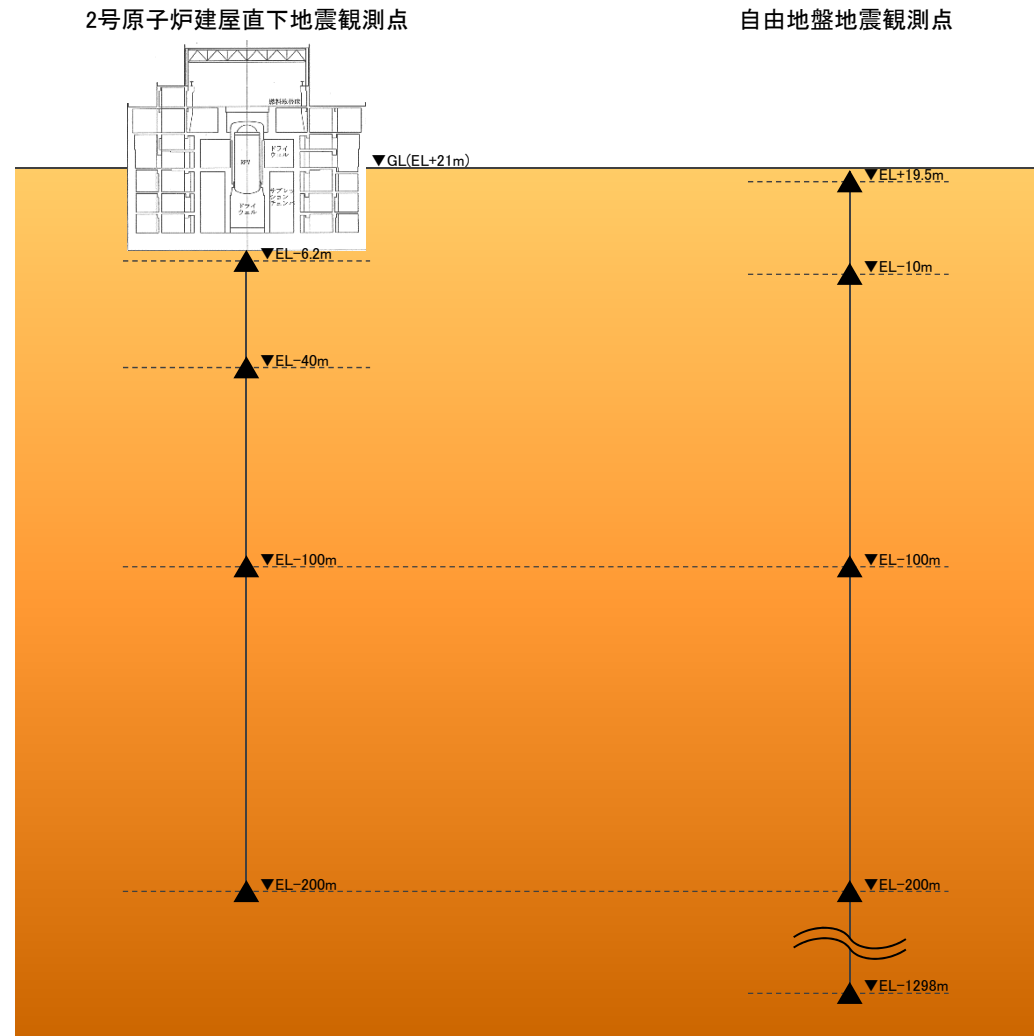
3. 観測記録による地下構造の検討

3. 観測記録による地下構造の検討 —敷地地盤における地震観測の概要—

- 敷地地盤における主な地震観測点の位置を下図に示す。
- 申請時以降の2016年1月より、敷地地盤の地表4地点において、水平アレー地震観測(臨時)を開始した。また、2019年7月より、自由地盤地震観測点(鉛直アレー地震観測点)において、EL-1298mにおける地震観測(大深度地震観測)を開始した。



敷地地盤における主な地震観測点配置図



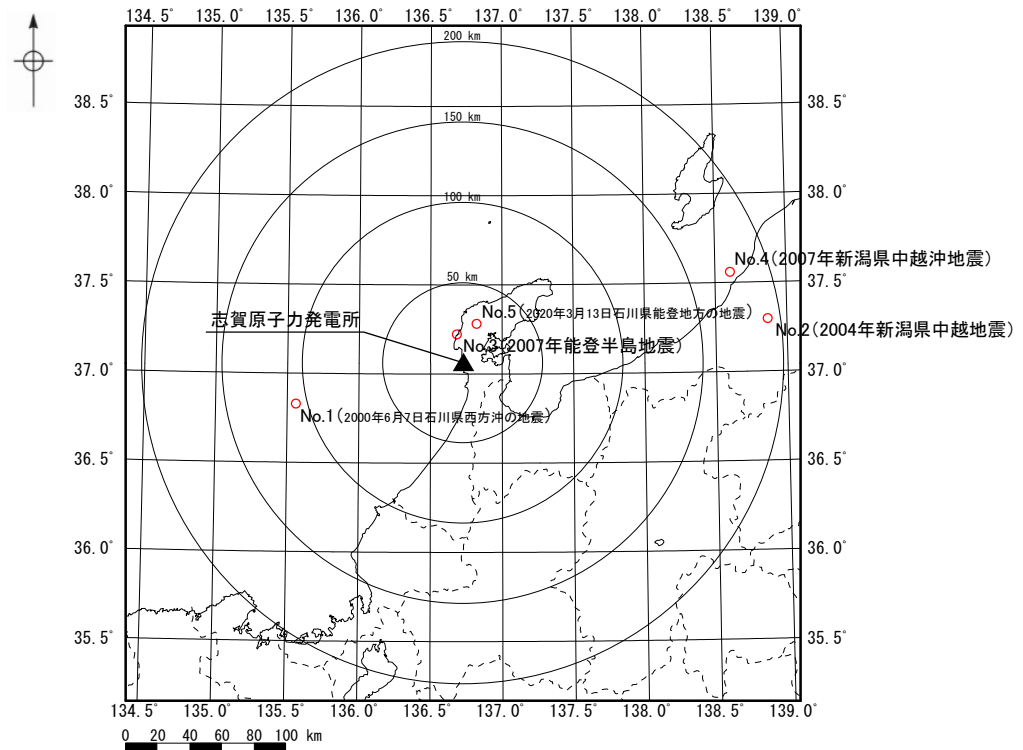
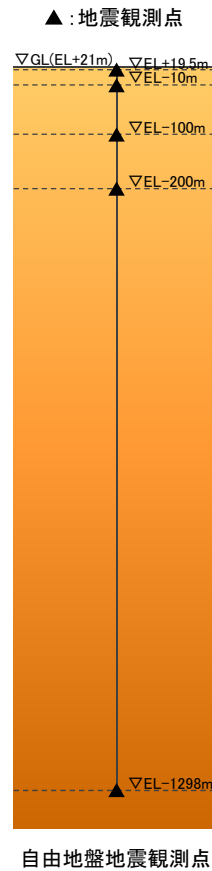
鉛直アレー地震計配置図

3. 観測記録による地下構造の検討 —自由地盤地震観測点における主な観測地震—

○ 自由地盤地震観測点における主な観測地震について、震央分布図、諸元を以下に示す。

主な観測地震の諸元

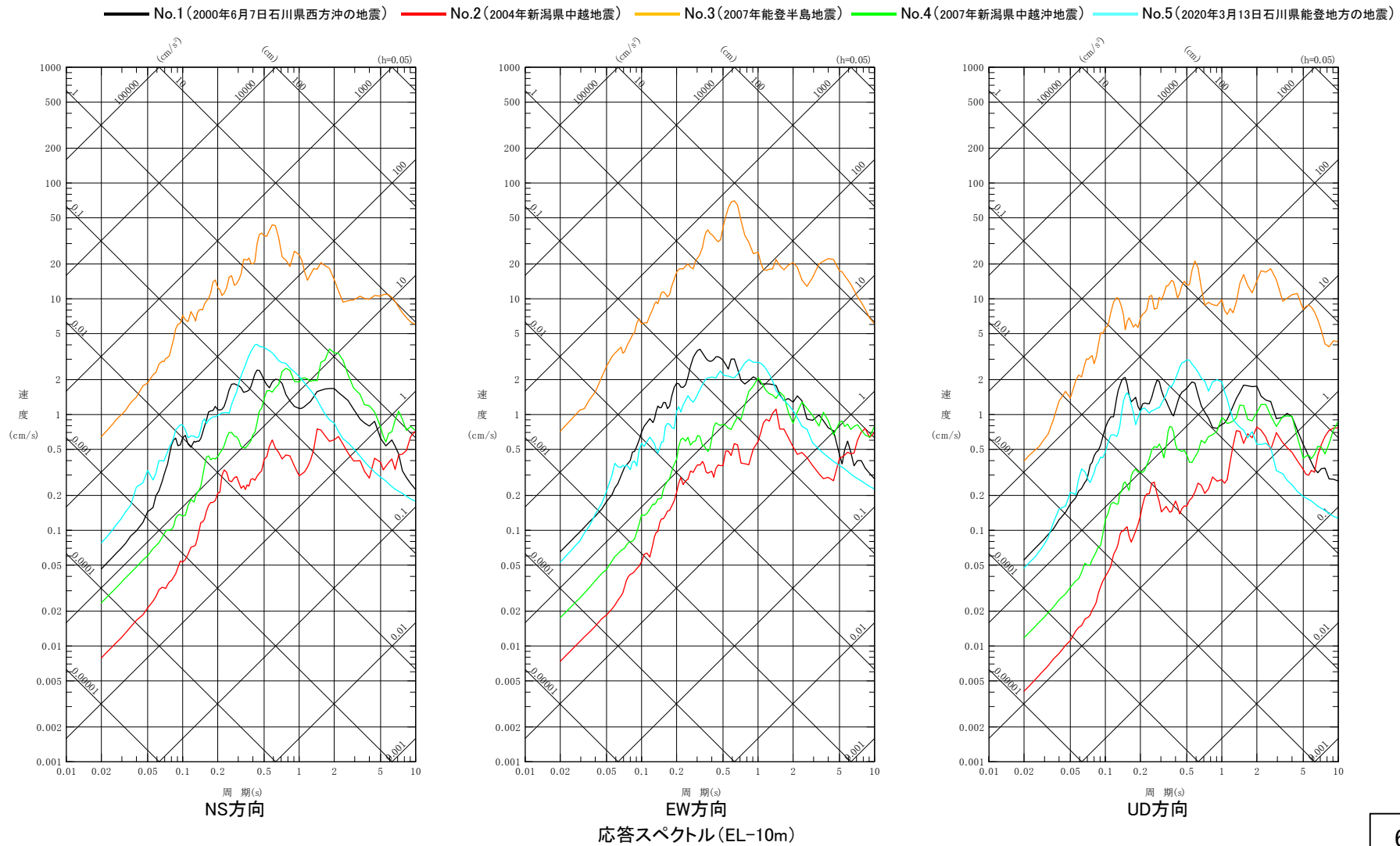
No.	震源情報						震央距離 (km)
	日付	時刻	北緯 (°)	東経 (°)	深さ (km)	M	
1	2000/06/07	06:16	36.8265	135.5630	21.30	6.2	106.9
2	2004/10/23	17:56	37.2925	138.8672	13.08	6.8	191.8
3	2007/03/25	09:41	37.2207	136.6860	10.70	6.9	18.1
4	2007/07/16	10:13	37.5568	138.6095	16.75	6.8	175.8
5	2020/03/13	02:18	37.2797	136.8245	12.33	5.5	25.8



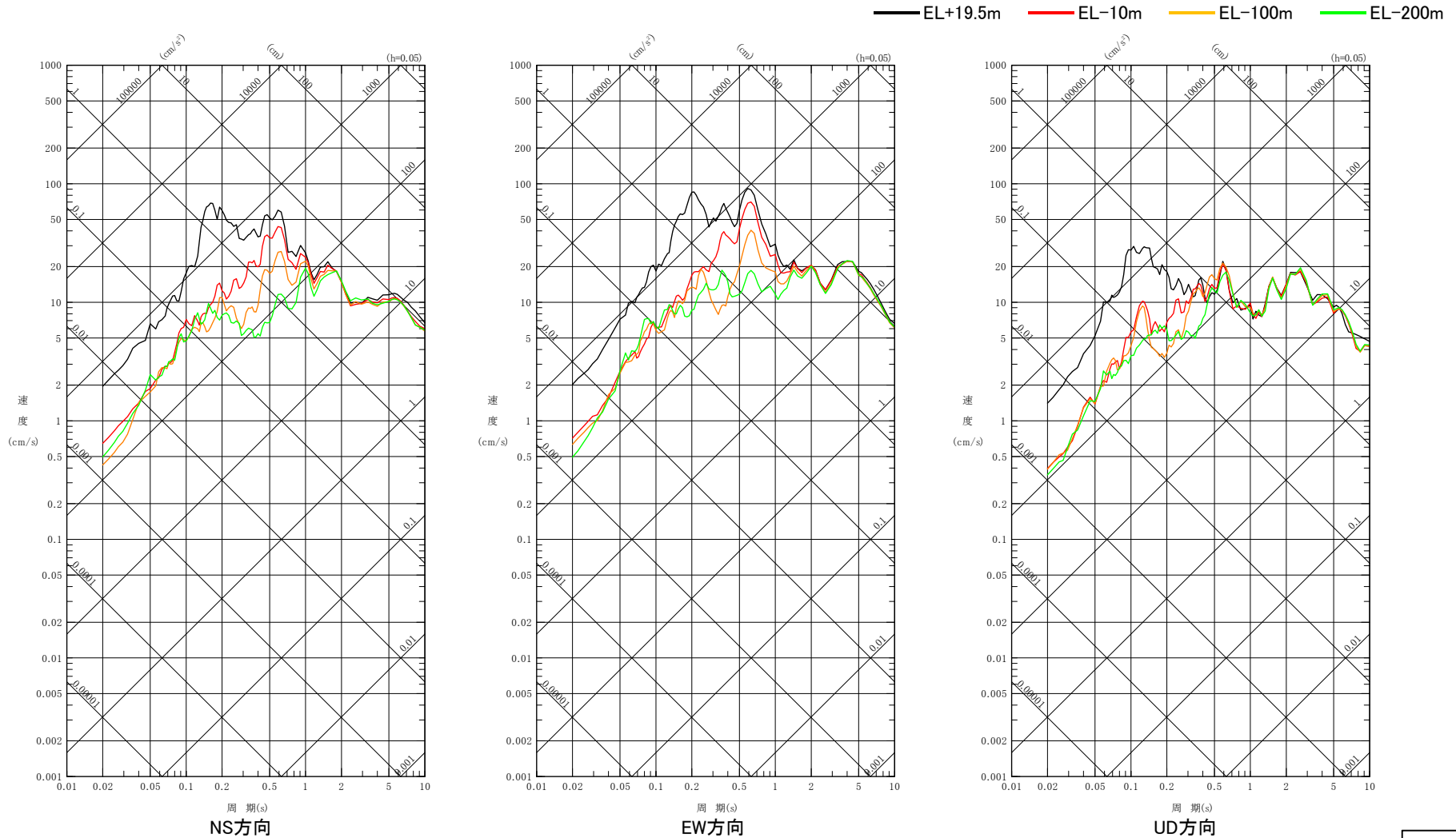
主な観測地震の震央分布図

※ EL-1298mにおける地震観測(大深度地震観測)は2019年7月より開始。

- 自由地盤地震観測点における主な観測地震について、解放基盤表面として設定したEL-10mの応答スペクトルを下図に示す。
- これらの図によると、No.2(2004年新潟県中越地震)及びNo.4(2007年新潟県中越沖地震)は、敷地から比較的遠い地震であるため、1秒以上のやや長周期成分が卓越している。

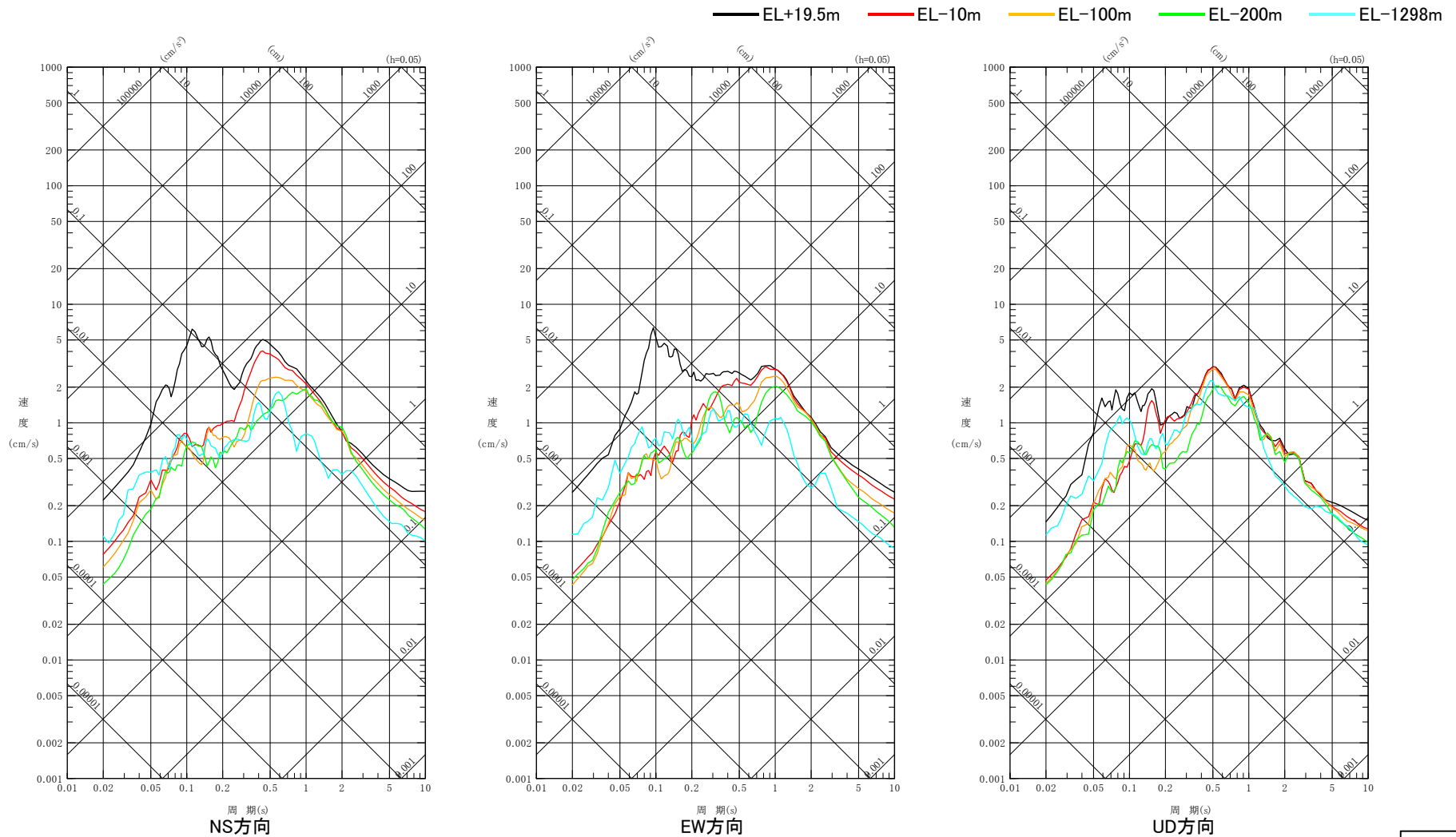


- また自由地盤地震観測点における主な観測地震のうち、No.3(2007年能登半島地震)及びNo.5(2020年3月13日石川県能登地方の地震)について、深度別応答スペクトルを以降に示す。
- No.3(2007年能登半島地震)の深度別応答スペクトル図によると、地表(EL+19.5m)では短周期成分が増幅される傾向にあるが、岩盤中ではほとんど増幅はみられない。



※ EL-1298mにおける地震観測(大深度地震観測)は2019年7月より開始。

○ No.5(2020年3月13日石川県能登地方の地震)の深度別応答スペクトル図についても、地表(EL+19.5m)では短周期成分が増幅される傾向にあるが、岩盤中ではほとんど増幅はみられず、EL-1298m~EL-200mにおいては減衰する傾向にある。

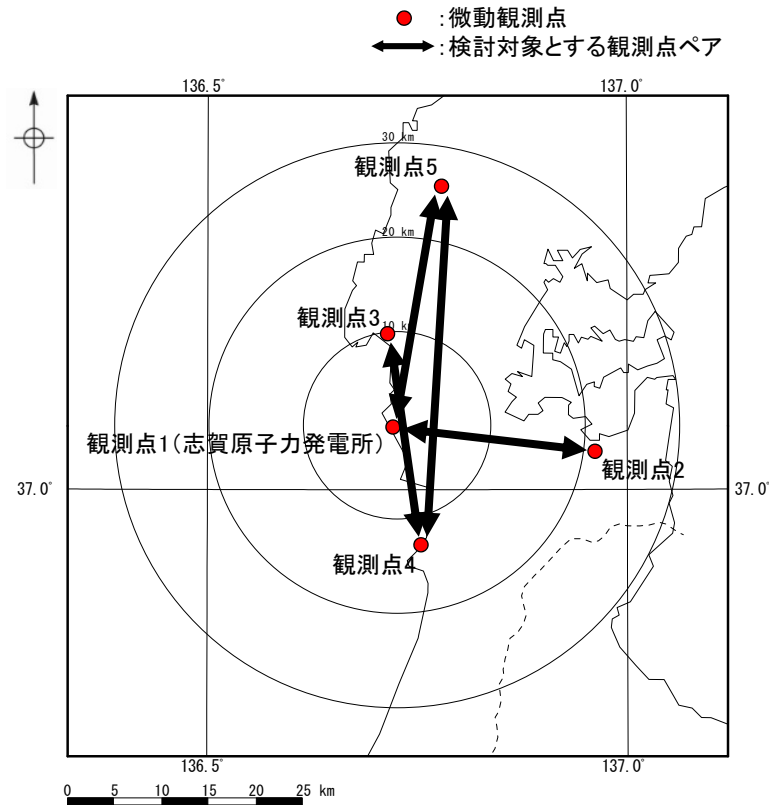


深度別応答スペクトル(No.5(2020年3月13日石川県能登地方の地震))

3.1 広域微動観測記録を用いた検討

3.1(1) 検討概要 —微動観測点配置図—

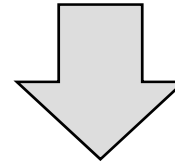
- 敷地及び敷地周辺の地下深部構造を把握することを目的として、敷地及び敷地周辺の広域において微動観測を実施し、地震波干渉法により合成した観測点間のグリーン関数に基づき評価した群速度を用いた検討を実施した。
- 微動観測点を下図に示す。検討対象とする観測点ペアは、敷地及び敷地周辺の深部構造を把握する観点から、観測点間に敷地が含まれる観測点ペアのうち観測点間距離が比較的最長い観測点ペア(4組)とし、これら4組の群速度を比較した。



微動観測点配置図

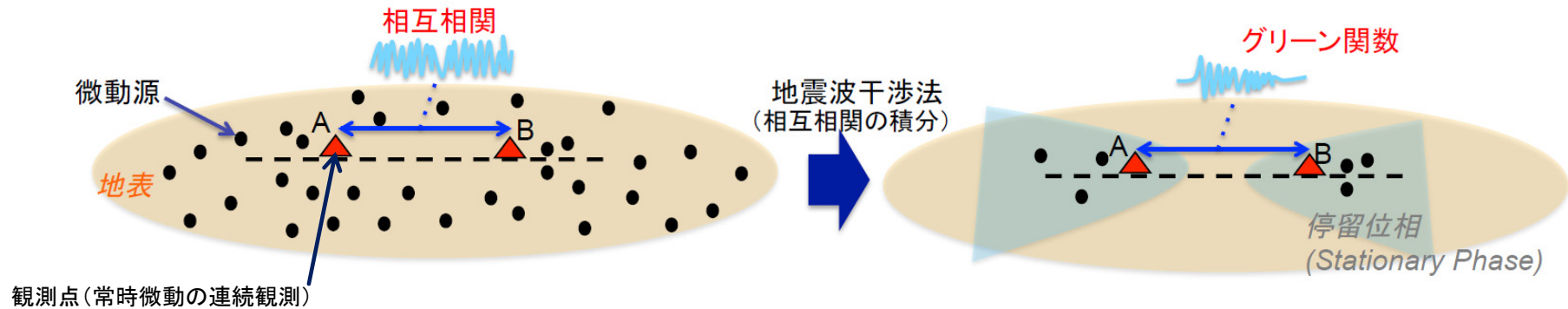
3.1(1) 検討概要 —地震波干渉法の原理—

- 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。

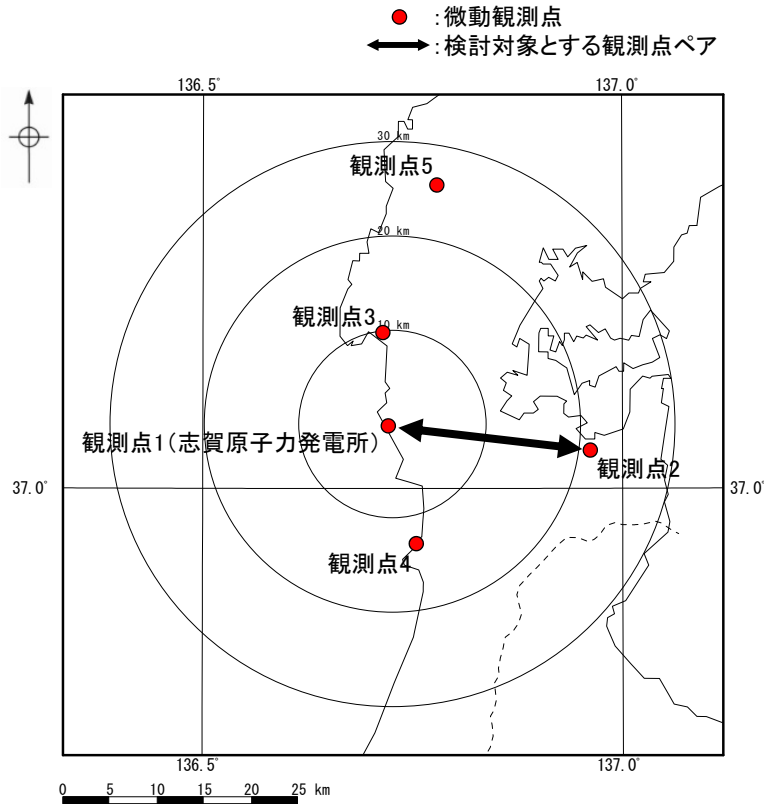


地震波干渉法の常時微動への適用

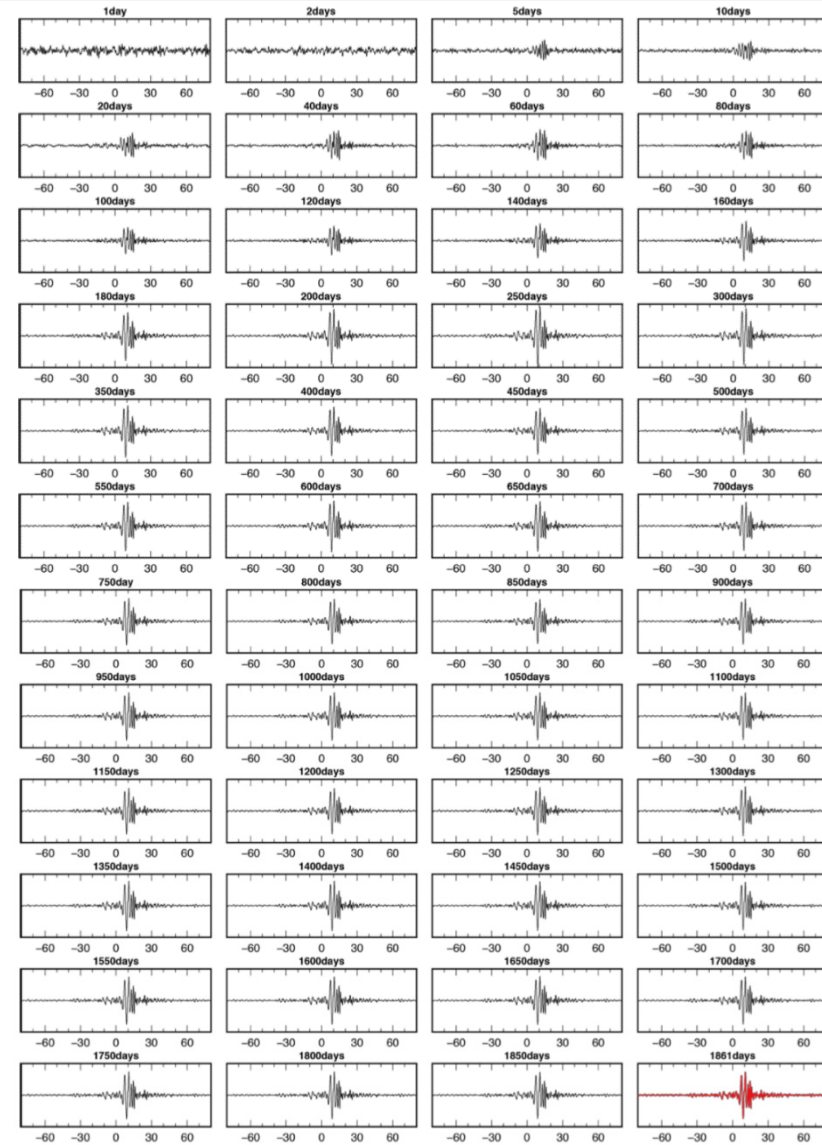
※ 群速度は、合成したグリーン関数の狭帯域フィルタ処理から、各周期のフィルタ波形とエンベロープを求め、観測点間距離を各周期のエンベロープの最大値時刻で除すことで評価する。

3.1(2) 検討結果 —相互相関関数の評価結果—

○ スタック日数による相互相関関数(観測点1-観測点2(UD成分))の変化を下図に示す。



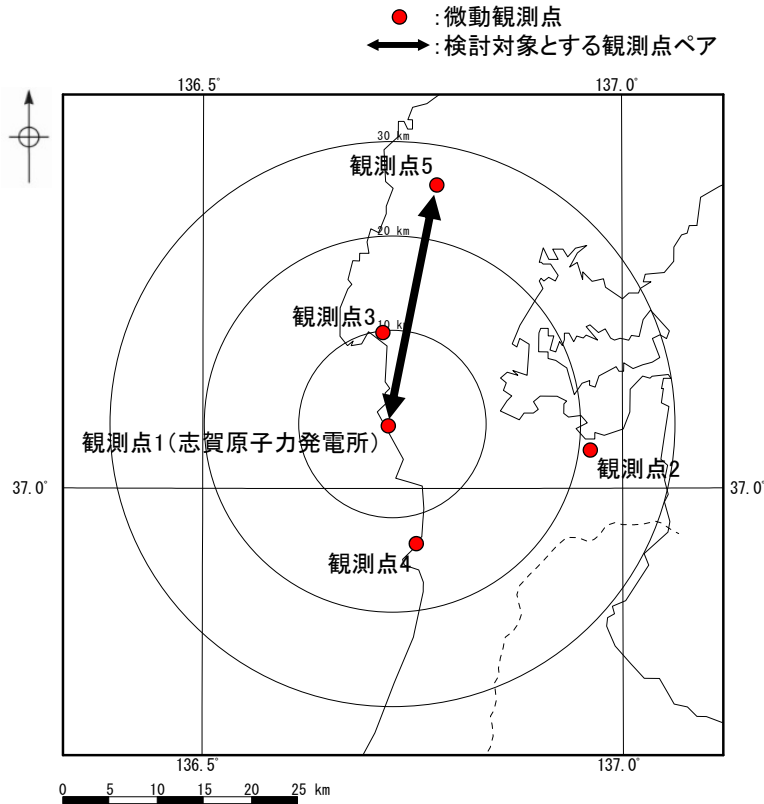
微動観測点配置図



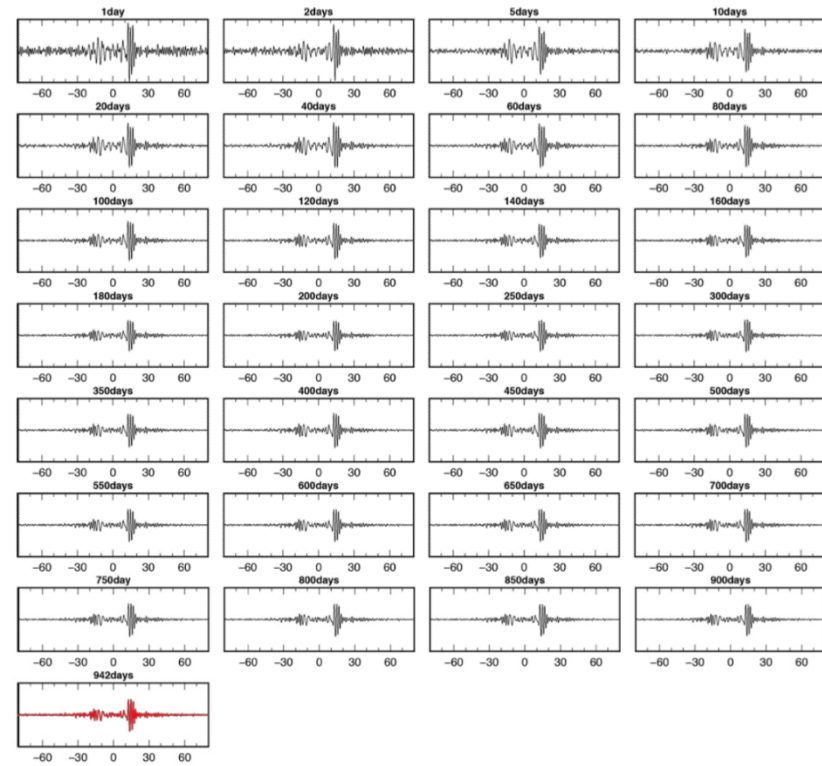
スタック日数による相互相関関数(観測点1-観測点2(UD成分))

※ 相互相関関数の横軸はLag time(s)を示し, 正(+方向)は観測点1から観測点2の方向を, 負(-方向)はその逆方向を示す。

○ スタック日数による相互相関関数(観測点1-観測点5(UD成分))の変化を下図に示す。



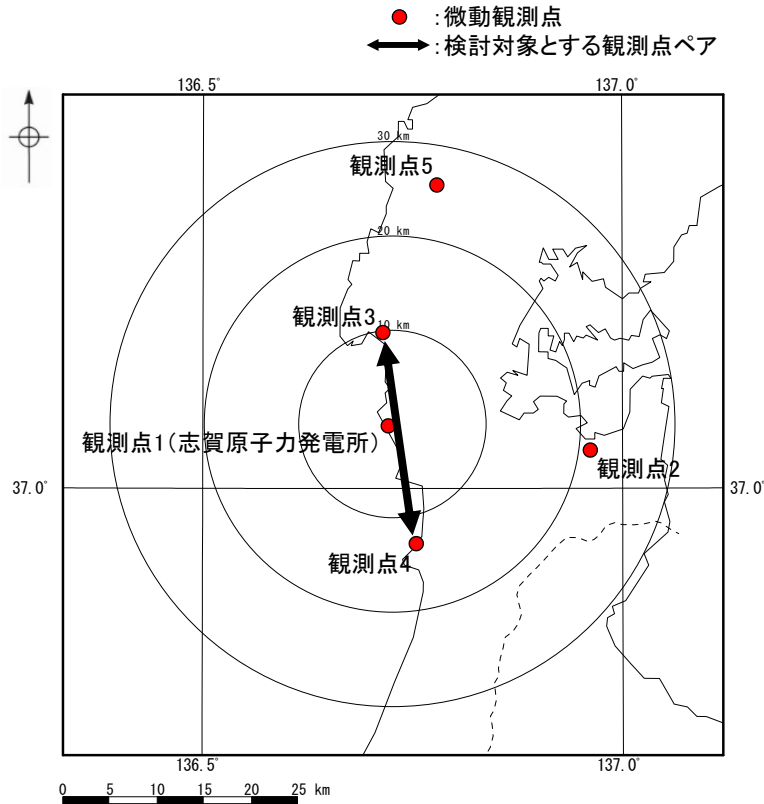
微動観測点配置図



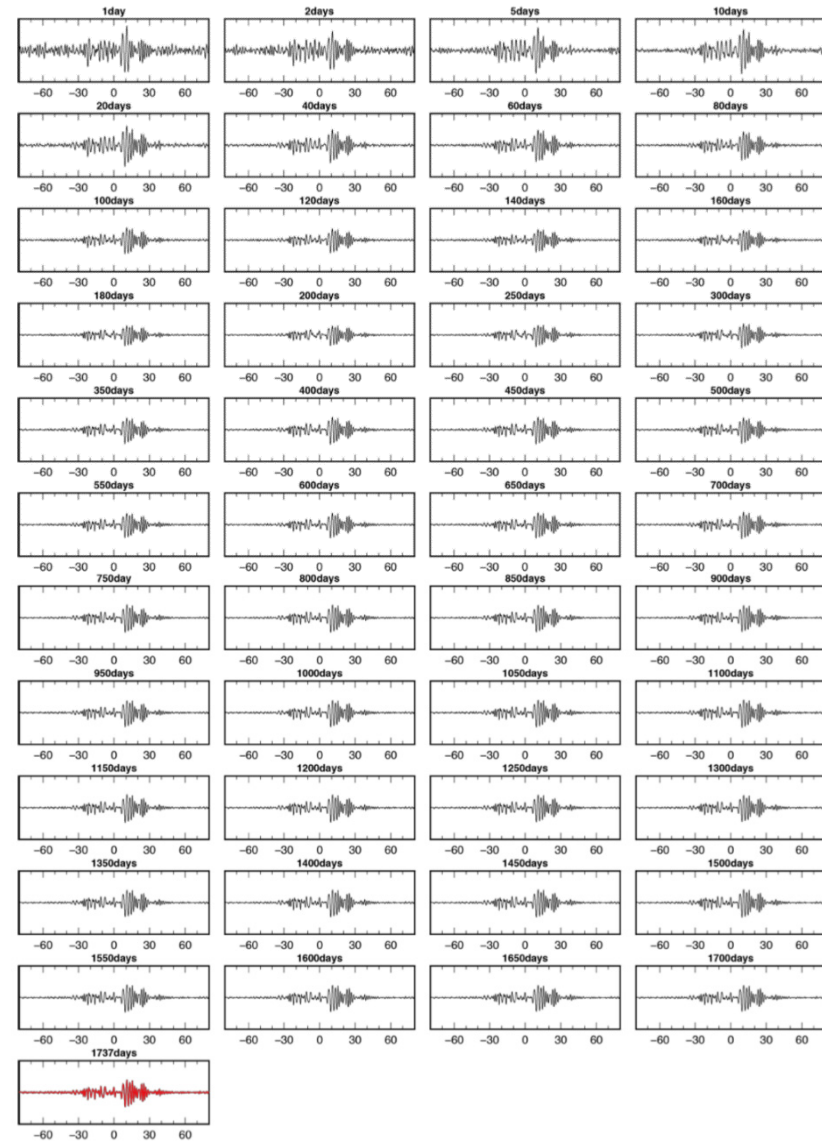
スタック日数による相互相関関数(観測点1-観測点5(UD成分))

※ 相互相関関数の横軸はLag time(s)を示し, 正(+)方向は観測点5から観測点1の方向を, 負(-)方向はその逆方向を示す。

○ スタック日数による相互相関関数(観測点3-観測点4(UD成分))の変化を下図に示す。



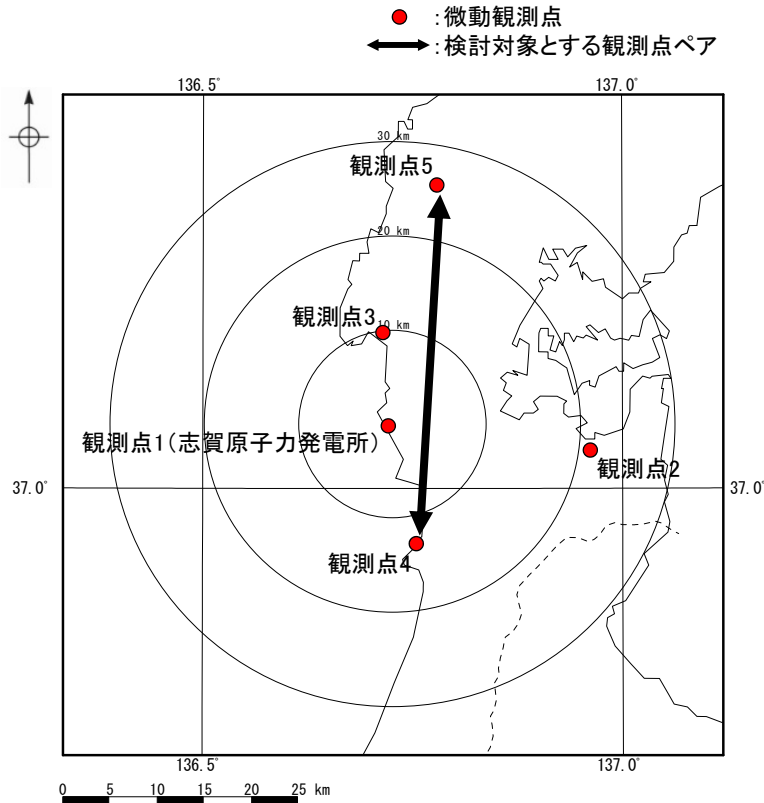
微動観測点配置図



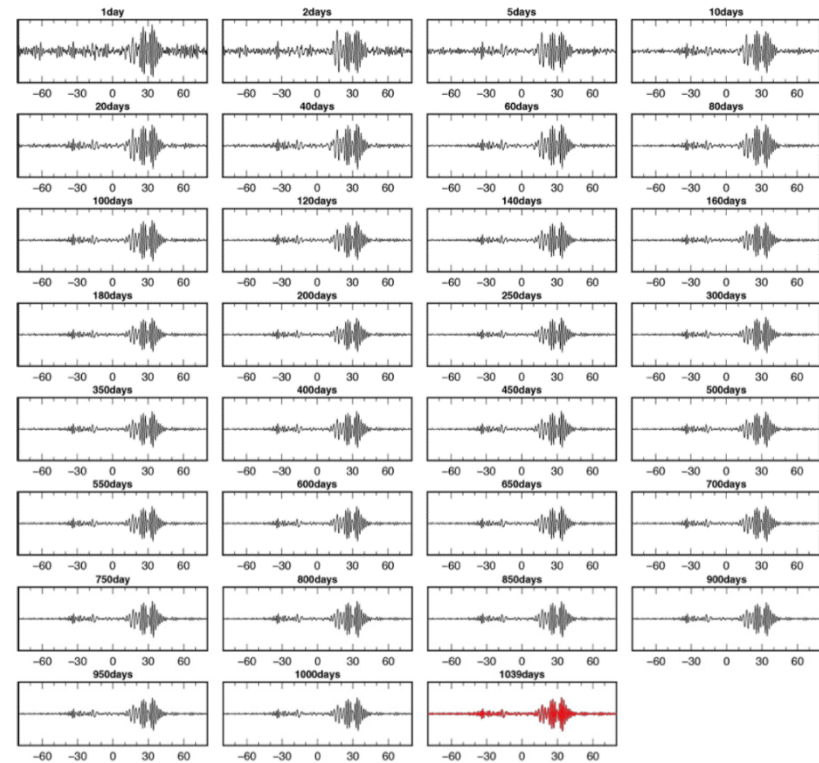
スタック日数による相互相関関数(観測点3-観測点4(UD成分))

※ 相互相関関数の横軸はLag time(s)を示し, 正(+)方向は観測点3から観測点4の方向を, 負(-)方向はその逆方向を示す。

○ スタック日数による相互相関関数(観測点4-観測点5(UD成分))の変化を下図に示す。



微動観測点配置図

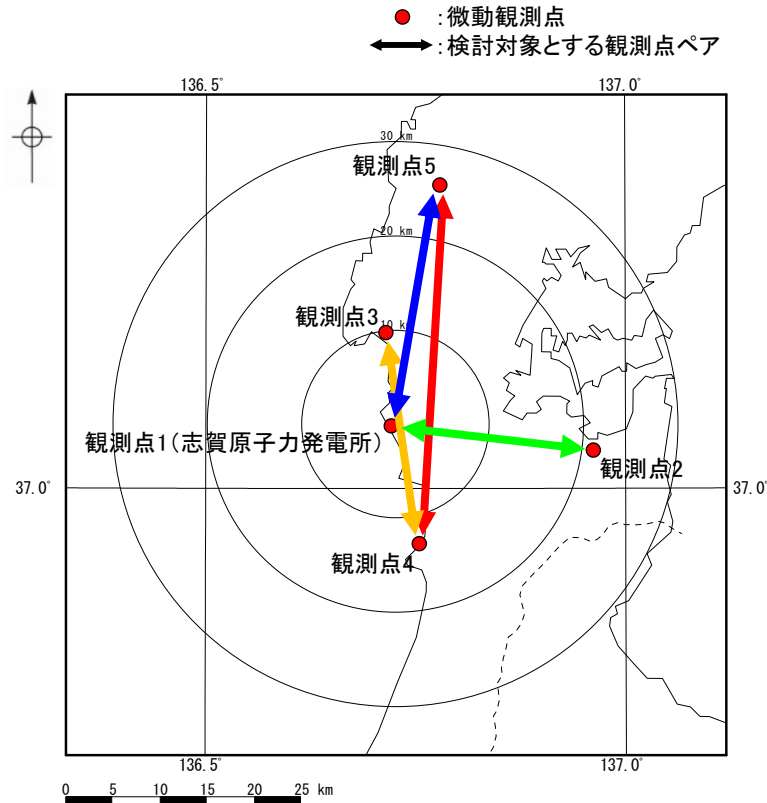


スタック日数による相互相関関数(観測点4-観測点5(UD成分))

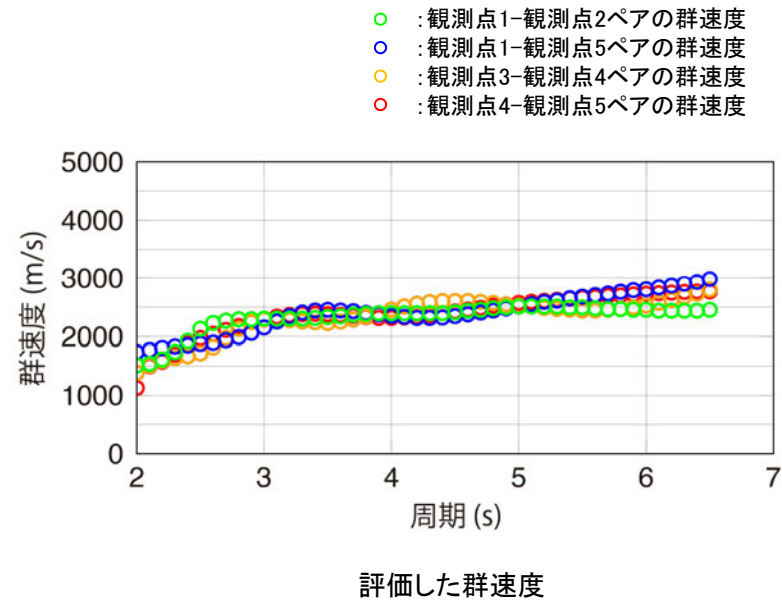
※ 相互相関関数の横軸はLag time(s)を示し, 正(+方向)は観測点5から観測点4の方向を, 負(-方向)はその逆方向を示す。

3.1(2) 検討結果 —群速度の評価結果—

○ 敷地及び敷地周辺の広域における微動観測記録に基づき評価した群速度(4組)は、いずれも同様の分散性を示すことから、敷地及び敷地周辺の地下深部に特異な構造はないと考えられる。



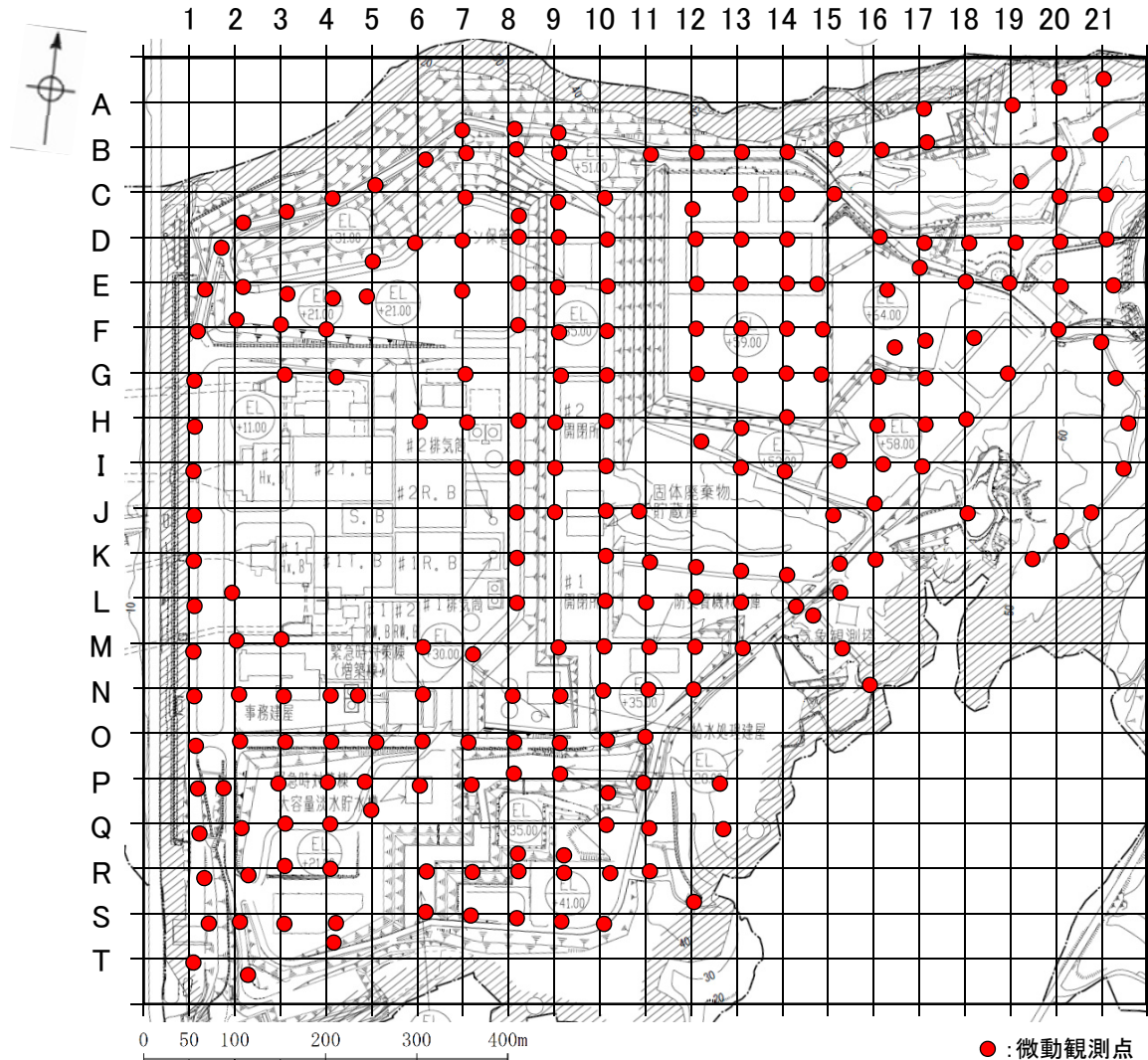
微動観測点配置図



3.2 単点微動観測記録を用いた検討

3.2(1) 検討概要 — 微動観測点配置図 —

○ 敷地の地下深部構造を把握することを目的として、敷地内の232地点(約50m間隔)で単点微動観測を実施し、その観測記録に基づき評価したH/Vスペクトル比の空間分布を確認した。

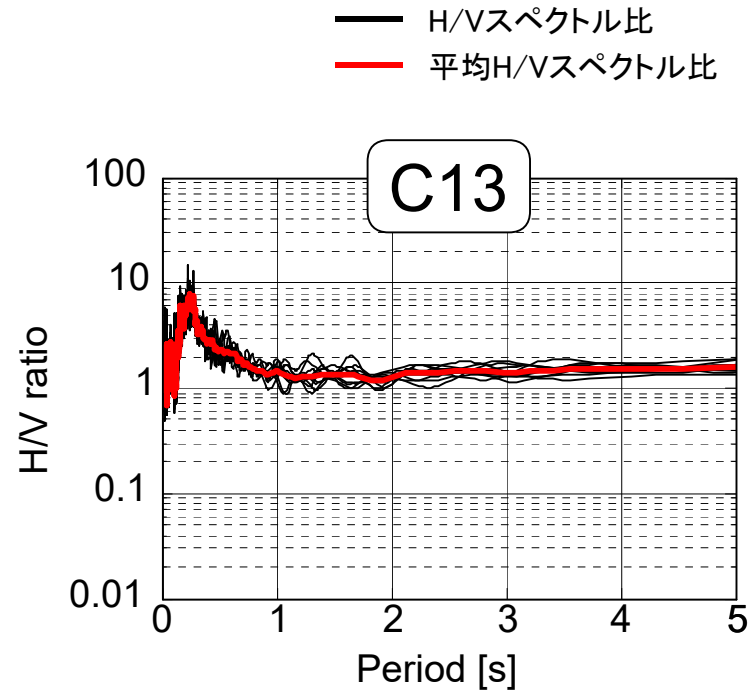


微動観測点配置図

3.2(1) 検討概要 –H/Vスペクトル比の評価方法–

○ H/Vスペクトル比の評価方法を以下に示す。

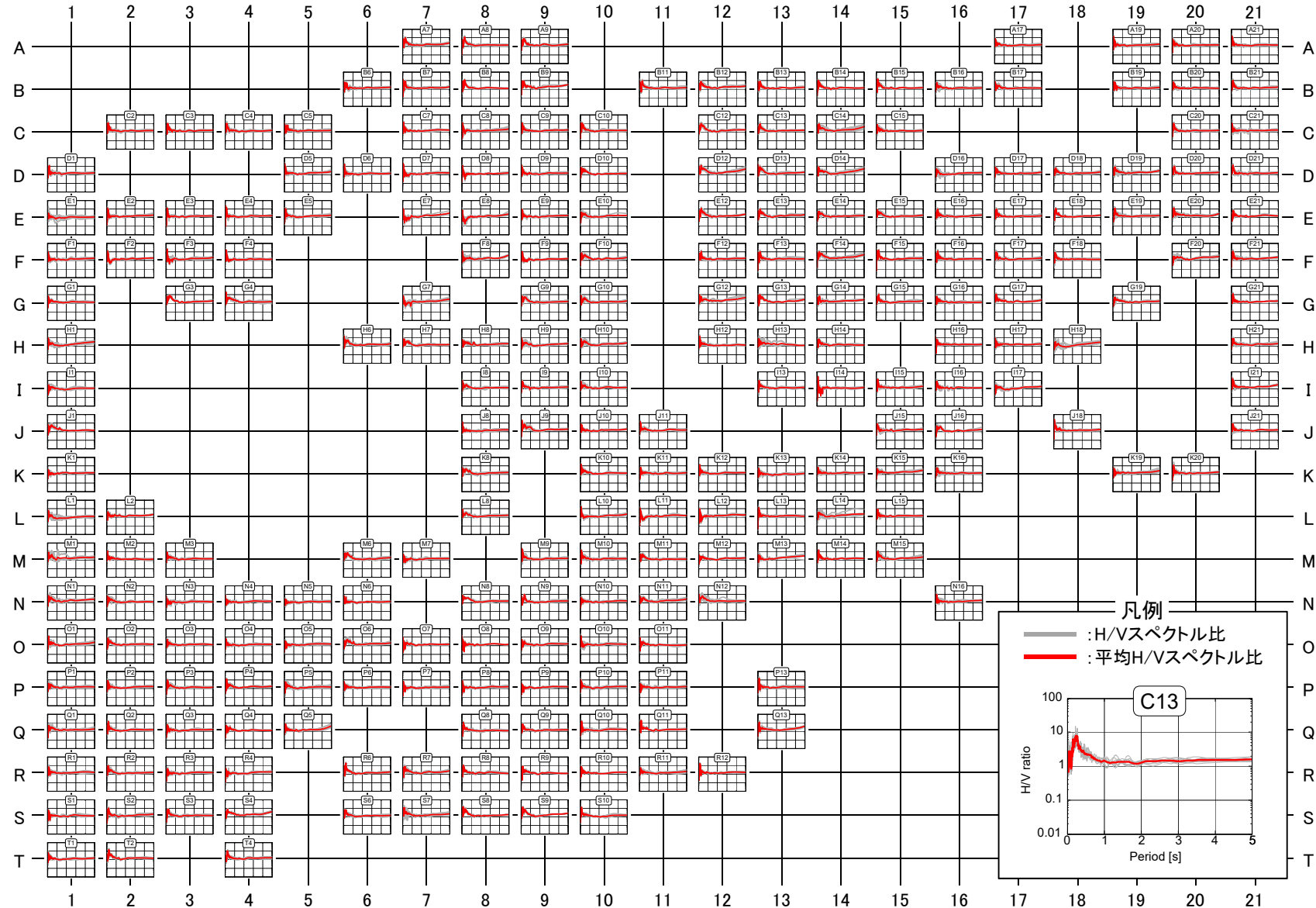
- ① 観測時間は1地点につき16分以上
- ② 観測波形を約82秒ずつラップした約164秒のセグメントに分割
- ③ 各セグメントごとにフーリエ変換を行い、H/Vスペクトル比(0.1HzのParzenウィンドウを用いて平滑化)を算定
- ④ 各セグメントごとのH/Vスペクトル比の残差を計算し、残差の小さいスペクトルを複数選定し、それらを相乗平均



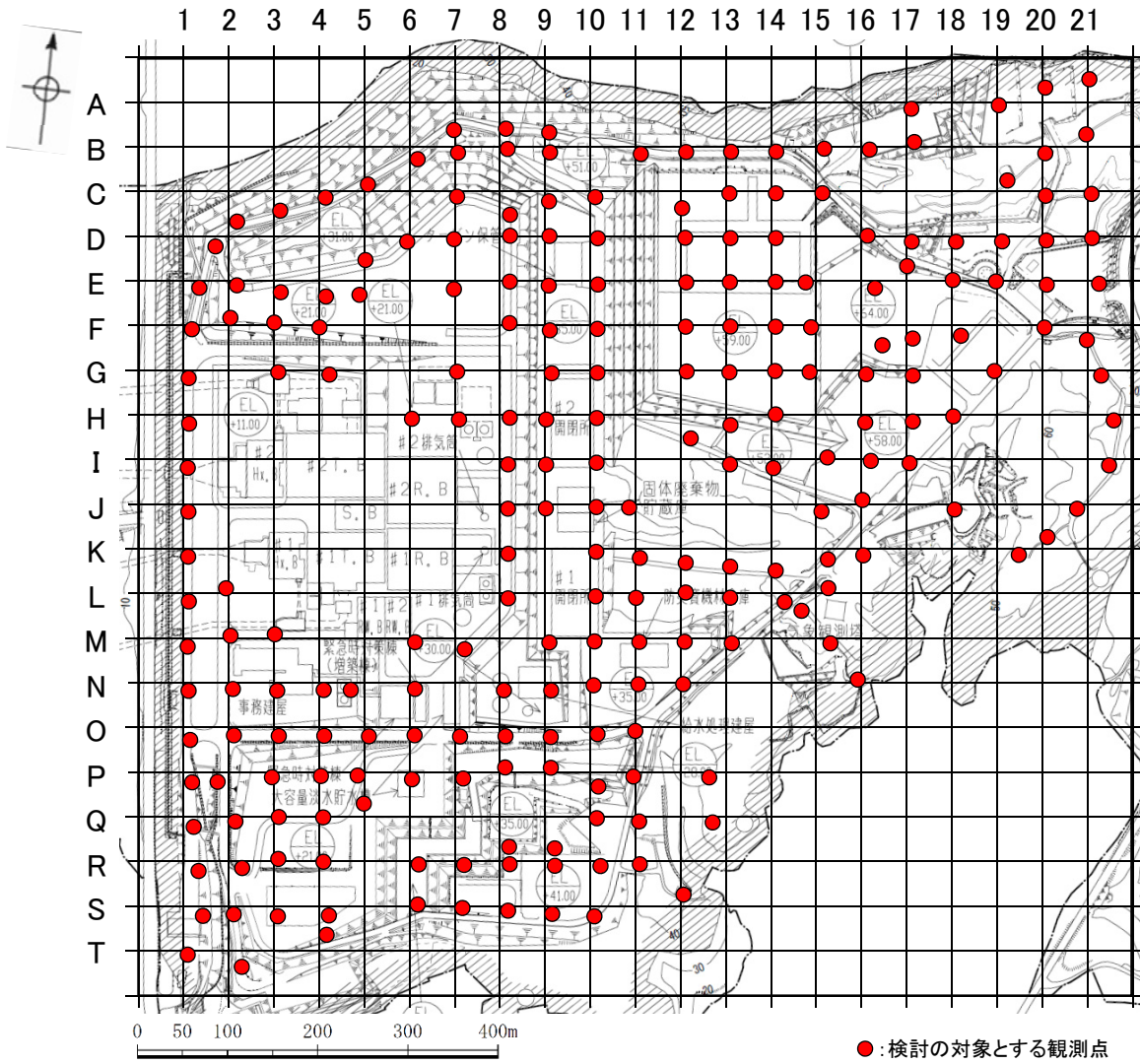
H/Vスペクトル比(C13観測点の例)

3.2(2) 検討結果 —H/Vスペクトル比の空間分布—

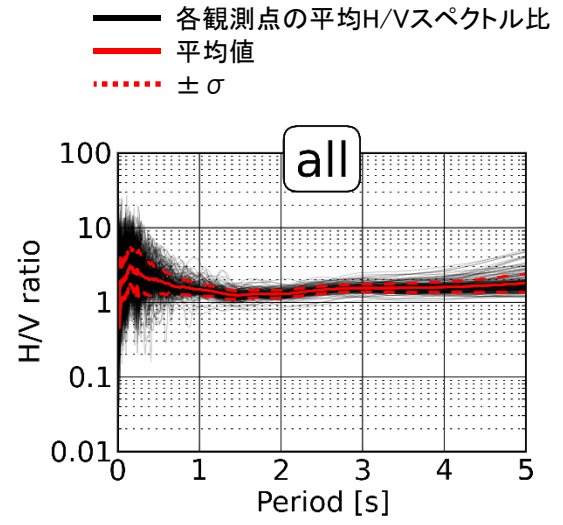
○ 短周期側は観測点により変動が見られるが、長周期側は全体的に平坦な形状であり明瞭なピークは認められないことから、敷地の地下深部に特異な構造はないと考えられる。



H/Vスペクトル比の空間分布



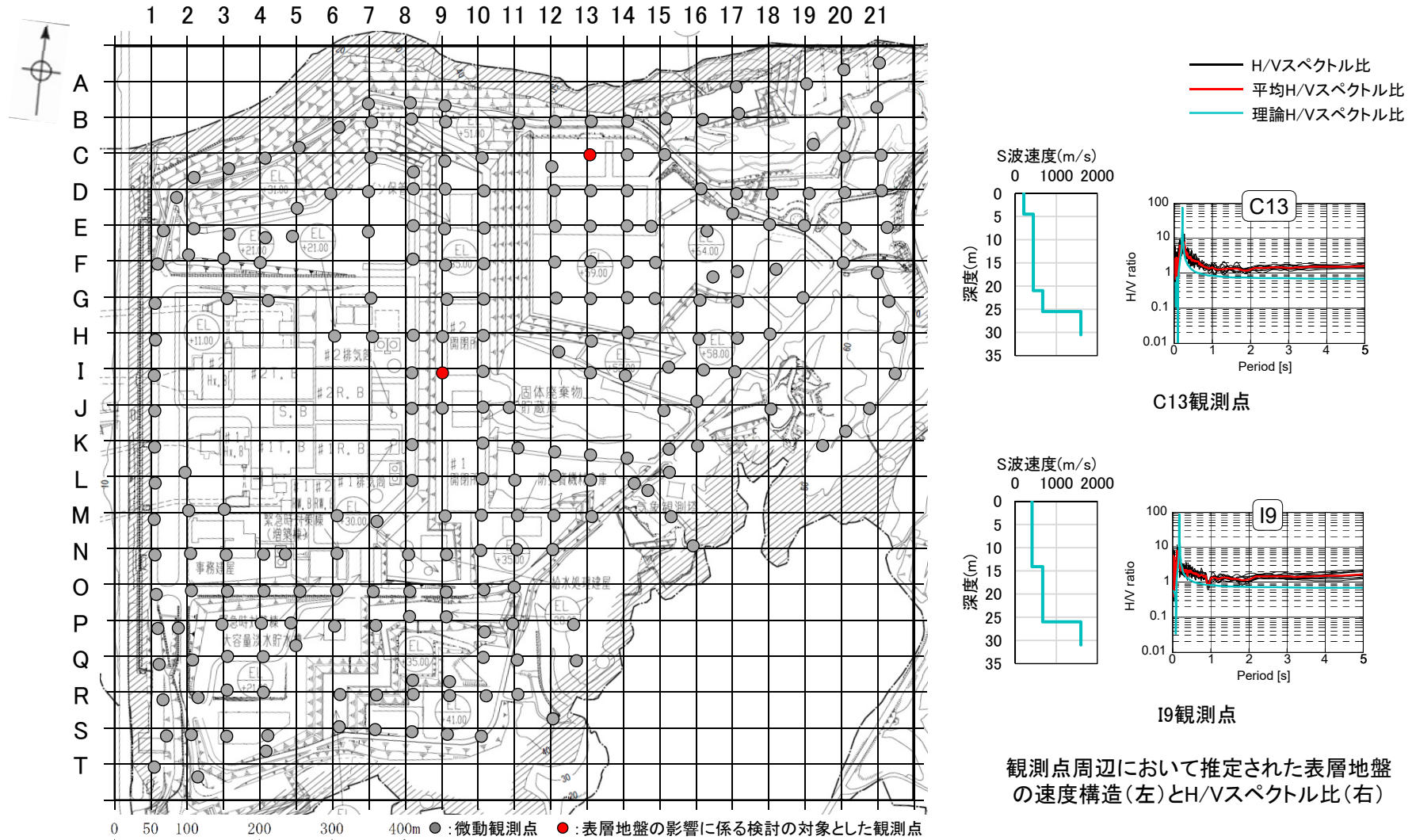
微動観測点配置図



各観測点の平均H/Vスペクトル比と
それらの平均値及び±σ

3.2(2) 検討結果 — 表層地盤の影響に係る検討 —

○ 短周期側は観測点により変動が見られることから、観測点周辺の表層地盤の速度構造が推定されている観測点のうちH/Vスペクトル比の短周期側に明瞭なピークが見られる観測点について、表層地盤の速度構造に基づき理論的に評価したH/Vスペクトル比と比較した。その結果、短周期側のピーク形状は理論的に評価したH/Vスペクトル比と同様な傾向を示しており、H/Vスペクトル比の短周期側は表層地盤の影響を受けているものと考えられる。



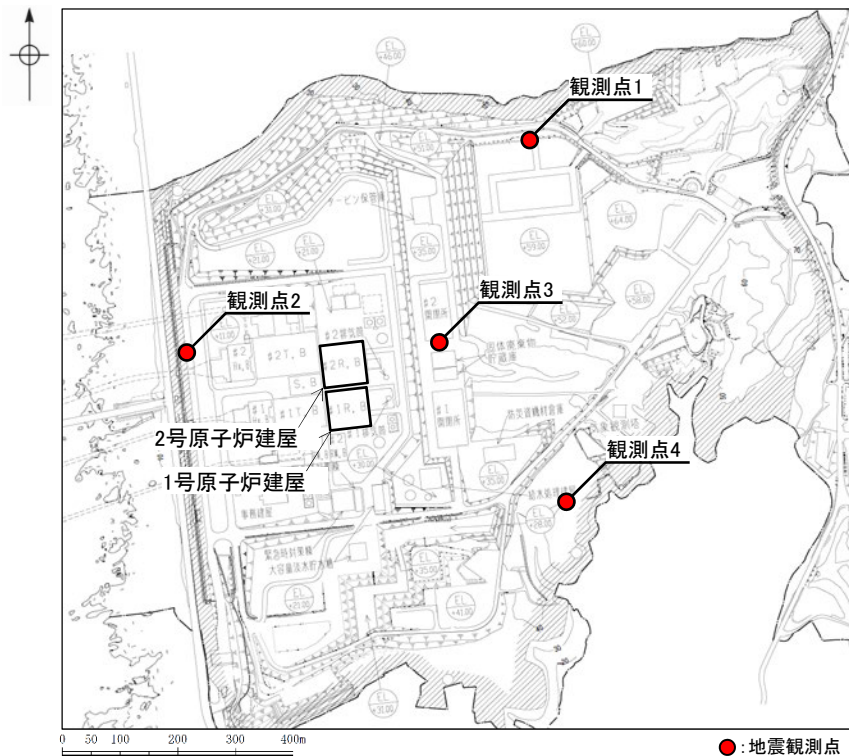
表層地盤の影響に係る検討の対象とした観測点の配置図

※表層地盤の速度構造は、水平アレー地震観測点周辺において実施した半径数m程度の三角形アレーを複数配置した微動アレー探索により推定した。(3.3節)

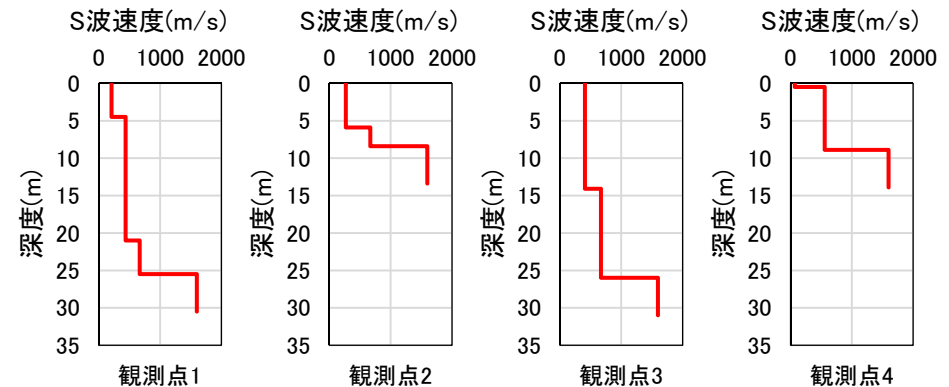
3.3 水平アレー地震観測記録を用いた検討

3.3 水平アレー地震観測記録を用いた検討 — 検討概要 —

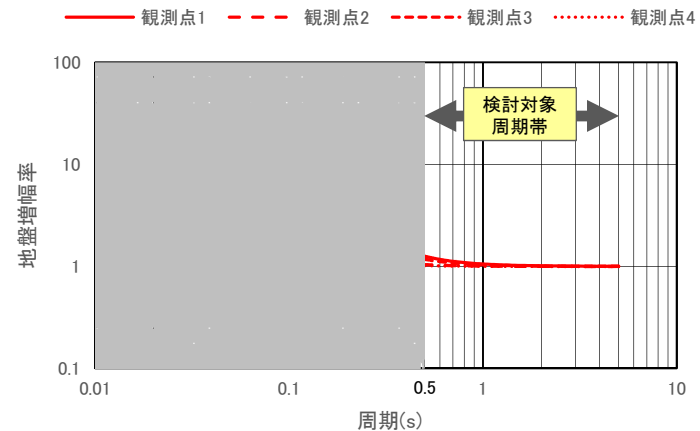
- 敷地の全体的な地震動の空間分布を把握するため、敷地内の水平アレー地震観測点(地表)の地震観測記録を用いて、各観測点の応答スペクトルを比較した。また、地震の到来方向による違いを確認するため、観測点間の応答スペクトル比を地震の到来方向ごとに比較した。
- 本検討において対象とする周期帯は、各観測点の表層地盤やノイズによる影響が小さいと考えられる周期0.5秒以上とした。



水平アレー地震観測点配置図



各観測点の表層地盤の速度構造



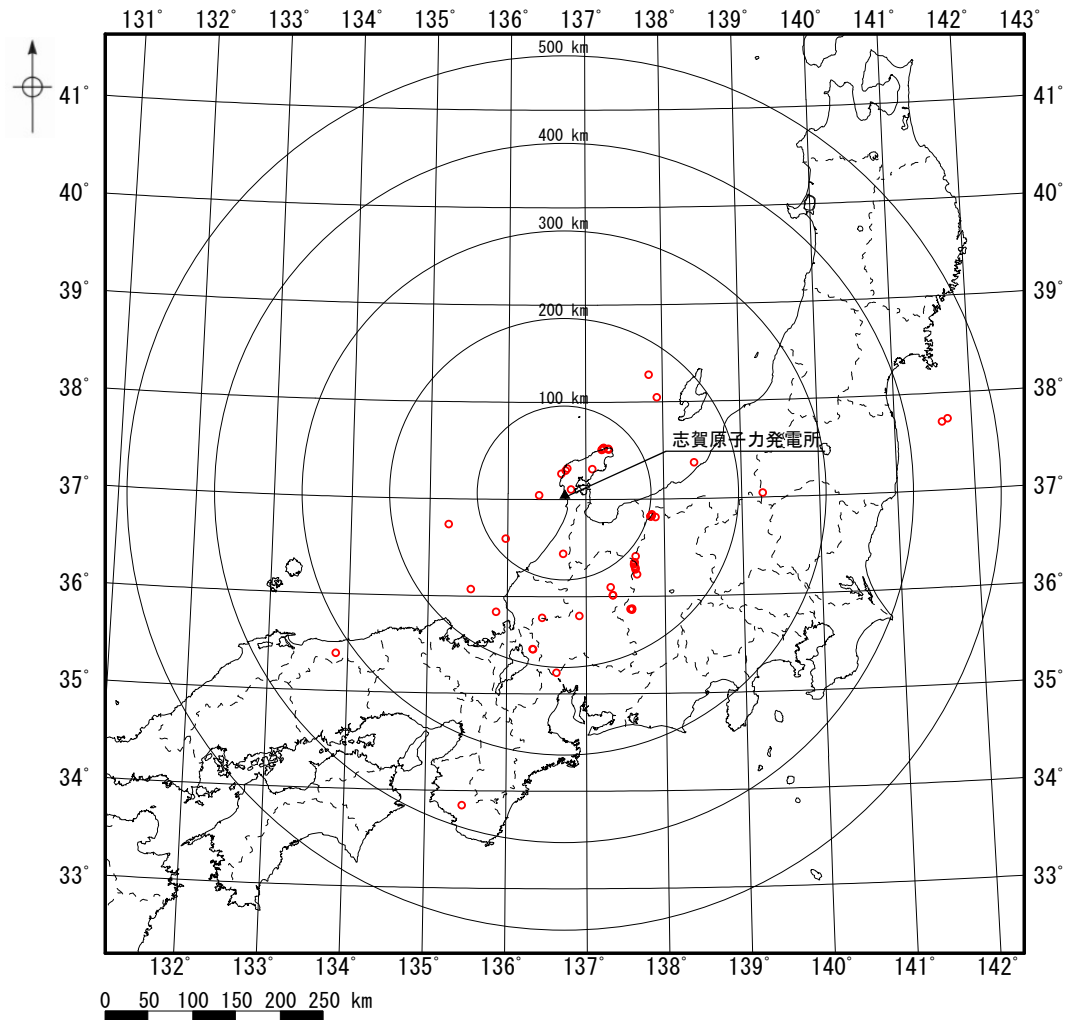
各観測点の表層地盤の地盤増幅率※

※ 各観測点の表層地盤の地盤増幅率は、各観測点において推定した表層地盤の速度構造により算定した。表層地盤の速度構造は、観測点周辺において半径数m程度の三角形アレー等を複数配置した微動アレー探査により推定した。

3.3.1 各観測点の応答スペクトルの比較

3.3.1(1) 検討の対象とした地震

○ 検討の対象とした地震は、全ての観測点において同時に観測された地震とした。



検討の対象とした地震の震央分布図

○ 検討の対象とした地震の諸元を下表に示す。

検討の対象とした地震の諸元

No.	震源情報						震央距離 (km)	震央の方位
	日付	時刻	北緯 (°)	東経 (°)	深さ (km)	M		
1	2016/02/03	21:28	36.4062	137.6380	0.00	4.4	109.1	東
2	2016/03/07	05:58	35.8363	135.8663	12.59	3.9	156.2	南
3	2016/05/23	19:03	36.8070	137.8983	2.77	3.3	108.1	東
4	2016/06/23	12:59	35.7768	136.4485	8.81	3.4	144.7	南
5	2016/06/25	13:51	36.8182	137.8323	0.00	4.8	102.1	東
6	2016/06/27	03:28	36.8203	137.8392	0.00	3.4	102.6	東
7	2016/06/27	19:48	36.8172	137.8400	0.00	3.3	102.8	東
8	2016/06/27	20:11	36.8180	137.8370	0.00	2.9	102.5	東
9	2016/06/29	04:30	36.8158	137.8325	0.00	3.3	102.2	東
10	2016/07/01	08:04	36.8227	137.8457	0.00	4.6	103.1	東
11	2016/07/15	02:29	36.7330	135.2505	21.15	3.7	136.5	西
12	2016/08/20	08:14	37.2592	136.6910	8.17	3.9	22.2	北
13	2016/09/03	08:29	36.8362	137.8515	0.00	3.4	103.2	東
14	2016/09/26	04:01	38.2747	137.8308	30.89	4.0	166.3	北
15	2016/10/21	14:07	35.3805	133.8562	10.61	6.6	318.4	西
16	2016/11/15	01:46	37.3063	137.0903	8.68	2.8	42.2	東
17	2016/11/19	11:48	33.8427	135.4635	51.35	5.4	375.0	南
18	2016/12/06	09:05	36.0078	137.3443	5.11	4.5	129.3	南
19	2017/01/10	06:52	35.7957	136.9197	9.83	3.8	141.4	南
20	2017/01/17	15:53	36.5885	135.9817	21.79	3.6	84.6	西
21	2017/03/05	08:53	36.0072	137.3463	6.00	3.1	129.4	南
22	2017/04/01	19:43	37.3132	136.7688	5.11	3.6	28.3	北
23	2017/05/27	22:50	36.0662	135.5433	17.16	5.1	153.0	南
24	2017/06/25	07:02	35.8680	137.5865	6.66	5.6	153.2	南
25	2017/06/25	09:24	35.8635	137.5668	5.90	4.5	152.7	南
26	2017/06/25	15:17	35.8568	137.5843	6.60	4.7	154.1	南
27	2017/08/13	07:14	37.0970	136.8145	3.75	1.7	8.8	東
28	2017/09/08	12:42	37.2918	136.7457	7.11	3.6	25.7	北
29	2020/10/19	03:27	35.2118	136.6313	41.94	4.1	205.3	南
30	2020/11/29	17:15	36.4340	136.7155	8.65	2.5	69.6	南
31	2020/12/28	03:15	37.0360	136.4037	9.77	3.6	28.9	西
32	2021/02/13	23:07	37.7288	141.6985	55.38	7.3	446.4	東
33	2021/03/11	19:57	36.2198	137.6533	3.73	4.3	124.8	南
34	2021/07/17	18:07	36.3243	137.6155	2.57	4.3	114.0	南
35	2021/07/18	18:50	37.0382	139.2767	3.50	4.7	226.8	東
36	2021/07/24	15:11	38.0403	137.9325	18.18	3.7	152.2	北
37	2021/07/26	21:20	37.5027	137.2107	12.66	2.7	65.2	北
38	2021/07/27	17:31	36.0902	137.3172	10.42	3.2	120.0	南
39	2021/08/08	01:42	37.5112	137.2197	13.39	2.9	66.4	北
40	2021/08/14	22:38	37.5088	137.2230	13.50	4.2	66.4	北
41	2021/08/16	05:03	35.4510	136.3343	13.00	4.6	182.1	南
42	2021/08/16	08:17	35.4552	136.3303	13.33	4.4	181.7	南
43	2021/08/21	16:40	37.5163	137.2388	13.17	3.7	68.0	北
44	2021/09/16	18:42	37.5053	137.3008	13.12	5.1	70.9	東
45	2021/09/19	17:18	36.3455	137.6247	0.00	5.3	112.9	南
46	2021/09/19	17:19	36.3415	137.6198	0.99	4.9	112.9	南
47	2021/09/19	18:59	36.3033	137.6253	3.17	4.4	116.3	南
48	2021/09/19	19:04	36.2872	137.6323	4.02	4.7	118.0	南
49	2021/09/24	18:48	37.3658	138.4017	16.18	4.1	152.5	東
50	2021/09/27	19:54	36.2715	137.6327	4.37	4.3	119.3	南

No.	震源情報						震央距離 (km)	震央の方位
	日付	時刻	北緯 (°)	東経 (°)	深さ (km)	M		
51	2022/03/08	01:58	37.5248	137.2372	13.51	4.8	68.6	北
52	2022/03/16	23:36	37.6967	141.6230	56.61	7.4	439.3	東
53	2022/03/23	09:23	37.5150	137.2987	13.82	4.3	71.5	東
54	2022/04/04	10:26	37.5172	137.2262	13.92	4.3	67.3	北

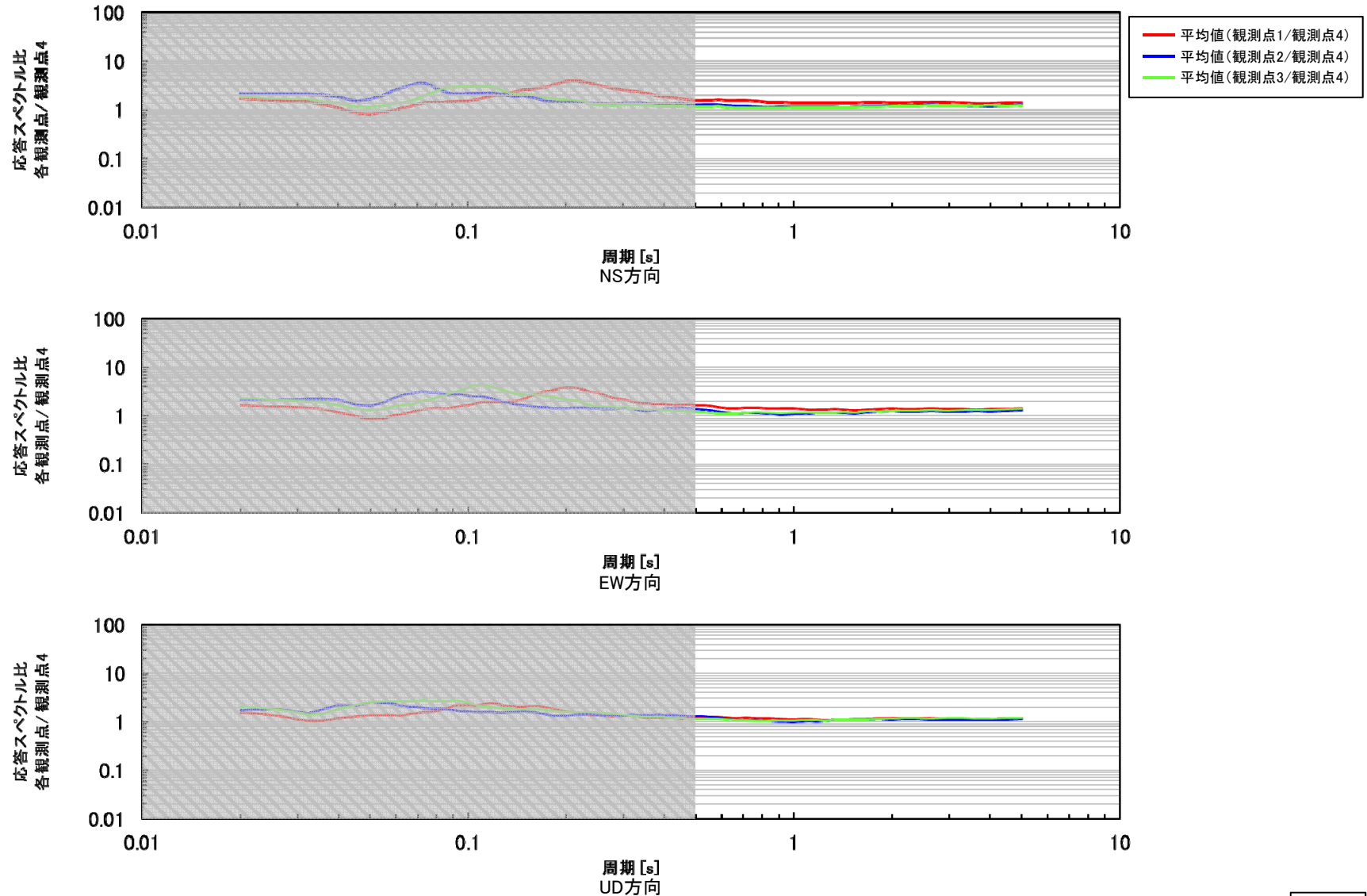
※観測点3のNS方向のNo.3～12およびEW方向のNo.29, 32～33, 43～48, 53～54については、地震記録が適切に得られなかったことから検討対象外とした。

※震央の方位は志賀原子力発電所から震央位置を望む方位を示す。

※検討に用いた各地震の加速度時刻歴波形及び応答スペクトルはデータ集P.140～193。

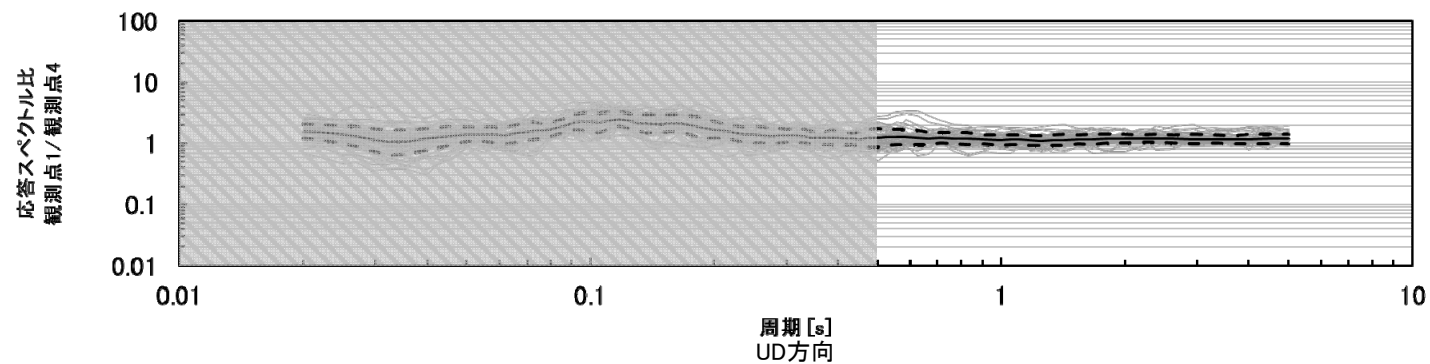
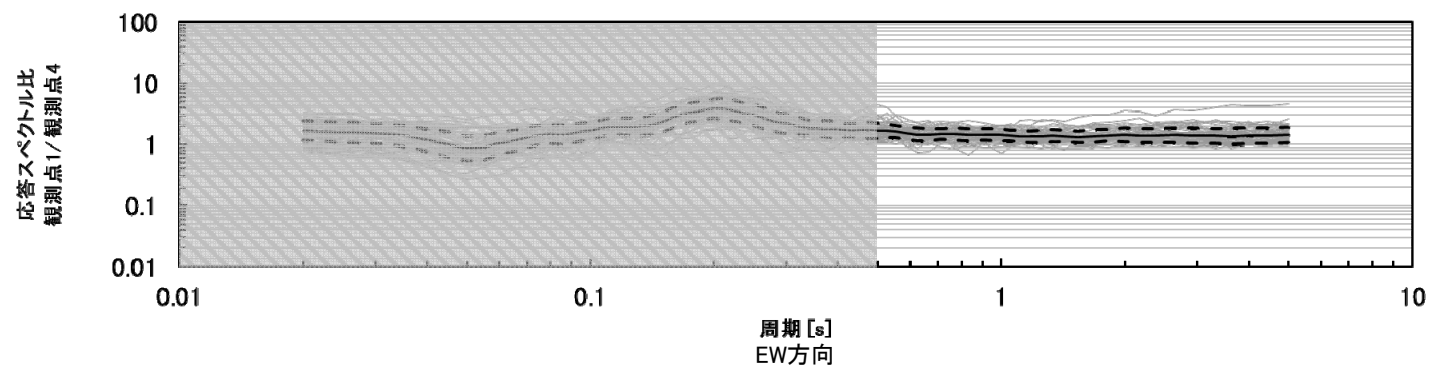
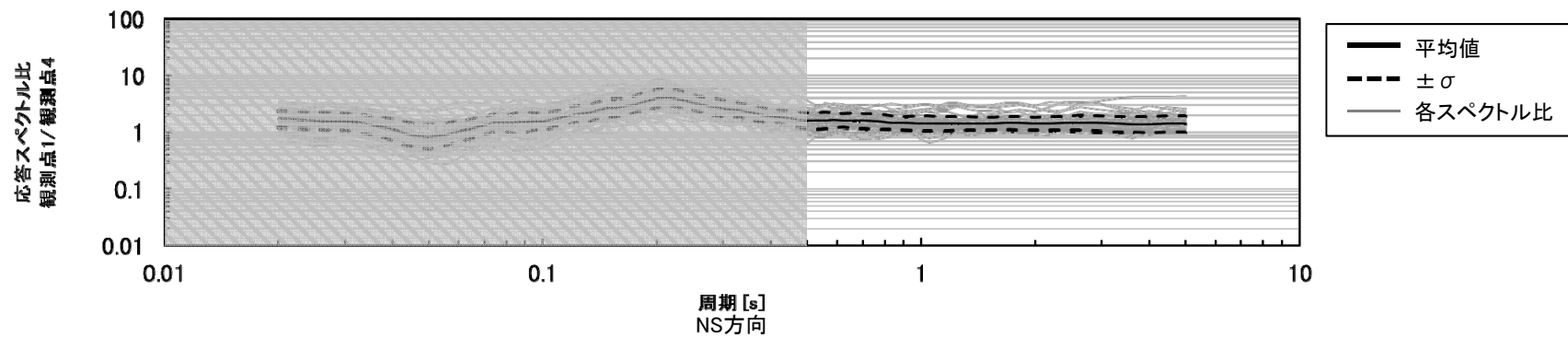
3.3.1(2) 検討結果

○ 観測点4に対する各観測点の応答スペクトル比を評価した結果、検討対象とした周期帯(周期0.5秒以上)において応答スペクトル比は概ね1程度であることから、敷地の地下構造に特異な構造はないと考えられる。



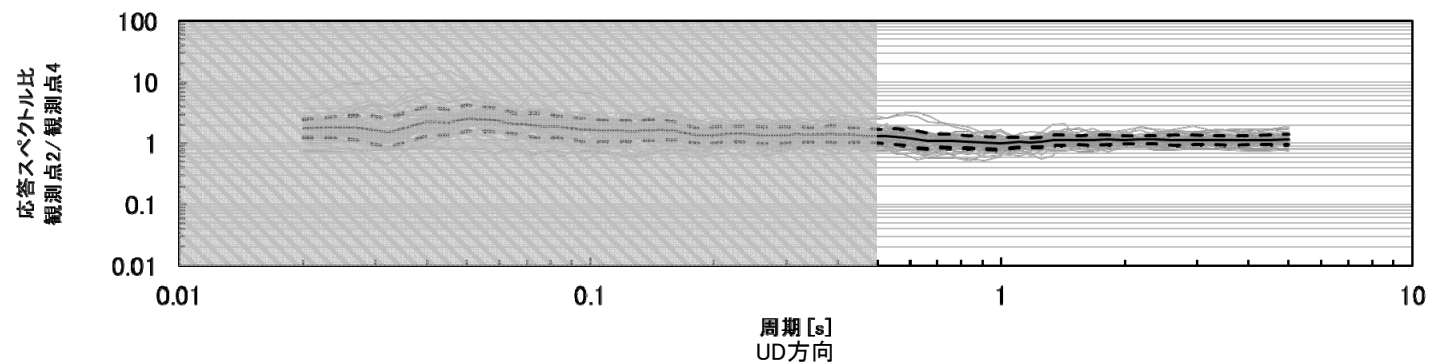
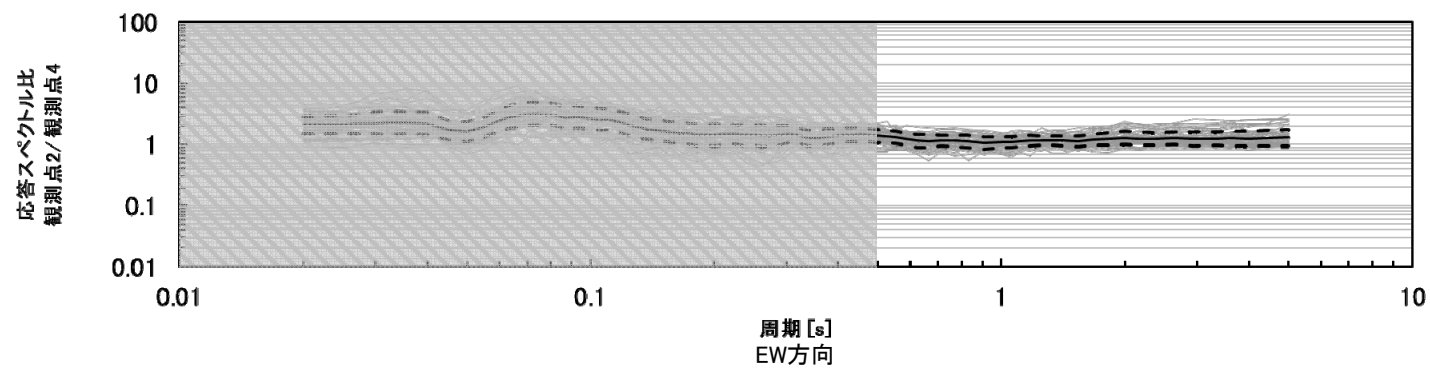
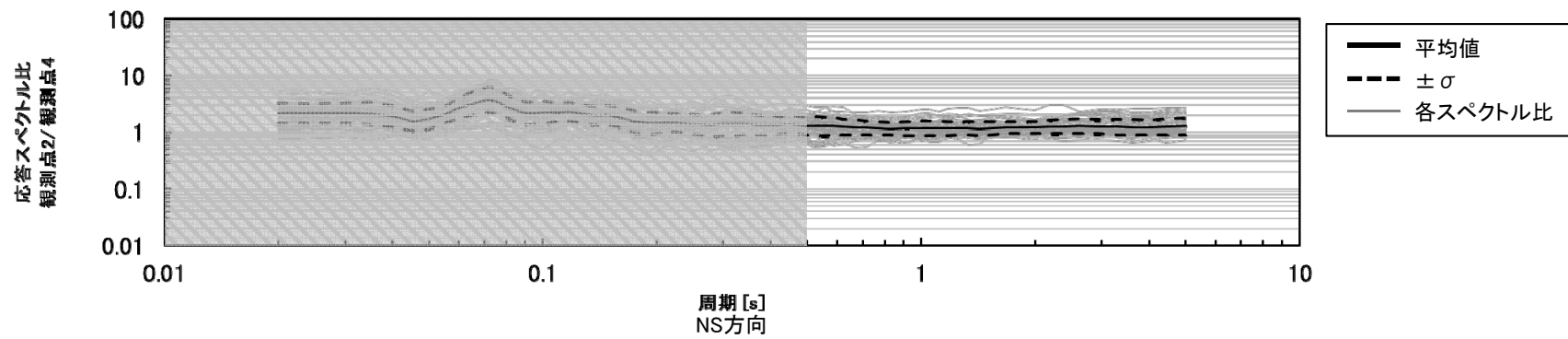
※灰色ハッチング箇所は検討対象外の周期帯を示す。

観測点4に対する各観測点の応答スペクトル比



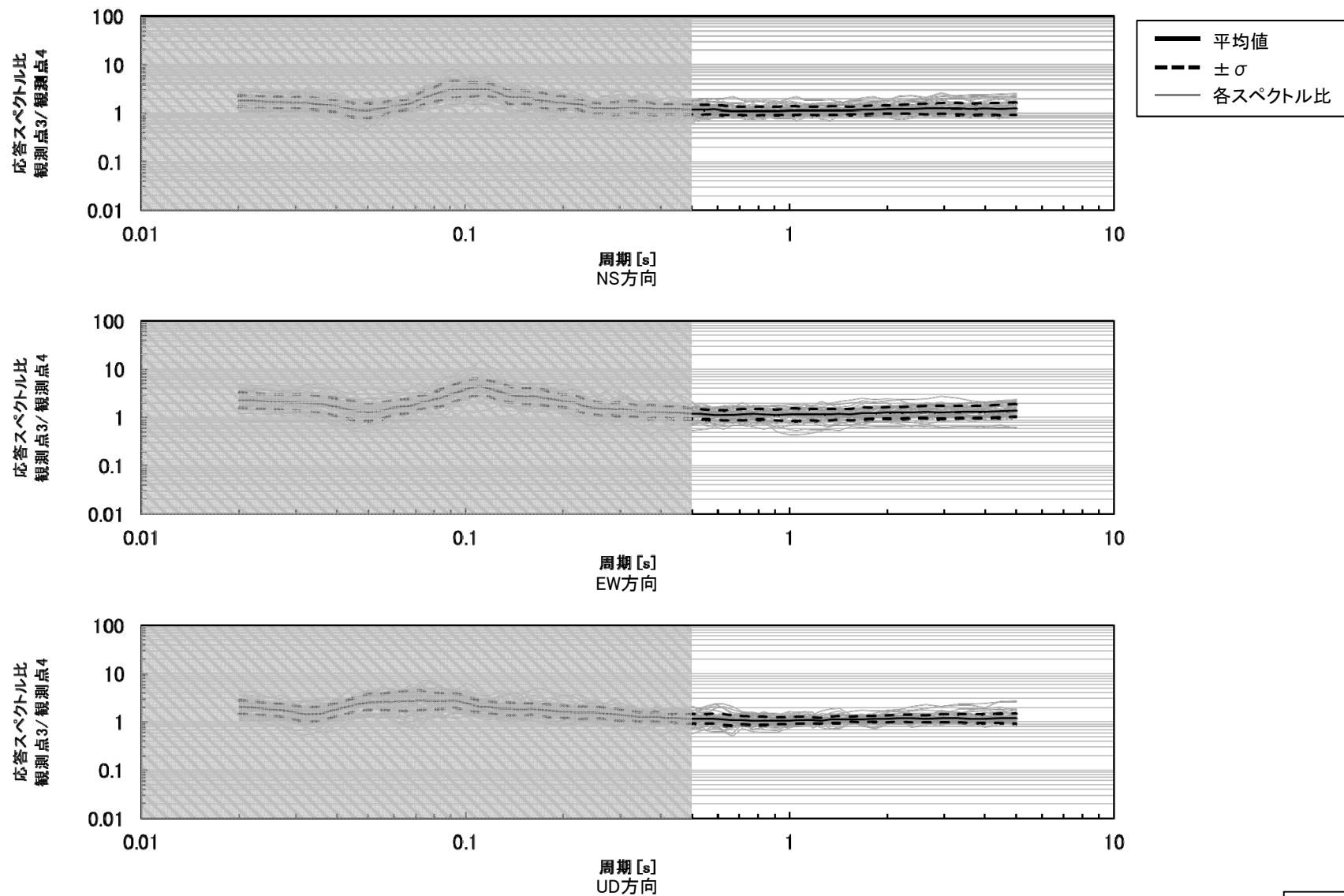
応答スペクトル比(観測点1/観測点4)

※灰色ハッチング箇所は検討対象外の周期帯を示す。



応答スペクトル比(観測点2/観測点4)

※灰色ハッチング箇所は検討対象外の周期帯を示す。

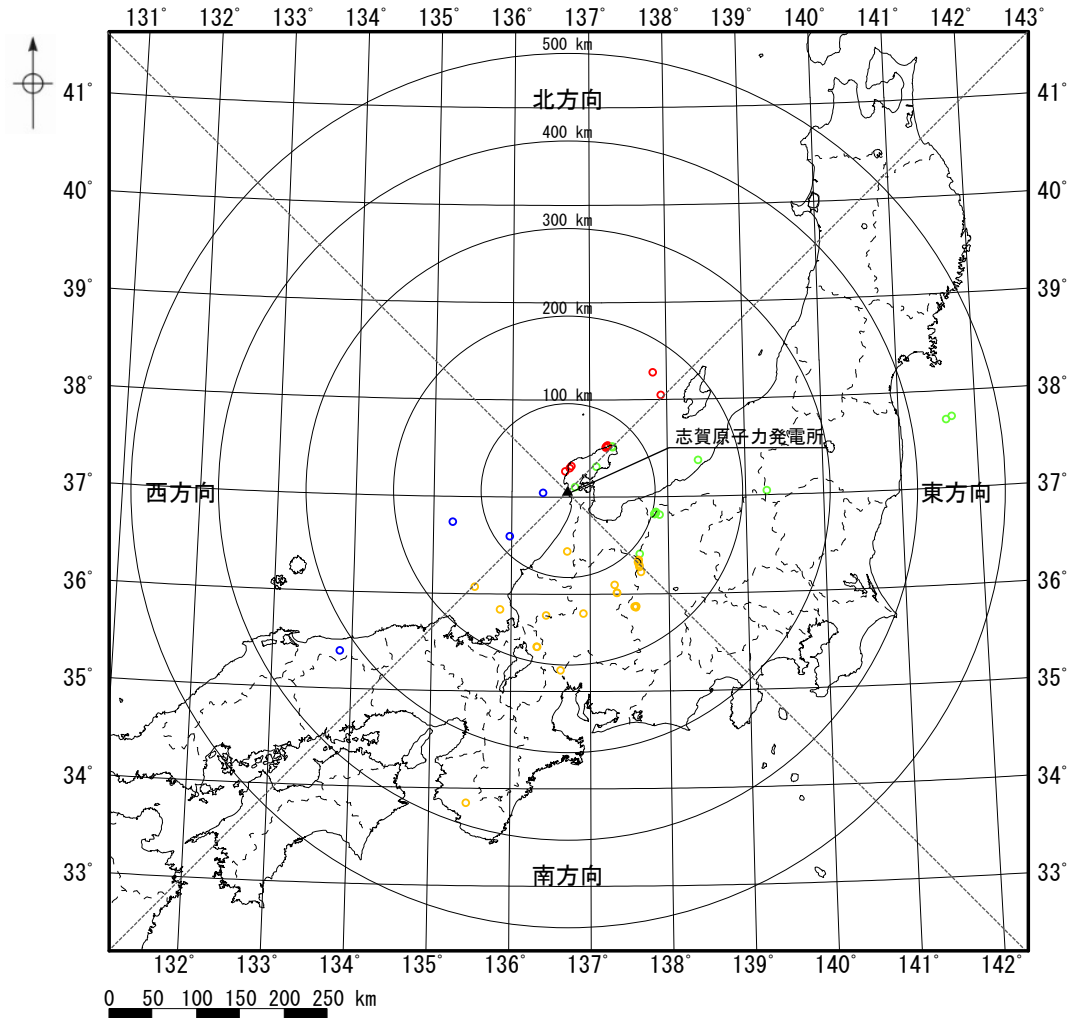


※灰色ハッチング箇所は検討対象外の周期帯を示す。

3.3.2 観測点間における応答スペクトル比の地震の到来方向ごとの比較

3.3.2(1) 検討の対象とした地震

○ 検討の対象とした地震は, 3.3.1項と同様に, 全ての観測点において同時に観測された地震とした。

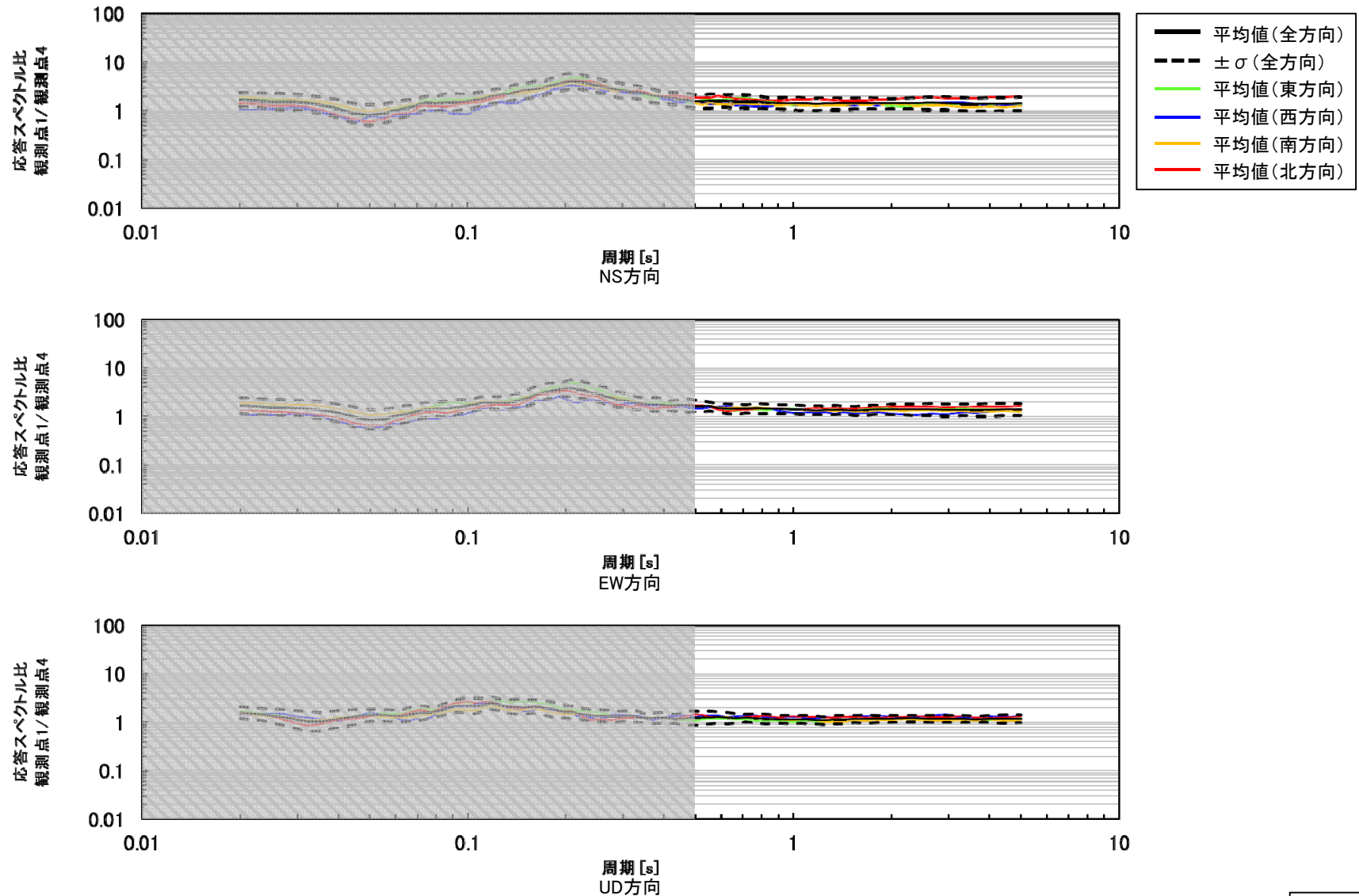


地震の到来方向	検討に用いる地震数
東方向	17個
西方向	4個
南方向	22個
北方向	11個
全方向	54個

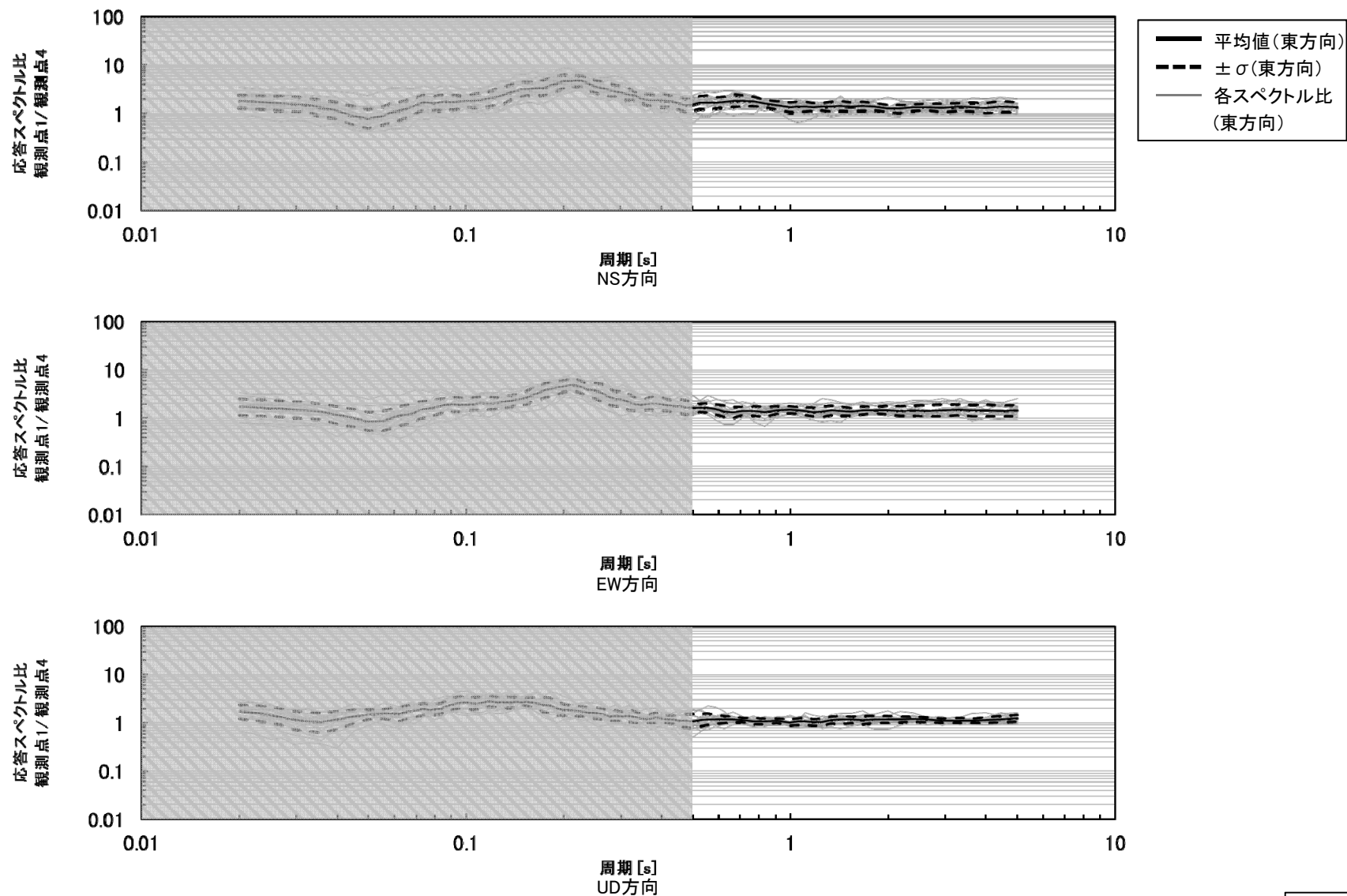
検討の対象とした地震の震央分布図

3.3.2(2) 検討結果 —観測点1/観測点4—

○ 観測点4に対する観測点1の応答スペクトル比を地震の到来方向ごとに比較した結果、検討対象とした周期帯(周期0.5秒以上)において応答スペクトル比は地震の到来方向による顕著な違いはなく、そのばらつきは小さいことから、敷地の地下構造に特異な構造はないと考えられる。

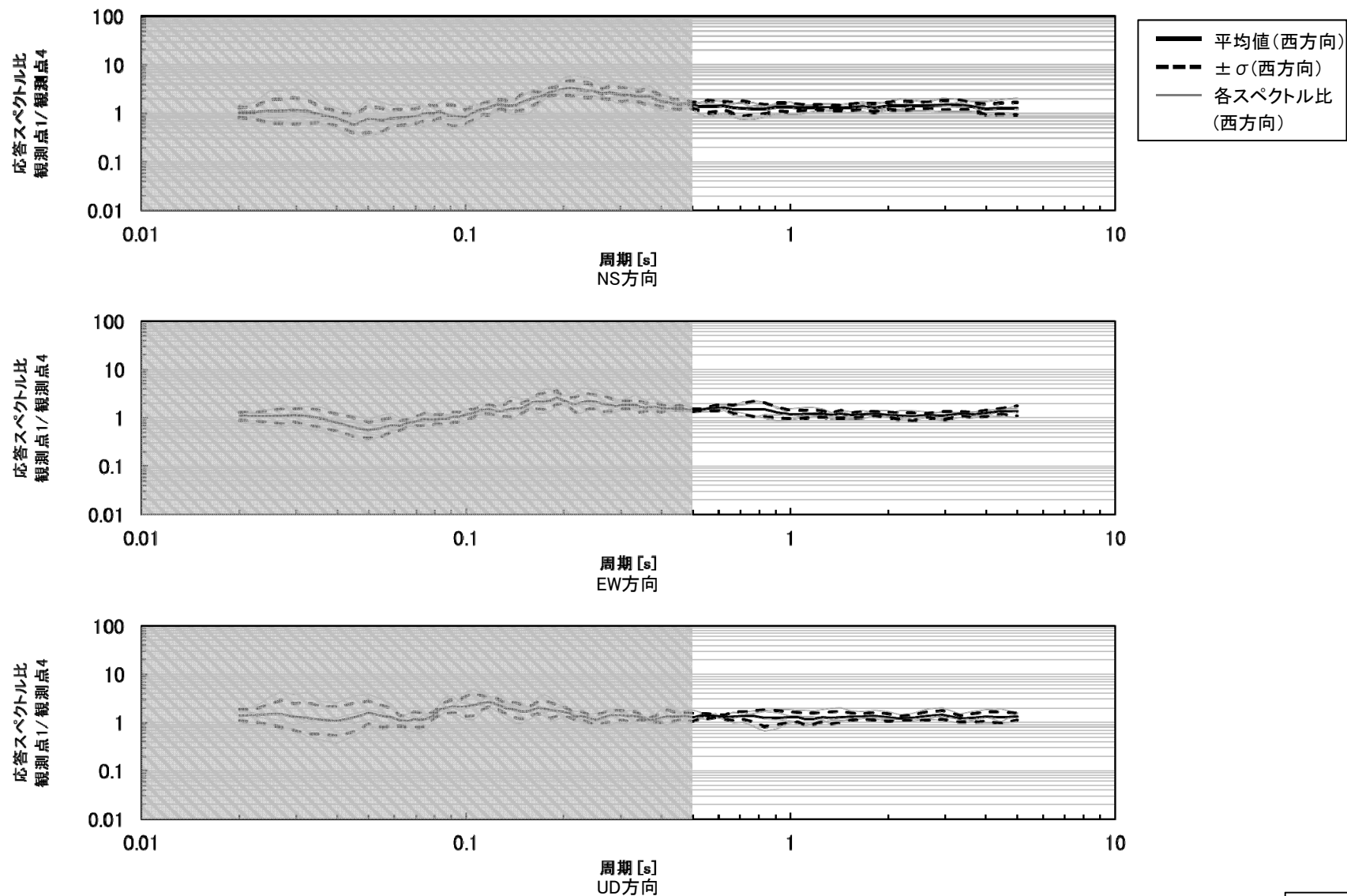


※灰色ハッチング箇所は検討対象外の周期帯を示す。 応答スペクトル比(観測点1/観測点4)の地震の到来方向ごとの比較



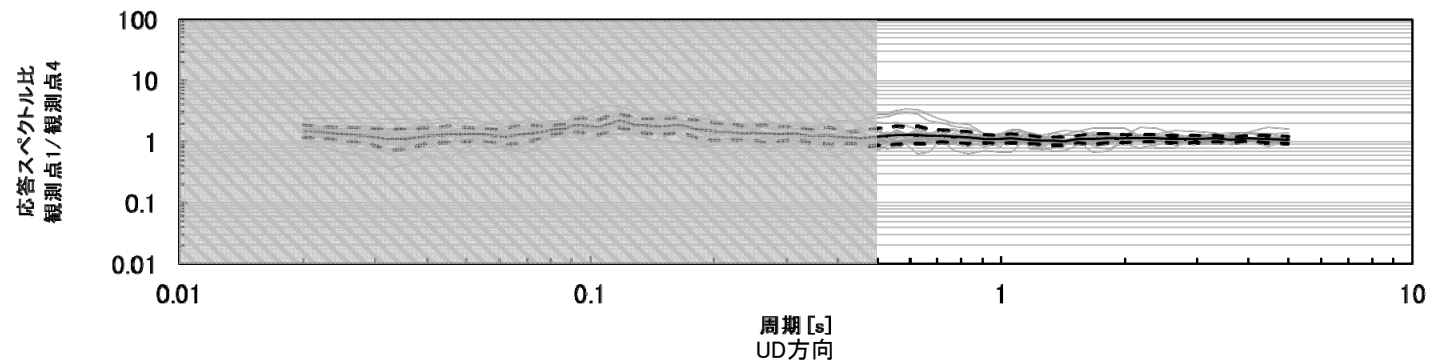
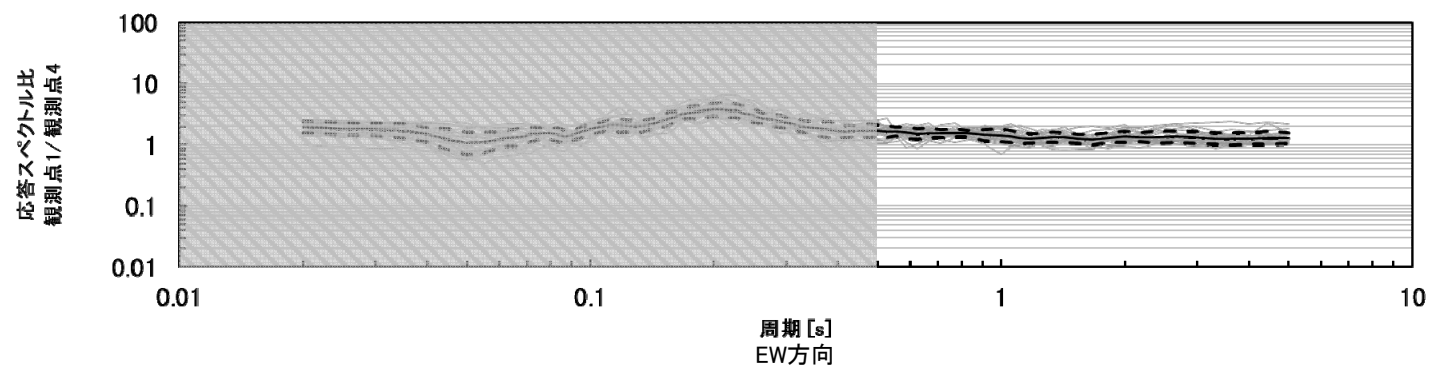
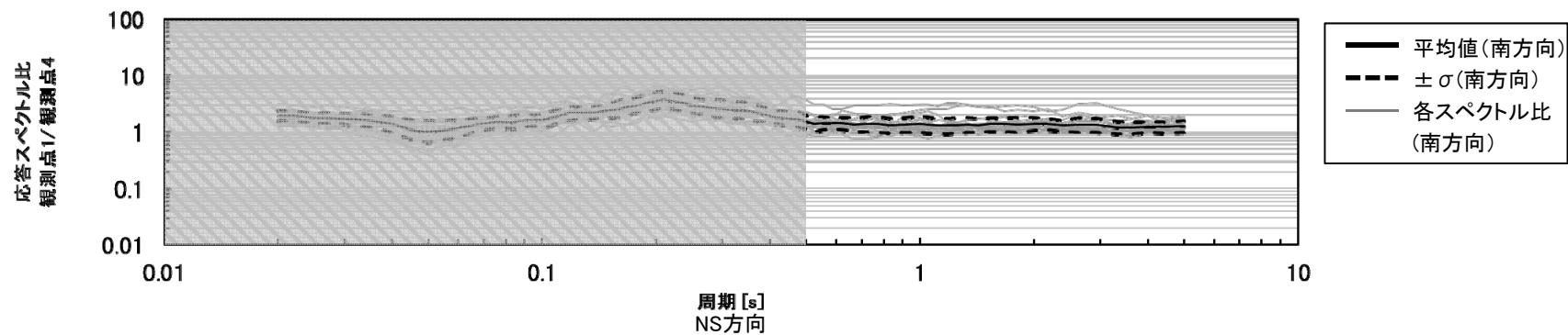
※灰色ハッチング箇所は検討対象外の周期帯を示す。

応答スペクトル比(観測点1/観測点4) (東方向)



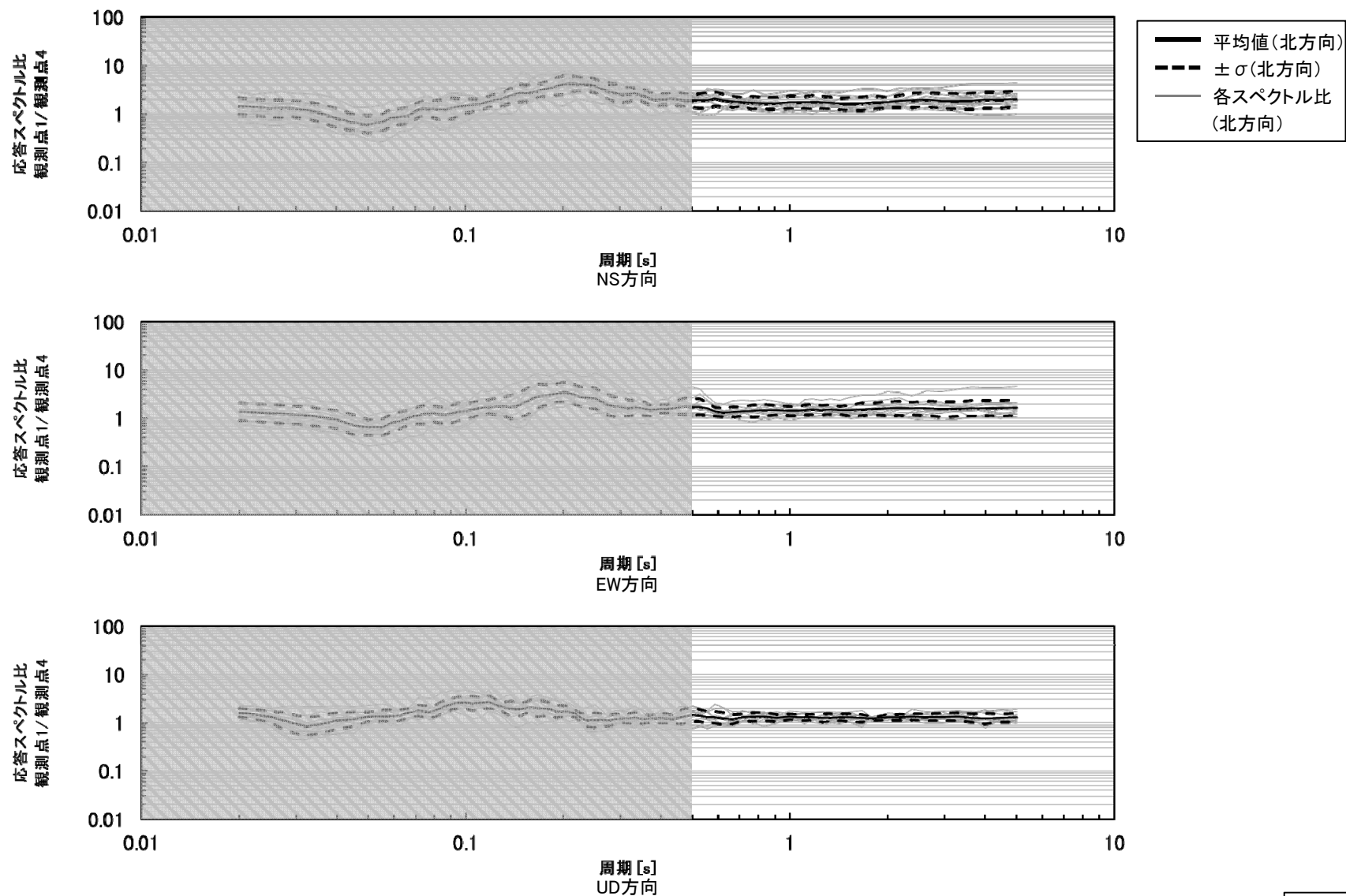
※灰色ハッチング箇所は検討対象外の周期帯を示す。

応答スペクトル比(観測点1/観測点4) (西方向)



※灰色ハッチング箇所は検討対象外の周期帯を示す。

応答スペクトル比(観測点1/観測点4) (南方向)

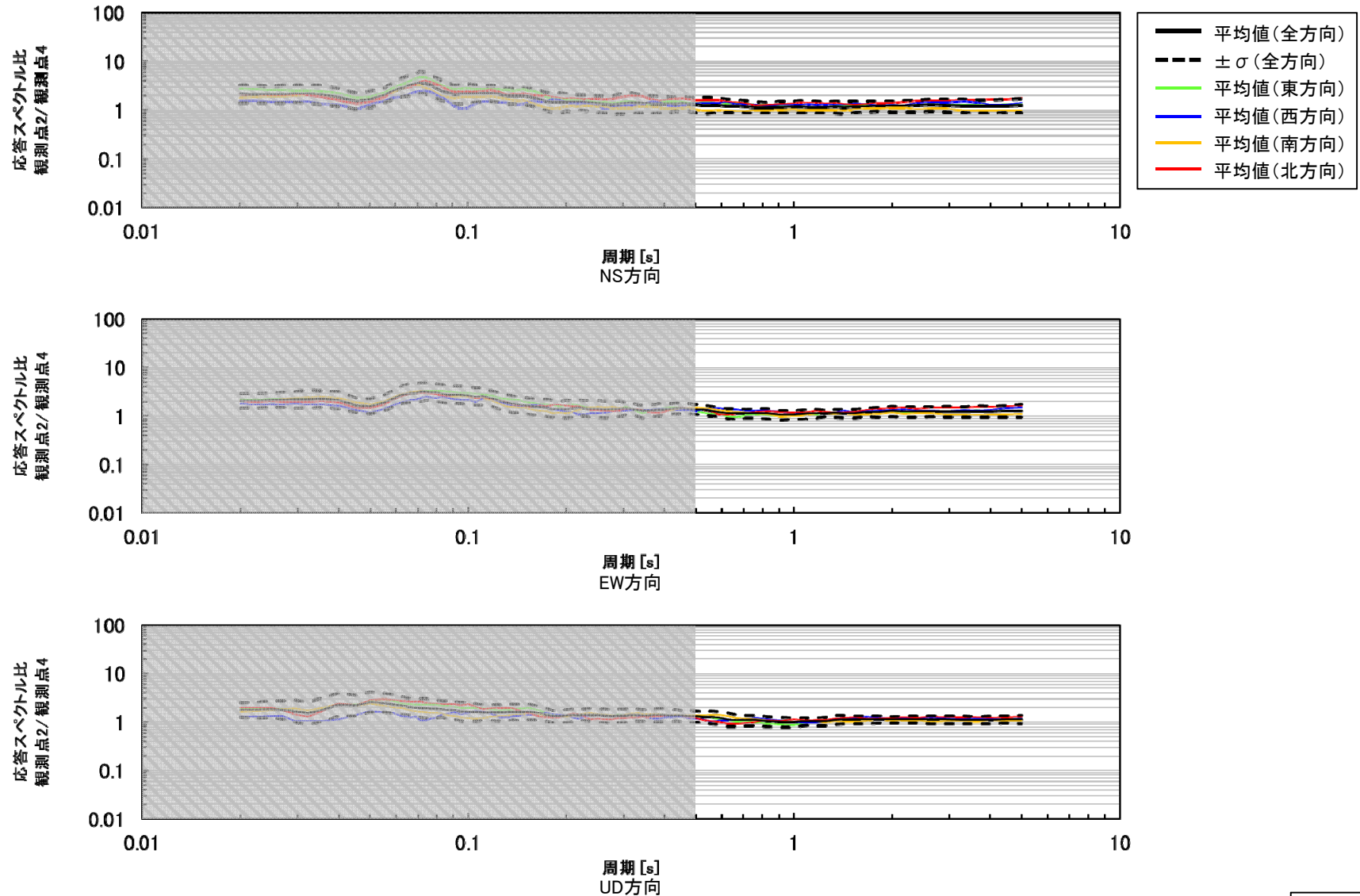


※灰色ハッチング箇所は検討対象外の周期帯を示す。

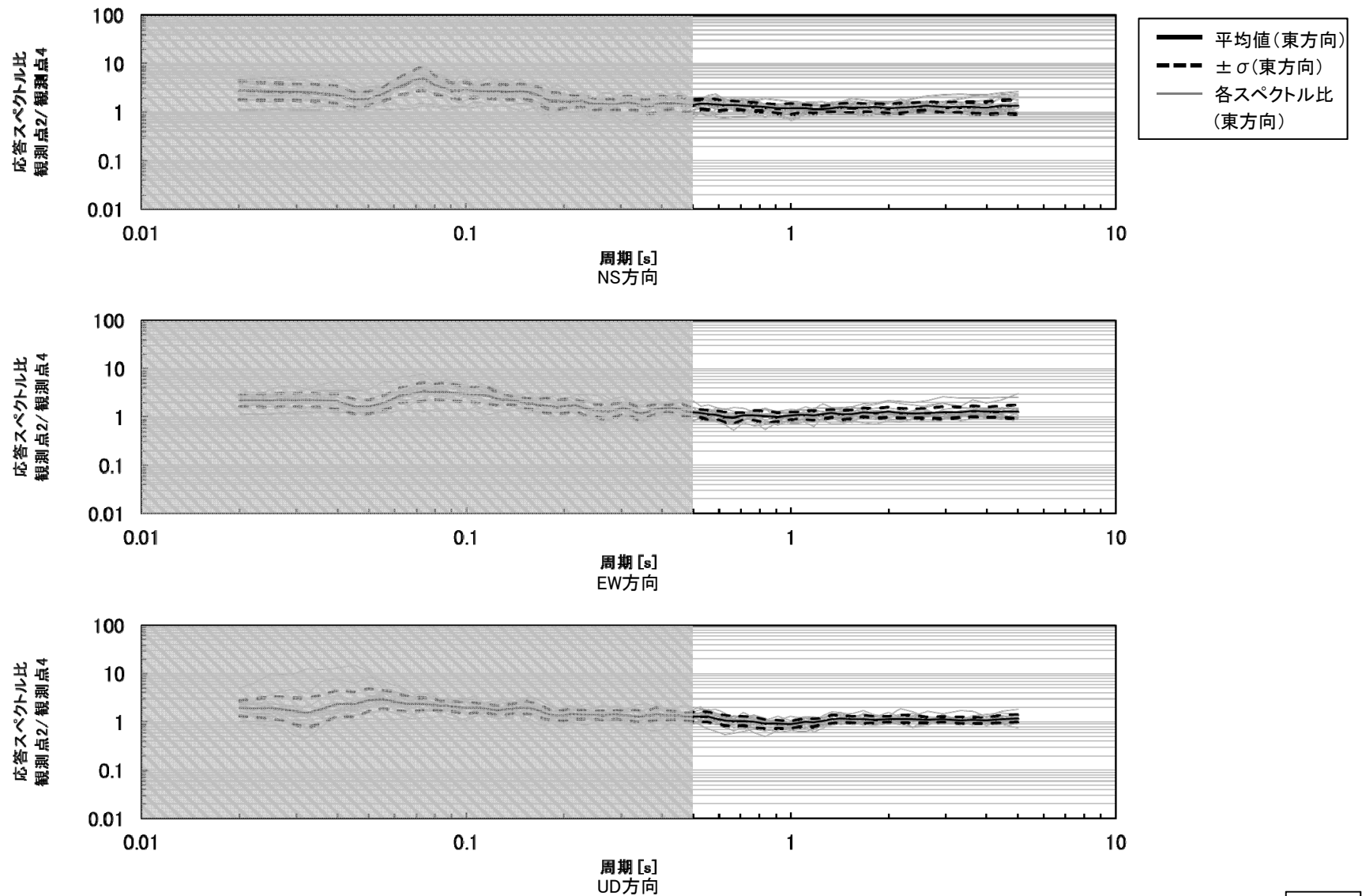
応答スペクトル比(観測点1/観測点4) (北方向)

3.3.2(2) 検討結果 —観測点2/観測点4—

○ 観測点4に対する観測点2の応答スペクトル比を地震の到来方向ごとに比較した結果、検討対象とした周期帯(周期0.5秒以上)において応答スペクトル比は地震の到来方向による顕著な違いはなく、そのばらつきは小さいことから、敷地の地下構造に特異な構造はないと考えられる。

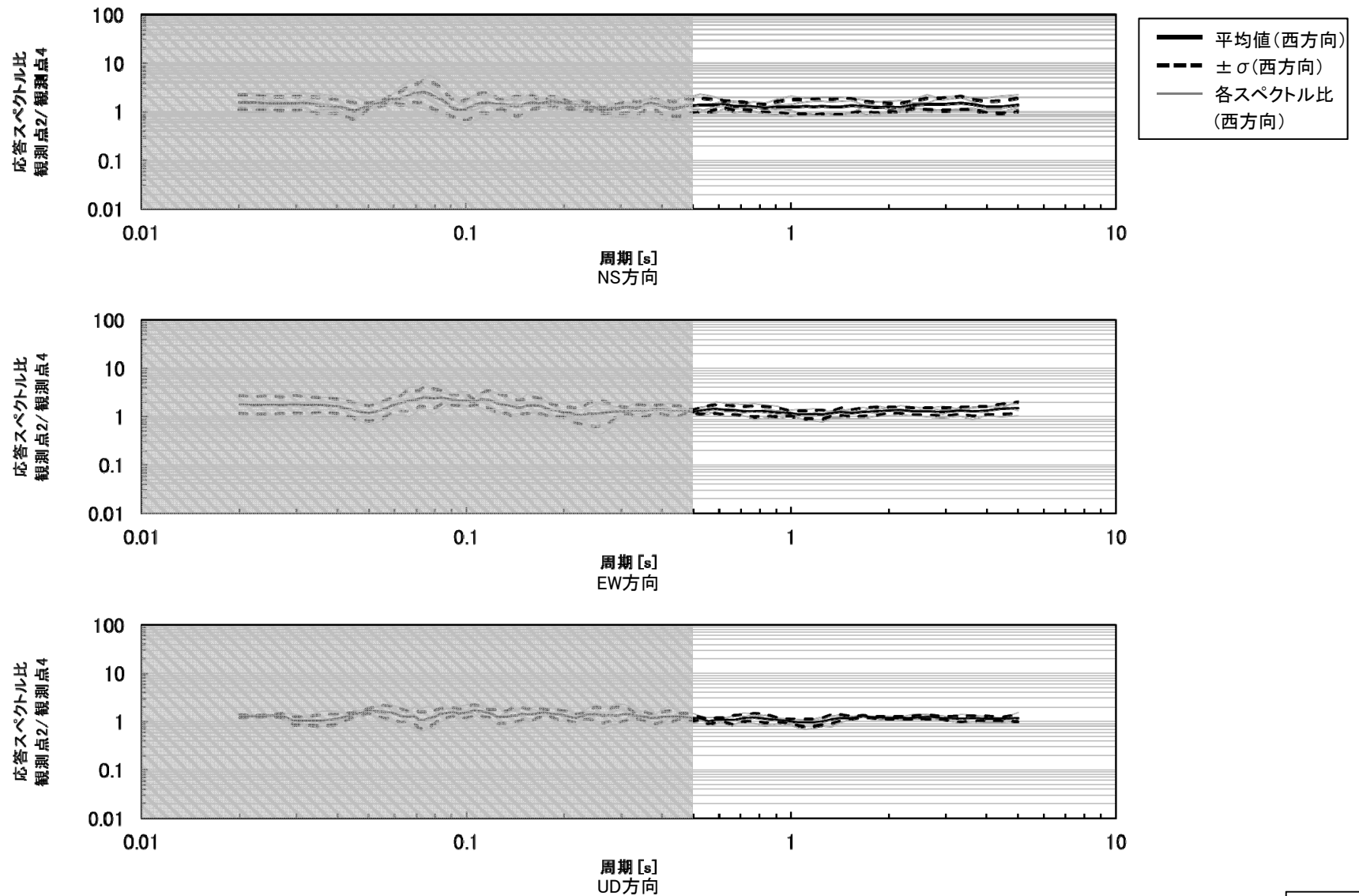


※灰色ハッチング箇所は検討対象外の周期帯を示す。 応答スペクトル比(観測点2/観測点4)の地震の到来方向ごとの比較



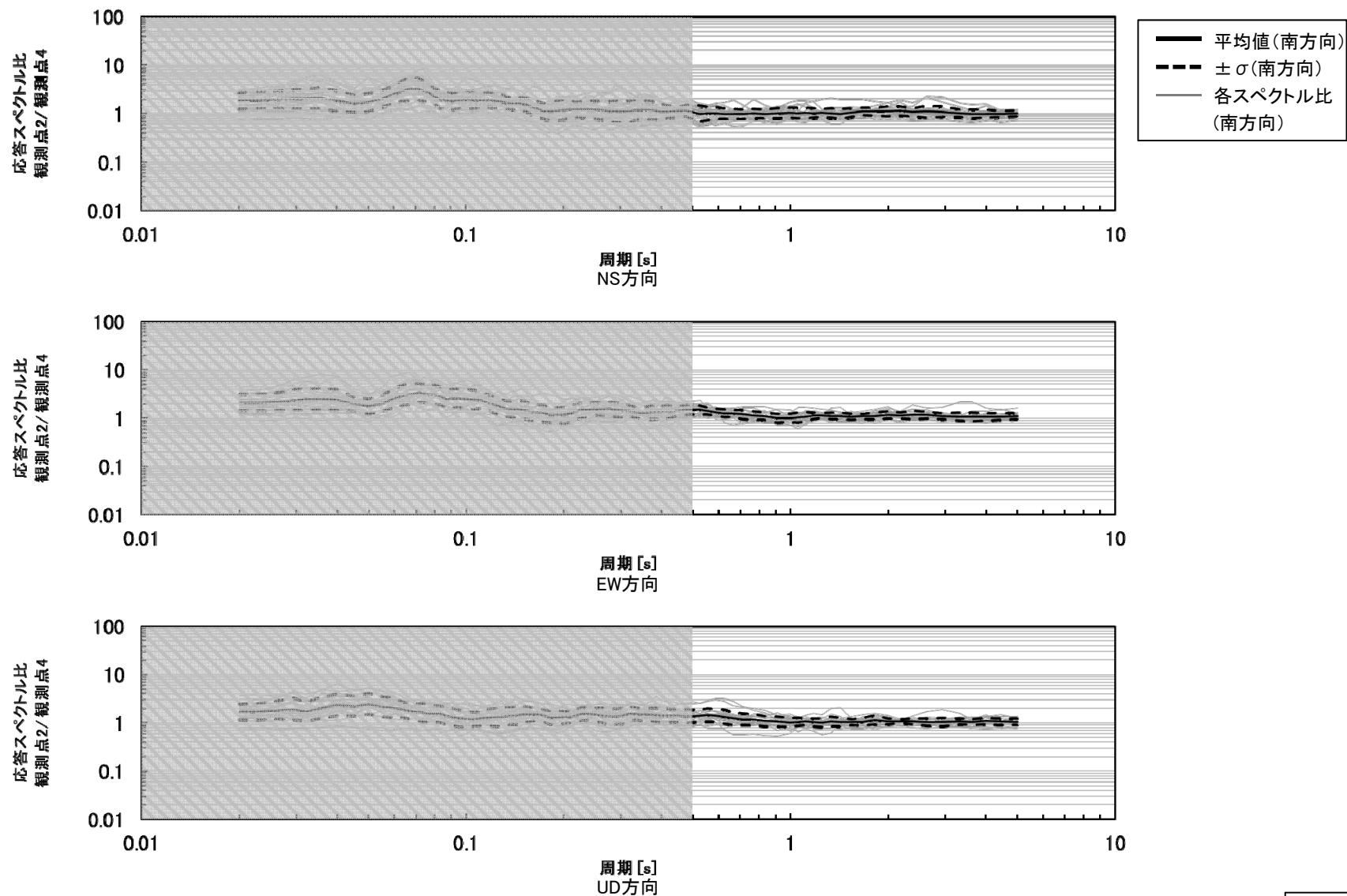
※灰色ハッチング箇所は検討対象外の周期帯を示す。

応答スペクトル比(観測点2/観測点4) (東方向)



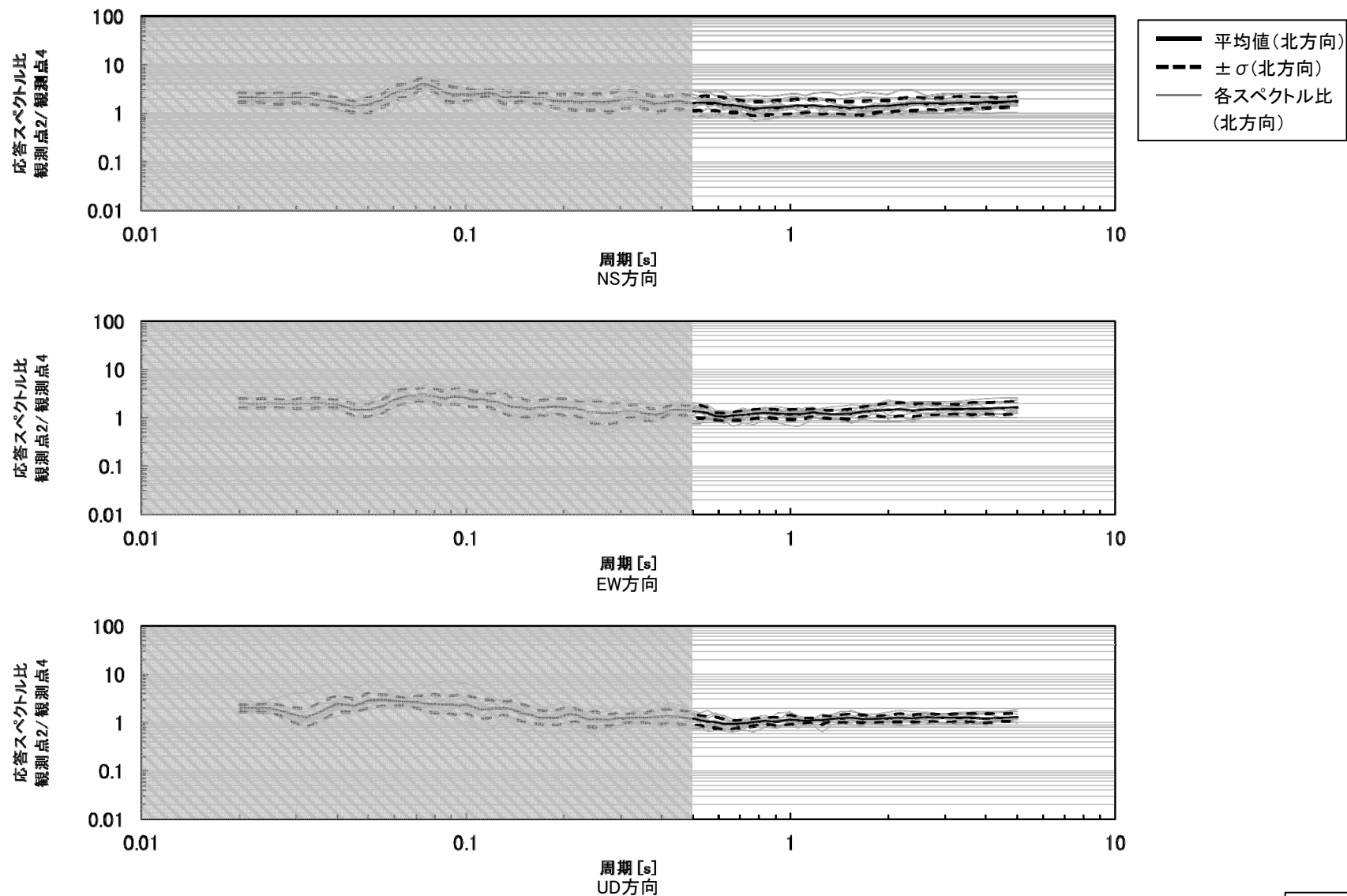
※灰色ハッチング箇所は検討対象外の周期帯を示す。

応答スペクトル比(観測点2/観測点4) (西方向)



※灰色ハッチング箇所は検討対象外の周期帯を示す。

応答スペクトル比(観測点2/観測点4) (南方向)

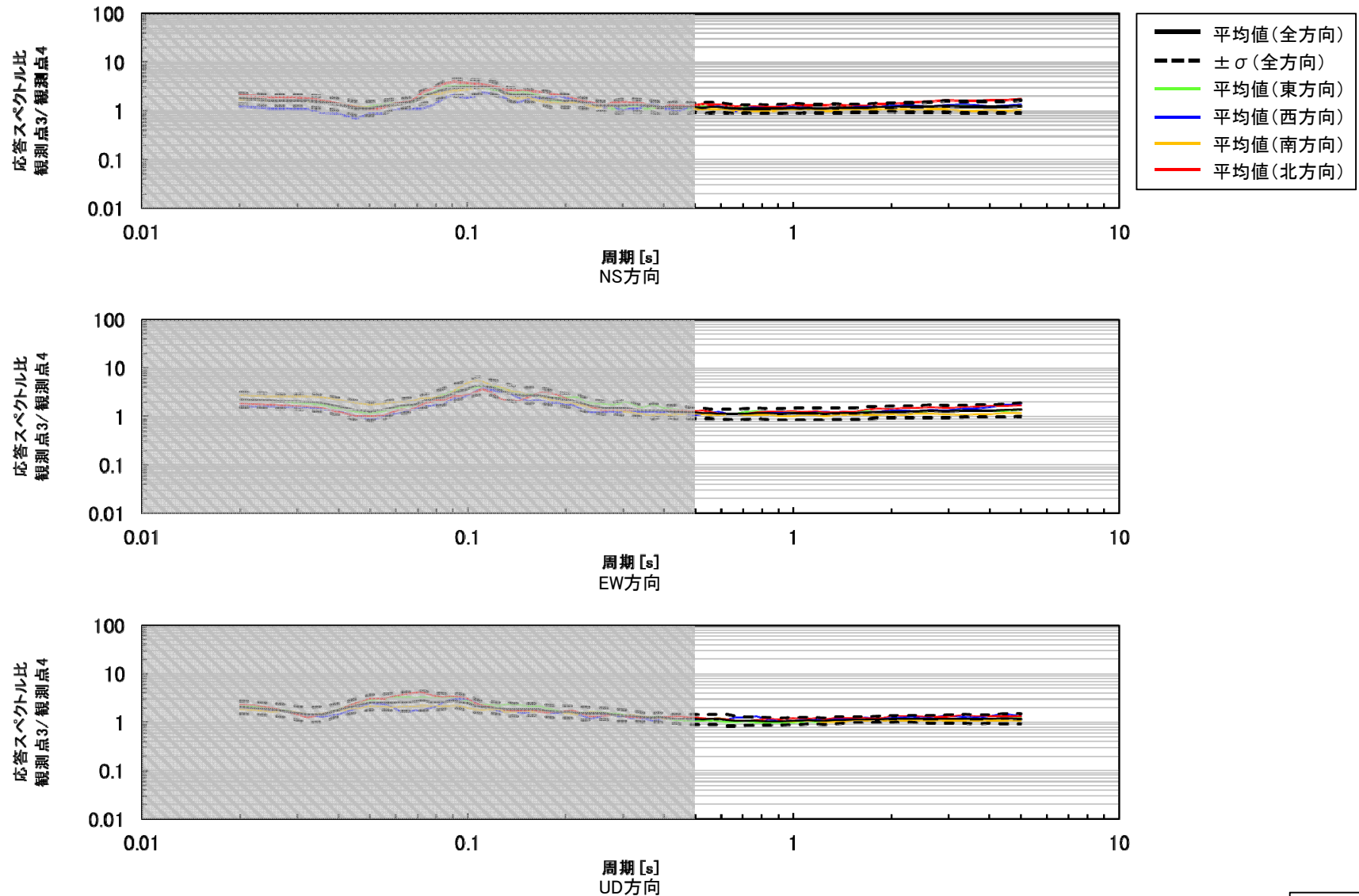


※灰色ハッチング箇所は検討対象外の周期帯を示す。

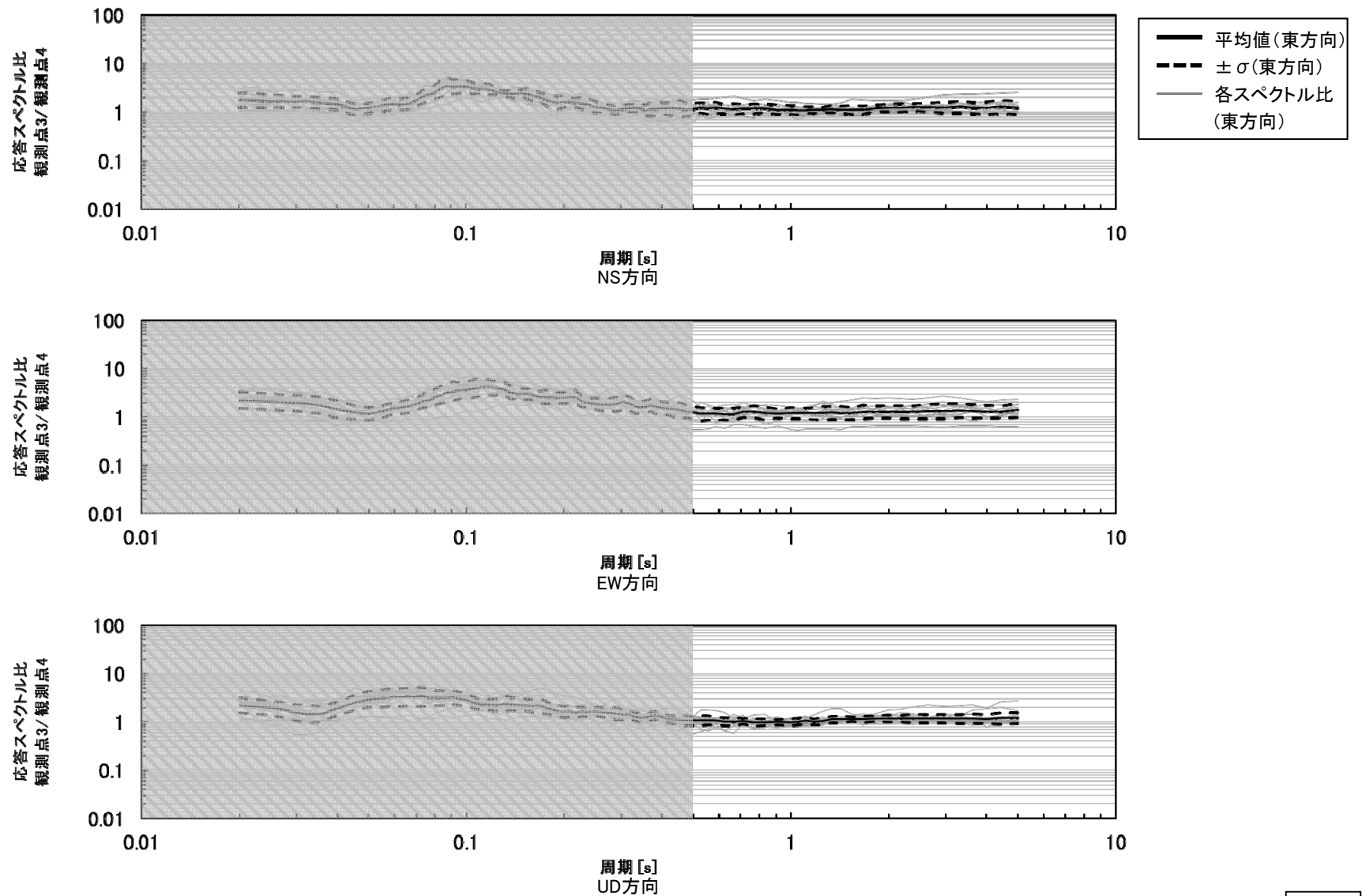
応答スペクトル比(観測点2/観測点4) (北方向)

3.3.2(2) 検討結果 —観測点3/観測点4—

○ 観測点4に対する観測点3の応答スペクトル比を地震の到来方向ごとに比較した結果、検討対象とした周期帯(周期0.5秒以上)において応答スペクトル比は地震の到来方向による顕著な違いはなく、そのばらつきは小さいことから、敷地の地下構造に特異な構造はないと考えられる。

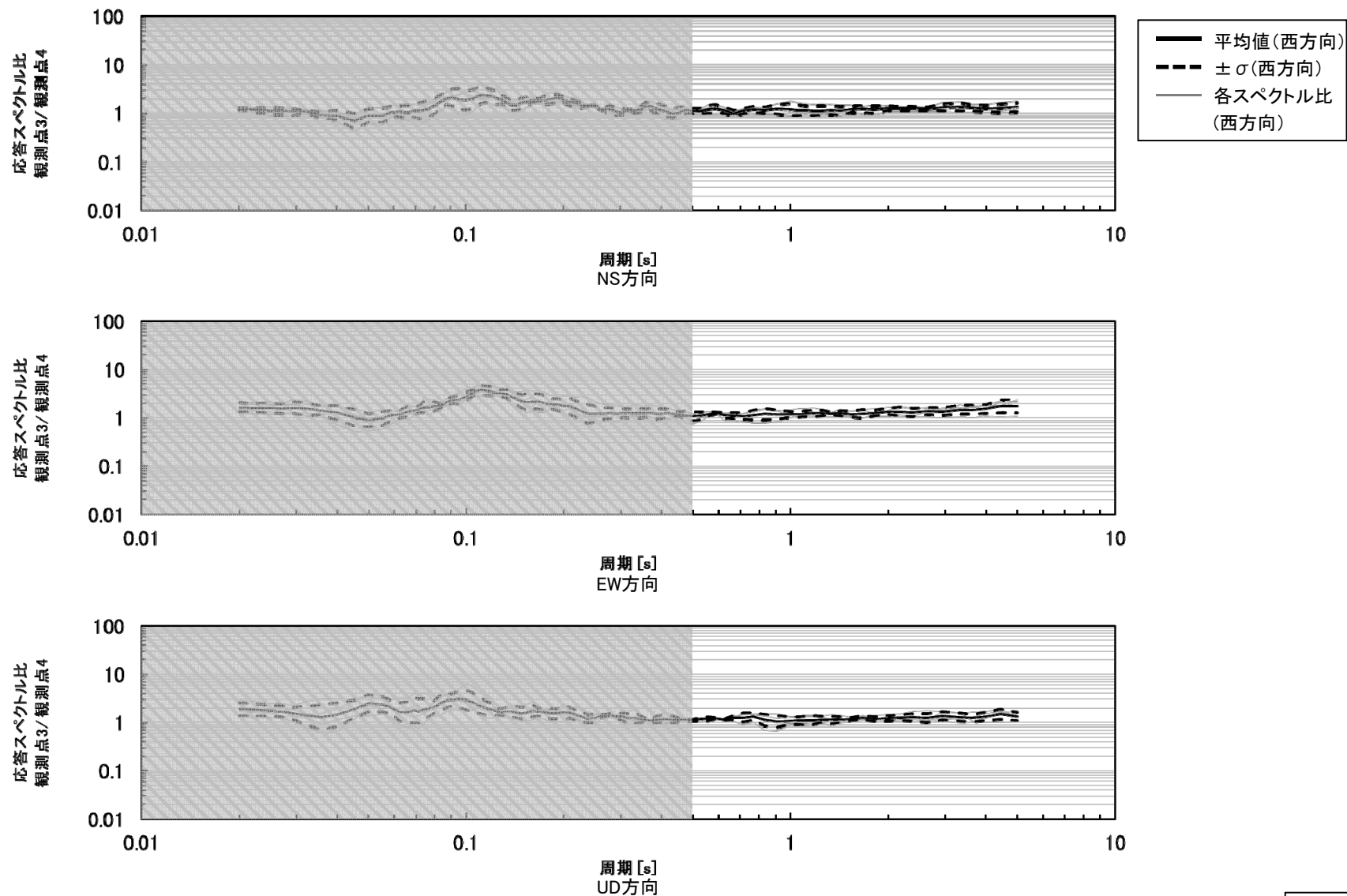


※灰色ハッチング箇所は検討対象外の周期帯を示す。 応答スペクトル比(観測点3/観測点4)の地震の到来方向ごとの比較



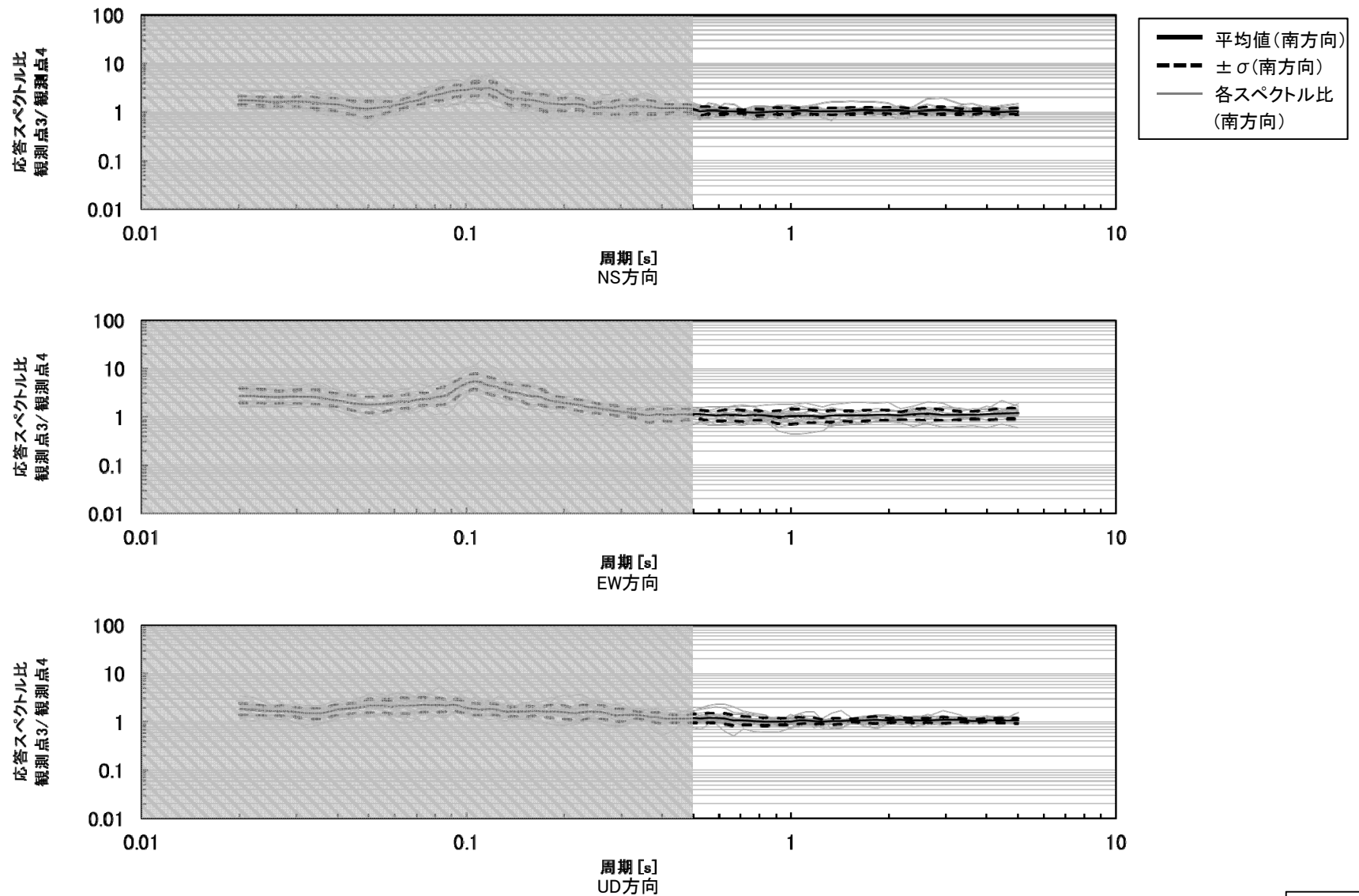
※灰色ハッチング箇所は検討対象外の周期帯を示す。

応答スペクトル比(観測点3/観測点4) (東方向)



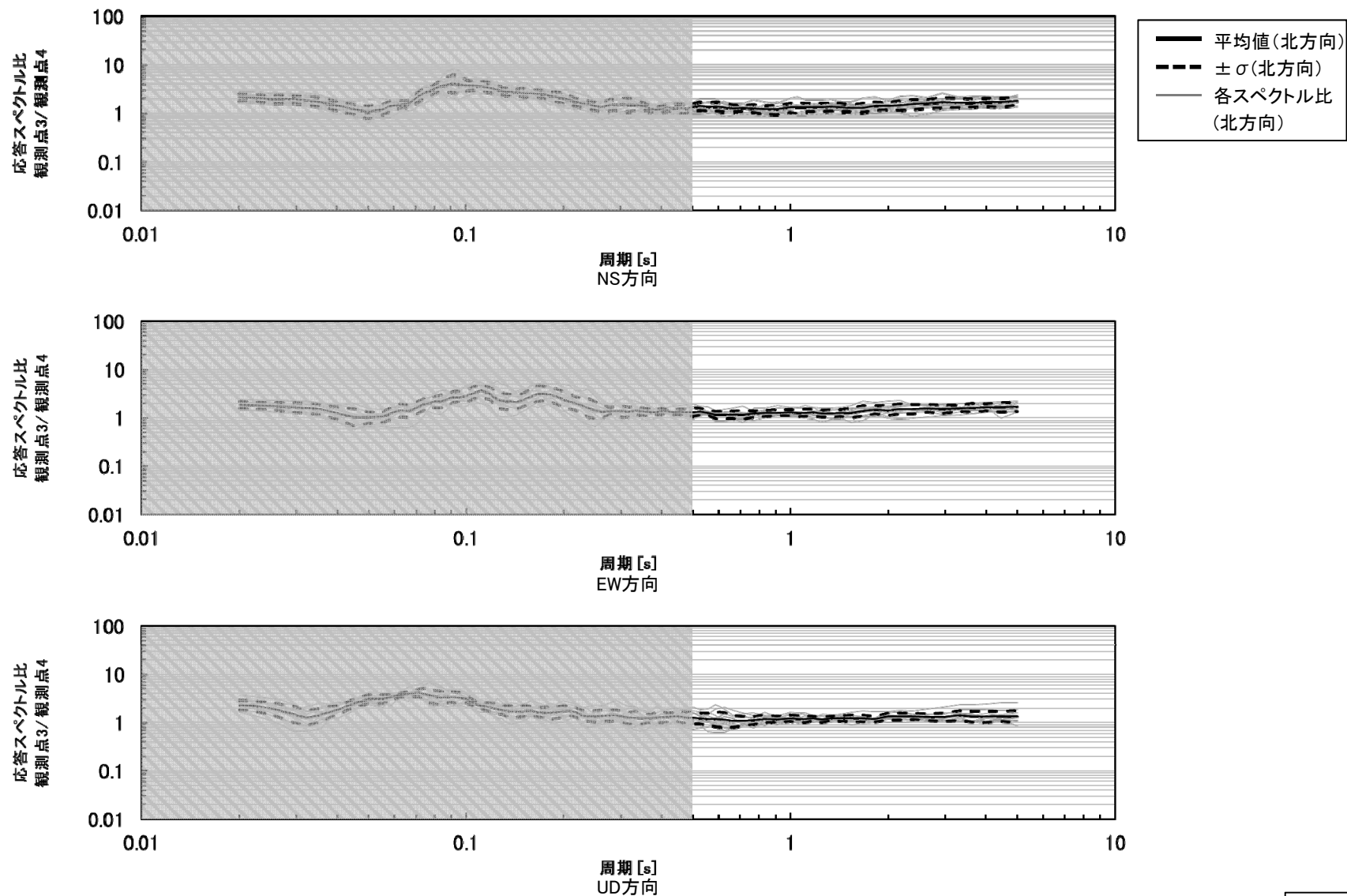
※灰色ハッチング箇所は検討対象外の周期帯を示す。

応答スペクトル比(観測点3/観測点4) (西方向)



※灰色ハッチング箇所は検討対象外の周期帯を示す。

応答スペクトル比(観測点3/観測点4) (南方向)



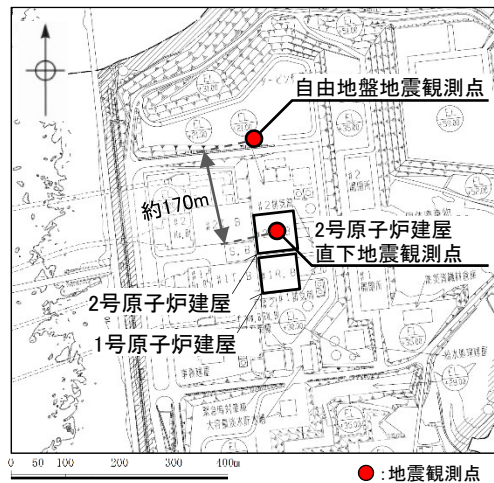
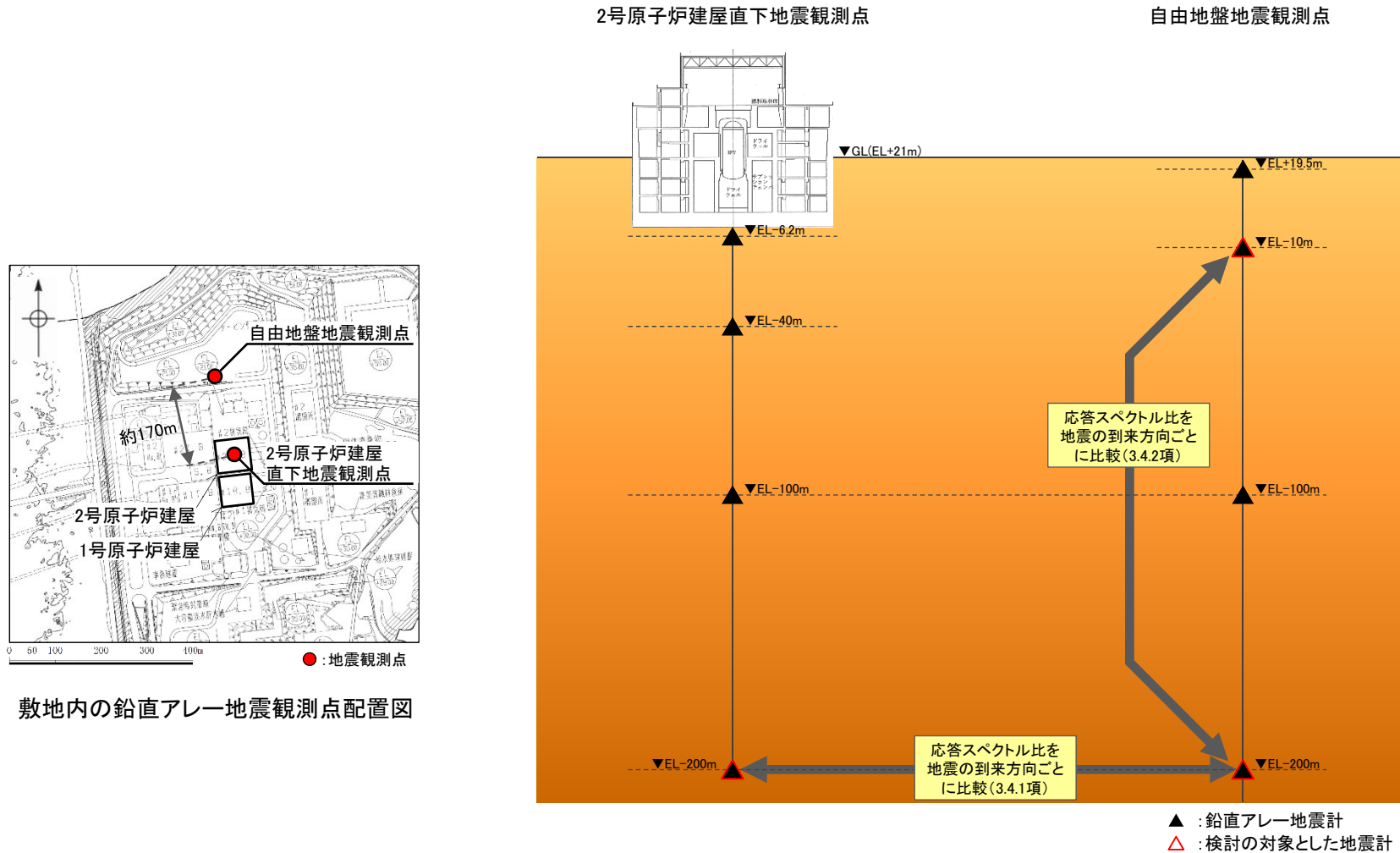
※灰色ハッチング箇所は検討対象外の周期帯を示す。

応答スペクトル比(観測点3/観測点4) (北方向)

3.4 鉛直アレー地震観測記録を用いた検討

3.4 鉛直アレー地震観測記録を用いた検討 — 検討概要 —

○ 敷地の地中における地震動について、地震の到来方向による違いを確認するため、敷地内の鉛直アレー地震観測記録を用いて、下図に示す観測点間の応答スペクトル比を地震の到来方向ごとに比較した。



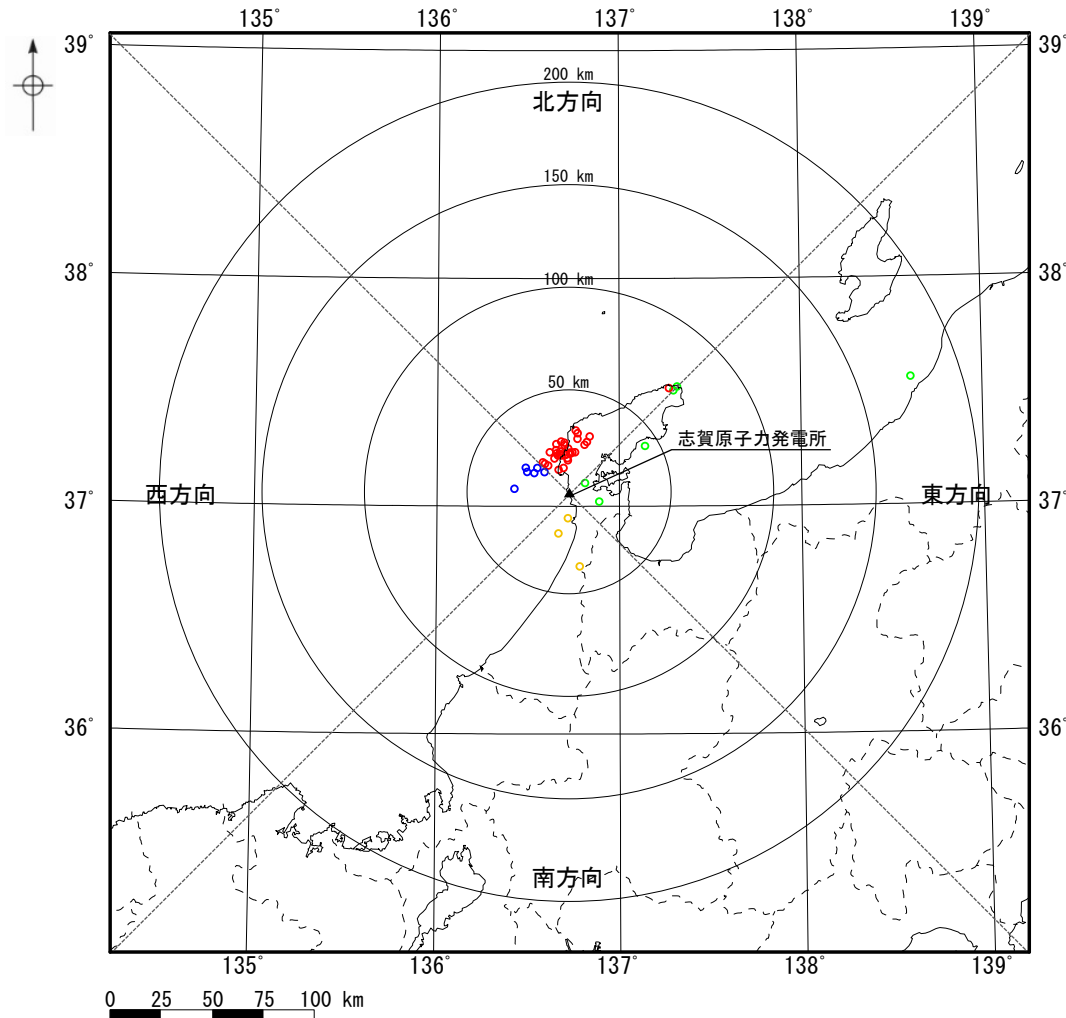
敷地内の鉛直アレー地震観測点配置図

鉛直アレー地震計配置図

3.4.1 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) の地震の到来方向ごとの比較

3.4.1(1) 検討の対象とした地震

○ 検討の対象とした地震は、自由地盤地震観測点(EL-200m)及び2号原子炉建屋直下地震観測点(EL-200m)において同時に観測された地震のうち最大加速度 1cm/s^2 以上を記録し、観測記録の信頼周期上限が5秒程度以上である地震とした。



地震の到来方向	検討に用いる地震数
東方向	6個
西方向	6個
南方向	3個
北方向	33個
全方向	48個

検討の対象とした地震の震央分布図

○ 検討の対象とした地震の諸元を下表に示す。

検討の対象とした地震の諸元

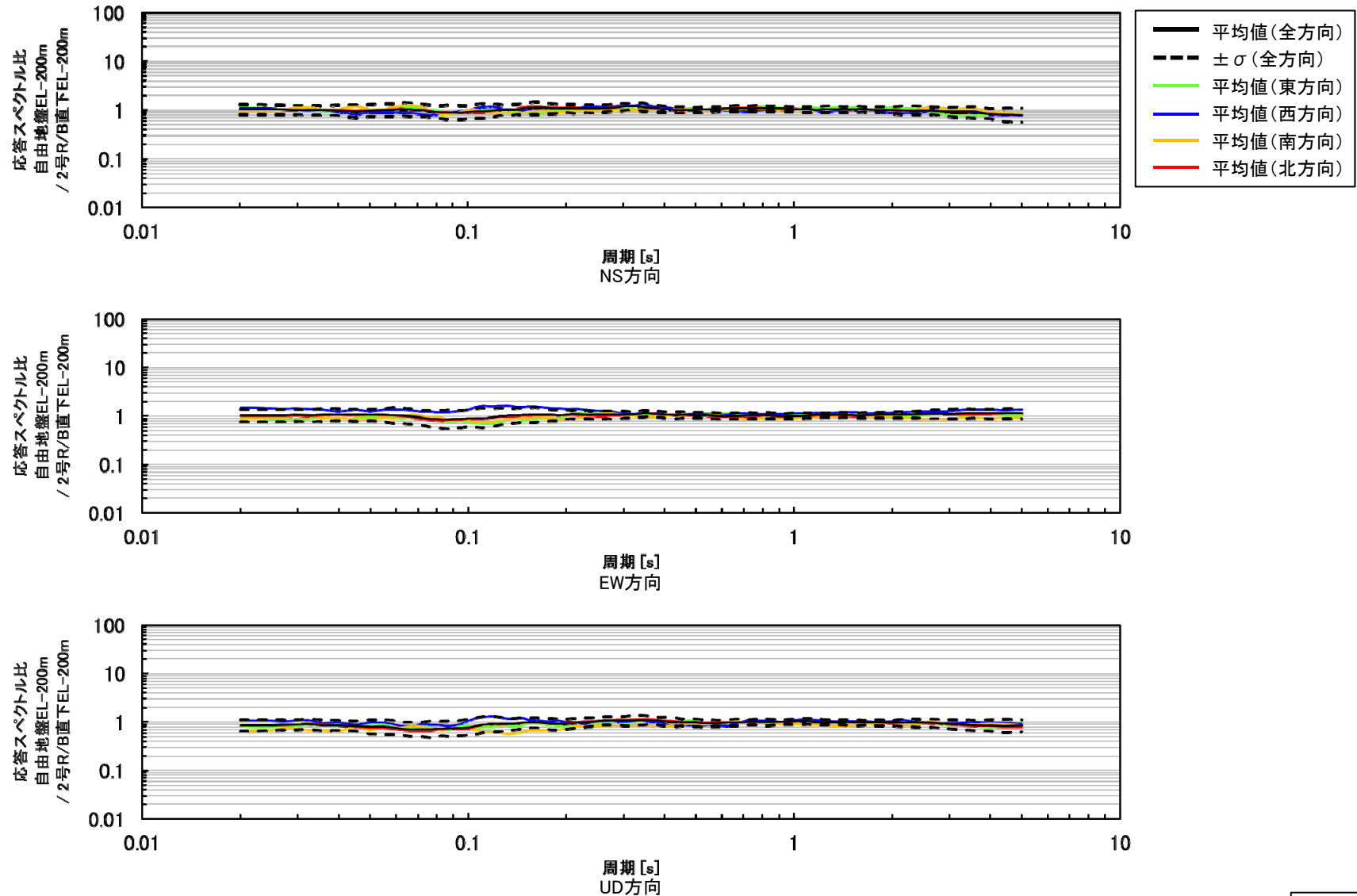
No.	震源情報						震央距離 (km)	震央の方位
	日付	時刻	北緯 (°)	東経 (°)	深さ (km)	M		
1	2006/03/26	09:44	37.0180	136.8908	12.85	3.9	15.4	東
2	2007/03/25	09:41	37.2207	136.6860	10.70	6.9	18.1	北
3	2007/03/25	10:16	37.2300	136.6573	5.41	4.1	19.8	北
4	2007/03/25	11:19	37.2670	136.7007	6.84	4.2	23.0	北
5	2007/03/25	12:24	37.1995	136.7205	11.98	3.7	15.4	北
6	2007/03/25	13:02	37.2082	136.7180	12.48	3.9	16.4	北
7	2007/03/25	14:55	37.1660	136.6953	10.37	3.8	12.0	北
8	2007/03/25	15:43	37.2940	136.7718	8.90	4.5	26.2	北
9	2007/03/25	15:57	37.2288	136.7337	11.42	3.8	18.7	北
10	2007/03/25	16:53	37.2203	136.6657	7.72	3.7	18.5	北
11	2007/03/25	18:11	37.3043	136.8395	13.45	5.3	28.8	北
12	2007/03/26	02:14	37.1578	136.6695	11.96	4.2	11.9	北
13	2007/03/26	02:25	37.1838	136.5938	6.95	3.7	18.1	北
14	2007/03/26	07:16	37.1668	136.4893	0.00	5.3	24.2	西
15	2007/03/26	13:47	37.2703	136.6570	4.30	4.4	24.1	北
16	2007/03/26	14:46	37.1653	136.5518	8.62	4.8	19.4	西
17	2007/03/26	18:02	37.2762	136.7007	5.91	4.6	24.0	北
18	2007/03/27	11:33	37.2267	136.6793	7.43	3.8	18.9	北
19	2007/03/28	00:57	37.2510	136.7215	9.89	4.0	21.1	北
20	2007/03/28	08:08	37.2223	136.7088	13.29	4.9	18.0	北
21	2007/03/28	10:51	37.1757	136.6118	10.18	4.6	16.3	北
22	2007/03/28	13:05	37.2820	136.6832	6.79	4.7	24.9	北
23	2007/03/28	21:16	37.1903	136.5823	6.10	3.8	19.3	北
24	2007/03/31	08:09	37.2347	136.7598	13.47	4.4	19.5	北
25	2007/04/02	08:01	37.2073	136.6468	6.99	4.1	17.7	北
26	2007/04/11	22:11	37.0742	136.4268	8.20	4.3	26.7	西
27	2007/04/26	11:30	37.2342	136.7443	10.90	3.9	19.3	北
28	2007/05/02	20:44	37.3307	136.7628	6.59	4.7	30.1	北
29	2007/06/08	03:17	37.2245	136.6762	7.75	3.4	18.7	北
30	2007/06/11	03:45	37.2442	136.6547	7.29	5.0	21.3	北
31	2007/06/22	03:34	36.8780	136.6677	7.50	4.6	21.0	南
32	2007/07/16	10:13	37.5568	138.6095	16.75	6.8	175.8	東
33	2007/09/20	20:05	37.1485	136.4970	8.94	3.9	22.6	西
34	2008/01/26	04:33	37.3188	136.7733	11.30	4.8	28.9	北
35	2008/04/29	06:58	37.2325	136.7308	10.91	3.8	19.1	北
36	2008/05/02	05:46	37.2347	136.6207	3.78	4.0	21.5	北
37	2008/07/15	14:41	37.1470	136.5913	10.35	3.9	15.4	西
38	2008/07/27	10:53	37.0998	136.8142	2.08	3.2	8.9	東
39	2009/05/23	05:15	37.1438	136.5355	10.91	3.9	19.3	西
40	2013/04/04	01:58	36.7340	136.7850	12.93	4.2	36.6	南
41	2014/09/27	00:35	37.2377	136.6780	8.30	4.1	20.1	北
42	2015/02/01	00:42	37.2618	137.1442	14.84	4.4	43.3	東
43	2015/04/21	05:15	36.9450	136.7195	7.58	3.1	12.9	南
44	2020/03/13	02:18	37.2797	136.8245	12.33	5.5	25.8	北
45	2020/04/06	05:00	37.2677	136.8118	12.05	4.0	24.2	北
46	2021/09/16	18:42	37.5053	137.3008	13.12	5.1	70.9	東
47	2022/06/19	15:08	37.5153	137.2763	13.14	5.4	70.1	北
48	2022/06/20	10:31	37.5220	137.3220	13.86	5.0	73.5	東

※震央の方位は志賀原子力発電所から震央位置を望む方位を示す。

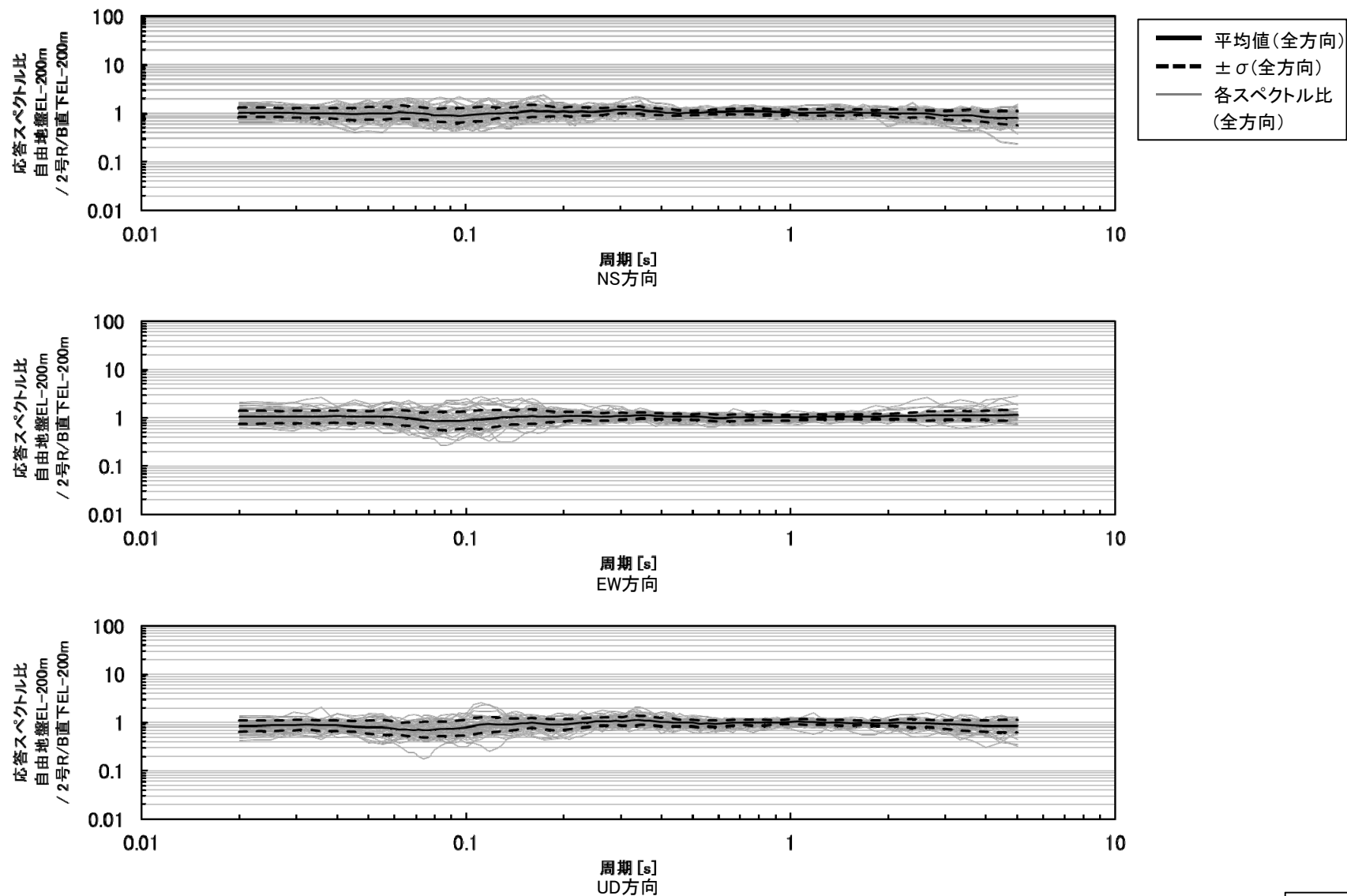
※検討に用いた各地震の加速度時刻歴波形及び応答スペクトルはデータ集P.197~244。

3.4.1(2) 検討結果

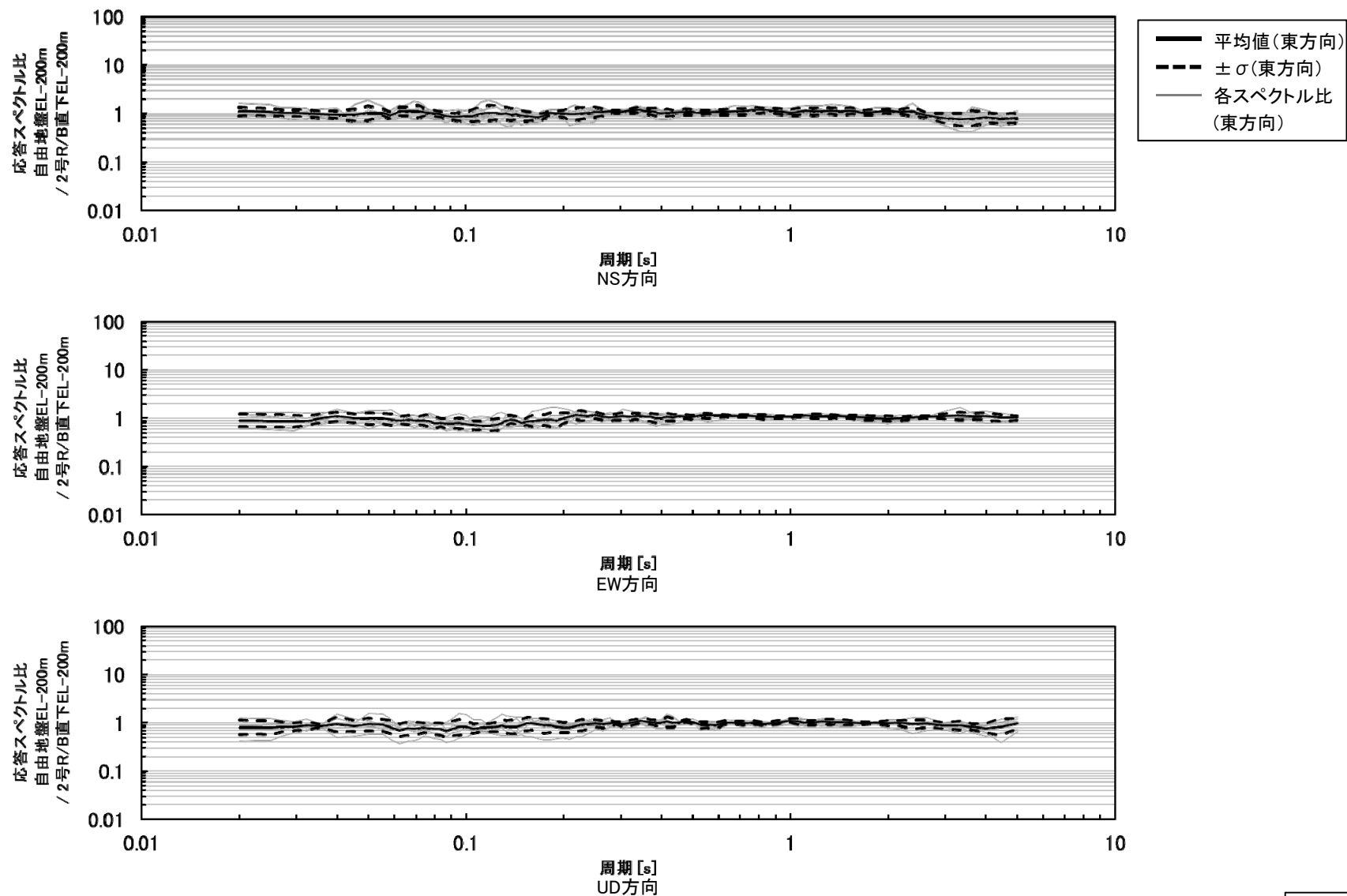
○ 2号原子炉建屋直下EL-200mに対する自由地盤EL-200mの応答スペクトル比を地震の到来方向ごとに比較した結果、応答スペクトル比は地震の到来方向による顕著な違いはなく、そのばらつきは小さいことから、敷地の地下構造に特異な構造はないと考えられる。



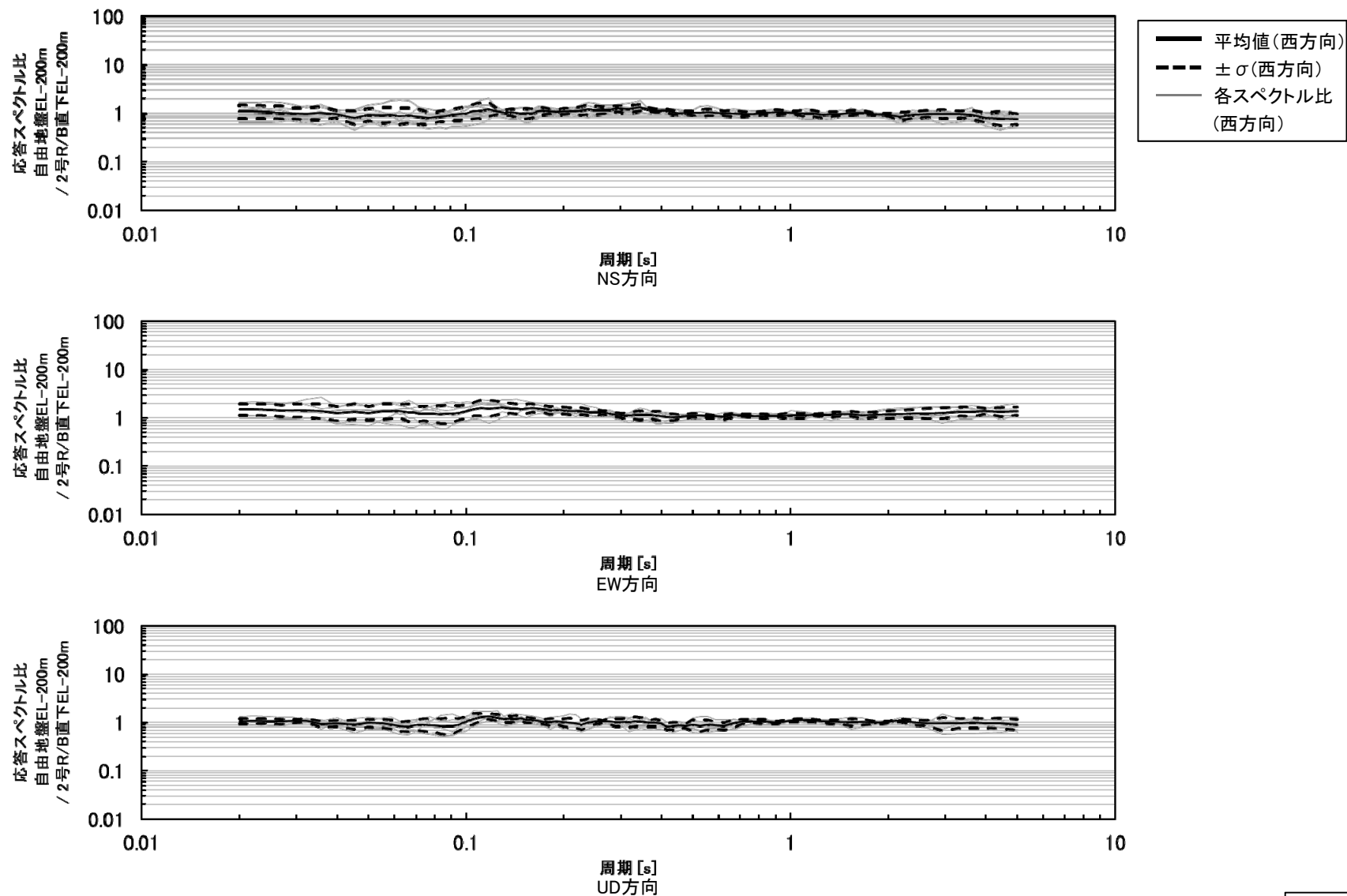
応答スペクトル比(自由地盤EL-200m/2号原子炉建屋直下EL-200m)の地震の到来方向ごとの比較



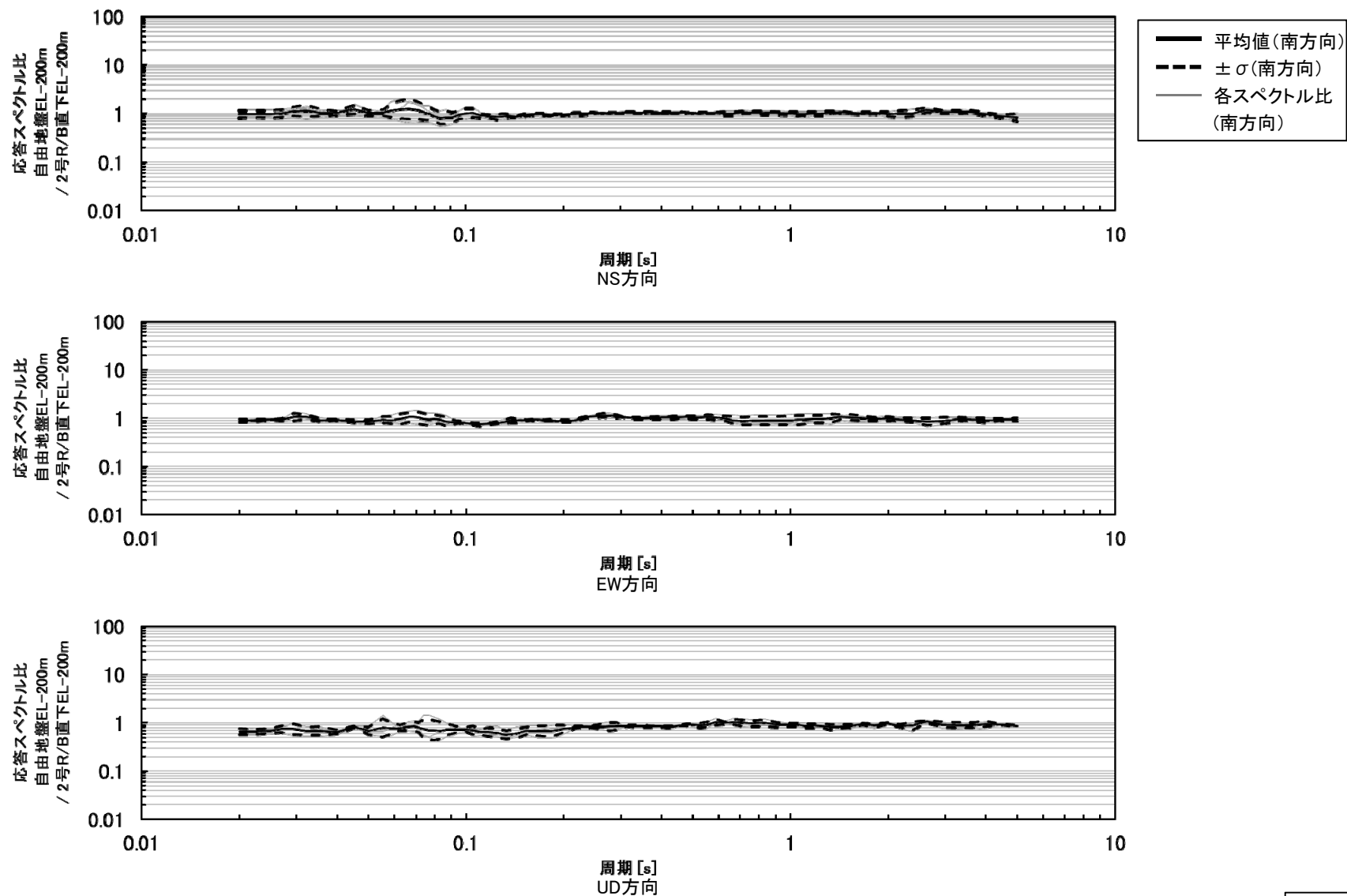
応答スペクトル比(自由地盤EL-200m/2号原子炉建屋直下EL-200m) (全方向)



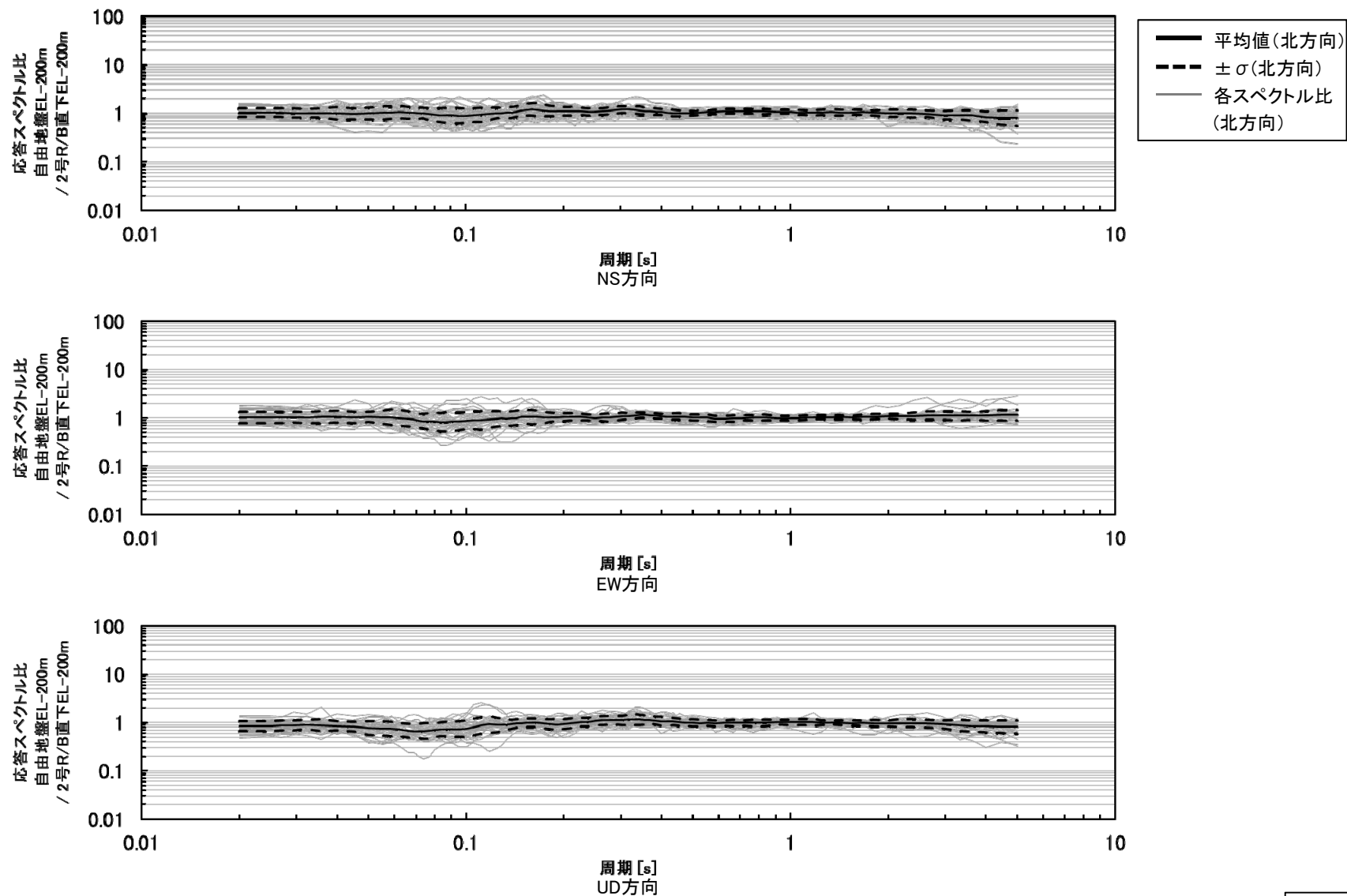
応答スペクトル比(自由地盤EL-200m/2号原子炉建屋直下EL-200m) (東方向)



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) (西方向)



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) (南方向)

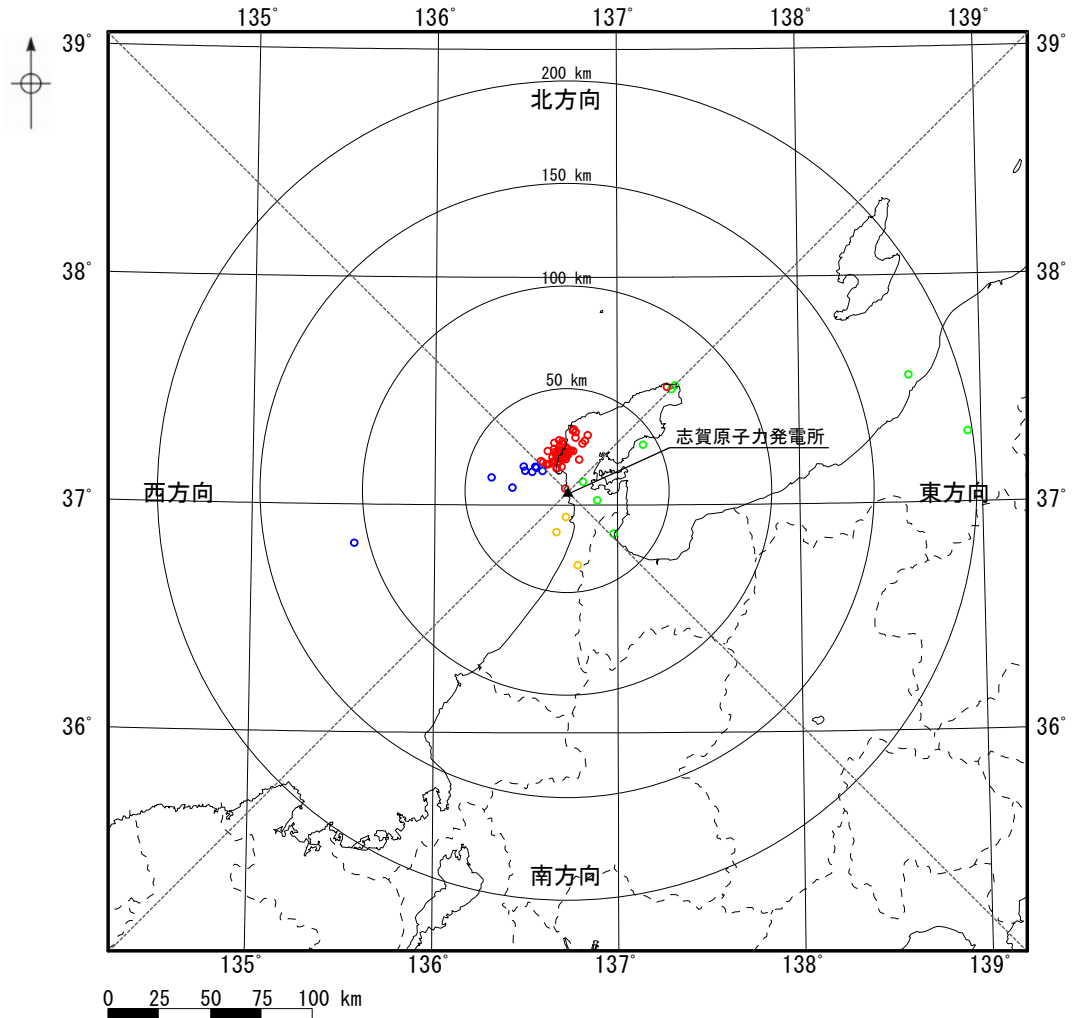


応答スペクトル比(自由地盤EL-200m/2号原子炉建屋直下EL-200m) (北方向)

3.4.2 応答スペクトル比(自由地盤EL-10m/自由地盤EL-200m) の地震の到来方向ごとの比較

3.4.2(1) 検討の対象とした地震

○ 検討の対象とした地震は、自由地盤地震観測点のEL-10m及びEL-200mにおいて同時に観測された地震のうち最大加速度 1cm/s^2 以上を記録し、観測記録の信頼周期上限が5秒程度以上である地震とした。



地震の到来方向	検討に用いる地震数
東方向	8個
西方向	9個
南方向	3個
北方向	56個
全方向	76個

検討の対象とした地震の震央分布図

○ 検討の対象とした地震の諸元を下表に示す。

検討の対象とした地震の諸元

No.	震源情報						震央距離 (km)	震央の方位
	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	西
2	2001/01/22	09:43	37.1975	136.7928	17.69	3.7	16.3	北
3	2004/10/23	18:34	37.3063	138.9300	14.17	6.5	197.5	東
4	2006/03/26	09:44	37.0180	136.8908	12.85	3.9	15.4	東
5	2007/03/25	09:41	37.2207	136.6860	10.70	6.9	18.1	北
6	2007/03/25	10:10	37.2540	136.6867	5.95	3.6	21.7	北
7	2007/03/25	10:16	37.2300	136.6573	5.41	4.1	19.8	北
8	2007/03/25	10:21	37.1768	136.6190	8.56	3.5	16.0	北
9	2007/03/25	10:36	37.1972	136.6995	11.20	4.1	15.3	北
10	2007/03/25	11:19	37.2670	136.7007	6.84	4.2	23.0	北
11	2007/03/25	11:25	37.1993	136.7040	12.02	3.3	15.5	北
12	2007/03/25	11:43	37.2165	136.6927	8.55	3.6	17.5	北
13	2007/03/25	12:24	37.1995	136.7205	11.98	3.7	15.4	北
14	2007/03/25	13:02	37.2082	136.7180	12.48	3.9	16.4	北
15	2007/03/25	13:56	37.2143	136.6877	10.17	3.5	17.4	北
16	2007/03/25	14:08	37.2065	136.7062	12.50	3.5	16.3	北
17	2007/03/25	14:55	37.1660	136.6953	10.37	3.8	12.0	北
18	2007/03/25	15:43	37.2940	136.7718	8.90	4.5	26.2	北
19	2007/03/25	15:57	37.2288	136.7337	11.42	3.8	18.7	北
20	2007/03/25	16:53	37.2203	136.6657	7.72	3.7	18.5	北
21	2007/03/25	17:08	37.1823	136.6767	10.31	3.4	14.2	北
22	2007/03/25	17:54	37.2437	136.7302	9.91	3.8	20.3	北
23	2007/03/25	18:11	37.3043	136.8395	13.45	5.3	28.8	北
24	2007/03/25	19:02	37.1868	136.6477	10.69	3.5	15.6	北
25	2007/03/26	02:14	37.1578	136.6695	11.96	4.2	11.9	北
26	2007/03/26	02:25	37.1838	136.5938	6.95	3.7	18.1	北
27	2007/03/26	02:34	37.2102	136.7128	11.98	3.5	16.6	北
28	2007/03/26	03:21	37.2345	136.7445	11.13	3.6	19.3	北
29	2007/03/26	07:16	37.1668	136.4893	0.00	5.3	24.2	西
30	2007/03/26	11:58	37.2183	136.7320	13.58	3.6	17.5	北
31	2007/03/26	13:47	37.2703	136.6570	4.30	4.4	24.1	北
32	2007/03/26	14:46	37.1653	136.5518	8.62	4.8	19.4	西
33	2007/03/26	18:02	37.2762	136.7007	5.91	4.6	24.0	北
34	2007/03/26	18:26	37.1935	136.6602	10.03	3.6	15.9	北
35	2007/03/26	21:30	37.1863	136.6473	9.55	3.9	15.6	北
36	2007/03/27	11:33	37.2267	136.6793	7.43	3.8	18.9	北
37	2007/03/28	00:57	37.2510	136.7215	9.89	4.0	21.1	北
38	2007/03/28	08:08	37.2223	136.7088	13.29	4.9	18.0	北
39	2007/03/28	10:51	37.1757	136.6118	10.18	4.6	16.3	北
40	2007/03/28	13:05	37.2820	136.6832	6.79	4.7	24.9	北
41	2007/03/28	21:16	37.1903	136.5823	6.10	3.8	19.3	北
42	2007/03/29	03:17	37.1610	136.6705	10.55	3.2	12.2	北
43	2007/03/29	10:46	37.2297	136.6888	8.31	3.8	19.0	北
44	2007/03/29	15:34	37.1782	136.6275	10.83	3.5	15.7	北
45	2007/03/31	08:09	37.2347	136.7598	13.47	4.4	19.5	北
46	2007/04/02	02:51	37.2105	136.6898	12.41	4.2	16.9	北
47	2007/04/02	08:01	37.2073	136.6468	6.99	4.1	17.7	北
48	2007/04/11	22:11	37.0742	136.4268	8.20	4.3	26.7	西
49	2007/04/26	11:30	37.2342	136.7443	10.90	3.9	19.3	北
50	2007/05/02	20:44	37.3307	136.7628	6.59	4.7	30.1	北

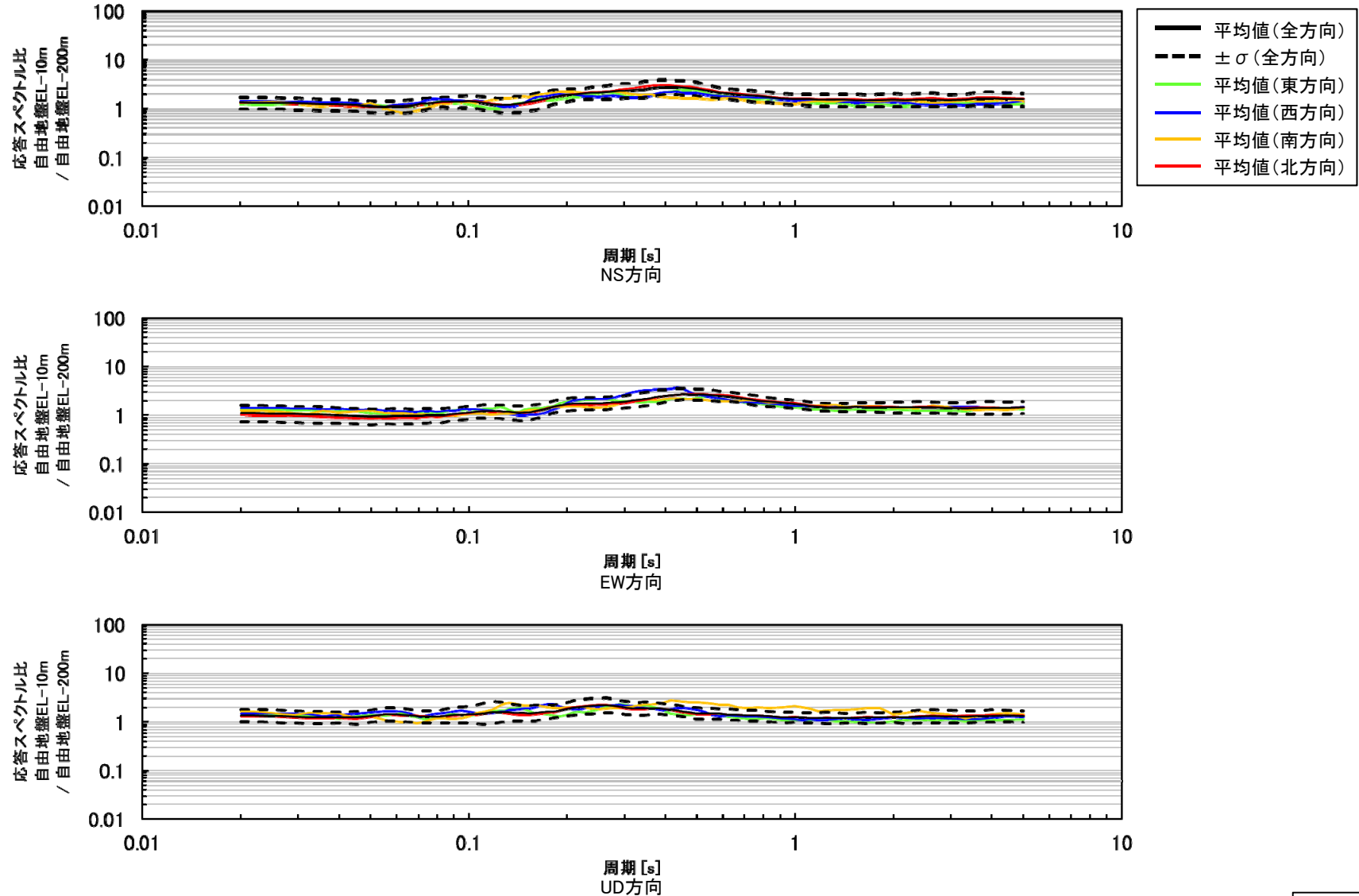
No.	震源情報						震央距離 (km)	震央の方位
	日付	時刻	北緯 (°)	東経 (°)	深さ (km)	M		
51	2007/05/11	02:12	37.1185	136.3117	10.56	4.5	37.4	西
52	2007/06/08	03:17	37.2245	136.6762	7.75	3.4	18.7	北
53	2007/06/11	03:45	37.2442	136.6547	7.29	5.0	21.3	北
54	2007/06/22	03:34	36.8780	136.6677	7.50	4.6	21.0	南
55	2007/07/09	16:00	37.3243	136.7580	10.04	4.2	29.4	北
56	2007/07/16	10:13	37.5568	138.6095	16.75	6.8	175.8	東
57	2007/08/16	18:52	37.0703	136.7162	2.50	0.7	1.4	北
58	2007/09/20	20:05	37.1485	136.4970	8.94	3.9	22.6	西
59	2007/12/18	02:53	37.2365	136.7477	9.22	3.9	19.6	北
60	2008/01/26	04:33	37.3188	136.7733	11.30	4.8	28.9	北
61	2008/04/29	06:58	37.2325	136.7308	10.91	3.8	19.1	北
62	2008/05/02	05:46	37.2347	136.6207	3.78	4.0	21.5	北
63	2008/07/15	14:41	37.1470	136.5913	10.35	3.9	15.4	西
64	2008/07/27	10:53	37.0998	136.8142	2.08	3.2	8.9	東
65	2009/05/23	05:15	37.1438	136.5355	10.91	3.9	19.3	西
66	2012/11/16	15:57	37.1613	136.5583	9.50	3.6	18.7	西
67	2013/04/04	01:58	36.7340	136.7850	12.93	4.2	36.6	南
68	2014/09/27	00:35	37.2377	136.6780	8.30	4.1	20.1	北
69	2015/02/01	00:42	37.2618	137.1442	14.84	4.4	43.3	東
70	2015/04/21	05:15	36.9450	136.7195	7.58	3.1	12.9	南
71	2018/01/05	11:02	36.8712	136.9803	13.65	4.0	30.9	東
72	2020/03/13	02:18	37.2797	136.8245	12.33	5.5	25.8	北
73	2020/04/06	05:00	37.2677	136.8118	12.05	4.0	24.2	北
74	2021/09/16	18:42	37.5053	137.3008	13.12	5.1	70.9	東
75	2022/06/19	15:08	37.5153	137.2763	13.14	5.4	70.1	北
76	2022/06/20	10:31	37.5220	137.3220	13.86	5.0	73.5	東

※震央の方位は志賀原子力発電所から震央位置を望む方位を示す。

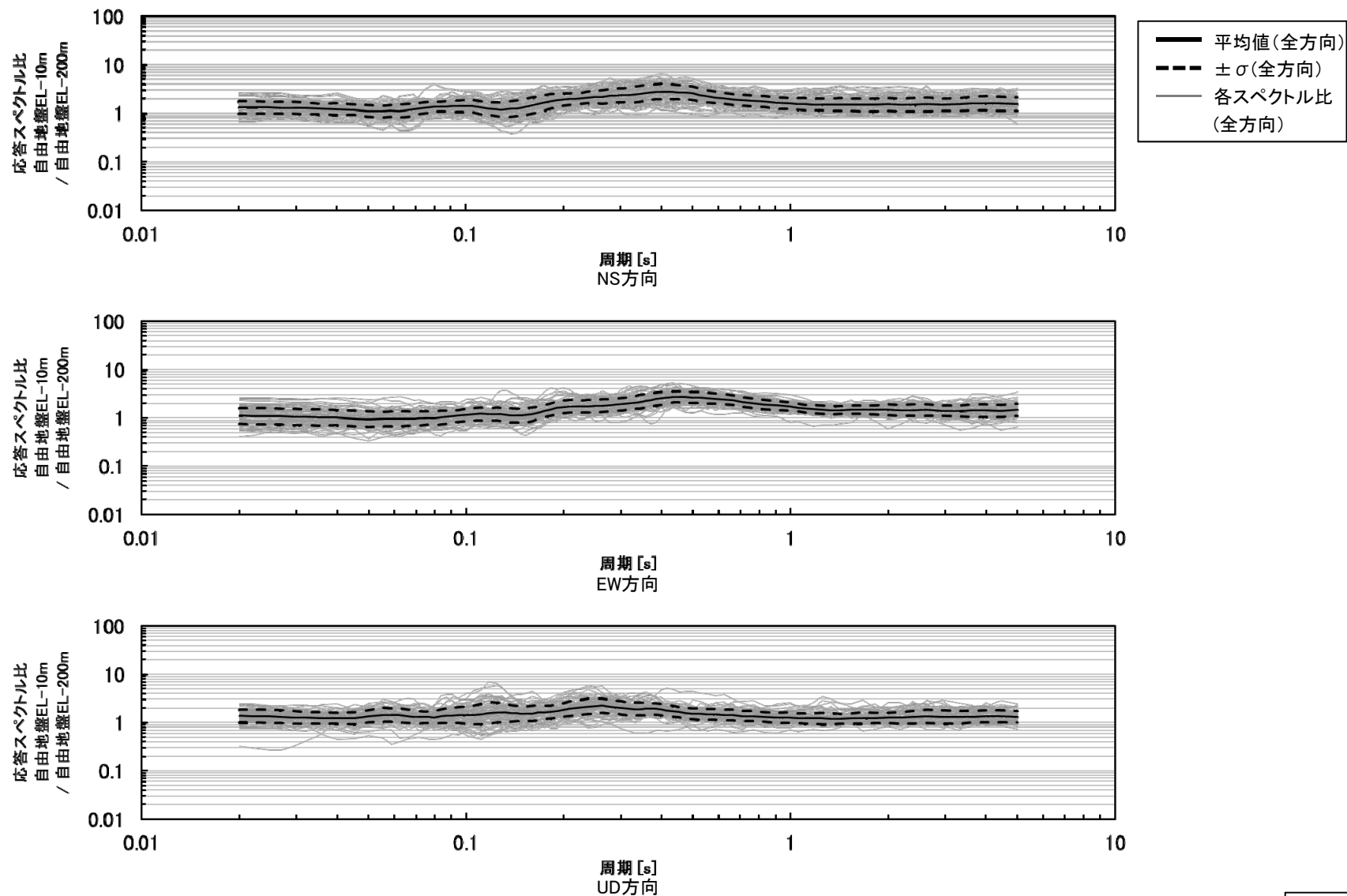
※検討に用いた各地震の加速度時刻歴波形及び応答スペクトルはデータ集P.247～322。

3.4.2(2) 検討結果

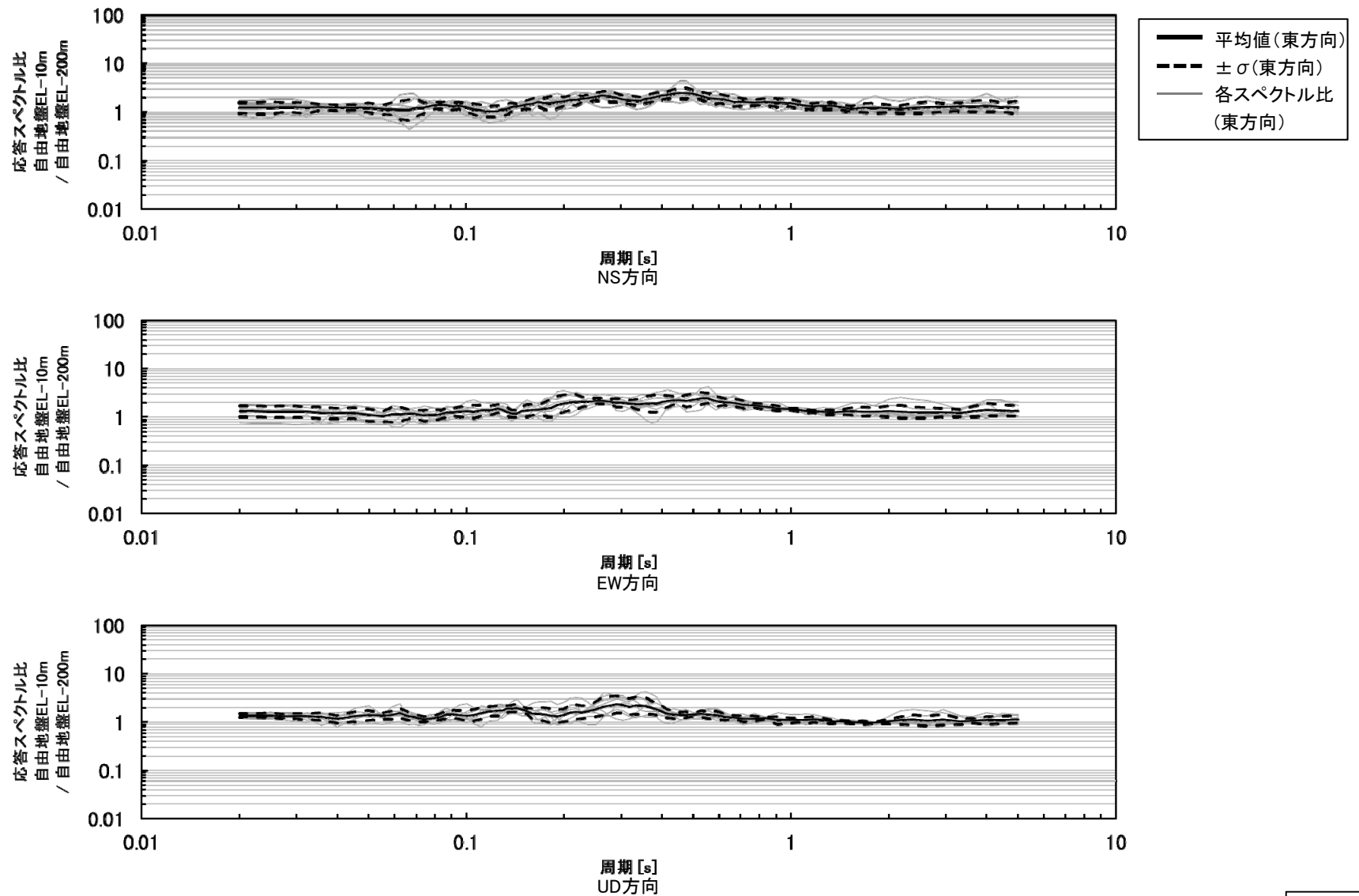
○ 自由地盤EL-200mに対する自由地盤EL-10mの応答スペクトル比を地震の到来方向ごとに比較した結果、応答スペクトル比は地震の到来方向による顕著な違いはなく、そのばらつきは小さいことから、敷地の地下構造に特異な構造はないと考えられる。



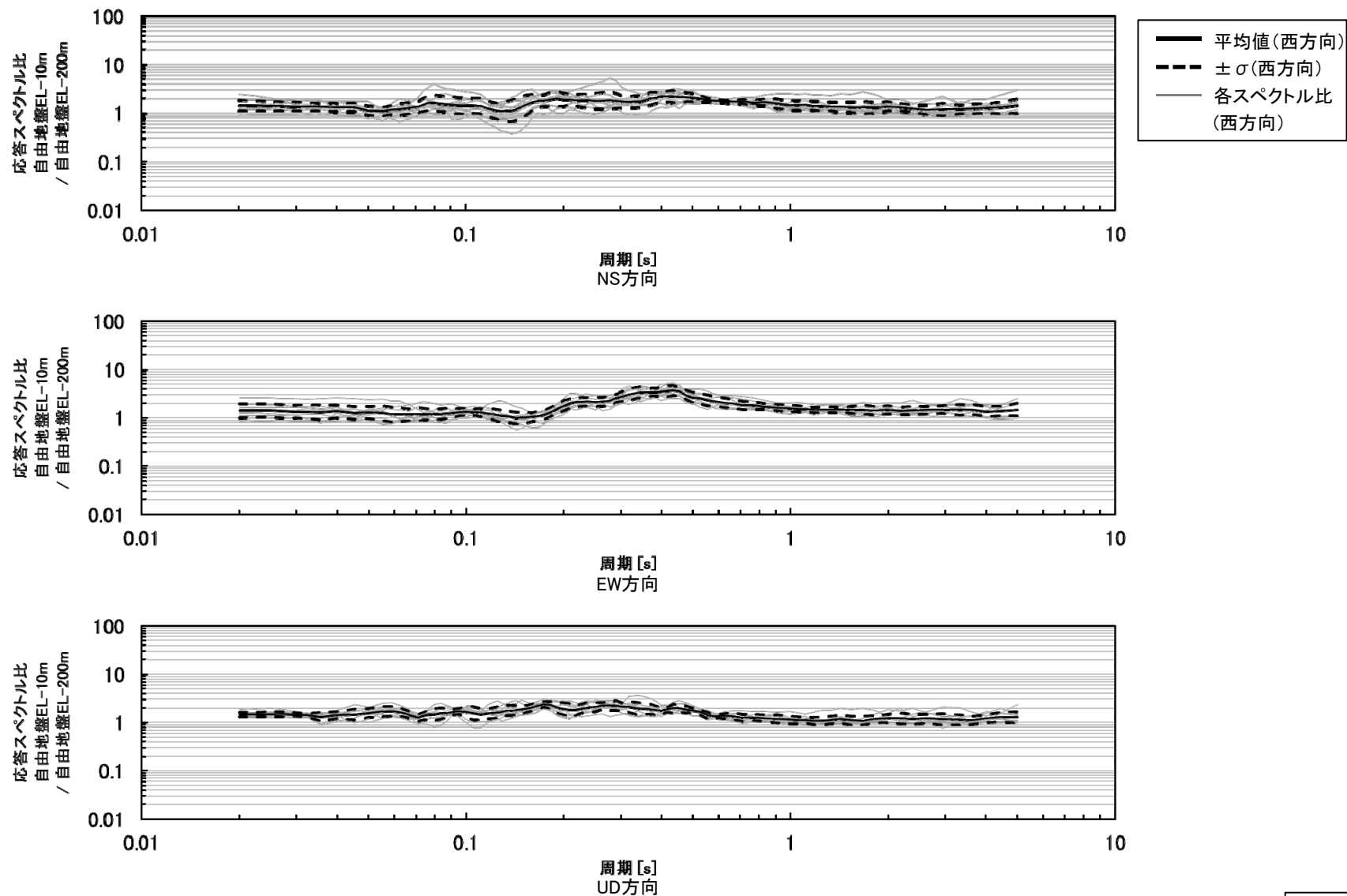
応答スペクトル比(自由地盤EL-10m/自由地盤EL-200m)の地震の到来方向ごとの比較



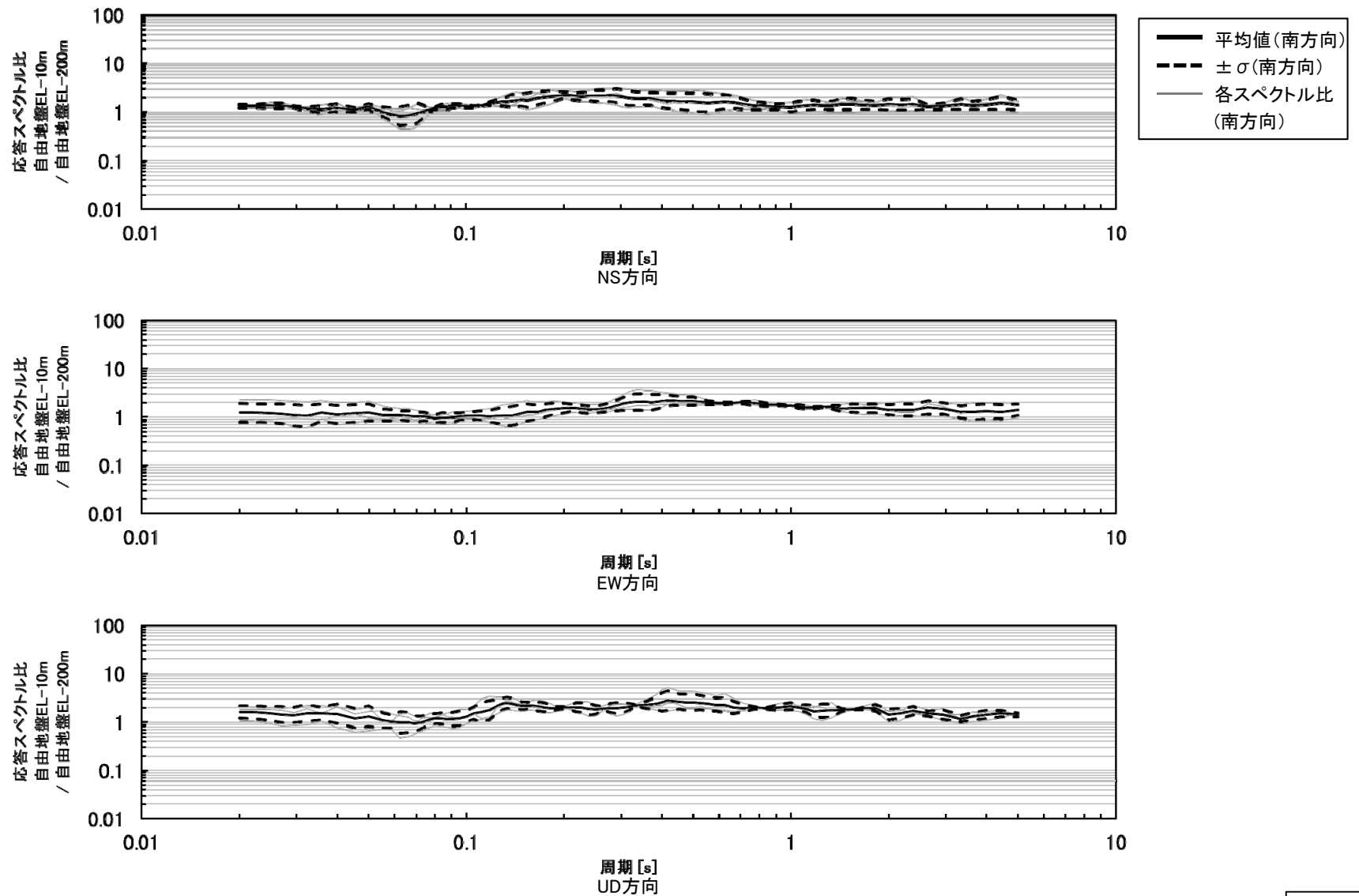
応答スペクトル比(自由地盤EL-10m/自由地盤EL-200m) (全方向)



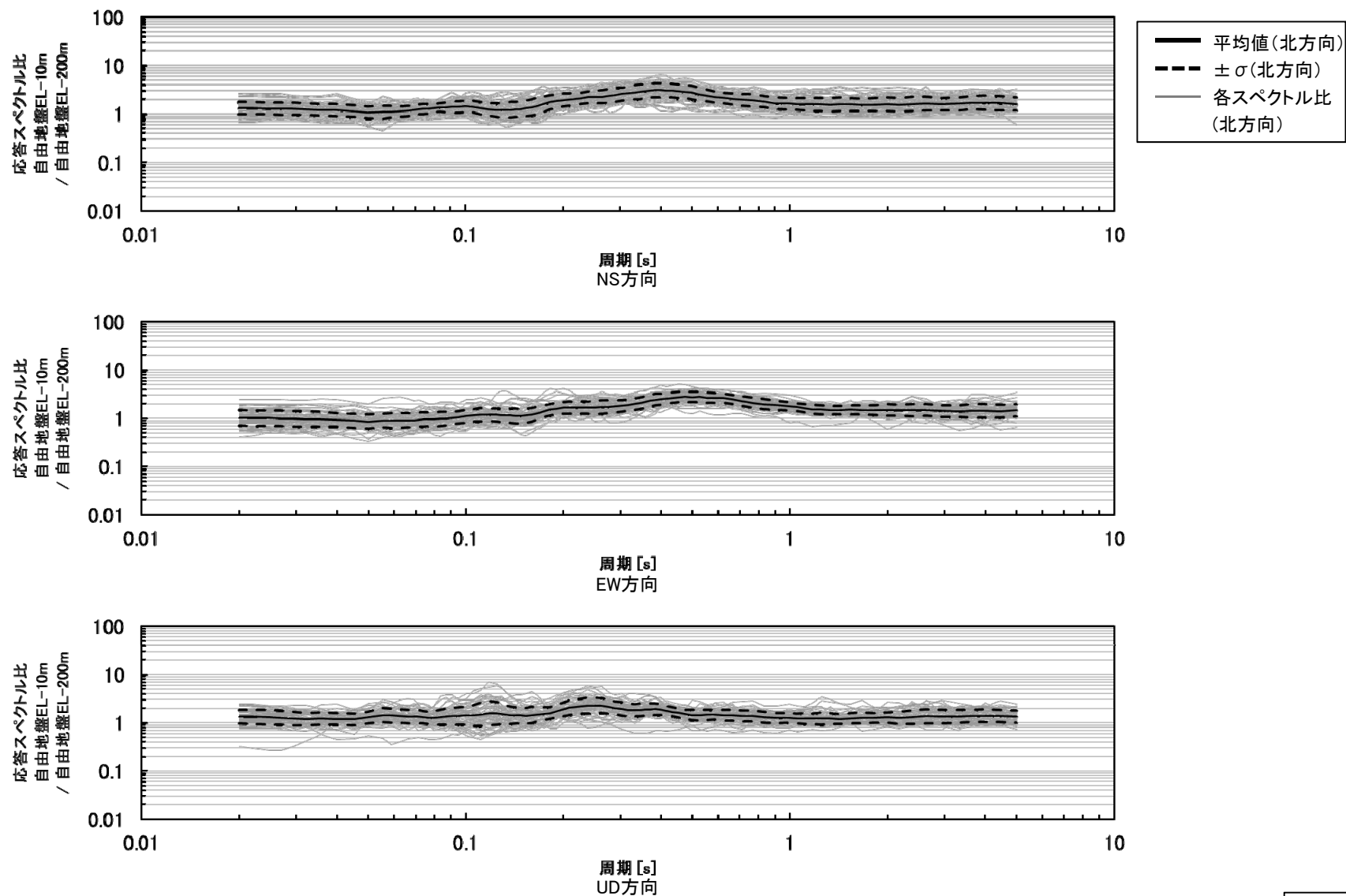
応答スペクトル比(自由地盤EL-10m/自由地盤EL-200m) (東方向)



応答スペクトル比(自由地盤EL-10m/自由地盤EL-200m) (西方向)



応答スペクトル比(自由地盤EL-10m/自由地盤EL-200m) (南方向)

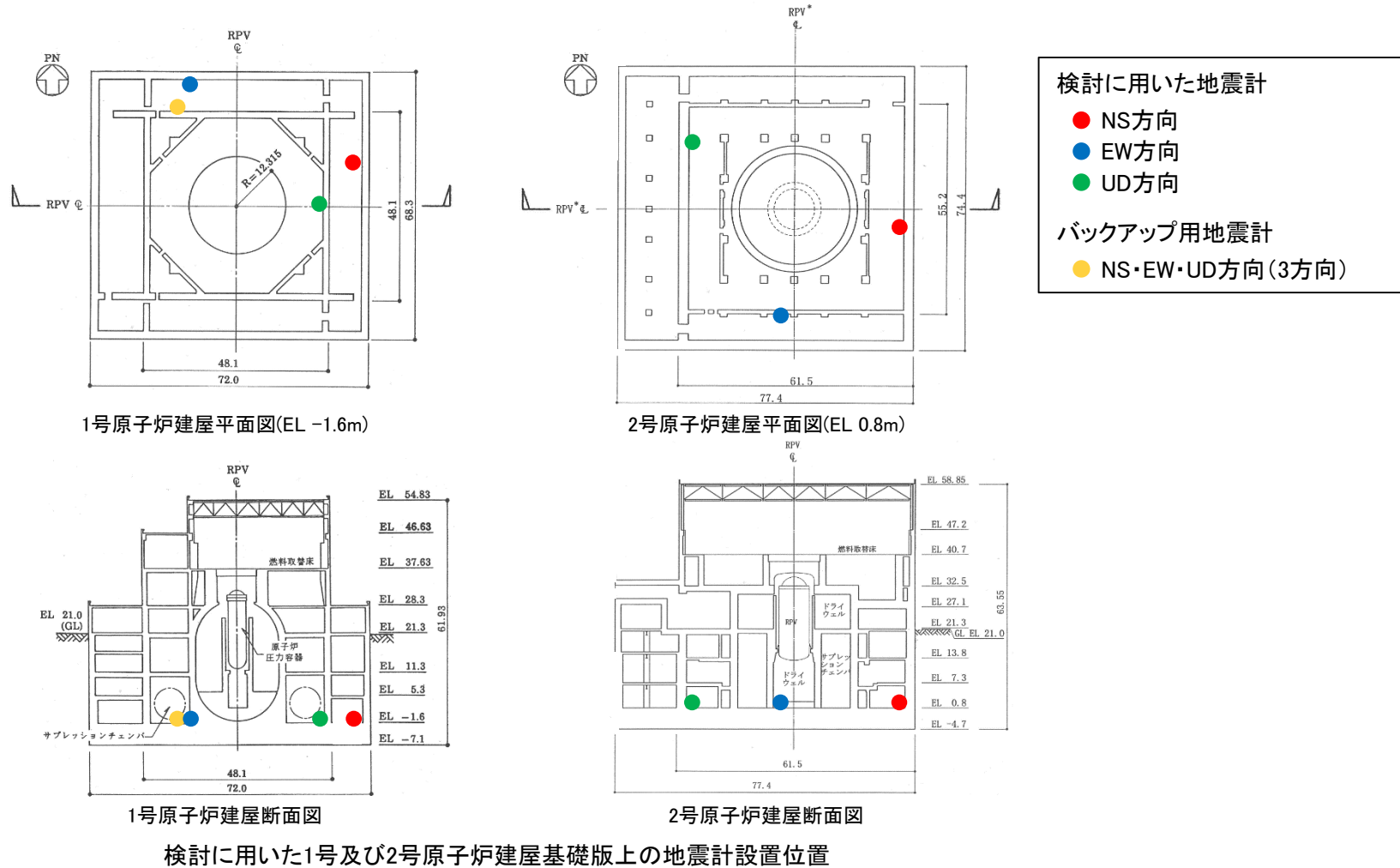


応答スペクトル比(自由地盤EL-10m/自由地盤EL-200m) (北方向)

3.5 原子炉建屋基礎版上の地震観測記録を用いた検討

3.5(1) 検討概要

- 1号及び2号原子炉建屋基礎版上の地震動の違いを確認するため、1号及び2号原子炉建屋基礎版上の地震観測記録を用いて、加速度時刻歴波形及び応答スペクトルのそれぞれについて、1号と2号を比較した。
- 検討に用いた1号及び2号原子炉建屋基礎版上の地震計設置位置を下図に示す。



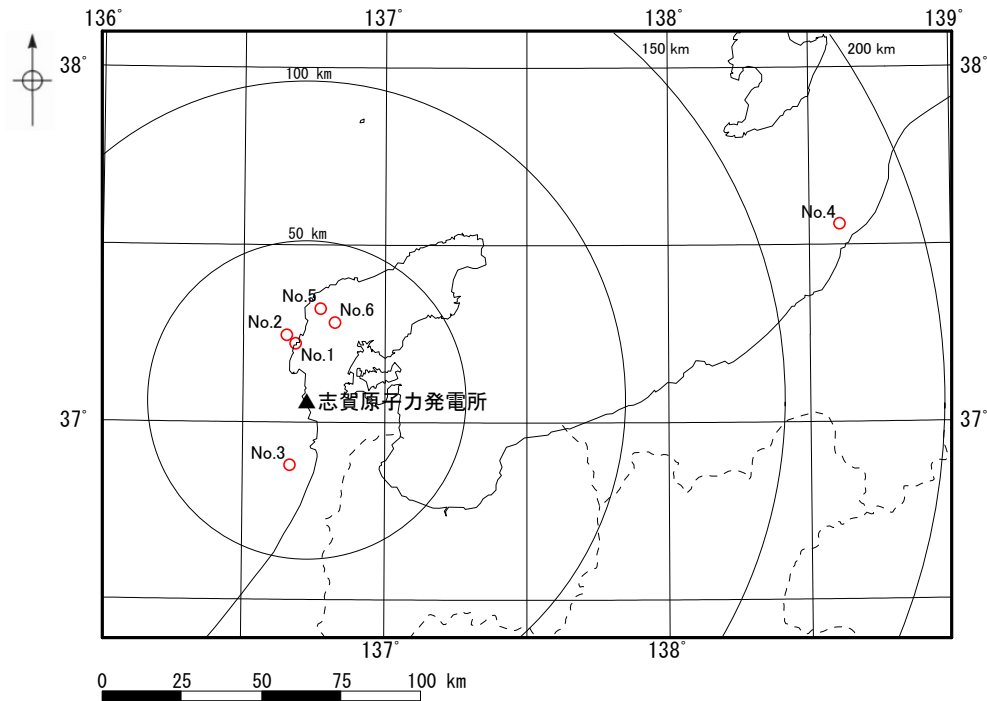
※ 断面図の地震計設置位置は、平面図に示される地震計設置位置を当該断面に投影して示す。
 ※ 2007年3月25日能登半島地震本震(M_{6.9})については、検討に用いた地震計のうち1号原子炉建屋基礎版上の地震計において加速度時刻歴波形が得られていないことから、バックアップ用地震計により得られた加速度時刻歴波形を用いた。

3.5(2) 検討の対象とした地震

○ 検討の対象とした地震は、1号及び2号原子炉建屋基礎版上において同時に観測された地震のうち、最大加速度10cm/s²程度以上を記録した6地震とした。

検討の対象とした地震の諸元

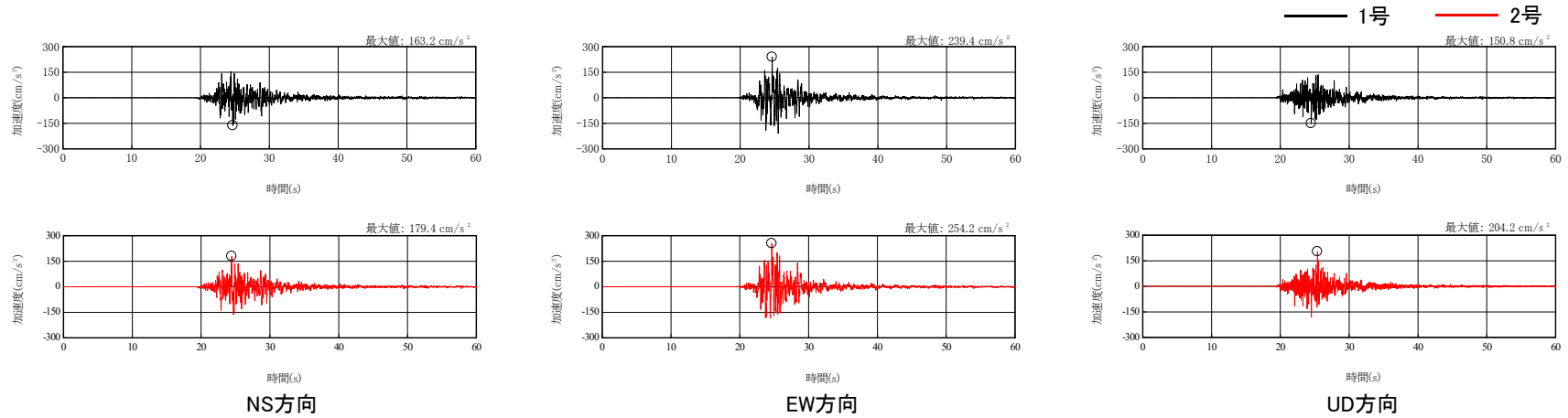
No.	震源情報						震央距離 (km)	原子炉建屋基礎版上最大加速度 (cm/s ²)					
	日付	時刻	北緯 (°)	東経 (°)	深さ (km)	M		1号			2号		
								NS	EW	UD	NS	EW	UD
1	2007/03/25	09:41	37.2207	136.6860	10.70	6.9	18.1	163.2	239.4	150.8	179.4	254.2	204.2
2	2007/06/11	03:45	37.2442	136.6547	7.29	5.0	21.3	34.9	30.4	18.1	36.2	33.2	17.4
3	2007/06/22	03:34	36.8780	136.6677	7.50	4.6	21.0	20.2	24.8	10.6	22.1	26.5	13.0
4	2007/07/16	10:13	37.5568	138.6095	16.75	6.8	175.8	5.9	5.9	2.9	6.1	7.2	3.9
5	2008/01/26	04:33	37.3188	136.7733	11.30	4.8	28.9	9.3	6.9	4.5	7.5	8.2	5.0
6	2020/03/13	02:18	37.2797	136.8245	12.33	5.5	25.8	29.2	19.6	16.4	31.7	21.5	16.9



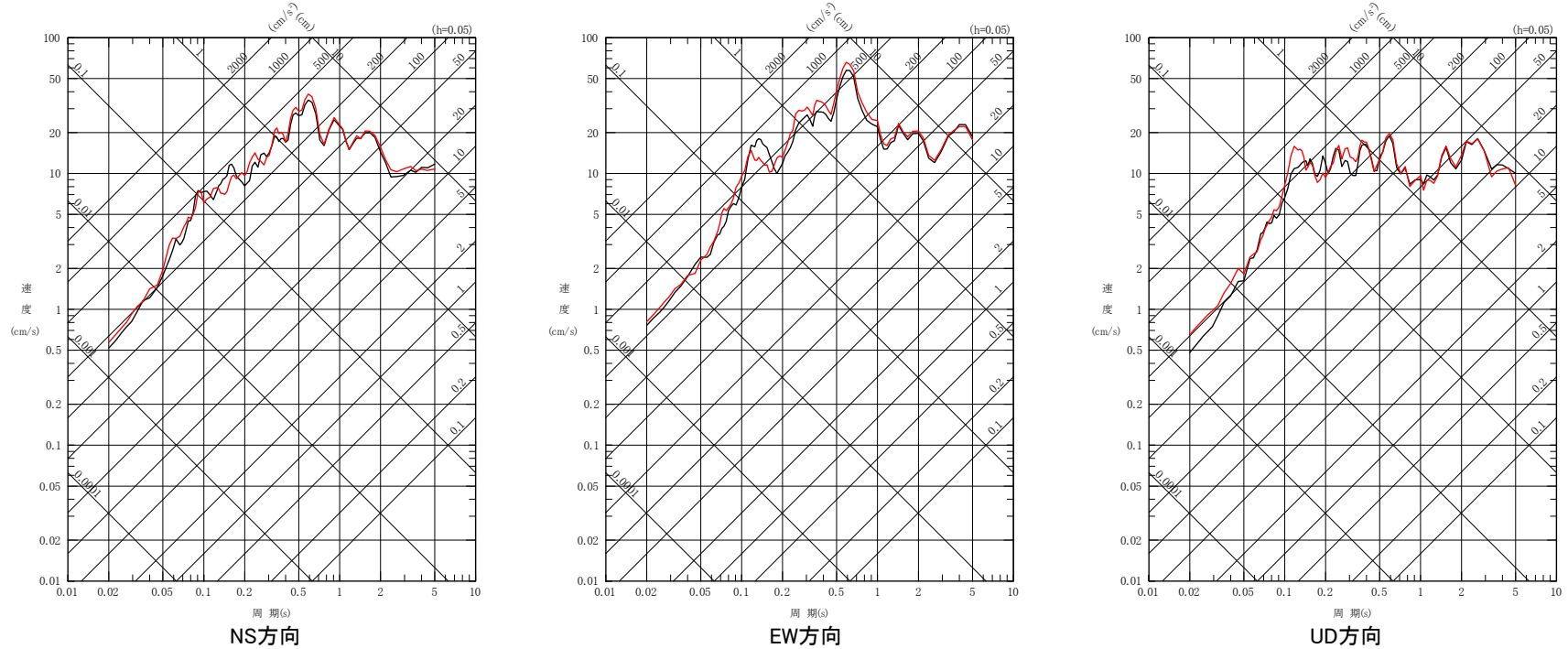
検討の対象とした地震の震央分布図

3.5(3) 検討結果

○ No.1の地震の加速度時刻歴波形及び応答スペクトルのそれぞれについて、1号と2号に顕著な違いはない。

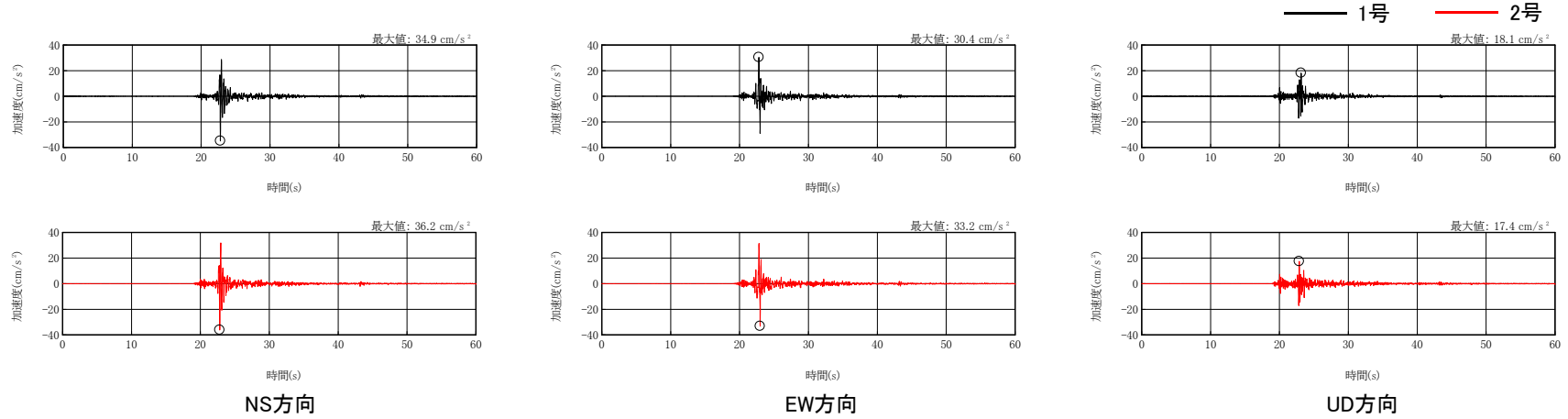


加速度時刻歴波形 (No.1)

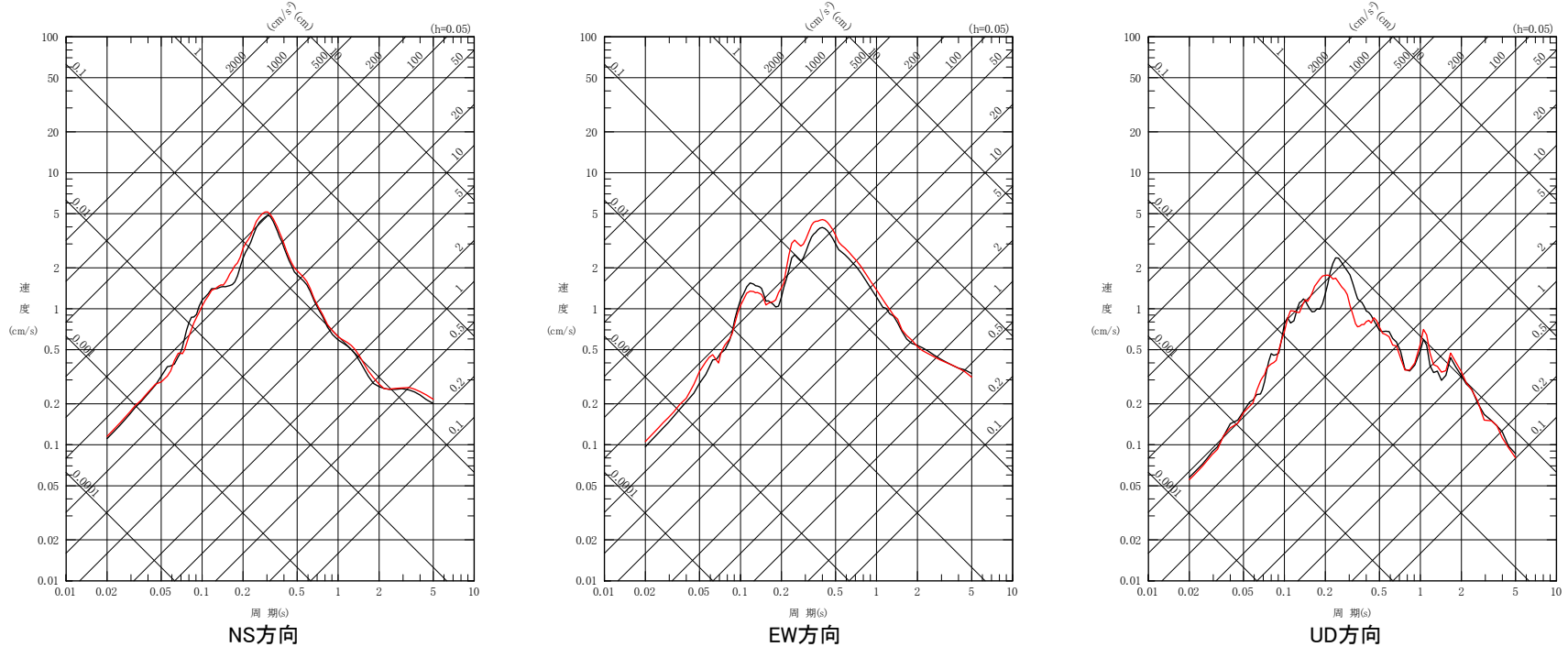


応答スペクトル (No.1)

○ No.2の地震についても同様の傾向を示している。

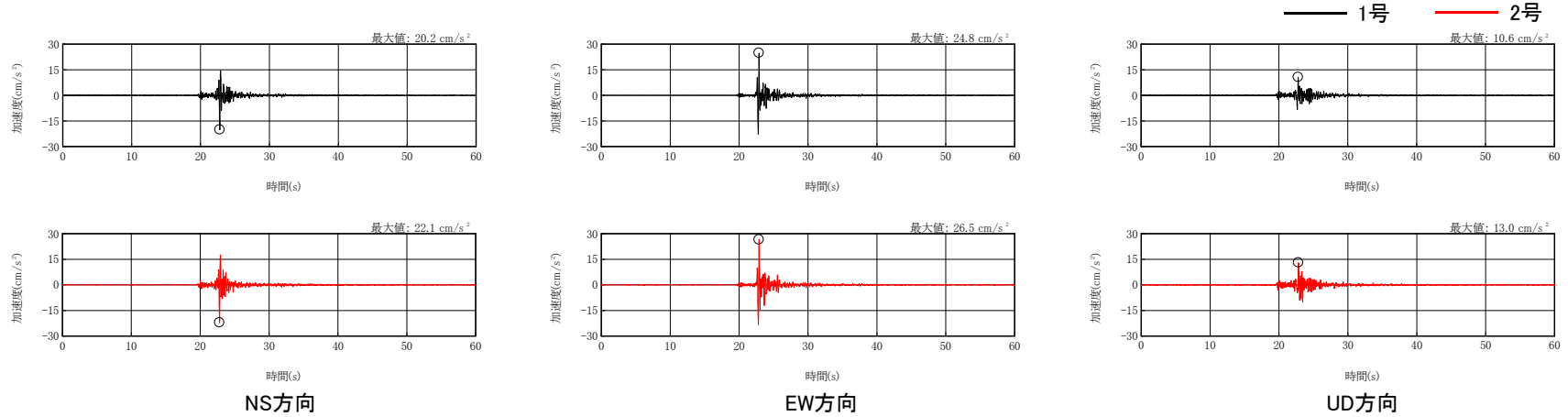


加速度時刻歴波形 (No.2)

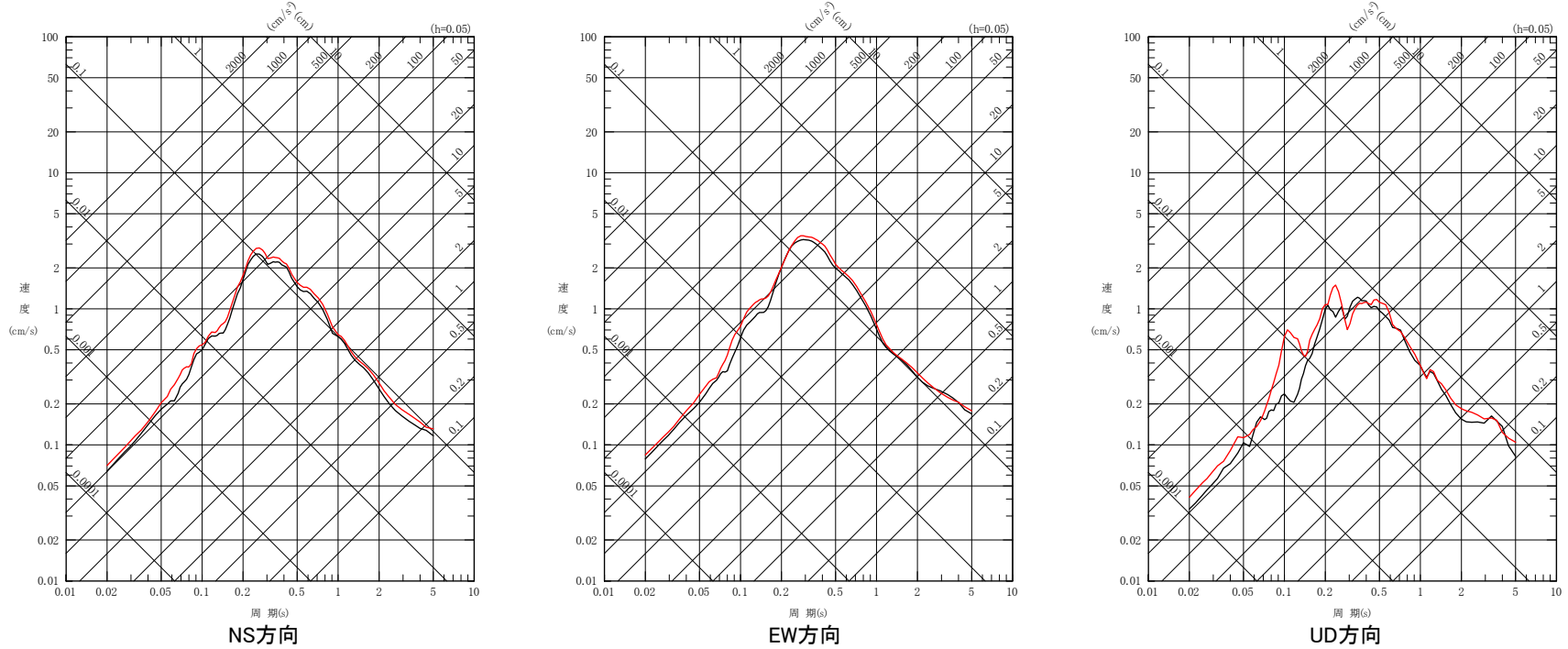


応答スペクトル (No.2)

○ No.3の地震についても同様の傾向を示している。

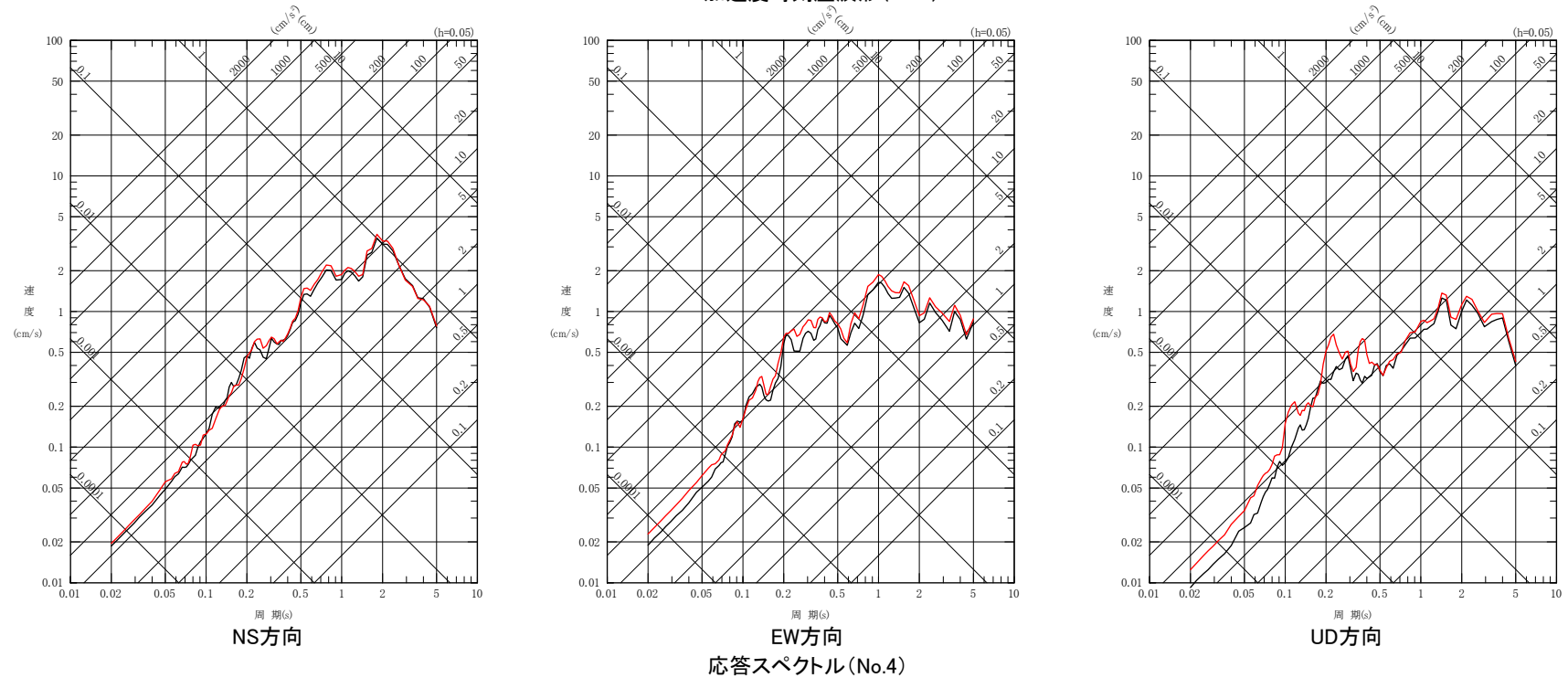
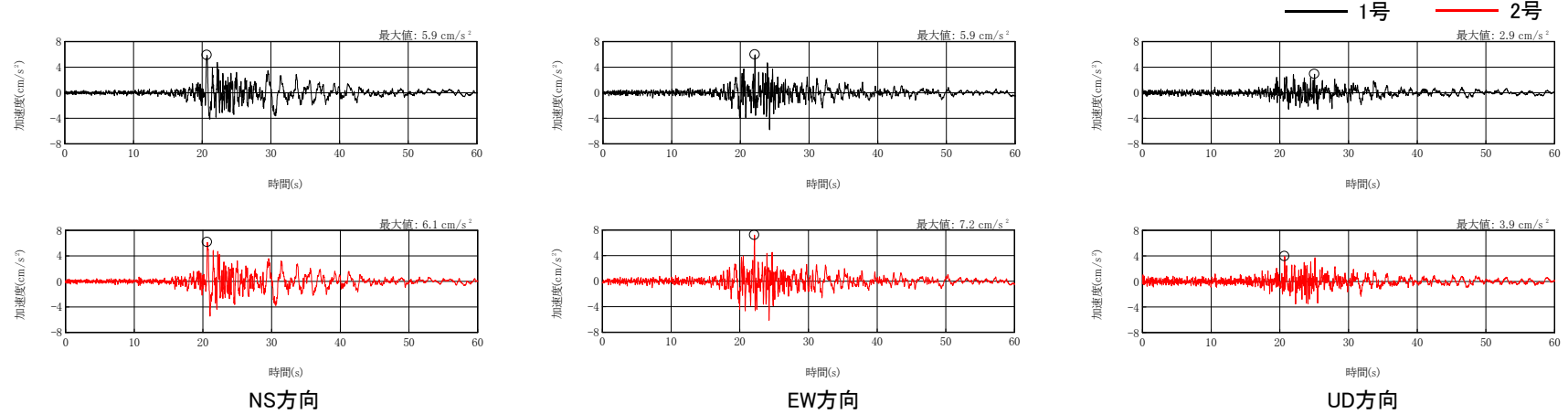


加速度時刻歴波形 (No.3)

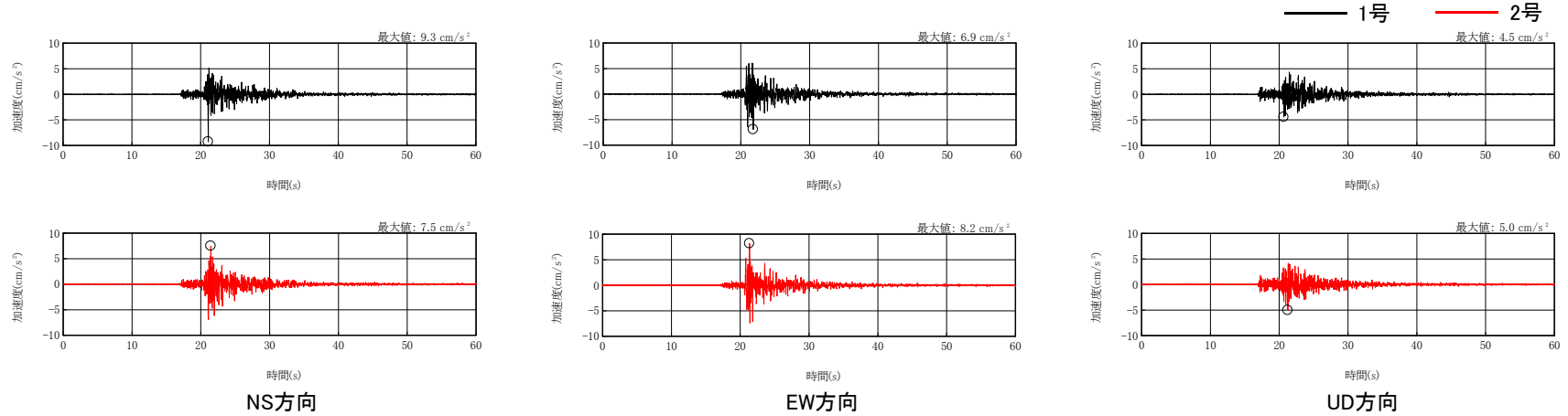


応答スペクトル (No.3)

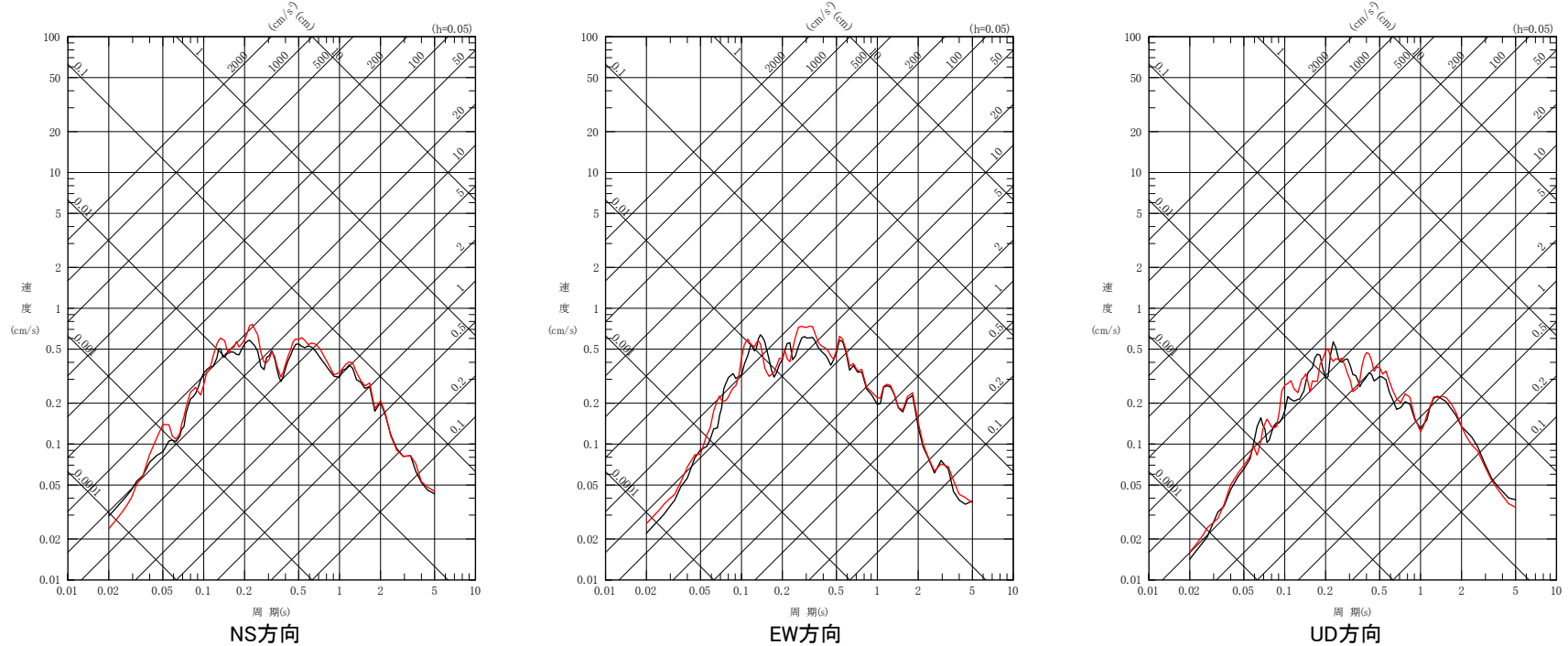
○ No.4の地震についても同様の傾向を示している。



○ No.5の地震についても同様の傾向を示している。

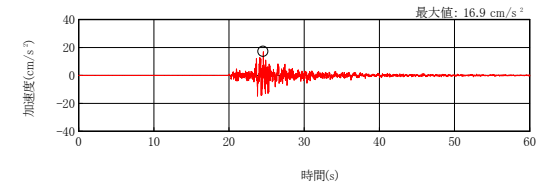
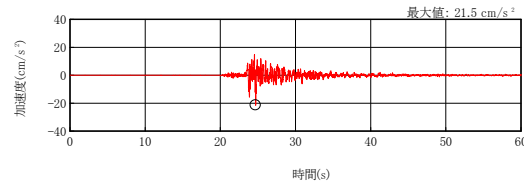
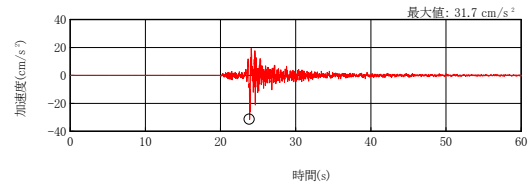
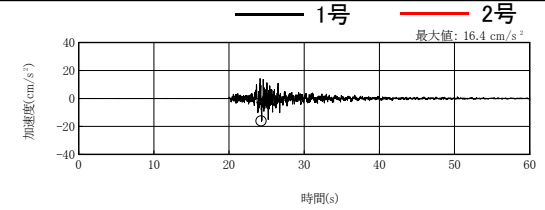
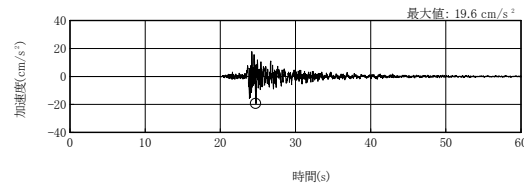
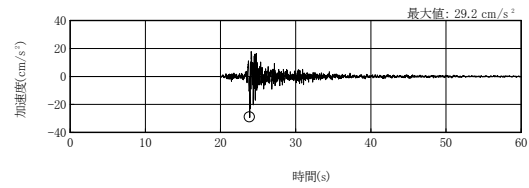


加速度時刻歴波形 (No.5)



応答スペクトル (No.5)

- No.6の地震についても同様の傾向を示している。
- 以上より、1号と2号を比較した結果、顕著な違いはないことから、敷地の地下構造に特異な構造はないと考えられる。

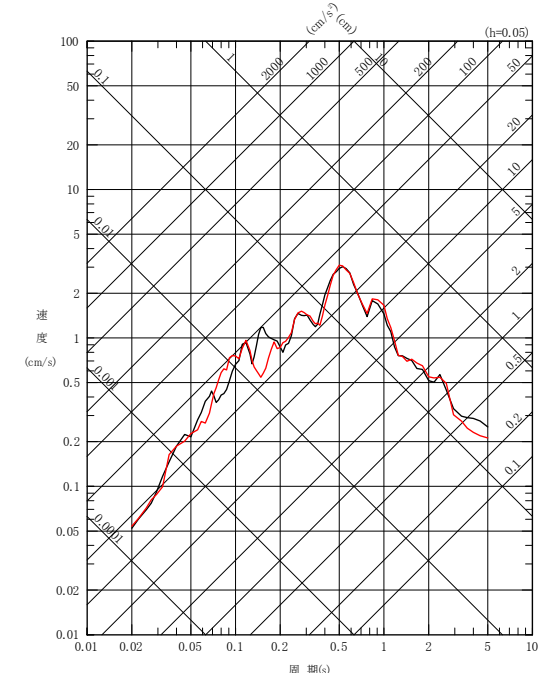
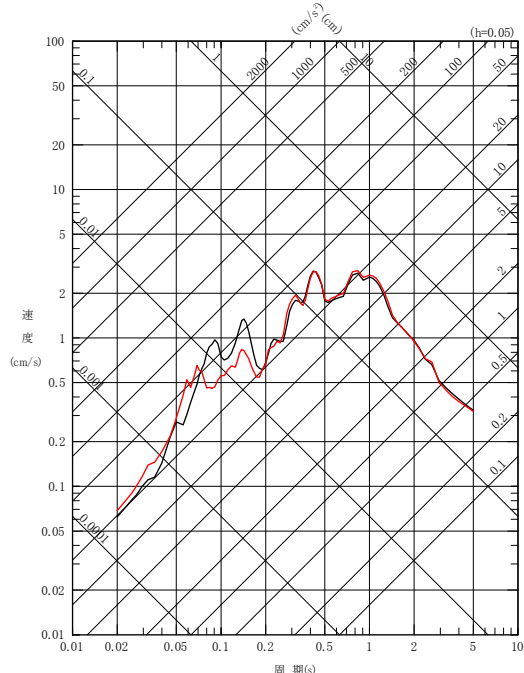
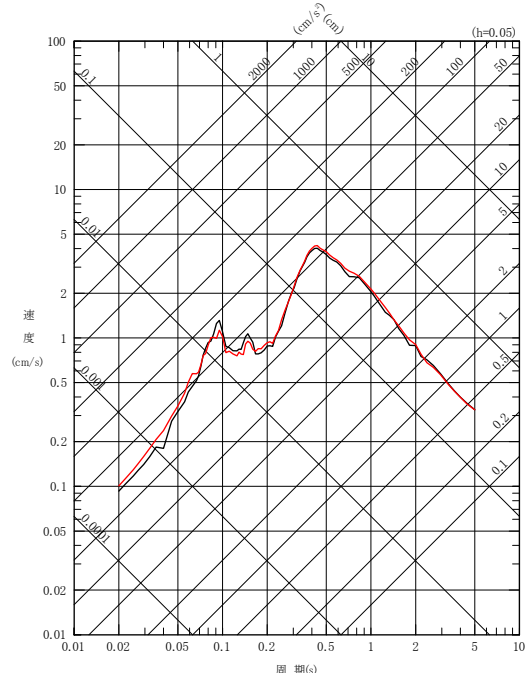


NS方向

EW方向

UD方向

加速度時刻歴波形 (No.6)



NS方向

EW方向

UD方向

応答スペクトル (No.6)

3.6 観測記録による地下構造の検討のまとめ

3.6 観測記録による地下構造の検討のまとめ

【3.1 広域微動観測記録を用いた検討】

- 敷地及び敷地周辺の広域における微動観測記録に基づき評価した群速度は、いずれも同様の分散性を示すことから、敷地及び敷地周辺の地下深部に特異な構造はないと考えられる。

【3.2 単点微動観測記録を用いた検討】

- 敷地内の単点微動観測記録に基づき評価したH/Vスペクトル比は、短周期側は観測点により変動が見られるが、長周期側は全体的に平坦な形状であり明瞭なピークは認められないことから、敷地の地下深部に特異な構造はないと考えられる。

【3.3 水平アレー地震観測記録を用いた検討】

- 敷地内の水平アレー地震観測点の地震観測記録を用いて、各観測点の応答スペクトルを比較した結果、検討対象とした周期帯(周期0.5秒以上)において応答スペクトル比は概ね1程度である。また、観測点間の応答スペクトル比を地震の到来方向ごとに比較した結果、応答スペクトル比は地震の到来方向による顕著な違いはなく、そのばらつきは小さいことから、敷地の地下構造に特異な構造はないと考えられる。

【3.4 鉛直アレー地震観測記録を用いた検討】

- 敷地内の鉛直アレー地震観測点の地震観測記録を用いて、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、及び、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を、地震の到来方向ごとに比較した結果、応答スペクトル比は地震の到来方向による顕著な違いはなく、そのばらつきは小さいことから、敷地の地下構造に特異な構造はないと考えられる。

【3.5 原子炉建屋基礎版上の地震観測記録を用いた検討】

- 1号及び2号原子炉建屋基礎版上の地震観測記録を用いて、加速度時刻歴波形及び応答スペクトルのそれぞれについて、1号と2号を比較した結果、顕著な違いはないことから、敷地の地下構造に特異な構造はないと考えられる。

4. 地下構造モデルの設定

4.1 地下構造の成層性・均質性に係る検討

4.1 地下構造の成層性・均質性に係る検討

○ 1章から3章の調査及び検討より、敷地及び敷地周辺の地下構造は、地下深部まで概ね水平な層構造を呈すものの、原子炉設置位置付近の速度構造において、周囲と異なった速度特性を示す範囲(第3'速度層)が見られる。このことを踏まえ、第3'速度層が地震動へ与える影響を確認する。

1章 敷地及び敷地周辺の地質・地質構造の調査

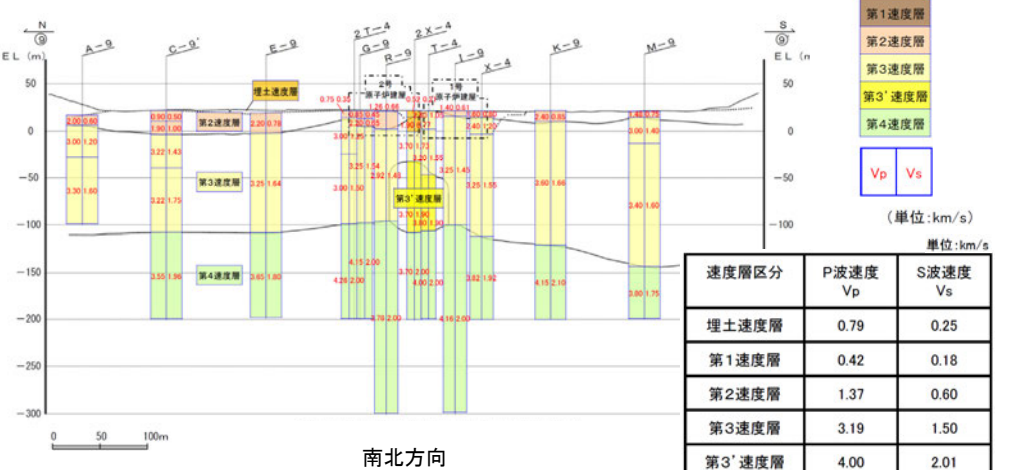
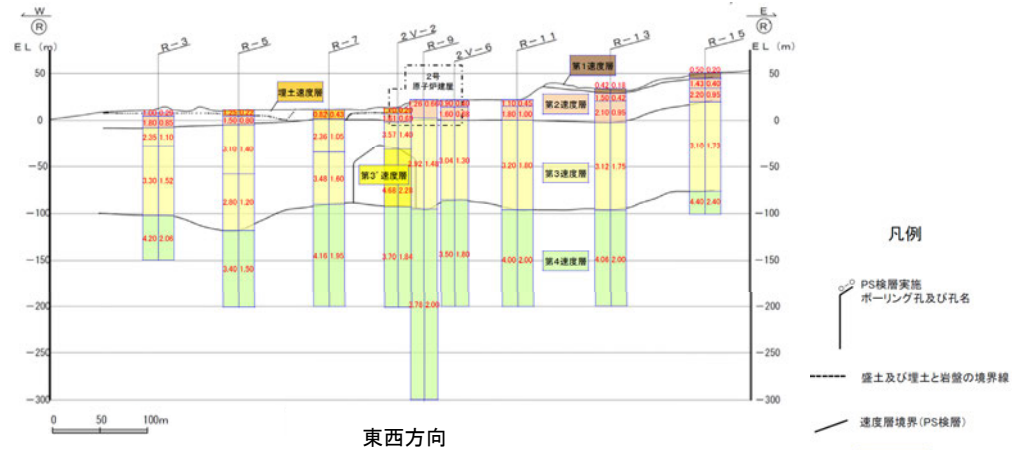
- 文献調査及びボーリング調査により、敷地及び敷地周辺の地質・地質構造を調査。
 - 敷地周辺陸域の地質は、新第三紀以降の地層が基盤である花崗岩類を直接覆っている。
 - 敷地を含む邑知潟平野北側では、大きな褶曲構造は認められない。
 - 新第三紀の岩稲階の別所岳安山岩類は、敷地内に広く分布しており、安山岩を主体とし、凝灰角礫岩を挟む。
 - 原子炉設置位置付近の速度構造は、第1速度層から第4速度層に区分され、概ね水平な層構造を呈す。**第3速度層中において、周囲と異なった速度特性を示す範囲を第3'速度層として区分した。**
 - 大深度ボーリング調査の結果、敷地の地質は、下位から先第三紀の花崗岩、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、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。

2章 物理探査による地下構造の検討

- 文献調査、重力探査、屈折法地震探査、微動アレー探査及び反射法地震探査・VSP探査により、敷地及び敷地周辺の地下深部構造を検討。
 - 敷地近傍の重力異常値はほぼ一定であり、基盤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。
 - 文献調査、屈折法地震探査、微動アレー探査による地下深部の速度構造は、概ね水平に分布している。
 - 反射法地震探査・VSP探査による敷地の花崗岩上面に相当する反射面は、ほぼ水平である。

3章 観測記録による地下構造の検討

- 微動観測記録及び地震観測記録を用いて、敷地及び敷地周辺の地下構造を検討。
 - 広域における微動観測記録に基づき評価した群速度は、いずれも同様の分散性を示すことから、敷地及び敷地周辺の地下深部に特異な構造はないと考えられる。
 - 敷地内の単点微動観測記録に基づき評価したH/Vスペクトル比は、長周期側は全体的に平坦な形状であり明瞭なピークは認められないことから、敷地の地下深部に特異な構造はないと考えられる。
 - 敷地内の水平アレー地震観測点、鉛直アレー地震観測点の観測点間の応答スペクトル比は地震の到来方向による顕著な違いはなく、そのばらつきは小さいこと等から、敷地の地下構造に特異な構造はないと考えられる。
 - 1号及び2号原子炉建屋基礎版上の地震観測記録を比較した結果、顕著な違いはないことから、敷地の地下構造に特異な構造はないと考えられる。

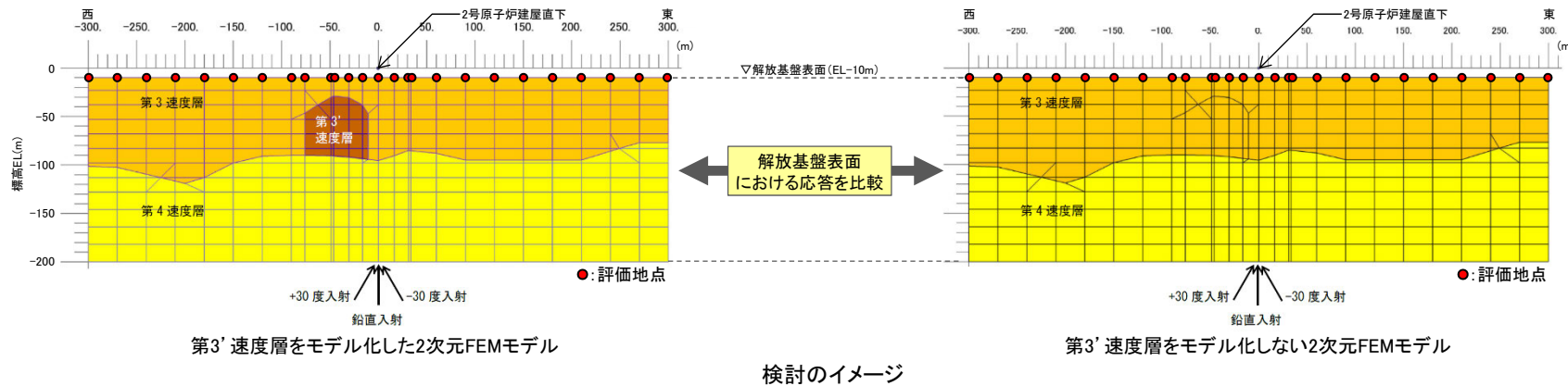


速度層区分	P波速度 Vp	S波速度 Vs
埋土速度層	0.79	0.25
第1速度層	0.42	0.18
第2速度層	1.37	0.60
第3速度層	3.19	1.50
第3'速度層	4.00	2.01
第4速度層	3.96	1.96

原子炉設置位置付近の速度構造

4.1(1) 検討概要

- 第3'速度層が地震動へ与える影響を確認するため、2次元FEMモデルを用いた地震動シミュレーションを行った。
- 地震動シミュレーションは、第3'速度層をモデル化した2次元FEMモデル及び第3'速度層をモデル化しない2次元FEMモデルに地震波を入力し、解放基盤表面(詳細は4.2節)として設定したEL-10mにおける応答波形を比較した。地震波の入力は、中心周期0.2秒及び1.0秒のリッカー波を鉛直入射及び斜め入射($\pm 30^\circ$)した場合について検討を行った。なお、第3'速度層は原子炉設置位置付近の速度構造の東西方向及び南北方向の両方向にみられるが、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、ここでは東西方向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

※ 入射波は、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次固有周期を勘案し、中心周期0.2秒及び1.0秒のリッカー波を用いた。

※ 2次元FEMモデル側面はエネルギー伝達境界を設定し、側面境界以遠は境界位置の層構成を水平成層地盤として仮定する。また2次元FEMモデル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。