

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震建物 08 <u>R18</u>
提出年月日	令和 5 年 <u>7 月 31 日</u>

設工認に係る補足説明資料

耐震設計の基本方針に関する

地震応答解析における地盤モデル及び

物性値の設定について

1. 文章中の下線部は R17 から R18 への変更箇所を示す。
2. 本資料（R18）は令和 5 年 4 月 7 日に提示した「耐震設計の基本方針に関する地震応答解析における地盤モデル及び物性値の設定について（R17）」に対し、基本地盤モデルの設定に対する方針及びその結果を追加したものである。本資料の別紙 1 の部分については、現時点において改訂は無いことから、本版においては省略する。

目 次

1. 概要	2
2. <u>入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定方針</u>	3
3. <u>再処理事業所の敷地の特徴</u>	4
3.1 <u>地質学的に見た敷地近傍の地質構造</u>	4
3.2 <u>地質学的に見た敷地内の地質構造</u>	6
4. <u>基本地盤モデルの設定手順</u>	16
4.1 <u>地盤モデルに設定するパラメータ整理</u>	16
4.2 <u>状態変化を踏まえた確認事項の抽出</u>	18
4.3 <u>基本地盤モデルの設定</u>	23
4.3.1 <u>岩盤部分の物性値等の設定</u>	24
4.3.2 <u>岩盤部分の剛性の非線形性の設定</u>	27
4.3.3 <u>岩盤部分の減衰定数の設定</u>	30
4.3.4 <u>表層地盤の物性値等の設定</u>	32
4.3.5 <u>基本地盤モデルにおける設定の考え方</u>	34
5. <u>基本地盤モデルの設定結果</u>	36
6. <u>耐震設計に用いる入力地震動の設定結果</u>	48

1. 概要

本資料は、再処理施設、MOX 燃料加工施設及び廃棄物管理施設の設工認申請のうち、以下に示す建物・構築物の地震応答計算書を補足説明するものである。

再処理施設及び MOX 燃料加工施設の第 1 回設工認申請

- ・再処理施設 添付書類「IV-2-1-1-1-1-1 安全冷却水 B 冷却塔基礎の地震応答計算書」
- ・再処理施設 添付書類「IV-2-1-3-2-1-2-1 飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B）の計算書」
- ・MOX 燃料加工施設 添付書類「III-2-1-1-1-1-1 燃料加工建屋の地震応答計算書」
- ・MOX 燃料加工施設 添付書類「III-6-2-1-1-1 燃料加工建屋の基準地震動を 1.2 倍した地震力に対する耐震性評価結果」

再処理施設の第 2 回設工認申請及び廃棄物管理施設の設工認申請

- ・再処理施設 添付書類「IV-2-1-1-1 建物・構築物（屋外重要土木構造物以外）の耐震性に関する計算書」のうち、建物・構築物（屋外重要土木構造物以外）の地震応答計算書
- ・再処理施設 添付書類「IV-2-1-1-2 屋外重要土木構造物の耐震性に関する計算書」のうち、屋外重要土木構造物の地震応答計算書
- ・再処理施設 添付書類「IV-2-2-2-1-1 建物・構築物（屋外重要土木構造物以外）の耐震性に関する計算書」のうち、建物・構築物（屋外重要土木構造物以外）の耐震性に関する計算書
- ・再処理施設 添付書類「IV-5-2-1-1 建物・構築物（屋外重要土木構造物以外）」のうち、建物・構築物（屋外重要土木構造物以外）の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書
- ・再処理施設 添付書類「IV-5-2-1-2-1 洞道の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する耐震計算結果」
- ・再処理施設 添付書類「IV-5-2-3 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価結果」のうち、建物・構築物の耐震性に関する計算書
- ・廃棄物管理施設 添付書類「II-2-1-1-1 建物・構築物（屋外重要土木構造物以外）の耐震性に関する計算書」のうち、建物・構築物（屋外重要土木構造物以外）の地震応答計算書
- ・廃棄物管理施設 添付書類「II-2-2-2-1-1 建物・構築物（屋外重要土木構造物以外）の耐震性に関する計算書」のうち、建物・構築物（屋外重要土木構造物以外）の耐震性に関する計算書

2. 入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定方針

新規制基準施工前の設計及び工事の方法の認可申請書（以下、「既認可」という。）における耐震設計では、建物・構築物の基礎底面以深の支持地盤の地盤物性値に基づき、線形の地盤モデルを設定していた。ここで、支持岩盤の地盤物性値については、敷地内を中央地盤、西側地盤、東側地盤の3つのエリアに区分しており、エリア単位の平均的な物性値を設定したエリア毎の共通モデルを使用していた。

今回設工認における耐震設計では基準地震動 S_s が新規制基準を踏まえて大きくなっており、特に表層地盤において非線形性が現れてくる等、以下に示す①～③の状態変化が生じていることから、入力地震動の算定に用いる地盤モデルについては、これらの状態変化を踏まえ、客観的な視点に基づき設計根拠の妥当性等を確認する必要がある。

既認可以降における状態変化

- ① 新規制基準に伴う基準地震動の増大を踏まえた適用性
- ② 新設施設の設置位置や既設施設の設計条件変更に伴う既認可時の地盤モデルの適用範囲の関係性
- ③ 既認可以降の新たな調査結果（PS 検層結果、地震観測記録）と既認可時に用いた既往のデータとの関係性

上記を踏まえ、一般的・標準的な手法として、JEAG、事業変更許可及び他事業者における実績のある手法等に基づき設定した地盤モデルとして、今回申請において入力地震動の算定に用いる地盤モデル（以下、「基本地盤モデル」という。）を設定する。

3. 再処理事業所の敷地の特徴

「2. 入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定方針」に示したとおり、基本地盤モデルを設定するうえで、再処理事業所の敷地の特徴を整理した。

3.1 地質学的に見た敷地近傍の地質構造

再処理事業所の敷地近傍において実施した地表地質調査、反射法地震探査、ボーリング調査及びトレンチ調査に基づき作成した地質構造図を第3.1-1図に示す。

敷地の北北東約5km付近には、ほぼ南北走向の出戸西方断層が分布しており、断層直近の鷹架層は図面上に示した走向線*1が密集し、急傾斜している。また、出戸西方断層の西側約1kmにはほぼ南北走向の背斜軸が分布しており、背斜構造*2を示している。

敷地の南東約3km付近には、北北東-南南西走向の向斜軸が分布しており、軸の西翼部が東へ約30°、東翼部が西側へ約10°傾斜する向斜構造*3を示す。

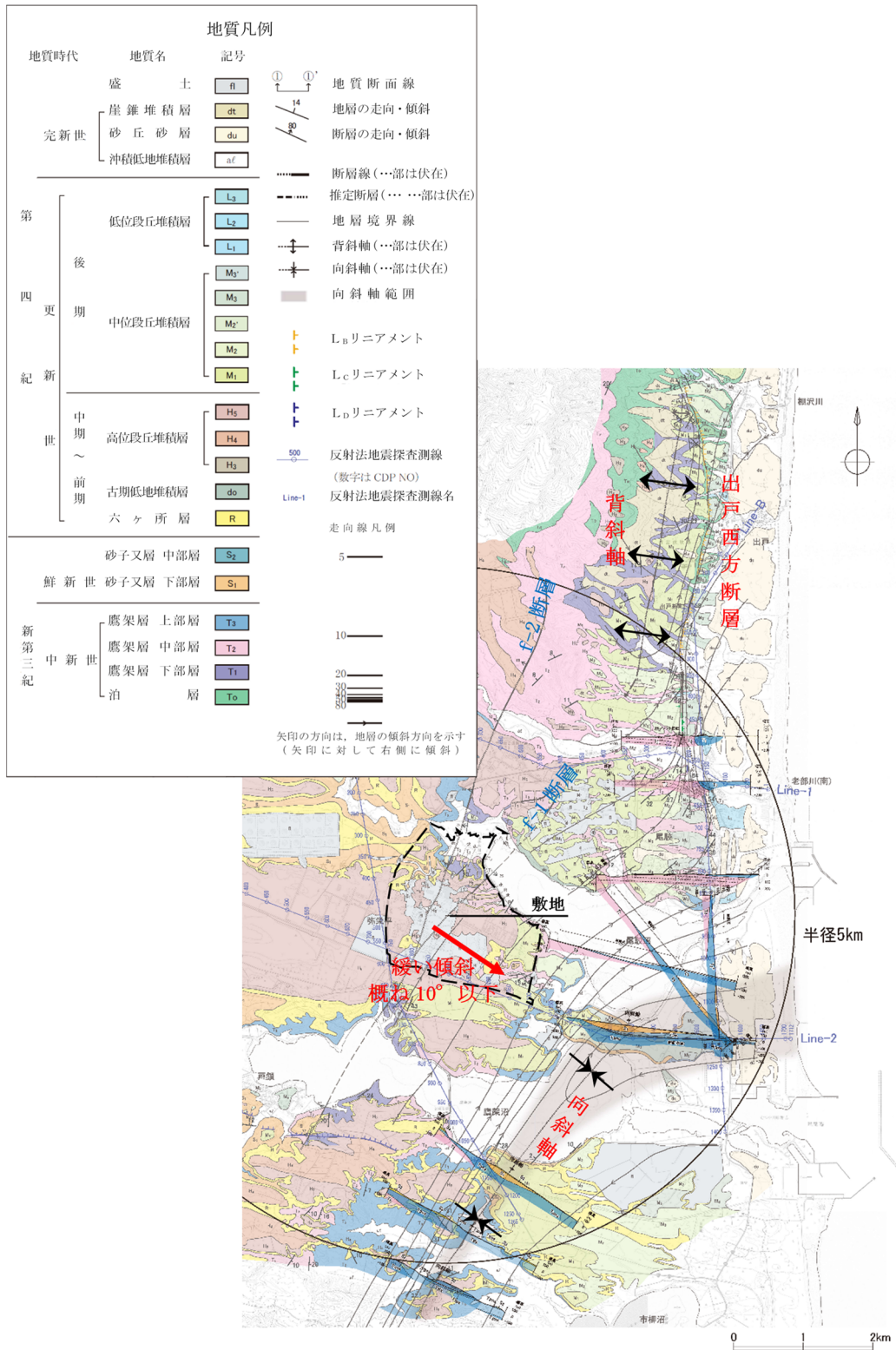
敷地の主たる支持地盤は鷹架層であり、堆積年代の古い順に、鷹架層下部層、鷹架層中部層、鷹架層上部層に区分される。鷹架層の地質構造は、ボーリング調査結果や基礎掘削面の露頭観察結果によると褶曲構造は見られず、南東へ概ね10°以下の緩やかな一様な傾斜（同斜構造*4）で分布し、概ね水平成層である。

注記 *1: 地層の走向方向を線で示し、傾斜を線の間隔で表現したもの。地層の傾斜が緩いと間隔が広く、急傾斜だと狭く表現している。

*2: 層序的に下位の地層が中心に出ている褶曲構造。一般的には褶曲している地層の山にあたる部分。

*3: 層序的に上位の地層が中心に出ている褶曲構造。一般的には褶曲している地層の谷にあたる部分。

*4: 地層が一方向へ一様な角度で傾斜する地質構造。



第 3.1-1 図 敷地近傍の地質構造図

3.2 地質学的に見た敷地内の地質構造

敷地内において地質構造の確認を行ったボーリング調査孔の位置図を第 3.2-1 図に示す。

ボーリング調査間隔は、原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987 に示されている建屋近傍 200m グリッド、地質構造、岩盤分布および岩質を把握する 40～50m グリッドに準拠し、敷地周辺では 125m グリッド、建屋近傍では 62.5m グリッドで全域にわたって調査を実施しており、平面的および深さ方向の地質構造を網羅的に把握している。

敷地の主たる岩盤である鷹架層は、建屋基礎底面～解放基盤表面及び解放基盤表面以深に分布しており、第 3.2-2 図に示すように f-1 断層と f-2 断層に規制されており、敷地内の岩盤は、f-1 断層と f-2 断層を境界として、大きく 3 つの特徴を有する岩盤に区分される。

第 3.2-3 図及び第 3.2-4 図に示すように f-1 断層は最大落差 140m の正断層で東側が低下しており、f-2 断層は最大落差 330m の正断層で西側が低下している。そのため、f-1 断層と f-2 断層に挟まれる敷地中央では鷹架層下部層が地塁*状に高まって分布しており、落差の大きい f-2 断層の西側では主に鷹架層上部層が分布し、落差の小さい f-1 断層の東側では主に鷹架層中部層が分布している。

第 3.2-5 図及び第 3.2-6 図に示すように建屋設置範囲の東西断面で見た場合、西側では概ね水平、中央と東側では東へ緩い傾斜を示す。

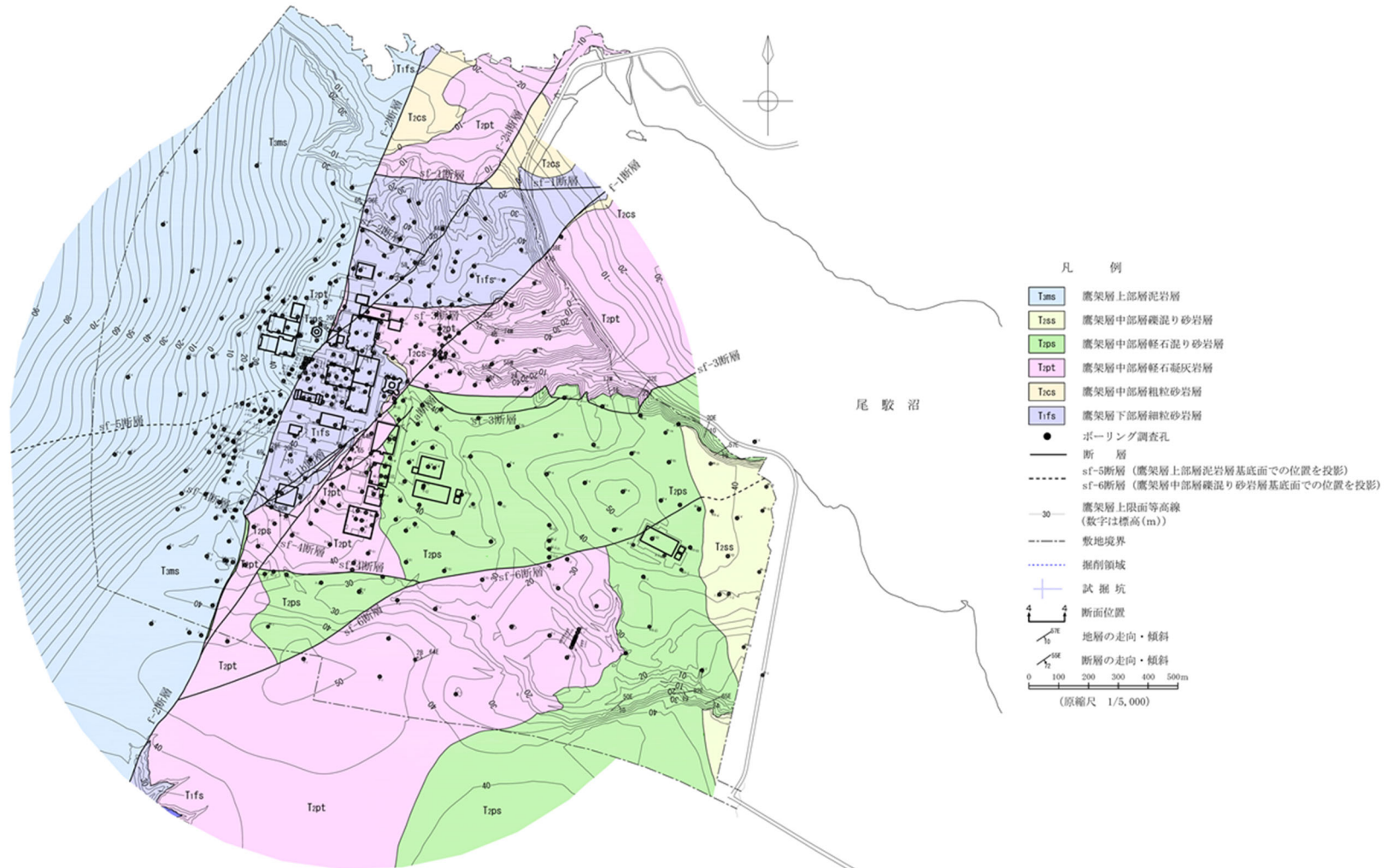
第 3.2-7 図～第 3.2-9 図に示すように建屋直近の南北断面で見た場合、西側では南へ緩い傾斜、中央では概ね水平、東側では北へ緩い傾斜を示す。

以上より、敷地内の支持地盤は 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。

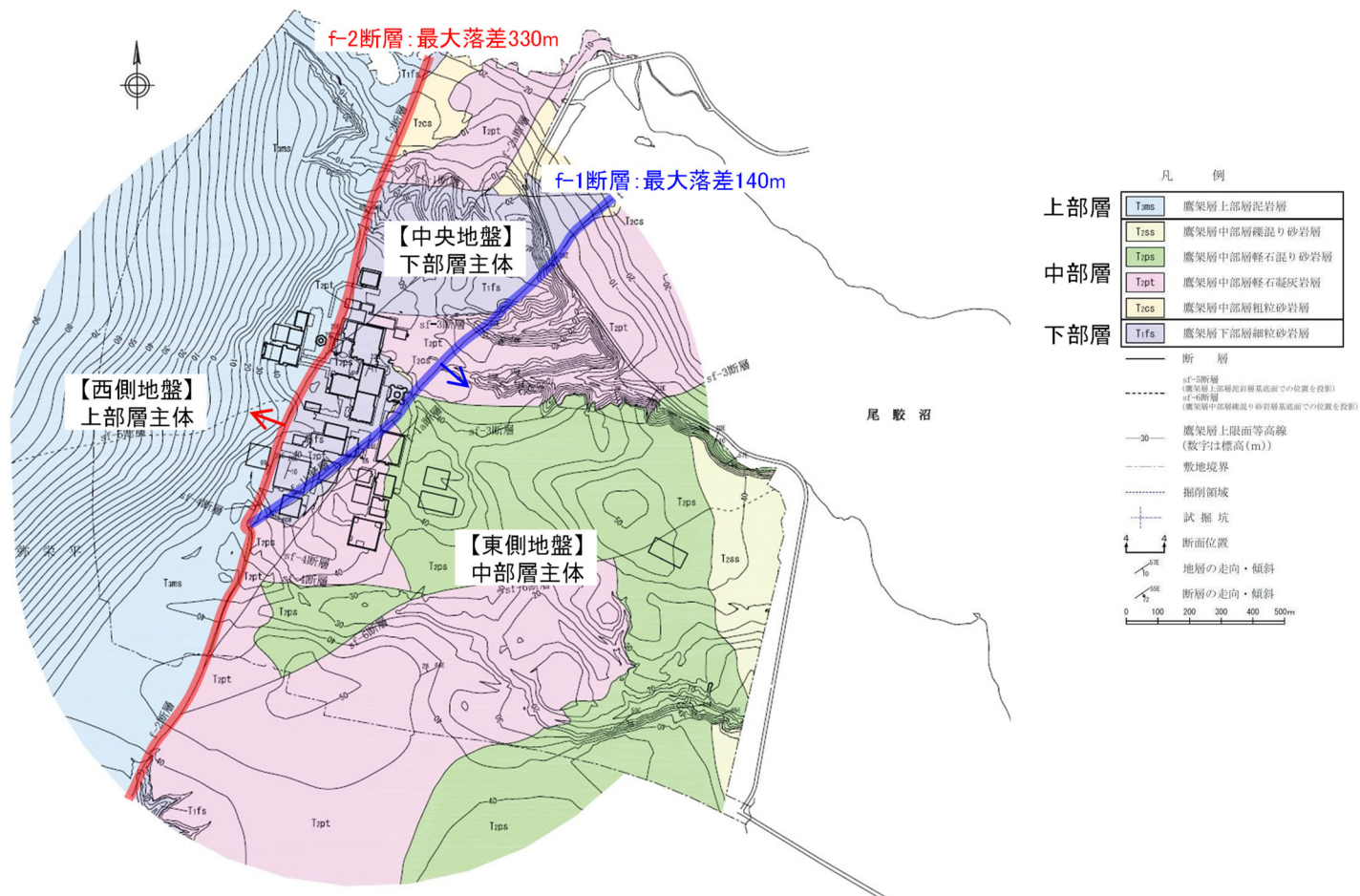
注記 *：正断層で限られた、幅に比して延長の長い、両側に対して相対的に隆起した地塊

また、第 3.2-5 図～第 3.2-9 図より、地表面～建屋基礎底面において、建屋の周辺は広範囲が掘削され、埋戻し工事が実施されたことにより、埋戻し土が広く分布している。

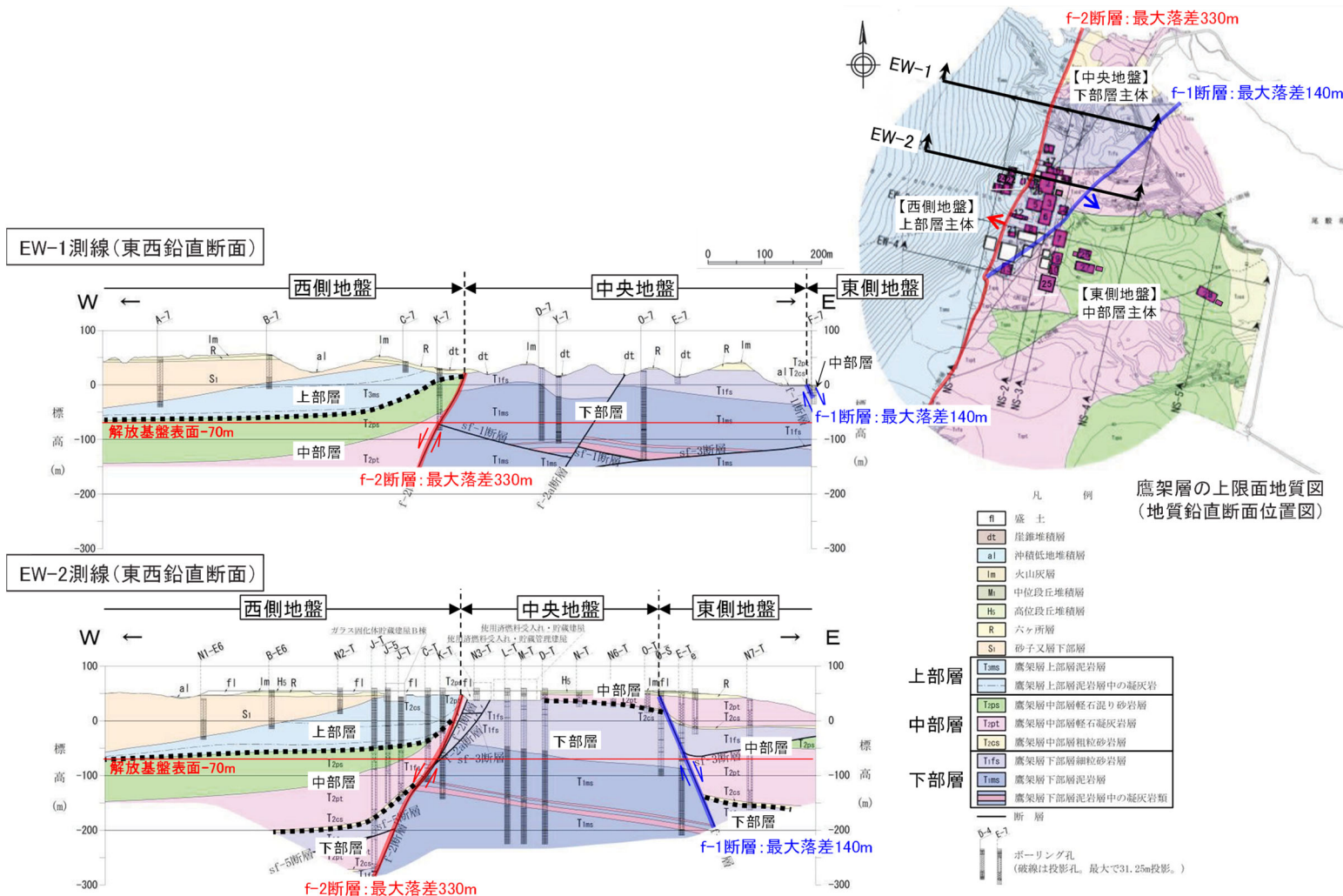
基本地盤モデルについては、上記の再処理事業所の敷地の特徴を踏まえ、さらに、建屋・構築物の配置等を踏まえた各位置における調査結果等に基づき設定を行う。



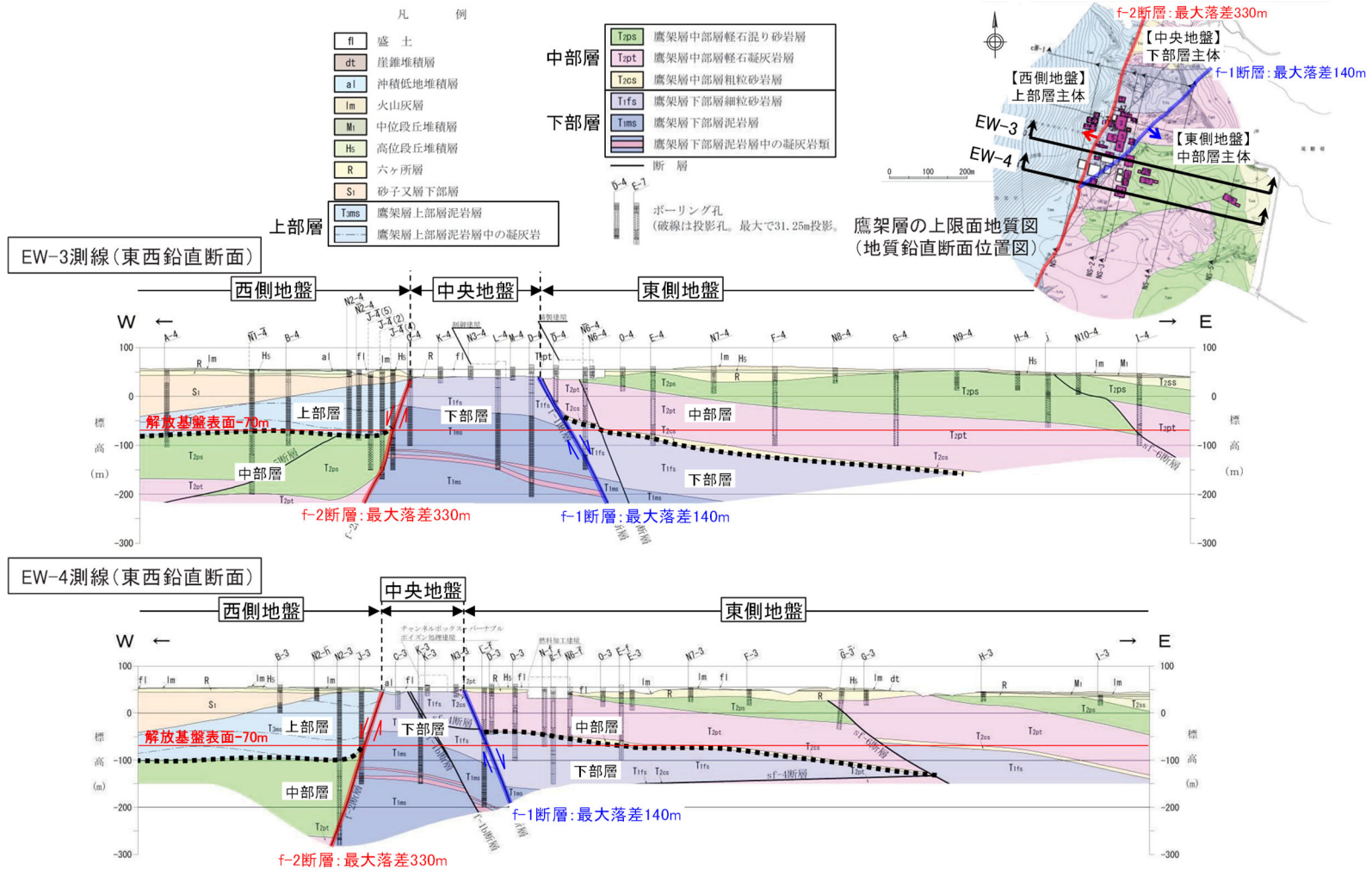
第 3.2-1 図 ボーリング調査位置図



第 3.2-2 図 鷹架層上限面および等高線図(主体地盤と f-1, f-2 断層)



第 3.2-3 図 地質鉛直断面図 (東西断面 EW-1 側線, EW-2 側線)



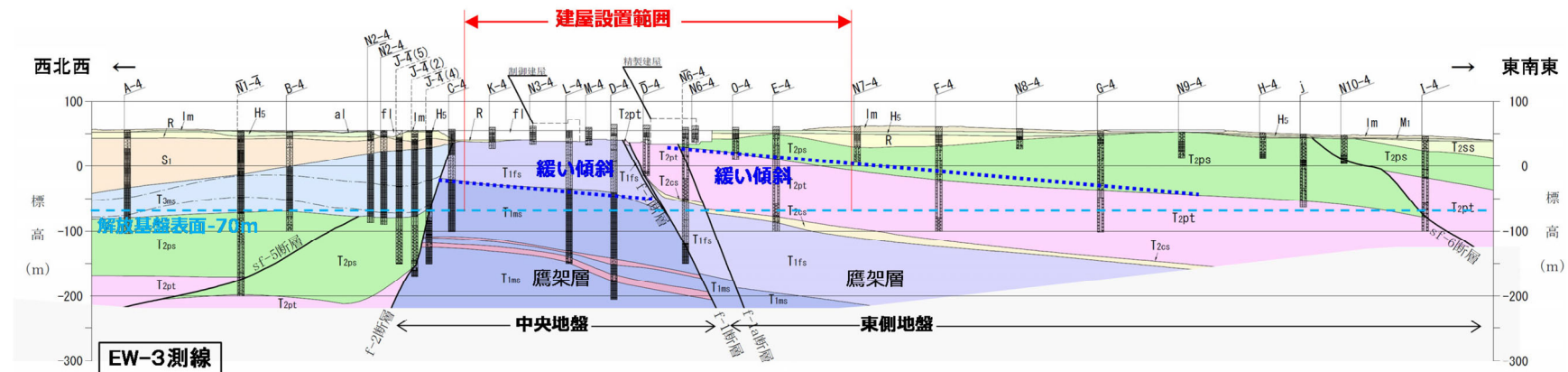
第 3.2-4 図 地質鉛直断面図 (東西断面 EW-3 側線, EW-4 側線)



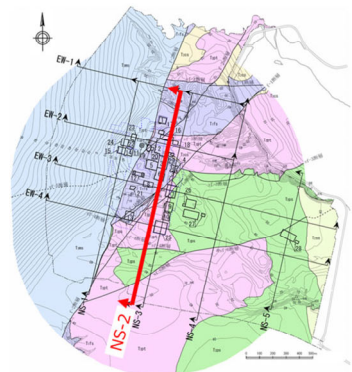
断面位置図

凡例

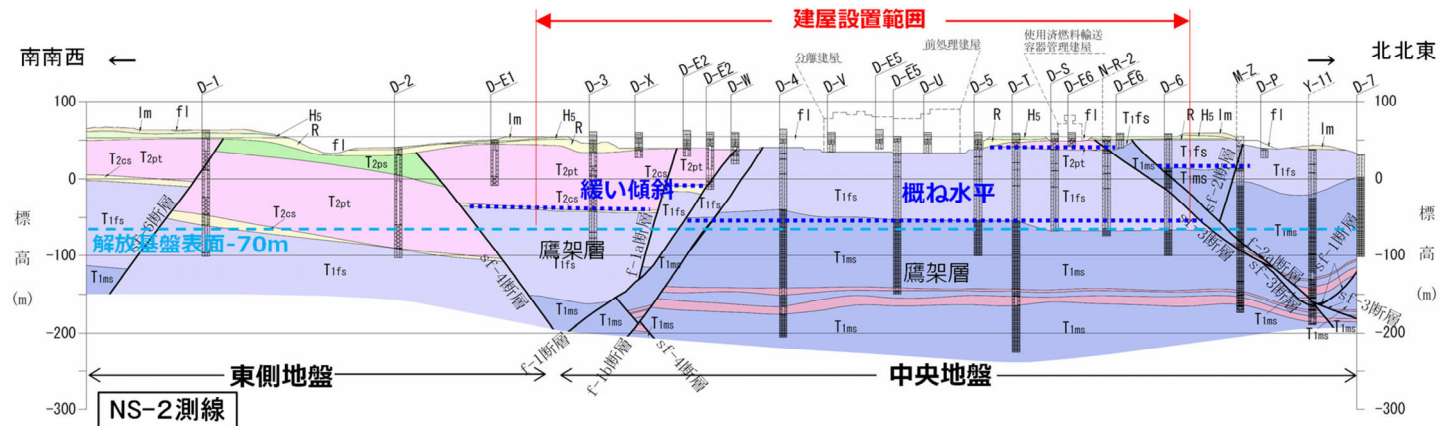
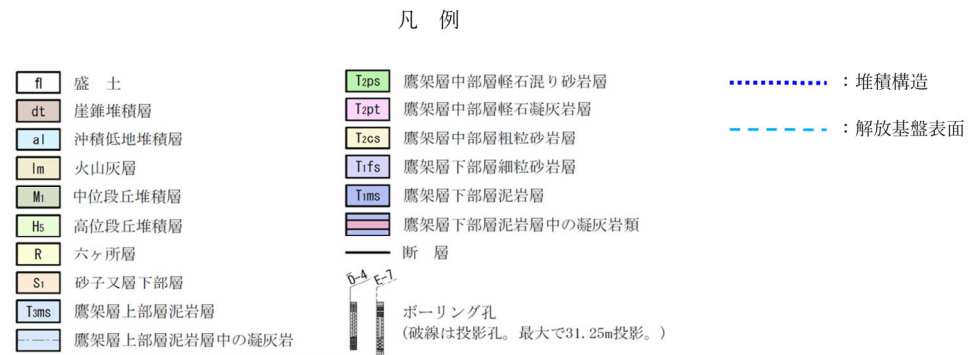
- | | | | | | |
|------|----------------|------|-----------------|---------|-----------------------|
| fl | 盛土 | T2ps | 鷹架層中部層軽石混り砂岩層 | | 堆積構造 |
| dt | 崖錐堆積層 | T2pt | 鷹架層中部層軽石凝灰岩層 | - - - - | 解放基盤表面 |
| al | 沖積低地堆積層 | T2cs | 鷹架層中部層粗粒砂岩層 | — | 断層 |
| lm | 火山灰層 | T1fs | 鷹架層下部層細粒砂岩層 | ○ | ボーリング孔 |
| Mi | 中位段丘堆積層 | T1ms | 鷹架層下部層泥岩層 | ○ | (破線は投影孔。最大で31.25m投影。) |
| Hs | 高位段丘堆積層 | | 鷹架層下部層泥岩層中の凝灰岩類 | | |
| R | 六ヶ所層 | | | | |
| S1 | 砂子又層下部層 | | | | |
| T3ms | 鷹架層上部層泥岩層 | | | | |
| | 鷹架層上部層泥岩層中の凝灰岩 | | | | |



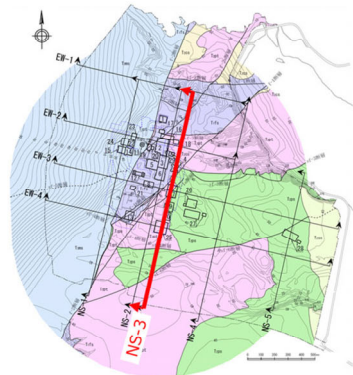
第 3.2-6 図 敷地の地質断面図 (東西断面 EW-3 側線)



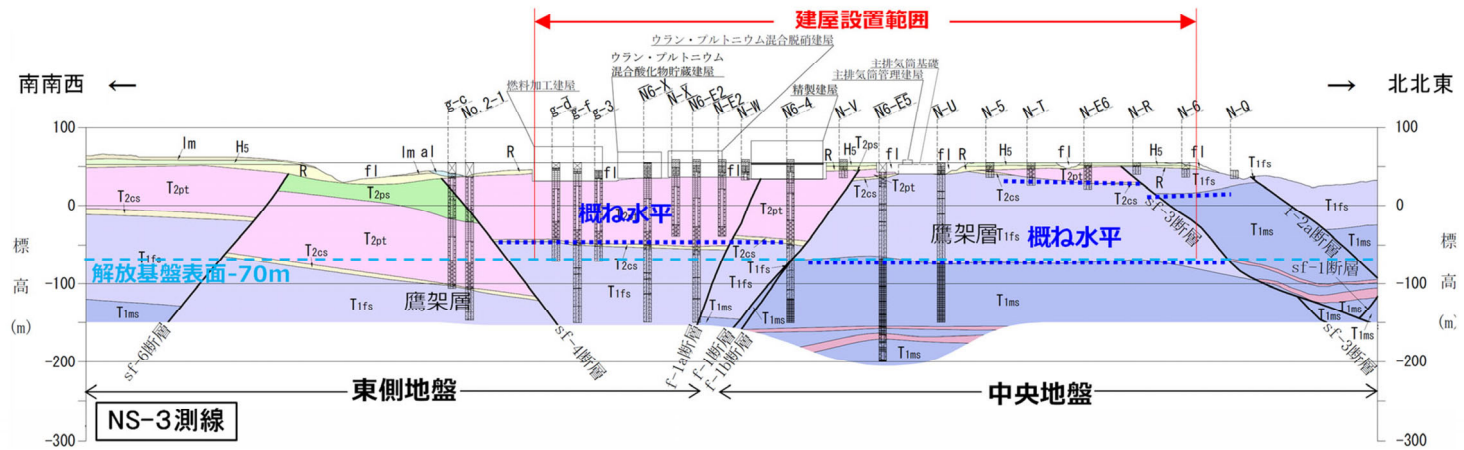
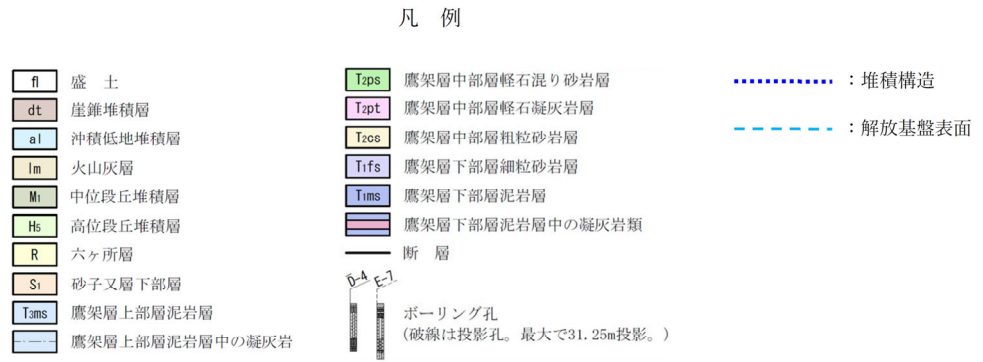
断面位置図



第 3.2-8 図 敷地の地質断面図 (南北断面 NS-2 側線)



断面位置図



第 3.2-9 図 敷地の地質断面図 (南北断面 NS-3 側線)

4. 基本地盤モデルの設定手順

4.1 地盤モデルに設定するパラメータ整理

建物・構築物の入力地震動は，JEAG4601-1987に基づき，各種地盤物性に係るパラメータを設定した上で，一次元波動論に基づく計算により算定する。

一次元波動論に基づく計算は，地盤の各境界面にて反射・屈折を繰り返すと，地震動は概ね鉛直入射に近い傾向を示すという地震動の特徴を踏まえ，地震動の鉛直入射を仮定し，深さ方向1次元の地盤モデルを設定して行う。

ここで，地盤の各境界面における反射及び屈折を正しく評価するために，地震波の地中伝播経路や，速度境界におけるインピーダンスに係るパラメータ，地震波が地中を伝播する際の散乱やエネルギー消費に伴う減衰を適切に設定する必要がある。また，評価の対象とする地震動の振幅が大きい場合においては，地盤のひずみレベルが大きくなると剛性が低下し，減衰は大きくなるという非線形性を鑑み，この影響が地盤の応答に及ぼす影響を適切に評価する必要がある。

上記解析の特徴を踏まえ，一次元波動論に基づく計算に用いる地盤モデルに設定するパラメータを第4.1-1表に示す。また，各パラメータの入力地震動の算定結果への寄与についてもあわせて示す。

第 4.1-1 表 地盤モデルに考慮するパラメータ

パラメータ	記号	入力地震動の算定結果への寄与	
入力地震動の算定結果に直接寄与するパラメータ	層厚	—	各速度層の厚さによる地震波の地中伝播経路の設定が、主に地盤の固有周期及び入力地震動の周波数特性に寄与。
	S 波速度	V_s (m/s)	速度境界におけるインピーダンスが、水平成分の入力地震動の周波数特性及び増幅特性に寄与。
	P 波速度	V_p (m/s)	速度境界におけるインピーダンスが、鉛直成分の入力地震動の周波数特性及び増幅特性に寄与。
	単位体積重量	γ_t (kN/m ³)	一次元波動論に基づく計算に用いる地盤の剛性 ($G_0 = \rho V_s^2$) *に寄与。
	減衰定数	h $h - \gamma$	地盤中を伝播する地震動の減衰(波動 1 周期ごとの振幅の低下率)に寄与。 地震動による地盤のひずみ量に応じた h の値の変動に寄与。
剛性の非線形性	$G/G_0 - \gamma$	地震動による地盤のひずみ量に応じた剛性の低下に伴い、上記 V_s, V_p, G_0 及び h の値の変動による入力地震動の周波数特性、増幅特性及び減衰に寄与。	
上記パラメータから算定するパラメータ	初期せん断弾性係数	G_0 (kN/m ²)	地盤モデルの層毎に設定した V_s 及び γ から求められる値であり、一次元波動論に基づく計算に用いる地盤の剛性 ($G_0 = \rho V_s^2$) *を算出する際に用いる。
	ポアソン比	ν	地盤モデルの層毎に設定した V_s 及び V_p から求められる値であり、非線形性を考慮した収束剛性から V_p を算出する際に用いる。

注記 * : $\gamma_t = g \times \rho$ (g は重力加速度)

4.2 状態変化を踏まえた確認事項の抽出

「2. 入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定方針」に示した既認可以降の状態変化に伴い、入力地震動の算定方法及び結果への影響が考えられることから、その影響を整理するとともに、その影響が関連する地盤モデルの設定パラメータを整理した。整理は、第4.1-1表に示した地盤モデルに考慮するパラメータのうち、入力地震動の算定結果に直接寄与するパラメータとして、物性値等（層厚、S波速度、P波速度、単位体積重量）、減衰定数及び剛性の非線形性に対して行うこととし、地表面～建屋基礎底面、建屋基礎底面～解放基盤表面、解放基盤表面以深の地盤の深さそれぞれにおいてパラメータの整理を行った。また、上記整理とあわせて、地盤の深さそれぞれにおけるパラメータに対し、考えうる影響を踏まえて必要な確認事項を抽出した。

上記の整理結果を第4.2-1表～第4.2-3表に示す。

地表面～建屋基礎底面の表層部分におけるパラメータのうち、非線形性及び減衰定数については、第4.2-1表に示すとおり、表層地盤は岩盤よりも剛性が小さく、基準地震動 S_s による地盤のひずみによる影響が無視できないと判断し、入力地震動の算定において剛性及び減衰定数の非線形性を考慮する。

上記を踏まえ、地表面～建屋基礎底面の表層部分におけるパラメータについては、以下に示すパラメータに対し、状態変化を踏まえた確認を行う。

- 表層地盤の物性値等（地表面～建屋基礎底面の表層部分）

建屋基礎底面～解放基盤表面の岩盤部分におけるパラメータについては、第4.2-2表に示す状態変化を踏まえた確認事項及び基本地盤モデルの設定方法より、岩盤部分に対するパラメータとして以下に示す3つのパラメータそれぞれに対し、状態変化を踏まえた確認を行う。

- 岩盤部分の物性値等（建屋基礎底面～解放基盤表面の岩盤部分）
- 岩盤部分の剛性の非線形性（建屋基礎底面～解放基盤表面の岩盤部分）
- 岩盤部分の減衰定数（建屋基礎底面～解放基盤表面の岩盤部分）

第4.2-3表に示すとおり、解放基盤表面以深の地盤については、入力地震動の評価において半無限層として設定し、建屋基礎底面～解放基盤

表面の岩盤部分における設定が連続するものとする。

なお、解放基盤表面以深の岩盤部分について、実際の地盤では、拘束圧によって建屋基礎底面～解放基盤表面の岩盤部分の剛性よりもさらに硬いことから、線形条件とする。

上記において整理した、4つの地盤モデルの設定パラメータ(4因子)に対し、検討を行ったうえで基本地盤モデルを設定する。

第4.2-1表 状態変化を踏まえた確認事項の整理結果（地表面～建屋基礎底面（表層部分））

地盤の各深さ	地盤モデルの設定パラメータ	既認可以降における状態変化の項目*1	具体的な状態変化の内容及び入力地震動の算定方法及び結果に与える影響	既認可時の地盤モデルにおける設定の考え方	状態変化を踏まえた確認事項及び基本地盤モデルの設定方法	状態変化を踏まえて検討が必要な事項（○：有，－：無）
地表面～建屋基礎底面（表層地盤）	物性値等*2	②新施設の設置位置や既施設の設計条件変更に伴う既認可時の地盤モデルの適用範囲の関係性	今回設工認において、建物・構築物の地震応答解析モデルに埋込みを考慮した。 ⇒表層地盤を地盤モデルに考慮する場合、入力地震動の周期特性や増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	－ 実際に埋め込まれているものの、埋込非考慮の条件とした。（表層地盤の設定なし）	施設の埋め込み状況を踏まえ、表層地盤の物性値等を設定する必要がある。 ⇒敷地内で得られているボーリング調査結果等に基づく物性値等の根拠を整理した上で設定する。 実際に埋め込まれている建屋については、埋込を考慮する必要がある。 ⇒当該建屋側面の埋込状況を整理したうえで、入力地震動の算定において表層地盤を考慮する。	○ (4.3.4 表層地盤の物性値等の設定)
	剛性の非線形性	①新規基準に伴う基準地震動の増大を踏まえた適用性	基準地震動が大きくなった。 ⇒地盤が非線形化し、地盤の剛性低下が生じることで、入力地震動の周期特性や増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	同上	表層地盤の剛性の非線形性を考慮する必要がある。 ⇒表層地盤の非線形化による剛性低下については、岩盤よりも剛性が小さく、基準地震動 Ss による地盤のひずみによる影響が無視できないと判断し、入力地震動の算定において剛性の非線形性を考慮する。	－
	減衰定数	①新規基準に伴う基準地震動の増大を踏まえた適用性	基準地震動が大きくなった。 ⇒地盤が非線形化し、地盤の減衰定数が変化することで、入力地震動の周期特性や増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	同上	表層地盤の減衰定数の非線形性を考慮する必要がある。 ⇒表層地盤の非線形化による減衰定数の変化については、岩盤よりも剛性が小さく、基準地震動 Ss による地盤のひずみによる影響が無視できないと判断し、入力地震動の算定において減衰定数の非線形性を考慮する。	－

注記 *1：「2. 入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定方針」に示した既認可以降における状態変化①～③と対応。

*2：層厚，S波速度，P波速度，単位体積重量を含む。

第 4.2-2 表 状態変化を踏まえた確認事項の整理結果（建屋基礎底面～解放基盤表面（岩盤部分））

地盤の各深さ	地盤モデルの設定パラメータ	既認可以降における状態変化の項目*1	具体的な状態変化の内容及び入力地震動の算定方法及び結果に与える影響	既認可時の地盤モデルにおける設定の考え方	状態変化を踏まえた確認事項及び基本地盤モデルの設定方法	状態変化を踏まえて検討が必要な事項（○：有，－：無）
建屋基礎底面～解放基盤表面（岩盤部分）	物性値等*2	②新施設の設置位置や既施設の設計条件変更に伴う既認可時の地盤モデルの適用範囲の関係性	既認可時点の地盤モデル作成に用いているデータが無い位置に新施設が設置されている。 ⇒新施設の設置位置のデータによっては、物性値等の設定結果が変わり、入力地震動の周期特性や増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	－	新施設の設置位置を踏まえ、岩盤部分の物性値等を設定する必要がある。 ⇒近接する建物・構築物のグループごとに、直下又は近傍のデータに基づく物性値を設定する。	○ (4.3.1 岩盤部分の物性値等の設定)
		③既認可以降の新たな調査結果（PS 検層結果、地震観測記録）と既認可時に用いた既往のデータとの関係性	既認可以降に新たな調査結果が得られている。 ⇒既認可時のデータと傾向が異なる場合、物性値等の設定結果が変わり、入力地震動の周期特性や増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	敷地内を中央地盤、西側地盤、東側地盤の3つのエリアに区分し、エリア単位の平均的な物性値を設定した。	既認可以降に得られた新たな調査結果を用いて物性値等を設定する必要がある。 ⇒既認可以降に得られたデータを含む最新のデータセットに基づき物性値を設定する。	
	剛性の非線形性	①新規制基準に伴う基準地震動の増大を踏まえた適用性	基準地震動が大きくなった。 ⇒地盤が非線形化し、地盤の剛性低下が生じることで、入力地震動の周期特性や増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	岩盤部分の剛性については、線形条件とした。	基準地震動 Ss による地盤の非線形化の度合い（ひずみ量及び剛性低下率）を確認したうえで、適切な条件設定をする必要がある。 ⇒基準地震動 Ss による地盤の非線形化の度合い（ひずみ量及び剛性低下率）を定量的に確認した上で、線形条件及び非線形条件による差を分析し、条件を設定する。	○ (4.3.2 岩盤部分の剛性の非線形性の設定)
	減衰定数	③既認可以降の新たな調査結果（PS 検層結果、地震観測記録）と既認可時に用いた既往のデータとの関係性	既認可以降に新たな地震観測記録のデータが得られている。 ⇒設定する減衰定数の値に応じて、入力地震動増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	岩盤部分の減衰定数については、設計上考慮する地震動レベルに応じ、基準地震動 S1 に対しては 2%、基準地震動 S2 に対しては 3%と設定した。	既認可以降に得られた地震観測記録のデータを用いた検討を行い、減衰定数を設定する必要がある。 ⇒最新の地震観測記録等のデータを用いて評価した上で、入力地震動の算定に用いる減衰定数を設定する。	○ (4.3.3 岩盤部分の減衰定数の設定)

注記 *1：「2. 入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定方針」に示した既認可以降における状態変化①～③と対応。

*2：層厚，S波速度，P波速度，単位体積重量を含む。

第 4.2-3 表 状態変化を踏まえた確認事項の整理結果（解放基盤表面以深）

地盤の各深さ	地盤モデルの設定パラメータ	既認可以降における状態変化の項目*1	具体的な状態変化の内容及び入力地震動の算定方法及び結果に与える影響	既認可時の地盤モデルにおける設定の考え方	状態変化を踏まえた確認事項及び基本地盤モデルの設定方法	状態変化を踏まえて検討が必要な事項（○：有，－：無）
解放基盤表面 以深 (岩盤部分)	物性値等*2	②新施設の設置位置や既施設の設計条件変更に伴う既認可時の地盤モデルの適用範囲の関係性	既認可時点の地盤モデル作成に用いているデータが無い位置に新施設が設置されている。 ⇒新施設の設置位置のデータによっては、物性値等の設定結果が変わり、入力地震動の周期特性や増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	－	新施設の設置位置を踏まえ、岩盤部分の物性値等を設定する必要がある。 ⇒1次元波動論に基づく評価においては、半無限層として設定されることから、建屋基礎底面～解放基盤表面の岩盤部分における解放基盤表面レベルの物性値が連続する設定とする。	－ (建屋基礎底面～解放基盤表面における岩盤部分の物性値等と合わせて設定)
		③既認可以降の新たな調査結果（PS 検層結果、地震観測記録）と既認可時に用いた既往のデータとの関係性	既認可以降に新たな調査結果が得られている。 ⇒既認可時のデータと傾向が異なる場合、物性値等の設定結果が変わり、入力地震動の周期特性や増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	敷地内を中央地盤、西側地盤、東側地盤の3つのエリアに区分し、エリア単位の平均的な物性値を設定した。	既認可以降に得られた新たな調査結果を用いて物性値等を設定する必要がある。 ⇒1次元波動論に基づく評価においては、半無限層として設定されることから、建屋基礎底面～解放基盤表面の岩盤部分における解放基盤表面レベルの物性値が連続する設定とする。	
	剛性の非線形性	①新規基準に伴う基準地震動の増大を踏まえた適用性	基準地震動が大きくなった。 ⇒地盤が非線形化し、地盤の剛性低下が生じることで、入力地震動の周期特性や増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	解放基盤表面以深の剛性については、線形条件とした。	基準地震動 Ss による地盤の非線形化の度合い（ひずみ量及び剛性低下率）を確認したうえで、適切な条件設定をする必要がある。 ⇒1次元波動論に基づく評価においては、半無限層として設定されること、また、実際の地盤では、拘束圧によって建屋基礎底面～解放基盤表面の岩盤部分の剛性よりもさらに硬いことから、線形条件とする。	－
	減衰定数	③既認可以降の新たな調査結果（PS 検層結果、地震観測記録）と既認可時に用いた既往のデータとの関係性	既認可以降に新たな地震観測記録のデータが得られている。 ⇒設定する減衰定数の値に応じて、入力地震動増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	解放基盤以深の減衰定数については、設計上考慮する地震動レベルに応じ、基準地震動 S1 に対しては 2%、基準地震動 S2 に対しては 3%と設定した。	既認可以降に得られた地震観測記録のデータを用いた検討を行い、減衰定数を設定する必要がある。 ⇒1次元波動論に基づく評価においては、半無限層として設定されることから、建屋基礎底面～解放基盤表面の岩盤部分における減衰定数及びその非線形性に対する考え方が連続する設定とする。	－ (建屋基礎底面～解放基盤表面における岩盤部分の減衰定数と合わせて設定)

注記 *1：「2. 入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定方針」に示した既認可以降における状態変化①～③と対応。

*2：層厚，S波速度，P波速度，単位体積重量を含む。

4.3 基本地盤モデルの設定

本章においては、「4.2 状態変化を踏まえた確認事項の抽出」にて整理した4つの地盤モデルのパラメータ（4因子）に対して検討を行い、基本地盤モデルを設定する。検討にあたっては4因子各々に対して規格基準や他の原子力施設で採用されている考え方、また事業許可での検討実績等を踏まえ、一般的・標準的な手法の確認を行い、その上で敷地の特徴を踏まえ、基本地盤モデルにおける各パラメータの設定を行った。

なお、4因子それぞれの設定にあたって用いたデータ、検討の内容及び設定結果に対する考察については、以下の資料それぞれにおいて、その詳細を示す。

- 「別紙 2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」
- 「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」
- 「別紙 2-3 岩盤部分の減衰定数に係る検討について」
- 「別紙 2-4 表層地盤の物性値等に係る検討について」

4.3.1 岩盤部分の物性値等の設定

(1) 設定手法の整理及び設定方針

岩盤部分の物性値等の設定において、一般的・標準的な手法として、JEAG4601-1987における記載内容の整理を行った。JEAG4601-1987における記載は以下のとおりである。

- ・ 動的解析用の地盤の弾性係数については、地盤の地震時の振動性状を最も的確に評価し得る試験法として弾性波試験が挙げられる。(中略)ここで言う弾性波試験は、PS 検層、横坑内弾性波、坑間弾性波などである。
- ・ 動的解析用の弾性係数を求めるための試験法として、地震時の波動伝播の現象に近い試験方法である弾性波試験が最もふさわしいと結論されよう。
- ・ 弾性波試験結果そのものが持つバラツキが、地層全体の振動特性の評価に及ぼす影響は小さく、その平均値をもって評価することで実用上十分であると考えられる。
- ・ 弾性波試験(特にPS検層などにより求められた深度方向の速度層序)で地盤の成層性が確認された場合について述べる。成層地盤に対して動的解析を行う場合、地盤の成層性を考慮した解析モデルや解析手法を用いる際には、地盤の弾性係数は前項までに述べた方法による値をそのまま適用できる。

JEAG4601-1987 「5.2.2 地盤及び構築物の物性値評価 (1)地盤の物性値」より引用

JEAG4601-1987の整理結果を踏まえると、岩盤部分の物性値等の設定における一般的・標準的な設定手法として、弾性波試験結果のうち、PS検層結果を用いて設定することがあげられることから、基本地盤モデルの設定における岩盤部分の物性値の設定については、敷地内で得られたPS検層結果を用いて設定する。

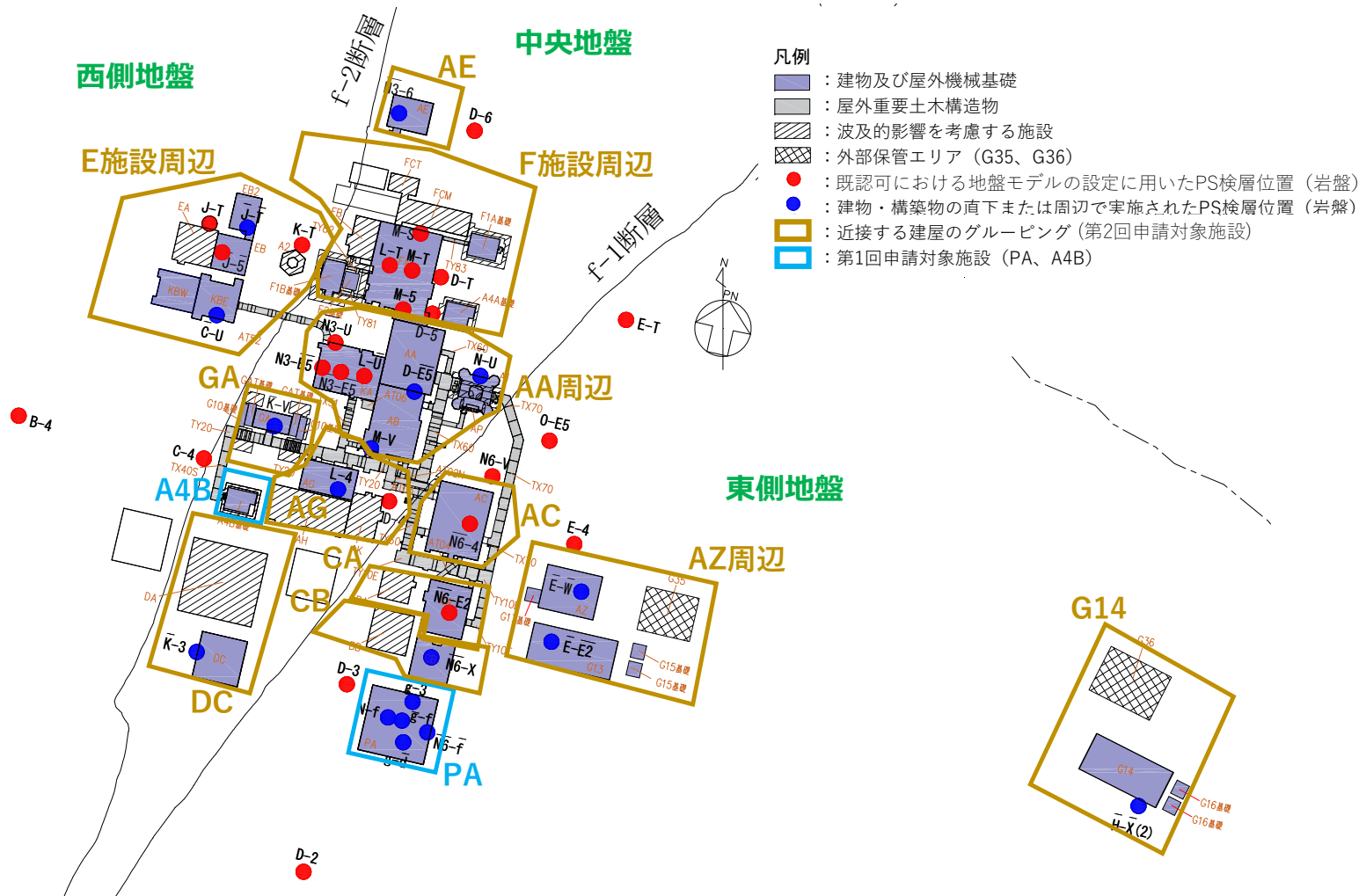
なお、当社敷地においては、「3. 再処理事業所の敷地の特徴」に示すとおり、地質構造の違いによって、大局的に、西側、中央、東側の3つのエリアに分かれており、それぞれのエリアにおいて、複数の施設が隣接・近接して配置されている。これを踏まえ、基本地盤モデルにおける岩盤部分の物性値等の設定においては、第4.3.1-1図に示す近接

する建屋グループ単位(第1回申請対象であるPA及びA4Bを含む全14グループ)において、直下又は近傍のPS検層結果に基づく物性値を設定する。

(2) 設定結果

上記の方針に基づき、基本地盤モデルの岩盤部分の物性値等の設定においては、それぞれの建屋グループ単位(全14グループ)において、直下又は近傍のPS検層結果に基づく物性値を設定した。

第1回設工認申請における岩盤部分の物性値等の設定結果の詳細を「別紙1-1 燃料加工建屋の地盤モデルの設定」及び「別紙1-2 安全冷却水B冷却塔の地盤モデルの設定」に、第2回設工認申請における岩盤部分の物性値等の設定結果の詳細を「別紙2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」に示す。



第 4.3.1-1 図 近接する建屋のグルーピング

4.3.2 岩盤部分の剛性の非線形性の設定

(1) 設定手法の整理及び設定方針

岩盤部分の剛性の非線形性の設定において、一般的・標準的な手法として、JEAG4601-1987 及び基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイドの記載内容の整理を行った。JEAG4601-1987 及び審査ガイドにおける記載は以下のとおりである。

- ・ 地盤には、ひずみレベルが大きくなると剛性が低下するという非線形性がある。
- ・ 岩盤中の地震時の剛性低下については以下のように 1次元波動理論などにより検討する方法がある。(略) 図 5.2.2-12 に示すような非線形特性を仮定し、1次元波動理論により解析する。

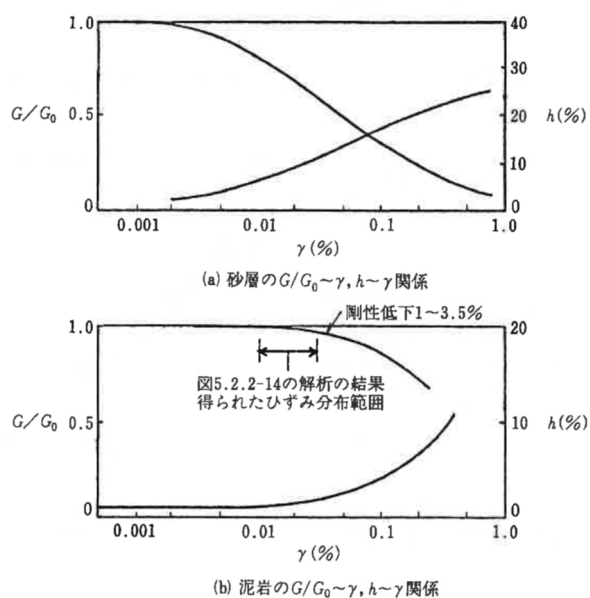


図 5.2.2-12 地盤の $G/G_0 \sim \gamma, h \sim \gamma$ 関係^(5.2.2-4)

JEAG4601-1987 「5.2.2 地盤及び構築物の物性値評価 (1) 地盤の物性値」より引用

7.2.2 入力地震動の評価

- (2) 入力地震動の評価において、建物・構築物と地盤の相互作用、埋込効果及び周辺地盤の非線形等が必要に応じて考慮されていることを確認する。

基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイドより引用

上記の JEAG4601-1987 の整理結果を踏まえると、岩盤部分の剛性の非線形性を考慮する場合の一般的・標準的な設定手法として、三軸圧縮試験結果に基づくひずみ依存特性（ $G/G_0-\gamma$ 曲線）を設定することがあげられることから、基本地盤モデルの設定において、岩盤部分の剛性の非線形性を設定する場合は、敷地内の岩盤種別ごとに得られたデータに基づき、三軸圧縮試験結果に基づくひずみ依存特性（ $G/G_0-\gamma$ 曲線）を設定する。

また、基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイドの記載を踏まえ岩盤部分に対し、剛性の非線形性の設定が必要か検討を行う。

(2) 設定結果

上記の方針に基づき、基本地盤モデルの岩盤部分の非線形性の設定においては、敷地内の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（ $G/G_0-\gamma$ 曲線）を設定した。

また、岩盤部分の剛性の非線形性がどうか検討した結果、「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」に示すとおり、線形条件と非線形条件の入力地震動に有意な差はなく、岩盤部分の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が確認できたため、岩盤部分の剛性の非線形性は考慮しない。

なお、第 1 回設工認申請（PA, A4B）においては、「4.3.3 岩盤部分の減衰定数の設定」に示すとおり、岩盤部分の減衰定数について、ひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）を考慮したことを踏まえ、岩盤部分の剛性の非線形性についても、その考えを揃える観点で、ひずみ依存特性（ $G/G_0-\gamma$ 曲線）を考慮した。

第 1 回設工認申請における岩盤部分の物性値等の設定結果の詳細を「別紙 1-1 燃料加工建屋の地盤モデルの設定」及び「別紙 1-2 安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデルの設定」に、第 2 回設工認申請における岩盤部分の物性値等の設定結果の詳細を「別紙 2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」に示す。

上述のとおり、第 1 回設工認申請と第 2 回設工認申請それぞれにおいて、岩盤部分の剛性の非線形性の設定条件が異なっており、第 1 回設工認申請の PA 及び A4B においては岩盤部分の剛性の非線形性を考慮した設定となっていた。第 1 回設工認申請の PA 及び A4B について、 S_s 地震時の岩盤部分のせん断ひずみはともに 10^{-4} 程度で

あり、「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」
に示す岩盤部分のせん断ひずみと同程度となっている。

上記のように、第1回設工認申請における入力地震動の算定結果
に対し、岩盤部分の剛性の非線形性の考慮又は非考慮は影響を与え
ないことから、本来、線形条件として扱えるところ、岩盤部分の減
衰定数との考えを揃える観点で、非線形性を考慮する扱いとしたも
のである。

4.3.3 岩盤部分の減衰定数の設定

(1) 設定手法の整理及び設定方針

岩盤部分の減衰定数の設定において、一般的・標準的な手法として、JEAG4601-1987における記載内容及び他サイトの新規制基準における審査実績の整理を行った。JEAG4601-1987における記載は以下のとおりである。

(1) 高圧動的 3 軸圧縮試験

本試験は、高圧繰り返し 3 軸圧縮試験機を用いて高拘束圧領域（10～200kgf/cm²）におけるせん断弾性係数 G と減衰定数 h のひずみ依存性を把握することを目的としている。

(2) S 波検層

地震計埋設用の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を振動数ごとに求め、一方、地盤のモデルから求めた減衰量（幾何学的な波面の拡散によるもの及び境界面での反射によるもの）を計算し、これを差し引いた残差を地盤の内部減衰によるものとして減衰評価を行った。

(3) 地震観測

地震動波形を R T 変換し伝播方向に直行する水平成分を S H 波と考え、直達波と判断される部分を取り出し、応答波の入力波に対する比から減衰評価を行っている。

JEAG4601-1987 「5.2.2 地盤及び構築物の物性値評価 (1)地盤の物性値」より引用

JEAG4601-1987 の整理結果を踏まえると、岩盤部分の減衰定数の設定における一般的・標準的な設定手法として、JEAG4601-1987 に示される 3 手法について、地震観測記録やボーリング調査結果等を踏まえて、敷地における岩盤部分の減衰定数の定量的な評価を実施したうえで、設定を行う。

なお、上記 3 手法に関する具体的な評価方法については、他サイトにおいて審査実績のある手法も参照して選定する。

(2) 設定結果

上記の方針に基づき、基本地盤モデルの岩盤部分の減衰定数の設定において、JEAG4601-1987 に示される 3 手法について、「別紙 2-3 岩盤部分の減衰定数に係る検討について」に示すとおり評価を行っ

た。評価の結果，基本地盤モデルにおける岩盤部分の減衰定数は，JEAG4601-2015における軟質岩盤を主体とするサイトにおける慣用値の範囲内のうち，5%と設定し，線形条件の設定とする。

これにより，評価結果よりも更に小さい減衰定数となるほか，線形条件とすることにより，S_s地震時の入力地震動を保守的に評価することから，設計上の保守性を考慮した設定となる。

なお，第1回設工認申請（A4B, PA）の基本地盤モデル設定においては，本来，上記のように地震観測記録等に基づき，材料減衰と散乱減衰を含めた値を設定すべきであったが，材料減衰のみを考慮した減衰定数として，JEAG4601-1987に示される高圧動的3軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性（ $h - \gamma$ 曲線）を設定した。

上述のとおり，第1回設工認申請と第2回設工認申請それぞれにおいて，岩盤部分の減衰定数の設定条件が異なるが，第1回設工認申請においては，材料減衰のみ考慮することによって，減衰定数としては基本地盤モデルで設定する5%より小さい値を用いたため，第1回設工認申請において算定した入力地震動が非安全側となることはない。

上記設定については，「別紙 2-3 岩盤部分の減衰定数に係る検討について」及び「別紙 3 基本地盤モデル確度向上のための追加調査について」に示すとおり，今後，S波検層並びにコア試験データを追加取得し，今回設定した値について，確度または信頼性を向上させる。

4.3.4 表層地盤の物性値等の設定

(1) 設定手法の整理及び設定方針

表層地盤の物性値等の設定における一般的・標準的な手法として、JEAG4601-1987の記載内容の整理を行った。JEAG4601-1987における記載は以下のとおりである。

【詳細設計段階】

- ・目的：必要に応じて埋戻地盤の動的な特性を調べ、構造物の地震応答解析に資す。
- ・留意点：弾性波速度試験により、実際に埋戻された地盤の物性を調べ、解析に用いた物性値の妥当性を検討する場合がある。

JEAG4601-1987 「3.4 調査・試験計画の例 ⑦埋戻し地盤」より引用

JEAG4601-1987の整理結果を踏まえると、表層地盤の物性値等の設定における一般的・標準的な設定手法として、動的な特性として、岩盤部分の物性値と同様に、弾性波試験結果のうち、PS検層結果を用いて設定することがあげられることから、基本地盤モデルの設定における表層地盤の物性値等の設定については、敷地内で得られたPS検層結果を用いて設定する。

また、上記 JEAG4601-1987における記載にあるとおり、実際に埋め戻された地盤としての物性値を把握するために、人工材料である地盤については、その施工プロセスや地盤材料の特徴に基づき、均質性や上載圧に起因する深度依存性の有無等を確認した上で、解析に用いる物性値の設定を行う。

(2) 設定結果

上記の方針に基づき、基本地盤モデルの表層地盤の物性値等の設定において、建物・構築物周辺に分布する地盤として、自然地盤である六ヶ所層及び造成盛土、また、人工材料である埋戻し土及び流動化処理土について、ボーリング調査結果を踏まえ、動的な特性の整理を実施したうえで、表層地盤の物性値等の設定を行った。

第1回設工認申請における岩盤部分の物性値等の設定結果の詳細を「別紙 1-1 燃料加工建屋の地盤モデルの設定」及び「別紙 1-2 安全冷却水B冷却塔の地盤モデルの設定」に、第2回設工認申請における岩盤部分の物性値等の設定結果の詳細を「別紙 2-4 表層地

盤の物性値等の設定について」に示す。

第2回設工認申請の建物・構築物の入力地震動の算定に用いる基本
地盤モデルにおいては、表層地盤の物性値等の設定として、埋戻
し土については、一定の品質管理の下で均質性を目標として施工さ
れていることから、拘束圧の影響による深度依存性を考慮した全エ
リアのボーリング孔から得られているデータに基づく物性値を設定
した。流動化処理土については、一定の品質管理の下で均質性を目
標として施工されており、セメント点かによる人工材料であること
から、深度依存性を考慮しない平均値を品質管理指標の異なるグル
ープごとに設定した。

建物・構築物の入力地震動の算定において、表層地盤に埋め込ま
れている場合は、いずれの建物・構築物に対しても表層地盤を考慮
して入力地震動を算定する。

上記設定については、「別紙 2-4 表層地盤の物性値等に係る検討
について」及び「別紙 3 基本地盤モデル確度向上のための追加調
査について」に示すとおり、今後、ボーリング調査データを追加
取得し、今回設定した値について、確度または信頼性を向上させ
る。

4.3.5 基本地盤モデルにおける設定の考え方

4.3.1～4.3.4にて示した4因子それぞれの設定結果を踏まえ，第1回設工認申請，第2回設工認申請それぞれにおける基本地盤モデル設定の考え方を整理した。整理結果を第4.3.5-1表に示す。

第 4.3.5-1 表 各パラメータに対する基本地盤モデル設定の考え方

地盤モデルの 設定パラメータ	基本地盤モデルにおける設定	
	第 1 回設工認申請	第 2 回設工認申請
岩盤部分の 物性値等の設定	<ul style="list-style-type: none"> 建物・構築物（A4B, PA）ごとに、建物・構築物の直下又は近傍において得られているデータを用いて物性値を設定。 	<ul style="list-style-type: none"> 近接する建屋グループ（12Gr）ごとに、建物・構築物の直下又は近傍において得られているデータを用いて物性値を設定。
岩盤部分の剛性の 非線形性の設定	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤部分の減衰定数においてひずみ依存特性（$h-\gamma$ 曲線）を考慮したこととの考え方の整合性の観点で、岩盤部分の剛性についても非線形性を考慮し、ひずみ依存特性（$G/G_0-\gamma$ 曲線）を設定。 	<ul style="list-style-type: none"> 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、地盤の 1 次元波動理論に基づき、線形条件と非線形条件の地盤応答解析結果により確認し、岩盤部分の剛性低下が入力地震動に及ぼす影響は小さいことが確認できたため、線形条件を設定。
岩盤部分の 減衰定数の設定	<ul style="list-style-type: none"> 材料減衰のみを考慮した減衰定数として、高圧動的 3 軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性（$h-\gamma$ 曲線）を設定。 ひずみ依存特性（$h-\gamma$ 曲線）を考慮することで、非線形性を考慮。 	<ul style="list-style-type: none"> JEAG4601-2015 における軟質岩盤を主体とするサイトにおける慣用値の範囲内のうち、5%と設定し、線形条件と設定。 評価結果よりも更に小さい減衰定数となるほか、線形条件とすることにより、S_s 地震時の入力地震動を保守的に評価することから、設計上の保守性を考慮した設定となる。
表層地盤の 物性値等の設定	<ul style="list-style-type: none"> PA 建屋周辺の地盤分布状況を踏まえ、建屋側面に分布する造成盛土、六ヶ所層及び鷹架層を表層地盤として考慮。 造成盛土、六ヶ所層及び鷹架層については、PA の直下又は近傍において得られているデータを用いて物性値を設定。 	<ul style="list-style-type: none"> 埋戻し土については、一定の品質管理の下で均質性を目標として施工されていることから、拘束圧の影響による深度依存性を考慮した全エリアのボーリング孔から得られているデータに基づく物性値を設定。 流動化処理土については、一定の品質管理の下で均質性を目標として施工されており、セメント点かによる人工材料であることから、深度依存性を考慮しない平均値を品質管理指標の異なるグループごとに設定。 表層地盤に埋め込まれているいずれの建物・構築物に対しても表層地盤を考慮する。

5. 基本地盤モデルの設定結果

第 4.3.5-1 表に示した設定の考えに基づき設定した基本地盤モデルを第 5-1 表及び第 5-2 表に、各グループに属する建物・構築物の一覧を第 5-3 表及び第 5-4 表に示す。

なお、飛来物防護版・飛来物防護ネット、可搬型重大事故等対処設備の保管場所及び屋外重要土木構造物については、近接する建物と同じグループに属する方針とする。

第 5-2 表に示す基本地盤モデルについては、複数建屋が含まれる建物グループについては、各パラメータの設定内容は同じであり、基礎底面レベルの違いのみであるため、代表 1 建屋の基本地盤モデルを例に示す。

第 5-1 表 第 1 回設工認申請における基本地盤モデル

(a) PA

標高 T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽地表面						
55.00	造成盛土	15.7	160	580		*1
46.00	六ヶ所層	16.5	320	980		*2
35.00						
▽基礎スラブ底面						
31.53	軽石凝灰岩	15.3	660	1860		*3
9.00		15.6	810	1920		
-28.00	軽石質砂岩	18.2	1090	2260		*4
-49.00	細粒砂岩					*5
▽解放基盤表面						
-70.00	細粒砂岩	18.2	1090	2260		*6

注記 *1：造成盛土のひずみ依存特性を設定する。

*2：六ヶ所層のひずみ依存特性を設定する。

*3：軽石凝灰岩のひずみ依存特性を設定する。

*4：軽石質砂岩のひずみ依存特性を設定する。

*5：細粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。

*6：直上層のひずみ依存特性における線形時の値を設定する。

(b) A4B

標高 T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽基礎スラブ底面						
53.80	MMR	*1	*1	*1		*1
▽MMR下端レベル						39.00
37.08	細粒砂岩	18.3	680	1910		*3
36.63	粗粒砂岩					
9.02	細粒砂岩	18.1	940	2040		*2
-25.57	泥岩（下部層）	16.9	790	1880		*4
▽解放基盤表面						
-70.00	泥岩（下部層）	16.9	790	1880		*5

注記 *1：支持地盤相当の岩盤に支持されているとみなし、MMR直下の支持地盤の物性値を設定する。

*2：細粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。

*3：粗粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。

*4：泥岩（下部層）のひずみ依存特性を設定する。

*5：直上層のひずみ依存特性における線形時の値を設定する。

第 5-2 表 第 2 回設工認申請における基本地盤モデル

(a) AA 周辺グループ (AB の例)

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	S 波速度 V_s (m/s)	P 波速度 V_p (m/s)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽地表面						
表層地盤	埋戻し土	*1	*1	*1	*1	*1
▽AB基礎底面						
23.00	細粒砂岩	18.2	740	1930	非考慮 (線形条件)	0.05
9.00		18.4	810	1960		
-49.00	泥岩 (下部層)	18.0	830	1960		
▽解放基礎表面		17.5	820	1940		
-70.00	-	17.5	820	1940		

注記 *1: 埋戻し土の平均値 (深度依存性考慮) を設定し, 三軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性を考慮する。

(b) F 施設周辺グループ (FA 建屋の例)

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	S 波速度 V_s (m/s)	P 波速度 V_p (m/s)	剛性低下 G/G_0	減衰定数 h
▽地表面						
表層地盤	埋戻し土	*1	*1	*1	*1	*1
▽FA基礎底面						
23.00	細粒砂岩	18.5	760	1900	非考慮 (線形条件)	0.05
-53.00		18.0	800	1950		
▽解放基礎表面	泥岩 (下部層)	17.3	810	1950		
-70.00		17.3	810	1950		

注記 *1: 埋戻し土の平均値 (深度依存性考慮) を設定し, 三軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性を考慮する。

第 5-2 表 第 2 回設工認申請における基本地盤モデル

(c) AE グループ (AE 建屋の例)

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	剛性低下 G/G_0	減衰定数 h
▽地表面						
表層地盤 ▽AE基礎底面	埋戻し土	*1	*1	*1	*1	*1
岩盤	細粒砂岩	17.9	790	1900	非考慮 (線形条件)	0.05
	泥岩 (下部層)	17.2	790	1900		
	細粒砂岩	18.2	790	1900		
	泥岩 (下部層)	16.7	790	1900		
	細粒砂岩	18.4	930	2100		
▽解放基礎表面	-	18.4	930	2100		

注記 *1: 埋戻し土の平均値 (深度依存性考慮) を設定し, 三軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性を考慮する。

(d) AG グループ (AG 建屋の例)

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	剛性低下 G/G_0	減衰定数 h
▽地表面						
表層地盤 ▽AG基礎底面	埋戻し土	*1	*1	*1	*1	*1
岩盤	細粒砂岩	18.3	750	1960	非考慮 (線形条件)	0.05
		18.1	870	2020		
	泥岩 (下部層)	16.9	800	1940		
▽解放基礎表面	-	16.9	800	1940		

注記 *1: 埋戻し土の平均値 (深度依存性考慮) を設定し, 三軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性を考慮する。

第 5-2 表 第 2 回設工認申請における基本地盤モデル

(e)GA グループ (GA 建屋の例)

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γt (kN/m^3)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	剛性低下 G/G_0	減衰定数 h
▽地表面						
表層地盤						
▽GA基礎底面	埋戻し土	*1	*1	*1	*1	*1
	細粒砂岩	18.1	730	1960	非考慮 (線形条件)	0.05
42.34	粗粒砂岩	20.1	730	1960		
41.81	細粒砂岩	18.1	730	1960		
23.96	粗粒砂岩	20.1	730	1960		
23.58	細粒砂岩	18.0	730	1960		
-33.75	泥岩 (下部層)	17.4	800	1960		
▽解放基礎表面						
-70.00	—	17.4	800	1960		

注記 *1: 埋戻し土の平均値 (深度依存性考慮) を設定し, 三軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性を考慮する。

(f)DC グループ (DC 建屋の例)

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γt (kN/m^3)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	剛性低下 G/G_0	減衰定数 h
▽地表面						
表層地盤						
▽DC基礎底面	埋戻し土	*1	*1	*1	*1	*1
	細粒砂岩	18.1	630	1480	非考慮 (線形条件)	0.05
33.09		18.0	810	1890		
-1.41	泥岩 (下部層)	16.9	810	1890		
-48.71		17.3	810	1890		
▽解放基礎表面						
-70.00	—	17.3	810	1890		

注記 *1: 埋戻し土の平均値 (深度依存性考慮) を設定し, 三軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性を考慮する。

第 5-2 表 第 2 回設工認申請における基本地盤モデル

(g)AC グループ (AC 建屋の例)

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	S 波速度 V_s (m/s)	P 波速度 V_p (m/s)	剛性低下 G/G_0	減衰定数 h
▽地表面						
55.00	表層地盤					
▽AC基礎底面	埋戻し土	*1	*1	*1	*1	*1
33.80	砂質軽石凝灰岩	14.5	680	1770	非考慮 (線形条件)	0.05
29.24	凝灰岩	15.9	680	1770		
16.82	軽石凝灰岩	15.2	680	1770		
6.82		15.3	830	1980		
-18.93	軽石質砂岩	18.9	960	2130		
-49.43	礫岩	20.8	960	2130		
-50.28	砂質軽石凝灰岩	16.0	960	2130		
-53.68	細粒砂岩	18.3	960	2130		
▽解放基盤表面						
-70.00	—	18.3	960	2130		

注記 *1: 埋戻し土の平均値 (深度依存性考慮) を設定し, 三軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性を考慮する。

(h)CA グループ (CA 建屋の例)

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	S 波速度 V_s (m/s)	P 波速度 V_p (m/s)	剛性低下 G/G_0	減衰定数 h
▽地表面						
55.00	表層地盤					
▽CA基礎底面	埋戻し土	*1	*1	*1	*1	*1
36.30	砂質軽石凝灰岩	17.2	550	1720	非考慮 (線形条件)	0.05
36.19	凝灰岩	15.7	550	1720		
10.42	軽石凝灰岩	14.5	710	1950		
-27.16	軽石質砂岩	18.8	910	2100		
-57.33	砂質軽石凝灰岩	15.2	910	2100		
-61.86	細粒砂岩	18.2	910	2100		
▽解放基盤表面						
-70.00	—	18.2	910	2100		

注記 *1: 埋戻し土の平均値 (深度依存性考慮) を設定し, 三軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性を考慮する。

第 5-2 表 第 2 回設工認申請における基本地盤モデル

(i)CB グループ (CB 建屋の例)

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γt (kN/m^3)	S 波速度 V_s (m/s)	P 波速度 V_p (m/s)	剛性低下 G/G_0	減衰定数 h
▽地表面						
表層地盤	埋戻し土	*1	*1	*1	*1	*1
▽CB基礎底面						
55.00	凝灰岩	16.0	630	1580	非考慮 (線形条件)	0.05
9.13	軽石凝灰岩	14.7	630	1580		
-6.77		16.3	900	2000		
-33.37	軽石質砂岩	19.8	1050	2260		
-50.12	礫岩	20.8	1050	2260		
-51.28	砂質軽石凝灰岩	16.0	1050	2260		
-55.59	細粒砂岩	18.2	1050	2260		
▽解放基礎表面						
-70.00	—	18.2	1050	2260		

注記 *1: 埋戻し土の平均値 (深度依存性考慮) を設定し, 三軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性を考慮する。

(j)AZ 周辺グループ (AZ 建屋の例)

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γt (kN/m^3)	S 波速度 V_s (m/s)	P 波速度 V_p (m/s)	剛性低下 G/G_0	減衰定数 h
▽地表面						
表層地盤	埋戻し土	*1	*1	*1	*1	*1
▽AZ基礎底面						
42.30	砂質軽石凝灰岩	14.4	760	1700	非考慮 (線形条件)	0.05
40.00	軽石混り砂岩	14.6	760	1700		
35.00	砂質軽石凝灰岩	15.8	730	1800		
8.00	凝灰岩	16.3	730	1900		
-11.00	軽石凝灰岩	14.6	730	1900		
-31.00		15.6	830	1920		
-55.00	軽石質砂岩	18.1	1070	2330		
▽解放基礎表面						
-70.00	—	18.1	1070	2330		

注記 *1: 流動化処理土の平均値 (深度依存性なし) を設定し, 三軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性を考慮する。

第 5-2 表 第 2 回設工認申請における基本地盤モデル

(k)G14 グループ (G14 建屋の例)

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	剛性低下 G/G_0	減衰定数 h
▽地表面						
表層地盤	埋戻し土	*1	*1	*1	*1	*1
▽G14基礎底面						
38.15	軽石混り砂岩	15.8	460	1700	非考慮 (線形条件)	0.05
36.15	砂質軽石凝灰岩	14.9	460	1700		
20.44	軽石混り砂岩	16.2	460	1700		
18.99	凝灰岩	16.2	560	1800		
14.37		14.7	560	1800		
-10.30	軽石凝灰岩	15.2	680	1800		
-32.30		15.2	530	1900		
-56.33	凝灰岩	16.2	910	1900		
-63.74	軽石凝灰岩	15.3	910	1900		
▽解放基盤表面						
-70.00	—	15.3	910	1900		

注記 *1: 流動化処理土の平均値 (深度依存性なし) を設定し, 三軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性を考慮する。

(l)E 施設周辺グループ (EB 建屋の例)

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	剛性低下 G/G_0	減衰定数 h		
▽地表面								
表層地盤	埋戻し土	*1	*1	*1	*1	*1		
▽EB基礎底面								
35.70					非考慮 (線形条件)	0.05		
35.20	泥岩 (上部層)	15.9	560	1670				
-14.00		15.8	600	1670				
-22.00		16.1	630	1730				
-33.00		16.0	660	1750				
-51.00	砂岩・凝灰岩 互層	17.0	750	1880				
-57.00		16.7	790	1930				
-64.00	礫混り砂岩	15.6	790	1920				
▽解放基盤表面								
-70.00	—	15.6	790	1920				

注記 *1: 埋戻し土の平均値 (深度依存性考慮) を設定し, 三軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性を考慮する。

第 5-3 表 建屋グループに属する建物・構築物一覧
(第 1 回設工認申請)

分類	建物・構築物名称		建屋 グループ
S クラス施設または S クラス施設の間接支持構造物	安全冷却水 B 冷却塔 (基礎)	A4B 基礎	A4B グループ
	燃料加工建屋	PA	PA グループ
上位クラス施設等への波及的影響を考慮する施設	安全冷却水 B 冷却塔 飛来物防護ネット	A4B 竜巻	A4B グループ

第 5-4 表 建屋グループに属する建物・構築物一覧
(第 2 回設工認申請) (1/3)

分類	建物・構築物名称		建屋グループ
S クラス施設 または S クラス施設の 間接支持構造物	前処理建屋	AA	AA 周辺 グループ
	分離建屋	AB	
	主排気筒	A1	
	高レベル廃液ガラス固化建屋	KA	
	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋	FA	F 施設周辺 グループ
	安全冷却水系冷却塔 A (基礎)	F1A 基礎	
	安全冷却水系冷却塔 B (基礎)	F1B 基礎	
	第 1 非常用ディーゼル発電設備重油タンク室 (基礎)	F2 基礎	
	安全冷却水 A 冷却塔 (基礎)	A4A 基礎	AE グループ
	ハル・エンドピース貯蔵建屋	AE	
	制御建屋	AG	AG グループ
	非常用電源建屋	GA	GA グループ
	冷却塔 A, B (基礎)	G10 基礎	
	非常用電源燃料タンク基礎	GAT 基礎	
	チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋	DC	DC グループ
	精製建屋	AC	AC グループ
	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	CA	CA グループ
ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋	CB	CB グループ	
常設耐震重要 重大事故等対 処設備	緊急時対策建屋	AZ	AZ グループ
	第 1 保管庫・貯水所	G13	
	第 1 軽油貯槽 (基礎)	G15 基礎	
	重油貯槽 (基礎)	G17 基礎	
	第 2 保管庫・貯水所	G14	G14 グループ
	第 2 軽油貯槽 (基礎)	G16 基礎	
S クラス施設 または S クラス施設の 間接支持構造物	ガラス固化体貯蔵建屋	EB	E 施設周辺 グループ
	ガラス固化体貯蔵建屋 B 棟	EB2	
	第 1 ガラス固化体貯蔵建屋東棟	KBE	
	第 1 ガラス固化体貯蔵建屋西棟	KBW	

第 5-4 表 建屋グループに属する建物・構築物一覧
(第 2 回設工認申請) (2/3)

分類	建物・構築物名称		建屋 グループ
Sクラス施設 またはSクラス施設の間接 支持構造物 (常設耐震重 要重大事故等 対処施設の間 接支持構造物 を兼ねるもの を含む)	分離建屋/高レベル廃液ガラス固化建屋 間洞道	AT06	* 1
	分離建屋/精製建屋/ウラン脱硝建屋/ ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋/低 レベル廃液処理建屋/低レベル廃棄物処 理建屋/分析建屋間洞道	AT05, AT02N	* 1
	精製建屋/ウラン・プルトニウム混合脱 硝建屋間洞道	AT04	* 1
	高レベル廃液ガラス固化建屋/第 1 ガラ ス固化体貯蔵建屋間洞道	AT52	* 1
	前処理建屋/分離建屋/精製建屋/高レベ ル廃液ガラス固化建屋/ウラン・プルト ニウム混合脱硝建屋/制御建屋/非常用電 源建屋/冷却水設備の安全冷却水系/主排 気筒/主排気筒管理建屋間洞道	TX40S	* 1
		TX51	* 1
		TX60	* 1
		TX70	* 1
		TY10E	* 1
		TY20	* 1
	TY25	* 1	
使用済燃料受入れ・貯蔵建屋/安全冷却 水系冷却塔 A 基礎間洞道	TY83	* 1	
使用済燃料受入れ・貯蔵建屋/安全冷却 水系冷却塔 B 基礎間洞道	TY81, TY82	* 1	

注記 * 1 : 屋外重要土木構造物については、位置に応じて近接する建物と
同じグループに属する設定とする。

第 5-4 表 建屋グループに属する建物・構築物一覧
(第 2 回設工認申請) (3/3)

分類	建物・構築物名称		建屋グループ
上位クラス施設等への波及的影響を考慮する施設	分析建屋	AH	AG グループ
	出入管理建屋	AK	
	低レベル廃棄物処理建屋	DA	DC グループ
	使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋	FB	F 施設周辺グループ
	使用済燃料輸送容器管理建屋 (使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫)	FC (FCM)	
	使用済燃料輸送容器管理建屋 (トレーラエリア)	FC (FCT)	
	北換気筒 (基礎)	A2 基礎	E 施設周辺グループ
	ガラス固化体受入れ建屋	EA	
	ウラン脱硝建屋	BA	CA グループ
	ウラン酸化物貯蔵建屋	BB	CB グループ
	主排気筒に接続する屋外配管及び 屋外ダクトの飛来物防護板 (主排気筒周り)	A1 竜巻	AA 周辺グループ
	安全冷却水 A 冷却塔 飛来物防護ネット	A4A 竜巻	F 施設周辺グループ
	安全冷却水系冷却塔 A 飛来物防護ネット	F1A 竜巻	
	安全冷却水系冷却塔 B 飛来物防護ネット	F1B 竜巻	
冷却塔 A, B 飛来物防護ネット	G10 竜巻	GA グループ	
可搬型重大事故等対処設備の保管場所	建屋近傍の保管場所	—	* 1
	外部保管エリア	G35	AZ グループ
	外部保管エリア	G36	G14 グループ

注記 * 1 : 建屋近傍の保管場所については、位置に応じて近接する建物と同じグループに属する設定とする。

6. 耐震設計に用いる入力地震動の設定結果

「5. 基本地盤モデルの設定結果」に示した各グループにて設定した基本地盤モデルに基づく入力地震動と2022年12月申請時点における入力地震動の比較を行い、両者の差を分析することによって、2022年12月申請時点における入力地震動を用いて耐震設計を行うことの適用性について確認を行う。

本章における具体的な考え方については追而。

別紙

設工認に係る補足説明資料 別紙リスト

令和5年7月31日 R7

耐震建物 08 【地震応答解析に用いる地盤モデル及び物性値の設定について】

別紙				備考
資料 No.	名称	提出日	Rev	
別紙 1	第 1 回設工認申請における建物・構築物の入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定			-
別紙 1-1	燃料加工建屋の地盤モデルの設定	2022/9/16	3	Rev3 から変更なしのため省略
別紙 1-2	安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデルの設定	2022/9/16	2	Rev2 から変更なしのため省略
別紙 2	第 2 回設工認申請における建物・構築物の入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定			-
別紙 2-1	岩盤部分の物性値等の設定について	2023/7/31	0	新規作成
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	2023/7/31	0	新規作成
別紙 2-3	岩盤部分の減衰定数に係る検討について	2023/7/31	0	新規作成
別紙 2-4	表層地盤の物性値等に係る検討について	2023/7/31	0	新規作成
別紙 3	基本地盤モデル確度向上のための追加調査について	2023/7/31	0	今後追加予定

別紙 2

第 2 回設工認申請における建物・構築物の
入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定

資料構成

別紙 2-1 岩盤部分の物性値等の設定について

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

別紙 2-3 岩盤部分の減衰定数に係る検討について

別紙 2-4 表層地盤の物性値等に係る検討について

別紙 2-1

岩盤部分の物性値等の設定について

文中の下線部は令和5年7月7日に提出した「岩盤部分の物性値等の設定について」からの変更箇所を示す。

目 次

ページ

1. はじめに	1
2. 岩盤部分の物性値等の設定	2
2.1 岩盤部分の物性値等に係る一般的・標準的な設定方法の整理	2
2.2 岩盤部分の物性値等の設定方法	3
2.3 岩盤部分の物性値のばらつきの設定方法	5
3. 各グループの物性値の設定結果	13
3.1 AA 周辺における物性値の設定結果	13
3.2 F 施設周辺における物性値の設定結果	27
3.3 AE における物性値の設定結果	45
3.4 AG における物性値の設定結果	50
3.5 GA における物性値の設定結果	61
3.6 DC における物性値の設定結果	67
3.7 AC における物性値の設定結果	73
3.8 CA における物性値の設定結果	78
3.9 CB における物性値の設定結果	84
3.10 AZ 周辺における物性値の設定結果	90
3.11 G14 における物性値の設定結果	101
3.12 E 施設周辺における物性値の設定結果	107
4. まとめ	121

1. はじめに

本資料は、地盤モデルの設定パラメータとなる4因子のうち、岩盤部分の物性値等について、一般的・標準的な地盤物性値の設定方法に基づく、データの整理結果を示すものである。

なお、データの整理にあたっては、一般的・標準的な地盤物性値の設定の考えとして、既認可時と比べ、新增設に伴いエリアが拡大されていること、及び既認可以降の新たな地盤調査結果が得られていることを踏まえ、近接する建屋グループ（全12グループ）における直下又は近傍のPS検層結果のデータを全て用いた整理を行う。

2. 岩盤部分の物性値等の設定

2.1 岩盤部分の物性値等に係る一般的・標準的な設定方法の整理

「基本地盤モデルの設定について」に基づき、岩盤部分の物性値の設定にあたっては、一般的・標準的な設定方法として、建屋個別若しくは近接する建屋群ごとに、その直下又は近傍で得られた PS 検層結果を用いて、その平均値をもって地盤の弾性係数を設定し、岩盤部分の物性値等の設定を行う。

2.2 岩盤部分の物性値等の設定方法

岩盤部分の物性値等については、建屋個別若しくは近接する建屋として、第 2-1 図に示す近接する建屋グルーピング（全 12 グループ）ごとに整理を行った上で設定する。

また、岩盤部分の物性値等の設定に用いる PS 検層結果については、既認可以降に得られているデータも含めて全てのデータを用いることとし、12 グループそれぞれにおける、建物・構築物の直下の PS 検層結果を選定する。なお、建物・構築物の直下に PS 検層結果がない場合の検討の流れを以下に示す。

- ① 第 1 回申請の A4B と同様に、建物・構築物近傍の PS 検層結果と建物・構築物直下の地下構造を比較する。第 2 回申請においては、建物・構築物直下の地下構造の確認にあたって、「参考 1 直下において PS 検層が実施されていない建物・構築物直下又は近傍の地質調査データ及び岩盤部類図との比較（以下、「参考 1」とする）」に示す当該建物・構築物近傍のボーリング孔を参照する。その結果、岩種境界が確認できる深さまでデータが得られていない場合は、敷地内のボーリング調査結果に基づき作成した岩盤分類図を用いて建物・構築物直下の地下構造を確認する。
- ② 建物・構築物直下の地下構造の確認の際、建物・構築物近傍の PS 検層位置における岩種境界において速度境界が確認され、さらに、その岩種境界レベルが建物・構築物近傍の PS 検層位置と建物・構築物直下で差が見られる場合は、PS 検層結果に基づいて設定した物性値と建物・構築物直下の地下構造に基づき求めた地盤の固有周期を比較することで、PS 検層結果に基づいて設定した物性値の適用性について検討を行う。

建物・構築物直下の地下構造を参照した断面位置を第 2-2 図に示す。固有周期の算定方法については、「参考 2 速度境界レベルが地盤の固有周期へ与える影響（以下、「参考 2」とする）」で示す。

各グループの岩盤部分の物性値等の設定に用いる PS 検層孔の選定結果を第 2-1 表に示す。

速度構造の設定にあたっては、複数の PS 検層結果より設定する場合は、複数孔の速度境界の乖離を最小するため、第 2-3 図に示す手順によ

り速度境界の探査を行った上で、S波速度及びP波速度それぞれの平均値を設定する。なお、速度境界の設定においては、速度境界の探査結果及び地質柱状図を踏まえ、速度境界と地質境界の整合性を踏まえた設定を行う。単独のPS検層結果より設定する場合は、当該孔にて得られたS波速度及びP波速度を設定することとし、速度境界の設定においては、複数のPS検層結果より設定する場合と同様に、速度境界と地質境界の整合性を踏まえた設定を行う。

単位体積重量の設定にあたっては、速度構造の設定に用いたPS検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき、各岩種ごとに平均値を設定する。なお、速度構造に用いたPS検層孔において、設定する岩種の湿潤密度データが得られていない場合においては、添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」及び「II-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の回帰式により設定する。

また、同一岩種内において、湿潤密度試験結果の傾向の切り替わりが確認できる場合、湿潤密度の設定にあたっては、同一岩種内の各深さで湿潤密度を切り替えることも考えられるが、地盤の応答解析の評価において用いる諸元である地盤のせん断弾性係数($G_0 = \rho V_s^2$)に対しては、S波速度が支配的であることから、湿潤密度については、同一岩種内で一定の値を設定する。

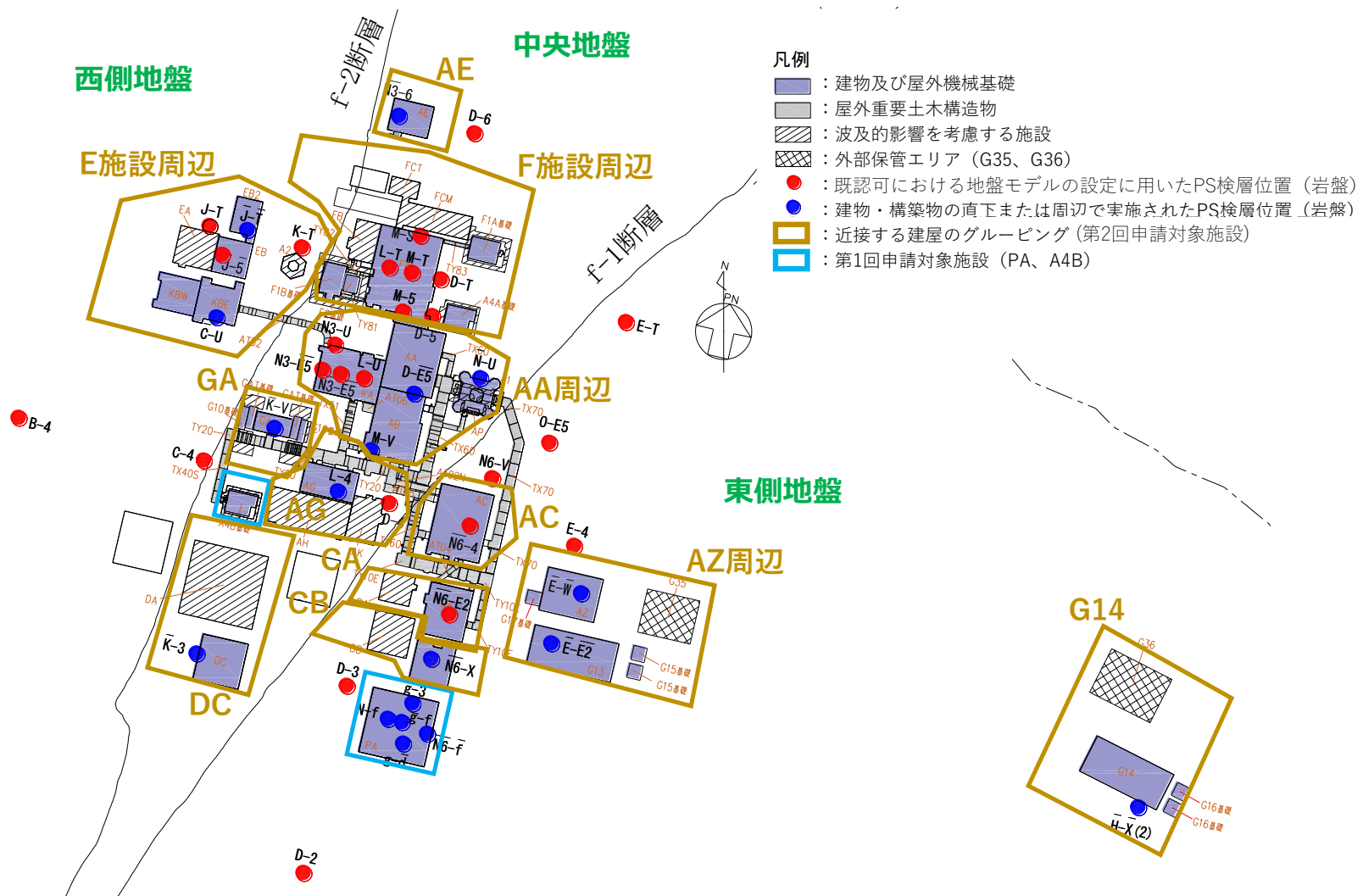
各層の岩種の設定にあたっては、複数孔のデータに基づき設定する場合は主要な岩種における平均的な境界レベルを設定し、単独孔のデータに基づき設定する場合は、その孔の地質柱状図に基づき設定する。

なお、複数孔のデータに基づき設定する場合、薄層は入力地震動に対する寄与が小さいこと、また、岩種の違いは非線形性の違いのみであり、「岩盤部分の非線形性に係る検討について」に示すとおりその影響は小さいことから、主要な岩種のみを考慮することとした。

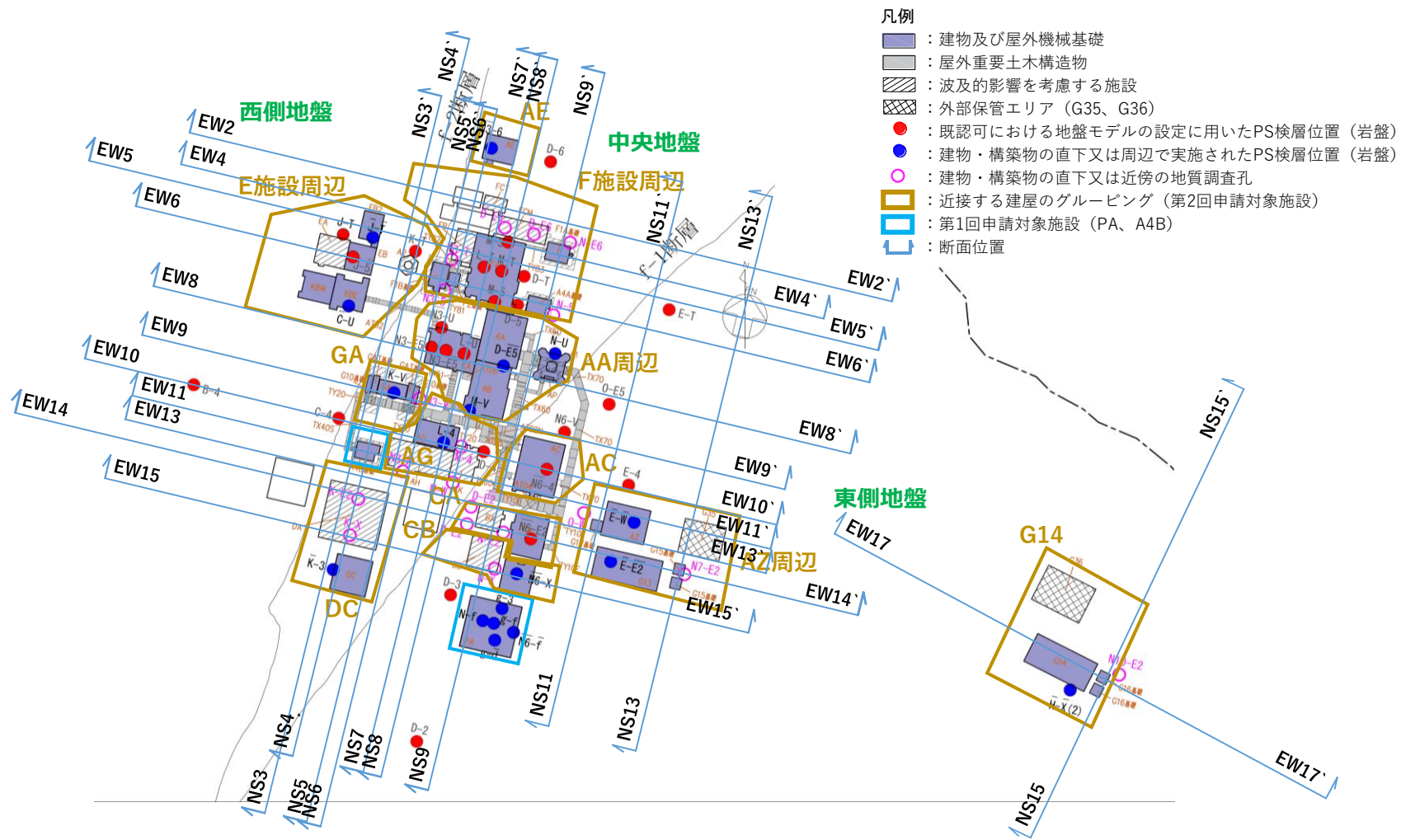
なお、上述の物性値の設定方法については、補足説明資料「耐震建物08 耐震設計の基本方針に関する地震応答解析における地盤モデル及び物性値の設定について」の「別紙1 第1回設工認申請における建物・構築物の入力地震動算定に用いる地盤モデルの設定について」に示す燃料加工建屋及び安全冷却水B冷却塔と同様の方法である。

2.3 岩盤部分の物性値のばらつきの設定方法

本章における具体的な考え方については追而。



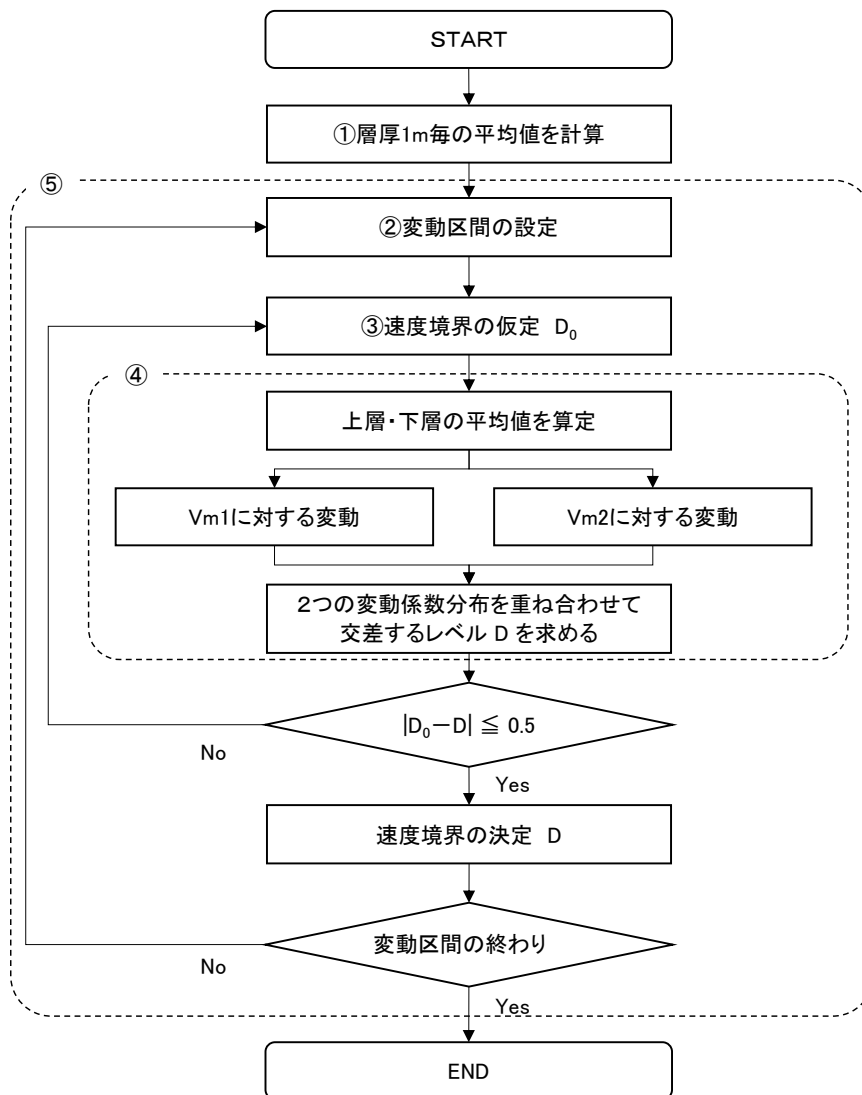
第 2-1 図 近接する建屋のグルーピング



第 2-2 図 建物・構築物直下の地下構造を参照した断面位置

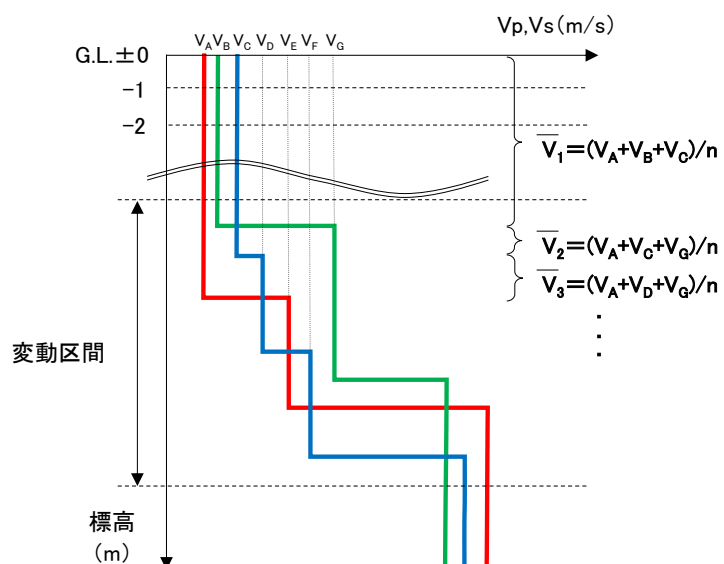
第 2-1 表 岩盤部分の物性値の設定に用いる PS 検層孔

近接建屋 グループ	近接する建屋グループの 直下 PS 検層孔 (第 2-1 図のうち●又は●)
AA 周辺	N3_-U, N3-E5_, N3_-E5_, L-U_, D-E5_, M-V, N_-U
F 施設周辺	M-S, L-T, M-T, M-5, D-T, D-5
AE	N3_-6
AG	L-4, D-4
GA	K_-V
DC	K_-3
AC	N6_-4
CA	N6_-E2
CB	N6_-X
AZ 周辺	E_-W_, E_-E2_
G14	H_-X_(2)
E 施設周辺	J_-T_, J_-5_, C_-U, J-T, K-T



第 2-3 図 速度境界設定の手順 (1/4)

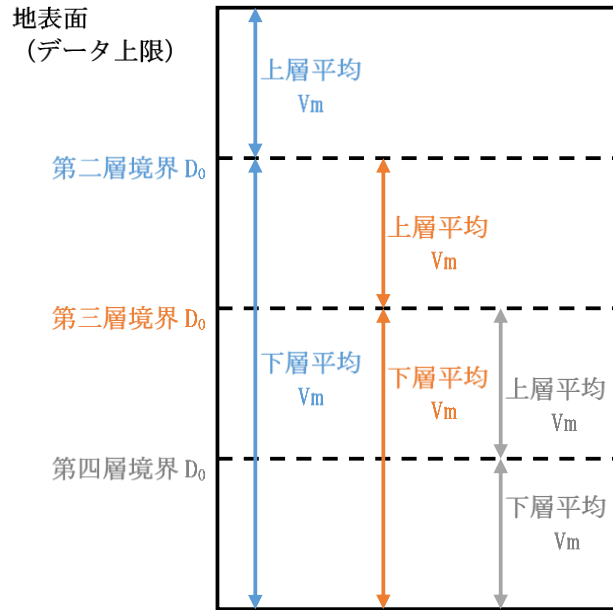
- ① 対象ボーリングデータを層厚 1m 毎に平均化し， V を計算する
- ② 平均化で得られる速度の深さ方向分布図より，変化する区間（各ボーリング孔の速度境界が集中する区間と捉え，ここでは「変動区間」と呼ぶ。）を定める。



注記 : n 数のボーリング孔による PS 検層結果の場合

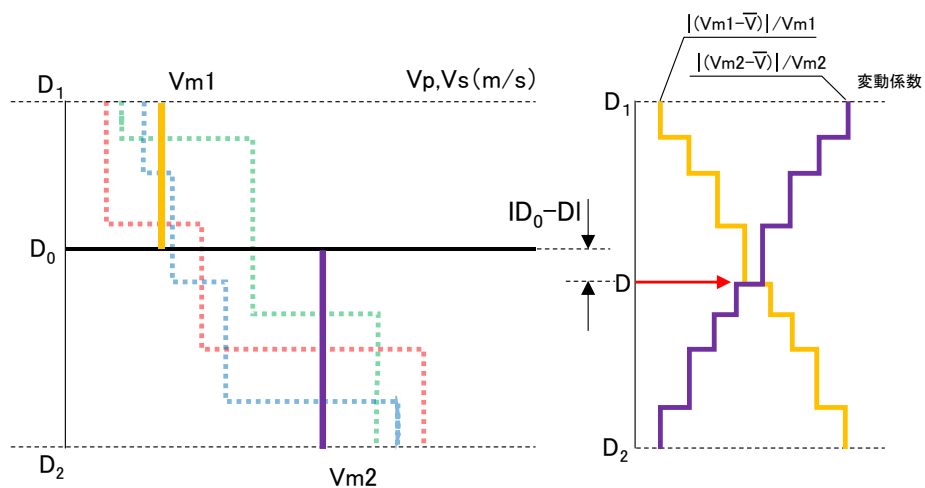
第 2-3 図 速度境界設定の手順 (2/4)

- ③ 変動区間内の任意の深度に速度境界 D_0 を仮定する。
- ④ 仮定した速度境界を境に，上層・下層それぞれの平均値 V_m を計算し，各値に対して変動係数（＝標準偏差／平均値）の分布を求める。



第 2-3 図 速度境界設定の手順 (3/4)

⑤ 上層・下層の平均速度を離散化することによる地盤内の連続速度変化との乖離を最小にするため、2本の変動係数分布について、交差する深度を求め、最初に仮定した速度境界と比較して概ね一致するまで繰り返す。



第 2-3 図 速度境界設定の手順 (4/4)

3. 各グループの物性値の設定結果

3.1 AA周辺における物性値の設定結果

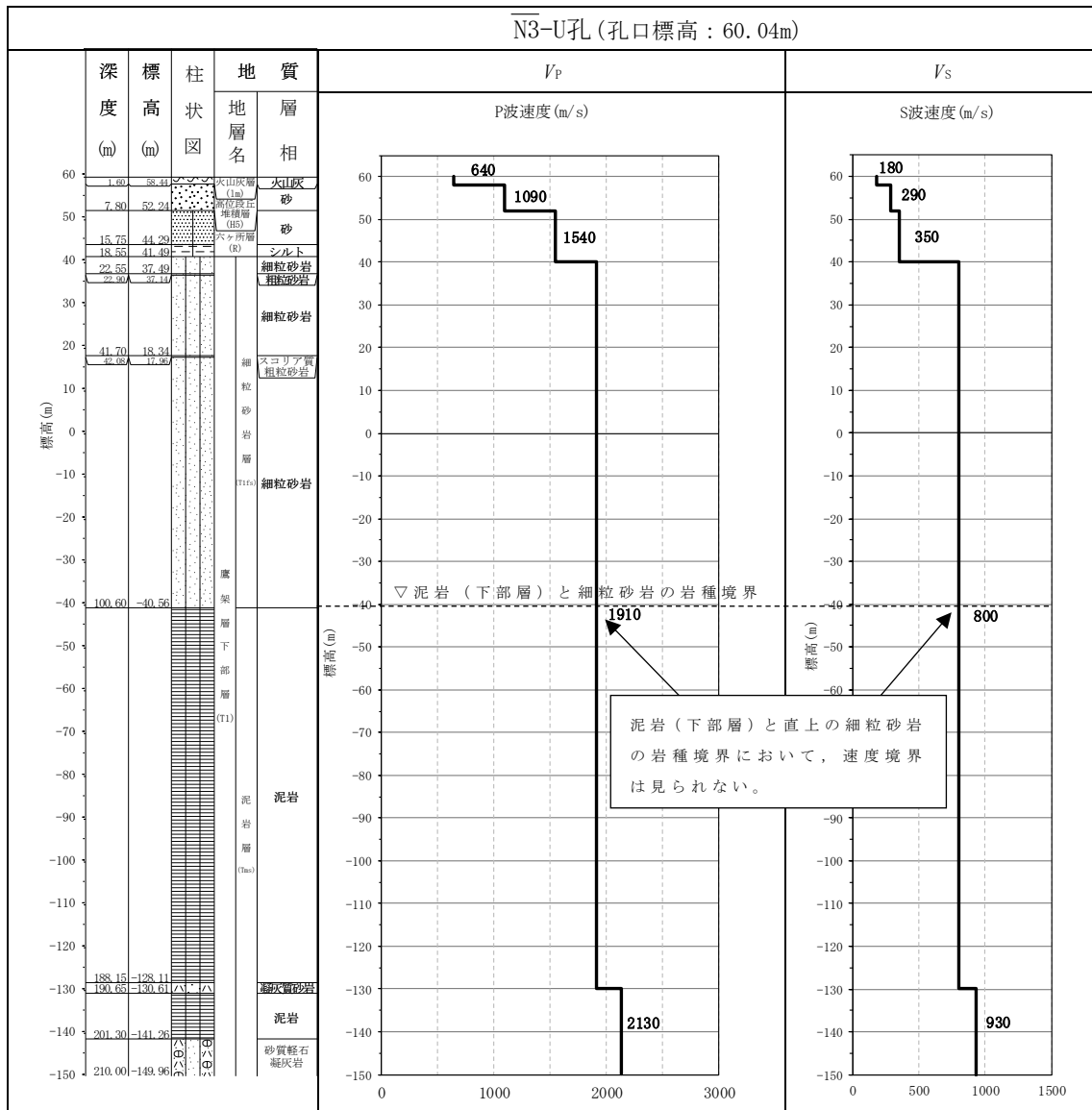
(1) 速度構造の設定

速度構造については、第 2-1 表に示す AA 周辺の PS 検層結果 (N3-U, N3-E5_, N3_-E5_, L-U_, M-V, D-E5_, N_-U) により設定する。物性値の設定に用いた PS 検層孔の S 波速度、P 波速度及び地質柱状図を第 3.1-1 図に示す。

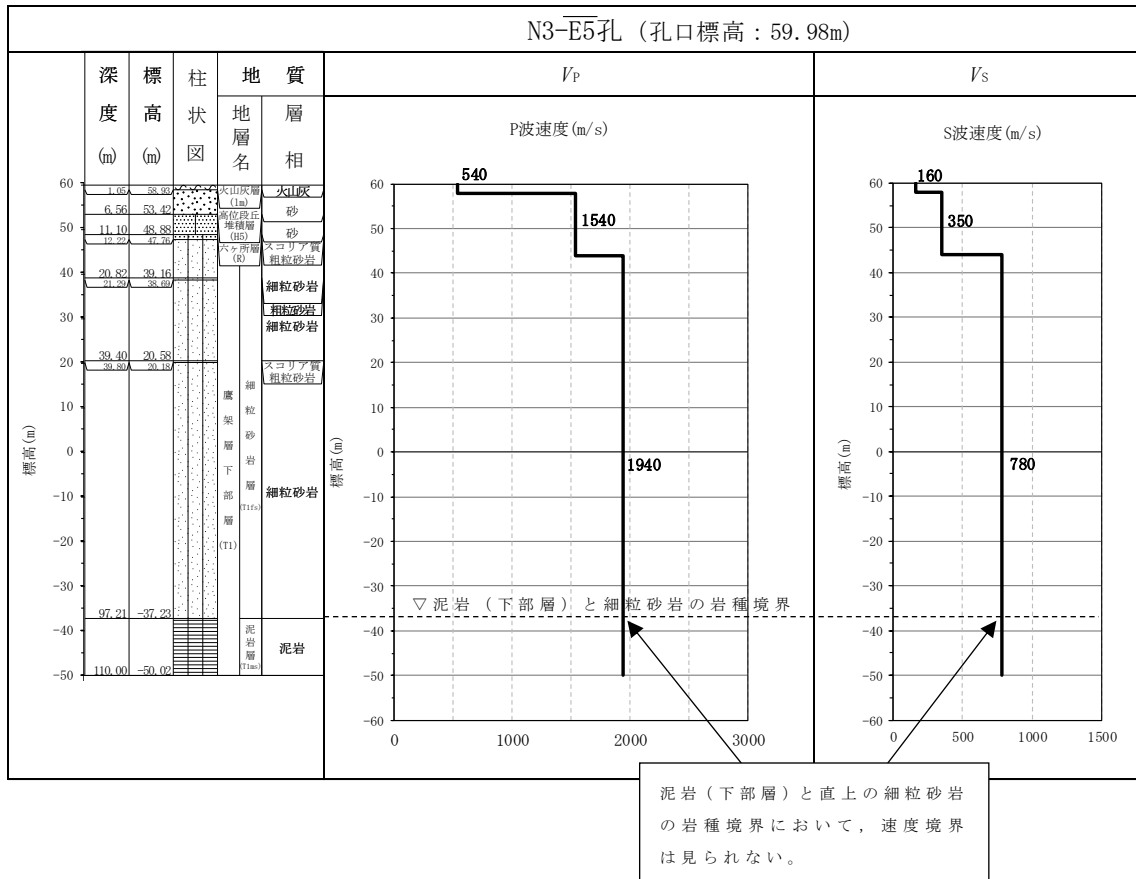
速度境界の探査の結果、第 3.1-2 図～第 3.1-4 図に示すとおり、T.M.S.L. 23m, T.M.S.L. 9m 及び T.M.S.L. -51m において、各標高を境に上層の S 波速度平均値に対する変動係数と下層の S 波速度の平均値に対する変動係数が共に急変することから、上記 3 つの標高を速度境界として設定する。また、第 3.1-5 図に示す地質柱状図の比較結果のとおり、泥岩 (下部層) の上面レベルの平均高さは T.M.S.L. -49m であることを踏まえ、T.M.S.L. -51m の速度境界については、泥岩 (下部層) の上面レベルの平均高さに補正した。なお、泥岩 (下部層) の上面レベルの平均高さ算定において、N_-U 孔は他の 6 孔 (N3-U, N3-E5_, N3_-E5_, L-U_, M-V, D-E5_) に比べて泥岩 (下部層) と細粒砂岩の境界レベルが深く、第 3.1-1 図 (7/7) の地質柱状図のとおり T.M.S.L. -73.66m において確認される。これについては、第 3.1-1 図 (7/7) の PS 検層結果より、泥岩 (下部層) と直上の細粒砂岩の岩種境界において速度境界は見られない。

この特徴については、第 3.1-1 図に示す注釈のとおり、AA 周辺の D-E5_ 孔を除く他の孔 (N3-U, N3-E5_, N3_-E5_, L-U_, M-V) の速度構造でも同様に泥岩 (下部層) と直上の細粒砂岩の岩種境界において速度境界は見られない傾向となっていること、また、D-E5_ 孔においては速度境界が見られるものの、泥岩 (下部層) と直上の細粒砂岩の速度のコントラスト ($V_s=800\sim 880\text{m/s}$) は小さいことから、N_-U 孔の物性値も含めて平均化することに問題はないと判断し、泥岩 (下部層) の上面レベルについては全ての孔の値を平均して設定した。

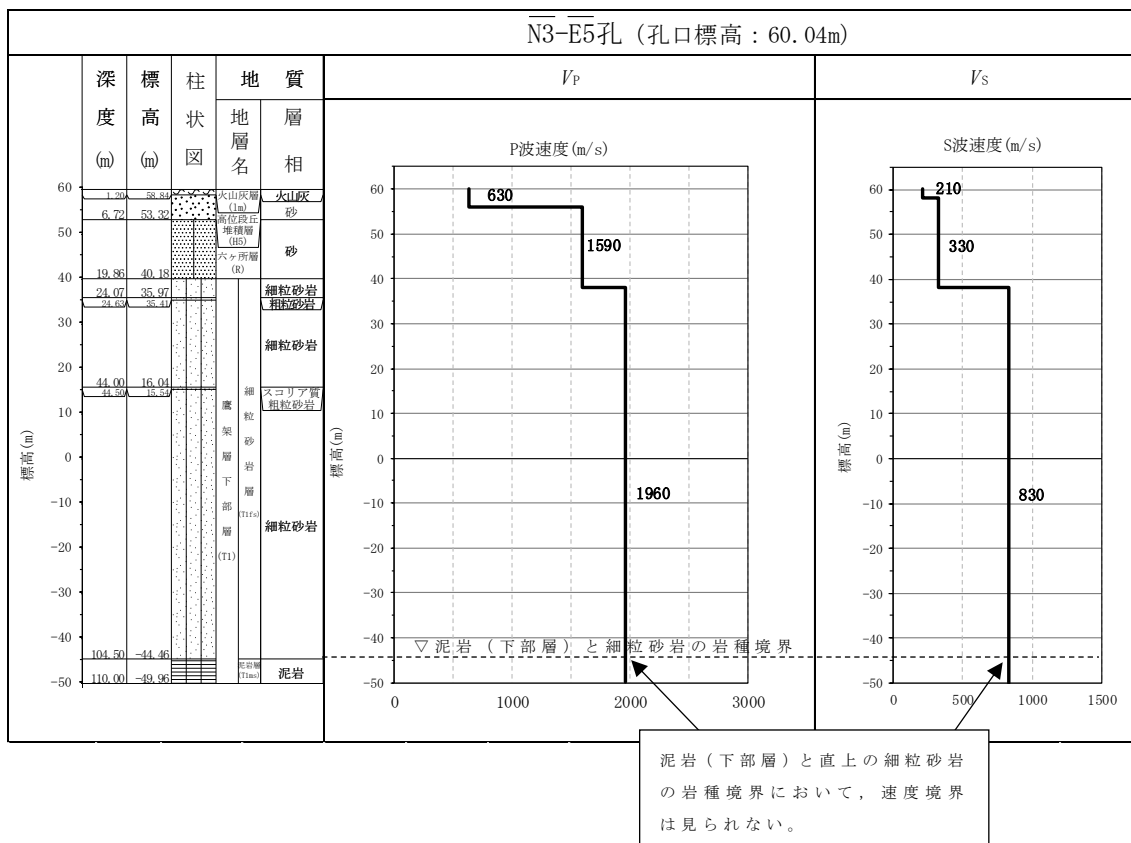
上記に基づき設定した AA 周辺の速度構造及び PS 検層結果の比較を第 3.1-6 図に示す。



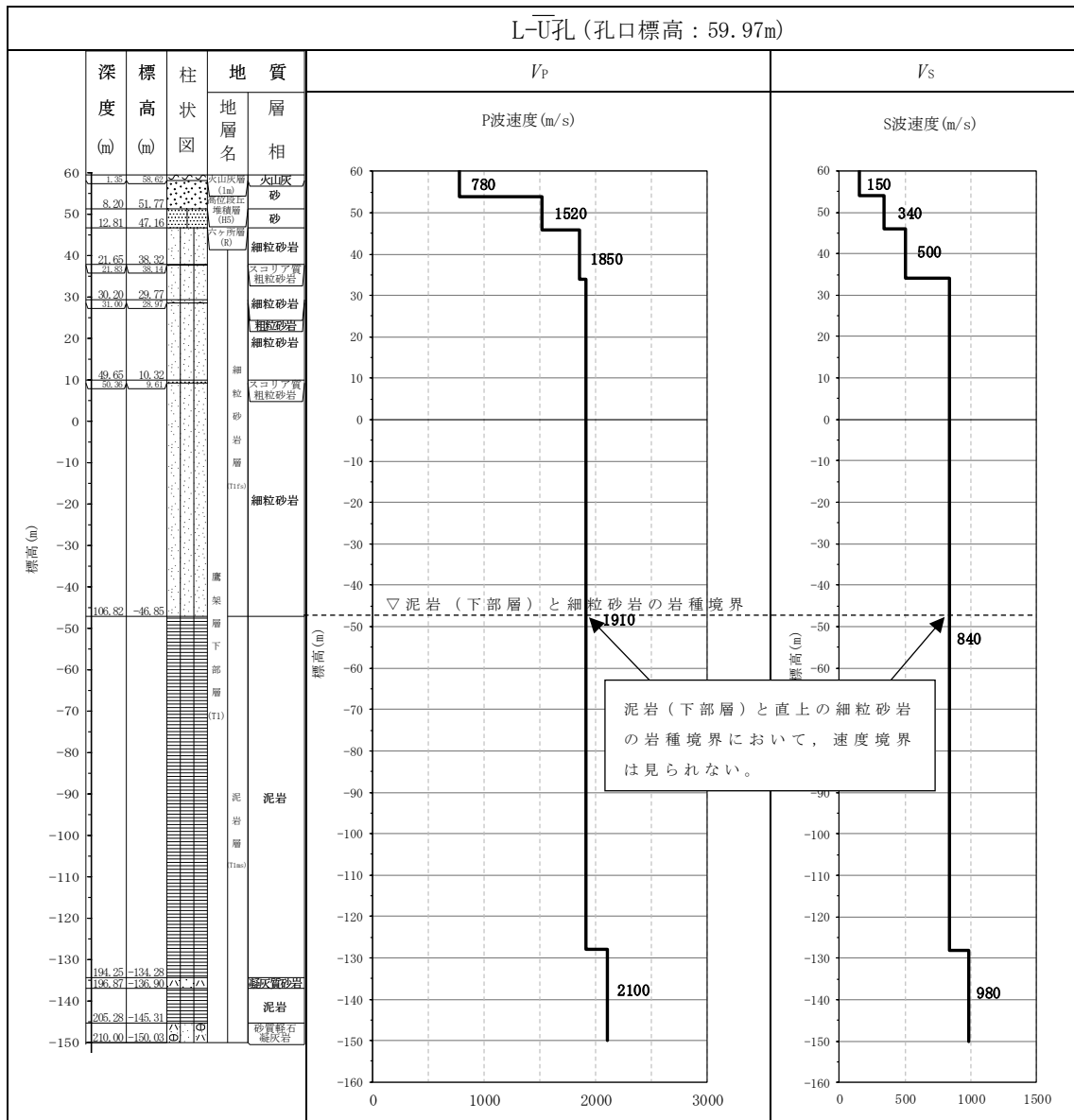
第 3.1-1 図 PS 検層結果 (AA 周辺) (1/7)



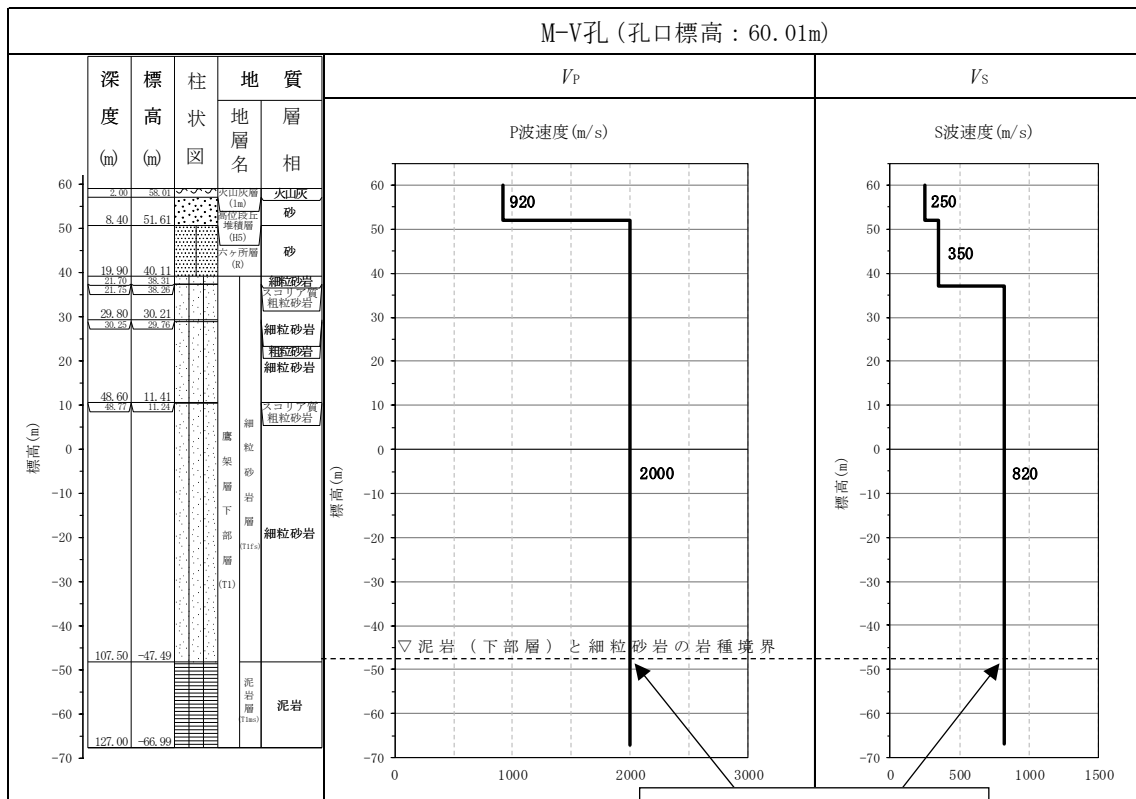
第 3.1-1 図 PS 検層結果 (AA 周辺) (2/7)



第 3.1-1 図 PS 検層結果 (AA 周辺) (3/7)

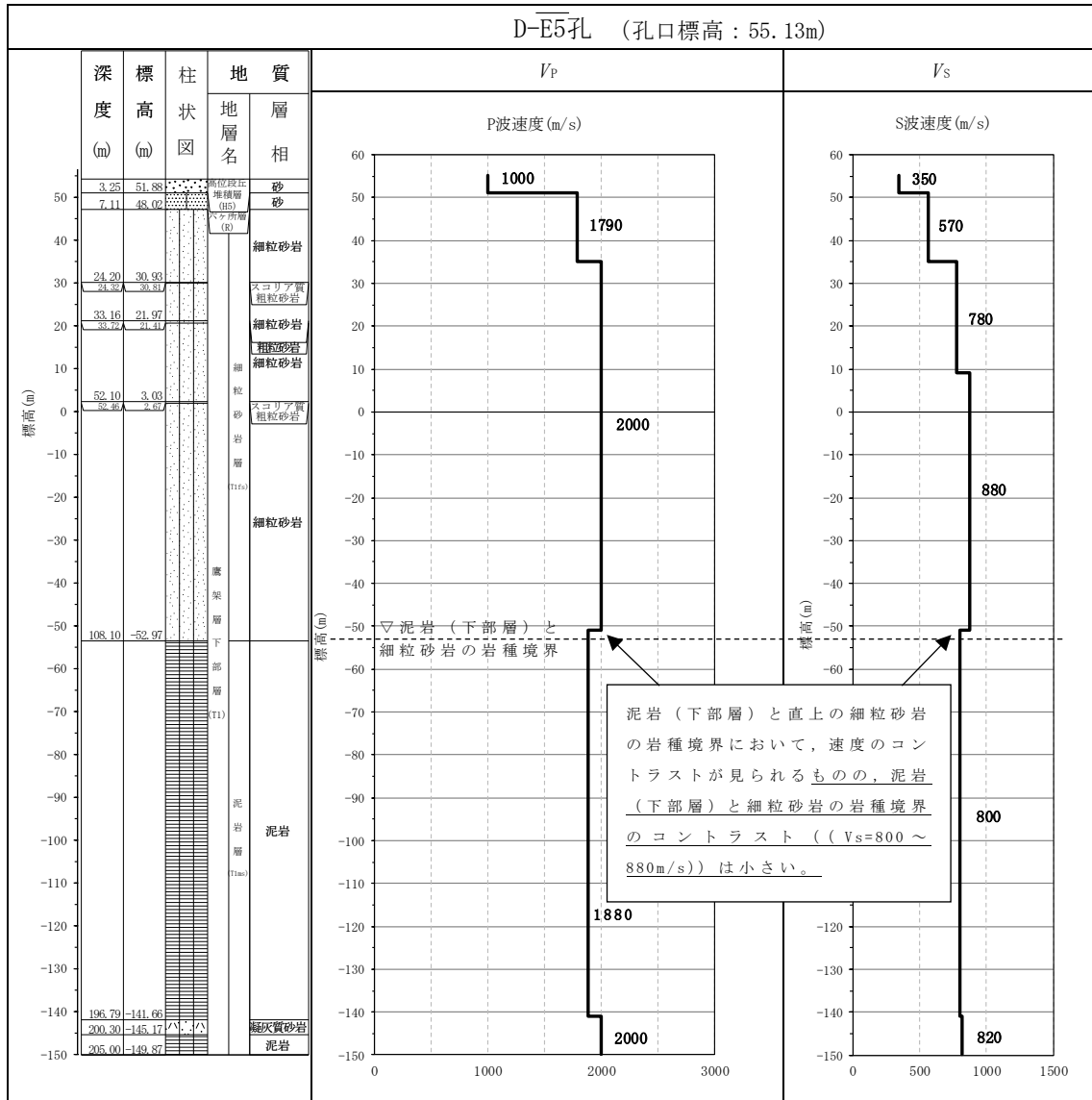


第 3.1-1 図 PS 検層結果 (AA 周辺) (4/7)

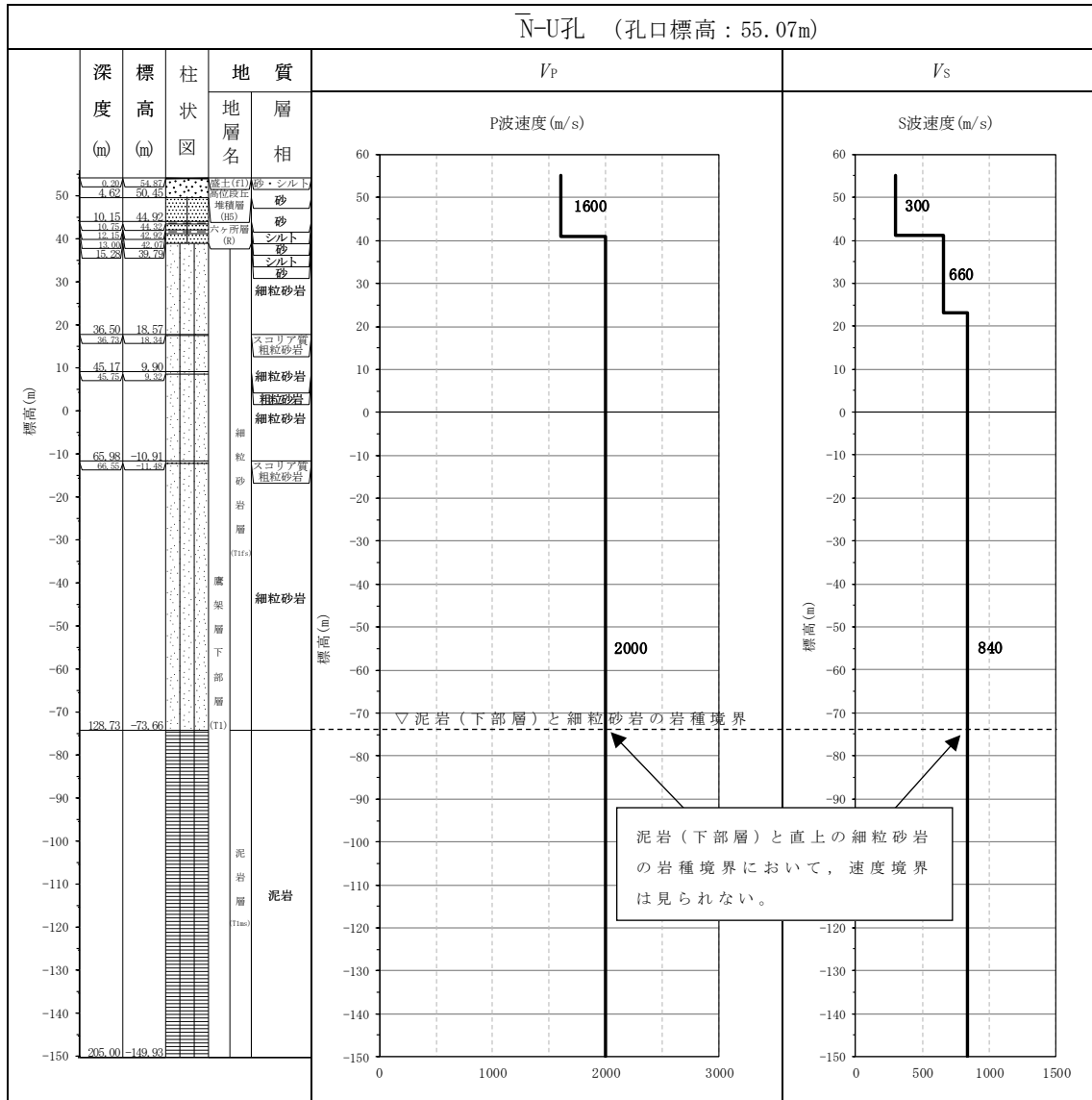


泥岩（下部層）と直上の細粒砂岩の岩種境界において、速度境界は見られない。

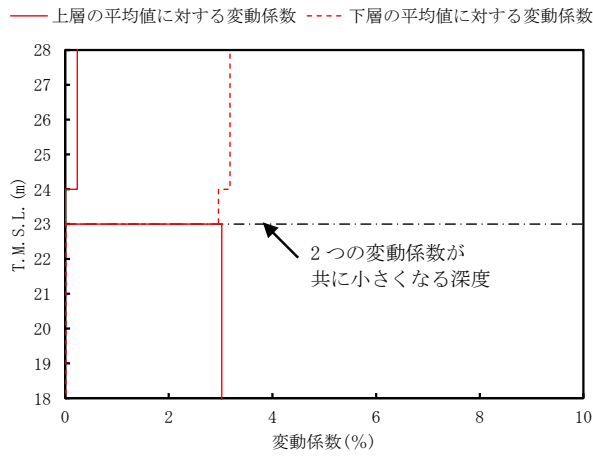
第 3.1-1 図 PS 検層結果 (AA 周辺) (5/7)



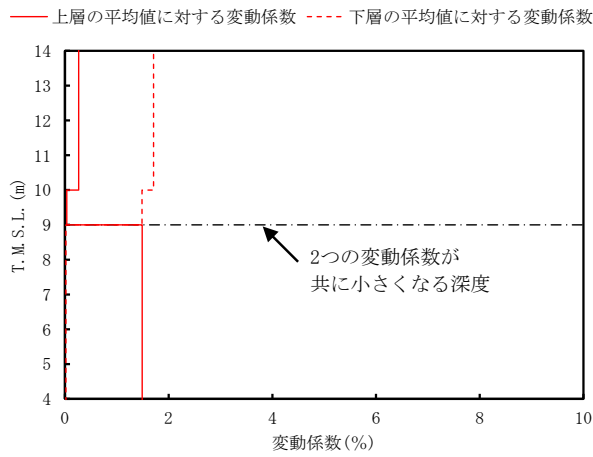
第 3.1-1 図 PS 検層結果 (AA 周辺) (6/7)



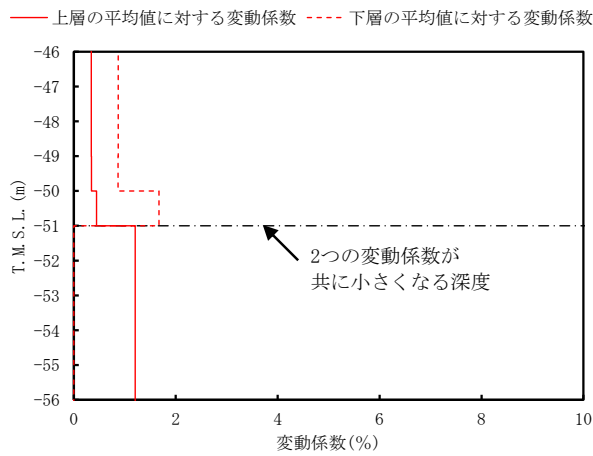
第 3.1-1 図 PS 検層結果 (AA 周辺) (7/7)



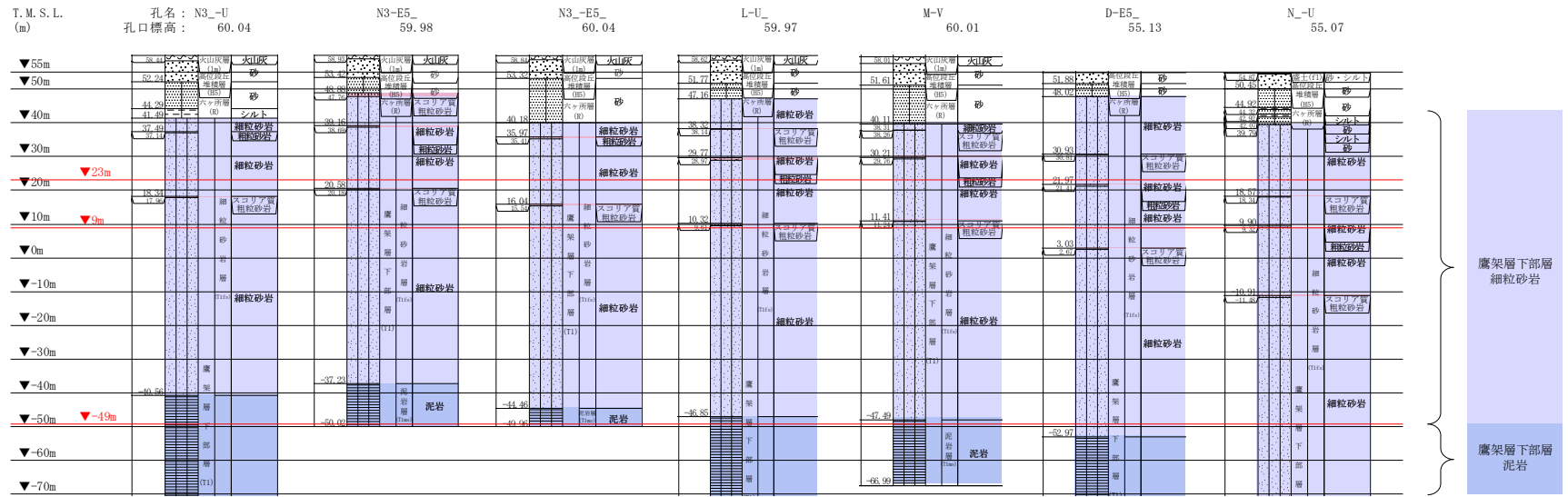
第 3.1-2 図 S 波速度の変動係数の分布 (T. M. S. L. 23m 付近)



第 3.1-3 図 S 波速度の変動係数の分布 (T. M. S. L. 9m 付近)



第 3.1-4 図 S 波速度の変動係数の分布 (T. M. S. L. -51m 付近)

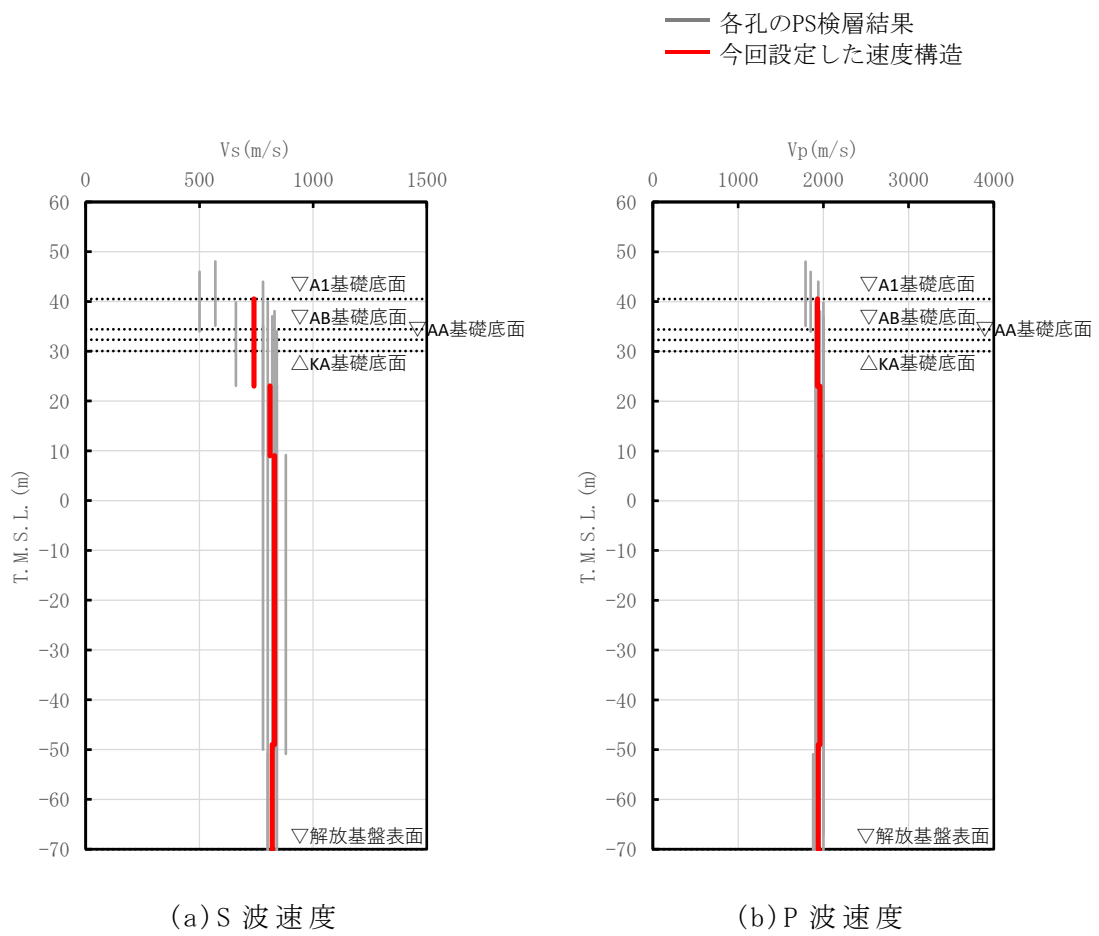


注記 : 赤線は速度境界レベルを示す。

N-U孔は、T.M.S.L. -73.66mにおいて、泥岩（下部層）と細粒砂岩の境界レベルが確認される。
 （第3.1-1図（7/7）より）

岩盤の最上面レベル = $(41.49 \text{ m} + 48.88 \text{ m} + 40.18 \text{ m} + 47.16 \text{ m} + 40.11 \text{ m} + 48.02 \text{ m} + 39.79 \text{ m}) / 7 = 43.66 \text{ m} \approx 44 \text{ m}$
 泥岩（下部層）の上面レベル平均高さ = $((-40.56 \text{ m}) + (-37.23 \text{ m}) + (-44.46 \text{ m}) + (-46.85 \text{ m}) + (-47.49 \text{ m}) + (-52.97 \text{ m}) + (-73.66 \text{ m})) / 7 = -49.03 \text{ m} \approx -49 \text{ m}$

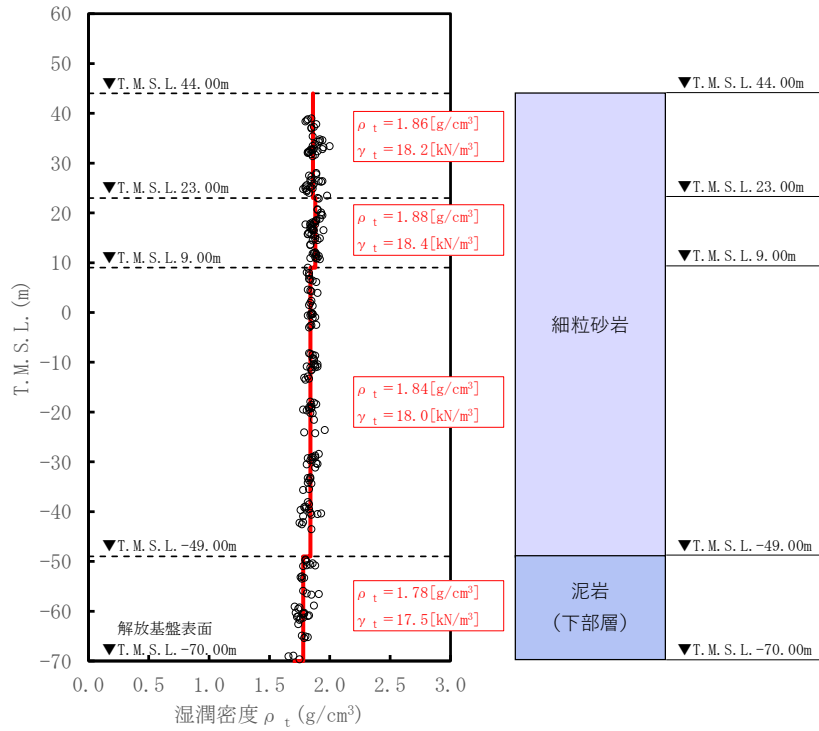
第 3.1-5 図 地質柱状図の比較



第 3.1-6 図 AA 周辺の速度構造と PS 検層結果の比較

(2) 単位体積重量の設定

単位体積重量は，第 3.1-7 図に示すとおり，速度構造の設定に用いた PS 検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき，各岩種ごとに平均値を設定した。



注記 : 赤実線及び赤字は地盤モデルに設定した値を示す。

γ_t は ρ_t に重力加速度 ($g=9.80665\text{m/s}^2$) を乗じた値を設定する。

第 3.1-7 図 単位体積重量の設定結果

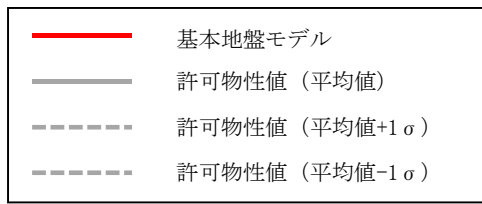
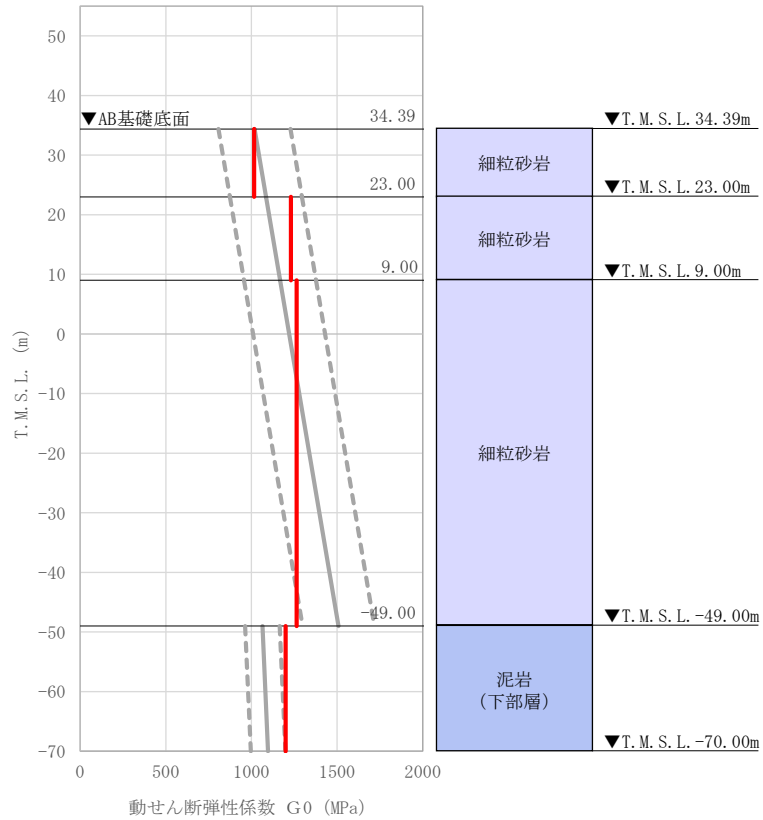
(3) 地盤物性値の設定結果

AA 周辺の直下又は近傍の PS 検層結果に基づいて設定した物性値を第 3.1-1 表に示す。

また、上記で設定した物性値について、事業変更許可申請書に示す許可物性値との比較を第 3.1-8 図に示す。設定した物性値が許可物性値と整合していることが確認できる。

第 3.1-1 表 AA 周辺の直下又は近傍の PS 検層結果に基づく物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	S 波速度 V_s (m/s)	P 波速度 V_p (m/s)
▽A1基礎底面 40.50				
▽AB基礎底面 34.39	細粒砂岩	18.2	740	1930
▽AA基礎底面 33.20				
▽KA基礎底面 30.03				
23.00				
9.00		18.4	810	1960
-49.00		18.0	830	1960
▽解放基盤表面 -70.00	泥岩 (下部層)	17.5	820	1940
	—	17.5	820	1940



注記 : 赤実線は地盤モデルに設定した値から求まるせん断弾性係数を示す。

第 3.1-8 図 せん断弾性係数の設定結果

3.2 F 施設周辺における物性値の設定結果

(1) 速度構造の設定

速度構造については、第 2-1 表に示す F 施設周辺の PS 検層結果 (M-S, L-T, M-T, M-5, D-T, D-5) により設定する。物性値の設定に用いた PS 検層孔の S 波速度, P 波速度及び地質柱状図を第 3.2-1 図に示す。

速度境界の探査の結果、第 3.2-2 図に示すとおり、T.M.S.L.23m を境に上層の S 波速度平均値に対する変動係数と下層の S 波速度の平均値に対する変動係数が共に急変することから、T.M.S.L.23m を速度境界として設定する。また、第 3.2-3 図に示す地質柱状図の比較結果のとおり、泥岩(下部層)の上面レベルは、各孔の平均値より T.M.S.L.-53m とした。なお、泥岩(下部層)の上面レベルの平均高さ算定において、M-S 孔は他の 5 孔 (L-T, M-T, M-5, D-T, D-5) に比べて泥岩(下部層)と細粒砂岩の境界レベルが深く、第 3.2-1 図(1/6)の地質柱状図のとおり T.M.S.L.-63.02m において確認される。これについては、第 3.2-1 図(1/6)の PS 検層結果より、泥岩(下部層)と直上の細粒砂岩の岩種境界において速度境界は見られない。

この特徴については、第 3.2-1 図に示す注釈のとおり、F 施設周辺の M-S 孔を除く 5 孔 (L-T, M-T, M-5, D-T, D-5) の速度構造でも同様に泥岩(下部層)と直上の細粒砂岩の岩種境界において速度境界は見られない傾向となっていることから、M-S 孔の物性値も含めて平均化することに問題はないと判断し、泥岩(下部層)の上面レベルについては全ての孔の値を平均して設定した。

F 施設周辺の建物・構築物のうち、A4A 基礎、F1A 基礎及び F2 基礎については、第 3.2-3 図に示す鷹架層上面レベルの平均高さ(T.M.S.L.45m)よりも浅部に設置されるが、基礎直下には MMR が施工されている。MMR 部分については、支持地盤相当の岩盤に支持されているとみなし、MMR 直下の物性値を設定した。

上記に基づき設定した F 施設周辺の速度構造及び PS 検層結果の比較を第 3.2-4 図に示す。

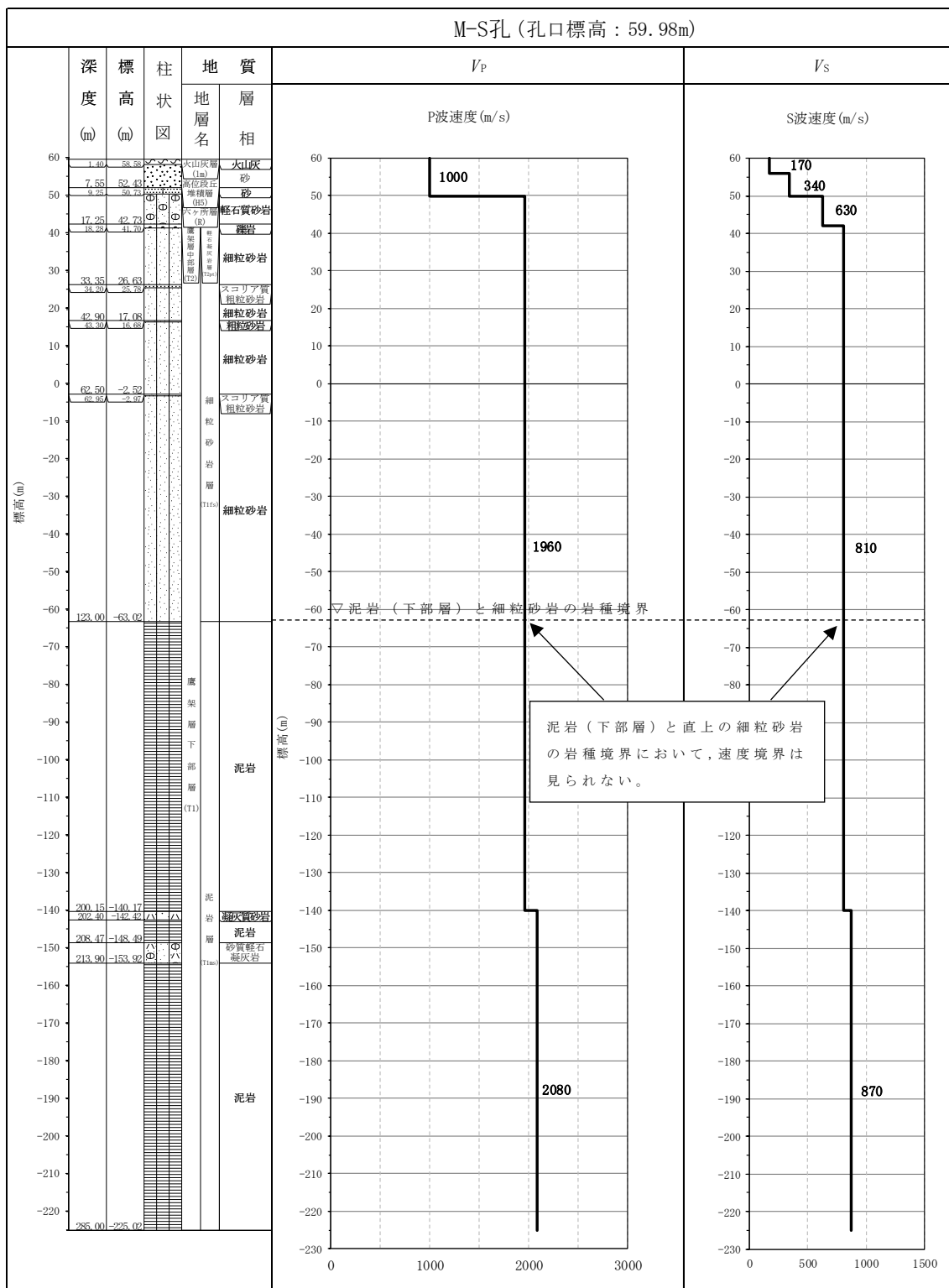
なお、F 施設周辺の建物・構築物のうち、A4A 基礎、FB 建屋、FCT 建屋、FCM 建屋、F1A 基礎、F1B 基礎及び F2 基礎については、直下の PS 検層結果はないため、「参考 1」に示す地質柱状図を確認した結果、岩種境界が確認できる深さまでデータが得られていないことから、第 3.2-5 図に示すように、その建物・構築物直下の地下構造と近傍の PS 検層結果と比較を行い、PS 検層結果を基に設定した物性値をその建物・構築物に適

用できることを確認する。

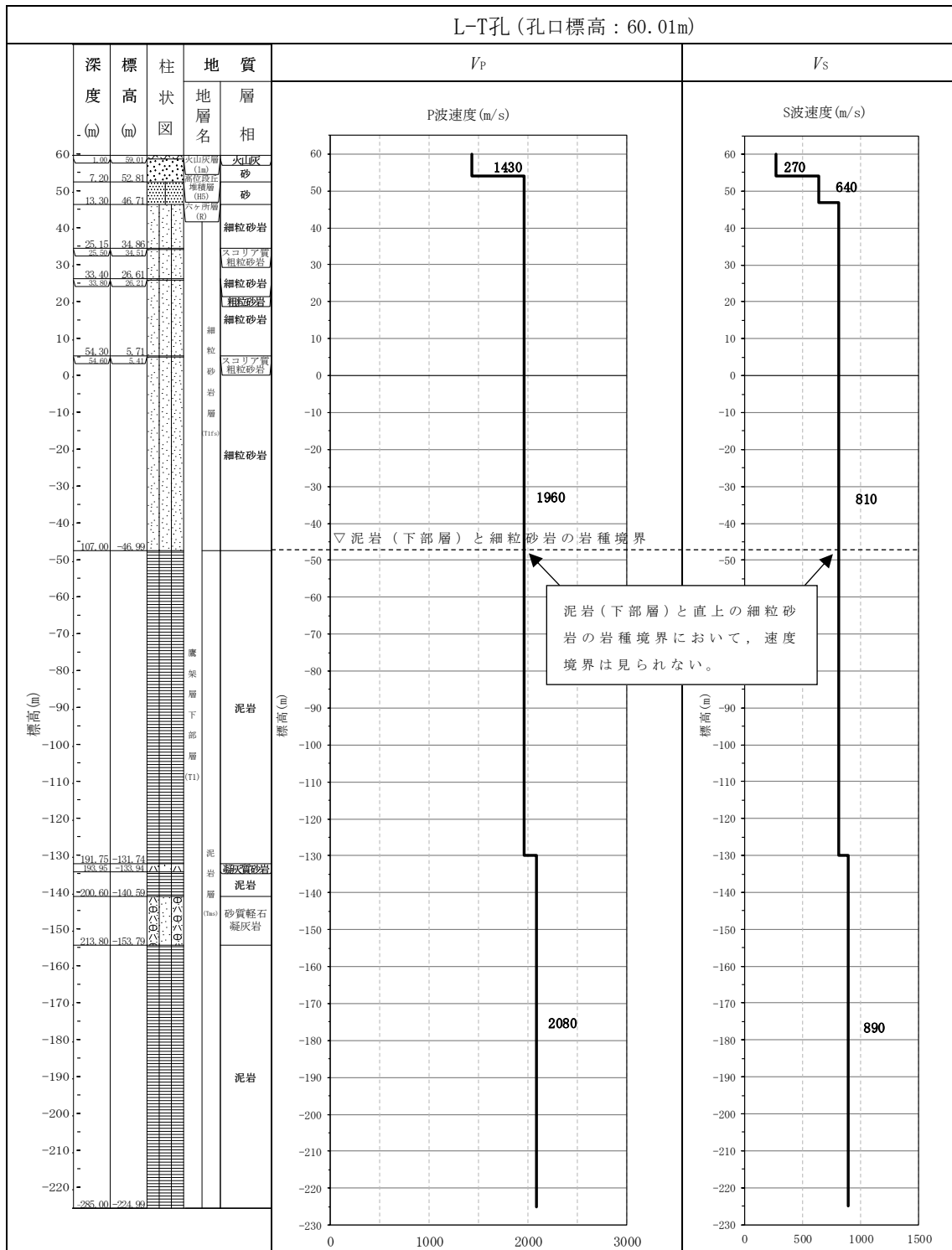
第 3.2-5 図より A4A 基礎，FB 建屋，FCT 建屋，F1B 基礎及び F2 基礎については，各建物・構築物近傍の孔において細粒砂岩と泥岩（下部層）の岩種境界に速度境界が見られないことから，速度構造について大きな変化はないと判断した。

F1A 基礎及び FCM 建屋については，第 3.2-5 図に示す近傍孔と建物・構築物直下の地下構造及び速度構造の対応関係より，細粒砂岩の上部に軽石質砂岩が確認される。また，近傍孔である M-S 孔においても細粒砂岩と軽石質砂岩の岩種境界において速度境界が確認される。F1A 基礎及び FCM 建屋の岩盤部分の物性値としては，細粒砂岩の上層に軽石質砂岩を考慮した速度境界を設定することも考えられるが，「参考 3 F 施設周辺における軽石質砂岩の考慮について」に示すとおり，速度境界を設定した場合の影響は非常に小さいことから，F 施設周辺の PS 検層結果を基に設定した物性値を適用することに問題はないと判断した。

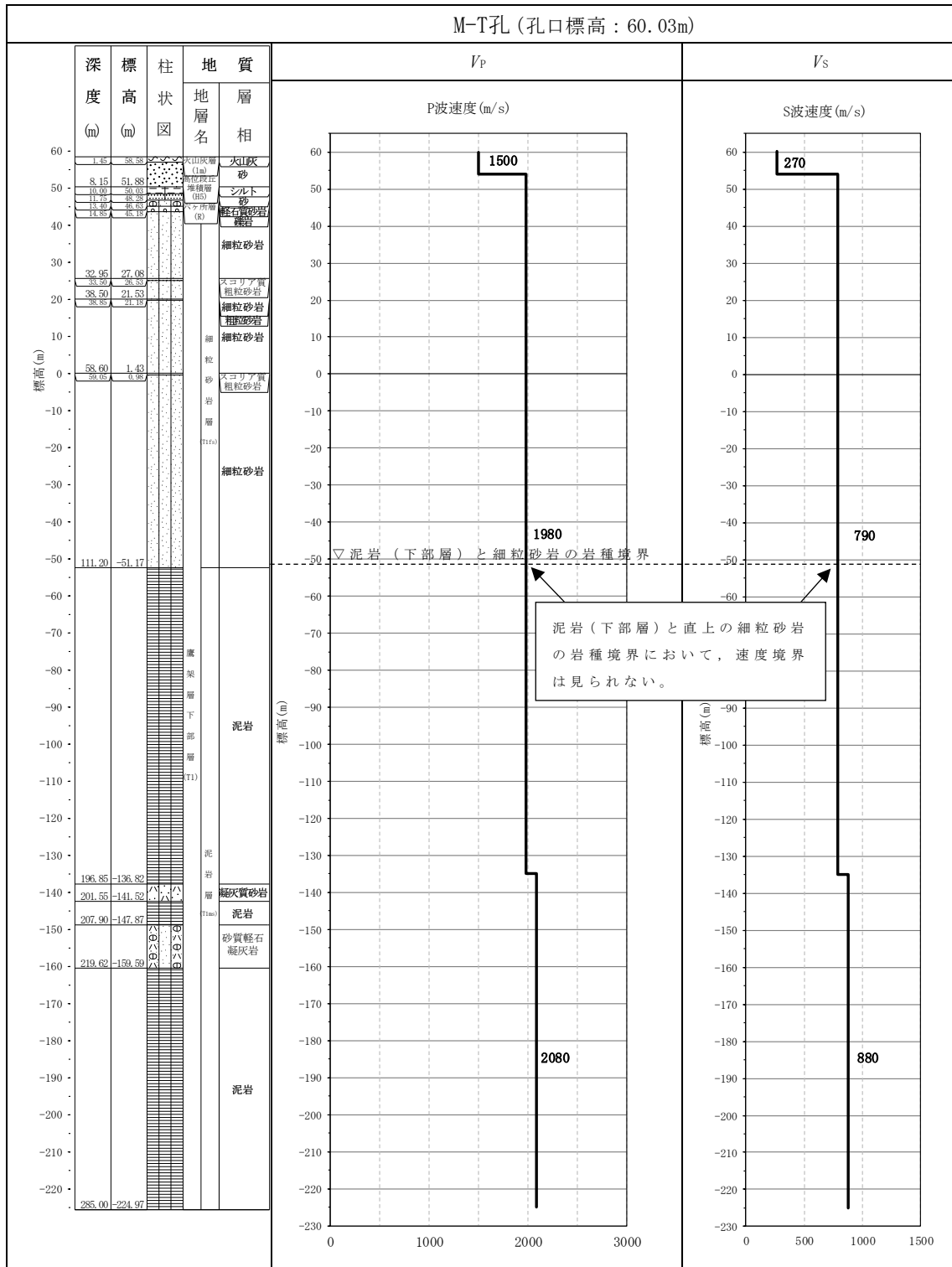
上記のことから，A4A 基礎，FB 建屋，FCT 建屋，FCM 建屋，F1A 基礎，F1B 基礎及び F2 基礎については，F 施設周辺の PS 検層結果を基に設定した物性値を適用する。



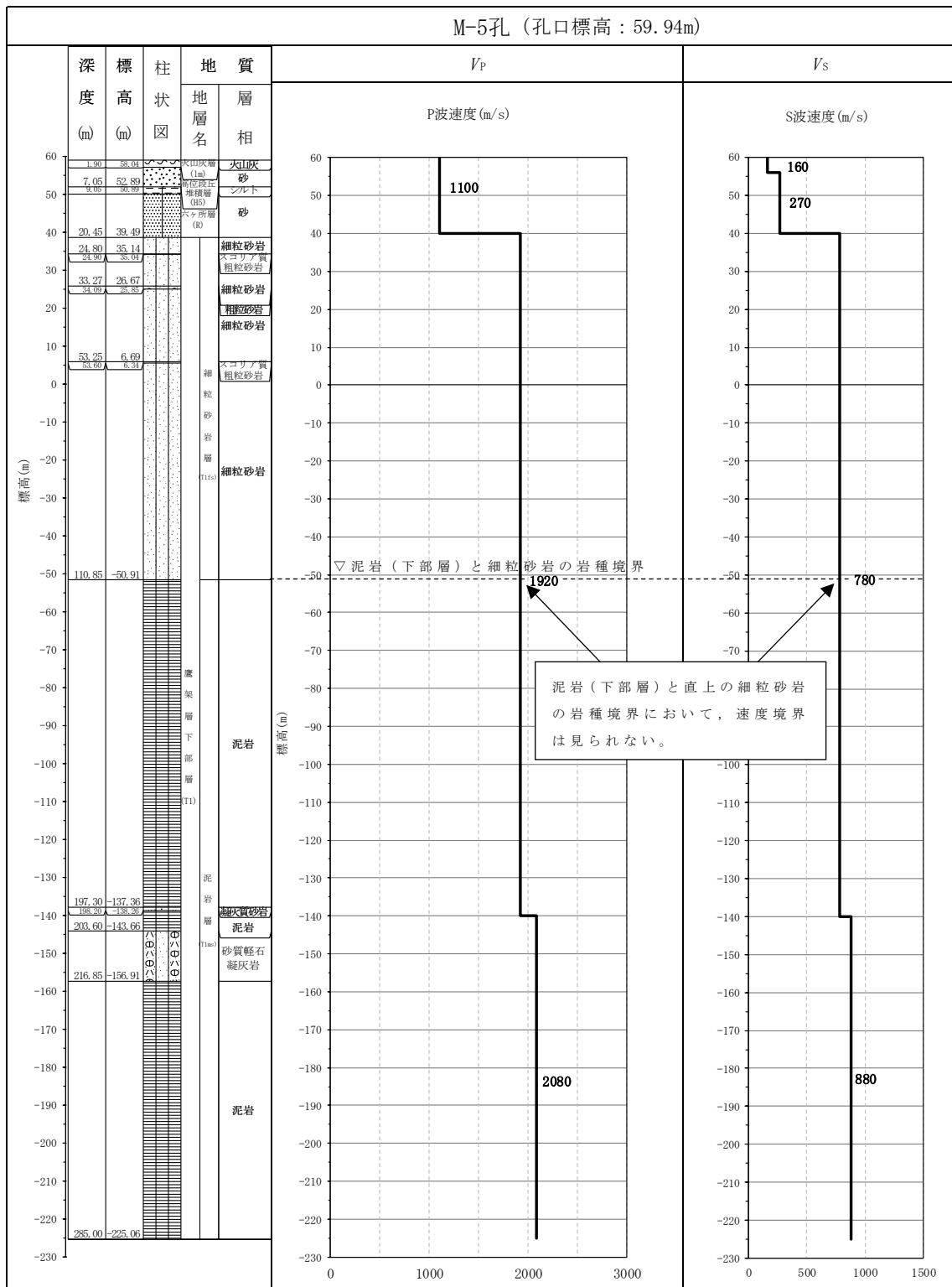
第 3.2-1 図 PS 検層結果 (F 施設周辺) (1/6)



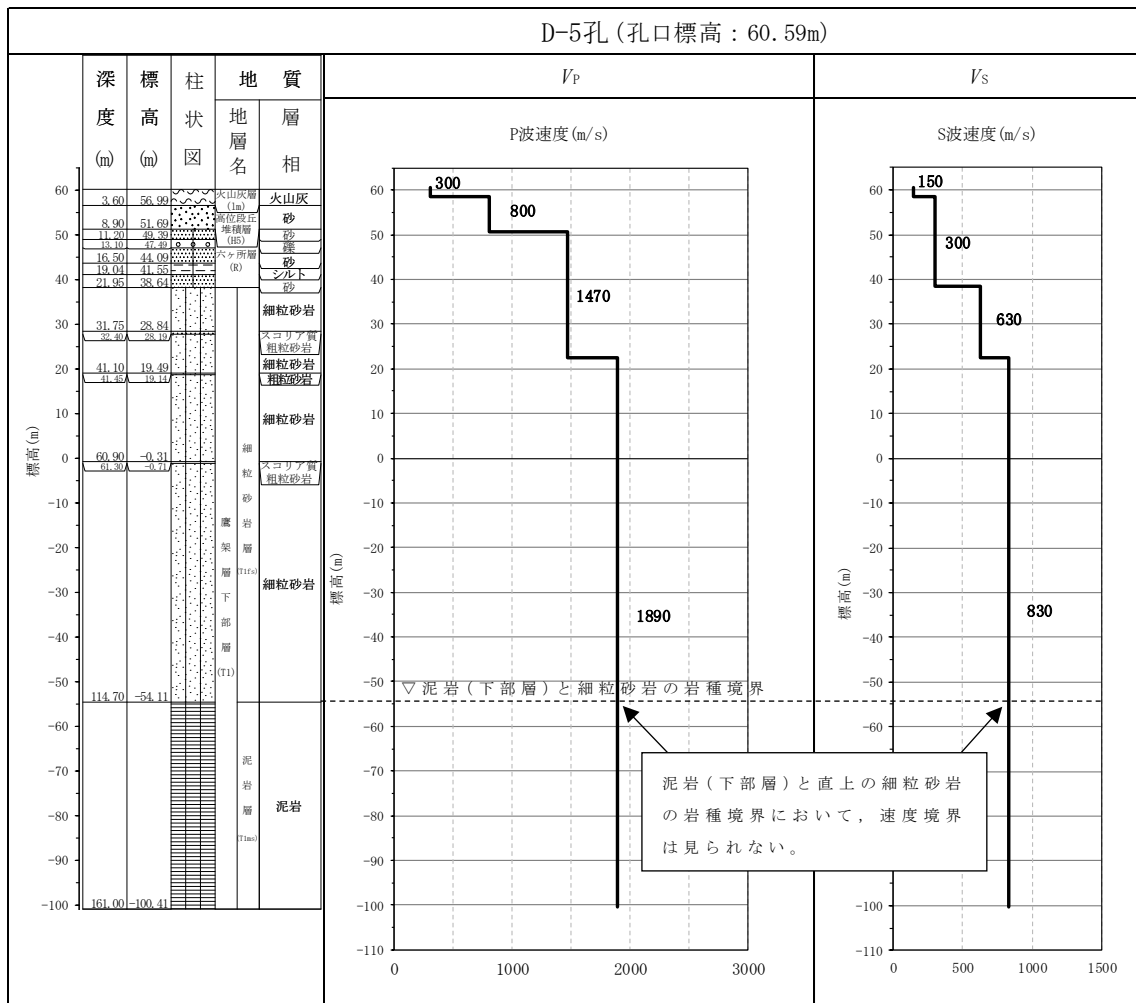
第 3.2-1 図 PS 検層結果 (F 施設周辺) (2/6)



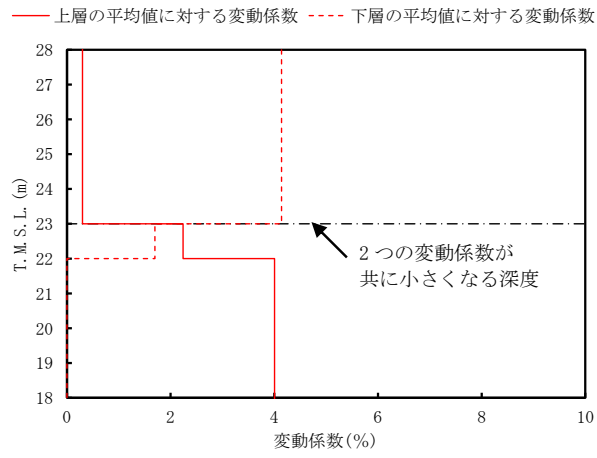
第 3.2-1 図 PS 検層結果 (F 施設周辺) (3/6)



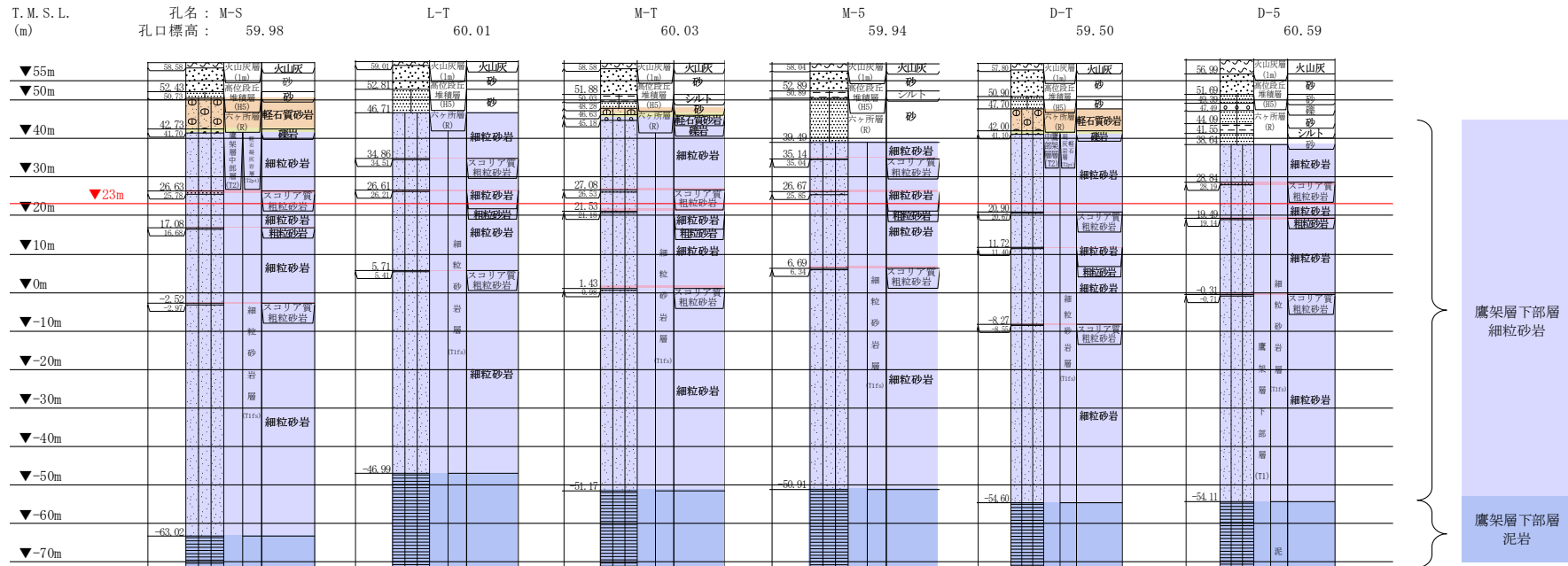
第 3.2-1 図 PS 検層結果 (F 施設周辺) (4/6)



第 3.2-1 図 PS 検層結果 (F 施設周辺) (6/6)



第 3.2-2 図 S 波速度の変動係数の分布 (T.M.S.L. 23m 付近)

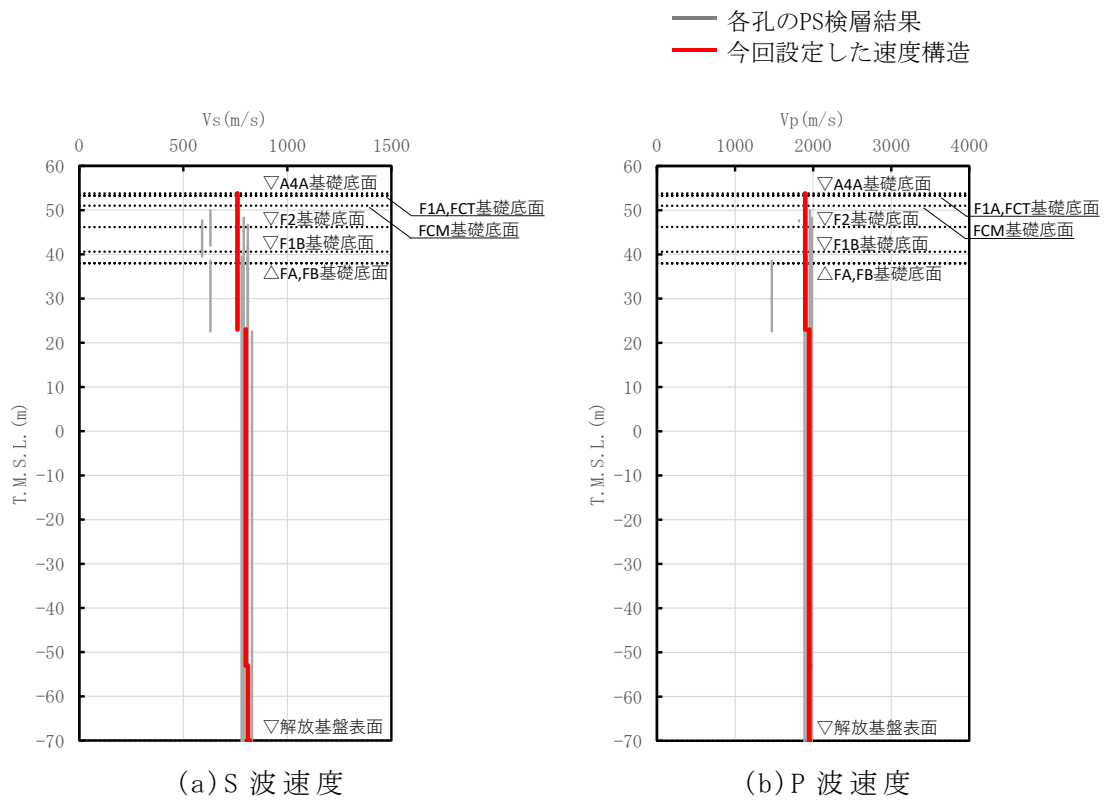


注記 : 赤線は速度境界レベルを示す。

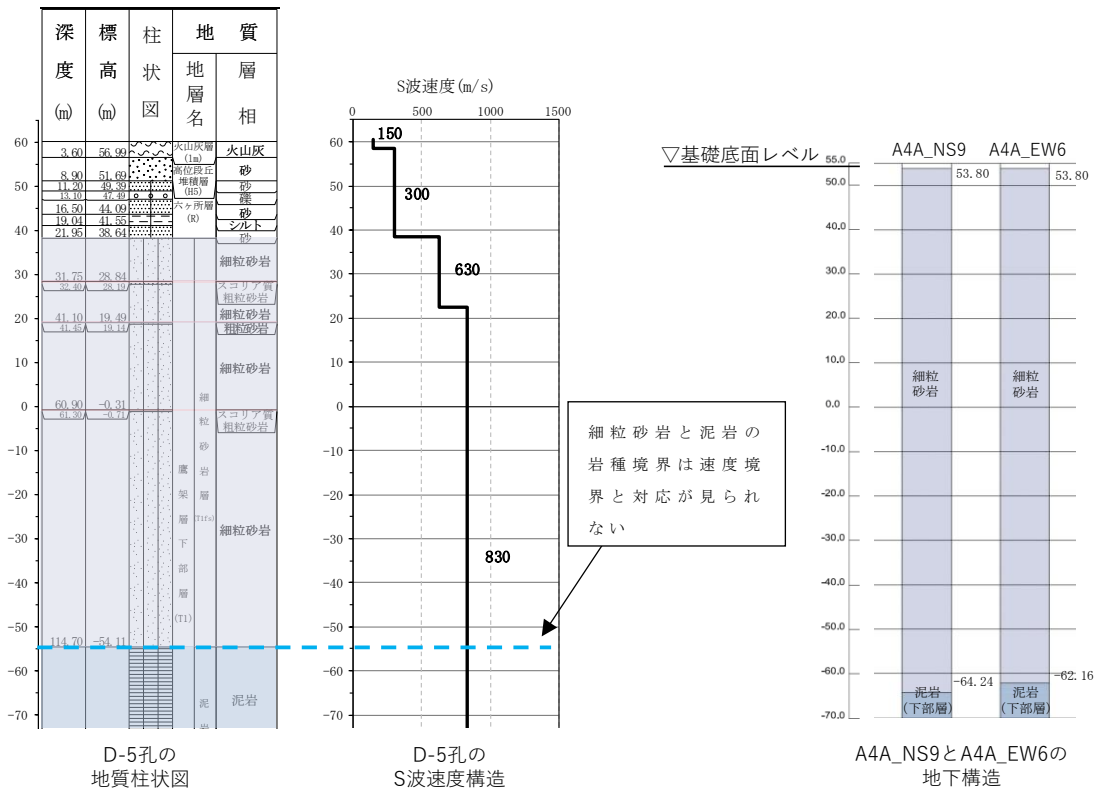
$$\text{岩盤の最上面レベル} = (50.73 \text{ m} + 46.71 \text{ m} + 48.28 \text{ m} + 39.49 \text{ m} + 47.70 \text{ m} + 38.64 \text{ m}) / 6 = 45.26 \text{ m} \approx 45 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{泥岩 (下部層) の上面レベル平均高さ} &= ((-63.02 \text{ m}) + (-46.99 \text{ m}) + (-51.17 \text{ m}) + (-50.91 \text{ m}) + (-54.60 \text{ m}) + (-54.11 \text{ m})) / 6 \\ &= -53.47 \text{ m} \approx -53 \text{ m} \end{aligned}$$

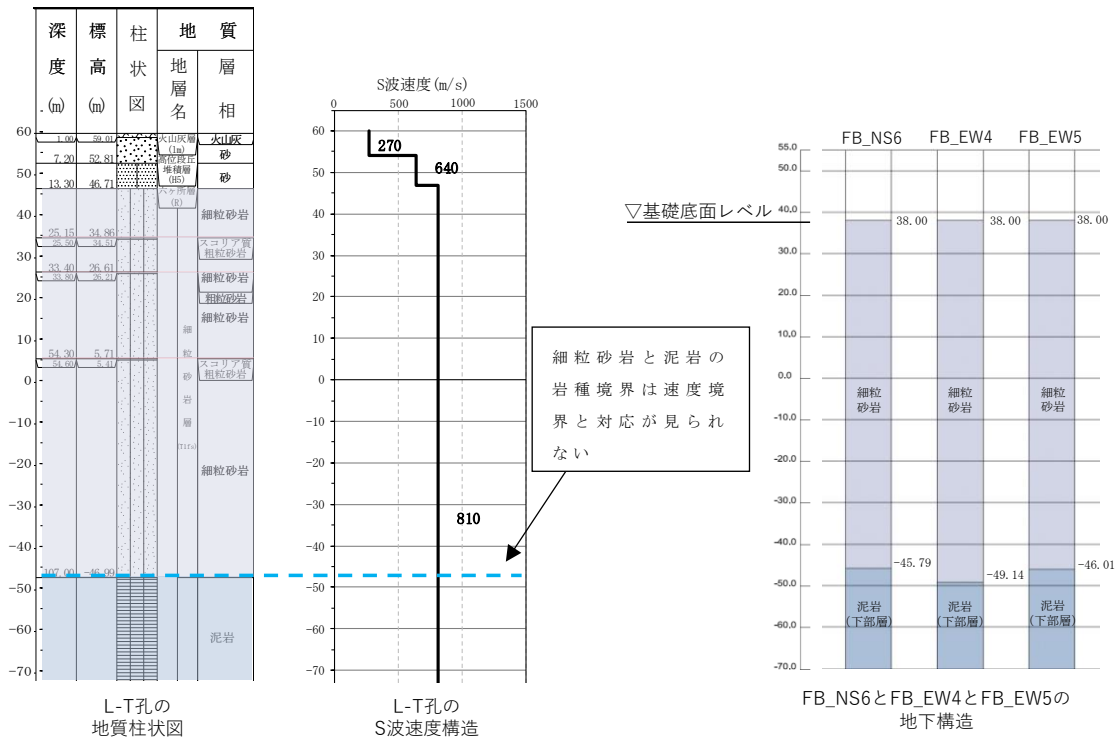
第 3.2-3 図 地質柱状図の比較



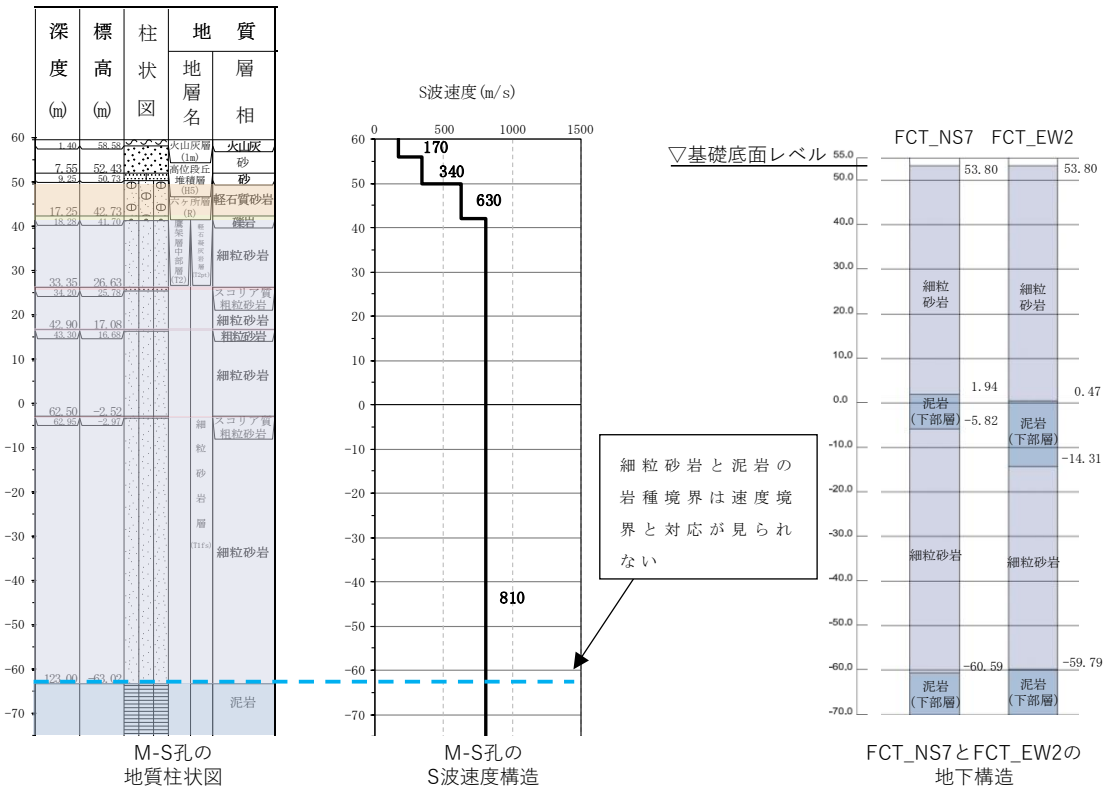
第 3.2-4 図 F 施設周辺の速度構造と PS 検層結果の比較



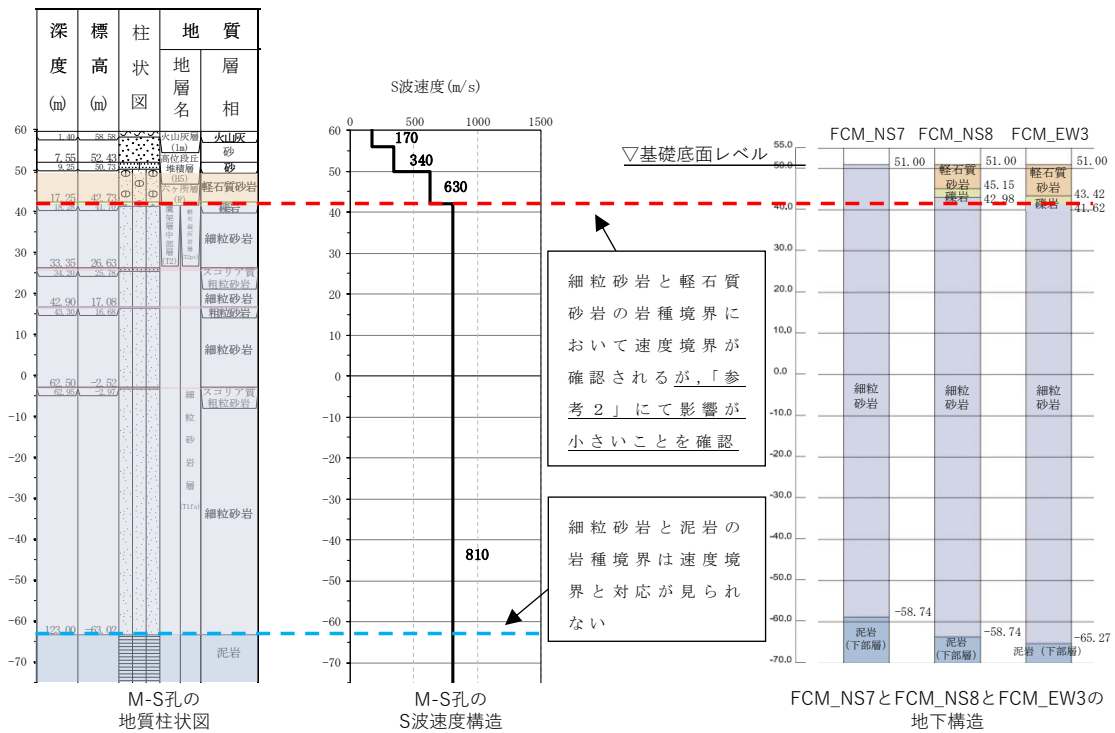
第 3.2-5 図 D-5 孔及び A4A 直下の地下構造及び速度構造の対応 (1/7)



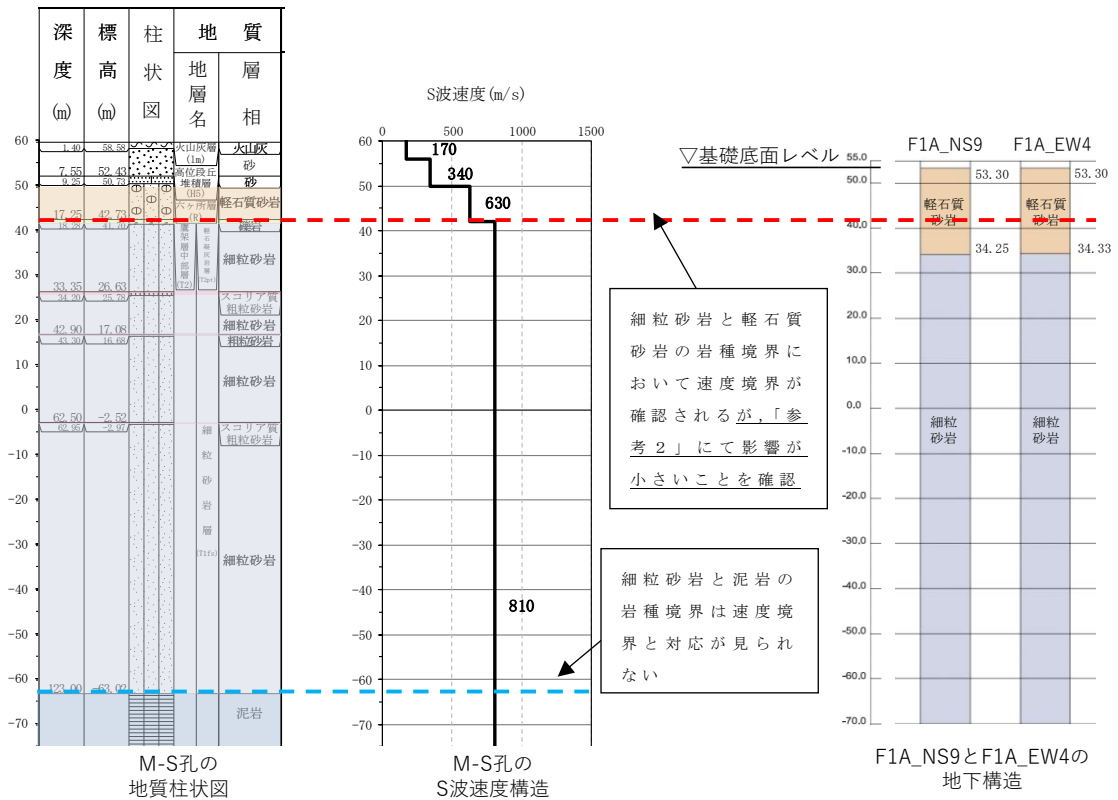
第 3.2-5 図 L-T 孔及び FB 直下の地下構造及び速度構造の対応 (2/7)



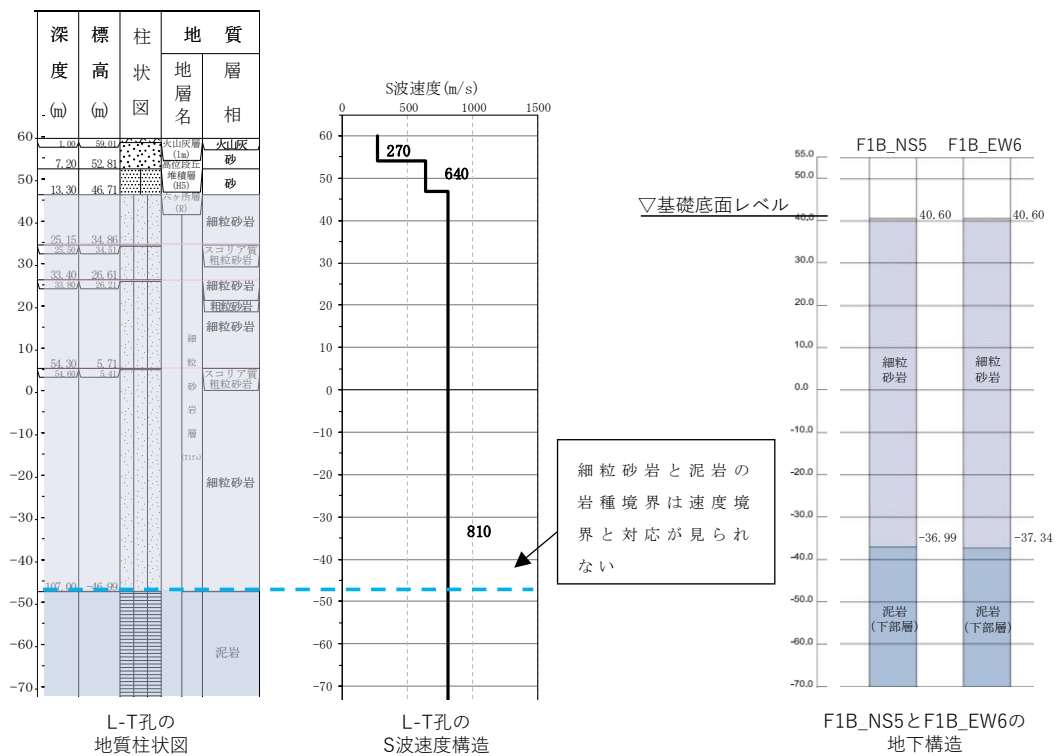
第 3.2-5 図 M-S 孔及び FCT 直下の地下構造及び速度構造の対応 (3/7)



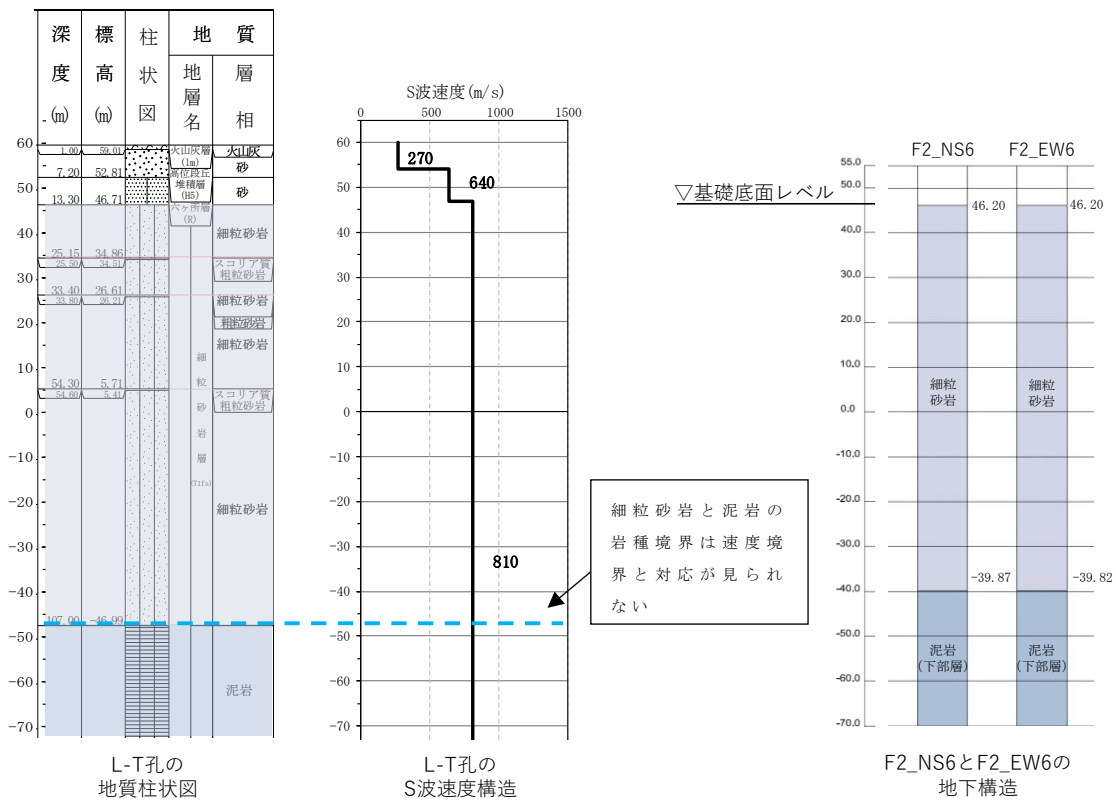
第 3.2-5 図 M-S 孔及び FCM 直下の地下構造及び速度構造の対応 (4/7)



第 3.2-5 図 M-S 孔及び F1A 直下の地下構造及び速度構造の対応 (5/7)



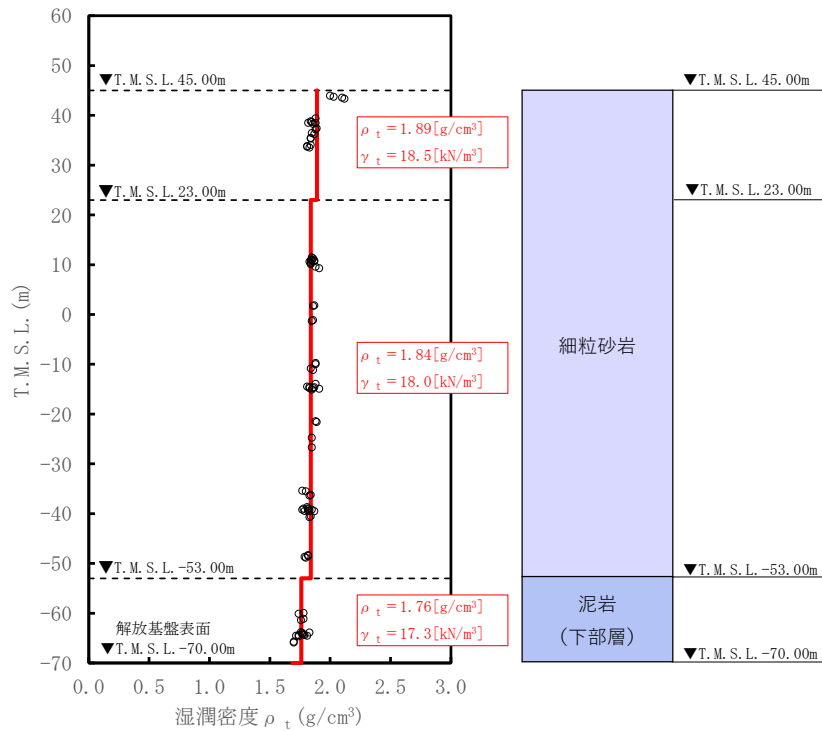
第 3.2-5 図 L-T 孔及び F1B 直下の地下構造及び速度構造の対応 (6/7)



第 3.2-5 図 L-T 孔及び F2 直下の地下構造及び速度構造の対応 (7/7)

(2) 単位体積重量の設定

単位体積重量は，第 3.2-6 図に示すとおり，速度構造の設定に用いた PS 検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき，各岩種ごとに平均値を設定した。



注記 : 赤実線及び赤字は地盤モデルに設定した値を示す。
 γ_t は ρ_t に重力加速度 ($g=9.80665\text{m/s}^2$) を乗じた値を設定する。

第 3.2-6 図 単位体積重量の設定結果

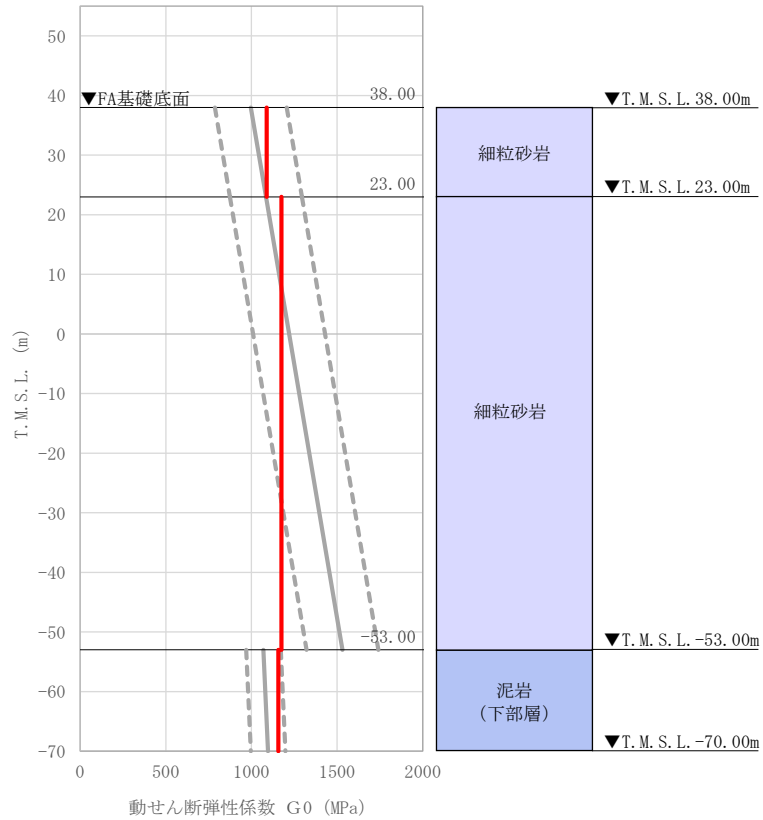
(3) 地盤物性値の設定結果

F 施設周辺の直下又は近傍の PS 検層結果に基づいて設定した物性値を第 3.2-1 表に示す。

また、上記で設定した物性値について、事業変更許可申請書に示す許可物性値との比較を第 3.2-7 図に示す。設定した物性値が許可物性値と整合していることが確認できる。

第 3.2-1 表 F 施設周辺の直下又は近傍の PS 検層結果に基づく物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	S 波速度 V_s (m/s)	P 波速度 V_p (m/s)
▽A4A基礎底面 53.80	細粒砂岩	18.5	760	1900
▽F1A, FCT基礎底面 53.30				
▽FCM基礎底面 51.00				
▽F2基礎底面 46.20				
▽F1B基礎底面 40.60				
▽FA, FB基礎底面 38.00				
23.00		18.0	800	1950
-53.00	泥岩 (下部層)	17.3	810	1950
▽解放基盤表面 -70.00	—	17.3	810	1950



- 基本地盤モデル
- 許可物性値 (平均値)
- - - 許可物性値 (平均値+1σ)
- - - 許可物性値 (平均値-1σ)

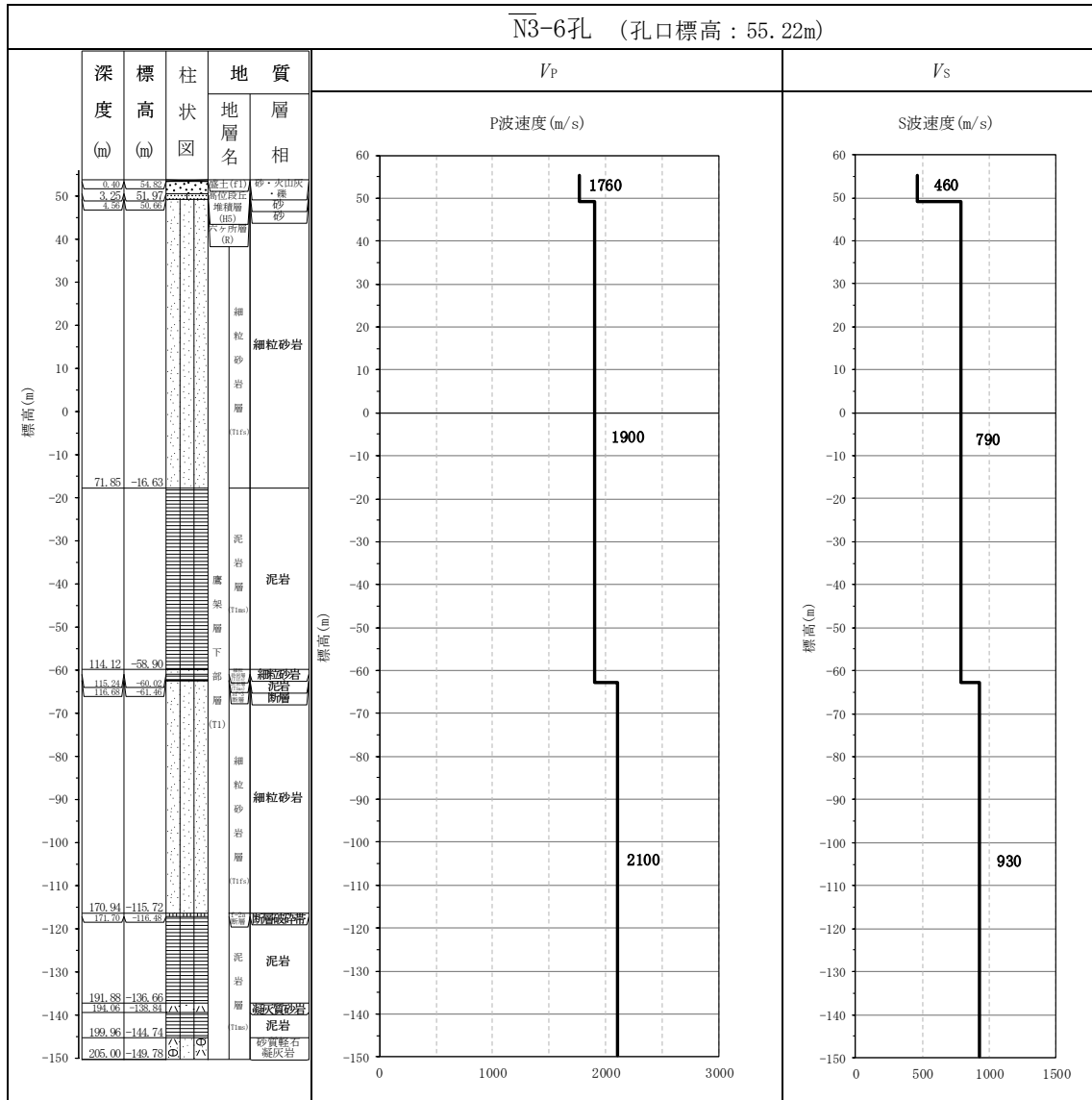
注記 : 赤実線は地盤モデルに設定した値から求まるせん断弾性係数を示す。

第 3.2-7 図 せん断弾性係数の設定結果

3.3 AEにおける物性値の設定結果

(1) 速度構造の設定

速度構造の設定については、第 2-1 表に示す AE の PS 検層結果 (N3_6) の S 波速度及び P 波速度を設定する。物性値の設定に用いた PS 検層孔の S 波速度、P 波速度及び地質柱状図を第 3.3-1 図に示す。

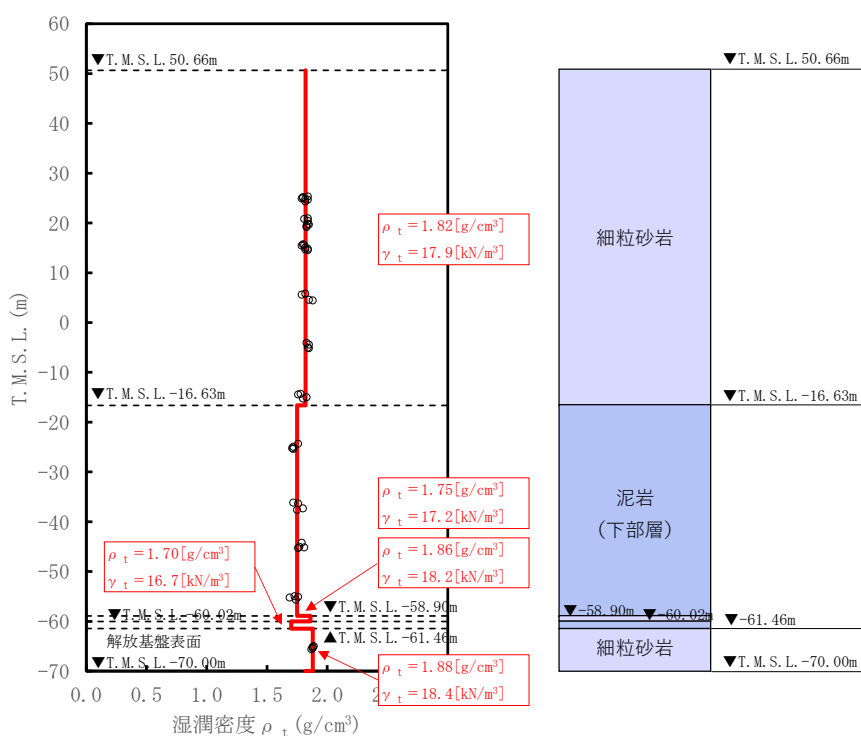


第 3.3-1 図 PS 検層結果 (AE)

(2) 単位体積重量の設定

単位体積重量は、第 3.3-2 図に示すとおり、速度構造の設定に用いた PS 検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき、各岩種ごとに平均値を設定した。

なお、T.M.S.L. -58.90m～-64.00m における薄層の細粒砂岩及び泥岩（下部層）については、単位体積重量データが得られていないことを踏まえ、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。



注記 : 赤実線及び赤字は地盤モデルに設定した値を示す。

γ_t は ρ_t に重力加速度 ($g=9.80665\text{m/s}^2$) を乗じた値を設定する。

第 3.3-2 図 単位体積重量の設定結果

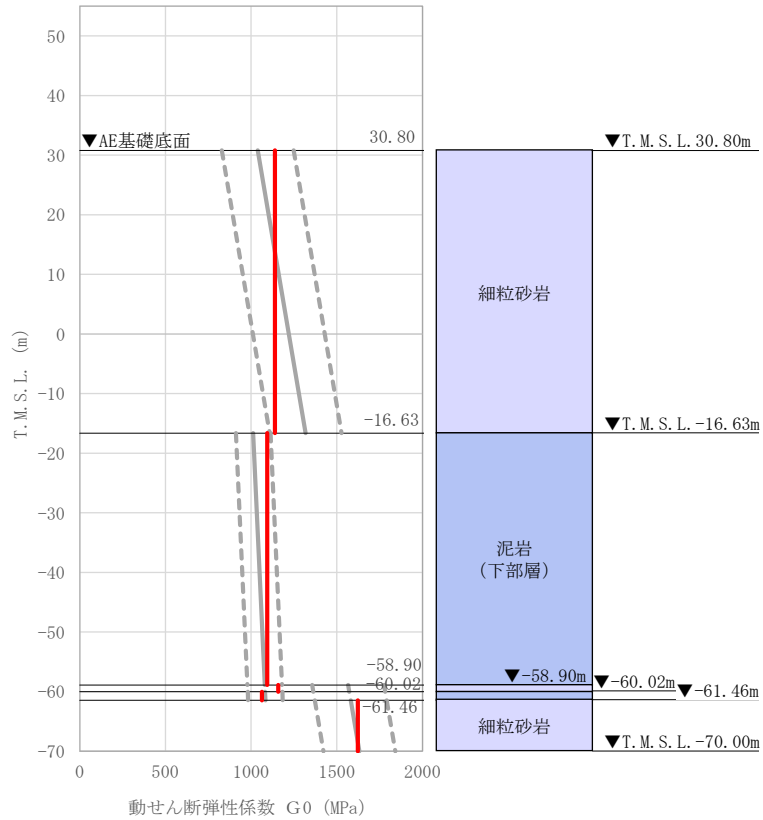
(3) 地盤物性値の設定結果

AEの直下又は近傍のPS検層結果に基づいて設定した物性値を第3.3-1表に示す。

また、上記で設定した物性値について、事業変更許可申請書に示す許可物性値との比較を第3.3-3図に示す。設定した物性値が許可物性値と整合していることが確認できる。

第3.3-1表 AEの直下又は近傍のPS検層結果に基づく物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)
▽AE基礎底面				
30.80	細粒砂岩	17.9	790	1900
-16.63	泥岩（下部層）	17.2	790	1900
-58.90	細粒砂岩	18.2	790	1900
-60.02	泥岩（下部層）	16.7	790	1900
-61.46	細粒砂岩	18.4	930	2100
▽解放基盤表面				
-70.00	—	18.4	930	2100



- | | |
|--|----------------|
| | 基本地盤モデル |
| | 許可物性値 (平均値) |
| | 許可物性値 (平均値+1σ) |
| | 許可物性値 (平均値-1σ) |

注記 : 赤実線は地盤モデルに設定した値から求まるせん断弾性係数を示す。

第 3.3-3 図 せん断弾性係数の設定結果

3.4 AGにおける物性値の設定結果

(1) 速度構造の設定

速度構造の設定については、第 2-1 表に示す AG の PS 検層結果 (L-4, D-4) により設定する。物性値の設定に用いた PS 検層孔の S 波速度, P 波速度及び地質柱状図を第 3.4-1 図に示す。

速度境界の探査の結果、第 3.4-2 図及び第 3.4-3 図に示すとおり、T.M.S.L. 9m 及び T.M.S.L. -35m を境に上層の S 波速度平均値に対する変動係数と下層の S 波速度の平均値に対する変動係数が共に急変することから、上記 2 つの標高を速度境界として設定する。

なお、第 3.4-4 図に示す地質柱状図の比較結果のとおり、泥岩 (下部層) の上面レベルの平均高さは T.M.S.L. -37m であることを踏まえ、T.M.S.L. -35m の速度境界については、泥岩 (下部層) の上面レベルの平均高さに補正した。

上記に基づき設定した AG の速度構造及び PS 検層結果の比較を第 3.4-5 図に示す。

なお、再処理施設の第 1 回設工認申請における安全冷却水 B 冷却塔 (A4B) については、直下で速度構造データが得られていないことを踏まえ、近傍の PS 検層孔のうち、速度構造に着目して コントラスト が大きい AG 直下の PS 検層孔である L-4 孔を選定した。今回、AG グループにおける岩盤部分の物性値等の設定を行うにあたり、「2.2 岩盤部分の物性値等の設定方法」に示す PS 検層結果選定の考え方のとおり、建物・構築物直下の PS 検層結果を選定する方針としており、AG グループについては、基準地震動 S_s により評価を行う施設として、AG 建屋のみならず AH 建屋及び AK 建屋が含まれていることを踏まえ、AG 直下の PS 検層孔である L-4 孔に加え、AG 建屋に隣接する AK 建屋の近傍孔である D-4 孔を選定している。

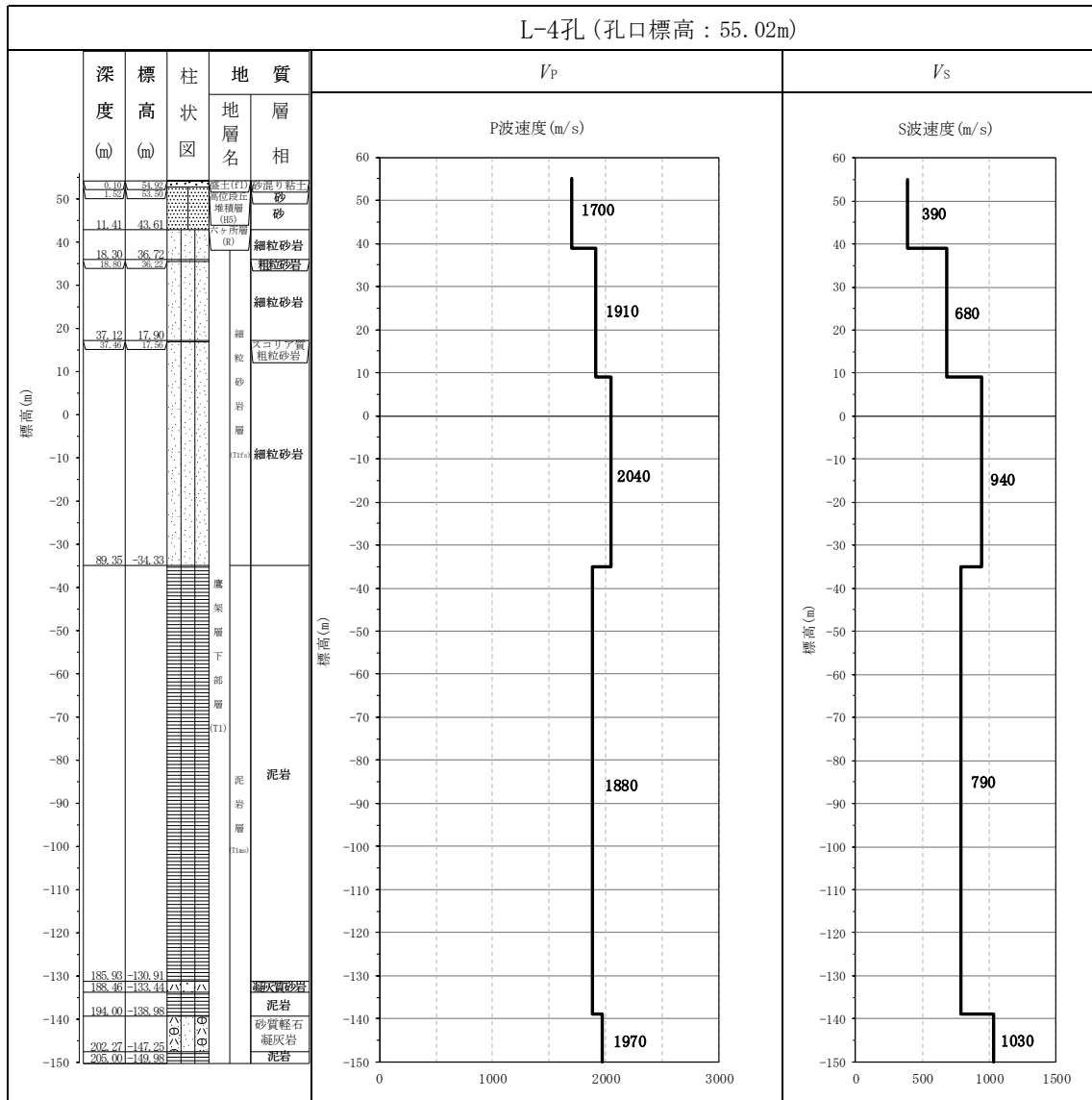
AG グループの建物・構築物のうち、AH 建屋及び AK 建屋については、直下の PS 検層結果はないため、「参考 1」に示す地質柱状図を確認した結果、岩種境界が確認できる深さまでデータが得られていないことから、第 3.4-6 図に示すように、その建物・構築物直下の地下構造と近傍の PS 検層結果と比較を行い、PS 検層結果を基に設定した物性値をその建物・構築物に適用できることを確認する。

第 3.4-6 図に示すとおり、AH 建屋及び AK 建屋直下の地下構造について、近傍の PS 検層孔である L-4 孔と比較を行った。L-4 孔では細粒砂岩と泥岩 (下部層) における岩種境界レベルに速度境界が確認されたため、

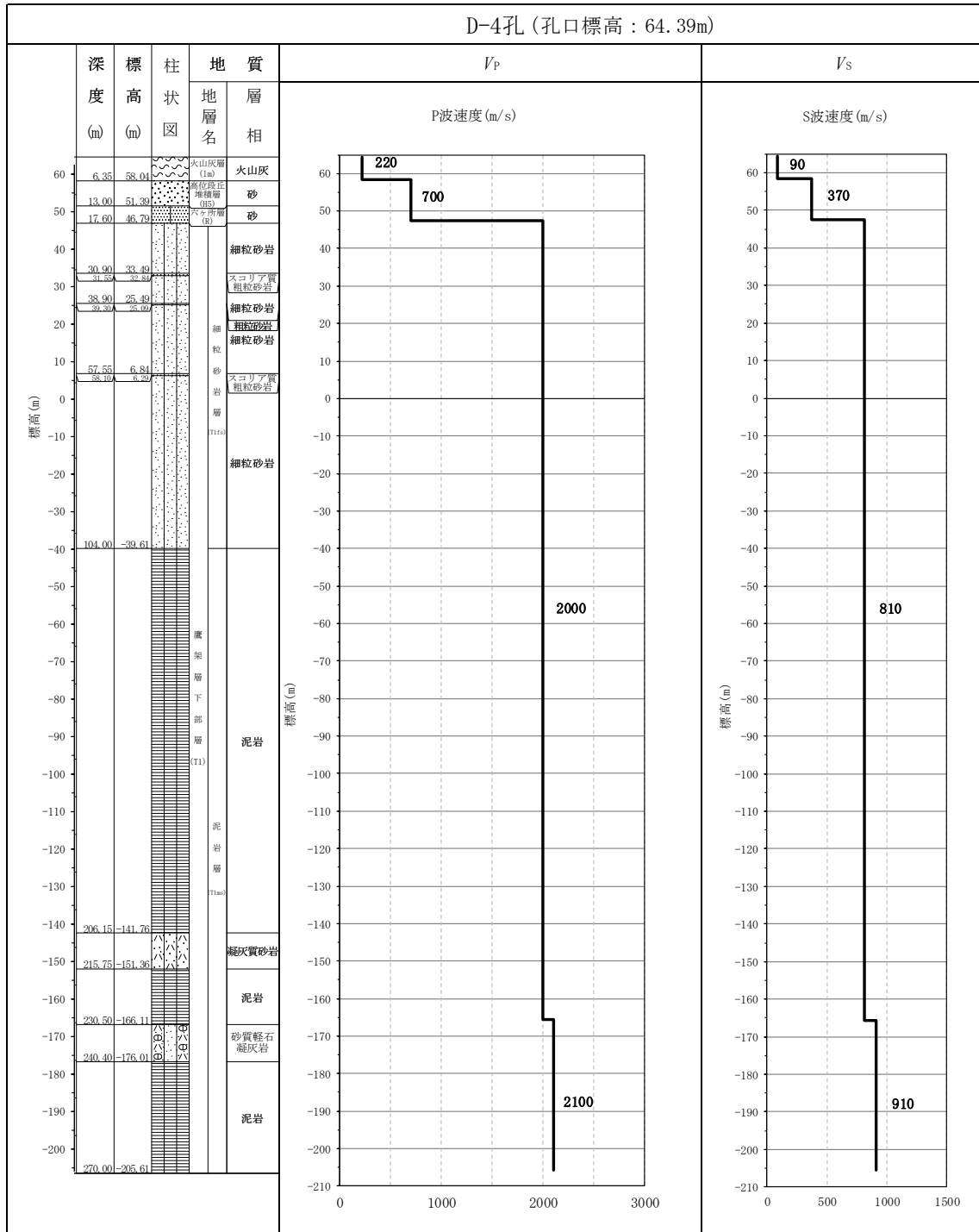
AH 建屋及び AK 建屋直下の地下構造の細粒砂岩と泥岩（下部層）の分布に着目する。

第 3.4-6 図より AH 建屋及び AK 建屋近傍の PS 検層結果と比較した結果，岩種境界レベルに差が見られるため，その差が地盤の固有周期に与える影響を確認する。「参考 2」より，AH 建屋については，PS 検層結果を基に設定した物性値の固有周期 0.523s に対して，建物・構築物直下の地下構造に基づく固有周期は 0.525～0.527s の範囲であり，また，AK 建屋については，PS 検層結果を基に設定した物性値の固有周期 0.546s に対して，建物・構築物直下の地下構造に基づく固有周期は 0.546～0.547s の範囲であり，地下構造の差が地盤の固有周期に与える影響は小さいことが確認された。

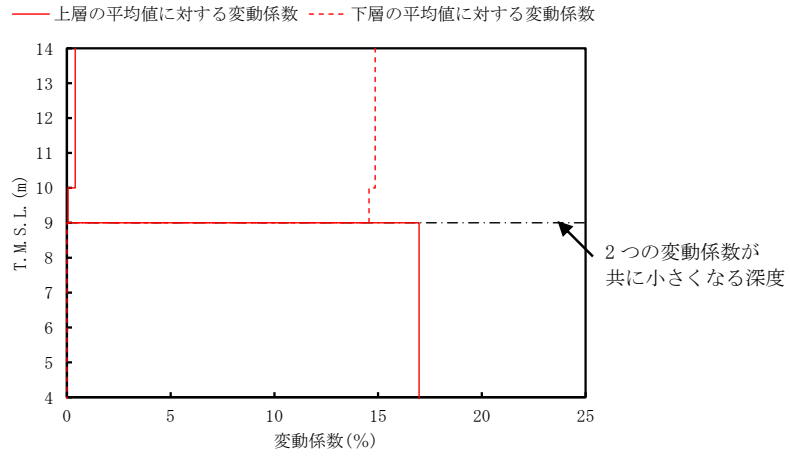
上記のことから，AH 建屋及び AK 建屋については，AG の PS 検層結果を基に設定した物性値を適用する。



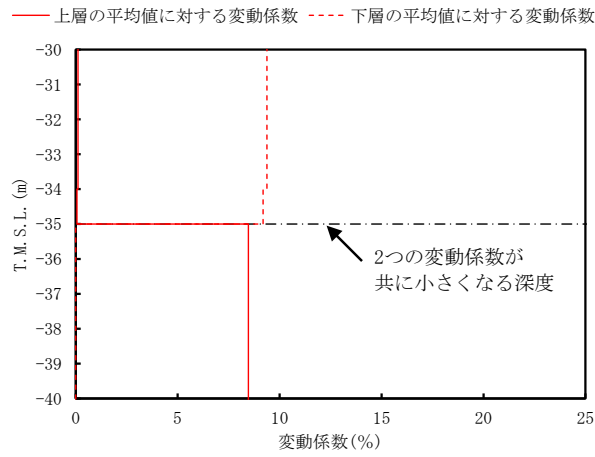
第 3.4-1 図 PS 検層結果 (AG) (1/2)



第 3.4-1 図 PS 検層結果 (AG) (2/2)



第 3.4-2 図 S 波速度の変動係数の分布 (T. M. S. L. 9m 付近)

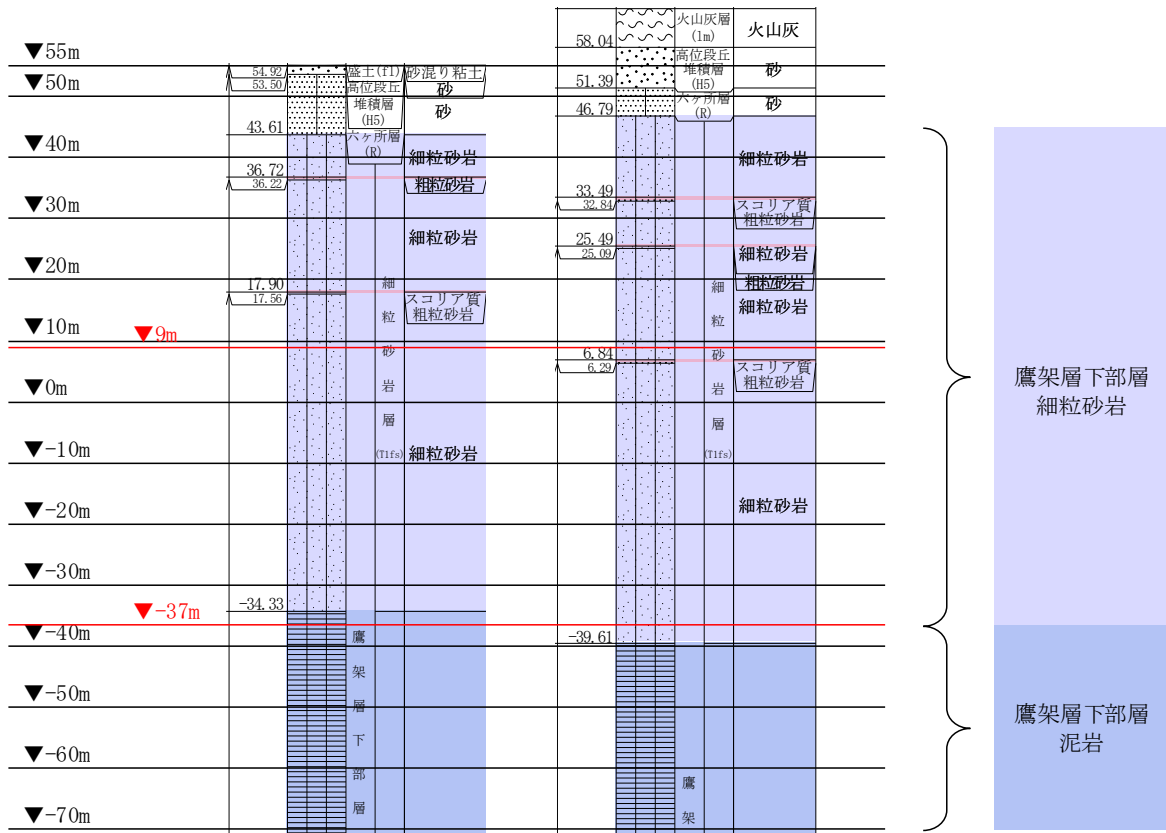


第 3.4-3 図 S 波速度の変動係数の分布 (T. M. S. L. -35m 付近)

T. M. S. L.
(m)

孔名 : L-4
孔口標高 : 55.02

D-4
64.39



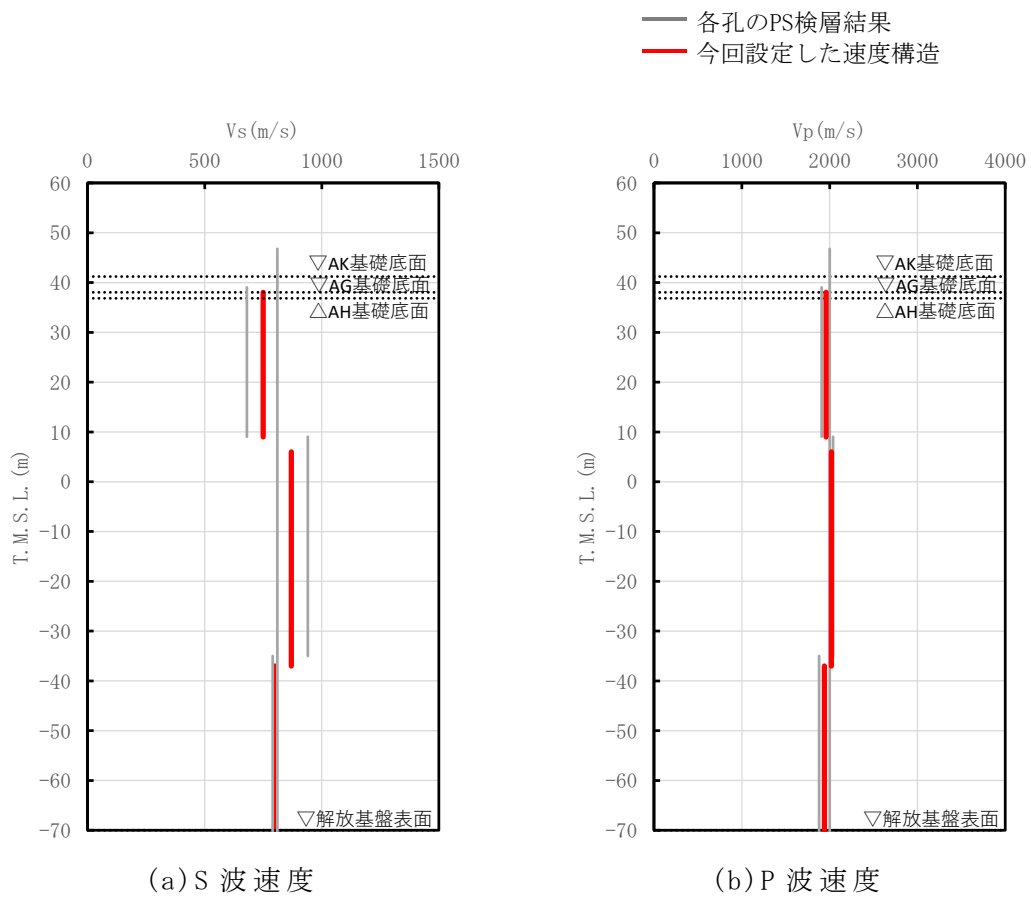
注記 : 赤線は速度境界レベルを示す。

岩盤の最上面レベル = $(43.61 \text{ m} + 46.79 \text{ m}) / 2 = 45.20 \text{ m} \approx 45 \text{ m}$

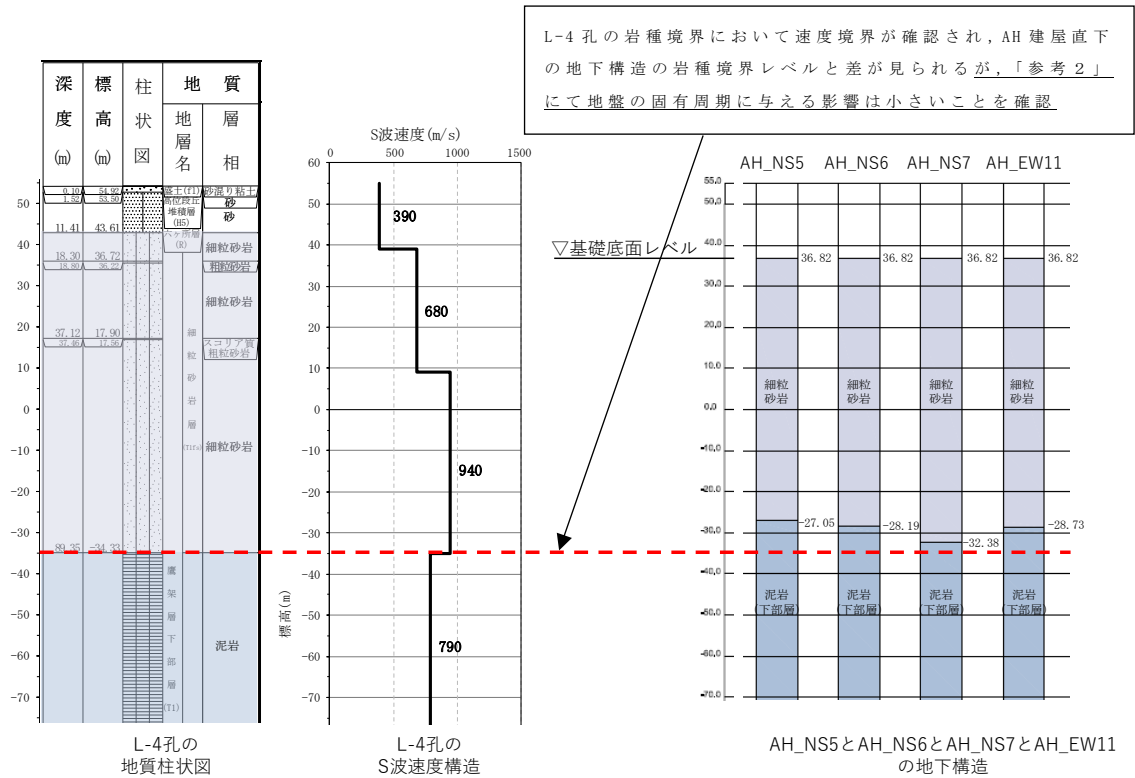
泥岩 (下部層) の上面レベル平均高さ = $((-34.33 \text{ m}) + (-39.61 \text{ m})) / 2$

$= -36.97 \text{ m} \approx -37 \text{ m}$

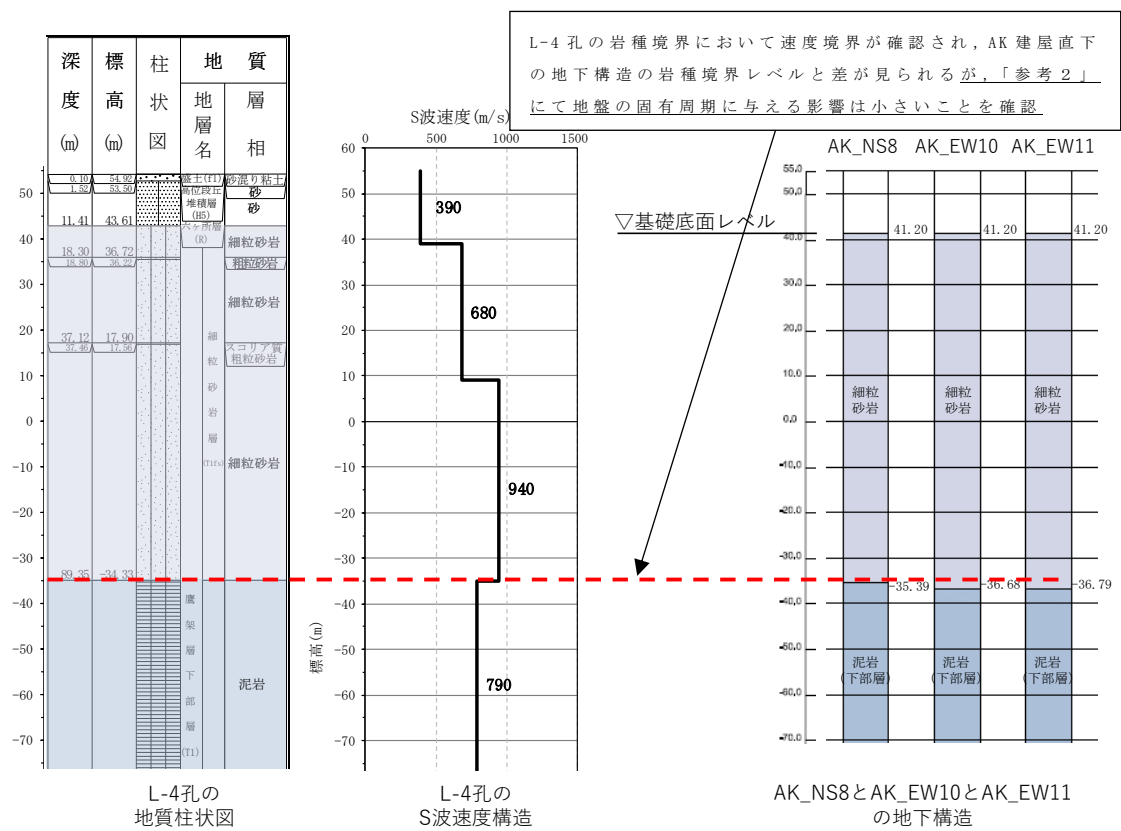
第 3.4-4 図 PS 検層孔の地質柱状図



第 3.4-5 図 AG の速度構造と PS 検層結果の比較



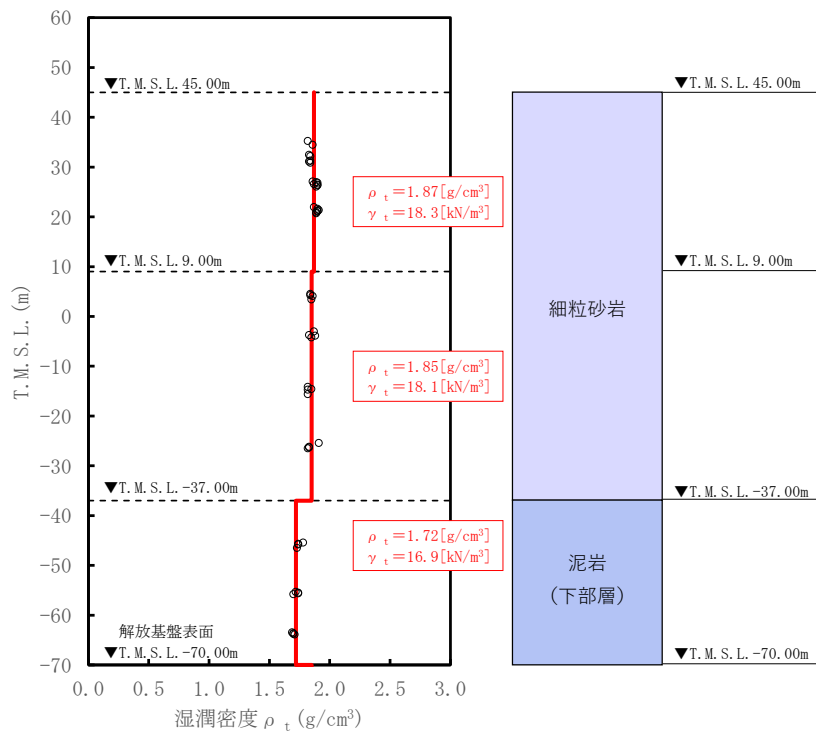
第 3.4-6 図 L-4 孔及び AH 直下の地下構造及び速度構造の対応 (1/2)



第 3.4-6 図 L-4 孔及び AK 直下の地下構造及び速度構造の対応 (2/2)

(2) 単位体積重量の設定

単位体積重量は，第 3.4-7 図に示すとおり，速度構造の設定に用いた PS 検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき，各岩種ごとに平均値を設定した。



注記 : 赤実線及び赤字は地盤モデルに設定した値を示す。

γ_t は ρ_t に重力加速度 ($g=9.80665\text{m/s}^2$) を乗じた値を設定する。

第 3.4-7 図 単位体積重量の設定結果

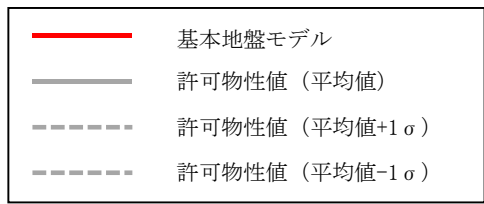
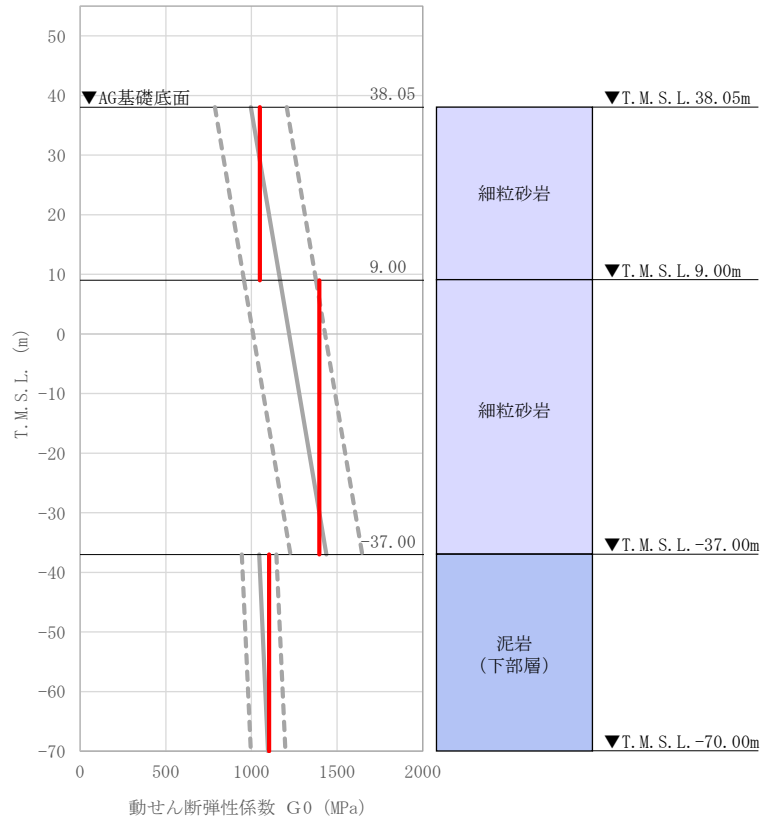
(3) 地盤物性値の設定結果

AGの直下又は近傍のPS検層結果に基づいて設定した物性値を第3.4-1表に示す。

また、上記で設定した物性値について、事業変更許可申請書に示す許可物性値との比較を第3.4-8図に示す。設定した物性値が許可物性値と整合していることが確認できる。

第3.4-1表 AGの直下又は近傍のPS検層結果に基づく物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)
▽AK基礎底面 41.20				
▽AG基礎底面 38.05	細粒砂岩	18.3	750	1960
▽AH基礎底面 36.82				
9.00				
-37.00	泥岩(下部層)	18.1	870	2020
▽解放基盤表面 -70.00		16.9	800	1940
	—	16.9	800	1940



注記 : 赤実線は地盤モデルに設定した値から求まるせん断弾性係数を示す。

第 3.4-8 図 せん断弾性係数の設定結果

3.5 GAにおける物性値の設定結果

(1) 速度構造の設定

速度構造の設定については、第 2-1 表に示す GA の PS 検層結果 (K-V) の S 波速度及び P 波速度を設定する。物性値の設定に用いた PS 検層孔の S 波速度、P 波速度及び地質柱状図を第 3.5-1 図に示す。

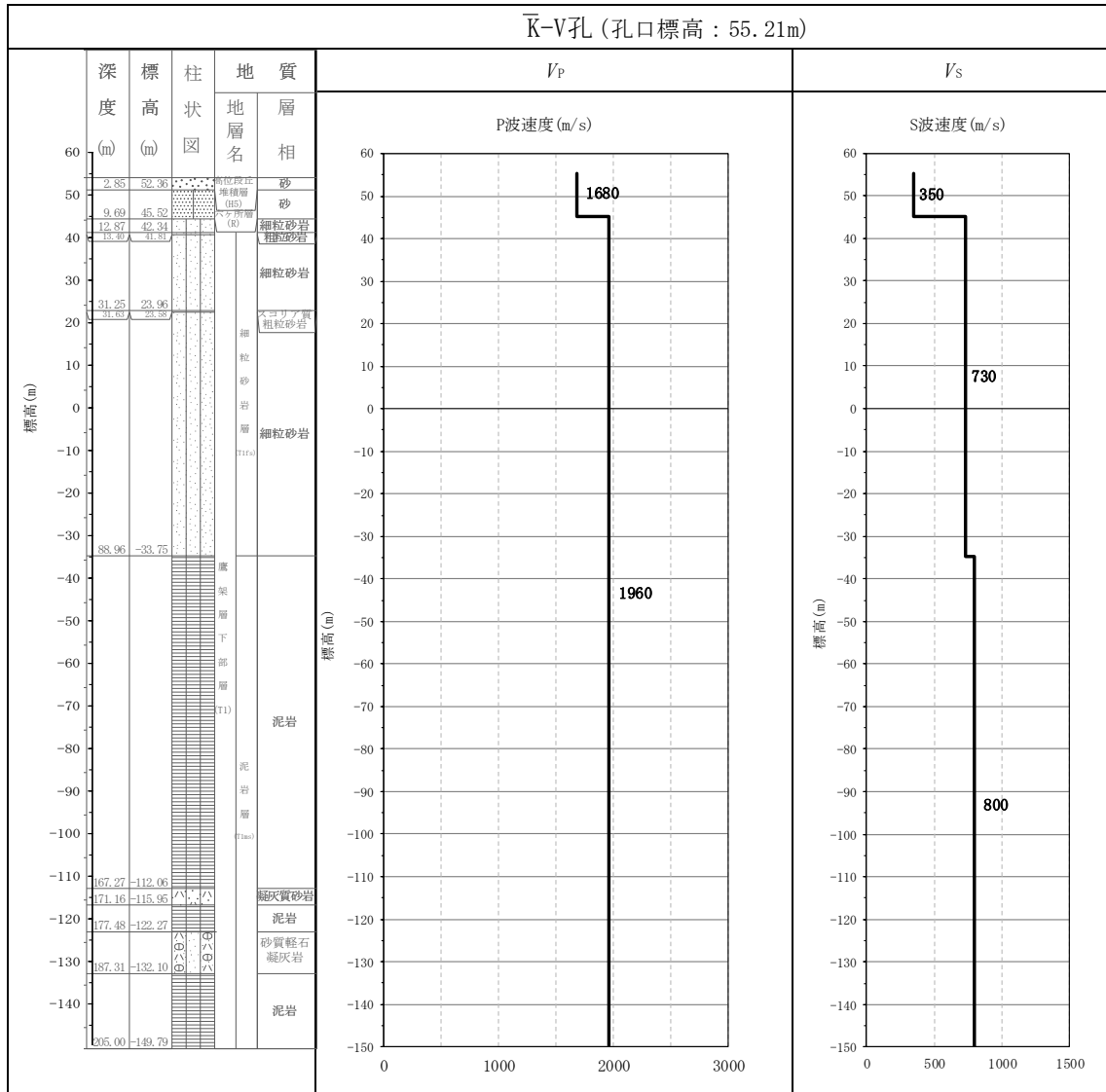
なお、GA 周辺の建物・構築物については、鷹架層上面レベルの高さ (T.M.S.L. 45.52m) よりも浅部に設置されるが、基礎直下には MMR が施工されている。MMR 部分については、支持地盤相当の岩盤に支持されているとみなし、MMR 直下の物性値を設定した。

GA グループの建物・構築物のうち、G10 基礎及び GAT 基礎については、直下の PS 検層結果はないため、「参考 1」に示す地質柱状図を確認した結果、岩種境界が確認できる深さまでデータが得られていないことから、第 3.5-2 図に示すように、G10 基礎及び GAT 基礎直下の地下構造と GA の PS 検層結果 (K-V) を比較し、PS 検層結果 (K-V) を基に設定した物性値を G10 基礎及び GAT 基礎に適用できることを確認する。

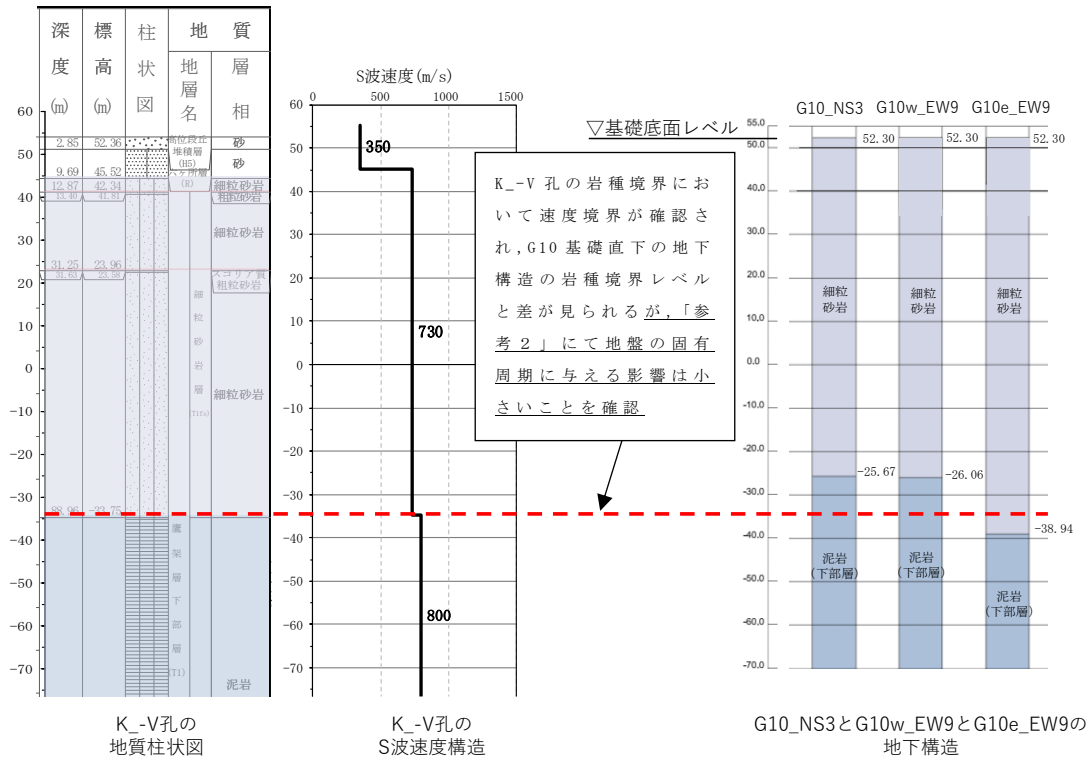
PS 検層結果 (K-V) に着目すると速度境界は細粒砂岩と泥岩(下部層)の岩種境界レベルに対応しており、薄層の粗粒砂岩については、その分布深さと速度境界に対応は見られないことから、細粒砂岩と泥岩(下部層)の分布状況に着目する。

第 3.5-2 図より G10 基礎及び GAT 基礎の地下構造は細粒砂岩及び泥岩(下部層)が分布しており、地下構造の特徴は K-V 孔と同等となっている。ただし、細粒砂岩と泥岩(下部層)の岩種境界レベルに違いが見られ、K-V 孔において細粒砂岩と泥岩(下部層)の岩種境界に速度境界が見られるため、その差が地盤の固有周期に与える影響を確認する。「参考 2」より、G10 基礎については、PS 検層結果を基に設定した物性値の固有周期 0.652s に対して、建物・構築物直下の地下構造に基づく固有周期は 0.648~0.654s の範囲であり、また、GAT 基礎については、PS 検層結果を基に設定した物性値の固有周期 0.618s に対して、建物・構築物直下の地下構造に基づく固有周期は 0.615~0.621s の範囲であり、地下構造の差が地盤の固有周期に与える影響は小さいことが確認された。

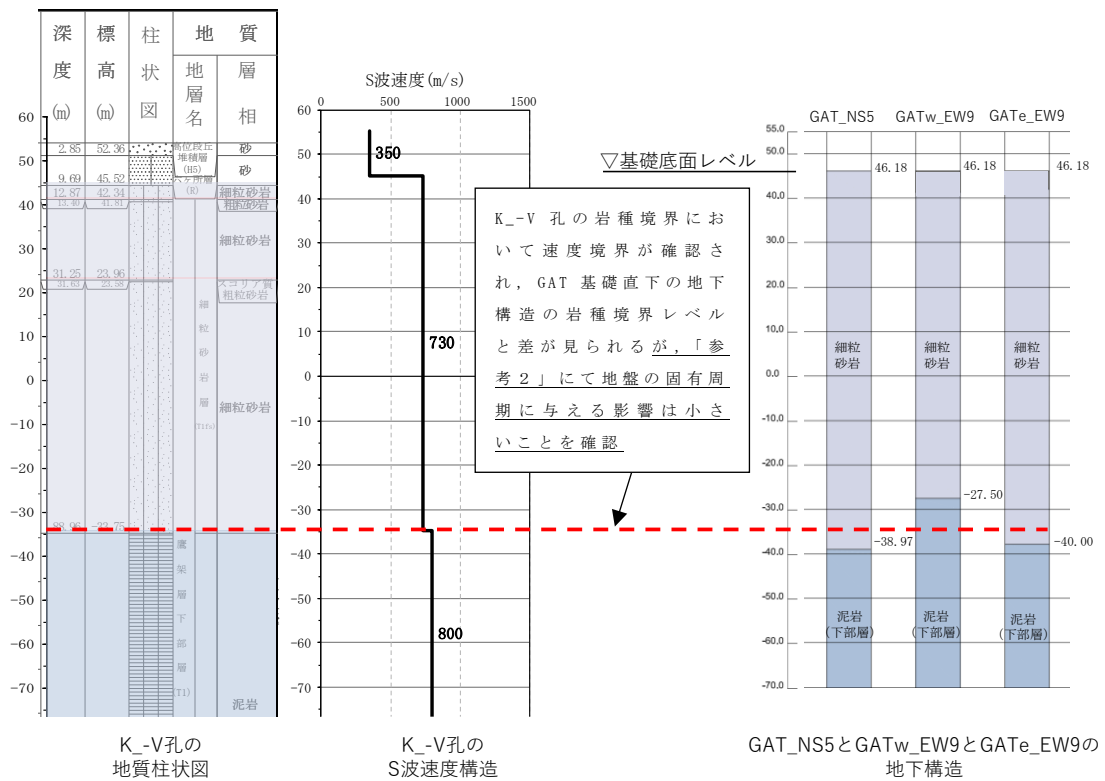
上記のことから、G10 基礎及び GAT 基礎については、GA の PS 検層結果を基に設定した物性値を適用する。



第 3.5-1 図 PS 検層結果 (GA)



第 3.5-2 図 K-V 孔及び G10 直下の地下構造及び速度構造の対応 (1/2)

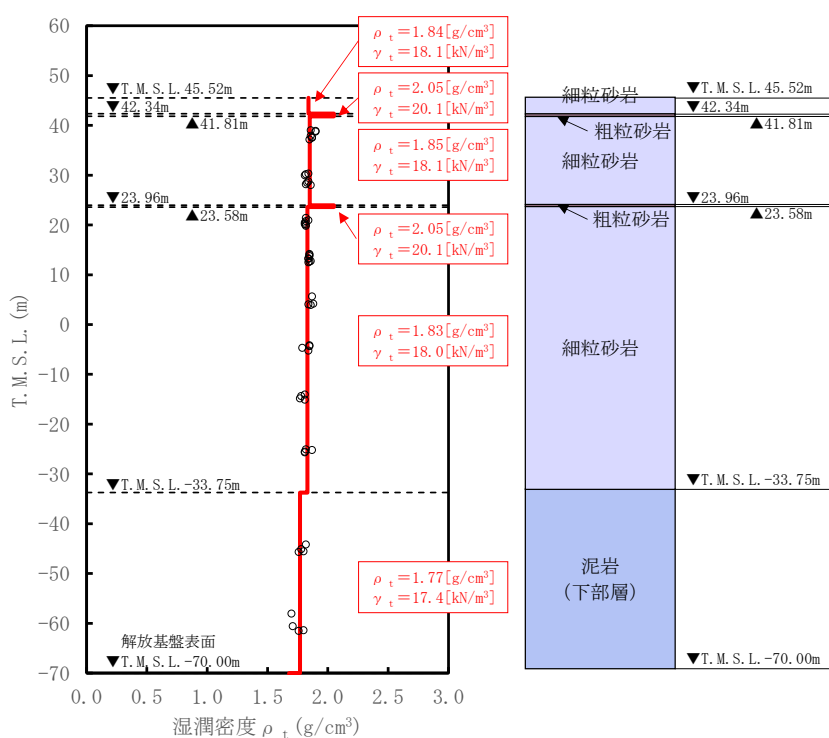


第 3.5-2 図 K-V 孔及び GAT 直下の地下構造及び速度構造の対応 (2/2)

(2) 単位体積重量の設定

単位体積重量は、第 3.5-3 図に示すとおり、速度構造の設定に用いた PS 検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき、各岩種ごとに平均値を設定した。

なお、T. M. S. L. 42.34m~41.81m 及び T. M. S. L. 23.96m~23.58m における粗粒砂岩については、単位体積重量データが得られていないことを踏まえ、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。



注記 : 赤実線及び赤字は地盤モデルに設定した値を示す。

γ_t は ρ_t に重力加速度 (g=9.80665m/s²) を乗じた値を設定する。

第 3.5-3 図 単位体積重量の設定結果

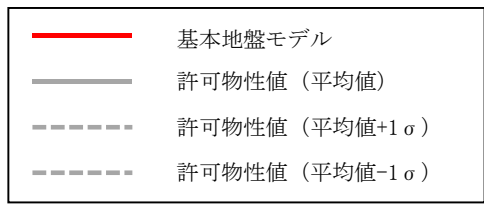
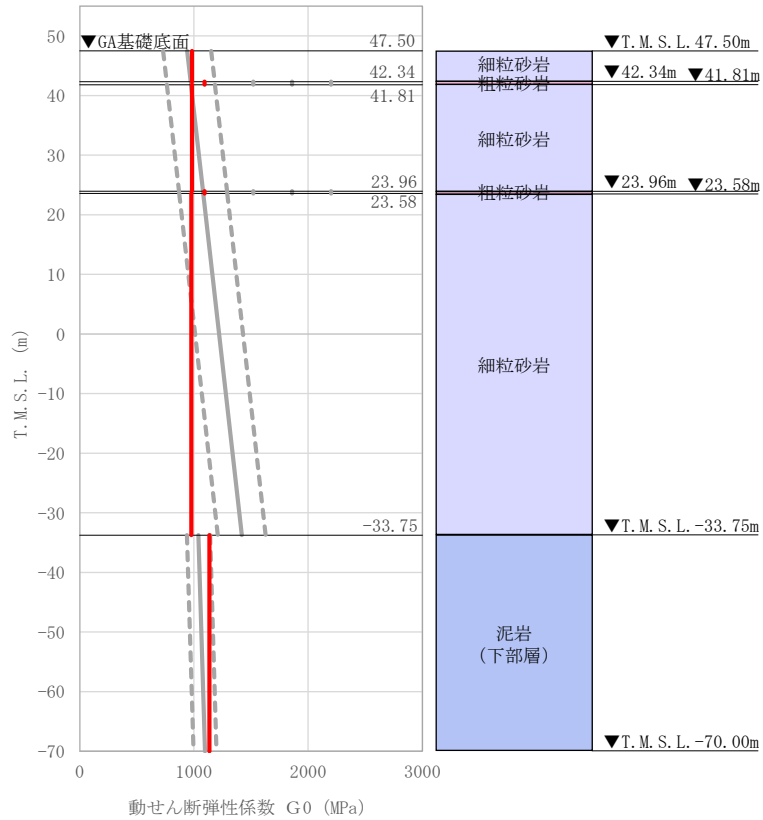
(3) 地盤物性値の設定結果

GAの直下又は近傍のPS検層結果に基づいて設定した物性値を第3.5-1表に示す。

また、上記で設定した物性値について、事業変更許可申請書に示す許可物性値との比較を第3.5-4図に示す。設定した物性値が許可物性値と整合していることが確認できる。

第3.5-1表 GAの直下又は近傍のPS検層結果に基づく物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)
▽G10基礎底面 52.30				
▽GA基礎底面 47.50	細粒砂岩	18.1	730	1960
▽GAT基礎底面 46.18				
42.34	粗粒砂岩	20.1	730	1960
41.81	細粒砂岩	18.1	730	1960
23.96	粗粒砂岩	20.1	730	1960
23.58	細粒砂岩	18.0	730	1960
-33.75	泥岩(下部層)	17.4	800	1960
▽解放基盤表面 -70.00				
	—	17.4	800	1960



注記 : 赤実線は地盤モデルに設定した値から求まるせん断弾性係数を示す。

第 3.5-4 図 せん断弾性係数の設定結果

3.6 DCにおける物性値の設定結果

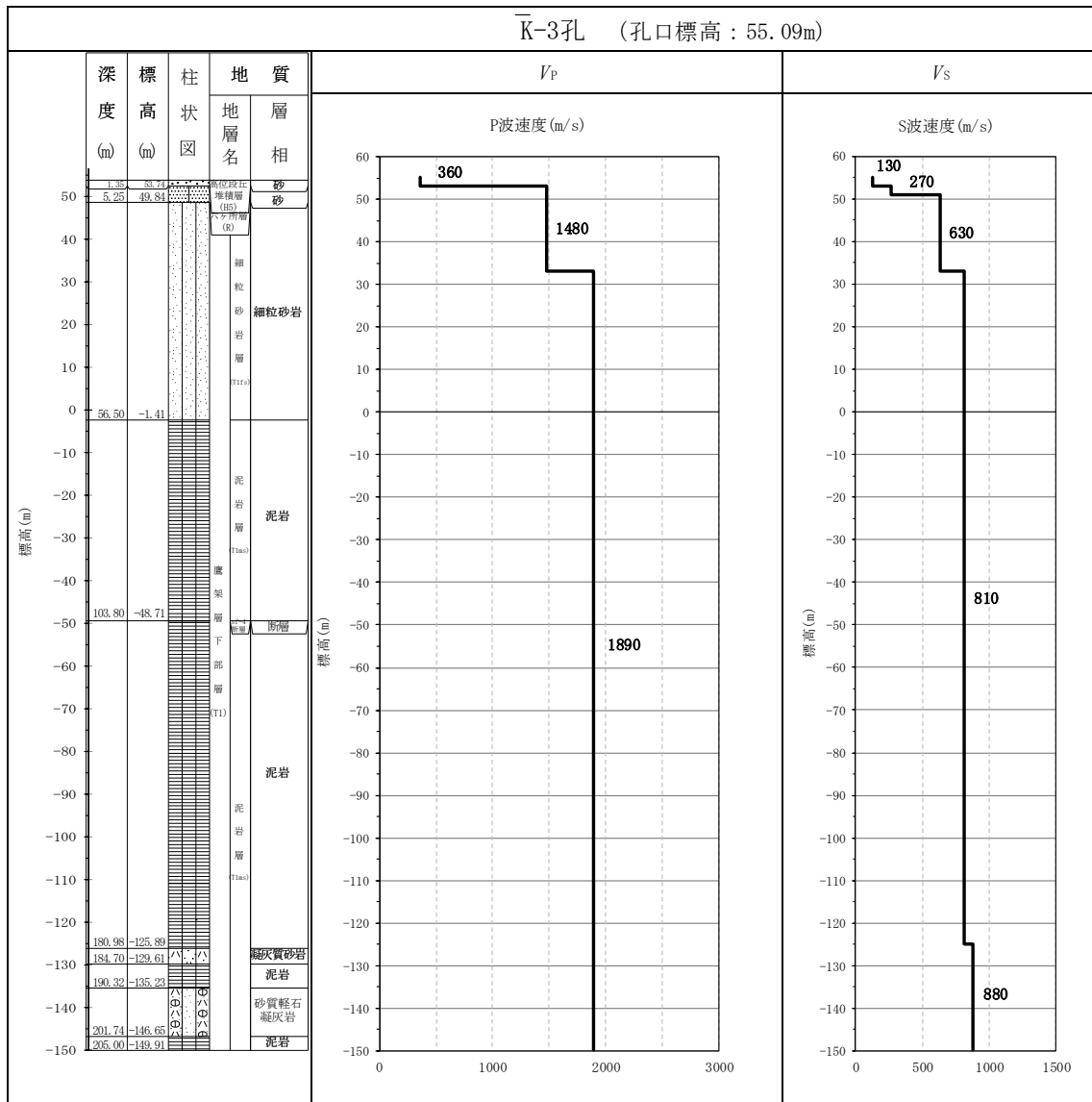
(1) 速度構造の設定

速度構造の設定については、第 2-1 表に示す DC の PS 検層結果 (K_-3) の S 波速度及び P 波速度を設定する。物性値の設定に用いた PS 検層孔の S 波速度、P 波速度及び地質柱状図を第 3.6-1 図に示す。

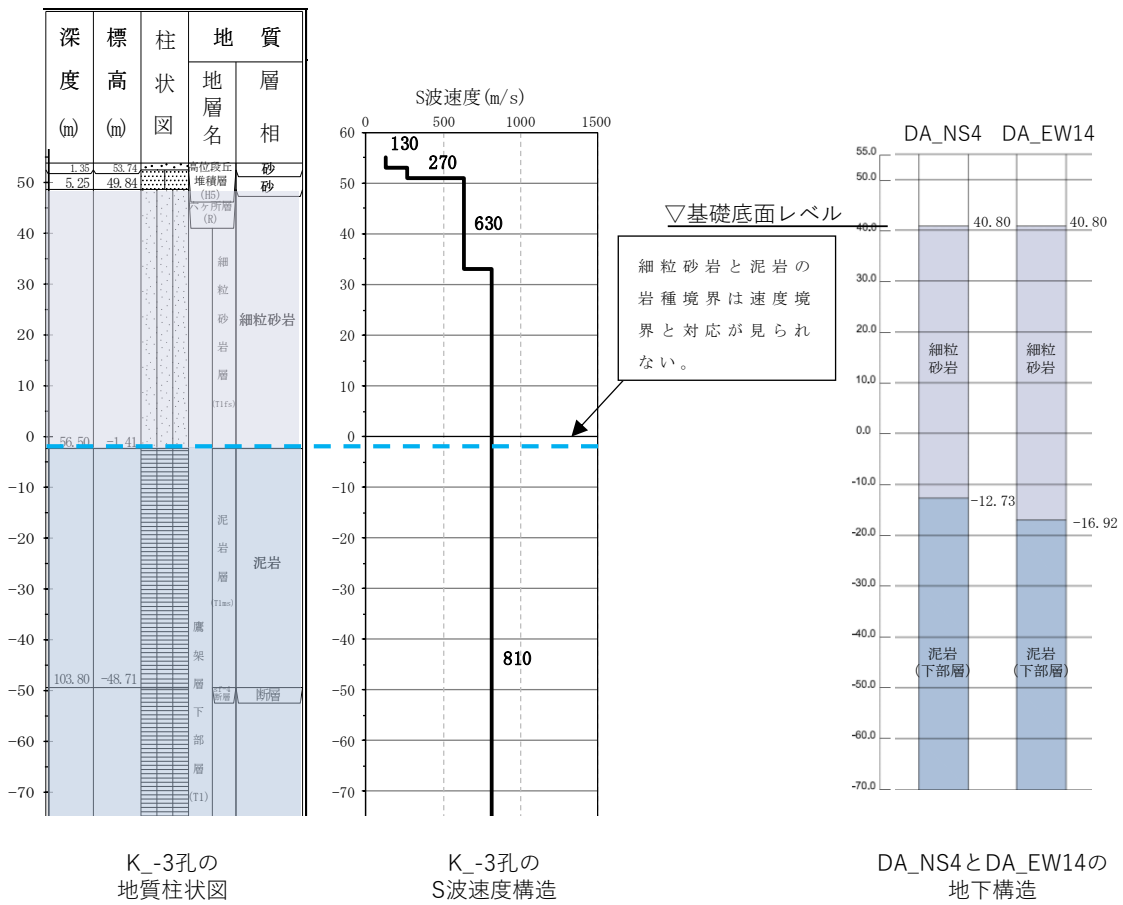
DC グループの建物・構築物のうち、DA 建屋については、直下の PS 検層結果はないため、「参考 1」に示す地質柱状図を確認した結果、岩種境界が確認できる深さまでデータが得られていないことから、第 3.6-2 図に示すように、DA 建屋直下の地下構造と DC の PS 検層結果 (K_-3) を比較し、PS 検層結果 (K_-3) を基に設定した物性値を DA 建屋に適用できることを確認する。

第 3.6-2 図より DA 建屋の地下構造は細粒砂岩及び泥岩（下部層）が分布しており、地下構造の特徴は K_-3 孔と同等となっている。また、細粒砂岩と泥岩（下部層）の岩種境界レベルに違いは見られるが、K_-3 孔において細粒砂岩と泥岩（下部層）の岩種境界に速度境界が見られないことから、速度構造について大きな変化はないと判断した。

上記のことから、DA 建屋については、DC の PS 検層結果を基に設定した物性値を適用する。



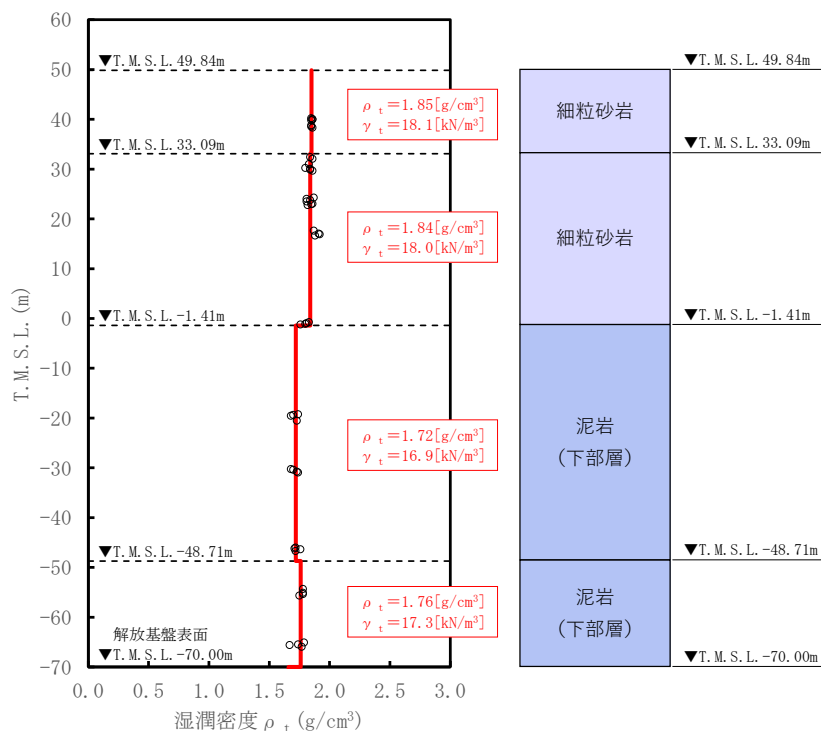
第 3.6-1 図 PS 検層結果 (DC)



第 3.6-2 図 K_-3 孔及び DA 直下の地下構造及び速度構造の対応

(2) 単位体積重量の設定

単位体積重量は、第 3.6-3 図に示すとおり、速度構造の設定に用いた PS 検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき、各岩種ごとに平均値を設定した。



注記 : 赤実線及び赤字は地盤モデルに設定した値を示す。

γ_t は ρ_t に重力加速度 ($g=9.80665\text{m}/\text{s}^2$) を乗じた値を設定する。

第 3.6-3 図 単位体積重量の設定結果

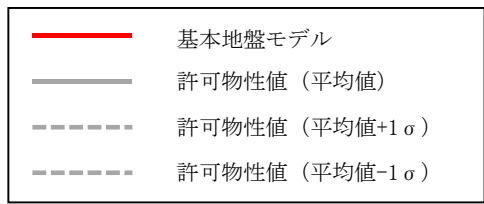
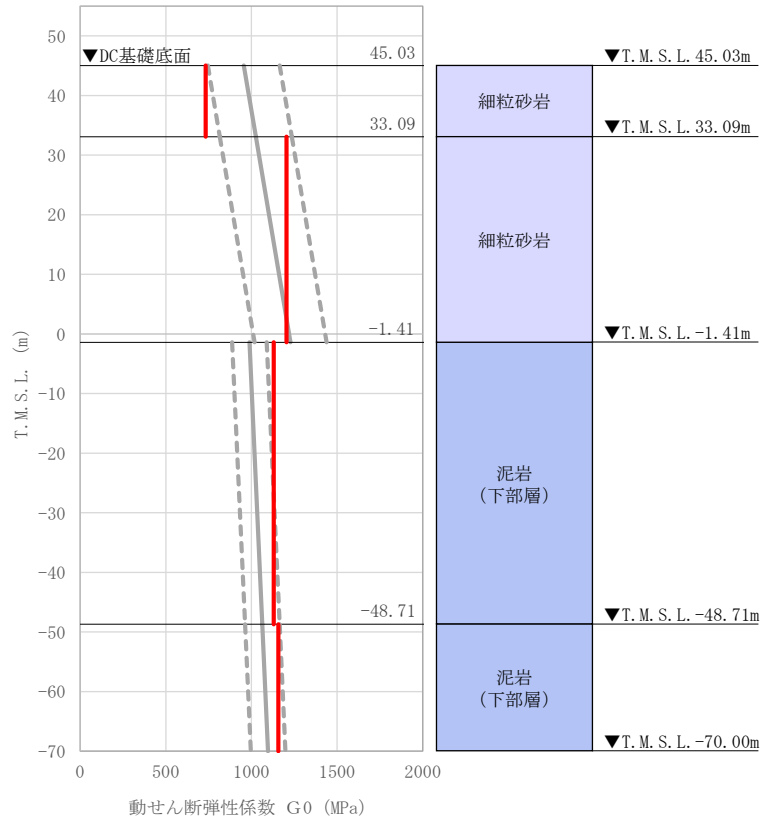
(3) 地盤物性値の設定結果

DCの直下又は近傍のPS検層結果に基づいて設定した物性値を第3.6-1表に示す。

また、上記で設定した物性値について、事業変更許可申請書に示す許可物性値との比較を第3.6-4図に示す。設定した物性値が許可物性値と整合していることが確認できる。

第3.6-1表 DCの直下又は近傍のPS検層結果に基づく物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)
▽DC基礎底面 45.03				
▽DA基礎底面 40.80	細粒砂岩	18.1	630	1480
33.09		18.0	810	1890
-1.41	泥岩（下部層）	16.9	810	1890
-48.71		17.3	810	1890
▽解放基盤表面 -70.00	—	17.3	810	1890



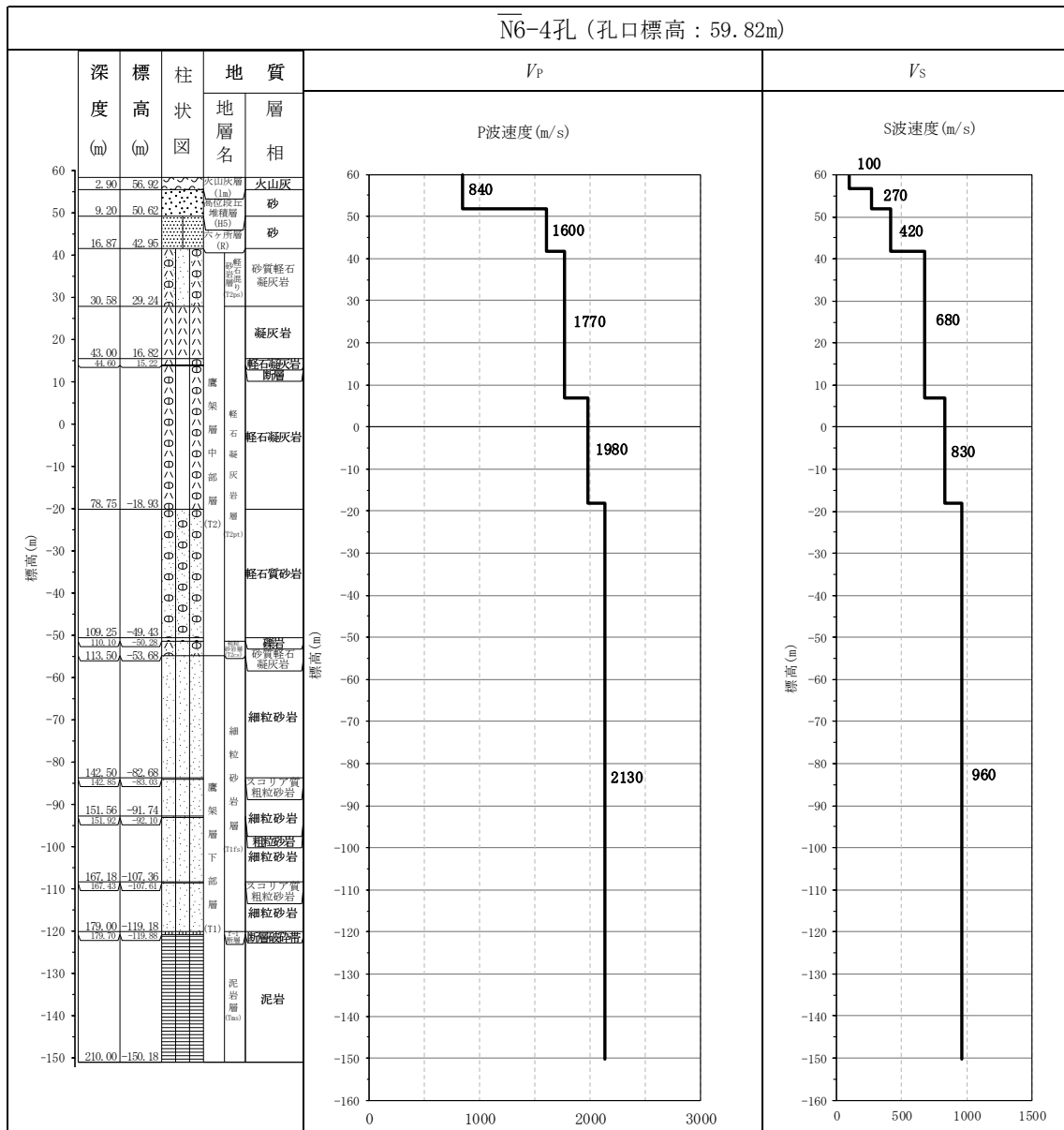
注記 : 赤実線は地盤モデルに設定した値から求まるせん断弾性係数を示す。

第 3.6-4 図 せん断弾性係数の設定結果

3.7 ACにおける物性値の設定結果

(1) 速度構造の設定

速度構造の設定については、第 2-1 表に示す AC の PS 検層結果 (N6_4) の S 波速度及び P 波速度を設定する。物性値の設定に用いた PS 検層孔の S 波速度、P 波速度及び地質柱状図を第 3.7-1 図に示す。

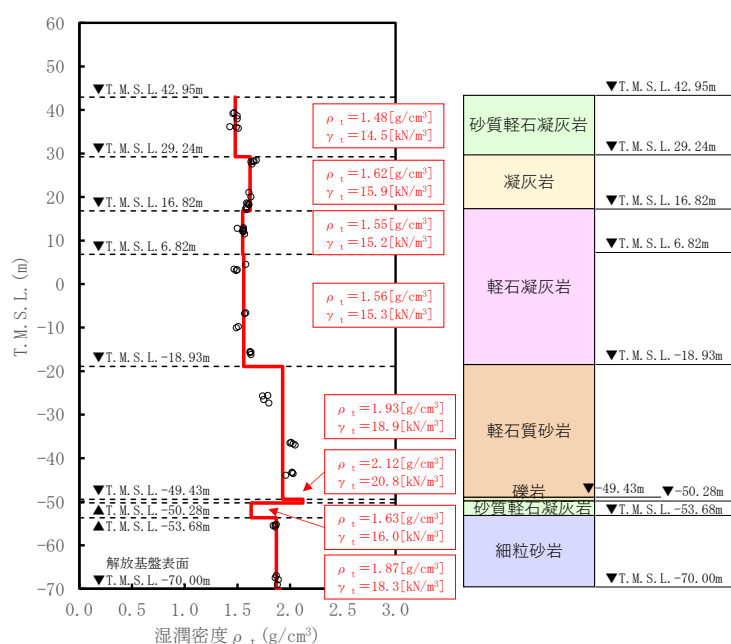


第 3.7-1 図 PS 検層結果 (AC)

(2) 単位体積重量の設定

単位体積重量は、第 3.7-2 図に示すとおり、速度構造の設定に用いた PS 検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき、各岩種ごとに平均値を設定した。

なお、T. M. S. L. -49.43m～-53.68mにおける薄層の礫岩及び砂質軽石凝灰岩については、単位体積重量データが得られていないことを踏まえ、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。



注記 : 赤実線及び赤字は地盤モデルに設定した値を示す。

γ_t は ρ_t に重力加速度 ($g=9.80665\text{m}/\text{s}^2$) を乗じた値を設定する。

第 3.7-2 図 単位体積重量の設定結果

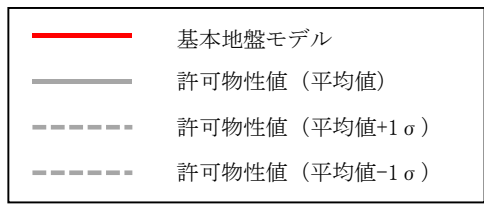
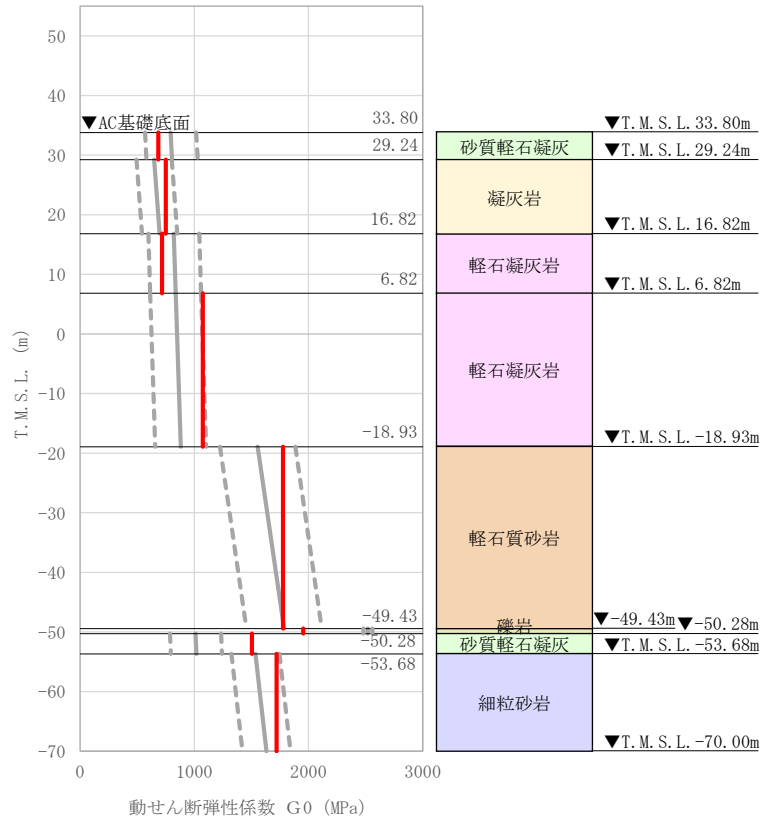
(3) 地盤物性値の設定結果

ACの直下又は近傍のPS検層結果に基づいて設定した物性値を第3.7-1表に示す。

また、上記で設定した物性値について、事業変更許可申請書に示す許可物性値との比較を第3.7-3図に示す。設定した物性値が許可物性値と整合していることが確認できる。

第3.7-1表 ACの直下又は近傍のPS検層結果に基づく物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)
▽AC基礎底面				
33.80	砂質軽石凝灰岩	14.5	680	1770
29.24	凝灰岩	15.9	680	1770
16.82	軽石凝灰岩	15.2	680	1770
6.82		15.3	830	1980
-18.93	軽石質砂岩	18.9	960	2130
-49.43	礫岩	20.8	960	2130
-50.28	砂質軽石凝灰岩	16.0	960	2130
-53.68	細粒砂岩	18.3	960	2130
▽解放基盤表面				
-70.00	—	18.3	960	2130



注記 : 赤実線は地盤モデルに設定した値から求まるせん断弾性係数を示す。

第 3.7-3 図 せん断弾性係数の設定結果

3.8 CAにおける物性値の設定結果

(1) 速度構造の設定

速度構造の設定については、第2-1表に示すCAのPS検層結果(N6_-E2)のS波速度及びP波速度を設定する。物性値の設定に用いたPS検層孔のS波速度、P波速度及び地質柱状図を第3.8-1図に示す。

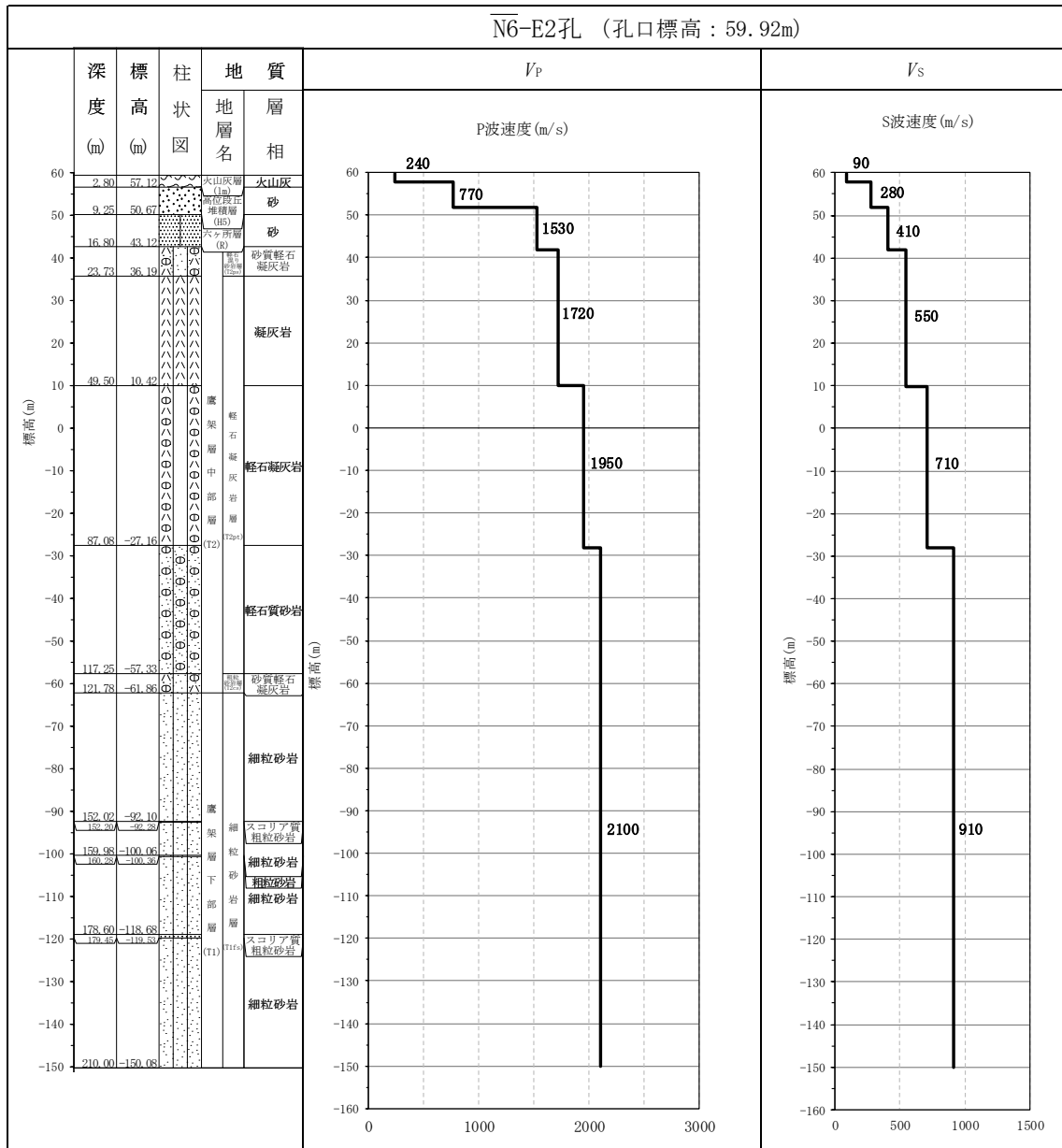
CAグループの建物・構築物のうち、BA建屋については、直下のPS検層結果はないため、「参考1」に示す地質柱状図を確認した結果、BA建屋近傍のD-E2_孔において、岩種境界が確認できる深さまでデータが得られていることから、第3.8-2図に示すように、D-E2_孔の地質柱状図とCAのPS検層結果(N6_-E2)を比較し、PS検層結果(N6_-E2)を基に設定した物性値をBA建屋に適用できることを確認する。なお、D-E2_孔の地質柱状図では岩種境界が確認できるものの、下端がT.M.S.L.-13.33mと解放基盤面に比べて浅いため、参考として岩盤部類図によるBA建屋直下の地下構造を合わせて示す。

CAのPS検層結果(N6_-E2)より、基礎底面以深における速度境界はT.M.S.L.10.42mとT.M.S.L.-27.16mに分布している。この速度境界は凝灰岩と軽石凝灰岩、軽石凝灰岩と軽石質砂岩の岩種境界レベルに対応している。T.M.S.L.-27.16m以深においては軽石質砂岩、砂質軽石凝灰岩及び細粒砂岩が分布しておりその分布深さと速度境界に対応は見られないことから、凝灰岩、軽石凝灰岩及び軽石質砂岩の分布状況に着目する。

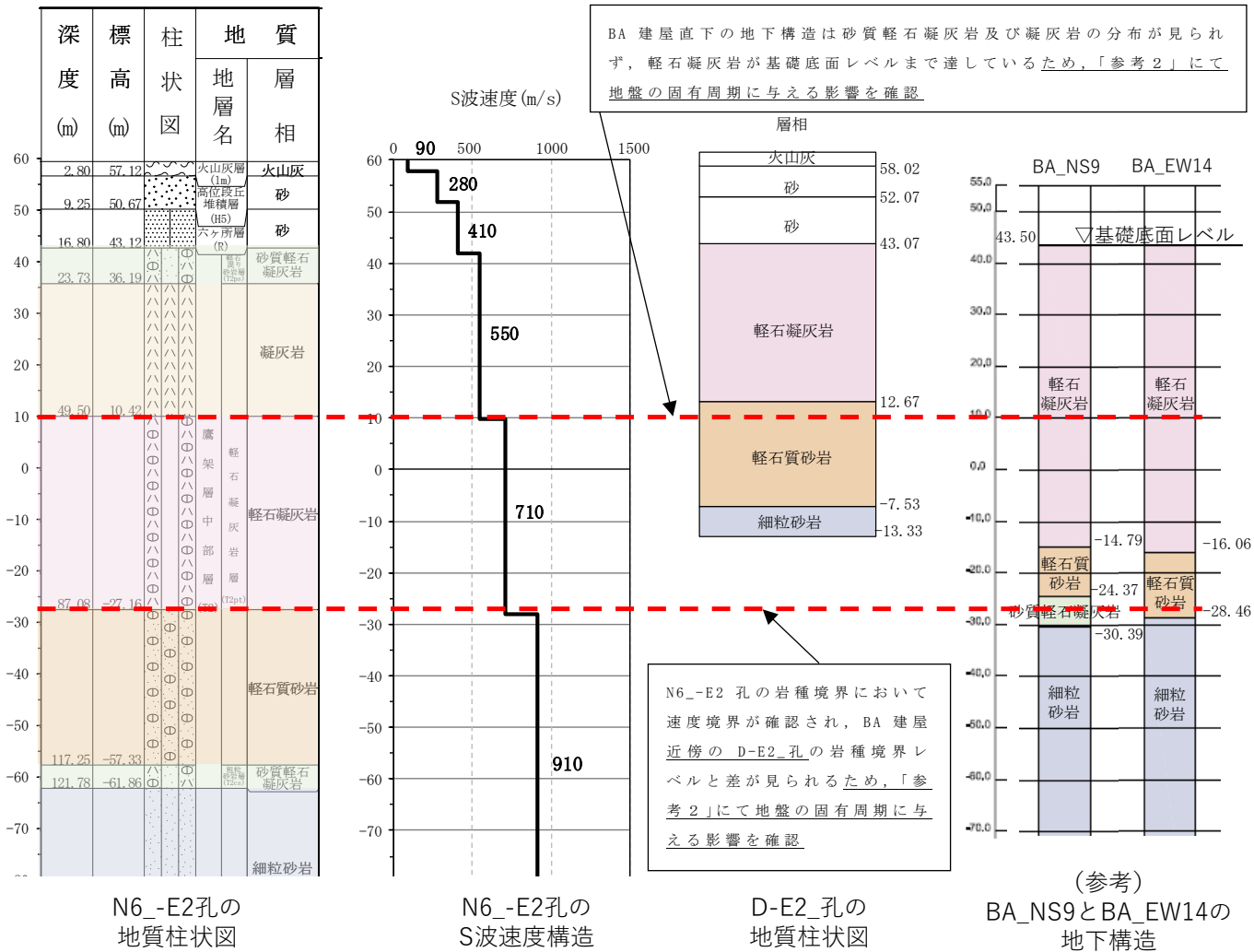
第3.8-2図より、N6_-E2孔と比較してBA建屋近傍のD-E2_孔の地質柱状図は砂質軽石凝灰岩及び凝灰岩の分布が見られず、軽石凝灰岩が基礎底面レベルまで達している。また、PS検層結果(N6_-E2)においては、軽石凝灰岩と軽石質砂岩の境界レベルに差が見られる。このことから、軽石凝灰岩上端レベルの差及び軽石凝灰岩と軽石質砂岩との岩種境界レベルの差を踏まえて、その差が地盤の固有周期に与える影響を確認する。

「参考2」より、BA建屋については、PS検層結果を基に設定した物性値の固有周期0.614sに対して、BA建屋近傍のD-E2_孔の地質柱状図に基づく固有周期は0.531sであり、固有周期に差が見られる。その要因は、軽石凝灰岩が基礎底面レベルまで分布しているためであると考えられる。ここで、軽石凝灰岩に対応するS波速度を基礎底面レベルまで一様に設定するよりも、N6_-E2孔のPS検層結果に基づき、凝灰岩と軽石凝灰岩の境界レベルにおいて速度境界を考慮した方が、コントラストが大きくなり保守性を確保できると判断した。

上記のことから、BA建屋については、CAのPS検層結果を基に設定した物性値を適用する。



第 3.8-1 図 PS 検層結果 (CA)

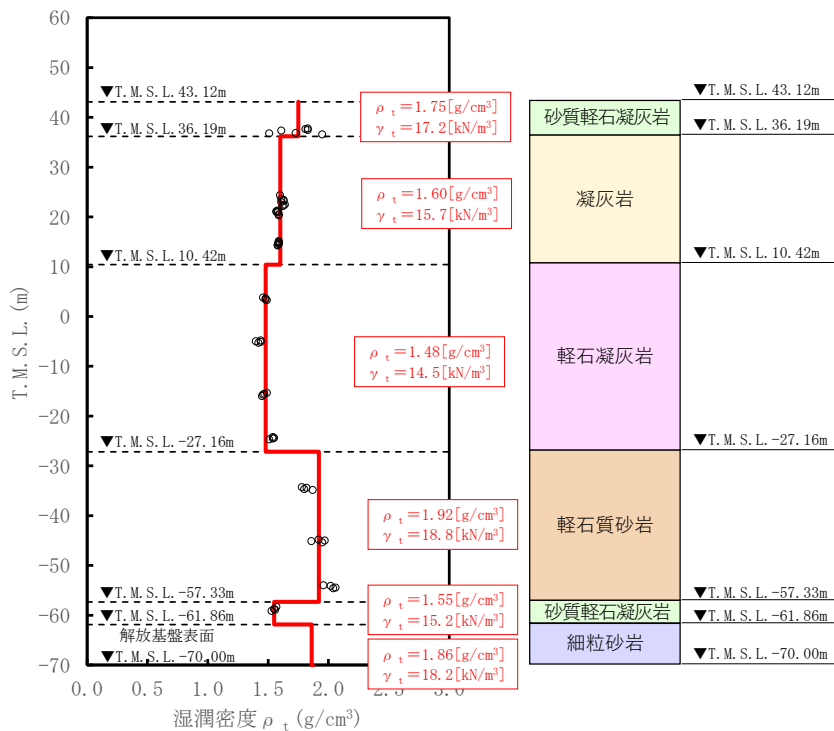


第 3.8-2 図 N6-E2 孔及び BA 直下の地下構造及び速度構造の対応

(2) 単位体積重量の設定

単位体積重量は、第 3.8-3 図に示すとおり、速度構造の設定に用いた PS 検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき、各岩種ごとに平均値を設定した。

なお、T. M. S. L. -61.86m 以深における細粒砂岩については、単位体積重量データが得られていないことを踏まえ、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。



注記 : 赤実線及び赤字は地盤モデルに設定した値を示す。

γ_t は ρ_t に重力加速度 ($g=9.80665\text{m/s}^2$) を乗じた値を設定する。

第 3.8-3 図 単位体積重量の設定結果

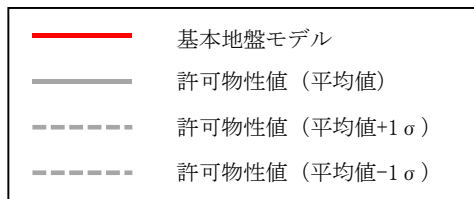
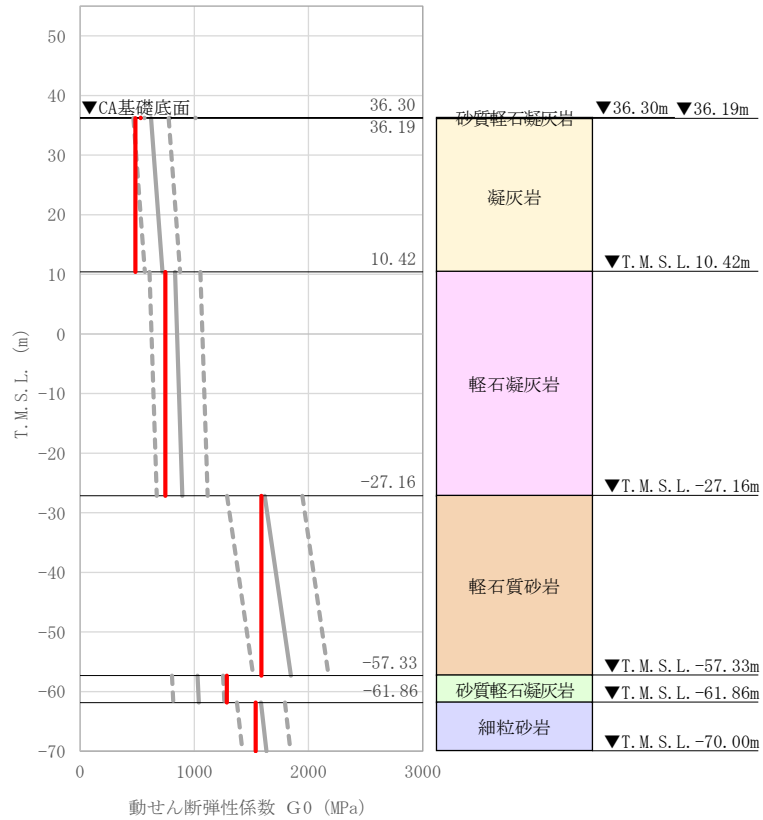
(3) 地盤物性値の設定結果

CAの直下又は近傍のPS検層結果に基づいて設定した物性値を第3.8-1表に示す。

また、上記で設定した物性値について、事業変更許可申請書に示す許可物性値との比較を第3.8-4図に示す。設定した物性値が許可物性値と整合していることが確認できる。

第3.8-1表 CAの直下又は近傍のPS検層結果に基づく物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)
▽BA基礎底面 43.50				
▽CA基礎底面 36.30	砂質軽石凝灰岩	17.2	550	1720
36.19	凝灰岩	15.7	550	1720
10.42	軽石凝灰岩	14.5	710	1950
-27.16	軽石質砂岩	18.8	910	2100
-57.33	砂質軽石凝灰岩	15.2	910	2100
-61.86	細粒砂岩	18.2	910	2100
▽解放基盤表面 -70.00	—	18.2	910	2100



注記 : 赤実線は地盤モデルに設定した値から求まるせん断弾性係数を示す。

第 3.8-4 図 せん断弾性係数の設定結果

3.9 CBにおける物性値の設定結果

(1) 速度構造の設定

速度構造の設定については、第 2-1 表に示す CB の PS 検層結果 (N6-X) の S 波速度及び P 波速度を設定する。物性値の設定に用いた PS 検層孔の S 波速度、P 波速度及び地質柱状図を第 3.9-1 図に示す。

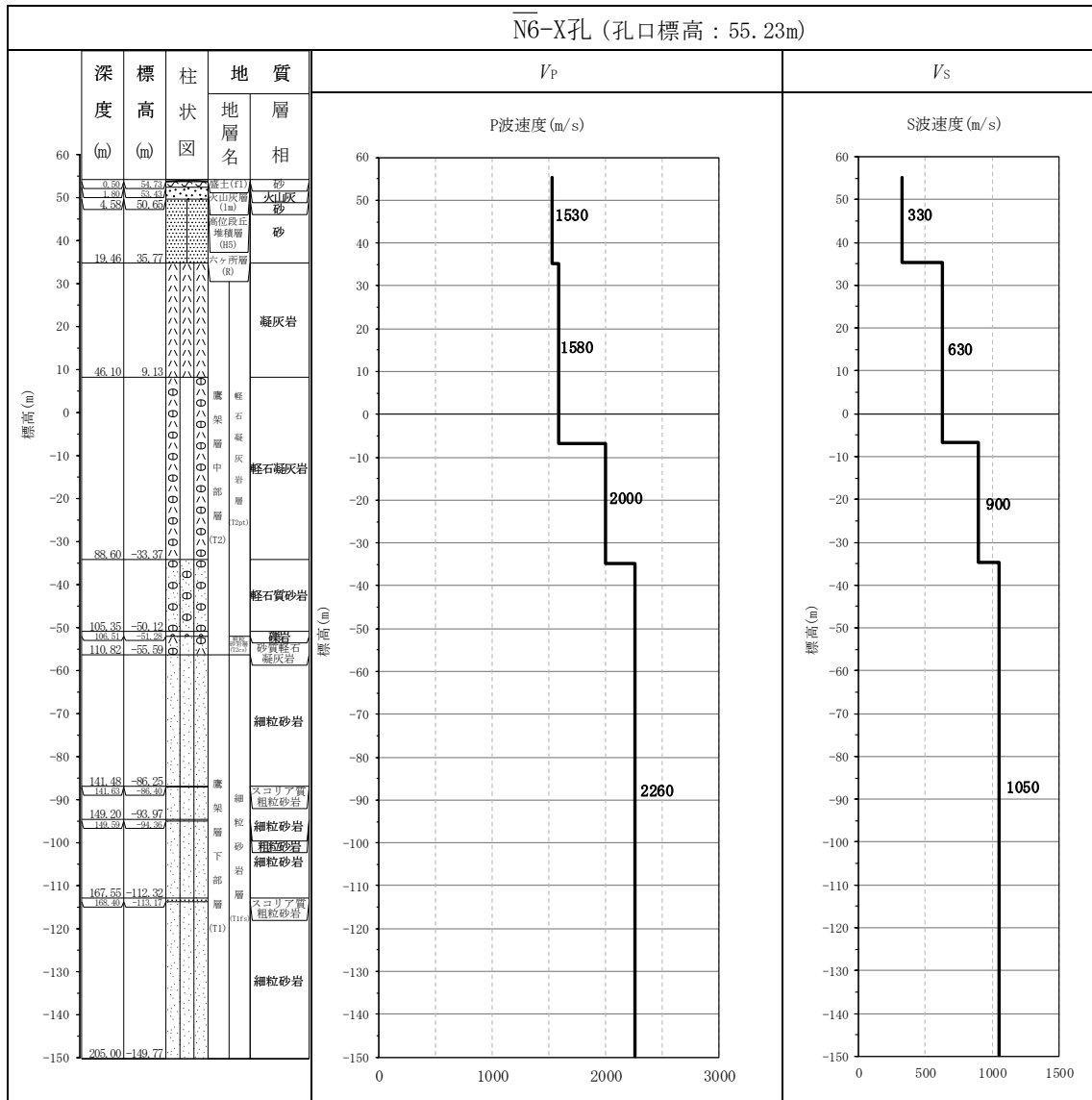
CB グループの建物・構築物のうち、BB 建屋については、直下の PS 検層結果はないため、「参考 1」に示す地質柱状図を確認した結果、岩種境界が確認できる深さまでデータが得られていないことから、第 3.9-2 図に示すように、BB 建屋直下の地下構造と CB の PS 検層結果 (N6-X) を比較し、PS 検層結果 (N6-X) を基に設定した物性値を BB 建屋に適用できることを確認する。

CB の PS 検層結果 (N6-X) より、基礎底面以深において岩種境界レベルに対応する速度境界は T. M. S. L. -33.37m に分布している。この速度境界は、軽石凝灰岩と軽石質砂岩の岩種境界レベルに対応している。

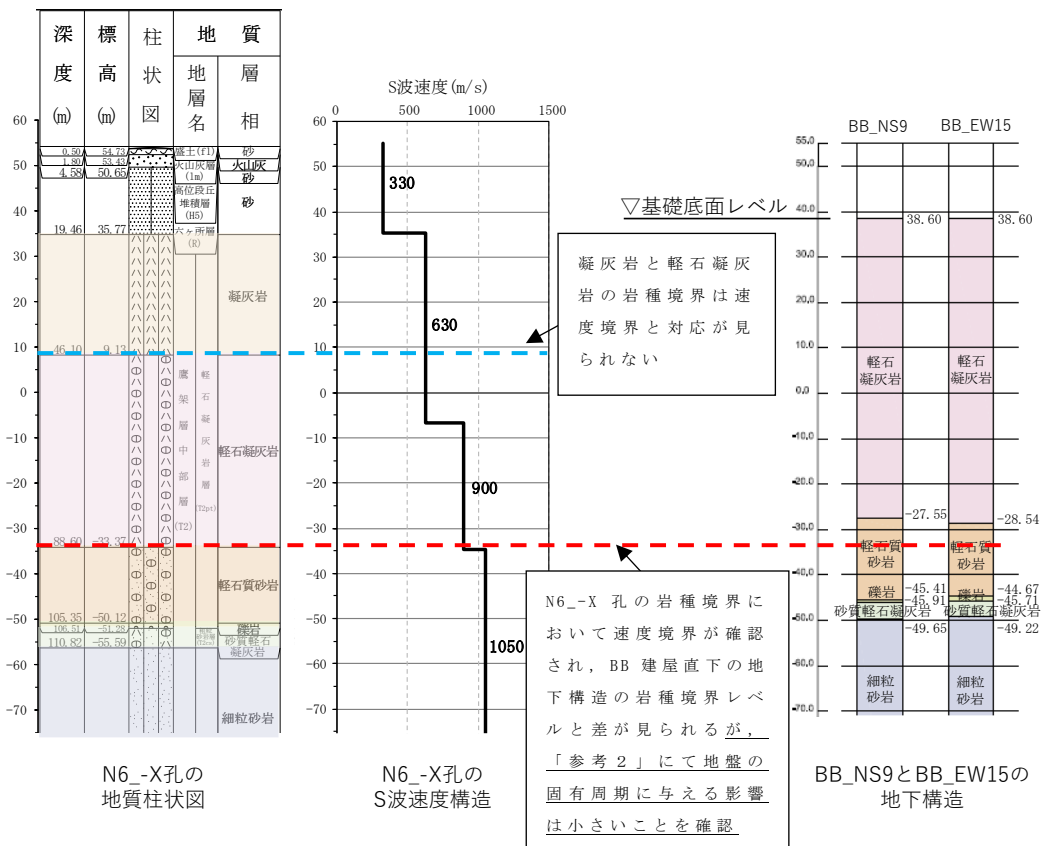
T. M. S. L. -33.37m 以深においては軽石質砂岩、礫岩、砂質軽石凝灰岩及び細粒砂岩が分布しておりその分布深さと速度境界に対応は見られないことから、軽石凝灰岩と軽石質砂岩の分布状況に着目する。

第 3.9-2 図より、N6-X 孔と比較して BB 建屋直下の地下構造は凝灰岩の分布が見られず、軽石凝灰岩が基礎底面レベルまで達している。また、PS 検層結果 (N6-X) においては、凝灰岩と軽石凝灰岩の岩種境界において速度境界は見られない。そのため、凝灰岩の分布の有無について影響はないと判断した。ただし、軽石凝灰岩と軽石質砂岩の岩種境界レベルに違いが見られ、N6-X 孔において軽石凝灰岩と軽石質砂岩の岩種境界に速度境界が見られるため、その差が地盤の固有周期に与える影響を確認する。「参考 2」より、BB 建屋については、PS 検層結果を基に設定した物性値の固有周期 0.519s に対して、建物・構築物直下の地下構造に基づく固有周期は 0.514s であり、地下構造の差が地盤の固有周期に与える影響は小さいことが確認された。

上記のことから、BB 建屋については、CB の PS 検層結果を基に設定した物性値を適用する。



第 3.9-1 図 PS 検層結果 (CB)

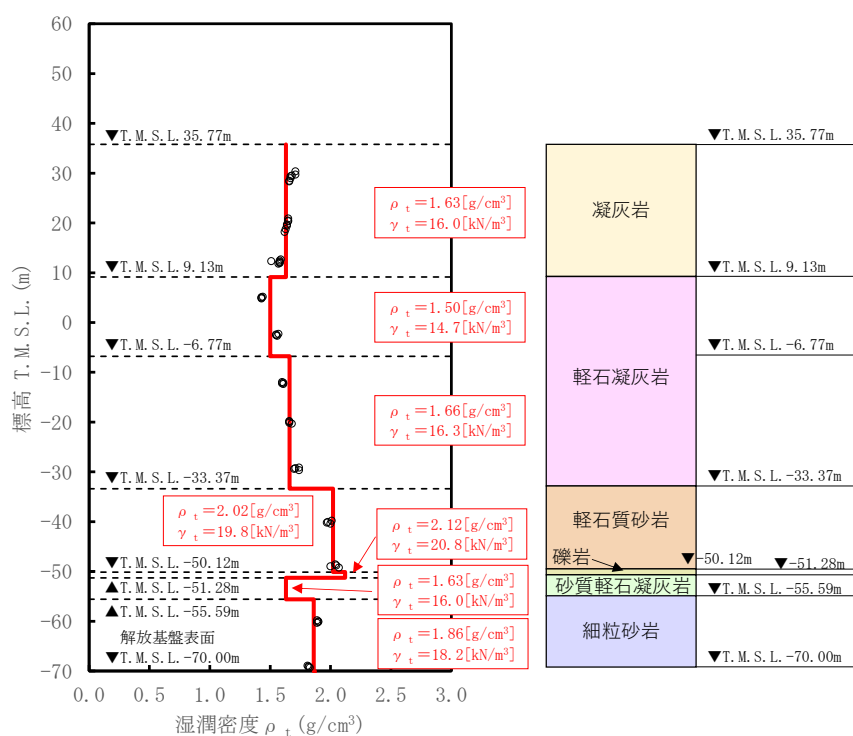


第 3.9-2 図 N6-X 孔及び BB 直下の地下構造及び速度構造の対応

(2) 単位体積重量の設定

単位体積重量は、第 3.9-3 図に示すとおり、速度構造の設定に用いた PS 検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき、各岩種ごとに平均値を設定した。

なお、T.M.S.L. -50.12m～-55.59m における薄層の礫岩及び砂質軽石凝灰岩については、単位体積重量データが得られていないことを踏まえ、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。



注記 : 赤実線及び赤字は地盤モデルに設定した値を示す。

γ_t は ρ_t に重力加速度 ($g=9.80665\text{m/s}^2$) を乗じた値を設定する。

第 3.9-3 図 単位体積重量の設定結果

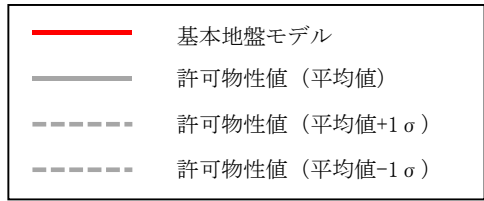
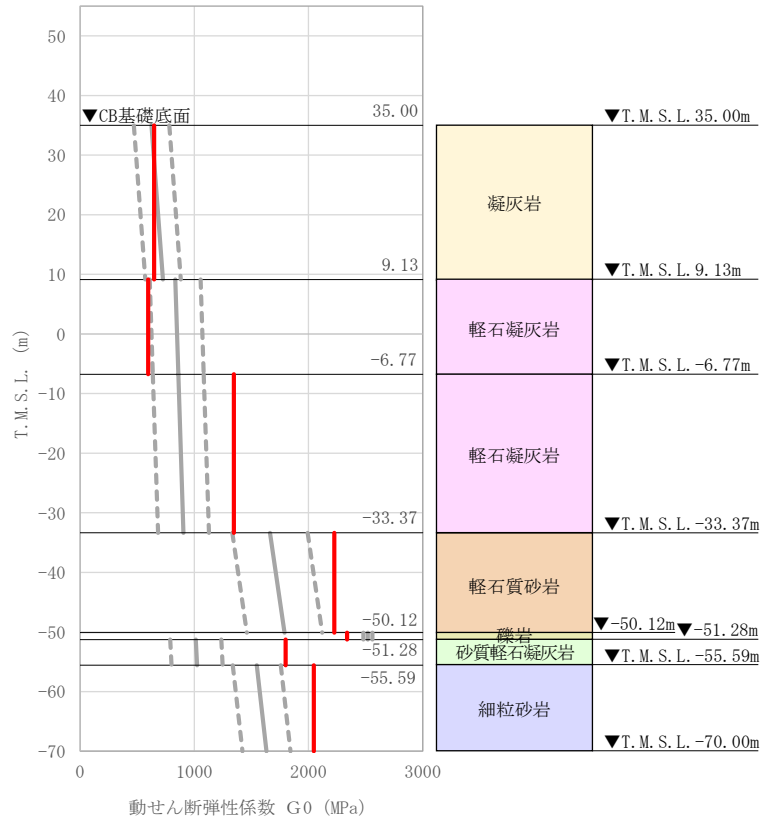
(3) 地盤物性値の設定結果

CBの直下又は近傍のPS検層結果に基づいて設定した物性値を第3.9-1表に示す。

また、上記で設定した物性値について、事業変更許可申請書に示す許可物性値との比較を第3.9-4図に示す。設定した物性値のうち、砂質軽石凝灰岩を除き許可物性値と整合していることが確認できる。砂質軽石凝灰岩が分布するT.M.S.L.-51.28m～-55.59mについては、物性値の設定に用いたPS検層結果(N6-X孔)が、許可物性値を定めるための回帰分析のデータセットに含まれていないため、設定した物性値と許可物性値との乖離が見られるが、深度の低下に伴うせん断弾性係数の増加の傾向に関してはおおむね調和的である。

第3.9-1表 CBの直下又は近傍のPS検層結果に基づく物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)
▽BB基礎底面 38.60				
▽CB基礎底面 35.00	凝灰岩	16.0	630	1580
9.13	軽石凝灰岩	14.7	630	1580
-6.77		16.3	900	2000
-33.37	軽石質砂岩	19.8	1050	2260
-50.12	礫岩	20.8	1050	2260
-51.28	砂質軽石凝灰岩	16.0	1050	2260
-55.59				
▽解放基盤表面 -70.00	細粒砂岩	18.2	1050	2260
	—	18.2	1050	2260



注記 : 赤実線は地盤モデルに設定した値から求まるせん断弾性係数を示す。

第 3.9-4 図 せん断弾性係数の設定結果

3.10 AZ 周辺における物性値の設定結果

(1) 速度構造の設定

速度構造については、第 2-1 表に示す AZ 周辺の PS 検層結果 (E₋W₋, E₋E2₋) により設定する。物性値の設定に用いた PS 検層孔の S 波速度, P 波速度及び地質柱状図を第 3.10-1 図に示す。

速度境界の探査の結果, 第 3.10-2 図～3.10-4 図に示すとおり, T. M. S. L. 9m, T. M. S. L. -31m 及び T. M. S. L. -53m において, 各レベルを境に上層の S 波速度平均値に対する変動係数と下層の S 波速度の平均値に対する変動係数が共に急変することから, 上記 3 つの標高を速度境界として設定する。

なお, 第 3.10-5 図に示す地質柱状図の比較結果のとおり, 凝灰岩の上面レベルの平均高さは T. M. S. L. 8m であること, また, 軽石質砂岩の上面レベルの平均高さは T. M. S. L. -55m であることを踏まえ, T. M. S. L. 9m 及び T. M. S. L. -53m の速度境界については, それぞれ凝灰岩と軽石質砂岩の上面レベルの平均高さに補正した。

上記に基づき設定した AZ 周辺の速度構造及び PS 検層結果の比較を第 3.10-6 図に示す。

なお, AZ 周辺の建物・構築物のうち, G15 基礎及び G17 基礎については, 直下の PS 検層結果はないため, 「参考 1」に示す地質柱状図を確認した結果, 岩種境界が確認できる深さまでデータが得られていないことから, 第 3.10-7 図に示すように, その建物・構築物直下の地下構造と近傍の PS 検層結果と比較を行い, PS 検層結果を基に設定した物性値をその建物・構築物に適用できることを確認する。

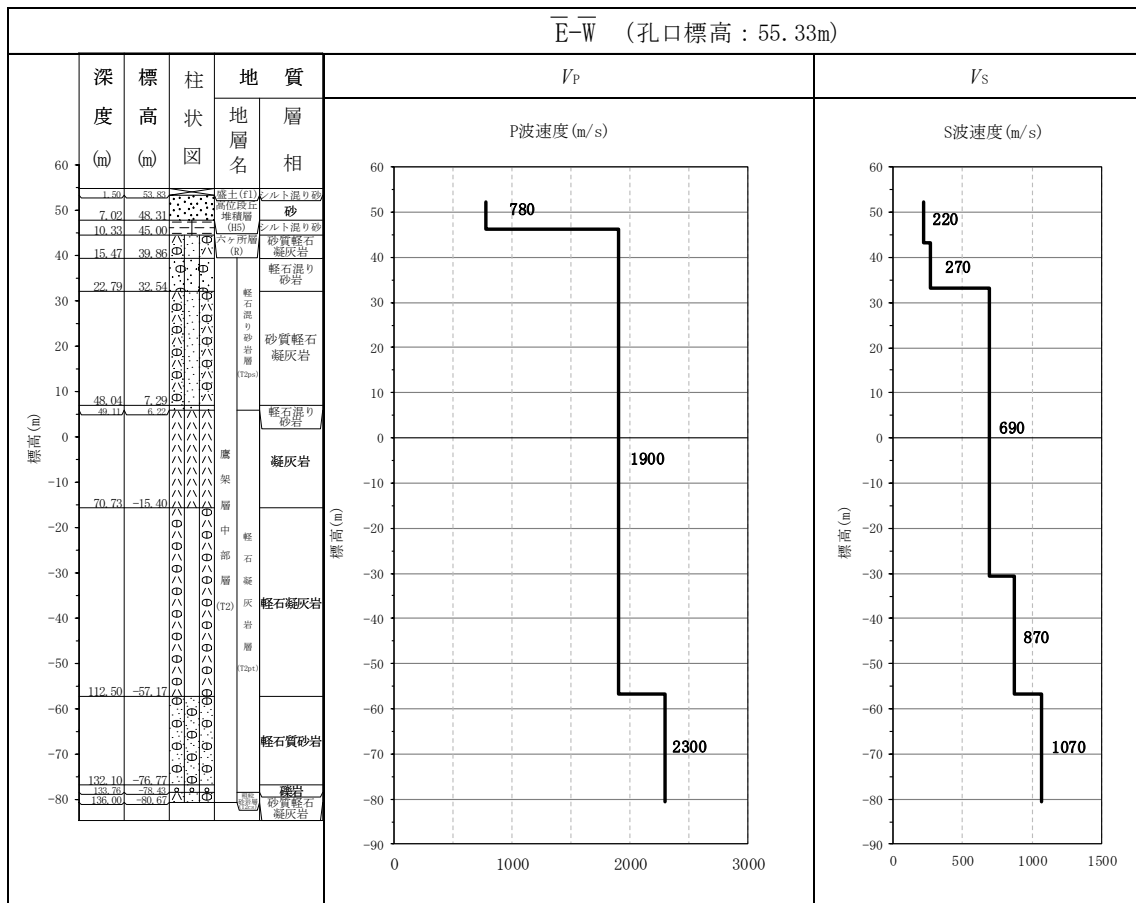
第 3.10-7 図に示すとおり, G15 基礎については, 近傍の PS 検層孔である E₋E2₋孔と比較を行った。E₋E2₋孔では砂質軽石凝灰岩と軽石混り砂岩の岩種境界レベルと軽石凝灰岩と軽石質砂岩における岩種境界レベルにおいて速度境界が確認されたため, G15 基礎直下の地下構造の砂質軽石凝灰岩, 軽石混り砂岩, 軽石凝灰岩及び軽石質砂岩の分布に着目する。

G17 基礎については, 近傍の PS 検層孔である E₋W₋孔と比較を行い, 軽石混り砂岩と砂質軽石凝灰岩の岩種境界レベルと軽石凝灰岩と軽石質砂岩における岩種境界レベルにおいて速度境界が確認されたため, G17 基礎直下の地下構造の軽石混り砂岩, 砂質軽石凝灰岩, 軽石凝灰岩及び軽石質砂岩の分布に着目する。

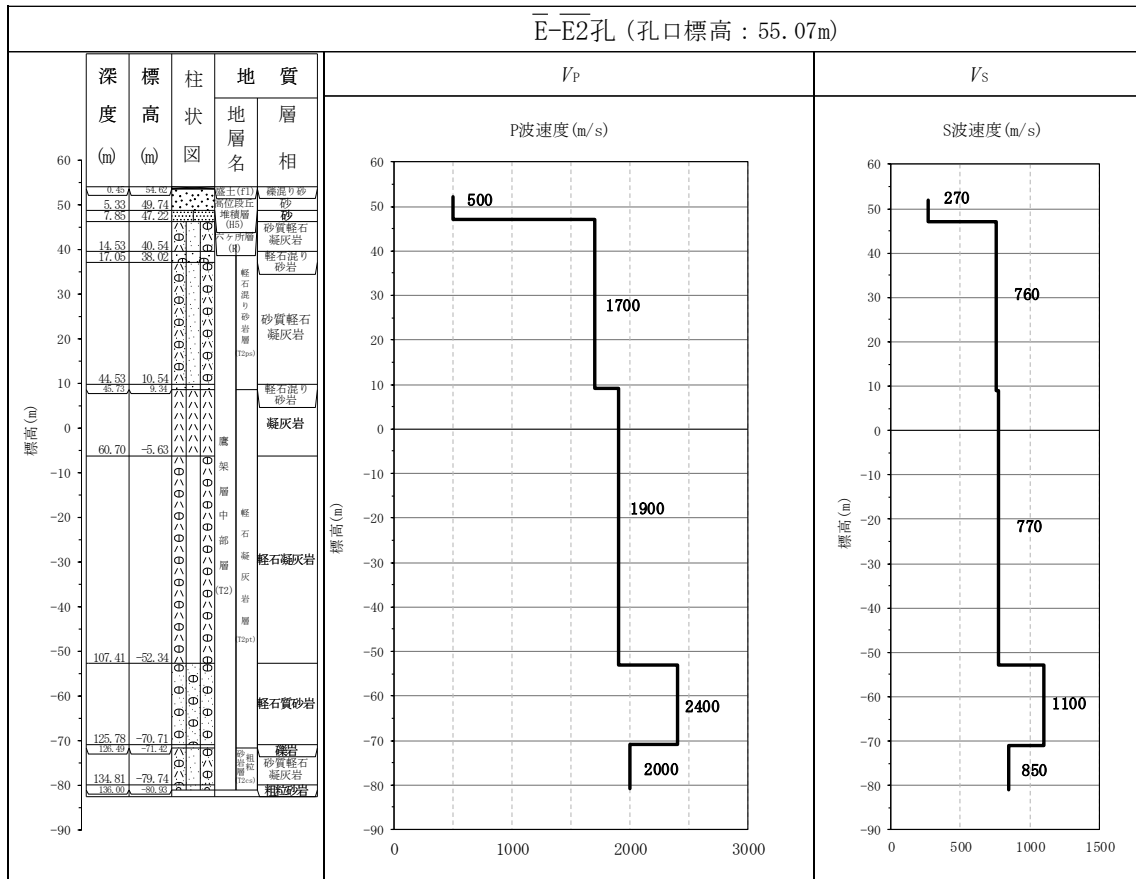
第 3.10-7 図よりその建物・構築物近傍の PS 検層結果と比較した結果,

岩種境界レベルにおいて、速度境界が見られるため、その差が地盤の固有周期に与える影響を確認する。「参考 2」より、G15 基礎については、PS 検層結果を基に設定した物性値の固有周期 0.589s に対して、建物・構築物直下の地下構造に基づく固有周期は 0.591～0.594s の範囲であり、また、G17 基礎については、PS 検層結果を基に設定した物性値の固有周期 0.593s に対して、建物・構築物直下の地下構造に基づく固有周期は 0.574～0.577s の範囲であり、地下構造の差が地盤の固有周期に与える影響は小さいことが確認された。

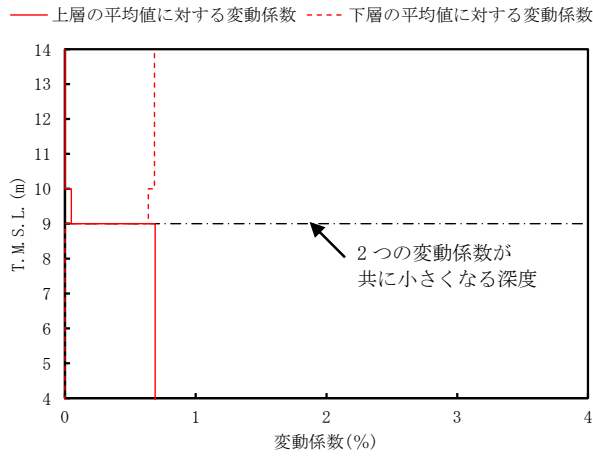
上記のことから、G15 基礎及び G17 基礎については、AZ 周辺の PS 検層結果を基に設定した物性値を適用する。



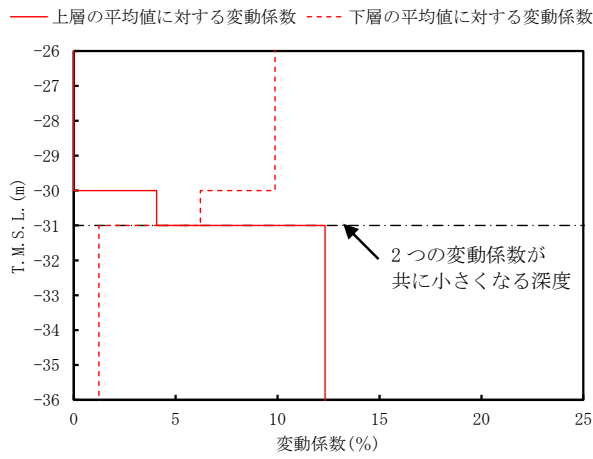
第 3.10-1 図 PS 検層結果 (AZ 周辺) (1/2)



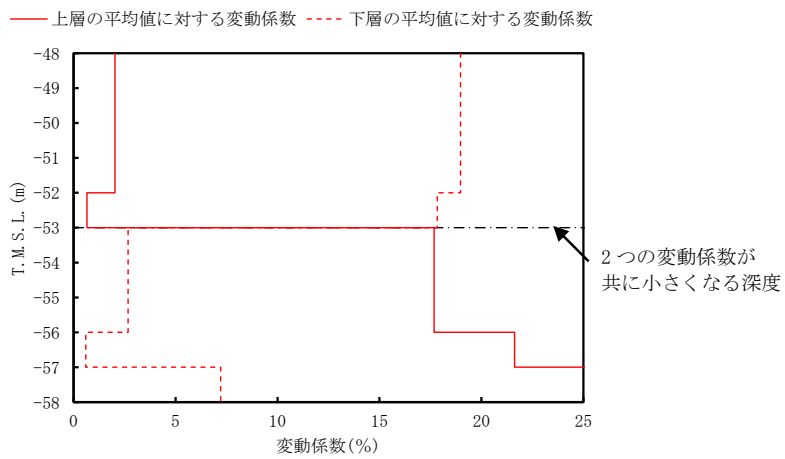
第 3.10-1 図 PS 検層結果 (AZ 周辺) (2/2)



第 3.10-2 図 S 波速度の変動係数の分布 (T.M.S.L. 9m 付近)



第 3.10-3 図 S 波速度の変動係数の分布 (T.M.S.L. -31m 付近)

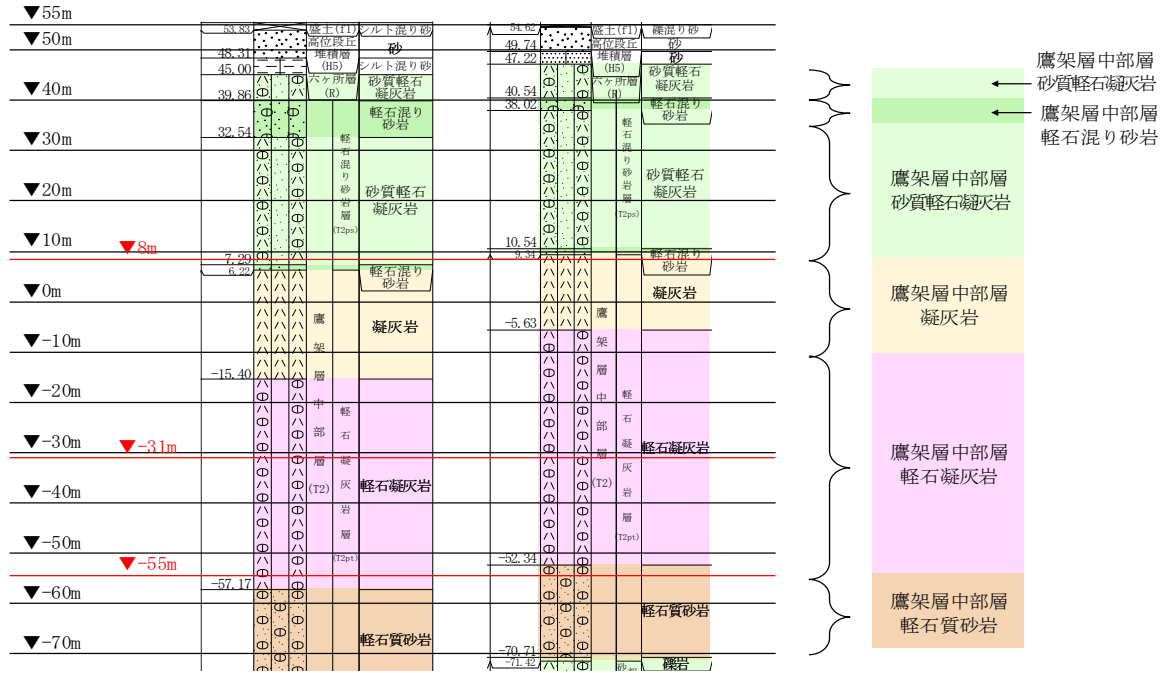


第 3.10-4 図 S 波速度の変動係数の分布 (T.M.S.L. -53m 付近)

T. M. S. L.
(m)

孔名 : E_-W_
孔口標高 : 55.33

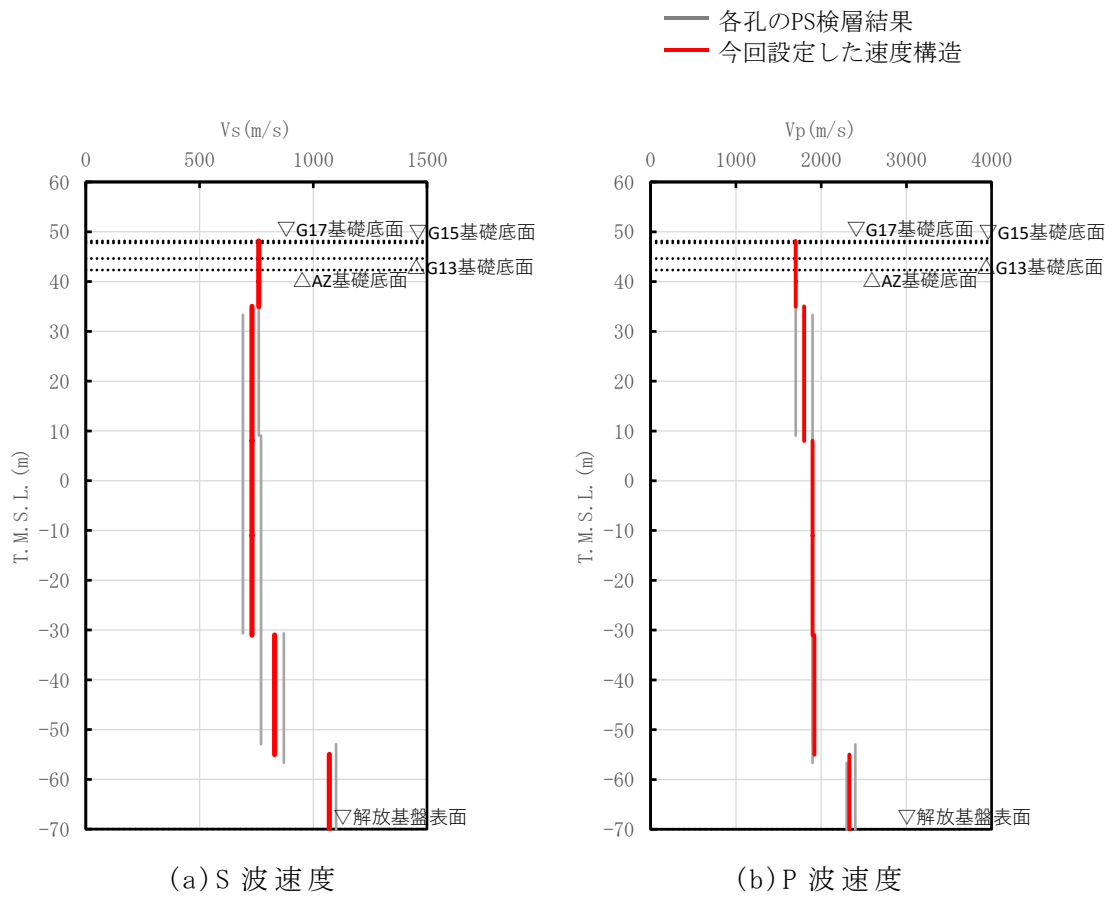
E_-E2_
55.07



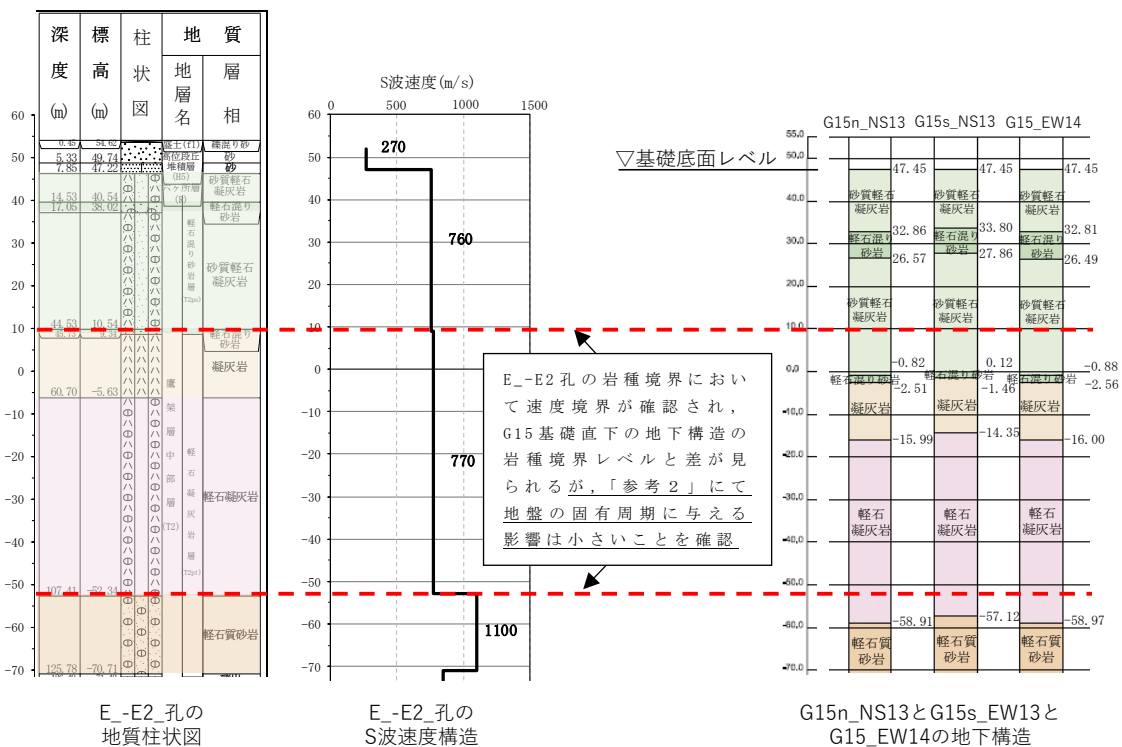
注記 : 赤線は速度境界レベルを示す。

岩盤の最上面レベル = $(45.00 \text{ m} + 47.22 \text{ m}) / 2 = 46.11 \text{ m} \approx 46 \text{ m}$
 軽石混り砂岩の上面レベル平均高さ = $(39.86 \text{ m} + 40.54 \text{ m}) / 2 = 40.20 \text{ m} \approx 40 \text{ m}$
 砂質軽石凝灰岩の上面レベル平均高さ = $(32.54 \text{ m} + 38.02 \text{ m}) / 2 = 35.28 \text{ m} \approx 35 \text{ m}$
 凝灰岩の上面レベル平均高さ = $(6.22 \text{ m} + 9.34 \text{ m}) / 2 = 7.78 \text{ m} \approx 8 \text{ m}$
 軽石凝灰岩の上面レベル平均高さ = $((-15.40 \text{ m}) + (-5.63 \text{ m})) / 2 = -10.52 \text{ m} \approx -11 \text{ m}$
 軽石質砂岩の上面レベル平均高さ = $((-57.17 \text{ m}) + (-52.34 \text{ m})) / 2 = -54.76 \text{ m} \approx -55 \text{ m}$

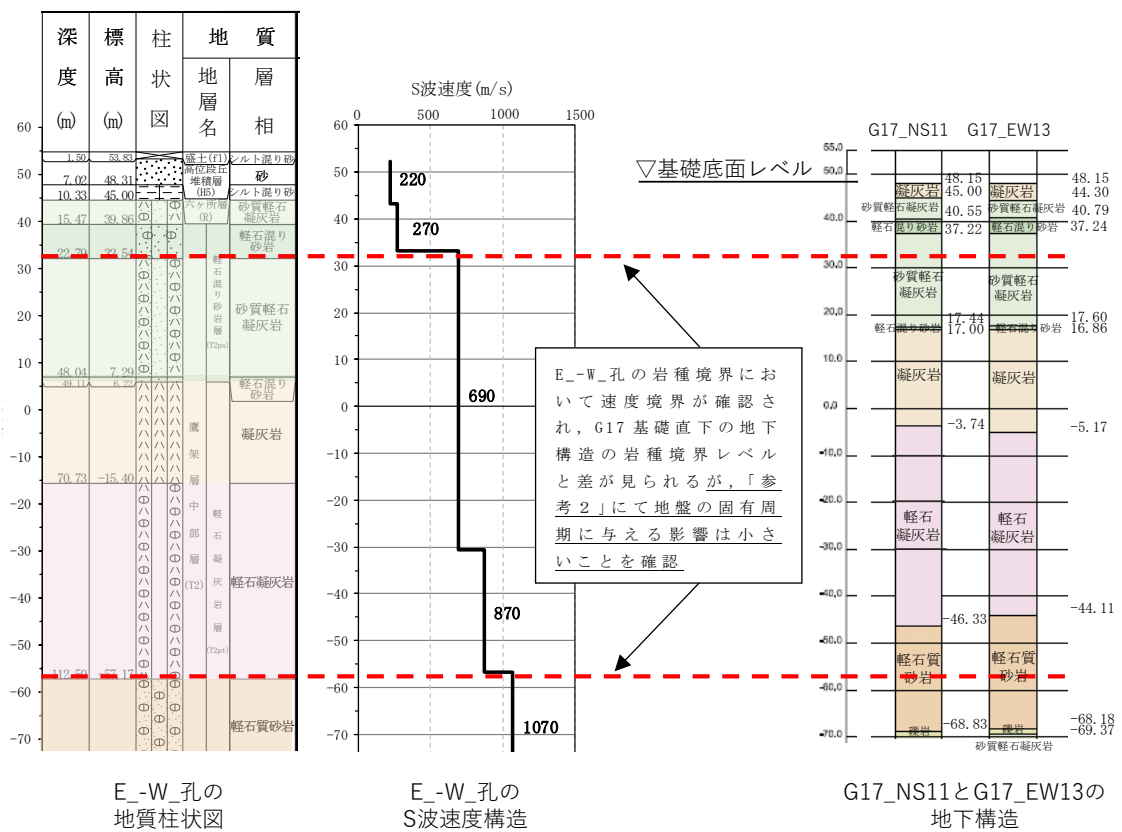
第 3.10-5 図 PS 検層孔の地質柱状図



第 3.10-6 図 AZ 周辺 の 速度 構造 と PS 検 層 結 果 の 比 較



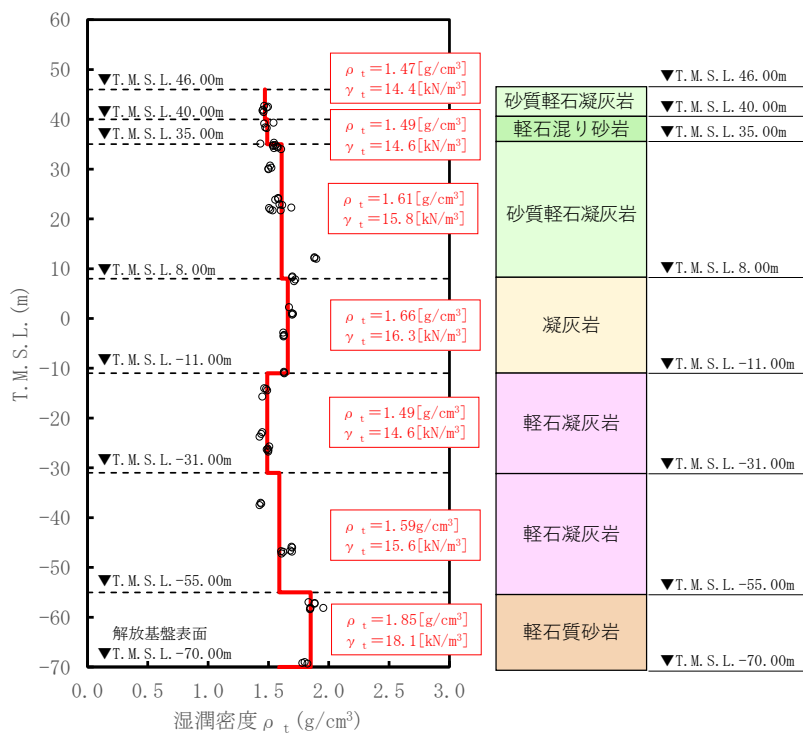
第 3.10-7 図 E-E2_孔及び G15 直下の地下構造及び速度構造の対応 (1/2)



第 3.10-7 図 E-W_孔及び G17 直下の地下構造及び速度構造の対応 (2/2)

(2) 単位体積重量の設定

単位体積重量は、第 3.10-8 図に示すとおり、速度構造の設定に用いた PS 検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき、各岩種ごとに平均値を設定した。



注記 : 赤実線及び赤字は地盤モデルに設定した値を示す。

γ_t は ρ_t に重力加速度 ($g=9.80665\text{m/s}^2$) を乗じた値を設定する。

第 3.10-8 図 単位体積重量の設定結果

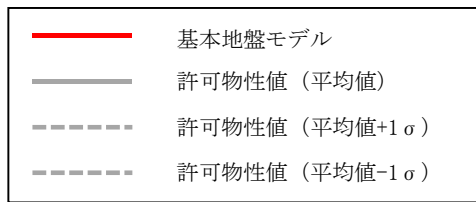
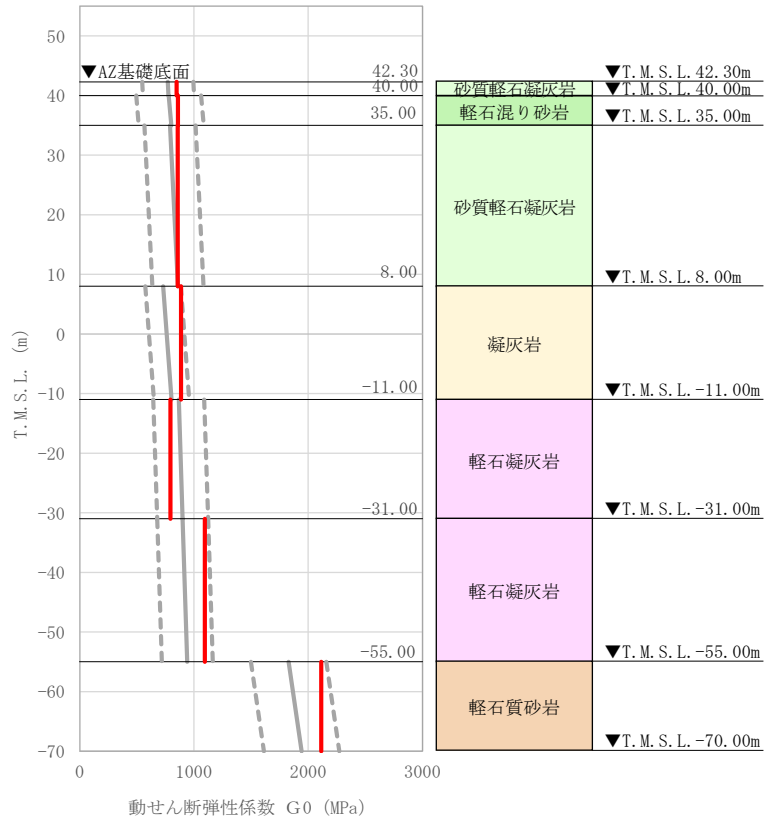
(3) 地盤物性値の設定結果

AZ 周辺の直下又は近傍の PS 検層結果に基づいて設定した物性値を第 3.10-1 表に示す。

また、上記で設定した物性値について、事業変更許可申請書に示す許可物性値との比較を第 3.10-9 図に示す。設定した物性値が許可物性値と整合していることが確認できる。

第 3.10-1 表 AZ 周辺の直下又は近傍の PS 検層結果に基づく物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	S 波速度 V_s (m/s)	P 波速度 V_p (m/s)
▽G17基礎底面 48.15				
▽G15基礎底面 47.75				
▽G13基礎底面 44.65	砂質軽石凝灰岩	14.4	760	1700
▽AZ基礎底面 42.30				
40.00	軽石混り砂岩	14.6	760	1700
35.00	砂質軽石凝灰岩	15.8	730	1800
8.00	凝灰岩	16.3	730	1900
-11.00				
-31.00	軽石凝灰岩	14.6	730	1900
-55.00		15.6	830	1920
▽解放基盤表面 -70.00	軽石質砂岩	18.1	1070	2330
	—	18.1	1070	2330



注記 : 赤実線は地盤モデルに設定した値から求まるせん断弾性係数を示す。

第 3.10-9 図 せん断弾性係数の設定結果

3.11 G14における物性値の設定結果

(1) 速度構造の設定

速度構造の設定にあたっては、第 2-1 表に示す G14 の PS 検層結果(H-X_(2)) の S 波速度及び P 波速度を設定する。物性値の設定に用いた PS 検層孔の S 波速度、P 波速度及び地質柱状図を第 3.11-1 図に示す。

G14 グループの建物・構築物のうち、G16 基礎については、直下の PS 検層結果はないため、「参考 1」に示す地質柱状図を確認した結果、岩種境界が確認できる深さまでデータが得られていないことから、第 3.11-2 図に示すように、G16 基礎直下の地下構造と G14 の PS 検層結果(H-X_(2)) を比較し、PS 検層結果(H-X_(2)) を基に設定した物性値を G16 基礎に適用できることを確認する。

PS 検層結果(H-X_(2)) に着目すると岩種境界レベルに対応する速度境界は軽石混り砂岩と凝灰岩の岩種境界レベル、軽石凝灰岩と凝灰岩の岩種境界レベルに分布していることから、軽石混り砂岩、凝灰岩及び軽石凝灰岩の分布状況に着目する。

第 3.11-2 図より、G16 基礎の T.M.S.L. -57m 程度以浅における地下構造の特徴は、H-X_(2) 孔と同等となっている。

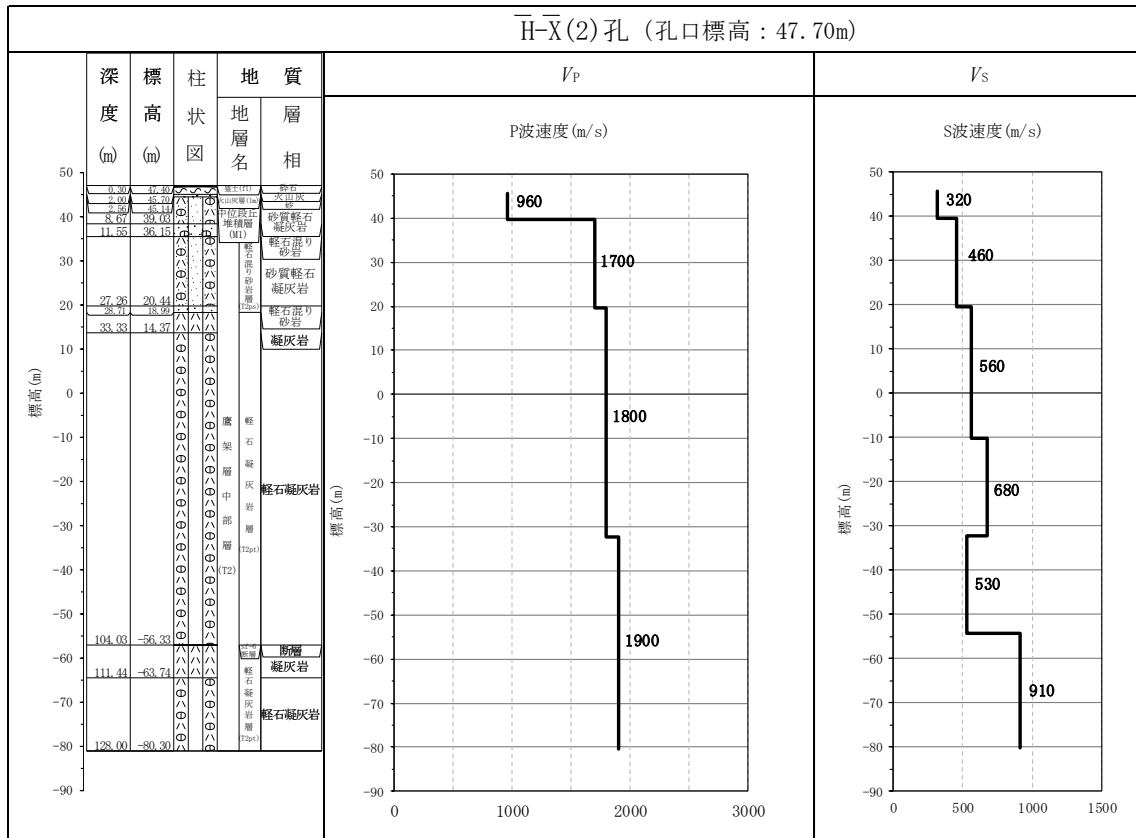
また、G16 基礎の地下構造においては、T.M.S.L. -57m 程度以深に軽石質砂岩が分布している。一方で H-X_(2) 孔の地下構造においては、T.M.S.L. -56.33m 以深で凝灰岩が分布しており、凝灰岩の上面レベルで速度境界が見られる。

ここで、G16 基礎の地下構造と同様に軽石凝灰岩と軽石質砂岩が分布する CA グループにおける N6-E2 孔(第 3.8-1 図)を参照すると、軽石凝灰岩と軽石質砂岩の岩種境界において速度境界が存在する。また、N6-E2 孔に分布する軽石質砂岩の S 波速度は 910m/s となっており、H-X_(2) 孔における T.M.S.L. -56.33m 以深の S 波速度(910m/s)と整合している。

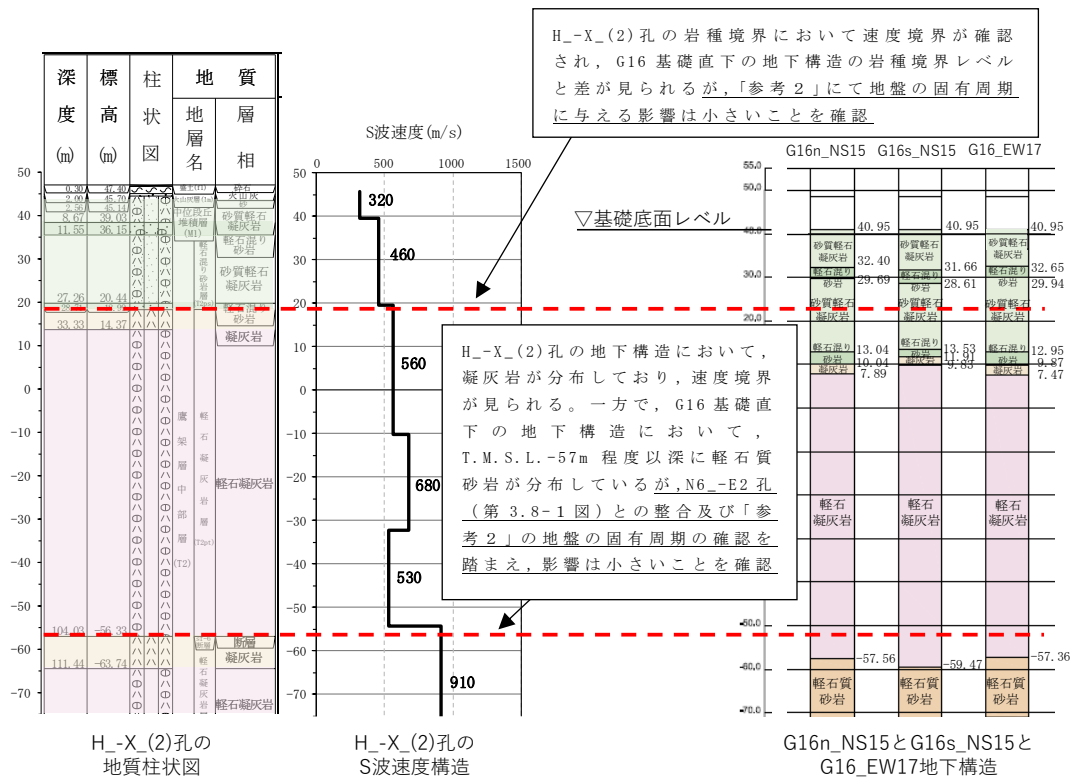
このことから、H-X_(2) 孔の凝灰岩の上面レベルにおける速度境界を、G16 基礎における軽石凝灰岩と軽石質砂岩の岩種境界レベルに適用することに問題はないと判断した。

その上で、着目した岩種境界レベルに違いが見られるため、その差が地盤の固有周期に与える影響を確認する。「参考 2」より、G16 基礎については、PS 検層結果を基に設定した物性値の固有周期 0.739s に対して、建物・構築物直下の地下構造に基づく固有周期は 0.754~0.761s の範囲であり、地下構造の差が地盤の固有周期に与える影響は小さいことが確認された。

上記のことから、G16 基礎については、G14 の PS 検層結果を基に設定した物性値を適用する。



第 3.11-1 図 PS 検層結果 (G14)

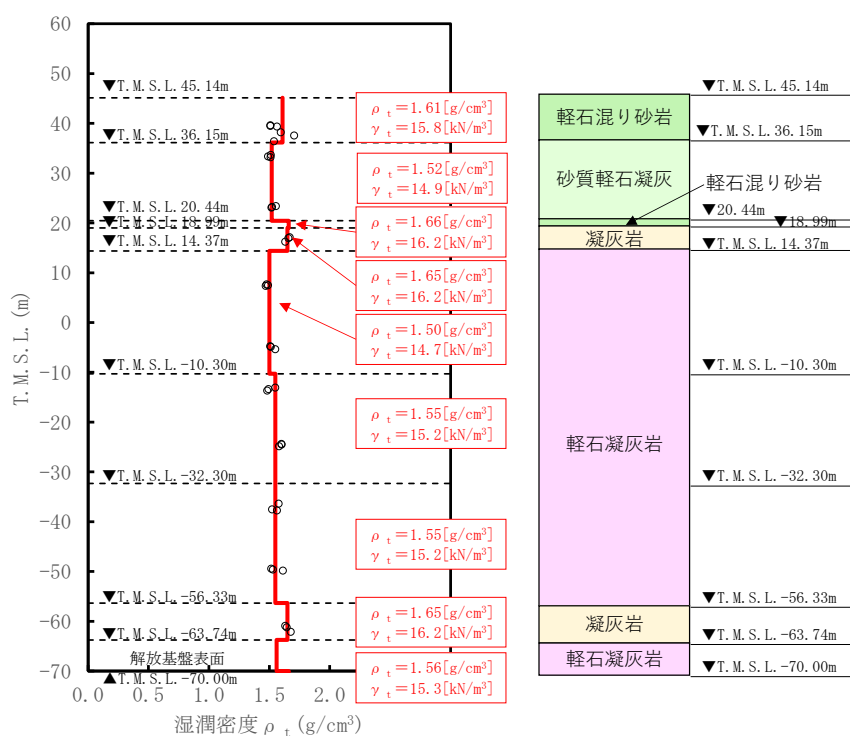


第 3.11-2 図 H-X(2)孔及び G16 直下の地下構造及び速度構造の対応

(2) 単位体積重量の設定

単位体積重量は、第 3.11-3 図に示すとおり、速度構造の設定に用いた PS 検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき、各岩種ごとに平均値を設定した。

なお、T.M.S.L. 20.44m～18.99m 及び T.M.S.L. -63.74m 以深における軽石混り砂岩及び軽石凝灰岩については、単位体積重量データが得られていないことを踏まえ、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。



注記 : 赤実線及び赤字は地盤モデルに設定した値を示す。

γ_t は ρ_t に重力加速度 ($g=9.80665\text{m/s}^2$) を乗じた値を設定する。

第 3.11-3 図 単位体積重量の設定結果

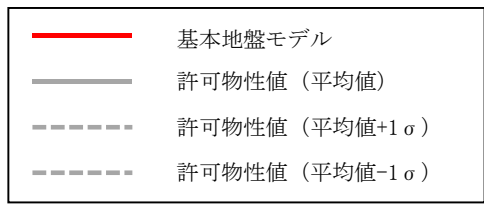
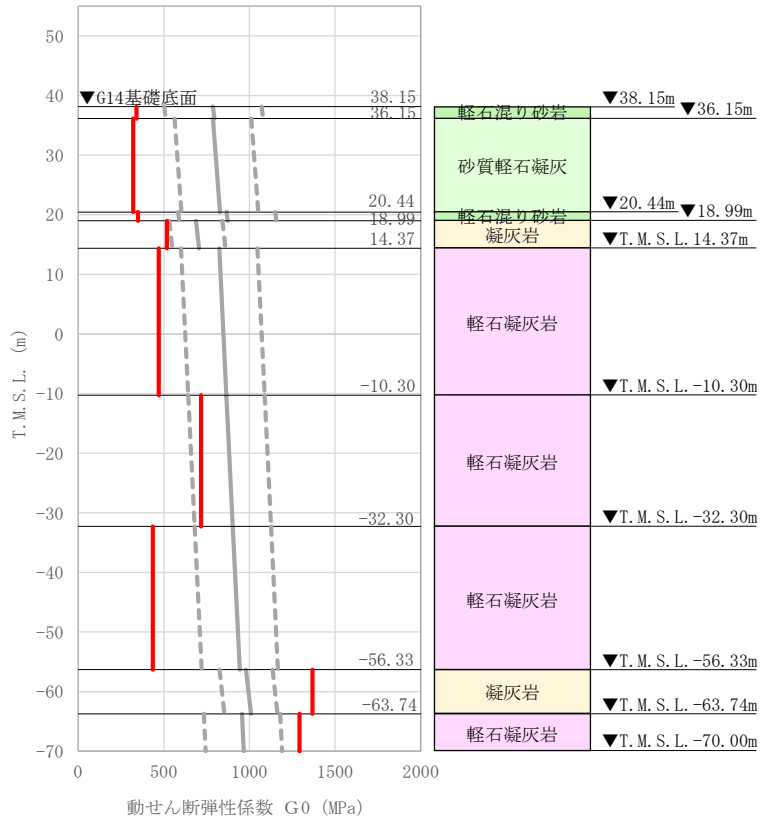
(3) 地盤物性値の設定結果

G14 の直下又は近傍の PS 検層結果に基づいて設定した物性値を第 3.11-1 表に示す。

また、上記で設定した物性値について、事業変更許可申請書に示す許可物性値との比較を第 3.11-4 図に示す。設定した物性値のうち、軽石凝灰岩を除き許可物性値と整合していることが確認できる。軽石凝灰岩については、物性値の設定に用いた PS 検層結果 (H-X (2) 孔) が、許可物性値を定めるための回帰分析のデータセットに含まれていないため、設定した物性値と許可物性値との乖離が見られるが、深さの増加に伴う剛性の上昇の傾向に関してはおおむね調和的である。

第 3.11-1 表 G14 の直下又は近傍の PS 検層結果に基づく物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	S 波速度 V_s (m/s)	P 波速度 V_p (m/s)
▽G16基礎底面 40.95				
▽G14基礎底面 38.15	軽石混り砂岩	15.8	460	1700
36.15	砂質軽石凝灰岩	14.9	460	1700
20.44	軽石混り砂岩	16.2	460	1700
18.99	凝灰岩	16.2	560	1800
14.37	軽石凝灰岩	14.7	560	1800
-10.30		15.2	680	1800
-32.30		15.2	530	1900
-56.33	凝灰岩	16.2	910	1900
-63.74	軽石凝灰岩	15.3	910	1900
▽解放基盤表面 -70.00	—	15.3	910	1900



注記 : 赤実線は地盤モデルに設定した値から求まるせん断弾性係数を示す。

第 3.11-4 図 せん断弾性係数の設定結果

3.12 E 施設周辺における物性値の設定結果

(1) 速度構造の設定

速度構造については、第 2-1 表に示す E 施設周辺の PS 検層結果 (J-T, J₋₅, J_{-T}, C_{-U}, K-T) により設定する。物性値の設定に用いた PS 検層孔の S 波速度, P 波速度及び地質柱状図を第 3.12-1 図に示す。

岩種境界については、E 施設周辺における複数の孔において分布する主要な岩種 (泥岩 (上部層), 砂岩・凝灰岩互層, 礫混り砂岩) の境界レベルを岩種境界として設定することとし, その境界レベルは当該岩種が分布する孔における境界レベルを平均して設定した。

速度境界の探査の結果, 第 3.12-2 図～第 3.12-6 図に示すとおり, T.M.S.L. -14m, T.M.S.L. -22m, T.M.S.L. -33m, T.M.S.L. -50m 及び T.M.S.L. -57m において, 各レベルを境に上層の S 波速度平均値に対する変動係数と下層の S 波速度の平均値に対する変動係数が共に急変することから, 上記 5 つの標高を速度境界として設定する。なお, 第 3.12-7 図に示す地質柱状図の比較結果のとおり, 礫混り砂岩の上面レベルの平均高さ算定において, C_{-U} 孔は他の 3 孔 (J-T, J₋₅, J_{-T}) に比べて礫混り砂岩の上面レベルの境界レベルが深く, 第 3.12-1 図(4/5)の地質柱状図のとおり T.M.S.L. -76.00m において確認される。これについては, 第 3.12-1 図(4/5)の PS 検層結果より, 砂岩・凝灰岩互層から礫混り砂岩の岩種境界において速度境界は見られない。

この特徴については, 第 3.12-1 図に示す注釈のとおり, E 施設周辺の C_{-U} 孔を除く 3 孔 (J-T, J₋₅, J_{-T}) の速度構造でも同様に礫混り砂岩の上面レベルにおいて速度境界は見られない傾向となっていることから, C_{-U} 孔の物性値も含めて平均化することに問題はないと判断し, 礫混り砂岩の上面レベルについては全ての孔の値を平均して設定した。

また, 砂岩・凝灰岩互層の上面レベルの平均高さは T.M.S.L. -51m であることを踏まえ, T.M.S.L. -50m の速度境界については砂岩・凝灰岩互層の上面レベルの平均高さに補正した。

上記に基づき設定した E 施設周辺の速度構造及び PS 検層結果の比較を第 3.12-8 図に示す。

なお, E 施設周辺の速度構造については, 地質構造に違いの見られる K-T 孔も含め平均化をおこなっている。

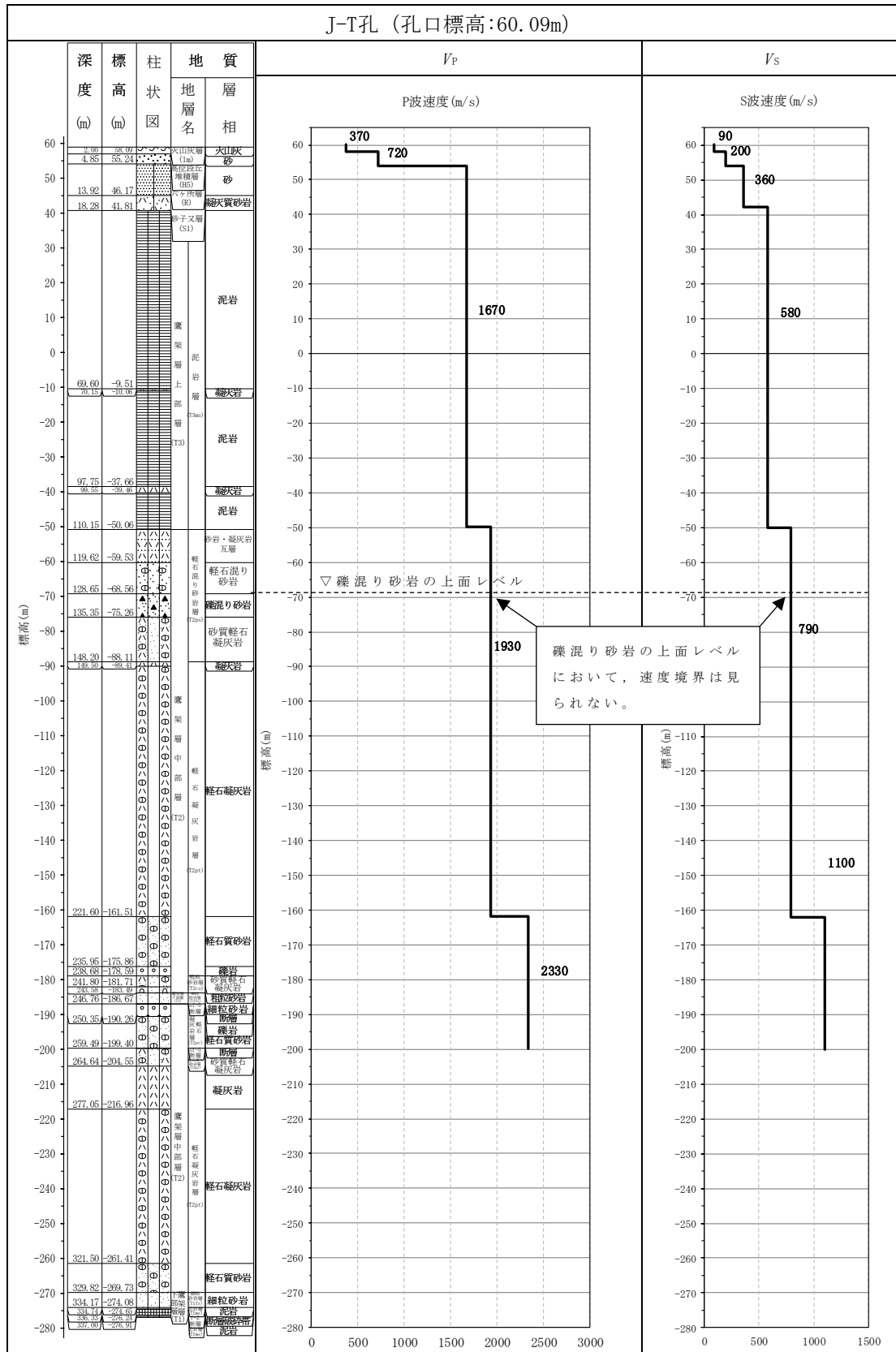
K-T 孔においては, 第 3.12-7 図に示すとおり他の 4 孔 (J-T, J₋₅, J_{-T}, C_{-U}) と異なり, 泥岩 (上部層) の下層に軽石凝灰岩が分布し, 第 3.12-1 図(5/5)の PS 検層結果のとおりその境界レベル (T.M.S.L. -

21.98m)において速度のコントラスト($V_s=590\sim 720\text{m/s}$)が確認できる。

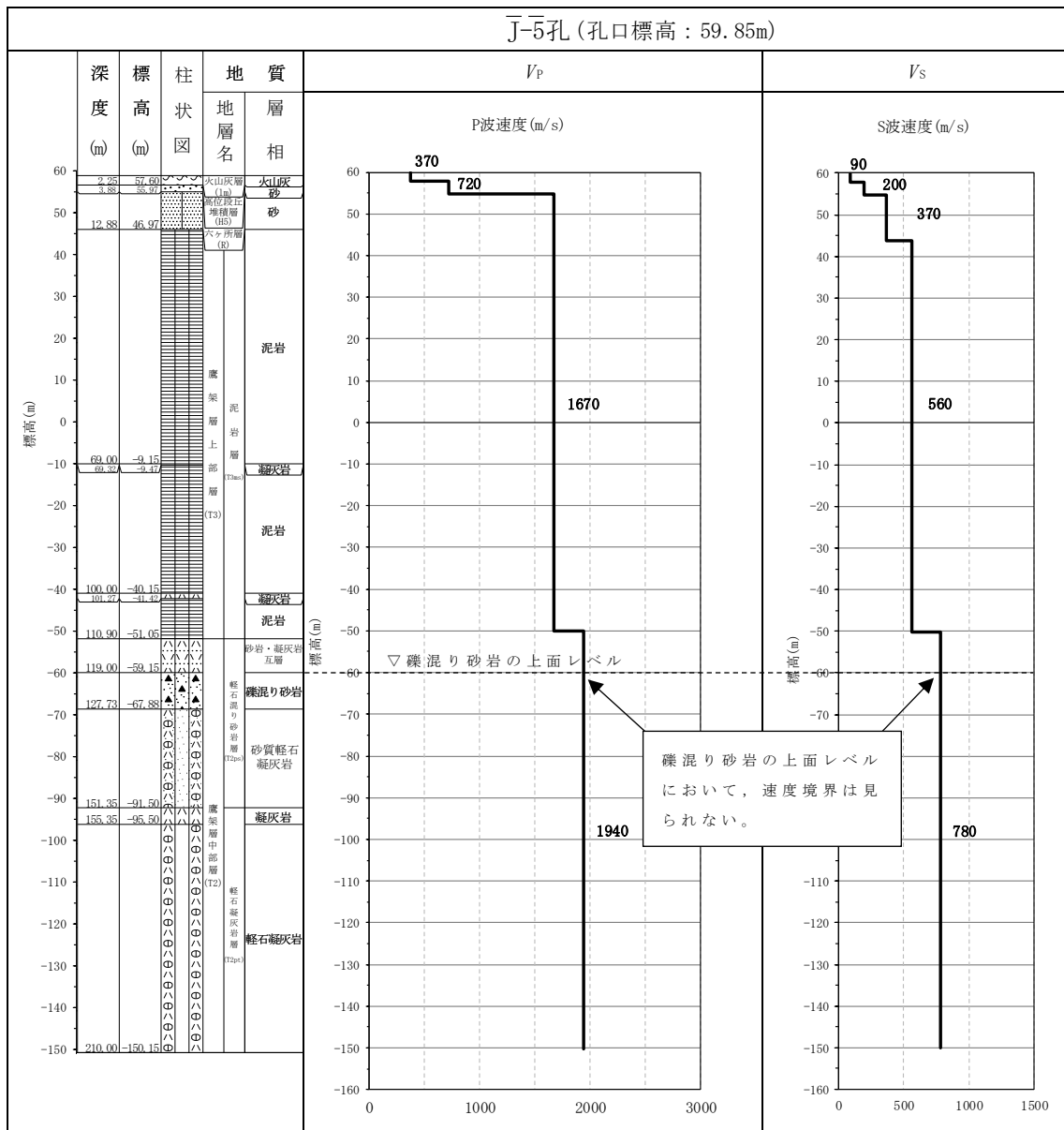
一方、K-T孔以外の孔においては、第3.12-7図に示すとおり軽石凝灰岩の分布は認められず、T.M.S.L.-22m付近においては泥岩(上部層)が分布しており、第3.12-1図(3/5)のPS検層結果のとおりJ-T孔における泥岩(上部層)中で速度のコントラスト($V_s=510\sim 720\text{m/s}$)が確認でき、上記のK-T孔における泥岩(上部層)と軽石凝灰岩の速度のコントラスト($V_s=590\sim 720\text{m/s}$)と同等となっている。

また、第3.12-1図(3/5)並びに第3.12-1図(4/5)のPS検層結果のとおりJ-T孔及びC-U孔における泥岩(上部層)中の速度境界レベルは、T.M.S.L.-15m \sim -30mであり、K-T孔における泥岩(上部層)と軽石凝灰岩の境界レベル(T.M.S.L.-21.98m)と同等の標高になっている。

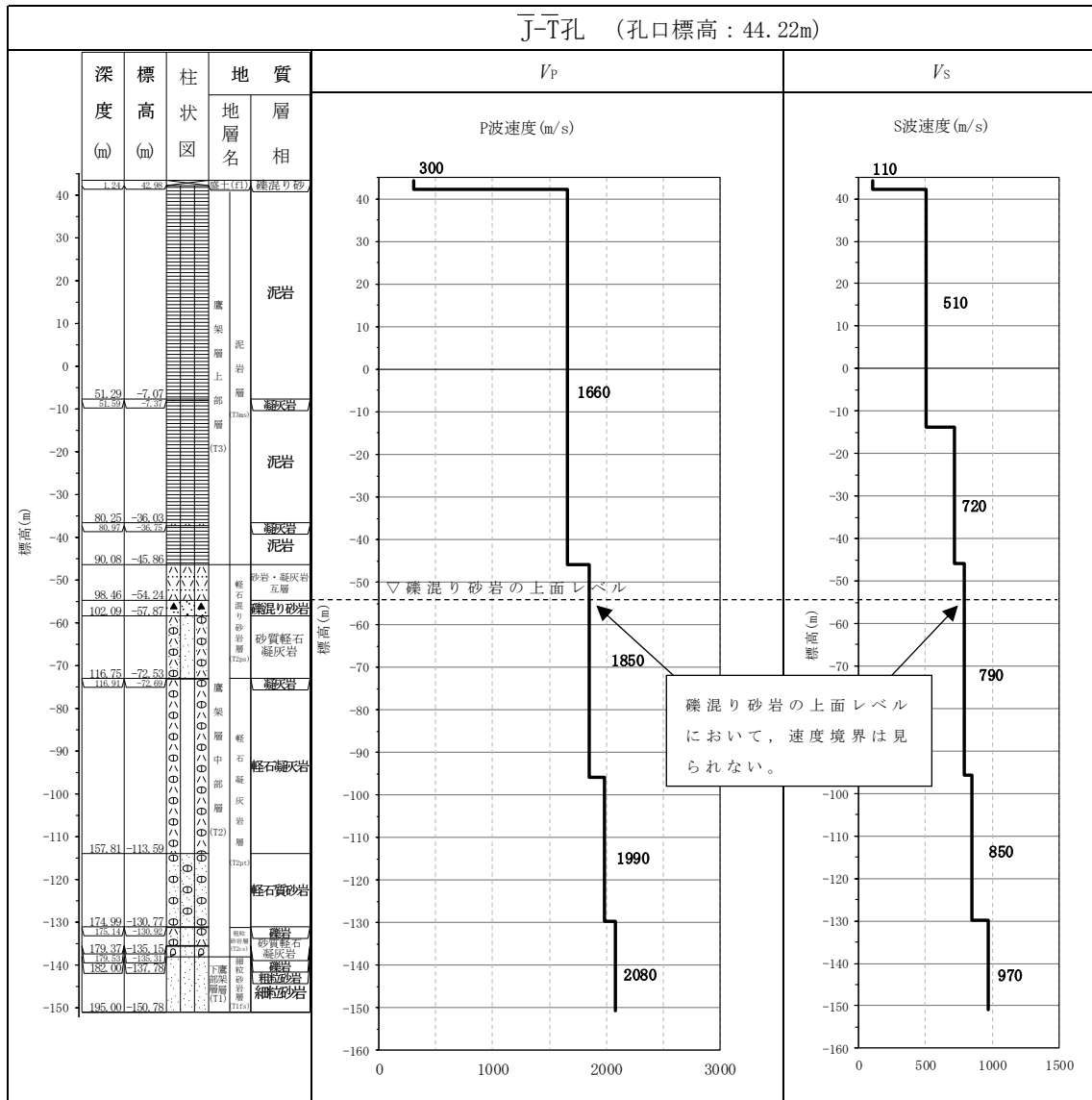
以上を踏まえ速度のコントラスト及び速度境界レベルが同等であることから速度構造としてK-T孔の物性値も含めて平均化することに問題はないと判断し、速度構造については、全ての孔の値を平均して設定した。



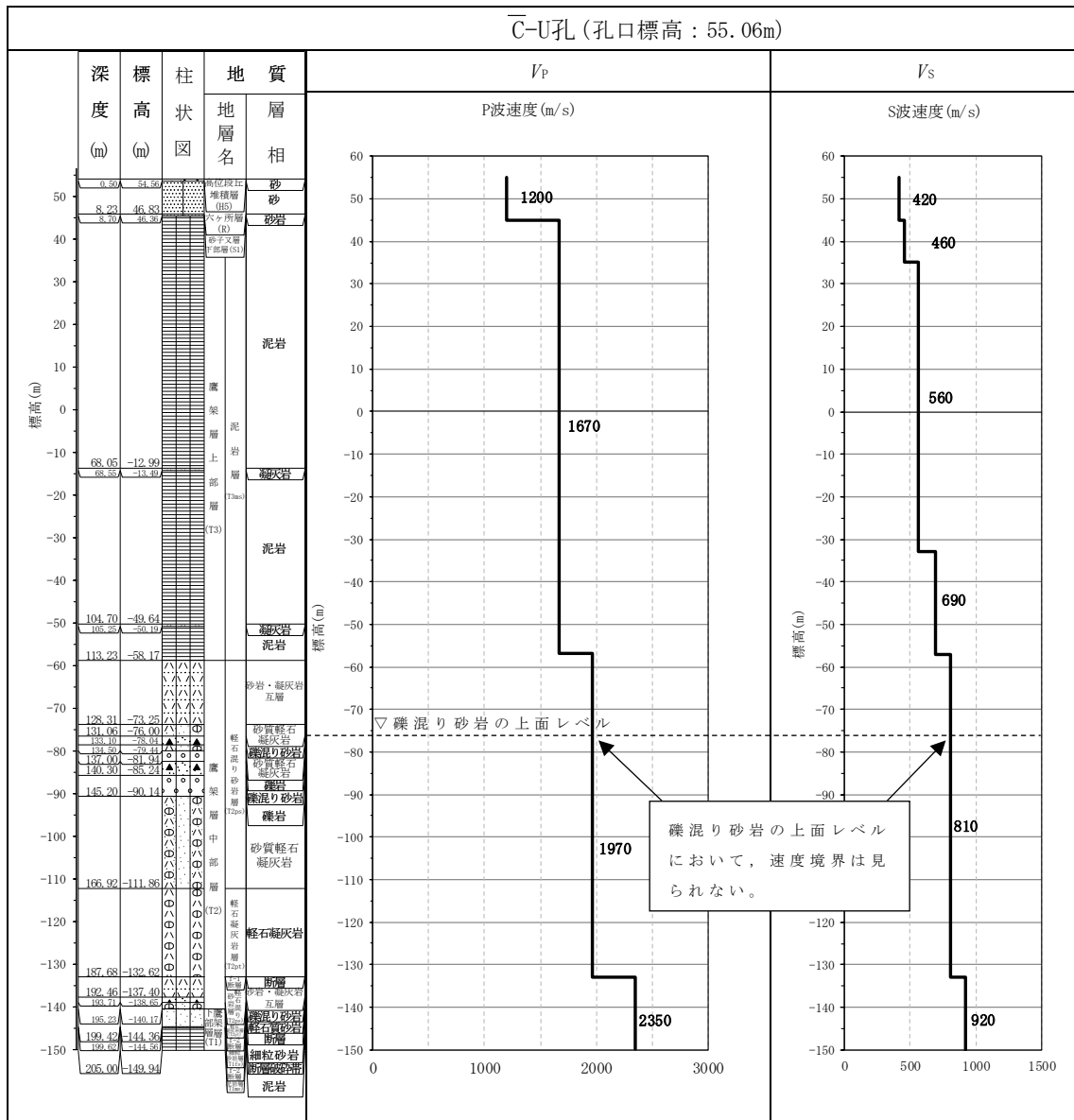
第 3.12-1 図 PS 検層結果 (E 施設周辺) (1/5)



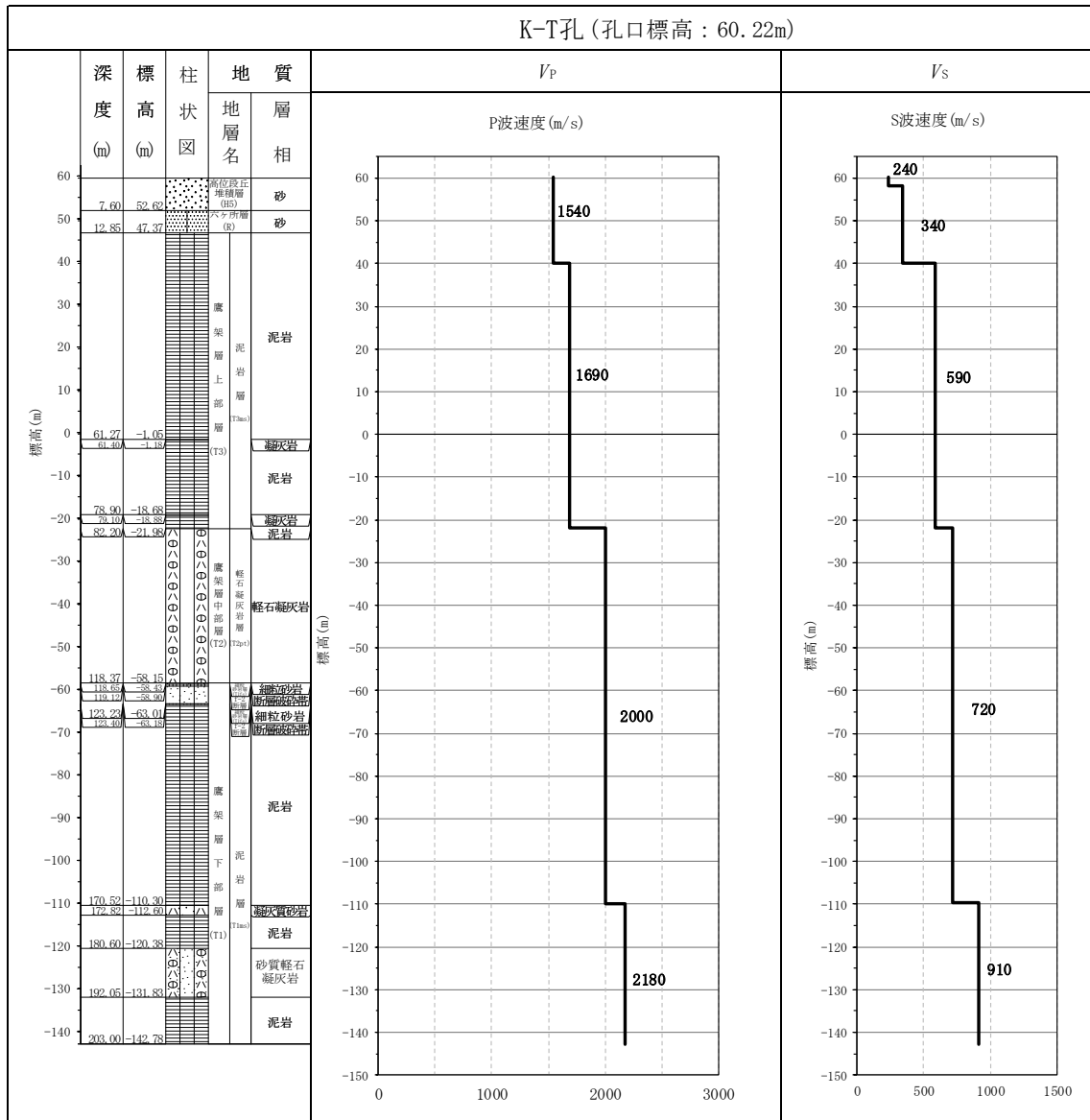
第 3.12-1 図 PS 検層結果 (E 施設周辺) (2/5)



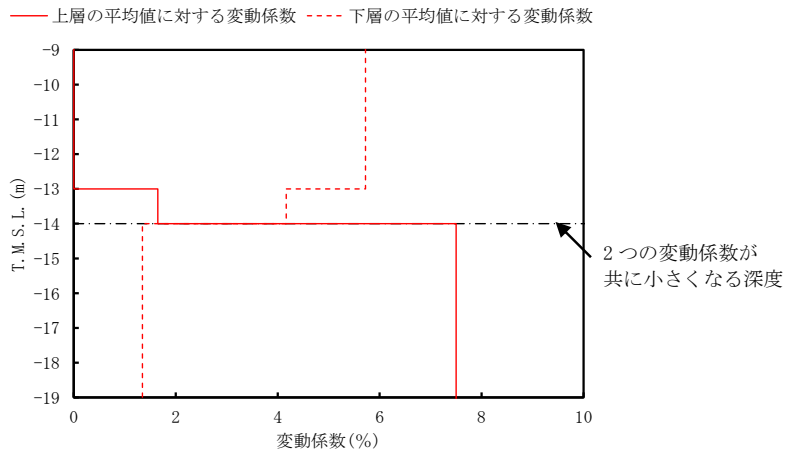
第 3.12-1 図 PS 検層結果 (E 施設周辺) (3/5)



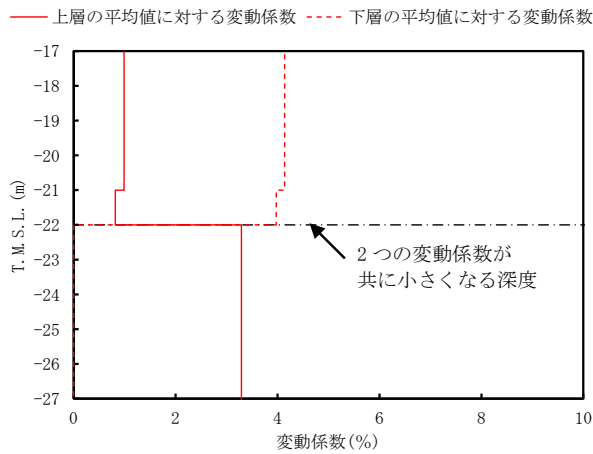
第 3.12-1 図 PS 検層結果 (E 施設周辺) (4/5)



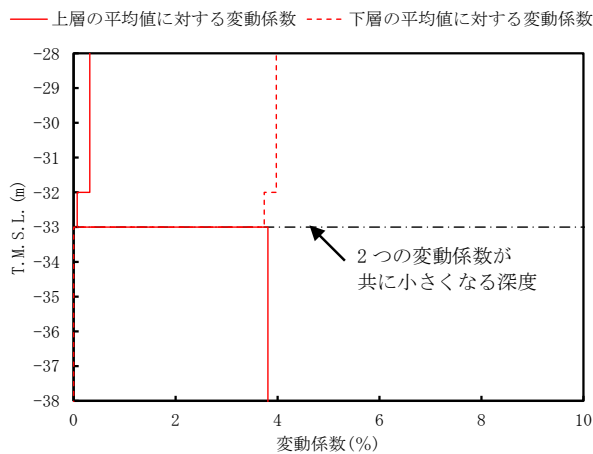
第 3.12-1 図 PS 檢層結果 (E 施設周辺) (5/5)



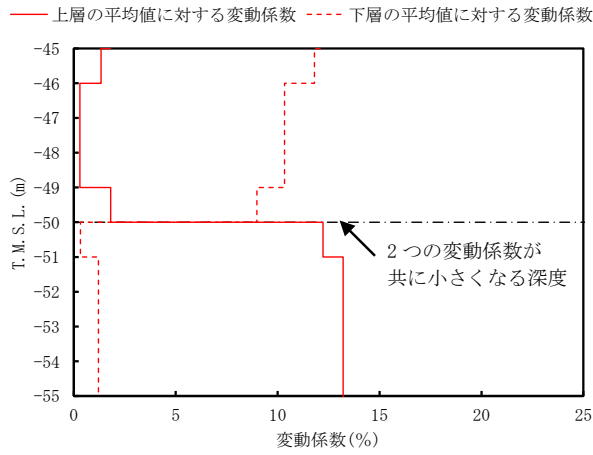
第 3.12-2 図 S 波速度の変動係数の分布 (T.M.S.L. -14m 付近)



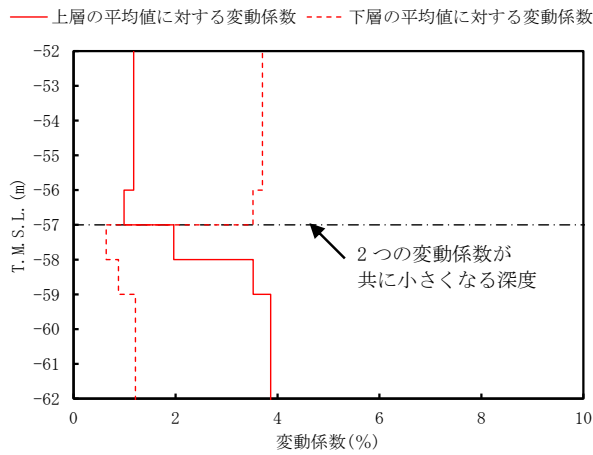
第 3.12-3 図 S 波速度の変動係数の分布 (T.M.S.L. -22m 付近)



第 3.12-4 図 S 波速度の変動係数の分布 (T.M.S.L. -33m 付近)

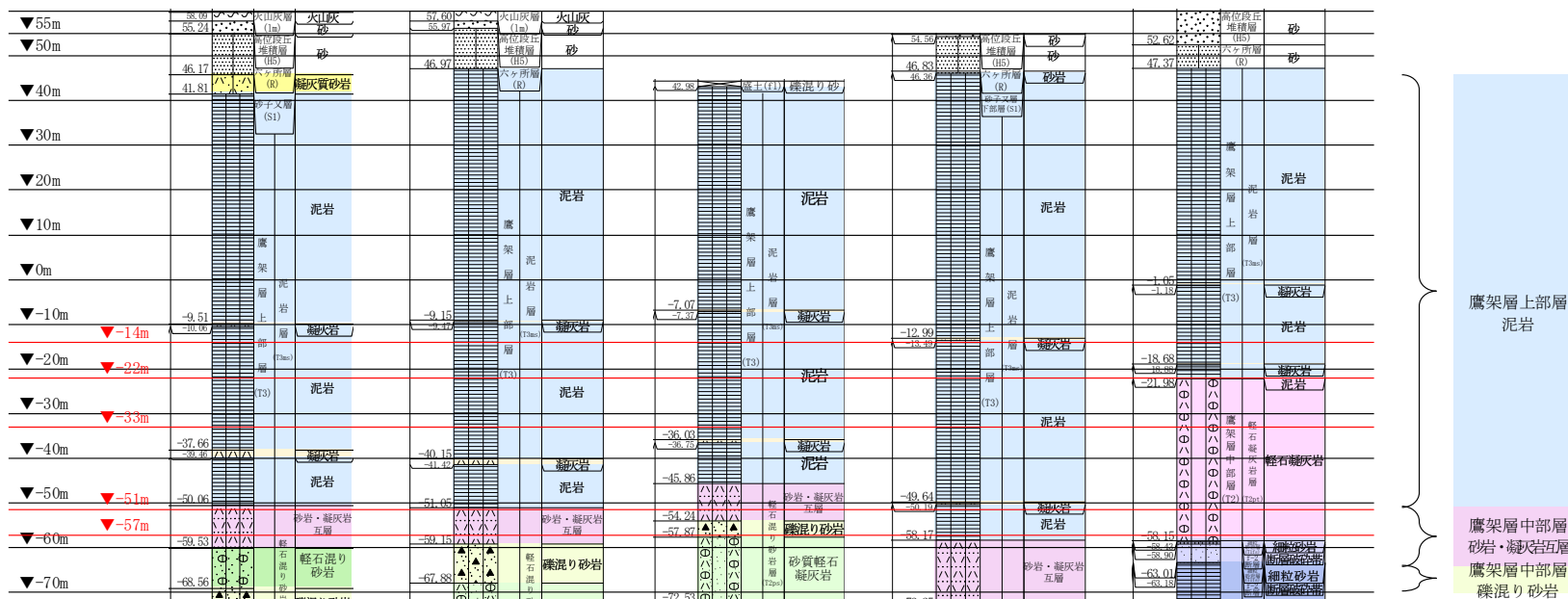


第 3.12-5 図 S 波速度の変動係数の分布 (T.M.S.L. -50m 付近)



第 3.12-6 図 S 波速度の変動係数の分布 (T.M.S.L. -57m 付近)

T. M. S. L. (m) 孔名: J-T 59.85 J_-5_ 44.22 J_-T_ 55.06 C_-U 60.22 K-T



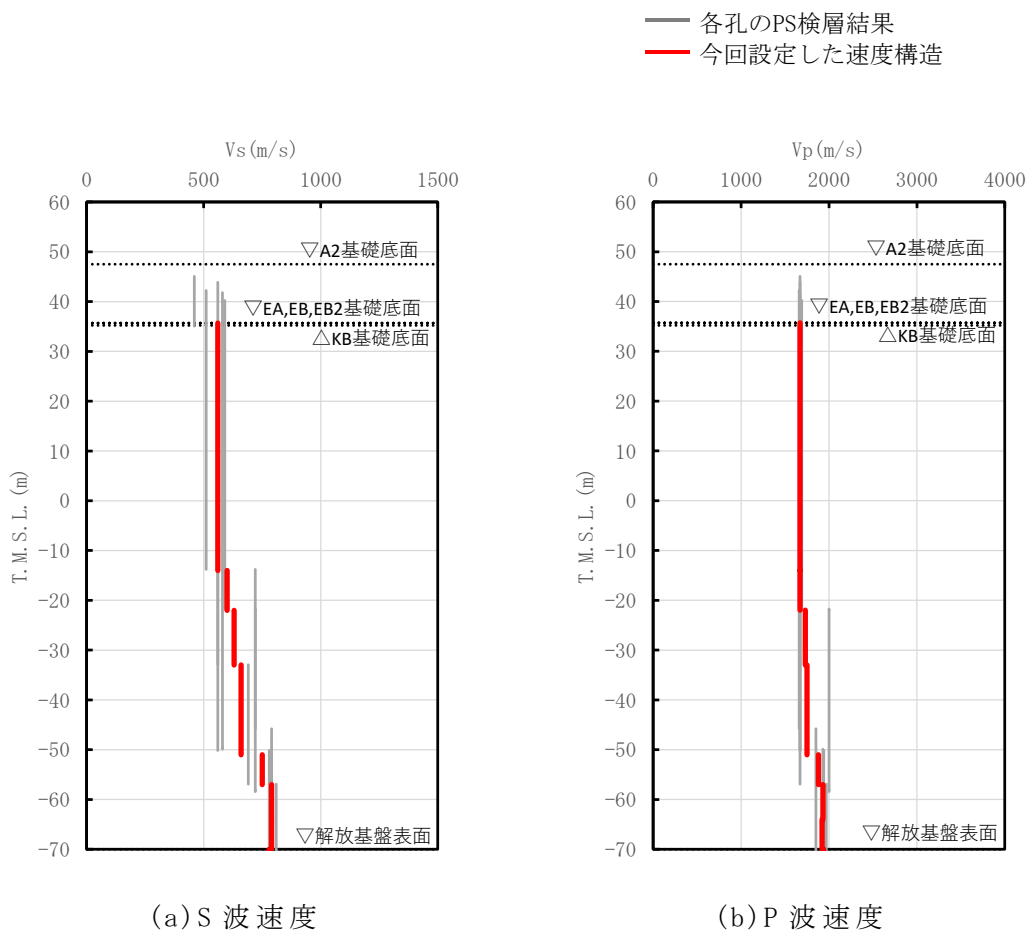
J-T 孔は、T. M. S. L. -68.56m において、礫混り砂岩の上面レベルが確認される。
(第 3.12-1 図 (1/5) より)

C-U 孔は、T. M. S. L. -76.00m において、礫混り砂岩の上面レベルが確認される。
(第 3.12-1 図 (4/5) より)

注記 : 赤線は速度境界レベルを示す。

岩盤の最上面レベル = $(46.17 \text{ m} + 46.97 \text{ m} + 42.98 \text{ m} + 46.36 \text{ m} + 47.37 \text{ m}) / 5 = 45.97 \text{ m} \approx 46 \text{ m}$
 砂岩・凝灰岩互層の上面レベル平均高さ = $((-50.06 \text{ m}) + (-51.05 \text{ m}) + (-45.86 \text{ m}) + (-58.17 \text{ m})) / 4 = -51.29 \text{ m} \approx -51 \text{ m}$
 礫混り砂岩の上面レベル平均高さ = $((-68.56 \text{ m}) + (-59.15 \text{ m}) + (-54.24 \text{ m}) + (-76.00 \text{ m})) / 4 = -64.49 \text{ m} \approx -64 \text{ m}$

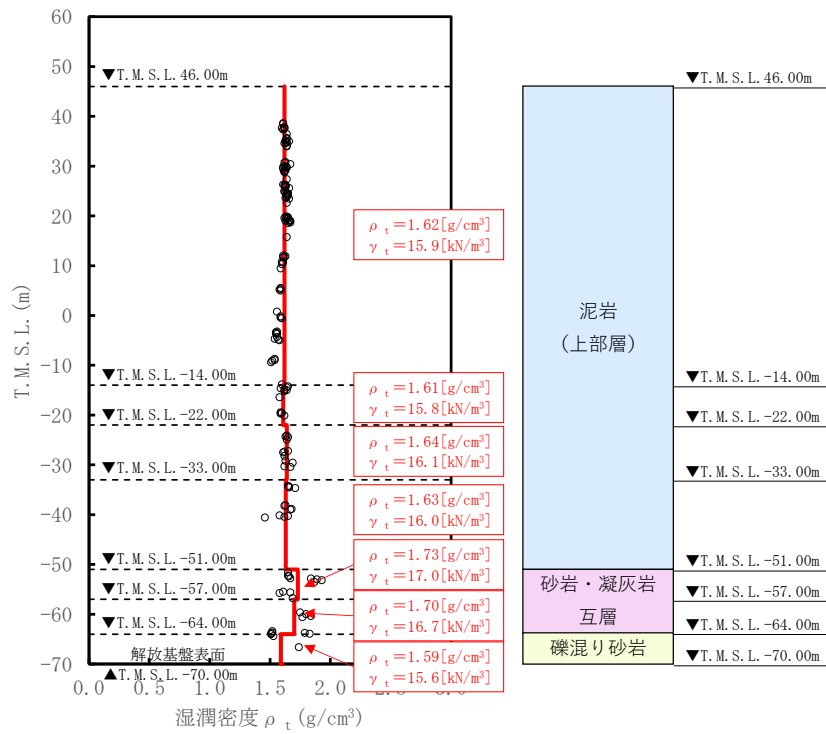
第 3.12-7 図 PS 検層孔の地質柱状図



第 3.12-8 図 E 施設周辺の速度構造と PS 検層結果の比較

(2) 単位体積重量の設定

単位体積重量は、第 3.12-9 図に示すとおり、速度構造の設定に用いた PS 検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき、各岩種ごとに平均値を設定した。



注記 : 赤実線及び赤字は地盤モデルに設定した値を示す。

γ_t は ρ_t に重力加速度 ($g=9.80665\text{m/s}^2$) を乗じた値を設定する。

第 3.12-9 図 単位体積重量の設定結果

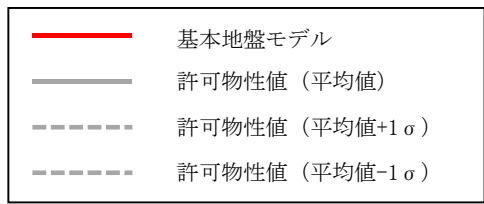
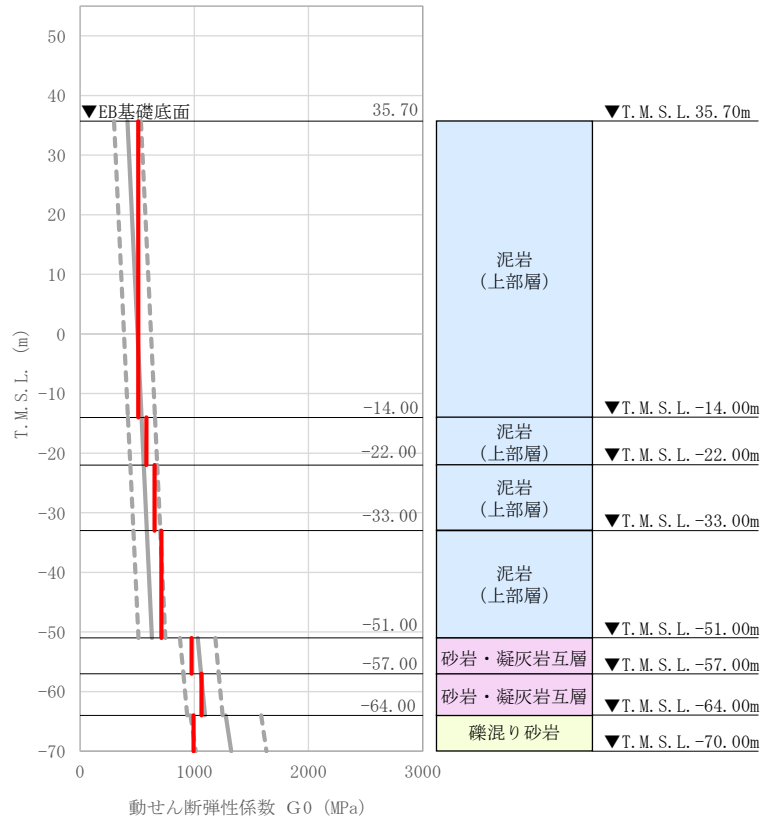
(3) 地盤物性値の設定結果

E 施設周辺の直下又は近傍の PS 検層結果に基づいて設定した物性値を第 3.12-1 表に示す。

また、上記で設定した物性値について、事業変更許可申請書に示す許可物性値との比較を第 3.12-10 図に示す。設定した物性値が許可物性値と整合していることが確認できる。

第 3.12-1 表 E 施設周辺の直下又は近傍の PS 検層結果に基づく物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	S 波速度 V_s (m/s)	P 波速度 V_p (m/s)
▽A2基礎底面 47.50				
▽EA, EB, EB2基礎底面 35.70				
▽KB基礎底面 35.20		15.9	560	1670
-14.00	泥岩 (上部層)	15.8	600	1670
-22.00		16.1	630	1730
-33.00		16.0	660	1750
-51.00		17.0	750	1880
-57.00	砂岩・凝灰岩 互層	16.7	790	1930
-64.00		15.6	790	1920
▽解放基盤表面 -70.00	礫混り砂岩	15.6	790	1920
	—	15.6	790	1920



注記 : 赤実線は地盤モデルに設定した値から求まるせん断弾性係数を示す。

第 3.12-10 図 せん断弾性係数の設定結果

4.まとめ

本資料においては、一般的・標準的な手法による岩盤部分の物性値等を設定した。

今後、基本地盤モデルの設定にあたっては、上記の設定結果を用いる。

参考 1

直下において PS 検層が実施されていない建物・構築
物直下又は近傍の地質調査データ及び
岩盤部類図との比較

目 次

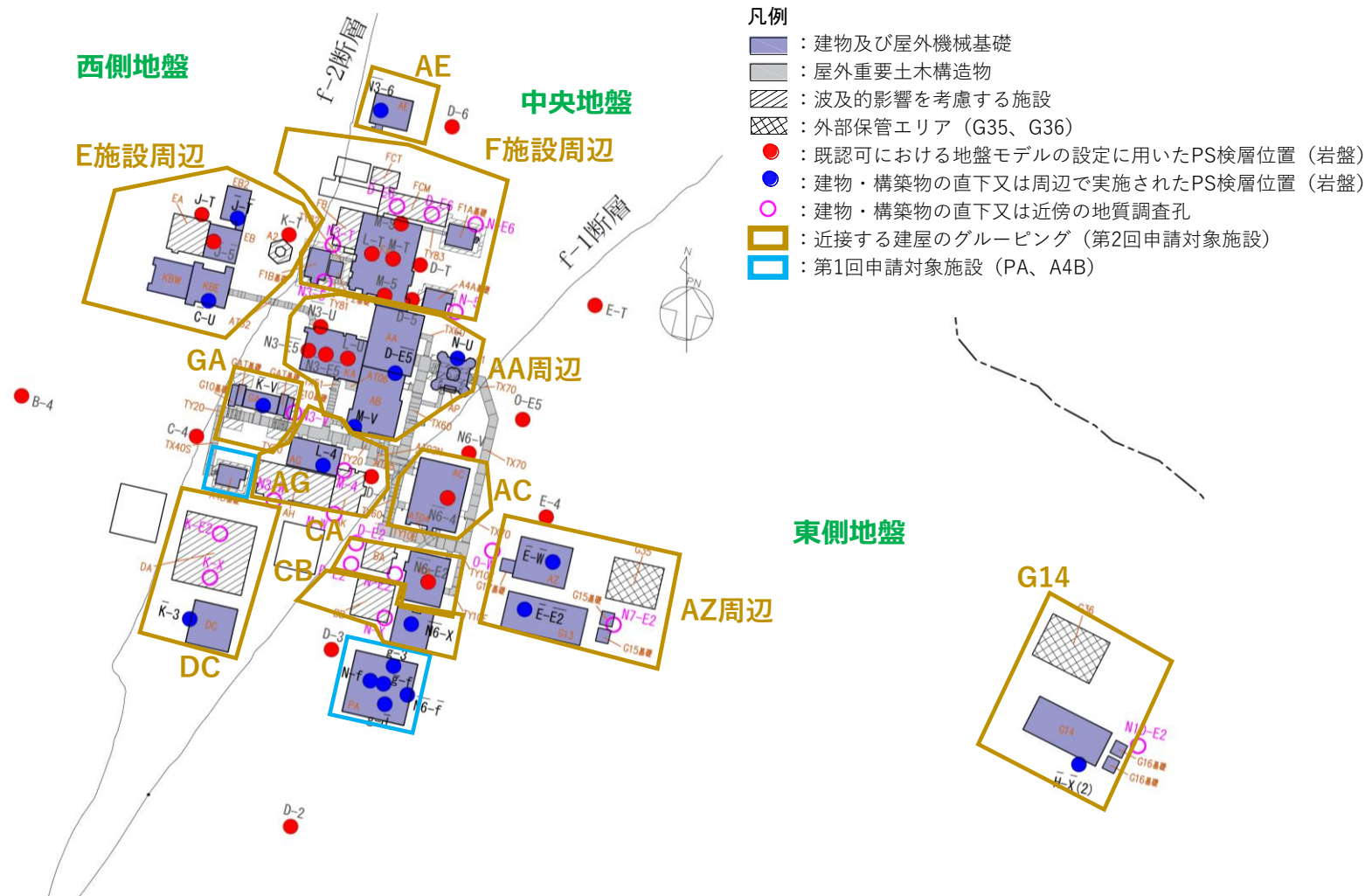
	ページ
1. 概要	1
2. 地質柱状図	1
3. 地質柱状図と岩盤分類図との比較	7

1. 概要

直下において PS 検層が実施されていない建物・構築物直下又は近傍の地質調査データと岩盤部類図との比較を示す。

2. 地質柱状図

敷地内で得られたボーリング孔位置を図 2-1 に示す。また，建物・構築物に対応する直下又は近傍の地質柱状図を図 2-2 に示す。



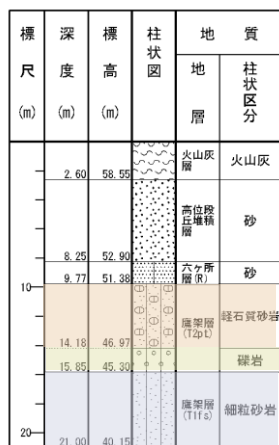
第 2-1 図 地質柱状図の配置とグルーピング

参考 1-2

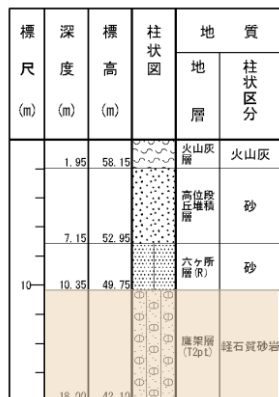
F施設周辺グループ

FCM建屋	F1A基礎	FB建屋	F1B基礎, F2基礎	A4A基礎
-------	-------	------	-------------	-------

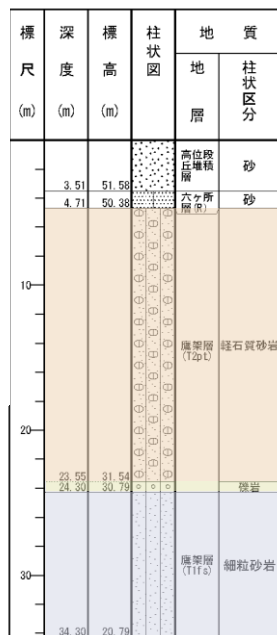
D_-E6孔



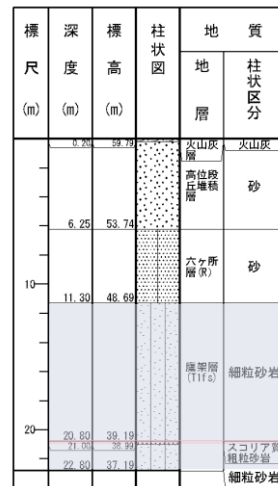
D-E6孔



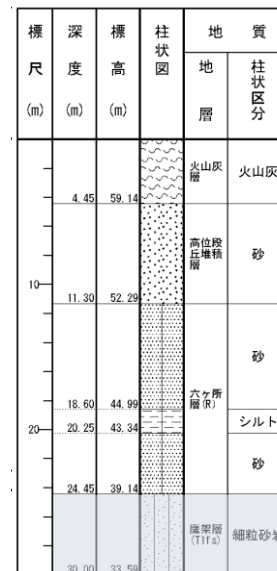
N-E6孔



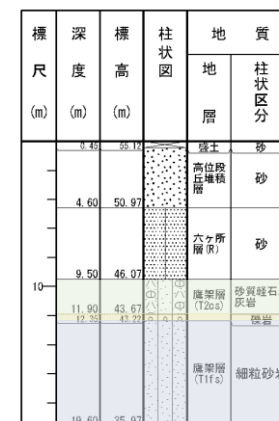
N3-T孔



N3-5孔



N-5孔



第2-2図 地質柱状図 (1/4)

参考 1-3

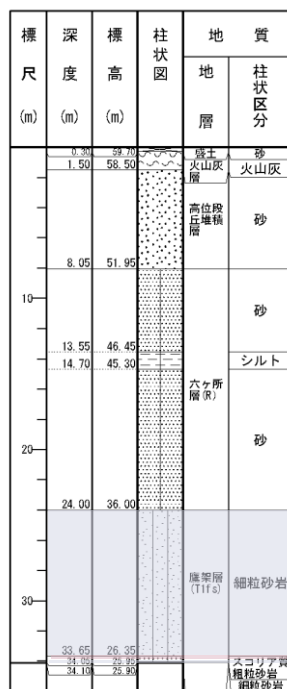
AGグループ

AH建屋	AK建屋
------	------

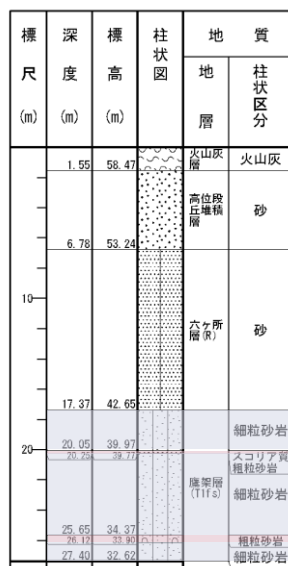
GAグループ

G10基礎

N3-W孔



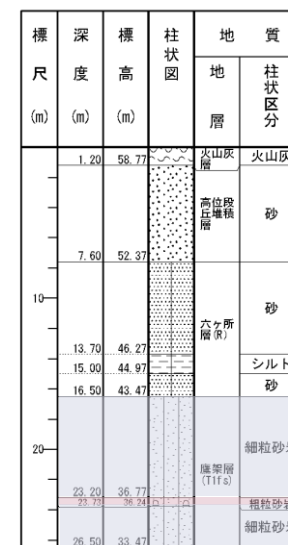
M-4孔



M-W孔



N3-V孔



第2-2図 地質柱状図 (2/4)

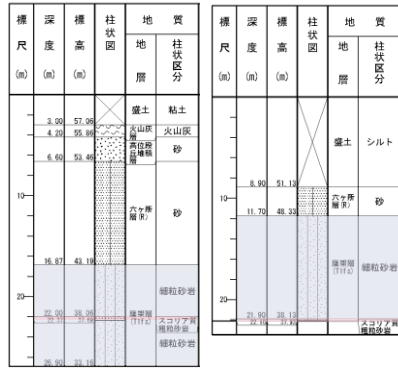
参考 1-4

DCグループ

DA建屋

K-E2孔

K-X孔



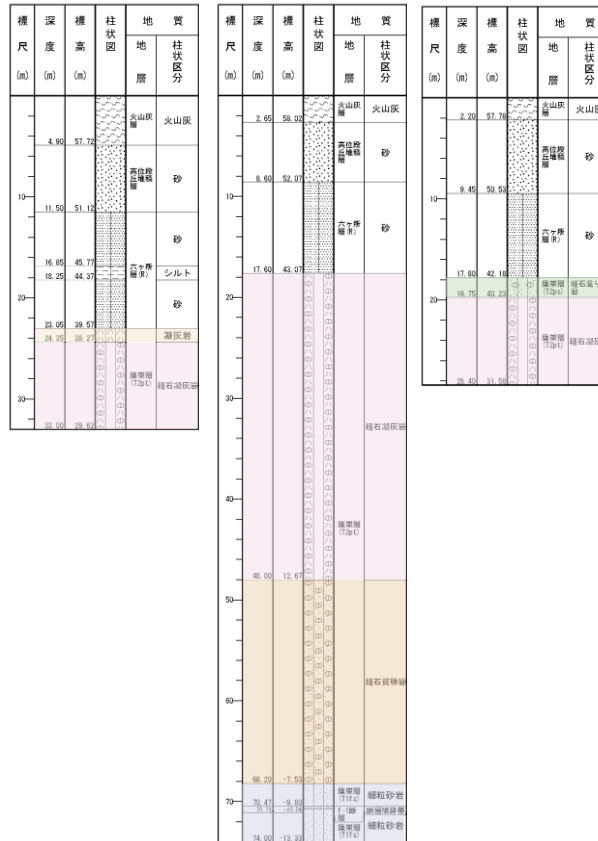
CAグループ

BA建屋

D-E2孔

D-E2_孔

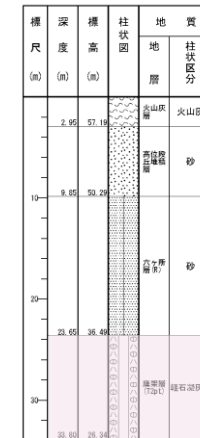
N-E2孔



CBグループ

BB建屋

N-X孔



第2-2図 地質柱状図 (3/4)

AZ周辺グループ

G14グループ

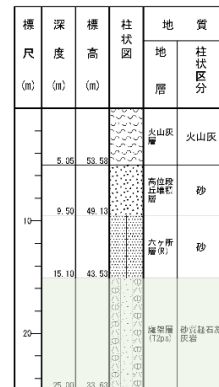
G15基礎	G17基礎
-------	-------

G16基礎

N7-E2孔

O-W孔

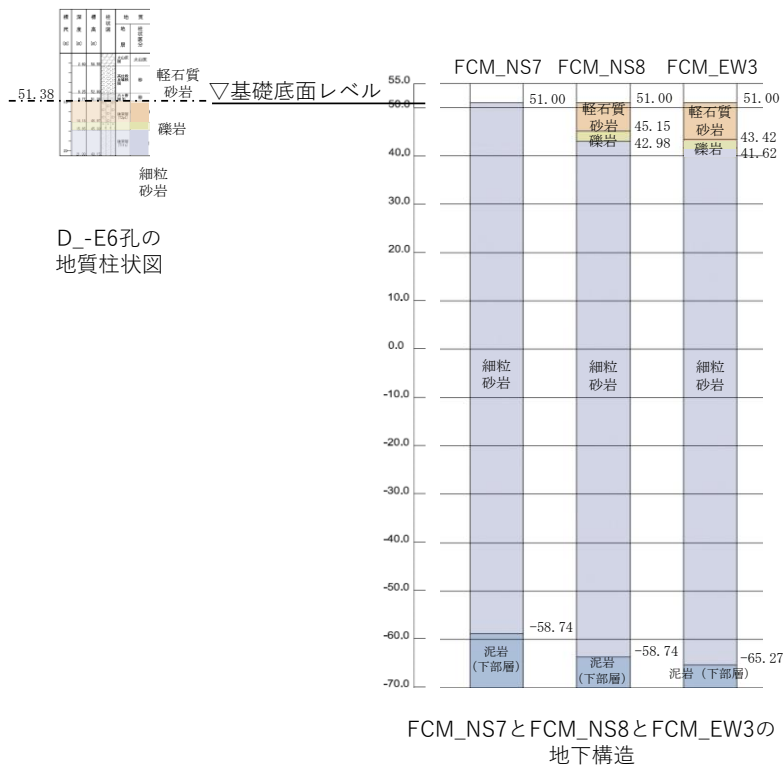
N10-E2孔



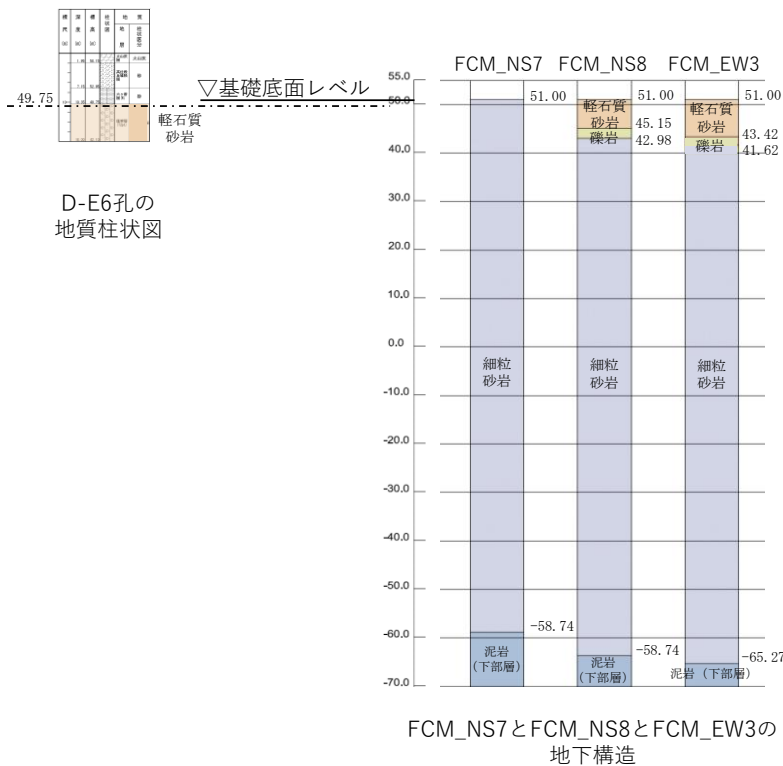
第 2-2 図 地質柱状図 (4/4)

3. 地質柱状図と岩盤分類図との比較

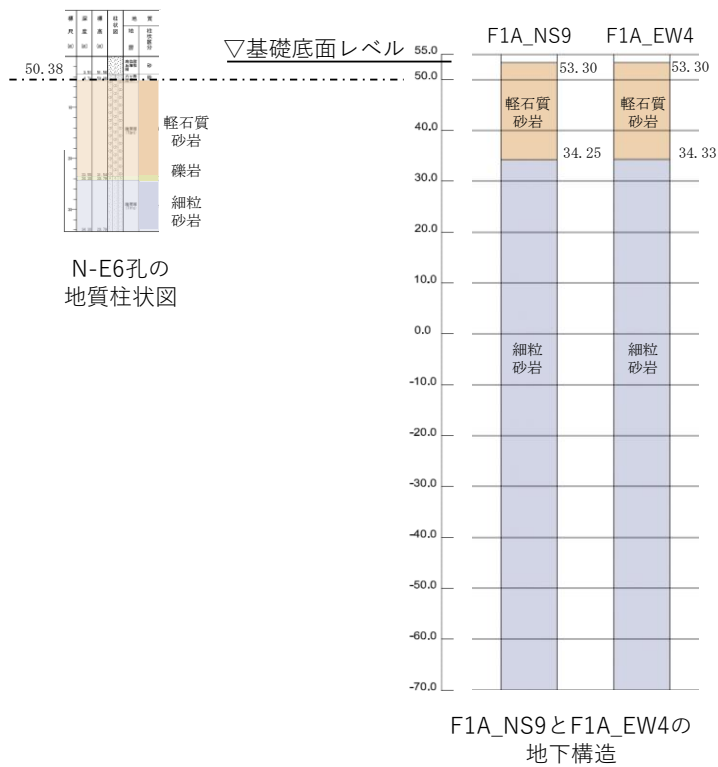
建物・構築物に対応する直下又は近傍の地質柱状図と岩盤分類図との比較を図 3-1～図 3-20 に示す。



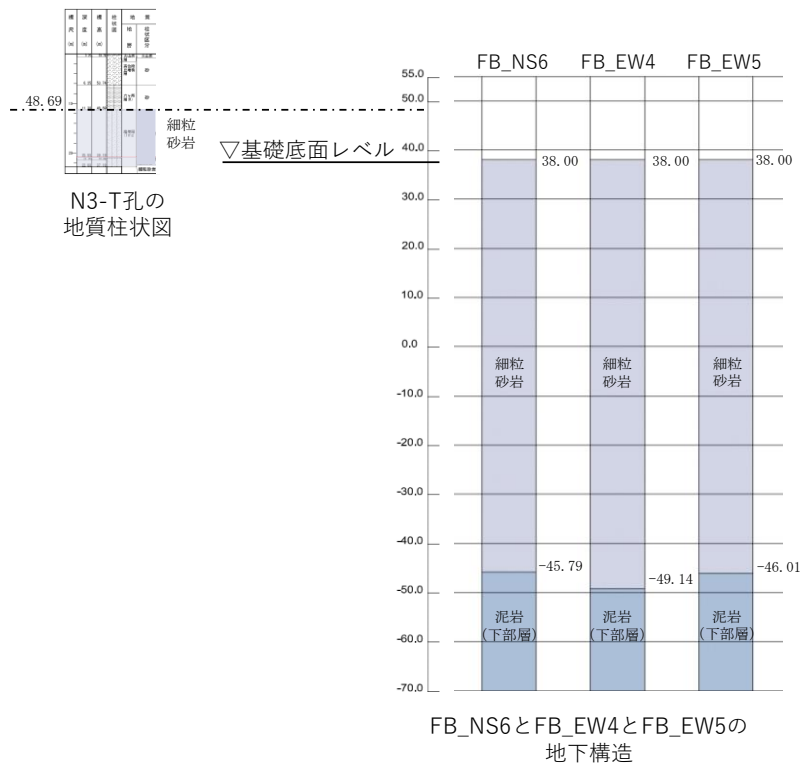
第 3-1 図 D_-E6 孔及び FCM 直下の地下構造の対応



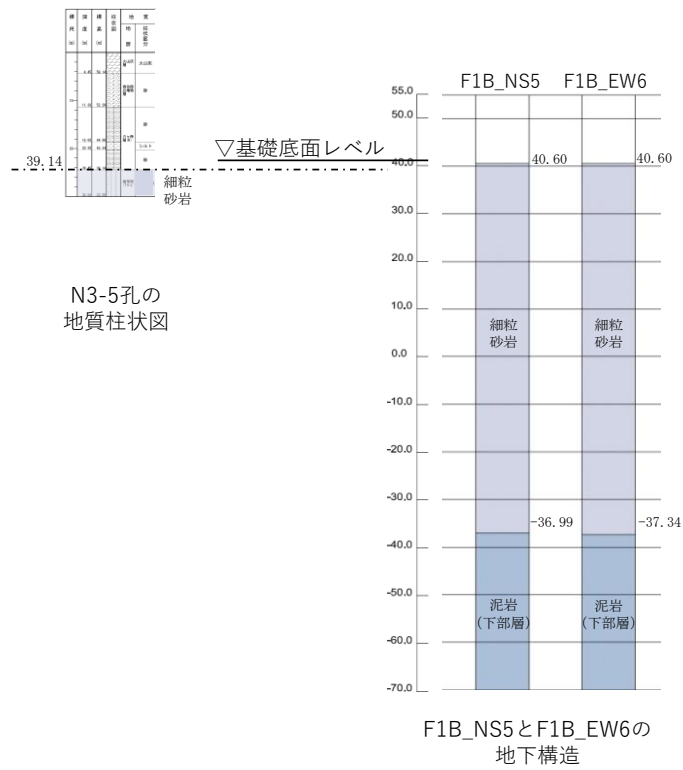
第 3-2 図 D-E6 及び FCM 直下の地下構造及び速度構造の対応



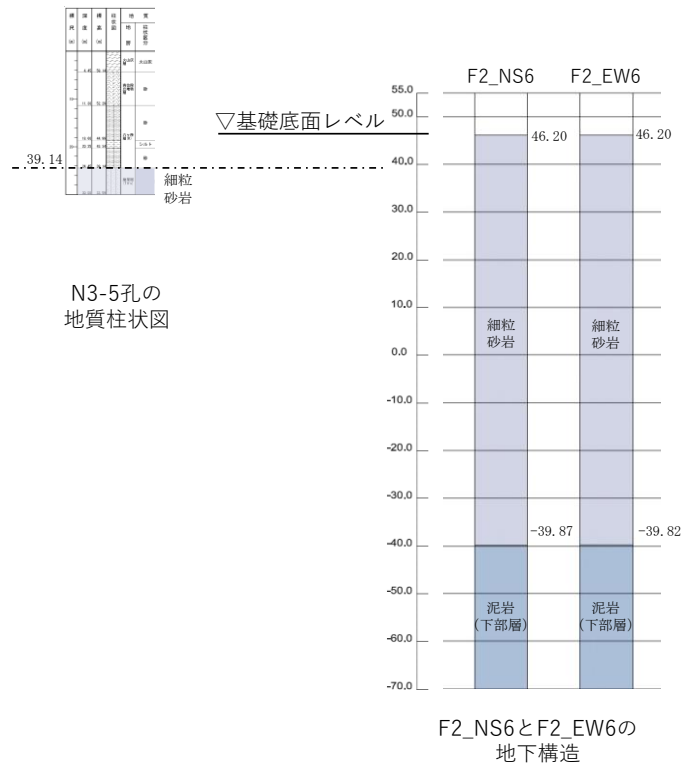
第 3-3 図 N-E6 孔及び F1A 直下の地下構造の対応



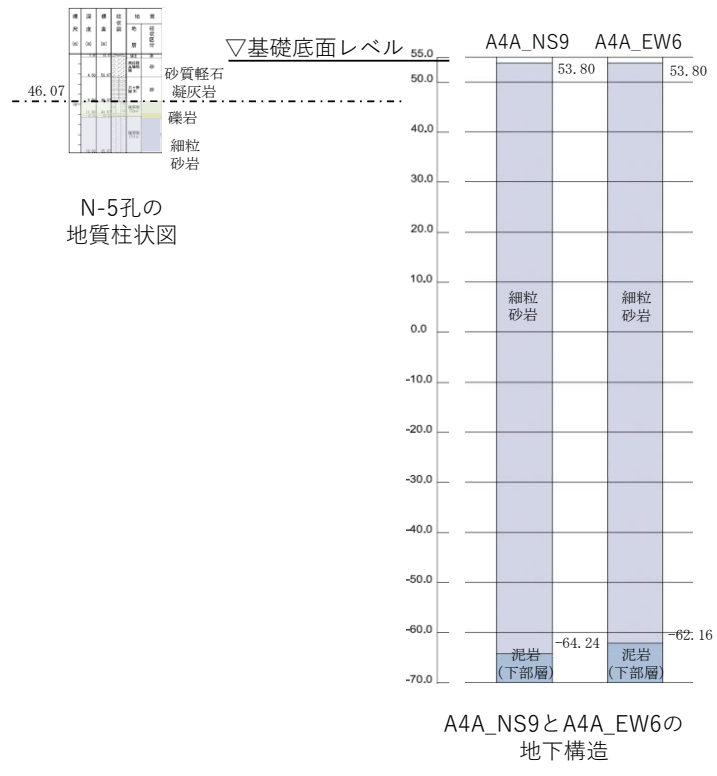
第 3-4 図 N3-T 及び FB 直下の地下構造及び速度構造の対応



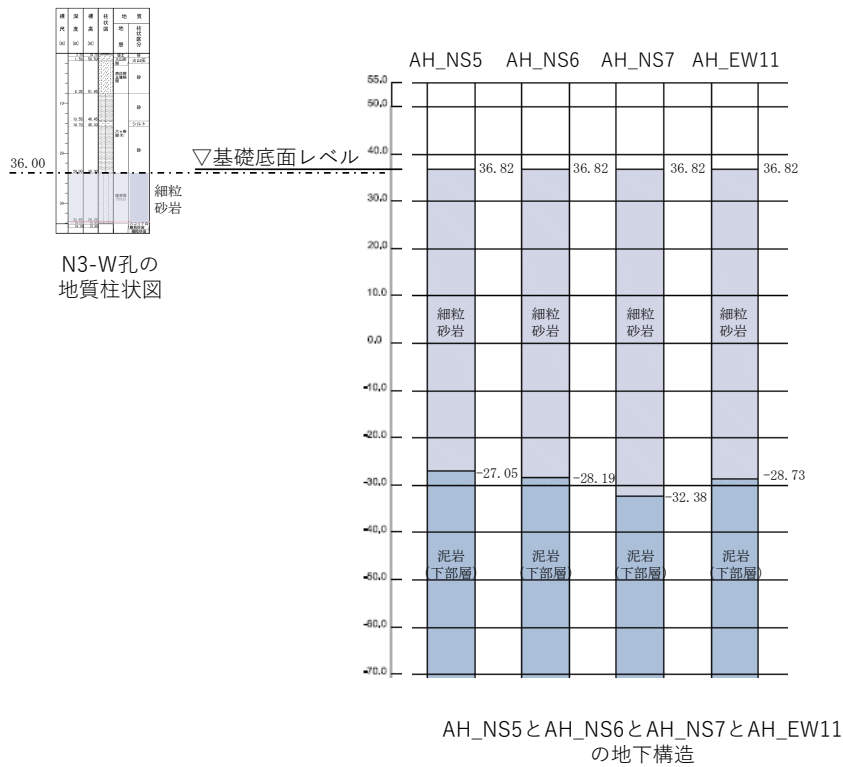
第 3-5 図 N3-5 孔及び F1B 直下の地下構造の対応



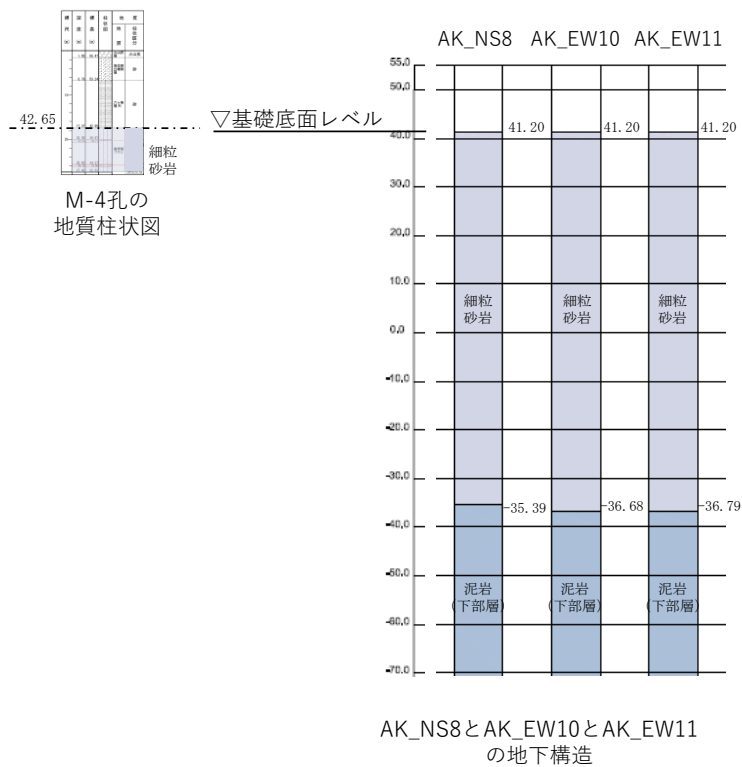
第 3-6 図 N3-5 及び F2 直下の地下構造及び速度構造の対応



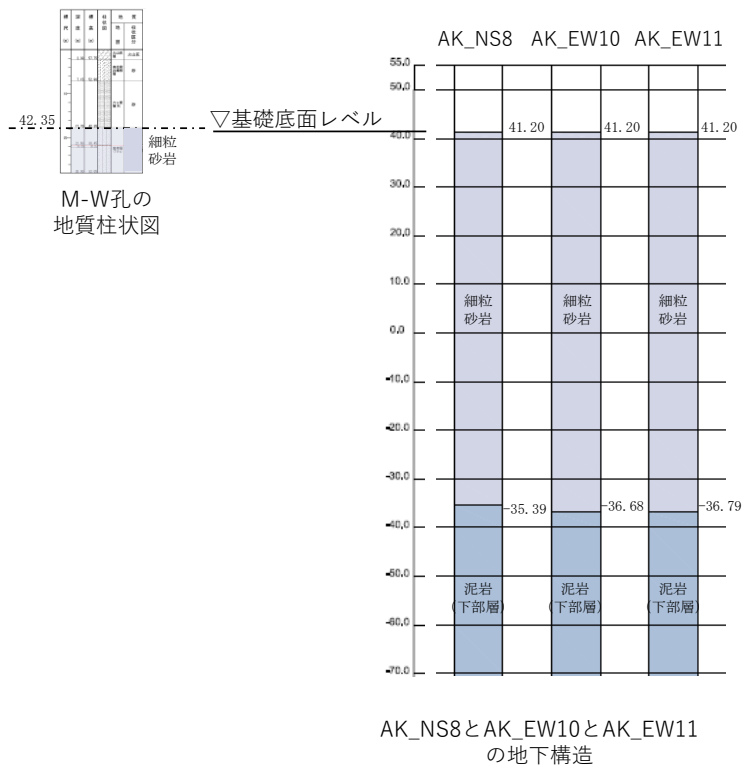
第 3-7 図 N-5 孔及び A4A 直下の地下構造の対応



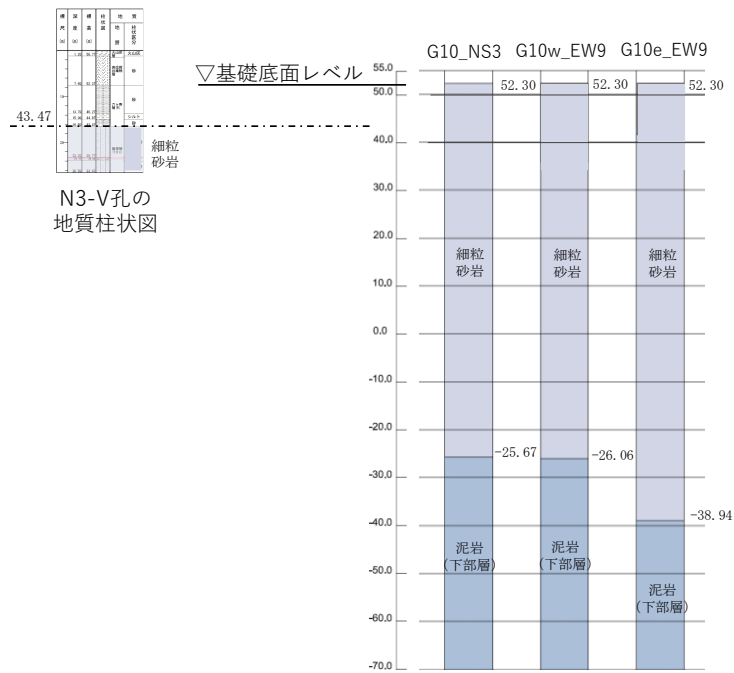
第 3-8 図 N3-W 孔及び AH 直下の地下構造の対応



第3-9図 M-4孔及びAK直下の地下構造の対応

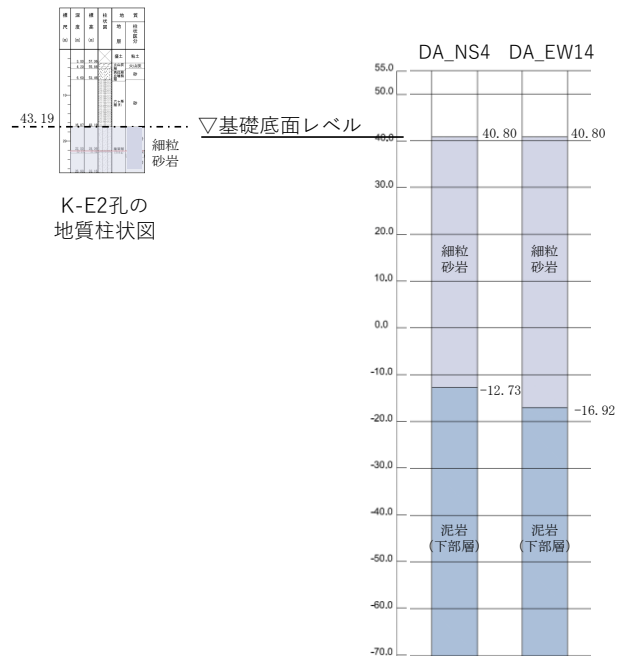


第3-10図 M-W孔及びAK直下の地下構造の対応



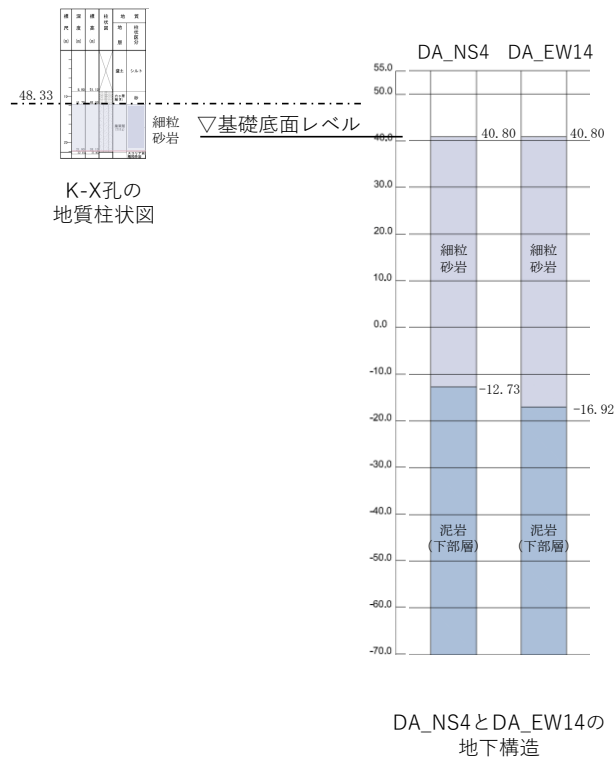
G10_Ns3とG10w_EW9とG10e_EW9の地下構造

第 3-11 図 N3-V 孔及び G10 直下の地下構造の対応

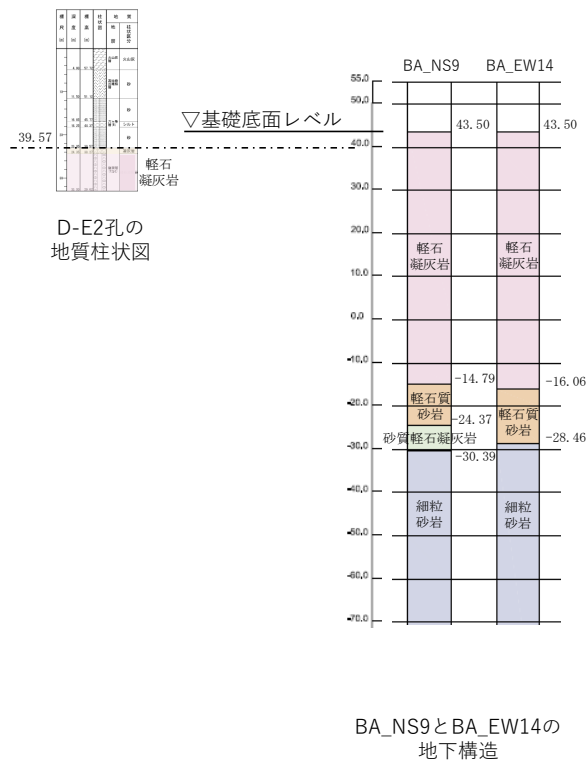


DA_Ns4とDA_EW14の地下構造

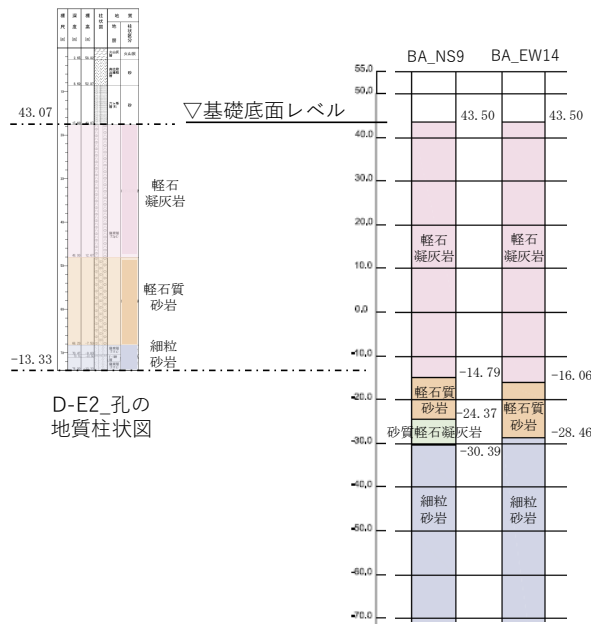
第 3-12 図 K-E2 孔及び DA 直下の地下構造の対応



第 3-13 図 K-X 孔及び DA 直下の地下構造の対応



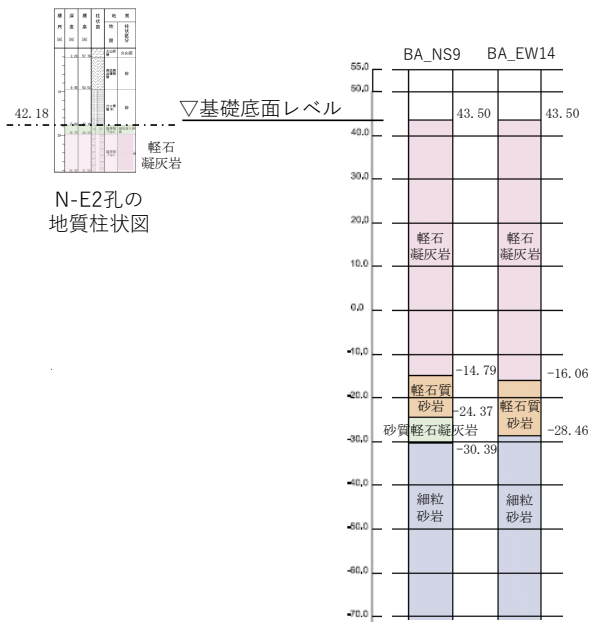
第 3-14 図 D-E2 孔及び BA 直下の地下構造の対応



D-E2 孔の地質柱状図

BA_NS9とBA_EW14の地下構造

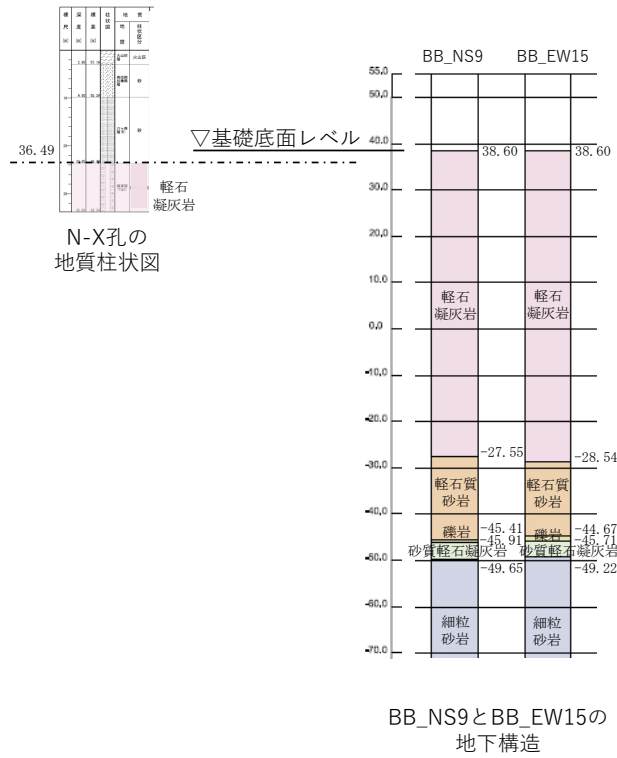
第 3-15 図 D-E2_孔及び BA 直下の地下構造の対応



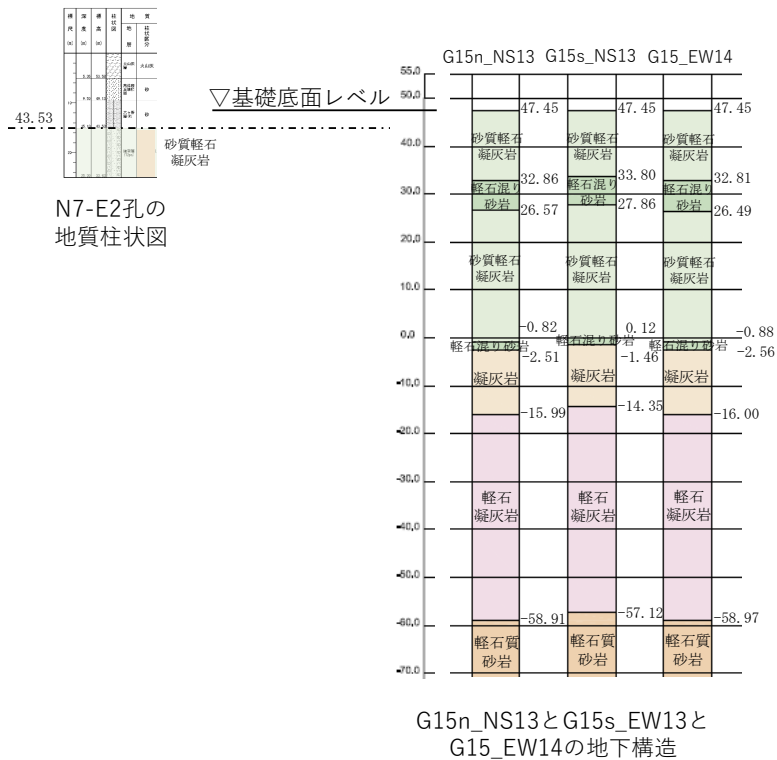
N-E2 孔の地質柱状図

BA_NS9とBA_EW14の地下構造

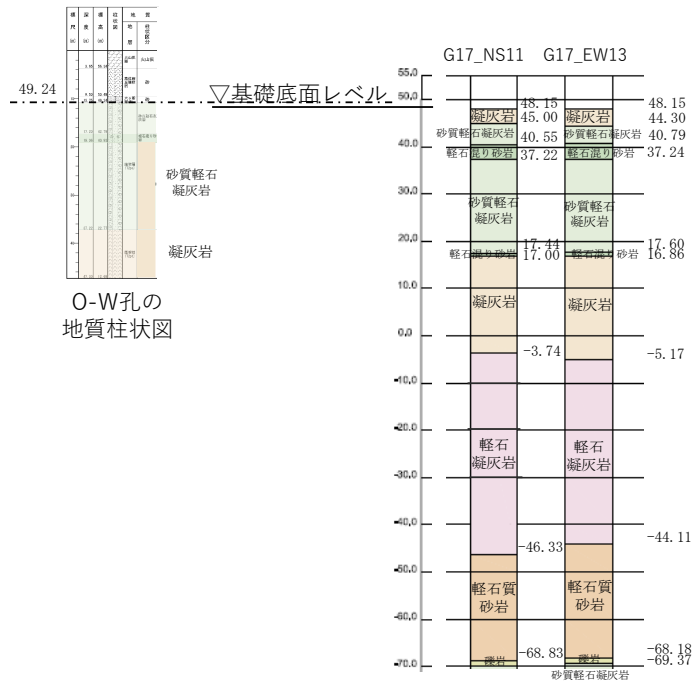
第 3-16 図 N-E2 孔及び BA 直下の地下構造の対応



第 3-17 図 N-X 孔及び BB 直下の地下構造の対応

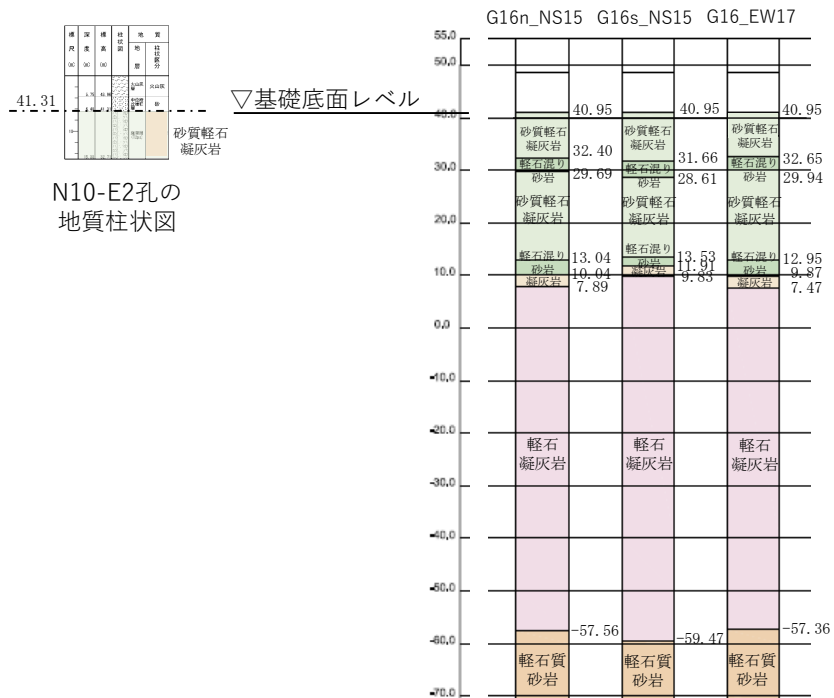


第 3-18 図 N7-E2 孔及び G15 直下の地下構造の対応



G17_NS11とG17_EW13の地下構造

第3-19図 O-W孔及びG17直下の地下構造の対応



G16n_NS15とG16s_NS15とG16_EW17地下構造

第3-20図 N10-E2孔及びG16直下の地下構造の対応

参考 2

速度境界レベルが地盤の固有周期へ与える影響

目 次

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

1. 概要

直下に PS 検層結果のない建物・構築物において、直下の岩盤に見られる速度境界レベルの変化が、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に与える影響を確認する。

2. 地盤の固有周期の検討

2.1 速度構造の設定方法

別紙 2-1 本文にて設定した各グループの PS 検層結果に基づいて設定した物性値及び建物・構築物直下の地下構造に基づき、直下に PS 検層結果のない建物・構築物の位置における速度構造を設定する。その際、地盤物性値において同一の岩種に速度境界を設定しているレベルについては、同一のレベルに速度境界を設定する。また、岩種境界レベルに速度境界を設定している場合は、建物・構築物直下の地下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。

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

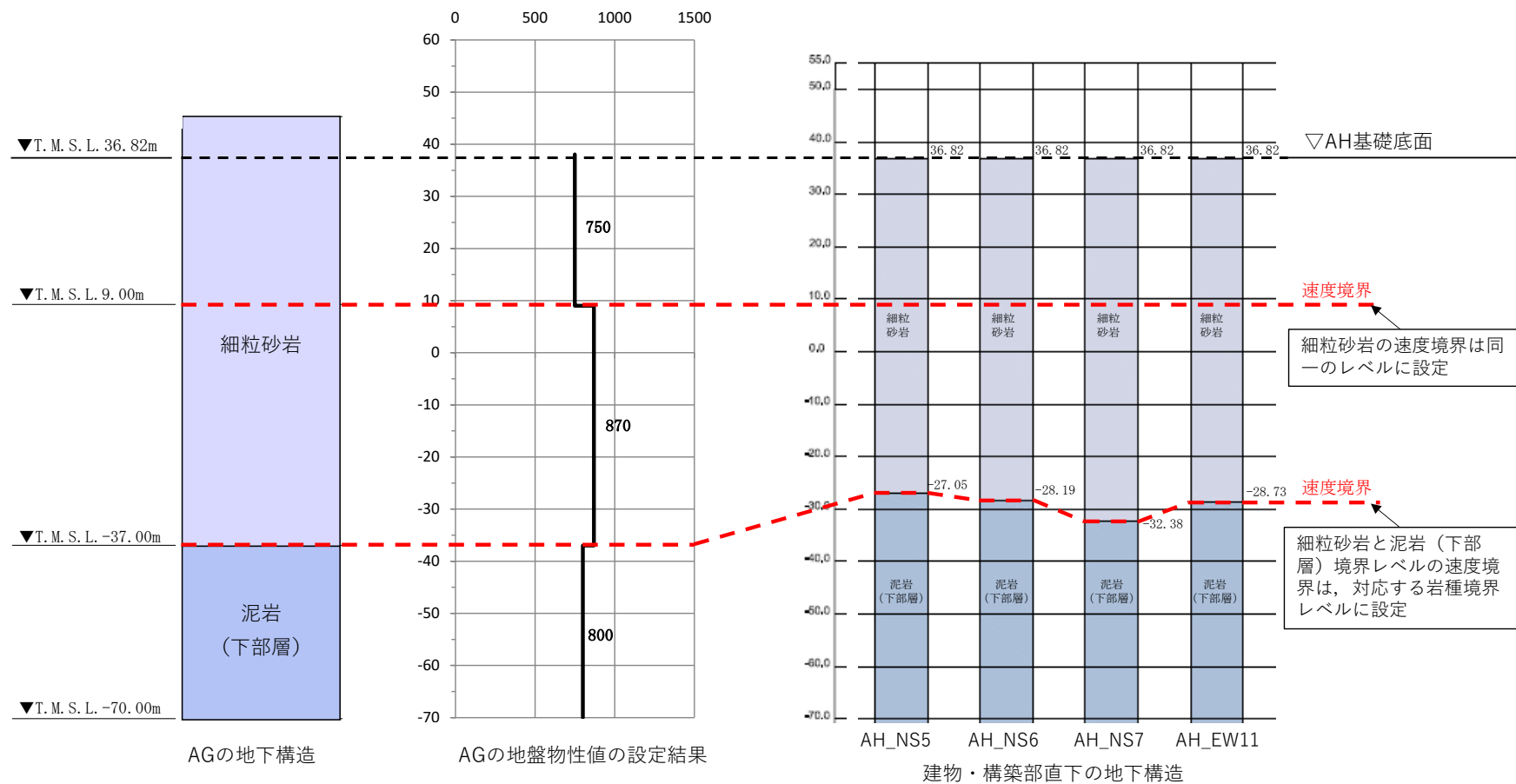
ここで、

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. 地盤の固有周期の検討結果

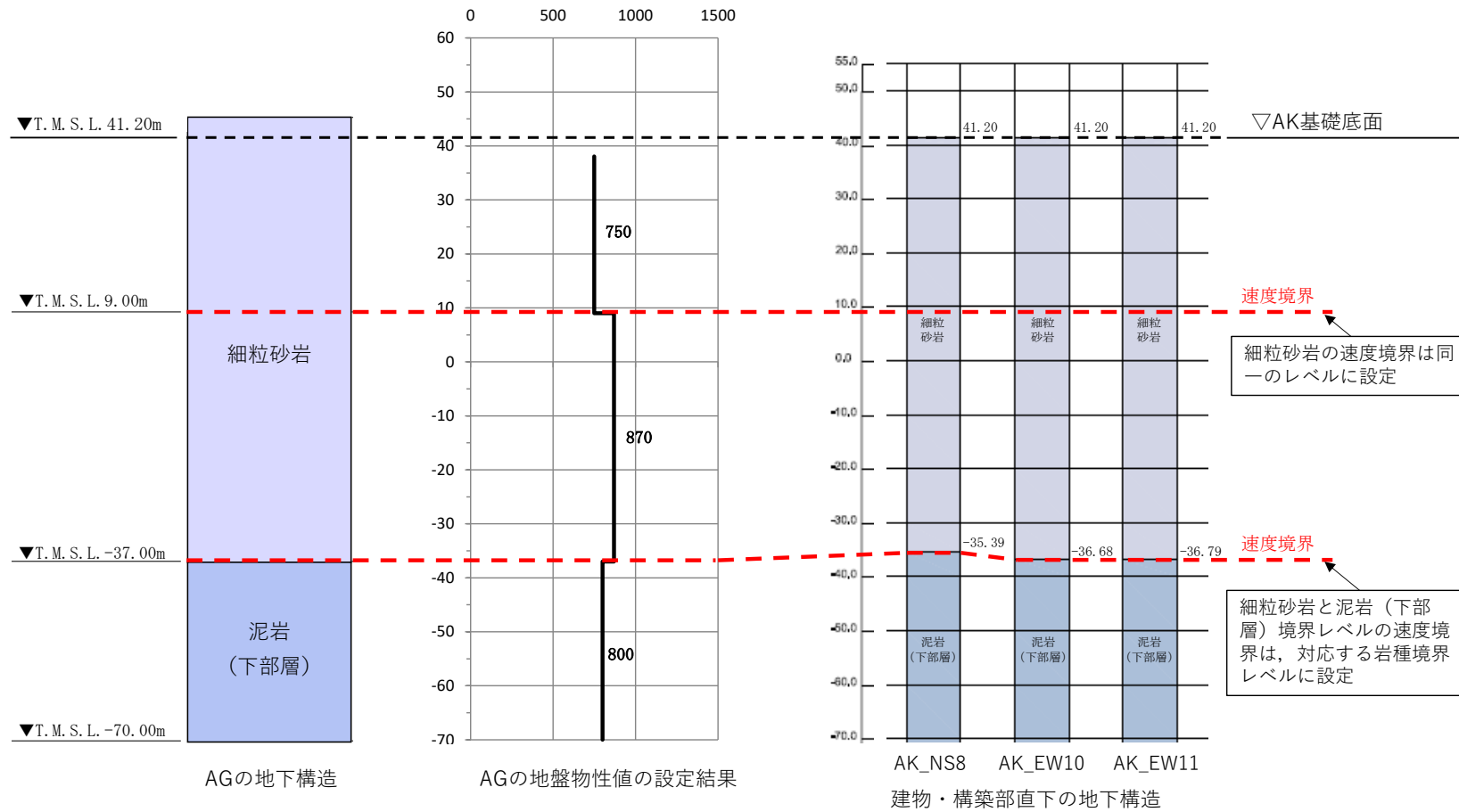
地盤の固有周期の検討結果を第 3-1 図～第 3-9 図に示す。なお、各グループの PS 検層結果に基づいて設定した物性値及び建物・構築物直下の地下構造を合わせて示す。CA グループの BA 建屋を除き、いずれの建物・構築物においても、速度構造の差が地盤の固有周期に与える影響は小さいことが確認された。



	AGの地盤物性値の設定結果	AH_NS5	AH_NS6	AH_NS7	AH_EW11
S波速度 V_s [m/s]	817.1	810.6	811.3	814.1	811.7
地盤の固有周期 T [s]	0.523	0.527	0.527	0.525	0.526

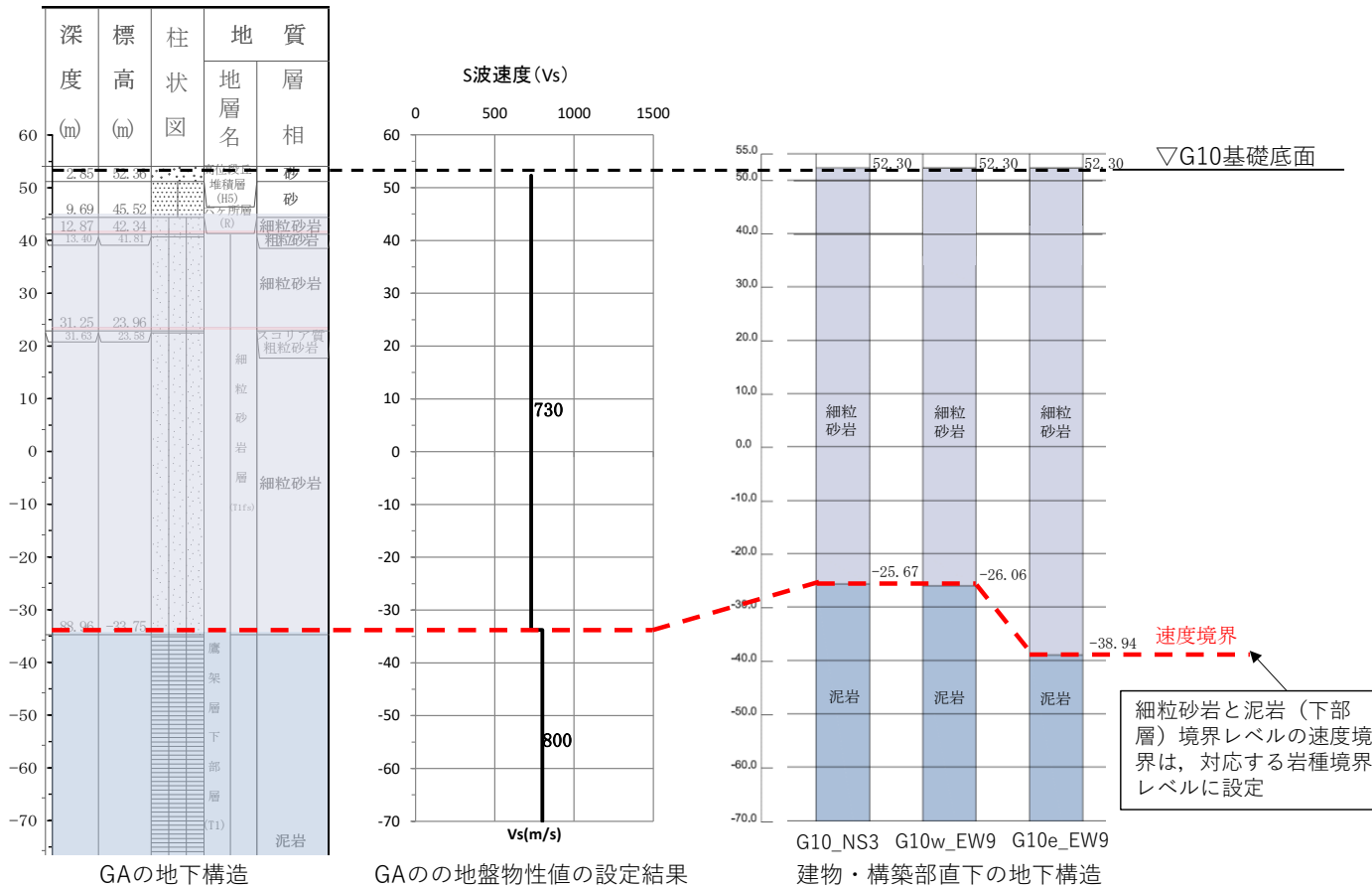
第 3-1 図 AG と AH 建屋の地盤の固有周期の比較

参考 2-2



	AGの地盤物性値の設定結果	AK_NS8	AK_EW10	AK_EW11
S波速度 Vs[m/s]	814.5	813.5	814.3	814.3
地盤の固有周期 T[s]	0.546	0.547	0.546	0.546

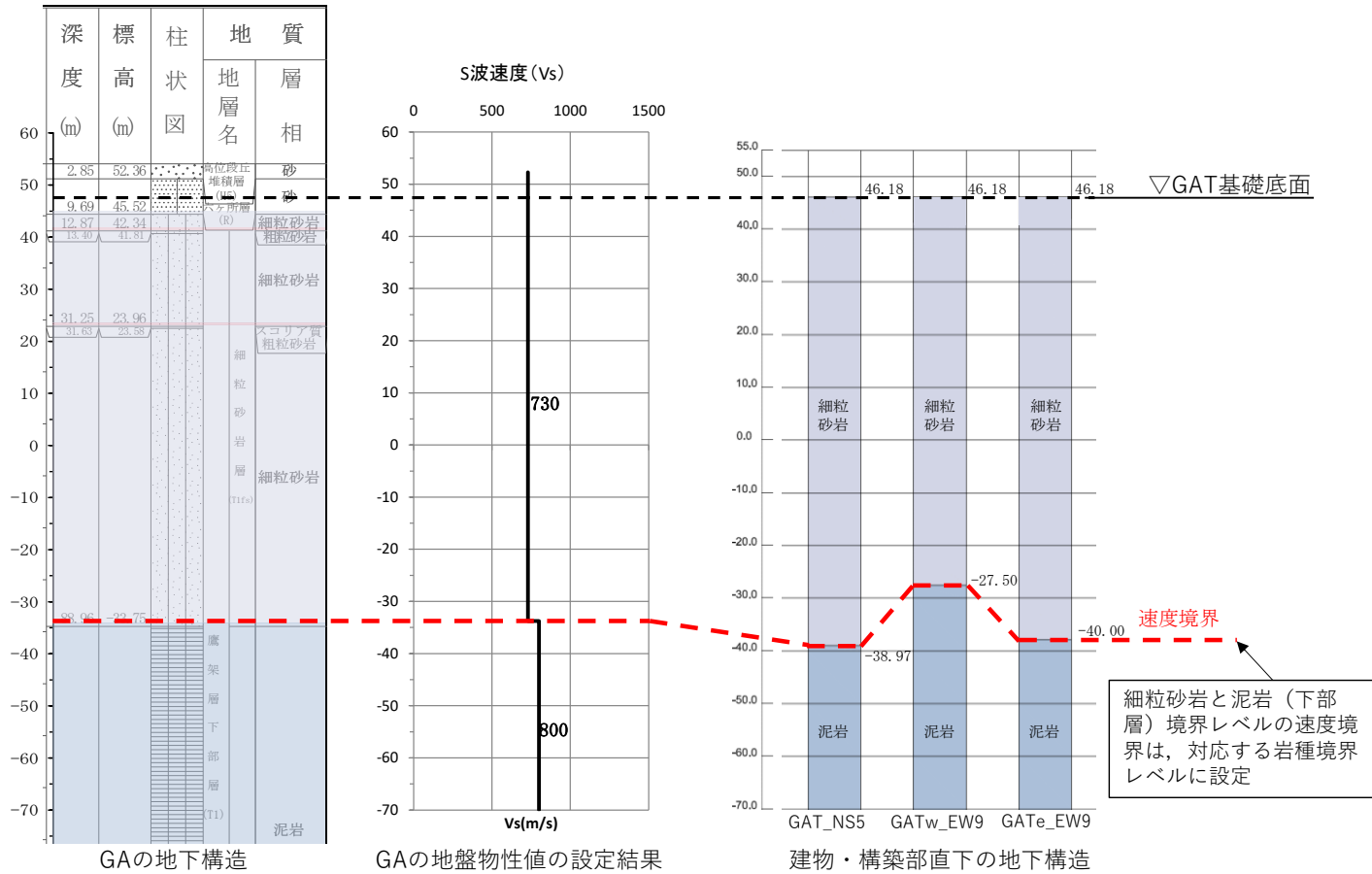
第3-2図 AGとAK建屋の地盤の固有周期の比較



	GAの地盤物性値の設定結果	G10_NS3	G10w_EW9	G10e_EW9
S波速度 V_s [m/s]	750.7	755.4	755.1	747.8
地盤の固有周期 T [s]	0.652	0.648	0.648	0.654

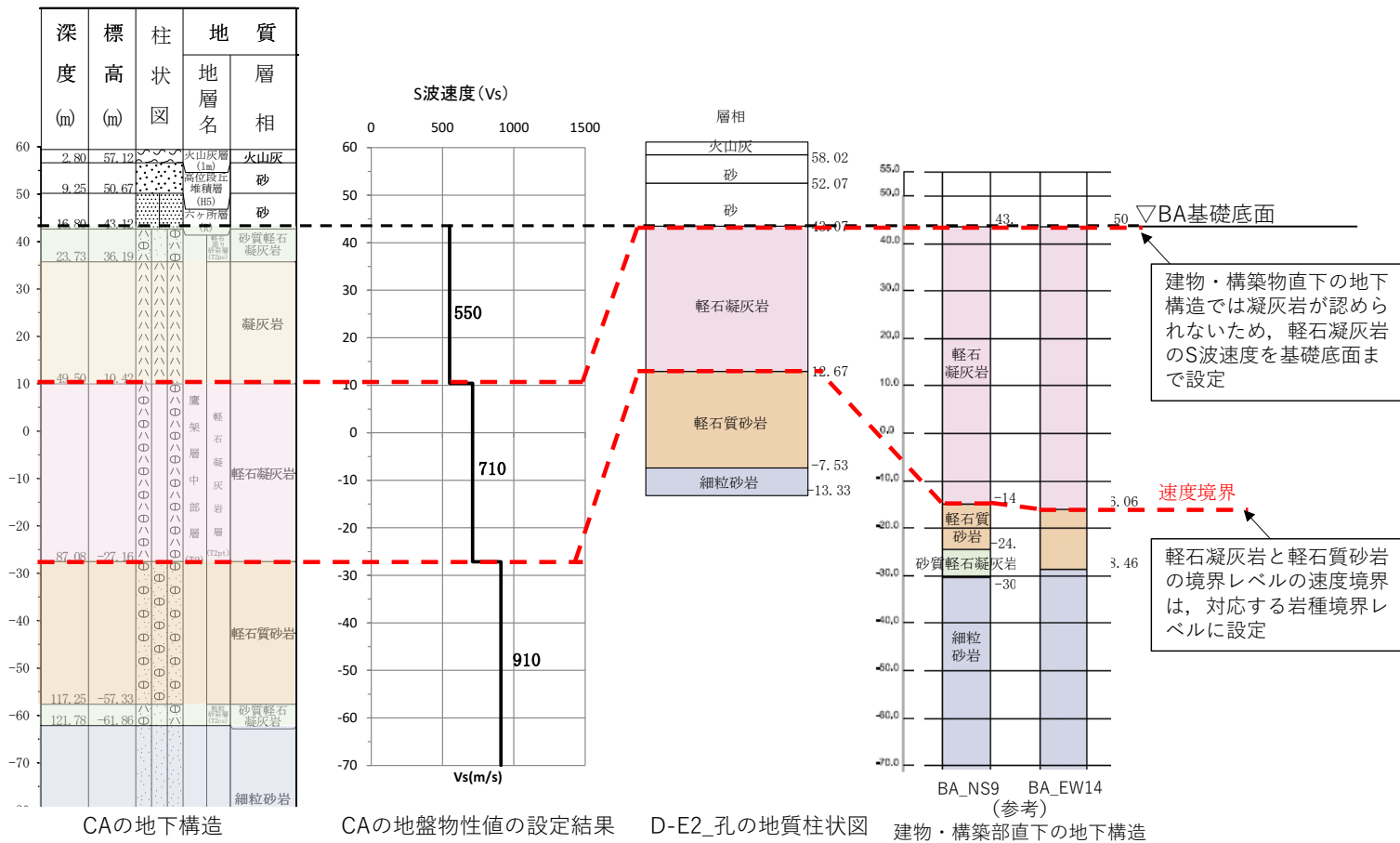
第 3-3 図 GA と G10 基礎の地盤の固有周期の比較

参考 2-4



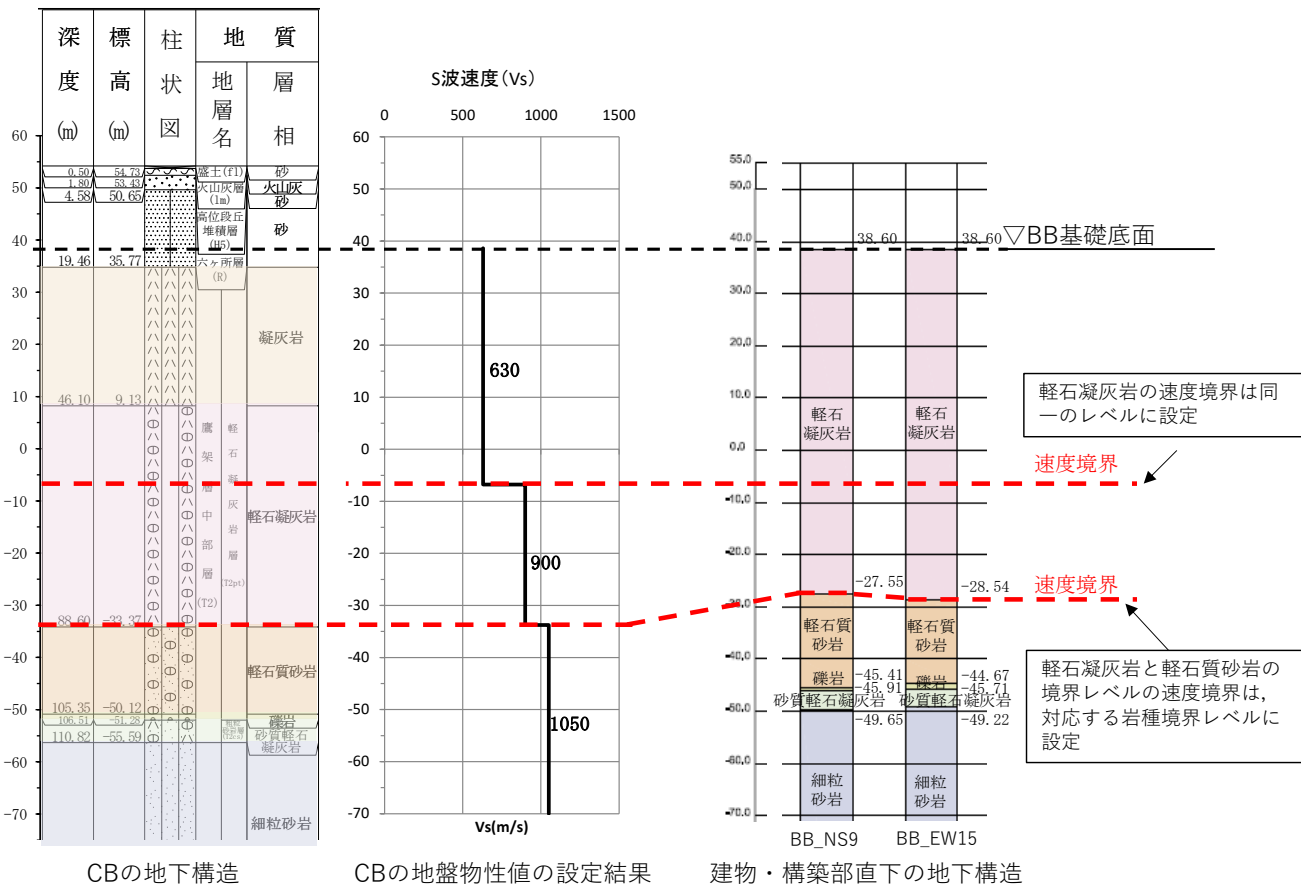
	GAの地盤物性値の設定結果	GAT_NS5	GATw_EW9	GATe_EW9
S波速度 Vs[m/s]	751.8	748.7	755.6	748.1
地盤の固有周期 T[s]	0.618	0.621	0.615	0.621

第 3-4 図 GA と GAT 基礎の地盤の固有周期の比較



第 3-5 図 CA と BA 建屋の地盤の固有周期の比較

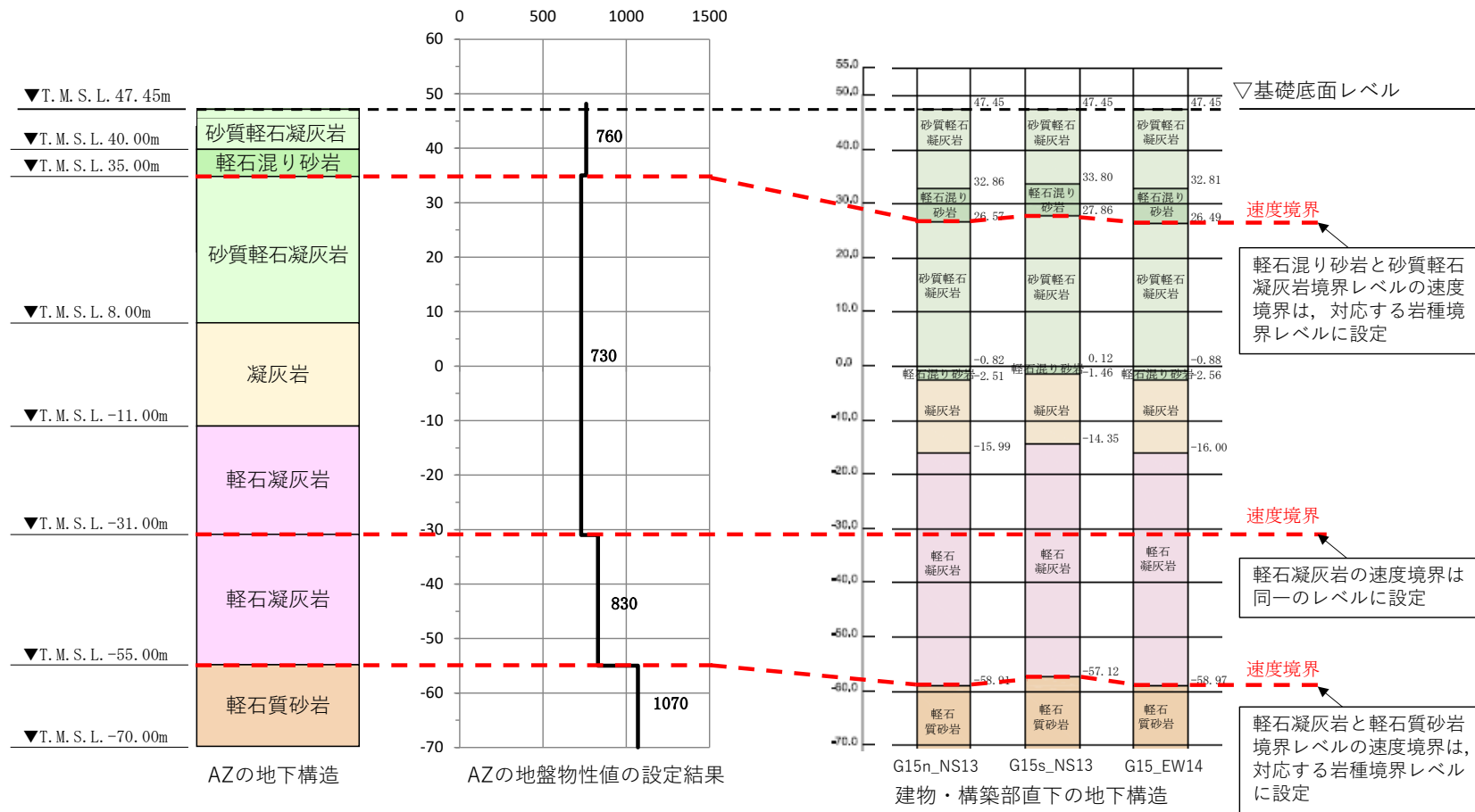
参考 2-6



	CBの地盤物性値の設定結果	BB_NS9	BB_EW15
S波速度 Vs[m/s]	837.8	845.8	844.5
地盤の固有周期 T[s]	0.519	0.514	0.514

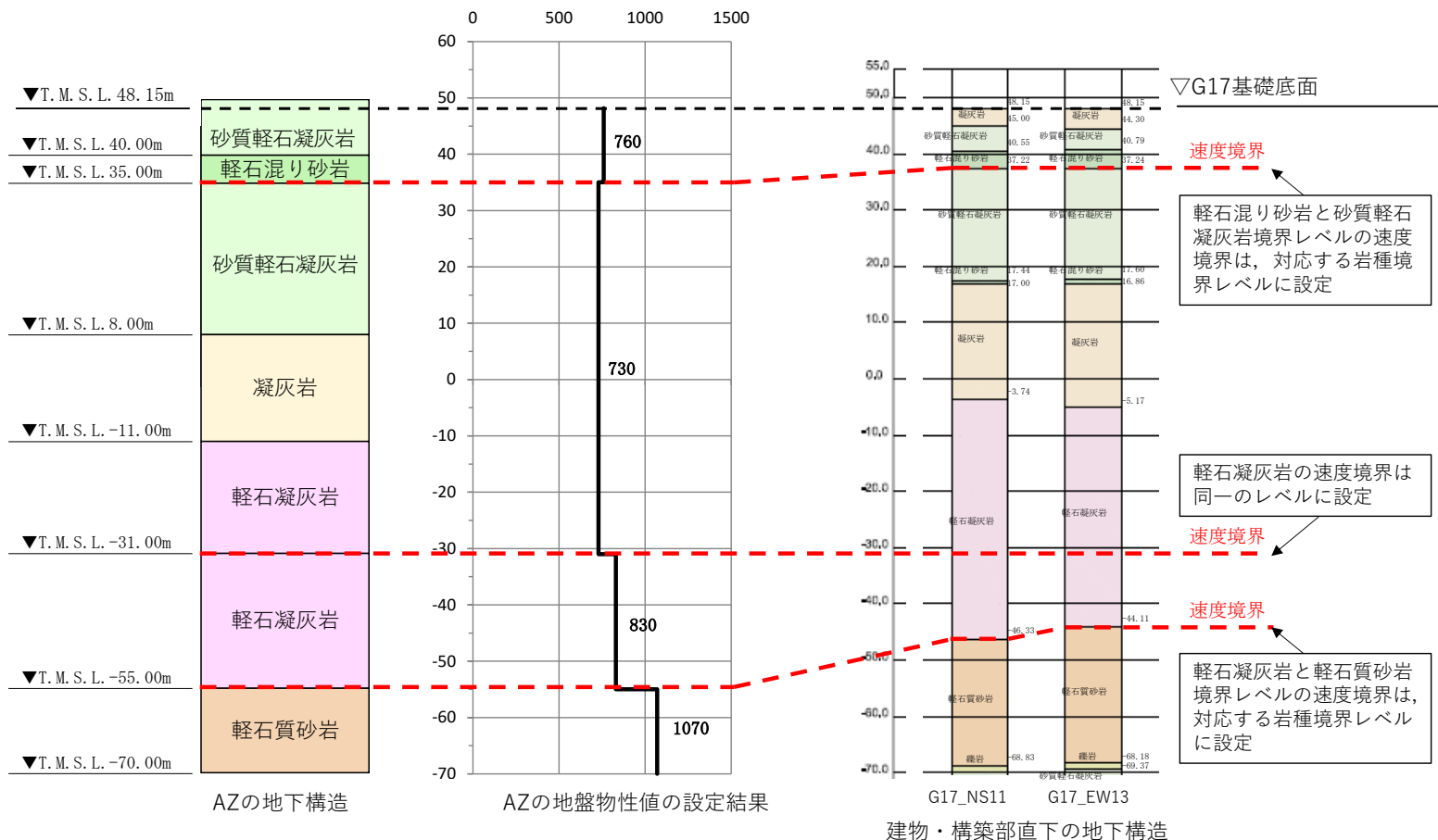
第 3-6 図 CB と BB 建屋の地盤の固有周期の比較

参考 2-7



	AZの地盤物性値の設定結果	G15n_NS13	G15s_NS13	G15_EW14
S波速度 Vs[m/s]	797.0	791.2	794.5	791.1
地盤の固有周期 T[s]	0.589	0.594	0.591	0.594

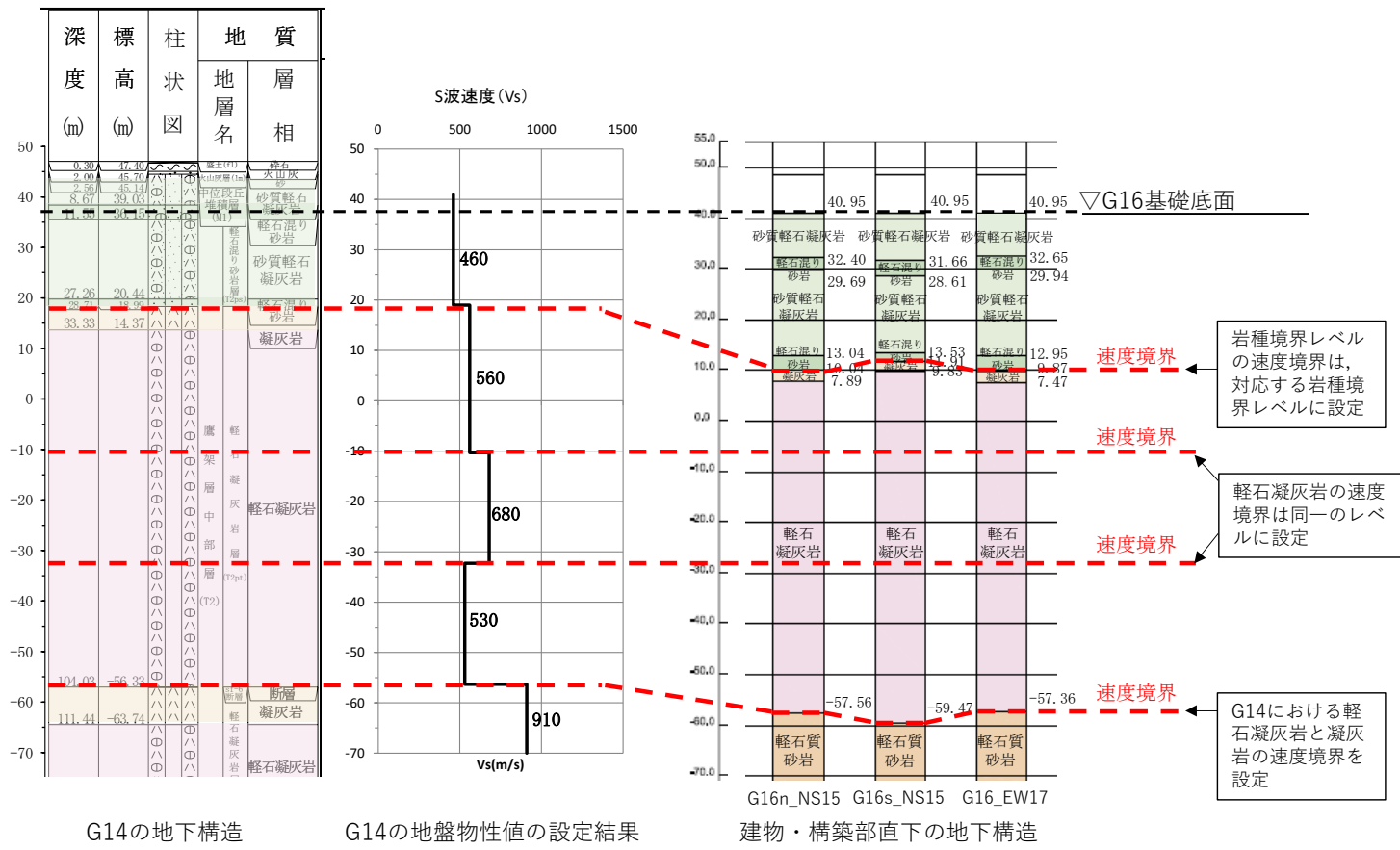
第3-7図 AZとG15基礎の地盤の固有周期の比較



	AZの地盤物性値の設定結果	G17_NS11	G17_EW13
S波速度 Vs[m/s]	796.8	818.9	823.4
地盤の固有周期 T[s]	0.593	0.577	0.574

第 3-8 図 AZ と G17 基礎の地盤の固有周期の比較

参考 2-9



	G14の地盤物性値の設定結果	G16n_NS15	G16s_NS15	G16_EW17
S波速度 Vs[m/s]	600.6	588.3	583.5	588.9
地盤の固有周期 T[s]	0.739	0.754	0.761	0.754

第3-9図 G14とG16基礎の地盤の固有周期の比較

参考 3

F 施設周辺における軽石質砂岩の考慮について

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 軽石質砂岩を考慮した物性値の確認	1
3. 基礎底面レベルの地盤応答の比較	3

1. 概要

F 施設周辺グループのうち，F1A 基礎及び FCM 建屋については，建物・構築物直下の地下構造を確認すると，細粒砂岩の上部に軽石質砂岩が分布している。また，近傍孔である M-S 孔の PS 検層結果より，細粒砂岩と軽石質砂岩の岩種境界において，速度境界が確認される。

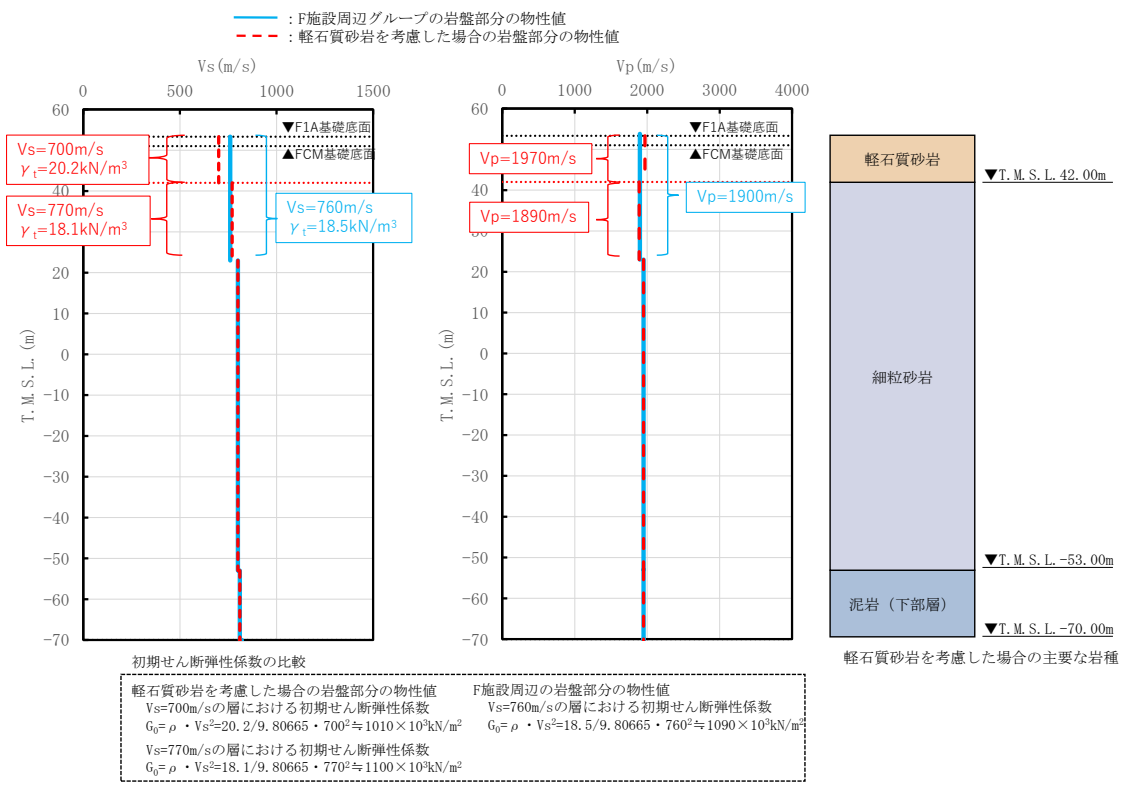
以上を踏まえ，F1A 基礎及び FCM 建屋の岩盤部分の物性値等の設定において，細粒砂岩と上部の軽石質砂岩の間に速度境界を考慮した場合の影響について確認し，F1A 基礎及び FCM 建屋について，F 施設周辺グループの PS 検層結果に基づき設定した岩盤部分の物性値の適用性について確認を行った。

2. 軽石質砂岩を考慮した物性値の確認

F 施設周辺グループにて設定した速度構造と，軽石質砂岩を考慮した場合の速度構造の比較を第 2-1 図に示す。軽石質砂岩を考慮した場合の速度構造については，細粒砂岩と軽石質砂岩の岩種境界において速度境界が認められる M-S 孔及び D-T 孔に基づき，T. M. S. L. 42. 00m に速度境界を設定した。

速度構造の比較の結果，S 波速度については，T. M. S. L. 42. 00m 以浅の値について，解放基盤表面から基礎底面レベルの速度のコントラストが大きくなる傾向となった。一方，P 波速度については，T. M. S. L. 42. 00m 以浅の値について，解放基盤表面から基礎底面レベルの速度のコントラストが小さくなることを確認した。

このことから，速度のコントラストの特徴が S 波速度と P 波速度で異なる傾向を示すことを踏まえ，水平方向及び鉛直方向の基礎底面レベルの E+F 波の比較によって，判断を行うこととした。



第 2-1 図 速度構造の比較

3. 基礎底面レベルの地盤応答の比較

前章において示したとおり、軽石質砂岩を考慮した場合と考慮しない場合において基礎底面レベルの地盤応答の比較を行い、F1A 基礎及びFCM 建屋において、軽石質砂岩の考慮が必要か検討する。

基礎底面レベルの地盤応答の比較にあたっては、基礎底面レベルが浅く、軽石質砂岩が厚く設定され、その感度が大きく評価できる F1A 基礎を代表に検討を行うこととした。

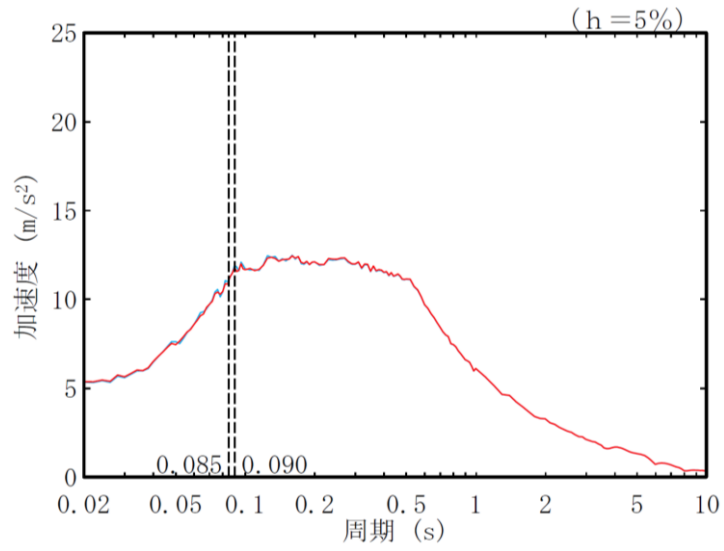
第 3-1 図に基礎底面レベルの地盤応答の比較結果を示す。

第 3-1 図に示すとおり、水平方向の地盤応答については、両者の結果に有意な差は生じていない。これは、解放基盤表面から基礎底面レベルの速度のコントラストは大きくなっているものの、 ρV_s^2 により求めた初期せん断弾性係数 G_0 は、軽石質砂岩を考慮した場合、 $1010 \times 10^3 \text{kN/m}^3$ となっており、F 施設周辺グループにおいて設定した値 ($G_0 = 1090 \times 10^3 \text{kN/m}^3$) と比べても顕著な差がないためであると考えられる。

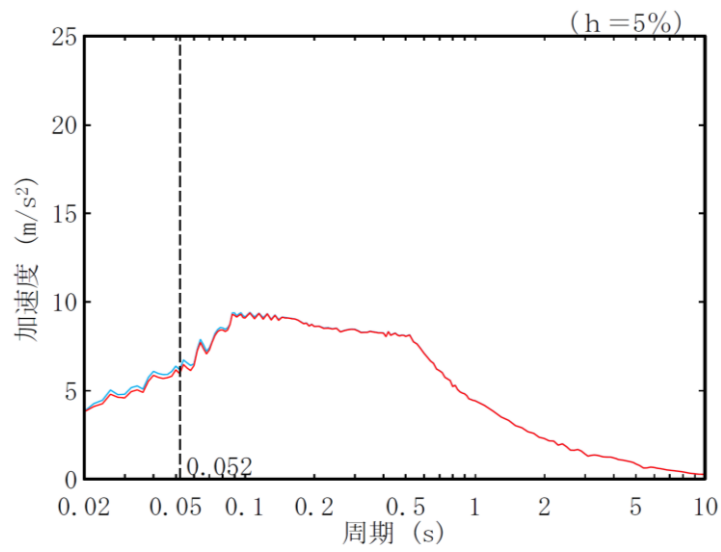
また、鉛直方向の地盤応答については、軽石質砂岩を考慮した場合の地盤応答が小さくなっている。これは、基礎底面直下の P 波速度について、軽石質砂岩を考慮した場合は $V_p = 1970 \text{m/s}$ となっており、F 施設周辺グループにおいて設定した値 ($V_p = 1900 \text{m/s}$) と比べ大きくなったことによって、速度のコントラストが小さくなり、地盤応答が小さくなったと考えられる。

以上を踏まえ、F1A 基礎及びFCM 建屋について、軽石質砂岩を考慮した場合の地盤応答は、水平方向は有意な差はなく、鉛直方向は小さくなることから、軽石質砂岩を考慮しないこととし、F 施設周辺グループにおいて設定した物性値をそのまま適用できると判断した。

- F施設周辺の岩盤部分の物性値を用いた地盤応答
- 軽石質砂岩を考慮した場合の地盤応答



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

第 3-1 図 基礎底面レベルの地盤応答 (F1A)

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

文中の下線部は令和 5 年 7 月 7 日に提出した「岩盤部分の非線形性に係る
検討について」からの変更箇所を示す。

目 次

	ページ
1. はじめに	1
2. 岩盤部分の剛性の非線形性の設定に係る検討	2
2.1 各グループの地下構造（岩盤分類の深さ分布）の整理	2
2.2 岩種ごとのひずみ依存特性	2
2.3 地盤応答解析の条件	9
3. 基準地震動 S_s-A の地盤応答解析結果	11
3.1 中央地盤における岩盤部分の非線形性の影響	11
3.2 東側地盤における岩盤部分の非線形性の影響	18
3.3 西側地盤における岩盤部分の非線形性の影響	26
3.4 中央地盤・東側地盤・西側地盤の比較	29
4. <u>$1.2 \times S_s-A$ の地盤応答解析結果</u>	<u>32</u>
5. まとめ	45

1. はじめに

本資料は、地盤モデルの設定パラメータとなる4因子のうち、岩盤部分の剛性の非線形性について、一般的・標準的な考え方に基づく検討結果を示すものである。

検討にあたっては、補足説明資料本文に示すとおり、三軸圧縮試験結果に基づくひずみ依存特性 ($G/G_0-\gamma$ 曲線)を設定し、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 S_s 地震時の剛性低下率を評価する。以下に検討の流れを示す。

- ・ 近接する建屋グループ（全12グループ）（以下、「12グループ」という。）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。

2. 岩盤部分の剛性の非線形性の設定に係る検討

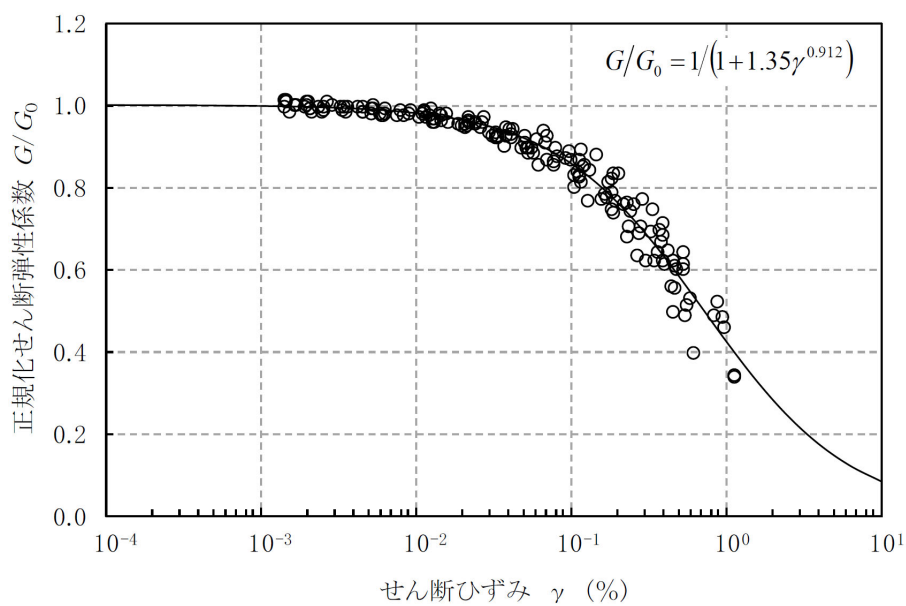
2.1 各グループの地下構造（岩盤分類の深さ分布）の整理

12グループごとの岩盤部分における地下構造については、「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盤分類ごとの深さ分布を用いる。

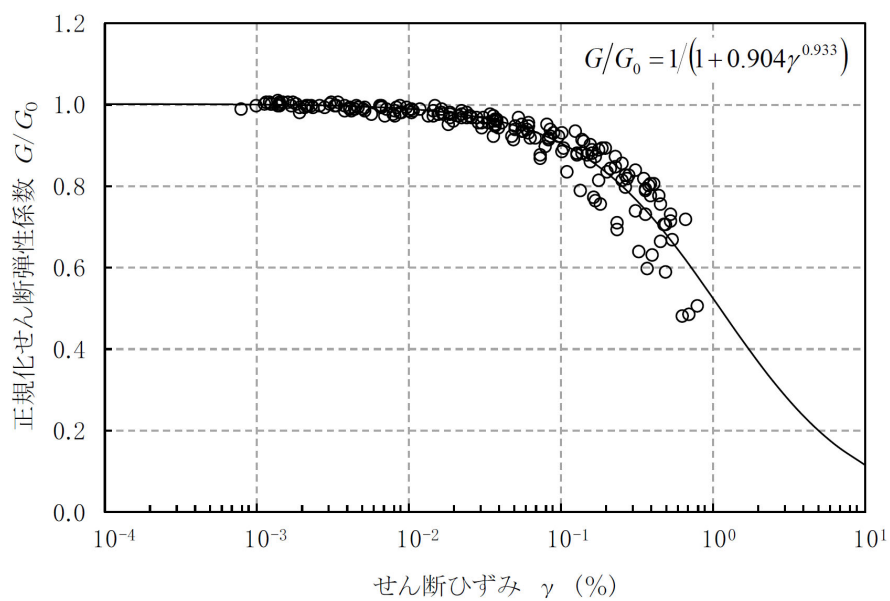
2.2 岩種ごとのひずみ依存特性

岩種ごとに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。

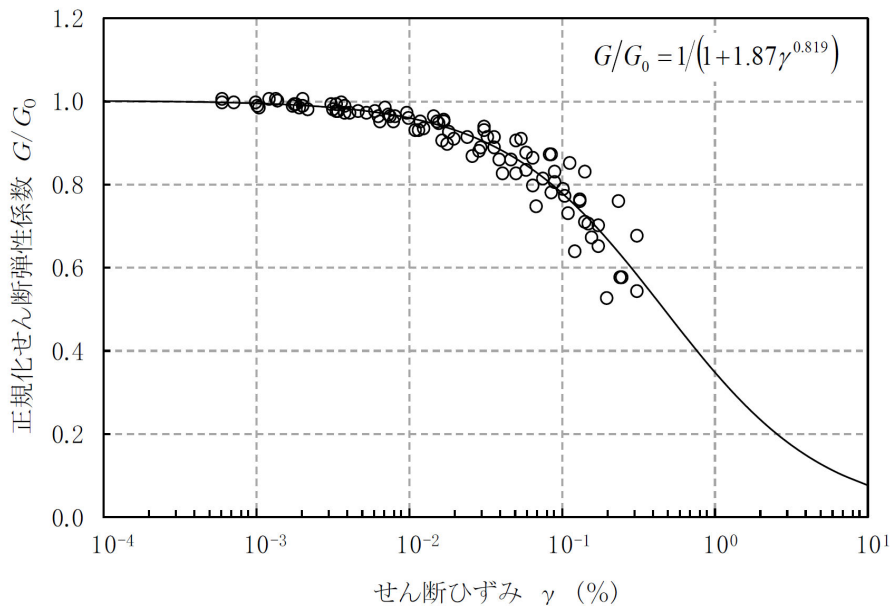
第2.2-1図～第2.2-12図に、今回の検討に用いる岩種ごとのひずみ依存特性（ $G/G_0-\gamma$ 曲線）を示す。



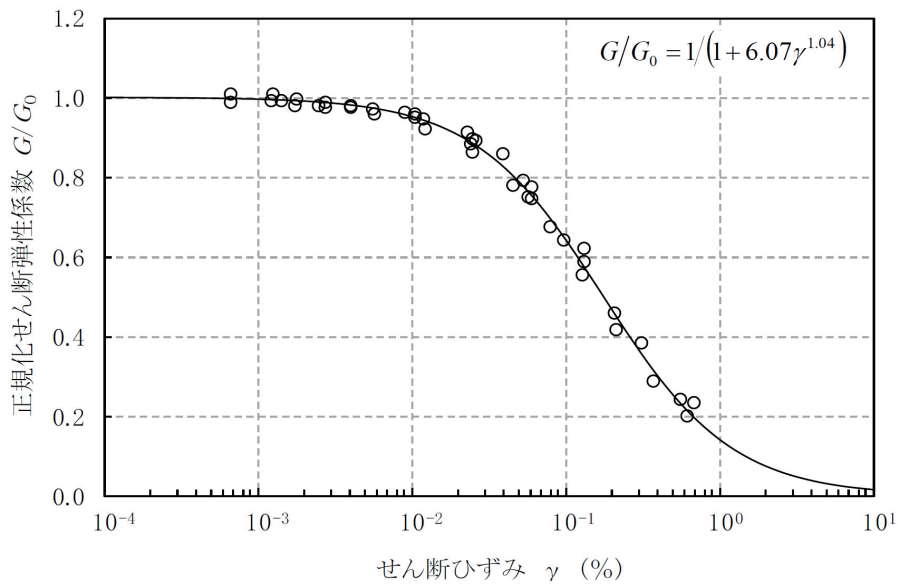
第 2.2-1 図 ひずみ依存特性 (泥岩 (上部層))



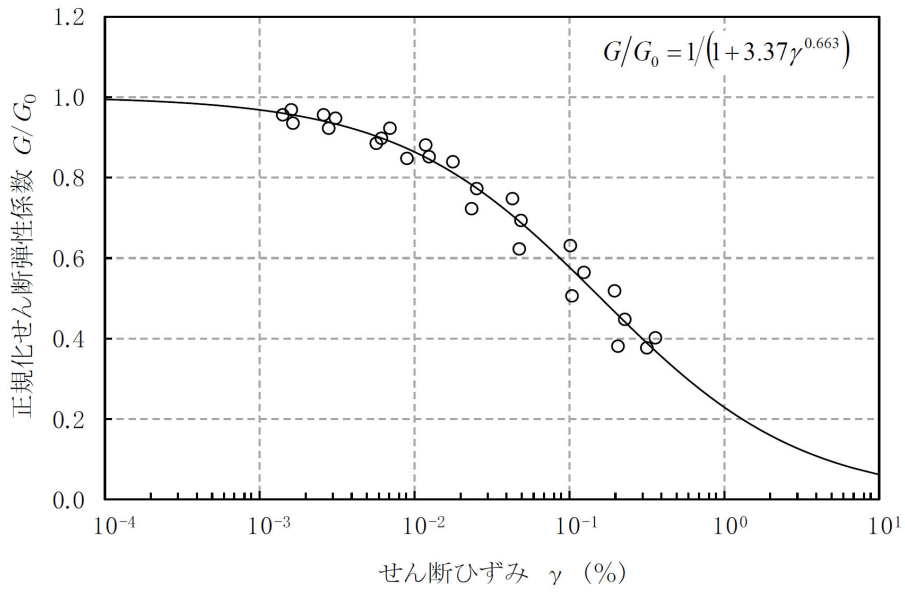
第 2.2-2 図 ひずみ依存特性 (泥岩 (下部層))



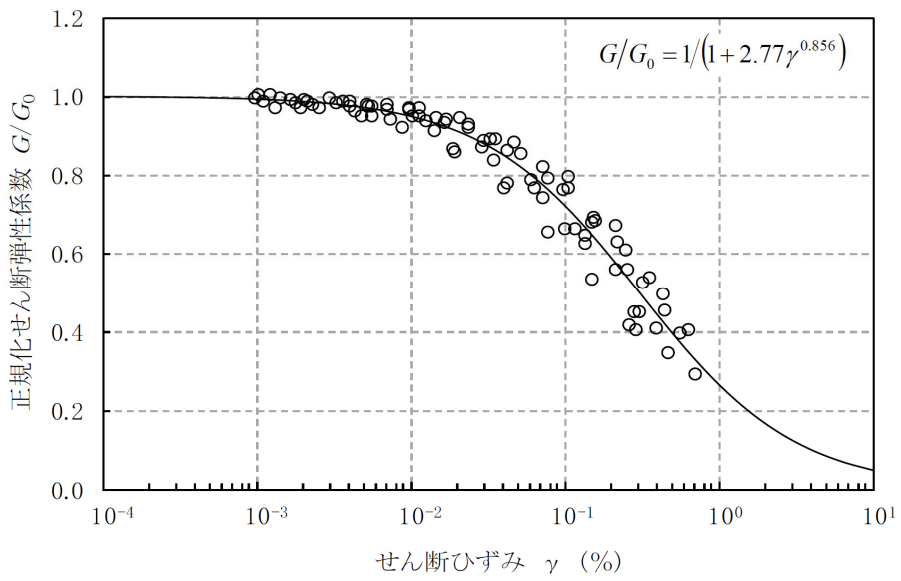
第 2.2-3 図 ひずみ依存特性（細粒砂岩）



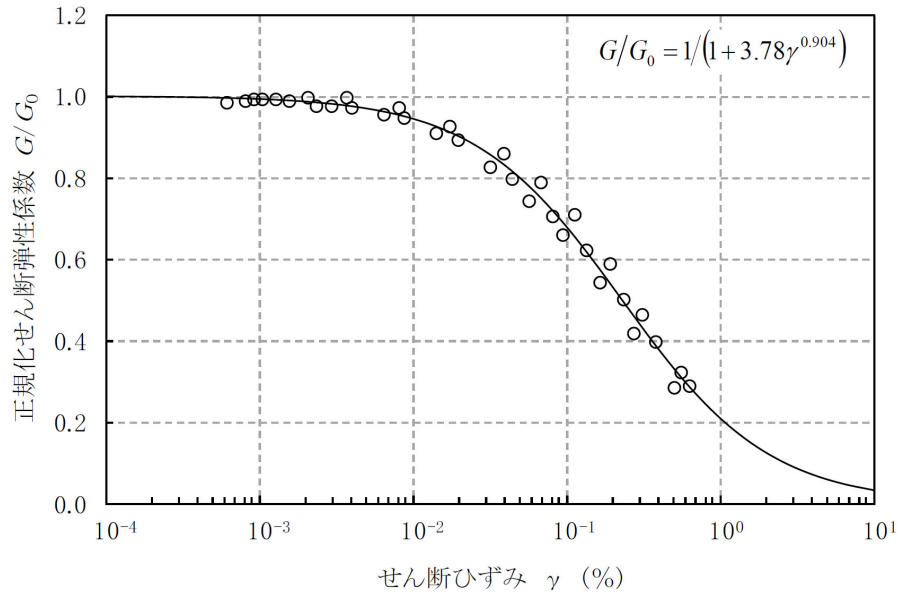
第 2.2-4 図 ひずみ依存特性（軽石質砂岩）



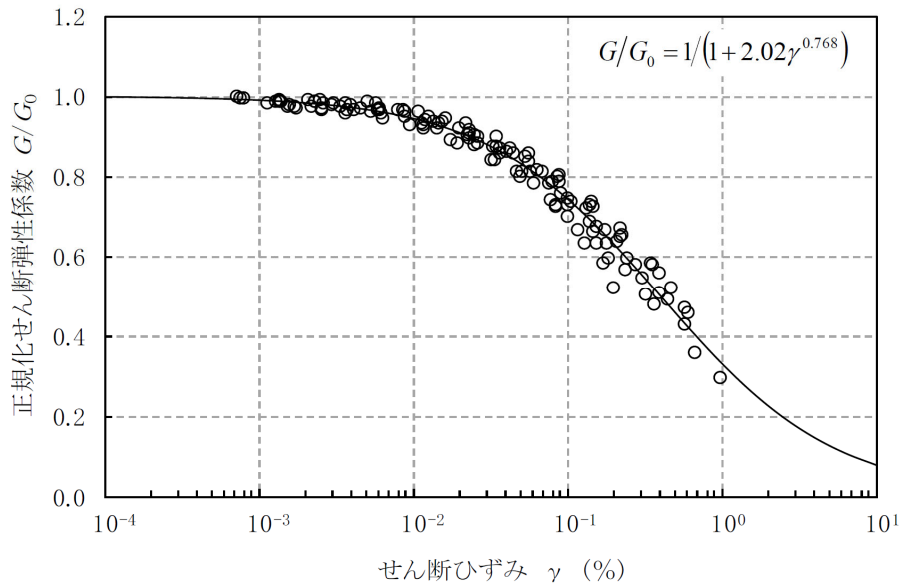
第 2.2-5 図 ひずみ依存特性 (粗粒砂岩)



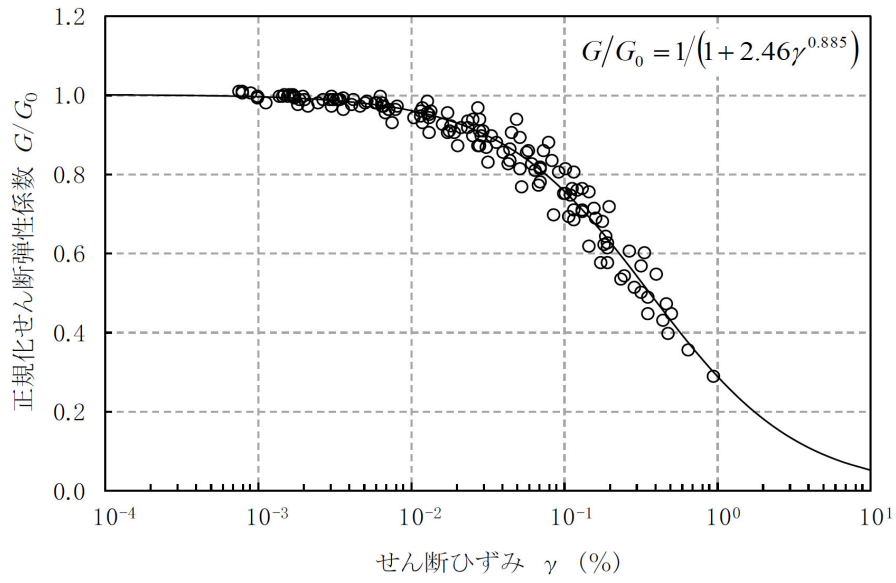
第 2.2-6 図 ひずみ依存特性 (砂岩・凝灰岩互層)



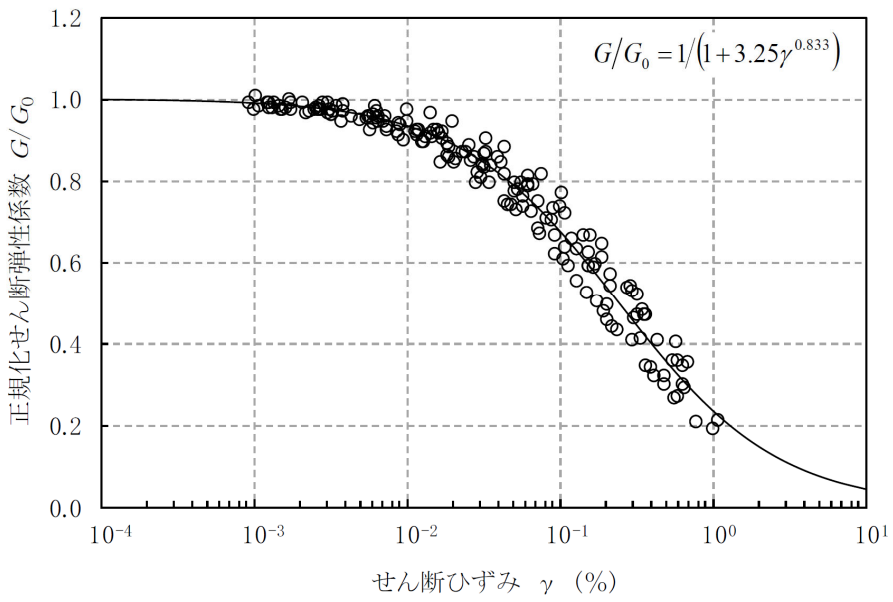
第 2.2-7 図 ひずみ依存特性（凝灰岩）



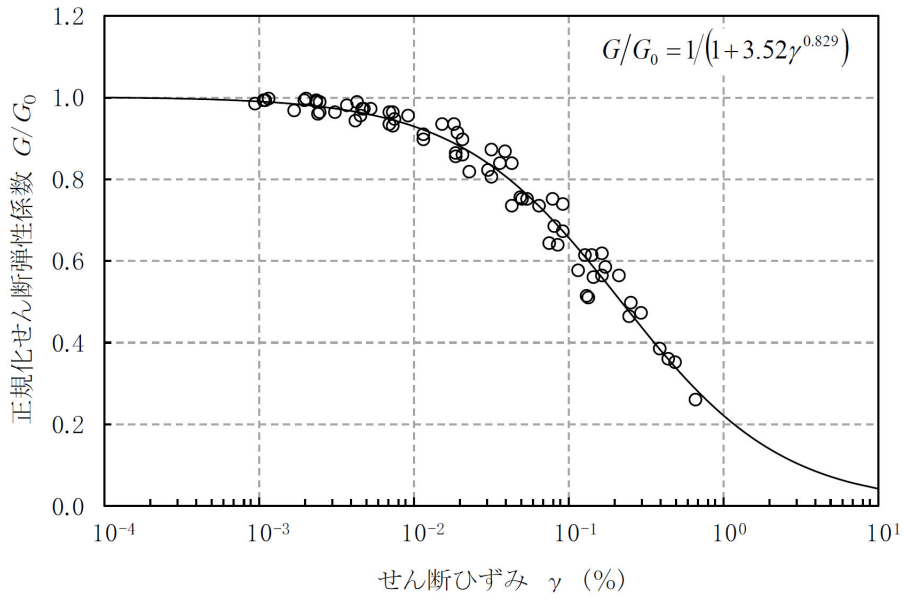
第 2.2-8 図 ひずみ依存特性（軽石凝灰岩）



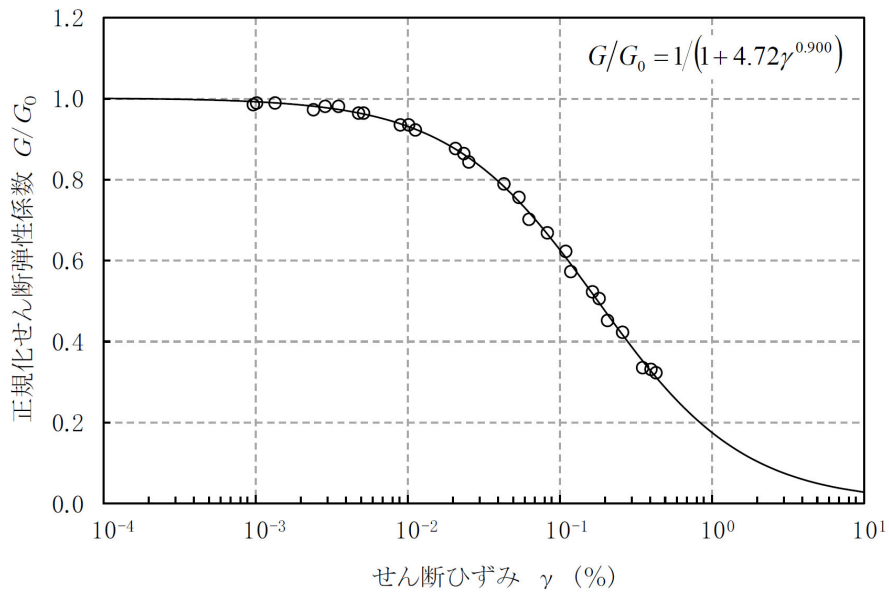
第 2.2-9 図 ひずみ依存特性 (砂質軽石凝灰岩)



第 2.2-10 図 ひずみ依存特性 (礫混り砂岩)



第 2.2-11 図 ひずみ依存特性 (軽石混り砂岩)



第 2.2-12 図 ひずみ依存特性 (礫岩)

2.3 地盤応答解析の条件

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、「2.2 岩種ごとのひずみ依存特性」に示すひずみ依存特性 ($G/G_0-\gamma$ 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、今回の検討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、上記の検討に加え、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 * : 今回の検討においては、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，「別紙 2-3 岩盤部分の減衰定数に係る検討について」における減衰定数の最小値であり，本検討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。

3. 基準地震動 Ss-A の地盤応答解析結果

3.1 中央地盤における岩盤部分の非線形性の影響

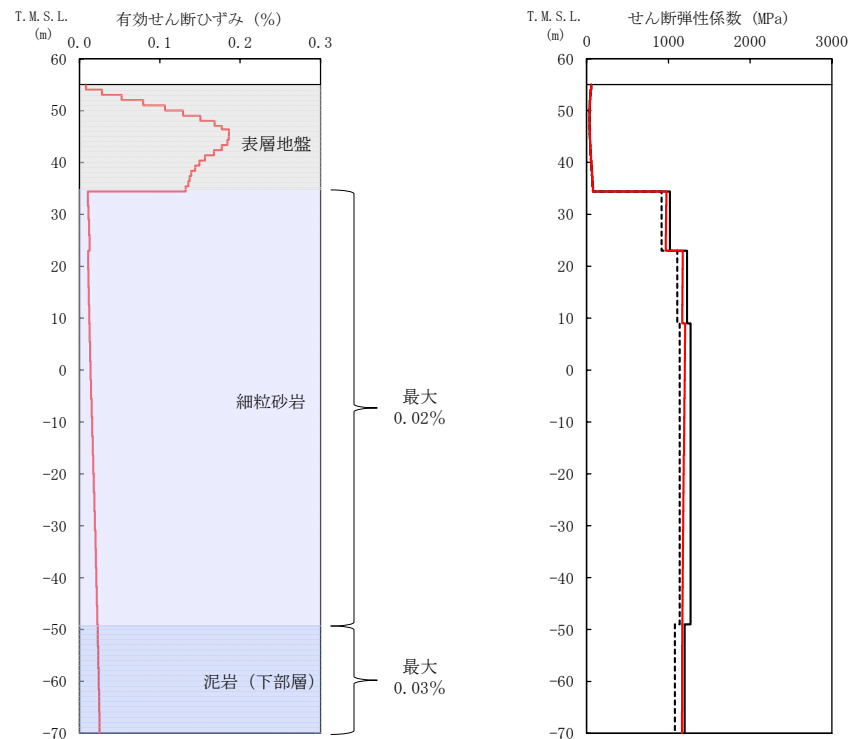
中央地盤における各グループの基準地震動 Ss-A に対する等価線形解析の結果として、地盤の有効せん断ひずみ分布、収束剛性分布、収束物性値及び各建屋の基礎底面レベルにおける入力地震動の加速度応答スペクトルを第 3.1-1 図～第 3.1-6 図に示す。また、基礎底面地盤ばねのばね定数を第 3.1-1 表に示す。

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。



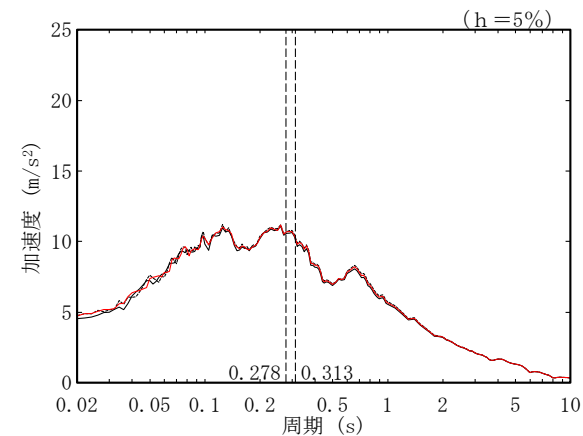
(a)有効せん断ひずみ

(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

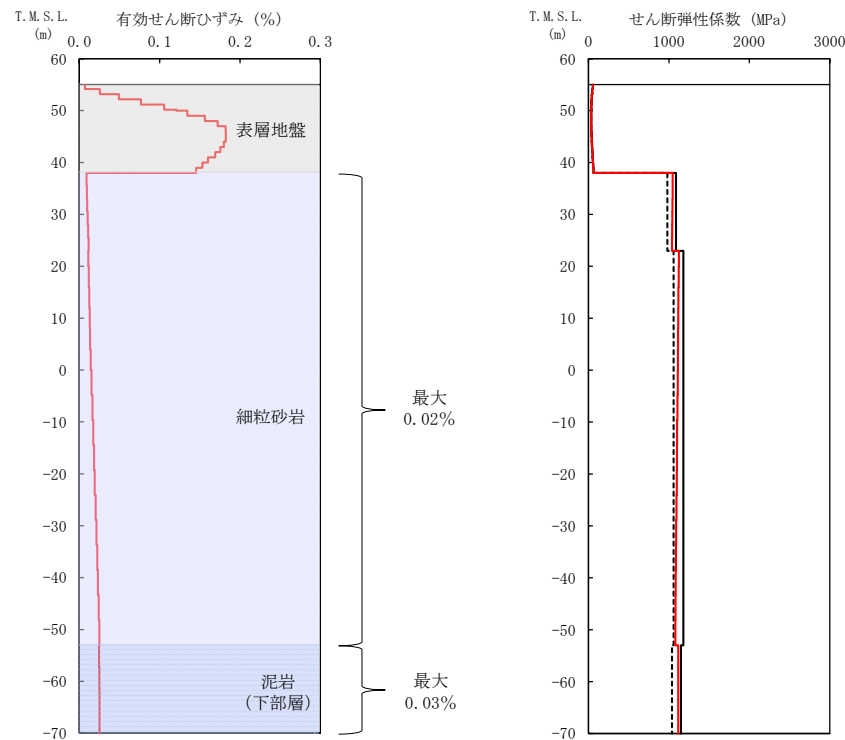
(c)収束物性値



* : 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 3.1-1 図 地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, AA 周辺, AB)



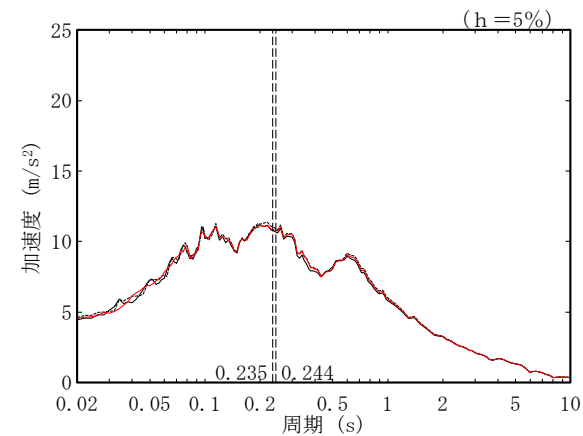
(a) 有効せん断ひずみ

(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		▽解放基礎表面	—	17.0	1164	1.000

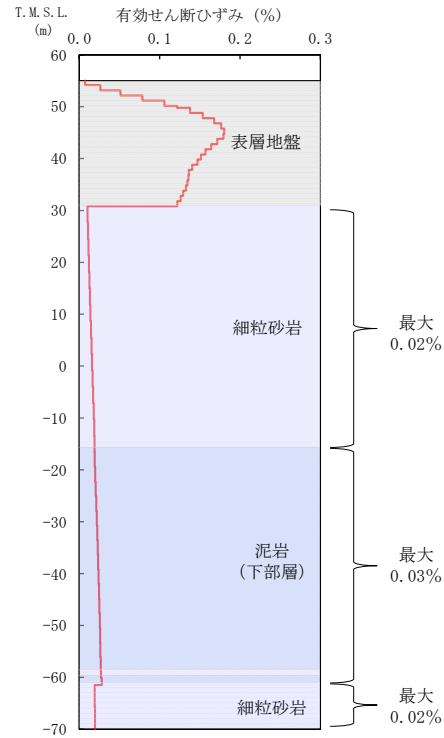
(c) 収束物性値



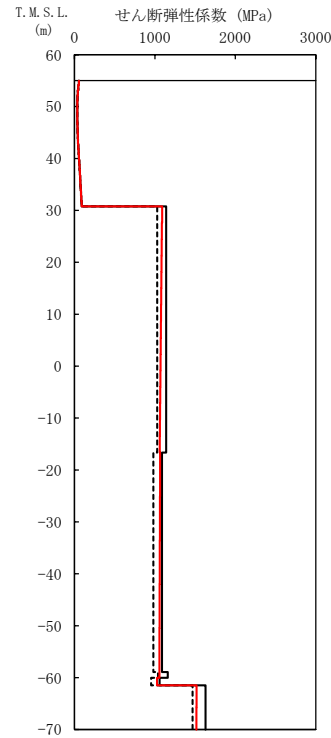
* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1-1-1 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

第 3.1-2 図 地盤の等価線形解析結果 (S_s -A, F 施設周辺, FA)



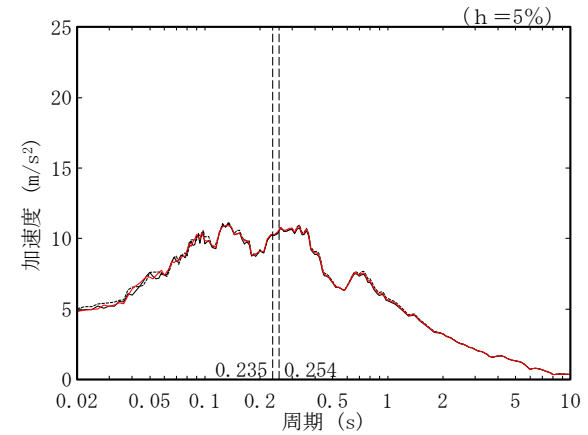
(a) 有効せん断ひずみ



(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

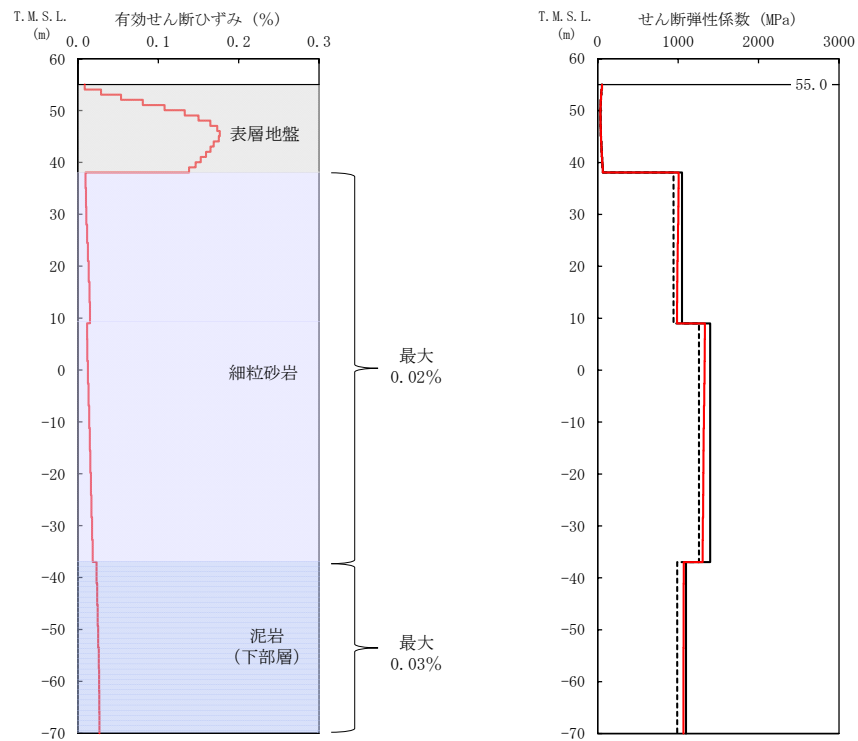


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1-1-1-1-1-1 ハル・エンドピース貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

(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 3.1-3 図 地盤の等価線形解析結果 (S_s -A, AE)



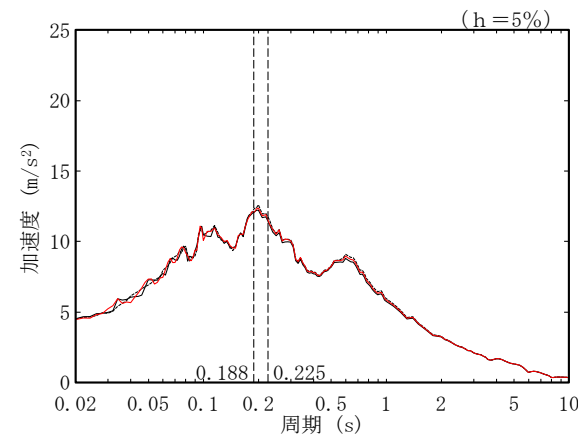
(a) 有効せん断ひずみ

(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

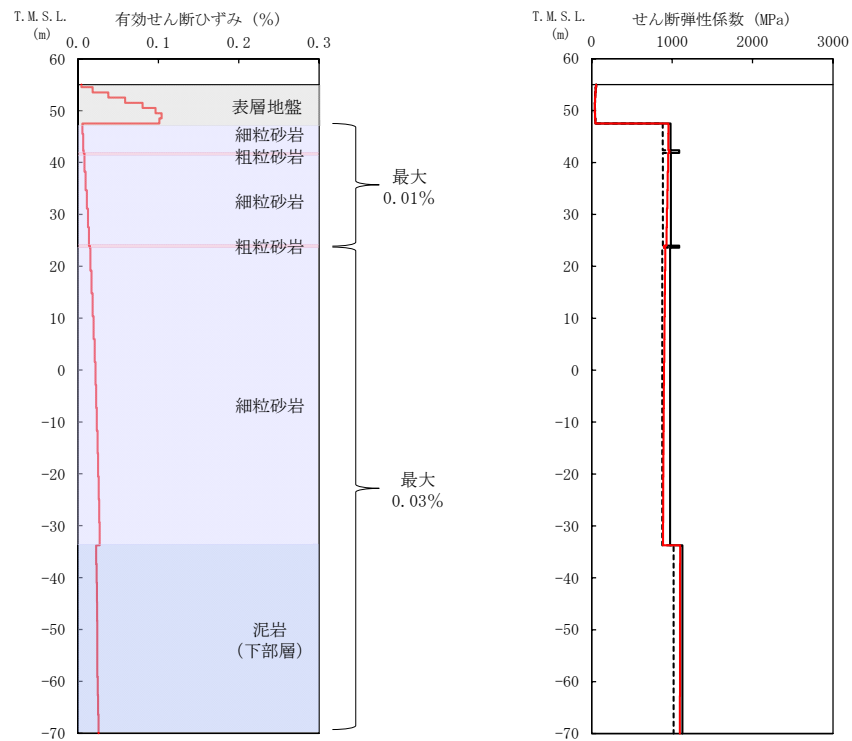
(c) 収束物性値



* : 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 3.1-4 図 地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, AG)



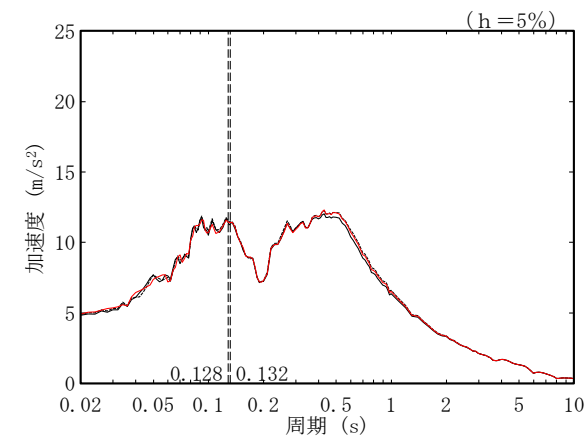
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(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
∇ 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

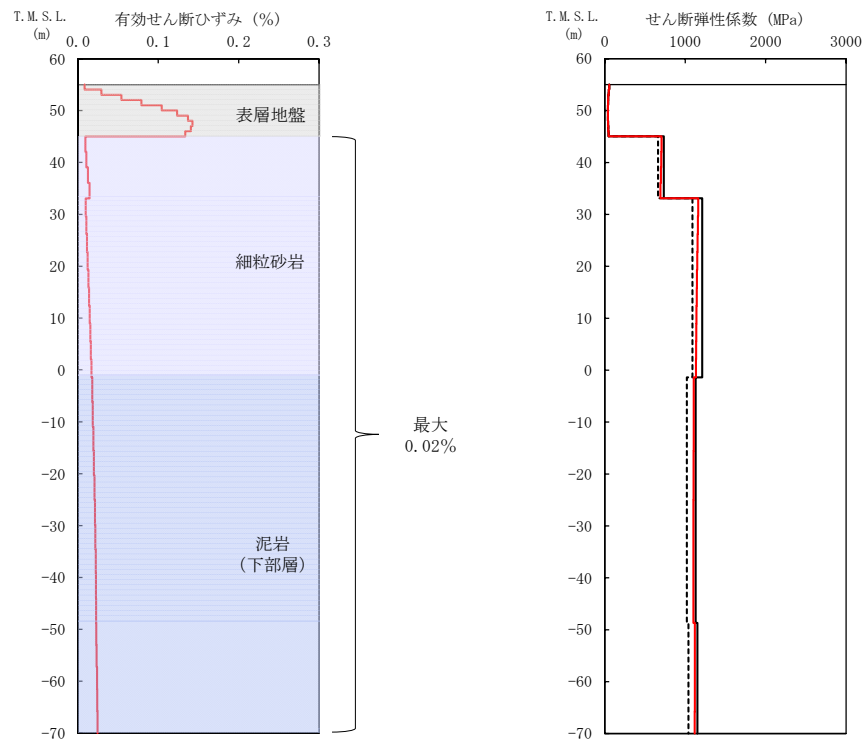
(c) 収束物性値



(d) 加速度応答スペクトル

* : 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 S_s -A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

第 3.1-5 図 地盤の等価線形解析結果 (S_s -A, GA)



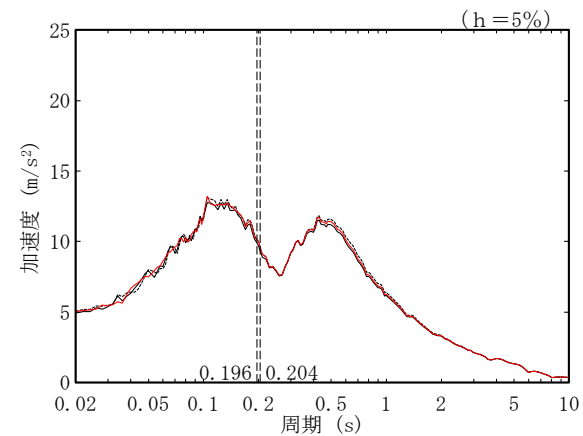
(a) 有効せん断ひずみ

(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
▽DC基礎底面	45.03					
	33.09	18.1	734	699	0.952	0.03
		18.0	1210	1146	0.947	0.03
	-1.41	16.9	1130	1103	0.976	0.03
	-48.71	17.3	1150	1119	0.973	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-2-1-1-1-10-1 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 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 3.1-6 図 地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, DC)

第 3.1-1 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

3.2 東側地盤における岩盤部分の非線形性の影響

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 3.2-1 図～第 3.2-5 図に示す。また、基礎底面地盤ばねのばね定数を第 3.2-1 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

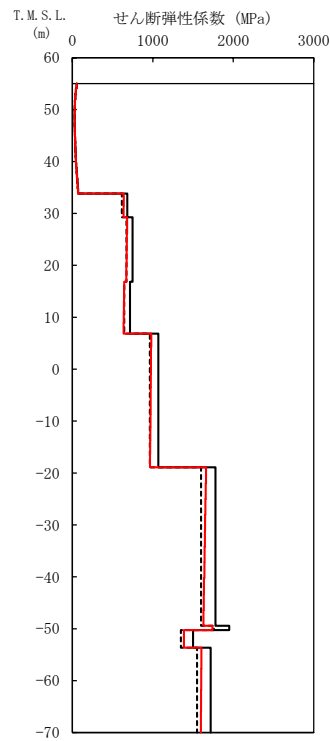
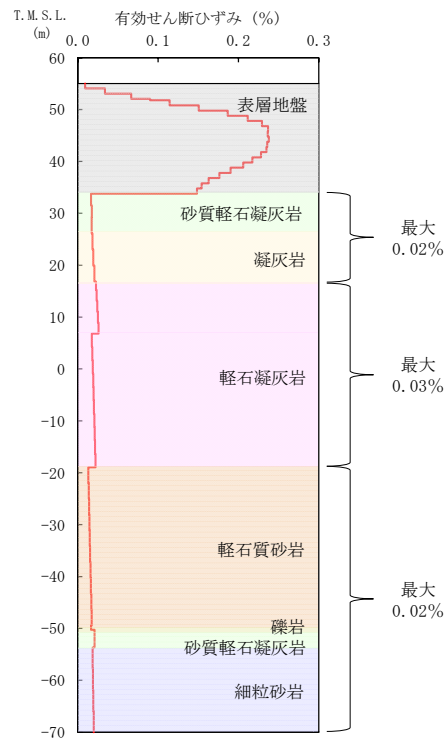
また、G14 の各岩種の有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 は以下のとおりとなっていることを確認した。なお、以下に記載する最大有効せん断ひずみの値については、最大の値を、剛性低下率 G/G_0 については、最小の値を記載している。

- ・ 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、その他グループにおける同程度の深さの軽石凝灰岩 (G_0 = 約 1100MPa) 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) 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。

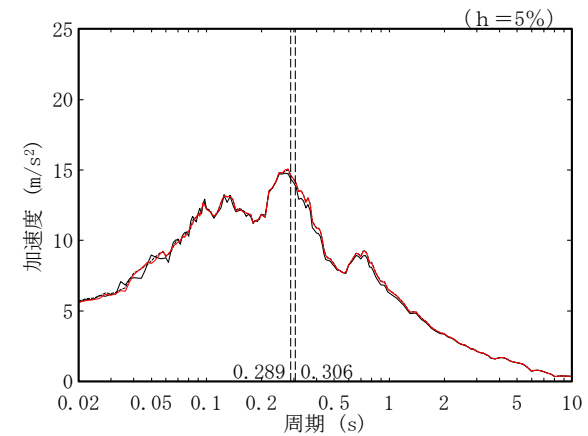
基礎底面レベルの加速度応答スペクトルの比較結果から、線形条件と等価線形解析の結果については、AC、CA、CB、AZ 周辺及び G14 のいずれにおいても周期特性に顕著な乖離はみられない。また、建屋の 1 次固有周期において、AC、CA、CB については同程度の応答となっていることから、0.01%～0.08% 程度の有効せん断ひずみに対する剛性低下の影響は小さいことを確認した。なお、建屋の 1 次固有周期において、AZ 周辺及び G14 では、応答に若干の差がみられることから、その他のパラメータの設定結果も踏まえて設定した基本地盤モデルに基づく入力地震動と 2022 年 12 月申請時点における入力地震動の比較において、この応答の差についての考察を合わせて行うこととする。

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。



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



* : 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。

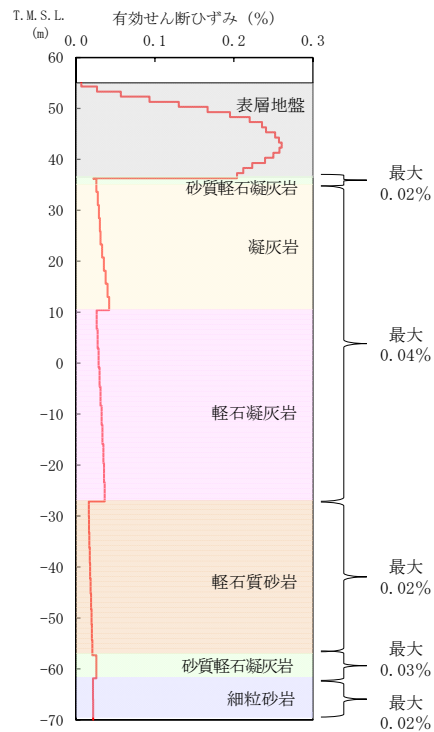
(d) 加速度応答スペクトル

(a) 有効せん断ひずみ

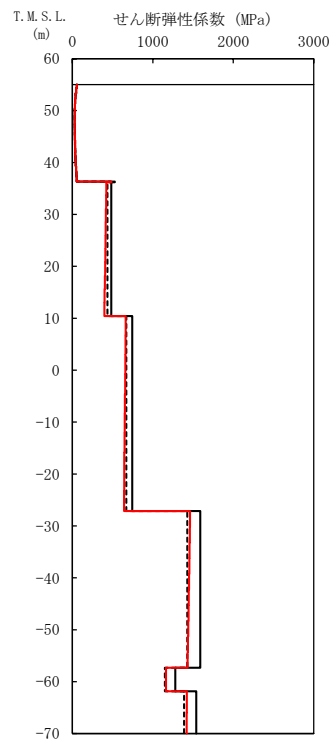
(b) 収束剛性分布

- (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 3.2-1 図 地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, AC)



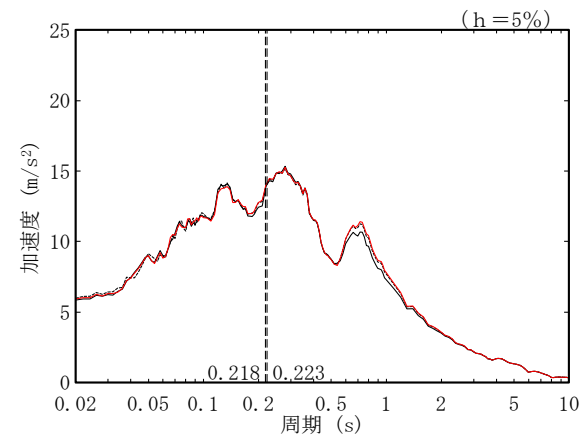
(a) 有効せん断ひずみ



(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

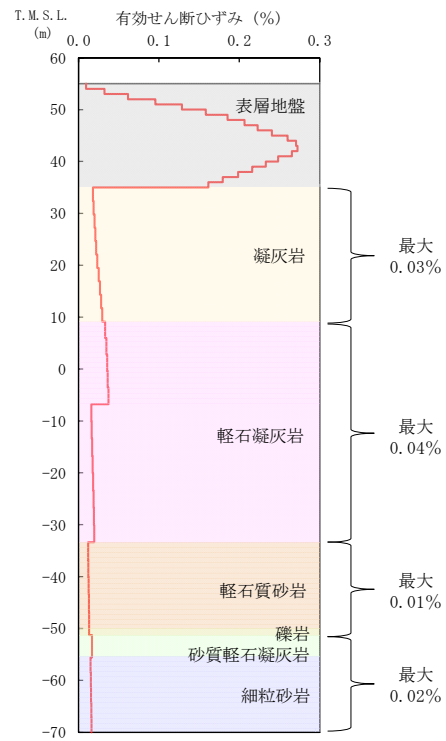


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-4-1 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

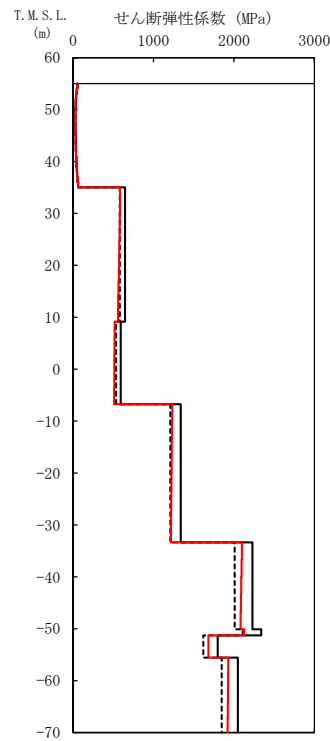
(d) 加速度応答スペクトル

- (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 3.2-2 図 地盤の等価線形解析結果 (S_s -A, CA)



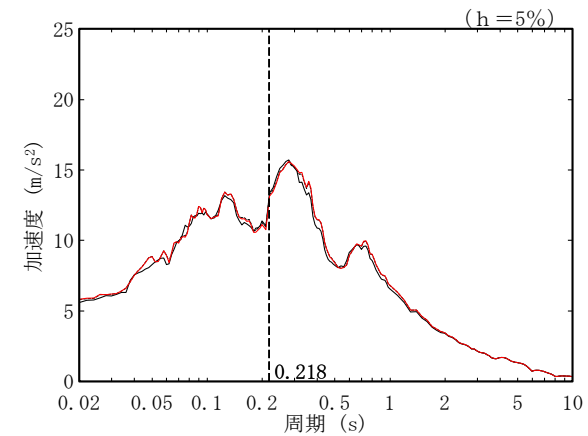
(a) 有効せん断ひずみ



(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
▽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

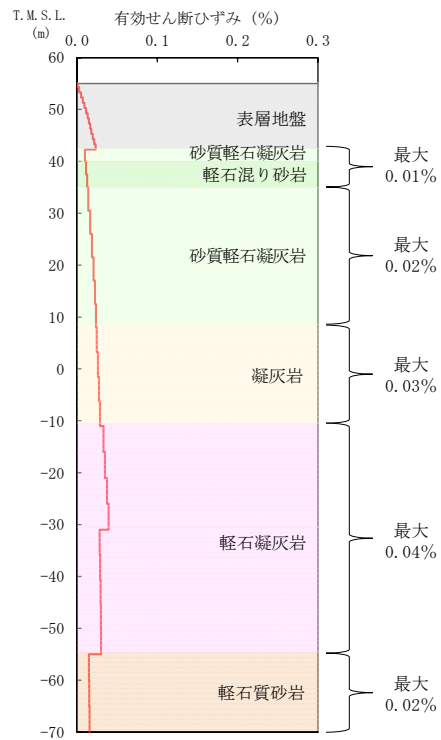


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-5-1 ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A の建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

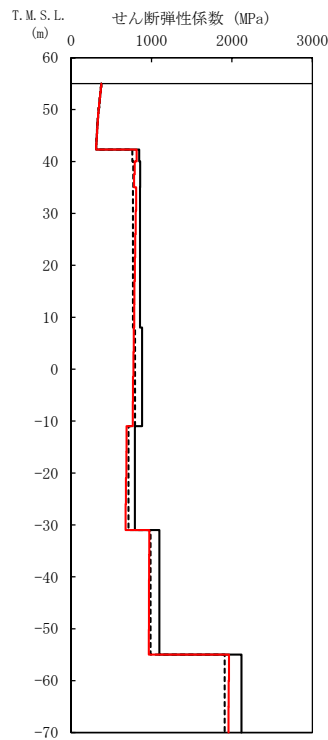
(d) 加速度応答スペクトル

- (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 3.2-3 図 地盤の等価線形解析結果 (S_s -A, CB)



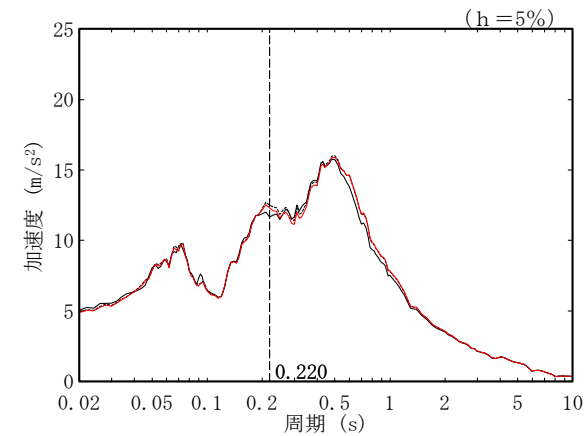
(a) 有効せん断ひずみ



(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	軽石凝灰岩	14.6	794	686	0.864	0.03
-31.00		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

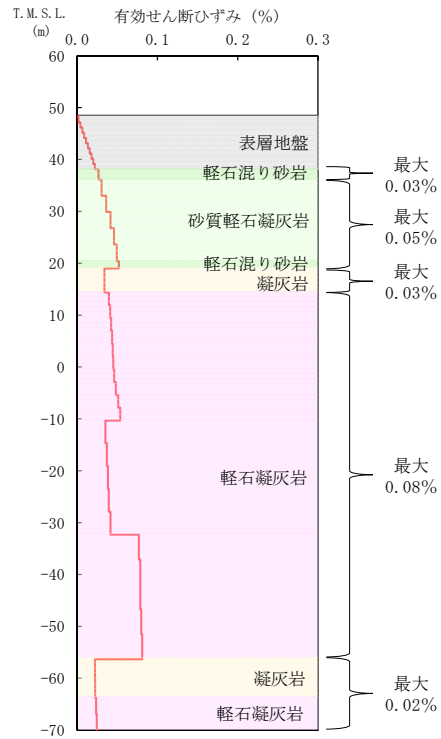


(d) 加速度応答スペクトル

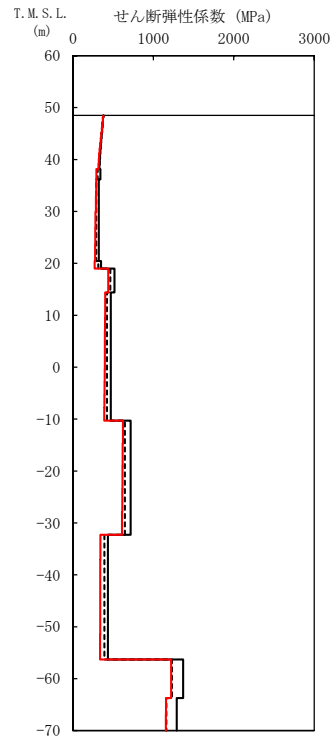
- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

* : 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 S_S -A での建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

第 3.2-4 図 地盤の等価線形解析結果 (S_S -A, AZ 周辺, AZ)



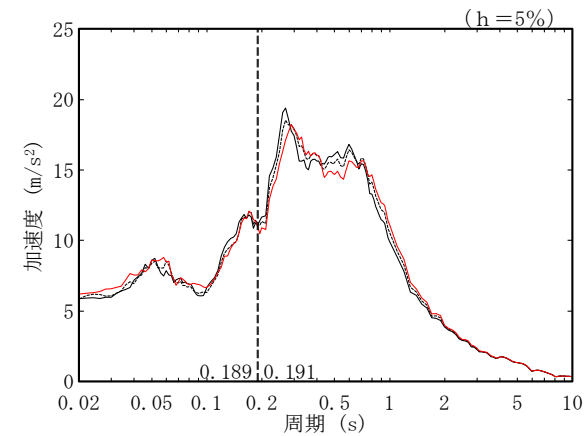
(a) 有効せん断ひずみ



(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 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	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
▽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	凝灰岩	15.3	1290	1156	0.896	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-2-1-1-1-18-1 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 3.2-5 図 地盤の等価線形解析結果 (S_s -A, G14)

第 3.2-1 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

3.3 西側地盤における岩盤部分の非線形性の影響

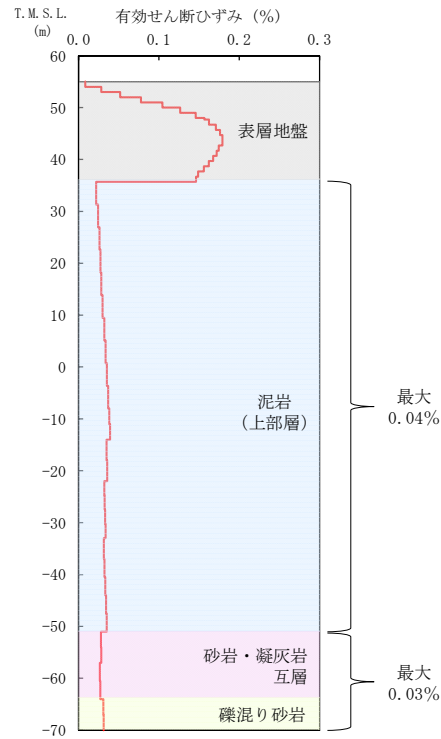
西側地盤における基準地震動 Ss-A に対する等価線形解析の結果として，地盤の有効せん断ひずみ分布，収束剛性分布，収束物性値及び各建屋の基礎底面レベルにおける入力地震動の加速度応答スペクトルを第 3.3-1 図に示す。また，基礎底面地盤ばねのばね定数を第 3.3-1 表に示す。

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。

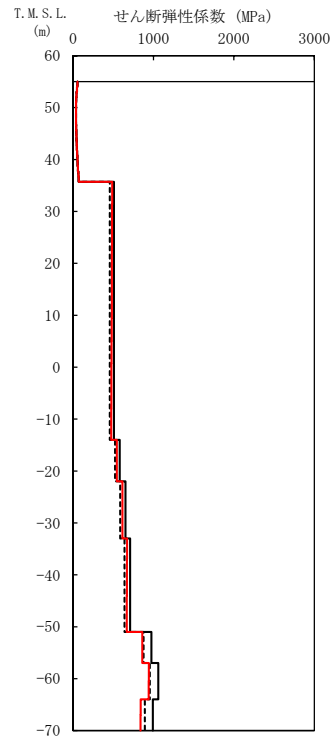
- ・泥岩(上部層):最大有効せん断ひずみ 0.04%，剛性低下率 G/G_0 0.940
- ・砂岩・凝灰岩互層:最大有効せん断ひずみ 0.03%，剛性低下率 G/G_0 0.884
- ・礫混り砂岩:最大有効せん断ひずみ 0.03%，剛性低下率 G/G_0 0.847

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

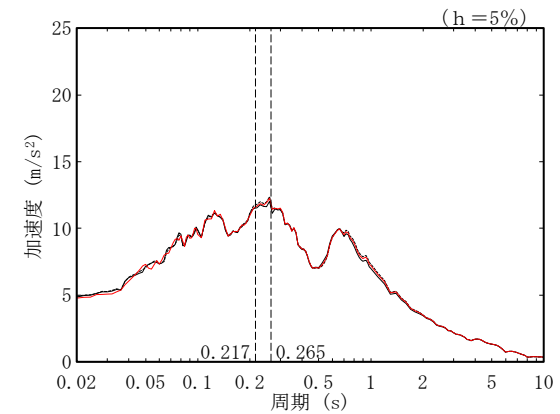


(b) 収束剛性分布

(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
▽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・凝灰岩互層	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



(d) 加速度応答スペクトル

* : 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。

第 3.3-1 図 地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, E 施設周辺, EB)

第 3.3-1 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

3.4 中央地盤・東側地盤・西側地盤の比較

3.1 節～3.3 節の結果を踏まえて、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 3.4-1 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 3.4-1 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。

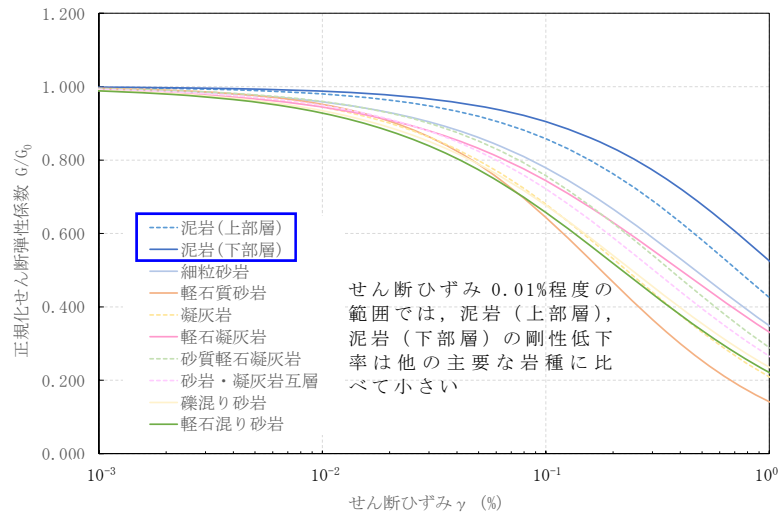
東側地盤の G14 については、3.2 節に示したとおり、軽石凝灰岩の初期せん断弾性係数が他グループと比べ小さいことから、地震時の地盤のせん断ひずみが卓越しやすく、剛性低下が他岩種と比べて大きい傾向であると考えられる。

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 3.4-1 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 3.4-1 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

4. 1.2×S_s-A の地盤応答解析結果

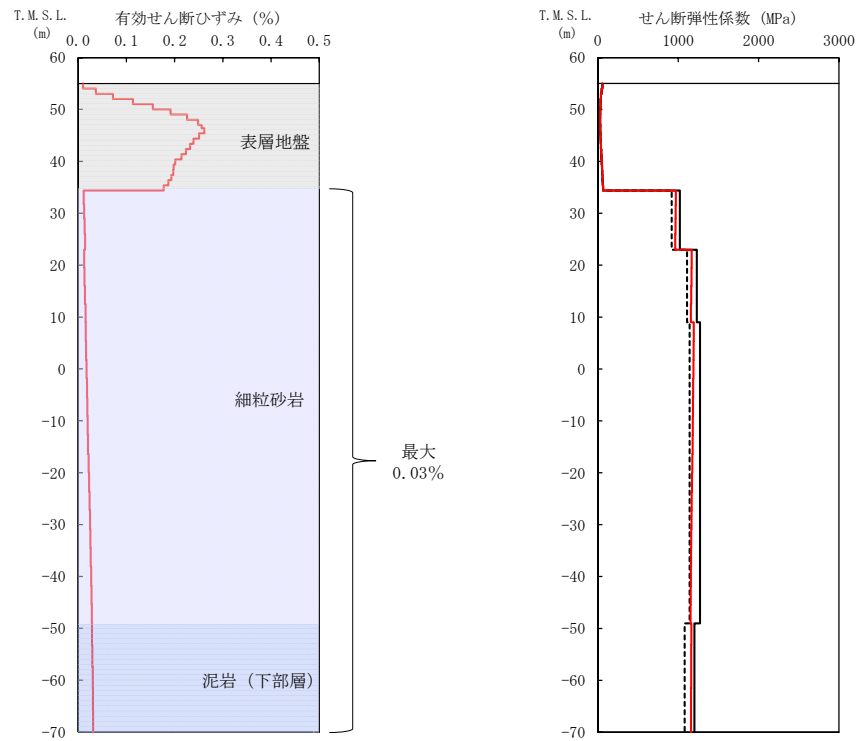
中央地盤、東側地盤及び西側地盤における各グループの 1.2×S_s-A に対する等価線形解析の結果として、地盤の有効せん断ひずみ分布、収束剛性分布、収束物性値及び各建屋の基礎底面レベルにおける入力地震動の加速度応答スペクトルを第 4-1 図～第 4-12 図に示す。また、地盤の各岩種の最大有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 の比較結果を基準地震動 S_s-A の地盤応答解析結果と合わせて第 4-1 表に整理する。

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、「3. 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 4-1 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

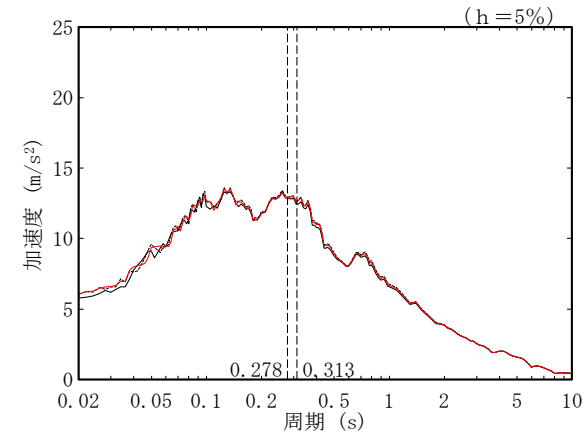


(a) 有効せん断ひずみ

(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
▽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

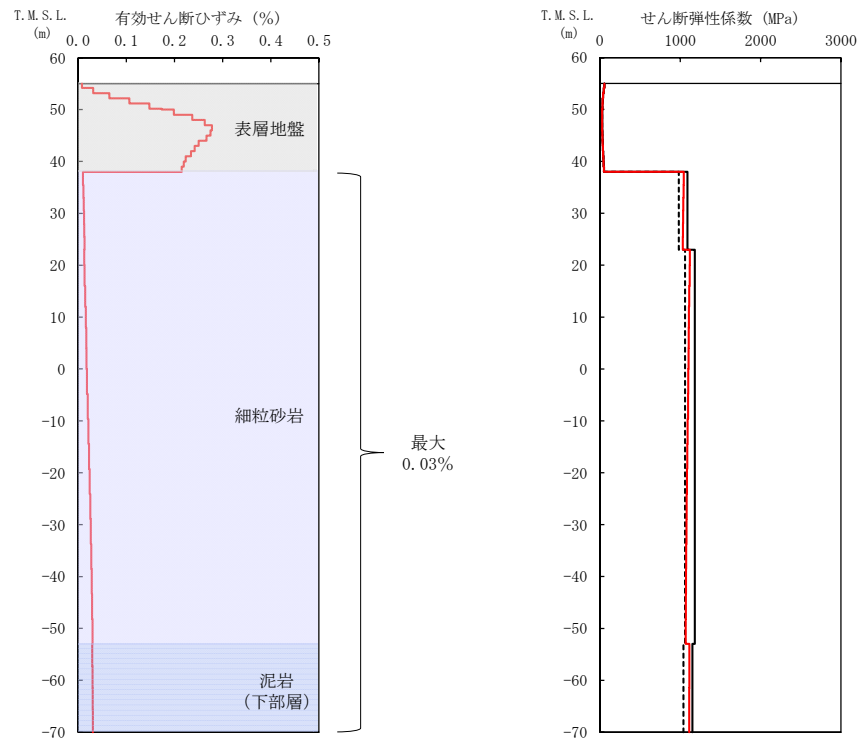


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-2-1 分離建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

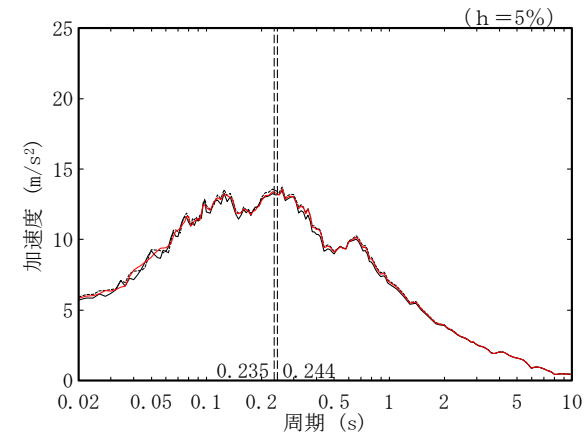
- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 4-1 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 ($\times 10^3$ 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	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

(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。

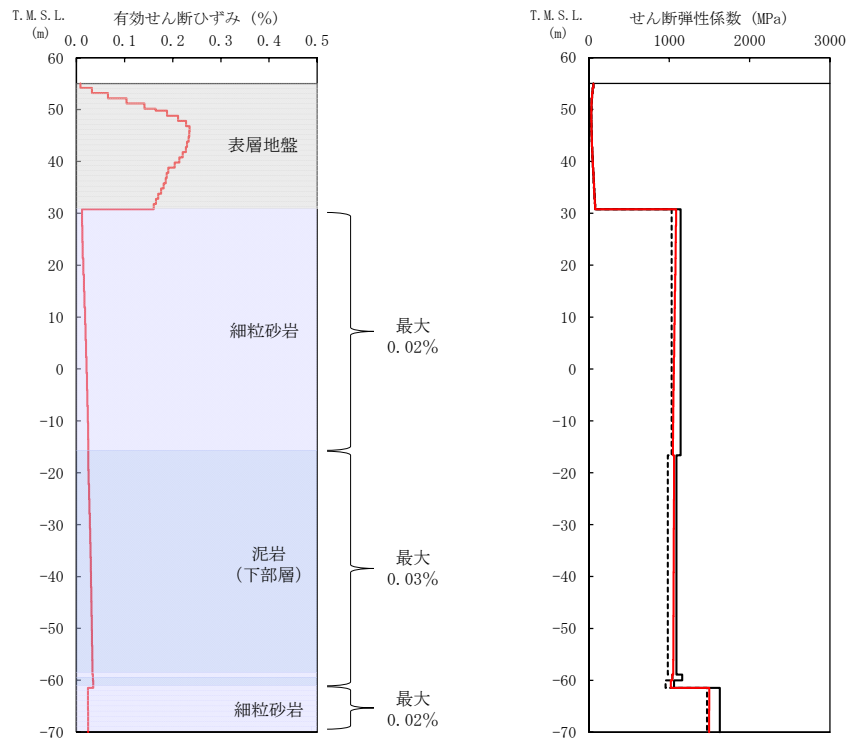
(a) 有効せん断ひずみ

(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 4-2 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2 \times S_s-A, F 施設周辺, FA)



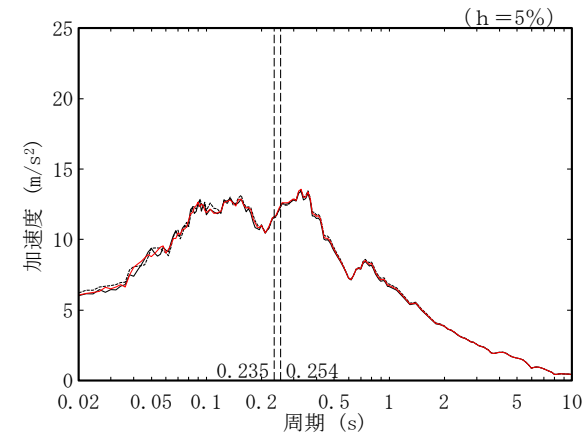
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

- (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
▽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

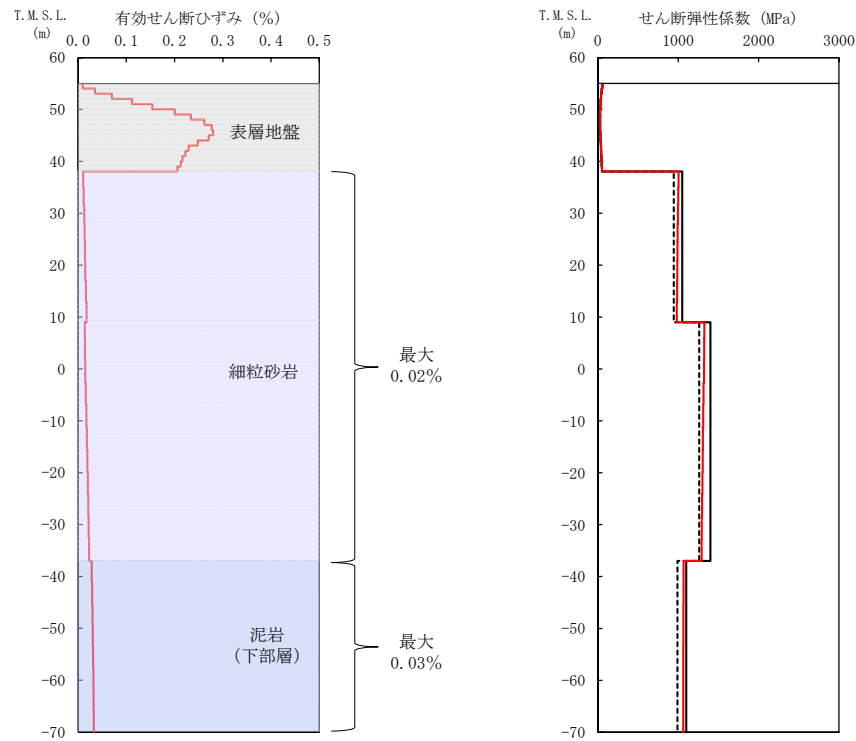
(c) 収束物性値



* : 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

第 4-3 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2× S_s -A, AE)

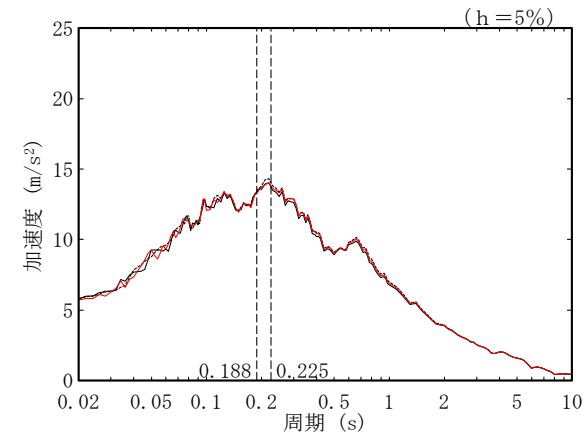


(a) 有効せん断ひずみ

(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 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	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	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

(c) 収束物性値

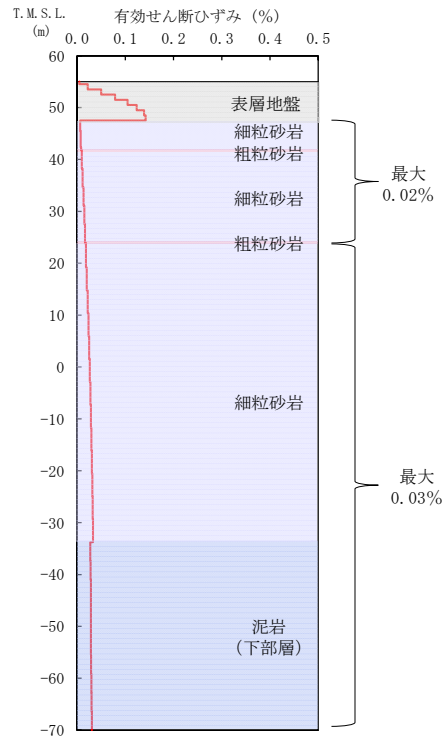


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-6-1 制御建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

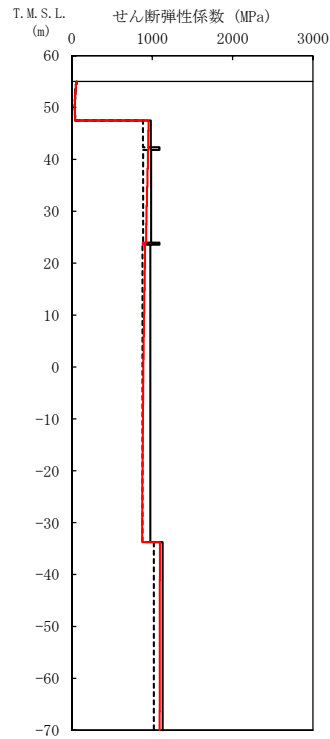
(d) 加速度応答スペクトル

- (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 4-4 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2 × Ss-A, AG)



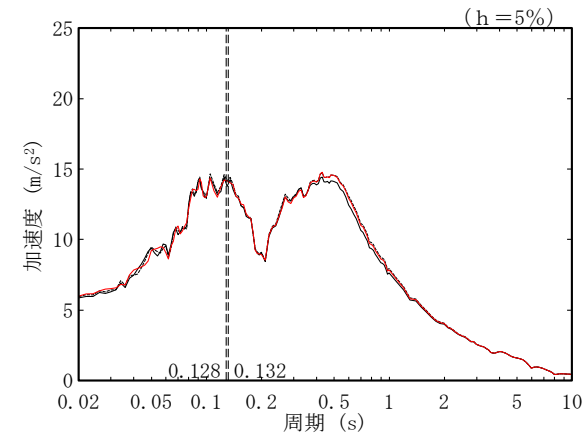
(a) 有効せん断ひずみ



(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	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

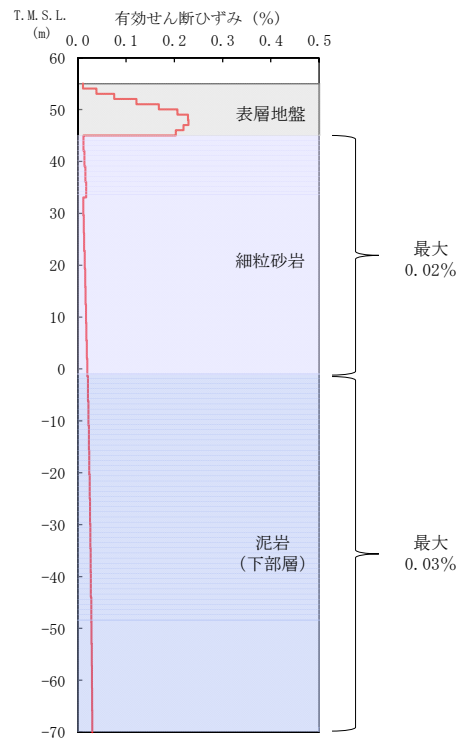


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-13-1 非常用電源建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

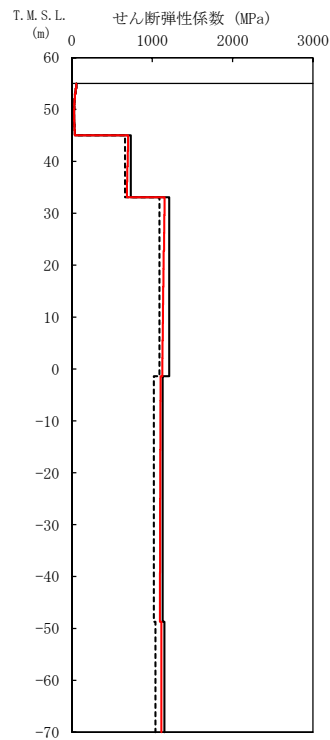
(d) 加速度応答スペクトル

- (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 4-5 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2 \times S_s-A, GA)



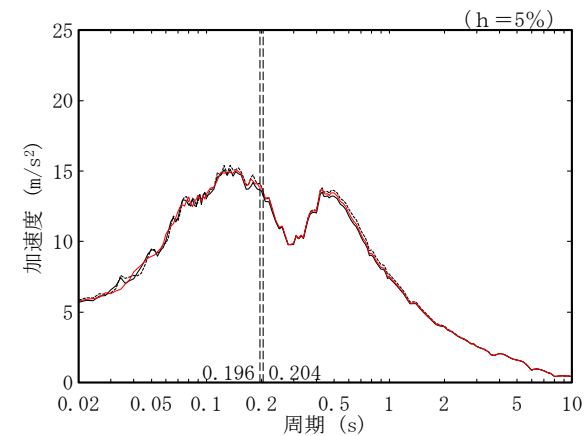
(a) 有効せん断ひずみ



(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 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	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
▽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

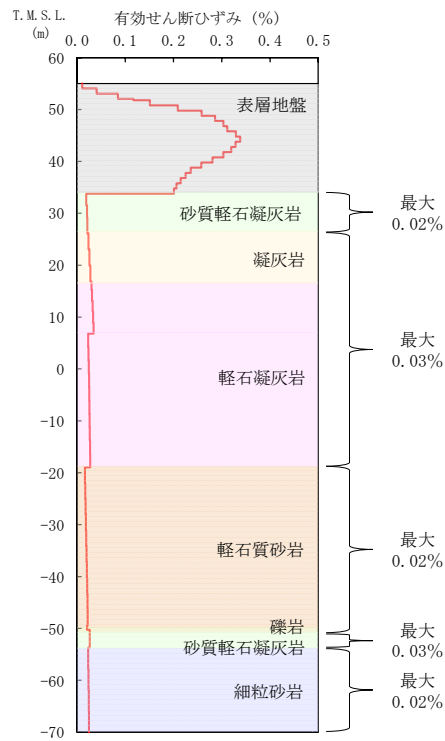


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-10-1 チャンネルボックス・パーナブルポイズン処理建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

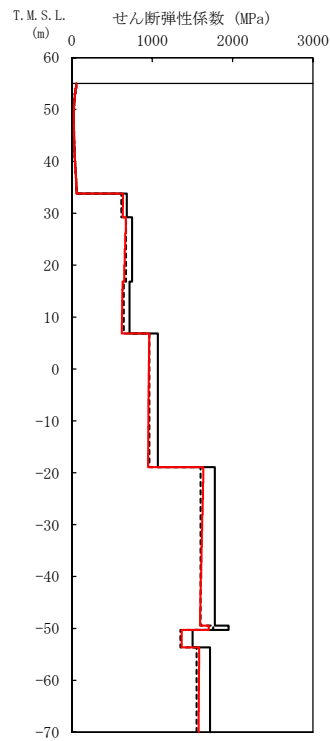
(d) 加速度応答スペクトル

- (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 4-6 図 地盤の等価線形解析結果 ($1.2 \times S_s$ -A, DC)



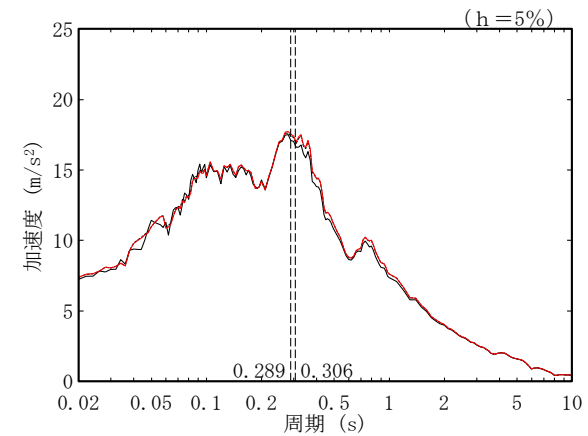
(a) 有効せん断ひずみ



(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	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

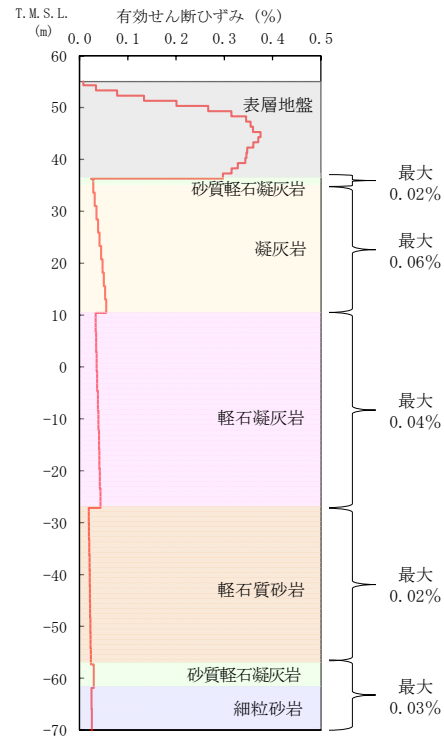


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-3-1 精製建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS,EW) を示す。

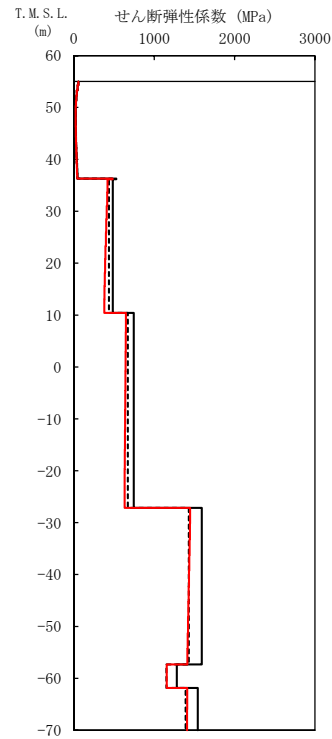
(d) 加速度応答スペクトル

- (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 4-7 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2×Ss-A, AC)



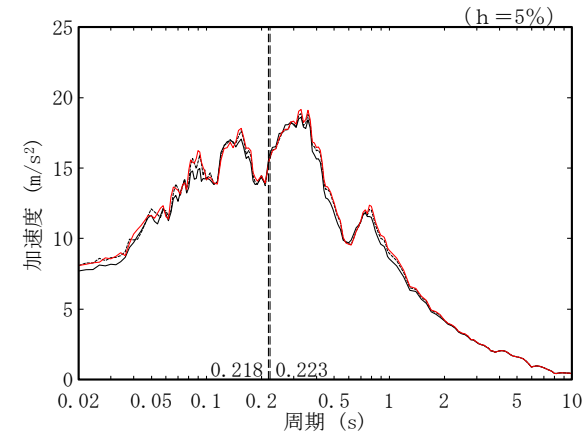
(a) 有効せん断ひずみ



(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

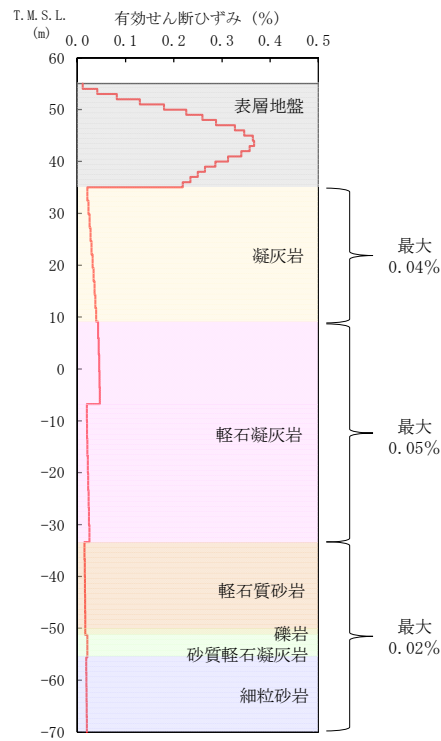


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-4-1 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

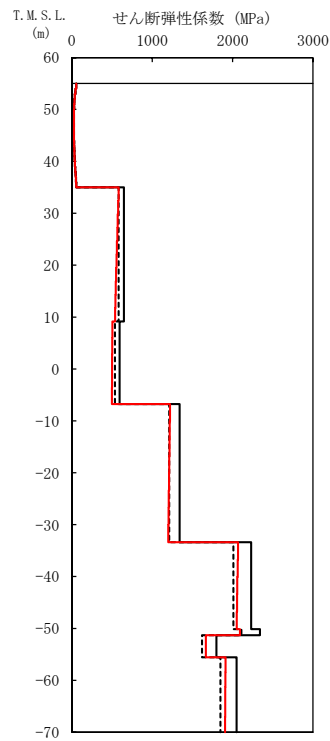
(d) 加速度応答スペクトル

- (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 4-8 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2 \times S_s-A, CA)



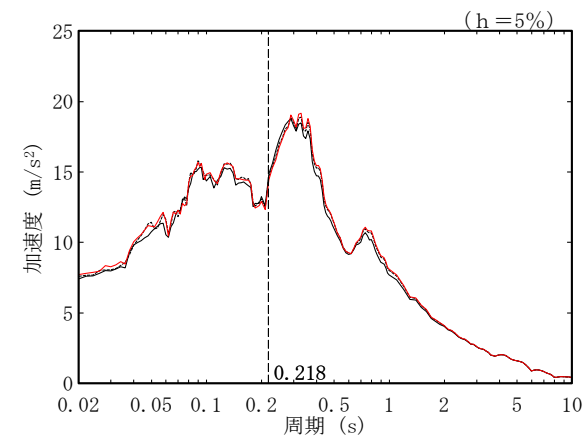
(a) 有効せん断ひずみ



(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

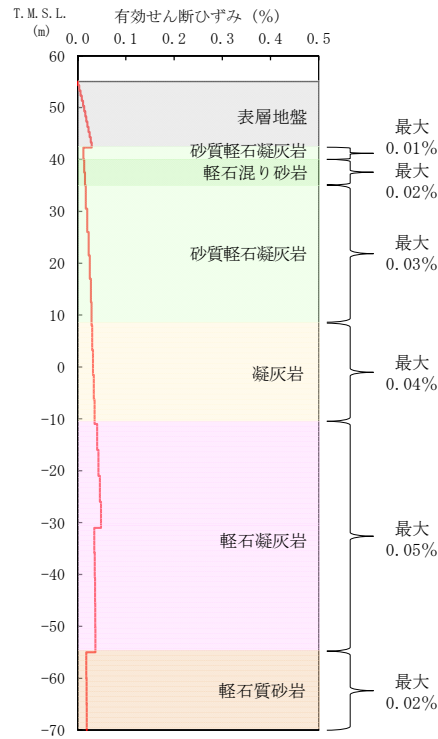


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-5-1 ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A の建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

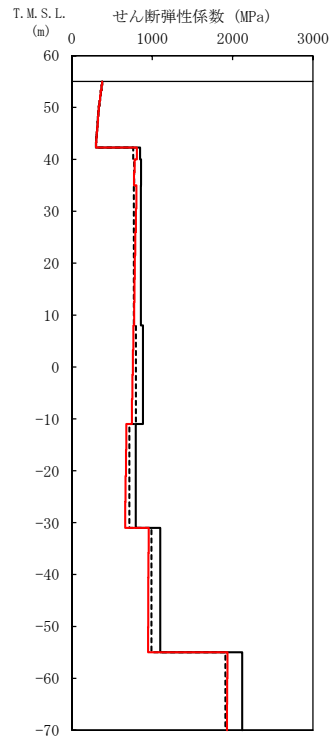
(d) 加速度応答スペクトル

- (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 4-9 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2 \times S_s-A, CB)



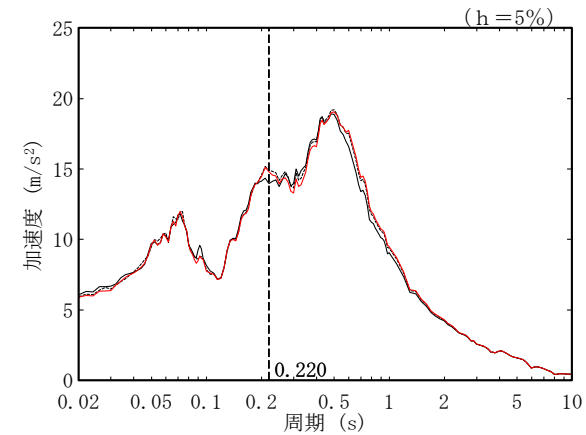
(a) 有効せん断ひずみ



(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

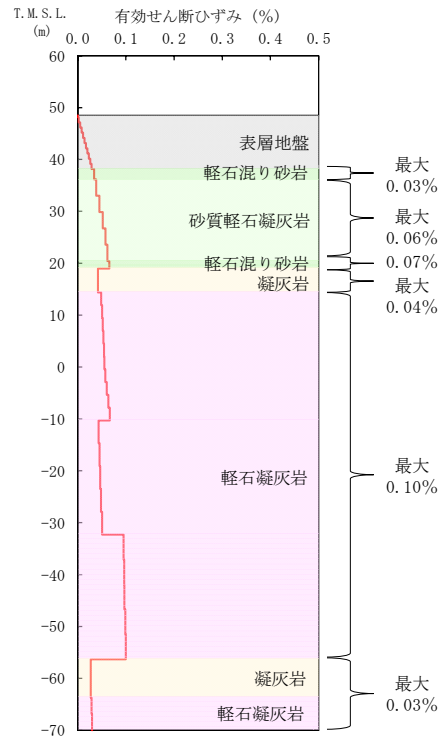


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-2 1-1 緊急時対策建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

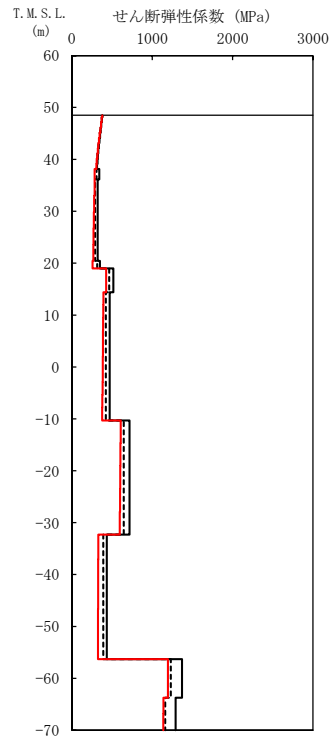
(d) 加速度応答スペクトル

- (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 4-10 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2 \times S_s-A, AZ 周辺, AZ)



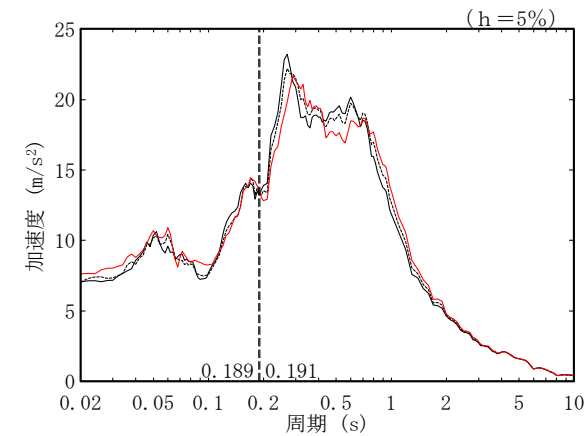
(a) 有効せん断ひずみ



(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

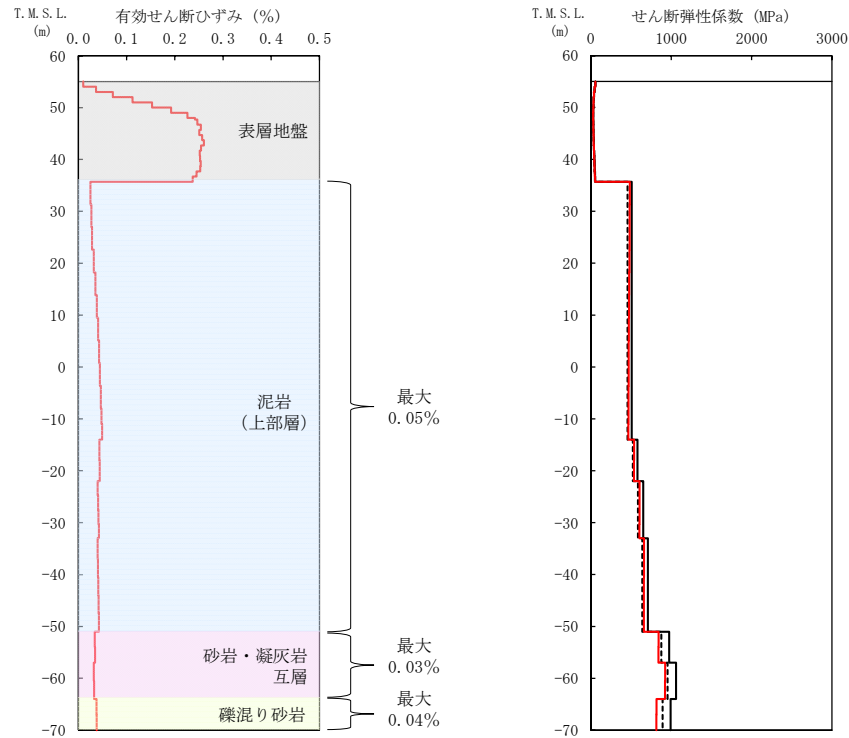


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-18-1 第2保管庫・貯水所の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

(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 4-11 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2 \times S_s-A, G14)



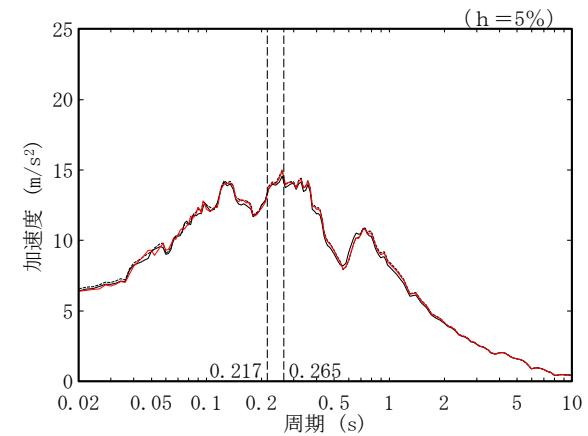
(a) 有効せん断ひずみ

(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
▽FB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 4-12 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2× S_s -A, E 施設周辺, EB)

5. まとめ

本資料においては、一般的・標準的な手法による岩盤部分の剛性の非線形性に係る検討を実施した。

今後、基本地盤モデルの設定にあたっては、本資料に示す基準地震動 S_s-A 及び $1.2 \times S_s-A$ の加速度応答スペクトル並びに底面地盤ばねの剛性の比較結果を踏まえ、岩盤部分の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から、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、その他のパラメータの設定結果も踏まえて設定した基本地盤モデルに基づく入力地震動と 2022 年 12 月申請時点における入力地震動の比較において、応答の差についての考察を合わせて行うこととする。

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

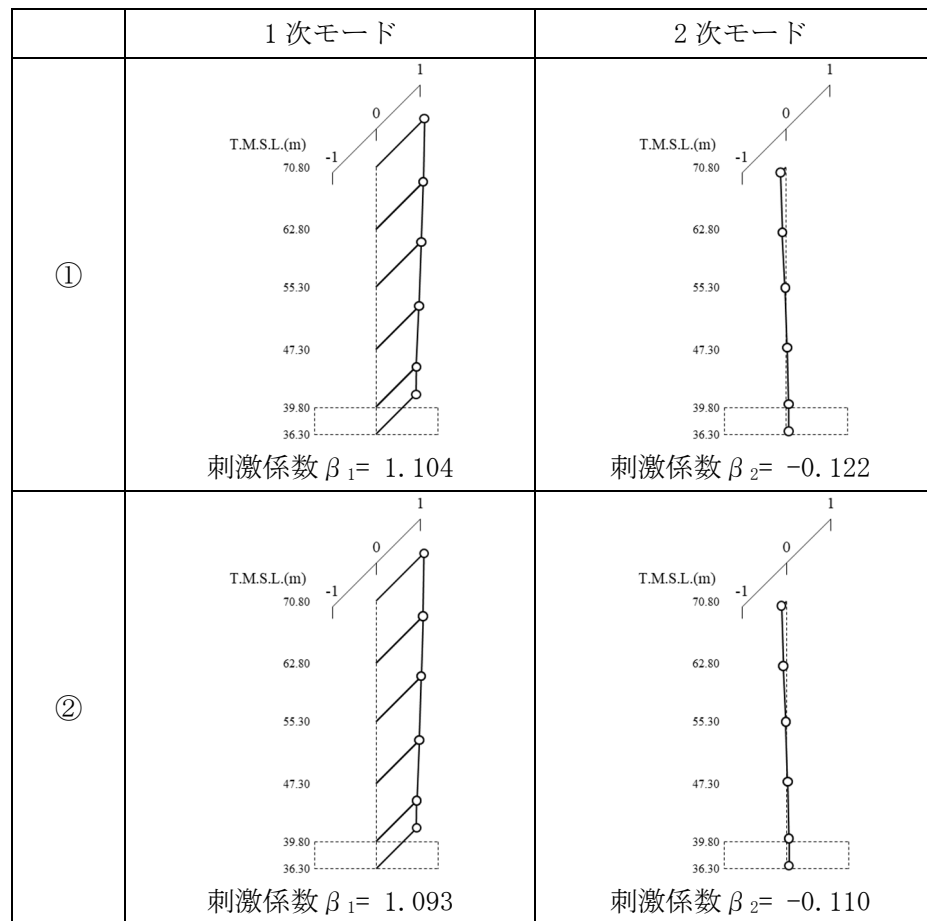
第 2-3 表 CA の刺激係数図 (EW 方向)

	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

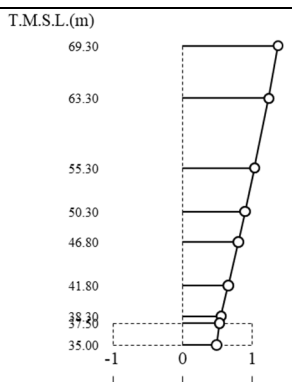
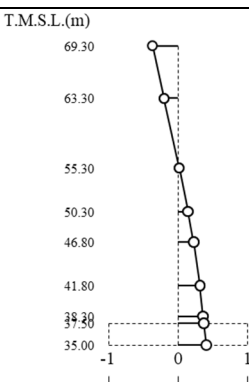
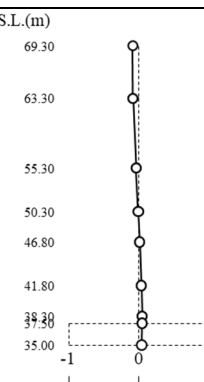
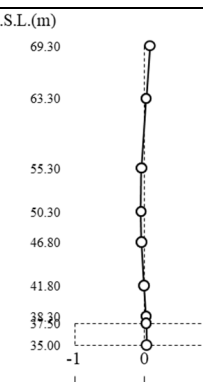
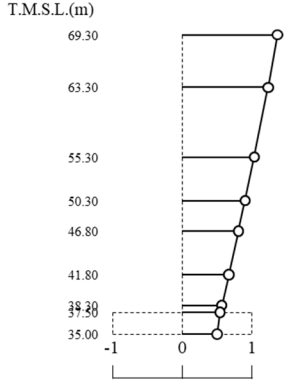
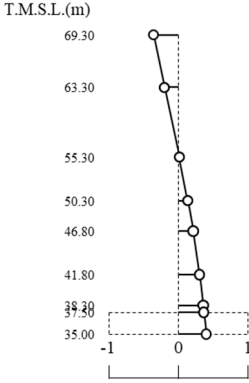
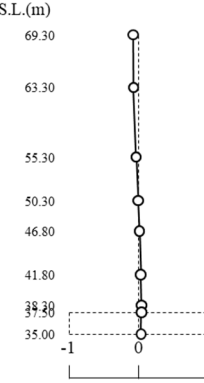
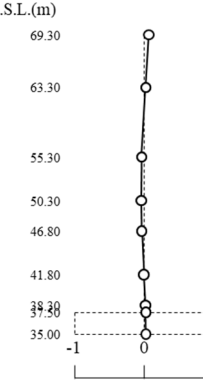
第 2-6 表 CB の刺激係数図 (NS 方向)

	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

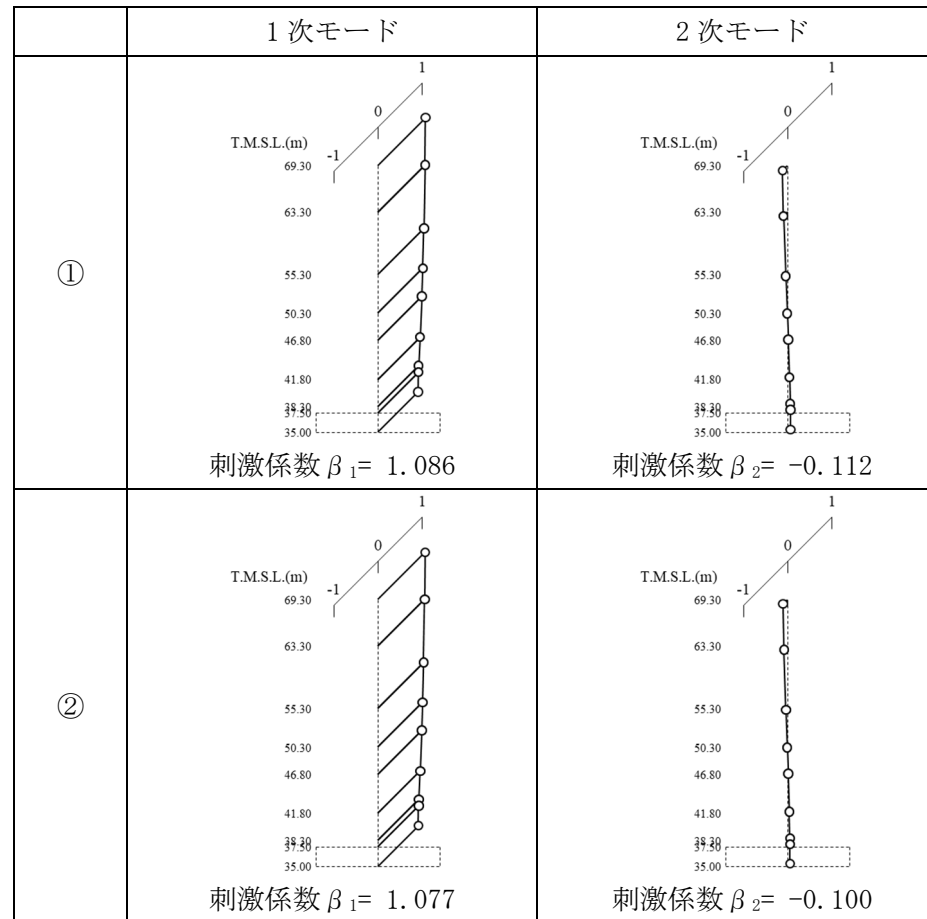
第 2-7 表 CB の刺激係数図 (EW 方向)

	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

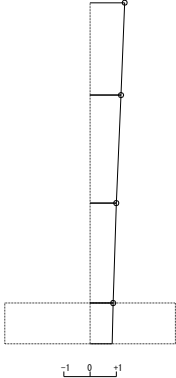
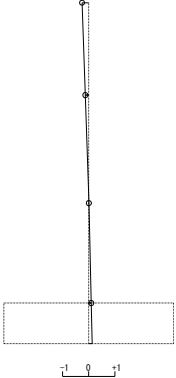
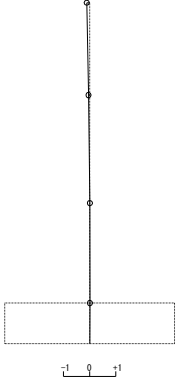
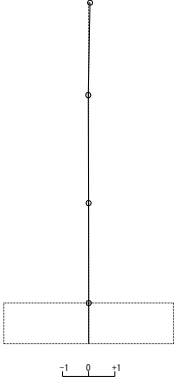
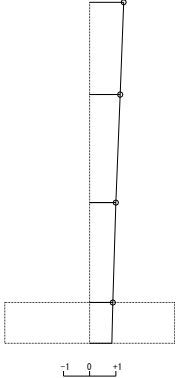
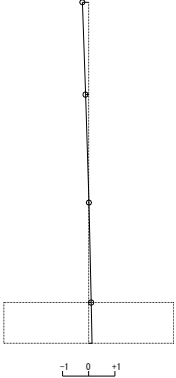
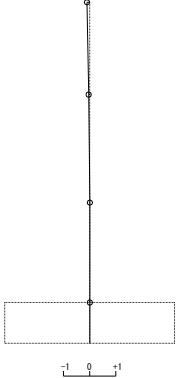
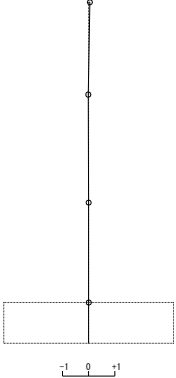
(c) UD 方向

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

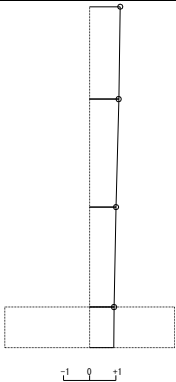
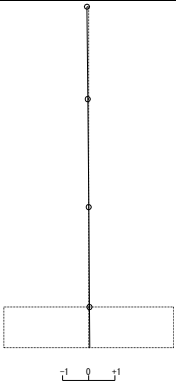
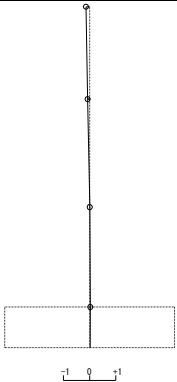
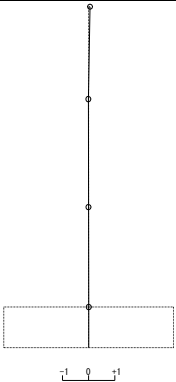
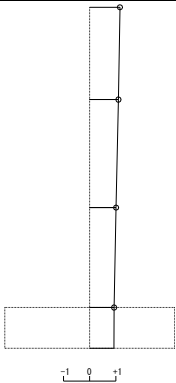
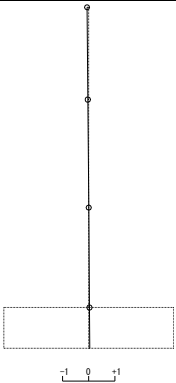
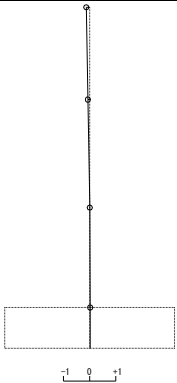
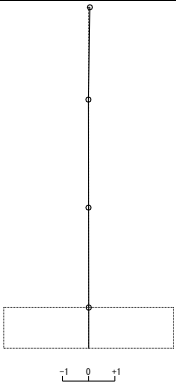
第 2-10 表 G14 の刺激係数図 (NS 方向)

	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

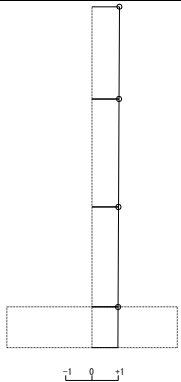
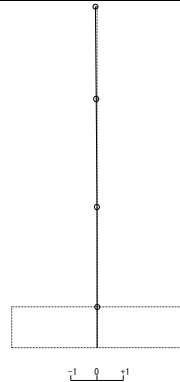
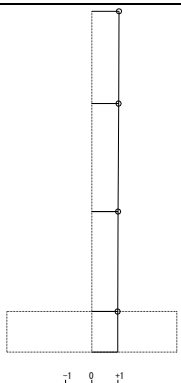
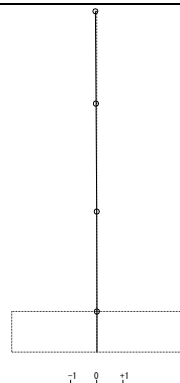
第 2-11 表 G14 の刺激係数図 (EW 方向)

	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

文中の下線部は6月20日審査会合における「資料1 設工認申請の対応状況について」のうち、別添4に示した内容からの変更箇所を示す。

目 次

	ページ
1. はじめに	1
2. 地盤の減衰定数に係る一般的・標準的な設定手法の整理	2
2.1 JEAG4601-2015 における設定方法	3
2.2 JEAG4601-1987 における設定方法	3
3. 敷地における減衰定数の評価	4
3.1 JEAG4601-1987 に示される評価方法	4
3.1.1 三軸圧縮試験による評価	6
3.1.2 S波検層による評価	7
3.1.3 地震観測記録による評価	8
3.1.4 散乱減衰を考慮可能な手法の違いについて	9
3.2 敷地における減衰定数の評価に用いる手法	10
3.2.1 既認可時点における設定の考え方	10
3.2.2 本資料において実施する評価	12
4. 基本地盤モデルに対する減衰定数の設定方針	15
4.1 地震観測記録による評価	18
4.2 S波検層による評価	19
4.3 三軸圧縮試験による評価	19
4.4 岩石コア試験及び速度構造による評価	20
5. 三軸圧縮試験による方法	21
5.1 岩盤部分の減衰定数のひずみ依存特性	21
5.2 岩盤部分の非線形性が減衰定数に与える影響	29
6. 敷地におけるS波検層による評価	32
7. 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価	35
7.1 地震観測記録を用いた減衰定数の評価方法	36
7.2 敷地における地震観測の概要	37
7.3 伝達関数による検討	40
7.3.1 評価に用いる地震観測記録	40
7.3.2 初期モデルの設定及び探索範囲	47
7.3.3 目的関数の設定	52
7.3.4 減衰定数の周波数依存特性の考慮	56
7.3.5 評価方法及び条件	59
7.3.6 評価結果	60

7.4	地震波干渉法による検討	82
7.4.1	評価の概要	82
8.	基本地盤モデルにおける岩盤部分の減衰手数の設定	83
9.	評価結果に対する考察	87
9.1	既往知見等または評価手法間の整合性	87
9.2	各評価結果から得られる減衰定数に対する考察	89
9.3	事業変更許可申請におけるはぎとり地盤モデルとの関係	90
9.4	シミュレーション解析結果における観測記録との差に関する分析 ..	92
10.	まとめ	94

1. はじめに

本資料は、地盤モデルの設定パラメータとなる4因子のうち、岩盤部分の減衰定数について、一般的・標準的な設定手法に基づく評価方法、評価結果及び「基本地盤モデル」の設定結果を示すものである。

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、既認可時と比較して、基準地震動 Ss が増大していることや、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、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。

2. 地盤の減衰定数に係る一般的・標準的な設定手法の整理

既認可時点における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 JEAG4601-2015における設定方法

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。

2.2 JEAG4601-1987における設定方法

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。

3. 敷地における減衰定数の評価

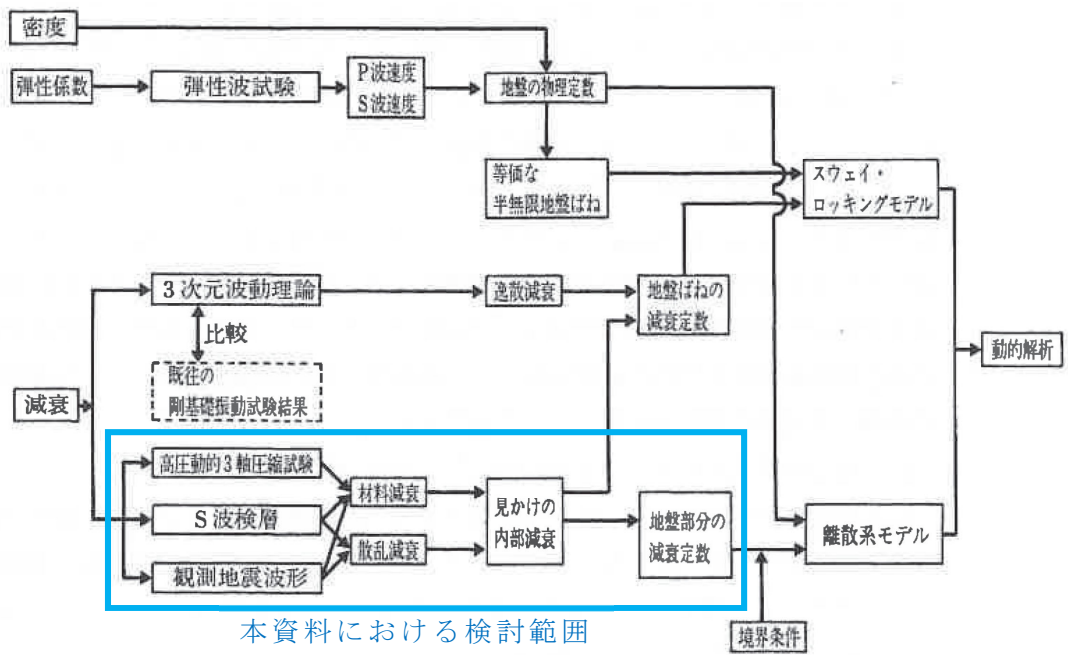
「2. 地盤の減衰定数に係る一般的・標準的な設定手法の整理」を踏まえ、敷地における減衰定数を評価するための一般的・標準的な手法として、JEAG4601-1987に示される手法に従い、敷地における減衰定数を評価する。

3.1 JEAG4601-1987に示される評価方法

第 3.1-1 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せら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、3.1.1～3.1.4 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 3.1-1 図 地盤の物性値評価のフロー（JEAG4601-1987 に加筆）

3.1.1 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、基本地盤モデルの設定にあたり、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、補足説明資料本文に示すとおり、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。

3.1.2 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

3.1.3 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、「3.1.2 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（「3.1.2 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。

3.1.4 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態波データを用いて、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周波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。

3.2 敷地における減衰定数の評価に用いる手法

3.2.1 既認可時点における設定の考え方

以下に示すとおり、既認可時点における地盤の減衰定数の設定にあたり、「3.1 JEAG4601-1987 に示される評価方法」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。

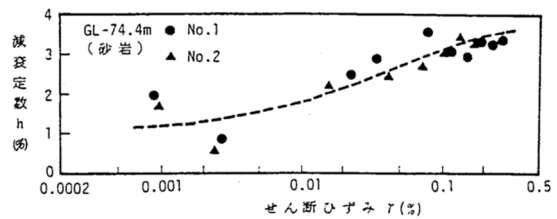
- ・ 嶋ほか（1983）の知見において、いわき地点の砂岩における減衰定数の評価結果として、第 3.2.1-1 図に示すとおり、高圧動的三軸圧縮試験結果より、低ひずみ領域では減衰定数が 1～2%，ひずみ 0.1% 付近では 3% となっていること、また、S 波検層や地震観測記録に基づく減衰定数の評価手法によっては、それよりも大きな値（最大 8% 程度）として評価されていること。
- ・ 中村他（1990）において、富岡地点における泥岩層での Q 値の検討が行われており、下式に示す Q 値の周波数依存性の関係に対し、 $n=1.0$ 、 $\alpha=200$ とした場合に、地震観測記録と整合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。

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

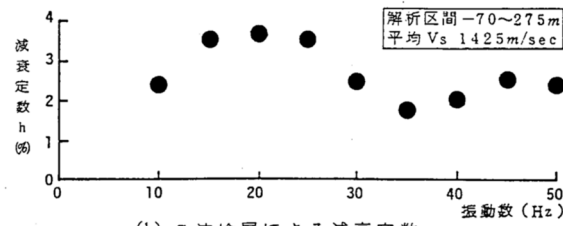
$$\left(\begin{array}{l} Q : Q \text{ 値} \\ h : \text{減衰定数} \\ V_s : S \text{ 波速度} \\ f : \text{周波数} \\ n, \alpha : \text{係数} \end{array} \right)$$

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。

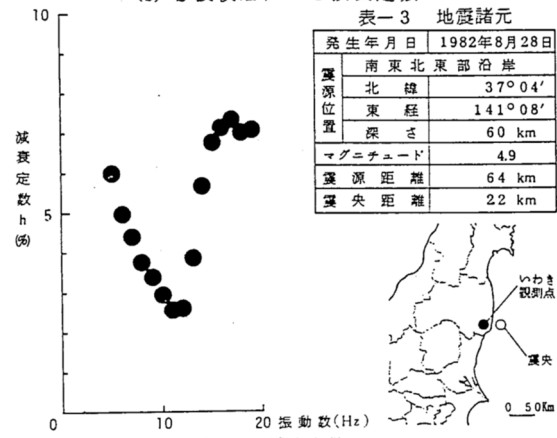
以上のことから、既認可時点においては、JEAG4601-1987 に示される手法に基づき、直接敷地において減衰定数を評価した実績は無いものの、JEAG4601-1987 に示される手法に基づく国内の各種試験結果を敷地に適用した確認を行うことにより、地盤の減衰定数を設定している。



(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 3.2.1-1 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)

3.2.2 本資料において実施する評価

岩盤部分の減衰定数の設定に当たっては、上述の JEAG4601-1987 に示される手法を用いて評価を実施する。

補足説明資料本文「2. 入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定方針」に示したとおり、基本地盤モデルの設定にあたっては、既認可以降に生じた状態変化を鑑みて設定することとしている。岩盤部分の減衰定数の設定にあたり、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。

「3.1 JEAG4601-1987 に示される評価手法」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 3.2-2-1 表に示すとおり、各手法に対する当社におけ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、他サイトにおける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、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、地盤の減衰定数に係る議論については、他サイト各社の設置変更許可申請においても詳細な議論がなされていることから、至近に審査会合が行われている玄海3,4号、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 3.2.2-1 表 当社における検討方針

手法		検討内容	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。	・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。	・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周波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 (周波数依存型) 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。	・事業許可におけるはぎとり地盤モデルを作成する際に、周波数依存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、はぎとり地盤モデルは、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。	・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、上記周波数依存型及びこれまで説明している周波数依存性無しの条件に加え、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
		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。	・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。	・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。	・設計においては、周波数依存性を考慮しない減衰定数を設定し、地盤応答解析により入力地震動を求めることから、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。	・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。 ・速度層断面については、岩盤部分の物性値等により整理されるため、ここで整理された速度層の各 Gr における傾向と、上記評価並びに調査結果の対応を確認する。	—	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。		—	玄海 3, 4 号	

4. 基本地盤モデルに対する減衰定数の設定方針

「3.2.2 本資料において実施する評価」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、基本地盤モデルに設定する値を決定する。

本検討において実施する評価手法について、各評価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第4-1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、4.1～4.4の各章にて示す。

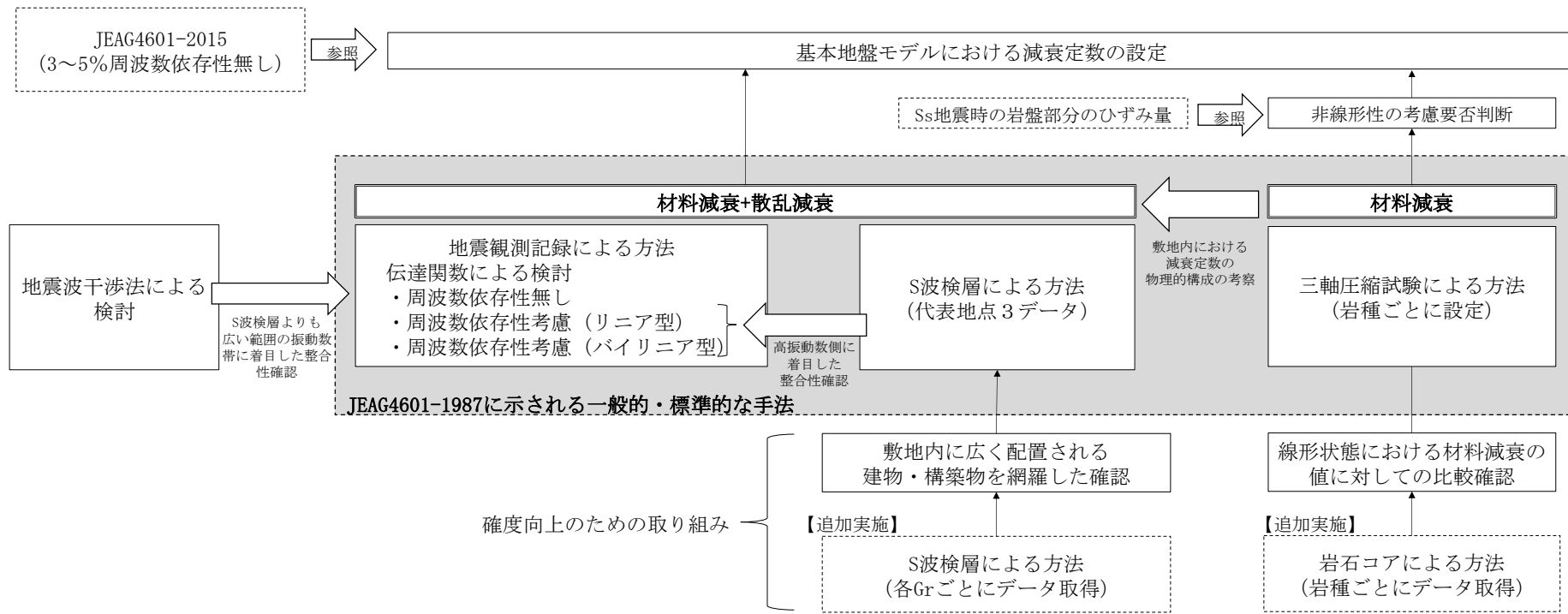
設定にあたっては、「3.2.2 本資料において実施する評価」に示した手法による評価結果を踏まえ、各手法において評価される減衰定数の物理的な意味合い、信頼区間及び施設の耐震設計に対して寄与の大きい周波数帯を踏まえて適切な値を設定する。また、設定値についてはJEAG4601-2015を参照することとし、軟岩を主体とするサイトにおける減衰定数の慣用値である3～5%の範囲内で設定する。

上記の考え方を踏まえた各評価手法の関係性について、第4-1図に示す。

第 4-1 表 各深さにおける評価手法の位置付け

	材料減衰	材料減衰+散乱減衰	備考
▼地表			
表層地盤	<p>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。</p> <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 	<p>以下理由から散乱減衰は考慮しない</p> <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	<ul style="list-style-type: none"> 三軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性 ($h-\gamma$) 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に用いる。 <p style="text-align: center;">今後データ取得</p>	<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 今後データ追加 	<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、耐震設計に一般的に用いる方法は周波数依存性無しであるが、多角的な検討を行う観点で周波数依存性を考慮した方法について実施。 S波検層による方法について、敷地内中央・西側・東側地盤の3地点におけるデータに加え、各Grにおけるデータを追加取得する。
解放基盤表面 ▼(G.L.-125m)			
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。	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。

本資料における
設定範囲



第 4-1 図 岩盤部分における減衰定数の設定に係る各評価方法の関係性

4.1 地震観測記録による評価

「2.2 JEAG4601-1987における設定方法」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の説明性が高い地盤の減衰定数を評価することにより実施する。

耐震設計においては、減衰定数に周波数依存特性を考慮しないことが一般的であることから、敷地内において得られた地震観測記録に適合するように、周波数依存特性を考慮しない条件における減衰定数を評価する。

また、実現象を踏まえると、地盤の減衰定数については周波数依存特性を有するとの知見もあり、上記の周波数依存特性を考慮しないケースにおいては、必ずしも地震観測記録と適合する上で最適なモデルとなっていないことが考えられることから、多面的な検討として、周波数依存特性を考慮した場合の評価を実施し、上記の周波数依存特性を考慮しない条件における減衰定数の妥当性を確認する。

なお、上記の確認は、第3.2.2-1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、周波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。

4.2 S波検層による評価

「2.2 JEAG 4601-1987における設定方法」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、広い範囲の周波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、適切に周波数の信頼区間を確認した上で、「4.1 地震観測記録による評価」において評価された減衰定数との整合性を確認する。

また、現時点において、敷地内においてS波検層データは3孔でのみ有していることから、確度向上のための取り組みとして、敷地内に広く配置される建物・構築物を網羅した確認が行えるよう、追加データの取得を行う。

4.3 三軸圧縮試験による評価

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特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、地盤の減衰定数の非線形特性は、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、実現象に対して小さい減衰定数を与えることとなる。

以上を踏まえ、Ss地震時の地盤のひずみ量に対し、非線形性による減衰定数の増大に伴う材料減衰の値が、地震観測記録による手法に基づき評価される減衰定数を大きく上回る場合には、岩盤部分の非線形性を考慮した減衰定数の設定が入力地震動への影響があると考えられると判断し、その時のひずみ量よりも大きい領域において、ひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）を考慮する。

4.4 岩石コア試験及び速度構造による評価

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減衰定数の値よりも、小さい値が得られる傾向がある。

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とに対する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波検層による評価より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。

5. 三軸圧縮試験による方法

5.1 岩盤部分の減衰定数のひずみ依存特性

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による方法の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非線形性についてもあわせて評価されている。

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 5.1-1 図～第 5.1-12 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。

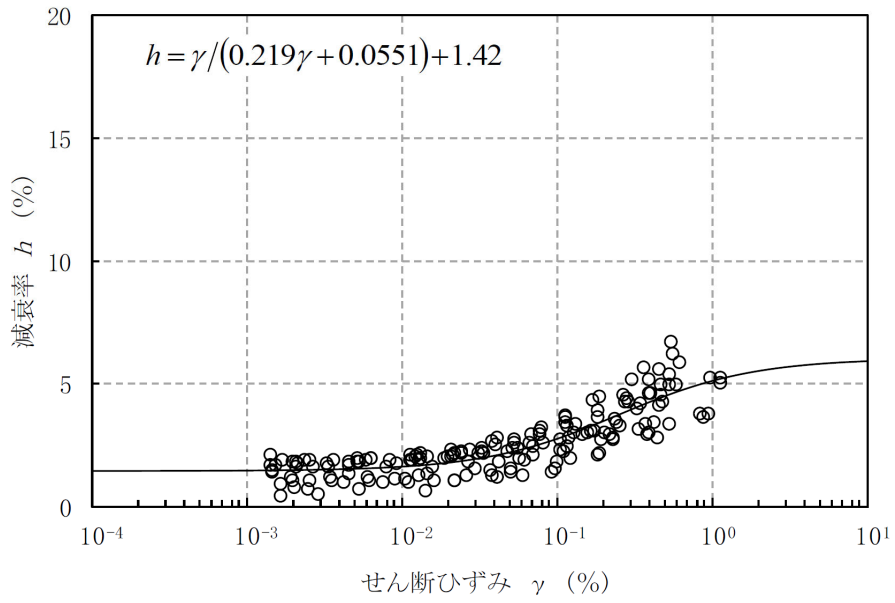
第 5.1-1 図～第 5.1-2 図に示したひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）に示されるとおり、 $h-\gamma$ 曲線は、岩盤種別ごとに、試験結果から得られたデータに対し双曲線型の近似式で表されている。敷地内の岩盤はいずれの岩種においてもデータのばらつきは小さく、適切な設定となっている。

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、 10^{-3} よりも大きい範囲において減衰定数が増大する傾向となっている。

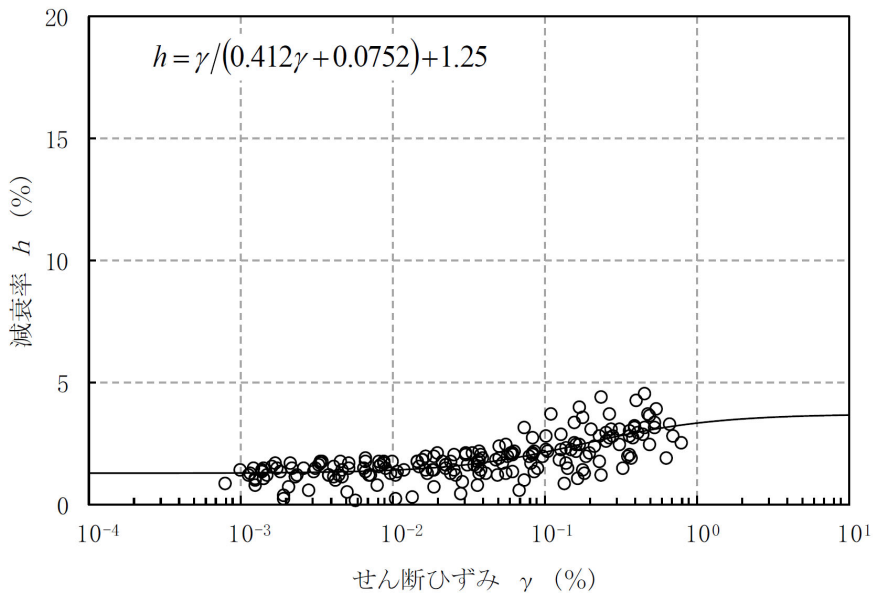
なお、三軸圧縮試験データについては、ボーリング孔中の各深さにおける試験体に対する試験結果で構成されるが、上記のとおり $h-\gamma$ 曲線に対して全体としてデータのばらつきは小さいことから、岩盤分類ごとに深さ方向の材料減衰の違いは有意なものでは無いと考えられる。

以上の傾向及び「別紙 2-2 岩盤部分の剛性の非線形性について」に示した S_s 地震時の地盤のせん断ひずみを踏まえ、岩盤部分の減衰定数について、非線形性による影響について、「5.2 岩盤部分の非線形性が減衰定数に与える影響」にて考察を示す。

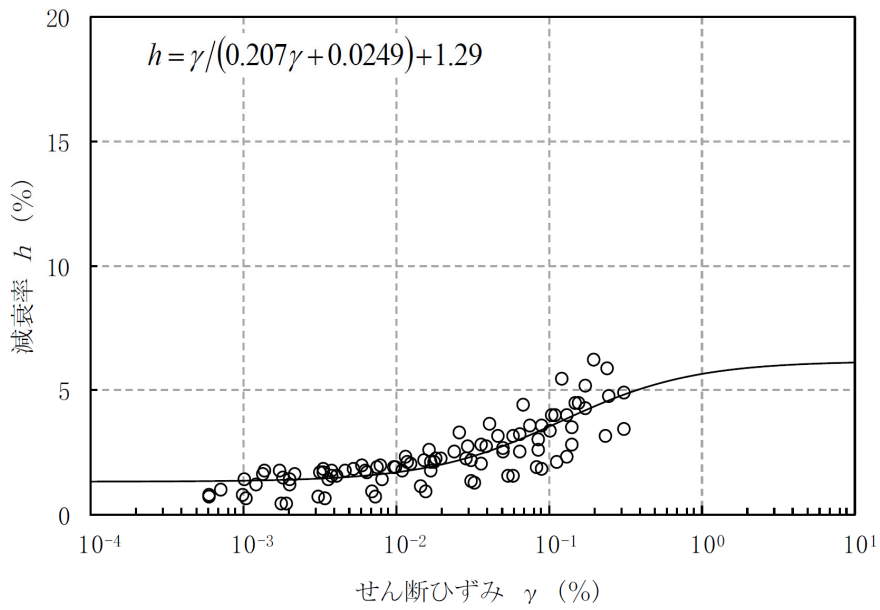
注記 *：事業変更許可の引用部分については，当社事業間で記載内容に差が無いことから，再処理施設事業変更許可申請書における章を代表として記載。



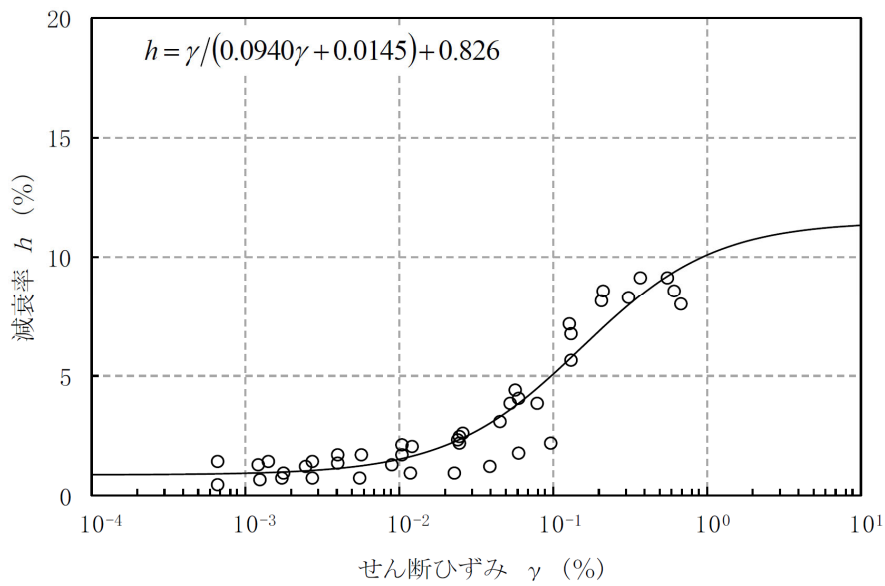
第 5.1-1 図 ひずみ依存特性 (泥岩 (上部層))



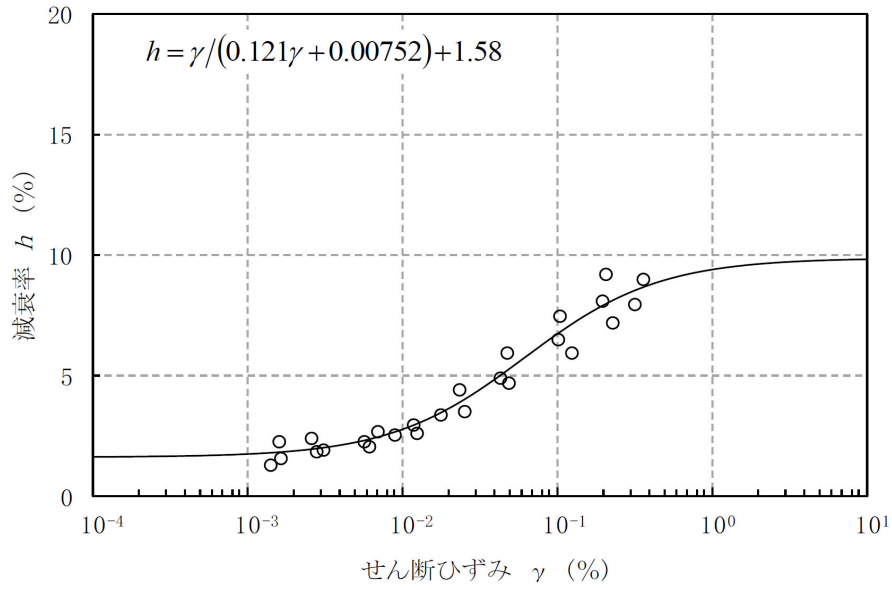
第 5.1-2 図 ひずみ依存特性 (泥岩 (下部層))



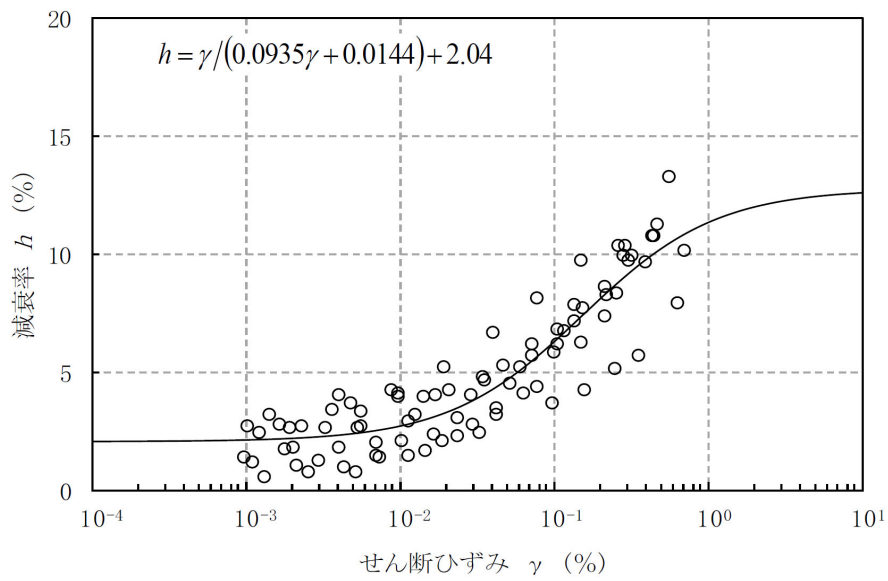
第 5.1-3 図 ひずみ依存特性 (細粒砂岩)



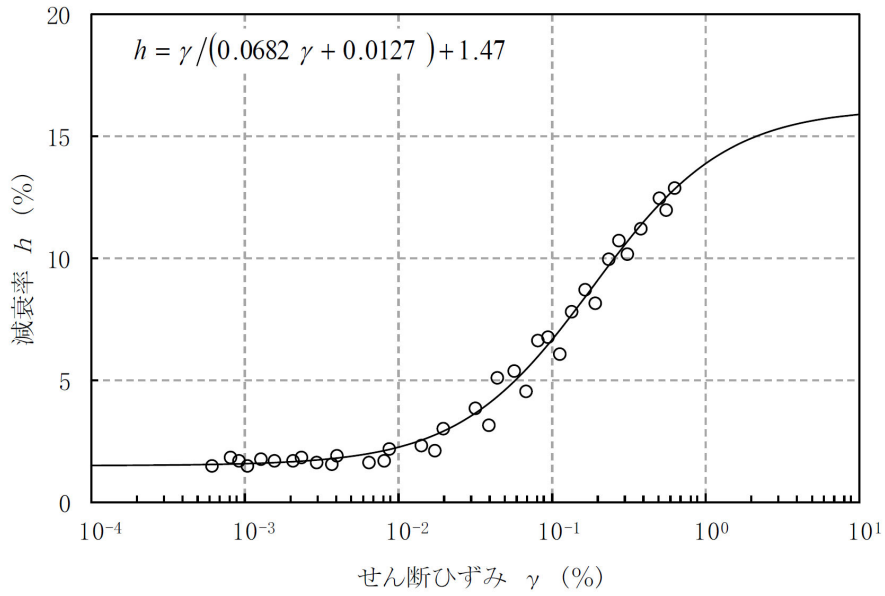
第 5.1-4 図 ひずみ依存特性 (軽石質砂岩)



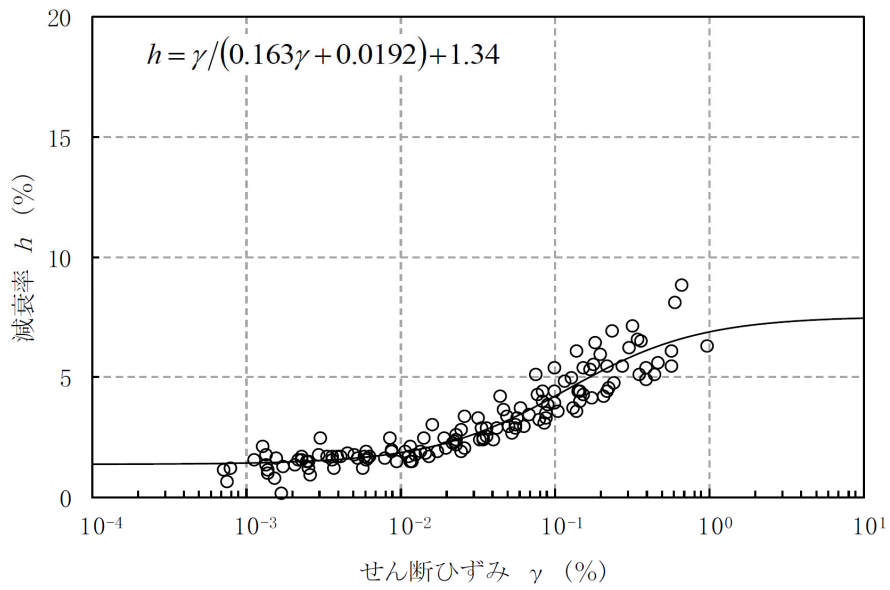
第 5.1-5 図 ひずみ依存特性 (粗粒砂岩)



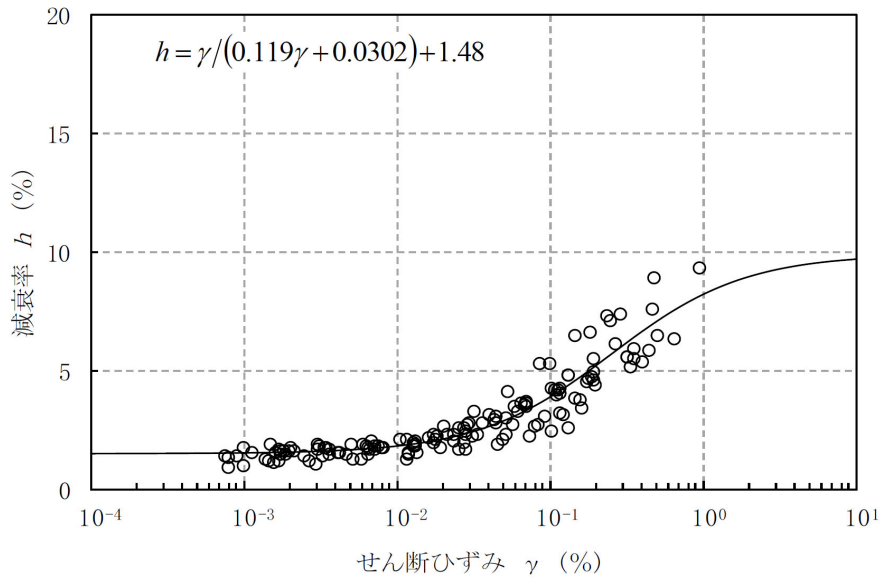
第 5.1-6 図 ひずみ依存特性 (砂岩・凝灰岩互層)



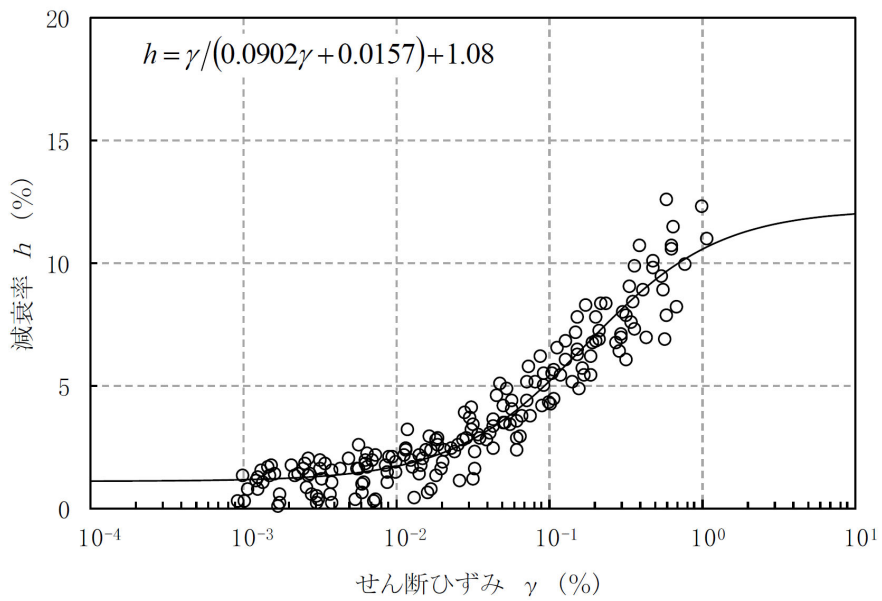
第 5.1-7 図 ひずみ依存特性 (凝灰岩)



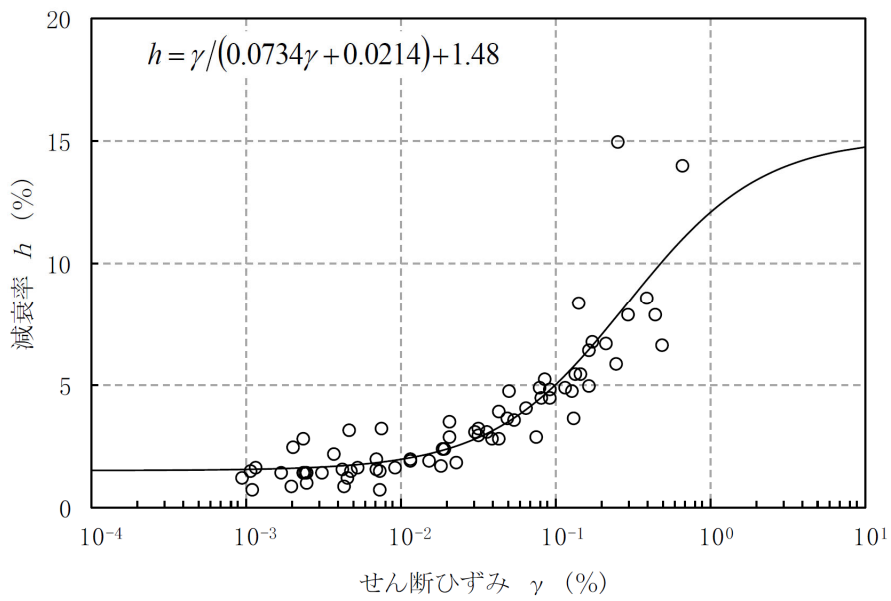
第 5.1-8 図 ひずみ依存特性 (軽石凝灰岩)



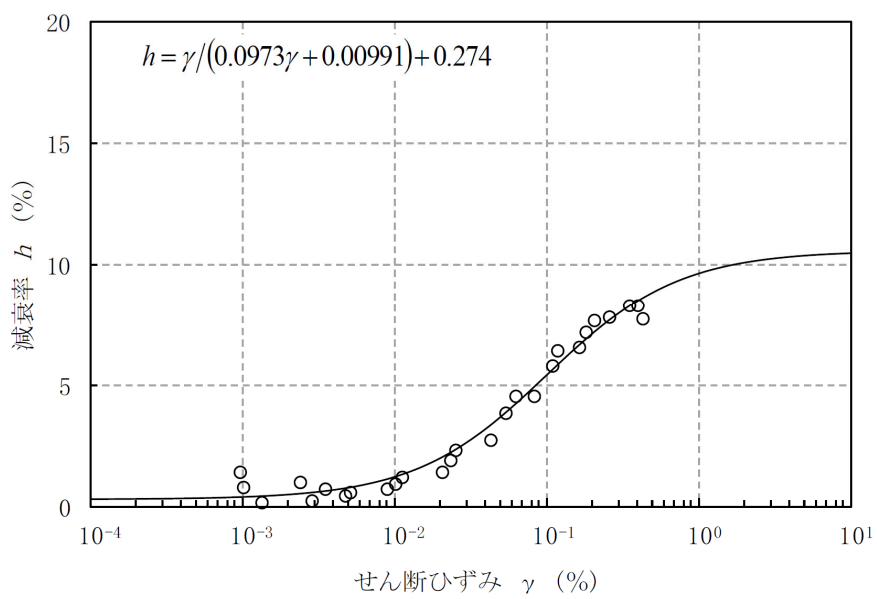
第 5.1-9 図 ひずみ依存特性 (砂質軽石凝灰岩)



第 5.1-10 図 ひずみ依存特性 (礫混り砂岩)



第 5.1-11 図 ひずみ依存特性 (軽石混り砂岩)



第 5.1-12 図 ひずみ依存特性 (礫岩)

5.2 岩盤部分の非線形性が減衰定数に与える影響

本資料における減衰定数の評価結果との関係の確認として、「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」に示す、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基づく考察を以下に示す。

「7. 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価」において、減衰定数の評価に用いた観測記録のうち、最大の加速度を有する地震は、最深部（GL-200m）において 30Gal 程度のものであることから、今回実施した評価では、地盤が線形状態であるときの材料減衰と散乱減衰が含まれた減衰定数を評価していると考えられることから、耐震設計上考慮する地震動のレベルに応じた考察を以下のとおり行った。

「5.1 岩盤部分の減衰定数のひずみ依存特性」に示した減衰定数のひずみ依存特性に基づき、中央地盤、東側地盤及び西側地盤の基本地盤モデルに設定している各岩種における S_s 地震時の材料減衰は以下のとおりであり、いずれの岩種においても、地盤の非線形化が進行することで、地盤の材料減衰が大きくなることを確認した。また、基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対しては、地盤のひずみは S_s 地震時に対しさらに大きくなることから、材料減衰も大きくなることとなる。

なお、地盤のせん断ひずみに対応する減衰定数については、添付書類「IV - 1 - 1 - 2 地盤の支持性能に係る基本方針」及び「II - 1 - 1 - 2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す各岩種のひずみ依存特性（ $h - \gamma$ 曲線）を用いて算定した。

- ・細粒砂岩：線形条件：約 1.3%，非線形条件：約 2.3%
- ・泥岩（下部層）：線形条件：約 1.3%，非線形条件：約 1.6%
- ・粗粒砂岩：線形条件：約 1.6%，非線形条件：約 2.7%
- ・砂質軽石凝灰岩：線形条件：約 1.5%，非線形条件：約 2.9%
- ・凝灰岩：線形条件：約 1.5%，非線形条件：約 4.1%
- ・軽石凝灰岩：線形条件：約 1.3%，非線形条件：約 3.8%
- ・軽石質砂岩：線形条件：約 0.8%，非線形条件：約 2.0%
- ・軽石混り砂岩：線形条件：約 1.5%，非線形条件：約 3.5%
- ・礫岩：線形条件：約 0.3%，非線形条件：約 2.0%
- ・泥岩（上部層）：線形条件：約 1.4%，非線形条件：約 2.0%
- ・砂岩・凝灰岩互層：線形条件：約 2.0%，非線形条件：約 3.8%
- ・礫混り砂岩：線形条件：約 1.1%，非線形条件：約 2.7%

ひずみ依存特性（ $h - \gamma$ 曲線）により求めた減衰定数については、JEAG 4601-1987 に記載のとおり、地盤の非弾性的性質による材料減衰として示される。

しかし、JEAG4601-1987 においては、地盤の減衰定数について、材料減衰、散乱減衰及び各種波動現象を含んだ減衰定数となっていると言われており、評価手法ごとに、以下の関係性となっている。

$$h_{\text{室内試験 (材料減衰)}} < h_{\text{弾性波探査 (=材料+散乱)}} < h_{\text{地震観測}}$$

本資料において地震観測記録により評価した減衰定数は、線形条件における材料減衰、散乱減衰及び各種波動現象を含んだ値として評価されているものであり、 S_s 地震時には、上記のうち材料減衰が、線形条件における値（約 0.3%～約 2.0%）から大きくなる（約 1.6%～約 4.1%）ことを踏まえると、非線形状態が見込まれる S_s 地震時には、地震観測により評価した減衰定数は、さらに大きい値となると考えられ、入力地震動は小さく評価されることになる。

以上のことから、敷地の岩盤部分における減衰定数について、非線形性が入力地震動に与える影響を考慮した場合、線形条件とすることで、入力地震動を保守的に算定することになる。

なお、第 1 回申請（PA, A4B）において考慮した地盤の減衰定数については、三軸圧縮試験に基づく材料減衰のみを考慮した減衰定数を設定した。

本来であれば、「1. はじめに」に示した本資料における検討の位置付けと同様に、まずは一般的・標準的な地盤物性値の設定方法に基づき、敷地における岩盤部分の減衰定数として、材料減衰と散乱減衰を含めた減衰定数を把握した上で、パラメータの設定を行う必要があったが、第1回申請においては、本資料に示すような検討までは行わずに、上記の設定結果を示したものである。

ただし、材料減衰のみを考慮することにより、結果的に小さい値の減衰定数を採用していることになるため、一般的・標準的な減衰定数の方法に従った設定を考慮したとしても、第1回申請において算定した入力地震動が非安全側となることはない。

6. 敷地における S 波検層による評価

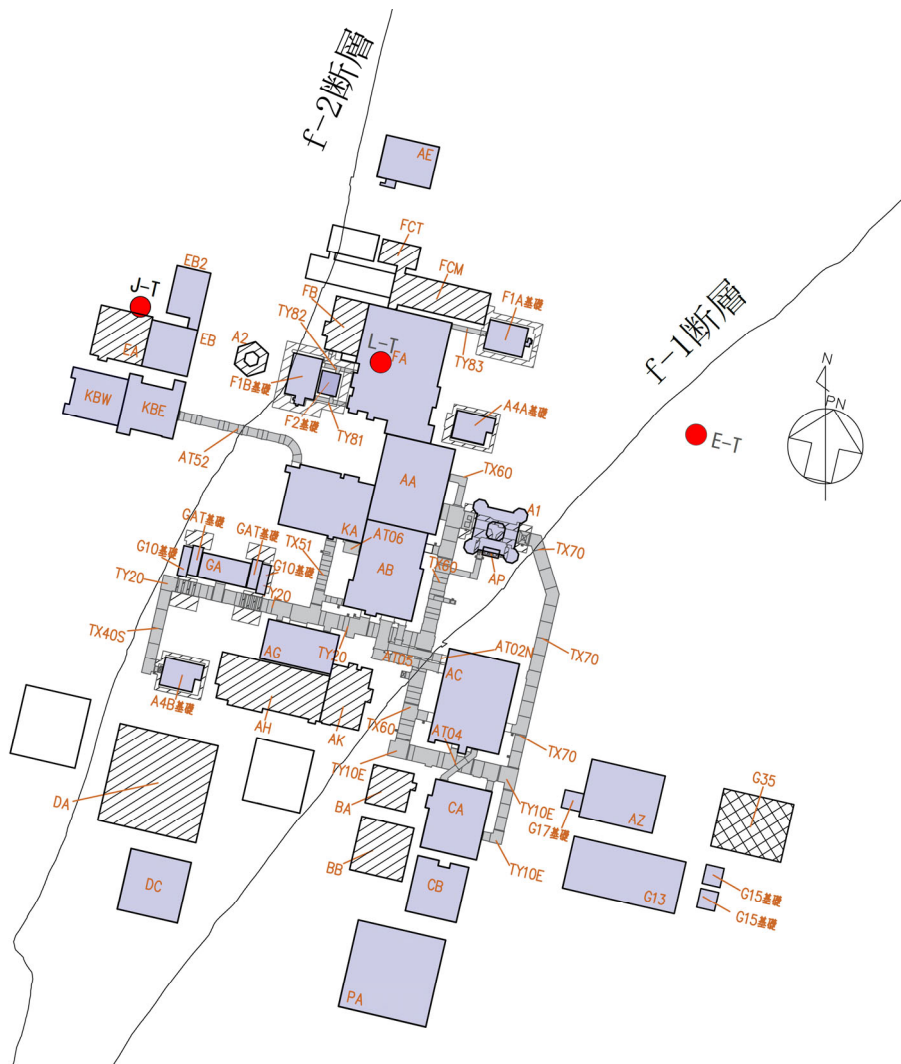
敷地において、過去のボーリング調査時に、第 6-1 図に示す敷地内の 3 地点（J-T 孔，L-T 孔，E-T 孔）において、PS 検層に基づく減衰定数の評価が行われていることから、当該評価結果について整理した。

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周波数ごとに評価している。

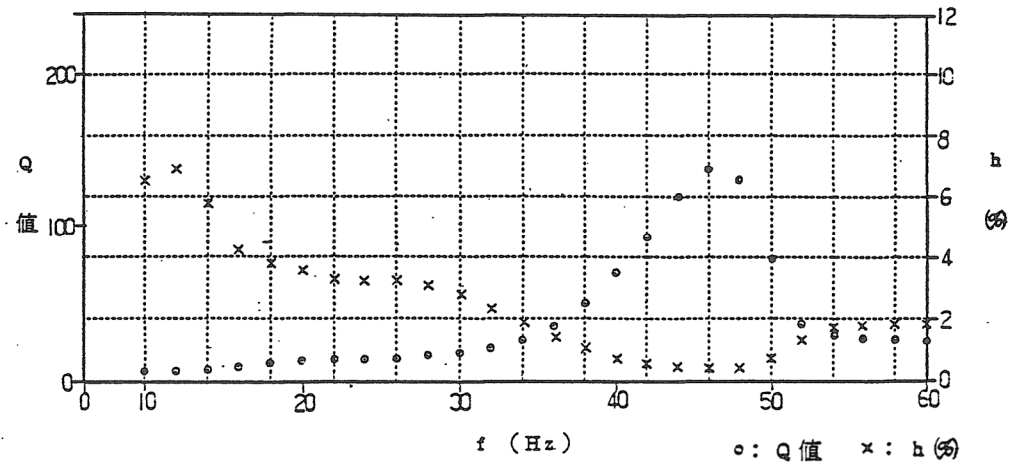
第 6-2 図に、PS 検層に基づく減衰定数について、J-T 孔，L-T 孔，E-T 孔における主要な岩盤部分に対応する評価結果を示す。PS 検層に基づく減衰定数は、いずれの孔においても、高振動数成分に着目した評価を行っており、周波数方向の信頼区間は 10Hz 又は 20Hz よりも高振動数側の領域としている。

また、減衰定数の大きさの傾向として、振動数に反比例する傾向の周波数依存性を有していることが確認でき、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 %，中央地盤に対応する L-T 孔で約 4 % 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。

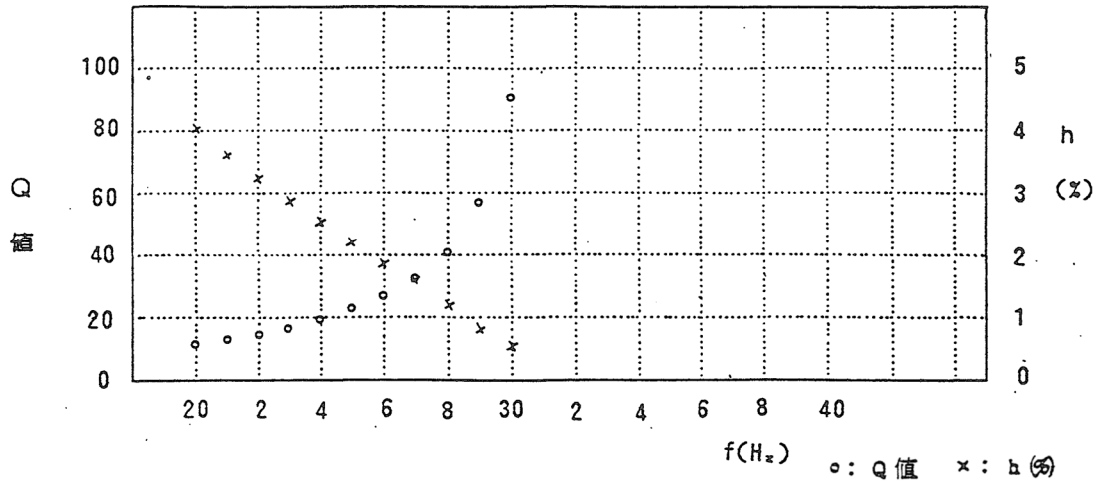
本章における S 波検層による評価については、今後追加ボーリング調査を実施し、その結果を追加する。



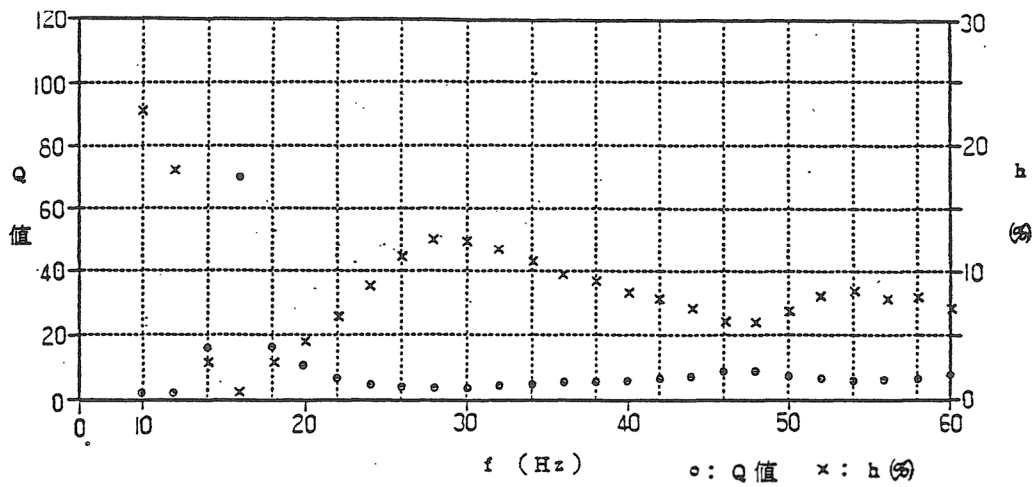
第 6-1 図 S 波検層による減衰定数の評価を実施しているボーリング孔位置
(現時点)



(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 6-2 図 S 波検層による減衰定数の評価結果

7. 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価

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評価する。

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評価することにより、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評価を実施することで、大局的な地下構造の違いによる減衰定数の違いについても確認する。

7.1 地震観測記録を用いた減衰定数の評価方法

「3.2.2 本資料において実施する評価」に示したとおり，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。

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，周波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「7.3 伝達関数による検討」に，地震波干渉法による検討については「7.4 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。

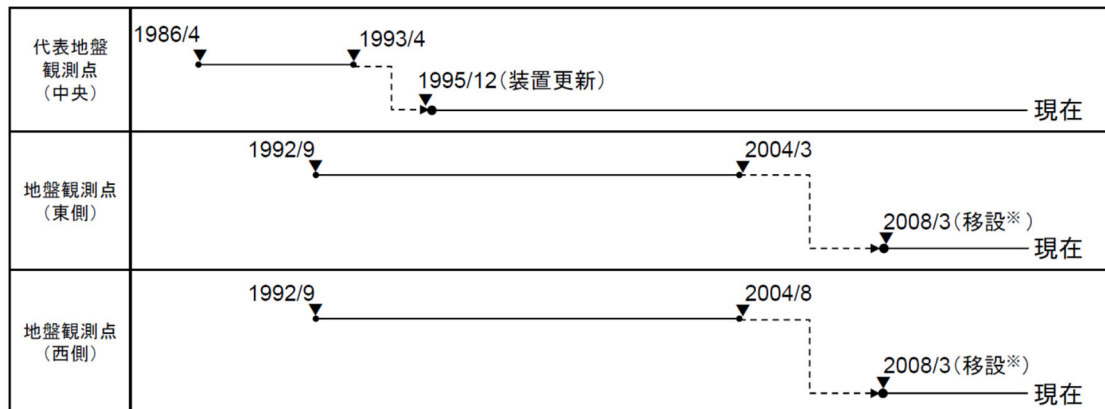
これら複数の考え方に基づく減衰定数の評価を実施し，各方法における地震観測記録の再現性及び周波数特性に着目し，岩盤部分における減衰定数を評価する。

7.2 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7.2-1図～第7.2-3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。

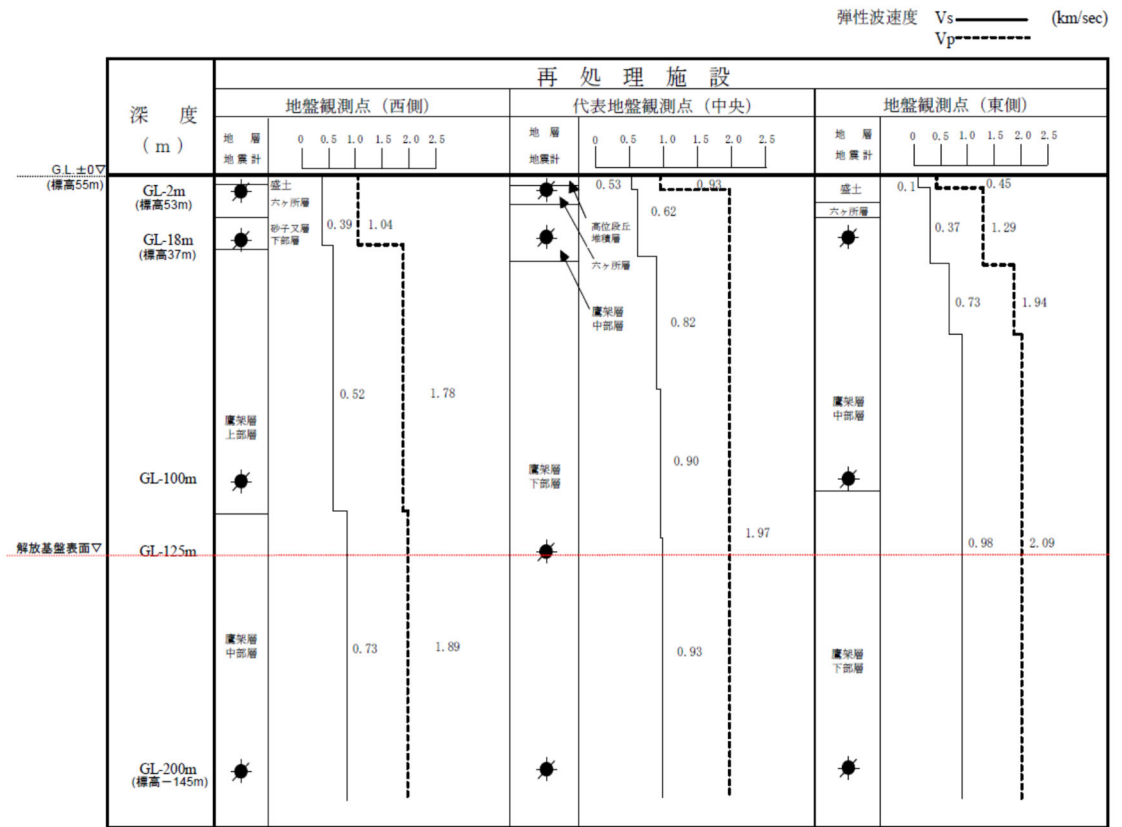
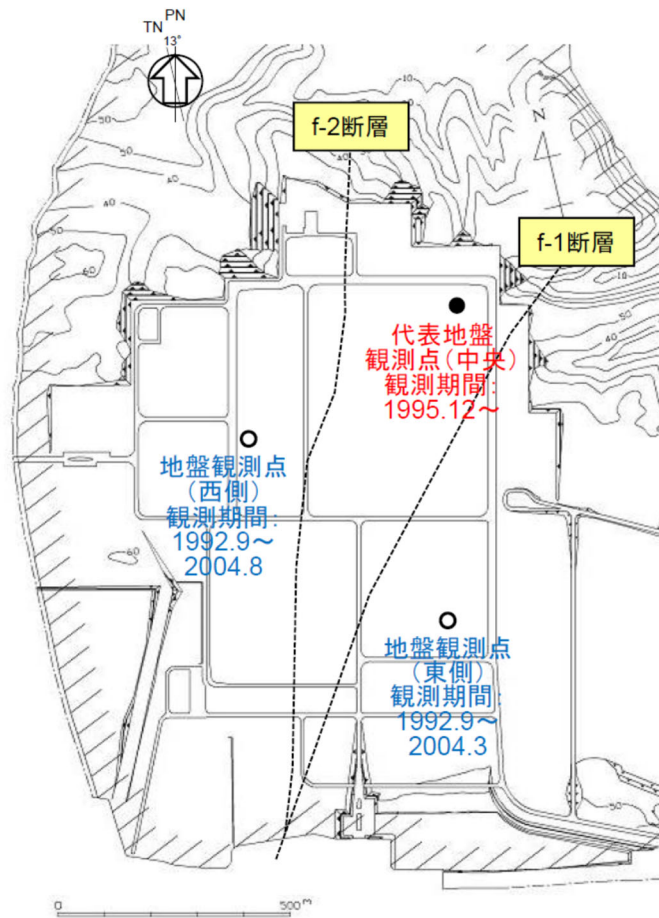
本資料においては、後述のとおり、はぎとり地盤モデルの作成と同様の手法により減衰定数を評価する際、S波速度についても、周波数特性の適合度を向上させる観点で変動させていることから、変動後の速度構造との評価結果との関係性について、「9.2 事業変更許可申請におけるはぎとり地盤モデルとの関係」にて事業変更許可申請と同様に速度構造の比較を行う。



※G.L.-100m地震観測点を、G.L.-125mに移設

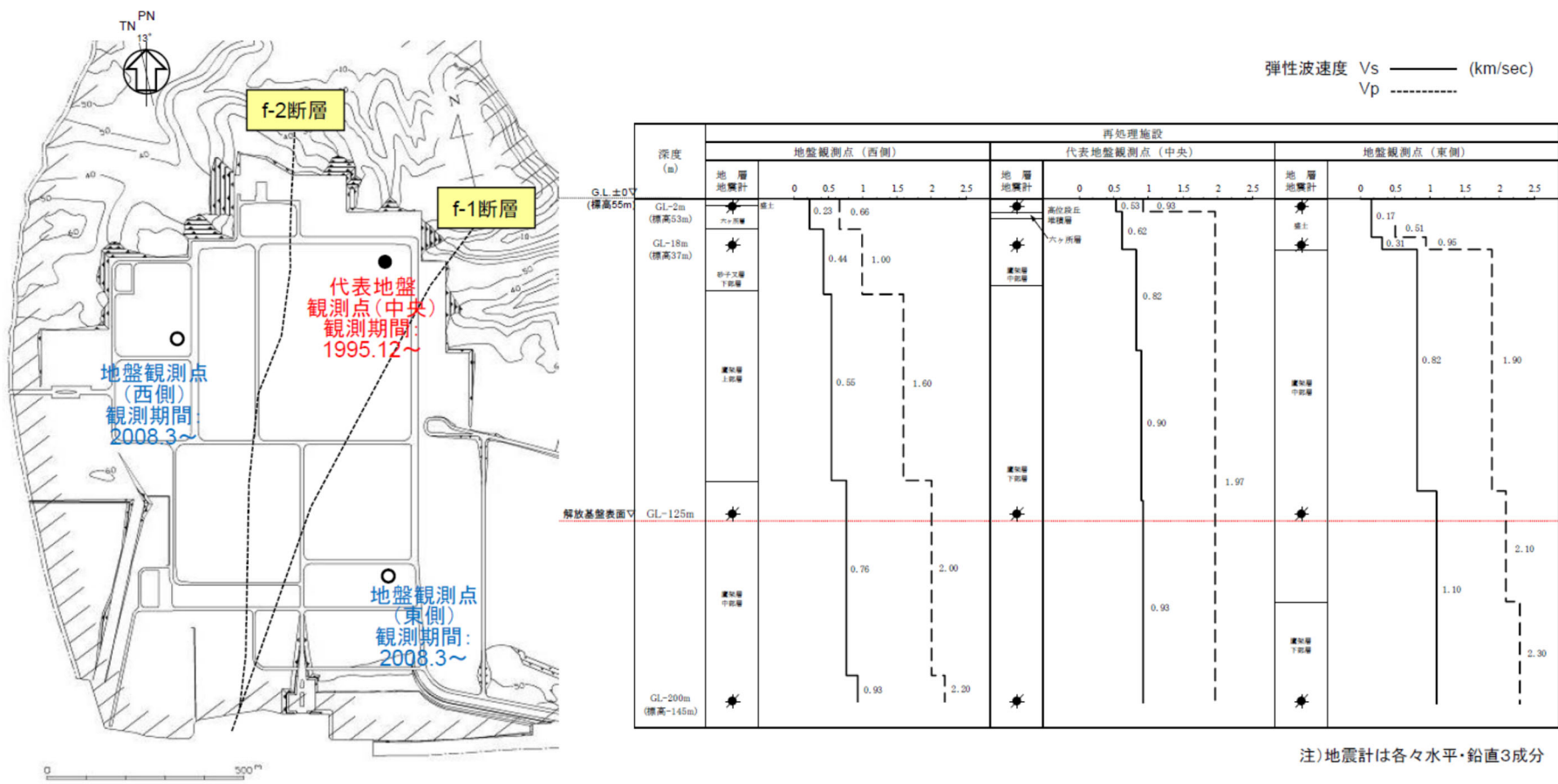
第7.2-1図 敷地内各位置における地震観測期間

(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 7.2-2 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)



第 7.2-3 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)

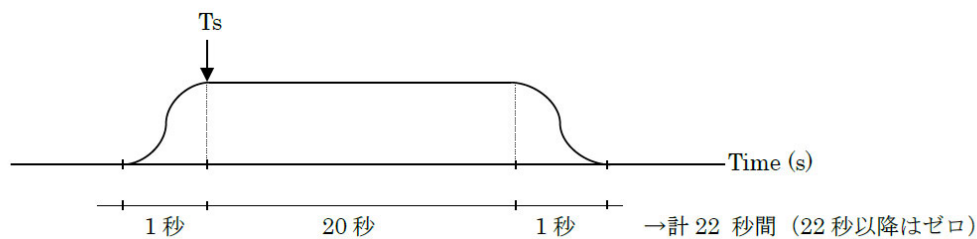
7.3 伝達関数による検討

7.3.1 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、当社敷地では2011年以降に比較的大加速度の地震観測記録が多く得られていることを踏まえ、中央、西側及び東側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。中央、西側及び東側地盤観測点のそれぞれについて、第7.2-1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5Gal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7.3.1-1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7.3.1-1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 7.3.1-1 表に示す。

第 7.3.1-1 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

(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 7.3.1-2 表に示す。

第 7.3.1-2 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

(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 7.3.1-3 表に示す。

第 7.3.1-3 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

7.3.2 初期モデルの設定及び探索範囲

評価にあたっては、事業許可における基準地震動の策定において、各地震観測点の地震観測記録を再現するように作成しているはぎとり地盤モデルと同様に、第 7.2-2 図及び第 7.2-3 図に示した当該地震観測点における PS 検層結果から得られている密度及び S 波速度を、初期モデルとして設定した。

事業許可におけるはぎとり地盤モデルは、当該観測点の PS 検層結果から得られている密度及び S 波速度を初期モデルとして設定し、地震観測記録の伝達関数を再現するよう S 波速度及び減衰定数を変数として同定を行っている。減衰定数については、地震動評価において一般的に用いられている Takemura et al. (1993)*等の知見に基づき、周波数依存特性を考慮して同定を行っている。

本評価における減衰定数の評価にあたっては、減衰定数を変数とした収束計算を行うことにより、観測記録に適合する減衰定数を評価する。評価を行う上で設定する減衰定数の探索範囲は、建物・構築物の入力地震動を算定する上で用いる設定方法にならい、モデル底面から地表面の全層に対し、全周波数帯において一定値となる条件として、探索範囲を 0～10%の範囲で設定した。

今回評価に用いた初期モデル及び減衰定数の探索範囲を、第 7.3.2-1 表～第 7.3.2-3 表に示す。

ここで、中央地盤観測点については、事業変更許可にてはぎとり地盤モデルを策定する際に、地震観測記録における振動特性を再現するよう、既に現在の地震観測位置における PS 検層データから S 波速度をチューニングしていることから、チューニング後のはぎとり地盤モデルに設定している S 波速度を採用し、減衰定数のみを変数として設定することとした。

また、西側地盤及び東側地盤観測点については、事業変更許可における西側及び東側地盤のはぎとり地盤モデルを作成する際、移設前の地震観測位置の情報に基づいて S 波速度をチューニングしており、移設後の位置における S 波速度のチューニングは実施していない。「7.2 敷地における地震観測の概要」及び「7.3.1 評価に用いる地震観測記録」に示したとおり、西側地盤及び東側地盤観測点における評価では、近年得られた地震観測記録を用いるために、2008 年以降の移設後の地

震観測点における地震観測記録を用いたことから、本評価にあたっては、移設後の地震観測点における PS 検層結果（第 7.2-3 図）における S 波速度を初期モデルとして設定し、減衰定数に加え、S 波速度についても変数として設定することとした。

注記 *：武村 雅之，池浦 友則，高橋 克也，石田 寛，大島 豊，：堆積地盤における地震波減衰特性と地震動評価，日本建築学会構造系論文報告集，446，pp. 1-11，1993.

第 7.3.2-1 表 初期モデル及び減衰定数の探索範囲
中央地盤観測点

	深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S 波速度 V_s (m/s)	減衰定数 h	
地震観測位置→	GL 0m	2	1.94	470	表層 1	0~0.2
	-2.0	1.5				
	-3.5	1.5			表層 2	
地震観測位置→	-5	13	1.64	720	岩盤 1	0~0.15
	-18	2				
	-20	40			岩盤 2	
	-60	60				
地震観測位置→	-120	5	1.85	950	基盤	0~0.1
	-125	75				
地震観測位置→	-200	—				

第 7.3.2-2 表 初期モデル及び減衰定数の探索範囲

西側地盤観測点

		深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S 波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h	
地震観測位置→		GL 0m	2	1.73	230 (±20%)	表層 1	0~0.2
		-2.00	8.1				
地震観測位置→		-10.10	7.9	2.02	440 (±20%)	表層 2	0~0.2
		-18.00	18.82				
		-36.82	75.78	1.59	550 (±5%)	岩盤	0~0.1
地震観測位置→		-112.60	12.40	1.75	760 (±5%)	基盤 1	0~0.1
		-125.00	63.87				
地震観測位置→		-188.87	11.13	1.57	930 (±5%)	基盤 2	
		-200.00	—				

第 7.3.2-3 表 初期モデル及び減衰定数の探索範囲

東側地盤観測点

		深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S 波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h	
地震観測位置→		GL 0m	2	1.69	170 (±20%)	表層 1	0~0.2
		-2.00	12.73				
地震観測位置→		-14.73	3.27	1.72	310 (±20%)	表層 2	0~0.2
		-18.00	0.68				
		-18.68	97.05	1.59	820 (±5%)	岩盤	0~0.1
地震観測位置→		-115.73	9.27	1.82	1100 (±5%)	基盤 1	0~0.1
		-125.00	34.31				
地震観測位置→		-159.31	40.69	1.90	1100 (±5%)	基盤 2	
		-200.00	—				

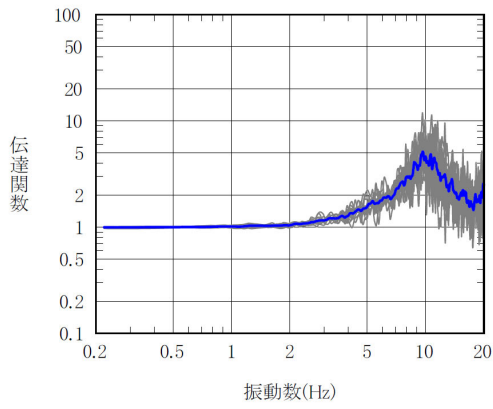
7.3.3 目的関数の設定

評価にあたっては、当社事業変更許可において実績のある、はざとり地盤モデルと同様に、収束計算に用いる目的関数を以下のとおり設定した。

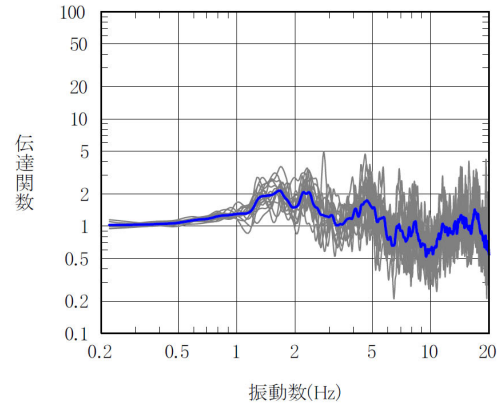
目的関数は、「7.3.1 評価に用いる地震観測記録」に示した各地盤観測点において得られている地震観測記録に基づき算定した、各観測深さ間の伝達関数の平均値とする。

伝達関数は、表層地盤と岩盤部分を個別に評価するために、各観測深さ（GL-200m, GL-125m, GL-18m 及び GL-2m）間のフーリエスペクトル比（全6組合せ）として算定した。第 7.3.3-1 図～第 7.3.3-3 図に、地震観測記録に基づく、各深さ間の伝達関数の作成結果を示す。

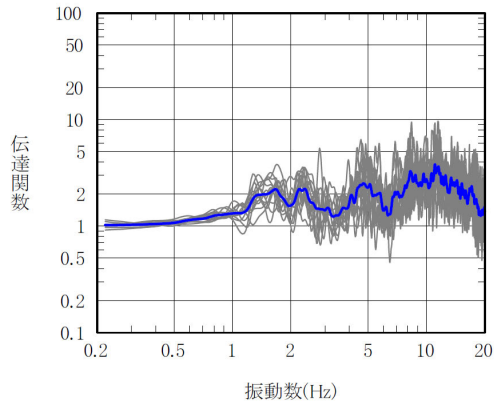
— 観測 (個別)
— 観測 (平均)



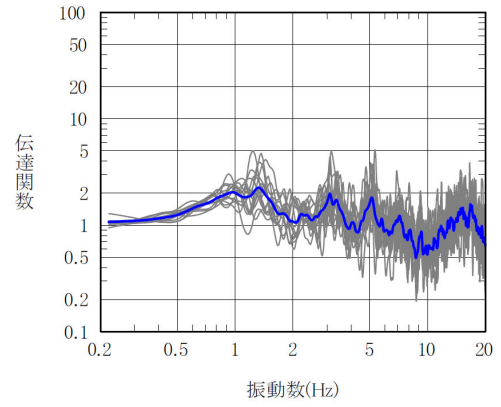
① GL-2m/GL-18m



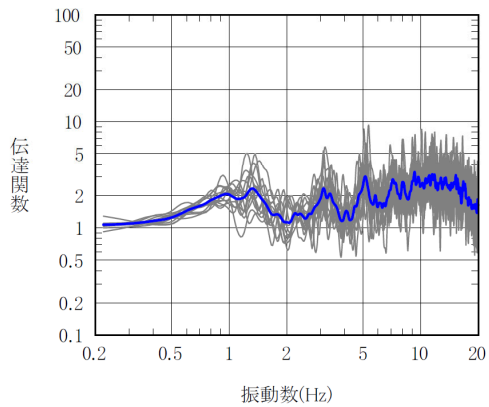
④ GL-18m/GL-125m



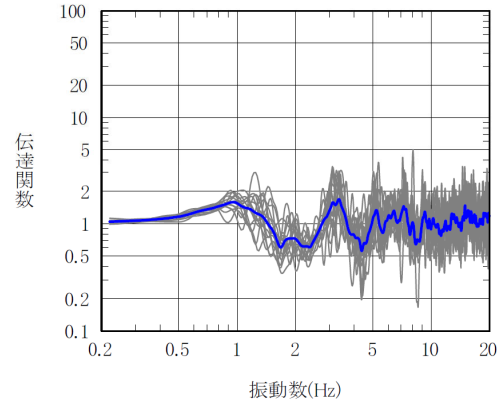
② GL-2m/GL-125m



⑤ GL-18m/GL-200m



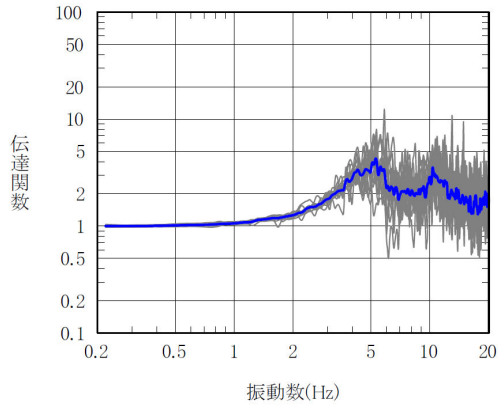
③ GL-2m/GL-200m



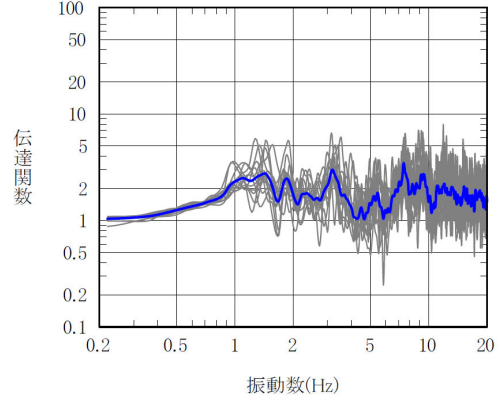
⑥ GL-125m/GL-200m

第 7.3.3-1 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数
(中央地盤観測点, 灰色線: 個別地震, 青線: 目的関数)

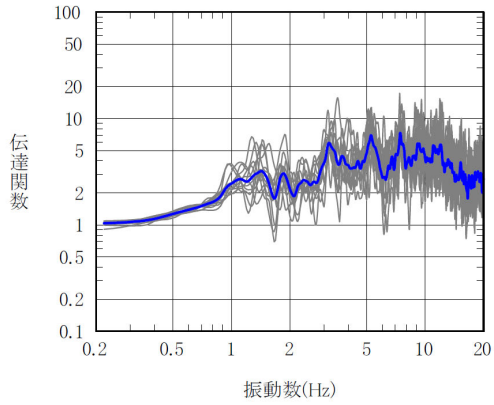
— 観測 (個別)
— 観測 (平均)



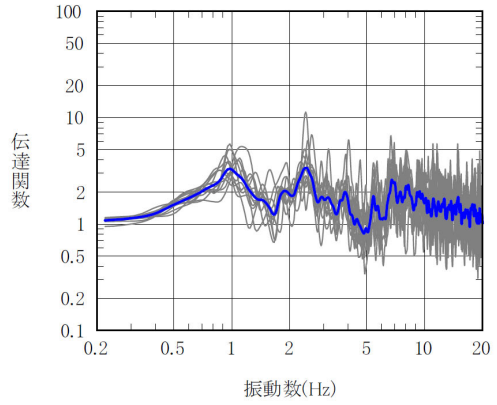
① GL-2m/GL-18m



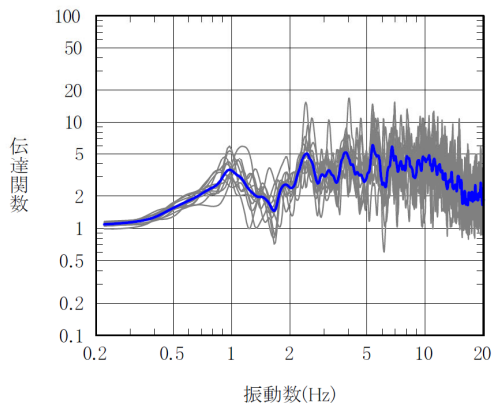
④ GL-18m/GL-125m



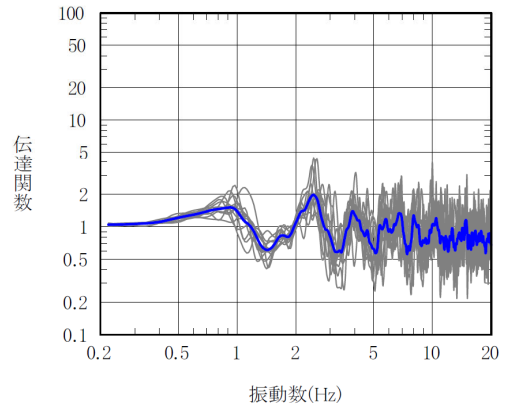
② GL-2m/GL-125m



⑤ GL-18m/GL-200m



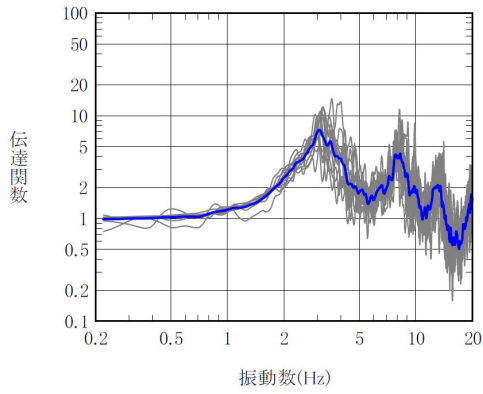
③ GL-2m/GL-200m



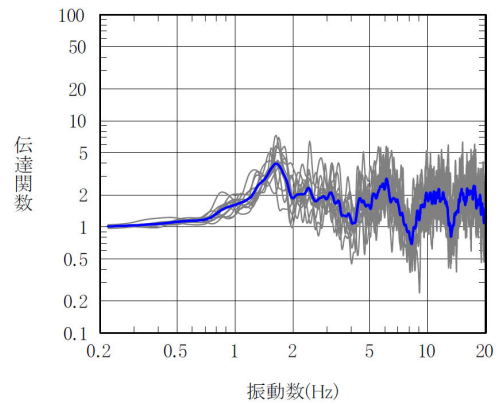
⑥ GL-125m/GL-200m

第 7.3.3-2 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数
(西側地盤観測点, 灰色線: 個別地震, 青線: 目的関数)

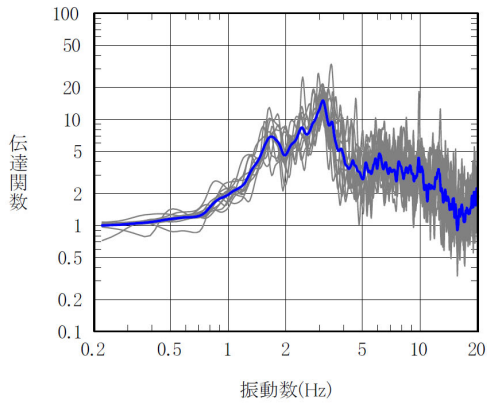
—— 観測 (個別)
 —— 観測 (平均)



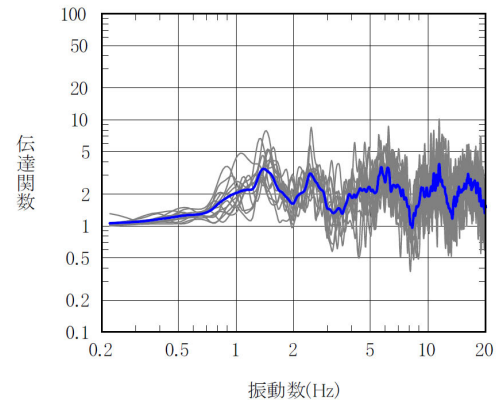
① GL-2m/GL-18m



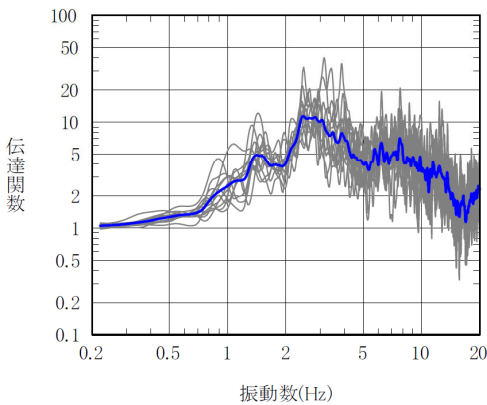
④ GL-18m/GL-125m



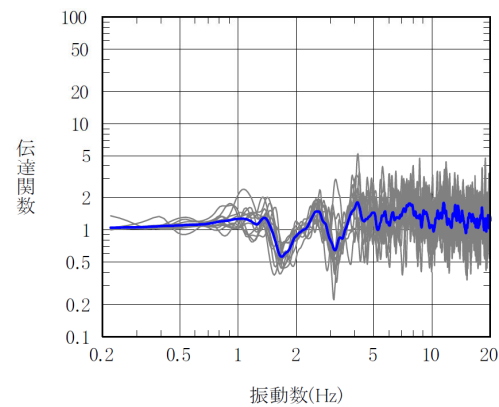
② GL-2m/GL-125m



⑤ GL-18m/GL-200m



③ GL-2m/GL-200m



⑥ GL-125m/GL-200m

第 7.3.3-3 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数
 (東側地盤観測点, 灰色線: 個別地震, 青線: 目的関数)

7.3.4 減衰定数の周波数依存特性の考慮

各深さの地震観測記録に対し、以下のとおり、多面的な検討を実施する。各考え方の概要を第7.3.4-1表に示す。

(1) 周波数依存性なし

地盤の減衰定数が周波数に依存しない一定の値を仮定し、地震観測記録に適合するように減衰定数を評価する。

他サイトにおける耐震設計では、耐震設計上の入力地震動算定の際には、この設定とすることが採用されている、また、JEAG4601-2015に示される慣用値についても、周波数依存性については考慮されていない。

(2) 周波数依存型（リニア型）

Takemura et al. (1993) *等の知見に示されるように、周波数のべき乗に比例する関数モデル ($h=h_0 \times f^{-n}$) を仮定し、減衰定数を評価する。

このモデルは、地震観測記録に基づく地盤の減衰定数の評価に係る各種文献において採用されている設定であり、実観測記録に対する再現性に優れたモデルである。

注記 *：武村 雅之，池浦 友則，高橋 克也，石田 寛，大島 豊，：堆積地盤における地震波減衰特性と地震動評価，日本建築学会構造系論文報告集，446，pp.1-11，1993.

(3) 周波数依存型 (バイリニア型)

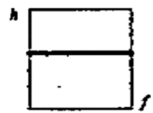

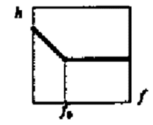
佐藤ほか (2006) *の知見に示されるように、低周波数側では減衰定数が周波数のべき乗に比例 ($h=h_0 \times f^{-n}$) し、ある周波数より高周波数側では下限値で頭打ちするバイリニア型関数モデルを仮定し、減衰定数を評価する。

このとき、S波速度については、各周波数帯における伝達関数のピークについては、「(2) 周波数依存型 (リニア型)」において再現されるように既に同定が行われていることから、S波速度は「(2) 周波数依存型 (リニア型)」のものを用い、減衰定数のみを変数とした評価を実施する。

評価にあたっては、折れ点の周波数 f_0 を探索パラメータとすることも考えられるが、本検討においては、上記「(2) 周波数依存型 (リニア型)」による検討との差を把握するために、佐藤ほか (2006) の知見における f_0 の範囲 10Hz~20Hz のうち、低周波数側の 10Hz 以上の高周波数側で頭打ちすることを仮定することで、上記「(2) 周波数依存型 (リニア型)」における設定との差が最大になるように設定する。

注記 * : 佐藤 浩章、金谷 守、大鳥 靖樹 : 減衰定数の下限値を考慮したスペクトル比の逆解析による同定手法の提案-岩盤における鉛直アレイ記録への適用と減衰特性の評価-, 日本建築学会構造系論文報告集第 604 号, p55-62, 2006.

第 7.3.4-1 表 減衰定数の周波数依存性の考え方

種別	減衰定数モデル式	モデル形状	文献
周波数依存性なし	$h=h_0$		Ohta(1975) 等
周波数依存型 (リニア型)	$h(f)=h_0f^{-n}$		Takemura et al. (1993)等
周波数依存型 (バイリニア型)	$h(f)=h_0f^{-n} \quad (f \leq f_0)$ $h(f)=h_0f_0^{-n} \quad (f > f_0)$		佐藤ほか (2006)

注記 バイリニア型における f_0 の値は 10Hz と設定。

7.3.5 評価方法及び条件

伝達関数による検討の評価方法としては、地震観測記録の得られている地盤の各深さ（GL-200m, GL-125m, GL-18m 及び GL-2m）間の地震動の増幅特性を最もよく説明する減衰定数を、地震観測点ごとに遺伝的アルゴリズム法により同定し、その値が地震観測記録の応答スペクトルを再現可能であることを確認する。評価条件を第 7.3.5-1 表に示す。

第 7.3.5-1 表 遺伝的アルゴリズム法による評価条件

未知数	減衰定数 (h) (周波数依存性なし)
世代交代数	30 世代
個体数	30 固体
突然変異率	2 %
交差率	70%
未知変数のビット長	8 ビット
対象とする周波数範囲	0 ~ 20Hz

7.3.6 評価結果

(1) 減衰定数の評価結果及び伝達関数の適合状況

「7.3.5 評価方法及び条件」に示した手法に従い、減衰定数を評価した結果及び伝達関数の適合状況を第 7.3.6-1～7.3.6-3 図（中央地盤）、第 7.3.6-5～7.3.6-7 図（西側地盤）及び第 7.3.6-9～7.3.6-11 図（東側地盤）に示す。地震観測記録を用いた減衰定数の評価の結果、解放基盤表面～基礎底面レベルの岩盤部分に相当する層の減衰定数として、中央地盤観測点においては 6.7%、西側地盤観測点においては 6.3%、東側地盤観測点においては 5.9%の減衰定数が得られた。

また、「7.3.4 減衰定数の周波数依存特性の考慮」に示した「(2) 周波数依存型（リニア型）」及び「(3) 周波数依存型（バイリニア型）」に示した条件における減衰定数の評価結果については、第 7.3.6-4 図（中央地盤）、第 7.3.6-8 図（西側地盤）及び第 7.3.6-12 図（東側地盤）にグラフとして示す。

減衰定数の値については、リニア型及びバイリニア型のいずれについても、周波数依存特性を考慮しない場合の評価結果に対し、0.3～0.5Hz 程度で同等となる結果が得られており、中央地盤、西側地盤及び東側地盤で大きく異なるような結果は得られていない。また、リニア型及びバイリニア型の減衰定数について、その差が大きくなるように減衰定数を評価したが、中央地盤においてわずかに異なるものの、いずれの地盤の岩盤部分においても、周波数依存性を持つ帯域における減衰定数の大きさ及び周波数依存特性の傾きに有意な差は無い結果となった。

第 7.3.6-1～7.3.6-3 図（中央地盤）、第 7.3.6-5～7.3.6-7 図（西側地盤）及び第 7.3.6-9～7.3.6-11 図（東側地盤）には、あわせて、「7.3.3 目的関数の設定」に示した目的関数に対する同定後の伝達関数の比較を示す。周波数依存特性を考慮しない場合の評価結果としては、いずれ観測点においても、5 世代目以降で概ね収束した解が得られていること、また、高振動数成分において乖離が見られるものの、建物・構築物の固有振動数帯である 2～3 Hz においては良好な対応を示しているほか、地盤の 1 次及び 2 次ピークの周波数が乖離している状況はみられず概ね整合的であること、さらに、西側及び東側地盤の評価において変動させた S 波速度についても、初期物性から大きく変動はしていないことから、各地震観測点における地下構造の特徴を踏まえた上で、最適な減衰定数が評価されていると考えられる。

周波数依存特性を考慮した場合の評価結果としては、伝達関数の適合状況としては、周波数依存特性を考慮しない場合と比較して、上記に示したような高振動数成分における乖離が小さくなっていることから、地震観測記録により適合した減衰定数が与えられていると考えられる。

また、リニア型及びバイリニア型の伝達関数の適合状況についてはほぼ同等となっており、当社この設定の差が地盤の伝達関数に有意な差を与えないことを確認した。

(2) 応答スペクトルによる確認

ただし、伝達関数における各ピークの振幅比については、乖離の大きい周波数帯もみられることから、評価された減衰定数が妥当であることの確認を、応答スペクトルによる確認により実施する。具体的には、地震観測記録を用いたシミュレーション解析を実施し、地盤応答の応答スペクトルが、地震観測記録とシミュレーション解析結果で整合するかの確認を実施した。

ここで、上記に示したとおり、周波数依存特性を考慮したケースについては、リニア型とバイリニア型による仮定条件の違いが、同定結果及び伝達関数の適合状況に有意な差を与えていないことを確認したため、リニア型を代表としてシミュレーション解析を実施する。

シミュレーション解析は、評価された減衰定数を反映した地盤モデルに対し、最新最深部（GL-200m）にて観測された地震観測記録（地中波）を入力し、建物・構築物の基礎底面相当レベル（GL-18m）における地盤応答（地中波）を算出し、同レベルにおける地震観測記録（地中波）との比較を行うことで実施した。

シミュレーション解析に用いる地盤モデルは、「7.3.2 初期モデルの設定及び探索範囲」に示した各地震観測位置における初期モデルに対して第7.3.6-1表～第7.3.6-3表に示した減衰定数の評価結果を反映したものとする。また、用いる地震は、各地震観測点において、大きな観測記録が得られている2011年3月11日東北地方太平洋沖地震及び観測されている加速度の大きい地震として、2011年3月11日15時08分の地震の、NS成分及びEW成分において得られている地震観測記録とした。

シミュレーション解析の結果を第7.3.6-4図～第7.3.6-6図に示す。

シミュレーション解析の結果、短周期～長周期成分の広い範囲において地震観測記録をよく説明するのは、周波数依存特性を考慮した場合となっている。

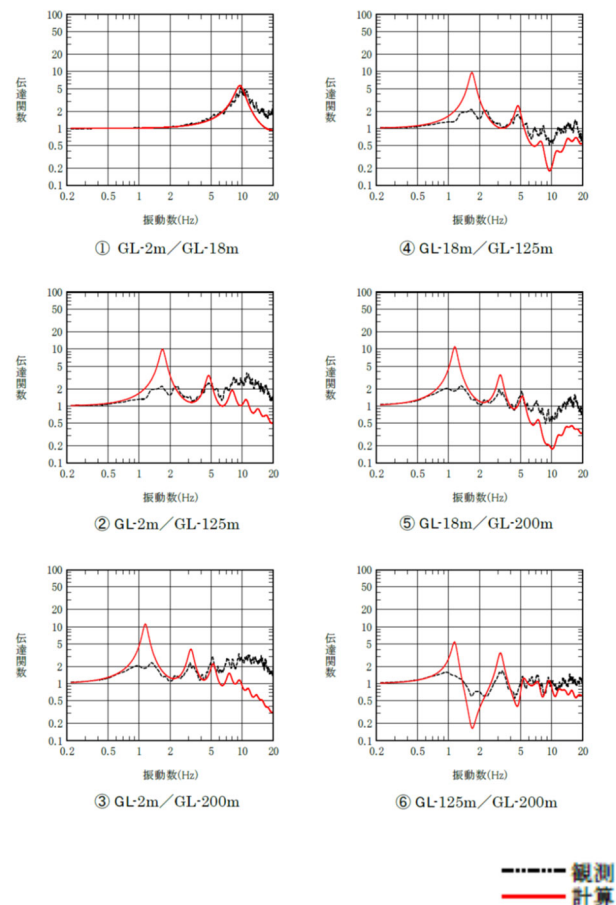
なお、周波数依存特性を考慮しない場合は、長周期成分において、周波数依存特性を考慮する場合に比べて減衰定数を小さく評価することから、長周期成分の地盤応答を大きく与えることを確認した。一方で、短周期側については、減衰定数を周波数依存特性を考慮する場合に比べて大きく評価することになるものの、地盤応答に対しては小さく評価されないことを確認した。

以上のことから、周波数依存特性の考慮の有無によらず、地震観測記録については概ね全周期帯において再現性を確認した。

なお,周波数依存性の考慮の有無による地盤応答の傾向としては,概ね(周波数依存特性なし>周波数依存特性考慮)の関係となっていることを確認した。上記の傾向は,いずれの地盤に対しても,共通的な傾向として現れている。

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	減衰定数 h
0	2	1.94	470	0.166
-2	1.5	1.94	470	
-3.5	1.5	1.94	560	0.160
-5	13	1.64	720	0.111
-18	2	1.64	720	
-20	40	1.75	760	0.067
-60	60	1.85	830	
-120	5	1.85	950	0.055
-125	75	1.85	950	
-200	—	1.85	950	

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

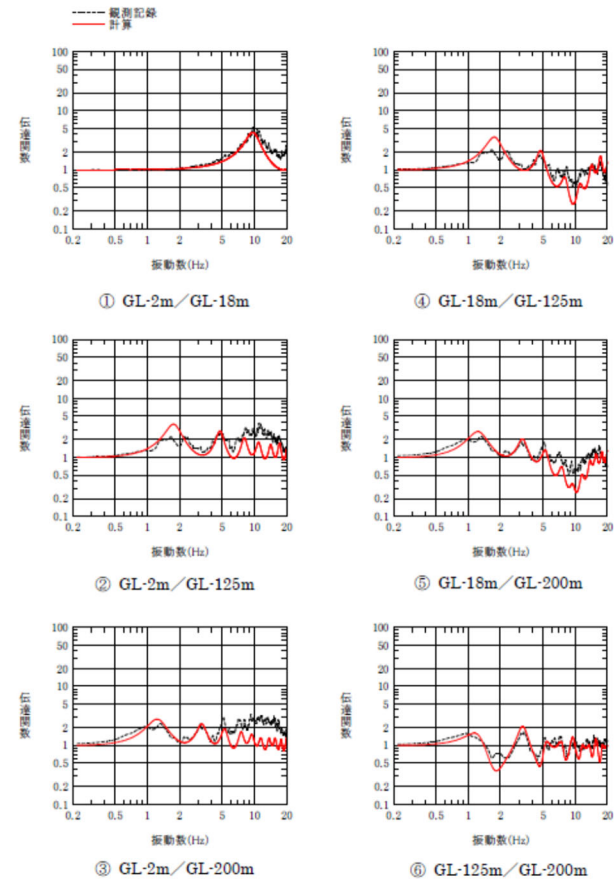


第 7.3.6-1 図 評価結果 (左: 評価された物性値および減衰定数, 右: 伝達関数適合状況)
(中央地盤観測点: 周波数依存特性なし)

$$h=h_0 \cdot f^{-n}$$

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	減衰定数	
				h_0	n
0	2	1.94	470	0.3	0.8
-2	1.5	1.94	470		
-3.5	1.5	1.94	560		
-5	13	1.64	720	0.5	0.5
-18	2	1.64	720		
-20	40	1.75	760	0.3	0.9
-60	60	1.85	830		
-120	5	1.85	950		
-125	75	1.85	950	0.3	0.9
-200	—	1.85	950		

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当



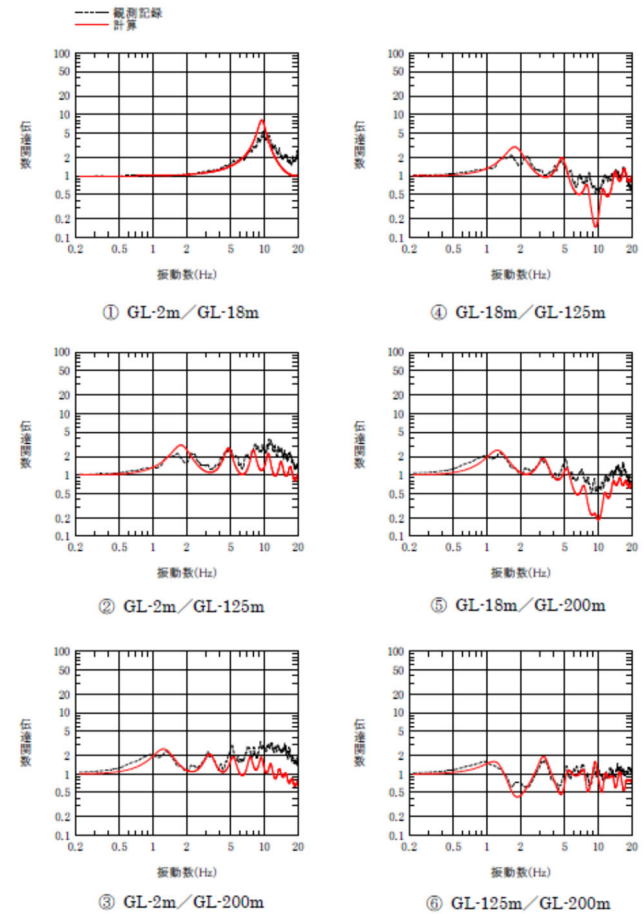
第 7.3.6-2 図 評価結果（左：評価された物性値および減衰定数，右：伝達関数適合状況）

（中央地盤観測点：リニア型）

$$h=h_0 \cdot f^{-n} \quad (10\text{Hz以上一定})$$

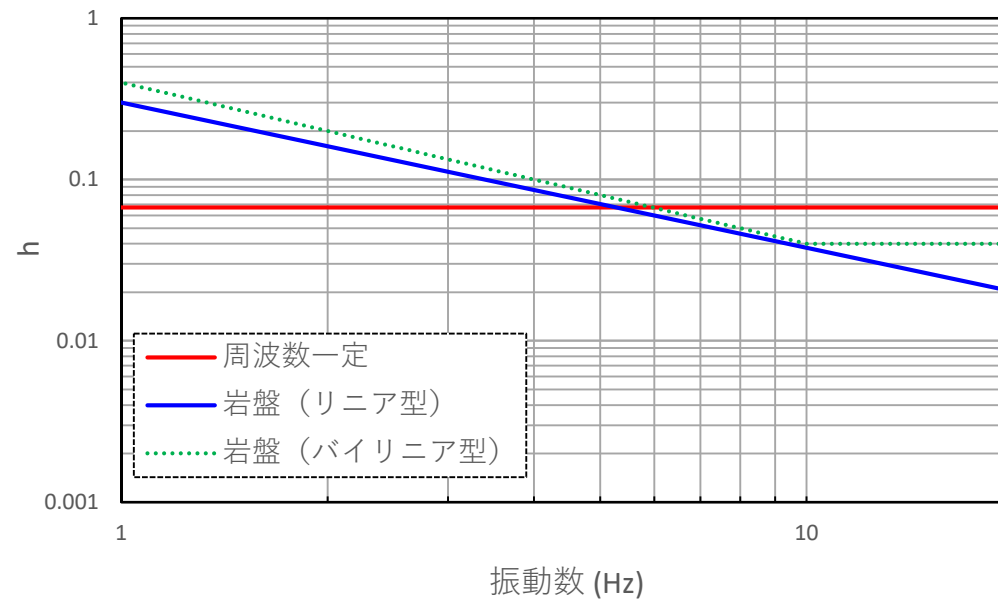
深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	減衰定数	
				h_0	n
0	2	1.94	470	0.3	0.9
-2	1.5	1.94	470		
-3.5	1.5	1.94	560		
-5	13	1.64	720	0.5	0.8
-18	2	1.64	720		
-20	40	1.75	760	0.4	1
-60	60	1.85	830		
-120	5	1.85	950		
-125	75	1.85	950	0.3	0.9
-200	—	1.85	950		

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当



第 7.3.6-3 図 評価結果（左：評価された物性値および減衰定数，右：伝達関数適合状況）

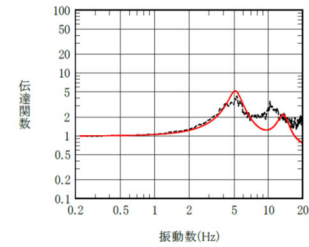
（中央地盤観測点：バイリニア型）



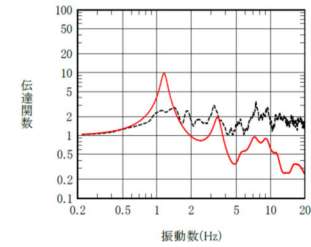
第 7.3.6-4 図 周波数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(中央地盤観測点)

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h
0	2	1.73	240	0.164
-2.00	8.1	1.73	240	
-10.1	7.9	2.02	480	0.069
-18.00	18.82	2.02	480	
-36.82	75.78	1.59	590	0.063
-112.60	12.40	1.75	760	
-125.00	63.87	1.75	760	
-188.87	11.13	1.57	960	
-200.00	—	1.57	960	

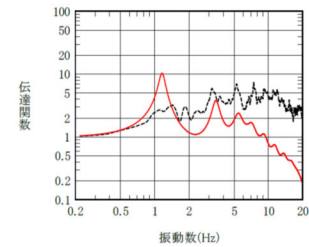
解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当



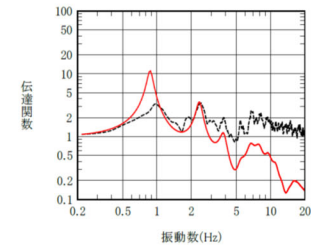
① GL-2m/GL-18m



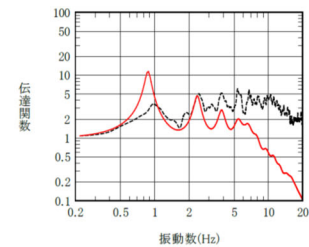
④ GL-18m/GL-125m



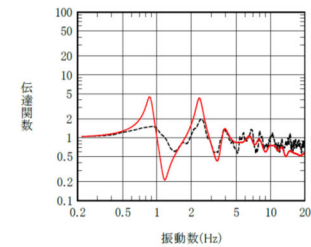
② GL-2m/GL-125m



⑤ GL-18m/GL-200m



③ GL-2m/GL-200m



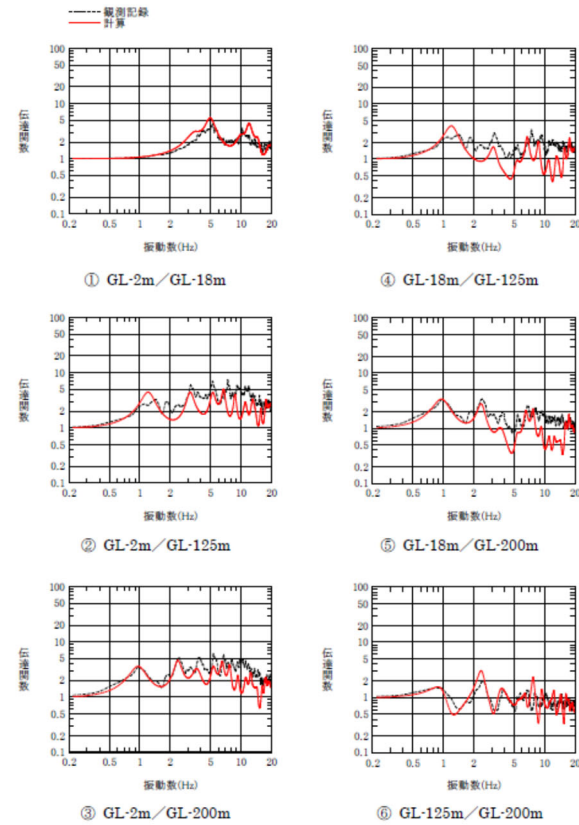
⑥ GL-125m/GL-200m

第 7.3.6-5 図 評価結果 (左: 評価された物性値および減衰定数, 右: 伝達関数適合状況)
(西側地盤観測点: 周波数依存特性なし)

$$h=h_0 \cdot f^{-n}$$

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数	
				h_0	n
0	1	1.73	15	0.9	0.8
-1.00	1	1.73	60		
-2.00	1	1.73	120	0.2	0.9
-3.00	7.1	1.73	200		
-10.1	7.9	2.02	480	0.1	0.9
-18.00	18.82	2.02	480		
-36.82	75.78	1.59	590	0.2	1.0
-112.60					
-125.00	63.87	1.75	760	0.2	0.9
-188.87	11.13	1.57	960		
-200.00	—	1.57	960		

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当



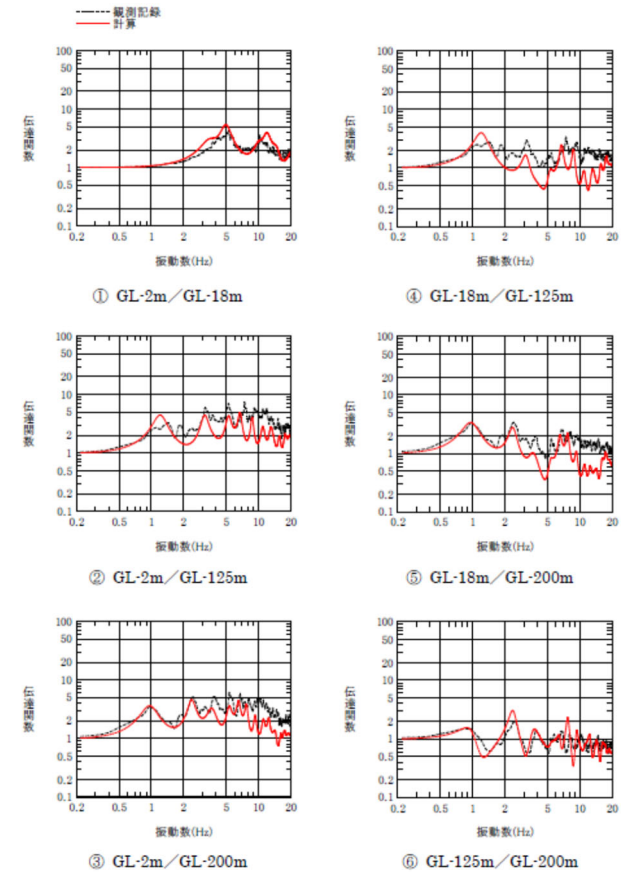
第 7.3.6-6 図 評価結果 (左: 評価された物性値および減衰定数, 右: 伝達関数適合状況)

(西側地盤観測点: リニア型)

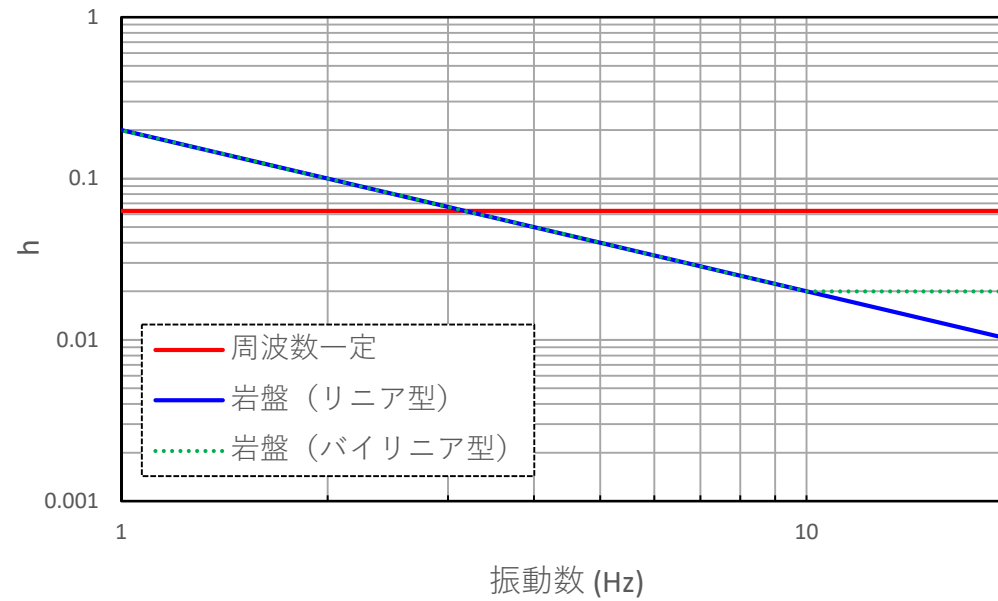
$$h=h_0 \cdot f^{-n} \text{ (10Hz以上一定)}$$

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数	
				h_0	n
0	1	1.73	15	0.8	0.7
-1.00	1	1.73	60		
-2.00	1	1.73	120	0.2	0.9
-3.00	7.1	1.73	200		
-10.1	7.9	2.02	480	0.1	0.9
-18.00	18.82	2.02	480		
-36.82	75.78	1.59	590	0.2	1.0
-112.60	12.40	1.75	760	0.2	0.9
-125.00	63.87	1.75	760		
-188.87	11.13	1.57	960		
-200.00	—	1.57	960		

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当



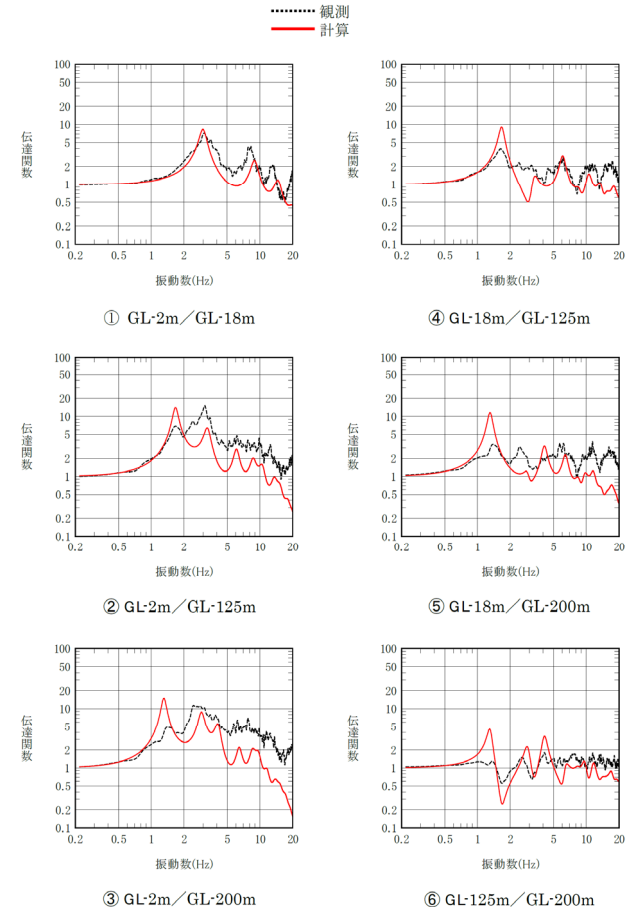
第 7.3.6-7 図 評価結果 (左: 評価された物性値および減衰定数, 右: 伝達関数適合状況)
(西側地盤観測点: バイリニア型)



7.3.6-8 図 周波数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(西側地盤観測点)

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h
0	2	1.69	190	0.079
-2.00	12.73	1.69	190	
-14.73	3.27	1.72	310	0.060
-18.00	0.68	1.72	310	
-18.68	97.05	1.59	850	0.059
-115.73	9.27	1.82	1130	0.049
-125.00	34.31	1.82	1130	
-159.31	40.69	1.90	1150	
-200.00	—	1.90	1150	

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当



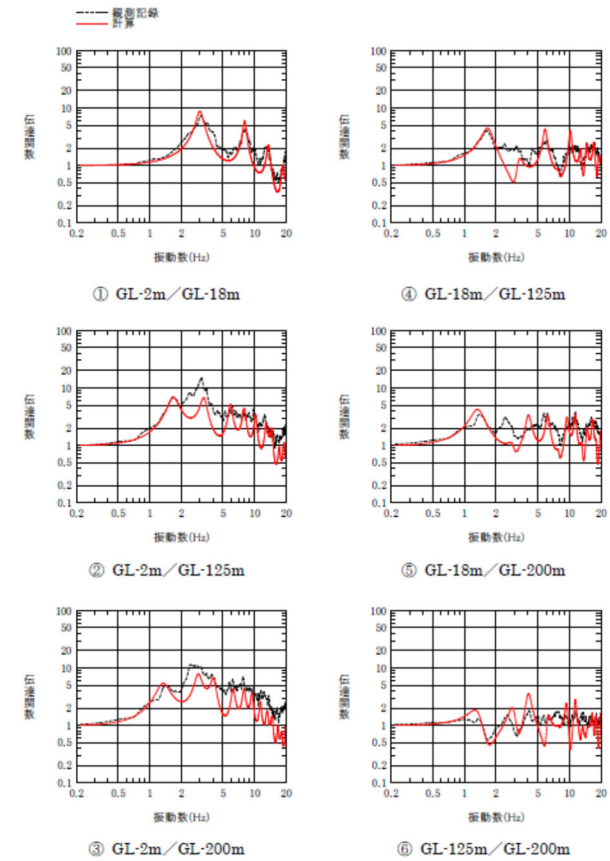
第 7.3.6-9 図 評価結果（左：評価された物性値および減衰定数，右：伝達関数適合状況）

（東側地盤観測点：周波数依存特性なし）

$$h=h_0 \cdot f^{-n}$$

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 V_s (m/s)	減衰定数	
				h_0	n
0	2	1.69	140	0.8	0.7
-2.00	6.33	1.69	160	0.2	0.9
-8.33	6.4	1.69	210		
-14.73	3.27	1.72	290	0.2	0.9
-18.00	0.68	1.72	290		
-18.68	97.05	1.59	830	0.2	0.9
-115.73	9.27	1.82	1140		
-125.00	34.31	1.82	1140		
-159.31	40.69	1.90	1150		
-200.00	—	1.90	1150		

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

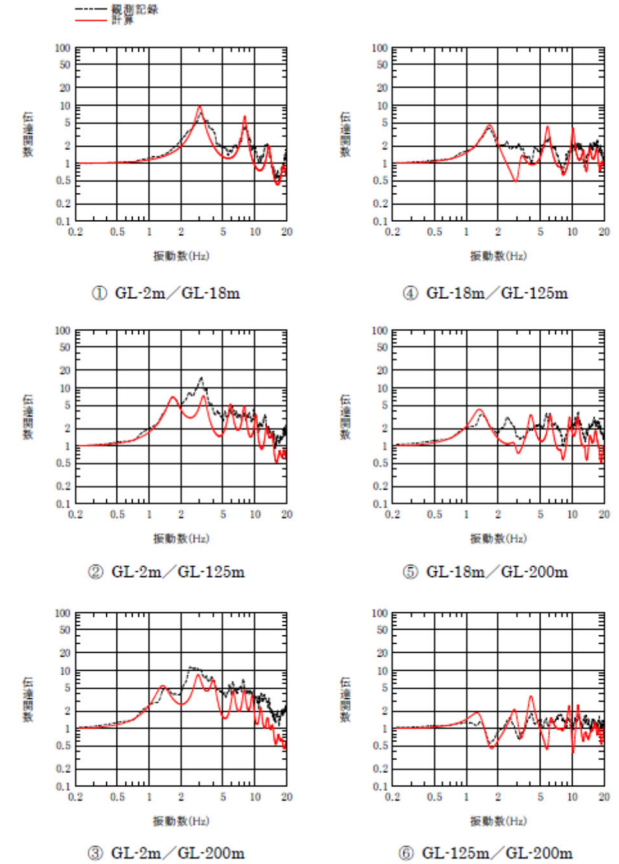


第 7.3.6-10 図 評価結果 (左：評価された物性値および減衰定数，右：伝達関数適合状況)
(東側地盤観測点：リニア型)

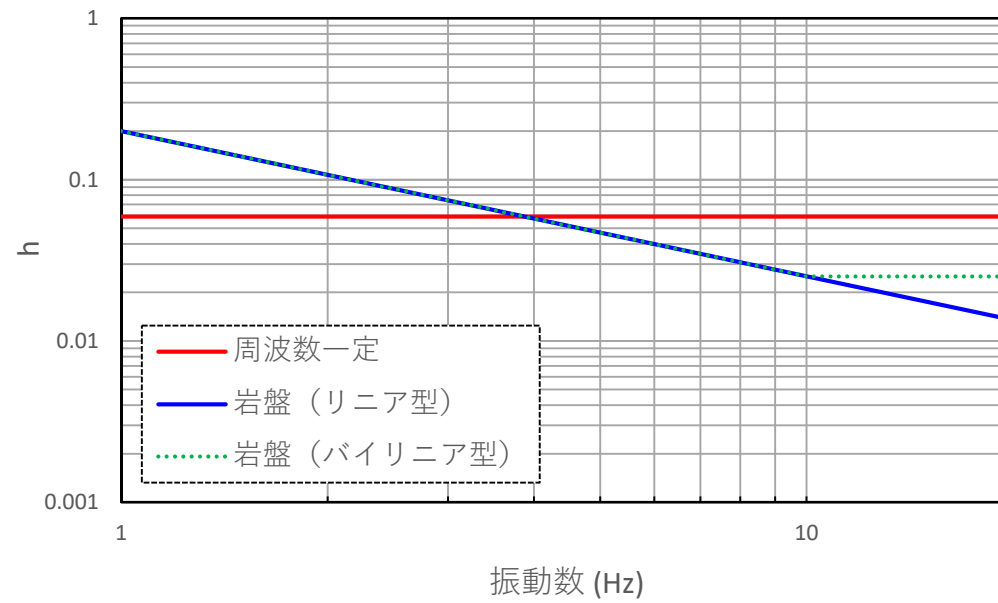
$$h=h_0 \cdot f^{-n} \quad (10\text{Hz以上一定})$$

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 V_s (m/s)	減衰定数	
				h_0	n
0	2	1.69	140	0.8	0.7
-2.00	6.33	1.69	160	0.2	0.9
-8.33	6.4	1.69	210		
-14.73	3.27	1.72	290	0.1	0.9
-18.00	0.68	1.72	290		
-18.68	97.05	1.59	830	0.2	0.9
-115.73	9.27	1.82	1140	0.2	0.9
-125.00	34.31	1.82	1140		
-159.31	40.69	1.90	1150		
-200.00	—	1.90	1150		

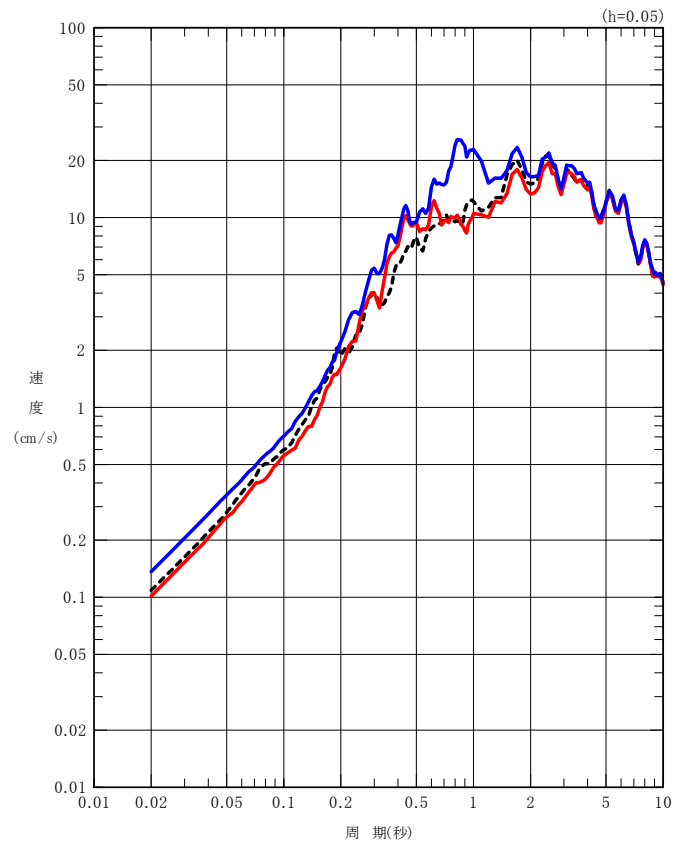
解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当



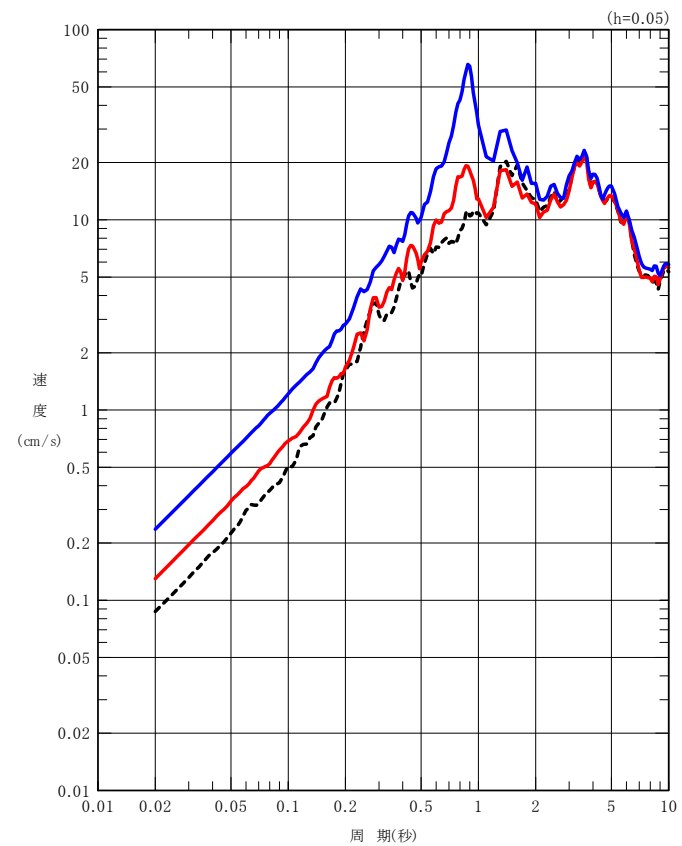
第 7.3.6-11 図 評価結果 (左: 評価された物性値および減衰定数, 右: 伝達関数適合状況)
(東側地盤観測点: バイリニア型)



7.3.6-12 図 周波数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(東側地盤観測点)



(a) NS 成分



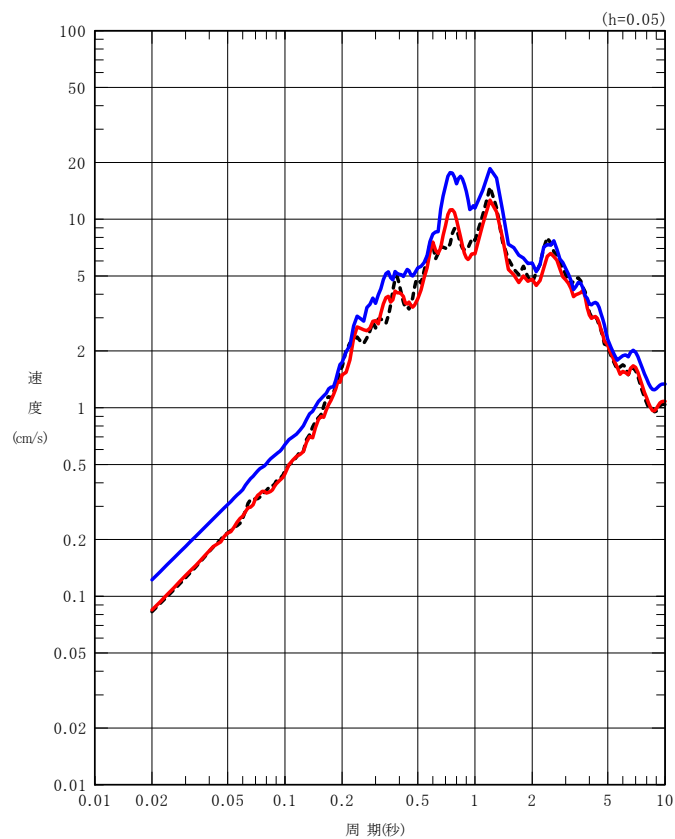
(b) EW 成分

第 7.3.6-13 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

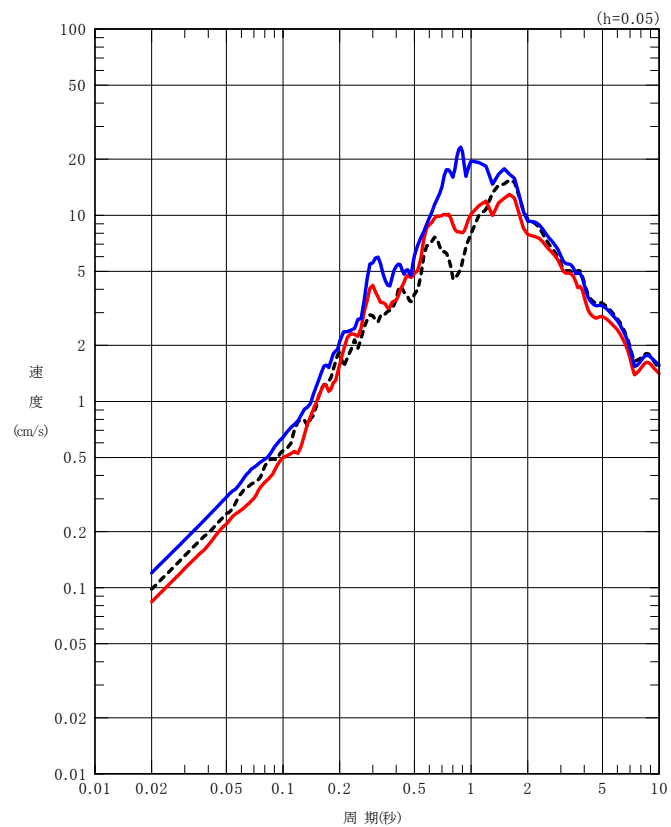
(中央地盤観測点, 2011. 3. 11 東北地方太平洋沖地震)

(黒: 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録,

赤: 周波数依存型の減衰定数を用いた GL-18m の地盤応答, 青: 周波数一定の減衰定数を用いた GL-18m の地盤応答)



(a) NS 成分



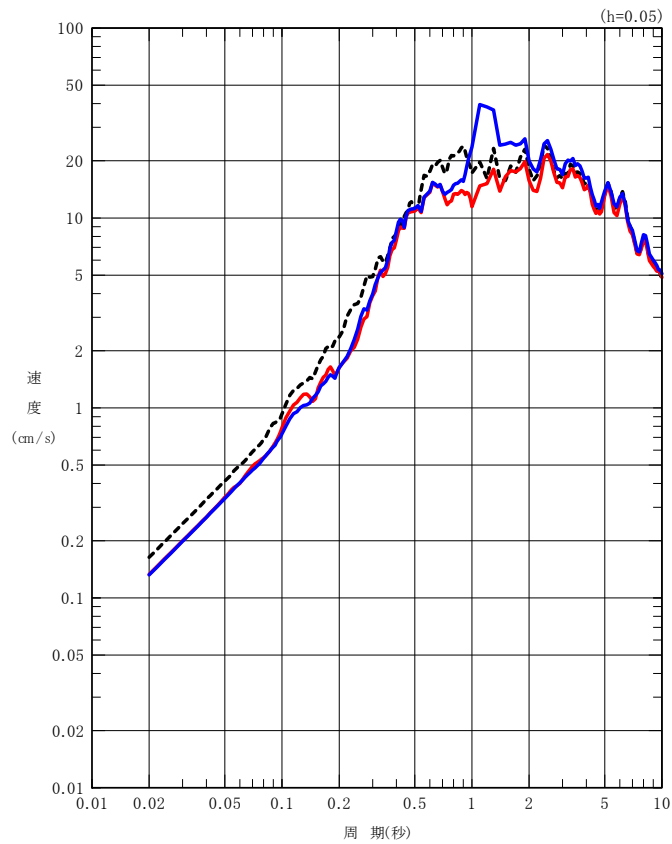
(b) EW 成分

第 7.3.6-14 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

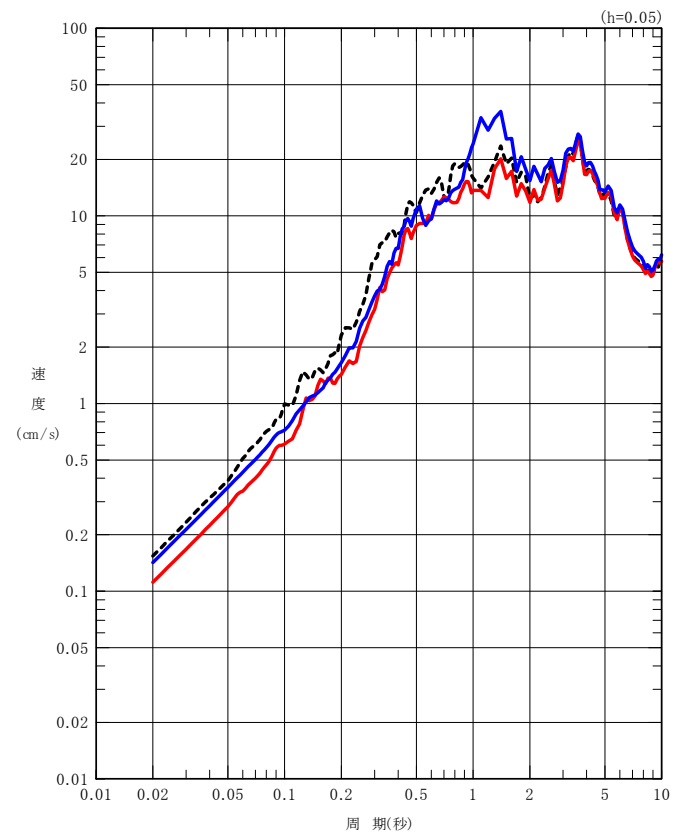
(中央地盤観測点, 2011 年 3 月 11 日 15:08 分の地震)

(黒: 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録,

赤: 周波数依存型の減衰定数を用いた GL-18m の地盤応答, 青: 周波数一定の減衰定数を用いた GL-18m の地盤応答)



(a) NS 成分



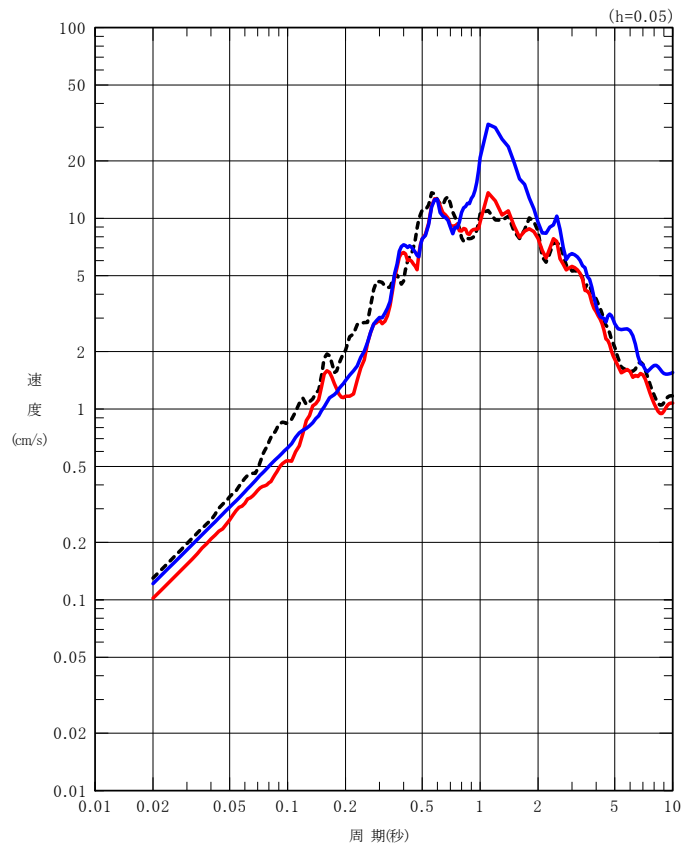
(b) EW 成分

第 7.3.6-15 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

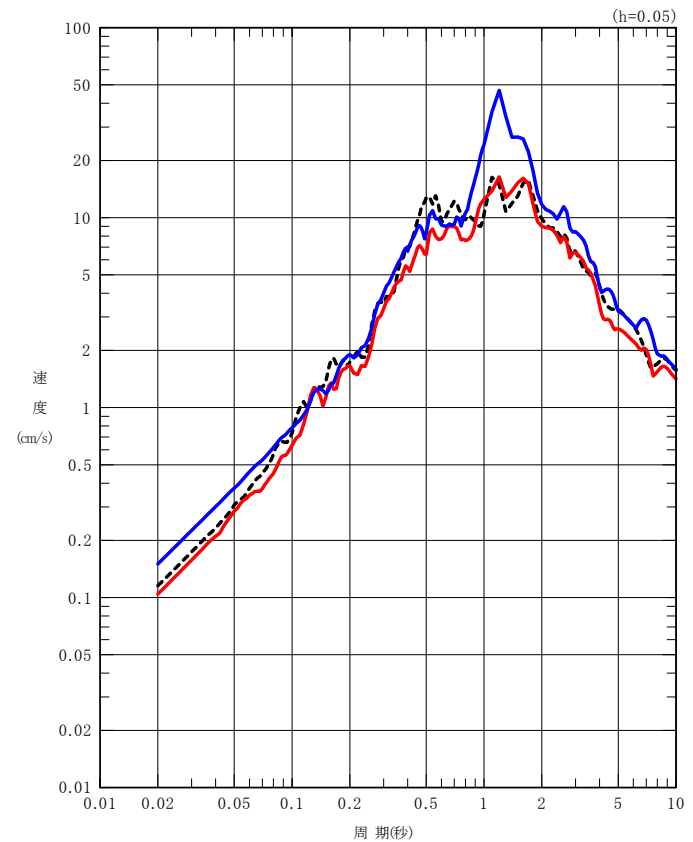
(西側地盤観測点, 2011. 3. 11 東北地方太平洋沖地震)

(黒: 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録,

赤: 周波数依存型の減衰定数を用いた GL-18m の地盤応答, 青: 周波数一定の減衰定数を用いた GL-18m の地盤応答)



(a) NS 成分



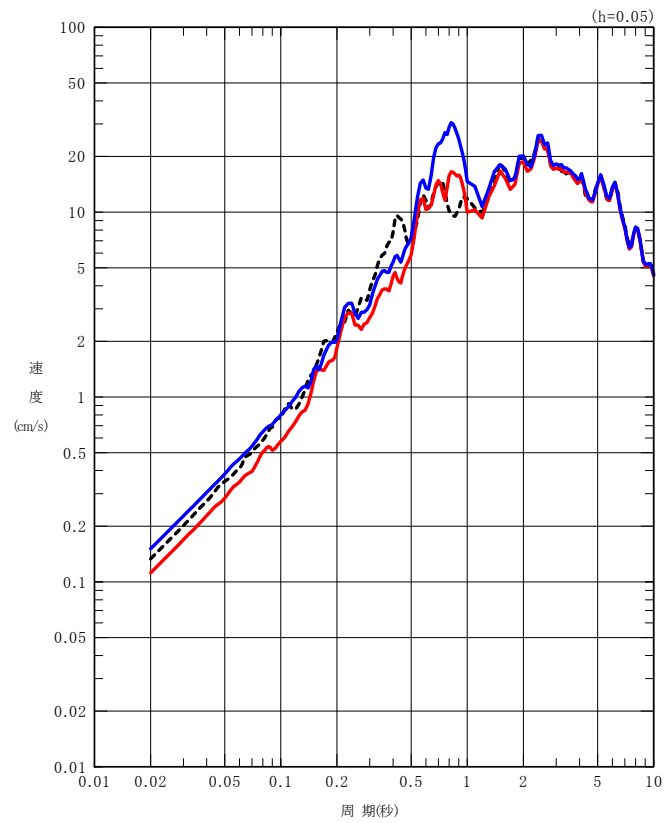
(b) EW 成分

第 7.3.6-16 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

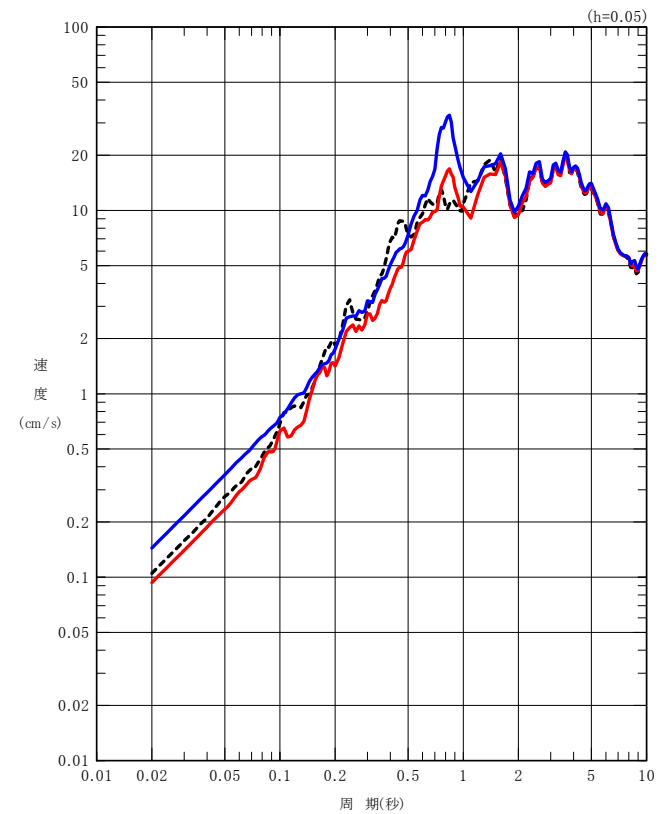
(西側地盤観測点, 2011 年 3 月 11 日 15:08 分の地震)

(黒: 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録,

赤: 周波数依存型の減衰定数を用いた GL-18m の地盤応答, 青: 周波数一定の減衰定数を用いた GL-18m の地盤応答)



(a) NS 成分



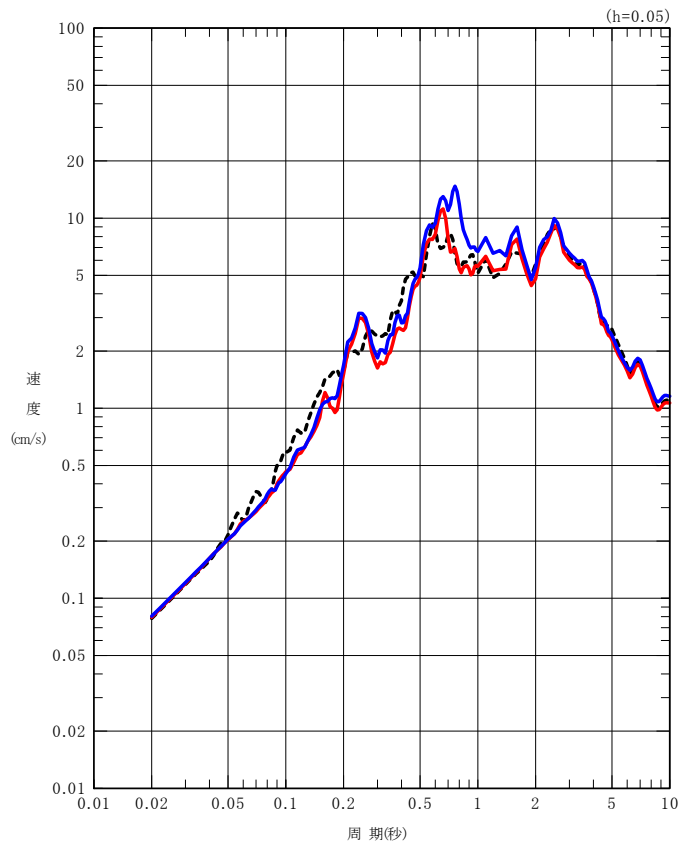
(b) EW 成分

第 7.3.6-17 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

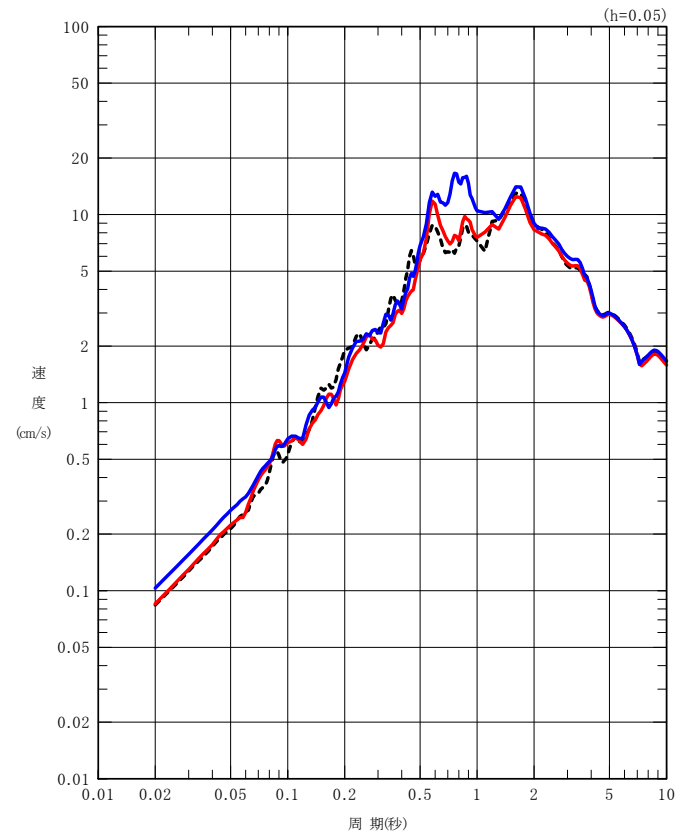
(東側地盤観測点, 2011. 3. 11 東北地方太平洋沖地震)

(黒: 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録,

赤: 周波数依存型の減衰定数を用いた GL-18m の地盤応答, 青: 周波数一定の減衰定数を用いた GL-18m の地盤応答)



(a) NS 成分



(b) EW 成分

第 7.3.6-18 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

(東側地盤観測点, 2011 年 3 月 11 日 15:08 分の地震)

(黒: 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録,

赤: 周波数依存型の減衰定数を用いた GL-18m の地盤応答, 青: 周波数一定の減衰定数を用いた GL-18m の地盤応答)

7.4 地震波干渉法による検討

7.4.1 評価の概要

Fukushima et al. (2016)では、地表の観測波形を基準として、地中の観測波形をデコンボリューションした波形に基づき、地震計間の減衰定数を推定する手法を提案している。本手法は、2つの地震計間で一様な地盤を仮定しているため、最終的に得られた減衰定数は、2地点間の平均的なQ値とみなすことができる。

Fukushima et al. (2016)では、この手法の適用性について、以下の条件を示している。

- ① ボアホール地震計の深さが300m以上
- ② ボアホール地震計設置位置のS波速度が3000m/sより小さい。
- ③ ボーリングの検層結果に基づく地表と地中の地震計位置の理論往復走時が0.5秒より大きい。

ただし、Riga et al. (2019)は数値実験によって、入射波と反射波が分離されていれば、上記の条件を満足しておらずとも、この方法が適用可能であることが示されている。

後述する当社敷地の地震観測記録に基づく、地表面の地震観測深さ(G.L.-2m)を基準点としたときの、解放基盤表面深さ(G.L.-125m)のデコンボリューション波形において、入射波と反射波が明確に分離されていることを確認したことから、本手法を当社敷地に適用することに問題はないと考えられる。

地震波干渉法による具体的な評価方法及び結果については追而

8. 基本地盤モデルにおける岩盤部分の減衰手数の設定

「5. 三軸圧縮試験による方法」, 「6. 敷地におけるS波検層による評価」及び「7. 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価」による検討結果に基づき, 各結果に対しての傾向と, 基本地盤モデルに設定する岩盤部分の減衰定数の考え方について以下に示す。

(1) 中央地盤 (AA周辺, F施設周辺, AE, AG, GA, DC)

- ・「5.2 岩盤部分の非線形性が減衰定数に与える影響」に示したとおり、S_s地震時において非線形性が入力地震動に与える影響を考慮した場合、線形条件として扱った方が入力地震動を保守的に算定することになる。
- ・敷地におけるS波検層による減衰定数の評価として、20Hzにおいて約4%の減衰定数が得られており、周波数依存性を考慮すれば、建物・構築物の固有周期帯に該当する低周波側ではさらに大きな減衰定数になっていると考えられる。
- ・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として、周波数依存性を考慮しない場合、6.7%の減衰定数が得られており、地震観測記録をシミュレーション解析により再現可能であることを確認した。
- ・多角的な検討として、周波数依存性を考慮した減衰定数との比較を行った結果、上記の値 (6.7%) によるシミュレーション結果と整合する結果であることを確認した。

地震波干渉法による評価結果については追而

以上を踏まえ、中央地盤における岩盤部分の減衰定数については、JEAG4601-2015 における軟質岩盤を主体とするサイトにおける慣用値の範囲のうち、5%と設定し、線形条件の設定とする。

これにより、地震観測記録により評価した値 (周波数依存無し: 6.7%) よりも更に小さい減衰定数となるほか、線形条件とすることにより、S_s地震時の入力地震動を保守的に評価することから、設計上の保守性を考慮した設定となる。

上記設定については、地震観測記録及び現時点において得られているS波検層データに基づく値に基づき設定した値であり、信頼性は有していると考えられるが、今後、S波検層並びにコア試験データを追加取得し、今回設定した値について、確度または信頼性を向上させる。

(2) 西側地盤 (E施設周辺)

- ・「5.2 岩盤部分の非線形性が減衰定数に与える影響」に示したとおり、S_s地震時において非線形性が入力地震動に与える影響を考慮した場合、線形条件として扱った方が入力地震動を保守的に算定することになる。
- ・敷地におけるS波検層による減衰定数の評価として、20Hzにおいて約6%の減衰定数が得られており、周波数依存性を考慮すれば、建物・構築物の固有周期帯に該当する低周波側ではさらに大きな減衰定数になっていると考えられる。
- ・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として、周波数依存性を考慮しない場合、6.3%の減衰定数が得られており、地震観測記録をシミュレーション解析により再現可能であることを確認した。
- ・多角的な検討として、周波数依存性を考慮した減衰定数との比較を行った結果、上記の値(6.3%)によるシミュレーション結果と整合する結果であることを確認した。

地震波干渉法による評価結果については追而

以上を踏まえ、西側地盤における岩盤部分の減衰定数については、JEAG4601-2015における軟質岩盤を主体とするサイトにおける慣用値の範囲のうち、5%と設定し、線形条件の設定とする。

これにより、地震観測記録により評価した値(周波数依存無し:6.3%)よりも更に小さい減衰定数となるほか、線形条件とすることにより、S_s地震時の入力地震動を保守的に評価することから、設計上の保守性を考慮した設定となる。

上記設定については、地震観測記録及び現時点において得られているS波検層データに基づく値に基づき設定した値であり、信頼性は有していると考えられるが、今後、S波検層並びにコア試験データを追加取得し、今回設定した値について、確度または信頼性を向上させる。

(2) 東側地盤 (AC, CA, CB, AZ, G14)

- ・「5.2 岩盤部分の非線形性が減衰定数に与える影響」に示したとおり、Ss地震時において非線形性が入力地震動に与える影響を考慮した場合、線形条件として扱った方が入力地震動を保守的に算定することになる。
- ・敷地におけるS波検層による減衰定数の評価として、10Hzにおいて、ばらつきは大きいものの、20%以上の減衰定数が得られている。
- ・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として、周波数依存性を考慮しない場合、5.9%の減衰定数が得られており、地震観測記録をシミュレーション解析により再現可能であることを確認した。
- ・多角的な検討として、周波数依存性を考慮した減衰定数との比較を行った結果、上記の値 (5.9%) によるシミュレーション結果と整合する結果であることを確認した。

地震波干渉法による評価結果については追而

以上を踏まえ、東側地盤における岩盤部分の減衰定数については、JEAG4601-2015 における軟質岩盤を主体とするサイトにおける慣用値の範囲のうち、5%と設定し、線形条件の設定とする。

これにより、地震観測記録により評価した値 (周波数依存無し: 5.9%) よりも更に小さい減衰定数となるほか、線形条件とすることにより、Ss地震時の入力地震動を保守的に評価することから、設計上の保守性を考慮した設定となる。

上記設定については、地震観測記録及び現時点において得られているS波検層データに基づく値に基づき設定した値であり、信頼性は有していると考えられるが、今後、S波検層並びにコア試験データを追加取得し、今回設定した値について、確度または信頼性を向上させる。

9. 評価結果に対する考察

9.1 既往知見等または評価手法間の整合性

「7.3.6 評価結果」に示した、地震観測記録に基づく手法による各地震観測点における解放基盤表面～基礎底面レベルの岩盤部分に相当する層の減衰定数の評価結果について、JEAG4601-1987に示される他の評価手法や、既往知見における値との比較を行う。

地震観測記録を用いた評価結果によれば、解放基盤表面～基礎底面レベルの岩盤部分に相当する層の減衰定数として、中央地盤観測点においては6.7%、西側地盤観測点においては6.3%、東側地盤においては5.9%の減衰定数が得られている。この値によれば、敷地内のいずれの地点においても、JEAG4601-2015に示される、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設計上の慣用値のうち、軟岩サイトにおける範囲（3～5%）よりも大きい値となっている。

一方、今回実施した地震観測記録を用いた減衰定数の評価における知見として、嶋ほか（1983）におけるいわき地点の検討が挙げられるが、当該地点における地震観測記録に基づき定めた減衰定数（第3.2.1-1図）については、最大8%程度の値が得られており、また、建物・構築物の固有振動数帯（2～3Hz）における値を読み取れば、約6%の減衰定数が得られていることから、本検討において評価した岩盤部分の減衰定数は、敷地内のいずれの地点においても、実現象をよく説明する減衰定数の値としては、既往の知見から乖離したものとはなっておらず、適切に評価されていると考えられる。

また、JEAG4601-1987にて示される減衰定数の評価手法のうち、S波検層による評価については、「6. 敷地におけるS波検層による評価」に示したとおり、敷地におけるデータが得られていることから、その結果との比較を行った。

「4.2 S波検層による評価」に示したとおり、S波検層による評価は、地震観測記録による評価と同様に、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であるが、「6. 敷地におけるS波検層による評価」に示したとおり周波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なっている。また、第6-2図に示したとおり、敷地におけるS波検層による評価結果としては、周波数依存性を有し、低周波になるほど減衰定数は大きな値となっており、評価対象周波数のうち最低周波数（10Hzまたは20Hz）においては、4%～6%を上回る減衰定数が得られている。

このことから、建物・構築物の固有振動数帯（2～3 Hz）に着目した減衰定数を鑑みると、上記値よりも大きな値が地震観測記録による評価結果として得られていることは、特異な結果ではないと考えられる。

9.2 各評価結果から得られる減衰定数に対する考察

「5. 三軸圧縮試験による方法」, 「6. 敷地における S 波検層による評価」及び「7. 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価」にて評価した各種減衰定数の評価結果と, 「8. 基本地盤モデルにおける岩盤部分の減衰定数の評価」において設定した減衰定数の値に基づき, 「3.2.2 本資料において実施する評価」に整理した各評価手法のもつ物理的意味合いを踏まえた考察を行う。

考察は, 各評価手法において, 材料減衰のみ又は材料減衰及び散乱減衰の両方を評価可能である手法との違いがあることから, これを踏まえ, 敷地内の岩盤部分における材料減衰と散乱減衰の物理的構成についての推定として行う。

また, 今後追加する敷地内における S 波検層結果及び岩石コア試験結果に基づき, 各位置または各深さ方向における相対的な関係についてもあわせて考察を行う。

今後, S 波検層並びにコア試験データの追加取得データを用いた考察を追加する。

9.3 事業変更許可申請におけるはぎとり地盤モデルとの関係

本資料における減衰定数の評価にあたって用いる初期地盤モデルについては、中央地盤観測点位置においては、事業変更許可にて示したはぎとり地盤モデルの速度構造を用いている。すなわち、地震観測記録の振動特性を説明できるようにチューニングが行われている速度構造を用いている。

このことから、中央地盤観測点については、本資料における検討結果とはぎとり地盤モデルの差異は、「7.3.2 初期モデルの設定及び探索範囲」に示した、減衰定数に対する周波数特性の考慮の有無の違いのみとなる。

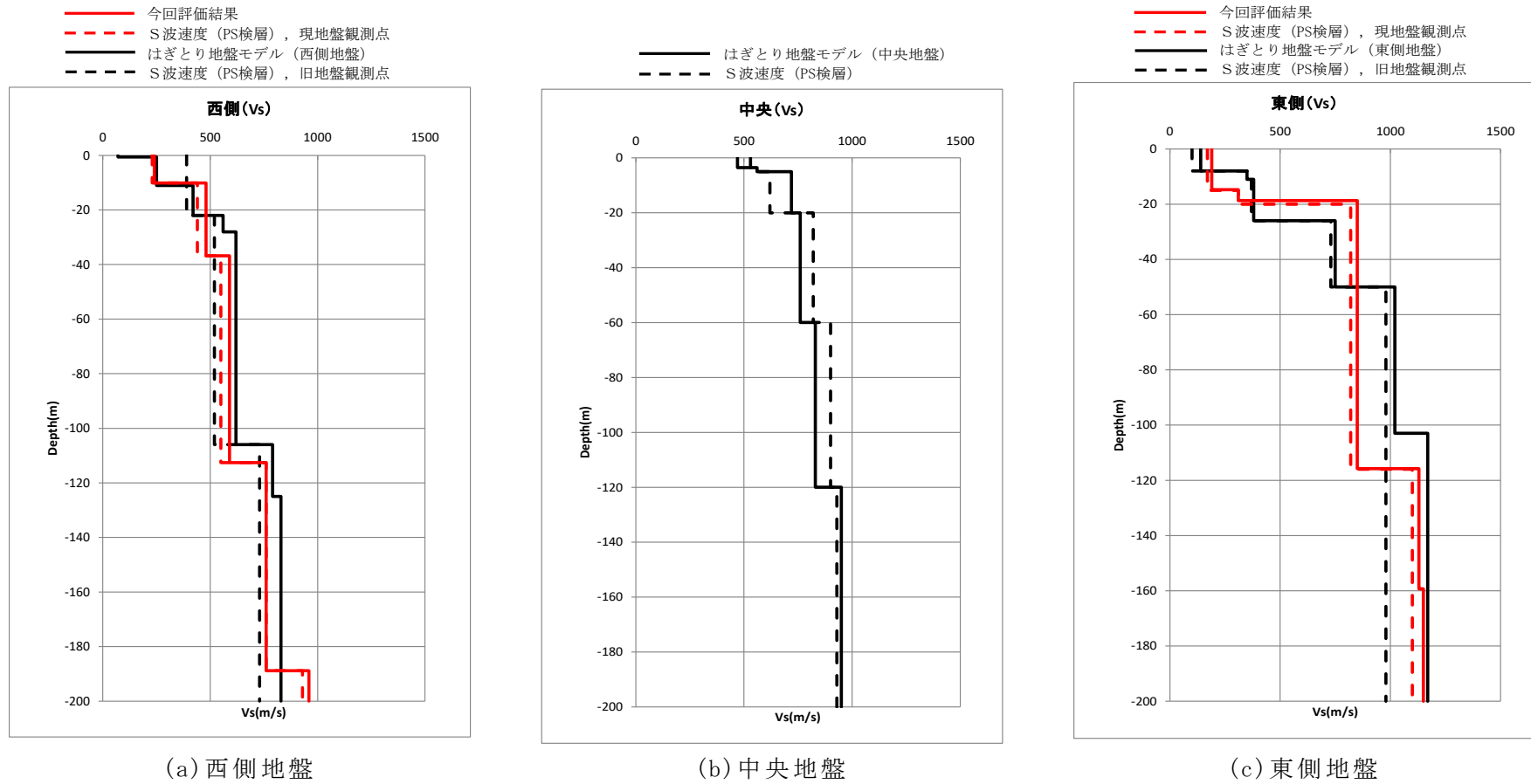
一方で、西側地盤観測点及び東側地盤観測点位置において、事業変更許可にて示しているはぎとり地盤モデルについては、「7.2 敷地における地震観測の概要」に示した 2004 年以前の地震観測位置の地盤データ及び地震観測記録に基づいて作成しているが、本資料における評価にあたっては、比較的大振幅の地震観測記録が得られている 2008 年以降の地震観測位置における地盤データを初期地盤モデルとして用い、減衰定数の評価とあわせて、地震観測記録の振動特性を説明できるように速度構造のチューニングを今回行っている。

このことから、西側地盤観測点及び東側地盤観測点については、本資料における検討結果とはぎとり地盤モデルの差異は、「7.3.6 評価方法」に示した、減衰定数の周波数特性の考え方の違いに加え、速度構造も異なる。

事業変更許可においては、地震観測位置の移設前後で、PS 検層結果に大きな差異は認められず、また、推定されたはぎとり地盤モデルとも概ね整合していることを説明している。今回評価を行った 2008 年以降の地震観測位置についてチューニングされた速度構造についても同様の比較を行った結果を第 9.2-1 図に示す。

結果として、今回評価を行った 2008 年以降の地震観測位置について、西側及び東側地盤観測点においてチューニングされた速度構造についても、地震観測位置の移設前後における PS 検層結果及び事業変更許可にて示した 2004 年以前の地震観測位置におけるはぎとり地盤モデルと概ね同等となっていることを確認した。

以上のことから、本資料において、2008 年以降の地震観測位置における地盤データに基づいて速度構造をチューニングした結果については、事業変更許可における説明とも整合していることを確認した。



第 9.2-1 図 今回評価した地震観測点における PS 検層結果
 及びはぎとり地盤モデルの速度構造の比較
 (2020 年 2 月 21 日第 339 回審査会合 資料 1-4-1 p48 に加筆修正)

9.4 シミュレーション解析結果における観測記録との差に関する分析

「7.3.6 評価結果」に示したとおり、地震観測記録を用いた評価にあたっては、伝達関数のフィッティング結果に対する検証として、地震観測記録を用いたシミュレーション解析を実施している。

地震観測記録を用いたシミュレーション解析においては、地震観測記録よりも地震動を大きく評価する等の乖離が一部方向や周期帯において見られる。具体的な状況を以下①及び②に示す。これらの要因について考察を実施した。

- ①中央、西側、東側地盤共通の特徴としては、周期 1 秒付近において、観測記録よりもシミュレーション解析結果が大きく評価される。
- ②中央地盤においては、NS 成分と比較して、EW 成分における観測記録とシミュレーションの乖離が大きい。

考察にあたっては、シミュレーション解析を基礎底面相当レベルである GL-18m の地盤応答の比較として実施していることから、GL-18m までの上昇波による影響が支配的であると考え、GL-18m/GL-200m の伝達関数のフィッティング状況に着目して行った。

(1) 上記①に対する考察

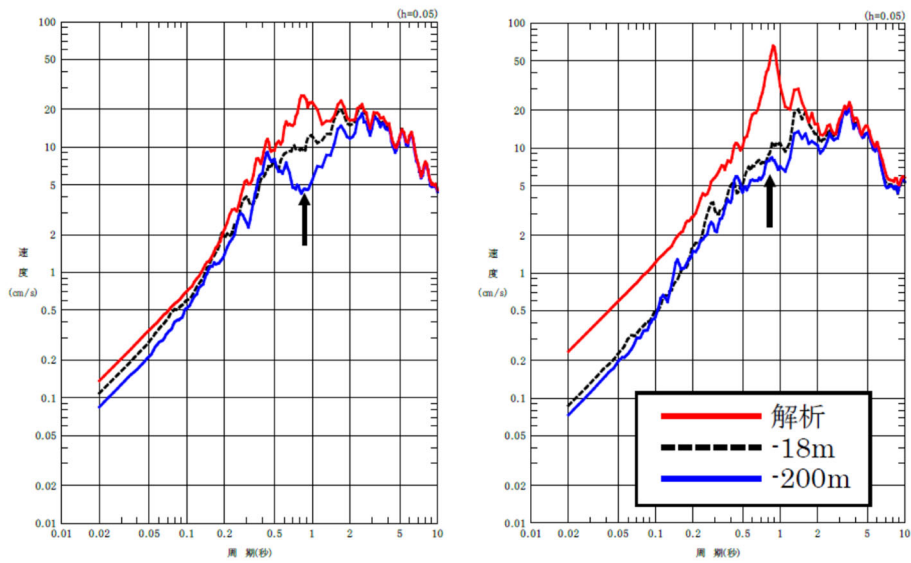
第 7.3.6-4 図～第 7.3.6-6 図に示すとおり、シミュレーション解析結果は、周期約 1 秒において、地震観測記録では見られないピークが発生している傾向となっており、その傾向は、中央地盤観測点、西側地盤観測点及び東側地盤で共通となっている。

第 7.3.6-1 図～第 7.3.6-3 図の⑤に示した、各位置の GL-18m/GL-200m における地震観測記録から得られた伝達関数（目的関数）は、周期 1 秒に相当する 1 Hz の周波数帯にて、1 次のピークを有する傾向となっており、各位置で共通的な特徴となっている。

一方、フィッティングの結果によれば、約 1 Hz の周波数帯のピークの位置についてはよく再現しているものの、伝達関数を約 5 倍程度大きく評価している。この傾向は、今回検討にあたり評価する減衰定数を、建物・構築物の入力地震動を算定することを目的とした設定として、低周波ほど大きくなるような周波数依存性を考慮しない条件としたために、低周波側の伝達関数を大きく評価する結果となったものと考えられる。

(2) 上記②に対する考察

中央地盤において、NS 方向と比較して、EW 方向の方が観測記録よりも大きなシミュレーション解析結果が得られている要因としては、第 9.3-1 図に示すとおり、GL-200m において周期 0.9 秒付近で NS 成分のみ応答スペクトルの谷が見られるという当該地震固有の特徴があることから、(1)に示した周期約 1 秒を大きく評価する傾向と相まって、応答スペクトル上の短周期領域までを大きく評価したと考えられる。



第 9.3-1 図 GL-200m 地中観測記録とシミュレーション解析結果の比較

10. まとめ

本資料において整理した、一般的・標準的な手法による岩盤部分の減衰定数の設定に係る検討結果は以下のとおりである。

JEAG4601-1987 に示される手法に基づく評価の結果を踏まえ、岩盤部分の減衰定数については、JEAG4601-2015 における軟質岩盤を主体とするサイトにおける慣用値の範囲内のうち、5%と設定し、線形条件の設定とする。

これにより、評価結果よりも更に小さい減衰定数となるほか、線形条件とすることにより、Ss 地震時の入力地震動を保守的に評価することから、設計上の保守性を考慮した設定となる。

上記設定については、地震観測記録及び現時点において得られている S 波検層データに基づく値に基づき設定した値であり、信頼性は有していると考えられるが、今後、S 波検層並びにコア試験データを追加取得し、今回設定した値について、確度または信頼性を向上させる。

別紙 2-4

表層地盤の物性値等に係る検討について

- ・ 文中の下線部は令和 5 年 7 月 7 日に提出した「表層地盤の物性値等に係る検討について」からの変更箇所を示す。

目 次

	ページ
1. はじめに	1
2. 埋戻し土の物性に係る検討	2
2.1 均質性及び物性値設定について	2
2.1.1 埋戻し土の施工管理状況	2
2.1.2 埋戻し土の物性値設定について	12
2.1.3 埋戻し土の均質性について	14
2.2 数値統計学に基づく埋戻し土の物性値 (G_0) の最尤モデル	20
2.3 まとめ	23
3. 流動化処理土の物性に係る検討	24
3.1 均質性及び物性値設定について	24
3.1.1 流動化処理土の施工管理状況及び均質性	24
3.1.2 流動化処理土の物性値設定について	31
3.2 流動化処理土の物性設定のまとめ	32
4. 表層地盤のまとめ	33

1. はじめに

本資料は、地盤モデルの設定パラメータとなる4因子のうち、表層地盤の物性値等について、既認可時の地盤モデルを踏襲した地盤モデル(以下、「申請地盤モデル」という。)との差分を確認するために、一般的・標準的な表層地盤物性値の設定方法に基づく、データの整理結果を示すものである。

建築物の設計において表層地盤の物性値を設定する場合、建築物近傍のボーリング試験により得られたデータに基づき設定することが一般的な考え方である。

当該地点での表層地盤の物性値は、一般的な考え方のおり、建物・構築物の近傍のボーリングデータに基づき設定する。このとき以下の理由によりエリア全体の埋戻し土の物性は一樣のものとして扱えることから設定は全エリアのボーリング孔から得られるデータを用いて設定する。

- ・当該地点の特性として建屋間の連携をとるために、複数の建物・構築物をおおむね同時期に構築することから広範囲な掘削、埋戻しが実施されている。
- ・建物・構築物周辺の埋戻しについては、一定の品質管理の下で均質性を目標として施工されている。

以上のことを踏まえ、本資料では、当該敷地における表層地盤(埋戻し土)の均質性について、施工管理の観点から検討を行う。表層地盤(埋戻し土)の物性値の設定については、本来の土質材料としての力学特性に基づき考察を行い、さらに、数値統計理論により、物性値として与えるべき最適な統計的モデルについて説明する。また、施工管理された埋戻し土においても一定のばらつきを有することを前提とし、埋戻し土が有する確率分布モデル(平均と標準誤差による正規分布)を適用したモンテカルロシミュレーションにより不確かさに関する考察を行った。

なお、表層地盤(流動化処理土)についても、その均質性について施工管理の観点から検討を行い、物性値の設定について検討を行う。

2. 埋戻し土の物性に係る検討

2.1 均質性及び物性値設定について

2.1.1 埋戻し土の施工管理状況

埋戻し土の施工仕様及び管理基準について、施工仕様・基準一覧を第2.1.1-1表に、埋戻し工事の施工ブロック割位置図を第2.1.1-1図に示す。第2.1.1-1表には、主な施工実績として、各工事における施工期間、施工範囲、施工規模及び敷均し・転圧の仕様を示す。敷地内の埋戻し工事は、敷地内北側が1999年以前、敷地内中央部から南側にかけては2000年以降に施工している。また、第2.1.1-2表には、年代別の埋戻し土の材料基準及び力学特性に係る品質管理基準を示す。

施工手順については、ストックパイルヤードにおいて分別された掘削土の段丘砂(1999年以前)又は六ヶ所層の砂及び鷹架層掘削に伴う岩ズリ(2000年以降)に対し、バックホウにより混合・攪拌することで粒度調整している。建設工事の進捗に応じ、埋戻し土を対象箇所付近に運搬・仮置きし、場内小運搬により当該所定の場所に設置される。撤出し及び転圧にあたっては、工事着手前の試験施工によって確認された撤出し厚さ及び転圧回数の基準を定めたうえで施工している。

管理基準については、第2.1.1-1表に示すとおり、近隣施設との配置に基づく施工幅等による制約で使用する重機等の施工方法が異なるが、両者とも最大乾燥密度と最適含水比による締固め材料基準に基づき、締固めエネルギーに応じて撤出し厚さ(20~50cm/層)や転圧回数(3~6回転圧)を変動させており、敷地全体の埋戻し土の強度及び締固め状態について均質を目標として施工している。

施工プロセスは上記のとおりであるが、品質管理においては、1999年以前はポータブルコーン試験による貫入抵抗、2000年以降は締固め度により、施工結果を確認している。施工年代別の品質管理要領を第2.1.1-2図及び第2.1.1-3図に示す。また、その基準をもとに得られた品質管理記録として、1999年以前におけるコーン貫入抵抗 q_c を第2.1.1-4図に、2000年以降における締固め度 D_c を第2.1.1-5図に示す。1999年以前について、一部データはないもののおおむね管理目標値である $q_c=10\text{kgf/cm}^2$ ($\approx 0.1\text{MPa}$)を満足しており、2000年以降についても基準値である締固め度 $D_c=90\%$ 以上を満足している。

埋戻し土の粒度分布図を第2.1.1-6図に示す。図中には、青線と赤線で施工年代別に粒度分布を示す。図によれば、赤線で示す2000年以降の粒度分布と青線で示す1999年以前の粒度分布は、施工年代に関わらず同程度の粒度分布範囲に収まっており、品質管理データがない埋戻し工事BのKT-3及びKT-9の粒度分布にも偏りや明瞭な傾向の違いは認められない。一部データがない範囲(埋戻し工事B、対象となるボーリング孔:KT-3及びKT-9)についてN値によりデータの補足をする。第2.1.1-7図によれば、施工年代別のN値の平均値及びばらつきは、同程度の範囲に収まっており、品質管理データがない埋戻し工事BのKT-3及びKT-9についても

ばらつきの範囲内にあることを確認した。

なお、事業変更許可申請書における強度特性との関連を考察すると、土の締固め管理として 1999 年以前はポータブルコーン試験により、一軸圧縮強度 $qu \geq 0.2\text{MPa}$ を目標に管理を行っており、せん断強度は、 $\tau = qu/2 = 0.2/2 = 0.1\text{MPa}$ である。第 2.1.1-8 図に埋戻し土の強度特性として 1999 年以前と 2000 年以降を合わせた非排水せん断強度と圧密応力の関係を示す。埋戻し土の非排水せん断強度は、深度 10m 相当で 0.11MPa 程度の値が得られている。敷地全体の埋戻し土の強度については、第 2.1.1-8 図に示すとおり、1999 年以前と 2000 年以降で同程度の値となっている。

以上のことから、敷地内すべての埋戻し工事における施工プロセスはほぼ同等であり、埋戻し土は均質を目標に施工されており、一定のばらつきの範囲内で管理されている。

第 2.1.1.1-1 表 再処理施設の主な埋戻し工事における施工基準一覧 (埋戻し土)

工事名	時期	施工範囲 (主要な近傍施設)	ボーリング 孔	数量概数 (m ³)	割合	仕様※1※2			品質管理	
						施工方法	敷均し	転圧	管理指標	記録有無
埋戻し工事A	1994年5月～1994年12月	EA, EB	No.7 No.8	133,000	8.0%	大・中規模 BD-2t 50cm/層 小規模 BD-3t 人力 20cm/層	BD-2t 4回転圧 SV, TP 3回転圧	コーン貫入抵抗 qc	あり	
埋戻し工事B	1995年3月～1996年12月	AE, F1(A), FCK, FCM, FA, FB, F1(B), A2, AQ	KT-3 KT-9	222,000	13.3%	大・中規模 BD-2t 50cm/層 小規模 BD-3t 人力 20cm/層	BD-2t 4回転圧 SV, TP 3回転圧	コーン貫入抵抗 qc	なし	
埋戻し工事C	2000年4月～2002年3月	GA, G10, A4, AG, AH, AK, A1, AP, AA, AC	KT-5 a-1 TY20-1 TY20-2 TY20-3 TY20-5	335,000	20.1%	大規模 BD-2t 40cm/層 中規模 BH-0.6m ³ BD-3t 30cm/層 小規模 BH-0.6m ³ CS-0.6m ³ 人力 30cm/層	BD-2t 6回転圧 BD-3t 4回転圧 HV-0.8～1.1t TP-60～100kg 4回転圧 SV-12t 6回転圧	締固め度Dc	あり	
埋戻し工事D	2000年8月～2002年3月	DA, DC, AD, BA, BB, CA, CB	No.2	308,000	18.4%	大規模 BD-2t 40cm/層 中規模 BH-0.6m ³ BD-3t 30cm/層 小規模 BH-0.35m ³ CS-0.6m ³ 人力 30cm/層	BD-2t 6回転圧 SV-12t 4回転圧 SV-12t 4回転圧 HV-0.8～1.1t TP-60～100kg 4回転圧 SV-11t 6回転圧	締固め度Dc	あり	
埋戻し工事E	2000年4月～2003年10月	KA, AA, AB, AK, AR, AC, BA, CA	a-4	301,000	18.0%	大規模 BD-2t 40cm/層 中規模 BD-3t 40cm/層 小規模 BH-0.6m ³ 人力 30cm/層	BD-2t 4回転圧 SV-12t 4回転圧 HV-0.8～1.1t TP-60～100kg 4回転圧 SV-11t 6回転圧	締固め度Dc	あり	
埋戻し工事F	2002年4月～2003年12月	DA, DB, DC, A4, AD, AH, AK, BA, BB, CA, CB	b-2 b-4	290,000	17.4%	大規模 BD-2t 40cm/層 中規模 BD-3t 40cm/層 小規模 BH-0.6m ³ 人力 30cm/層	BD-2t 4回転圧 SV-12t 4回転圧 HV-0.8～1.1t TP-60～100kg 4回転圧 SV-12t 4回転圧	締固め度Dc	あり	
埋戻し工事G	2002年4月～2002年10月	F3, FCK, FCT	—	4,000	0.2%	小規模 CS-0.2m ³ 30cm/層	HV-1.0t 4回転圧 TP-60kg 6回転圧 BD-3t 6回転圧 SV-4t 4回転圧	締固め度Dc	あり	
埋戻し工事H	2003年5月～2003年11月	AE	—	35,000	2.1%	中規模 BD-2t 30cm/層 小規模 BD-4t, BH-0.28m ³ CS-0.7m ³ 人力 30cm/層	BD-2t 4回転圧 SV-4t HV-0.8～1.1t TP-60～100kg 4回転圧 SV-3t 4回転圧	締固め度Dc	あり	
埋戻し工事I	2004年5月～2004年10月	KB	No.9	17,000	1.0%	中・小規模 BH-0.8m ³ BD-7t 30cm/層	SV-3t 4回転圧	締固め度Dc	あり	
埋戻し工事J	2009年2月～2010年10月	EB2	—	1,000	0.1%	中・小規模 BD-3t 30cm/層	SV-3t 4回転圧	締固め度Dc	あり	
埋戻し工事K	2012年7月～2012年9月	DC	—	11,000	0.7%	大規模 BH-0.25m ³ , BH-0.7m ³ BD-6t, BD-2t 40cm/層 中・小規模 BH-0.25m ³ , BH-0.7m ³ 人力 30cm/層	BD-2t 4回転圧 SV-3.5t 4回転圧 SV TP 4回転圧	締固め度Dc	あり	
埋戻し工事L	2015年3月～2015年12月	KBW	—	13,000	0.8%	中・小規模 BH-0.8m ³ BD-7t 30cm/層	SV-3t 4回転圧	締固め度Dc	あり	
				1,670,000	100%					

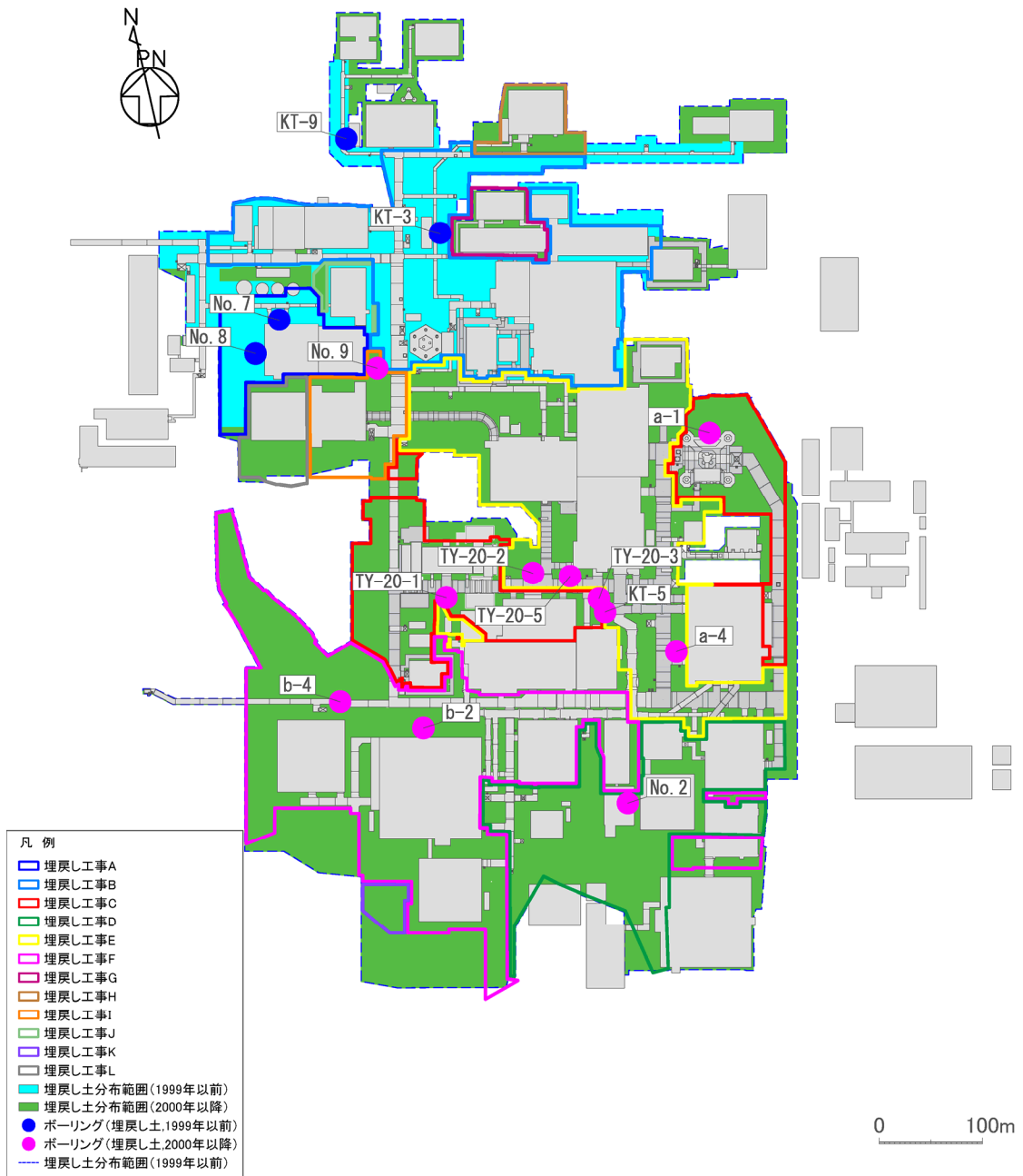
※1 施工方法 大規模:施工上の相約が広い平地(施工幅W≧10m), 中規模:建物・構築物及び山留壁近傍(5m≦施工幅W<10m), 小規模:建物・構築物及び山留壁近傍の狭い箇所(施工幅W<5m)

※2 使用機械 BD:ブルドーザ, BH:バックホウ, CS:グラブショベル, HV:ハンドガク式振動ローラ, TP:タンバ, SV:振動ローラ

第 2.1.1-2 表 埋戻し土の材料基準及び力学特性に係る品質管理一覧
 (設工認に係る補足説明資料 耐震設計の基本方針に関する地盤の支持性能
 について[耐震地盤 01]から引用して加筆)

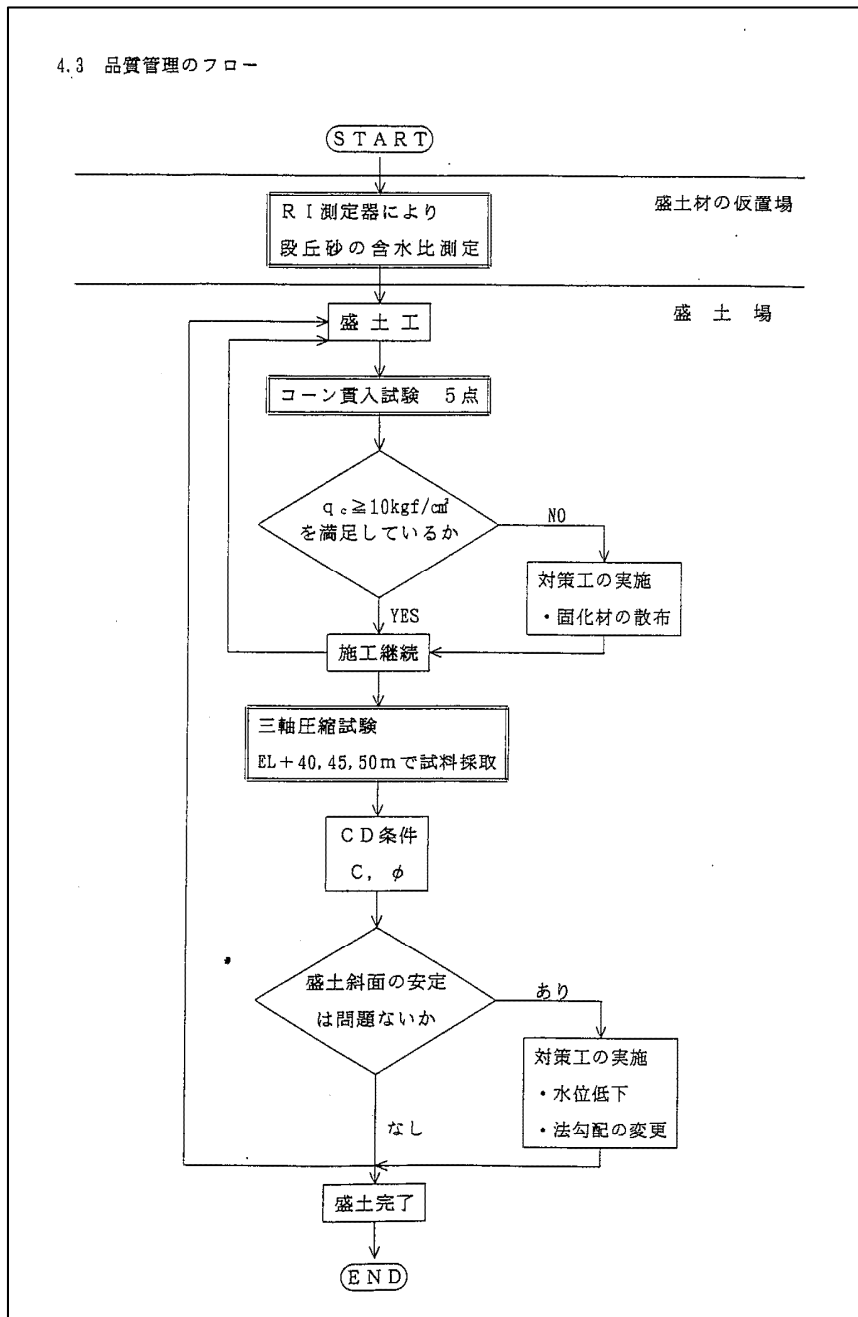
	1999 年以前	2000 年以降
材料基準	段丘砂(中位段丘) 最大乾燥密度, 最適含水比	ブレンド材(鷹架層及び六ヶ所層) 最大乾燥密度, 最適含水比
施工手順	<p>ストックパイルヤード</p> <p>混合・攪拌 (バックホウ)</p> <p>↓</p> <p>積込・運搬 (バックホウ・ダンプ)</p> <p>↓</p> <p>埋戻し箇所付近</p> <p>現場仮置き ← (品質管理) 最大乾燥密度 最適含水比</p> <p>↓</p> <p>小運搬 (バックホウ、ダンプ)</p> <p>↓</p> <p>投入 (バックホウ・クラムシェル)</p> <p>↓</p> <p>撤出し・数均し (ブルドーザ) ← (品質管理) 撤出し厚さ</p> <p>↓</p> <p>転圧 (振動ローラ、タンバ) ← (品質管理) ポータブルコーン貫入試験 転圧回数</p> <p>↓</p> <p>次工程引渡し</p>	<p>ストックパイルヤード</p> <p>混合・攪拌 (バックホウ)</p> <p>↓</p> <p>積込・運搬 (バックホウ・ダンプ)</p> <p>↓</p> <p>埋戻し箇所付近</p> <p>現場仮置き ← (品質管理) 細粒分含有率$F_c = 30\%$以下 最大粒径:150mm以下 最大乾燥密度 最適含水比</p> <p>↓</p> <p>小運搬 (バックホウ、ダンプ)</p> <p>↓</p> <p>投入 (バックホウ・クラムシェル)</p> <p>↓</p> <p>撤出し・数均し (ブルドーザ) ← (品質管理) 撤出し厚さ</p> <p>↓</p> <p>転圧 (振動ローラ、タンバ) ← (品質管理) 締固め度 転圧回数</p> <p>↓</p> <p>次工程引渡し</p>
管理基準	コーン貫入抵抗 $q_c \geq 1.0\text{MPa}$ (目標値) $q_u = 0.2 \times q_c = 0.2 \times 1.0 = 0.2\text{MPa}^{*1}$	締固め度 $D_c \geq 90\%$

※1 再処理施設, 廃棄物管理施設及び MOX 燃料加工施設の事業変更許可申請書における埋戻し土の強度特性のうち, 非排水せん断強度 $s_u = 0.049 + 0.761p$ (MPa) より
 深度 10m 相当の圧密応力 $p = 0.08\text{MPa}$ のとき, $s_u \approx 0.11\text{MPa}$ となる。



第2.1.1-1図 施工ブロック割位置図

4.3 品質管理のフロー



第2.1.1-2図 1999年以前の品質管理要領

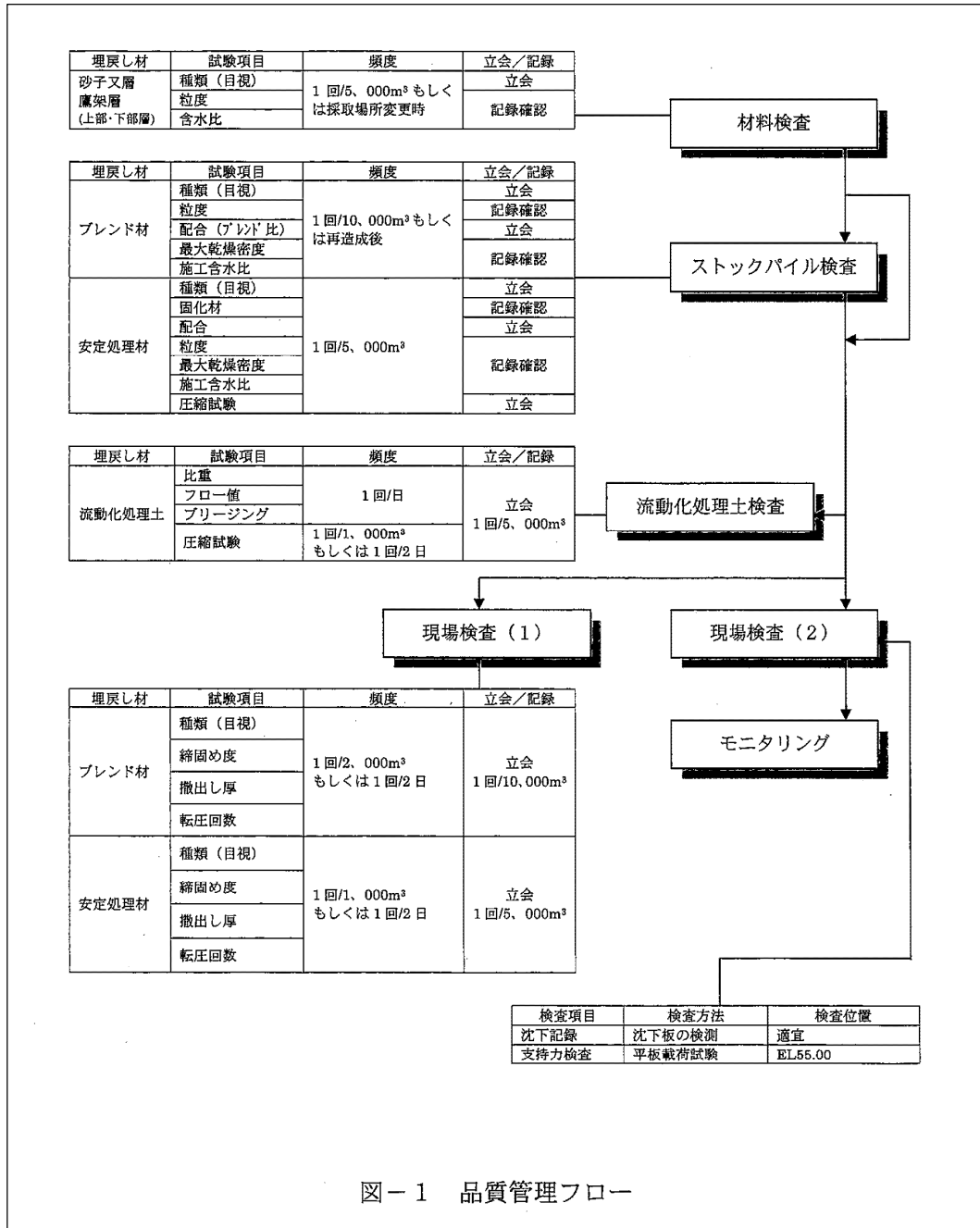
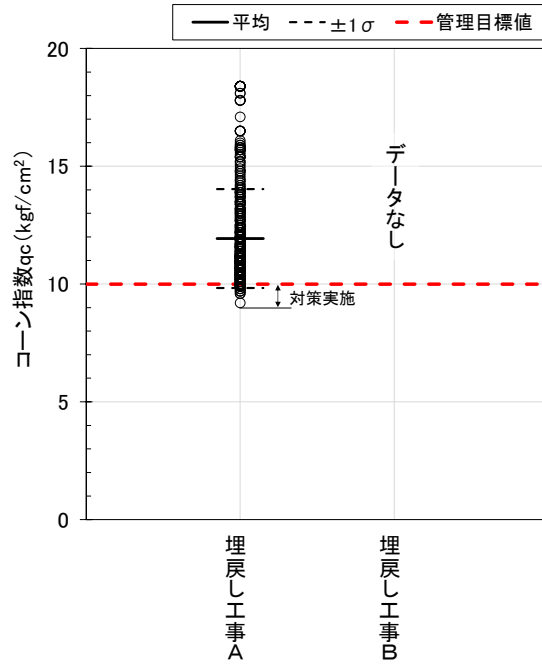
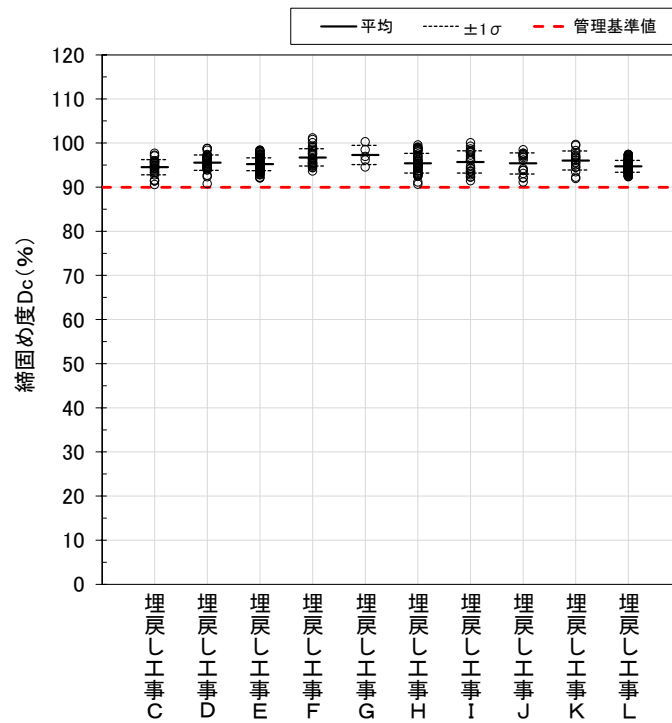


図-1 品質管理フロー

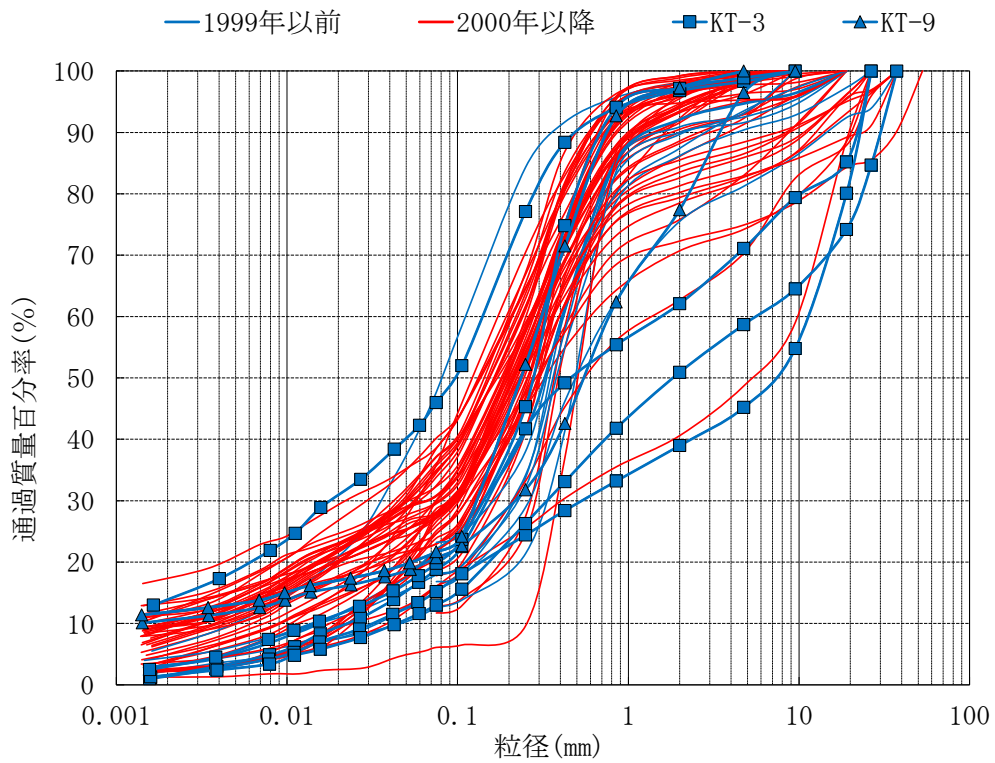
第2.1.1-3図 2000年以降の品質管理要領



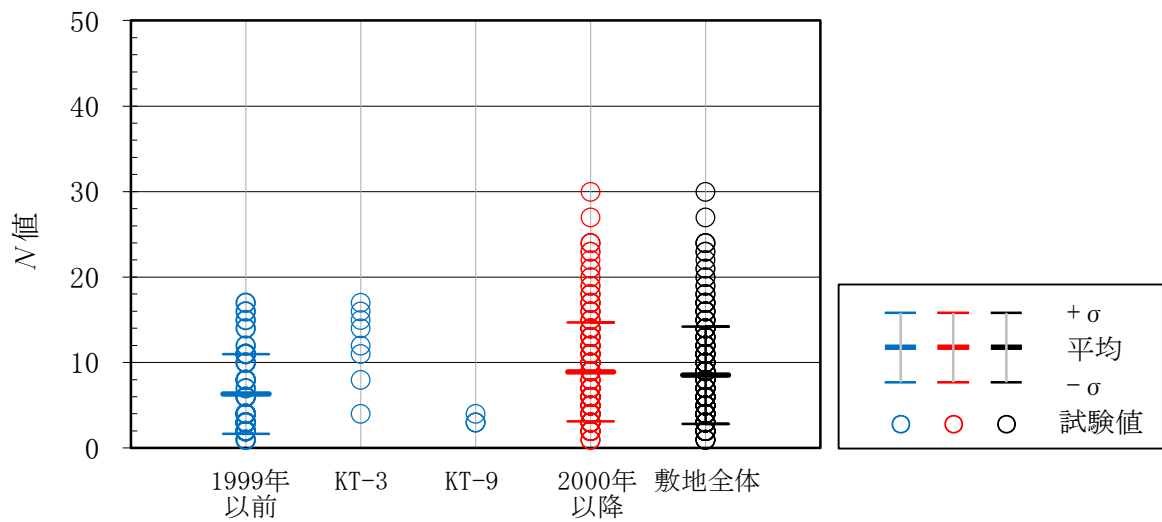
第 2.1.1-4 図 品質管理記録
(1999 年以前, コーン貫入抵抗 q_c)



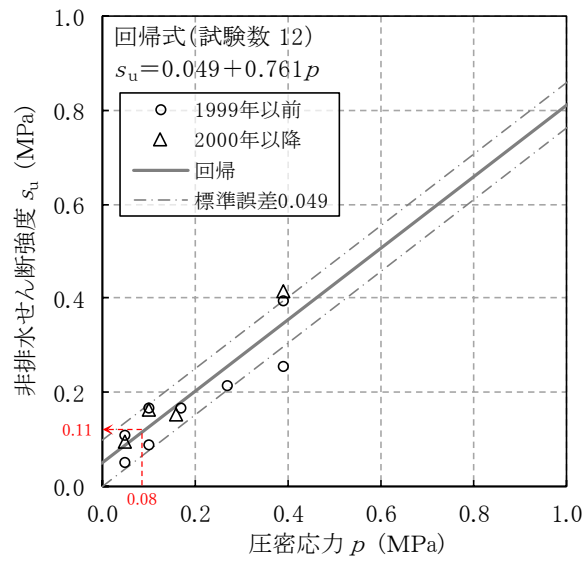
第 2.1.1-5 図 品質管理記録
(2000 年以降, 締固め度 D_c)



第 2.1.1-6 図 施工年代別の粒度分布



第 2.1.1-7 図 施工年代別の N 値

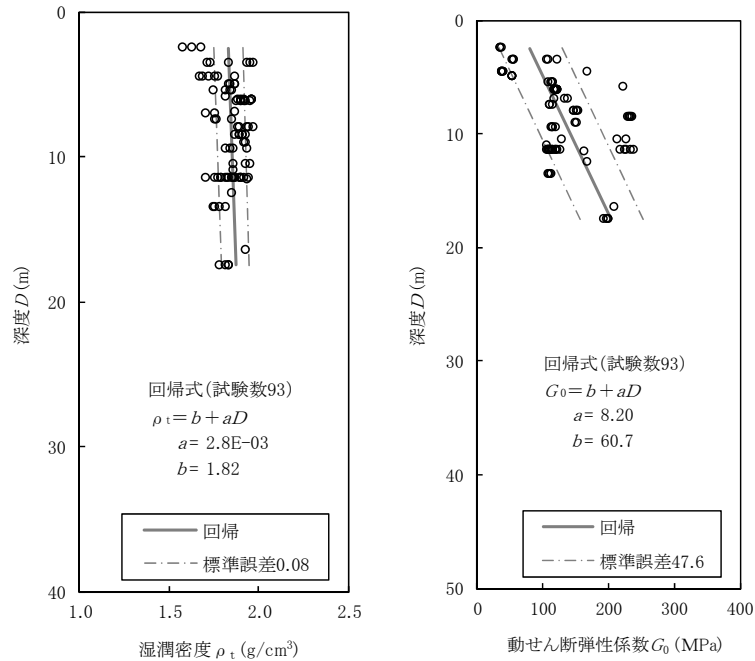


第 2.1.1-8 図 埋戻し土の強度特性（非排水せん断強度と圧密応力の関係）
 （再処理施設，廃棄物管理施設及びMOX 燃料加工施設の事業変更許可申請書より抜粋して加筆）

2.1.2 埋戻し土の物性値設定について

埋戻し土については、ボーリング柱状図を確認した上で、物理特性試験及びPS検層に基づき解析物性値を設定している。埋戻し土のボーリング柱状図及び物理・力学特性を参考1に示す。

埋戻し土のせん断波速度 (V_s) は、深くなるとおおむね大きくなる傾向を示しており、土質材料の力学特性における拘束圧依存と整合する結果を示している。

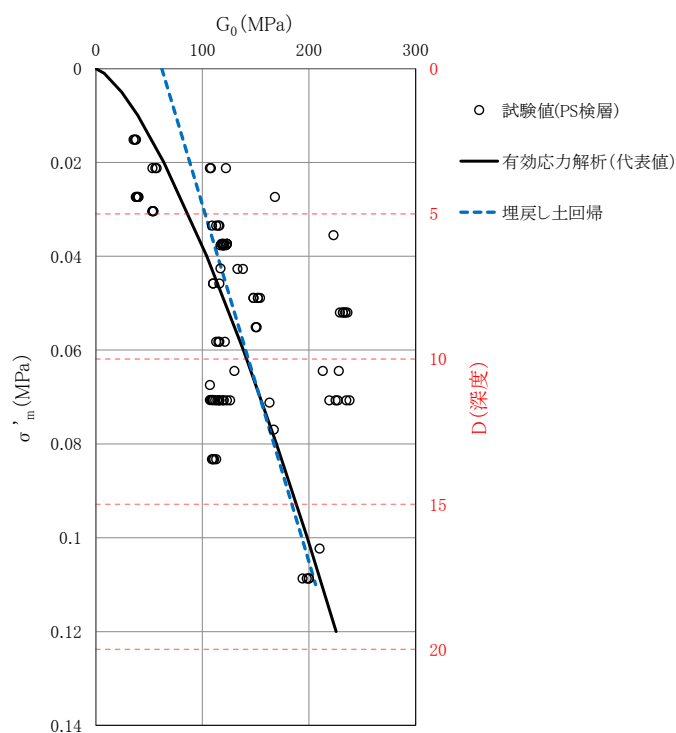


第 2.1.2-1 図 埋戻し土の湿潤密度及び動せん断弾性係数の回帰式と標準誤差
(再処理施設, 廃棄物管理施設及び MOX 燃料加工施設の事業変更許可申請書より抜粋)

第 2.1.2-1 図に埋戻し土の解析用物性値のうち、湿潤密度（以下、 ρ_t という。）と動せん断弾性係数（以下、 G_0 という。）を示す。埋戻し土の物性値として、 $\rho_t = 1.82 + 0.0028D$ (g/cm^3)、 $G_0 = 60.7 + 8.2D$ (MPa) ($D =$ 深度: GL+m)を設定した。いずれも深度方向に物性値が増加しており、深度依存の1次回帰により整理できる。 G_0 については、 $G_0 = \rho_t \cdot V_s^2$ で与えられることから、参考1に示した埋戻し土の V_s が一定であっても ρ_t が深度依存していれば、 G_0 は深度方向に大きな値となる。

なお、埋戻し土の解析用物性値については、JEAG4601-2008に基づき、拘束圧の影響を考慮した表示として深度依存式を用いて、「再処理施設, 廃棄物管理施設及び MOX 燃料加工施設の事業変更許可申請書」における基礎地盤安定性評価において、第 2.1.2-1 図に示した解析用物性値 (ρ_t と G_0 に深度依存を考慮した回帰式) を適用している。ばらつきについては、母集団の平均値の区間推定であることから標準誤差を深度方向に等差で与えている。

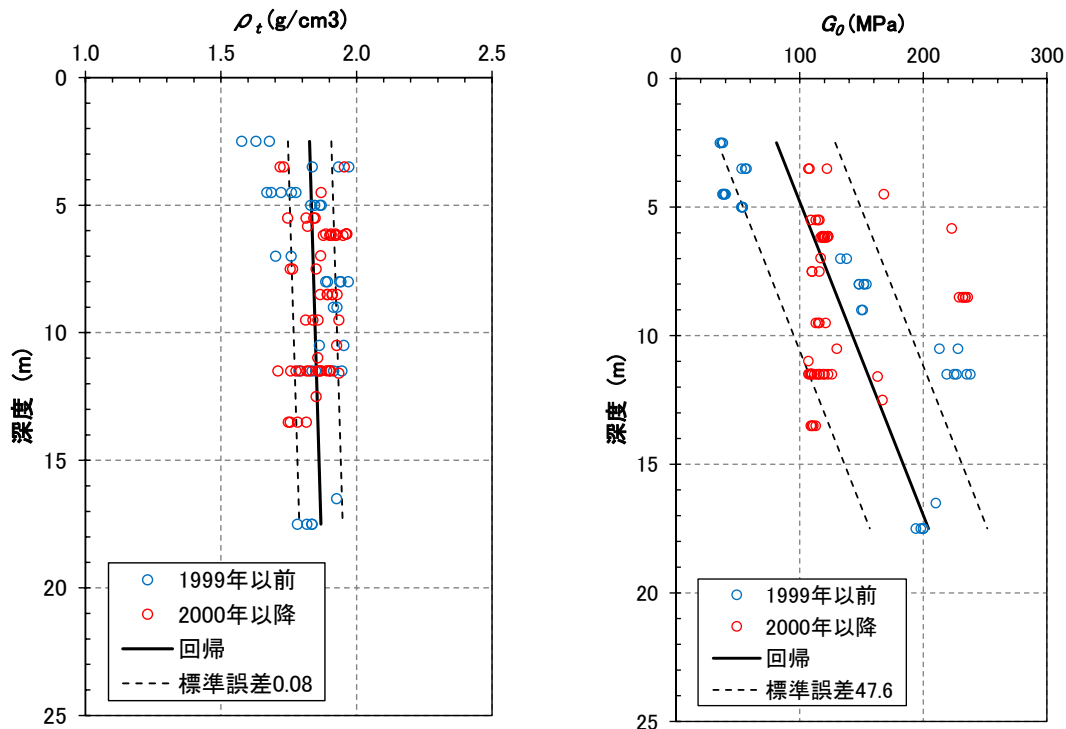
また、第1回申請における安全冷却水B冷却塔（A4B）の竜巻防護ネットの液状化検討（FLIP:砂の応力-ひずみと過剰間隙水圧モデル）においては、第2.1.2-2図に示すとおり、第2.1.2-1図に示した埋め戻し土の G_0 のデータを用いた、有効拘束圧に応じた指数関数の拘束圧依存式（FLIP関数形指定）を適用している。なお、図中には、深度依存の1次回帰も示す。



第2.1.2-2図 液状化応答解析の初期せん断弾性係数 G_0 物性値

2.1.3 埋戻し土の均質性について

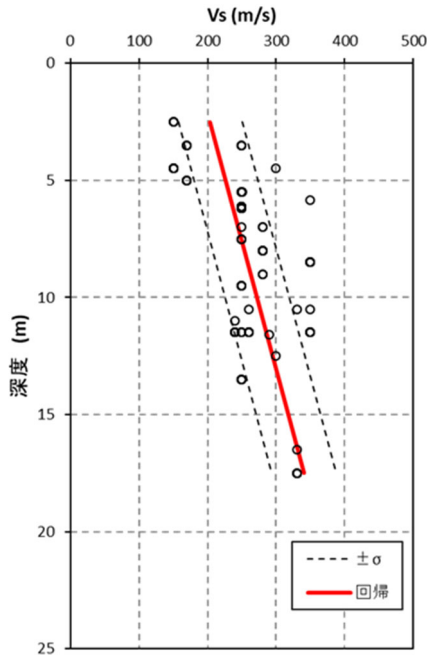
当該地点の埋戻し土は、敷地内北側が1999年以前、敷地内中央部から南側にかけて2000年以降に施工しており、施工時期から大別すると前者が1994年～1996年の3年間、後者が2000年～2003年の4年間で主要な埋戻し工事を実施している。この施工時期の違いに基づき、先述した第2.1.2-1図の埋戻し土の物性値 (ρ_t , G_0) を施工年代別に分類したものを第2.1.3-1図に示す。



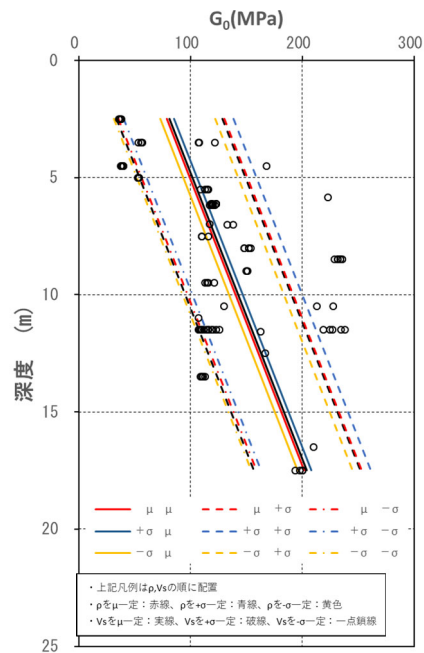
第 2.1.3-1 図 施工年代別の物性値 (ρ_t , G_0)

図に示す値は、PS検層（ダウンホール方式）による V_s と同孔から採取された ρ_t によるデータセット（解析用物性値を算定するための調査・試験結果データ）から算定した値である。図によれば、 ρ_t 及び G_0 の分布は青色の1999年以前と赤色の2000年以降で同様のばらつきの範囲に入っていることがわかる。なお、参考2にボーリング孔毎の G_0 と測定深度の関係を示す。

ここで、 G_0 を算定したデータセットの V_s に着目する。第2.1.3-2図に第2.1.2-1図の G_0 算定時に使用した V_s 分布図を示す。 V_s の回帰式は、埋戻し土の深度範囲2.5m～17.5mでは、0.2km/s～0.35km/sの速度範囲に分布し、深度依存を示す。



第 2.1.3-2 図 埋戻し土の物性値 (V_s)



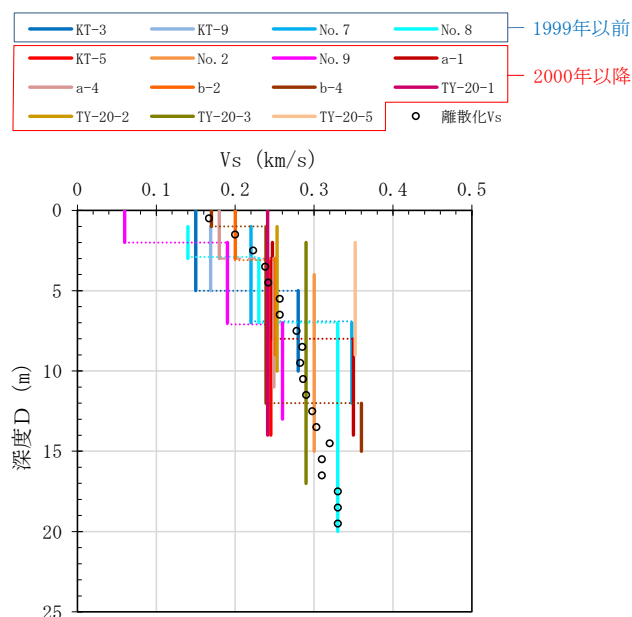
第 2.1.3-3 図 G_0 回帰の比較

この V_s 分布の回帰及び標準誤差と先の第 2.1.3-1 図の回帰及び標準誤差から G_0 の範囲を算定した。第 2.1.3-3 図に、 ρ_t の μ (平均), $\pm\sigma$ (ばらつき) と V_s の μ (平均), $\pm\sigma$ (ばらつき) の掛け合わせとして 9 組の回帰とデータセットから得られた G_0 の回帰及び標準誤差を示す。なお、 G_0 の回帰は、 ρ_t (一次式) と V_s^2 (2 次式) との掛け算であることから深度方向に向かって発散する 3 次関数となる。事業変更許可申請書における標準誤差 ($\pm 1\sigma$) の回帰は等差 (深度方向に一定の標準誤差) で与えていることから平均値からのばらつきをデータセットから得られた G_0 の深度依存勾配に固定して、 ρ_t と V_s の μ , $\pm\sigma$ の組み合わせの回帰を行った (参考 3)。

図の凡例では、各線について ρ_t に用いた回帰及び V_s に用いた回帰をそれぞれの線色 (赤, 青, 橙) 及び線種 (実線, 破線, 一点鎖線) で表示している。図によれば、それぞれの回帰から算定した G_0 の回帰は、線種で分けた V_s の回帰に依存しており、それぞれで ρ_t が $+\sigma$ の場合には、 G_0 が若干大きくなる傾向を示し、 ρ_t が $-\sigma$ の場合には、 G_0 が若干小さくなる傾向となっている。ここでは、 ρ_t の回帰と V_s の回帰におけるばらつきの全ケースを算定したが、均質材料であることから ρ_t は平均値が推定量として相応しいものとした場合、 V_s の $+1\sigma$ (赤破線), $-\sigma$ (赤一点鎖線) は、データセットから得られた G_0 の μ (平均), $\pm\sigma$ (ばらつき) 回帰と一致する。

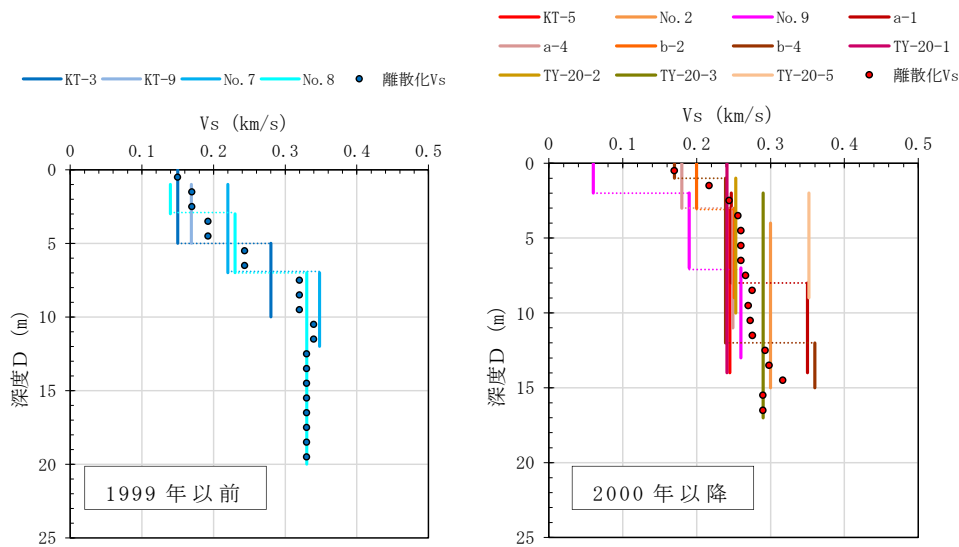
次に、データセットのうち偏りが見られた ρ_t に回帰の平均値を用いて、離散的な V_s から得られる G_0 分布について考察する。第 2.1.3-1 図に示した埋戻し土のエリア全体のデータサンプリングにおいては、均質施工と考えることから、平面的・深さを含め網羅的に行っており、統計的に十分なデ

ータセット (ρ_t, G_0) が得られているものの、年代別に分けた時には、それぞれのデータセットのうち、 ρ_t の深度に関するサンプリング範囲が限定的であるため、 G_0 を対象として評価することが難しいものとなっている。そこで、全ボーリング孔の埋戻し土範囲で共通に計測されているPS検層（ダウンホール方式）の V_s を用いて施工年代別の V_s 分布の整理を実施した。



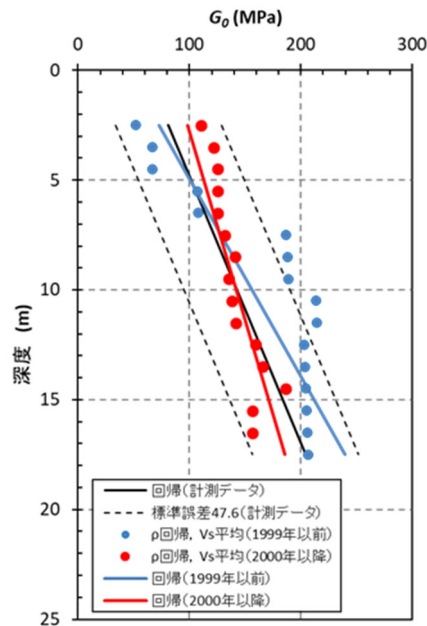
第 2.1.3-4 図 ボーリング柱状図による V_s と離散化 V_s (全 15 孔)

埋戻し土の V_s について、参考 1 の埋戻し土の柱状図から全ボーリング孔（15孔）及び施工年代別に整理した結果を第2.1.3-4図に示す。なお、図中には、深度 1 m 区間ごとの V_s （離散化 V_s と呼ぶ）の平均値を○印で示している。図によれば、寒色系で示す1999年以降の V_s 分布と暖色系で示す2000年以降の V_s 分布は、施工年代にかかわらず0.1km/s程度から0.35km/sの速度範囲で分布し、離散化 V_s の平均値（○印）は深度依存の傾向を示している。



第2.1.3-5図 施工年代別の V_s と離散化 V_s

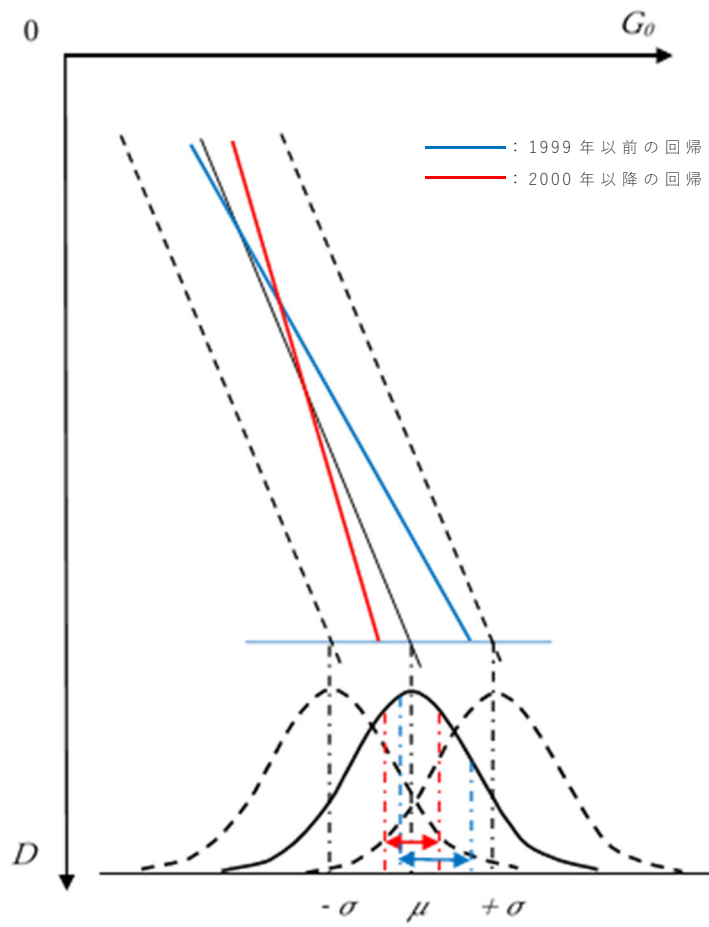
第2.1.3-5図には、施工年代別の V_s 分布とそれぞれの離散化 V_s の平均値を●印で示す。図によれば、施工年代別には、深度依存の傾向が若干異なること、2000年以降のPS検層は17m程度の浅層となっていることから、施工年代別の G_0 を同程度のデータ数により評価するため、先の第2.1.3-1図に示したデータセットによる ρ_t の平均値回帰を用いて V_s 分布による離散化 V_s の平均値から補完した1m毎の G_0 (補完 G_0 と呼ぶ) を両施工時期で比較することとした。第2.1.3-6図に1999年以前、2000年以降の補完 G_0 の値をそれぞれ青●印、赤●印、補完 G_0 の深度回帰を青線と赤線で示す。また、先の第2.1.2-1図に示した事業許可申請書に記載している計測データセットから算定した G_0 の物性値及び標準誤差 ($\pm 1 \sigma$) の深度回帰を黒線及び黒破線で示している。



第 2.1.3-6 図 施工年代別の V_s 平均から求められる G_0 分布と回帰

図によれば、1999 年以前、2000 年以降の G_0 の分布は、各施工時期いずれも深度依存を示すとともに、敷地内全体平均の標準誤差 ($\pm \sigma$) の $\pm 1 \sigma$ 程度のばらつきになっている。

せん断弾性波 (S 波) は、表層地盤を伝播する際に周辺岩盤を包絡した平均的な挙動を示すことがモンテカルロシミュレーション結果 (参考 4 (1)) から得られており、それぞれの平均値である回帰分布がばらつきの範囲に収まっていることから、埋戻し土の物性値は、図中の黒線で示す平均値の回帰で与えられるものとする。また、2000 年以降の G_0 には、標準誤差をわずかに超えるものもあるが、当該地点の確率密度分布を考慮したモンテカルロシミュレーション (参考 4 (2)) に基づけば、第 2.1.3-7 図に示す概念図のとおり、1999 年以前と 2000 年以降の回帰は、平均の標準誤差のばらつき内の青矢印の範囲、赤矢印の範囲に収まっている。黒線で示す平均値に標準誤差の確率密度分布を与えてもほぼ平均値と等しくなることから、 $+1 \sigma$ に同様の確率密度分布のばらつきを与えても $+1 \sigma$ の加速度応答と等しくなる。これらのことから、施工年代別の G_0 分布の回帰が標準誤差内に収まっていれば、設計時に標準誤差を考慮することで G_0 分布回帰の年代別の差異は包絡できるものと考えられる。



第 2.1.3-7 図 標準誤差範囲の確率密度分布の概念図

2.2 数値統計学に基づく埋戻し土の物性値 (G_0) の最尤モデル

2.1.1 に述べたように当該地点の埋戻し土は、均質な施工管理が実施されており、動的変形特性については、深度方向依存の物性値を示している。そこで、得られた試験データから現状における統計学的に最も適した物性値の設定方法について検討を行った。

得られたデータからその元となる構造を推定する、あるいは、将来、起こることを予測する手法は統計的モデリング*1と呼ばれている。統計的モデリングは、客観的に存在するものではなく、解析する対象に関する知識や期待、経験や過去のデータに基づく知識から解析の目的に応じて作られる。統計的モデルによって、特定のモデルが得られても実際の対象物が厳密にそのモデルに従って変動しているわけではなく、他の要因の影響も受けると考えるべきである。しかし、統計的モデルは真の構造を正確に表現しているかどうかではなく、必要とする情報を取り出すために適当かどうかということである。良いモデルを用いれば良い結果が得られるが、不適切なモデルを用いれば、良い結果が期待できない。そのモデリングでは、正確さ（偏りとばらつき）、複雑さ（適用のしやすさやパラメータの数）、物理的意味との整合性などの種々の視点があり、出来具合にも優劣がある。この場合、パラメータの数や次数を増やせば増やすほど、その測定データとの適合度を高めることができるが、その反面、ノイズなどの偶発的な（測定対象の構造と無関係な）変動にも無理に合わせてしまうため、同種のデータには合わなくなることもある。

そのようなモデルの良さの評価を行う手法として、情報量規準があり、主観性を持ったモデルの良さを客観的に評価するものである。

代表的な情報量規準として AIC (Akaike Information Criterion: 赤池情報量基準*1) があり、以下の式で表される。

$$AIC = -2 \cdot \ln L + 2k$$

ここで L は最大尤度、 k は自由パラメータの数である。
各標本（観測データ）の確率分布が正規分布の場合、

$$AIC = \sum_{i=0}^n \ln(2\pi\sigma_i^2) + 2k = \sum_{i=0}^n \ln\sigma_i^2 + 2k + n \ln 2\pi$$

$$AIC = \sum_{i=0}^n \ln\sigma_i^2 + 2k$$

と表せる。 n は標本サイズ、 σ_i は各標本の標準誤差である。2行目は、定数項を省略した値である。それに加えさらに、各標本の標準誤差が等しい場合は、

$$\begin{aligned} \text{AIC} &= n \ln(2\pi\sigma^2) + 2k = n \ln \sigma^2 + 2k + n \ln 2\pi \\ \text{AIC} &= n \ln \sigma^2 + 2k \end{aligned}$$

AICは、数理統計理論を駆使して編み出したモデル選択指標のパラダイムであり、この値が小さいほど良いモデル(=選択すべきモデル)という基準を定量的に示すものである*2。

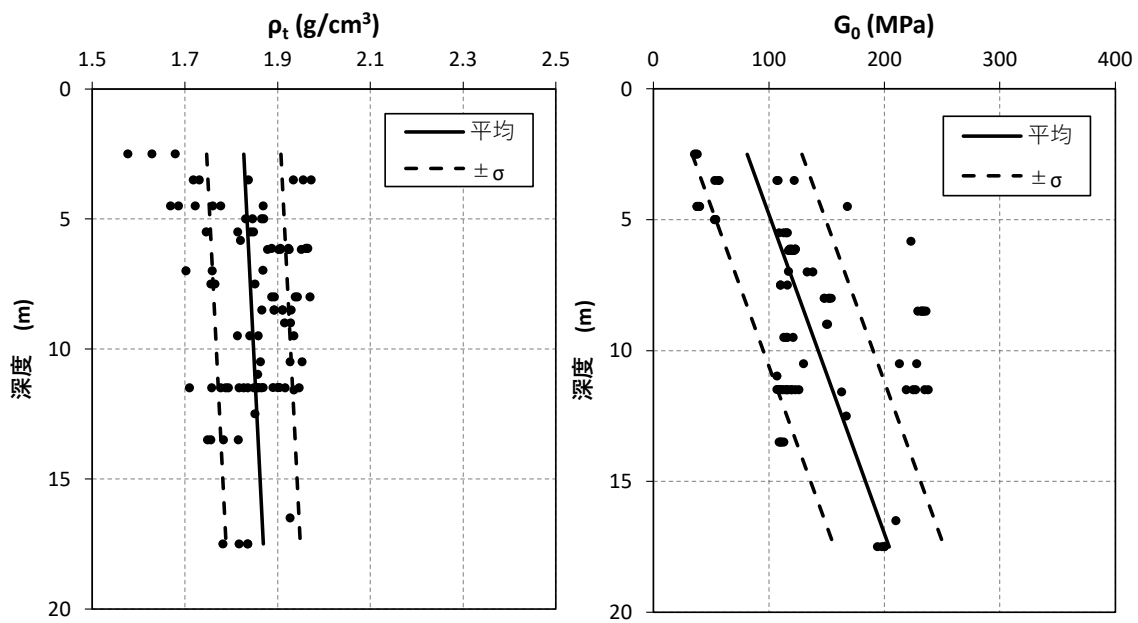
先述したように、パラメータを多くすると残差平方和を小さくできるが、統計的モデリングにおいてはバランスが大事であり、誤差が同じ程度なら予測値との乖離を少なくするにはパラメータ数の少ないモデルを選ぶべきである。

上記のAICを埋戻し土の G_0 の深度依存回帰の指標に適用し、現状の試験結果の統計情報からモデルに与えるべき最適(最尤:最も尤もらしい)な地盤物性値モデルを検討した。

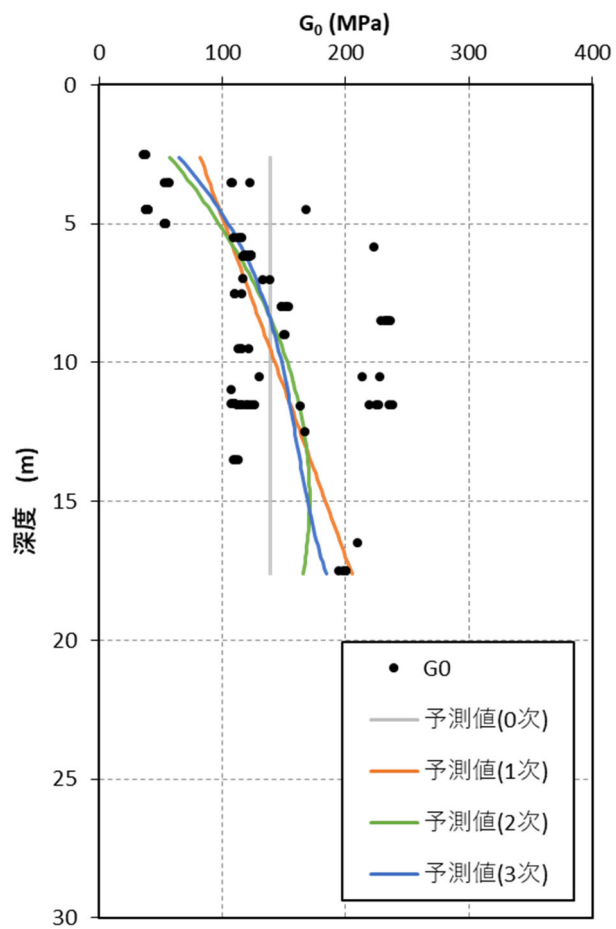
第2.2-1図(第2.1.3-1図の主要箇所拡大図)に、埋戻し土の動的変形特性として用いる ρt 、 G_0 の深度分布と深度依存回帰式を示す。第2.2-2図に既往データの0次(平均)、1次関数回帰、2次関数回帰のフィッティングと回帰式(最小二乗法)を示す。数値統計学的なフィッティングの良否を定量的に評価するため、第2.2-3図に各次数に対するAIC(オレンジ線)と残差平方和(青線)を示す。AICは、0次(平均)に比べると1次回帰で大きく減少し、2次、3次と次数が増えるのに伴い緩やかに減少する。誤差(残差平方和)が同程度であれば、パラメータの少ないモデルが適切と考えられる。

(参考文献)

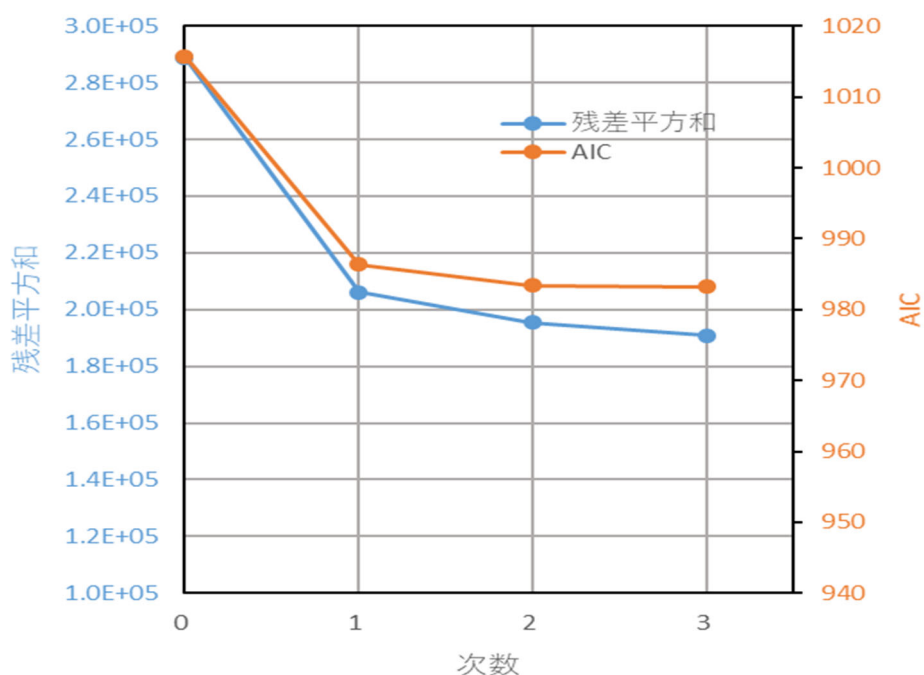
- *1 小西貞則，北川源四郎：情報量規準，シリーズ予測と発見の科学2，朝倉書店，208pp，2004
- *2 唐沢好男：AIC(赤池情報量規準)を学ぶ，Technical Report YK-048，電気通信大学，http://www.radio3.ee.uec.ac.jp/ronbun/TR_YK_048_AIC.pdf，19pp，2020.



第 2.2-1 図 埋戻し土の湿潤密度と動せん断弾性係数の回帰式と標準偏差



第 2.2-2 図 動せん断弾性係数 G_0 の任意次数回帰



第 2.2-3 図 既往データによる AIC の算定結果 (AIC・残差～次数関係)

2.3 まとめ

当該地点の埋戻し土の動的変形特性のうち G_0 については、一般的な土質材料であることから土質力学的には拘束圧依存を示し、品質管理された均質材料であることから深度依存(均質であれば深度方向に拘束圧が大きくなる)を示すものと判断される。

埋戻し土は、材料基準及び管理基準に基づき均質を目標に施工されており、動的変形特性は一定のばらつきに収まっている。

数理統計理論に基づく AIC による最尤推定モデルとしては、0 次(平均)よりも 1 次回帰(深度依存)の方が小さな値となり、2 次、3 次と次数が増えるのに伴い緩やかに減少するものの誤差(残差平方和)が同程度であれば、パラメータの少ないモデルが適切であることと合わせると 1 次関数回帰式がより選択すべきモデルとの指標が得られ、統計的(予測)モデルとしては最適と考える。

せん断弾性波(S波)は、面的に周辺の地盤特性を取り込みながら伝播するため、埋戻し土の深度範囲での G_0 の平均値となる G_0 回帰が $\pm 1\sigma$ 内に収まれば、設計時にばらつきを考慮することによりその影響を包絡できるものとする。

なお、今後、ボーリング調査データを追加取得し、今回設定した値について、確度または信頼性を向上させる。

3. 流動化処理土の物性に係る検討

3.1 均質性及び物性値設定について

3.1.1 流動化処理土の施工管理状況及び均質性

流動化処理土は、建物・構築物の基礎掘削を行った地下部の埋戻しに際し、施設近傍や狭隘部における施工性向上を目的に適用している。流動化処理土の施工仕様及び管理基準について、施工仕様・基準一覧を第 3.1.1-1 表に、埋戻し工事の施工ブロック割位置図を第 3.1.1-1 図に示す。図中には、流動化処理土の PS 検層ボーリング孔位置も示す。なお、先に示した第 2.1.1-1 図は埋戻し土を施工した当初の位置状況を示しており、その後、現在に至るまで施設建設及び地盤改良が実施され更新されている。

流動化処理土は、流動化処理土 B を除いて、品質管理指標の違いにより 2 つのグループに分かれるものと考えられる。第 1 グループは、品質管理指標 q_u が 0.2MPa~0.3MPa、第 2 グループは、品質管理指標 $q_u \geq 0.6$ MPa 以上である。後者については、現在、動的変形特性のデータ取得と整理を実施しており、結果が得られ次第、迫る。したがって、ここでは、第 1 グループの流動化処理土について考察する。

第 1 グループは、第 3.1.1-1 図の流動化処理土の施工ブロック割位置図において、ハッチングのついていないライトブルーで示す流動化処理土の埋戻し工事範囲である。図中には事業変更許可申請書において、流動化処理土（事業変更許可申請書における名称：流動化処理土 A）の解析用物性値を算定したボーリング位置を示しているが、いずれも第 1 グループである。

対象とする流動化処理土の材料基準及び力学特性に係る品質管理基準を第 3.1.1-2 表に示す。流動化処理土の施工・品質管理は、所定の材料基準、施工手順及び管理基準により実施され、一定の品質となるよう材料基準（固化材（セメント） $65 \sim 95 \text{kg/m}^3$ 程度添加）を定め、施工を行っている。

流動化処理土の施工については、施設近傍のクレーン架台基礎及び狭隘部施工あるいは架台埋戻しを目的としているため、掘削した六ヶ所層に所定のセメントを添加させた置換工法を採用している。

流動化処理土の品質管理要領を第 3.1.1-2 図に示す。流動化処理土においては、品質確認頻度及び一軸圧縮強度 q_u による品質確認方法が規定されている。

品質管理としては、一軸圧縮強度 q_u が 3.0kgf/cm^2 ($\approx 0.3 \text{MPa}$) 以上（一部管理値を 0.2MPa と設定している箇所あり）になるよう管理が行われている。第 3.1.1-3 図に流動化処理土の品質確認結果を示す。対象とする流動化処理土の埋戻し工事ごとの一軸圧縮強度 q_u の平均値は、0.43~0.68MPa の範囲に仕上がっている。

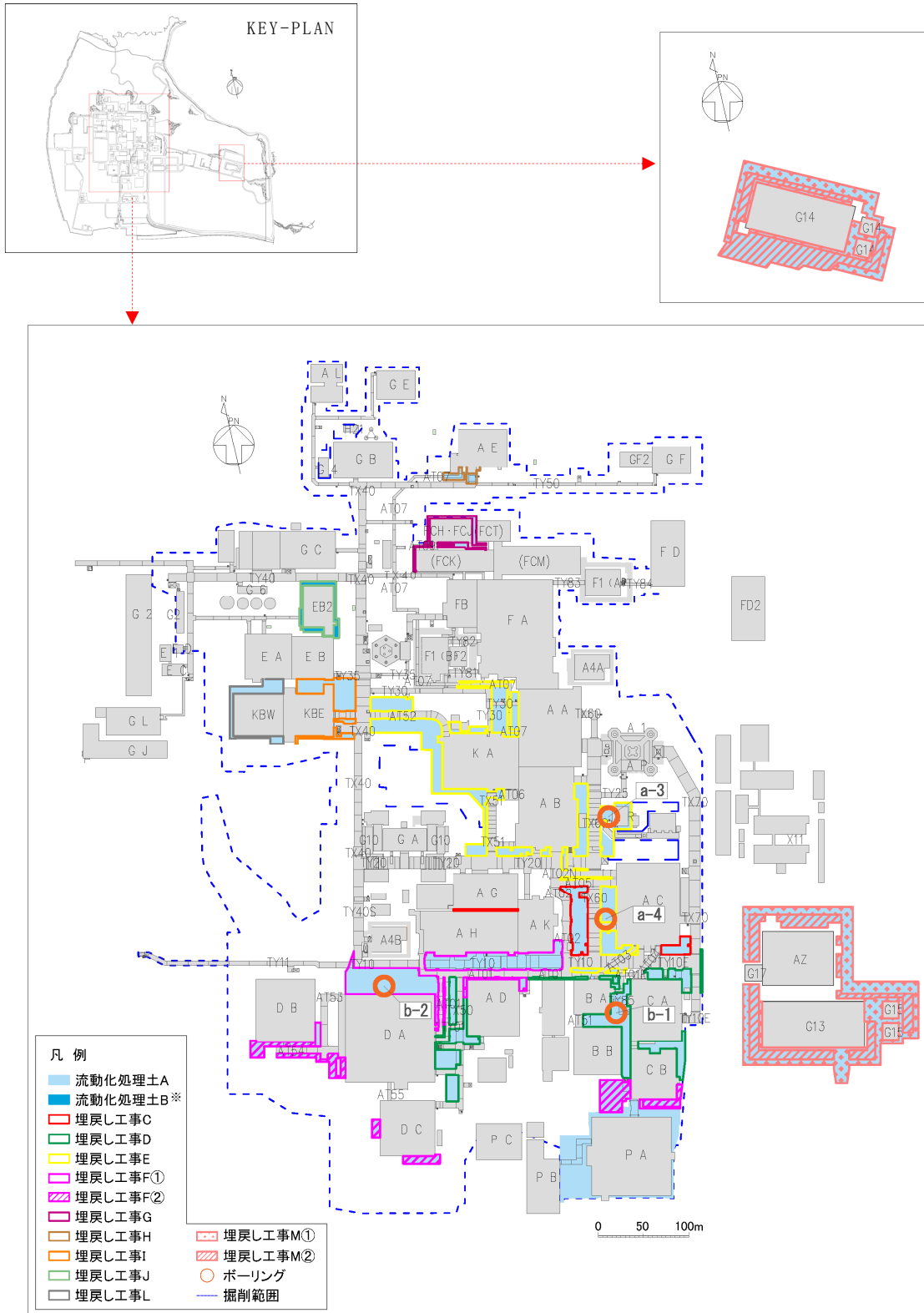
なお、第 2 グループの流動化処理土 ($q_u \geq 6.0 \text{kgf/cm}^2$) の品質確認結果を第 3.1.1-4 図に示す。今後、調査・試験を実施して、動的変形特性を確認するが、一軸圧縮強度のそれぞれの埋戻し工事の平均は、埋戻し工事 F

②で 1.1MPa(10.8kgf/cm²), 埋戻し工事M①で 1.2MPa, 埋戻し工事M②で 1.3MPa の値となっており, 前述の第1グループの平均値よりも高い値となっている。

第 3.1.1-1 表 再処理施設の主な埋戻し工事における施工基準一覧（流動化処理土）

工事名	時期	施工範囲 (主要な近傍施設)	ボーリング 孔	数量概数 (m ³)	割合	仕様 (セメント配合量)	品質管理	
							管理指標	記録有無
埋戻し工事C	2000年4月～2002年3月	AG, AH, AK, AC	—	11,000	3.3%	65～70kg/m ³	一軸圧縮強度 qu ≧ 2.2kgf/cm ²	あり
埋戻し工事D	2000年8月～2002年3月	DA, DC, AD, BA, BB, CA, CB	b-1	48,000	14.5%	85～95kg/m ³	一軸圧縮強度 qu ≧ 3.0kgf/cm ²	あり
埋戻し工事E	2000年4月～2003年10月	KA, AA, AB, AK, AR, AC, BA, CA	a-3 a-4	76,000	22.9%	75kg/m ³	一軸圧縮強度 qu ≧ 3.0kgf/cm ²	あり
埋戻し工事F	2002年4月～2003年12月	DA, DB, DC, A4, AD, AH, AK, BA, BB, CA, CB	b-2	85,000	25.6%	① 87kg/m ³ ② 120kg/m ³ **	一軸圧縮強度 ① qu ≧ 3.0kgf/cm ² ② qu ≧ 6.0kgf/cm ²	あり
埋戻し工事G	2002年4月～2002年10月	F3, FCK, FCT	—	2,000	0.6%	87kg/m ³	一軸圧縮強度 qu ≧ 3.0kgf/cm ²	あり
埋戻し工事H	2003年5月～2003年11月	AE	—	1,000	0.3%	87kg/m ³	一軸圧縮強度 qu ≧ 3.0kgf/cm ²	あり
埋戻し工事I	2004年5月～2004年10月	KBE	—	23,000	6.9%	87kg/m ³	一軸圧縮強度 qu ≧ 3.0kgf/cm ²	あり
埋戻し工事L	2015年3月～2015年12月	KBW	—	13,000	3.9%	84kg/m ³	一軸圧縮強度 qu ≧ 200kN/m ²	あり
埋戻し工事M	2019年1月～2023年6月	AZ, G13, G14	—	73,000	22.0%	① 80～100kg/m ³ ② 150kg/m ³ **	一軸圧縮強度 qu ≧ 660kN/m ²	あり
				計	332,000	100%		

※ 埋戻し工事F②及び埋戻し工事M②については施工性(クレーン荷重を考慮)を踏まえたセメント配合量としている。



※流動化処理土BについてはEB2 廻りに限定的に使用している。

第 3.1.1-1 図 施工ブロック割位置図

第 3.1.1-2 表 流動化処理土の密度及び力学特性に係る品質管理一覽

<p>材料 基準</p>	<p>使用材料：六ヶ所層 セメント添加：65～95kg/m³程度</p>
<p>施工 手順</p>	
<p>管理 基準</p>	<p>$q_u \geq 3.0\text{kgf/cm}^2 \approx 0.3\text{MPa}$ (一部 $q_u \geq 0.2\text{MPa}$)</p>

(1)品質確認頻度

工法に対する諸基準・指針における必要調査箇所数を参考1表に示す。工法における品質確認頻度は、参考1表に示す諸基準・指針の必要調査箇所数を満足するように、各構造物の改良地盤の施工数量に応じて設定する。

参考1表 諸基準・指針における必要調査箇所数

対象施設	工法	基準略称	必要調査箇所数
飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)	掘削置換工法 (流動化処理土置換工法)	流動化処理土マニュアル	打設する際、1日に1回の測定

(2)品質確認方法

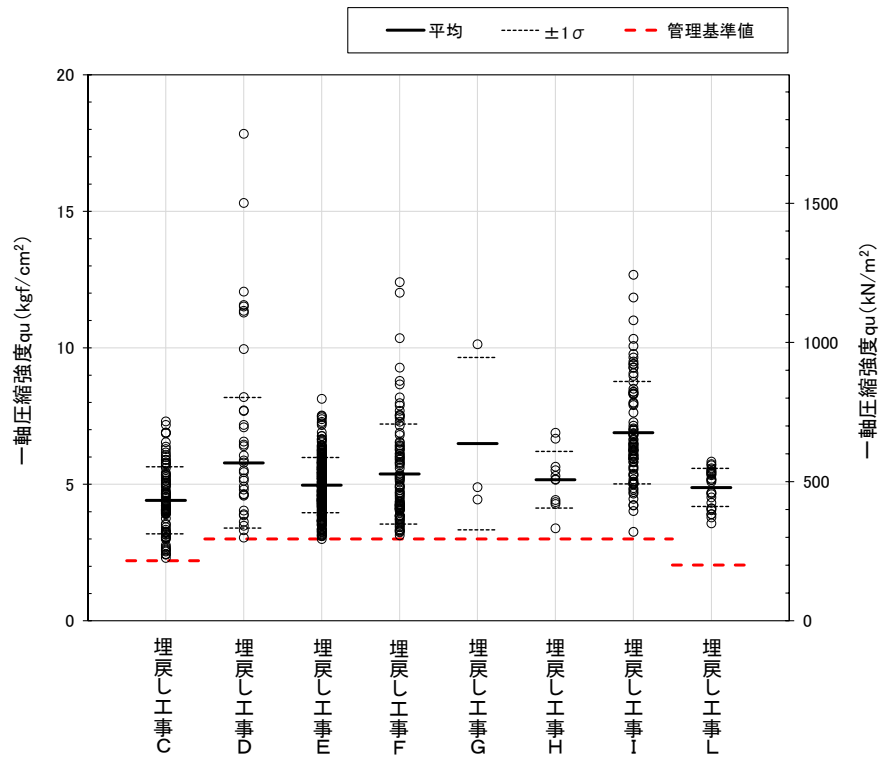
飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B)における流動化処理土の品質確認方法及び基準値を参考2表に示す。

参考2表 改良地盤の品質確認方法及び基準値

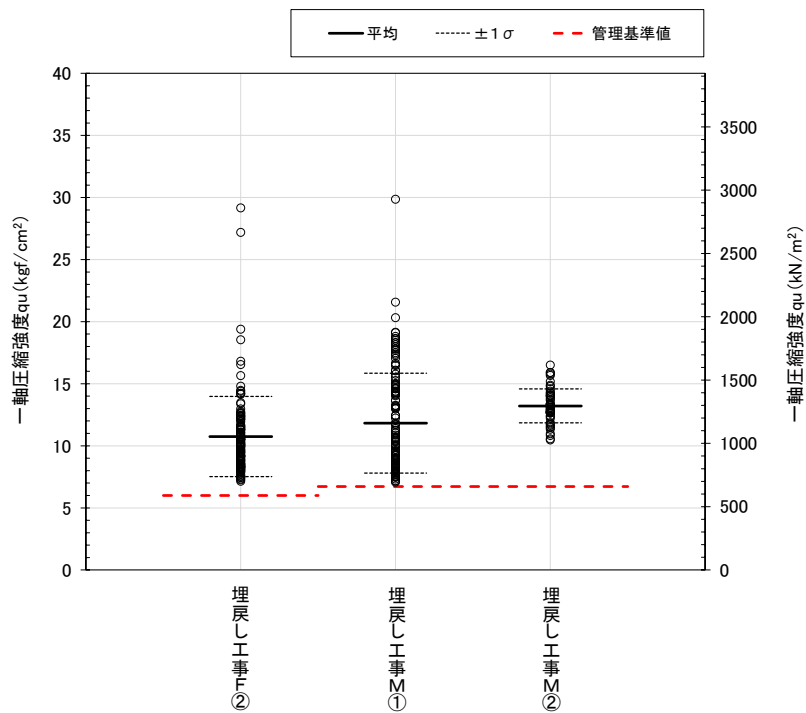
対象施設	改良地盤種別	工法	品質確認項目		品質確認試験	基準値
飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)	流動化処理土A	掘削置換方法 (流動化処理土置換工法)	強度	一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	一軸圧縮試験 (JGS 2521)	3.0

第3.1.1-2図 流動化処理土に関する品質管理要領

(設工認に係る補足説明資料 耐震設計の基本方針に関する建物・構築物周辺の設計用地下水位の設定について[耐震建物13]から引用)



第 3.1.1.1-3 図 流動化処理土に関する品質確認結果（第 1 グループ）



第 3.1.1.1-4 図 流動化処理土に関する品質確認結果（第 2 グループ）

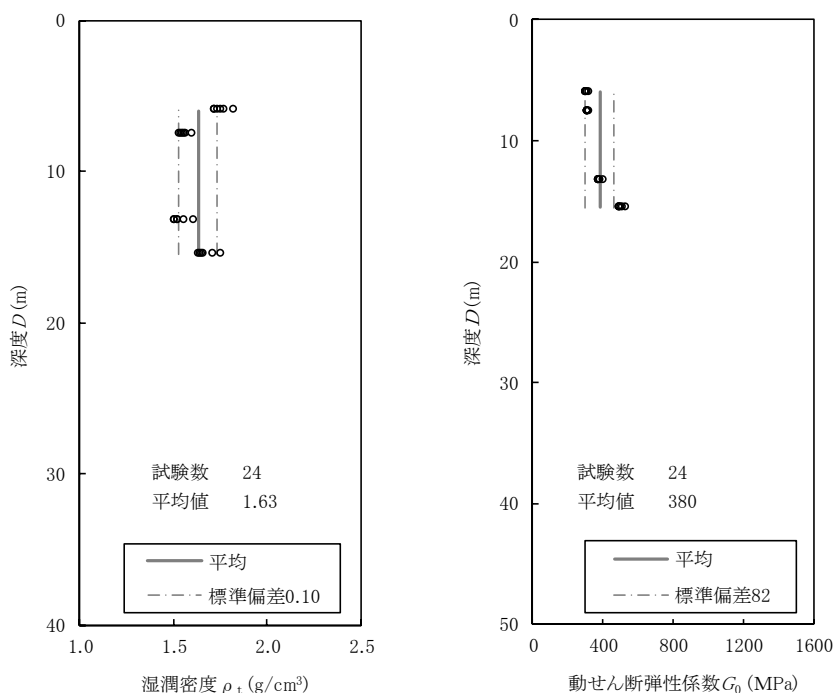
3.1.2 流動化処理土の物性値設定について

流動化処理土については、ボーリング柱状図を確認した上で、物理特性試験及びPS検層に基づき解析物性値を設定している。流動化処理土のボーリング柱状図及び物理・力学特性を参考5に示す。

流動化処理土のせん断波速度 (V_s) には、顕著な深度方向への依存性は認められず、4孔の平均として480m/s (標準偏差50.5) の値が得られている。

第3.1.2-1図に流動化処理土の解析用物性値のうち、 ρ_t と G_0 の値を示す。 ρ_t は、深さ方向に関係なくばらつきを有しており、 V_s と ρ_t から算出した G_0 は、深度方向に剛性が高くなる傾向が見られるものの、流動化処理土はセメント添加による人工材料であるため、一般的に土質材料のような拘束圧依存による深度依存は見られないと考えられることから、第3.1.2-1図に示すように、 G_0 の平均値380MPaを設定している。

なお、流動化処理土の解析用物性値については、「再処理施設、廃棄物管理施設及びMOX燃料加工施設の事業変更許可申請書」における基礎地盤安定性評価において、第3.1.2-1図に示した解析用物性値(湿潤密度と動せん断弾性係数)に平均を適用している。



第3.1.2-1図 流動化処理土の湿潤密度及び動せん断弾性係数の平均と標準偏差 (再処理施設、廃棄物管理施設及びMOX燃料加工施設の事業変更許可申請書より抜粋)

3.2 流動化処理土の物性設定のまとめ

対象とした第1グループの流動化処理土は、規定範囲のセメント添加による人工材料で一定の品質管理の下で施工されていることを確認した。セメント添加材料であることから土質材料のような拘束圧依存による深度依存は見られないと考えられることから、材料(セメント添加量、母材等)としてのばらつきと考え、深度依存のない平均値として地盤物性値を設定した。

なお、第2グループの流動化処理土は、今後、データ取得と整理を実施して、動的変形特性を確認する。

4. 表層地盤のまとめ

本資料においては、一般的・標準的な手法による表層地盤の物性値等を設定した。今後、基本地盤モデルの設定にあたっては、上記の設定結果を用いる。また、基本地盤モデルの設定においては、一部建屋において、実際に表層地盤に埋め込まれているものの、埋め込みを考慮していない建屋については、埋め込みを考慮した状態で設定する。

なお、緊急時対策建屋（AZ）、第1保管庫・貯水所（G13）及び第2保管庫・貯水所（G14）は、参考6(1)に示すとおりオープン掘削による広がりをもった掘削範囲の内側は流動化処理土により埋め戻されており、外側には地山（高位段丘層、六ヶ所層等）が存在することから、流動化処理土の特徴を考慮し、「基本地盤モデル」における表層地盤を設定する。

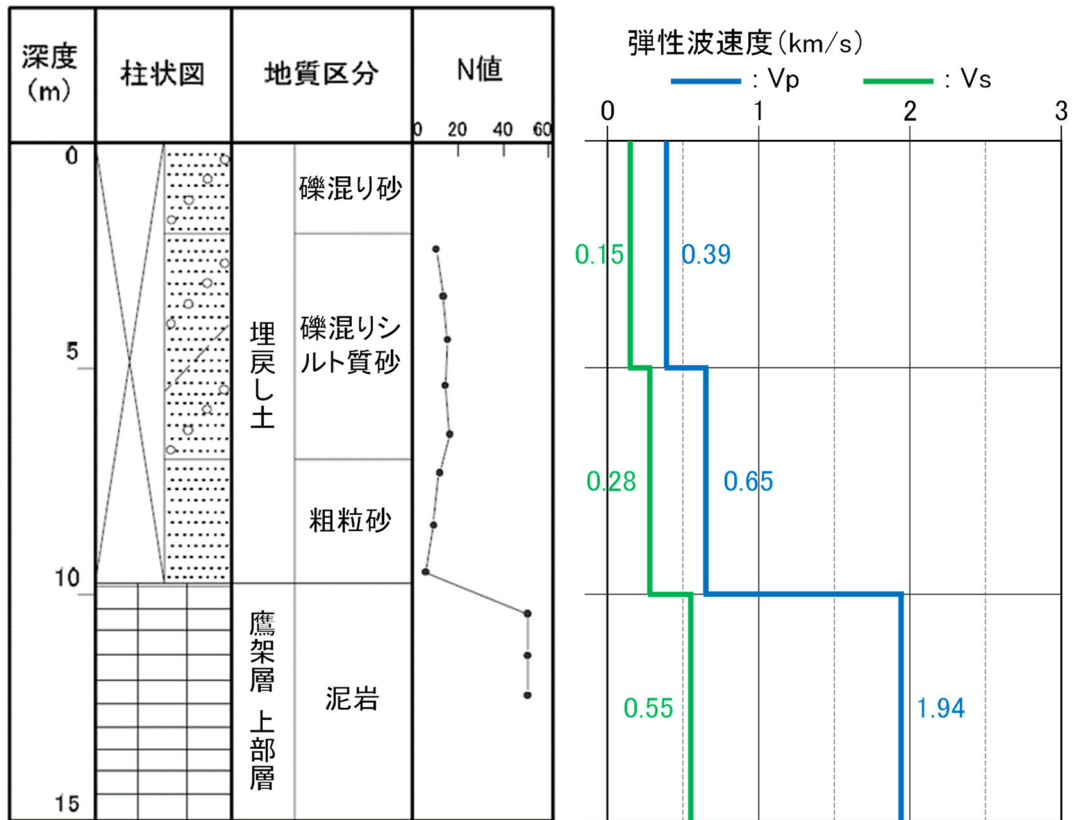
表層地盤の設定について、2次元地盤安定解析手法によりその影響検討を実施した。当該位置の流動化処理土については、現在、動的変形特性のデータ取得と整理を実施しているため、基礎地盤安定解析での表層物性値（地山、流動化処理土）を仮物性値として影響検討を実施した（参考6(2)）。その結果、建屋近傍の掘削領域のみを流動化処理土で置換したケースと表層全領域（側方境界まで）を流動化処理土としたケースでは、基礎岩盤の応答に顕著な違いがないことから周辺地盤の影響よりも流動化処理土の物性値が支配的であることを確認した。

参考 1

埋戻し土のボーリング柱状図について

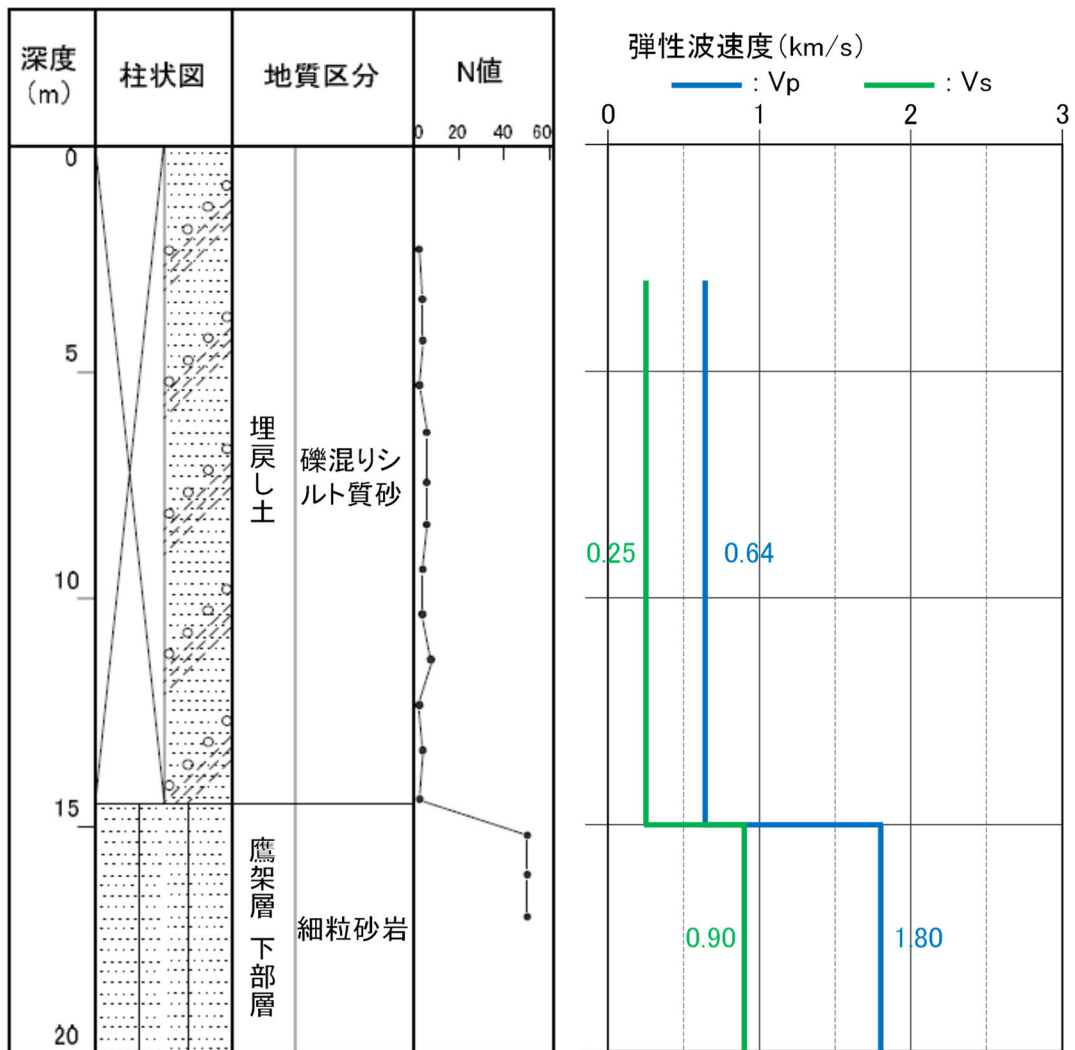
本編 2.1.2 埋戻し土の物性値設定の検討における事業変更許可申請書で設定した埋戻し土のボーリング柱状図及び物理・力学特性を参考 1-1 図～参考 1-15 図に示す。

KT-3 (孔口標高 55.17m)



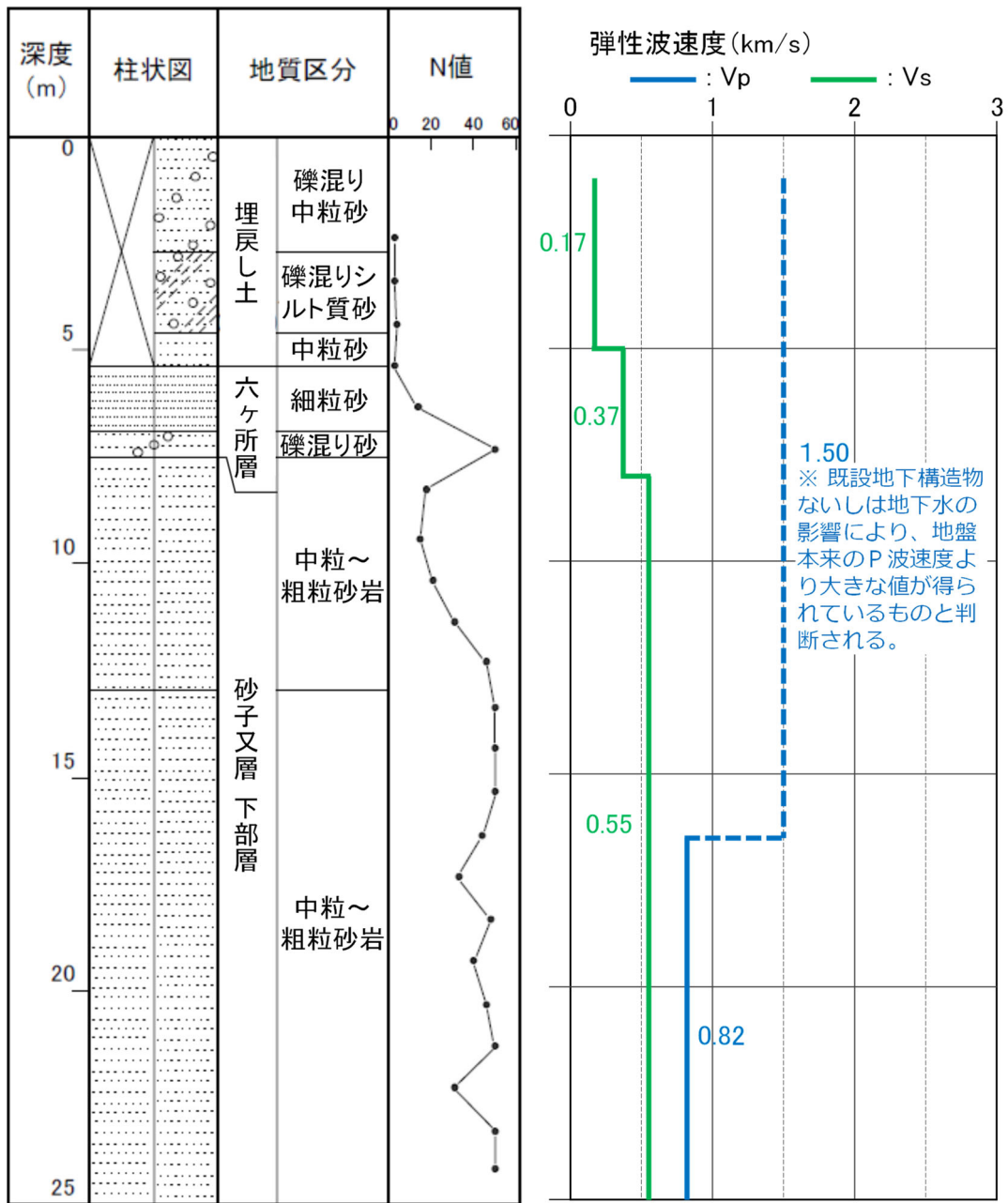
参考 1-1 図 ボーリング柱状図 (KT-3孔)

KT-5 (孔口標高 54.93m)



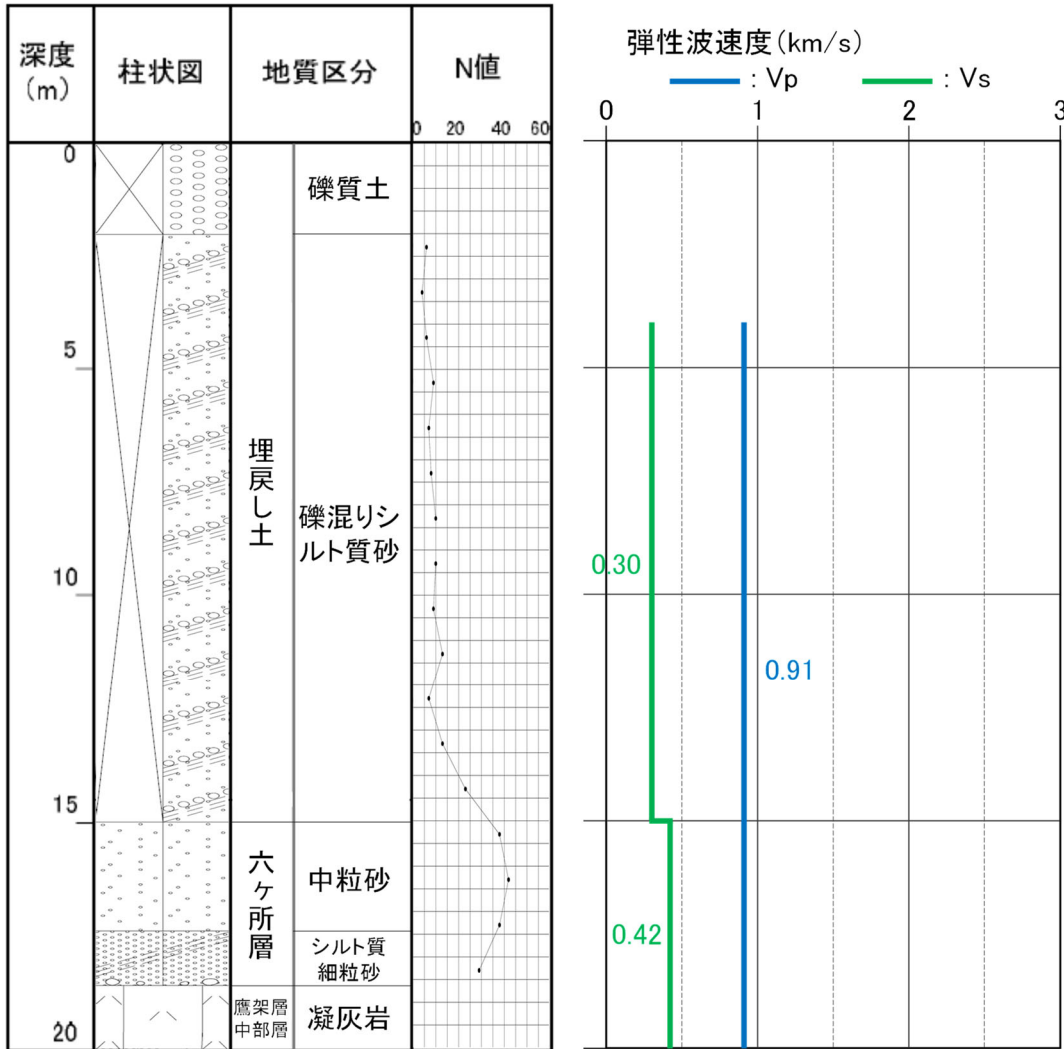
参考 1-2 図 ボーリング柱状図 (KT-5孔)

KT-9 (孔口標高 54.94m)



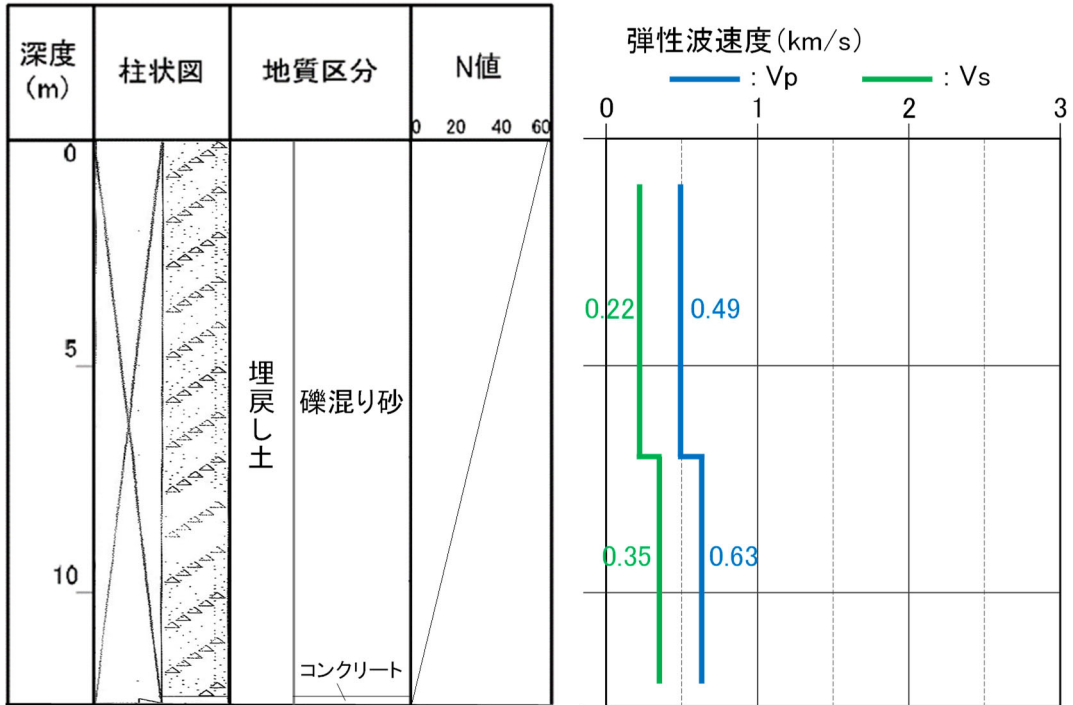
参考 1-3 図 ボーリング柱状図 (KT-9孔)

No.2 (孔口標高 54.99m)



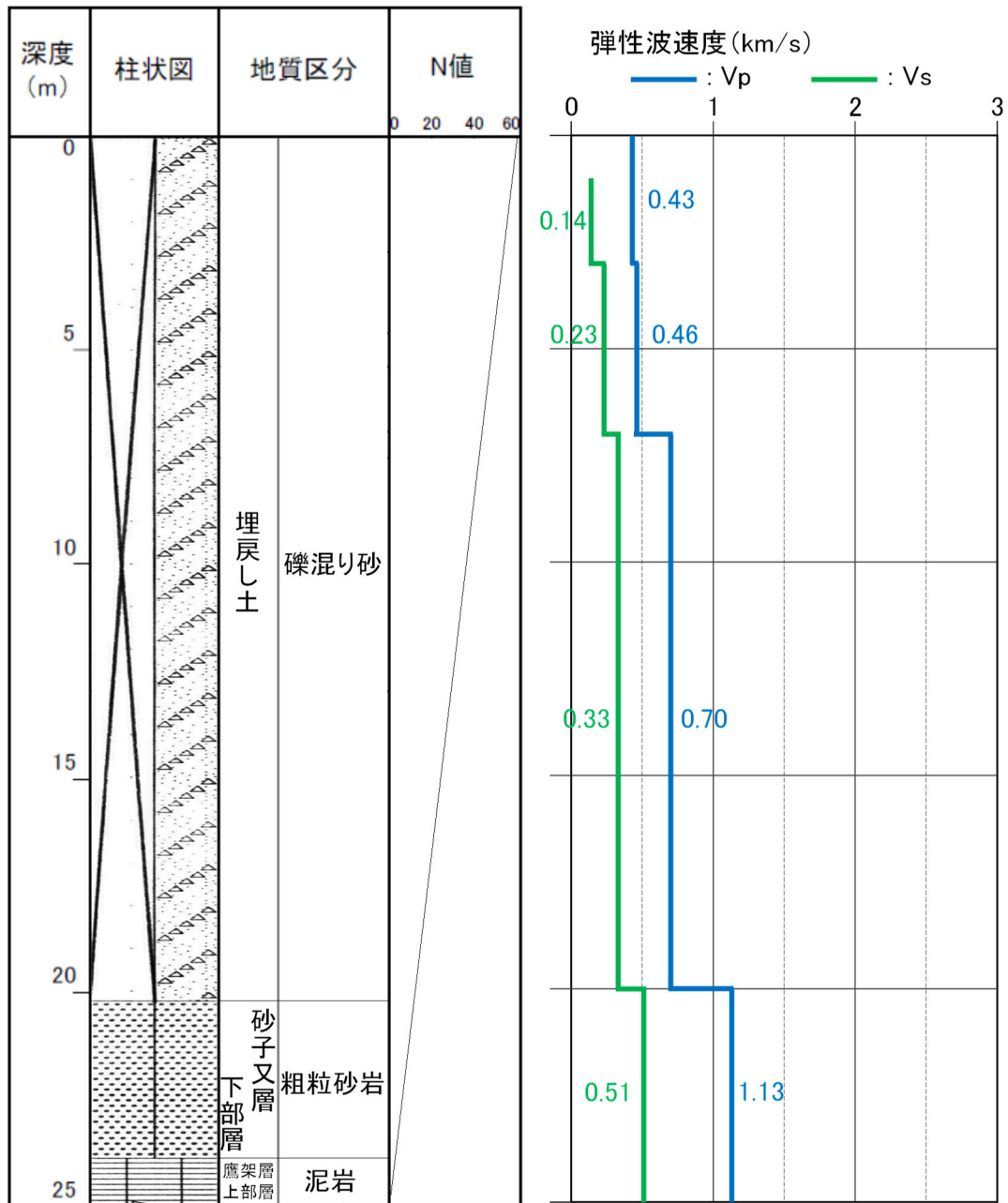
参考1-4図 ボーリング柱状図 (No. 2孔)

No.7 (孔口標高 55.20m)



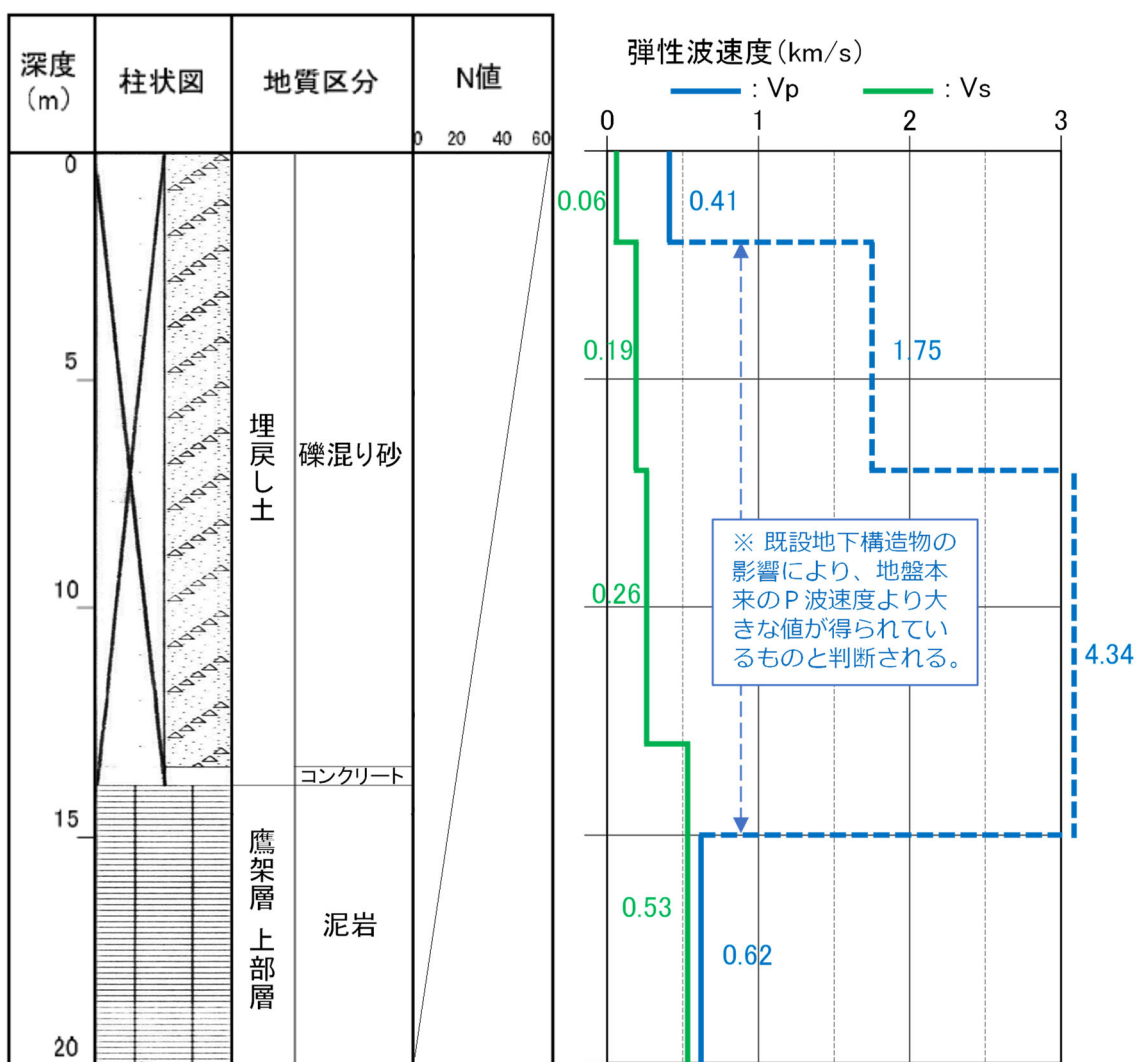
参考 1-5 図 ボーリング柱状図 (No. 7 孔)

No.8 (孔口標高 55.03m)



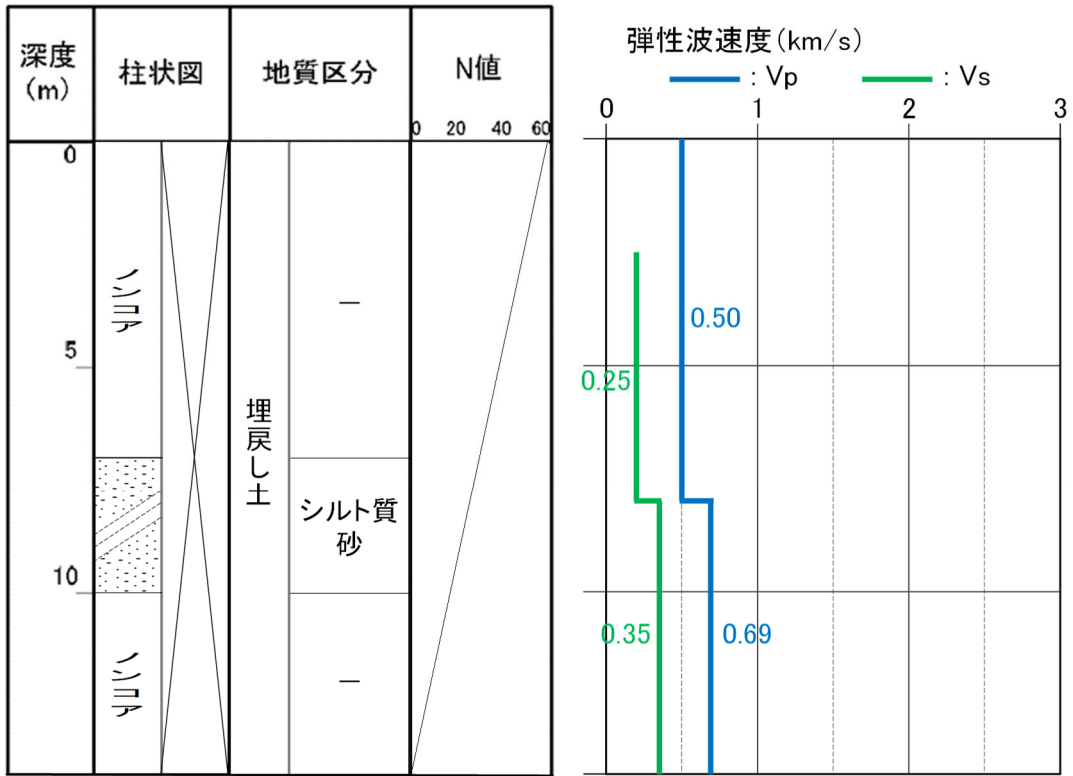
参考 1-6 図 ボーリング柱状図 (No. 8孔)

No.9 (孔口標高 55.10m)



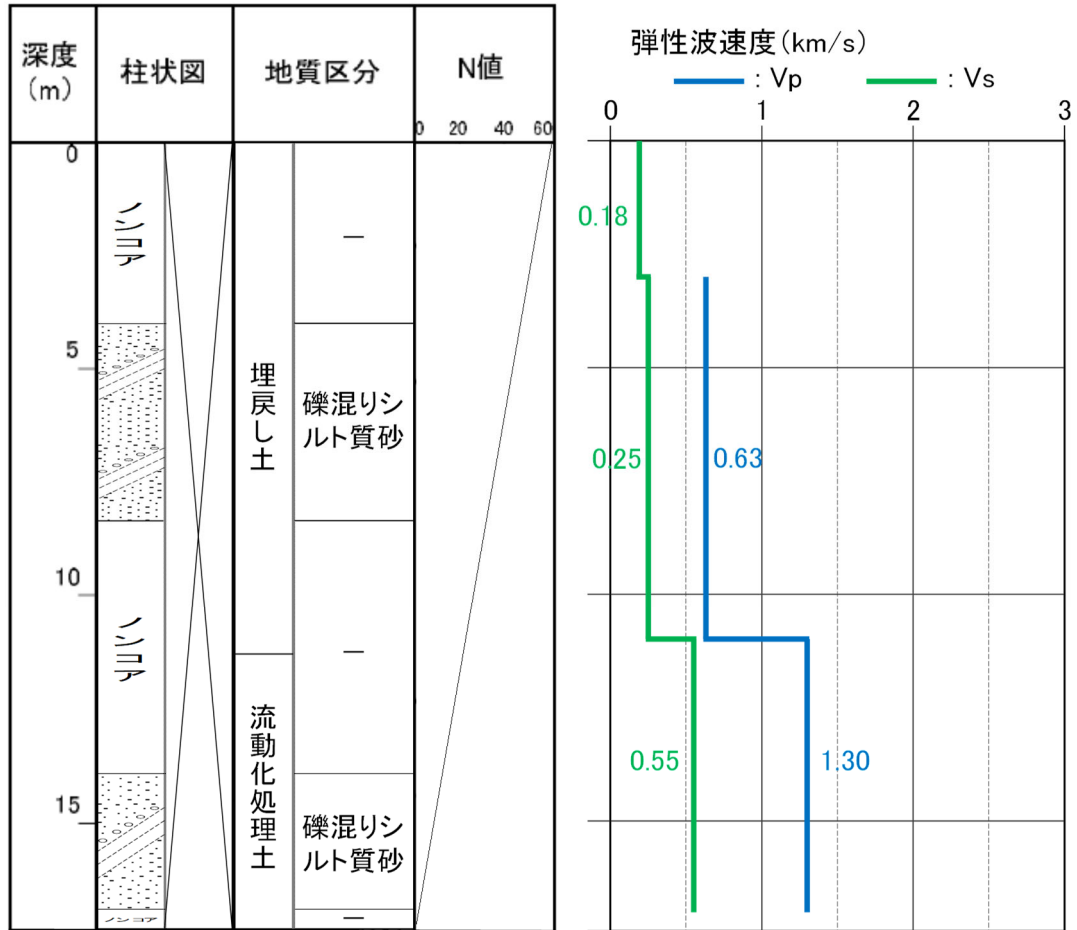
参考1-7図 ボーリング柱状図 (No. 9孔)

a-1 (孔口標高 55.03m)



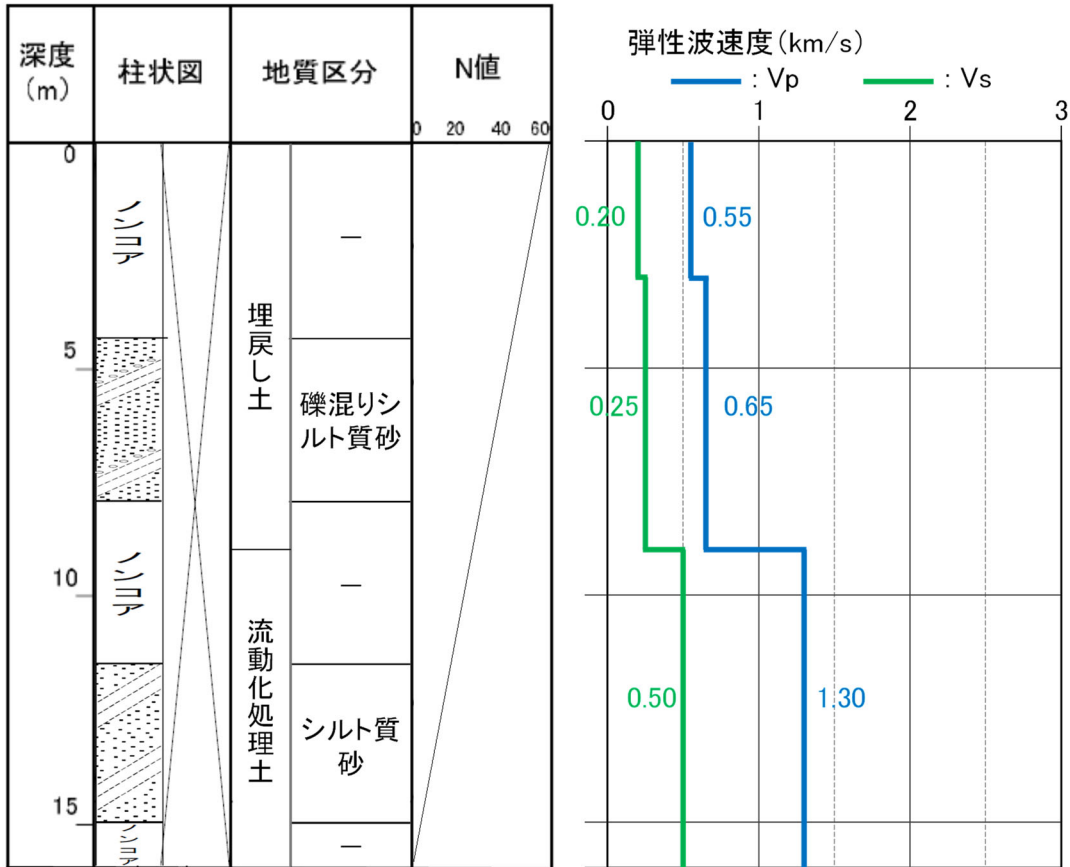
参考1-8図 ボーリング柱状図 (a-1孔)

a-4 (孔口標高 55.06m)



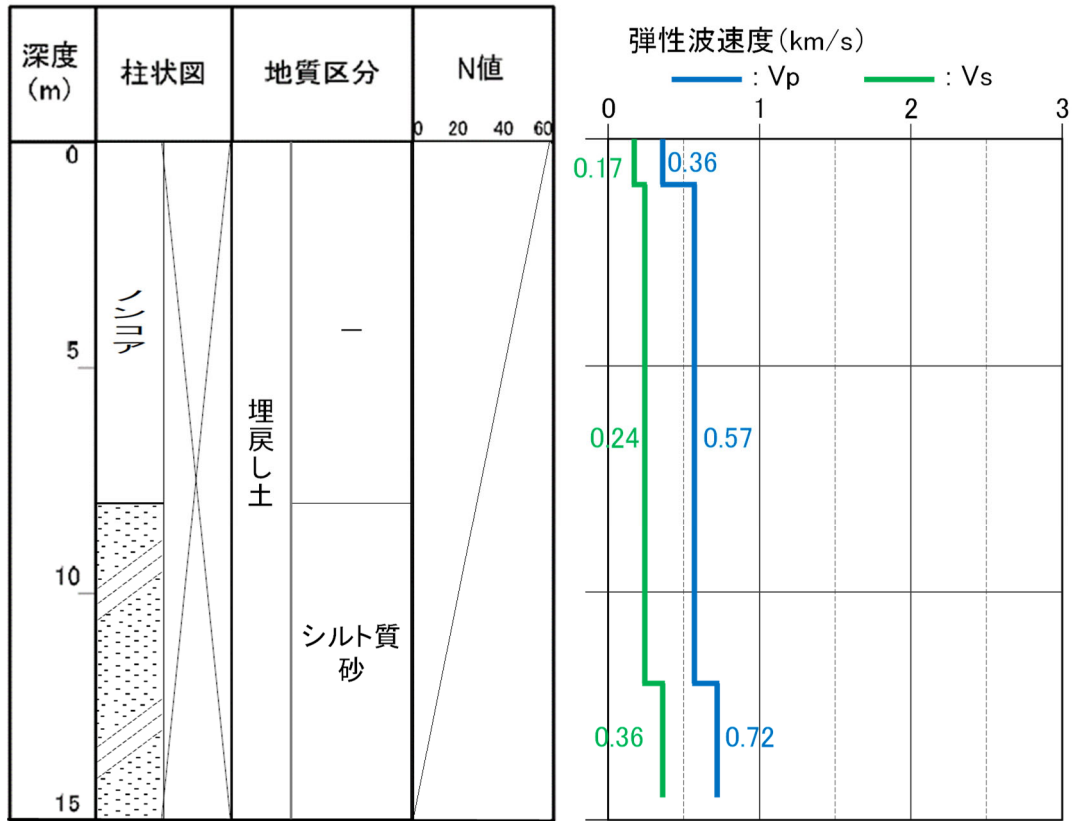
参考1-9図 ボーリング柱状図 (a-4孔)

b-2 (孔口標高 55.04m)



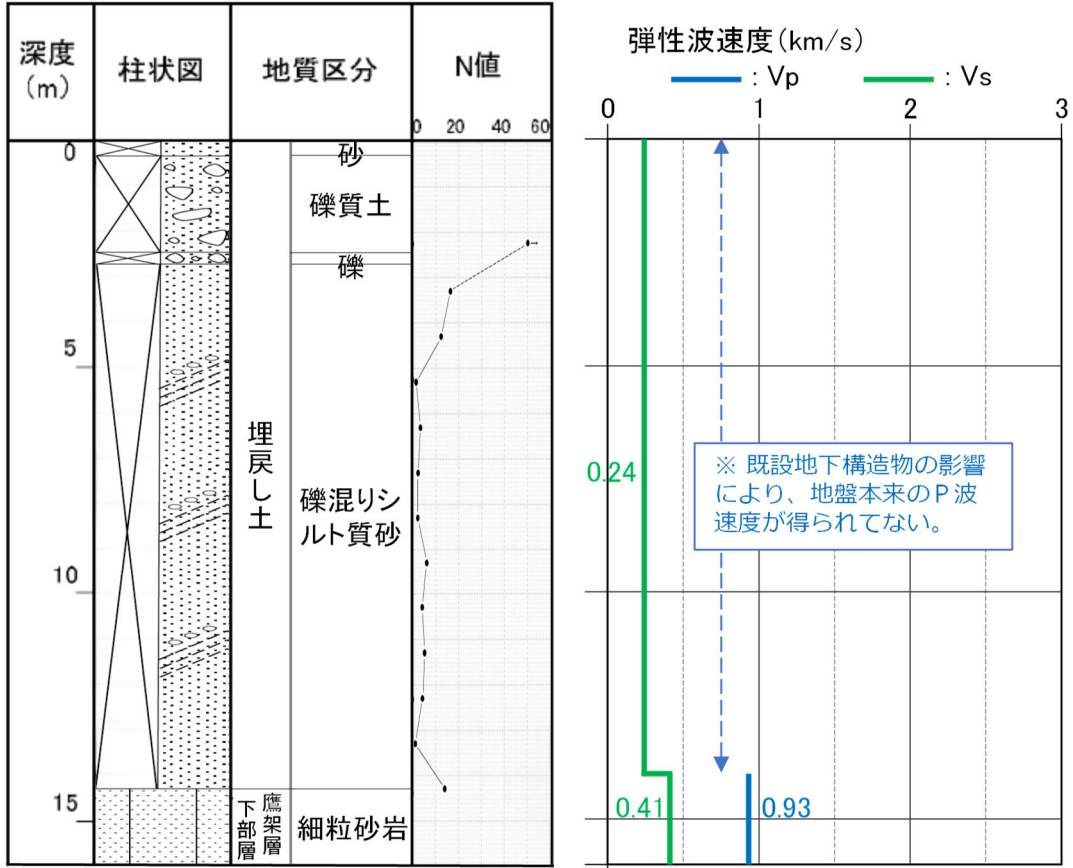
参考 1-10 図 ボーリング柱状図 (b-2孔)

b-4(孔口標高 54.95m)



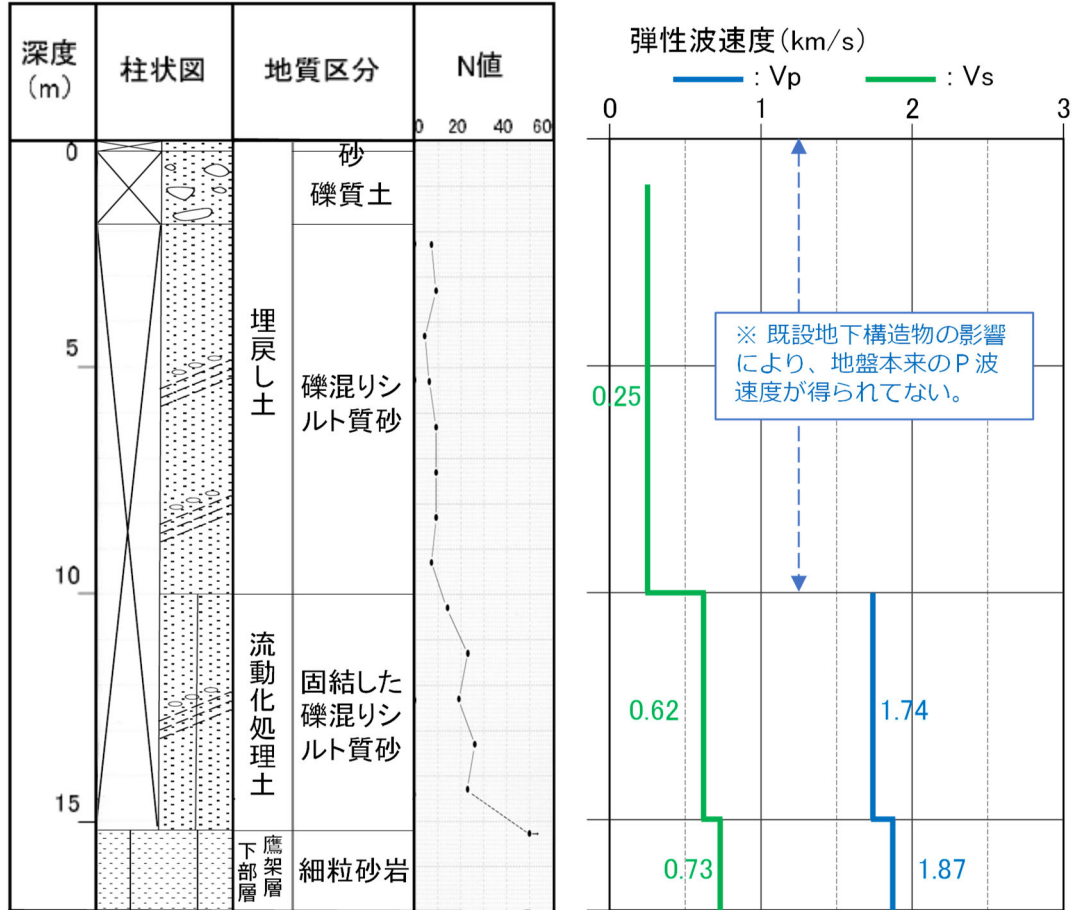
参考 1-11図 ボーリング柱状図 (b-4孔)

TY-20-1 (孔口標高 54.98m)



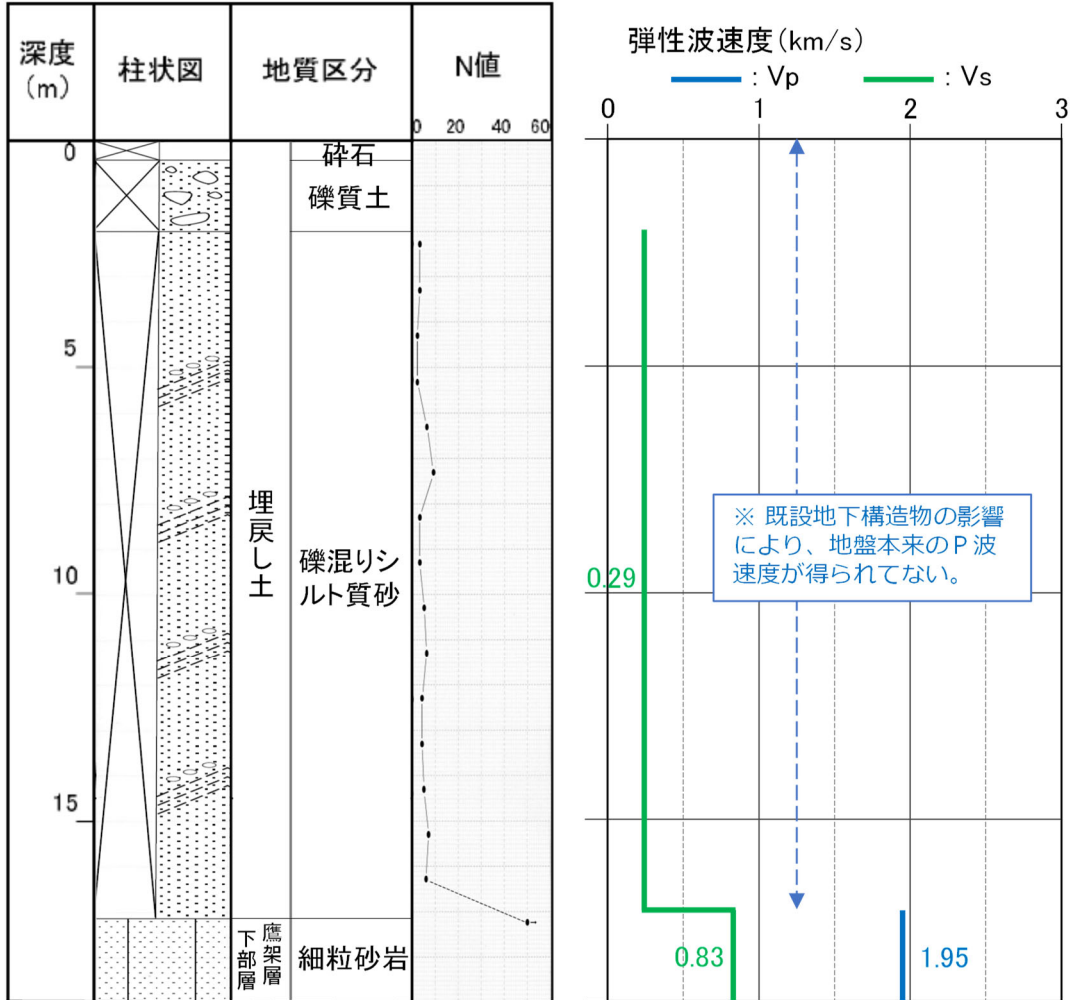
参考 1-12 図 ボーリング柱状図 (TY-20-1孔)

TY-20-2 (孔口標高 55.08m)



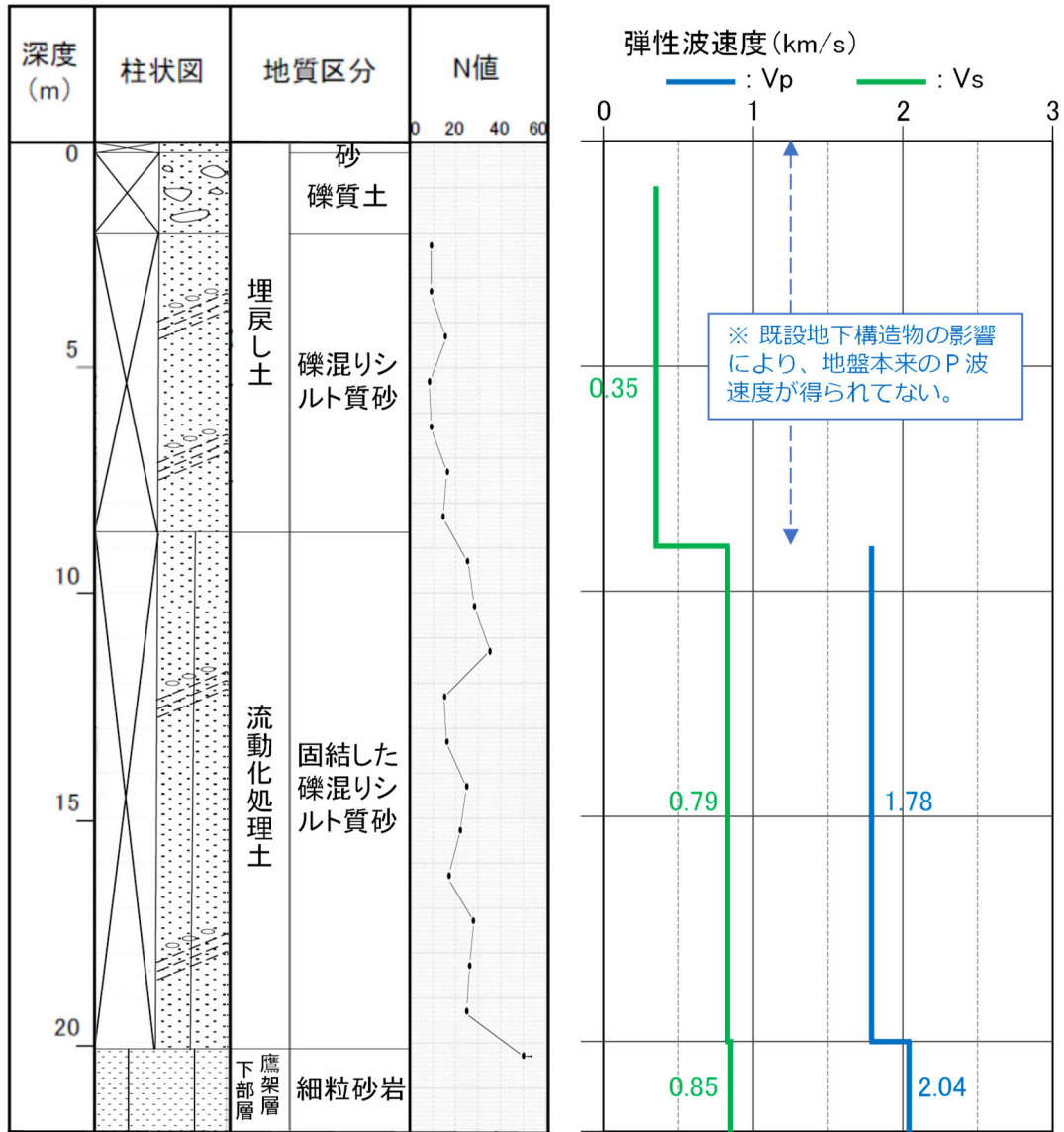
参考 1-13 図 ボーリング柱状図 (TY-20-2孔)

TY-20-3 (孔口標高 54.83m)



参考1-14図 ボーリング柱状図 (TY-20-3孔)

TY-20-5 (孔口標高 55.01m)

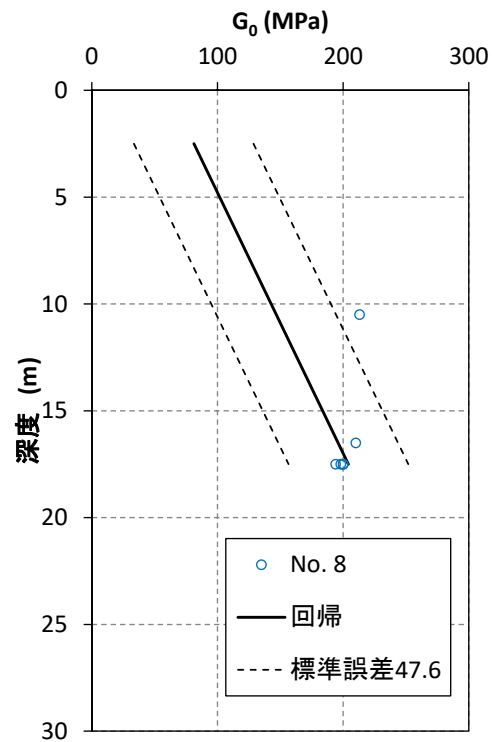
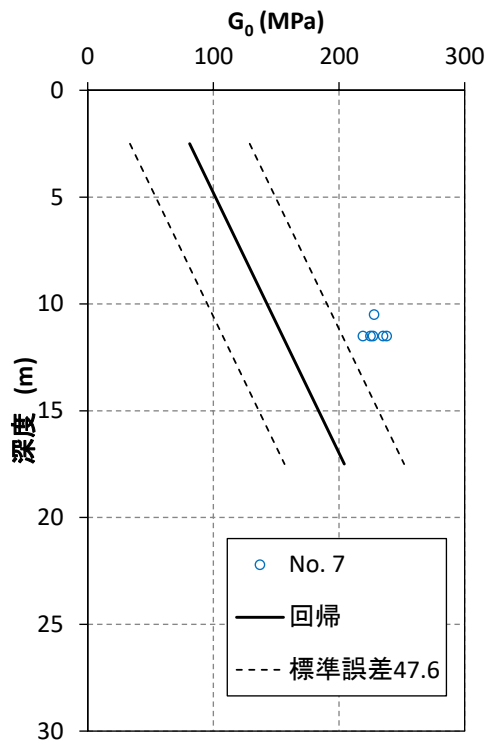
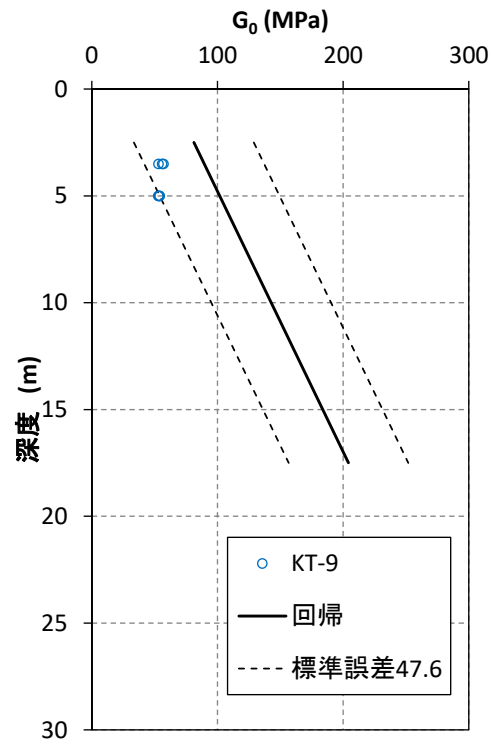
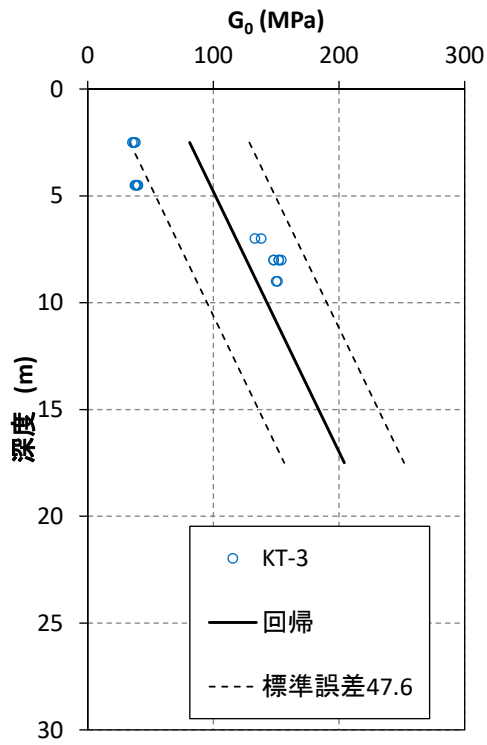


参考 1-15 図 ボーリング柱状図 (TY-20-5孔)

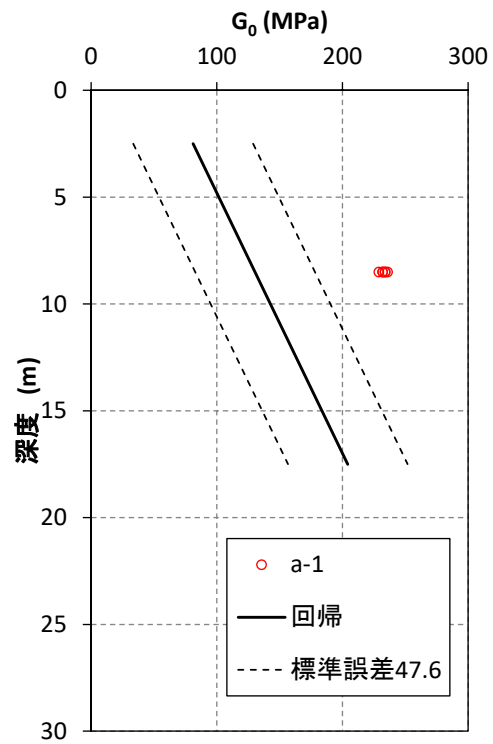
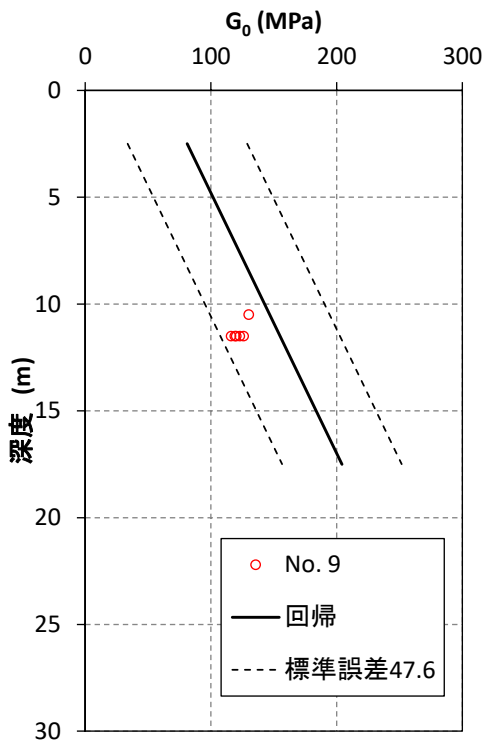
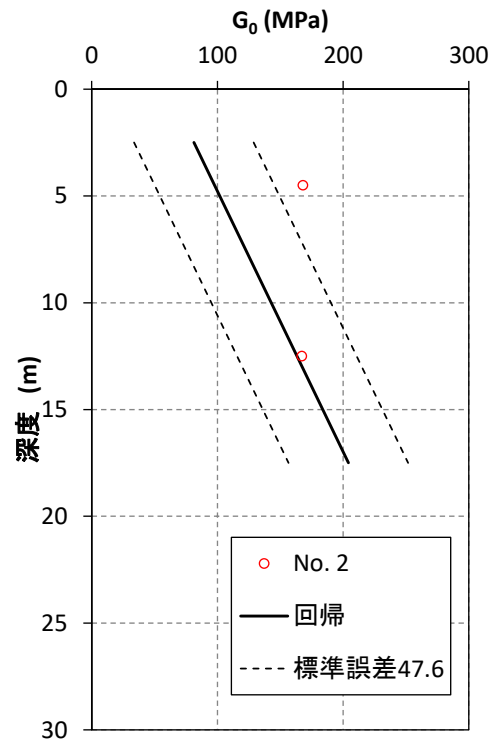
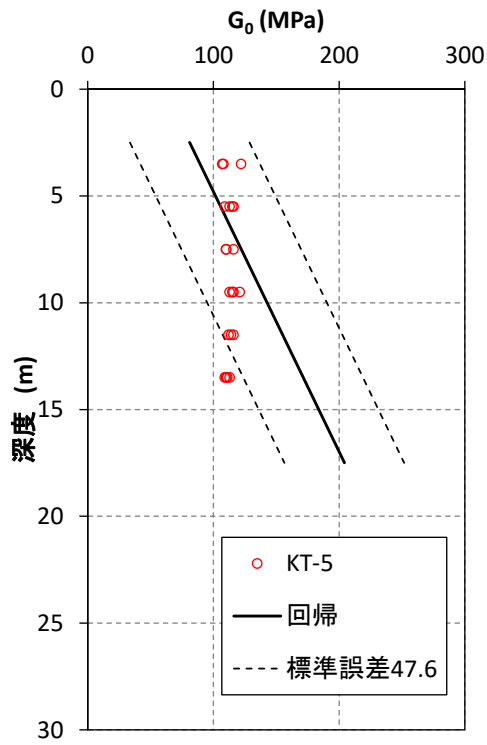
参考 2

埋戻し土のボーリング孔における G_0 と測定深度の
関係について

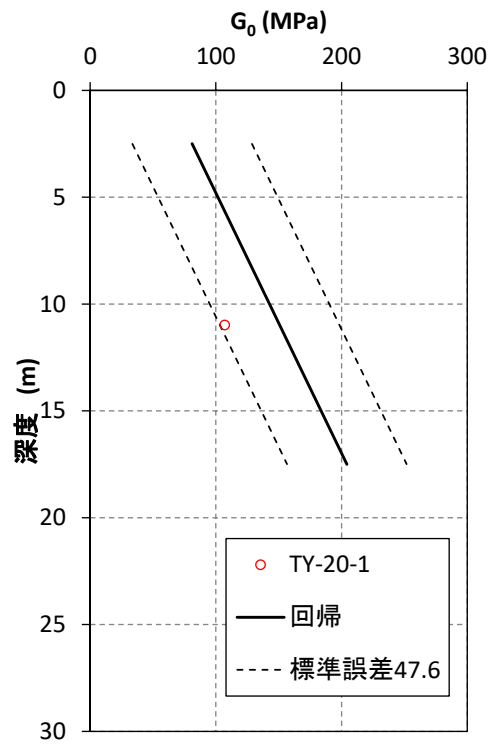
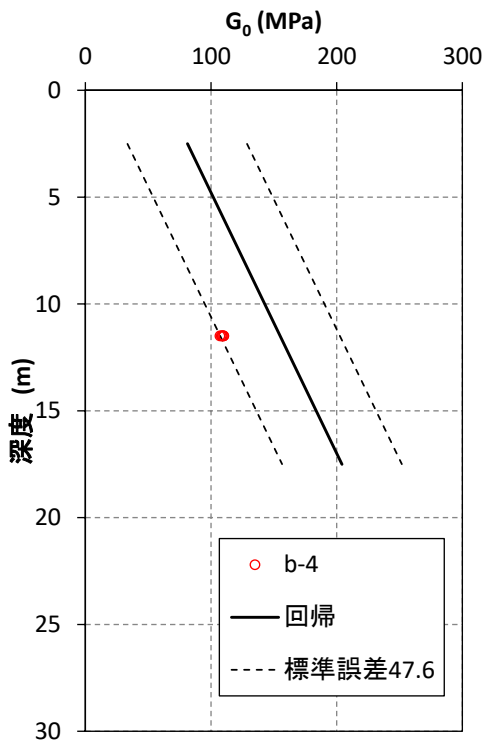
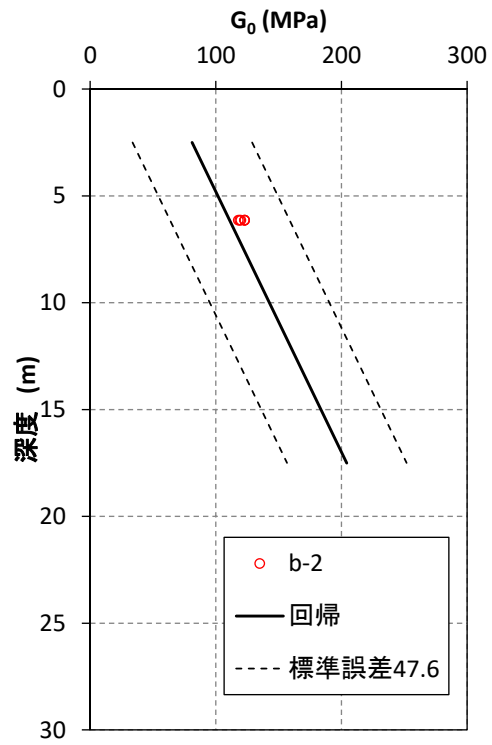
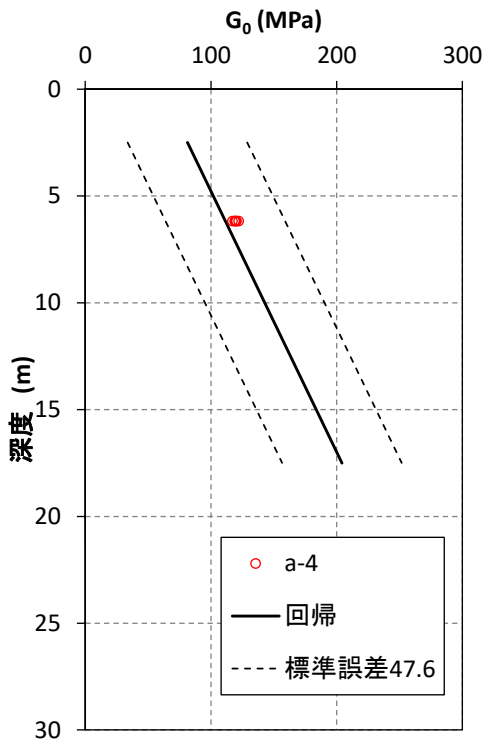
本編 2.1.3 埋戻し土の均質性の検討における埋戻し土のボーリング孔における G_0 と測定深度の関係について参考 2-1 図～参考 2-2 図に示す。



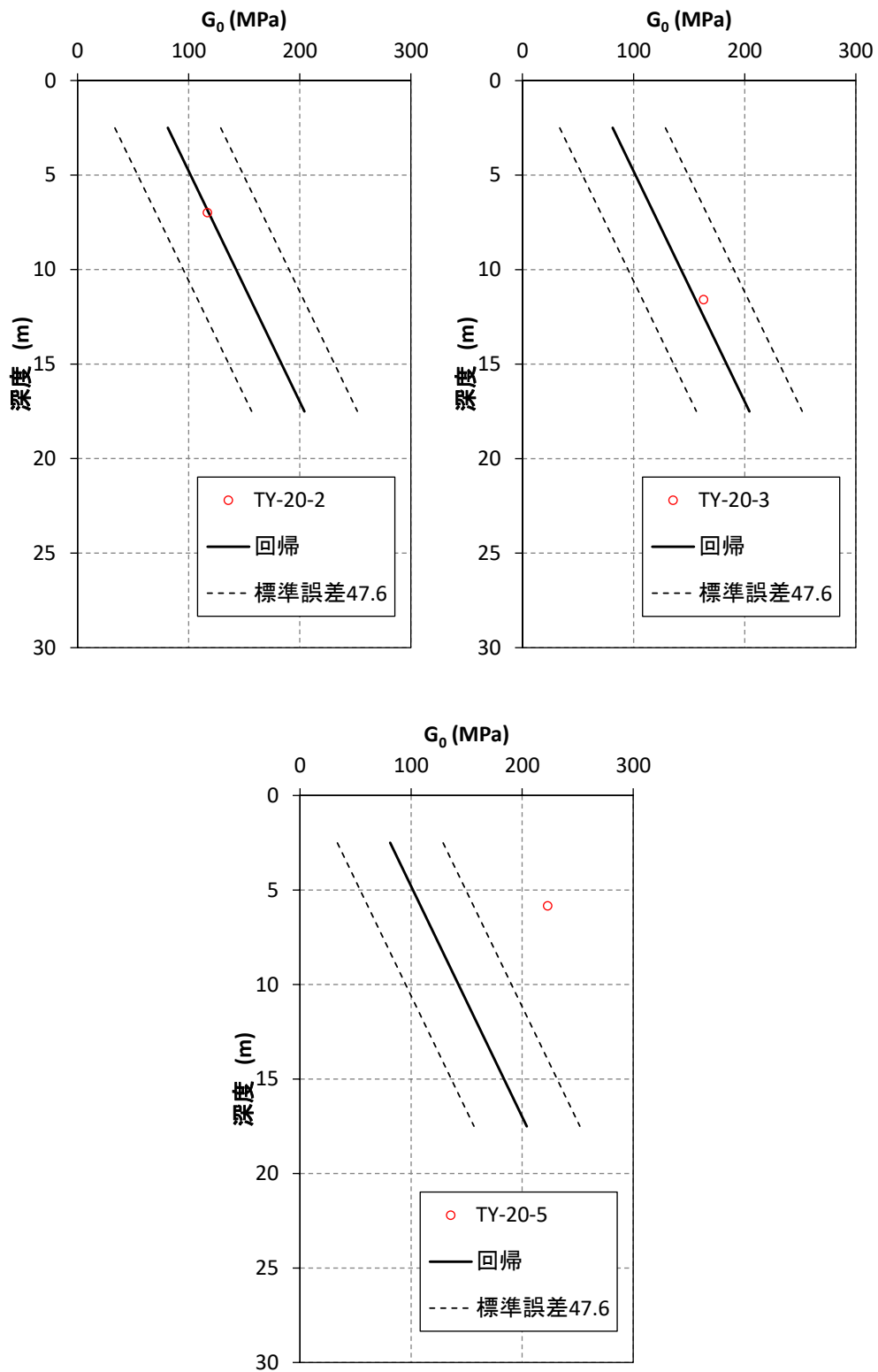
参考 2-1 図 ボーリング孔毎の埋戻し土の G_0 (1999 年以前)



参考 2-2 図(1) ボーリング孔毎の埋戻し土の G_0 (2000 年以降)



参考 2-2 図(2) ボーリング孔毎の埋戻し土の G_0 (2000年以降)



参考 2-2 図 (3) ボーリング孔毎の埋戻し土の G_0 (2000 年以降)

参考 3

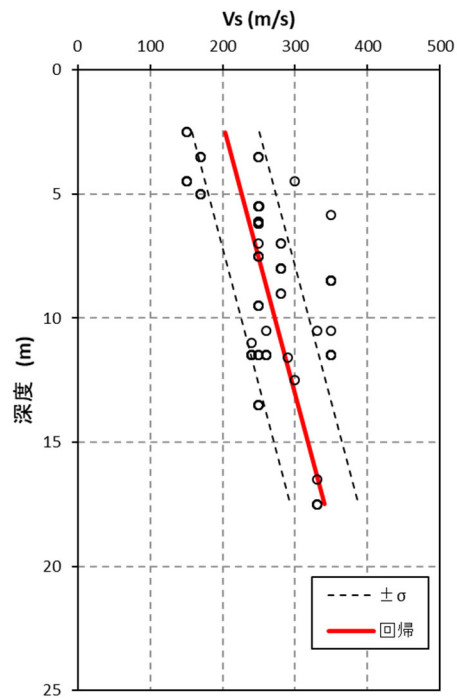
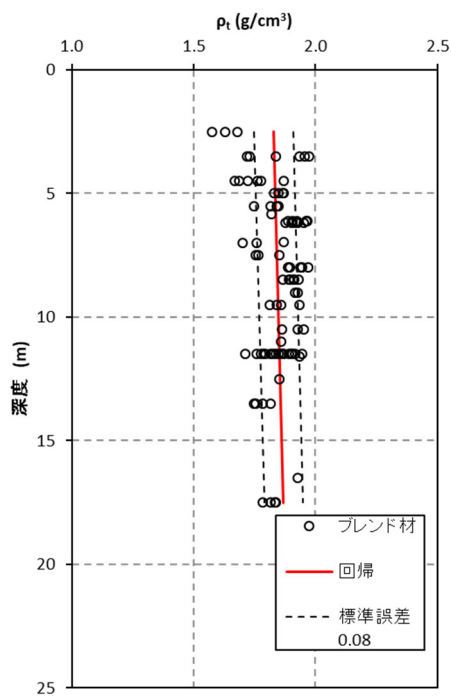
データセットの V_s による G_0 回帰について

本編2.1.3 埋戻し土の均質性の検討で示したデータセットの V_s による G_0 の回帰方法について説明する。

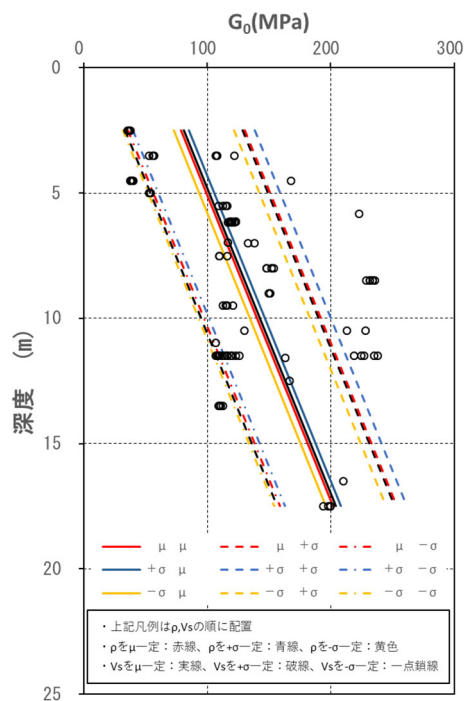
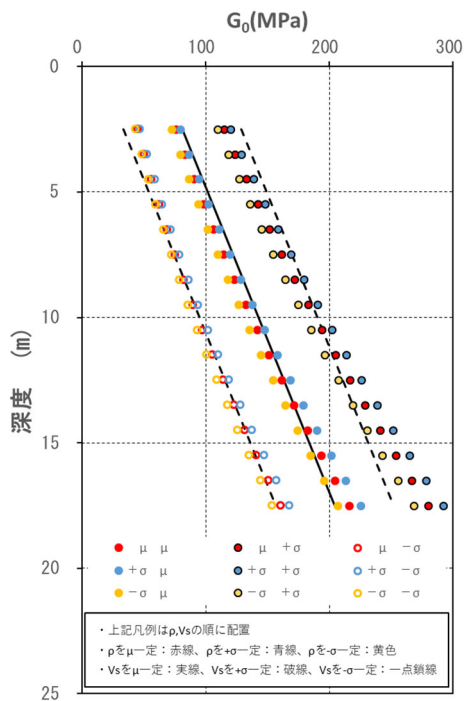
動的変形特性に用いる G_0 は、参考3-1図に示すPS検層（ダウンホール方式）による V_s と同孔から採取された ρ_t （ノギス法）によるデータセットから算定した値の統計量（平均，標準偏差）として表されるのが一般的である。ここでは， G_0 を算出する元データである ρ_t と V_s の統計量の観点からそれぞれの平均と標準誤差の組み合わせから得られる G_0 の分布について整理を行った。

参考3-1図には， ρ_t と V_s の値を○印で平均値の回帰を赤線，標準誤差を黒破線で示した。これらの ρ_t の μ （平均）， $\pm\sigma$ （ばらつき）と V_s の μ （平均）， $\pm\sigma$ （ばらつき）の掛け合わせとして9組の回帰とデータセットから得られる離散化した G_0 の平均及び標準誤差を参考3-2図示す。離散化した G_0 は， ρ_t （一次式）と V_s^2 （2次式）との式から深度方向に発散する3次関数となる。一般的に，標準誤差は，等差で与えることから事業許可申請における標準誤差（ $\pm 1\sigma$ ）の回帰も等差で与えており，平均値の G_0 の深度依存勾配を固定して， ρ_t と V_s の μ ， $\pm\sigma$ の組み合わせの回帰を行った。

参考3-3図にそれぞれの回帰の組み合わせによる回帰結果を示す。図の凡例では，各線の前表示が ρ_t に用いた回帰，後表示が V_s に用いた回帰でそれぞれの線色（赤，青，橙），線種（実線，破線，一点鎖線）で表示している。図によれば，それぞれの回帰から算定した G_0 の回帰は，線種（実線：平均 V_s ，破線： $+\sigma V_s$ ，一点鎖線： $-\sigma V_s$ ）で分けた V_s の回帰に依存しており，それぞれの V_s に対して ρ_t が $+\sigma$ の場合には， G_0 が若干大きくなる傾向を示し， ρ_t が $-\sigma$ の場合には， G_0 が若干小さくなる傾向となる。



参考 3-1 図 ρ_t , V_s の深度分布図 (データセット)



参考 3-2 図 G_0 分布図 (離散化)

参考 3-3 図 G_0 回帰図 (深度依存固定)

参考 4

物性値の不確実性に関するパラメータスタディ

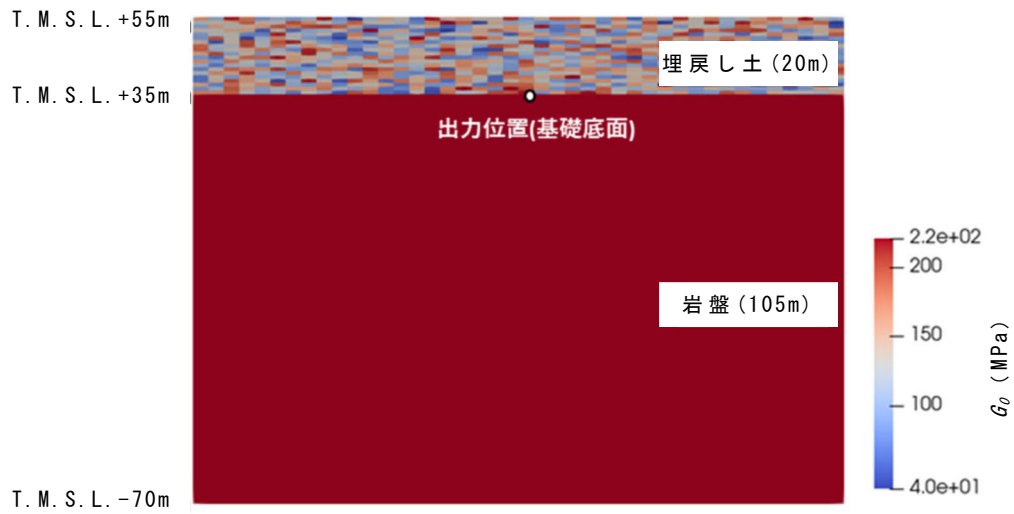
(1) ばらつきを有する表層地盤の加速度応答

地震時のせん断弾性波（S波）は、地表面に向かって面的に振動しながら伝播してくる。当該地点の埋戻し土は平面的にも均質な品質となるように管理されていることから地盤の加速度応答は、周辺岩盤を包絡した平均的な挙動を呈するものと考えられる。

そこで、表層地盤（埋戻し土）のばらつきの確率密度分布を表層部にランダムに与えた場合の加速度応答による平均とばらつきの比較及び表層地盤（埋戻し土）の深度依存も考慮した場合の不確からしさ（ばらつきの特徴）についてモンテカルロシミュレーションを用いて検討した。

この検討では、参考4-1図に示すような簡易的に地表から20mを表層地盤（埋戻し土）、T.M.S.L.+35m～-70mの層厚105mを岩盤部としたモデルを設定した。解析手法は、2次元周波数応答解析の解析コード（Super FLUSH/2D）を用いて、建屋の基礎底面相当位置（岩盤上限面）での応答加速度の考察を行った。解析に用いた物性値を参考4-1表に示す。

表層地盤については、埋戻し土の G_0 の全データ（ $N=93$ ）について、平均値と標準偏差を算定すると、それぞれ $G_0=131\text{MPa}$ 、 $\sigma=56\text{MPa}$ が算出される。岩盤部については、平均的な岩盤の細粒砂岩層の解放基盤面相当の G_0 を一様に与え、表層地盤20mに対しては、埋戻し土の統計的な確率密度を用いて、モンテカルロシミュレーション（ $N=200$ 回）を実施した。

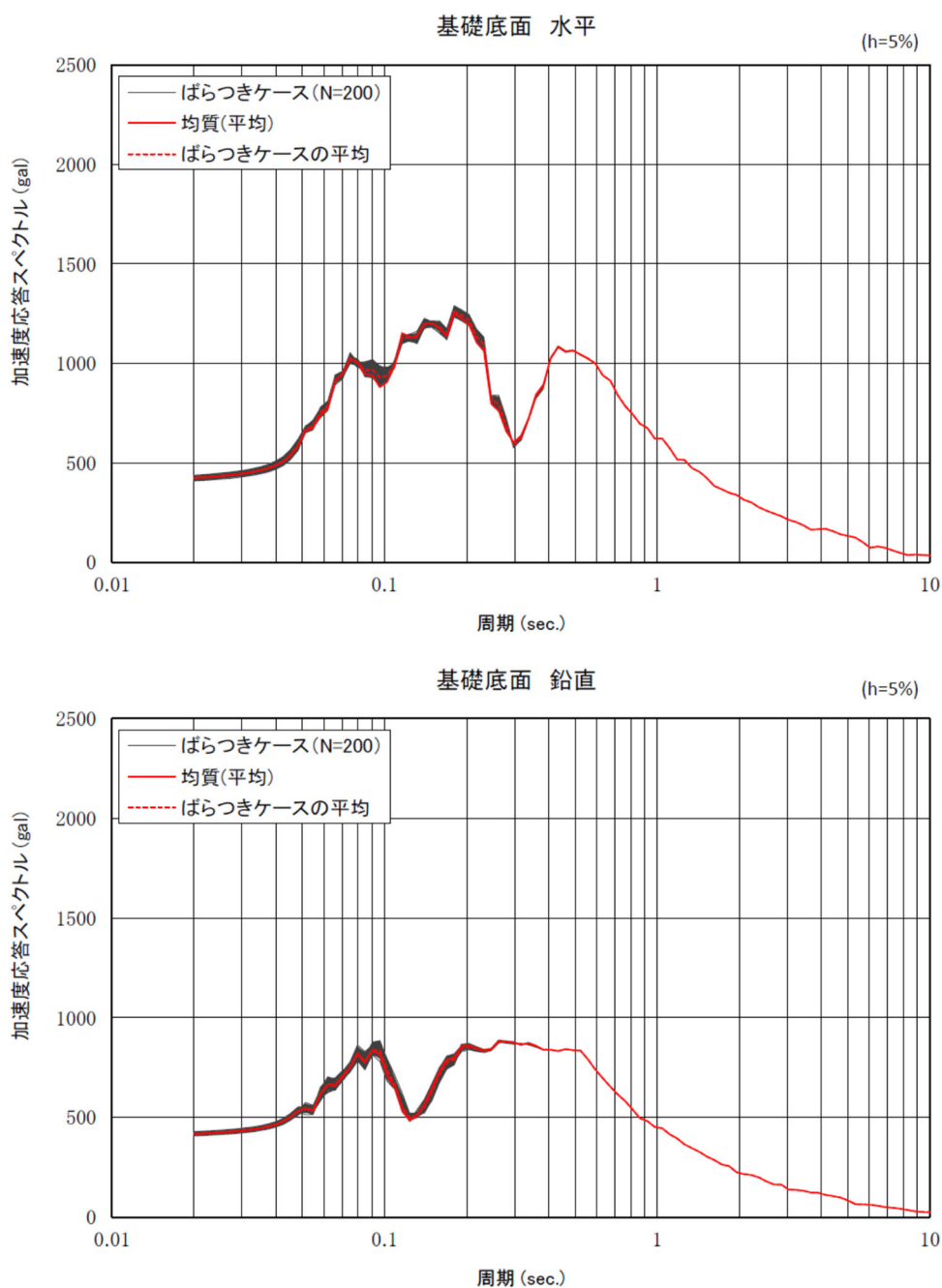


参考4-1図 解析モデル図（深度方向依存なし）

参考4-1表 解析モデル物性諸元

項目	仕様	備考
モデルサイズ	幅168m×深さ125m	
要素数	埋戻し土：840 鷹架層：1176	
境界条件	側方：自由境界 底盤：粘性境界	
表層物性値 (200モデル)	$G_0 = 131$ (MPa) $\sigma = 56$ (MPa) $\nu d = 0.39$ $h = 0.03$	G_0 の平均，標準偏差は， 全サンプル (N=93) の 平均値
岩盤物性値	$G_0 = 1600$ MPa $\nu d = 0.38$ $h = 0.03$	細粒砂岩解放基盤相当
入力地震動	Ss-A (T.M.S.L. -70m：2E入力)	

解析結果として、参考4-2図に岩盤上限面(参考4-1図における出力位置)の加速度応答スペクトルを示す。参考4-1図の岩盤上限面の加速度応答スペクトルの結果によれば、表層地盤20mに埋戻し土の有する確率密度分布で独立に物性値を与えたとしても、図中赤線で示す平均値の均質地盤の加速度応答スペクトルとおおむね一致し、平均値とばらつきの関係が確認された。



参考4-2図 モンテカルロシミュレーションにおける加速度応答スペクトル

(2) ばらつきを有する地盤の実現象範囲

表層地盤の G_0 を深度依存と考えたモデルにおいて、起こりうる事象の範囲についてパラメータスタディを実施した。

ここでは、表層地盤について、深度毎（1メッシュ毎）に $\pm 1\sigma$ の標準誤差の確率密度を平面的にランダムに与えたモデルと深度方向依存の平均値及び $\pm 1\sigma$ を与えたモデルの岩盤上限面の加速度応答スペクトルを比較する。参考4-3図に解析モデル図、参考4-2表に解析に用いた物性諸元を示す。



(1) 深度方向依存ランダムモデル例



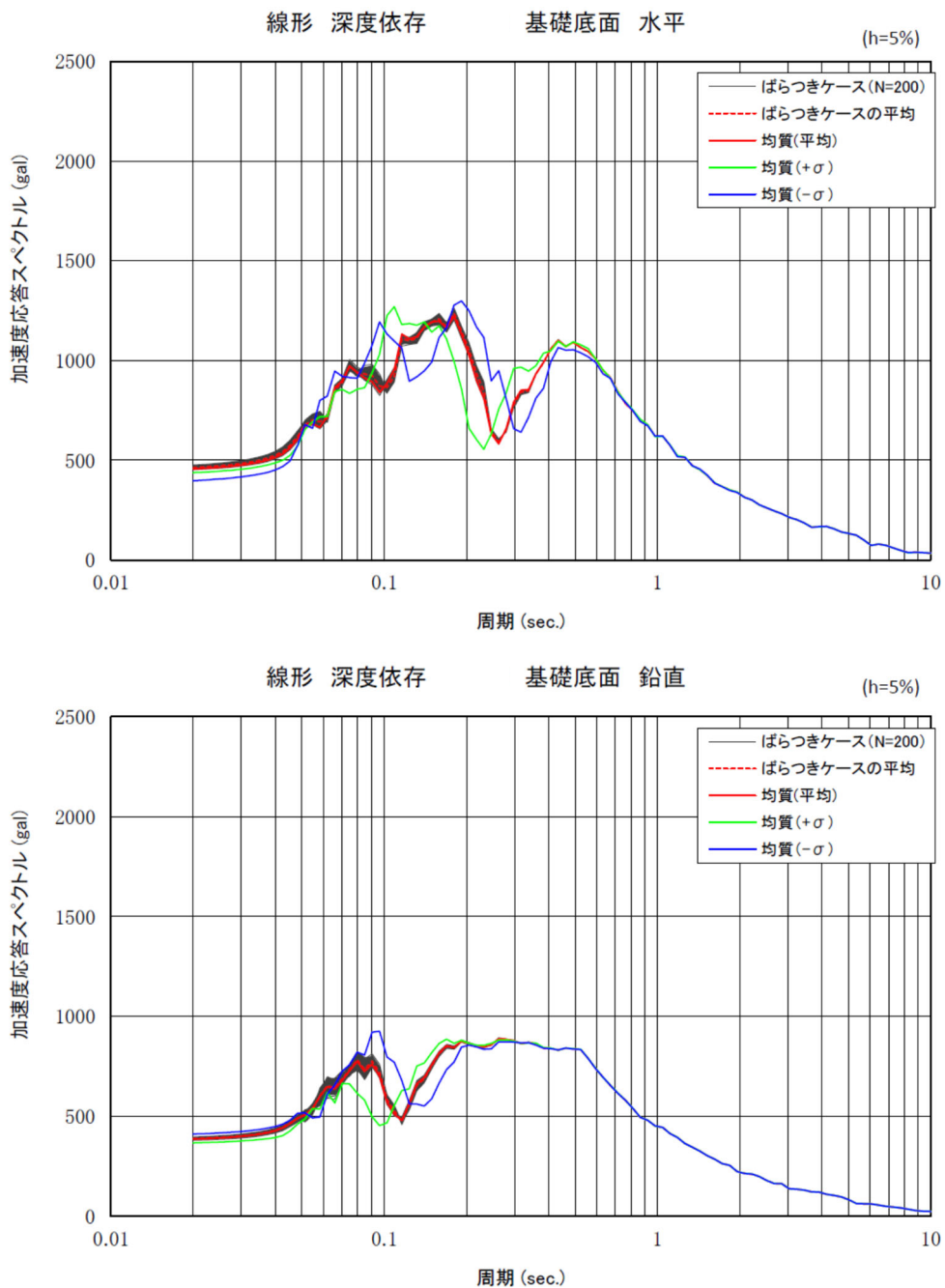
(2) 深度方向依存平均モデル例(+1σ)

参考4-3図 解析モデル図（深度方向依存考慮）

参考4-2表 解析モデル物性諸元

項目	仕様	備考
モデルサイズ	幅168m×深さ125m	
要素数	埋戻し土：840 鷹架層：1176	
境界条件	側方：自由境界 底盤：粘性境界	
表層物性値 (200モデル)	$G_0 = 60.7 + 8.20D$ (MPa) G_0 標準誤差 = 47.6 (MPa) D : 深度 (m) $\nu d = 0.39$ $h = 0.03$	正規分布 (事業変更許可申請において設定した物性値)
岩盤物性値	$G_0 = 1600$ MPa $\nu d = 0.38$ $h = 0.03$	細粒砂岩解放基盤相当
入力地震動	Ss-A (T. M. S. L. - 70m : 2E入力)	

解析結果として、参考4-4図に岩盤上限面（参考4-3図における出力位置）の加速度応答スペクトルを示す。表層地盤に深度方向依存のばらつきを与えたケース（赤線：均質，グレー：ばらつき）においても加速度応答スペクトルは、平均値を均質に与えた加速度応答スペクトルとおおむね一致することを確認した。また、表層地盤に深度方向依存の $\pm 1\sigma$ を均質物性として与えたケース（ $+\sigma$ ：緑線， $-\sigma$ ：青線）の加速度応答スペクトルは、それぞれ表層地盤の固有周期が変化する方向（ $+\sigma$ は低周期側， $-\sigma$ は高周期側）へおおむね平行に移動する。平均値の赤線とばらつきのグレーがほぼ一致することから、 $\pm 1\sigma$ でばらつきを有していても加速度応答スペクトルはこの範囲にほぼ収まることが確認できた。



参考4-4図 モンテカルロシミュレーションにおける加速度応答スペクトル

(3) まとめ

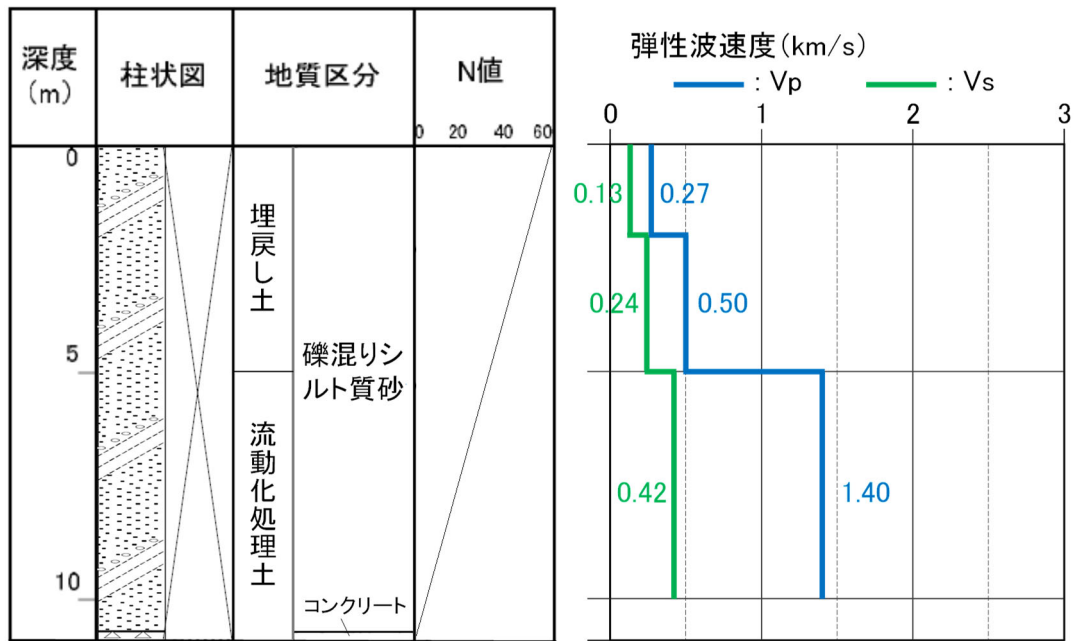
表層地盤（埋戻し土）の平均値とばらつきを考慮したモンテカルロシミュレーションの結果から表層地盤全体の G_0 が一定の確率密度分布（品質管理下の限定的なばらつき）を有していれば，平均値で与えた均質地盤の加速度応答スペクトルとおおむね一致することが確認できた。

参考 5

流動化処理土のボーリング柱状図について

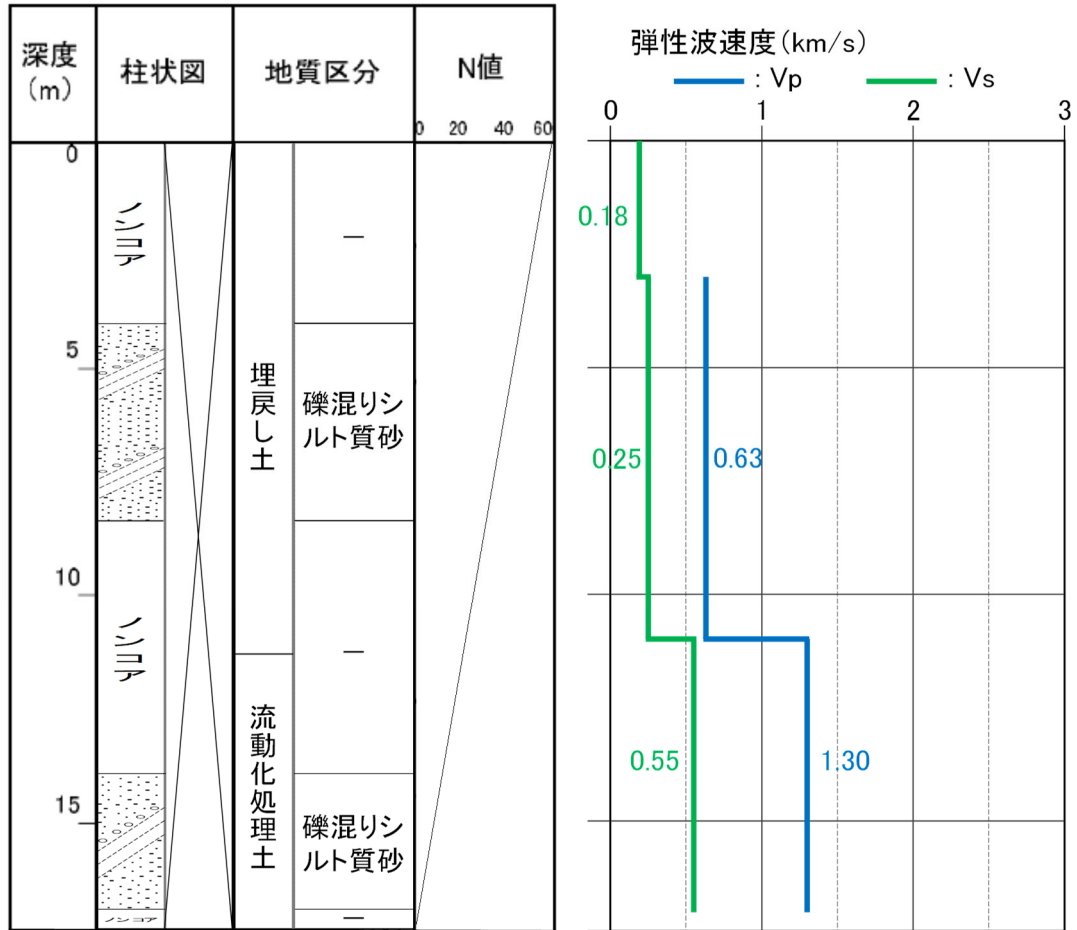
本編 3.1.1 流動化処理土の施工管理状況及び均質性の検討における事業変更許可申請書で設定した流動化処理土のボーリング柱状図及び物理・力学特性を参考 5-1 図～参考 5-4 図に示す。

a-3 (孔口標高 54.91m)



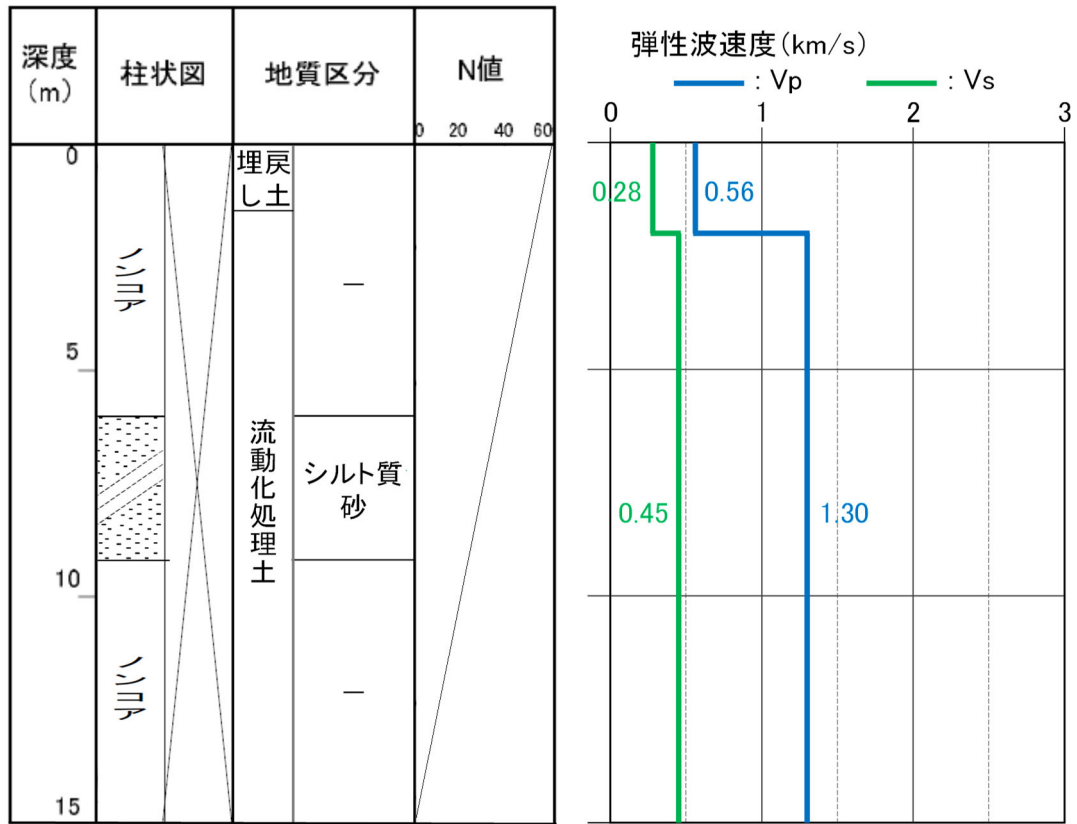
参考5-1図 ボーリング柱状図 (a-3孔)

a-4 (孔口標高 55.06m)



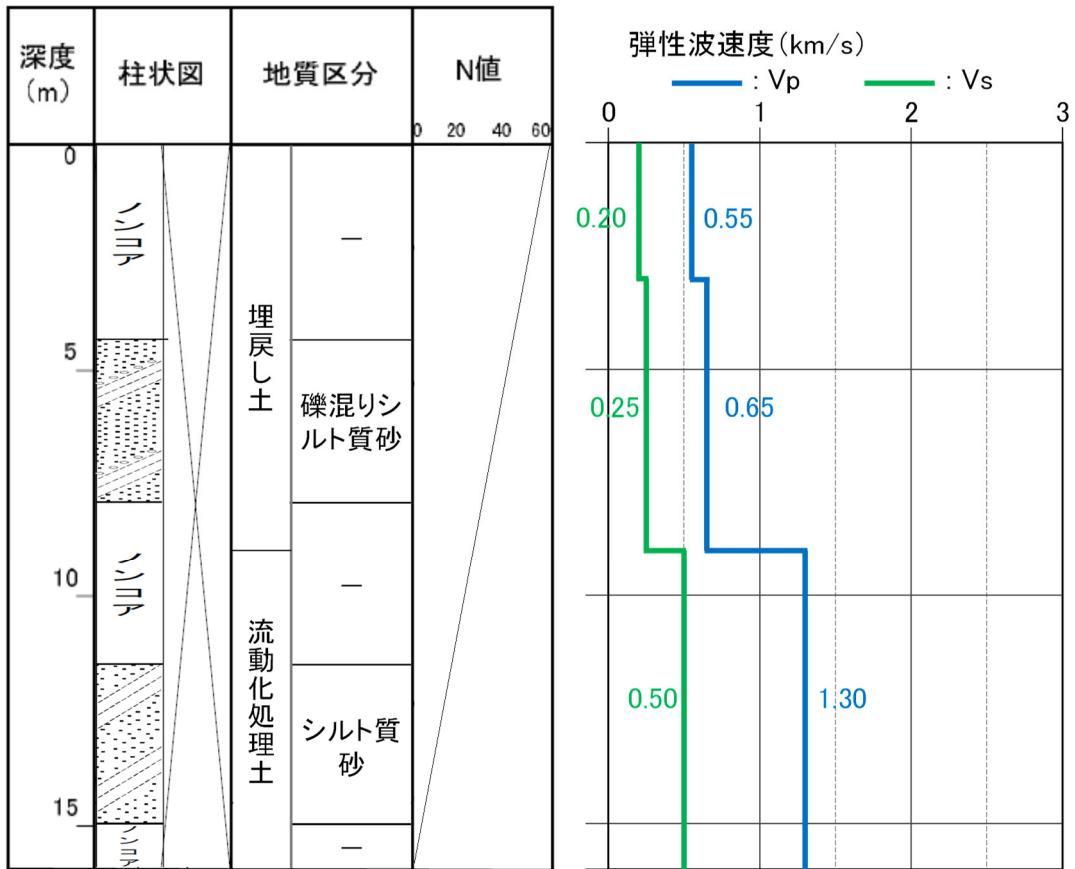
参考5-2図 ボーリング柱状図 (a-4孔)

b-1 (孔口標高 55.04m)



参考5-3図 ボーリング柱状図 (b-1孔)

b-2 (孔口標高 55.04m)



参考5-4図 ボーリング柱状図 (b-2孔)

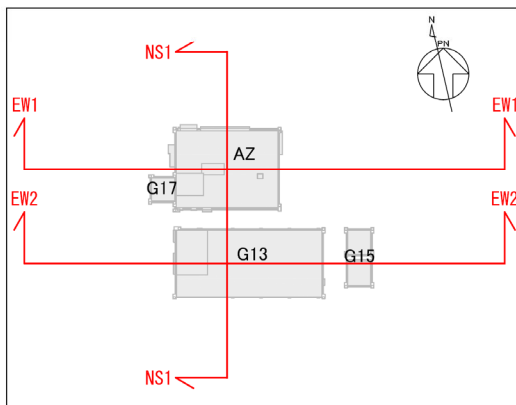
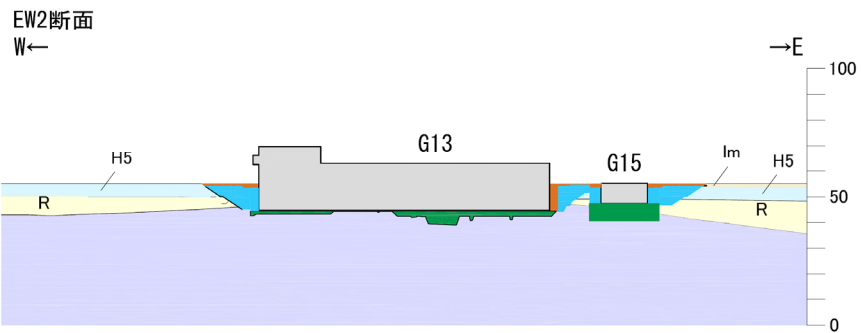
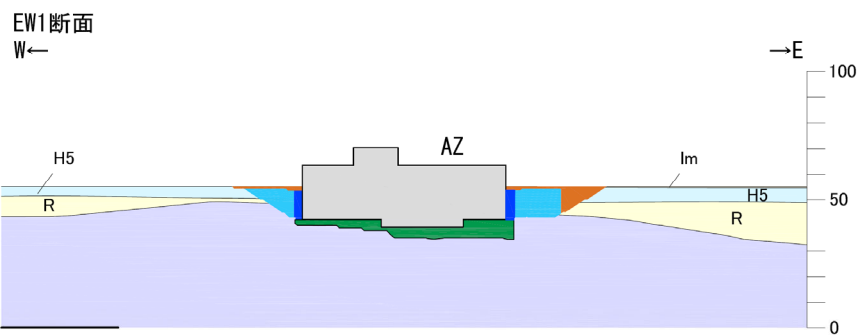
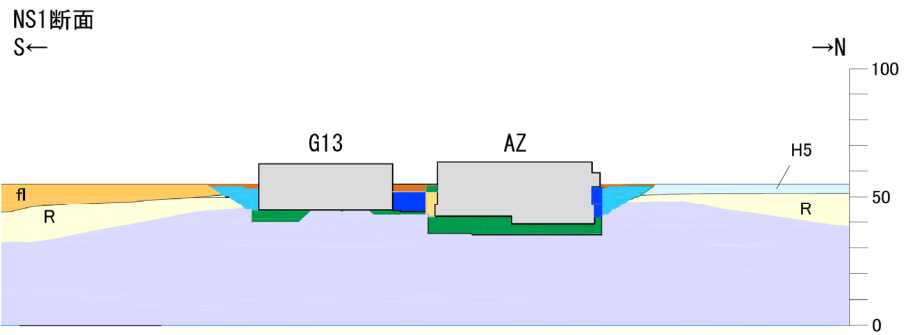
参考 6

緊急時対策建屋（AZ）、第 1 保管庫・貯水所（G13）

及び第 2 保管庫・貯水所（G14）の表層地盤

(1) 緊急時対策建屋 (AZ), 第 1 保管庫・貯水所 (G13) 及び第 2 保管庫・貯水所 (G14) の配置断面図

緊急時対策建屋 (AZ), 第 1 保管庫・貯水所 (G13) 及び第 2 保管庫・貯水所 (G14) 周辺の流動化処理土については, 施工プロセスによる入り組んだ打設構造となっていることから周囲の地山状況 (六ヶ所層, 高位段丘堆積層, 中位段丘堆積層等) も合わせ参考 6-1 図に各断面図を示す。

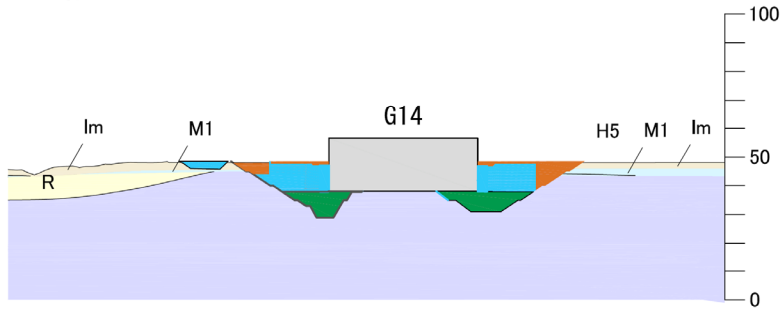


凡例

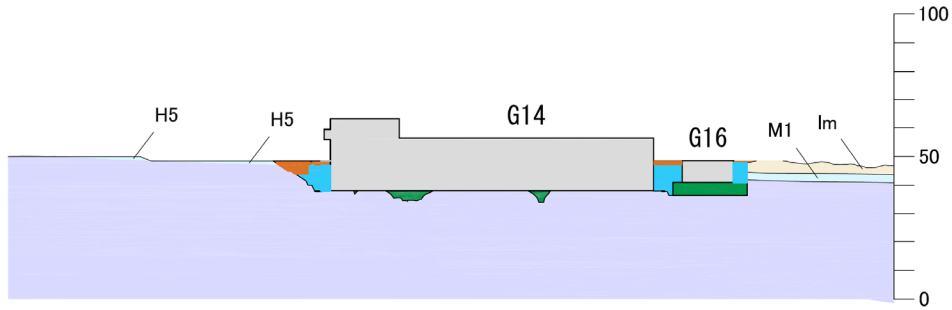
bk	埋戻し土		流動化処理土
fl	造成盛土	MNR	MMR
a1	沖積低地堆積層		改良地盤A
Im	火山灰層		改良地盤B
Hs	高位段丘堆積層		竜巻基礎
M1	中位段丘堆積層		エアモルタル
R	六ヶ所層		ベントナイト混合土
S1	砂子又層下部層		建物及び構築物
	底架層		高配合流動化処理土

参考 6-1 図(1) 建物・構築物の周囲にある表層の配置断面図 (AZ・G13)

NS断面

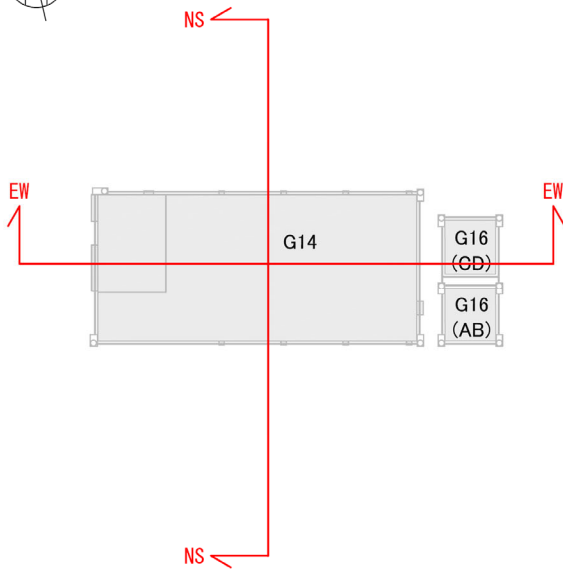


EW断面



凡例

bk	埋戻し土		流動化処理土
fl	造成盛土	MMR	MMR
al	沖積低地堆積層		改良地盤A
Im	火山灰層		改良地盤B
Hs	高位段丘堆積層		竜巻基礎
M1	中位段丘堆積層		エアモルタル
R	六ヶ所層		ペントナイト混合土
S1	砂子又層下部層		建物及び構築物
	鷹架層		高配合流動化処理土



参考 6-1 図 (2) 建物・構築物の周囲にある表層の配置断面図 (G14)

(2) 2次元基礎地盤安定解析による表層地盤の影響検討

東側地盤の緊急時対策建屋 (AZ), 第1保管庫・貯水所 (G13) 及び第2保管庫・貯水所 (G14) においては, オープン掘削による広がりをもった掘削範囲の内側は流動化処理土等により埋め戻されており, 外側には地山 (高位段丘層, 六ヶ所層等) が存在する。これらの特徴を考慮し, 「基本地盤モデル」における表層地盤の設定方法について検討する。

ここでは, 2次元地盤安定解析手法を用いて, 本来の建屋近傍の流動化処理土とその周辺地山の等価な表層地盤と一次元波動論で設定する一様地盤での応答加速度スペクトルを比較する。

参考 6-1 表に解析に用いた物性値一覧を示す。鷹架層については, 暫定的に東側地盤の平均的な G_0 分布を適用し, 表層部については, 建屋周辺の掘削部のみを流動化処理土としたものと解析モデルの表層地盤全領域に渡って流動化処理土に設定した2ケースとした。なお, 建屋はモデル化していない。

参考 6-1 表に AZ 建屋基礎地盤に与えた解析用物性値を示す。解析モデルには, 事業許可申請と同様の値を設定した。

参考 6-2 図には, 解析モデルの設定物性値の違いを確認するため, AZ 建屋の NS 方向断面及び EW 方向断面の V_s 分布図を示す。図によれば, 建屋近傍の流動化処理土とその周辺地山を用いたケースでは, 等価線形化法により収束した $V_s(G_0$ 換算) は小さな値となって, 境界近傍まで分布する。

参考 6-3 図に AZ 建屋底盤位置の岩盤 (MMR 上限) の加速度応答スペクトルを示す。解析結果によれば, 参考 6-3 図 (1) に示す AZ 建屋 NS 断面の水平方向の加速度応答スペクトルは, 両ケースで顕著な差は認められない。参考 6-3 図 (2) に示す AZ 建屋 EW 断面の加速度応答スペクトルについても水平方向, 鉛直方向ともにほぼ同様の値を示している。

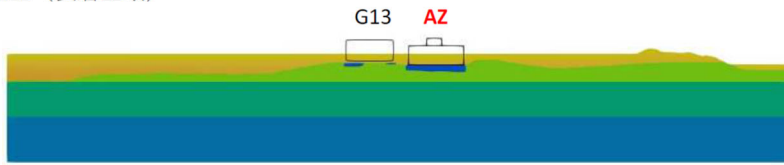
上記のことから両ケースの応答に顕著な違いがないことから建屋底盤位置での加速度応答は, 周辺地盤の影響よりも建屋周辺の流動化処理土の物性値が支配的であることを確認した。

参考 6-1 表 解析用物性値

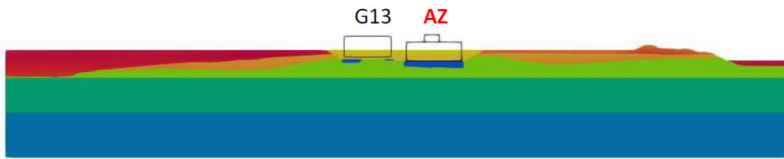
		G_0 (MPa)	ρ_t (g/cm ³)	ν_d	$G/G_0 \sim \gamma$ (%)	$h \sim \gamma$ (%)
表層	PH (1m, M1, H5)	189	1.89	0.45	$\frac{1}{1 + 15.4 \cdot \gamma^{0.891}}$	$\frac{\gamma}{0.0570\gamma + 0.00824} + 1.81$
	R	303	1.73	0.41	$\frac{1}{1 + 5.91 \cdot \gamma^{0.758}}$	$\frac{\gamma}{0.0829\gamma + 0.00582} + 1.18$
	f1	32.4+4.02·D	1.66+3.3×10 ⁻³ ·D	0.42	$\frac{1}{1 + 9.27 \cdot \gamma^{0.992}}$	$\frac{\gamma}{0.0438\gamma + 0.0150} + 1.74$
	流動化処理土	380	1.63	0.42	$\frac{1}{1 + 9.63 \cdot \gamma^{1.01}}$	$\frac{\gamma}{0.0798\gamma + 0.0150} + 1.48$
鷹架層	凝灰岩 (~T. M. S. L+23.0m)	538	1.60	0.435	線形	3
	軽石凝灰岩 (T. M. S. L+23m~-18m)	855	1.56	0.407	線形	3
	軽石質砂岩 (T. M. S. L-18m~-70m)	1403	1.77	0.381	線形	3
	細粒砂岩 (解放基盤)	1601	1.85	0.37	線形	3
MMR		9000	2.35	0.167	線形	5

・ Dは深度 (G. L. -m) を示す。

流動化处理土（表層全域）

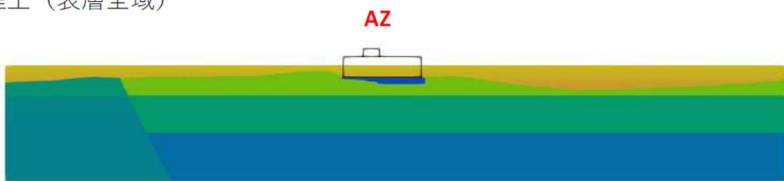


流動化处理土（建屋掘削部）+ 地山（周辺表層）

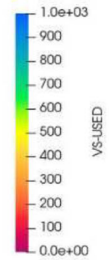


参考 6-2 图(1) AZ 建屋（NS 方向）解析断面 Vs 分布图

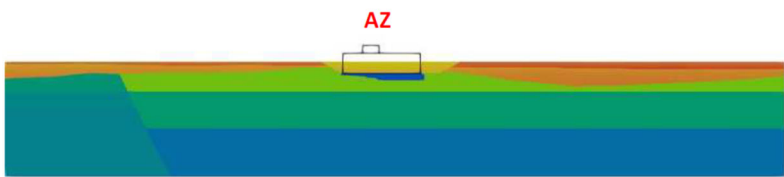
流動化处理土（表層全域）



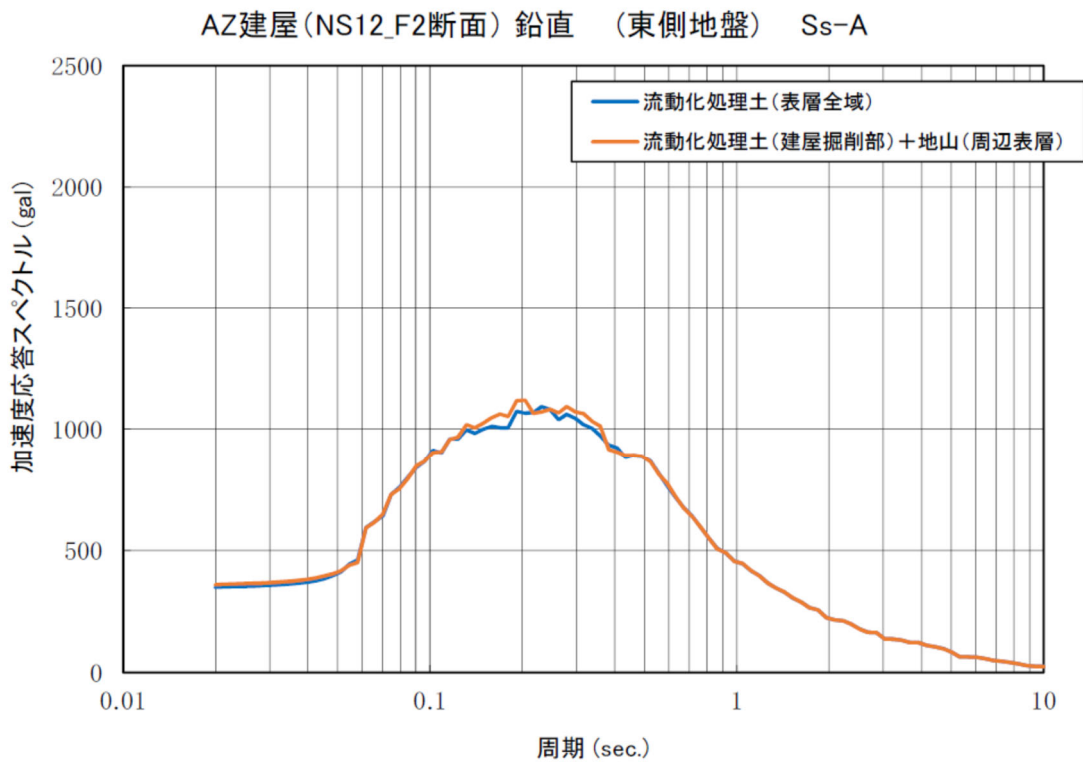
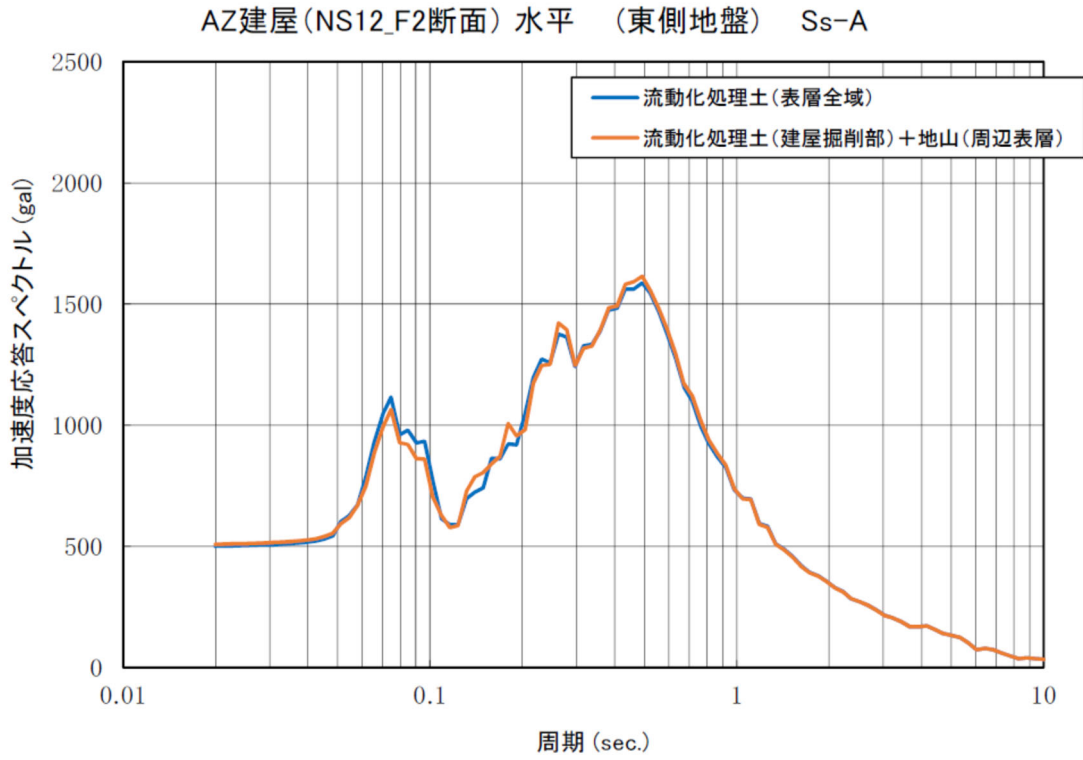
Vs 収束値 (m/s)



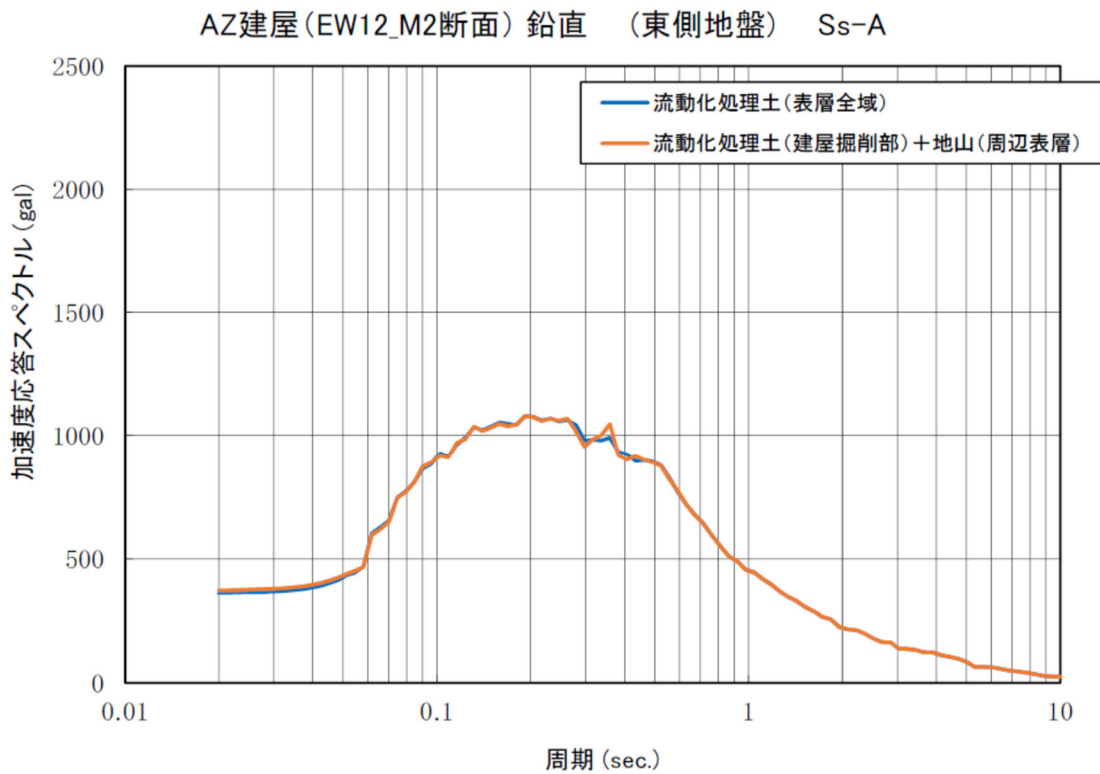
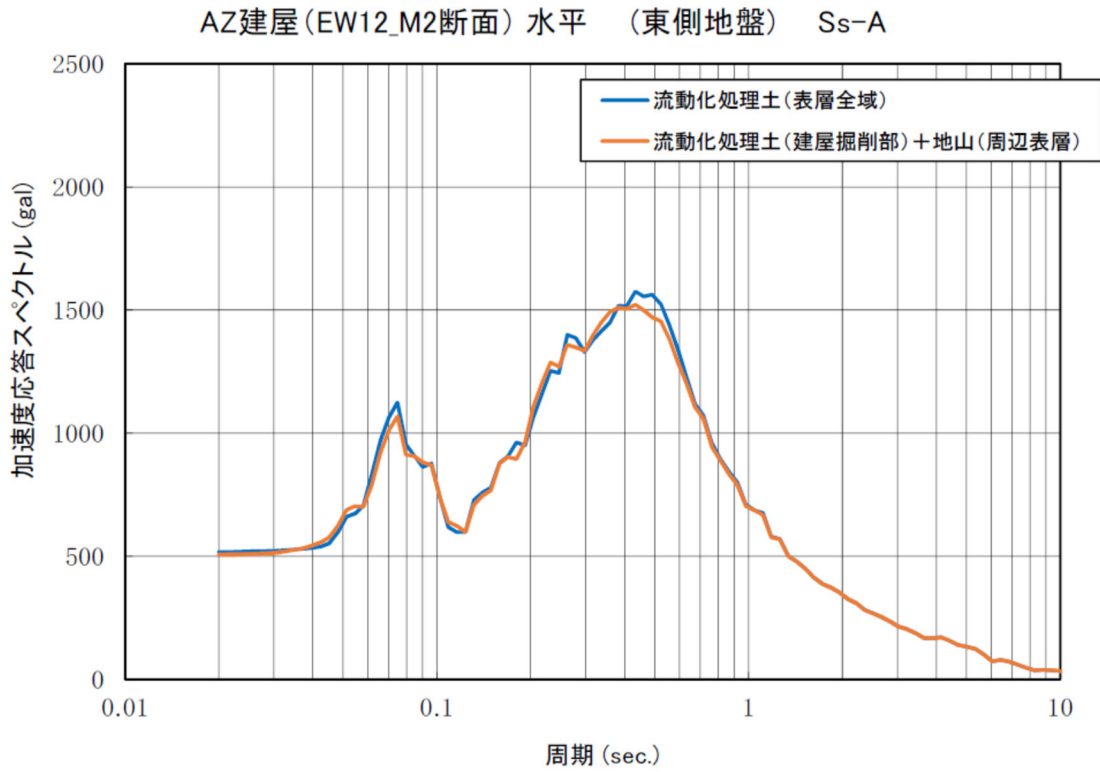
流動化处理土（建屋掘削部）+ 地山（周辺表層）



参考 6-2 图(2) AZ 建屋（EW 方向）解析断面 Vs 分布图



参考 6-3 図(1) AZ 建屋 (NS 方向) 底盤位置の応答スペクトル比較



参考 6-3 図(2) AZ 建屋 (EW 方向) 底盤位置の応答スペクトル比較

別紙 3

基本地盤モデル確度向上のための

追加調査について

- ・本資料は、「別紙 2-3 岩盤部分の減衰定数に係る検討について」及び「別紙 2-4 表層地盤の物性値等に係る検討について」に関し、今後、基本地盤モデルに設定する値に対して確度向上を目的とした追加調査を行うことから、その追加調査の計画について説明するものである。
- ・令和5年7月20日に提出した「追加ボーリング調査の計画について」に対し、ヒアリングにおける指摘事項を踏まえ、記載の見直しを行い、本資料へ反映する。
- ・なお、本資料については、現状の追加調査の計画を示すものであり、追加調査結果が得られた時点で構成含め見直しを行う。