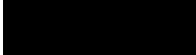


表層地盤の物性値に係る検討について

- 本資料は、4月24日審査会合にて示した、地盤モデルの設定に係る因子のうち、表層地盤（埋戻し土及び流動化処理土）の物性値に係る検討結果を示すものである。
- 文中の下線部はR1からの変更箇所を示す。
- 本資料の内容については、今後、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」への取り込みを検討する。

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	6
2.1.3 埋戻し土の均質性について	8
2.1.4 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	12
2.1.5 まとめ	15
2.2 物性値の不確実性に関するパラメータスタディ	16
2.2.1 ばらつきを有する表層地盤の加速度応答	16
2.2.2 ばらつきを有する地盤の実現象範囲	19
2.2.3 まとめ	21
2.3 埋戻し土の物性設定のまとめ	22
3. 流動化処理土の物性に係る検討	23
3.1 均質性及び物性値設定について	23
3.1.1 流動化処理土の施工管理状況及び均質性	23
3.1.2 流動化処理土の物性値設定について	27
3.2 流動化処理土の物性設定のまとめ	28
4. 表層地盤のまとめ	29

 : 商業機密の観点から公開できない箇所

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。

当該地点の建物・構築物は、施設の特徴から建屋間の連携をとるために、複数の建物・構築物を同時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、建物近傍の排水を目的として、砂質土としての特性を維持するために、十分な品質管理の下で施工が実施されている。このことから、一般的な考え方に基づくデータの整理にあたっては、埋戻し土の施工プロセスや品質管理条件にも着目して実施する。

表層地盤は人工材料であることから、一定の品質管理のもとで均質に施工されれば、広範囲のエリアに同一の物性値を用いることができ、複数のボーリング孔から得られる統計的に信頼できる物性値を設定できるものと考えられる。

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

埋戻し土は、第 2.1.1-1 図に示すとおり、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、第 2.1.1-1 表に示す材料基準、施工手順及び管理基準により実施され、品質管理記録により施工時の品質(管理基準値)を確認している(参考1)。

埋戻し土の施工については、敷地における掘削土を段丘砂又は六ヶ所層の砂及び鷹架層掘削に伴う岩ズリに対し、土質性状に応じて粒度毎に仮置きし、水分調整及び粒度調整をして混合する手法(ストックパイル方式)により施工している。

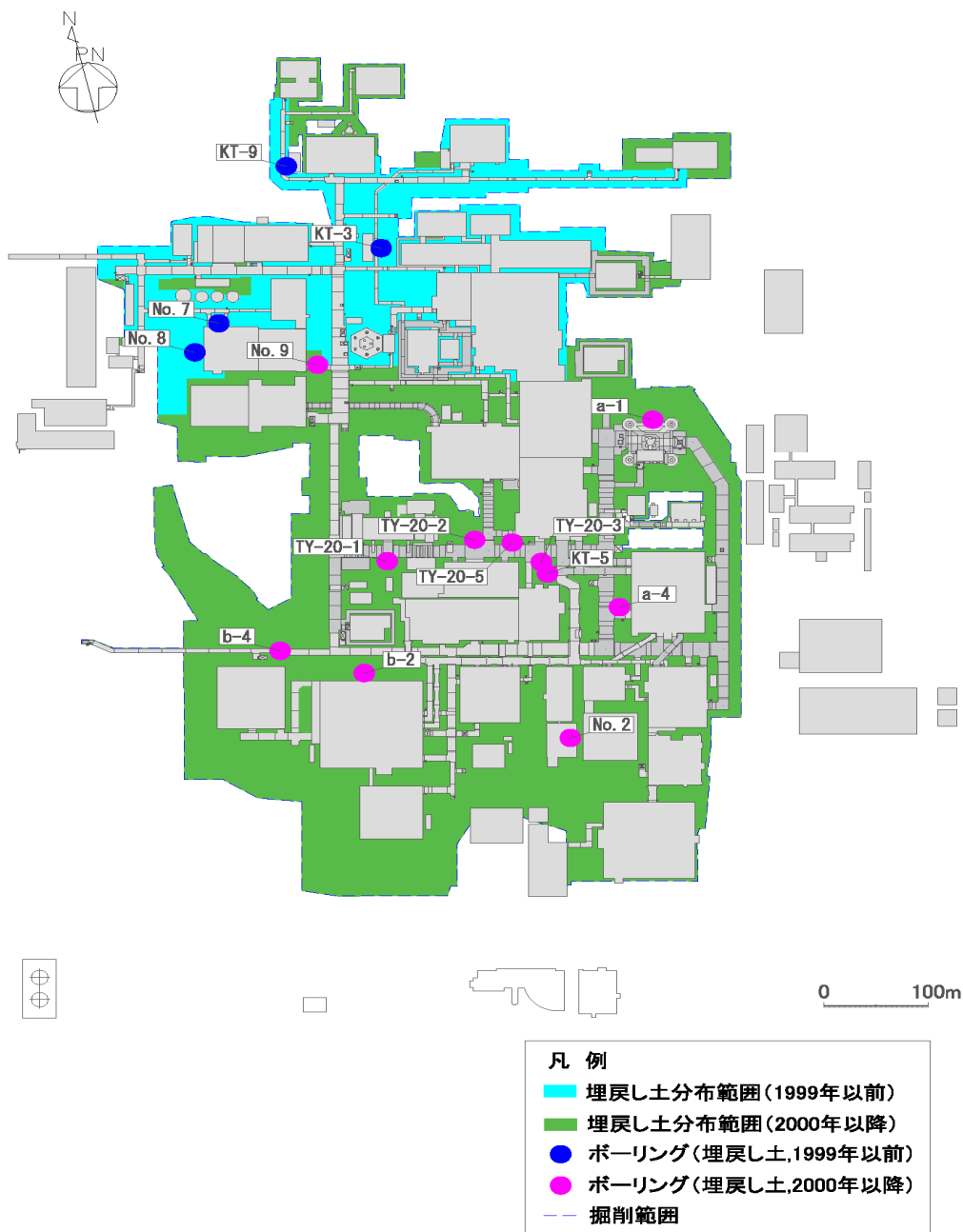
まず、ストックパイルヤードにおいては、掘削土等をバックホウにより混合・攪拌することで粒度調整される。建設工事の進捗に応じ、埋戻し土を対象箇所付近に運搬・仮置きし、場内小運搬により当該所定の場所に設置される。撤出し及び転圧にあたっては、工事着手前の試験施工によって確認された撤出し厚さ及び転圧回数の基準を定め、たうえで施工している。また、敷地内の埋戻し施工については、第 2.1.1-1 表の施工プロセスによるものとなっているが、品質管理においては、1999 年以前はポータブルコーン試験による貫入抵抗、2000 年以降は締固め度により、施工結果を確認している。

1999 年以前の埋戻し土については、敷地北側のエリアにおいて撒き出した各層毎にコーン貫入試験を実施しており、一軸圧縮試験で得られる一軸圧縮強度 qu と同等の評価ができるコーン貫入抵抗により管理を行っている。2000 年以降は、敷地南側のエリアにおいて締固め度 $D_c=90\%$ 以上を締固め仕様として管理を行っている。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、既定の撤出し厚における振動ローラ、ブルドーザ等による転圧が行われ、品質記録の確認により土質材料として十分に締め固まった品質が確保されている。

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、 $\tau = qu/2 = 0.2/2 = 0.1\text{MPa}$ となる。第 2.1.1-2 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 2.1.1-2 図に示すとおり、1999 年以前と 2000 年以降で同様な値となっている。

なお、砂質土における強度特性と締固め度の関係(第 2.1.1-1 表※2)に基づけば、 $qu=0.2\text{MPa}$ から換算されるせん断抵抗角 ϕ は 36° となり、せん断抵抗角と締固め度の関係式より、締固め度 96% 程度の値が得られる。先の第 2.1.1-2 図に示した当該地点の埋戻し土のせん断抵抗角 ϕ も 37° の値が得られていることから、1999 年以前の締固め度は 90% 以上が維持されているものと言える。

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、埋戻し土は均質となるよう管理されていると考える。



注 建物・構築物と重なるボーリング孔については、当該建物・構築物の設置前にボーリング調査を実施している。

第 2.1.1-1 図 埋戻し土の施工範囲及び施工年代平面図

第 2.1.1-1 表 埋戻し土の密度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> <pre> graph TD A[混合・攪拌 (バックホウ)] --> B[積込・運搬 (バックホウ・ダンプ)] B --> C[埋戻し箇所付近] C --> D[現場仮置き] D --> E[小運搬 (バックホウ・ダンプ)] E --> F[投入 (バックホウ・クラムシェル)] F --> G[撒出し・数均し (ブルドーザ)] G --> H[転圧 (振動ローラ、タンバ)] H --> I[次工程引渡し] </pre> <p>(品質管理) 最大乾燥密度 最適含水比</p> <p>(品質管理) 撒出し厚さ</p> <p>(品質管理) ポータブルコーン貫入試験 転圧回数</p>	<p>ストックパイルヤード</p> <pre> graph TD A[混合・攪拌 (バックホウ)] --> B[積込・運搬 (バックホウ・ダンプ)] B --> C[埋戻し箇所付近] C --> D[現場仮置き] D --> E[小運搬 (バックホウ・ダンプ)] E --> F[投入 (バックホウ・クラムシェル)] F --> G[撒出し・数均し (ブルドーザ)] G --> H[転圧 (振動ローラ、タンバ)] H --> I[次工程引渡し] </pre> <p>(品質管理) 細粒分含有率Fc = 30%以下 最大粒径:150mm以下 最大乾燥密度 最適含水比</p> <p>(品質管理) 撒出し厚さ</p> <p>(品質管理) 締固め度 転圧回数</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 90% 以上 ^{**2})	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。

※2 $q_u = 0.2\text{MPa} = 200\text{kN/m}^2$ から「地盤調査の方法と解説」(社)地盤工学会, 平成 25 年 3 月 25 日発行, p.308」より, 一軸圧縮強度 q_u を N 値に換算すると,

$$N = q_u / 12.5 = 200 / 12.5 = 16$$

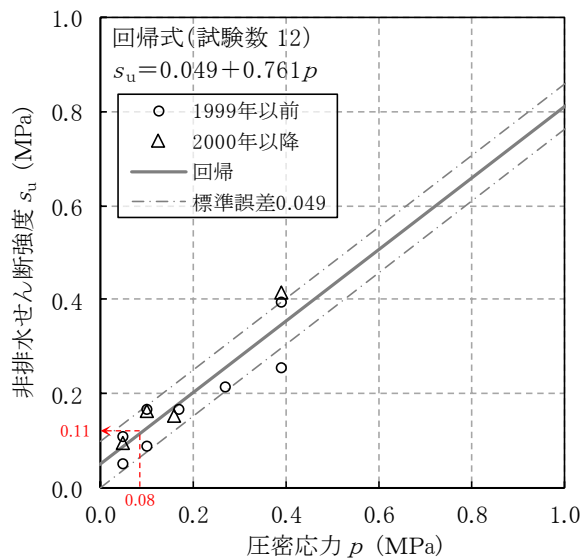
「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編」(社)日本道路協会, 平成 29 年 11 月, pp.536-537」より, せん断抵抗角 ϕ を算定すると,

$$\phi = 4.8 \log_e(170N / (\sigma'_v + 70)) + 21 = 4.8 \log_e(170 \times 16 / (50 + 70)) + 21 = 35.98 \approx 36^\circ$$

(原位置の σ'_v が $\sigma'_v < 50\text{kN/m}^2$ である場合には, $\sigma'_v = 50\text{kN/m}^2$ として算出する。)

せん断抵抗角 ϕ ($^\circ$) と締固め度 D_c (%) の関係より,

$$Dc = \log_e(\phi / 6.42) / 0.018 = \log_e(36/6.42) / 0.018 = 95.78 \approx 96\% \geq 90\%$$



第 2.1.1-2 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)

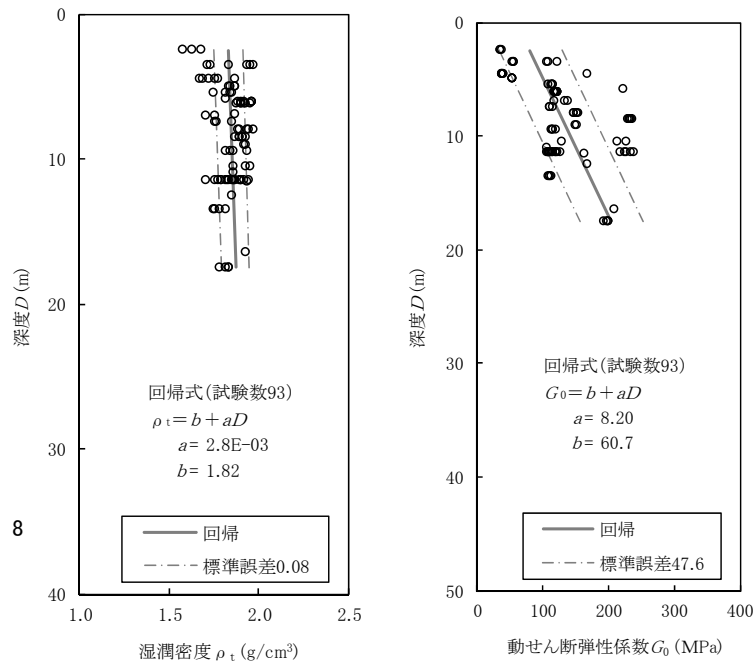
2.1.2 埋戻し土の物性値設定について

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2に示す。

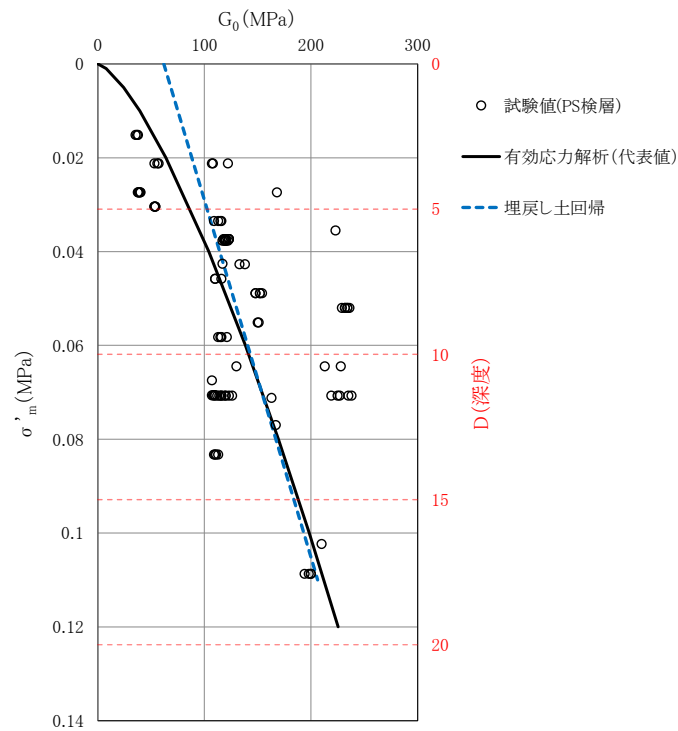
埋戻し土のせん断波速度 (V_s) は、深くなるとおおむね大きくなる傾向を示しており、土質材料の力学特性における拘束圧依存と整合する結果を示している。第 2.1.2-1 図に埋戻し土の解析用物性値のうち、湿潤密度（以下、 ρ_t という。）と動せん断弾性係数（以下、 G_0 という。）を示す。いずれも深度方向に物性値が増加しており、深度方向依存の 1 次回帰により整理できる。 G_0 については、 $G_0 = \rho_t \cdot V_s^2$ で与えられることから、参考2に示した埋戻し土の V_s が一定であっても ρ_t が深度依存していれば、 G_0 は深度依存することとなる。

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（湿潤密度と動せん断弾性係数に深度方向依存を考慮した回帰式）を適用している。

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 関数型指定) 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 2.1.2-1 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 2.1.2-2 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

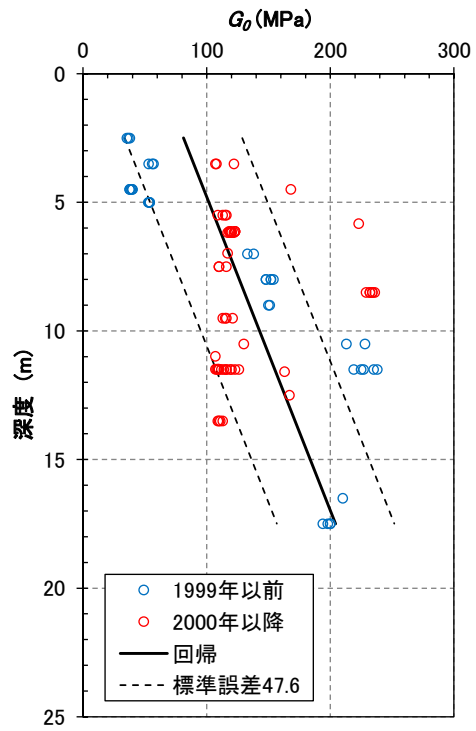
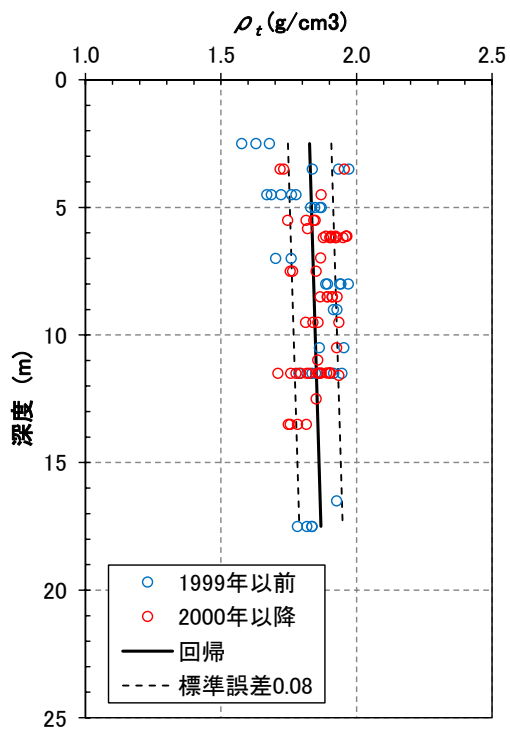
当該地点の埋戻し土は、敷地内北側が1999年以前、敷地内中央部から南側にかけて2000年以降に施工しており、施工時期から大別すると前者が1994年～1996年の3年間、後者が2000年～2003年の4年間で主要な埋戻し工事を実施している。この施工時期の違いに基づき、埋戻し土の物性値 (ρ_t , G_0) を施工年代別に分類したものを第2.1.3-1図に示す。図によれば、 ρ_t 及び G_0 の分布は青色の1999年以前と赤色の2000年以降で同様のばらつきの範囲に入っていることがわかる。

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 V_s を用いて施工年代別の V_s 分布の整理を実施した。

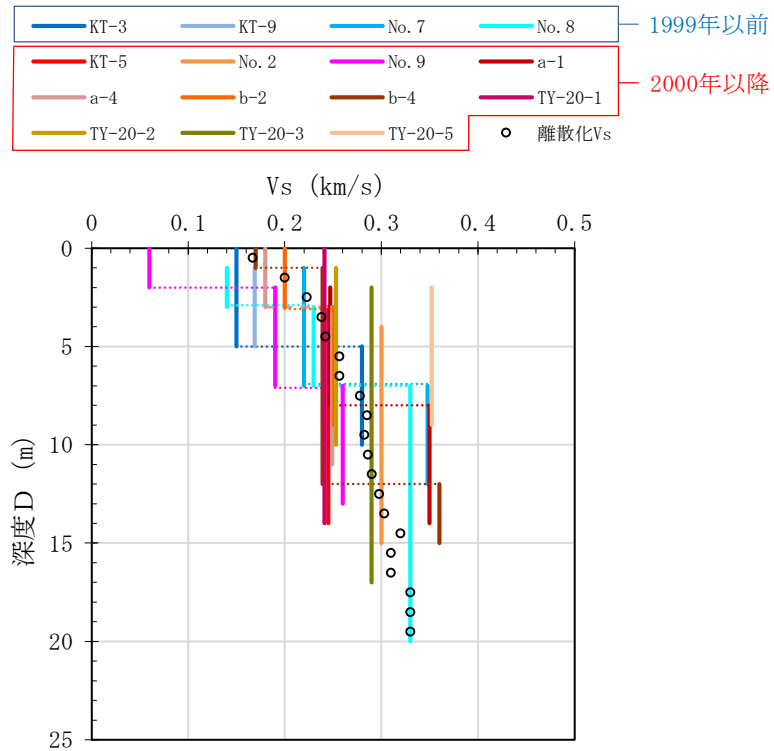
埋戻し土の V_s について、参考2の埋戻し土の柱状図から全ボーリング孔(15孔)及び施工年代別に整理した結果を第2.1.3-2図及び第2.1.3-3図に示す。なお、図中には、深度1m区間ごとの V_s (離散化 V_s と呼ぶ)の平均値を○印で示している。

ここで、先の第2.1.3-1図に示した ρ_t の回帰平均を用いて離散化 V_s の平均から補完した両年代の G_0 (補完 G_0 と呼ぶ)を比較し、第2.1.3-4図に示す。図には、1999年以前、2000年以降の補完 G_0 の値を●印、補完 G_0 の深度回帰をそれぞれ青線と赤線で示す。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、黒破線で示している。

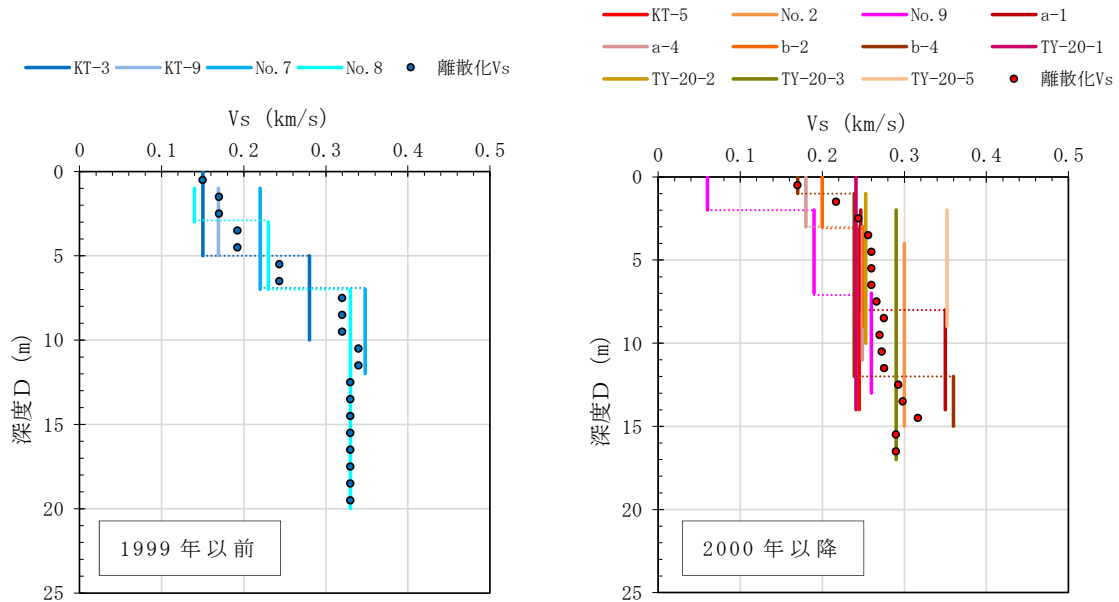
図によれば、1999年以前、2000年以降の G_0 の分布には、それぞれ若干異なった傾向(深度依存勾配)を示すものの、それぞれの G_0 回帰は、計測データセットから得られた標準誤差($\pm 1\sigma$)範囲に収まっており、平均値として設定できるものと考えられる。



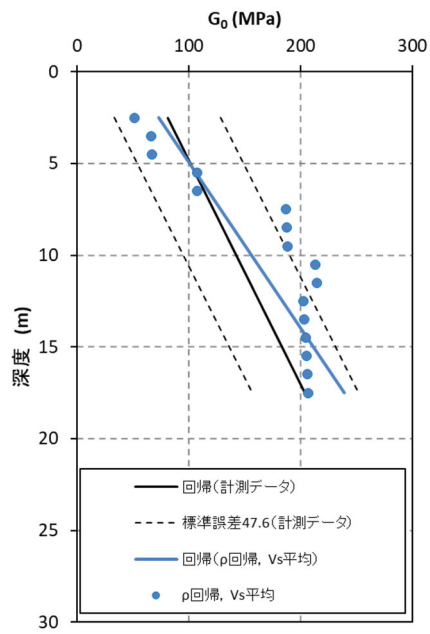
第 2.1.3-1 図 施工年代別の物性値 (ρ_t , G_0)



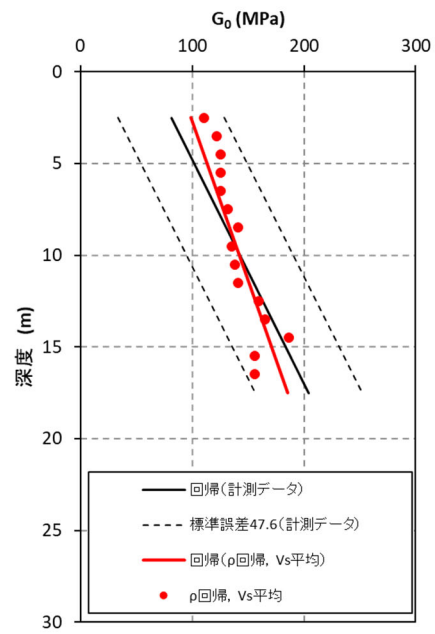
第 2.1.3-2 図 ボーリング柱状図による V_s と離散化 V_s (全 15 孔)



第 2.1.3-3 図 施工年代別の V_s と離散化 V_s



1999 年以前



2000 年以降

第 2.1.3-4 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

2.1.4 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、

$$AIC = n \ln(2\pi\sigma^2) + 2k = n \ln \sigma^2 + 2k + n \ln 2\pi$$

$$AIC = n \ln \sigma^2 + 2k$$

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。

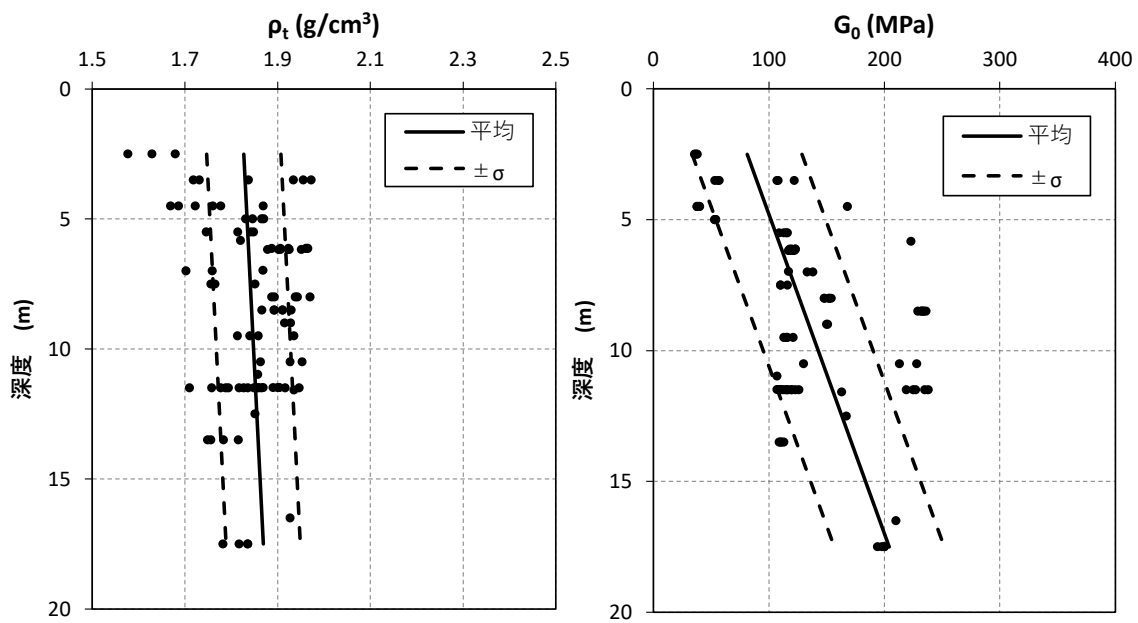
先述したように、パラメータを多くすると残差平方和を小さくできるが、統計的モデリングにおいてはバランスが重要であり、誤差が同じ程度なら予測値との乖離を少なくするにはパラメータ数の少ないモデルを選ぶべきである。

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。

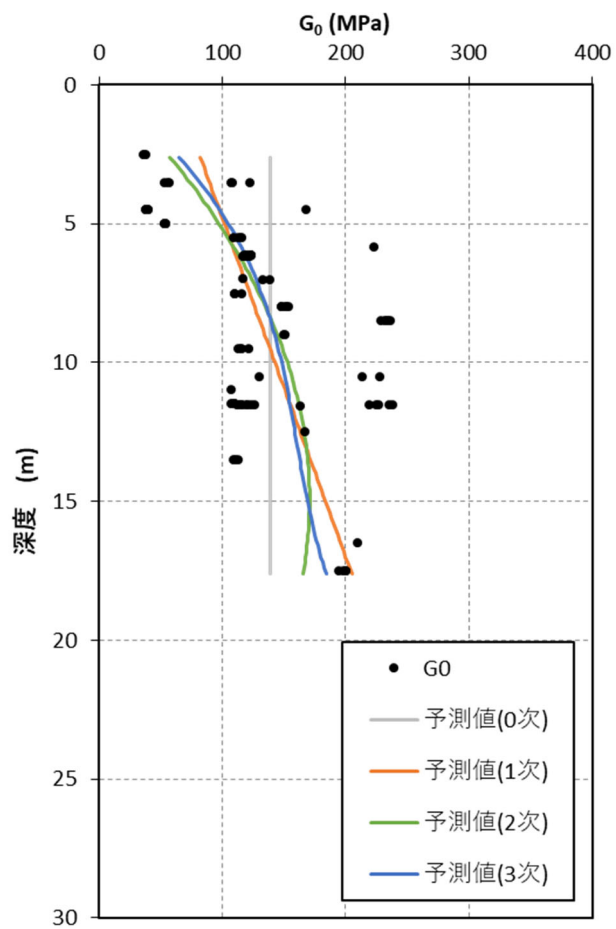
第2.1.4-1図（第2.1.3-1図の主要箇所拡大図）に、埋戻し土の動的変形特性として用いる ρt 、 G_0 の深度分布と深度依存回帰式を示す。第2.1.4-2図に既往データの0次（平均）、1次関数回帰、2次関数回帰のフィッティングと回帰式（最小二乗法）を示す。数値統計学的なフィッティングの良否を定量的に評価するため、第2.1.4-3図に各次数に対するAIC（オレンジ線）と残差平方和（青線）を示す。AICは、0次（平均）に比べると1次回帰で大きく減少し、2次、3次と次数が増えるのに伴い緩やかに減少する。誤差（残差平方和）が同程度であれば、パラメータの少ないモデルが適切と考えられる。

（参考文献）*1:情報量規準；小西貞則，北川源四郎，予測と発見の科学，朝倉書店

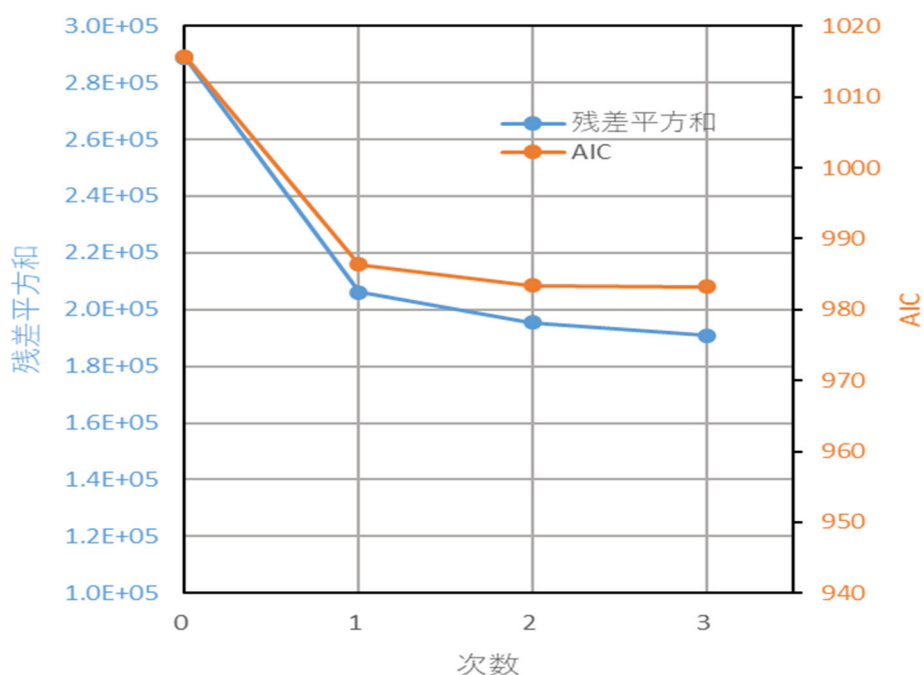
*2:AIC(赤池情報量規準)を学ぶ；唐沢好男，デジタル移動通信の電波伝搬基礎 補足資料 YK-048, 2020.



第 2. 1. 4-1 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. 1. 4-2 図 動せん断弾性係数 G_0 の任意次数回帰



第 2.1.4-3 図 既往データによる AIC の算定結果 (AIC・残差～次数関係)

2.1.5 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。

また、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。

2.2 物性値の不確実性に関するパラメータスタディ

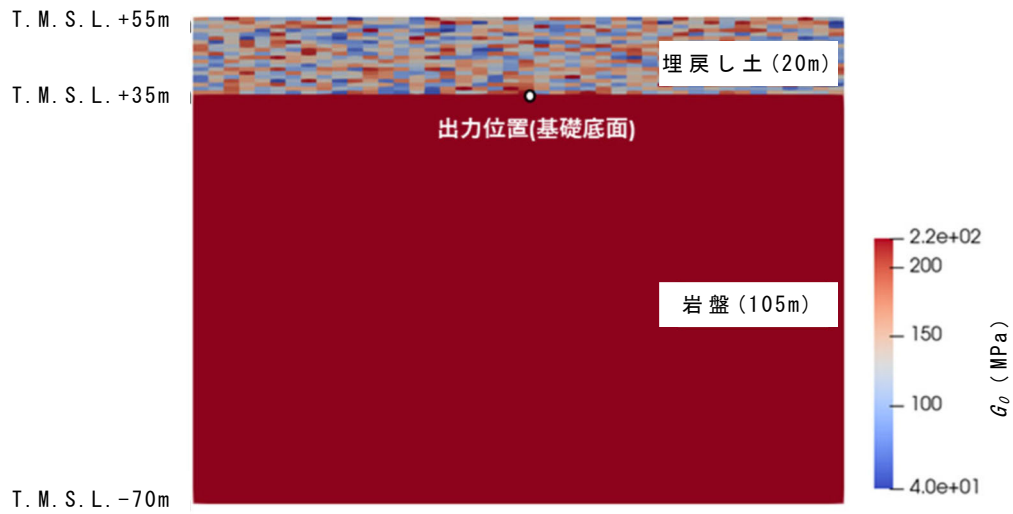
2.2.1 ばらつきを有する表層地盤の加速度応答

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，第2.2.1-1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第2.2.1-1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。

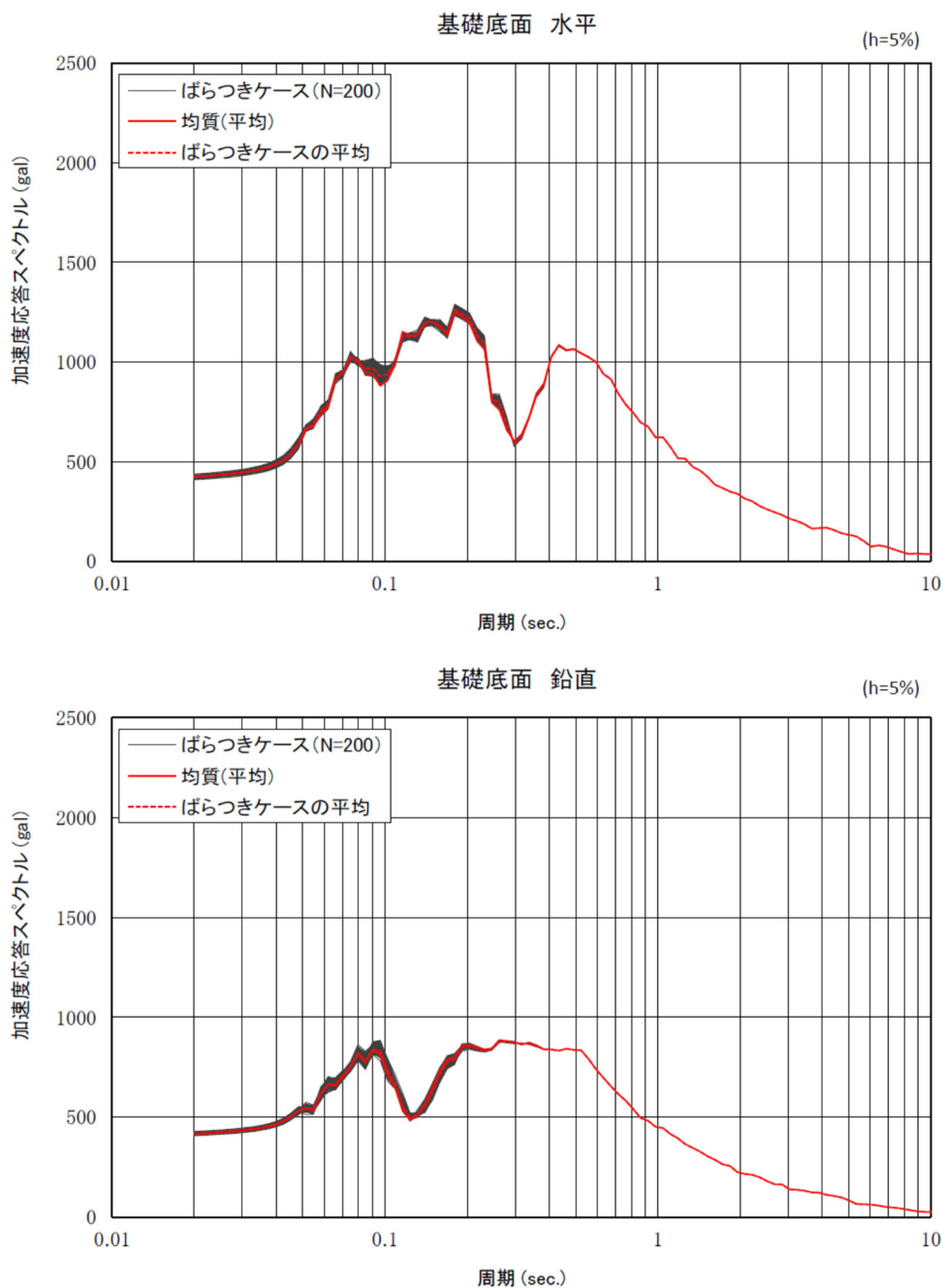


第2.2.1-1図 解析モデル図（深度方向依存なし）

第2.2.1-1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、第2.2.1-2図に岩盤上限面（第2.2.1-1図における出力位置）の加速度応答スペクトルを示す。第2.2.1-1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。

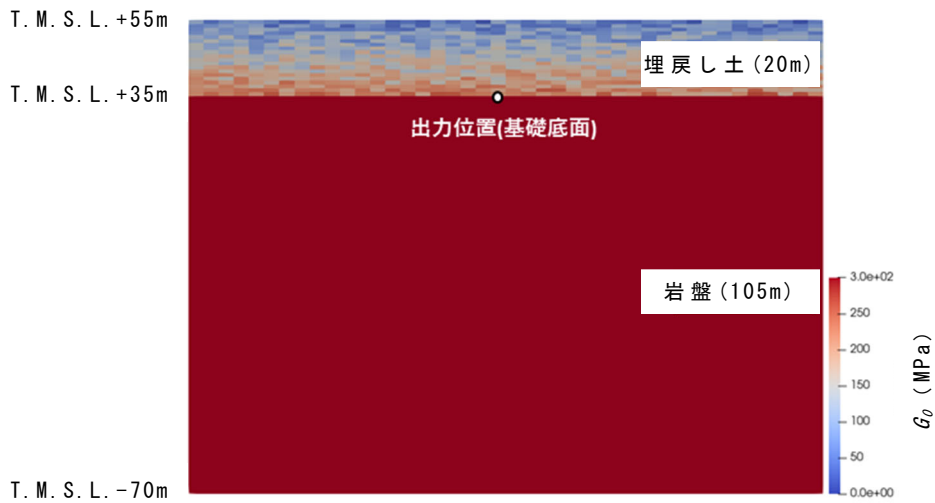


第2.2.1-2図 モンテカルロシミュレーションにおける加速度応答スペクトル

2.2.2 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。第2.2.2-1図に解析モデル図、第2.2.2-1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



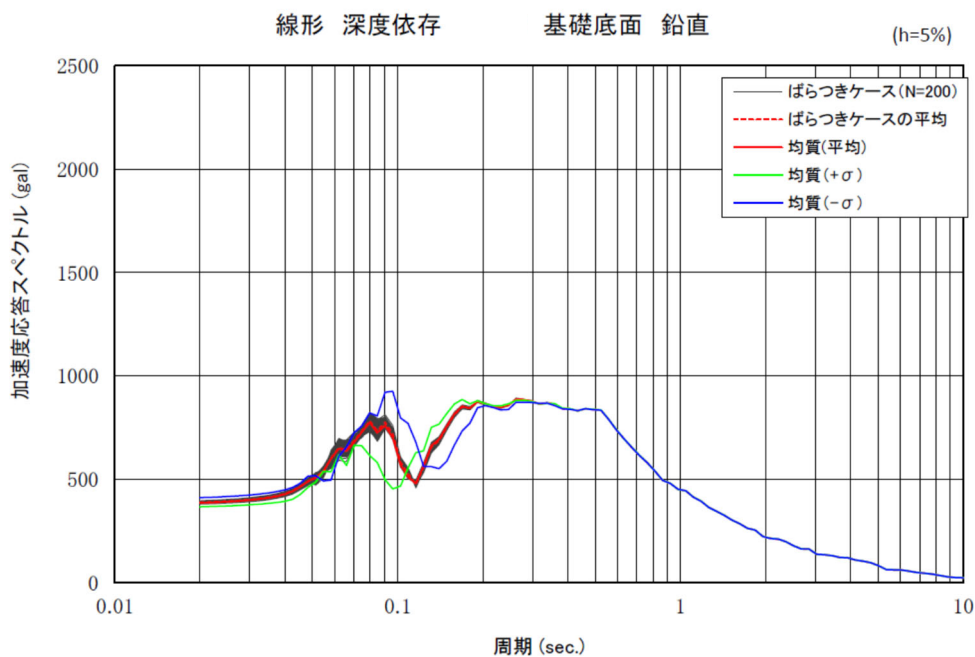
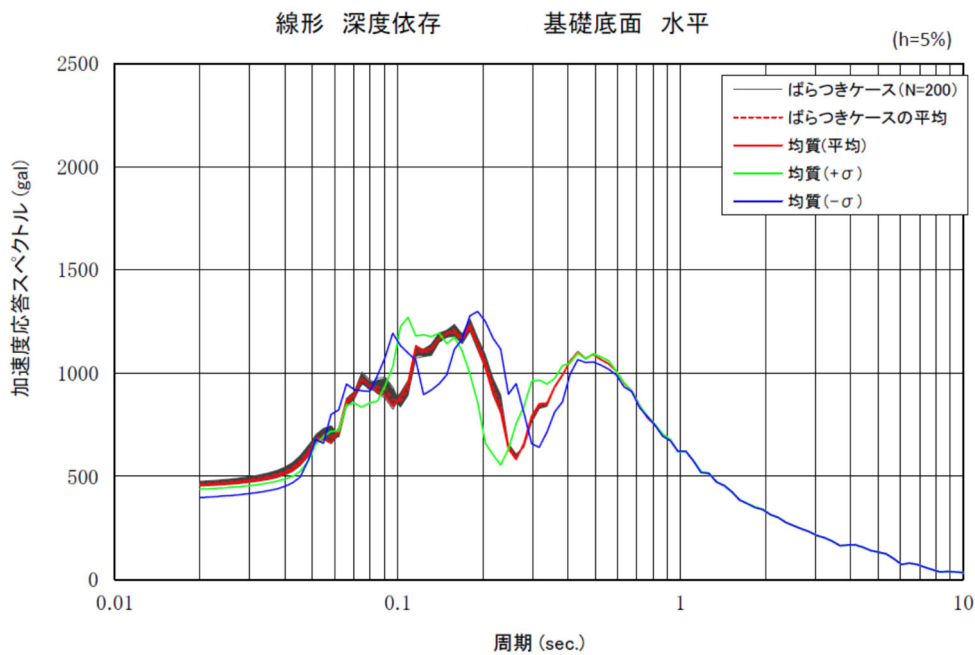
(2) 深度方向依存平均モデル例 (+1 σ)

第2.2.2-1図 解析モデル図（深度方向依存考慮）

第2.2.2-1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)	$G_0 = 60.7 + 8.20D$ (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、第2.2.2-2図に岩盤上限面（第2.2.2-1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。



第2.2.2-2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

2.2.3 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。

2.3 埋戻し土の物性設定のまとめ

- 埋戻し土は、一定の品質管理の下で施工されていることが確認できたことから、全エリアのボーリングデータを統計的に扱って得られる同一の物性値を用いることが適切である。
- 物性値は、平均値よりも1次の深度依存回帰を用いる方が予測モデルとしては適切である。
- 均質であることが確認された物性値のばらつきは、平均値 $\pm 1\sigma$ に包含される。

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、第 3.1.1-1 図に示すとおり、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おり、第 3.1.1-1 表に示す品質管理基準により実施され、品質管理記録により施工時の品質（強度仕様）を確認している（参考 3）。

第 3.1.1-1 表 流動化処理土の密度及び力学特性に係る品質管理一覧

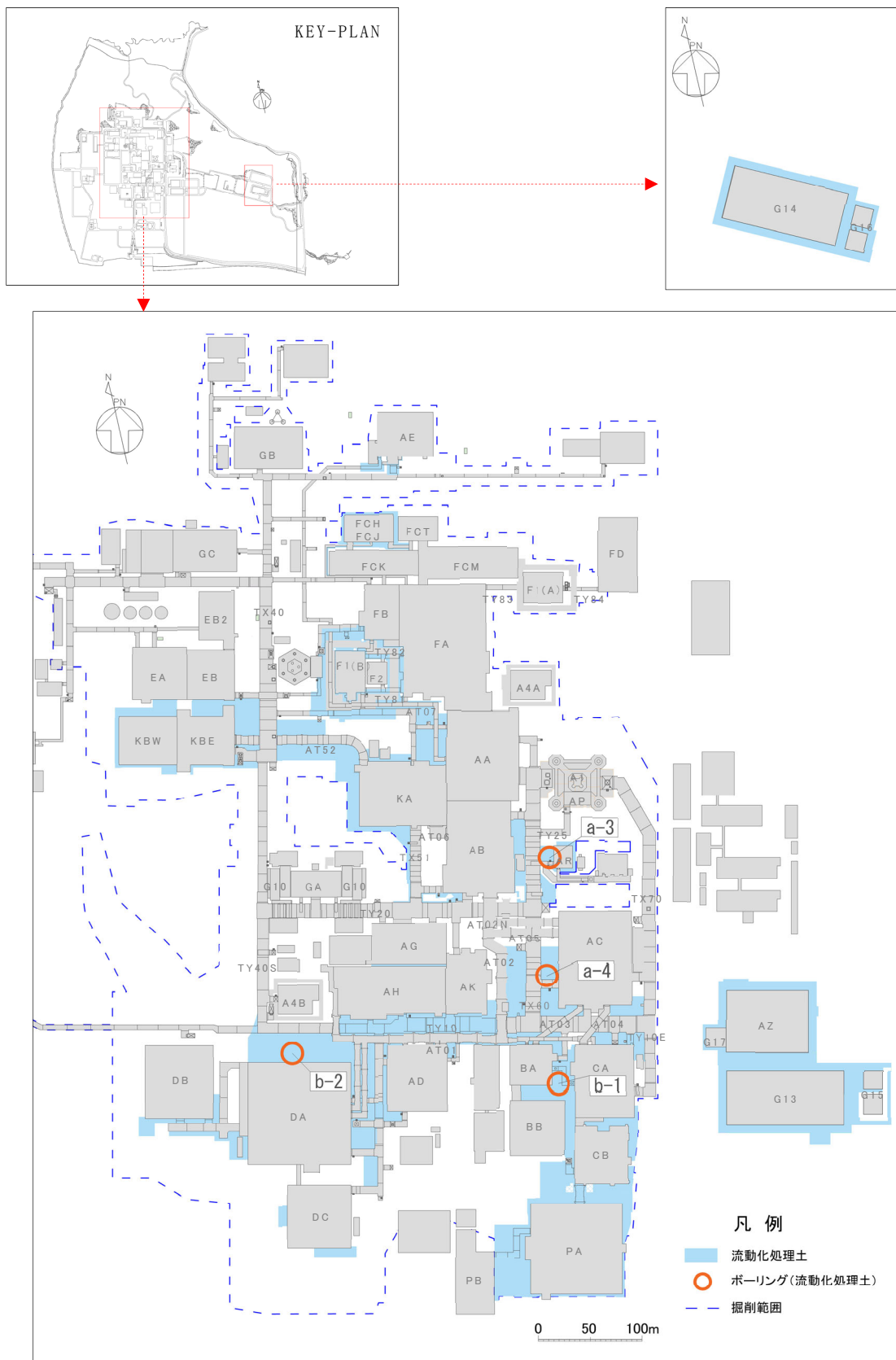
対象箇所	材料基準	強度仕様
流動化処理土	使用材料：六ヶ所層 セメント添加：75～95kg/m ³ 程度	$q_u \geq 3.0\text{kgf/cm}^2 \approx 0.3\text{MPa}$

第 3.1.1-1 図の施工範囲位置図に流動化処理土の PS 検層ボーリング孔位置を示す。なお、先に示した埋戻し土の第 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。

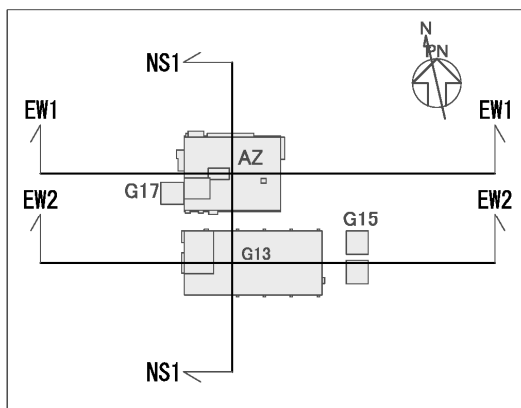
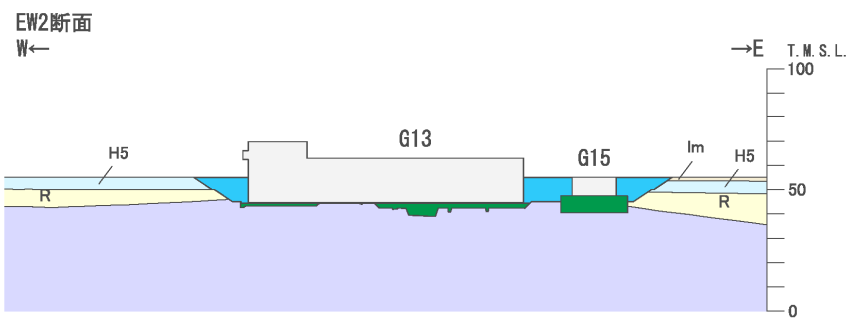
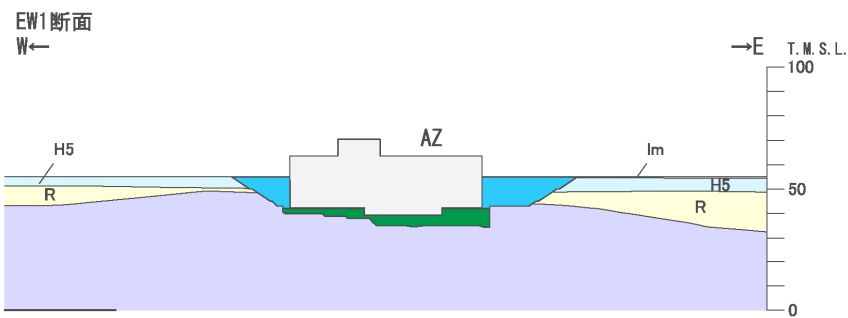
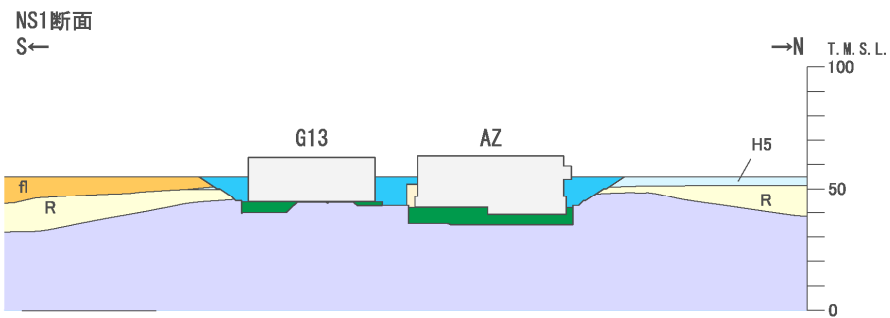
流動化処理土の施工については、施設近傍のクレーン架台基礎及び狭隘部施工あるいは架台埋戻しを目的としているため、掘削した六ヶ所層にセメントを 75～95kg/m³程度添加させた置換工法を採用している。

品質管理として、一軸圧縮強度 q_u が 3.0kgf/cm²（ $\approx 0.3\text{MPa}$ ）以上になるよう管理が行われており、均質な人工材料である。

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）の周囲にある表層の配置断面図を第 3.1.1-2 図に示す。各建屋の周辺は、地山掘削が行われ、建物・構築物が建設された後に流動化処理土による埋戻しが行われている。これらの地盤モデルの設定にあたっては、これらの地盤状況を考慮して設定する。



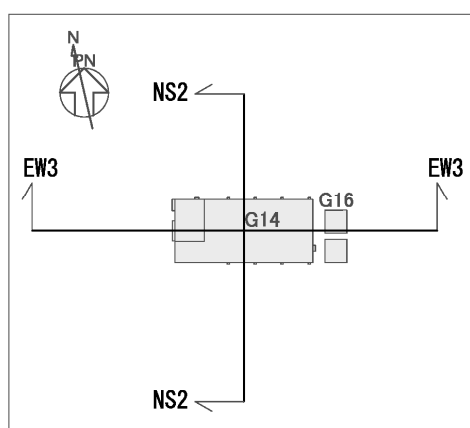
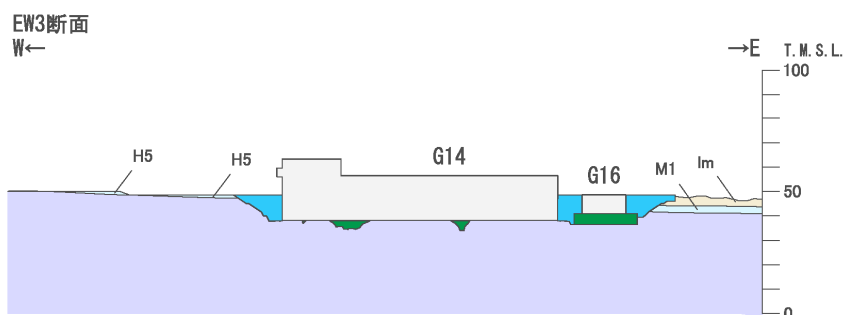
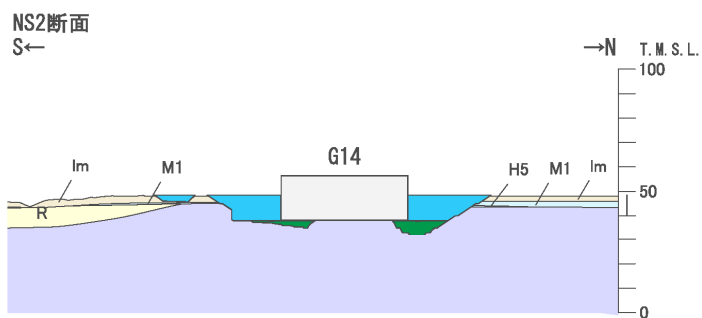
第 3.1.1-1 図 流動化処理土の施工範囲位置図



凡 例

bk	埋戻し土	流動化処理土
fl	造成盛土	MMR
al	沖積低地堆積層	改良地盤A
lm	火山灰層	改良地盤B
H5	高位段丘堆積層	蛇巻基礎
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
腐架層		

第 3.1.1-2 図(1) 建物・構築物の周囲にある表層の配置断面図 (AZ・G13)



凡 例

bk	埋戻し土		流動化処理土
fl	造成盛土	bk	MMR
al	沖積低地堆積層		改良地盤A
lm	火山灰層		改良地盤B
Hs	高位段丘堆積層		電巻基礎
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		

第 3.1.1-2 図(2) 建物・構築物の周囲にある表層の配置断面図 (G14)

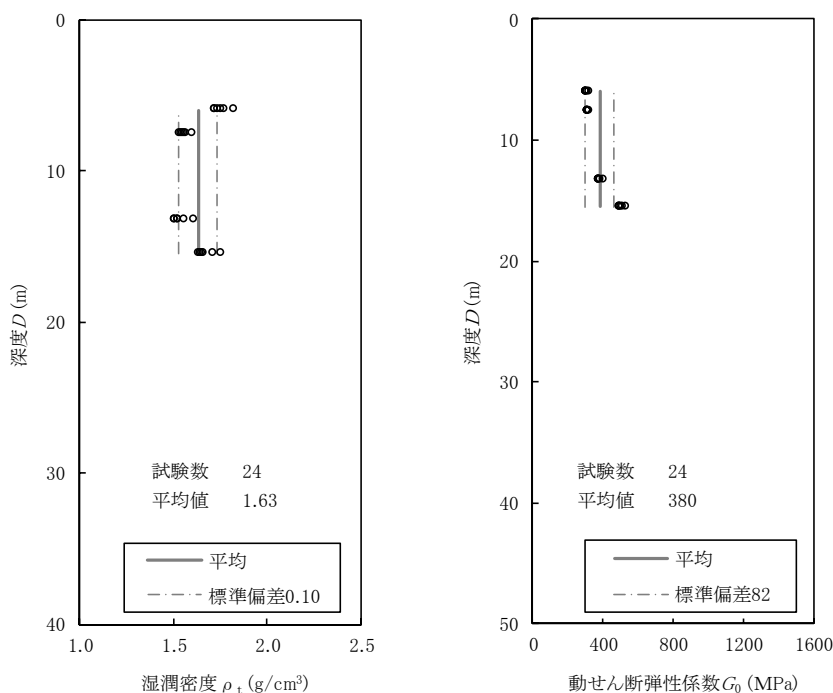
3.1.2 流動化処理土の物性値設定について

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4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、見かけでは深度依存を示しているが工学的には一定値を取るべきと考えられ、第3.1.2-1図に示すように、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

- ・流動化処理土は，一定の品質管理の下で施工されていることが確認できたことから，計測されたボーリングデータに基づき得られた同一の物性値を用いることが適切である。

4. 表層地盤のまとめ

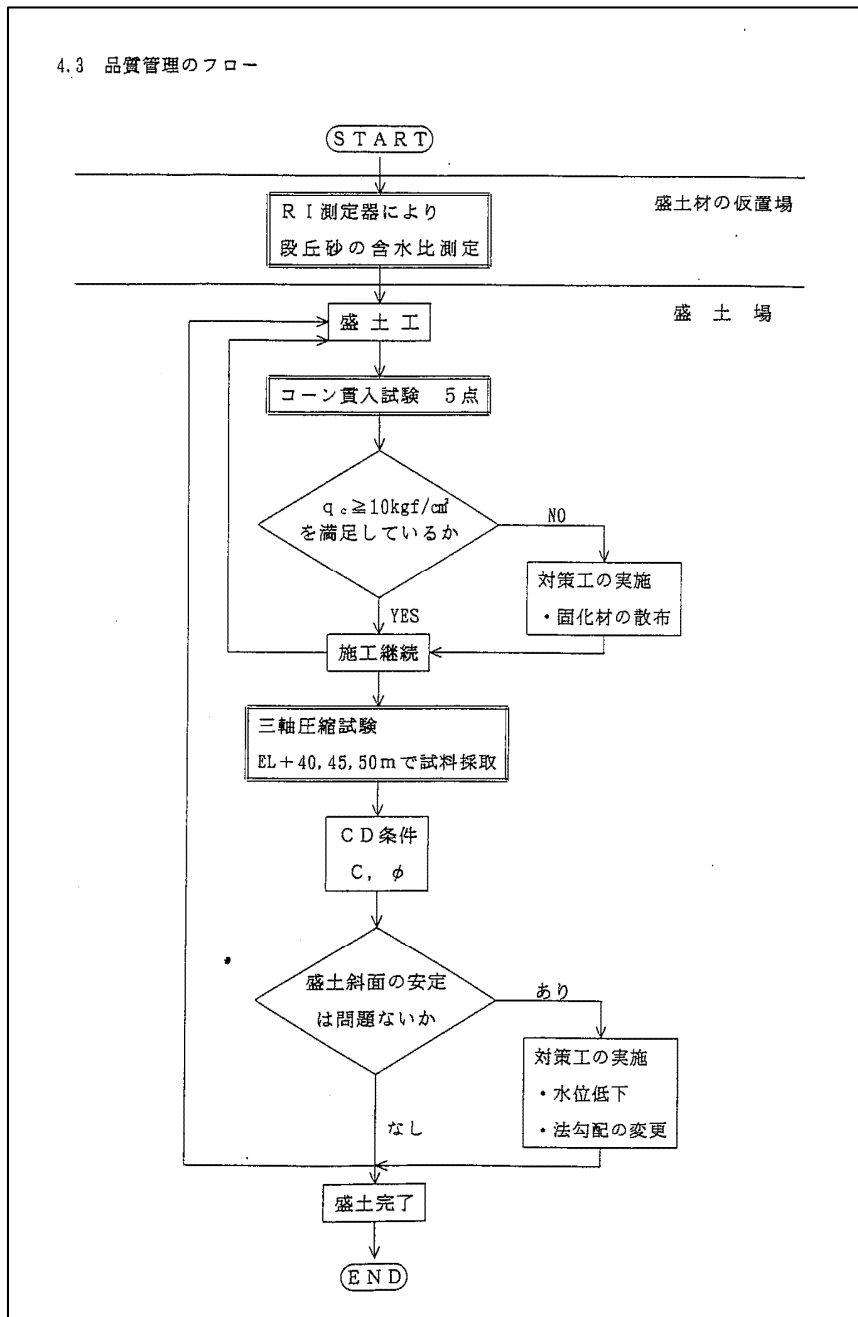
本資料においては、一般的・標準的な手法による表層地盤の物性値等を設定した。今後、基本地盤モデルの設定にあたっては、上記の設定結果を用いる。また、基本地盤モデルの設定においては、一部建屋において、実際に表層地盤に埋め込まれているものの、埋め込みを考慮していない建屋については、埋め込みを考慮した状態で設定する。

参考 1

埋戻し土の施工に係る品質管理について

本編 2.1.1 埋戻し土の施工管理状況及び均質性の検討における品質管理要領及び品質管理記録を施工年代別に参考 1-1 図～参考 1-4 図のとおり示す。

4.3 品質管理のフロー



参考1-1図 1999年以前の品質管理要領

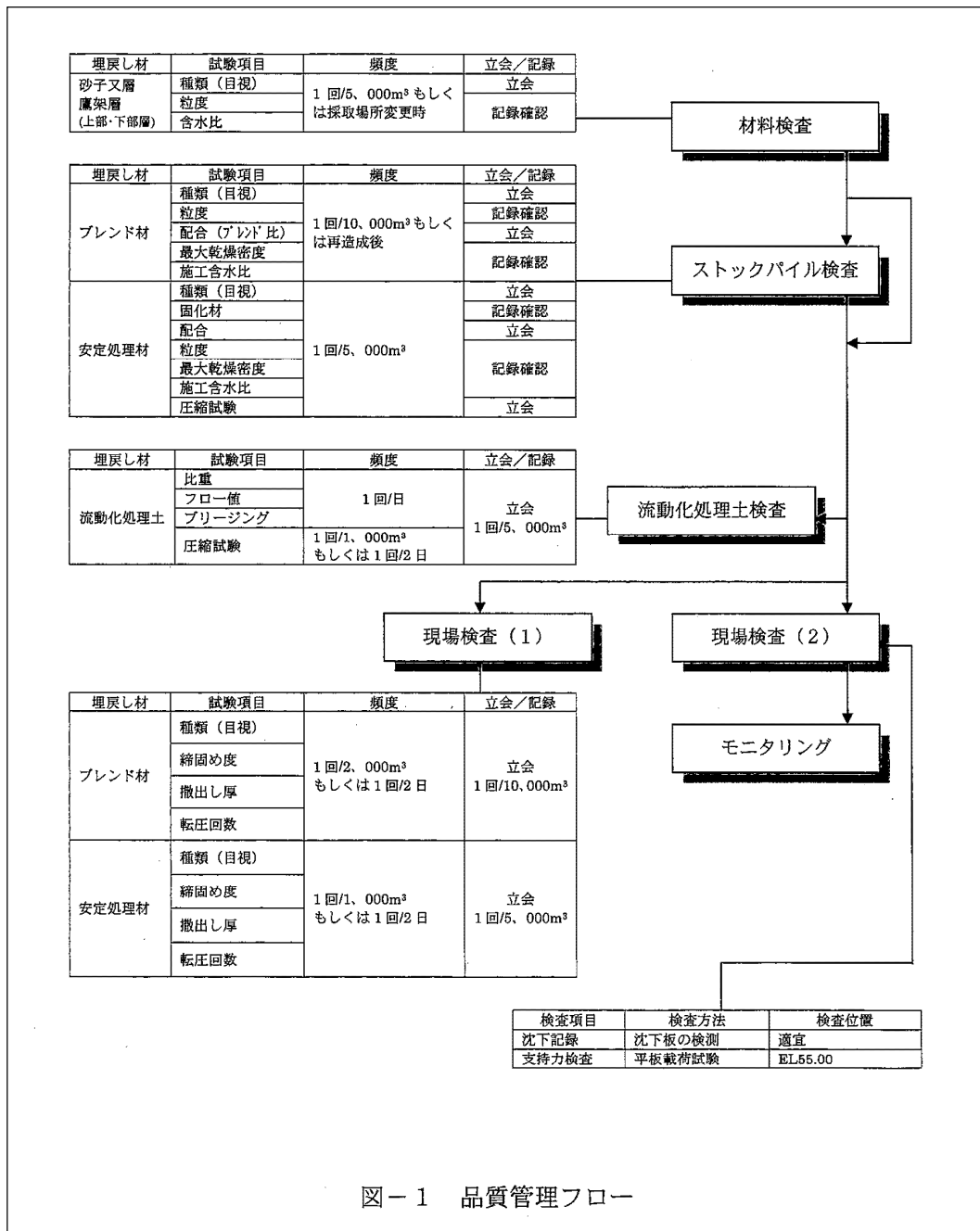


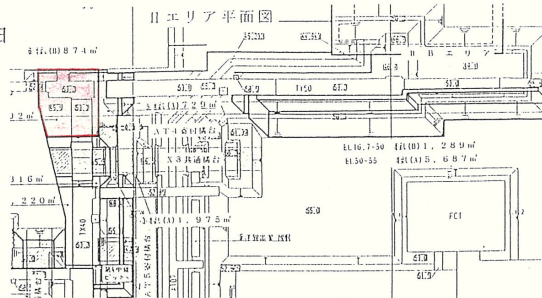
図-1 品質管理フロー

参考1-2図 2000年以降の品質管理要領

コーンペネトロメーターによる貫入試験

測定年月日 : 平成 7年 7月17日
 測定者 : XXXXXXXXXX

先端コーン(小) : 3.24cm²
 先端コーン(大) : 6.45cm²
 リング係数 : 0.4269



II - (A) 5層目

測定回数 1				測定回数 2				測定回数				
貫入量	検力計	荷重	コーン指数	貫入量	検力計	荷重	コーン指数	貫入量	検力計	荷重	コーン指数	
cm	1/100 _m	kgf	kgf/cm ²	cm	1/100 _m	kgf	kgf/cm ²	cm	1/100 _m	kgf	kgf/cm ²	
0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	
5	41.0	17.5	5.4	5	47.0	20.1	6.2	5	44.0	18.8	5.8	
10	63.0	26.9	8.3	10	70.0	29.9	9.2	10	66.5	28.4	8.8	
15	108.0	46.1	14.2	15	95.0	40.6	12.5	15	101.5	43.3	13.4	
20	112.0	47.8	14.8	20	110.0	47.0	14.5	20	111.0	47.4	14.6	
25				25				25				
30				30				30				含水比
35				35				35				16.4%
												qc
10・15平均値			11.3	10・15平均値			10.9	10・15平均値			11.1	10.9

II - (A) 5層目

測定回数 1				測定回数 2				測定回数				
貫入量	検力計	荷重	コーン指数	貫入量	検力計	荷重	コーン指数	貫入量	検力計	荷重	コーン指数	
cm	1/100 _m	kgf	kgf/cm ²	cm	1/100 _m	kgf	kgf/cm ²	cm	1/100 _m	kgf	kgf/cm ²	
0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	
5	47.0	20.1	6.2	5	44.0	18.8	5.8	5	45.5	19.4	6.0	
10	82.0	35.0	10.8	10	75.0	32.0	9.9	10	78.5	33.5	10.3	
15	108.0	46.1	14.2	15	106.0	45.3	14.0	15	107.0	45.7	14.1	
20	131.0	55.9	17.3	20	110.0	47.0	14.5	20	120.5	51.4	15.9	
25				25				25				
30				30				30				含水比
35				35				35				16.4%
												qc
10・15平均値			12.5	10・15平均値			11.9	10・15平均値			12.2	11.9

参考 1-3 図 品質管理記録の例
 (No. 9 孔近傍, 1999 年以前)

現場検査-ブレンド材

現場品質検査表		JNFL	JV
工事名		検査期日	
再処理施設埋戻し工事(その1.B工区)		平成13年9月20日	
ブロック : Bブロック		立会者	
検査位置 : BB建屋西側	JNFL		
埋戻し材 : ブレンド材			
施工 : 小規模 中規模 <u>大規模</u>	JV		
埋戻し土量: 累計 220,000m ³			
検査内容 : 転圧仕様(まき出し厚、転圧回数、転圧機種) 品質(締固め度)			
1. 目視による埋戻し地盤の検査			
(1) 雑材の混入	<input checked="" type="checkbox"/> 否	(3) 転圧面の状態(弱部の有無)	<input checked="" type="checkbox"/> 否
(2) オーバーサイズ有無	<input checked="" type="checkbox"/> 否		
2. 転圧仕様の検査			
(1) まき出し厚		(2) 転圧回数	
検査位置	実測値(cm)	検査位置	実測値(回)
1	40	1	6
2	40	2	6
3	40	3	6
(3) 転圧機種		(4) その他	
施工	転圧機種		
まき出し	21tBD		
転圧	12tSV		
表面仕上げ	21tBD		
3. RI計測結果			
土質定数(IN PUT DAT)	ρ_s 2.569	ρ_{dmax} 1.607g/cm ³	α 値 0.120
検査位置	締固め度(%)	検査位置	締固め度(%)
1	92.5	4	93.0
2	95.2	5	98.2
3	98.3	6	94.2
【検査位置図】		平均	95.3
別 紙 参 照			

参考 1-4 図(1) 品質管理記録の例(1/2)
 (No. 2 孔近傍, 2000 年以降)

密度検査表					JNFL		JV		
工事名					検査期日				
再処理施設埋戻し工事(その1、B工区)					H13.9.20				
検査箇所:BB建屋南西側大規模220,000m3					立会者				
検査内容:埋戻し密度管理 (RI法-6点管理平均値)					JNFL				
					JV				
規格値 : 締め度90%以上					合否		(合) ・ 否		
測点	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	平均 (%)	E. L (m)	備考
	92.5	95.2	98.3	93.0	98.2	94.2	95.3	55.00	
平面図									
断面図									

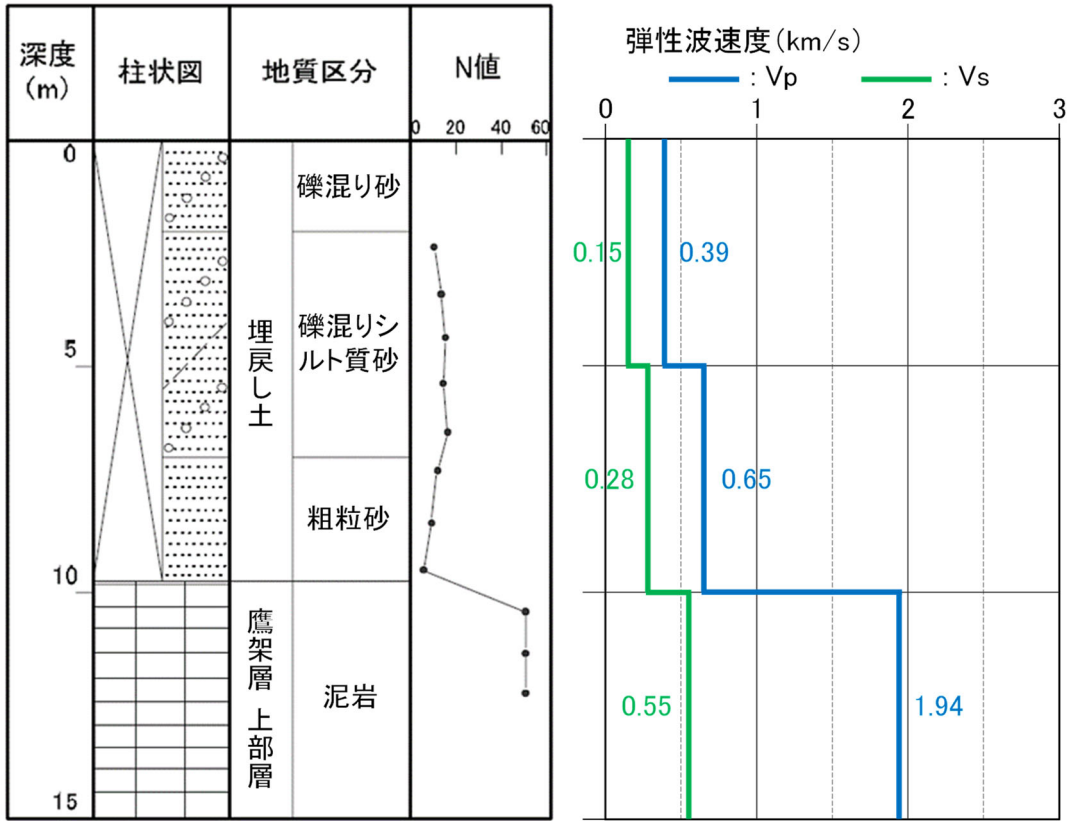
参考 1-4 図(2) 品質管理記録の例(2/2)
(No. 2 孔近傍, 2000 年以降)

参考 2

埋戻し土のボーリング柱状図について

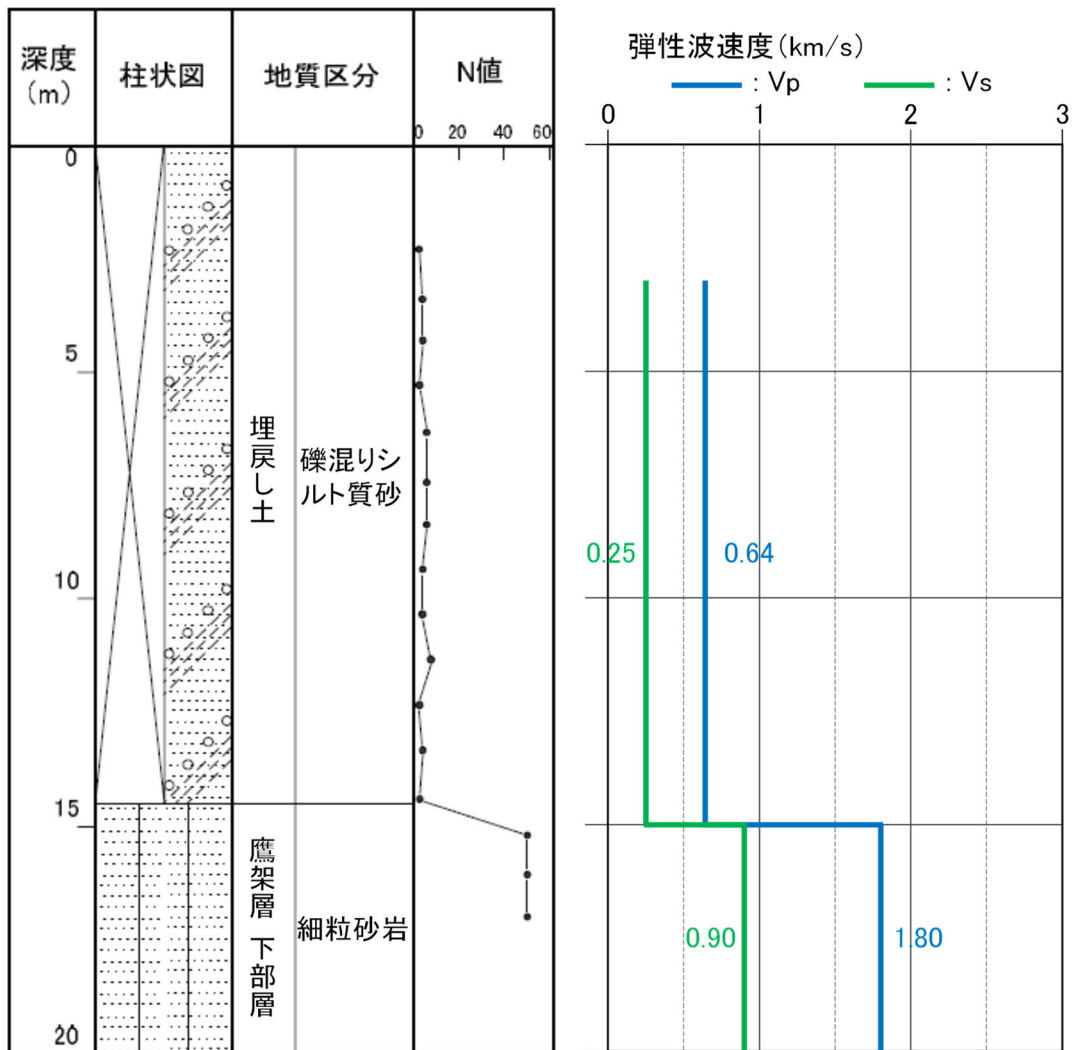
本編 2.1.2 埋戻し土の物性値設定の検討における事業変更許可申請書で設定した埋戻し土のボーリング柱状図及び物理・力学特性を参考 2-1 図～参考 2-15 図に示す。

KT-3 (孔口標高 55.17m)



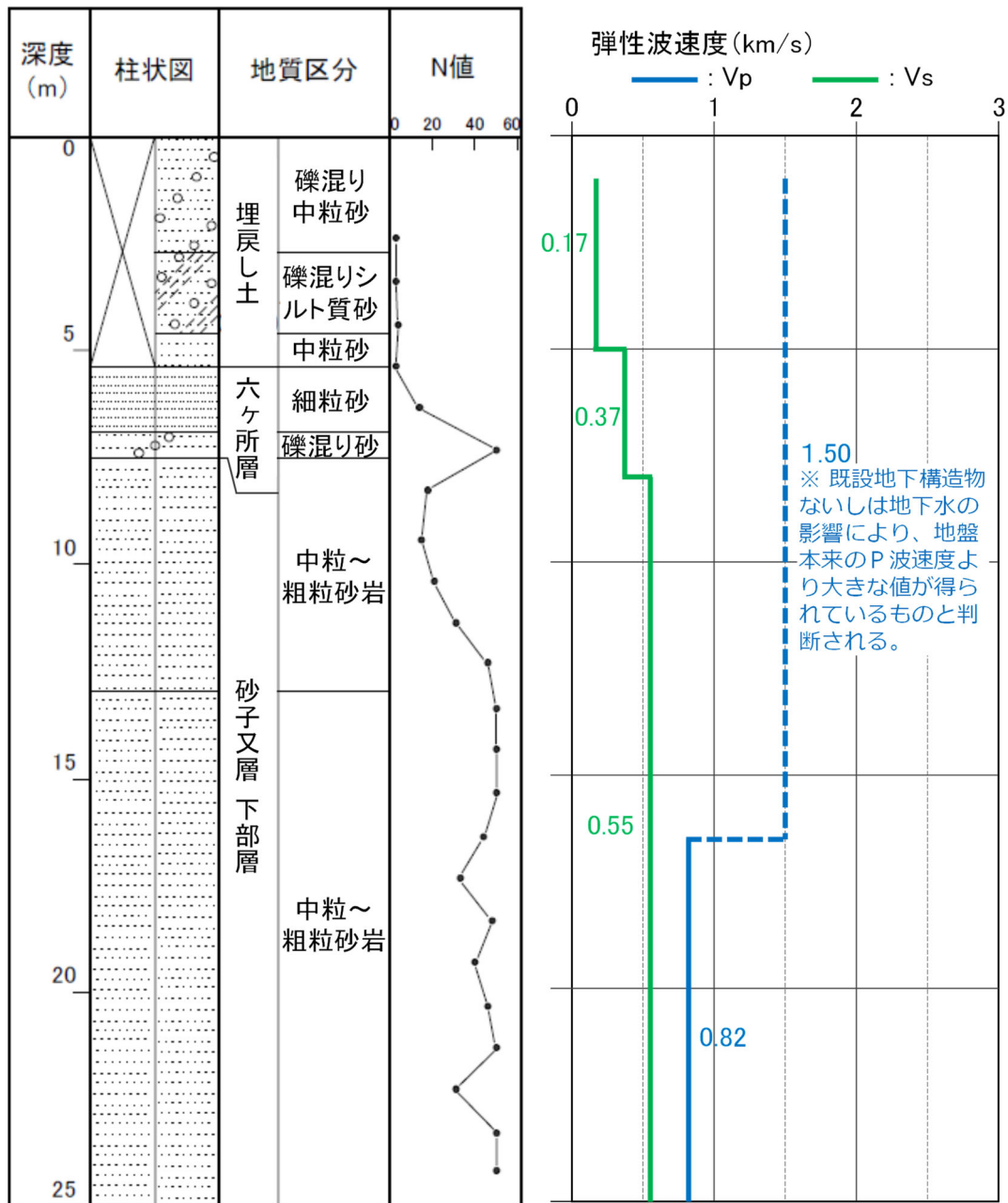
参考 2-1 図 ボーリング柱状図 (KT-3孔)

KT-5 (孔口標高 54.93m)



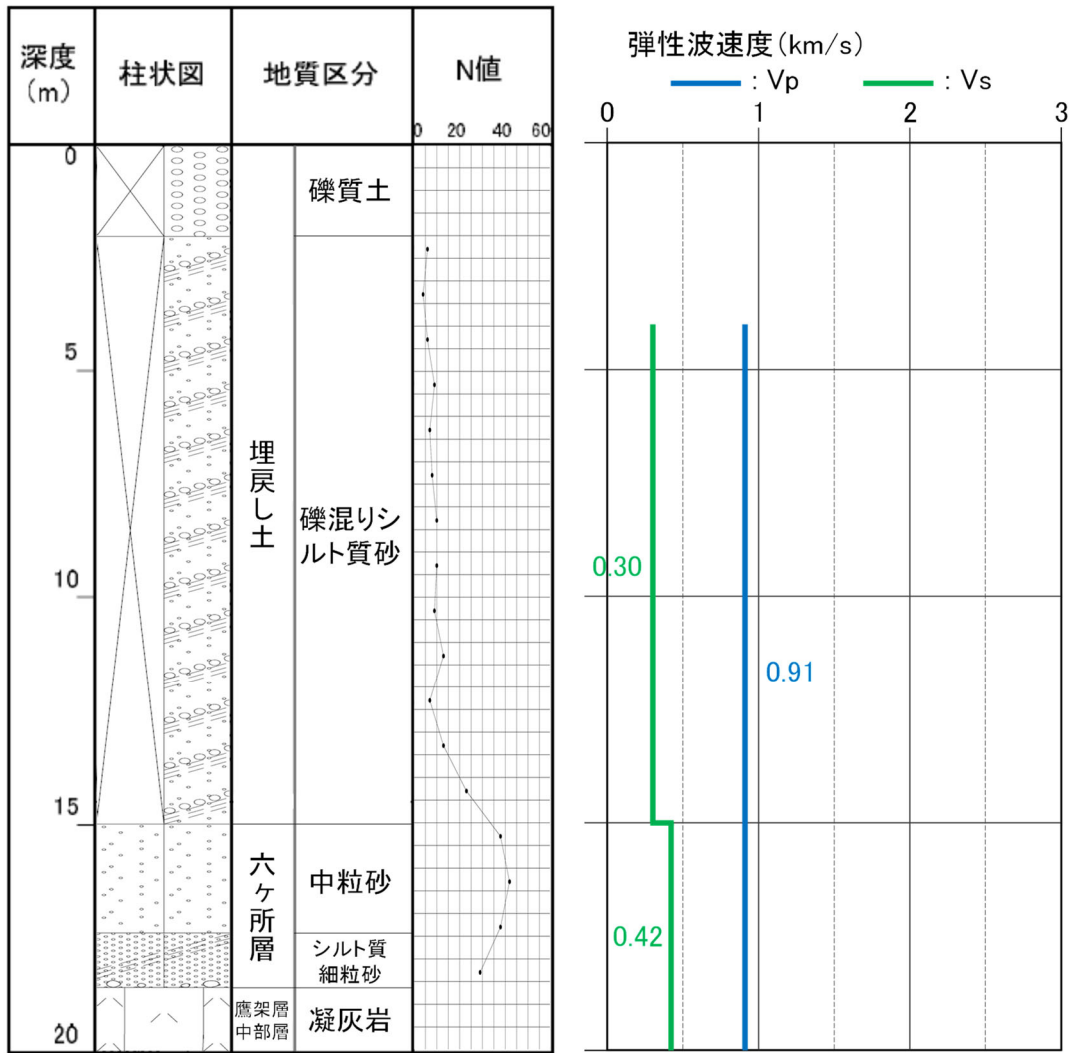
参考2-2図 ボーリング柱状図 (KT-5孔)

KT-9 (孔口標高 54.94m)



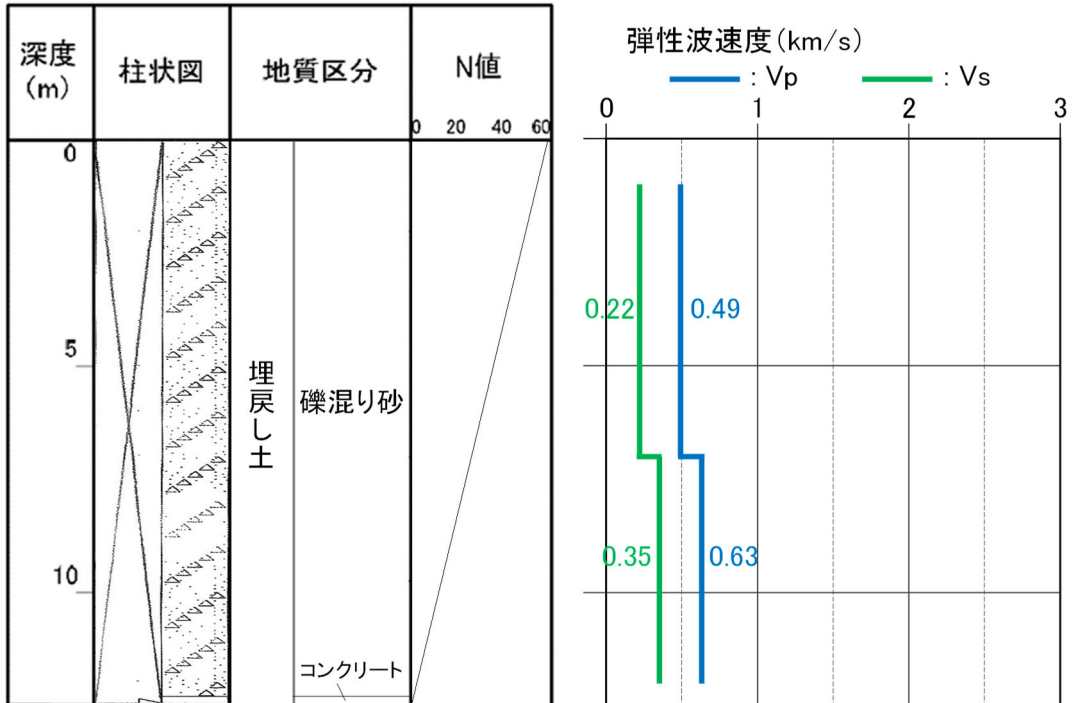
参考2-3図 ボーリング柱状図 (KT-9孔)

No.2 (孔口標高 54.99m)



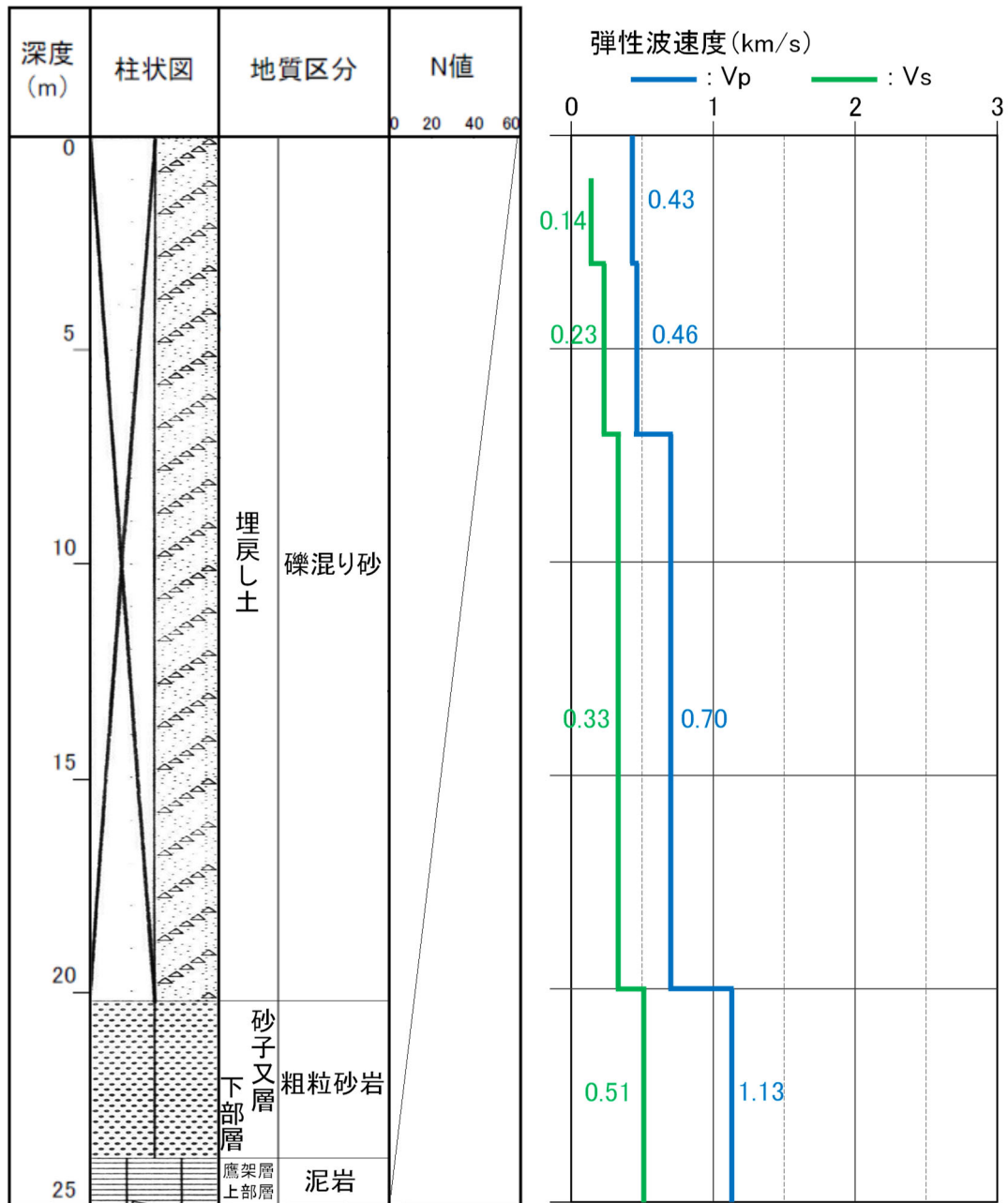
参考2-4図 ボーリング柱状図 (No. 2孔)

No.7 (孔口標高 55.20m)



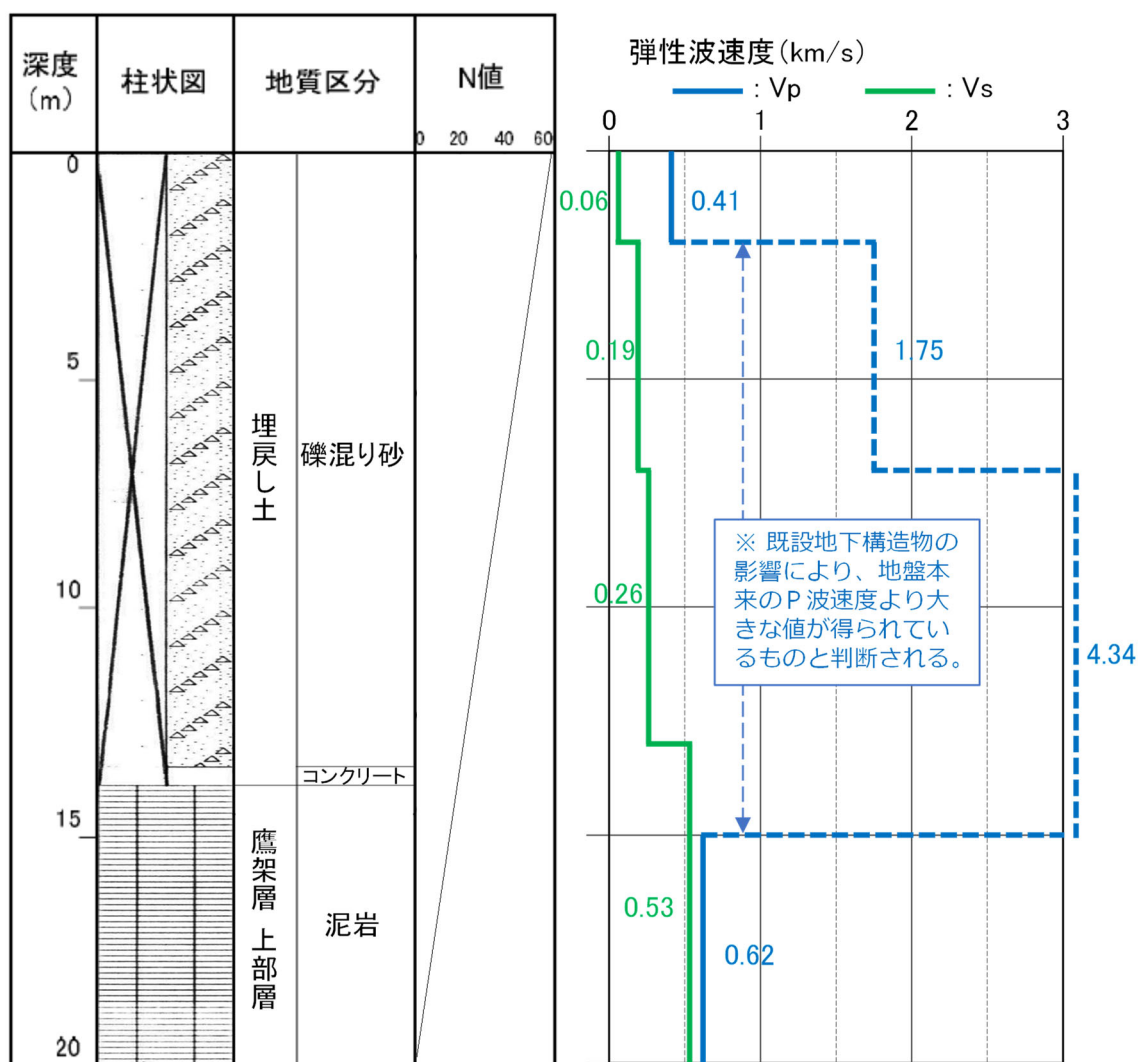
参考2-5図 ボーリング柱状図 (No. 7孔)

No.8 (孔口標高 55.03m)



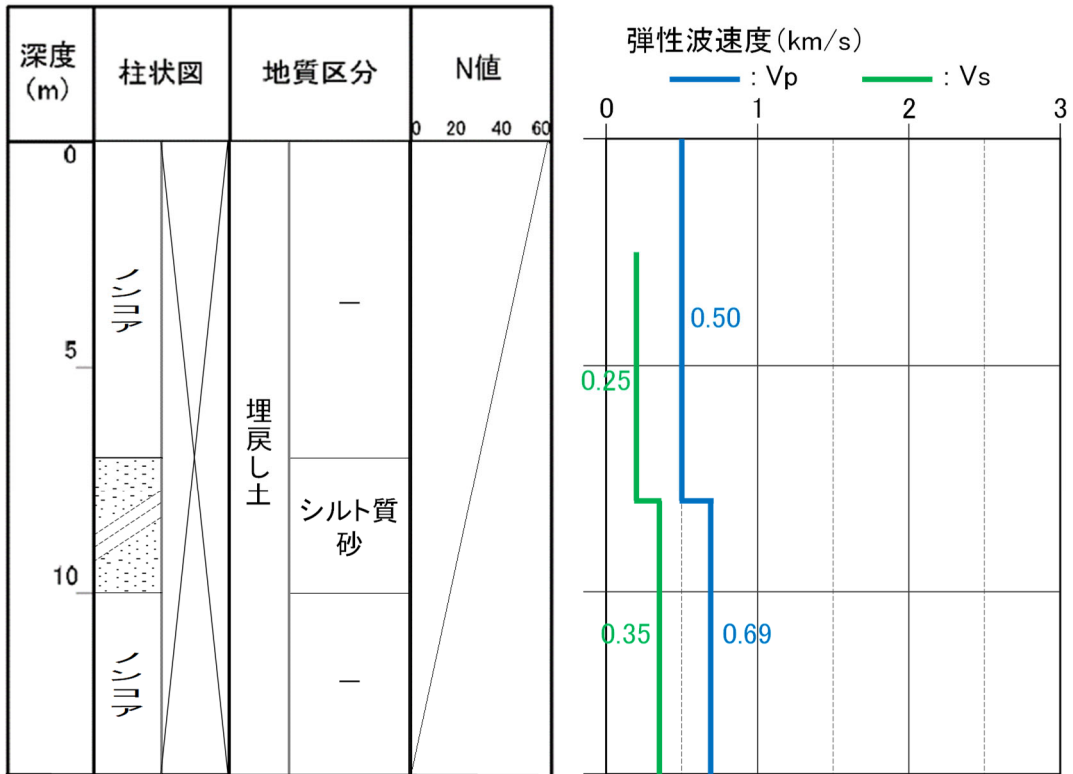
参考2-6図 ボーリング柱状図 (No. 8孔)

No.9 (孔口標高 55.10m)



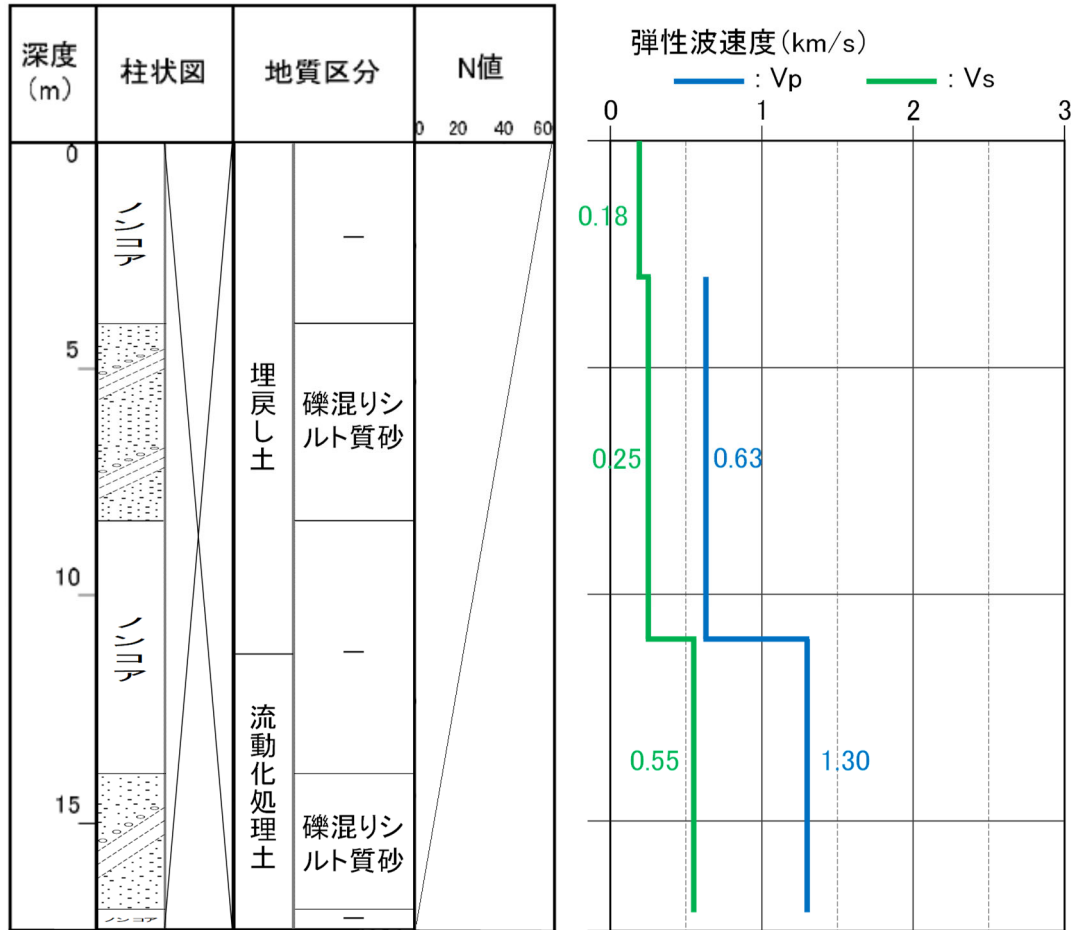
参考2-7図 ボーリング柱状図 (No. 9孔)

a-1 (孔口標高 55.03m)



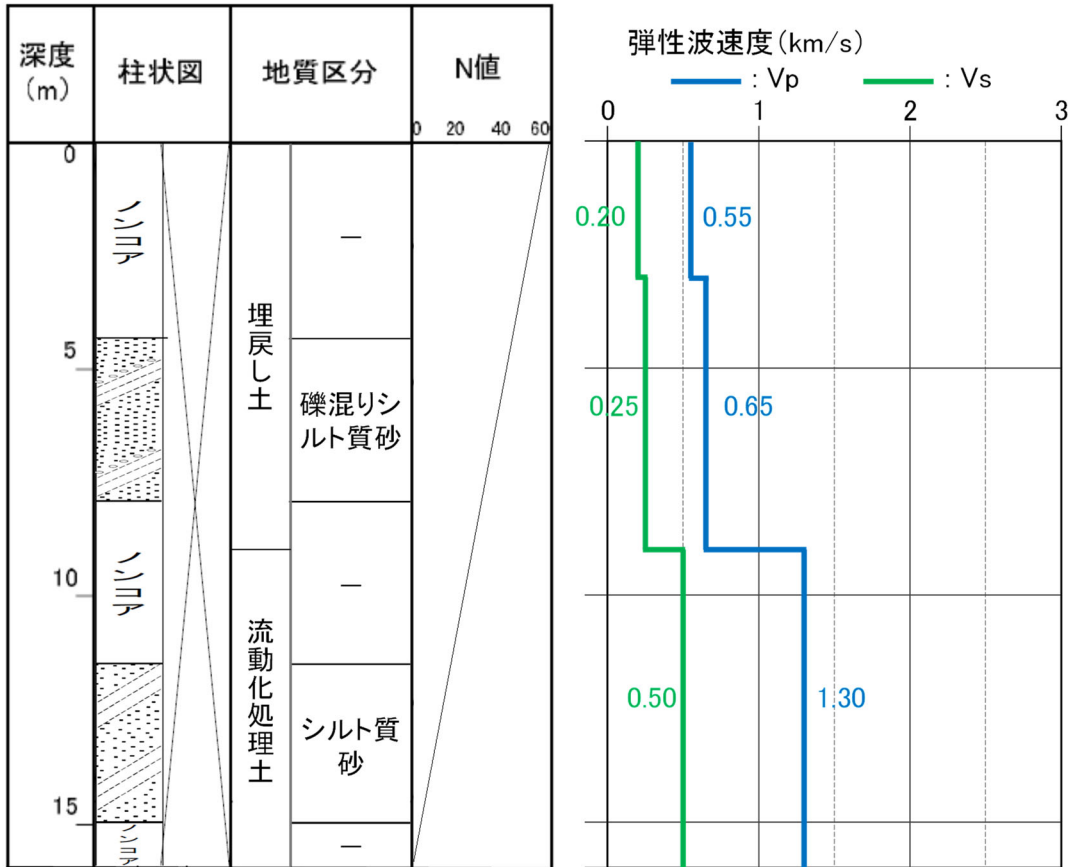
参考2-8図 ボーリング柱状図 (a-1孔)

a-4 (孔口標高 55.06m)



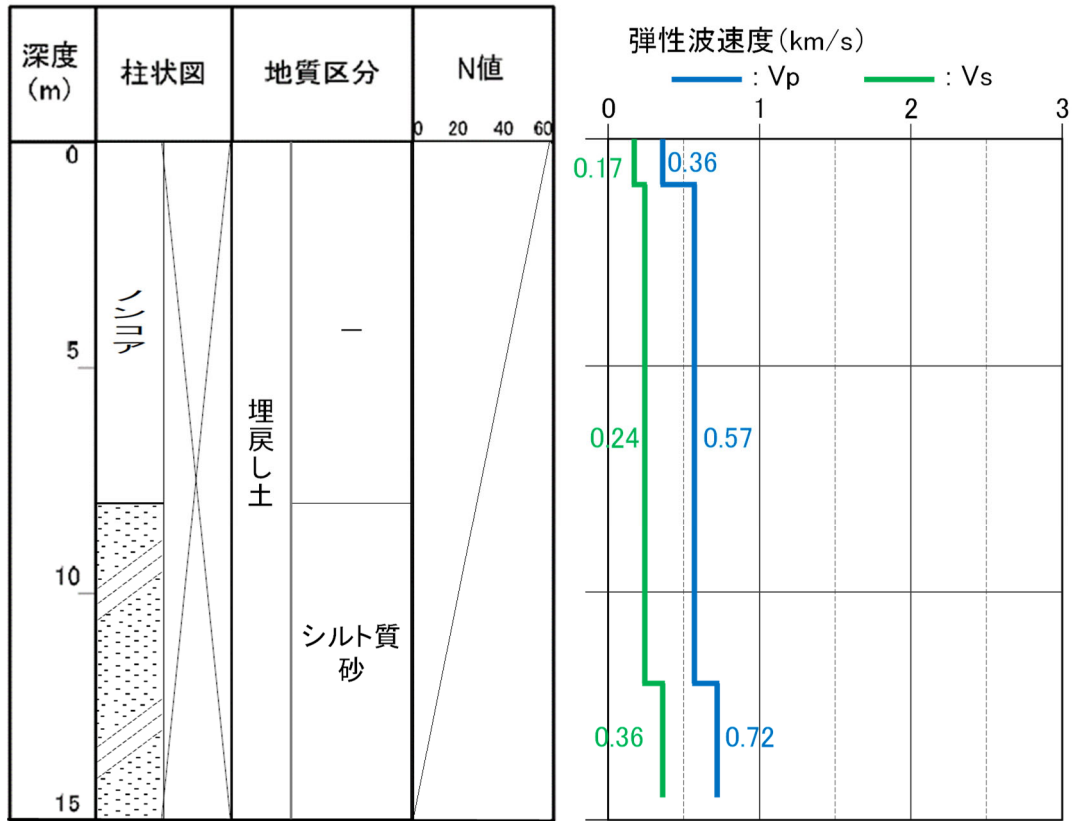
参考2-9図 ボーリング柱状図 (a-4孔)

b-2 (孔口標高 55.04m)



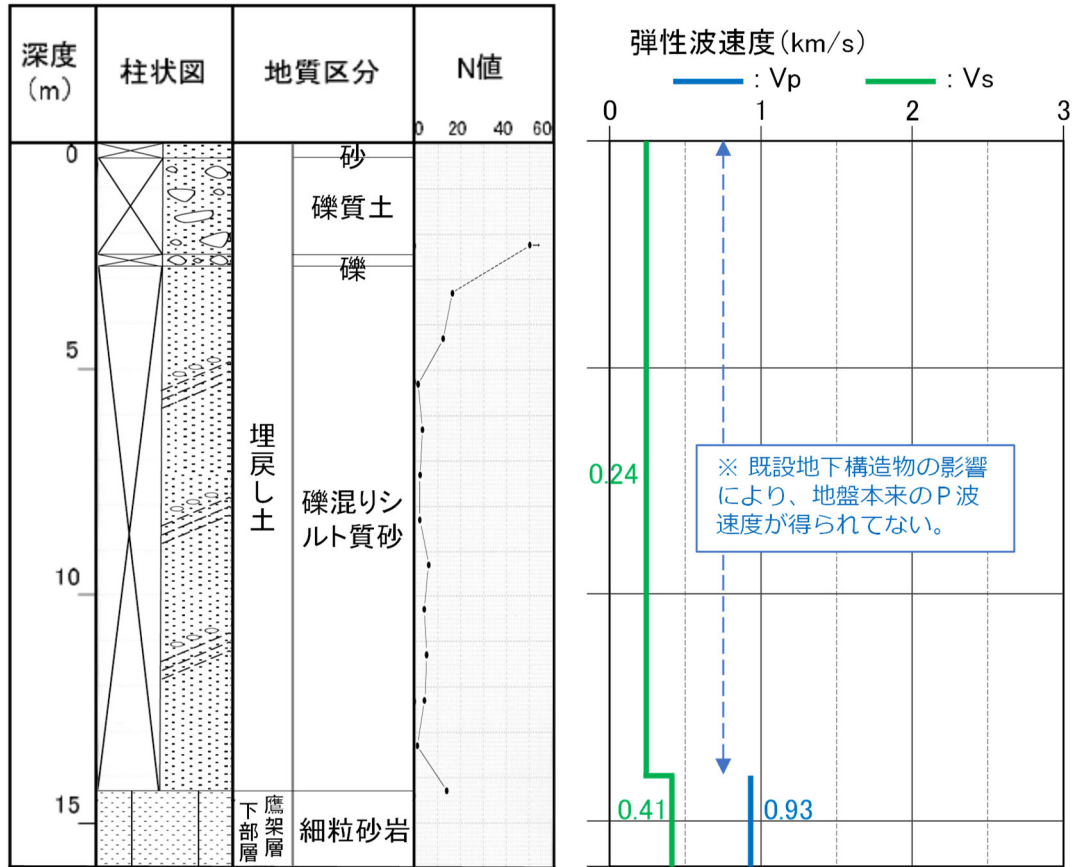
参考2-10図 ボーリング柱状図 (b-2孔)

b-4(孔口標高 54.95m)



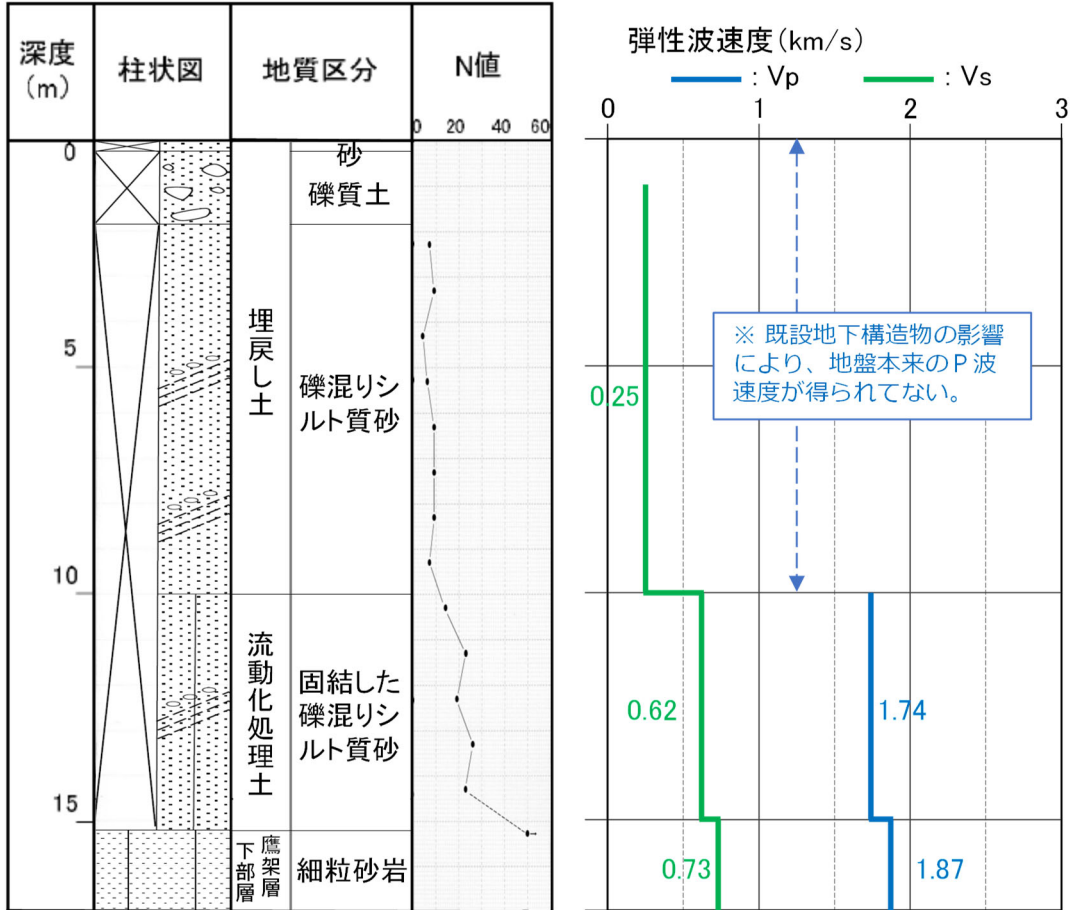
参考2-11図 ボーリング柱状図 (b-4孔)

TY-20-1 (孔口標高 54.98m)



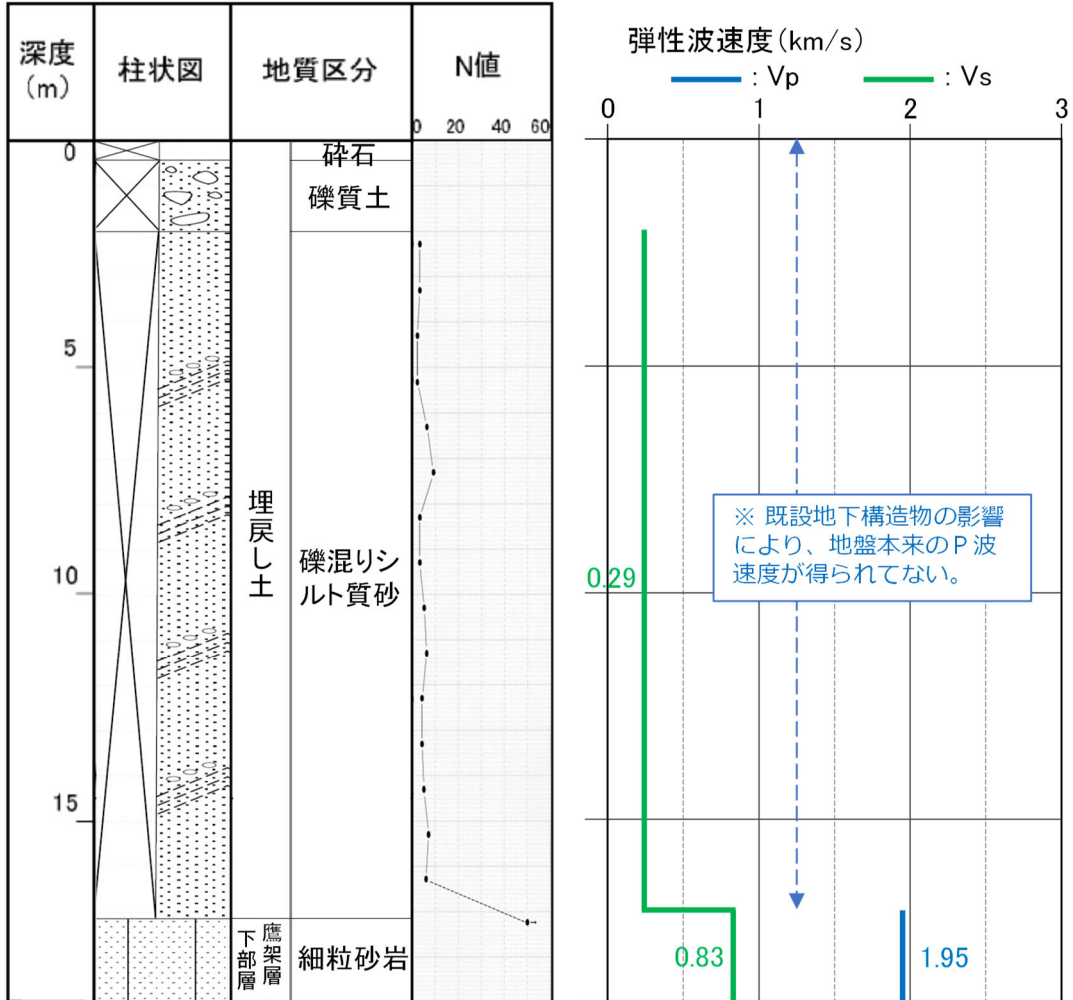
参考2-12図 ボーリング柱状図 (TY-20-1孔)

TY-20-2 (孔口標高 55.08m)



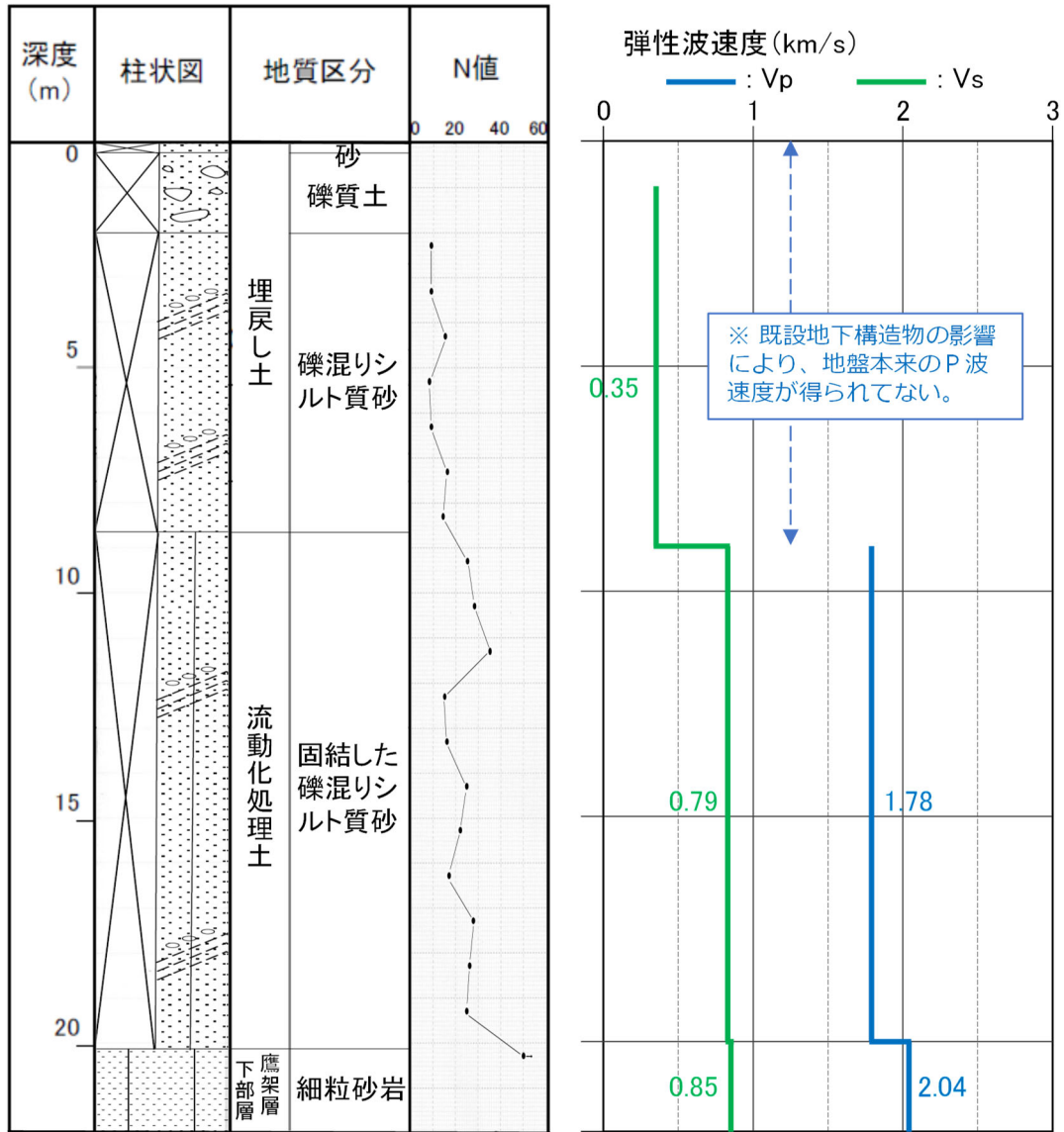
参考2-13図 ボーリング柱状図 (TY-20-2孔)

TY-20-3 (孔口標高 54.83m)



参考2-14図 ボーリング柱状図 (TY-20-3孔)

TY-20-5 (孔口標高 55.01m)



参考2-15図 ボーリング柱状図 (TY-20-5孔)

参考 3

流動化処理土の施工に係る品質管理について

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品質管理要領及び品質管理記録の一例を参考3-1図及び参考3-2図のとおり示す。

(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

参考3-1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）

(3) 品質確認結果

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頻度を参考 3 表に示す。また、品質確認結果を参考 4 表に示す。

品質確認頻度については、諸基準・指針に示される必要調査箇所数と流動化処理土の調査箇所数を比較した結果、文献による必要調査数を満足することを確認した。

参考 3 表 流動化処理土の品質確認頻度

対象施設	適用基準	品質確認項目		施工日数	必要調査数 (A)	調査箇所数 (B)	判定 (B) ≥ (A)
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)	流動化処理土マニュアル	強度	一軸圧縮強度	29日	29回	29回	○

参考 4 表 流動化処理土の品質確認結果

打設日数	一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	打設日数	一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)
1	7.43	16	4.39
2	10.36	17	8.79
3	7.16	18	7.55
4	3.83	19	6.53
5	4.94	20	6.04
6	5.38	21	5.22
7	12.02	22	7.53
8	8.66	23	4.7
9	3.36	24	4.21
10	3.14	25	4.7
11	7.50	26	3.86
12	6.13	27	6.81
13	3.79	28	6.32
14	7.70	29	5.32
15	6.01		

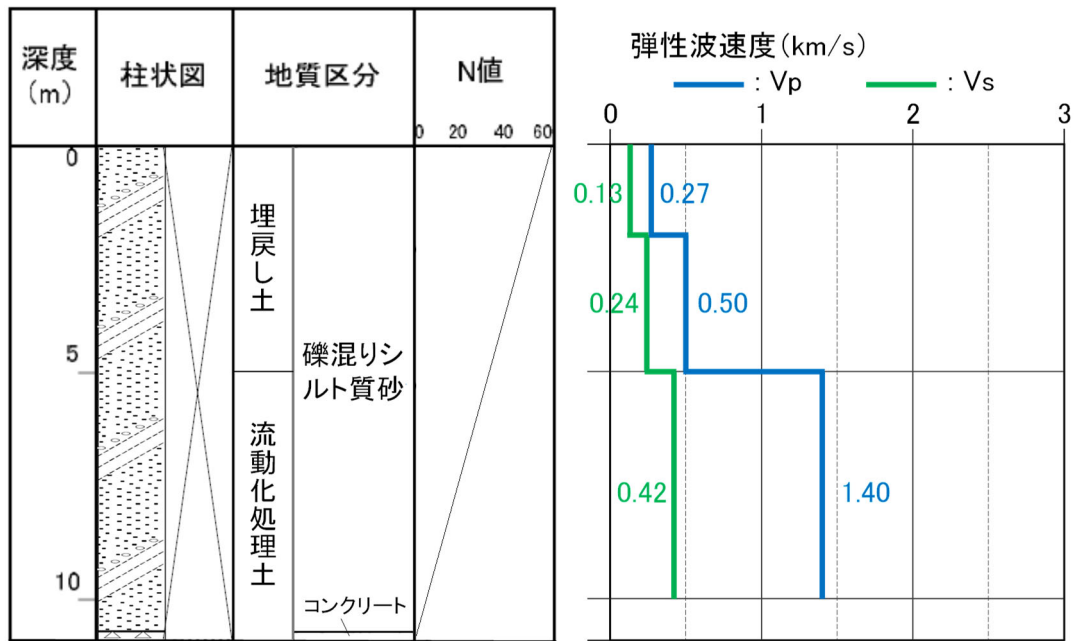
参考 3-2 図 流動化処理土に関する品質確認結果の例
 (設工認に係る補足説明資料 耐震設計の基本方針に関する建物・構築物周辺の設計用地下水水位の設定について[耐震建物 13]から引用)

参考 4

流動化処理土のボーリング柱状図について

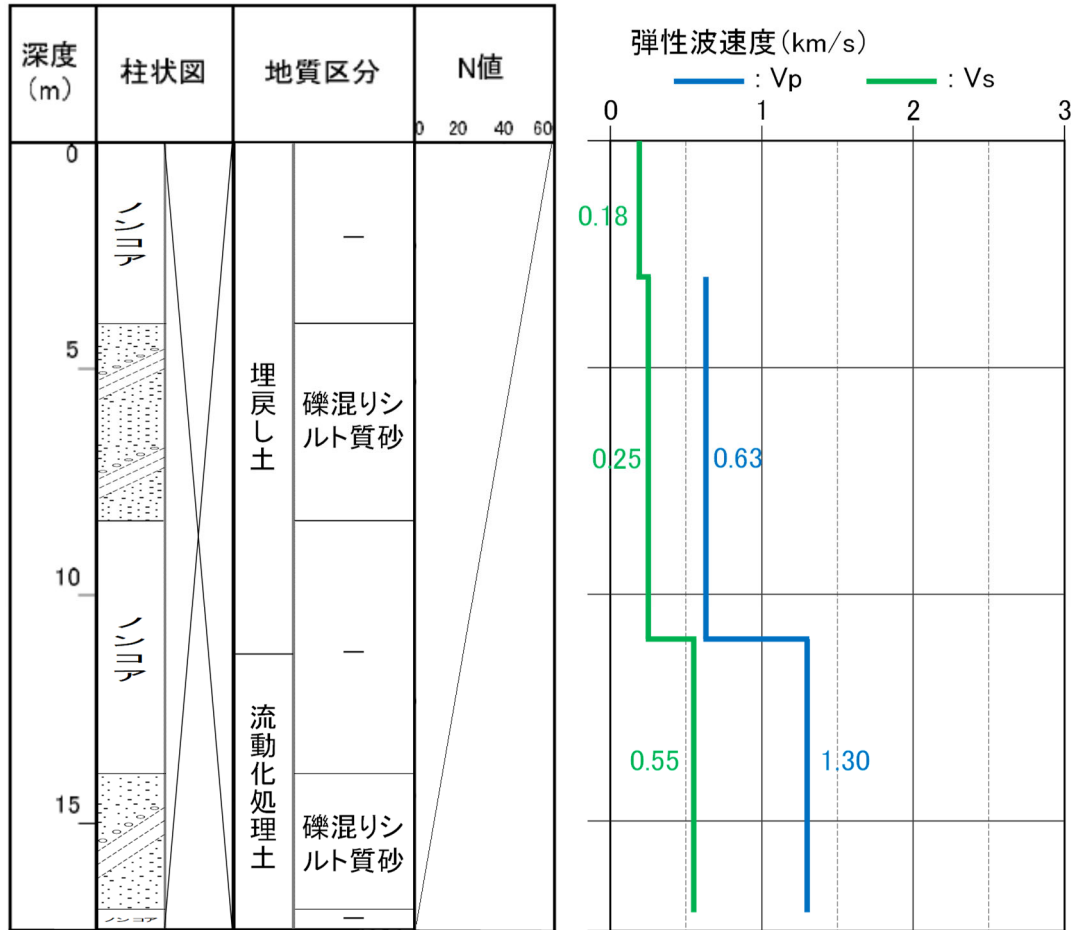
本編 3.1.1 流動化処理土の施工管理状況及び均質性の検討における事業変更許可申請書で設定した流動化処理土のボーリング柱状図及び物理・力学特性を参考 4-1 図～参考 4-4 図に示す。

a-3 (孔口標高 54.91m)



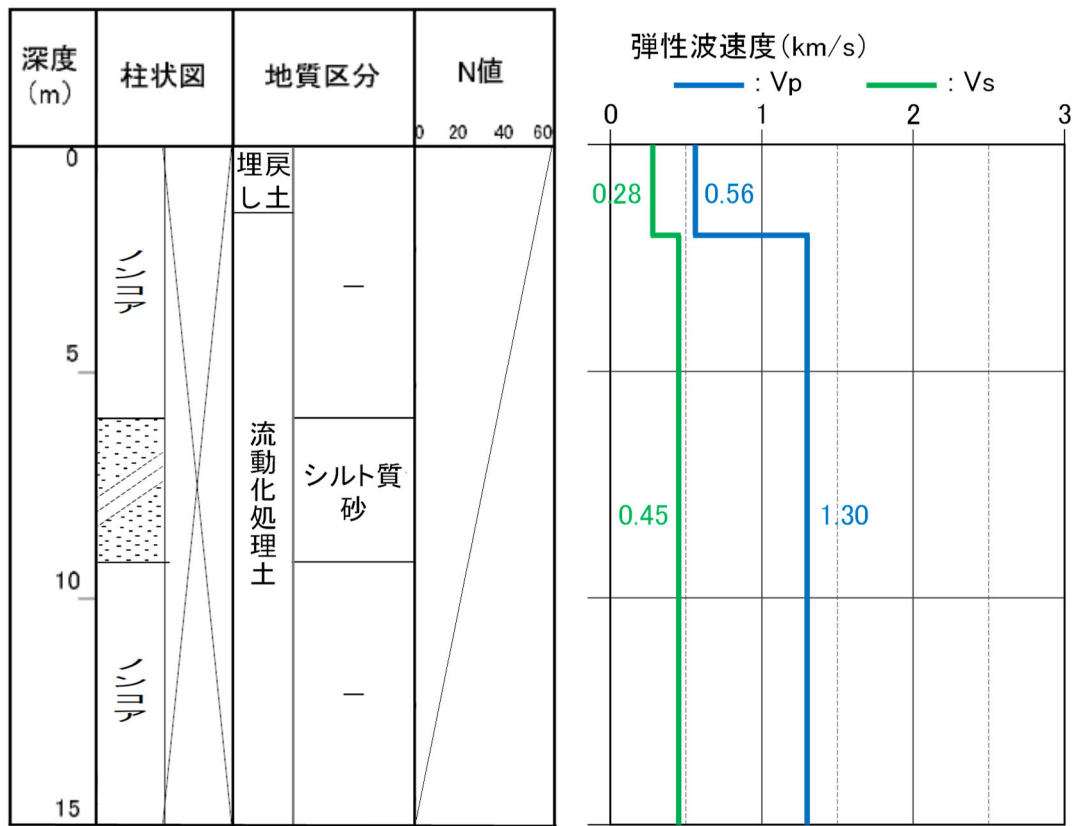
参考4-1図 ボーリング柱状図 (a-3孔)

a-4 (孔口標高 55.06m)



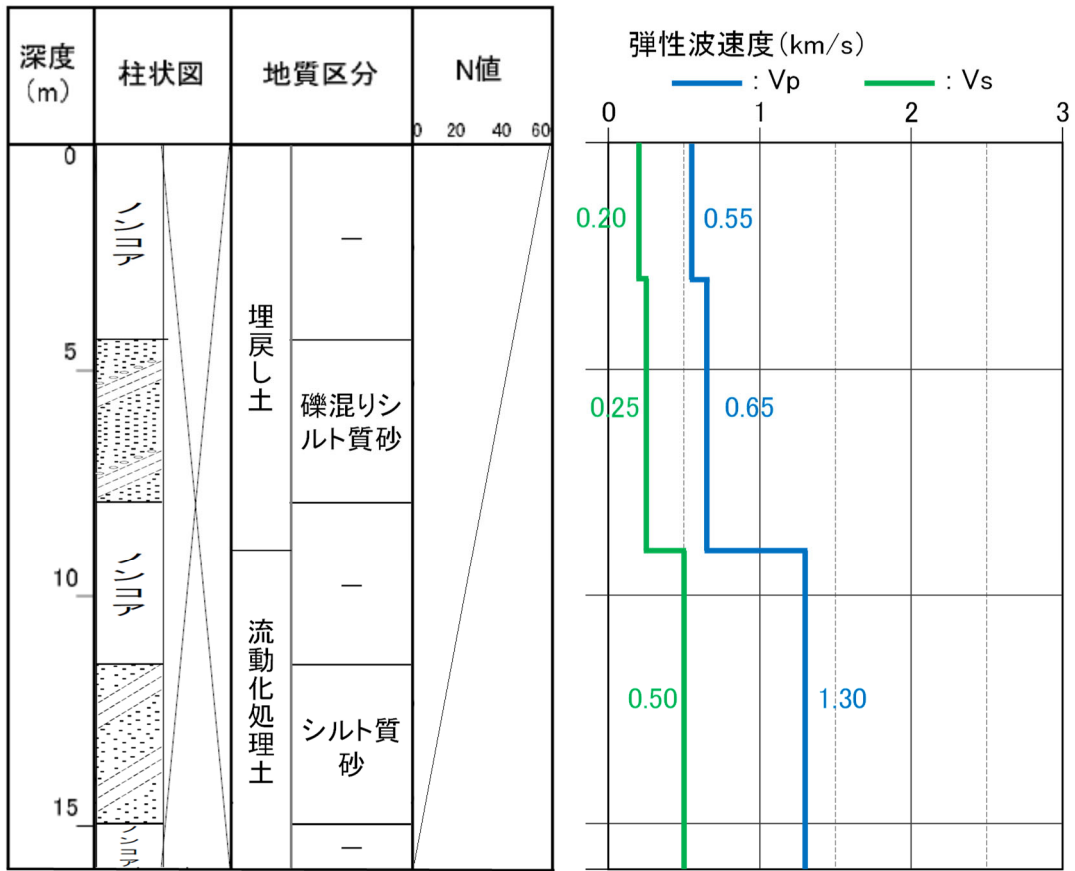
参考4-2図 ボーリング柱状図 (a-4孔)

b-1 (孔口標高 55.04m)



参考4-3図 ボーリング柱状図 (b-1孔)

b-2 (孔口標高 55.04m)



参考4-4図 ボーリング柱状図 (b-2孔)

参考 5

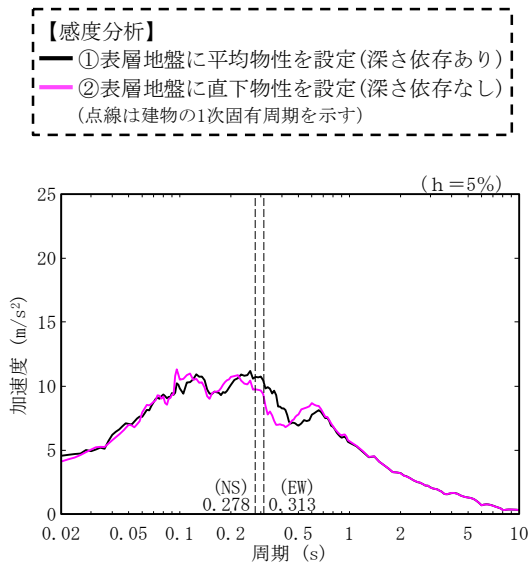
表層地盤の物性値の与え方による影響について

令和5年4月22日審査会合において、表層地盤の物性値に係る感度分析にあたって、一定の仮定を設けた直下物性を設定した場合の入力地震動の算定結果を示した。感度分析結果における直下物性と平均物性による入力地震動の算定結果の差について、参考5-1図及び参考5-2図に示す結果より以下のとおり考察した。

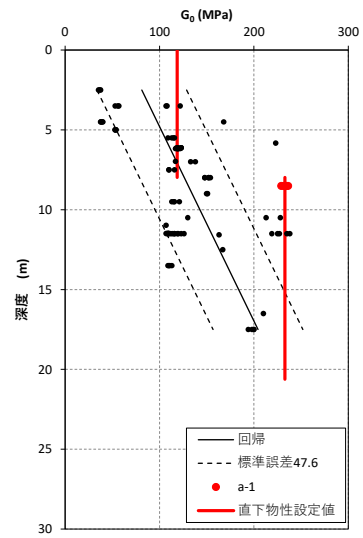
感度分析において考慮した物性値設定のうち、平均物性については、埋戻し土が人工材料であることを踏まえ、敷地内における調査結果等に基づき、深度依存性を考慮した平均的な物性値を設定している。

一方、直下物性については、敷地内におけるPS検層データに基づき、参考5-1図及び参考5-2図に示す赤線または青線のとおり、回帰式による深度依存性が無い条件を仮定して設定しているが、深くなるほど初期せん断弾性係数 G_0 が大きくなる傾向を有している。

以上を踏まえると、直下物性による設定の方が、深度依存性が離散的に表現されるため、層間のインピーダンスの現れ方によっては、本文の第2.1.2-1図に示した回帰式による深度依存性を考慮した場合と比較して、入力地震動の周波数特性や、地震動の大きさの違いとして現れたと考えられる。

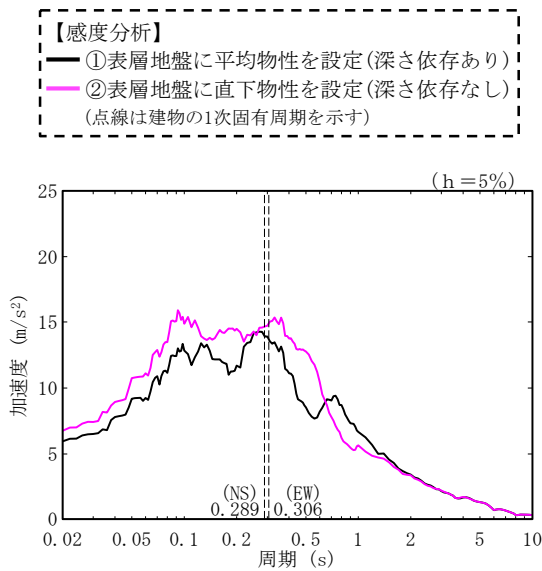


(a) 感度分析結果

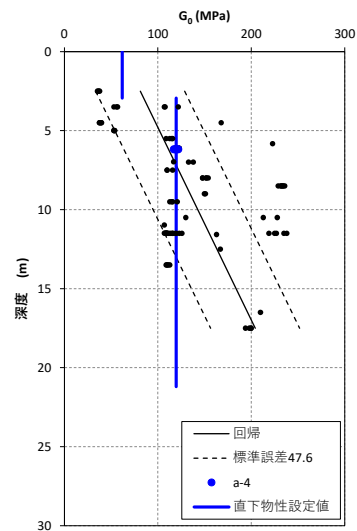


(b) 平均物性と直下物性の
設定値の違い

参考 5-1 図 入力地震動の感度分析結果 (AB 建屋)



(a) 感度分析結果



(b) 平均物性と直下物性の
設定値の違い

参考 5-2 図 入力地震動の感度分析結果 (AC 建屋)