

表層地盤の物性値等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）の物性値等に係る検討結果を示すものである。
- 文中の下線部はR2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	7
2.1.3 埋戻し土の均質性について	9
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	14
2.1.5 まとめ	17
2.2 物性値の不確実性に関するパラメータスタディ	18
2.2.1 ばらつきを有する表層地盤の加速度応答	18
2.2.2 ばらつきを有する地盤の実現象範囲	21
2.2.3 まとめ	23
2.3 埋戻し土の物性設定のまとめ	24
3. 流動化処理土の物性に係る検討	25
3.1 均質性及び物性値設定について	25
3.1.1 流動化処理土の施工管理状況及び均質性	25
3.1.2 流動化処理土の物性値設定について	28
3.2 流動化処理土の物性設定のまとめ	29
4. 表層地盤のまとめ	30

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。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ことから建屋近傍のデータとしては、一定の品質管理の下で均質に施工されたエリア全体のボーリング孔から得られるデータを用いて設定する。

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（道路土工-施工指針-）及び管理基準（地盤工学会関係基準）により実施され、同等の施工管理（施工プロセス：締固め工法、管理基準：締固め度）がなされている（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。

施工手順については、第 2.1.1-1 表に示すとおり、まず、ストックパイルヤードにおいて、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。

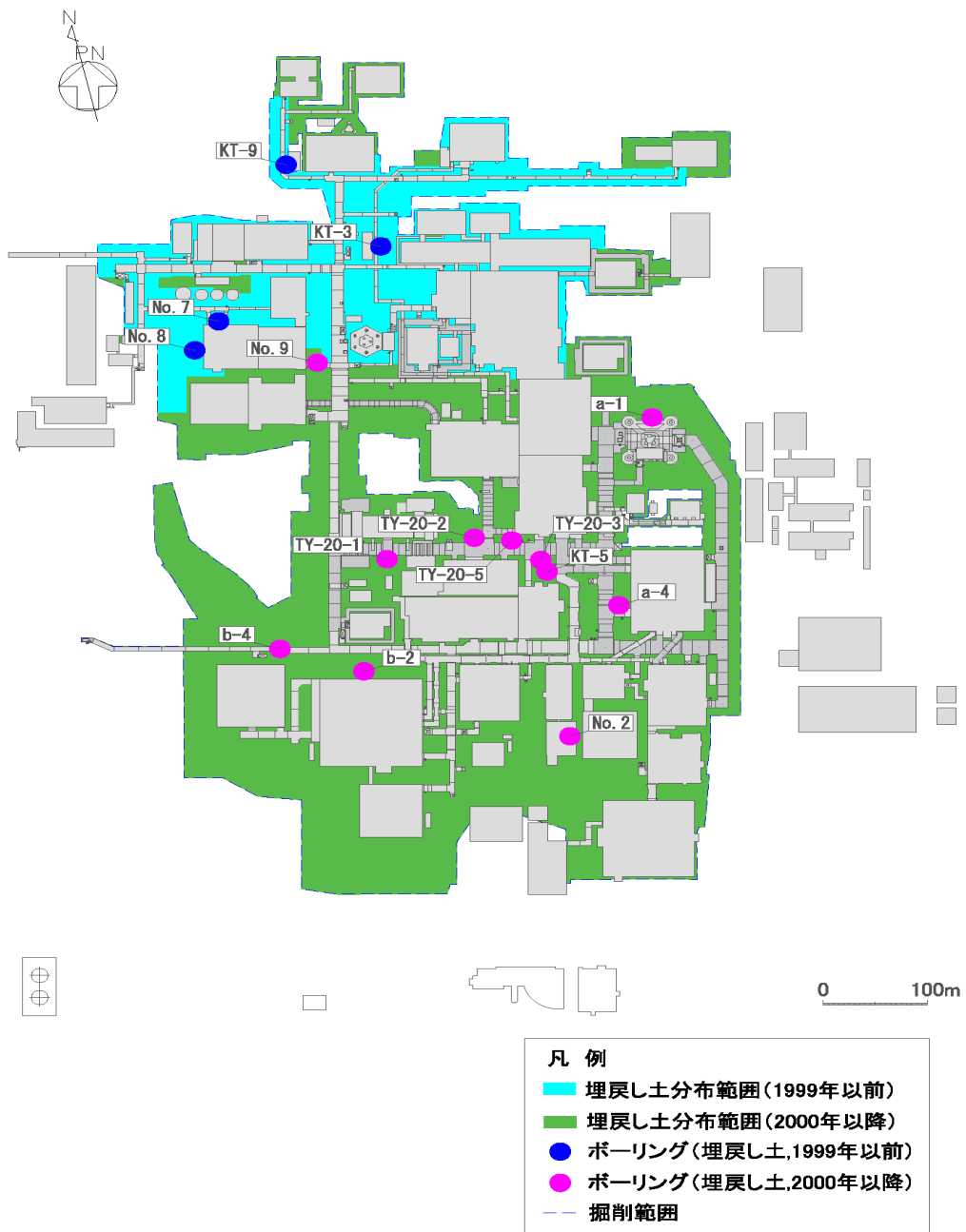
管理基準については、参考 1 に示すとおり、近隣施設との配置に基づく施工幅等による制約で使用する重機等の施工方法が異なるが、締固めエネルギーに応じて撤出し厚さ（20～50 cm/層）や転圧回数（3～6 回転圧）を変動させており、敷地全体の埋戻し土の強度及び締固め状況が均質となるように施工している。

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。

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撤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。

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。

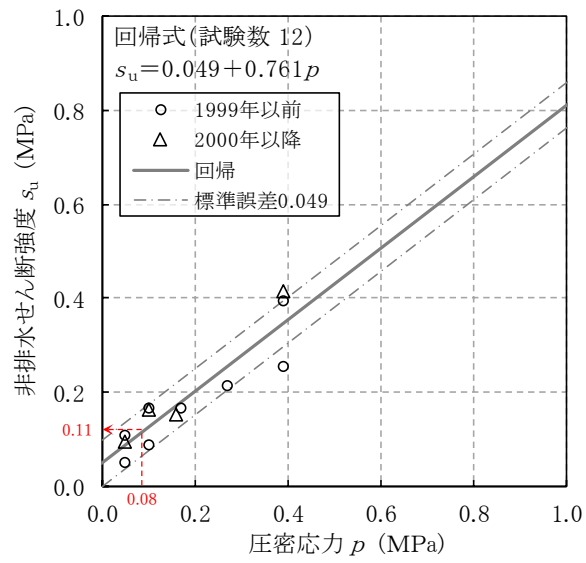
第 2.1.1-1 図 埋戻し土の施工範囲及び施工年代平面図

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["(品質管理) 最大乾燥密度 最適含水比"] D --> F[小運搬 (バックホウ、ダンプ)] F --> G[投入 (バックホウ・クラムシェル)] G --> H[撒出し・数均し (ブルドーザ)] H --- I["(品質管理) 撒出し厚さ"] H --> J[転圧 (振動ローラ、タンバ)] J --- K["(品質管理) ポータブルコーン貫入試験 転圧回数"] J --> L[次工程引渡し] </pre>	<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["(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"] D --> F[小運搬 (バックホウ、ダンプ)] F --> G[投入 (バックホウ・クラムシェル)] G --> H[撒出し・数均し (ブルドーザ)] H --- I["(品質管理) 撒出し厚さ"] H --> J[転圧 (振動ローラ、タンバ)] J --- K["(品質管理) 締固め度 転圧回数"] J --> L[次工程引渡し] </pre>
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 2.1.1-2 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

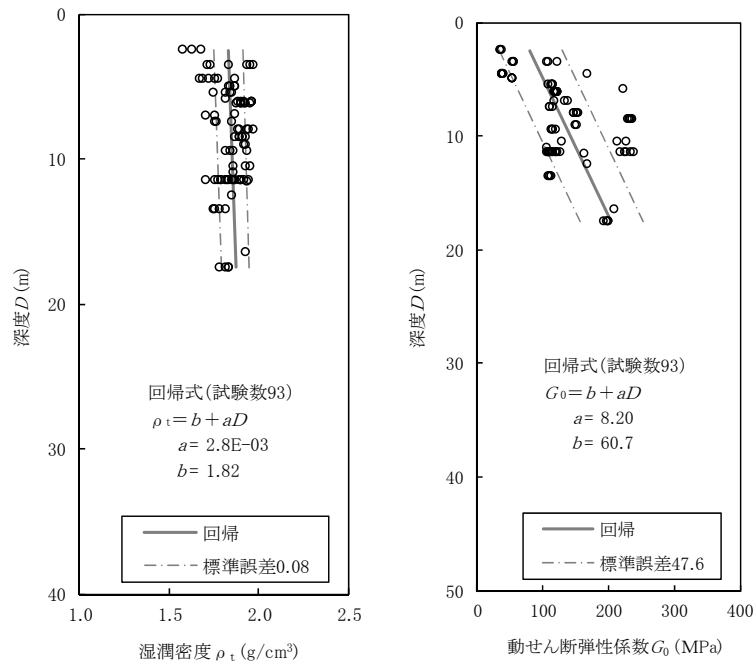
埋戻し土については、ボーリング柱状図を確認した上で、物理特性試験及びPS検層に基づき解析物性値を設定している。埋戻し土のボーリング柱状図及び物理・力学特性を参考2に示す。

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。

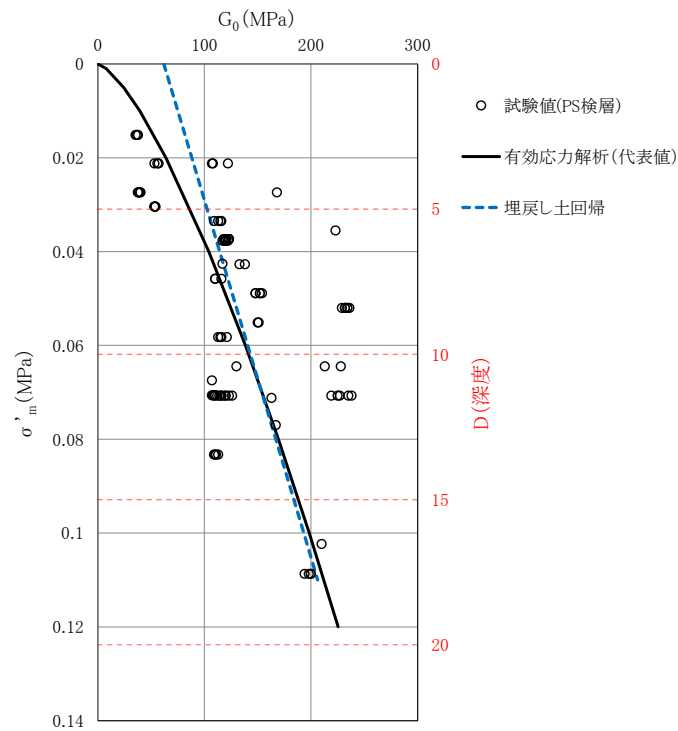
埋戻し土の物性値として、 $\rho_t=1.82+0.0028D$ (g/cm^3)、 $G_0=60.7+8.2D$ (MPa) (D =深度:GL+m)を設定した。いずれも深度方向に物性値が増加しており、深度方向依存の1次回帰により整理できる。 G_0 については、 $G_0=\rho_t \cdot V_s^2$ で与えられることから、参考2に示した埋戻し土の V_s が一定であっても ρ_t が深度依存していれば、 G_0 は深度依存することとなる。

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、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。ここに示す値は、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3にボーリング孔毎の G_0 と測定深度の関係を示す。

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。

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。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。

次に、第2.1.3-3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2.1.3-4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。

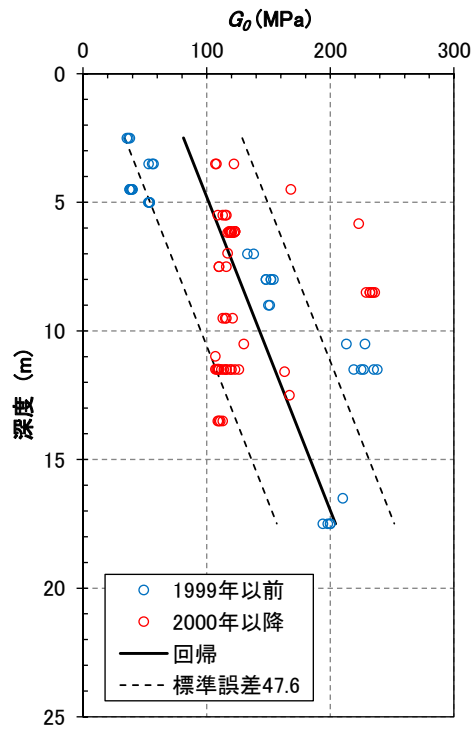
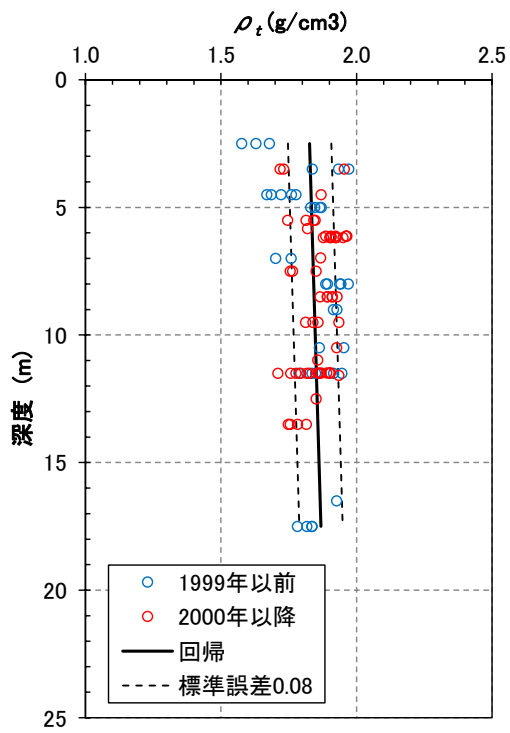
図によれば、1999年以前、2000年以降の G_0 の分布は、各施工時期いづれも埋戻し土としての深度依存を示すとともに、敷地内全体平均の標準誤差 ($\pm \sigma$) の $\pm 1\sigma$ 程度のばらつきになっている。

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2.1.3-5図に第

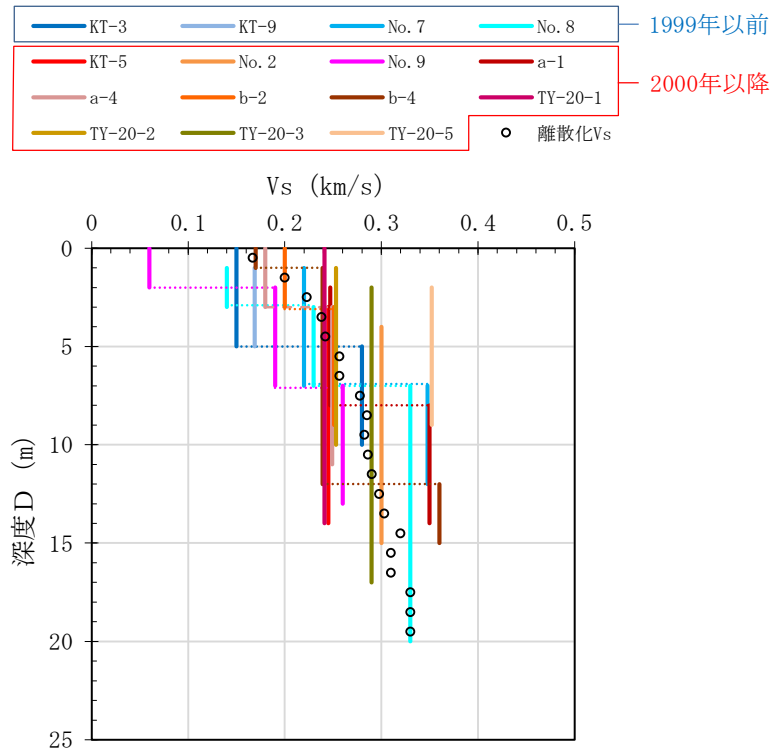
2.1.2-1図の G_0 算定時に使用した V_s 分布図を示す。 V_s の回帰式は、埋戻し土の深度範囲2.5m~17.5mでは、先の第2.1.3-2図で示した離散化 V_s (○印)と同様に、0.2km/s~0.35km/sの速度範囲に分布し、深度依存を示す。この V_s 分布の回帰及び標準誤差と先の第2.1.3-1図の回帰及び標準誤差から G_0 の範囲を算定した。第2.1.3-6図に、 ρ_t の μ (平均), $\pm\sigma$ (ばらつき)と V_s の μ (平均), $\pm\sigma$ (ばらつき)の掛け合わせとして9組の回帰とデータセットから得られた G_0 の回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 (二次式)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。事業許可申請における標準誤差($\pm 1\sigma$)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4)。

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。

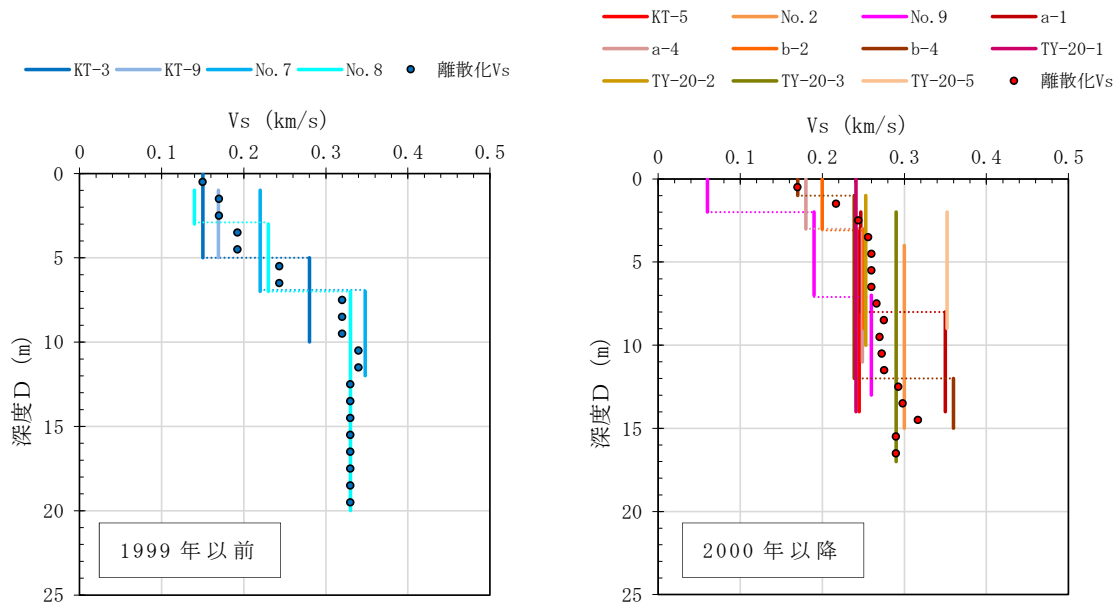
後述で詳細な検討結果を示すが、せん断弾性波(S波)は、面的に周辺の地盤特性を取り込みながら伝播するため、埋戻し土の深度範囲での G_0 の平均値となる G_0 回帰が $\pm 1\sigma$ 内に収まれば、設計時にばらつきを考慮することによりその影響を包絡できるものとする。



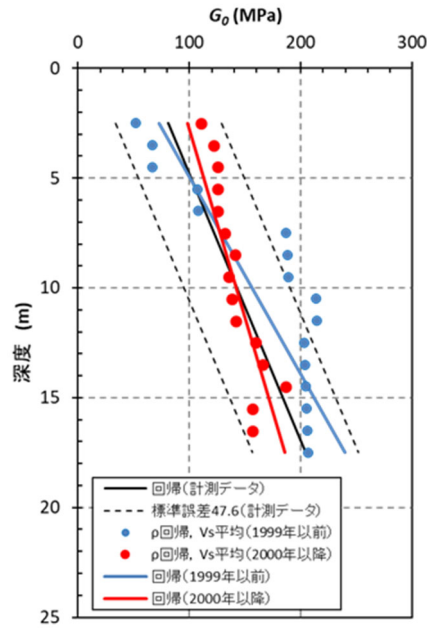
第 2.1.3-1 図 施工年代別の物性値 (ρ_t , G_0)



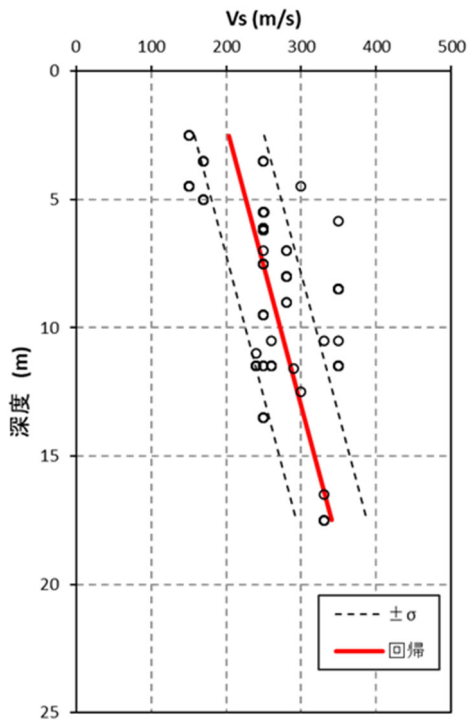
第 2.1.3-2 図 ボーリング柱状図による V_s と離散化 V_s (全 15 孔)



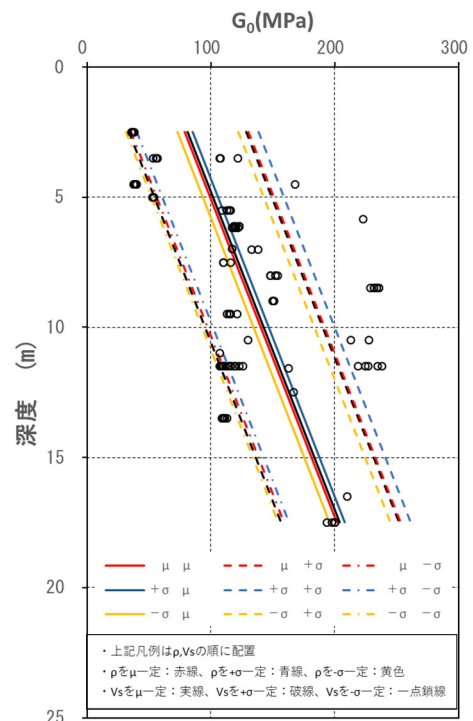
第 2.1.3-3 図 施工年代別の V_s と離散化 V_s



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



第 2.1.3-5 図 埋戻し土の物性値 (V_s)



第 2.1.3-6 図 G_0 回帰の比較

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。

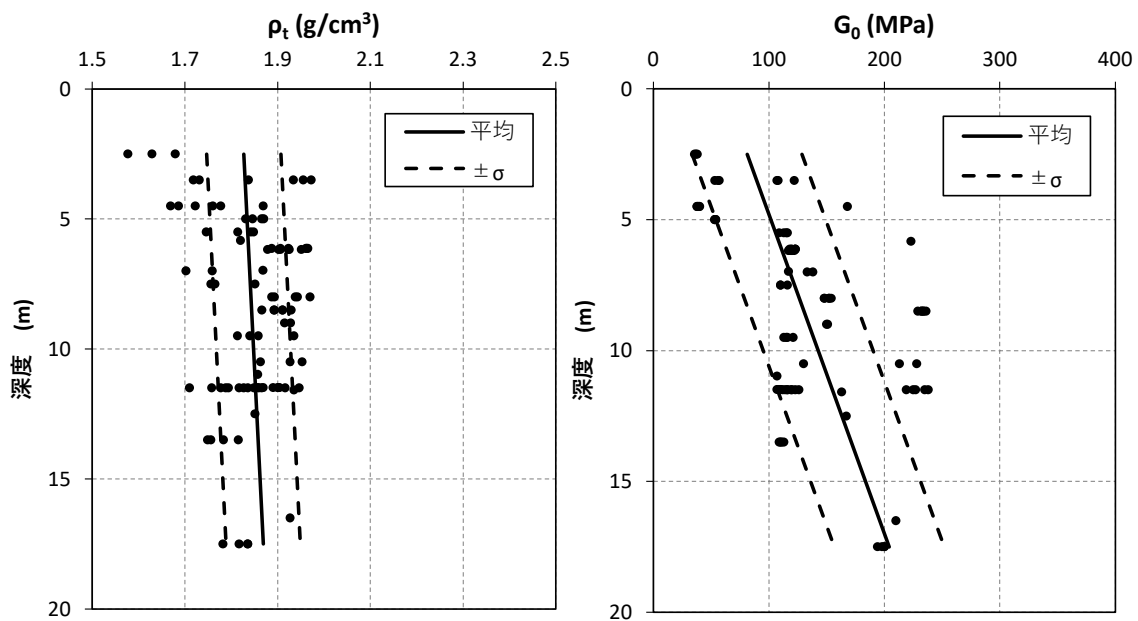
先述したように、パラメータを多くすると残差平方和を小さくできるが、統計的モデリングにおいてはバランスが大事であり、誤差が同じ程度なら予測値との乖離を少なくするにはパラメータ数の少ないモデルを選ぶべきである。

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。

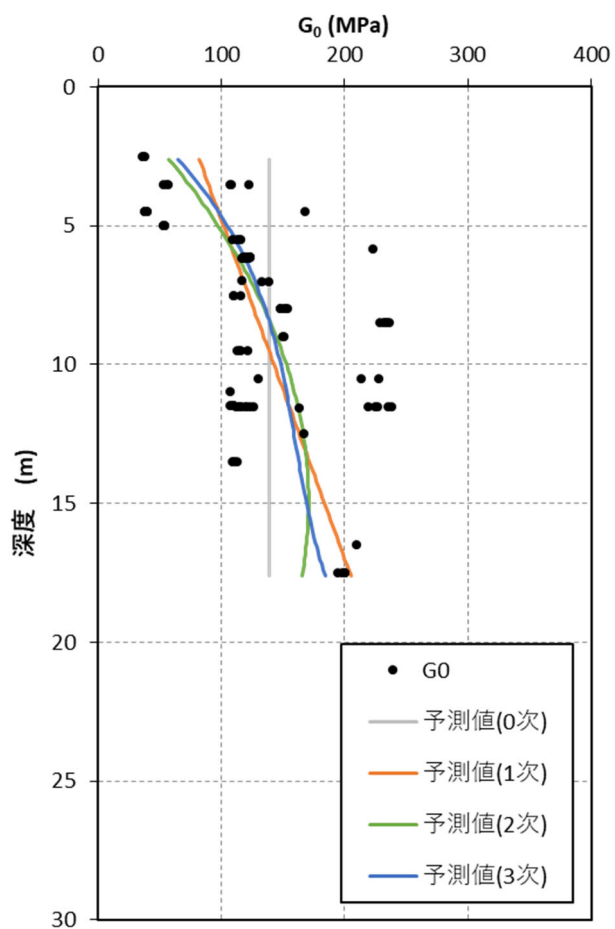
第2.1.4-1図（第2.1.3-1図の主要箇所拡大図）に、埋戻し土の動的変形特性として用いる ρt 、 G_0 の深度分布と深度依存回帰式を示す。第2.1.4-2図に既往データの0次（平均）、1次関数回帰、2次関数回帰のフィッティングと回帰式（最小二乗法）を示す。数値統計学的なフィッティングの良否を定量的に評価するため、第2.1.4-3図に各次数に対するAIC（オレンジ線）と残差平方和（青線）を示す。AICは、0次（平均）に比べると1次回帰で大きく減少し、2次、3次と次数が増えるのに伴い緩やかに減少する。誤差（残差平方和）が同程度であれば、パラメータの少ないモデルが適切と考えられる。

（参考文献）

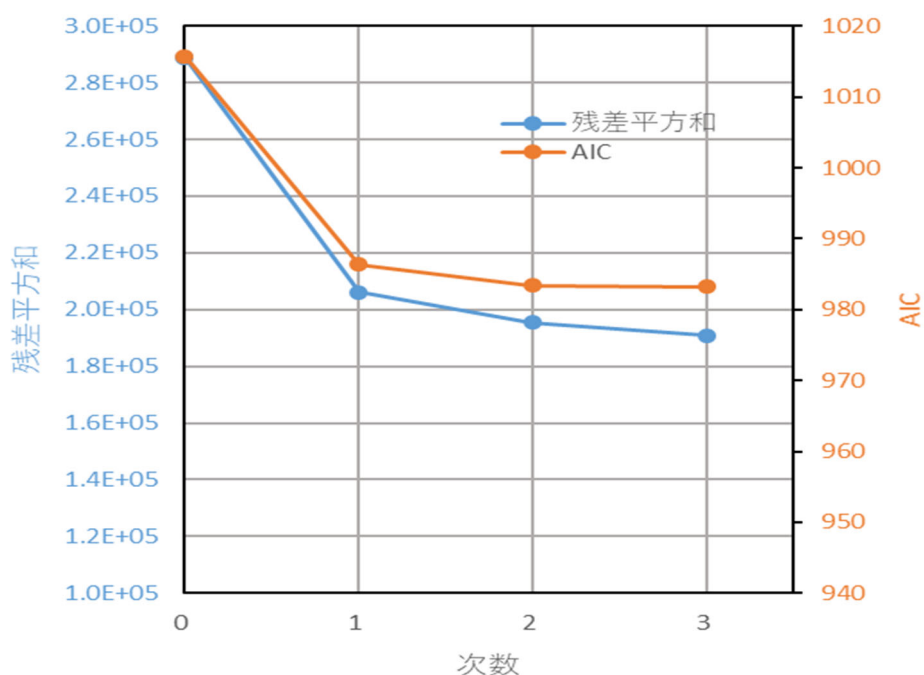
- *1 小西貞則，北川源四郎：情報量規準，シリーズ予測と発見の科学2，朝倉書店，208pp，2004
- *2 唐沢好男：AIC(赤池情報量規準)を学ぶ，Technical Report YK-048，電気通信大学，http://www.radio3.ee.uec.ac.jp/ronbun/TR_YK_048_AIC.pdf，19pp，2020.



第 2. 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

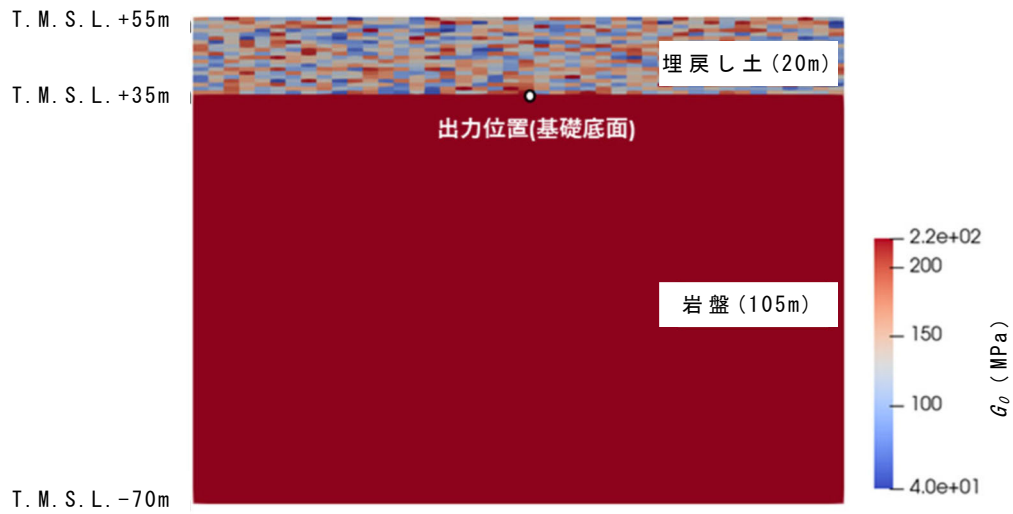
2.2.1 ばらつきを有する表層地盤の加速度応答

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。

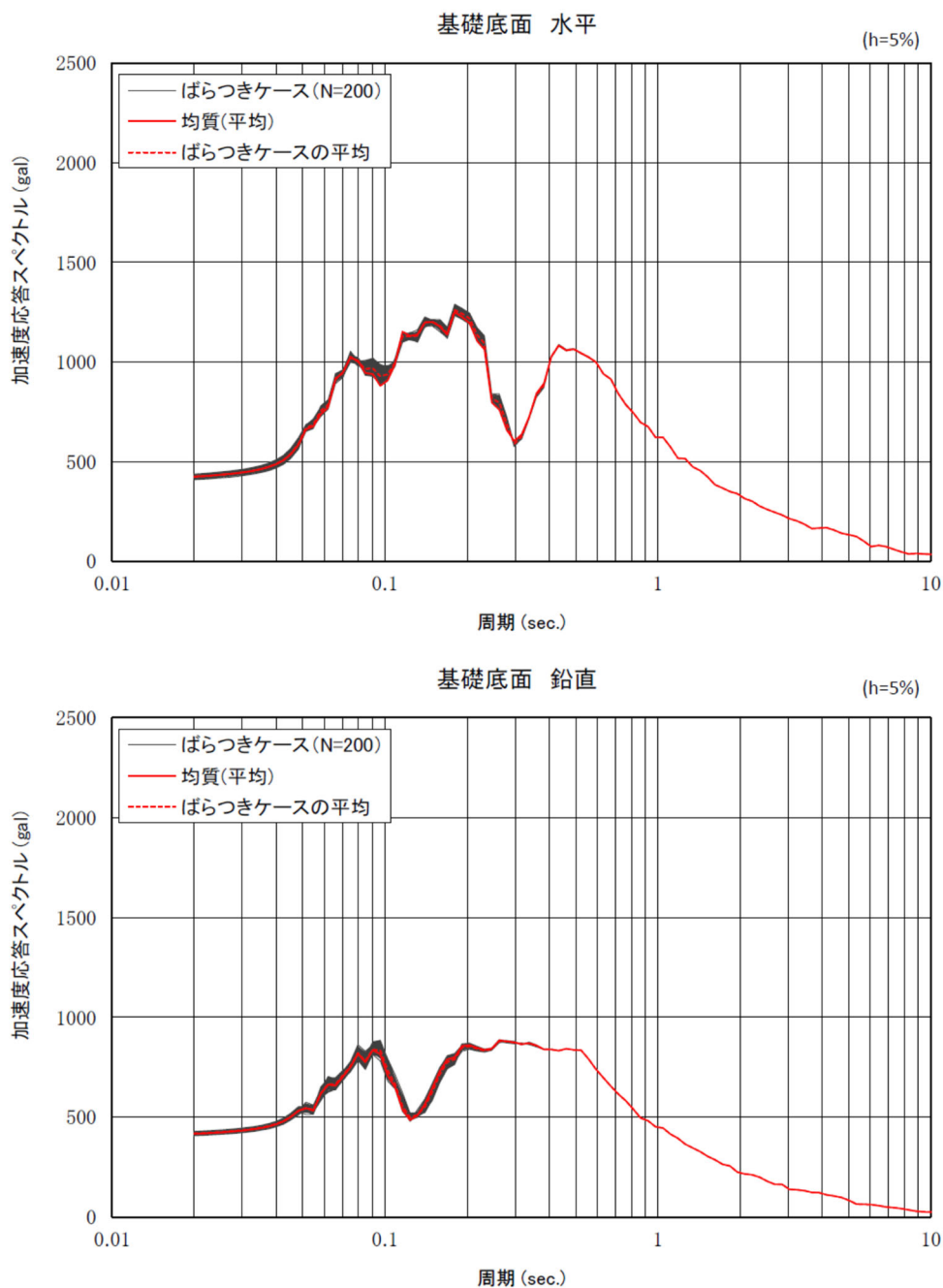


第2.2.1-1図 解析モデル図（深度方向依存なし）

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



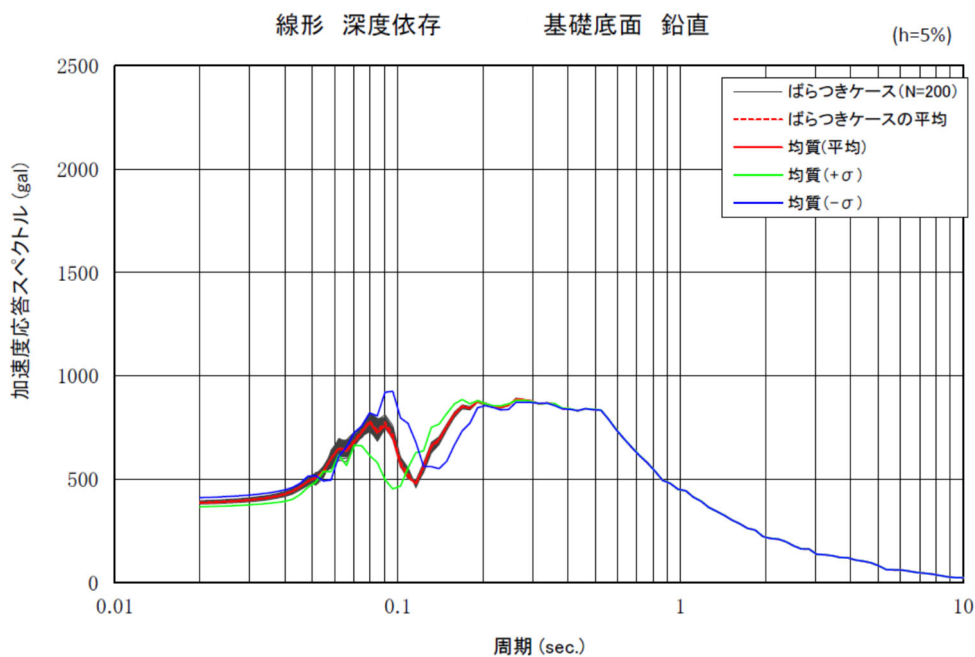
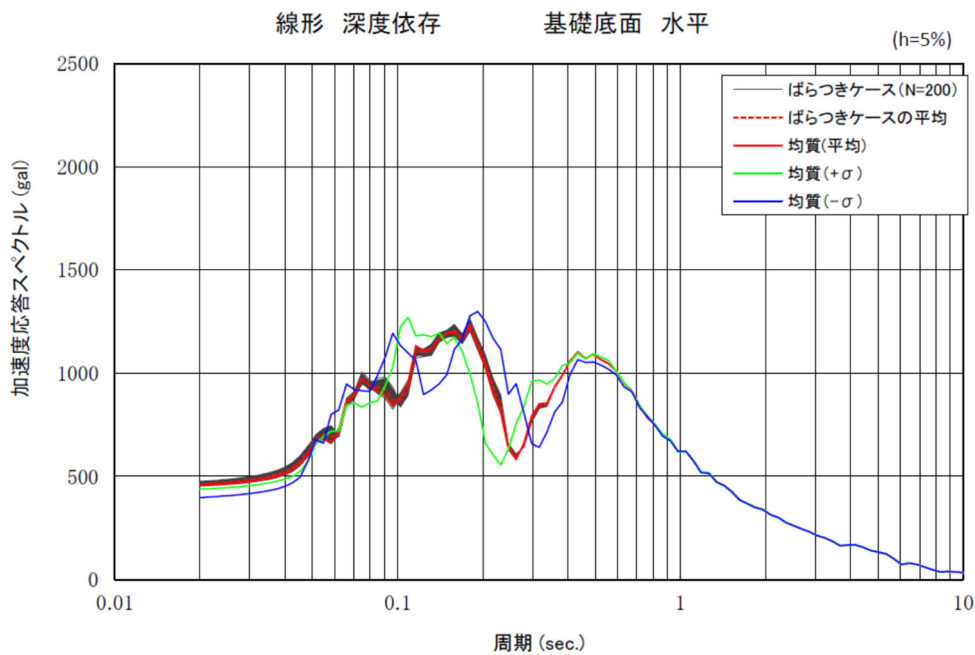
(2) 深度方向依存平均モデル例 (+1 σ)

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

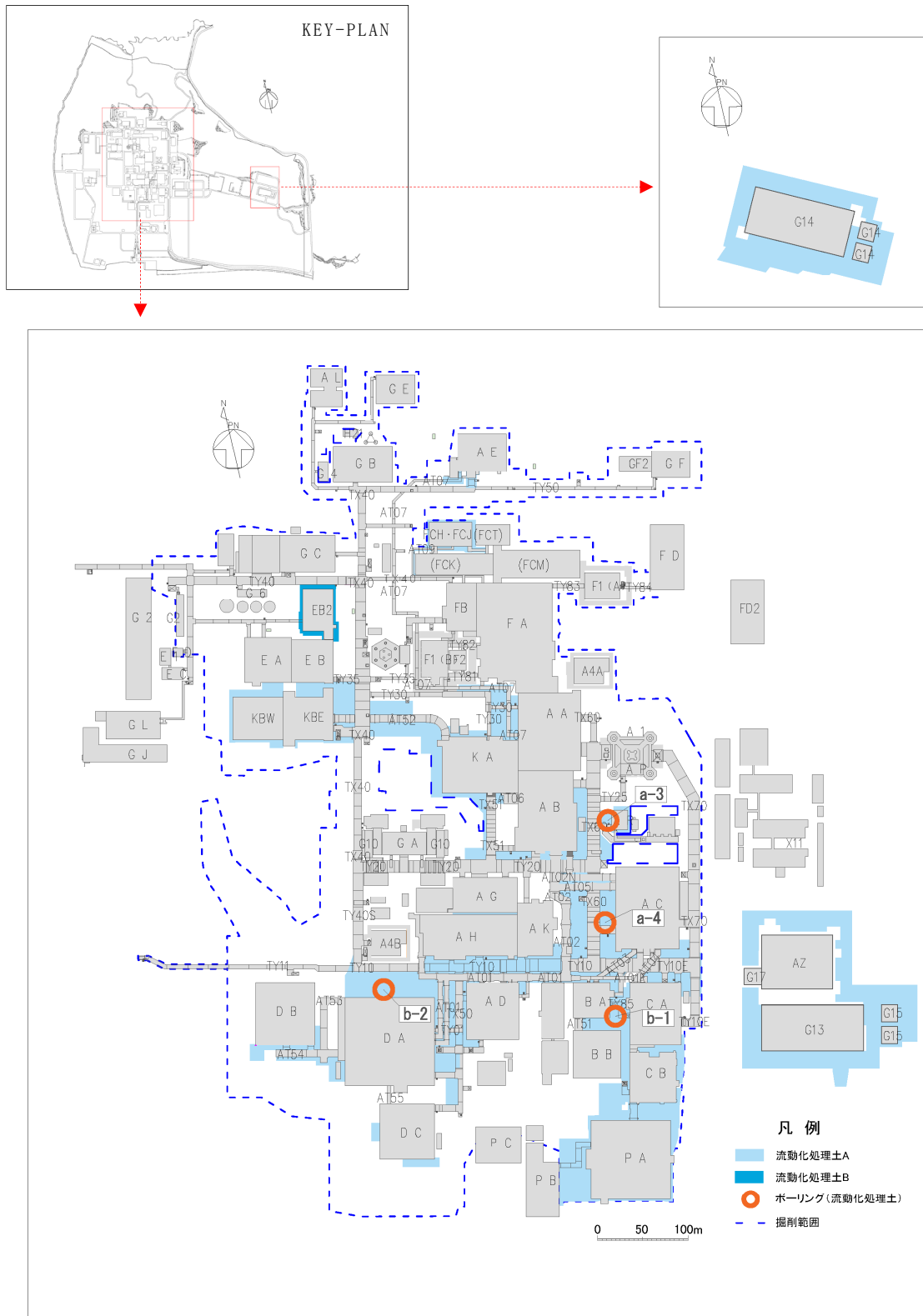
3.1.1 流動化処理土の施工管理状況及び均質性

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管理基準（固化材（セメント）65～150kg/m³程度添加）を定め、施工を行っている（参考 5）。

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 65～150kg/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 qu が 3.0kgf/cm^2 ($\doteq 0.3\text{MPa}$) 以上 （一部管理値を 0.2MPa 及び 0.6MPa と設定している箇所あり） になるよう管理が行われており、一軸圧縮強度 qu の平均値は、 $0.43\sim 1.29\text{MPa}$ の範囲に仕上がっており、ほぼ均質な人工材料である。



※流動化処理土BについてはEB2 廻りに限定的に使用しており,表層地盤の対象から除外する。

第 3.1.1-1 図 流動化処理土の施工範囲位置図

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覽

<p>材料 基準</p>	<p>使用材料：六ヶ所層 セメント添加：65～150kg/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 $q_u \geq 0.2\text{MPa}$ 及び $q_u \geq 0.6\text{MPa}$ あり)</p>

3.1.2 流動化処理土の物性値設定について

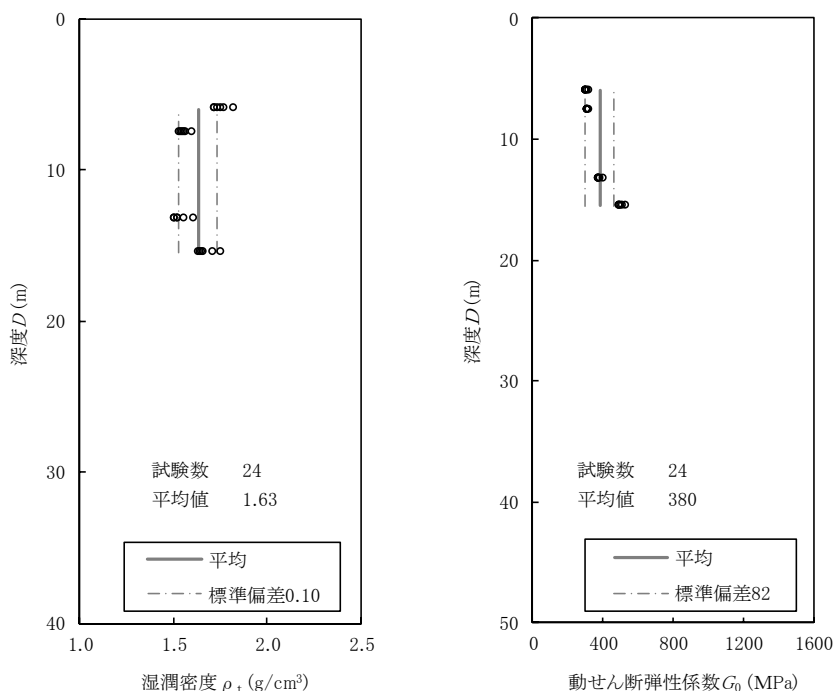
敷地内に分布する流動化処理土の仕様・範囲及び施工に係る品質管理について参考5に示す。

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6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、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、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が確認できている。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。

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5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外側には地山（高位段丘、六ヶ所層等）が存在することから、上記の特徴を考慮し、「基本地盤モデル」における表層地盤を設定する。

参考 1

埋戻し土の施工に係る品質管理について

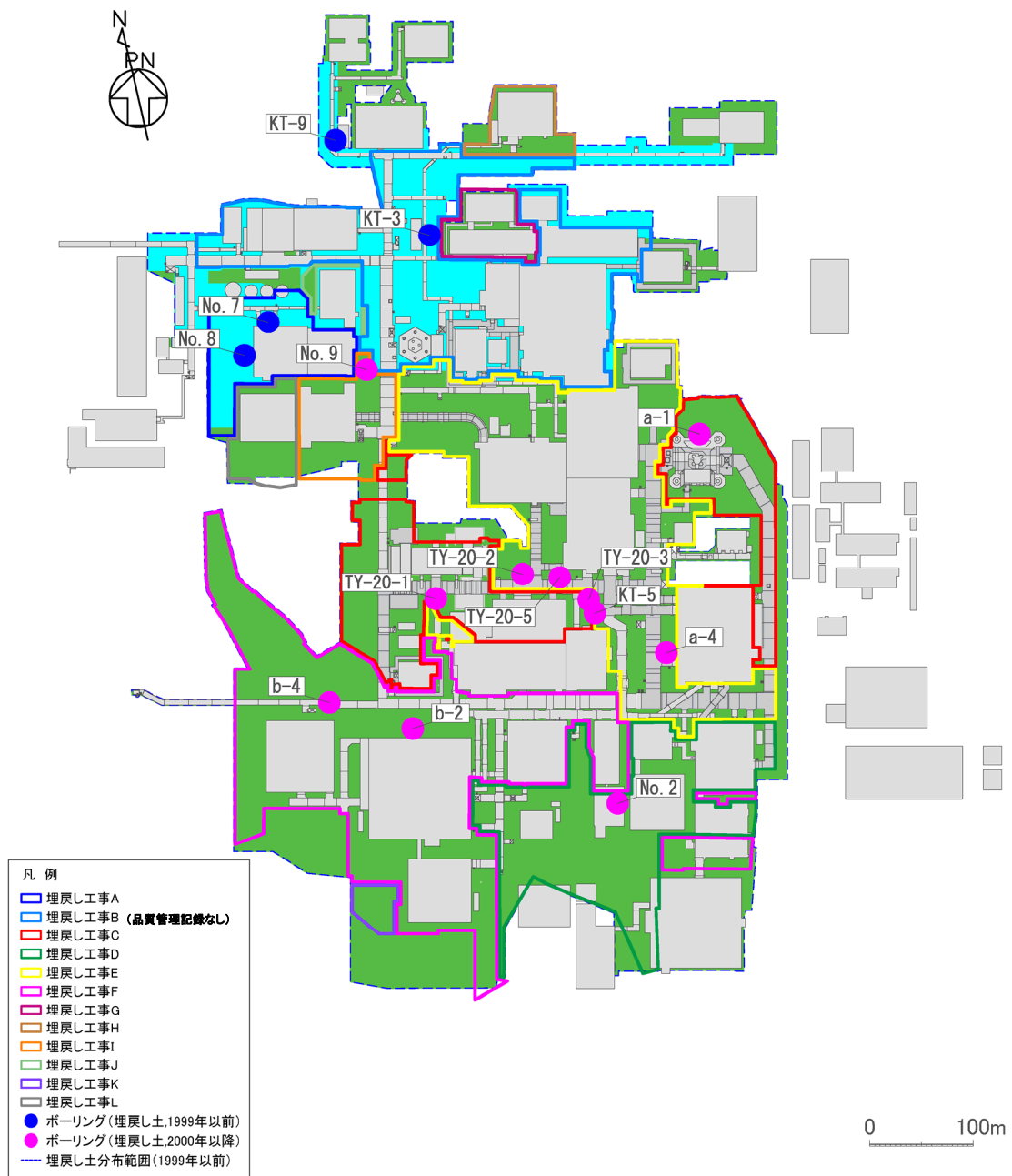
本編 2.1.1 埋戻し土の施工管理状況及び均質性の検討において、主な埋戻し工事の施工実績として、各工事における施工期間、施工範囲、施工規模及び敷均し・転圧の仕様の一覧を参考 1-1 表に、施工ブロック割の位置図を参考 1-1 図に示す。また、施工年代別の品質管理要領を参考 1-2 図及び参考 1-3 図に示し、その基準をもとに得られた品質管理記録として、1999 年以前におけるコーン貫入抵抗 qc を参考 1-4 図、2000 年以降における締固め度 D_c を参考 1-5 図に示す。1999 年以前について、一部データはないもののおおむね管理目標値である $qc=10\text{kgf/cm}^2$ 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。ここで、1999 年以前と 2000 年以降の粒度分布と N 値に着目する。なお、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）についても考察する。埋戻し土（主に液状化試験）の粒度分布及び N 値を参考 1-6 図及び参考 1-7 図に示す。参考 1-6 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 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。また、参考 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 KT-3 及び KT-9 についてもその範囲内にあることが確認できる。上記より施工時期や施工範囲による大きなばらつきは認められないことを確認した。

参考 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-21t 50cm/層	BD-21t 4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, FI(A), FCK, FCM, FA, FB, FI(B), A2, AQ	KT-3 KT-9	222,000	13.3%	大・中規模 BD-21t 50cm/層	BD-21t 4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%	中規模 BH-0.6m ³ BD-3t 30cm/層	BH-0.8～1.1t TP-60～100kg 4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%	中規模 BH-0.6m ³ BD-3t 30cm/層	SV-12t 4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%	中規模 BH-0.35m ³ CS-0.6m ³ 人力 30cm/層	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-21t 40cm/層	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 人力 30cm/層	HV-0.8～1.1t TP-60～100kg 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-21t 30cm/層	SV-4t 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	KBE	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-21t 40cm/層	BD-21t SV-3.5t 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 TP 4回転圧	締固め度Dc	あり	
				1,670,000	100%					

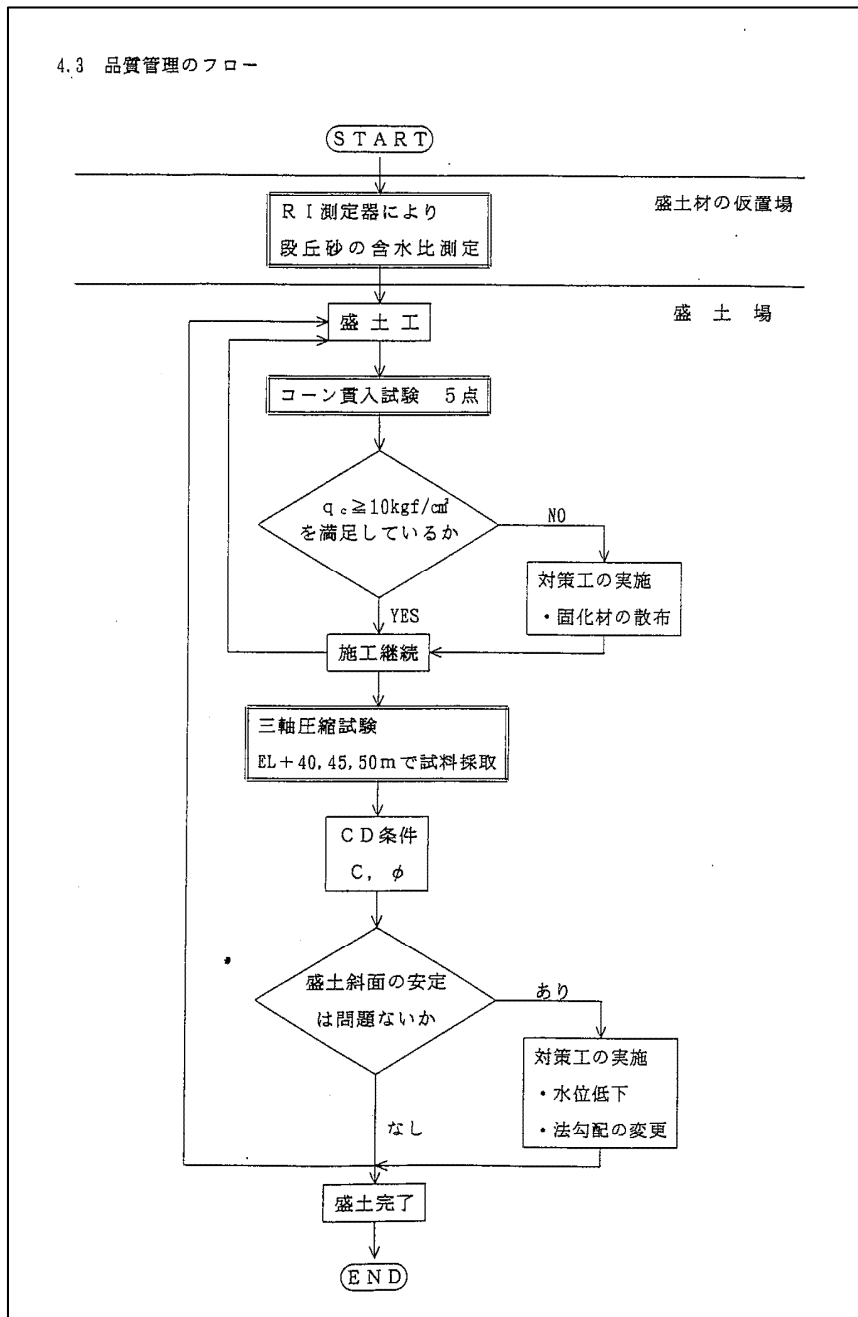
※1 施工方法 大規模:施工上の制約がない平地(施工幅W≧10m), 中規模:建物・構造物及び山留壁近傍(5m≦施工幅W<10m), 小規模:建物・構造物及び山留壁近傍の狭隘部(施工幅W<5m)

※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:ハンドガシ式振動ローラ, TP:タンパ, SV:振動ローラ

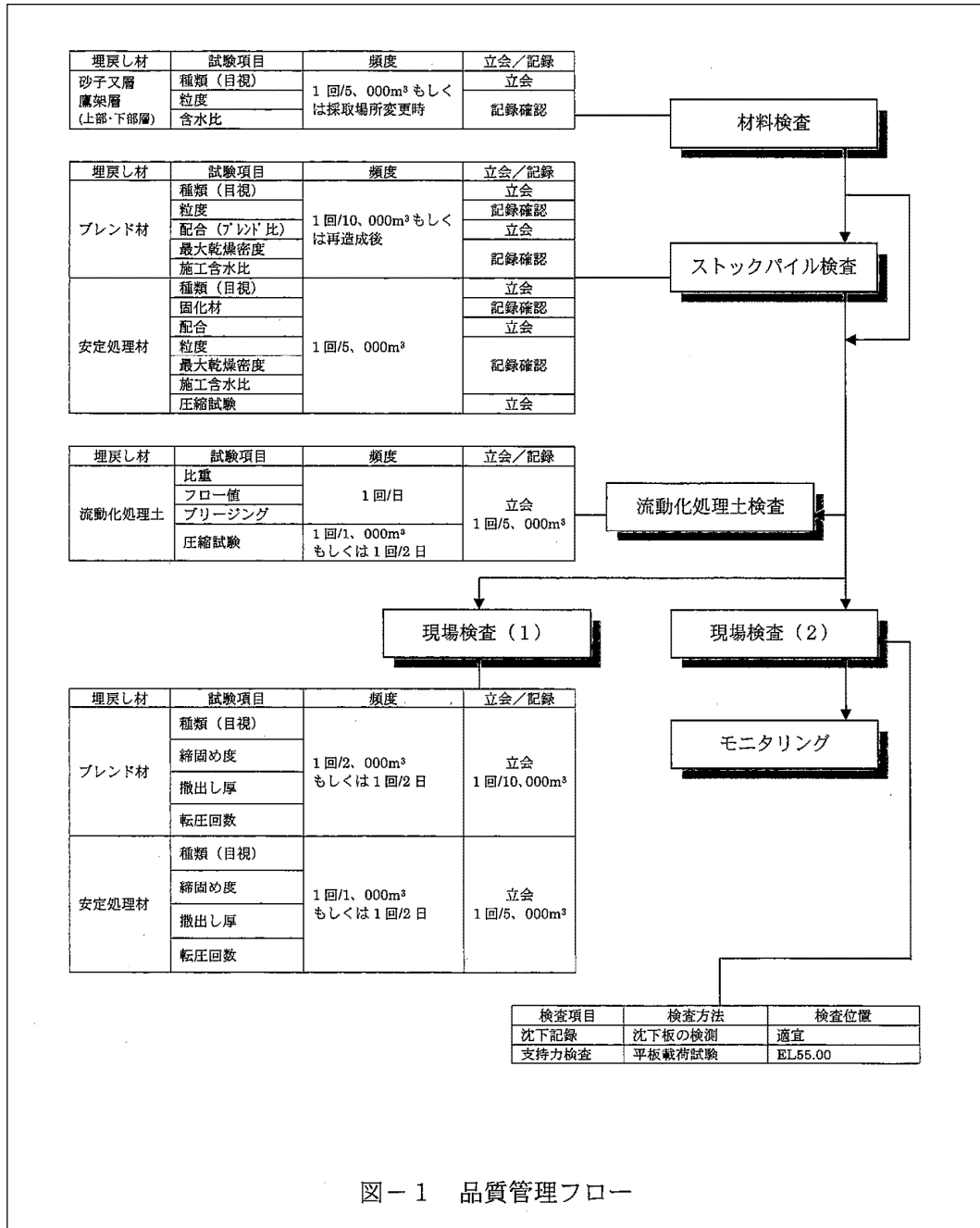


参考1-1図 施工ブロック割位置図

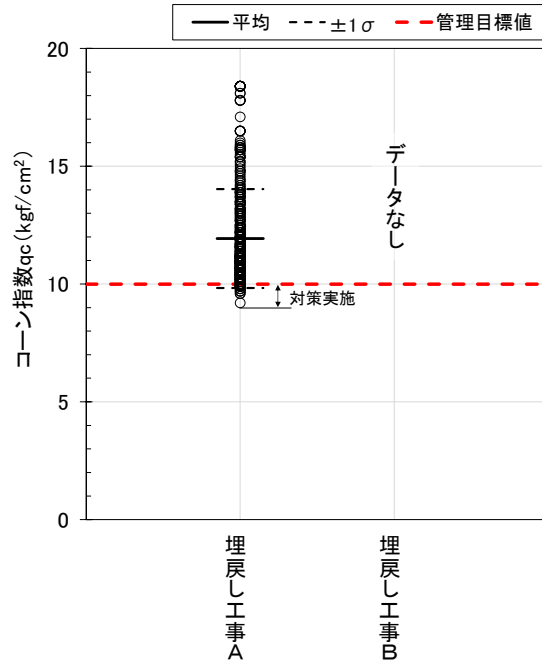
4.3 品質管理のフロー



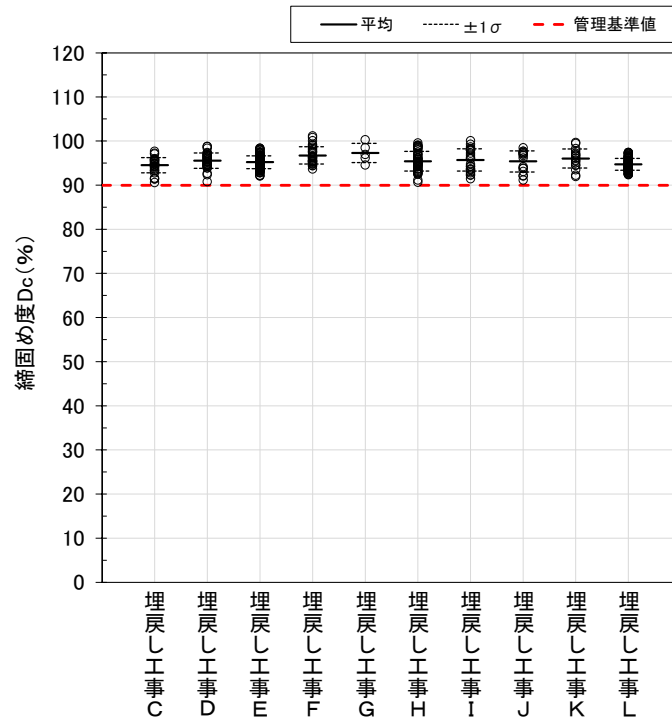
参考1-2図 1999年以前の品質管理要領



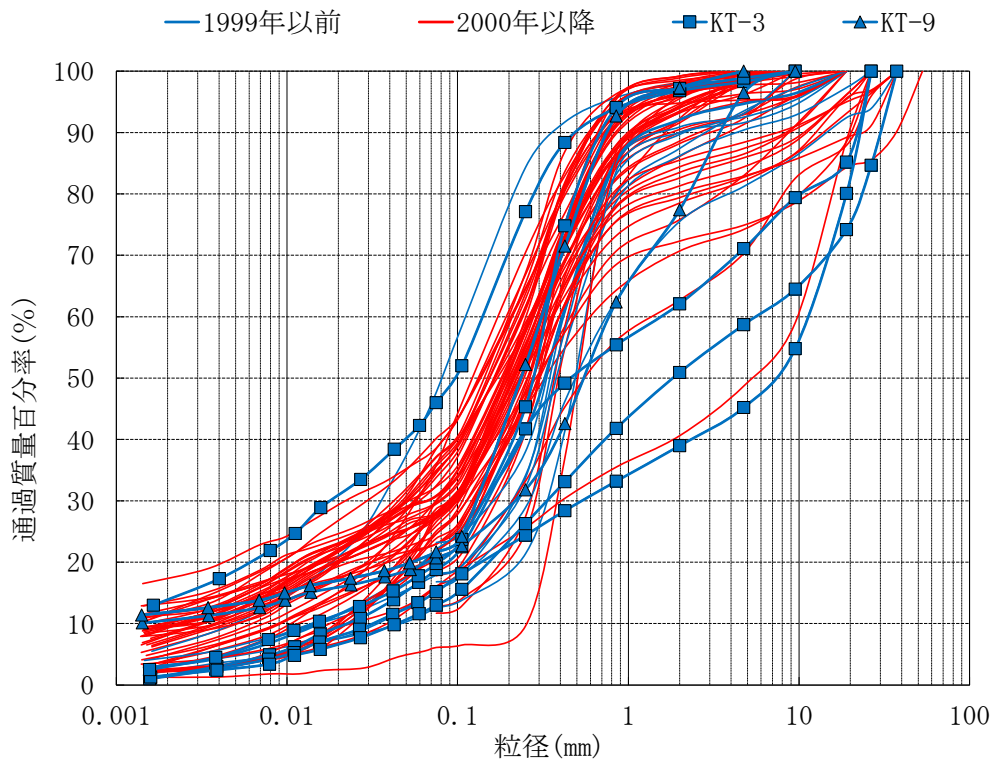
参考1-3図 2000年以降の品質管理要領



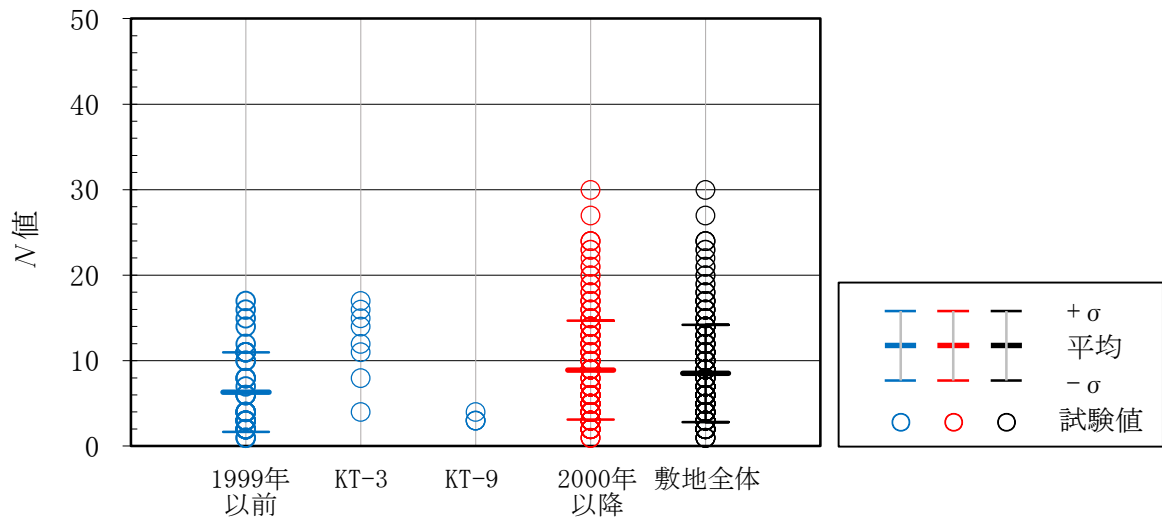
参考 1-4 図 品質管理記録
(1999 年以前, コーン貫入抵抗 q_c)



参考 1-5 図 品質管理記録
(2000 年以降, 締固め度 D_c)



参考 1-6 図 施工年代別の粒度分布



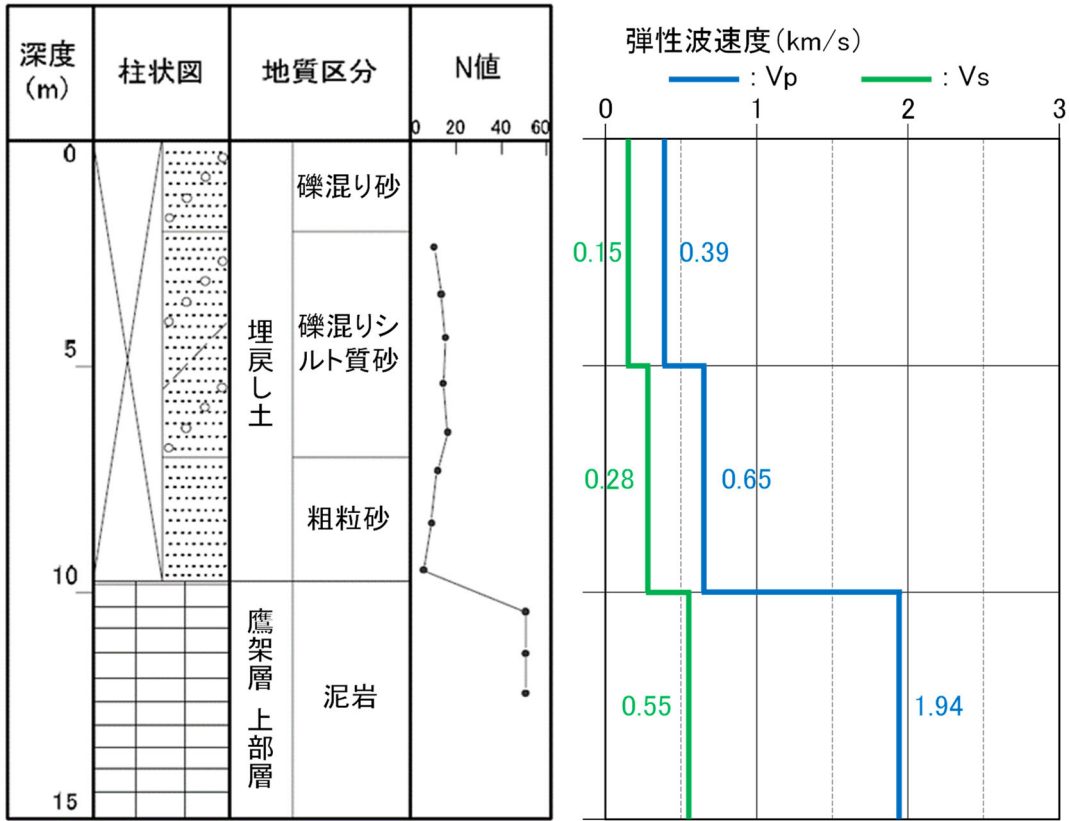
参考 1-7 図 施工年代別の N 値

参考 2

埋戻し土のボーリング柱状図について

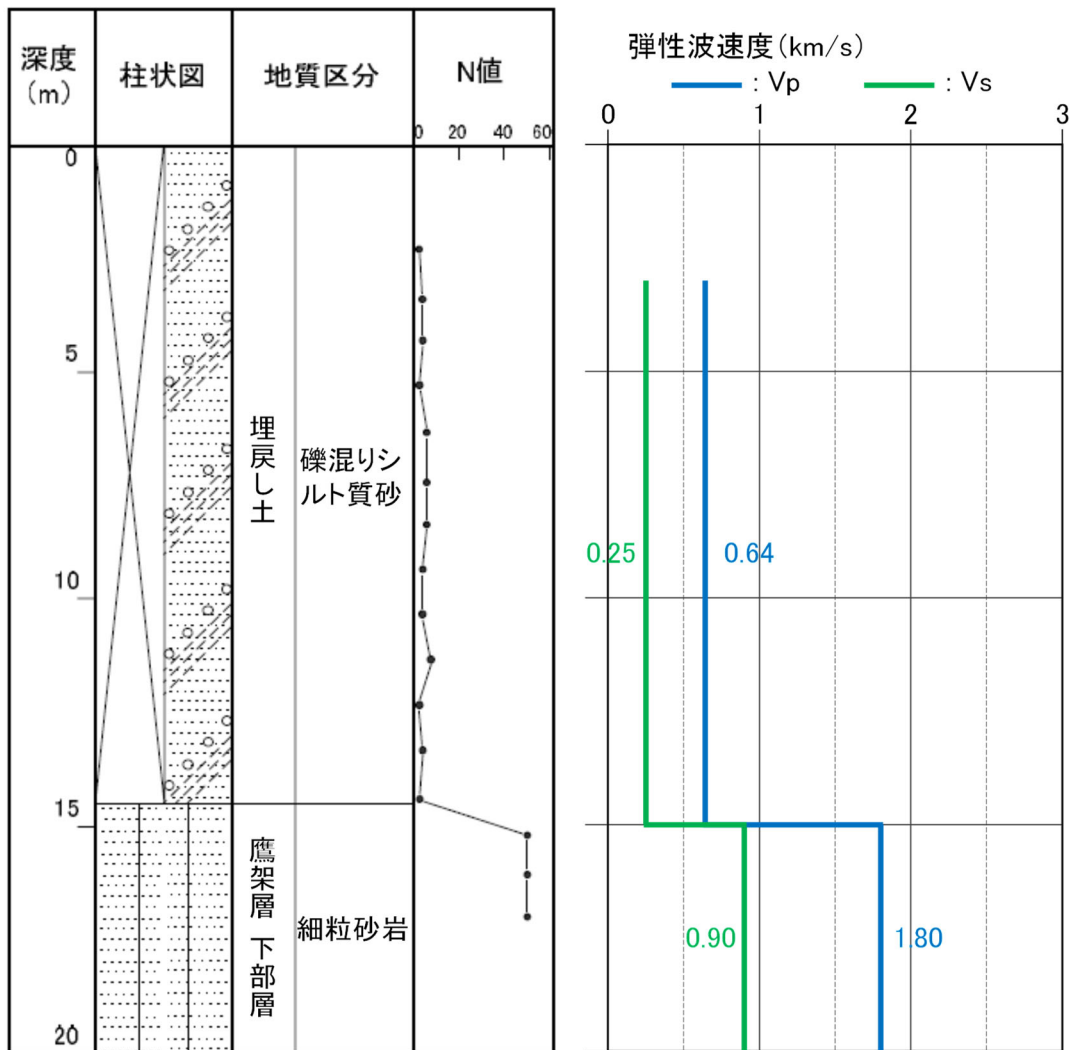
本編 2.1.2 埋戻し土の物性値設定の検討における事業変更許可申請書で設定した埋戻し土のボーリング柱状図及び物理・力学特性を参考 2-1 図～参考 2-15 図に示す。

KT-3 (孔口標高 55.17m)



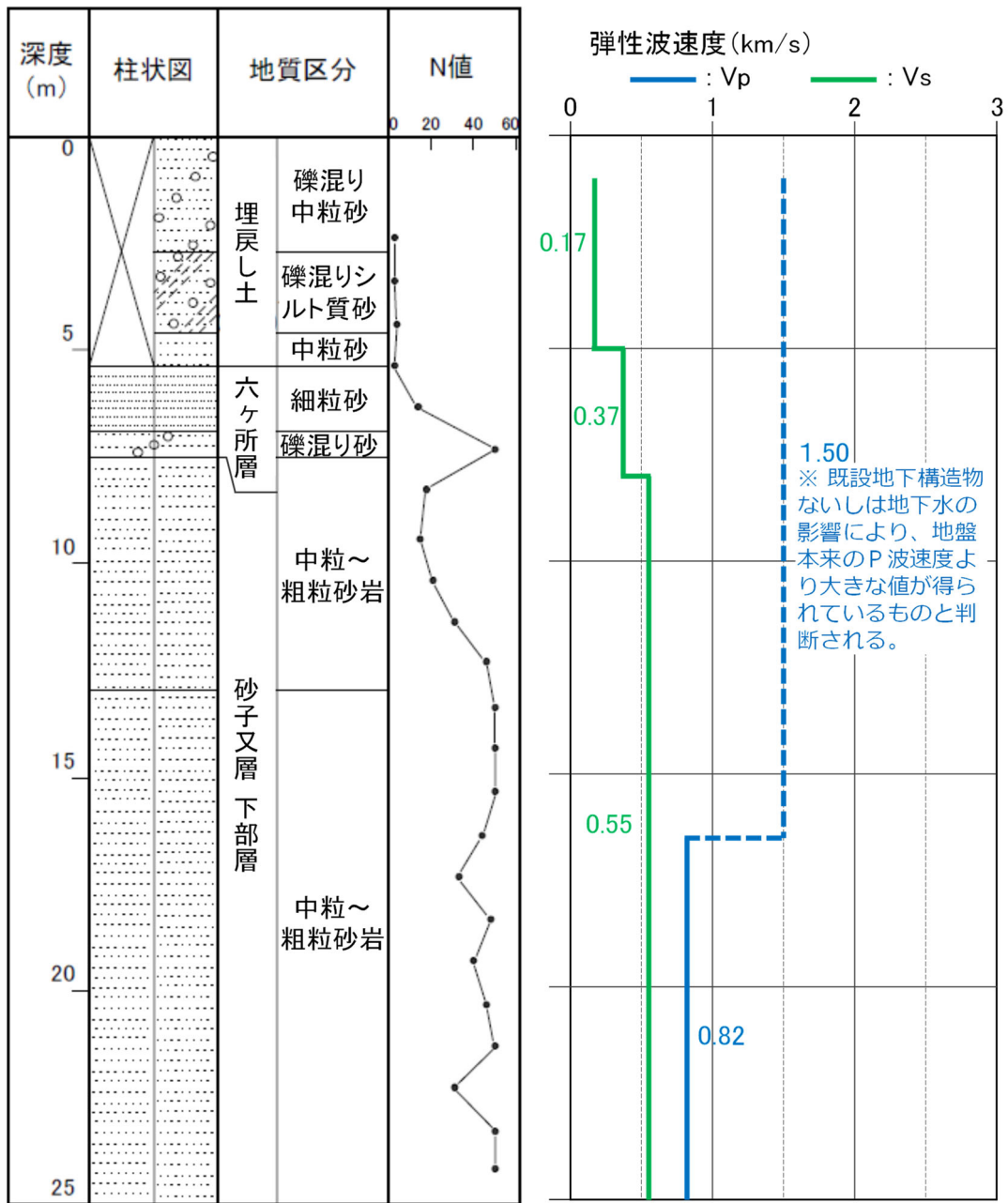
参考 2-1 図 ボーリング柱状図 (KT-3孔)

KT-5 (孔口標高 54.93m)



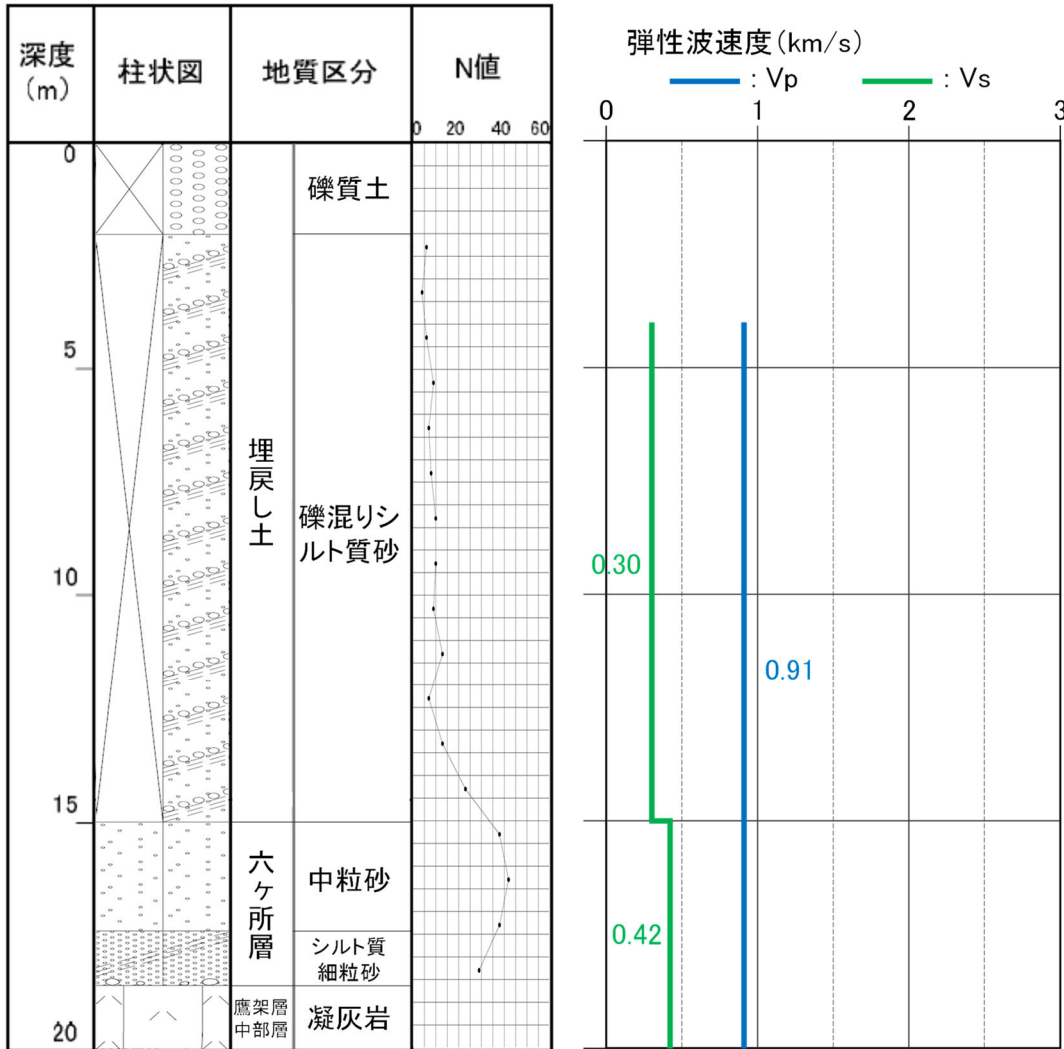
参考2-2図 ボーリング柱状図 (KT-5孔)

KT-9 (孔口標高 54.94m)



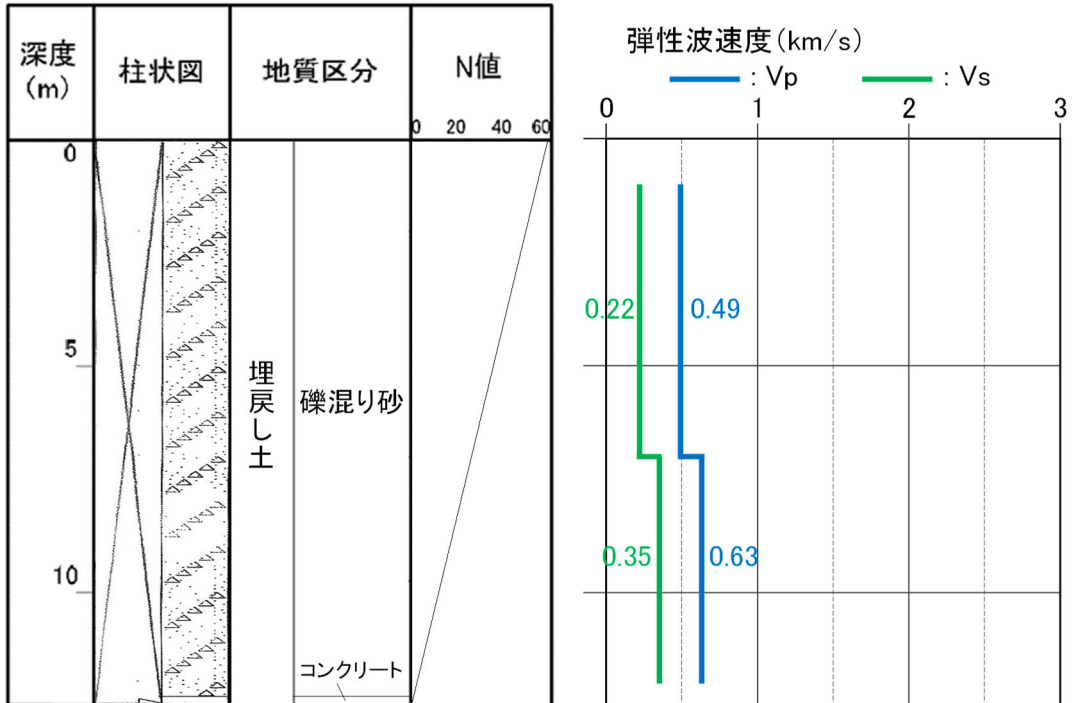
参考2-3図 ボーリング柱状図 (KT-9孔)

No.2 (孔口標高 54.99m)



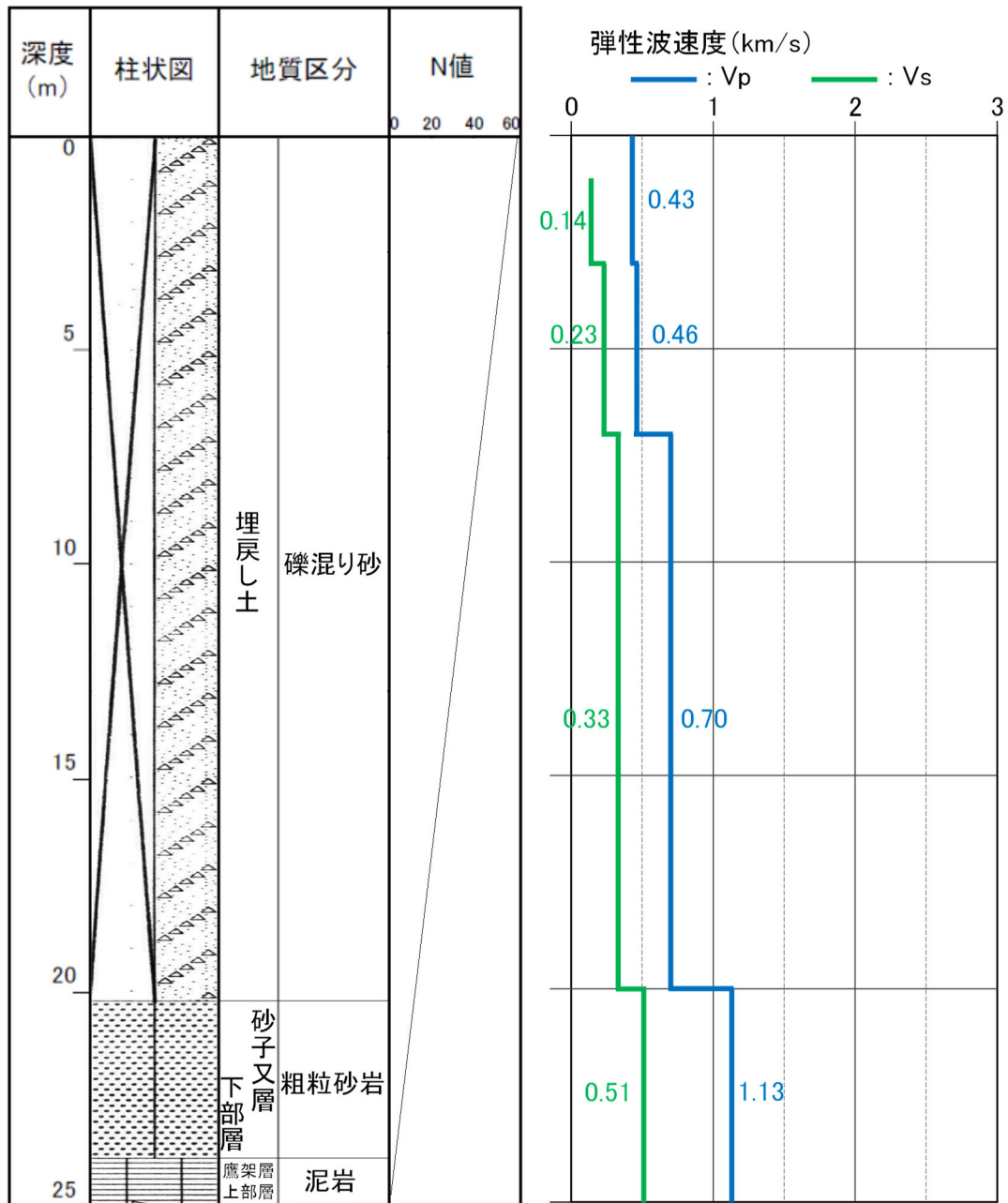
参考2-4図 ボーリング柱状図 (No. 2孔)

No.7 (孔口標高 55.20m)



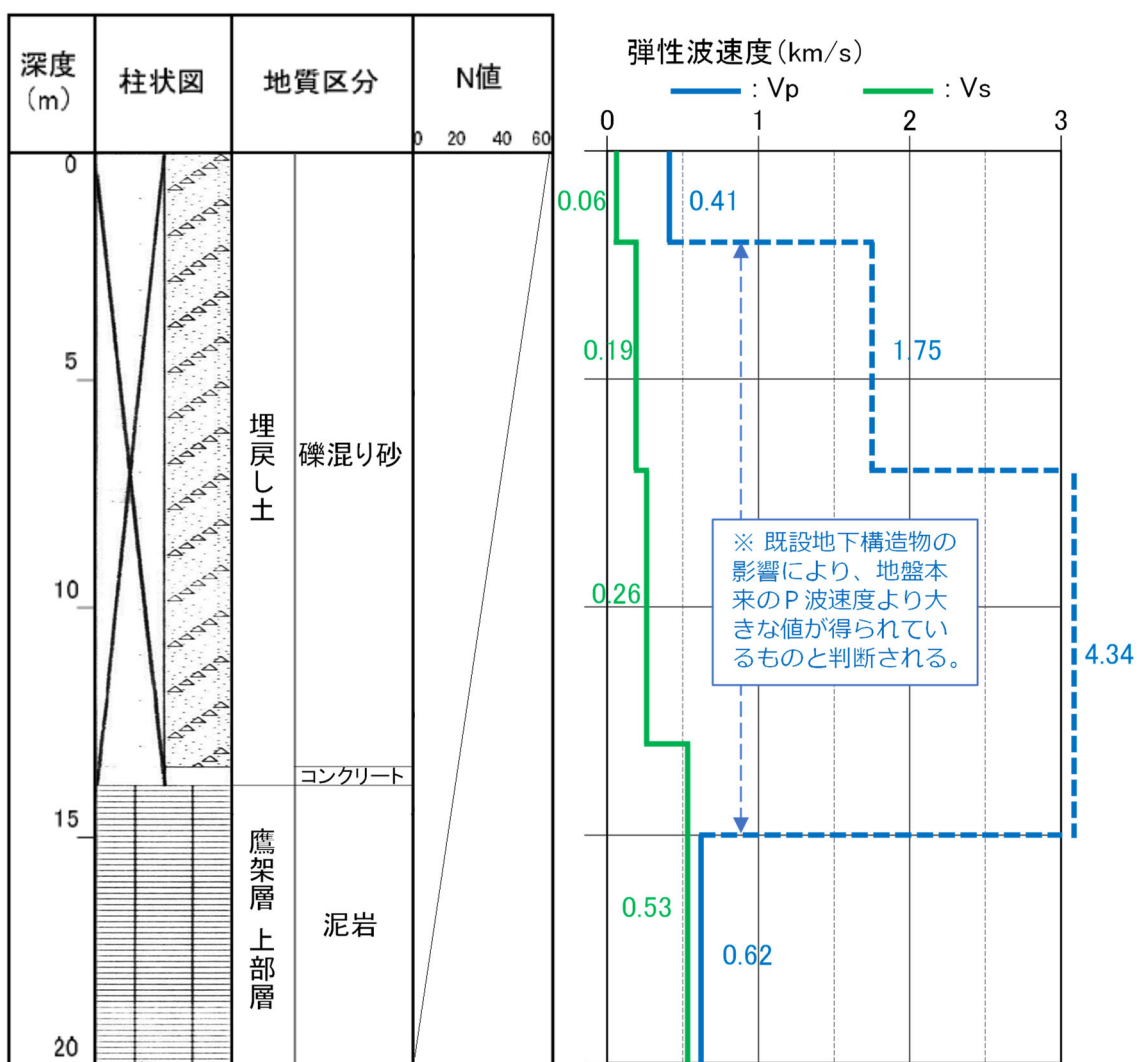
参考2-5図 ボーリング柱状図 (No.7孔)

No.8 (孔口標高 55.03m)



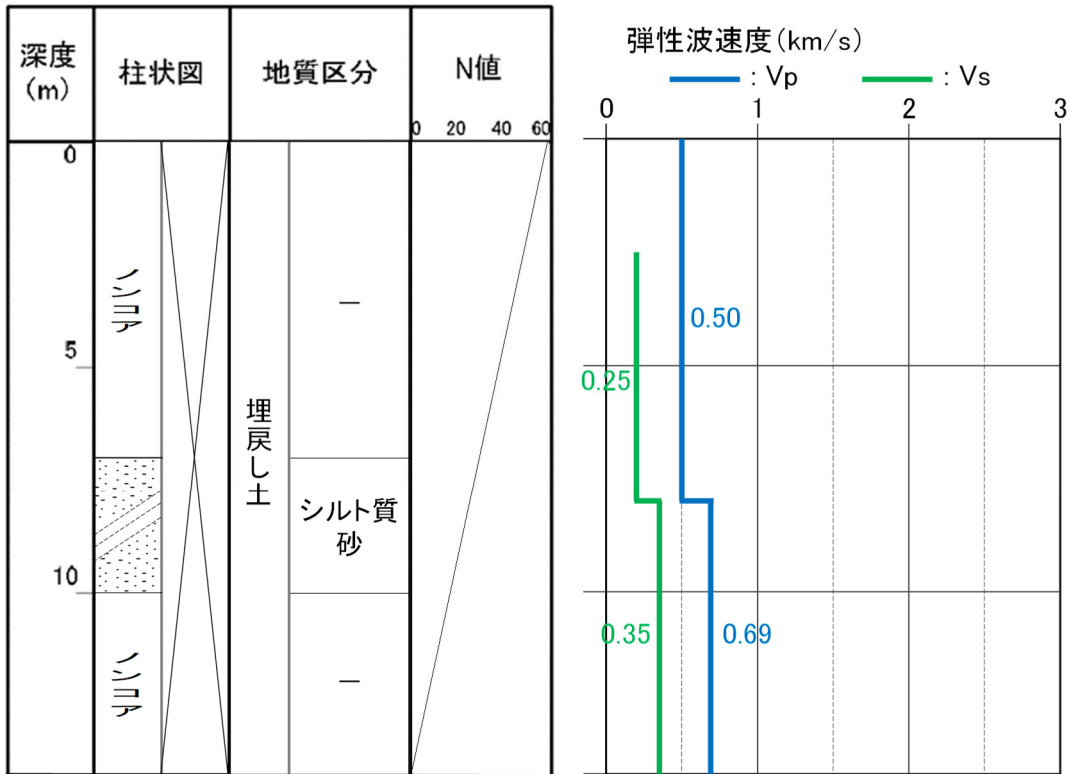
参考2-6図 ボーリング柱状図 (No. 8孔)

No.9 (孔口標高 55.10m)



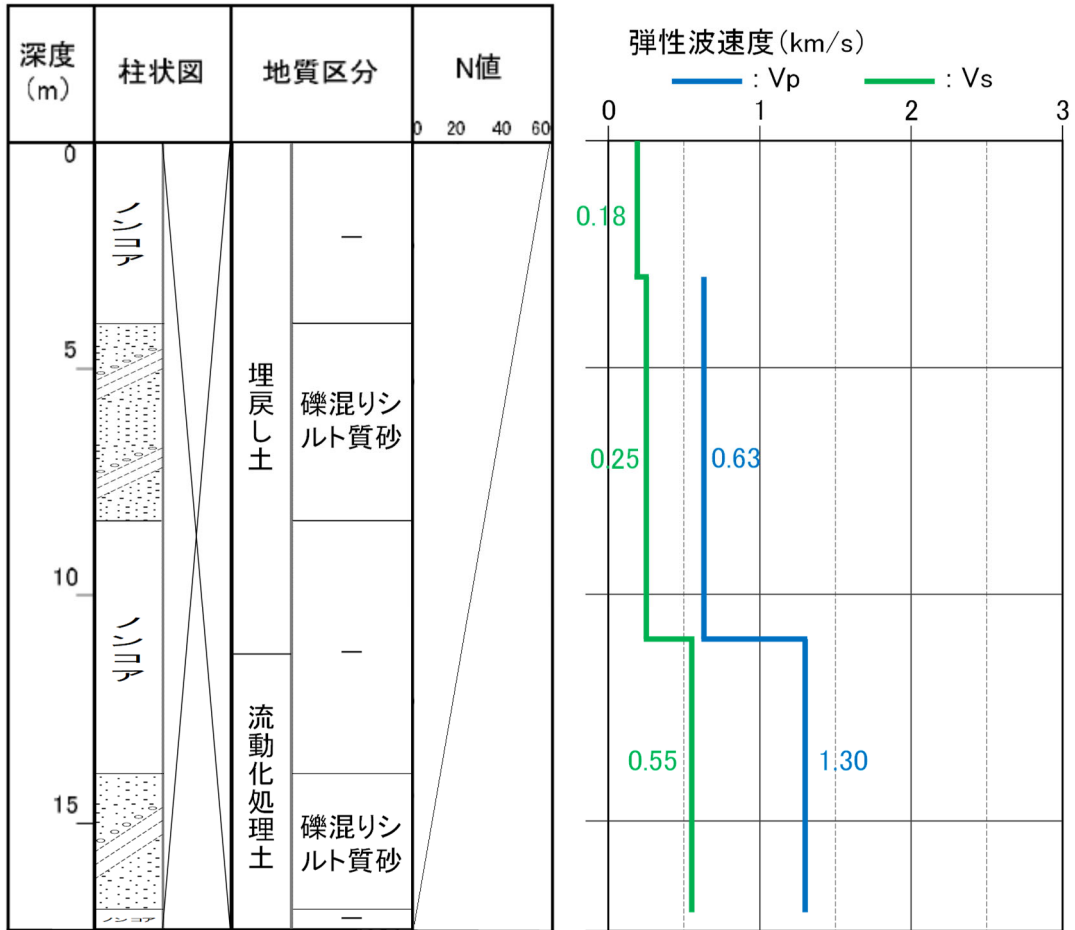
参考2-7図 ボーリング柱状図 (No. 9孔)

a-1 (孔口標高 55.03m)



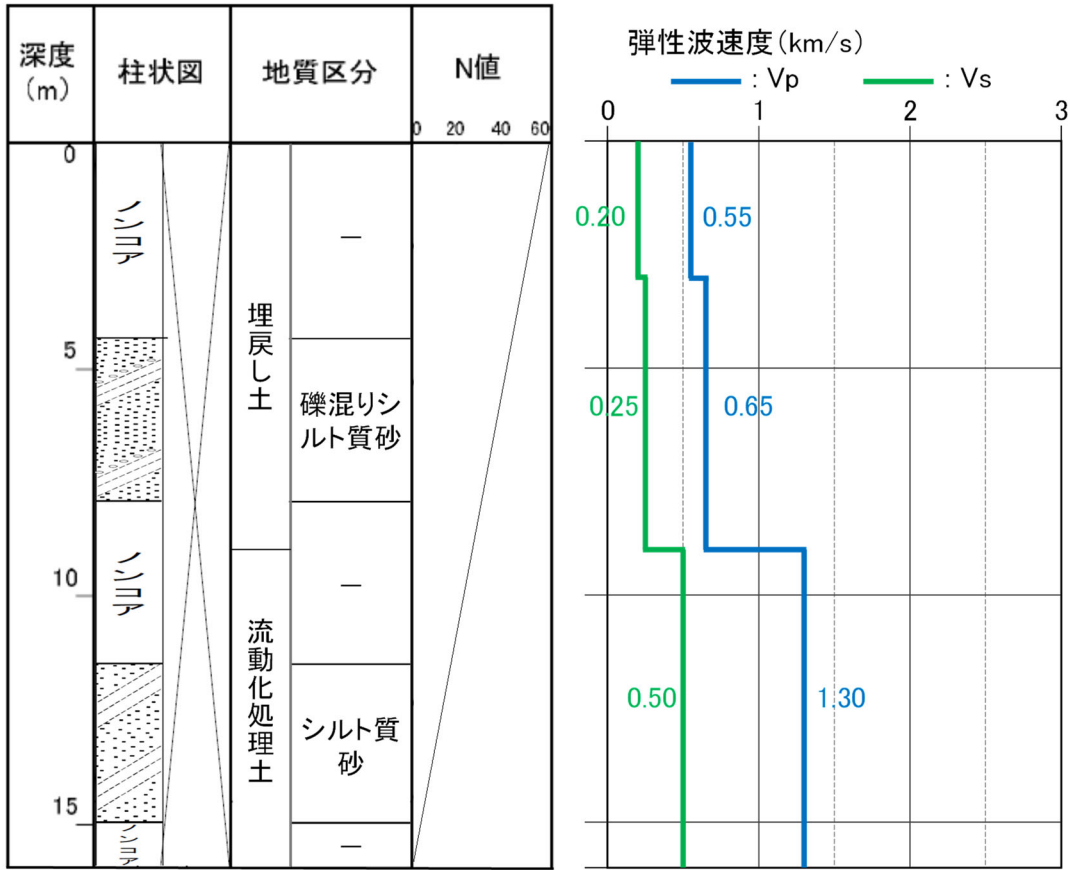
参考2-8図 ボーリング柱状図 (a-1孔)

a-4 (孔口標高 55.06m)



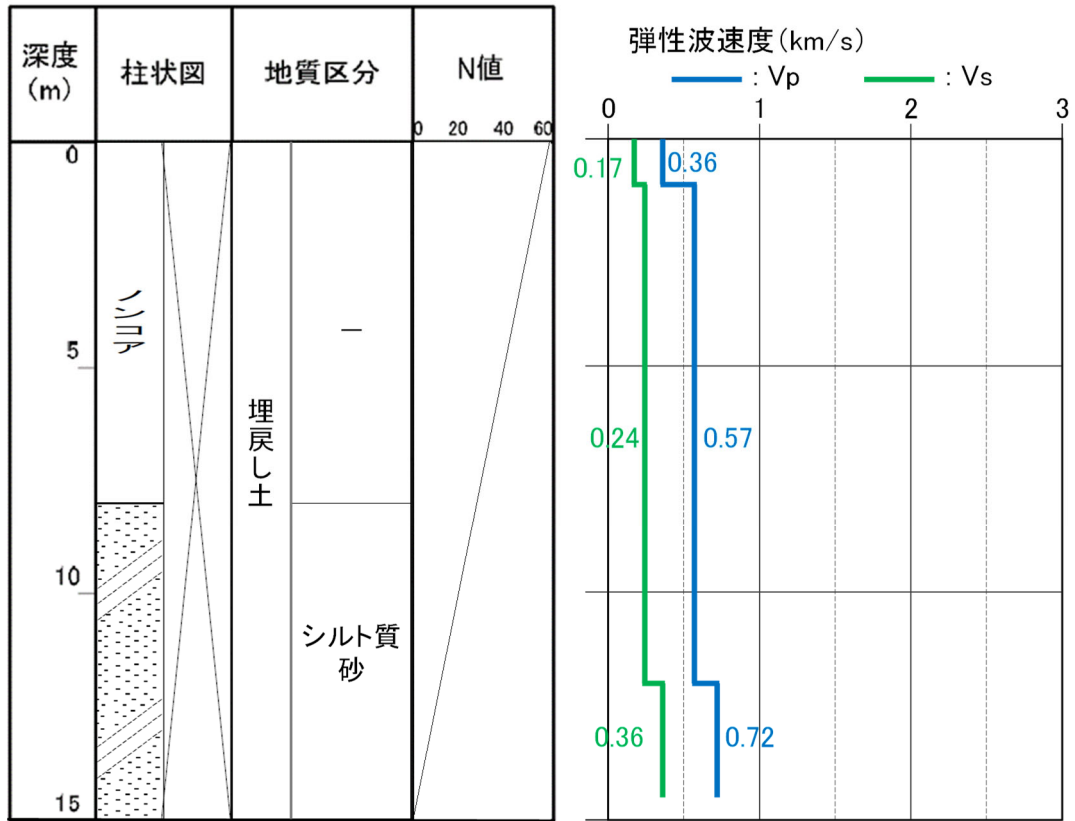
参考2-9図 ボーリング柱状図 (a-4孔)

b-2 (孔口標高 55.04m)



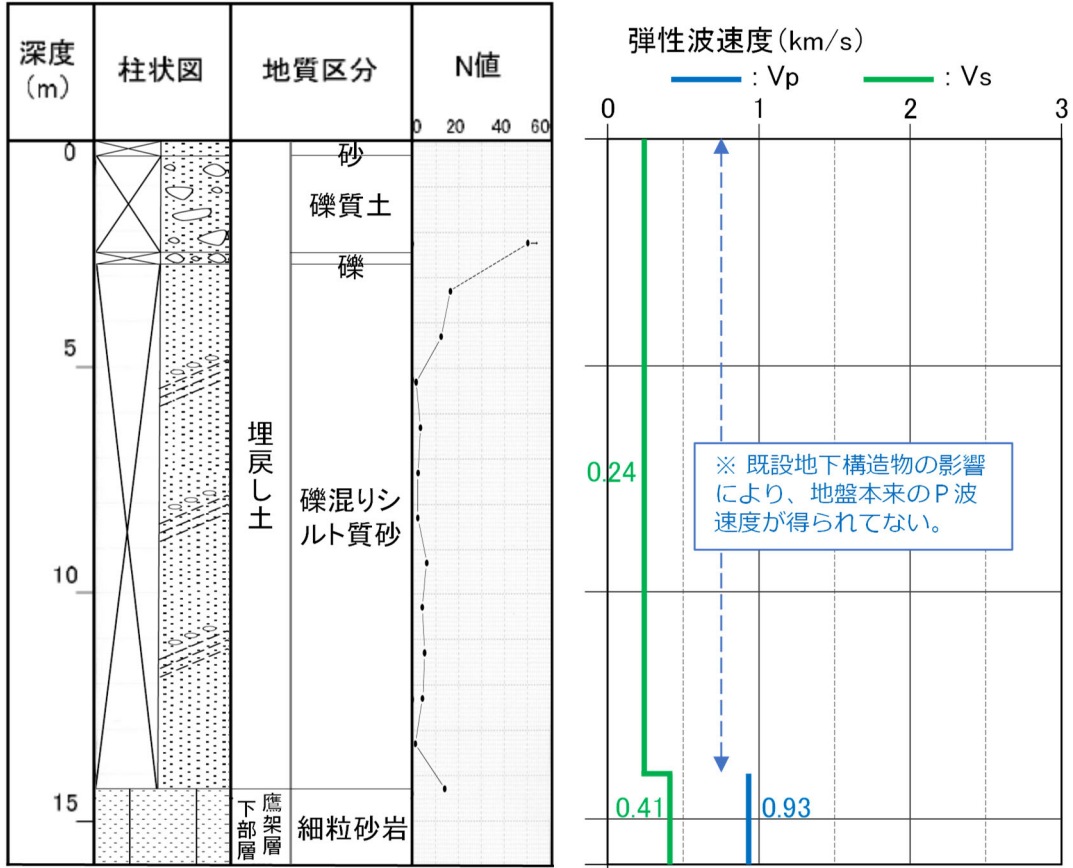
参考2-10図 ボーリング柱状図 (b-2孔)

b-4(孔口標高 54.95m)



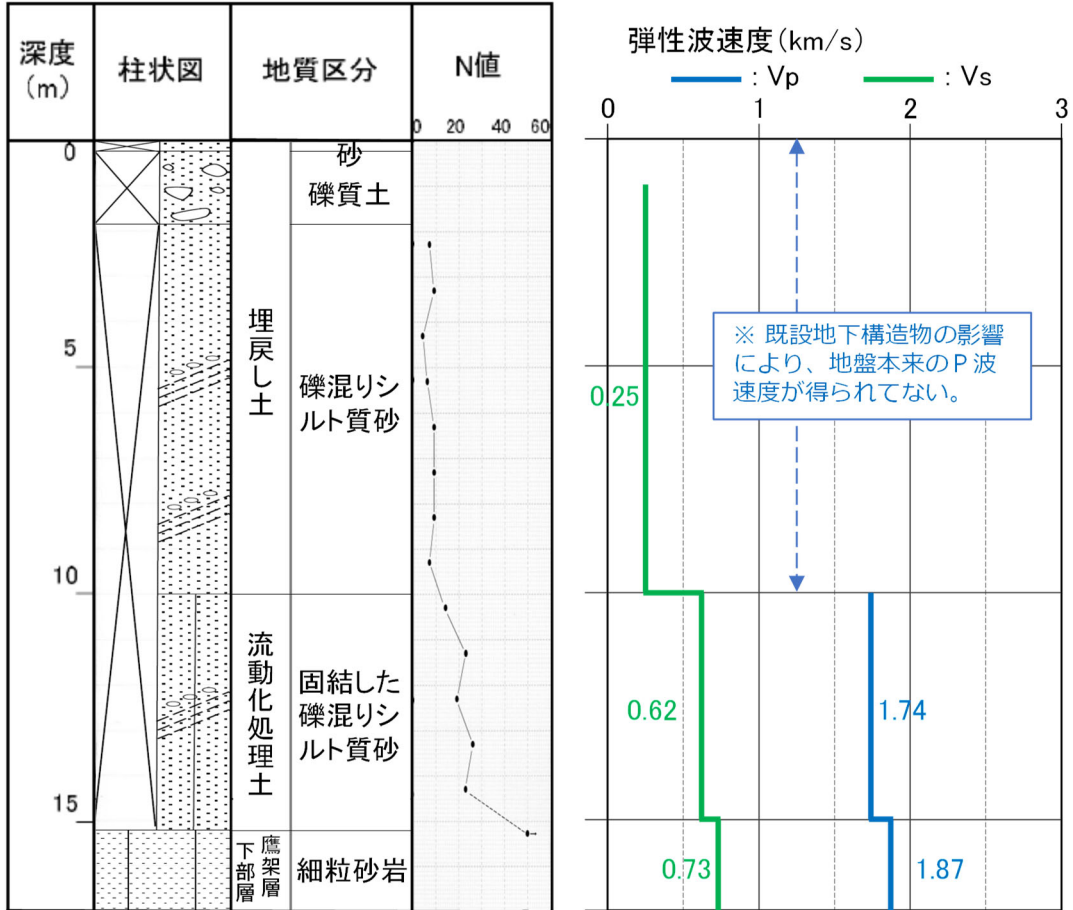
参考2-11図 ボーリング柱状図 (b-4孔)

TY-20-1 (孔口標高 54.98m)



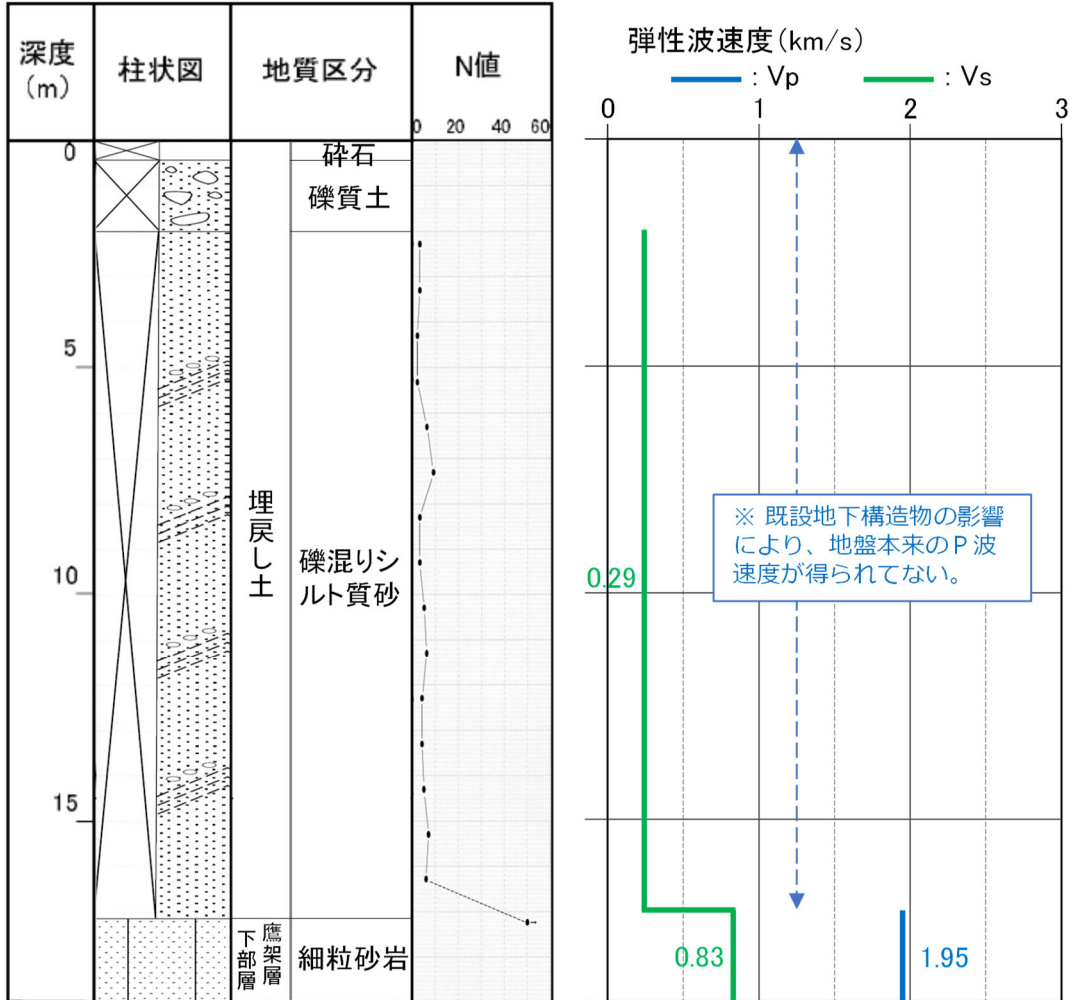
参考2-12図 ボーリング柱状図 (TY-20-1孔)

TY-20-2 (孔口標高 55.08m)



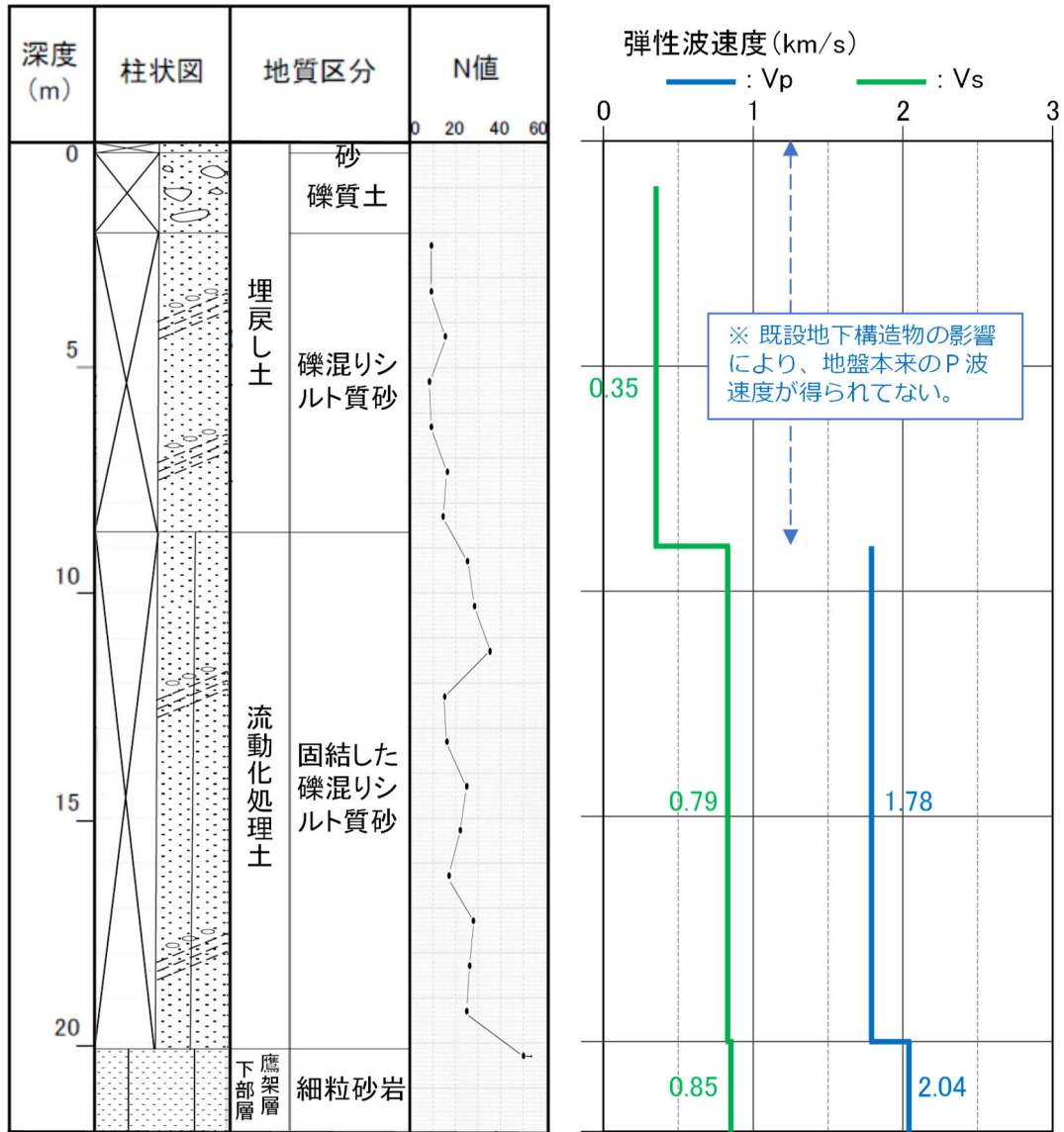
参考2-13図 ボーリング柱状図 (TY-20-2孔)

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)

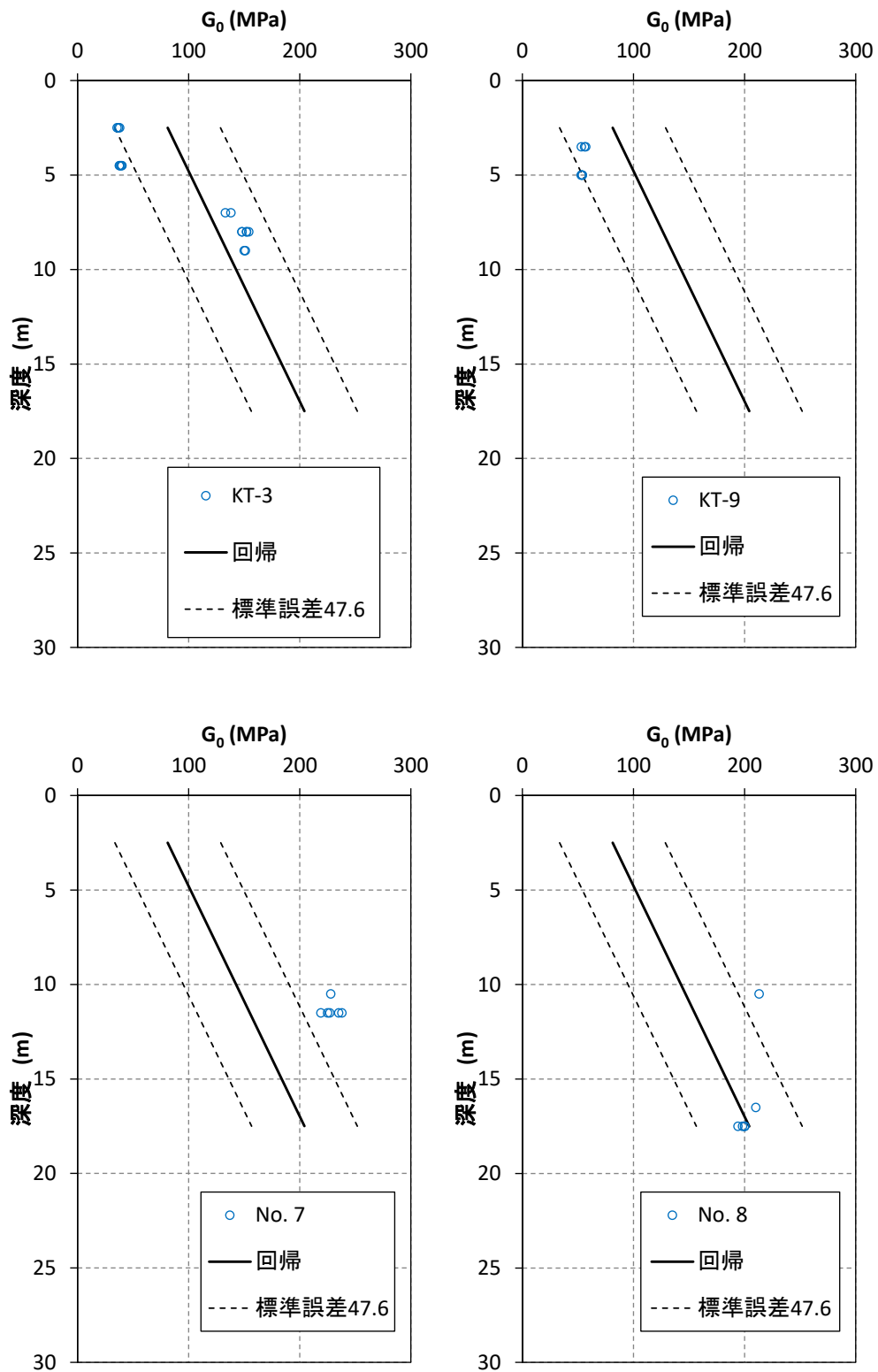


参考2-15図 ボーリング柱状図 (TY-20-5孔)

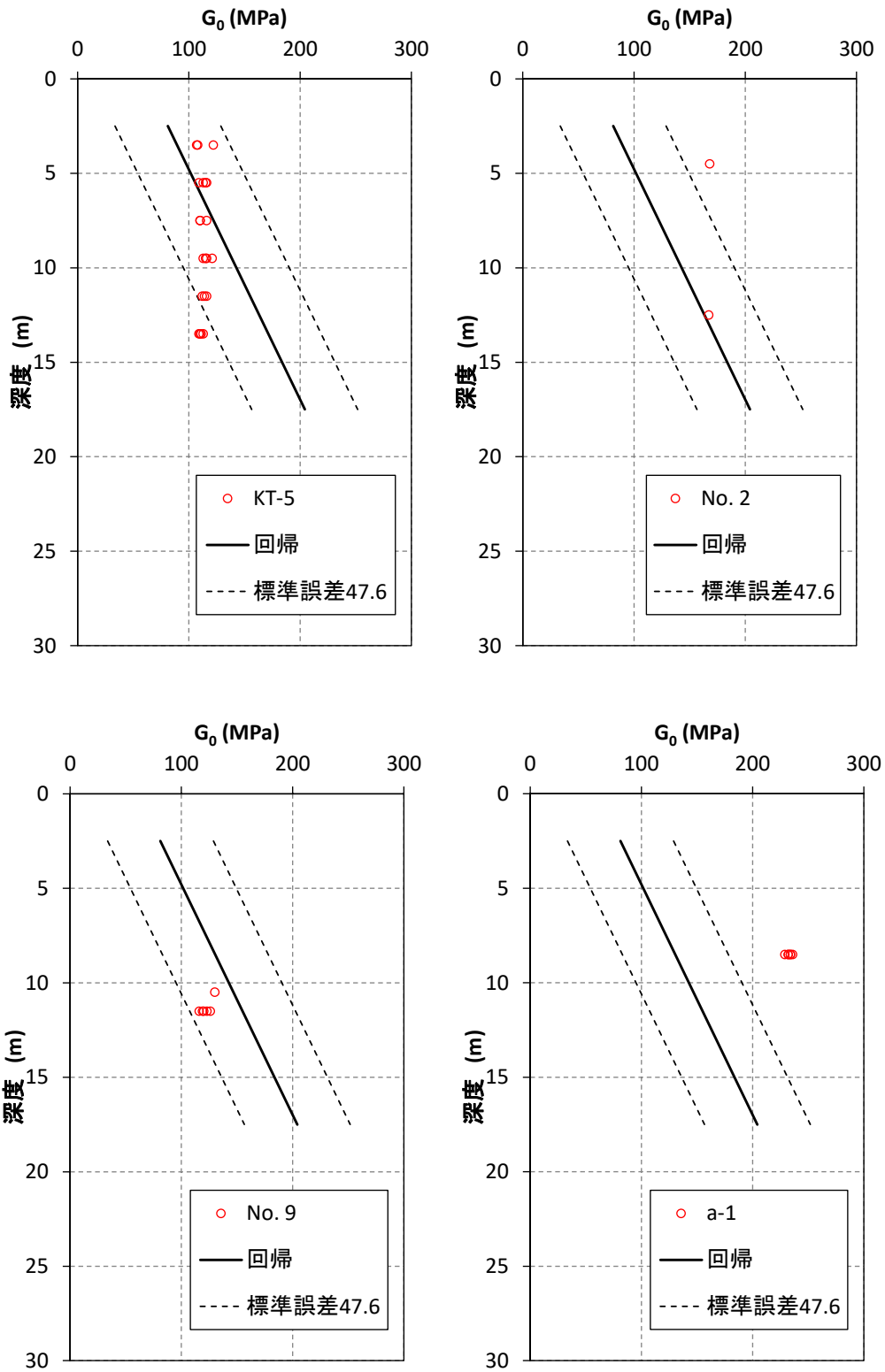
参考 3

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

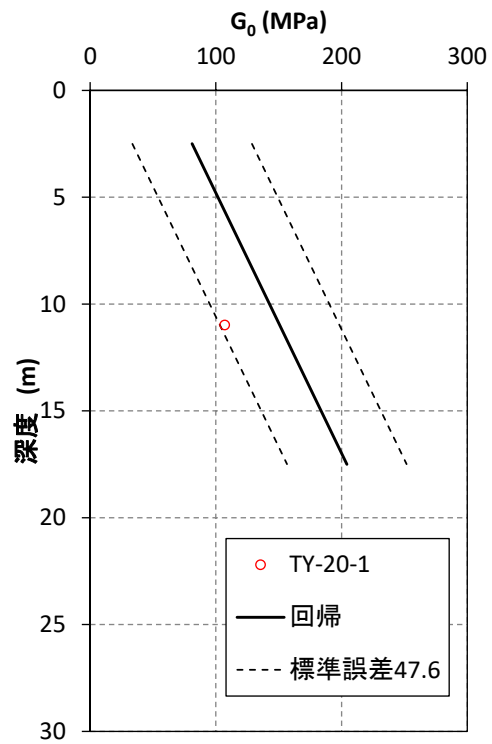
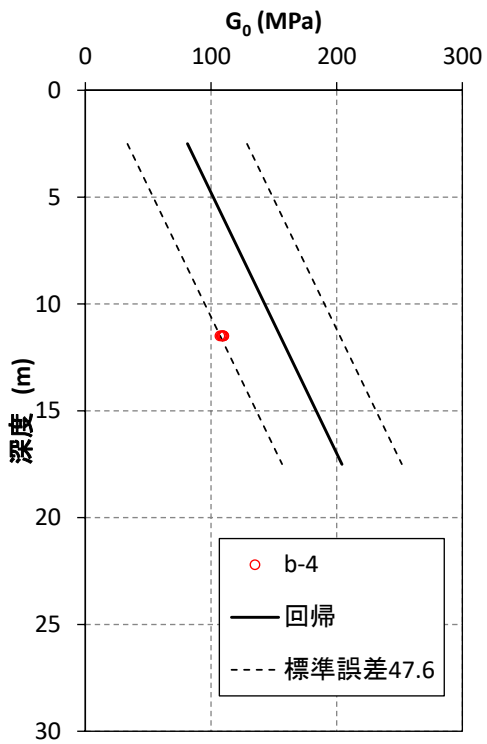
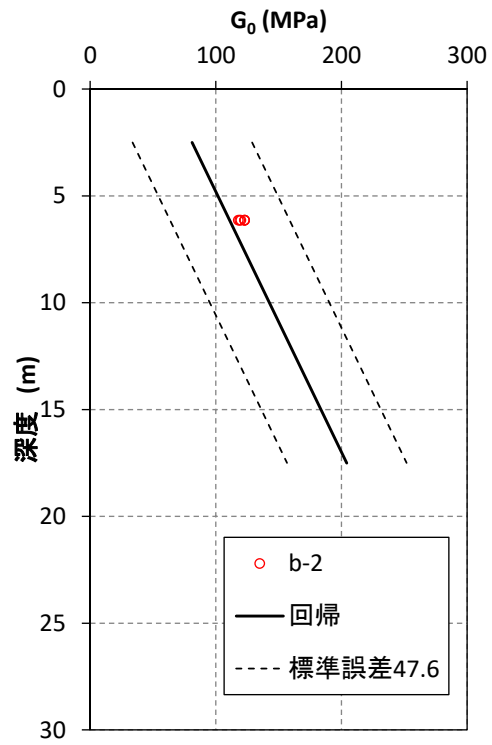
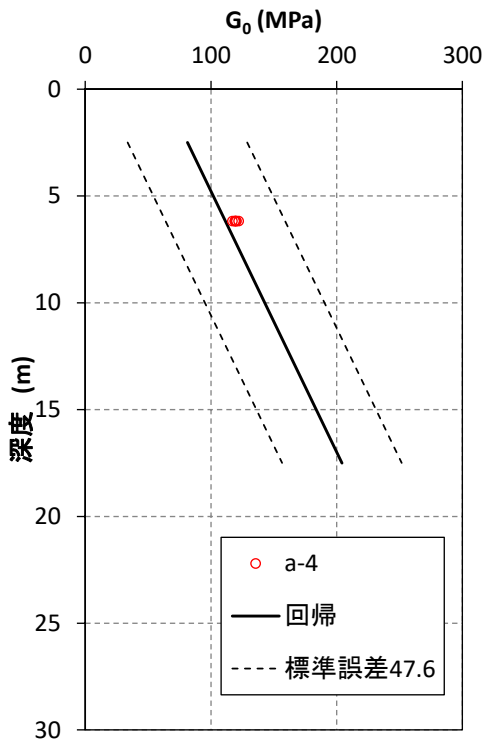
本編 2.1.3 埋戻し土の均質性の検討における埋戻し土のボーリング孔における G_0 と測定深度の関係について参考 3-1 図～参考 3-2 図に示す。



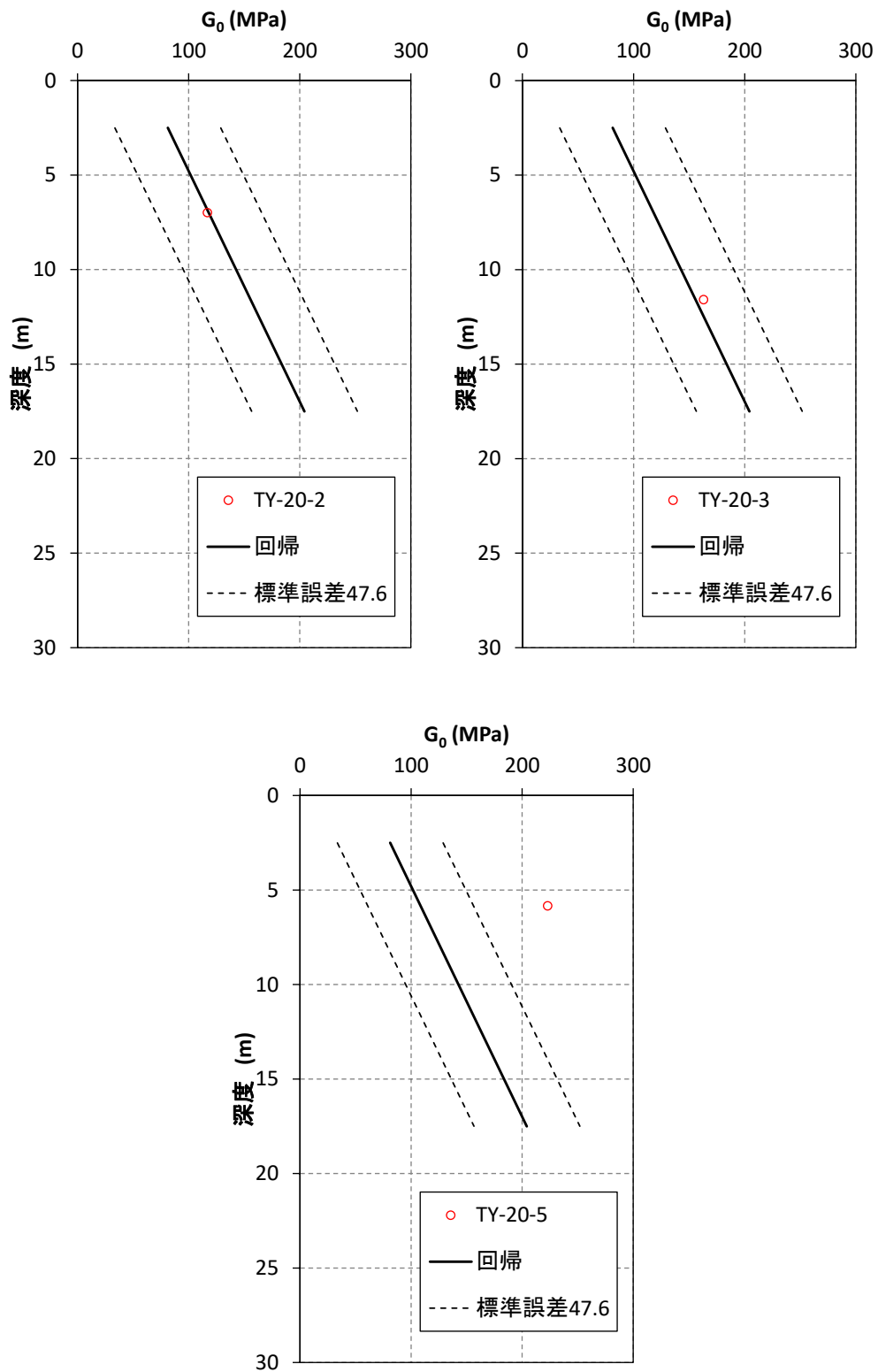
参考 3-1 図 ボーリング孔毎の埋戻し土の G_0 (1999 年以前)



参考 3-2 図(1) ボーリング孔毎の埋戻し土の G_0 (2000 年以降)



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



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

参考 4

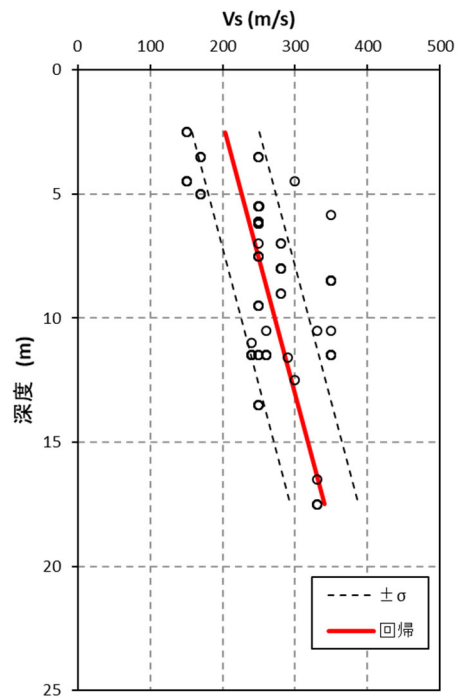
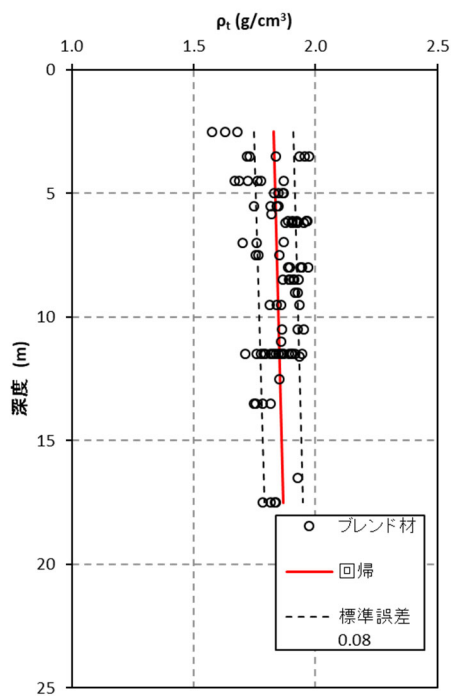
データセットの V_S による G_0 回帰について

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。

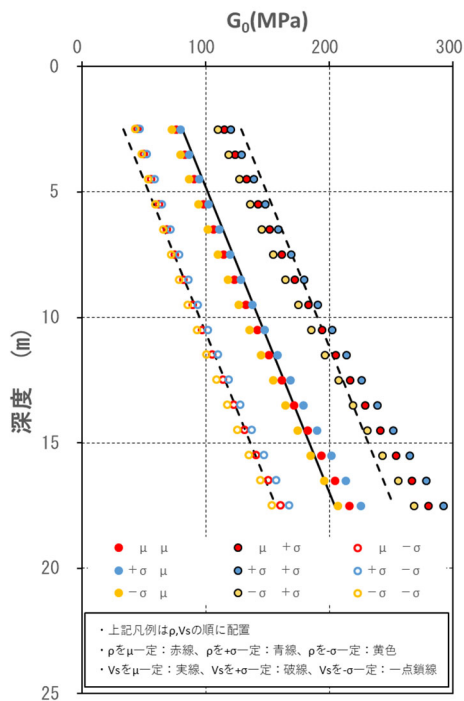
動的変形特性に用いる G_0 は、参考4-1図に示すPS検層（ダウンホール方式）による V_s と同孔から採取された ρ_t （ノギス法）によるデータセットから算定した値の統計量（平均，標準偏差）として表されるのが一般的である。ここでは、 G_0 を算出する元データである ρ_t と V_s の統計量の観点からそれぞれの平均と標準誤差の組み合わせから得られる G_0 の分布について整理を行った。

参考4-1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4-2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。

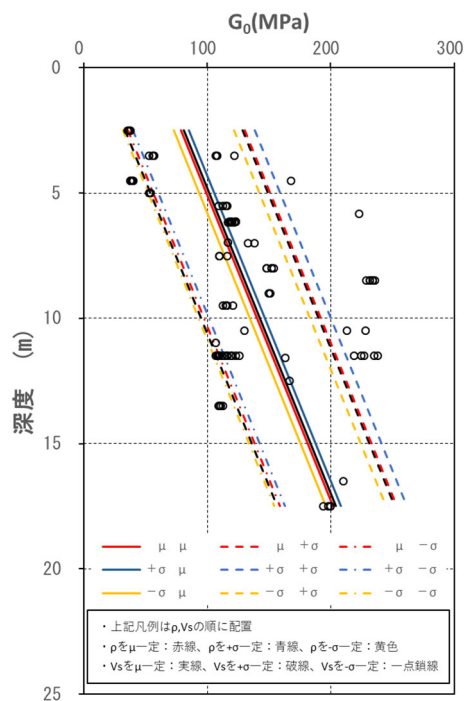
参考4-3図にそれぞれの回帰の組み合わせによる回帰結果を示す。図の凡例では、各線の前表示が ρ_t に用いた回帰，後表示が V_s に用いた回帰でそれぞれの線色（赤，青，橙），線種（実線，破線，一点鎖線）で表示している。図によれば、それぞれの回帰から算定した G_0 の回帰は、線種（実線：平均 V_s ，破線： $+\sigma V_s$ ，一点鎖線： $-\sigma V_s$ ）で分けた V_s の回帰に依存しており，それぞれの V_s に対して ρ_t が $+\sigma$ の場合には， G_0 が若干大きくなる傾向を示し， ρ_t が $-\sigma$ の場合には， G_0 が若干小さくなる傾向となる。



参考 4-1 図 ρ_t , V_s の深度分布図 (データセット)



参考 4-2 図 G_0 分布図 (離散化)



参考 4-3 図 G_0 回帰図 (深度依存固定)

参考 5

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いて、主な埋戻し工事（流動化処理土）の施工実績として、各工事における施工期間、施工範囲、施工規模及び仕様の一覧を参考 5-1 表に、施工ブロック割の位置図を参考 5-1 図に示す。また、品質管理要領を参考 5-2 図に示し、その基準をもとに得られた品質管理記録として、一軸圧縮強度 qu を参考 5-3 図に示す。

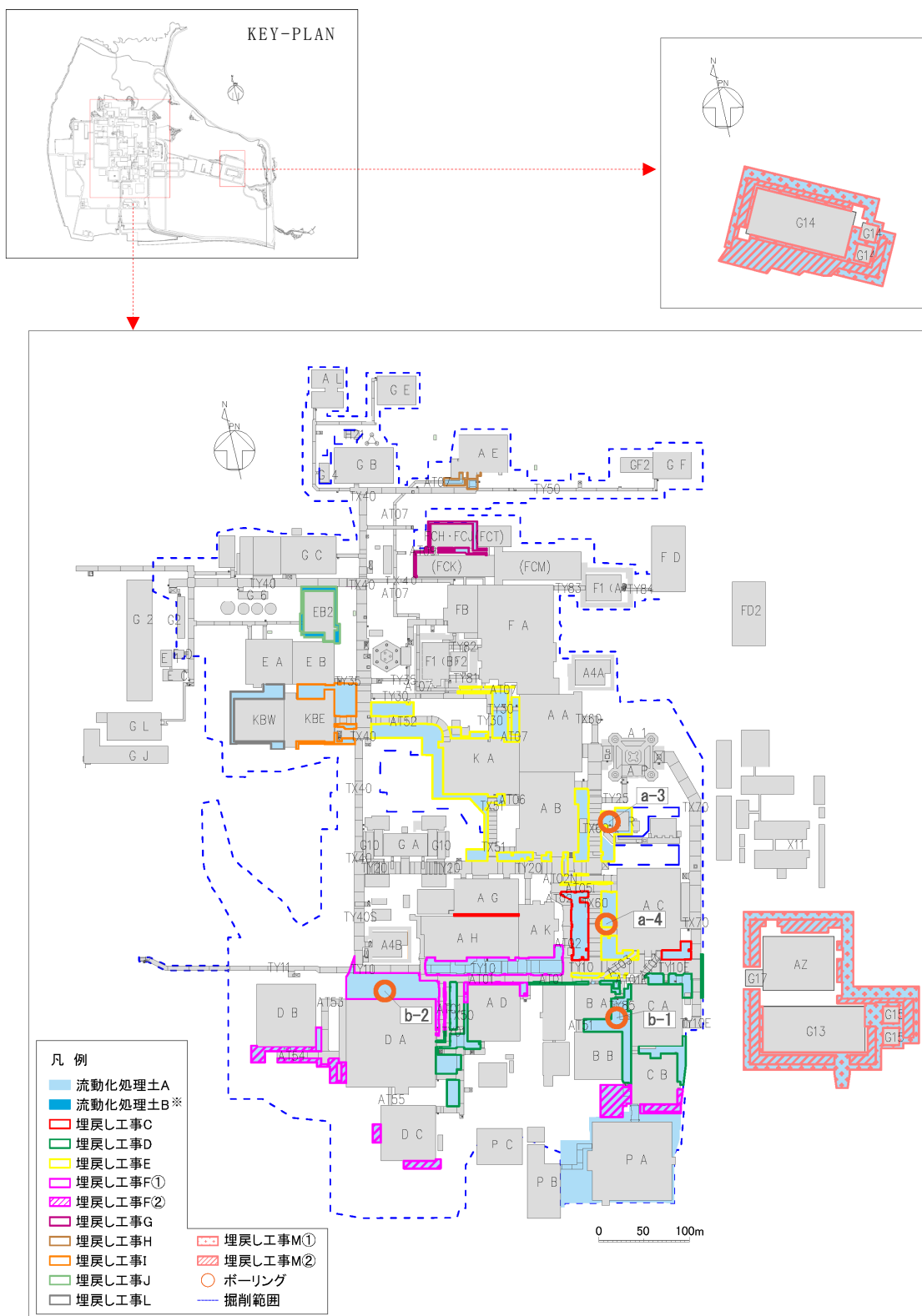
参考 5-3 図の品質確認結果によれば、各工事において管理基準には若干の相違があるものの一軸圧縮強度 qu の平均値は、0.43～1.29MPa の範囲に仕上がっていることを確認した。

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）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）も合わせ参考 5-4 図に各断面図を示す。

参考 5-1 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。

参考 5-1 図 施工ブロック割位置図

(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

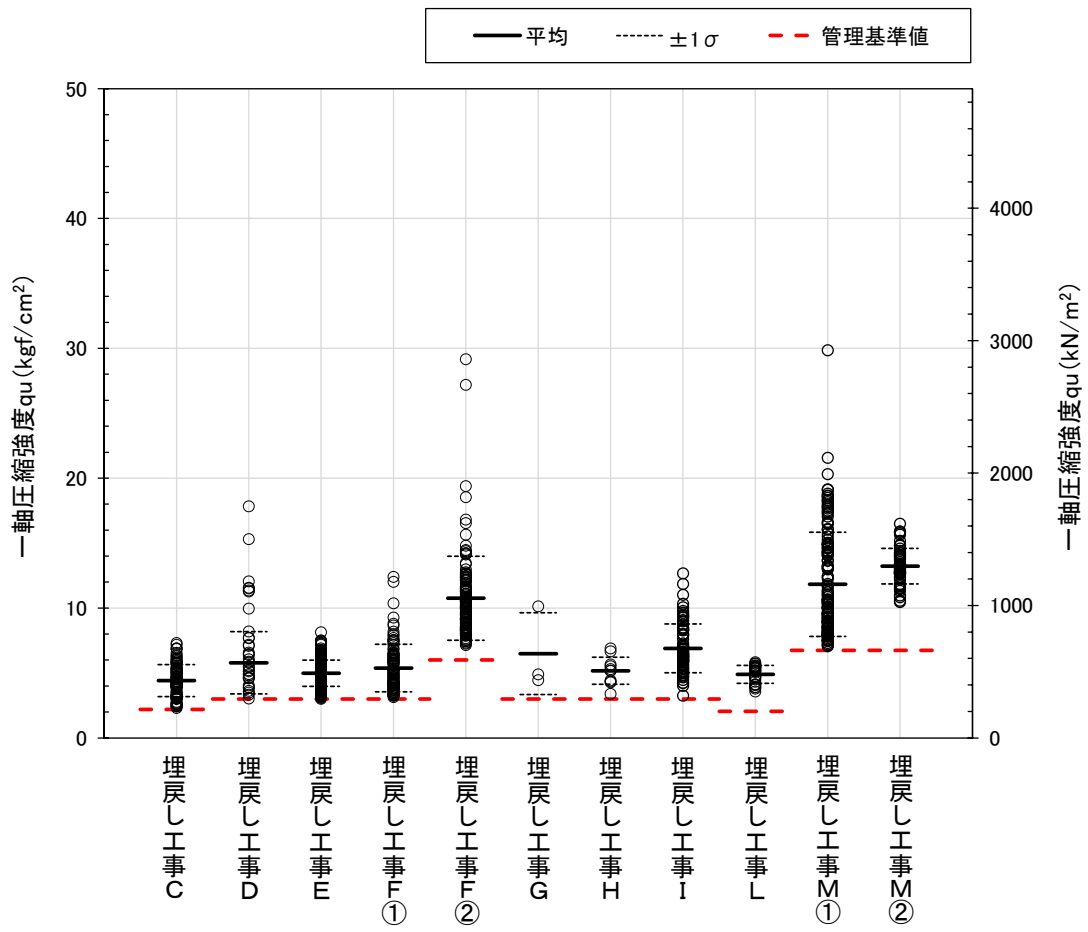
飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B）における流動化処理土の品質確認方法及び基準値を参考2表に示す。

参考2表 改良地盤の品質確認方法及び基準値

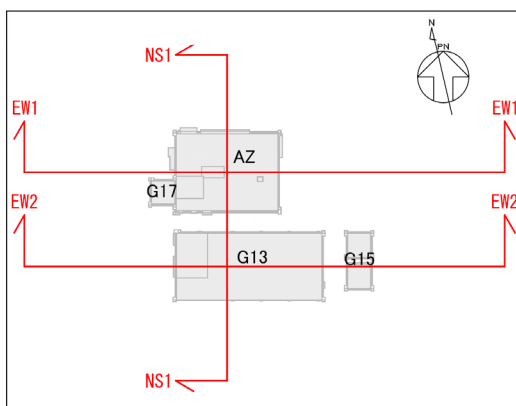
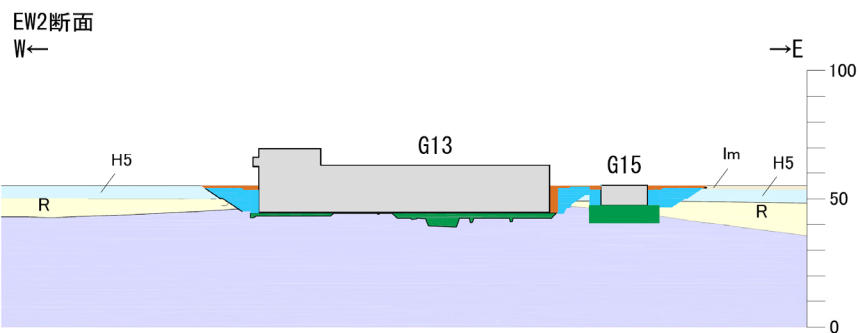
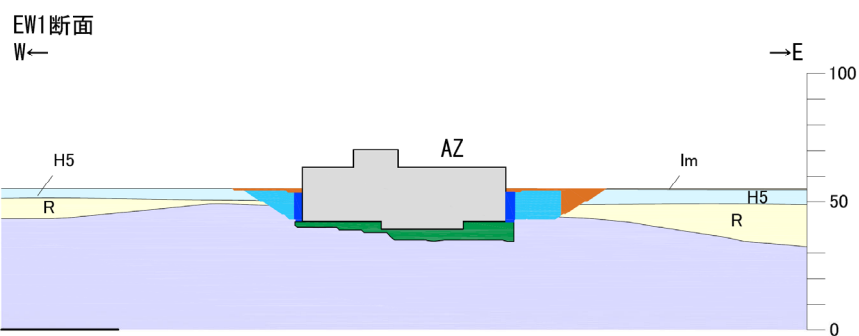
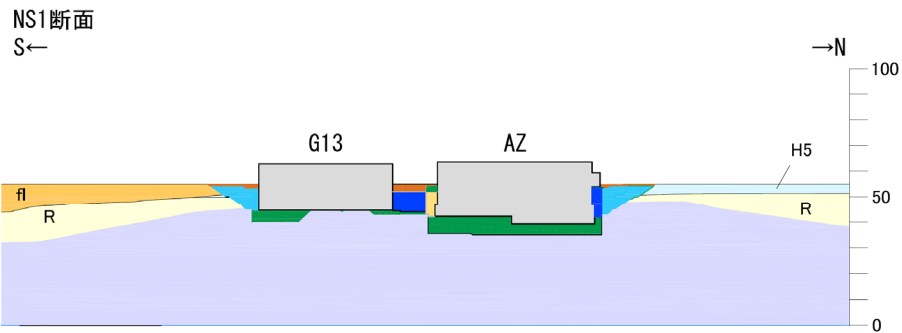
対象施設	改良地盤種別	工法	品質確認項目		品質確認試験	基準値
			強度	一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)		
飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）	流動化処理土A	掘削置換方法 （流動化処理土置換工法）	強度	一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	一軸圧縮試験 (JGS 2521)	3.0

参考5-2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）



参考 5-3 図 流動化処理土に関する品質確認結果

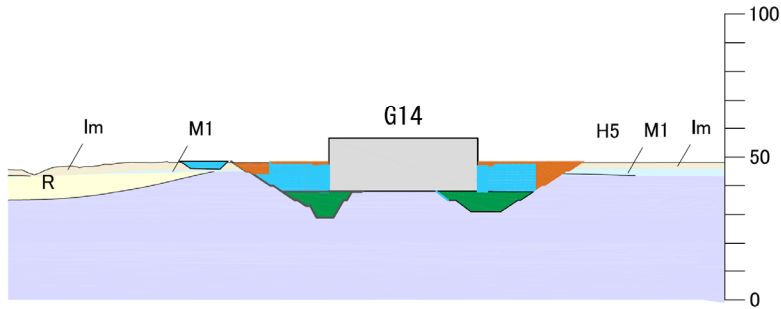


凡例

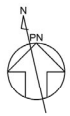
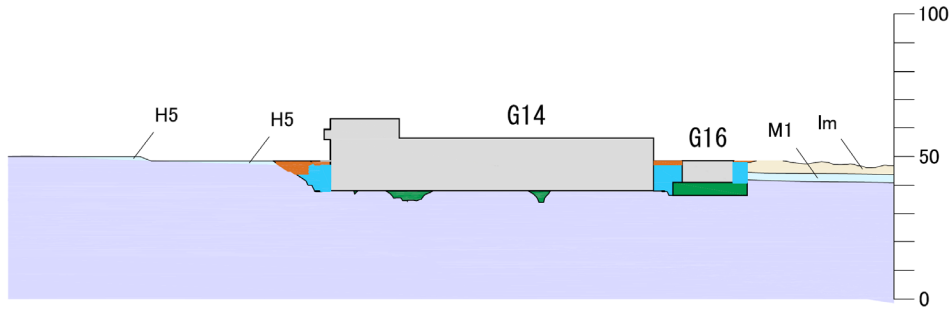
bk	埋戻し土		流動化処理土
fi	造成盛土	MNR	MMR
al	沖積低地堆積層		改良地盤A
Im	火山灰層		改良地盤B
Hs	高位段丘堆積層		竜巻基礎
Ml	中位段丘堆積層		エアモルタル
R	六ヶ所層		ベントナイト混合土
S1	砂子又層下部層		建物及び構築物
	底架層		高配合流動化処理土

参考 5-4 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

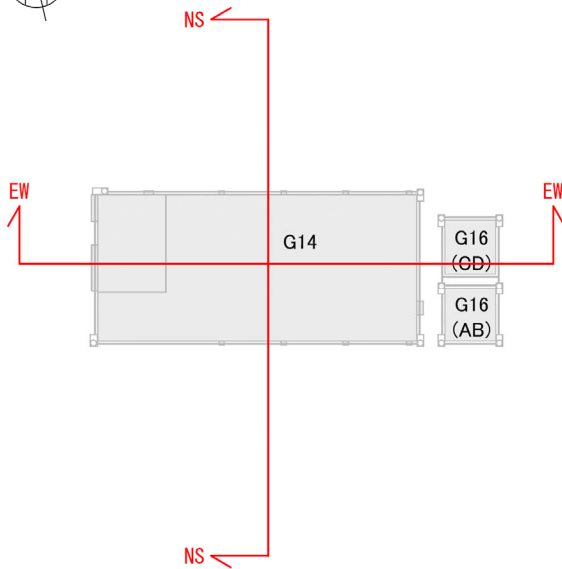


EW断面



凡例

bk	埋戻し土	流動化処理土
fl	造成盛土	MMR
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	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



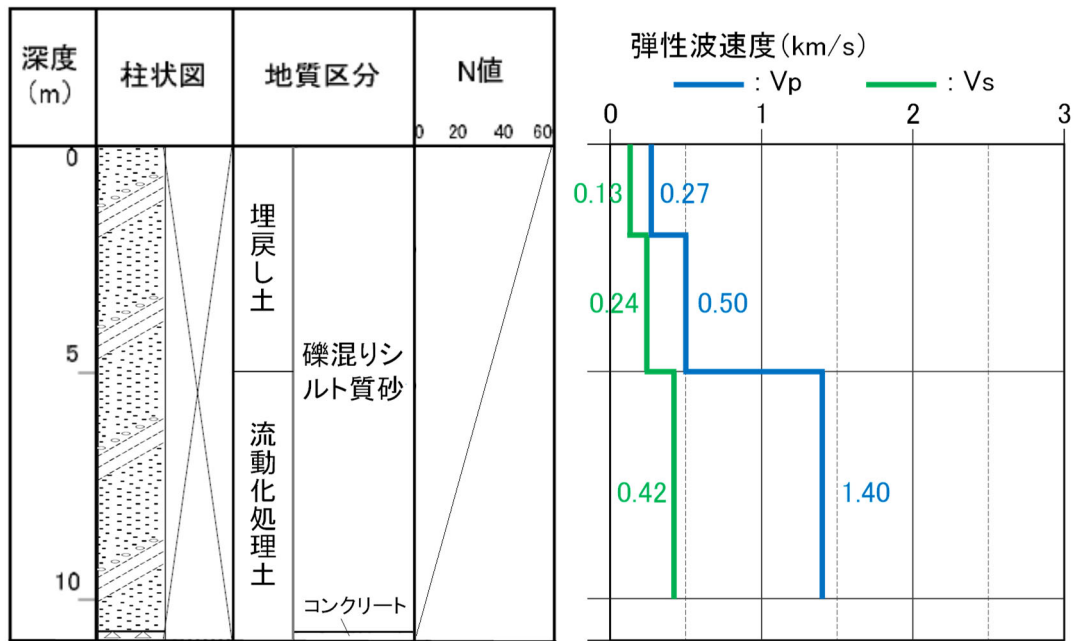
参考 5-4 図 (2) 建物・構築物の周囲にある表層の配置断面図 (G14)

参考 6

流動化処理土のボーリング柱状図について

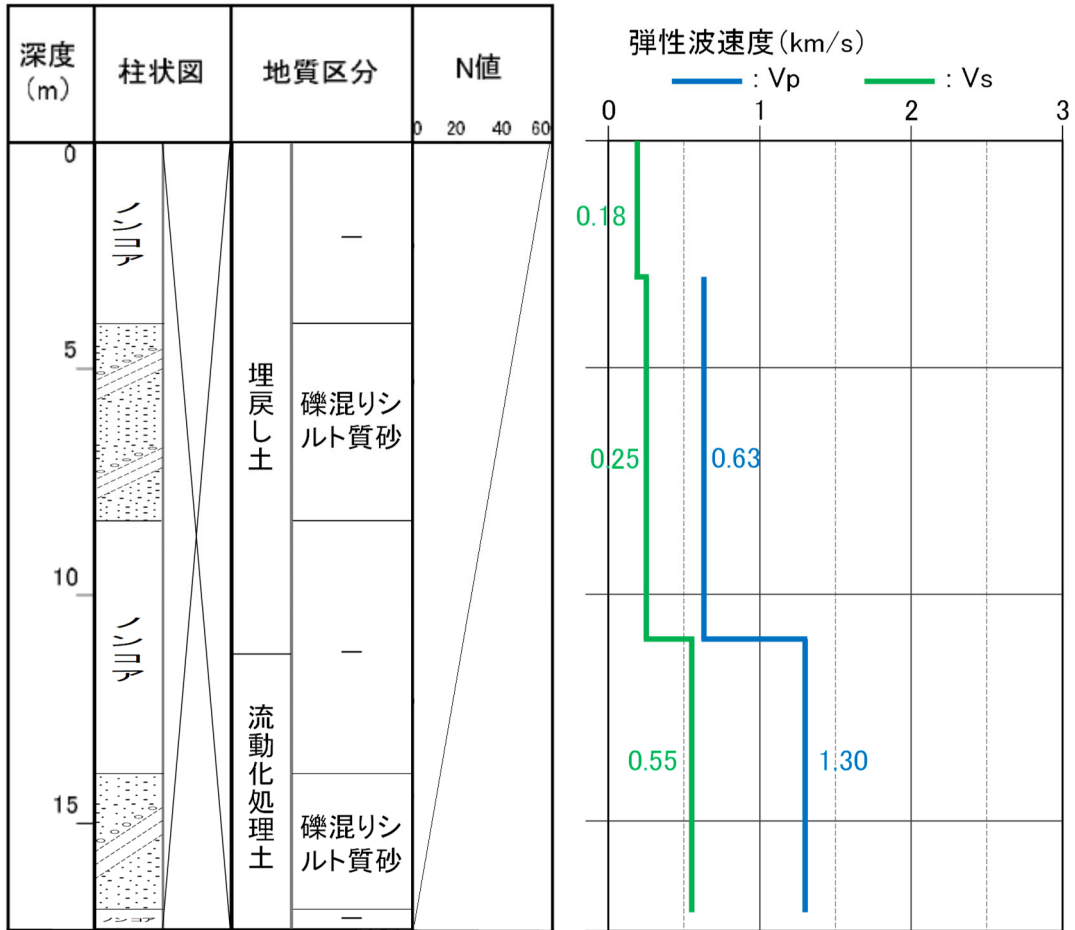
本編 3.1.1 流動化処理土の施工管理状況及び均質性の検討における事業変更許可申請書で設定した流動化処理土のボーリング柱状図及び物理・力学特性を参考 6-1 図～参考 6-4 図に示す。

a-3 (孔口標高 54.91m)



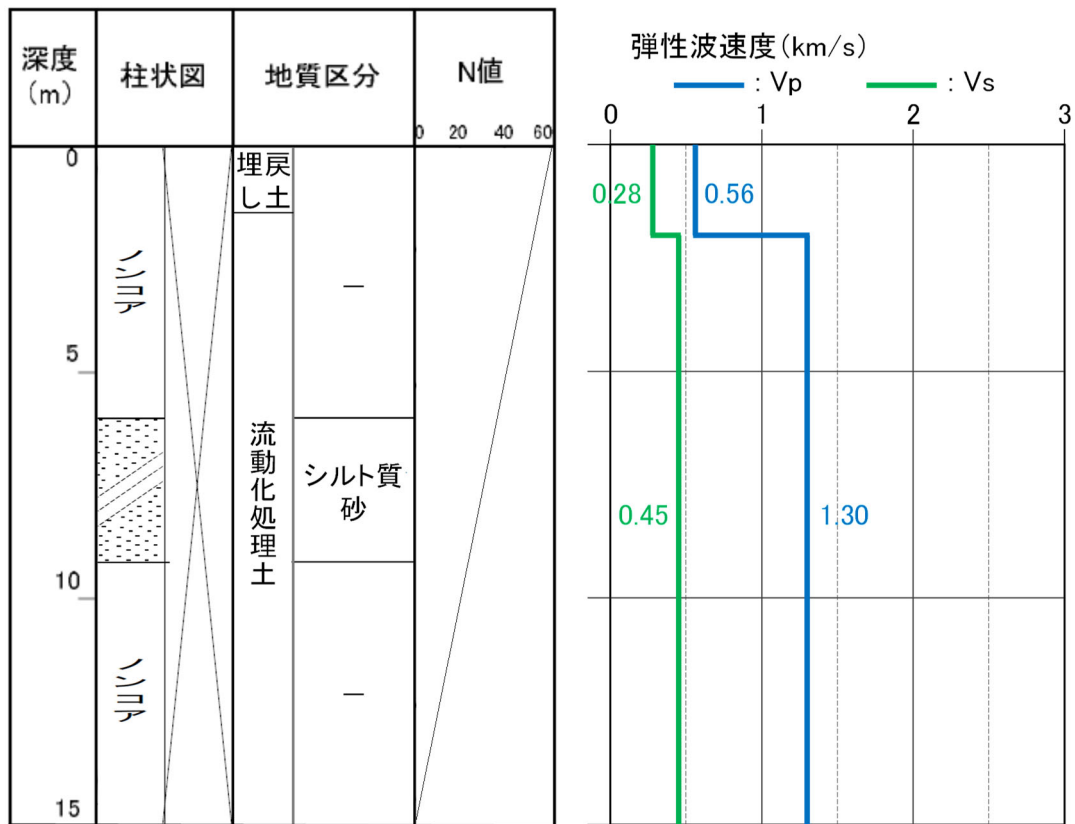
参考6-1図 ボーリング柱状図 (a-3孔)

a-4 (孔口標高 55.06m)



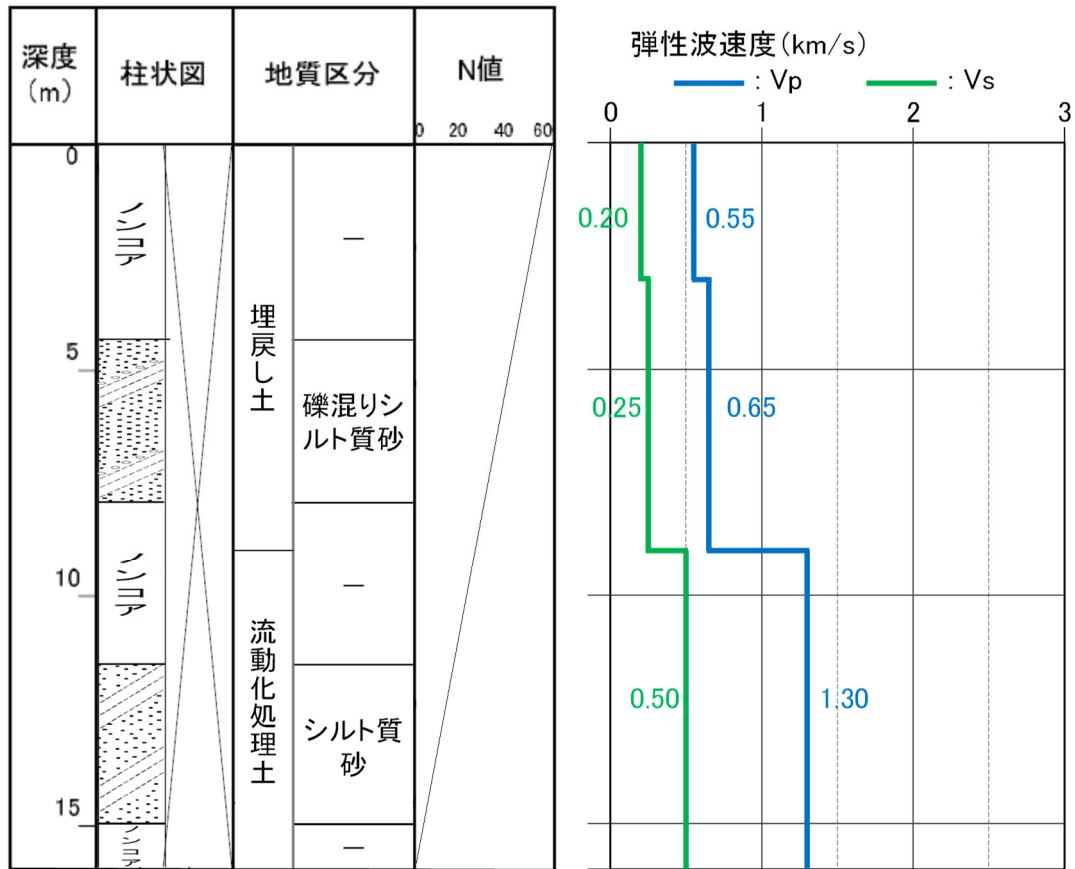
参考6-2図 ボーリング柱状図 (a-4孔)

b-1 (孔口標高 55.04m)



参考6-3図 ボーリング柱状図 (b-1孔)

b-2 (孔口標高 55.04m)



参考6-4図 ボーリング柱状図 (b-2孔)

参考 7

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、敷地内における建屋近傍の単独孔によるデータを用い、表層内で一定の物性値を設定している。

両者の対応関係として、AB建屋の結果を参考7-1図(b)及びAC建屋の結果を参考7-2(b)に示す。

図に示すとおり、直下物性として用いている建屋近傍のデータは、AB建屋が地表面から7 m程度、AC建屋が6 m程度と、両者ともに比較的浅い箇所のデータとなっており、当該データを深さ方向に一定と仮定し用いている。

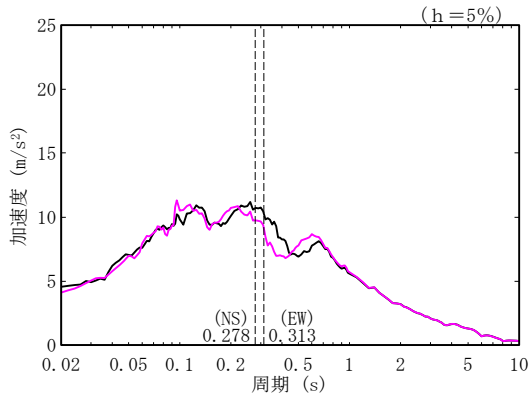
このため、直下物性の動せん断弾性係数 G_0 値は、上記深さで、AB建屋は平均物性の中央値に対する $+1\sigma$ より大きい値、AC建屋は平均値付近の値となっているのに対して、表層地盤の下面レベル（表層地盤の深さ20m程度）では、AB建屋が平均値付近の値、AC建屋は平均物性の中央値に対する -1σ より小さい値となっている。

上記により、AC建屋は、AB建屋と比較して岩盤部分と表層部分との速度構造のコントラストが大きくなったことにより、各建屋間において直下物性と平均物性による入力地震動の算定結果の差が生じたものと考えられる。

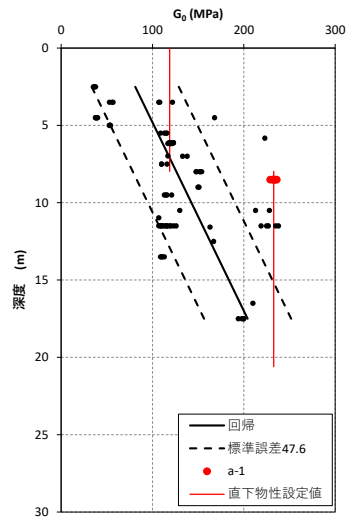
本来、埋戻し土が品質管理された人工材料であることを踏まえれば、物性値は、管理基準に応じた確率密度分布を有するものであるが、単独孔によるデータは、面的、深度的に、ある一定範囲の確率密度分布の内のランダムな値である。また、直下物性においては、一般的な土質材料の特性から動的変形特性に影響を及ぼす拘束圧依存（深度依存）についても考慮できていないことから、埋戻し土としての全体傾向を、限られた深さにおけるデータのみに基づいて設定することは困難である。

以上より、埋戻し土の物性値は、敷地において得られている全エリアのボーリングデータに基づく平均値と土質材料の特性を考慮した深度依存回帰を用いて入力地震動を算定することが適切であると考ええる。なお、ばらつきの影響については、設計時に確率密度分布によるばらつきを考慮することにより包絡できるものと考ええる。

【感度分析】
 ① 表層地盤に平均物性を設定 (深さ依存あり)
 ② 表層地盤に直下物性を設定 (深さ依存なし)
 (点線は建物の1次固有周期を示す)



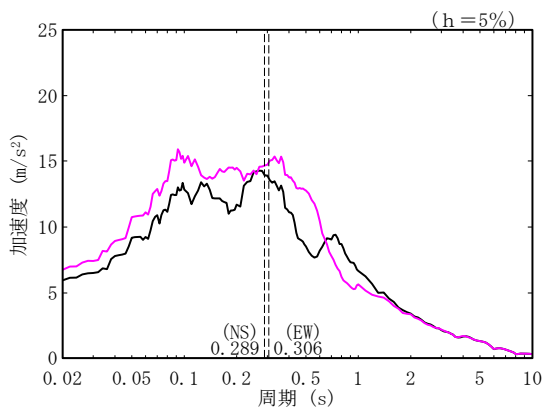
(a) 感度分析結果



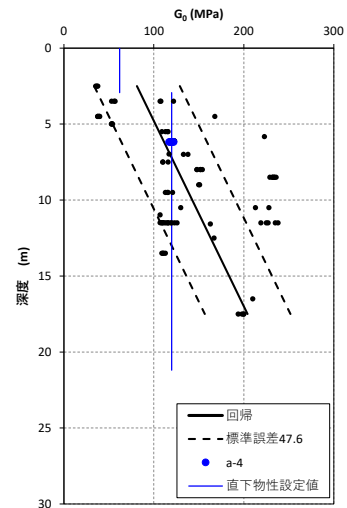
(b) 平均物性と直下物性の
設定値の違い

参考 7-1 図 入力地震動の感度分析結果 (AB 建屋)

【感度分析】
 ① 表層地盤に平均物性を設定 (深さ依存あり)
 ② 表層地盤に直下物性を設定 (深さ依存なし)
 (点線は建物の1次固有周期を示す)



(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 7-2 図 入力地震動の感度分析結果 (AC 建屋)