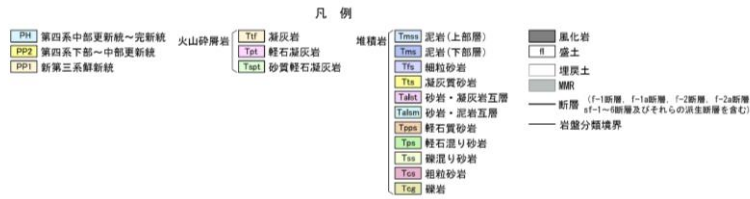
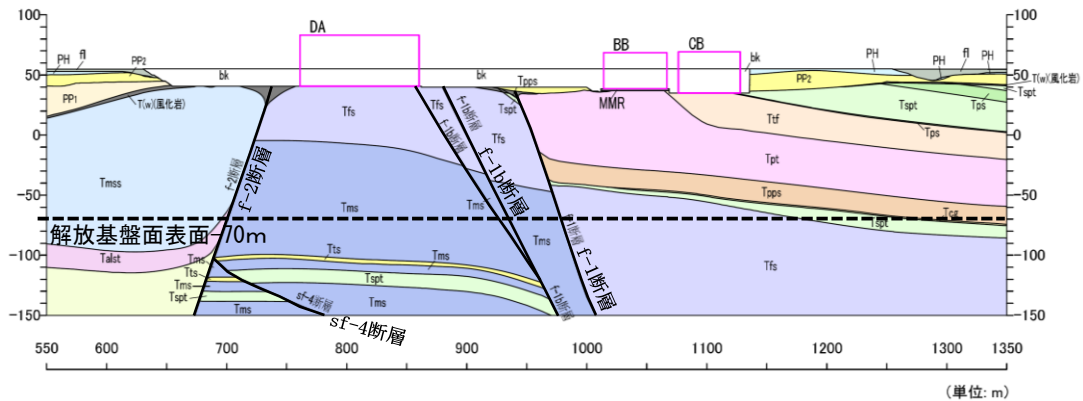


EW14



第3-2図 岩盤分類図 (EW14断面) (31/35)



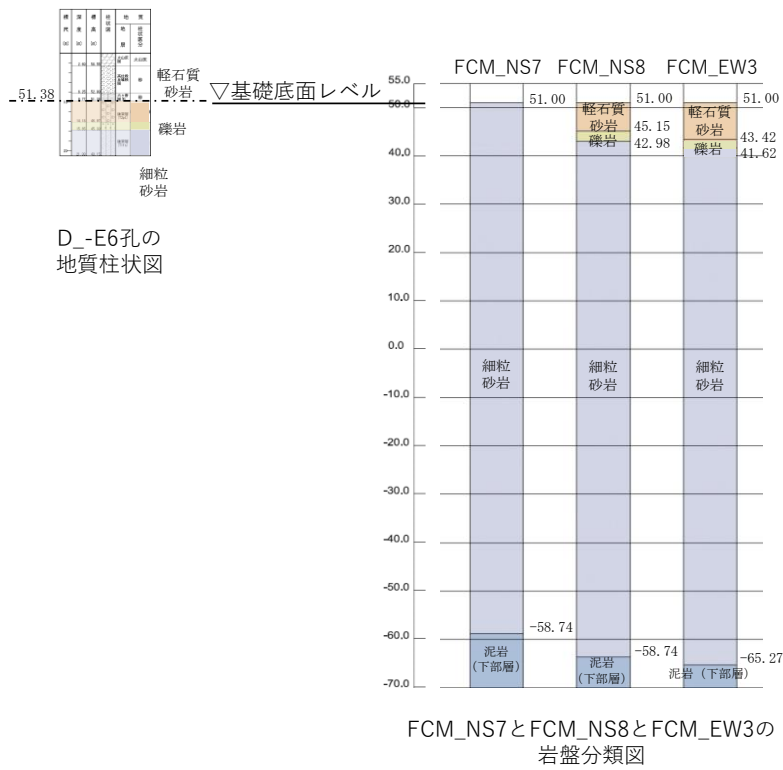
EW15



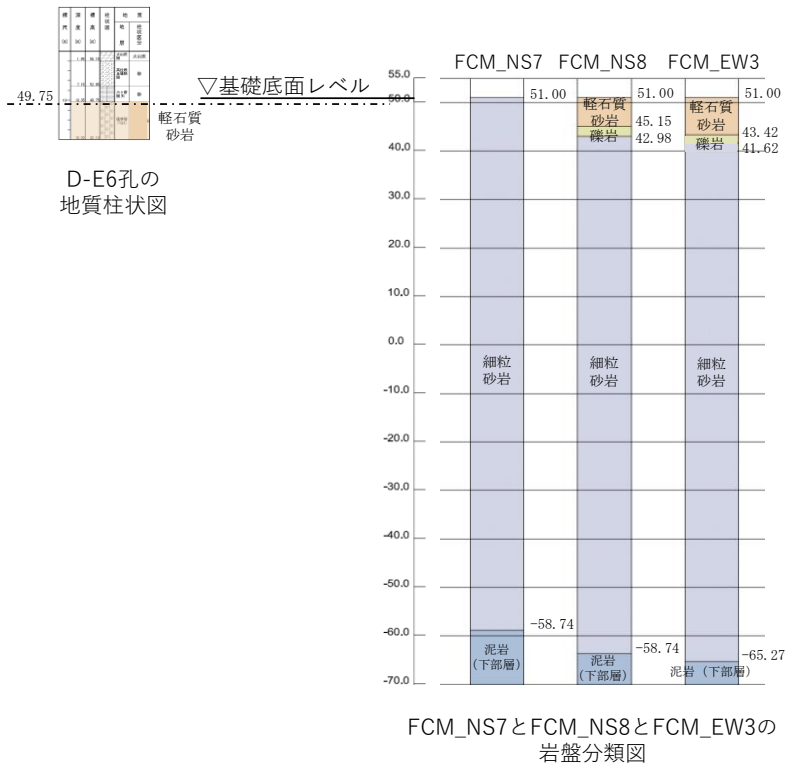
第3-2図 岩盤分類図 (EW15断面) (32/35)

4. 地質柱状図と岩盤分類図との比較

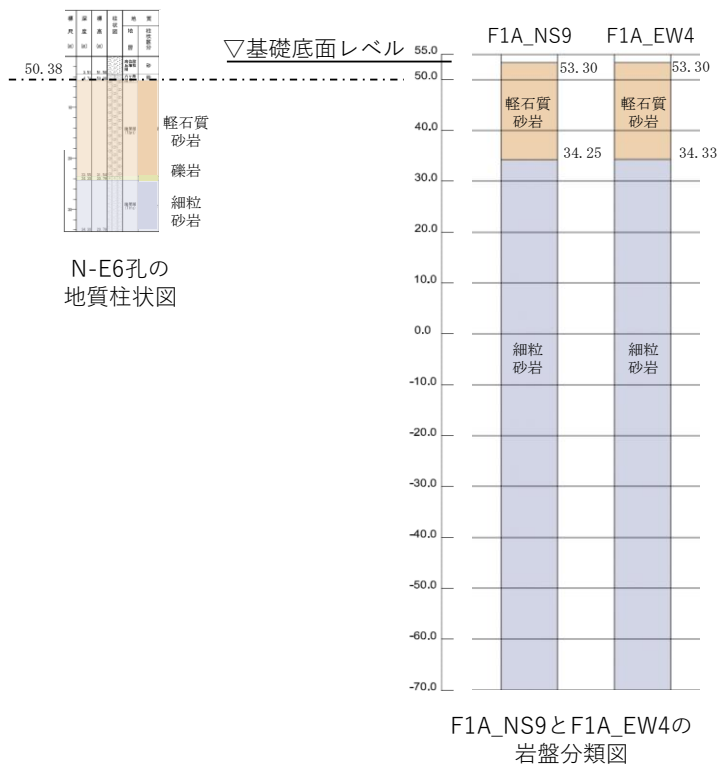
建物・構築物に対応する直下又は近傍の地質柱状図と岩盤分類図との比較を図 4-1～図 4-20 に示す。各建物・構築物直下の岩盤分類図は、「3. 敷地内における断層の位置の確認」の第 3-1 図に示す断面位置に対応している。



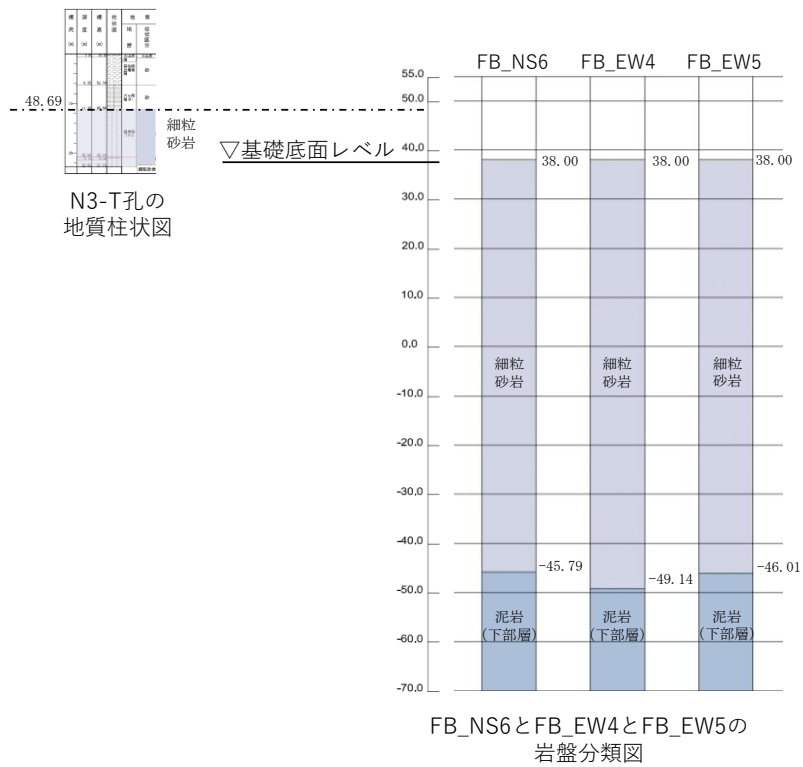
第 4-1 図 D-E6 孔及び FCM 直下の岩盤分類図の対応



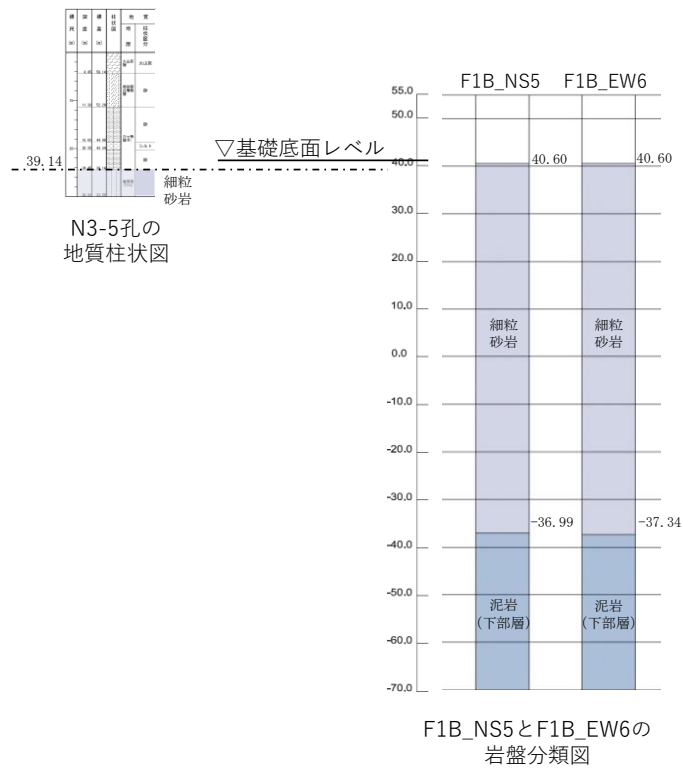
第 4-2 図 D-E6 及び FCM 直下の岩盤分類図の対応



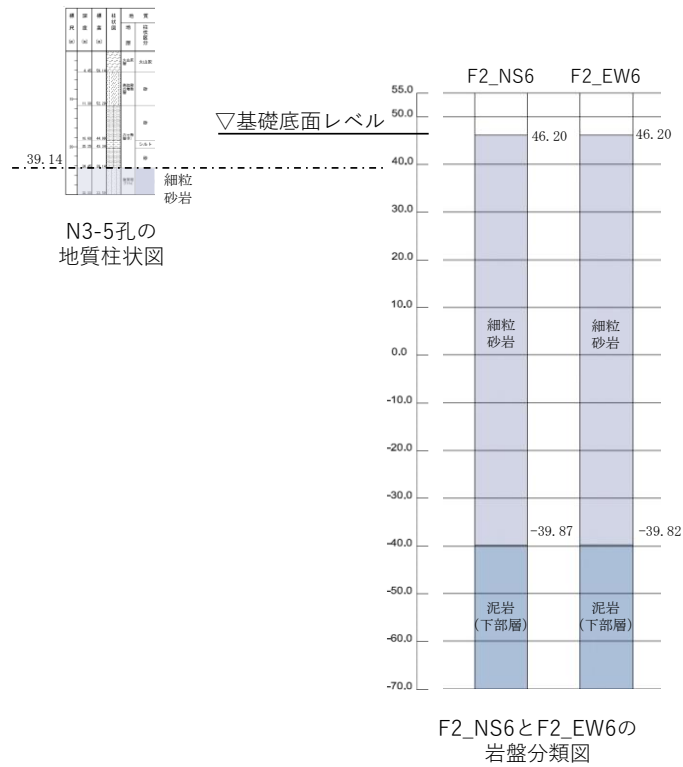
第 4-3 図 N-E6 孔及び F1A 直下の岩盤分類図の対応



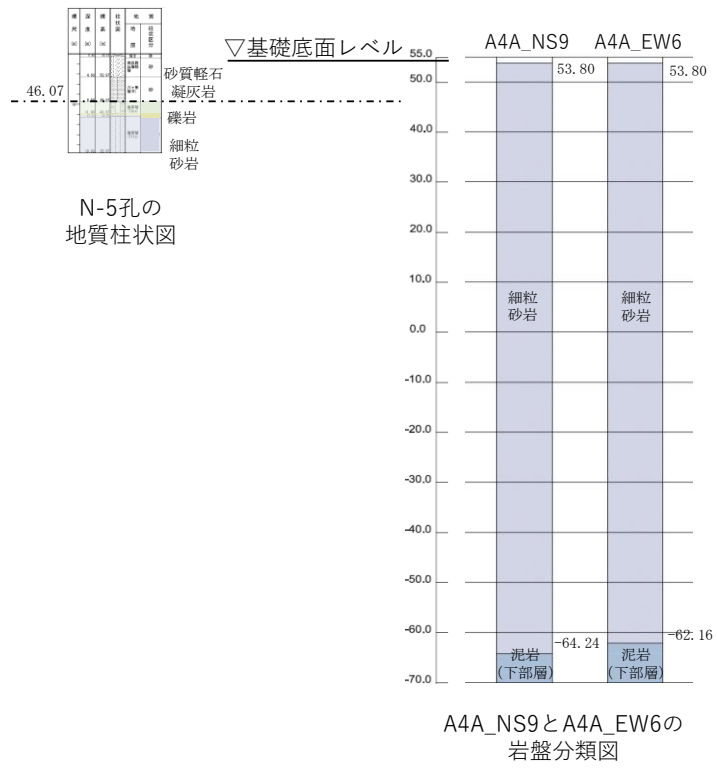
第 4-4 図 N3-T 及び FB 直下の岩盤分類図の対応



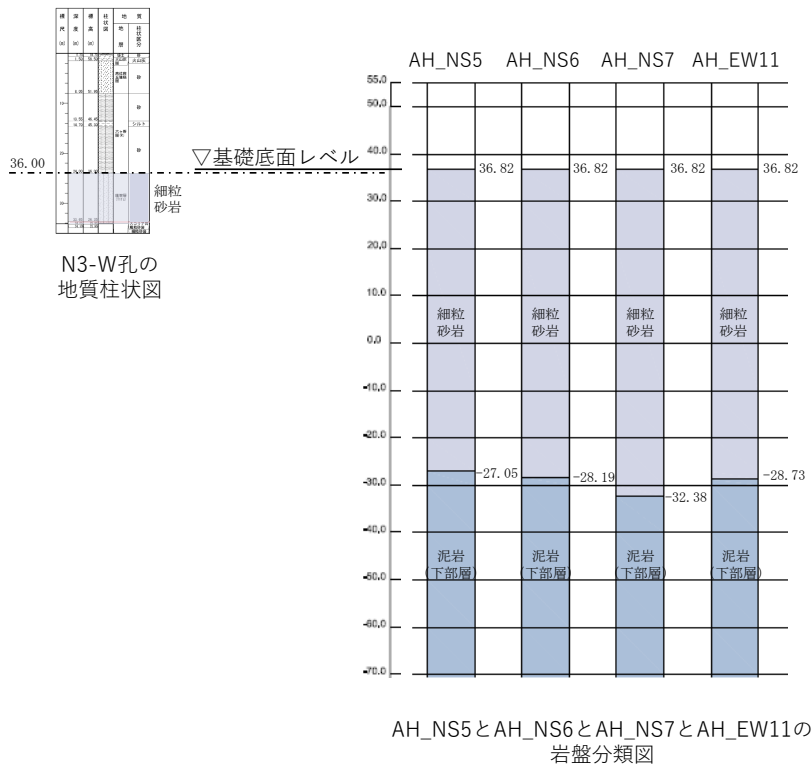
第 4-5 図 N3-5 孔及び F1B 直下の岩盤分類図の対応



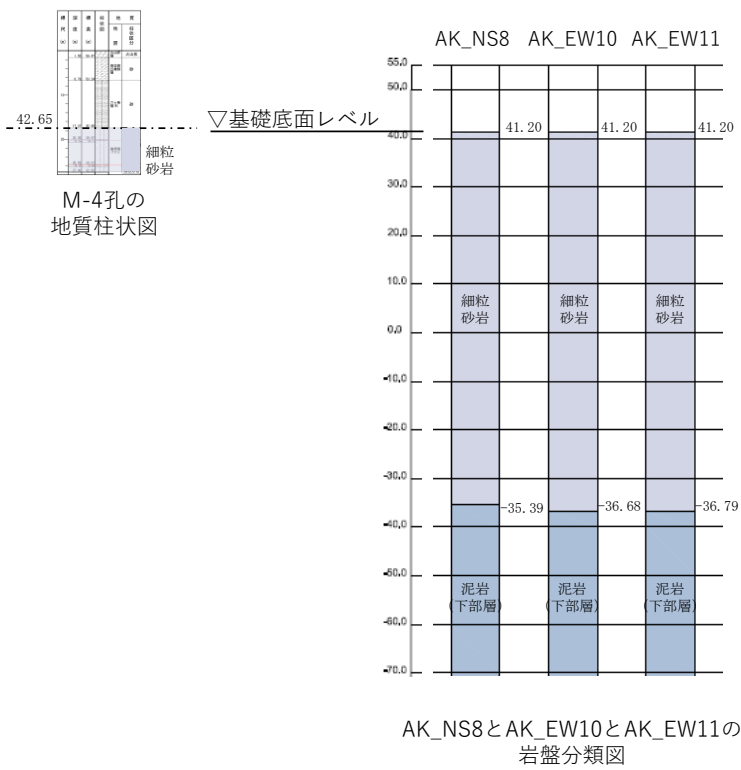
第 4-6 図 N3-5 及び F2 直下の岩盤分類図の対応



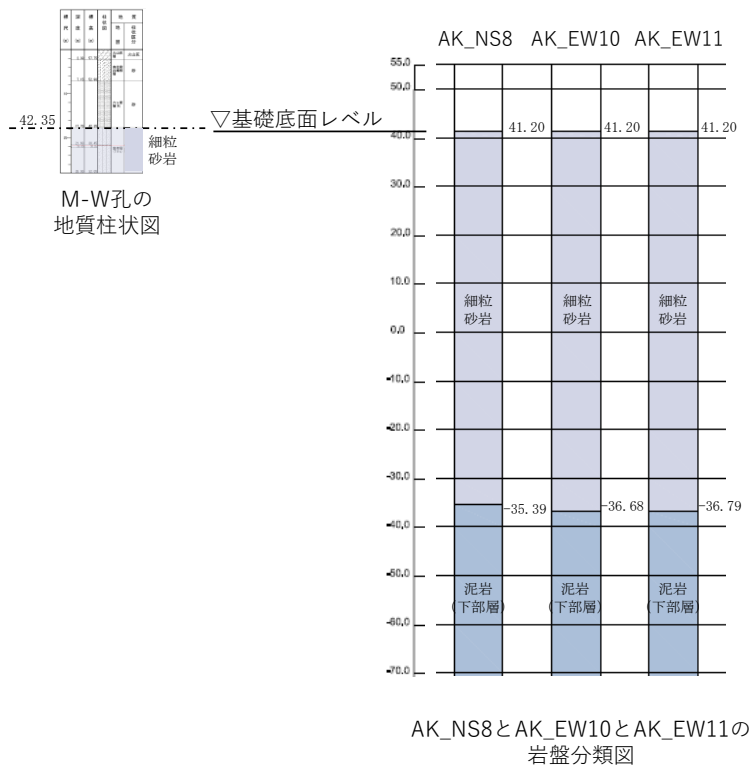
第 4-7 図 N-5 孔及び A4A 直下の岩盤分類図の対応



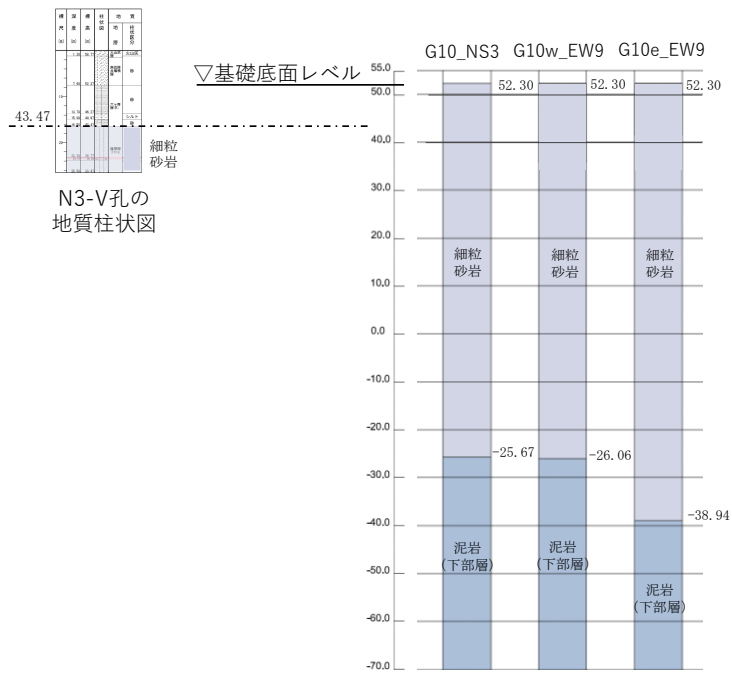
第 4-8 図 N3-W 孔及び AH 直下の岩盤分類図の対応



第 4-9 図 M-4 孔及び AK 直下の岩盤分類図の対応

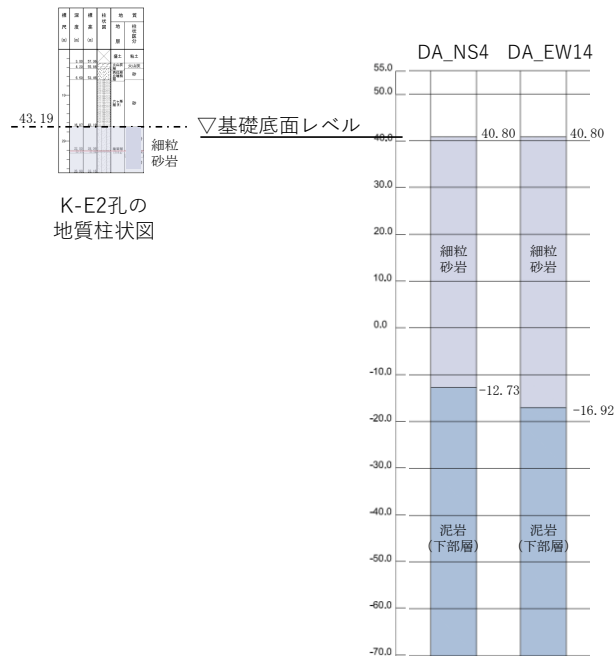


第 4-10 図 M-W 孔及び AK 直下の岩盤分類図の対応



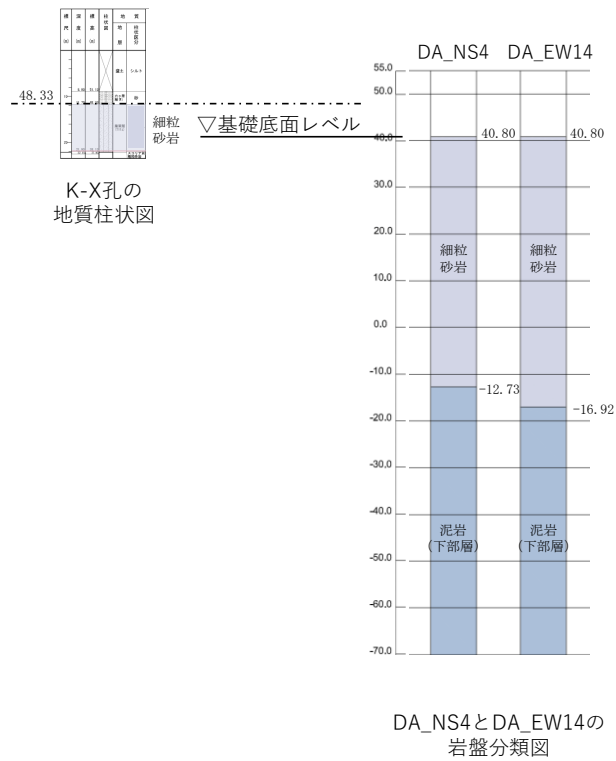
G10_NS3とG10w_EW9とG10e_EW9の岩盤分類図

第 4-11 図 N3-V 孔及び G10 直下の岩盤分類図の対応

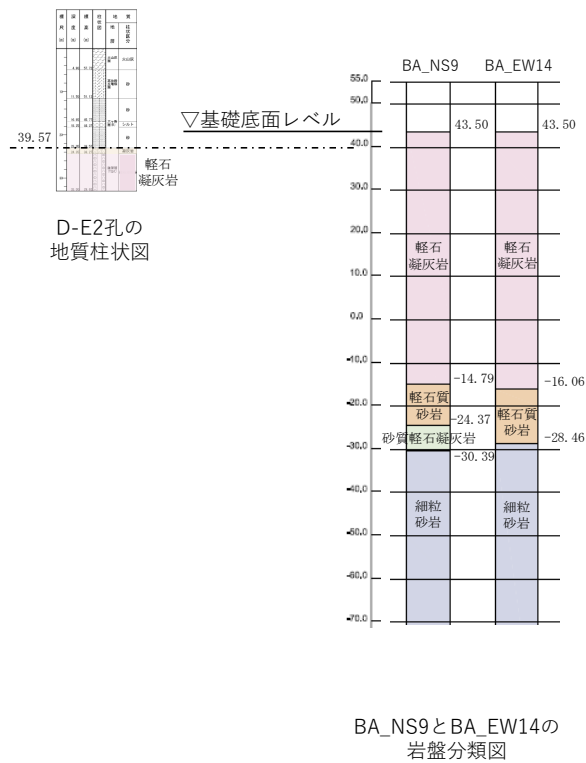


DA_NS4とDA_EW14の岩盤分類図

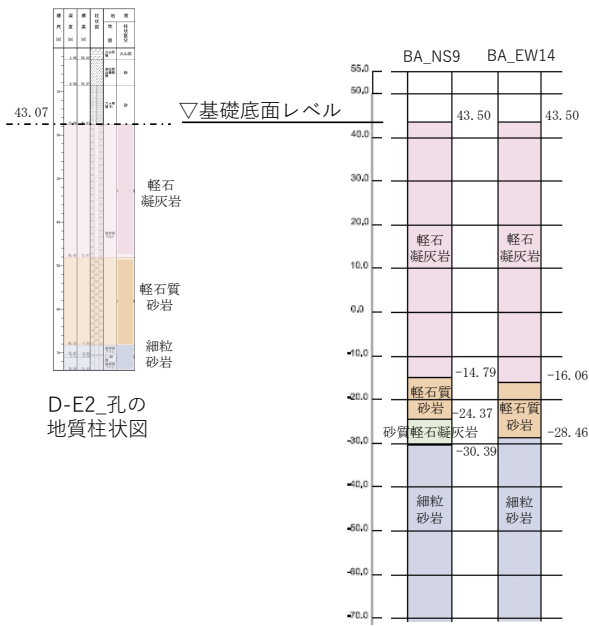
第 4-12 図 K-E2 孔及び DA 直下の岩盤分類図の対応



第 4-13 図 K-X 孔及び DA 直下の岩盤分類図の対応

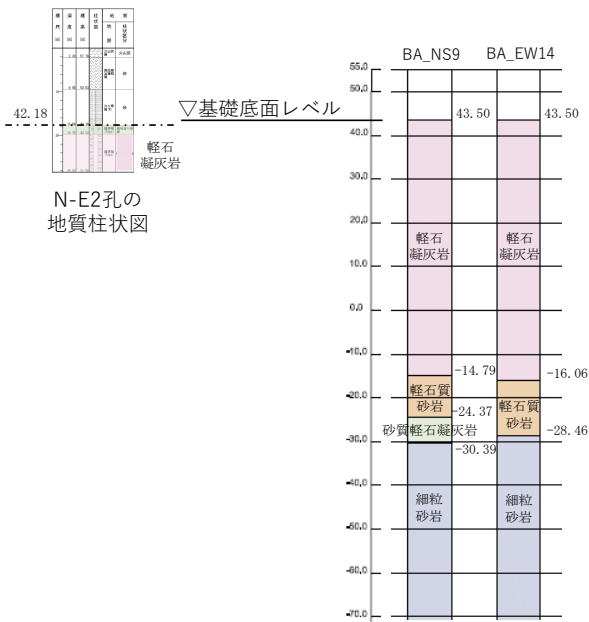


第 4-14 図 D-E2 孔及び BA 直下の岩盤分類図の対応



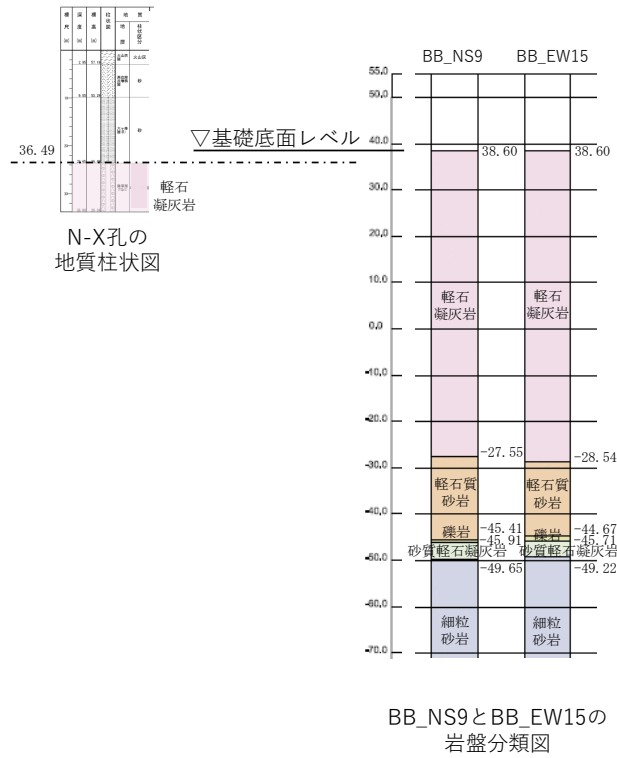
BA_NS9とBA_EW14の岩盤分類図

第 4-15 図 D-E2_孔及び BA 直下の岩盤分類図の対応

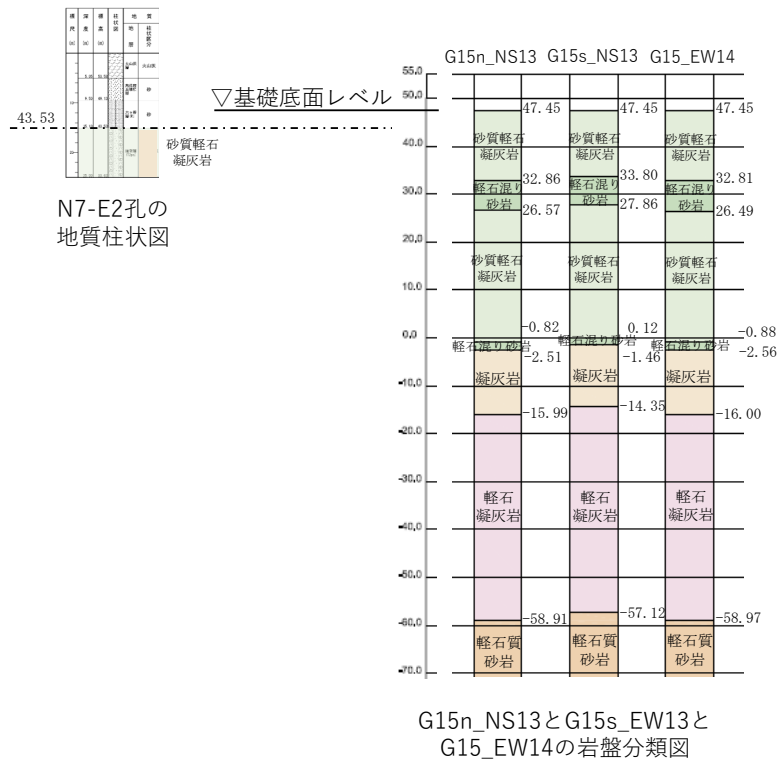


BA_NS9とBA_EW14の岩盤分類図

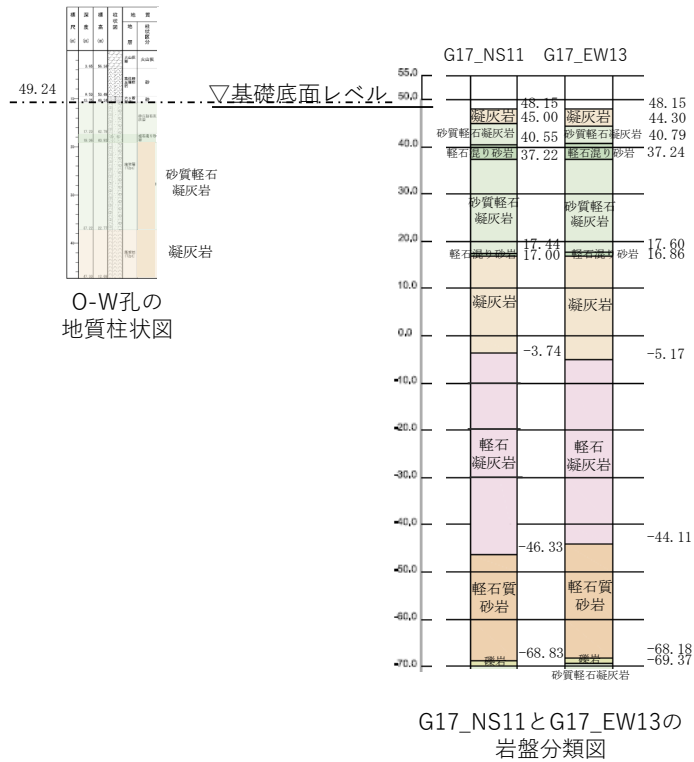
第 4-16 図 N-E2 孔及び BA 直下の岩盤分類図の対応



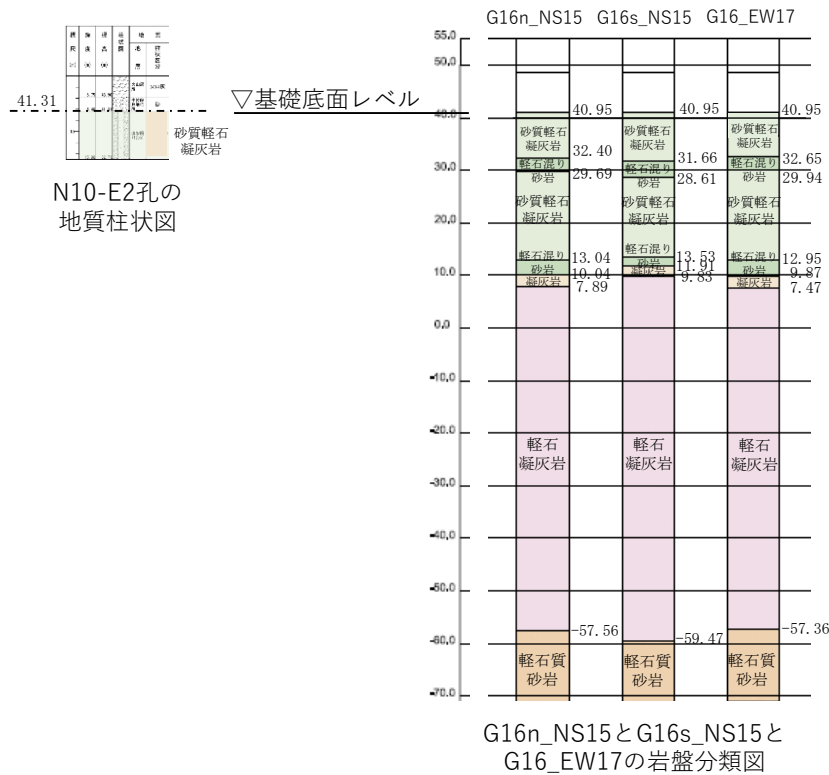
第 4-17 図 N-X 孔及び BB 直下の岩盤分類図の対応



第 4-18 図 N7-E2 孔及び G15 直下の岩盤分類図の対応



第 4-19 図 O-W 孔及び G17 直下の岩盤分類図の対応



第 4-20 図 N10-E2 孔及び G16 直下の岩盤分類図の対応

参考 3

速度境界レベルが地盤応答へ与える影響

目 次

	ページ
1. 概要	参考 3-1
2. 地盤の固有周期の検討方法	参考 3-1
2.1 速度構造の設定方法	参考 3-1
2.2 地盤の固有周期の算定方法	参考 3-1
3. 検討結果	参考 3-2

1. 概要

直下に PS 検層結果のない建物・構築物において、速度境界レベルの設定が、解放基盤表面から建物・構築物の基礎底面レベルまでの地盤の固有周期及び基礎底面レベルの入力地震動に与える影響を確認する。

2. 地盤の固有周期の検討方法

2.1 速度構造の設定方法

直下又は近傍に PS 検層結果のない建物・構築物の直下の位置における速度構造を設定する。設定にあたっては、以下の考え方にに基づき設定する。

- ・当該建物・構築物直下の岩盤分類図に基づく地質構造と最も近いの PS 検層孔の地質柱状図を比較し、岩種の分布が同様であることを確認したうえで、当該建物・構築物に最も近い PS 検層結果を用いる。
- ・各 PS 検層結果において、同一の岩種に速度境界が確認されているレベルについては、当該建物・構築物の直下の位置においても同一のレベルに速度境界を設定する。これは、当該建物・構築物の近傍の PS 検層孔と直下の位置で岩種の分布に大きな差がなければ、同一の標高レベルにおいて同程度の上載圧が作用しており、速度境界のレベルも同等と考えられるためである。
- ・各 PS 検層結果において、岩種境界レベルに速度境界が確認されている場合は、当該建物・構築物の直下の地質構造において対応する岩種境界レベルに速度境界を設定する。

2.2 地盤の固有周期の算定方法

地盤の 1 次固有周期 $T[s]$ は、解放基盤表面から各建物・構築物の基礎底面レベルまでの岩種及び速度構造に基づき、以下の式により算定する。

$$T = \frac{4H}{V_s}$$

ここで、

H : 解放基盤表面から建物・構築物の基礎底面レベルまでの岩盤の層厚[m]

V_s : 岩盤の S 波速度[m/s]

なお、 V_s は、以下の式により複数層の値を等価な均質一様地盤に置換する。

$$V_s = \frac{\sum V_{si} \cdot H_i}{\sum H_i}$$

ここで、

H_i : i 層の岩盤の層厚[m]

V_{si} : i 層の岩盤の S 波速度[m/s]

3. 検討結果

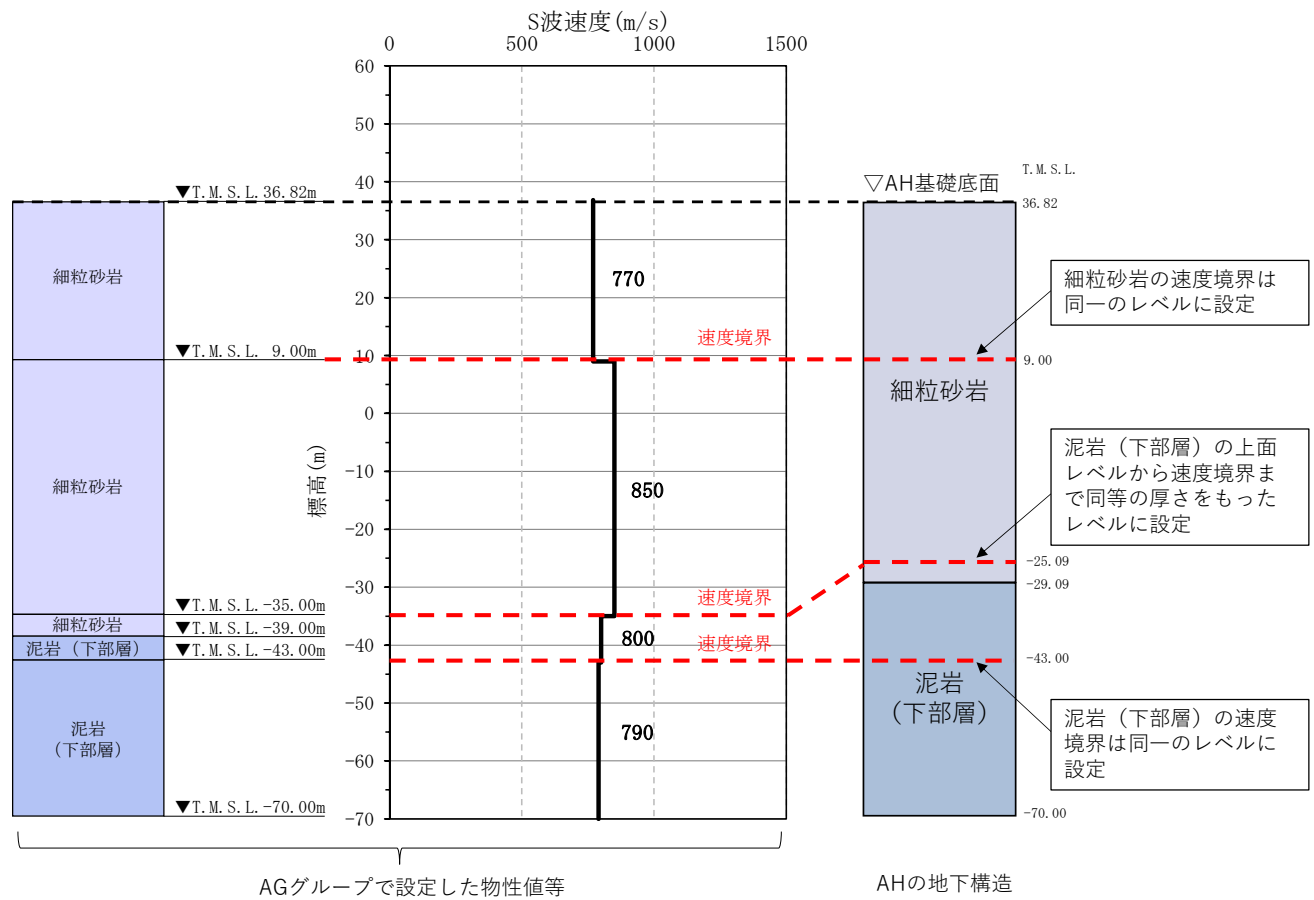
地盤の固有周期の検討結果及び基礎底面レベルの入力地震動を第 3-1 図～第 3-9 図に示す。なお、各建物・構築物に最も近い PS 検層結果及び建物・構築物直下の地下構造を合わせて示す。

第 3-4 図より、CA グループの BA 建屋については、地盤の固有周期に差が生じ、BA 建屋直下の地質構造を反映した物性値等を設定した場合の入力地震動は、CA グループにおける物性値等を設定した場合の入力地震動と比べて、全周期帯で地盤応答のピークの周期が整合しており、同等または下回る地盤応答を与えるものの、ごく一部の周期帯 (BA 建屋 1 次固有周期 (0.272 秒)) において、応答スペクトルが若干大きくなる結果となった。

第 3-8 図より、G14 グループの G16 基礎については、追加調査の R5-Q4 孔を用いて物性値を設定した場合に、地盤の固有周期に差が生じ、G16 基礎直下の地質構造を踏まえた物性値等を設定した場合の入力地震動は、G14 グループにおける物性値等を設定した場合の入力地震動と比較して周期特性に差が生じる結果となった。

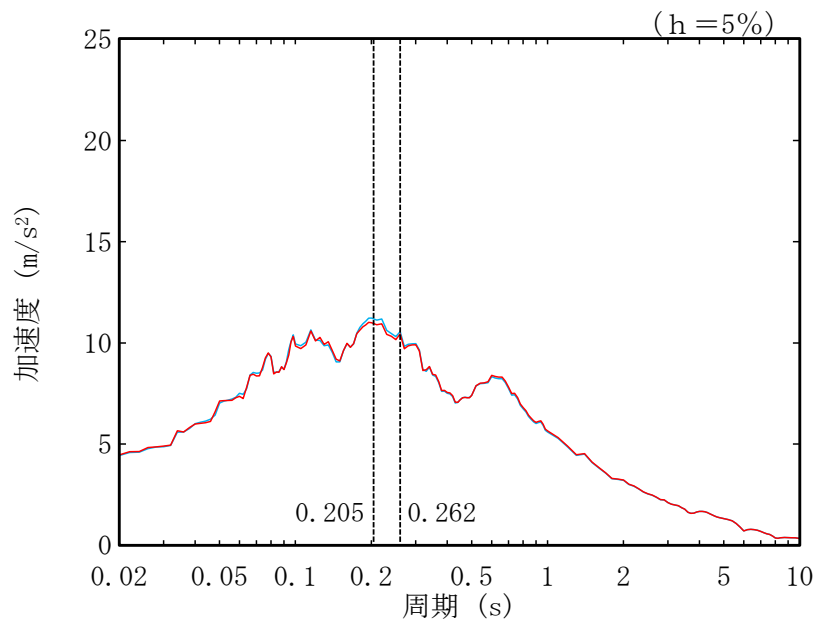
第 3-9 図より、G14 グループの G36 基礎については、追加調査の R5-Q3 孔を用いて物性値を設定した場合に、地盤の固有周期に差が生じたものの、G36 基礎直下の地質構造を踏まえた物性値等を設定した場合の入力地震動は、G14 グループにおける物性値等を設定した場合の入力地震動を全周期帯において上回る結果となった。

その他の建物・構築物においては、速度構造の差が地盤の固有周期及び入力地震動に与える影響は小さいことが確認された。

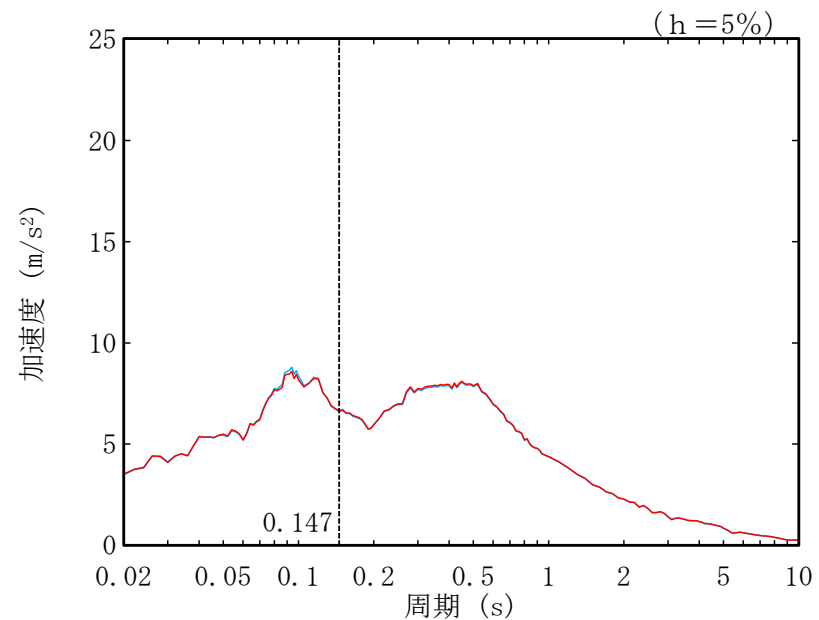


	AGグループで設定した物性値等	AHの地下構造
S波速度 Vs[m/s]	810.3	805.6
地盤の固有周期 T[s]	0.527	0.530

第3-1図 AH建屋の地盤の固有周期及び入力地震動の比較 (1/2)



(a) 水平方向

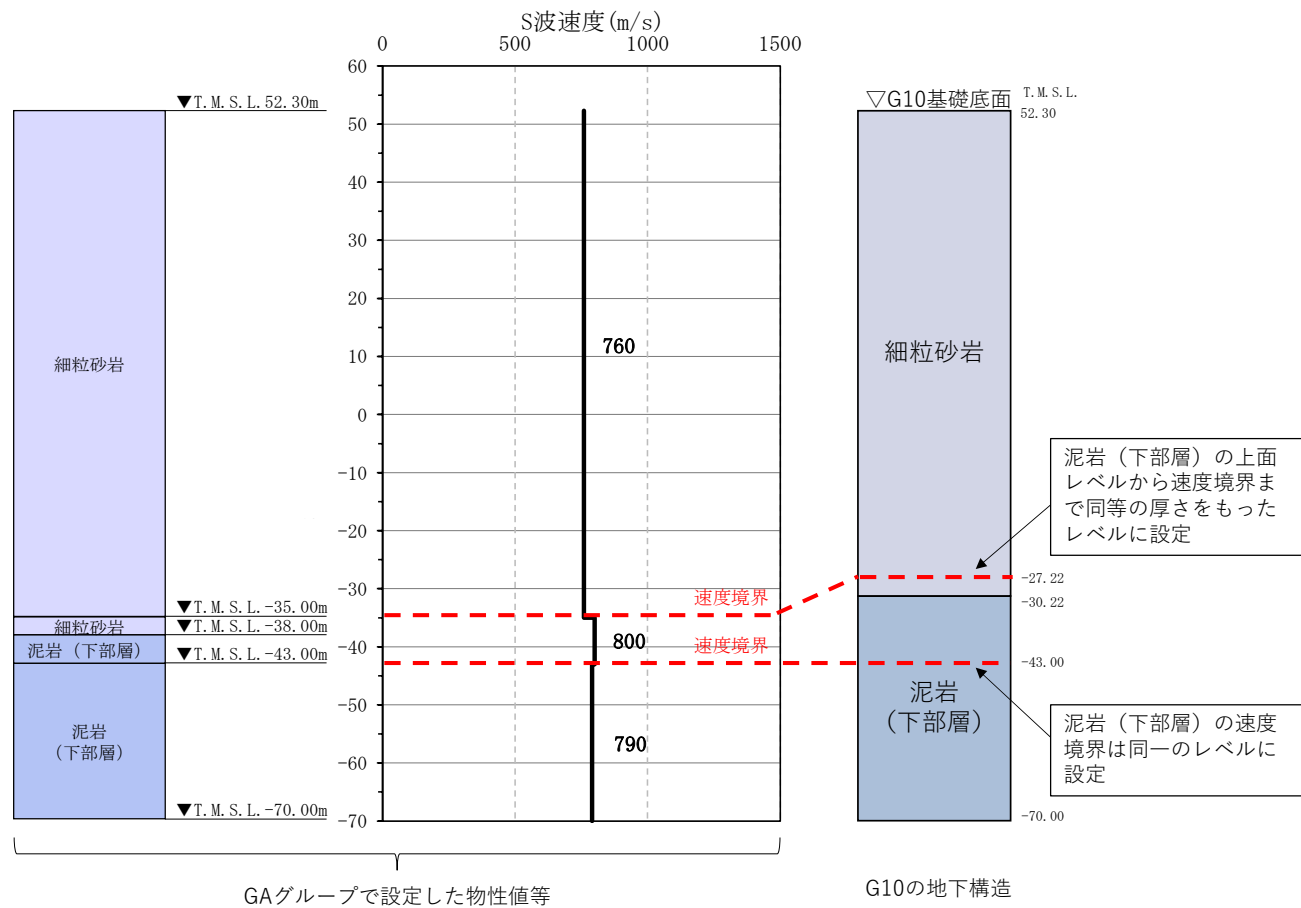


(b) 鉛直方向

— : AG グループにおいて設定した物性値等
 — : AH 建屋の直下の地質構造を踏まえて設定した物性値等

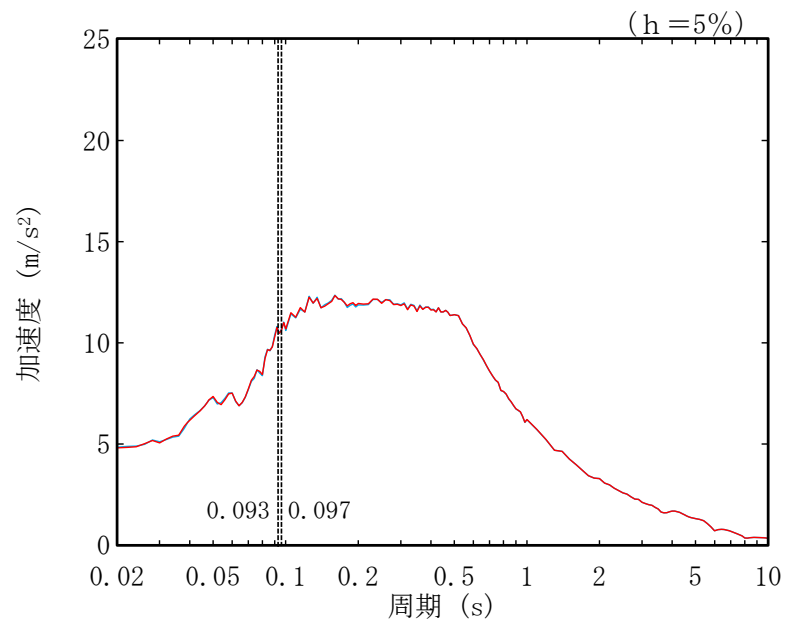
注記 : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-2-2-1-1-1 分析建屋の耐震性に関する計算書」における AH 建屋の地震応答解析モデルの Ss-A での 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

第 3-1 図 AH 建屋の地盤の固有周期及び入力地震動の比較 (2/2)

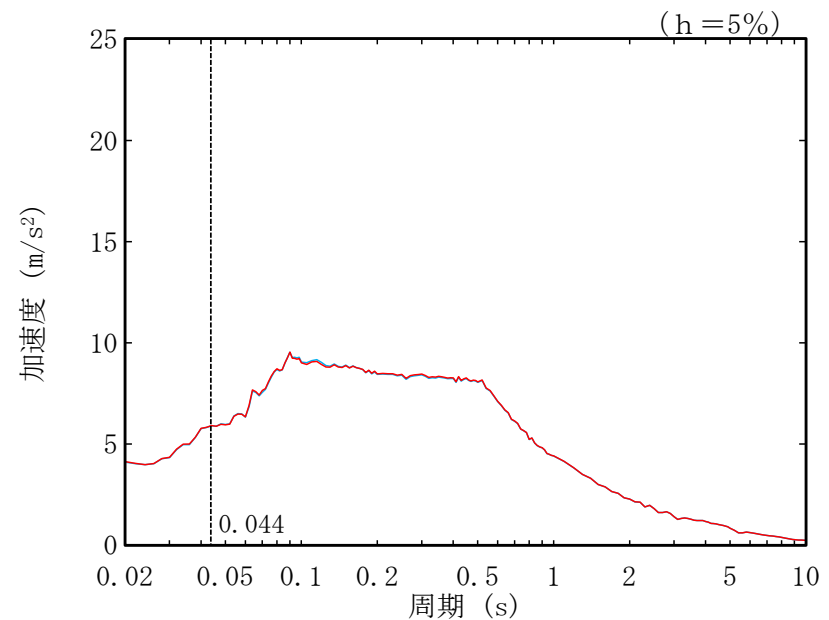


	GAグループで設定した物性値等	G10の地下構造
S波速度 Vs[m/s]	769.2	771.8
地盤の固有周期 T[s]	0.636	0.634

第 3-2 図 G10 基礎の地盤の固有周期及び入力地震動の比較 (1/2)



(a) 水平方向

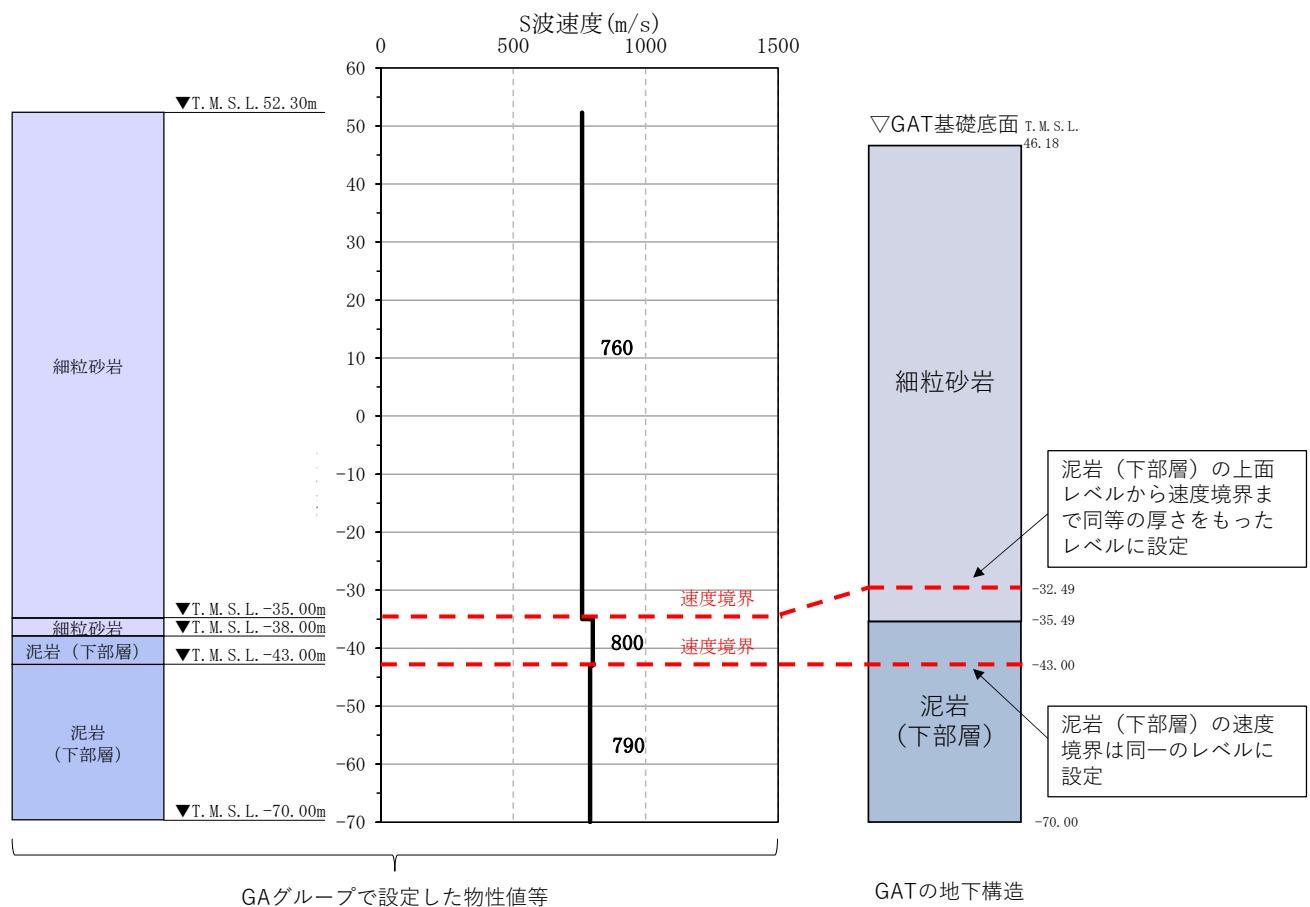


(b) 鉛直方向

— : GA グループにおいて設定した物性値等
 — : G10 基礎の直下の地質構造を踏まえて設定した物性値等

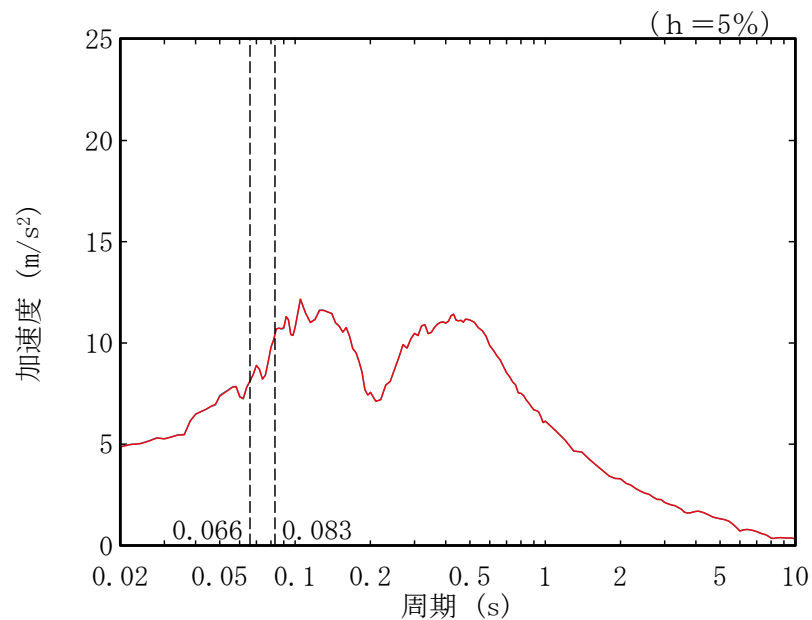
注記 : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-20-1 冷却塔A, B基礎の地震応答計算書」に示す Ss-A での G10 基礎の 1 次固有周期 (NS, EW, UD) を示す。

第 3-2 図 G10 基礎の地盤の固有周期及び入力地震動の比較 (2/2)

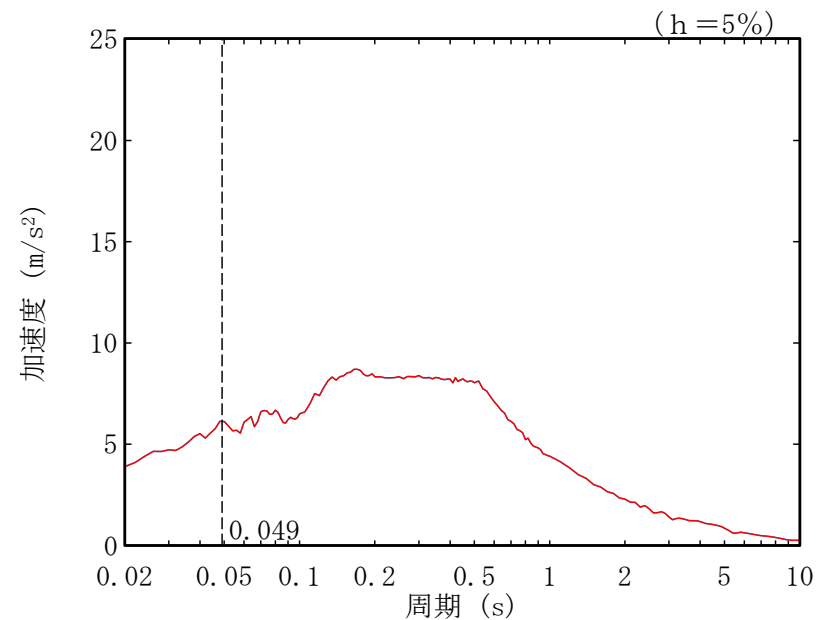


	GAグループで設定した物性値等	GATの地下構造
S波速度 Vs[m/s]	769.7	770.6
地盤の固有周期 T[s]	0.604	0.603

第 3-3 図 GAT 基礎の地盤の固有周期及び入力地震動の比較 (1/2)



(a) 水平方向

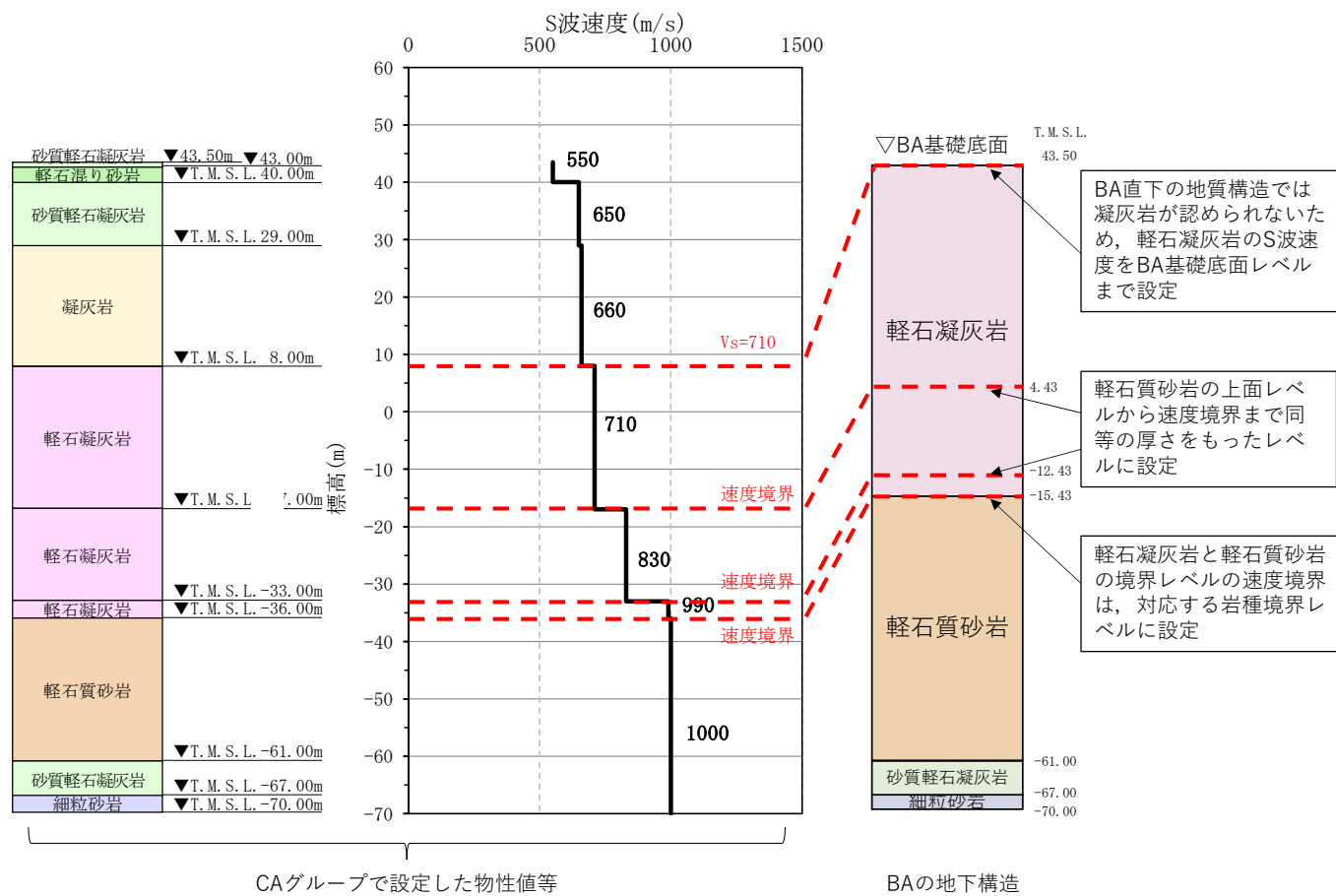


(b) 鉛直方向

— : GA グループにおいて設定した物性値等
 — : GAT 基礎の直下の地質構造を踏まえて設定した物性値等

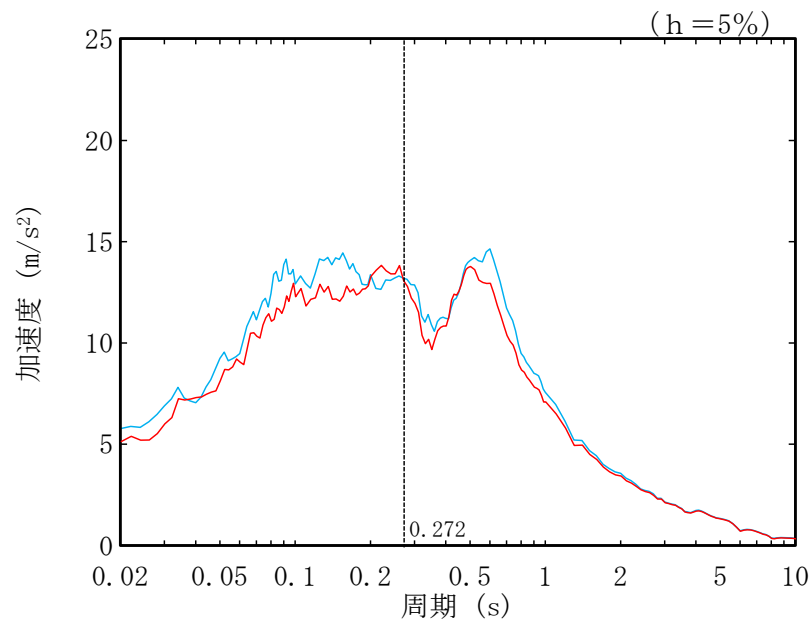
注記 : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1 4-1 燃料油貯蔵タンク基礎の地震応答計算書」に示す Ss-A での GAT 基礎の 1 次固有周期 (NS, EW, UD) を示す。

第 3-3 図 GAT 基礎の地盤の固有周期及び入力地震動の比較 (2/2)

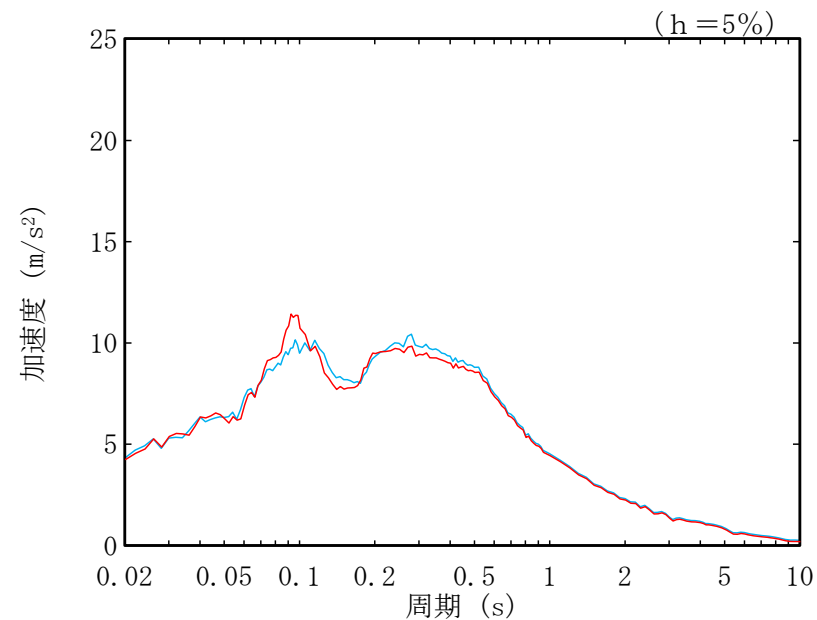


	CAグループで設定した物性値等	BAの地下構造
S波速度 Vs[m/s]	801.2	874.7
地盤の固有周期 T[s]	0.567	0.519

第 3-4 図 BA 建屋の地盤の固有周期及び入力地震動の比較 (1/2)



(a) 水平方向

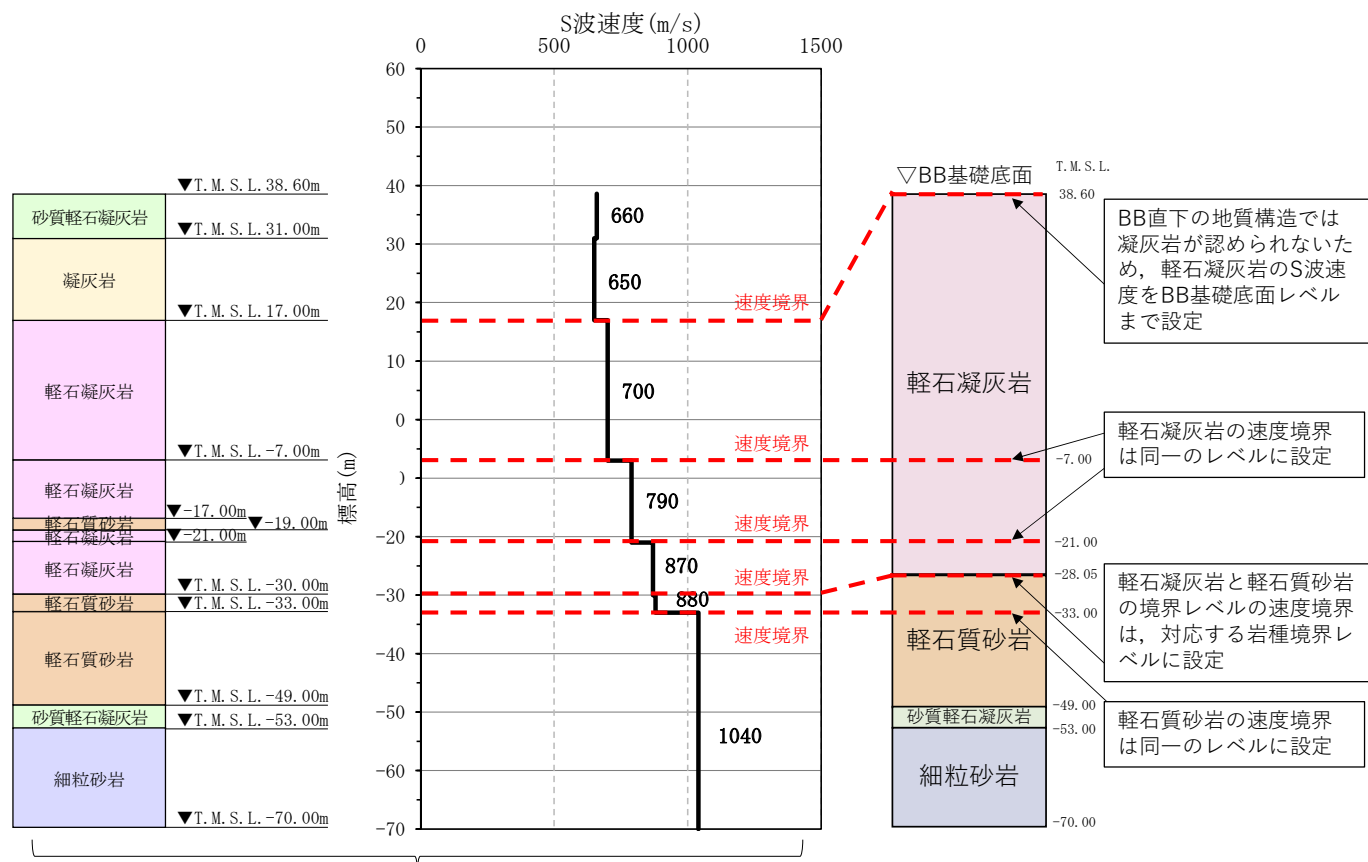


(b) 鉛直方向

— : CA グループにおいて設定した物性値等
 — : BA 建屋の直下の地質構造を踏まえて設定した物性値等

注記 : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-2-2-1-1-3 ウラン脱硝建屋の耐震性に関する計算書」における BA 建屋の地震応答解析モデルの Ss-A での 1 次固有周期 (EW) を示す。

第 3-4 図 BA 建屋の地盤の固有周期及び入力地震動の比較 (2/2)

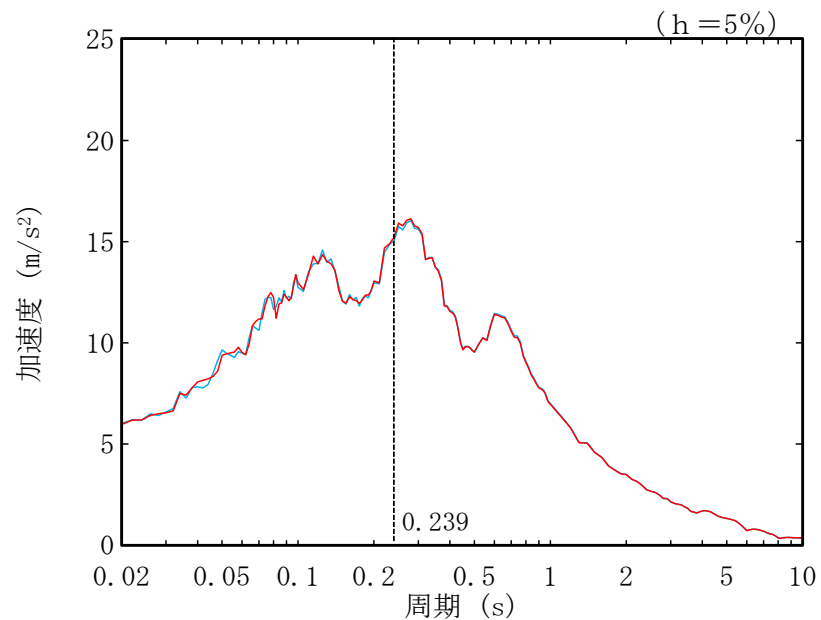


CBグループで設定した物性値等

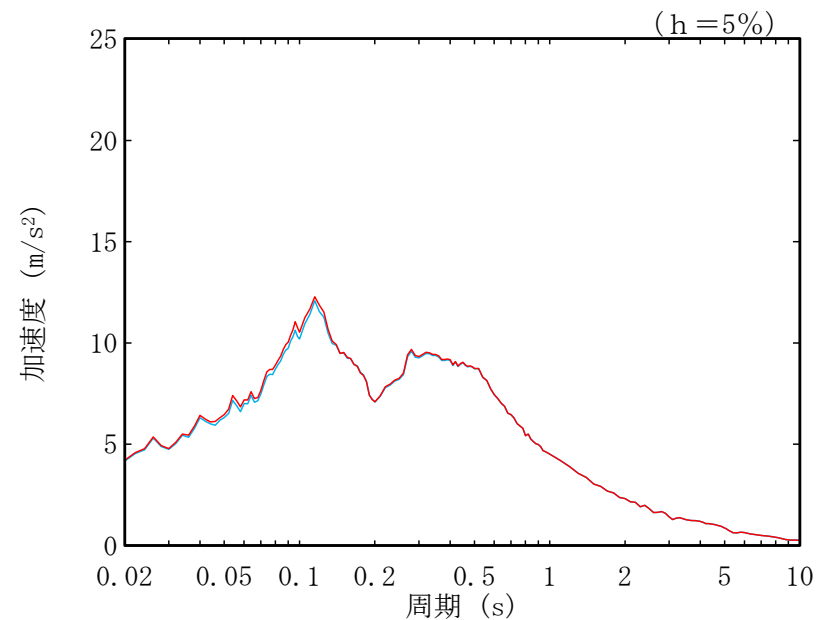
BBの地下構造

	CBグループで設定した物性値等	BBの地下構造
S波速度 Vs[m/s]	837.3	846.7
地盤の固有周期 T[s]	0.519	0.513

第 3-5 図 BB 建屋の地盤の固有周期及び入力地震動の比較 (1/2)



(a) 水平方向

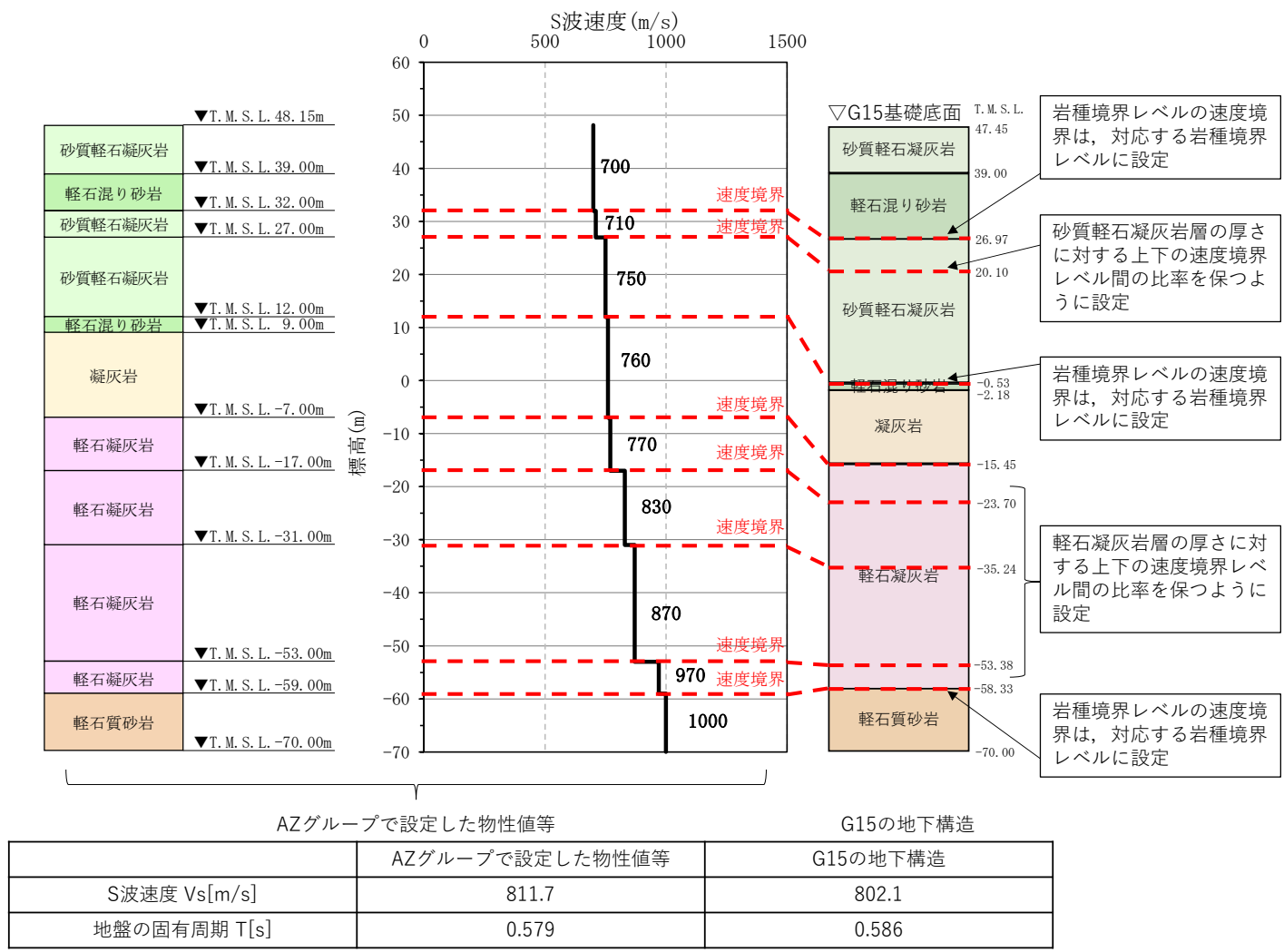


(b) 鉛直方向

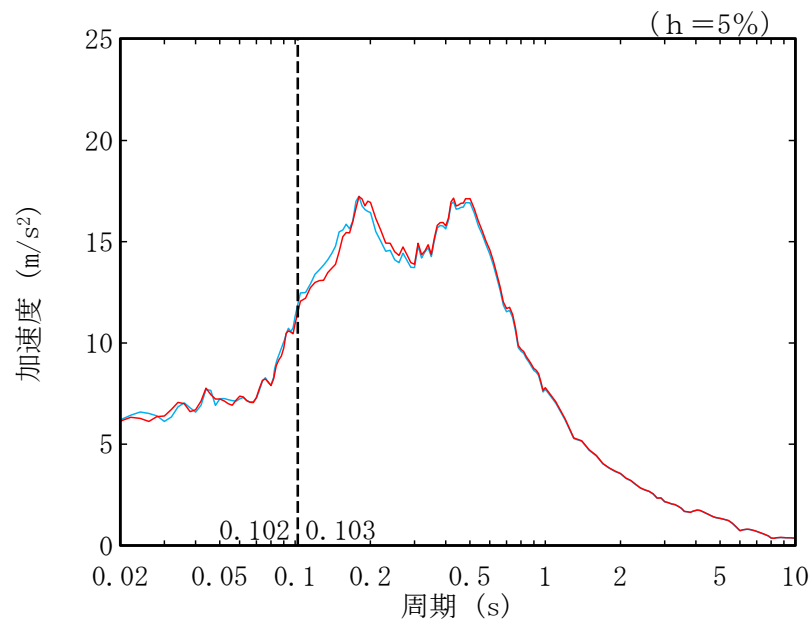
— : CB グループにおいて設定した物性値等
 — : BB 建屋の直下の地質構造を踏まえて設定した物性値等

注記 : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-2-2-1-1-4 ウラン酸化物貯蔵建屋の耐震性に関する計算書」における BB 建屋の地震応答解析モデルの Ss-A での 1 次固有周期 (EW) を示す。

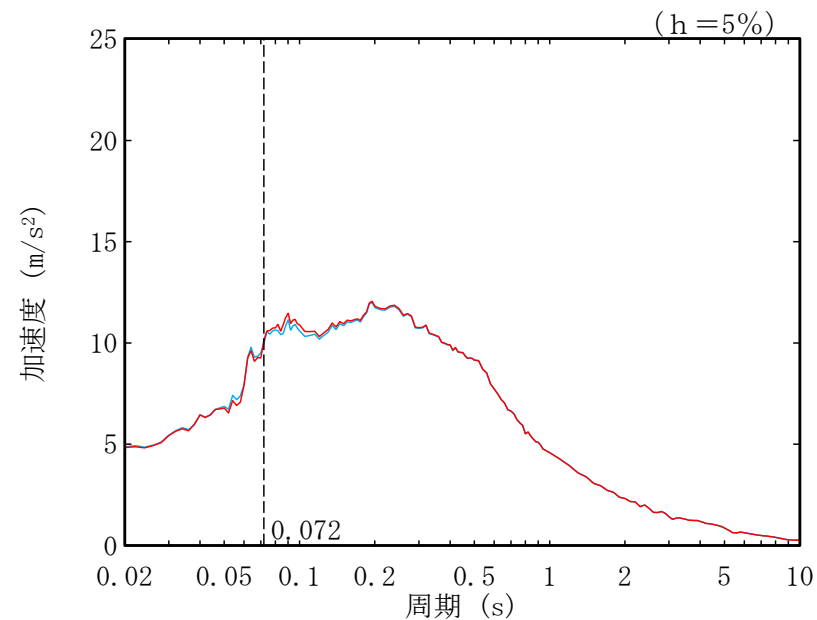
第 3-5 図 BB 建屋の地盤の固有周期及び入力地震動の比較 (2/2)



第 3-6 図 G15 基礎の地盤の固有周期及び入力地震動の比較 (1/2)



(a) 水平方向

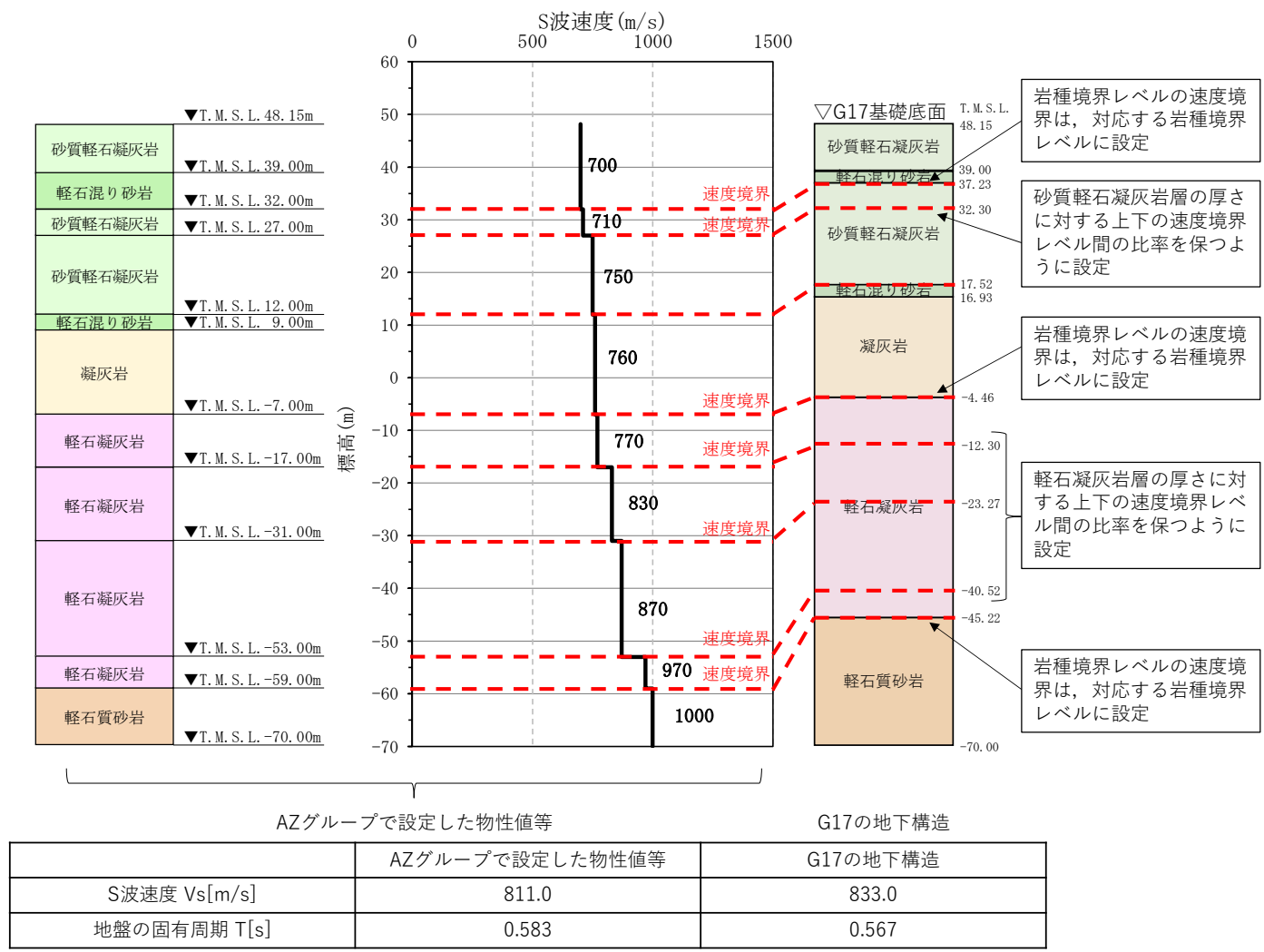


(b) 鉛直方向

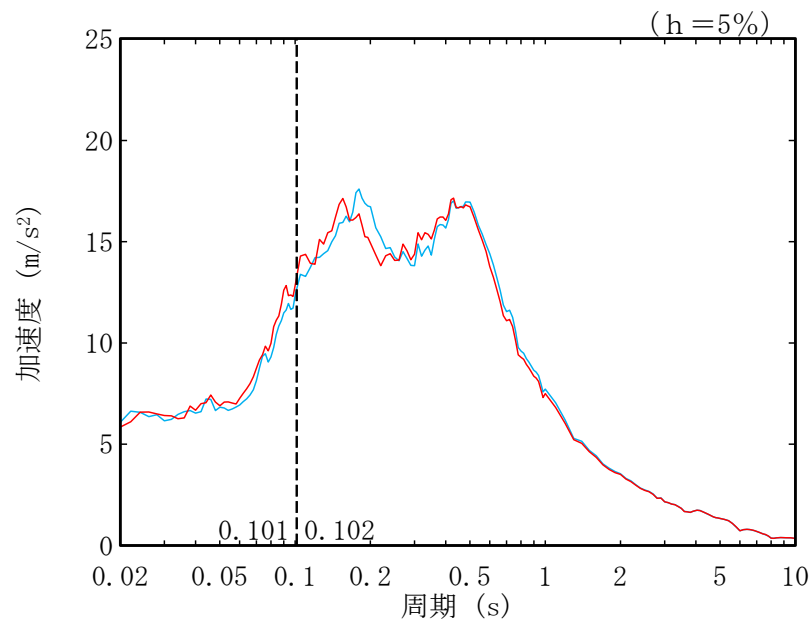
— : AZ グループにおいて設定した物性値等
 — : G15 基礎の直下の地質構造を踏まえて設定した物性値等

注記 : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-15-1 第1軽油貯蔵所の地震応答計算書」に示す Ss-A での G15 基礎の 1 次固有周期 (NS, EW, UD) を示す。

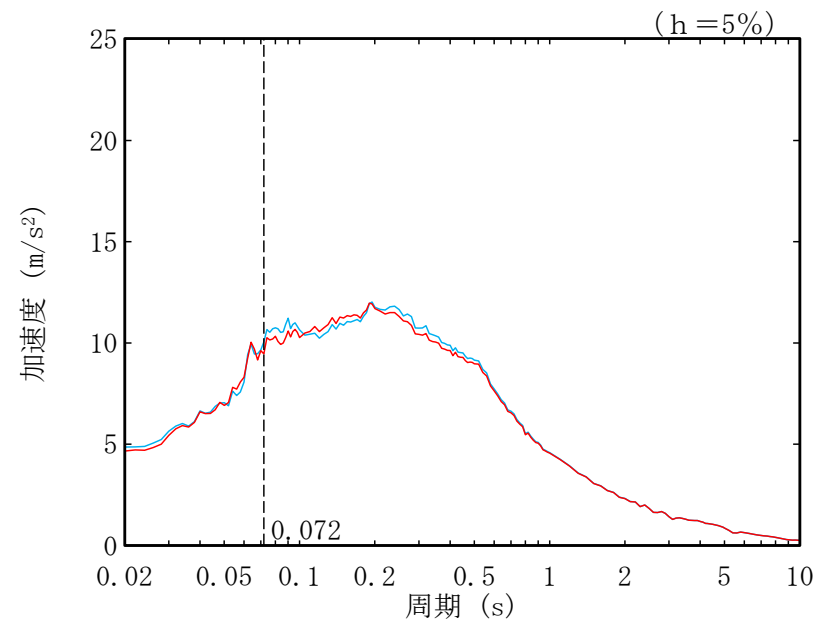
第 3-6 図 G15 基礎の地盤の固有周期及び入力地震動の比較 (2/2)



第 3-7 図 G17 基礎の地盤の固有周期及び入力地震動の比較 (1/2)



(a) 水平方向

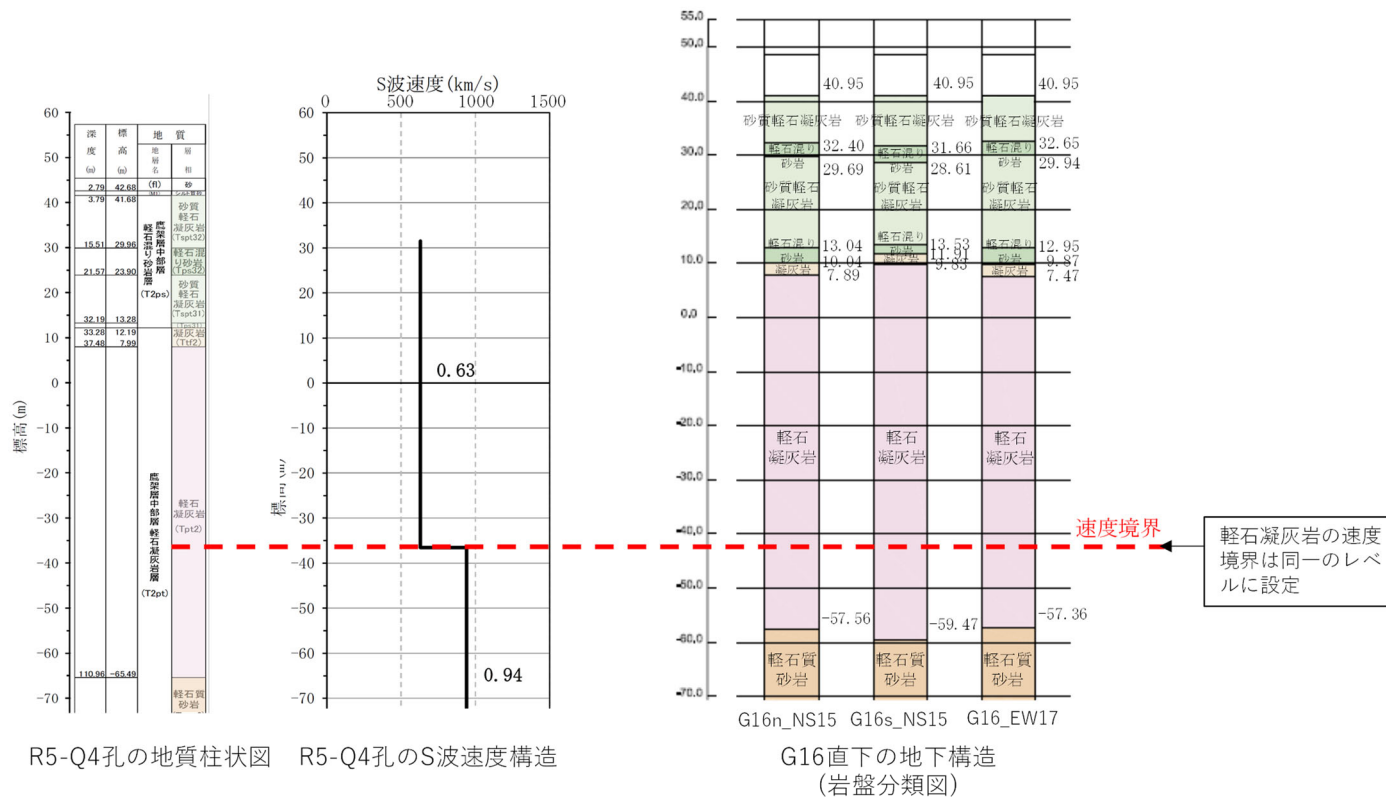


(b) 鉛直方向

— : AZ グループにおいて設定した物性値等
 — : G17 基礎の直下の地質構造を踏まえて設定した物性値等

注記 : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-2 2-1 重油貯蔵所の地震応答計算書」に示す Ss-A での G17 基礎の 1 次固有周期 (NS, EW, UD) を示す。

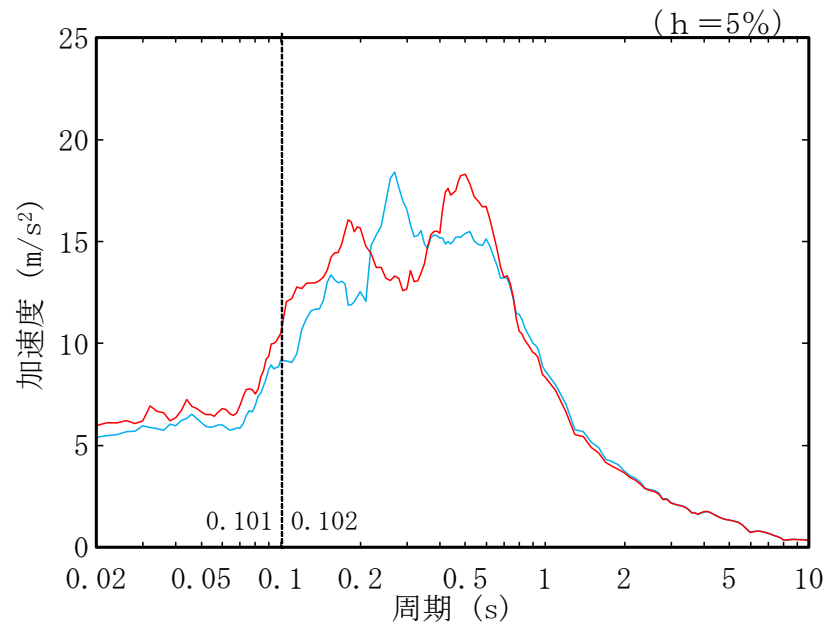
第 3-7 図 G17 基礎の地盤の固有周期及び入力地震動の比較 (2/2)



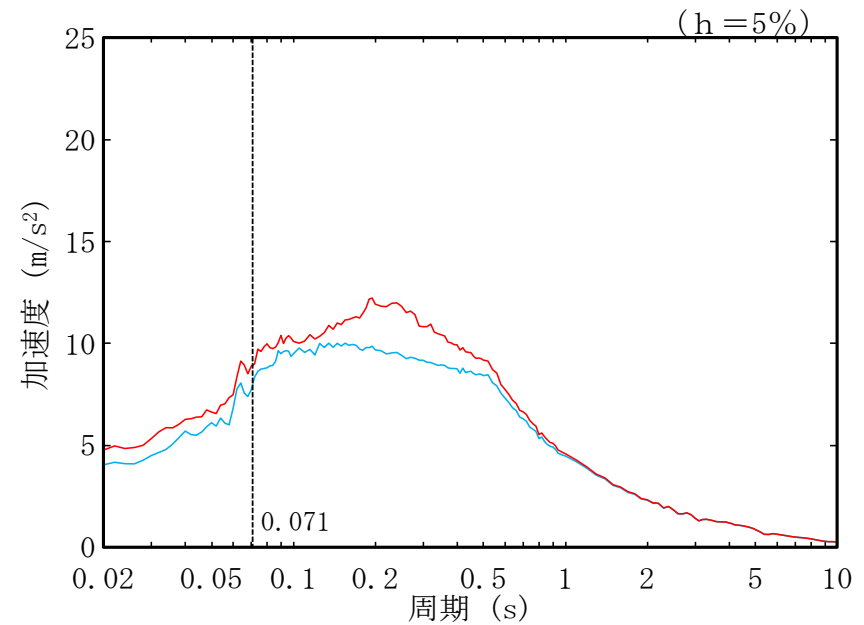
	G14グループにおいて設定した物性値等	G16n_NS15*1	G16s_NS15*1	G16_EW17*1
S波速度 Vs[m/s]	600.6	723.5	723.5	723.5
地盤の固有周期 T[s]	0.739	0.613	0.613	0.613

*1 : G16直下の地質構造を踏まえR5-Q4孔に基づき物性値等を設定

第3-8図 G16基礎の地盤の固有周期及び入力地震動の比較 (1/2)



(a) 水平方向

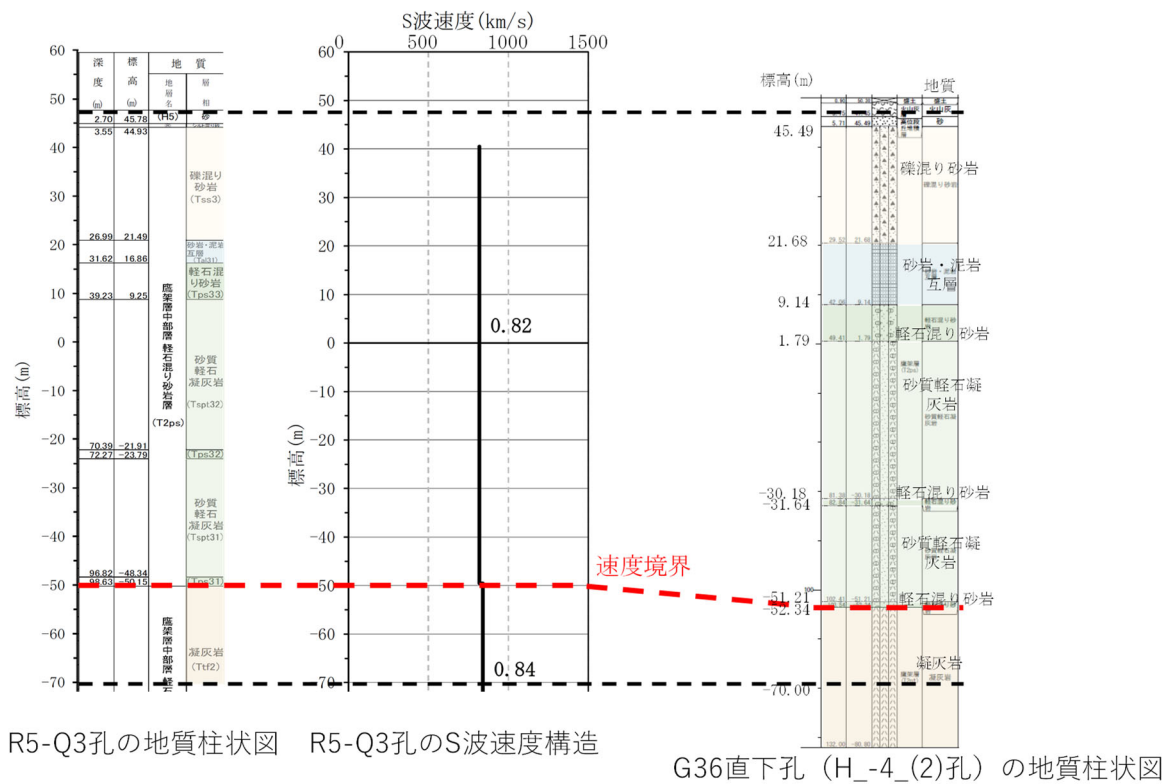


(b) 鉛直方向

— : G14 グループにおいて設定した物性値等
 — : G16 基礎の直下の地質構造を踏まえて設定した物性値等

注記 : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-16-1 第2軽油貯蔵所の地震応答計算書」に示す Ss-A での G16 基礎の1次固有周期 (NS, EW, UD) を示す。

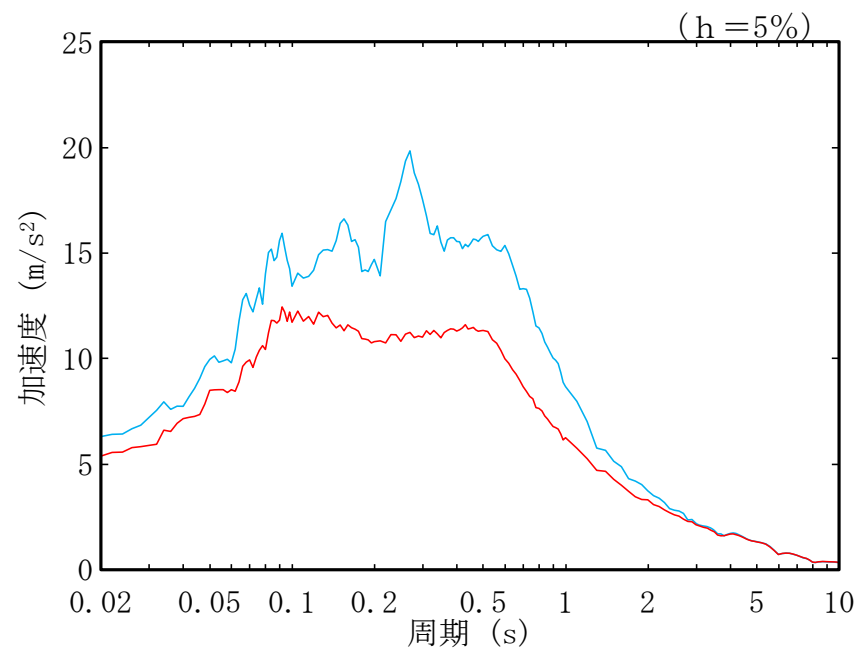
第3-8図 G16 基礎の地盤の固有周期及び入力地震動の比較 (2/2)



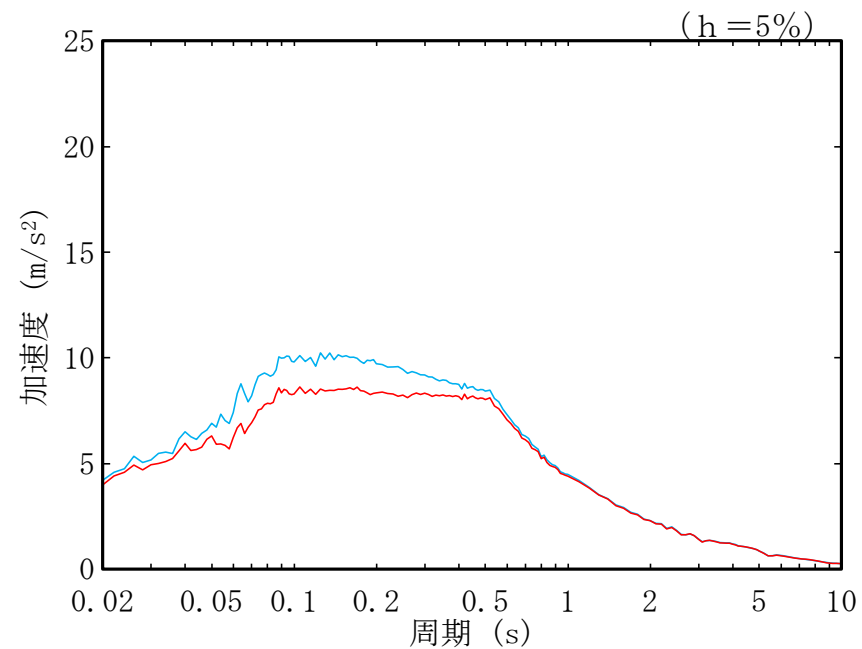
	G14グループにおいて設定した物性値等	G36直下*1
S波速度 Vs[m/s]	592.9	823.0
地盤の固有周期 T[s]	0.792	0.571

* 1 : G36直下の地質構造を踏まえR5-Q3孔に基づき物性値等を設定

第 3-9 図 G36 基礎の地盤の固有周期及び入力地震動の比較 (1/2)



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

— : G14 グループにおいて設定した物性値等
 — : G36 基礎の直下の地質構造を踏まえて R5-Q3 孔に基づき設定した物性値等

第 3-9 図 G36 基礎の地盤の固有周期及び入力地震動の比較 (2/2)

参考 4

断層が地盤応答へ与える影響

目 次

	ページ
1. 概要	参考 4-1
2. 断層を考慮した地盤応答の確認方法（別紙 2-1 6.2 (3))	参考 4-1
3. 検討結果	参考 4-2
3.1 FCT 建屋	参考 4-2
3.2 DC 建屋	参考 4-11
3.3 AC 建屋	参考 4-19
3.4 BA 建屋	参考 4-28
3.5 G14 建屋	参考 4-37

1. 概要

直下に断層が確認される建物・構築物のうち、断層を跨いで地質構造に差が確認された建物・構築物において、断層が建物・構築物の基礎底面レベルの入力地震動に与える影響を確認する。

2. 断層を考慮した地盤応答の確認方法（別紙 2-1 6.2 (3)）

直下に断層が確認される建物・構築物の地盤応答を確認する目的で、断層の上盤側及び下盤側それぞれの地質構造の特徴が捉えられている PS 検層結果を用い、断層の影響を考慮した基礎底面レベルの入力地震動を確認する。ここで、断層の影響により同一の建屋幅内で地質構造が異なる建物・構築物が確認されているため、建物・構築物の東西南北の端部の位置における地質構造に基づく物性値等を設定することとし、以下に示す 4 ケースにおける地質構造に合わせて PS 検層結果の層境界レベルの補正を行って設定する。

北端ケース：建物・構築物の北端の直下の地質構造を反映した物性値等

南端ケース：建物・構築物の南端の直下の地質構造を反映した物性値等

東端ケース：建物・構築物の東端の直下の地質構造を反映した物性値等

西端ケース：建物・構築物の西端の直下の地質構造を反映した物性値等

3. 検討結果

3.1 FCT 建屋

FCT 建屋直下には、f-2a 断層及び sf-3 断層が確認され、断層を跨いで地質構造に差が見られるため、断層が地盤応答へ与える影響を確認する。

(1) 断層の上盤側と下盤側の PS 検層結果の選定結果

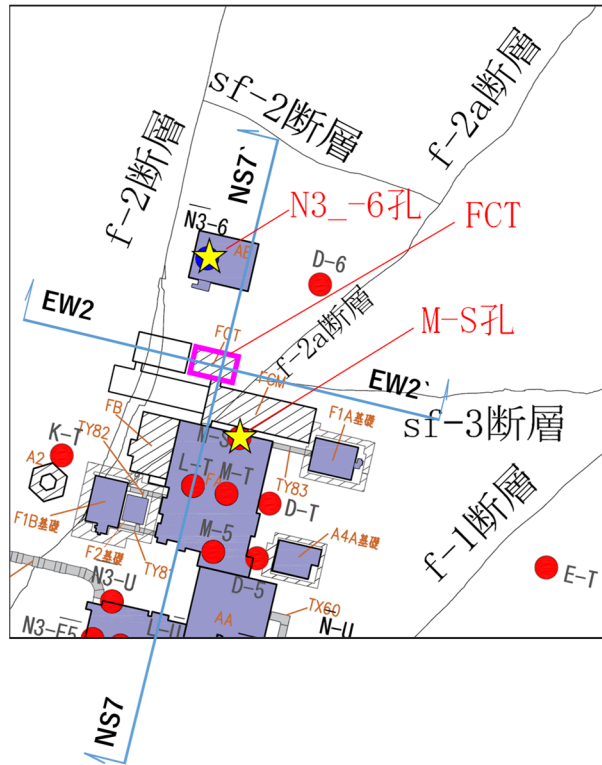
断層の上盤側と下盤側の地質構造の特徴が捉えられている PS 検層結果の選定を行う。選定した結果を第 3.1-1 図に示す。FCT 建屋直下では、f-2a 断層及び sf-3 断層が確認される。f-2a 断層の下盤の地質構造については、FCT 建屋から f-2a 断層を跨いで南東に位置し、FCT 建屋に距離が近い M-S 孔を選定する。f-2a 断層の上盤の地質構造については、FCT 建屋の北側に位置し、地質柱状図にて T. M. S. L. -60m 程度に sf-3 断層が確認され、T. M. S. L. -115m 程度に f-2a 断層が確認されている N3_6 孔を選定し、f-2a 断層の上盤のデータを用いる

(2) 断層の影響を考慮した物性値等の設定結果

前項にて選定した PS 検層結果を用いて、FCT 建屋の東西南北の端の位置における、断層を考慮した物性値等の設定を行う。選定した PS 検層結果による層境界レベルの補正の結果を第 3.1-2 図に示す。断層を考慮した物性値等の設定結果を第 3.1-3 図に示す。なお、単位体積重量の設定については、添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す各岩種の湿潤密度を設定した。

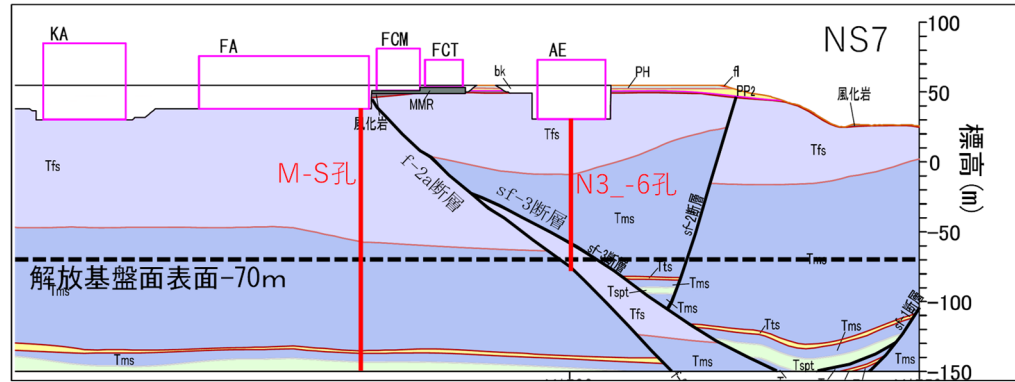
(3) 入力地震動の比較結果

前項にて設定した断層の影響を考慮した物性値等を用いて FCT 建屋の基礎底面レベルでの入力地震動を作成し、F 施設周辺グループで設定した物性値等による入力地震動と比較を行う。入力地震動の比較結果を第 3.1-4 図に示す。F 施設周辺グループで設定した物性値による入力地震動は、FCT 建屋の 1 次固有周期を含む全周期帯において、FCT 建屋の東西南北端の各ケースの入力地震動と同等であることを確認した。



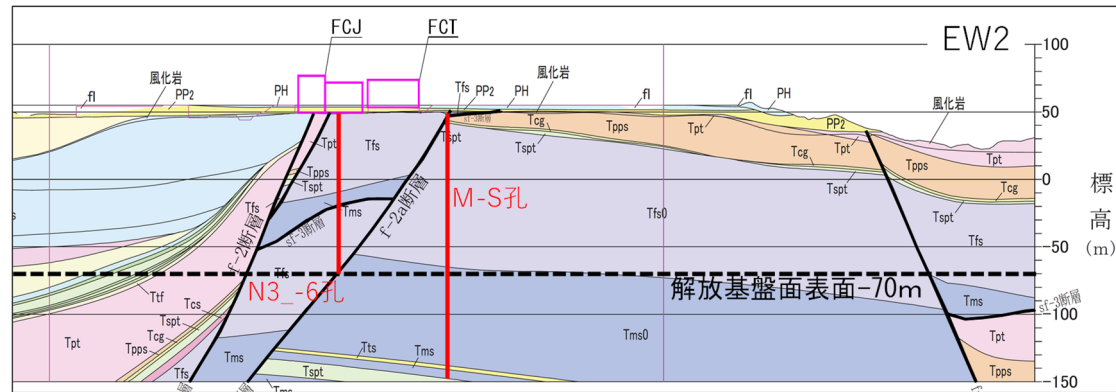
注記：☆は、選定したPS検層位置を示す。

(a) 断面位置



注記：赤線は、選定したPS検層結果が対応する地質への投影を示す。

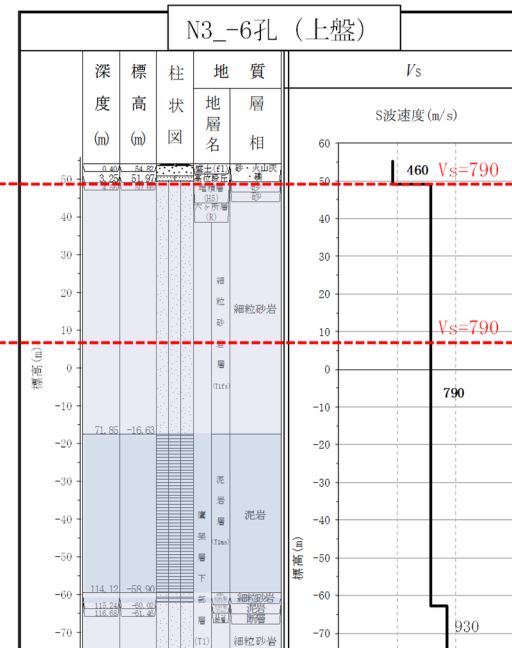
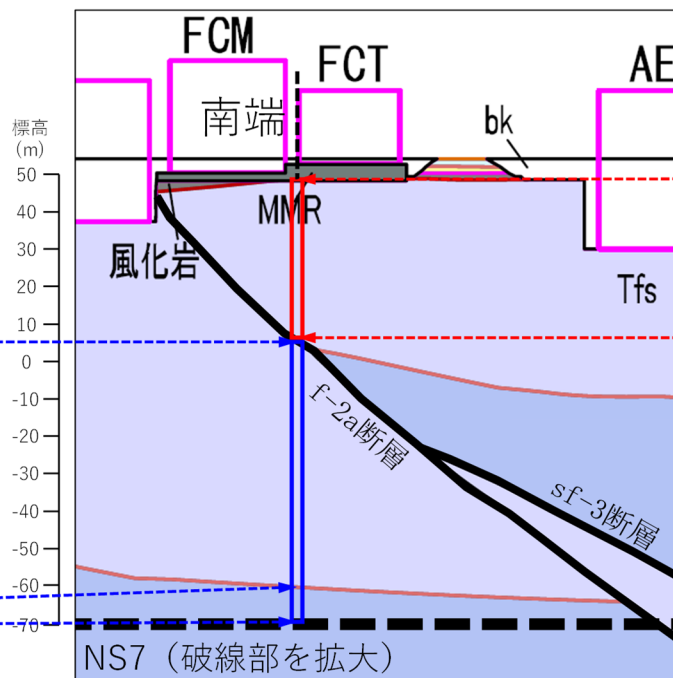
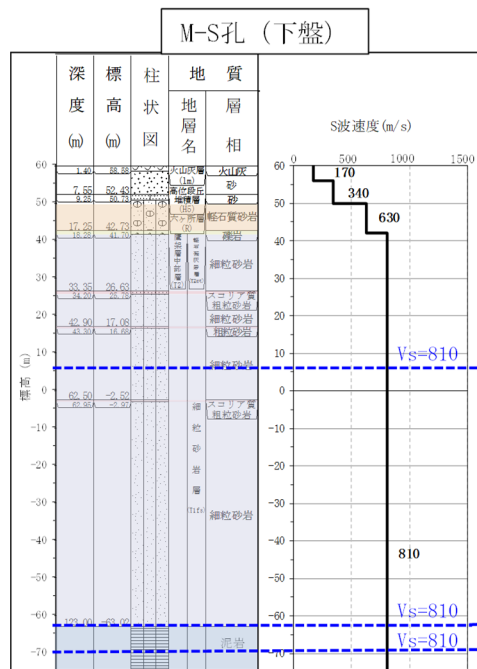
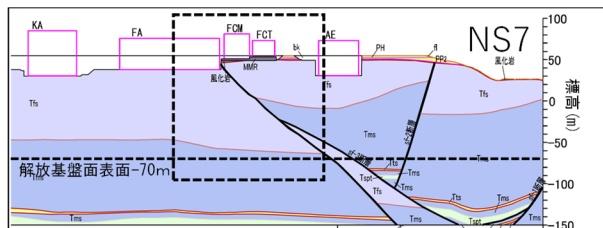
(b) NS7 断面



注記：赤線は、選定したPS検層結果が対応する地質への投影を示す。

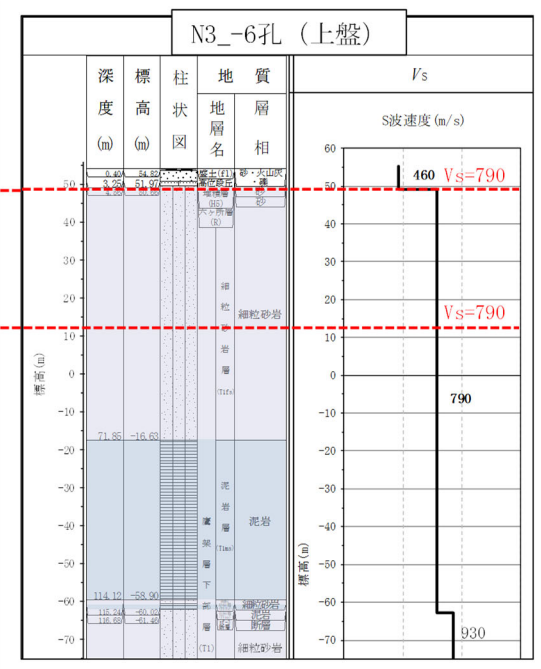
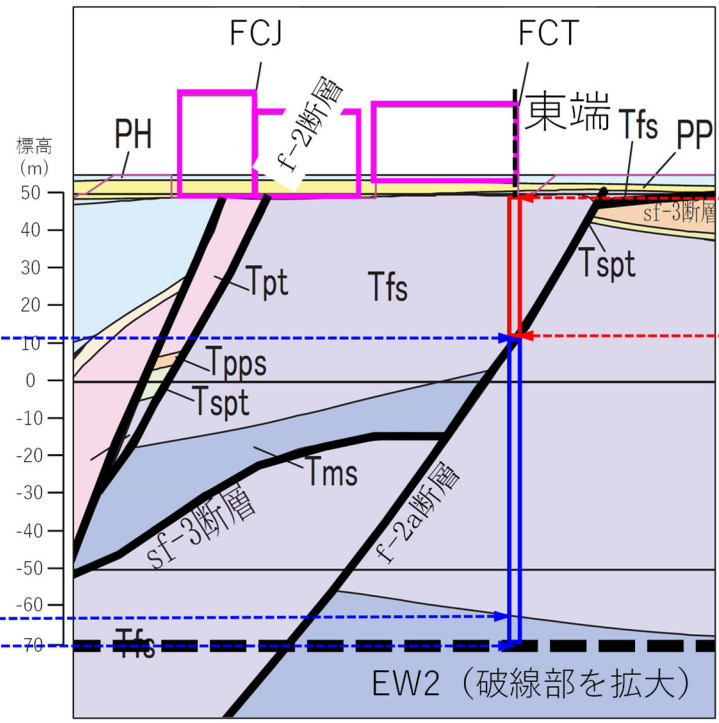
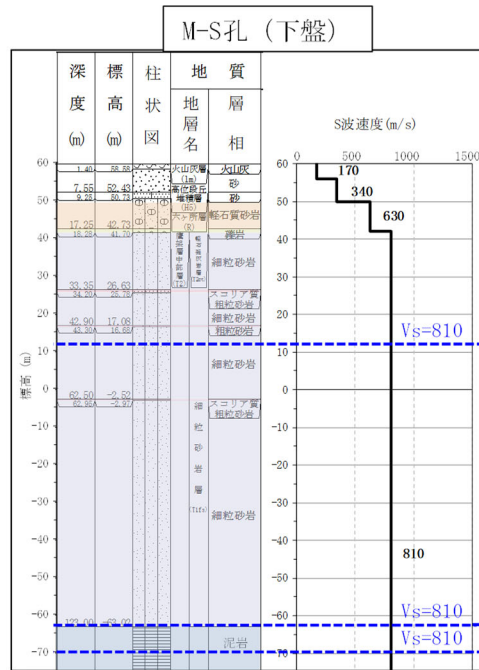
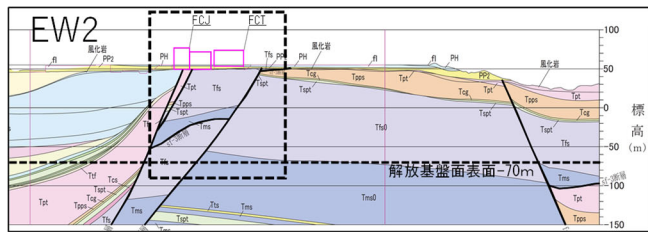
(c) EW2 断面

第 3.1-1 図 FCT 建屋直下の断層の上盤側と下盤側のPS検層結果の選定結果



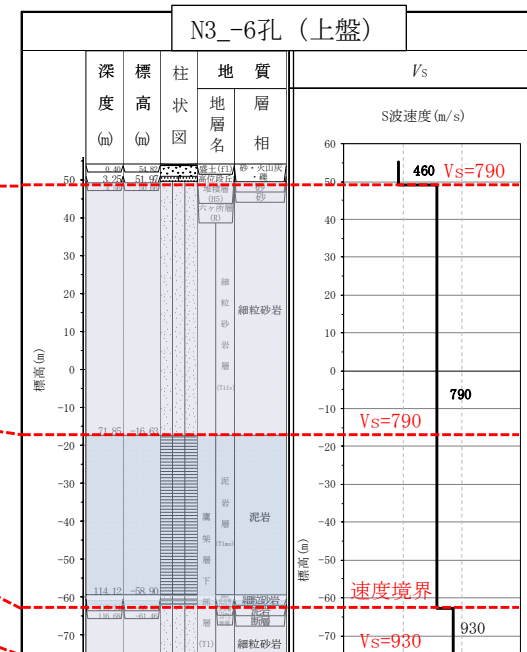
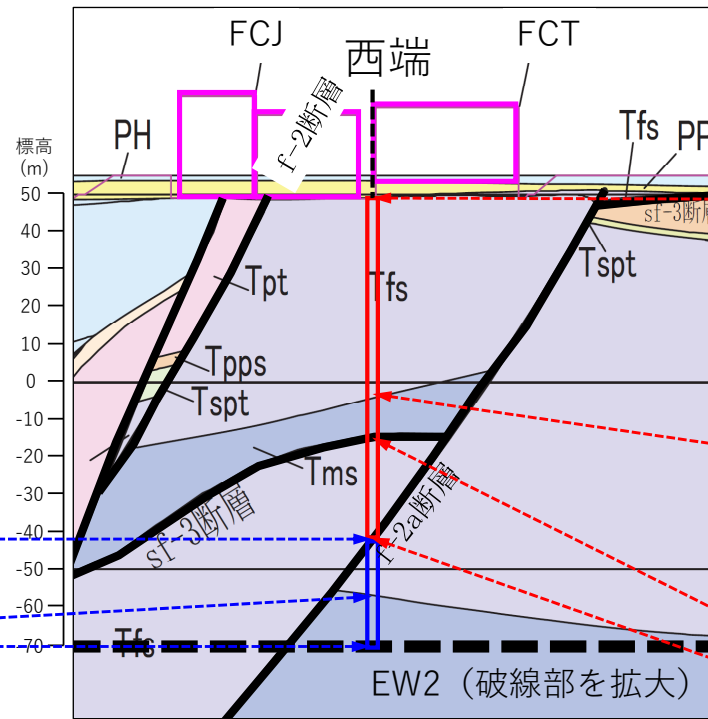
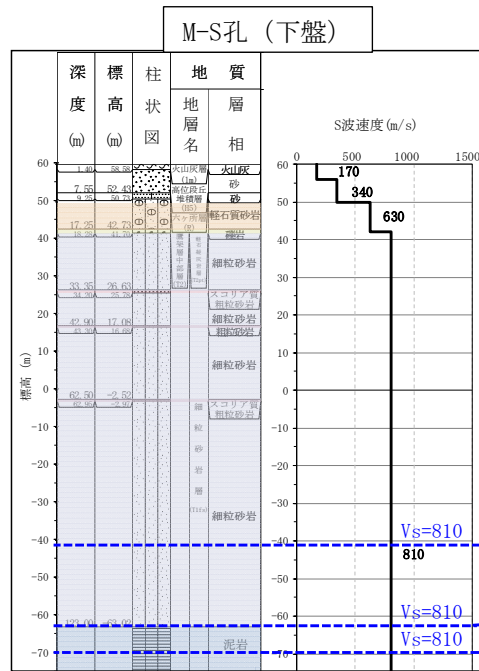
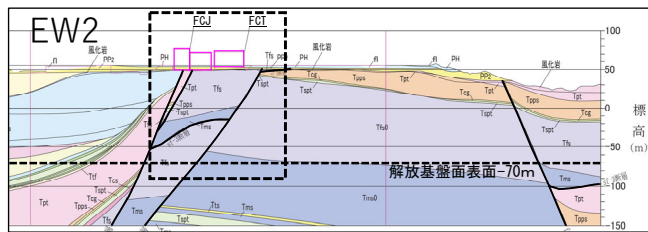
(b) 南端ケース

第 3.1-2 図 FCT 建屋において選定した PS 検層結果による層境界レベルの補正の結果 (2/4)



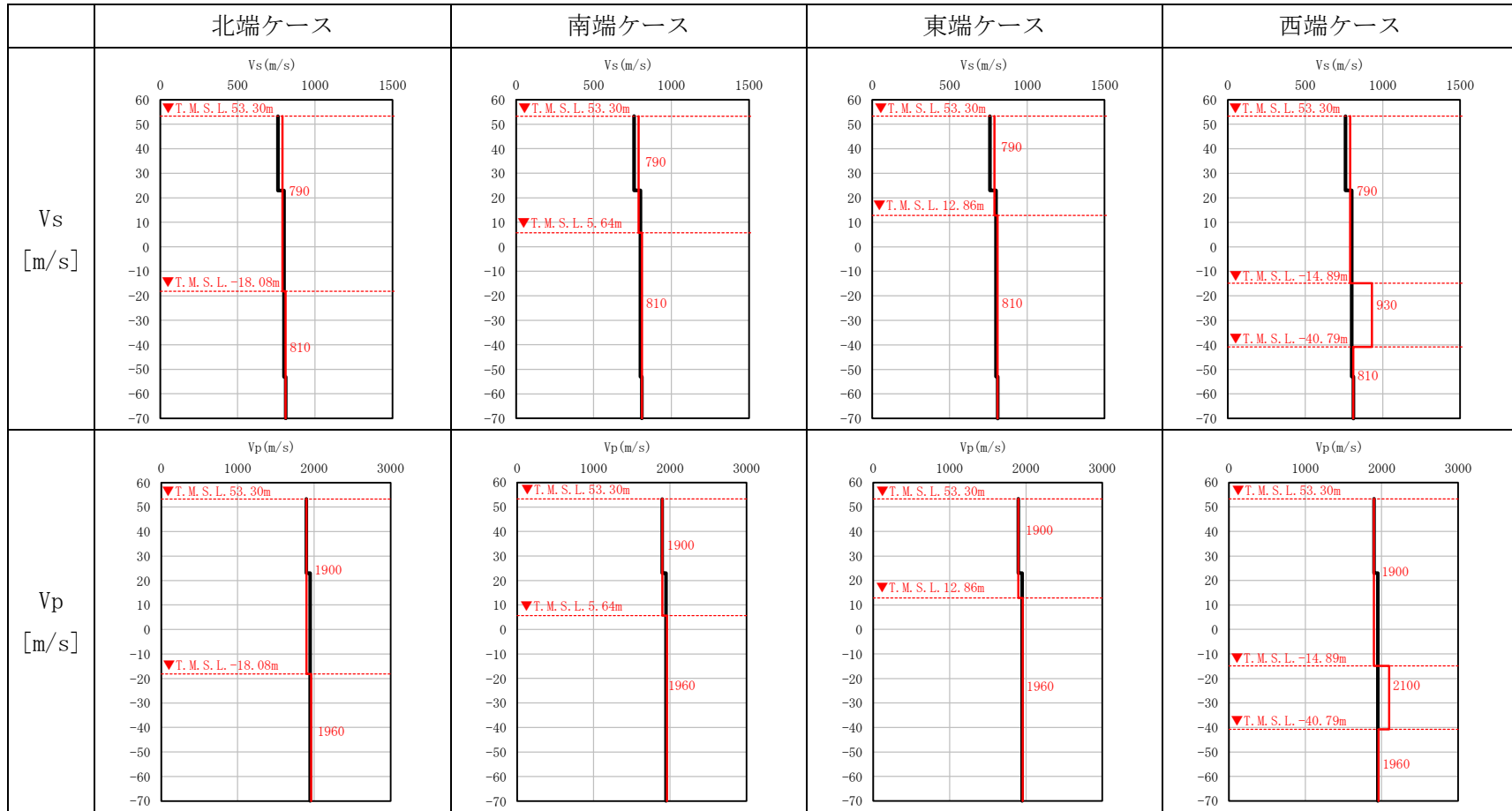
(c) 東端ケース

第3.1-2図 FCT建屋において選定したPS検層結果による層境界レベルの補正の結果 (3/4)



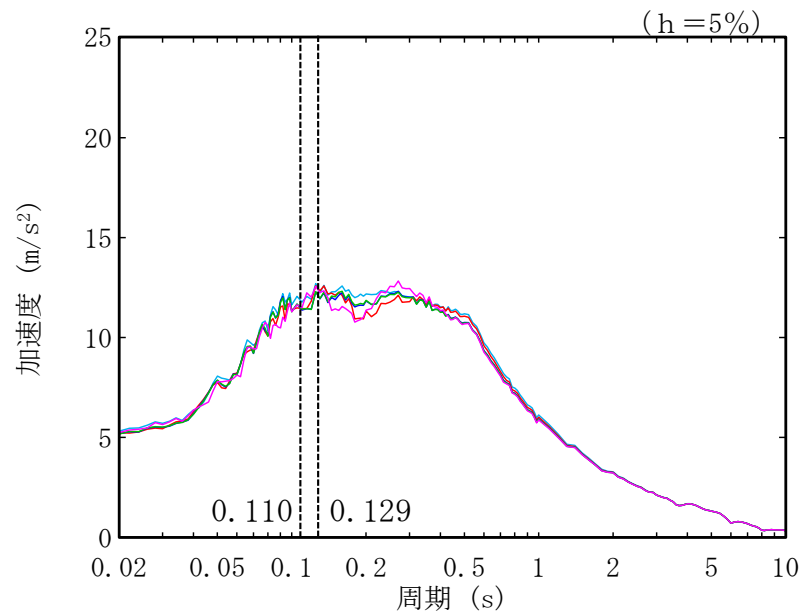
(d) 西端ケース

第3.1-2図 FCT建屋において選定したPS検層結果による層境界レベルの補正の結果 (4/4)

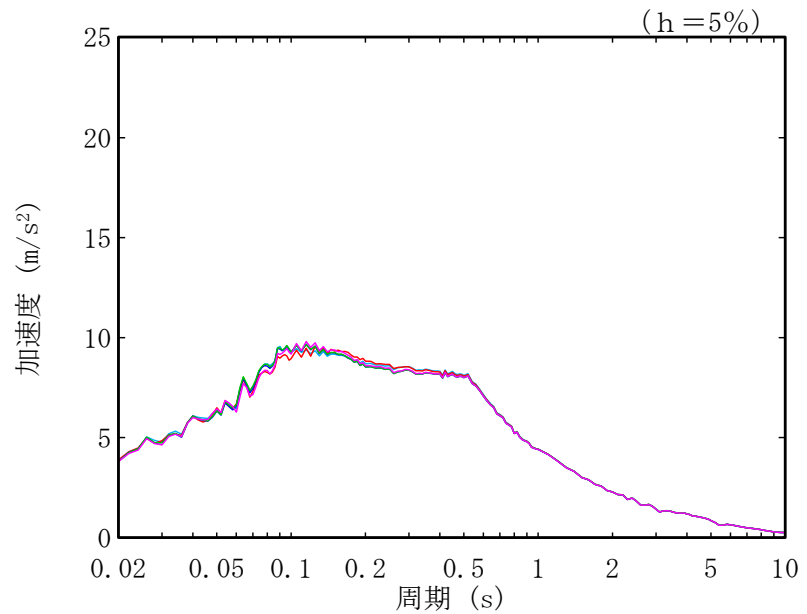


凡例 ——— : F 施設周辺グループにおいて設定した物性値等
 ——— : FCT 建屋の東西南北端の直下の地質構造を反映した物性値等

第 3.1-3 図 FCT 建屋直下の断層を考慮した物性値等の設定結果



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

- : F 施設周辺グループにおいて設定した物性値等
- : FCT 建屋の北端直下の地質構造を反映した物性値等 (北端ケース)
- : FCT 建屋の南端直下の地質構造を反映した物性値等 (南端ケース)
- : FCT 建屋の東端直下の地質構造を反映した物性値等 (東端ケース)
- : FCT 建屋の西端直下の地質構造を反映した物性値等 (西端ケース)

注記 : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-2-2-1-1-3 使用済燃料輸送容器管理建屋 (トレーラエリア) の耐震性に関する計算書」における FCT 建屋の地震応答解析モデルの S_s -A での 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

第 3.1-4 図 FCT 建屋の基礎底面レベルの入力地震動の比較結果

3.2 DC 建屋

DC 建屋直下には、f-1b 断層及び sf-4 断層が確認され、断層を跨いで地質構造に差が見られるため、断層が地盤応答へ与える影響を確認する。

(1) 断層の上盤側と下盤側の PS 検層結果の選定結果

断層の上盤側と下盤側の地質構造の特徴が捉えられている PS 検層結果の選定を行う。

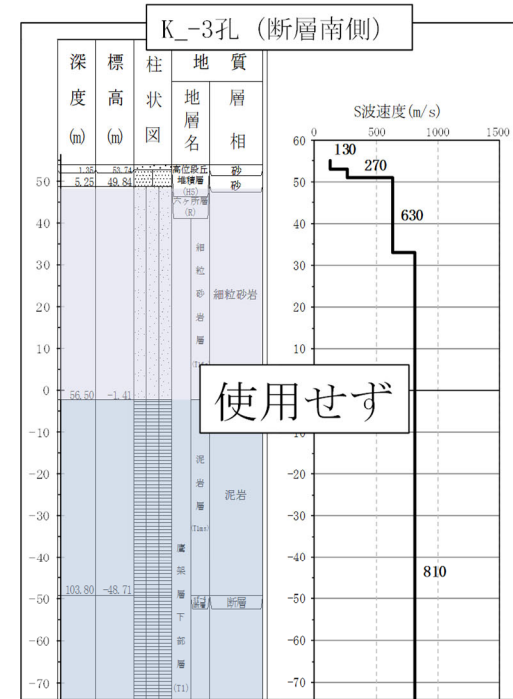
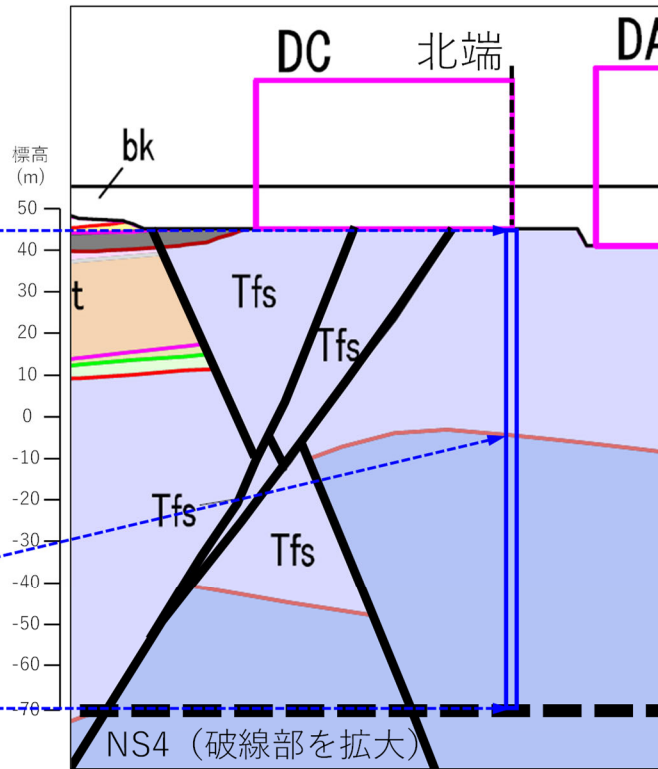
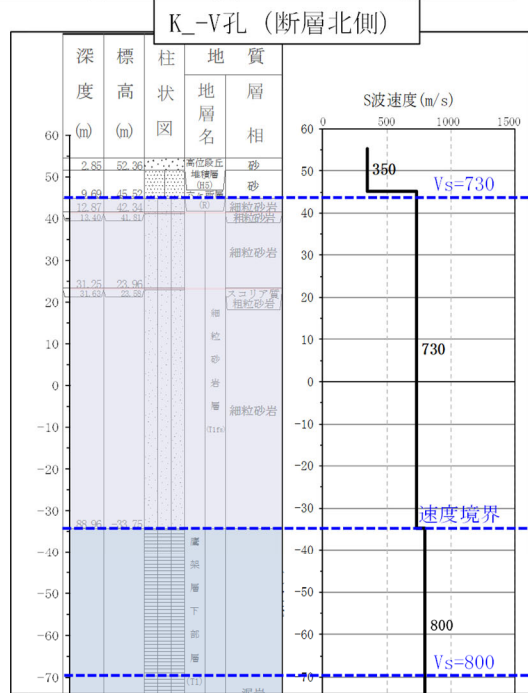
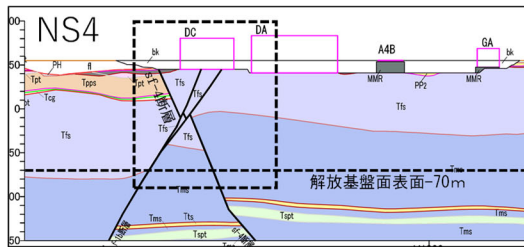
選定した結果を第 3.2-1 図に示す。DC 建屋直下では、f-1b 断層及び sf-4 断層が確認される。東西断面（第 3.2-1 図 (c)）を確認すると、f-1b 断層の上盤の地質構造（f-1 断層と f-1b 断層に挟まれた領域）については、sf-4 断層が見られるため、DC 建屋の近傍に位置し、地質柱状図にて sf-4 断層が確認される K₋₃ 孔を選定する。また、東西断面（第 3.2-1 図 (c)）における f-1b 断層の下盤の地質構造（f-1b 断層と f-2 断層に挟まれた領域）については、sf-4 断層が見られないため、DC 建屋の北に位置し、地質柱状図にて sf-4 断層が確認されない K_{-V} 孔を選定する。また、南北断面（第 3.2-1 図 (b)）を確認すると、DC 建屋直下で f-1b 断層及び sf-4 断層が交差しているため、これらの断層の北側の領域の地質構造については、K_{-V} 孔を選定し、南側の領域の地質構造については、地質柱状図にて sf-4 断層が確認されている DC 建屋直下の K₋₃ 孔を選定する。

(2) 断層の影響を考慮した物性値等の設定結果

前項にて選定した PS 検層結果を用いて、DC 建屋の東西南北の端の位置における、断層を考慮した物性値等の設定を行う。選定した PS 検層結果による層境界レベルの補正の結果を第 3.2-2 図に示す。断層を考慮した物性値等の設定結果を第 3.2-3 図に示す。なお、単位体積重量の設定については、添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す各岩種の湿潤密度を設定した。

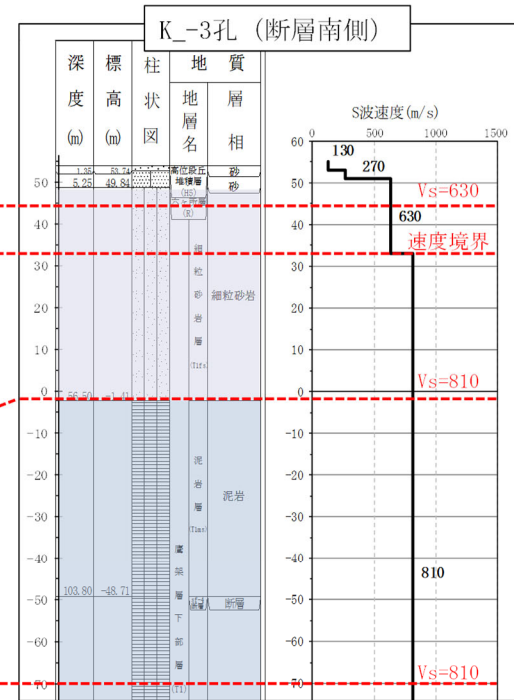
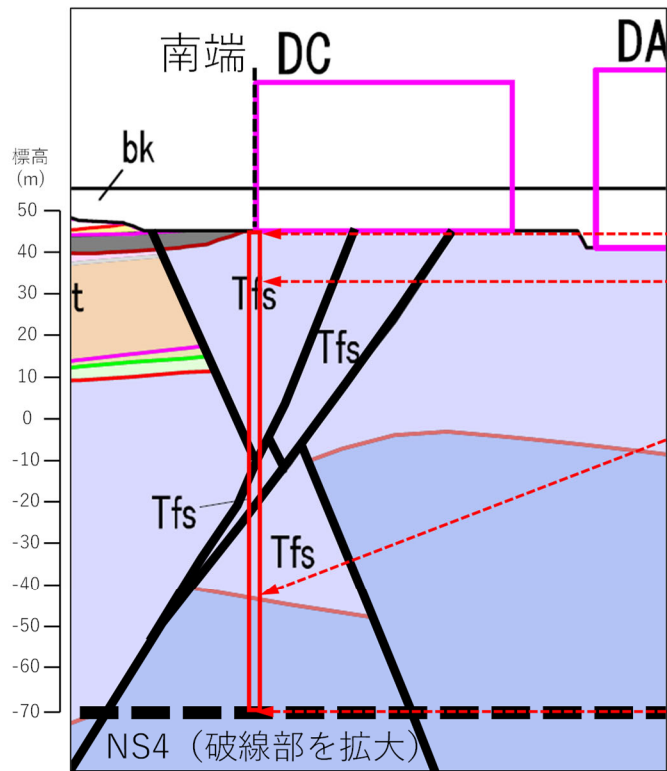
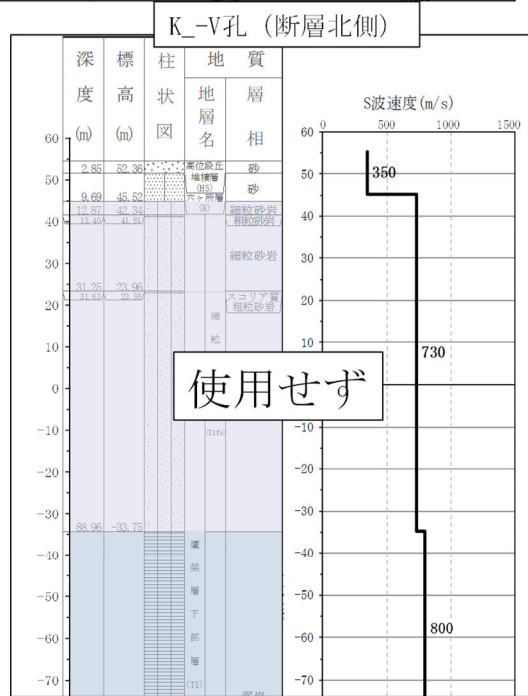
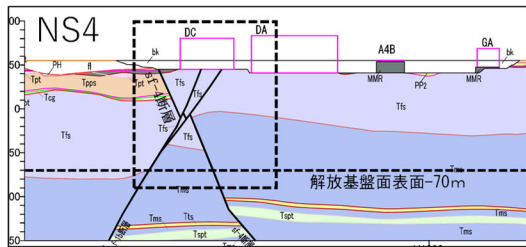
(3) 入力地震動の比較結果

前項にて設定した断層の影響を考慮した物性値等を用いて DC 建屋の基礎底面レベルでの入力地震動を作成し、DC グループで設定した物性値等による入力地震動と比較を行う。入力地震動の比較結果を第 3.2-4 図に示す。DC グループで設定した物性値による入力地震動は、DC 建屋の 1 次固有周期を含む 1.0 秒以下の周期帯において、DC 建屋の東西南北端の各ケースの入力地震動を下回ることを確認した。また、東西南北端の各ケースのうち、東端ケースの加速度応答スペクトルが最も大きいことを確認した。



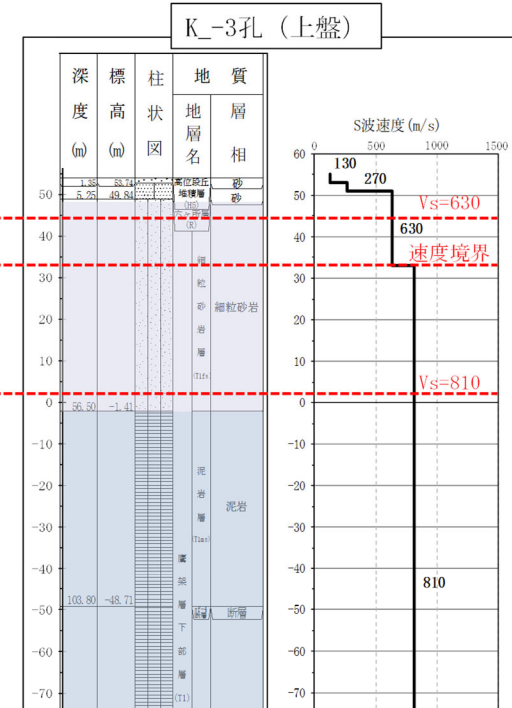
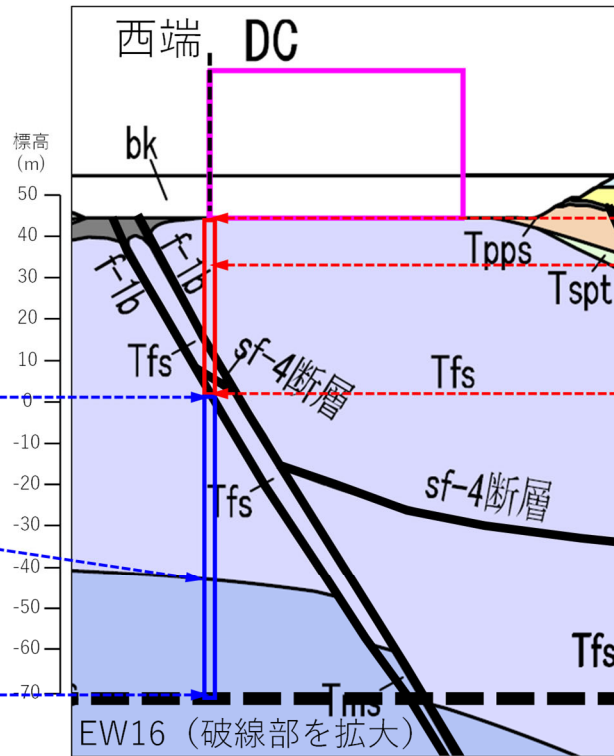
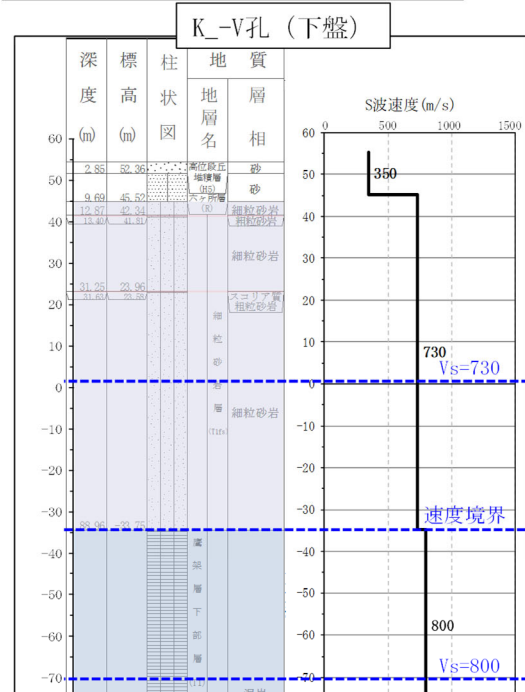
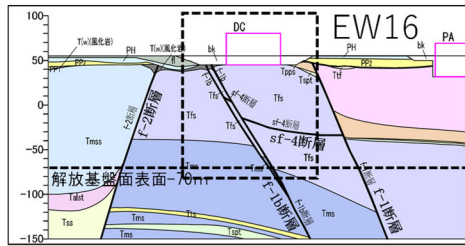
(a) 北端ケース

第 3.2-2 図 DC 建屋において選定した PS 検層結果による層境界レベルの補正の結果 (1/4)



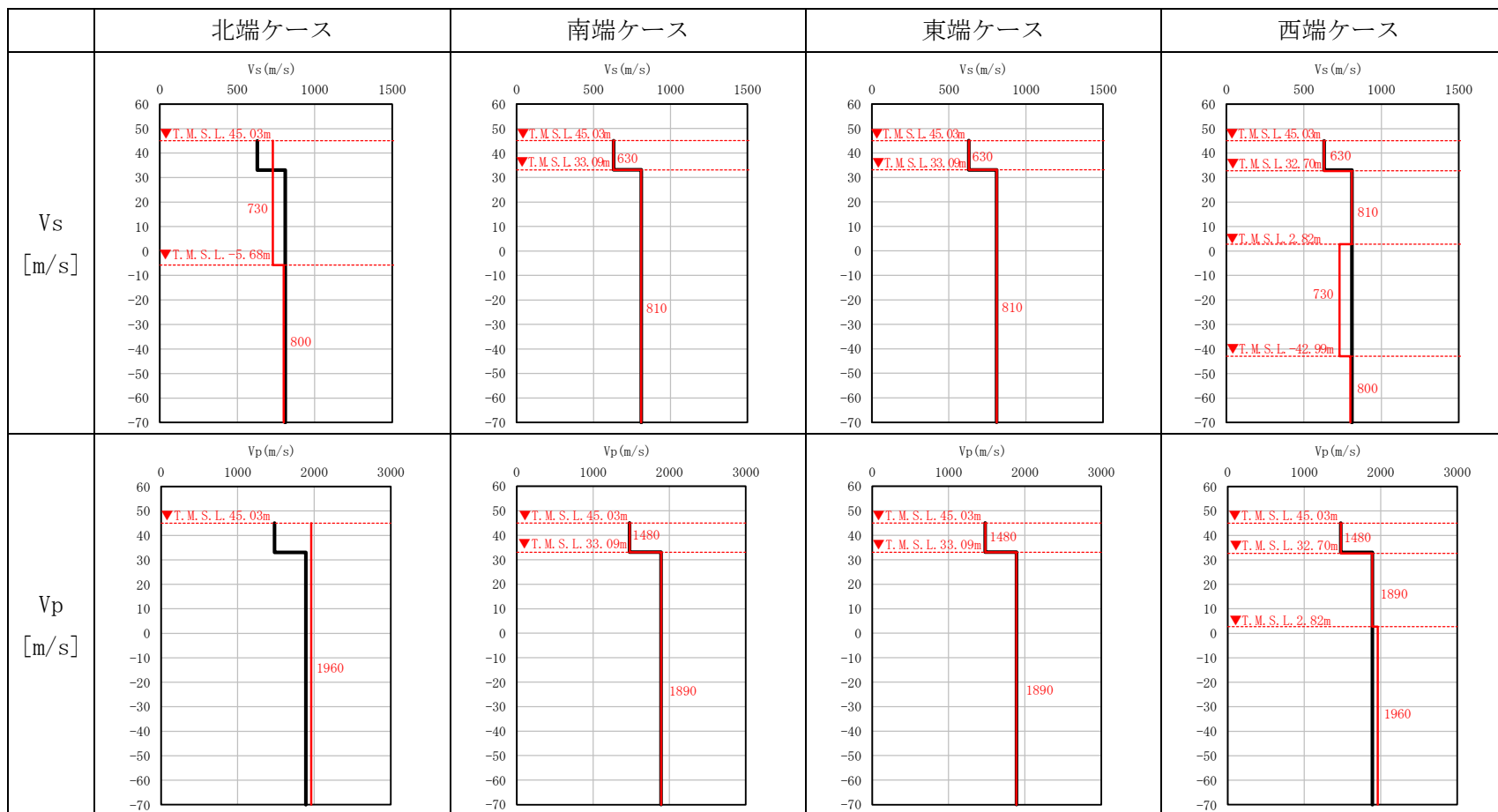
(b) 南端ケース

第 3.2-2 図 DC 建屋において選定した PS 検層結果による層境界レベルの補正の結果 (2/4)



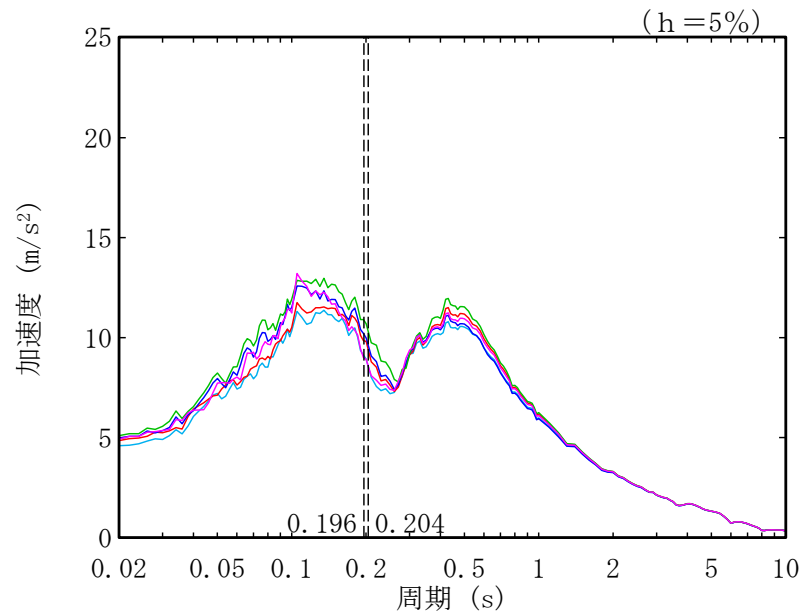
(d) 西端ケース

第 3.2-2 図 DC 建屋において選定した PS 検層結果による層境界レベルの補正の結果 (4/4)

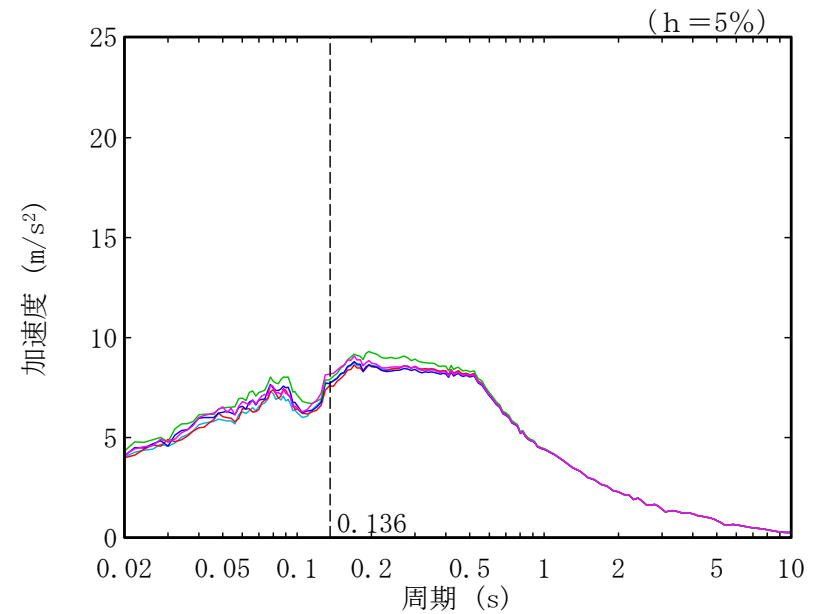


凡例 ——— : DC グループにおいて設定した物性値等
 ——— : DC 建屋の東西南北端の直下の地質構造を反映した物性値等

第 3.2-3 図 DC 建屋直下の断層を考慮した物性値等の設定結果



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

- : DC グループにおいて設定した物性値等
- : DC 建屋の北端直下の地質構造を反映した物性値等 (北端ケース)
- : DC 建屋の南端直下の地質構造を反映した物性値等 (南端ケース)
- : DC 建屋の東端直下の地質構造を反映した物性値等 (東端ケース)
- : DC 建屋の西端直下の地質構造を反映した物性値等 (西端ケース)

注記 : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-10-1 チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での DC 建屋の 1 次固有周期 (NS, EW, UD) を示す。

第 3.2-4 図 DC 建屋の基礎底面レベルの入力地震動の比較結果

3.3 AC 建屋

AC 建屋直下には、f-1a 断層が確認され、断層を跨いで地質構造に差が見られるため、断層が地盤応答へ与える影響を確認する。

(1) 断層の上盤側と下盤側の PS 検層結果の選定結果

断層の上盤側と下盤側の地質構造の特徴が捉えられている PS 検層結果の選定を行う。

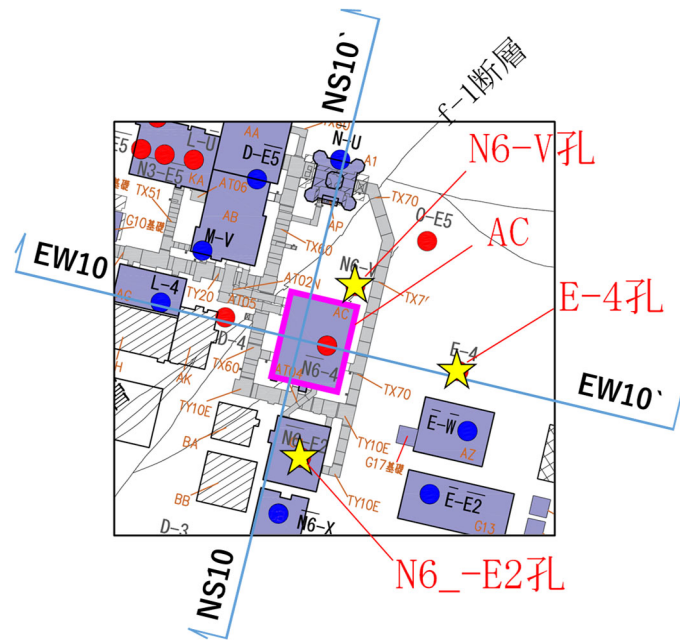
選定した結果を第 3.3-1 図に示す。AC 建屋直下には、f-1a 断層が確認される。f-1a 断層の下盤（f-1 断層及び f-1a 断層に挟まれた領域）の地質構造については、AC 建屋の北に位置し、地質柱状図にて解放基盤表面付近に f-1 断層が確認されている N6-V 孔を選定する。f-1a 断層の上盤の地質構造については、AC 建屋の基礎付近に凝灰岩及び砂質軽石凝灰岩が現れていることから、AC 建屋の東に位置する E-4 孔及び AC 建屋の南に位置する N6_E2 孔を選定する。なお、AC 建屋の東端と南端では、浅部の砂質軽石凝灰岩の有無の違いが見られるため、f-1a 断層の上盤側で 2 つの PS 検層結果を選定した。

(2) 断層の影響を考慮した物性値等の設定結果

前項にて選定した PS 検層結果を用いて、AC 建屋の東西南北の端の位置における、断層を考慮した物性値等の設定を行う。選定した PS 検層結果による層境界レベルの補正の結果を第 3.3-2 図に示す。断層を考慮した物性値等の設定結果を第 3.3-3 図に示す。なお、単位体積重量の設定については、添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す各岩種の湿潤密度を設定した。

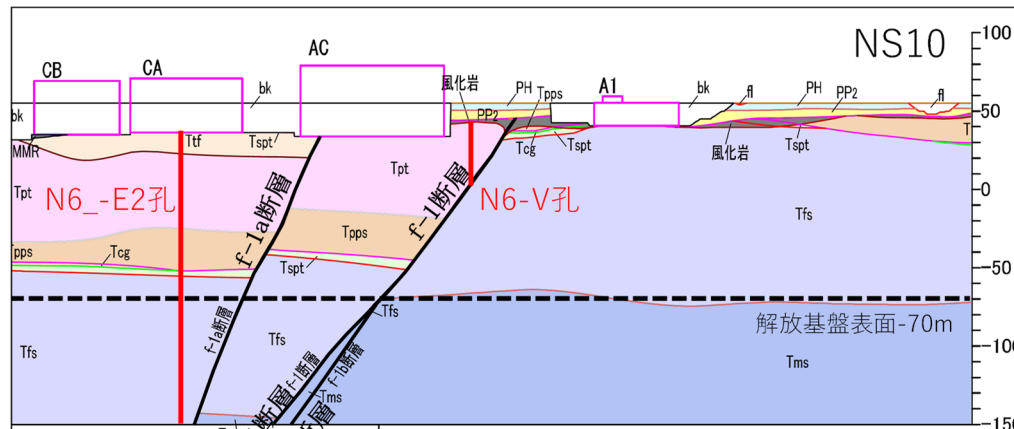
(3) 入力地震動の比較結果

前項にて設定した断層の影響を考慮した物性値等を用いて AC 建屋の基礎底面レベルでの入力地震動を作成し、AC グループで設定した物性値等による入力地震動と比較を行う。入力地震動の比較結果を第 3.3-4 図に示す。AC グループで設定した物性値による入力地震動は、AC 建屋の 1 次固有周期（0.3 秒程度）において、AC 建屋の北端、南端及び西端ケースを下回り、このうち南端ケースが最も大きい加速度応答スペクトルを示すことを確認した。また、機器・配管系の固有周期を含む 0.2 秒程度以下の周期帯において、AC 建屋の南端ケースの入力地震動を下回ることを確認した。



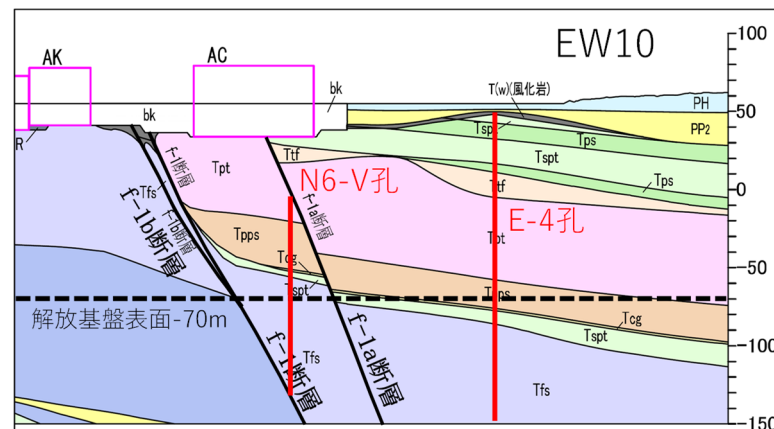
注記 : ☆は、選定したPS 検層位置を示す。

(a) 断面位置



注記 : 赤線は、選定したPS 検層結果が対応する地質への投影を示す。

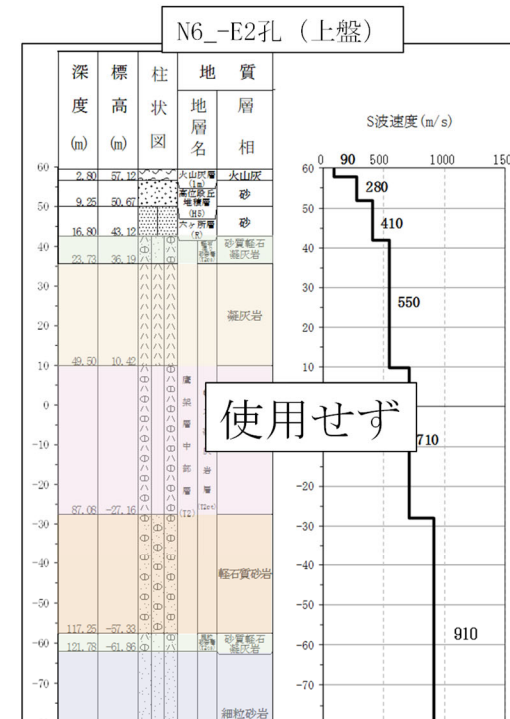
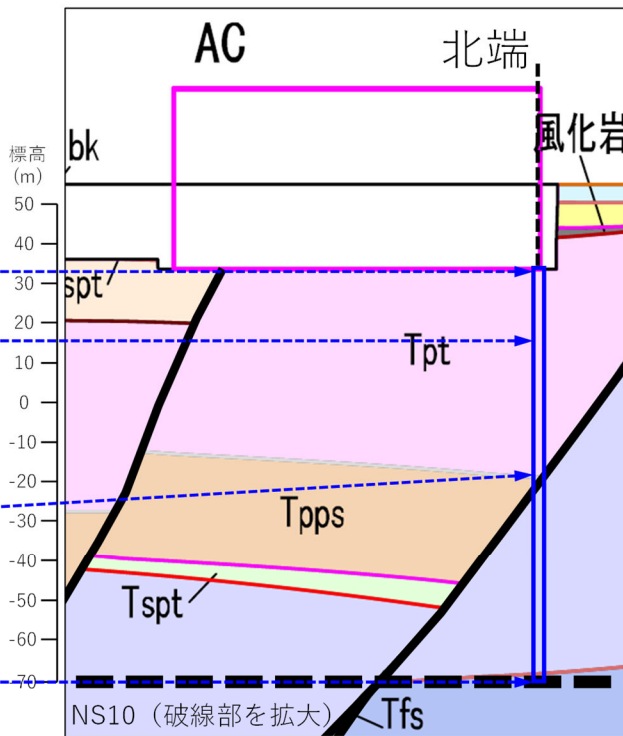
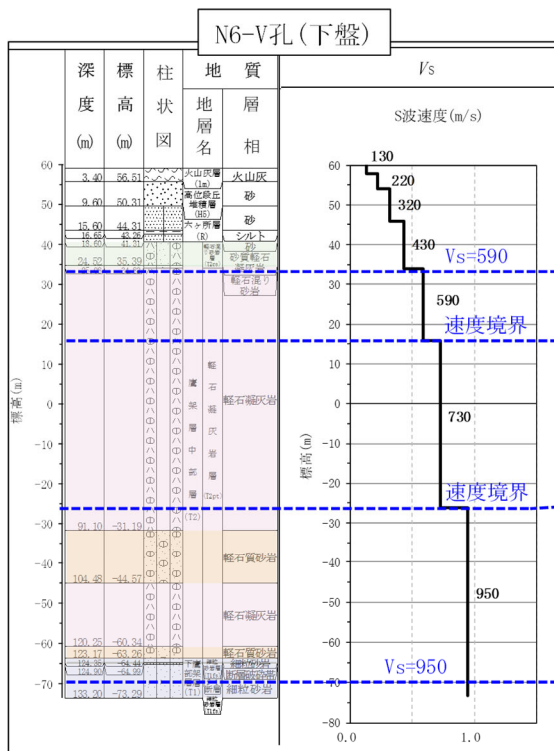
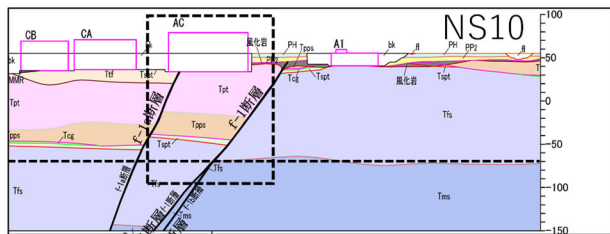
(b) NS10 断面

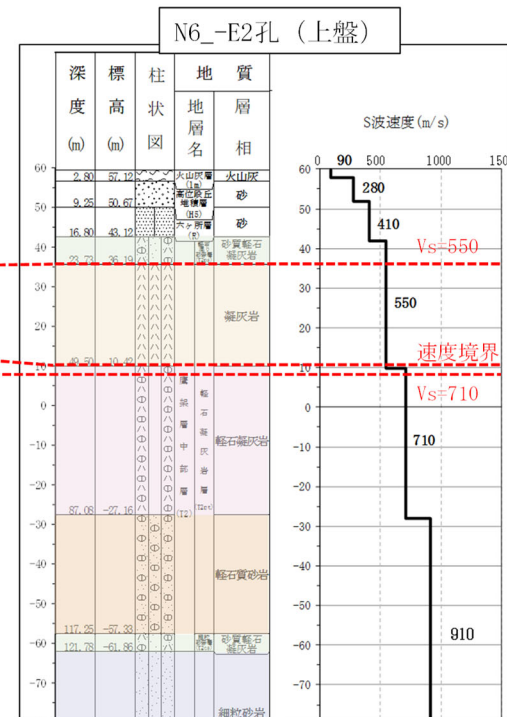
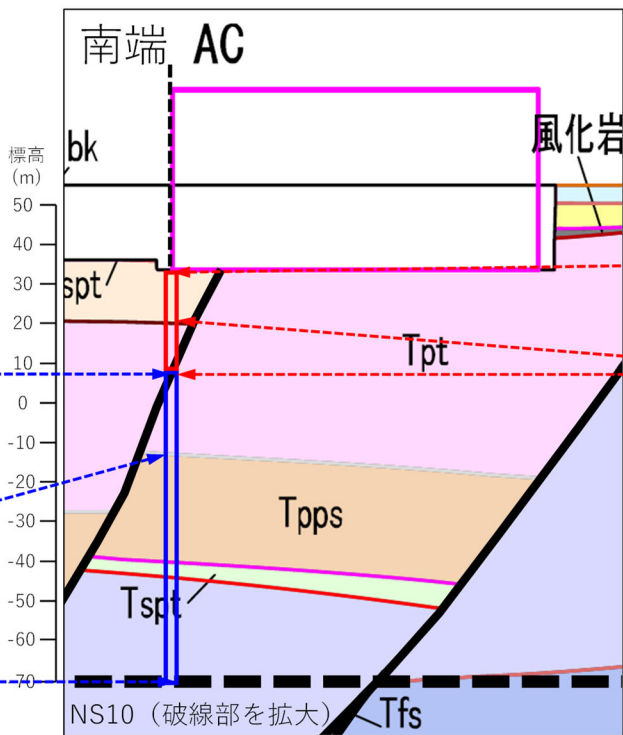
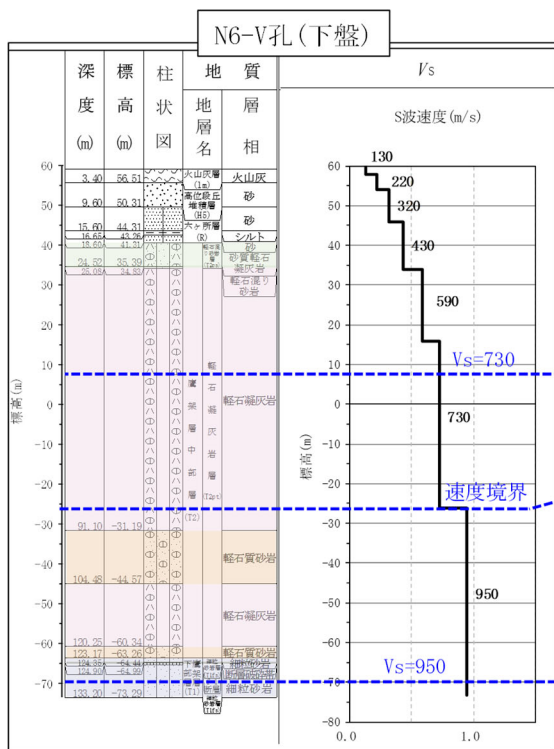
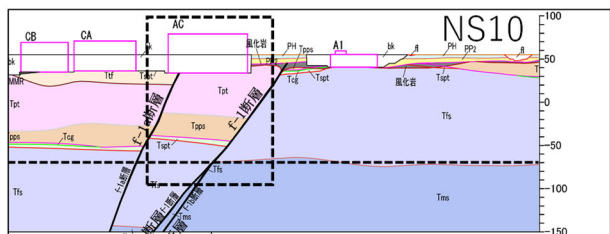


注記 : 赤線は、選定したPS 検層結果が対応する地質への投影を示す。

(c) EW10 断面

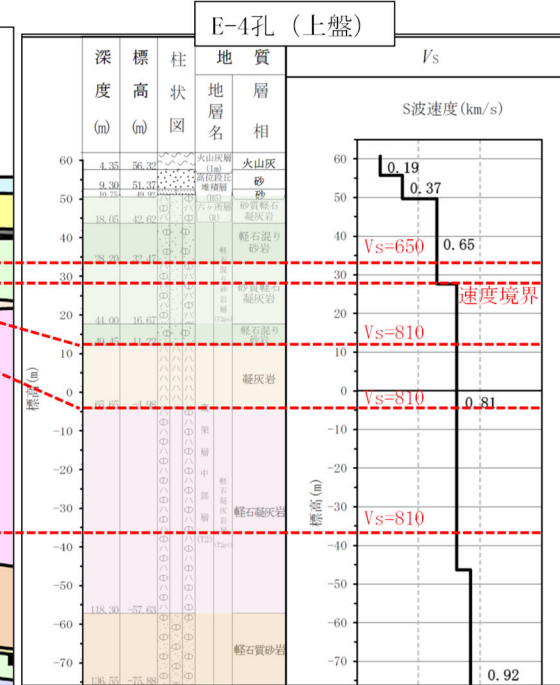
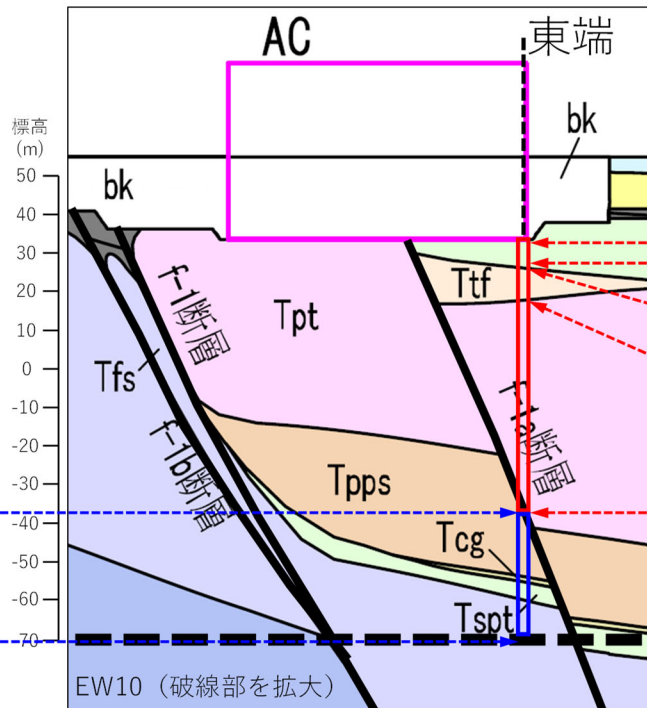
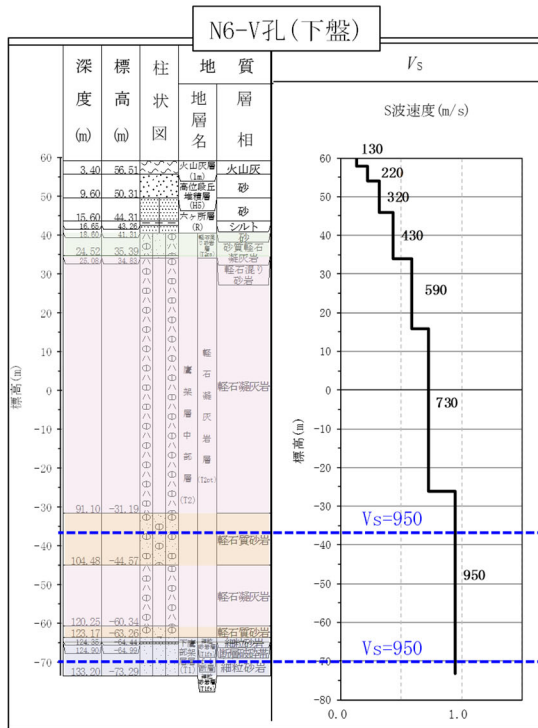
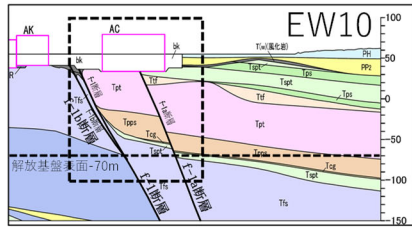
第 3.3-1 図 AC 建屋直下の断層の上盤側と下盤側の PS 検層結果の選定結果





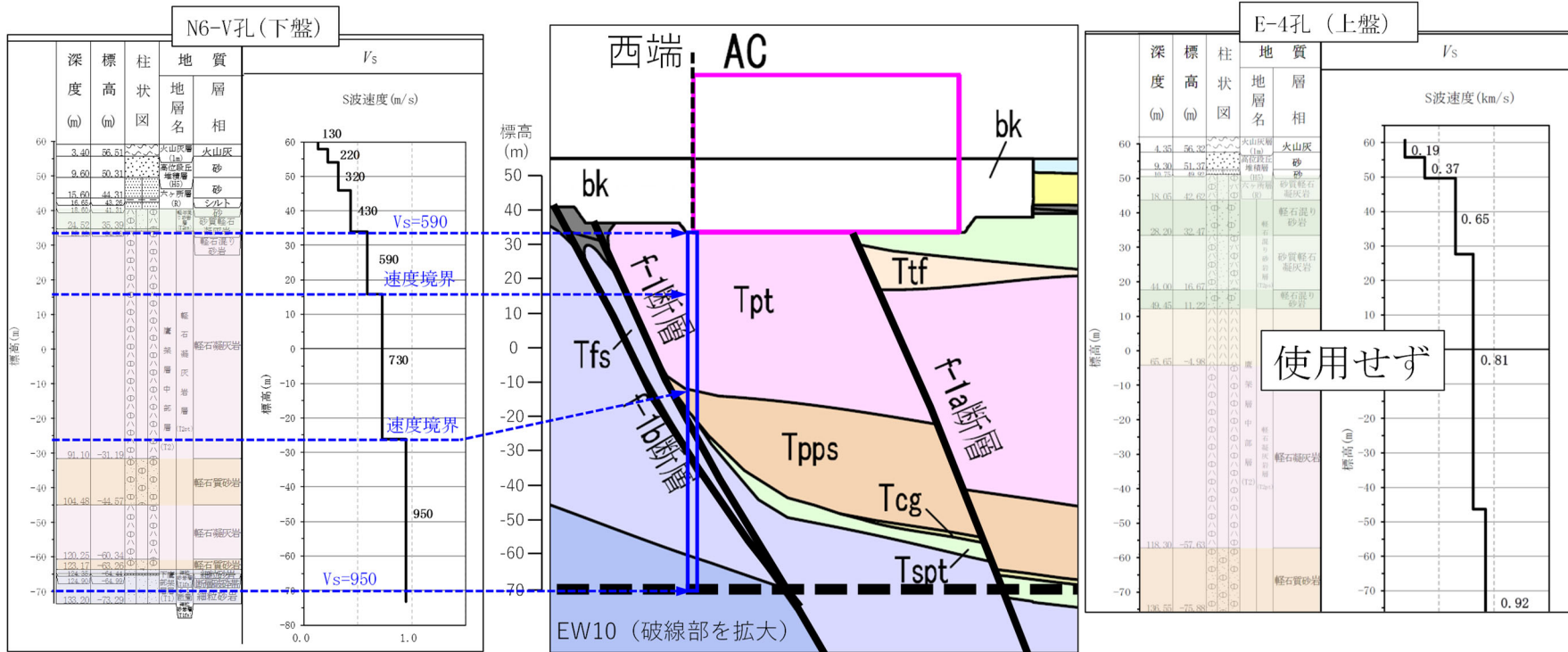
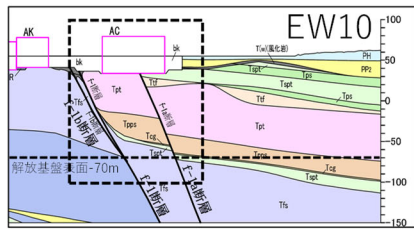
(b) 南端ケース

第 3.3-2 図 AC 建屋において選定した PS 検層結果による層境界レベルの補正の結果 (2/4)



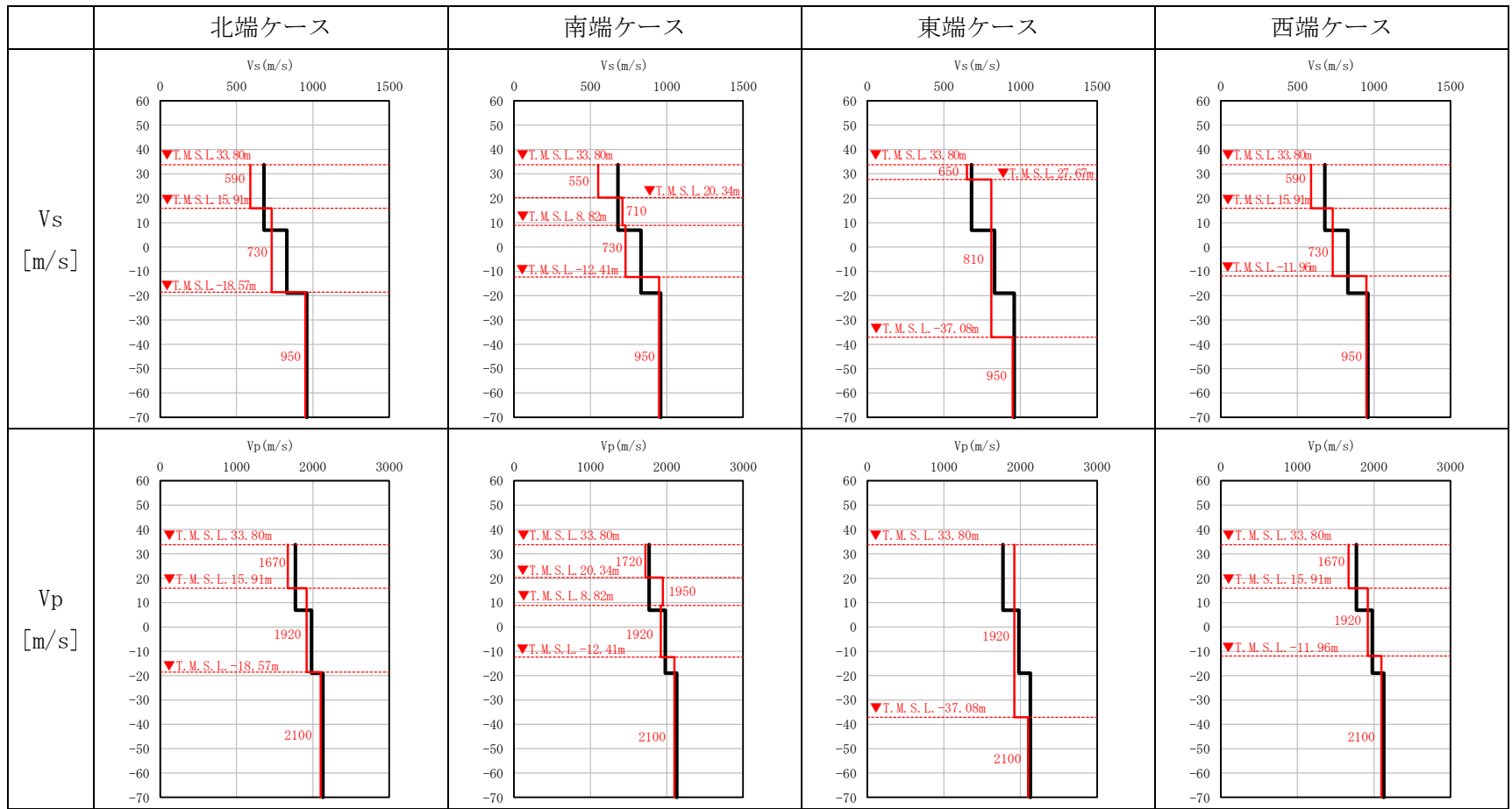
(c) 東端ケース

第 3.3-2 図 AC 建屋において選定した PS 検層結果による層境界レベルの補正の結果 (3/4)



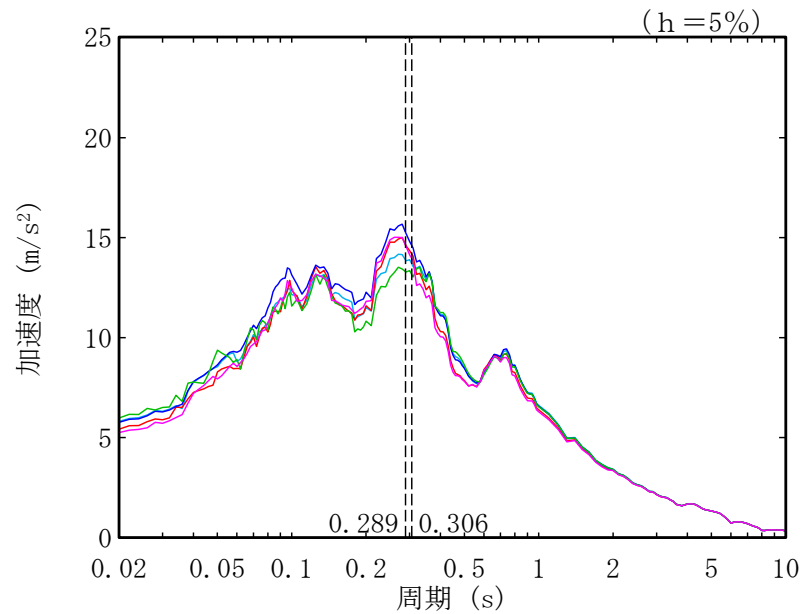
(d) 西端ケース

第 3.3-2 図 AC 建屋において選定した PS 検層結果による層境界レベルの補正の結果 (4/4)

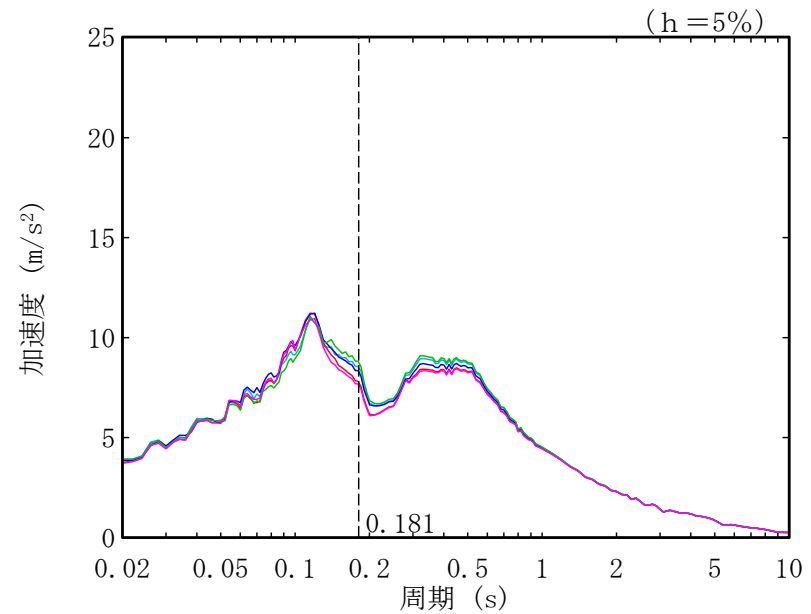


凡例 ——— : AC グループにおいて設定した物性値等
 ——— : AC 建屋の東西南北端の直下の地質構造を反映した物性値等

第 3.3-3 図 AC 建屋直下の断層を考慮した物性値等の設定結果



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

- : AC グループにおいて設定した物性値等
- : AC 建屋の北端直下の地質構造を反映した物性値等 (北端ケース)
- : AC 建屋の南端直下の地質構造を反映した物性値等 (南端ケース)
- : AC 建屋の東端直下の地質構造を反映した物性値等 (東端ケース)
- : AC 建屋の西端直下の地質構造を反映した物性値等 (西端ケース)

注記 : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-3-1 精製建屋の地震応答計算書」に示す S_s-A での AC 建屋の 1 次固有周期 (NS, EW, UD) を示す。

第 3.3-4 図 AC 建屋の基礎底面レベルの入力地震動の比較結果

3.4 BA 建屋

BA 建屋直下には, f-1a 断層が確認され, 断層を跨いで地質構造に差が見られるため, 断層が地盤応答へ与える影響を確認する。

(1) 断層の上盤側と下盤側の PS 検層結果の選定結果

断層の上盤側と下盤側の地質構造の特徴が捉えられている PS 検層結果の選定を行う。

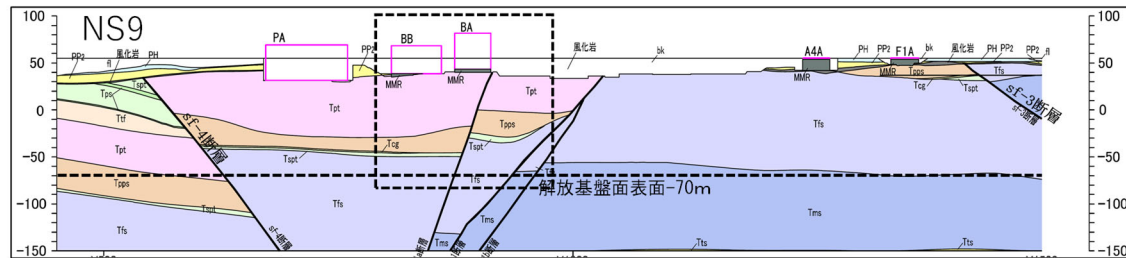
選定した結果を第 3.4-1 図に示す。BA 建屋直下には, f-1a 断層が確認される。f-1a 断層の下盤 (f-1 断層及び f-1a 断層に挟まれた領域) の地質構造については, BA 建屋の北に位置する N6_-4 孔を選定する。なお, N6_-4 孔では, 地質柱状図にて T. M. S. L. 15m 程度に f-1a 断層が確認されるため, f-1a 断層の下のデータを用いる。また, f-1a 断層の下盤の地質構造については, AC 建屋北側の N6-V 孔を使用することも考えられるが, BA 建屋のより近くに位置する N6_-4 孔を選定することとする。f-1a 断層の上盤の地質構造については, BA 建屋の東に位置する N6_-E2 孔を選定する。

(2) 断層の影響を考慮した物性値等の設定結果

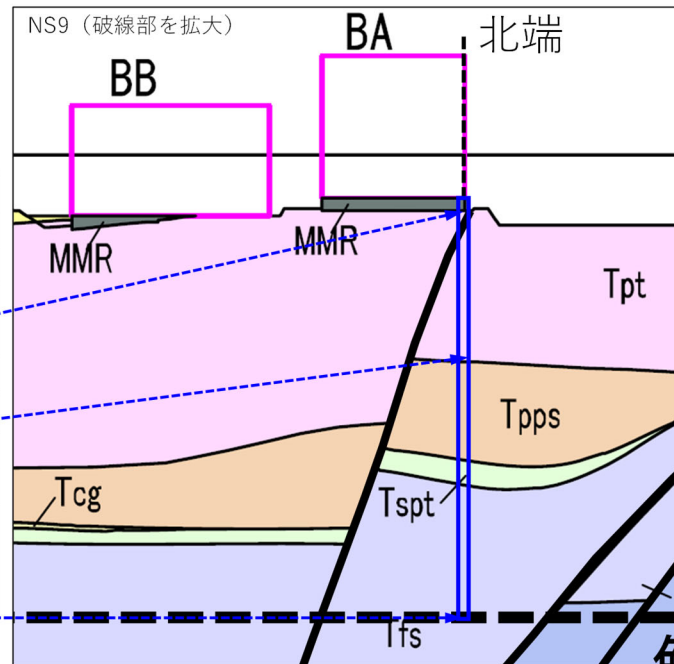
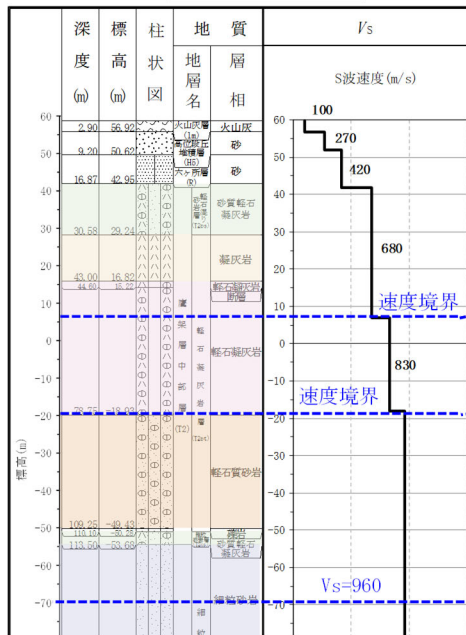
前項にて選定した PS 検層結果を用いて, BA 建屋の東西南北の端の位置における, 断層の影響を考慮した物性等の設定を行う。選定した PS 検層結果による層境界レベルの補正の結果を第 3.4-2 図に示す。断層の影響を考慮した物性等の設定結果を第 3.4-3 図に示す。なお, 単位体積重量の設定については, 添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す各岩種の湿潤密度を設定した。

(3) 入力地震動の比較結果

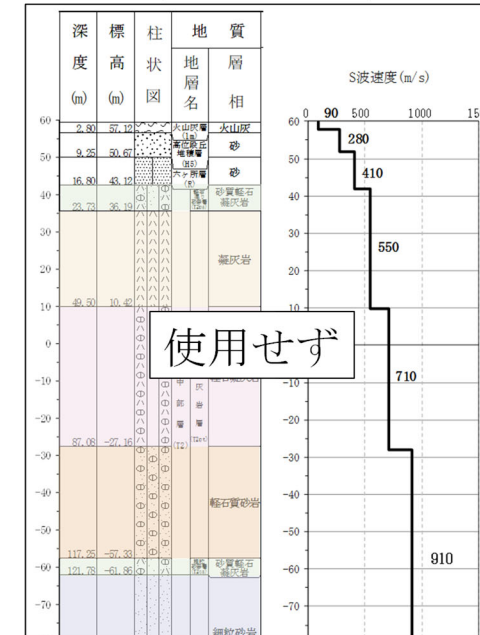
前項にて設定した断層の影響を考慮した物性値等を用いて BA 建屋の基礎底面レベルでの入力地震動を作成し, CA グループで設定した物性値等による入力地震動と比較を行う。入力地震動の比較結果を第 3.4-4 図に示す。水平方向の応答について, CA グループで設定した物性値等による入力地震動は, BA 建屋の 1 次固有周期 (0.272 秒) においては, BA 建屋の東西南北端の各ケースの入力地震動を上回ることを確認した。また, 0.1 秒から 0.2 秒の周期帯では, BA 建屋の北端及び西端の各ケースの入力地震動が CA グループで設定した物性値等による入力地震動を上回ることを確認した。



N6_4孔 (下盤)

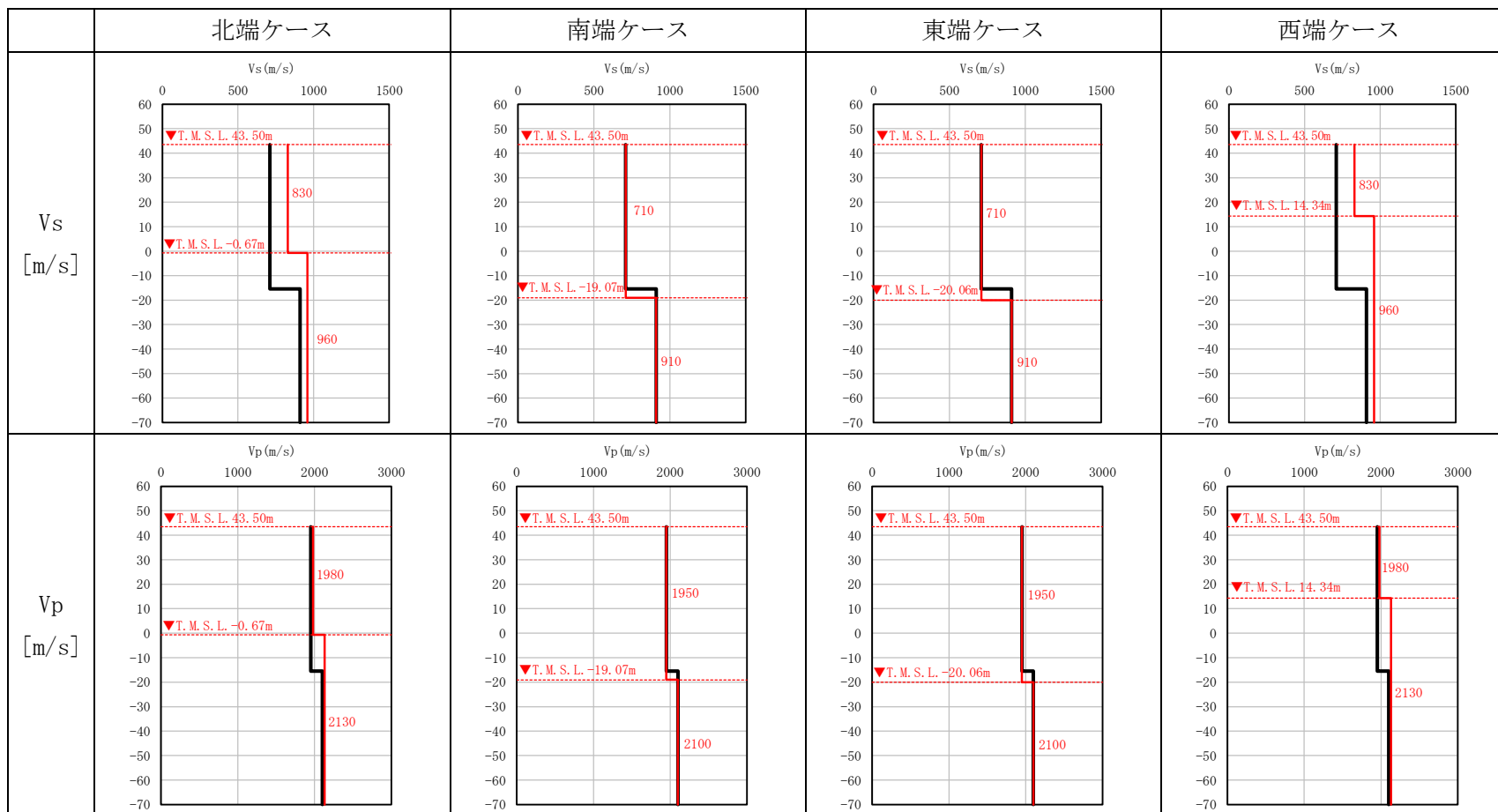


N6_E2孔 (上盤)



(a) 北端ケース

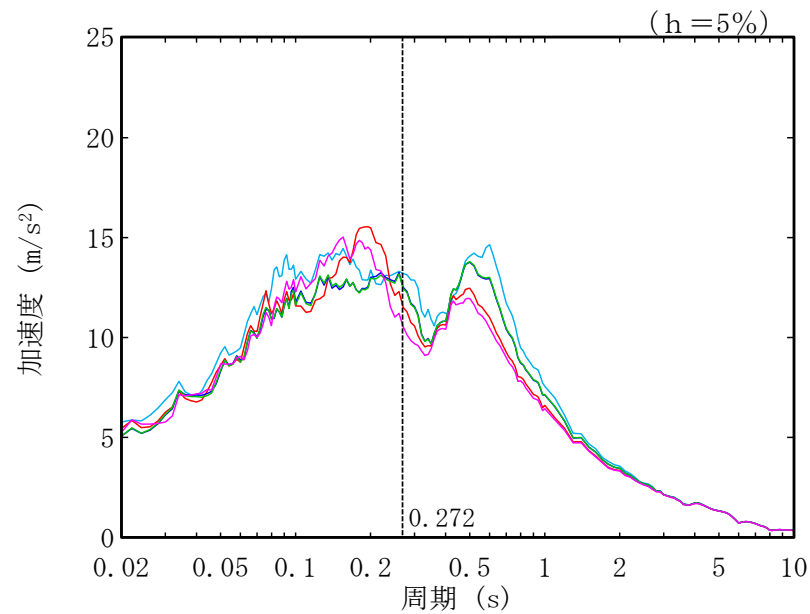
第 3.4-2 図 BA 建屋において選定した PS 検層結果による層境界レベルの補正の結果 (1/4)



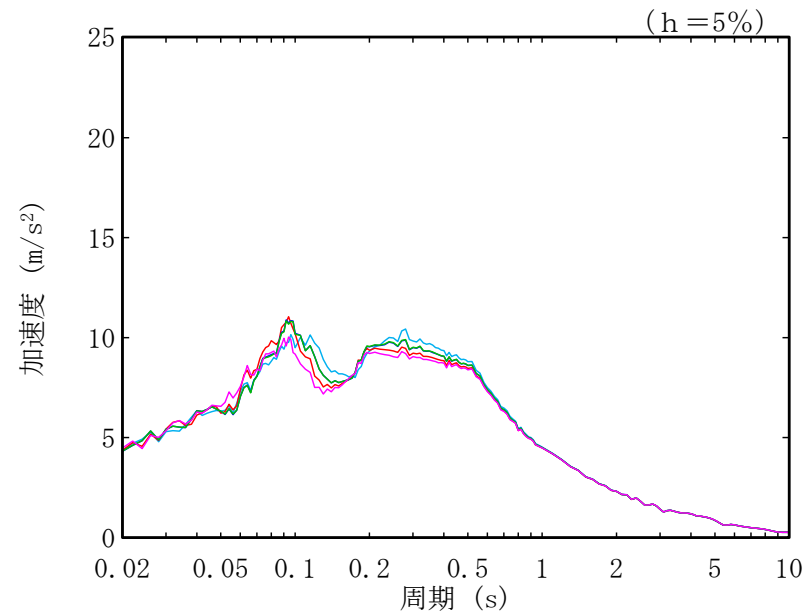
凡例 ——— : BA 建屋直下の地質構造を反映した物性値等 (②-a にて採用した物性値等)

————— : BA 建屋の東西南北端の直下の地質構造を反映した物性値等

第 3.4-3 図 BA 建屋直下の断層を考慮した物性値等の設定結果



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

- : BA 建屋直下の地質構造を反映した物性値等 (②-a にて採用した物性値等)
- : BA 建屋の北端直下の地質構造を反映した物性値等 (北端ケース)
- : BA 建屋の南端直下の地質構造を反映した物性値等 (南端ケース)
- : BA 建屋の東端直下の地質構造を反映した物性値等 (東端ケース)
- : BA 建屋の西端直下の地質構造を反映した物性値等 (西端ケース)

注記 : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-2-2-1-1-3 ウラン脱硝建屋の耐震性に関する計算書」における BA 建屋の地震応答解析モデルの Ss-A での 1 次固有周期 (EW) を示す。

第 3.4-4 図 BA 建屋の基礎底面レベルの入力地震動の比較結果

3.5 G14 建屋

G14 建屋直下には、sf-6 断層が確認され、断層を跨いで地質構造に差が見られるため、断層が地盤応答へ与える影響を確認する。

(1) 断層の上盤側と下盤側の PS 検層結果の選定結果

断層の上盤側と下盤側の地質構造の特徴が捉えられている PS 検層結果の選定を行う。

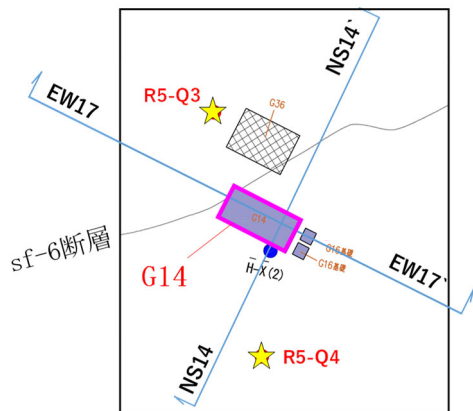
選定した結果を第 3.5-1 図に示す。G14 建屋直下には、sf-6 断層が確認される。sf-6 断層の下盤の地質構造については、G14 建屋の北に位置する R5-Q3 孔を選定する。また、sf-6 断層の上盤の地質構造については、G14 建屋の南に位置する R5-Q4 孔を選定する。

(2) 断層の影響を考慮した物性値等の設定結果

前項にて選定した PS 検層結果を用いて、G14 建屋の東西南北の端の位置における、断層の影響を考慮した物性等の設定を行う。選定した PS 検層結果による層境界レベルの補正の結果を第 3.5-2 図に示す。断層の影響を考慮した物性等の設定結果を第 3.5-3 図に示す。なお、単位体積重量の設定については、添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す各岩種の湿潤密度を設定した。

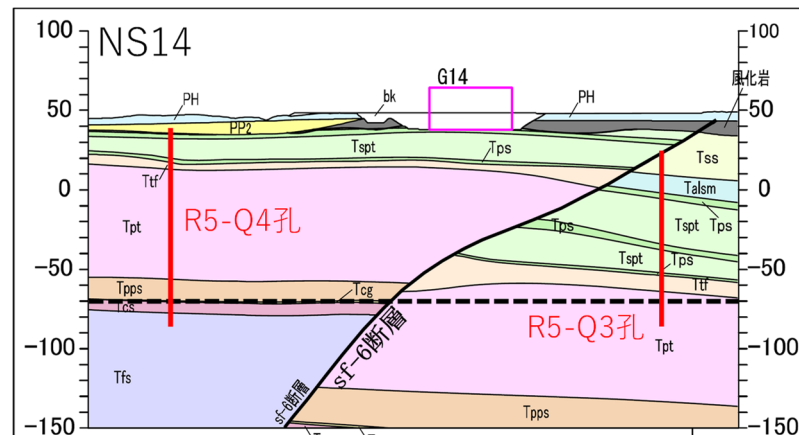
(3) 入力地震動の比較結果

前項にて設定した断層の影響を考慮した物性値等を用いて G14 建屋の基礎底面レベルでの入力地震動を作成し、G14 グループで設定した物性値等による入力地震動と比較を行う。入力地震動の比較結果を第 3.5-4 図に示す。G14 グループで設定した物性値による入力地震動は、G14 建屋の 1 次固有周期においては、G14 建屋の東端及び南端の各ケースの入力地震動を下回る一方で、その他の周期帯においては、G14 建屋の東西南北端の各ケースの入力地震動と同等以上であることを確認した。また、機器・配管系の固有周期である 0.2 秒程度以下の周期帯のうち、G14 建屋の 1 次固有周期以外の周期帯では、G14 グループで設定した物性値による入力地震動は、G14 建屋の東西南北端の各ケースの入力地震動と同等であることを確認した。また、下盤側の地質構造が支配的となっている西端ケースよりも、上盤側の地質構造が支配的となっている北端、南端及び東端ケースのほうが大きな入力地震動を与える傾向を確認した。



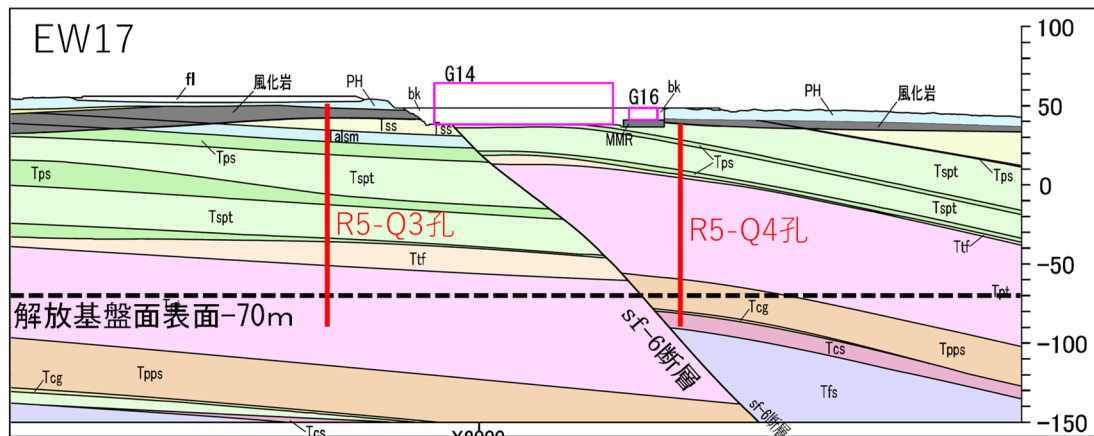
注記 : ☆は, 選定した PS 検層位置を示す。

(a) 断面位置



注記 : 赤線は, 選定した PS 検層結果が対応する地質への投影を示す。

(b) NS14 断面

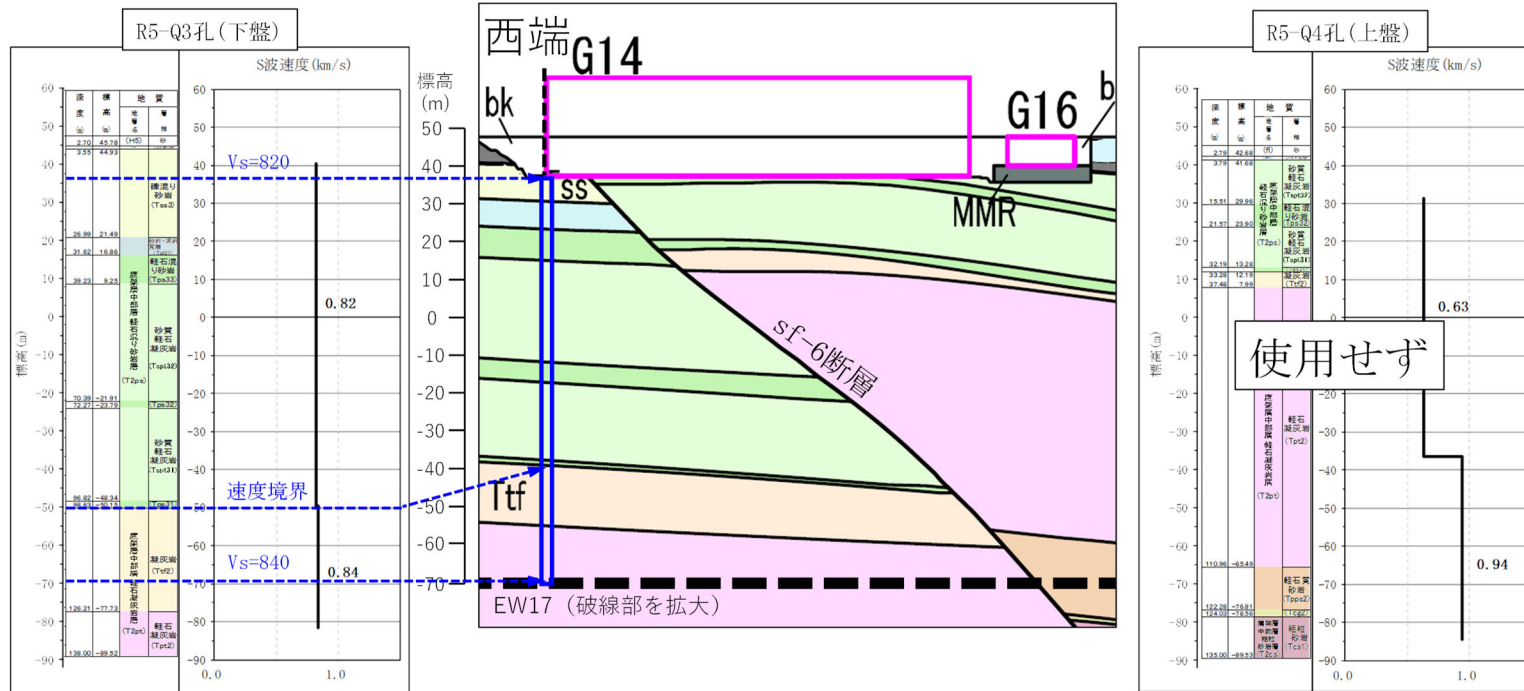
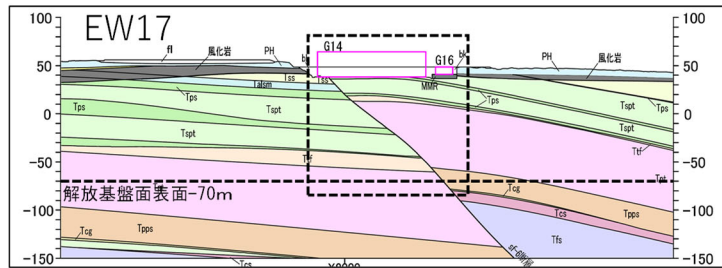


注記 : 赤線は, 選定した PS 検層結果が対応する地質への投影を示す。

(c) EW17 断面

第 3.5-1 図 G14 建屋直下の断層の上盤側と下盤側の PS 検層結果の選定結果

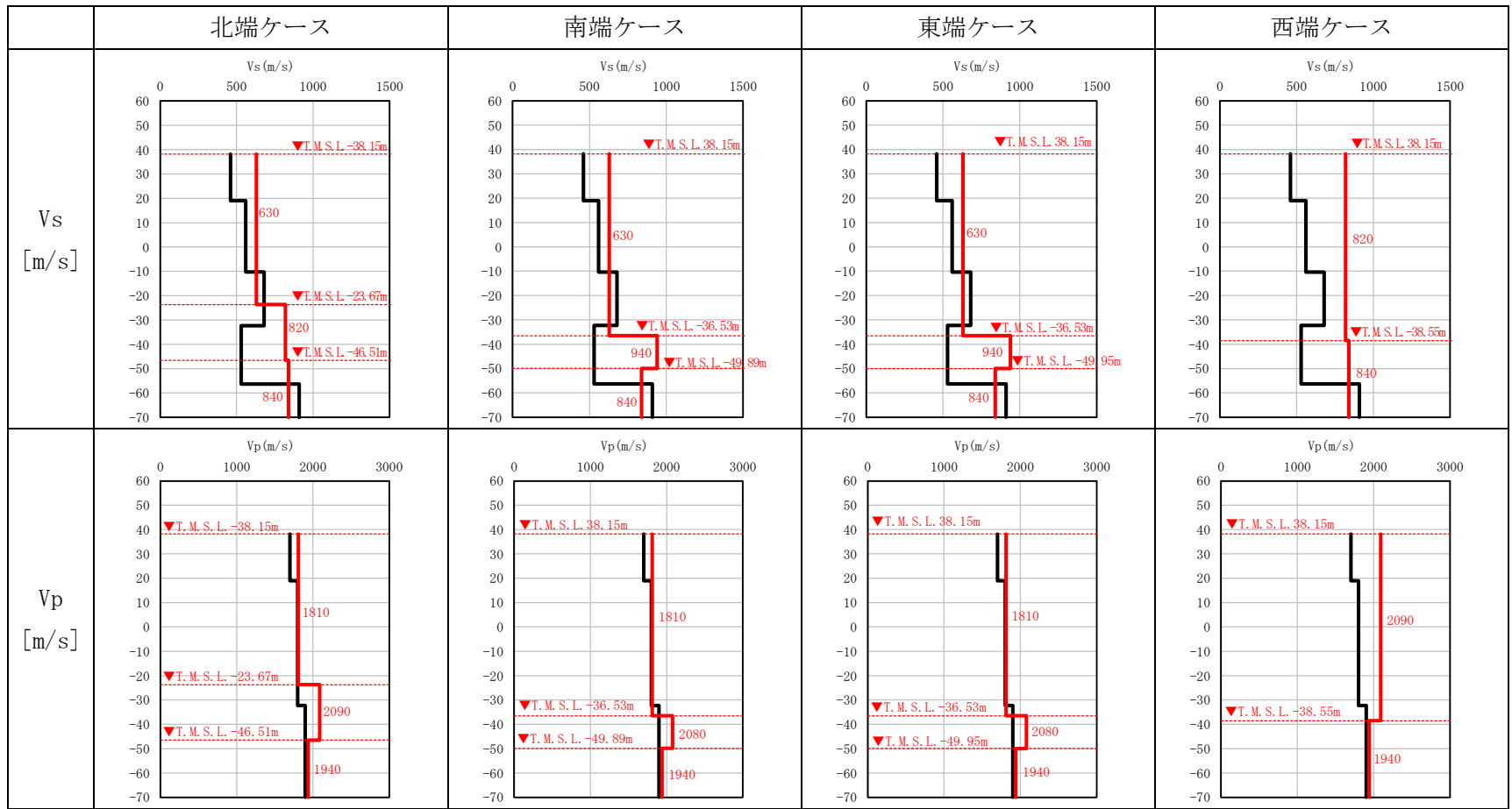
参考 4-35



(d) 西端ケース

第 3.5-2 図 G14 建屋において選定した PS 検層結果による層境界レベルの補正の結果 (4/4)

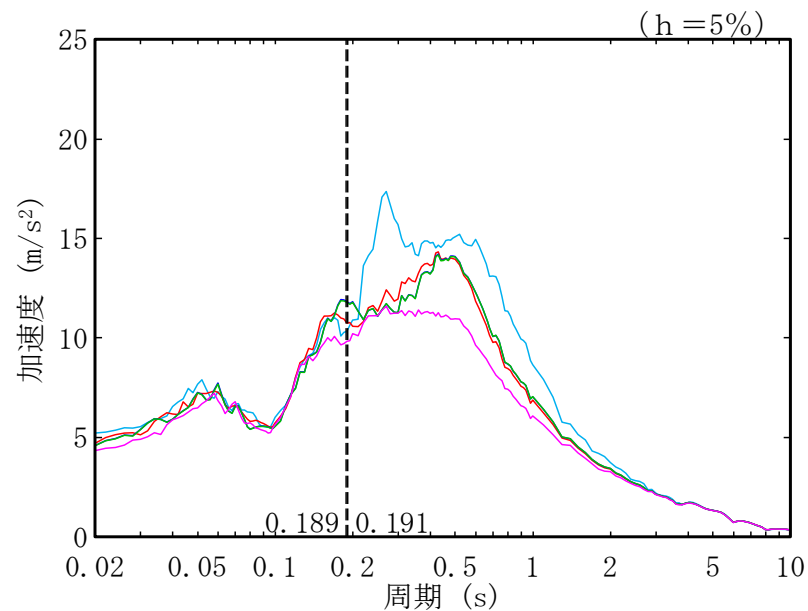
参考 4-39



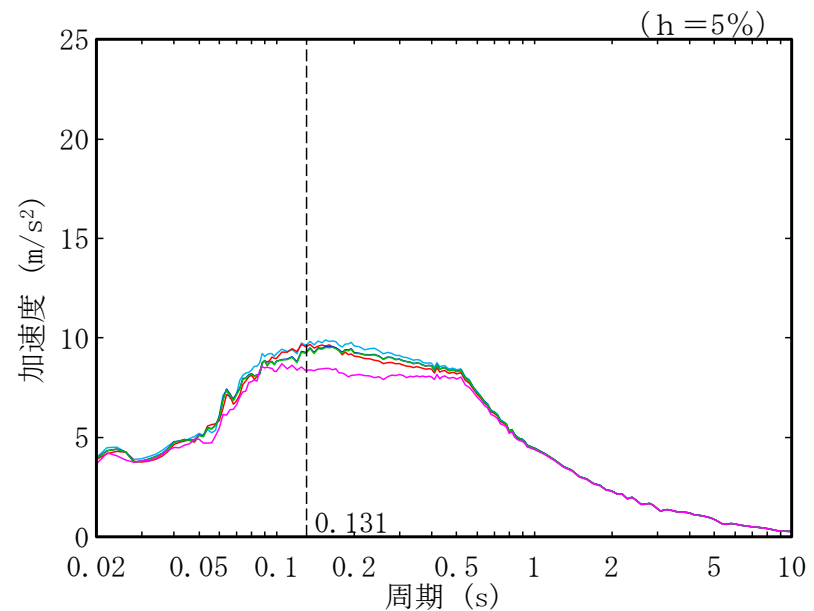
凡例 ——— : G14 グループにおいて設定した物性値等
 ——— : G14 建屋の東西南北端の直下の地質構造を反映した物性値等

第 3.5-3 図 G14 建屋直下の断層を考慮した物性値等の設定結果

参考 4-40



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

- : G14 グループにおいて設定した物性値等
- : G14 建屋の北端直下の地質構造を反映した物性値等 (北端ケース)
- : G14 建屋の南端直下の地質構造を反映した物性値等 (南端ケース)
- : G14 建屋の東端直下の地質構造を反映した物性値等 (東端ケース)
- : G14 建屋の西端直下の地質構造を反映した物性値等 (西端ケース)

注記 : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-18-1 第2保管庫・貯水所の地震応答計算書」に示す S_s-A での G14 建屋の 1 次固有周期 (NS, EW, UD) を示す。

第 3.5-4 図 G14 建屋の基礎底面レベルの入力地震動の比較結果

参考 4-41

参考 5

2次元 FEM モデルを用いた
断層が地盤応答へ与える影響の確認

目 次

	ページ
1. 概要	参考 5-1
2. 2次元 FEM モデルを用いた検討	参考 5-1
2.1 検討対象施設の選定	参考 5-1
2.2 2次元 FEM モデルを用いた検討方針	参考 5-6
2.3 2次元 FEM モデルを用いた検討結果	参考 5-8

1. 概要

直下に断層が確認される建物・構築物のうち、断層を跨いで地質構造に差が確認された建物・構築物において、断層が建物・構築物の基礎底面レベルの入力地震動に与える影響の確認については、「参考 4 断層が地盤応答へ与える影響」に示すとおり、対象となる建物・構築物の東西南北の端の位置における地質構造を反映した物性値等に基づき、1次元波動論により入力地震動の算定を行い、比較することで検討している。

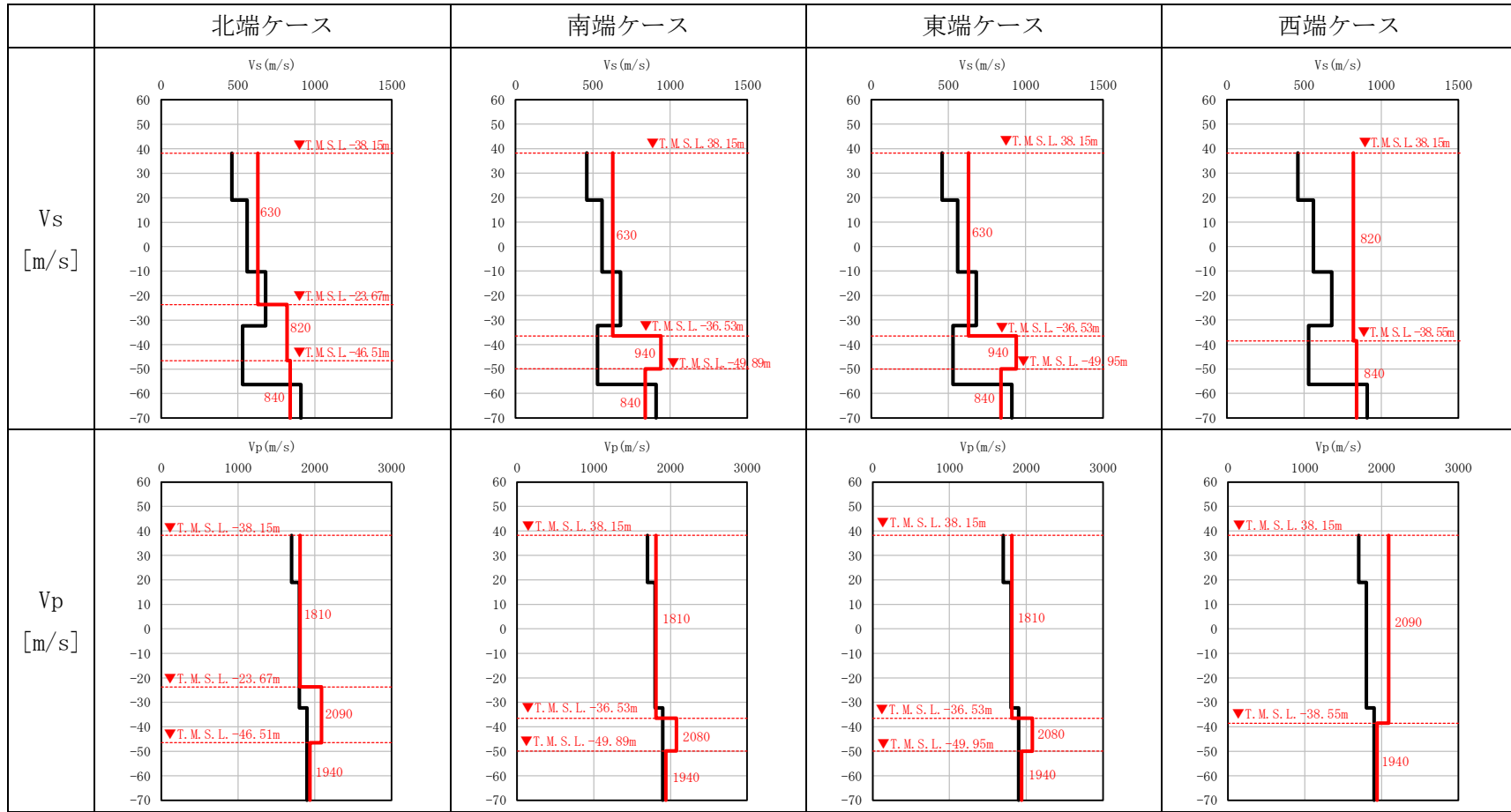
上記に対し、断層による地質構造の差の影響を確認するうえで、詳細なモデルを用いた検討が可能な解析手法である2次元 FEM モデルを用いた検討を行うことで、「参考 4 断層が地盤応答へ与える影響」に示す 1次元波動論による断層を考慮した地盤応答の確認方法の適用性について検討する。

2. 2次元 FEM モデルを用いた検討

2.1 検討対象施設の選定

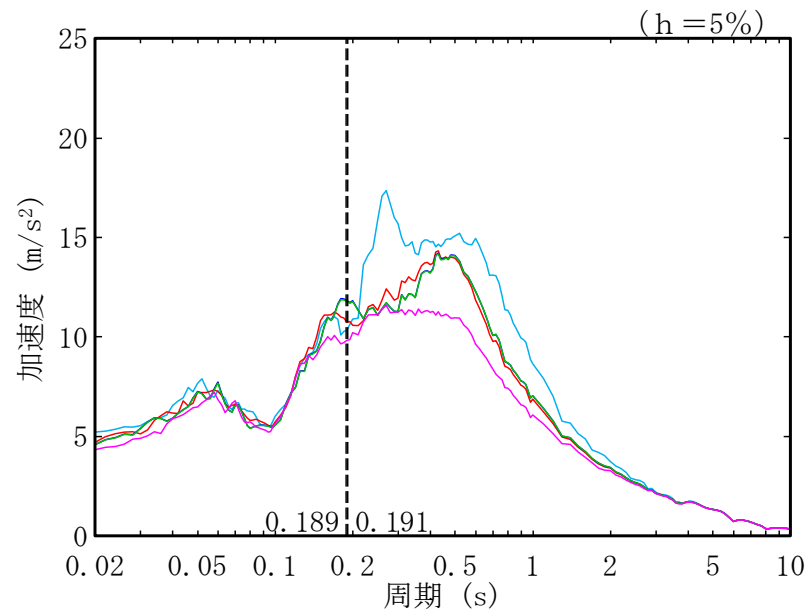
本資料における2次元 FEM モデルを用いた検討においては、第 2.1-1 図に示すとおり、断層により建物・構築物直下の地質構造の違いが顕著に現れている G14 建屋を代表として検討を行う。

また、第 2.1-2 図及び第 2.1-3 図に示す G14 建屋における東西南北位置の地質構造を反映した物性値等及び入力地震動の比較結果（「参考 4」より引用）のとおり、東端ケースについては、解放基盤表面～基礎底面レベルの速度のコントラストが大きい ($V_s=630\text{m/s}\sim 940\text{m/s}$) ことに対し、西端ケースについては、解放基盤表面～基礎底面レベルの速度のコントラストが小さい ($V_s=820\text{m/s}\sim 840\text{m/s}$) ことから、入力地震動の比較結果においても、物性値等の違いの影響で、周期特性に差が生じている。これを踏まえ、東端及び西端の地質構造の違いによる影響を評価することのできる EW 断面を代表として検討を行う。

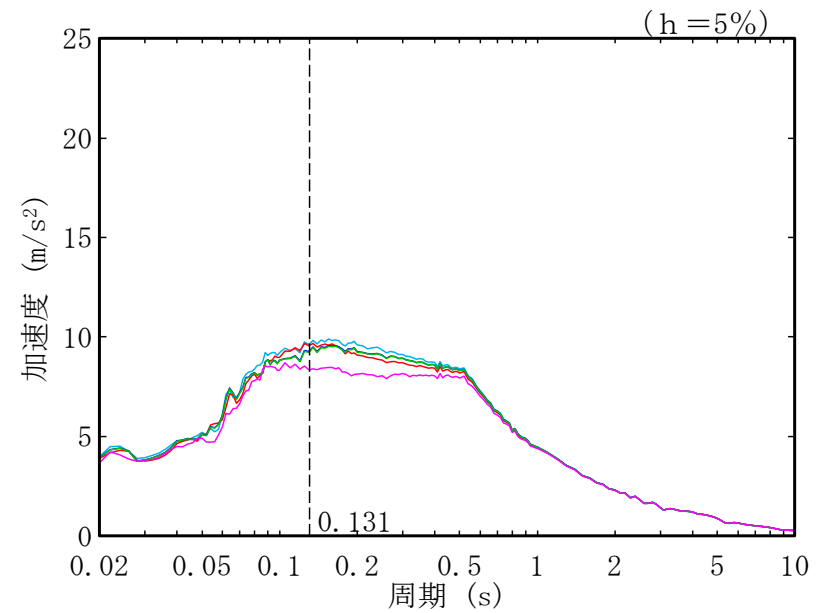


凡例 ——— : G14 グループにおいて設定した物性値等
 ——— : G14 建屋の東西南北端の直下の地質構造を反映した物性値等

第 2.1-2 図 G14 建屋直下の断層を考慮した物性値等の設定結果 (「参考 4 引用」)



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

- : G14 グループにおいて設定した物性値等
- : G14 建屋の北端直下の地質構造を反映した物性値等 (北端ケース)
- : G14 建屋の南端直下の地質構造を反映した物性値等 (南端ケース)
- : G14 建屋の東端直下の地質構造を反映した物性値等 (東端ケース)
- : G14 建屋の西端直下の地質構造を反映した物性値等 (西端ケース)

注記 : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-18-1 第2保管庫・貯水所の地震応答計算書」に示す Ss-A での G14 建屋の 1 次固有周期 (NS, EW, UD) を示す。

第 2.1-3 図 G14 建屋の基礎底面レベルの入力地震動の比較結果 (「参考 4 引用」)

2.2 2次元 FEM モデルを用いた検討方針

2次元 FEM モデルを用いた検討においては、以下の3ケースの解析モデルを設定し、基礎底面レベルの入力地震動を比較する。第2.2-1図～第2.2-3図に各ケースの解析モデルの速度構造を示す。なお、解析モデルは、解放基盤表面～G14基礎底面レベルまでをモデル化し、解放基盤表面に基準地震動 S_s-A を入力した場合の基礎底面レベルの入力地震動 (2E) を比較する。

・ケース1：断層を考慮したモデル

sf-6断層より西側はR5-Q3孔に基づき、東側はR5-Q4孔に基づき設定

・ケース2：東端位置の地質構造に基づき水平成層を仮定したモデル

R5-Q4孔に基づき設定

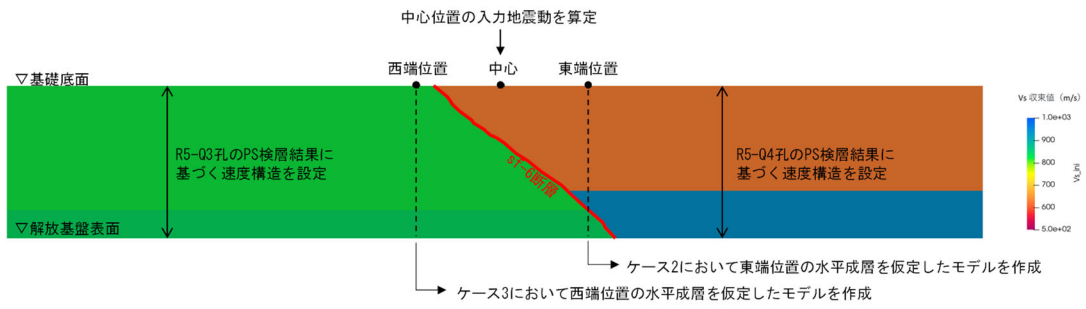
・ケース3：西端位置の地質構造に基づき水平成層を仮定したモデル

R5-Q3孔に基づき設定

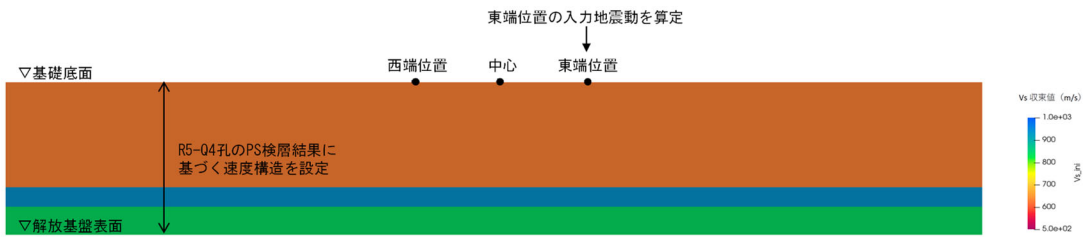
ケース2及びケース3については、東端地点及び西端地点の地質構造を水平方向に広がっていることを仮定した解析モデルとすることで、「参考4」に示す東端ケース及び西端ケースの検討と同様の条件による検討となる。

ケース1とケース2及びケース3の入力地震動を比較し、応答スペクトルの傾向が同様となっている場合は、ケース2及びケース3と同様の条件となる「参考4」に示す1次元波動論に基づく影響評価は適用可能と考えられる。

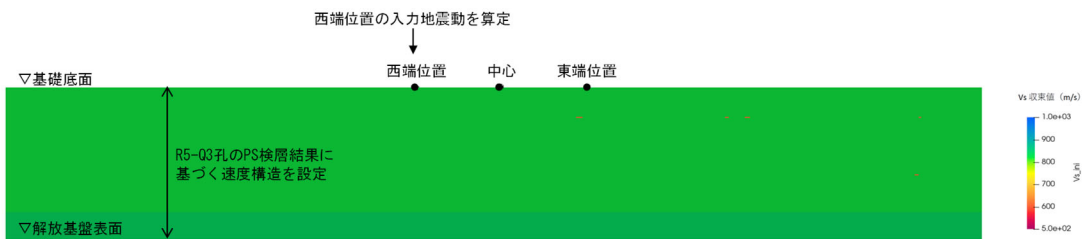
2次元 FEM モデルを用いた検討について、解析コードは「SuperFLUSH2D」を用いる。本解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、補足説明資料「耐震建物 29 耐震設計の基本方針に関する計算機プログラム(解析コード)の概要について」にて示す。



第 2.2-1 図 解析モデルの速度構造 (ケース 1)



第 2.2-1 図 解析モデルの速度構造 (ケース 2)



第 2.2-1 図 解析モデルの速度構造 (ケース 3)

2.3 2次元 FEM モデルを用いた検討結果

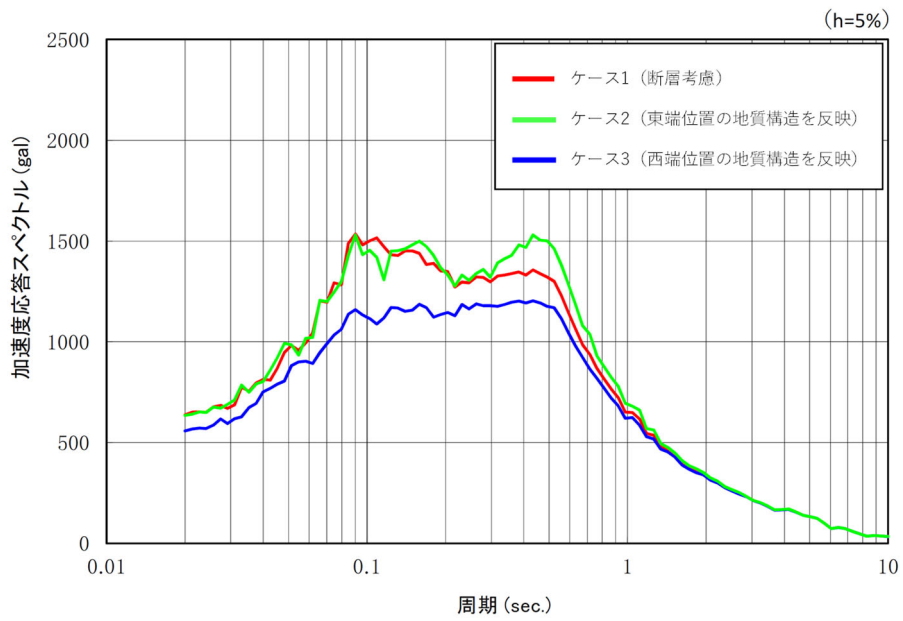
「2.2 2次元 FEM モデルを用いた検討方針」に基づき算定した、ケース1～ケース3の入力地震動の比較結果を第2.3-1図に示す。

第2.3-1図の入力地震動の比較結果より、ケース1の断層を考慮した場合の結果とケース2の東端位置の地質構造を反映した結果と同程度の応答となっている。また、ケース1の断層を考慮した場合の結果と比較し、ケース3の西端位置の地質構造を反映した結果は応答スペクトルが小さい傾向を示す。

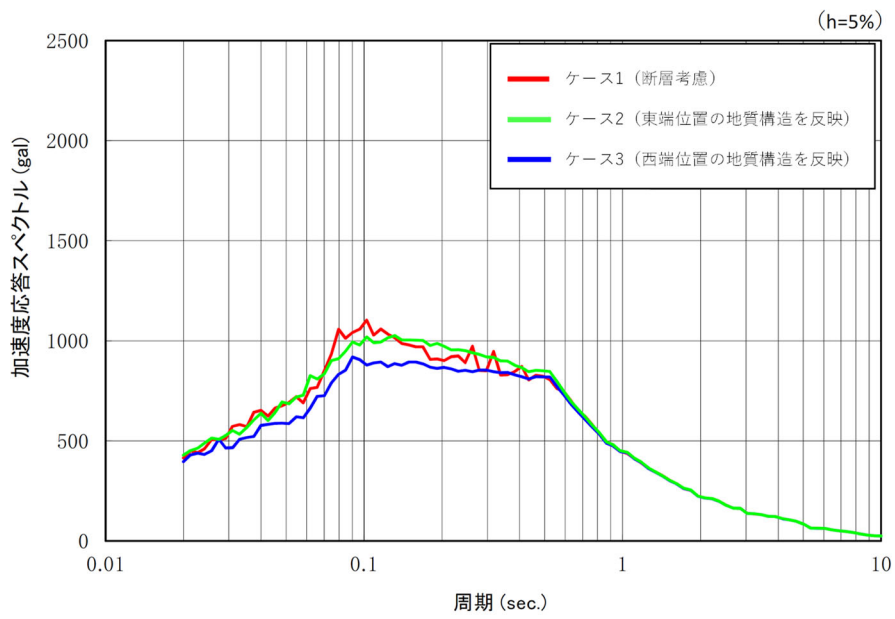
上記の応答スペクトルの傾向については、第2.2-1図～第2.2-3図に示す各ケースの解析モデルの速度構造より以下の通り考察を行った。

- ・ケース3の西端位置の地質構造を反映した場合、解放基盤表面～基礎底面までの速度のコントラストは小さく ($V_s=820\text{m/s}\sim 840\text{m/s}$)、岩盤内での増幅がその他のケースと比べ小さいものとなっていることが考えられる。
- ・ケース2の東端位置の地質構造を反映した場合、解放基盤表面～基礎底面までの速度のコントラスト ($V_s=630\text{m/s}\sim 840\text{m/s}$) は、ケース1 (断層考慮) と同等であるため、周期特性もケース1と同様の結果となったと考えられる。
- ・ケース2とケース3の周期特性の違いについては、第2.1-3図 (参考4引用) に示す1次元波動論に基づく応答スペクトルにおいても同様の関係性となっている。なお、第2.1-3図と第2.3-1図の0.2sより短周期側の応答の違いについては、表層地盤 (流動化処理土) を考慮又は非考慮としている条件の違いによるものと考えられる。

以上のことから、断層の影響評価にあたり、精度よく評価することのできる2次元 FEM モデルに対し、東西南北地点の地質構造について水平成層を仮定した条件による評価を行うことで、断層による地盤応答への影響は確認可能であることから、参考4において、1次元波動論に基づき同様の評価を実施していることに問題は無い。



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

第 2.3-1 図 入力地震動の比較結果

別紙 2-2

岩盤部分の剛性の非線形性に係る
検討について

目 次

	ページ
1. はじめに	1
2. 岩盤部分の剛性の非線形性におけるデータ整理	2
2.1 岩盤部分のひずみ依存特性の整理	2
2.2 データの信頼性の確認	10
3. 岩盤部分の剛性の非線形性におけるデータ分析	11
3.1 検討方針	11
3.2 解析条件	12
4. 基準地震動 S _s -A の地盤応答解析結果	15
4.1 中央地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響	15
4.2 東側地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響	23
4.3 西側地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響	31
4.4 中央地盤・東側地盤・西側地盤の比較	34
5. 1.2×S _s -A の地盤応答解析結果	36
6. 追加調査結果を考慮した物性値等における剛性の非線形性の影響	49
6.1 中央地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響	49
6.2 東側地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響	57
6.3 西側地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響	63
7. 「基本地盤モデル」における岩盤部分の剛性の非線形性の設定	65

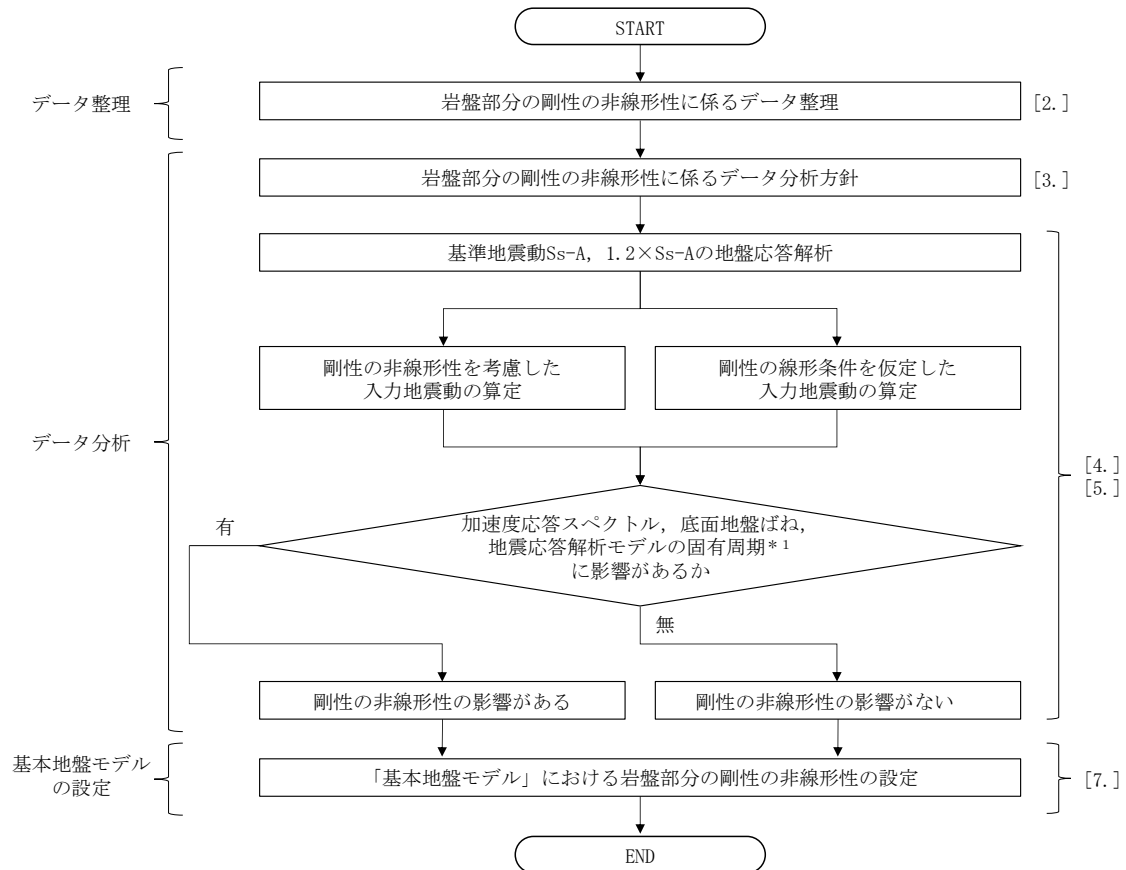
1. はじめに

本資料は、第2回申請対象施設における地盤モデルのパラメータのうち、岩盤部分の剛性の非線形性について、その設定の考え方を示すものである。

岩盤部分の剛性の非線形性については、本文に示すとおり、一般的・標準的な手法に基づき、岩盤種別ごとに得られたデータに基づくひずみ依存特性（ $G/G_0-\gamma$ 曲線）を整理する。

また、これらのデータに対し、非線形条件と線形条件の入力地震動を比較し、岩盤部分の剛性低下が入力地震動に及ぼす影響について分析する。

上記のデータの分析結果を踏まえ、「基本地盤モデル」の設定を行う。上記の検討に係るフローを第1-1図に示す。



注記 *1:底面地盤ばねに影響があるグループについては、地震応答解析モデルの固有周期への影響も踏まえ、剛性の非線形性の影響の有無の確認を行う。

注記 : []内は本資料における章番号を示す。

第1-1図 検討フロー

2. 岩盤部分の剛性の非線形性におけるデータ整理

2.1 岩盤部分のひずみ依存特性の整理

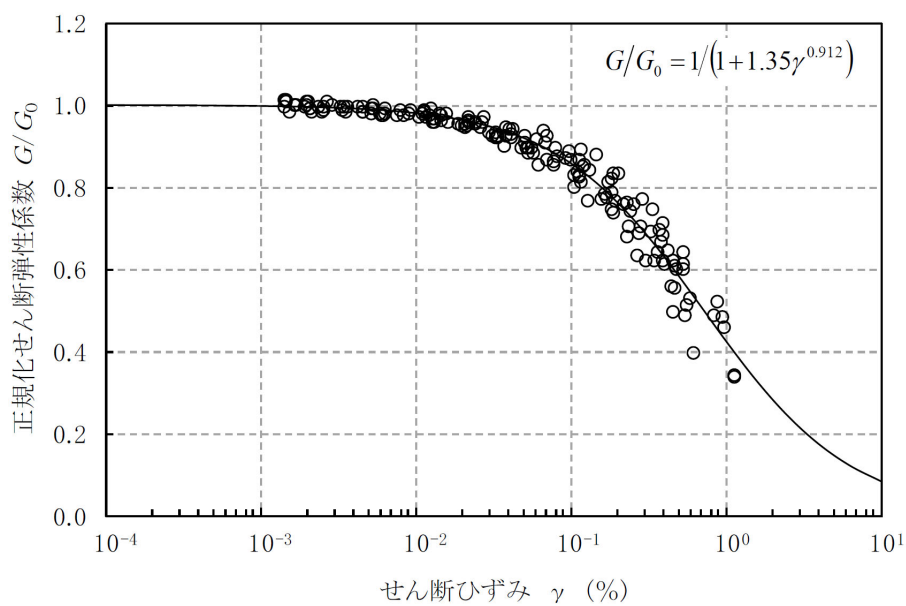
各グループの岩盤部分における剛性の非線形性の設定については、「別紙 2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」にて設定した、12 グループそれぞれにおける直下又は近傍の PS 検層結果を踏まえて設定した物性値及び岩種ごとにひずみ依存特性 ($G/G_0-\gamma$ 曲線) を設定する。

ひずみ依存特性 ($G/G_0-\gamma$ 曲線) は、添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」及び「II-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す値とする。第 2.1-1 図～第 2.1-14 図に、岩種ごとのひずみ依存特性 ($G/G_0-\gamma$ 曲線) を示す。

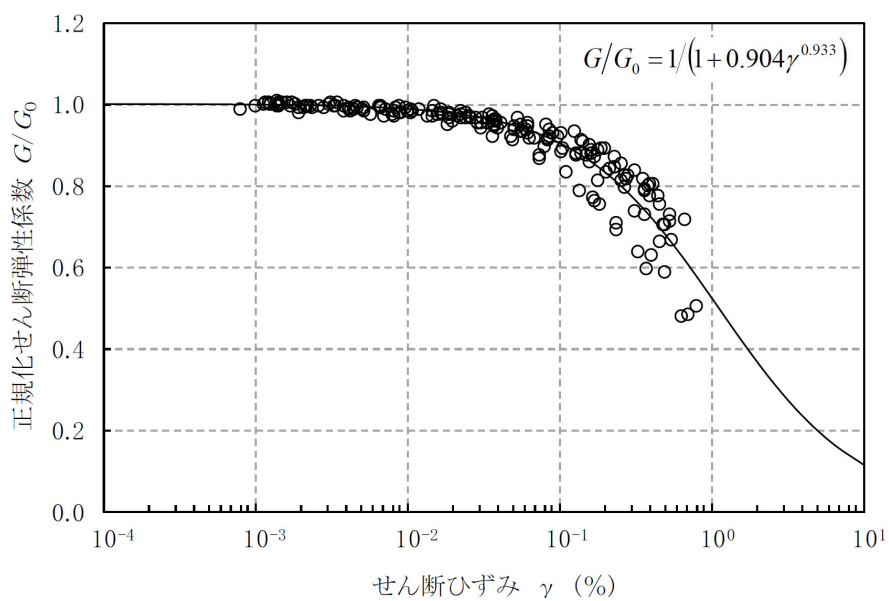
当社敷地の鷹架層は、硬岩に見られるような片理、節理等の亀裂が少なく、JEAG4601-1987 でも示されている軟岩地盤と同様に、岩盤の性質を規定する要素が、風化又は節理等の亀裂よりも岩盤を構成する組成や堆積年代(深度等)に依存するとされている。

したがって、工学的な特性については、JEAG4601-1987 に基づく岩盤分類による地質区分を適用することにより、岩盤分類ごとの統一物性を設定できる。鷹架層の岩盤分類は、準硬質軟岩(軟岩 I 類)では、泥岩(上部層)、泥岩(下部層)、細粒砂岩(下部層)、凝灰質砂岩(下部層)、軽石質砂岩(中部層)、粗粒砂岩(中部層)、砂質・泥岩互層(中部層)、砂質・凝灰岩互層(中部層)の 8 つに区分され、不均質軟岩(軟岩 III 類)では、火山碎屑岩系の凝灰岩(中部層)、軽石凝灰岩(中部層)、砂質軽石凝灰岩(中部層、一部下部層)、堆積岩系の礫混り砂岩(中部層)、軽石混り砂岩(中部層)、礫岩(中部層)の 6 つに区分される。工学的には、この 14 分類の力学特性を設定することで代表性を網羅できるものと考えられる。

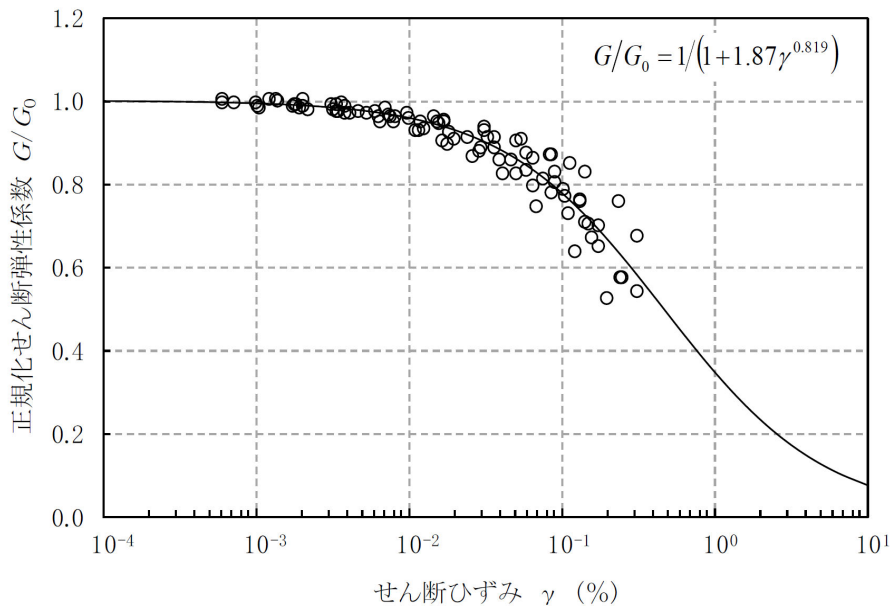
第 2-1 図～第 2-12 図に示したひずみ依存特性 ($G/G_0-\gamma$ 曲線) のとおり、 $G/G_0-\gamma$ 曲線は、岩盤種別ごとに試験結果から得られた近似式であらわされている。敷地内の岩種はいずれの岩種においてもデータのばらつきは小さく、 G_0 で規準化することにより岩盤分類ごとの特性は表現できるものと考えられる。



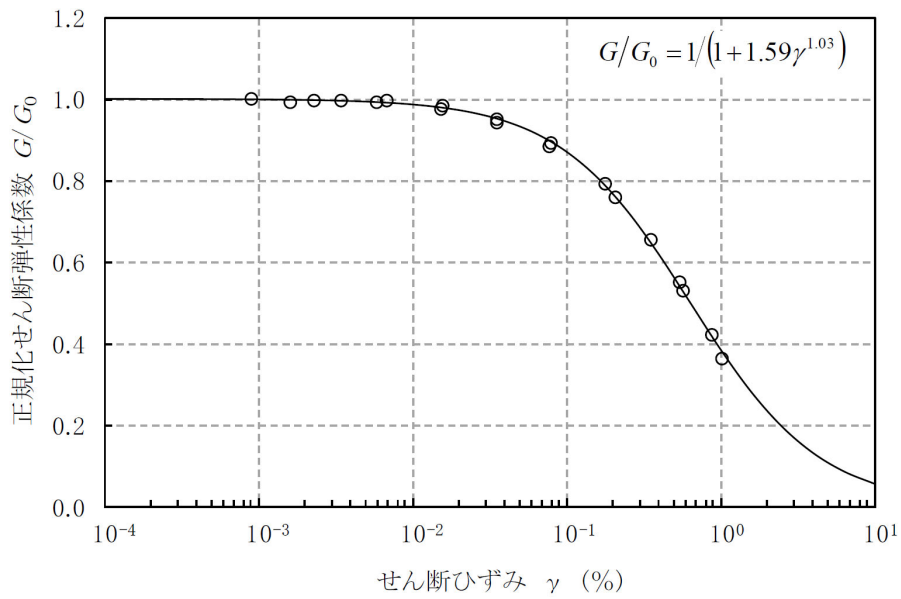
第 2.1-1 図 ひずみ依存特性 (泥岩 (上部層))



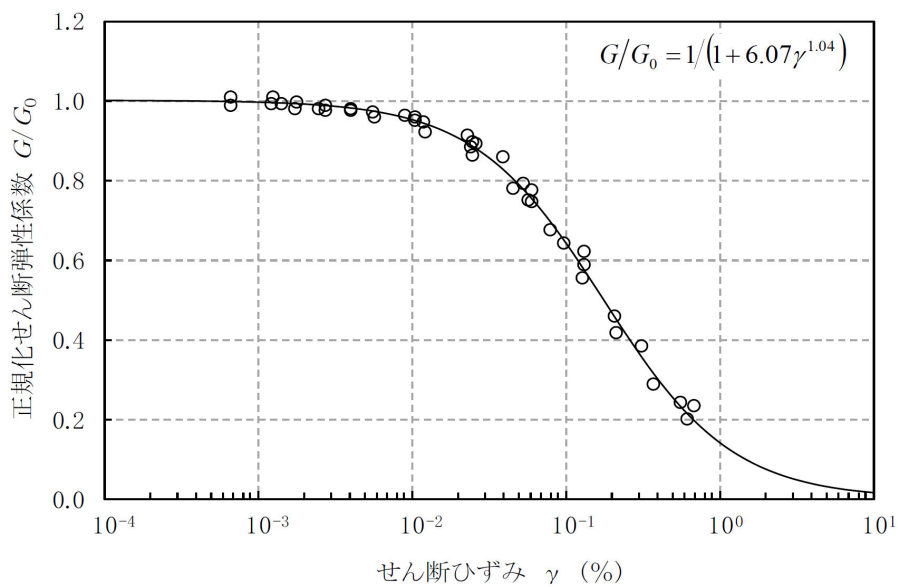
第 2.1-2 図 ひずみ依存特性 (泥岩 (下部層))



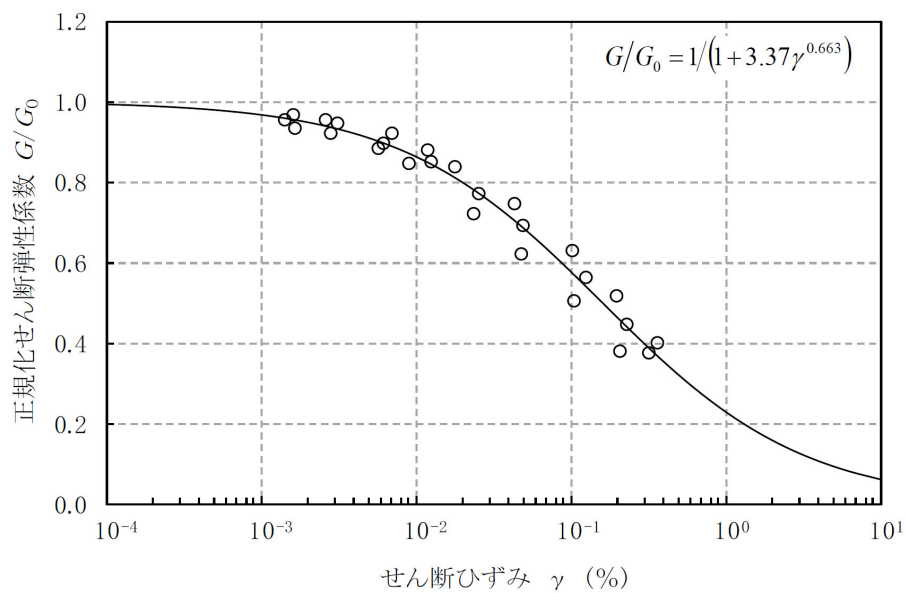
第 2.1-3 図 ひずみ依存特性 (細粒砂岩)



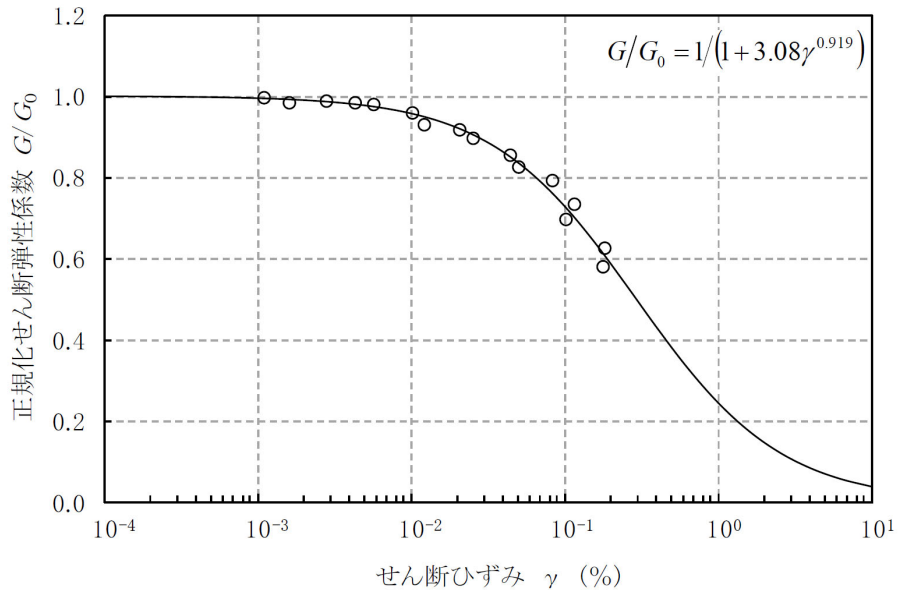
第 2.1-4 図 ひずみ依存特性 (凝灰質砂岩)



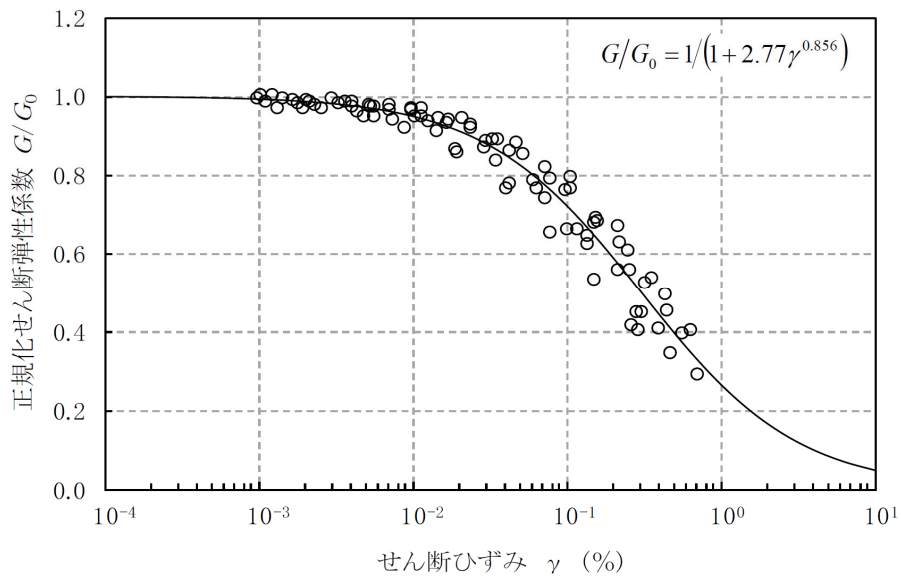
第 2.1-5 図 ひずみ依存特性（軽石質砂岩）



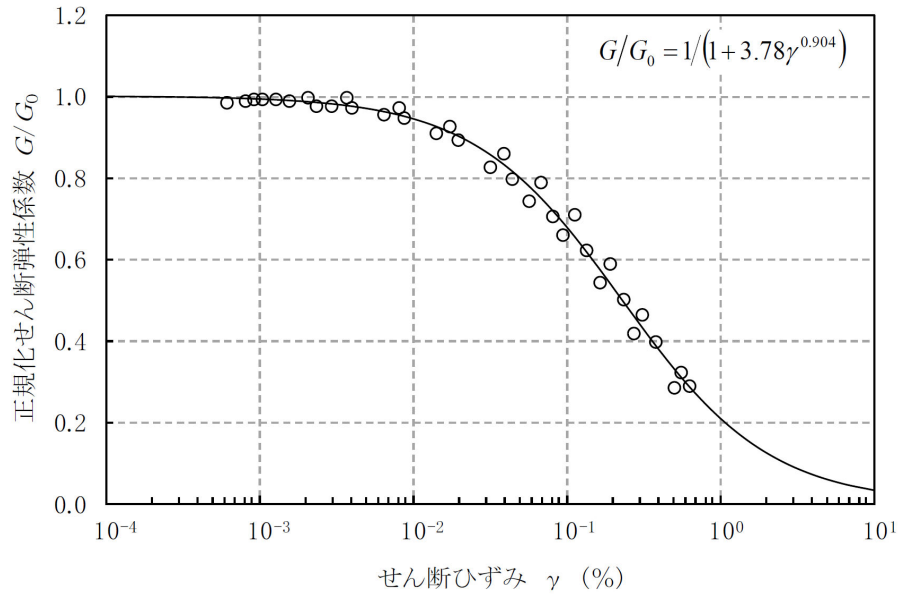
第 2.1-6 図 ひずみ依存特性（粗粒砂岩）



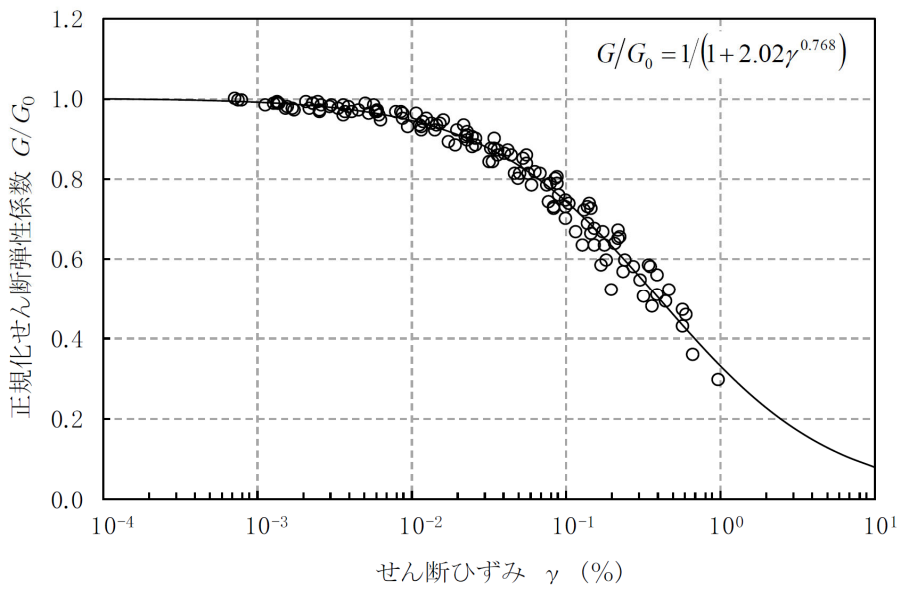
第 2.1-7 図 ひずみ依存特性 (砂岩・泥岩互層)



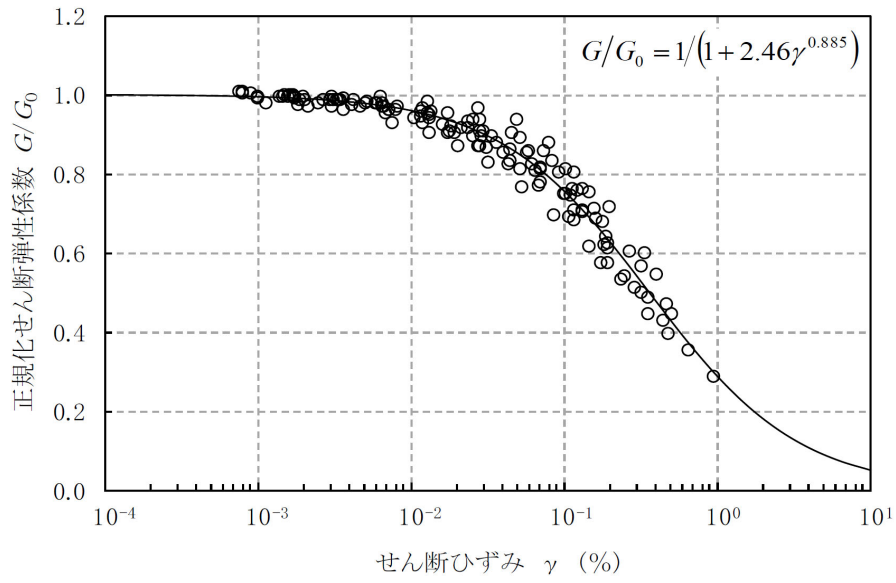
第 2.1-8 図 ひずみ依存特性 (砂岩・凝灰岩互層)



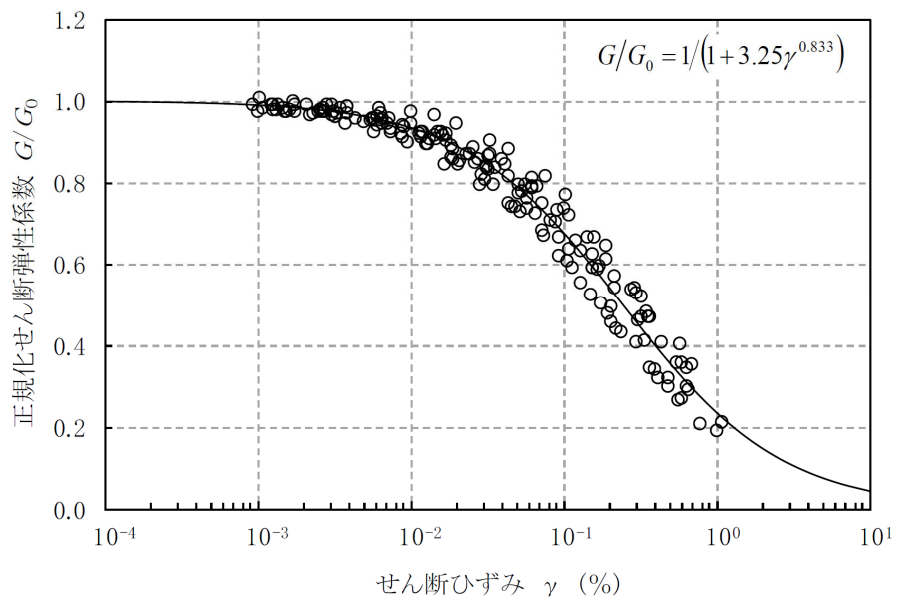
第 2.1-9 図 ひずみ依存特性 (凝灰岩)



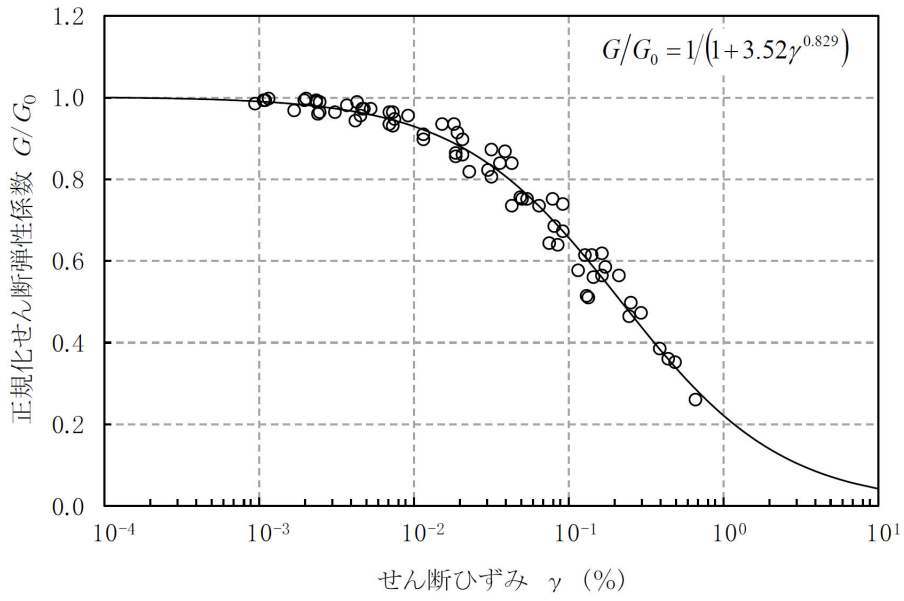
第 2.1-10 図 ひずみ依存特性 (軽石凝灰岩)



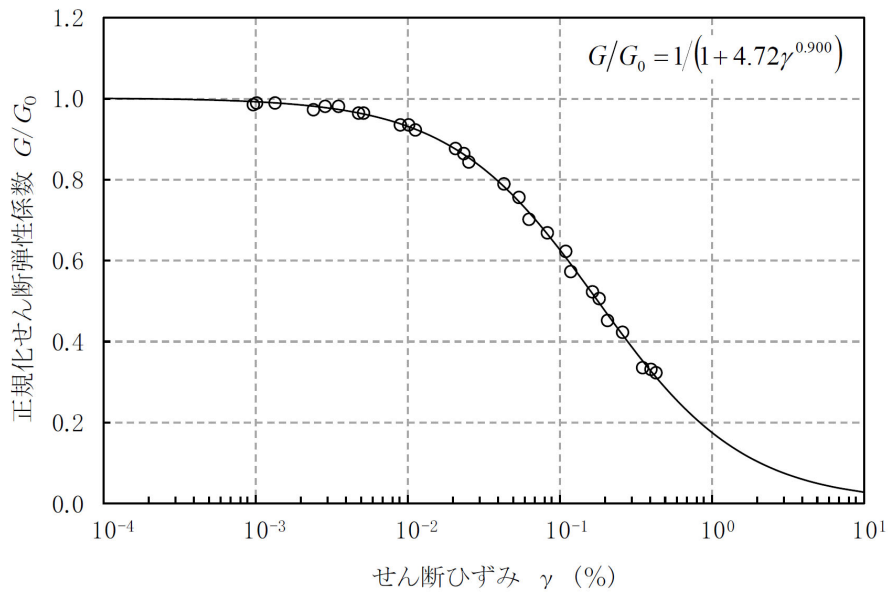
第 2.1-11 図 ひずみ依存特性 (砂質軽石凝灰岩)



第 2.1-12 図 ひずみ依存特性 (礫混り砂岩)



第 2.1-13 図 ひずみ依存特性 (軽石混り砂岩)



第 2.1-14 図 ひずみ依存特性 (礫岩)

2.2 データの信頼性の確認

岩盤部分の剛性の非線形性の分析に用いるデータについては、本文「6.1.5 データの信頼性の確認」に示すとおり、データの取得や処理が適切な方法で正しく行われていることを確認し、データの信頼性が担保されていることの確認を行う。

岩盤部分の剛性の非線形性の分析に用いるデータについて、以下のとおり信頼性の確認を行った。

- ・動的変形特性試験は、JGS2563-2020「軟岩の変形特性を求めるための繰り返し三軸試験方法」に基づく方法により実施している。
- ・調査データそのものの信頼性を確保するために、ベディングエラーの排除できる機材（ギャップセンサー、LDT(Local Deformation Transducer)）を使用している。
- ・地盤の剛性に係るデータを正確に把握するために、試験機材自体についても十分な剛性を有するものを使用している。
- ・試験体のひずみに応じた特性を正確に把握するために、弾性範囲内に初期偏差応力を設定している。
- ・調査結果に対する信頼性を確保するために、試験及び試験データの分析については、原子力施設における多数の実績を有する調査会社によって実施している。

3. 岩盤部分の剛性の非線形性におけるデータ分析

3.1 検討方針

岩盤部分の剛性の非線形性が入力地震動に及ぼす影響の分析を行うため、検討にあたっては、はじめに、「2. 岩盤部分の剛性に非線形性におけるデータ整理」に示す岩種ごとのひずみ依存特性（ $G/G_0-\gamma$ 曲線）を設定した地盤の 1 次元波動理論に基づく入力地震動を算定する。また、岩盤部分の剛性の線形条件を仮定した入力地震動を算定し、両者の結果を比較することで、岩盤部分の剛性の非線形性が入力地震動に及ぼす影響を確認する。

以下に検討の流れを示す。

- ・ 12 グループそれぞれの直下又は近傍における地下構造（岩盤分類の深さ分布）に応じたひずみ依存特性を考慮する。
- ・ 12 グループのそれぞれについて、 S_s 地震時における岩盤部分の有効せん断ひずみに応じた剛性低下を考慮した入力地震動を算定する。
- ・ 本検討において着目するのは、表層地盤部分と比較して剛性が大きく、地盤のせん断ひずみが大きくなりにくい岩盤部分であることを踏まえ、線形条件を仮定した場合の入力地震動の算定結果との比較を行う。
- ・ 上記の入力地震動の比較結果に基づき、岩盤部分の剛性の非線形性が入力地震動に与える影響について確認する。具体的には、有効せん断ひずみに応じた剛性低下の程度を把握し、基礎底面レベルにおける入力地震動の加速度応答スペクトル及び底面地盤ばねの剛性への影響の有無を確認する。
- ・ 加速度応答スペクトルへの影響の有無については、周期特性に顕著な乖離がないこと、建屋の 1 次固有周期において同程度の応答となることを確認する。
- ・ 底面地盤ばねの剛性への影響の有無については、ばね定数に顕著な差が生じないことを確認する。ばね定数に差が見られた場合は、地震応答解析モデルの固有周期への影響を確認する。

3.2 解析条件

岩盤部分の剛性の非線形性の影響を確認するため、基準地震動 S_s -A 及び基準地震動 S_s -A を 1.2 倍した地震力（以下、「 $1.2 \times S_s$ -A」という。）に対する地盤の等価線形解析を実施し、有効せん断ひずみ、剛性低下率 G/G_0 及び基礎底面レベルの加速度応答スペクトルについて確認を行った。

地盤の等価線形解析について、岩盤部分の物性値は、12 グループそれぞれにおいて設定した物性値を初期物性値として設定し、「2. 岩盤部分の剛性に非線形性におけるデータ整理」に示すひずみ依存特性（ G/G_0 - γ 曲線）を設定する。なお、基礎底面レベルから地表面レベルの表層地盤及び岩盤部分の減衰定数について、今回の確認では岩盤部分の非線形化に伴う剛性低下が入力地震動に及ぼす影響を確認することが目的であることから、以下の条件を仮定して等価線形解析を行った。

- ・表層地盤の物性値については、敷地内一律の値として、添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」及び「II-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す物性値（AZ 周辺及び G14 以外のグループは埋戻し土とし、AZ 周辺及び G14 は流動化処理土とする。解析用物性値は第 3.2-1 表に示す。）を仮定*
- ・岩盤部分の減衰定数については、敷地内一律の値として 3% を仮定*
- ・岩盤部分の物性値として、解放基盤表面以深の物性値については、いずれのグループにおいても敷地内の平均的な値を設定*

また、岩盤部分の物性値は各グループ内それぞれで同一であり、基礎底面レベルの違いによる層厚の違いはあるものの、岩盤のせん断ひずみレベルについては、大きく変わらないと考えられるため、地盤の等価線形解析を実施する建屋は、12 グループそれぞれ 1 建屋を代表として解析を実施した。

その上で、上記の等価線形解析による基礎底面レベルの加速度応答スペクトルに対し、岩盤部分の剛性を線形条件とした場合の結果と比較を行うことで、 S_s 地震時の岩盤部分の剛性低下が入力地震動に及ぼす影響の確認を行った。

なお、上記の確認に加え、岩盤部分の剛性の非線形性の考慮の有無による入力地震動の算定結果への感度を確認する観点で実施した、岩盤部分に 10% の剛性低下を与えた条件での確認結果も参考値として示す。

注記 * : 今回の確認においては、解放基盤表面 (T. M. S. L. -70m) ~ 基礎底面レベルまでの岩盤部分の剛性の非線形化の影響を確認することが目的であり、上記 3 つの解析 (等価線形解析、線形解析、感度確認用の解析) における表層地盤の物性値、岩盤部分の減衰定数及び解放基盤表面以深の物性値はそれぞれ同じ値として評価を行っているため、岩盤部分の非線形性の影響について解析条件ごとの相対的な比較を行ううえでは問題ないと判断した。なお、岩盤部分の減衰定数については、一律 3% として仮定しているが、これは、JEAG4601-1987 に示される軟岩サイトの慣用値 (3%~5%) における最小値であり、本確認においてせん断ひずみが過小評価とならないように考慮して設定した。

また、ひずみ依存特性 ($h - \gamma$ 曲線) に基づく S_s 地震時の岩盤部分のせん断ひずみに対応した減衰定数については、地盤のせん断ひずみが大きくなるほど減衰定数も大きくなる設定であることから、線形条件と比較して大きくなることが考えられる。

本資料で求めた地盤のせん断ひずみに対応する減衰定数に対する考察については、「別紙 2-3 岩盤部分の減衰定数に係る検討について」において説明する。

第 3.2-1 表 表層地盤の解析用物性値

(a) 埋戻し土

(添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」の第 3-1 表 (4) の引用)

区分			新第三系新統 PP1		区分		第四系下部～中部 更新統 (六ヶ所層) PP2		第四系 中部更新統 ～完新統 PH		造成盛土 f1		埋戻し土 bk			
物理特性	湿潤密度	ρ_t (g/cm ³)	2.12-3.12×10 ⁻³ ・Z		湿潤密度	ρ_t (g/cm ³)	1.73		1.89		1.66+3.3×10 ⁻³ ・D		1.82+2.8×10 ⁻³ ・D			
強度特性	ビーク	粘着力	c (MPa)		非排水せん断強度	σ_u (MPa)	0.115+0.341p		0		0		0			
		内部摩擦角	ϕ (°)				13.8		0		0		0			
静的変形特性	残留	残留粘着力	c _r (MPa)		非排水せん断強度	σ_{ur} (MPa)	0.102+0.341p		0		0		0			
		残留内部摩擦角	ϕ_r (°)				13.8		0		0		0			
静的変形特性	初期	初期変形係数	E ₀ (MPa)		初期変形係数	E ₀ (MPa)	29.0+262p		74.6+434p		9.96+289p		22.1+266p			
		ポアソン比	ν				0.48+1.3×10 ⁻⁴ ・Z		0.49		0.49		0.48		0.48	
動的変形特性	動せん断	動せん断弾性係数	G ₀ (MPa)		動せん断弾性係数	G ₀ (MPa)	303		189		32.4+4.02D		60.7+8.20D			
		動ポアソン比	ν _d				0.39+6.5×10 ⁻⁴ ・Z		0.41		0.45		0.42		0.39	
		正規化せん断弾性係数	G/G ₀ ～γ (%)				$\frac{1}{1+5.32 \cdot \gamma^{0.776}}$		$\frac{1}{1+5.91 \cdot \gamma^{0.758}}$		$\frac{1}{1+15.4 \cdot \gamma^{0.891}}$		$\frac{1}{1+9.27 \cdot \gamma^{0.992}}$		$\frac{1}{1+12.7 \cdot \gamma^{0.914}}$	
		減衰率	h (%) ～γ (%)				$\frac{\gamma}{0.0786 \gamma + 0.00692} + 1.26$		$\frac{\gamma}{0.0829 \gamma + 0.00582} + 1.18$		$\frac{\gamma}{0.0570 \gamma + 0.00824} + 1.81$		$\frac{\gamma}{0.0438 \gamma + 0.0150} + 1.74$		$\frac{\gamma}{0.0631 \gamma + 0.00599} + 1.29$	

注記 Z: 標高 (m), p: 土被り圧から静水圧を差し引いた圧密応力 (MPa), γ: せん断ひずみ (%), D: 深度 (G.L.-m)

(b) 流動化処理土

(添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」の第 3-1 表 (5) の引用)

区分			流動化処理土(A)		区分			流動化処理土(B)		MMR		
			1.63					Vs 1200		設計基準強度 14.8MPa		
物理特性	湿潤密度	ρ_t (g/cm ³)	1.63		物理特性	湿潤密度	ρ_t (g/cm ³)	1.85		2.35		
強度特性	ビーク	非排水せん断強度	σ_u (MPa)		強度特性	ビーク	粘着力	c (MPa)		0.95		
		内部摩擦角	ϕ (°)				30.0		-		-	
静的変形特性	残留	非排水せん断強度	σ_{ur} (MPa)		静的変形特性	残留	残留粘着力	c _r (MPa)		0		
		内部摩擦角	ϕ_r (°)				0		-		-	
静的変形特性	初期	初期変形係数	E ₀ (MPa)		静的変形特性	初期	初期変形係数	E ₀ (MPa)		1050		
		ポアソン比	ν				0.46		0.33		0.167	
動的変形特性	動せん断	動せん断弾性係数	G ₀ (MPa)		動的変形特性	動せん断	動せん断弾性係数	G ₀ (MPa)		2750		
		動ポアソン比	ν _d				0.42		0.33		0.167	
		正規化せん断弾性係数	G/G ₀ ～γ (%)				$\frac{1}{1+9.63 \cdot \gamma^{1.01}}$		$\frac{1}{1+5.87 \cdot \gamma^{0.974}}$		線形	
		減衰率	h (%) ～γ (%)				$\frac{\gamma}{0.0798 \gamma + 0.0150} + 1.48$		0.83 (γ ≤ 0.01%)		5.0	
								0.83+2.59 log(γ/0.01) (γ > 0.01%)				

注記 Z: 標高 (m), p: 土被り圧から静水圧を差し引いた圧密応力 (MPa), γ: せん断ひずみ (%)

4. 基準地震動 Ss-A の地盤応答解析結果

4.1 中央地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響

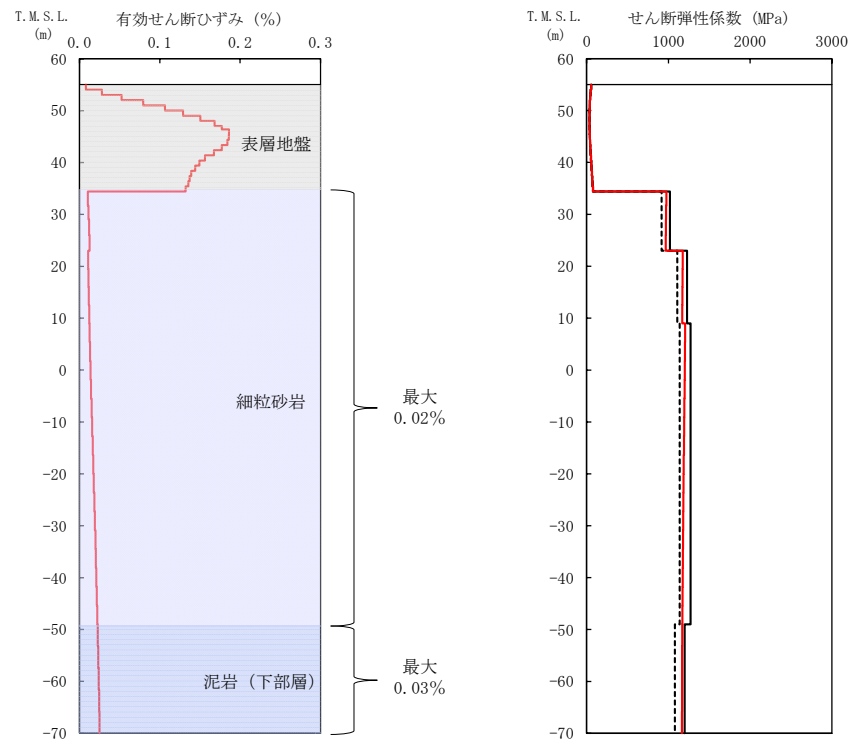
中央地盤における各グループの基準地震動 Ss-A に対する等価線形解析の結果として、地盤の有効せん断ひずみ分布、収束剛性分布、収束物性値及び各建屋の基礎底面レベルにおける入力地震動の加速度応答スペクトルを第 4.1-1 図～第 4.1-6 図に示す。また、基礎底面地盤ばねのばね定数を第 4.1-1 表に示す。

地盤の等価線形解析の結果、各岩種の有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 は以下のとおりとなっていることを確認した。なお、以下に記載する最大有効せん断ひずみの値については、中央地盤の全 6 グループの中で最大の値を、剛性低下率 G/G_0 については、中央地盤の全 6 グループの中で最小の値を記載している。

- ・細粒砂岩：最大有効せん断ひずみ 0.03%，剛性低下率 G/G_0 0.911
- ・泥岩(下部層)：最大有効せん断ひずみ 0.03%，剛性低下率 G/G_0 0.969
- ・粗粒砂岩：最大有効せん断ひずみ 0.01%，剛性低下率 G/G_0 0.827

基礎底面レベルの加速度応答スペクトルの比較結果から、線形条件と等価線形解析の結果については、周期特性に顕著な乖離がないこと、また、建屋の 1 次固有周期において同程度の応答となることから、中央地盤の各グループにおいて、0.01%～0.03% 程度の有効せん断ひずみに対する剛性低下の影響は小さいことを確認した。

基礎底面地盤ばねのばね定数の比較結果から、底面地盤ばねの剛性への影響も小さいことを確認した。



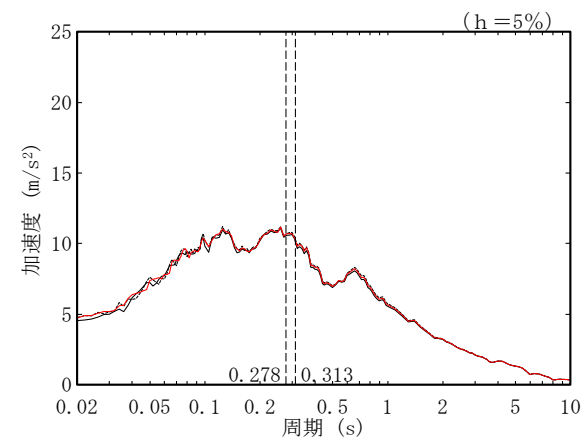
(a)有効せん断ひずみ

(b)収束剛性分布

- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AB基礎底面						
34.39	細粒砂岩	18.2	1020	971	0.952	0.03
23.00		18.4	1230	1172	0.953	0.03
9.00		18.0	1270	1188	0.935	0.03
-49.00	泥岩(下部層)	17.5	1200	1167	0.973	0.03
▽解放基礎表面	-	17.0	1164	1164	1.000	0.03

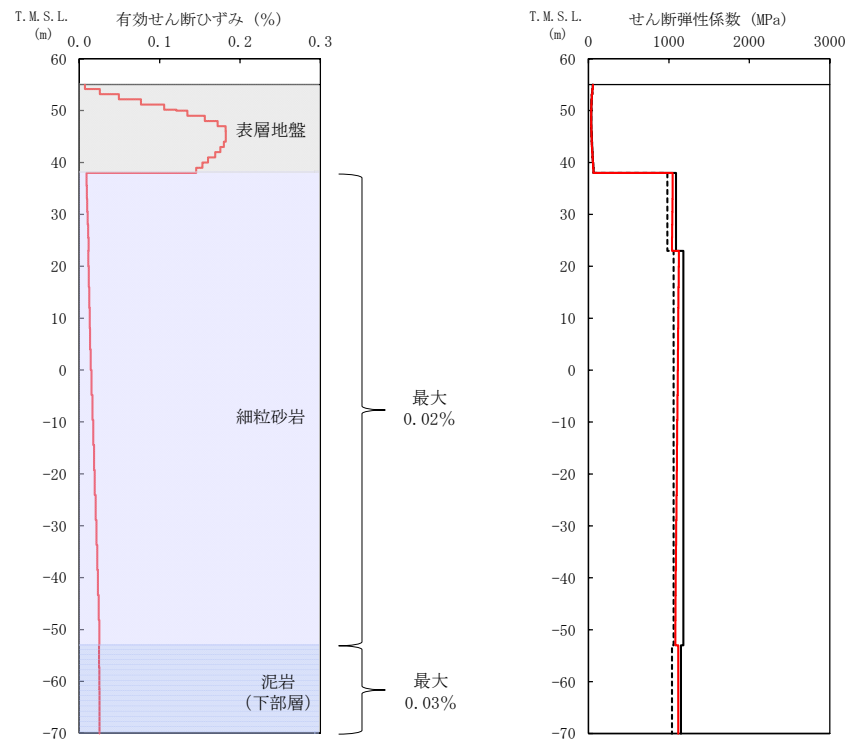
(c)収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-2-1 分離建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d)加速度応答スペクトル

第 4.1-1 図 地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, AA 周辺, AB)



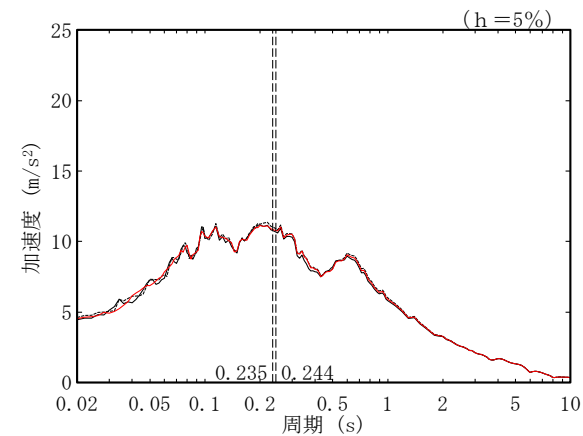
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽FA基礎底面						
38.00	細粒砂岩	18.5	1090	1044	0.958	0.03
23.00		18.0	1180	1102	0.934	0.03
-53.00	泥岩(下部層)	17.3	1150	1117	0.971	0.03
-70.00		—	17.0	1164	1164	1.000

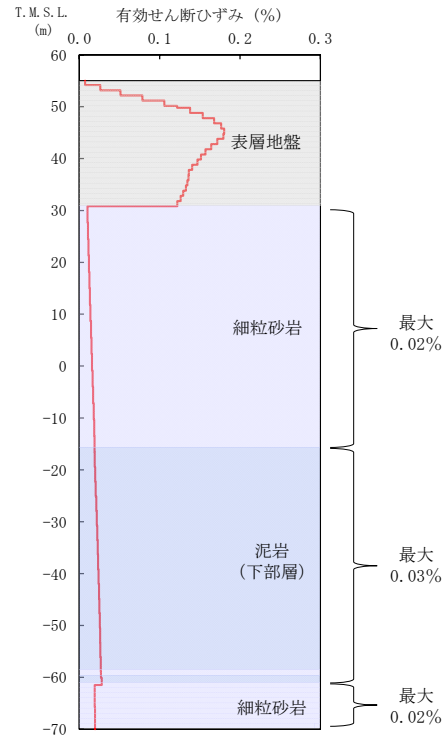
(c) 収束物性値



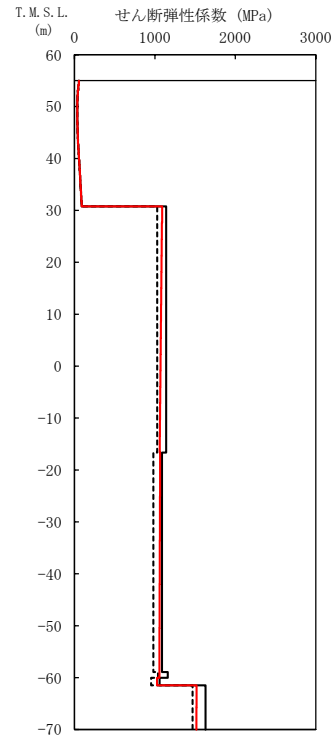
* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1-1-1 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

第 4.1-2 図 地盤の等価線形解析結果 (S_s -A, F 施設周辺, FA)



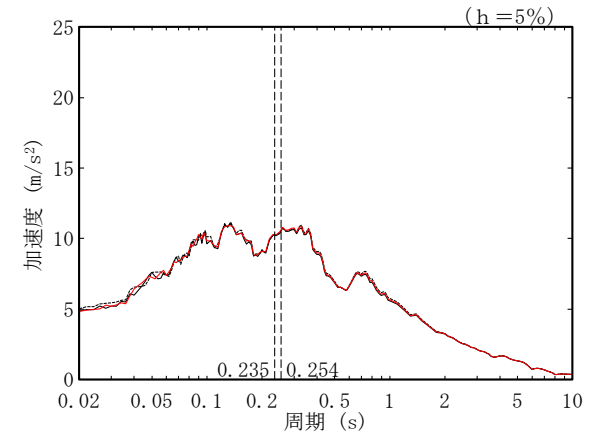
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN}/\text{m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN}/\text{m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AE基礎底面						
30.80	細粒砂岩	17.9	1140	1076	0.944	0.03
-16.63	泥岩(下部層)	17.2	1090	1061	0.973	0.03
-58.90	細粒砂岩	18.2	1160	1057	0.911	0.03
-60.02	泥岩(下部層)	16.7	1060	1027	0.969	0.03
-61.46	細粒砂岩	18.4	1630	1517	0.931	0.03
▽解放基礎表面	—	17.0	1164	1164	1.000	0.03

(c) 収束物性値

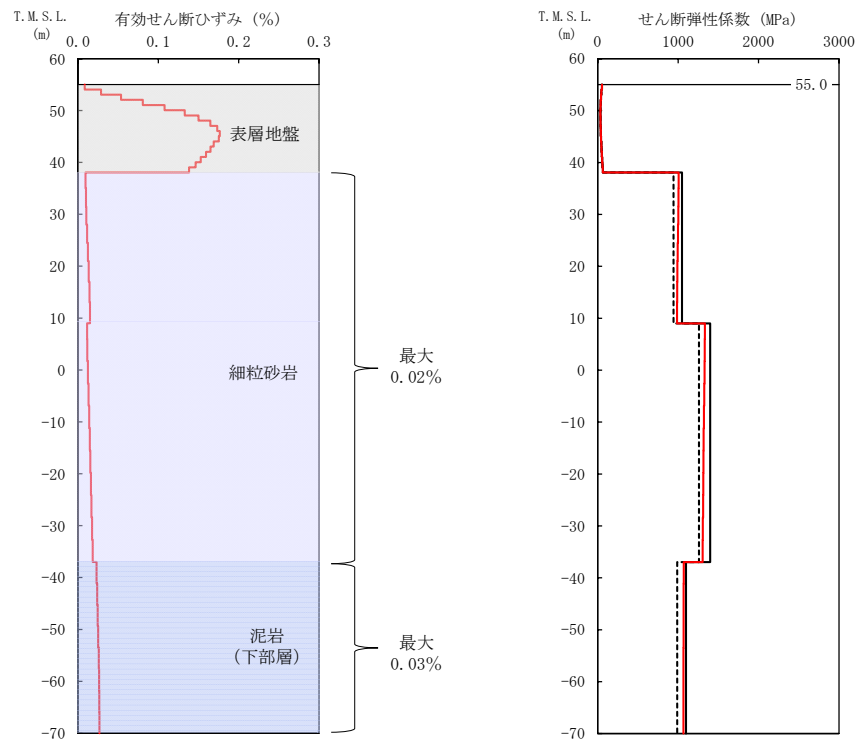


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1-1-1-1-1-1 ハル・エンドピース貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 4.1-3 図 地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, AE)



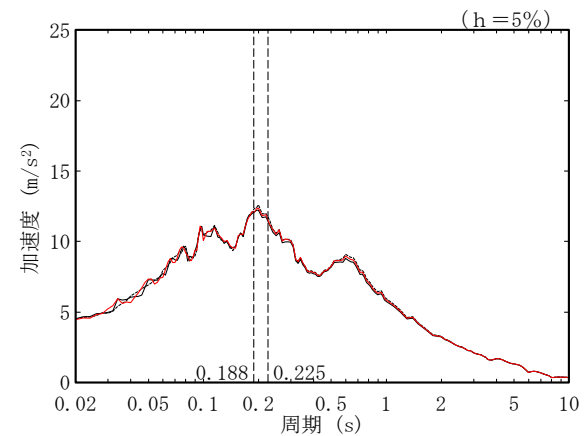
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AG基礎底面						
38.05		18.3	1050	997	0.950	0.03
9.00	細粒砂岩	18.1	1400	1319	0.942	0.03
-37.00	泥岩(下部層)	16.9	1100	1068	0.971	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	17.0	1164	1164	1.000	0.03

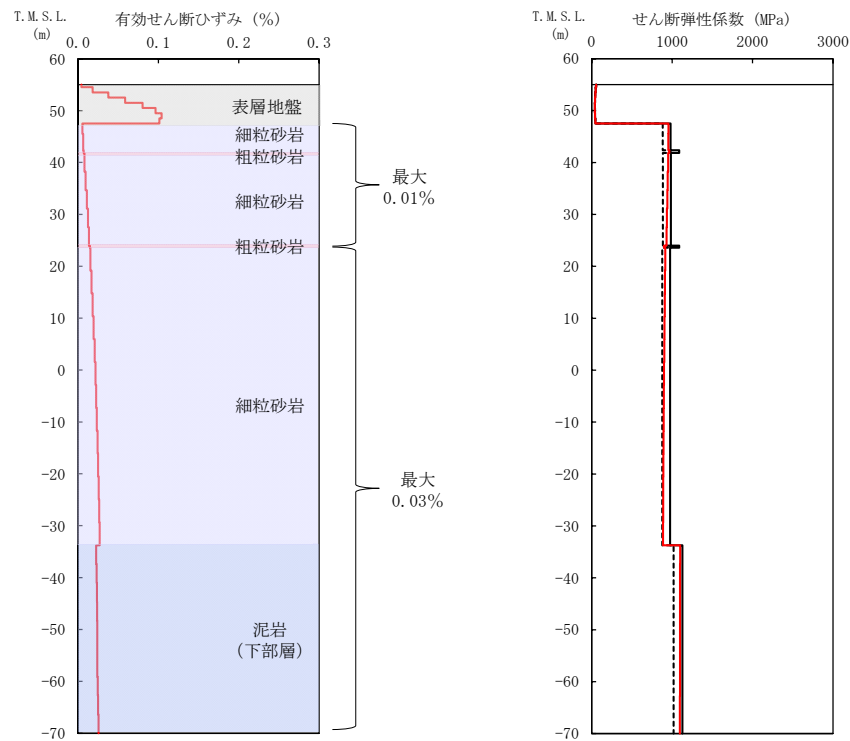
(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-6-1 制御建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

第 4.1-4 図 地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, AG)

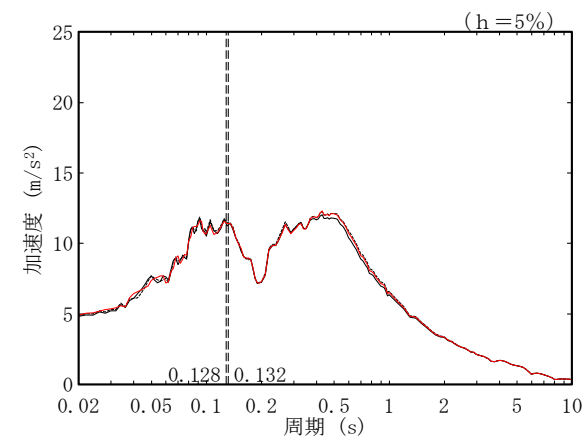


(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
∇ GA基礎底面						
47.50	細粒砂岩	18.1	982	955	0.973	0.03
42.34	粗粒砂岩	20.1	1090	967	0.887	0.03
41.81	細粒砂岩	18.1	986	942	0.955	0.03
23.96	粗粒砂岩	20.1	1090	901	0.827	0.03
23.58	細粒砂岩	18.0	975	900	0.923	0.03
-33.75	泥岩(下部層)	17.4	1130	1099	0.973	0.03
∇ 解放基盤表面						
-70.00	-	17.0	1164	1164	1.000	0.03

(c) 収束物性値

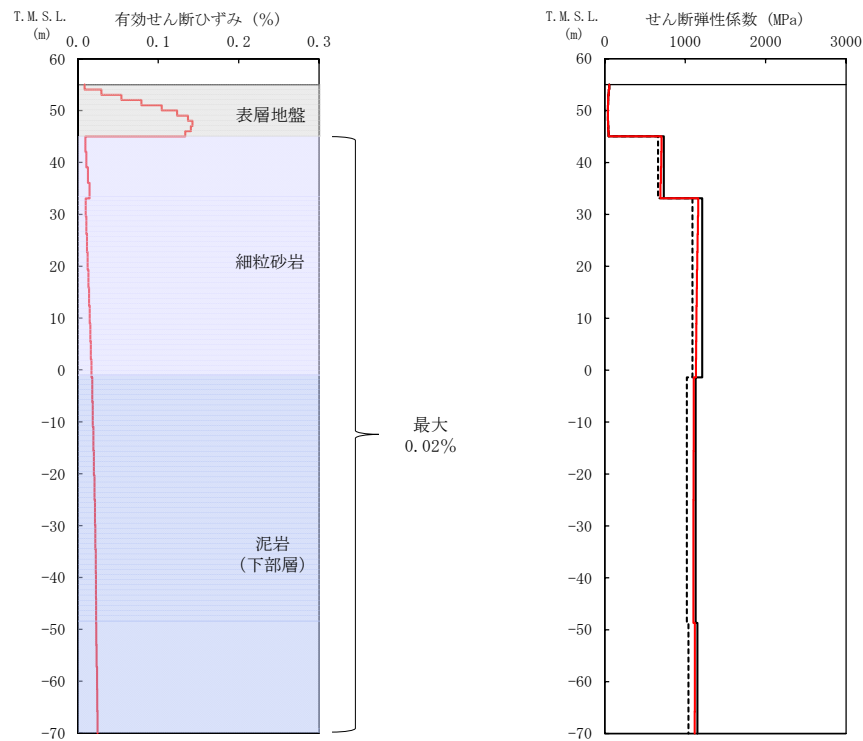


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1 3-1 非常用電源建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

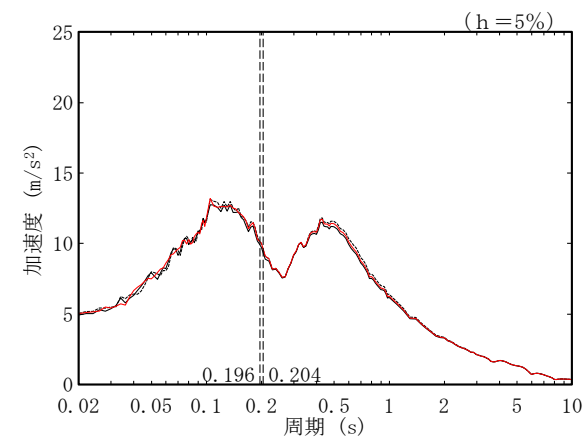
- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 4.1-5 図 地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, GA)



T.M.S.L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽DC基礎底面						
45.03						
33.09	細粒砂岩	18.1	734	699	0.952	0.03
-1.41		18.0	1210	1146	0.947	0.03
-48.71	泥岩(下部層)	16.9	1130	1103	0.976	0.03
▽解放基礎表面		17.3	1150	1119	0.973	0.03
-70.00	—	17.0	1164	1164	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1-10-1 チャンネルボックス・パーナブルポイズン処理建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 4.1-6 図 地盤の等価線形解析結果 (S_s -A, DC)

第 4.1-1 表 基礎底面地盤ばねのばね定数 (中央地盤)

(a) Ss-A, AA 周辺, AB

方向	種別	① 初期物性値	② 等価線形解析による収束物性値	②/①
NS	底面スウェイばね(kN/m)	2.51.E+08	2.39.E+08	0.952
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	5.69.E+11	5.39.E+11	0.947
EW	底面スウェイばね(kN/m)	2.58.E+08	2.46.E+08	0.953
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	3.52.E+11	3.34.E+11	0.949
UD	底面鉛直ばね(kN/m)	3.59.E+08	3.46.E+08	0.964

(b) Ss-A, F 施設周辺, FA

方向	種別	① 初期物性値	② 等価線形解析による収束物性値	②/①
NS	底面スウェイばね(kN/m)	3.16.E+08	3.01.E+08	0.953
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	1.14.E+12	1.08.E+12	0.947
EW	底面スウェイばね(kN/m)	3.24.E+08	3.09.E+08	0.954
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	7.08.E+11	6.69.E+11	0.945
UD	底面鉛直ばね(kN/m)	4.33.E+08	4.18.E+08	0.965

(c) Ss-A, AE

方向	種別	① 初期物性値	② 等価線形解析による収束物性値	②/①
NS	底面スウェイばね(kN/m)	1.70.E+08	1.61.E+08	0.947
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	1.14.E+11	1.08.E+11	0.947
EW	底面スウェイばね(kN/m)	1.68.E+08	1.59.E+08	0.946
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	1.32.E+11	1.25.E+11	0.947
UD	底面鉛直ばね(kN/m)	2.33.E+08	2.24.E+08	0.961

(d) Ss-A, AG

方向	種別	① 初期物性値	② 等価線形解析による収束物性値	②/①
NS	底面スウェイばね(kN/m)	1.82.E+08	1.74.E+08	0.956
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	1.09.E+11	1.04.E+11	0.954
EW	底面スウェイばね(kN/m)	1.72.E+08	1.64.E+08	0.953
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	2.39.E+11	2.27.E+11	0.950
UD	底面鉛直ばね(kN/m)	2.48.E+08	2.39.E+08	0.964

(e) Ss-A, GA

方向	種別	① 初期物性値	② 等価線形解析による収束物性値	②/①
NS	底面スウェイばね(kN/m)	1.06.E+08	1.04.E+08	0.981
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	2.27.E+10	2.15.E+10	0.947
EW	底面スウェイばね(kN/m)	9.84.E+07	9.58.E+07	0.974
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	6.17.E+10	5.84.E+10	0.947
UD	底面鉛直ばね(kN/m)	1.34.E+08	1.26.E+08	0.940

(f) Ss-A, DC

方向	種別	① 初期物性値	② 等価線形解析による収束物性値	②/①
NS	底面スウェイばね(kN/m)	1.80.E+08	1.73.E+08	0.961
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	2.39.E+11	2.29.E+11	0.958
EW	底面スウェイばね(kN/m)	1.80.E+08	1.73.E+08	0.961
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	2.39.E+11	2.29.E+11	0.958
UD	底面鉛直ばね(kN/m)	2.68.E+08	2.61.E+08	0.974

4.2 東側地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響

東側地盤における各グループの基準地震動 S_s-A に対する等価線形解析の結果として、地盤の有効せん断ひずみ分布、収束剛性分布、収束物性値及び各建屋の基礎底面レベルにおける入力地震動の加速度応答スペクトルを第 4.2-1 図～第 4.2-5 図に示す。また、基礎底面地盤ばねのばね定数を第 4.2-1 表に示す。

地盤の等価線形解析の結果、AC, CA, CB 及び AZ 周辺の各岩種の有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 は以下のとおりとなっていることを確認した。なお、以下に記載する最大有効せん断ひずみの値については、上記 4 グループの中で最大の値を、剛性低下率 G/G_0 については、上記 4 グループの中で最小の値を記載している。

- ・砂質軽石凝灰岩：最大有効せん断ひずみ 0.03%，剛性低下率 G/G_0 0.910
- ・凝灰岩：最大有効せん断ひずみ 0.04%，剛性低下率 G/G_0 0.851
- ・軽石凝灰岩：最大有効せん断ひずみ 0.04%，剛性低下率 G/G_0 0.864
- ・軽石質砂岩：最大有効せん断ひずみ 0.02%，剛性低下率 G/G_0 0.911
- ・軽石混り砂岩：最大有効せん断ひずみ 0.01%，剛性低下率 G/G_0 0.916
- ・礫岩：最大有効せん断ひずみ 0.02%，剛性低下率 G/G_0 0.893
- ・細粒砂岩：最大有効せん断ひずみ 0.02%，剛性低下率 G/G_0 0.923

また、G14 の各岩種の有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 は以下のとおりとなっていることを確認した。なお、以下に記載する最大有効せん断ひずみの値については、最大の値を、剛性低下率 G/G_0 については、最小の値を記載している。

- ・砂質軽石凝灰岩：有効せん断ひずみ 0.05%，剛性低下率 G/G_0 0.876
- ・凝灰岩：有効せん断ひずみ 0.03%，剛性低下率 G/G_0 0.849
- ・軽石凝灰岩：有効せん断ひずみ 0.08%，剛性低下率 G/G_0 0.779
- ・軽石混り砂岩：有効せん断ひずみ 0.05%，剛性低下率 G/G_0 0.774

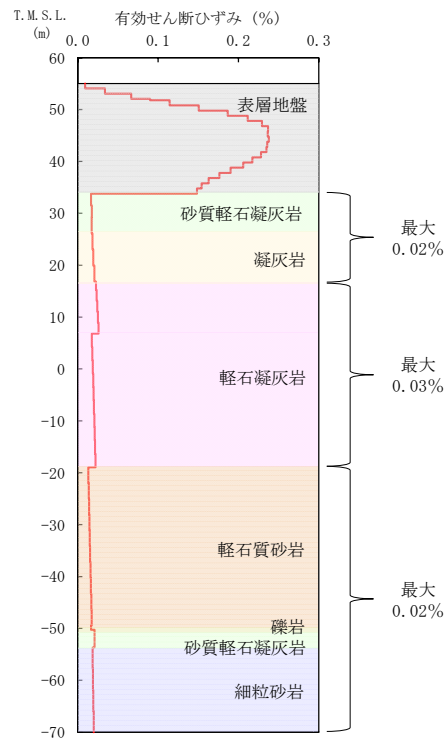
G14 については、AC, CA, CB 及び AZ 周辺と比べ、軽石凝灰岩の有効せん断ひずみが大きい傾向となっている。これは、CB 及び AZ 周辺における同程度の深さの軽石凝灰岩 (G_0 = 約 1100～1300MPa, 第 4.2-3 図 (c) の青枠及び第 4.2-4 図 (c) の青枠) と比較して、G14 では初期せん断弾性係数が小さくなっている (G_0 = 約 450MPa, 第 4.2-5 図 (c) の青枠) ことに起因しており、

地震時の地盤のせん断ひずみが卓越しやすい物性値となっているためである。

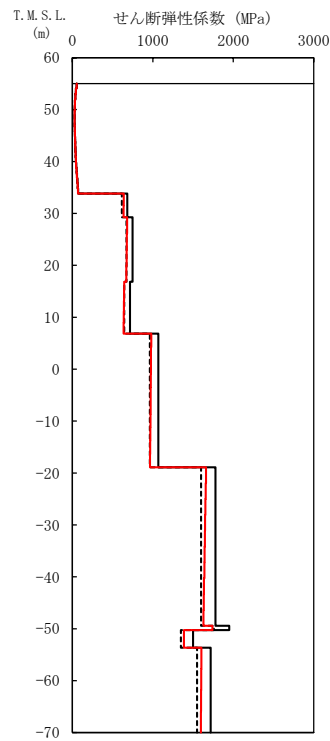
基礎底面レベルの加速度応答スペクトルの比較結果から、線形条件と等価線形解析の結果については、AC, CA, CB 及び AZ 周辺において周期特性に顕著な乖離はみられない。一方で G14 においては、周期 2.0s 程度以下の周期帯で若干の差がみられる。これは、前述したとおり、G14 直下の主要な岩種である軽石凝灰岩の層 (T. M. S. L. -32.30m~T. M. S. L. -56.33m) の初期せん断弾性係数は、CB 及び AZ 周辺に比べて小さく、第 4.2-5 図 (b) に示すとおり上下の層に比べて剛性が小さくなっていることが原因と考えられる。当該層の剛性低下率は他の層に比べて極端に小さくないことから、G14 の短周期帯の応答の差の原因は、剛性の非線形性による影響よりも速度構造による影響が大きいものと考えられる。

また、建屋の 1 次固有周期において、AC, CA, CB については同程度の応答となっていることから、0.01%~0.08% 程度の有効せん断ひずみに対する剛性低下の影響は小さいことを確認した。

基礎底面地盤ばねのばね定数の比較結果から、AC 及び AZ 周辺については、底面地盤ばねの剛性への影響は小さいことを確認した。一方で、CA, CB 及び G14 については、初期物性値のばね定数に比べ、等価線形解析による収束物性値のばね定数は最大で 12%~14% 程度小さく、他の建屋グループに比べて岩盤部分の剛性の非線形性の影響が大きいと考えられるため、地震応答解析モデルの固有周期への影響を確認する。「参考 1 固有値解析結果」より、いずれの建屋においても、初期物性値による結果と等価線形解析による収束物性値による結果の差は小さく、剛性低下による影響は小さいものと判断する。



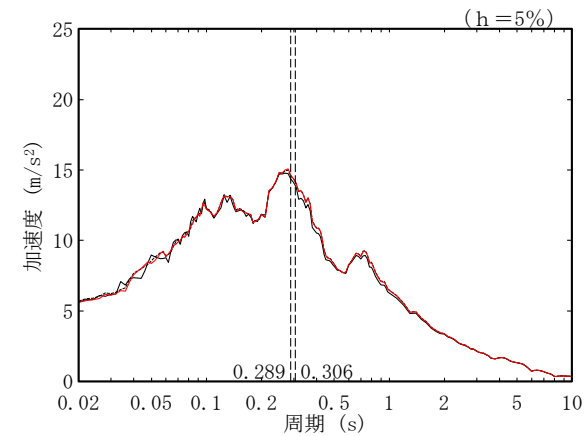
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AC基礎底面						
33.80	砂質軽石凝灰岩	14.5	684	640	0.936	0.03
29.24	凝灰岩	15.9	749	677	0.904	0.03
16.82	軽石凝灰岩	15.2	717	641	0.894	0.03
6.82		15.3	1070	973	0.909	0.03
-18.93	軽石質砂岩	18.9	1780	1646	0.925	0.03
-49.43	礫岩	20.8	1950	1742	0.893	0.03
-50.28	砂質軽石凝灰岩	16.0	1500	1388	0.925	0.03
-53.68	細粒砂岩	18.3	1720	1601	0.931	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値

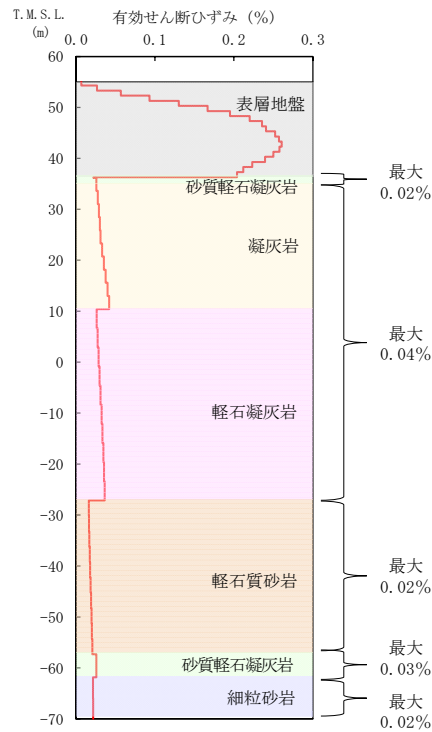


(d) 加速度応答スペクトル

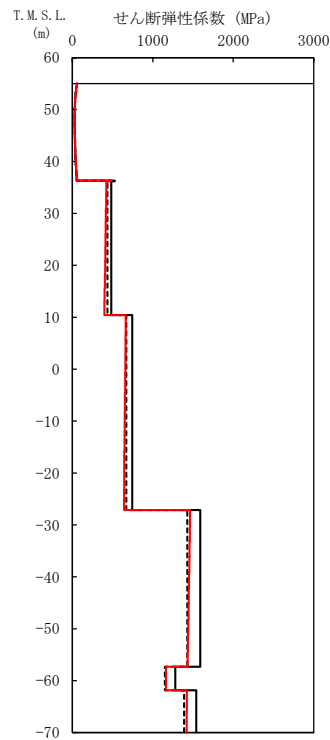
- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-3-1 精製建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS,EW) を示す。

第 4.2-1 図 地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, AC)



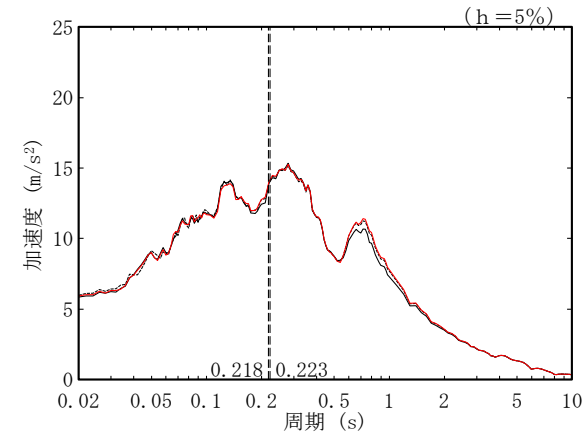
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽CA基礎底面						
36.30	砂質軽石凝灰岩	17.2	529	486	0.919	0.03
36.19	凝灰岩	15.7	484	412	0.851	0.03
10.42	軽石凝灰岩	14.5	746	653	0.875	0.03
-27.16	軽石質砂岩	18.8	1590	1449	0.911	0.03
-57.33	砂質軽石凝灰岩	15.2	1280	1165	0.910	0.03
-61.86	細粒砂岩	18.2	1540	1422	0.923	0.03
▽解放基盤表面	-	18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値

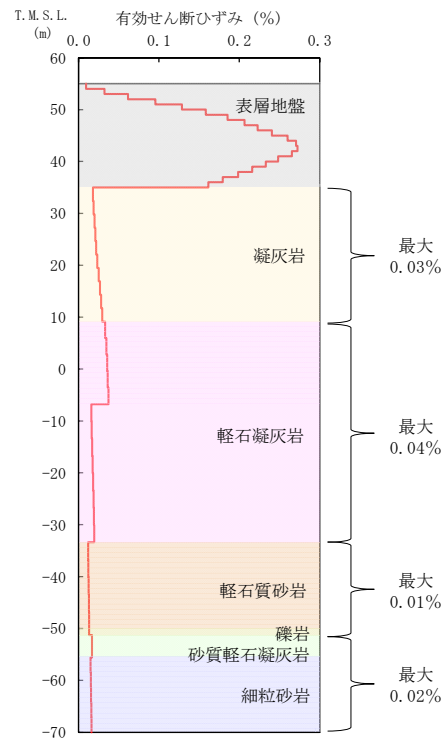


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-4-1 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

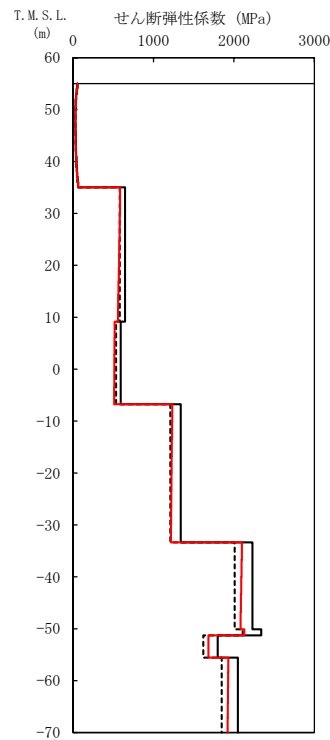
(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 4.2-2 図 地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, CA)



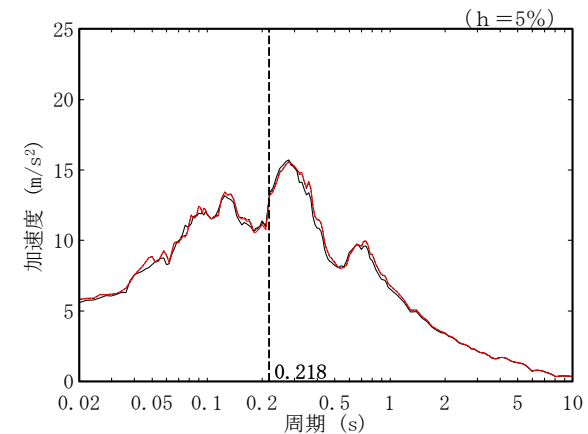
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN}/\text{m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN}/\text{m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽CB基礎底面						
35.00	凝灰岩	16.0	647	574	0.887	0.03
9.13	軽石凝灰岩	14.7	595	515	0.866	0.03
-6.77		16.3	1340	1226	0.915	0.03
-33.37	軽石質砂岩	19.8	2230	2092	0.938	0.03
-50.12	礫岩	20.8	2340	2130	0.910	0.03
-51.28	砂質軽石凝灰岩	16.0	1800	1685	0.936	0.03
-55.59	細粒砂岩	18.2	2050	1926	0.940	0.03
▽解放基礎表面		-	18.1	1601	1601	1.000

(c) 収束物性値

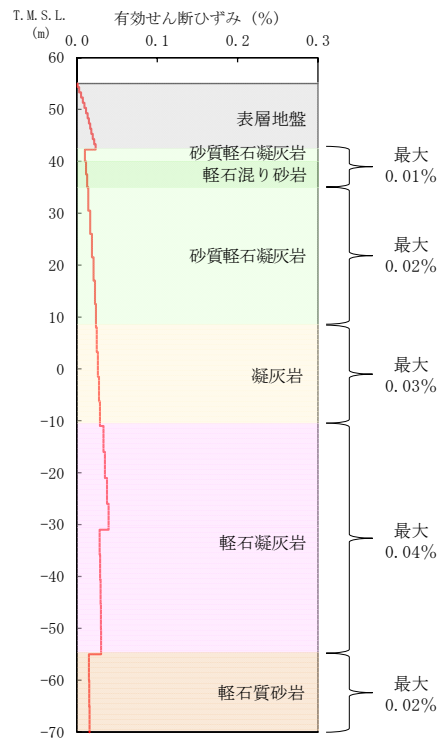


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-5-1 ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A の建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

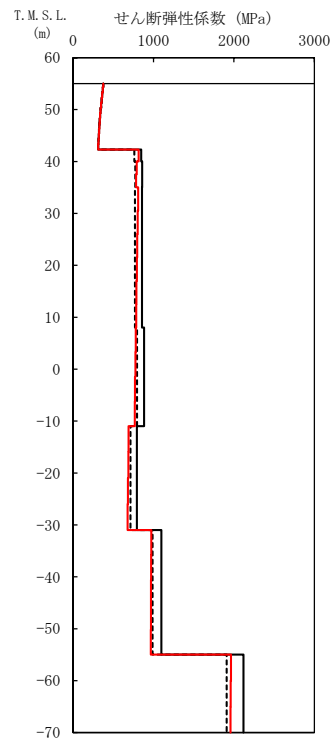
(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 4.2-3 図 地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, CB)



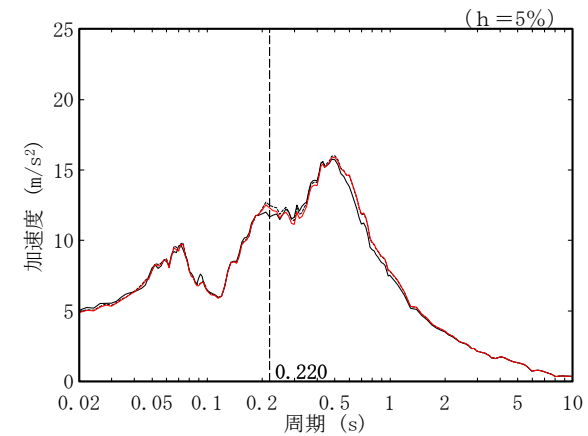
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN}/\text{m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN}/\text{m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AZ基礎底面						
42.30	砂質軽石凝灰岩	14.4	849	816	0.961	0.03
40.00	軽石混り砂岩	14.6	861	789	0.916	0.03
35.00	砂質軽石凝灰岩	15.8	858	798	0.930	0.03
8.00	凝灰岩	16.3	885	774	0.875	0.03
-11.00	凝灰岩	14.6	794	686	0.864	0.03
-31.00	軽石凝灰岩	15.6	1100	971	0.883	0.03
-55.00	軽石質砂岩	18.1	2120	1961	0.925	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値

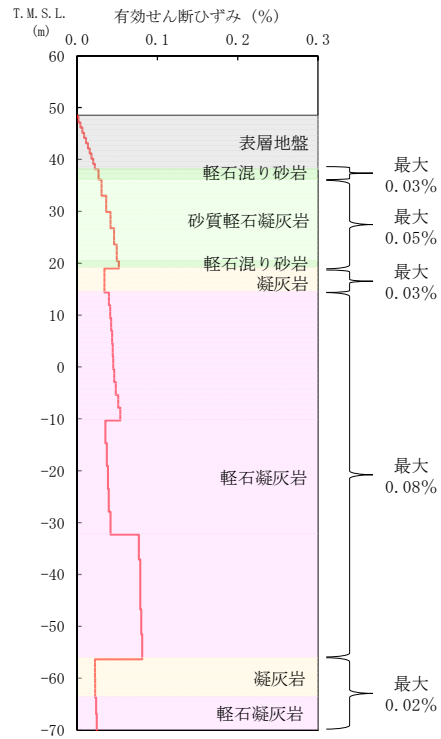


(d) 加速度応答スペクトル

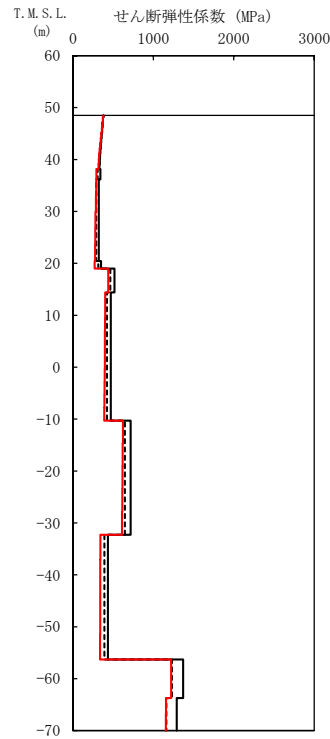
- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-2 1-1 緊急時対策建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

第 4.2-4 図 地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, AZ 周辺, AZ)



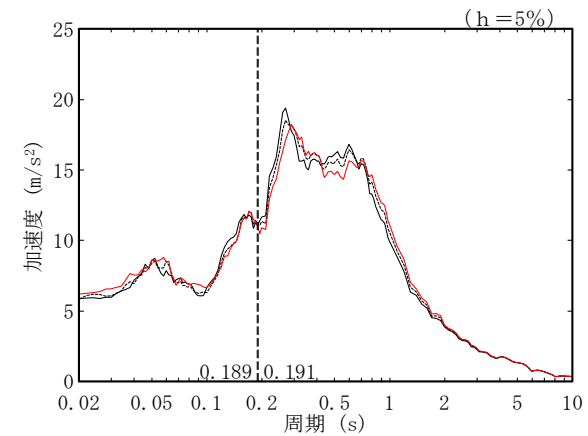
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽G14基礎底面						
38.15	軽石混り砂岩	15.8	341	291	0.853	0.03
36.15	砂質軽石凝灰岩	14.9	322	282	0.876	0.03
20.44	軽石混り砂岩	16.2	350	271	0.774	0.03
18.99	凝灰岩	16.2	517	439	0.849	0.03
14.37		14.7	470	396	0.843	0.03
-10.30	軽石凝灰岩	15.2	717	616	0.859	0.03
-32.30		15.2	435	339	0.779	0.03
-56.33	凝灰岩	16.2	1370	1220	0.891	0.03
-63.74	軽石凝灰岩	15.3	1290	1156	0.896	0.03
▽解放基礎表面		18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-18-1 第2保管庫・貯水所の地震応答計算書」に示す S_s -Aでの建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 4.2-5 図 地盤の等価線形解析結果 (S_s -A, G14)

第 4.2-1 表 基礎底面地盤ばねのばね定数（東側地盤）

(a) Ss-A, AC

方向	種別	① 初期物性値	② 等価線形解析による収束物性値	②/①
NS	底面スウェイばね(kN/m)	2.27.E+08	2.08.E+08	0.916
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	5.77.E+11	5.25.E+11	0.910
EW	底面スウェイばね(kN/m)	2.30.E+08	2.11.E+08	0.917
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	4.32.E+11	3.93.E+11	0.910
UD	底面鉛直ばね(kN/m)	4.14.E+08	3.86.E+08	0.932

(b) Ss-A, CA

方向	種別	① 初期物性値	② 等価線形解析による収束物性値	②/①
NS	底面スウェイばね(kN/m)	1.13.E+08	9.78.E+07	0.865
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	1.69.E+11	1.46.E+11	0.864
EW	底面スウェイばね(kN/m)	1.16.E+08	1.01.E+08	0.871
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	1.23.E+11	1.06.E+11	0.862
UD	底面鉛直ばね(kN/m)	2.18.E+08	1.94.E+08	0.890

(c) Ss-A, CB

方向	種別	① 初期物性値	② 等価線形解析による収束物性値	②/①
NS	底面スウェイばね(kN/m)	1.12.E+08	9.87.E+07	0.881
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	8.92.E+10	7.82.E+10	0.877
EW	底面スウェイばね(kN/m)	1.13.E+08	9.95.E+07	0.881
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	8.09.E+10	7.09.E+10	0.876
UD	底面鉛直ばね(kN/m)	1.92.E+08	1.71.E+08	0.891

(d) Ss-A, AZ 周辺, AZ

方向	種別	① 初期物性値	② 等価線形解析による収束物性値	②/①
NS	底面スウェイばね(kN/m)	1.75.E+08	1.59.E+08	0.909
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	1.83.E+11	1.65.E+11	0.902
EW	底面スウェイばね(kN/m)	1.71.E+08	1.56.E+08	0.912
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	2.48.E+11	2.34.E+11	0.944
UD	底面鉛直ばね(kN/m)	2.61.E+08	2.36.E+08	0.904

(e) Ss-A, G14

方向	種別	① 初期物性値	② 等価線形解析による収束物性値	②/①
NS	底面スウェイばね(kN/m)	1.00.E+08	8.74.E+07	0.874
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	9.56.E+10	8.24.E+10	0.862
EW	底面スウェイばね(kN/m)	9.21.E+07	8.03.E+07	0.872
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	3.30.E+11	2.83.E+11	0.858
UD	底面鉛直ばね(kN/m)	1.95.E+08	1.70.E+08	0.872

4.3 西側地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響

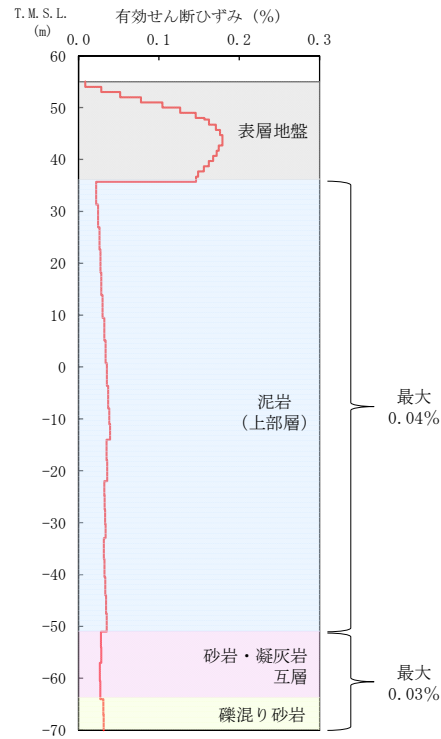
西側地盤における基準地震動 S_s-A に対する等価線形解析の結果として、地盤の有効せん断ひずみ分布、収束剛性分布、収束物性値及び各建屋の基礎底面レベルにおける入力地震動の加速度応答スペクトルを第 4.3-1 図に示す。また、基礎底面地盤ばねのばね定数を第 4.3-1 表に示す。

地盤の等価線形解析の結果、各岩種の有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 は以下のとおりとなっていることを確認した。なお、以下に記載する最大有効せん断ひずみの値については、最大の値を、剛性低下率 G/G_0 については、最小の値を記載している。

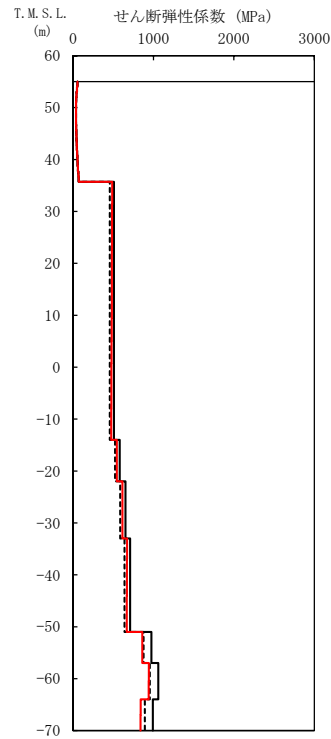
- ・泥岩(上部層):最大有効せん断ひずみ 0.04%, 剛性低下率 G/G_0 0.940
- ・砂岩・凝灰岩互層:最大有効せん断ひずみ 0.03%, 剛性低下率 G/G_0 0.884
- ・礫混り砂岩:最大有効せん断ひずみ 0.03%, 剛性低下率 G/G_0 0.847

基礎底面レベルの加速度応答スペクトルの比較結果から、線形条件と等価線形解析の結果については、周期特性に顕著な乖離がないこと、また、建屋の1次固有周期において同程度の応答となることから、西側地盤のグループにおいて、0.03%~0.04%程度の有効せん断ひずみに対する剛性低下の影響は小さいことを確認した。

基礎底面地盤ばねのばね定数の比較結果から、底面地盤ばねの剛性への影響も小さいことを確認した。



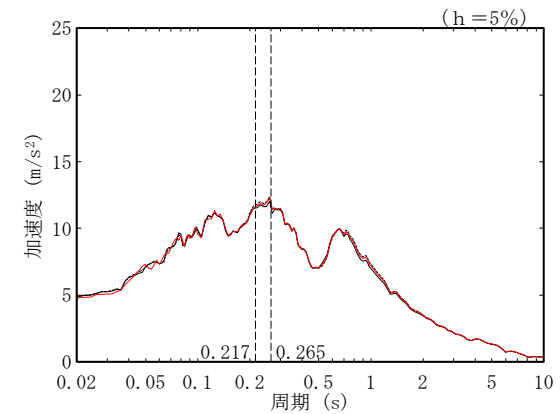
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽EB基礎底面						
35.70		15.9	508	481	0.947	0.03
-14.00	泥岩(上部層)	15.8	580	545	0.940	0.03
-22.00		16.1	651	614	0.943	0.03
-33.00		16.0	710	669	0.942	0.03
-51.00	砂岩・凝灰岩五層	17.0	973	860	0.884	0.03
-57.00		16.7	1060	942	0.889	0.03
-64.00	礫混り砂岩	15.6	992	840	0.847	0.03
▽解放基礎表面	-	15.9	987	987	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「II-2-1-1-1-1-1 ガラス固化体貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 4.3-1 図 地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, E 施設周辺, EB)

第 4.3-1 表 基礎底面地盤ばねのばね定数（西側地盤，Ss-A，EB）

方向	種別	① 初期物性値	② 等価線形解析による収束物性値	②/①
NS	底面スウェイばね (kN/m)	7.38.E+07	7.00.E+07	0.949
	底面ロッキングばね (kN・m/rad)	4.74.E+10	4.48.E+10	0.945
EW	底面スウェイばね (kN/m)	7.39.E+07	7.01.E+07	0.949
	底面ロッキングばね (kN・m/rad)	4.58.E+10	4.34.E+10	0.948
UD	底面鉛直ばね (kN/m)	1.15.E+08	1.10.E+08	0.957

4.4 中央地盤・東側地盤・西側地盤の比較

「4.1」～「4.3」の結果を踏まえて、中央地盤、東側地盤及び西側地盤における基準地震動 S_s-A に対する地盤の各岩種の最大有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 の比較結果を第 4.4-1 表に整理する。

中央地盤、G14 を除く東側地盤及び西側地盤では、いずれも最大有効せん断ひずみが 0.04% 程度以内に収まり、剛性低下率 G/G_0 は 0.8 程度以上の範囲にあることを確認した。なお、中央地盤の主要な岩種である泥岩（下部層）及び西側地盤の主要な岩種である泥岩（上部層）については、剛性低下率 G/G_0 は 0.95 程度以上の範囲にあり、その他の岩種と比べ岩盤部分の非線形性の影響がより小さいと考えられる。これは、第 4.4-1 図に示すひずみ依存特性の比較結果のとおり、泥岩（下部層）及び泥岩（上部層）は、他の岩種と比較し、剛性が低下しにくい傾向となっているためであると考えられる。

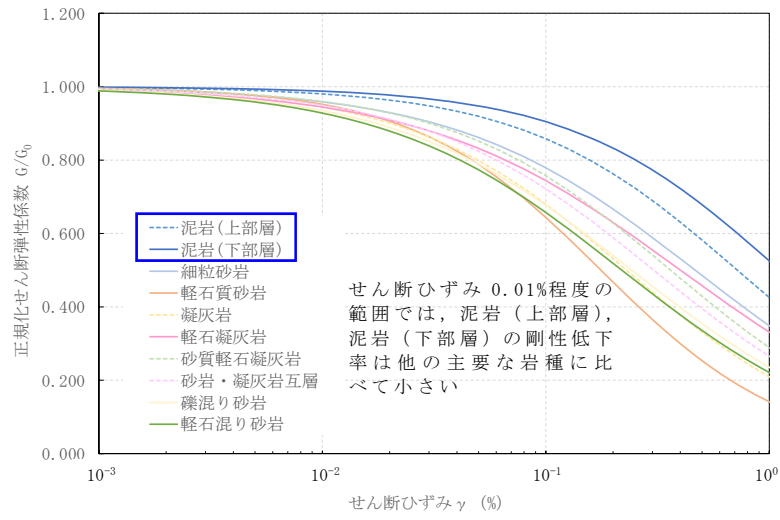
東側地盤の G14 については、3.2 節に示したとおり、軽石凝灰岩の初期せん断弾性係数が他グループと比べ小さいことから、地震時の地盤のせん断ひずみが卓越しやすく、剛性低下が他岩種と比べて大きい傾向であると考えられる。

加速度応答スペクトルへの影響に関しては、中央地盤、東側地盤、西側地盤いずれにおいても、周期特性に顕著な乖離がないこと、また、建屋の 1 次固有周期において同程度の応答となることから、剛性低下による影響は小さいものと判断する。

底面地盤ばねの剛性への影響に関しては、東側地盤の CA、CB 及び G14 を除く全てのグループで、ばね定数への影響は小さいことを確認した。また、東側地盤の CA、CB 及び G14 については、ばね定数への影響は見られたものの、地震応答解析モデルの固有周期に及ぼす影響は小さいことから、剛性低下による影響は小さいものと判断する。

第 4.4-1 表 地盤応答解析結果の比較

	最大有効せん断ひずみ	剛性低下率 G/G_0 の 最小値
中央地盤	0.01%～0.03%	0.827
東側地盤（G14 を除く）	0.01%～0.04%	0.851
東側地盤（G14）	0.03%～0.08%	0.774
西側地盤	0.03%～0.04%	0.847



第 4.4-1 図 中央地盤・東側地盤・西側地盤の主要な岩種のひずみ依存特性の比較

5. 1.2×S_s-A の地盤応答解析結果

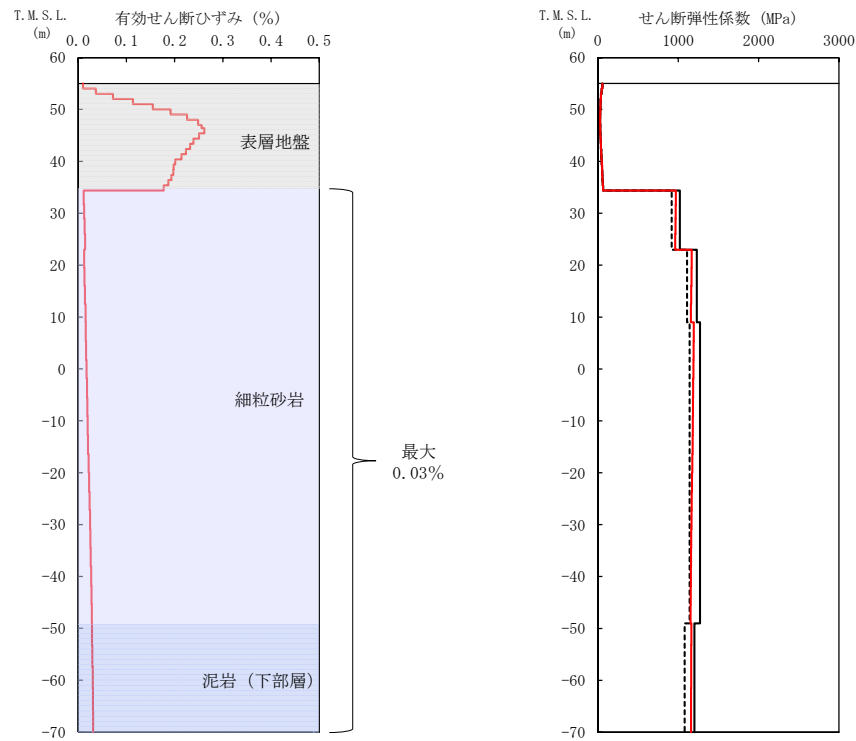
中央地盤、東側地盤及び西側地盤における各グループの 1.2×S_s-A に対する等価線形解析の結果として、地盤の有効せん断ひずみ分布、収束剛性分布、収束物性値及び各建屋の基礎底面レベルにおける入力地震動の加速度応答スペクトルを第 5-1 図～第 5-12 図に示す。また、地盤の各岩種の最大有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 の比較結果を基準地震動 S_s-A の地盤応答解析結果と合わせて第 5-1 表に整理する。

いずれのグループにおいても、1.2×S_s-A の地盤応答解析結果は、基準地震動 S_s-A の地盤応答解析結果と比較して、最大有効せん断ひずみの若干の増加に伴い、剛性低下率 G/G_0 の最小値は減少するものの、著しい剛性低下が見られるグループはなかった。また、「4. 基準地震動 S_s-A の地盤応答解析結果」において、底面地盤ばねの剛性への影響及び地震応答解析モデルの固有周期への影響は小さいことから、基準地震動 S_s-A と比較して著しい剛性低下の見られなかった 1.2×S_s-A においても、同様の傾向となると考えられる。上記のことから、岩盤部分の非線形性による剛性低下の影響は小さいものと判断する。

加速度応答スペクトルへの影響に関しては、基準地震動 S_s-A の地盤応答解析結果と同様に、中央地盤、東側地盤、西側地盤いずれにおいても、周期特性に顕著な乖離がないこと、また、建屋の 1 次固有周期において同程度の応答となることから、剛性低下による影響は小さいものと判断する。

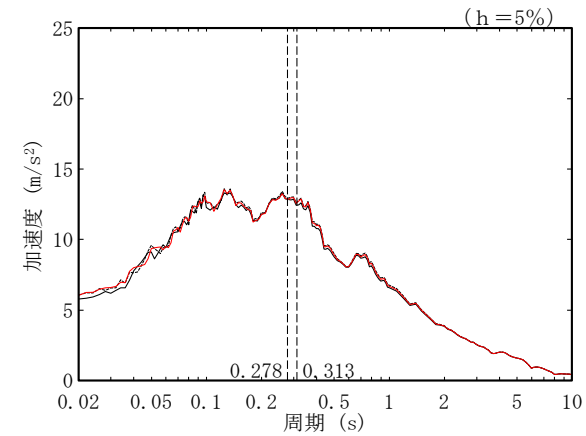
第 5-1 表 地盤応答解析結果の比較

	基準地震動	最大有効 せん断ひずみ	剛性低下率 G/G_0 の 最小値
中央地盤	S _s -A	0.01%～0.03%	0.827
	1.2×S _s -A	0.02%～0.03%	0.809
東側地盤 (G14 を除く)	S _s -A	0.01%～0.04%	0.851
	1.2×S _s -A	0.02%～0.06%	0.820
東側地盤 (G14)	S _s -A	0.03%～0.08%	0.774
	1.2×S _s -A	0.04%～0.10%	0.740
西側地盤	S _s -A	0.03%～0.04%	0.847
	1.2×S _s -A	0.03%～0.05%	0.823



T.M.S.L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AB基礎底面						
34.39	細粒砂岩	18.2	1020	966	0.947	0.03
23.00		18.4	1230	1162	0.945	0.03
9.00		18.0	1270	1173	0.924	0.03
-49.00	泥岩 (下部層)	17.5	1200	1160	0.967	0.03
▽解放基礎表面	-	17.0	1164	1164	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-2-1 分離建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

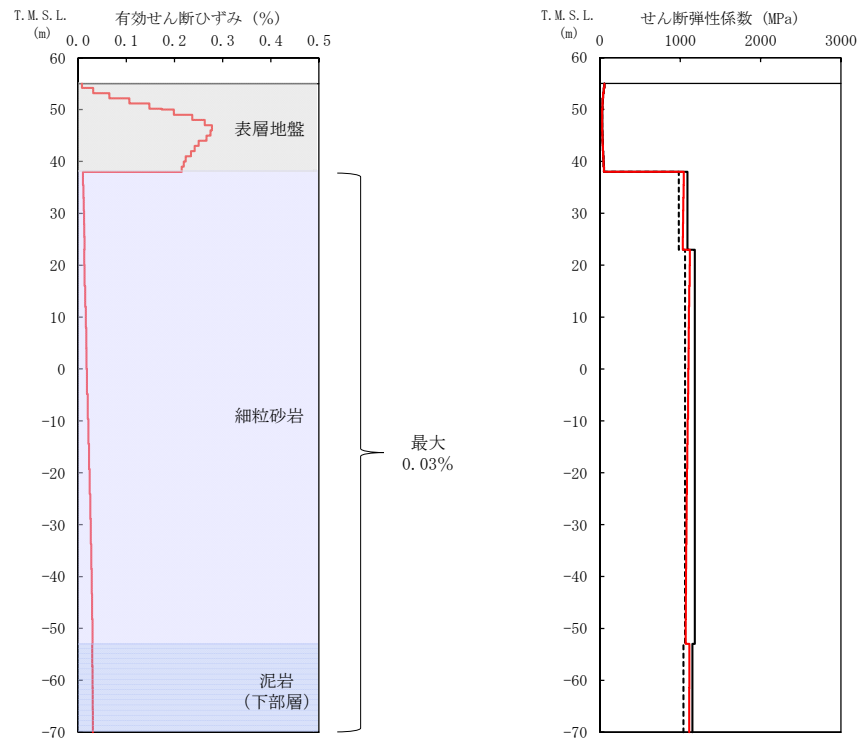
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 5-1 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2×Ss-A, AA 周辺, AB)

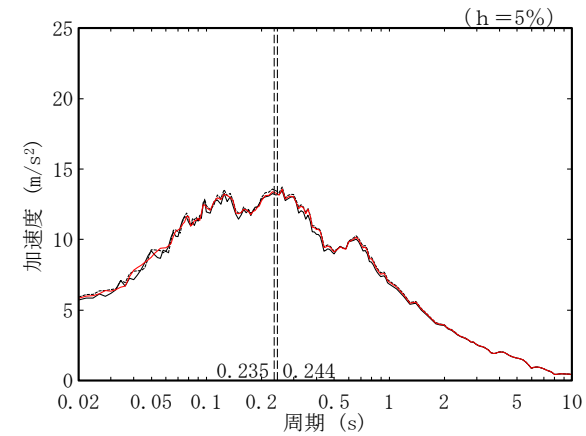


T.M.S.L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽FA基礎底面						
38.00	細粒砂岩	18.5	1090	1037	0.951	0.03
23.00		18.0	1180	1090	0.924	0.03
-53.00	泥岩(下部層)	17.3	1150	1112	0.967	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	17.0	1164	1164	1.000	0.03

(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(c) 収束物性値

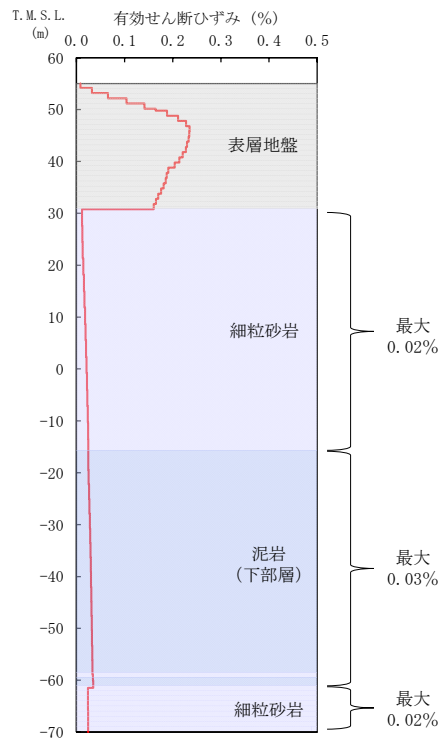


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1-1-1 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す S_s -Aでの建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

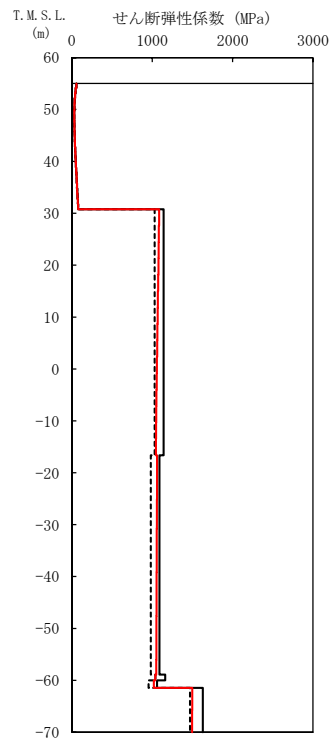
(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 5-2 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2 \times S_s -A, F 施設周辺, FA)



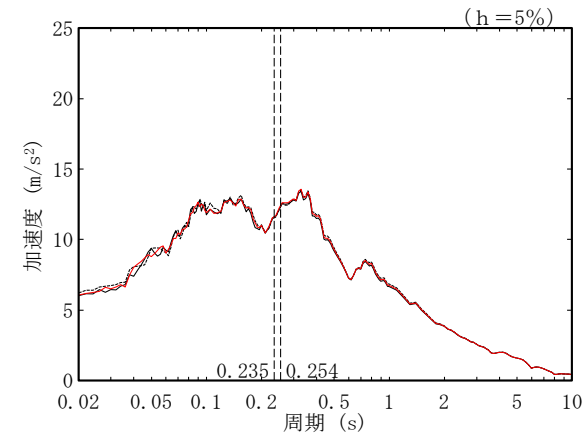
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AE基礎底面						
30.80	細粒砂岩	17.9	1140	1064	0.933	0.03
-16.63	泥岩(下部層)	17.2	1090	1055	0.968	0.03
-58.90	細粒砂岩	18.2	1160	1038	0.895	0.03
-60.02	泥岩(下部層)	16.7	1060	1020	0.962	0.03
-61.46	細粒砂岩	18.4	1630	1497	0.918	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	—	17.0	1164	1164	1.000	0.03

(c) 収束物性値

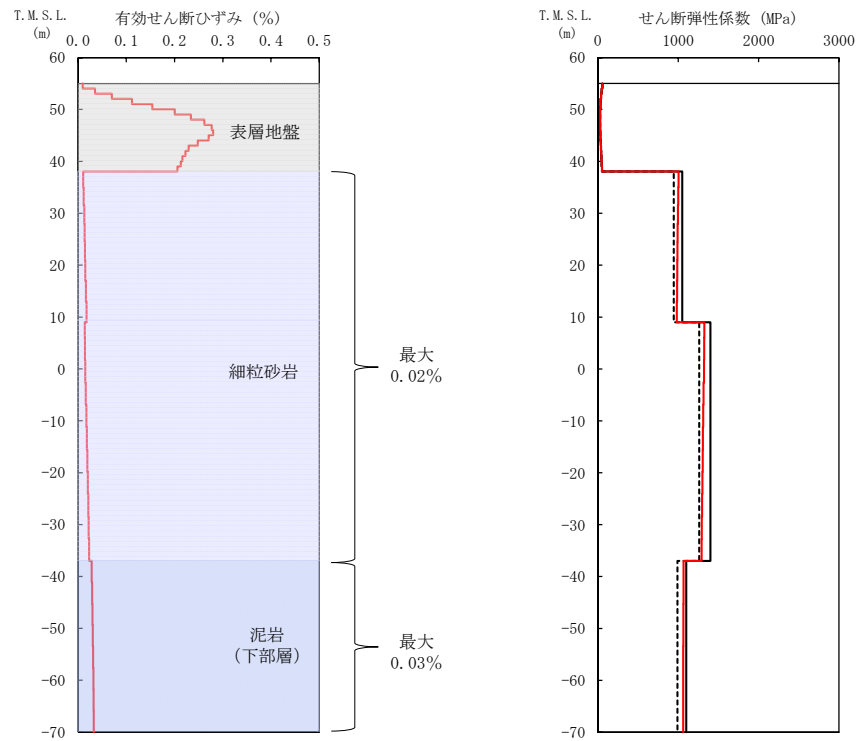


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1-1-1-1-1-1 ハル・エンドピース貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 5-3 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2× S_s -A, AE)

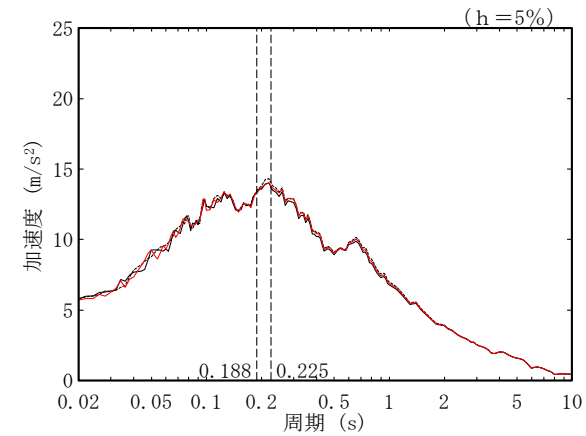


T.M.S.L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AG基礎底面						
38.05		18.3	1050	992	0.945	0.03
9.00	細粒砂岩	18.1	1400	1307	0.934	0.03
-37.00	泥岩 (下部層)	16.9	1100	1063	0.966	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	—	17.0	1164	1164	1.000	0.03

(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(c) 収束物性値

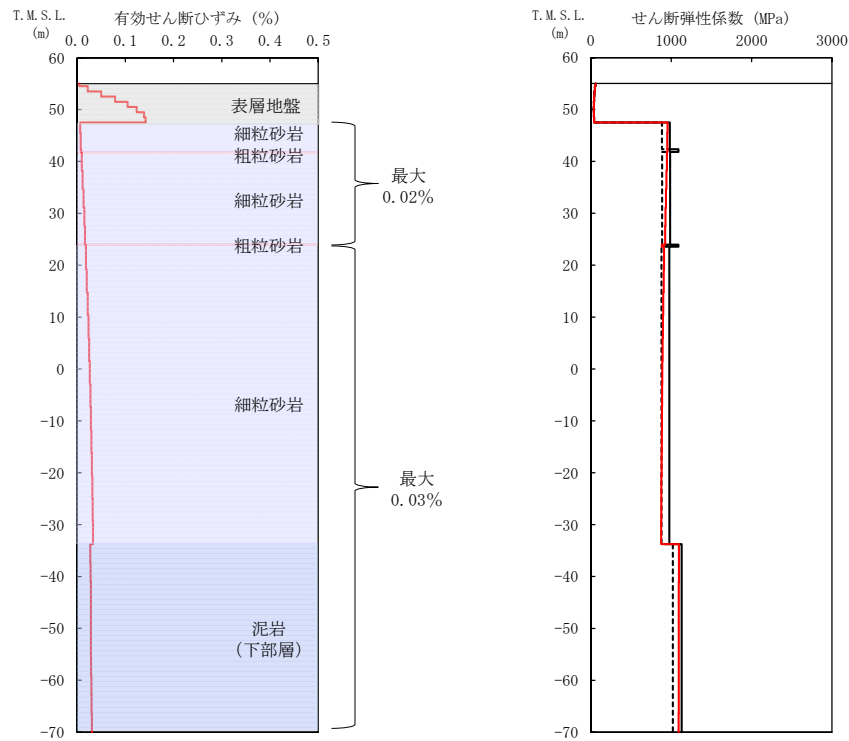


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-6-1 制御建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

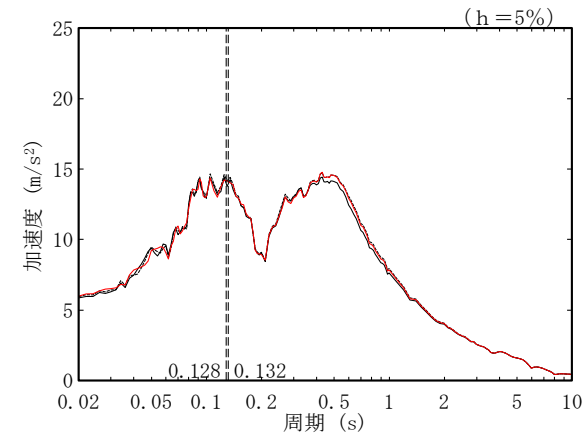
- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 5-4 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2×Ss-A, AG)



T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽GA基礎底面						
47.50	細粒砂岩	18.1	982	951	0.968	0.03
42.34	粗粒砂岩	20.1	1090	954	0.875	0.03
41.81	細粒砂岩	18.1	986	935	0.948	0.03
23.96	粗粒砂岩	20.1	1090	882	0.809	0.03
23.58	細粒砂岩	18.0	975	889	0.912	0.03
-33.75	泥岩(下部層)	17.4	1130	1094	0.968	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	17.0	1164	1164	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1-13-1 非常用電源建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

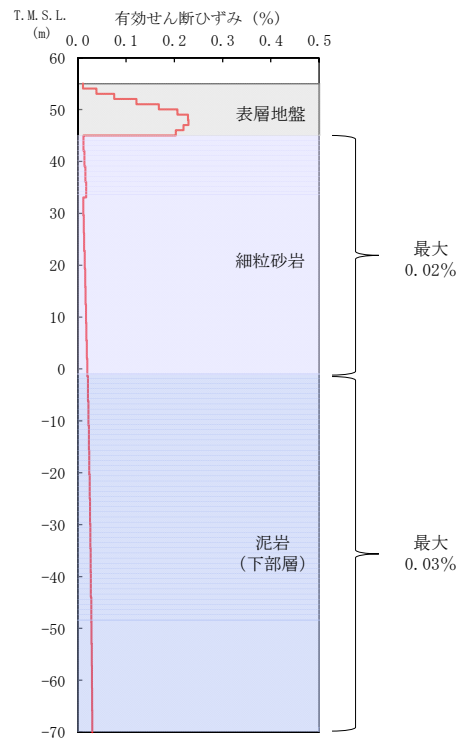
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

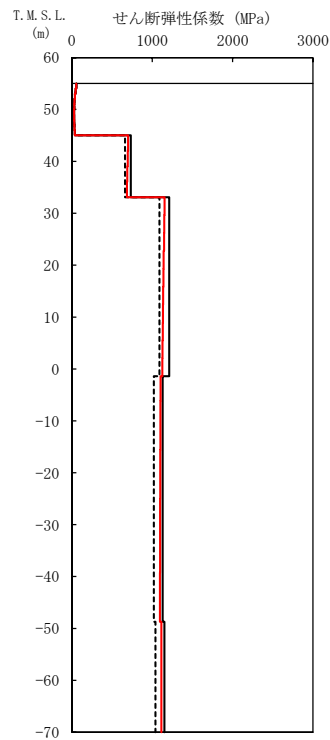
(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 5-5 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2 × Ss-A, GA)



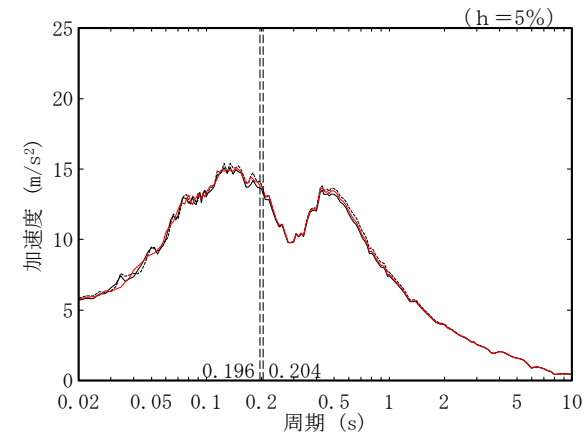
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T.M.S.L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽DC基礎底面						
45.03	細粒砂岩	18.1	734	693	0.944	0.03
33.09		18.0	1210	1138	0.940	0.03
-1.41	泥岩(下部層)	16.9	1130	1098	0.972	0.03
▽解放基礎表面		17.3	1150	1113	0.968	0.03
-70.00	-	17.0	1164	1164	1.000	0.03

(c) 収束物性値

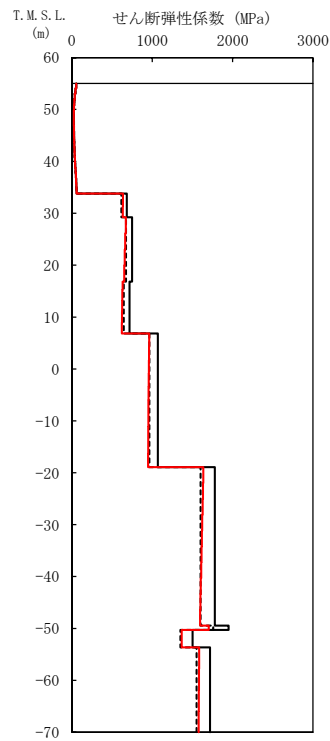
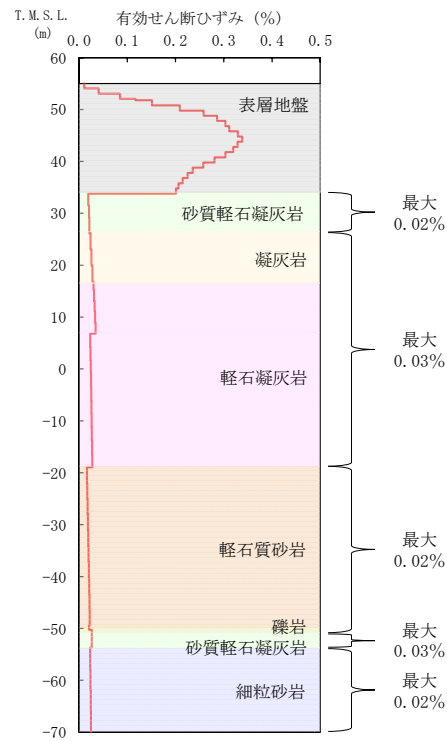


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-10-1 チャンネルボックス・パーナブルポイズン処理建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

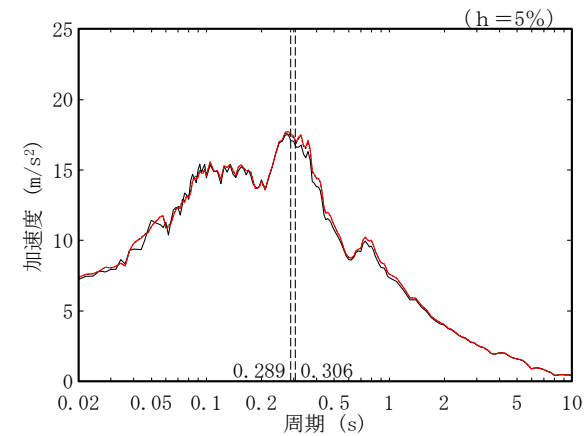
- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 5-6 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2 \times S_s -A, DC)



T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AC基礎底面						
33.80	砂質軽石凝灰岩	14.5	684	635	0.928	0.03
29.24	凝灰岩	15.9	749	661	0.883	0.03
16.82	軽石凝灰岩	15.2	717	626	0.873	0.03
6.82		15.3	1070	954	0.892	0.03
-18.93	軽石質砂岩	18.9	1780	1616	0.908	0.03
-49.43	礫岩	20.8	1950	1704	0.874	0.03
-50.28	砂質軽石凝灰岩	16.0	1500	1365	0.910	0.03
-53.68	細粒砂岩	18.3	1720	1579	0.918	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-3-1 精製建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS,EW) を示す。

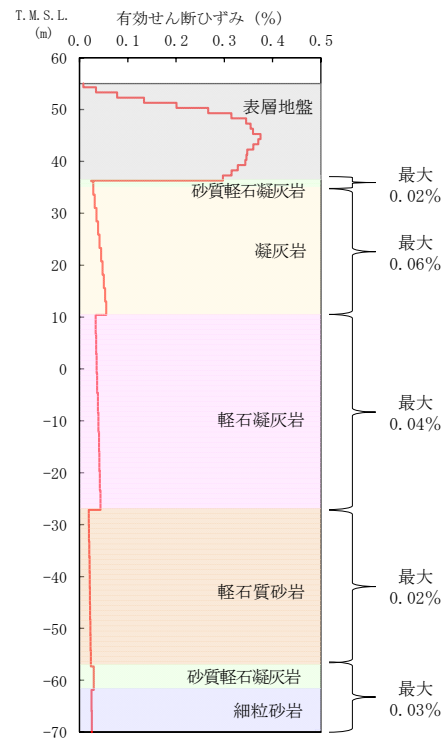
(d) 加速度応答スペクトル

(a) 有効せん断ひずみ

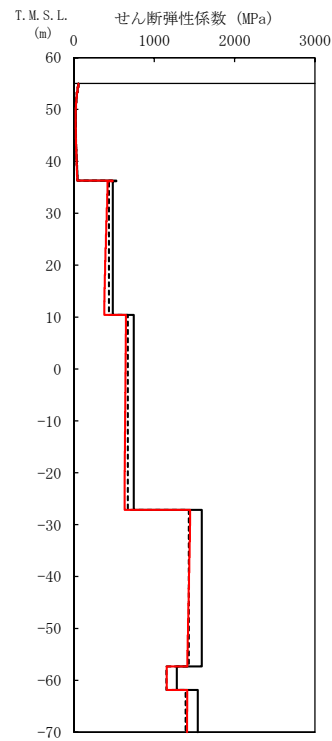
(b) 収束剛性分布

- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 5-7 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2×Ss-A, AC)



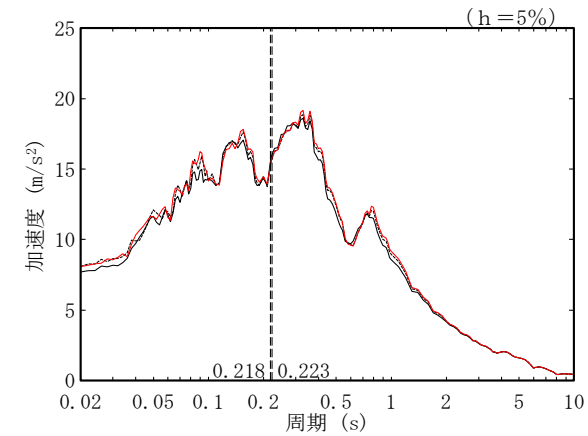
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽CA基礎底面						
36.30	砂質軽石凝灰岩	17.2	529	483	0.913	0.03
36.19	凝灰岩	15.7	484	397	0.820	0.03
10.42	軽石凝灰岩	14.5	746	639	0.857	0.03
-27.16	軽石質砂岩	18.8	1590	1429	0.899	0.03
-57.33	砂質軽石凝灰岩	15.2	1280	1155	0.902	0.03
-61.86	細粒砂岩	18.2	1540	1409	0.915	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値

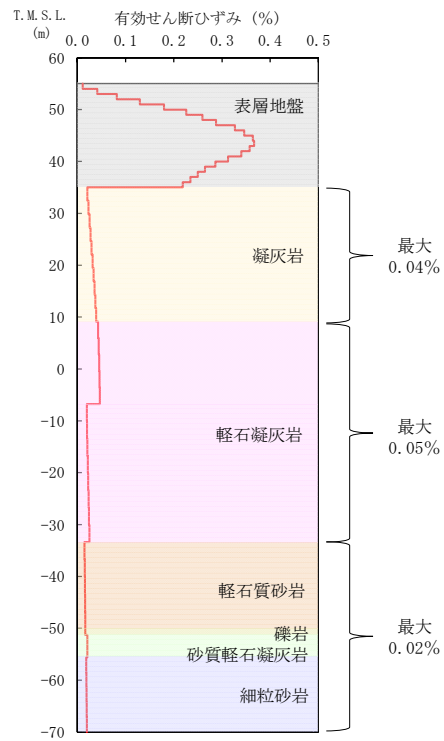


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-4-1 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

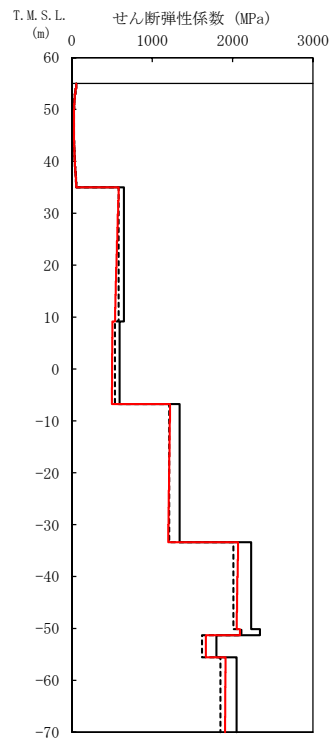
(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 5-8 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2 \times S_s-A, CA)



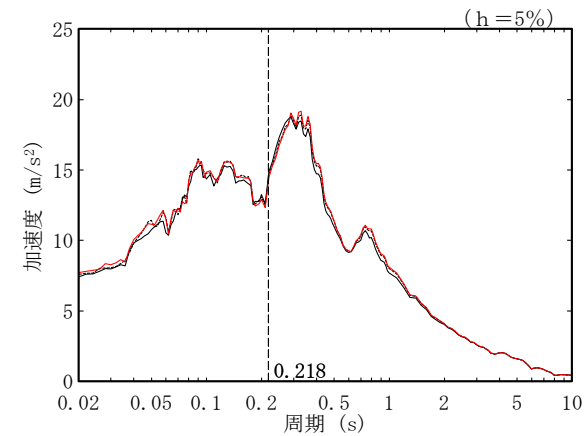
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽CR基礎底面						
35.00	凝灰岩	16.0	647	559	0.864	0.03
9.13	軽石凝灰岩	14.7	595	501	0.842	0.03
-6.77		16.3	1340	1210	0.903	0.03
-33.37	軽石質砂岩	19.8	2230	2059	0.923	0.03
-50.12	礫岩	20.8	2340	2092	0.894	0.03
-51.28	砂質軽石凝灰岩	16.0	1800	1667	0.926	0.03
-55.59	細粒砂岩	18.2	2050	1910	0.932	0.03
▽解放基礎表面		18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値

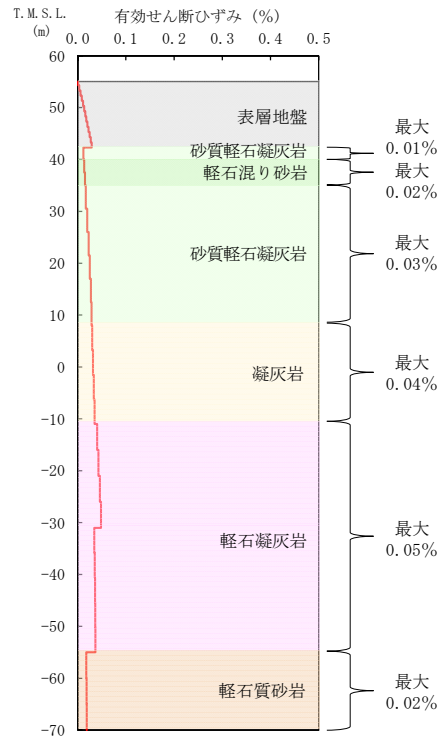


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-5-1 ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A の建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

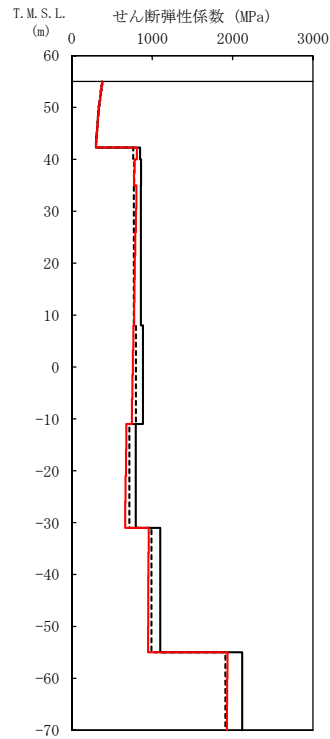
(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 5-9 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2×Ss-A, CB)



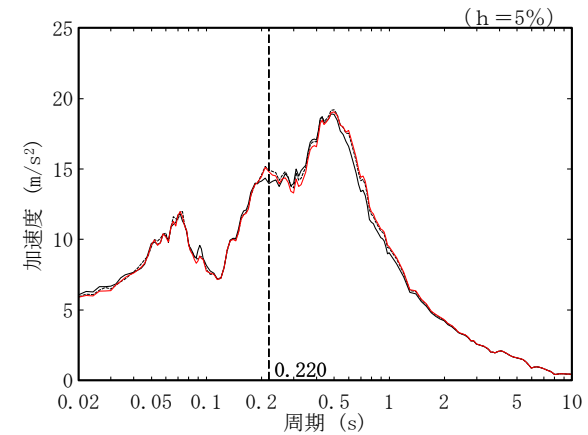
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AZ基礎底面						
42.30	砂質軽石凝灰岩	14.4	849	809	0.953	0.03
40.00	軽石混り砂岩	14.6	861	777	0.902	0.03
35.00	砂質軽石凝灰岩	15.8	858	788	0.918	0.03
8.00	凝灰岩	16.3	885	756	0.854	0.03
-11.00	軽石凝灰岩	14.6	794	671	0.845	0.03
-31.00		15.6	1100	951	0.865	0.03
-55.00	軽石質砂岩	18.1	2120	1933	0.912	0.03
▽解放基盤表面						
-70.00	-	18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値

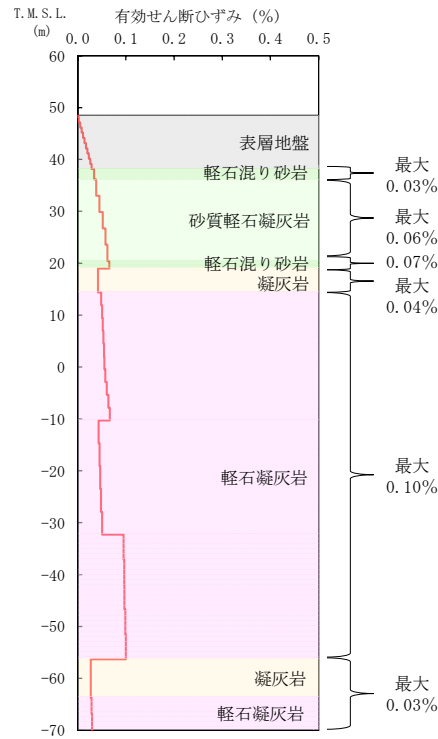


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-2 1-1 緊急時対策建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

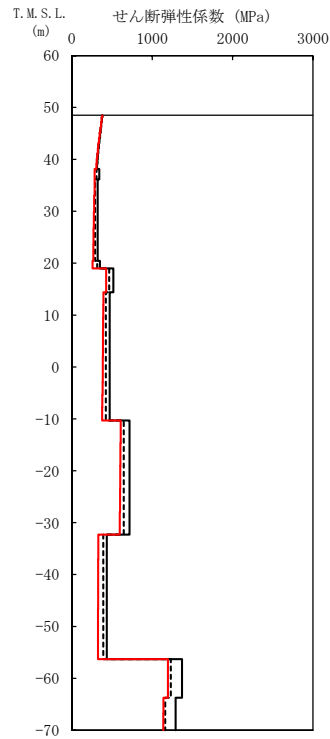
(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 5-10 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2×Ss-A, AZ 周辺, AZ)



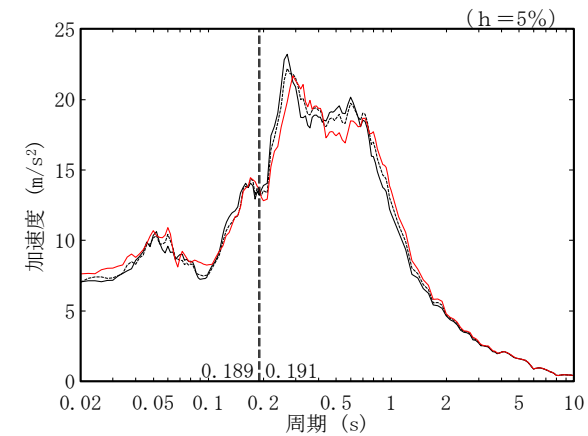
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽G14基礎底面						
38.15	軽石混り砂岩	15.8	341	283	0.830	0.03
36.15	砂質軽石凝灰岩	14.9	322	275	0.854	0.03
20.44	軽石混り砂岩	16.2	350	259	0.740	0.03
18.99	凝灰岩	16.2	517	426	0.824	0.03
14.37		14.7	470	386	0.821	0.03
-10.30	軽石凝灰岩	15.2	717	602	0.840	0.03
-32.30		15.2	435	327	0.752	0.03
-56.33	凝灰岩	16.2	1370	1195	0.872	0.03
-63.74	軽石凝灰岩	15.3	1290	1138	0.882	0.03
▽解放基盤表面						
-70.00	—	18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値

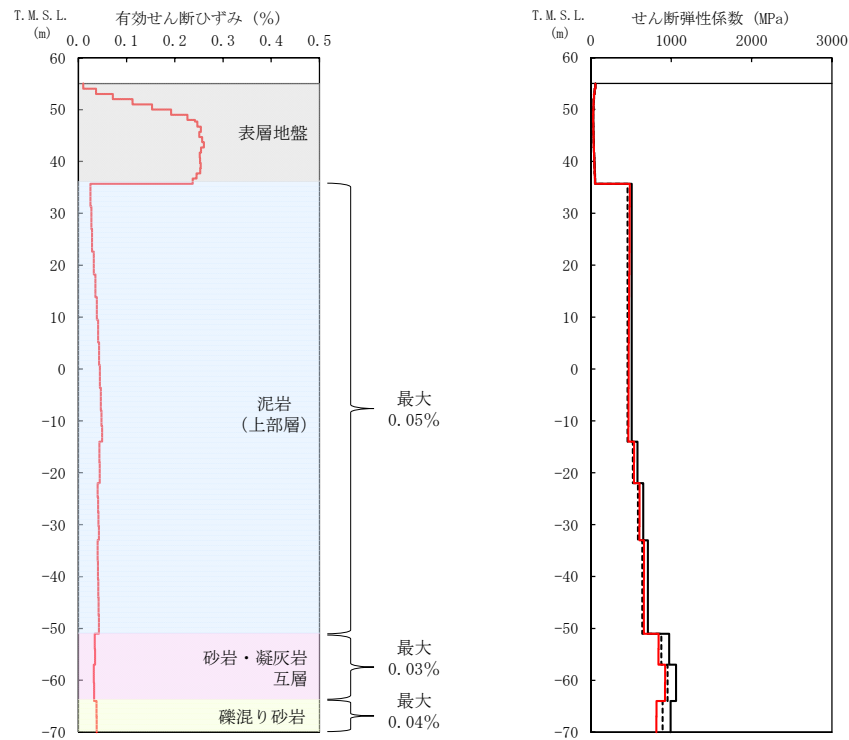


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-18-1 第2保管庫・貯水所の地震応答計算書」に示す S_s -Aでの建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 5-11 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2 \times S_s-A, G14)



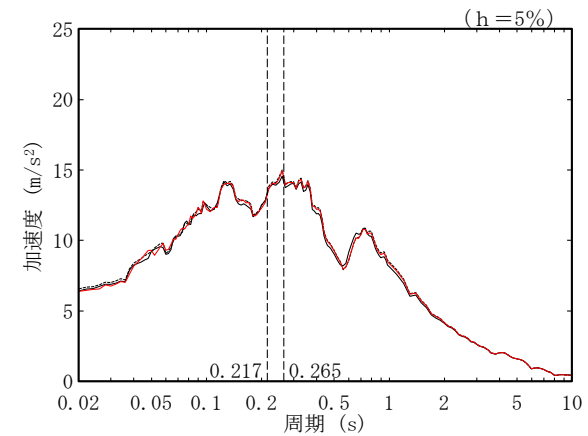
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽FR基礎底面						
-35.70	泥岩(上部層)	15.9	508	475	0.935	0.03
-14.00		15.8	580	537	0.926	0.03
-22.00		16.1	651	606	0.931	0.03
-33.00		16.0	710	660	0.930	0.03
-51.00	砂岩・凝灰岩互層	17.0	973	841	0.864	0.03
-57.00		16.7	1060	922	0.870	0.03
-64.00	礫混り砂岩	15.6	992	816	0.823	0.03
▽解放基盤表面						
-70.00	-	15.9	987	987	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「II-2-1-1-1-1-1 ガラス固化体貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す S_s -Aでの建屋の1次固有周期 (NS,EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

第 5-12 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2 \times S_s-A, E 施設周辺, EB)

6. 追加調査結果を考慮した物性値等における剛性の非線形性の影響

「4. 基準地震動 S_s-A の地盤応答解析結果」及び「5. 1.2×S_s-A の地盤応答解析結果」における岩盤部分の剛性の非線形性が入力地震動に及ぼす影響の確認結果については、既往データに基づく岩盤部分の物性値等を用いた地盤応答解析にて確認を行っている。

岩盤部分の物性値等については、「別紙 2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」に示すとおり、既往データに加え、岩盤部分の減衰定数に係る追加調査にて得られた PS 検層結果も含め、物性値等の設定を行うこととしている。

上記を踏まえ、本章においては、追加調査結果も含め設定した岩盤部分の物性値等を用いた地盤応答解析を実施し、岩盤部分の剛性の非線形性が入力地震動に及ぼす影響について確認する。

なお、近接する建物・構築物グループのうち、G14 グループについては、「別紙 2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」に示すとおり、建屋直下の断層による入力地震動への影響を踏まえ、「4. 基準地震動 S_s-A の地盤応答解析結果」と同条件の物性値等を設定することから、本章における検討は対象外となる。

6.1 中央地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響

第 6.1-1 図～第 6.1-6 図に各グループにおける基準地震動 S_s-A に対する等価線形解析の結果として、地盤の有効せん断ひずみ分布、収束剛性分布、収束物性値及び各建屋の基礎底面レベルにおける入力地震動の加速度応答スペクトルを示す。なお、加速度応答スペクトルについては、「4. 基準地震動 S_s-A の地盤応答解析結果」に示す加速度応答スペクトルも重ねて示す。

地盤の等価線形解析の結果、各岩種の有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 は以下のとおりとなっていることを確認した。なお、以下に記載する最大有効せん断ひずみの値については、中央地盤の全 6 グループの中で最大の値を、剛性低下率 G/G_0 については、中央地盤の全 6 グループの中で最小の値を記載している。

・細粒砂岩：最大有効せん断ひずみ 0.03%，剛性低下率 G/G_0 0.914

・泥岩(下部層)：最大有効せん断ひずみ 0.03%，剛性低下率 G/G_0 0.971

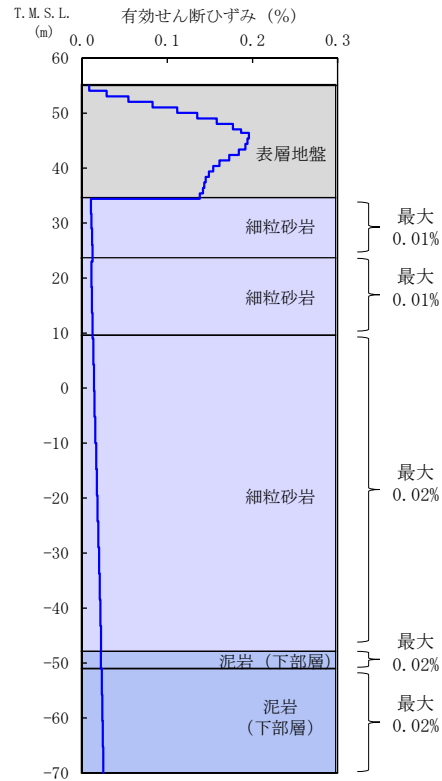
基礎底面レベルの加速度応答スペクトルの比較結果から、線形条件と等価線形解析の結果については、周期特性に顕著な乖離がないこと、また、建

屋の1次固有周期において同程度の応答となることから、中央地盤の各グループにおいて、0.03%程度の有効せん断ひずみに対する剛性低下の影響は小さいことを確認した。

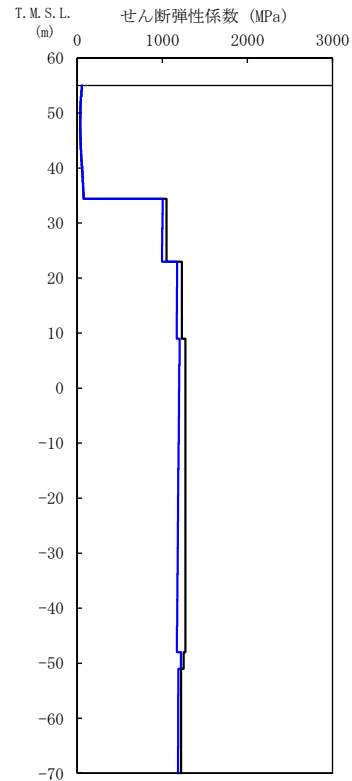
「4.1 中央地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響」に示した既往データに基づく検討結果と、追加調査結果を考慮した検討結果を比較し、以下の内容について確認した。

- ・AA周辺、F施設周辺、AG及びGAについて、追加調査結果を考慮した応答は、既往データに基づく応答と応答スペクトルのピークの位置は整合しており、応答スペクトルの大きさは、同程度の大きさとなっている。また、線形条件と非線形条件の応答の関係性も同様の傾向となっていることを確認した。
- ・AE及びDCについて、追加調査結果を考慮した応答は、既往データに基づく応答と応答スペクトルのピークの位置は整合している。応答スペクトルの大きさは、追加調査結果を考慮することによる速度構造の変化の影響が表れ、応答スペクトルの大小関係に差が生じている周期帯が見られるものの、線形条件と非線形条件の応答の関係性も同様の傾向となっていることを確認した。

以上のことより、既往データに基づく検討結果及び追加調査結果を考慮した物性値等に基づく検討結果のいずれであっても、剛性の非線形性が入力地震動に及ぼす影響は小さいことを確認した。



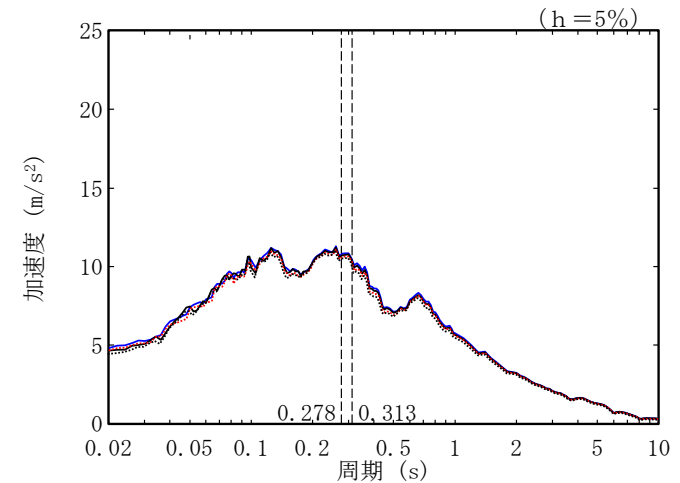
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AB基礎底面						
34.39	細粒砂岩	18.3	1050	1000	0.952	0.03
23.00		18.3	1230	1171	0.952	0.03
9.00		18.0	1270	1187	0.935	0.03
-48.00	泥岩 (下部層)	17.8	1250	1218	0.974	0.03
-51.00		17.4	1220	1185	0.971	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	—	17.4	1220	1220	1.000	0.03

(c) 収束物性値

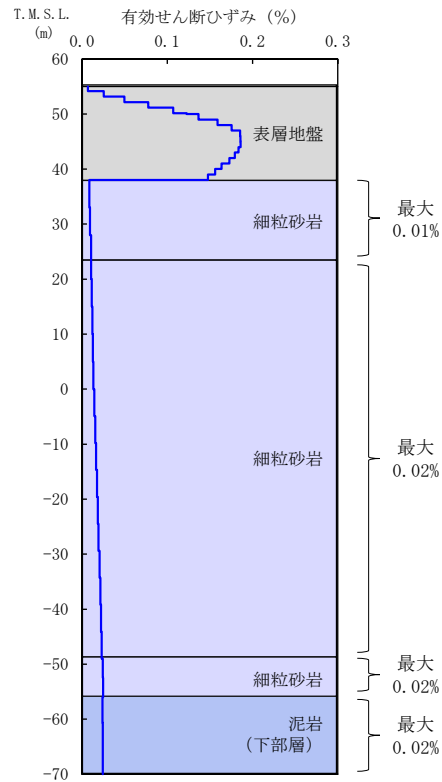


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-2-1 分離建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

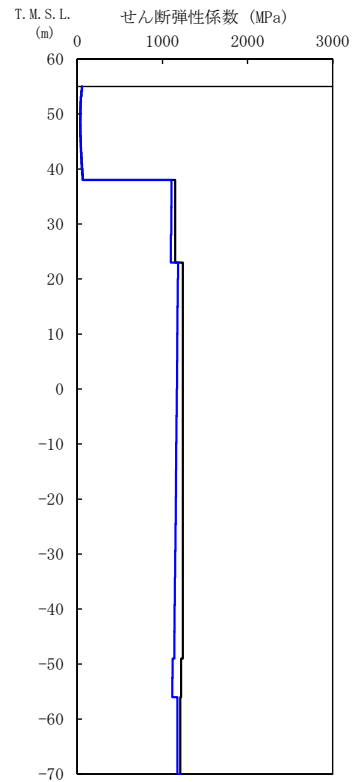
(d) 加速度応答スペクトル

(凡例) ——— 初期物性値
 ——— 初期物性値 (追加調査孔非考慮)
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値 (追加調査孔非考慮)

第 6.1-1 図 追加調査孔を考慮した地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, AA 周辺, AB)



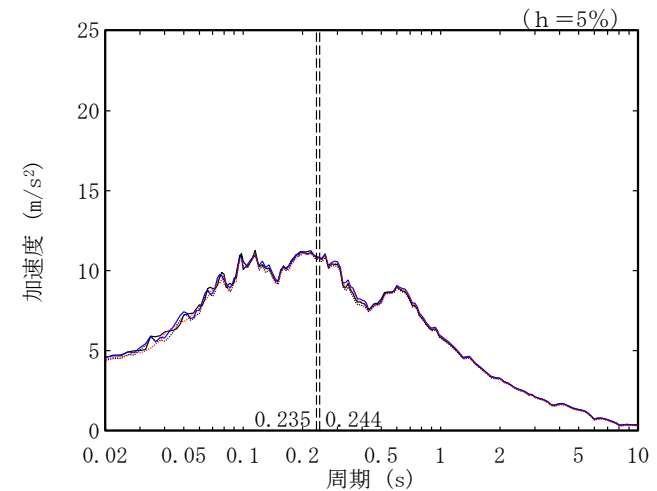
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽FA基礎底面						
38.00	細粒砂岩	18.5	1150	1104	0.960	0.03
23.00		18.0	1240	1162	0.937	0.03
-49.00		17.4	1220	1118	0.916	0.03
-56.00	泥岩 (下部層)	17.3	1210	1176	0.972	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	—	17.3	1210	1210	1.000	0.03

(c) 収束物性値

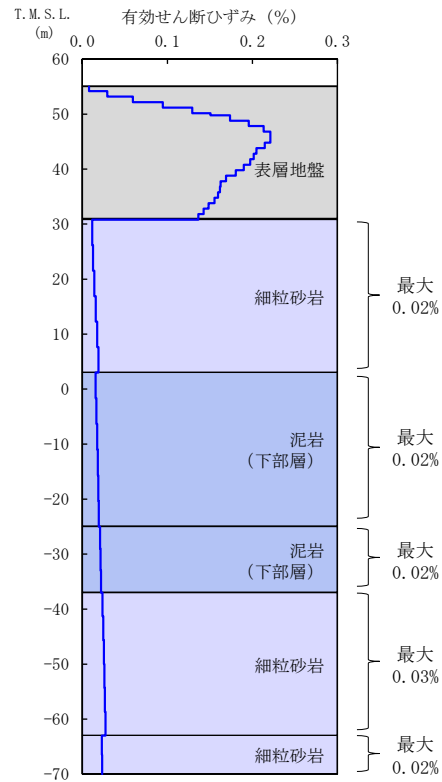


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1-1 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

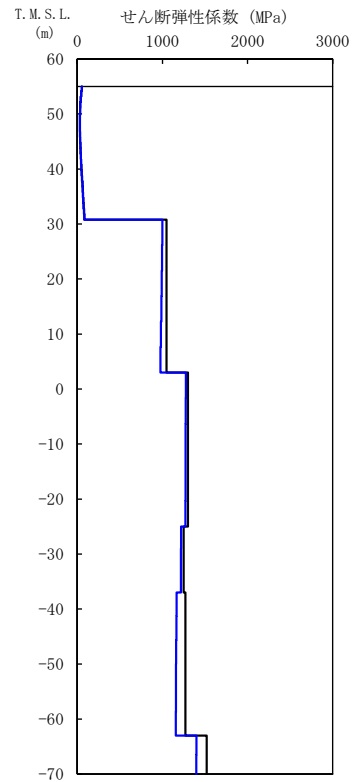
(d) 加速度応答スペクトル

(凡例) ——— 初期物性値
 初期物性値 (追加調査孔非考慮)
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 等価線形解析による収束物性値 (追加調査孔非考慮)

第 6.1-2 図 追加調査孔を考慮した地盤の等価線形解析結果 (S_s -A, F 施設周辺, FA)



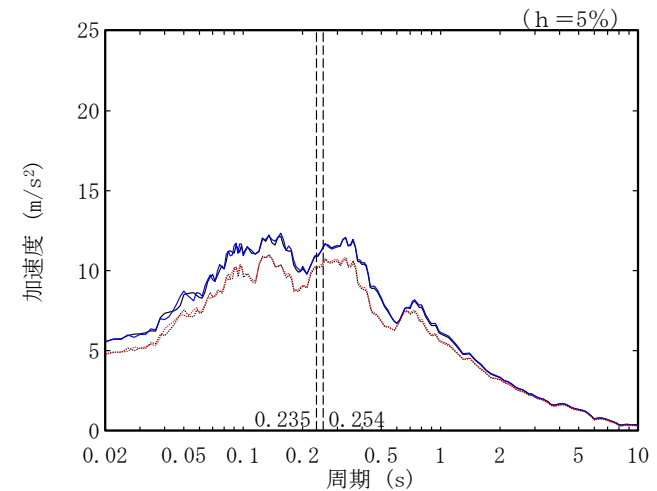
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AE基礎底面						
30.80	細粒砂岩	17.9	1050	989	0.942	0.03
3.00						
-25.00	泥岩 (下部層)	17.7	1300	1273	0.979	0.03
-37.00						
-37.00	泥岩 (下部層)	17.0	1250	1219	0.975	0.03
-63.00						
-63.00	細粒砂岩	17.3	1270	1161	0.914	0.03
▽解放基盤表面						
-70.00	—	18.4	1520	1398	0.920	0.03
					1.000	0.03

(c) 収束物性値

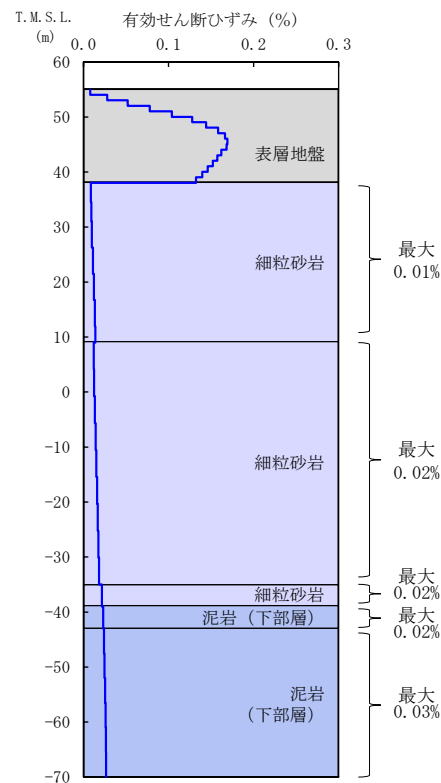


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1-1-1 ハル・エンドピース貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

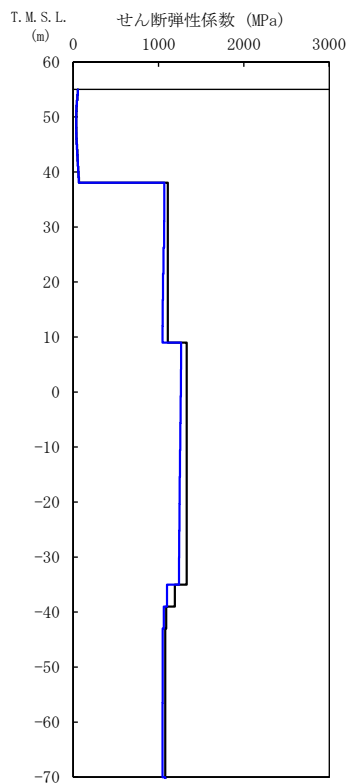
(d) 加速度応答スペクトル

(凡例) ——— 初期物性値
 ——— 初期物性値 (追加調査孔非考慮)
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値 (追加調査孔非考慮)

第 6.1-3 図 追加調査孔を考慮した地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, AE)



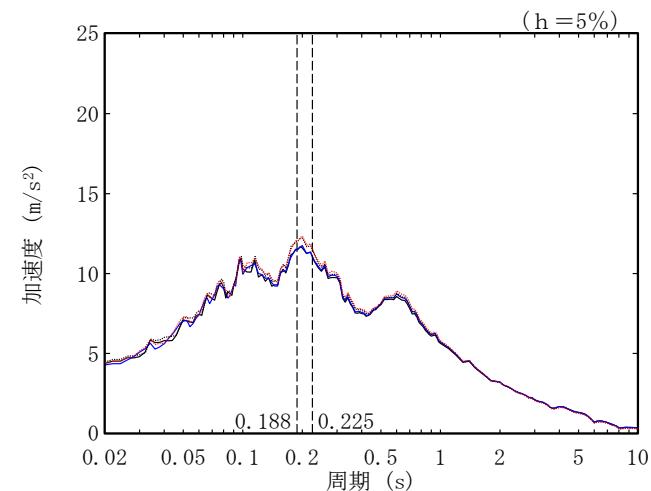
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AG基礎底面						
38.05	細粒砂岩	18.3	1110	1058	0.953	0.03
9.00		18.0	1330	1252	0.941	0.03
-35.00		18.2	1190	1100	0.924	0.03
-39.00	泥岩 (下部層)	16.7	1090	1061	0.973	0.03
-43.00		17.0	1080	1049	0.971	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	17.0	1080	1080	1.000	0.03

(c) 収束物性値



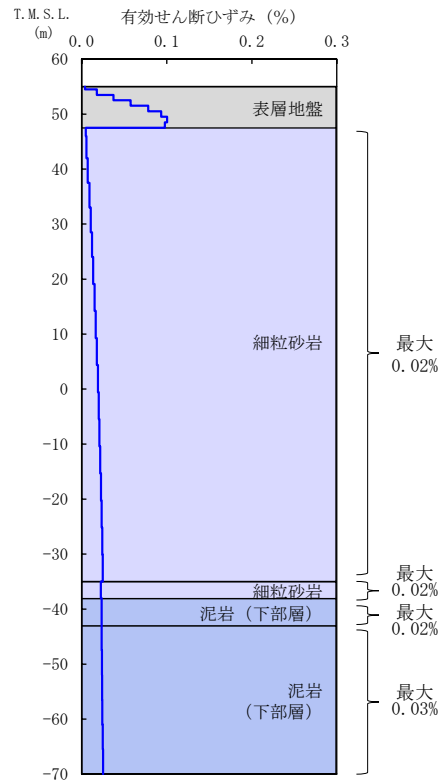
* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-6-1 制御建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

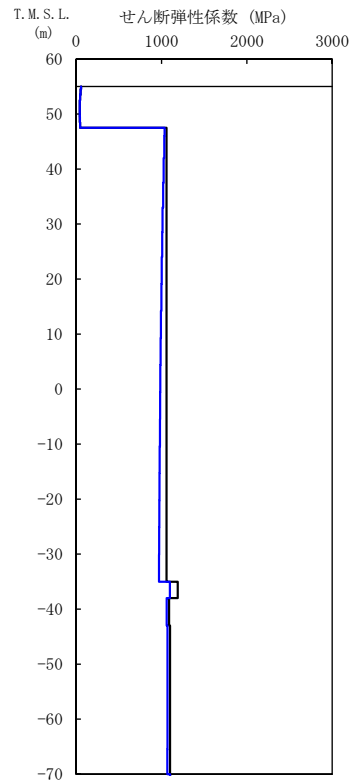
(凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値

..... 初期物性値 (追加調査孔非考慮)
 等価線形解析による収束物性値 (追加調査孔非考慮)

第 6.1-4 図 追加調査孔を考慮した地盤の等価線形解析結果 (S_s -A, AG)



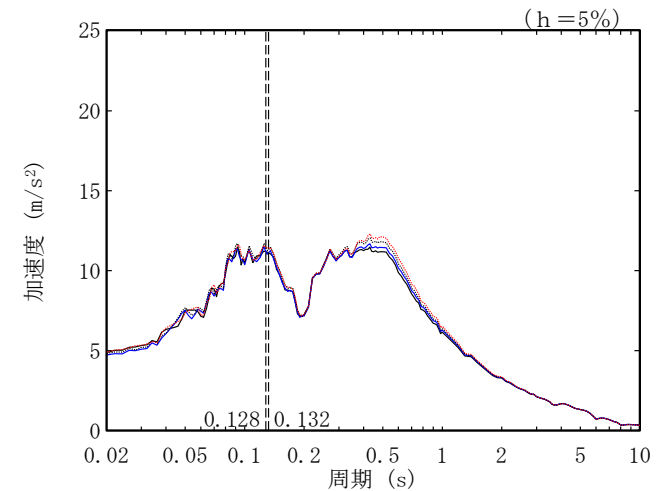
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽GA基礎底面						
47.50						
-35.00	細粒砂岩	18.0	1060	994	0.938	0.03
-38.00		18.2	1190	1097	0.922	0.03
-43.00	泥岩 (下部層)	16.7	1090	1061	0.973	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00		17.3	1100	1069	0.972	0.03
	-	17.3	1100	1100	1.000	0.03

(c) 収束物性値

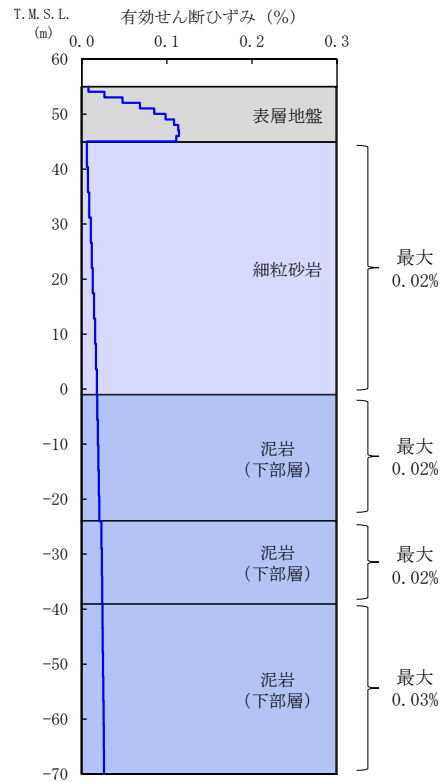


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1 3-1 非常用電源建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

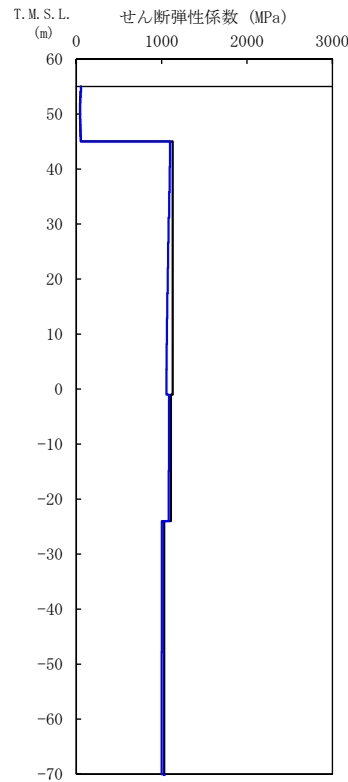
(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 初期物性値 (追加調査孔非考慮)
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値 (追加調査孔非考慮)

第 6.1-5 図 追加調査孔を考慮した地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, GA)



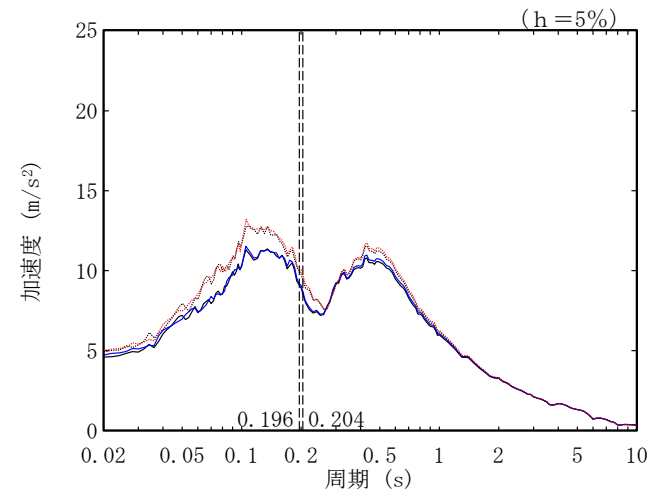
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T.M.S.L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽DC基礎底面						
45.03	細粒砂岩	18.1	1130	1075	0.951	0.03
-1.00		17.1	1110	1085	0.977	0.03
-24.00	泥岩 (下部層)	17.0	1030	1002	0.973	0.03
-39.00		17.1	1030	1000	0.971	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	—	17.1	1030	1030	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-10-1 チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 初期物性値 (追加調査孔非考慮)
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値 (追加調査孔非考慮)

第 6.1-6 図 追加調査孔を考慮した地盤の等価線形解析結果 (S_s -A, DC)

6.2 東側地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響

第 6.2-1 図～第 6.2-4 図に各グループにおける基準地震動 S_s -A に対する等価線形解析の結果として、地盤の有効せん断ひずみ分布、収束剛性分布、収束物性値及び各建屋の基礎底面レベルにおける入力地震動の加速度応答スペクトルを示す。なお、加速度応答スペクトルについては、「4. 基準地震動 S_s -A の地盤応答解析結果」に示す加速度応答スペクトルも重ねて示す。

地盤の等価線形解析の結果、AC、CA、CB 及び AZ 周辺の各岩種の有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 は以下のとおりとなっていることを確認した。なお、以下に記載する最大有効せん断ひずみの値については、上記 4 グループの中で最大の値を、剛性低下率 G/G_0 については、上記 4 グループの中で最小の値を記載している。

- ・ 砂質軽石凝灰岩：最大有効せん断ひずみ 0.02%，剛性低下率 G/G_0 0.928
- ・ 凝灰岩：最大有効せん断ひずみ 0.03%，剛性低下率 G/G_0 0.879
- ・ 軽石凝灰岩：最大有効せん断ひずみ 0.03%，剛性低下率 G/G_0 0.877
- ・ 軽石質砂岩：最大有効せん断ひずみ 0.02%，剛性低下率 G/G_0 0.897
- ・ 軽石混り砂岩：最大有効せん断ひずみ 0.02%，剛性低下率 G/G_0 0.866
- ・ 細粒砂岩：最大有効せん断ひずみ 0.02%，剛性低下率 G/G_0 0.931

基礎底面レベルの加速度応答スペクトルの比較結果から、線形条件と等価線形解析の結果については、AC、CA、CB 及び AZ 周辺において周期特性に顕著な乖離はみられない。建屋の 1 次固有周期において、AC、CA 及び CB については同程度の応答となっていることから、0.02%～0.03%程度の有効せん断ひずみに対する剛性低下の影響は小さいことを確認した。また、AZ については、建屋の 1 次固有周期において、応答に若干の差がみられることを確認した。

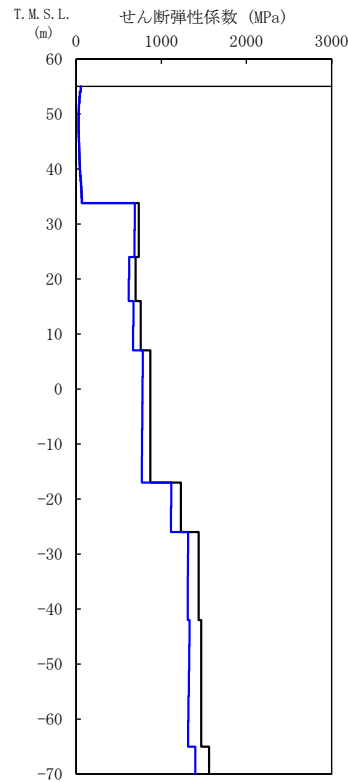
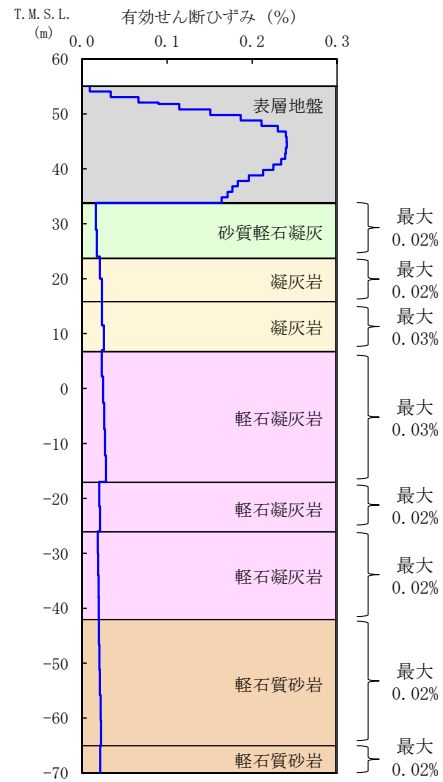
「4.2 東側地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響」に示した既往データに基づく検討結果と、追加調査結果を考慮した検討結果を比較し、以下の内容について確認した。

- ・ AC について、追加調査結果を考慮した応答と、既往データに基づく応答は概ね同程度の大きさとなっており、応答スペクトルのピーク的位置は整合している。また、線形条件と非線形条件の応答の関係性も同様の傾向となっていることを確認した。0.3s では、追加調査結果を考

慮した物性値等に基づく応答が既往データに基づく応答と比べ小さくなっているが、これは、「別紙 2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」にて、追加調査孔を考慮することで解放基盤表面付近の S 波速度が若干小さく設定され、解放基盤表面から基礎底面レベルまでの速度のコントラストが小さくなったためと考えられる。

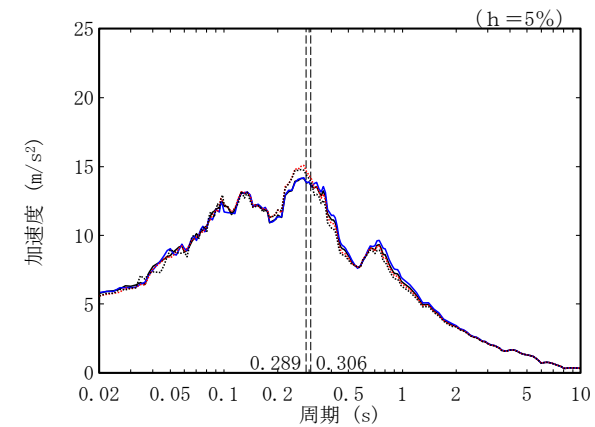
- ・ CA については、周期 1~2s 程度以下の周期帯において、追加調査結果を考慮した応答と既往データに基づく応答若干の差が見られるが、応答スペクトルのピーク的位置は整合している。また、線形条件と非線形条件の応答の関係性も同様の傾向となっていることを確認した。
- ・ CB 及び AZ については、追加調査結果を考慮した応答は、周期 1~2s 程度以下の周期帯において、既往データに基づく応答を上回っているが、応答スペクトルのピーク的位置は整合している。また、線形条件と非線形条件の応答の関係性も同様の傾向となっていることを確認した。

以上のことより、既往データに基づく検討結果及び追加調査結果を考慮した物性値等に基づく検討結果のいずれであっても、AC, CA 及び CB について剛性の非線形性が入力地震動に及ぼす影響は小さいことを確認した。また、AZ については、建屋の 1 次固有周期において、応答に若干の差がみられることを確認した。



T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AC基礎底面						
33.80	砂質軽石凝灰岩	16.1	736	688	0.935	0.03
24.00	凝灰岩	15.7	697	621	0.891	0.03
16.00		15.2	759	670	0.883	0.03
7.00	軽石凝灰岩	15.6	871	776	0.891	0.03
-17.00		16.3	1230	1115	0.907	0.03
-26.00	軽石質砂岩	16.7	1440	1312	0.911	0.03
-42.00		17.1	1470	1323	0.900	0.03
-65.00	軽石質砂岩	18.4	1560	1400	0.897	0.03
▽解放基礎表面		-	18.4	1560	1560	1.000

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-3-1 精製建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の1次固有周期 (NS,EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

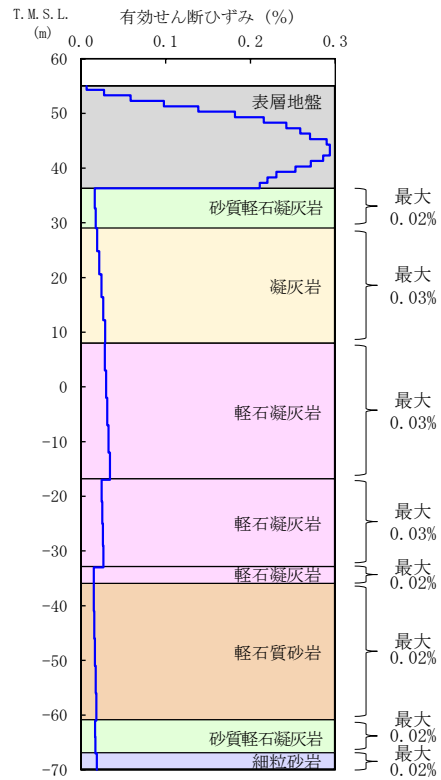
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

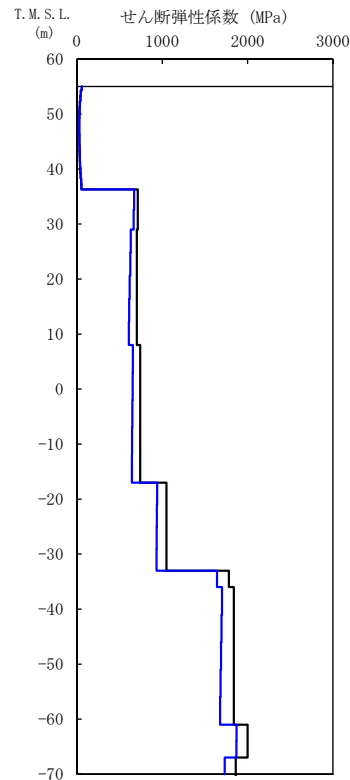
(凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値

..... 初期物性値 (追加調査孔非考慮)
 等価線形解析による収束物性値 (追加調査孔非考慮)

第 6.2-1 図 追加調査孔を考慮した地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, AC)



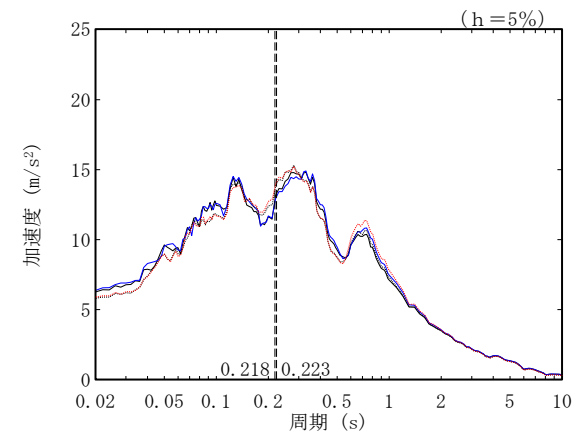
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単体体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽CA基礎底面						
36.30	砂質軽石凝灰岩	16.6	714	667	0.934	0.03
29.00	凝灰岩	15.8	701	619	0.883	0.03
8.00		14.4	741	650	0.877	0.03
-17.00	軽石凝灰岩	15.0	1050	936	0.891	0.03
-33.00		17.9	1780	1641	0.922	0.03
-36.00	軽石質砂岩	18.0	1840	1688	0.917	0.03
-61.00	砂質軽石凝灰岩	19.6	2000	1870	0.935	0.03
-67.00	細粒砂岩	18.3	1860	1732	0.931	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	18.3	1860	1860	1.000	0.03

(c) 収束物性値

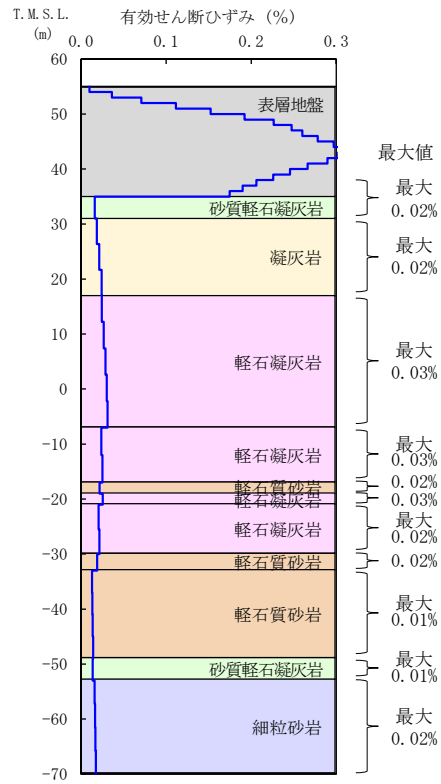


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-4-1 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

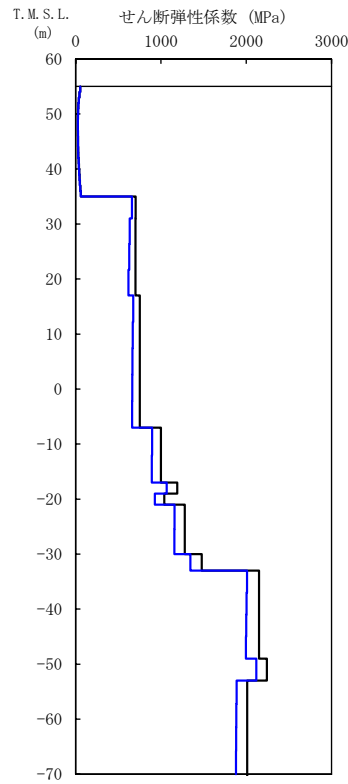
(d) 加速度応答スペクトル

(凡例) ——— 初期物性値
 ——— 初期物性値 (追加調査孔非考慮)
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値 (追加調査孔非考慮)

第 6.2-2 図 追加調査孔を考慮した地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, CA)



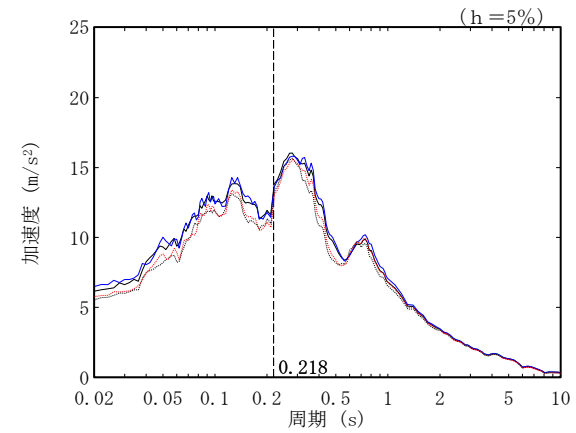
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽CB基礎底面						
35.00	砂質軽石凝灰岩	15.8	704	660	0.938	0.03
31.00	凝灰岩	16.3	701	627	0.894	0.03
17.00		15.1	754	667	0.885	0.03
-7.00	軽石凝灰岩	15.7	999	894	0.895	0.03
-17.00	軽石質砂岩	18.7	1190	1068	0.897	0.03
-19.00		16.4	1040	927	0.891	0.03
-21.00	軽石凝灰岩	16.6	1280	1158	0.905	0.03
-30.00		18.7	1480	1346	0.909	0.03
-33.00	軽石質砂岩	19.5	2150	2002	0.931	0.03
-49.00	砂質軽石凝灰岩	20.3	2240	2117	0.945	0.03
-53.00		18.2	2010	1877	0.934	0.03
▽解放基礎底面						
-70.00	細粒砂岩	18.2	2010	2010	1.000	0.03

(c) 収束物性値

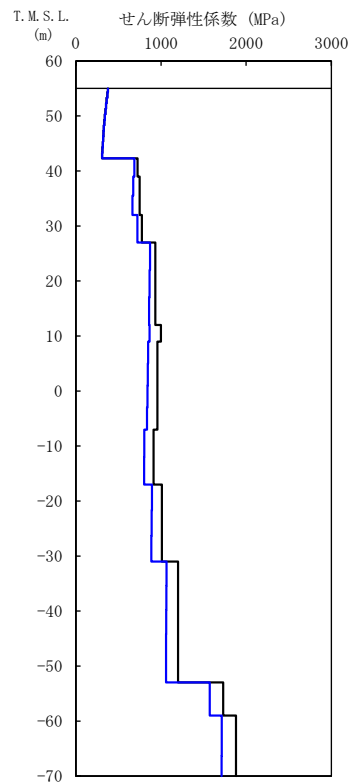
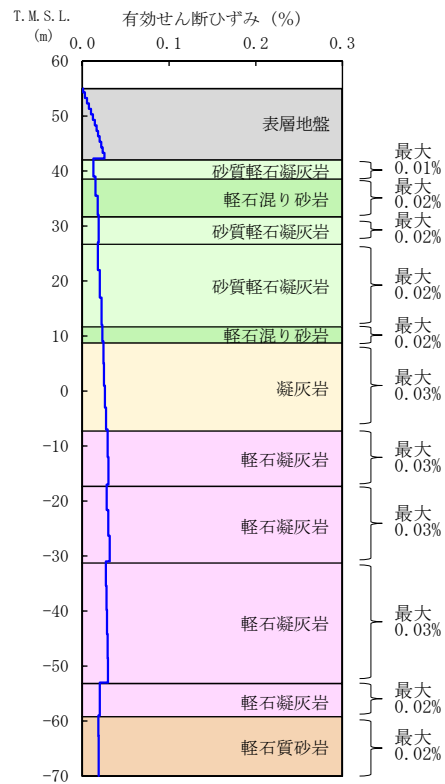


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-5-1 ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A の建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

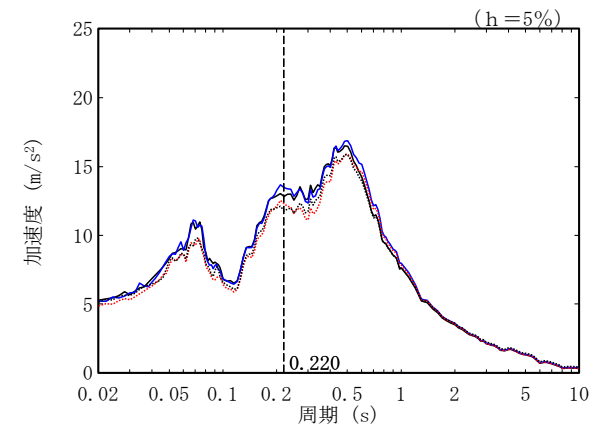
- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 初期物性値 (追加調査孔非考慮)
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値 (追加調査孔非考慮)

第 6.2-3 図 追加調査孔を考慮した地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, CB)



T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AZ基礎底面						
42.30	砂質軽石凝灰岩	14.5	725	688	0.949	0.03
39.00	軽石混り砂岩	15.0	749	670	0.895	0.03
32.00	軽石混り砂岩	15.1	776	723	0.932	0.03
27.00	砂質軽石凝灰岩	16.3	934	867	0.928	0.03
12.00	軽石混り砂岩	17.0	1000	866	0.866	0.03
9.00	凝灰岩	16.3	959	843	0.879	0.03
-7.00	軽石凝灰岩	15.1	913	805	0.882	0.03
-17.00		14.4	1010	890	0.881	0.03
-31.00	軽石凝灰岩	15.5	1200	1062	0.885	0.03
-53.00		18.0	1730	1573	0.909	0.03
-59.00	軽石質砂岩	18.4	1880	1712	0.911	0.03
▽解放基盤表面						
-70.00	-	18.4	1880	1880	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-2 1-1 緊急時対策建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS,EW) を示す。

(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 初期物性値 (追加調査孔非考慮)
 等価線形解析による収束物性値 (追加調査孔非考慮)

第 6.2-4 図 追加調査孔を考慮した地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, AZ 周辺, AZ)

6.3 西側地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響

第 6.3-1 図に各グループにおける基準地震動 S_s-A に対する等価線形解析の結果として、地盤の有効せん断ひずみ分布、収束剛性分布、収束物性値及び各建屋の基礎底面レベルにおける入力地震動の加速度応答スペクトルを示す。なお、加速度応答スペクトルについては、「4. 基準地震動 S_s-A の地盤応答解析結果」に示す加速度応答スペクトルも重ねて示す。

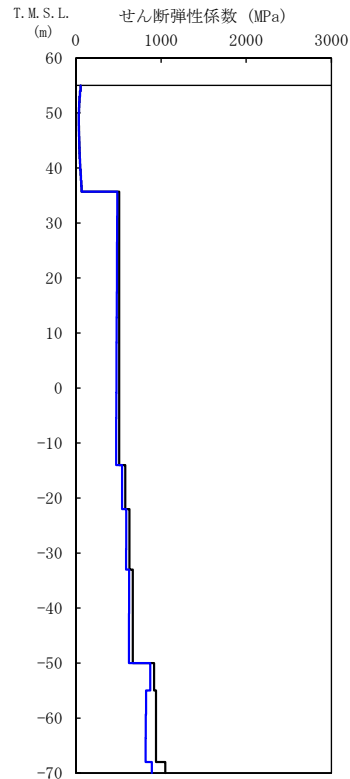
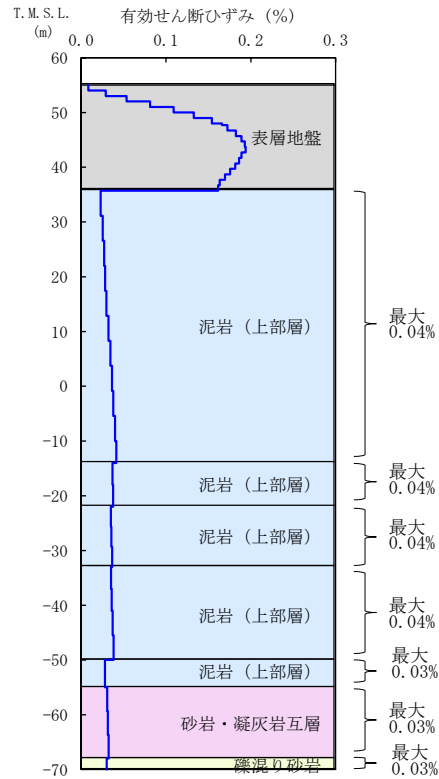
地盤の等価線形解析の結果、各岩種の有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 は以下のとおりとなっていることを確認した。なお、以下に記載する最大有効せん断ひずみの値については、最大の値を、剛性低下率 G/G_0 については、最小の値を記載している。

- ・泥岩(上部層):最大有効せん断ひずみ 0.04%, 剛性低下率 G/G_0 0.936
- ・砂岩・凝灰岩互層:最大有効せん断ひずみ 0.03%, 剛性低下率 G/G_0 0.873
- ・礫混り砂岩:最大有効せん断ひずみ 0.03%, 剛性低下率 G/G_0 0.850

基礎底面レベルの加速度応答スペクトルの比較結果から、線形条件と等価線形解析の結果については、周期特性に顕著な乖離がないこと、また、建屋の 1 次固有周期において同程度の応答となることから、西側地盤のグループにおいて、0.03%~0.04% 程度の有効せん断ひずみに対する剛性低下の影響は小さいことを確認した。

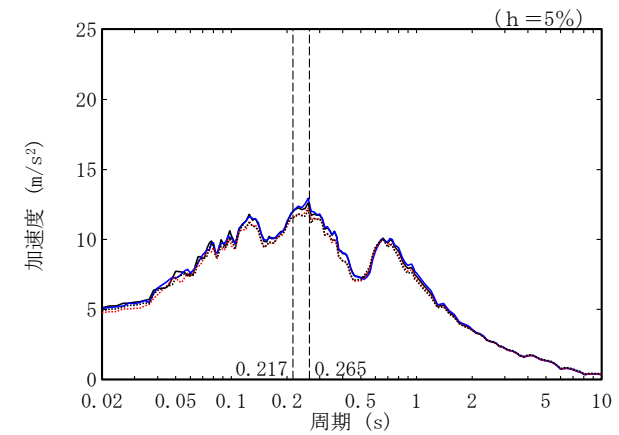
「4.3 西側地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響」に示した既往データに基づく検討結果と、追加調査結果を考慮した検討結果を比較すると、加速度応答スペクトルの比較結果より、追加調査結果を考慮した応答は、既往データに基づく応答よりも若干大きくなっているものの、応答スペクトルのピークの位置は整合している。また、線形条件と非線形条件の応答の関係性も同様の傾向となっていることを確認した。

以上のことより、既往データに基づく検討結果及び追加調査結果を考慮した物性値等に基づく検討結果のいずれであっても、剛性の非線形性が入力地震動に及ぼす影響は小さいことを確認した。



T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽FB基礎底面						
35.70	泥岩 (上部層)	15.9	508	479	0.943	0.03
-14.00		15.8	580	543	0.936	0.03
-22.00		16.1	630	591	0.938	0.03
-33.00		16.0	667	625	0.937	0.03
-50.00		17.4	918	872	0.950	0.03
-55.00	砂岩・凝灰岩互層	16.4	940	821	0.873	0.03
-68.00	礫混り砂岩	16.9	1050	892	0.850	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	16.9	1050	1050	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「II-2-1-1-1-1-1 ガラス固化体貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(d) 加速度応答スペクトル

(凡例) ——— 初期物性値
 ——— 初期物性値 (追加調査孔非考慮)
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値 (追加調査孔非考慮)

第 6.3-1 図 追加調査孔を考慮した地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, E 施設周辺, EB)

7. 「基本地盤モデル」における岩盤部分の剛性の非線形性の設定

本資料においては、岩盤部分の剛性の非線形性が入力地震動に及ぼす影響についての検討を行い、岩盤部分の剛性の非線形性を考慮した場合の影響は小さいことを確認した。

上記を踏まえ、「基本地盤モデル」の設定にあたって、岩盤部分は線形条件とする。

なお、AZ 周辺及び G14 では、加速度応答スペクトルに若干の差がみられることから、「基本地盤モデル」におけるその他のパラメータの保守性等も考慮したうえで、線形又は非線形の条件を設定する。

参考 1

固有値解析結果

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 固有値解析結果	1

1. 概要

底面地盤ばねのばね定数について、等価線形解析による収束物性値の結果が初期物性値による結果に比べて最大で 12%~14%程度小さくなり、岩盤部分の剛性低下による影響が他の建屋に比べて比較的大きいと考えられる CA, CB 及び G14 について、建屋の地震応答解析モデルの固有周期の確認を行う。

2. 固有値解析結果

CA, CB 及び G14 の固有値解析結果及び刺激係数図を第 2-1 表~第 2-12 表に示す。各方向の主要な固有モードにおける固有振動数について、初期物性値による結果と等価線形解析による収束物性値による結果を比較すると、CA 及び CB では最大で 5%程度以内の差であり、G14 では最大で 7%程度以内の差であった。

以上より、地震応答解析モデルの固有周期においては、初期物性値による結果と等価線形解析による収束物性値による結果の差は小さく、剛性低下による影響は小さいものと判断する。

第 2-1 表 CA の固有値解析結果

(a) NS 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.236	0.249	4.24	4.01	0.946
2	0.115	0.122	8.72	8.23	0.944
3	0.064	0.065	15.68	15.42	0.983
4	0.048	0.048	20.96	20.88	0.996

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

(b) EW 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.241	0.255	4.15	3.93	0.947
2	0.117	0.125	8.51	8.02	0.942
3	0.061	0.061	16.53	16.32	0.987
4	0.045	0.045	22.26	22.17	0.996

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

(c) UD 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.148	0.156	6.75	6.40	0.948
2	0.037	0.037	26.93	26.83	0.996

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

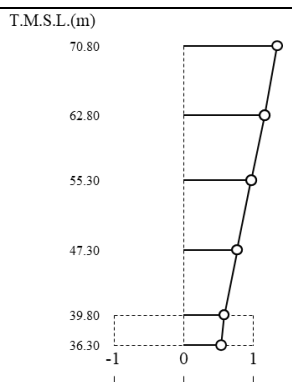
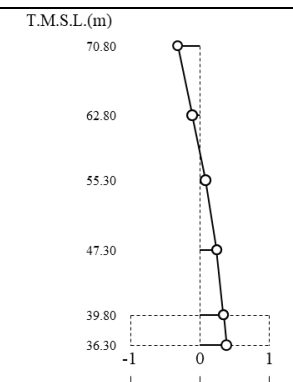
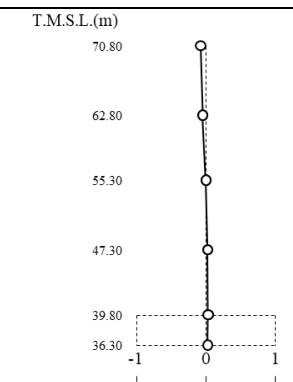
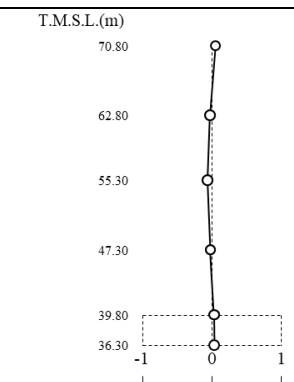
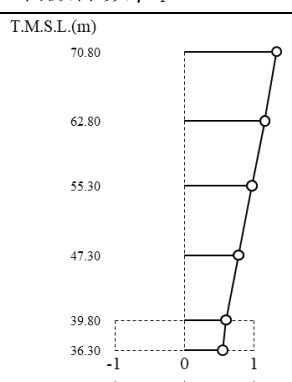
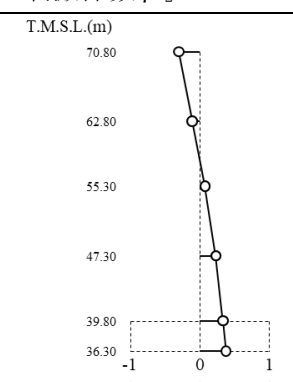
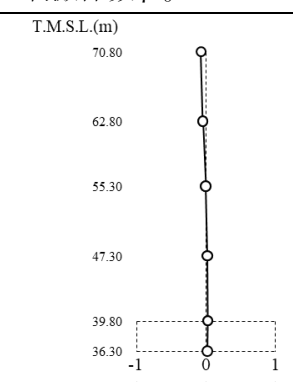
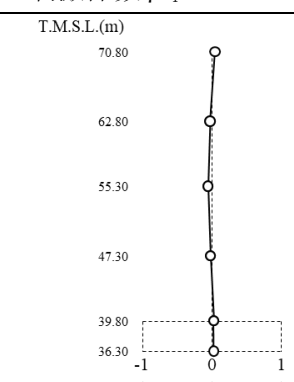
第 2-2 表 CA の刺激係数図 (NS 方向)

	1 次モード	2 次モード	3 次モード	4 次モード
①	<p>刺激係数 $\beta_1 = 1.342$</p>	<p>刺激係数 $\beta_2 = 0.326$</p>	<p>刺激係数 $\beta_3 = -0.072$</p>	<p>刺激係数 $\beta_4 = -0.056$</p>
②	<p>刺激係数 $\beta_1 = 1.324$</p>	<p>刺激係数 $\beta_2 = 0.312$</p>	<p>刺激係数 $\beta_3 = -0.069$</p>	<p>刺激係数 $\beta_4 = -0.048$</p>

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

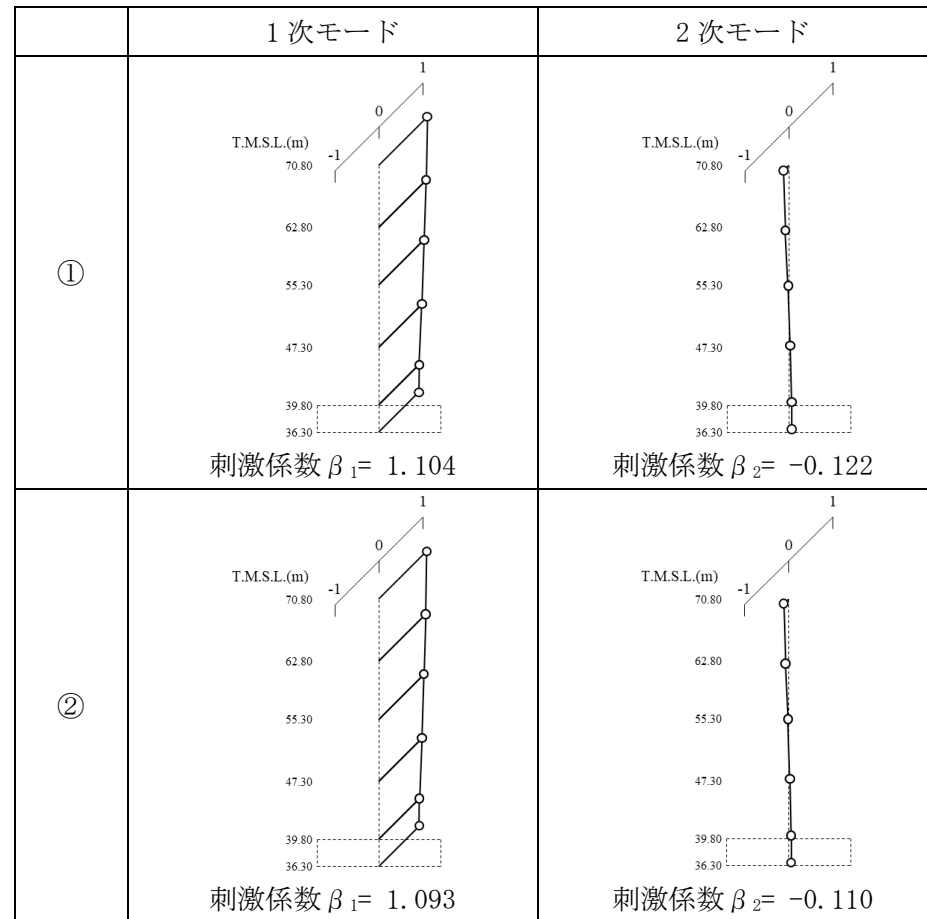
第 2-3 表 CA の刺激係数図 (EW 方向)

	1 次モード	2 次モード	3 次モード	4 次モード
①	 <p>刺激係数 $\beta_1 = 1.342$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_2 = 0.387$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_3 = -0.073$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_4 = -0.060$</p>
②	 <p>刺激係数 $\beta_1 = 1.329$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_2 = 0.379$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_3 = -0.068$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_4 = -0.052$</p>

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

第2-4表 CAの刺激係数図 (UD方向)



① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

第 2-5 表 CB の固有値解析結果

(a) NS 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.221	0.233	4.52	4.30	0.951
2	0.108	0.114	9.25	8.75	0.946
3	0.054	0.055	18.46	18.30	0.991
4	0.045	0.045	22.35	22.31	0.998

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

(b) EW 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.222	0.233	4.51	4.29	0.951
2	0.108	0.114	9.25	8.76	0.947
3	0.048	0.049	20.76	20.59	0.992
4	0.037	0.037	26.94	26.79	0.994

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

(c) UD 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.139	0.147	7.19	6.82	0.949
2	0.030	0.030	33.14	33.03	0.997

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

第2-6表 CBの刺激係数図 (NS方向)

	1次モード	2次モード	3次モード	4次モード
①	<p>刺激係数 $\beta_1 = 1.409$</p>	<p>刺激係数 $\beta_2 = -0.394$</p>	<p>刺激係数 $\beta_3 = -0.185$</p>	<p>刺激係数 $\beta_4 = 0.235$</p>
②	<p>刺激係数 $\beta_1 = 1.395$</p>	<p>刺激係数 $\beta_2 = 0.382$</p>	<p>刺激係数 $\beta_3 = -0.167$</p>	<p>刺激係数 $\beta_4 = 0.206$</p>

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

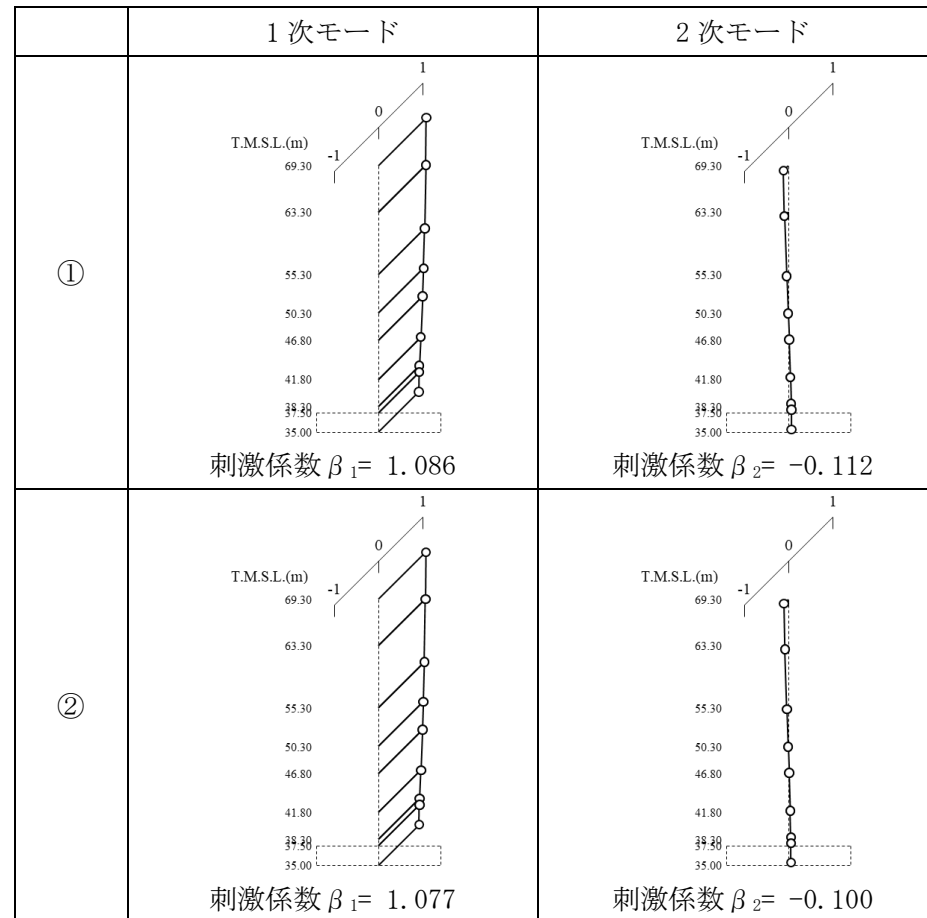
第2-7表 CBの刺激係数図 (EW方向)

	1次モード	2次モード	3次モード	4次モード
①	<p>刺激係数 $\beta_1 = 1.376$</p>	<p>刺激係数 $\beta_2 = 0.406$</p>	<p>刺激係数 $\beta_3 = -0.080$</p>	<p>刺激係数 $\beta_4 = 0.084$</p>
②	<p>刺激係数 $\beta_1 = 1.367$</p>	<p>刺激係数 $\beta_2 = 0.404$</p>	<p>刺激係数 $\beta_3 = -0.073$</p>	<p>刺激係数 $\beta_4 = 0.073$</p>

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

第 2-8 表 CB の刺激係数図 (UD 方向)



① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

第 2-9 表 G14 の固有値解析結果

(a) NS 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.228	0.242	4.38	4.14	0.945
2	0.121	0.129	8.30	7.75	0.934
3	0.061	0.061	16.42	16.34	0.995
4	0.044	0.044	22.75	22.74	0.9996

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

(b) EW 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.229	0.242	4.37	4.13	0.945
2	0.133	0.143	7.52	6.99	0.930
3	0.059	0.059	16.88	16.84	0.998
4	0.038	0.038	26.41	26.40	0.9996

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

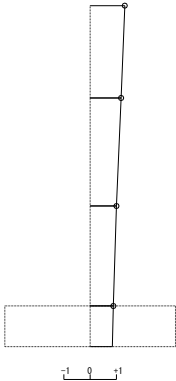
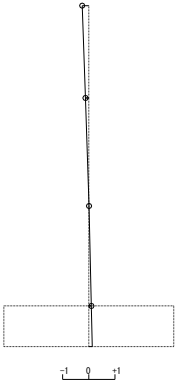
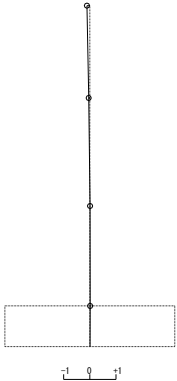
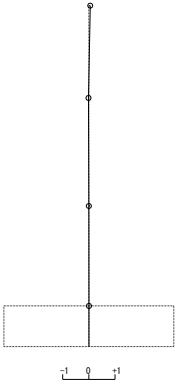
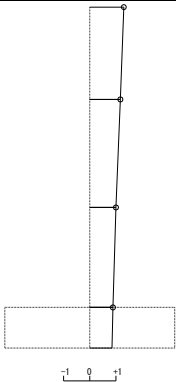
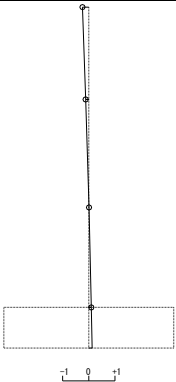
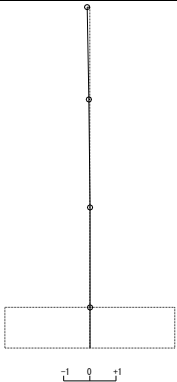
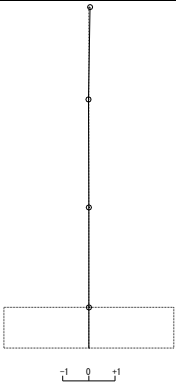
(c) UD 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.166	0.178	6.02	5.63	0.935
2	0.028	0.028	36.36	36.34	0.999

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

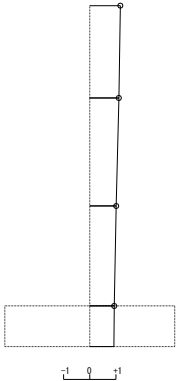
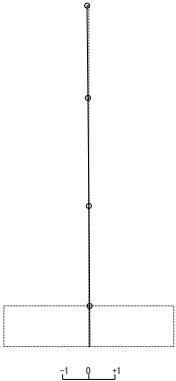
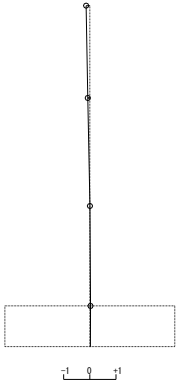
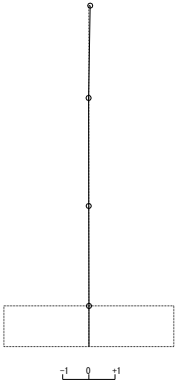
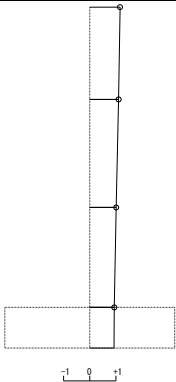
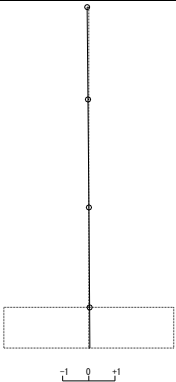
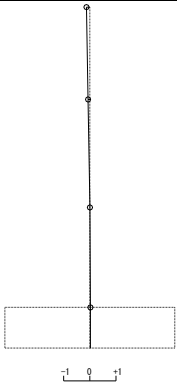
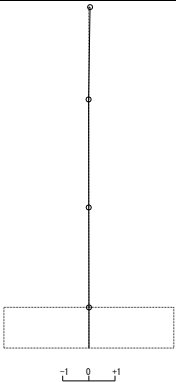
第 2-10 表 G14 の刺激係数図 (NS 方向)

	1 次モード	2 次モード	3 次モード	4 次モード
①	 <p>刺激係数 $\beta_1 = 1.317$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_2 = -0.254$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_3 = -0.111$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_4 = 0.054$</p>
②	 <p>刺激係数 $\beta_1 = 1.301$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_2 = -0.241$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_3 = -0.102$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_4 = 0.048$</p>

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

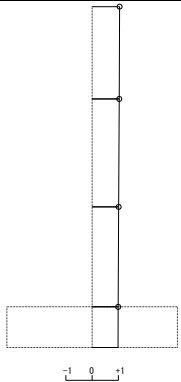
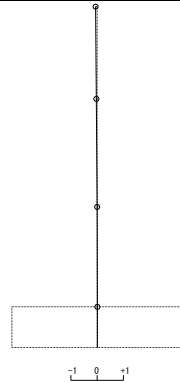
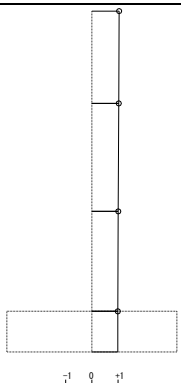
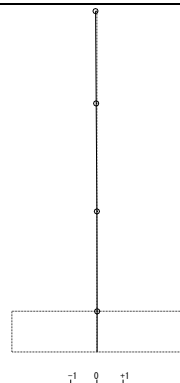
第 2-11 表 G14 の刺激係数図 (EW 方向)

	1 次モード	2 次モード	3 次モード	4 次モード
①	 <p>刺激係数 $\beta_1 = 1.171$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_2 = -0.065$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_3 = -0.145$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_4 = 0.054$</p>
②	 <p>刺激係数 $\beta_1 = 1.158$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_2 = -0.063$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_3 = -0.128$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_4 = 0.047$</p>

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

第 2-12 表 G14 の刺激係数図 (UD 方向)

	1 次モード	2 次モード
①	 <p>刺激係数 $\beta_1 = 1.046$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_2 = -0.060$</p>
②	 <p>刺激係数 $\beta_1 = 1.040$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_2 = -0.052$</p>

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

別紙 2 - 3

岩盤部分の減衰定数に係る検討について

- ・ 本資料の前回提出版（R8）からの変更点としては、「4.2 岩石コア試験による評価結果」にて岩石コア試験結果の追記及び「5.2 材料減衰に係る分析」における岩石コア試験結果に関する三軸圧縮試験結果との比較分析結果を追記している。
- ・ 本資料に記載のデータ及びそれに基づく考察等は、現時点において得られているデータに基づくものであり、以下の内容については、今後記載の追加を行う旨、資料中に□で示す。
- ・ R8 にて追加した「5. データの分析」における各手法に基づくデータの分析結果に基づき、今後、「6. 「基本地盤モデル」に考慮するパラメータの設定について」において、基本地盤モデルに設定する減衰定数の設定に係る検討を行う。

目 次

	ページ
1. はじめに	1
2. 敷地における減衰定数の検討に用いるデータの整理方針	4
2.1 地盤の減衰定数に係る一般的・標準的な評価手法の整理	4
2.1.1 JEAG4601-2015における評価手法.....	4
2.1.2 JEAG4601-1987における評価手法.....	5
2.2 散乱減衰を考慮可能な手法の違いについて	10
3. 敷地における減衰定数に係るデータの取得方法	11
3.1 既認可時点における評価の考え方	11
3.2 第2回申請対象施設における評価の考え方	13
3.3 敷地における減衰定数の評価方法	16
3.3.1 三軸圧縮試験による評価方法	19
3.3.2 岩石コア試験による評価方法	20
3.3.3 S波検層による評価方法.....	21
3.3.4 地震観測記録を用いた同定及び地震波干渉法による評価	22
4. データの取得及び整理	23
4.1 三軸圧縮試験による評価結果	23
4.2 岩石コア試験による評価結果	32
4.3 敷地におけるS波検層による評価結果	51
4.3.1 既往のS波検層データ	51
4.3.2 追加のS波検層データ	54
4.4 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価結果	64
4.4.1 地震観測記録を用いた減衰定数の評価方法	65
4.4.2 敷地における地震観測の概要	66
4.4.3 評価に用いる地震観測記録	69
4.4.4 初期モデルの設定及び探索範囲	81
4.4.5 目的関数の設定	95
4.4.6 減衰定数の振動数依存特性の考慮	102
4.4.7 評価方法及び条件	106
4.4.8 振動数依存性を考慮する場合の評価結果	108

4.4.9	振動数依存性を考慮しない場合の評価結果	167
a.	伝達関数による評価結果（振動数依存性なし）	167
b.	応答スペクトルによる評価結果（振動数依存性なし）	180
4.5	地震波干渉法による検討	208
4.5.1	評価の概要	208
4.5.2	地震観測記録のスタッキング及び評価に用いる観測記録の抽出	209
4.5.3	減衰定数の推定結果	234
4.6	データの取得結果及び整理結果	236
5.	データの分析	238
5.1	各データが有する振動数特性に係る分析	239
5.1.1	散乱減衰を含むデータに係る評価手法間の比較	239
5.1.2	既往知見との整合性を踏まえた比較	246
5.1.3	各位置において得られたS波検層データの扱いに関する分析	258
5.1.4	各エリアにおける地盤の特徴を捉えた減衰定数の設定に係る検討	263
5.2	材料減衰に係る分析	276
5.2.1	材料減衰に係るデータの評価手法間の関係性	276
5.2.2	各手法により評価された材料減衰と散乱減衰に係る考察	293
5.2.2	地盤の特徴を捉えた減衰定数の非線形性に係る設定	302
5.3	敷地の地盤の特徴を捉えた岩盤部分の減衰定数	303
6.	「基本地盤モデル」に考慮するパラメータの設定	304
6.1	振動数依存特性を考慮しない設定の適用性	305
6.2	減衰定数の非線形性についての検討	307
6.3	鉛直方向の減衰定数の扱い	310
6.4	「基本地盤モデル」に用いるパラメータの設定結果	311
7.	まとめ	312

参考 1 岩盤部分の減衰定数の設定に係る追加調査

参考 2 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価に関する
補足検討結果

1. はじめに

本資料は、第 2 回申請対象施設における地盤モデルのパラメータのうち、岩盤部分の減衰定数について、その設定の考え方を示すものである。

岩盤部分の減衰定数については、本文「3. 入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定プロセス」に基づき、まずは、一般的・標準的な手法に則り、敷地における減衰定数に関するデータを取得・整理する。データの取得にあたっては、その信頼性を確保するとともに、敷地における地盤の特徴を捉える上で不足していると考えられるデータがある場合には、追加調査によりデータの拡充を行うことにより、以後設定する敷地の地盤の特徴を捉えた減衰定数の信頼性を高める。

次に、これらのデータに対し、科学的な観点で各データが有する特徴や、地点間の関係性に係る分析を行うことで、データの持つ物理的な意味合いを把握し、敷地の地盤の特徴を捉えた減衰定数を設定する。

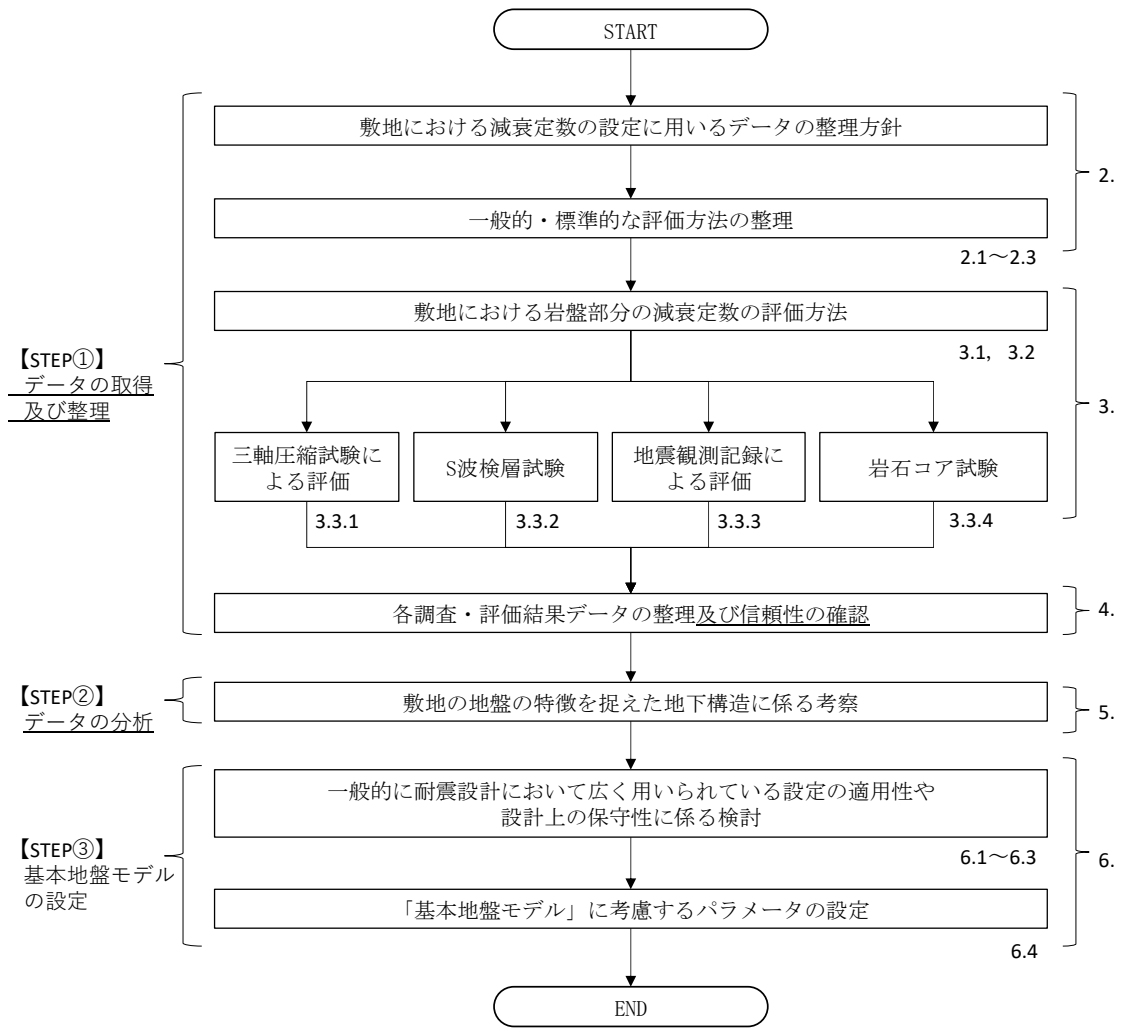
その上で、第 2 回申請対象施設における「基本地盤モデル」の設定にあたり、一般的に耐震設計において広く用いられている設定の適用性や設計上の保守性を考慮した上で、耐震設計上用いるパラメータを設定する。

上記の検討に係るフローを第 1-1 図に示す。

既認可時点においては、岩盤部分の減衰定数について、基準地震動 S2 時の設定値として 3 %としているが、今回設工認においては、地盤の実態を考慮する上で、既認可時と比較して、基準地震動 Ss の増大に伴い地盤の非線形性を考慮する必要性が発生していることや、地盤の検討に関する知見や近年発生した地震の観測記録が得られていることを踏まえ、一般的かつ標準的な減衰定数の設定の考え方として、JEAG4601-1987 に示される複数の設定手法に基づき検討を実施した。

また、既認可時点においては、岩盤部分の減衰定数について、非線形性を考慮せず、地盤のひずみによらず一定の値を設定しているが、今回設工認においては、地盤の実態を考慮する上で、既認可時と比較して基準地震動 Ss が増大しており、岩盤部分についても非線形化により入力地震動の算定への影響が考えられることから、「別紙 2-2 岩盤部分の剛性の非線形性に係る検討に

ついて」において整理している Ss 地震時の岩盤部分のせん断ひずみレベルに対応する減衰定数を確認し，本資料において評価した敷地地盤における減衰定数との関係性について考察を行った。



注記：図中左側に、本文「6. 第2回設工認申請における入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定」に示すSTEPとの対応を示す。また、図中右側に付す番号は本資料において対応する章番号を記載している。

第 1-1 図 検討フロー

2. 敷地における減衰定数の検討に用いるデータの整理方針

敷地における地盤の減衰定数の検討に用いるデータとしては、規格・基準類に基づく一般的・標準的な手法に則り実施された調査または評価結果によるデータを整理する。

2.1 地盤の減衰定数に係る一般的・標準的な評価手法の整理

岩盤部分の減衰定数の設定に係る一般的・標準的な手法である，JEAG4601-2015 及び JEAG4601-1987 に示される評価手法を整理した。

2.1.1 JEAG4601-2015 における評価手法

JEAG4601-2015 では，地盤の減衰定数の設定について，既設発電所における減衰定数の設定に係る調査に基づく慣用値が示されており，「硬岩では減衰定数として 2～3%，軟岩では 3～5%の範囲の値が用いられている」とされている。

2.1.2 JEAG4601-1987における評価手法

JEAG4601-1987では、動的解析用の地盤の物性値を定める上で、地震観測や振動試験などの動的な実現象と整合することの観点で、地盤の物性値を定めるための試験または評価手法が複数示されている。

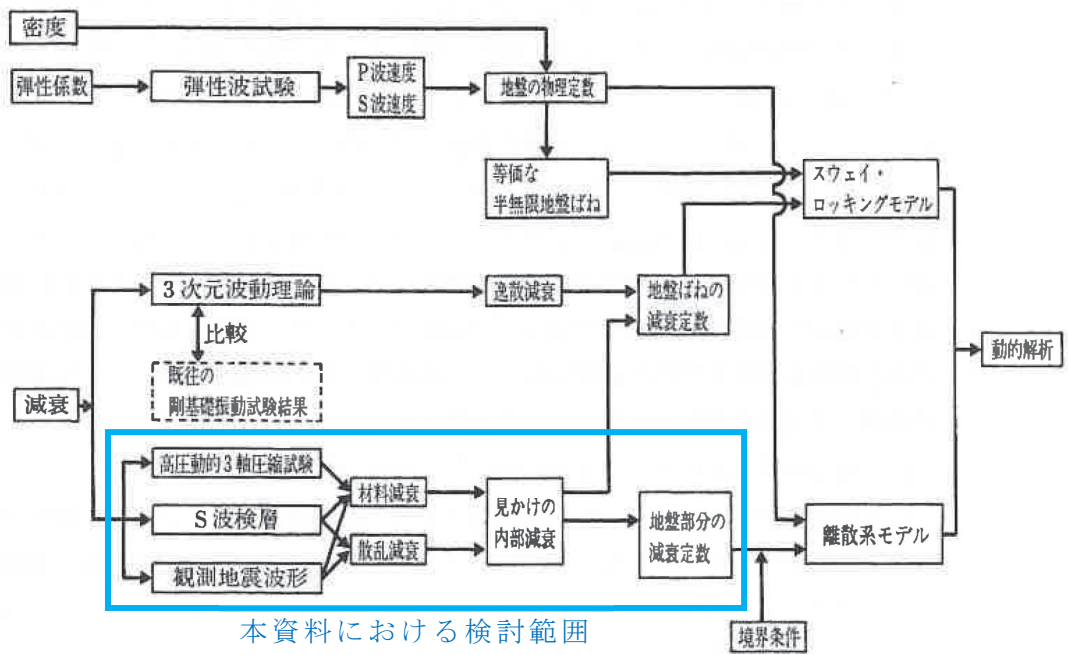
このうち、地盤の減衰定数については、高圧動的三軸圧縮試験（以下、「三軸圧縮試験」という。）、S波検層、地震観測記録に基づく3手法が示されており、それぞれの手法において着目される地盤減衰の因子（材料減衰と散乱減衰）の違いや、既往知見における評価例があわせて示されている。

また、JEAG4601-2015においても、建物・構築物の耐震設計における地震応答解析に用いる地盤の物性値の設定手法について、JEAG4601-1987と同様の3手法が示された上で、地盤の応答解析においては、材料減衰と散乱減衰を含んだものを用いるとされており、また、地震観測結果により減衰定数が算定されている場合には、その減衰定数を参考にすることができるとされている。

第2.1.2-1図に、JEAG4601-1987に記載の地盤の物性値評価のフローを示す。JEAG4601-1987では、地震応答解析において検討の対象となる地盤の減衰としては、以下の2要因が挙げられており、地盤の減衰はこれらが組み合わされたものであるとされている。

- ・材料減衰：地盤内部の非弾性的性質によるもの（ひずみ依存特性に対応）
- ・散乱減衰：地盤の不均質、不連続による境界面での反射などによる波動の逸散によるもの

あわせて、JEAG4601-1987では、(1)～(3)に示すとおり、減衰定数の評価手法についても示されており、地盤の減衰定数を評価する手法ごとに、考慮可能な地盤減衰の因子（材料減衰と散乱減衰）が異なるとされている。



第 2.1.2-1 図 地盤の物性値評価のフロー（JEAG4601-1987 に加筆）

(1) 三軸圧縮試験による評価

JEAG4601-1987において、本手法は、繰返し三軸圧縮試験により、せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を把握するものとされている。

本手法は、振動1サイクル中の最大ひずみエネルギーとその間に消費されるエネルギー、すなわち履歴減衰を評価しているものであり、地盤減衰の因子のうち、材料減衰に相当していることになる。また、ボーリングコアから得られた供試体を用いた試験によるものであることから、原位置における地盤の不均質・不連続による散乱減衰は考慮されていない。

なお、この手法により評価された減衰定数は、添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」及び「II-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示している、敷地における三軸圧縮試験結果に基づく岩種ごとのひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）に対応するものである。

また、表層地盤の減衰定数については、 S_s 地震時に生じる表層地盤のひずみは大きくなると考えられ、散乱減衰よりも材料減衰による寄与が大きくなると考えられることから、本文に示すとおり、三軸圧縮試験結果に基づくひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）のみを考慮することとしている。

(2) S波検層による評価

JEAG4601-1987において、本手法は、ボーリング孔において実施したS波検層の記録波形のうち、直達波と判断される部分の振幅の変化率に基づき、振動数ごとに求めた見かけ上の減衰から、地盤のモデルより求めた幾何減衰及び境界面での反射等による影響を差し引くことで、地盤のモデル上寄与しない薄層や亀裂の影響も含まれた減衰量を評価するものとされている。

このことから、S波検層による評価は、材料減衰と散乱減衰の両方が含まれた減衰定数を評価可能な手法である。

ただし、石田他(1987)*によれば、S波検層による評価は、一般に地震時に比べて、検層時の地盤のひずみレベルが小さく、ターゲットとなる卓越振動数が数十～百数十 Hz レベルであるとされている。

注記 * : 石田他「室内試験, S波検層および観測地震動に基づく地盤の減衰評価」

第15回地盤振動シンポジウム, 日本建築学会, 1987. 8. 27

(3) 地震観測記録による評価

JEAG4601-1987において、本手法は、観測された地震動波形について、「(2) S波検層による評価」と同様、直達波と判断される部分を取り出し、応答波の入射波に対する比から減衰評価を行うものとされている。また、各種の複雑な波動現象（「(2) S波検層による評価」にて述べた地盤のモデル上寄与しない薄層や亀裂の影響を含む）を含んだ状態における等価な減衰定数を評価可能とされている。

このことから、地震観測記録による評価は、材料減衰と散乱減衰の両方が含まれ、さらに、実地震の複雑な伝播経路等を踏まえた、実態に近い減衰定数を評価可能な手法である。

石田他（1987）によれば、地震観測記録による評価は、S波検層による評価と比較してターゲットとなる卓越振動数が低周波側にあり、数～数十 Hz レベルとされている。

なお、地震観測記録を用い、その位置ごとの比率を用いて減衰定数を含む地盤のパラメータを評価する手法については、基準地震動 S_s の策定に係る検討において、敷地における地震観測記録を一次元波動論に基づく基盤波を計算するための地盤モデル（以下、「はぎとり地盤モデル」という。）の作成を行う上で、当社事業変更許可及び他サイトにおける実績が多数存在する。

2.2 散乱減衰を考慮可能な手法の違いについて

S波検層による評価及び地震観測記録による評価については、いずれも原位置において測定あるいは観測された実体波データを用いて、材料減衰及び散乱減衰を含めた減衰量の総和を算定する手法である。建物・構築物の入力地震動を算定するための減衰定数を求めることに着目し、S波検層及び地震観測記録の手法の違いについて以下に整理した。

- ・ 両手法において評価に用いるデータの特徴を踏まえると、地震観測記録については広い周波数領域の振動成分を含む地震観測記録（建物・構築物の主要固有周波数帯（数 Hz オーダー））に対して同定が可能であり、基準地震動の策定等に係る他サイトにおける適用実績が豊富である。これに対し、S波検層による評価は、加振方法により対象周波数が限られるものの、任意のボーリング調査位置において測定が可能であり、他サイトにおける適用実績も有している。
- ・ なお、一般的に、地盤の減衰定数については振動数依存性を有しており、高振動数側で減衰定数が小さくなる傾向であることから、S波検層のように、高振動数側をターゲットとした場合には、地盤全体の減衰定数を小さく評価する可能性がある。
- ・ 地震観測記録を用いた手法は、当社事業変更許可及び他サイトにおけるはぎとり地盤モデルの作成において適用実績のある手法である。
- ・ 敷地における地震観測記録では、S波検層における加振波の振幅に対して大振幅の波形が得られており、減衰定数の評価にあたり、深さ方向に異なる観測点間の振幅の比率を評価する上で、各周波数成分における特徴を明瞭に確認することができる。

3. 敷地における減衰定数に係るデータの取得方法

3.1 既認可時点における評価の考え方

以下に示すとおり、既認可時点における減衰定数の評価に対し、「2.1.2 JEAG4601-1987における評価手法」にて整理した JEAG4601-1987 と同様の手法を用いた減衰定数の評価実績があるか確認を行った。

既認可時点においては、以下の文献調査並びに検討に基づいて地盤の減衰定数を設定している。

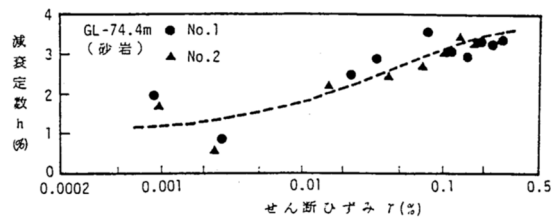
- ・ 嶋ほか（1983）の知見において、いわき地点の砂岩における減衰定数の評価結果として、第 3.1-1 図に示すとおり、高圧動的三軸圧縮試験結果より、低ひずみ領域では減衰定数が 1～2%，ひずみ 0.1% 付近では 3% となっていること、また、S 波検層や地震観測記録に基づく減衰定数の評価手法によっては、それよりも大きな値（最大 8% 程度）として評価されていること。
- ・ 中村他（1990）において、富岡地点における泥岩層での Q 値の検討が行われており、下式に示す Q 値の振動数依存性の関係に対し、 $n=1.0$ 、 $\alpha=200$ とした場合に、地震観測記録と整合することが示されていることから、敷地における泥岩層（ $V_s=800\text{m/s}$ ）の減衰定数を算定した結果、建屋の固有振動数（2.5Hz～5Hz）の領域では $h=2\%$ を上回る値となること。

$$Q = V_s \cdot f^n / \alpha \quad (h = 1/2Q)$$

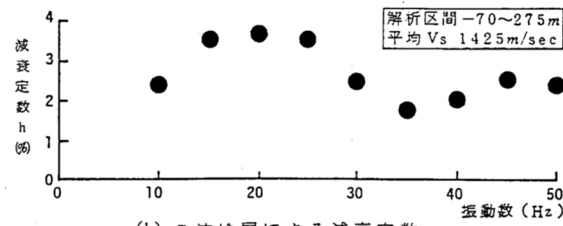
$$\left(\begin{array}{l} Q : Q \text{ 値} \\ h : \text{減衰定数} \\ V_s : S \text{ 波速度} \\ f : \text{周波数} \\ n, \alpha : \text{係数} \end{array} \right)$$

以上を踏まえ、既認可時点においては、敷地や施設の特徴に配慮した考え方に基づき設定を行っており、設計上考慮する地震動レベル及び建屋の固有振動数を考慮すると、基準地震動 S1 に対しては 2%，基準地震動 S2 で 3% とすることは妥当としている。

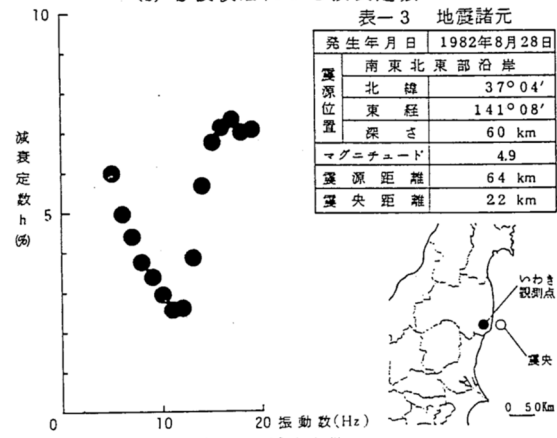
以上のことから、既認可時点においては、JEAG4601-1987 に示される手法に基づき、直接敷地において減衰定数を評価した実績は無いものの、JEAG4601-1987 に示される手法に基づく国内の各種試験結果を敷地に適用した確認を行うことにより、地盤の減衰定数を設定している。



(a) 高圧動的三軸圧縮試験による減衰定数



(b) S波検層による減衰定数



(c) 観測地震による減衰定数

第 3.1-1 図 嶋ほか (1983) におけるいわき地点の減衰定数の評価結果 (嶋ほか (1983) より抜粋)

3.2 第2回申請対象施設における評価の考え方

岩盤部分の減衰定数に係るデータ整理に当たっては、上述の JEAG4601-1987 に示される手法に基づく調査及び評価結果を整理する。

本文「3. 入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定プロセス」に示したとおり、データの整理にあたっては、既認以降に生じた状態変化を鑑みて実施することとしている。岩盤部分の減衰定数のデータ整理にあたり、各状態変化を踏まえて必要と考える視点を以下に示す。

①敷地における地下構造の特徴を適切に反映する。

- ・敷地地下の地質構造や速度構造の特徴、実現象との整合性の観点で評価を行う。

②基準地震動 S_s が増大したことを踏まえた影響を適切に反映する。

- ・減衰定数の非線形性（ひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）を適切に評価する。
- ・その上で、減衰定数の設定において S_s 地震時の地盤のひずみ量を踏まえて減衰定数の非線形性の考慮要否を適切に判断する。

③最新のデータを用いて評価する。

- ・敷地において得られている最新の地震観測記録・ボーリング調査結果を用いる。
- ・建物・構築物が広範囲に拡がりを持って配置されるサイトであることや敷地内の地下構造の特徴を踏まえ、十分な量のデータを用いる。

「2.1.2 JEAG4601-1987 における評価手法」に示したとおり、JEAG4601-1987 には、3種類の減衰定数の評価手法が示されていることを踏まえ、第3.2-1表に示すとおり、各手法に対する検討内容を整理した。

また、検討内容の整理とあわせて、客観的な視点に基づき設定方法を選定する観点で、これまでの新規制基準における各社地下構造に係る審査における、他サイトの減衰定数の設定実績を整理した。

他サイトの設工認における実績としては、まず、敷地と類似した地下構造を有するサイトを対象とし、地下構造の特徴として軟岩を主体としており、解放基盤表面から建物基礎底面までの地震動の伝播を考慮して入力地震動を設定しているサイト（東海第二及び柏崎刈羽 6, 7 号）を参照した。

また、設工認だけでなく、地盤の減衰定数に係る最新の審査において採用されている評価方法についても整理できるよう、他サイトにおける標準応答スペクトルに基づく基準地震動の策定に係る設置変更許可申請についても参照した。至近に審査会合が行われており、地下構造モデルの作成に関する詳細な議論がなされているサイトのうち、玄海 3,4 号及び川内 1,2 号において、複数の手法による減衰定数の評価手法を採用していることから、これを参照した。また、当社敷地との類似性を踏まえ、地下構造の特徴として軟岩を主体としているサイト（東海第二及び大間サイト）における設置変更許可の審査実績についても参照した。

第 3.2-1 表 岩盤部分の減衰定数のデータ整理に係る検討内容

手法	具体的手法	3.2.1 に示した視点①～③を踏まえた留意事項	検討内容	実施サイト (設工認)	実施サイト (設置許可)	
JEAG4601-1987 に基づく方法	三軸圧縮試験による方法	ひずみ依存特性 (h- γ) の評価	①敷地に分布する岩種ごとの試験結果に基づき評価することで敷地地下の地質構造や速度構造の特徴を反映。 ②岩種ごとのひずみ依存特性 (h- γ) として、非線形性を考慮可能。 ③地盤モデルに考慮する岩種を網羅的に評価する必要がある。	<ul style="list-style-type: none"> 三軸圧縮試験による方法による岩盤種別ごとのひずみ依存特性 (h-γ 関係) の整理を行う。 Ss 地震時の非線形の度合いに対し、非線形化が入力地震動の算定結果に影響を及ぼす可能性に配慮した確認を実施する必要があると判断。 	東海第二 柏崎刈羽 6.7 号	—
	S 波検層による方法	ボーリング孔内減衰測定による検討	①敷地における各位置のボーリング調査における原位置試験により敷地地下の地質構造や速度構造の特徴を反映。 ②加振時の振幅が小さいため、線形状態における減衰定数を評価することとなる。 ③敷地内において十分な量のデータに基づいて検討を行う必要がある。	<ul style="list-style-type: none"> 施設の固有振動数よりも高振動数側をターゲットとした評価ではあるが、先行発電炉における実績があることから、本方法による減衰定数の評価結果を確認する。 確認にあたっては、測定結果に見られる振動数依存特性の特徴を踏まえ、施設の固有振動数帯における減衰定数との関係性について考察を行う。 ただし、留意事項③に照らし、現時点において敷地内で得られているデータは中央、西側、東側地盤の各 1 地点ずつ計 3 地点のみであることから、さらなる確度の向上のために、データの拡充を行う。 	—	玄海 3, 4 号 東海第二 大間
	地震観測記録による方法	伝達関数 (リニア型) による検討	①敷地において得られている地震観測記録により評価することで、実現象との整合性を考慮。 施設の固有振動数に近い帯域をターゲットとして評価可能。 ②地震観測記録が小さい場合、線形状態における減衰定数を評価することとなる。 ③最新の地震観測記録を用いる必要がある。	<ul style="list-style-type: none"> 事業許可におけるはざとり地盤モデルを作成する際に、振動数依存型 (リニア型) の減衰定数を考慮し、実現象をよく説明する地盤モデルとして作成済み。 ただし、はざとり地盤モデルは、留意事項③に照らし、西側、東側地盤において用いている地震観測記録が現時点において最新ではない (地震観測位置の移設 (2008 年) 後の情報は含まれていない) との課題があることから、最新の地震観測記録を用いた評価を今回改めて実施する必要があると判断。 	—	玄海 3, 4 号 東海第二 大間
		伝達関数 (バイリニア型) による検討	①敷地において得られている地震観測記録により評価することで、実現象との整合性を考慮。 施設の固有振動数に近い帯域をターゲットとして評価可能。 ②地震観測記録が小さい場合、線形状態における減衰定数を評価することとなる。 ③最新の地震観測記録を用いる必要がある。	<ul style="list-style-type: none"> 事業許可における深部地盤モデルを作成する際に、解放基盤表面～地震基盤までの増幅特性を考慮するための地盤モデルとして、バイリニア型の減衰定数を設定した実績がある。 ただし、解放基盤表面～建屋基礎底面の岩盤部分については本条件での評価は実施していないことから、上記振動数依存型に加え、さらに多角的な検討を行う観点で、今回実施する必要があると判断。 	—	玄海 3, 4 号 大間
		伝達関数 (振動数依存性なし) による検討	①敷地において得られている地震観測記録により評価することで、実現象との整合性を考慮。 施設の固有振動数に近い帯域をターゲットとして評価可能。 ②地震観測記録が小さい場合、線形状態における減衰定数を評価することとなる。 ③最新の地震観測記録を用いる必要がある。	<ul style="list-style-type: none"> 他サイト設工認において、振動数依存性を考慮しない減衰定数を設定した実績が多数あり、JEAG4601-2015 にも記載があることから、耐震設計において一般的に広く用いられている設定である。 本設定が、当社敷地においても地盤の実態を踏まえた値となるか、上記の振動数依存性を考慮した減衰定数と比較することにより確認する必要があると判断。 	—	耐震設計上の一般的な設定条件として多くの実績あり
		地震波干渉法による検討	①敷地において得られている地震観測記録により評価することで、実現象との整合性を考慮。 施設の固有振動数に近い帯域をターゲットとして評価可能。 ②地震観測記録が小さい場合、線形状態における減衰定数を評価することとなる。 ③最新の地震観測記録を用いる必要がある。	<ul style="list-style-type: none"> 他サイトにて実績はあるが、敷地においてこれまで未実施であったことから、速度構造の仮定によらず減衰定数を評価可能な手法として、新規に実施する必要があると判断。 鉛直アレー観測記録に Fukushima et al. (2016) に基づく地震波干渉法を適用し、評価を実施する。 	—	玄海 3, 4 号
		伝達関数による確認	減衰定数の評価ではなく、地震観測記録を用いて評価した値に対しての実現象との整合性の観点での考察に該当。	<ul style="list-style-type: none"> 上記 3 手法により評価した減衰定数について、実現象との整合性を確認するために、観測記録による伝達関数と評価した減衰定数に基づく伝達関数の比較結果を踏まえた考察を実施する。 	—	玄海 3, 4 号
		応答スペクトルによる確認	減衰定数の評価ではなく、地震観測記録を用いて評価した値に対して、耐震設計において地盤応答解析により入力地震動を算定する上での位置づけの観点での考察に該当。	<ul style="list-style-type: none"> 上記 3 手法により求められた減衰定数に基づく地盤応答の応答スペクトルを算定し、地震観測記録の応答スペクトルとの比較を実施し、その結果を踏まえた考察を実施する。 	—	玄海 3, 4 号
	その他	岩石コアを用いた減衰測定による確認	JEAG に示される評価ではないが、他サイトにおいて地震観測記録を用いた手法によりデータが得られない最深部地震計以深の減衰定数の設定根拠として実施されている実績がある。	<ul style="list-style-type: none"> 他サイト実績において、いずれの手法においても、減衰定数の値の直接的な根拠ではなく、地震観測記録が得られていない深部における減衰定数を設定する上で、地震観測記録が得られている浅部との地下構造の相対関係の確認を目的として実施しているもの。 岩石コア試験については、三軸圧縮試験結果における材料減衰との整合性や、その他の評価または調査結果との整合性を確認し、これらによる評価の確度を向上することを目的に、データの取得を実施していく。 	—	玄海 3, 4 号
		速度層断面による検討	減衰定数の評価ではなく、他サイトにおいて地震観測記録を用いた手法によりデータが得られない最深部地震計以深の減衰定数の設定根拠として実施されている実績がある。	<ul style="list-style-type: none"> 速度層断面については、各 Gr における S 波検層及び岩石コア試験結果と各 Gr の速度構造と比較することにより、減衰定数と速度構造の相関性等について考察を行う。その上で、地震観測記録による方法により評価された地震観測地点での減衰定数に関する各 Gr への適用可否についての考え方について整理を行う。 	—	玄海 3, 4 号

注記 玄海 3, 4 号及び川内 1, 2 号においては、標準応答スペクトルを考慮した地震動評価に係る地下構造モデルの設定にあたり、両サイト同様の手法を採用しているから、上表においては玄海 3, 4 号を代表として記載している。

3.3 敷地における減衰定数の評価方法

「3.2 第2回申請対象施設における評価の考え方」に示した手法を用い、敷地における岩盤部分の減衰定数について、以下に示す方針により、敷地における岩盤部分の減衰定数の設定に係るデータを整理する。

また、現時点において敷地で得られているデータは、岩盤部分の減衰定数を評価する上で、第3.3-1表に示す観点で十分に課題があることから、追加調査等によるデータの取得を実施する。(第3.3-1表では、現時点における追加調査等によるデータの取得状況もあわせて示す。)

本検討において実施する評価手法について、各手法において評価される値の物理的な意味合いを踏まえ、地盤の各深さにおける位置付けを、上記の追加調査により取得するデータを用いた検討も含め、第3.3-2表に整理して示す。それぞれの具体的な考え方については、3.3.1～3.3.4の各章にて示す。

各手法により得られた調査及び評価結果に係るデータに対しては、第3.3-2表にて整理した各手法のもつ物理的な意味合いを踏まえた分析を、「7. 敷地の地盤の特徴を捉えた地下構造に係る考察」にて行う。

第 3.3-1 表 追加調査によるデータ取得の考え方

検討内容		十分性の観点	追加調査の考え方
S 波検層による方法	ボーリング孔内減衰測定による検討	既往データは敷地内の 3 地点のみであり、各グループにおける減衰定数を確認するデータセットとなっていない。	各グループの減衰定数を確認できるような位置で追加調査を実施し、データを取得する。 ➡調査実施中
その他	岩石コアを用いた減衰測定による確認	他サイトにおける実績（第 3.2-1 表）があるが、敷地内でデータが得られていない。	各グループの材料減衰を確認できるような位置で新規に調査を実施し、データを取得する。 ➡調査実施中
	常時微動の計測	検討に用いる大加速度記録は取得しているが、常時微動データは取得しておらず、地震観測記録にノイズが含まれる場合にその傾向の分析ができない。	敷地内の鉛直アレ観測地点における常時微動観測を新規に実施し、データを取得する。 ➡取得済み

第 3.3-2 表 各深さにおける評価手法の位置付け

▼地表		材料減衰	材料減衰+散乱減衰	備考	
本資料における 設定範囲	表層地盤	以下の理由から、三軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性 ($h-\gamma$) を設定。 <ul style="list-style-type: none"> Ss地震時の表層地盤の非線形化による材料減衰の増大の寄与が大きい 	以下理由から散乱減衰は考慮しない <ul style="list-style-type: none"> Ss地震時の表層地盤の非線形化による材料減衰の寄与が大きい 解放基盤以浅の地盤全体の中で層厚の占める割合が小さく、散乱の効果が岩盤部分と比べて相対的に小さいと考えられる 	—	
	▼建屋基礎底面レベル相当				
	岩盤部分	既往データによる検討	<ul style="list-style-type: none"> 三軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性 ($h-\gamma$) 	<ul style="list-style-type: none"> 地震観測記録による方法 ⇒伝達関数（周波数依存性無し）による検討 ⇒伝達関数（周波数依存型）による検討 ⇒伝達関数（バイリニア型）による検討 ⇒地震波干渉法による検討 S波検層による方法（既往3孔データ） 現時点で得られている中央・西側・東側地盤の3地点におけるデータを用いて評価を実施。 	<ul style="list-style-type: none"> 材料減衰について、Ss地震時の岩盤部分の非線形性による影響が無いまたは線形条件とした場合の方が保守的と判断できる場合は線形条件とする。 伝達関数による評価について、多角的な検討を行う観点で周波数依存性を考慮する場合と考慮しない場合の両方について実施。
	解放基盤表面 ▼ (G.L. -125m)	追加データによる検討	<ul style="list-style-type: none"> 岩石コア試験による確認 S波検層データの追加取得とあわせて実施。上記三軸圧縮試験において評価される材料減衰との比較や、他手法により求められる減衰定数について、位置・深さによる相対的な違いに対する考察を実施。 	<ul style="list-style-type: none"> S波検層による方法 各グループにおけるデータを追加取得し、既往3地点におけるS波検層データとの相対的な比較により、各グループにおける岩盤部分の減衰定数に差があるかの確認を実施。 常時微動の計測 地震観測記録による方法の信頼性確認のため、敷地内の鉛直アレー観測地点における常時微動観測を新規に実施し、地震観測記録に含まれるノイズの影響等に係る考察を実施。 	<ul style="list-style-type: none"> 各GrにおけるS波検層及び岩石コア試験結果を踏まえ、速度構造との関係性について考察を実施。
解放基盤表面以深		解放基盤表面レベルと同じ減衰定数が続く設定とする。	<ul style="list-style-type: none"> 解放基盤表面レベルと同じ減衰定数が続く設定とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 入力地震動の算定時においては解放基盤表面以深を半無限層として設定。 岩盤部分の物性値の設定と整合した設定。 	

3.3.1 三軸圧縮試験による評価方法

本手法による評価結果については、材料減衰並びにその非線形性を考慮したものであり、敷地における散乱等による減衰は考慮されない。

また、実現象を踏まえると、地盤の減衰定数の非線形性は、地盤のひずみが大きくなるほど、減衰定数が大きくなる傾向を示すことから、地盤のひずみ大きい領域においては材料減衰が支配的となり、地盤のひずみが小さい領域においては、全体の減衰定数に対する材料減衰の寄与は小さくなり、散乱減衰が支配的となる。

これらの特徴を踏まえ、敷地内のボーリング調査結果により得られた試験体による三軸圧縮試験結果に基づくひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）の結果を確認する。

3.3.2 岩石コア試験による評価方法

これまで当社敷地において、本手法による試験は実施されていないが、他サイト実例における実績があることから、確度向上のための取り組みとして、今回実施するS波検層データの追加取得とあわせて実施する。

本手法による試験方法の特性上、弾性領域における材料減衰について考慮したものであることから、他サイト実例においては、上記の地震観測記録による評価またはS波検層による評価により評価される、散乱減衰と材料減衰の両方が含まれた減衰定数の値とは異なる値として評価される。

このことから、本手法による試験結果については、同じ物理的な意味合いをもつ三軸圧縮試験による評価結果における弾性領域における材料減衰に対しての整合性の確認に用いる。また、三軸圧縮試験による評価結果が岩盤分類ごとに整理されたものであることを踏まえ、コア試験結果を用いてボーリング調査位置ごとの傾向を分析する。

あわせて、上述の地震観測記録による評価及びS波検層によって得られる減衰定数の評価結果に対し、平面方向または深さ方向における相対的な差分を分析する。これらの分析にあたっては、「別紙2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」にて設定した速度構造のGr間の違いとの対応も踏まえた考察を行う。

なお、速度構造の違いとの対応を踏まえた考察については、「3.3.3 地震観測記録による評価方法」に示した方法により評価された減衰定数の値に対し、敷地内の地震観測点間の相対的な速度構造の違いとの対応を踏まえた考察にも用いる。

3.3.3 S波検層による評価方法

「2.1.2 JEAG 4601-1987における評価手法」に示したとおり、地盤の応答解析においては、材料減衰と散乱減衰を含んだものを用いるとされており、本手法は、その両方を含んだ値として、実現象に適合した評価方法である。

本評価は、地震観測記録による評価と同様に、敷地における地盤の内部を伝播・反射する波動データを分析することで減衰定数を評価することが可能であり、評価に用いる地震動の観測状況に左右される地震観測記録による評価に対して、任意の場所または時点における評価が可能な方法である。

減衰定数の値の評価にあたっては、広い範囲の振動数成分の情報を含んだ実地震ではなく、起振車等による加振波の測定データに基づく方法であることから、試験条件を確認の上、適切に振動数の信頼区間を確認した上で、敷地内の岩盤における実測値としての減衰定数及びその振動数依存特性について評価する。

3.3.4 地震観測記録を用いた同定及び地震波干渉法による評価

「2.1.2 JEAG4601-1987における評価手法」に示したとおり、地盤の応答解析においては、材料減衰と散乱減衰を含んだものを用いるとされているが、本手法は、その両方を含んだ値を評価可能であり、敷地における地盤の内部を伝播・反射する地震動データを分析することで、実現象に適合した値を評価可能な方法である。

地震観測記録による評価にあたっては、当社事業許可及び他サイトにおける実績を踏まえ、敷地内における鉛直アレー地震観測記録による深さ方向の伝達関数を再現する地盤の減衰定数を同定する。

地盤の減衰定数を同定する上では、地盤の減衰定数については振動数依存特性を有するとの知見があることから、リニア型の振動数依存特性を考慮した評価を実施する。

また、多角的な検討として、振動数依存特性を考慮する上では、第3.2-1表に示したとおり、他サイトにおいてバイリニア型の振動数依存性を考慮していることから、この条件を考慮した場合の減衰定数についても同定を実施する。

あわせて、耐震設計上、一般的に広く用いられている設定である振動数依存性を考慮しない条件を考慮した場合についても、当社敷地においても地震観測記録と整合する値となるか確認を行うこととし、この条件を考慮した場合の減衰定数について同定を実施する。

地震観測記録による評価においては、第3.2-1表に示したとおり、伝達関数と応答スペクトルの両方の観点からの確認により、地震観測記録との整合性の観点で行う。

また、他サイト実績を踏まえ、地震波干渉法による評価も合わせて実施する。地震波干渉法は、複数の地震観測記録から、地表までの上昇波と、地表で反射した下降波の傾向を捉え、その差を分析することにより地盤の減衰定数を評価する方法である。

地震波干渉法は、上昇波と下降波の傾向を明確に捉える上で、振動数の信頼区間を適切に定める必要があることから、これに留意した上で、上記の伝達関数による検討によって評価された減衰定数との整合性を確認する。

4. データの取得及び整理

「3. 敷地における減衰定数の評価方法」に示した各手法により、敷地内における各種調査・評価結果に係るデータを整理した。減衰定数に係るデータの取得にあたっては、各手法において、データの取得や処理が適切な方法で正しく行われていることを確認し、敷地において得られているデータの信頼性が担保されていることを確認した。

4.1 三軸圧縮試験による評価結果

JEAG4601-1987に示される方法のうち、三軸圧縮試験による方法については、地盤の材料減衰を主とした方法である。

敷地においては、事業変更許可申請における「添付書類六 4. 地盤」*において、敷地地下に分布する岩盤種別ごとに三軸圧縮試験結果に基づくひずみ依存特性が設定されている。

ひずみ依存特性は、地盤のせん断ひずみが大きくなるほど減衰定数が増大するとの特徴を示したものであり、地震時の非線形性を表すものである。

三軸圧縮試験については、地盤の剛性がせん断ひずみに応じて低下するとの非線形性についてもあわせて評価されている。

三軸圧縮試験により取得されたデータについては、以下の内容を確認することにより、信頼性を有するデータであることを確認している。

まず、試験方法については、JGS2563-2020 「軟岩の変形特性を求めるための繰り返し三軸試験方法」に定められた信頼性のある方法を用いている。

また、調査データそのものの信頼性を確保するため、試験装置については、ベディングエラーの排除できる機材（ギャップセンサー、LDT(Local Deformation Tranceduser)）を使用して試験を行っているほか、地盤の剛性
に係るデータを正確に把握するために、試験機材自体についても十分な剛性を有するものを使用している。

試験データの分析における信頼性の確保としては、試験体のひずみに応じた特性を正確に把握するために、弾性範囲内に初期偏差応力を設定する。

なお、試験及び試験データの分析については、原子力施設における多数の実績を有する調査会社によって実施している。

岩種ごとに評価されているひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）は、添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」及び「II-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示している。

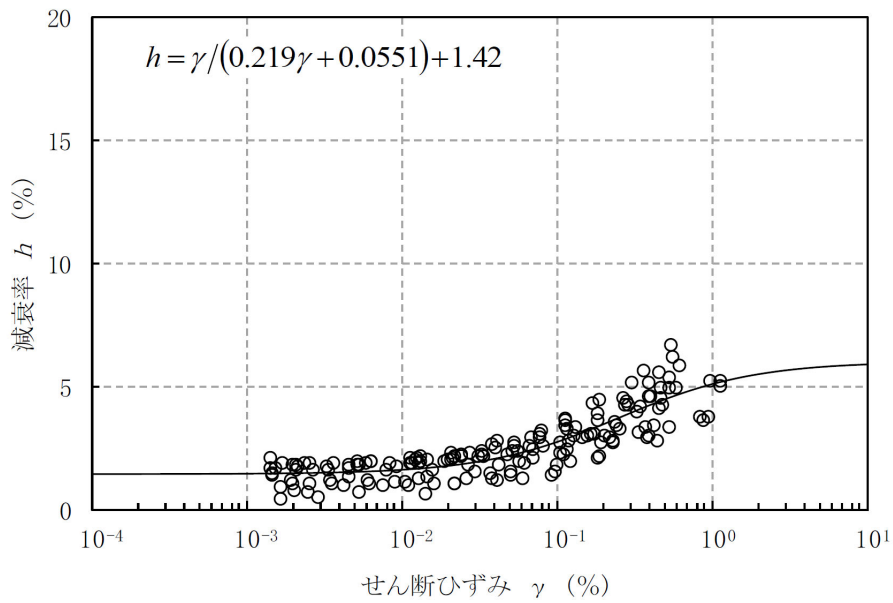
第 4.1-1 図～第 4.1-14 図に、敷地内の岩盤部分を構成する岩種ごとのひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）を示す。

第 4.1-1 図～第 4.1-14 図に示したひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）に示されるとおり、 $h-\gamma$ 曲線は、岩盤種別ごとに、試験結果から得られたデータに対し双曲線型の近似式で表されている。敷地内の岩盤はいずれの岩種においてもデータのばらつきは小さく、適切な設定となっている。

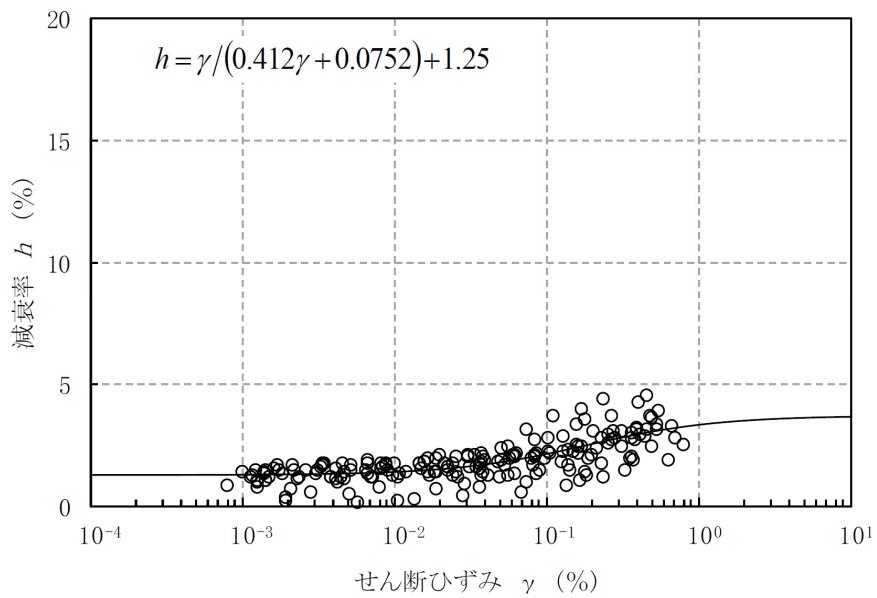
また、いずれの岩種においても、岩盤部分のひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）については、地盤のせん断ひずみが 10^{-2} 程度までは非線形化による減衰定数の変動は小さく、いずれの岩種についても約 1～2% 程度の減衰定数を示す。また、せん断ひずみが 10^{-2} よりも大きい範囲に達すると、泥岩、細粒砂岩及び軽石凝灰岩については約 5% 程度に、その他の岩種については約 10～15% 程度に遷移的に減衰定数が増大していく傾向となっている。

なお、三軸圧縮試験データについては、ボーリング孔中の各深さにおける試験体に対する試験結果で構成されるが、上記のとおり $h-\gamma$ 曲線に対して全体としてデータのばらつきは小さいことから、岩盤分類ごとに深さ方向の材料減衰の違いは有意なものでは無いと考えられる。

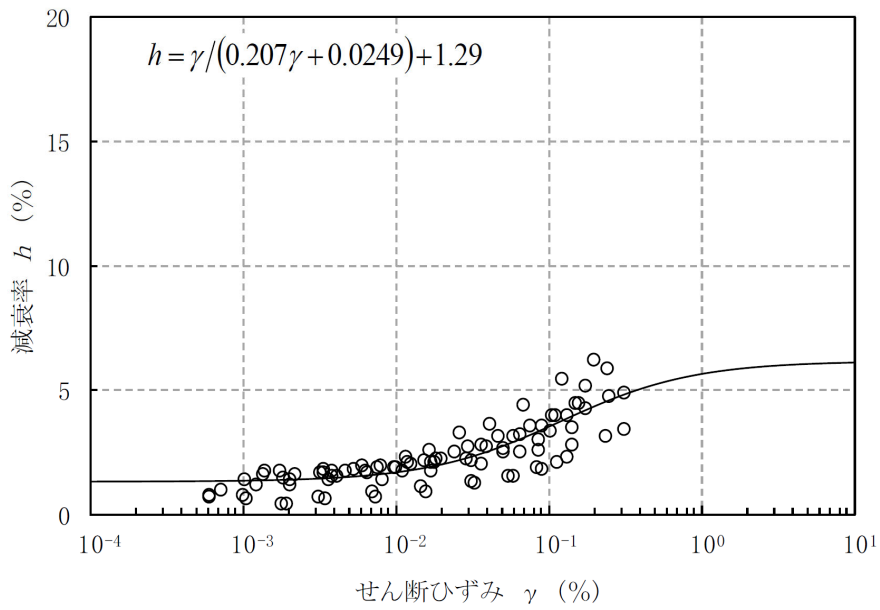
注記 *：事業変更許可申請の引用部分については、当社事業間で記載内容に差が無いことから、再処理施設事業変更許可申請書における章を代表として記載。



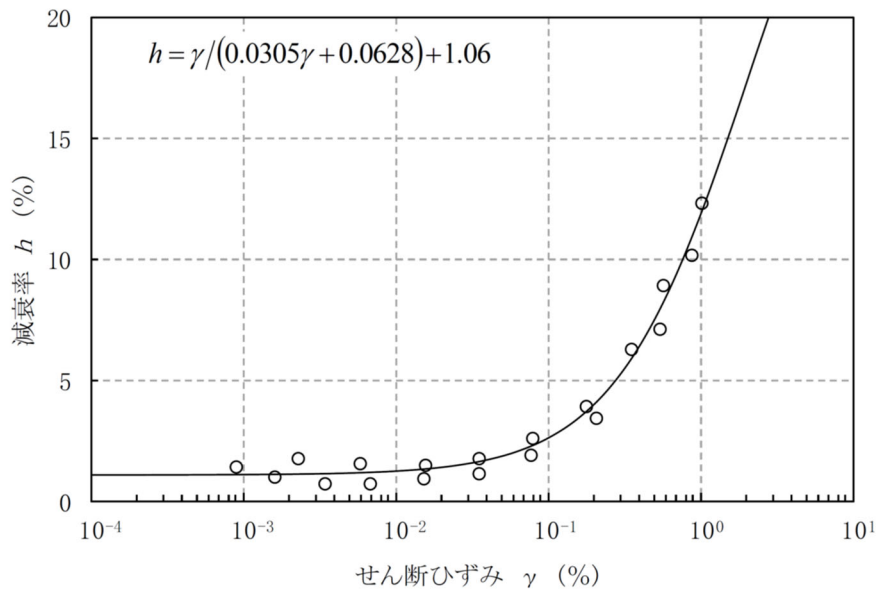
第 4.1-1 図 ひずみ依存特性 (泥岩 (上部層))



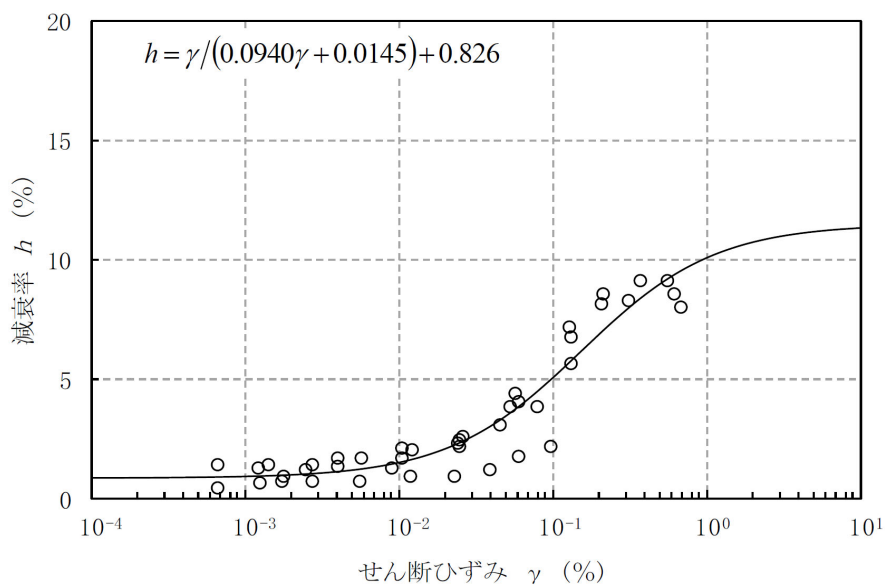
第 4.1-2 図 ひずみ依存特性 (泥岩 (下部層))



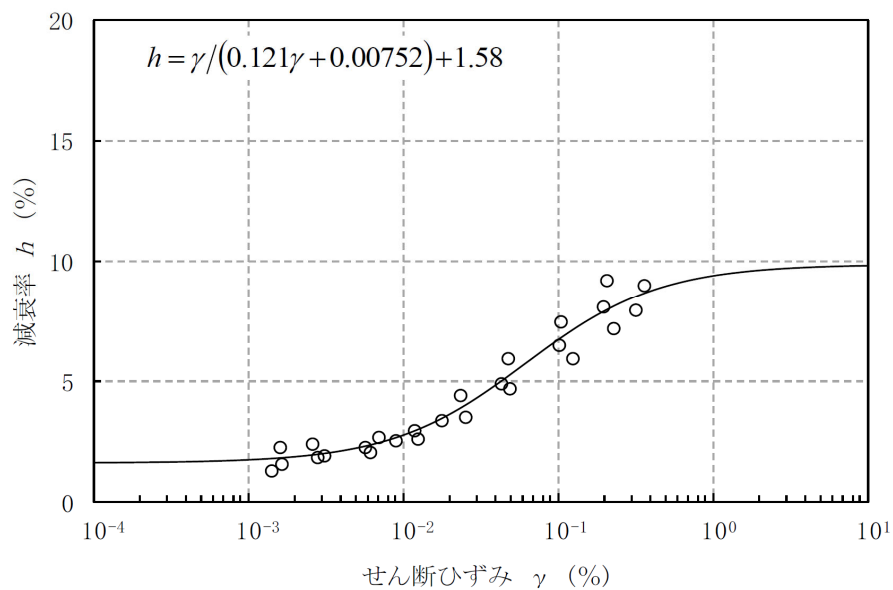
第 4.1-3 図 ひずみ依存特性 (細粒砂岩)



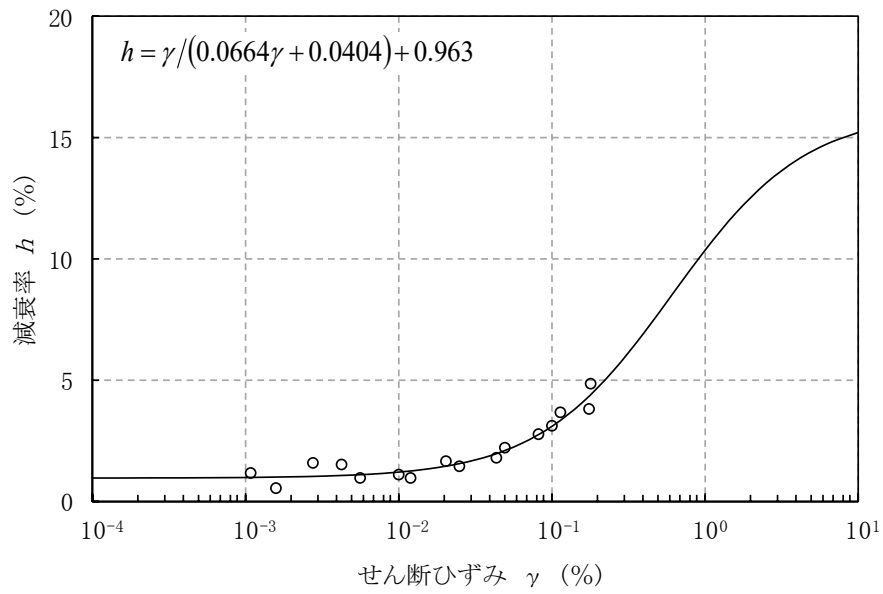
第 4.1-4 図 ひずみ依存特性 (凝灰質砂岩)



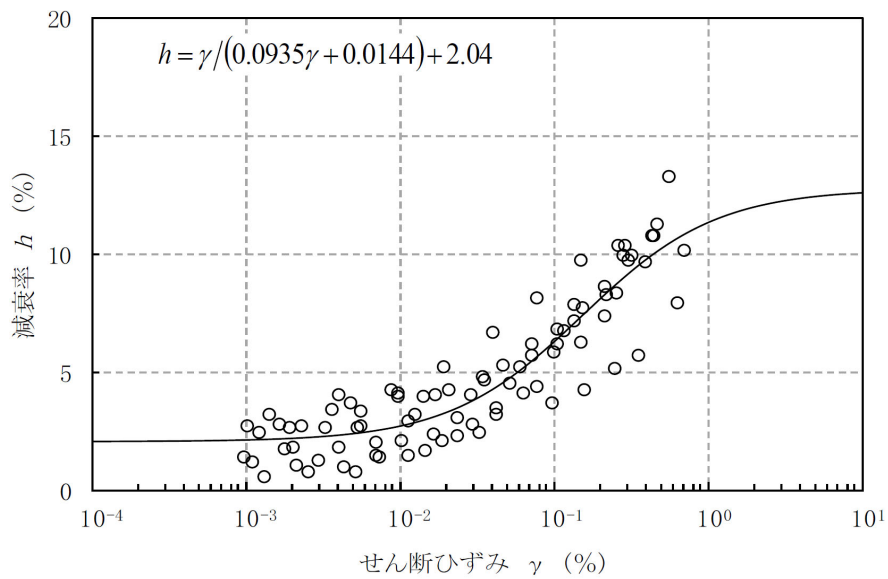
第 4.1-5 図 ひずみ依存特性 (軽石質砂岩)



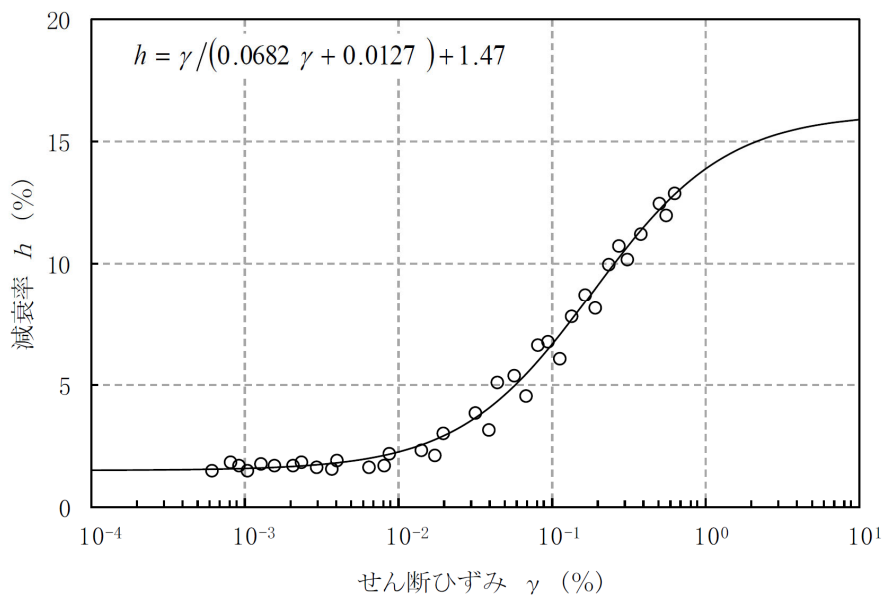
第 4.1-6 図 ひずみ依存特性 (粗粒砂岩)



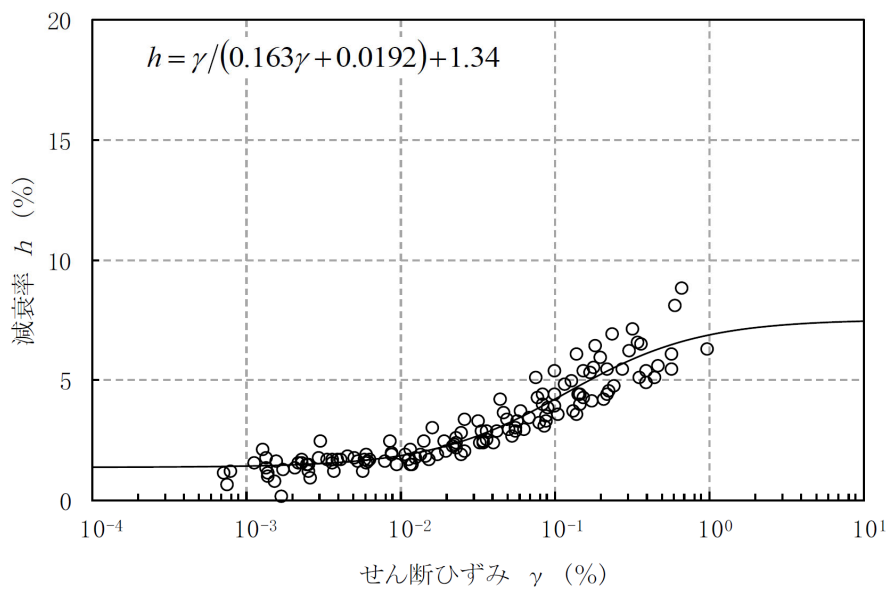
第 4.1-7 図 ひずみ依存特性 (砂岩・泥岩互層)



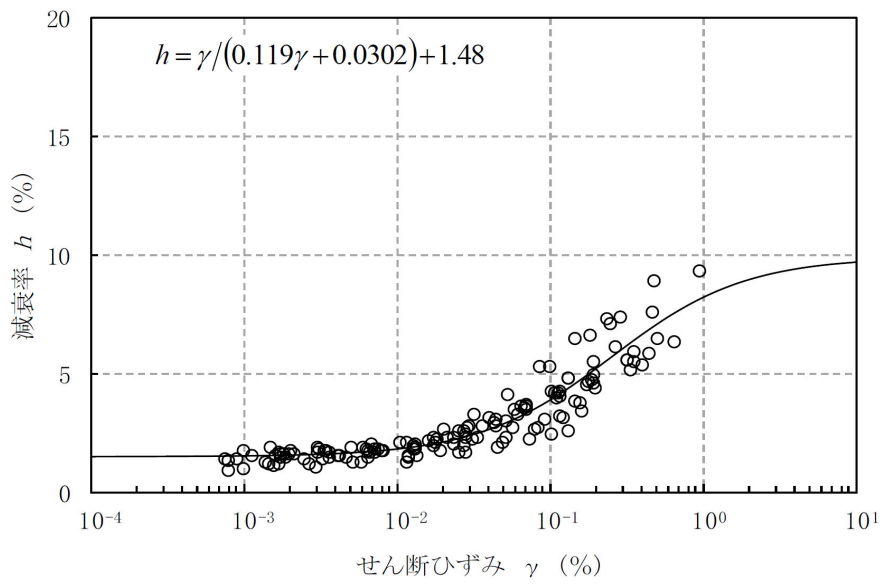
第 4.1-8 図 ひずみ依存特性 (砂岩・凝灰岩互層)



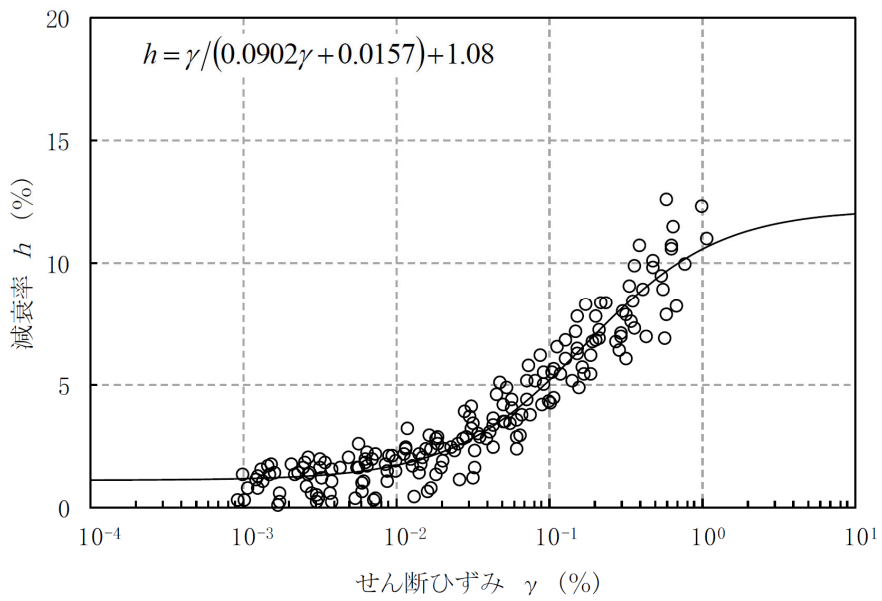
第 4.1-9 図 ひずみ依存特性 (凝灰岩)



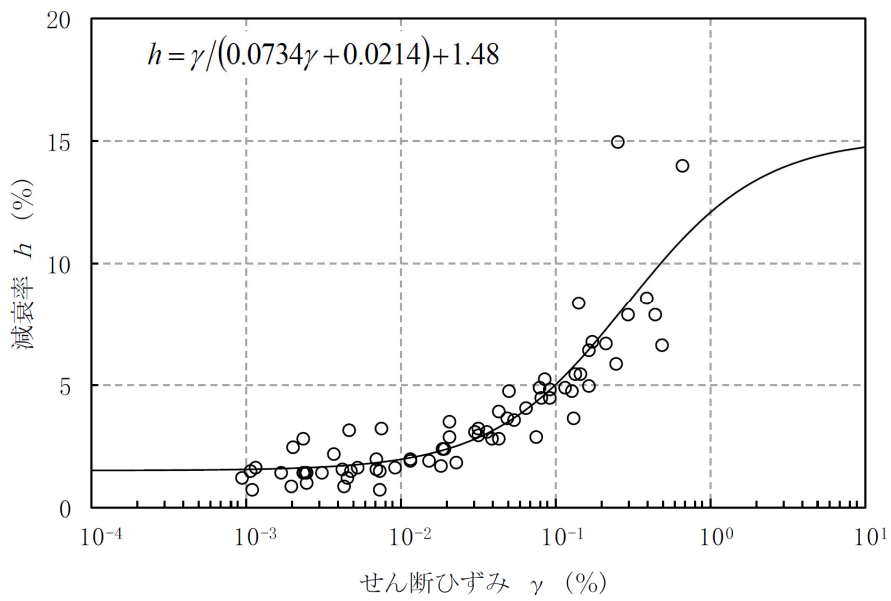
第 4.1-10 図 ひずみ依存特性 (軽石凝灰岩)



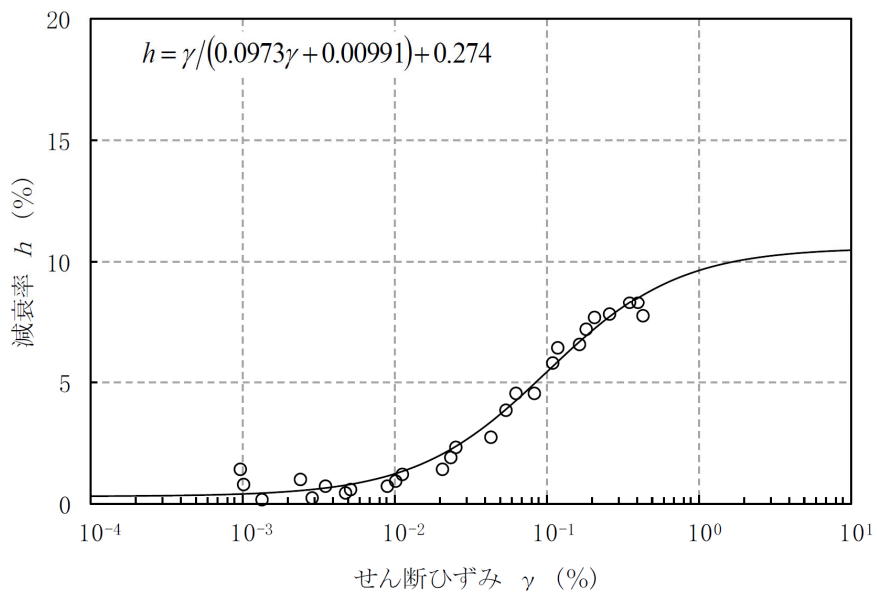
第 4.1-11 図 ひずみ依存特性 (砂質軽石凝灰岩)



第 4.1-12 図 ひずみ依存特性 (礫混り砂岩)



第 4.1-13 図 ひずみ依存特性 (軽石混り砂岩)



第 4.1-14 図 ひずみ依存特性 (礫岩)

4.2 岩石コア試験による評価結果

(a) 対象とする岩石コア試料

当該地点の地質構造は、f-1 断層、f-2 断層を境界として大きく 3 つのエリアに分けられる。また、東側地盤については、さらに東側に第 2 保管庫・貯水所 (G14) が位置している。これらの地盤で出現する地質及び岩盤分類 (岩種) を第 4.2-1 表に示す。また、表中には、「4.1 三軸圧縮試験による評価結果」に示した三軸圧縮試験結果における減衰定数の最小減衰定数 $h(\%)$ をあわせて示す。

第 4.2-1 表 地質区分，岩盤分類一覧表および岩種ごとの最小減衰定数

地盤範囲	地質区分		岩盤分類(層序)		繰返し三軸試験結果の 最小減衰定数(%)
西側地盤	鷹架層上部層	泥岩層	泥岩	mss	1.42
	鷹架層中部層	礫混り砂岩層	礫混り砂岩 ^{*2}	ss	1.08
砂岩・凝灰岩互層			alst	2.04	
軽石混り砂岩		礫混り砂岩	ss	1.08	
		砂岩・泥岩互層	alsm	0.93	
		軽石混り砂岩	ps	1.48	
		砂質軽石凝灰岩	spt	1.48	
		軽石混り砂岩	ps	1.48	
		砂質軽石凝灰岩	spt	1.48	
		軽石混り砂岩	ps	1.48	
		軽石凝灰岩層	凝灰岩	tf	1.47
軽石凝灰岩			pt	1.34	
軽石質砂岩			pps	0.83	
礫岩 ^{*1*2}			cg	0.27	
粗粒砂岩層		砂質軽石凝灰岩 ^{*1*2}	spt	1.48	
	粗粒砂岩 ^{*2}	cs	1.58		
	礫岩 ^{*2}	cg	0.27		
鷹架層下部層	細粒砂岩層	細粒砂岩	fs	1.29	
	泥岩層	泥岩	ms	1.25	
		凝灰質砂岩 ^{*3}	ts	1.06	
		砂質軽石凝灰岩 ^{*3}	spt	1.48	
中央地盤					

- : 岩石コア試験対象岩種 *1: 薄層, *2: 限定箇所, *3: 深部
 : 再出現岩種
 : 試験非実施岩種

当該地点は、高角度の f-1 断層、f-2 断層を境に 3 つのエリアで基盤からの地質層序が分かれ、解放基盤面 (T.M.S.L. -70m) までの各地盤の地質区分として、西側地盤は鷹架層上部層、鷹架層中部層、中央地盤は鷹架層下部層、東側地盤は鷹架層中部層、鷹架層下部層で構成されている。

各地盤における工学的性質を区分する岩盤分類については、第 4.2-1 表に示す層序となっており、このうち、限定箇所では薄層としてのみ出現する礫岩、粗粒砂岩及び中央地盤での解放基盤面下で出現する凝灰質砂岩を除く、主要な 11 岩種 (泥岩(上部層)、礫混り砂岩、砂岩・凝灰岩互層、砂岩・泥岩互層、軽石混り砂岩、砂質軽石凝灰岩、凝灰岩、軽石凝灰岩、軽石質砂岩、細粒砂岩、泥岩(下部層)) について、岩石コア供試体による室内岩石試験を実施する。

(b) 試料の準備、供試体整形

試験対象となる鷹架層の主要 11 岩種のボーリングコア試料は、乱れの少ない状態の良いものを選定して所定の寸法の供試体に整形し、脱気水槽に入れて飽和化を図る。

12 時間以上の水浸、飽和化後、直径、高さ、質量を測定し、密度を算定する。

(c) 弾性波速度測定

まず、スペクトル比法での Q 値算定に使用するため、JGS 2564-2020「岩石の弾性波速度計測方法」に準拠し、P 波速度と S 波速度を測定する。

測定により得られた P 波速度 V_p と S 波速度 V_s から、次式でポアソン比 ν_d 、剛性率 G_d 、ヤング率 E_d を求める。

$$\nu_d = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2(V_p/V_s)^2 - 2}$$

$$G_d = \rho_t \cdot V_s^2$$

$$E_d = 2(1 + \nu_d) \cdot G_d$$

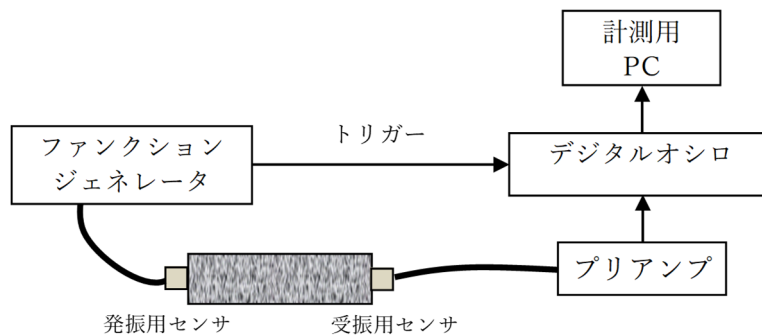
(d) 拘束条件

コア Q 値測定装置の主な仕様を第 4.2-2 表に示し，測定装置の概要図を第 4.2-1 図に示す。超音波波形の収録は，JGS 2564-2020「岩石の弾性波速度計測方法」を参考にして大気圧下で行う。測定手順は以下のとおりである。なお，当初は，封圧下での試験も計画していたが，封圧下での波形が乱れることから大気圧下のみの試験とする。

- ・ 供試体の上下端面に薄く石膏を塗布して振動子を接着する。
- ・ その際，上下の振動子の感度方向を一致させる。
- ・ S 波の伝播波形を収録する。S 波の発振，受振には同じ形式の振動子を用い，それぞれの透過波形の初動が明瞭になるよう励起電圧と波形収録時のゲインを調整する。

第4.2-2表 大気圧下のQ値測定装置の主な仕様

名称	主な仕様	型番	メーカー
振動子	名称：横波垂直探触子 共振周波数：1 MHz 質量・寸法：約21g, 15×15×20mm	PY 1Z	ジャパンプローブ
ファンクションジェネレータ	周波数範囲：1 μ Hz～20MHz 出力電圧：10mVp-p～20Vp-p 出力波形：正弦波，矩形波他	33220A	アジレント・テクノロジー
プリアンプA	増幅率：55dB (200kHz) 周波数帯域：10kHz～5MHz (-3dB以内) 最大出力電圧：約7Vp-p	A1002	富士セラミックス
プリアンプB	増幅率：20, 30, 40dB 周波数帯域：2kHz～1.2MHz 最大出力：2Vp-p以上	9917	エヌエフ回路設計ブロック
デジタルオシロ (波形収録)	サンプリング速度：100 MHz アナログ入力：2 CH 垂直分解能：8 bits	NR-350	キーエンス



第4.2-1図 Q値測定装置の概要図

(e) スペクトル比法による Q 値測定 (拘束条件: 大気圧下)

スペクトル比法は, 減衰が小さい (Q 値が大きい) 標準試料と岩石試料を透過した超音波波形を比較し, 両者の FFT スペクトルの比から Q 値を評価する方法である (Toksoz et al., 1979)。

標準試料と対象とする試料の平面波の振幅は次のように表される。

$$A_1(f) = U_0 \cdot e^{-\alpha_1(f)x} \cdot e^{i(2\pi ft - k_1x)} \cdot G_1 \quad 1) \text{ 式}$$

$$A_2(f) = U_0 \cdot e^{-\alpha_2(f)x} \cdot e^{i(2\pi ft - k_2x)} \cdot G_2 \quad 2) \text{ 式}$$

$A(f)$: 振幅

U_0 : 初期振幅

f : 振動数

x : 距離 , t : 伝播時間

k : 波数 ($= 2\pi f / v$)

v : 速度

G : 拡散, 反射等を含む幾何学的因子

$\alpha(f)$: 振動数に依存する減衰係数

添字 1, 2 : 標準試料(1), 対象試料(2)を表わす。

式中の $e^{-\alpha(f)x}$ が距離 x を伝播した波の減衰を示す。

いま, α は振動数の線形関数であると考え, 3)式で定義する。

$$\alpha(f) = \gamma f \quad 3) \text{ 式}$$

ここで γ は定数であり Q 値と次の関係がある。

$$Q = \pi / \gamma v \quad 4) \text{ 式}$$

対象試料と標準試料が幾何学的に同一 (同一寸法, 同じ振動子, 同じ配置) で, かつ G_1/G_2 が振動数に依存しないとすれば, フーリエ振幅比は 1) 式を 2) 式で除すことにより次式で示される。

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{G_1}{G_2} \cdot e^{-(\gamma_1 - \gamma_2) \cdot f \cdot x} \quad 5) \text{ 式}$$

上式の自然対数をとると次式となる。

$$\ln(A_1/A_2) = (\gamma_2 - \gamma_1) \cdot f \cdot x + \ln(G_1/G_2) \quad 6) \text{ 式}$$

6) 式で振幅比 $\ln(A_1/A_2)$ を振動数に対してプロットしたときの直線の傾きから $(\gamma_2 - \gamma_1)$ を、切片から $\ln(G_1/G_2)$ を求めることができる。標準試料のQ値が非常に大きければ γ_1 を0とみなせるので対象試料の γ_2 は傾きから直接求めることができ4) 式からQ値を導くことができる。なお、 G_1/G_2 は測定試料の岩種によって変化し、同一岩種内ではおおむね同様の値を取ると考えられている。

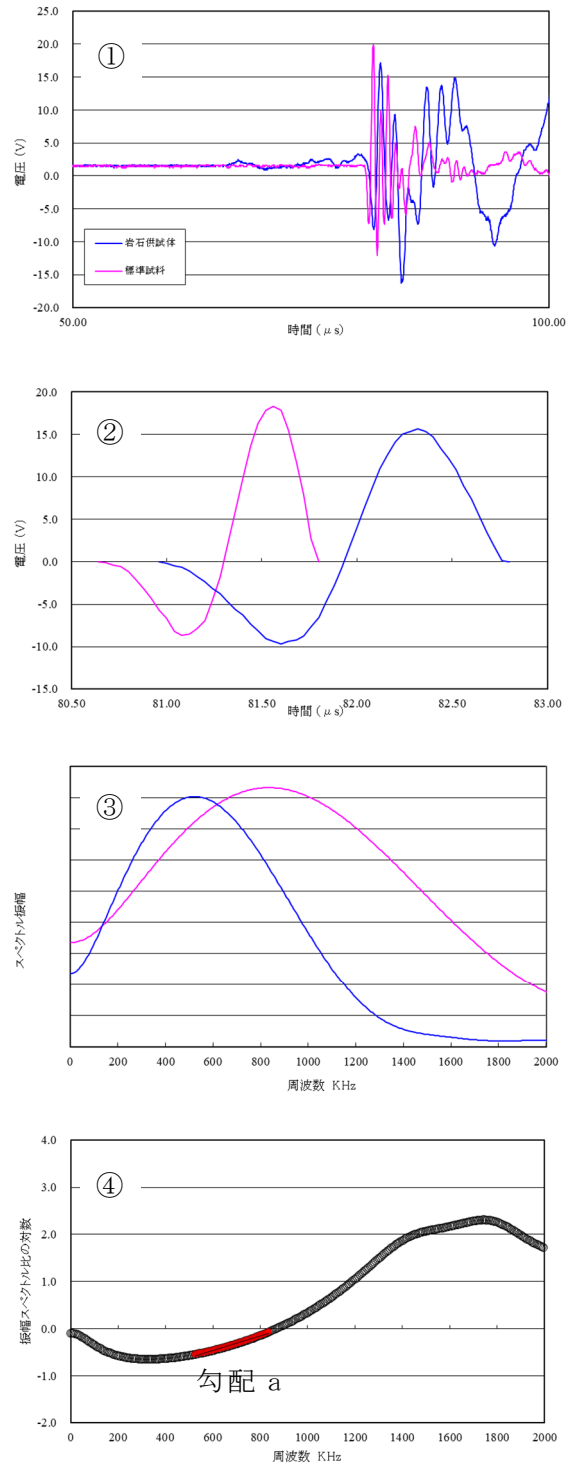
標準試料には岩石供試体と同じ形状のアルミ合金 (A5056) を用い、岩石供試体と同様の方法で透過波形を収録する。なお、Zemanek (1961)によれば、アルミのQ値は 15×10^4 と、地盤におけるQ値において考慮されるオーダーに対して十分に大きな値となっているので、 γ_1 は0とみなすことが可能である。

スペクトル比法による Q 値の解析は以下の手順で行う（第 4.2-2 図参照）。

- ① 標準試料と岩石供試体の波形データをそれぞれプロットし、全体傾向から外れるデータや異常なノイズなどがないことを確認する。その際、初動が到達する前の信号の平均値を DC 成分として差し引く。
- ② 原則として初動後の 1 波長分のデータを切り出し、Q 値解析対象とする。
- ③ FFT (Fast Fourier Transform) をかけてフーリエスペクトルを計算する。
- ④ 各周波数においてアルミの標準試料に対する岩石供試体のスペクトル振幅比の対数を求め、周波数との関係でプロットする。佐藤 (2012) を参考に、③で求めたフーリエスペクトルの振幅が、岩石供試体で最大となる周波数から標準試料で最大となる周波数までの区間の勾配 a を求め、次式で Q 値を解析する。（右図の着色プロット区間）

$$Q = \frac{\pi \cdot x}{a \cdot v} \quad 7) \text{ 式}$$

ここでは、 x には供試体の高さを、 v には弾性波速度測定で得られた S 波速度を用いる。



第 4.2-2 図 スペクトル比法による Q 値の解析

(f) パルスライズタイム法による Q 値測定（拘束条件：大気圧下）

パルスライズタイム法は、岩石試料を透過した超音波パルス透過波形の立ち上がり時間（ライズタイム）から次式で Q 値を評価する方法である（Gladwin & Stacey, 1974）。

$$\tau = \tau_0 + \frac{C \cdot t}{Q} \quad 8) \text{ 式}$$

τ : 伝播波の初動のライズタイム

τ_0 : 入射波のライズタイム

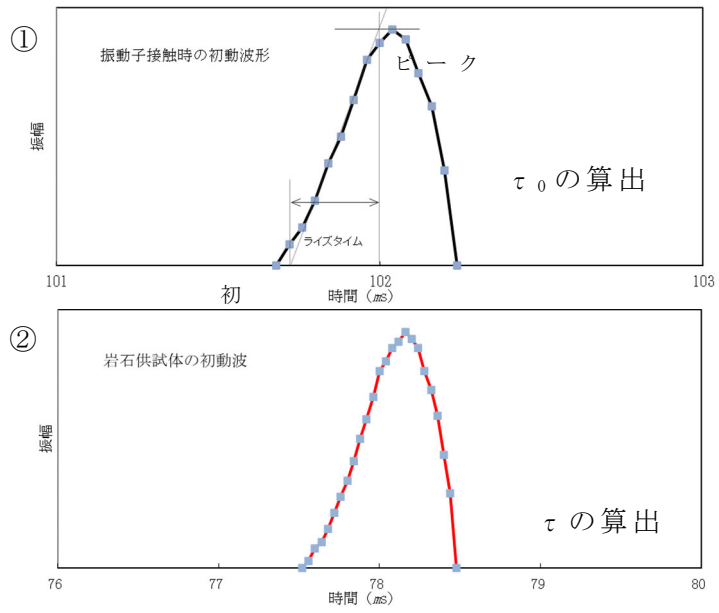
t : 伝播時間

C : 比例定数

比例定数 C については、佐藤（2012）は波形シミュレーションによって求めた 0.293 を提案しているが硬岩を対象としているため、今回は Gladwin & Stacey（1974）が実験値として提案した 0.53 を採用する。

ライズタイム τ および τ_0 の算出方法については佐藤（2012）を参考とする。伝播波の初動のライズタイム τ は、第 4.2-3 図のように初動後のピーク値をピークに至るまでの最急勾配で除して求める。なお最急勾配は、ノイズによる波形の乱れを考慮して、初動からピーク値までの合計データ数の半分（第 4.2-3 図①の場合、5 データ）を範囲として求める。入射波のライズタイム τ_0 については、超音波振動子と受振子を直接接触させた場合の振源波形から τ と同様の方法で求める。

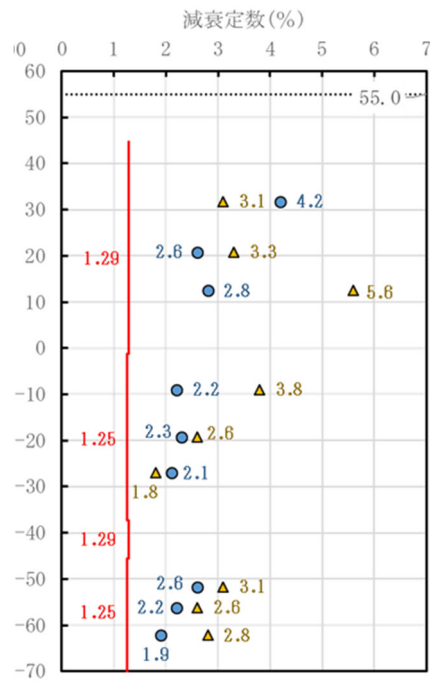
岩石試料を透過した伝播波のライズタイムは、前述のスペクトル比法で収録した超音波透過波の初動波形を用いる（第 4.2-3 図②に例を示す）。



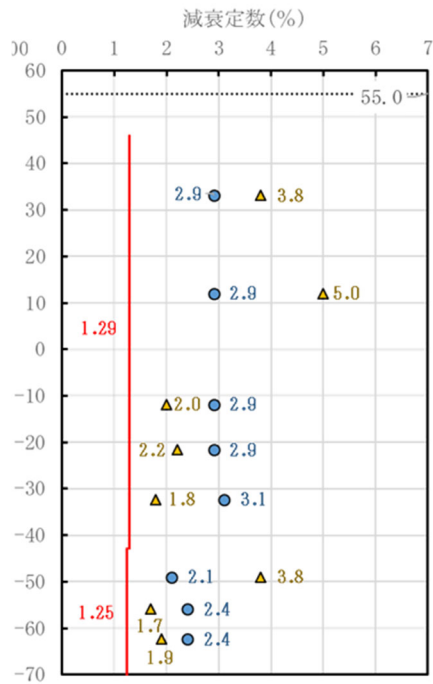
第 4.2-3 図 パルスライズタイム法による解析

(g) 測定結果

岩石コアによる大気圧下での Q 値測定の結果として，第 4.2-4 図に，各孔におけるパルスライズタイム法による減衰定数を示す。また，比較のため，繰返し三軸圧縮試験による最小減衰定数及び参考としてスペクトル比法による減衰定数をあわせて示す。



(1) R 5-Q 1 孔

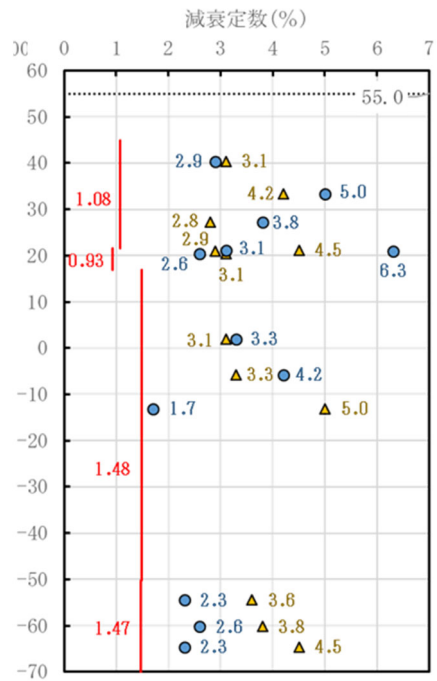


(2) R 5-Q 2 孔

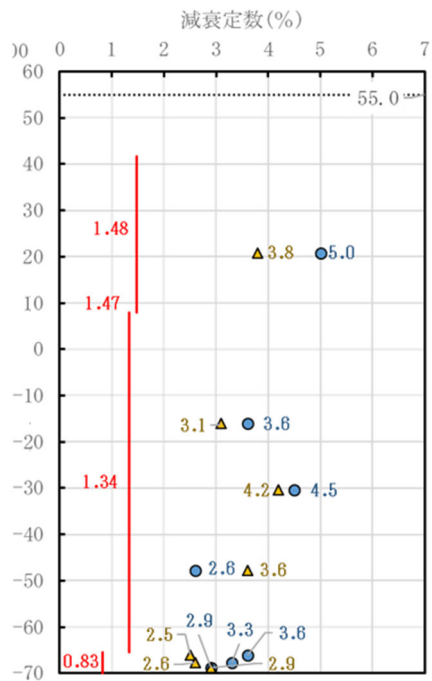
— : 繰返し三軸試験結果の最小減衰定数 ● : コアQ値測定結果の減衰定数(スペクトル比法) ▲ : コアQ値測定結果の減衰定数(パルスライズタイム法)

第 4.2-4 図 減衰定数の比較

(三軸圧縮試験, スペクトル比法及びパルスライズタイム法) (1/6)



(3) R 5-Q 3 孔

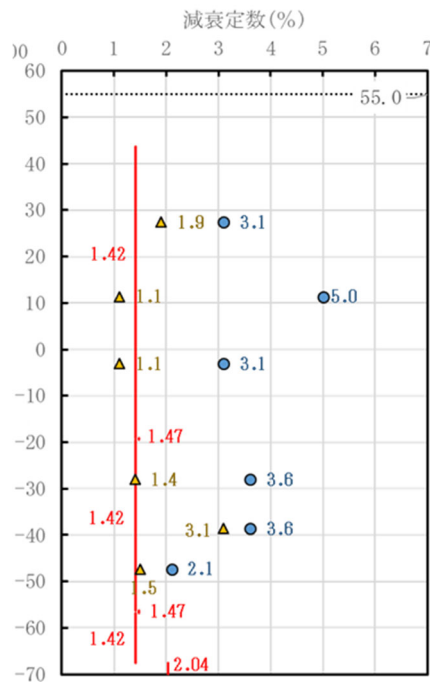


(4) R 5-Q 4 孔

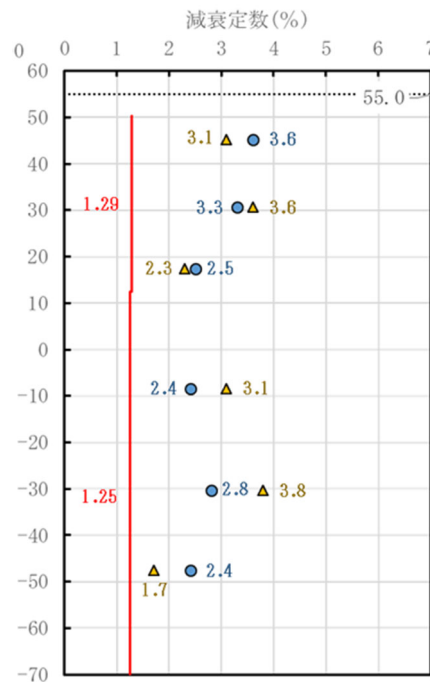
— : 繰返し三軸試験結果の最小減衰定数 ● : コアQ値測定結果の減衰定数(スペクトル比法) ▲ : コアQ値測定結果の減衰定数(パルスライズタイム法)

第 4.2-4 図 減衰定数の比較

(三軸圧縮試験, スペクトル比法及びパルスライズタイム法) (2/6)



(5) R5-Q5 5 孔

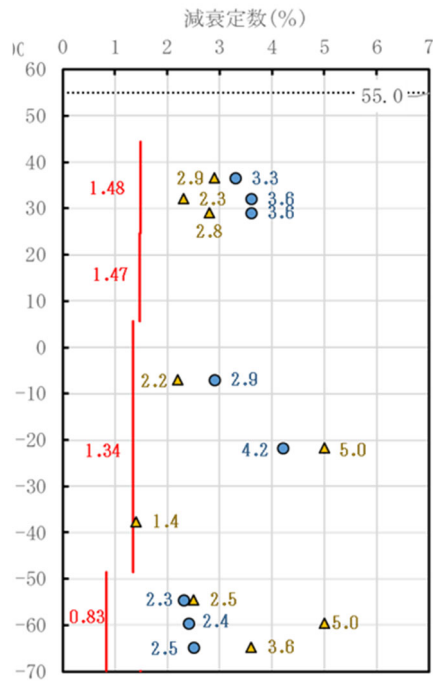


(6) R5-Q6 6 孔

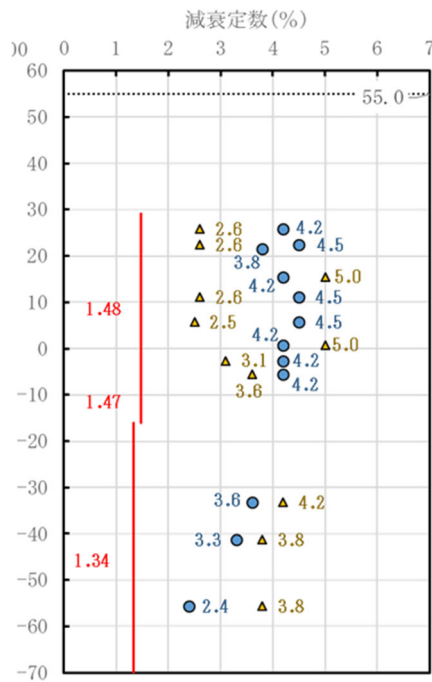
— : 繰返し三軸試験結果の最小減衰定数 ● : コアQ値測定結果の減衰定数(スペクトル比法) ▲ : コアQ値測定結果の減衰定数(パルスライズタイム法)

第 4.2-4 図 減衰定数の比較

(三軸圧縮試験, スペクトル比法及びパルスライズタイム法) (3/6)



(7) R 5-Q 7 孔

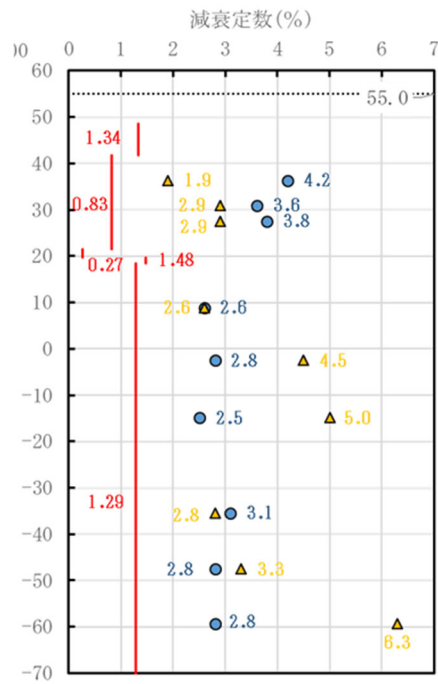


(8) R 5-Q 8 孔

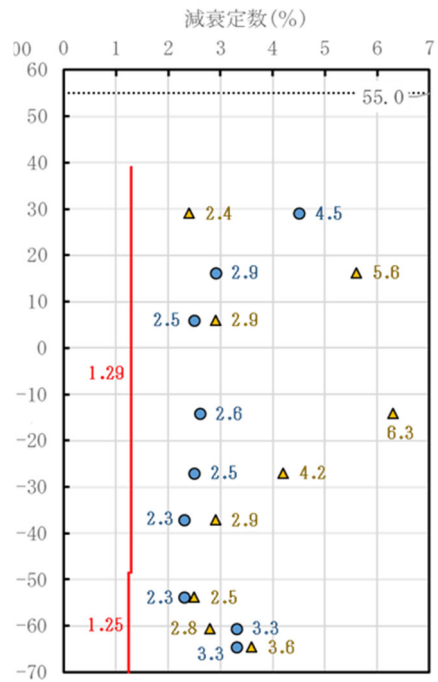
— : 繰返し三軸試験結果の最小減衰定数 ● : コアQ値測定結果の減衰定数(スペクトル比法) ▲ : コアQ値測定結果の減衰定数(パルスライズタイム法)

第 4.2-4 図 減衰定数の比較

(三軸圧縮試験, スペクトル比法及びパルスライズタイム法) (4/6)



(9) R 5-Q 9 孔

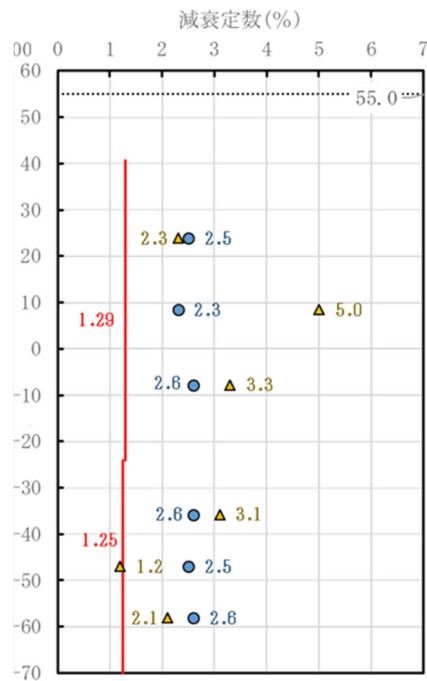


(10) R 5-Q 10 孔

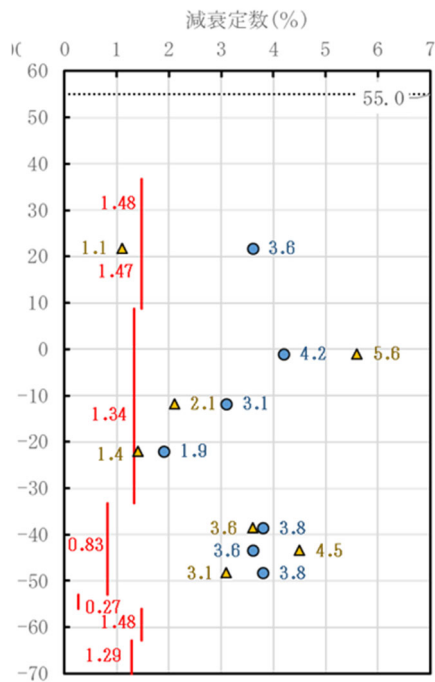
— : 繰返し三軸試験結果の最小減衰定数 ● : コアQ値測定結果の減衰定数(スペクトル比法) ▲ : コアQ値測定結果の減衰定数(パルスライズタイム法)

第 4.2-4 図 減衰定数の比較

(三軸圧縮試験, スペクトル比法及びパルスライズタイム法) (5/6)



(11) R 5-Q 11 孔



(12) R 5-Q 12 孔

— : 繰返し三軸試験結果の最小減衰定数 ● : コアQ値測定結果の減衰定数(スペクトル比法) ▲ : コアQ値測定結果の減衰定数(パルスライズタイム法)

第 4.2-4 図 減衰定数の比較

(三軸圧縮試験, スペクトル比法及びパルスライズタイム法) (6/6)

(h) 測定結果の信頼性

岩石コア試験による Q 値算定例 (R5-Q1 孔) として、第 4.2-5 図(1)にスペクトル比法、第 4.2-5 図(2)にパルスライズタイム法を示す。

第 4.2-5 図(1)図は、前述のスペクトル比法の解析手法のとおり、振幅スペクトル比の対数と透過波の周波数の関係における勾配(Q 値)を算定する。

今回、試験に用いたリファレンス(アルミ供試体)と岩石コアの透過波のピークの周波数については、第 4.2-5(1)図に示されるように乖離が見られる。また、リファレンスのピーク周波数においては岩石コアの振幅が非常に小さく、さらに、岩石コアの透過波における高次成分や反射波による影響と考えられる山谷が見られる結果となっている。

本来、スペクトル比法においては、リファレンスと岩石コアの振幅スペクトル比について、ピーク周波数間における勾配を求めるものとされているが、データから得られた上記傾向を踏まえると、リファレンスと岩石コアのピーク間の周期帯におけるスペクトル比の勾配は、岩石コアの減衰定数を適切に表しているとは言えず、信頼性のある Q 値を評価することは困難であると判断した。

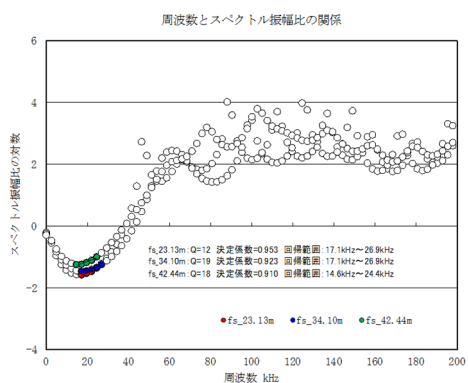
このことから、今回の岩石コア試験においては、本来の手法とは異なるものの、参考値として、透過波のピーク周波数である約 20kHz 近傍に限定してスペクトル比の勾配を算定することにより、Q 値を算定した。

第 4.2-5 図(2)のパルスライズタイム法についても同じ透過波形データを用いて解析しているが、初動波形における半周期の波形のみを用いており、供試体中の反射波による影響はスペクトル比法と比較して小さいと考えられる。

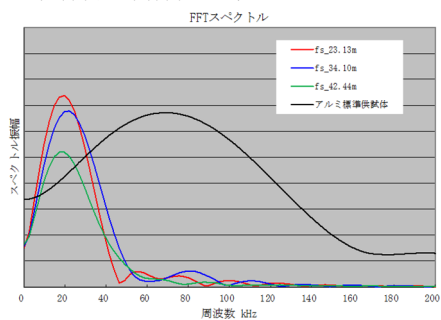
また、フーリエ変換等のデータ処理を介さず、得られた波形データをそのまま用いて評価を行うものであることから、岩石コアのピーク周波数成分だけでなく、上記スペクトル比法において見られた高次成分も含んだ透過波を用いることとはなるものの、スペクトル比法において算定した透過波のフーリエスペクトルによれば、ピーク周波数の振幅に対して高次成分の振幅はごく小さいものであり、寄与としては小さいと考えられる。

このことから、パルスライズタイム法によるQ値の評価については、スペクトル比法よりも信頼性を有しているものと考えられる。

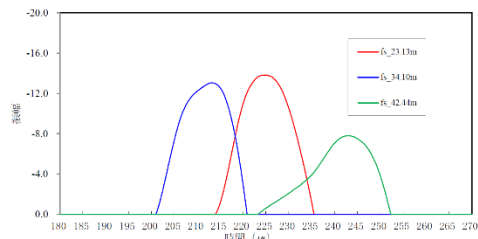
以上のことから、岩石コア試験結果としては、信頼性を有していると考えられるパルスライズタイム法の結果を用い、「5.2 材料減衰に係る分析」を実施することとする。



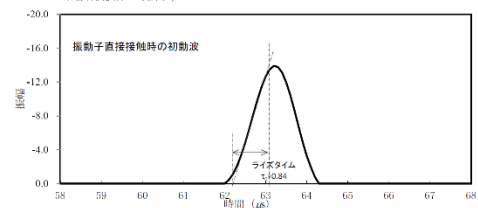
※岩石供試体、アルミ標準供試体の寸法はφ68×130mm



スペクトル比法による岩石供試体のQ値測定 (S波)
RS-Q1孔
fs: 風架層下部層細粒砂岩層 細粒砂岩(Tfs0)



※岩石供試体の寸法はφ68×130mm



RS-Q1孔
fs: 風架層下部層細粒砂岩層 細粒砂岩(Tfs0)

(1) スペクトル比法

(2) パルスライズタイム法

第 4.2-5 図 岩石コア試験による Q 値算定の一例 (R5-Q1 孔)

4.3 敷地における S 波検層による評価結果

4.3.1 既往の S 波検層データ

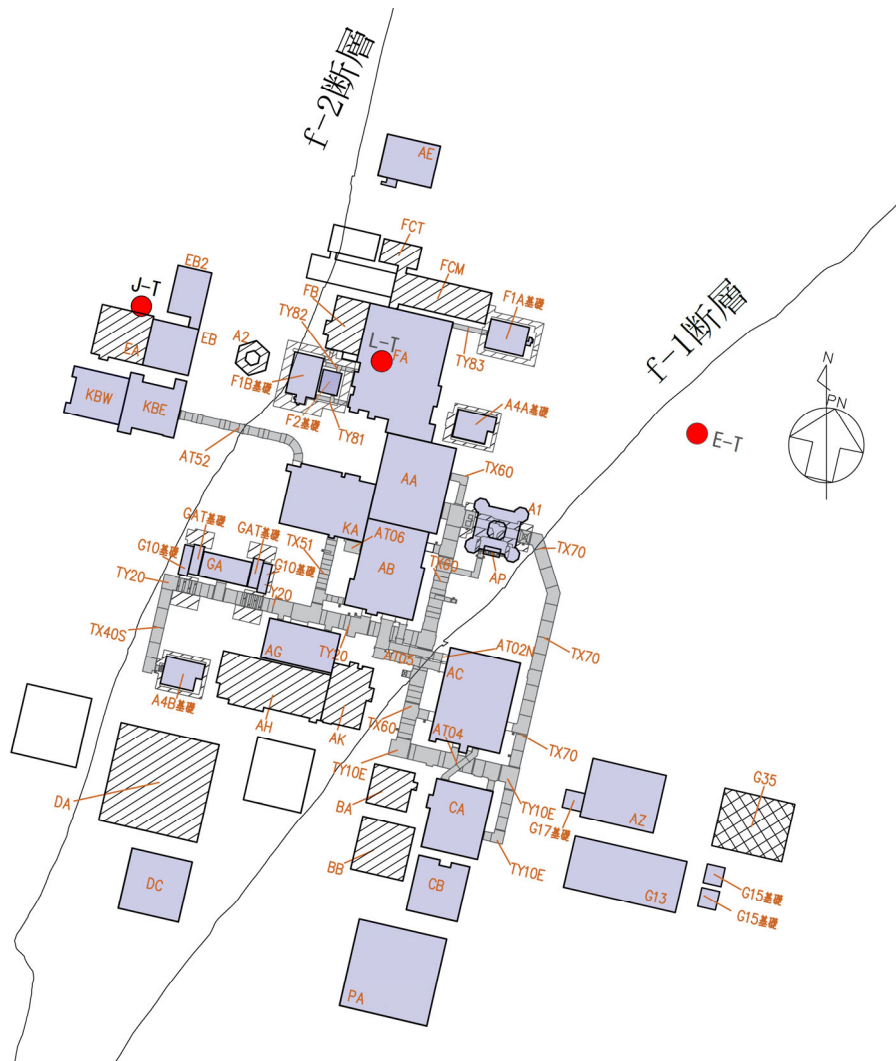
敷地において、過去のボーリング調査時に、第 4.3.1-1 図に示す敷地内の 3 地点（J-T 孔，L-T 孔，E-T 孔）において、PS 検層に基づく減衰定数の評価が行われていることから、当該位置における評価結果について整理した。上記 3 地点については、本文「4.1 地質学的に見た敷地内の地質構造」に示したとおり、敷地内の岩盤は f-1 断層と f-2 断層を境界として、大局的に、敷地内の西側，中央，東側の 3 つの地盤に区分され、それぞれの地盤において、地質構造は緩い傾斜はあるものの、概ね水平であるとしていることに対し、区分されたそれぞれの領域におけるデータとして得られており、鷹架層下部層，鷹架層上部層，鷹架層中部層といった主な地質構造の分布としては各領域の特徴を捉えたデータとなっていると考えられる。

敷地における PS 検層に基づく減衰定数の評価にあたっては、加振波とボーリング孔内観測波の応答スペクトルの振幅比に基づき、当該地点の減衰定数として振動数ごとに評価している。

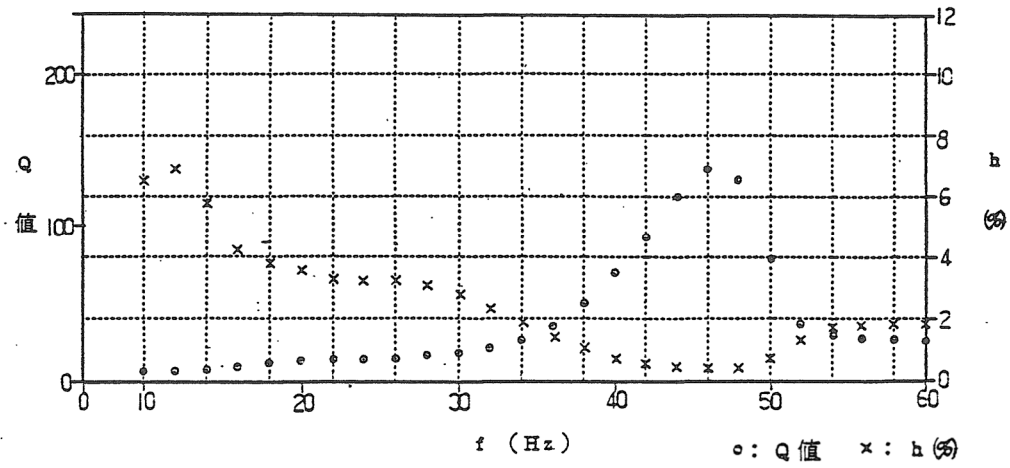
第 4.3.1-2 図に、S 波検層に基づく減衰定数について、J-T 孔，L-T 孔，E-T 孔における主要な岩盤部分に対応する評価結果を示す。PS 検層に基づく減衰定数は、いずれの孔においても、高振動数成分に着目した評価を行っており、振動数方向の信頼区間は 10Hz 又は 20Hz よりも高振動数側の領域としている。

また、敷地における減衰定数の振動数依存性の特徴として、振動数に反比例する傾向を有していることが確認できる、なお、第 3.2-1 表に示したとおり、減衰定数の振動数依存性については、10～20Hz 以上の振動数において頭打ちになるとの知見があるが、本評価結果においては、西側地盤では約 20Hz 以降でやや高振動数側で減衰定数の減少が緩やかになる傾向がみられるが、中央地盤及び東側地盤では同様の傾向は明瞭に確認できない。

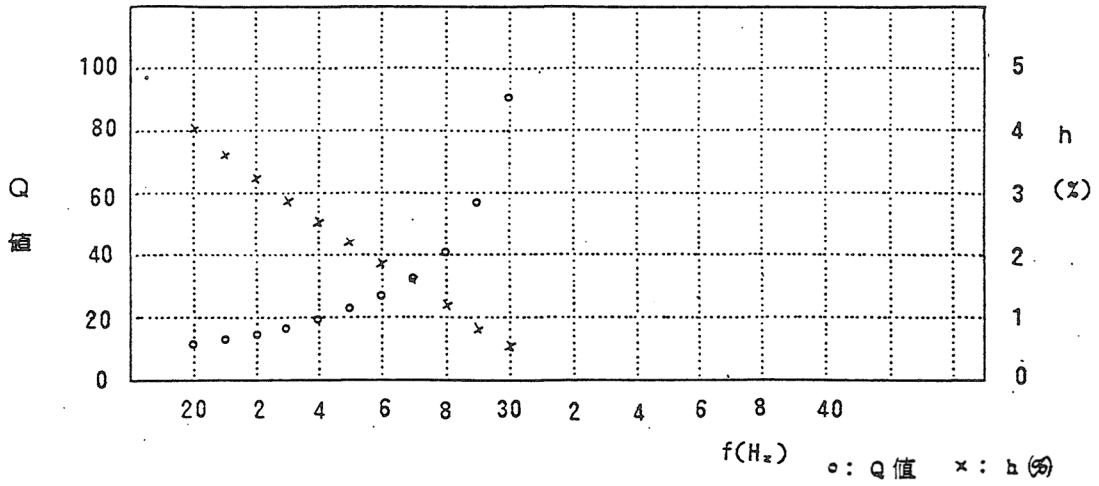
敷地における減衰定数の値に着目すると、高振動数側では 1% 未満の非常に小さい減衰定数が得られているが、低振動数側では、西側地盤に対応する J-T 孔で約 6%（10Hz）、中央地盤に対応する L-T 孔で約 4%（20Hz）の値が得られている。一方で東側地盤に対応する E-T 孔では 20%以上（10Hz）の減衰定数が得られており、ばらつきの大きい結果になっていると考えられる。



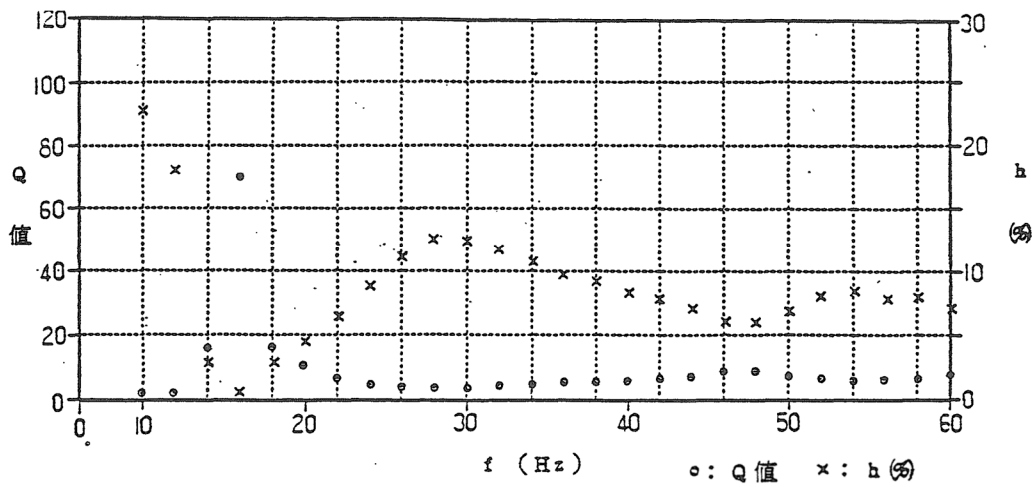
第 4.3.1-1 図 S 波検層による減衰定数の評価を実施している
ボーリング孔位置



(a) J-T 孔 (西側地盤の泥岩上部層に対応)



(b) L-T 孔 (中央地盤の細粒砂岩及び泥岩下部層に対応)



(c) E-T 孔 (東側地盤の軽石質砂岩に対応)

第 4.3.1-2 図 S 波検層による減衰定数の評価結果

4.3.2 追加の S 波検層データ

「4.3.1 既往の S 波検層データ」に示したとおり、既往の S 波検層による評価については、敷地内の 3 地点において実施されており、これは、既認可時における地盤モデルのエリア設定の考え方（西側地盤，中央地盤，東側地盤の 3 つのエリア）に基づき実施したものである。これに対し、今回設工認においては、本文並びに「別紙 2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」に示すとおり、近接する建屋のグループ単位において岩盤部分の物性値等の設定を行う方針としていることを踏まえると、上記の 3 地点におけるデータに加え、敷地内を網羅的に把握するために S 波検層データを追加取得し、各グループにおけるデータの特徴を踏まえた分析を実施する必要があると考えられる。

以上のことから、S 波検層による評価結果の信頼性向上を目的とし、近接する建屋のグループ単位における S 波検層の追加調査を実施した。

追加調査にて実施する S 波検層の計画及び実施内容の詳細については、「参考 1 岩盤部分の減衰定数の設定に係る追加調査」に示す。

S 波検層の追加調査により取得されたデータについては、以下の内容を確認することにより、信頼性を有するデータであることを確認している。

まず、試験方法については、「JGS-1122 地盤の弾性波速度検層方法」に適合する、信頼性を有する方法を用いている。

調査データそのものの信頼性を確保するために、試験装置については、校正された受信機を使用して試験を行っているほか、試験波形についても、減衰定数に見られる周波数特性を把握する上での精度を確保するために、振動数を変動させたスイープ震源を用いている。また、速度構造の解析時に初動走時を正確に把握するために、記録波形を位相反転した波形に対しても確認を実施し、読み取り精度の向上を図っている。

さらに、各種分析を行う上でのデータの信頼性を確保するために、起振波の振幅レベルに対して、常時微動による影響がないことの確認や、近接建屋や表層地盤の影響を加味した波形処理を実施している。これらの影響の確認結果については「参考 1 岩盤部分の減衰定数の設定に係る追加調査」にその詳細を示す。

なお、調査結果に対する信頼性を確保するために、S波検層の作業及びデータの読み取り・分析については、原子力施設における多数の実績を有する調査会社によって実施している。

本追加調査で得られる建屋グループ単位におけるS波検層による評価結果については、上記3地点のデータに対しての相対的な比較を行うとともに、各グループにおける速度構造との相関性について考察を行い、「5. データの分析」に示す、地震観測記録に基づく評価結果との整合性を確認する。

以上の確認により各建屋グループにおける岩盤部分の減衰定数を把握した上で、基本地盤モデルに考慮する岩盤部分の減衰定数の設定を行う。

追加調査を実施した地点について、第4.3.2-1図に示す。

各地点において得られたS波検層結果のデータを第4.3.2-2図に示す。S波検層データについては、「別紙2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」にて示した、近接する建屋のグループと、それに対応する追加調査孔ごとに整理して示す。

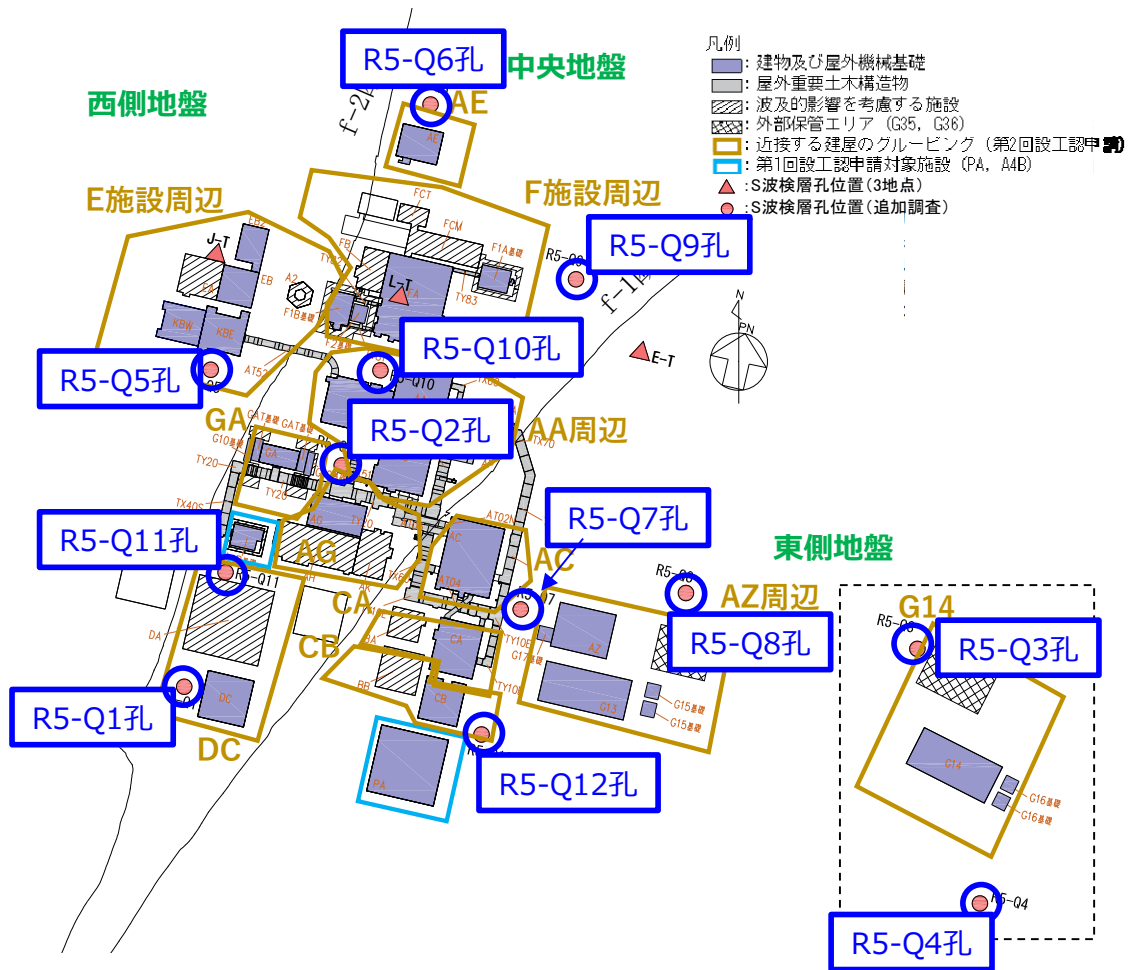
S波検層において波形は、周波数を10Hz～80Hzに変調させたスイープ波形を用いていることから、当該周波数帯に対応する減衰定数の測定結果を図中に示す。

なお、DCグループにおけるR5-Q11孔及びE施設周辺グループにおけるR5-Q5孔においては、周期0.02～0.03sの領域において谷となる傾向が見て取れるものの、地盤の減衰定数が、周波数依存性をもたない材料減衰と、短周期側に向かって小さくなる周波数特性を有する散乱減衰で構成されることを考慮すると、短周期側に向かって減衰定数が大きくなる傾向は考えにくいことから、この谷は地下構造の特徴に起因するものではないと考えられる。

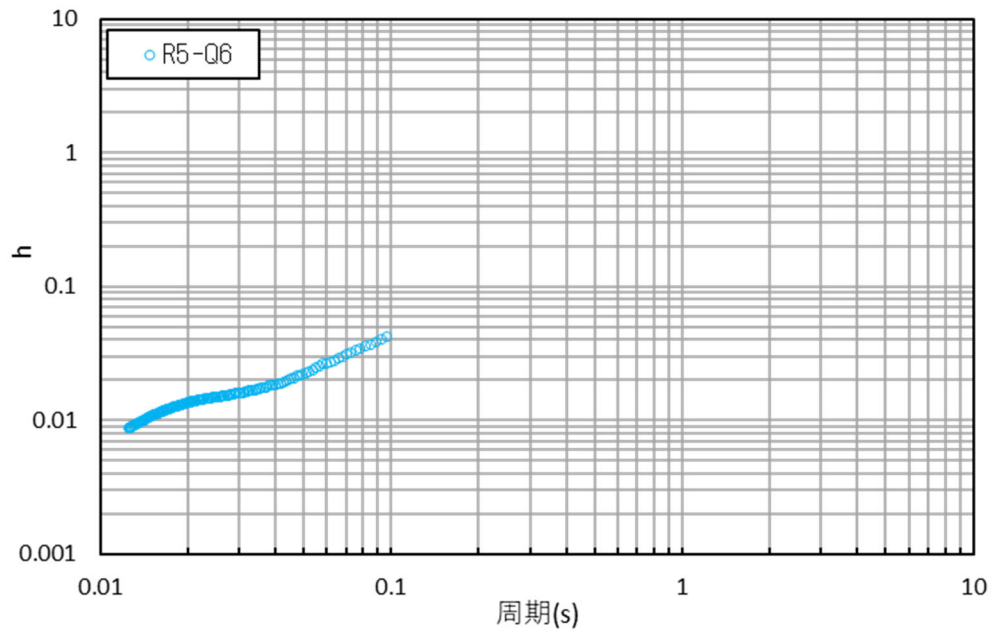
また、この谷の大きさは、地盤応答解析において考慮する応答スペクトルの周期帯における減衰定数の値（一桁%オーダー）に対して小さいオーダーでの傾向となっており、減衰定数の周波数特性に大きな影響を及ぼすものではない。

また、他サイトにおける調査実例においても、このような山谷となる傾向は見られること、他サイトにおける実例や、「4.3.1 既往のS

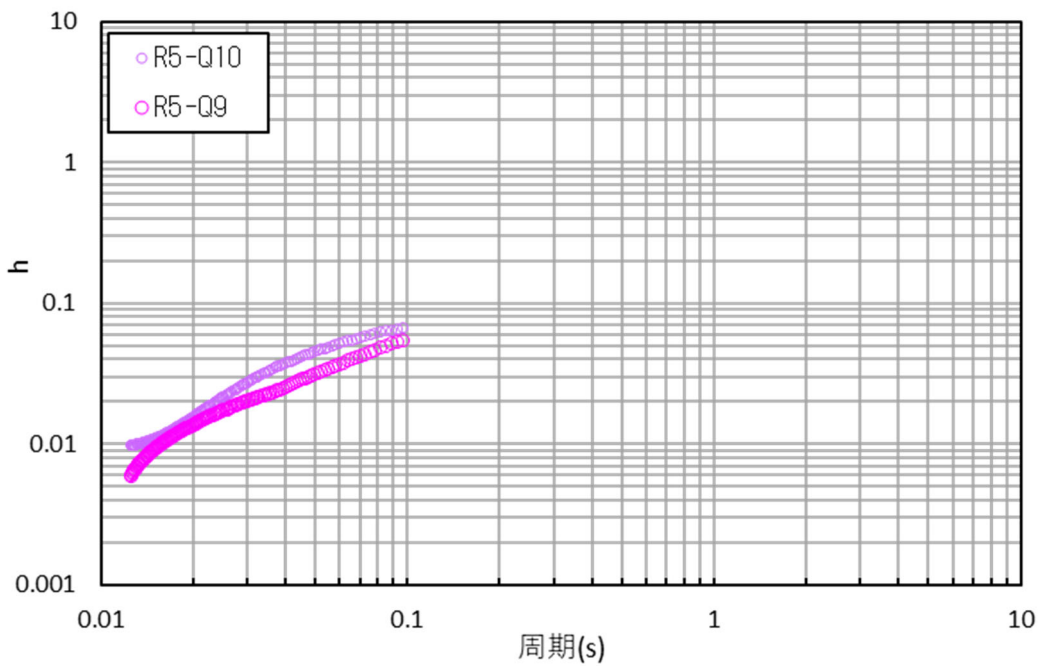
波検層データ」における東側地盤及び西側地盤において見られる山谷は，本追加調査データに見られる山谷よりも大きい変動となっていることを踏まえれば，追加調査により得られた減衰定数は，精度よく得られていると考えられる。



第 4.3.2-1 図 S 波検層に係る追加調査位置図

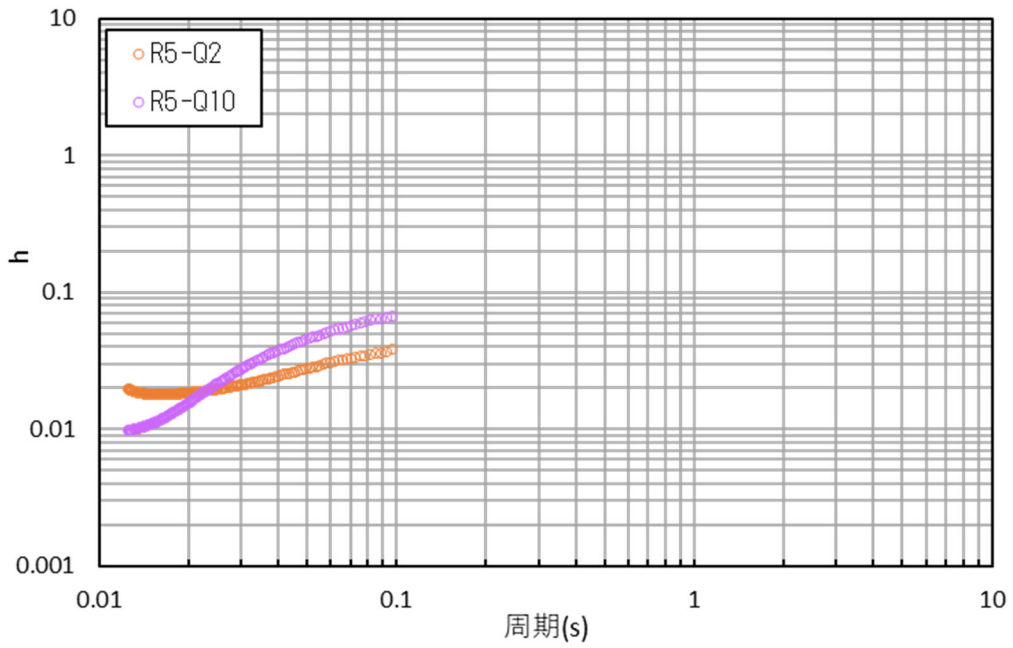


(1) AE グループ (R5-Q6) における S 波検層結果

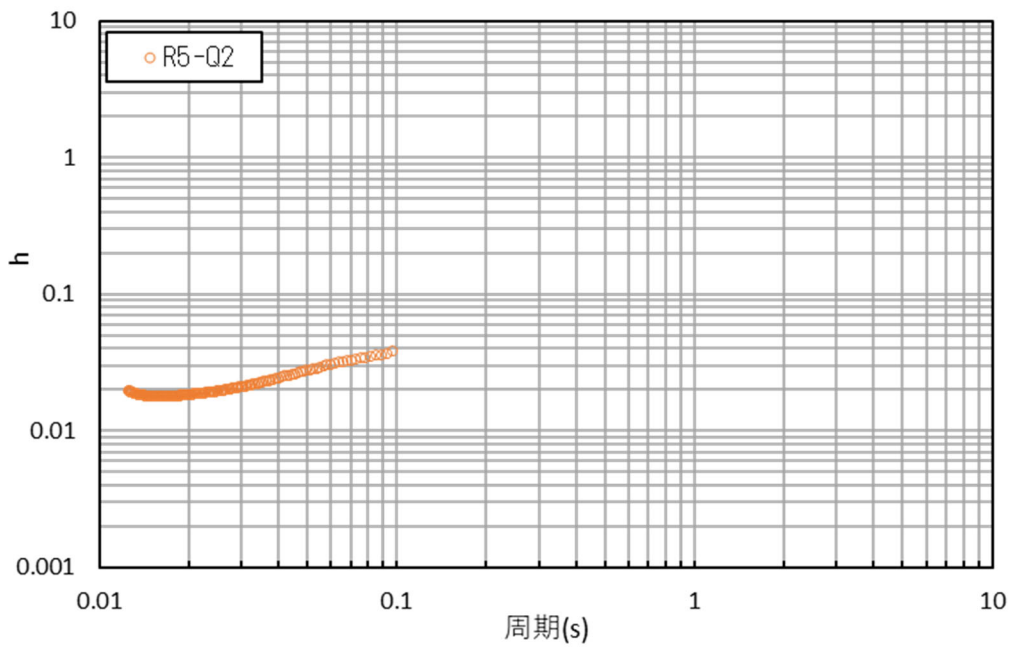


(2) F 施設周辺グループ (R5-Q9, 10) における S 波検層結果

第 4.3.2-2 図 追加調査における S 波検層結果 (1/6)

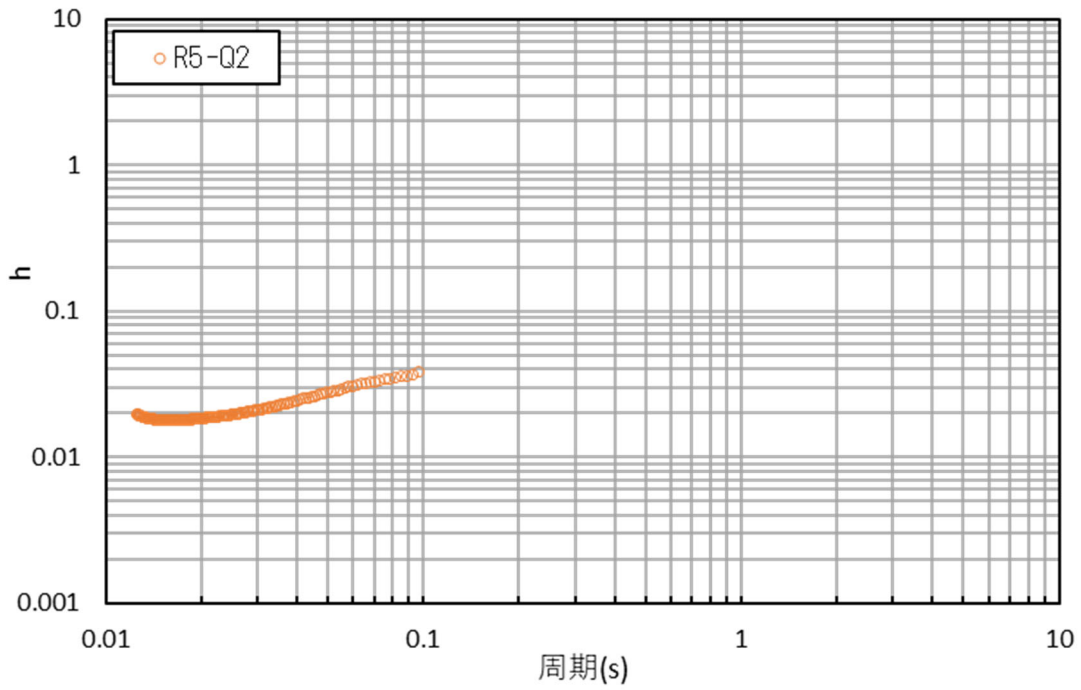


(3) AA 周辺グループ (R5-Q2, 10) における S 波検層結果

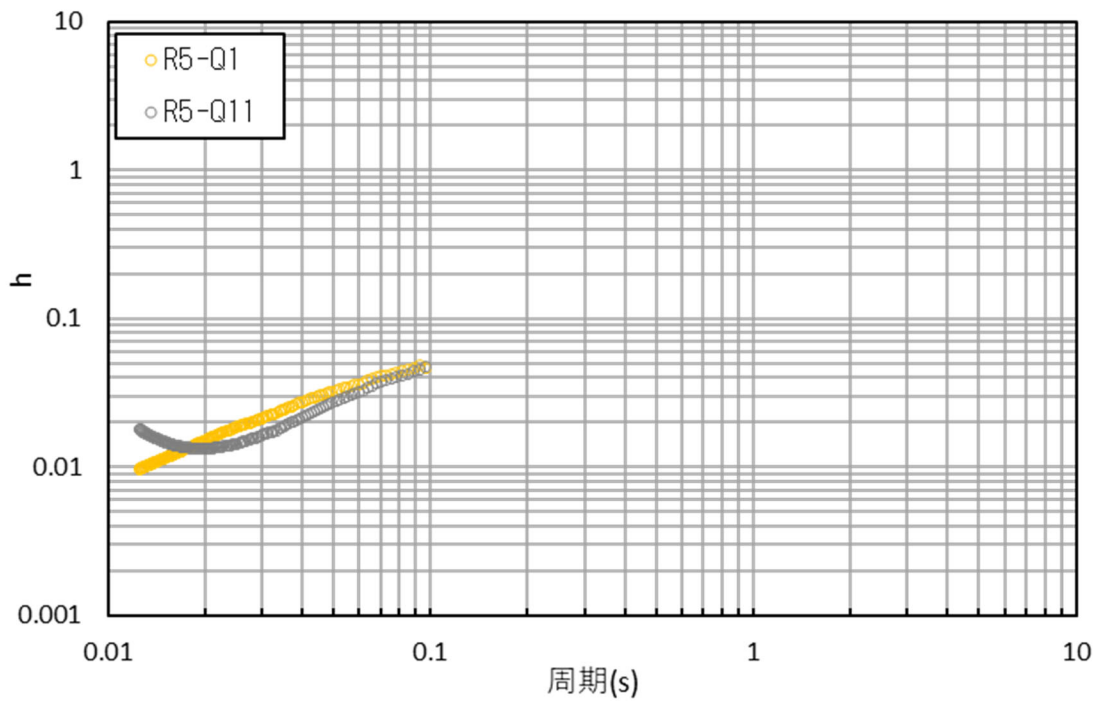


(4) GA グループ (R5-Q2) における S 波検層結果

第 4.3.2-2 図 追加調査における S 波検層結果 (2/6)

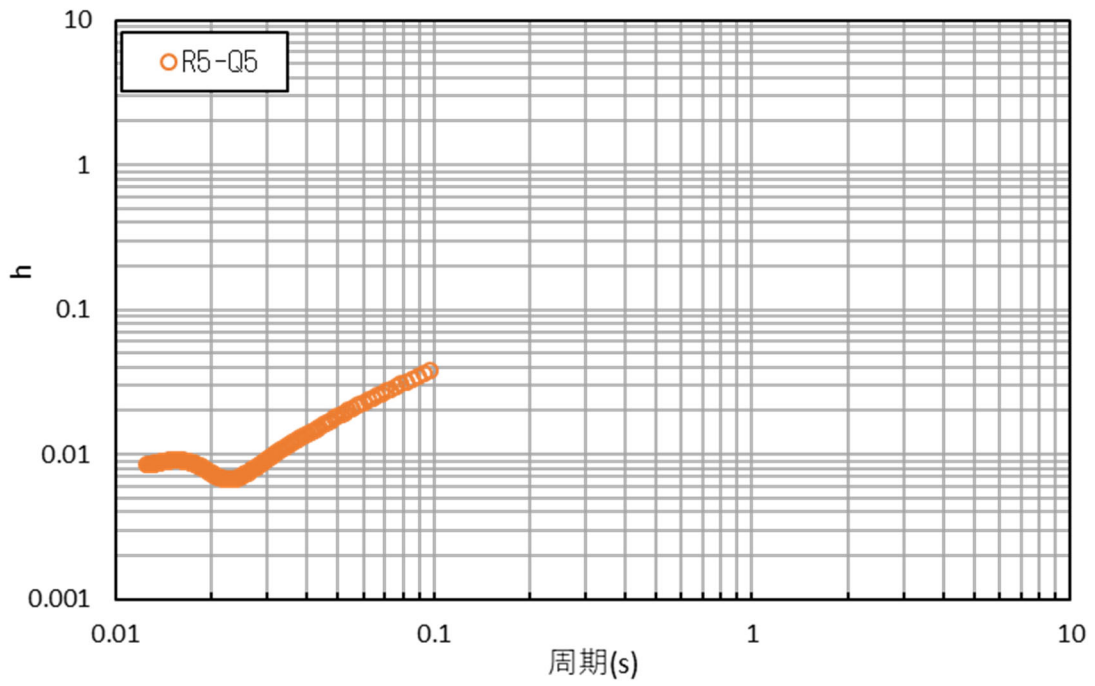


(5) AG グループ (R5-Q2) における S 波検層結果

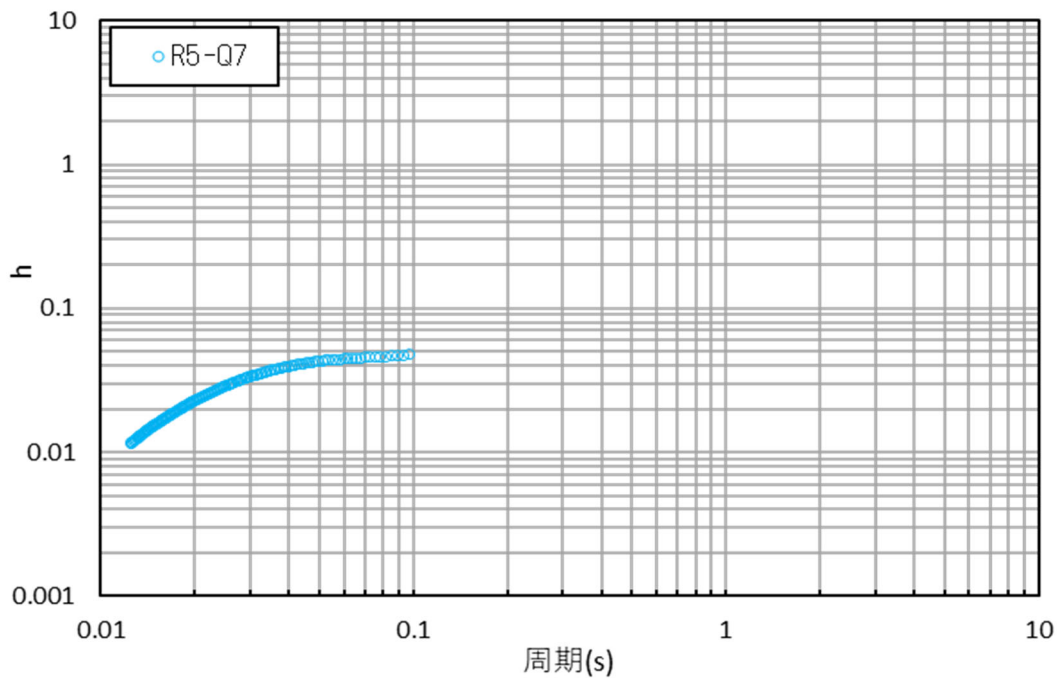


(6) DC グループ (R5-Q1, 11) における S 波検層結果

第 4.3.2-2 図 追加調査における S 波検層結果 (3/6)

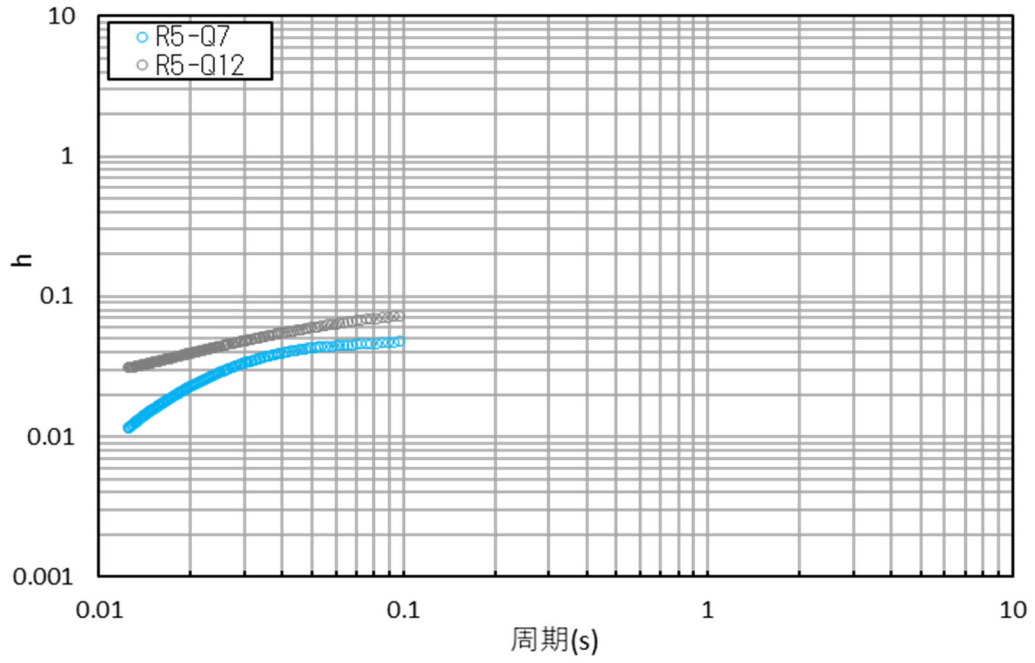


(7)E 施設周辺グループ (R5-Q5) における S 波検層結果

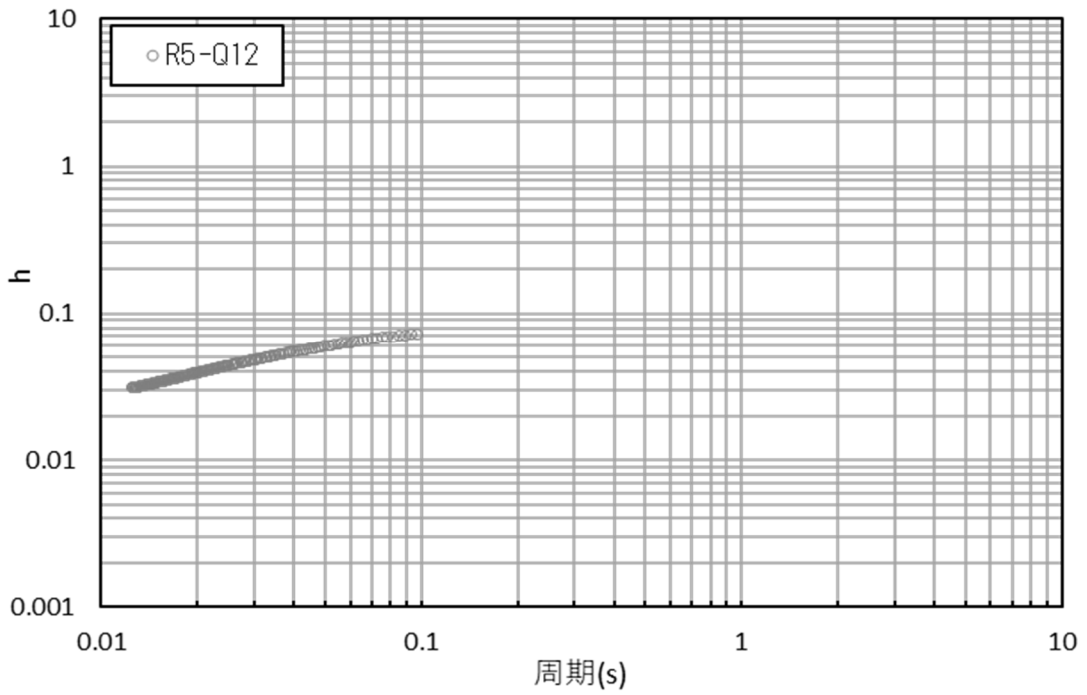


(8)AC グループ (R5-Q7) における S 波検層結果

第 4.3.2-2 図 追加調査における S 波検層結果 (4/6)

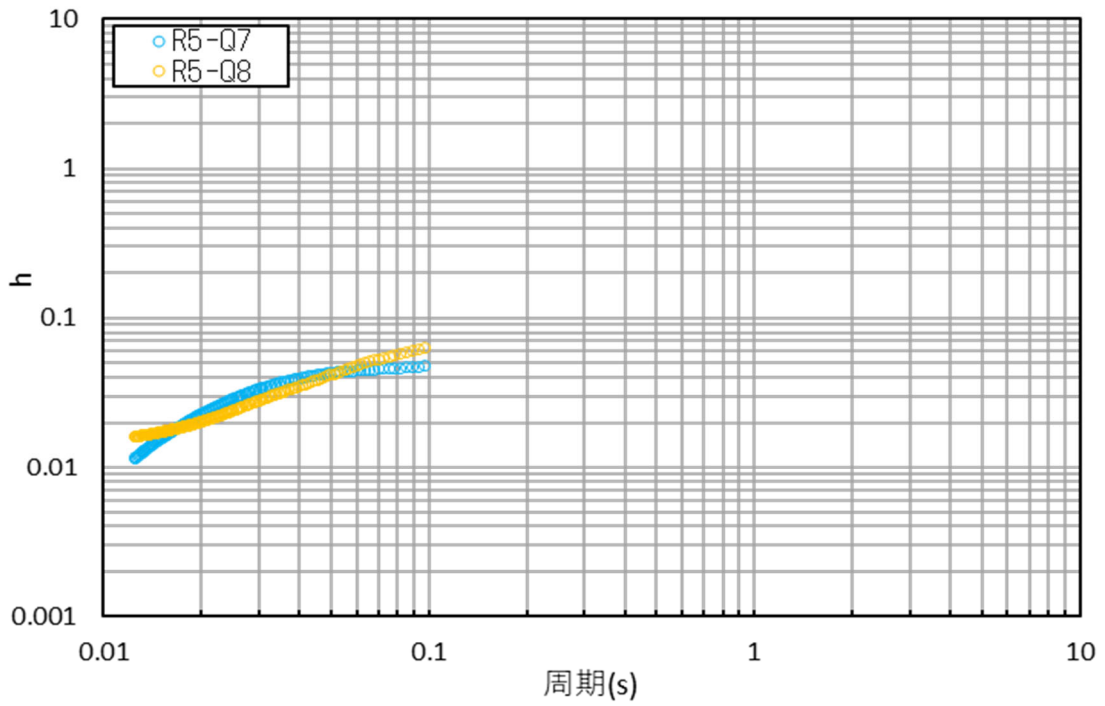


(9) CA グループ (R5-Q7, 12) における S 波検層結果

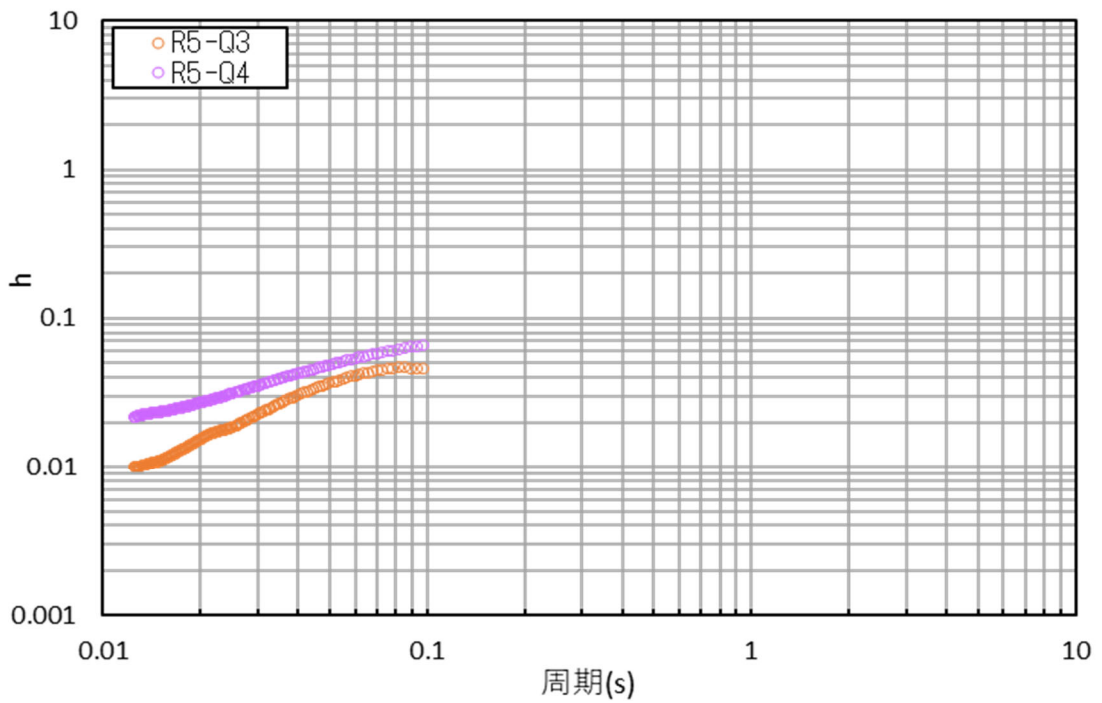


(10) CB グループ (R5-Q12) における S 波検層結果

第 4.3.2-2 図 追加調査における S 波検層結果 (5/6)



(11) AZ グループ (R5-Q7, 8) における S 波検層結果



(12) G14 グループ (R5-Q3, 4) における S 波検層結果

第 4.3.2-2 図 追加調査における S 波検層結果 (6/6)

4.4 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価結果

敷地における岩盤部分の減衰定数として、材料減衰及び散乱減衰の両方が含まれた値を、敷地において得られている地震観測記録を用いて同定する。

本検討において用いる地震観測記録は地中波であることから、表層地盤による影響も含まれた情報に基づく評価となるが、本資料における評価の目的が岩盤部分の減衰定数に対する確認であることを踏まえ、表層地盤と岩盤部分を個別に同定することにより、表層地盤における影響を分離した岩盤部分の減衰定数を評価することとした。

また、地震計を設置している敷地内の中央地盤、西側地盤、東側地盤の3地点のそれぞれに対して同定を実施し、その違いを確認することで、各地震観測位置において、地震観測記録をよく説明する減衰定数を評価する。

本章における同定解析について、解析コードは「Trans_GA(Ver.2023)」を、地震観測記録を用いたシミュレーション解析については「PSDENT(Ver.2023)」は用いる。本解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、補足説明資料「耐震建物 29 耐震設計の基本方針に関する計算法プログラム(解析コード)の概要について」にて示す。

4.4.1 地震観測記録を用いた減衰定数の評価方法

本章では、以下の方法により、地震観測記録を用いた敷地における岩盤部分の減衰定数の評価を実施する。

「3.3.3 地震観測記録による評価方法」に示したとおり、伝達関数による検討については、多角的な検討を行う観点で、振動数依存性について条件を変化させた検討を実施する。また、上記以外の手法として、地盤の速度構造によらず直接地盤の減衰定数を評価する方法として、地震波干渉法による検討を実施する。

伝達関数による検討については「4.4 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価結果」に、地震波干渉法による検討については「4.4.5 地震波干渉法による検討」に、それぞれの評価条件及び評価結果を示す。

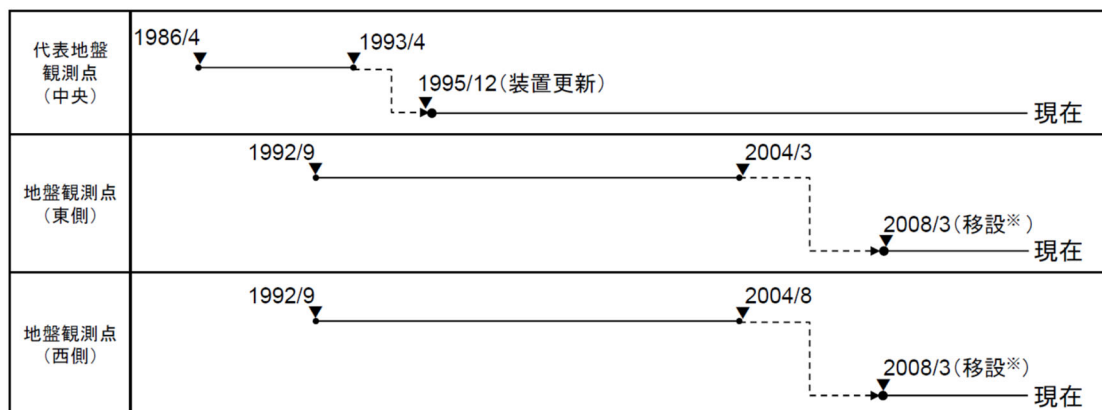
これら複数の考え方に基づく減衰定数の評価を実施し、各方法における地震観測記録の再現性及び振動数特性に着目し、岩盤部分における減衰定数を評価する。

4.4.2 敷地における地震観測の概要

敷地では、中央、西側、東側地盤の3地点において地震観測記録の収集を行っている。また、第4.4.2-1図～第4.4.2-3図に示すとおり、地震観測位置のうち、西側及び東側地盤観測点については、2008年を境に移設を行っている。

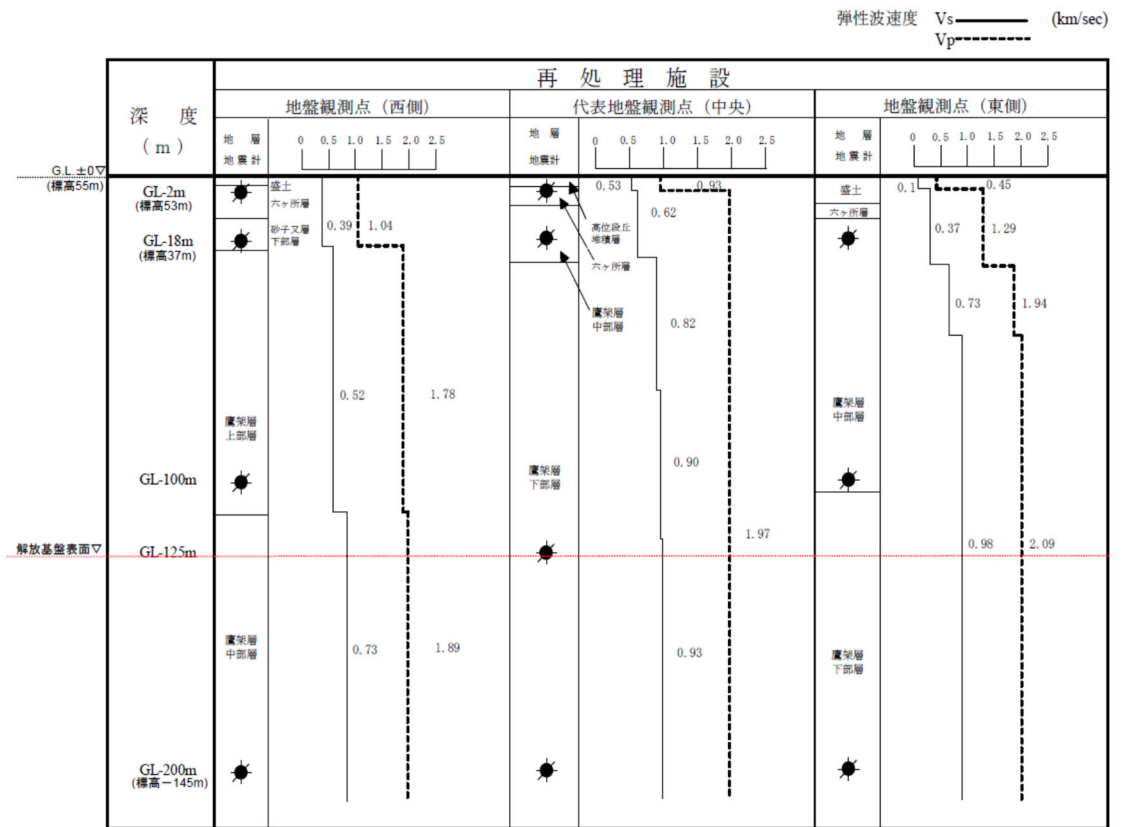
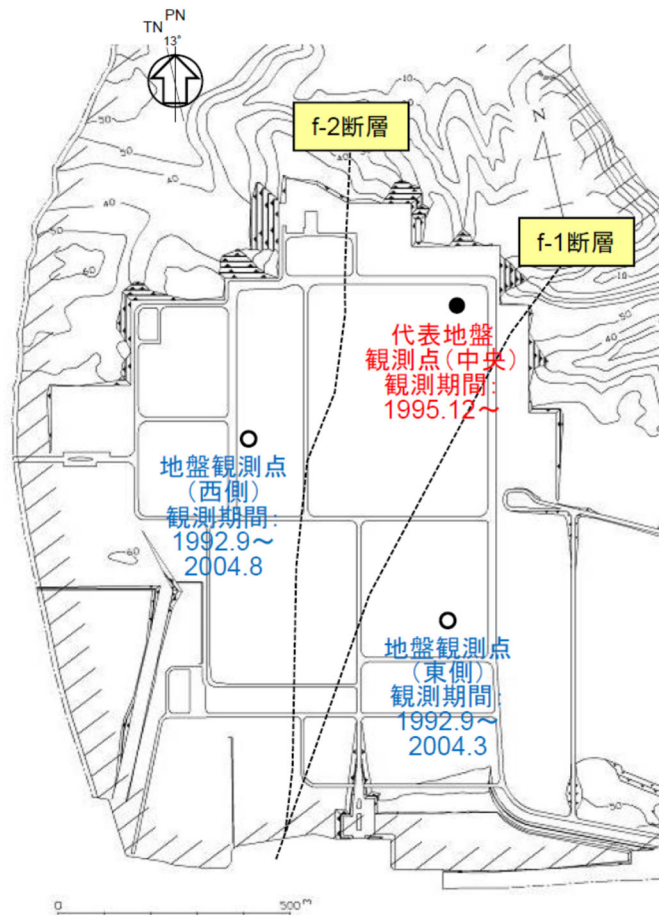
西側及び東側地盤観測点における地震観測位置の移設については、事業変更許可申請において説明を実施しており、移設前後において地下構造が大きく変わらないことを、移設前後のPS検層結果及びはぎとり地盤モデルの速度構造との比較により示している。

本資料においては、後述のとおり、はぎとり地盤モデルの作成と同様の手法により減衰定数を評価する際、S波速度についても、振動数特性の適合度を向上させる観点で変動させていることから、変動後の速度構造との評価結果との関係性について、事業変更許可申請と同様に速度構造の比較を行う。



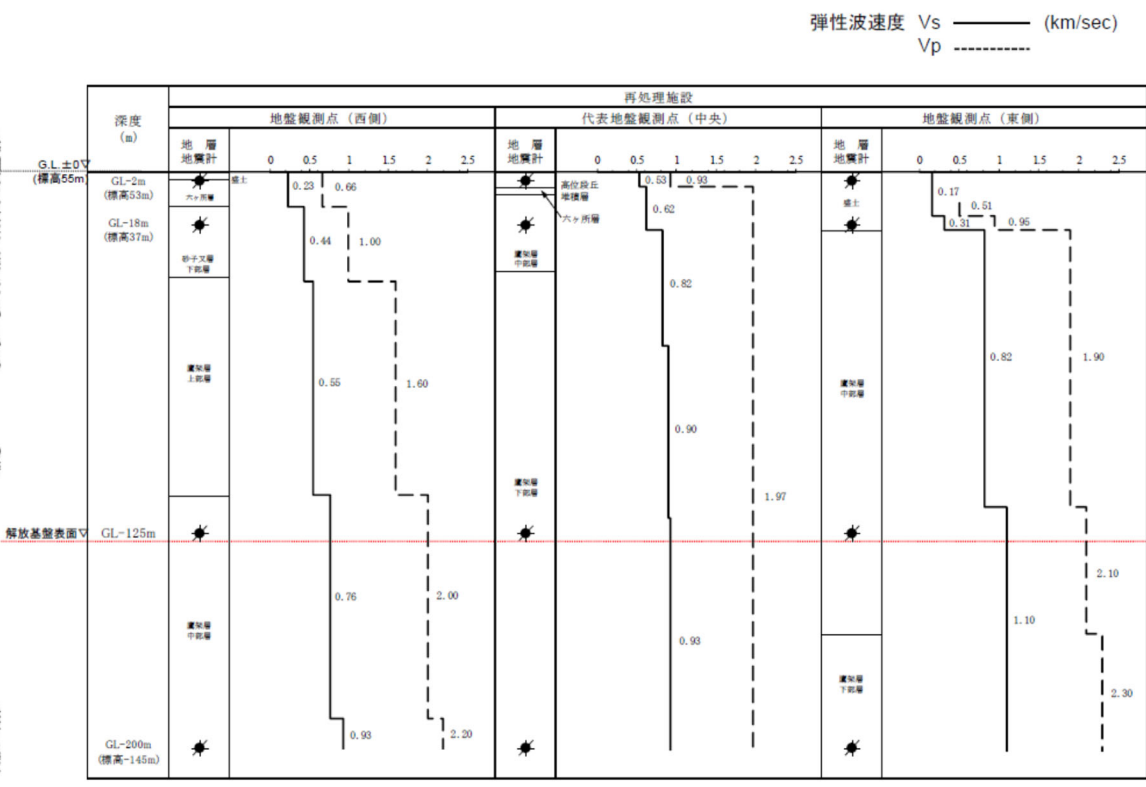
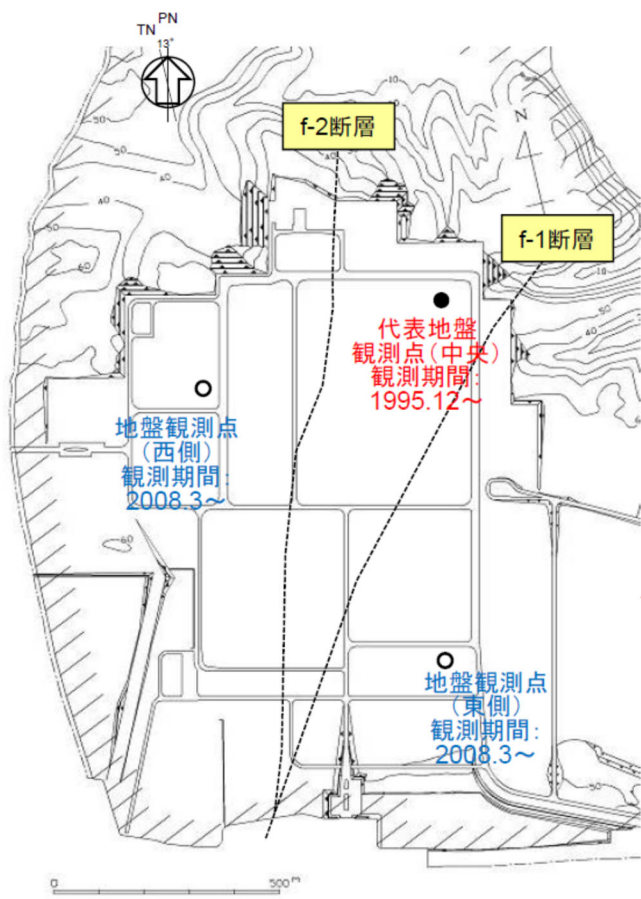
※G.L.-100m地震観測点を、G.L.-125mに移設

第4.4.2-1図 敷地内各位置における地震観測期間
(2020年2月21日第339回審査会合 資料1-4-1 p38より抜粋)



注)地震計は各々水平・鉛直3成分

第 4.4.2-2 図 2004 年以前の地震観測位置
(2020 年 2 月 21 日第 339 回審査会合 資料 1-4-2 p9 より抜粋)



注)地震計は各々水平・鉛直3成分

第 4.4.2-3 図 2008 年以降の地震観測位置(本資料における評価に用いる地震観測位置)
(2020 年 2 月 21 日第 339 回審査会合 資料 1-4-2 p10 より抜粋)

4.4.3 評価に用いる地震観測記録

評価に用いる地震観測記録について、敷地内で地震観測を実施している中央、西側及び東側地盤のそれぞれの地震観測点において、現在の地震観測位置における地震観測記録から選定する。

評価に用いる地震観測記録については、以下の取り組み及び確認により、信頼性が確保されたものを用いている。

- ・敷地における地震観測記録は、これを用いた評価・分析が適切に行えるよう、正確な地震観測記録を得るために、設置時において、NS成分及びEW成分の地震動を測定するセンサの方向と、実際の方位のずれを計測しており、観測記録の取得時にはその方位ずれを補正することにより、正しい方向性を有した地震観測記録を取得している。
- ・地震観測装置の健全性を保つための取り組みとして、センサ並びに収録装置を含む観測装置全体について、機器の耐用年数に応じたリプレースを継続的に実施していることから、地震観測装置の健全性は保たれている。
- ・地震観測装置は、1日1回の定時校正を行っており、センサに異常が無いことを確認していることから、観測装置は正常に動作していることを確認している。

地震観測記録の選定にあたっては、伝達関数の再現解析を行う上で、地盤の各深さ間の伝達関数に見られるピークを精度よく把握する必要があるため、加速度振幅の大きい地震を選定することとした。

選定する地震数としては、事業変更許可申請において地震動評価に用いるはぎとり地盤モデルを作成する際、2003年までに得られている13地震を対象に、本評価と同様の伝達関数の再現解析を実施していたことを踏まえ、概ね同数の地震を選定することとした。

「4.4.2 敷地における地震観測の概要」に示したとおり、2008年に西側地盤及び東側地盤の地震観測装置の移設を行っているが、本資料における検討においては、現時点にて移設後の地震観測記録が豊富に得られており、震源情報の整理も進んでいること、また、2011年東北地方太平洋沖地震等及びその余震を含む大加速度の地震についても地震観測記録が多く取得できていることから、移設後の2008年以降の地

震観測記録を用いて評価を行うこととした。

なお、事業変更許可申請に係る検討時点においては、移設後の地震観測地点における地震観測記録に対し、移設前の地震観測記録が多かったこと、また、移設前に観測された地震については震源情報等についても詳細に整理がなされていたことから、移設前の地震観測記録を用いた評価を行っていた。

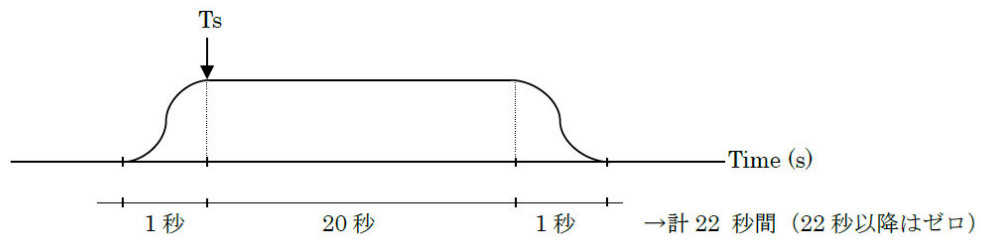
事業変更許可申請におけるはざとり地盤モデルは、敷地において得られた地震観測記録に基づいて解放基盤表面における基盤地震動を算定し、解放基盤表面において、敷地全体で概ね同等の地震動となることの確認に用いるものであったこと、また、基準地震動の策定において考慮する検討用地震に対して、断層モデルを用いた手法による地震動評価を行う際、経験的グリーン関数法による地震動評価に用いる要素地震として、主に2008年の観測装置移設前の時点に発生した地震観測記録に基づいて設定していたことから、この条件との整合性を考慮するために、移設前の地震観測地点における地震観測記録に基づいて設定していた。

また、後述の「4.4.5 目的関数の設定」において、上記の考え方により選定した地震が、敷地における地盤の振動特性を把握する上で十分であることを、地震数を増やした場合の伝達関数の平均値への影響の観点で確認する。

上記を踏まえ、中央、西側及び東側地盤観測点のそれぞれについて、第 4.4.2-1 図に示した移設後の地震観測期間内で、最深部（GL-200m）において、いずれかの成分で 10Gal 以上の最大加速度が得られている地震を選定することを基本とし、10Gal 以上の地震を選定した結果、その数が 10 地震に満たない場合は、選定基準を 5 Gal 以上に拡大し、10 地震以上のサンプルが得られるよう配慮した。

また、地震観測記録の波形に対する処理としては、直達波による影響を適切に考慮するため、TR 成分（各地震の震央方向に直行する方向の成分）に変換した後、第 4.4.3-1 図に示すように、S 波の初動以降を約 20 秒間切り出したものを用いた。

各地震観測点において評価に用いた地震の選定の考え方及び結果について、以下(1)～(3)に示す。



第 4.4.3-1 図 時刻歴波形の処理概要

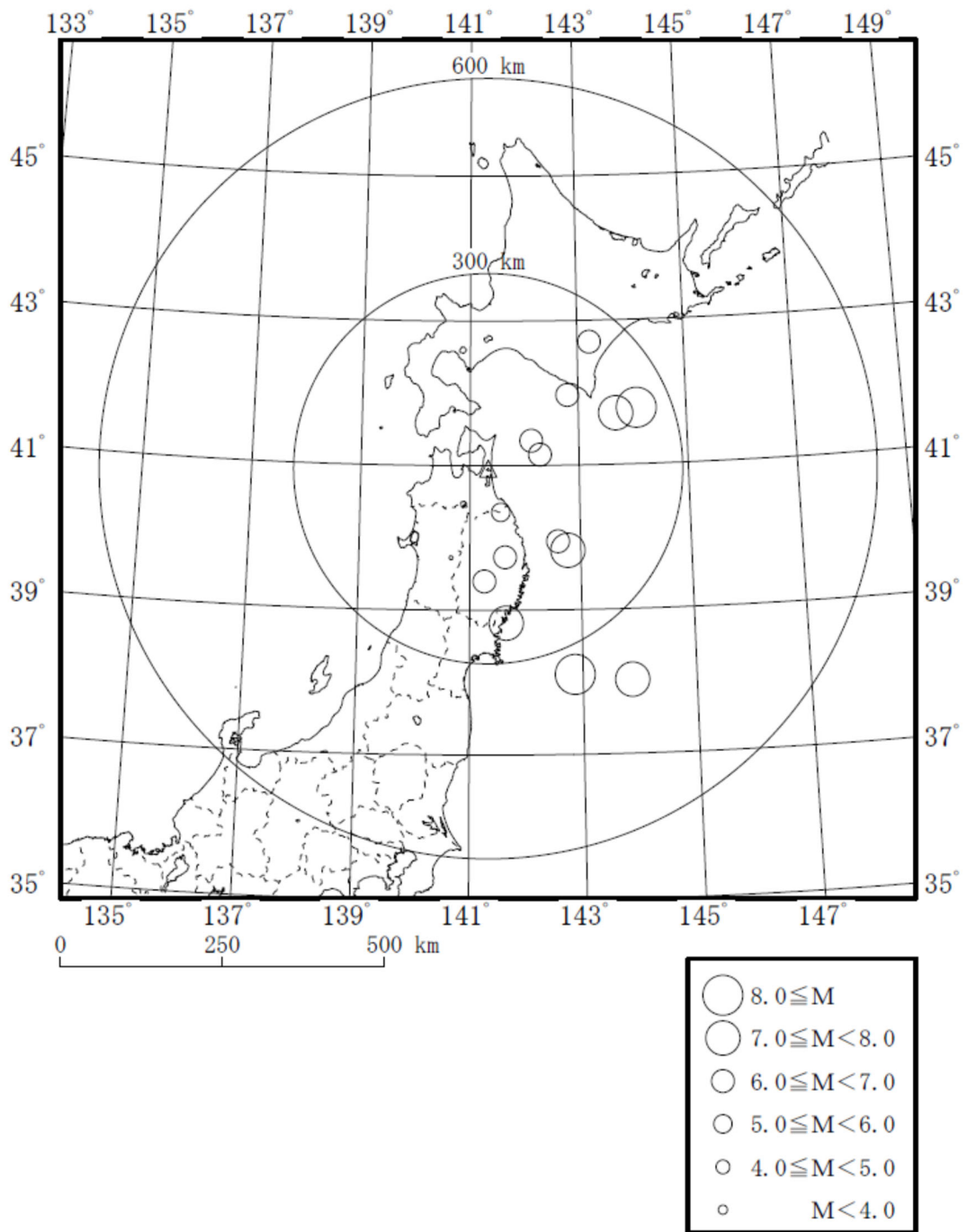
(1) 中央地盤観測点

中央地盤観測点においては、最深部（GL-200m）で 10Gal 以上の記録が得られている地震である 14 地震を選定し、各観測深さ（GL-200m, GL-125m, GL-18m 及び GL-2m）の地震観測記録を評価に用いた。

選定した地震を第 4.4.3-1 表に、選定した地震の震央分布を第 4.4.3-2 図に示す。

第 4.4.3-1 表 評価に用いる地震の選定結果（中央地盤観測点）

No.	年	月	日	時	分	震源地名	東経		北緯		M	深さ	震央距離	震源距離	GL-200m		
															NS	EW	UD
1	2001	12	2	22	1	SOUTHERN IWATE PREF	141	15.79	39	23.9	6.4	121.5	174	212	10.10	11.60	6.10
2	2002	10	14	23	12	E OFF AOMORI PREF	142	16.85	41	9.11	6.1	52.71	83	98	12.20	10.60	8.86
3	2003	5	26	18	24	NORTHERN MIYAGI PREF	141	39.04	38	49.26	7.1	72.03	239	250	12.50	12.40	10.50
4	2003	9	26	4	50	SE OFF TOKACHI	144	4.71	41	46.71	8.0	45.07	247	251	18.60	20.20	13.00
5	2003	9	26	6	8	SE OFF ERIMOMISAKI	143	41.49	41	42.59	7.1	21.41	215	216	21.30	17.00	13.20
6	2008	7	24	0	26	NORTHERN IWATE PREF	141	38.12	39	43.92	6.8	108.08	139	176	39.10	33.90	23.44
7	2011	3	11	14	46	FAR E OFF MIYAGI PREF	142	51.66	38	6.21	9.0	23.74	344	345	28.99	21.46	17.77
8	2011	3	11	15	8	E OFF IWATE PREF	142	46.01	39	49.24	7.4	32.02	176	179	17.93	18.83	11.97
9	2011	6	23	6	50	E OFF IWATE PREF	142	35.45	39	56.87	6.9	36.4	155	159	23.85	14.72	9.22
10	2012	5	24	0	2	E OFF AOMORI PREF	142	7.4	41	20.6	6.1	60	79	99	37.98	24.62	16.13
11	2012	12	7	17	18	OFF SANRIKU	143	52	38	1.1	7.3	49	393	396	11.17	11.14	10.32
12	2013	2	2	23	17	SOUTHERN TOKACHI REGION	143	13.6	42	42.1	6.5	102	249	269	10.48	12.00	5.61
13	2015	7	10	3	32	NORTHERN INLAND OF IWATE PREF	141	33.5	40	21.2	5.7	88	70	112	12.41	10.50	5.81
14	2016	1	14	12	25	OFF URAKAWA	142	41	48	58.2	6.7	52	166	174	12.07	13.32	8.62



第 4.4.3-2 図 評価に用いた地震の震央分布（中央地盤）

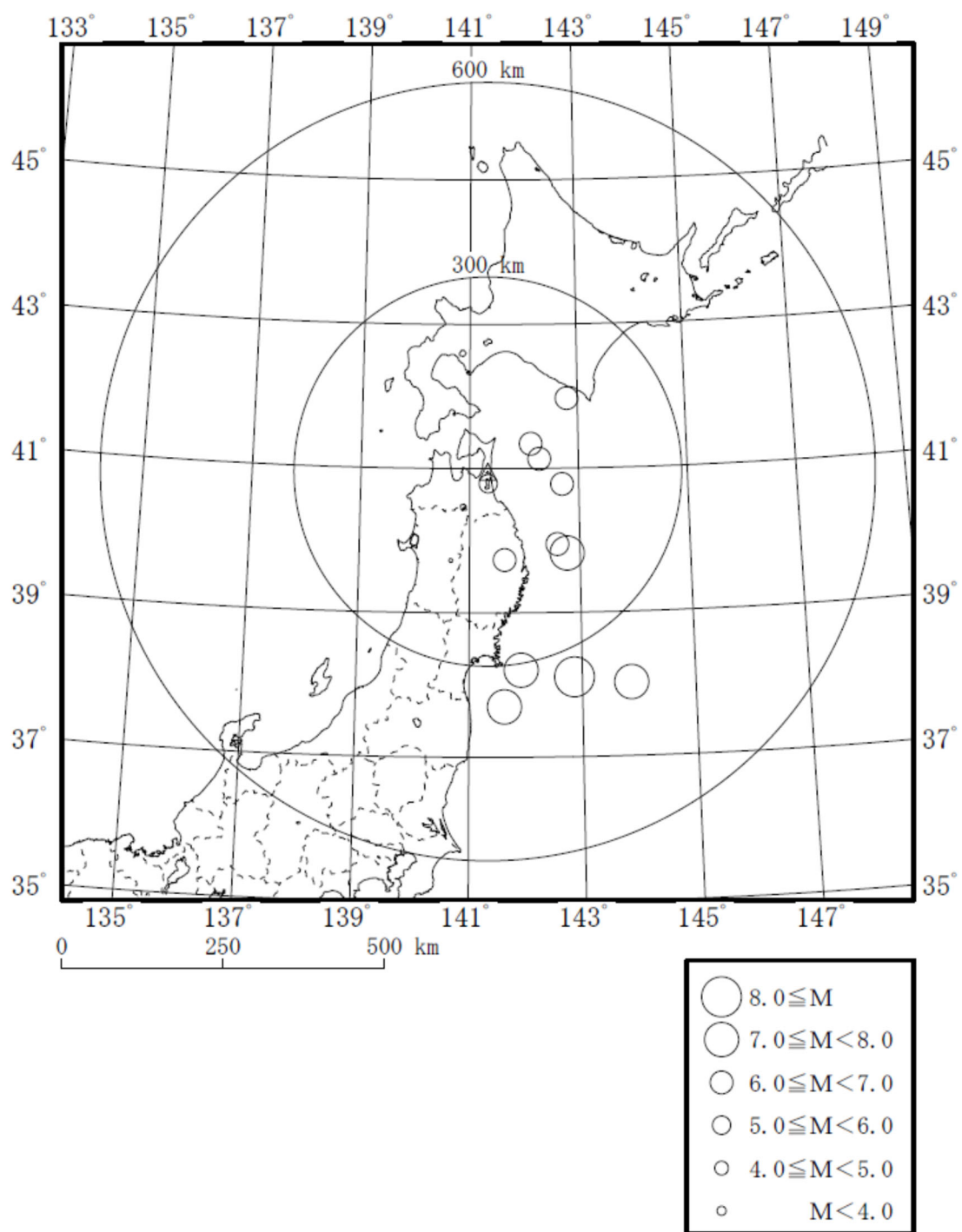
(2) 西側地盤観測点

西側地盤観測点においては、最新部（GL-200m）で 10Gal 以上の地震を選定した結果、NS 方向において 10Gal 以上の記録となっている地震は 9 つであったことから、選定基準を 5Gal に拡大し、全 12 地震を選定したうえで、各観測深さ（GL-200m, GL-125m, GL-18m 及び GL-2m）の地震観測記録を評価に用いた。

選定した地震を第 4.4.3-2 表に、選定した地震の震央分布を第 4.4.3-3 図に示す。

第 4.4.3-2 表 評価に用いる地震の選定結果（西側地盤観測点）

No.	年	月	日	時	分	震源地名	東経		北緯		M	深さ	震央距離	震源距離	GL-200m		
															NS	EW	UD
1	2008	7	24	0	26	NORTHERN IWATE PREF	141	38.12	39	43.92	6.8	108.08	139	176	41.72	54.67	24.37
2	2011	3	11	14	46	FAR E OFF MIYAGI PREF	142	51.66	38	6.21	9.0	23.74	344	345	28.57	21.73	17.18
3	2011	3	11	15	8	E OFF IWATE PREF	142	46.01	39	49.24	7.4	32.02	176	179	23.04	21.22	13.00
4	2011	4	7	23	32	E OFF MIYAGI PREF	141	55.21	38	12.25	7.2	65.89	310	317	10.67	11.23	7.90
5	2011	6	23	6	50	E OFF IWATE PREF	142	35.45	39	56.87	6.9	36.4	155	159	16.72	23.08	13.48
6	2012	5	24	0	2	E OFF AOMORI PREF	142	7.42	41	20.62	6.1	59.6	79	99	21.84	20.39	14.11
7	2012	12	7	17	18	FAR E OFF MIYAGI PREF	143	52.02	38	1.19	7.3	49	393	396	13.26	12.64	10.46
8	2014	8	10	12	43	E OFF AOMORI PREF	142	16.74	41	8.04	6.1	50.56	82	96	8.06	10.82	6.61
9	2016	1	14	12	25	S OFF URAKAWA	142	48.07	41	58.21	6.7	51.51	166	174	10.18	11.48	10.72
10	2019	8	15	14	32	SHIMOKITA PENINSULA REG	141	20.36	40	47.52	5.5	92.6	19	95	11.53	15.43	11.22
11	2020	12	21	2	23	E OFF AOMORI PREF	142	41.5	40	46.9	6.5	43	117	125	8.14	6.55	6.91
12	2022	3	16	23	36	OFF FUKUSHIMA PREF	141	37.3	37	41.8	7.4	57	363	367	9.00	10.27	7.08



第 4.4.3-3 図 評価に用いた地震の震央分布（西側地盤）

(3) 東側地盤観測点

東側地盤観測点においては、最新部（GL-200m）で 10Gal 以上の地震を選定した結果、NS 方向、EW 方向、UD 方向全てにおいて、10Gal 以上の記録となっている地震は 5 つであったことから、選定基準を 5Gal に拡大し、全 12 地震を選定したうえで、各観測深さ（GL-200m、GL-125m、GL-18m 及び GL-2m）の地震観測記録を評価に用いた。

選定した地震を第 4.4.3-3 表に、選定した地震の震央分布を第 4.4.3-4 図に示す。

第 4.4.3-3 表 評価に用いる地震の選定結果（東側地盤観測点）

No.	年	月	日	時	分	震源地名	東経		北緯		M	深さ	震央距離	震源距離	GL-200m		
															NS	EW	UD
1	2008	7	24	0	26	NORTHERN IWATE PREF	141	38.12	39	43.92	6.8	108.08	139	176	26.09	23.88	15.64
2	2011	3	11	14	46	FAR E OFF MIYAGI PREF	142	51.66	38	6.21	9.0	23.74	344	345	20.74	18.99	19.35
3	2011	3	11	15	8	E OFF IWATE PREF	142	46.01	39	49.24	7.4	32.02	176	179	12.46	17.57	11.74
4	2011	4	7	23	32	E OFF MIYAGI PREF	141	55.21	38	12.25	7.2	65.89	310	317	7.86	7.69	6.70
5	2011	6	23	6	50	E OFF IWATE PREF	142	35.45	39	56.87	6.9	36.4	155	159	13.04	11.57	10.52
6	2012	5	24	0	2	E OFF AOMORI PREF	142	7.42	41	20.62	6.1	59.6	79	99	19.16	14.87	13.92
7	2012	12	7	17	18	FAR E OFF MIYAGI PREF	143	52.02	38	1.19	7.3	49	393	396	7.87	8.60	7.97
8	2014	8	10	12	43	E OFF AOMORI PREF	142	16.74	41	8.04	6.1	50.56	82	96	6.80	8.17	5.55
9	2016	1	14	12	25	S OFF URAKAWA	142	48.07	41	58.21	6.7	51.51	166	174	9.05	7.75	6.79
10	2019	8	15	14	32	SHIMOKITA PENINSULA REG	141	20.36	40	47.52	5.5	92.6	19	95	9.13	8.59	5.85
11	2020	12	21	2	23	E OFF AOMORI PREF	142	41.5	40	46.9	6.5	43	117	125	5.12	6.56	5.07
12	2022	3	16	23	36	OFF FUKUSHIMA PREF	141	37.3	37	41.8	7.4	57	363	367	7.70	8.56	6.43