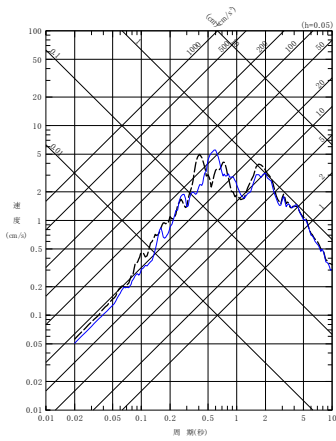
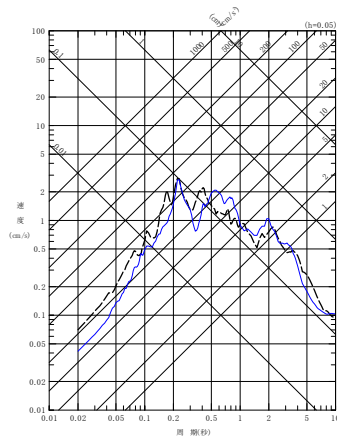


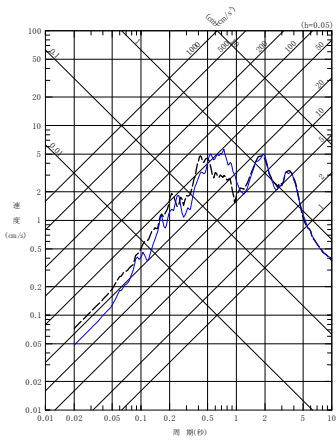
----- 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ———— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



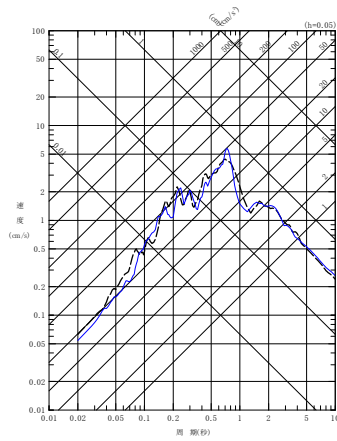
(a) NS 方向



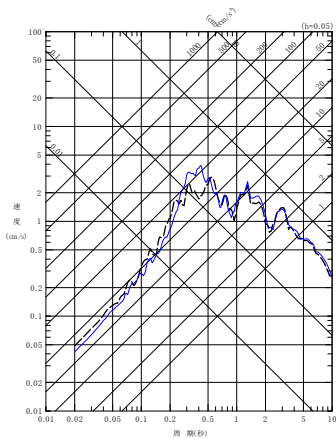
(a) NS 方向



(b) EW 方向

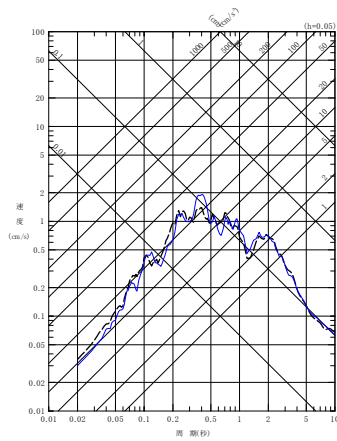


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201601141225 地震



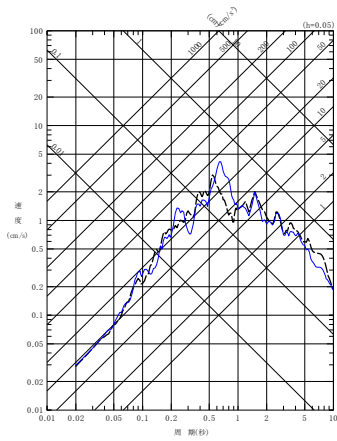
(c) UD 方向

(10) 201908151432 地震

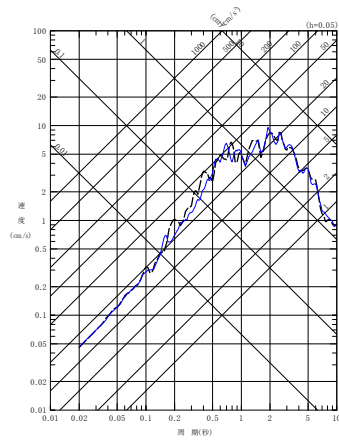
第 6.3.6.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (5/6)

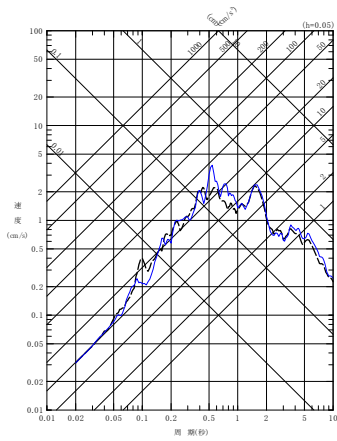
- - - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ———— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



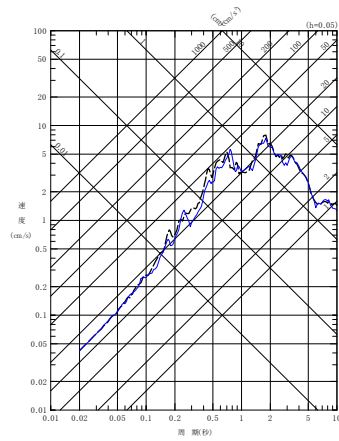
(a) NS 方向



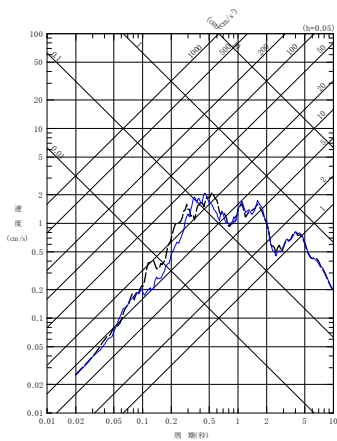
(a) NS 方向



(b) EW 方向

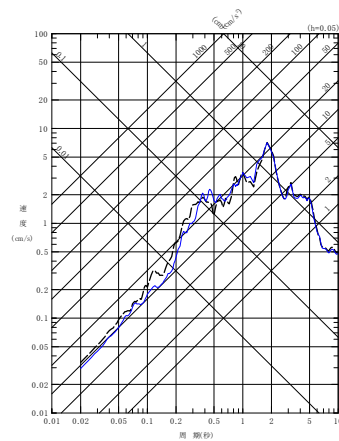


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 202012210223 地震



(c) UD 方向

(12) 202203162336 地震

第 6.3.6.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (6/6)

6.3.7 振動数依存性を考慮しない場合の評価結果

6.3.7.1 伝達関数による評価結果（振動数依存性なし）

「6.3.5 評価方法及び条件」に示した手法に従い、減衰定数を同定した結果及び伝達関数の適合状況を第 6.3.7.1-1～第 6.3.7.1-4 図及び第 6.3.7.1-7 図～第 6.3.7.1-8 図（中央地盤）、第 6.3.7.1-9～第 6.3.7.1-12 図及び第 6.3.7.1-15～第 6.3.7.1-16 図（西側地盤）及び第 6.3.7.1-17～第 6.3.7.1-20 図及び第 6.3.7.1-23 図～第 6.3.7.1-24 図（東側地盤）に示す。また、各手法における減衰定数の同定結果を第 6.3.7.1-5 図及び第 6.3.7.1-6 図（中央地盤）、第 6.3.7.1-13 図及び第 6.3.7.1-14 図（西側地盤）及び第 6.3.7.1-21 図及び第 6.3.7.1-22 図（東側地盤）にグラフとして示す。なお、本グラフについては、「6.3.5 評価方法及び条件」に示した、同定解析上対象とする振動数よりも広い範囲（20Hz よりも高振動数側、0.05 秒よりも短周期側）についても、評価された減衰定数の振動数特性が同様の傾向を示すと仮定し、当該範囲については外挿して示す。

(1) 中央地盤観測点

中央地盤観測点における振動数依存性を考慮しない場合の減衰定数の評価結果を第 6.3.7.1-1 図～第 6.3.7.1-4 図に示す。

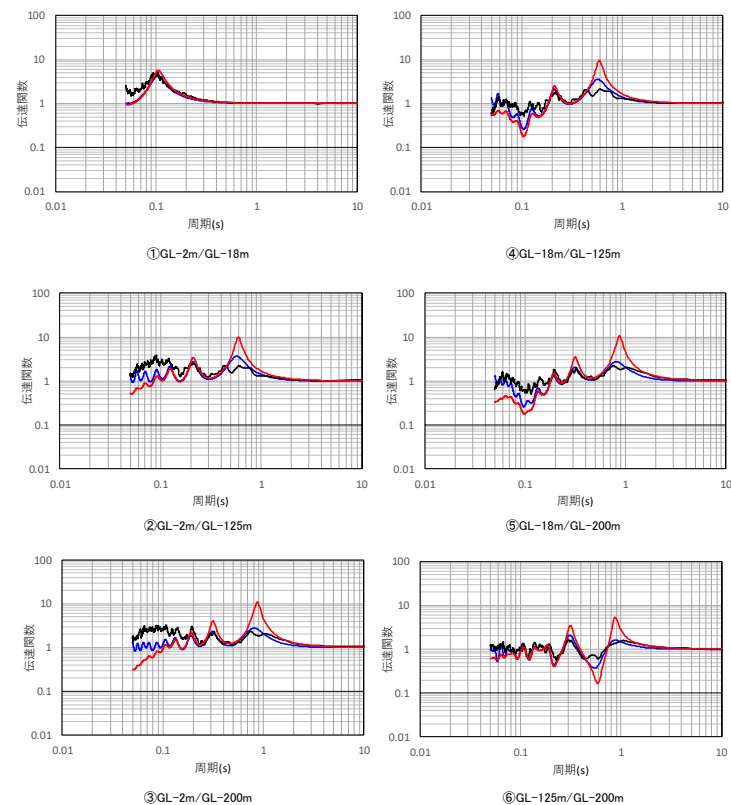
地震観測記録を用いた減衰定数の評価の結果、解放基盤表面～基礎底面レベルの岩盤部分に相当する層の水平方向における減衰定数として、中央地盤観測点において 6.7% の減衰定数が得られた。鉛直方向については、「6.3.6.1 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」と同様に、水平方向と比較して大きい値の減衰定数が得られた。

振動数依存性なしの条件により求められる伝達関数は、「6.3.6.1 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」にて同定した振動数依存性を考慮した結果と比較して、ピーク振動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、長周期側では振動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)	V _s (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 (観測記録の伝達関数を平均して作成)
— 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

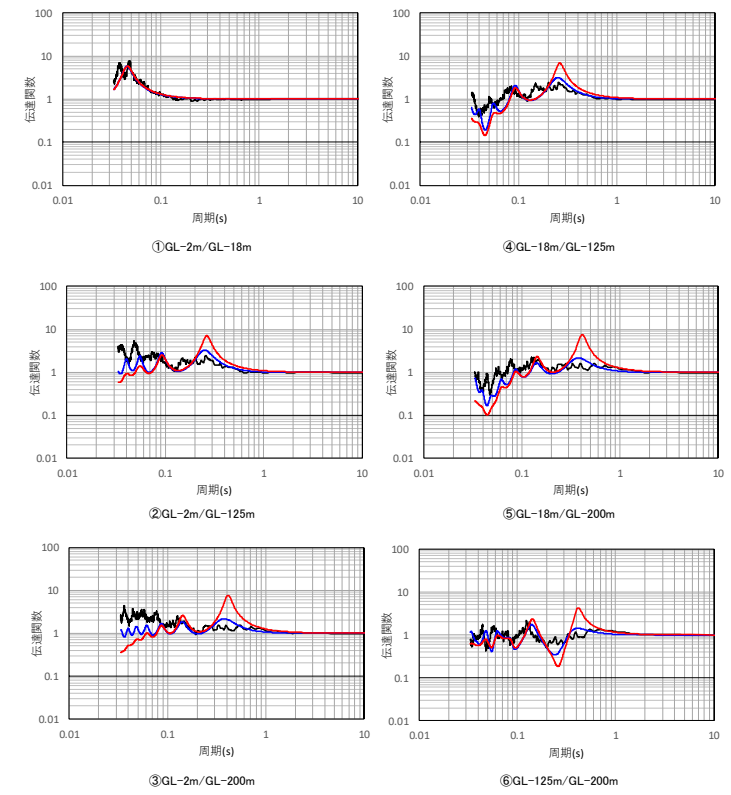
(b) 伝達関数適合状況

第 6.3.7.1-1 図 伝達関数による評価結果 (中央地盤観測点: 振動数依存性なし, 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	—	1.85	1920	

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

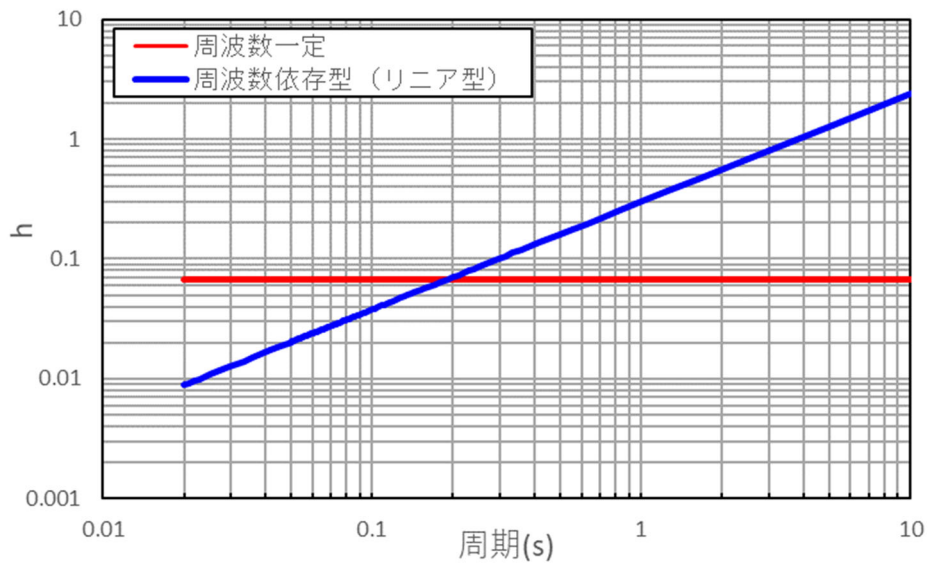
— 目的関数 (観測記録の伝達関数を平均して作成)
— 周波数依存型 (リニア型)
— 周波数依存なし



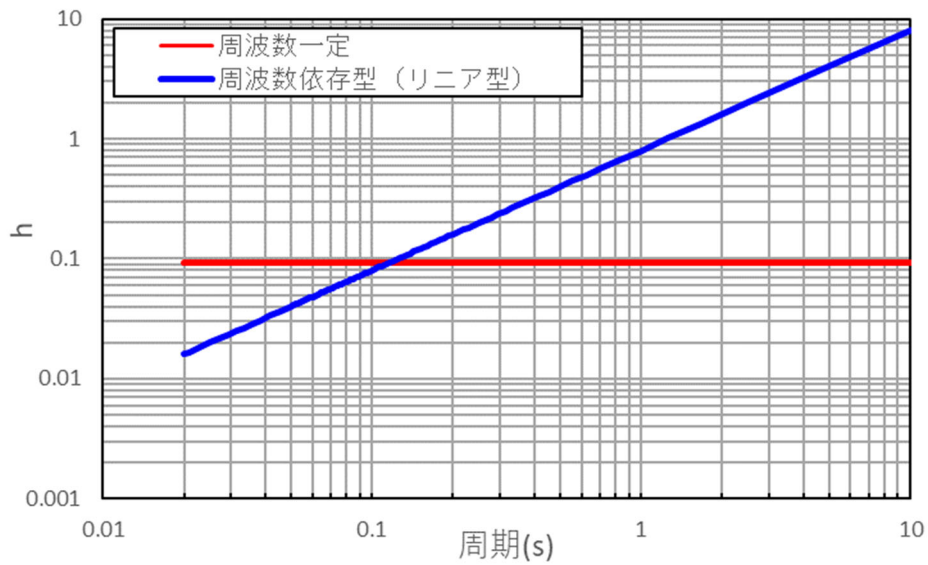
(a) 評価された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

第 6.3.7.1-2 図 伝達関数の比較 (中央地盤観測点: 振動数依存性なし, 鉛直)



第 6.3.7.1-3 図 減衰定数と周期の関係 (中央地盤観測点, 水平)



第 6.3.7.1-4 図 減衰定数と周期の関係 (中央地盤観測点, 鉛直)

(2) 西側地盤観測点

西側地盤観測点における振動数依存性を考慮しない場合の減衰定数の評価については検討中

(3) 東側地盤観測点

東側地盤観測点における振動数依存性を考慮しない場合の減衰定数の評価結果を第 6.3.7.1-5 図～第 6.3.7.1-8 図に示す。

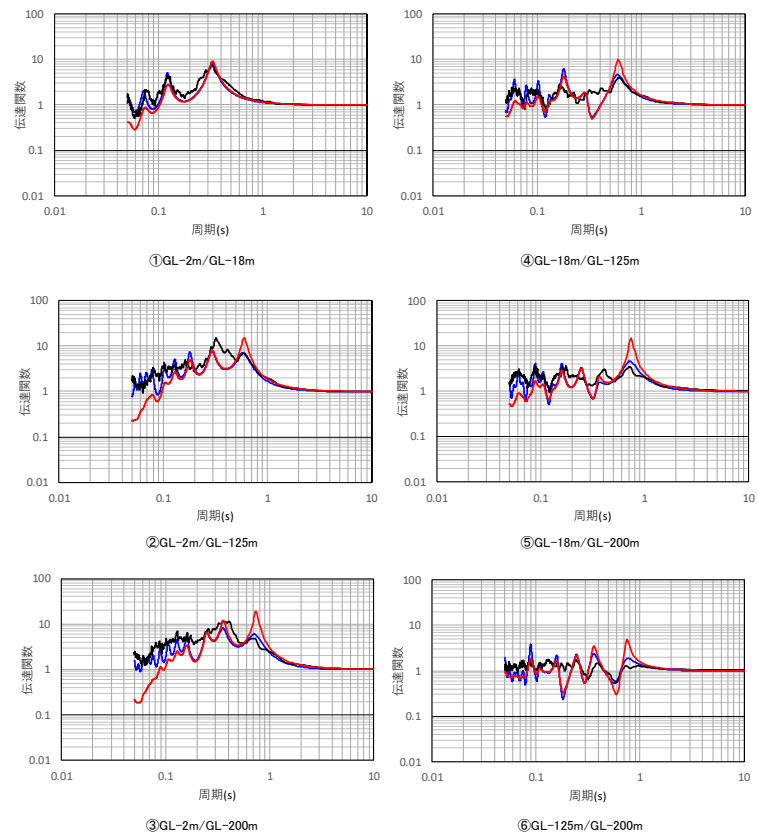
地震観測記録を用いた減衰定数の評価の結果，解放基盤表面～基礎底面レベルの岩盤部分に相当する層の水平方向における減衰定数として，中央地盤観測点において 5.5% の減衰定数が得られた。鉛直方向については，「6.3.6.1 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」と同様に，水平方向と比較して大きい値の減衰定数が得られた。

振動数依存性なしの条件により求められる伝達関数は，「6.3.6.1 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」にて同定した振動数依存性を考慮した結果と比較して，ピーク振動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，長周期側では振動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)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h
0	2	1.69	140	0.136
-2.00	6.33	1.69	160	0.075
-8.33	6.4	1.69	210	
-14.73	3.27	1.72	310	0.061
-18.00	0.68	1.72		
-18.68	53.2	1.59	640	0.055
-71.88	43.85	1.59	1090	
-115.73	9.27	1.82	1190	0.033
-125.00	34.31	1.82		
-159.31	40.69	1.90	1200	
-200.00	—	1.90		

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 (観測記録の伝達関数を平均して作成)
— 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

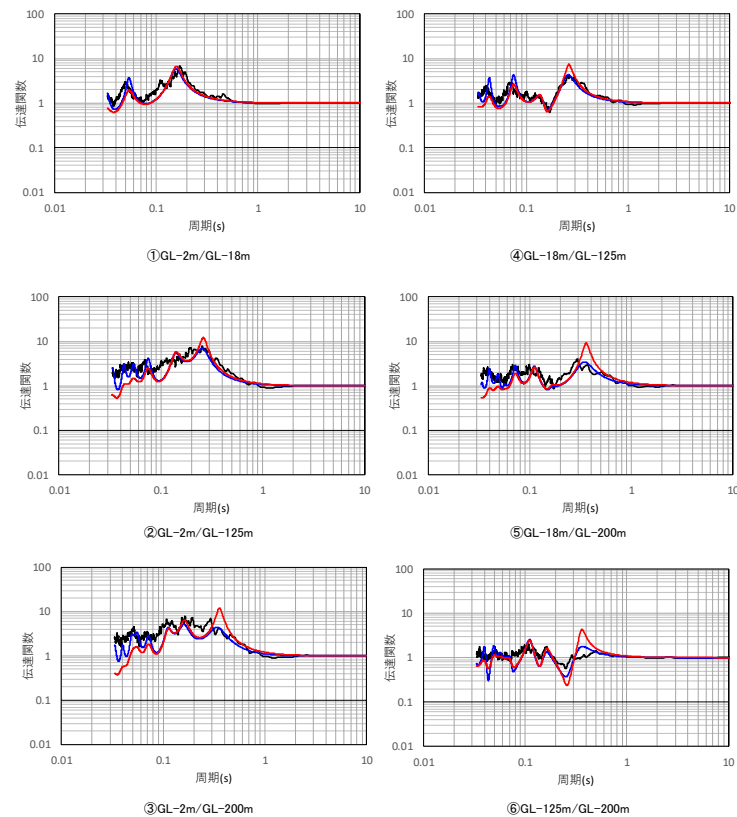
(b) 伝達関数適合状況

第 6.3.7.1-5 図 伝達関数による評価結果 (東側地盤観測点: 振動数依存性なし, 水平)

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	P波速度 Vp(m/s)	減衰定数 h
0	2	1.69	360	0.097
-2.00	6.33	1.69	370	
-8.33	6.4	1.69	390	
-14.73	3.27	1.72	970	0.081
-18.00	0.68	1.72		
-18.68	53.2	1.59	1880	0.070
-71.88	43.85	1.59	2060	
-115.73	9.27	1.82	2140	0.066
-125.00	34.31	1.82		
-159.31	40.69	1.90	2370	
-200.00	—	1.90		

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

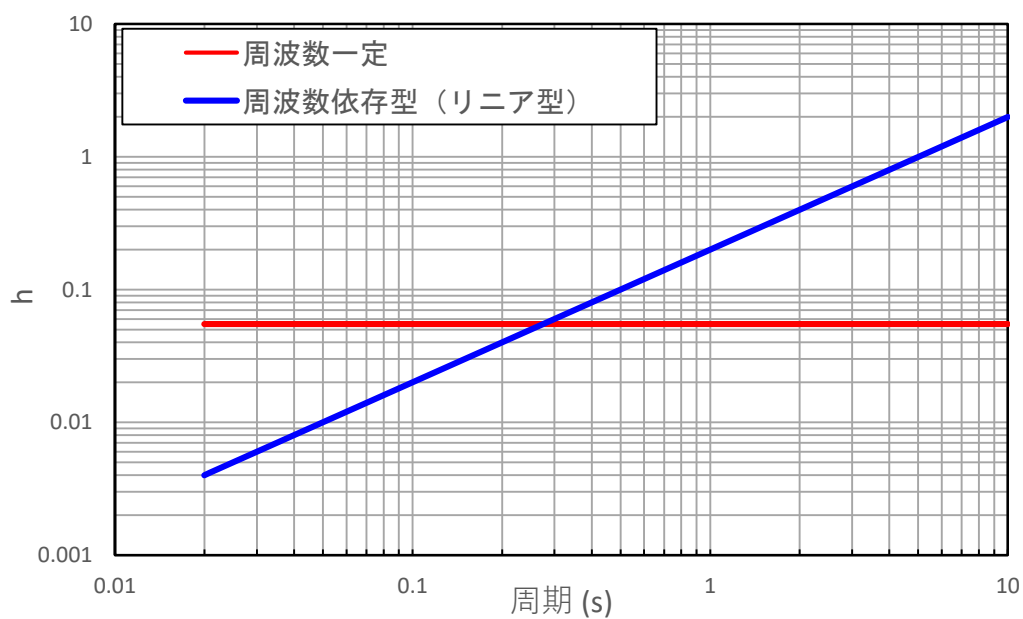
— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
— 周波数依存型（リニア型）
— 周波数依存なし



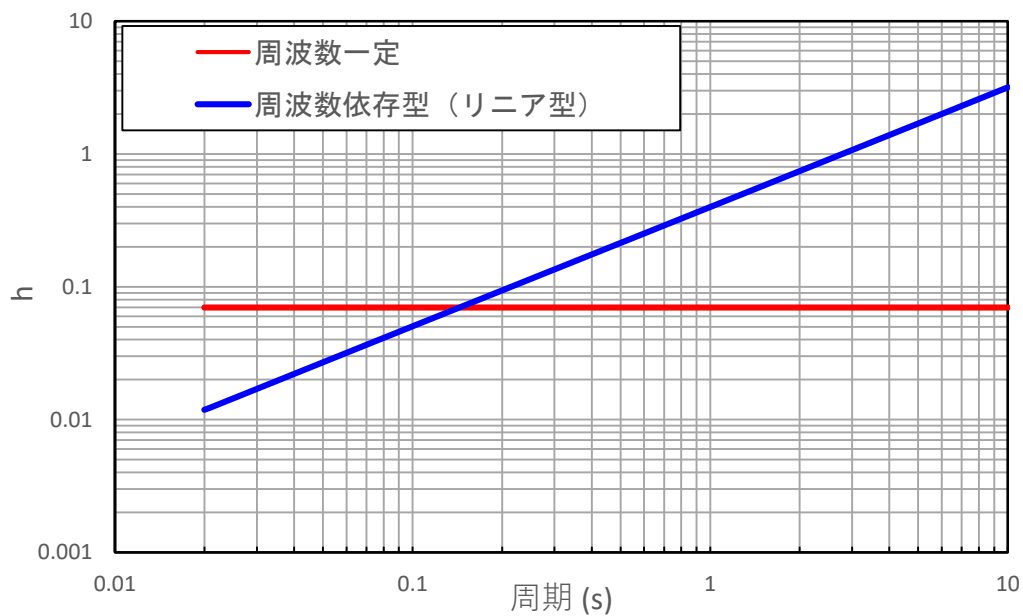
(a) 評価された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

第 6.3.7.1-6 図 伝達関数の比較（東側地盤観測点：振動数依存性なし，鉛直）



第 6.3.7.1-7 図 減衰定数と周期の関係（東側地盤観測点，水平）



第 6.3.7.1-8 図 減衰定数と周期の関係（東側地盤観測点，鉛直）

6.3.7.2 応答スペクトルによる評価結果（振動数依存性なし）

「6.3.7.1 伝達関数による評価結果（振動数依存性なし）」において評価した減衰定数について、振動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、「6.3.6.2 応答スペクトルによる評価結果（振動数依存性あり）」と同様の方法により、地震観測記録のシミュレーション結果の比較により確認する。

(1) 中央地盤観測点

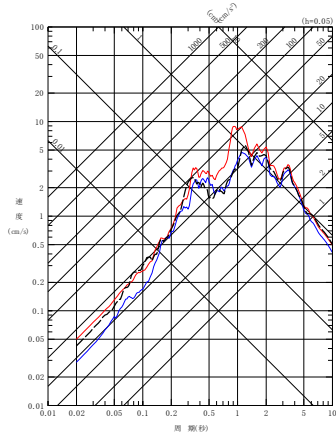
中央地盤における振動数依存性を考慮しない場合の条件における地震観測記録のシミュレーション結果を、振動数依存性を考慮した場合の条件における結果とあわせて第 6.3.7.2-1 図に示す。

中央地盤において、振動数依存性を考慮しない場合は、長周期成分において、振動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。

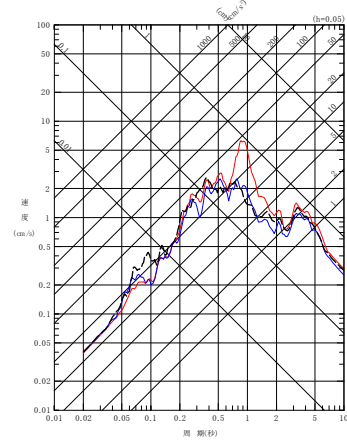
短周期側については、減衰定数を振動数依存特性を考慮する場合に比べて大きく評価することになるものの、地盤応答に対しては小さく評価されず、振動数依存性を考慮した場合と比較して、建物・構築物の固有周期帯（水平 0.2～0.3 秒，鉛直 0.1 秒～0.2 秒）において、概ねいずれの地震においても、振動数依存性を考慮した場合のシミュレーション結果及び地震観測記録に対し、振動数依存性を考慮しない条件によるシミュレーション結果が大きな値となることを確認した。

これは、振動数依存性を考慮しない条件により求められる伝達関数は、第 6.3.7.1-1 図及び第 6.3.7.1-2 図に示すとおり、振動数依存性を考慮した場合と比較して、長周期側を大きく評価する結果となっており、これに伴い、地盤応答の最大加速度についても大きく評価されることにより、応答スペクトル上、短周期側も合わせて大きく評価されるため、結果として全周期帯において保守的な評価となっているものとする。

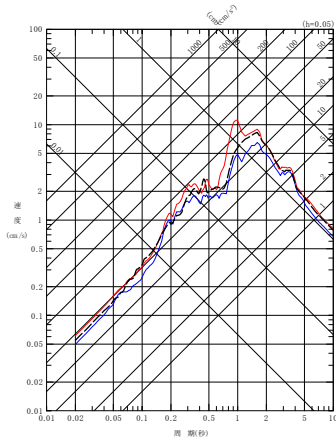
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 - - 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



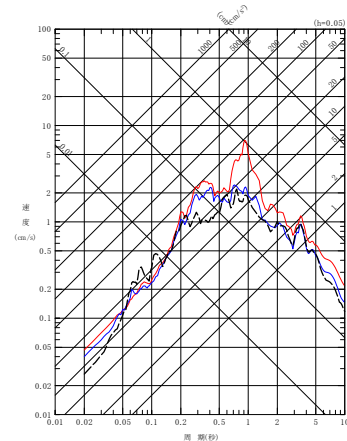
(a) NS 方向



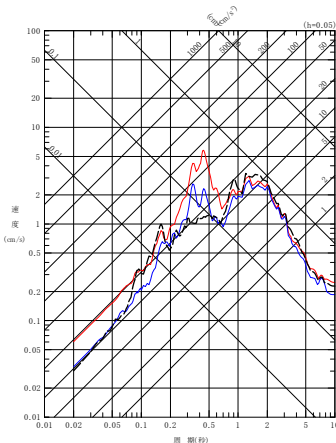
(a) NS 方向



(b) EW 方向

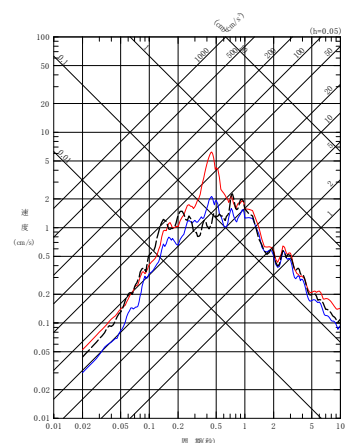


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200112022201 地震



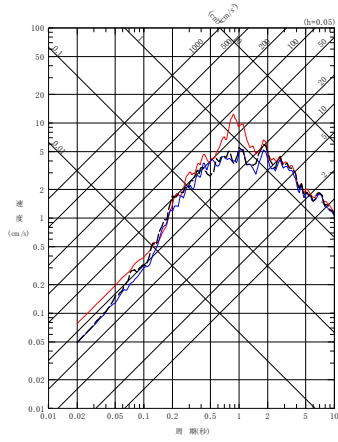
(c) UD 方向

(2) 200210142312 地震

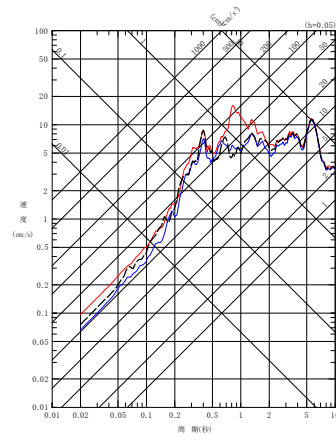
第 6.3.7.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (1/7)

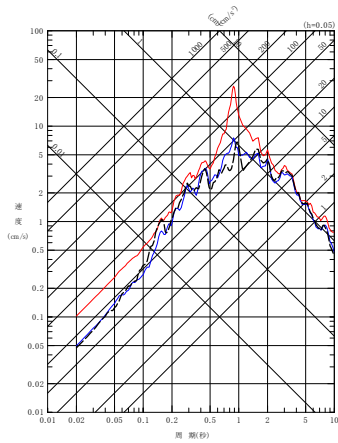
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (1)ニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



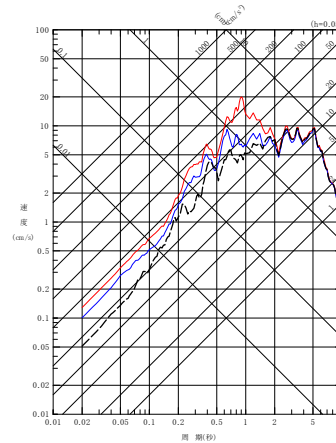
(a) NS 方向



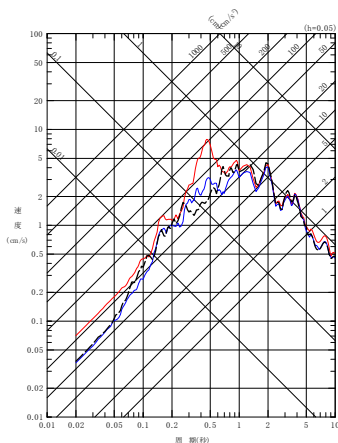
(a) NS 方向



(b) EW 方向

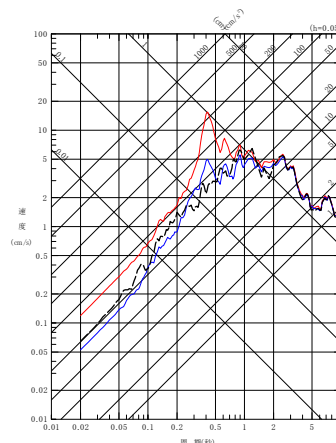


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 200305261824 地震



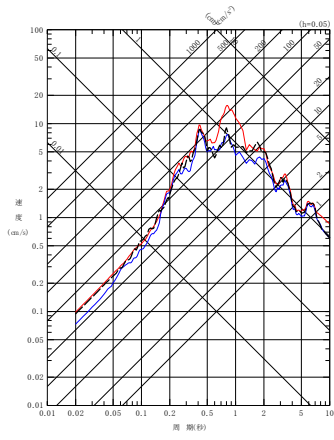
(c) UD 方向

(4) 200309260450 地震

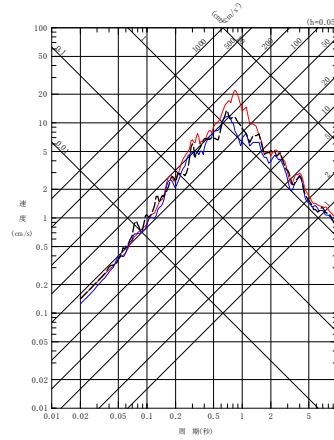
第 6.3.7.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (2/7)

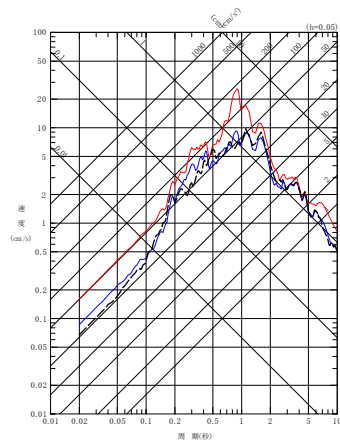
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (1)ニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



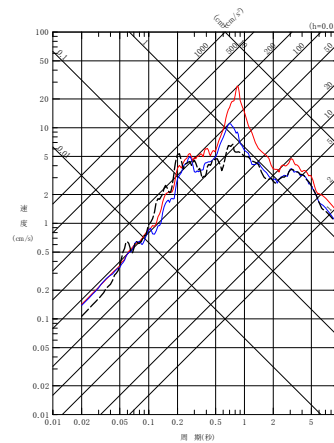
(a) NS 方向



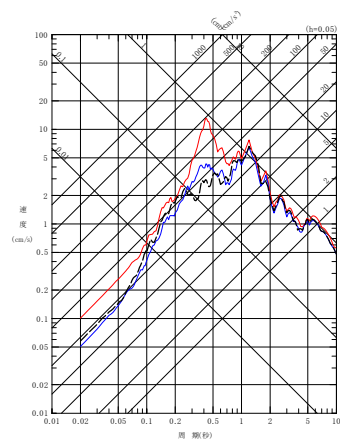
(a) NS 方向



(b) EW 方向

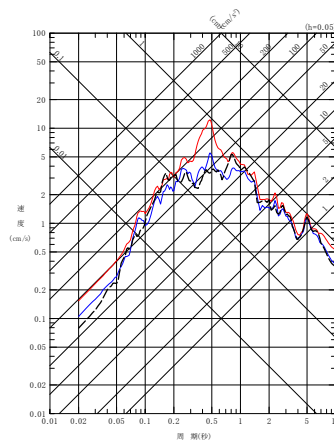


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 2009260608 地震



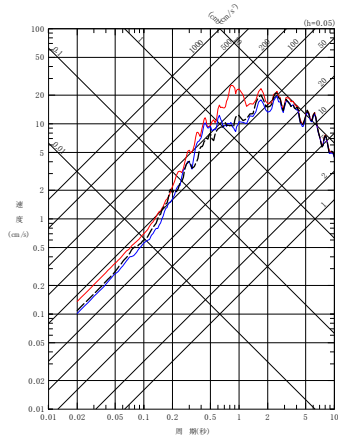
(c) UD 方向

(6) 200807240026 地震

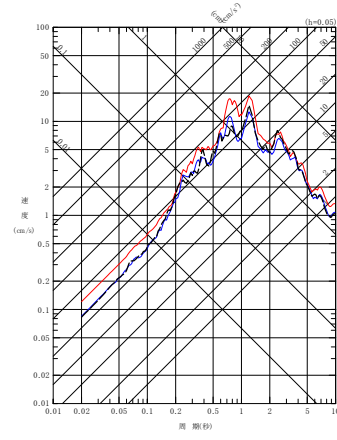
第 6.3.7.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (3/7)

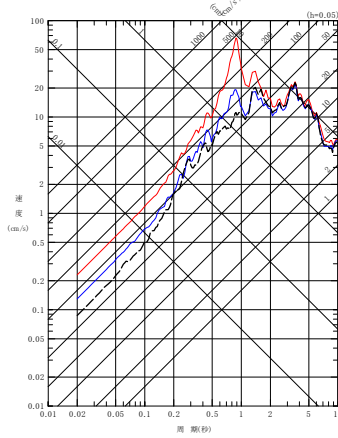
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 - - 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



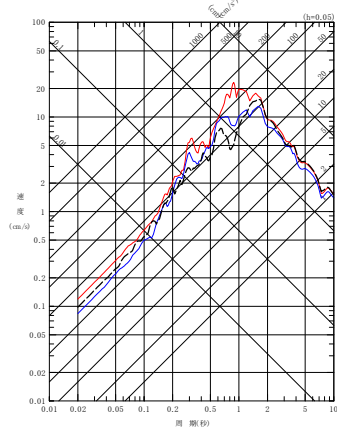
(a) NS 方向



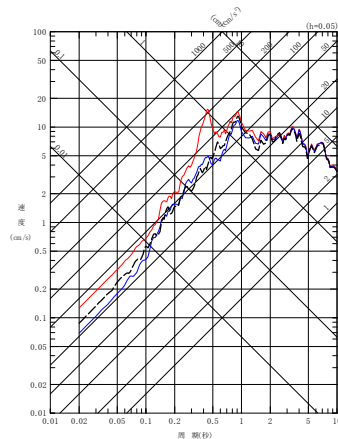
(a) NS 方向



(b) EW 方向

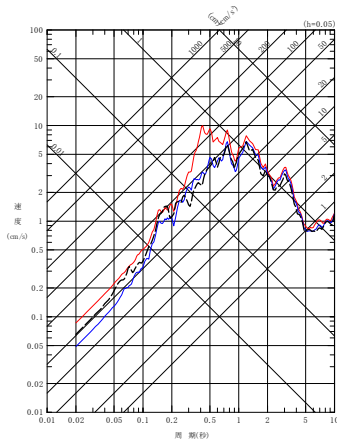


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201103111446 地震



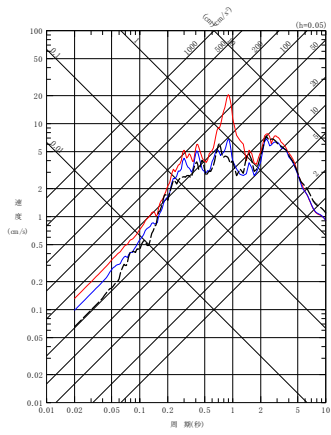
(c) UD 方向

(8) 201103111508 地震

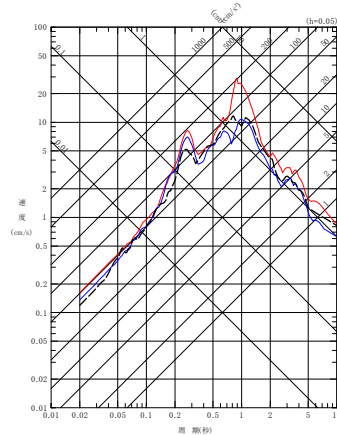
第 6.3.7.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (4/7)

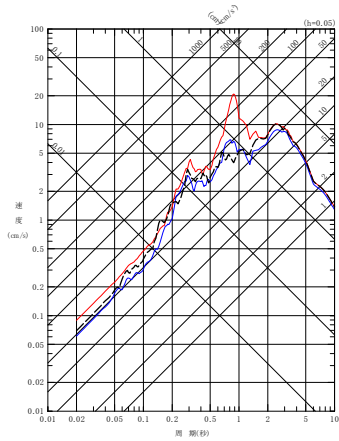
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



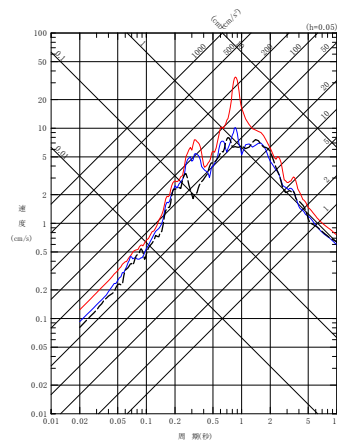
(a) NS 方向



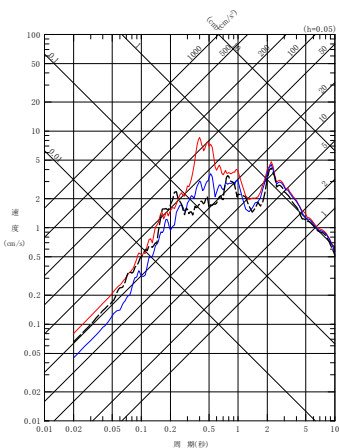
(a) NS 方向



(b) EW 方向

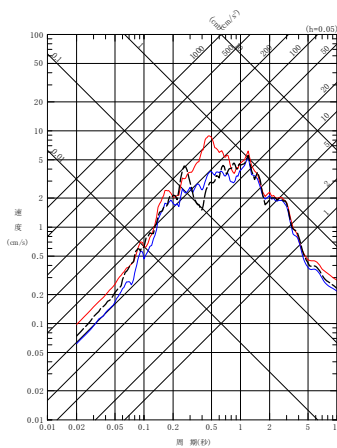


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201106230650 地震



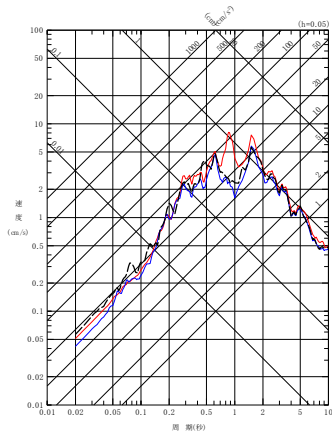
(c) UD 方向

(10) 201205240002 地震

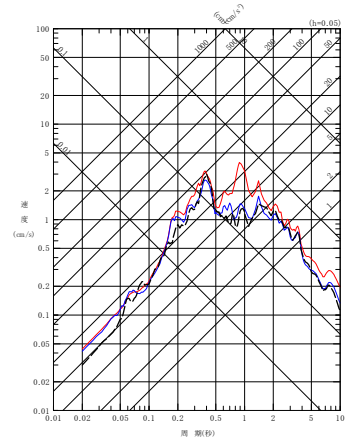
第 6.3.7.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (5/7)

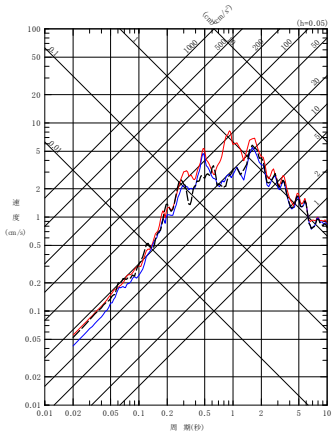
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



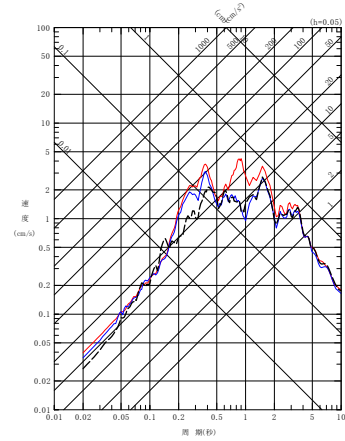
(a) NS 方向



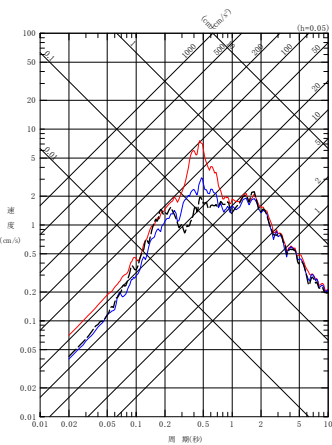
(a) NS 方向



(b) EW 方向

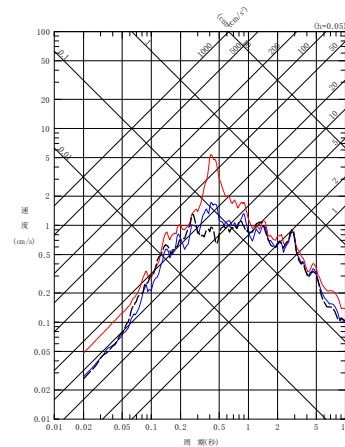


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 201212071718 地震



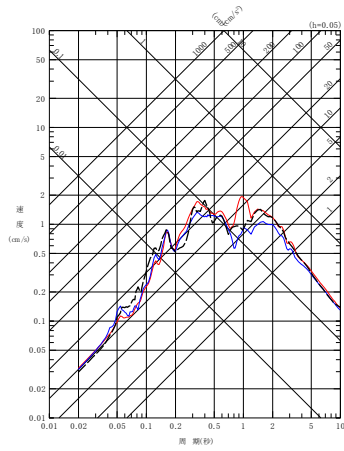
(c) UD 方向

(12) 201302022317 地震

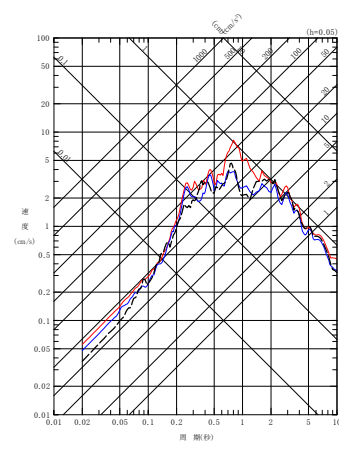
第 6.3.7.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (6/7)

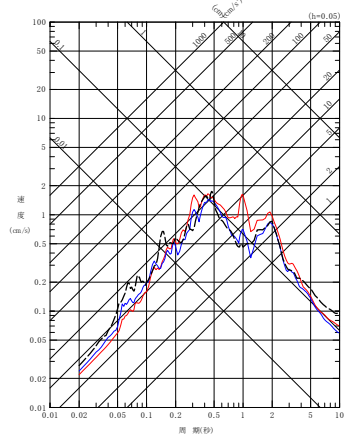
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



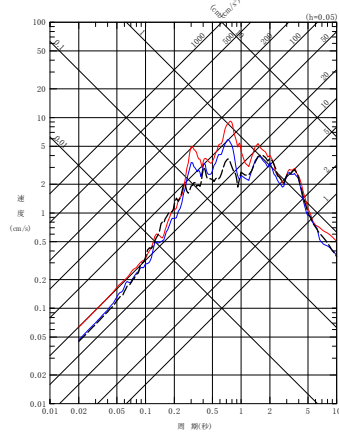
(a) NS 方向



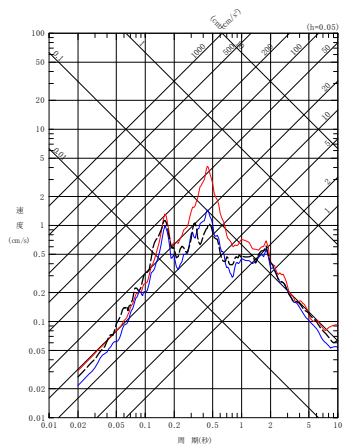
(a) NS 方向



(b) EW 方向

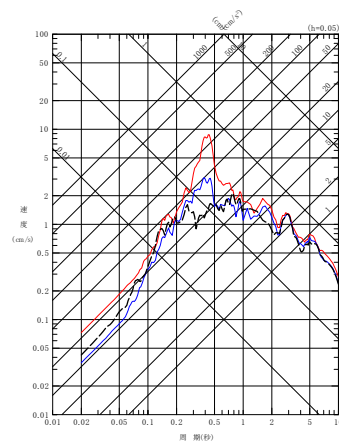


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(13) 201507100332 地震



(c) UD 方向

(14) 201601141225 地震

第 6.3.7.2-1 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)

(2) 西側地盤観測点

西側地盤観測点における振動数依存性を考慮しない場合の減衰定数の評価については検討中

(3) 東側地盤観測点

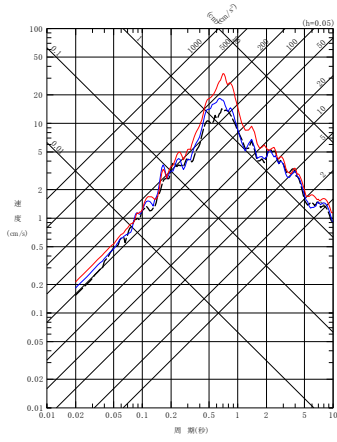
東側地盤における振動数依存性を考慮しない場合の条件における地震観測記録のシミュレーション結果を、振動数依存性を考慮した場合の条件における結果とあわせて第 6.3.7.2-2 図に示す。

東側地盤において、振動数依存性を考慮しない場合は、長周期成分において、振動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。

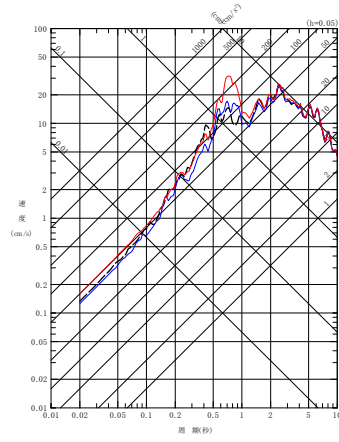
短周期側については、減衰定数を振動数依存特性を考慮する場合に比べて大きく評価することになるものの、地盤応答に対しては小さく評価されず、振動数依存性を考慮した場合と比較して、建物・構築物の固有周期帯（水平 0.2～0.3 秒、鉛直 0.1 秒～0.2 秒）において、概ねいずれの地震においても、振動数依存性を考慮した場合のシミュレーション結果及び地震観測記録に対し、振動数依存性を考慮しない条件によるシミュレーション結果が大きな値となることを確認した。

これは、振動数依存性を考慮しない条件により求められる伝達関数は、第 6.3.7.1-5 図及び第 6.3.7.1-6 図に示すとおり、振動数依存性を考慮した場合と比較して、長周期側を大きく評価する結果となっており、これに伴い、地盤応答の最大加速度についても大きく評価されることにより、応答スペクトル上、短周期側も合わせて大きく評価されるため、結果として全周期帯において保守的な評価となっているものとする。

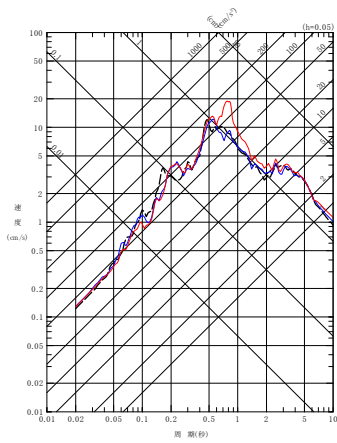
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (1)ニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



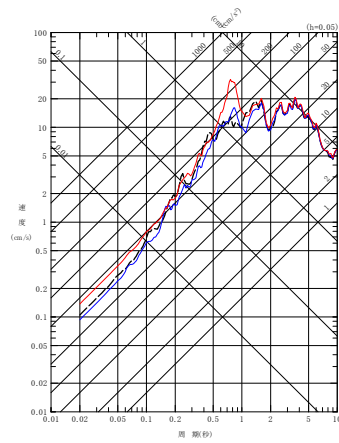
(a) NS 方向



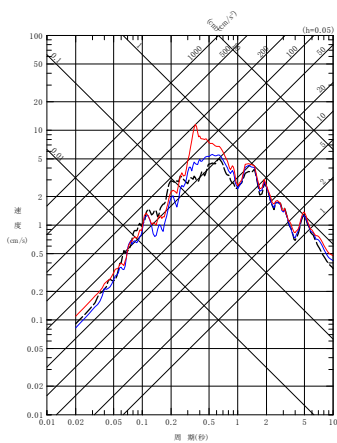
(a) NS 方向



(b) EW 方向

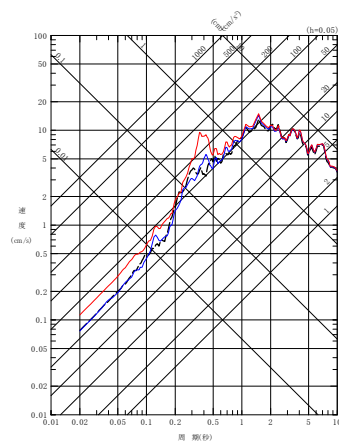


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200807240026 地震



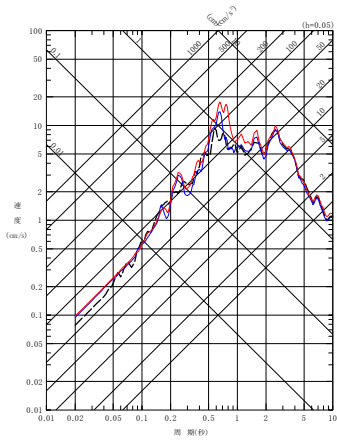
(c) UD 方向

(2) 201103111446 地震

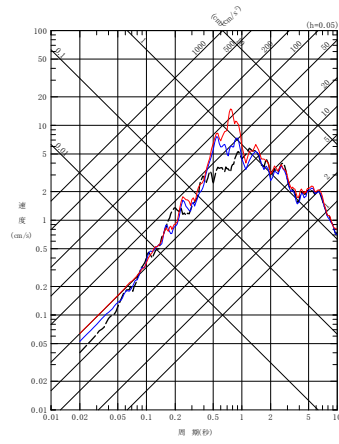
第 6.3.7.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (1/6)

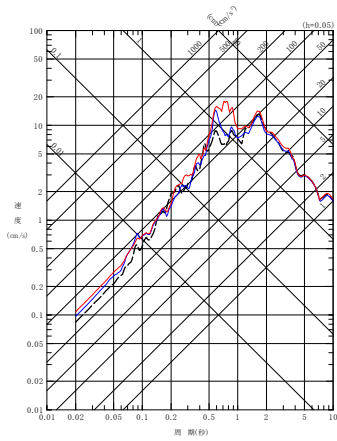
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



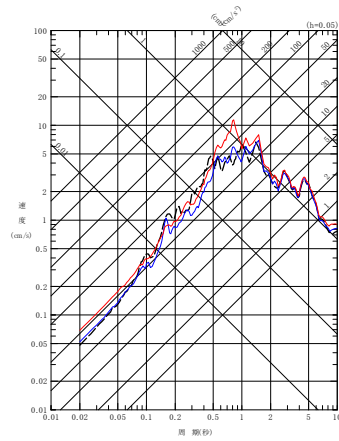
(a) NS 方向



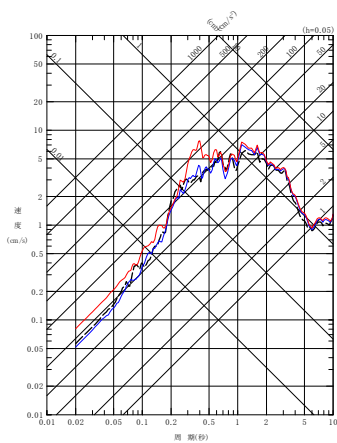
(a) NS 方向



(b) EW 方向

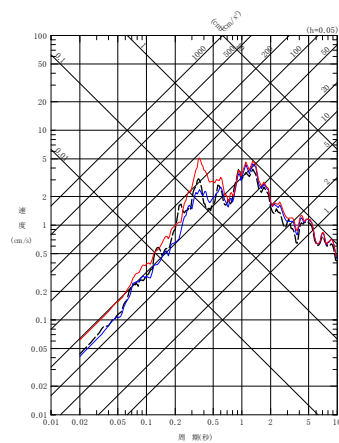


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 201103111508 地震



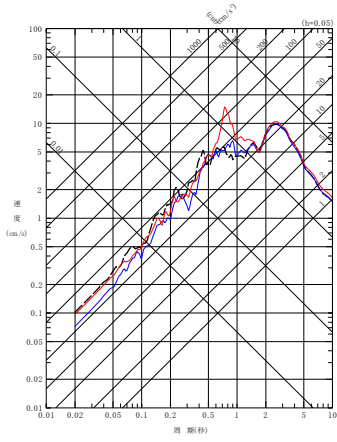
(c) UD 方向

(4) 201104042332 地震

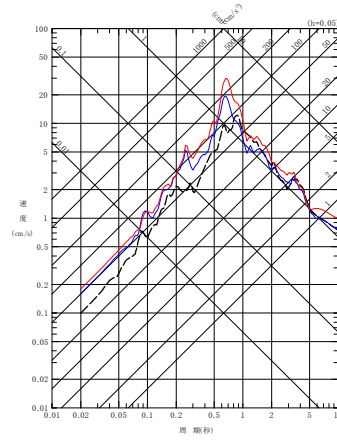
第 6.3.7.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (2/6)

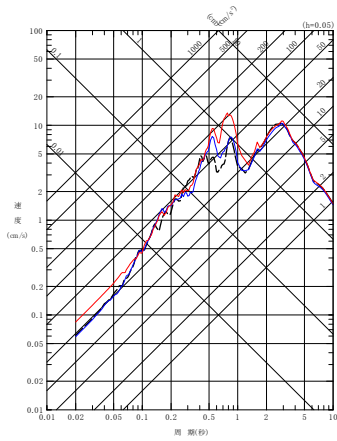
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



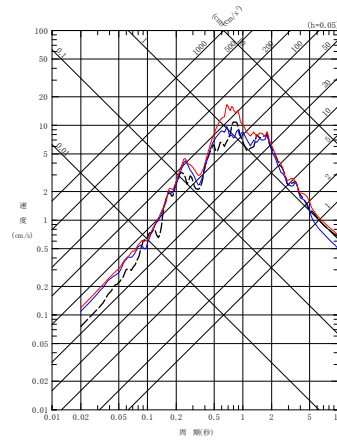
(a) NS 方向



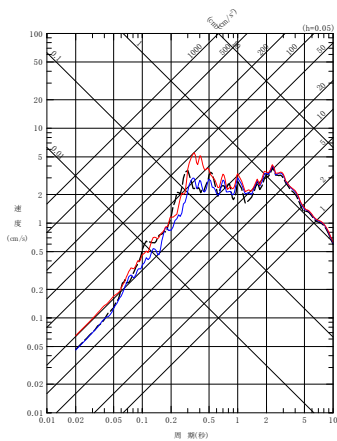
(a) NS 方向



(b) EW 方向

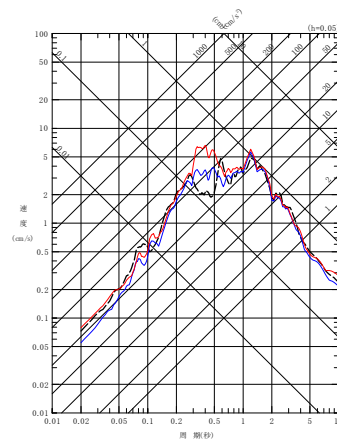


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 201106230650 地震

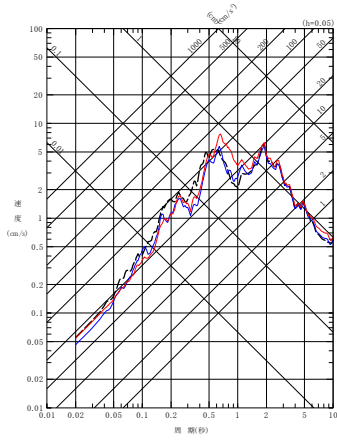


(c) UD 方向

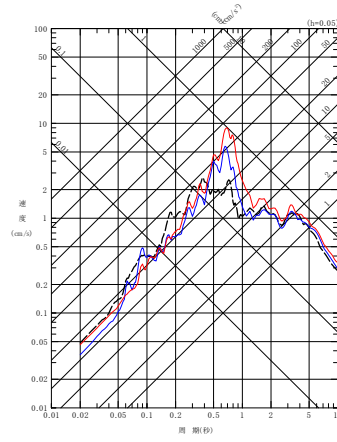
(6) 201205240002 地震

第 6.3.7.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果
 東側地盤観測点 (3/6)

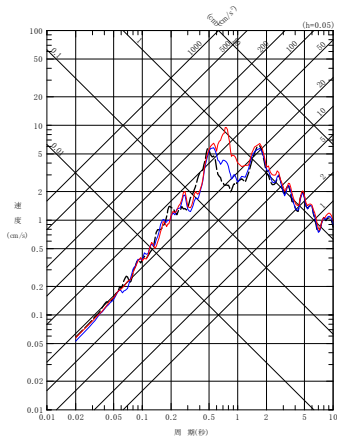
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 - - - 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



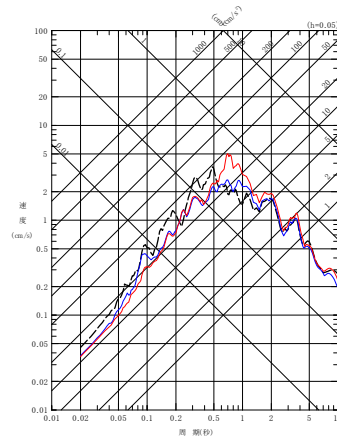
(a) NS 方向



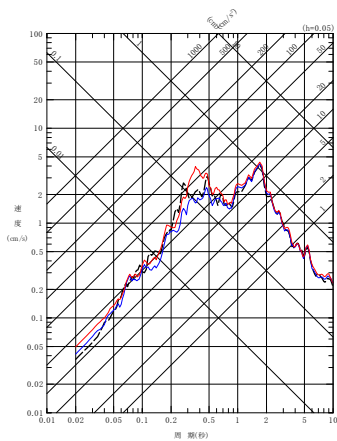
(a) NS 方向



(b) EW 方向

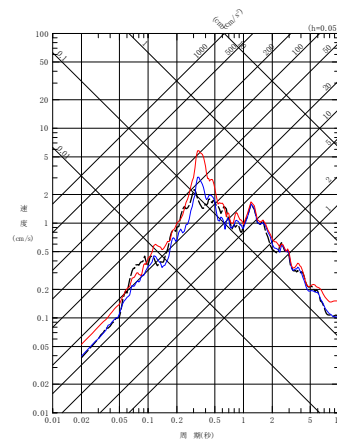


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201212071718 地震



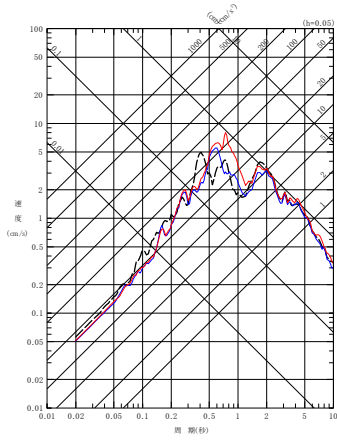
(c) UD 方向

(8) 201408101243 地震

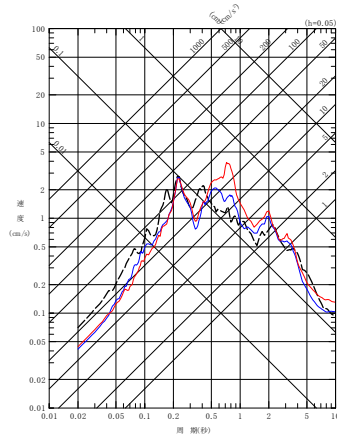
第 6.3.7.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (4/6)

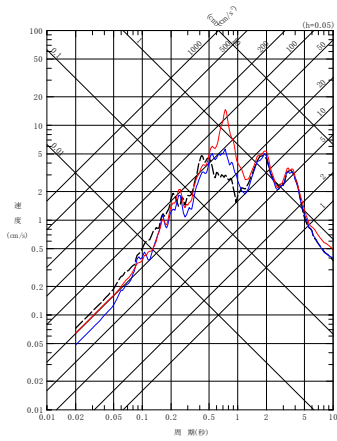
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



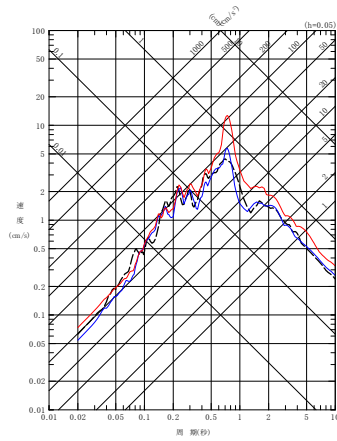
(a) NS 方向



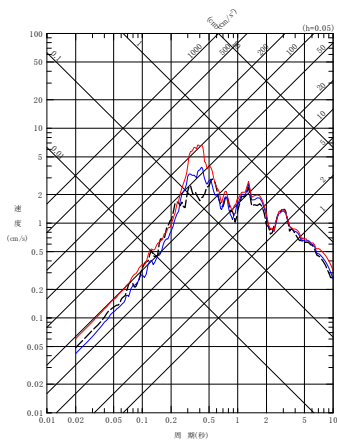
(a) NS 方向



(b) EW 方向

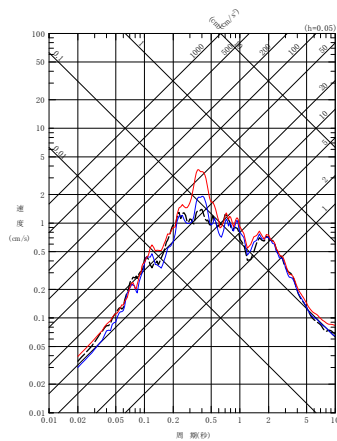


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201601141225 地震



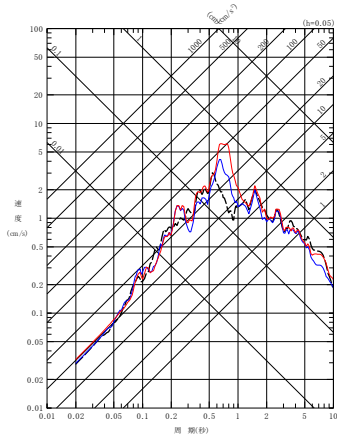
(c) UD 方向

(10) 201908151432 地震

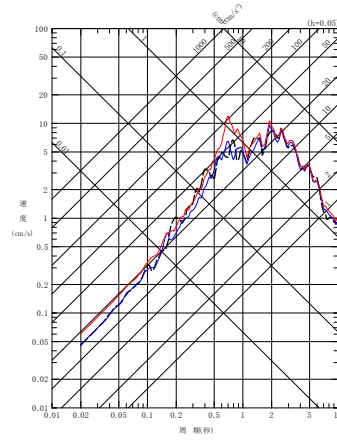
第 6.3.7.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (5/6)

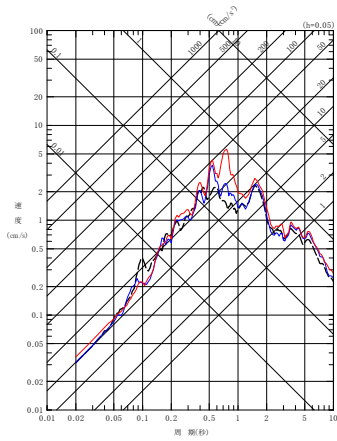
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



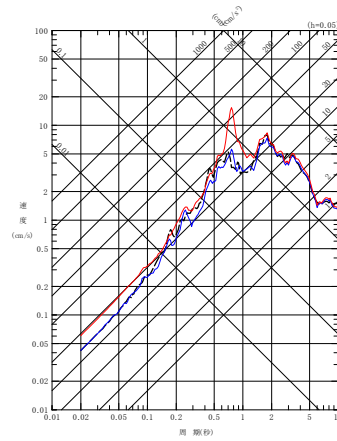
(a) NS 方向



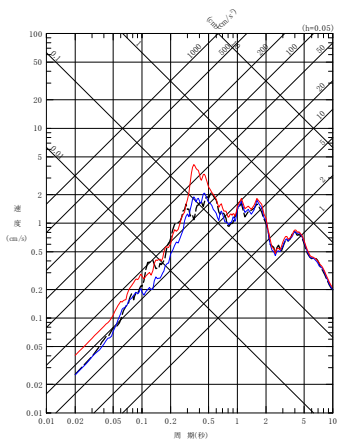
(a) NS 方向



(b) EW 方向

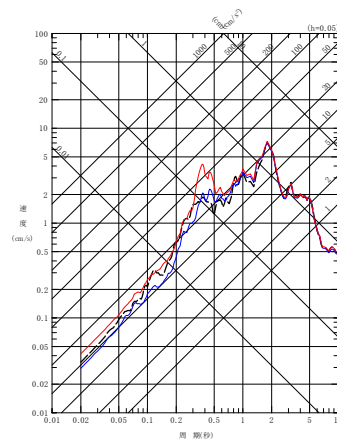


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 202012210223 地震



(c) UD 方向

(12) 202203162336 地震

第 6.3.7.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (6/6)

6.4 地震波干渉法による検討

6.4.1 評価の概要

Fukushima et al. (2016)では、地表の観測波形を基準として、地中の観測波形をデコンボリューションした波形に基づき、地震計間の減衰定数を推定する手法を提案している。本手法により得られた減衰定数は、地表の地震観測点と地中の地震観測点間の平均的なQ値とみなすことができる。

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

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

ただし、Riga et al. (2019)によれば、地震観測記録の分析の結果として、入射波と反射波が分離されていれば、上記の条件を満足しておらずとも、この方法が適用可能であることが示されている。

後述する当社敷地の地震観測記録（中央地盤）に基づく、地表面の地震観測深さ（G.L.-2m）を基準点としたときの解放基盤表面深さ（G.L.-125m）のデコンボリューション波形において、後述の第6.4.2-3図に示すとおり、入射波と反射波が明確に分離されていることを確認したことから、本手法を敷地に適用した。

6.4.2 地震観測記録のスタッキング及び評価に用いる観測記録の抽出

(1) 検討対象とする地震

評価に用いる地震については、本評価手法が、複数の地震観測記録に共通的にみられる特徴をスタッキングにより確認する方法であることから、広い幅の加速度振幅レベルの地震を対象に、可能な限り多くの地震を用いることに主眼をおいて選定した。

まず、母集団として、第 6.4.2-1 図に示す、敷地からの震央距離 150km 以内で観測された 1995 年 12 月から 2020 年 3 月までの地震のうち、M4 以上かつ地表面 (G.L. -2m) と解放基盤表面レベル (G.L. -125m) の地震計において地震観測記録が得られている地震 (350 地震) とした。

これらの地震には、内陸地殻内地震、プレート境界地震及びプレート内地震が混在し、到来方向や入射角度が一樣ではないため、前述のとおり各地震観測記録に対して、デコンボリューションを行うことにより、震源特性や伝播経路特性による影響は除去されるため、敷地における特性に着目した検討が行えることとなる。

また、各地震観測記録に対しては、S 波を含む 20 秒の区間を切り出して評価を行った。

これらの地震観測記録から、評価に用いる地震動の抽出を、(2) に示すとおり実施した。

(2) 地震観測記録に対する処理

まず、母集団とした地震全てに対し、各地震における地表面を基準とした解放基盤表面レベルにおけるデコンボリューション波形を作成した。また、それぞれのデコンボリューション波形を平均処理した波形（以下、「スタッキング波形」という。）を作成した。

これらの波形に対し、以下の式で定義される Anderson(2004)による GOF (Goodness of fitting) を算出し、各地震におけるデコンボリューション波形とスタッキング波形との相関が高い記録を選定した。

$$\text{GOF} = 10 \times \max[C(a_1(t), a_2(t)), 0]$$
$$C(a_1(t), a_2(t)) = \frac{\int a_1(t)a_2(t) dt}{[\int a_1^2(t)dt]^{1/2}[\int a_2^2(t)dt]^{1/2}}$$

ここで a_1 , a_2 はスタッキング波形と個々のデコンボリューション波形を表す。

第 6.4.2-1 表に示すとおり、Anderson(2004)は、GOF の値に応じた適合度を第 6.4.2-1 表のように設定している。第 6.4.2-1 表の判断基準を踏まえ、全地震のスタッキング波形に対する各波形の GOF を計算し、GOF の値が 8 以上の記録を用いて解析を行うこととした。GOF 値が 8 以上となっている地震は、全 350 地震中、311 地震であった。

また、Q 値は、スタッキング波形と各デコンボリューション波形から求めた伝達関数を平均した結果から求めるが、GOF の値が 8 以上の地震であっても、地震観測記録に含まれるノイズ等による影響により、各振動数成分の振幅が入射波<反射波となる地震観測記録がある場合、減衰定数を適切に評価することができないことから、これらのデータについては除くこととした。抽出の結果、上記を満足する地震は 180 地震であった。

最終的に Q 値を算定するためのスタッキング波形については、上記により抽出した 180 地震に基づき、改めて求めたものを用いた。減衰定数を求める上では、入射波及び反射波ともに、0 秒から観測相似の 2 倍の区間とした。

第 6.4.2-2 図に、各地震について、地表面の地震観測深さ (G.L.-2m) を基準点としたときの、解放基盤表面深さ (G.L.-125m) のデコン

ボリユーション波形を算定した結果について例を示す。各図には、母集団とした全地震によるスタッキング波形を重ね書きで示している。なお、個々の地震のデコンボリユーション波形のうち、図中で赤色で示しているものについては、GOFが8以上である波形であることを示す。

中央地盤については、各地震におけるデコンボリユーション波形において、入射波のピークと反射波のピークが明確に分離されており、GOFが8以上となっている記録の割合も多いことを確認した。

中央地盤において作成したスタッキング波形を第6.4.2-3図に示す。第6.4.2-3図のとおり、中央地盤の地震観測記録に基づくスタッキング波形については、入射波のピークと反射波のピークが明確に分離されていることから、「7.4.1 評価の概要」に示したとおり、Fukushima et al. (2016)における手法を当社敷地に適用することに問題はないと判断した。

一方で、西側地盤及び東側地盤の地震観測記録に基づくデコンボリユーション波形については、入射波のピークと反射波のピークが明確に分離されていないこと、第6.4.2-4図に示すとおり GOFが8以上となる地震が中央地盤と比較して少数となっている。

地震波干渉法については、上部の層による重複反射の影響が小さい、地表における地震観測記録を基準としてデコンボリユーション波形を算定する必要があるが、表層地盤における波形が、単純な入射と反射の減少とは異なる傾向を示す地震観測記録を用いる場合には、安定したデコンボリユーション波形の算定が困難であることから、東側地盤及び西側地盤における地震観測記録を地震波干渉法に用いることはできないと判断した。

西側地盤及び東側地盤について、この要因の分析を以下のとおり実施した。

以下、現時点においては東側地盤における要因分析結果を記載。西側地盤については追而。

(a) 東側地盤

第 6.4.2-5 図に、2012 年 5 月 24 日の地震及び 2019 年 8 月 15 日の地震を代表として速度時刻歴波形を示す。同図に示すとおり、中央地盤については、最深部の GL-200m から、最浅部の GL-2m まで、概ね時刻歴波形がその経時特性を保ったまま伝播している傾向がみられる。

一方、東側地盤については、最深部の GL-200m と比較して、中央地盤の最浅部の GL-2m の時刻歴波形には顕著にみられない後続波が明瞭に確認できる。この後続波は、岩盤部分を上昇した地震波が、地表において反射し、その下降波が、地震観測点において岩盤部分と表層地盤部分の境界である GL-18m で再度反射して上昇波となり、表層地盤内で重複反射を繰り返す傾向となったためであると考えられる。

次に、このような傾向がみられることの要因を、地震観測位置における地下構造の状況を踏まえて考察した。

第 6.4.2-6 図に示す各地震観測点の地質構造及び PS 検層結果によれば、中央地盤については、表層地盤に該当する六ヶ所層及び高位段丘堆積層の層厚は数 m 程度と薄く、岩盤である鷹架層中部層との速度のコントラストも小さいものとなっている。

一方で、東側地盤については、地震観測位置において盛土が層厚約 20m 程度に厚く分布しており、さらに、岩盤である鷹架層中部層との速度のコントラストも大きくなっている。

このことから、東側地盤については、中央地盤においてはほぼ見られない、表層地盤内の地震波の重複反射の繰り返しにより、地表の地震観測点における後続波が顕著に表れたものであると考えられる。

なお、本後続波が、地表の地震観測点固有の地震観測装置または周辺の振動源に起因するノイズではないことを確認するために、「3.3 敷地における減衰定数の評価方法」に示した追加調査として、同地震観測点における常時微動観測記録のデータを取得し、その確認を行った。常時微動観測は、2023 年 8 月 27 日～2023 年 9 月 2 日までの 7 日間、各地震観測深さにおけるデータを取得した。

常時微動観測記録のパワースペクトルを算定し、地震波干渉法に用いた地震との比較を行った結果を第 6.4.2-7 図に示す。常時微動観測記録には、地震波干渉法に用いる GL-2m 及び GL-125m のいずれの深さ

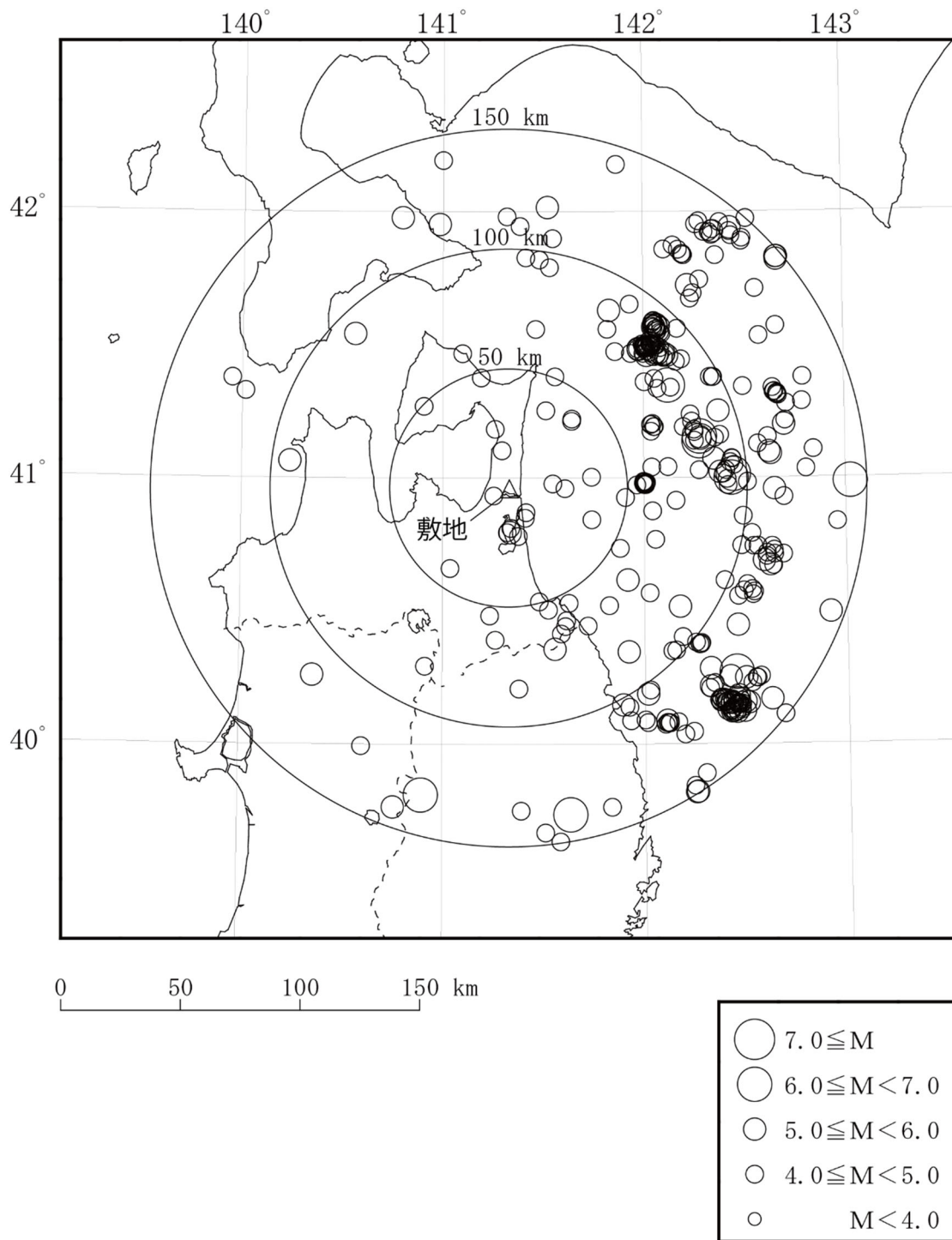
においても、その大きさは地震波干渉法に用いる地震と比較して十分に小さいことが確認できた。

このことから、東側地盤における地表の地震観測記録に、後続波が顕著に表れた要因としては、敷地内の常時微動による影響は無く、上記のとおり、地震観測位置における地下構造による影響であると考えられる。

以上のことから、東側地盤においては、敷地における地震観測記録を用いた地震波干渉法により減衰定数を評価することは、地震観測記録の特異性及びその手法の制約上、困難であると判断した。

(b) 西側地盤

追而



第 6.4.2-1 図 評価に用いた地震の震央位置

第 6.4.2-1 表 Anderson(2004)における GOF に対する判定の考え方

GOF の範囲	判定結果
4 以下	a poor fit
4 ~ 6	a fair fit
6 ~ 8	a good fit
8 以上	a excellent fit



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）



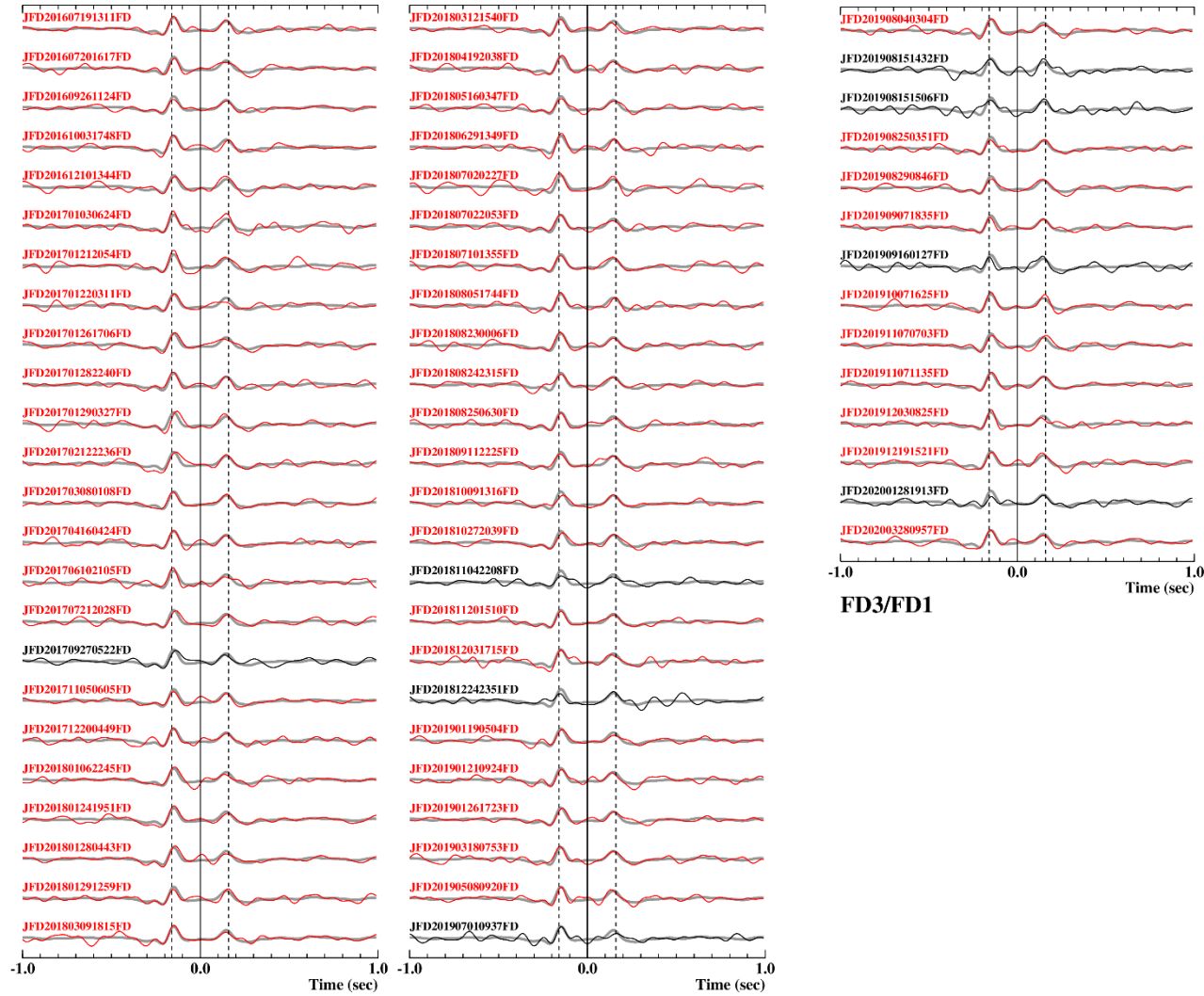
注記：GOF が8 以上のデコンボリューション波形は赤色で示す。

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）



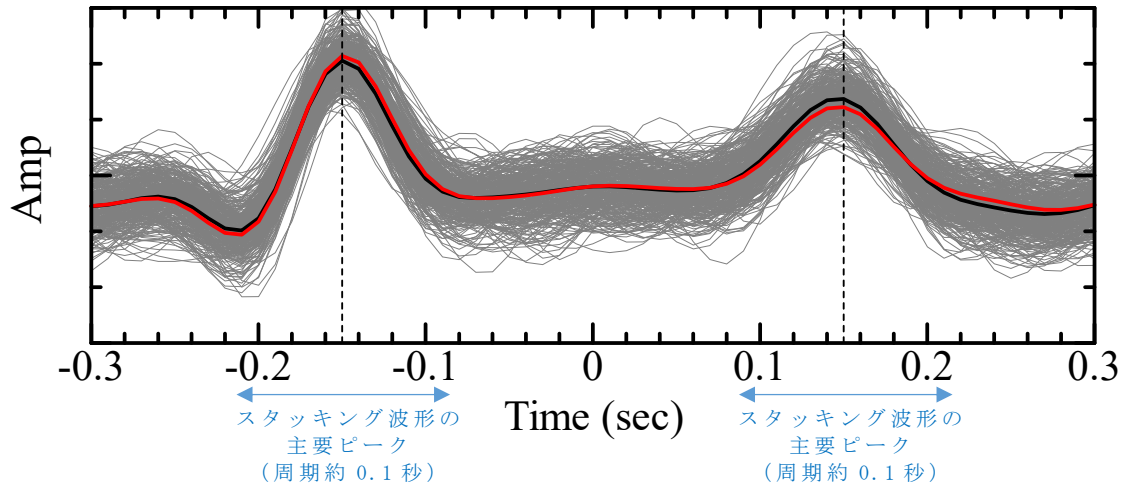
注記：GOF が8 以上のデコンボリューション波形は赤色で示す。

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）

灰線：G0F \geq 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

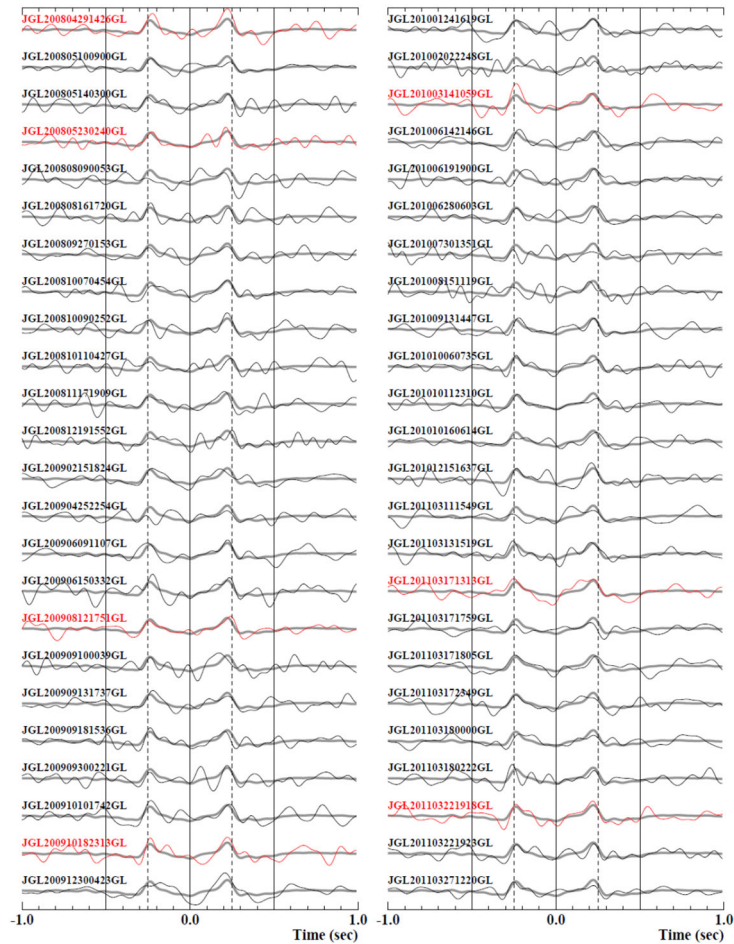
黒線：311 個の地震記録のスタッキング（平均）波形

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

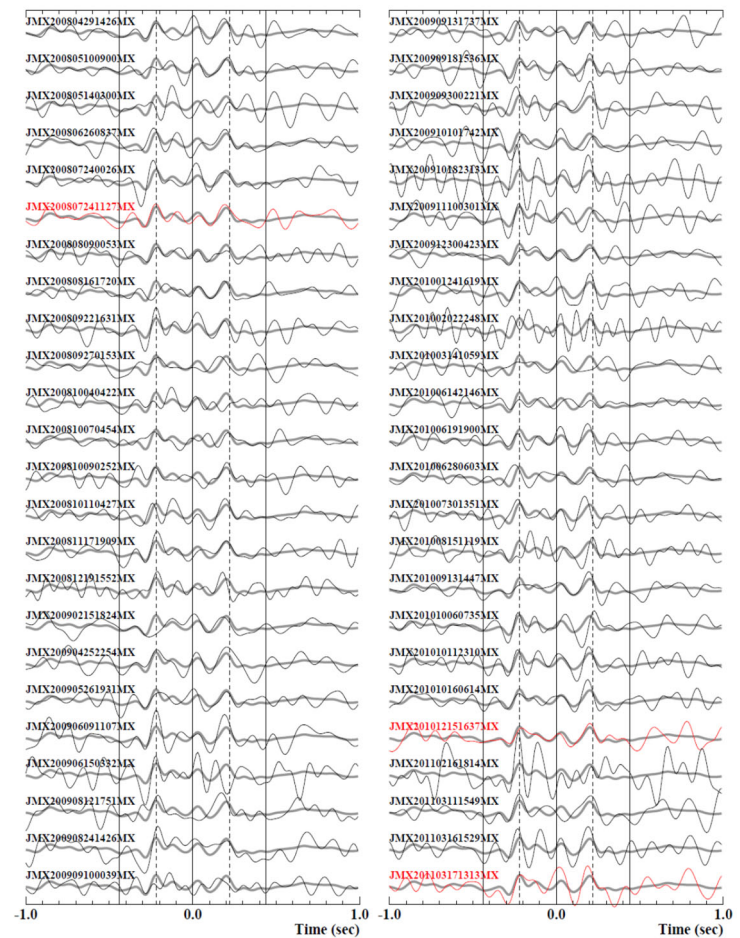


注記：鎖線は、スタッキング波形のピーク時刻（ ± 0.15 秒）を示す。

第 6.4.2-3 図 G0F 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



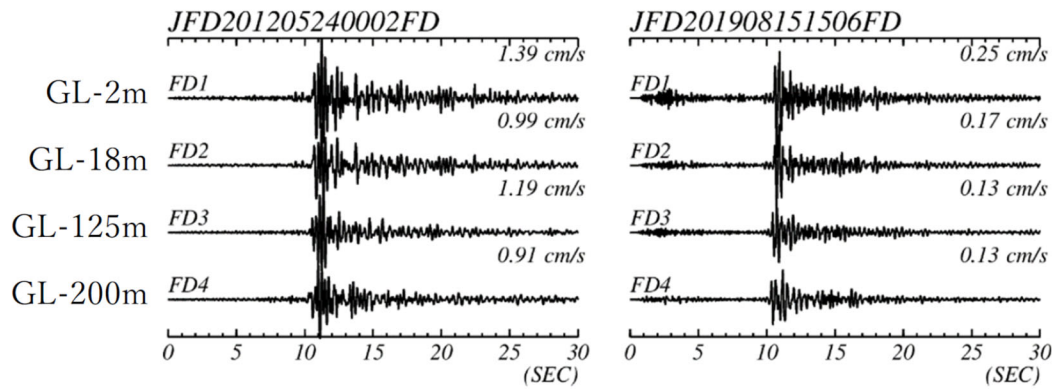
(a) 西側地盤



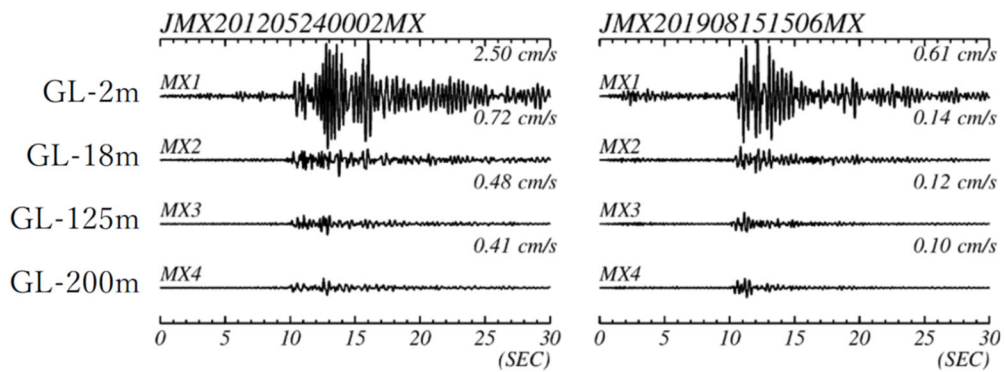
(b) 東側地盤

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。

第6.4.2-4図 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）

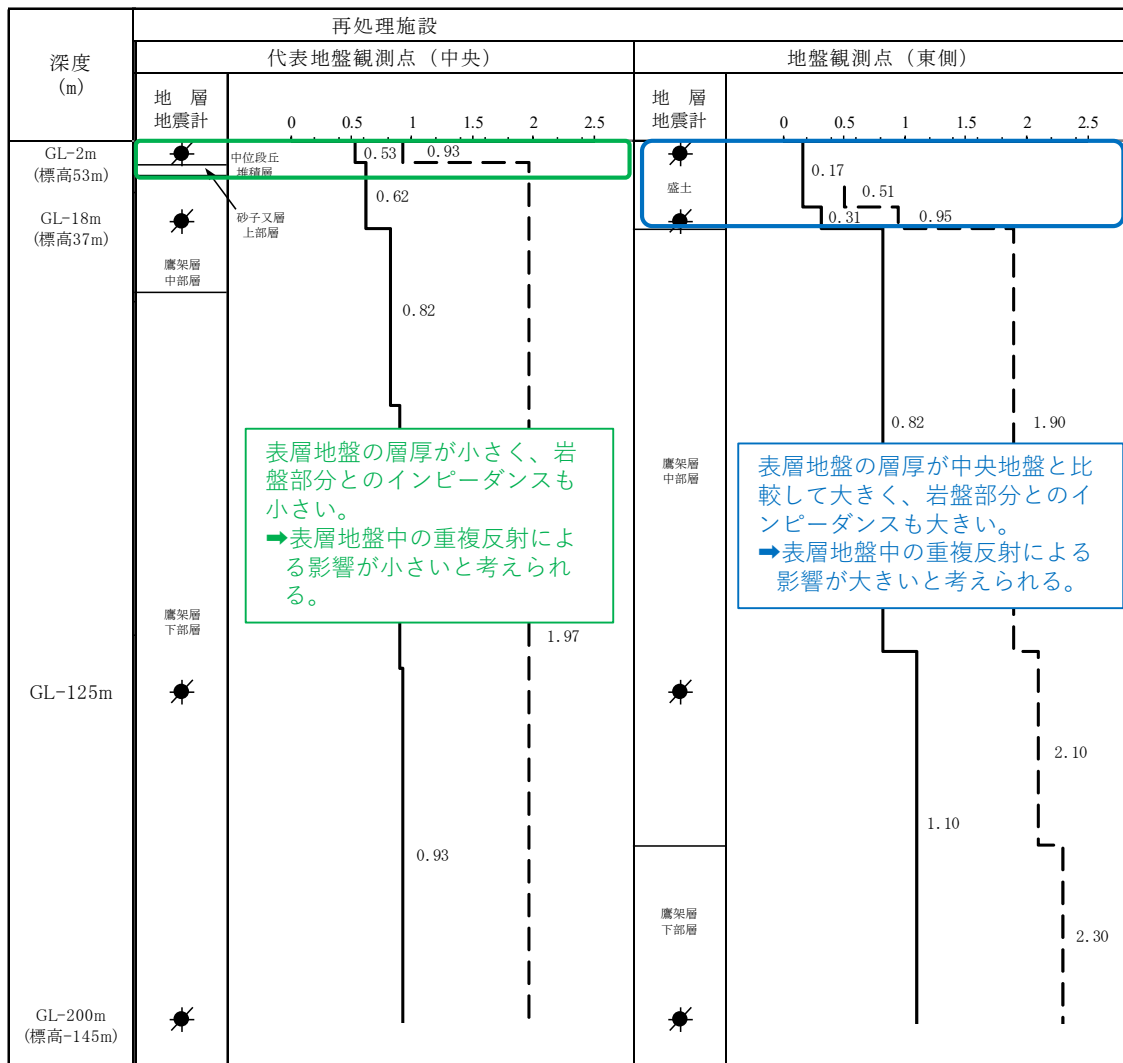


(a) 中央地盤観測点

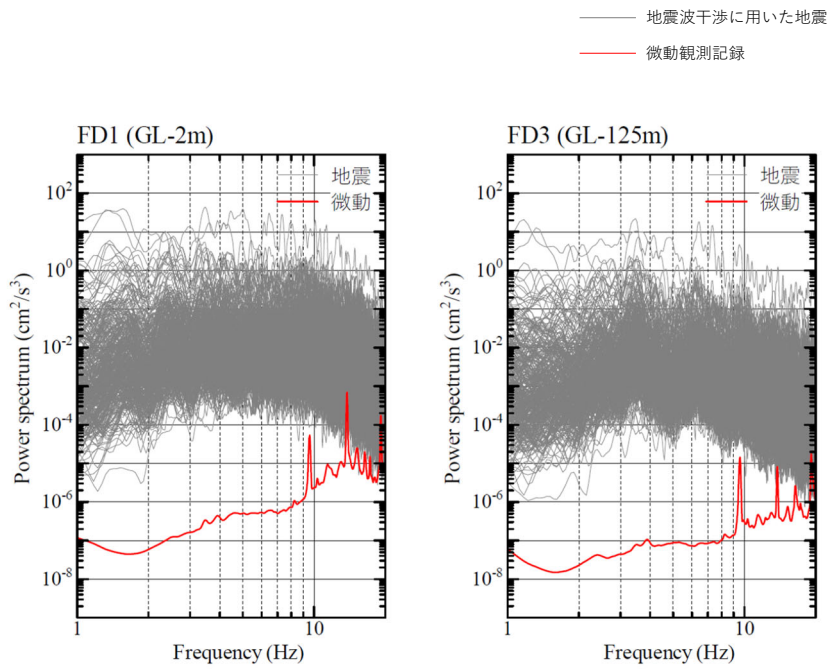


(b) 東側地盤観測点

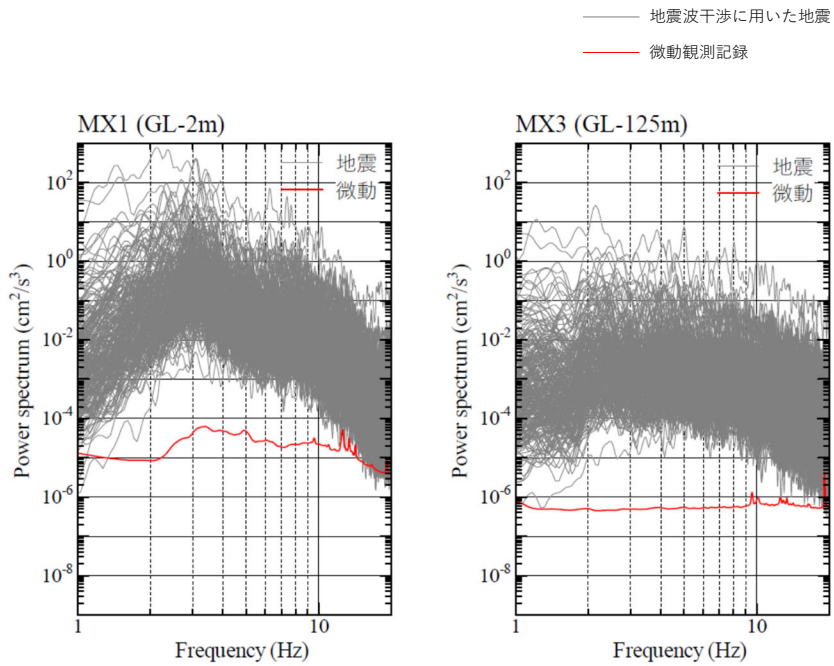
第 6.4.2-5 図 各深さにおける地震観測記録（速度時刻歴波形）



第 6.4.2-6 図 各地震観測位置における表層地盤部分の特徴



(a) 中央地盤観測点



(a) 東側地盤観測点

第 6.4.2-7 図 常時微動観測結果と地震波干渉法に用いた地震の
パワースペクトル

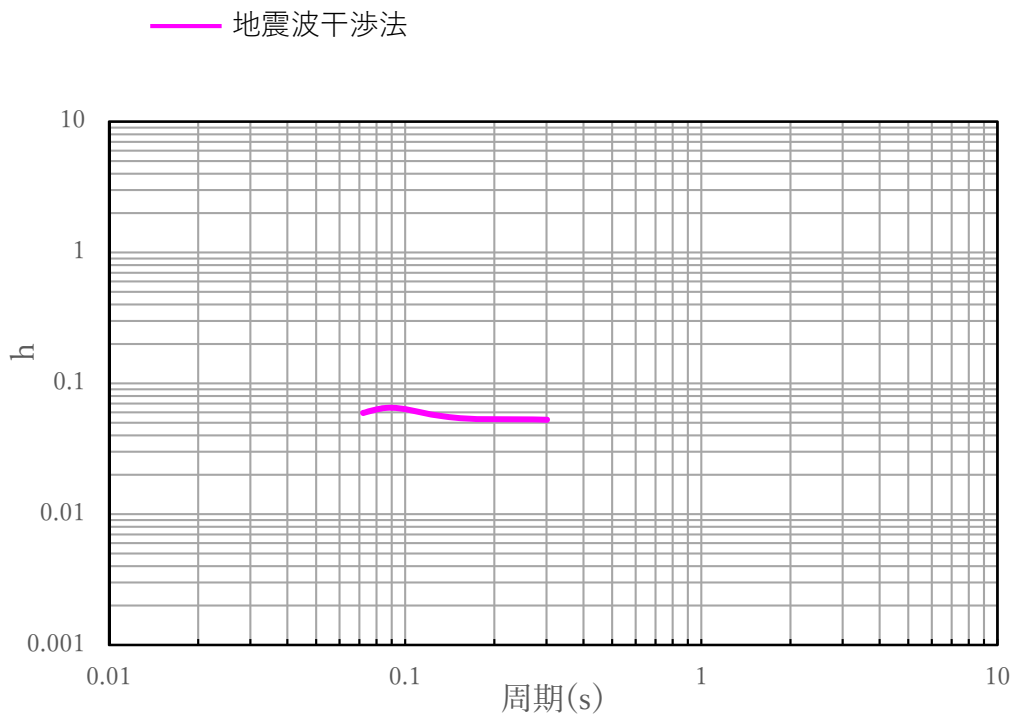
6.4.3 減衰定数の推定結果

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振動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、周期約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）

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。

本章に示す考察及び地盤の実態を考慮したパラメータの設定結果については、現時点で得られているデータ及び評価結果に基づくもの。今後、追加評価結果及び追加調査結果を踏まえて改めて見直しを行う

7.1 地盤の実態を考慮した減衰定数の値及び振動数特性

7.1.1 各手法により評価された材料減衰と散乱減衰に係る考察

「2.1.2 JEAG4601-1987における評価手法」に示したとおり、地盤の実態としては、材料減衰と散乱減衰の両方が含まれるが、「3.3 敷地における減衰定数の評価方法」に示した各検討項目のとおり、敷地においては、材料減衰のみを考慮可能な手法として、三軸圧縮試験が実施されており、さらに、他サイト実績等を踏まえ、岩石コア試験を新規調査として実施することとしている。

上記を踏まえ、本章では、材料減衰と散乱減衰の両方を考慮可能な方法による評価結果に対し、三軸圧縮試験によって得られている材料減衰が、物理的にどのような関係にあるか考察を行う。

岩石コア試験結果を踏まえた考察は、今後追加調査データ得られ次第追加

散乱減衰と材料減衰の物理的な関係を示した知見として、「6.3.4 (2) 振動数依存性を考慮する設定（バイリニア型）」に示した、佐藤ほか（2006）による、バイリニア型の減衰モデルが挙げられる。このモデルは、散乱減衰は振動数依存性を有し、高振動数側になるに従って減少する傾向をもつが、ある一定の振動数よりも高振動数側においては、振動数特性を有しない材料減衰が支配的となり、減衰定数として一定の値に頭打ちするものとされている。

このことから、敷地において、材料減衰と散乱減衰の両方に対する評価結果における振動数依存性に着目すると、高振動数側で概ね一定となるような値については、敷地の岩盤部分における材料減衰と等価な値になっていると考えられる。

なお、「6.3.4 (2) 振動数依存性を考慮する設定（バイリニア型）」に示したとおり、伝達関数による検討にあたっては、信頼区間を水平方向で0～20Hzとしており、S波検層結果を踏まえれば、減衰定数が概ね一定となる振動数は、この区間よりも高振動数側であると考えられることから、減衰定数の頭打ちの傾向の確認にあたっては、20Hz以

上の高振動数側に信頼区間を有する S 波検層による評価結果を参照する。

現時点においては既往データ（3ヶ所）との比較結果を示す。今後追加調査データ得られ次第，各地点における S 波検層結果との比較結果を追加。

以上の考え方を踏まえ，既往データ（3地点）における S 波検層による評価結果を踏まえた材料減衰の物理的な関係を，中央地盤，西側地盤及び東側地盤のそれぞれについて考察した。なお，S 波検層による評価結果と三軸圧縮試験による評価結果を比較するにあたって，S 波検層については，敷地地盤に対する加振により減衰定数を評価しているが，その振幅は十分に小さく，岩盤部分における加振時に非線形性が卓越していることは無いと考えられることから，三軸圧縮試験による評価結果については，各岩種の線形領域における値（「4. 三軸圧縮試験による評価結果」に示す $h - \gamma$ 関係式におけるせん断ひずみ $\gamma = 0$ 時の値）を参照する。

(1) 中央地盤

中央地盤における主要岩種について、「4. 三軸圧縮試験による評価結果」に示したひずみ依存特性（ $h - \gamma$ 関係）に基づく線形領域の材料減衰の値を以下に示す。

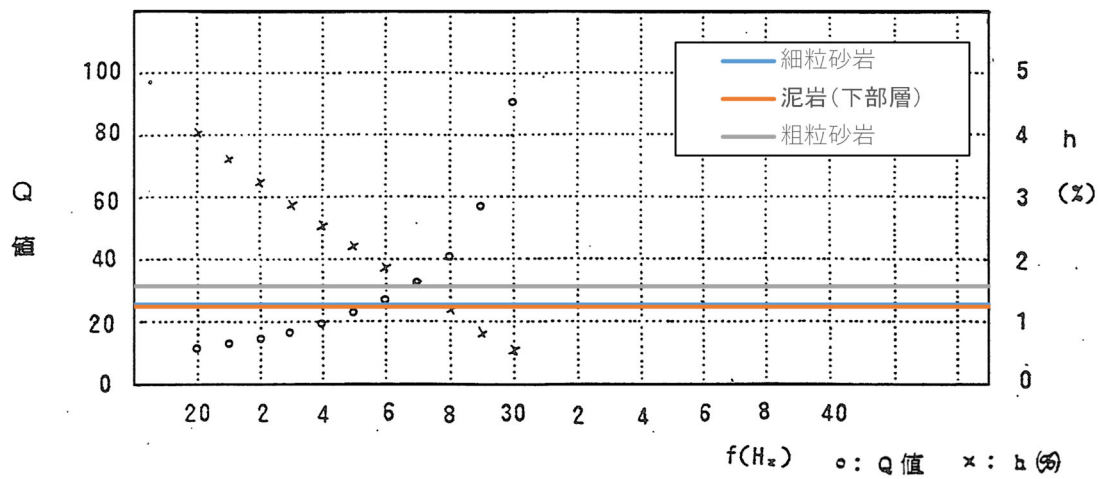
- ・ 細粒砂岩：1.29%
- ・ 泥岩（下部層）：1.25%
- ・ 粗粒砂岩：1.58%

中央地盤における既往の S 波検層データと，上記材料減衰を第 7.1.1-1 図に示す。

三軸圧縮試験結果に基づく材料減衰は，いずれの岩種においても，30Hz 近傍(28Hz)における S 波検層結果における値と整合的である。

また，30Hz 近傍よりも低振動数側では，S 波検層結果に明瞭な振動数依存特性が確認できること，さらに，「7.1.1 振動数特性について」に示したとおり，低振動数側に対する地震観測記録との適合性を考慮した，伝達関数による評価結果によれば，振動数依存性を考慮した減衰定数が地震観測記録との適合性がよいことを踏まえると，中央地盤においては，現時点で得られているデータに基づけば，30Hz 近傍よりも低振動数側においては，振動数依存性を有する散乱減衰が卓越していると考えられる。

今後追加調査データ得られ次第，各地点における S 波検層結果との比較結果及び考察を追加し，更に考察を行う。



第 7.1.1-1 図 中央地盤における材料減衰と S 波検層結果の比較

(2) 西側地盤

西側地盤における主要岩種について、「4. 三軸圧縮試験による評価結果」に示したひずみ依存特性（ $h - \gamma$ 関係）に基づく線形領域の材料減衰の値を以下に示す。

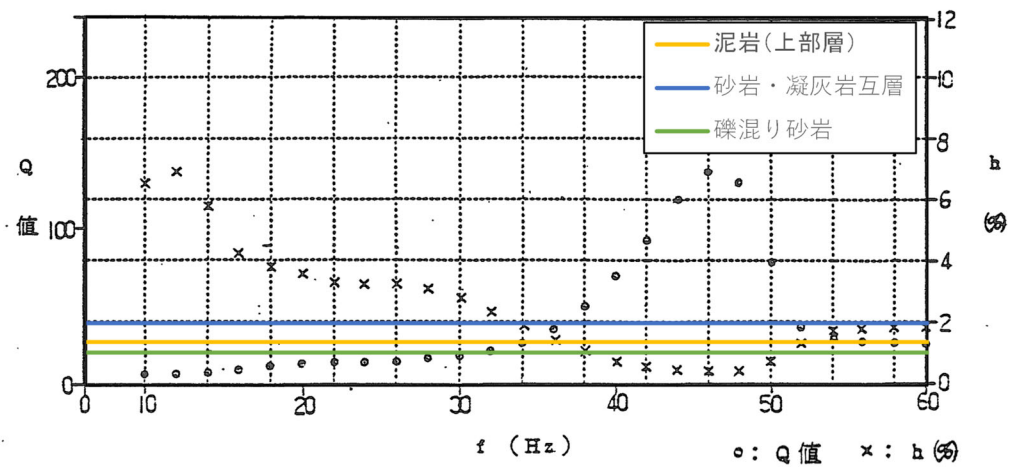
- ・ 泥岩（上部層）：1.42%
- ・ 砂岩・凝灰岩互層：2.04%
- ・ 礫混り砂岩：1.08%

西側地盤における既往の S 波検層データと，上記材料減衰を第 7.1.1-2 図に示す。

西側地盤の S 波検層データは，30～40Hz よりも高振動数側で概ね一定となるような傾向がみられ，三軸圧縮試験結果に基づく材料減衰は，この振動数帯よりも高振動数側でいずれの岩種についても概ね同等の値となっていることから，S 波検層データと三軸圧縮試験結果ともに，材料減衰としては地盤の実態を捉えたデータが得られていると考えられる。

また，30～40Hz よりも低振動数側では，S 波検層結果に明瞭な振動数依存特性が確認できること，さらに，「7.1.1 振動数特性について」に示したとおり，低振動数側に対する地震観測記録との適合性を考慮した，伝達関数による評価結果によれば，振動数依存性を考慮した減衰定数が地震観測記録との適合性がよいことを踏まえると，西側地盤においては，現時点で得られているデータに基づけば，30～40Hz 近傍よりも低振動数側においては，振動数依存性を有する散乱減衰が卓越していると考えられる。

今後追加調査データ得られ次第，各地点における S 波検層結果との比較結果及び考察を追加し，更に考察を行う。



第 7.1.1-2 図 西側地盤における材料減衰と S 波検層結果の比較

(3) 東側地盤

東側地盤における主要岩種について、「4. 三軸圧縮試験による評価結果」に示したひずみ依存特性（ $h - \gamma$ 関係）に基づく線形領域の材料減衰の値を以下に示す。

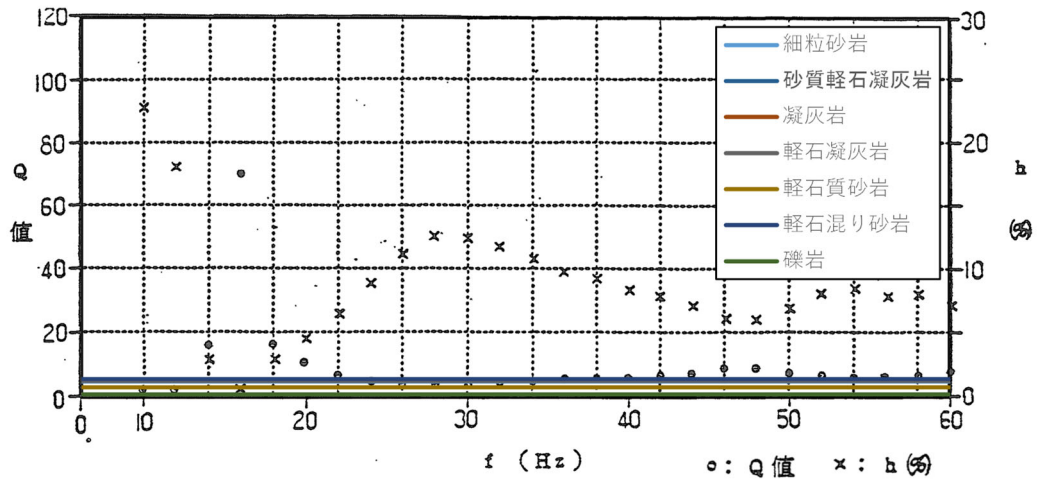
- ・砂質軽石凝灰岩：1.48%
- ・凝灰岩：1.47%
- ・軽石凝灰岩：1.34%
- ・軽石質砂岩：0.826%
- ・軽石混り砂岩：1.48%
- ・礫岩：0.274%
- ・細粒砂岩：1.58%

東側地盤における既往の S 波検層データと、上記材料減衰を第 7.1.1-3 図に示す。

東側地盤の S 波検層データは、「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、高振動数領域に至るまで 10% 前後の大きい減衰定数が得られており、ばらつきの大きい結果になっていると考えられることから、既往データに基づく S 波検層結果においては、東側地盤の材料減衰は地盤の実態を捉えた値として得られてはいないと考えられる。

一方、「7.1.1 振動数特性について」に示したとおり、低振動数側に対する地震観測記録との適合性を考慮した、伝達関数による評価結果によれば、振動数依存性を考慮した減衰定数が地震観測記録との適合性がよいことは、中央地盤及び西側地盤と同様に、低振動数側で散乱減衰が卓越することを示唆しているとも考えられる。

今後追加調査データ得られ次第、各地点における S 波検層結果との比較結果及び考察を追加し、更に考察を行う。



第 7.1.1-3 図 東側地盤における材料減衰と S 波検層結果の比較

7.1.2 速度構造の相対的な比較に基づく考察

「7.1.1 各手法により評価された材料減衰と散乱減衰に係る考察」においては、振動数依存性が見られなくなり、材料減衰が卓越する高振動数側に着目した比較を行ったが、本章では、散乱減衰が卓越する低振動数側に着目し、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。

ここで、佐藤ほか(2006)に示される減衰定数は、第7.1.2-1表に示す2地点(OBS-A及びOBS-B)において評価されたものである。

敷地に分布する岩盤は、堆積岩を主体としており、その速度構造は、「6.3.6.1 伝達関数による評価結果(振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型)」に示したとおり、中央地盤で760~830m/s、東側地盤で640~1090m/sと同定されている。

このことから、佐藤ほか(2006)における評価地点のうち、速度構造としては、OBS-AにおけるGL0~-25mが敷地と近い条件となっているが、岩盤種別としては、敷地と同じく堆積岩で構成されているOBS-Bが敷地と近い条件となっている。

上記を踏まえ、佐藤ほか(2006)に示されるOBS-AにおけるGL0~-25m及びOBS-BにおけるGL0~-36.9mにおける評価(図中太点線のうち「OBS-A(GL0~-25m)」)、太実線のうち「OBS-B(GL0~-36.9m)」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「($V_s=700\text{m/s}$)」)を参照し、散乱減衰が卓越する振動数依存性を

有する領域における減衰定数の傾き及び大きさについて、中央地盤及び東側地盤において同定された減衰定数との比較を行った。比較の結果を以下(1)～(3)に示す。

第 7.1.2-1 表 佐藤ほか (2006) にて対象とされている地点の地下構造

(a) OBS-A

<u>深さ (GL)</u> <u>(m)</u>	<u>S 波速度</u> <u>(m/s)</u>	<u>主な構成岩種</u>
<u>0～-25</u>	<u>205～935</u>	<u>安山岩や凝灰角礫岩</u>
<u>-25～-128</u>	<u>1280～2000</u>	
<u>-128～-220</u>	<u>2397</u>	

(b) OBS-B

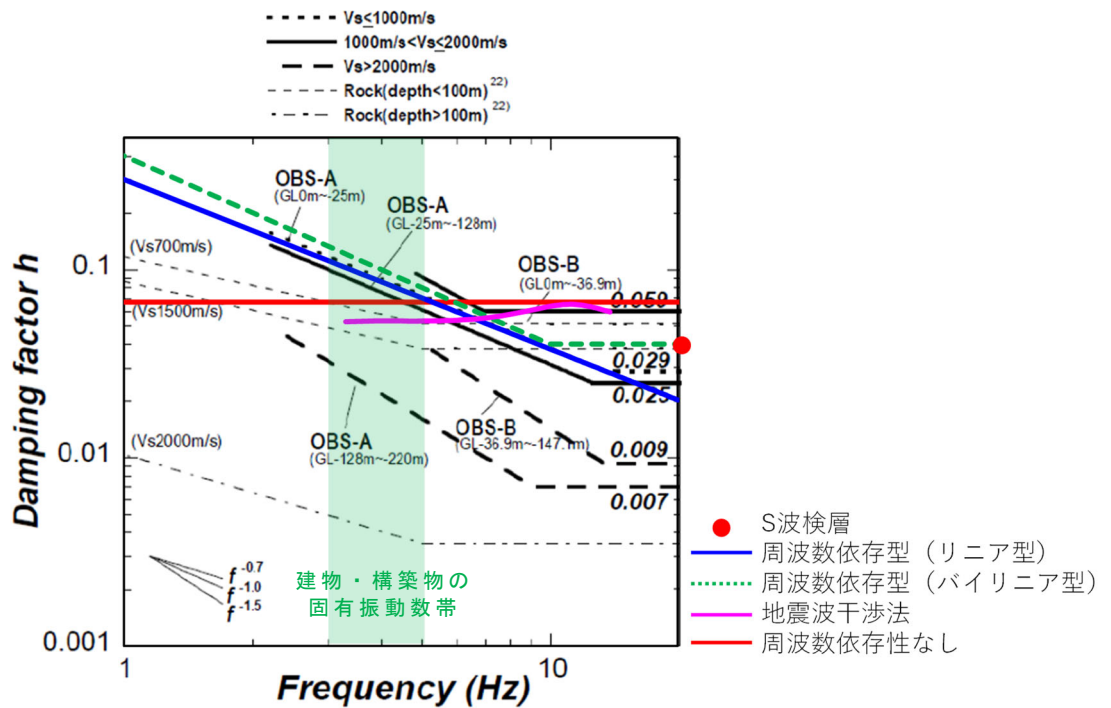
<u>深さ (GL)</u> <u>(m)</u>	<u>S 波速度</u> <u>(m/s)</u>	<u>主な構成岩種</u>
<u>0～-36.9</u>	<u>1016～1812</u>	<u>砂岩や頁岩等の堆積岩</u>
<u>-36.9～-147.7</u>	<u>1811～2610</u>	

(1) 中央地盤

中央地盤における比較結果を第 7.1.2-1 図に示す。中央地盤については、振動数依存性を考慮した減衰定数（リニア型・バイリニア型）について、振動数依存性の傾きが OBS-A における GL0m~-25m, OBS-B における GL0m~-36.9m における評価結果及び福島ほか(1994)による $V_s=700\text{m/s}$ における経験的な値にみられる振動数依存性とよく整合している。

減衰定数の大きさについては、振動数依存性を考慮しない場合の減衰定数及び地震波干渉法による評価結果も含め、建物・構築物の固有振動数帯（3~5Hz）において概ね上記 2 地点及び経験的な値の中間に位置している。

以上のことから、敷地において評価された減衰定数は、散乱減衰が卓越する低振動数側においても、既往知見に基づく類似地点における減衰定数と比較して、特異な傾向は示していないことを確認した。



第 7.1.2-1 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）

(2) 西側地盤

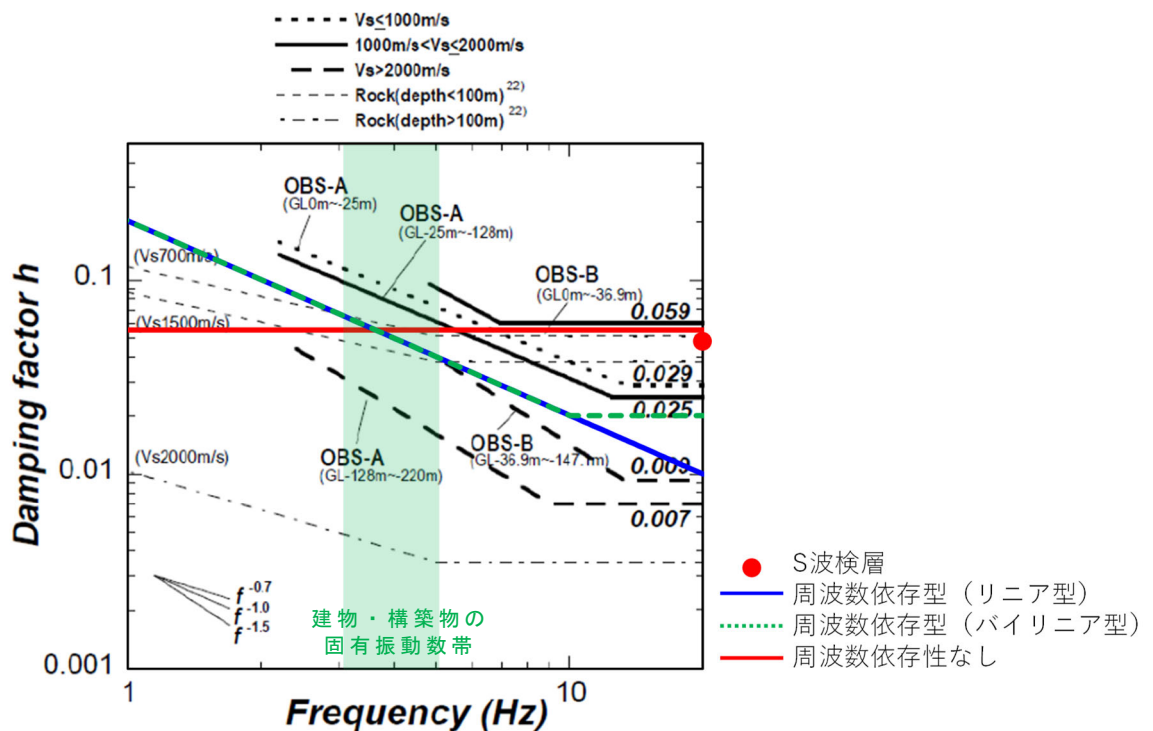
西側地盤観測点における同定結果得られ次第追而

(3) 東側地盤

東側地盤における比較結果を第 7.1.2-2 図に示す。東側地盤については、振動数依存性を考慮した減衰定数（リニア型・バイリニア型）について、振動数依存性の傾きが OBS-A における GL0m～-25m、OBS-B における GL0m～-36.9m における評価結果及び福島ほか(1994)による $V_s=700\text{m/s}$ における経験的な値にみられる振動数依存性とよく整合している。

減衰定数の大きさについては、振動数依存性を考慮しない場合の減衰定数及び地震波干渉法による評価結果も含め、建物・構築物の固有振動数帯（3～5Hz）において概ね上記 2 地点及び経験的な値の中間に位置している。

以上のことから、敷地において評価された減衰定数は、散乱減衰が卓越する低振動数側においても、既往知見に基づく類似地点における減衰定数と比較して、特異な傾向は示していないことを確認した。



(c) 東側地盤

第 7.1.2-2 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）

7.1.3 振動数特性について

本章では、本資料において実施した各種検討を踏まえ、敷地において建物・構築物の入力地震動を算定する上で、地盤の実態を考慮したパラメータとしての、減衰定数にみられる振動数特性の扱いについて考察する。

「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振動数依存性を有している。

さらに、「7.1.1 各手法により評価された材料減衰と散乱減衰に係る考察」に示したとおり、振動数依存性を有しない材料減衰が卓越するのは、概ね30Hzよりも高振動数側であり、それよりも低振動数側では振動数依存性を有する散乱減衰が卓越していると考えられ、建物・構築物の固有周期（0.2～0.3秒）が含まれる周期帯については散乱減衰が卓越していると考えられる。

このことから、敷地において、地盤の実態を考慮した減衰定数の振動数特性としては、低振動数帯ではリニア型の振動数依存性を考慮し、概ね30Hzよりも高振動数帯では振動数依存性のない三軸圧縮試験に基づく材料減衰となると考えられる。

ただし、「6.3.6 振動数依存性を考慮する場合の評価結果」に示したとおり、高振動数帯までリニア型の減衰手数を外挿し、バイリニア型の減衰定数（リニア型との変動が大きくなるよう折れ点を10Hzと仮定）との地震観測記録のシミュレーション解析結果を比較しても、応答スペクトルに差は無い結果となったことから、入力地震動の応答スペクトルを算定する上では、高振動数型までをリニア型として考慮した減衰定数は、地盤の実態に対して等価な設定となっていると考えられる。

また、「6.3.7 振動数依存性を考慮しない場合の評価結果」に示したとおり、振動数依存性を考慮しない場合の減衰定数を仮定したとしても、地震観測記録のシミュレーション解析結果は、応答スペクトル上、振動数依存性を考慮した場合の設定に対して大きく与える設定と

なっていることから、振動数依存性を考慮しない減衰定数について
も、地盤の実態に対して過小評価することのない設定となっていると
考えられる。

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。

ここで、「7.1.1 各手法により評価された材料減衰と散乱減衰に係る考察」に示したとおり、敷地における地盤の実態として、材料減衰は、概ね 30Hz よりも高振動数側で卓越することを確認している。

以上を踏まえ、敷地における地盤の実態としては、材料減衰が卓越する概ね 30Hz よりも高振動数側の領域の減衰定数について、三軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 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

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、一般的に耐震設計において広く用いられている設定の適用性や設計上の保守性を考慮した上で、耐震設計上用いるパラメータ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、一般的に耐震設計において広く用いられている設定の適用性や設計上の保守性を考慮した「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。

今後、西側地盤観測点における同定結果、シミュレーション解析結果及び追加調査結果を踏まえて「7.」にて地盤の実態を考慮したパラメータについての考察を行った上で、以下「8.1」～「8.3」の内容は再度検討する。

8.1 振動数依存特性を考慮しない設定の適用性

「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、振動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。

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、減衰定数に振動数依存特性を考慮しない設定が、一般的に広く採用されており、他サイトにおける設計での採用実績も有していることから、その設定に関し、設計上の妥当性・信頼性も確保されていると考えられる。

また、振動数依存特性とひずみ依存特性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。

このことから、本章では、一般的に耐震設計において広く用いられている設定として、振動数依存特性を考慮しない設定の適用性について、地盤の実態を考慮した減衰定数の傾向を踏まえて検討する。

本資料では、敷地における岩盤部分の減衰定数を、地震観測記録を用いた方法により振動数依存性を考慮する場合としない場合の両方に対して評価を行った。

「7.1.2 振動数特性について」に示したとおり、地盤の減衰定数は、実態としては、低振動数側で振動数依存性を有し、高振動数側では振動数依存性を有しないものとなるが、リニア型の振動数依存性を考慮した減衰定数は、入力地震動を算定する上では、地盤の実態に対して等価な減衰定数になっていると考えられる。

さらに、「6.3.7.2 応答スペクトルによる評価結果(振動数依存性なし)」に示すとおり、地震観測記録によるシミュレーション解析結果の応答スペクトルについては、振動数依存性を考慮しない場合の減衰定数は、リニア型の振動数依存性を考慮した減衰定数に対し、特に建物・構築物の固有周期帯(水平0.2~0.3秒、鉛直0.1秒~0.2秒)において応答を大きく評価しており、地盤の実態に対して過小評価することのない値であることを確認している。

以上のことを踏まえ、敷地において、建物・構築物の入力地震動を算定する上では、設計上の保守性両方の観点からも、「基本地盤モデル」に対しては、一般的に広く耐震設計にて用いられている設定であり、さらに、設計上安全側の入力地震動を与えることになる、振動数依存性を考慮しない場合

の減衰定数の評価結果を設定することとする。

なお、第 1 回設工認申請にて入力地震動の算定に用いた地盤モデルの減衰定数については、岩盤部分について、三軸圧縮試験に基づく材料減衰のみを考慮しているが、高振動数側で振動数依存性を考慮しない小さい値を低振動数側まで外挿し、地盤の実態として低振動数側に見られる散乱減衰は考慮しない設定としていることから、入力地震動を算定する上では小さい減衰定数を与えていることとなる。

8.2 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。

8.3 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。

「6.3.7 振動数依存性を考慮しない場合の減衰定数の評価結果」において、敷地の岩盤部分における減衰定数については、以下のとおり、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ている。

中央地盤：水平方向 6.7% 鉛直方向 9.3% (鉛直/水平=1.39)

東側地盤；水平方向 5.5% 鉛直方向 7.0% (鉛直/水平=1.27)

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。

8.4 「基本地盤モデル」に設計するパラメータの設定結果

本章では、「8.1 振動数依存特性を考慮しない設定の適用性」，「8.2 ひずみ依存特性を考慮しない場合についての検討」，「8.3 鉛直方向の減衰定数の扱い」に示した，一般的に耐震設計において広く用いられている設定の適用性や保守性に関する検討結果を踏まえ，「基本地盤モデル」に設定する岩盤部分の減衰定数の値を示す。

今後，西側地盤観測点における同定結果，シミュレーション解析結果及び追加調査結果を踏まえた考察を行った上で，各地盤において「基本地盤モデル」に設定するパラメータについての最終的な結論を記載する。

9. まとめ

追而

参考 1

岩盤部分の減衰定数の設定に係る追加調査

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。

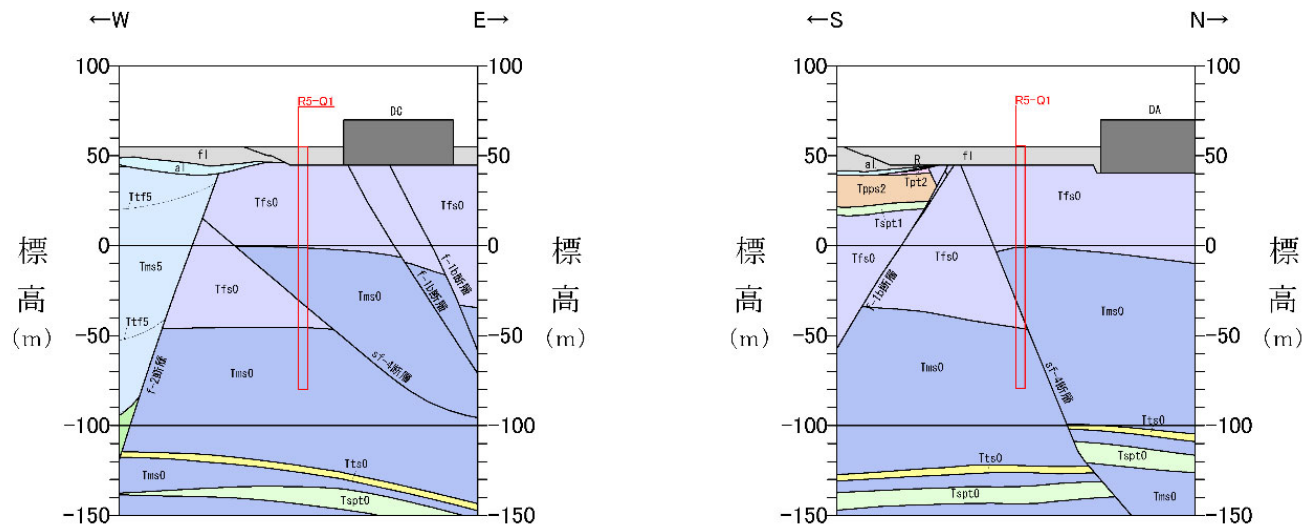
東側地盤：既往 E-T 孔は、建物から離れた位置で実施していること、また、東側地盤は南北に建物が分布していることから、R5-Q7 及び R5-Q12 を追加する。

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。

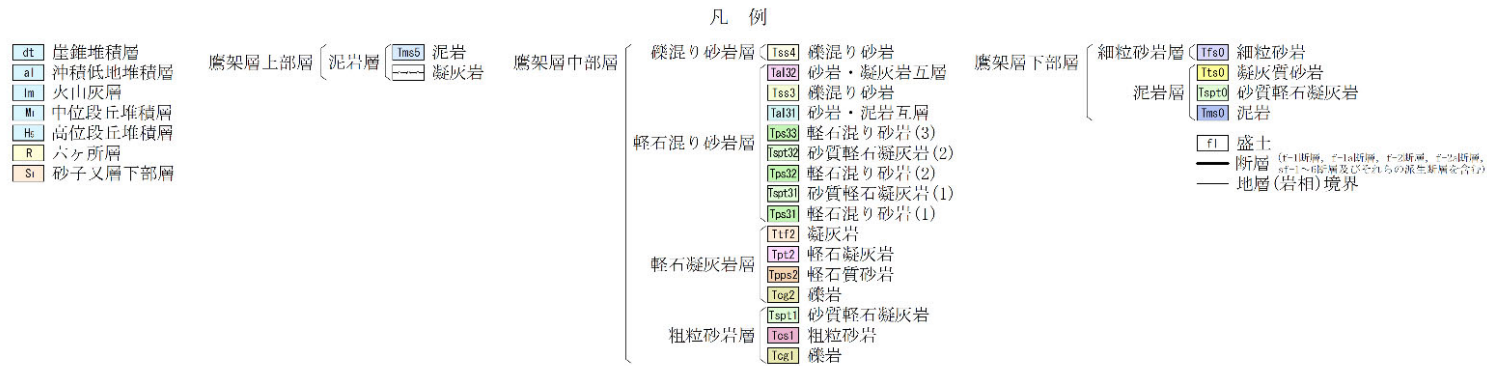
Q 値測定孔の敷地内での配置条件としては、弾性波測定であることから伝達速度に影響を与える建物・構築物からの離隔を十分に確保する。

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。

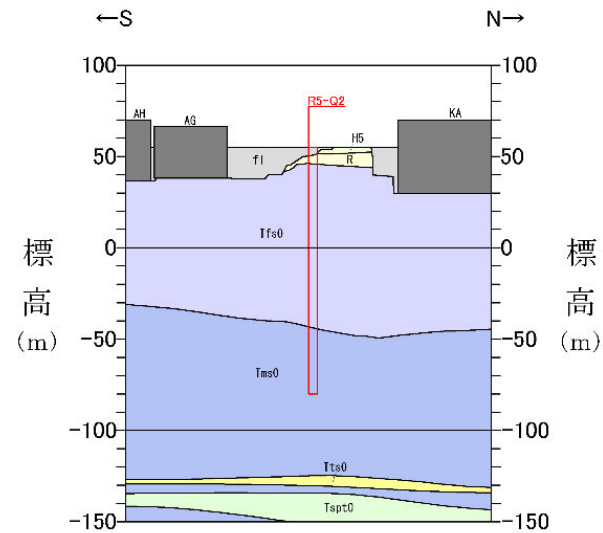
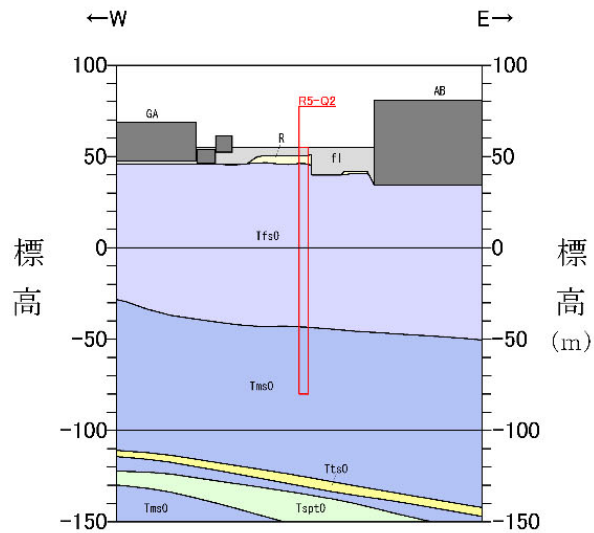


R5-Q1

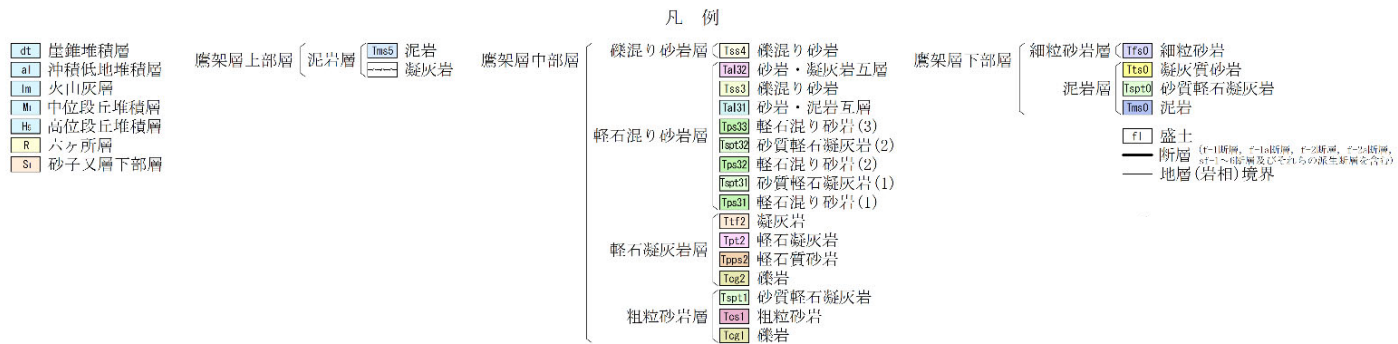


参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (1/12)

参考-6

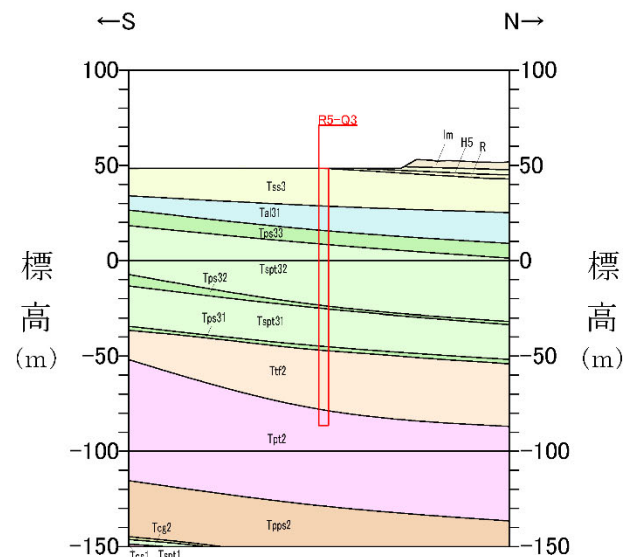
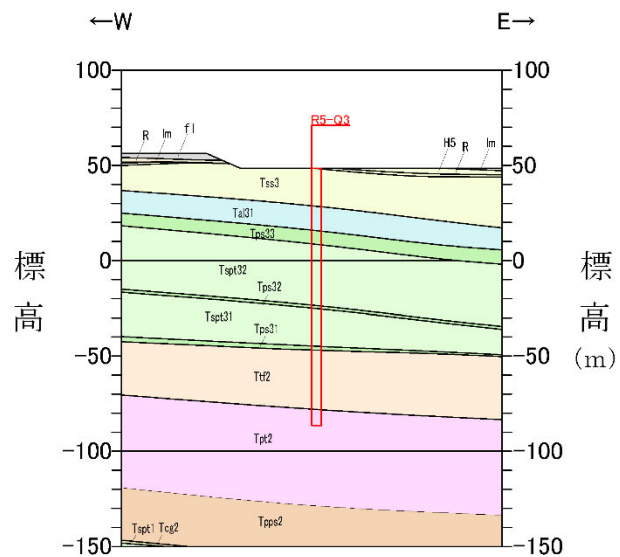


R5-Q2



参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (2/12)

参考-7



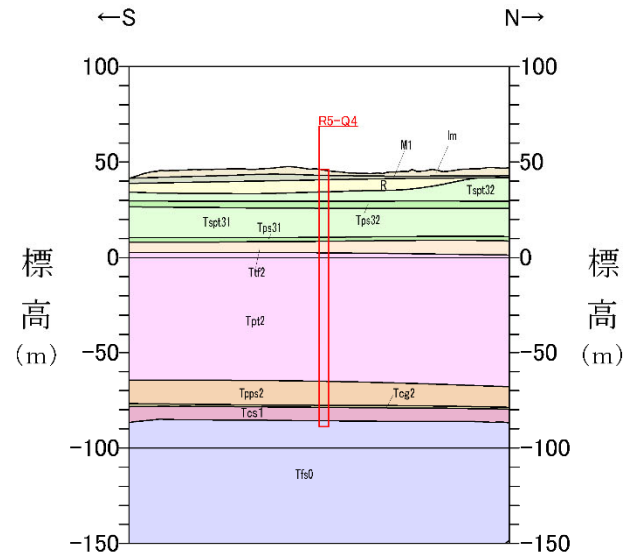
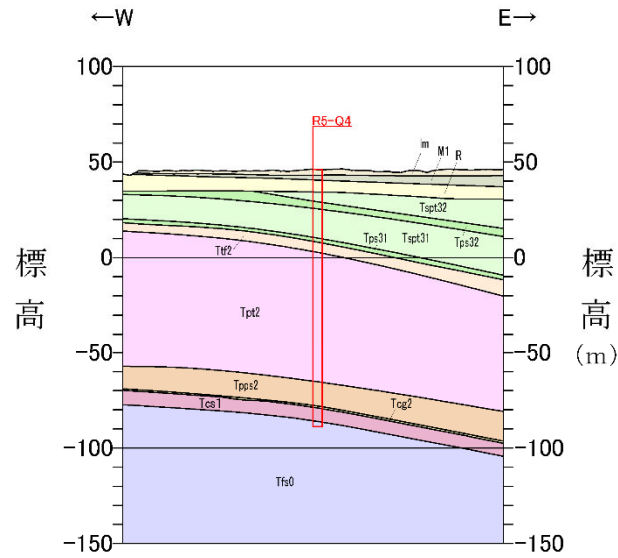
R5-Q3

凡 例

<table border="1"> <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>Ht</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>砂子叉層下部層</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	Ht	高位段丘堆積層	R	六ヶ所層	Si	砂子叉層下部層	<table border="1"> <tr><td>Tms5</td><td>泥岩</td></tr> <tr><td>Tms5</td><td>凝灰岩</td></tr> </table>	Tms5	泥岩	Tms5	凝灰岩	<table border="1"> <tr><td>Tss4</td><td>礫混り砂岩</td></tr> <tr><td>Tai32</td><td>砂岩・凝灰岩互層</td></tr> <tr><td>Tss3</td><td>礫混り砂岩</td></tr> <tr><td>Tai31</td><td>砂岩・泥岩互層</td></tr> <tr><td>Tps33</td><td>軽石混り砂岩(3)</td></tr> <tr><td>Tps32</td><td>砂質軽石凝灰岩(2)</td></tr> <tr><td>Tps31</td><td>砂質軽石凝灰岩(1)</td></tr> <tr><td>Tps31</td><td>軽石混り砂岩(1)</td></tr> <tr><td>Tt2</td><td>凝灰岩</td></tr> <tr><td>Tpt2</td><td>軽石凝灰岩</td></tr> <tr><td>Tps2</td><td>軽石質砂岩</td></tr> <tr><td>Tcg2</td><td>礫岩</td></tr> <tr><td>Tsp13</td><td>砂質軽石凝灰岩</td></tr> <tr><td>Tos1</td><td>粗粒砂岩</td></tr> <tr><td>Tcg1</td><td>礫岩</td></tr> </table>	Tss4	礫混り砂岩	Tai32	砂岩・凝灰岩互層	Tss3	礫混り砂岩	Tai31	砂岩・泥岩互層	Tps33	軽石混り砂岩(3)	Tps32	砂質軽石凝灰岩(2)	Tps31	砂質軽石凝灰岩(1)	Tps31	軽石混り砂岩(1)	Tt2	凝灰岩	Tpt2	軽石凝灰岩	Tps2	軽石質砂岩	Tcg2	礫岩	Tsp13	砂質軽石凝灰岩	Tos1	粗粒砂岩	Tcg1	礫岩	<table border="1"> <tr><td>Tfs0</td><td>細粒砂岩</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>凝灰質砂岩</td></tr> <tr><td>Tps0</td><td>砂質軽石凝灰岩</td></tr> <tr><td>Tms0</td><td>泥岩</td></tr> </table>	Tfs0	細粒砂岩	Tfs0	凝灰質砂岩	Tps0	砂質軽石凝灰岩	Tms0	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																																																										
Ht	高位段丘堆積層																																																										
R	六ヶ所層																																																										
Si	砂子叉層下部層																																																										
Tms5	泥岩																																																										
Tms5	凝灰岩																																																										
Tss4	礫混り砂岩																																																										
Tai32	砂岩・凝灰岩互層																																																										
Tss3	礫混り砂岩																																																										
Tai31	砂岩・泥岩互層																																																										
Tps33	軽石混り砂岩(3)																																																										
Tps32	砂質軽石凝灰岩(2)																																																										
Tps31	砂質軽石凝灰岩(1)																																																										
Tps31	軽石混り砂岩(1)																																																										
Tt2	凝灰岩																																																										
Tpt2	軽石凝灰岩																																																										
Tps2	軽石質砂岩																																																										
Tcg2	礫岩																																																										
Tsp13	砂質軽石凝灰岩																																																										
Tos1	粗粒砂岩																																																										
Tcg1	礫岩																																																										
Tfs0	細粒砂岩																																																										
Tfs0	凝灰質砂岩																																																										
Tps0	砂質軽石凝灰岩																																																										
Tms0	泥岩																																																										

(F1) 盛土 (F1=1階層, F2=2階層, F3=3階層, F4=4階層, F5=5階層, F6=6階層, F7=7階層, F8=8階層, F9=9階層, F10=10階層)
 (---) 断層 (---) 地層(岩相)境界

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
- He 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
 - Ttf2 凝灰岩
 - Tpt2 軽石凝灰岩
 - Tpps2 軽石質砂岩
 - Tcg2 礫岩
- 粗粒砂岩層
 - Tsp1 砂質軽石凝灰岩
 - Tcs1 粗粒砂岩
 - Tcg1 礫岩

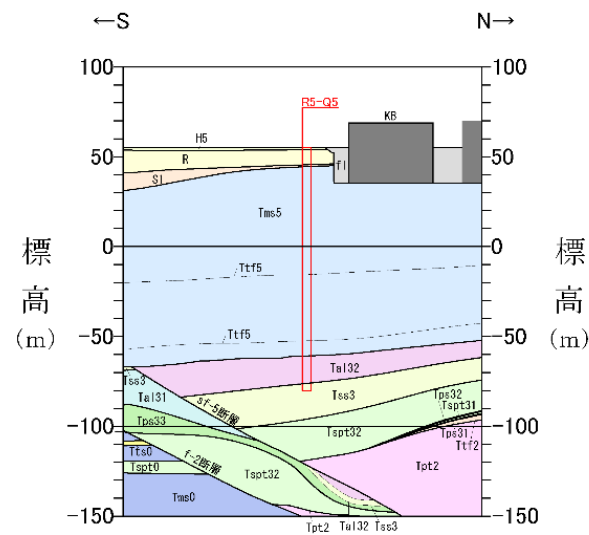
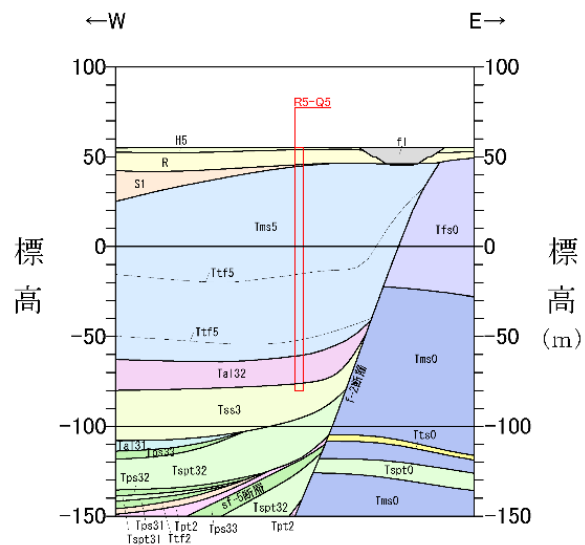
鷹架層下部層

- 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
- (Tps0) 泥岩

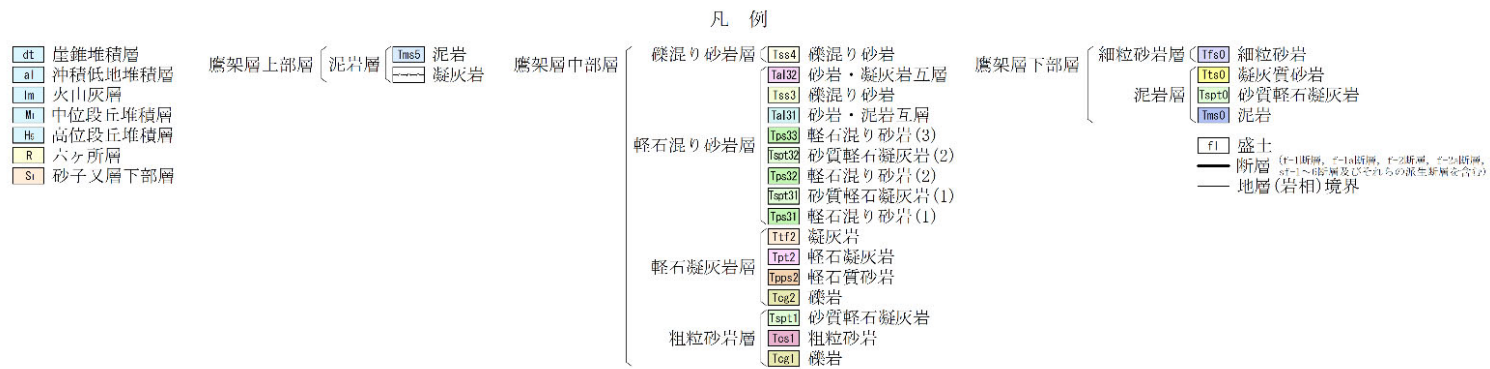
- f1 盛土
- 断層 (付1断層, 付2断層, 付3断層, 付4断層, 付5断層, 付6断層, 付7断層, 付8断層, 付9断層, 付10断層, 付11断層, 付12断層, 付13断層, 付14断層, 付15断層, 付16断層, 付17断層, 付18断層, 付19断層, 付20断層, 付21断層, 付22断層, 付23断層, 付24断層, 付25断層, 付26断層, 付27断層, 付28断層, 付29断層, 付30断層, 付31断層, 付32断層, 付33断層, 付34断層, 付35断層, 付36断層, 付37断層, 付38断層, 付39断層, 付40断層, 付41断層, 付42断層, 付43断層, 付44断層, 付45断層, 付46断層, 付47断層, 付48断層, 付49断層, 付50断層, 付51断層, 付52断層, 付53断層, 付54断層, 付55断層, 付56断層, 付57断層, 付58断層, 付59断層, 付60断層, 付61断層, 付62断層, 付63断層, 付64断層, 付65断層, 付66断層, 付67断層, 付68断層, 付69断層, 付70断層, 付71断層, 付72断層, 付73断層, 付74断層, 付75断層, 付76断層, 付77断層, 付78断層, 付79断層, 付80断層, 付81断層, 付82断層, 付83断層, 付84断層, 付85断層, 付86断層, 付87断層, 付88断層, 付89断層, 付90断層, 付91断層, 付92断層, 付93断層, 付94断層, 付95断層, 付96断層, 付97断層, 付98断層, 付99断層, 付100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)

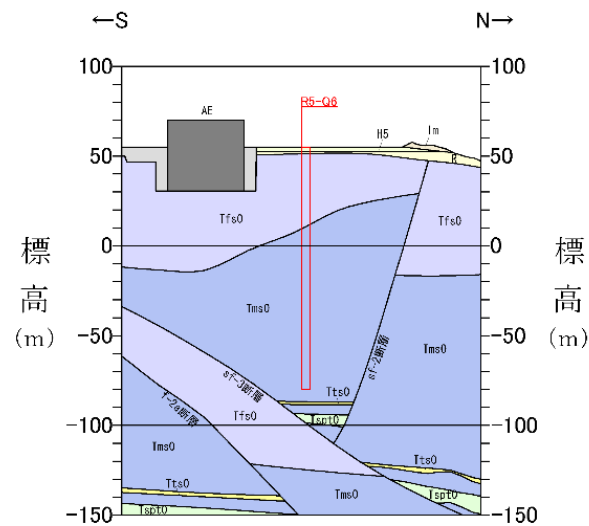
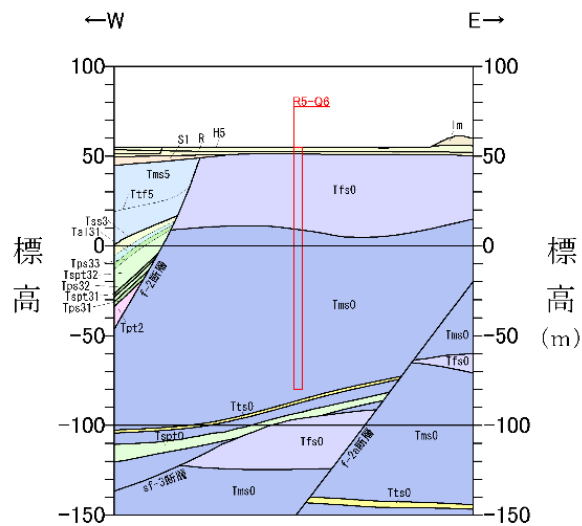
参考-9



R5-Q5



参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (5/12)

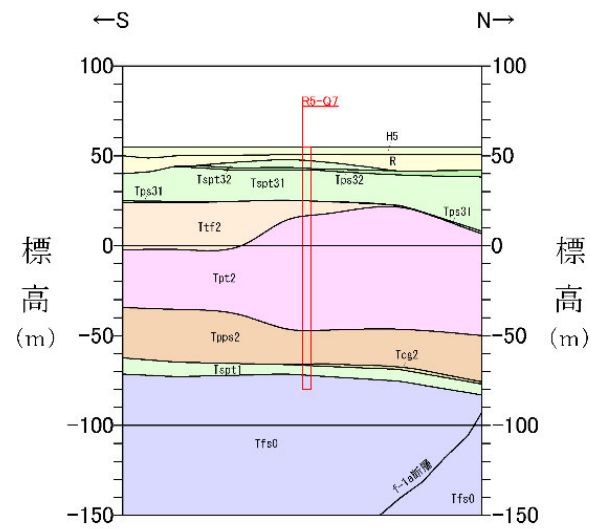
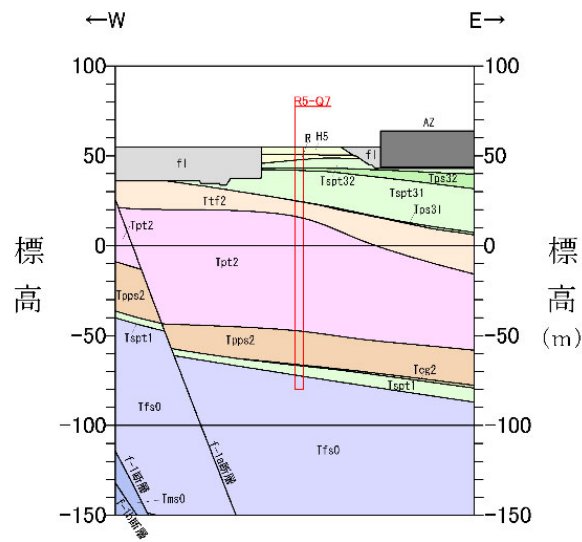


R5-Q6

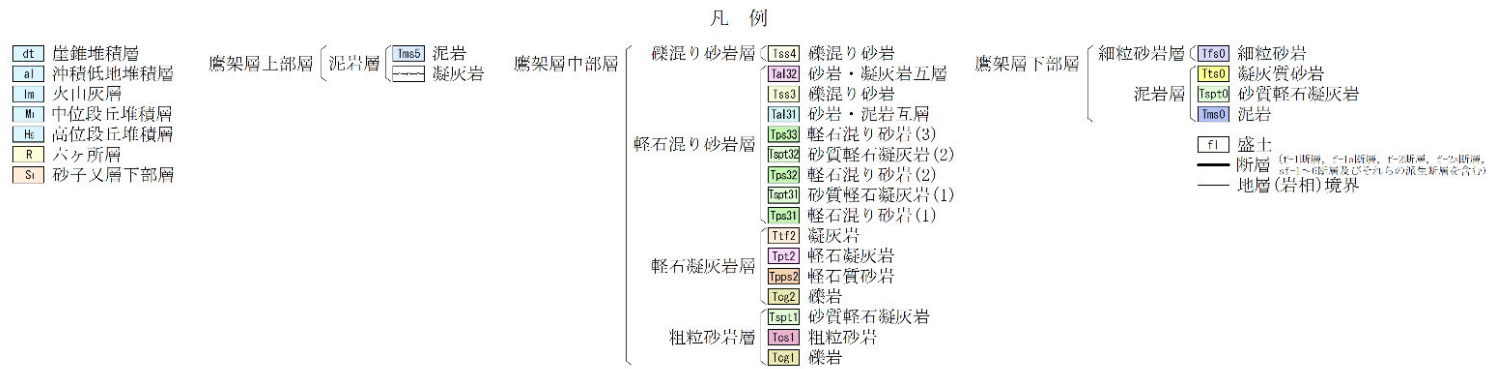
<table border="0"> <tr><td>dt</td><td>崖錐堆積層</td></tr> <tr><td>al</td><td>沖積低地堆積層</td></tr> <tr><td>lm</td><td>火山灰層</td></tr> <tr><td>M</td><td>中位段丘堆積層</td></tr> <tr><td>Hs</td><td>高位段丘堆積層</td></tr> <tr><td>R</td><td>六ヶ所層</td></tr> <tr><td>Sl</td><td>砂子又層下部層</td></tr> </table>	dt	崖錐堆積層	al	沖積低地堆積層	lm	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	<table border="0"> <tr> <td> <table border="0"> <tr><td>Tms5</td><td>泥岩</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>凝灰岩</td></tr> </table> </td> <td> <table border="0"> <tr><td>Tms0</td><td>泥岩</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>凝灰岩</td></tr> </table> </td> </tr> </table>	<table border="0"> <tr><td>Tms5</td><td>泥岩</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>凝灰岩</td></tr> </table>	Tms5	泥岩	Tfs0	凝灰岩	<table border="0"> <tr><td>Tms0</td><td>泥岩</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>凝灰岩</td></tr> </table>	Tms0	泥岩	Tfs0	凝灰岩	<table border="0"> <tr> <td> <table border="0"> <tr><td>Tss4</td><td>礫混り砂岩層</td></tr> <tr><td>Tss3</td><td>礫混り砂岩</td></tr> <tr><td>Tss2</td><td>砂岩・凝灰岩五層</td></tr> <tr><td>Tss1</td><td>礫混り砂岩</td></tr> <tr><td>Tss0</td><td>砂岩・泥岩互層</td></tr> <tr><td>Tss33</td><td>軽石混り砂岩(3)</td></tr> <tr><td>Tss32</td><td>砂質軽石凝灰岩(2)</td></tr> <tr><td>Tss31</td><td>軽石混り砂岩(2)</td></tr> <tr><td>Tss30</td><td>砂質軽石凝灰岩(1)</td></tr> <tr><td>Tss29</td><td>軽石混り砂岩(1)</td></tr> <tr><td>Tss28</td><td>凝灰岩</td></tr> <tr><td>Tss27</td><td>軽石凝灰岩</td></tr> <tr><td>Tss26</td><td>軽石質砂岩</td></tr> <tr><td>Tss25</td><td>礫岩</td></tr> <tr><td>Tss24</td><td>砂質軽石凝灰岩</td></tr> <tr><td>Tss23</td><td>粗粒砂岩層</td></tr> <tr><td>Tss22</td><td>粗粒砂岩</td></tr> <tr><td>Tss21</td><td>礫岩</td></tr> </table> </td> <td> <table border="0"> <tr> <td> <table border="0"> <tr><td>Tfs0</td><td>細粒砂岩層</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>細粒砂岩</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>凝灰質砂岩</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>砂質軽石凝灰岩</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>泥岩</td></tr> </table> </td> <td> <table border="0"> <tr><td>f1</td><td>盛土</td></tr> </table> </td> </tr> </table> <p> <small>(F-1断層, F-2断層, F-3断層, F-4断層, F-5断層, F-6断層, F-7断層, F-8断層, F-9断層, F-10断層, F-11断層, F-12断層, F-13断層, F-14断層, F-15断層, F-16断層, F-17断層, F-18断層, F-19断層, F-20断層, F-21断層, F-22断層, F-23断層, F-24断層, F-25断層, F-26断層, F-27断層, F-28断層, F-29断層, F-30断層, F-31断層, F-32断層, F-33断層, F-34断層, F-35断層, F-36断層, F-37断層, F-38断層, F-39断層, F-40断層, F-41断層, F-42断層, F-43断層, F-44断層, F-45断層, F-46断層, F-47断層, F-48断層, F-49断層, F-50断層, F-51断層, F-52断層, F-53断層, F-54断層, F-55断層, F-56断層, F-57断層, F-58断層, F-59断層, F-60断層, F-61断層, F-62断層, F-63断層, F-64断層, F-65断層, F-66断層, F-67断層, F-68断層, F-69断層, F-70断層, F-71断層, F-72断層, F-73断層, F-74断層, F-75断層, F-76断層, F-77断層, F-78断層, F-79断層, F-80断層, F-81断層, F-82断層, F-83断層, F-84断層, F-85断層, F-86断層, F-87断層, F-88断層, F-89断層, F-90断層, F-91断層, F-92断層, F-93断層, F-94断層, F-95断層, F-96断層, F-97断層, F-98断層, F-99断層, F-100断層)</small> </p> </td> </tr> </table>	<table border="0"> <tr><td>Tss4</td><td>礫混り砂岩層</td></tr> <tr><td>Tss3</td><td>礫混り砂岩</td></tr> <tr><td>Tss2</td><td>砂岩・凝灰岩五層</td></tr> <tr><td>Tss1</td><td>礫混り砂岩</td></tr> <tr><td>Tss0</td><td>砂岩・泥岩互層</td></tr> <tr><td>Tss33</td><td>軽石混り砂岩(3)</td></tr> <tr><td>Tss32</td><td>砂質軽石凝灰岩(2)</td></tr> <tr><td>Tss31</td><td>軽石混り砂岩(2)</td></tr> <tr><td>Tss30</td><td>砂質軽石凝灰岩(1)</td></tr> <tr><td>Tss29</td><td>軽石混り砂岩(1)</td></tr> <tr><td>Tss28</td><td>凝灰岩</td></tr> <tr><td>Tss27</td><td>軽石凝灰岩</td></tr> <tr><td>Tss26</td><td>軽石質砂岩</td></tr> <tr><td>Tss25</td><td>礫岩</td></tr> <tr><td>Tss24</td><td>砂質軽石凝灰岩</td></tr> <tr><td>Tss23</td><td>粗粒砂岩層</td></tr> <tr><td>Tss22</td><td>粗粒砂岩</td></tr> <tr><td>Tss21</td><td>礫岩</td></tr> </table>	Tss4	礫混り砂岩層	Tss3	礫混り砂岩	Tss2	砂岩・凝灰岩五層	Tss1	礫混り砂岩	Tss0	砂岩・泥岩互層	Tss33	軽石混り砂岩(3)	Tss32	砂質軽石凝灰岩(2)	Tss31	軽石混り砂岩(2)	Tss30	砂質軽石凝灰岩(1)	Tss29	軽石混り砂岩(1)	Tss28	凝灰岩	Tss27	軽石凝灰岩	Tss26	軽石質砂岩	Tss25	礫岩	Tss24	砂質軽石凝灰岩	Tss23	粗粒砂岩層	Tss22	粗粒砂岩	Tss21	礫岩	<table border="0"> <tr> <td> <table border="0"> <tr><td>Tfs0</td><td>細粒砂岩層</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>細粒砂岩</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>凝灰質砂岩</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>砂質軽石凝灰岩</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>泥岩</td></tr> </table> </td> <td> <table border="0"> <tr><td>f1</td><td>盛土</td></tr> </table> </td> </tr> </table> <p> <small>(F-1断層, F-2断層, F-3断層, F-4断層, F-5断層, F-6断層, F-7断層, F-8断層, F-9断層, F-10断層, F-11断層, F-12断層, F-13断層, F-14断層, F-15断層, F-16断層, F-17断層, F-18断層, F-19断層, F-20断層, F-21断層, F-22断層, F-23断層, F-24断層, F-25断層, F-26断層, F-27断層, F-28断層, F-29断層, F-30断層, F-31断層, F-32断層, F-33断層, F-34断層, F-35断層, F-36断層, F-37断層, F-38断層, F-39断層, F-40断層, F-41断層, F-42断層, F-43断層, F-44断層, F-45断層, F-46断層, F-47断層, F-48断層, F-49断層, F-50断層, F-51断層, F-52断層, F-53断層, F-54断層, F-55断層, F-56断層, F-57断層, F-58断層, F-59断層, F-60断層, F-61断層, F-62断層, F-63断層, F-64断層, F-65断層, F-66断層, F-67断層, F-68断層, F-69断層, F-70断層, F-71断層, F-72断層, F-73断層, F-74断層, F-75断層, F-76断層, F-77断層, F-78断層, F-79断層, F-80断層, F-81断層, F-82断層, F-83断層, F-84断層, F-85断層, F-86断層, F-87断層, F-88断層, F-89断層, F-90断層, F-91断層, F-92断層, F-93断層, F-94断層, F-95断層, F-96断層, F-97断層, F-98断層, F-99断層, F-100断層)</small> </p>	<table border="0"> <tr><td>Tfs0</td><td>細粒砂岩層</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>細粒砂岩</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>凝灰質砂岩</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>砂質軽石凝灰岩</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>泥岩</td></tr> </table>	Tfs0	細粒砂岩層	Tfs0	細粒砂岩	Tfs0	凝灰質砂岩	Tfs0	砂質軽石凝灰岩	Tfs0	泥岩	<table border="0"> <tr><td>f1</td><td>盛土</td></tr> </table>	f1	盛土
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																																																																													
<table border="0"> <tr><td>Tms5</td><td>泥岩</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>凝灰岩</td></tr> </table>	Tms5	泥岩	Tfs0	凝灰岩	<table border="0"> <tr><td>Tms0</td><td>泥岩</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>凝灰岩</td></tr> </table>	Tms0	泥岩	Tfs0	凝灰岩																																																																					
Tms5	泥岩																																																																													
Tfs0	凝灰岩																																																																													
Tms0	泥岩																																																																													
Tfs0	凝灰岩																																																																													
<table border="0"> <tr><td>Tss4</td><td>礫混り砂岩層</td></tr> <tr><td>Tss3</td><td>礫混り砂岩</td></tr> <tr><td>Tss2</td><td>砂岩・凝灰岩五層</td></tr> <tr><td>Tss1</td><td>礫混り砂岩</td></tr> <tr><td>Tss0</td><td>砂岩・泥岩互層</td></tr> <tr><td>Tss33</td><td>軽石混り砂岩(3)</td></tr> <tr><td>Tss32</td><td>砂質軽石凝灰岩(2)</td></tr> <tr><td>Tss31</td><td>軽石混り砂岩(2)</td></tr> <tr><td>Tss30</td><td>砂質軽石凝灰岩(1)</td></tr> <tr><td>Tss29</td><td>軽石混り砂岩(1)</td></tr> <tr><td>Tss28</td><td>凝灰岩</td></tr> <tr><td>Tss27</td><td>軽石凝灰岩</td></tr> <tr><td>Tss26</td><td>軽石質砂岩</td></tr> <tr><td>Tss25</td><td>礫岩</td></tr> <tr><td>Tss24</td><td>砂質軽石凝灰岩</td></tr> <tr><td>Tss23</td><td>粗粒砂岩層</td></tr> <tr><td>Tss22</td><td>粗粒砂岩</td></tr> <tr><td>Tss21</td><td>礫岩</td></tr> </table>	Tss4	礫混り砂岩層	Tss3	礫混り砂岩	Tss2	砂岩・凝灰岩五層	Tss1	礫混り砂岩	Tss0	砂岩・泥岩互層	Tss33	軽石混り砂岩(3)	Tss32	砂質軽石凝灰岩(2)	Tss31	軽石混り砂岩(2)	Tss30	砂質軽石凝灰岩(1)	Tss29	軽石混り砂岩(1)	Tss28	凝灰岩	Tss27	軽石凝灰岩	Tss26	軽石質砂岩	Tss25	礫岩	Tss24	砂質軽石凝灰岩	Tss23	粗粒砂岩層	Tss22	粗粒砂岩	Tss21	礫岩	<table border="0"> <tr> <td> <table border="0"> <tr><td>Tfs0</td><td>細粒砂岩層</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>細粒砂岩</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>凝灰質砂岩</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>砂質軽石凝灰岩</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>泥岩</td></tr> </table> </td> <td> <table border="0"> <tr><td>f1</td><td>盛土</td></tr> </table> </td> </tr> </table> <p> <small>(F-1断層, F-2断層, F-3断層, F-4断層, F-5断層, F-6断層, F-7断層, F-8断層, F-9断層, F-10断層, F-11断層, F-12断層, F-13断層, F-14断層, F-15断層, F-16断層, F-17断層, F-18断層, F-19断層, F-20断層, F-21断層, F-22断層, F-23断層, F-24断層, F-25断層, F-26断層, F-27断層, F-28断層, F-29断層, F-30断層, F-31断層, F-32断層, F-33断層, F-34断層, F-35断層, F-36断層, F-37断層, F-38断層, F-39断層, F-40断層, F-41断層, F-42断層, F-43断層, F-44断層, F-45断層, F-46断層, F-47断層, F-48断層, F-49断層, F-50断層, F-51断層, F-52断層, F-53断層, F-54断層, F-55断層, F-56断層, F-57断層, F-58断層, F-59断層, F-60断層, F-61断層, F-62断層, F-63断層, F-64断層, F-65断層, F-66断層, F-67断層, F-68断層, F-69断層, F-70断層, F-71断層, F-72断層, F-73断層, F-74断層, F-75断層, F-76断層, F-77断層, F-78断層, F-79断層, F-80断層, F-81断層, F-82断層, F-83断層, F-84断層, F-85断層, F-86断層, F-87断層, F-88断層, F-89断層, F-90断層, F-91断層, F-92断層, F-93断層, F-94断層, F-95断層, F-96断層, F-97断層, F-98断層, F-99断層, F-100断層)</small> </p>	<table border="0"> <tr><td>Tfs0</td><td>細粒砂岩層</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>細粒砂岩</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>凝灰質砂岩</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>砂質軽石凝灰岩</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>泥岩</td></tr> </table>	Tfs0	細粒砂岩層	Tfs0	細粒砂岩	Tfs0	凝灰質砂岩	Tfs0	砂質軽石凝灰岩	Tfs0	泥岩	<table border="0"> <tr><td>f1</td><td>盛土</td></tr> </table>	f1	盛土																											
Tss4	礫混り砂岩層																																																																													
Tss3	礫混り砂岩																																																																													
Tss2	砂岩・凝灰岩五層																																																																													
Tss1	礫混り砂岩																																																																													
Tss0	砂岩・泥岩互層																																																																													
Tss33	軽石混り砂岩(3)																																																																													
Tss32	砂質軽石凝灰岩(2)																																																																													
Tss31	軽石混り砂岩(2)																																																																													
Tss30	砂質軽石凝灰岩(1)																																																																													
Tss29	軽石混り砂岩(1)																																																																													
Tss28	凝灰岩																																																																													
Tss27	軽石凝灰岩																																																																													
Tss26	軽石質砂岩																																																																													
Tss25	礫岩																																																																													
Tss24	砂質軽石凝灰岩																																																																													
Tss23	粗粒砂岩層																																																																													
Tss22	粗粒砂岩																																																																													
Tss21	礫岩																																																																													
<table border="0"> <tr><td>Tfs0</td><td>細粒砂岩層</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>細粒砂岩</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>凝灰質砂岩</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>砂質軽石凝灰岩</td></tr> <tr><td>Tfs0</td><td>泥岩</td></tr> </table>	Tfs0	細粒砂岩層	Tfs0	細粒砂岩	Tfs0	凝灰質砂岩	Tfs0	砂質軽石凝灰岩	Tfs0	泥岩	<table border="0"> <tr><td>f1</td><td>盛土</td></tr> </table>	f1	盛土																																																																	
Tfs0	細粒砂岩層																																																																													
Tfs0	細粒砂岩																																																																													
Tfs0	凝灰質砂岩																																																																													
Tfs0	砂質軽石凝灰岩																																																																													
Tfs0	泥岩																																																																													
f1	盛土																																																																													

参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (6/12)

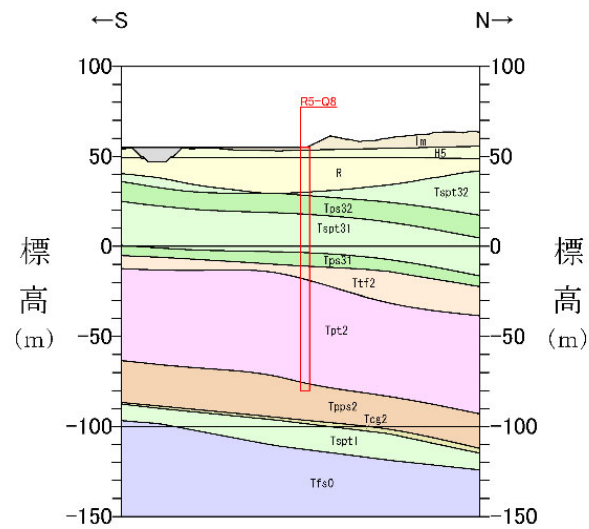
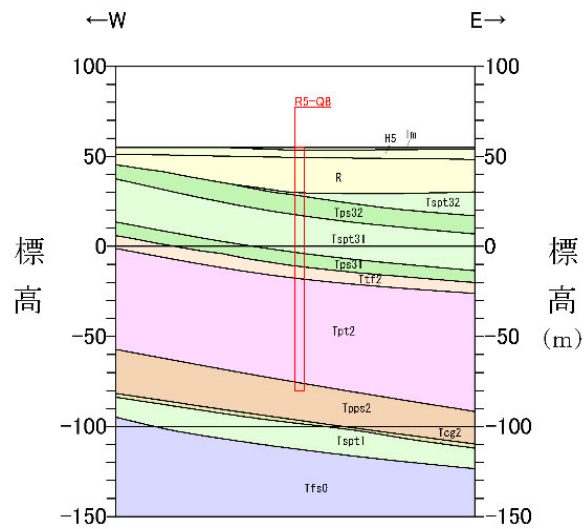
参考-11



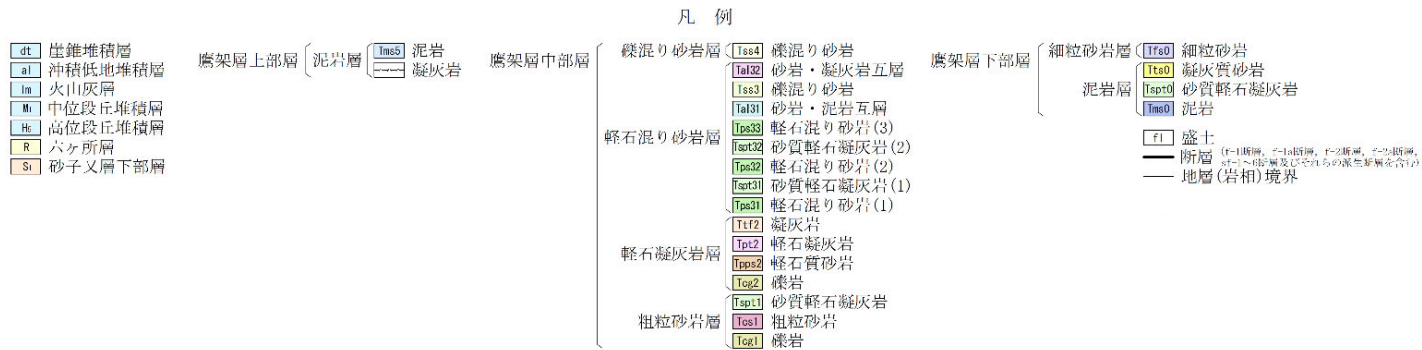
R5-Q7



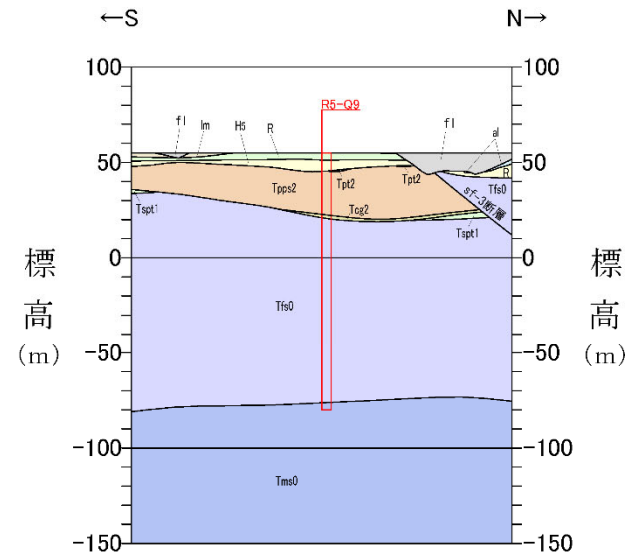
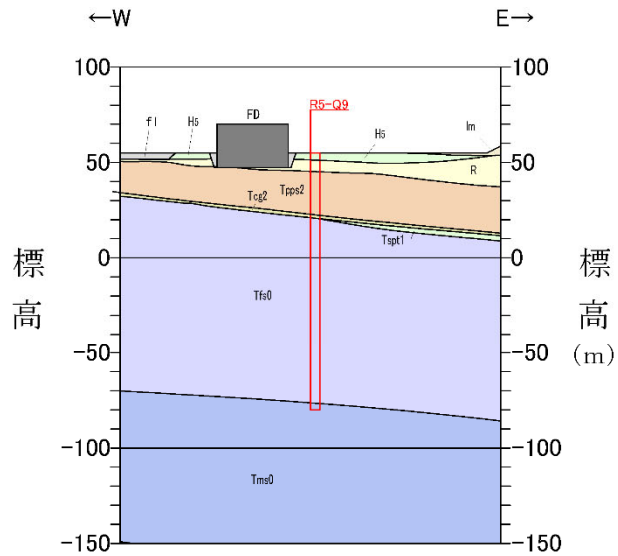
参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (7/12)



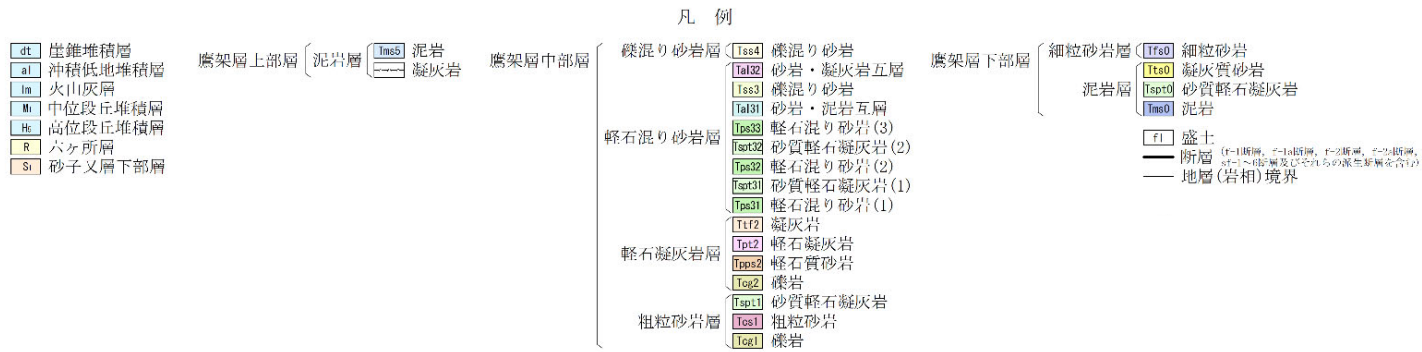
R5-Q8



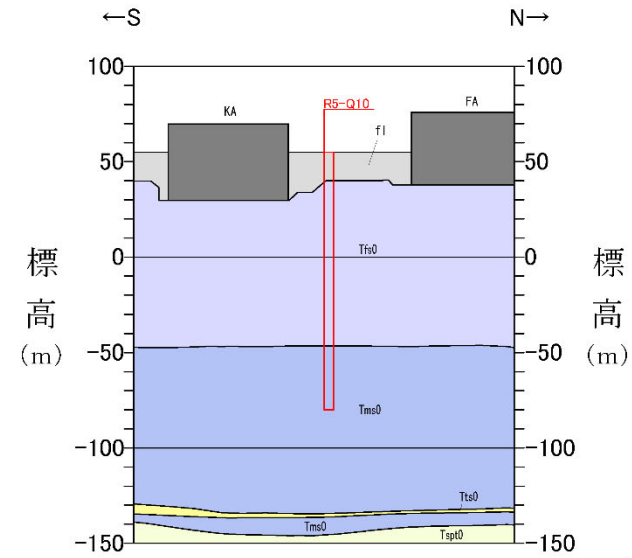
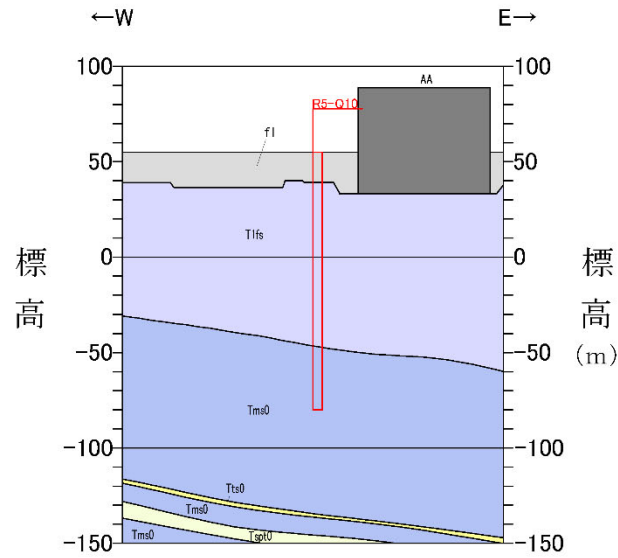
参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (8/12)



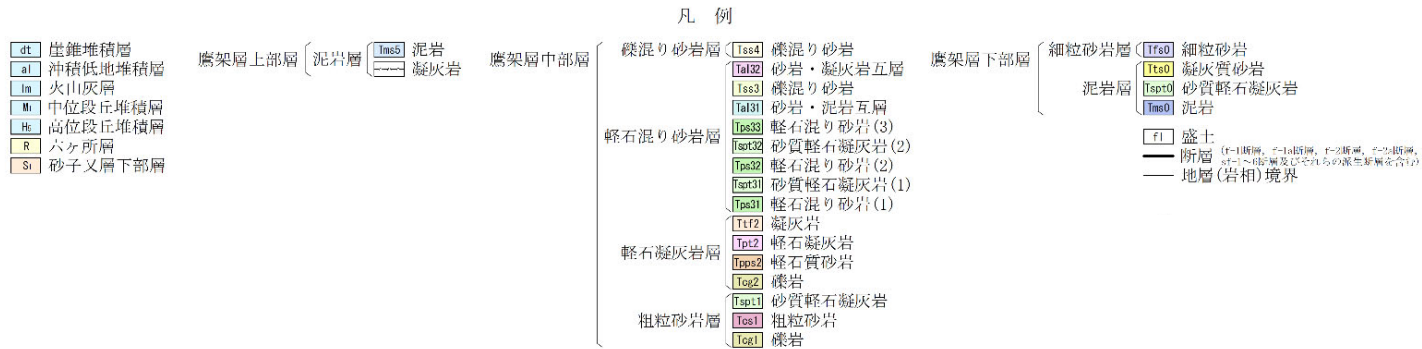
R5-Q9



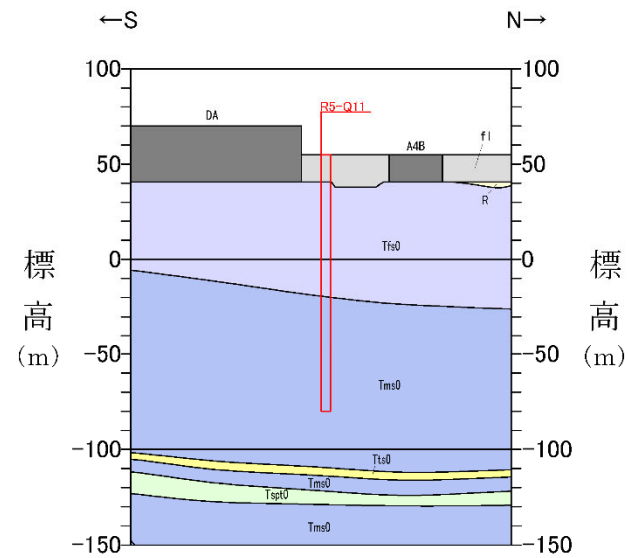
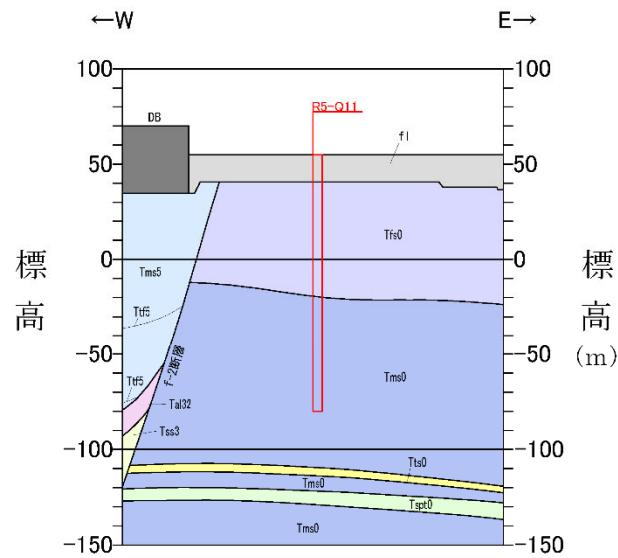
参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (9/12)



R5-Q10



参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (10/12)



R5-Q11

- 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
- Hc 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
 - 泥岩層 (Tms0) 泥岩
 - 凝灰岩

- 鷹架層中部層

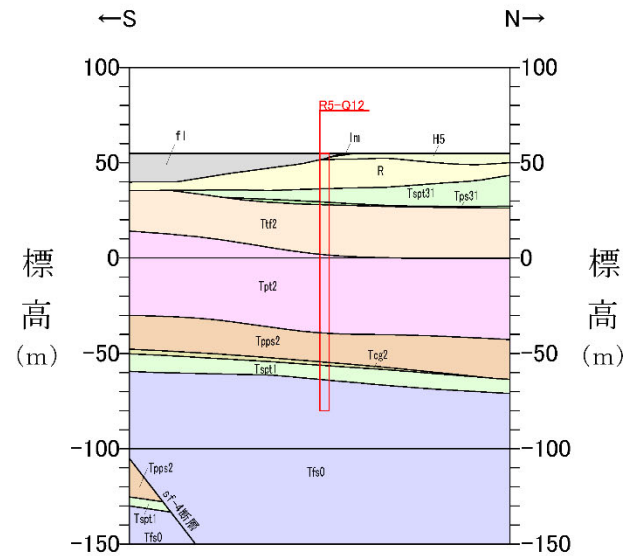
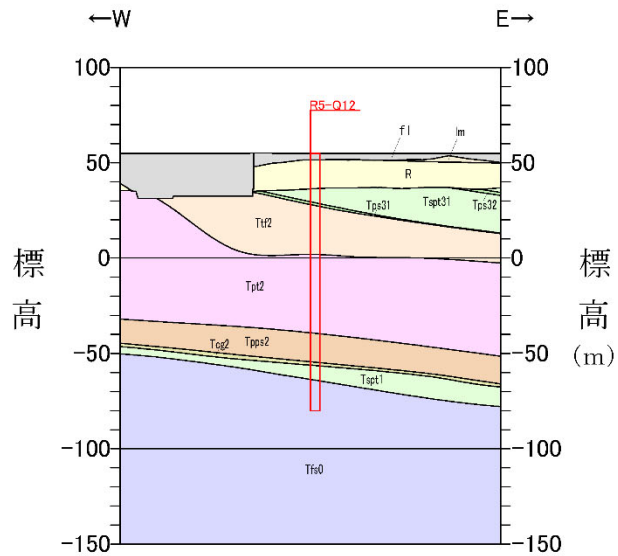
- 鷹架層下部層
 - 細粒砂岩層 (Tfs0) 細粒砂岩
 - 凝灰質砂岩 (Tts0)
 - 砂質軽石凝灰岩 (Tsp0)
 - 泥岩 (Tms0)

凡例

- 鉄混り砂岩層
 - Tts4 鉄混り砂岩
 - Tal32 砂岩・凝灰岩互層
 - Tts3 鉄混り砂岩
 - 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
 - Tts2 凝灰岩
 - Tps2 軽石凝灰岩
 - Tps2 軽石質砂岩
- 軽石凝灰岩層
 - Tps2 凝灰岩
 - Tps2 砂質軽石凝灰岩
- 粗粒砂岩層
 - Tps1 粗粒砂岩
 - Tps1 凝灰岩

- 鷹架層下部層
 - 細粒砂岩層 (Tfs0) 細粒砂岩
 - 凝灰質砂岩 (Tts0)
 - 砂質軽石凝灰岩 (Tsp0)
 - 泥岩 (Tms0)
- f1 盛土
- 断層 (F-1断層, F-2断層, F-3断層, F-4断層, F-5断層, F-6断層, F-7断層, F-8断層, F-9断層, F-10断層, F-11断層, F-12断層, F-13断層, F-14断層, F-15断層, F-16断層, F-17断層, F-18断層, F-19断層, F-20断層, F-21断層, F-22断層, F-23断層, F-24断層, F-25断層, F-26断層, F-27断層, F-28断層, F-29断層, F-30断層, F-31断層, F-32断層, F-33断層, F-34断層, F-35断層, F-36断層, F-37断層, F-38断層, F-39断層, F-40断層, F-41断層, F-42断層, F-43断層, F-44断層, F-45断層, F-46断層, F-47断層, F-48断層, F-49断層, F-50断層)
- 地層(岩相)境界

参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (11/12)

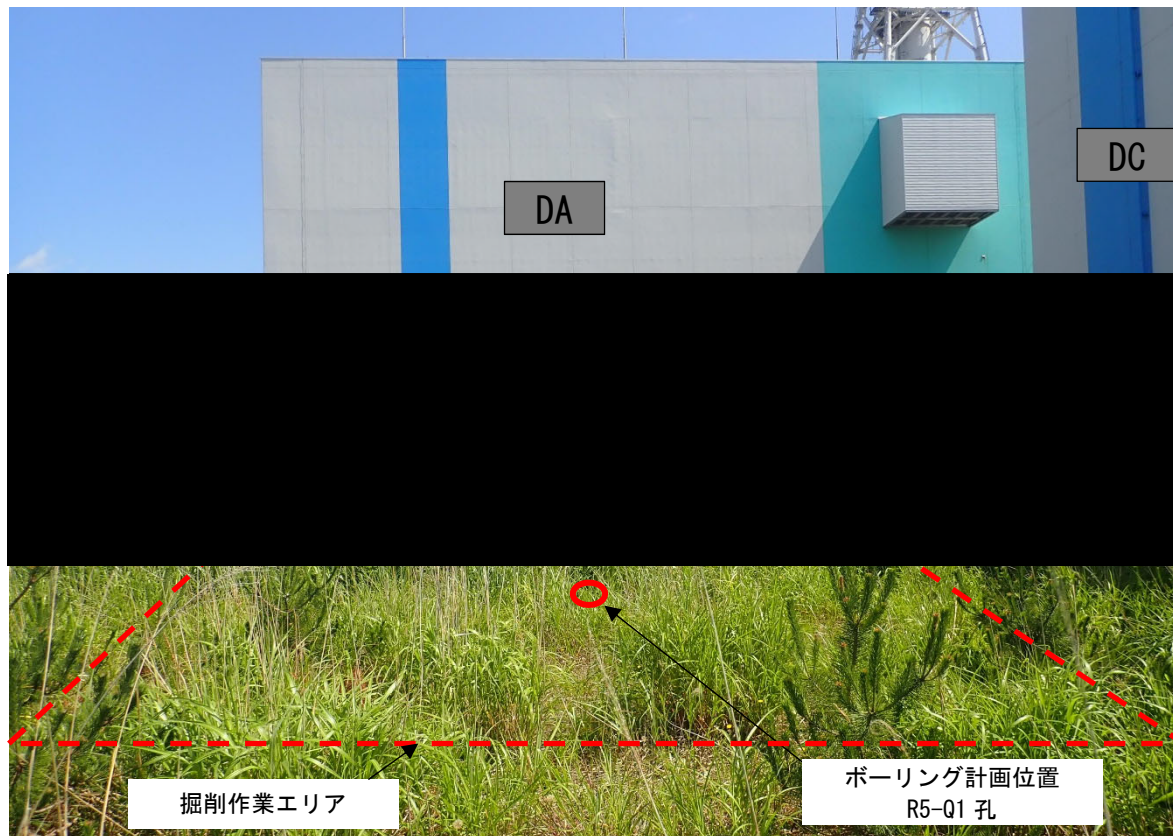
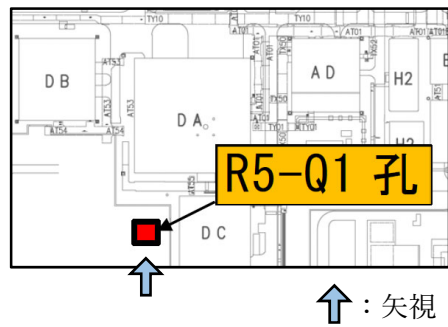


R5-Q12

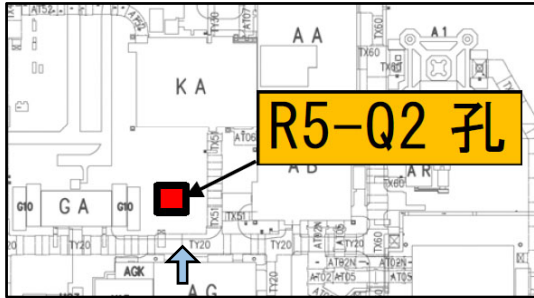
凡 例

<table border="0"> <tr><td>dL</td><td>崖錐堆積層</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>Hc</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>砂子叉層下部層</td></tr> </table>	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	Hc	高位段丘堆積層	R	六ヶ所層	Si	砂子叉層下部層	<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>礫混り砂岩層</td><td>Tss4 礫混り砂岩</td></tr> <tr><td></td><td>Tal32 砂岩・凝灰岩互層</td></tr> <tr><td></td><td>Tss3 礫混り砂岩</td></tr> <tr><td></td><td>Tal31 砂岩・泥岩互層</td></tr> <tr><td>軽石混り砂岩層</td><td>Tps33 軽石混り砂岩(3)</td></tr> <tr><td></td><td>Tspt32 砂質軽石凝灰岩(2)</td></tr> <tr><td></td><td>Tps32 軽石混り砂岩(2)</td></tr> <tr><td></td><td>Tsnt31 砂質軽石凝灰岩(1)</td></tr> <tr><td></td><td>Tps31 軽石混り砂岩(1)</td></tr> <tr><td>軽石凝灰岩層</td><td>Tt2 凝灰岩</td></tr> <tr><td></td><td>Tpt2 軽石凝灰岩</td></tr> <tr><td></td><td>Tps2 軽石質砂岩</td></tr> <tr><td></td><td>Tcg2 礫岩</td></tr> <tr><td>粗粒砂岩層</td><td>Tspt1 砂質軽石凝灰岩</td></tr> <tr><td></td><td>Tst1 粗粒砂岩</td></tr> <tr><td></td><td>Tcg1 礫岩</td></tr> </table>	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)		Tspt32 砂質軽石凝灰岩(2)		Tps32 軽石混り砂岩(2)		Tsnt31 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		Tps2 軽石質砂岩		Tcg2 礫岩	粗粒砂岩層	Tspt1 砂質軽石凝灰岩		Tst1 粗粒砂岩		Tcg1 礫岩	<table border="0"> <tr><td>鷹架層下部層</td><td>細粒砂岩層</td><td>Tfs0 細粒砂岩</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>Ttc0 凝灰質砂岩</td></tr> <tr><td></td><td>泥岩層</td><td>Tspt0 砂質軽石凝灰岩</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>Tms0 泥岩</td></tr> </table>	鷹架層下部層	細粒砂岩層	Tfs0 細粒砂岩			Ttc0 凝灰質砂岩		泥岩層	Tspt0 砂質軽石凝灰岩			Tms0 泥岩
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																																																																				
Hc	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	泥岩層	泥岩	鷹架層中部層																																																																		
		凝灰岩																																																																			
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)																																																																				
	Tspt32 砂質軽石凝灰岩(2)																																																																				
	Tps32 軽石混り砂岩(2)																																																																				
	Tsnt31 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																																																																				
	Tps2 軽石質砂岩																																																																				
	Tcg2 礫岩																																																																				
粗粒砂岩層	Tspt1 砂質軽石凝灰岩																																																																				
	Tst1 粗粒砂岩																																																																				
	Tcg1 礫岩																																																																				
鷹架層下部層	細粒砂岩層	Tfs0 細粒砂岩																																																																			
		Ttc0 凝灰質砂岩																																																																			
	泥岩層	Tspt0 砂質軽石凝灰岩																																																																			
		Tms0 泥岩																																																																			
<table border="0"> <tr><td>f1</td><td>盛土</td><td>(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, (F31)断層, (F32)断層, (F33)断層, (F34)断層, (F35)断層, (F36)断層, (F37)断層, (F38)断層, (F39)断層, (F40)断層, (F41)断層, (F42)断層, (F43)断層, (F44)断層, (F45)断層, (F46)断層, (F47)断層, (F48)断層, (F49)断層, (F50)断層, (F51)断層, (F52)断層, (F53)断層, (F54)断層, (F55)断層, (F56)断層, (F57)断層, (F58)断層, (F59)断層, (F60)断層, (F61)断層, (F62)断層, (F63)断層, (F64)断層, (F65)断層, (F66)断層, (F67)断層, (F68)断層, (F69)断層, (F70)断層, (F71)断層, (F72)断層, (F73)断層, (F74)断層, (F75)断層, (F76)断層, (F77)断層, (F78)断層, (F79)断層, (F80)断層, (F81)断層, (F82)断層, (F83)断層, (F84)断層, (F85)断層, (F86)断層, (F87)断層, (F88)断層, (F89)断層, (F90)断層, (F91)断層, (F92)断層, (F93)断層, (F94)断層, (F95)断層, (F96)断層, (F97)断層, (F98)断層, (F99)断層, (F100)断層</td></tr> <tr><td>—</td><td>断層</td><td></td></tr> <tr><td>—</td><td>地層(岩相)境界</td><td></td></tr> </table>				f1	盛土	(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, (F31)断層, (F32)断層, (F33)断層, (F34)断層, (F35)断層, (F36)断層, (F37)断層, (F38)断層, (F39)断層, (F40)断層, (F41)断層, (F42)断層, (F43)断層, (F44)断層, (F45)断層, (F46)断層, (F47)断層, (F48)断層, (F49)断層, (F50)断層, (F51)断層, (F52)断層, (F53)断層, (F54)断層, (F55)断層, (F56)断層, (F57)断層, (F58)断層, (F59)断層, (F60)断層, (F61)断層, (F62)断層, (F63)断層, (F64)断層, (F65)断層, (F66)断層, (F67)断層, (F68)断層, (F69)断層, (F70)断層, (F71)断層, (F72)断層, (F73)断層, (F74)断層, (F75)断層, (F76)断層, (F77)断層, (F78)断層, (F79)断層, (F80)断層, (F81)断層, (F82)断層, (F83)断層, (F84)断層, (F85)断層, (F86)断層, (F87)断層, (F88)断層, (F89)断層, (F90)断層, (F91)断層, (F92)断層, (F93)断層, (F94)断層, (F95)断層, (F96)断層, (F97)断層, (F98)断層, (F99)断層, (F100)断層	—	断層		—	地層(岩相)境界																																																										
f1	盛土	(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, (F31)断層, (F32)断層, (F33)断層, (F34)断層, (F35)断層, (F36)断層, (F37)断層, (F38)断層, (F39)断層, (F40)断層, (F41)断層, (F42)断層, (F43)断層, (F44)断層, (F45)断層, (F46)断層, (F47)断層, (F48)断層, (F49)断層, (F50)断層, (F51)断層, (F52)断層, (F53)断層, (F54)断層, (F55)断層, (F56)断層, (F57)断層, (F58)断層, (F59)断層, (F60)断層, (F61)断層, (F62)断層, (F63)断層, (F64)断層, (F65)断層, (F66)断層, (F67)断層, (F68)断層, (F69)断層, (F70)断層, (F71)断層, (F72)断層, (F73)断層, (F74)断層, (F75)断層, (F76)断層, (F77)断層, (F78)断層, (F79)断層, (F80)断層, (F81)断層, (F82)断層, (F83)断層, (F84)断層, (F85)断層, (F86)断層, (F87)断層, (F88)断層, (F89)断層, (F90)断層, (F91)断層, (F92)断層, (F93)断層, (F94)断層, (F95)断層, (F96)断層, (F97)断層, (F98)断層, (F99)断層, (F100)断層																																																																			
—	断層																																																																				
—	地層(岩相)境界																																																																				

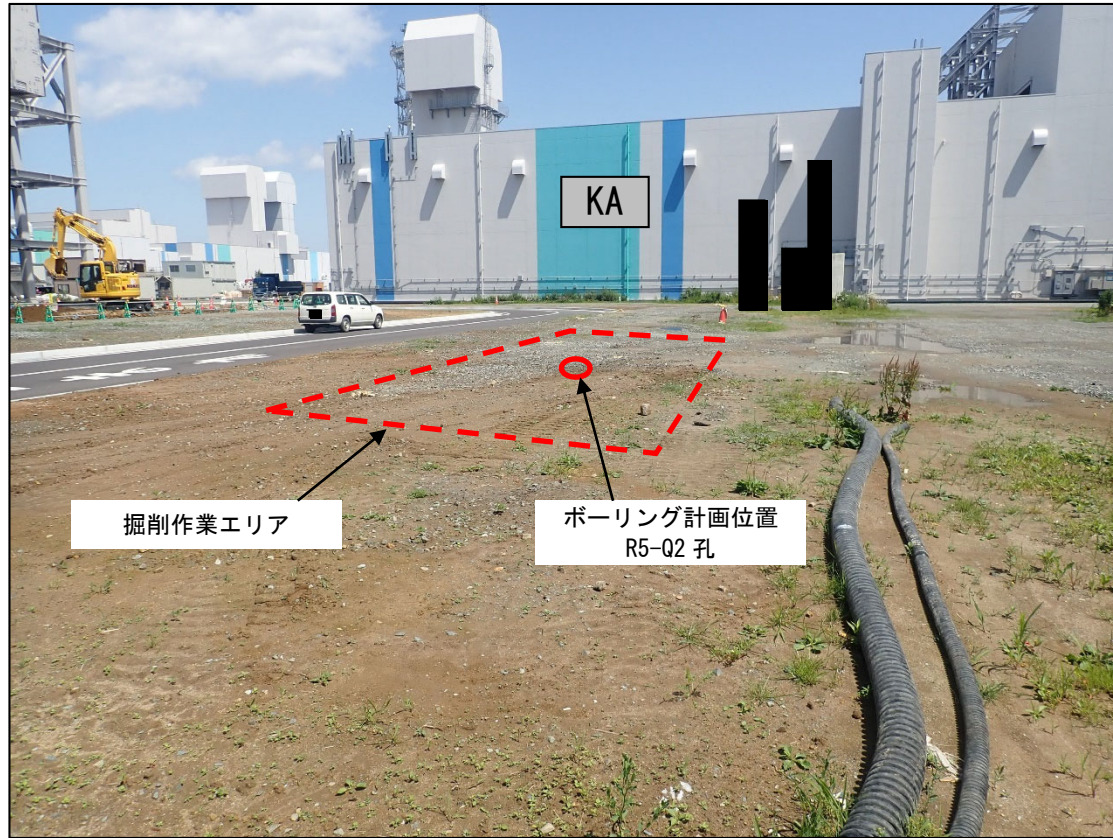
参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (12/12)



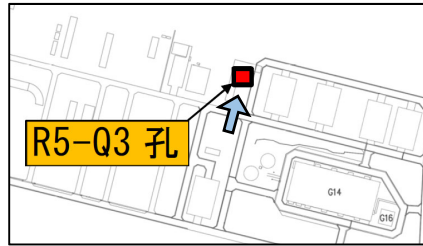
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (1/12)



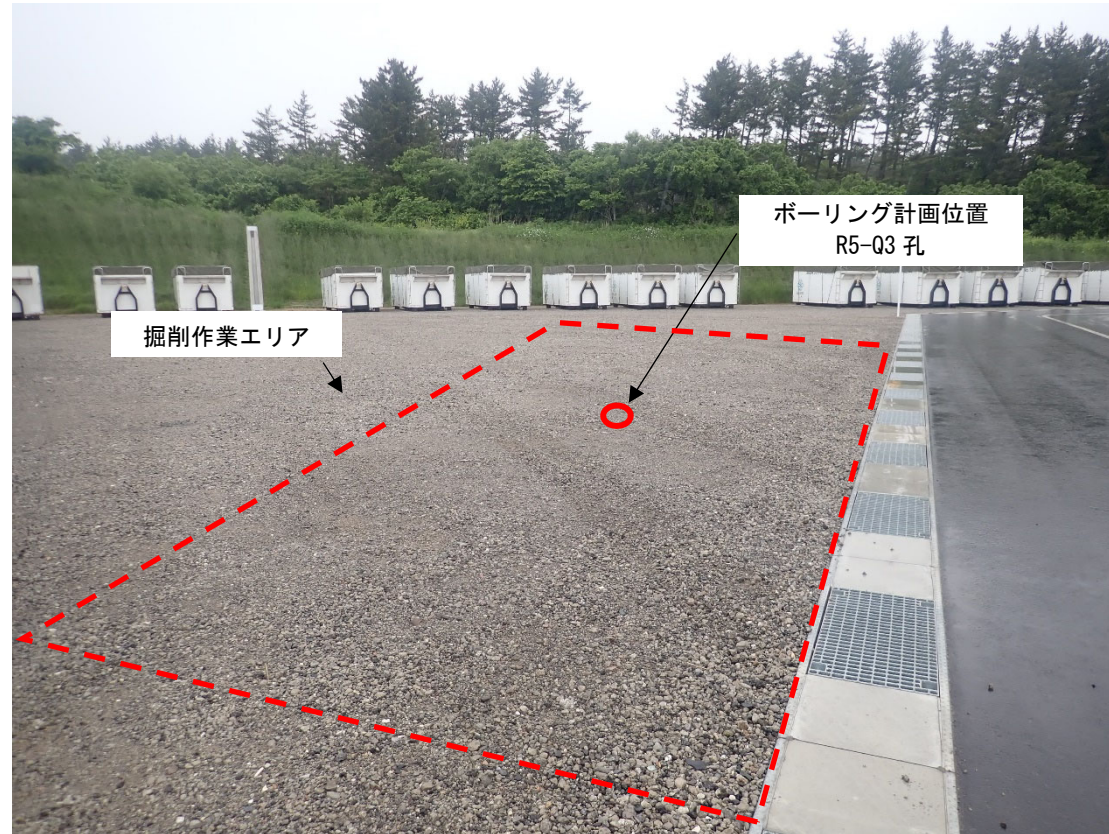
↑ : 矢視



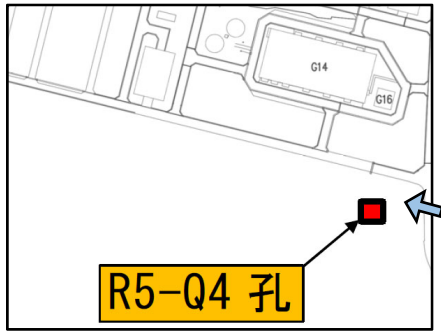
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (2/12)



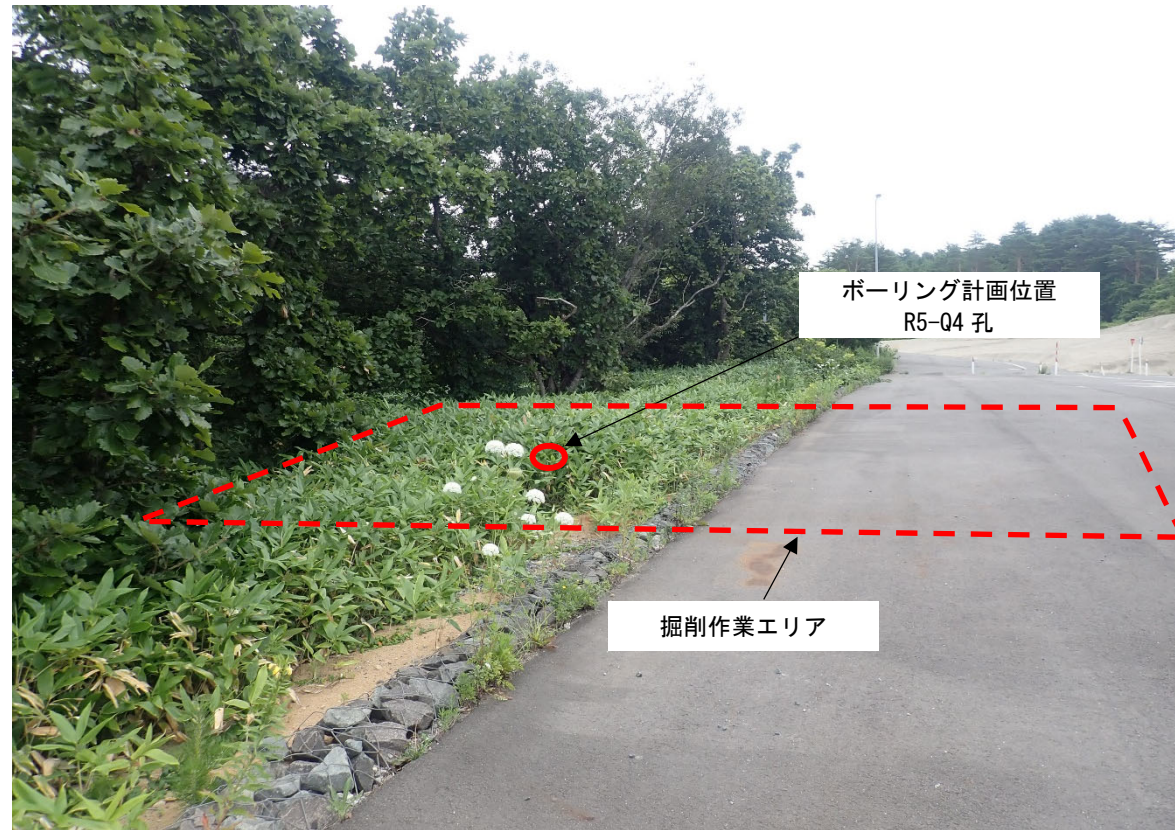
↑：矢視



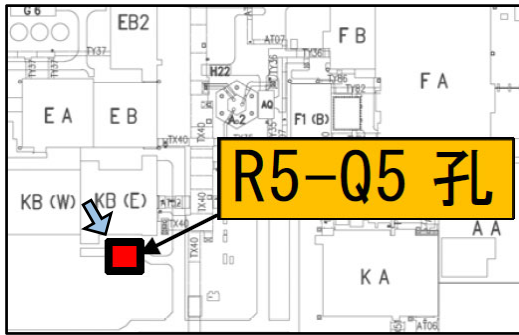
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (3/12)



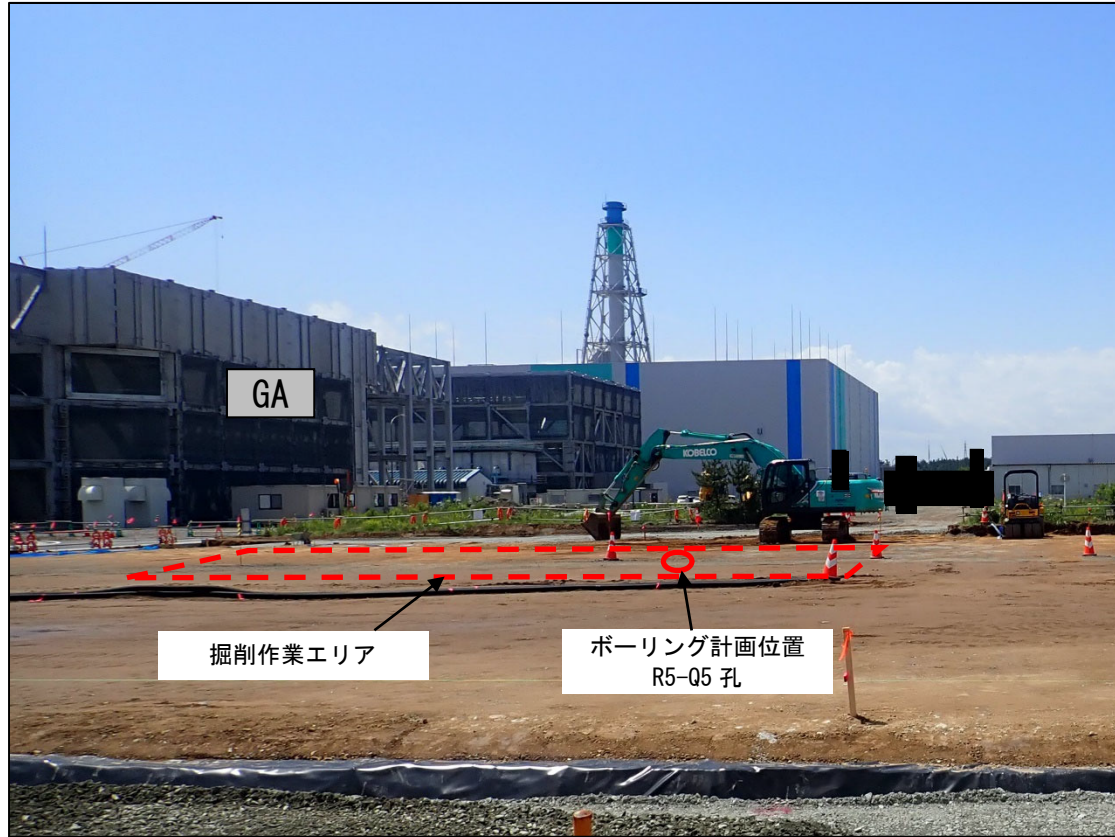
↑ : 矢視



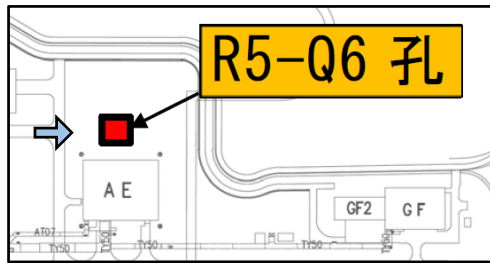
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (4/12)



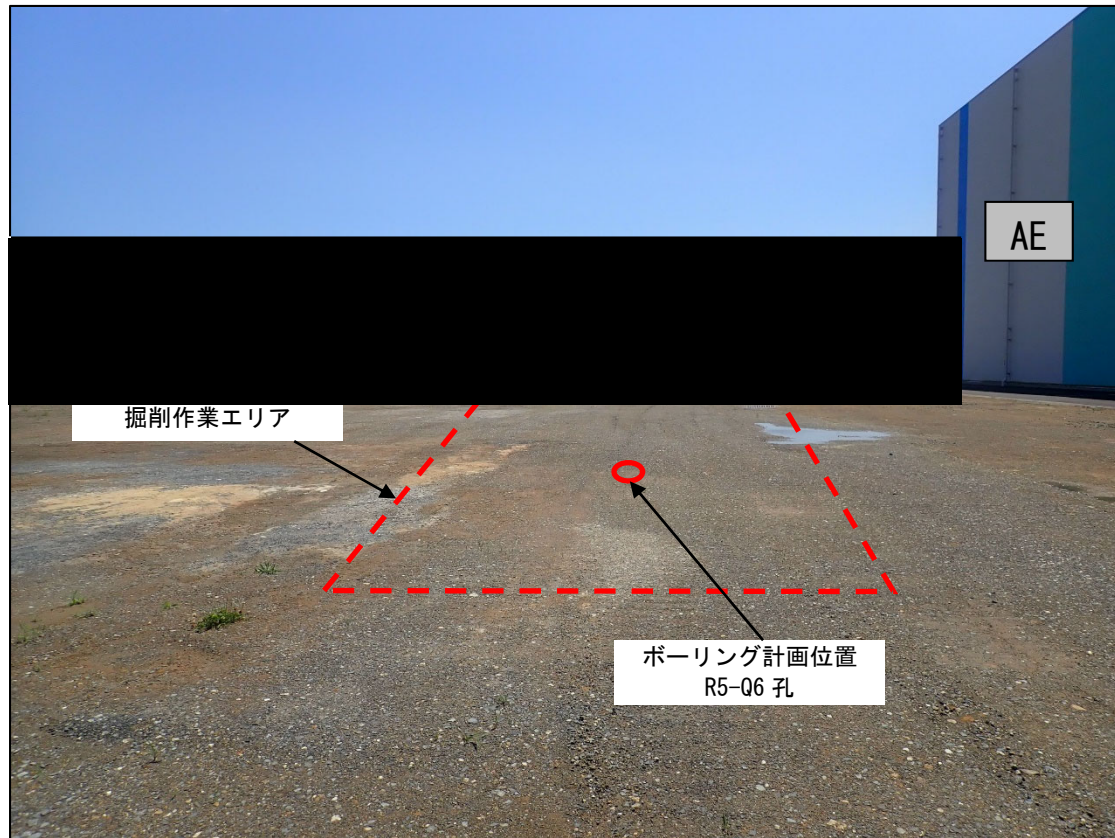
↑ : 矢視



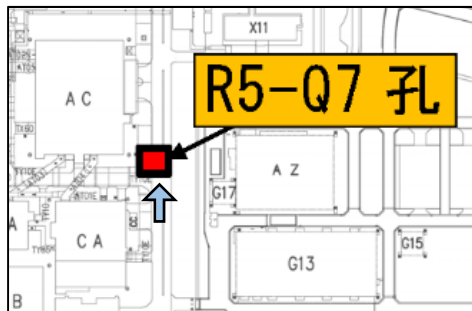
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (5/12)



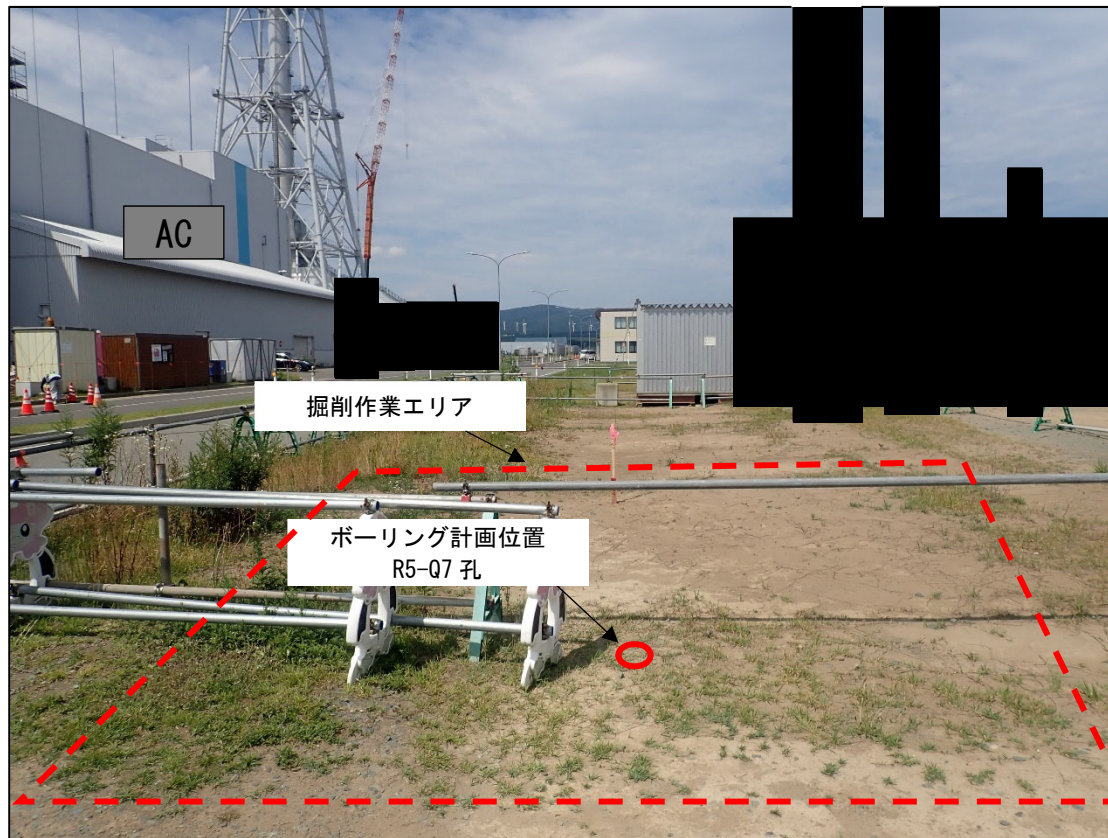
↑ : 矢視



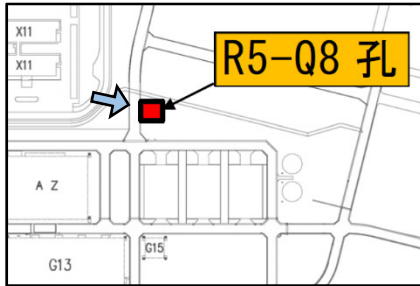
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (6/12)



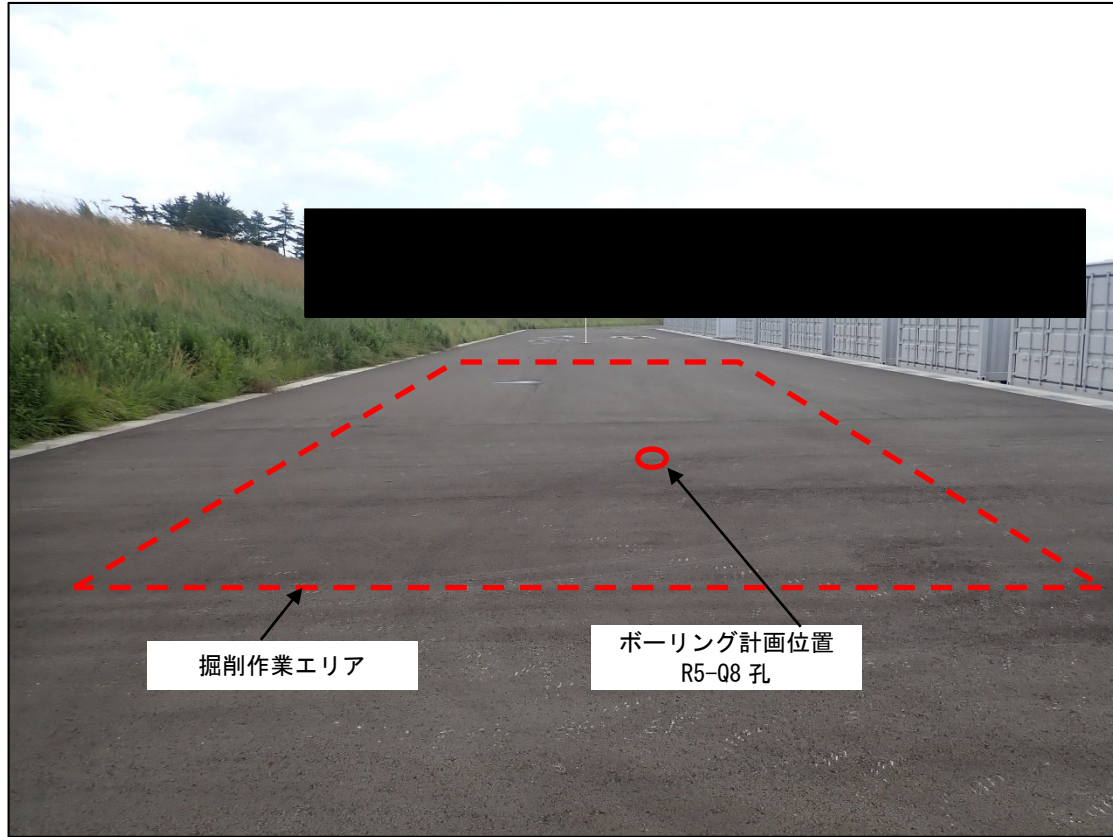
↑：矢視



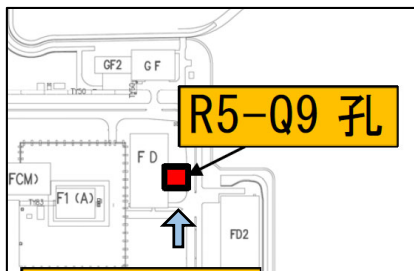
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (7/12)



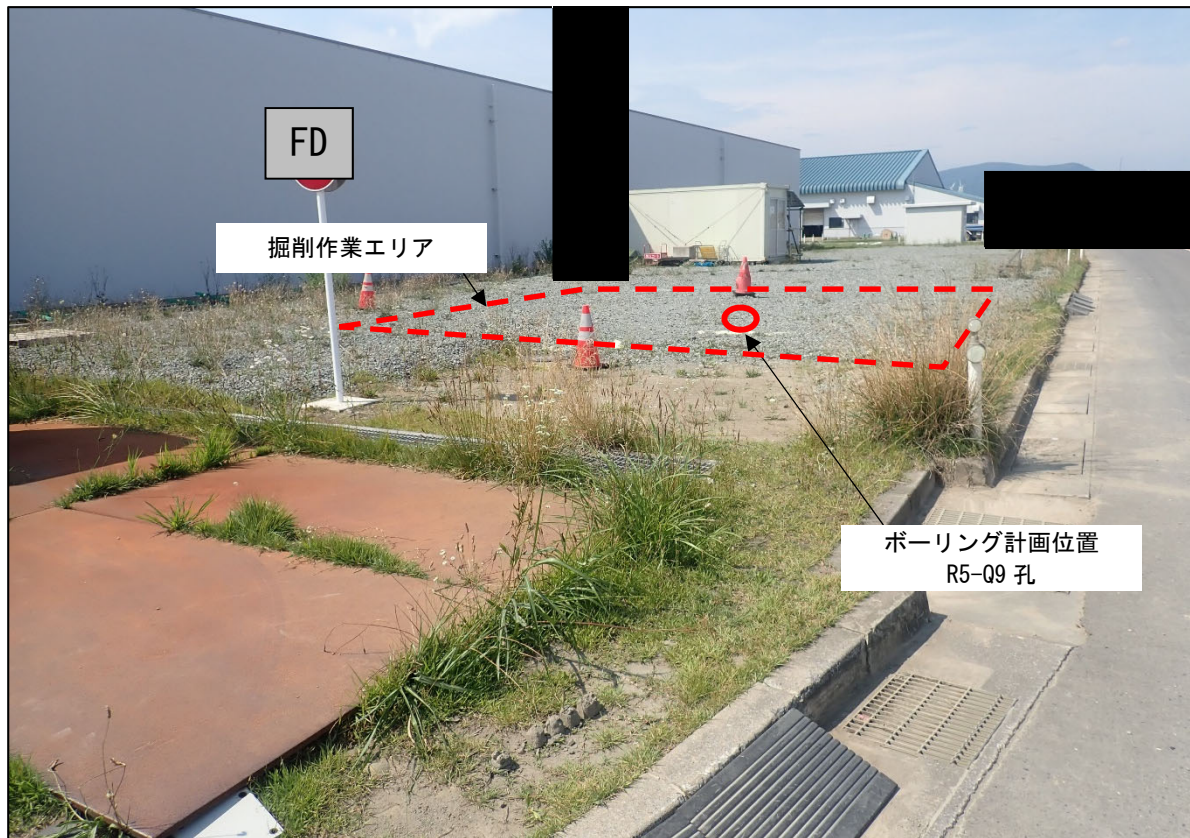
↑ : 矢視



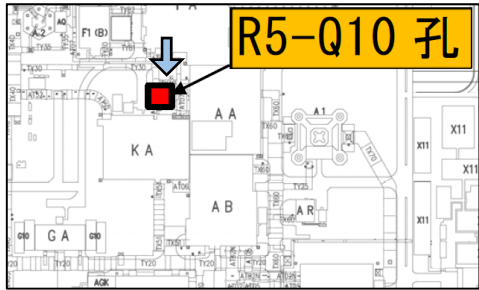
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (8/12)



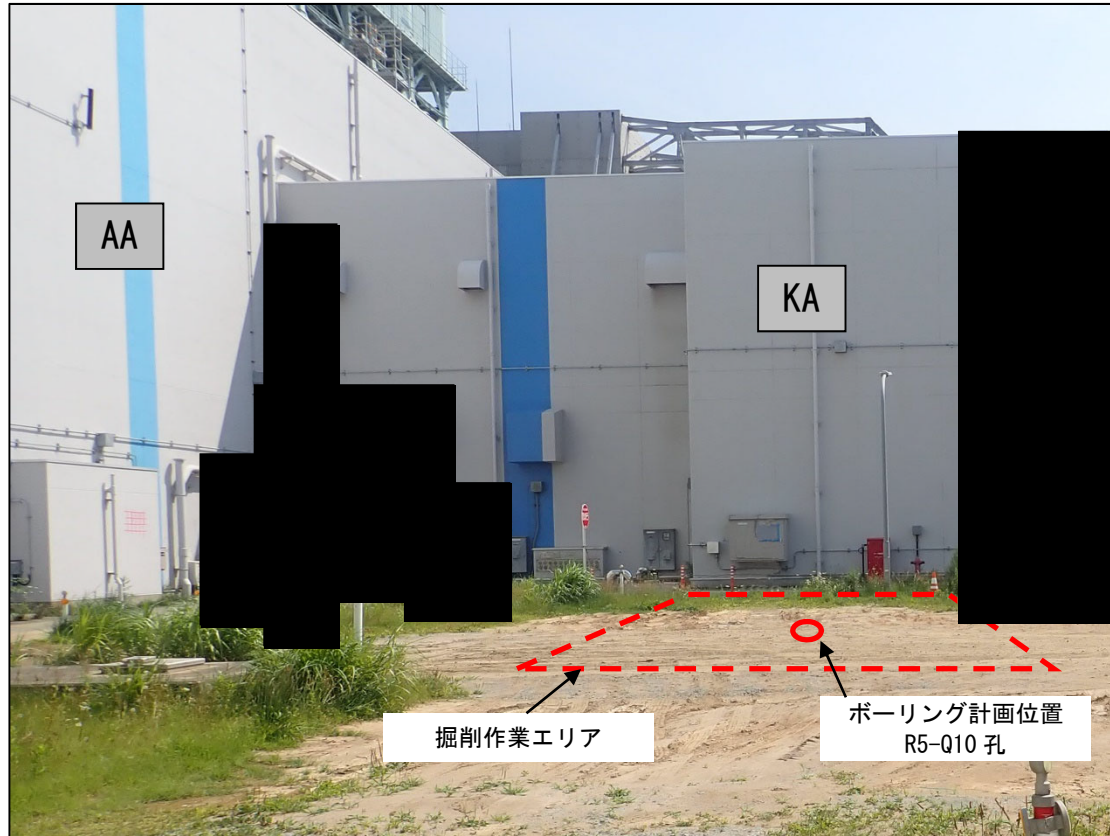
↑: 矢視



参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (9/12)

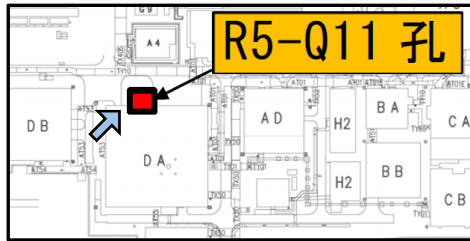


↑: 矢視

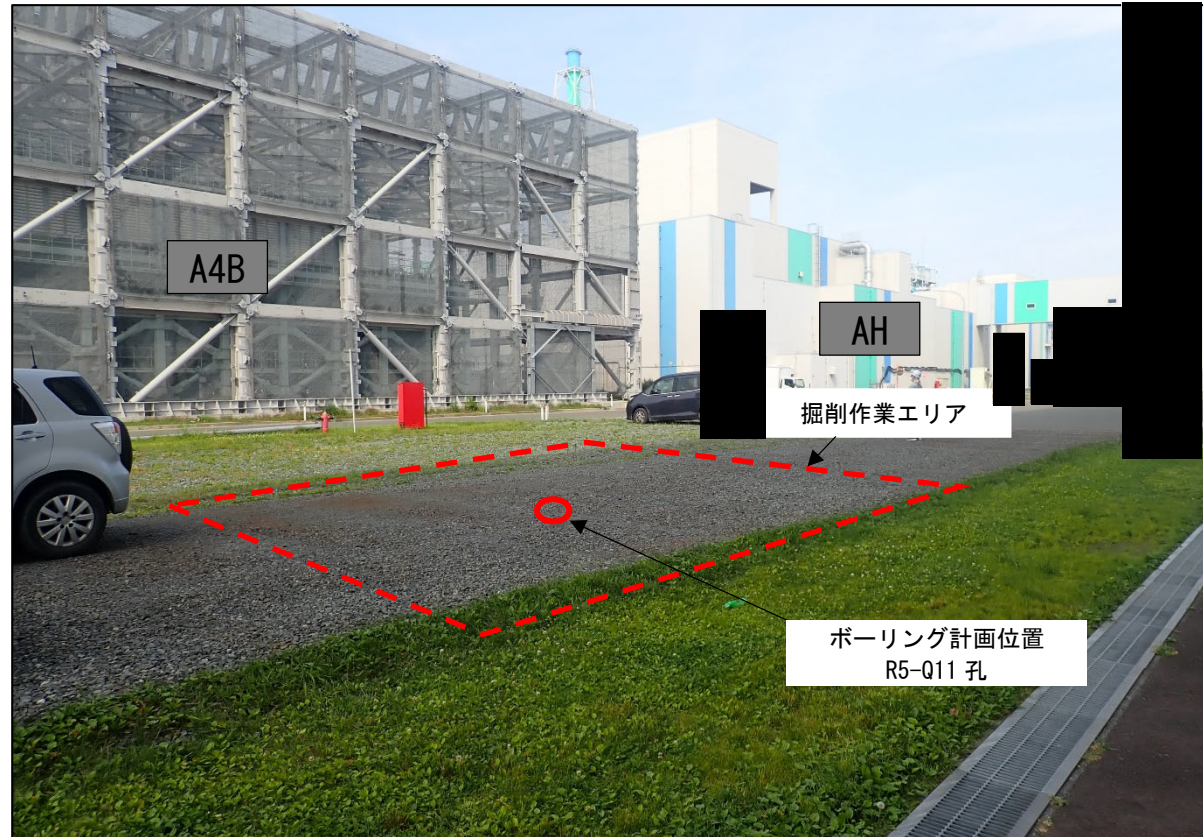


参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (10/12)

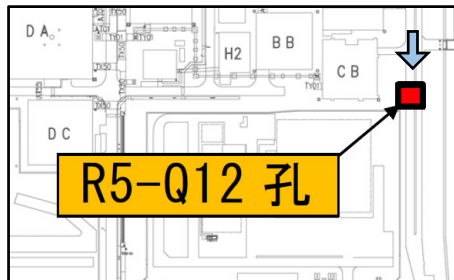
参考-27



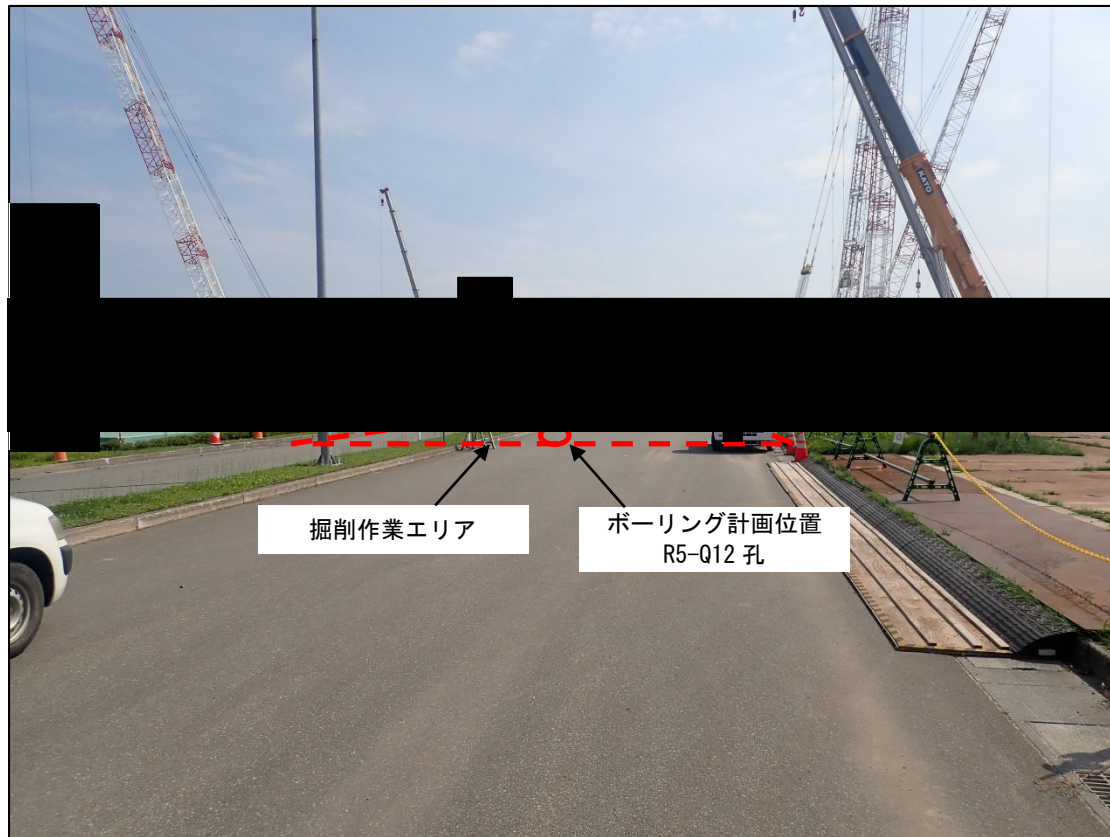
↑ : 矢視



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。

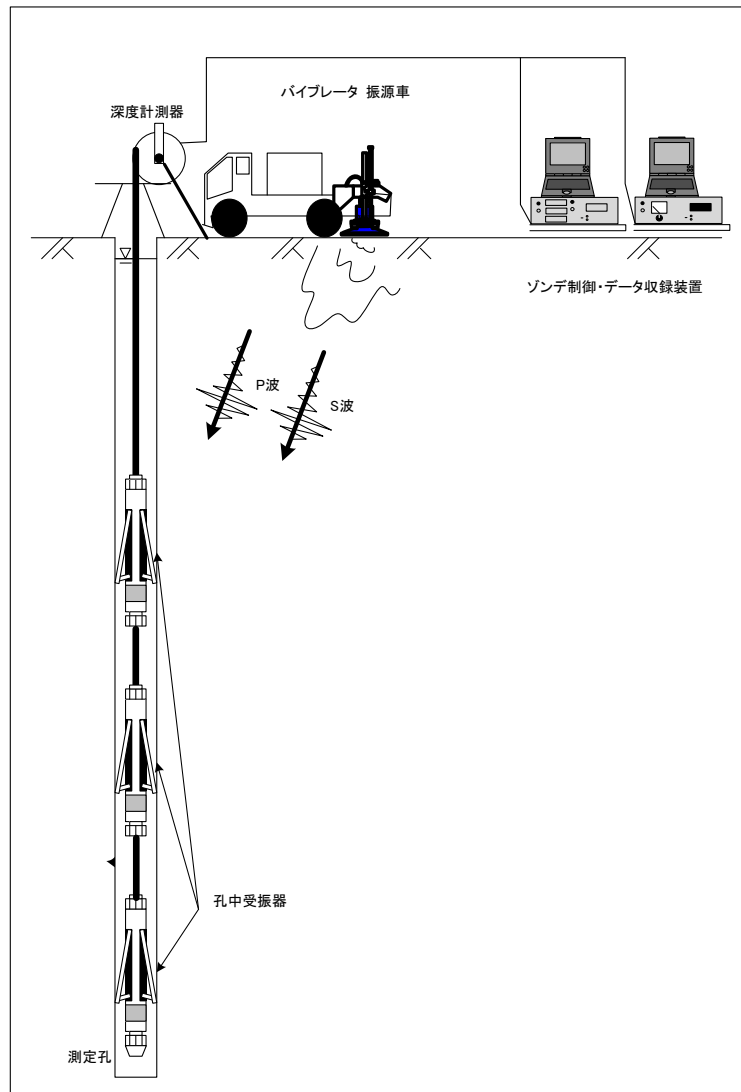
P S 検層（ダウンホール法）は、測定間隔を 1～2m とし、JGS 1122-2012「地盤の弾性波速度検層方法」を参考にして測定・解析を実施する。

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

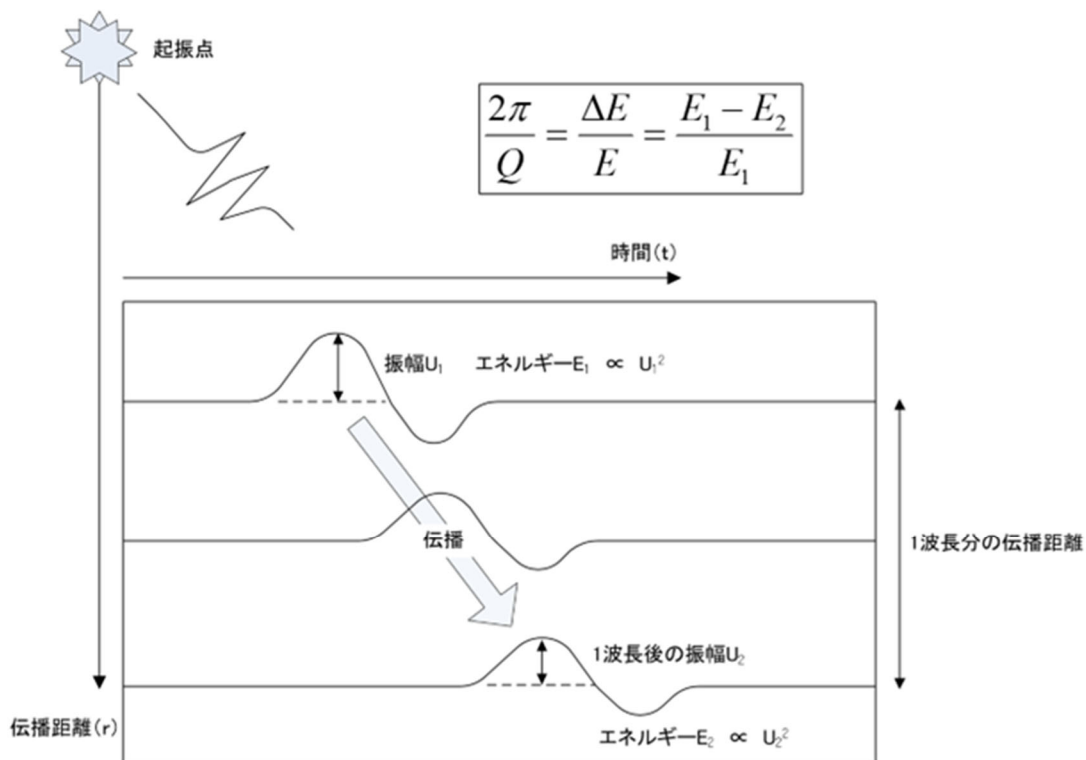


参考 1-3-4 図 P S 検層（ダウンホール法）の測定装置と測定システムの模式図

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。

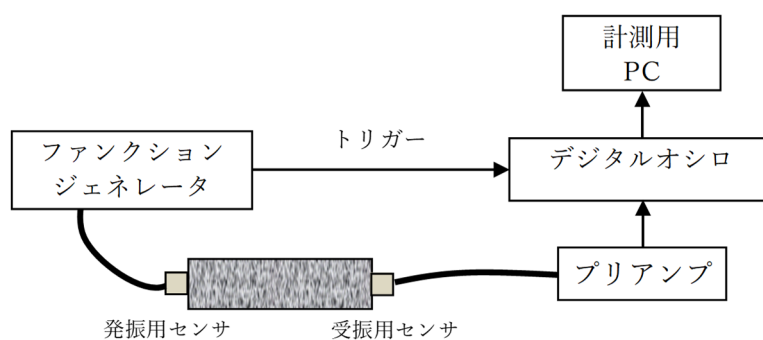
イ. 大気圧下における Q 値測定

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。キャップとペデスタル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。

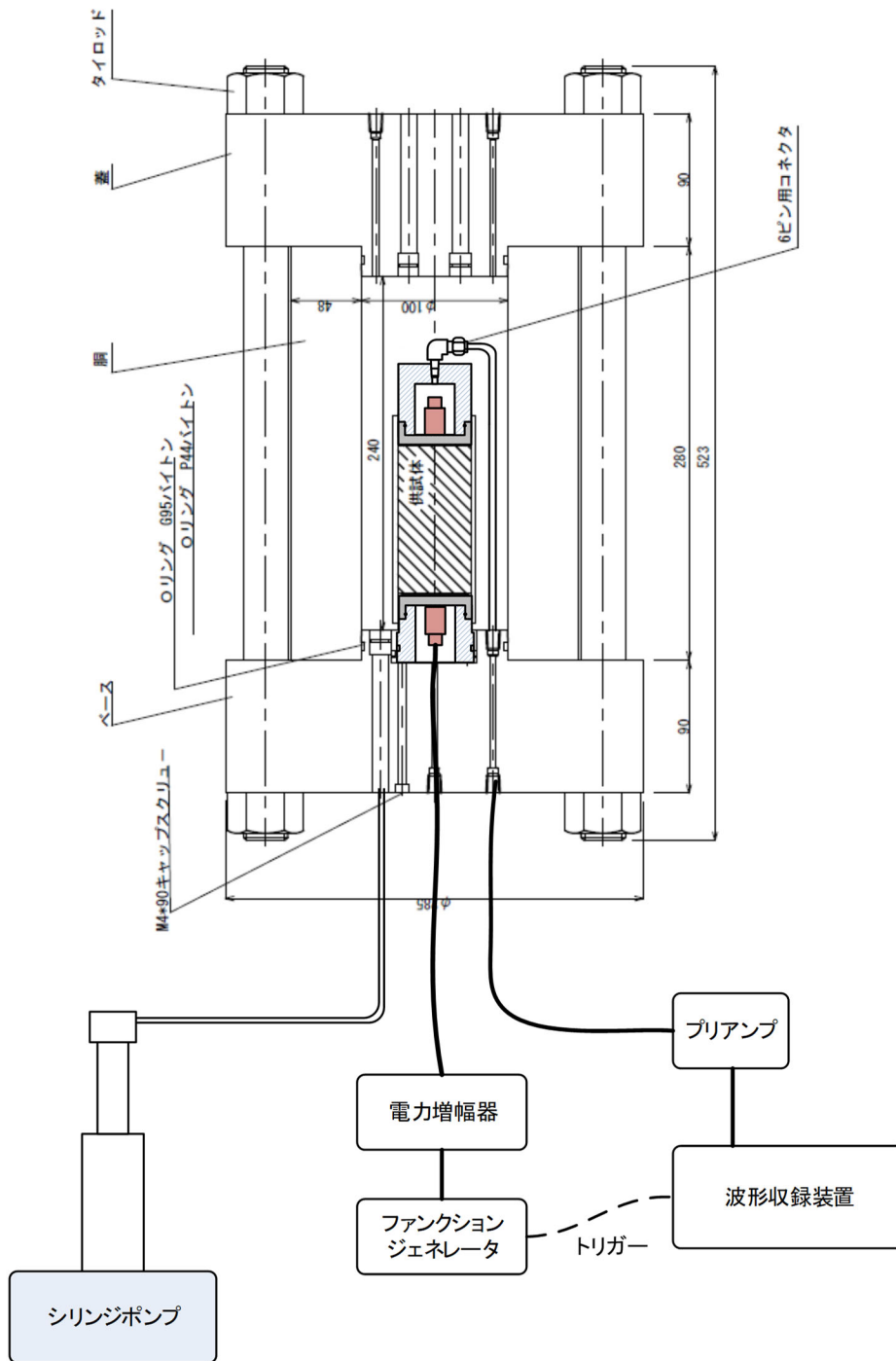
参考 1-3-5 表 封圧下の Q 値測定装置の主な仕様

名称	主な仕様	型番	メーカー
高圧セル	耐圧：150MPa 寸法（内）： $\phi 100 \times h240$ mm 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 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
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。

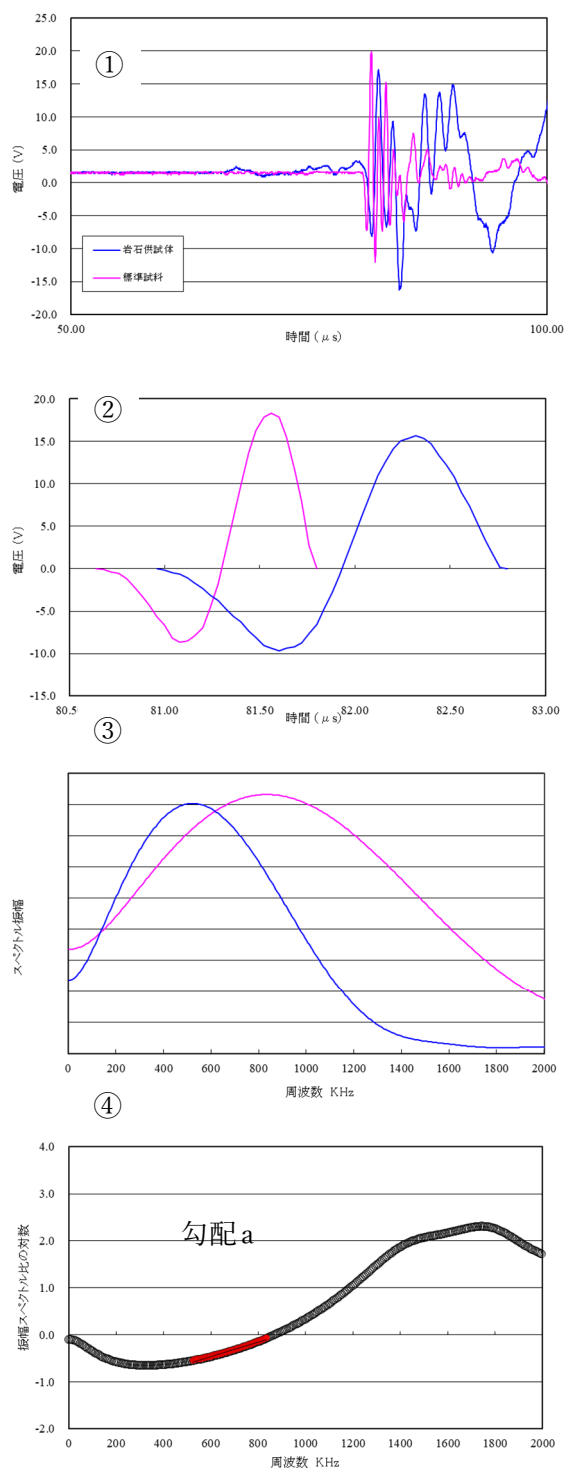
標準試料には岩石供試体と同じ形状のアルミ合金 (A5056) を用い、岩石供試体と同様の方法で透過波形を収録する。なお、Zemanek (1961)によれば、アルミの Q 値は 15×10^4 という大きな値となっているので、 γ_1 は 0 とみなしても誤差はないことになる。

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

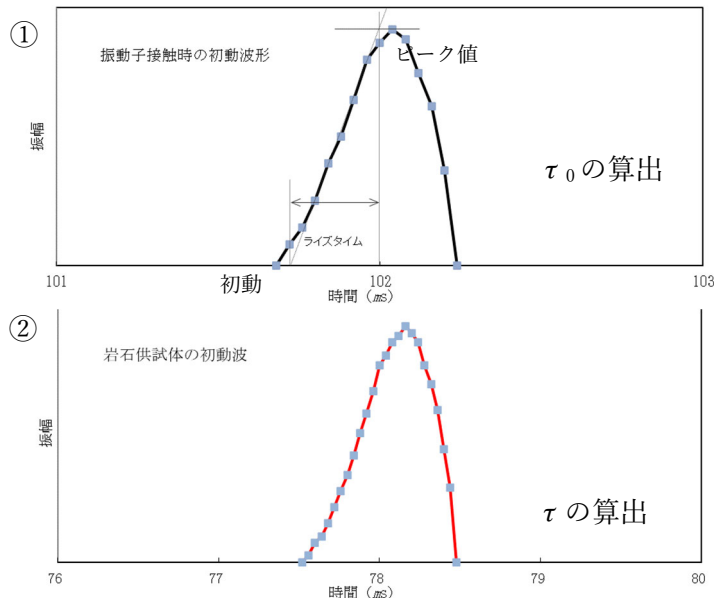
t : 伝播時間

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 8 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. 地盤の実態を考慮したパラメータの評価方針	別紙 2-4-3
3. 埋戻し土の物性に係る検討	別紙 2-4-4
3.1 要求品質の整理	別紙 2-4-4
3.2 施工管理状況の確認	別紙 2-4-5
3.3 物性値のばらつきに係る検討	別紙 2-4-15
3.3.1 事業変更許可申請書における設定について	別紙 2-4-15
3.3.2 数値統計学に基づく物性値(G_0)の最尤モデル	別紙 2-4-17
3.3.3 施工年代別の整理について	別紙 2-4-21
3.4 物性値の設定(まとめ)	別紙 2-4-29
4. 流動化処理土の物性に係る検討	別紙 2-4-30
4.1 施工管理状況の確認	別紙 2-4-30
4.2 物性値のばらつきに係る検討	別紙 2-4-37
4.2.1 事業変更許可申請書における設定について	別紙 2-4-37
4.2.2 固化材添加量別の整理について	別紙 2-4-38
4.3 物性値の設定(まとめ)	別紙 2-4-39
5. まとめ	別紙 2-4-40
5.1 埋戻し土及び流動化処理土の物性値の設定について	別紙 2-4-40
5.2 表層地盤に埋め込まれている建屋の入力地震動算定について	別紙 2-4-40

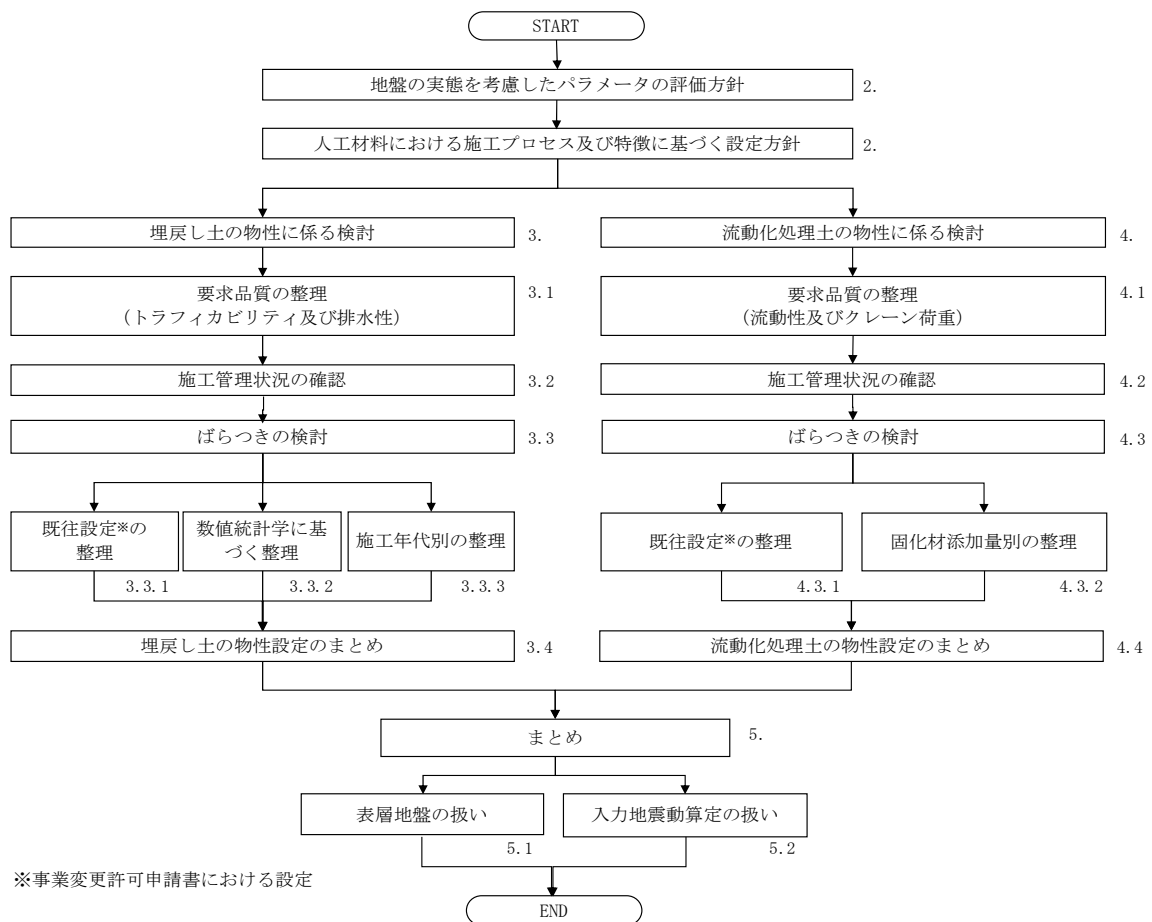
1. はじめに

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、表層地盤の物性値について、その設定の考え方を示すものである。

表層地盤の物性値については、本文「3. 入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定プロセス」に基づき、一般的・標準的な設定手法としてJEAG4601-1987の記載内容及び他サイトの新規制基準における審査実績を踏まえ、地盤の実態を考慮したパラメータとして、敷地で得られている埋戻し地盤の動的な特性を調べ、建物・構築物の地震応答解析に資するものとする。埋戻し地盤の動的な特性の把握については、弾性波速度試験によるものとする。

その上で解析の簡便性や設計上の保守性を考慮し、耐震設計上用いるパラメータを設定する。

上記の検討に係るフローを第1-1図に示す。



注記：図中に付す番号は本資料において対応する章番号を記載している。

第 1-1 図 検討フロー

2. 地盤の実態を考慮したパラメータの評価方針

建物・構築物の設計において表層地盤の動的な特性を設定する場合、当該地点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である。そのため、当該地点での表層地盤の物性値は、建物・構築物の近傍の物性値をボーリングデータに基づき設定する。この時、近傍の物性値の考え方として以下の理由により、あるエリアの埋戻し地盤の物性を一様なものとみなすことができる場合、当該エリア範囲のボーリング孔から得られるデータを踏まえて統一した1つの物性値として設定できるものと考える。

・埋戻し地盤に用いる材料は、自然の岩盤と相違した人工材料であり、一定の管理により施工されている。

・当該地点の特性として、複数の建物・構築物を同時期に構築していることから、広範囲な掘削、埋戻しが一定の管理項目により実施されている。

以上のことを踏まえ、本資料では、当該敷地における人工材料で構成される埋戻し地盤（埋戻し土及び流動化処理土）について、施工プロセス及びその特徴を踏まえ、ボーリングデータのグルーピングをどのように行うかについて検討を行う。

なお、管理項目については、耐震設計上用いるパラメータに影響を与える指標とし、埋戻し土については粒度及び強度、流動化処理土については強度（固化材の添加量）とする。

表層地盤（埋戻し土）の物性値の設定については、土質材料としての要求性能の整理を行い、管理基準及び施工管理状況を確認する。埋戻し土の物性値について既往の許可申請との整合を念頭に置き、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。そのうえで、施工管理された埋戻し土の力学特性に基づき、得られた物性値が一定のばらつきを有することを前提として、施工年代別の差異について検討し、埋戻し土の実態を考慮した物性値について検討を行う。

表層地盤（流動化処理土）の物性値の設定についても、埋戻し土と同様に、その施工プロセス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。

3. 埋戻し土の物性に係る検討

3.1 要求品質の整理

建物・構築物の構築に合わせ、敷地造成当時に原地山を平坦に施された造成盛土又は原地山の六ヶ所層等を掘削し、構築完了まで仮置きヤードで現地発生土として仮置きされる。この現地発生土は建物・構築物の構築完了と共に建物・構築物の周囲を復旧する際の埋戻し土として使用される。埋戻しの施工範囲については、地表面から建物・構築物の基盤高さまで(深いものでGL-20m程度)及び構築する建物・構築物間の狭い狭隘部(重機施工ができない間隔)において施工される。埋戻し施工箇所については、ダンプトラックにより当該箇所まで埋戻し材料の運搬が行われるため、埋戻し土の施工については、この運搬するダンプトラックの通行性(トラフィカビリティー)の確保が要求される。このトラフィカビリティーの管理指標としては、一般にコーン指数があり、1999年以前の当該品質管理上では $qc=10\text{kgf/cm}^2$ を規定している。2000年以降には細粒分を含む六ヶ所層を活用した埋戻しに移行することから、締固め度による管理に移行しているが、コーン指数と締固め度についてはどちらも同じ地盤の強度を表す指標であり、同じ目的(トラフィカビリティーの確保)で管理されてきたものである。

一方、建物・構築物の要求性能として地下水による揚圧力低減を目的とし、周囲の地下水位を低下させる必要がある。そのため、当該施設周囲にはサブドレンが設置され、埋戻し地盤については排水性を考慮した砂質土が設置される。以上より、使用される砂質土については、材料管理基準により、一定の粒度であることの確認が必要となっている。

上記のとおり、敷地全体が同じ目的で施工管理されている事実を踏まえ、以下では次の確認を行う。

- ① 施工管理方針・施工管理記録により敷地全体の埋戻し土が一定の管理下で施工されていることを確認する。(3.2)
- ② ①で確認できた地盤については、施工によるばらつきが存在することを前提に、そのばらつきをどのように扱うかについて検討を行う。特に、トラフィカビリティーの管理指標の異なる1999年以前と2000年以降でそれぞれを分けて考察する必要があるか否かについて検討を行う。(3.3)

3.2 施工管理状況の確認

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 3.2-1 表に、埋戻し工事の施工ブロック割位置図を第 3.2-1 図に示す。第 3.2-1 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 3.2-2 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堆積砂、六ヶ所層及び鷹架層の岩ズリの現地発生土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、埋戻し材料の品質性担保にあたっては、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、撤出し及び転圧までの間、養生される。撤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施工管理基準を定めたいえで施工している。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撤出し厚さ、転圧機械及び回数として施工管理基準を定める。

施工管理基準については、第 3.2-1 表に示すとおり、近隣施設との配置に基づく施工幅等による制約で使用する重機等の施工方法が異なるが、両者とも最大乾燥密度と最適含水比による締固め材料基準に基づき、締固めエネルギーに応じて撤出し厚さ（20～50 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、可能な限り締固めができるように定めている。ストックパイルヤードにおける材料基準及び施工管理基準の設定方法を参考 1 に示す。

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 3.2-2 図及び第 3.2-3 図に示す。また、その基準をもとに得られた品質管理記録として、1999 年以前におけるコーン貫入抵抗 q_c を第 3.2-4 図に、2000 年以降における締固め度 D_c を第 3.2-5 図に示す。1999 年以前について、一部データはないものの管理目標値である $q_c = 10 \text{ kgf/cm}^2 (\div 0.1 \text{ MPa})$ を満足しており、2000 年以降についても基準値である締固め度 $D_c = 90\%$ 以上を満足している。

埋戻し土の粒度分布図を第 3.2-6 図に示す。敷地内の埋戻し土全域の粒度については、通過質量百分率が砂の領域（75 μ m～2.0mm）を占める割合が高いことから、埋戻し土は砂質土に分類される。また、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 3.2-7 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 3.2-8 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 3.2-8 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。

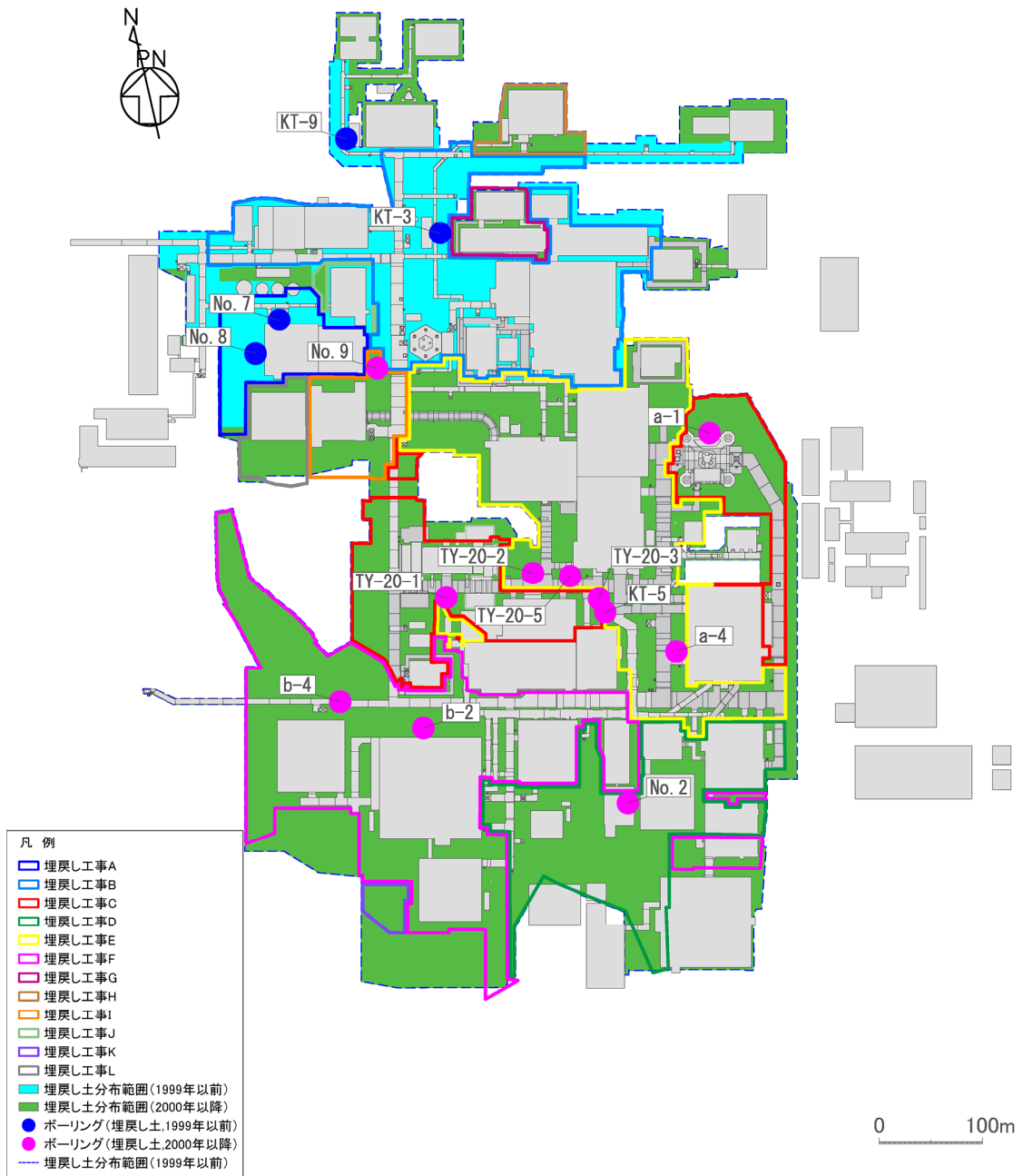
以上のことから、敷地内すべての埋戻し工事における施工プロセスはほぼ同等であり、埋戻し土は一定の管理基準を満足するように施工管理されている。

第 3.2-1 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-0.8～1.1t TP-60～100kg 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領域(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



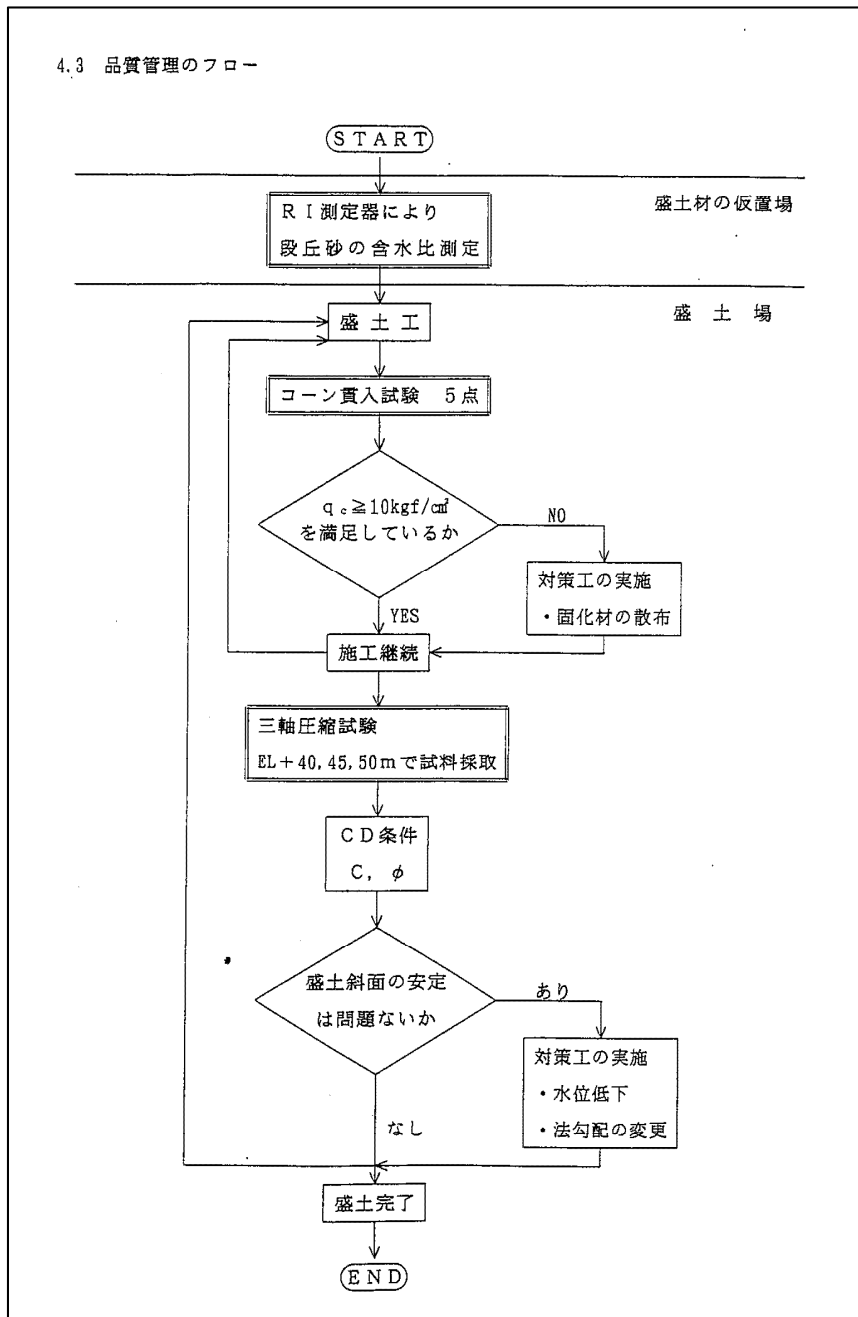
第3.2-1図 施工ブロック割位置図

第 3.2-2 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 --- E["(品質管理) 最大乾燥密度 最適含水比"] D --> F[小運搬 (バックホウ、ダンプ)] F --> G[投入 (バックホウ・クラムシェル)] G --> H[撤出し・数均し (ブルドーザ)] H --- I["(品質管理) 撤出し厚さ"] H --> J[転圧 (振動ローラ、タンバ)] J --- K["(品質管理) ポータブルコーン貫入試験 転圧回数"] J --> L[次工程引渡し] </pre>	<p>ストックパイルヤード</p> <pre> graph TD A[混合・攪拌 (バックホウ)] --> B[積込・運搬 (バックホウ・ダンプ)] B --> C[埋戻し箇所付近] C --> D[現場仮置き] D --- E["(品質管理) 細粒分含有率Fc = 30%以下 最大粒径:150mm以下 最大乾燥密度 最適含水比"] D --> F[小運搬 (バックホウ、ダンプ)] F --> G[投入 (バックホウ・クラムシェル)] G --> H[撤出し・数均し (ブルドーザ)] H --- I["(品質管理) 撤出し厚さ"] H --> J[転圧 (振動ローラ、タンバ)] J --- K["(品質管理) 締固め度 転圧回数"] J --> L[次工程引渡し] </pre>
管理基準	コーン貫入抵抗 $q_c \geq 1.0\text{MPa}$ (目標値) $q_u = 0.2 \times q_c = 0.2 \times 1.0 = 0.2\text{MPa}^{*1}$	締固め度 $D_c \geq 90\%$

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

4.3 品質管理のフロー



第3.2-2図 1999年以前の品質管理要領

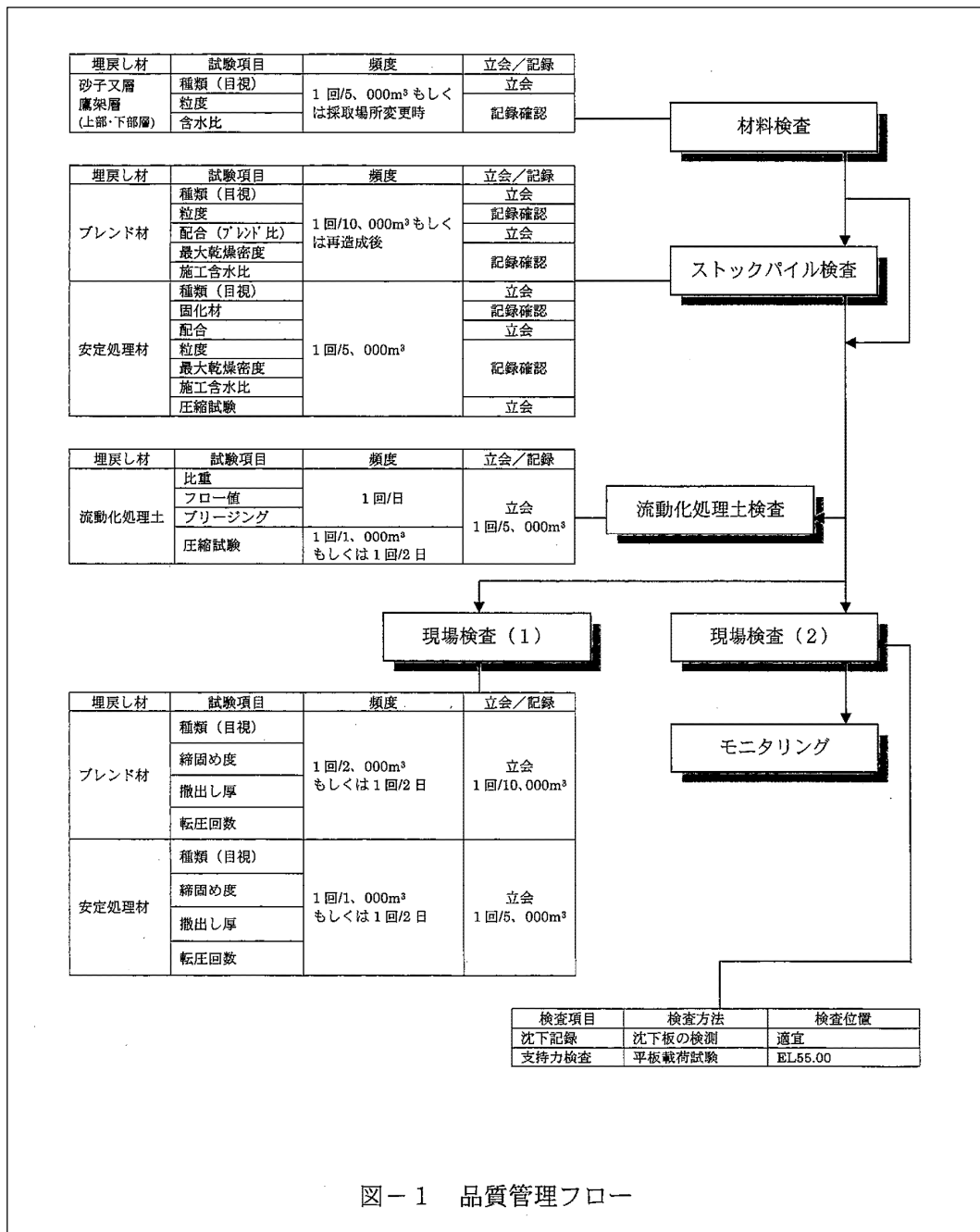
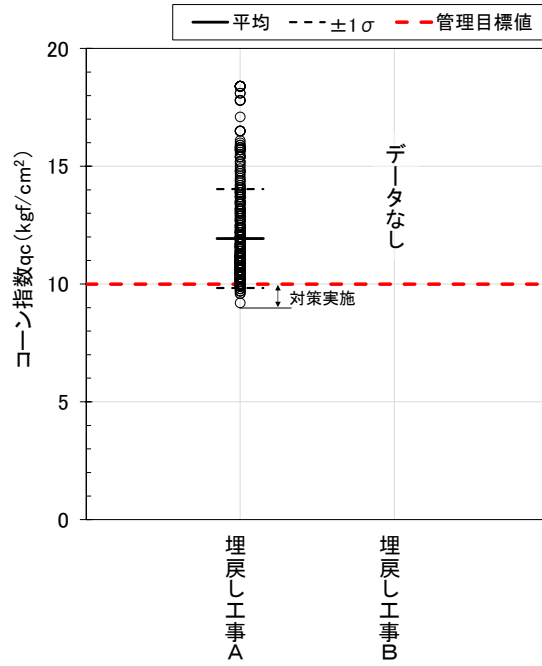
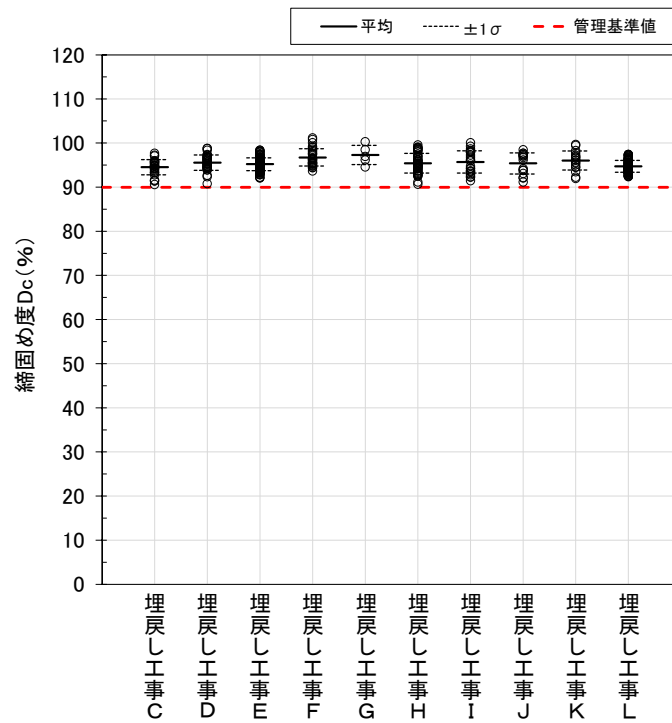


図-1 品質管理フロー

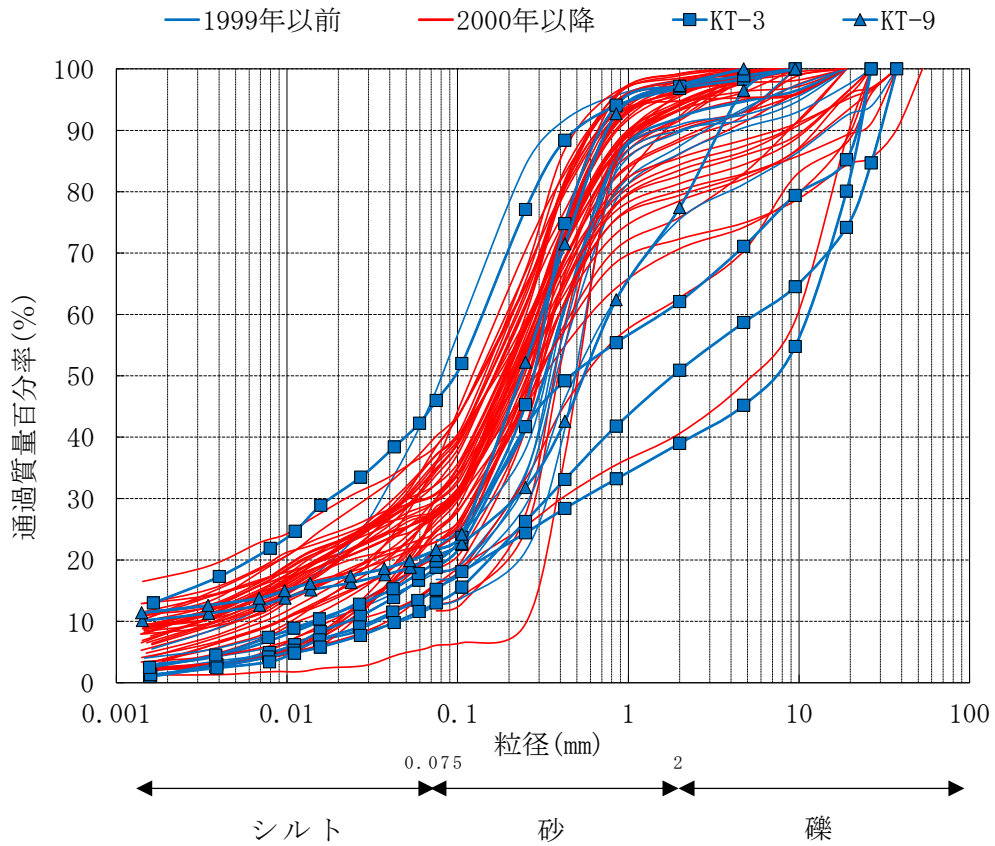
第3.2-3図 2000年以降の品質管理要領



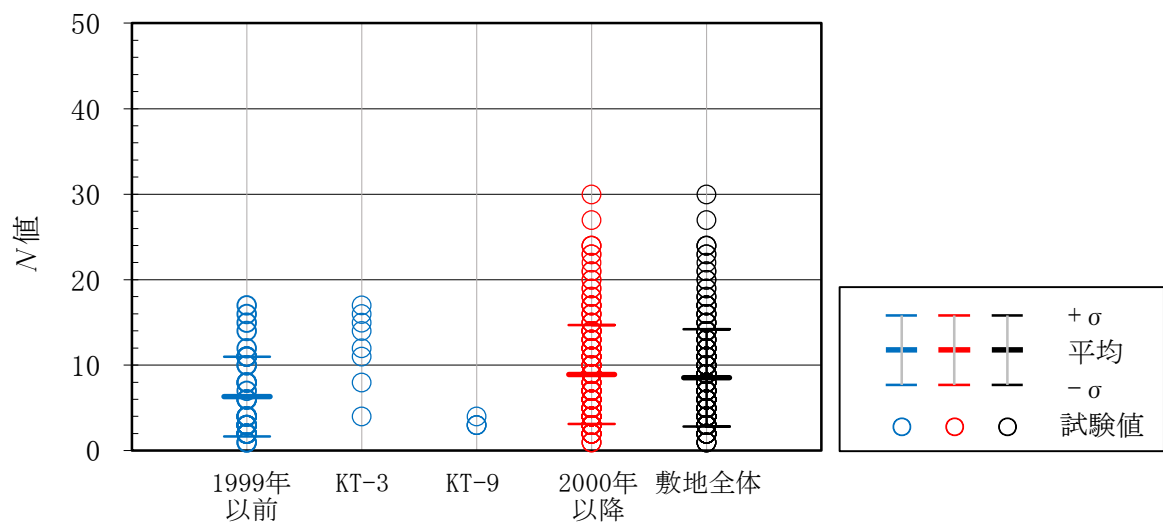
第 3.2-4 図 品質管理記録
(1999 年以前, コーン貫入抵抗 q_c)



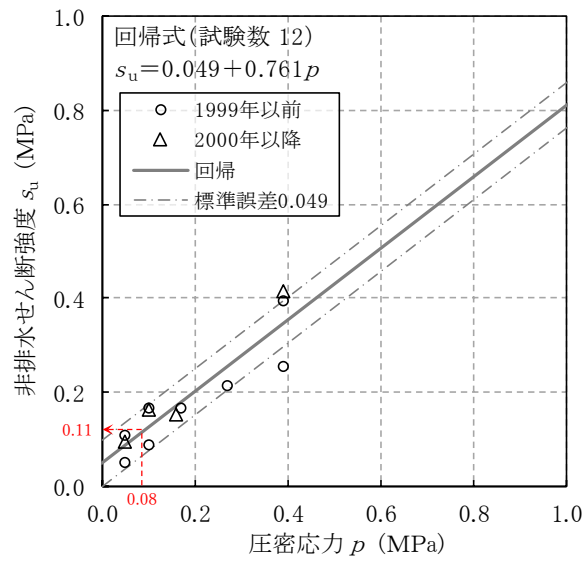
第 3.2-5 図 品質管理記録
(2000 年以降, 締固め度 D_c)



第 3.2-6 図 施工年代別の粒度分布



第 3.2-7 図 施工年代別の N 値



第 3.2-8 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）

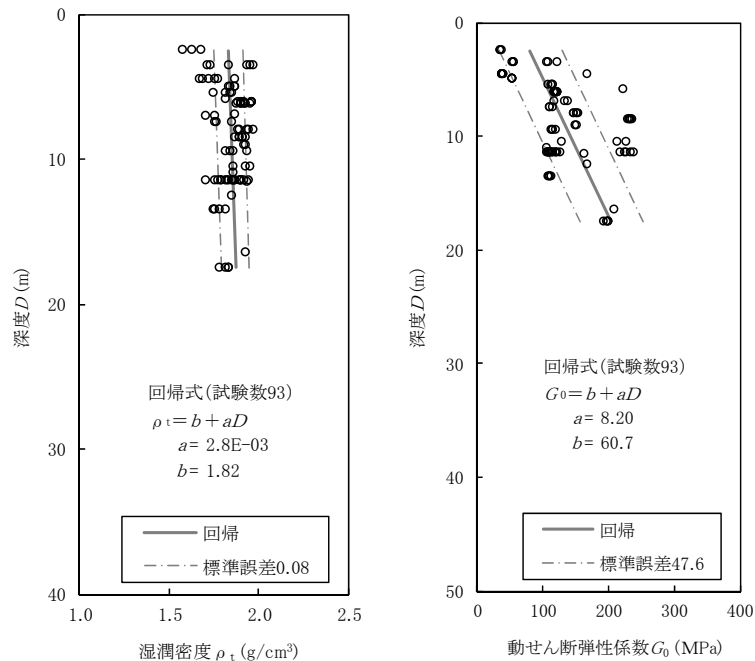
3.3 物性値のばらつきに係る検討

本章においては、まず、3.3.1にて、事業許可申請時の埋戻し土の設定について述べ、3.3.2で最適な統計的モデルとしての回帰式について考察を行う。そして、3.3.3において施工年代別にばらつきの設定を変える必要性について、追加調査結果の扱いも含めた考え方を示す。

3.3.1 事業変更許可申請書における設定について

事業変更許可申請書では、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として湿潤密度 ρ_t 及び動せん断弾性係数 G_0 (以下、それぞれを「 ρ_t 」及び「 G_0 」という。)を設定している。埋戻し土のボーリング柱状図及び物理・力学特性を参考2に示す。参考2に示すとおり、埋戻し土のせん断弾性波速度(V_s)は、深くなると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。

事業変更許可申請書に記載した解析用物性値を第3.3.1-1図に示す。物性値の設定として ρ_t 及び G_0 はいずれも深度方向に物性値が増加しており、深度依存の回帰式により物性値が設定されている。

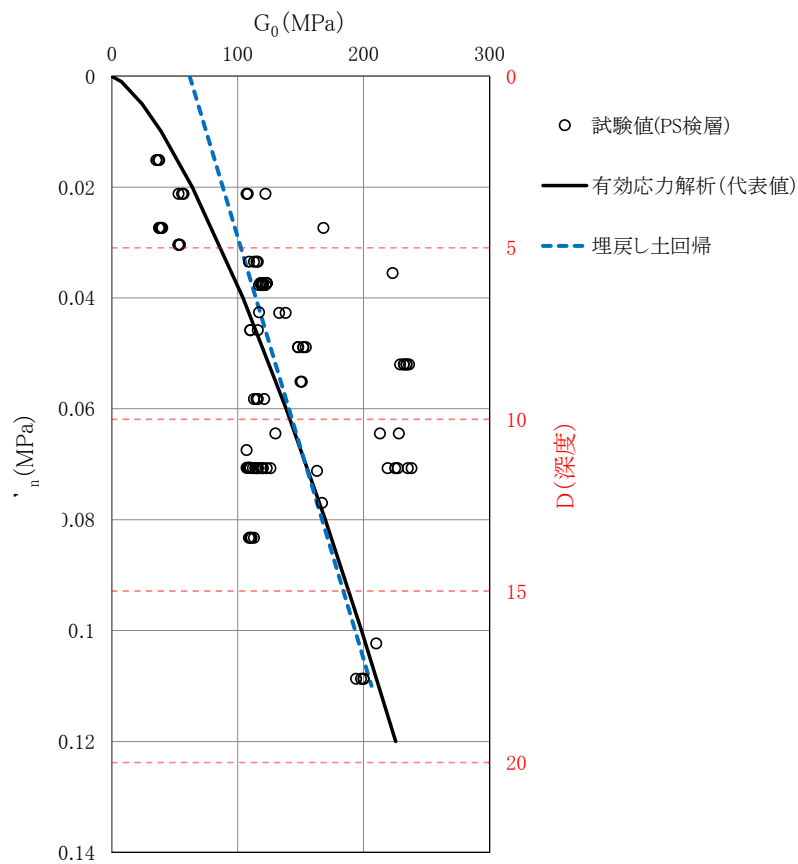


第3.3.1-1図 埋戻し土の湿潤密度及び動せん断弾性係数の回帰式と標準誤差 (再処理施設、廃棄物管理施設及びMOX燃料加工施設の事業変更許可申請書より抜粋)

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 3.3.1-1 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 3.3.1-2 図に示すとおり、第 3.3.1-1 図に示した埋戻し土の 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 3.3.1-2 図 液状化応答解析の初期せん断弾性係数 G_0 物性値

3.3.2 数値統計学に基づく物性値 (G_0) の最尤モデル

3.3.1 で示したように当該地点の埋戻し土の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。

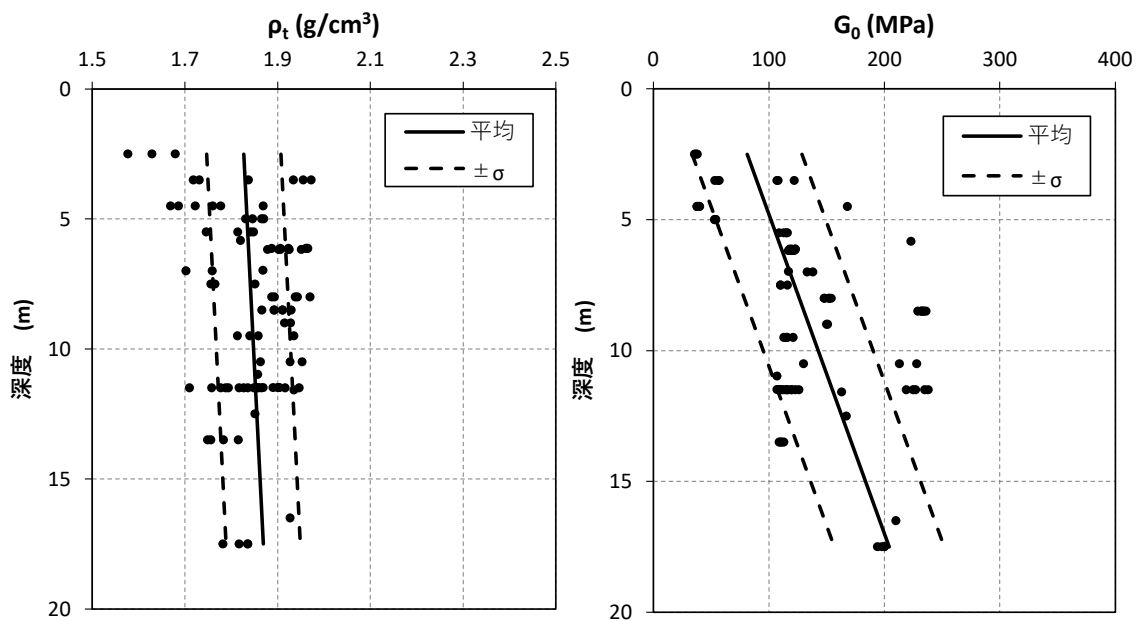
先述したように、パラメータを多くすると残差平方和を小さくできるが、統計的モデリングにおいてはバランスが大事であり、誤差が同じ程度なら予測値との乖離を少なくするにはパラメータ数の少ないモデルを選ぶべきである。

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。

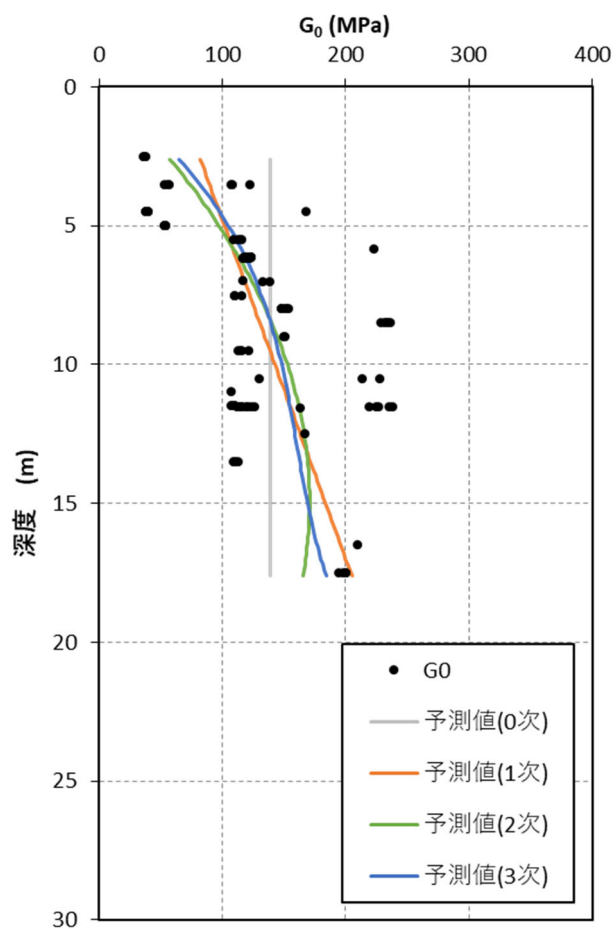
第3.3.2-1図に、埋戻し土の動的変形特性として用いる ρt 、 G_0 の深度分布と深度依存回帰式を示す。第3.3.2-2図に既往データの0次（平均）、1次関数回帰、2次関数回帰のフィッティングと回帰式（最小二乗法）を示す。数値統計学的なフィッティングの良否を定量的に評価するため、第3.3.2-3図に各次数に対するAIC（オレンジ線）と残差平方和（青線）を示す。AICは、0次（平均）に比べると1次回帰で大きく減少し、2次、3次と次数が増えるのに伴い緩やかに減少する。誤差（残差平方和）が同程度であれば、パラメータの少ないモデルが適切と考えられる。

（参考文献）

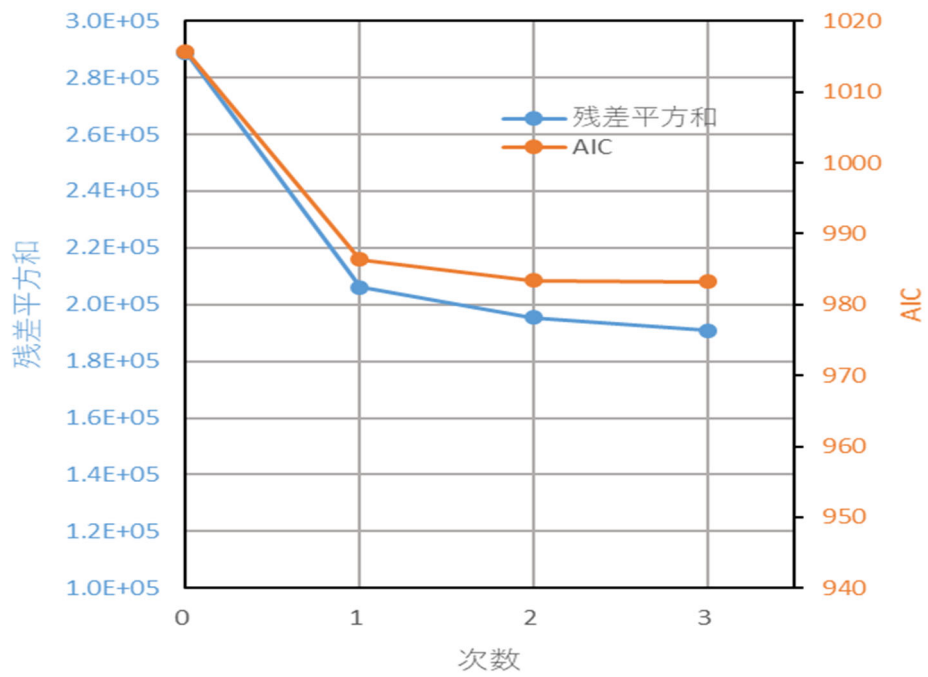
- *1 小西貞則，北川源四郎：情報量規準，シリーズ予測と発見の科学2，朝倉書店，208pp，2004
- *2 唐沢好男：AIC（赤池情報量規準）を学ぶ，Technical Report YK-048，電気通信大学，http://www.radio3.ee.uec.ac.jp/ronbun/TR_YK_048_AIC.pdf，19pp，2020.



第 3.3.2-1 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



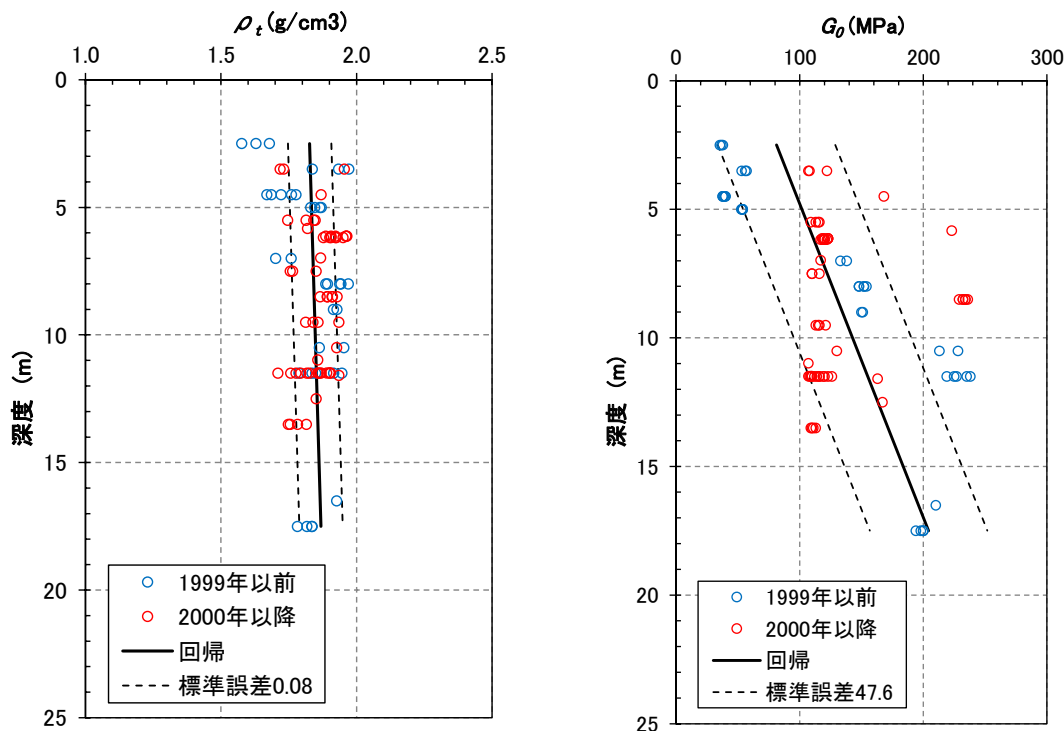
第 3.3.2-2 図 動せん断弾性係数 G_0 の任意次数回帰



第 3.3.2-3 図 既往データによる AIC の算定結果 (AIC・残差～次数関係)

3.3.3 施工年代別の整理について

3.2で示したように、敷地内の埋戻し土は、北側が1999年以前、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3.3.1-1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3.3.3-1図に示す。

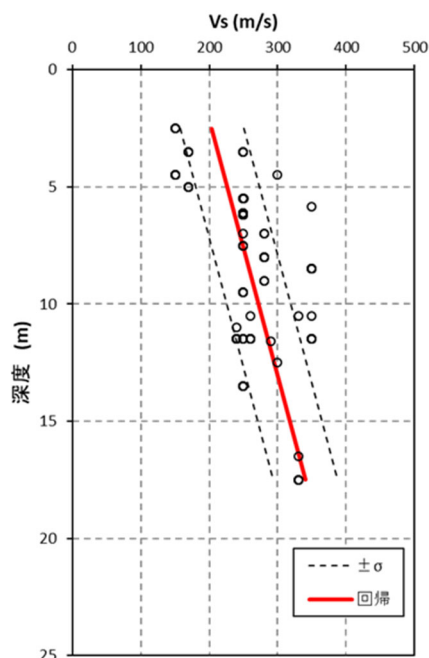


第 3.3.3-1 図 施工年代別の物性値 (ρ_t , G_0)

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ものの、 G_0 の分布については深度依存の傾向や年代によって取得されていない深度が認められる。

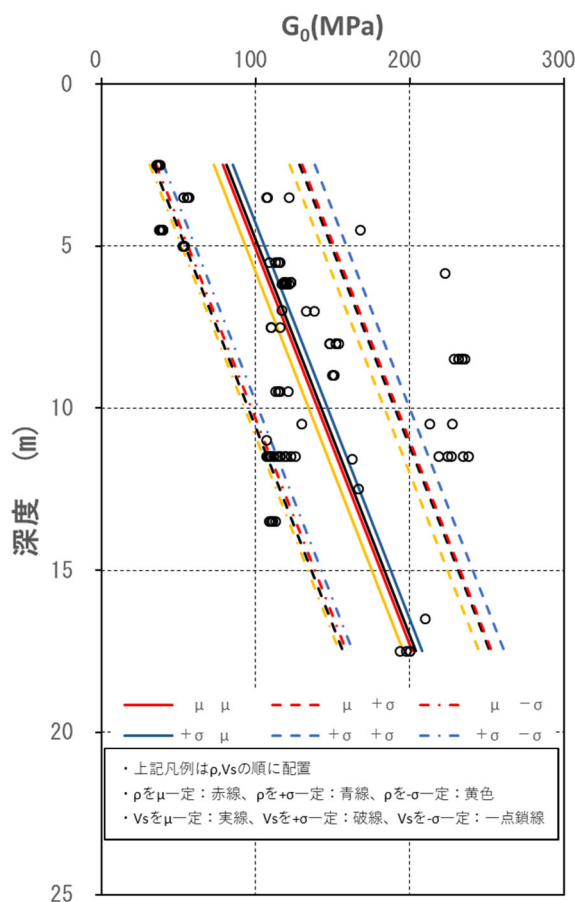
ここでは、まず、全データにおけるばらつきから当該地点での G_0 が統計学的に取りうる範囲について検討する。そして、偏りのある G_0 のデータセットを V_s 分布と ρ_t 回帰から補完した G_0 分布（補完 G_0 ）を分析し、全データのばらつきと施工年代別の G_0 分布が岩盤の応答特性に与える影響について検討する。なお、参考3にボーリング孔毎の G_0 と測定深度の関係を示す。

G_0 を算定したデータセットの V_s に着目する。第3.3.3-2図に第3.3.1-1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 3.3.3-2 図 埋戻し土の物性値 (V_s)

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3.3.3-1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3.3.3-3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 (2次式) との掛け算であることから深度方向に向かって発散する3次関数となる。事業変更許可申請書における標準誤差 ($\pm 1\sigma$) の回帰は等差 (深度方向に一定の標準誤差) で与えていることから平均値からのばらつきをデータセットから得られた G_0 の深度依存勾配 ($+8.2D$: 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4)。

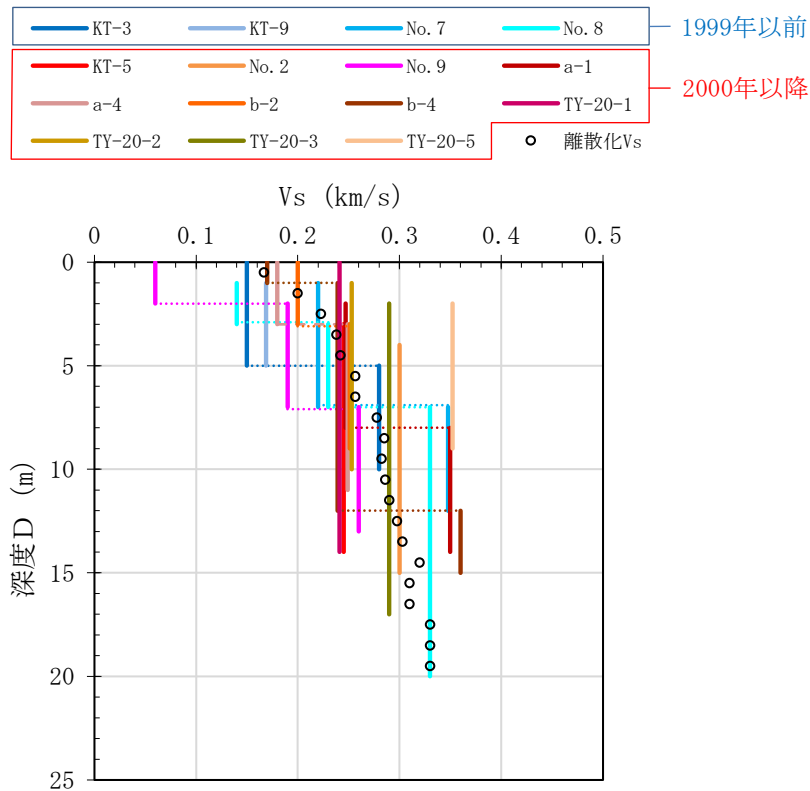


図の凡例では、各線について ρ_t に用いた回帰及び V_s に用いた回帰をそれぞれの線色(赤, 青, 橙)及び線種(実線, 破線, 一点鎖線)で表示している。図によれば、それぞれの回帰から算定した G_0 の回帰は、線種で分けた V_s の回帰に依存しており、それぞれで ρ_t が $+\sigma$ の場合には、 G_0 が若干大きくなる傾向を示し、 ρ_t が $-\sigma$ の場合には、 G_0 が若干小さくなる傾向となっている。ここでは、 ρ_t の回帰と V_s の回帰におけるばらつきの全ケースを算定したが、 ρ_t は平均値が推定量として相応しいものとした場合、 V_s の $+1\sigma$ (赤破線)、 $-\sigma$ (赤一点鎖線)は、データセットから得られた G_0 の μ (平均)、 $\pm\sigma$ (ばらつき)回帰と一致する。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3.3.3-1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、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

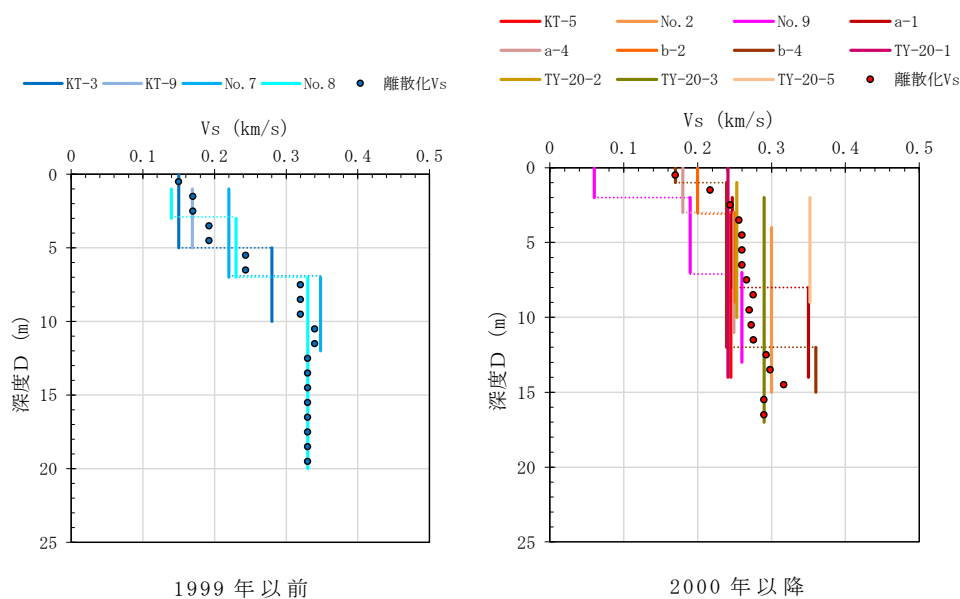
として両施工年代の物性値を比較評価することが難しいものとなっている。そこで、全ボーリング孔の埋戻し土範囲で共通に計測されているPS検層（ダウンホール方式）の V_s を用いて施工年代別の V_s 分布の整理を実施した。

埋戻し土の V_s について、参考2の埋戻し土の柱状図から全ボーリング孔（15孔）及び施工年代別に整理した結果を第3.3.3-4図に示す。なお、図中には、深度1 m区間ごとの V_s （分散化 V_s と呼ぶ）の平均値を○印で示している。図によれば、寒色系で示す1999年以降の V_s 分布と暖色系で示す2000年以降の V_s 分布は、施工年代にかかわらず0.1km/s程度から0.35km/sの速度範囲で分布し、分散化 V_s の平均値（○印）は深度依存の傾向を示している。



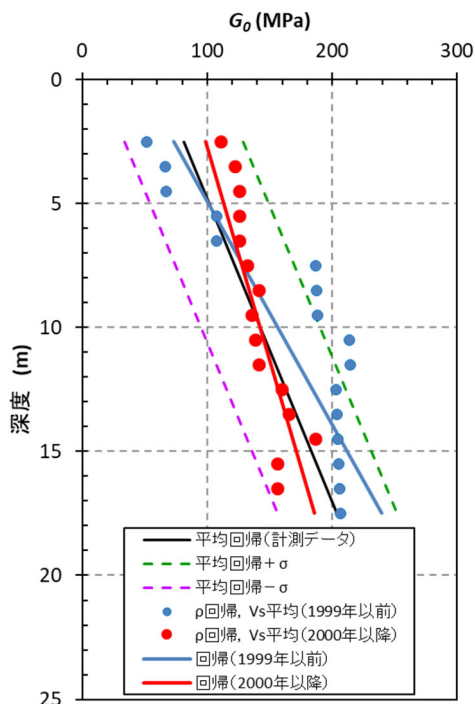
第 3.3.3-4 図 ボーリング柱状図による V_s と分散化 V_s (全 15 孔)

第3.3.3-5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3.3.3-1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3.3.3-5図 施工年代別の V_s と離散化 V_s

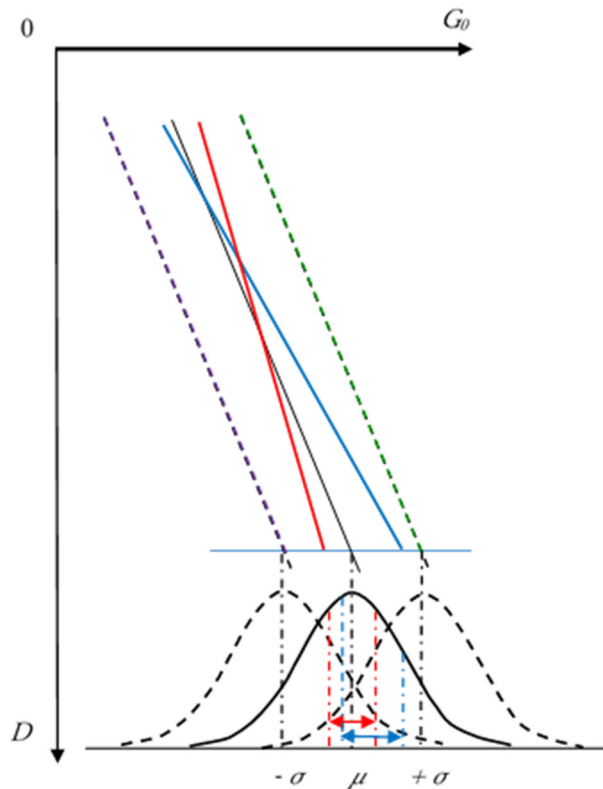
第3.3.3-6図に1999年以前, 2000年以降の補完 G_0 の値をそれぞれ青●印, 赤●印, 補完 G_0 の深度回帰を青線と赤線で示す。また, 先の第3.3.1-1図に示した事業許可申請書に記載している計測データセットから算定した G_0 の物性値及び標準誤差($\pm 1\sigma$)の深度回帰を黒線及び緑・紫破線で示している。



第 3.3.3-6 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, 地下岩盤部から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(参考5(1))ものと考えられる。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解析結果(参考5(2))に基づけば, 第3.3.3-7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は等しくなる。

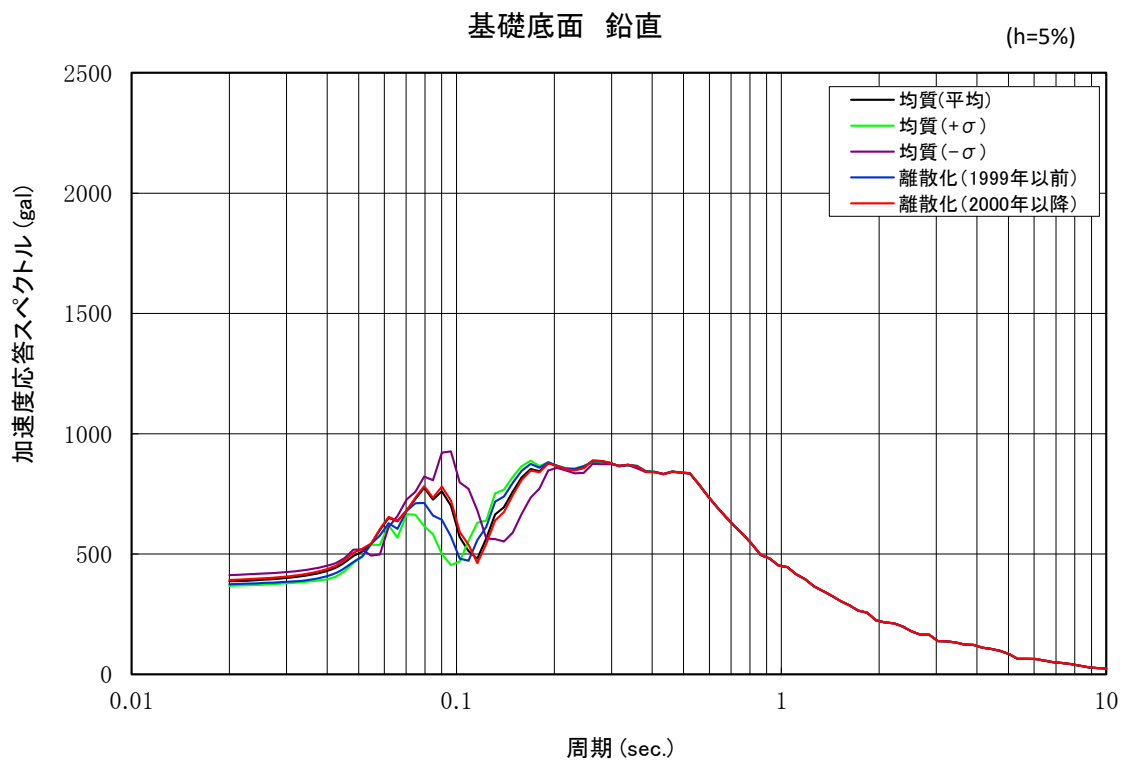
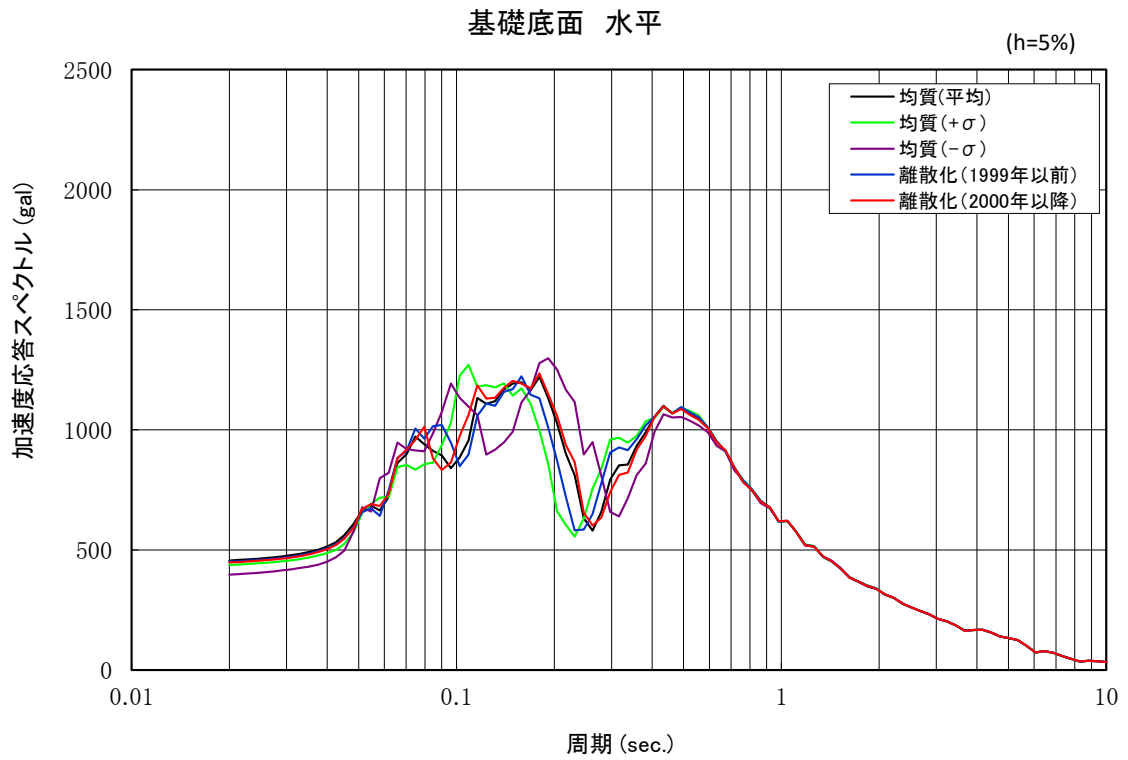


第 3.3.3-7 図 標準誤差範囲の確率密度分布の概念図

上記のことを確認するため、第 3.3.3-6 図に示した 1999 年以前、2000 年以降の G_0 の分布を用いて、一次元波動論相当の 2 次元周波数応答解析 (水平成層地盤) を実施した (参考 5(3))。

第 3.3.3-8 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、 G_0 分布の回帰は施工年代でデータを分けると異なる結果が得られるが、一方、土質材料として、トラフィカビリティーの確保及び砂質土材料の確保という同じ目的で施工管理されているものであり、この差異は同一母集団内のばらつきと見なすのが適切ではないかと考えられる。



第 3.3.3-8 図 各 G_0 回帰による加速度応答スペクトルの比較

3.4 物性値の設定（まとめ）

敷地内の埋戻し土は、材料基準及び施工管理基準に基づき、一定の管理基準を満足するように施工されており、動的変形特性は一定のばらつきに収まっている。

また、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を示すものと判断される。

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、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。

G_0 は、施工年代別に回帰が異なるが、 G_0 回帰が $\pm 1\sigma$ 内に収まれば、設計時にばらつきを $\pm 1\sigma$ 考慮することによりその影響を包絡できるものとする。しかし、そもそも G_0 分布に施工年代別の差異があっても同じ目標管理によるものなので同一母集団内のばらつきとして扱うことが適切と考えられる。

埋戻し土の物性値については、一定の管理基準を満足するように施工されており、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 3.3.3-1 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箇所を対象に追加調査を実施する（参考 6）。

この結果によりばらつきを考える上での母集団の扱いを決定する。

4. 流動化処理土の物性に係る検討

4.1 施工管理状況の確認

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 4.1-1 表に、埋戻し工事の施工ブロック割位置図を第 4.1-1 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 3.2-1 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。

当初、敷地全体の流動化処理土はセメント添加量が同等であるため、事業変更許可申請書における平均物性値を適用することとしていたが、東側地盤の AZ, G13 及び G14 周辺の流動化処理土については、要求性能を踏まえ、施工時の一軸圧縮強度の管理基準が相違しており、PS 検層における V_s が異なることが確認できたことから、2つのグループに分けて整理することとした。

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。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 4.1-1 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 4.1-2 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 4.1-2 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

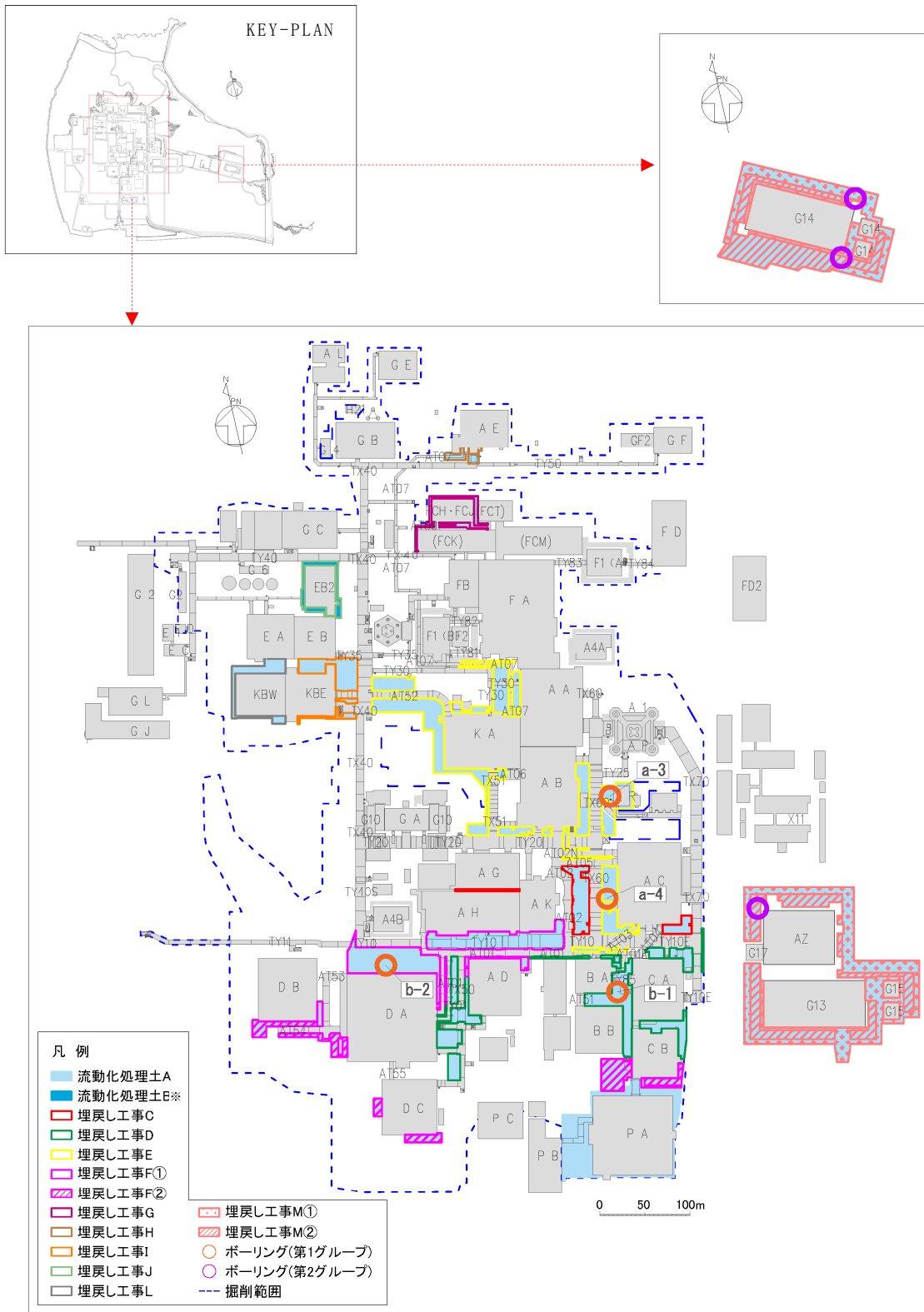
($\approx 0.66\text{MPa}$) 以上 (一部管理値を 0.6MPa と設定している箇所あり) になるよう管理が行われている。

第 4.1-3 図に第 1 グループの流動化処理土 ($qu \geq 3.0\text{kgf/cm}^2$) 及び第 2 グループの流動化処理土 ($qu \geq 6.5\text{kgf/cm}^2$) の品質確認結果を示す。第 1 グループの一軸圧縮強度 qu の平均値は、 $0.43 \sim 0.68\text{MPa}$ の範囲に仕上がっており、第 2 グループの一軸圧縮強度 qu の平均値では、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、第 1 グループの平均値よりも高い値となっている。

第 4.1-1 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 4.1-1 図 施工ブロック割位置図

第 4.1-2 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] D --> 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 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：$q_u \geq 3.0\text{kgf/cm}^2 \cong 0.3\text{MPa}$ (一部 $q_u \geq 0.2\text{MPa}$) 第2グループ：$q_u \geq 6.5\text{kgf/cm}^2 \cong 0.66\text{MPa}$ (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

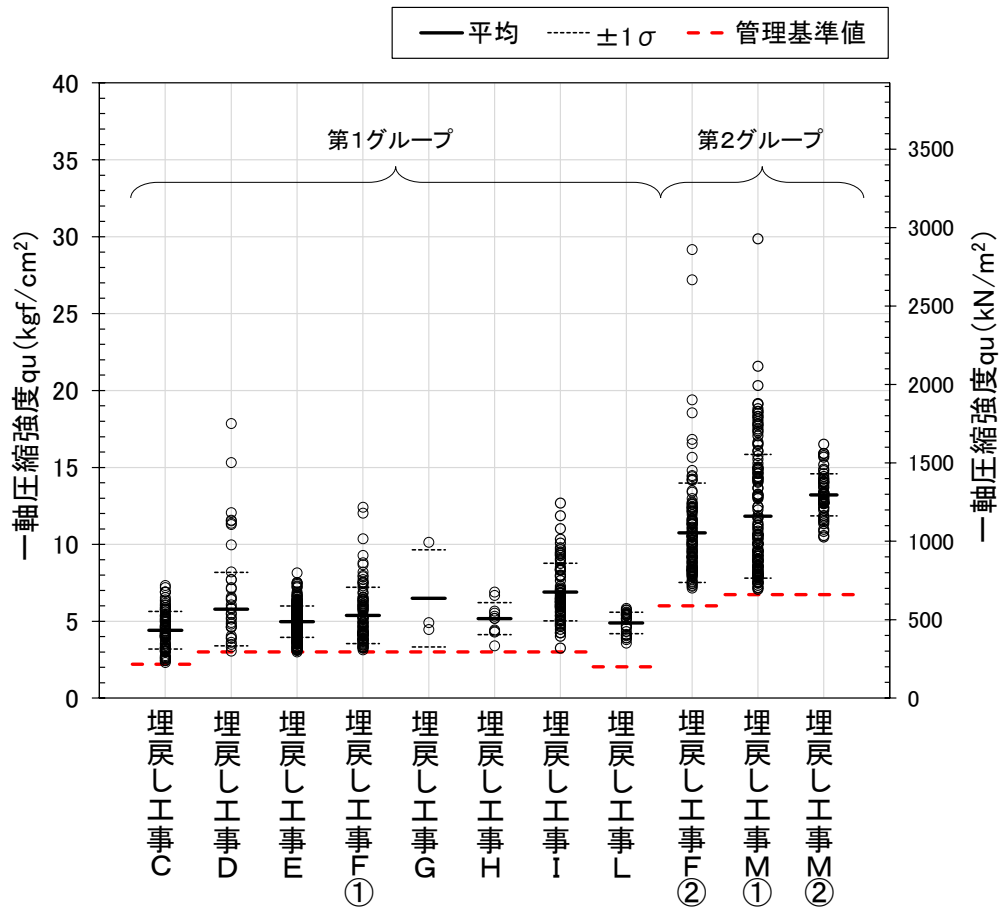
飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B)における流動化処理土の品質確認方法及び基準値を参考2表に示す。

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4.1-2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 4.1-3 図 流動化処理土に関する品質確認結果

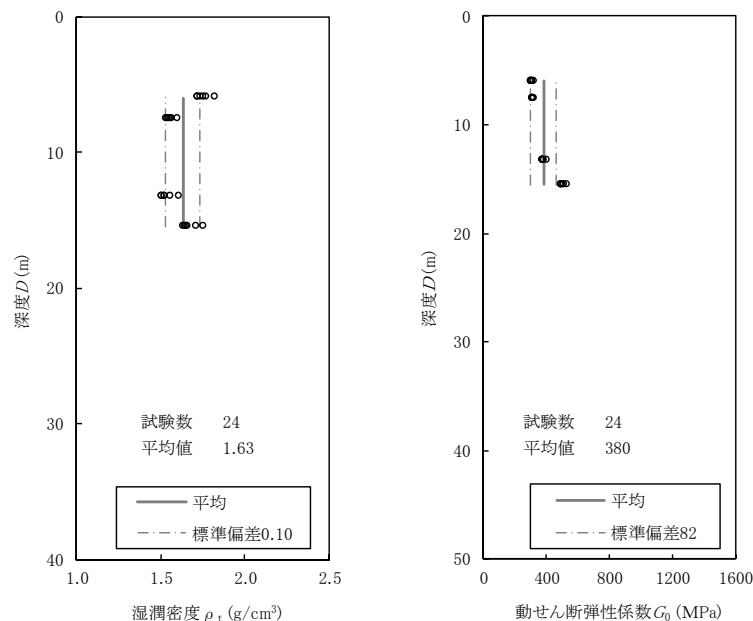
4.2 物性値のばらつきに係る検討

4.2.1 事業変更許可申請書における設定について

事業変更許可申請書では、埋戻し土と同様に、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 ρ_t 及び G_0 を設定している。第4.2.1-1図に事業変更許可申請書で示した ρ_t と G_0 の値を示す。また、流動化処理土のボーリング柱状図及び物理特性を参考7に示す。

参考7に示すとおり、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。また、第4.2.1-1図に示すとおり、 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、 G_0 の平均値380MPaを設定している。

なお、第4.2.1-1図における事業変更許可申請書で整理したすべてのデータについては、4.1において分類した第1グループに該当する。

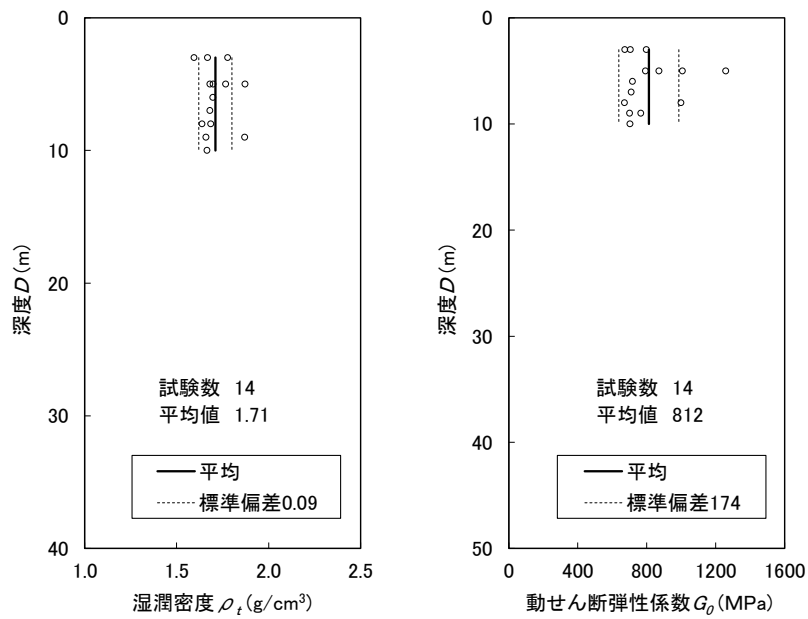


第4.2.1-1図 流動化処理土(第1グループ)の湿潤密度及び動せん断弾性係数の平均と標準偏差(再処理施設、廃棄物管理施設及びMOX燃料加工施設の事業変更許可申請書より抜粋)

4.2.2 固化材添加量別の整理について

4.1 において固化材添加量別に分類した第2グループの物性値について整理する。

第4.2.2-1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 についても同様に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となっていることから、 ρ_t 、 G_0 ともに平均値を設定する。



第4.2.2-1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

4.3 物性値の設定（まとめ）

流動化処理土については、4.1で整理した施工管理状況により第1グループ及び第2グループに分類され、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。

5. まとめ

5.1 埋戻し土及び流動化処理土の物性値の設定について

埋戻し土の物性値は、一定の管理基準を満足するように施工されており、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が平面的、深度方向に採取されていない箇所を対象に追加調査を実施する。この結果を含めたデータに基づきばらつきを考える上での母集団の扱いを決定する。

流動化処理土は、施工管理状況により第1グループ及び第2グループに分類し、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する。

5.2 表層地盤に埋め込まれている建屋の入力地震動算定について

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8(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8(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

埋戻し土の材料基準及び施工管理基準について

本編 3.2 埋戻し土の施工管理状況の確認における材料基準及び施工管理基準について説明する。埋戻し工事の材料基準及び施工管理基準の設定方法については埋戻し工事開始当初に実施しているため、その管理状況及び試験施工の実施状況を以下に示す。

まず、材料基準については、敷地内で掘削して得られた現地発生土の粒度が均一になるように調整するため、参考図 1-1 図に示すとおり、バックホウによる混合・攪拌に併せ、スケルトンバケット（100mm メッシュ程度）を装着したバックホウにて、オーバーサイズの除去作業を行い、ふるい分け調整を実施する。



混合・攪拌状況①



スケルトンバケット

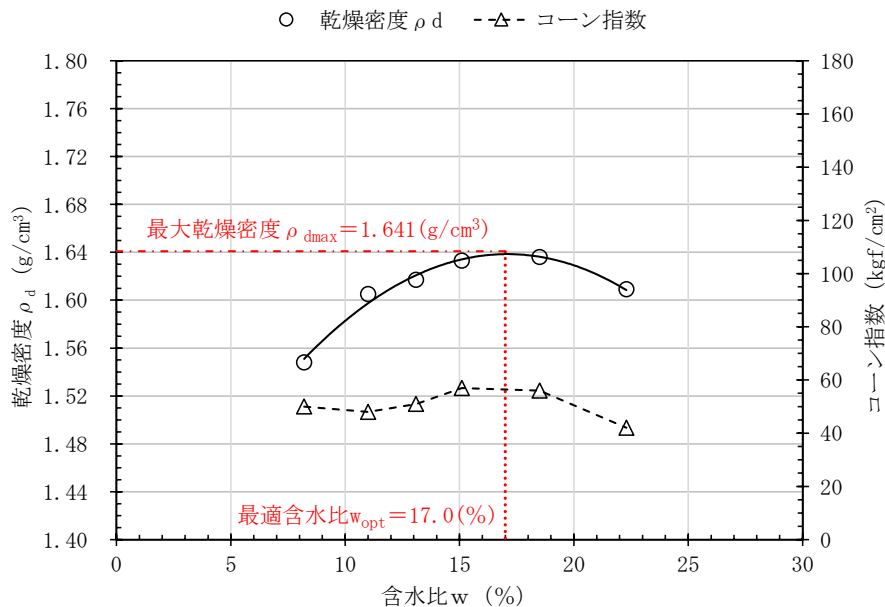


混合・攪拌状況②

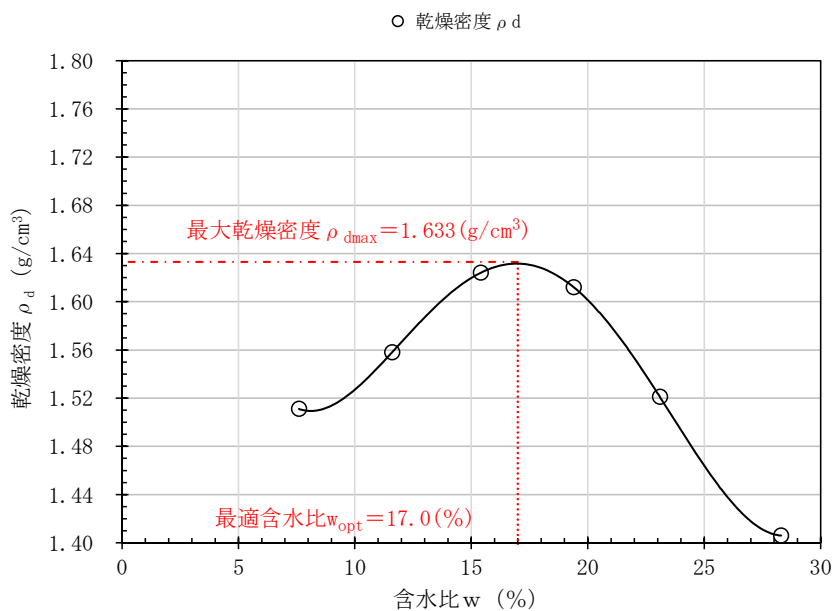
参考 1-1 図 材料調整の状況写真

また、締固め施工にあたり、締固め特性の把握のため、参考 1-2 図のとおり締固め試験により最大乾燥密度及び最適含水比の確認を行う。段丘堆積砂（1999 年以前）及びブレンド材（2000 年以降）については、最大乾燥密度及び最適含水比とも同等の締固め特性を示すことを確認した。また、埋戻し土の仮置きにあたってはストックパイルヤードにおいて所定の含水比となるよ

うに必要な応じて調整し、仮置き時には所定の含水比が得られるよう参考 1-3 図のとおりシート養生等により材料管理を行う。



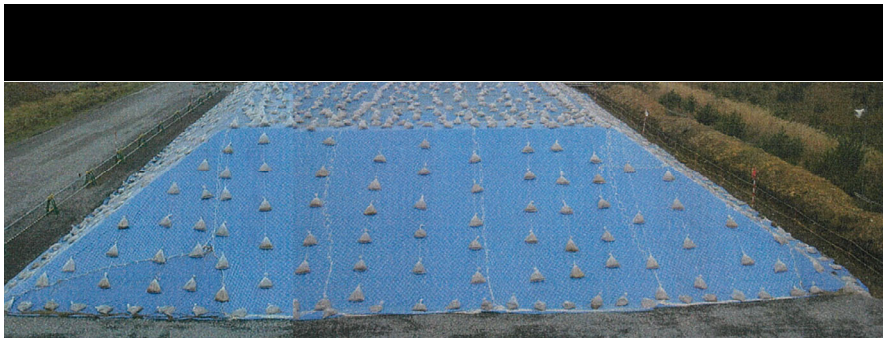
参考 1-2 図(1) 締固め曲線とコーン指数
(段丘堆積砂；1999 年以前)



参考 1-2 図(2) 締固め曲線とコーン指数
(ブレンド材 [鷹架層 1：六ヶ所層 2]；2000 年以降)



ストックパイル仮置き状況①



ストックパイル仮置き状況②

参考 1-3 図 ストックパイル整備・保管養生の状況写真

次に、上記のとおり管理された材料を用いて、試験施工により施工管理基準（締固め方法）の設定を行う。締固め方法の設定にあたっては、締固め機械、一層あたりの撒き出し厚さ、締固め回数及び施工中の含水比の関係性を確認する必要がある。試験仕様及び結果を施工年代別に以下に示す。

(1) 試験盛土（1999年以前）

a. 目標性能

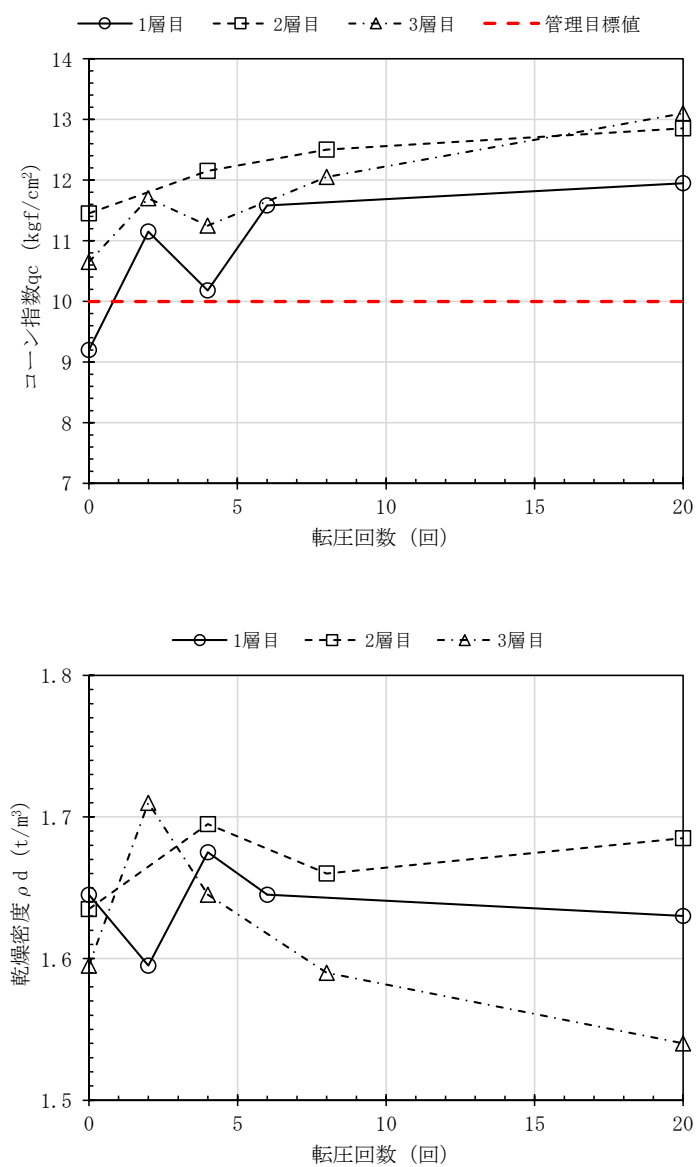
- ・ $qc = 10\text{kgf/cm}^2$ 以上

b. 試験方法

- ・ 盛土材料を 11 t ダンプトラックにて荷降ろしし、21 t 級ブルドーザにて撒出し厚さ 50cm/層で敷均し、転圧を実施。
- ・ 実施工を想定し、撒出し時に攪拌は実施しない。
- ・ 3層積み重ね、各層毎に締固め状況を確認。
- ・ 各転圧回数毎（0～20）に RI 測定（乾燥密度、含水比）、コーン貫入試験を実施。

c. 試験結果

参考 1-4 図に示すとおり，転圧回数 2 回以上で管理目標値コーン指数 $q_c \geq 10 \text{kgf/cm}^2$ を満足したが，転圧回数の増大に伴い，過転圧による乾燥密度の低下が懸念されることから 4 回施工を標準とした。



参考 1-4 図 試験施工実施結果

(2) 試験盛土 (2000 年以降)

a. 目標性能

- ・ 締固め度 $D_c = 90\%$ 以上

b. 試験方法

- ・ 盛土材料を 11 t ダンプトラックにて荷降ろしし、21 t 級ブルドーザーにて撒出し厚さ 40cm/層で敷均しを実施。
- ・ 5 層積み重ね、5 層目に締固め状況を確認。
- ・ 転圧機械は振動ローラー (7t 級)、タイヤローラー (10t 級) 及びブルドーザー (21t 級) にて実施。(参考 1-5 図参照)
- ・ 各転圧回数毎 (4, 6, 8 回) に現場密度試験 (砂置換法及び RI 測定) を実施。

c. 試験結果

参考 1-1 表に示すとおり、どの転圧機械においても転圧回数 4 回以上で目標値 $D_c \geq 90\%$ を満足した。

参考 1-1 表 試験施工実施結果

転圧回数	振動ローラー			タイヤローラー			ブルドーザー		
	N=4	N=6	N=8	N=4	N=6	N=8	N=4	N=6	N=8
$D_c(\%)$	100.8	101.7	102.7	100.6	101.0	100.4	97.8	98.0	98.7



振動ローラー転圧



ブルドーザー転圧

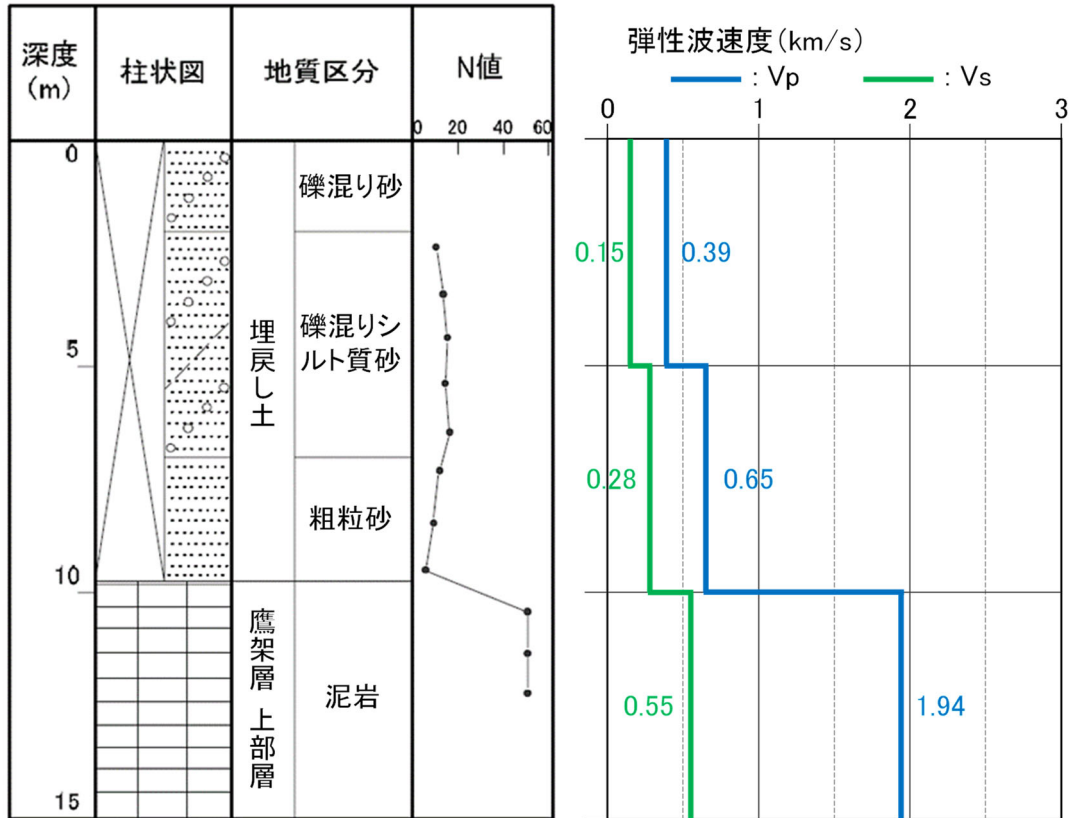
参考 1-5 図 試験盛土転圧状況

参考 2

埋戻し土のボーリング柱状図について

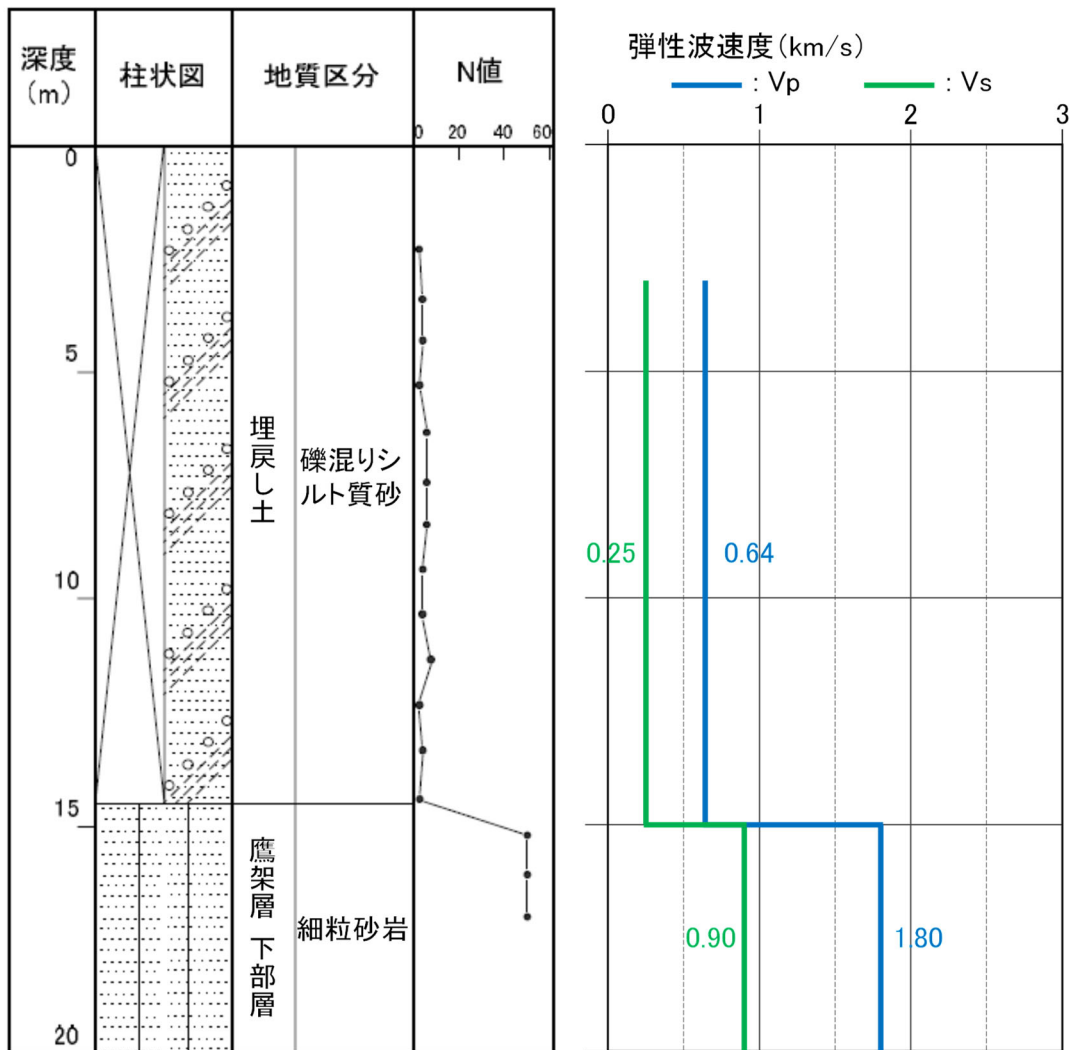
本編 3.3 物性値のばらつきに係る検討における事業変更許可申請書で設定した埋戻し土のボーリング柱状図及び物理・力学特性を参考 2-1 図～参考 2-15 図に示す。

KT-3 (孔口標高 55.17m)



参考 2-1 図 ボーリング柱状図 (KT-3孔)

KT-5 (孔口標高 54.93m)



参考 2-2 図 ボーリング柱状図 (KT-5孔)