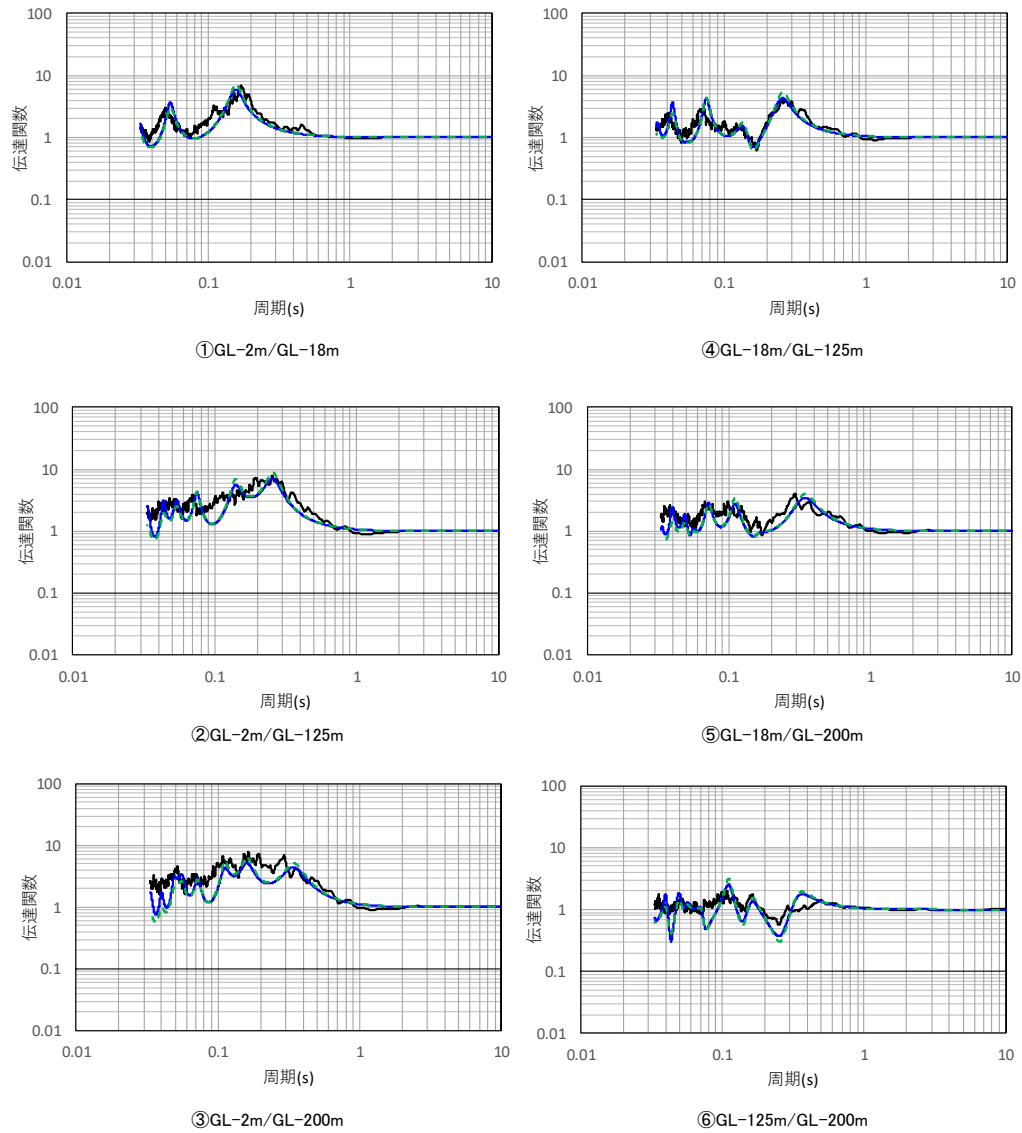


— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 — 周波数依存型（リニア型）
 - - 周波数依存型（パイリニア型）



第 6.3.6.1-24 図 伝達関数の比較結果（東側地盤観測点，鉛直）

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）

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

シミュレーション解析に用いる地震は、第 6.3.1-1 表～第 6.3.1-3 表に示す評価に用いたすべての地震について、地震観測記録の NS 成分、EW 成分及び UD 成分を対象とした。

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

ただし、リニア型とバイリニア型で 10Hz 以上の高振動数側で減衰定数に差があることが、シミュレーション解析結果の応答スペクトルにも影響を及ぼさないことの念のための確認として、代表的な地震を選定し、シミュレーション解析結果の比較を行うこととした。

具体的には、いずれの地震観測点においても大きな加速度が得られており、高振動数帯の地震動の成分を十分に含んでいると考えられる 3 地震（2008 年 7 月 24 日 00 時 26 分の地震、2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分の地震及び 2011 年 3 月 11 日 15 時 08 分の地震）を代表として選定し、これら 3 地震に対してはバイリニア型を仮定した同定結果を用いてシミュレーション解析を実施し、リニア型による同定結果との比較を行うこととした。

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

録（地中波）との比較を行うことで実施した。地震応答解析は線形解析（周波数応答解析）として実施した。また、「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（水平方向：20Hz よりも高振動数側（0.05 秒よりも短周期側），鉛直方向：30Hz よりも高振動数側（0.033 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，当該範囲の減衰定数については外挿とする条件とした。

今後，以下の内容について追記。

- ・長周期側の信頼区間または外挿の考え方
- ・シミュレーションにおける減衰定数の詳細な設定条件
- ・シミュレーション解析結果のフーリエスペクトル比

シミュレーション解析に用いる地盤モデルは、「6.3.2 初期モデルの設定及び探索範囲」に示した各地震観測位置における初期モデルに対して第 6.3.6.1-1 図～第 6.3.6.1-4 図，第 6.3.6.1-9 図～第 6.3.6.1-12 図，第 6.3.6.1-17 図～第 6.3.6.1-20 図に示した減衰定数の評価結果を反映したものとする。

シミュレーション解析の結果及びその結果に対する考察について以下に示す。

(1) 中央地盤観測点

中央地盤観測点におけるシミュレーション解析の結果を第 6.3.6.2-1 図に示す。

シミュレーション解析の結果、中央地盤については、すべての地震の水平方向、鉛直方向ともに、応答スペクトルに見られるピーク周期は再現されており、その大きさも全周期帯において概ね同等であることから、全周期帯に対して地震観測記録とよく適合する結果が得られていると考えられる。

なお、一部地震の一部周期帯（例：(1)200112022201 地震の NS 成分 0.1 秒付近、(6)200807240026 地震の EW 成分 0.2 秒付近）において、記録の応答スペクトルを下回る周期帯が見られるが、このような傾向は全地震共通では見られないため、この要因は同定された地盤の速度構造に由来する伝達関数のピーク周期と、各地震固有のピーク周期の差により現れたものであると考えられる。このことから、地震波の地中の伝播において周期特性に影響しない減衰定数については、その同定結果は地震観測記録をよく説明するものとなっていると考えられる。

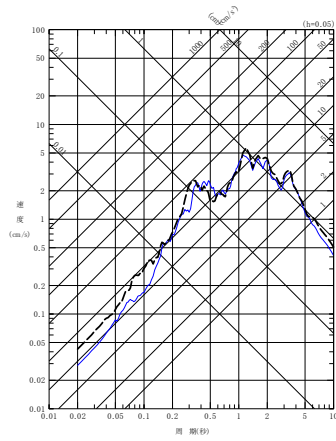
リニア型及びバイリニア型の比較については、「6.3.6.1 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」において、減衰定数の設定が異なる 10Hz よりも高振動数帯の領域において、減衰定数の評価結果に差を有するよう評価されている。なお、同定結果における伝達関数に差は見られない。

このことから、応答スペクトルによる評価にあたっては、高振動数帯における感度を重点的に確認する観点で、代表として、「6.3.1 評価に用いる地震観測記録」に示した各地震観測地点における地震観測記録のうち、各地点共通に大きな加速度が得られており、高振動数帯の地震動の成分を十分に含んでいると考えられる 3 地震（2008 年 7 月 24 日 00 時 26 分の地震、2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分の地震及び 2011 年 3 月 11 日 15 時 08 分の地震）に対し、バイリニア型を仮定した同定結果を用いてシミュレーション解析を実施し、その結果について、第 6.3.6.2-1 図の(6)～(8)に緑破線にてリニア型の結果と重ね書きを行った。第 6.3.6.1-3 図及び第 6.3.6.1-4 図に示した伝達係数の傾向と同様に、リニア型の同定結果を用いたシミュレーション結果に対してシミュレーション解析結果の応答スペクトルに有意な差は無いことを確認しており、リニア型とバ

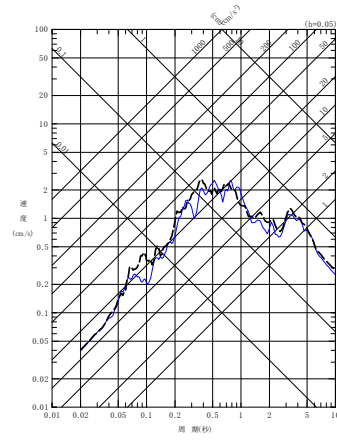
イリニア型における短周期側の減衰定数の設定の差はシミュレーション解析結果に影響を与えないことを確認した。

以上のことから、中央地盤観測点については、リニア型、バイリニア型ともに、速度構造及び減衰定数の両方が、地震観測記録をよく再現するパラメータとして評価されていると考えられる。

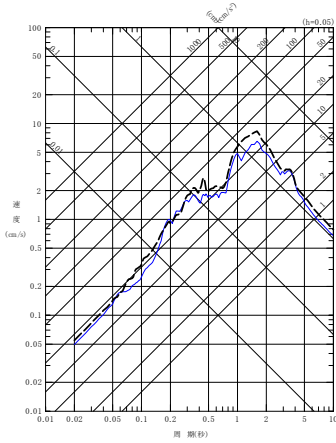
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



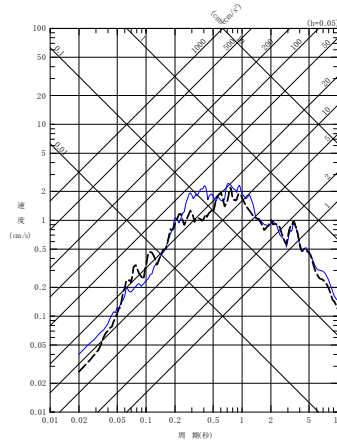
(a) NS 方向



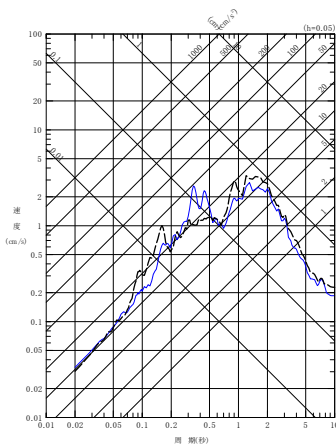
(a) NS 方向



(b) EW 方向

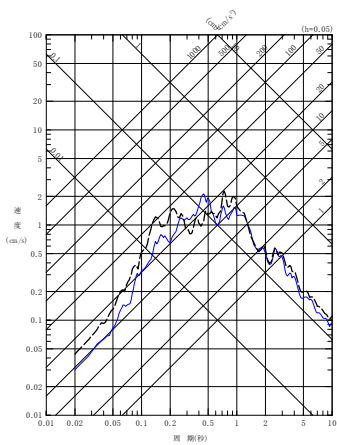


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200112022201 地震

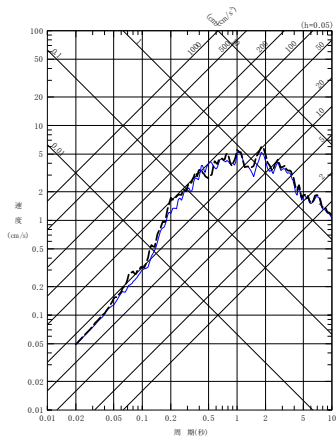


(c) UD 方向

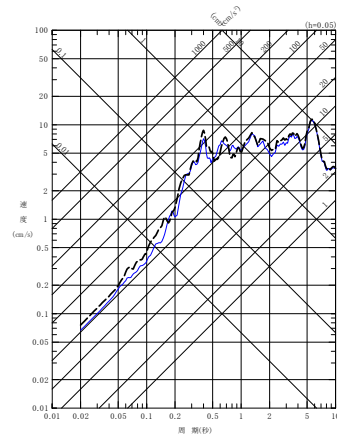
(2) 200210142312 地震

第 6.3.6.2-1 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)

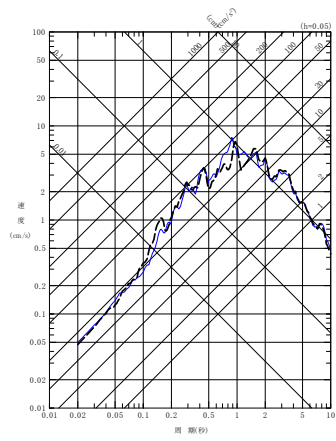
- - - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ———— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



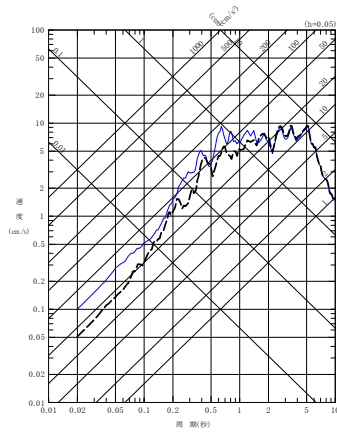
(a) NS 方向



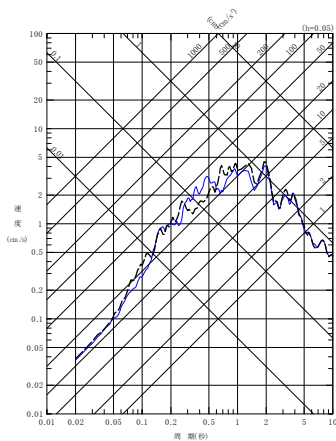
(a) NS 方向



(b) EW 方向

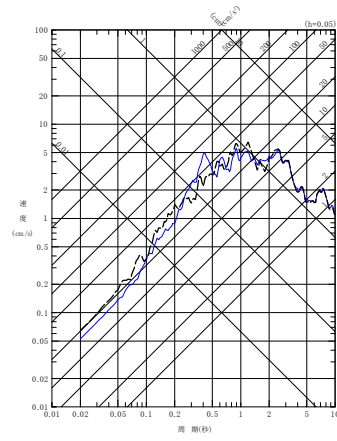


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 200305261824 地震



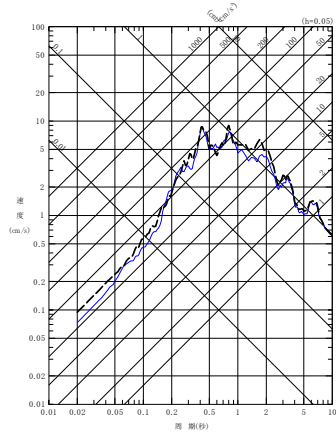
(c) UD 方向

(4) 200309260450 地震

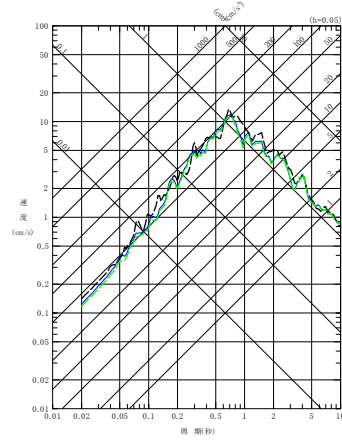
第 6.3.6.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (2/7)

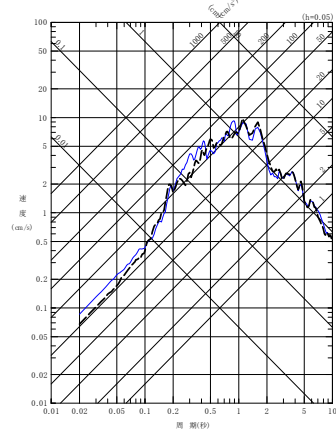
- 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
- 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
- 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



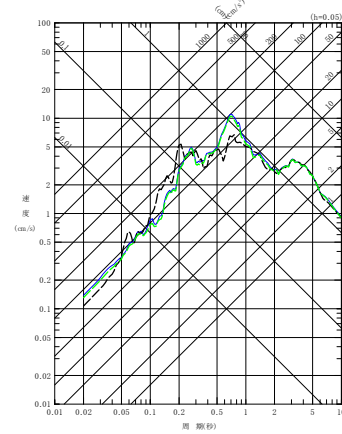
(a) NS 方向



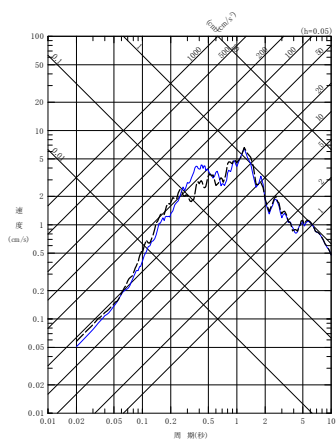
(a) NS 方向



(b) EW 方向

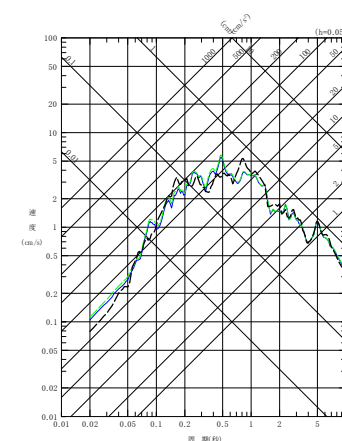


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 200309260608 地震



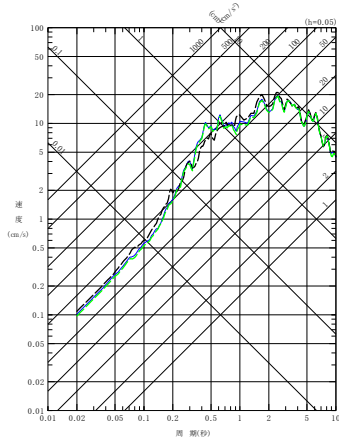
(c) UD 方向

(6) 200807240026 地震

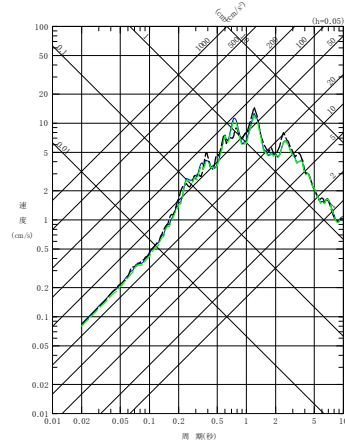
第 6.3.6.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (3/7)

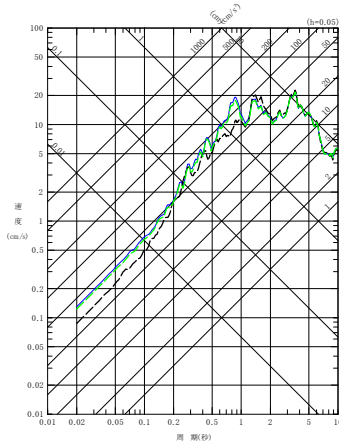
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



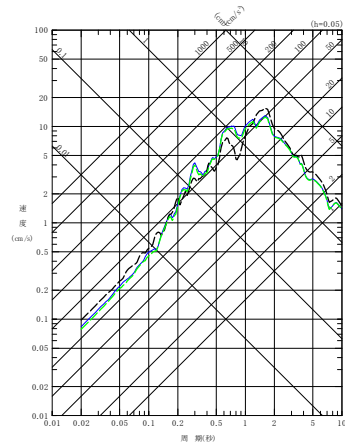
(a) NS 方向



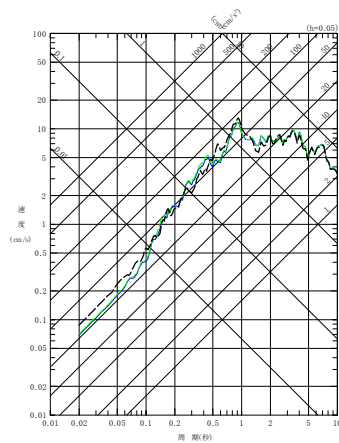
(a) NS 方向



(b) EW 方向

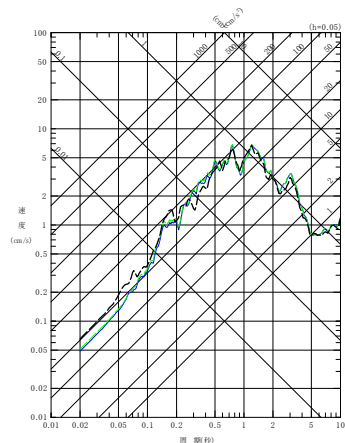


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201103111446 地震



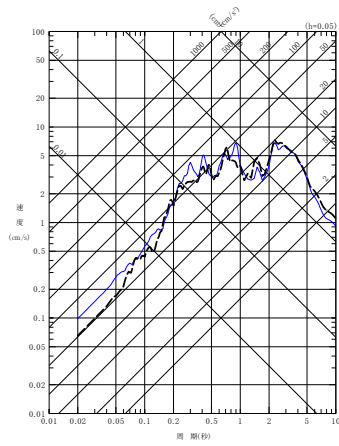
(c) UD 方向

(8) 201103111508 地震

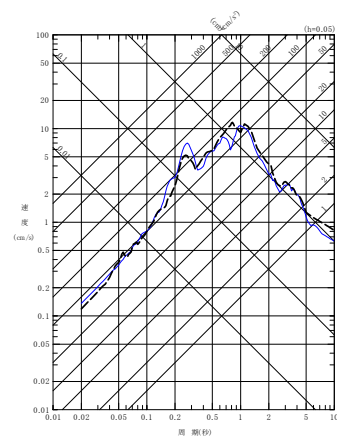
第 6.3.6.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (4/7)

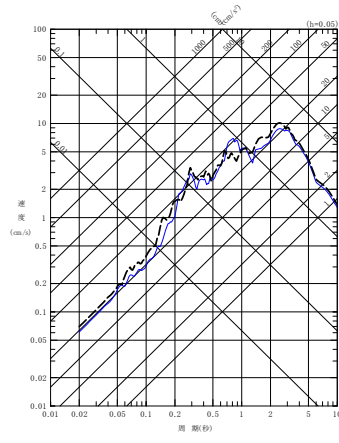
----- 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ———— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



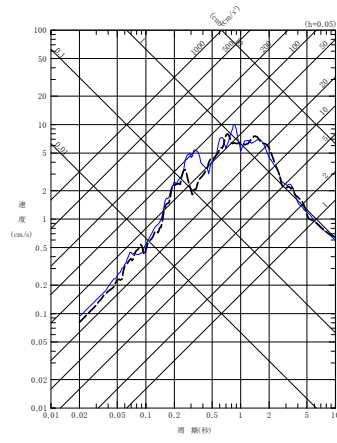
(a) NS 方向



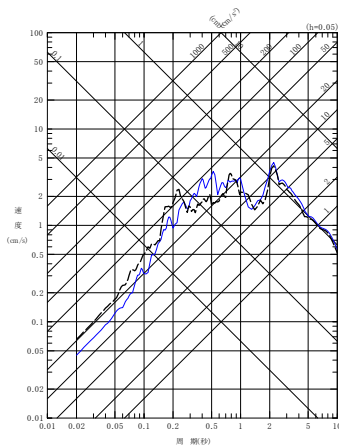
(a) NS 方向



(b) EW 方向

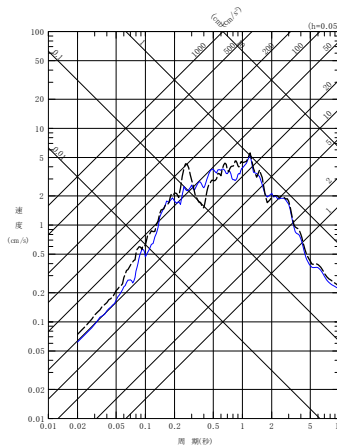


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201106230650 地震



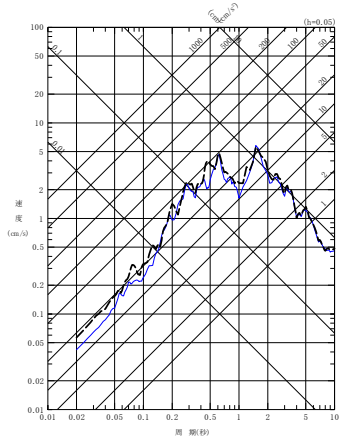
(c) UD 方向

(10) 201205240002 地震

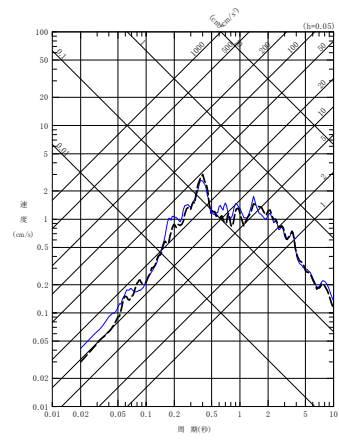
第 6.3.6.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (5/7)

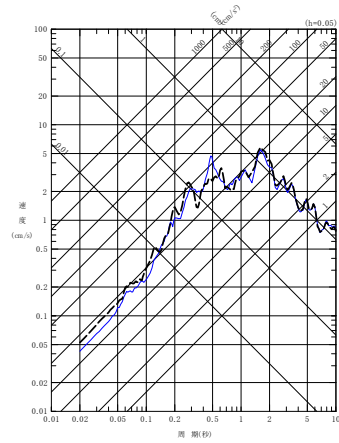
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



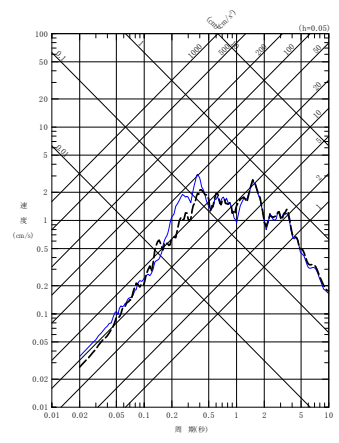
(a) NS 方向



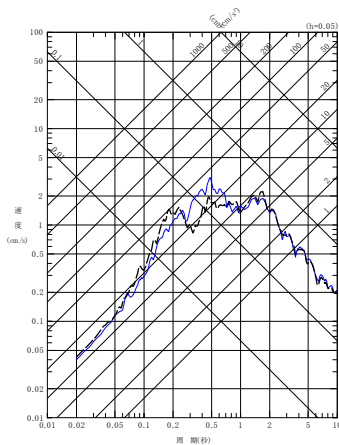
(a) NS 方向



(b) EW 方向

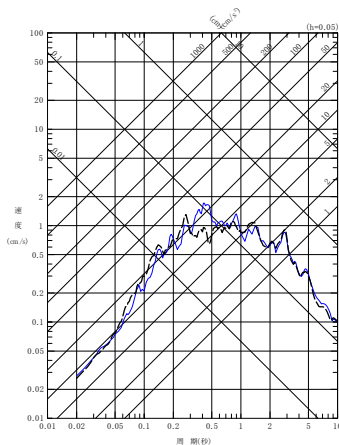


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 201212071718 地震



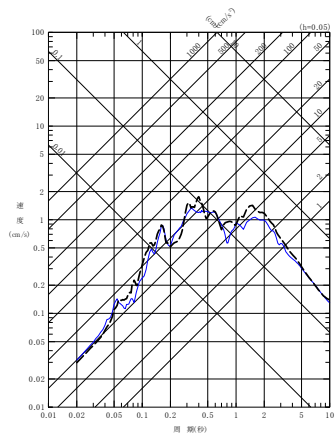
(c) UD 方向

(12) 201302022317 地震

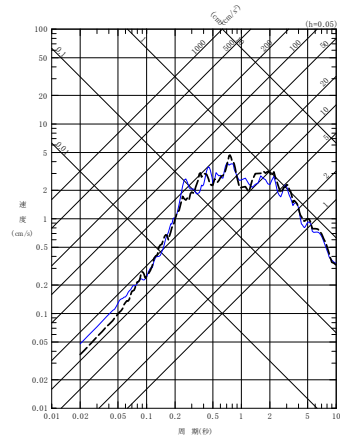
第 6.3.6.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (6/7)

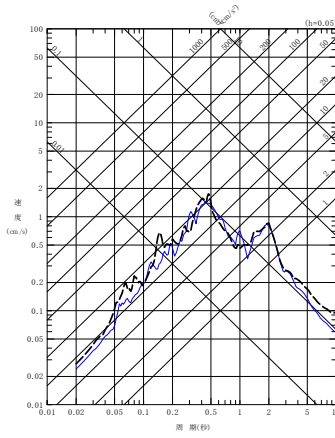
- - - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ———— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



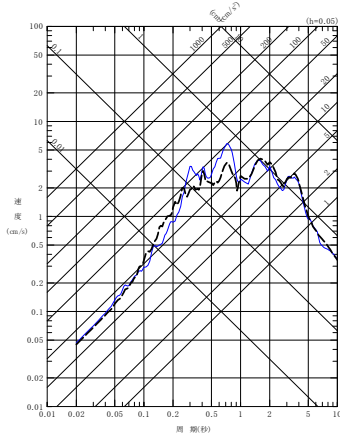
(a) NS 方向



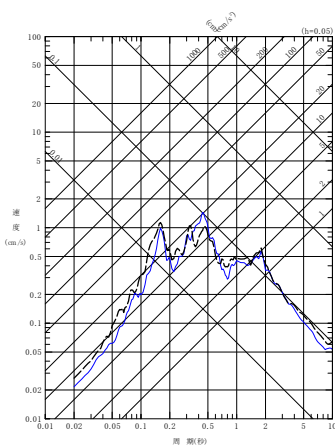
(a) NS 方向



(b) EW 方向

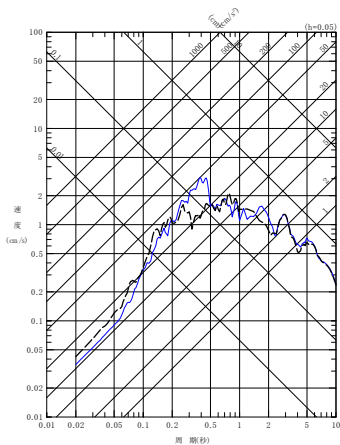


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(13) 201507100332 地震



(c) UD 方向

(14) 201601141225 地震

第 6.3.6.2-1 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シミュレーション解析の結果を第 6.3.6.2-2 図に示す。

シミュレーション解析の結果，西側地盤については，すべての地震の水平方向，鉛直方向ともに，応答スペクトルに見られるピーク周期は再現されており，その大きさも全周期帯において概ね同等であることから，全周期帯に対して地震観測記録とよく適合する結果が得られていると考えられる。

なお，一部地震の一部周期帯（例：(6)201205240002 地震の NS, EW 成分 0.2～0.3 秒付近，(8)201408101243 地震の NS 成分 0.2～0.3 秒付近，(10)201908151432 地震の NS 成分 0.3 秒付近）において，記録の応答スペクトルを下回る周期帯が見られるが，このような傾向は全地震共通では見られない。

この要因は，同定結果における伝達関数のピーク周期と，各地震固有のピーク周期に差があり，第 6.3.6.1-9 図に示した同定結果において，GL-18m/GL-200m の伝達関数の上記周期で，部分的に同定結果が観測記録を下回っていることにより現れたものであると考えられる。

このことから，地震波の地中の伝播において周期特性に影響しない減衰定数については，その同定結果は地震観測記録をよく説明するものとなっていると考えられる。

リニア型及びバイリニア型の比較については，「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）」において，減衰定数の設定が異なる 10Hz よりも高振動数帯の領域において，減衰定数の評価結果に差を有するよう評価されている。なお，同定結果における伝達関数に差は見られない。

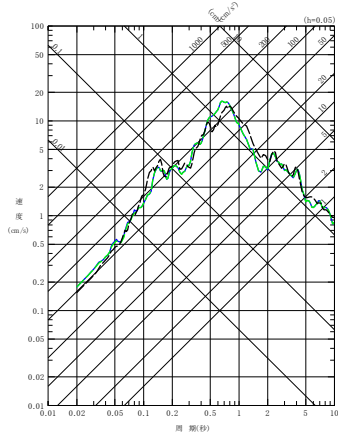
このことから，応答スペクトルによる評価にあたっては，高振動数帯における感度を重点的に確認する観点で，代表として，「6.3.1 評価に用いる地震観測記録」に示した各地震観測地点における地震観測記録のうち，各地点共通に大きな加速度が得られており，高振動数帯の地震動の成分を十分に含んでいると考えられる 3 地震（2008 年 7 月 24 日 00 時 26 分の地震，2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分の地震及び 2011 年 3 月 11 日 15 時 08 分の地震）に対し，バイリニア型を仮定した同定結果を用いてシミュレーション解析を実施し，その結果について，第 6.3.6.2-2 図の(1)

～(3)に緑破線にてリニア型の結果と重ね書きを行った。

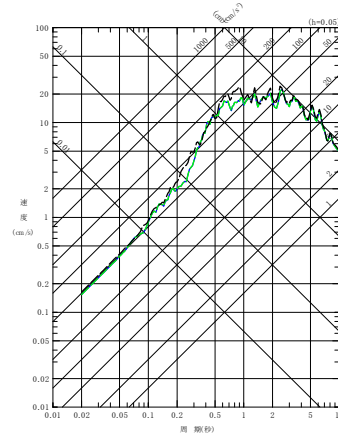
第 6.3.6.1-15 図及び第 6.3.6.1-16 図に示した伝達係数の傾向と同様に，リニア型の同定結果を用いたシミュレーション結果に対してシミュレーション解析結果の応答スペクトルに有意な差は無いことを確認しており，リニア型とバイリニア型における短周期側の減衰定数の設定の差はシミュレーション解析結果に影響を与えないことを確認した。

以上のことから，西側地盤観測点については，リニア型，バイリニア型ともに，速度構造及び減衰定数の両方が，地震観測記録をよく再現するパラメータとして評価されていると考えられる。

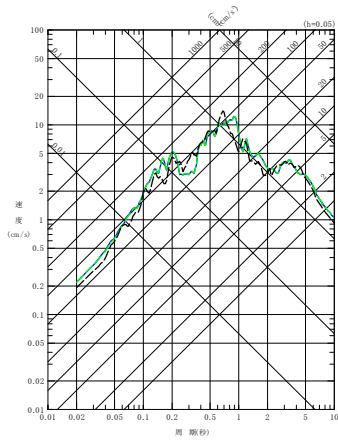
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



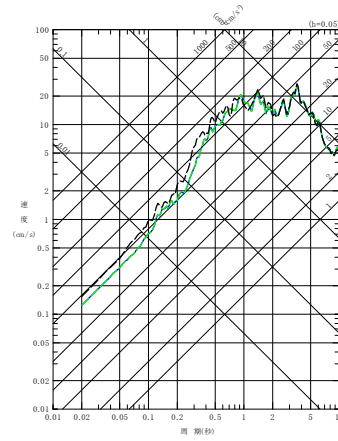
(a) NS 方向



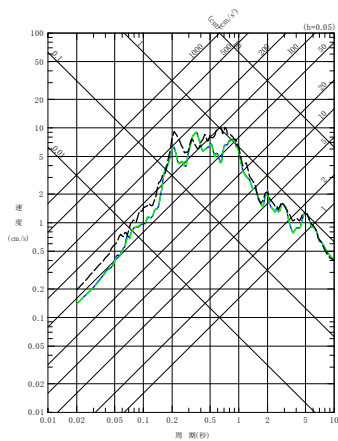
(a) NS 方向



(b) EW 方向

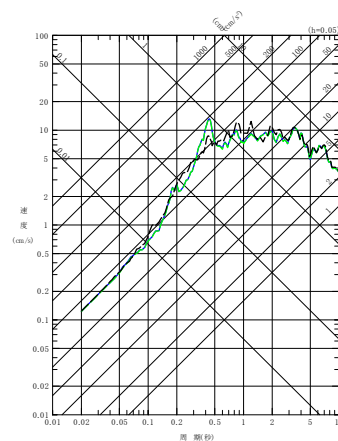


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200807240026 地震



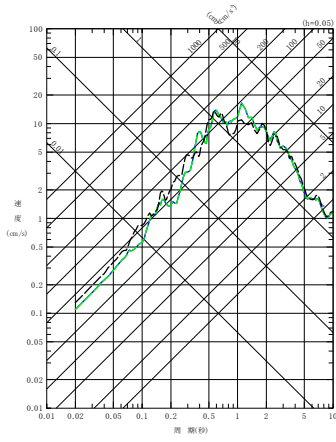
(c) UD 方向

(2) 201103111446 地震

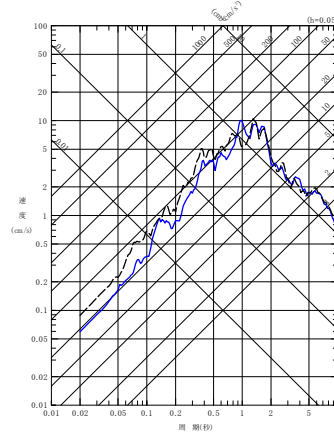
第 6.3.6.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (1/6)

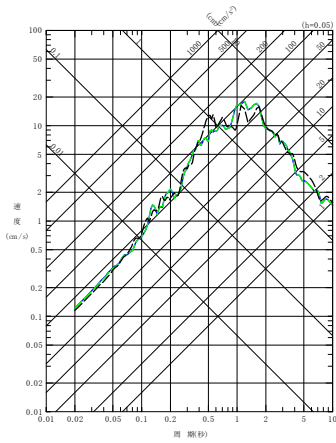
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



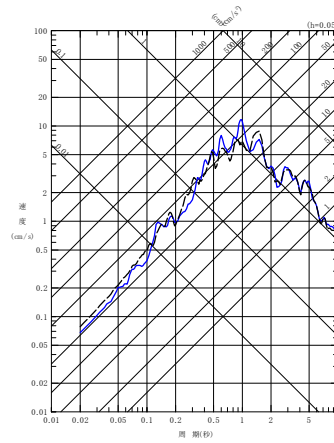
(a) NS 方向



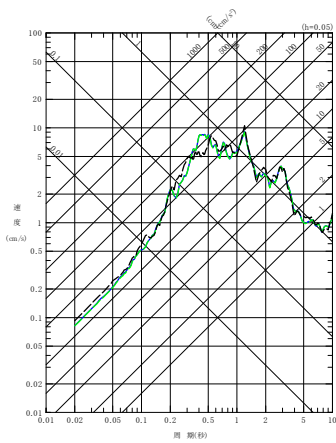
(a) NS 方向



(b) EW 方向

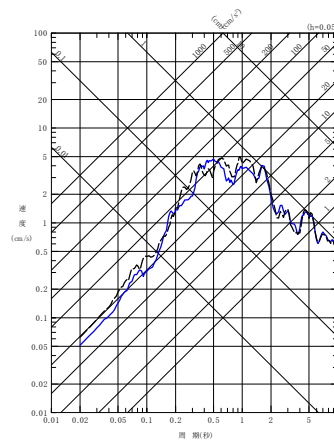


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 201103111508 地震



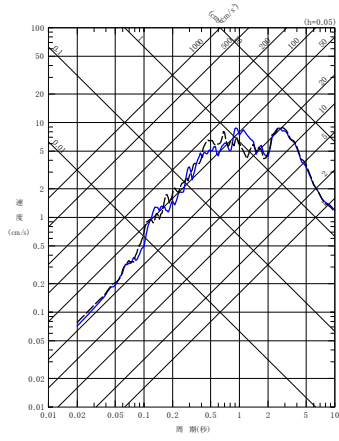
(c) UD 方向

(4) 201104072332 地震

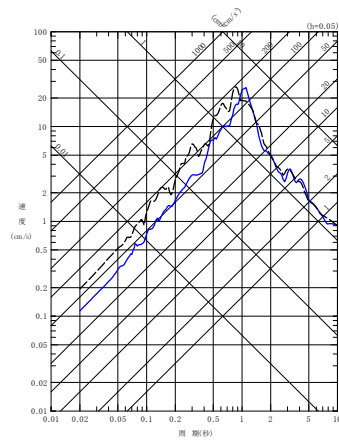
第 6.3.6.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (2/6)

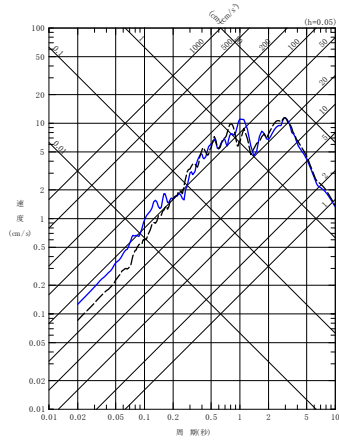
- - - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



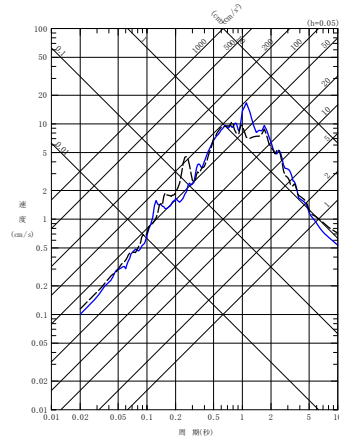
(a) NS 方向



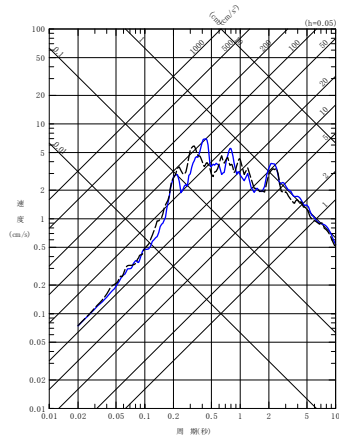
(a) NS 方向



(b) EW 方向

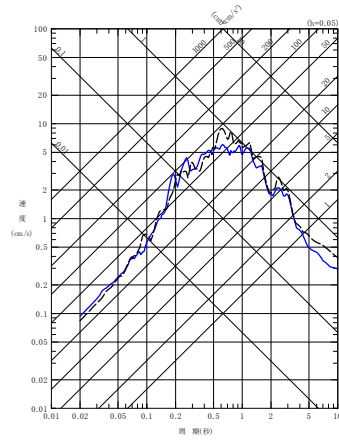


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 201106230650 地震



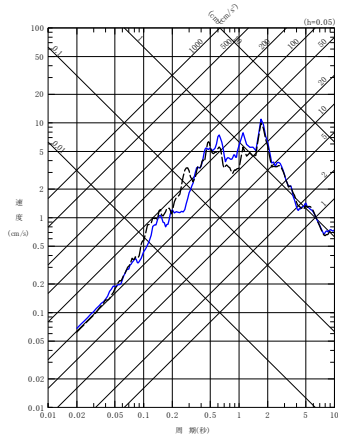
(c) UD 方向

(6) 201205240002 地震

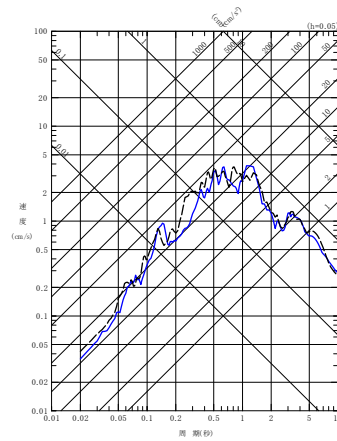
第 6.3.6.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (3/6)

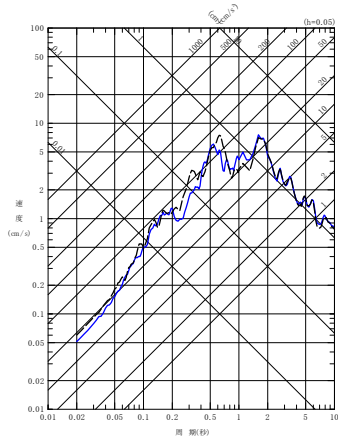
- - - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ———— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



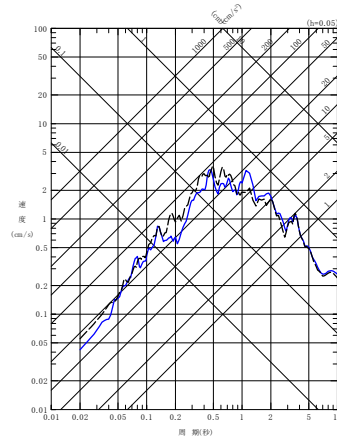
(a) NS 方向



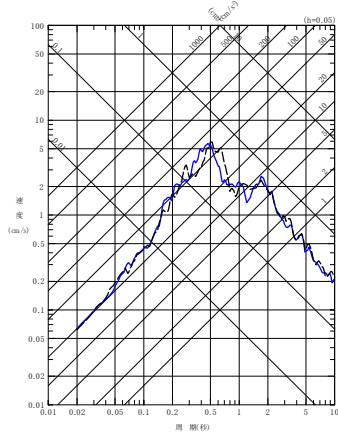
(a) NS 方向



(b) EW 方向

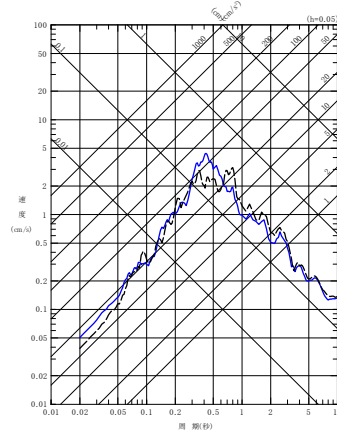


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201212071718 地震



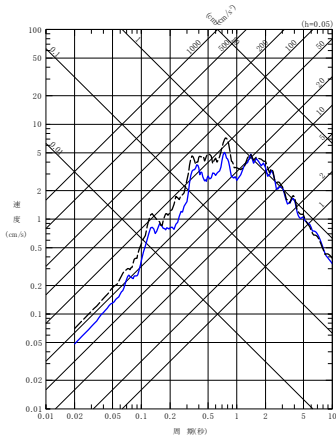
(c) UD 方向

(8) 201408101243 地震

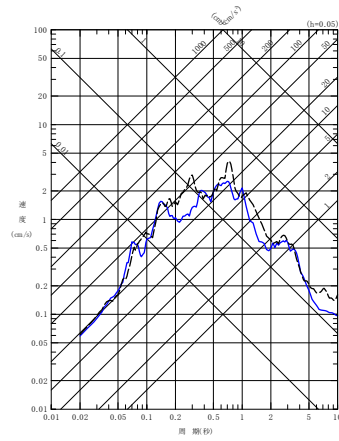
第 6.3.6.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (4/6)

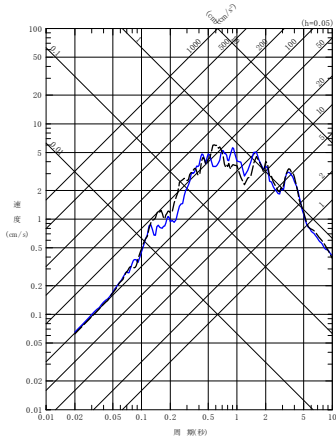
- - - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



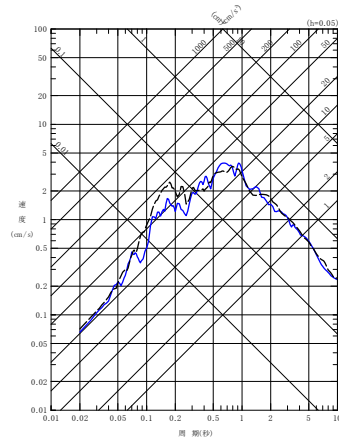
(a) NS 方向



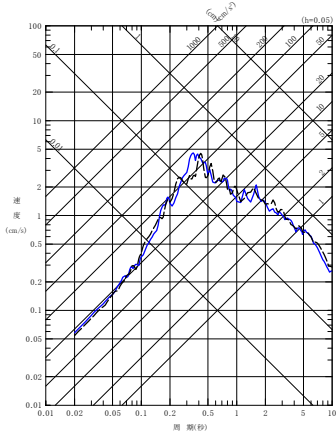
(a) NS 方向



(b) EW 方向

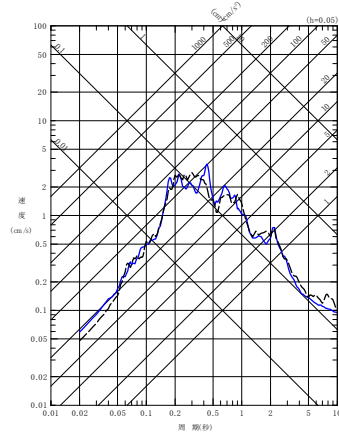


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201601141225 地震



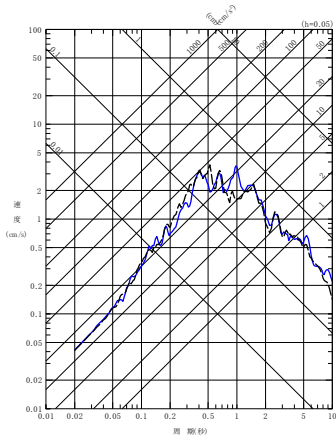
(c) UD 方向

(10) 201908151432 地震

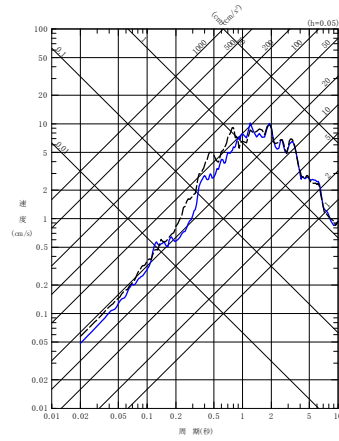
第 6.3.6.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (5/6)

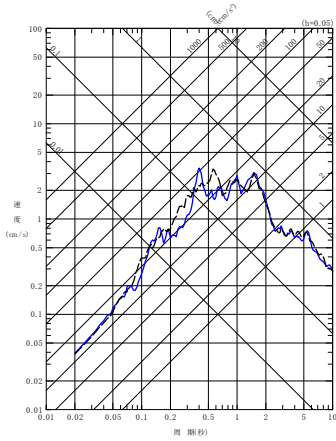
- - - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ———— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



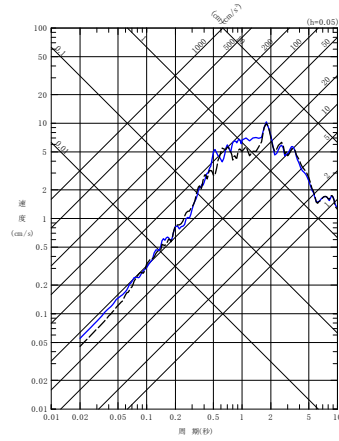
(a) NS 方向



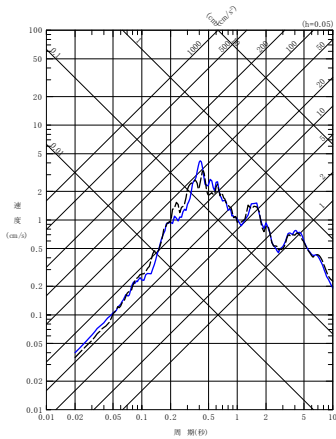
(a) NS 方向



(b) EW 方向

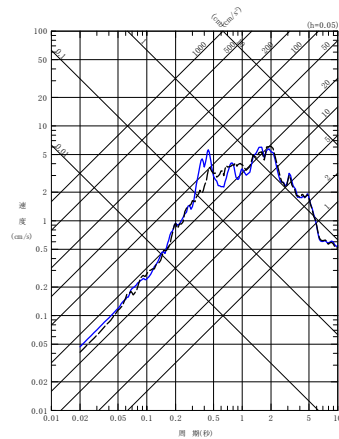


(b) EW 方向



(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

西側地盤観測点 (6/6)

(3) 東側地盤観測点

東側地盤観測点におけるシミュレーション解析の結果を第 6.3.6.2-3 図に示す。

シミュレーション解析の結果，東側地盤については，すべての地震の水平方向，鉛直方向ともに，応答スペクトルに見られるピーク周期は再現されており，その大きさも全周期帯において概ね同等であることから，全周期帯に対して地震観測記録とよく適合する結果が得られていると考えられる。

なお，一部地震の一部周期帯（例：(5)201106230650 地震の NS 成分 0.5 秒より短周期側，(8)201408101243 地震の NS,EW 成分 0.5 秒より短周期側秒付近）において，記録の応答スペクトルを下回る周期帯が見られるが，このような傾向は全地震共通では見られない。

この要因は，同定結果における伝達関数のピーク周期と，各地震固有のピーク周期に差があり，第 6.3.6.1-17 図に示した同定結果において，GL-18m/GL-200m の伝達関数の上記周期で，部分的に同定結果が観測記録を下回っていることにより現れたものであると考えられる。

このことから，地震波の地中の伝播において周期特性に影響しない減衰定数については，その同定結果は地震観測記録をよく説明するものとなっていると考えられる。

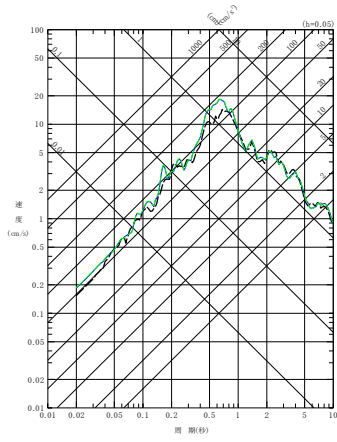
リニア型及びバイリニア型の比較については，「6.3.6.1 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」において，減衰定数の設定が異なる 10Hz よりも高振動数帯の領域において，減衰定数の評価結果に差を有するよう評価されている。なお，同定結果における伝達関数に差は見られない。

このことから，応答スペクトルによる評価にあたっては，高振動数帯における感度を重点的に確認する観点で，代表として，「6.3.1 評価に用いる地震観測記録」に示した各地震観測地点における地震観測記録のうち，各地点共通に大きな加速度が得られており，高振動数帯の地震動の成分を十分に含んでいると考えられる 3 地震（2008 年 7 月 24 日 00 時 26 分の地震，2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分の地震及び 2011 年 3 月 11 日 15 時 08 分の地震）に対し，バイリニア型を仮定した同定結果を用いてシミュレーション解析を実施し，その結果について，第 6.3.6.2-3 図の(1)～(3)に緑破線にてリニア型の結果と重ね書きを行った。第 6.3.6.1-23

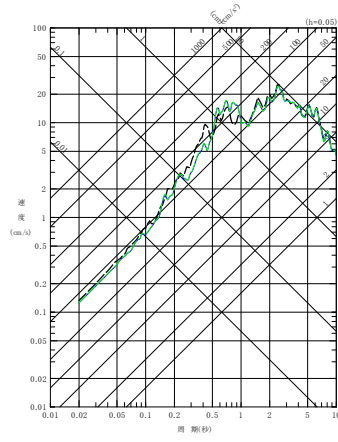
図及び第 6.3.6.1-24 図に示した伝達係数の傾向と同様に、リニア型の同定結果を用いたシミュレーション結果に対してシミュレーション解析結果の応答スペクトルに有意な差は無いことを確認しており、リニア型とバイリニア型における短周期側の減衰定数の設定の差はシミュレーション解析結果に影響を与えないことを確認した。

以上のことから、東側地盤観測点については、リニア型、バイリニア型共に、速度構造及び減衰定数の両方が、地震観測記録をよく再現するパラメータとして評価されていると考えられる。

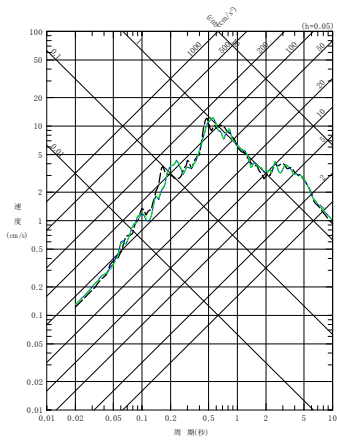
- 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
- 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
- - - - 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



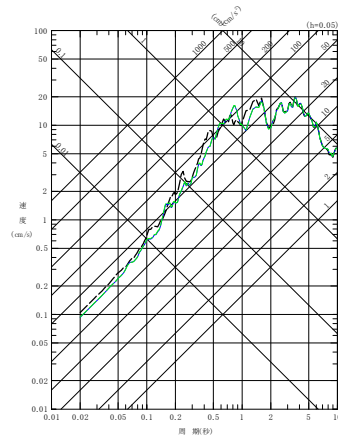
(a) NS 方向



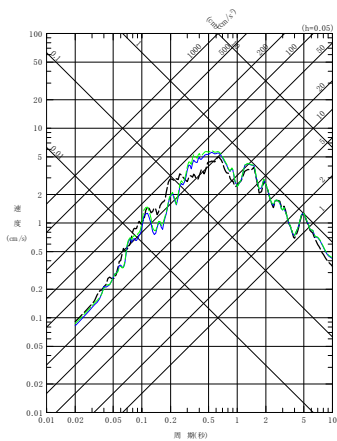
(a) NS 方向



(b) EW 方向

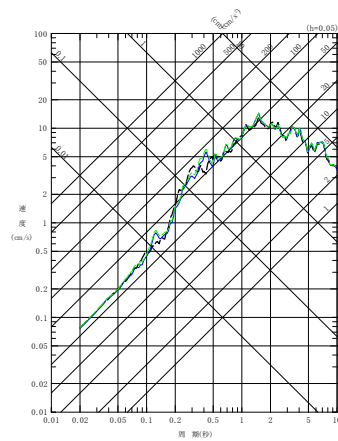


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200807240026 地震



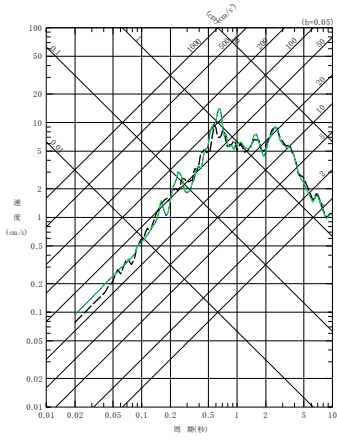
(c) UD 方向

(2) 201103111446 地震

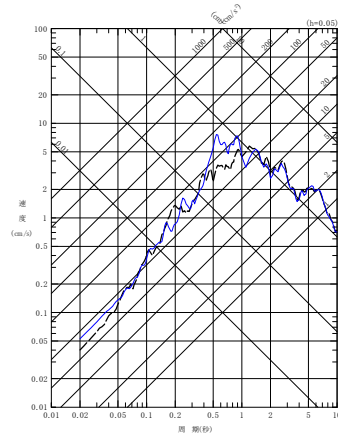
第 6.3.6.2-3 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (1/6)

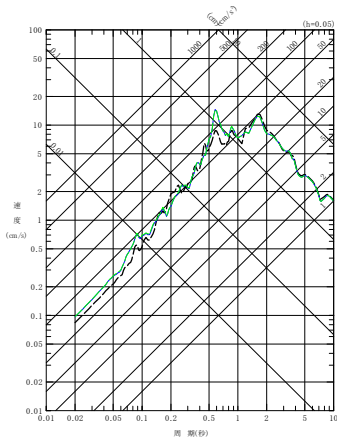
- 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
- 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
- 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



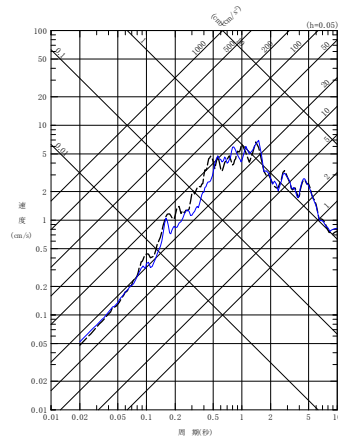
(a) NS 方向



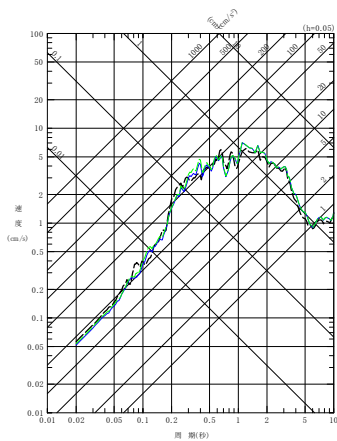
(a) NS 方向



(b) EW 方向

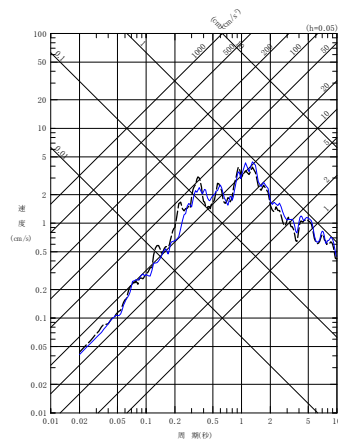


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 201103111508 地震

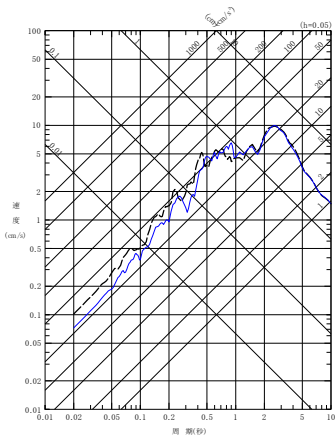


(c) UD 方向

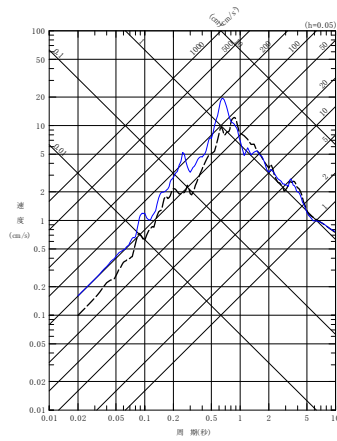
(4) 201104042332 地震

第 6.3.6.2-3 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)

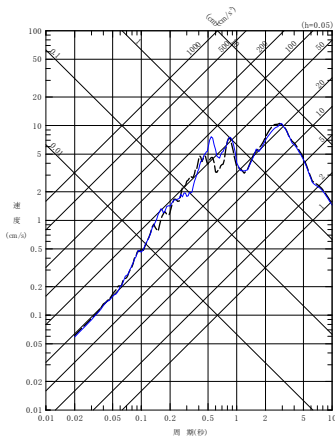
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



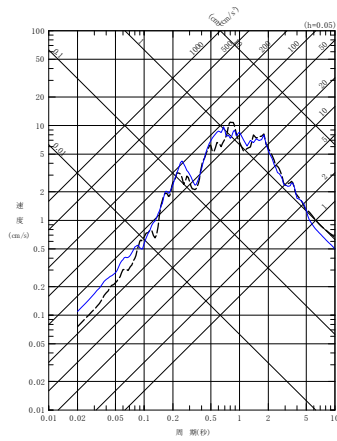
(a) NS 方向



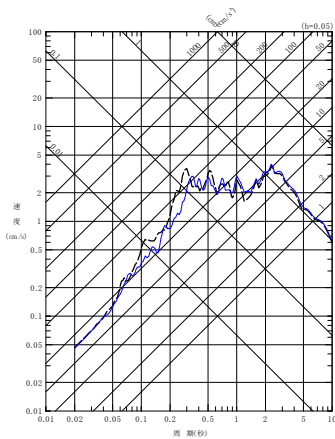
(a) NS 方向



(b) EW 方向

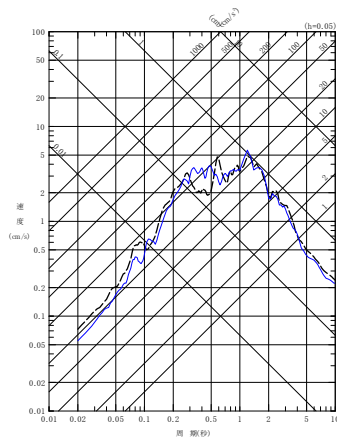


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 201106230650 地震



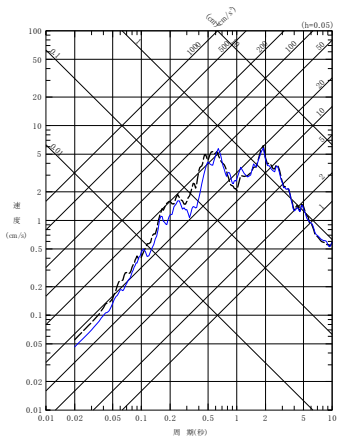
(c) UD 方向

(6) 201205240002 地震

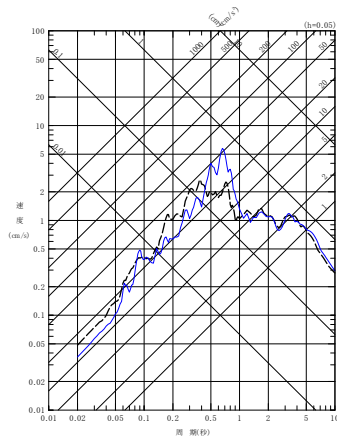
第 6.3.6.2-3 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (3/6)

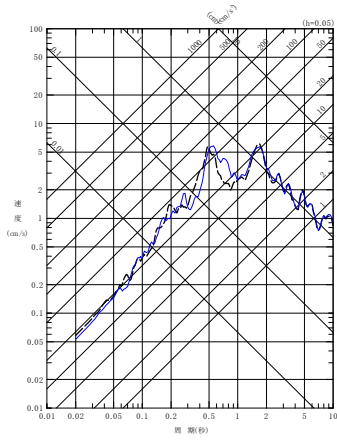
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



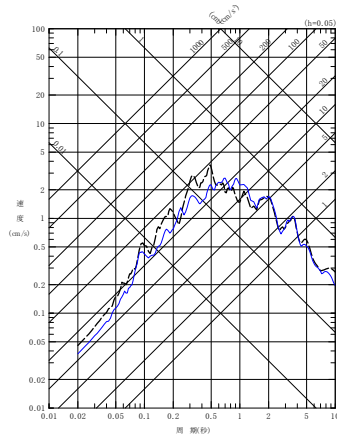
(a) NS 方向



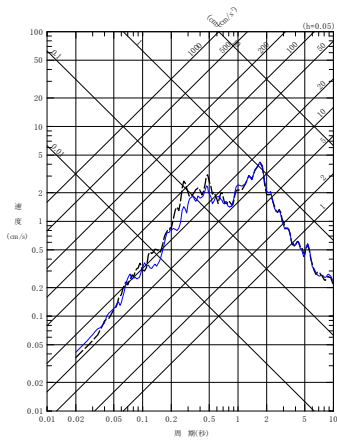
(a) NS 方向



(b) EW 方向

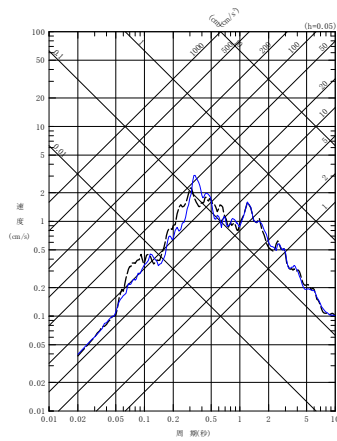


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201212071718 地震



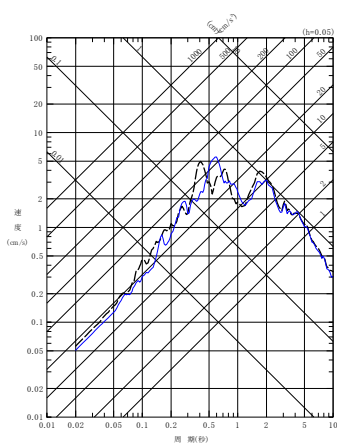
(c) UD 方向

(8) 201408101243 地震

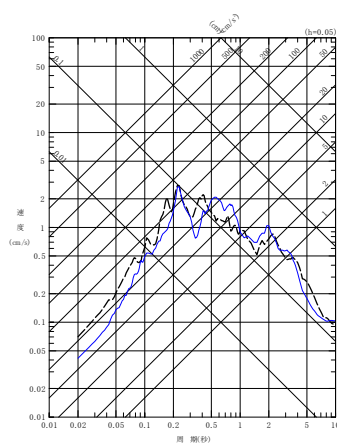
第 6.3.6.2-3 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (4/6)

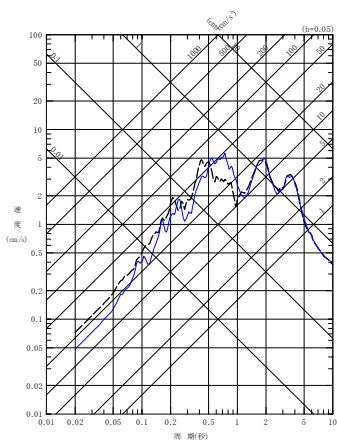
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



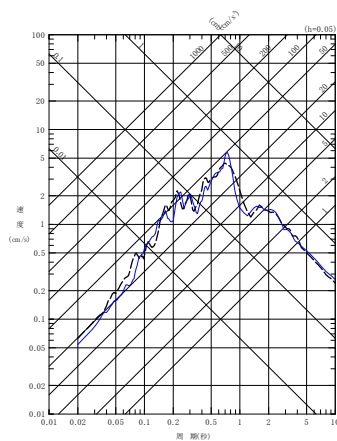
(a) NS 方向



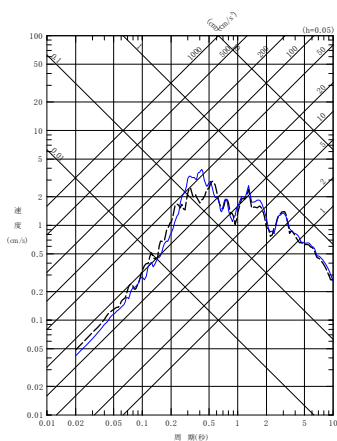
(a) NS 方向



(b) EW 方向

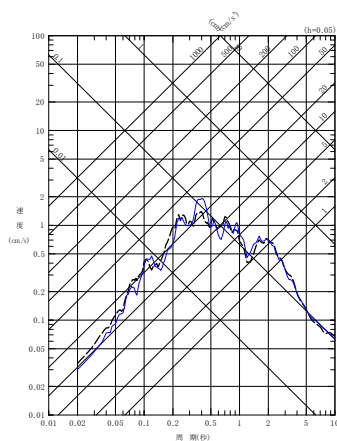


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201601141225 地震

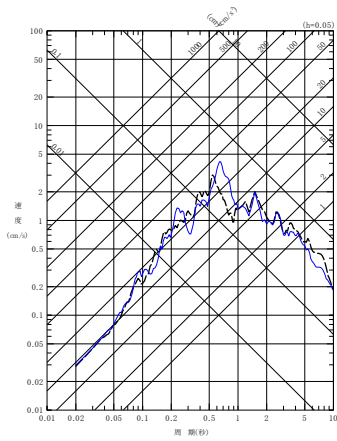


(c) UD 方向

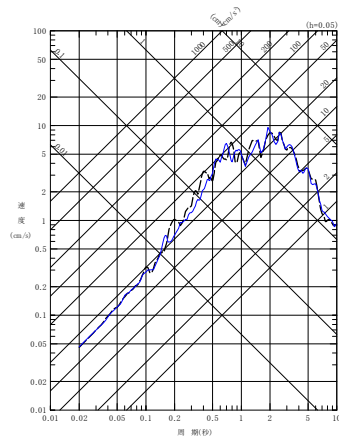
(10) 201908151432 地震

第 6.3.6.2-3 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)

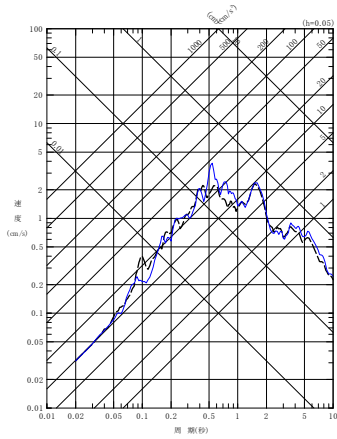
- - - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



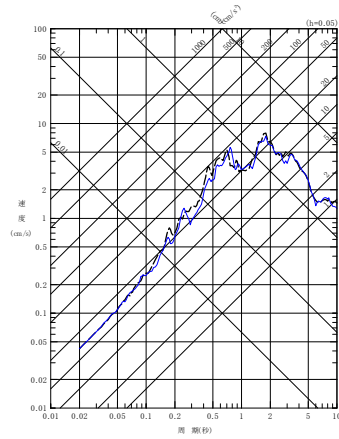
(a) NS 方向



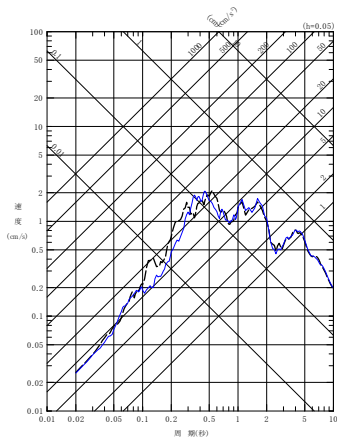
(a) NS 方向



(b) EW 方向

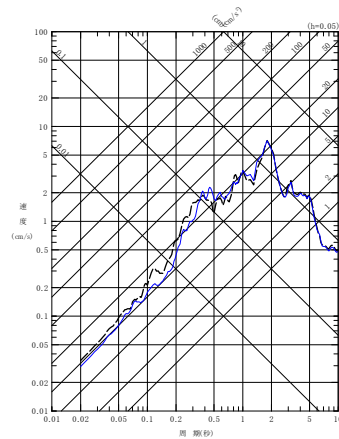


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 202012210223 地震



(c) UD 方向

(12) 202203162336 地震

第 6.3.6.2-3 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 図及び第 6.3.7.1-2 図（中央地盤）、第 6.3.7.1-5 図及び第 6.3.7.1-6 図（西側地盤）、第 6.3.7.1-9 図及び第 6.3.7.1-10 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 6.3.7.1-3 図及び第 6.3.7.1-4 図（中央地盤）、第 6.3.7.1-7 図及び第 6.3.7.1-8 図（西側地盤）、第 6.3.7.1-11 図及び第 6.3.7.1-12 図（東側地盤）にグラフとして示す。

振動数依存性を考慮しない場合の評価結果については、振動数依存性を考慮する場合の評価結果と比較して図示するが、「6.3.6 振動数依存性を考慮する場合の評価結果」にて示したとおり、リニア型とバイリニア型の評価結果について、伝達関数及び応答スペクトルの差は見られないことから、振動数依存性を考慮する場合の評価結果についてはリニア型の動的結果を代表として示す。

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。

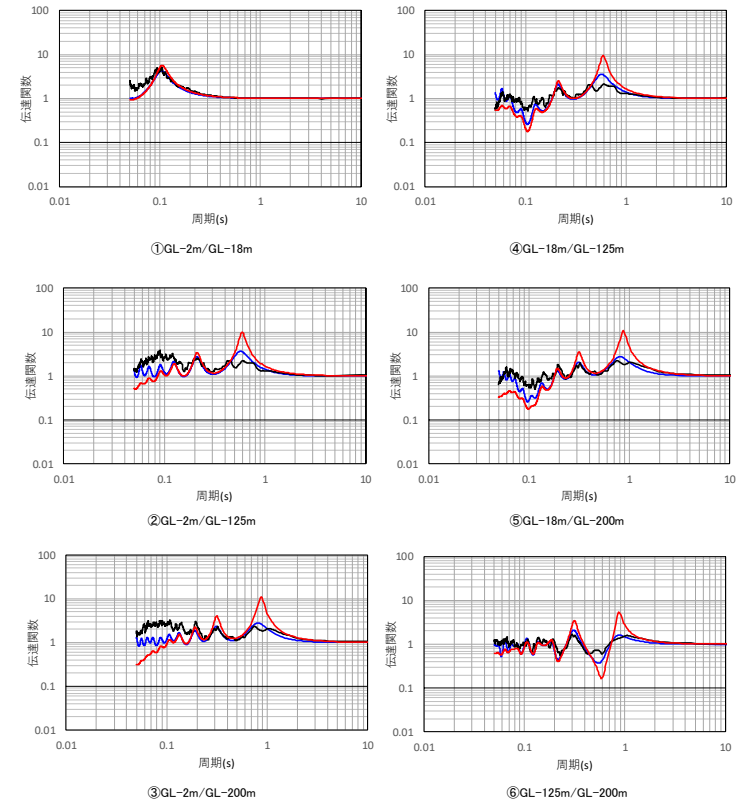
地震観測記録を用いた減衰定数の評価の結果、解放基盤表面～基礎底面レベルの岩盤部分に相当する層の水平方向における減衰定数として、中央地盤観測点において 6.7% の減衰定数が得られた。鉛直方向については、「6.3.6.1 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」と同様に、水平方向と比較して大きい値の減衰定数が得られた。

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)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	減衰定数 h
0	1	2	1.94	470	0.166
-2	2	1.5			
-3.5	3	1.5	1.94	560	0.160
-5	4	13	1.64	720	0.111
-18	5	2			
-20	6	40	1.75	760	0.067
-60	7	60	1.85	830	
-120	8	5	1.85	950	0.055
-125	9	75			
-200	10	—			

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

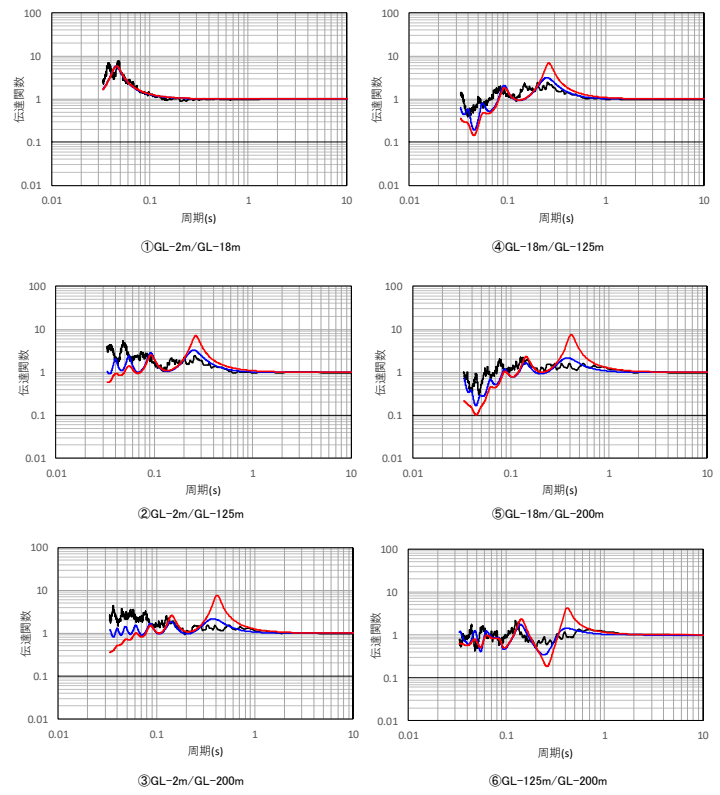
(b) 伝達関数適合状況

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)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	P波速度 Vp(m/s)	減衰定数 h
0	1	2	1.94	1410	0.166
-2	2	1.5		1410	
-3.5	3	1.5	1.94	1560	0.137
-5	4	13	1.64	1640	0.106
-18	5	2		1640	
-20	6	40	1.75	1780	0.093
-60	7	60	1.85	1860	
-120	8	5	1.85	1920	0.081
-125	9	75			
-200	10	—			

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

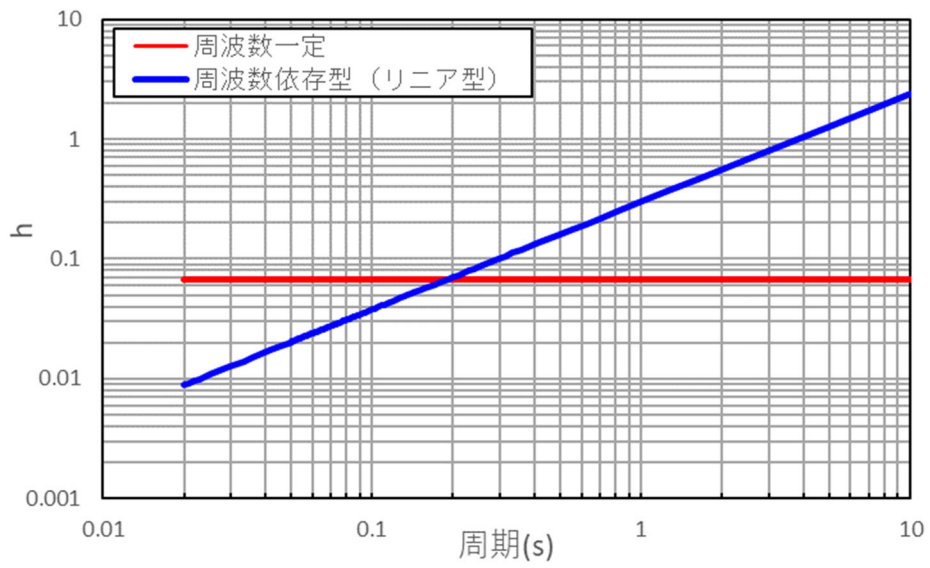
—— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 —— 周波数依存型（リニア型）
 —— 周波数依存なし



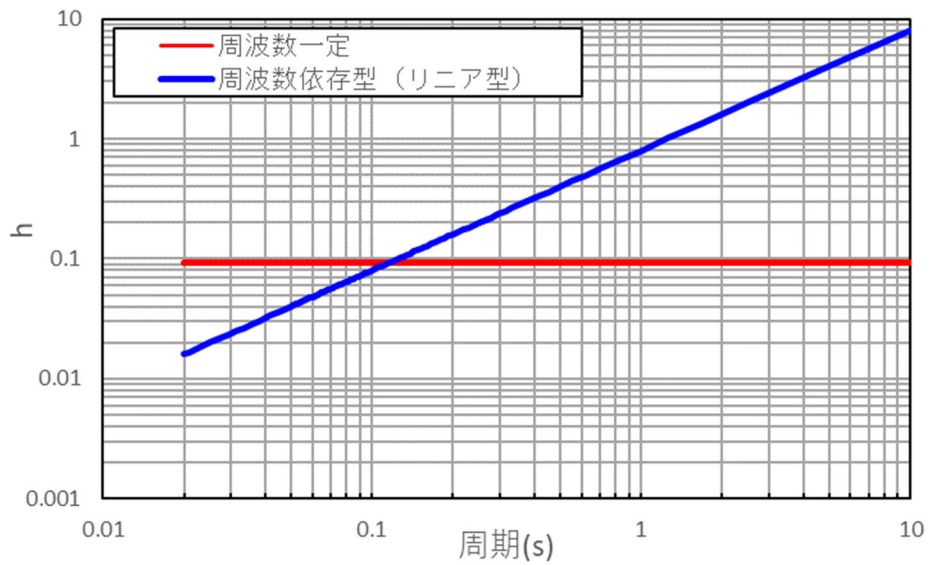
(a) 評価された物性値及び減衰定数

(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。

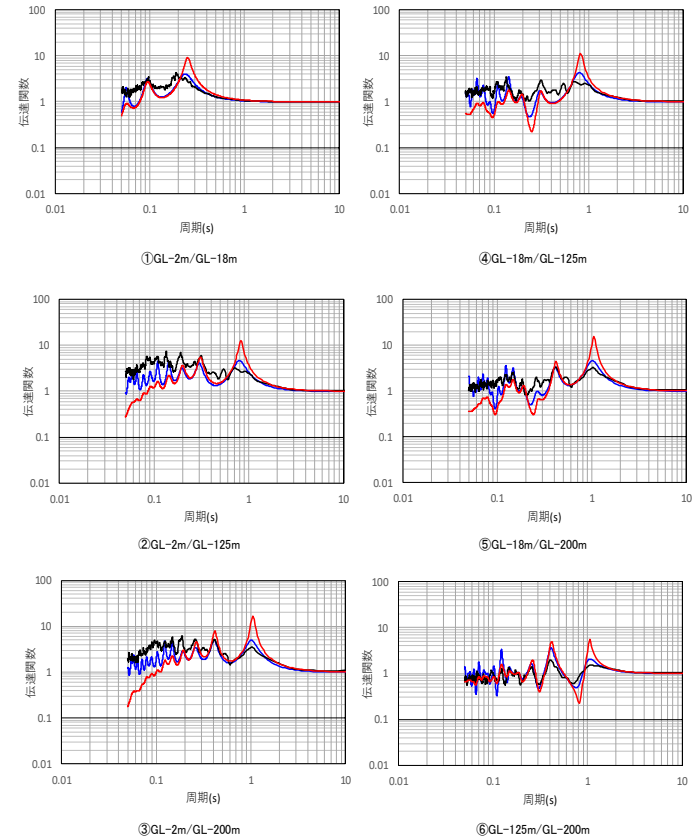
地震観測記録を用いた減衰定数の評価の結果、解放基盤表面～基礎底面レベルの岩盤部分に相当する層の水平方向における減衰定数として、西側地盤観測点において 5.5%の減衰定数が得られた。鉛直方向については、「6.3.6.1 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」と同様に、水平方向と比較して大きい値の減衰定数が得られた。

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)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h
GL 0m	1	2	1.73	230	0.120
-2.00	2	2.34			
-4.34	3	5.76			
-10.10	4	7.9	2.02	290	0.067
-18.00	5	18.82		420	
-36.82	6	36.68	1.59	580	0.055
-73.50	7	39.1		660	
-112.60	8	12.4	1.75	870	0.030
-125.00	9	63.87			
-188.87	10	11.13	1.57	1050	
-200.00	11	—			

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

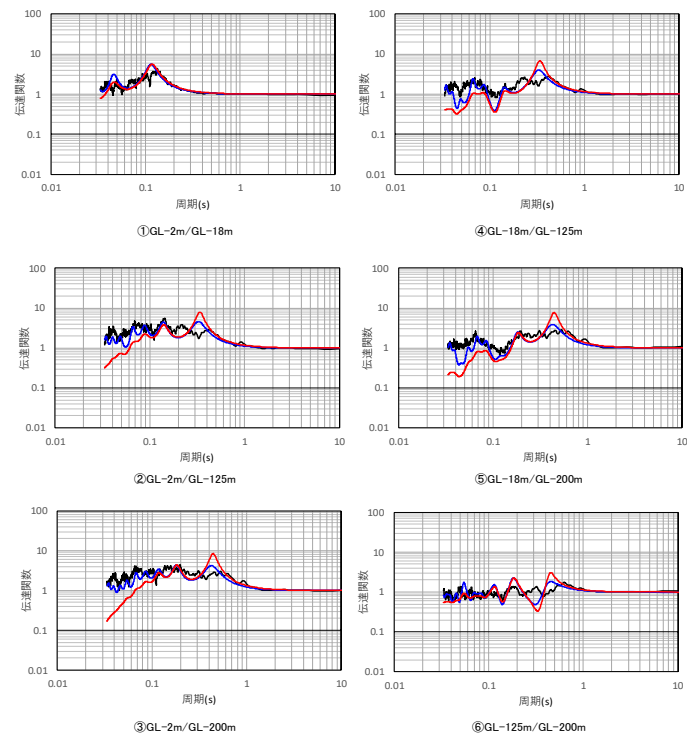
(b) 伝達関数適合状況

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

深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	P波速度 Vp(m/s)	減衰定数 h
GL 0m	1	2	1.73	370	0.166
-2.00	2	2.34		430	
-4.34	3	5.76		740	
-10.10	4	7.9	2.02	810	0.103
-18.00	5	18.82			
-36.82	6	36.68	1.59	1520	0.093
-73.50	7	39.1		1640	
-112.60	8	12.4	1.75	2000	0.085
-125.00	9	63.87			
-188.87	10	11.13	1.57	2220	
-200.00	11	—			

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

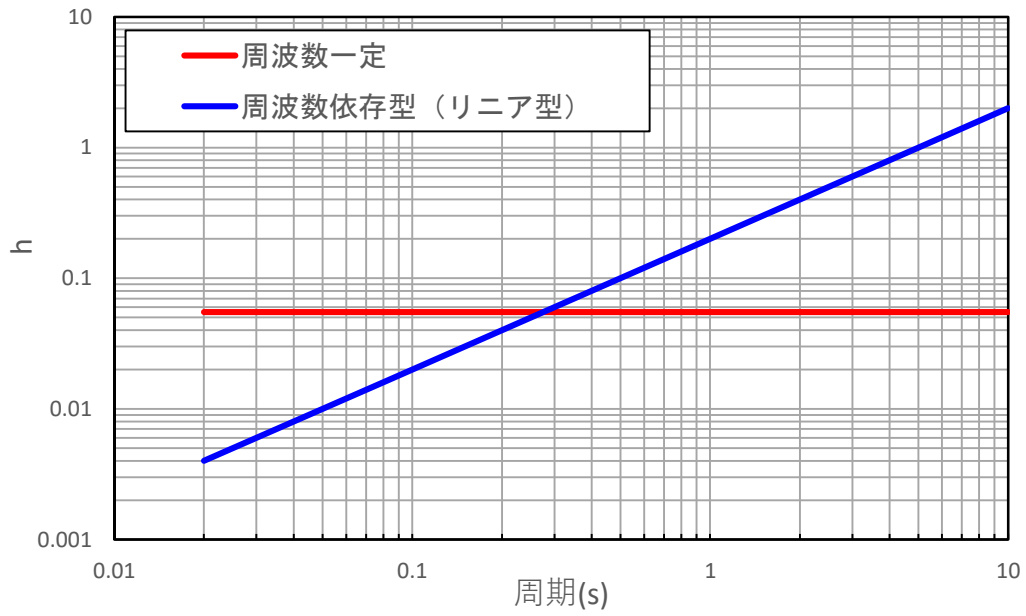
— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
— 周波数依存型（リニア型）
— 周波数依存なし



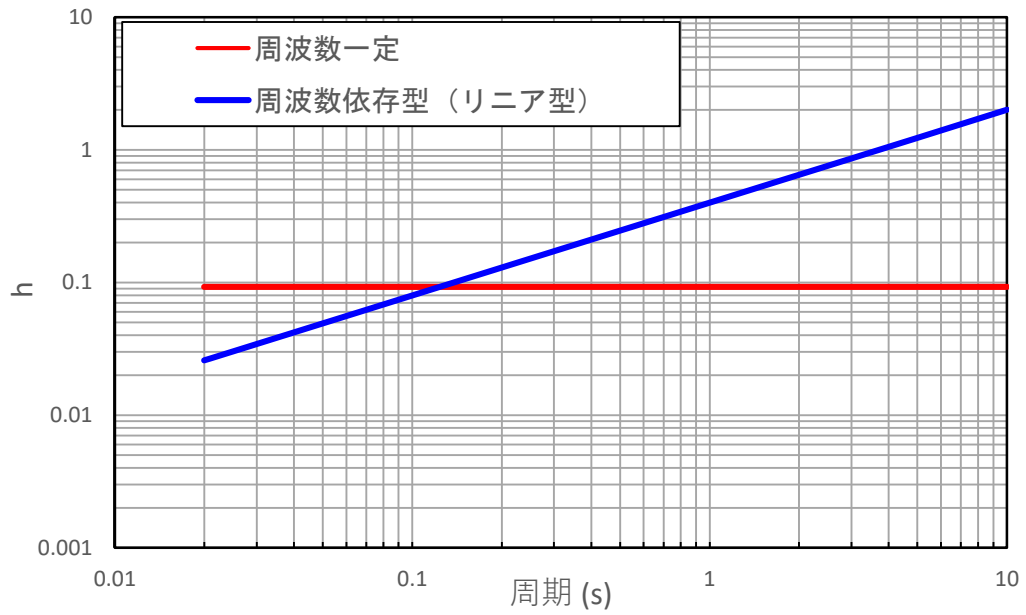
(a) 評価された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

第 6.3.7.1-6 図 伝達関数の比較（西側地盤観測点：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 (西側地盤観測点, 水平)



第 6.3.7.1-8 図 減衰定数と周期の関係 (西側地盤観測点, 鉛直)

(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 6.3.7.1-9 図～第 6.3.7.1-12 図に示す。

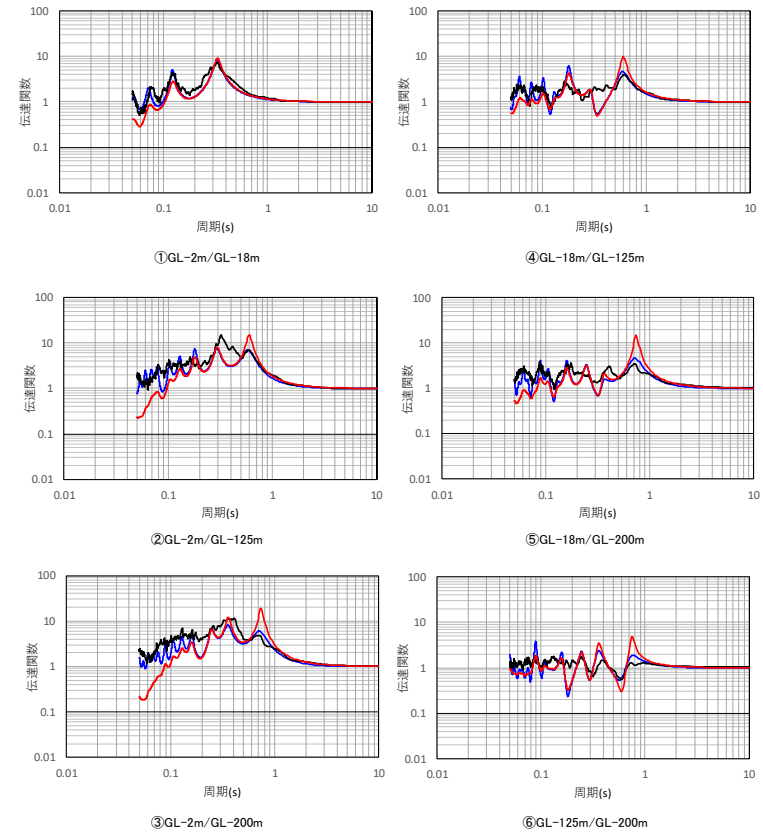
地震観測記録を用いた減衰定数の評価の結果、解放基盤表面～基礎底面レベルの岩盤部分に相当する層の水平方向における減衰定数として、東側地盤観測点において 5.5%の減衰定数が得られた。鉛直方向については、「6.3.6.1 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」と同様に、水平方向と比較して大きい値の減衰定数が得られた。

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)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h
0	1	2	1.69	140	0.136
-2.00	2	6.33		160	0.075
-8.33	3	6.4		210	
-14.73	4	3.27	1.72	310	0.061
-18.00	5	0.68			
-18.68	6	53.2	1.59	640	0.055
-71.88	7	43.85		1090	
-115.73	8	9.27	1.82	1190	0.033
-125.00	9	34.31			
-159.31	10	40.69	1.90	1200	
-200.00	11	—			

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

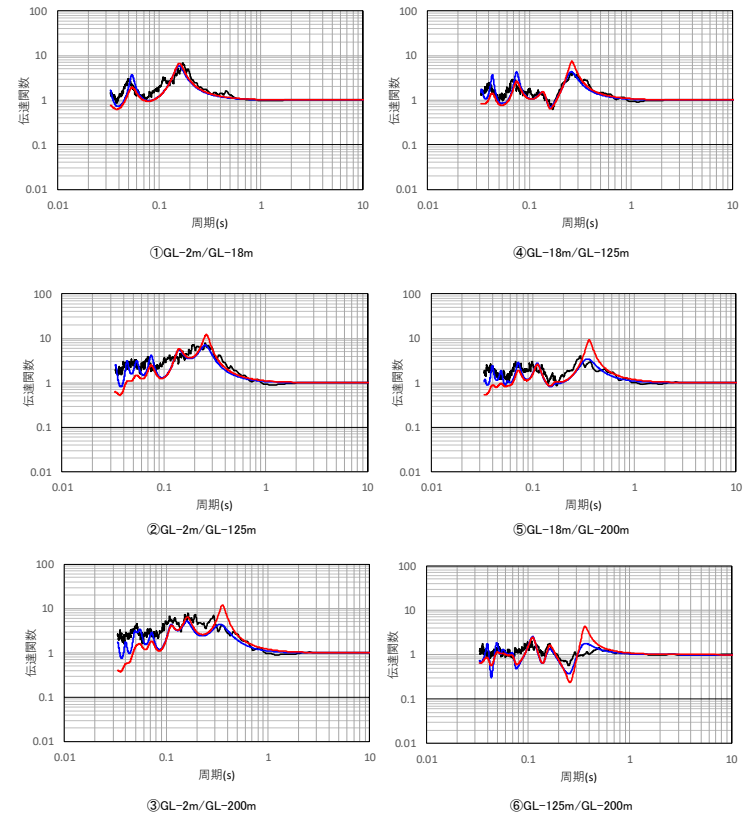
(b) 伝達関数適合状況

第 6.3.7.1-9 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)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	P波速度 Vp(m/s)	減衰定数 h
0	1	2	1.69	360	0.097
-2.00	2	6.33		370	
-8.33	3	6.4		390	
-14.73	4	3.27	1.72	970	0.081
-18.00	5	0.68			
-18.68	6	53.2	1.59	1880	0.070
-71.88	7	43.85		2060	
-115.73	8	9.27	1.82	2140	0.066
-125.00	9	34.31			
-159.31	10	40.69	1.90	2370	
-200.00	11	—			

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

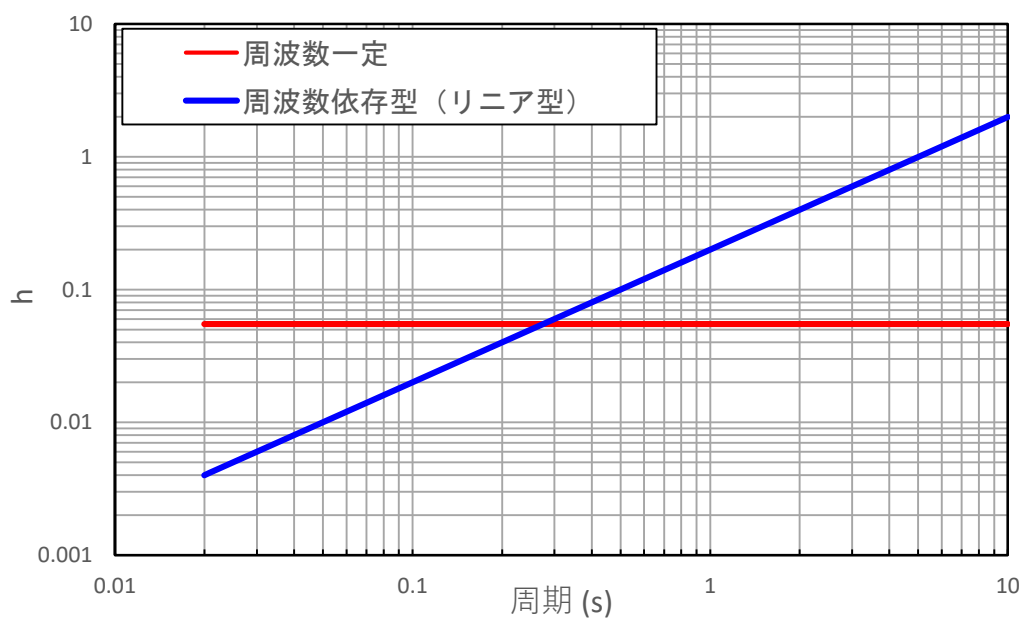
— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
— 周波数依存型（リニア型）
— 周波数依存なし



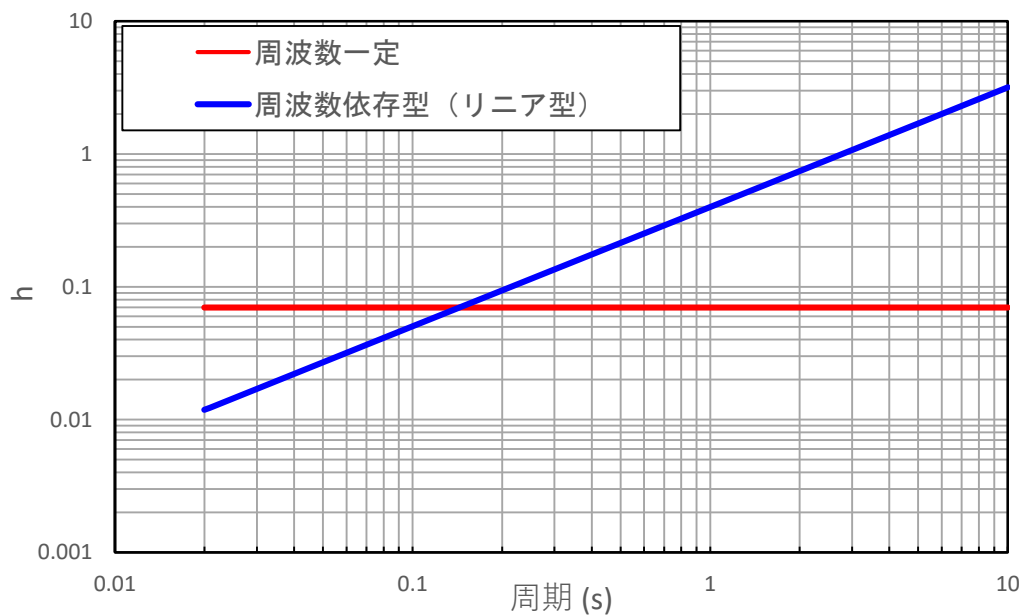
(a) 評価された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

第 6.3.7.1-10 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 6.3.7.1-11 図 減衰定数と周期の関係 (東側地盤観測点, 水平)



第 6.3.7.1-12 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。

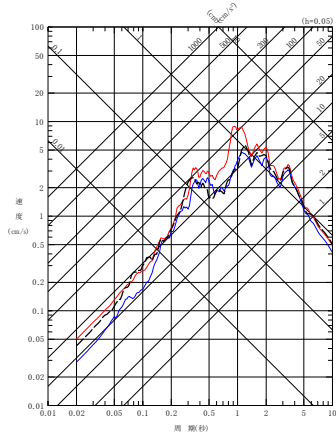
短周期側については、減衰定数を振動数依存特性を考慮する場合に比べて大きく評価することになるものの、地盤応答に対しては小さく評価されず、振動数依存性を考慮した場合と比較して、建物・構築物の固有周期帯（水平 0.2～0.3 秒，鉛直 0.1 秒～0.2 秒）において、概ねいずれの地震においても、振動数依存性を考慮した場合のシミュレーション結果及び地震観測記録に対し、振動数依存性を考慮しない条件によるシミュレーション結果が大きな値となることを確認した。

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いることによるものと考えられる。

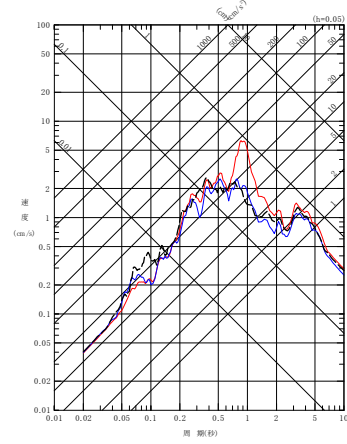
伝達関数は、地震波が有する周期成分ごとの地震動の大きさを直接示したフーリエスペクトルの比率により算定されるが、ある周期成分の地震動は、その周辺の周期帯にも応答として作用することになる。本評価において確認している応答スペクトルは、様々な周期成分をもつ地震動に対する応答の最大値を周期ごとにプロットしたものであることから、前述の同定結果における伝達関数の周期ごとの大小関係とは必ずしも一致しない。

地盤の応答解析において応答スペクトルを評価する際には、特に、振幅の大きい長周期側（地盤の 1 次及び 2 次の固有周期に該当）の地震波の増幅を大きく評価した場合、短周期側の振幅も応答スペクトル上大きく評価することになることから、本評価においても、振動数依存性を考慮しない場合には地盤の 1 次及び 2 次固有周期における周期成分の地震動を地震観測記録に対して大きく評価した結果、全周期帯において大きな地震動を与える結果となったものとする。

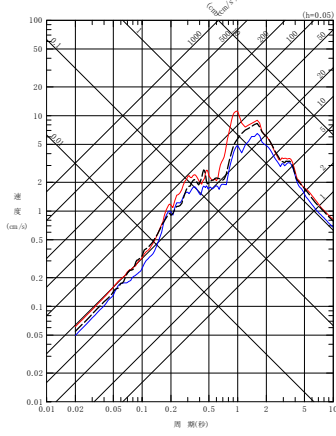
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



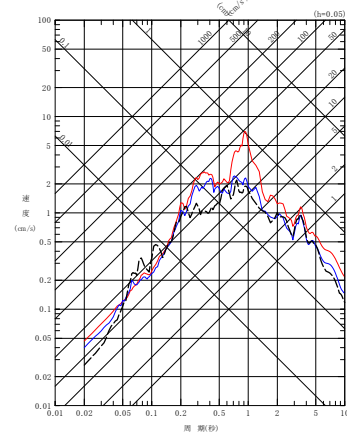
(a) NS 方向



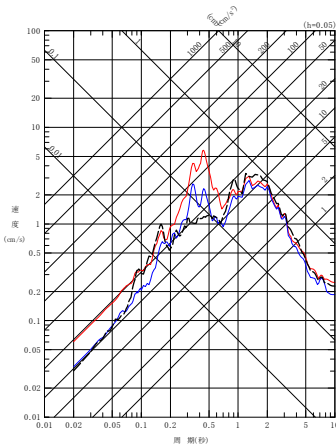
(a) NS 方向



(b) EW 方向

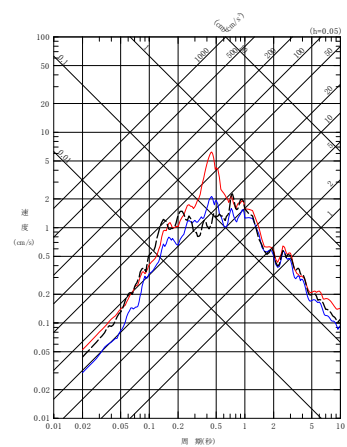


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200112022201 地震



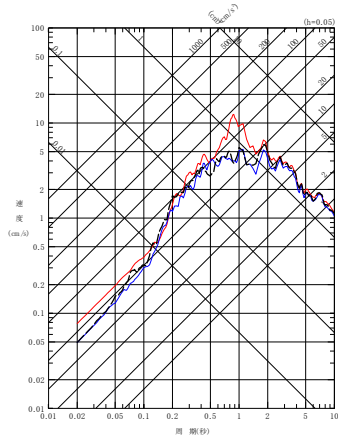
(c) UD 方向

(2) 200210142312 地震

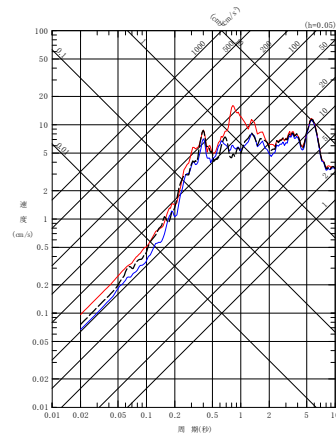
第 6.3.7.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (1/7)

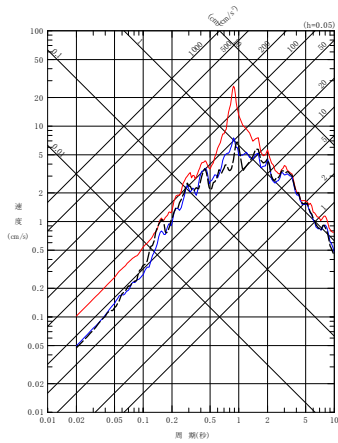
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 - - 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



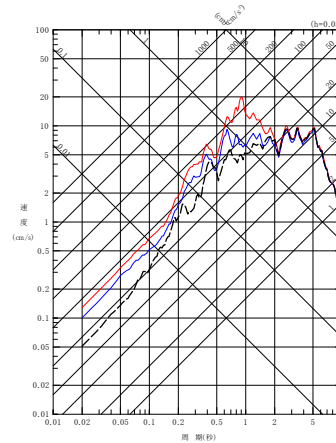
(a) NS 方向



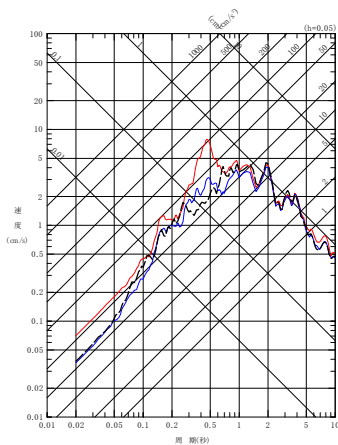
(a) NS 方向



(b) EW 方向

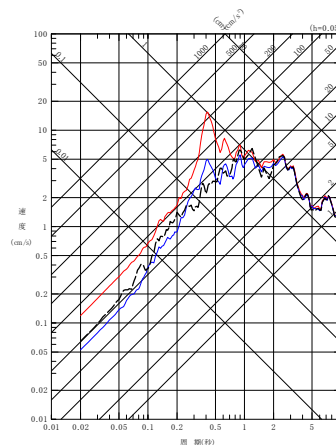


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 200305261824 地震



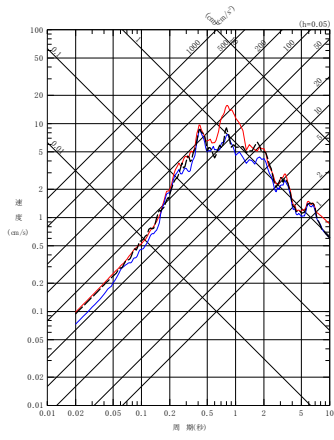
(c) UD 方向

(4) 200309260450 地震

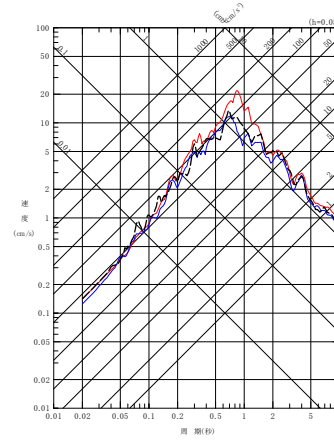
第 6.3.7.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (2/7)

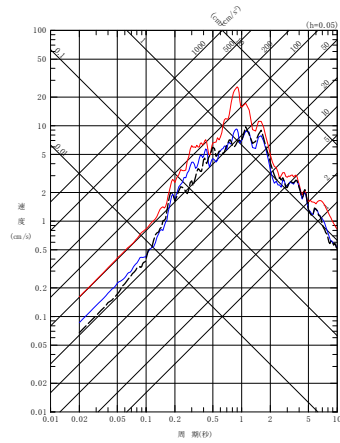
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



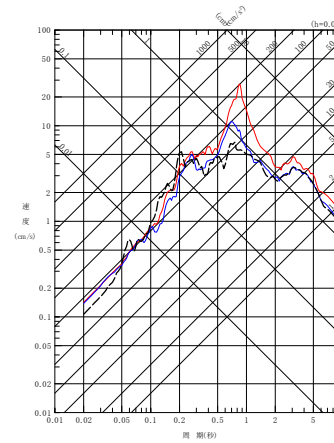
(a) NS 方向



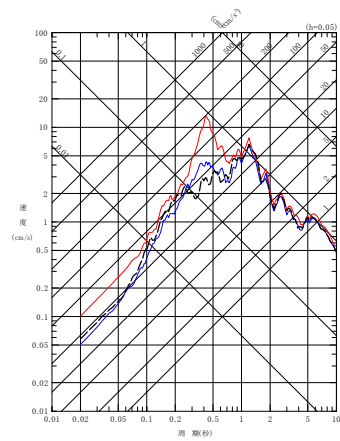
(a) NS 方向



(b) EW 方向

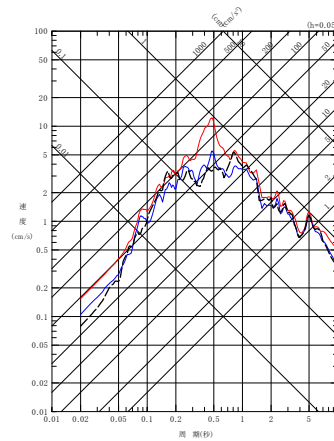


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 2009260608 地震



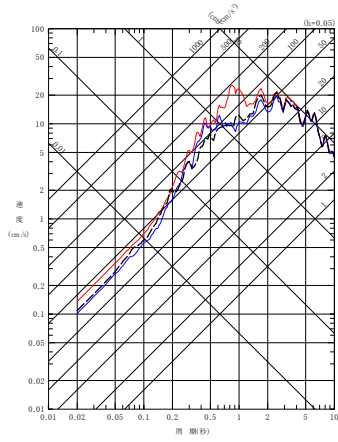
(c) UD 方向

(6) 200807240026 地震

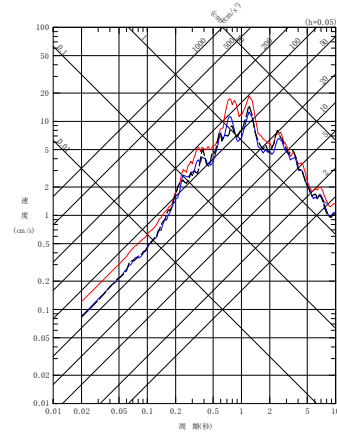
第 6.3.7.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (3/7)

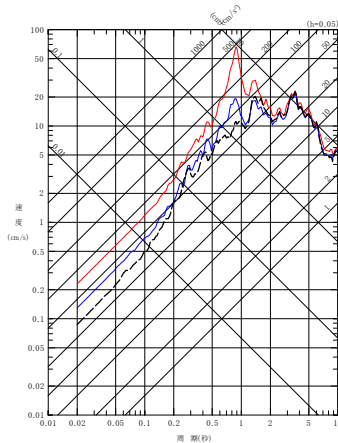
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



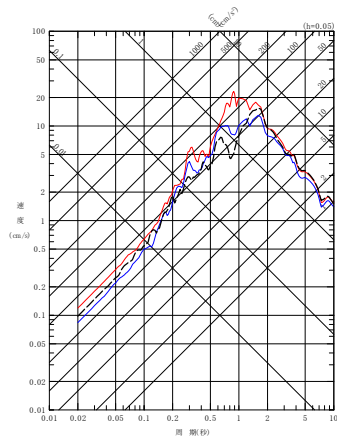
(a) NS 方向



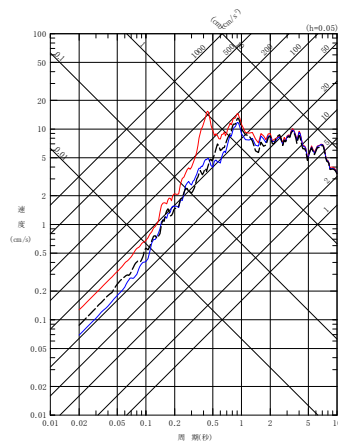
(a) NS 方向



(b) EW 方向

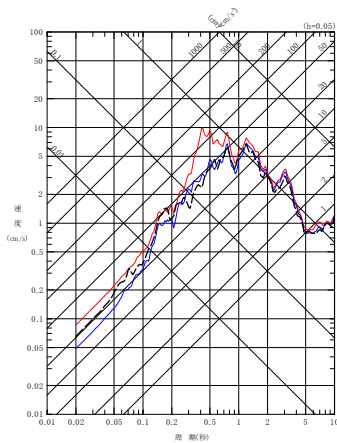


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201103111446 地震



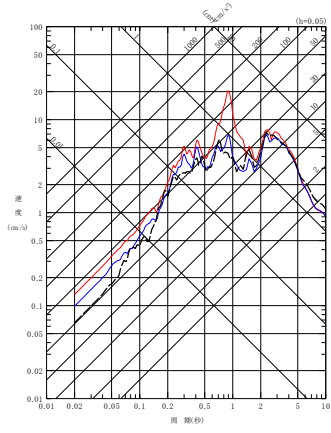
(c) UD 方向

(8) 201103111508 地震

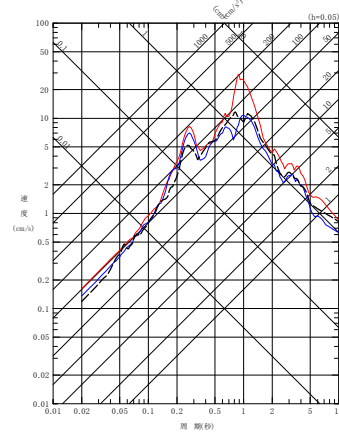
第 6.3.7.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (4/7)

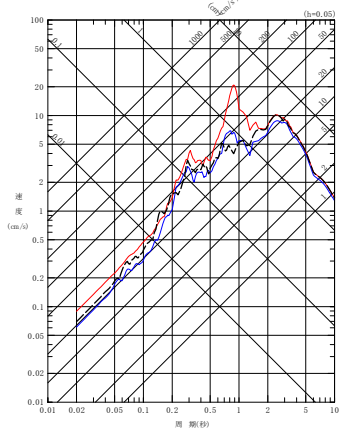
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



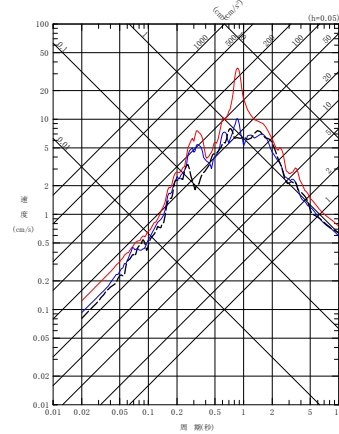
(a) NS 方向



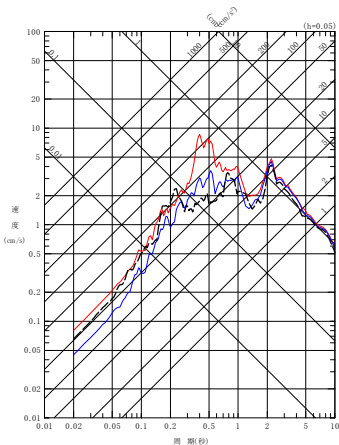
(a) NS 方向



(b) EW 方向

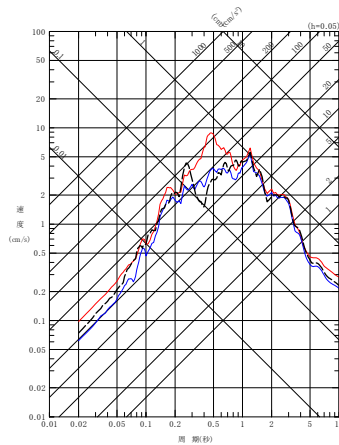


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201106230650 地震



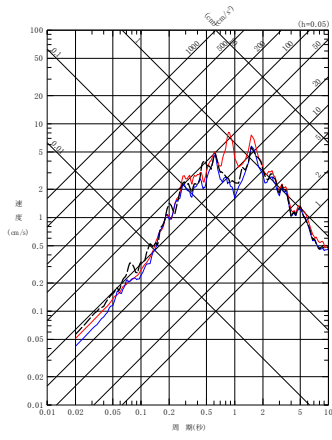
(c) UD 方向

(10) 201205240002 地震

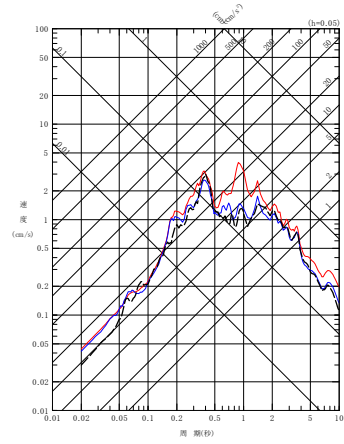
第 6.3.7.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (5/7)

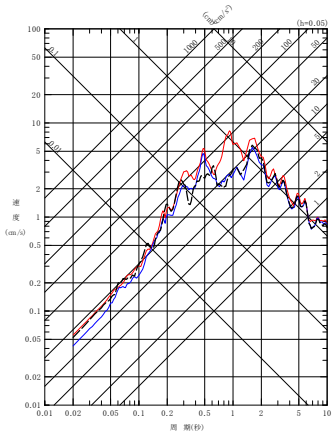
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



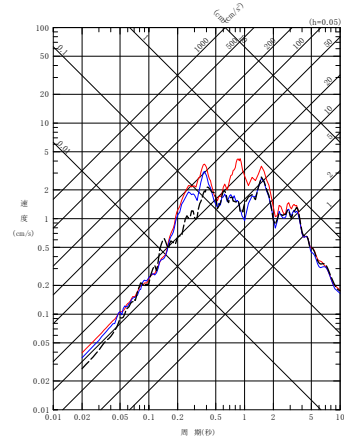
(a) NS 方向



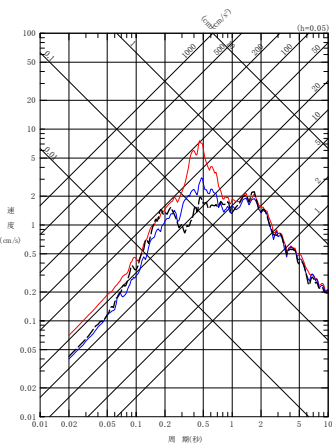
(a) NS 方向



(b) EW 方向

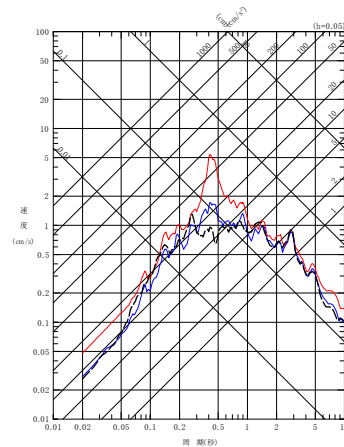


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 201212071718 地震



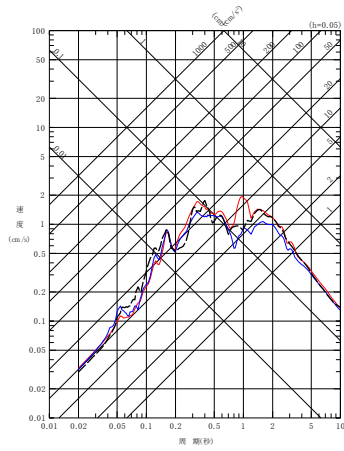
(c) UD 方向

(12) 201302022317 地震

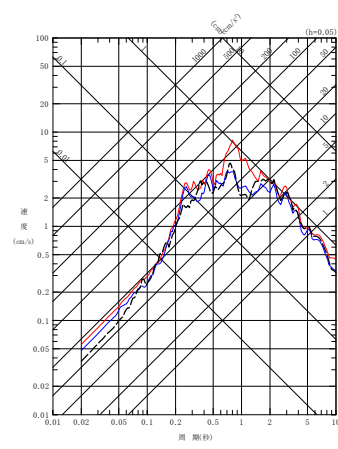
第 6.3.7.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (6/7)

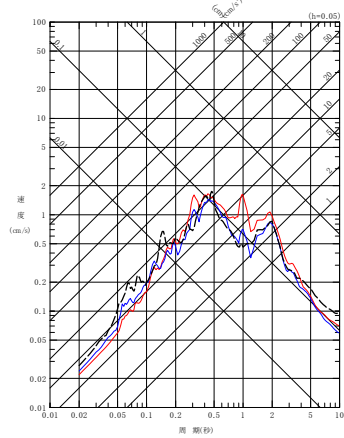
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



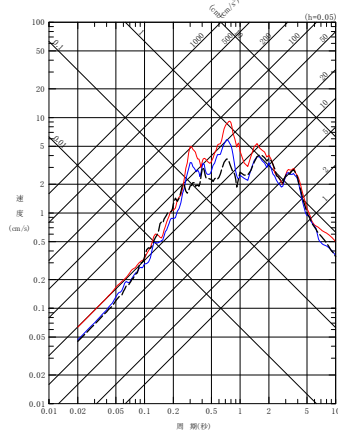
(a) NS 方向



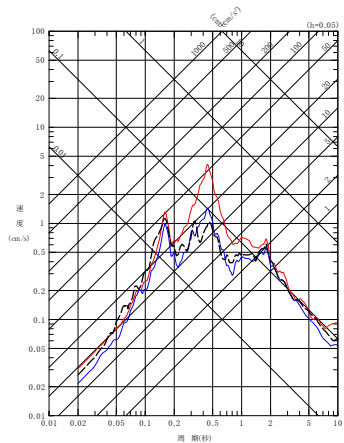
(a) NS 方向



(b) EW 方向

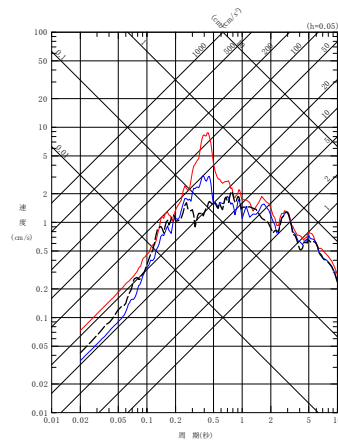


(b) EW 方向



(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。

西側地盤において、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 図における同定結果の伝達関数のグラフに示すとおり、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いることによるものと考えられる。

伝達関数は、地震波が有する周期成分ごとの地震動の大きさを直接示したフーリエスペクトルの比率により算定されるが、ある周期成分の地震動は、その周辺の周期帯にも応答として作用することになる。本評価において確認している応答スペクトルは、様々な周期成分をもつ地震動に対する応答の最大値を周期ごとにプロットしたものであることから、前述の同定結果における伝達関数の周期ごとの大小関係とは必ずしも一致しない。

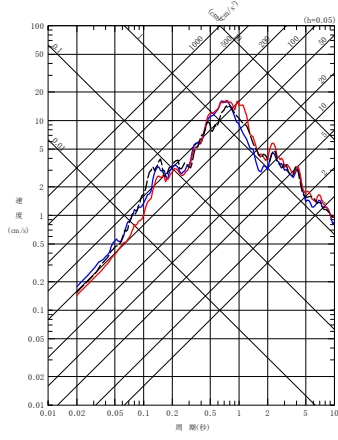
地盤の応答解析において応答スペクトルを評価する際には、特に、振幅の大きい長周期側（地盤の 1 次及び 2 次の固有周期に該当）の地震波の増幅を大きく評価した場合、短周期側の振幅も応答スペクトル上大きく評価することになることから、本評価においても、振動数依存性を考慮しない場合には地盤の 1 次及び 2 次固有周期における周期成分の地震動を地震観測記録に対して大きく評価した結果、全周期帯において大きな地震動を与える結果となったものとする。

なお，一部の地震（(8)201408101243 地震の NS,EW 成分及び (10)201908151432 地震の NS,EW 成分）については，リニア型による同定結果に対し，一定減衰を考慮した同定結果に基づくシミュレーション結果が，周期 0.2～0.3 秒より短周期側の応答スペクトルを小さく評価する。

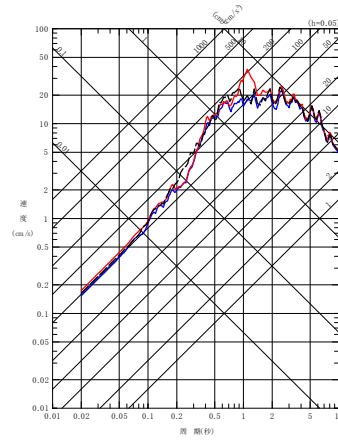
これは，第 6.3.7.1-5 図に示した同定結果において，上記周期で部分的にリニア型の同定結果を下回っており，さらに，これらの地震は，基準地震動 S_s において検討用地震として考慮する地震や，検討に用いたその他の地震と比較して地震規模が小さく（(8)201408101243 地震：M6.1，(10)201908151432 地震：M5.5），長周期側の地震動を含まず，上記に示した長周期側の地震動を大きく評価する効果が現れなかったことに起因すると考えられる。

ただし，伝達関数の山谷の周期に対しては，速度構造の同定結果による影響が支配的であり，減衰定数による影響が大きく表れる短周期側の地震動の大きさに対しては上記のとおり大きな地震動を与える傾向を示していることから，減衰定数の同定結果としては，適切なものとなっていると考えられる。

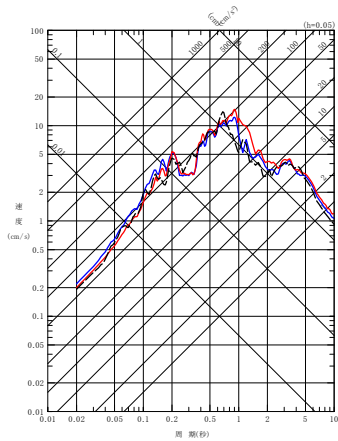
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 - - 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



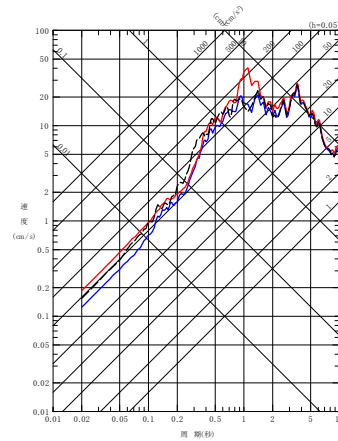
(a) NS 方向



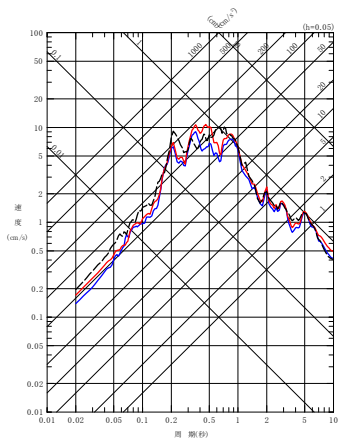
(a) NS 方向



(b) EW 方向

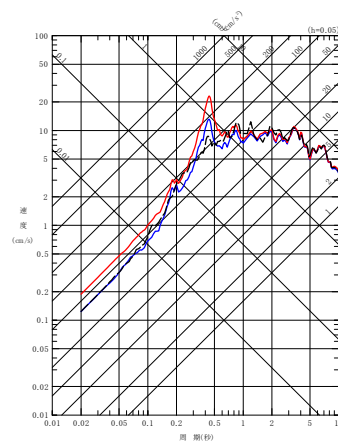


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200807240026 地震



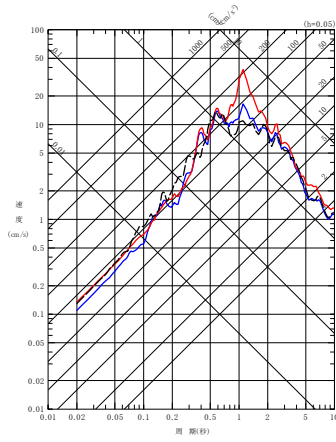
(c) UD 方向

(2) 201103111446 地震

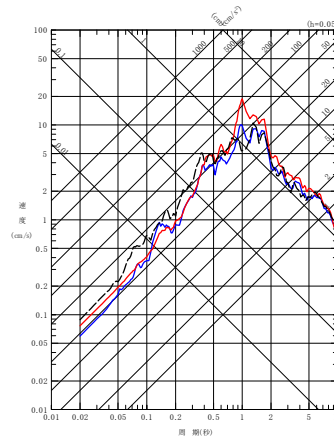
第 6.3.7.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (1/6)

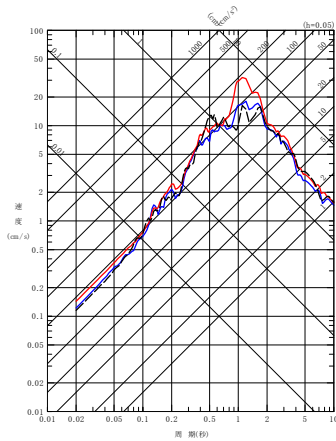
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



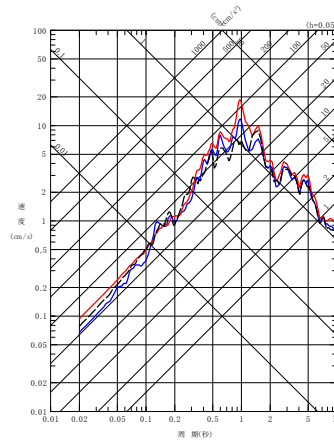
(a) NS 方向



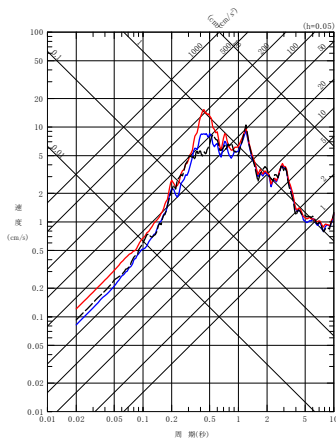
(a) NS 方向



(b) EW 方向

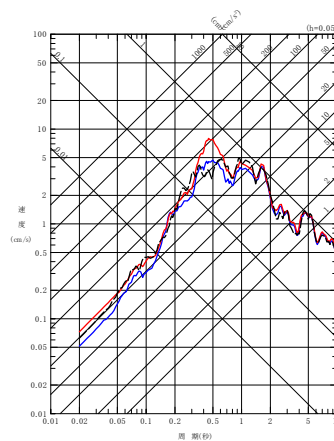


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 201103111508



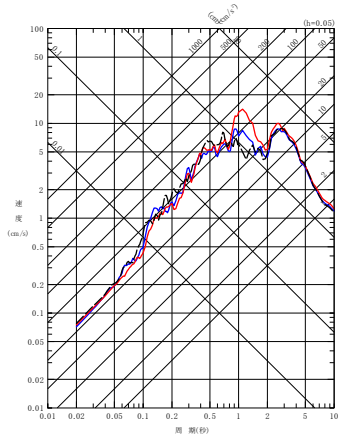
(c) UD 方向

(4) 201104072332 地震

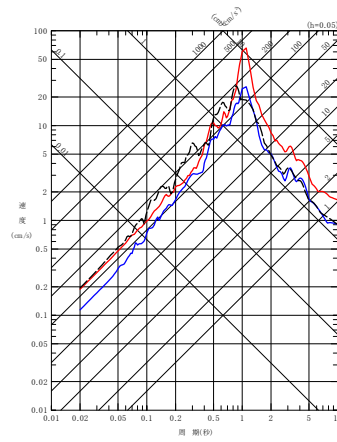
第 6.3.7.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (2/6)

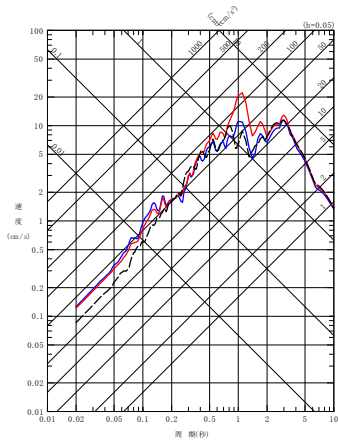
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



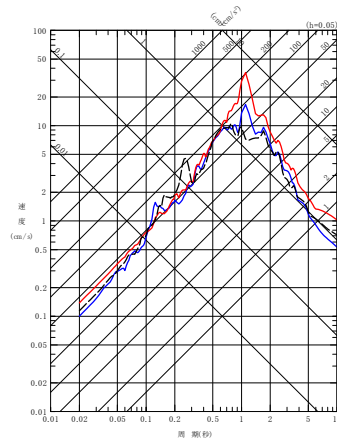
(a) NS 方向



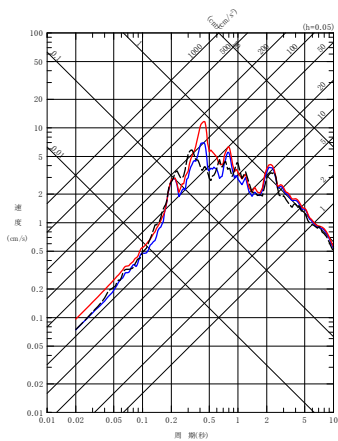
(a) NS 方向



(b) EW 方向

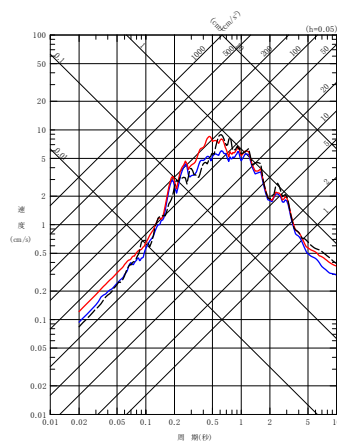


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 201106230650 地震



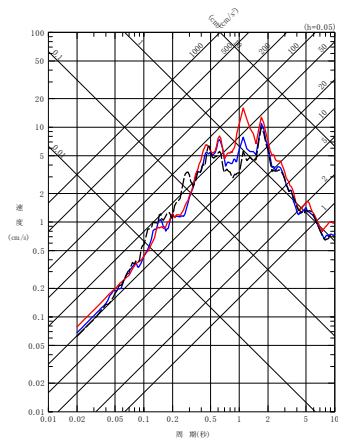
(c) UD 方向

(6) 201205240002 地震

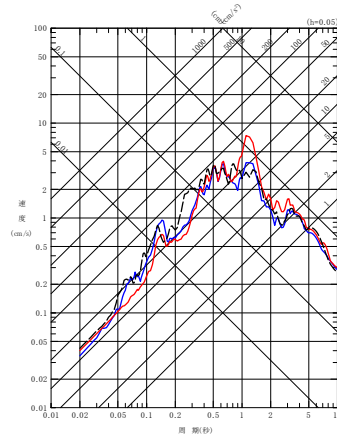
第 6.3.7.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (3/6)

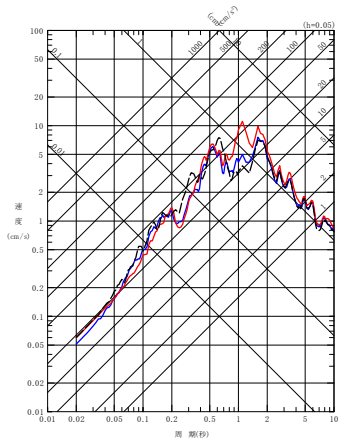
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



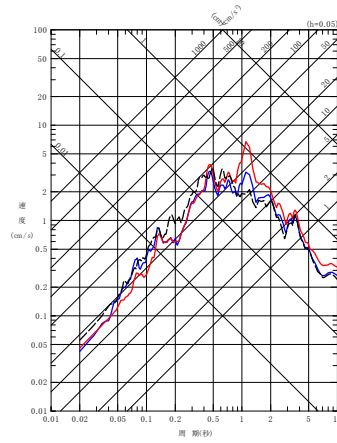
(a) NS 方向



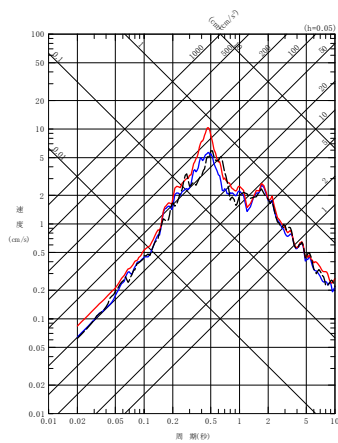
(a) NS 方向



(b) EW 方向

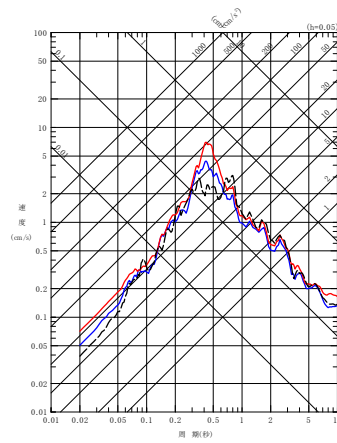


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201212071718 地震



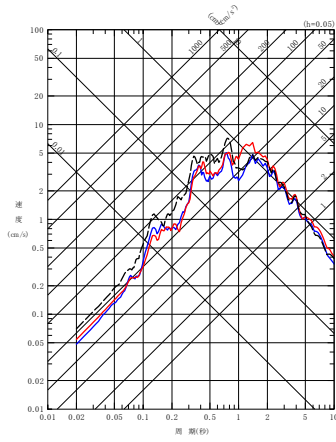
(c) UD 方向

(8) 201408101243 地震

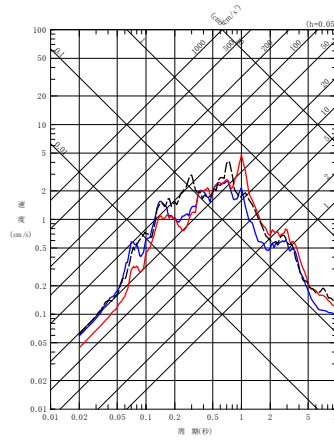
第 6.3.7.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (4/6)

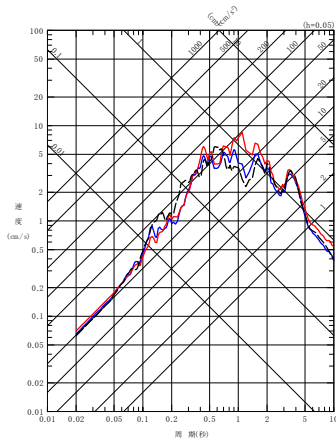
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



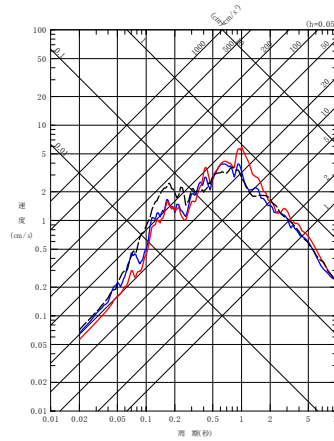
(a) NS 方向



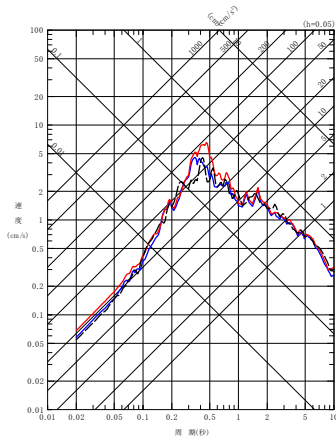
(a) NS 方向



(b) EW 方向

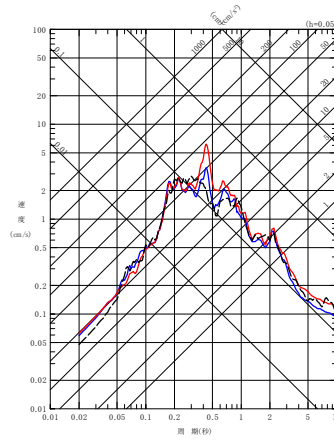


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201601141225 地震



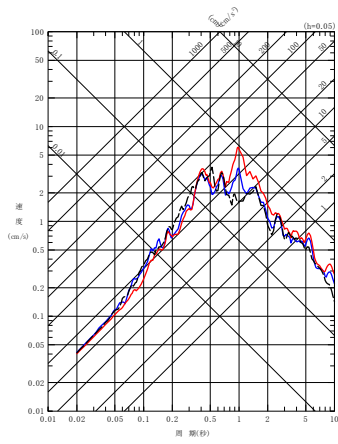
(c) UD 方向

(10) 201908151432 地震

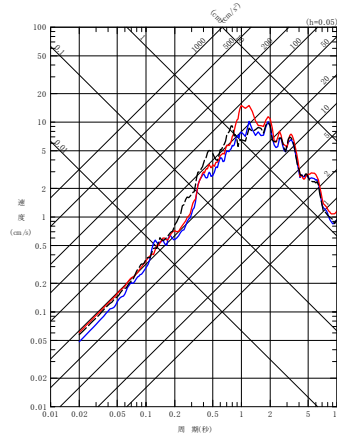
第 6.3.7.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (5/6)

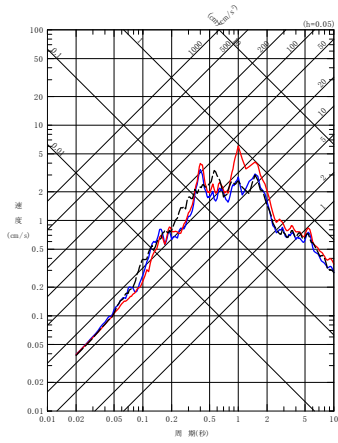
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 - - - 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



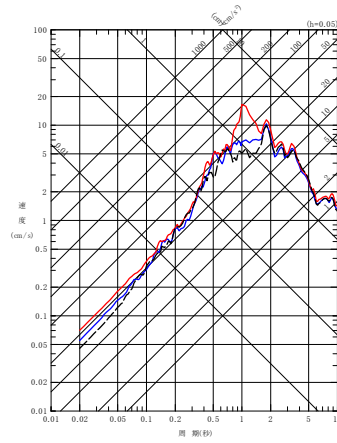
(a) NS 方向



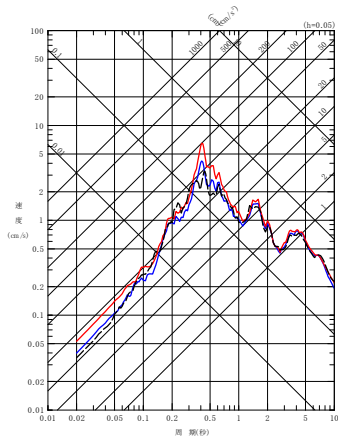
(a) NS 方向



(b) EW 方向

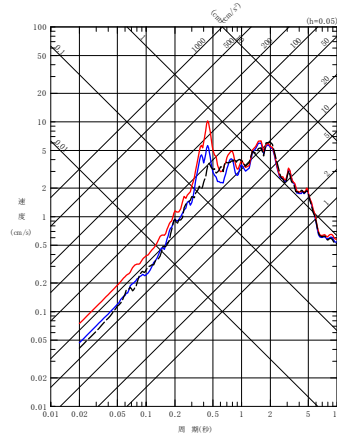


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 202012210223 地震



(c) UD 方向

(12) 202203162336

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

西側地盤観測点 (6/6)

(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 6.3.7.2-3 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。

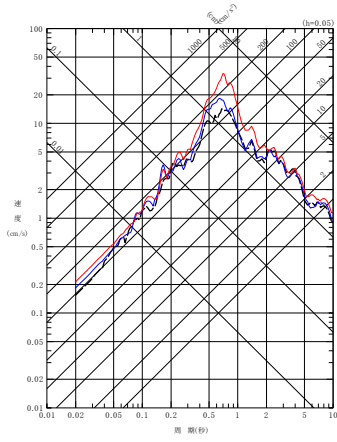
短周期側については、減衰定数を振動数依存特性を考慮する場合に比べて大きく評価することになるものの、地盤応答に対しては小さく評価されず、振動数依存性を考慮した場合と比較して、建物・構築物の固有周期帯（水平 0.2～0.3 秒，鉛直 0.1 秒～0.2 秒）において、概ねいずれの地震においても、振動数依存性を考慮した場合のシミュレーション結果及び地震観測記録に対し、振動数依存性を考慮しない条件によるシミュレーション結果が大きな値となることを確認した。

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 6.3.7.1-9 図及び第 6.3.7.1-10 図における同定結果の伝達関数のグラフに示すとおり、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いることによるものと考えられる。

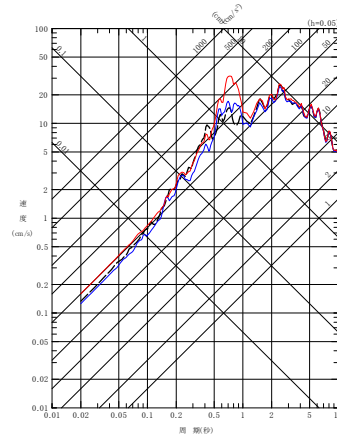
伝達関数は、地震波が有する周期成分ごとの地震動の大きさを直接示したフーリエスペクトルの比率により算定されるが、ある周期成分の地震動は、その周辺の周期帯にも応答として作用することになる。本評価において確認している応答スペクトルは、様々な周期成分をもつ地震動に対する応答の最大値を周期ごとにプロットしたものであることから、前述の同定結果における伝達関数の周期ごとの大小関係とは必ずしも一致しない。

地盤の応答解析において応答スペクトルを評価する際には、特に、振幅の大きい長周期側（地盤の 1 次及び 2 次の固有周期に該当）の地震波の増幅を大きく評価した場合、短周期側の振幅も応答スペクトル上大きく評価することになることから、本評価においても、振動数依存性を考慮しない場合には地盤の 1 次及び 2 次固有周期における周期成分の地震動を地震観測記録に対して大きく評価した結果、全周期帯において大きな地震動を与える結果となったものとする。

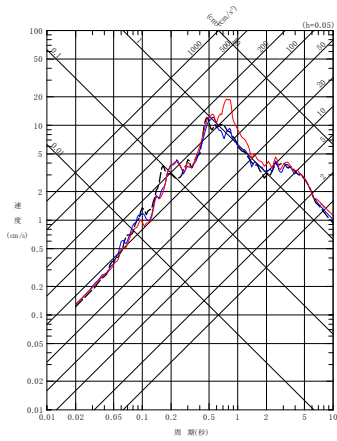
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



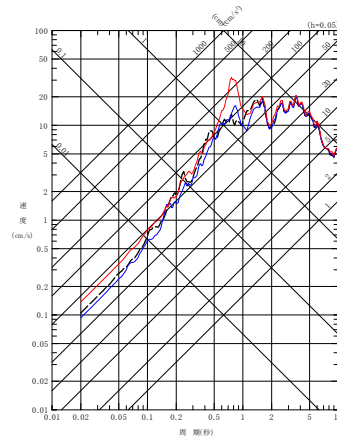
(a) NS 方向



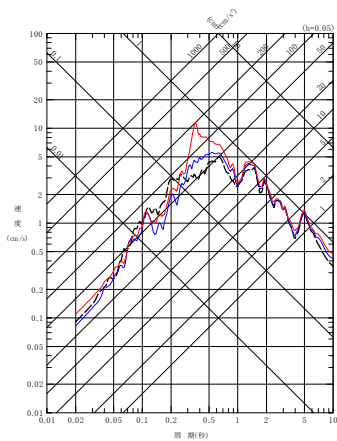
(a) NS 方向



(b) EW 方向

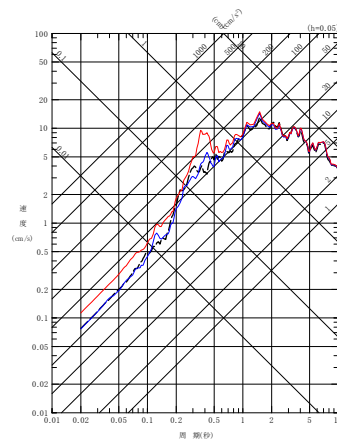


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200807240026 地震



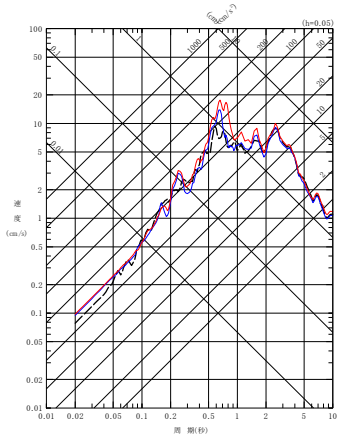
(c) UD 方向

(2) 201103111446 地震

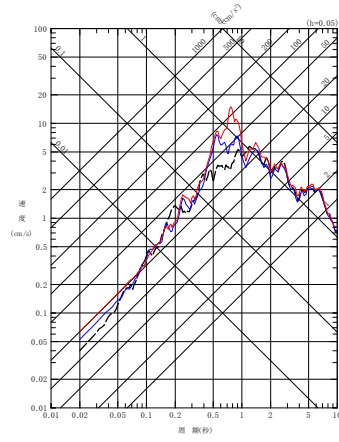
第 6.3.7.2-3 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (1/6)

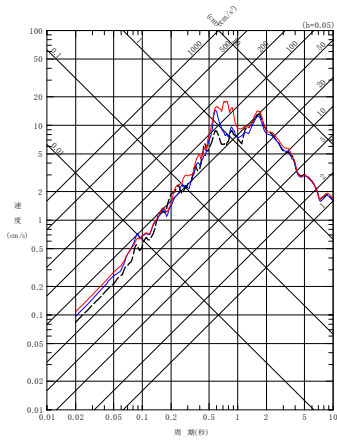
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



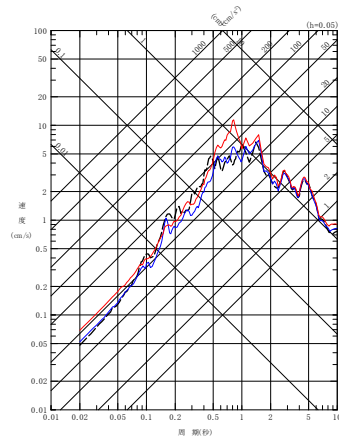
(a) NS 方向



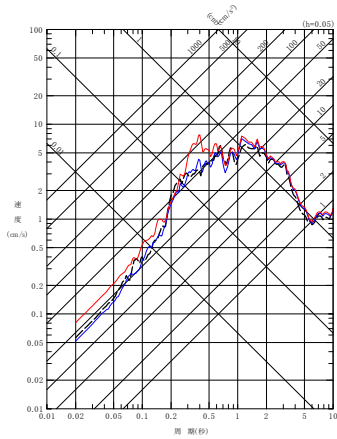
(a) NS 方向



(b) EW 方向

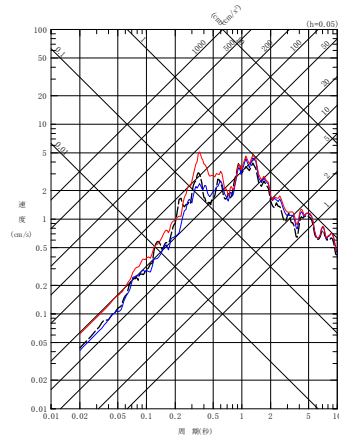


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 201103111508 地震



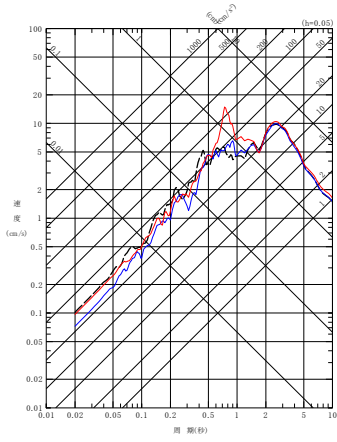
(c) UD 方向

(4) 201104072332 地震

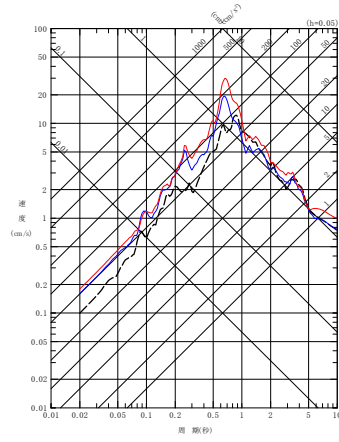
第 6.3.7.2-3 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (2/6)

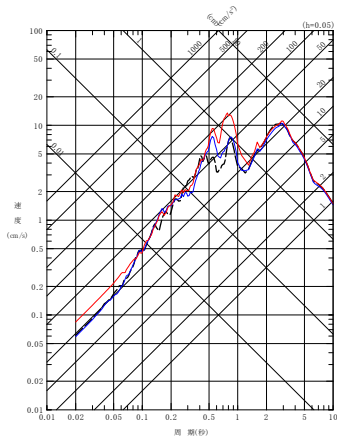
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



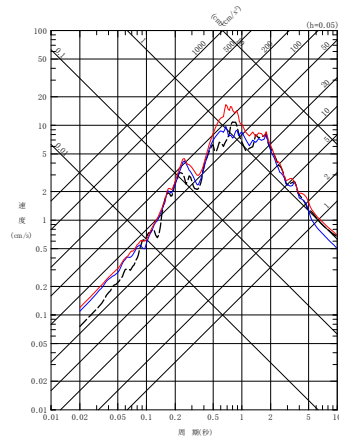
(a) NS 方向



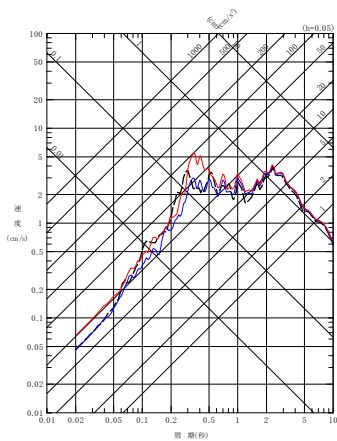
(a) NS 方向



(b) EW 方向

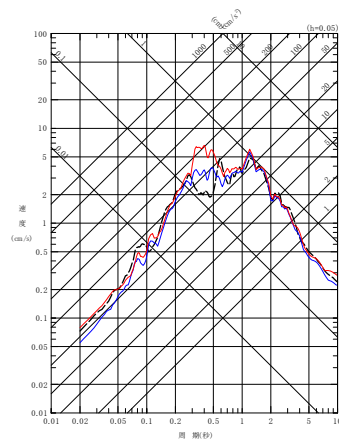


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 201106230650 地震

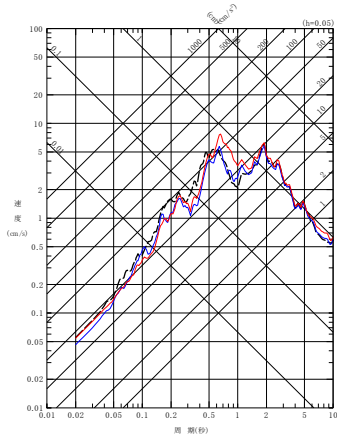


(c) UD 方向

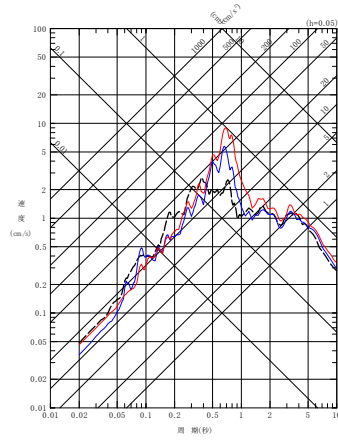
(6) 201205240002 地震

第 6.3.7.2-3 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)

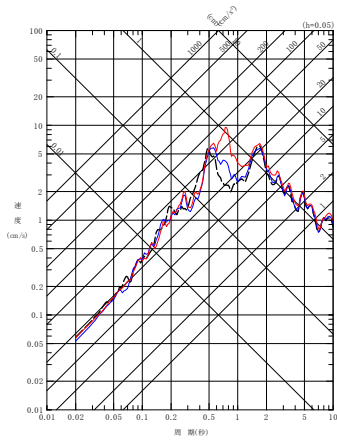
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



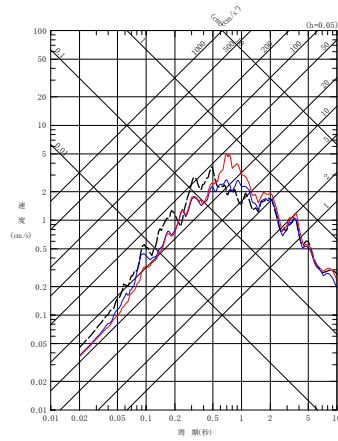
(a) NS 方向



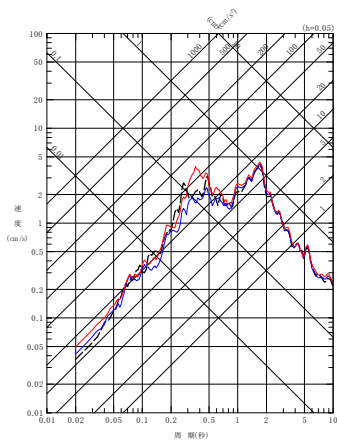
(a) NS 方向



(b) EW 方向

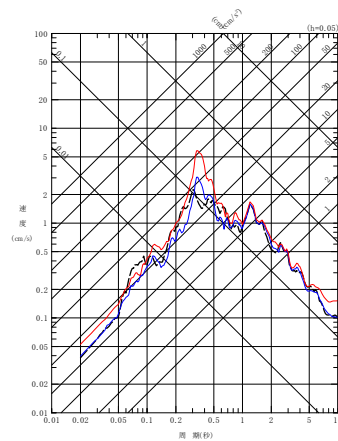


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201212071718 地震

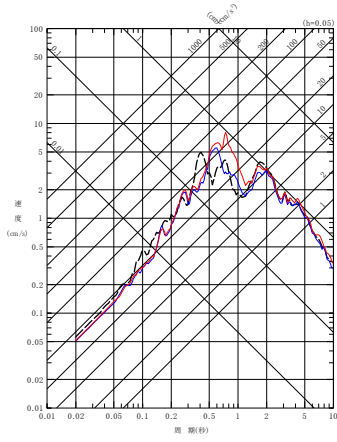


(c) UD 方向

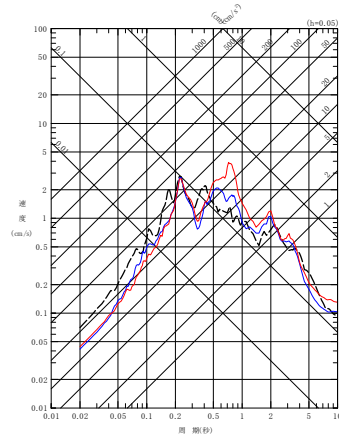
(8) 201408101243 地震

第 6.3.7.2-3 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)

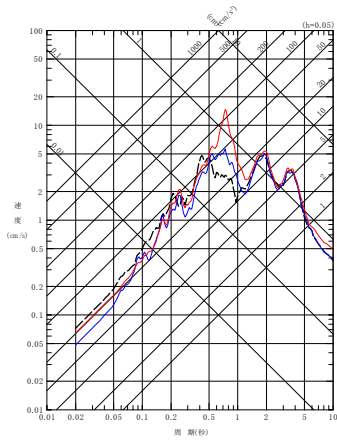
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



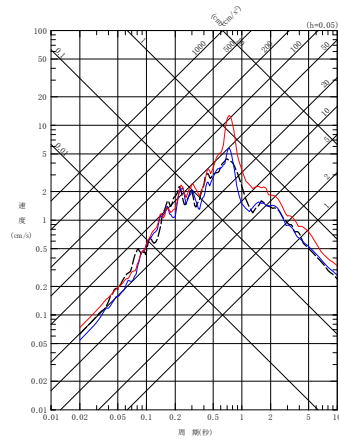
(a) NS 方向



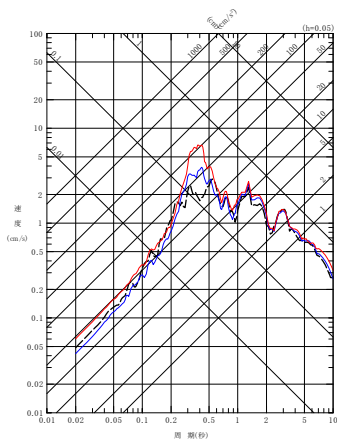
(a) NS 方向



(b) EW 方向

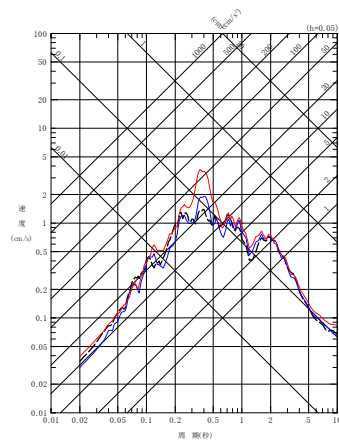


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201601141225 地震

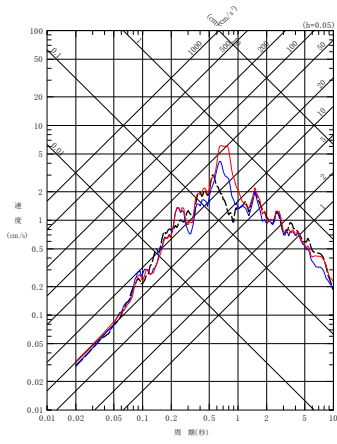


(c) UD 方向

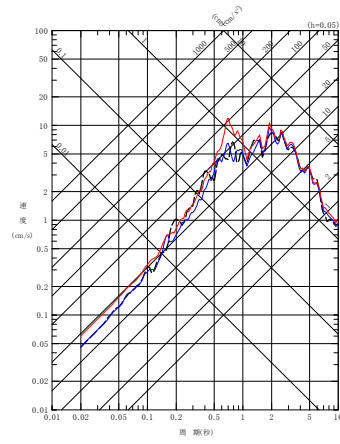
(10) 201908151432 地震

第 6.3.7.2-3 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)

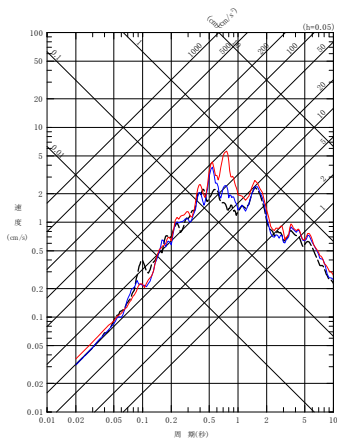
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



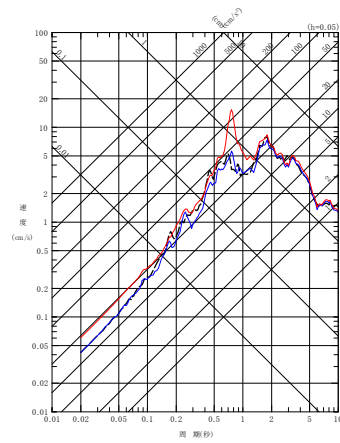
(a) NS 方向



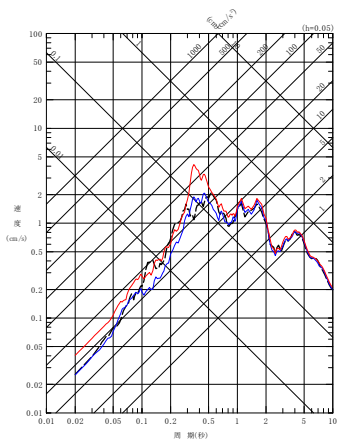
(a) NS 方向



(b) EW 方向

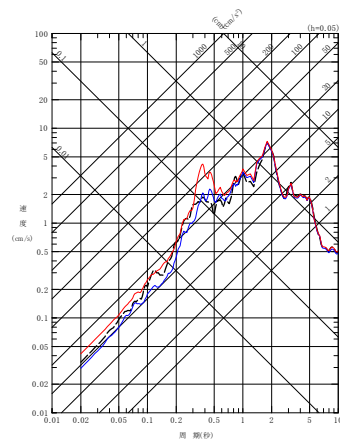


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 202012210223 地震



(c) UD 方向

(12) 202203162336 地震

第 6.3.7.2-3 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（GL-2m）を基準点としたときの解放基盤表面深さ（GL-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 (GL-2m) と解放基盤表面レベル (GL-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 (GL-2m) を基準点としたときの、解放基盤表面深さ (GL-125m) のデコンボリュ

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ュ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ュ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、「6.4.1 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ュ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ュ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現象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ュ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。

(a) 西側地盤

第 6.4.2-5 図 (b) 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西側地盤における速度時刻歴波形を示す。同図 (a) 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、同図 (b) に示す西側地盤については、岩盤部分の地震観測深さである GL-125m 及び GL-200m と比較して、表層地盤の地震観測深さである GL-2m 及び GL-18m においては、主要動終了後（2012 年 5 月 24 日の地震における約 20 秒以降、2019 年 8 月 15 日の地震における約 16 秒以降）に後続波が確認でき、表層地盤と岩盤部分で異なる経時特性の傾向を示している。

今後、上記に示した 2 地震以外の速度時刻歴波形についても示す。
(速度振幅の大きい地震を複数選定)

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 (1/2) 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、西側地盤については、地震観測位置において表層地盤が層厚約 30m 程度に厚く分布しており、さらに、表層地盤を構成する砂子又層上部層及び砂子又下部層の境界で大きなコントラストを有する速度構造となっている。さらに、第 6.4.2-6 図 (2/2) (b) に示したとおり、同定解析における初期モデルの作成時に参照した地震計設置位置における地下構造によれば、岩盤部分（泥岩（上部層））と表層地盤（砂子又層下部層）の境界面では、西側に向かって深くなる傾斜を有している。

このことから、西側地盤については、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表層地盤中の速度コントラストを有する境界面及び岩盤部分と表層地盤部分

の境界面で再度反射して上昇波となることで表層地盤内で重複反射を繰り返す傾向となり、さらに、岩盤部分と表層地盤部分の境界面における傾斜の影響によりその経時特性が複雑なものとなったために、表層地盤中の地震観測点における後続波が現れ、岩盤部分と表層地盤部分の経時特性が異なるものとなったと考えられる。

なお、上記の経時特性の特徴は、本地震観測地点が建屋位置よりも西側に位置し、岩盤部分（泥岩（上部層））と表層地盤（砂子又層下部層）の境界面に傾斜が見られる地点であることに起因するものであり、第 6.4.2-6 図(2/2)(b)に示すとおり、建物・構築物の位置する地点においては岩盤（泥岩（上部層））が基礎底面レベルまで達しており、上記のような傾斜構造は有しないことから、本地震観測地点特有のものである。

また、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(b)に示す。敷地に設置している地震観測装置については、定時校正が行われており、装置の異常は確認されていないこと、また、得られた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く、地震観測記録を本解析に用いる上で特異な傾向が無いことが確認できた。

このことから、西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、西側地盤における地震波干渉法の適用については、その手法における前提条件を踏まえると、本地震観測地点における地盤条件及び地震観測記録を用いての評価を行うことは困難であると判断した。

(b) 東側地盤

第 6.4.2-5 図 (c) 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 東側地盤における速度時刻歴波形 を示す。同図 (a) 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、同図 (c) に示す東側地盤 については、最深部の GL-200m と比較して、主要動終了後 (2012 年 5 月 24 日の地震における約 17 秒以降、2019 年 8 月 15 日の地震における約 16 秒以降)、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。

今後、上記に示した 2 地震以外の速度時刻歴波形についても示す。
(速度振幅の大きい地震を複数選定)

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 (1/2) 及び第 6.4.2-6 図 (2/2) (c) 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、上記の経時特性の特徴は、本地震観測地点が大規模掘削の外側に位置し、敷地造成時の盛土が残っている地点であることから、建物・構築物周辺の埋戻し土と比較して剛性の小さい盛土が厚く分布し

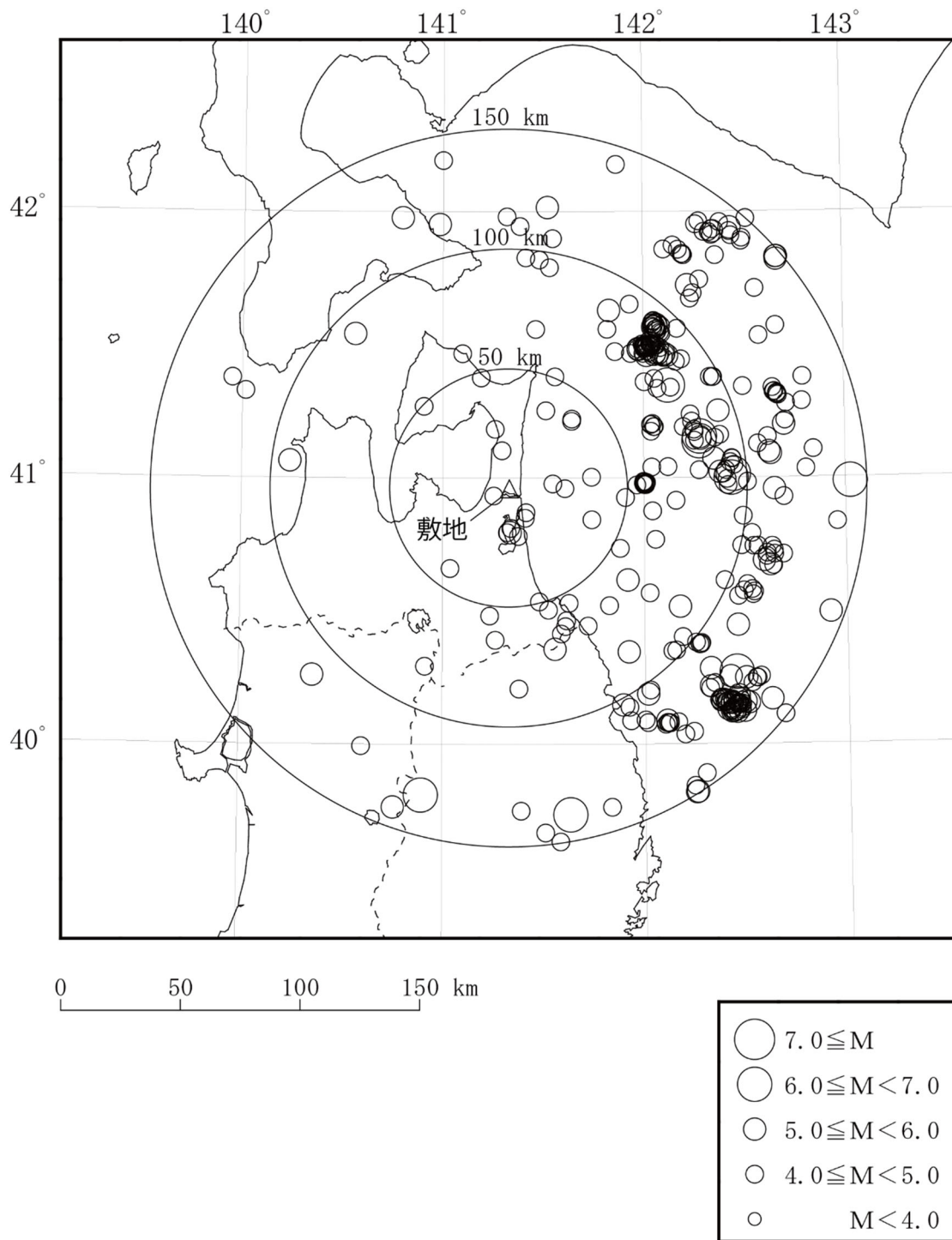
ていることに起因するものであり，本地震観測地点特有のものである。

また，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6.4.2-6図(2/2)(c)に示す。敷地に設置している地震観測装置については，定時校正が行われており，装置の異常は確認されていないこと，また，得られた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く，地震観測記録を本解析に用いる上で特異な傾向が無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，東側地盤における地震波干渉法の適用については，その手法における前提条件を踏まえると，本地震観測地点における地盤条件及び地震観測記録を用いての評価を行うことは困難であると判断した。



第 6.4.2-1 図 評価に用いた地震の震央位置

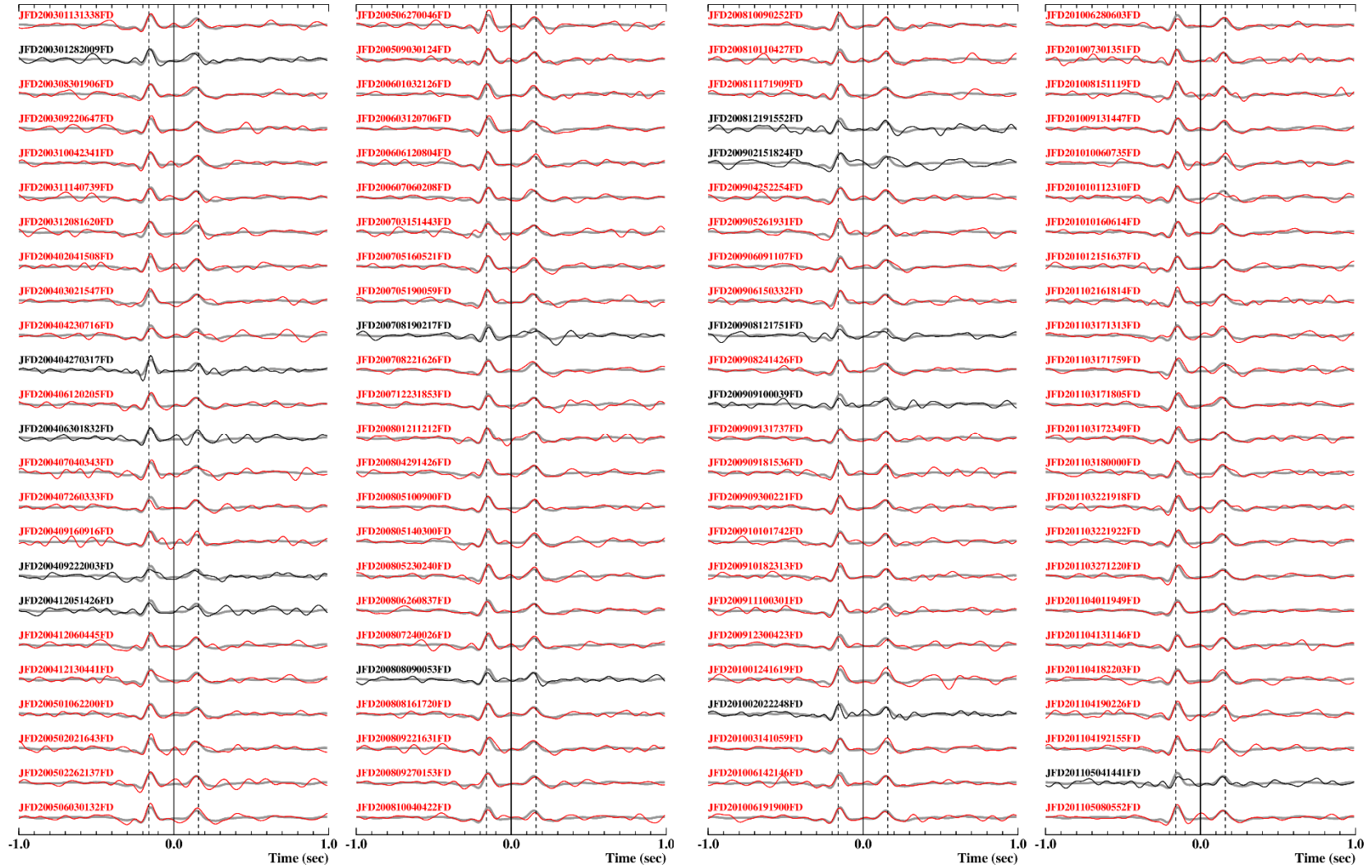
第 6.4.2-1 表 Anderson(2004)における GOF に対する判定の考え方

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）



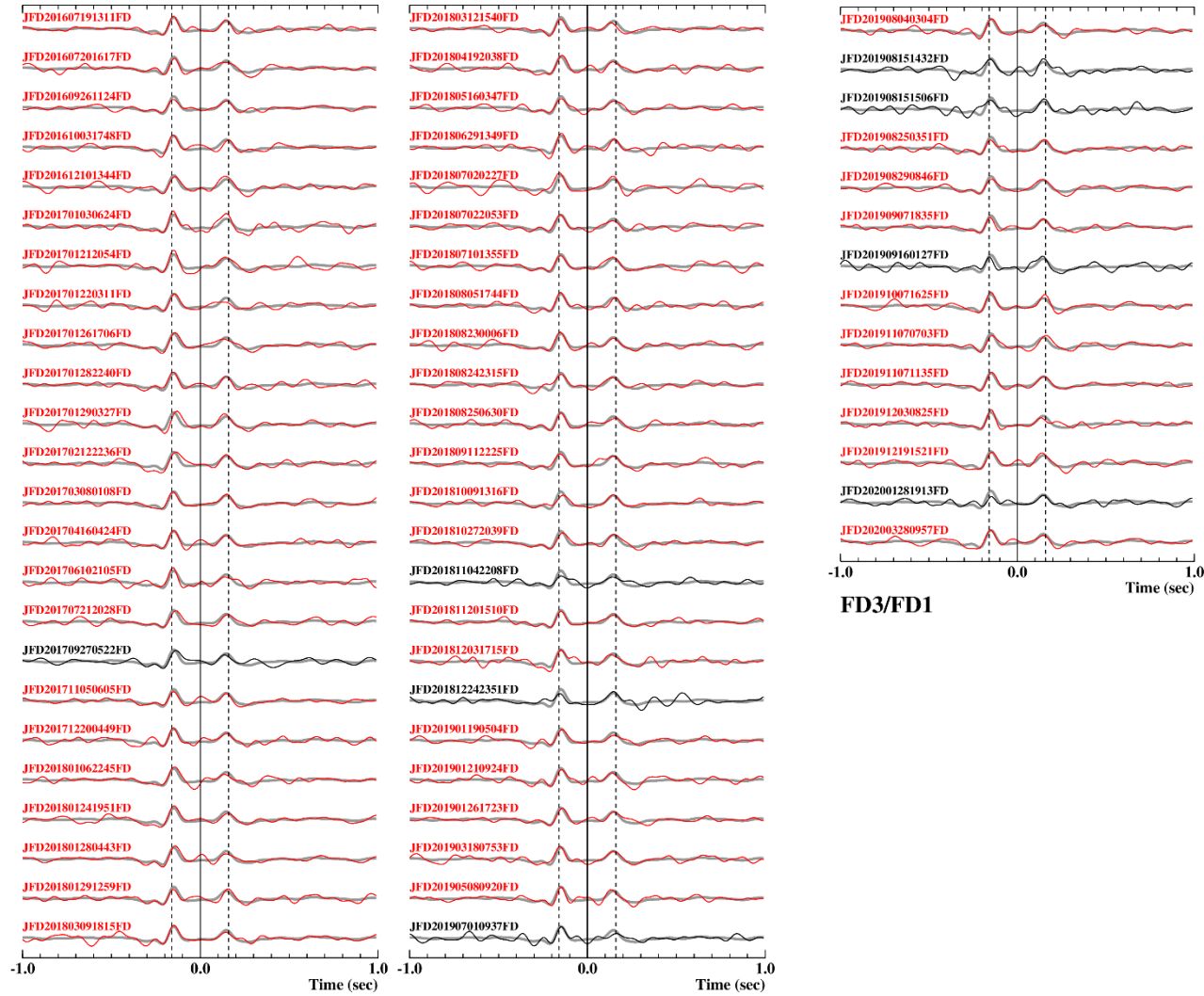
注記：GOF が8 以上のデコンボリューション波形は赤色で示す。

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）



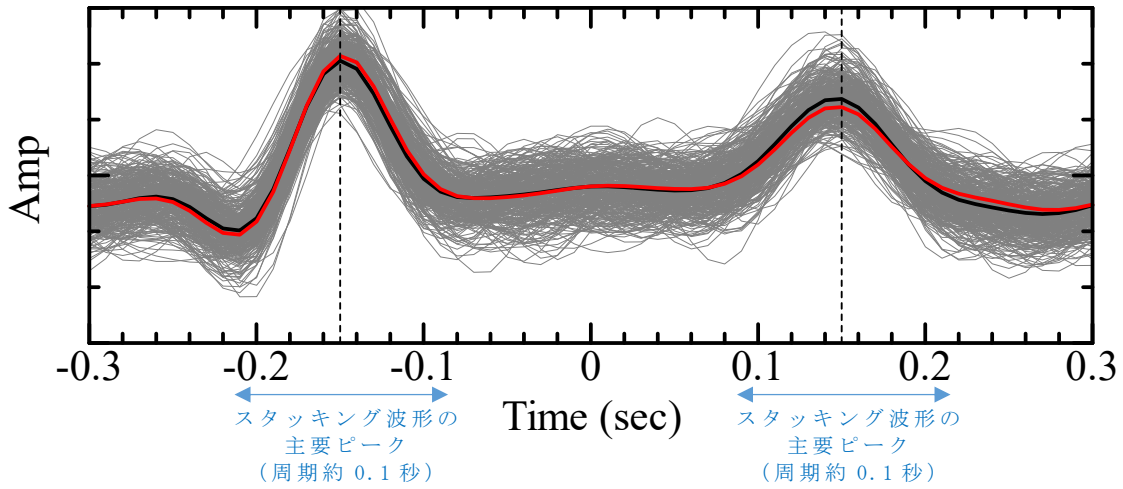
注記：GOF が8 以上のデコンボリューション波形は赤色で示す。

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：GOF ≥ 8 の 311 個の個々の地震記録によるデコンボリューション波形

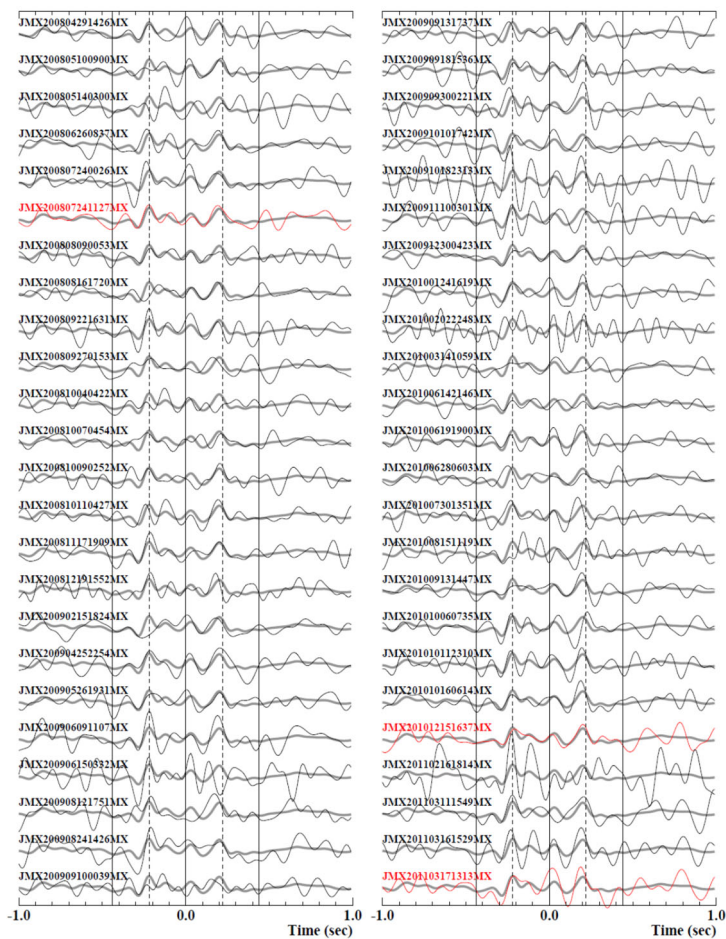
黒線：311 個の地震記録のスタッキング（平均）波形

赤線：311 個の地震記録中、入射波 \geq 反射波となる地震記録のスタッキング（平均）波形

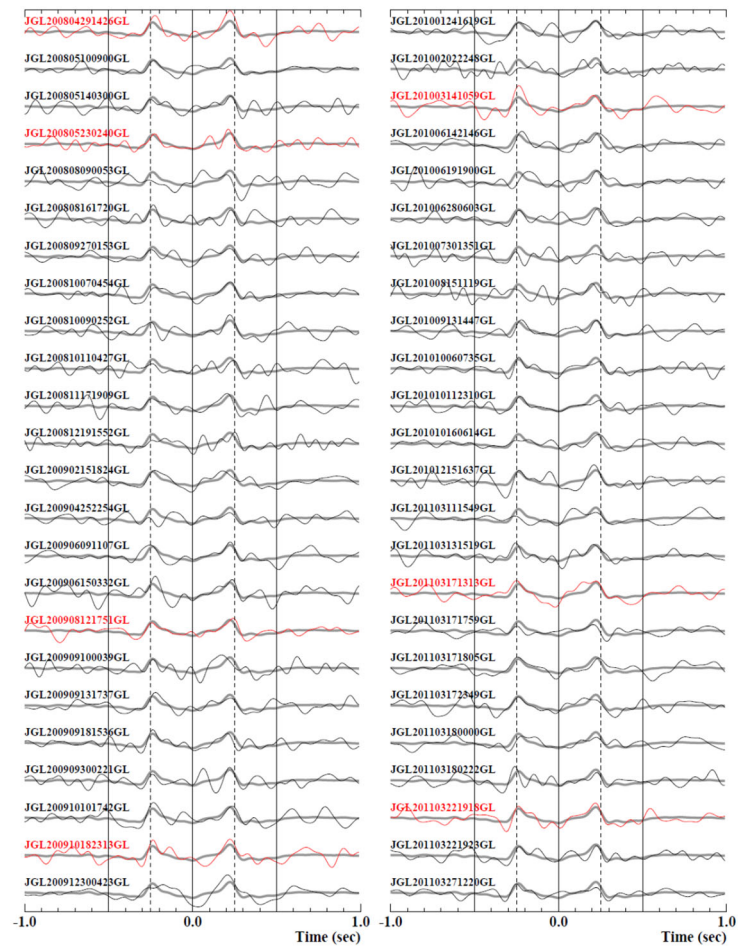


注記：鎖線は、スタッキング波形のピーク時刻（ ± 0.15 秒）を示す。

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



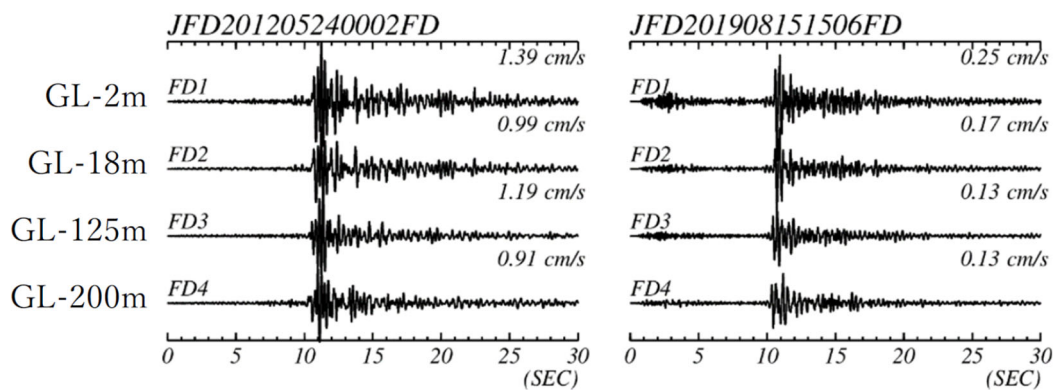
(a) 東側地盤



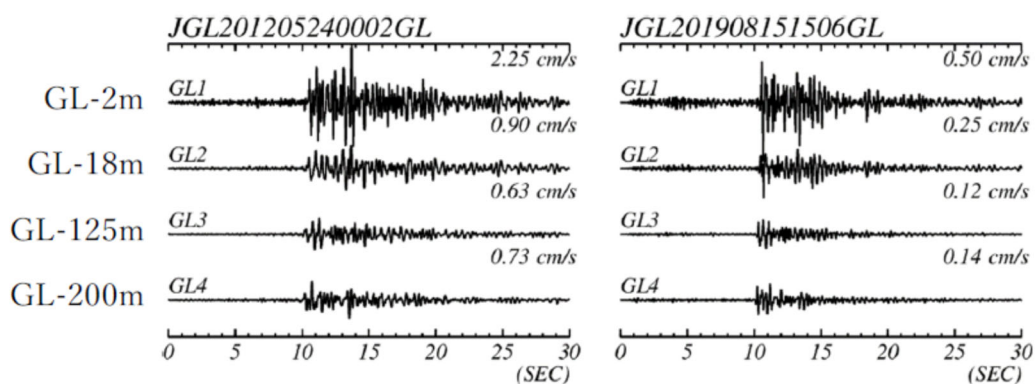
(b) 西側地盤

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。

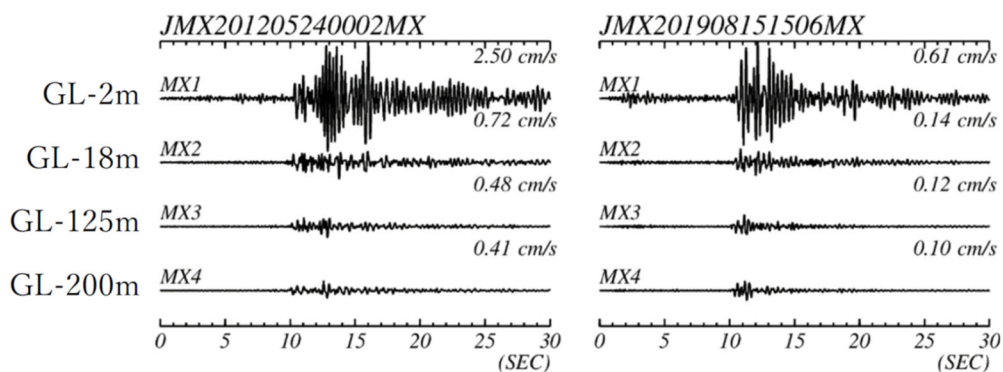
第6.4.2-4図 西側地盤及び東側地盤におけるデコンボリューション波形（一部例）



(a) 中央地盤観測点



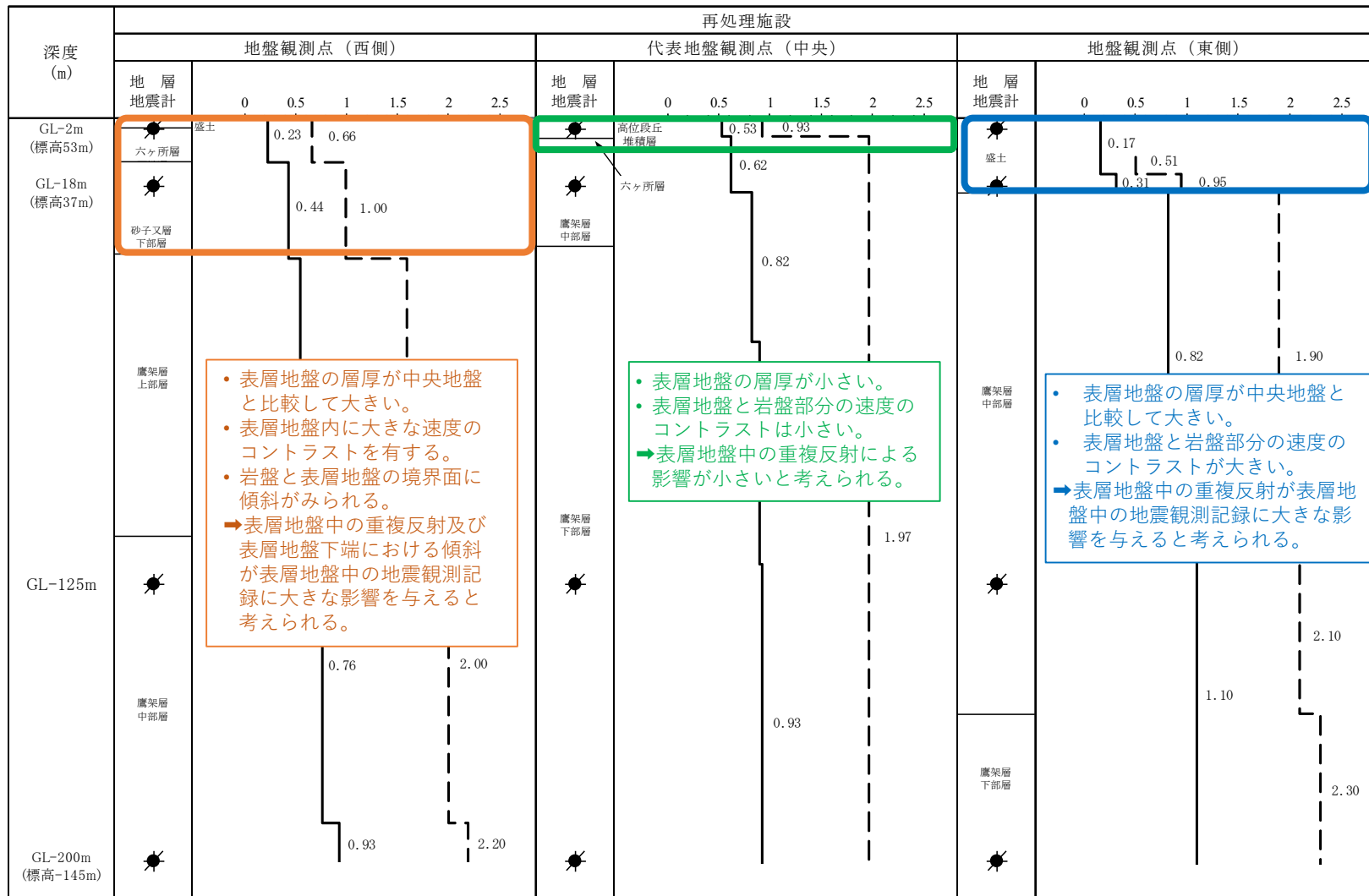
(b) 西側地盤観測点



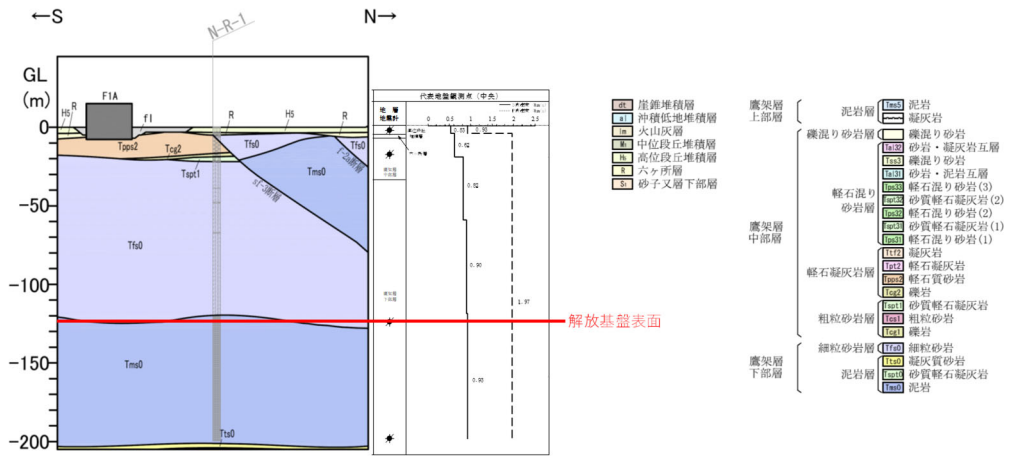
(c) 東側地盤観測点

今後、上記に示した2地震以外の速度時刻歴波形についても示す。
 (加速度の大きい地震を複数選定。)

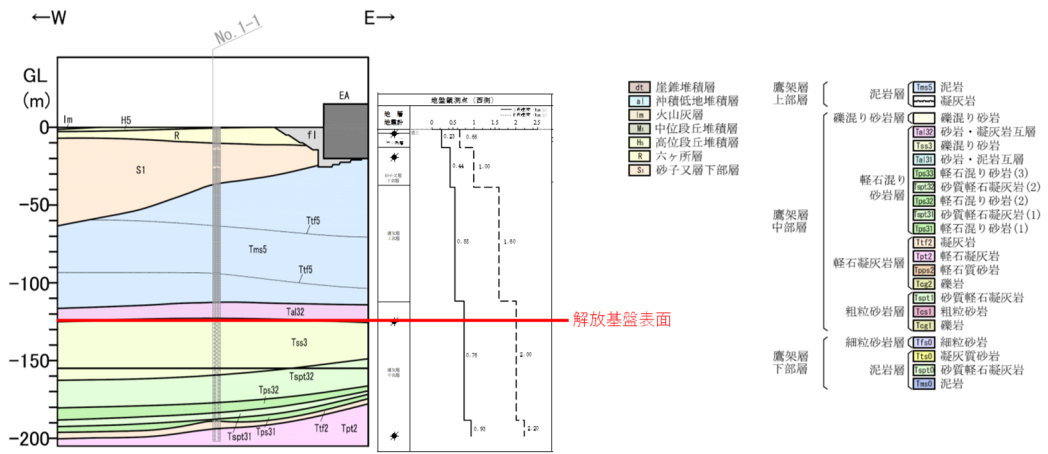
第 6.4.2-5 図 各深さにおける地震観測記録 (速度時刻歴波形)



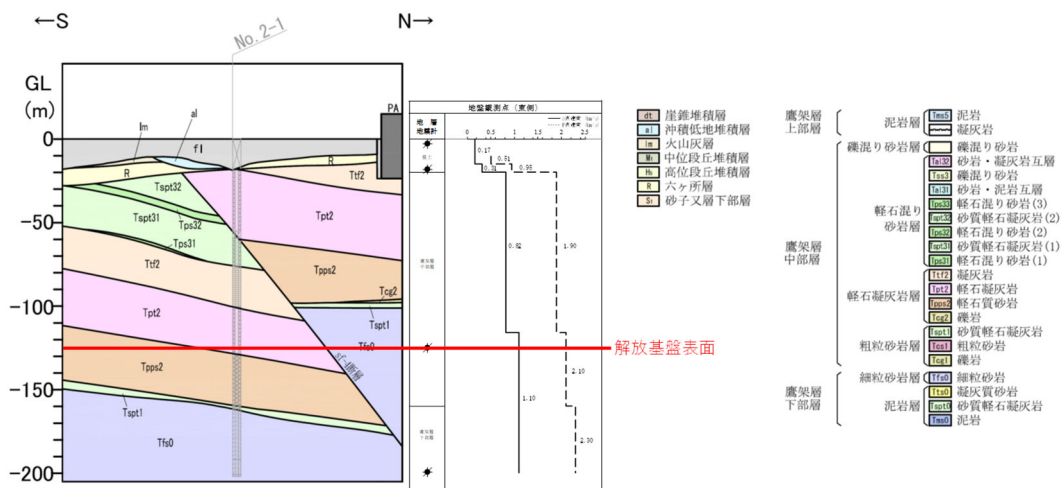
第 6.4.2-6 図 (1/2) 各地震観測位置における表層地盤部分の特徴



(a) 中央地盤（南北断面）

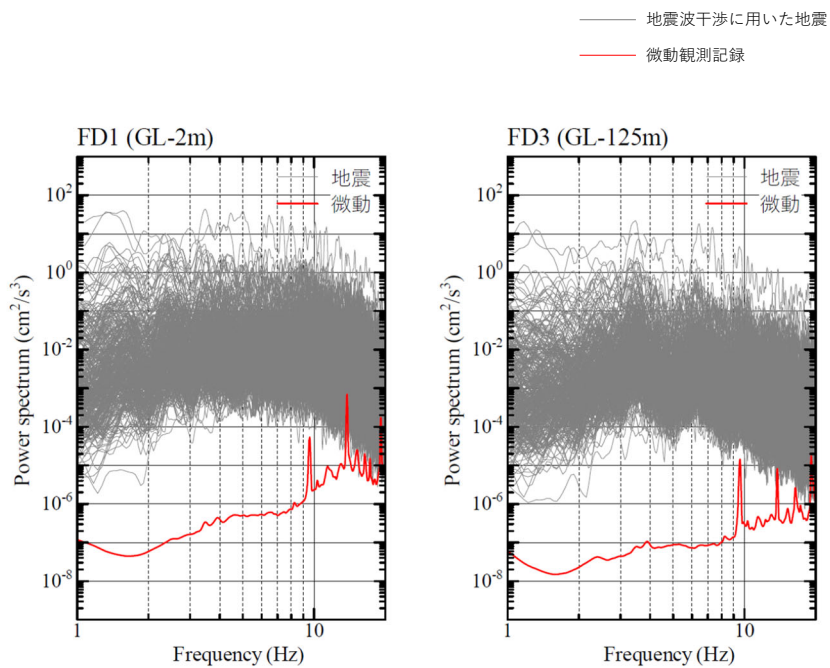


(b) 西側地盤（東西断面）

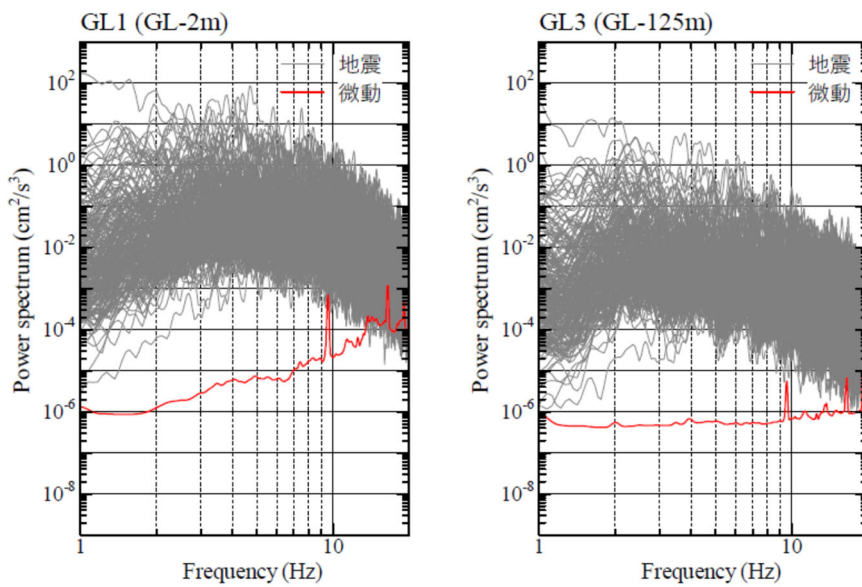


(c) 東側地盤（南北断面）

第 6.4.2-6 図 (2/2) 各地震観測位置における表層地盤部分の特徴

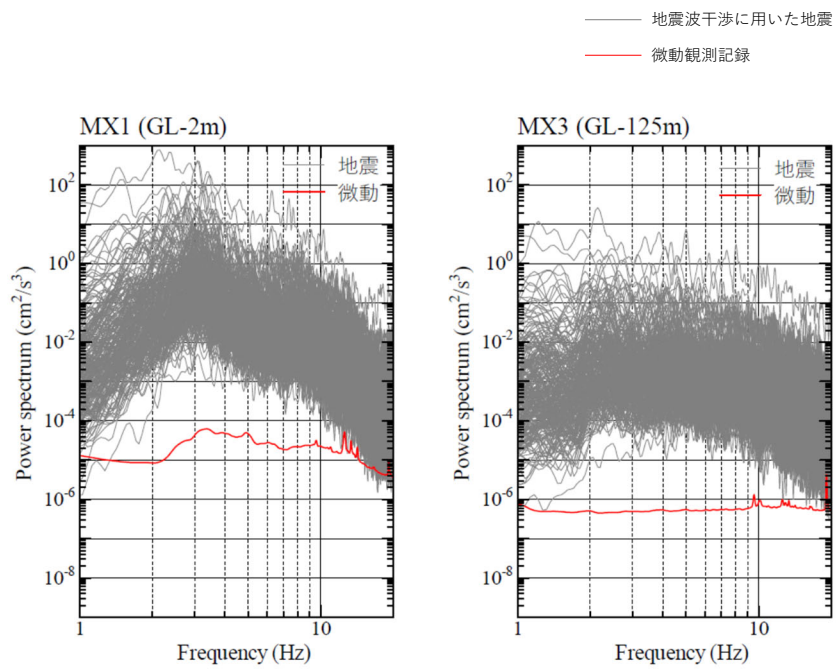


(a) 中央地盤観測点



(b) 西側地盤観測点

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 (1/2)



(c) 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 (2/2)

6.4.3 減衰定数の推定結果

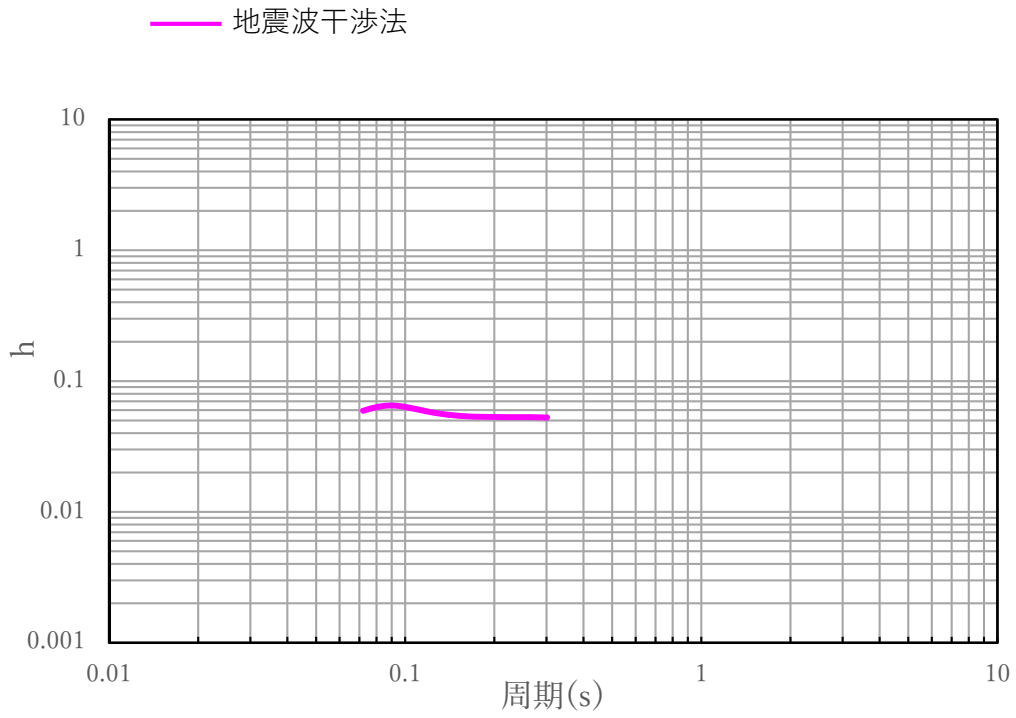
各地震のデコンボリューション波形における，入射波に対する反射波の振幅の比率に基づき減衰定数を評価した結果を第 6.4.3-1 図に示す。

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 振動数依存性を考慮する場合の評価結果」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。

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。

また，評価された減衰定数の大きさについては，表層地盤と岩盤部分の両方を含んだ平均的な減衰定数として与えられるものであるが，中央地盤観測点については，表層地盤の厚さは岩盤部分に対して十分に層厚が小さいことから，本評価において評価された減衰定数は，岩盤部分における減衰定数が支配的な値となっ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, 追加調査結果を踏まえて改めて見直しを行う。

「3.3 敷地における減衰定数の評価方法」に示した速度構造を踏まえた考察については, 本章において, 各 Gr において得られた追加調査結果等を踏まえて記載する。

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。

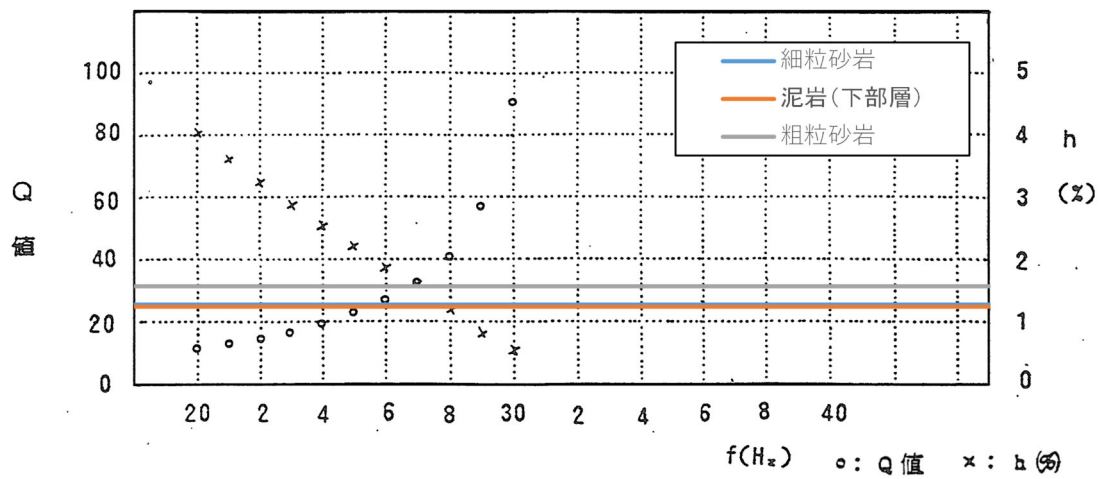
- ・ 細粒砂岩：1.29%
- ・ 泥岩（下部層）：1.25%
- ・ 粗粒砂岩：1.58%

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、「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、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。

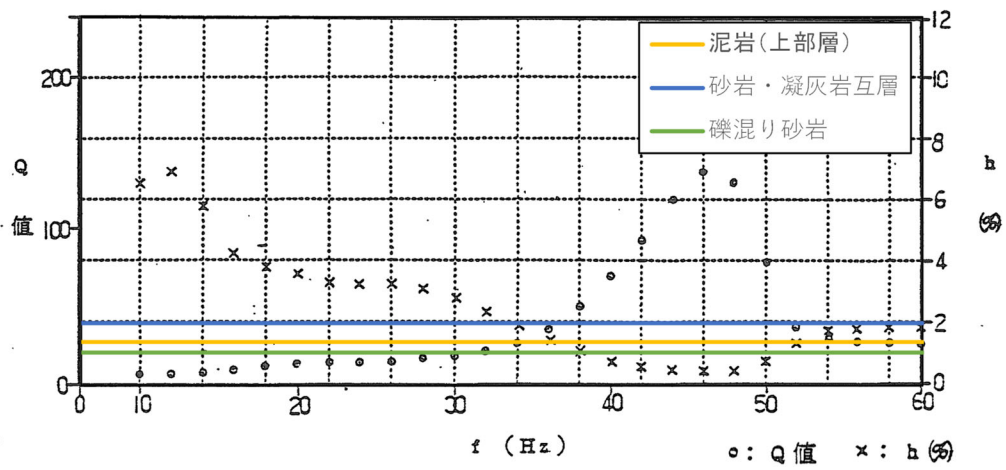
- ・ 泥岩（上部層）：1.42%
- ・ 砂岩・凝灰岩互層：2.04%
- ・ 礫混り砂岩：1.08%

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、「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、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。

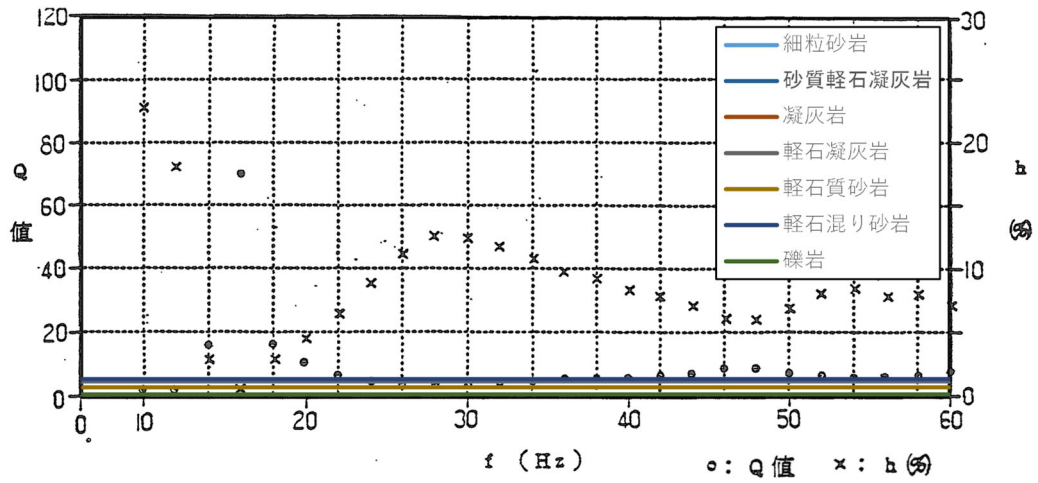
- ・ 砂質軽石凝灰岩：1.48%
- ・ 凝灰岩：1.47%
- ・ 軽石凝灰岩：1.34%
- ・ 軽石質砂岩：0.826%
- ・ 軽石混り砂岩：1.48%
- ・ 礫岩：0.274%
- ・ 細粒砂岩：1.58%

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、「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、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、西側地盤で580~660m/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「($V_s700\text{m/s}$)」)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

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

(b) OBS-B

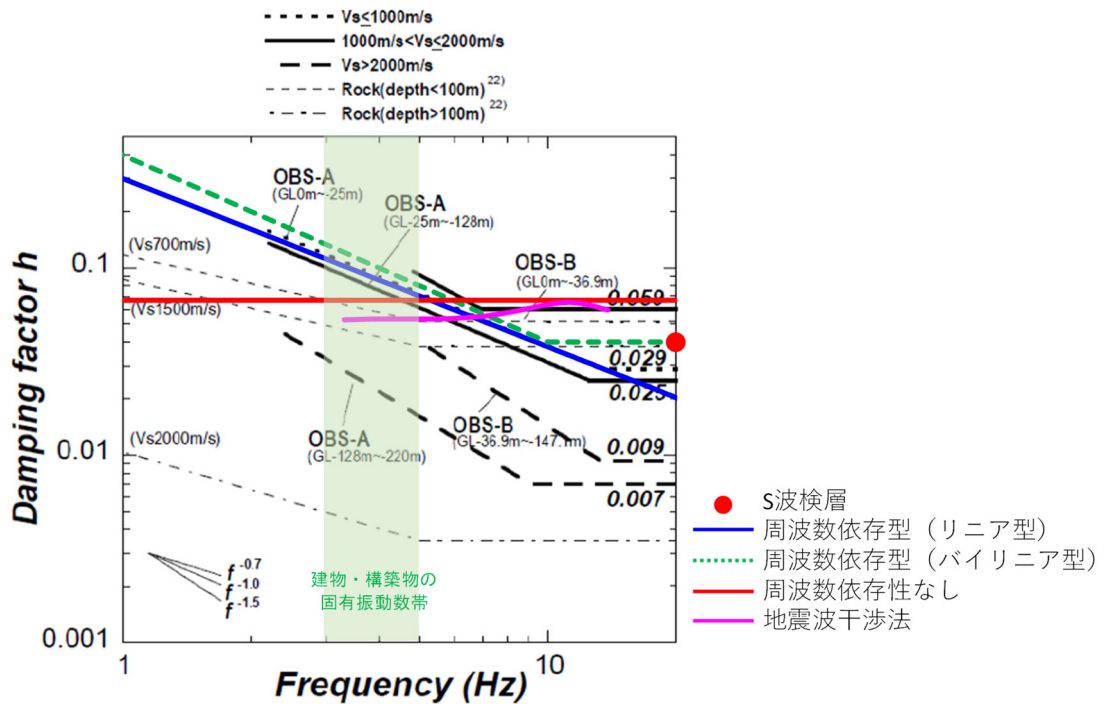
深さ (GL) (m)	S 波速度 (m/s)	主な構成岩種
0～-36.9	1016～1812	砂岩や頁岩等の堆積岩
-36.9～-147.7	1811～2610	

(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。



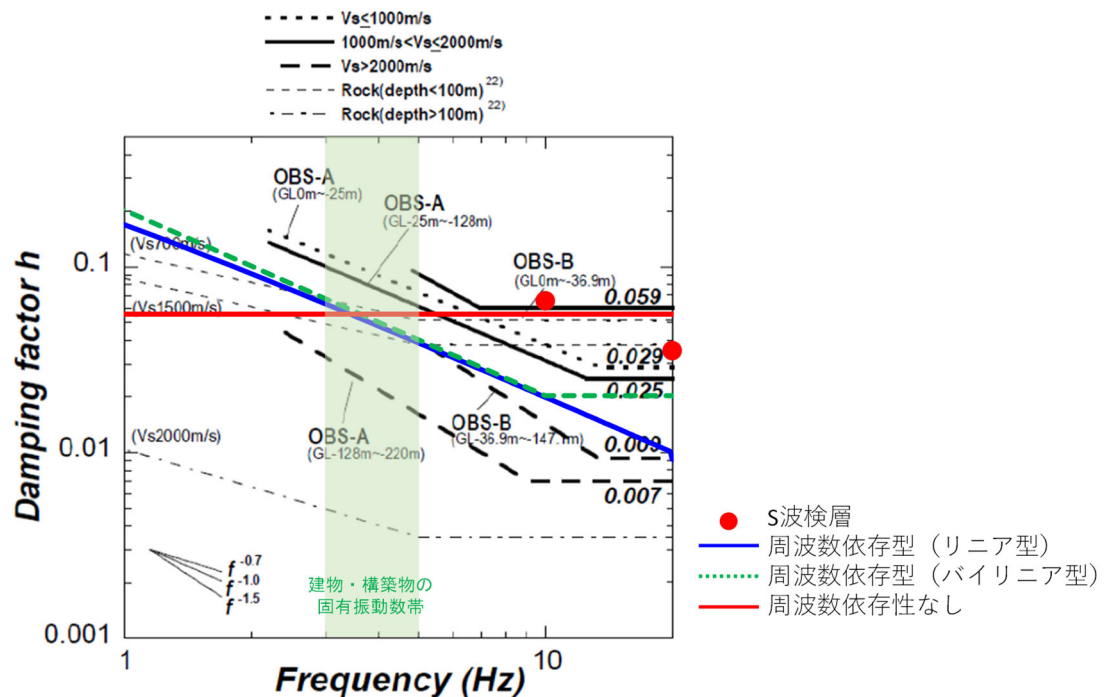
第 7.1.2-1 図 佐藤ほか（2006）による岩盤観測点における減衰定数 h ($h=1/2Q$) 推定結果に対する中央地盤における同定結果の比較結果（図中点線は、福島ほか（1994）による減衰定数の経験的な値）

(2) 西側地盤

西側地盤における比較結果を第 7.1.2-2 図に示す。西側地盤については、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。



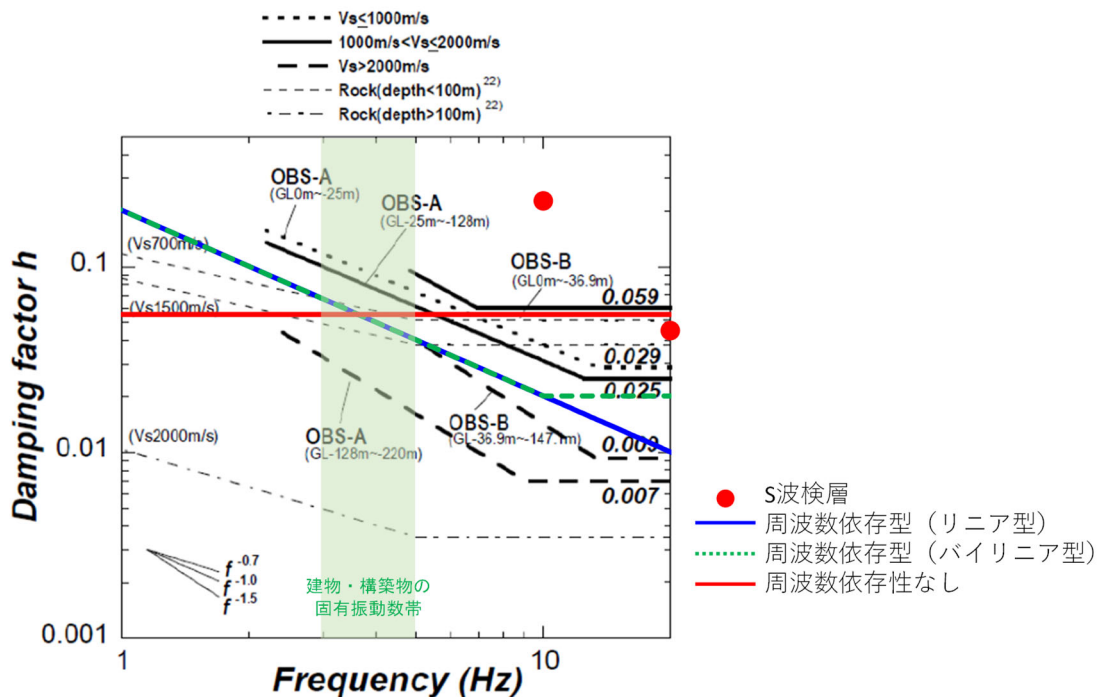
第 7.1.2-2 図 佐藤ほか (2006) による岩盤観測点における減衰定数 h ($h=1/2Q$) 推定結果に対する西側地盤における同定結果の比較結果 (図中点線は、福島ほか (1994) による減衰定数の経験的な値)

(3) 東側地盤

東側地盤における比較結果を第 7.1.2-3 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。



第 7.1.2-3 図 佐藤ほか（2006）による岩盤観測点における減衰定数 h ($h=1/2Q$) 推定結果に対する東側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、追加調査結果によるデータを確認した上で、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。

「7.1.3 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、岩盤部分については、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、西側地盤及び東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)

西側地盤：水平方向 5.5% 鉛直方向 9.3% (鉛直/水平=1.69)

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、西側地盤においては上記知見の範囲内であり、中央地盤及び東側地盤において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，追加調査結果によるデータを確認した上で，各グループにおいて「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。

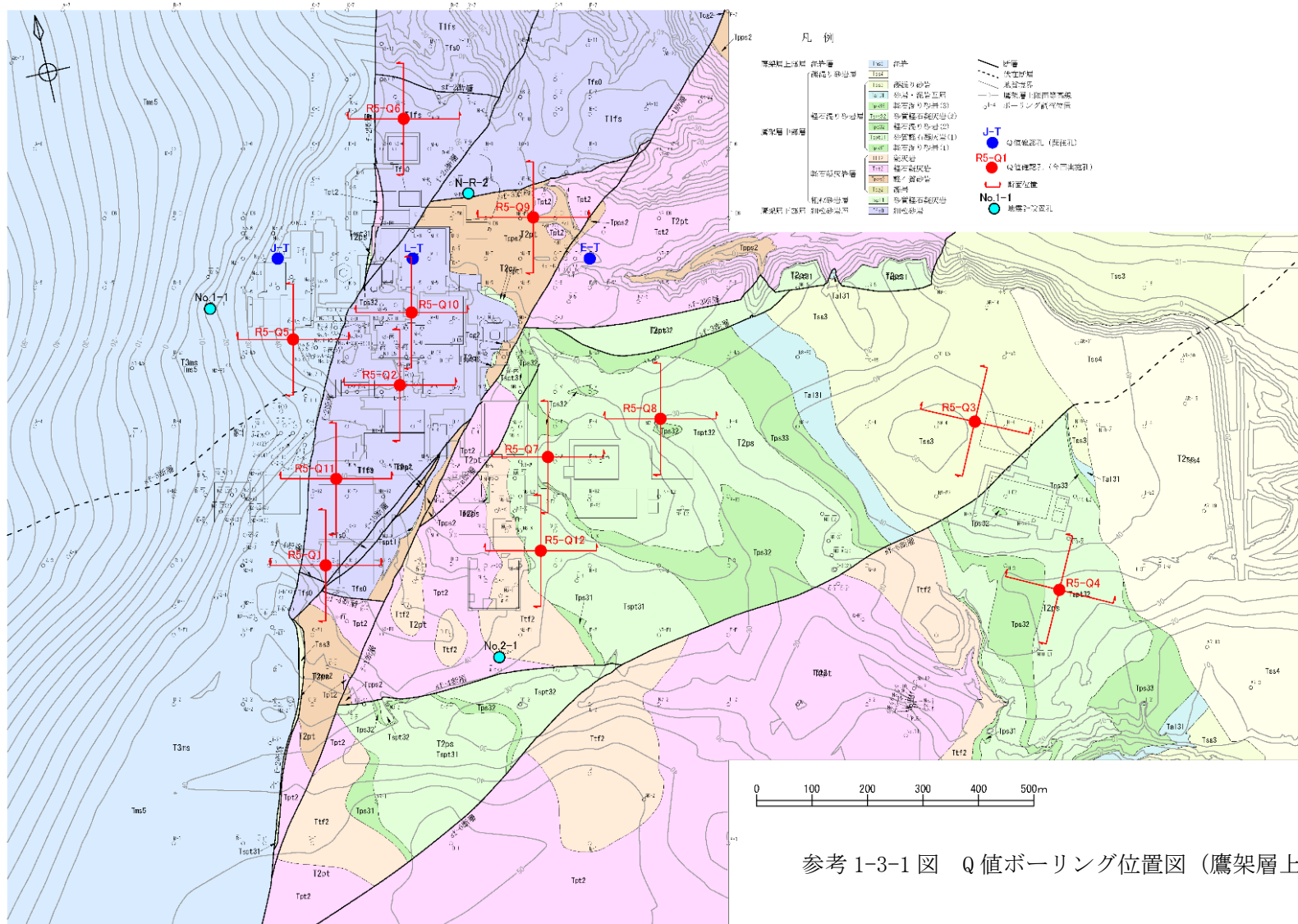
東側地盤：既往 E-T 孔は、建物から離れた位置で実施していること、また、東側地盤は南北に建物が分布していることから、R5-Q7 及び R5-Q12 を追加する。

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。

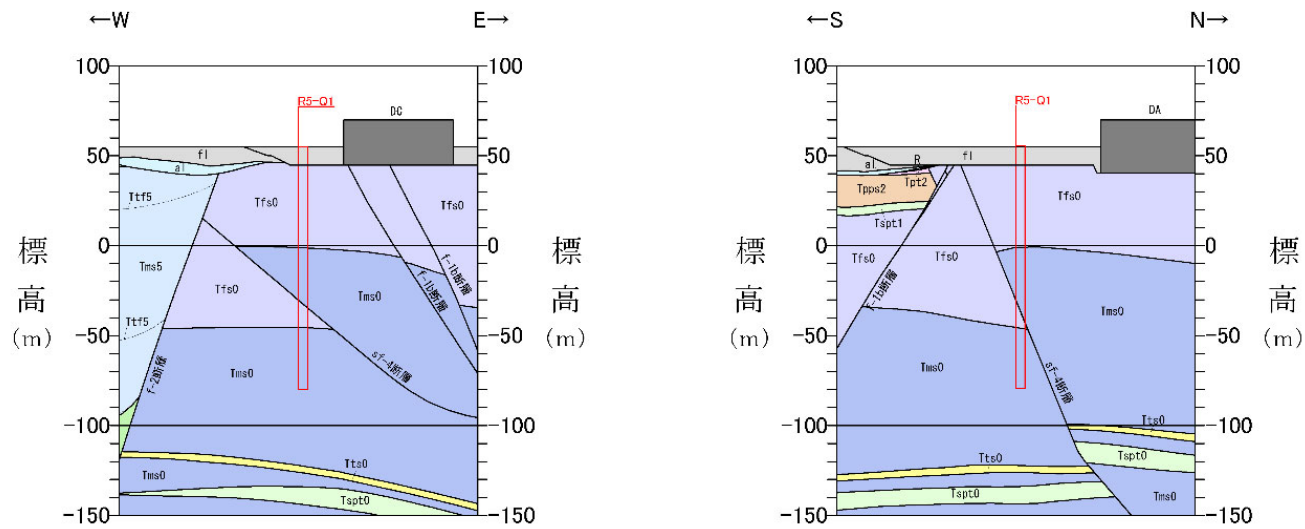
Q 値測定孔の敷地内での配置条件としては、弾性波測定であることから伝達速度に影響を与える建物・構築物からの離隔を十分に確保する。

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。

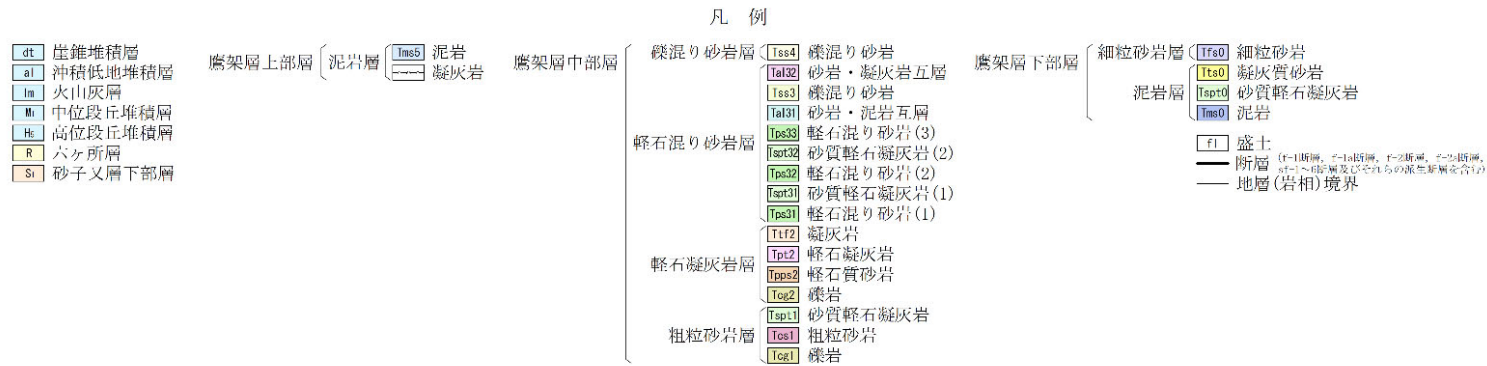
選定位置の状況を参考 1-3-3 図及び参考 1-3-1 表に示す。選定したボーリング孔から最寄り建屋までの離隔距離として最も短い R5-Q11 孔は 10m 程度であるが、震源をボーリング孔から建屋の反対方向 (北側) に設定することにより、建屋などの既設構造による反射波等の影響を受けることはない想定している。また、解析に使用する直達波以外の反射波等は時間的に直達波のあとから到達し、その特徴から直達波と分離、除去することが可能である。地表面が舗装されている箇所については、波形に影響がないことを事前に確認し、影響がある場合は舗装の撤去等処理を加えた状態で実施するものとする。



参考 1-3-1 図 Q 値ボーリング位置図 (鷹架層上限面)

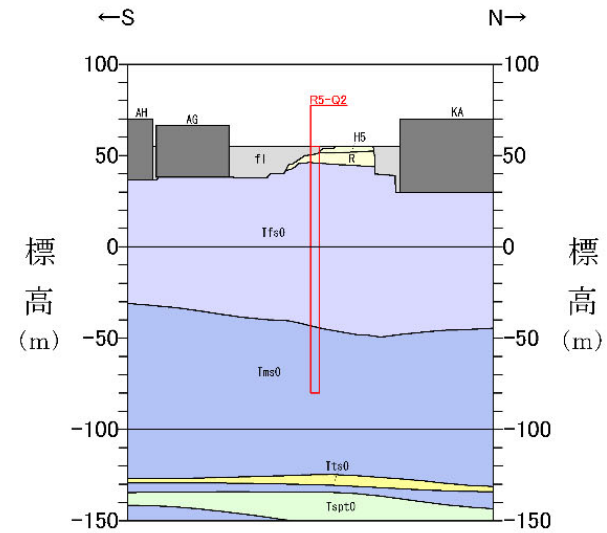
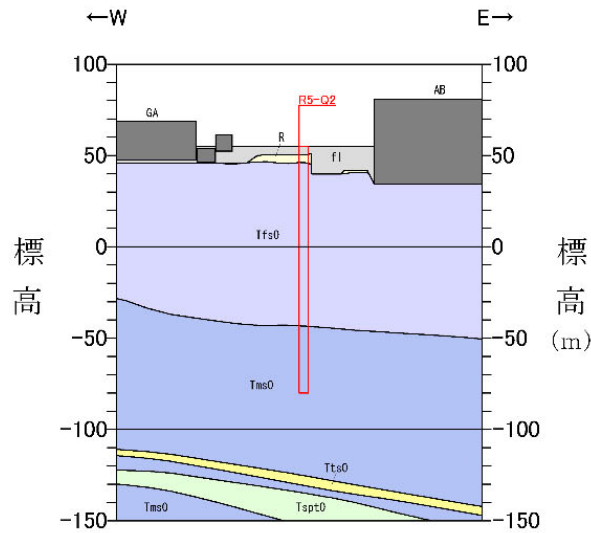


R5-Q1

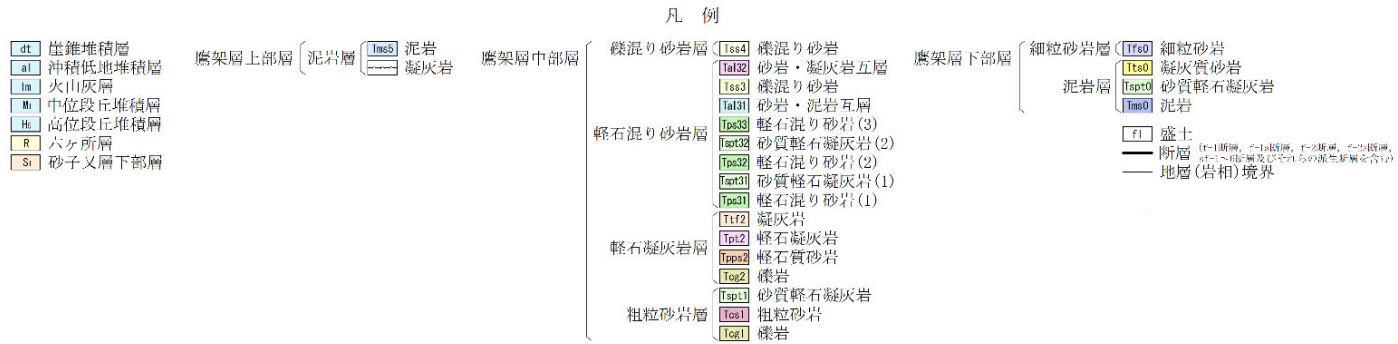


参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (1/12)

参考-6

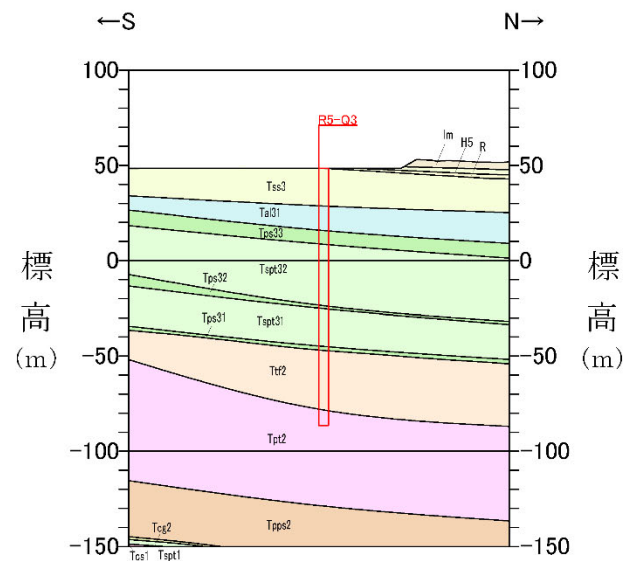
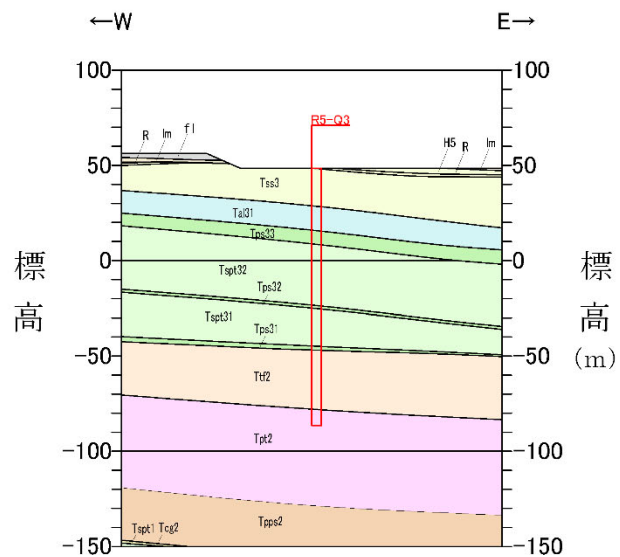


R5-Q2



参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (2/12)

参考-7



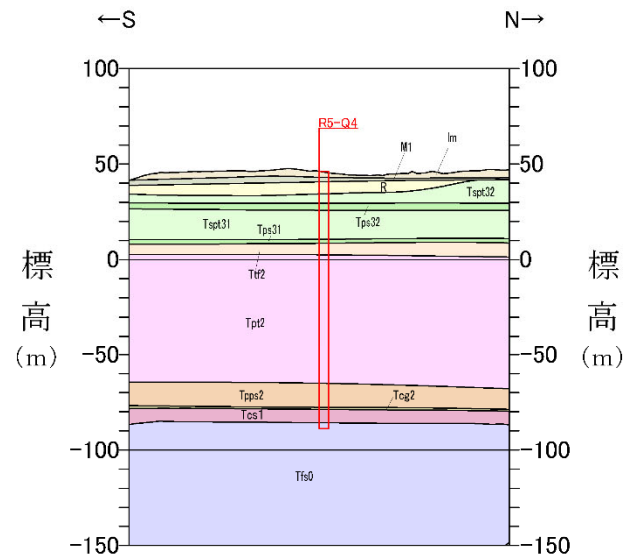
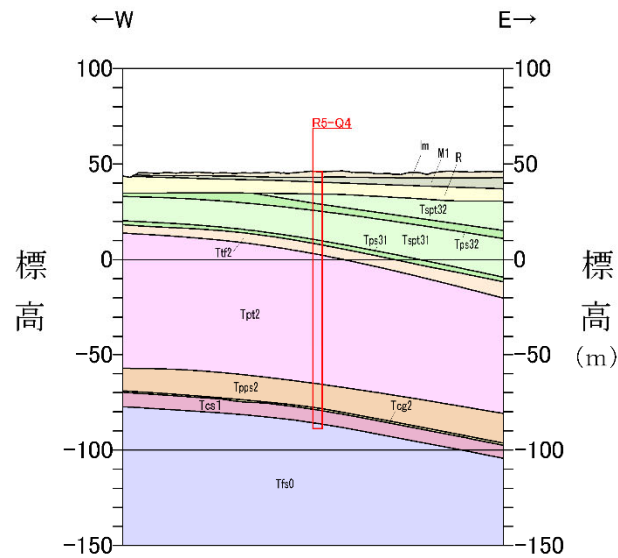
R5-Q3

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>Hs</td><td>高位段丘堆積層</td></tr> <tr><td>R</td><td>六ヶ所層</td></tr> <tr><td>Si</td><td>砂子叉層下部層</td></tr> </table>	dt	崖錐堆積層	al	沖積低地堆積層	lm	火山灰層	Mi	中位段丘堆積層	Hs	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>Tal32</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>Tal31</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>軽石混り砂岩(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>Tsp1</td><td>砂質軽石凝灰岩</td></tr> <tr><td>Tos1</td><td>粗粒砂岩</td></tr> <tr><td>Tos1</td><td>礫岩</td></tr> </table>	Tss4	礫混り砂岩	Tal32	砂岩・凝灰岩互層	Tss3	礫混り砂岩	Tal31	砂岩・泥岩互層	Tps33	軽石混り砂岩(3)	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)	Tt2	凝灰岩	Tpt2	軽石凝灰岩	Tps2	軽石質砂岩	Tcg2	礫岩	Tsp1	砂質軽石凝灰岩	Tos1	粗粒砂岩	Tos1	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																																																										
Hs	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																																																										
Tal32	砂岩・凝灰岩互層																																																										
Tss3	礫混り砂岩																																																										
Tal31	砂岩・泥岩互層																																																										
Tps33	軽石混り砂岩(3)																																																										
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)																																																										
Tt2	凝灰岩																																																										
Tpt2	軽石凝灰岩																																																										
Tps2	軽石質砂岩																																																										
Tcg2	礫岩																																																										
Tsp1	砂質軽石凝灰岩																																																										
Tos1	粗粒砂岩																																																										
Tos1	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, F1=2階層, F1=3階層, F1=4階層, F1=5階層, F1=6階層, F1=7階層, F1=8階層, F1=9階層, F1=10階層)
 (F2) 断面
 (F3) 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

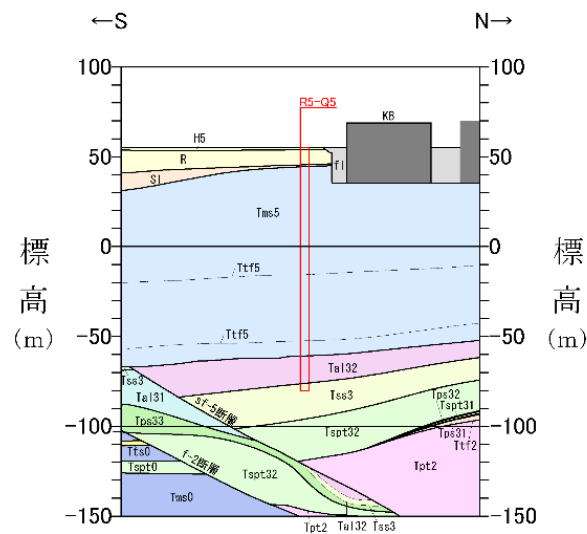
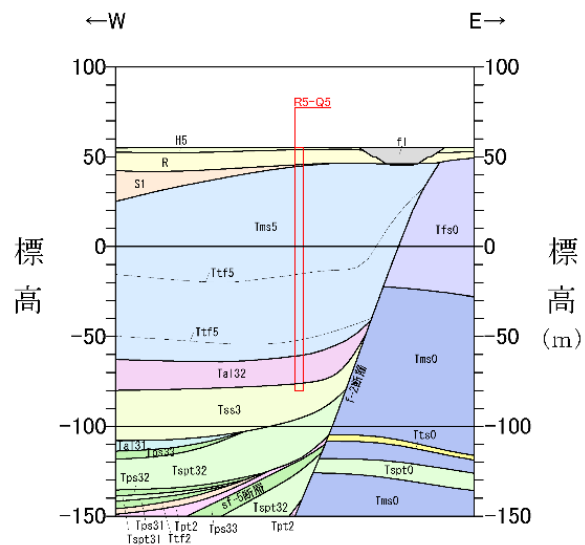
鷹架層下部層

- 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
- (Tms0) 泥岩

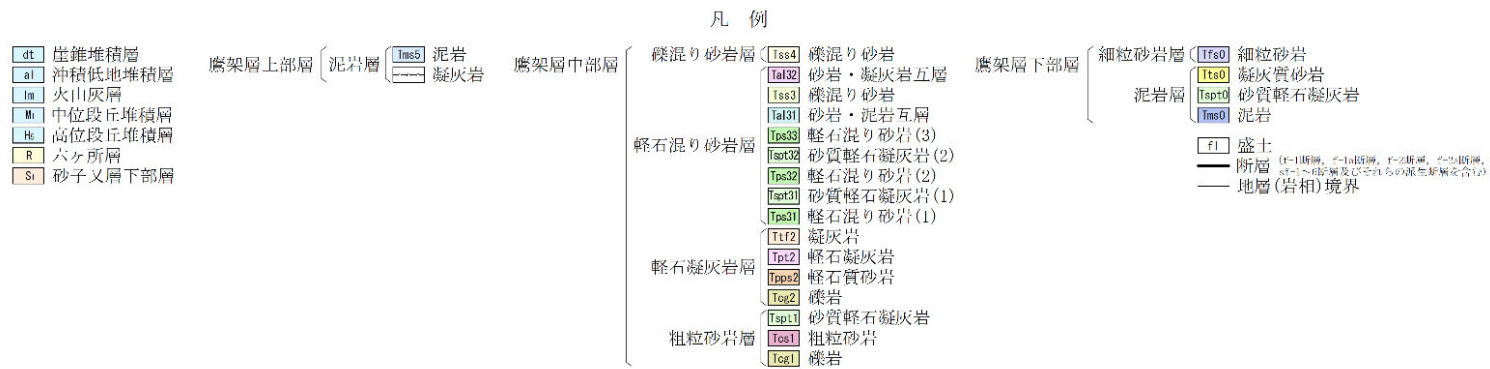
- f1 盛土
- 断層 (F1断層, F2断層, F3断層, F4断層, F5断層, F6断層, F7断層, F8断層, F9断層, F10断層, F11断層, F12断層, F13断層, F14断層, F15断層, F16断層, F17断層, F18断層, F19断層, F20断層, F21断層, F22断層, F23断層, F24断層, F25断層, F26断層, F27断層, F28断層, F29断層, F30断層)
- 地層(岩相)境界

参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (4/12)

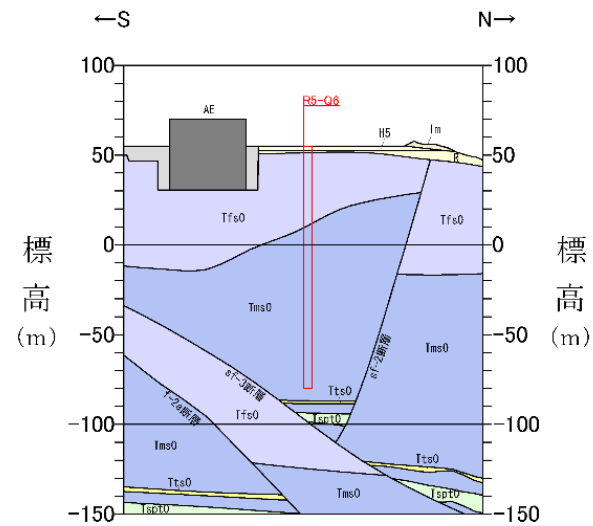
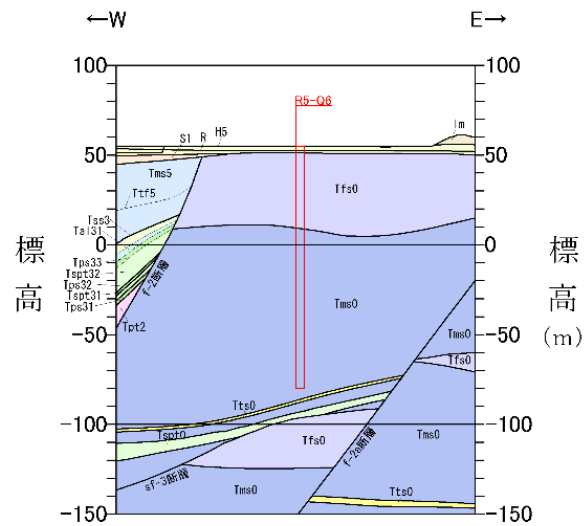
参考-9



R5-Q5



参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (5/12)

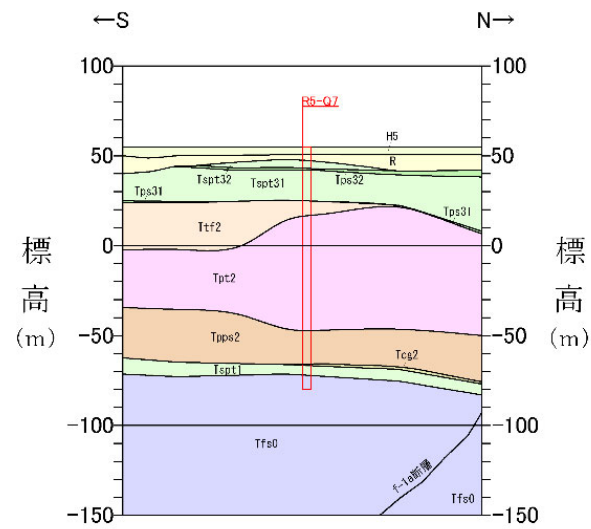
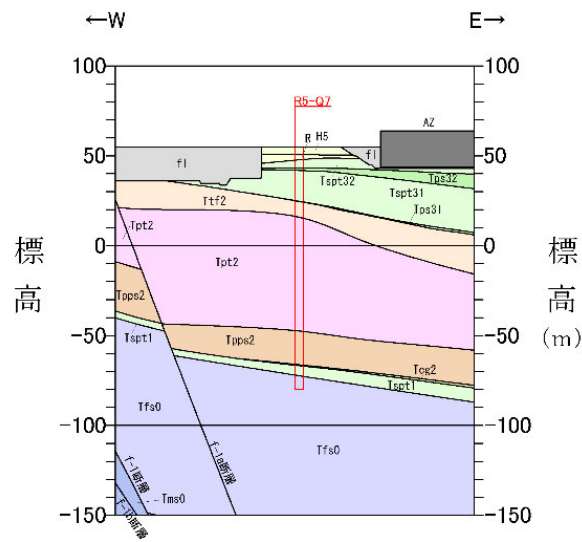


R5-Q6

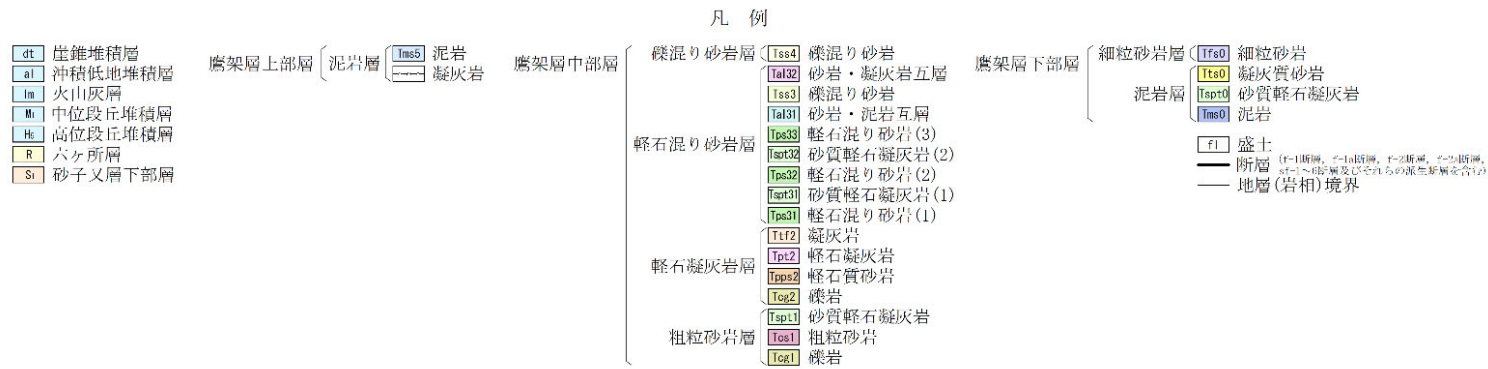
<table border="0"> <tr><td>dt</td><td>崖錐堆積層</td></tr> <tr><td>al</td><td>沖積低地堆積層</td></tr> <tr><td>lm</td><td>火山灰層</td></tr> <tr><td>M</td><td>中位段丘堆積層</td></tr> <tr><td>Hs</td><td>高位段丘堆積層</td></tr> <tr><td>R</td><td>六ヶ所層</td></tr> <tr><td>Sl</td><td>砂子又層下部層</td></tr> </table>	dt	崖錐堆積層	al	沖積低地堆積層	lm	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>泥岩層</td><td>泥岩</td></tr> <tr><td>凝灰岩</td><td>凝灰岩</td></tr> </table>	泥岩層	泥岩	凝灰岩	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>Tst32 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>Tst31 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></td><td>Ttf2 凝灰岩</td></tr> <tr><td>軽石凝灰岩層</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>Tog2 礫岩</td></tr> <tr><td></td><td>Tsp1 砂質軽石凝灰岩</td></tr> <tr><td>粗粒砂岩層</td><td>Tos1 粗粒砂岩</td></tr> <tr><td></td><td>Tog1 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)		Tst32 砂質軽石凝灰岩(2)		Tps32 軽石混り砂岩(2)		Tst31 砂質軽石凝灰岩(1)		Tps31 軽石混り砂岩(1)		Ttf2 凝灰岩	軽石凝灰岩層	Tpt2 軽石凝灰岩		Tps2 軽石質砂岩		Tog2 礫岩		Tsp1 砂質軽石凝灰岩	粗粒砂岩層	Tos1 粗粒砂岩		Tog1 礫岩	<table border="0"> <tr><td>細粒砂岩層</td><td>Tfs0 細粒砂岩</td></tr> <tr><td></td><td>Tts0 凝灰質砂岩</td></tr> <tr><td>泥岩層</td><td>Tsp0 砂質軽石凝灰岩</td></tr> <tr><td></td><td>Tms0 泥岩</td></tr> </table>	細粒砂岩層	Tfs0 細粒砂岩		Tts0 凝灰質砂岩	泥岩層	Tsp0 砂質軽石凝灰岩		Tms0 泥岩
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																																																												
泥岩層	泥岩																																																												
凝灰岩	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)																																																												
	Tst32 砂質軽石凝灰岩(2)																																																												
	Tps32 軽石混り砂岩(2)																																																												
	Tst31 砂質軽石凝灰岩(1)																																																												
	Tps31 軽石混り砂岩(1)																																																												
	Ttf2 凝灰岩																																																												
軽石凝灰岩層	Tpt2 軽石凝灰岩																																																												
	Tps2 軽石質砂岩																																																												
	Tog2 礫岩																																																												
	Tsp1 砂質軽石凝灰岩																																																												
粗粒砂岩層	Tos1 粗粒砂岩																																																												
	Tog1 礫岩																																																												
細粒砂岩層	Tfs0 細粒砂岩																																																												
	Tts0 凝灰質砂岩																																																												
泥岩層	Tsp0 砂質軽石凝灰岩																																																												
	Tms0 泥岩																																																												
<table border="0"> <tr><td>f1</td><td>盛土</td></tr> <tr><td colspan="2">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, 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)</td></tr> <tr><td>—</td><td>地層(岩相)境界</td></tr> </table>				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, 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)		—	地層(岩相)境界																																																				
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, 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)																																																													
—	地層(岩相)境界																																																												

参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (6/12)

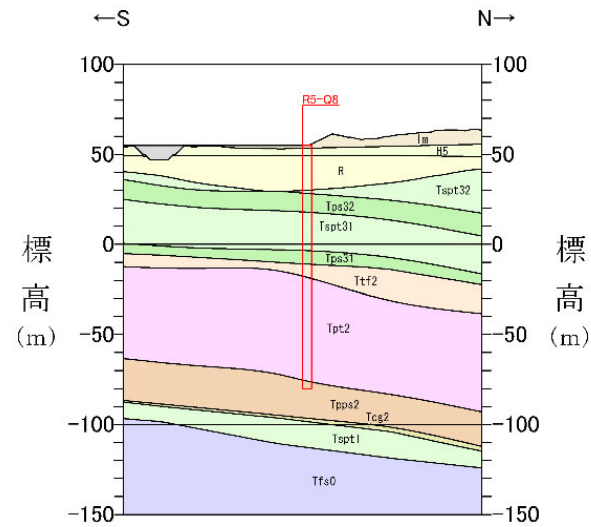
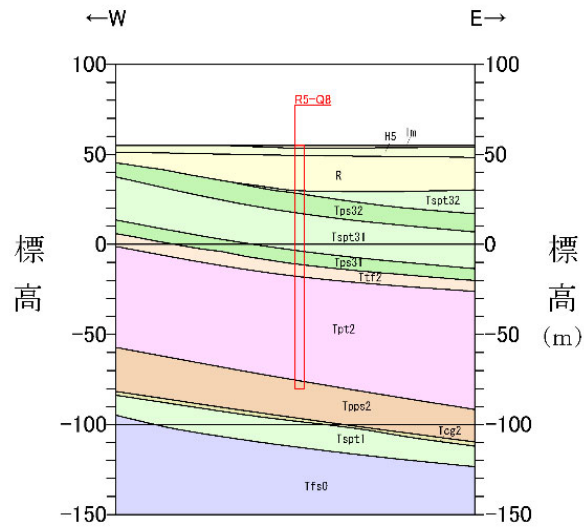
参考-11



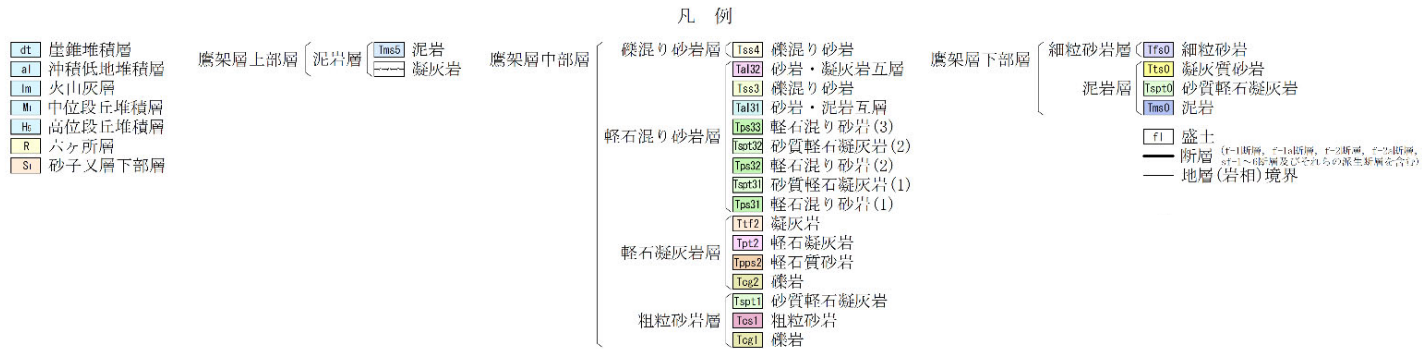
R5-Q7



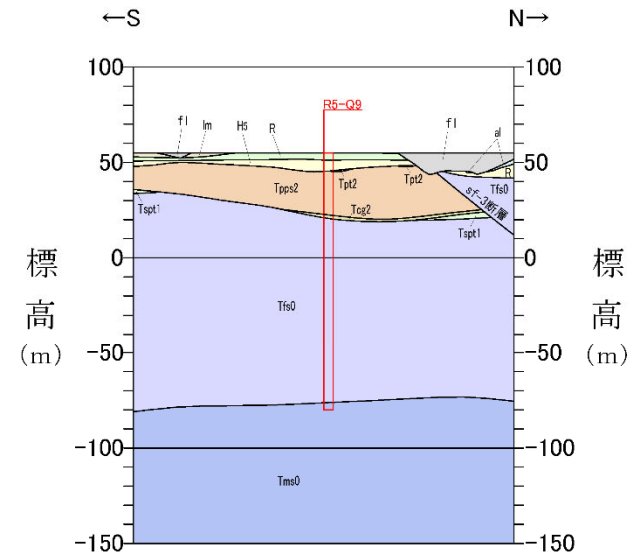
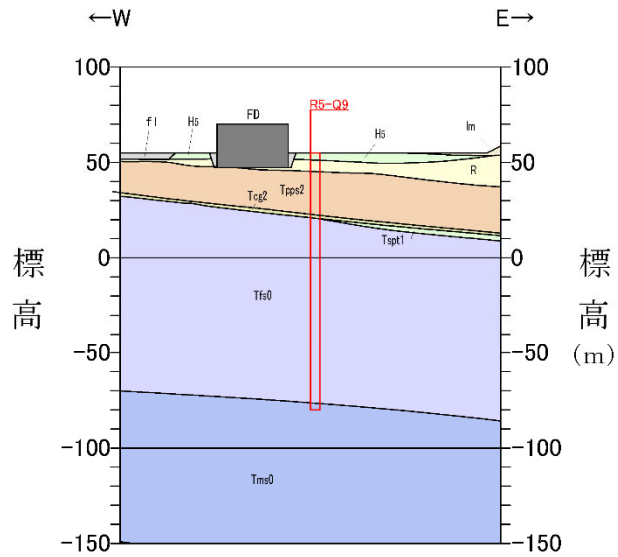
参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (7/12)



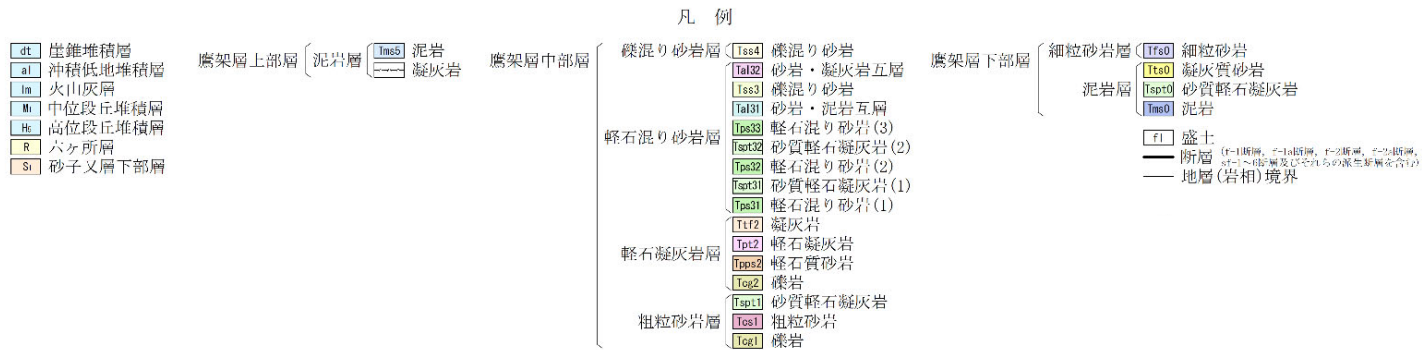
R5-Q8



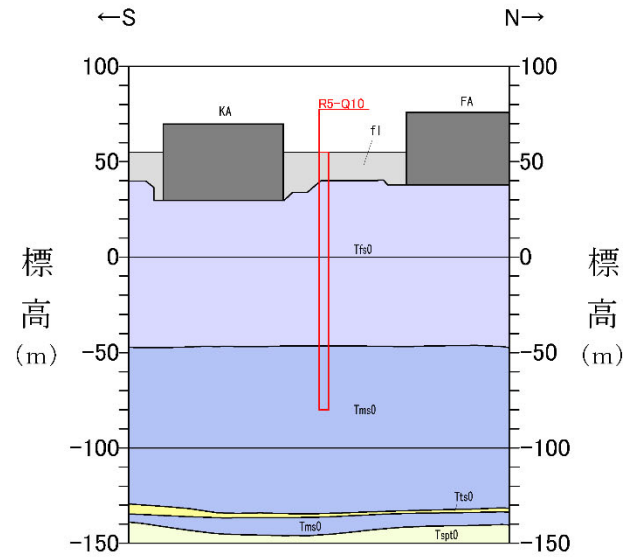
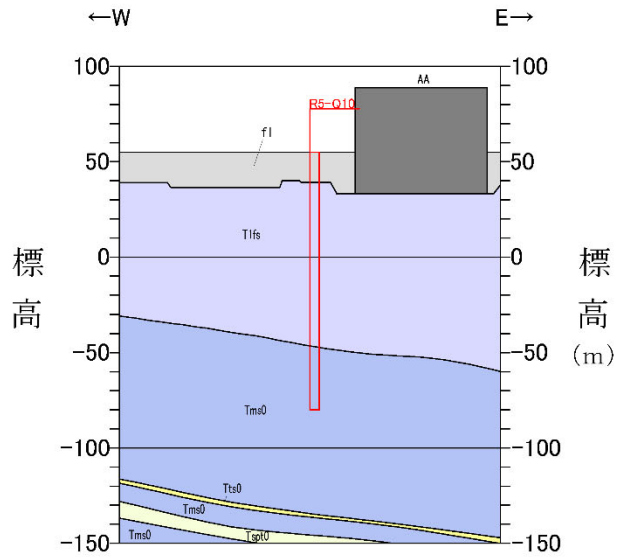
参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (8/12)



R5-Q9



参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (9/12)



R5-Q10

- dL 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
- Hc 高位段丘堆積層
- R 穴ヶ所層
- Sl 砂子叉層下部層

鷹架層上部層 (泥岩層) (Tms0) 泥岩 (Tms1) 凝灰岩

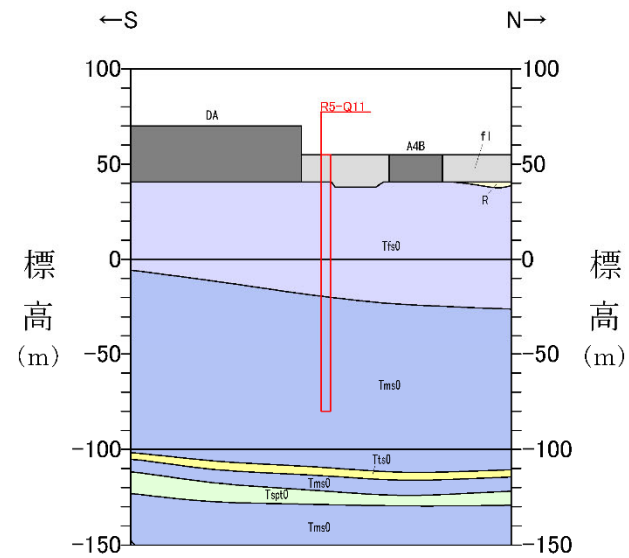
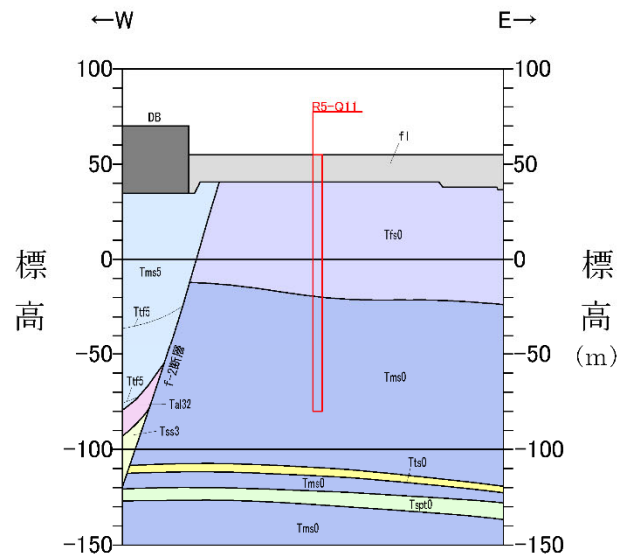
鷹架層中部層

- 鉄混り砂岩層
 - Tts4 鉄混り砂岩
 - Tts32 砂岩・凝灰岩互層
 - Tts3 鉄混り砂岩
 - Tts31 砂岩・泥岩互層
 - Tps33 軽石混り砂岩 (3)
 - Tps32 砂質軽石凝灰岩 (2)
 - Tps31 軽石混り砂岩 (2)
 - Tps31 砂質軽石凝灰岩 (1)
 - Tps31 軽石混り砂岩 (1)
- 軽石凝灰岩層
 - Tts2 凝灰岩
 - Tts2 軽石凝灰岩
 - Tps2 軽石質砂岩
 - Tts2 凝灰岩
 - Tps1 砂質軽石凝灰岩
- 粗粒砂岩層
 - Tts1 粗粒砂岩
 - Tts1 凝灰岩

鷹架層下部層

- 細粒砂岩層
 - Tts0 細粒砂岩
 - Tts0 凝灰質砂岩
 - Tps0 砂質軽石凝灰岩
 - Tms0 泥岩
- f1 盛土
- 断層 (T1断層, T2断層, T3断層, T4断層, T5断層, T6断層, T7断層, T8断層, T9断層, T10断層, T11断層, T12断層, T13断層, T14断層, T15断層, T16断層, T17断層, T18断層, T19断層, T20断層, T21断層, T22断層, T23断層, T24断層, T25断層, T26断層, T27断層, T28断層, T29断層, T30断層, T31断層, T32断層, T33断層, T34断層, T35断層, T36断層, T37断層, T38断層, T39断層, T40断層, T41断層, T42断層, T43断層, T44断層, T45断層, T46断層, T47断層, T48断層, T49断層, T50断層)
- 地層 (岩相) 境界

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

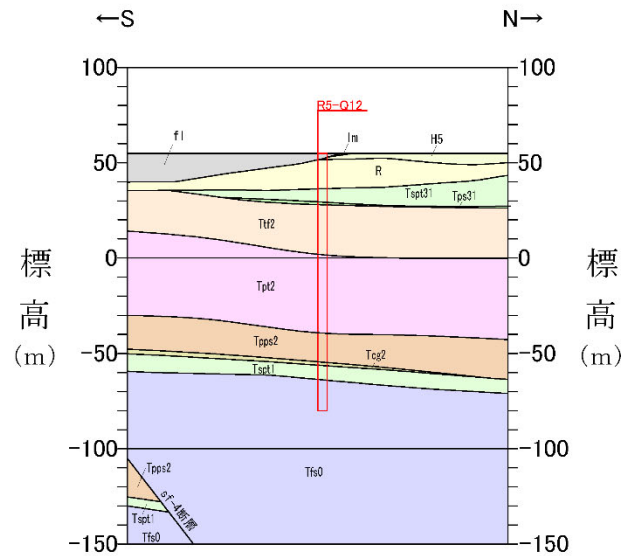
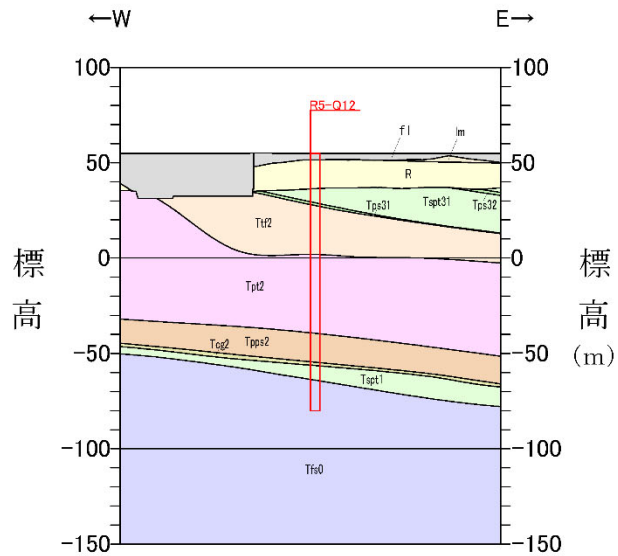
- 鷹架層下部層
 - 細粒砂岩層
 - (Tfs0) 細粒砂岩
 - (Tts0) 凝灰質砂岩
 - (Tsp0) 砂質軽石凝灰岩
 - (Tms0) 泥岩
 - 泥岩層

- 鷹架層下部層

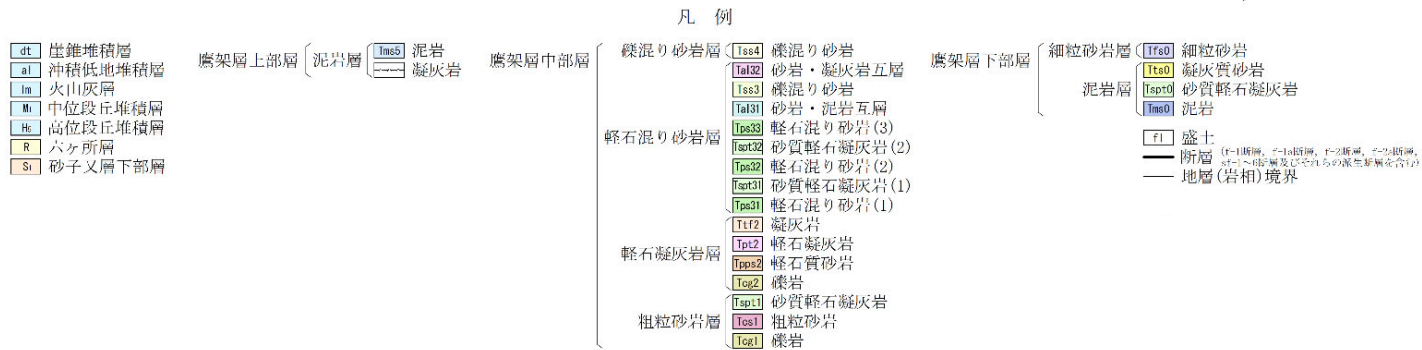
- 粗粒砂岩層
 - (Tss4) 礫混り砂岩
 - (Tss32) 砂岩・凝灰岩互層
 - (Tss3) 礫混り砂岩
 - (Tss31) 砂岩・泥岩互層
 - (Tps33) 軽石混り砂岩(3)
 - (Tps32) 砂質軽石凝灰岩(2)
 - (Tps32) 軽石混り砂岩(2)
 - (Tps31) 砂質軽石凝灰岩(1)
 - (Tps31) 軽石混り砂岩(1)
 - (Ttf2) 凝灰岩
 - (Tps2) 軽石凝灰岩
 - (Tps2) 軽石質砂岩
 - (Tps2) 凝灰岩
 - (Tps1) 砂質軽石凝灰岩
 - (Tps1) 粗粒砂岩
 - (Tps1) 凝灰岩

f1 盛土 (T=1断層, T=1a断層, T=2断層, T=2a断層, T=3断層, T=3a断層及びそれらの派生断層を含む)
 断層
 地層(岩相)境界

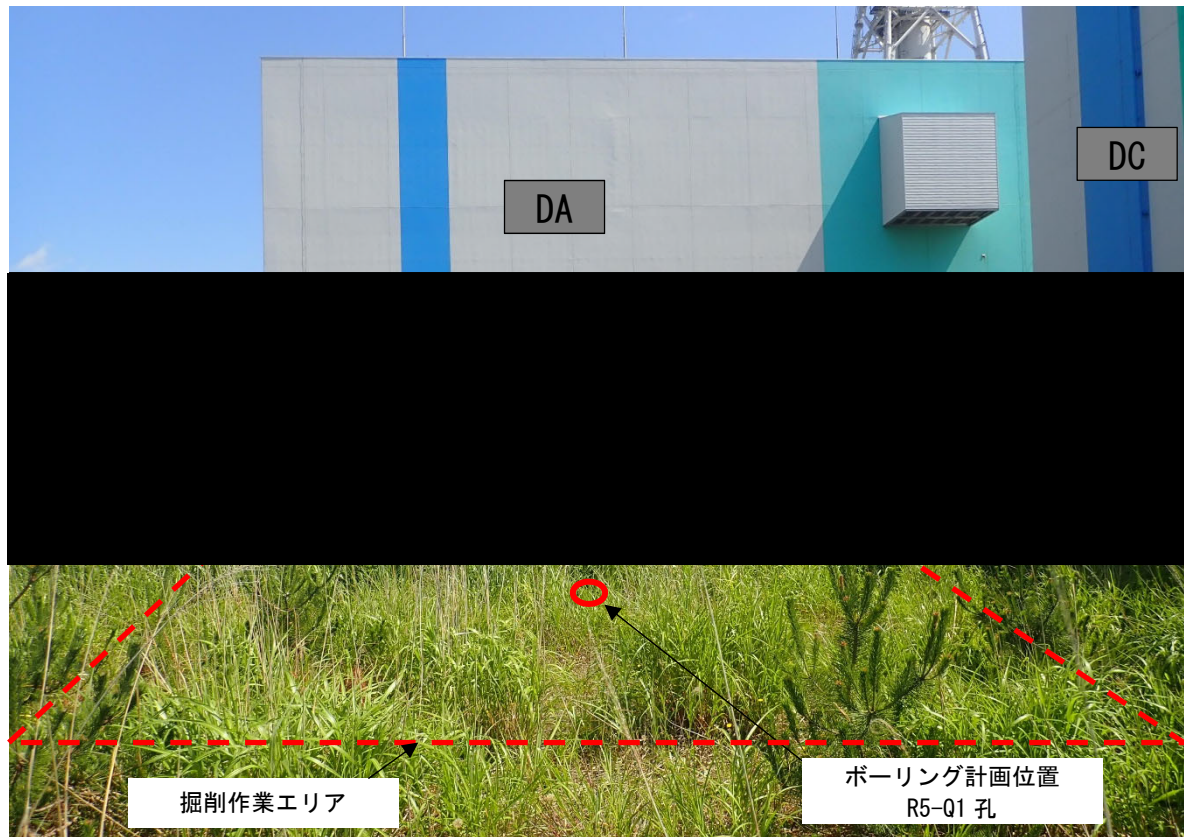
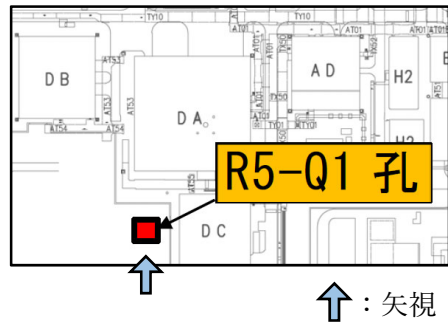
参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (11/12)



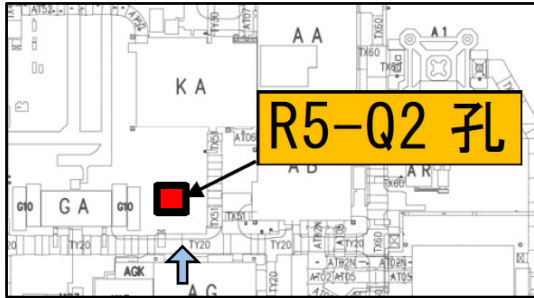
R5-Q12



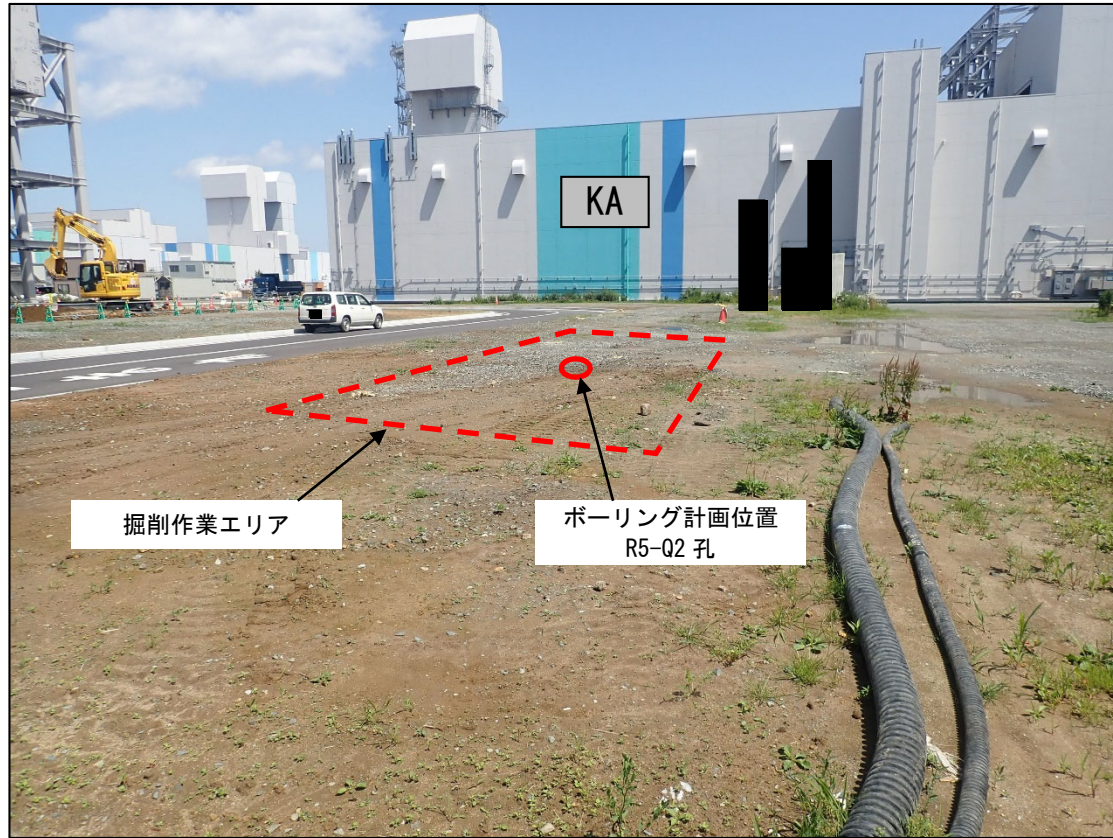
参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (12/12)



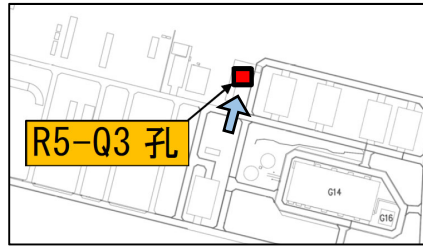
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (1/12)



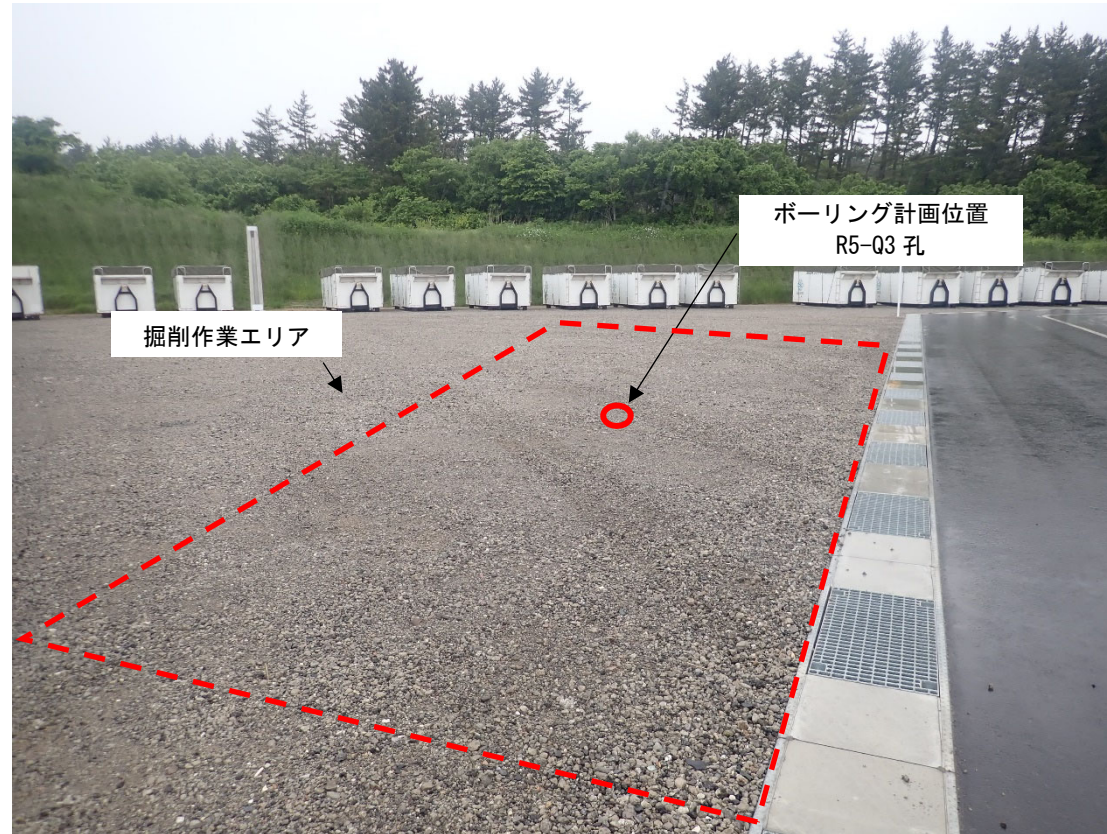
↑ : 矢視



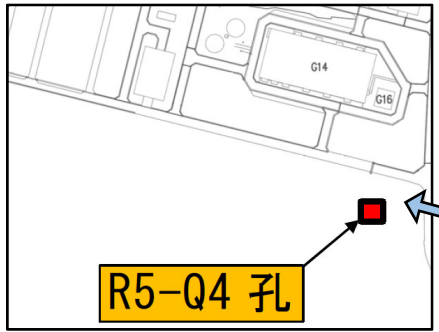
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (2/12)



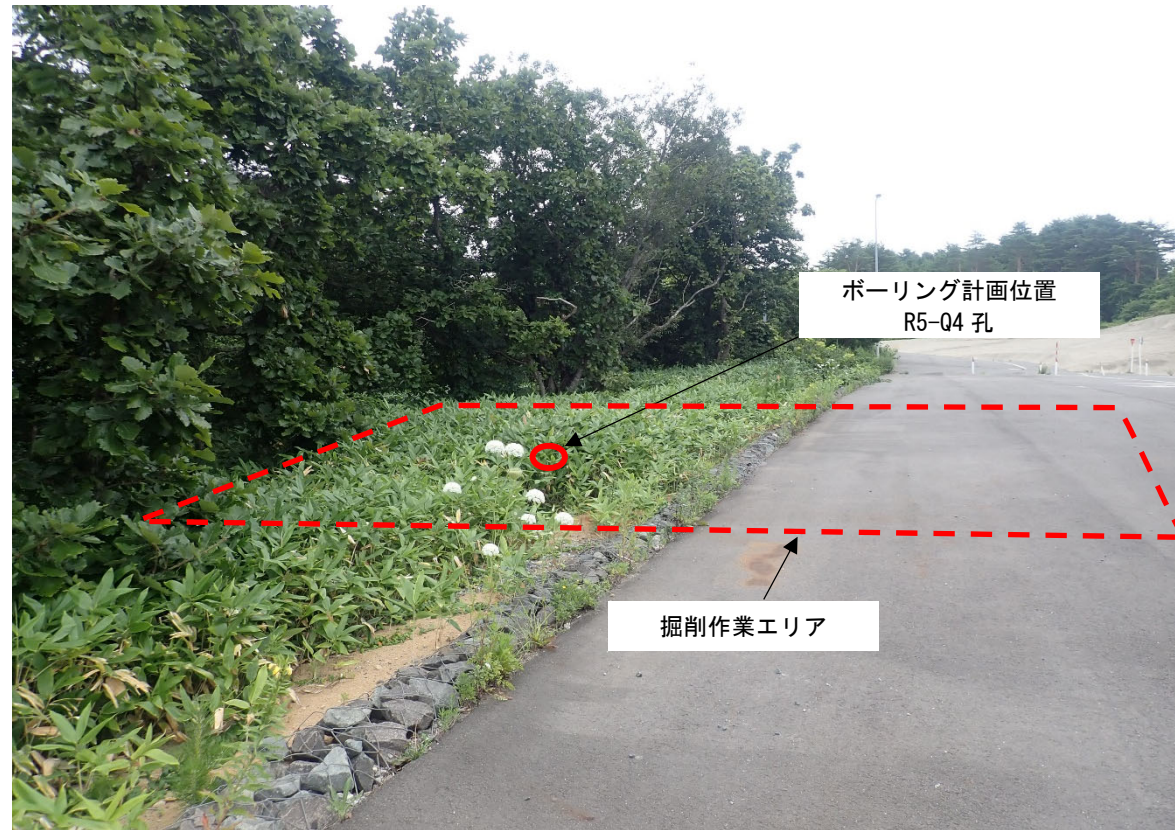
↑：矢視



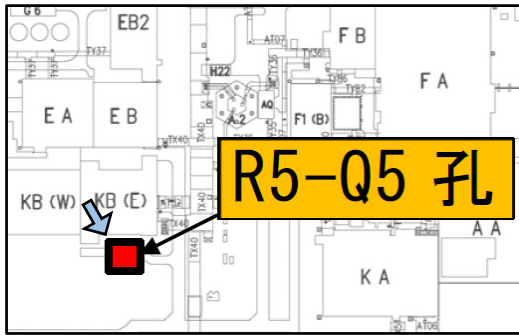
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (3/12)



↑：矢視



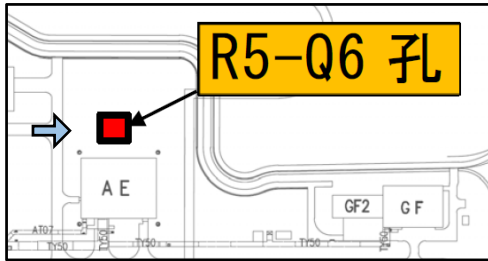
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (4/12)



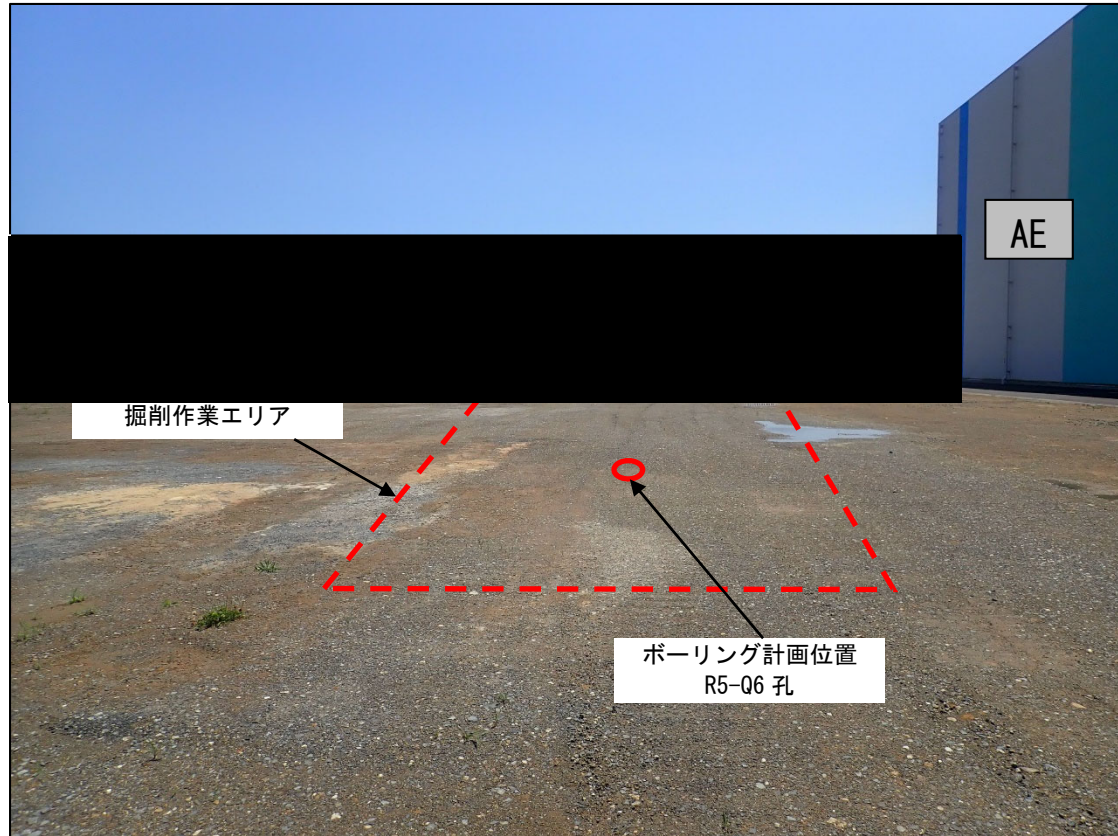
↑ : 矢視



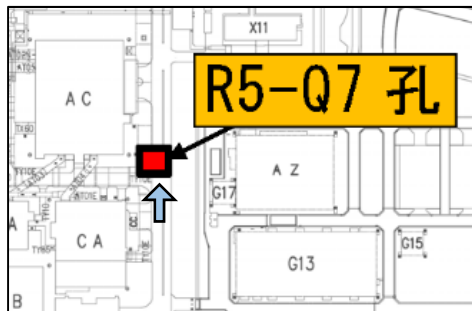
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (5/12)



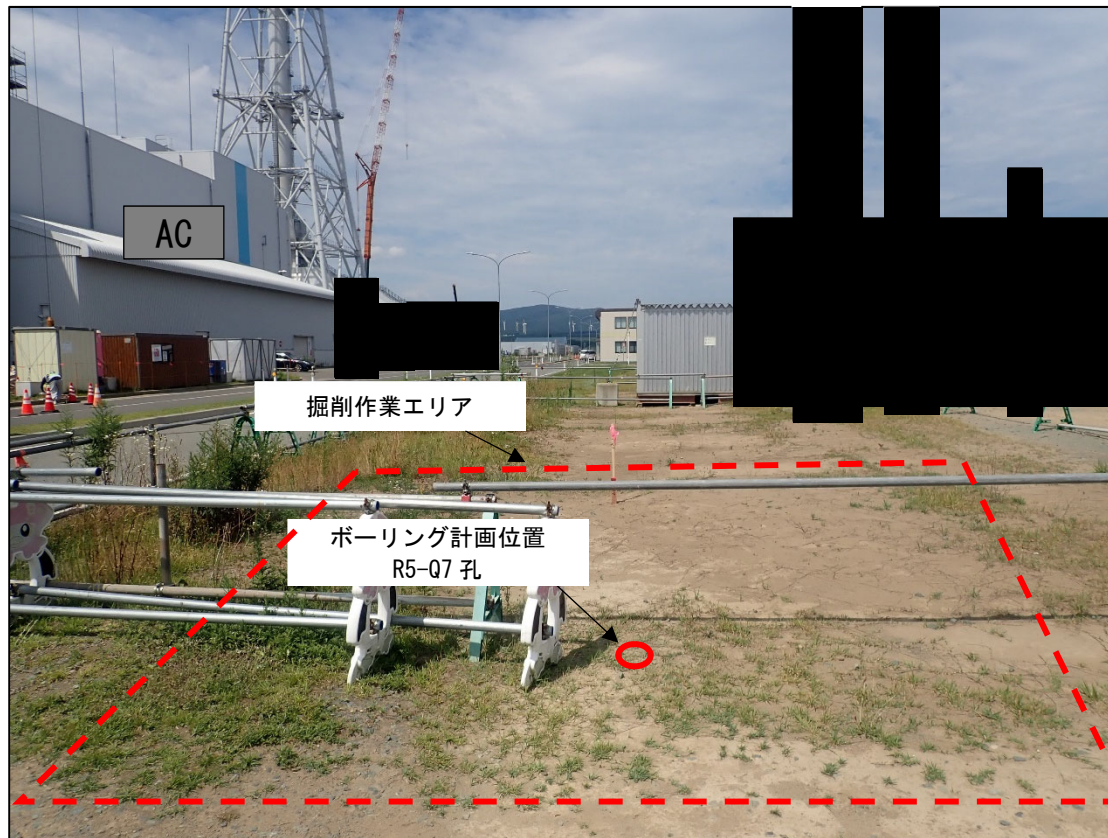
↑ : 矢視



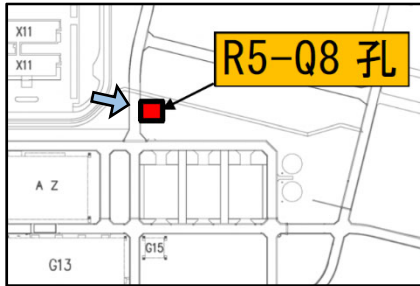
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (6/12)



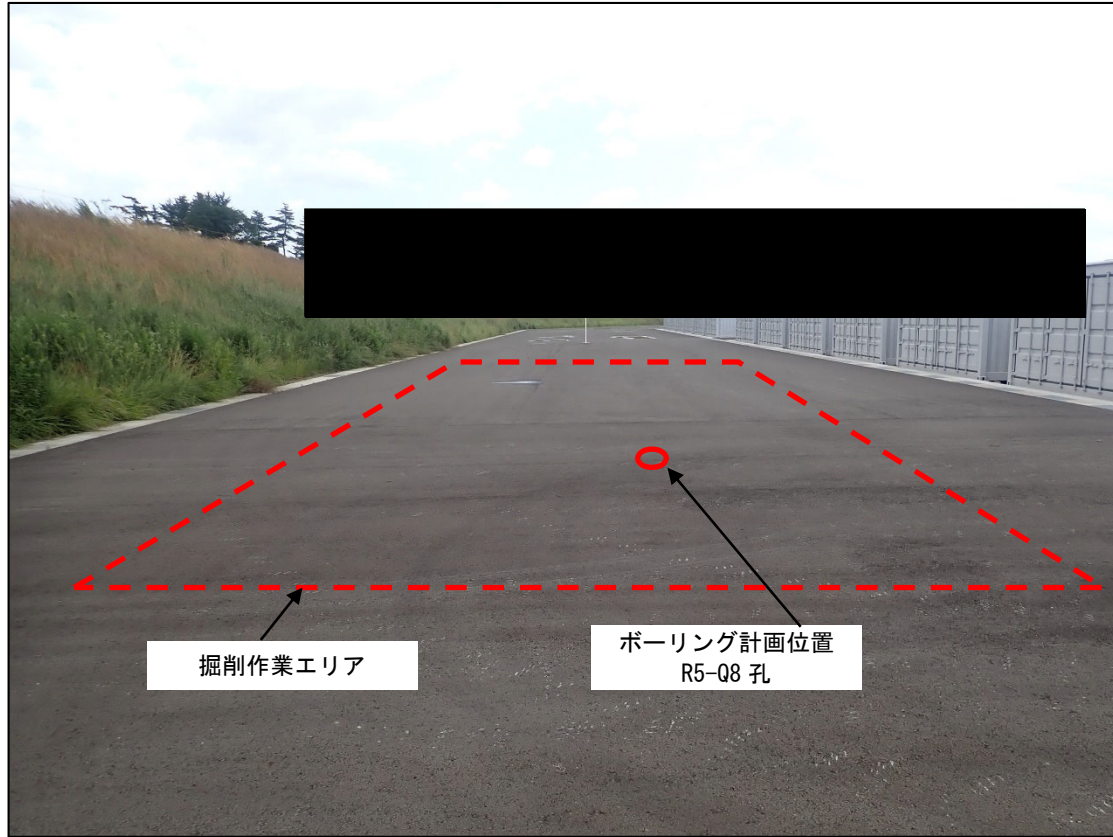
↑：矢視



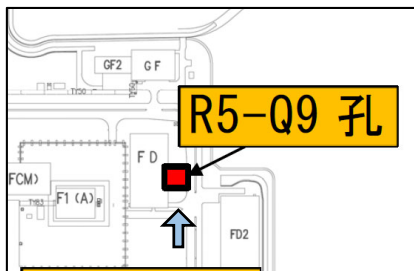
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (7/12)



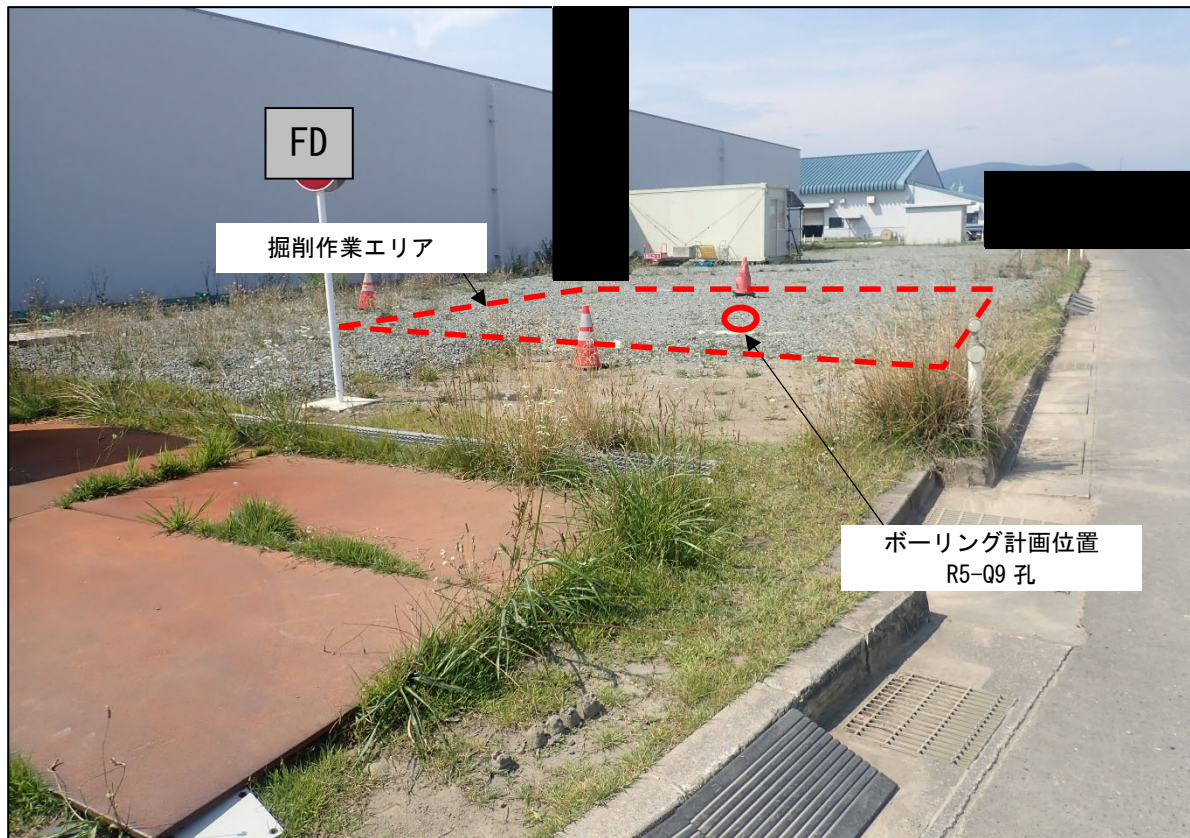
↑ : 矢視



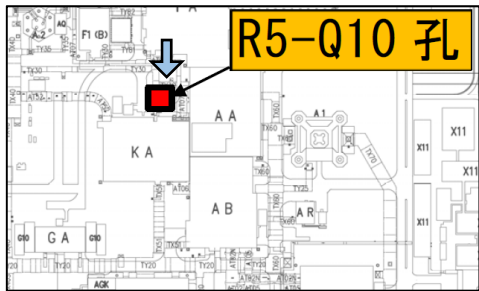
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (8/12)



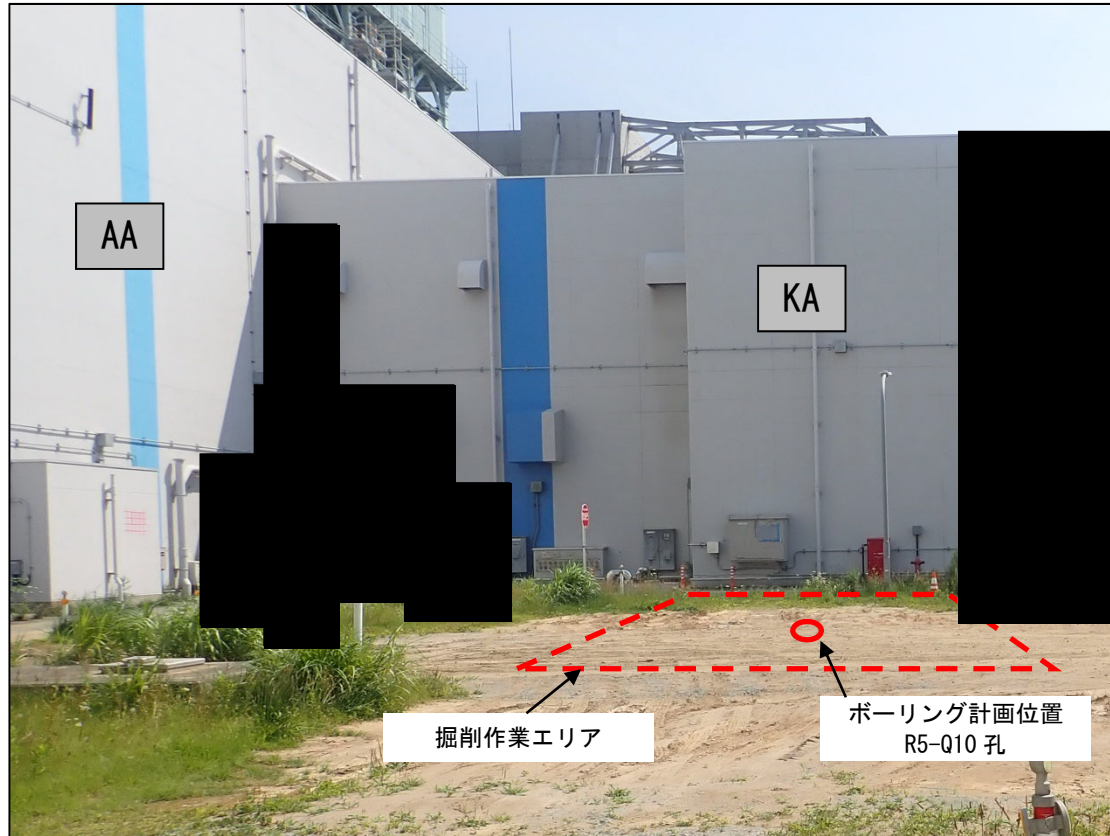
↑: 矢視



参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (9/12)

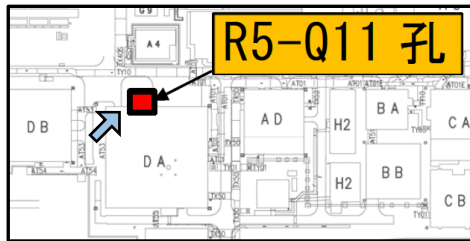


↑: 矢視

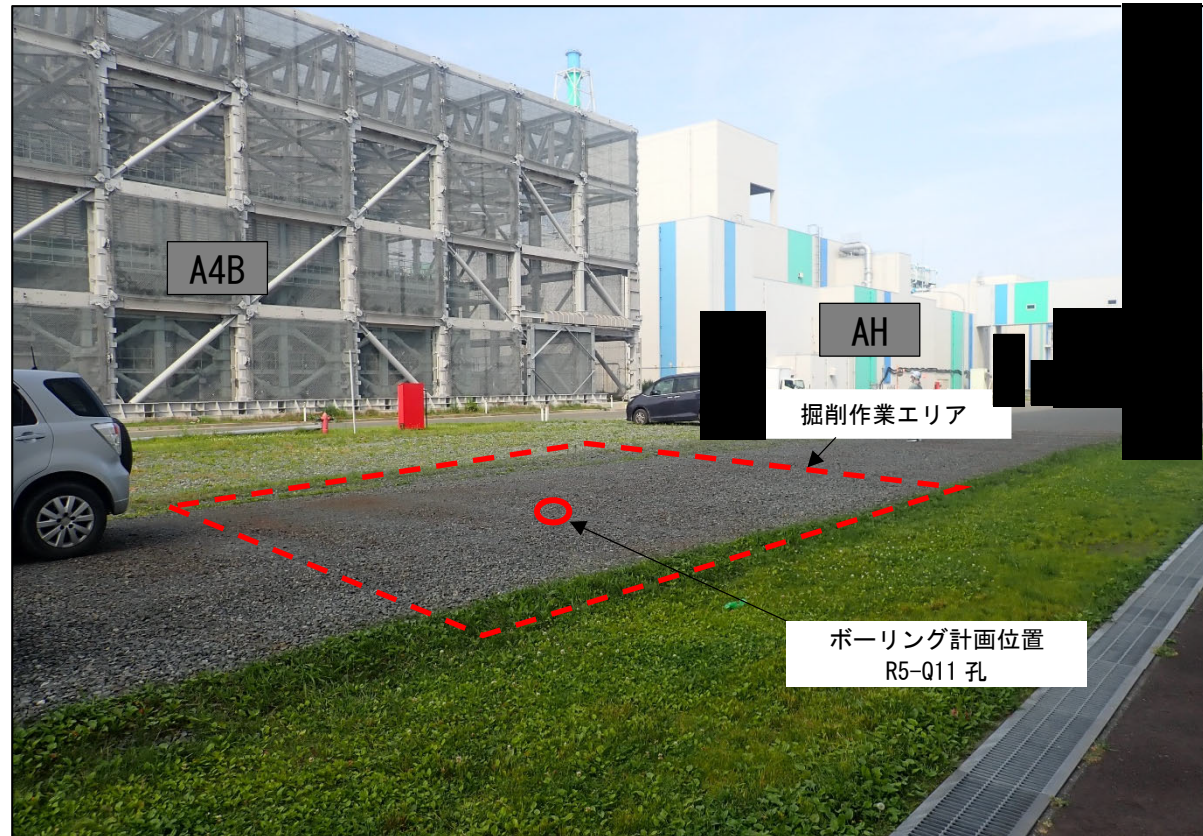


参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (10/12)

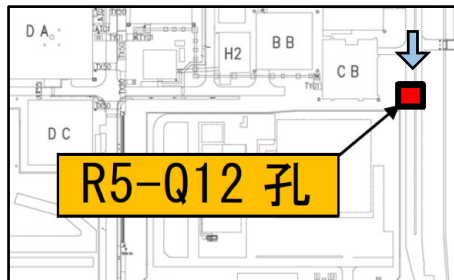
参考-27



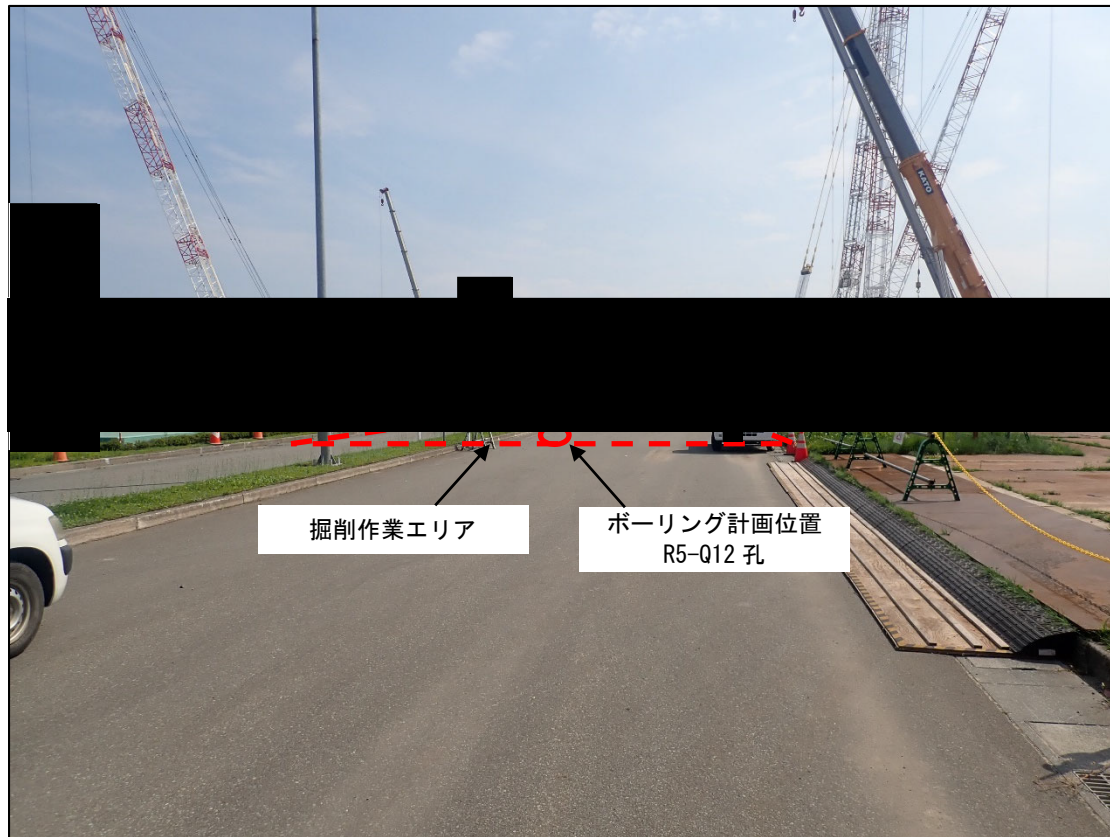
↑ : 矢視



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。

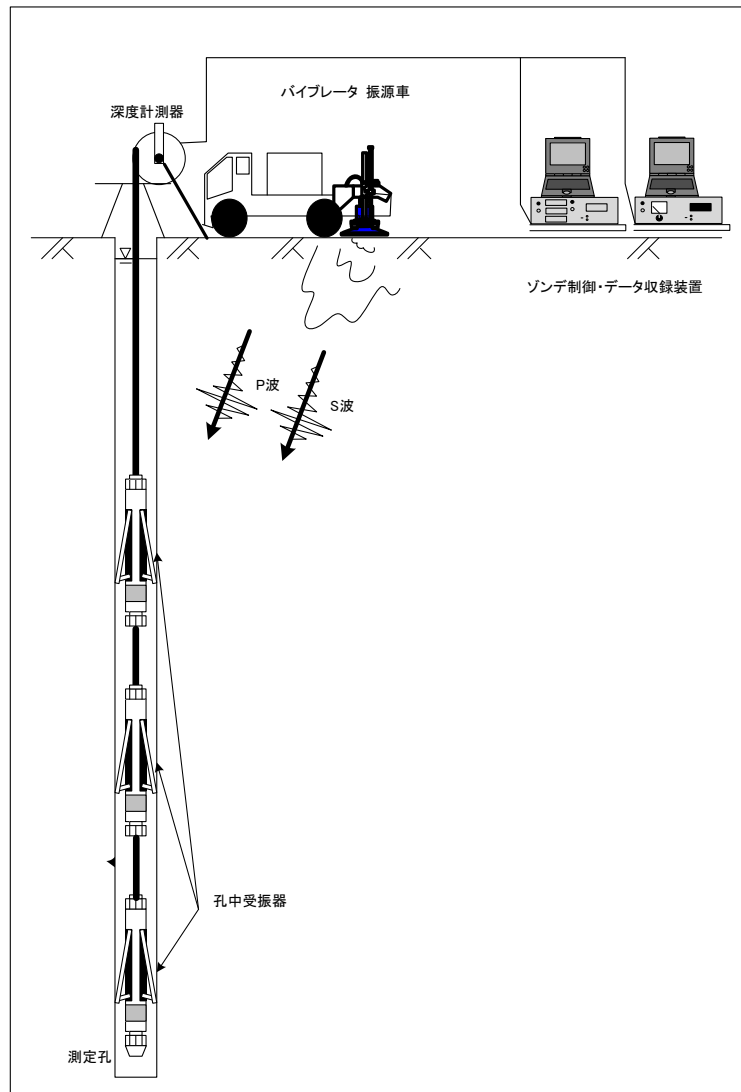
P S 検層（ダウンホール法）は、地表で発生させた弾性波（P 波・S 波）をボーリング孔内に設置した受振器で受振し、ボーリング孔沿いの地盤の弾性波速度分布の把握を目的に実施するものであり、ここでは、特に、地盤の減衰特性の把握を目的とした Q 値測定を実施する。P S 検層（ダウンホール法）の測定装置と測定システムの使用機器の一覧を参考 1-3-2 表に示し、模式図を参考 1-3-4 図に示す。

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

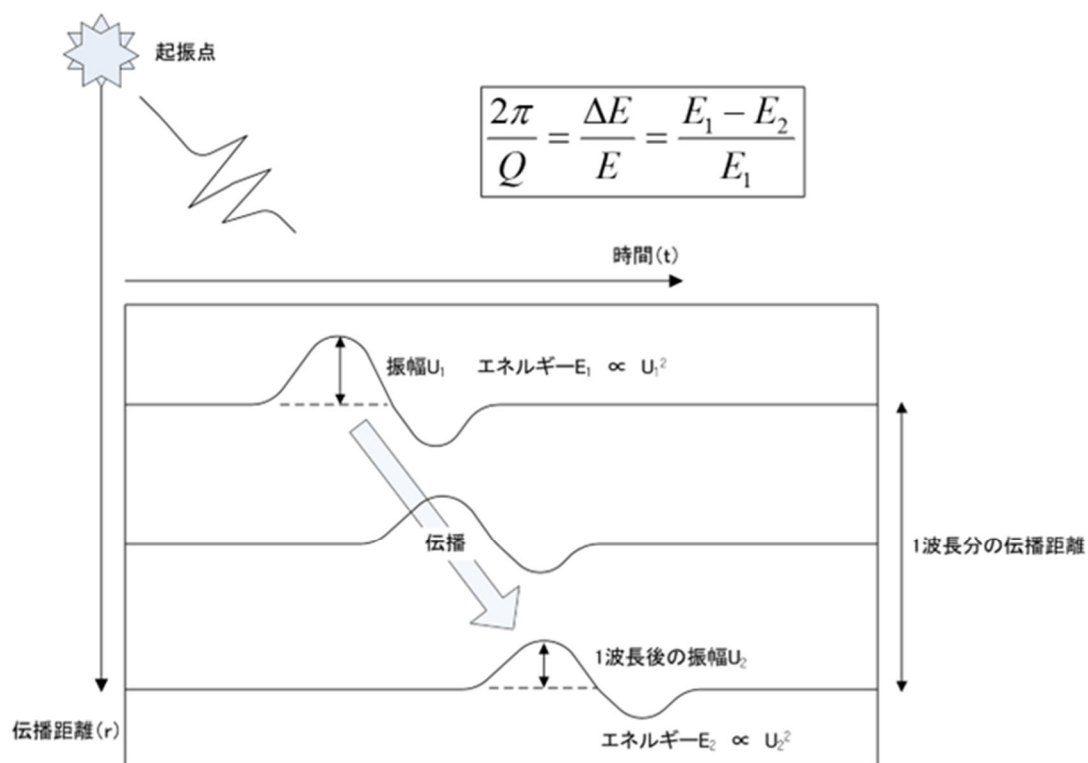


参考 1-3-4 図 P S 検層（ダウンホール法）の測定装置と測定システムの模式図

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。

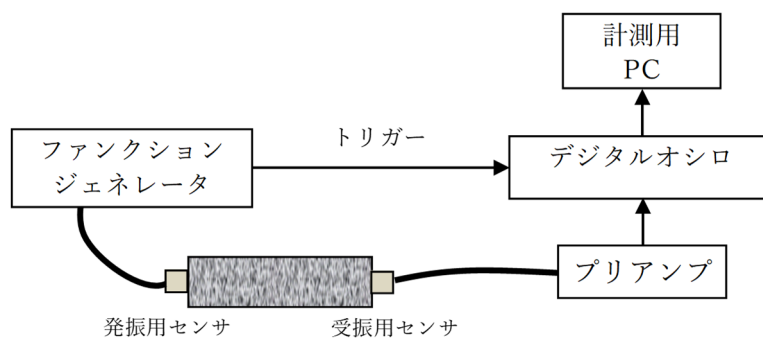
イ. 大気圧下における Q 値測定

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。

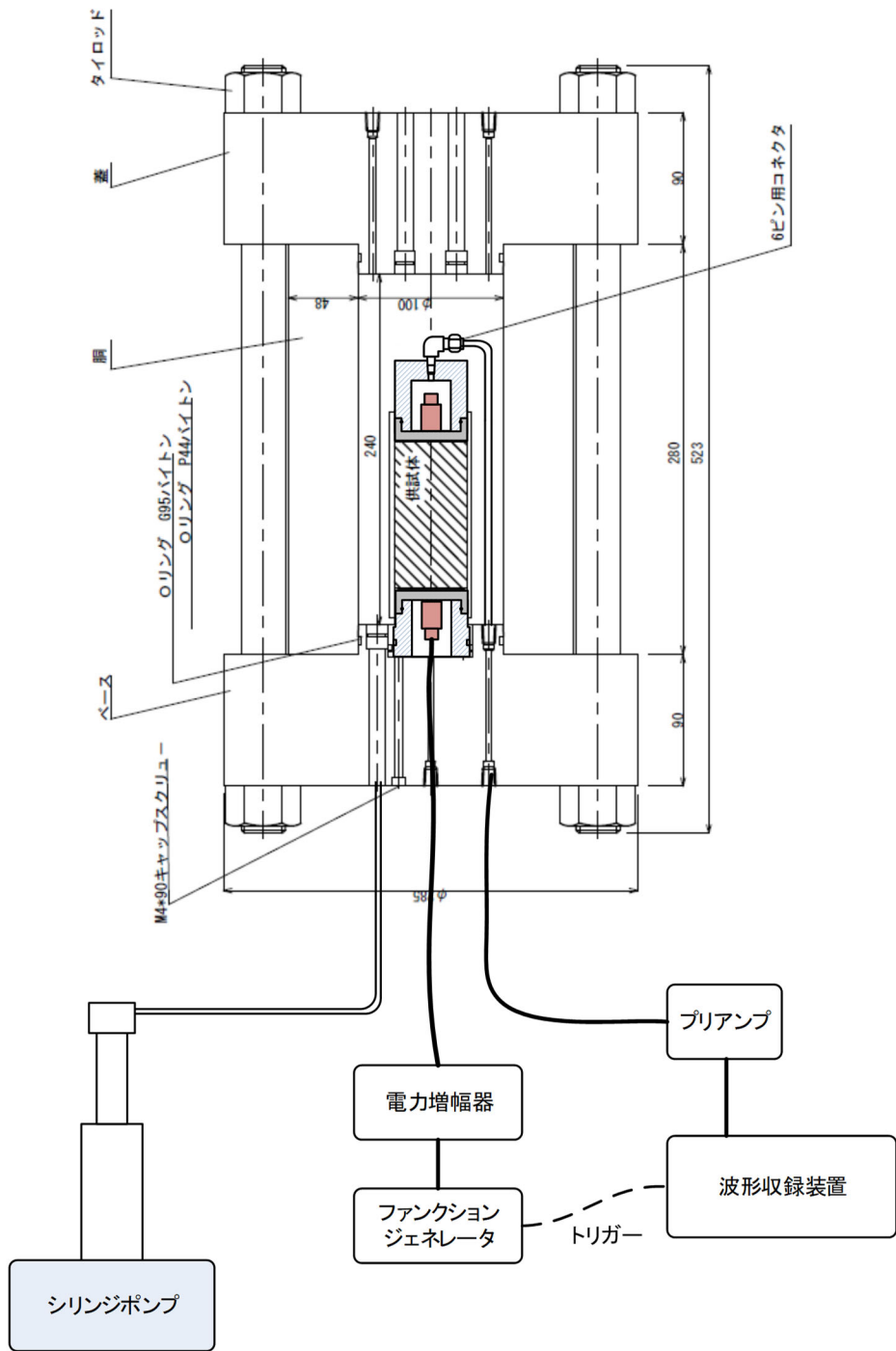
参考 1-3-5 表 封圧下の Q 値測定装置の主な仕様

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

測定手順は以下のとおりである。

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

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



参考 1-3-7 図 封圧下の Q 値測定装置の概要

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

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

標準試料と対象とする試料の平面波の振幅は次のように表される。

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

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

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

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

いま、 α は振動数の線形関数であると考え、3)式で定義する。

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

ここで γ は定数であり Q 値と次の関係がある。

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

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

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

上式の自然対数をとると次式となる。

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

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

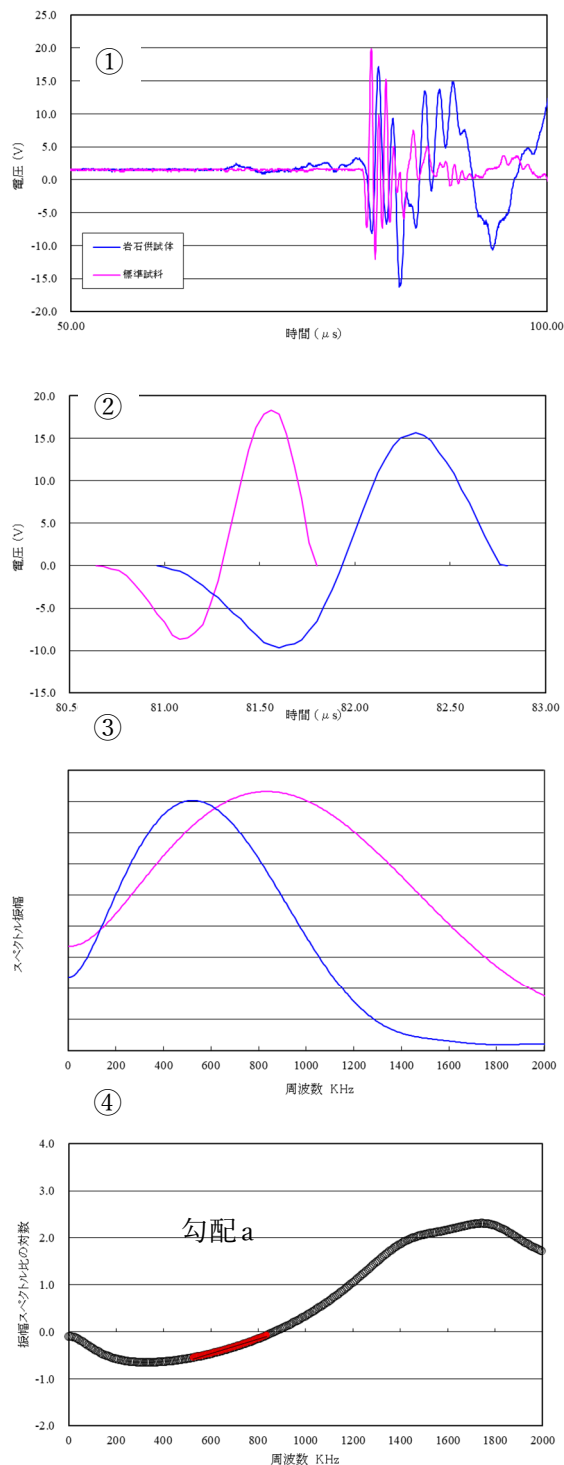
標準試料には岩石供試体と同じ形状のアルミ合金 (A5056) を用い、岩石供試体と同様の方法で透過波形を収録する。なお、Zemanek (1961)によれば、アルミの Q 値は 15×10^4 という大きな値となっているので、 γ_1 は 0 とみなしても誤差はないことになる。

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

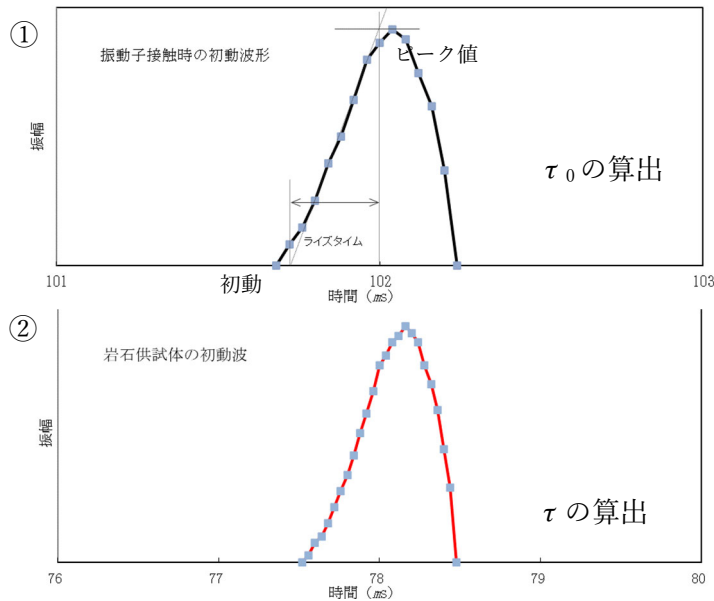
t : 伝播時間

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

4. 予定工程

予定工程を第 4-1 表に示す。

第 4-1 表 予定工程

項 目					2023年																																								
					8月						9月						10月						11月						12月																
					5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30											
摘要	孔名	削孔長 ^(注)	仕様	実施班																																									
フェーズ1	中央地盤	R5-Q1	145 m	φ86mm	A班																																								
	中央地盤	R5-Q2	145 m		D班																																								
	中央地盤	R5-Q6	145 m		C班																																								
	AZ	R5-Q8	145 m		B班																																								
フェーズ2	西側地盤	R5-Q5	145 m	φ86mm	A班																																								
	東側地盤	R5-Q3	145 m		B班																																								
	東側地盤	R5-Q7	145 m		C班																																								
	G14	R5-Q4	145 m		D班																																								
フェーズ3	中央地盤	R5-Q9	145 m	φ86mm	A班																																								
	中央地盤	R5-Q10	145 m		E班																																								
	中央地盤	R5-Q11	145 m		F班																																								
	東側地盤	R5-Q12	145 m		D班																																								
室内試験																																													
とりまとめ																																													

(注)解放基盤面(標高-70m)を超える深さにQ値用ダウンホールPS検層の余堀分を加えた深度

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.

参考 2

初期モデルにおいて地震観測位置近傍の
地下構造を考慮しない場合と考慮した場合の
同定結果比較

目 次

	ページ
1. 概要	参考 2-1
2. 比較結果に関する考察	参考 2-2

1. 概要

「6.3.2 初期モデルの設定及び探索範囲」に示したとおり，西側地盤及び東側地盤においては，各地震観測点における PS 検層結果の S 波速度を初期モデルとして設定し，S 波速度及び減衰定数を同定した場合，同定結果と観測記録の伝達関数に差が見られたことを踏まえ，地震観測位置近傍の地下構造を踏まえ，初期モデルの見直しを行っている。

本資料では，地震観測位置の地下構造を考慮しない場合と考慮した場合それぞれにおける同定結果の比較結果を示す。

2. 比較結果に関する考察

2.1 西側地盤

参考 2.1-1 図及び参考 2.1-2 図に、西側地盤における各地震観測深さ間の伝達関数について、地震観測位置の地下構造を考慮せず PS 検層結果による速度構造をそのまま初期モデルとした場合の同定結果と、地震観測位置の地下構造を考慮した初期モデルを用いた場合の同定結果を比較して示す。

地震観測シミュレーション解析において地震動を入力する GL-200m と、GL-18m の間の伝達関数（図中⑤）に着目すると、水平方向及び鉛直方向ともに、周期 0.1 秒よりも短周期側において同定結果における理論伝達関数では極端に落ち込む周期が見られ、地震観測記録との適合に課題が見られた。

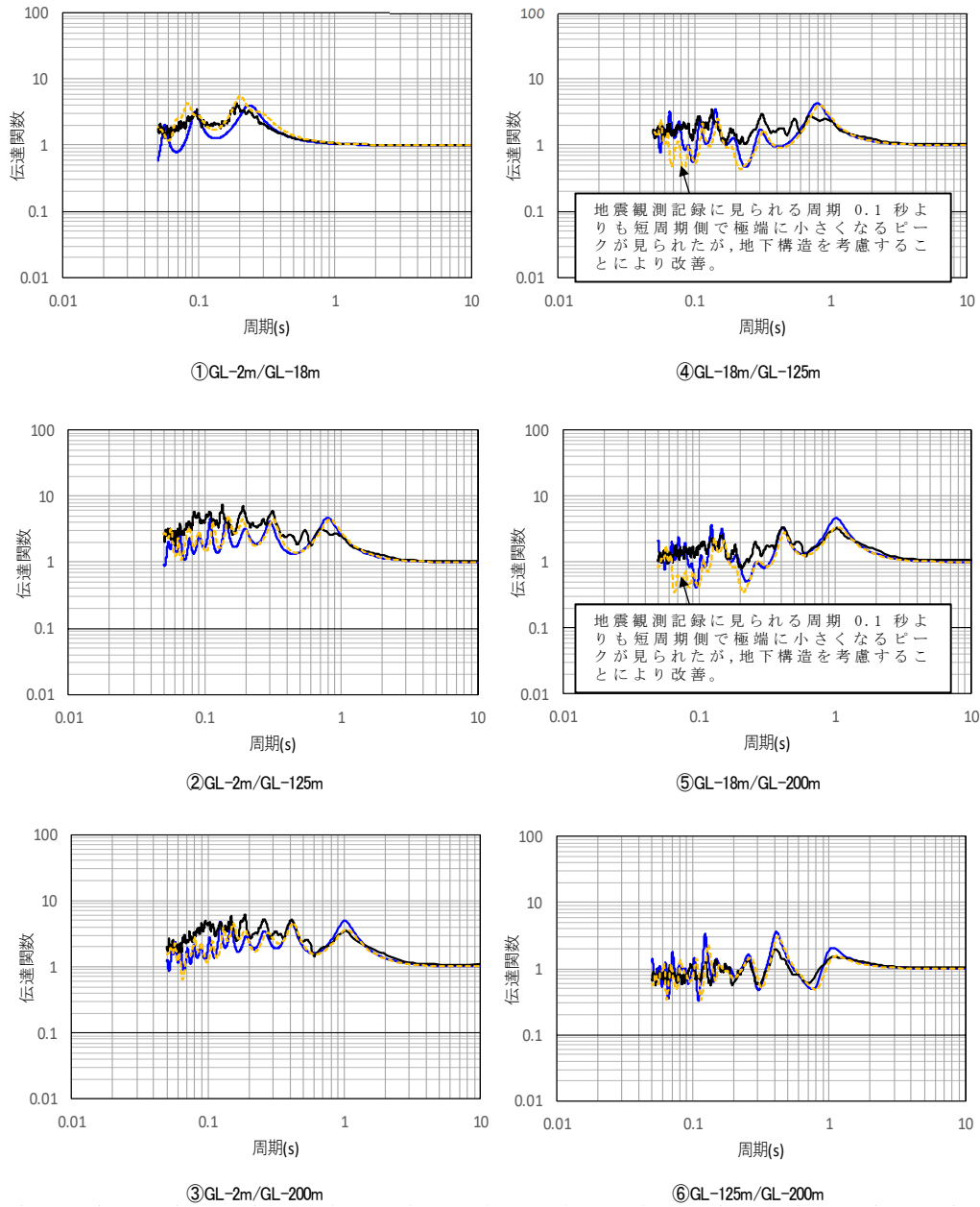
上記を踏まえ、「6.3.2 初期モデルの設定及び探索範囲」に示したとおり、初期地盤モデルについて、地震観測位置における地下構造を踏まえ、岩盤部分と表層地盤の層を分割して見直しを行い、再度同定を行った結果、見直し前と比較して鉛直方向においては見直しによる感度は小さい結果となったものの、水平方向においては、上記周期における伝達関数が地震観測記録と概ね整合する結果が得られた。

一方、GL-2m の地表に相当する地震観測地点を含む伝達関数（図中①～③）については、地震観測記録では短周期側においてピークの山は確認できるものの、谷となる周期が明瞭に表れておらず、同定結果における伝達関数の谷が、地震観測記録を下回る傾向がみられる。

この要因としては、西側地盤観測点については、「6.4 地震波干渉法による検討」にも示したとおり、この地点における特徴として、周辺に六ヶ所層以外の地盤が分布していることや、岩盤部分と表層地盤の境界面における傾斜構造が影響し、地表付近では複雑な地震波の伝播の傾向を示す可能性があることに起因していると考えられる。

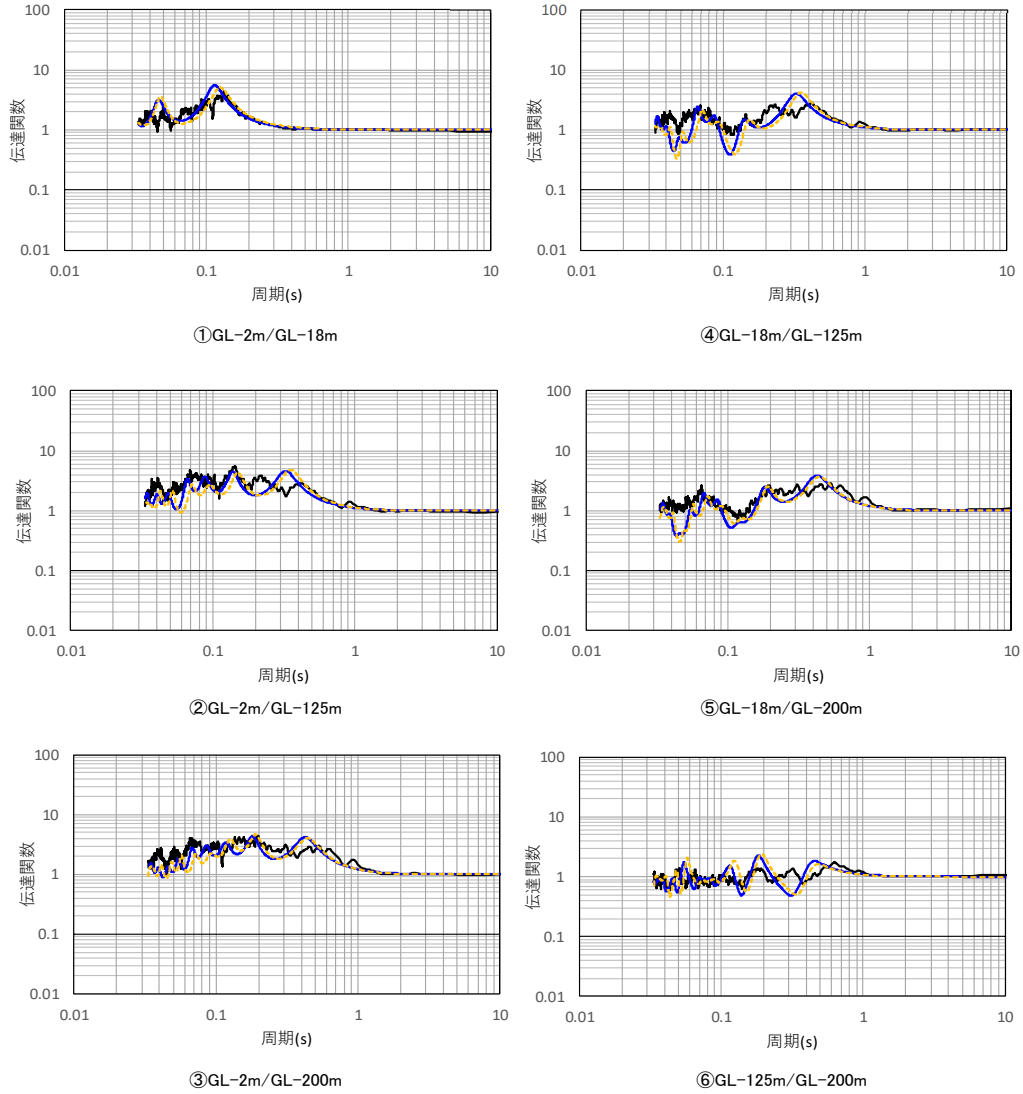
ただし、GL-2m の地震観測点を含まず、岩盤中の伝播経路が支配的な深さ間の伝達関数（④～⑥）ではこのような傾向が見られず、伝達関数の山谷が地震観測記録とよく整合していることを踏まえると、本同定解析において、岩盤中の速度構造及び減衰定数は適切に評価されていると考えられる。

- 目的関数（地震観測記録）
- - - 地震観測位置近傍の地下構造を考慮しない場合の同定結果
- 地震観測位置近傍の地下構造を考慮した場合の同定結果



参考 2.1-1 図 伝達関数の比較（西側地盤，水平方向）

— 目的関数（地震観測記録）
 - - - 地震観測位置近傍の地下構造を考慮しない場合の同定結果
 — 地震観測位置近傍の地下構造を考慮した場合の同定結果



参考 2.1-2 図 伝達関数の比較（西側地盤，鉛直方向）

2.2 東側地盤

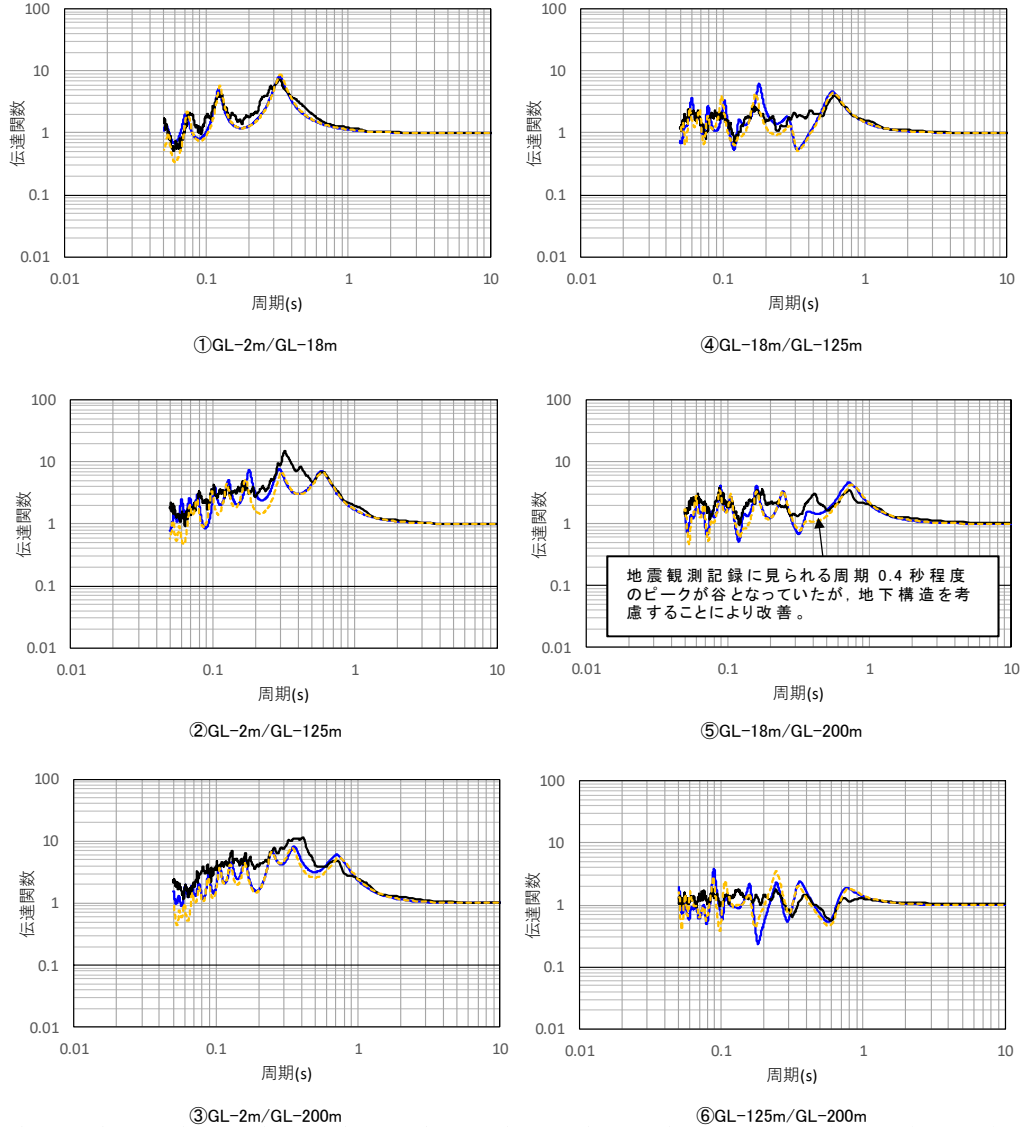
参考 2.2-1 図及び参考 2.2-2 図に、東側地盤における各地震観測深さ間の伝達関数について、地震観測位置の地下構造を考慮せず PS 検層結果による速度構造をそのまま初期モデルとした場合の同定結果と、地震観測位置の地下構造を考慮した初期モデルを用いた場合の同定結果を比較して示す。

地震観測シミュレーション解析において地震動を入力する GL-200m と、GL-18m の間の伝達関数（図中⑤）に着目すると、水平方向において、周期 0.4 秒程度において観測記録に見られる伝達関数のピークに対し、地震観測位置の地下構造を考慮しない場合、谷となるような傾向がみられた。

上記を踏まえ、「6.3.2 初期モデルの設定及び探索範囲」に示したとおり、初期地盤モデルについて、地震観測位置における地下構造を踏まえた見直しを行い、再度同定を行った結果、上記周期における伝達関数が山となる傾向が得られ、見直し前と比較して地震観測記録との整合性が改良された結果が得られた。

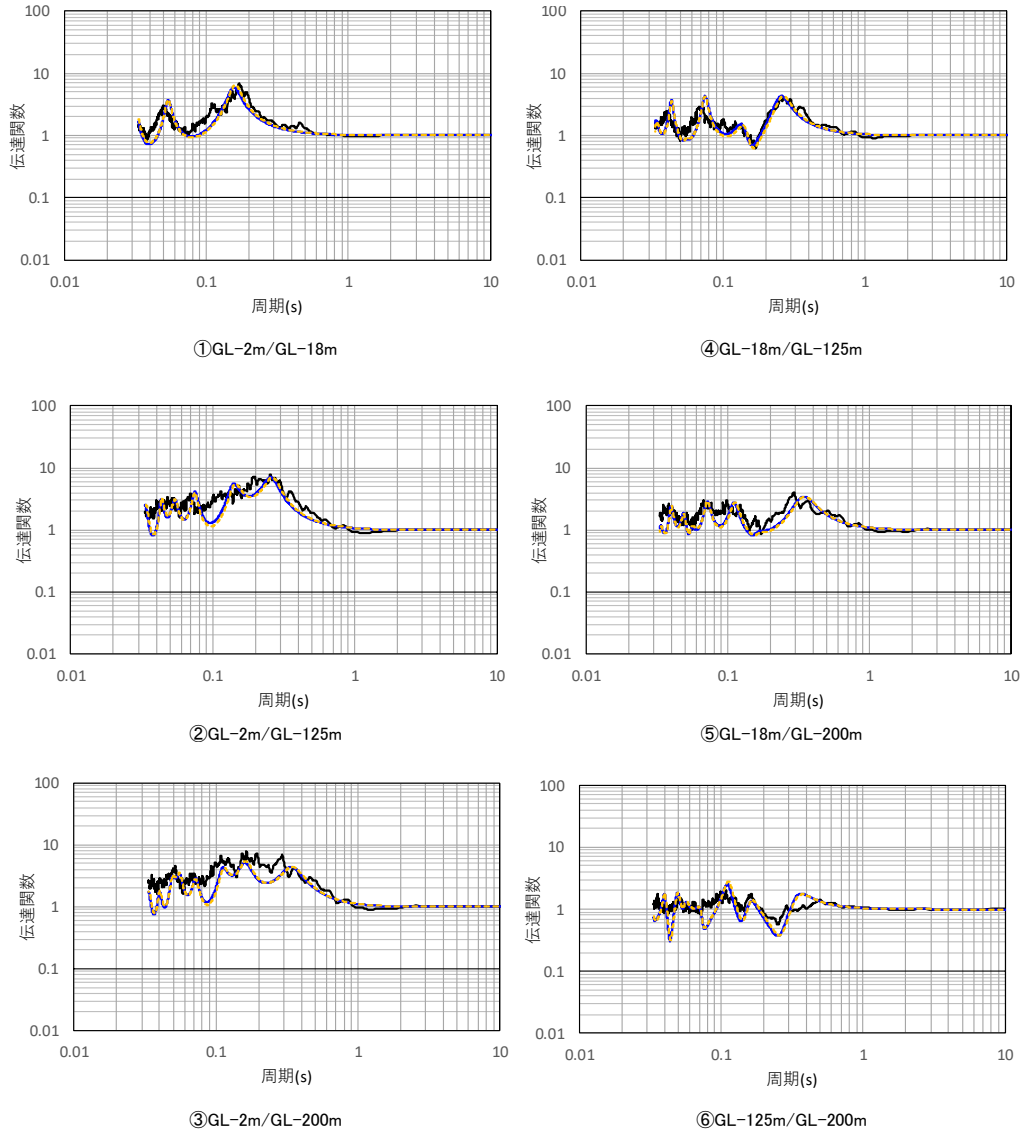
この見直しにより、いずれの深さ間における伝達関数（①～⑥）においても、伝達関数の山谷が地震観測記録とよく整合している結果が得られたことを踏まえると、本同定解析において、岩盤中の速度構造及び減衰定数は適切に評価されていると考えられる。

- 目的関数（地震観測記録）
- 地震観測位置近傍の地下構造を考慮しない場合の同定結果
- 地震観測位置近傍の地下構造を考慮した場合の同定結果



参考 2.2-1 図 伝達関数の比較（東側地盤，水平）

- 目的関数（地震観測記録）
- 地震観測位置近傍の地下構造を考慮しない場合の同定結果
- 地震観測位置近傍の地下構造を考慮した場合の同定結果



参考 2.2-2 図 伝達関数の比較（東側地盤，鉛直）