



注記：GOF が8 以上のデコンボリューション波形は赤色で示す。

第6.4.2-2図 GL-2mに対するGL-125mの各地震のデコンボリューション波形（細線）とスタッキング波形（灰太線）（1/4）



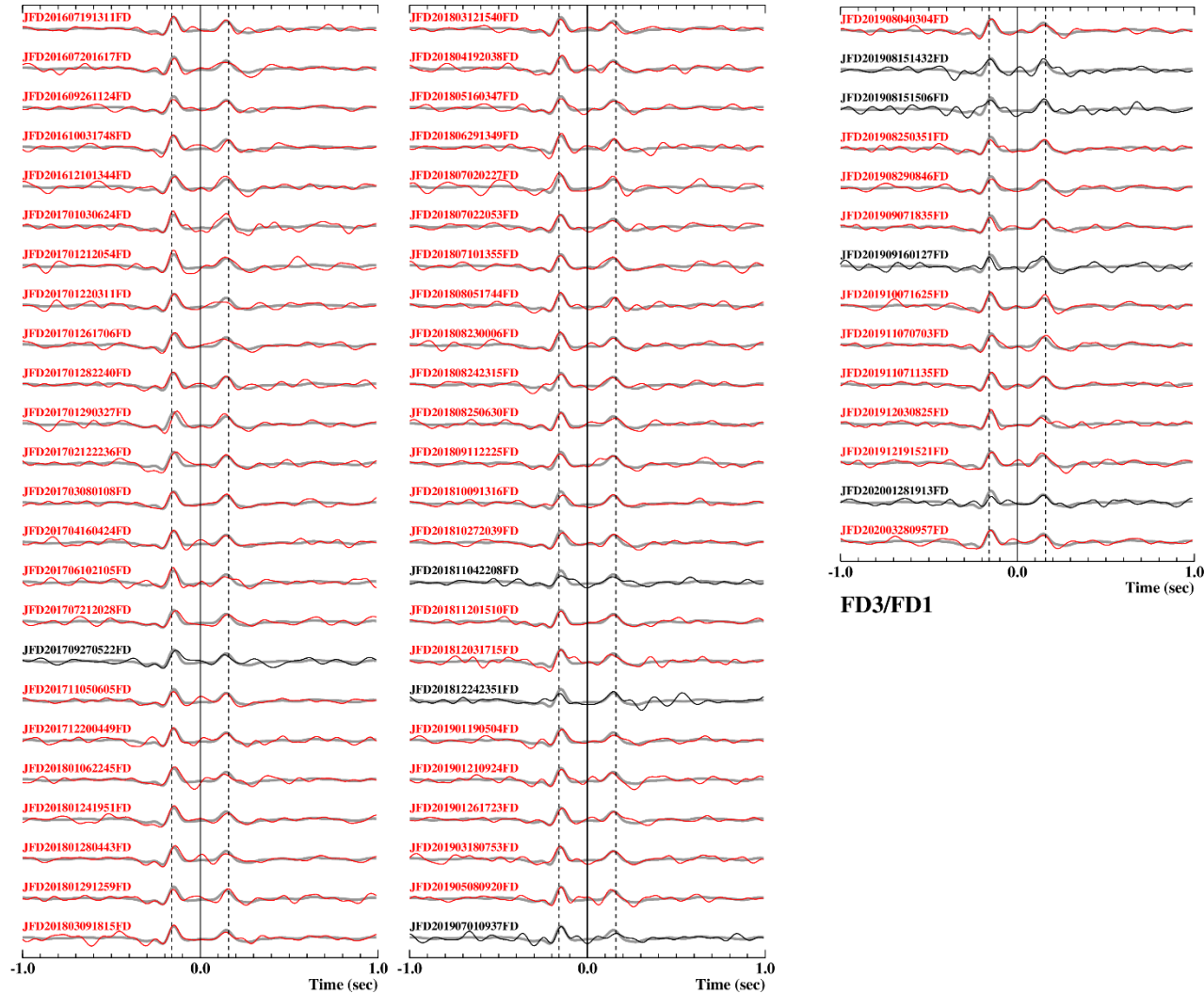
注記：GOF が8 以上のデコンボリューション波形は赤色で示す。

第6.4.2-2図 GL-2mに対するGL-125mの各地震のデコンボリューション波形（細線）とスタッキング波形（灰太線）（2/4）



注記：GOF が8 以上のデコンボリューション波形は赤色で示す。

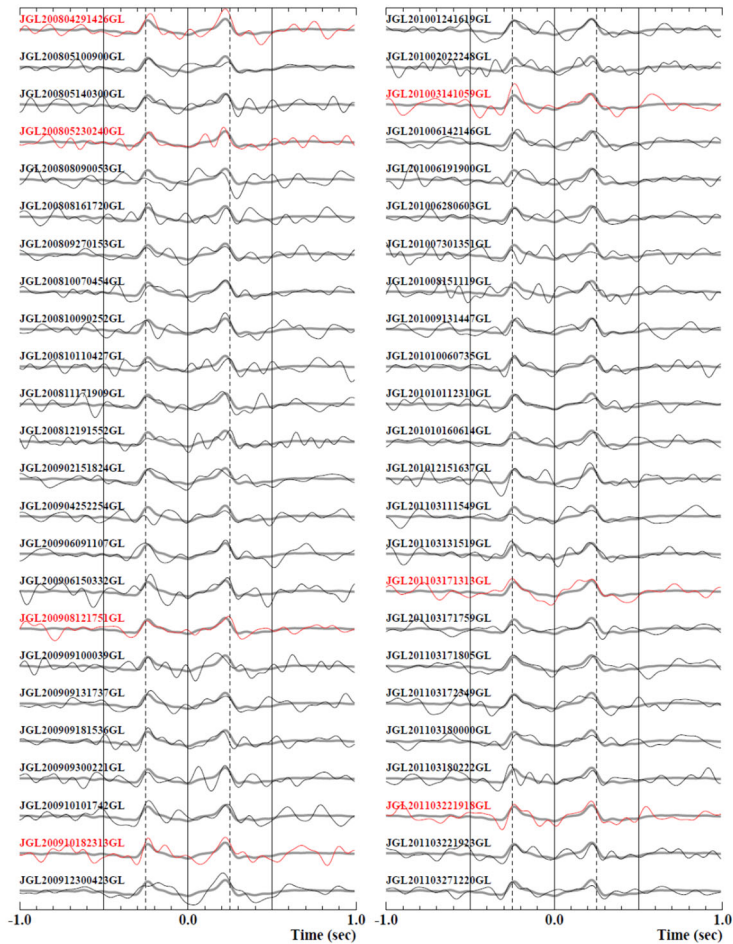
第6.4.2-2図 GL-2mに対するGL-125mの各地震のデコンボリューション波形（細線）とスタッキング波形（灰太線）（3/4）



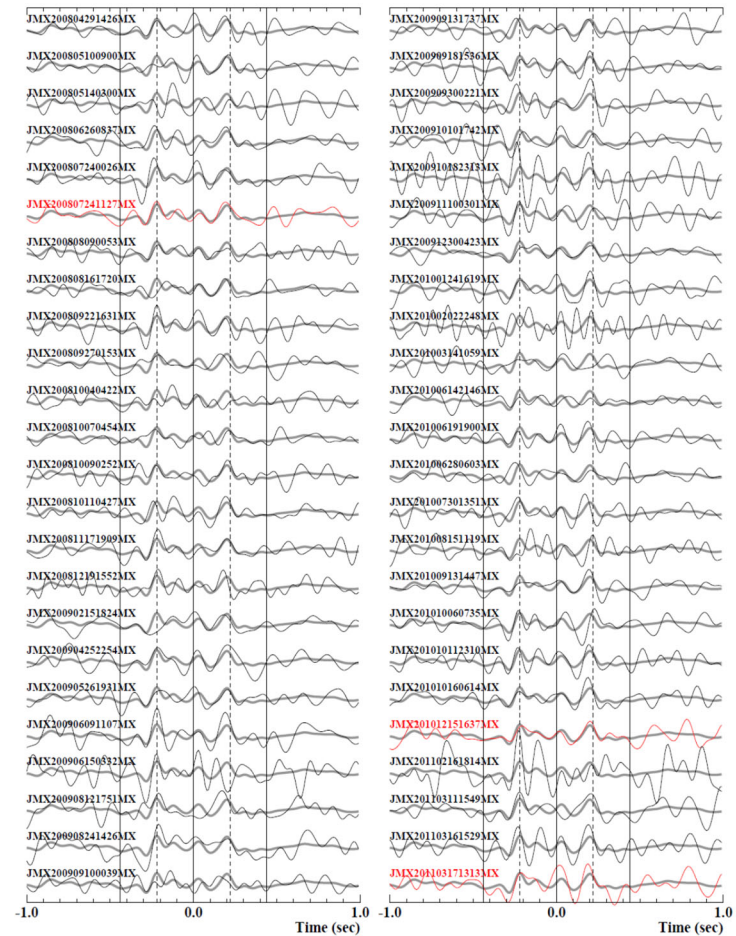
注記：GOF が8 以上のデコンボリューション波形は赤色で示す。

第6.4.2-2図 GL-2mに対するGL-125mの各地震のデコンボリューション波形（細線）とスタッキング波形（灰太線）（4/4）

参考：西側地盤及び東側地盤における地震観測記録のデコンボリューション結果及びGOF8以上となる地震の抽出状況



(a) 西側地盤

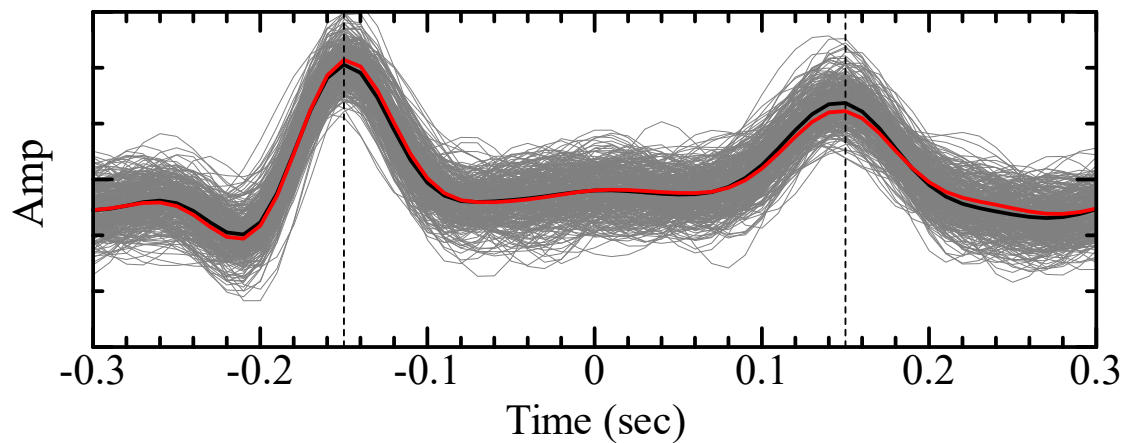


(b) 東側地盤

注記：GOF が8以上のデコンボリューション波形は赤色で示す。

西側地盤及び東側地盤におけるデコンボリューション波形（一部例）

灰線：GOF ≥ 8 の311個の個々の地震記録によるデコンボリューション波形
黒線：311個の地震記録のスタッキング（平均）波形
赤線：311個の地震記録中，入射波 \geq 反射波となる地震記録のスタッキング（平均）波形



注記：鎖線は，スタッキング波形のピーク時刻（ ± 0.15 秒）を示す。

第 6.4.2-3 図 GOF が 8 以上となる各地震のデコンボリューション波形
及びスタッキング波形の作成結果

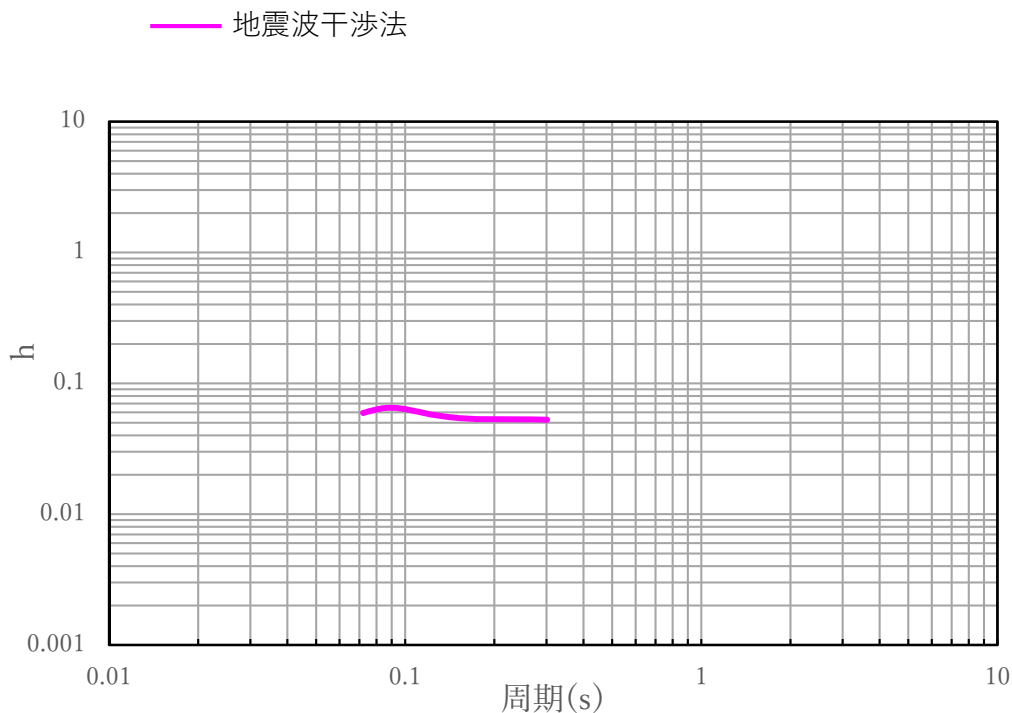
6.4.3 減衰定数の推定結果

各地震のデコンボリューション波形における、入射波に対する反射波の振幅の比率に基づき減衰定数を評価した結果を第6.4.3-1図に示す。

中央地盤における地震波干渉法によって評価された減衰定数は、およそ5~7%の値となっているが、「6.3.6 伝達関数による評価結果」において同定された減衰定数に見られる周波数依存性は地震波干渉法による結果においては明瞭には確認できない。

これは、地震波干渉法による減衰定数の推定方法が半無限空間を仮定した手法であることを踏まえると、今回評価にあたっては、地表における地震観測記録を基準として解放基盤表面深さにおける地震観測記録をデコンボリューションしていることから、実態の地盤における岩盤部分と表層地盤の地盤構造の違い等による影響を受けたためと考えられる。

ただし、第6.4.2-3図に示すスタッキング波形において、振幅約0.1秒のパルスが明確に確認できていることを踏まえると、当該周期帯における減衰定数の値は精度よく得られていると考えられる。



第6.4.3-1図 地震波干渉法による減衰定数の評価結果（中央地盤観測点）

6.5 速度構造の相対的な比較に基づく考察

中央地盤において得られている地震観測記録の伝達関数に基づき減衰定数の同定を行った結果に対し、速度構造の観点で既往知見との照合を行う。

比較にあたっては、佐藤ほか(2006)において、上述のとおり、バイリニア型の減衰モデルが示されているが、あわせて、地盤の速度構造に応じた減衰定数の傾向も示されていることから、佐藤ほか(2006)に示される値と、敷地における速度構造との整合性の観点で行う。

佐藤ほか(2006)による岩盤観測点の減衰定数の評価結果において、複数の地点又は速度層における減衰定数が示されており、浅部または低速度層ほど大きく評価され、深部または高速度層ほど小さく評価される傾向となっている。佐藤ほか(2006)では、福島ほか(1994)における経験的な値も合わせて示されており、この値についても上記と同様の傾向となっている。

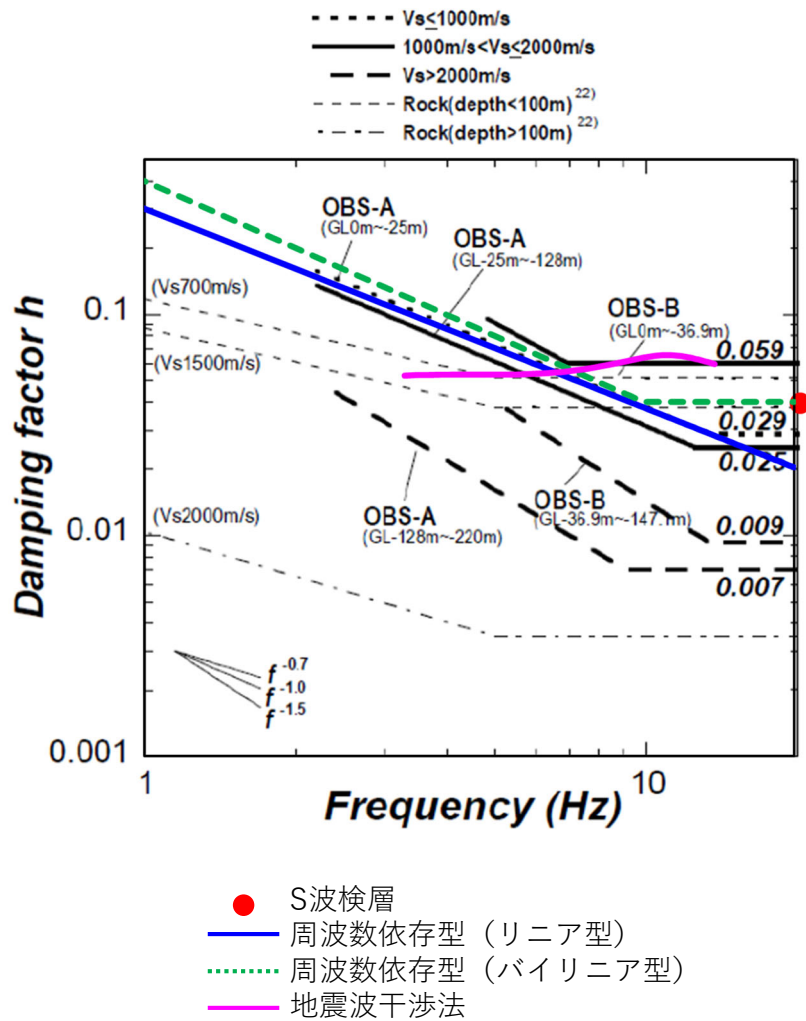
敷地における岩盤のS波速度(中央地盤:720~830m/s)に近い指標として、佐藤ほかに示される $V_s \leq 1000\text{m/s}$ における評価(図中太点線のうち「OBS-A (GL0~-25m)」)及び福島ほか(1994)による $V_s=700\text{m/s}$ における経験的な値(図中細点線のうち「($V_s=700\text{m/s}$)」)を参照すると、中央地盤において同定された、周波数依存性を考慮した減衰定数の値は、その大きさ及び周波数依存性の傾きともに、よく整合している。

また、地震波干渉法による結果については、周波数依存性は捉えられておらず、短周期側に信頼区間を有した結果であるものの、佐藤ほかに示される $V_s \leq 1000\text{m/s}$ における評価及び福島ほか(1994)による $V_s=700\text{m/s}$ における経験的な値とよく整合している。

あわせて、短周期側に信頼区間を有するS波検層結果を第6.5-1図に示す。S波検層の結果は、中央地盤については同定された減衰定数と整合的である。

上記に示した既往の知見との比較及び評価手法間の比較結果に基づけば、「6.3.6 伝達関数による評価結果」に示した、中央地盤において同定された周波数依存性を考慮した減衰定数については、類似した速度構造の地盤における減衰定数とほぼ同等の値が得られており、敷地においては特異な減衰定数の傾向を示すような傾向とはなっていないこと、また、評価手法間でも整合的な結果が得られていることを確認した。

以上のことから，中央地盤における，周波数依存性を考慮した減衰定数の同定結果については，地盤の実態を考慮した値となっていると考えられる。



第 6.5-1 図 佐藤ほか (2006) による岩盤観測点における減衰定数 h ($h=1/2Q$) 推定結果に対する中央地盤における同定結果の比較結果 (図中点線は、福島ほか (1994) による減衰定数の経験的な値)

<参考：現時点において同定された西側地盤及び東側地盤の傾向>

「6.3.6 伝達関数による評価結果」に示したとおり、西側地盤及び東側地盤については、水平方向の一部周期帯において伝達関数のピークが再現できておらず、「6.3.7 応答スペクトルによる評価結果」に示したとおり、シミュレーション解析結果についても地震観測記録の再現性に課題がある。

このことから、西側地盤及び東側地盤については、現時点において地盤の実態を捉えた減衰定数の同定を行えているとは言い難いことから、既往知見に基づく減衰定数と速度構造の関係性に着目し、速度構造及び減衰定数の両方が地震観測記録をよく説明している中央地盤との相対的な比較により、西側地盤及び東側地盤における地盤の実態を考慮した減衰定数の値についての考察を以下に示す。

- ・地震観測点ごとの岩盤部分の速度構造（初期モデル）によれば、中央地盤及び東側地盤については、岩盤部分のS波速度はほぼ800m/s前後と同等であることに対し、西側地盤については550m/sと、中央地盤及び東側地盤と比較して小さい値を示している。
- ・現時点において各地震観測点において同定された減衰定数は、中央地盤>東側地盤>西側地盤となっているが、その大きさに大きな差は無く、傾きについても概ね同等なものとなっている。
- ・佐藤ほか(2006)における評価結果において、低速度層ほど減衰定数が大きくなる傾向があることを踏まえれば、敷地における岩盤部分の減衰定数については、その速度構造の相対的な差から、西側地盤>中央地盤≒東側地盤の大小関係となることが考えられるが、上記のとおり、同定された結果は、中央地盤>東側地盤>西側地盤となっており、西側地盤及び東側地盤において同定された値が中央地盤と比較して小さくなっている。
- ・また、敷地における速度構造に近い指標として、佐藤ほかに示される $V_s \leq 1000\text{m/s}$ における評価及び福島ほか(1994)による $V_s=700\text{m/s}$ にお

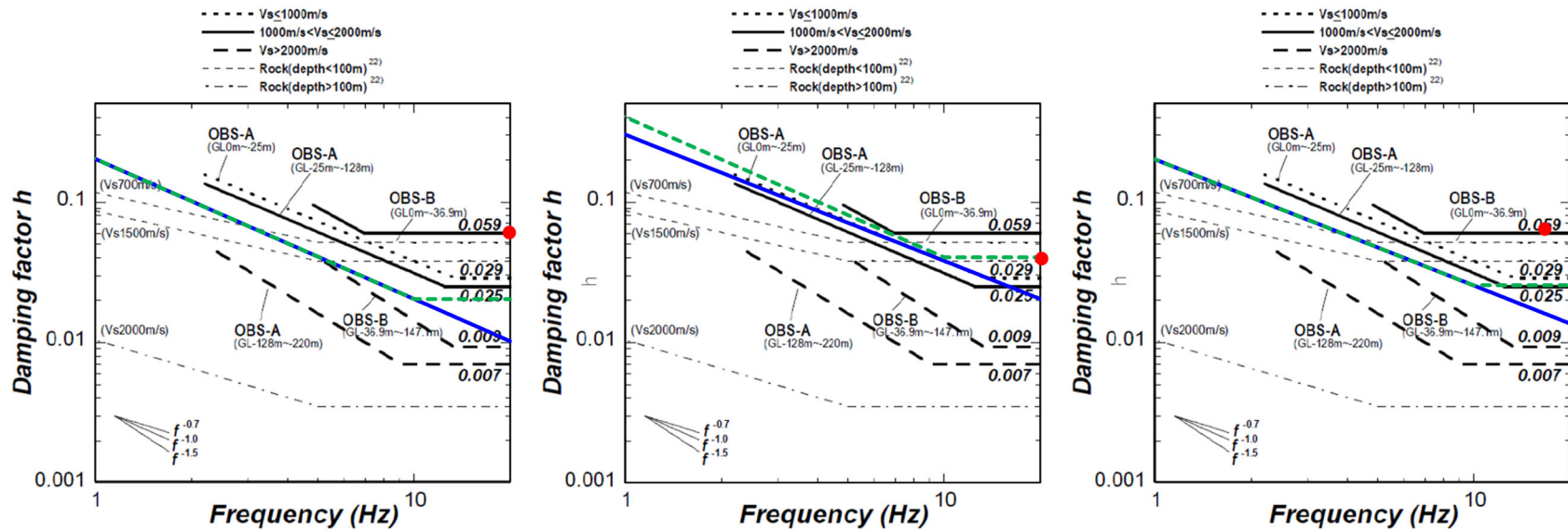
ける経験的な値を参照すると、敷地において同定された減衰定数の値は、中央地盤においてよく整合しており、西側地盤及び東側地盤についても、中央地盤よりもやや小さい値となっているものの、大きな乖離とはなっていない。

- ・短周期側に信頼区間を有する S 波検層の結果は、西側地盤及び東側地盤についても、同定された減衰定数と整合的な中央地盤と大きな差が無い。

参考表 各地震観測地点における岩盤部分の S 波速度

地震観測地点	S 波速度
中央地盤	720～830m/s
西側地盤	550m/s
東側地盤	820m/s

<参考：現時点において同定された西側地盤及び東側地盤の傾向>



(a) 西側地盤

(b) 中央地盤

(c) 東側地盤

注記：東側地盤のS波検層結果については、ばらつきが大きいと考えられる10Hzの値を除外してプロットしている。

参考図 佐藤ほか（2006）による岩盤観測点における減衰定数 h ($h=1/2Q$) 推定結果との比較
 （図中点線は、福島ほか（1994）による減衰定数の経験的な値）

<今後の取り組み>

地震観測記録を用いた評価結果について、西側地盤において、減衰定数が速度構造の相対的な関係性に反して中央地盤と比較して小さく同定された原因としては、以下の内容が挙げられることから、今後、目的関数又は同定手法の見直し、信頼区間の再設定等により、精度の向上を図る。

- ・ 「6.3.3 目的関数の設定」に示した地震観測記録に基づく伝達関数の傾向として、周期約 0.2 秒よりも短周期側において、速度構造に由来するピークや山谷が不明瞭となっている。
- ・ これにより、地盤の高次成分のピークを速度構造のフィッティングにより適合させるのではなく、減衰定数を小さく与え、短周期側の地震動を増大させることで適合するように同定されたと考えられる。
- ・ このことから、信頼区間の設定（0～20Hz：0.05 秒より長周期側）について、短周期側を含めて扱うことが適切ではない可能性がある。

また、東側地盤においても、地震観測記録のシミュレーション結果において、いずれの地震に対しても周期約 0.4 秒において地震観測記録を下回ることから、当該周期帯の再現性に着目した速度構造と再評価を行い、同定された減衰定数の信頼性の向上を図る。

なお、東側地盤における地震観測記録のシミュレーション結果では、ごく短周期側においても地震観測記録を下回る場合があるが、この傾向は一部の地震のみにおいて見られるものであることから、周期約 0.4 秒における伝達関数の乖離が、特定の地震のもつピークと合致することにより、最大加速度値に影響を与えたものであると考えられ、短周期成分の地震動全体を小さく評価したものではないと考えられる。

ごく短周期側の減衰定数の差は、リニア型とバイリニア型におけるシミュレーション解析の比較により、結果に有意な影響を与えないことを確認していることから、上記の周期約 0.4 秒における伝達関数の適合度を改善することで、地震観測記録をよく説明可能なシミュレーション結果が得られると考えられる。

7. 地盤の実態を考慮したパラメータの設定

「4. 三軸圧縮試験による評価結果」、「5. 敷地における S 波検層による評価結果」及び「6. 敷地における地震観測記録を用いた評価結果」に示した各種評価結果に基づき、敷地における「地盤の実態を考慮したパラメータ」としての岩盤部分の減衰定数に係るパラメータを設定する。

7.1 地盤の実態を考慮した減衰定数の値及び周波数特性

「5. 敷地における S 波検層による評価結果」に示したとおり、敷地内のボーリング調査位置における S 波検層結果によれば、岩盤部分における減衰定数には周波数依存性を有しているが、既往知見において認められる減衰定数が高振動数側で一定になる傾向（バイリニア型）は明確に見受けられない。

また、「6.3 伝達関数による検討」において同定した減衰定数において、リニア型とバイリニア型による減衰定数の差は、敷地における地震観測記録の深さ方向の伝達関数及び「6.3.7 応答スペクトルによる評価結果」に示したシミュレーション解析結果に対して有意な差を与えないことを確認した。

また、同定した速度構造及び減衰定数による伝達関数及びシミュレーション結果は、中央地盤においては地震観測記録をよく説明する結果が得られていることから、減衰定数としては地盤の実態を考慮した値が評価された結果が得られていると考えられる。

以上のことから、中央地盤については、敷地における地盤の実態を考慮した設定としては、「6.3 伝達関数による検討」において同定された周波数依存型（リニア型）の減衰定数が、敷地における地盤の実態を表したパラメータの設定となると考えられる。

なお、西側地盤及び東側地盤については、一部周期帯における同定結果に課題が残るため、今後更なる精度の向上のための追加検討を実施した上で、地盤の実態を考慮したパラメータの設定を行う。

7.2 地盤の実態を考慮した減衰定数の非線形性

「4. 三軸圧縮試験による評価結果」に示したとおり、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^{-2} 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。

ただし、上記の傾向は材料減衰のみに着目した結果であり、JEAG4601-1987 に示されるように、地盤の減衰定数には材料減衰と散乱減衰が含まれることから、地盤の実態を考慮した場合、地盤のひずみ量に応じて、散乱減衰が支配的となる領域と材料減衰が支配的となる領域を区分して減衰定数を設定する必要がある。

以上を踏まえ、 S_s 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）を考慮することが、最も地盤の実態を考慮した設定となると考えられる。

8. 「基本地盤モデル」に考慮するパラメータの設定

8.1 「基本地盤モデル」に考慮するパラメータの設定

本章では、「1.はじめに」に示したとおり、第2回申請対象施設における「基本地盤モデル」の設定にあたり、解析の簡便性や設計上の保守性を考慮した上で、耐震設計上用いるパラメータの設定の考え方について示す。

「4. 三軸圧縮試験による評価結果」、 「5. 敷地におけるS波検層による評価結果」及び「6. 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価結果」による検討結果に基づき、「7. 地盤の実態を考慮したパラメータの設定」に示した岩盤部分の減衰定数のパラメータ設定の考え方に対して、耐震設計を実施する上で、解析の簡便性や設計上の保守性を考慮した「基本地盤モデル」として減衰定数を設定する場合の考え方について検討を行う。

「7. 地盤の実態を考慮したパラメータの設定」に示したとおり、敷地における地盤の実態を考慮すると、岩盤部分の減衰定数は、周波数依存特性とひずみ依存特性が同時に考慮されることとなる。しかしながら、これらを同時に考慮して建物・構築物の入力地震動を算定することは、解析プログラムの制約上困難である。また、JEAG4601-2015に示される慣用値に示されるように、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な設定である。

また、明らかに減衰定数を小さく設定することとなり、保守的な設定となることが自明となる場合を除き、解析の簡便性及び保守性を考慮したパラメータを設定するにあたっては、新しく設定するパラメータが、地震観測記録等に対して過小評価としないことの確認を実施する。

具体的には、「基本地盤モデル」が耐震設計において建物・構築物の入力地震動を算定するために用いることを踏まえ、建物・構築物の固有周期帯（水平0.2～0.3秒、鉛直0.1秒～0.2秒）において、地盤の実態を考慮したパラメータに基づくシミュレーション解析結果または地震観測記録に対して概ね保守的な値となることを確認する。

以上を踏まえ、岩盤部分の減衰定数の周波数依存特性と、ひずみ依存特性の設定について、地盤の実態を考慮した場合に対し、設計上過小評価としない範囲での簡易的な設定の可否について検討を実施する。

8.2 周波数依存特性を考慮しない設定の適用性

8.2.1 周波数依存性を考慮しない場合の減衰定数の評価

耐震設計上、簡易的な設定となる周波数依存性を考慮しない条件における減衰定数について、まずはその値について把握することとし、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評価する。

評価手法及び評価に用いる地震については、「6.3 伝達関数による検討」と同様の地震を用い、同様の評価条件とし、減衰定数の同定に係る周波数依存性の条件のみ、全周波数において一定となる条件設定を行った。

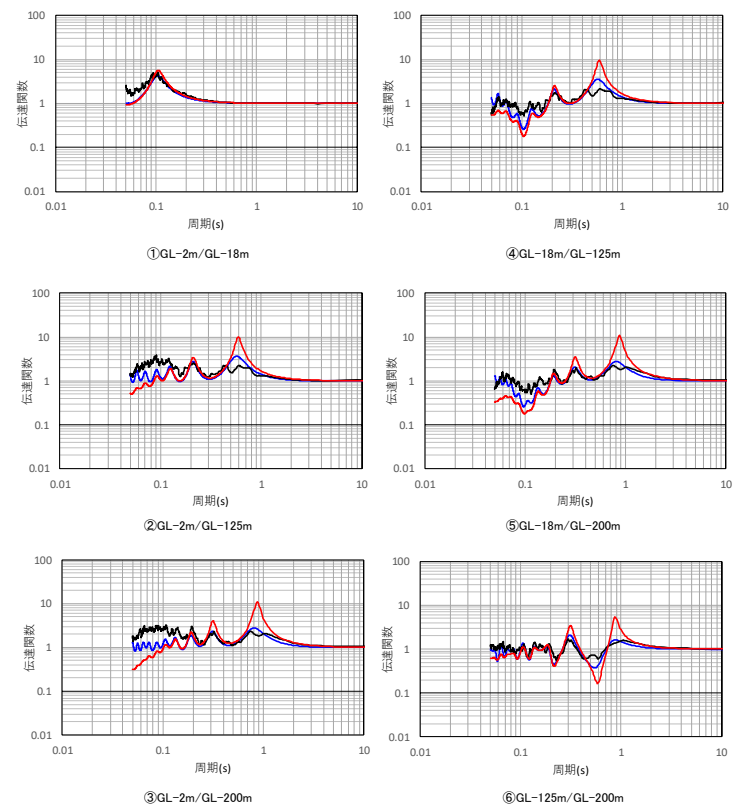
第 8.2.1-1 図～第 8.2.1-4 図に示すとおり、地震観測記録を用いた減衰定数の評価の結果、解放基盤表面～基礎底面レベルの岩盤部分に相当する層の水平方向における減衰定数として、中央地盤観測点において 6.7%の減衰定数が得られた。鉛直方向については、「6.3.6 伝達関数による評価結果」と同様に、水平方向と比較して大きい値の減衰定数が得られた。

周波数依存性なしの条件により求められる伝達関数は、「6.3 伝達関数による検討」にて同定した波数依存性を考慮した結果と比較して、速度構造はほぼ同一であるため、ピーク周波数については変わらないものの、伝達関数の大きさについては地震観測記録との乖離が大きい結果となっており、長周期側では周波数依存性なしの条件による伝達関数が観測記録に対して大きく、短周期側では小さく評価されている。

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

— 目的関数
— 周波数依存型 (リニア型)
— 周波数依存なし



(a) 評価された物性値及び減衰定数

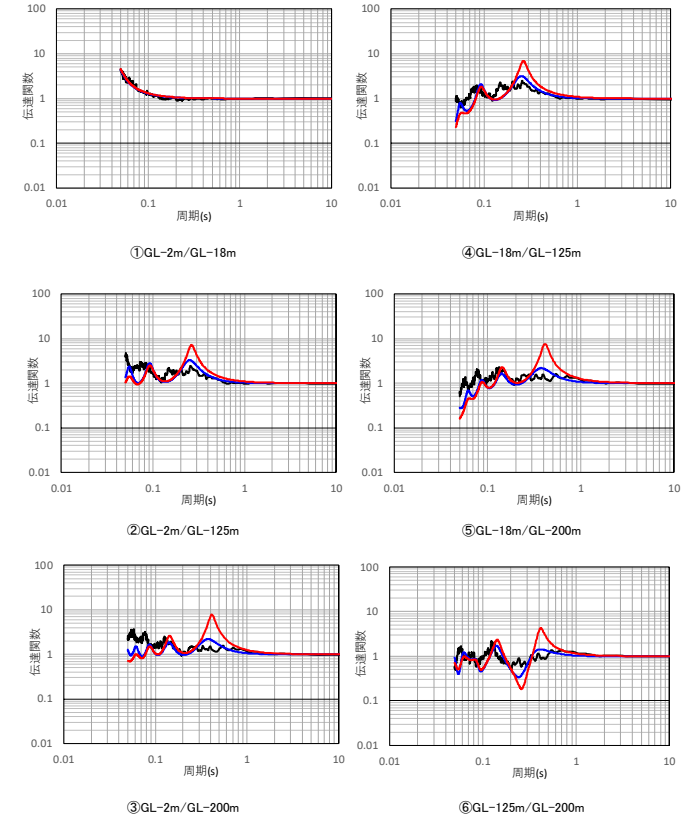
(b) 伝達関数適合状況

第 8.2.1-1 図 伝達関数による評価結果 (中央地盤観測点: 周波数依存性なし, 水平)

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	Vp (m/s)	減衰定数 h
0	2	1.94	1410	0.166
-2	1.5	1.94	1410	
-3.5	1.5	1.94	1560	0.137
-5	13	1.64	1640	0.106
-18	2	1.64	1640	
-20	40	1.75	1780	0.093
-60	60	1.85	1860	
-120	5	1.85	1920	0.081
-125	75	1.85	1920	
-200				

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

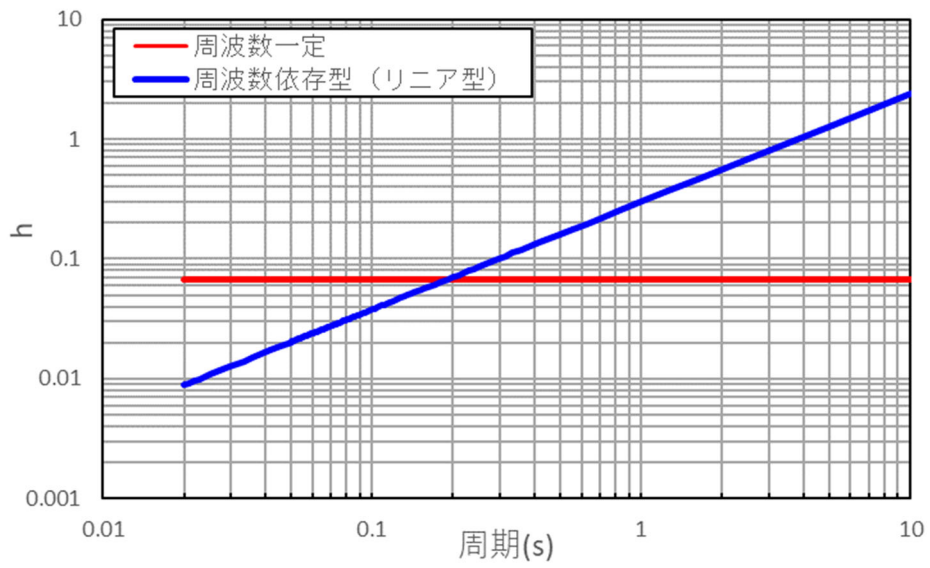
— 目的関数
— 周波数依存型 (リニア型)
— 周波数依存なし



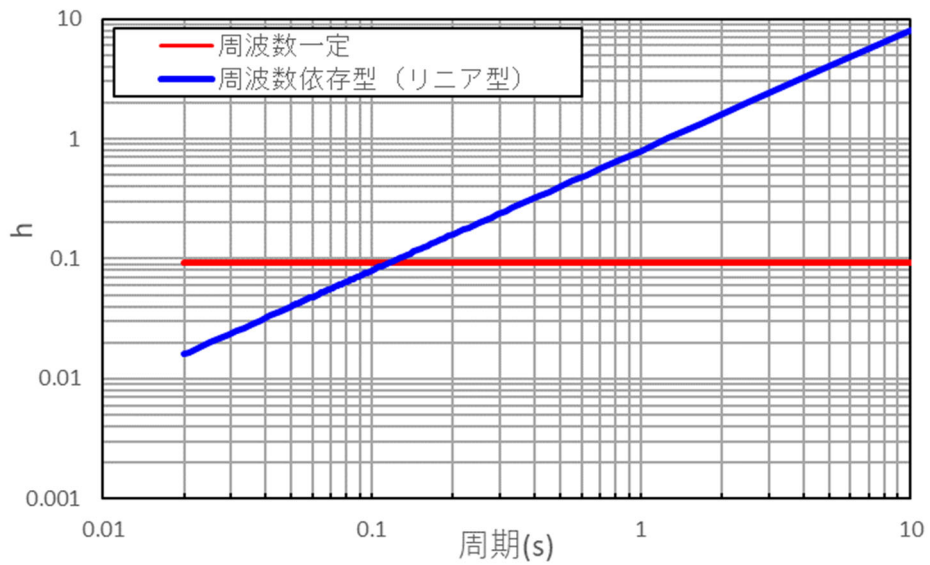
(a) 評価された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

第 8.2.1-2 図 伝達関数の比較 (中央地盤観測点: 周波数依存性なし, 鉛直)



第 8.2.1-3 図 減衰定数と周期の関係（中央地盤観測点，水平）



第 8.2.1-4 図 減衰定数と周期の関係（中央地盤観測点，鉛直）

8.2.2 適用性の確認に係る検討方針

「8.2.1 周波数依存性を考慮しない場合の減衰定数の評価」において評価した減衰定数について、周波数依存性を考慮する場合としない場合における伝達関数の乖離が、入力地震動の算定結果に対してどのように影響するか、「6.3.7 応答スペクトルによる評価」と同様に、地震観測記録のシミュレーションにより確認を行う。

ここで、周波数依存性を考慮しない条件が、設計上過小評価とならないことを確認する上では、本地盤モデルが、耐震設計において建物・構築物の入力地震動を算定するために用いることを踏まえ、建物・構築物の固有周期帯(水平0.2～0.3秒、鉛直0.1秒～0.2秒)において、周波数依存性を考慮した場合のシミュレーション結果及び地震観測記録に対し、周波数依存性を考慮しない条件によるシミュレーション結果が保守的な値となることの確認により行う。

上記確認により、周波数依存性を考慮しない設定とした場合の地震観測記録のシミュレーション結果が、上記周期帯において保守的な地盤応答を与える場合においては、耐震設計上、周波数依存性を考慮しない設定することに問題は無いと判断する。

8.2.3 適用性の確認結果

周波数依存性を考慮しない場合の条件における地震観測記録のシミュレーション結果を、周波数依存性を考慮した場合の条件における結果とあわせて第 8.2.3-1 図に示す。

中央地盤において、周波数依存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。

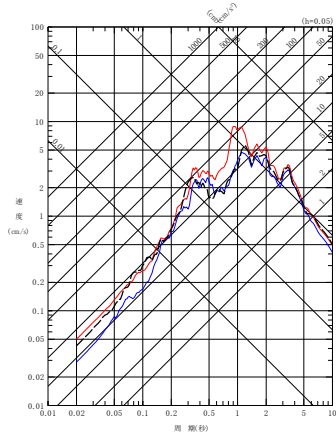
短周期側については、減衰定数を周波数依存特性を考慮する場合に比べて大きく評価することになるものの、地盤応答に対しては小さく評価されず、周波数依存性を考慮した場合と比較して、「8.1.2 適用性の確認に係る検討方針」に示した周期帯（水平 0.2～0.3 秒、鉛直 0.1 秒～0.2 秒）において、概ねいずれの地震においても、周波数依存性を考慮した場合のシミュレーション結果及び地震観測記録に対し、周波数依存性を考慮しない条件によるシミュレーション結果が大きな値となることを確認した。

なお、一部の地震については、短周期側において地震観測記録を下回る結果が得られているが、この傾向は全地震共通の傾向ではなく、また、該当する地震については、短周期側に特異なピークが得られている地震であることを踏まえると、この結果となった要因は、「6.3.6 伝達関数による評価結果」及び「8.2.1 周波数依存性を考慮しない場合の減衰定数の評価」により同定された短周期側の伝達関数のピーク周波数と、個別の地震のもつ特異なピークが合致した結果、シミュレーション解析結果における当該周期及び最大加速度に乖離が現れたためであると考えられる。このことから、地盤の減衰定数の設定としては、上記のシミュレーション解析結果において、保守的な地盤応答を与える設定となっていると考えられる。

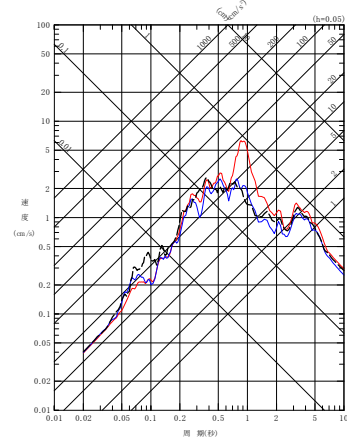
以上のことから、中央地盤においては、「7. 地盤の実態を考慮したパラメータの設定」に示したとおり、敷地における地盤の実態としては、周波数依存特性は考慮することとしているが、耐震設計に用いる上では、「8.2.1 周波数依存性を考慮しない場合の減衰定数の評価」

により評価した周波数依存性を考慮しない条件による減衰定数（6.7%）
を用いることは、保守的な設定となることを確認した。

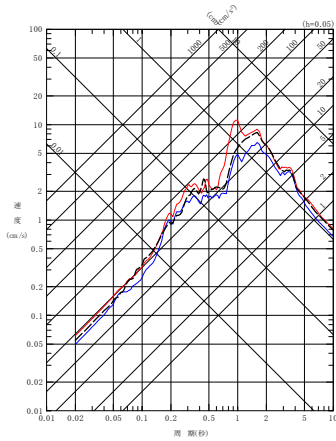
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 - - 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



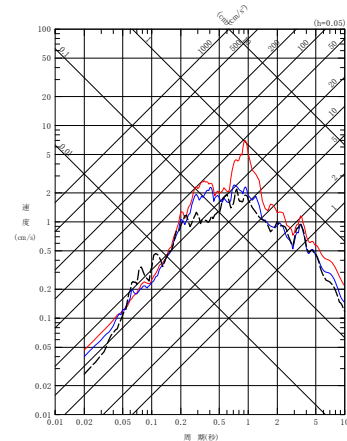
(a) NS 方向



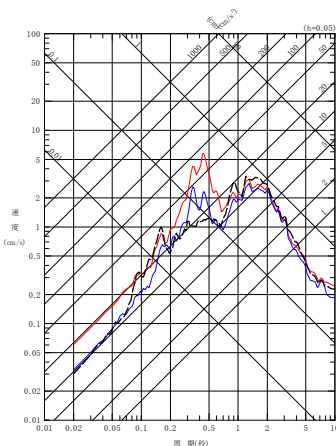
(a) NS 方向



(b) EW 方向

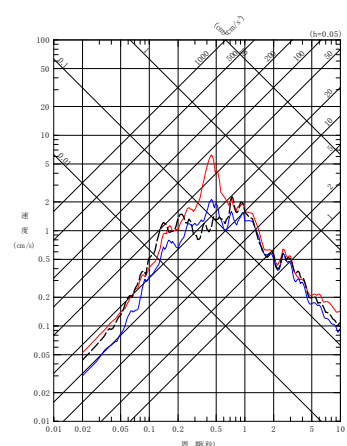


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200112022201 地震



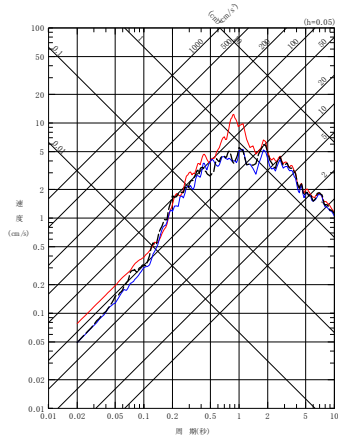
(c) UD 方向

(2) 200210142312 地震

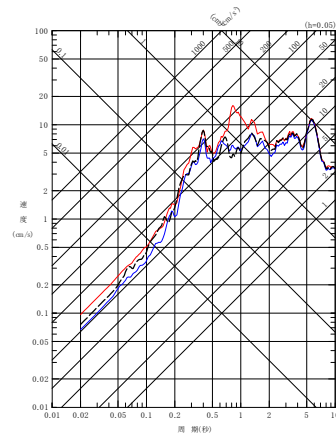
第 8.2.3-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (1/7)

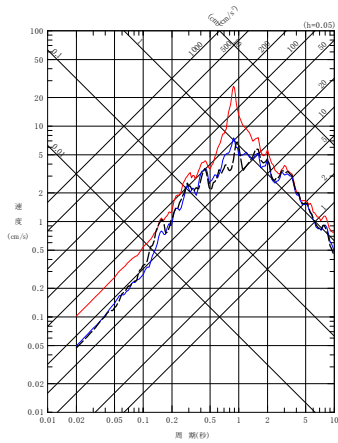
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



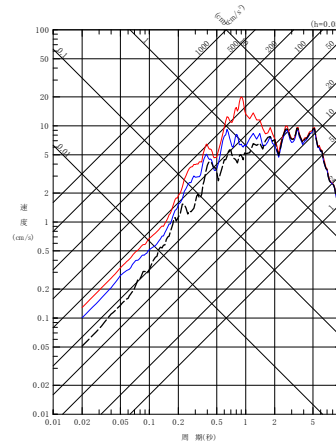
(a) NS 方向



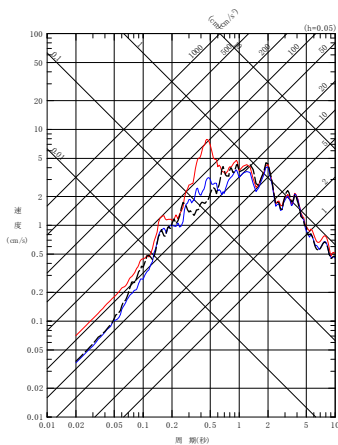
(a) NS 方向



(b) EW 方向

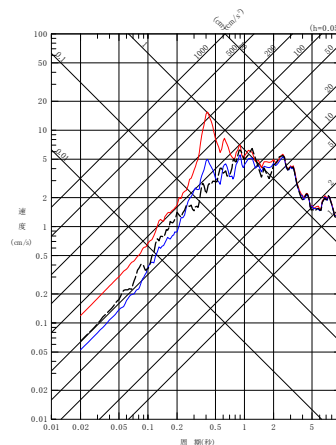


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 200305261824 地震



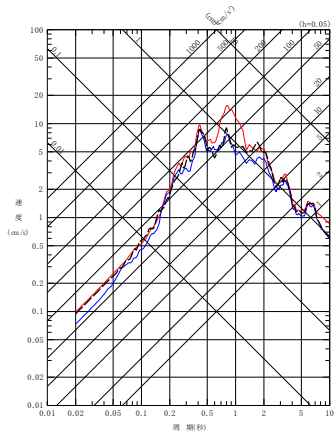
(c) UD 方向

(4) 200309260450 地震

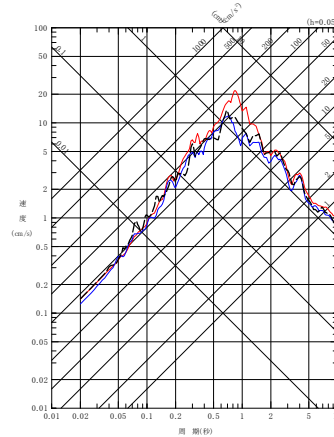
第 8.2.3-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (2/7)

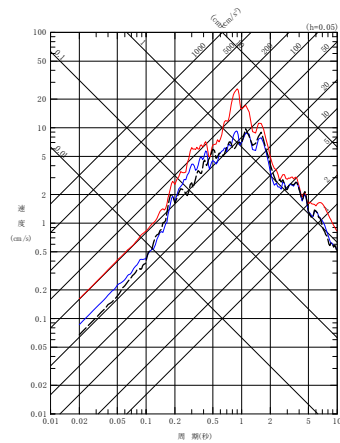
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (1)ニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



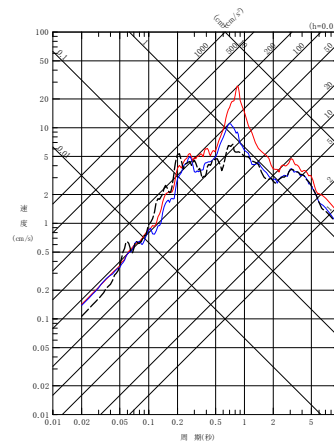
(a) NS 方向



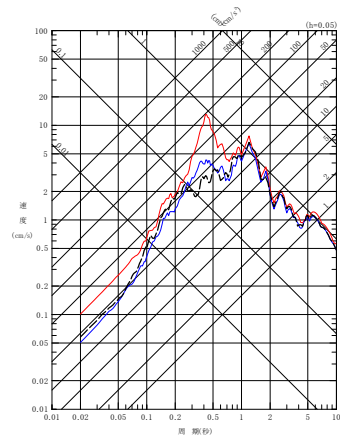
(a) NS 方向



(b) EW 方向

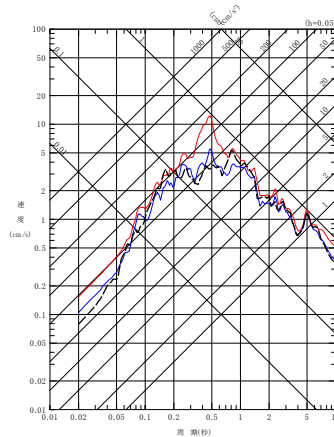


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 2009260608 地震



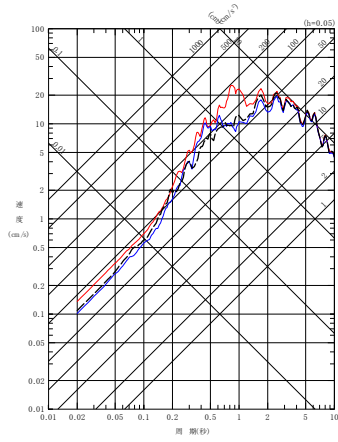
(c) UD 方向

(6) 200807240026 地震

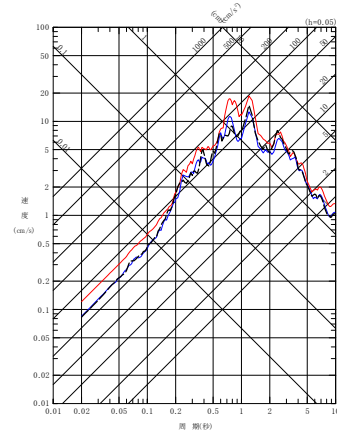
第 8.2.3-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (3/7)

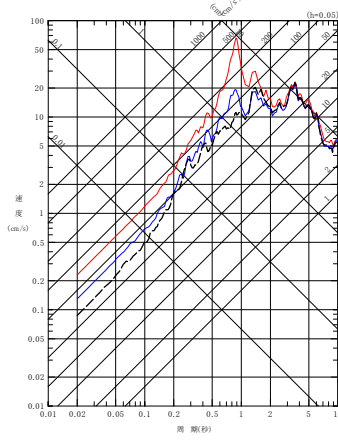
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



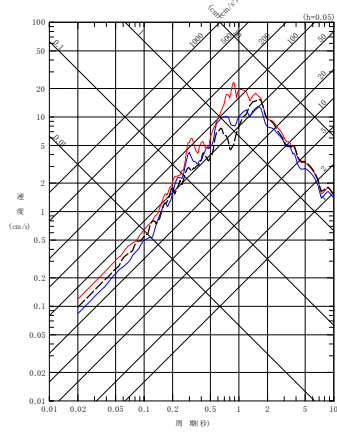
(a) NS 方向



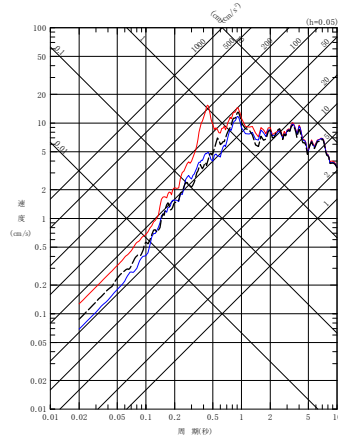
(a) NS 方向



(b) EW 方向

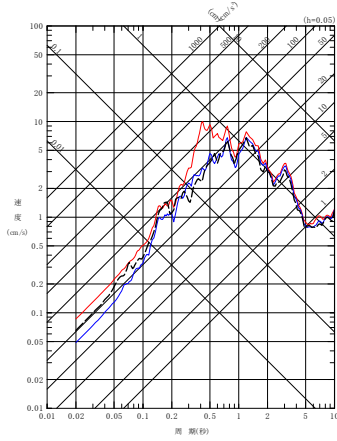


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201103111446 地震



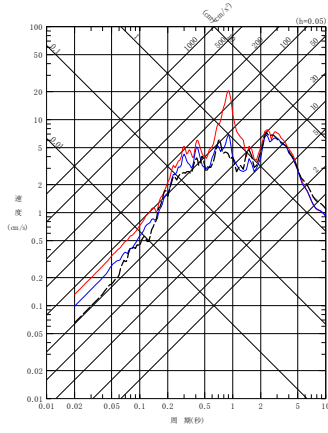
(c) UD 方向

(8) 201103111508 地震

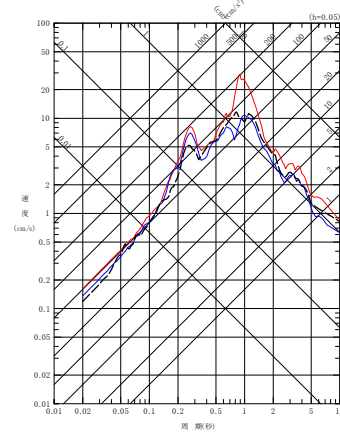
第 8.2.3-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (4/7)

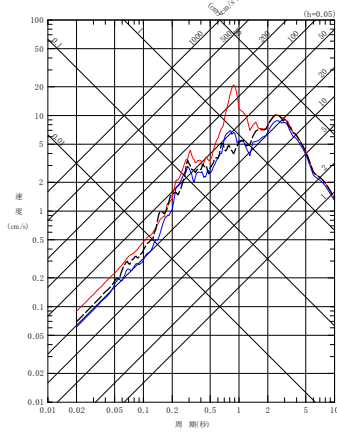
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



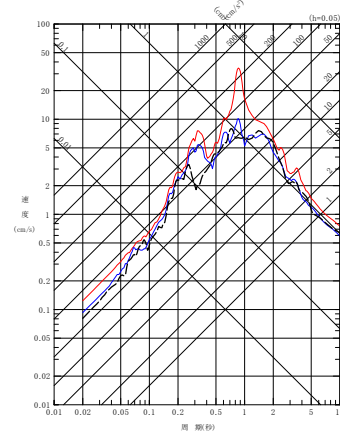
(a) NS 方向



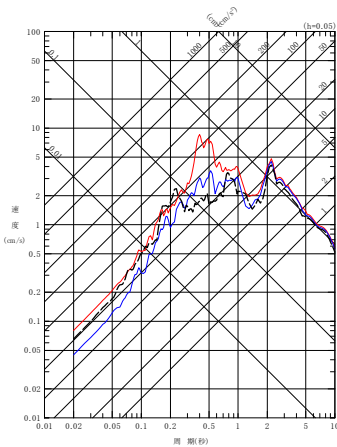
(a) NS 方向



(b) EW 方向

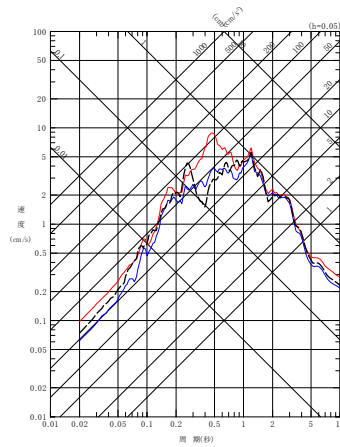


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201106230650 地震



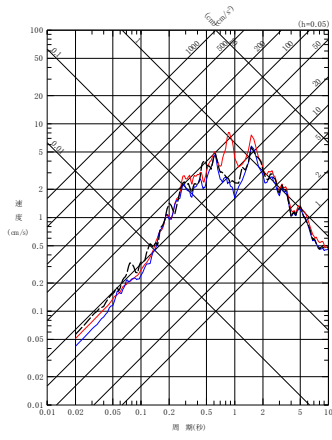
(c) UD 方向

(10) 201205240002 地震

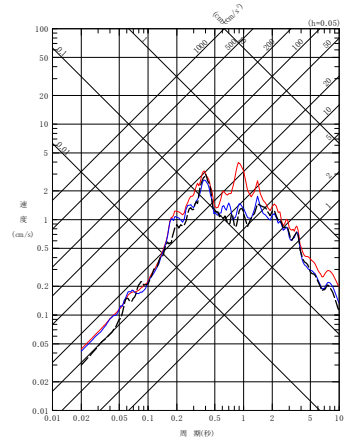
第 8.2.3-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (5/7)

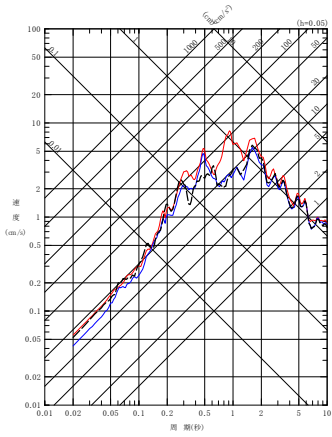
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



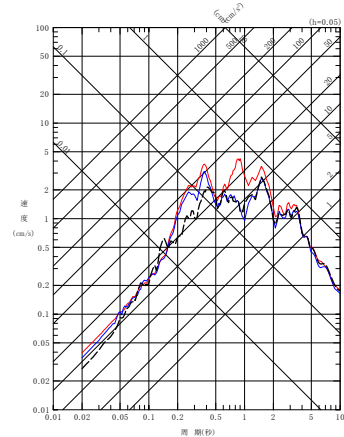
(a) NS 方向



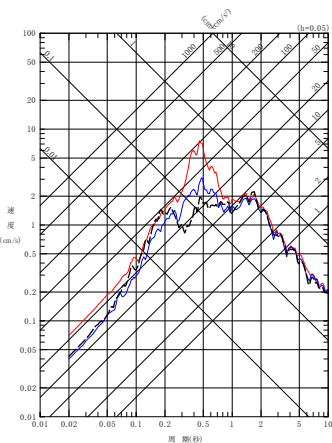
(a) NS 方向



(b) EW 方向

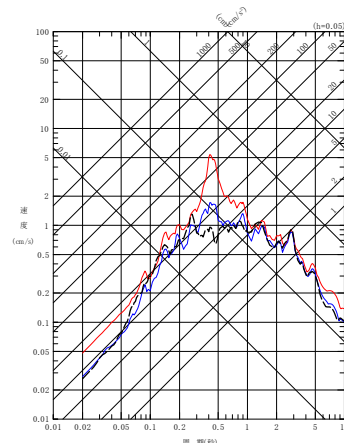


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 201212071718 地震



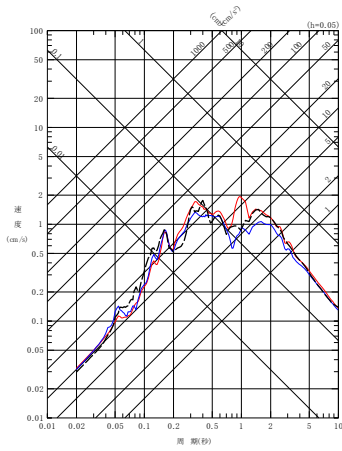
(c) UD 方向

(12) 201302022317 地震

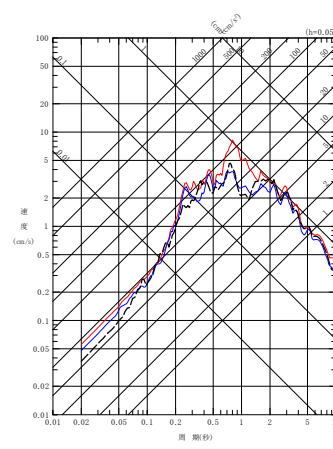
第 8.2.3-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (6/7)

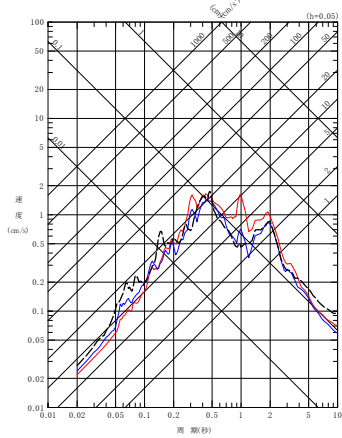
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



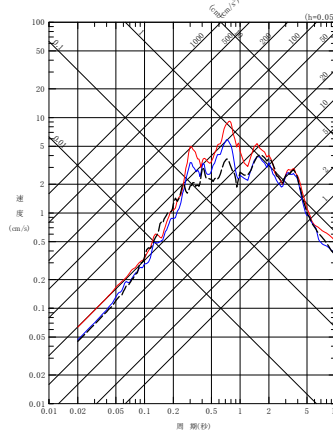
(a) NS 方向



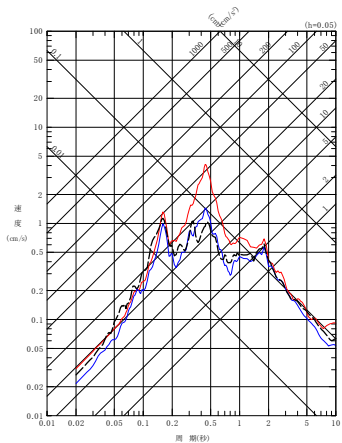
(a) NS 方向



(b) EW 方向

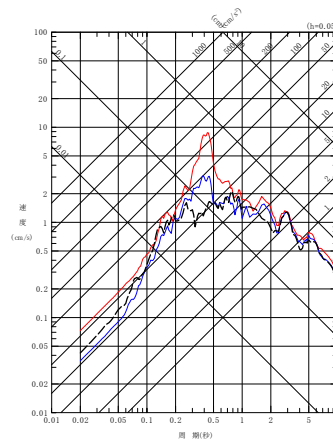


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(13) 201507100332 地震



(c) UD 方向

(14) 201601141225 地震

第 8.2.3-1 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 (7/7)

8.3 ひずみ依存特性を考慮しない場合についての検討

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。

「6. 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価結果」において、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。

「4. 三軸圧縮試験による評価結果」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。

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

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。

8.4 鉛直方向の減衰定数の扱い

本章では、水平方向と鉛直方向の地盤の実態を考慮したパラメータの値を比較し、「基本地盤モデル」の設定にあたり、いずれかの値に統一することが可能か検討を行う。

「8.2.1 周波数依存性を考慮しない場合の減衰定数の評価」敷地の岩盤部分における減衰定数について、水平方向と鉛直方向における評価結果を比較した表を第 8.4-1 表に示す。

水平方向と比較して鉛直方向の減衰定数が大きく評価されることについては、既往の知見においても同様の傾向が示されており、例えば藤堂ほか(1995)において、 $Q_p=Q_s/2$ または $Q_p=Q_s/1.5$ の関係が示されている。

敷地において同定された減衰定数は、上記知見よりも鉛直方向と水平方向の差が小さいものの、上記知見と同様に、鉛直方向の減衰定数が大きく評価されている。

「7. 地盤の実態を考慮したパラメータの設定」に示したとおり、地盤の実態を考慮したパラメータの設定にあたっては、水平方向と鉛直方向それぞれの評価結果を設定することとしているが、「基本地盤モデル」の設定にあたっては、減衰定数の小さい水平方向の値を、鉛直方向に対しても設定する。

これにより、鉛直方向の入力地震動を算定する上では、保守的なパラメータ設定となる。

第 8.4-1 表 岩盤部分における減衰定数の評価結果

地震観測地点	水平方向	鉛直方向	鉛直/水平
中央地盤	0.067	0.093	1.39

8.5 設計における保守性の観点での設定

「8.2 周波数依存特性を考慮しない設定の適用性」に示したとおり、周波数依存特性を考慮しない設定が、地震観測記録を大きく評価する傾向にあることから、「基本地盤モデル」の設定上は、周波数依存特性を考慮しない設定とすることにより、耐震設計上、入力地震動を設定する上では保守的な設定となる。

また、「8.4 鉛直方向の減衰定数の扱い」に示したとおり、鉛直方向の減衰定数については、水平方向よりも大きな値が評価されているが、「基本地盤モデル」の設定上は、水平方向の評価値に統一することにより、耐震設計上、鉛直方向の入力地震動を設定する上では保守的な設定となる。

以上を踏まえると、各地点における減衰定数は、水平方向及び鉛直方向ともに、中央地盤観測点においては6.7%の値となる。

最終的な「基本地盤モデル」の設定にあたっては、上記の中央地盤における結果に加え、東側地盤及び西側地盤における地盤の実態を考慮したパラメータ及び「8.2 周波数依存特性を考慮しない設定の適用性」～「8.4 鉛直方向の減衰定数の扱い」における確認結果を踏まえて設定する。

9. まとめ

本資料において整理した、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。

中央地盤においては、JEAG4601-1987に示される手法に基づく一般的・標準的な評価の結果を踏まえると、地震観測記録を用いて同定した周波数依存性を考慮した減衰定数が、地盤の実態を考慮したパラメータとなる。

また、水平方向及び鉛直方向ともに、中央地盤観測点においては周波数依存性を考慮しない6.7%の値とすることで、耐震設計上、入力地震動を評価する上では保守的な設定となる。

最終的な「基本地盤モデル」に考慮する値については、東側地盤及び西側地盤における地盤の実態を考慮したパラメータ及び設計上の保守性に係る確認結果を踏まえて設定する。

上記設定については、中央地盤において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等に基づき設定した値である。今後、西側地盤及び東側地盤の地震観測記録による方法の更なる追加検討や、敷地内各位置における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。

参考 1

岩盤部分の減衰定数の設定に係る追加調査

- ・ 文中の下線部は令和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」からの変更箇所を示す。

目 次

	ページ
1. 目的	参考-1
2. 追加調査の項目	参考-2
3. 実施計画	参考-4
4. 予定工程	参考-43

1. 目的

基本地盤モデルにおいて、岩盤部分（建屋基礎底面レベル～解放基盤表面）に対して設定した減衰定数に対し、信頼度向上の取り組みとして、追加ボーリング調査によりデータを取得する。

岩盤部分の減衰定数については、JEAG4601-1987に示される3手法（三軸圧縮試験による方法、弾性波探査（ここでは減衰定数の算出に特化した探査をS波検層と呼ぶ）による方法、地震観測記録による方法）を用い、敷地における減衰定数の値を評価しているが、このうち、S波検層による方法については、現時点において、そのデータが敷地内3地点で実施されているが、近接する建屋のグループ単位において岩盤部分の物性値等の設定を行う方針としていることを踏まえると、上記の3地点におけるデータが、全12グループにおいても同じ特徴を有しているか確認し、3地点におけるS波検層による評価結果との整合性を確認する必要があることから、S波検層による評価結果の信頼性向上の取り組みとして、追加調査を実施する。

また、三軸圧縮試験による方法に基づく減衰定数として、事業変更許可申請書に示すとおり、岩盤種別ごとにひずみ依存特性を設定しているが、他サイトにて実績のある岩石コアを用いた弾性波速度試験を実施し、両者の整合性を確認することで、信頼度の高い減衰定数を設定することができるため、あわせて追加調査を実施する。

本追加調査により得られたデータについては、地震観測記録による方法によって評価した岩盤部分（建屋基礎底面レベル～解放基盤表面）の減衰定数との比較・分析を行い、地震観測記録により評価された値の妥当性を確認することにより、基本地盤モデルに設定する岩盤部分の減衰定数の信頼度の向上を図る。

2. 追加調査の項目

現地における追加調査の項目は、資料「岩盤部分の減衰定数の設定に係る今後の検討内容」（令和5年6月30日）の5頁に示す表の検討手法うち、「ボーリング孔内減衰測定による検討」と「岩石コアを用いた減衰測定による確認」に対応し、孔内検層によるQ値測定及び室内岩石試験を実施する。参考1-2-1表に追加調査の考え方を示す。

ボーリング孔を用いた減衰測定による検討については、敷地内3地点で得られているおり、追加調査も同様の手法（せん断弾性波の地表から深部に向かう振幅の変化）で実施するが、新たな計測方法を適用することで精度は向上するものと考えられる。

また、岩石コアを用いた弾性波速度測定による減衰測定については、繰り返し三軸試験から得られる履歴減衰（材料減衰）との整合性を確認することから敷地内地盤での主要岩種を用いて室内岩石コア試験を実施する。

参考 1-2-1 表 追加調査の考え方

検討手法	これまでの 当社実施状況	追加調査の考え方	(参考) 実施サイト
ボーリング 孔内減衰測 定による 検討	実施 (敷地内 3 地点)	<ul style="list-style-type: none"> ・現時点のデータ (3 地点) に基づき、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、地震観測記録による方法により評価した減衰定数の妥当性を補完・補強する位置づけで測定結果を確認している。 ・ただし、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、また、東側地盤においては、ばらつきの大きいデータとなっていることから、さらなる確度の向上のためにデータの拡充を行う。 ・現時点のデータ+拡充したデータに基づき、測定結果に見られる周波数依存特性の特徴を踏まえ、地震観測記録を用いた評価により評価される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。 	玄海 3, 4 号 東海第二 大間
岩石コアを 用いた減衰 測定による 確認	未実施	<ul style="list-style-type: none"> ・他サイト実績において、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。 ・今回検討における減衰定数の評価範囲のうち、建屋基礎底面レベル～解放基盤表面の岩盤部分において、当社は地震観測記録を有しているほか、S 波検層によるデータを有し、更に、確度向上のためデータの拡充を行うこととしていることから、建屋基礎底面レベル～解放基盤表面の岩盤部分における減衰定数の設定に用いるデータは有していると考えられる。 ・ただし、本測定において得られる値の物理的な意味 (材料減衰を主として測定) を踏まえ、地震観測記録及びボーリング孔内減衰測定による検討により評価された減衰定数 (材料減衰と散乱減衰の両方が含まれる) との比較・分析を行うことで、敷地において確度の高い減衰定数を設定することが可能となるため、今回の追加調査において新たなデータの取得を実施する。 	玄海 3, 4 号

3. 実施計画

2. に示した追加調査項目に対する実施計画を以下に示す。

(1) ボーリング調査位置

ボーリング調査位置を参考 1-3-1 図に示す。

ボーリングの仕様は、孔径 86mm (コア径 60~65mm) のオールコアボーリングとし、地質観察により岩盤の種別判定等を適切に行うとともに、採取したコアから室内岩石試験に供する供試体を切り出すものとする。

当該地点は、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を踏まえ、建屋の配置状況に基づき、既往のボーリング調査位置もあわせ、建物・構築物に対して、複数の調査結果を適用できるよう配慮して調査位置を選定する。

具体的には、既往のボーリング調査において、西側地盤、中央地盤、東側地盤の各 1 地点でデータを取得していることから、建屋の配置状況を踏まえて下記の追加調査孔を配置する。

西側地盤：既往 J-T 孔に加え、E 施設周辺 Gr を南北で挟み込むように、R5-Q5 を追加する。

中央地盤：中央地盤は南北に広く建物が分布していることから、GC 建屋群、GA 建屋群に R5-Q1, R5-Q11 を追加、AA 建屋群については、R5-Q2, R5-Q10 を追加、F 施設周辺 Gr には、既往の L-T 孔に加えて R5-Q9 を追加、敷地北側の AE 建屋近傍に R5-Q6 を追加する。

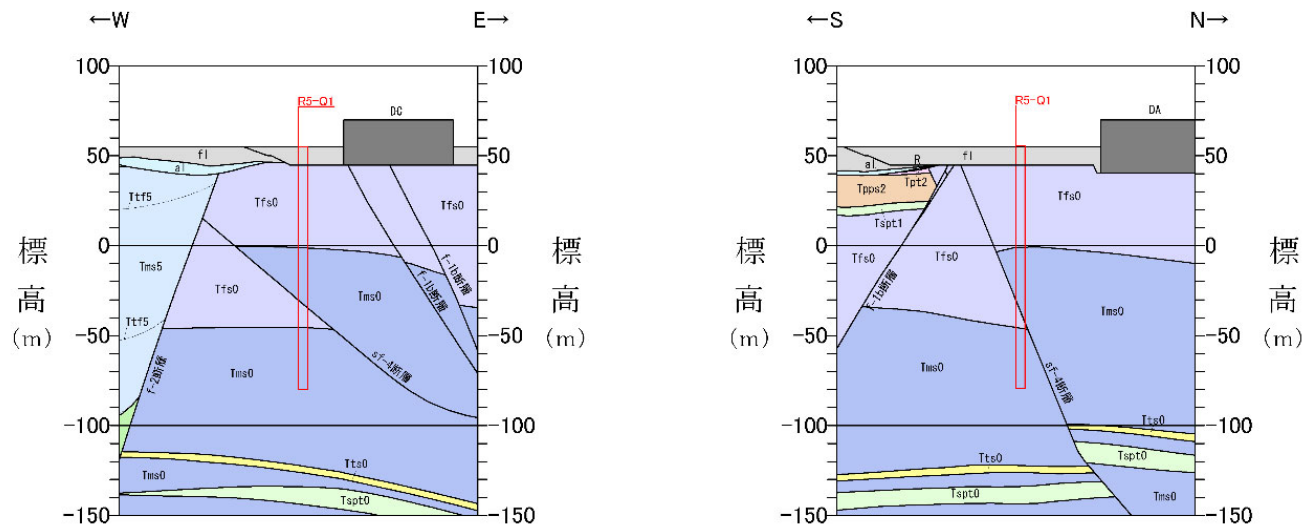
東側地盤：既往 E-T 孔は、建物から離れた位置で実施していること、また、東側地盤は南北に建物が分布していることから、R5-Q7 及び R5-Q12 を追加する。

さらに、敷地東側に新設建屋が設置される Gr がある (AZ 周辺及び G13 周辺) ことから、先の R5-Q7 に加えて、R5-Q8 を追加する。さらに、東側に離れた G14 については、建屋隅角部に出現する sf-6 断層 (面なし断層) の上盤、下盤それぞれ R5-Q3, R5-Q4 を追加する。

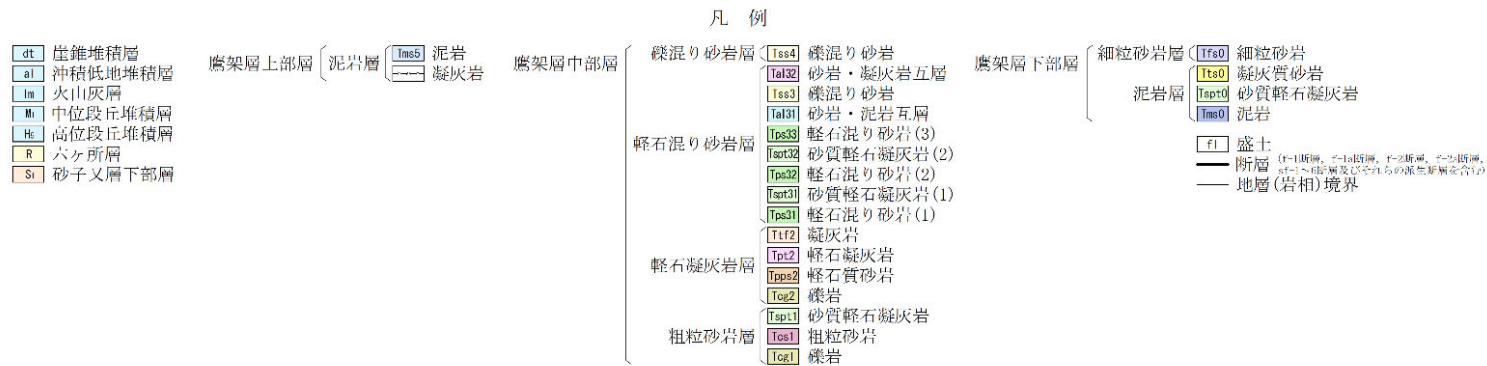
Q 値測定孔の敷地内での配置条件としては、弾性波測定であることから伝達速度に影響を与える建物・構築物からの離隔を十分に確保する。

また、上記の Q 値測定孔の地質断面図を参考 1-3-2 図に示す。本検討においては、岩種ごとに減衰定数を区分することはしないが、弾性波速度の速度構造、減衰定数の変化については、岩種境界を配慮することも考える。

選定位置の状況を参考 1-3-3 図及び参考 1-3-1 表に示す。選定したボーリング孔から最寄り建屋までの離隔距離として最も短い R5-Q11 孔は 10m 程度であるが、震源をボーリング孔から建屋の反対方向 (北側) に設定することにより、建屋などの既設構造による反射波等の影響を受けることはない想定している。また、解析に使用する直達波以外の反射波等は時間的に直達波のあとから到達し、その特徴から直達波と分離、除去することが可能である。地表面が舗装されている箇所については、波形に影響がないことを事前に確認し、影響がある場合は舗装の撤去等処理を加えた状態で実施するものとする。

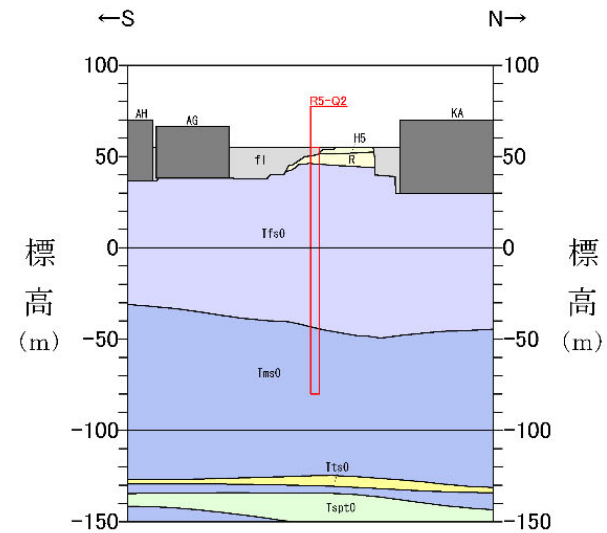
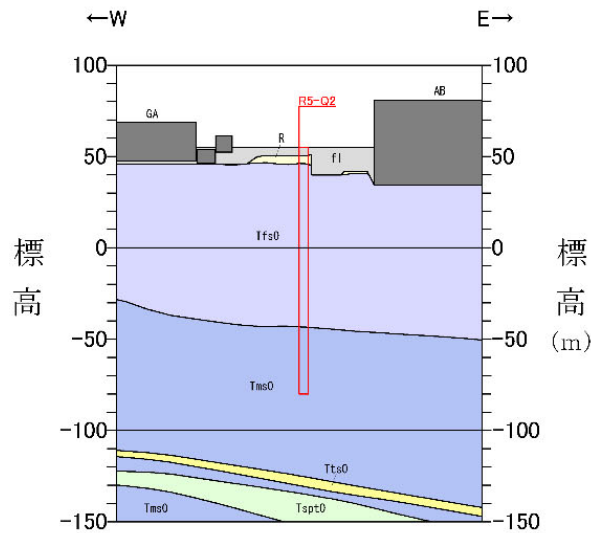


R5-Q1

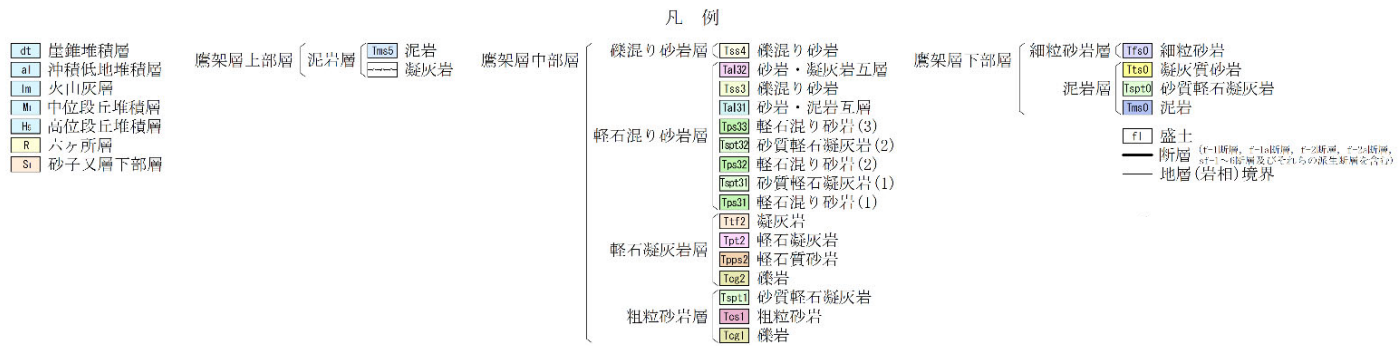


参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (1/12)

参考-6

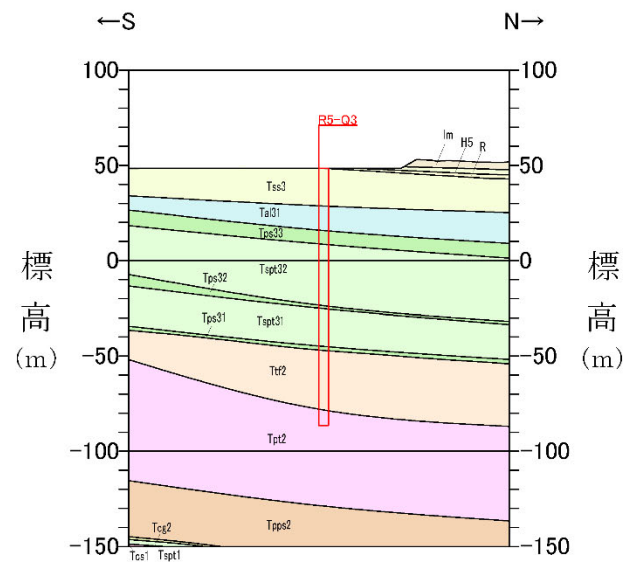
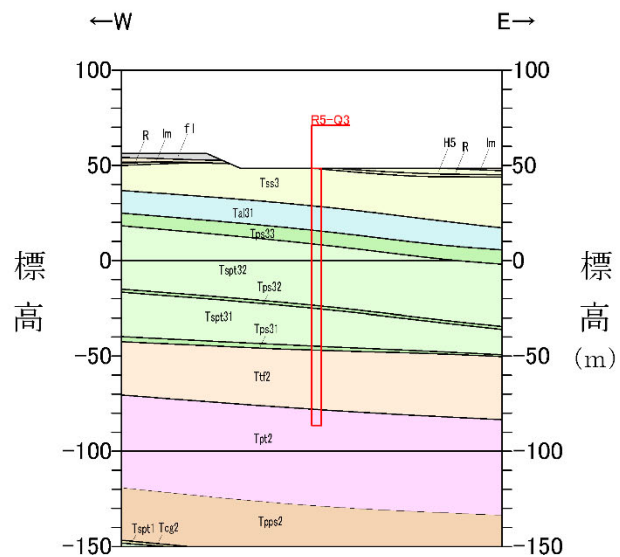


R5-Q2

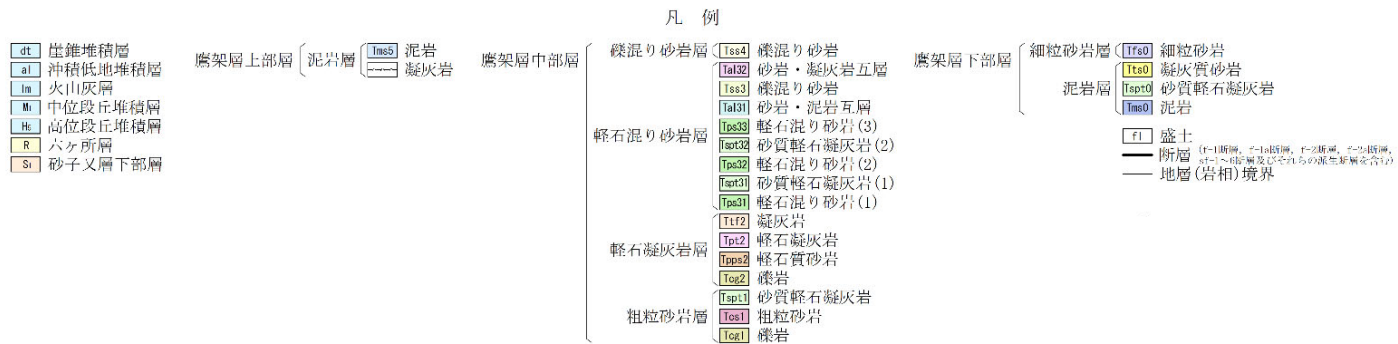


参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (2/12)

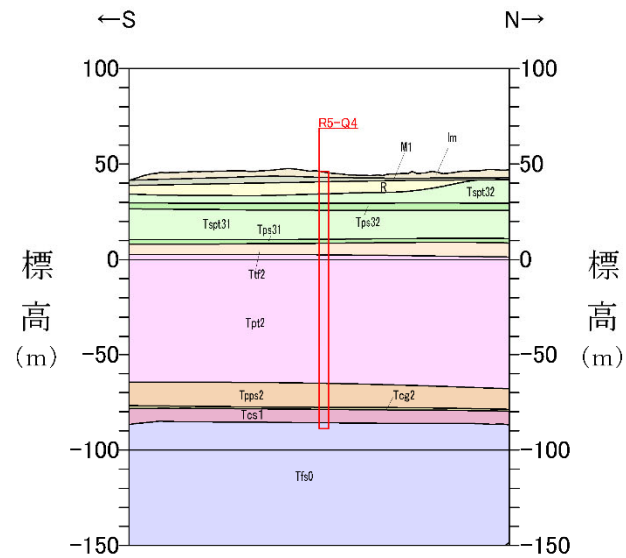
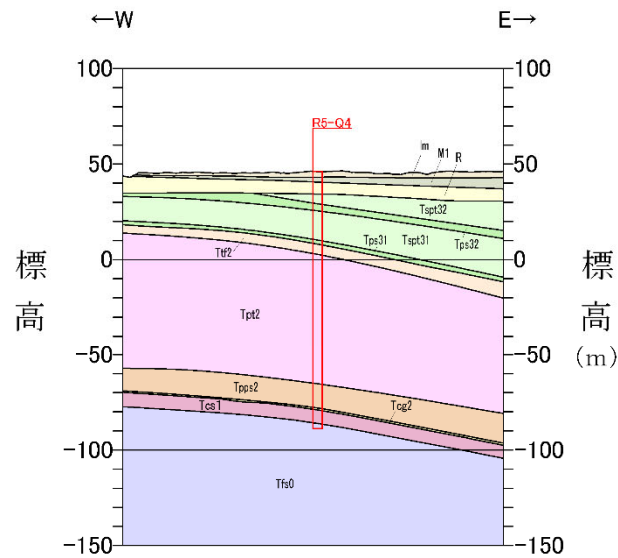
参考-7



R5-Q3



参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (3/12)



R5-Q4

- dt 崖堆積層
- al 沖積低地堆積層
- lm 火山灰層
- M1 中位段丘堆積層
- Hc 高位段丘堆積層
- R 六ヶ所層
- Sr 砂子又層下部層

鷹架層上部層 (泥岩層 凝灰岩)

鷹架層中部層

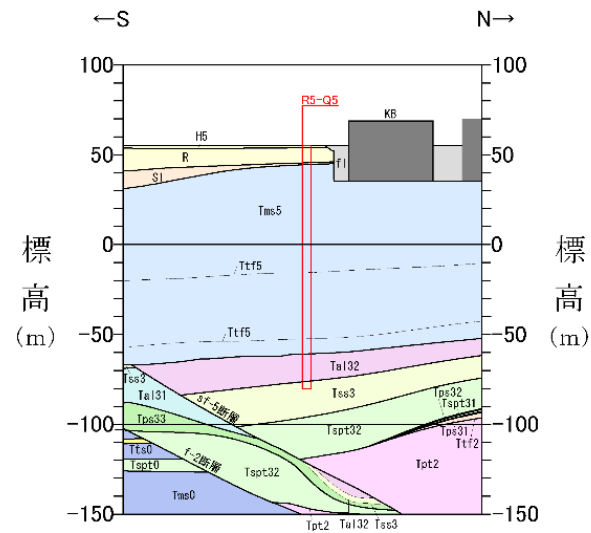
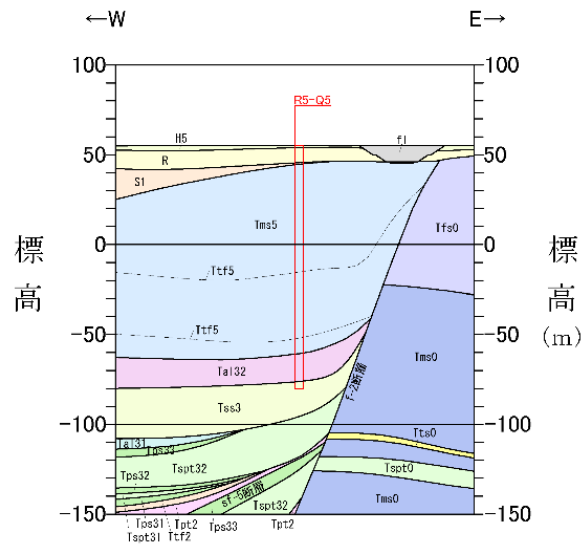
- 礫混り砂岩層
 - Tss4 礫混り砂岩
 - Tal32 砂岩・凝灰岩互層
 - Tss3 礫混り砂岩
 - Tal31 砂岩・泥岩互層
- 軽石混り砂岩層
 - Tps33 軽石混り砂岩(3)
 - Tps32 軽石混り砂岩(2)
 - Tspt31 砂質軽石凝灰岩(1)
 - Tps31 軽石混り砂岩(1)
- 軽石凝灰岩層
 - Tt2 凝灰岩
 - Tpt2 軽石凝灰岩
 - Tpps2 軽石質砂岩
- 粗粒砂岩層
 - Tsp1 砂質軽石凝灰岩
 - Tcs1 粗粒砂岩
 - Tcg1 礫岩

鷹架層下部層

- 細粒砂岩層 (Tfs0) 細粒砂岩
- 泥岩層 (Tts0) 凝灰質砂岩
- (Tsp1) 砂質軽石凝灰岩
- (Tms0) 泥岩

- F1 盛土
- 断層 (F1断層, F2断層, F3断層, F4断層, F5断層, F6断層, F7断層, F8断層, F9断層, F10断層, F11断層, F12断層, F13断層, F14断層, F15断層, F16断層, F17断層, F18断層, F19断層, F20断層, F21断層, F22断層, F23断層, F24断層, F25断層, F26断層, F27断層, F28断層, F29断層, F30断層)
- 地層(岩相)境界

参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (4/12)



R5-Q5

- dt 崖堆積層
- al 沖積低地堆積層
- lm 火山灰層
- ml 中位段丘堆積層
- hl 高位段丘堆積層
- R 六ヶ所層
- S1 砂子又層下部層

- 鷹架層上部層
 - 泥岩層
 - 泥岩
 - 凝灰岩

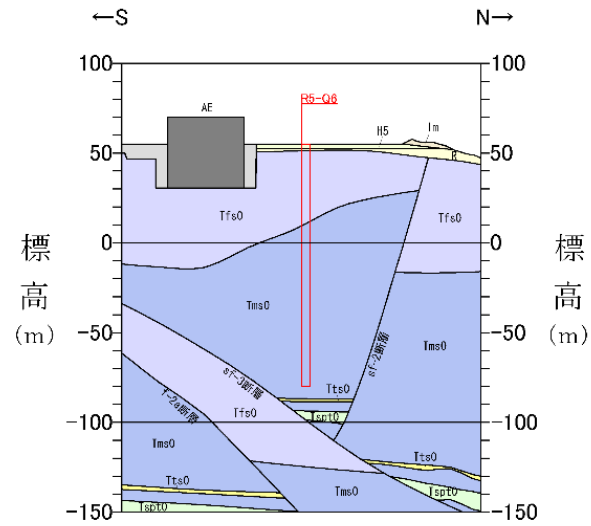
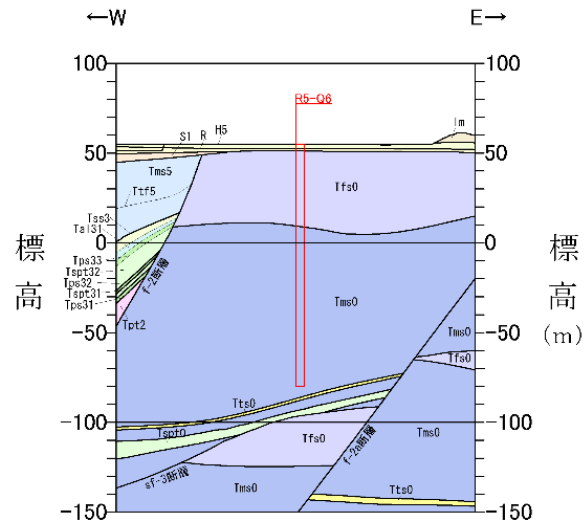
- 鷹架層中部層

- 鷹架層下部層
 - 礫混り砂岩層
 - Tss4 礫混り砂岩
 - Tal32 砂岩・凝灰岩互層
 - Tss3 礫混り砂岩
 - Tal31 砂岩・泥岩互層
 - Tps33 軽石混り砂岩(3)
 - Tsp32 砂質軽石凝灰岩(2)
 - Tps32 軽石混り砂岩(2)
 - Tps31 砂質軽石凝灰岩(1)
 - Tps31 軽石混り砂岩(1)
 - 軽石混り砂岩層
 - Ttf2 凝灰岩
 - Tpt2 軽石凝灰岩
 - Tps2 軽石質砂岩
 - Teg2 礫岩
 - 軽石凝灰岩層
 - Tsp1 砂質軽石凝灰岩
 - Tss1 粗粒砂岩
 - Teg1 礫岩

- 鷹架層下部層
 - 細粒砂岩層
 - Tfs0 細粒砂岩
 - Tts0 凝灰質砂岩
 - 泥岩層
 - Tsp0 砂質軽石凝灰岩
 - Tms0 泥岩

- f1 盛土
- 断層 (F-1断層, F-1a断層, F-2断層, F-2a断層, F-1~6断層及びそれらの派生断層を含む)
- 地層(岩相)境界

参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (5/12)

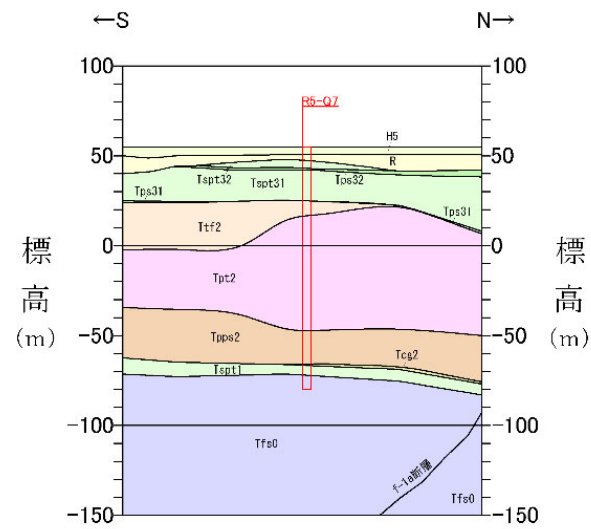
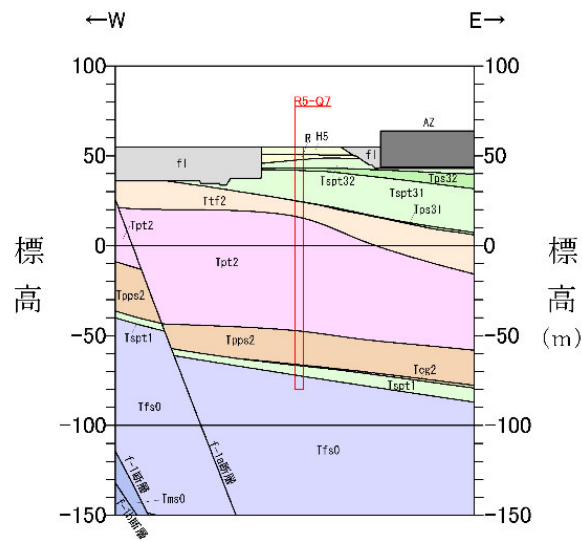


R5-Q6

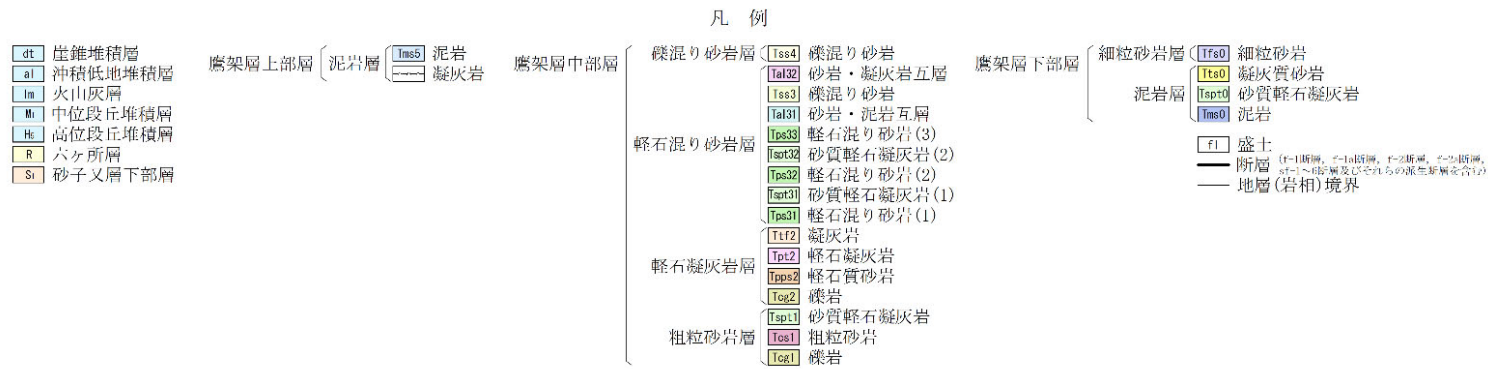
- | | | | |
|--|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> dt 崖錐堆積層 al 沖積低地堆積層 lm 火山灰層 M 中位段丘堆積層 Hs 高位段丘堆積層 R 六ヶ所層 Sl 砂子又層下部層 | <p>鷹架層上部層</p> <ul style="list-style-type: none"> 泥岩層 (Tms0) 凝灰岩 | <p>鷹架層中部層</p> <ul style="list-style-type: none"> 礫混り砂岩層 <ul style="list-style-type: none"> Tss4 礫混り砂岩 Tal32 砂岩・凝灰岩五層 Tss3 礫混り砂岩 Tal31 砂岩・泥岩互層 軽石混り砂岩層 <ul style="list-style-type: none"> Tps33 軽石混り砂岩(3) Tst32 砂質軽石凝灰岩(2) Tps32 軽石混り砂岩(2) Tst31 砂質軽石凝灰岩(1) Tps31 軽石混り砂岩(1) 軽石凝灰岩層 <ul style="list-style-type: none"> Tt2 軽石凝灰岩 Tps2 軽石質砂岩 Tsg2 礫岩 粗粒砂岩層 <ul style="list-style-type: none"> Tsp1 砂質軽石凝灰岩 Tca1 粗粒砂岩 Tca1 礫岩 | <p>鷹架層下部層</p> <ul style="list-style-type: none"> 細粒砂岩層 (Tfs0) 細粒砂岩 泥岩層 <ul style="list-style-type: none"> Tts0 凝灰質砂岩 Tsp0 砂質軽石凝灰岩 Tms0 泥岩 |
|--|---|--|---|
- fl 盛土
 断層 (F-1断層, F-1a断層, F-2断層, F-2a断層, F-2b断層, F-2c断層, F-2d断層, F-2e断層, F-2f断層, F-2g断層, F-2h断層, F-2i断層, F-2j断層, F-2k断層, F-2l断層, F-2m断層, F-2n断層, F-2o断層, F-2p断層, F-2q断層, F-2r断層, F-2s断層, F-2t断層, F-2u断層, F-2v断層, F-2w断層, F-2x断層, F-2y断層, F-2z断層)
 地層(岩相)境界

参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (6/12)

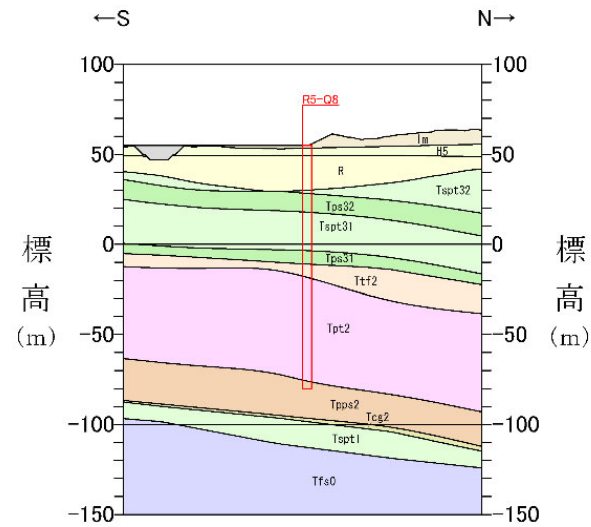
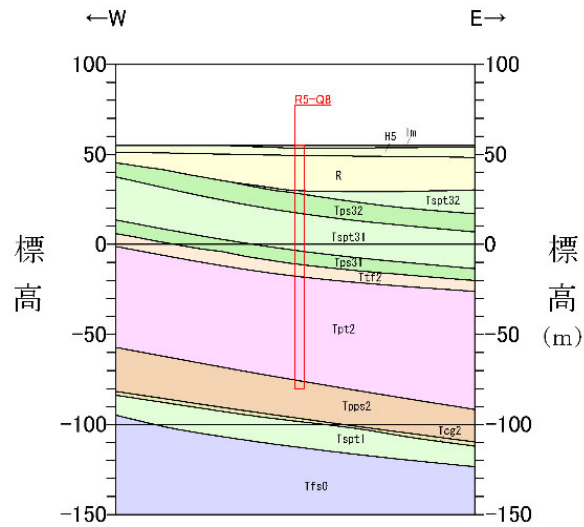
参考-11



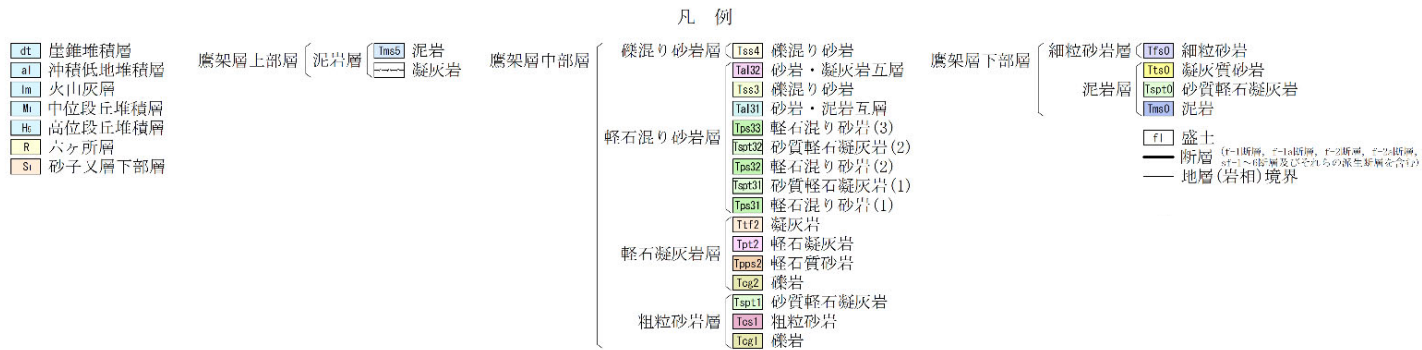
R5-Q7



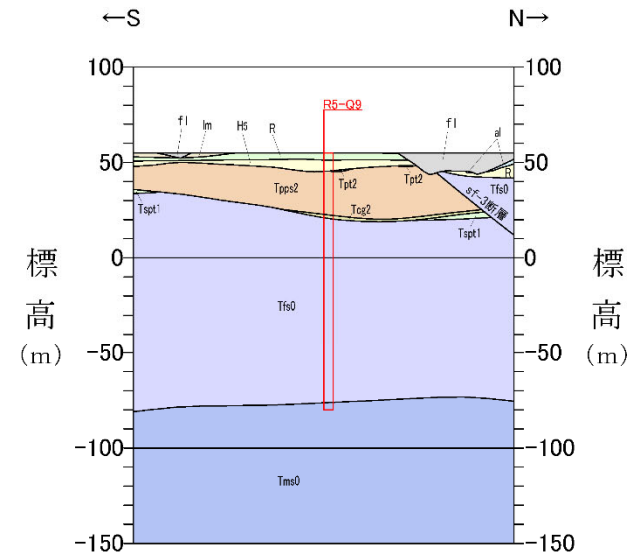
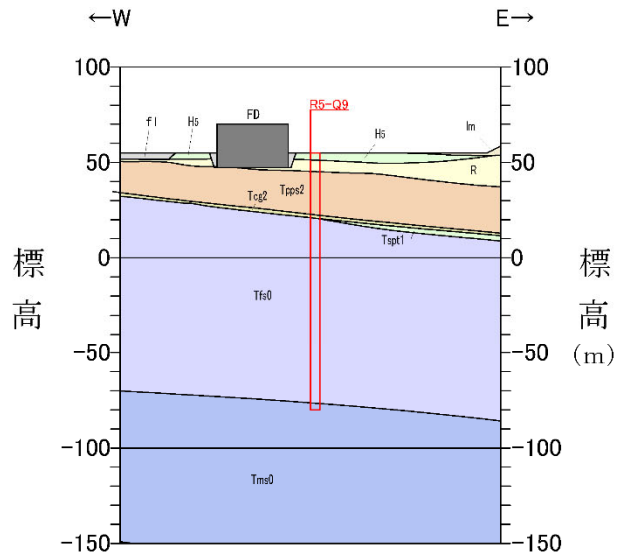
参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (7/12)



R5-Q8



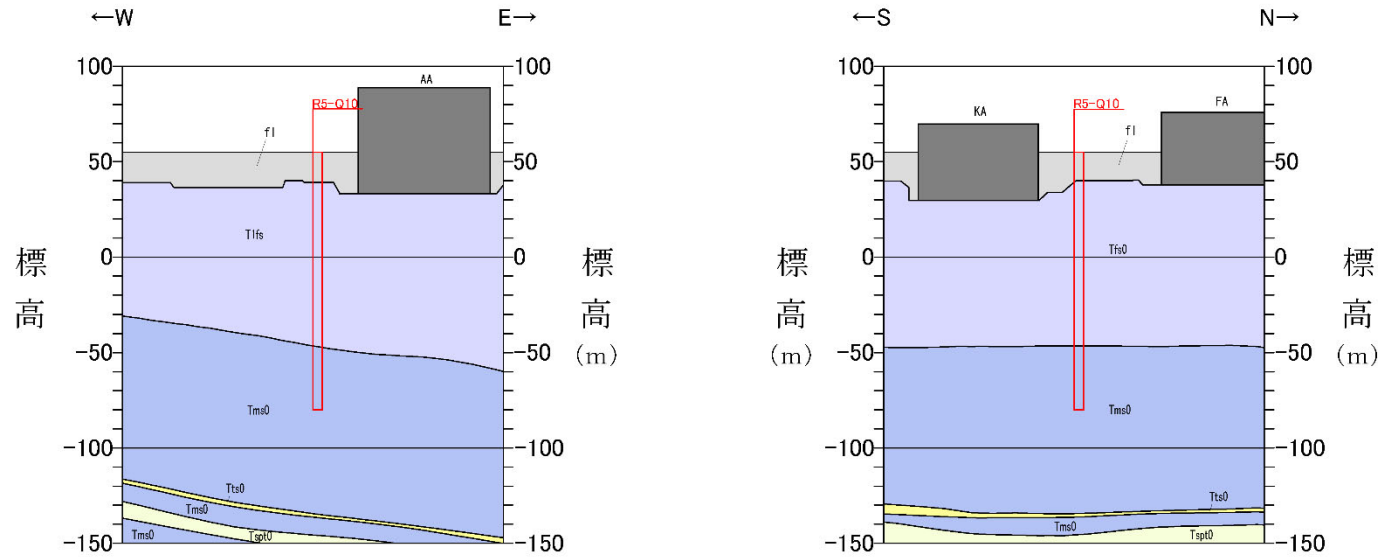
参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (8/12)



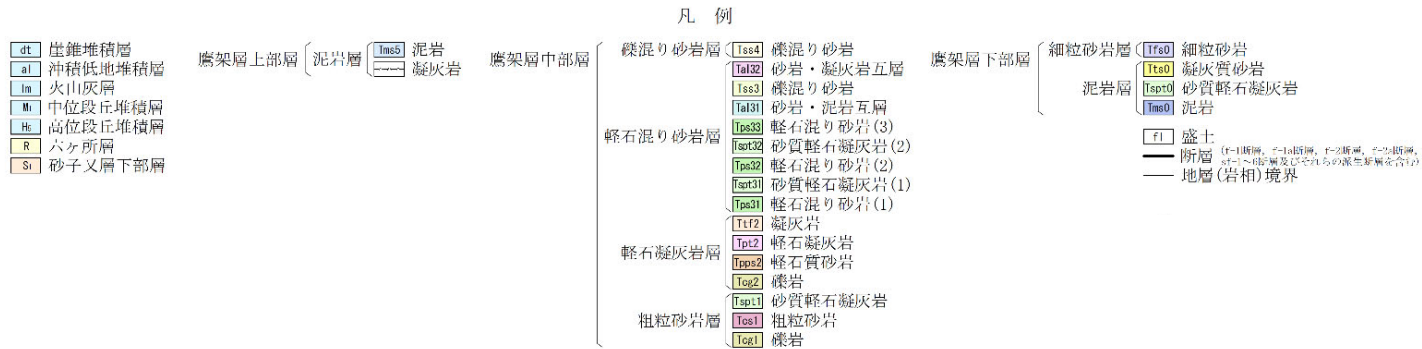
R5-Q9

<table border="0"> <tr> <td>dt</td><td>崖堆積層</td> </tr> <tr> <td>al</td><td>沖積低地堆積層</td> </tr> <tr> <td>lm</td><td>火山灰層</td> </tr> <tr> <td>Mi</td><td>中位段丘堆積層</td> </tr> <tr> <td>Hs</td><td>高位段丘堆積層</td> </tr> <tr> <td>R</td><td>六ヶ所層</td> </tr> <tr> <td>Si</td><td>砂子又層下部層</td> </tr> </table>		dt	崖堆積層	al	沖積低地堆積層	lm	火山灰層	Mi	中位段丘堆積層	Hs	高位段丘堆積層	R	六ヶ所層	Si	砂子又層下部層	<table border="0"> <tr> <td>鷹架層上部層</td> <td>泥岩層</td> <td>泥岩</td> <td>鷹架層中部層</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>凝灰岩</td> <td></td> </tr> </table>	鷹架層上部層	泥岩層	泥岩	鷹架層中部層			凝灰岩		<table border="0"> <tr> <td>鷹架層下部層</td> <td>細粒砂岩層</td> <td>細粒砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>泥岩層</td> <td>凝灰質砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>砂質軽石凝灰岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>泥岩</td> </tr> </table>	鷹架層下部層	細粒砂岩層	細粒砂岩		泥岩層	凝灰質砂岩			砂質軽石凝灰岩			泥岩																							
dt	崖堆積層																																																											
al	沖積低地堆積層																																																											
lm	火山灰層																																																											
Mi	中位段丘堆積層																																																											
Hs	高位段丘堆積層																																																											
R	六ヶ所層																																																											
Si	砂子又層下部層																																																											
鷹架層上部層	泥岩層	泥岩	鷹架層中部層																																																									
		凝灰岩																																																										
鷹架層下部層	細粒砂岩層	細粒砂岩																																																										
	泥岩層	凝灰質砂岩																																																										
		砂質軽石凝灰岩																																																										
		泥岩																																																										
<table border="0"> <tr> <td>凡例</td> <td> <table border="0"> <tr> <td>縹混り砂岩層</td> <td>Tss4</td> <td>縹混り砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tal32</td> <td>砂岩・凝灰岩互層</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tss3</td> <td>縹混り砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tal31</td> <td>砂岩・泥岩互層</td> </tr> <tr> <td>軽石混り砂岩層</td> <td>Tps33</td> <td>軽石混り砂岩(3)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tsrt32</td> <td>砂質軽石凝灰岩(2)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tps32</td> <td>軽石混り砂岩(2)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tsrt31</td> <td>砂質軽石凝灰岩(1)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tps31</td> <td>軽石混り砂岩(1)</td> </tr> <tr> <td>軽石凝灰岩層</td> <td>Tlf2</td> <td>凝灰岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tpl2</td> <td>軽石凝灰岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tpps2</td> <td>軽石質砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tog2</td> <td>凝岩</td> </tr> <tr> <td>粗粒砂岩層</td> <td>Tspt1</td> <td>砂質軽石凝灰岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tos1</td> <td>粗粒砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tog1</td> <td>凝岩</td> </tr> </table> </td> <td> <table border="0"> <tr> <td>盛土</td> <td>f1</td> </tr> <tr> <td>断層</td> <td>FD</td> </tr> <tr> <td>地層(岩相)境界</td> <td>—</td> </tr> </table> </td> </tr> </table>				凡例	<table border="0"> <tr> <td>縹混り砂岩層</td> <td>Tss4</td> <td>縹混り砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tal32</td> <td>砂岩・凝灰岩互層</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tss3</td> <td>縹混り砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tal31</td> <td>砂岩・泥岩互層</td> </tr> <tr> <td>軽石混り砂岩層</td> <td>Tps33</td> <td>軽石混り砂岩(3)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tsrt32</td> <td>砂質軽石凝灰岩(2)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tps32</td> <td>軽石混り砂岩(2)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tsrt31</td> <td>砂質軽石凝灰岩(1)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tps31</td> <td>軽石混り砂岩(1)</td> </tr> <tr> <td>軽石凝灰岩層</td> <td>Tlf2</td> <td>凝灰岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tpl2</td> <td>軽石凝灰岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tpps2</td> <td>軽石質砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tog2</td> <td>凝岩</td> </tr> <tr> <td>粗粒砂岩層</td> <td>Tspt1</td> <td>砂質軽石凝灰岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tos1</td> <td>粗粒砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tog1</td> <td>凝岩</td> </tr> </table>	縹混り砂岩層	Tss4	縹混り砂岩		Tal32	砂岩・凝灰岩互層		Tss3	縹混り砂岩		Tal31	砂岩・泥岩互層	軽石混り砂岩層	Tps33	軽石混り砂岩(3)		Tsrt32	砂質軽石凝灰岩(2)		Tps32	軽石混り砂岩(2)		Tsrt31	砂質軽石凝灰岩(1)		Tps31	軽石混り砂岩(1)	軽石凝灰岩層	Tlf2	凝灰岩		Tpl2	軽石凝灰岩		Tpps2	軽石質砂岩		Tog2	凝岩	粗粒砂岩層	Tspt1	砂質軽石凝灰岩		Tos1	粗粒砂岩		Tog1	凝岩	<table border="0"> <tr> <td>盛土</td> <td>f1</td> </tr> <tr> <td>断層</td> <td>FD</td> </tr> <tr> <td>地層(岩相)境界</td> <td>—</td> </tr> </table>	盛土	f1	断層	FD	地層(岩相)境界	—
凡例	<table border="0"> <tr> <td>縹混り砂岩層</td> <td>Tss4</td> <td>縹混り砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tal32</td> <td>砂岩・凝灰岩互層</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tss3</td> <td>縹混り砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tal31</td> <td>砂岩・泥岩互層</td> </tr> <tr> <td>軽石混り砂岩層</td> <td>Tps33</td> <td>軽石混り砂岩(3)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tsrt32</td> <td>砂質軽石凝灰岩(2)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tps32</td> <td>軽石混り砂岩(2)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tsrt31</td> <td>砂質軽石凝灰岩(1)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tps31</td> <td>軽石混り砂岩(1)</td> </tr> <tr> <td>軽石凝灰岩層</td> <td>Tlf2</td> <td>凝灰岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tpl2</td> <td>軽石凝灰岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tpps2</td> <td>軽石質砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tog2</td> <td>凝岩</td> </tr> <tr> <td>粗粒砂岩層</td> <td>Tspt1</td> <td>砂質軽石凝灰岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tos1</td> <td>粗粒砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tog1</td> <td>凝岩</td> </tr> </table>	縹混り砂岩層	Tss4	縹混り砂岩		Tal32	砂岩・凝灰岩互層		Tss3	縹混り砂岩		Tal31	砂岩・泥岩互層	軽石混り砂岩層	Tps33	軽石混り砂岩(3)		Tsrt32	砂質軽石凝灰岩(2)		Tps32	軽石混り砂岩(2)		Tsrt31	砂質軽石凝灰岩(1)		Tps31	軽石混り砂岩(1)	軽石凝灰岩層	Tlf2	凝灰岩		Tpl2	軽石凝灰岩		Tpps2	軽石質砂岩		Tog2	凝岩	粗粒砂岩層	Tspt1	砂質軽石凝灰岩		Tos1	粗粒砂岩		Tog1	凝岩	<table border="0"> <tr> <td>盛土</td> <td>f1</td> </tr> <tr> <td>断層</td> <td>FD</td> </tr> <tr> <td>地層(岩相)境界</td> <td>—</td> </tr> </table>	盛土	f1	断層	FD	地層(岩相)境界	—				
縹混り砂岩層	Tss4	縹混り砂岩																																																										
	Tal32	砂岩・凝灰岩互層																																																										
	Tss3	縹混り砂岩																																																										
	Tal31	砂岩・泥岩互層																																																										
軽石混り砂岩層	Tps33	軽石混り砂岩(3)																																																										
	Tsrt32	砂質軽石凝灰岩(2)																																																										
	Tps32	軽石混り砂岩(2)																																																										
	Tsrt31	砂質軽石凝灰岩(1)																																																										
	Tps31	軽石混り砂岩(1)																																																										
軽石凝灰岩層	Tlf2	凝灰岩																																																										
	Tpl2	軽石凝灰岩																																																										
	Tpps2	軽石質砂岩																																																										
	Tog2	凝岩																																																										
粗粒砂岩層	Tspt1	砂質軽石凝灰岩																																																										
	Tos1	粗粒砂岩																																																										
	Tog1	凝岩																																																										
盛土	f1																																																											
断層	FD																																																											
地層(岩相)境界	—																																																											

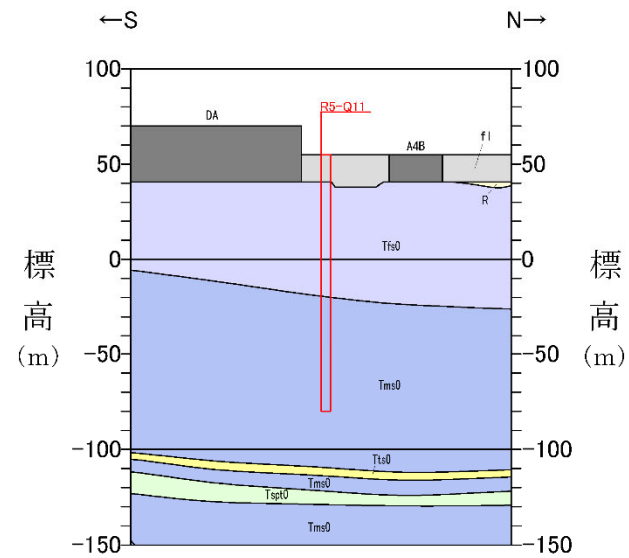
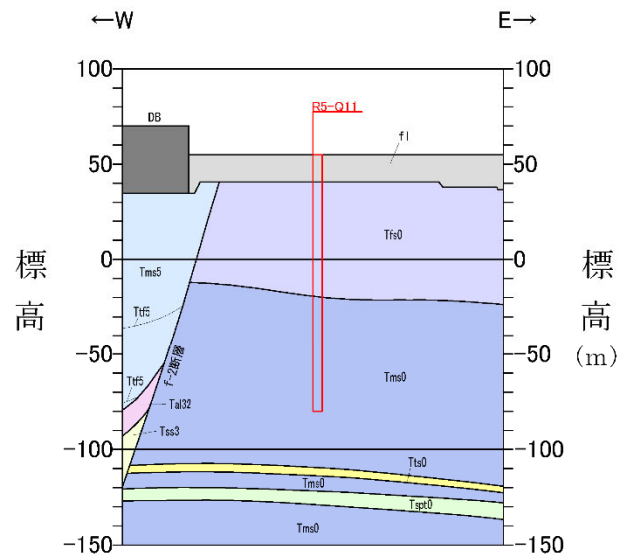
参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (9/12)



R5-Q10



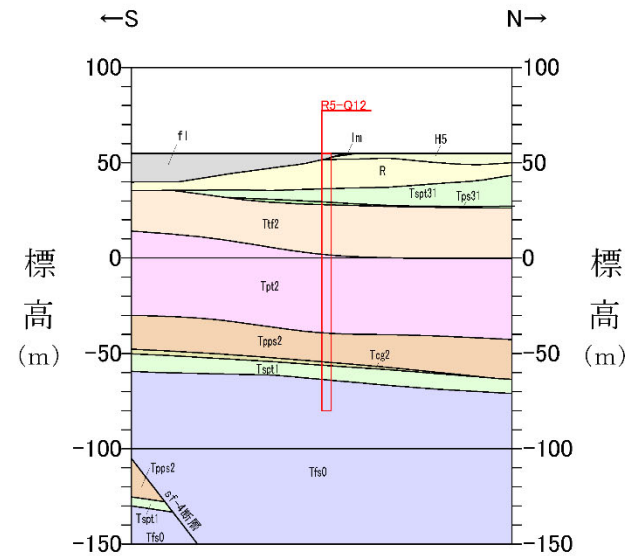
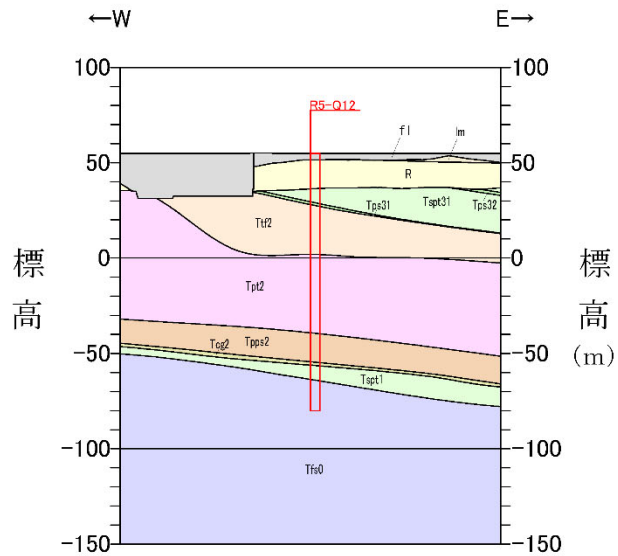
参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (10/12)



R5-Q11

- 凡 例
- | | | | |
|---|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> dL 崖錐堆積層 al 沖積低地堆積層 lm 火山灰層 Mi 中位段丘堆積層 He 高位段丘堆積層 R 六ヶ所層 Si 砂子叉層下部層 | 鷹架層上部層 <ul style="list-style-type: none"> 泥岩層 (Tms0) 泥岩 凝灰岩 | 鷹架層中部層 <ul style="list-style-type: none"> 礫混り砂岩層 <ul style="list-style-type: none"> Tts4 礫混り砂岩 Tal32 砂岩・凝灰岩互層 Tts3 礫混り砂岩 Tal31 砂岩・泥岩互層 Tps33 軽石混り砂岩(3) Tsp32 砂質軽石凝灰岩(2) Tps32 軽石混り砂岩(2) Tps31 砂質軽石凝灰岩(1) Tps31 軽石混り砂岩(1) 軽石凝灰岩層 <ul style="list-style-type: none"> Ttf2 凝灰岩 Tpl2 軽石凝灰岩 Tps2 軽石質砂岩 Tos2 礫岩 Tsp1 砂質軽石凝灰岩 粗粒砂岩層 <ul style="list-style-type: none"> Tos1 粗粒砂岩 Tos1 礫岩 | 鷹架層下部層 <ul style="list-style-type: none"> 細粒砂岩層 <ul style="list-style-type: none"> Tfs0 細粒砂岩 Tts0 凝灰質砂岩 Tsp0 砂質軽石凝灰岩 Tms0 泥岩 泥岩層 |
|---|---|---|---|
- (f1) 盛土 (T-1)断層, T-1a断層, T-2断層, T-3断層, T-4断層, T-5断層及びそれらの派生断層(赤色)。
 (—) 断層 (岩相)境界

参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (11/12)



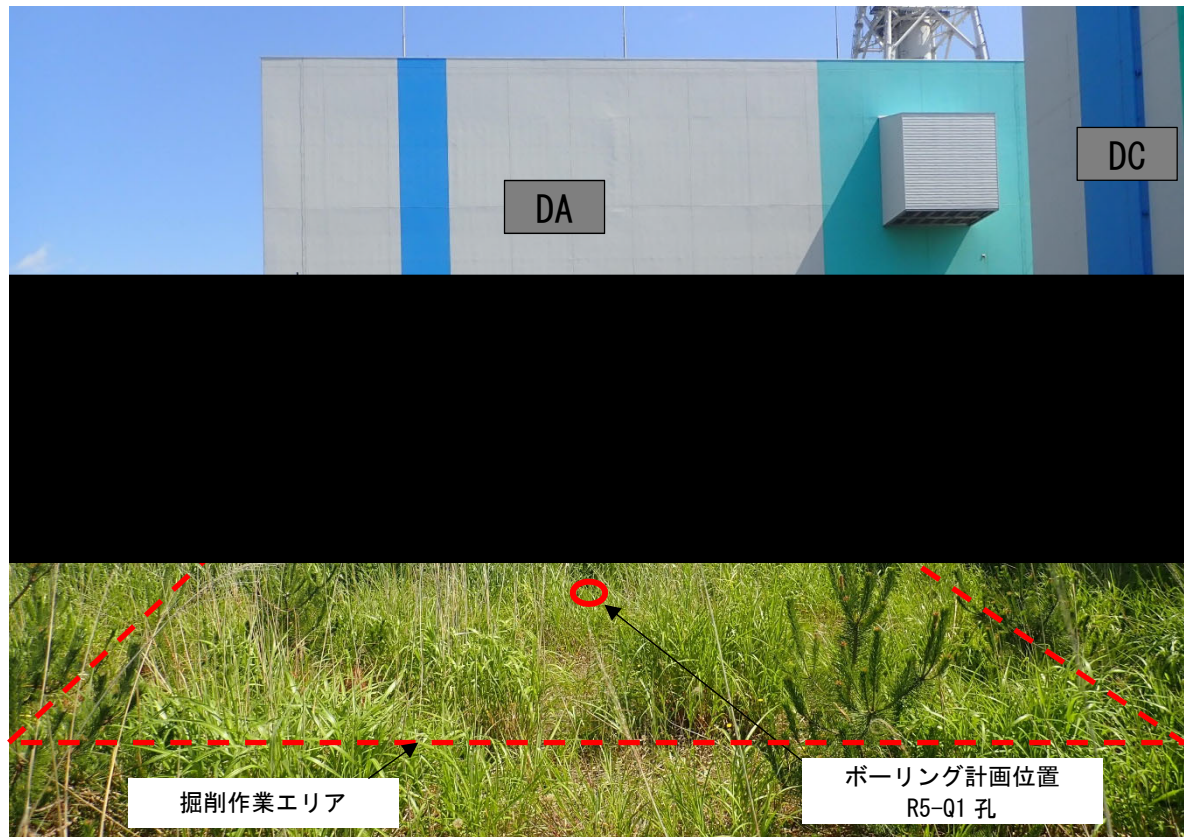
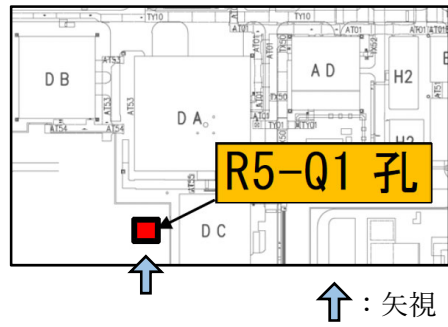
R5-Q12

凡 例

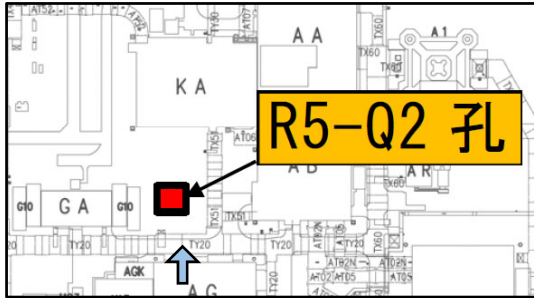
dl 崖錐堆積層	鷹架層上部層 (泥岩層)	鷹架層中部層	鷹架層下部層 (細粒砂岩層)
al 沖積低地堆積層	Imso 泥岩		Tfs0 細粒砂岩
lm 火山灰層	凝灰岩		Ttf0 凝灰質砂岩
Mi 中位段丘堆積層			Tspt0 砂質軽石凝灰岩
Hc 高位段丘堆積層			Tfs0 泥岩
R 六ヶ所層			fl 盛土
Sl 砂子叉層下部層			— (F-1)断層, ①-1a断層, ②-2断層, ③-3断層, ④-4断層, ⑤-5断層及びそれらの派生断層(含む)
			— 断層
			— 地層(岩相)境界

凝混り砂岩層	Tfs4 凝混り砂岩	軽石凝灰岩層	Ttf2 凝灰岩
Ttf2 凝混り砂岩	Tfs3 砂岩・凝灰岩互層	Tpt2 軽石凝灰岩	Tps2 軽石質砂岩
Tfs3 凝混り砂岩	Tfs3 凝混り砂岩	Tps2 軽石質砂岩	Tps2 凝岩
Tfs3 砂岩・泥岩互層	Tfs3 砂岩・泥岩互層	Tps2 凝岩	Tps2 砂質軽石凝灰岩
Tps33 軽石混り砂岩(3)	Tps33 軽石混り砂岩(3)	Tps2 砂質軽石凝灰岩	Tps2 粗粒砂岩
Tps32 砂質軽石凝灰岩(2)	Tps32 砂質軽石凝灰岩(2)	Tps2 凝岩	Tps2 凝岩
Tps32 軽石混り砂岩(2)	Tps32 軽石混り砂岩(2)	Tps2 凝岩	Tps2 凝岩
Tps31 砂質軽石凝灰岩(1)	Tps31 砂質軽石凝灰岩(1)	Tps2 凝岩	Tps2 凝岩
Tps31 軽石混り砂岩(1)	Tps31 軽石混り砂岩(1)	Tps2 凝岩	Tps2 凝岩
Ttf2 凝灰岩	Ttf2 凝灰岩	Tps2 凝岩	Tps2 凝岩
Tpt2 軽石凝灰岩	Tpt2 軽石凝灰岩	Tps2 凝岩	Tps2 凝岩
Tps2 軽石質砂岩	Tps2 軽石質砂岩	Tps2 凝岩	Tps2 凝岩
Tps2 凝岩	Tps2 凝岩	Tps2 凝岩	Tps2 凝岩
Tps2 砂質軽石凝灰岩	Tps2 砂質軽石凝灰岩	Tps2 凝岩	Tps2 凝岩
Tps2 粗粒砂岩	Tps2 粗粒砂岩	Tps2 凝岩	Tps2 凝岩
Tps2 凝岩	Tps2 凝岩	Tps2 凝岩	Tps2 凝岩

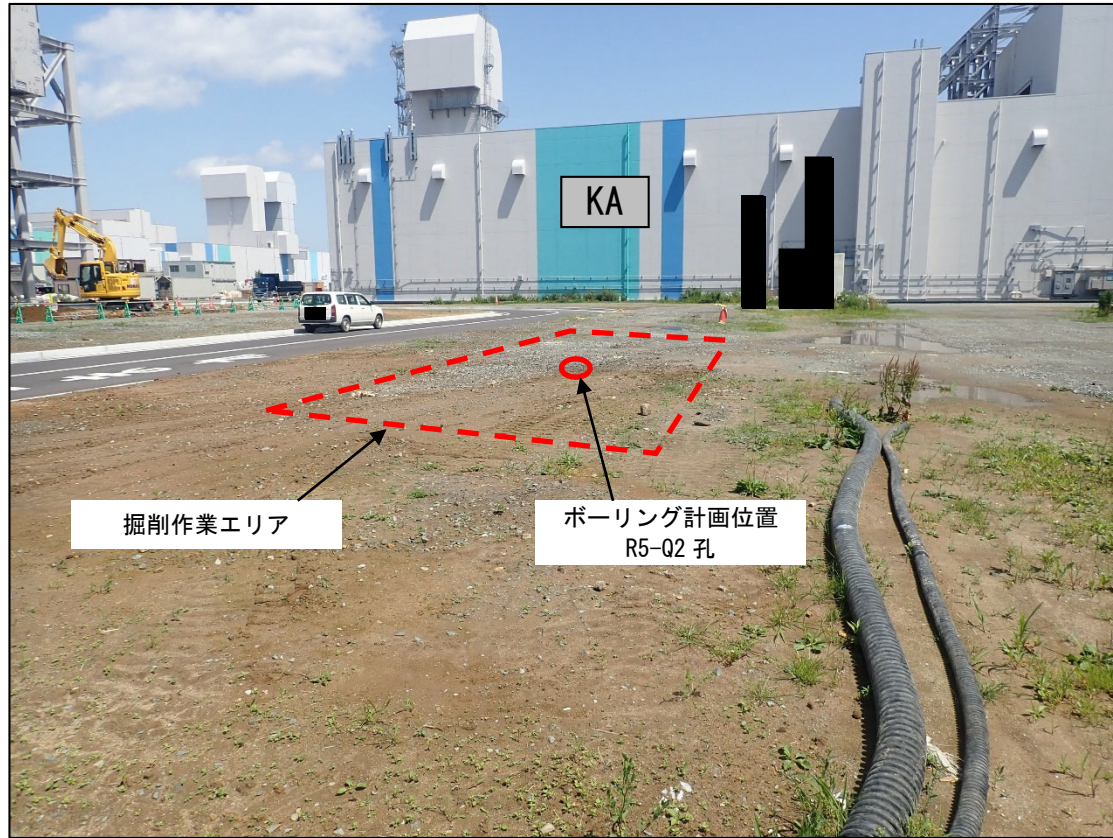
参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (12/12)



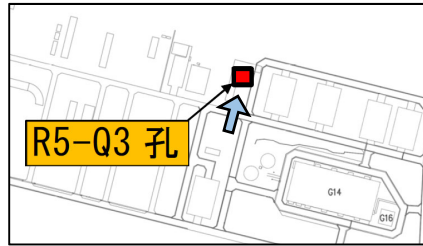
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (1/12)



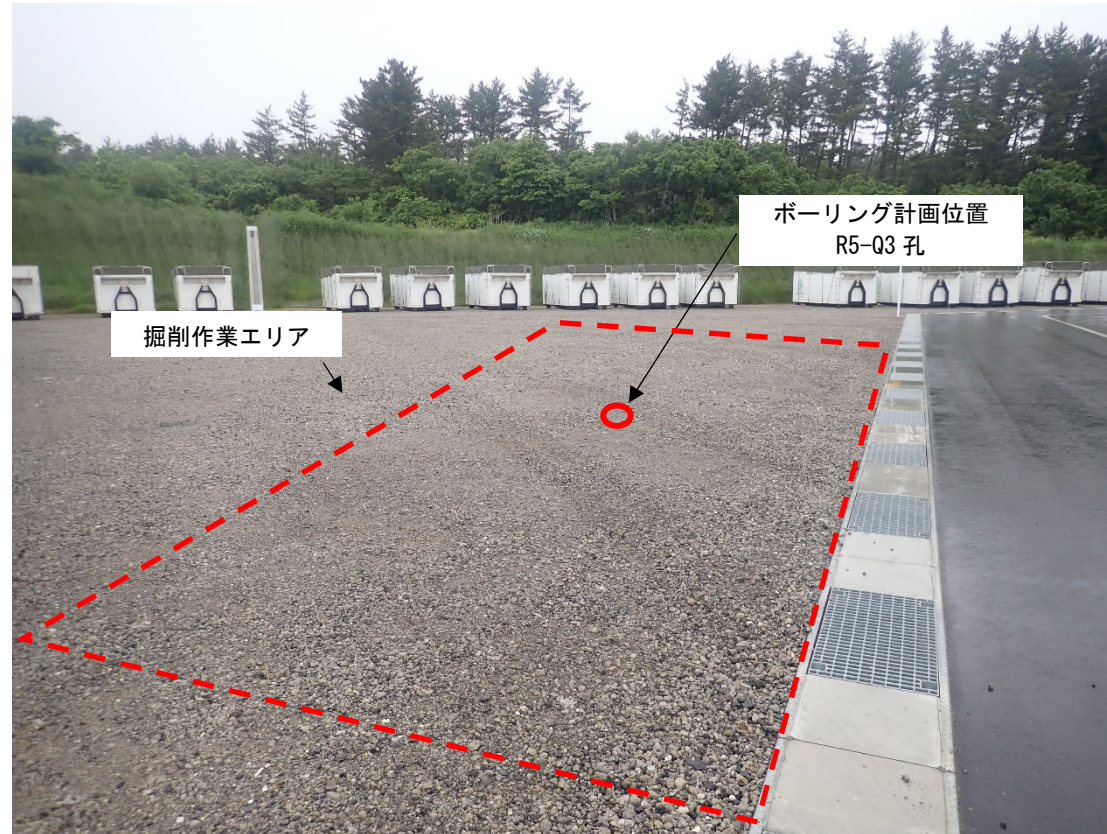
↑ : 矢視



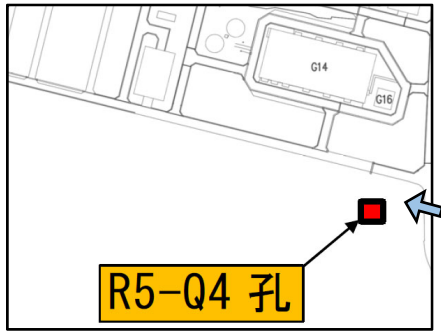
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (2/12)



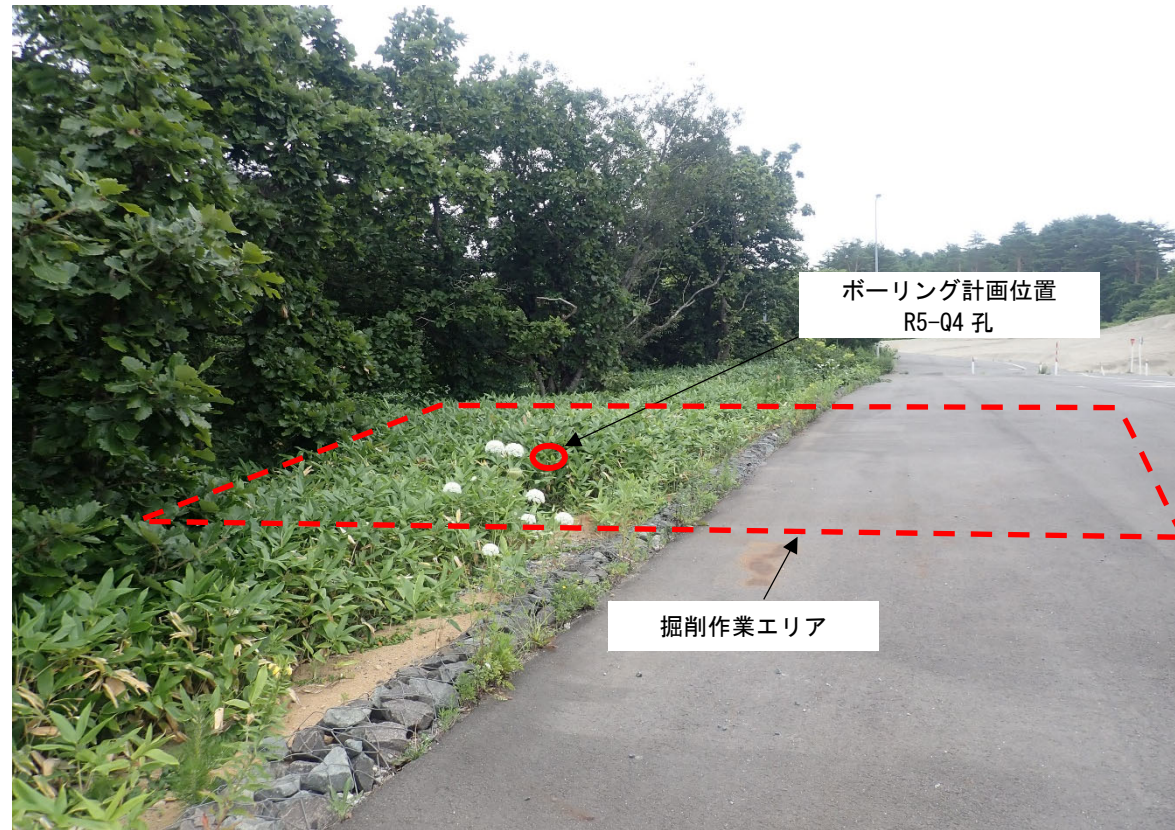
↑：矢視



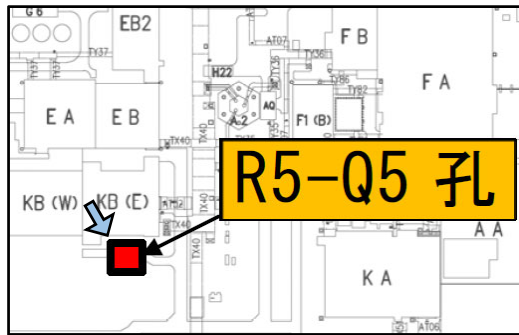
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (3/12)



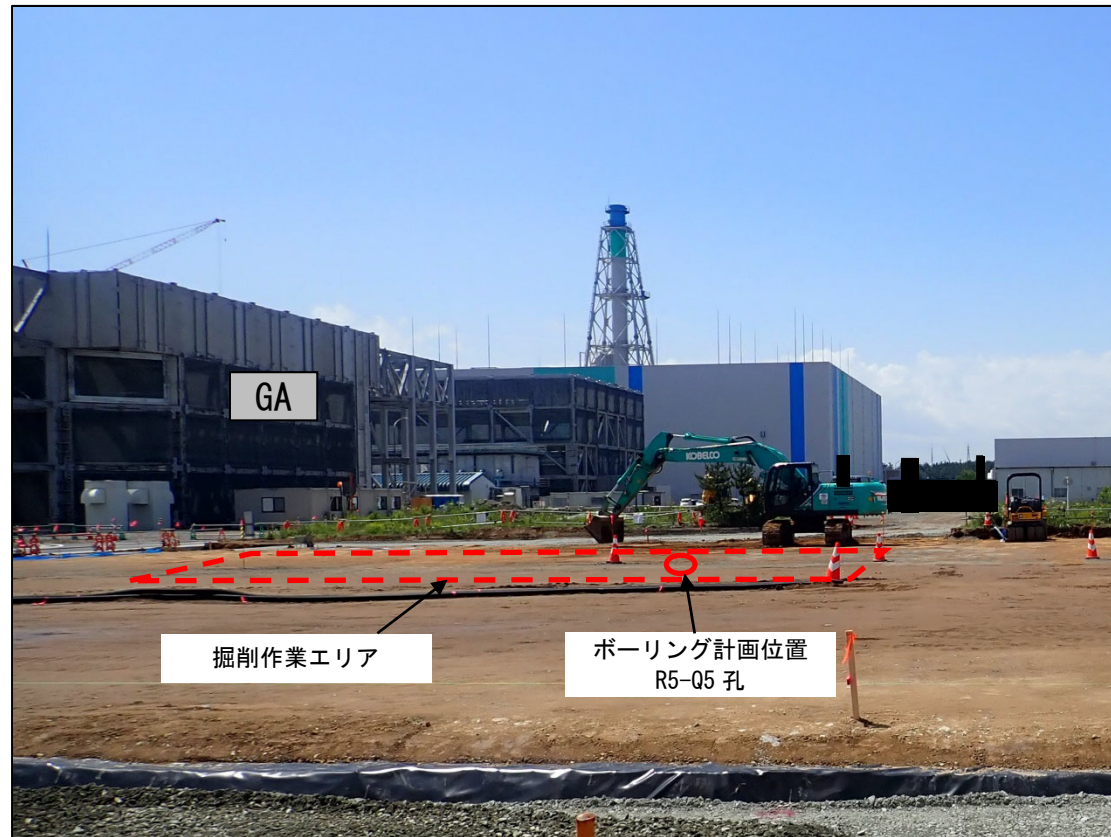
↑：矢視



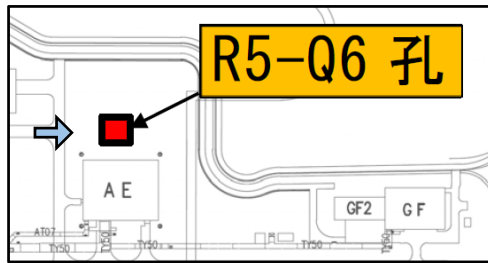
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (4/12)



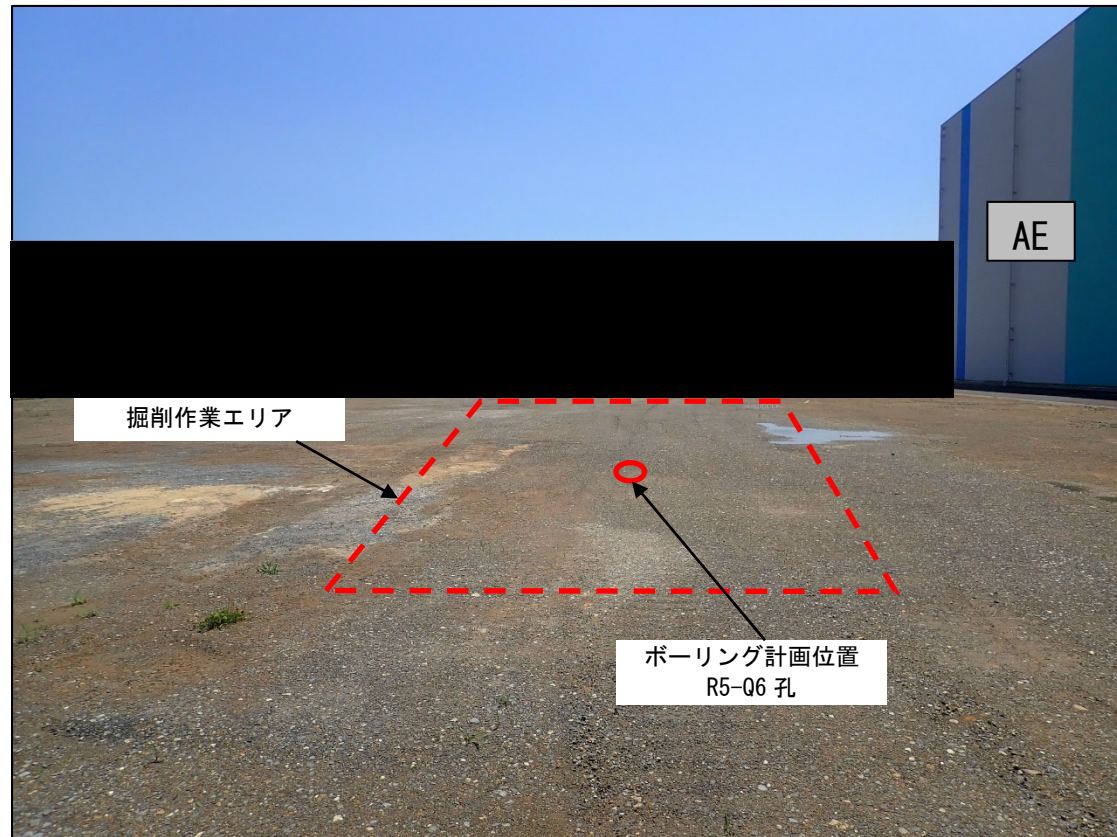
↑ : 矢視



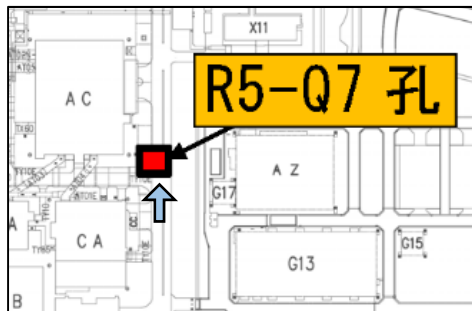
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (5/12)



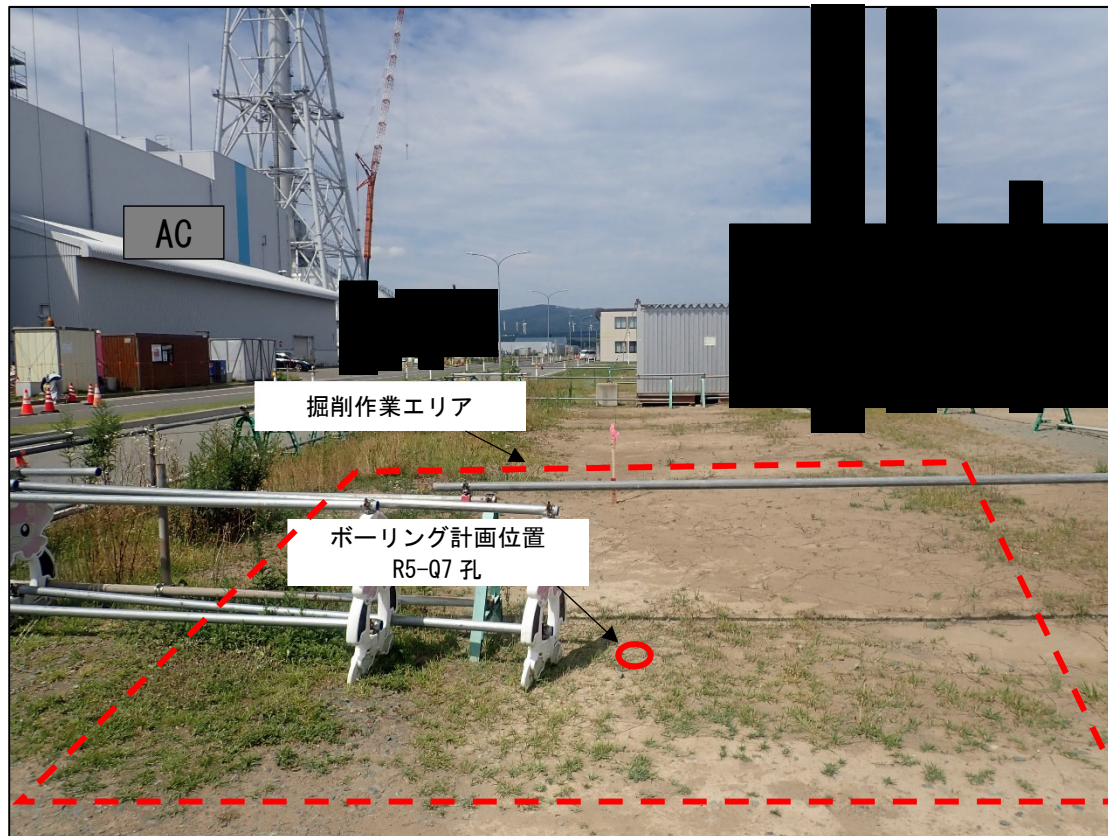
↑ : 矢視



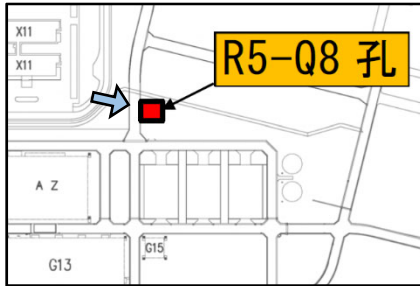
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (6/12)



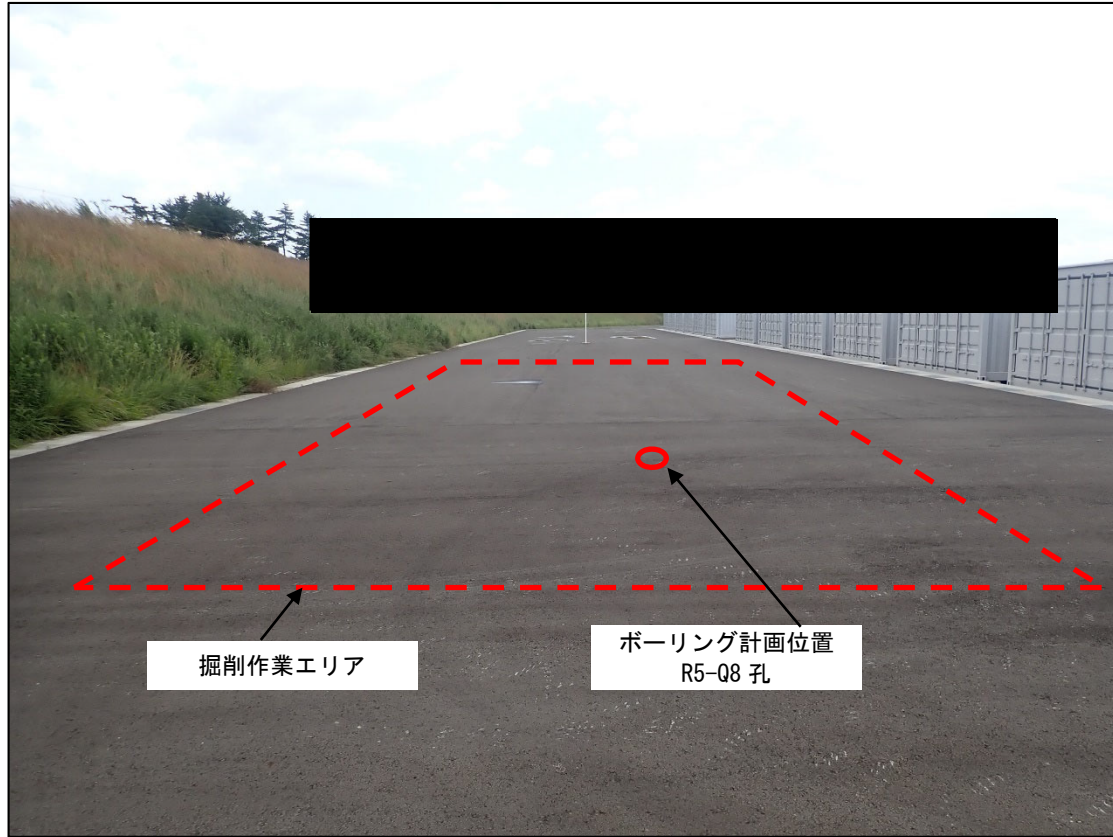
↑：矢視



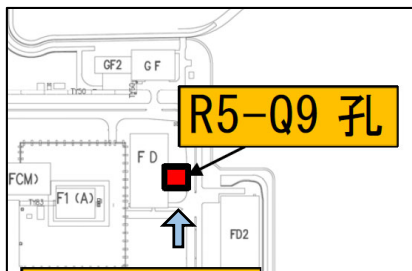
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (7/12)



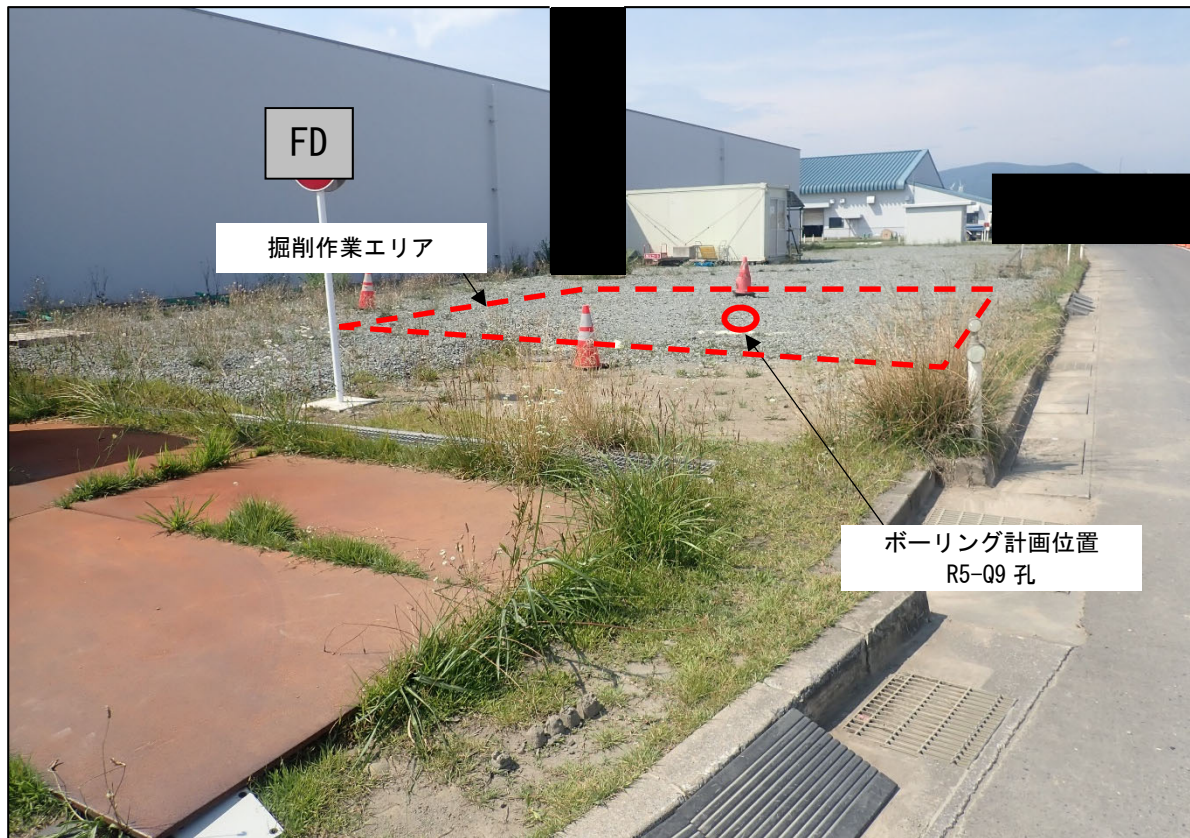
↑ : 矢視



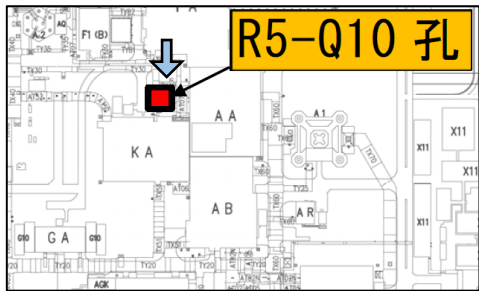
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (8/12)



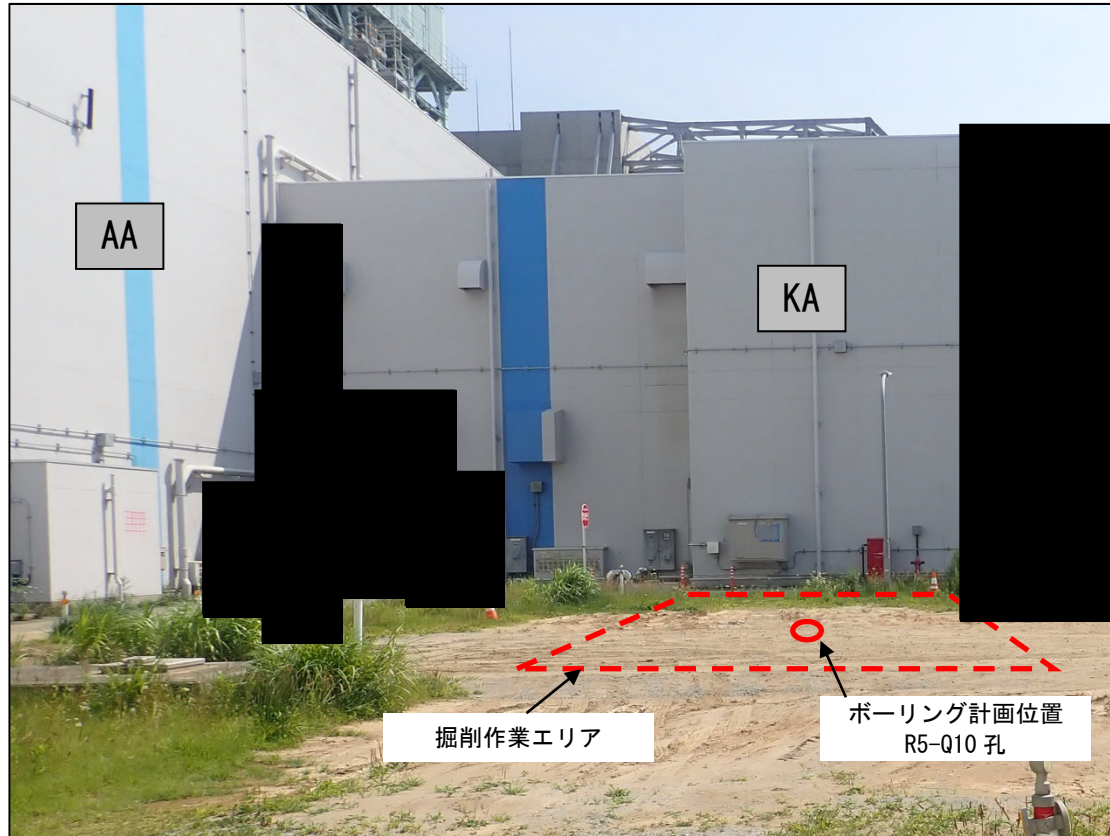
↑：矢視



参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (9/12)

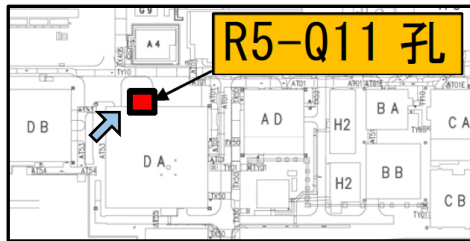


↑: 矢視

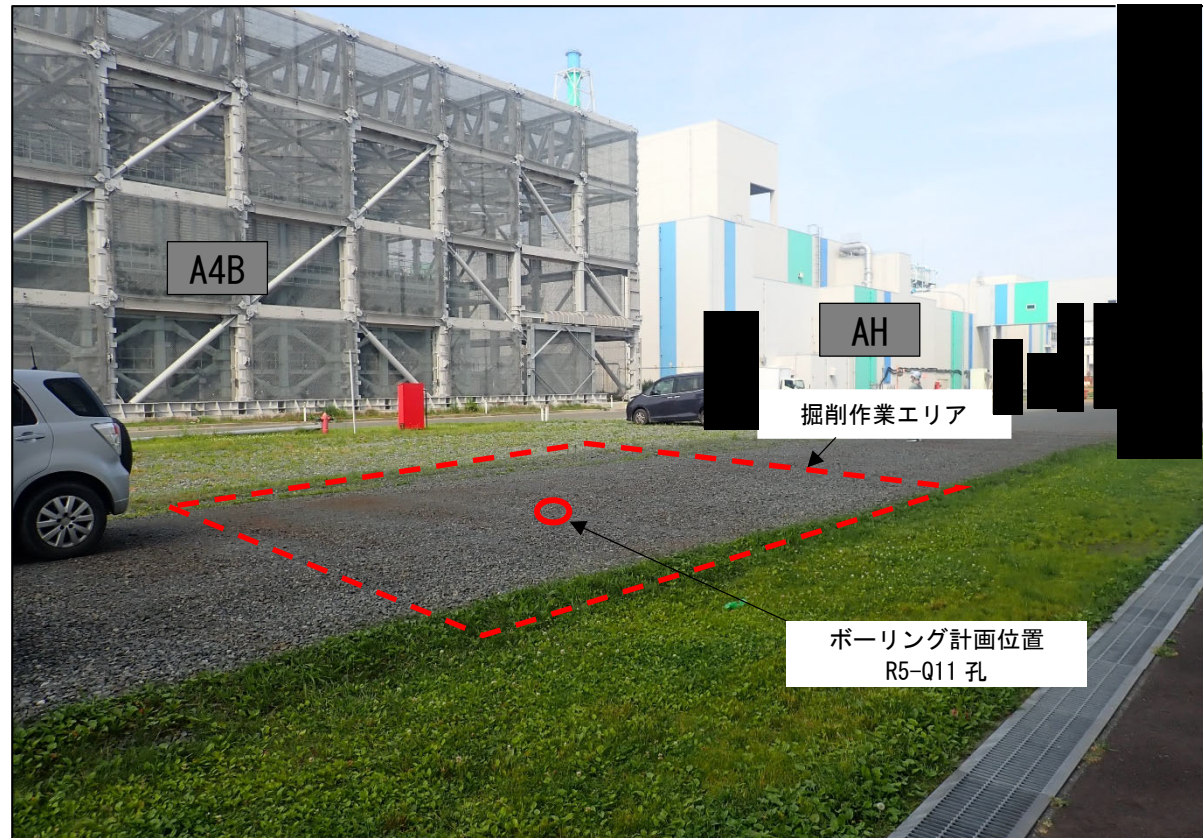


参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (10/12)

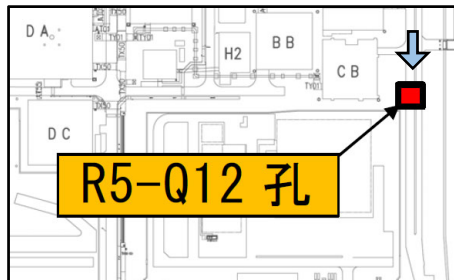
参考-27



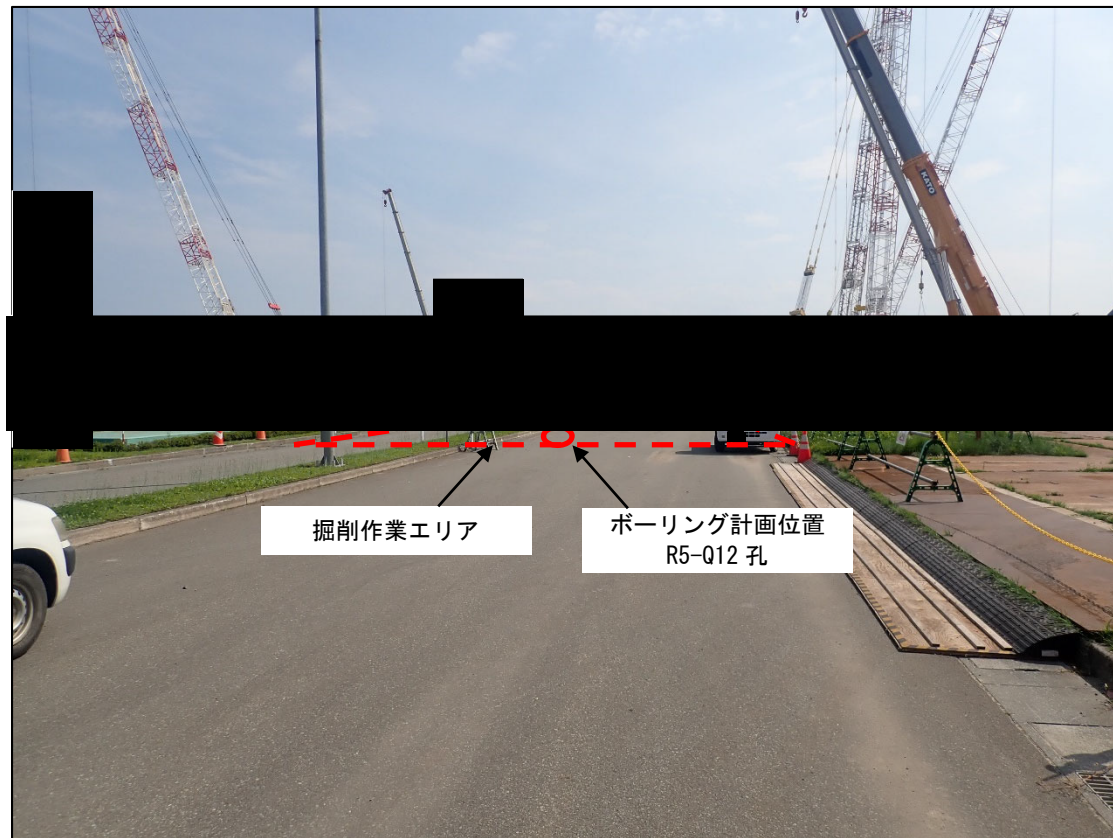
↑ : 矢視



参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (11/12)



↑ : 矢視



参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (12/12)

参考 1-3-1 表 ボーリング位置の状況

ボーリング孔	最寄り建屋及び その離隔距離	地表面の状況
R5-Q1	DA 建屋：47m DC 建屋：25m	原地山
R5-Q2	AB 建屋：41m KA 建屋：49m G10：37m	埋戻し土
R5-Q3	G14：102m	碎石舗装
R5-Q4	G14：130m	原地山
R5-Q5	KB(E) 建屋：26m	原地山
R5-Q6	AE 建屋：32m	原地山
R5-Q7	AC 建屋：43m	埋戻し土
R5-Q8	AZ 建屋：90m	アスファルト舗装
R5-Q9	FD 建屋：12m	碎石舗装
R5-Q10	AA 建屋：24m KA 建屋：19m	埋戻し土
R5-Q11	DA 建屋：10m	碎石舗装
R5-Q12	CB 建屋：34m	アスファルト舗装

(2) 調査方法

a. 孔内検層による Q 値測定

P S 検層（ダウンホール法）により地盤の減衰特性を測定し、Q 値を求める。

P S 検層（ダウンホール法）は、地表で発生させた弾性波（P 波・S 波）をボーリング孔内に設置した受振器で受振し、ボーリング孔沿いの地盤の弾性波速度分布の把握を目的に実施するものであり、ここでは、特に、地盤の減衰特性の把握を目的とした Q 値測定を実施する。P S 検層（ダウンホール法）の測定装置と測定システムの使用機器の一覧を参考 1-3-2 表に示し、模式図を参考 1-3-4 図に示す。

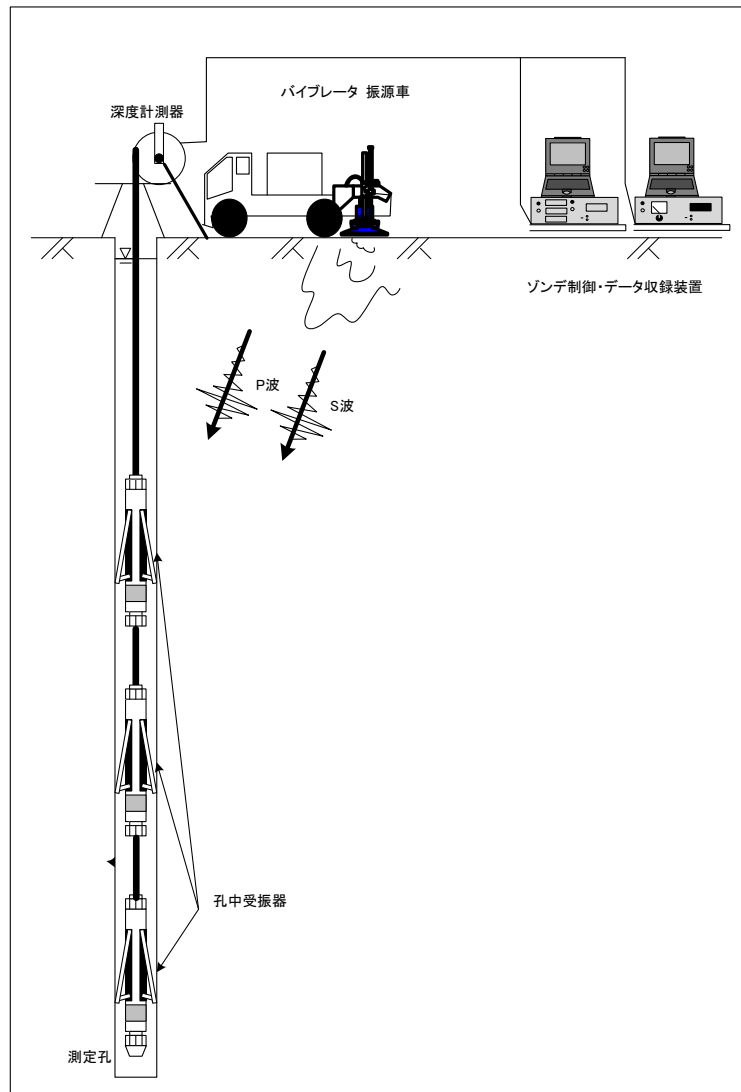
P S 検層（ダウンホール法）は、測定間隔を 1～2m とし、JGS 1122-2012「地盤の弾性波速度検層方法」を参考にして測定・解析を実施する。

測定系は、地表で弾性波を発生させる振源車、孔内に挿入するゾンデ、測定値の記録・表示を行う地上装置（ゾンデ制御・データ収録装置）から構成される。なお、ゾンデ数及び昇降方法については、現場の状況により設定する。

参考 1-3-2 表 P S 検層（ダウンホール法）に使用する機器の仕様等一覧表

孔中受振器	G S R - 1 A S L 社製
固有周波数	15Hz
受振器成分	3 成分（上下動 1 成分，水平動 2 成分），速度型
適用孔径	50mm～140 mm
長さ、直径及び重量	長さ 1135 mm φ 43mm，4.5kg
耐熱温度	200℃
耐圧	約 600 気圧

起振装置	振源車
最大出力荷重	27,000N
積載荷重 (Hold down mass)	44,000N
発振周波数帯	10Hz～550Hz
車両寸法（長さ，幅，高さ）	6.37m，2.13m，2.45m
車両重量	5,990kg

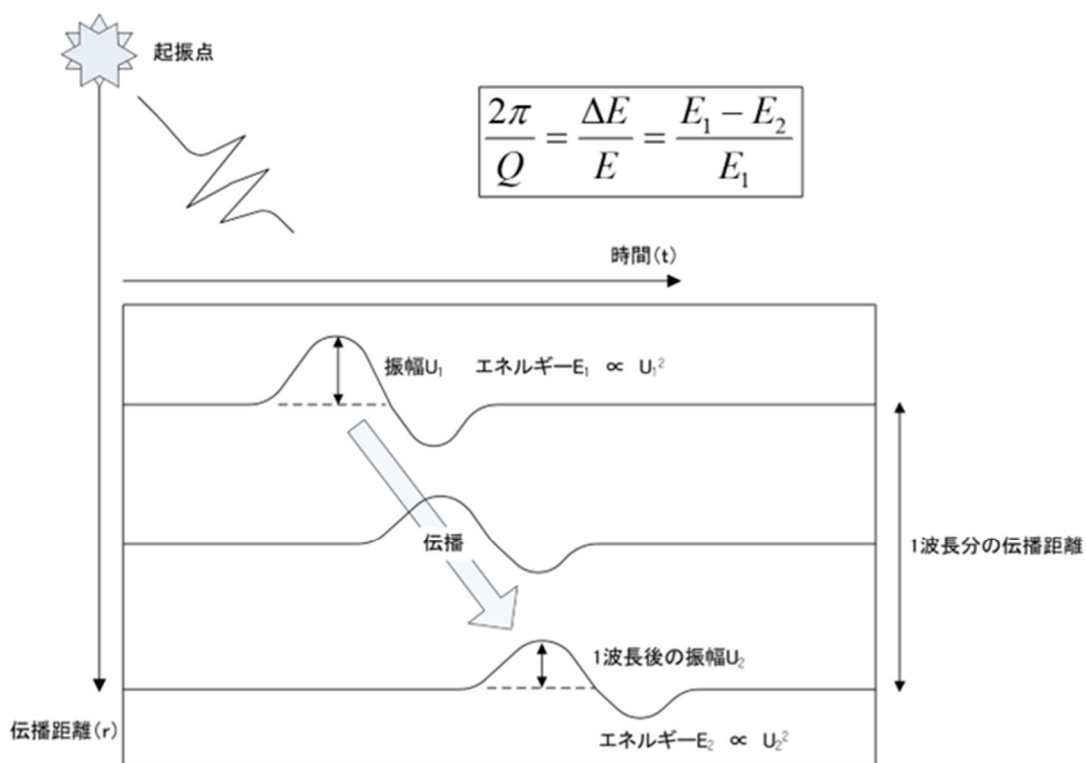


参考 1-3-4 図 P S 検層（ダウンホール法）の測定装置と測定システムの模式図

Q 値測定時のバイブレータ振源からの加振パターンは、10Hz～100Hz の変調によるスイープ発振（10Hz から 10 秒程度で数段階変調）により実施する。

Q 値測定は、ボーリング孔内に設置した受振器に地表で発生させた弾性波（P 波・S 波）を受振させ、その波形の初動付近の振幅値の変化からボーリング孔沿いの地盤の減衰特性を把握する。

Q 値測定における振幅減衰の概念図を参考 1-3-5 図に示す。



参考 1-3-5 図 振幅減衰の概念図

b. 室内岩石試験

(a) 対象とする岩石コア試料

当該地点の地質構造は、f-1 断層、f-2 断層を境界として大きく 3 つのエリアに分けられる。また、東側地盤については、さらに東側に第 2 保管庫・貯水所(G14)が位置している。これらの地盤で出現する地質及び岩盤分類（岩種）を参考 1-3-3 表に示す。また、表中には、減衰定数として設定している双曲線近似のバイアスを最小減衰定数 $h(\%)$ として示した。

参考 1-3-3 表 地質区分、岩盤分類一覧表および岩種ごとの最小減衰定数

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

■ : 岩石コア試験対象岩種 *1: 薄層, *2: 限定箇所, *3: 深部

□ : 再出現岩種

■ : 試験非実施岩種

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

各地盤における工学的性質を区分する岩盤分類については、参考 1-3-3 表に示す層序となっており、このうち、薄層の砂岩・泥岩互層、限定箇所にしか出現しない礫岩、粗粒砂岩及び中央地盤での解放基盤面下で出現する凝灰質砂岩を除く、主要な 10 岩種（泥岩(上部層)、礫混り砂岩、砂岩・凝灰岩互層、軽石混り砂岩、砂質軽石凝灰岩、凝灰岩、軽石凝灰岩、軽石質砂岩、細粒砂岩、泥岩(下部層)）について、岩石コア供

試体による室内岩石試験を実施する。

(b) 試料の準備、供試体整形

試験対象となる鷹架層の主要 10 岩種のボーリングコア試料は、乱れの少ない状態の良いものを選定して所定の寸法の供試体に整形し、脱気水槽に入れて飽和化を図る。12 時間以上の水浸、飽和化後、直径、高さ、質量を測定し、密度を算定する。

(c) 弾性波速度測定

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

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

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

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

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

(d) 拘束条件

当該地点は、軟岩地盤であり、有効応力の影響が考えられることから、室内試験時の拘束圧条件については、大気圧と封圧下の 2 種類を考慮する。

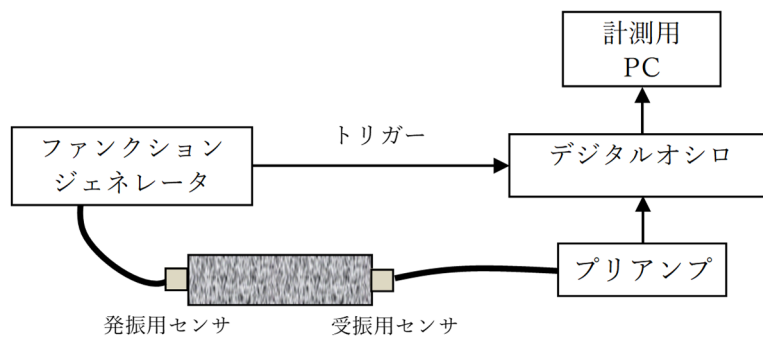
イ. 大気圧下における Q 値測定

コア Q 値測定装置の主な仕様を参考 1-3-4 表に示し、測定装置の概要図を参考 1-3-6 図に示す。超音波波形の収録は、JGS 2564-2020「岩石の弾性波速度計測方法」を参考にして大気圧下で行う。測定手順は以下のとおりである。

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

参考1-3-4表 大気圧下のQ値測定装置の主な仕様

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



参考1-3-6図 Q値測定装置の概要図

ロ. 封圧下における Q 値測定

Q 値測定装置の主な仕様を参考 1-3-5 表に示し、測定装置の概要図を参考 1-3-7 図に示す。

封圧はシリンジポンプによって制御する。キャップとペDESTALの中に振動子を組み込み、下端から超音波を発振し上端で透過波を受振する構造である。

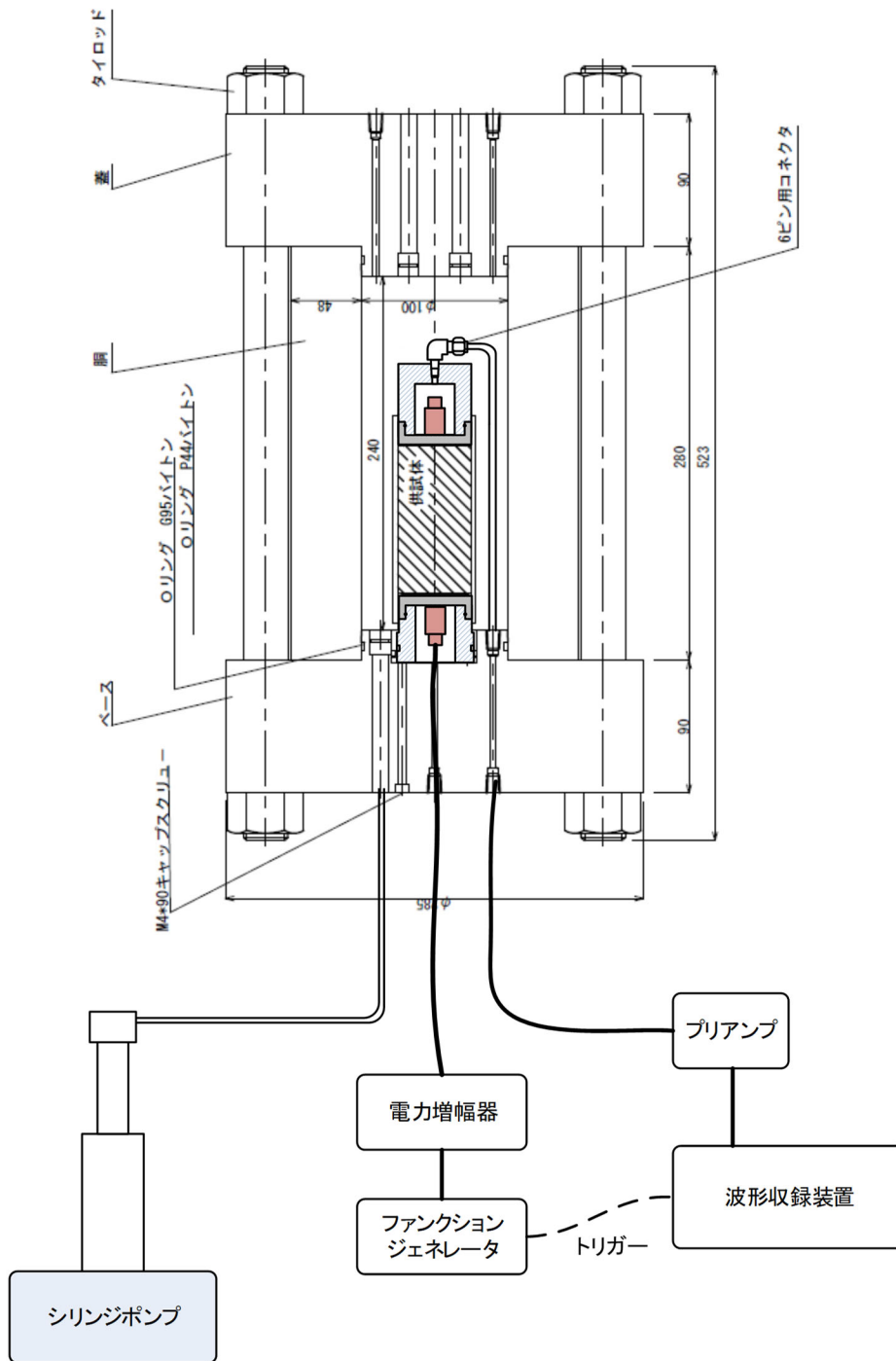
参考 1-3-5 表 封圧下の Q 値測定装置の主な仕様

名称	主な仕様	型番	メーカー
高圧セル	耐圧：150MPa 寸法（内）：φ100×h240mm シリンジポンプによる加圧	—	汎高圧工業
シリンジポンプ	最大加圧力：51.7MPa シリンダ容量：266ml 制御方式：定圧力，定流量	260D	ISCO
振動子	名称：横波垂直探触子 共振周波数：1 MHz 質量・寸法：約 21g, 15×15×20mm	PY 1Z	ジャパンプローブ
ファンクションジェネレータ	周波数範囲：1 μHz～20MHz 出力電圧：10mVp-p～20Vp-p 出力波形：正弦波，矩形波他	33220A	アジレント
電力増幅器	周波数帯域：DC～1 MHz 入力電圧：最大 10V 増幅率：10～100 倍	4005	NF 回路設計ブロック
プリアンプ A	増幅率：55dB (200kHz) 周波数帯域：10kHz～5MHz (-3dB 以内) 最大出力電圧：約 7Vp-p	A1002	富士セラミックス
プリアンプ B	増幅率：20, 30, 40dB 周波数帯域：2kHz～1.2MHz 最大出力：2Vp-p 以上	9917	NF 回路設計ブロック
デジタルオシロ (波形収録)	サンプリング速度：100 MHz アナログ入力：2 CH 垂直分解能：8 bits	NR-350	キーエンス

測定手順は以下のとおりである。

- 供試体の上下端面はペDESTALとキャップに薄く石膏を塗布して接着する。
キャップ、ペDESTALともに、弾性波形測定のための振動子を組み込んでいる。
- 上下のセンサの感度方向 (S波の発振方向と受信方向) を一致させる。
- 水圧により封圧するため、供試体との水の出入りを遮断するため、メンブレンを装着する。
- セル (耐圧中空円錐形容器) を組み立てて水を注入する。
- シリンジポンプ (微調整可能な注射器様のポンプ) により 所定の拘束圧 (採取深度の全応力) を加えて試験時は一定に保持する。
- S波の伝播波形を収録する。 受信波形を増幅して、分析を実施する。

なお、S波の発振・受振には同じ振動子を用い、それぞれの透過波形の初動が明瞭になるよう励起電圧 (最低の共鳴電圧) と波形収録時のゲインを調整する。



参考 1-3-7 図 封圧下の Q 値測定装置の概要

(d) スペクトル比法による Q 値測定 (拘束条件: 大気圧下, 封圧化下)

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

標準試料と対象とする試料の平面波の振幅は次のように表される。

$$A_1(f) = U_0 \cdot e^{-\alpha_1(f)x} \cdot e^{i(2\pi ft - k_1 x)} \cdot G_1 \quad 1) \text{ 式}$$

$$A_2(f) = U_0 \cdot e^{-\alpha_2(f)x} \cdot e^{i(2\pi ft - k_2 x)} \cdot G_2 \quad 2) \text{ 式}$$

$A(f)$: 振幅
 U_0 : 初期振幅
 f : 振動数
 x : 距離, t : 伝播時間
 k : 波数 ($=2\pi f/v$)
 v : 速度
 G : 拡散、反射等を含む幾何学的因子
 $\alpha(f)$: 振動数に依存する減衰係数
添字 1、2 : 標準試料(1)、対象試料(2)を表わす。

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

いま、 α は振動数の線形関数であると考え、3)式で定義する。

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

ここで γ は定数であり Q 値と次の関係がある。

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

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

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

上式の自然対数をとると次式となる。

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

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

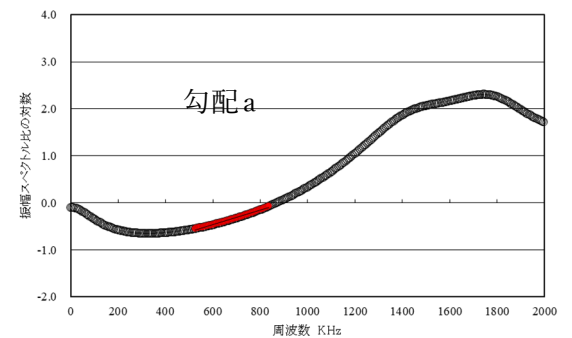
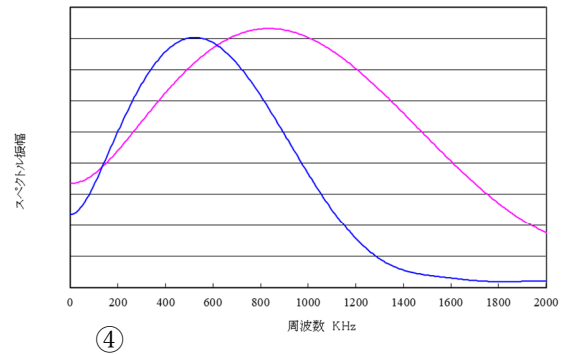
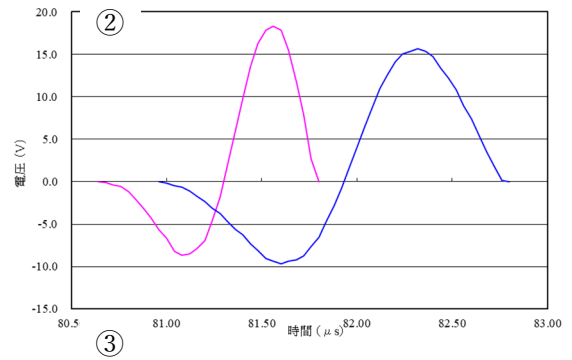
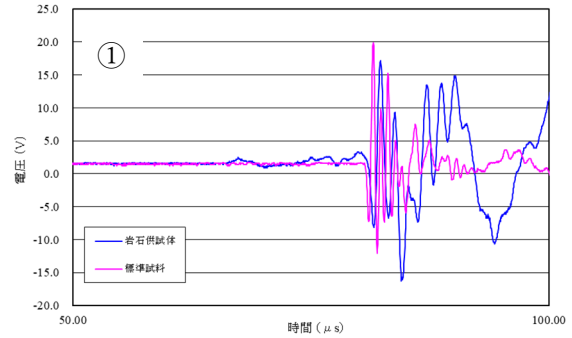
標準試料には岩石供試体と同じ形状のアルミ合金 (A5056) を使い、岩石供試体と同様の方法で透過波形を収録する。なお、Zemanek (1961)によれば、アルミの Q 値は 15×10^4 という大きな値となっているので、 γ_1 は 0 とみなしても誤差はないことになる。

スペクトル比法による Q 値の解析は以下の手順で行う (参考 1-3-8 図参照)。

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

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

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



参考 1-3-8 図 スペクトル比法による Q 値の解析

(e) パルスライズタイム法による Q 値測定 (拘束条件: 大気圧下, 封圧化下)

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

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

τ : 伝播波の初動のライズタイム

τ_0 : 入射波のライズタイム

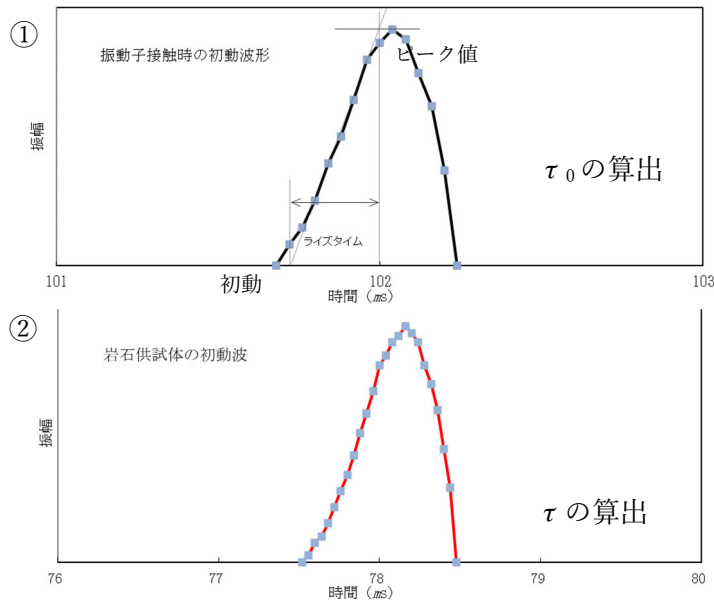
t : 伝播時間

C : 比例定数

比例定数 C については、Gladwin & Stacey (1974) は実験値として 0.53 ± 0.04 を提案しているが、今回は佐藤 (2012) が波形シミュレーションによって求めた 0.293 を採用する。

ライズタイム τ および τ_0 の算出方法については佐藤 (2012) を参考とする。伝播波の初動のライズタイム τ は、参考 1-3-9 図 のように初動後のピーク値をピークに至るまでの最急勾配で除して求める。なお最急勾配は、ノイズによる波形の乱れを考慮して、初動からピーク値までの合計データ数の半分 (参考 1-3-9 図① の場合、5 データ) を範囲として求める。入射波のライズタイム τ_0 については、超音波振動子と受振子を直接接触させた場合の振源波形から τ と同様の方法で求める。

岩石試料を透過した伝播波のライズタイムは、前述のスペクトル比法で収録した超音波透過波の初動波形を用いる (参考 1-3-9 図② に例を示す)。



参考 1-3-9 図 パルスライズタイム法による解析

参考文献

- 1) Gladwin M. T. and F. D. Stacey: : Anelastic degradation of acoustic pulses in rock, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, No.2, pp. 133-151, 1974.
- 2) Toksoz M. N., D. H. Johnston, and A. Timur : Attenuation of seismic waves in dry and saturated rocks : I. Laboratory measurements, *GEOPHYSICS*. Vol.44, No.4, pp. 681-690, 1979.
- 3) Zemanek, J., Jr., and Rudnick, J : Attenuation and dispersion of elastic waves in a cylindrical bar, *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol.33, No.10, pp. 1283-1288, 1961.
- 4) 佐藤浩章 : 地震動評価のための地表に近い岩盤における減衰の測定とそのモデル化, *物理探査* 第65巻第1&2号, pp. 37-51, 2012.

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 31 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	別紙 2-4-1
2. 埋戻し土の物性に係る検討	別紙 2-4-2
2.1 均質性及び物性値設定について	別紙 2-4-2
2.1.1 埋戻し土の施工管理状況	別紙 2-4-2
2.1.2 埋戻し土の物性値設定について	別紙 2-4-12
2.1.3 埋戻し土の均質性について	別紙 2-4-14
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	別紙 2-4-21
2.3 まとめ	別紙 2-4-24
3. 流動化処理土の物性に係る検討	別紙 2-4-26
3.1 均質性及び物性値設定について	別紙 2-4-26
3.1.1 流動化処理土の施工管理状況及び均質性	別紙 2-4-26
3.1.2 流動化処理土の物性値設定について	別紙 2-4-33
3.2 流動化処理土の物性設定のまとめ	別紙 2-4-35
4. 表層地盤のまとめ	別紙 2-4-36

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。

埋戻し土の材料基準については、原地山の掘削土として段丘砂、六ヶ所層及び鷹架層の岩ズリの多種の現地発生材をブレンドして埋戻すことから、これらを所定の場所へ運搬する車両のトラフィカビリティー及び強度（締固め度）を確保するため、埋戻し施工前の材料の粒度を物理的に均質になるように設定する。また、材料の均質化にあたっては、埋戻し土が最もよく締まる含水比を確保する必要がある。そのため、自然含水比の高い材料については、ストックパイルヤードにおいて、バックホウにより混合・攪拌・曝気することで粒度及び含水比調整を行う。この粒度及び含水比調整した埋戻し土については、建物・構築物の建設工事の進捗に応じ、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。撒出し及び転圧にあたっては、各工事の着手前に実施する試験施工によって管理基準を定めたいうえで施工している。この試験施工においては、各工事で分別した掘削土毎に最もよく締まる含水比の確認を行い、得られた最大乾燥密度及び最適含水比から所定の強度及び締固め度を満足する撒出し厚さ、転圧機械及び回数として締固め材料基準を定める。

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撒出し厚さ（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態について、埋戻し施工後のトラフィカビリティー及び締固め度を確保するため、可能な限り均質化できるように定めている。

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 qc を第 2.1.1-4 図に、2000 年以降における締固め度 Dc 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 $qc = 10\text{kgf/cm}^2$ ($\approx 0.1\text{MPa}$) 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 $Dc = 90\%$ 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 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 小規模 BD-3t 人力 20cm/層	BD-21t 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, 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 小規模 BD-3t 人力 20cm/層	BD-21t 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-21t 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-15t 6回転圧 BD-3t 4回転圧 HV-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%	大規模 BD-21t 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	SV-12t 6回転圧 SV-12t 4回転圧 HV-0.8～1.1t TP-60～100kg 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%	大規模 BD-21t BH-0.6m ³ 40cm/層 中規模 BH-0.6m ³ BD-3t 30cm/層	SV-11t 6回転圧 SV-12t 4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 中規模 BD-3t 40cm/層 小規模 BH-0.6m ³ 人力 30cm/層	SV-12t 4回転圧 SV-12t HV-0.8～1.1t 4回転圧 HV-0.8～1.1t TP-60～100kg 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-1.0t 4回転圧 TP-60kg 6回転圧 BD-3t 6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 小規模 BD-4t BH-0.28m ³ CS-0.7m ³ 人力 30cm/層	SV-4t HV-0.8～1.1t TP-60～100kg 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 中・小規模 BH-0.25m ³ , BH-0.7m ³ 人力 30cm/層	BD-21t 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%					

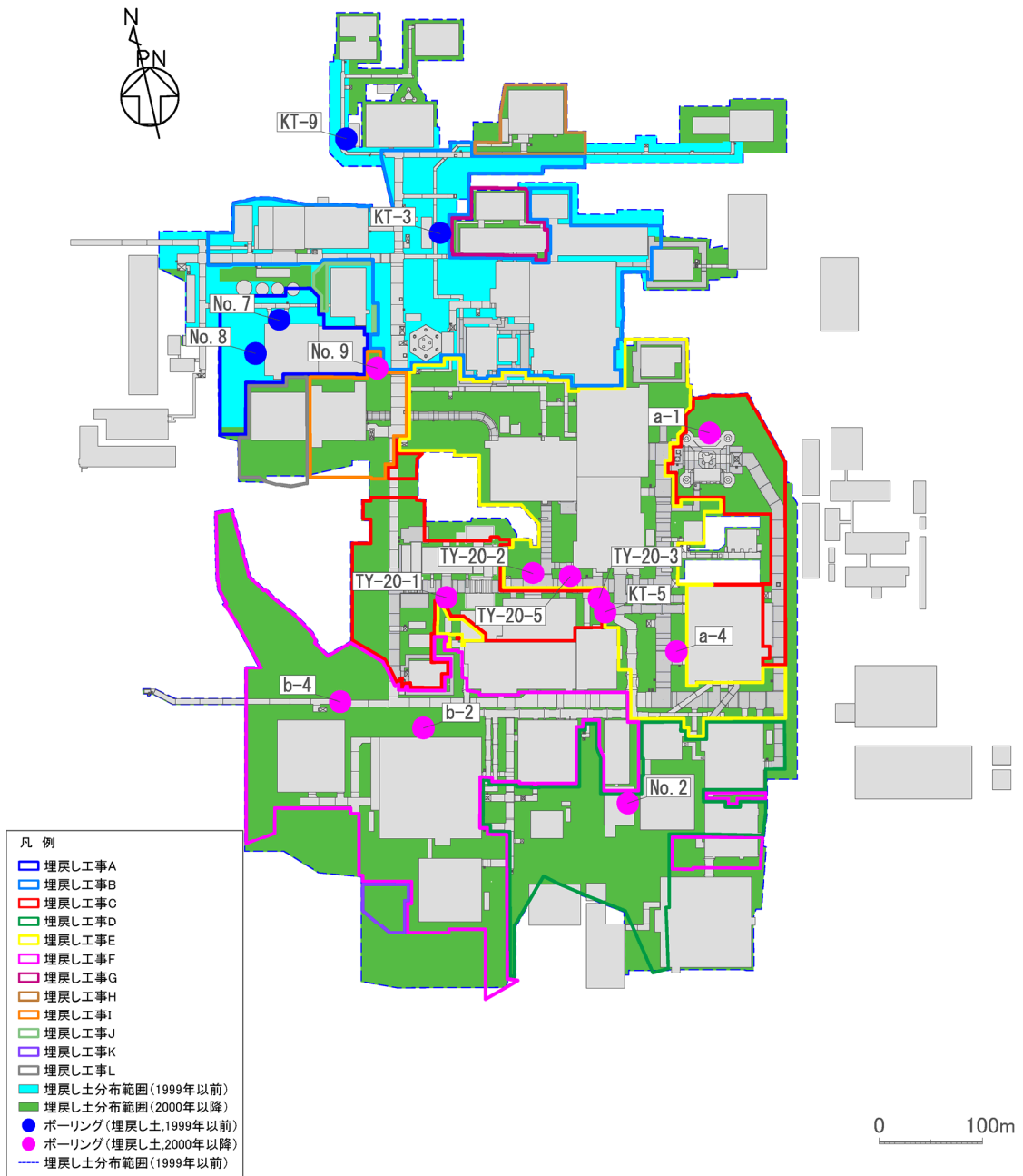
※1 施工方法 大規模:施工上の制約がない平地(施工幅W≧10m), 中規模:建物・構造物及び山留壁近傍(5m≦施工幅W<10m), 小規模:建物・構造物及び山留壁近傍の狭隘部(施工幅W<5m)

※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

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)

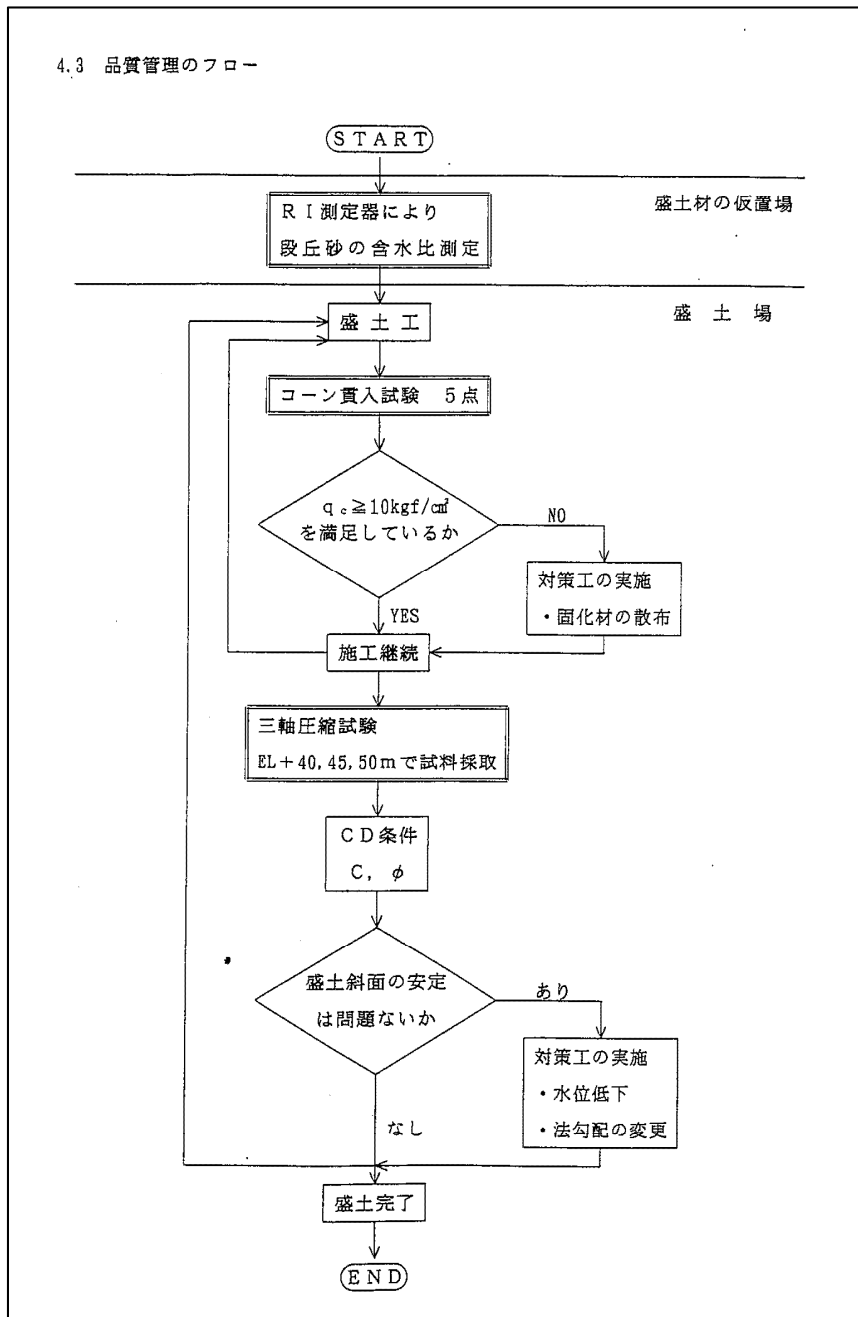
	1999 年以前	2000 年以降
材料基準	段丘砂(中位段丘) 最大乾燥密度, 最適含水比	ブレンド材(鷹架層及び六ヶ所層) 最大乾燥密度, 最適含水比
施工手順	<p>ストックパイルヤード</p> <pre> graph TD A[混合・攪拌 (バックホウ)] --> B[積込・運搬 (バックホウ・ダンプ)] B --> C[埋戻し箇所付近] C --> D[現場仮置き] D --- QM1["(品質管理) 最大乾燥密度 最適含水比"] D --> E[小運搬 (バックホウ、ダンプ)] E --> F[投入 (バックホウ・クラムシェル)] F --> G[撒出し・数均し (ブルドーザ)] G --- QM2["(品質管理) 撒出し厚さ"] G --> H[転圧 (振動ローラ、タンバ)] H --- QM3["(品質管理) ポータブルコーン貫入試験 転圧回数"] H --> I[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 --- QM1["(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 --> 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 --- QM2["(品質管理) 撒出し厚さ"] G --> H[転圧 (振動ローラ、タンバ)] H --- QM3["(品質管理) 締固め度 転圧回数"] H --> I[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2.1.1-1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

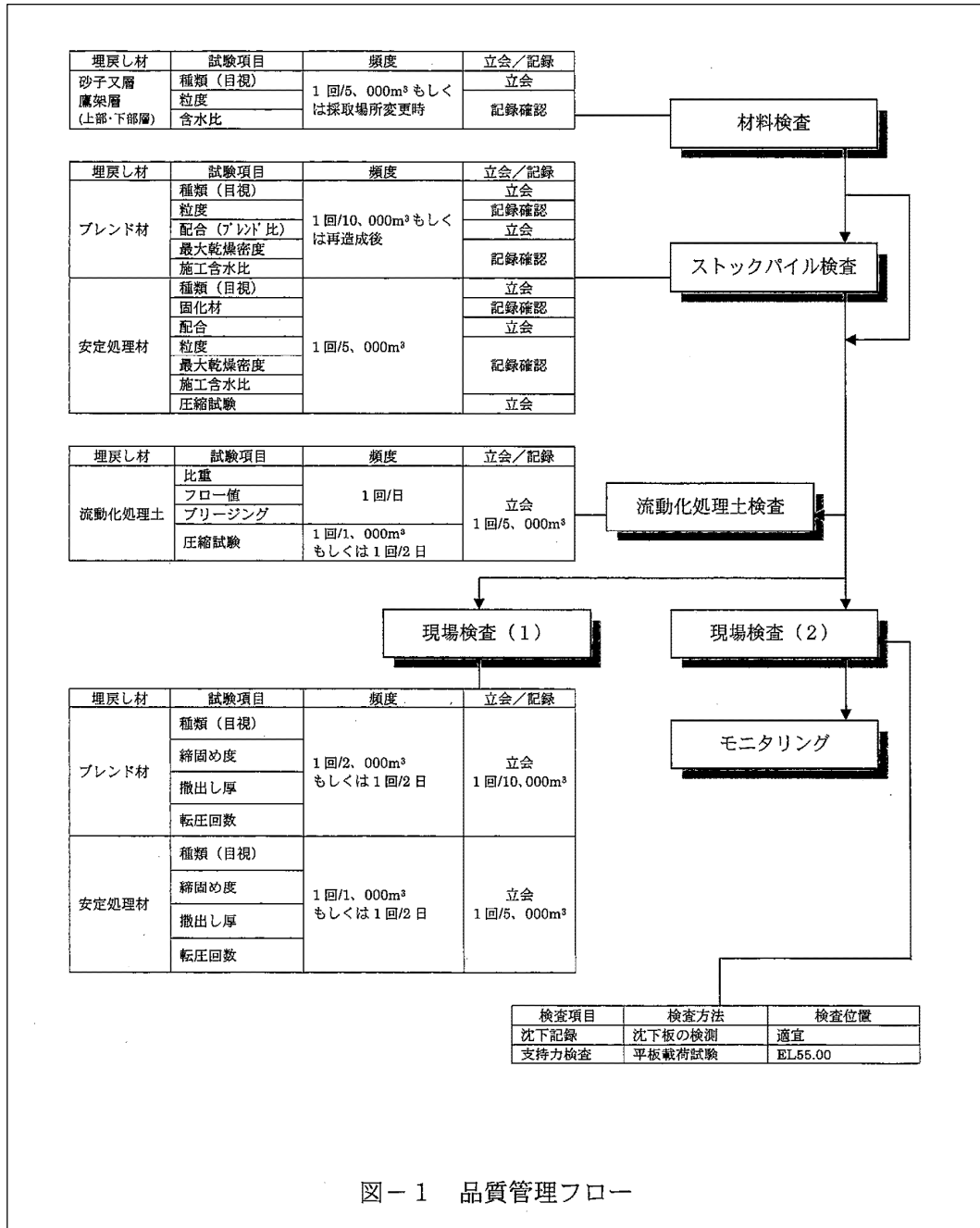
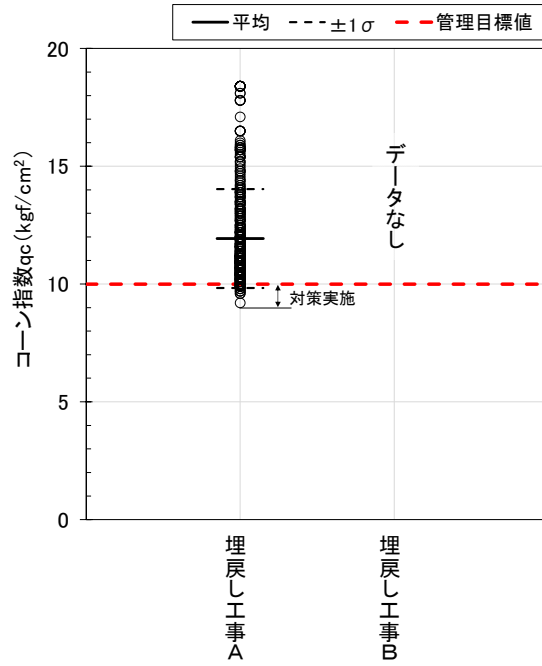
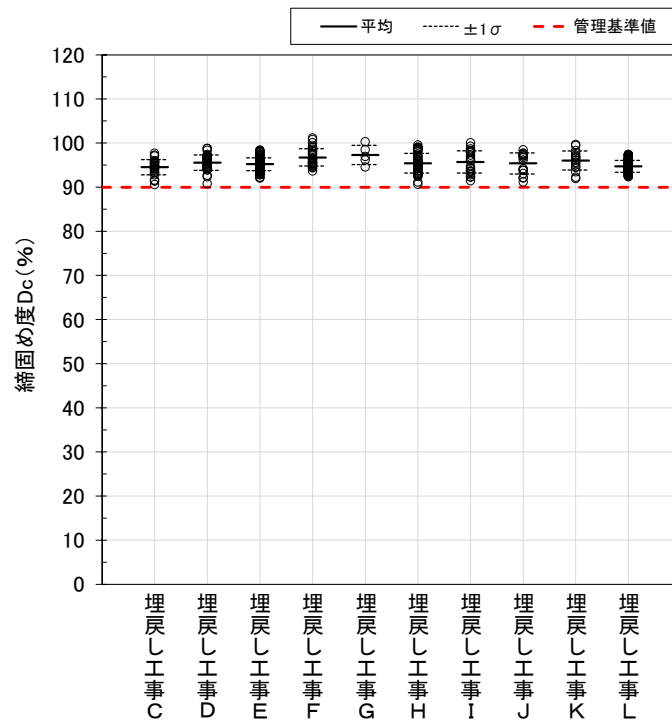


図-1 品質管理フロー

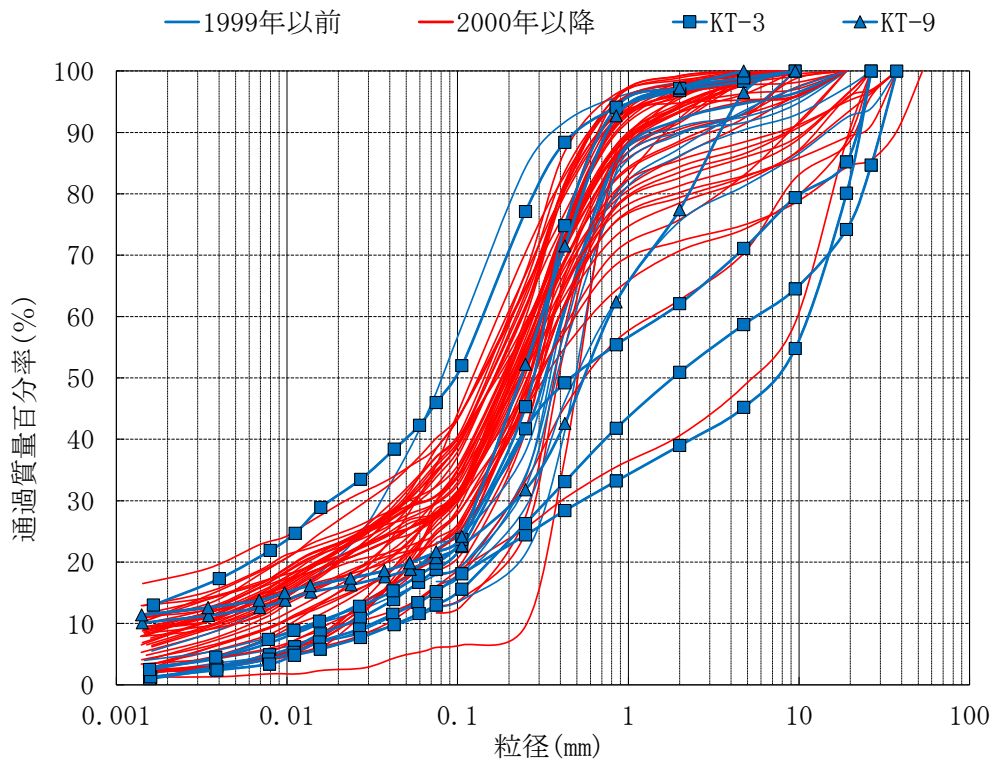
第2.1.1-3図 2000年以降の品質管理要領



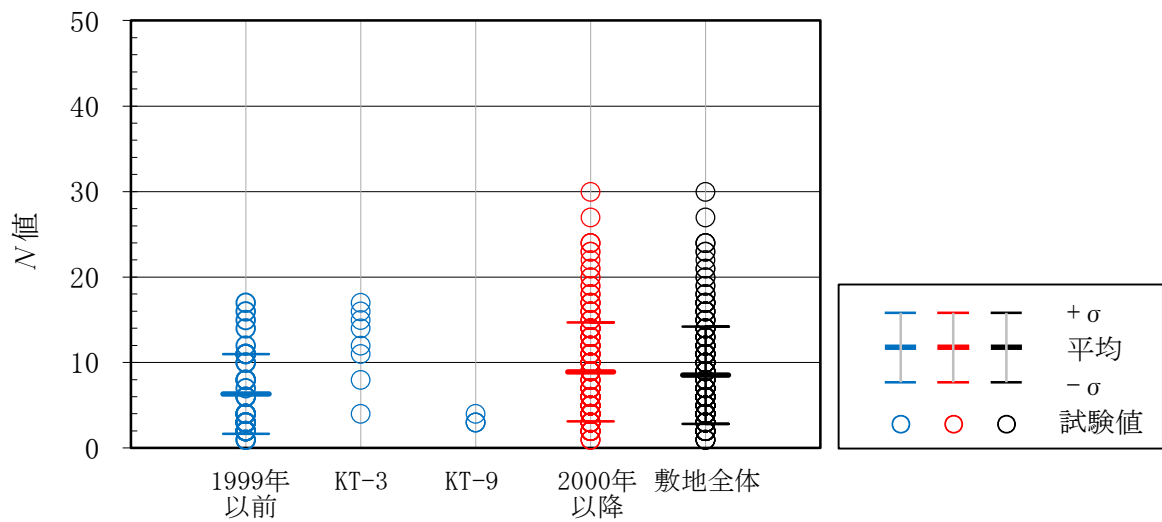
第 2.1.1-4 図 品質管理記録
(1999 年以前, コーン貫入抵抗 q_c)



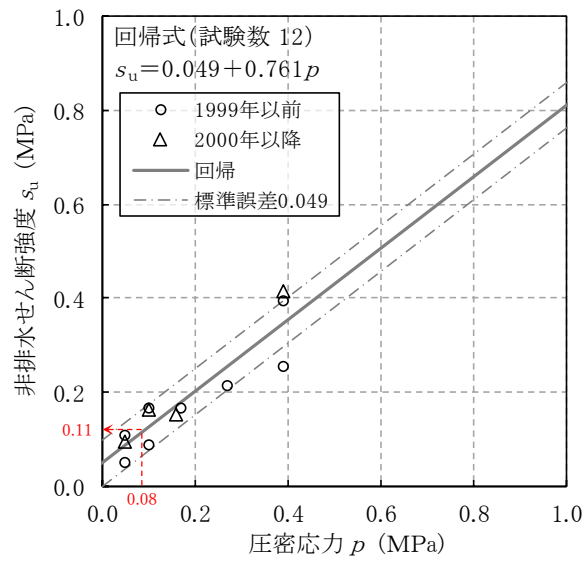
第 2.1.1-5 図 品質管理記録
(2000 年以降, 締固め度 D_c)



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

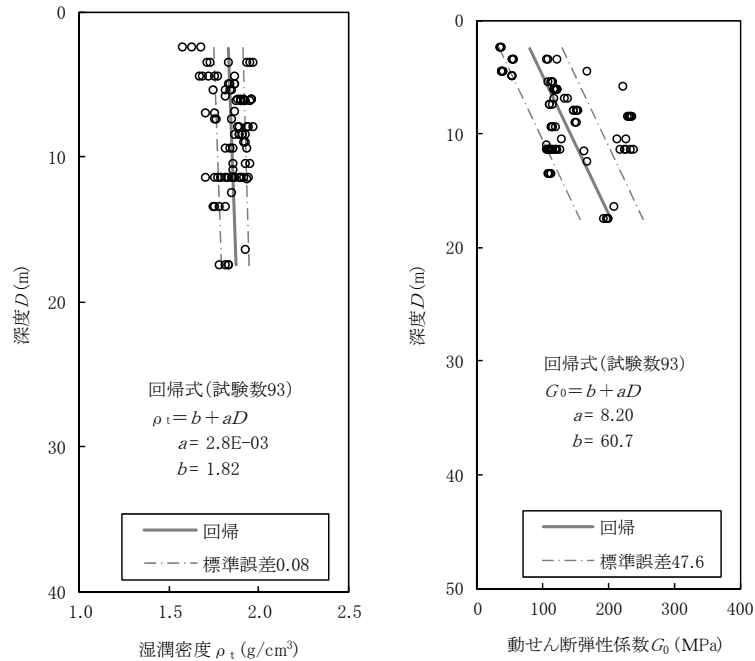


第 2.1.1-8 図 埋戻し土の強度特性（非排水せん断強度と圧密応力の関係）
 （再処理施設，廃棄物管理施設及び MOX 燃料加工施設の事業変更許可申請書より抜粋して加筆）

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。

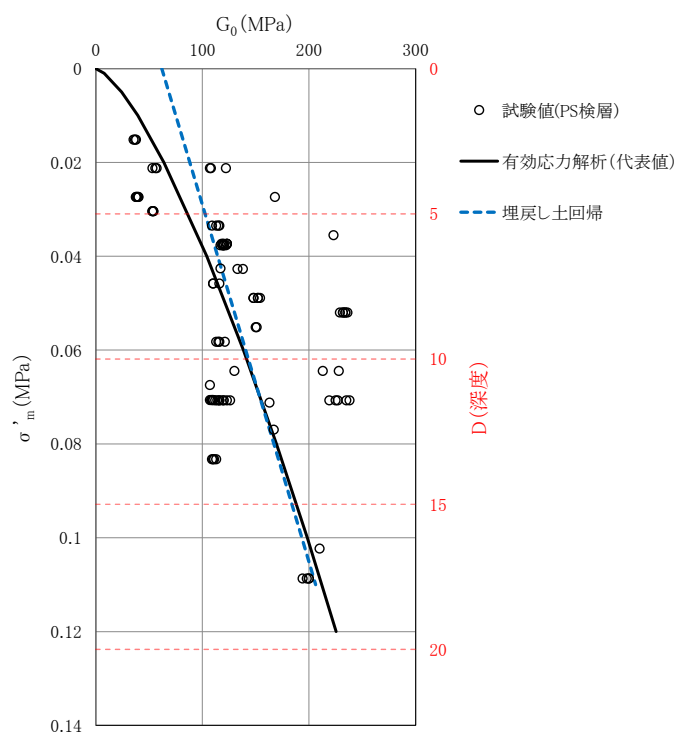


第 2.1.2-1 図 埋戻し土の湿潤密度及び動せん断弾性係数の回帰式と標準誤差
(再処理施設, 廃棄物管理施設及びMOX燃料加工施設の事業変更許可申請書より抜粋)

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/cm³), $G_0 = 60.7 + 8.2D$ (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。

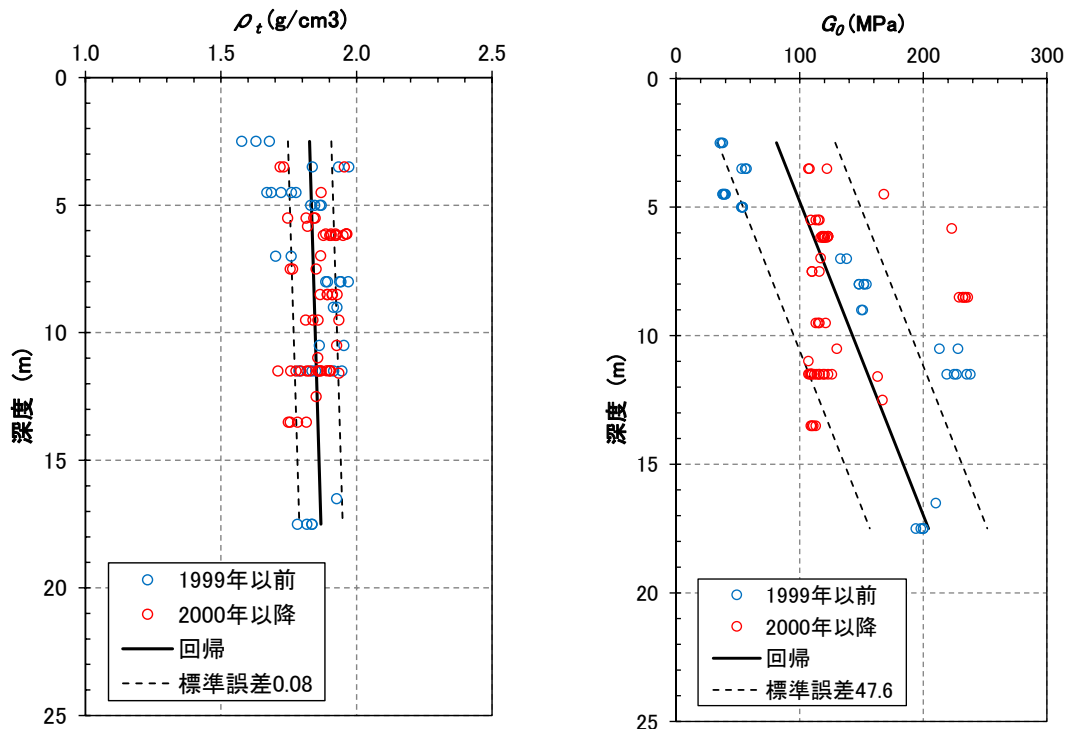
また、第1回申請における安全冷却水B冷却塔（A4B）の竜巻防護ネットの液状化検討（FLIP:砂の応力-ひずみと過剰間隙水圧モデル）においては、第2.1.2-2図に示すとおり、第2.1.2-1図に示した埋め戻し土の G_0 のデータを用いた、有効拘束圧に応じた指数関数の拘束圧依存式（FLIP関数形指定）を適用している。なお、図中には、深度依存の1次回帰も示す。



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

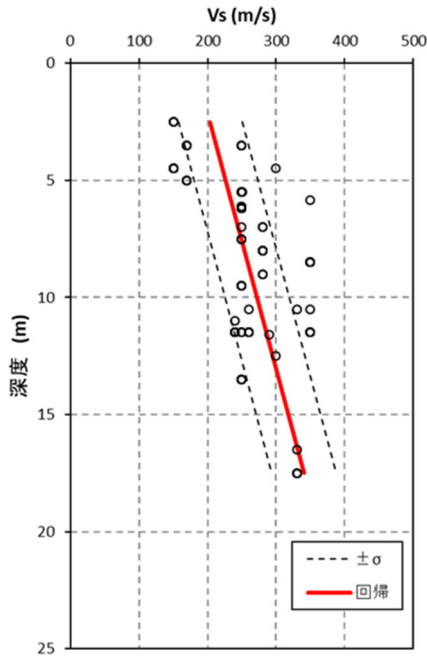
当該地点の埋戻し土は、敷地内北側が1999年以前、敷地内中央部から南側にかけて2000年以降に施工しており、施工時期から大別すると前者が1994年～1996年の3年間、後者が2000年～2003年の4年間で主要な埋戻し工事を実施している。この施工時期の違いに基づき、先述した第2.1.2-1図の埋戻し土の物性値 (ρ_t , G_0) を施工年代別に分類したものを第2.1.3-1図に示す。



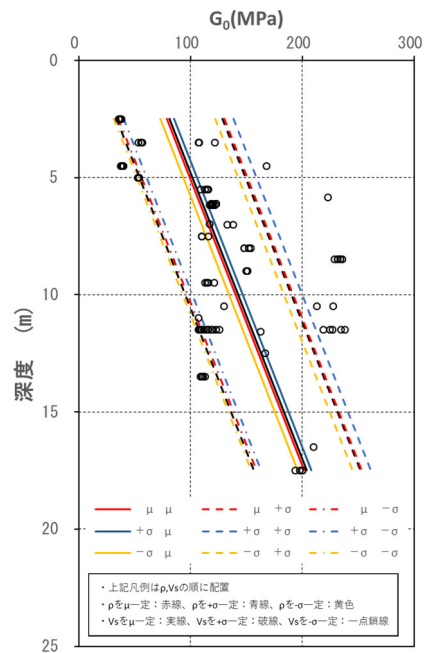
第 2.1.3-1 図 施工年代別の物性値 (ρ_t , G_0)

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)



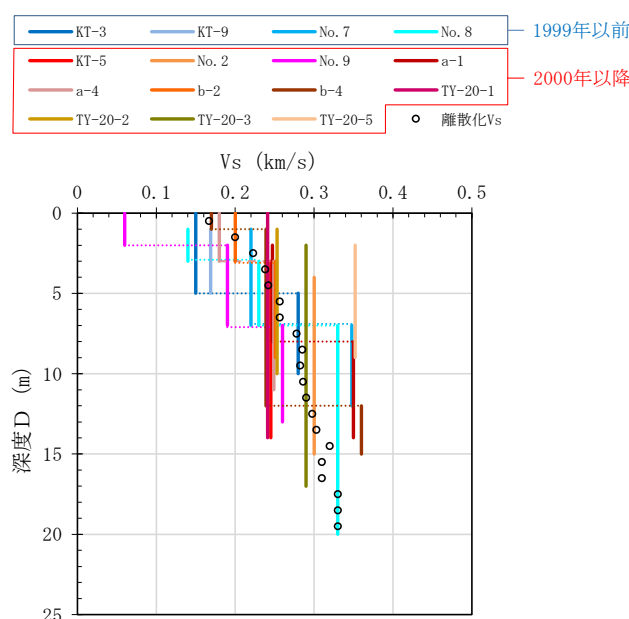
第 2.1.3-3 図 G_0 回帰の比較

計測データによる V_s 分布の回帰及び標準誤差と先の第 2.1.3-1 図の ρ_t の回帰及び標準誤差から当該地点での G_0 の取りうる範囲を想定した。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 (色付き線) とデータセットから得られた G_0 の回帰及び標準誤差 (黒線) 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 (+8.2D: D=深度) 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、均質を目標とした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), -1σ (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。したがって、当該地点での G_0 の取りうる範囲は、データセットから得られた G_0 の μ (平均), $\pm\sigma$ (ばらつき) 回帰に収まることを確認した。

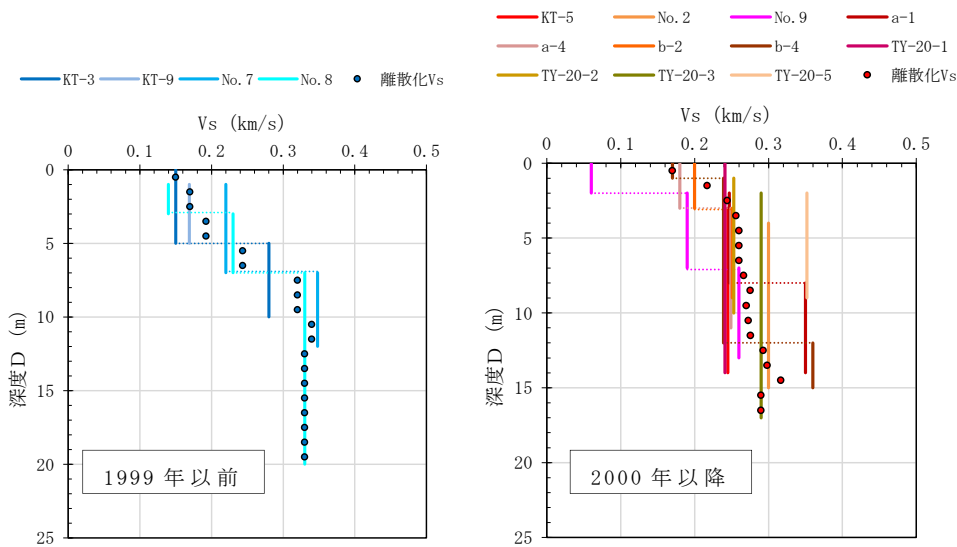
次に、データセットのうち偏りが見られた ρ_t に回帰の平均値を用いて、

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、均質を目標として施工したものであることから、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。しかし、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 を対象として両施工年代の物性値を比較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。



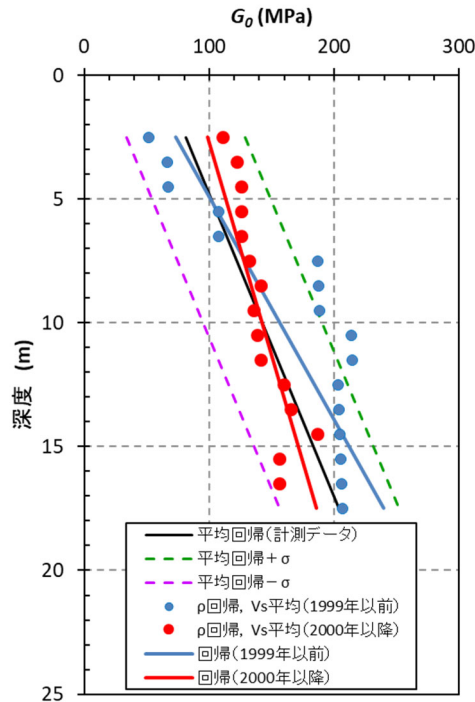
第 2.1.3-4 図 ボーリング柱状図による V_s と離散化 V_s (全 15 孔)

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 0.1 km/s 程度から 0.35 km/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

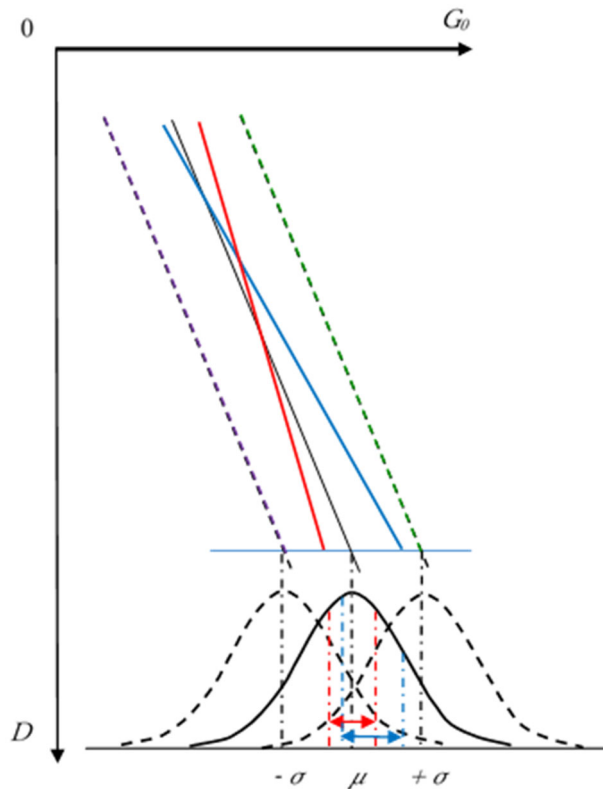
第2.1.3-5図には、施工年代別の V_s 分布とそれぞれの離散化 V_s の平均値を●印で示す。図によれば、施工年代別には、深度依存の傾向が若干異なること、2000年以降のPS検層は17m程度の浅層となっていることから、施工年代別の G_0 を同程度のデータ数により評価するため、先の第2.1.3-1図に示したデータセットによる ρ_t の平均値回帰を用いて V_s 分布による離散化 V_s の平均値から補完した1m毎の G_0 (補完 G_0 と呼ぶ) を両施工時期で比較することとした。第2.1.3-6図に1999年以前、2000年以降の補完 G_0 の値をそれぞれ青●印、赤●印、補完 G_0 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緑・紫破線で示している。



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 $+1 \sigma$ の深度依存回帰を与えたものと加速度応答と等しくなる。



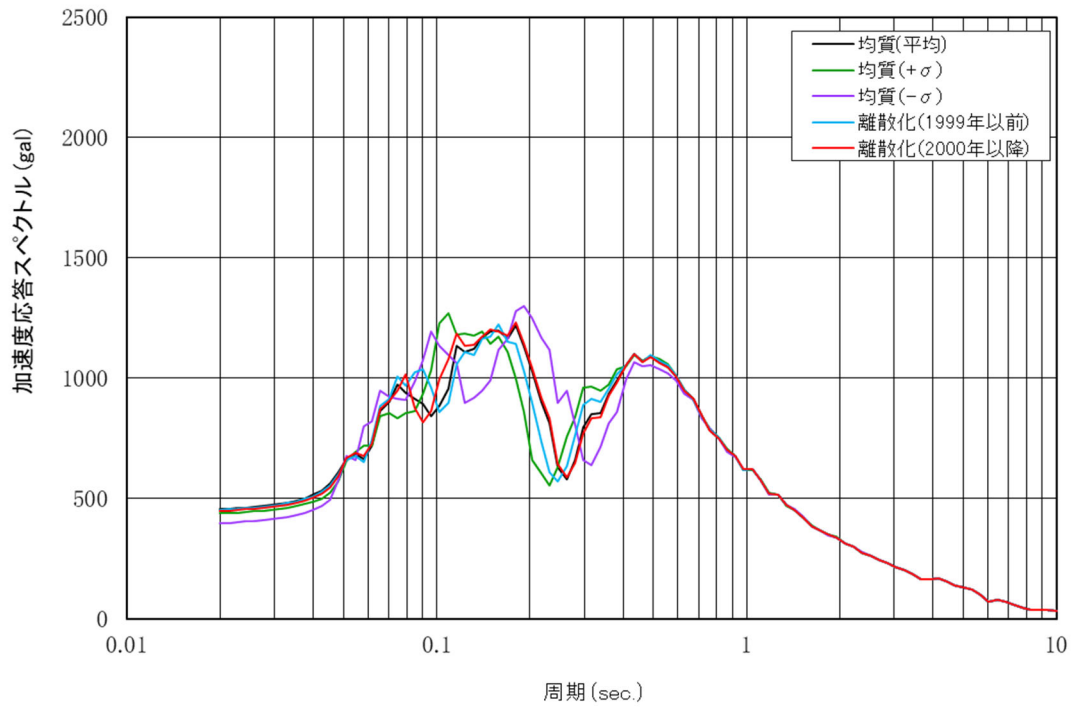
第 2.1.3-7 図 標準誤差範囲の確率密度分布の概念図

上記のことを確認するため、第 2.1.3-6 図に示した 1999 年以前、2000 年以降の G_0 の分布を用いて、2 次元周波数応答解析を実施した（参考 4 (3)）。

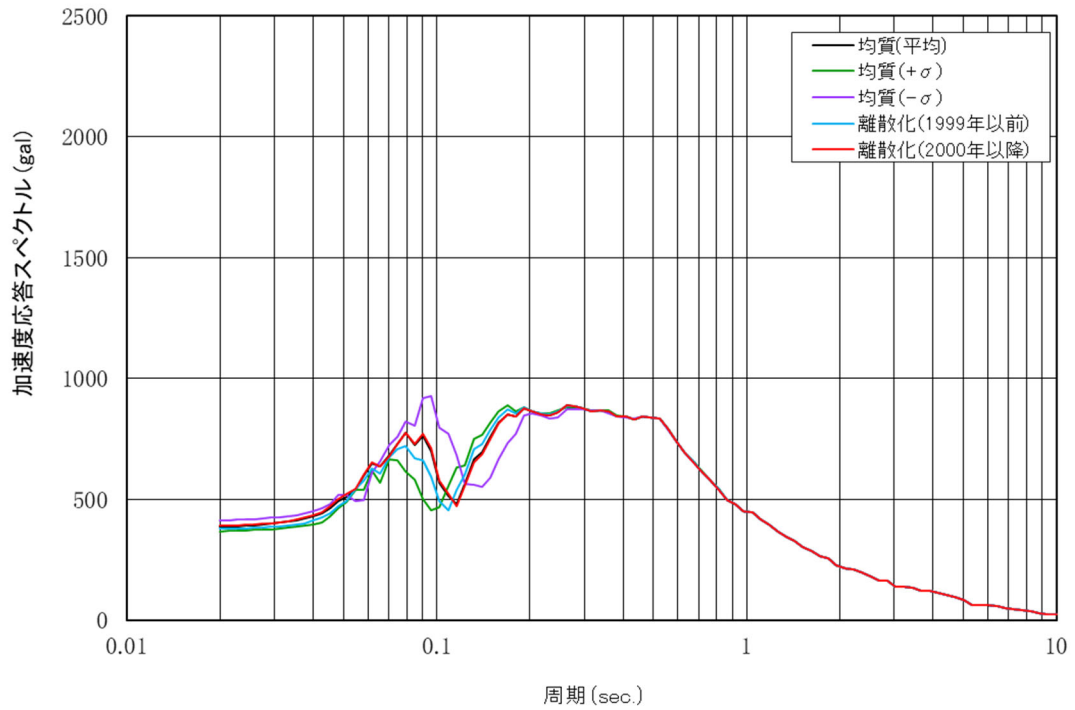
第 2.1.3-8 図に、計測データによる G_0 の平均及び標準誤差 $\pm 1\sigma$ 回帰と 1999 年以前、2000 年以降の補完 G_0 (V_s を用いて離散化した G_0) による基礎底面位置での加速度応答スペクトルの比較を示す。図によれば、2000 年以降の G_0 分布による加速度応答スペクトル（赤線）は、建屋の固有周期帯である $0.2s \sim 0.33s$ 区間では計測データの平均による加速度応答スペクトル（黒線）とほぼ一致している。1999 年以前の G_0 分布による加速度応答スペクトル（青線）は、計測データの平均による加速度応答スペクトル（黒線）に比べて短周期側に水平にシフトするものの計測データによる G_0 の標準誤差 $\pm 1\sigma$ （緑線： $+\sigma$ 、紫線： $-\sigma$ ）の加速度応答スペクトルに包絡されることが確認できた。

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 $\pm 1\sigma$ 以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する。

基礎底面 水平



基礎底面 鉛直



第 2.1.3-8 図 各 G_0 回帰による加速度応答スペクトルの比較

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、

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

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

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。

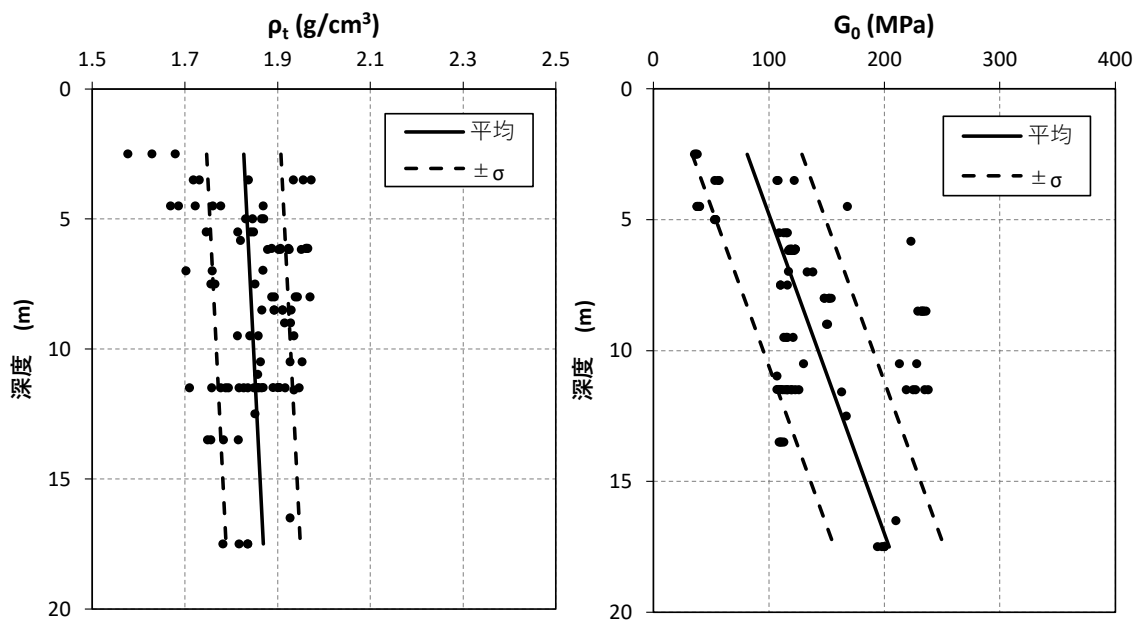
先述したように、パラメータを多くすると残差平方和を小さくできるが、統計的モデリングにおいてはバランスが大事であり、誤差が同じ程度なら予測値との乖離を少なくするにはパラメータ数の少ないモデルを選ぶべきである。

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。

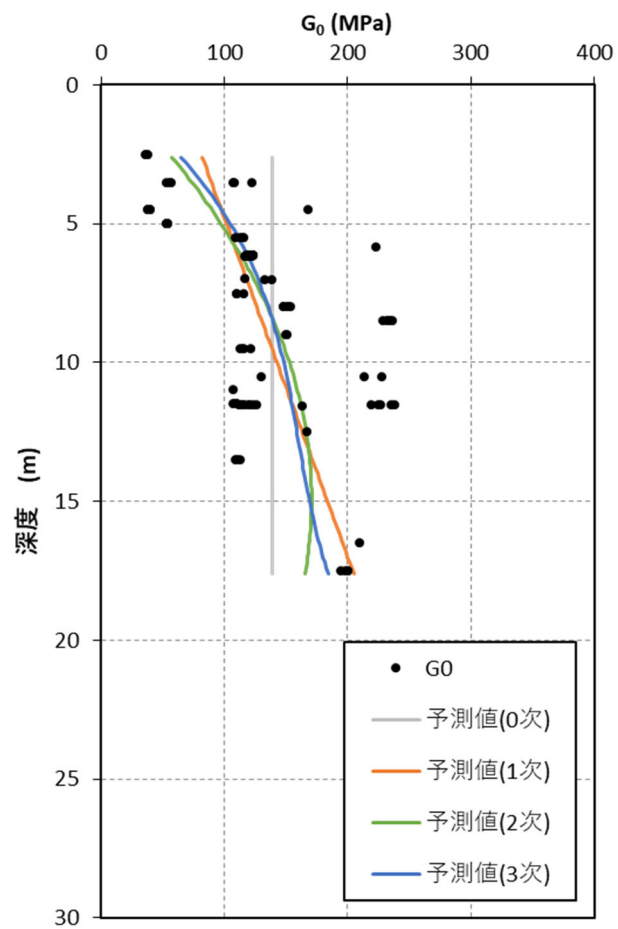
第2.2-1図(第2.1.3-1図の主要箇所拡大図)に、埋戻し土の動的変形特性として用いる ρt 、 G_0 の深度分布と深度依存回帰式を示す。第2.2-2図に既往データの0次(平均)、1次関数回帰、2次関数回帰のフィッティングと回帰式(最小二乗法)を示す。数値統計学的なフィッティングの良否を定量的に評価するため、第2.2-3図に各次数に対するAIC(オレンジ線)と残差平方和(青線)を示す。AICは、0次(平均)に比べると1次回帰で大きく減少し、2次、3次と次数が増えるのに伴い緩やかに減少する。誤差(残差平方和)が同程度であれば、パラメータの少ないモデルが適切と考えられる。

(参考文献)

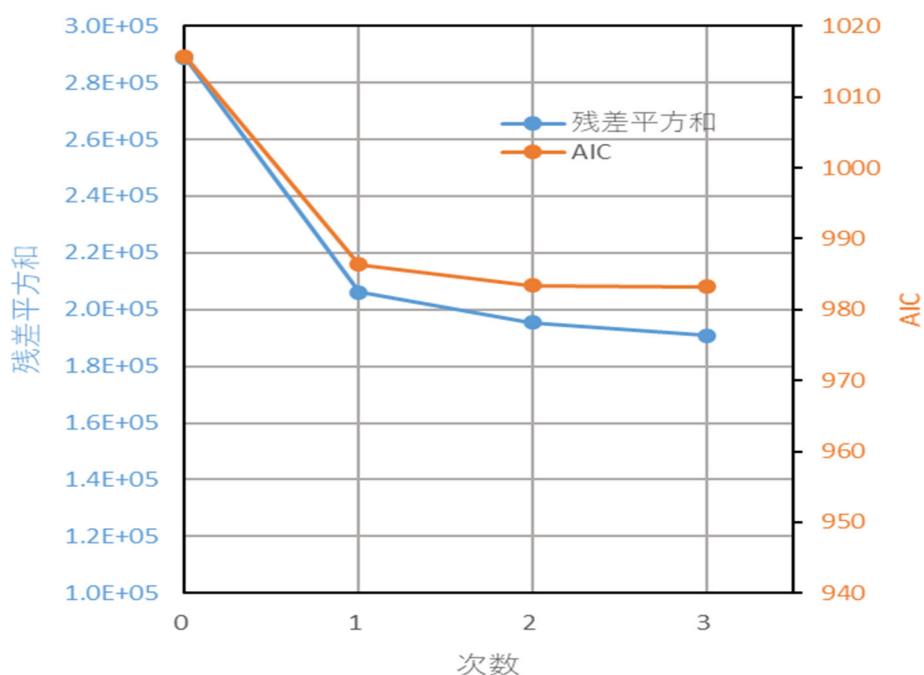
- *1 小西貞則, 北川源四郎: 情報量規準, シリーズ予測と発見の科学2, 朝倉書店, 208pp, 2004
- *2 唐沢好男: AIC(赤池情報量規準)を学ぶ, Technical Report YK-048, 電気通信大学, http://www.radio3.ee.uec.ac.jp/ronbun/TR_YK_048_AIC.pdf, 19pp, 2020.



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。

埋戻し土の物性値については、均質を目標として施工されており、全敷地範囲における埋戻し土の統計データ(15 孔、93 個(G_0))としては満足しているものの、平面的に採取されていない箇所や第 2.1.3-1 図における 1999 年以前の 12m~16m、2000 年以降の 14m 以深などの深部データに一部

偏りがあるため、設定した物性値の特性を補足することを目的として追加調査を実施する（参考5）。

取得データにより、平面的に一定のばらつきに収まっていること及び深度依存性を確認する。なお、取得データは、新たなデータとして物性値に加えて変更するものではなく、今回設定した物性値について、ばらつき及び深度依存特性が同等であることを確認し、信頼性の向上を図るものである。

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 qu が 0.2MPa~0.3MPa、第 2 グループは、品質管理指標 $qu \geq 0.6$ MPa 以上である。

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、ハッチングの入っ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。第 2 グループは、同図において、ライトブルーに斜めハッチあるいはドットで示している範囲で DB 建屋、DC 建屋、BB 建屋、CB 建屋の南側表層地盤及び緊急時対策建屋（AZ）、第 1 保管庫・貯水所（G13）、第 2 保管庫・貯水所（G14）周辺の埋戻し工事で用いている。

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（第 1 グループ：固化材（セメント）65~95kg/m³程度、第 2 グループ固化材（セメント）120、150kg/m³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 qu 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、第 1 グループでは一軸圧縮強度 qu が 3.0kgf/cm²（≒ 0.3MPa）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 2 グループでは、一軸圧縮強度 qu が 6.5kgf/cm²（≒ 0.66MPa）以上（一部管理値を 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いる。

第 3.1.1-3 図に第 1 グループの流動化処理土（ $qu \geq 3.0$ kgf/cm²）の品質確認結果を示す。流動化処理土の埋戻し工事ごとの一軸圧縮強度 qu の平

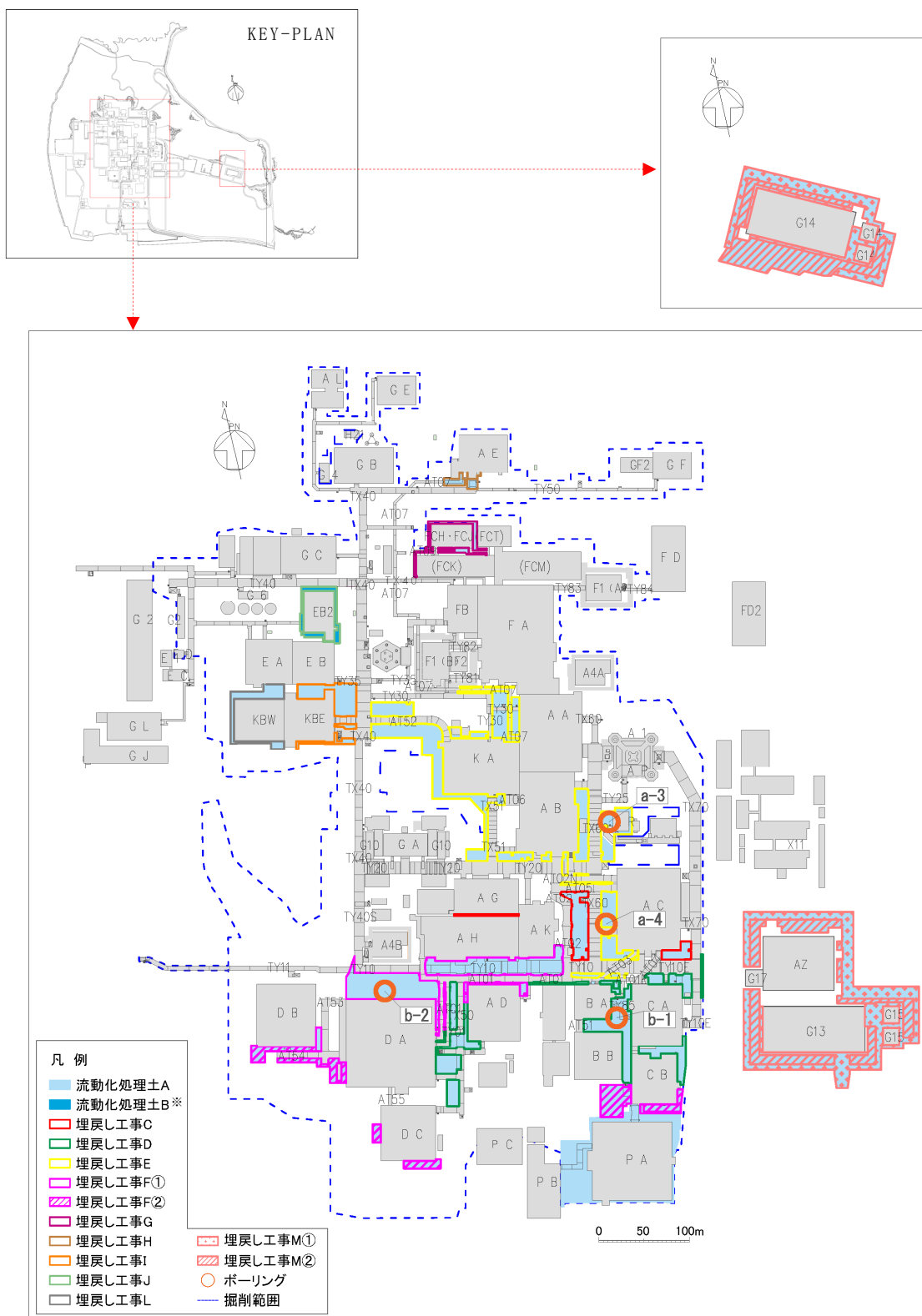
均値は、0.43～0.68MPa の範囲に仕上がっている。

第2グループの流動化処理土 ($qu \geq 6.5 \text{kgf/cm}^2$) の品質確認結果を第3.1.1-4 図に示す。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 F②で 1.1MPa (10.8kgf/cm^2)、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覧

<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（第1グループ） 120, 150kg/m³程度（第2グループ）</p>
<p>施工 手順</p>	<pre> graph TD subgraph "仮置きヤード" A[購入砂 運搬・ストック] --> B[小運搬 (バックホウ、ダンプ)] end subgraph "流動化処理土製造ヤード" C[製造プラント機材 搬入・組立] --> D[キャリブレーション] E[流動化処理土製造] F[固化材搬入 (セメント)] --> E G["(品質管理) ・超音波速度試験 ・一軸圧縮試験 ・透水試験"] --> E end B --> E D --> E E --> H[埋戻し箇所付近] H --> I[運搬 (ミキサー車)] H --> J[圧送・打設 (定置式コンクリートポンプ)] I --> K[打設 (コンクリートポンプ車)] J --> K K --> L[次工程引渡し] </pre>
<p>管理 基準</p>	<p>第1グループ：$q_u \geq 3.0\text{kgf/cm}^2 \approx 0.3\text{MPa}$ (一部 $q_u \geq 0.2\text{MPa}$) 第2グループ：$q_u \geq 6.5\text{kgf/cm}^2 \approx 0.66\text{MPa}$ (一部 $q_u \geq 0.6\text{MPa}$)</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

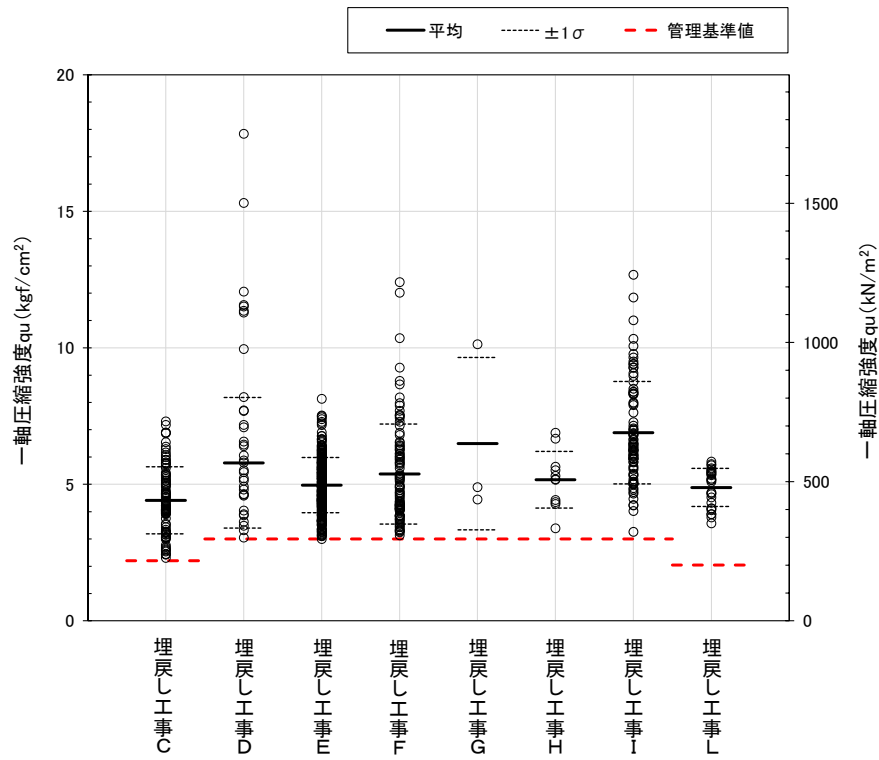
(2)品質確認方法

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。

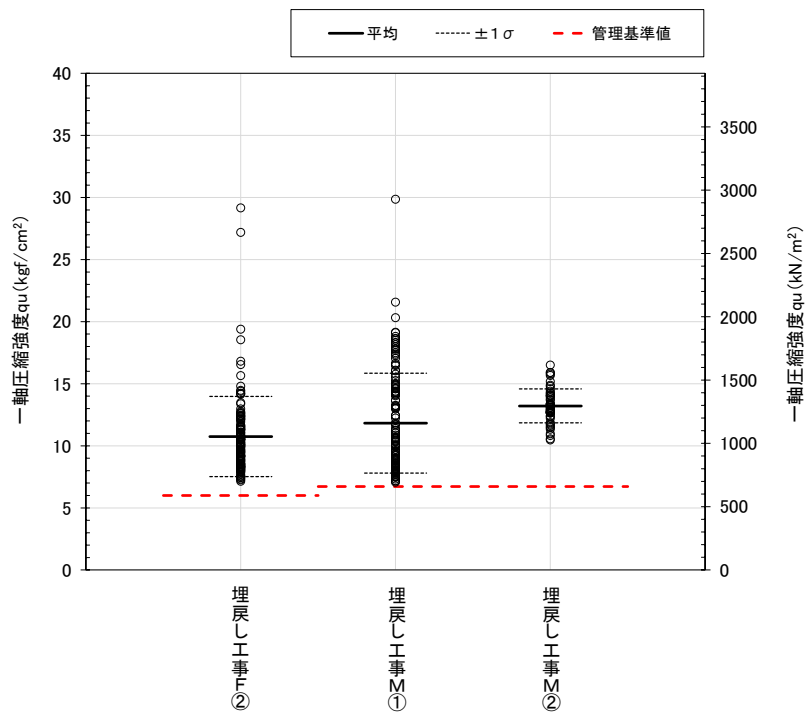
参考2表 改良地盤の品質確認方法及び基準値

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 3.1.1-3 図 流動化処理土に関する品質確認結果 (第 1 グループ)



第 3.1.1-4 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

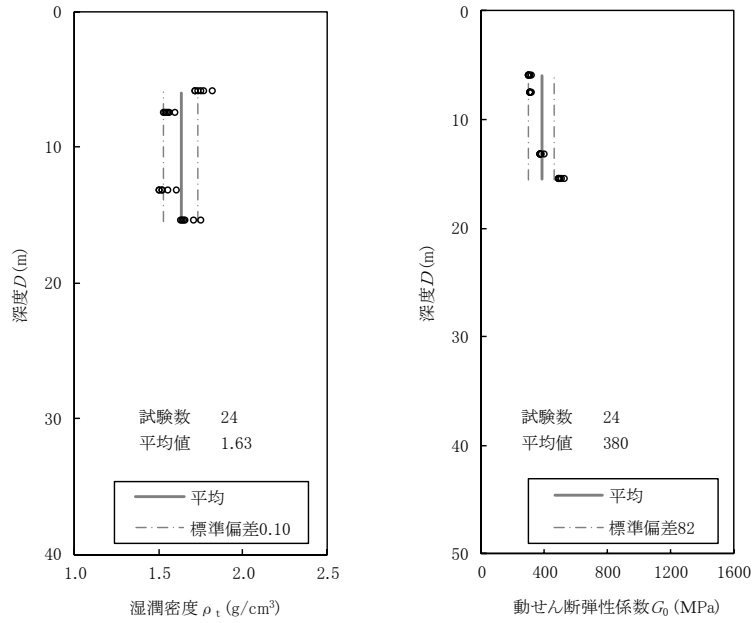
流動化処理土については、ボーリング柱状図を確認した上で、物理特性試験及びPS検層に基づき解析物性値を設定している。流動化処理土のボーリング柱状図及び物理・力学特性を参考6に示す。

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。

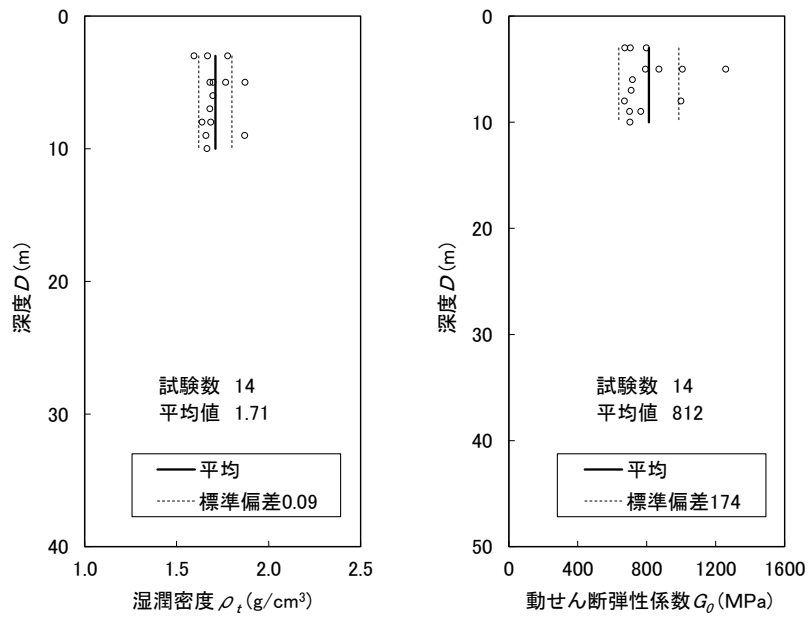
第3.1.2-1図に流動化処理土 (第1グループ) の解析用物性値のうち、 ρ_t と G_0 の値を示す。 ρ_t は、深さ方向に関係なくばらつきを有しており、 V_s と ρ_t から算出した G_0 は、深度方向に剛性が高くなる傾向が見られるものの、流動化処理土はセメント添加による人工材料であるため、一般的に土質材料のような拘束圧依存による深度依存は見られないと考えられることから、第3.1.2-1図に示すように、 G_0 の平均値 380MPa を設定している。

第3.1.2-2図に流動化処理土 (第2グループ) の解析用物性値のうち、 ρ_t と G_0 の値を示す。 ρ_t は、第1グループと同様に深さ方向に関係なくばらつきを有している。 V_s と ρ_t から算出した G_0 については深さ方向に関係なくばらつきを有しており、深度依存は見られず、 G_0 の平均値は812MPaとなっており、 ρ_t 、 G_0 ともに平均値を設定する。

なお、流動化処理土 (第1グループ) 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) を平均値として適用している。



第3.1.2-1 図 流動化処理土 (第1グループ) 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)



第3.1.2-2 図 流動化処理土 (第2グループ) の湿潤密度及び動せん断弾性係数の平均と標準偏差

3.2 流動化処理土の物性設定のまとめ

第1グループ及び第2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。

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7(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。

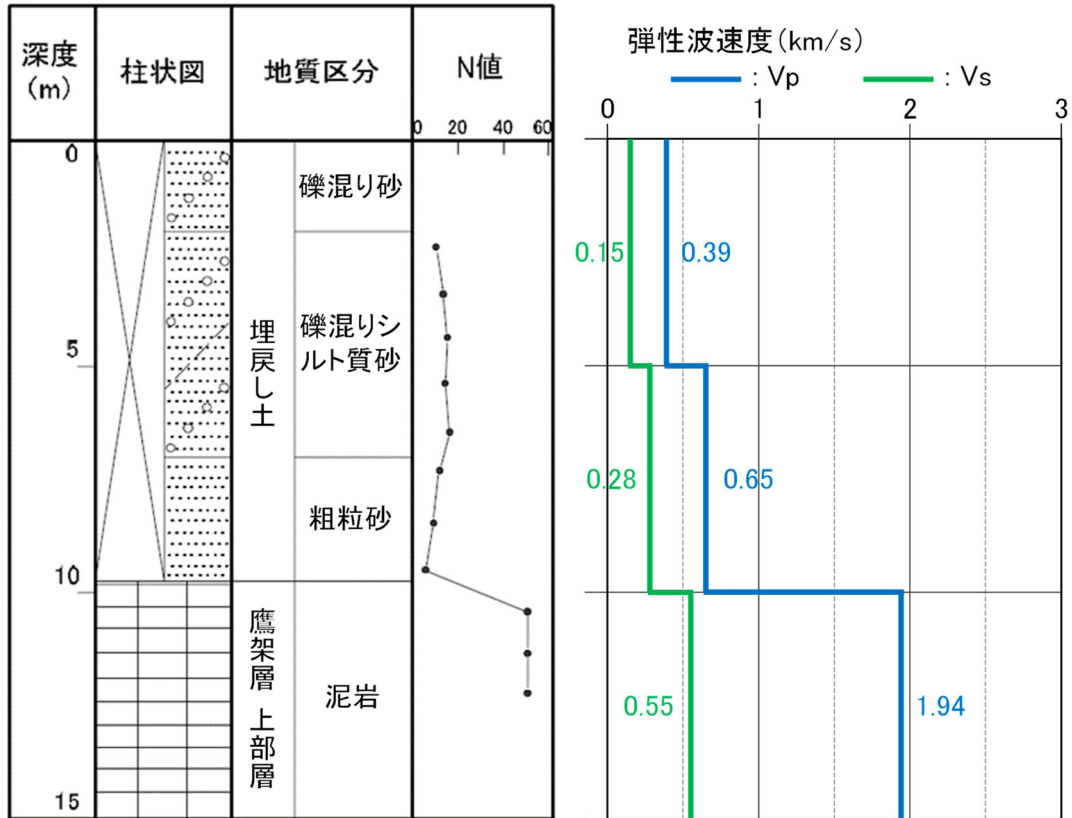
表層地盤の設定について、2次元周波数応答解析手法によりその影響検討を実施した。当該位置の流動化処理土は、前述の第2グループであることから基礎地盤安定解析での表層物性値(地山)に流動化処理土(第2グループ)の動的変形特性を用いて影響検討を実施した(参考7(2))。その結果、建屋近傍の掘削領域のみを流動化処理土で置換したケースと表層全領域(側方境界まで)を流動化処理土としたケースでは、基礎岩盤の応答に顕著な違いがないことから周辺地盤の影響よりも流動化処理土の物性値が支配的であることを確認した。

参考 1

埋戻し土のボーリング柱状図について

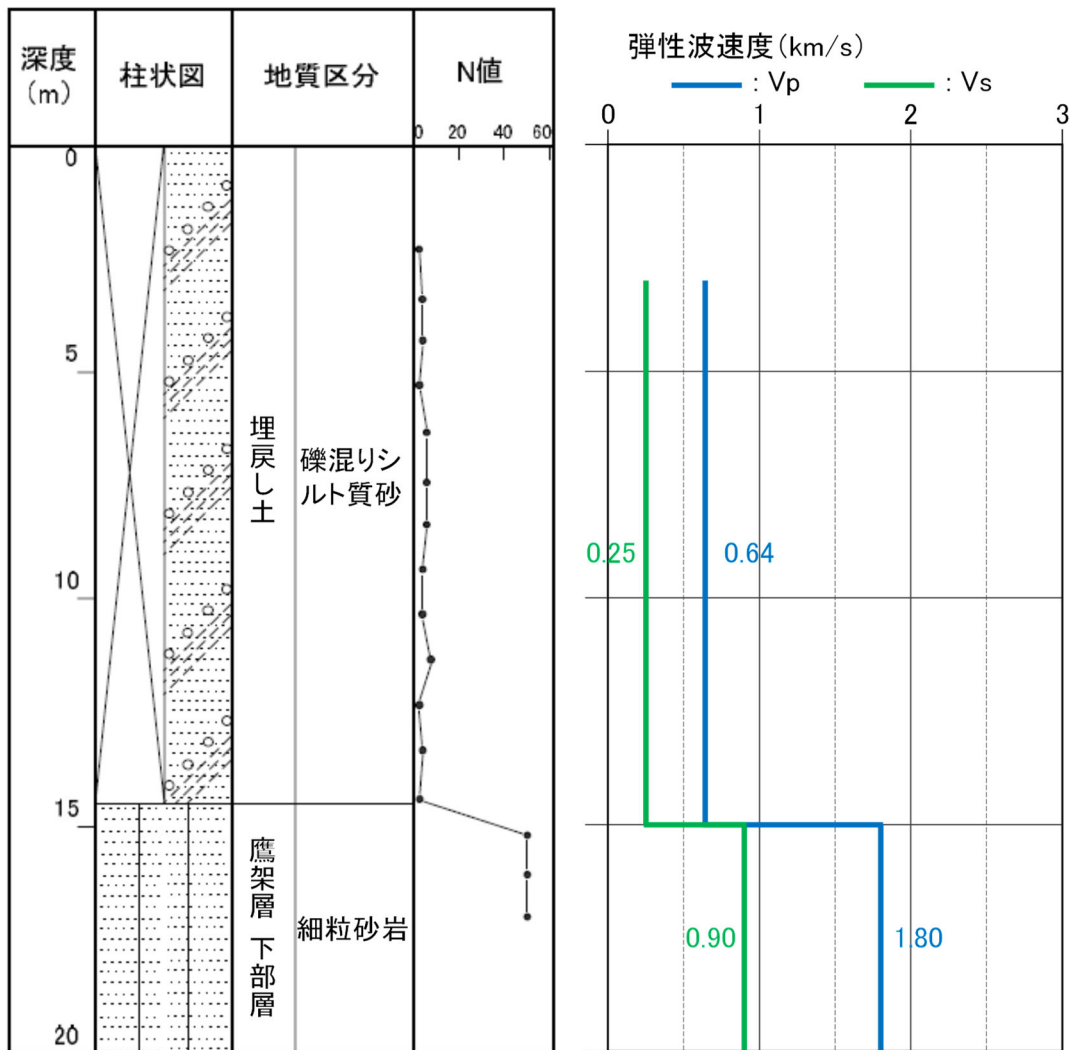
本編 2.1.2 埋戻し土の物性値設定の検討における事業変更許可申請書で設定した埋戻し土のボーリング柱状図及び物理・力学特性を参考 1-1 図～参考 1-15 図に示す。

KT-3 (孔口標高 55.17m)



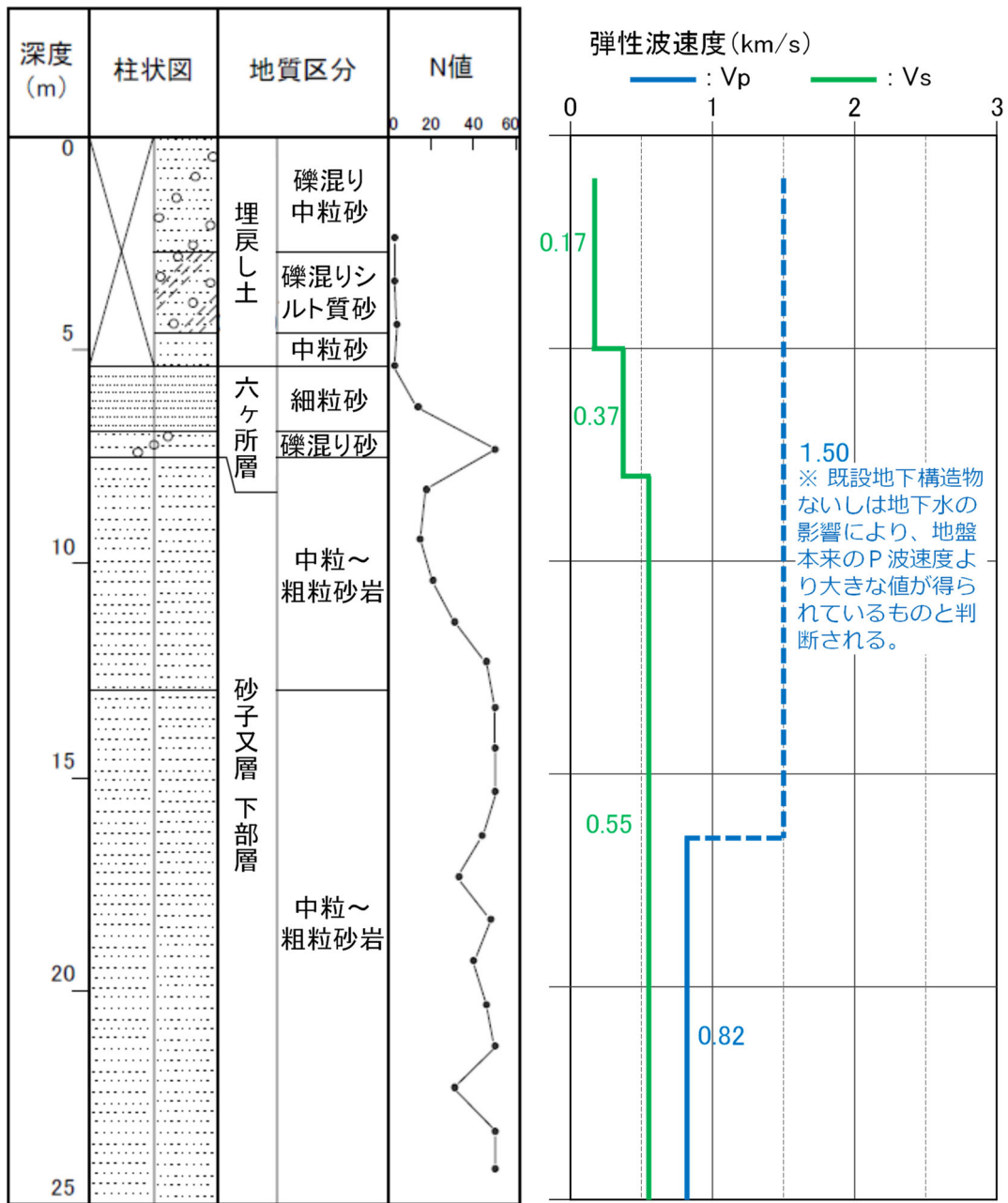
参考1-1図 ボーリング柱状図 (KT-3孔)

KT-5 (孔口標高 54.93m)



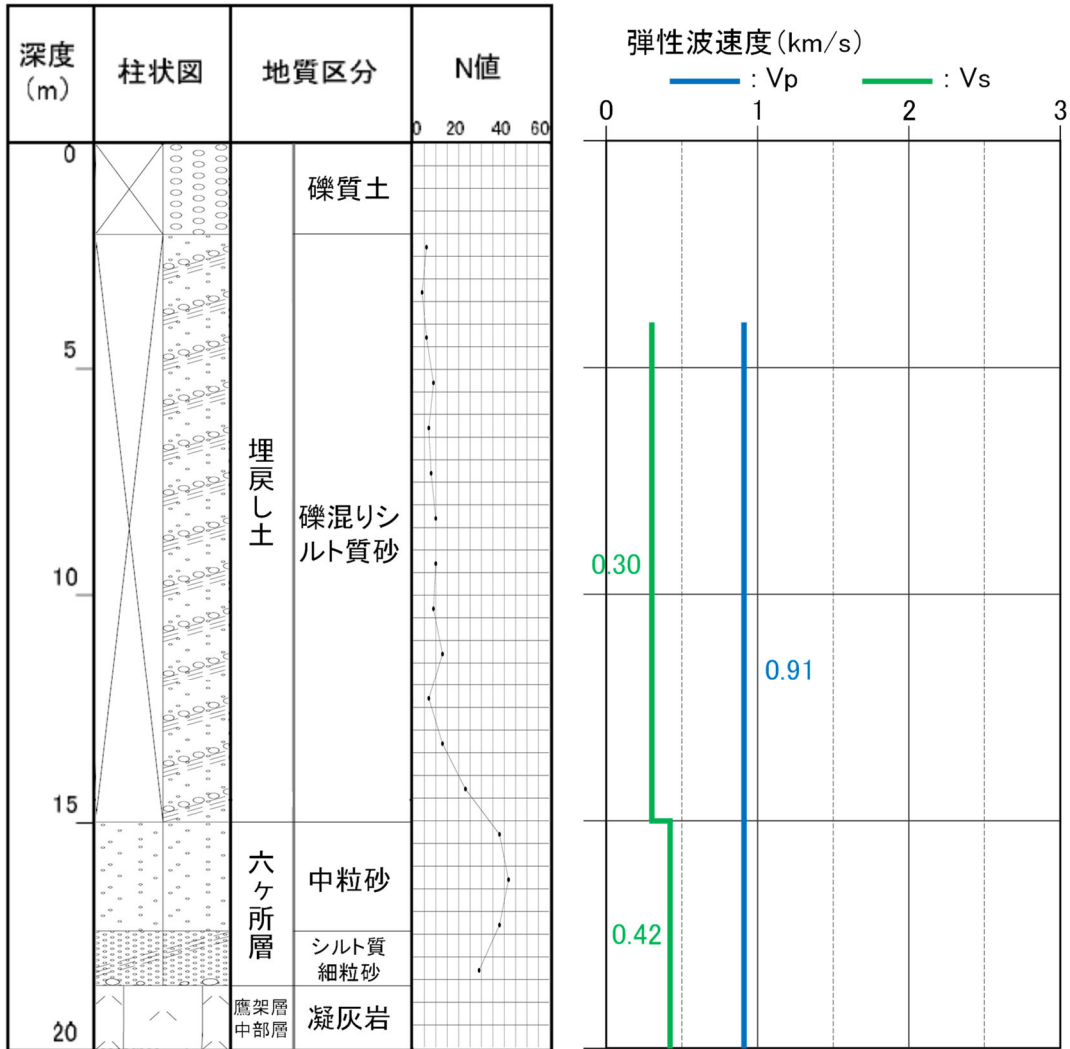
参考1-2図 ボーリング柱状図 (KT-5孔)

KT-9 (孔口標高 54.94m)



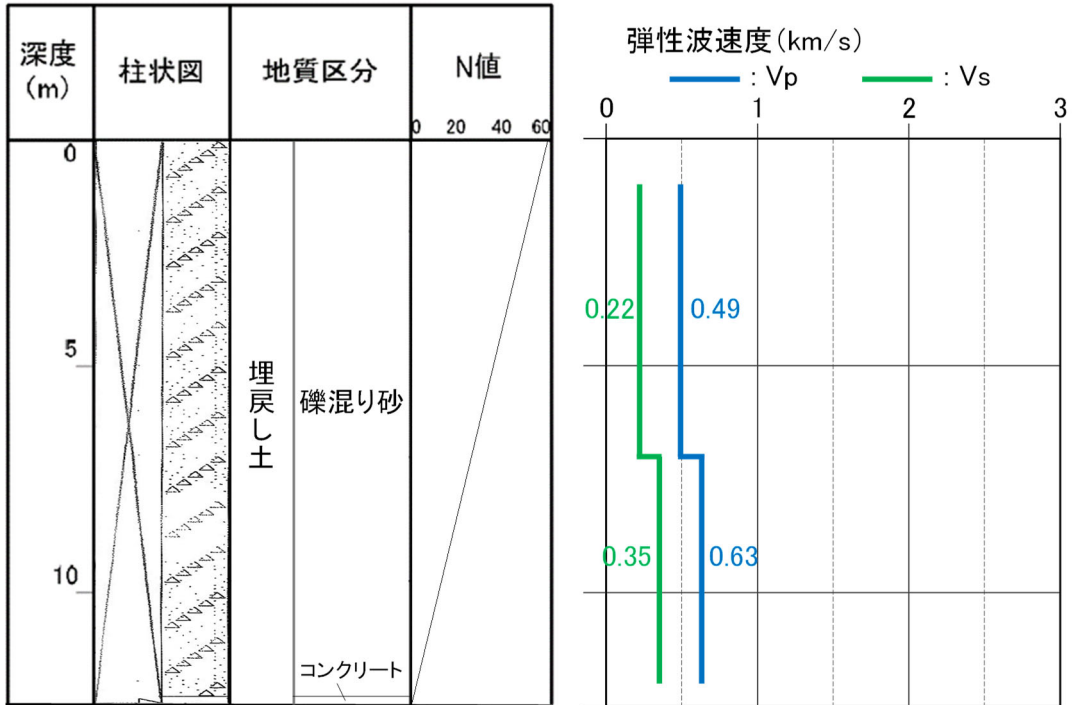
参考1-3図 ボーリング柱状図 (KT-9孔)

No.2 (孔口標高 54.99m)



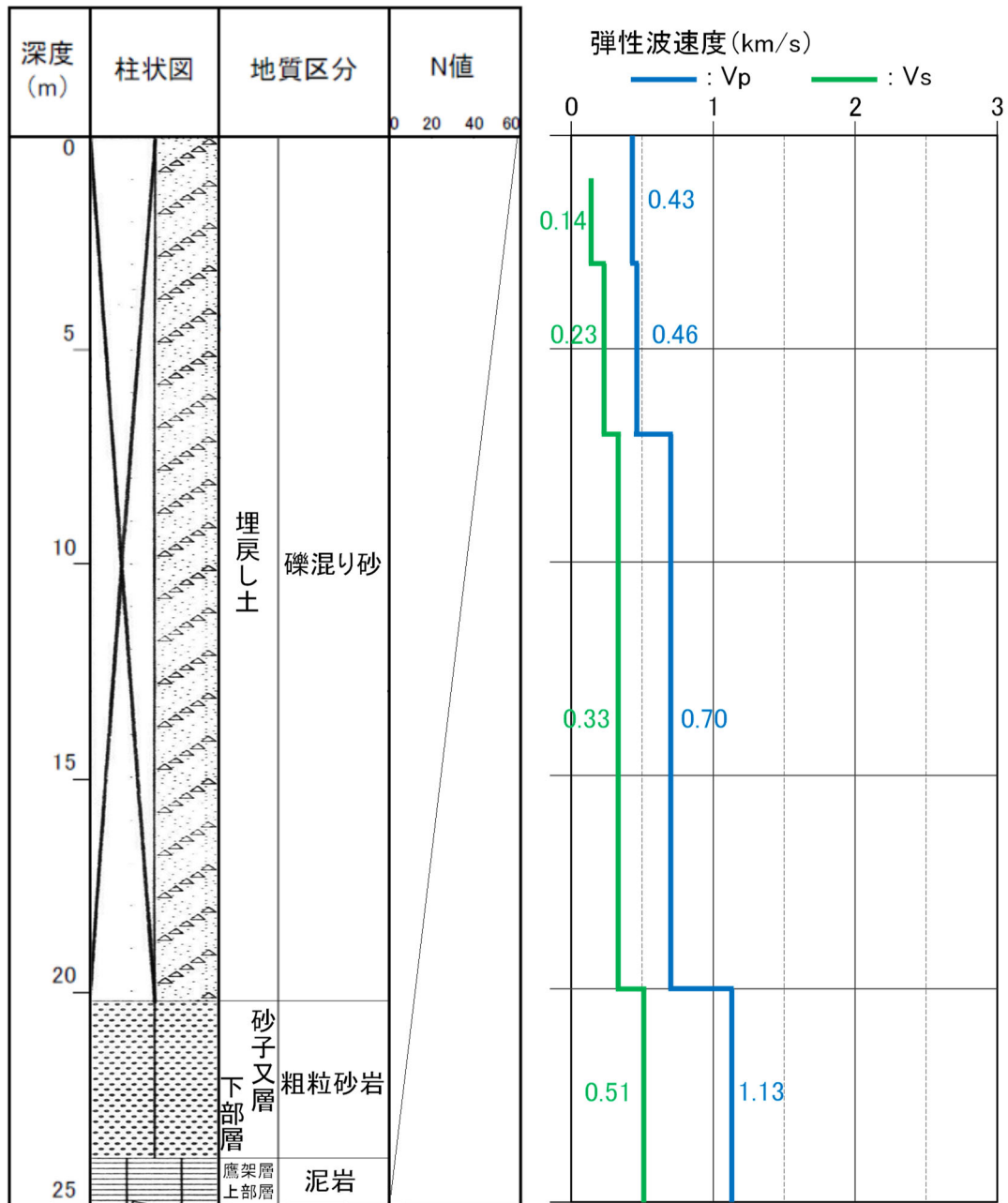
参考1-4図 ボーリング柱状図 (No. 2孔)

No.7 (孔口標高 55.20m)



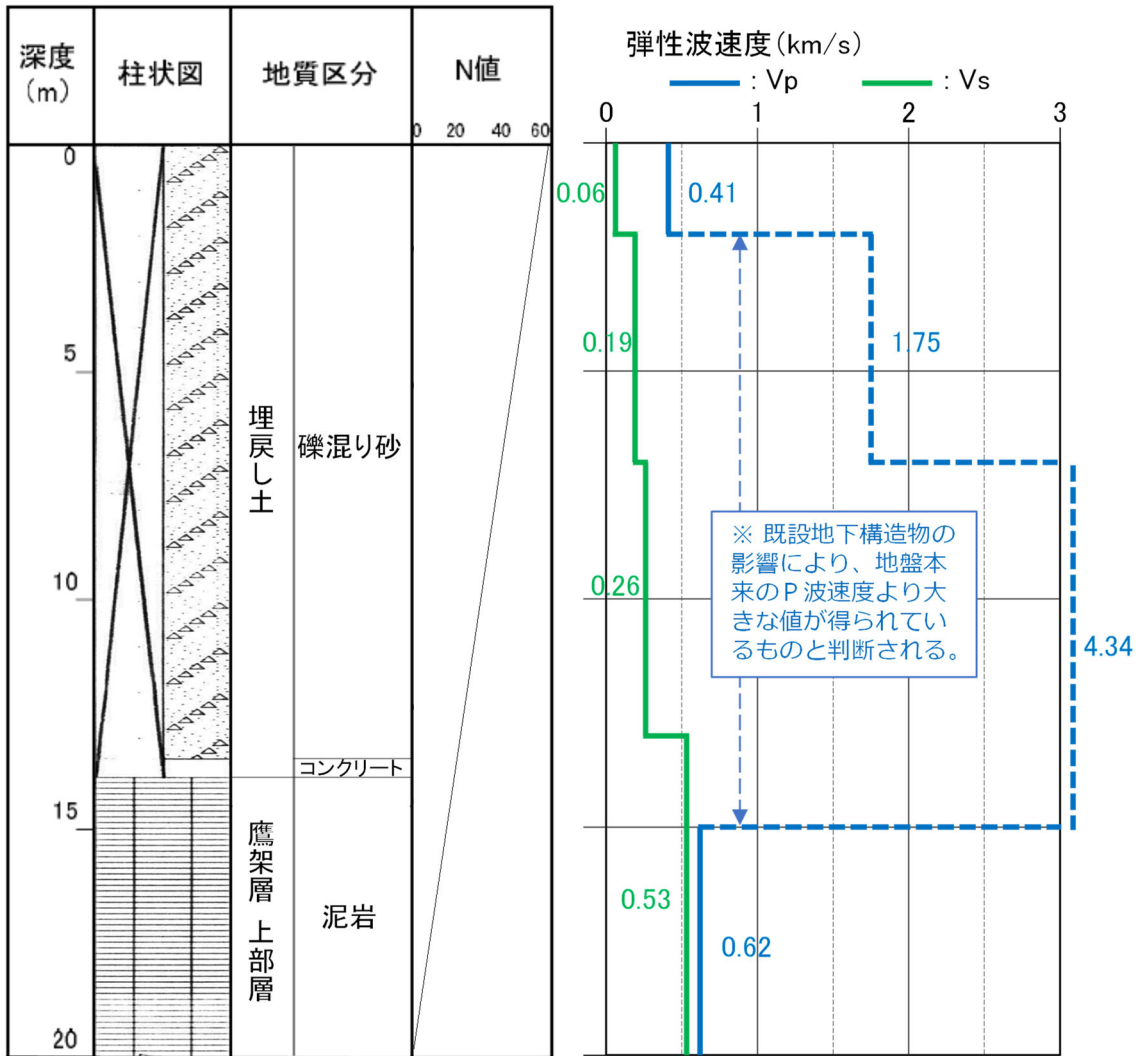
参考1-5図 ボーリング柱状図 (No. 7孔)

No.8 (孔口標高 55.03m)



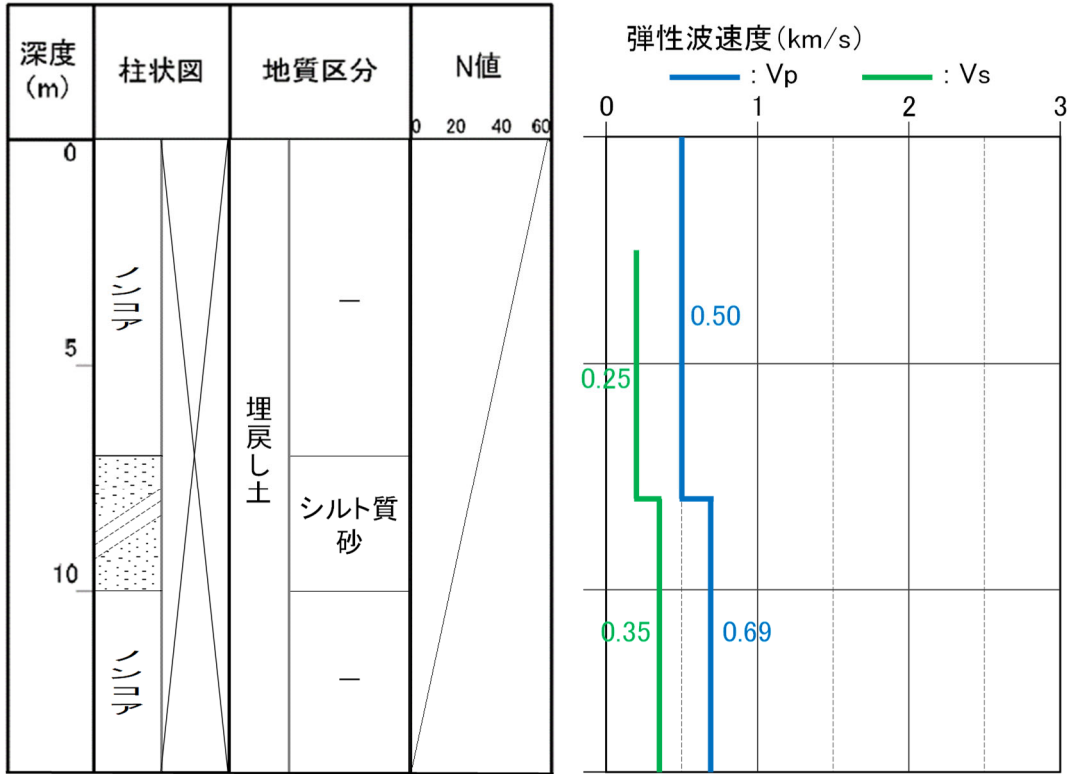
参考1-6図 ボーリング柱状図 (No. 8孔)

No.9 (孔口標高 55.10m)



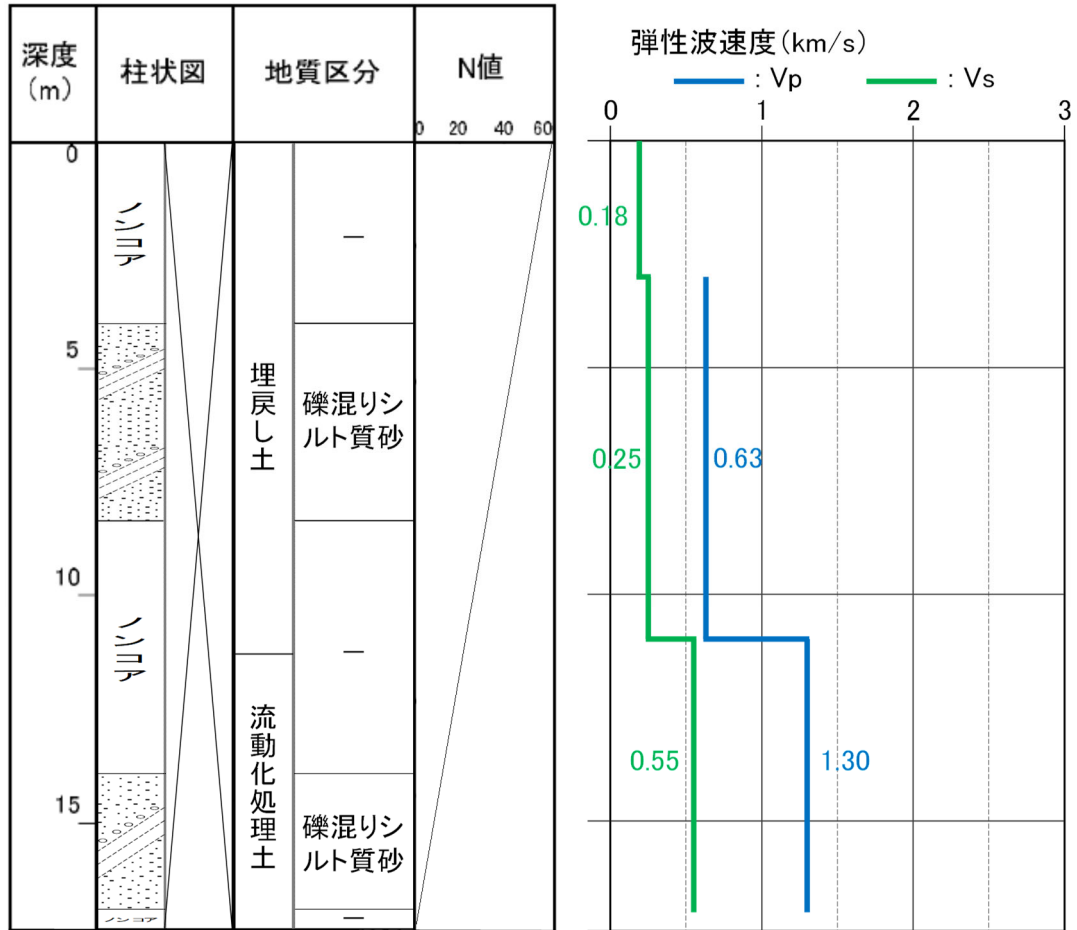
参考1-7図 ボーリング柱状図 (No. 9孔)

a-1 (孔口標高 55.03m)



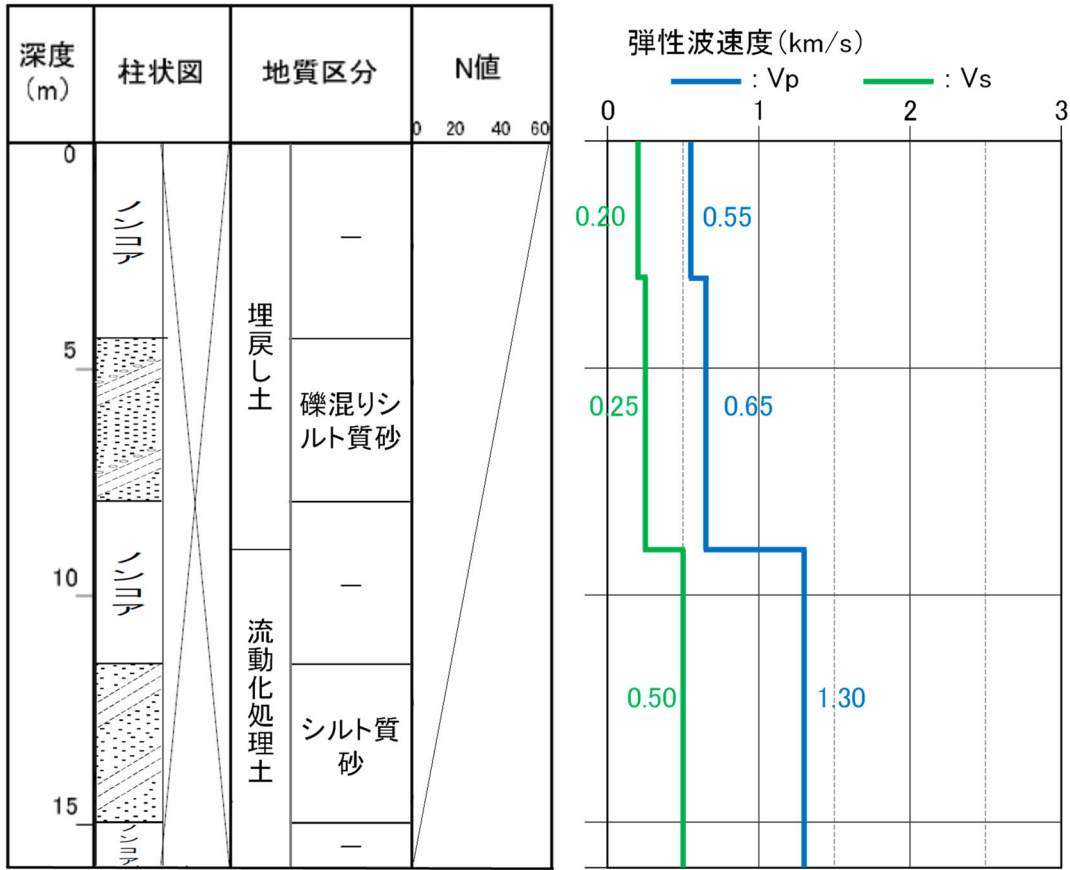
参考1-8図 ボーリング柱状図 (a-1孔)

a-4 (孔口標高 55.06m)



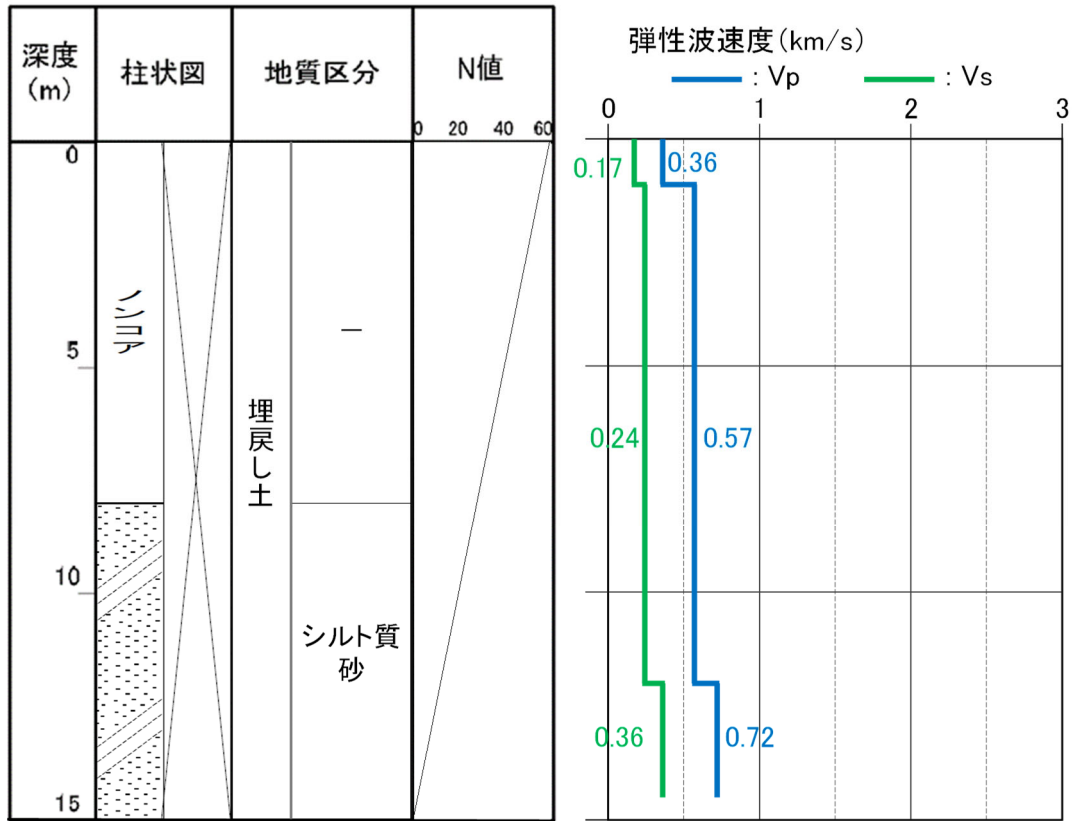
参考1-9図 ボーリング柱状図 (a-4孔)

b-2 (孔口標高 55.04m)



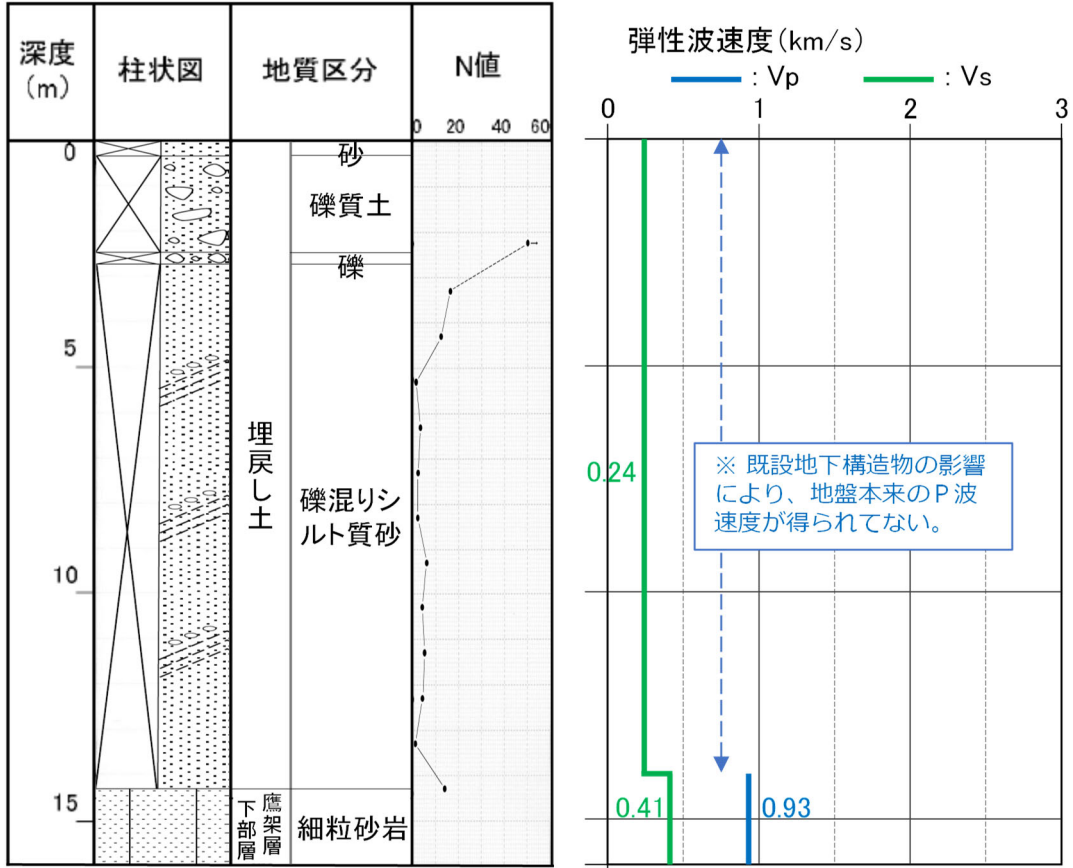
参考1-10図 ボーリング柱状図 (b-2孔)

b-4(孔口標高 54.95m)



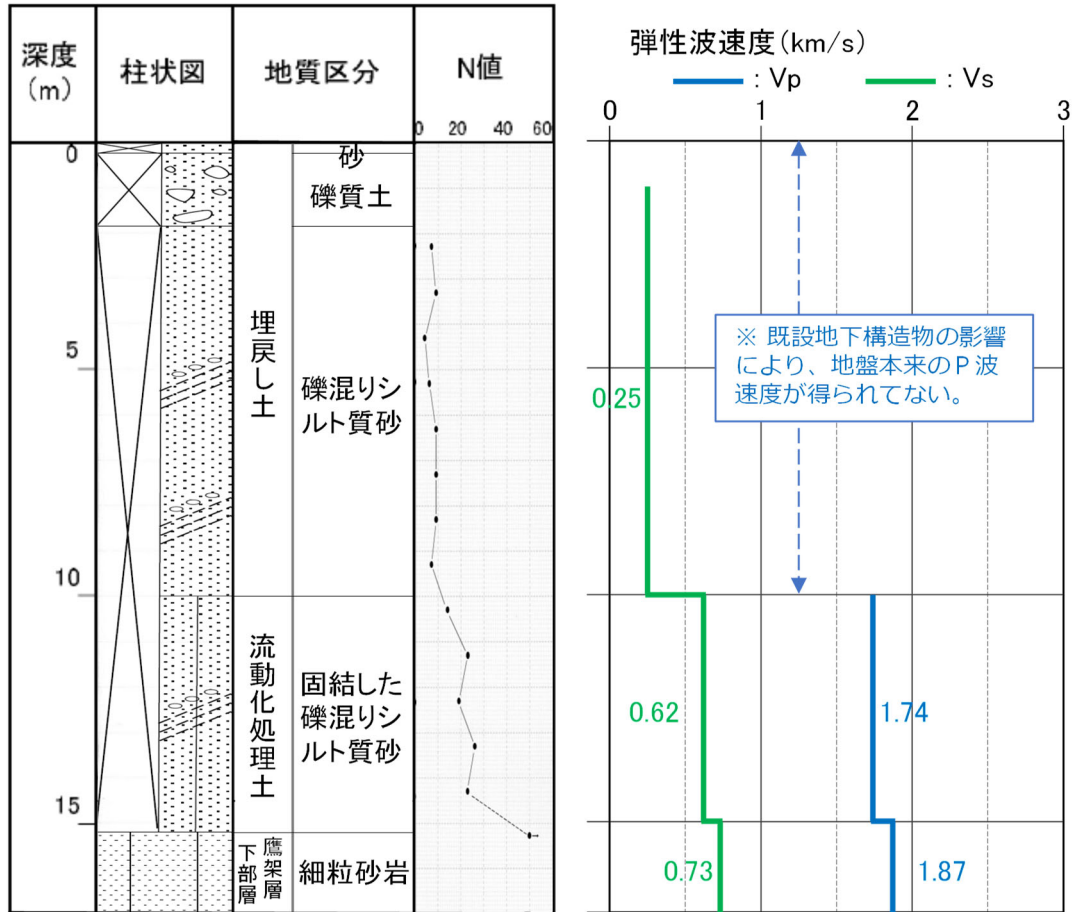
参考1-11図 ボーリング柱状図 (b-4孔)

TY-20-1 (孔口標高 54.98m)



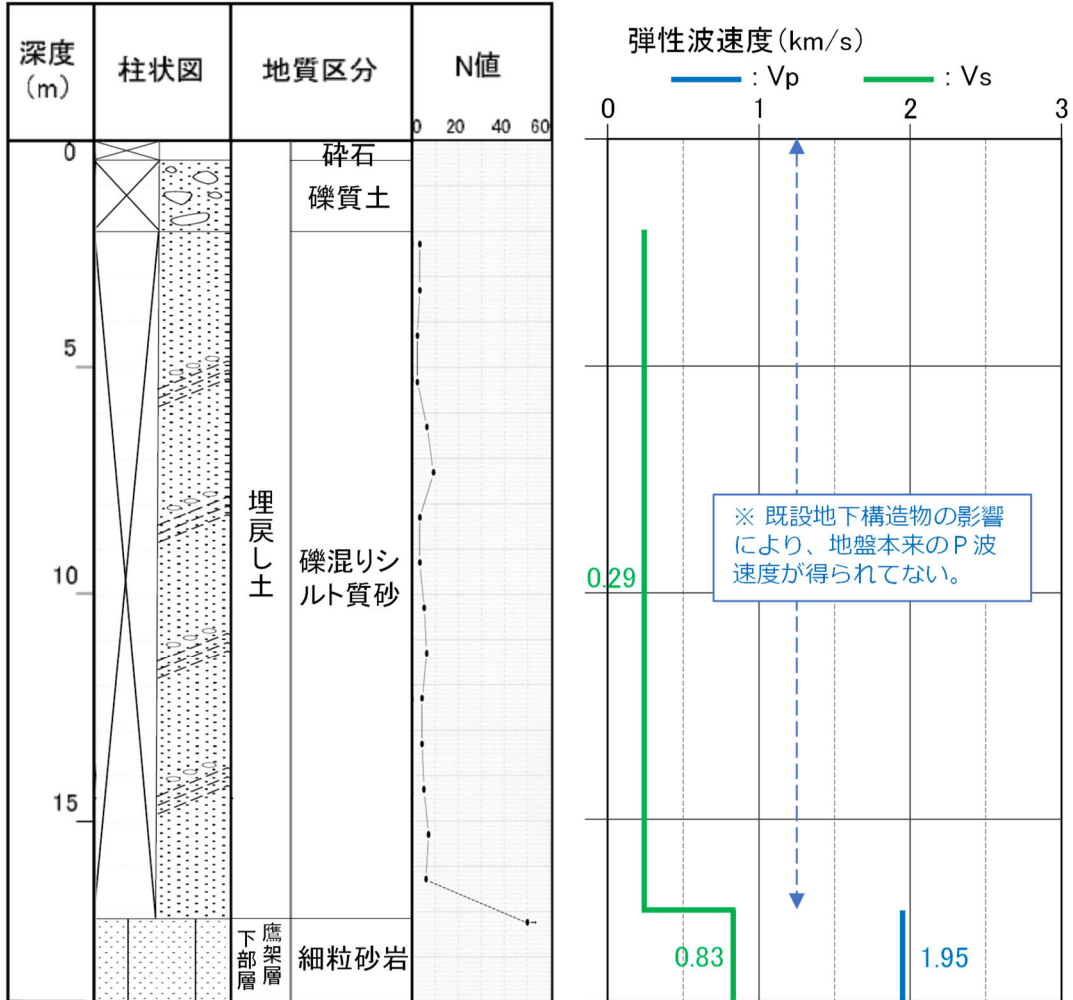
参考1-12図 ボーリング柱状図 (TY-20-1孔)

TY-20-2 (孔口標高 55.08m)



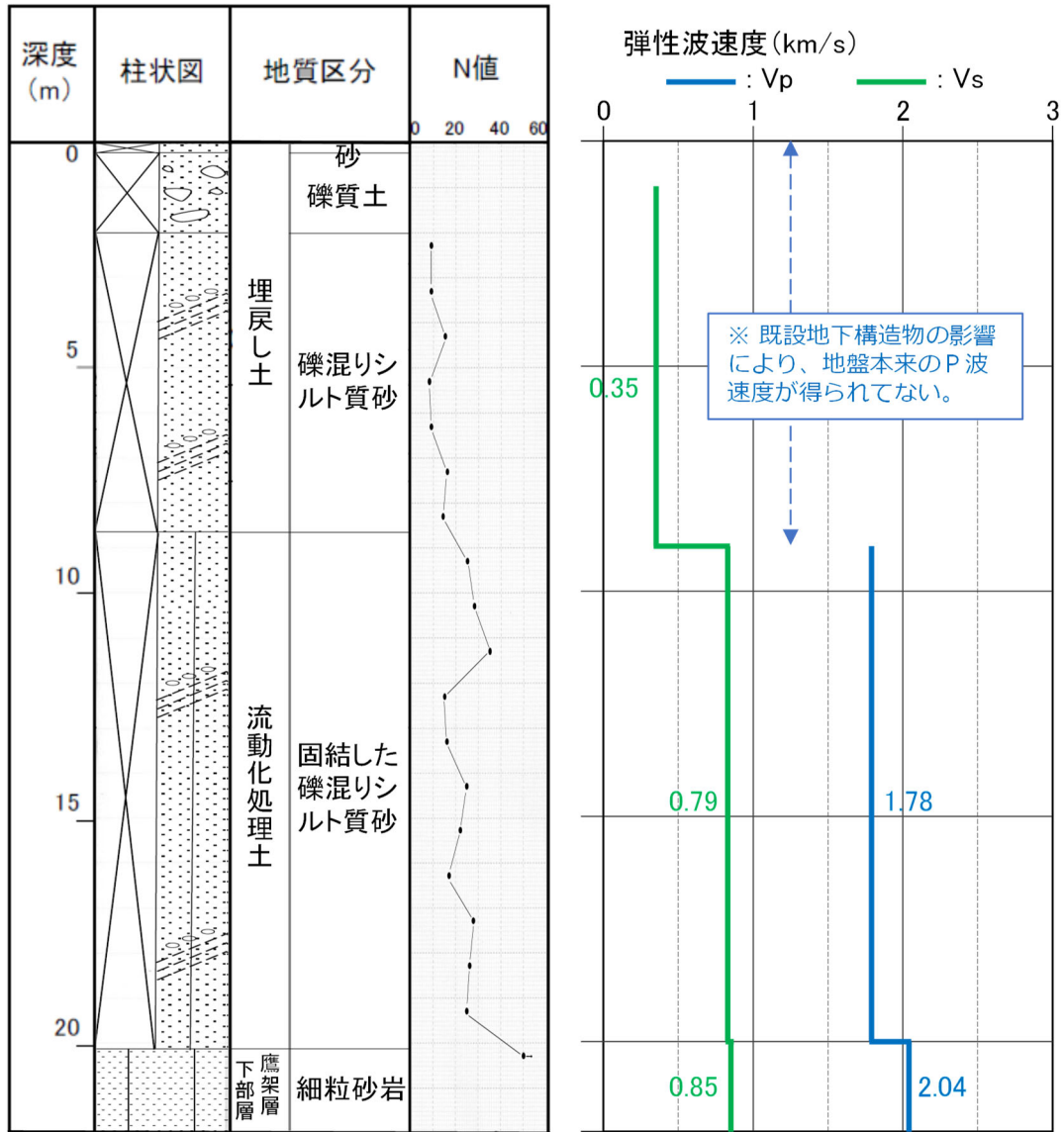
参考1-13図 ボーリング柱状図 (TY-20-2孔)

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)

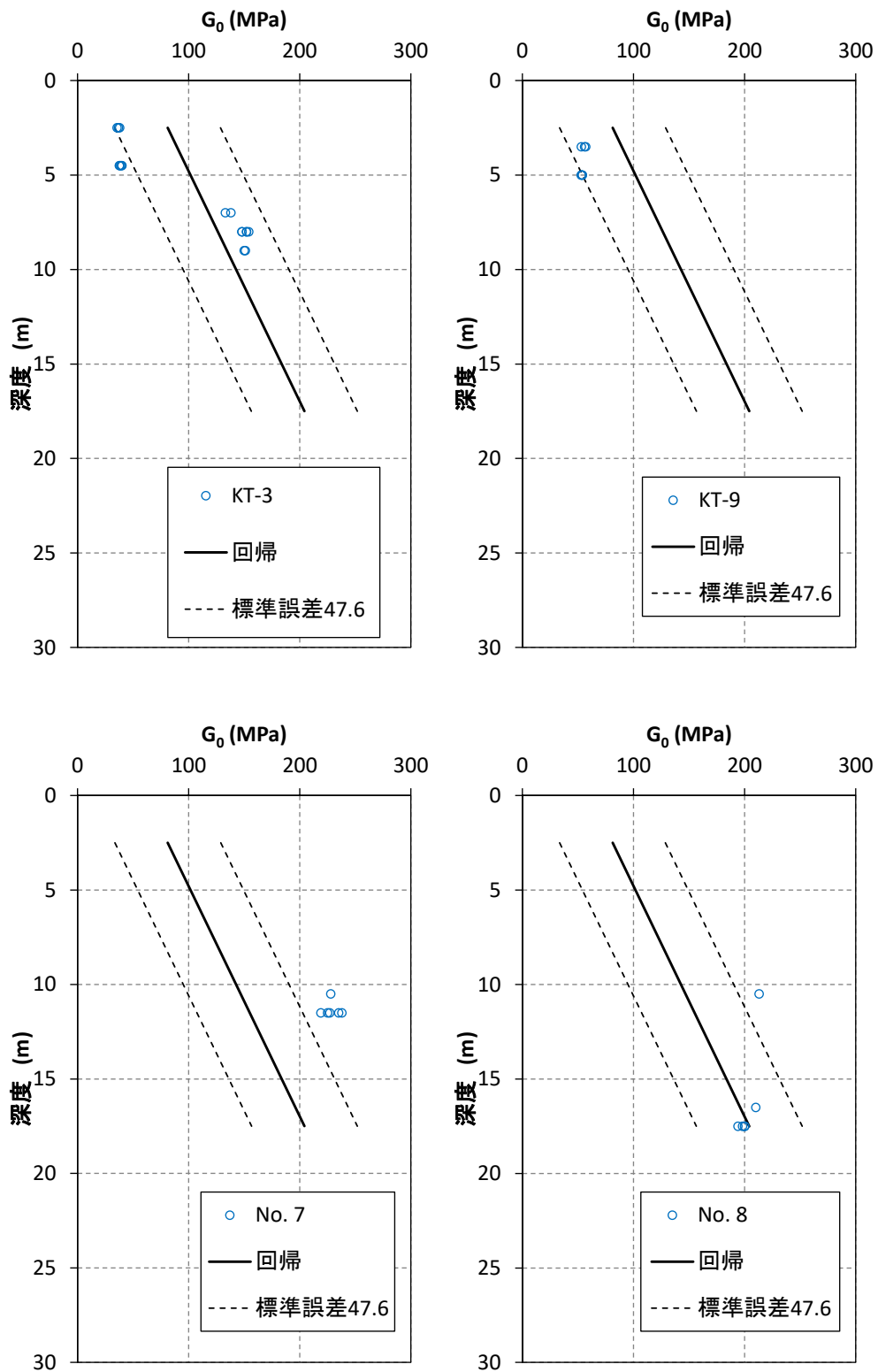


参考1-15図 ボーリング柱状図 (TY-20-5孔)

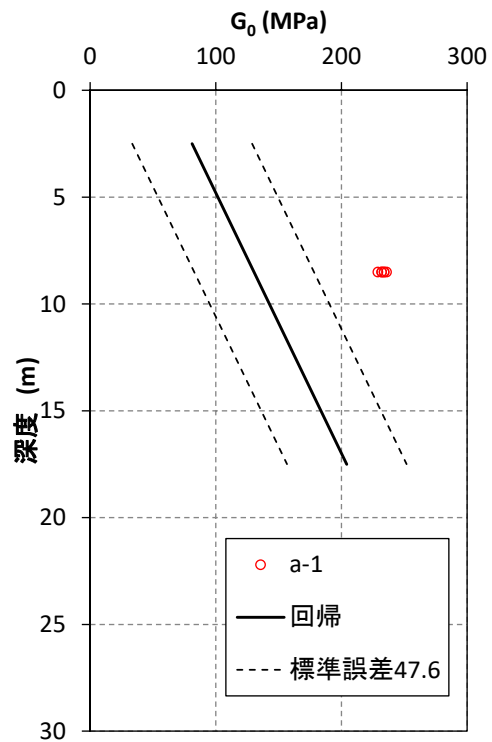
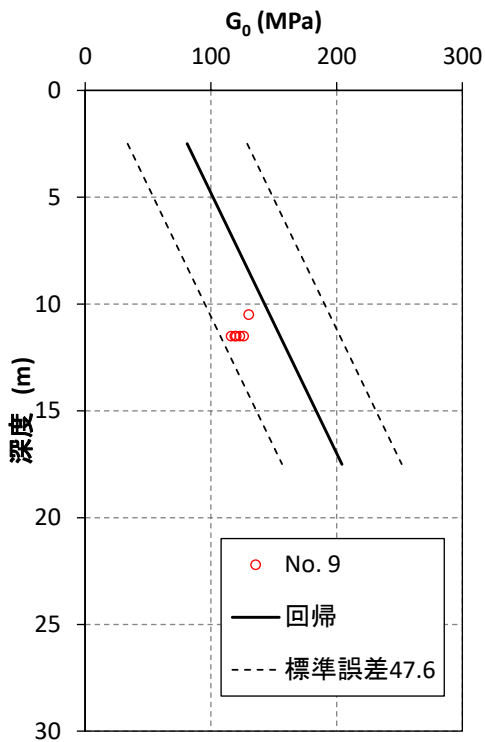
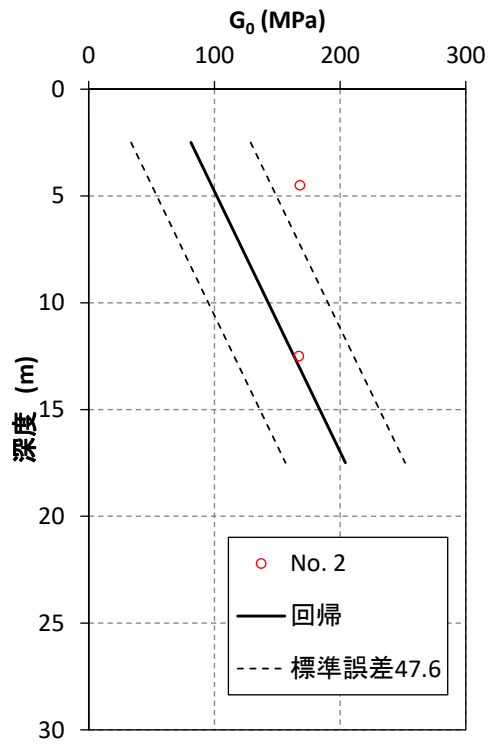
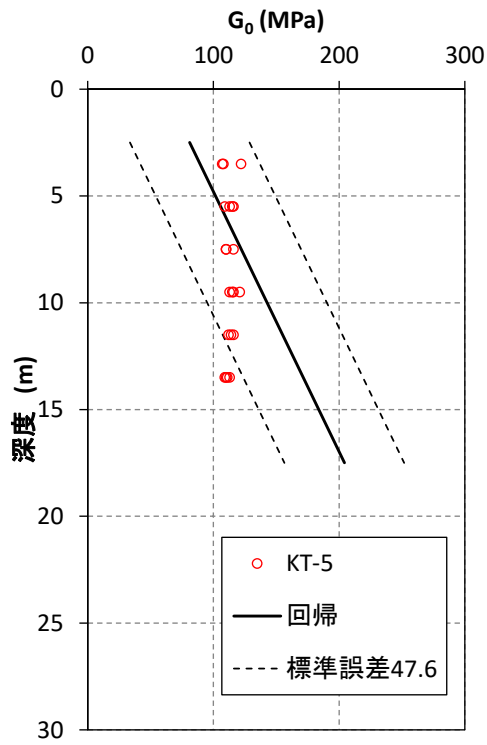
参考 2

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

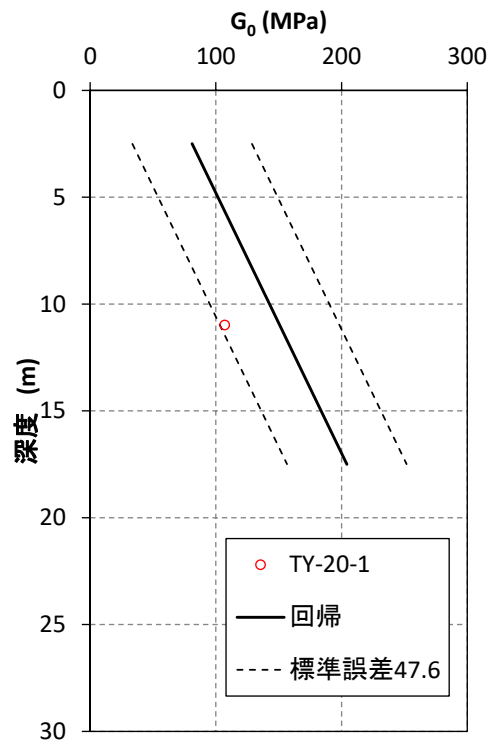
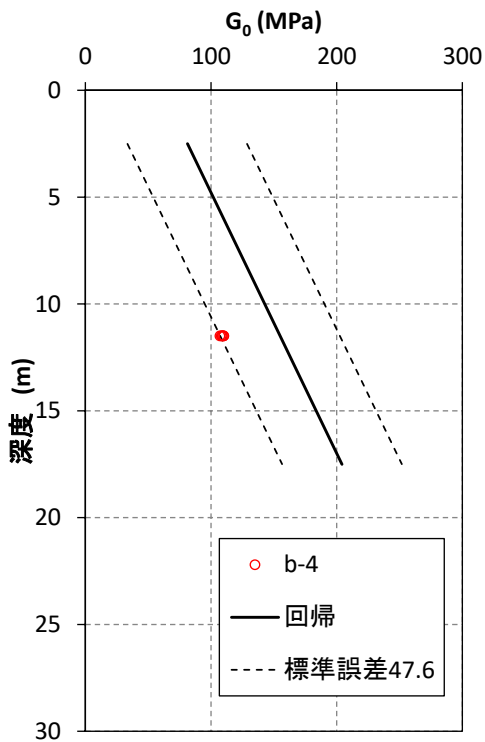
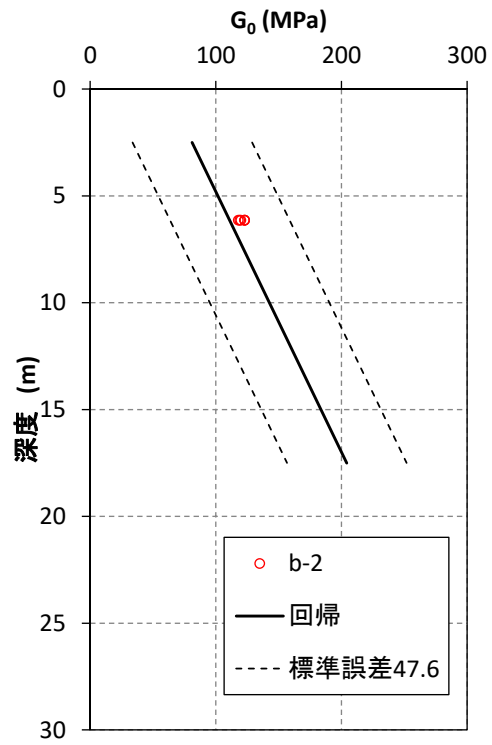
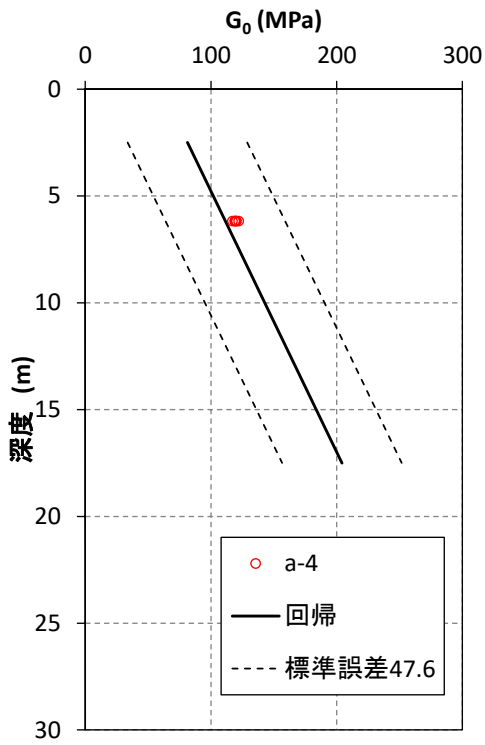
本編 2.1.3 埋戻し土の均質性の検討における埋戻し土のボーリング孔における G_0 と測定深度の関係について参考 2-1 図～参考 2-2 図に示す。



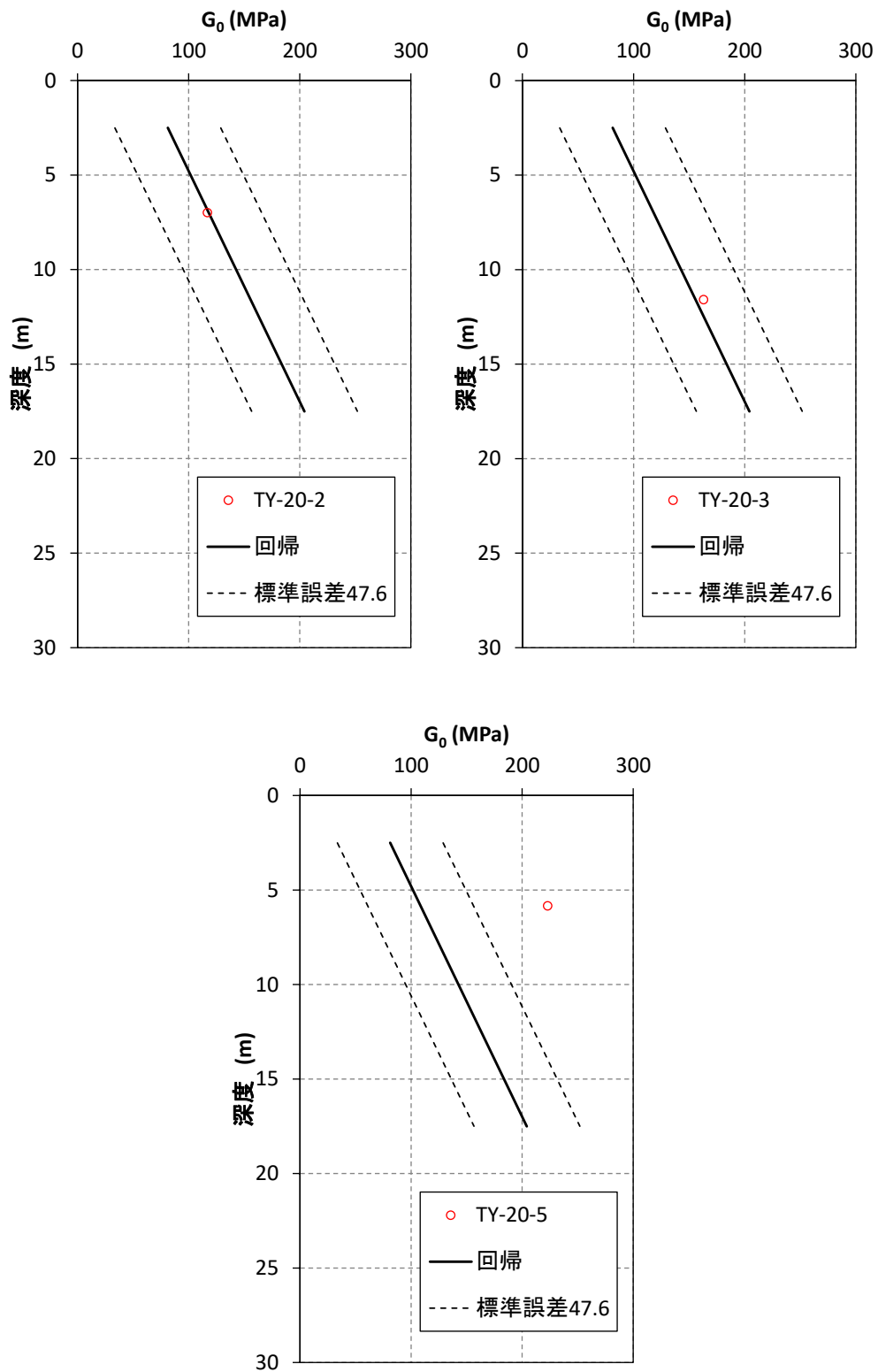
参考 2-1 図 ボーリング孔毎の埋戻し土の G_0 (1999 年以前)



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

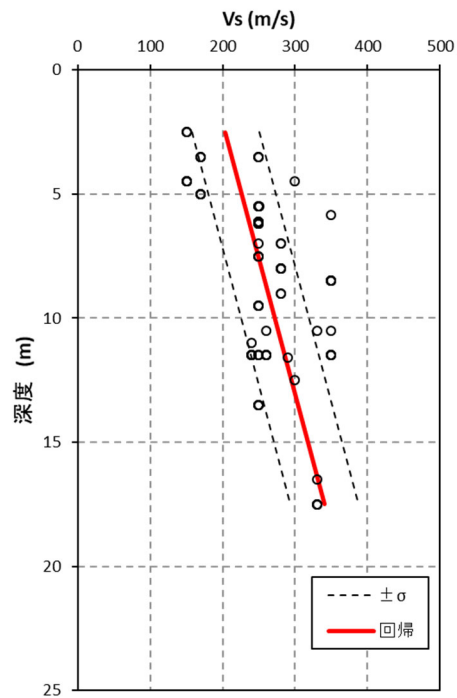
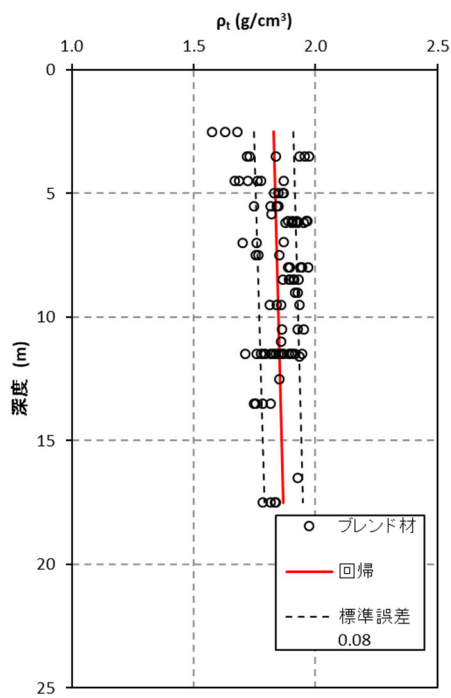
データセットの V_s による G_0 回帰について

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。

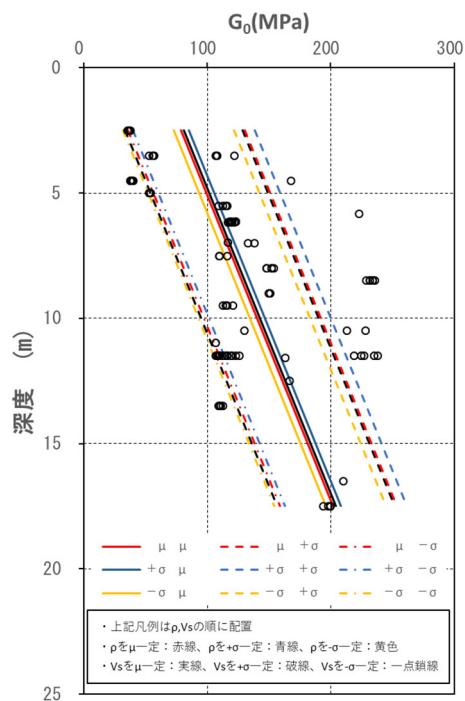
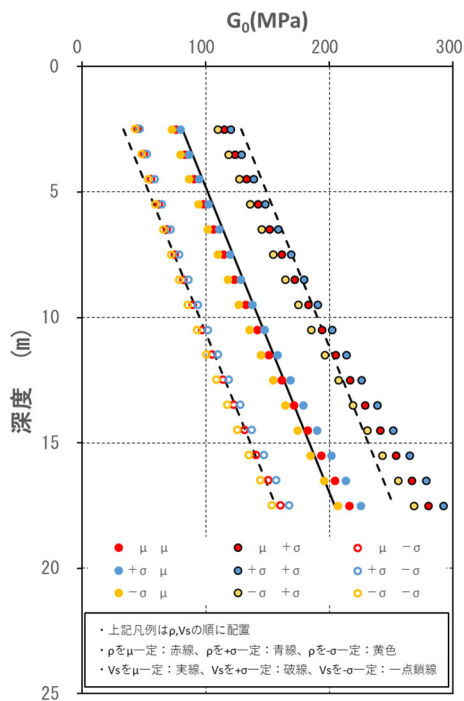
動的変形特性に用いる G_0 は、参考3-1図に示すPS検層（ダウンホール方式）による V_s と同孔から採取された ρ_t （ノギス法）によるデータセットから算定した値の統計量（平均，標準偏差）として表されるのが一般的である。ここでは， G_0 を算出する元データである ρ_t と V_s の統計量の観点からそれぞれの平均と標準誤差の組み合わせから得られる G_0 の分布について整理を行った。

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

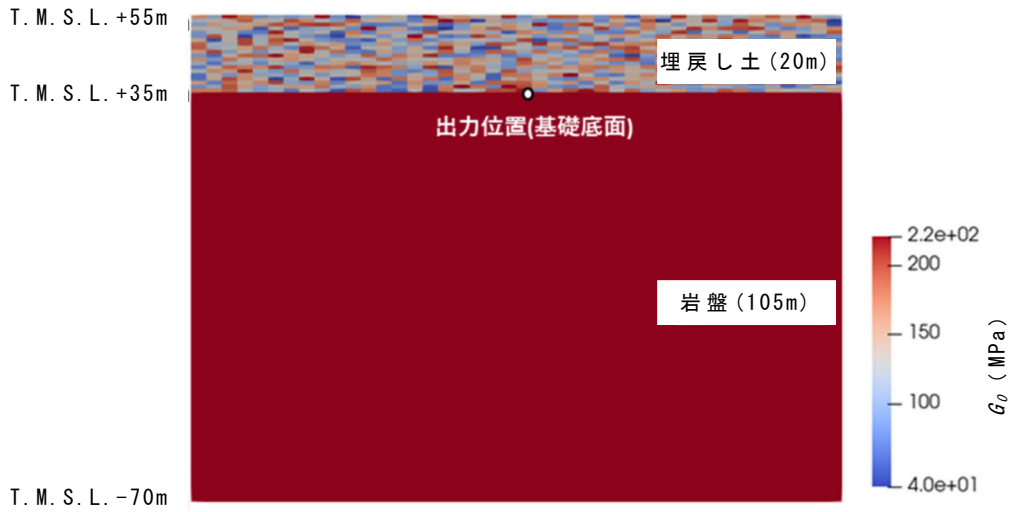
(1) ばらつきを有する表層地盤の加速度応答

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。

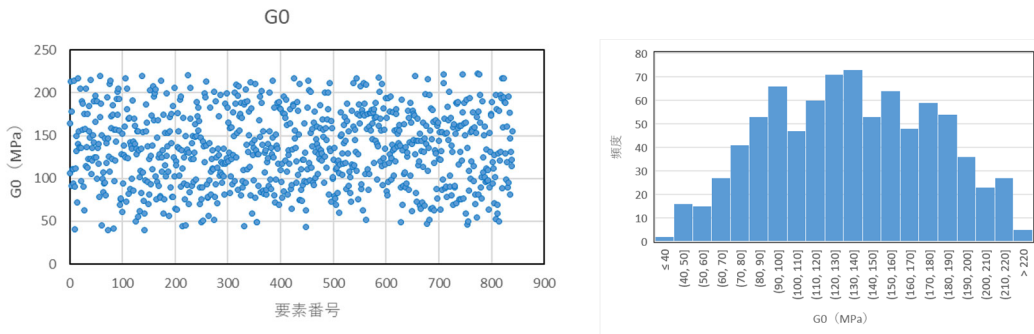
そこで，表層地盤（埋戻し土）のばらつきの確率密度分布を表層部にランダムに与えた場合の加速度応答による平均とばらつきの比較及び表層地盤（埋戻し土）の深度依存も考慮した場合の不確からしさ（ばらつきの特徴）についてモンテカルロシミュレーションを用いて検討した。

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。この統計量に基づき，参考4-2図に示すような正規分布による標準偏差 $\pm 1\sigma$ の物性値を表層地盤要素840個に対してランダムに設定した。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)

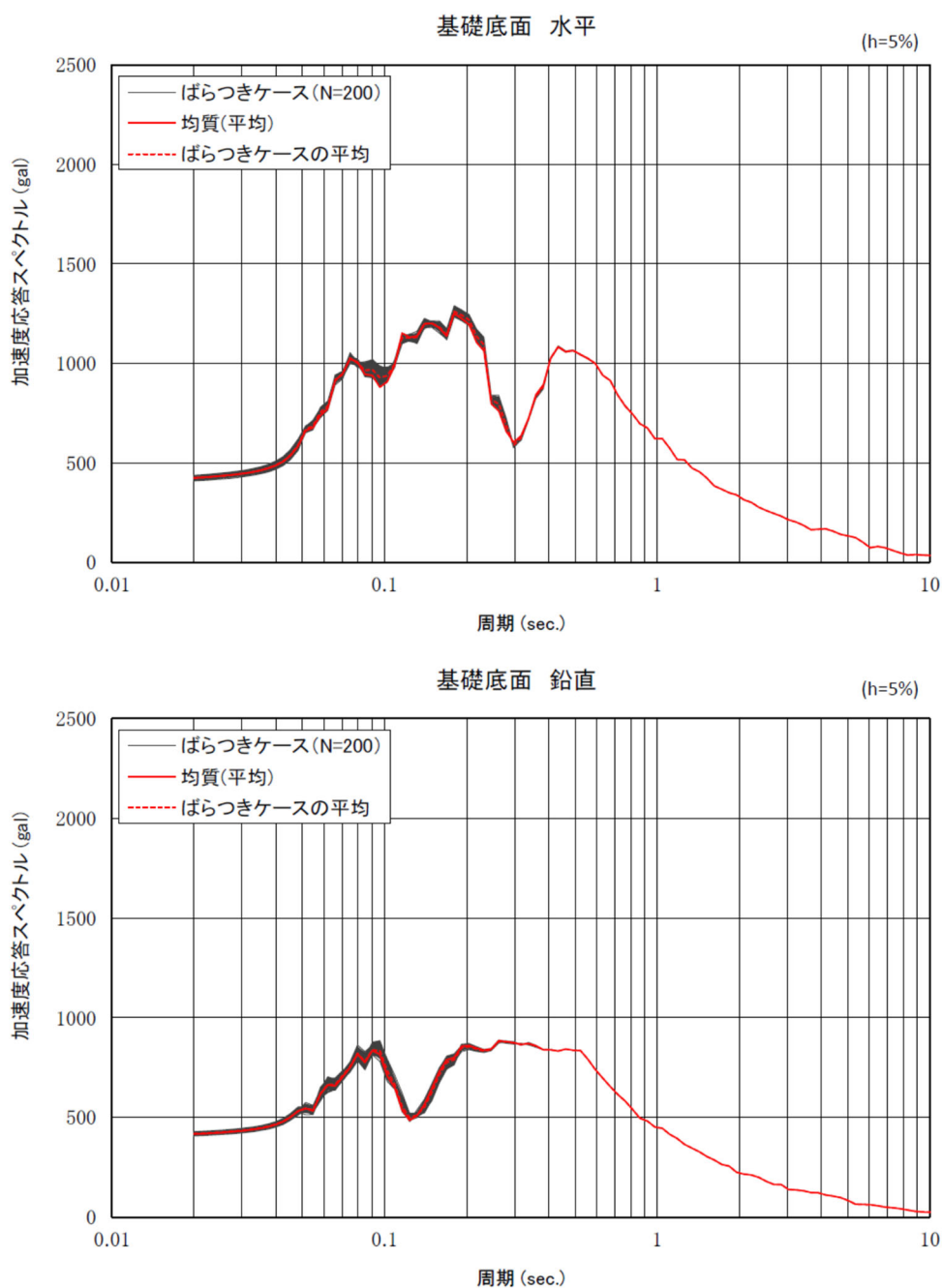


参考4-2図 表層地盤の確率密度分布の例 (G_0 分布, ヒストグラム)

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4-3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。

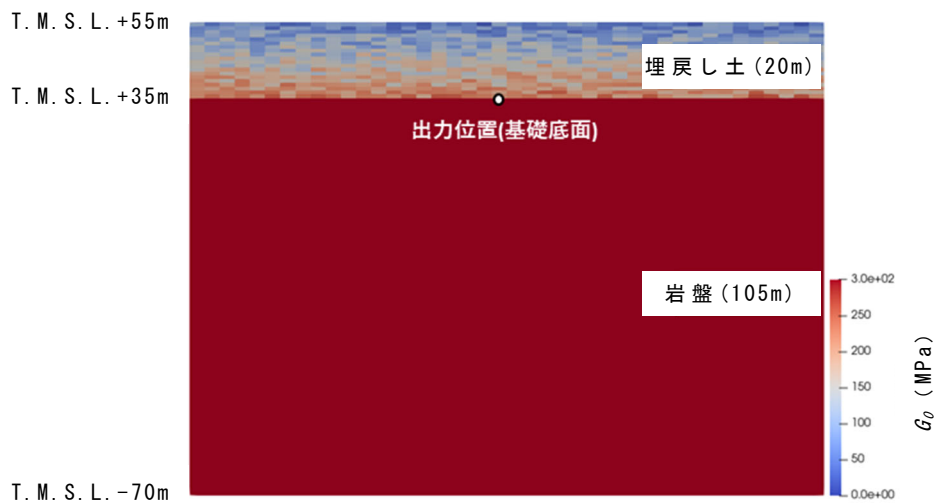


参考4-3図 モンテカルロシミュレーションにおける加速度応答スペクトル

(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4-4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



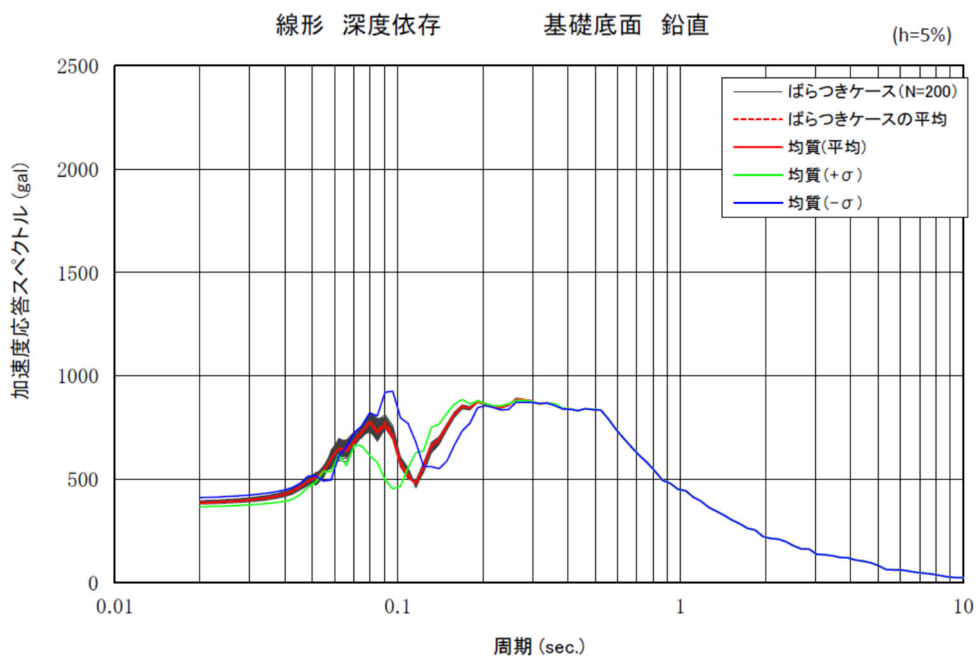
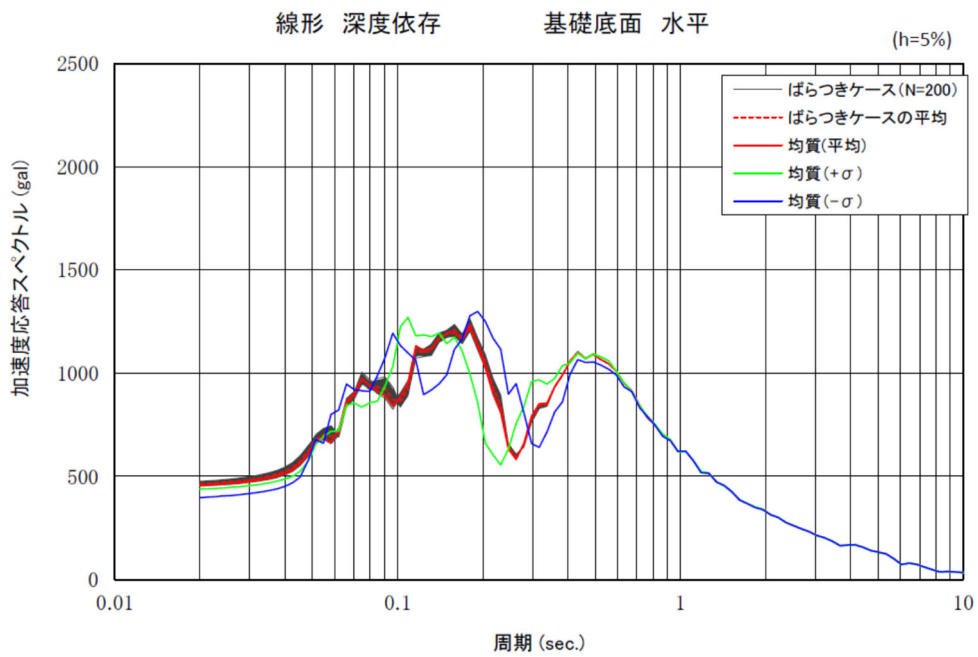
(2) 深度方向依存平均モデル例(+1 σ)

参考4-4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)	

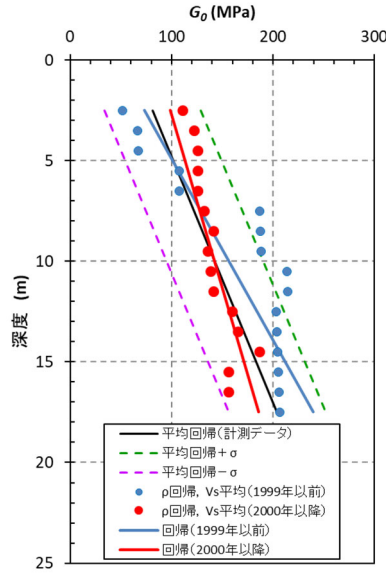
解析結果として、参考4-5図に岩盤上限面（参考4-4図における出力位置）の加速度応答スペクトルを示す。表層地盤に深度方向依存のばらつきを与えたケース（赤線：均質，グレー：ばらつき）においても加速度応答スペクトルは、平均値を均質に与えた加速度応答スペクトルとおおむね一致することを確認した。また、表層地盤に深度方向依存の $\pm 1\sigma$ を均質物性として与えたケース（ $+\sigma$ ：緑線， $-\sigma$ ：青線）の加速度応答スペクトルは、それぞれ表層地盤の固有周期が変化する方向（ $+\sigma$ は低周期側， $-\sigma$ は高周期側）へおおむね平行に移動する。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。



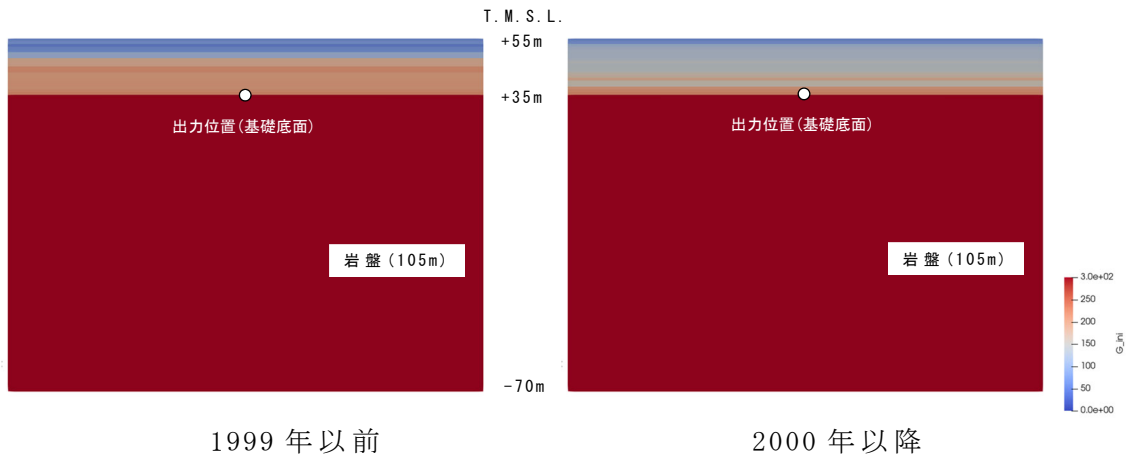
参考4-5図 モンテカルロシミュレーションにおける加速度応答スペクトル

(3) 施工年代別の補完 G_0 による加速度応答スペクトルの比較

参考 4-6 図に示す 1999 年以前、2000 年以降の補完 G_0 の分布を用いて、2 次元周波数応答解析を実施し、加速度応答スペクトルの比較を実施した。



参考 4-6 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



参考 4-7 図 解析モデル図 (深度方向依存考慮)

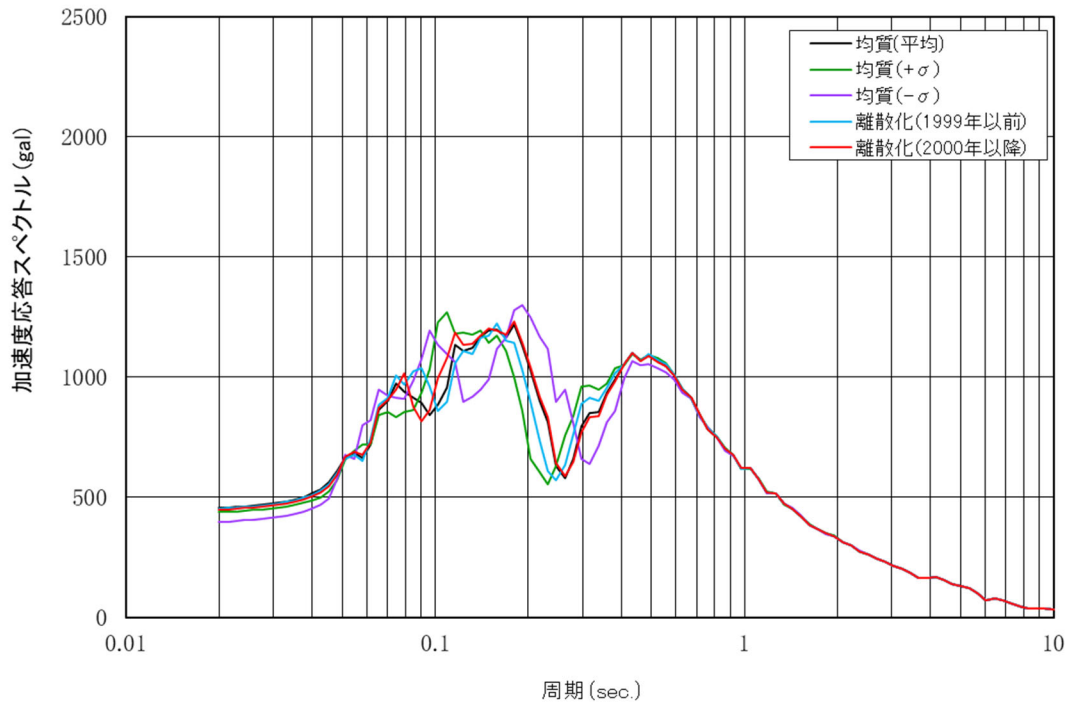
参考 4-7 図に解析モデル図、参考 4-3 表に解析に用いた物性諸元を示す。なお、計測データによる G_0 の平均回帰モデルについては、前述の参考 4-2 表の回帰平均及び標準誤差 $\pm 1\sigma$ の物性諸元と同様である。

参考 4-3 表 解析モデル物性諸元

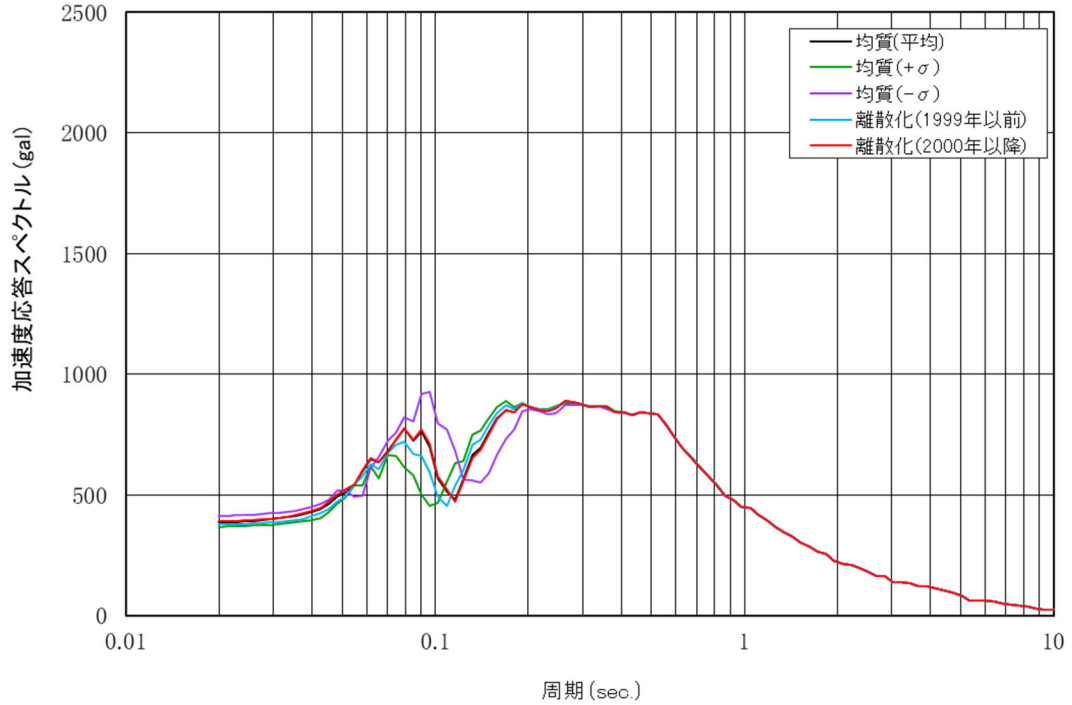
項目	仕様	備考
モデルサイズ	幅168m×深さ125m	
要素数	埋戻し土：840 鷹架層：1176	
境界条件	側方：自由境界 底盤：粘性境界	
表層物性値	1999年以前の G_0 (1m離散平均) 2000年以降の G_0 (1m離散平均) $\nu d=0.39$ $h=0.03$	参考4-6図参照
岩盤物性値	$G_0=1600\text{MPa}$ $\nu d=0.38$ $h=0.03$	細粒砂岩解放基盤相当
入力地震動	Ss-A (T.M.S.L. - 70m : 2E入力)	

参考 4-8 図に、計測データによる G_0 の平均回帰及び標準誤差 $\pm 1\sigma$ 、1999 年以前、2000 年以降の V_s を用いて離散化した補完 G_0 による基礎底面位置での加速度応答スペクトルの比較を示す。図によれば、2000 年以降の G_0 分布による加速度応答スペクトル（赤線）は、計測データの平均回帰による加速度応答スペクトル（黒線）とほぼ一致（建屋固有周期帯の 0.2s~0.5s では一致）している。1999 年以前の G_0 分布による加速度応答スペクトル（青線）は、計測データの平均回帰による加速度応答スペクトル（黒線）に比べて短周期側に水平にシフトするものの計測データによる G_0 の標準誤差 $\pm 1\sigma$ 回帰（緑線： $+\sigma$ 、紫線： $-\sigma$ ）の加速度応答スペクトルにおおむね包絡されることが確認できた。

基礎底面 水平



基礎底面 鉛直



参考4-8図 各 G_0 回帰による加速度応答スペクトルの比較

(4) 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。また、施工年代別の補完 G_0 分布の回帰が標準誤差 $\pm 1\sigma$ 以内に収まっていれば、標準誤差を考慮することで加速度応答スペクトルはほぼ包絡される。

参考5

表層地盤の物性値等に係る追加調査について

本編 2.3 埋戻し土のまとめにおけるボーリング調査データの追加取得について、調査計画を以下に示す。

(1) 埋戻し土の物性調査

埋戻し土の G.L. -20m までの動的変形特性に係る物性値について、敷地全体における施工年代も合わせた深度依存特性及びばらつきの分布性状を把握する。調査結果については、基本地盤モデルに適用する埋戻し土の解析用物性値のばらつき及び深度依存特性が同等であることを確認し、信頼性の向上を図る。

(2) 調査内容

動せん断弾性係数 G_0 については、「2.1.2 埋戻し土の物性値設定について」で示した埋戻し土の物性設定において、平面的に採取されていない箇所及び埋戻し土の深部における湿潤密度 ρ_t とせん断波速度 V_s のデータ取得に係る調査・試験を実施する。試験方法は既往のデータ取得と同様に JIS A 1225 「土の湿潤密度試験方法」及び JGS 1122-2012 「地盤の弾性波速度検層方法」を参考とする。

(3) 調査位置

調査候補位置を参考 5-1 図に示す。選定の考え方については、以下のとおりとする。なお、図に示す埋戻し土の範囲は、埋戻し工事直後の形状のため、現状では、施設または設備が設置された箇所あるいは地盤改良が実施された箇所もあり、変更あるいは実施できない可能性がある。

- ・平面的に既往孔と間隔が空いているところ
- ・深度依存特性を把握するため、深部まで埋戻し土が施工されているところ

上記を踏まえ、以下に示す箇所を追加調査候補地として選定する。各年代における選定数の振り分けについては、第 2.1.1-1 表に示すとおり、施工量として 1999 年以前は全体に対し 2 割程度、2000 年以降は 8 割程度であり、比例的であることから妥当であると考えらる。

a. 1999 年以前 (3 孔程度)

- ・平面的に採取されていない領域である KT-3 孔と KT-9 孔の間において埋戻し土施工深さが深いと想定される箇所 (追加③)
- ・KT-3 孔と No. 7 及び No. 8 の間において埋戻し土施工深さが深いと想定される箇所 (追加④及び追加⑤)

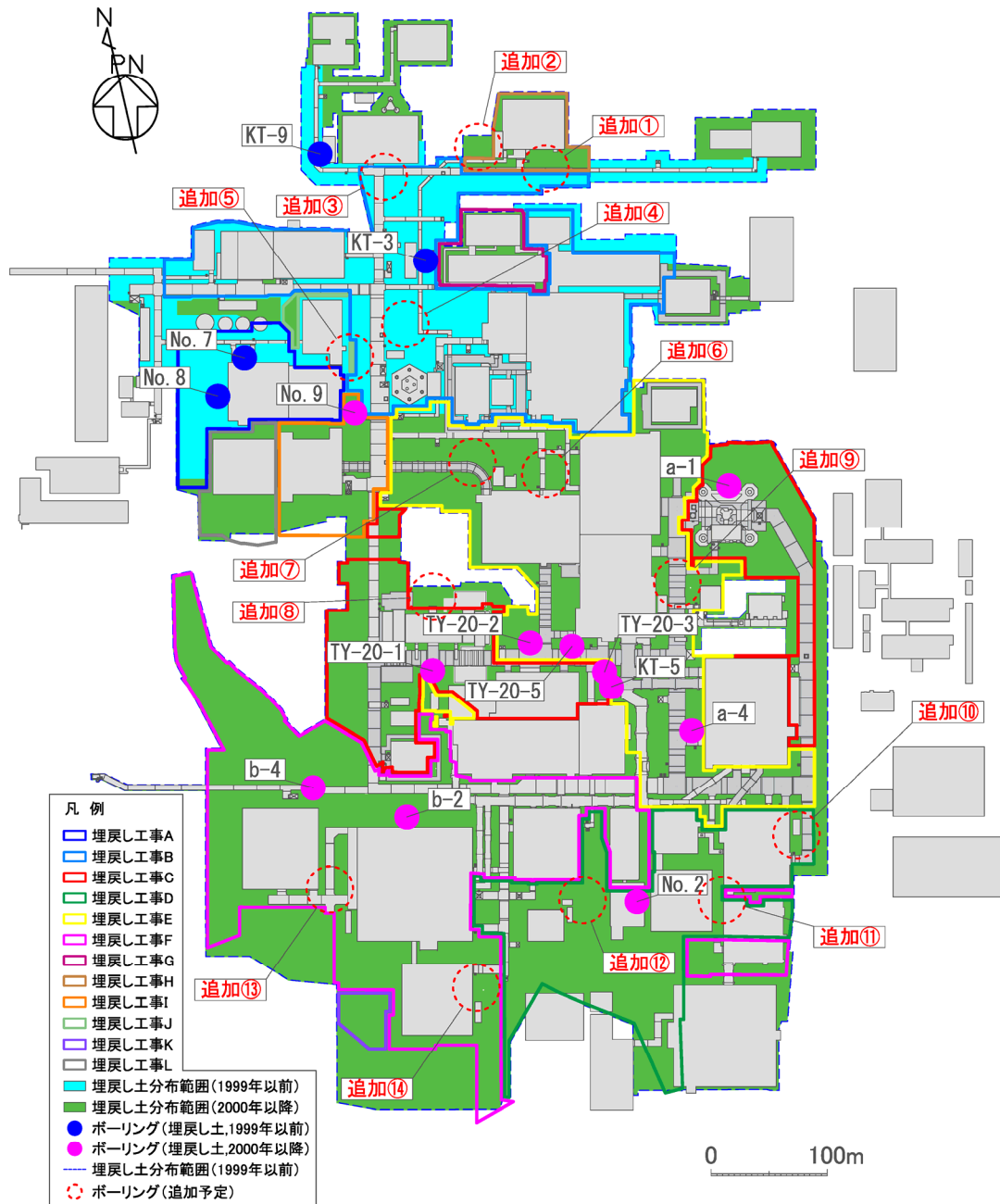
b. 2000 年以降 (11 孔程度)

- ・掘削領域北側の AE 建屋廻りにおいて埋戻し土施工深さが深い箇所 (追加①及び追加②)
- ・掘削領域中央部の平面的に採取されていない領域である KA 建屋北側及び AA 建屋西側 (追加⑥及び追加⑦)、GA 建屋北側 (追加⑧) 及び AB 建屋東側 (追加⑨)
- ・掘削領域東側の平面的に採取されていない領域である CA 建屋東側 (追加⑩)

・掘削領域南側の平面的に採取されていない CB 建屋西側（追加①）、AD 建屋南側（追加②）、DA 建屋西側（追加③）及び DC 建屋東側（追加④）

（4）調査工程

調査工程を参考 5-1 表に示す。本調査は別紙 2-3 に示す岩盤の減衰定数に係る調査と併せて実施する。



参考 5-1 図 調査位置図

参考 5-3

参考 5-1 表 調査工程

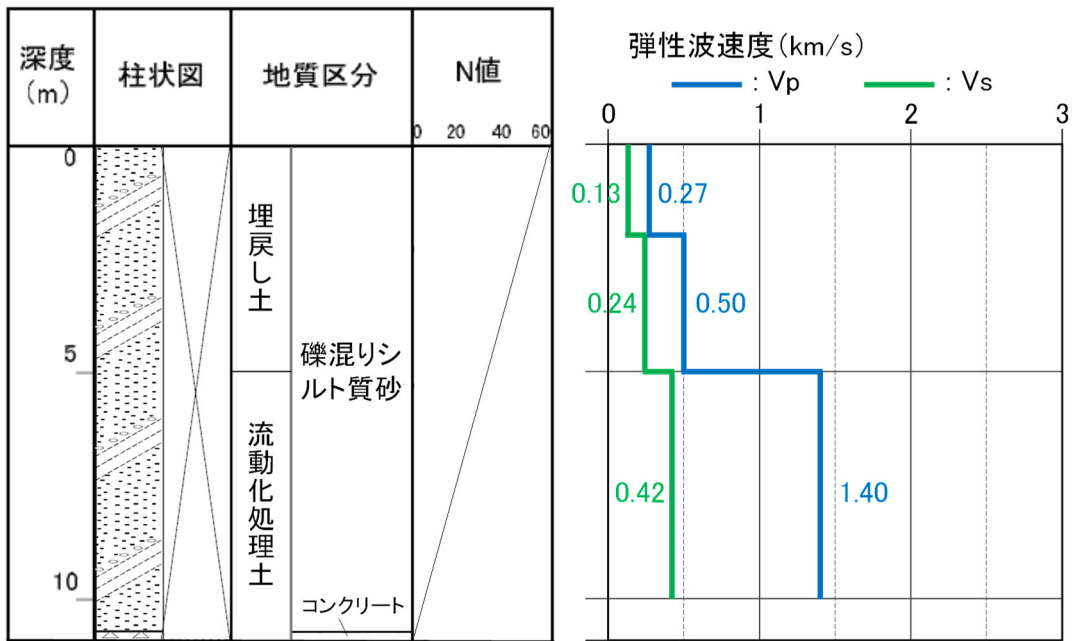
項目		2023年					2024年																								
		8月		9月		10月		11月		12月		1月																			
摘要	仕様	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30
事務手続き		着手準備																													
仮設・削孔	20m/孔程度							14孔程度																							
弾性波速度検層	JGS-1122							14孔程度																							
湿潤密度試験	JIS A 1225							14孔程度																							
とりまとめ																															

参考 6

流動化処理土のボーリング柱状図について

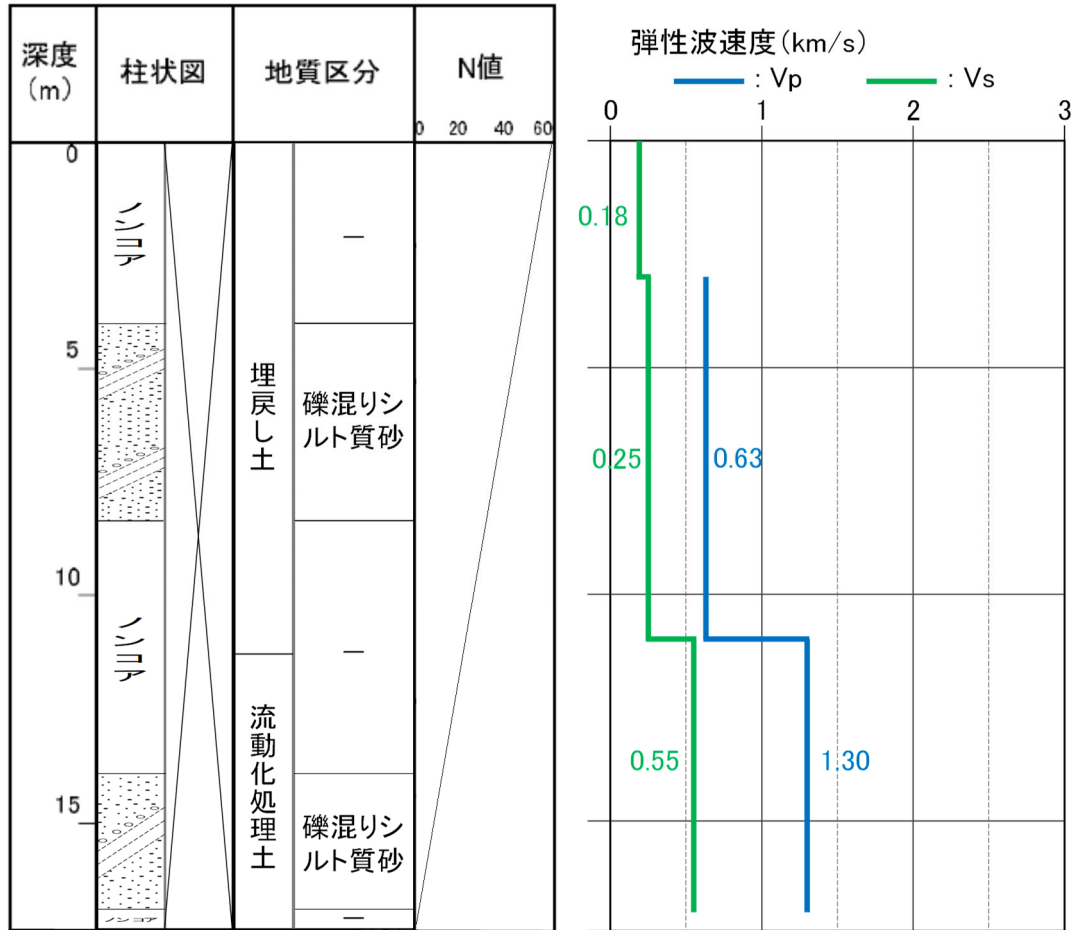
本編 3.1.1 流動化処理土の施工管理状況及び均質性の検討における事業変更許可申請書で設定した流動化処理土のボーリング柱状図及び物理・力学特性を参考 6-1 図～参考 6-4 図に示す。

a-3 (孔口標高 54.91m)



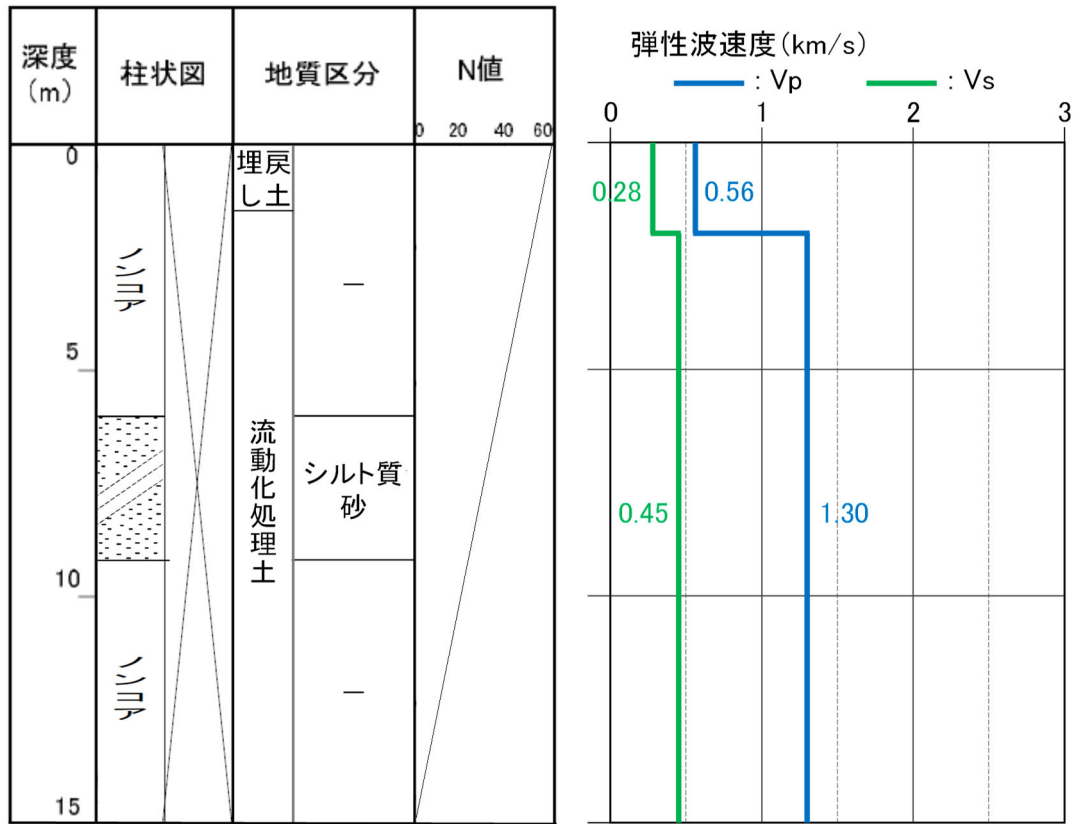
参考6-1図 ボーリング柱状図 (a-3孔)

a-4 (孔口標高 55.06m)



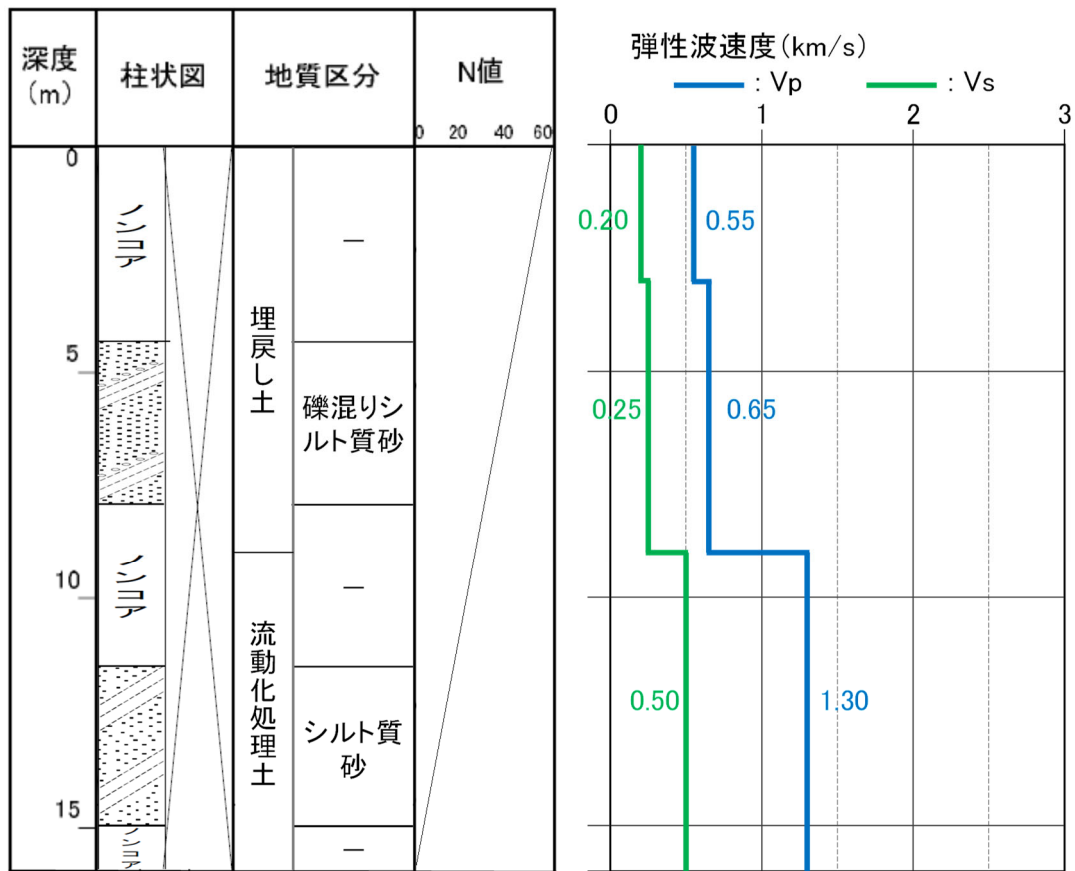
参考6-2図 ボーリング柱状図 (a-4孔)

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)

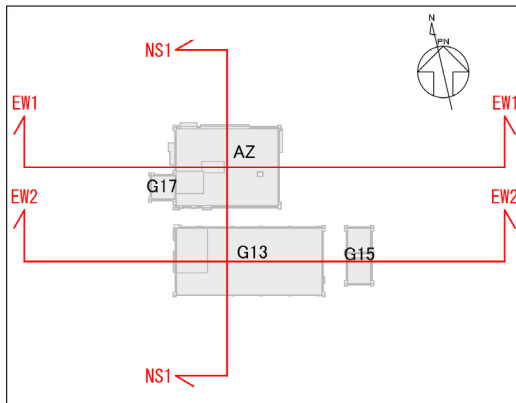
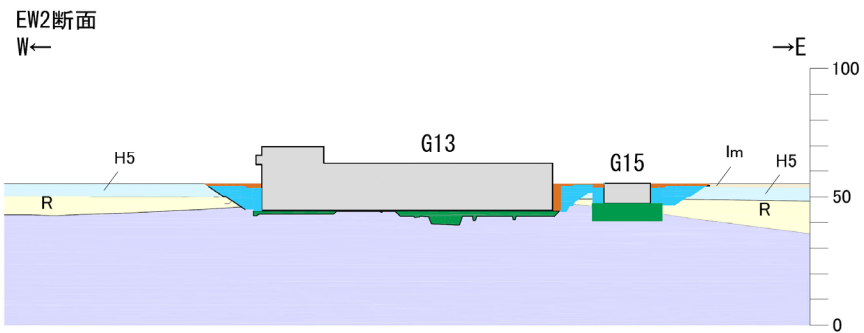
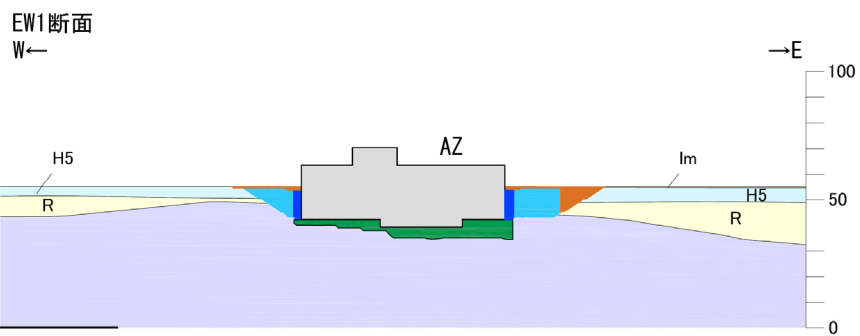
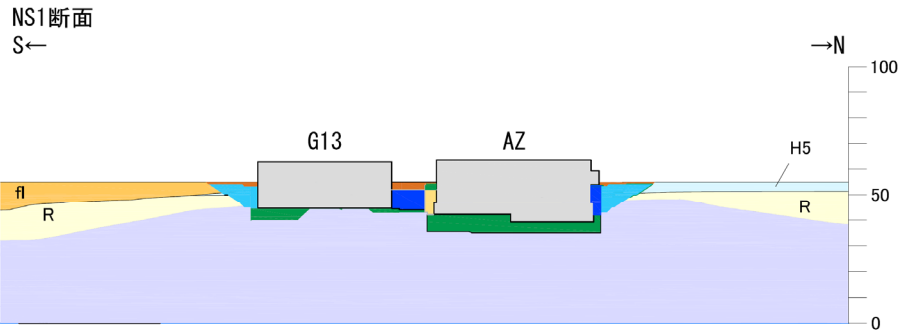
参考 7

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 7-1 図に各断面図を示す。

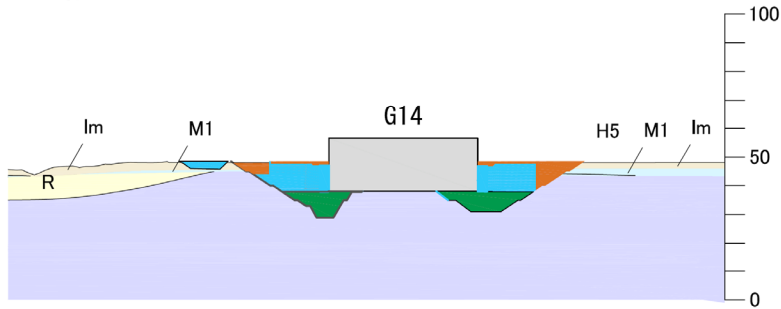


凡例

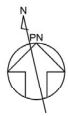
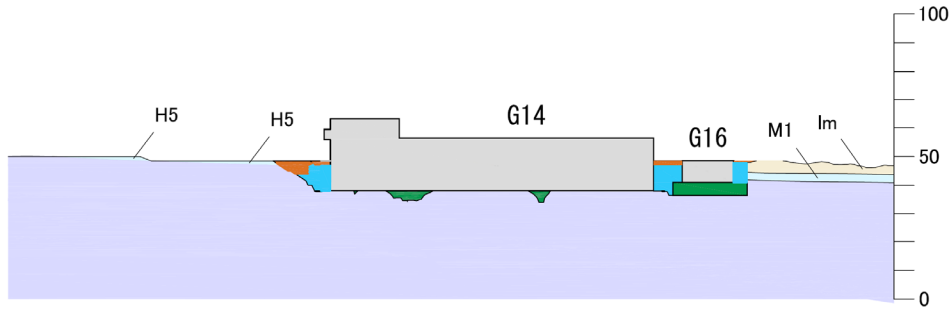
bk	埋戻し土		流動化処理土
fl	造成盛土	MNR	MMR
al	沖積低地堆積層		改良地盤A
lm	火山灰層		改良地盤B
Hs	高位段丘堆積層		竜巻基礎
Ml	中位段丘堆積層		エアモルタル
R	六ヶ所層		ベントナイト混合土
S1	砂子又層下部層		建物及び構築物
	底架層		高配合流動化処理土

参考 7-1 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

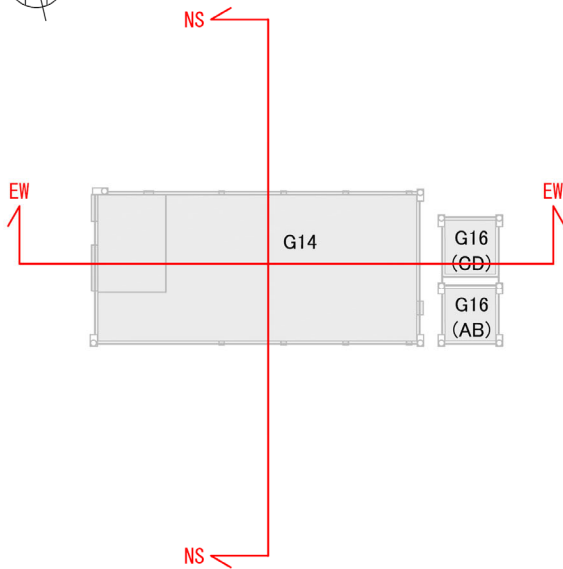


EW断面



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
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 7-1 図(2) 建物・構築物の周囲にある表層の配置断面図 (G14)

(2) 2次元周波数応答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次元周波数応答解析手法を用いて, 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 7-1 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 (第2グループ) 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 (第2グループ) 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 7-1 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。また, 流動化処理土 (第2グループ) は, 第 3.1.2-2 図に示す ρt と G_0 の平均値を用いた。なお, 動的変形特性のうち, $G/G_0 \sim \gamma$, $h \sim \gamma$ のひずみ依存特性は, 流動化処理土 (第1グループ) の値を流用した。

参考 7-2 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 7-3 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 7-3 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 7-3 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。

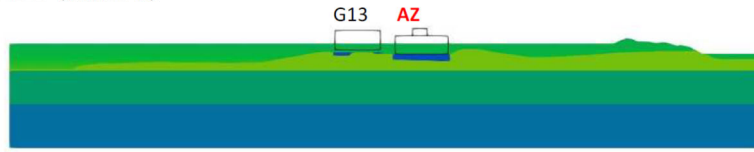
上記のことから両ケースの応答に顕著な違いがないことから建屋底盤位置での加速度応答は, 周辺地盤の影響よりも建屋周辺の流動化処理土の物性値が支配的であることを確認した。

参考 7-1 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	$\frac{1}{1 + 9.27 \cdot \gamma^{0.992}}$	$\frac{\gamma}{0.0438\gamma + 0.0150} + 1.74$
	流動化处理土	812	1.71	0.40	$\frac{1}{1 + 9.63 \cdot \gamma^{1.01}}$	$\frac{\gamma}{0.0798\gamma + 0.0150} + 1.48$
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）

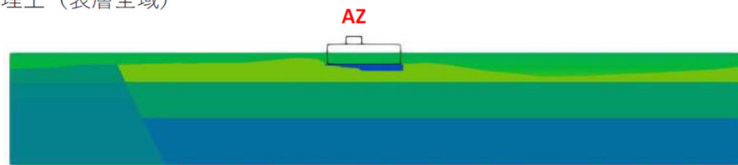


流動化处理土（建屋掘削部）+ 地山（周辺表層）

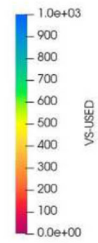


参考 7-2 图(1) AZ 建屋（NS 方向）解析断面 Vs 分布图

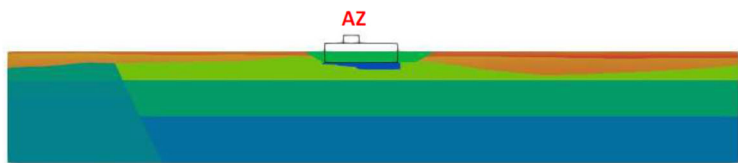
流動化处理土（表層全域）



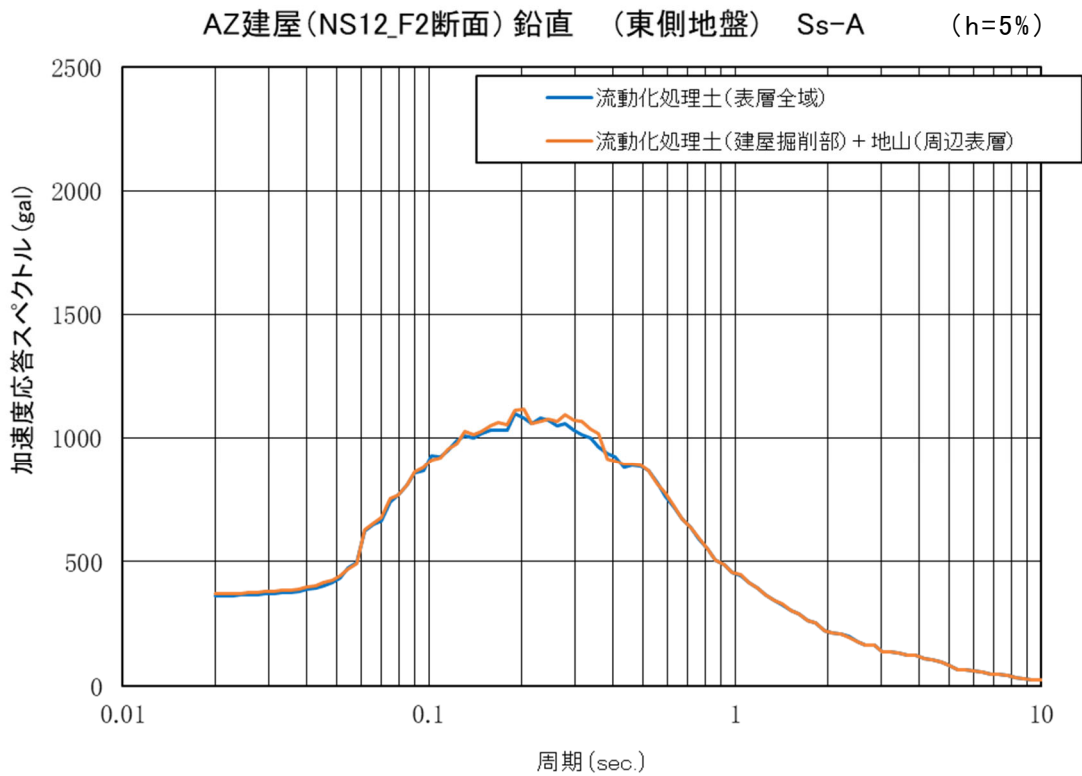
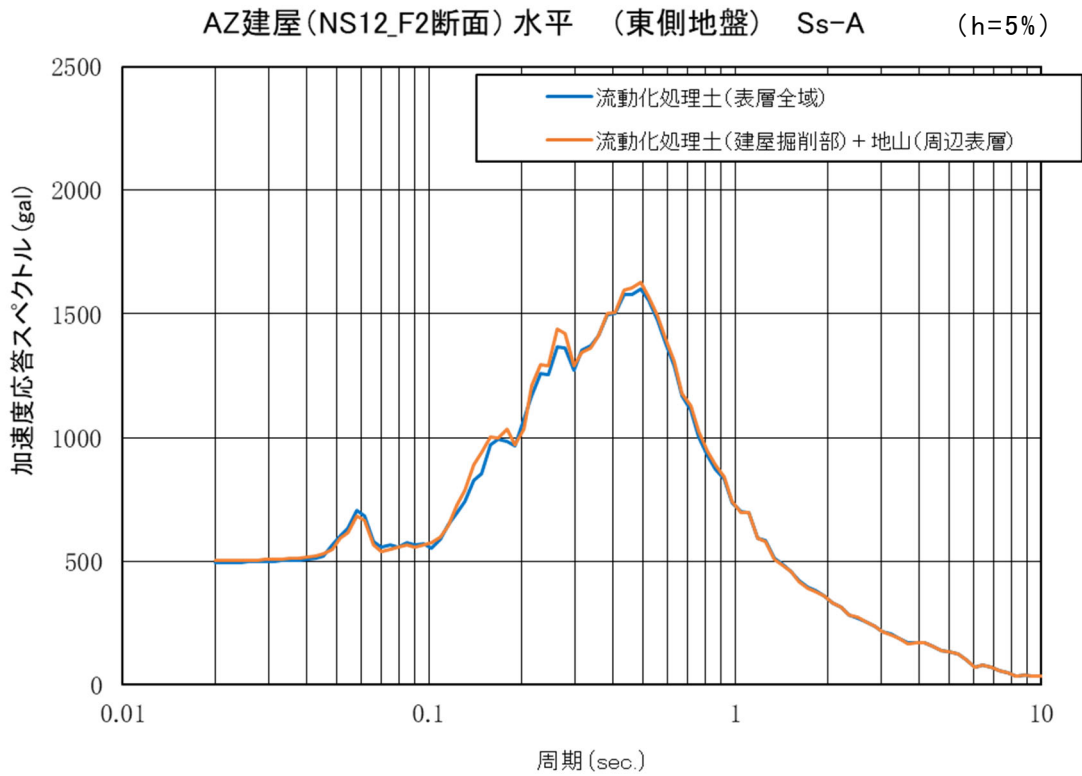
Vs 収束値 (m/s)



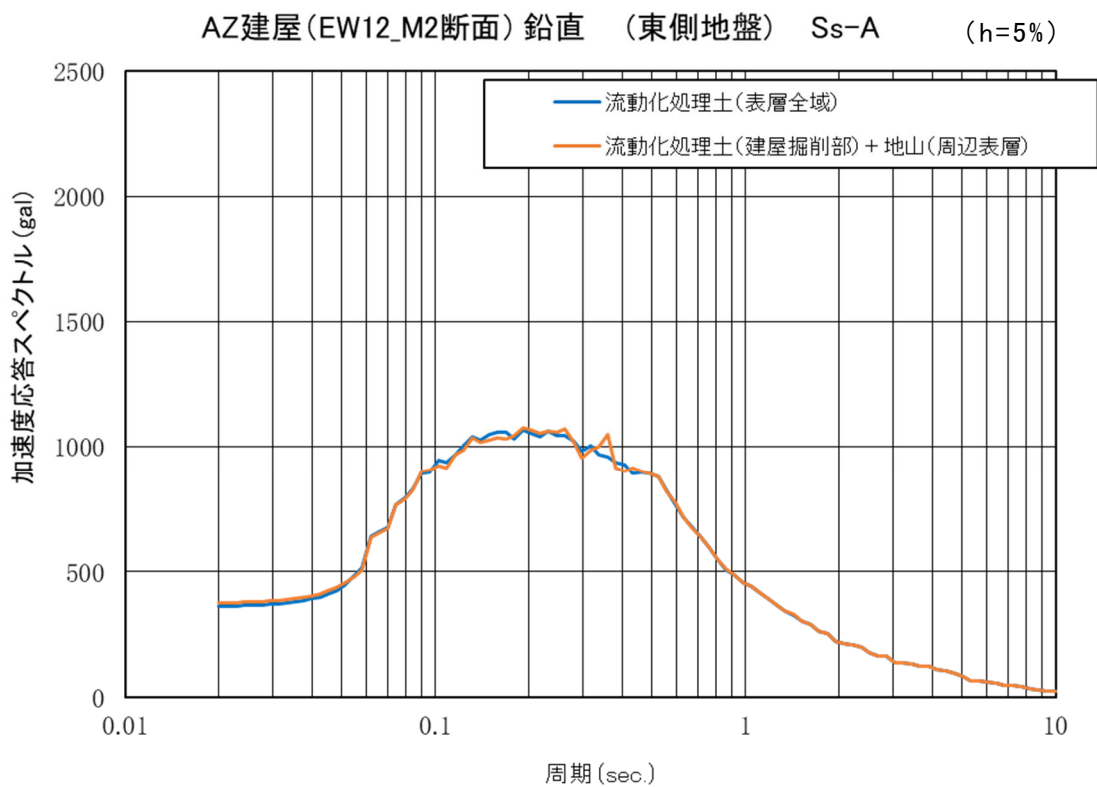
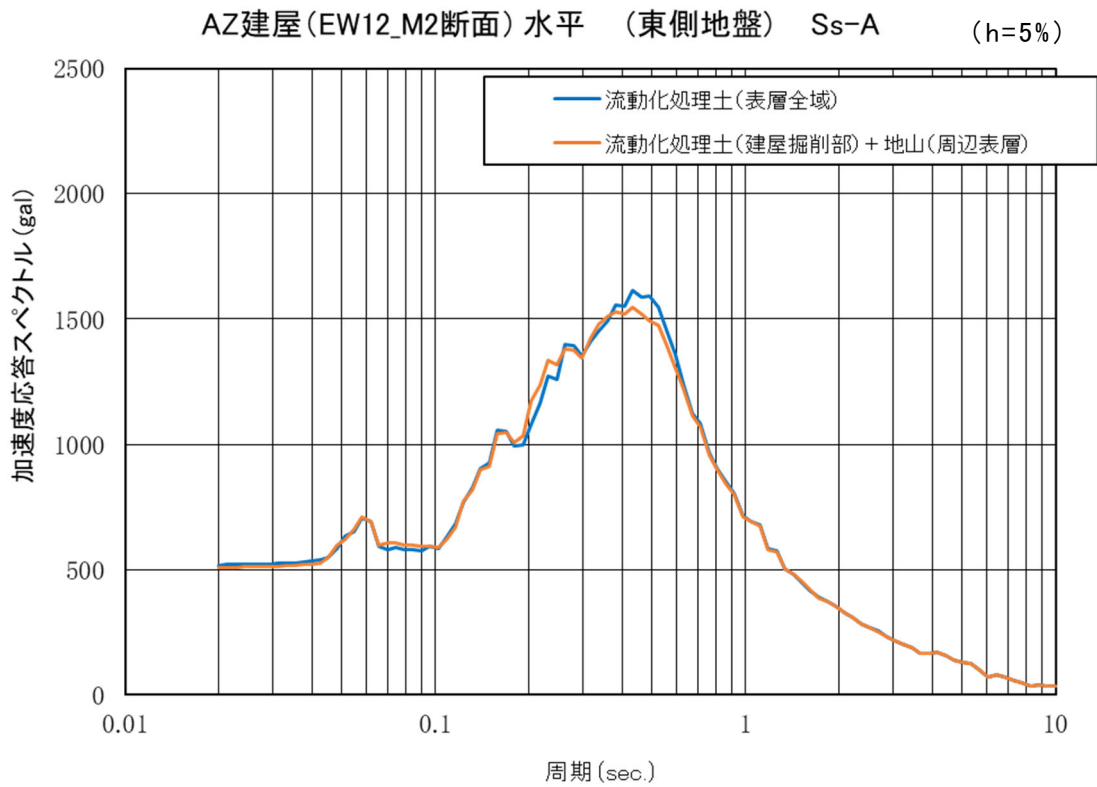
流動化处理土（建屋掘削部）+ 地山（周辺表層）



参考 7-2 图(2) AZ 建屋（EW 方向）解析断面 Vs 分布图



参考 7-3 図(1) AZ 建屋 (NS 方向) 底盤位置の応答スペクトル比較



参考 7-3 図(2) AZ 建屋 (EW 方向) 底盤位置の応答スペクトル比較