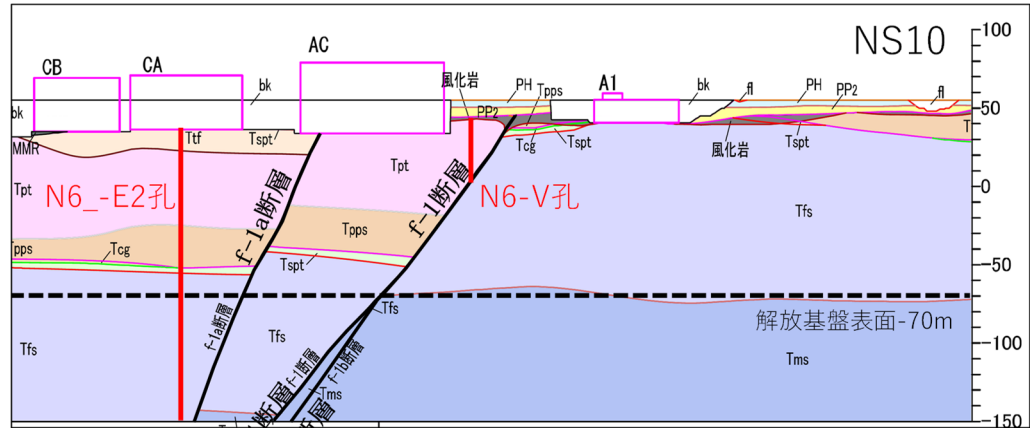


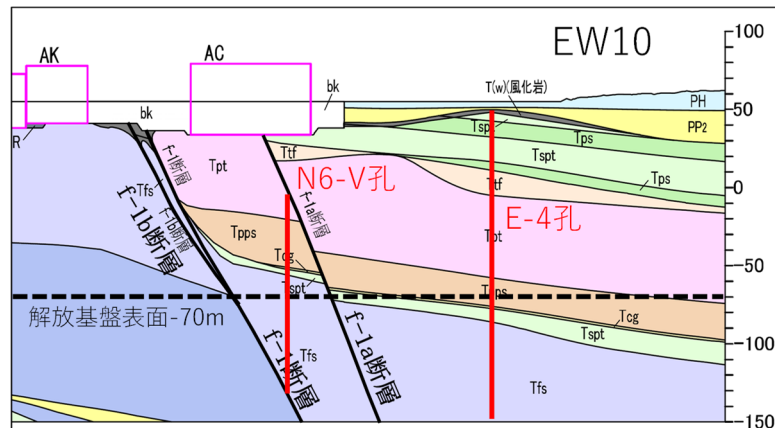
注記 : ☆は、選定したPS 検層位置を示す。

(a) 断面位置



注記 : 赤線は、選定したPS 検層結果が対応する地質への投影を示す。

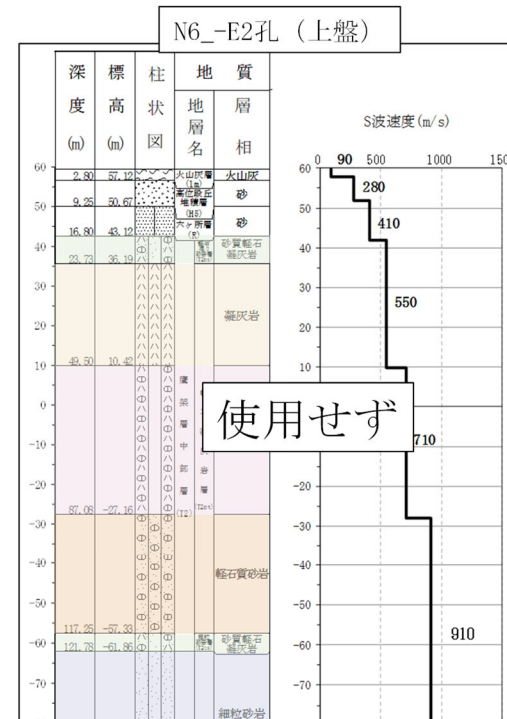
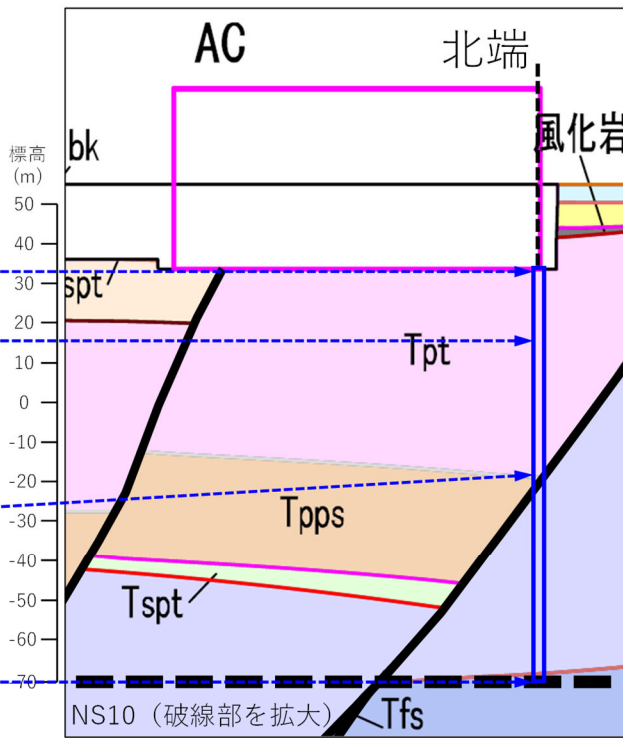
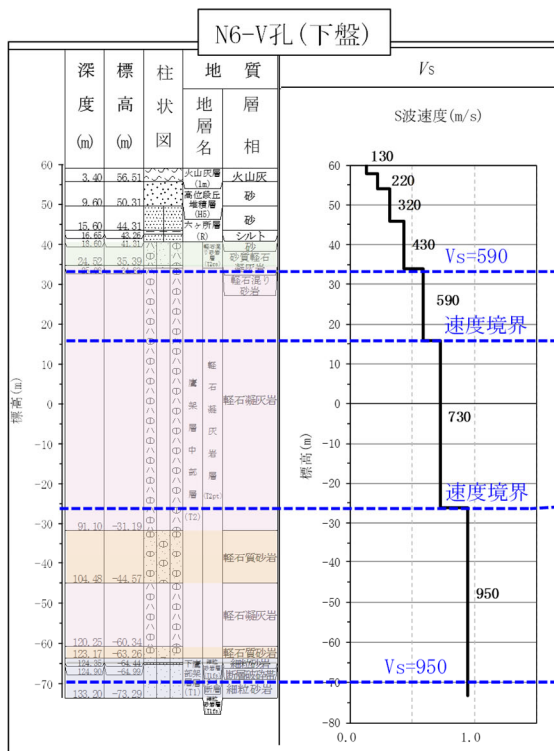
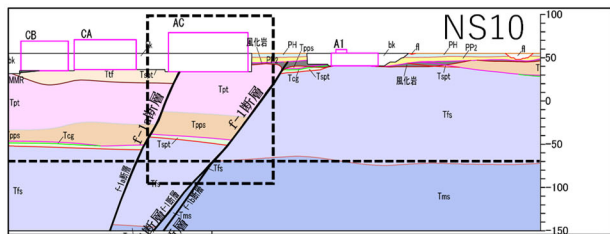
(b) NS10 断面



注記 : 赤線は、選定したPS 検層結果が対応する地質への投影を示す。

(c) EW10 断面

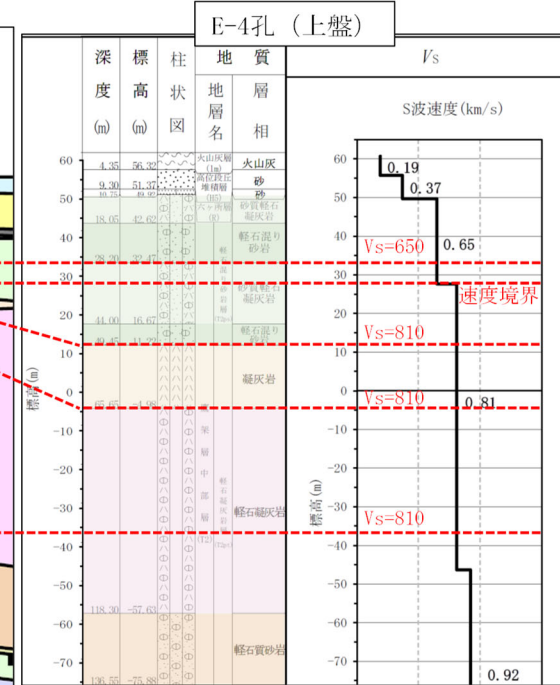
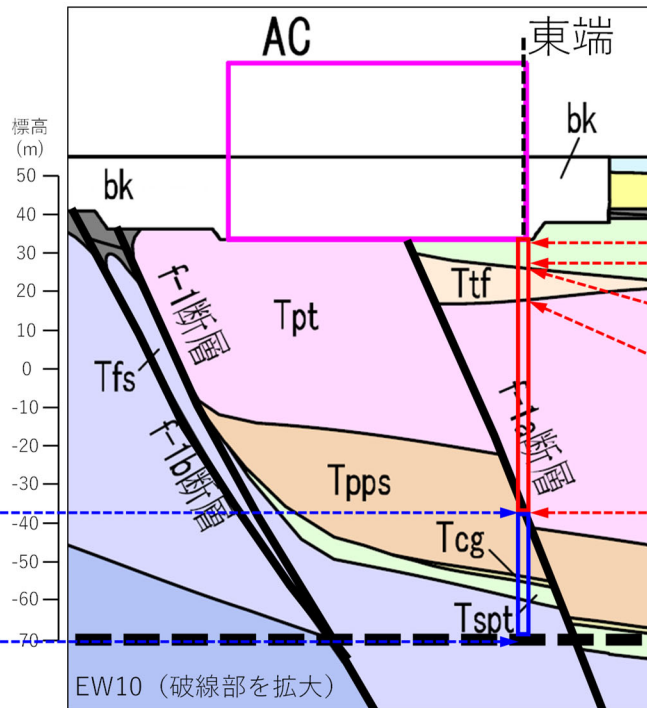
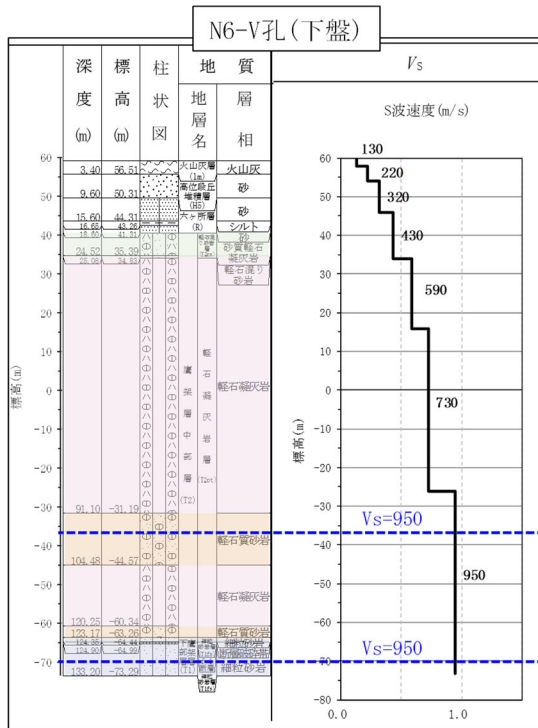
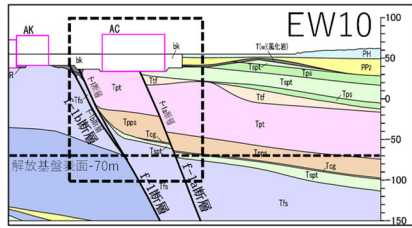
第3.3-1 図 AC 建屋直下の断層の上盤側と下盤側のPS 検層結果の選定結果



(a) 北端ケース

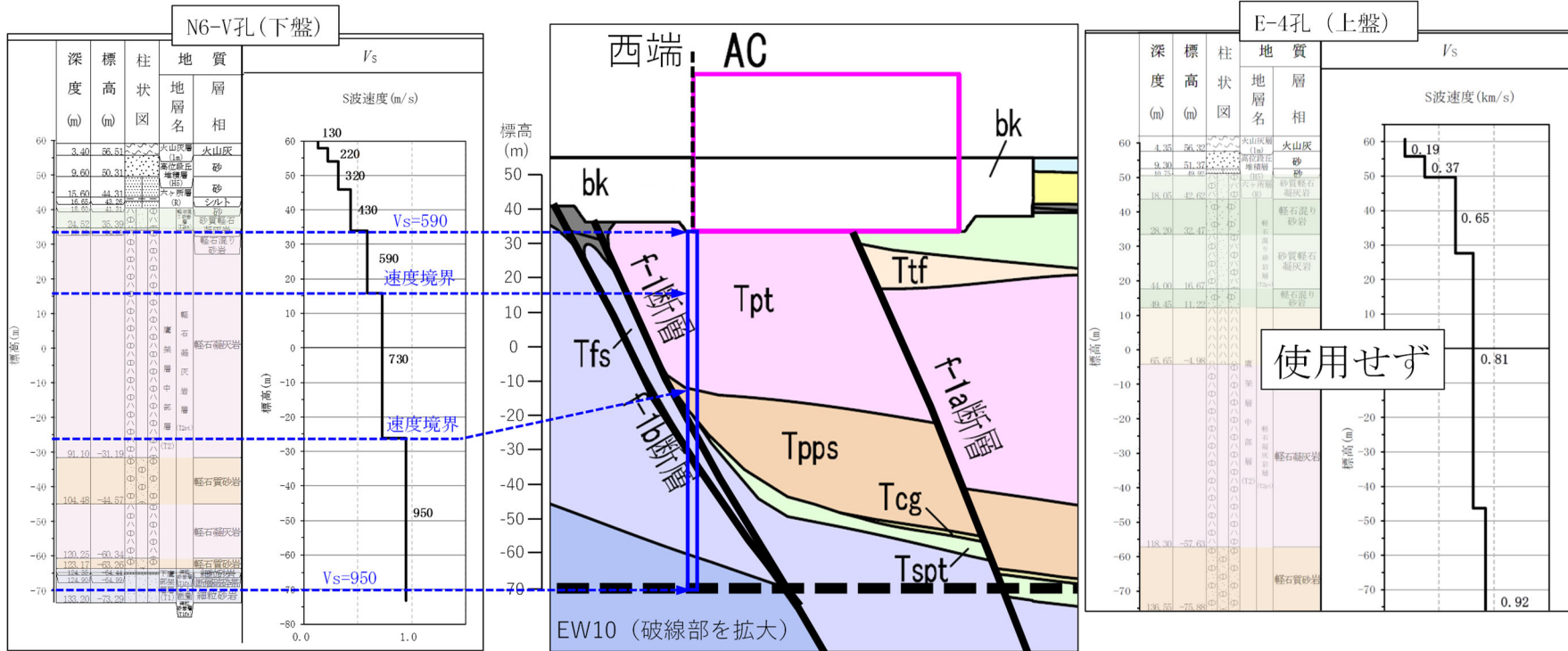
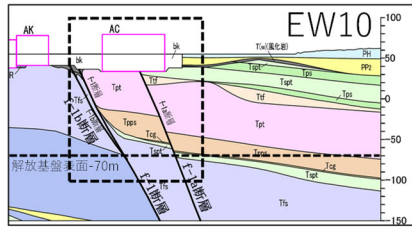
第 3.3-2 図 AC 建屋において選定した PS 検層結果による層境界レベルの補正の結果 (1/4)

参考 4-20



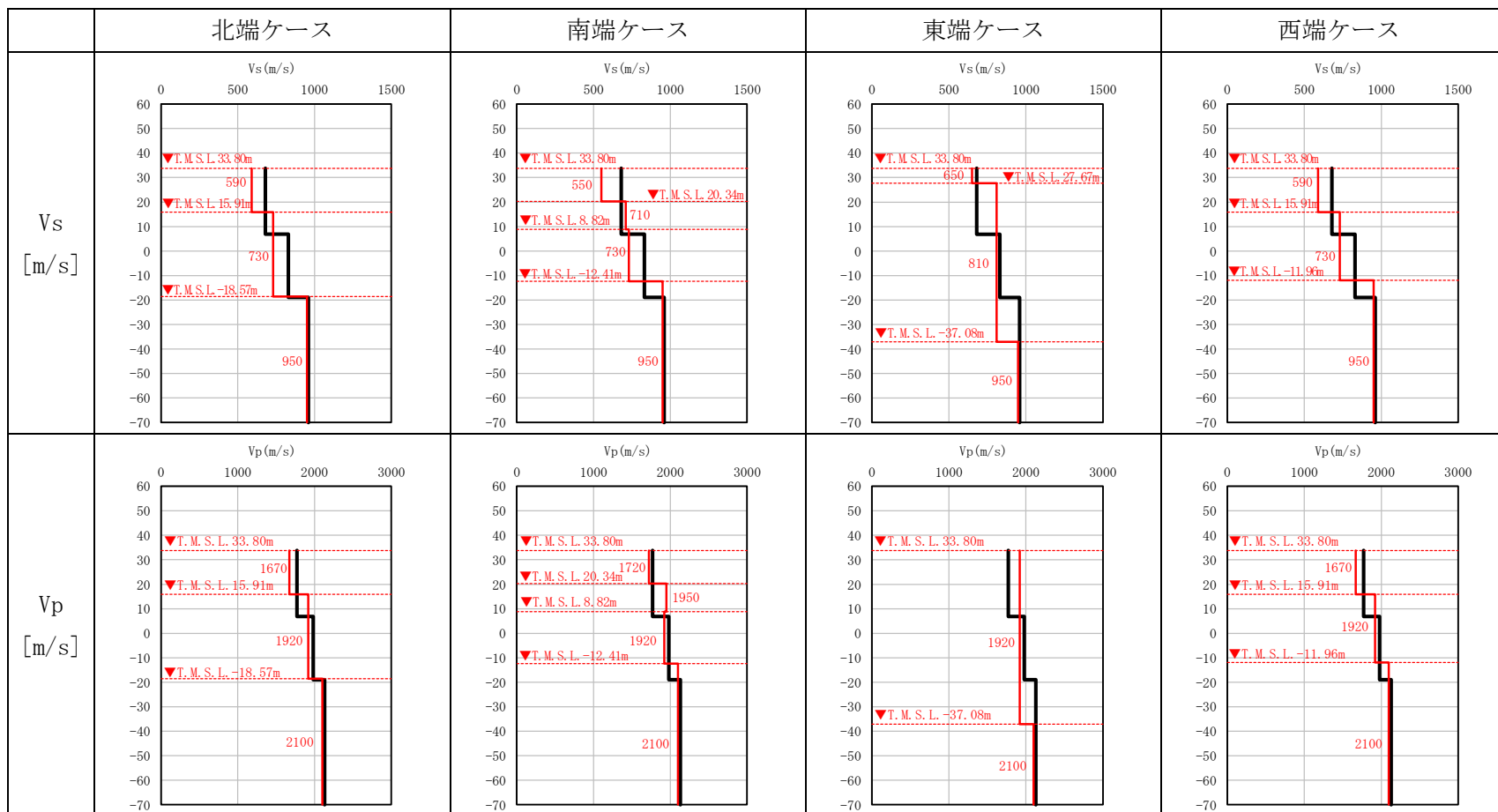
(c) 東端ケース

第 3.3-2 図 AC 建屋において選定した PS 検層結果による層境界レベルの補正の結果 (3/4)



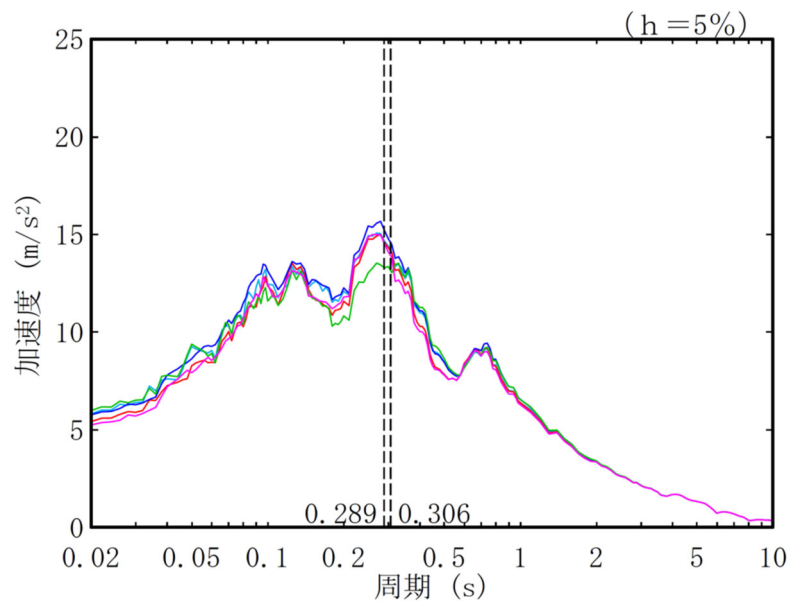
(d) 西端ケース

第 3.3-2 図 AC 建屋において選定した PS 検層結果による層境界レベルの補正の結果 (4/4)

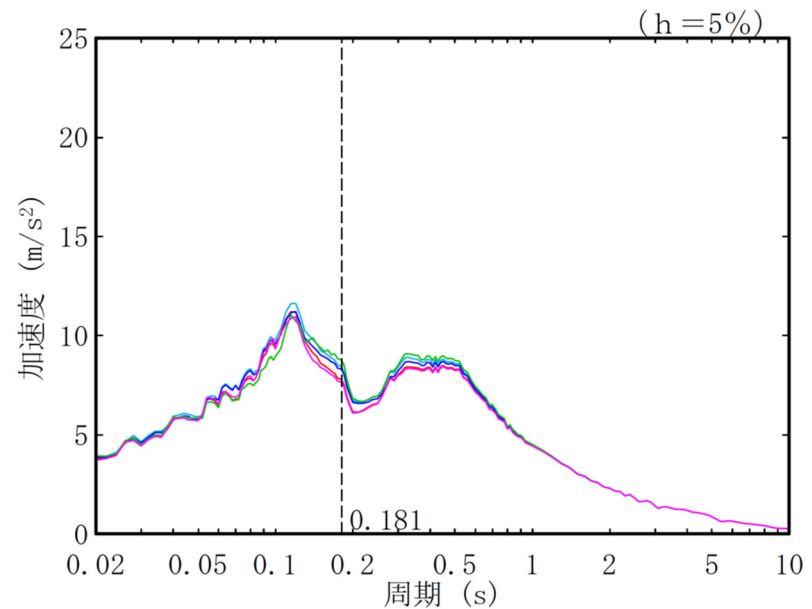


凡例 ——— : AC グループにおいて設定した物性値等
 ——— : AC 建屋の東西南北端の直下の地質構造を反映した物性値等

第 3.3-3 図 AC 建屋直下の断層を考慮した物性値等の設定結果



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

- : AC グループにおいて設定した物性値等
- : AC 建屋の北端直下の地質構造を反映した物性値等 (北端ケース)
- : AC 建屋の南端直下の地質構造を反映した物性値等 (南端ケース)
- : AC 建屋の東端直下の地質構造を反映した物性値等 (東端ケース)
- : AC 建屋の西端直下の地質構造を反映した物性値等 (西端ケース)

注記 : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-3-1 精製建屋の地震応答計算書」に示す S_s-A での AC 建屋の 1 次固有周期 (NS, EW, UD) を示す。

第 3.3-4 図 AC 建屋の基礎底面レベルの入力地震動の比較結果

3.4 BA 建屋

BA 建屋直下には, f-1a 断層が確認され, 断層を跨いで地質構造に差が見られるため, 断層が地盤応答へ与える影響を確認する。

(1) 断層の上盤側と下盤側の PS 検層結果の選定結果

断層の上盤側と下盤側の地質構造の特徴が捉えられている PS 検層結果の選定を行う。

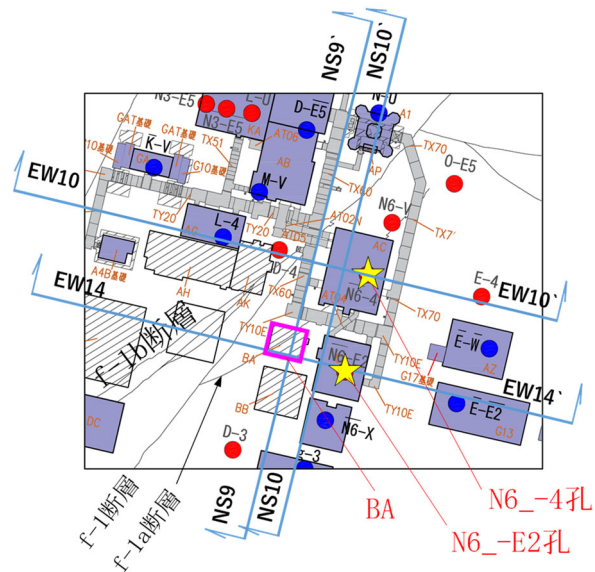
選定した結果を第 3.4-1 図に示す。BA 建屋直下には, f-1a 断層が確認される。f-1a 断層の下盤 (f-1 断層及び f-1a 断層に挟まれた領域) の地質構造については, BA 建屋の北に位置する N6_4 孔を選定する。なお, N6_4 孔では, 地質柱状図にて T. M. S. L. 15m 程度に f-1a 断層が確認されるため, f-1a 断層の下のデータを用いる。また, f-1a 断層の下盤の地質構造については, AC 建屋北側の N6-V 孔を使用することも考えられるが, BA 建屋のより近くに位置する N6_4 孔を選定することとする。f-1a 断層の上盤の地質構造については, BA 建屋の東に位置する N6_E2 孔を選定する。

(2) 断層の影響を考慮した物性値等の設定結果

前項にて選定した PS 検層結果を用いて, BA 建屋の東西南北の端の位置における, 断層の影響を考慮した物性等の設定を行う。選定した PS 検層結果による層境界レベルの補正の結果を第 3.4-2 図に示す。断層の影響を考慮した物性等の設定結果を第 3.4-3 図に示す。なお, 単位体積重量の設定については, 添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す各岩種の湿潤密度を設定した。

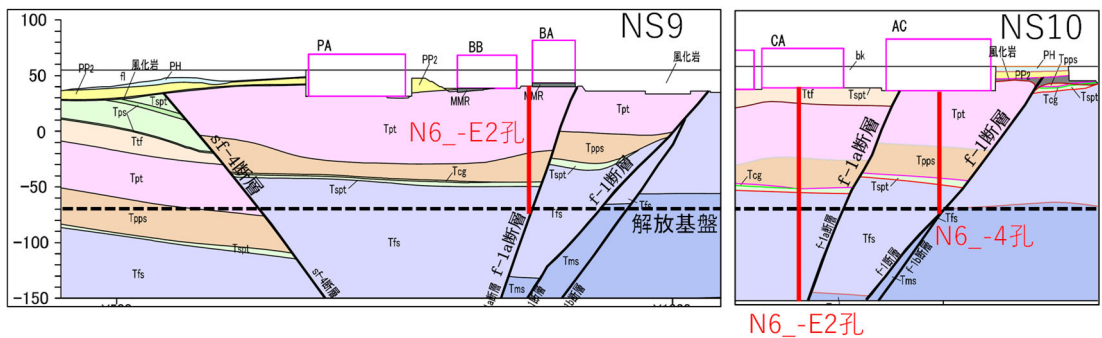
(3) 入力地震動の比較結果

前項にて設定した断層の影響を考慮した物性値等を用いて BA 建屋の基礎底面レベルでの入力地震動を作成し, BA 建屋直下の地質構造を反映して設定した物性値等 (別紙 2-1 第 1-1 図 ②-a にて採用した物性値等) による入力地震動と比較を行う。入力地震動の比較結果を第 3.4-4 図に示す。水平方向の応答について, BA 建屋直下の地質構造を反映して設定した物性値等による入力地震動は, BA 建屋の 1 次固有周期においては, BA 建屋の東西南北端の各ケースの入力地震動を上回ることを確認した。なお, 0.1 秒から 0.2 秒の周期帯では, BA 建屋の北端及び西端の各ケースの入力地震動が BA 建屋直下の地質構造を反映して設定した物性値等による入力地震動を上回るが, BA 建屋に S クラスの機器・配管はない。



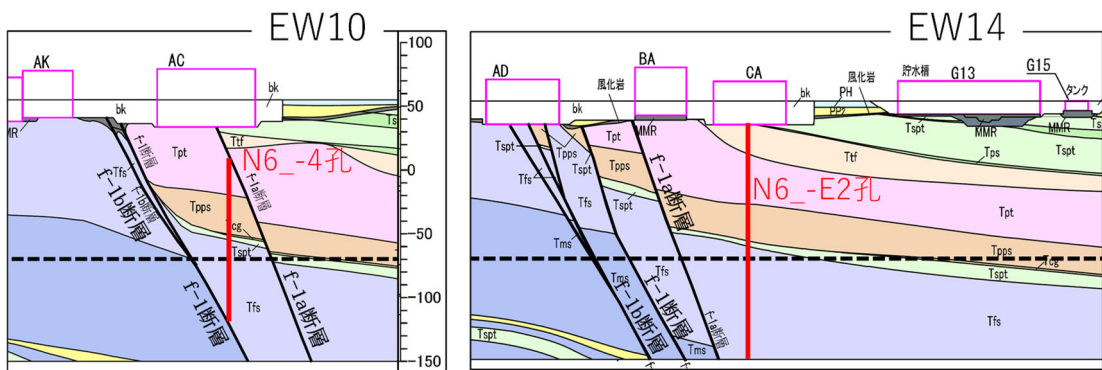
注記 : ☆は、選定したPS 検層位置を示す。

(a) 断面位置



注記 : 赤線は、選定したPS 検層結果が対応する地質への投影を示す。

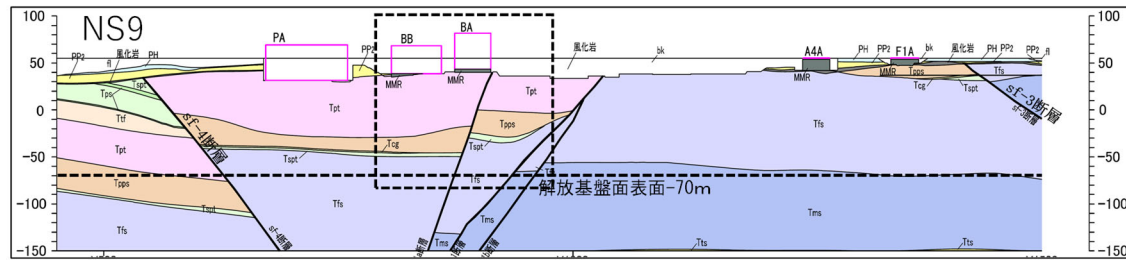
(b) NS9, NS10 断面



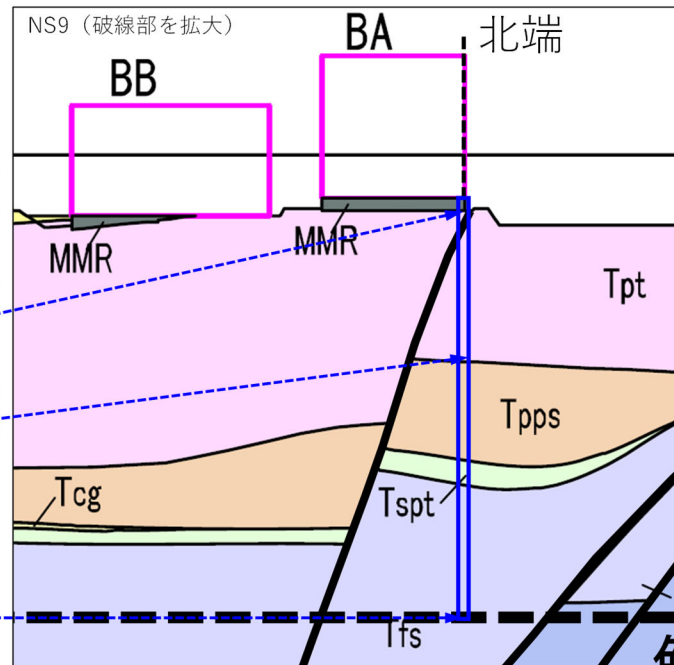
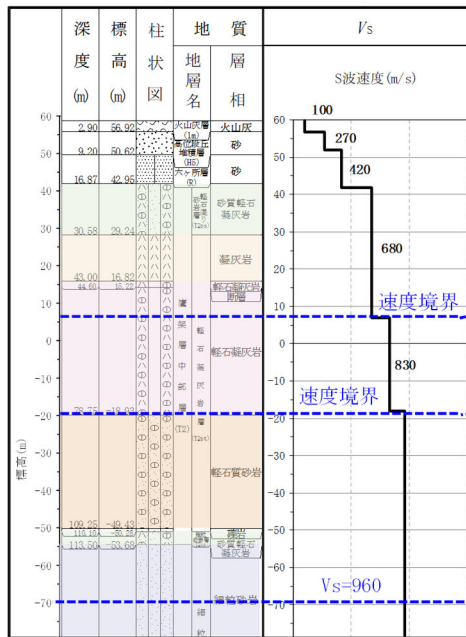
注記 : 赤線は、選定したPS 検層結果が対応する地質への投影を示す。

(c) EW10, EW14 断面

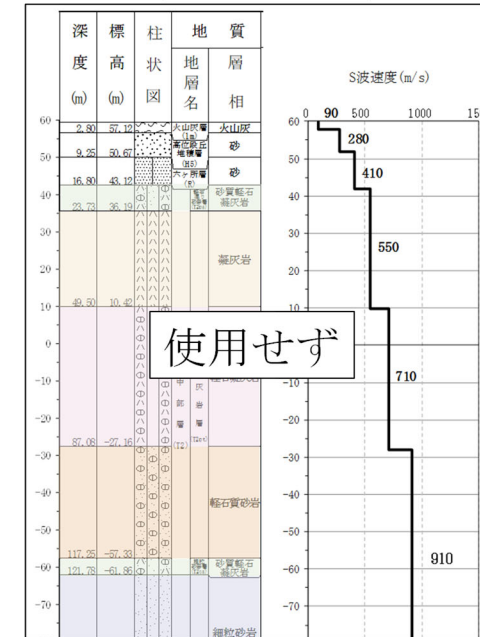
第3.4-1図 BA 建屋直下の断層の上盤側と下盤側のPS 検層結果の選定結果



N6_4孔 (下盤)

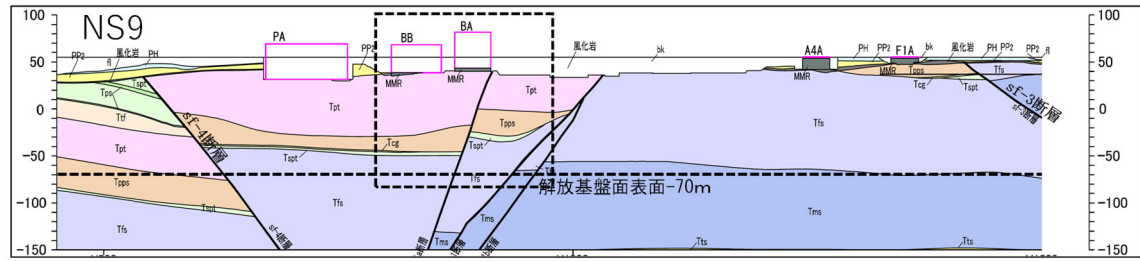


N6_E2孔 (上盤)

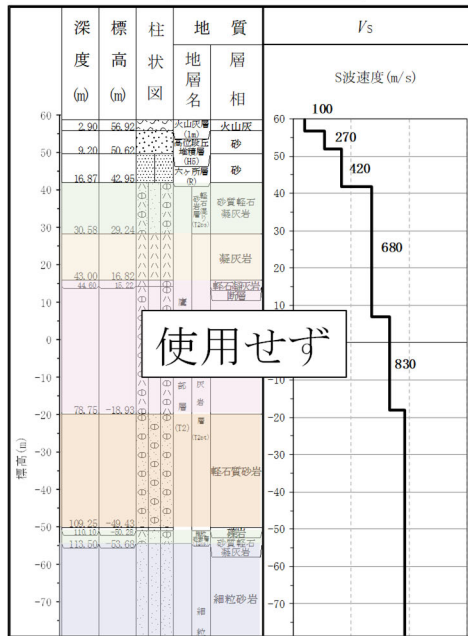


(a) 北端ケース

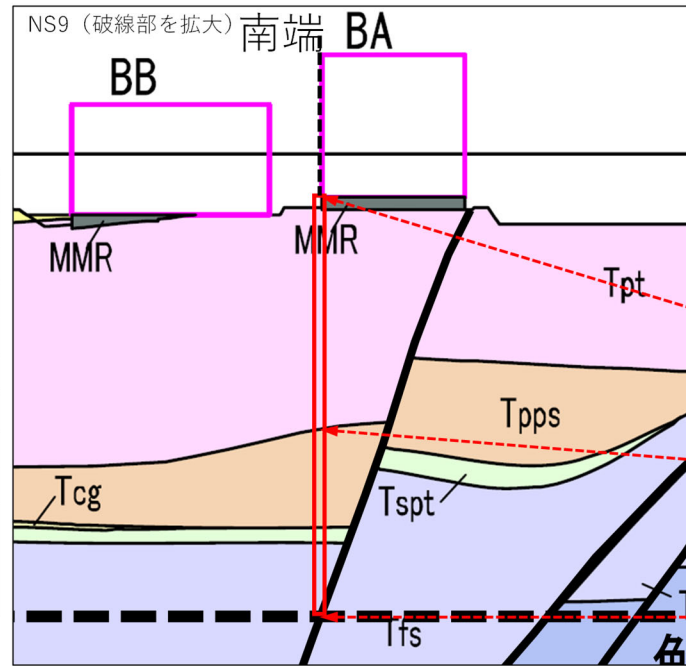
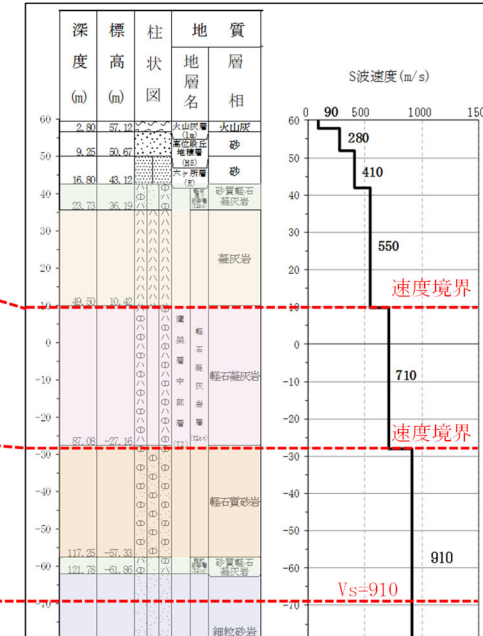
第 3.4-2 図 BA 建屋において選定した PS 検層結果による層境界レベルの補正の結果 (1/4)



N6_4孔 (下盤)

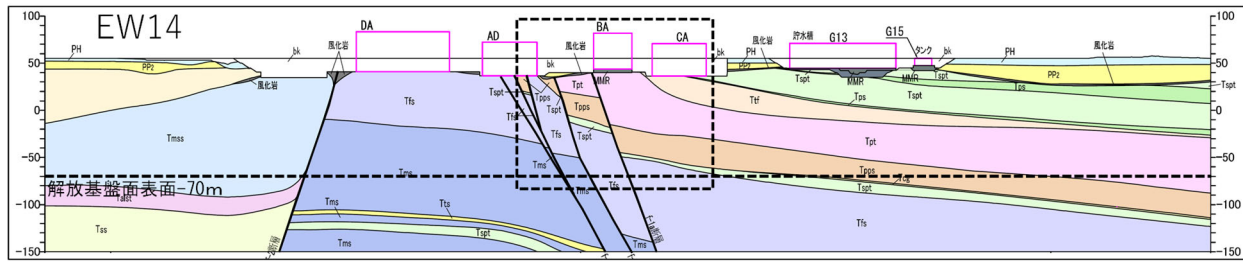


N6_E2孔 (上盤)

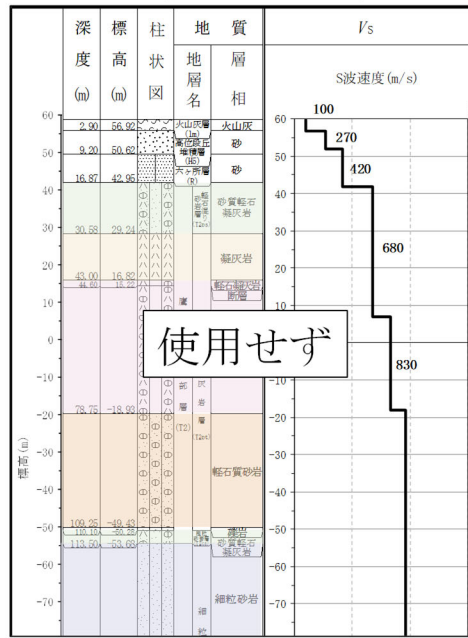


(b) 南端ケース

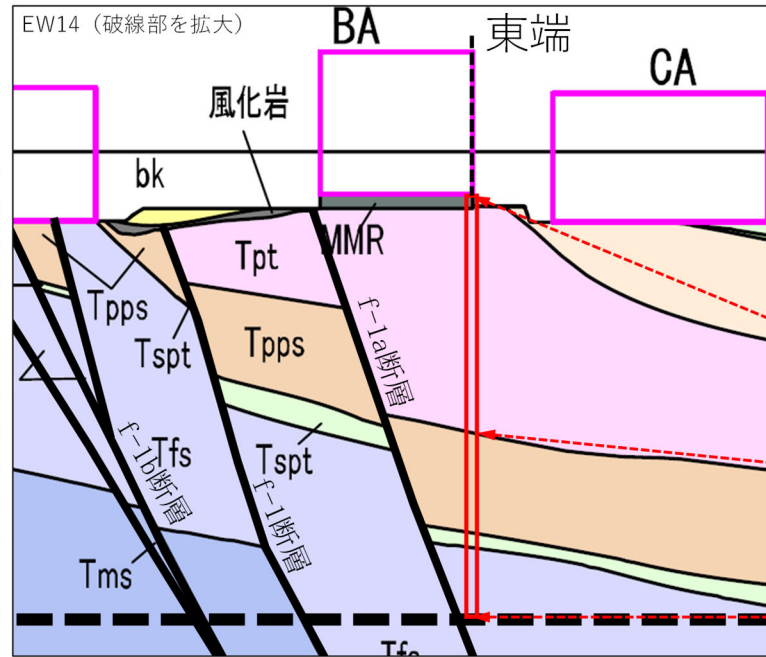
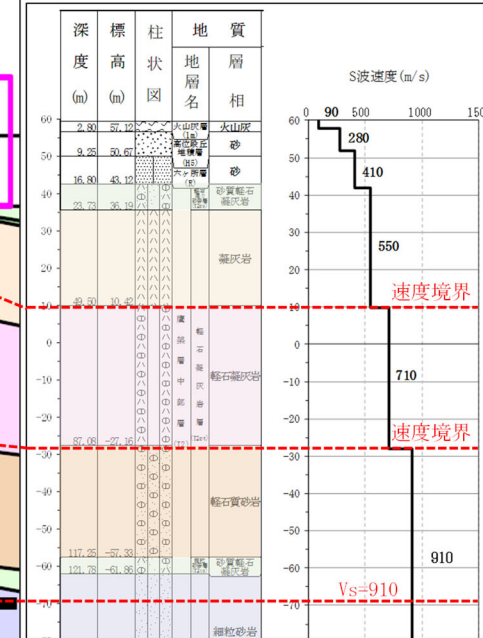
第 3.4-2 図 BA 建屋において選定した PS 検層結果による層境界レベルの補正の結果 (2/4)



N6_4孔 (下盤)

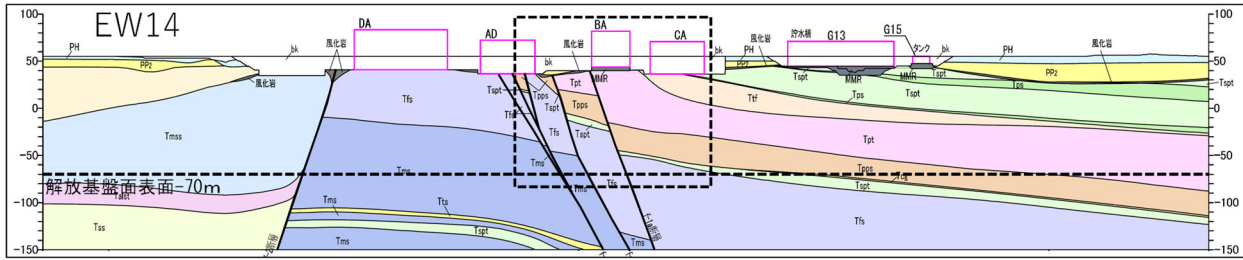


N6_E2孔 (上盤)



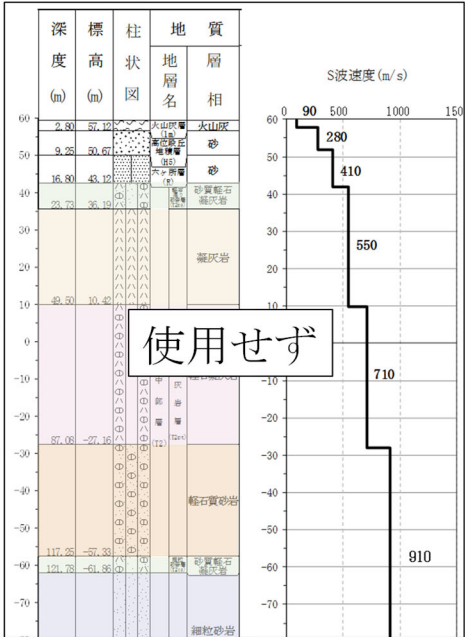
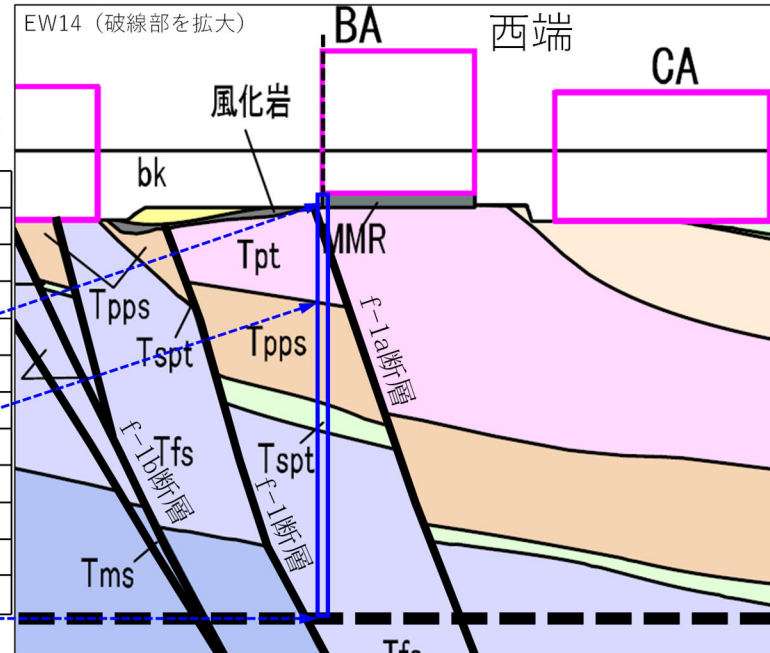
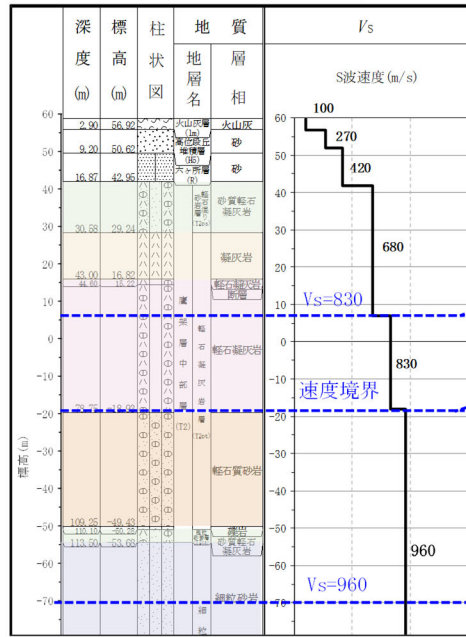
(c) 東端ケース

第 3.4-2 図 BA 建屋において選定した PS 検層結果による層境界レベルの補正の結果 (3/4)



N6_4孔 (下盤)

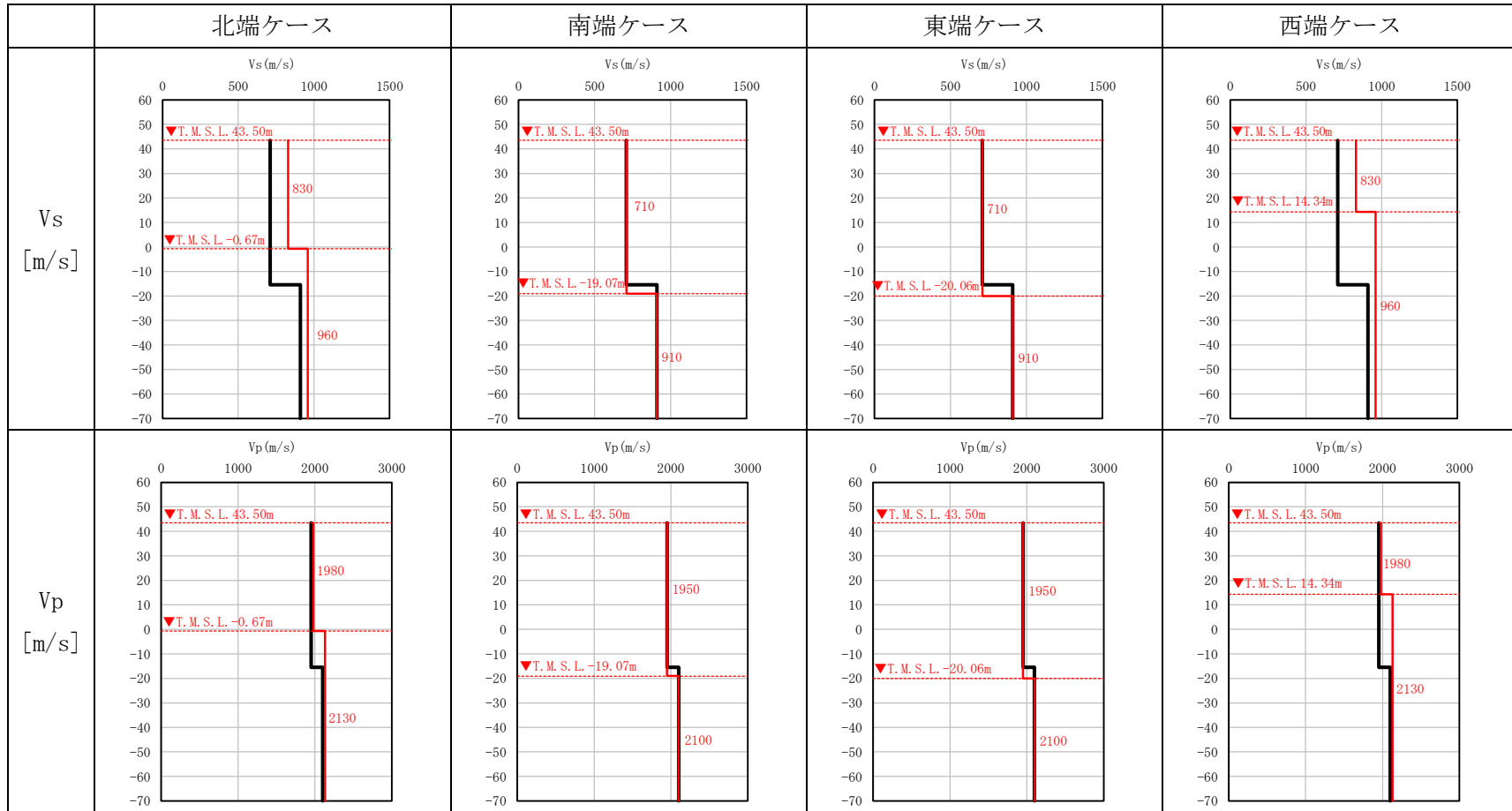
N6_E2孔 (上盤)



(d) 西端ケース

第3.4-2図 BA建屋において選定したPS検層結果による層境界レベルの補正の結果 (4/4)

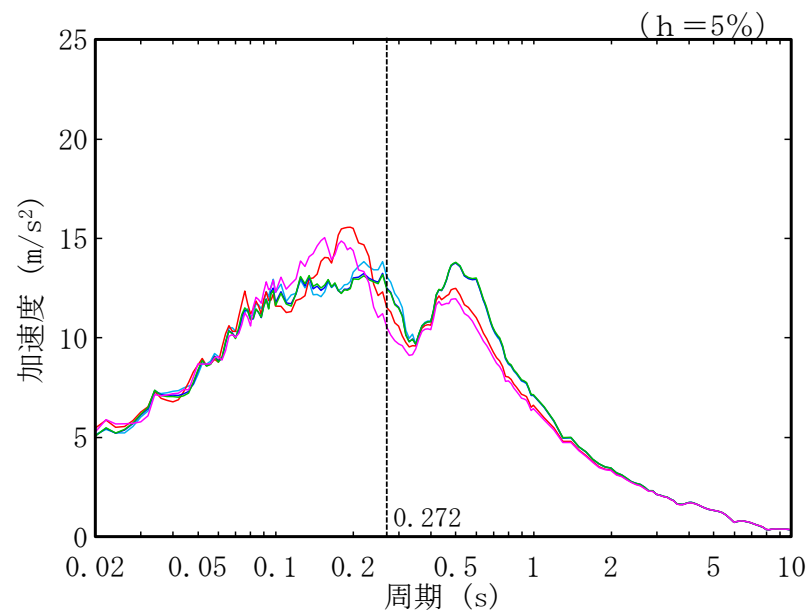
参考 4-31



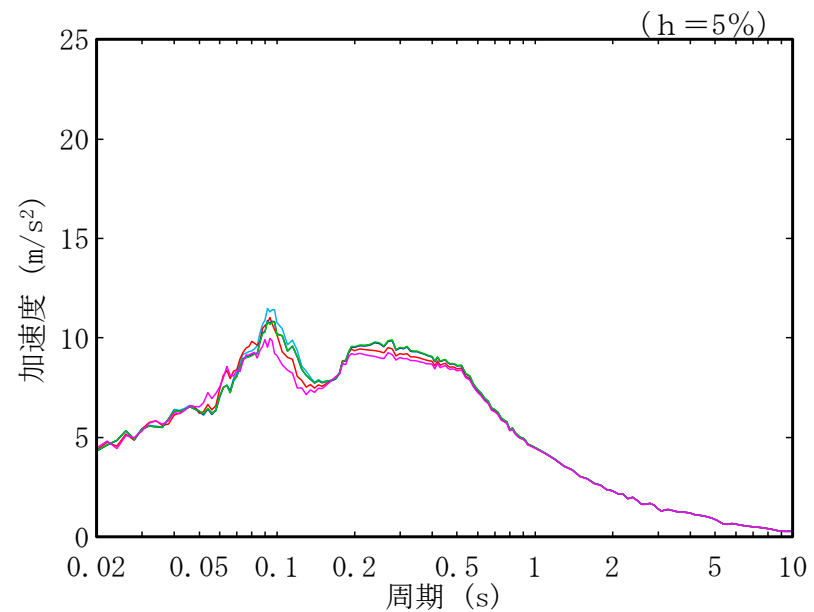
凡例 ——— : BA 建屋直下の地質構造を反映した物性値等 (②-a にて採用した物性値等)

————— : BA 建屋の東西南北端の直下の地質構造を反映した物性値等

第 3.4-3 図 BA 建屋直下の断層を考慮した物性値等の設定結果



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

- : BA 建屋直下の地質構造を反映した物性値等 (②-a にて採用した物性値等)
- : BA 建屋の北端直下の地質構造を反映した物性値等 (北端ケース)
- : BA 建屋の南端直下の地質構造を反映した物性値等 (南端ケース)
- : BA 建屋の東端直下の地質構造を反映した物性値等 (東端ケース)
- : BA 建屋の西端直下の地質構造を反映した物性値等 (西端ケース)

注記 : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-2-2-1-1-3 ウラン脱硝建屋の耐震性に関する計算書」における BA 建屋の地震応答解析モデルの Ss-A での 1 次固有周期 (EW) を示す。

第 3.4-4 図 BA 建屋の基礎底面レベルの入力地震動の比較結果

3.5 G14 建屋

G14 建屋直下には、sf-6 断層が確認され、断層を跨いで地質構造に差が見られるため、断層が地盤応答へ与える影響を確認する。

(1) 断層の上盤側と下盤側の PS 検層結果の選定結果

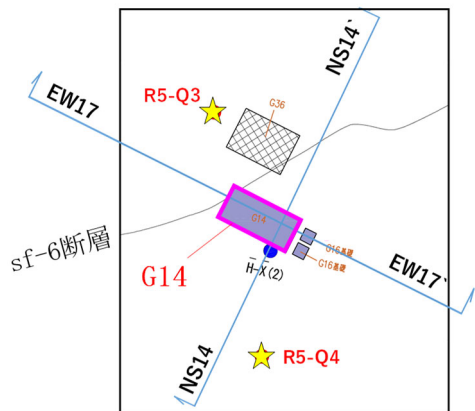
断層の上盤側と下盤側の地質構造の特徴が捉えられている PS 検層結果の選定を行う。選定した結果を第 3.5-1 図に示す。G14 建屋直下には、sf-6 断層が確認される。sf-6 断層の下盤の地質構造については、G14 建屋の北に位置する R5-Q3 孔を選定する。また、sf-6 断層の上盤の地質構造については、G14 建屋の南に位置する R5-Q4 孔を選定する。

(2) 断層の影響を考慮した物性値等の設定結果

前項にて選定した PS 検層結果を用いて、G14 建屋の東西南北の端の位置における、断層の影響を考慮した物性等の設定を行う。選定した PS 検層結果による層境界レベルの補正の結果を第 3.5-2 図に示す。断層の影響を考慮した物性等の設定結果を第 3.5-3 図に示す。なお、単位体積重量の設定については、添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す各岩種の湿潤密度を設定した。

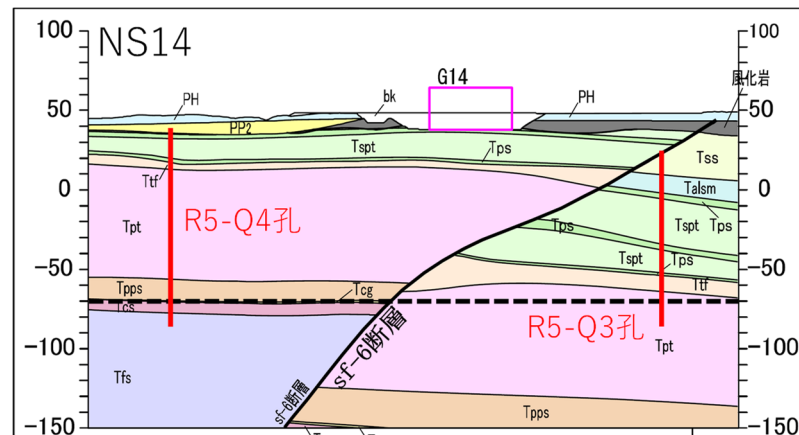
(3) 入力地震動の比較結果

前項にて設定した断層の影響を考慮した物性値等を用いて G14 建屋の基礎底面レベルでの入力地震動を作成し、G14 グループで設定した物性値等による入力地震動と比較を行う。入力地震動の比較結果を第 3.5-4 図に示す。G14 グループで設定した物性値による入力地震動は、G14 建屋の 1 次固有周期においては、G14 建屋の東端及び南端の各ケースの入力地震動を下回る一方で、その他の周期帯においては、G14 建屋の東西南北端の各ケースの入力地震動と同等以上であることを確認した。また、機器・配管系の固有周期である 0.2 秒程度以下の周期帯のうち、G14 建屋の 1 次固有周期以外の周期帯では、G14 グループで設定した物性値による入力地震動は、G14 建屋の東西南北端の各ケースの入力地震動と同等であることを確認した。また、下盤側の地質構造が支配的となっている西端ケースよりも、上盤側の地質構造が支配的となっている北端、南端及び東端ケースのほうが大きな入力地震動を与える傾向を確認した。



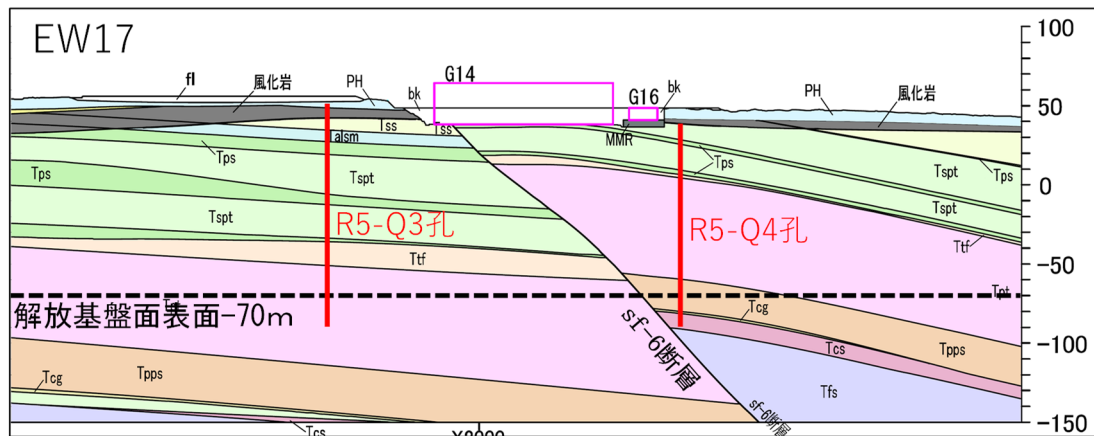
注記 : ☆は, 選定した PS 検層位置を示す。

(a) 断面位置



注記 : 赤線は, 選定した PS 検層結果が対応する地質への投影を示す。

(b) NS14 断面

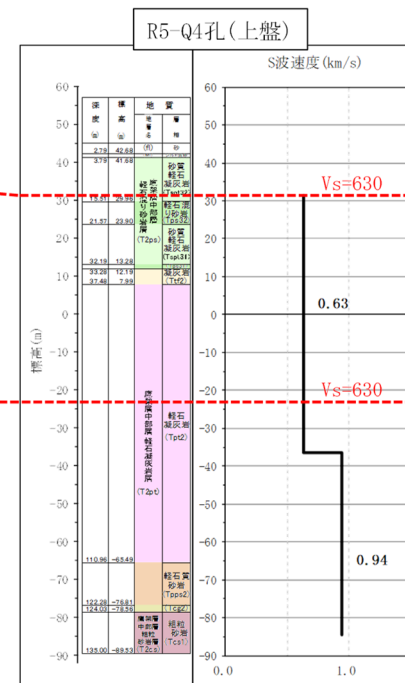
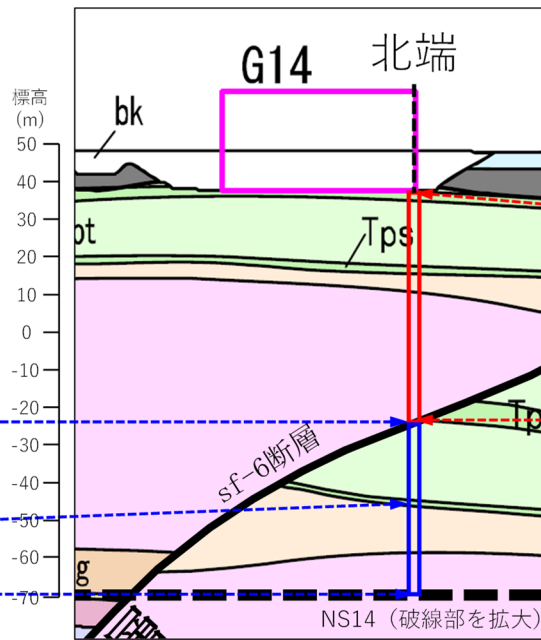
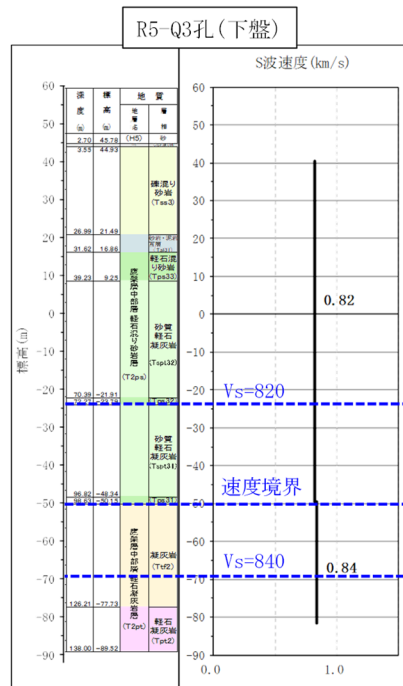
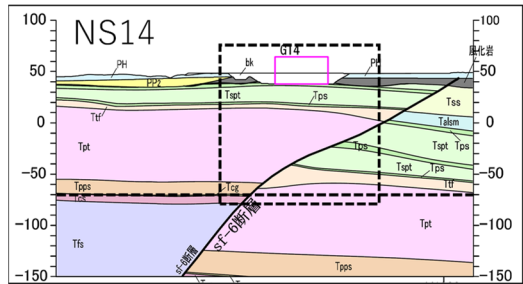


注記 : 赤線は, 選定した PS 検層結果が対応する地質への投影を示す。

(c) EW17 断面

第 3.5-1 図 G14 建屋直下の断層の上盤側と下盤側の PS 検層結果の選定結果

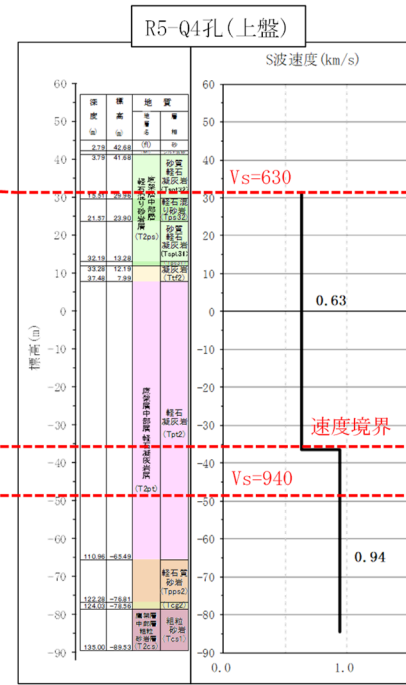
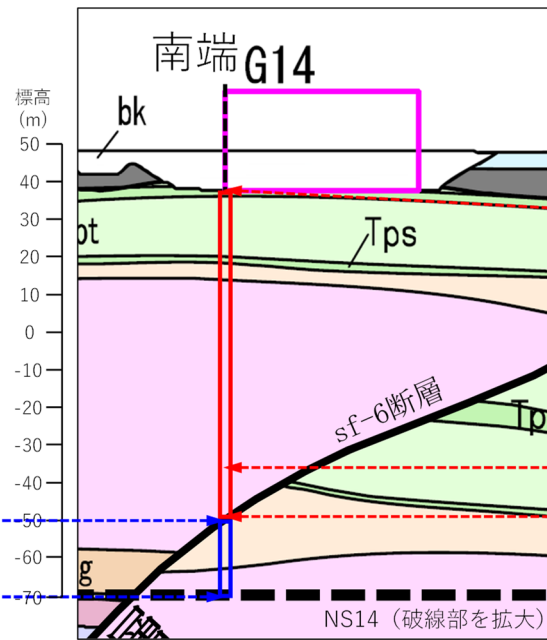
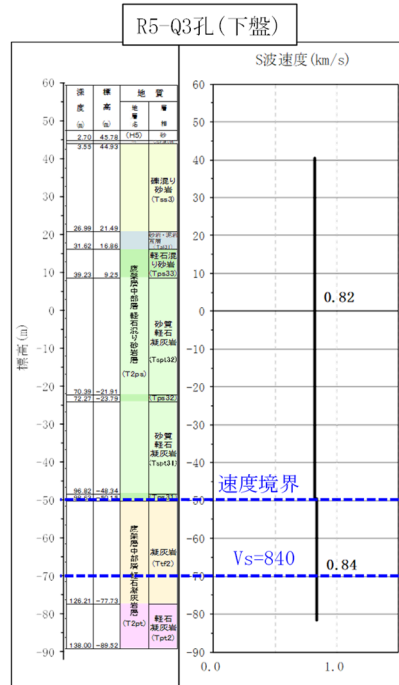
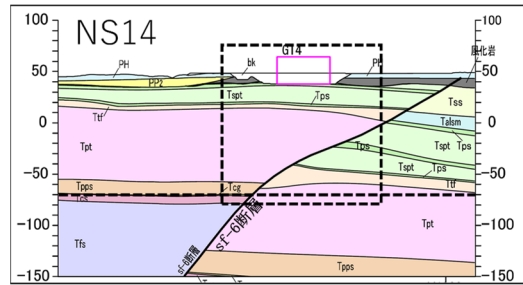
参考 4-35



(a) 北端ケース

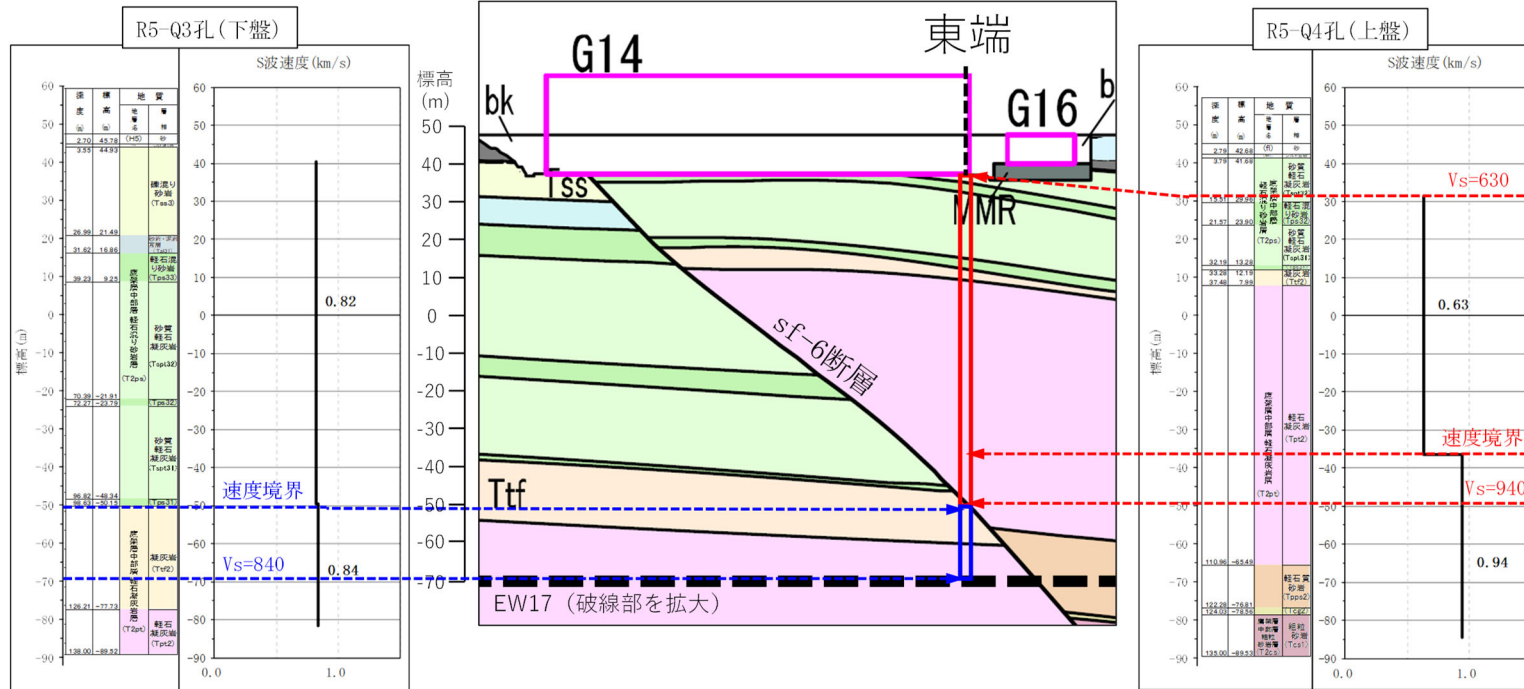
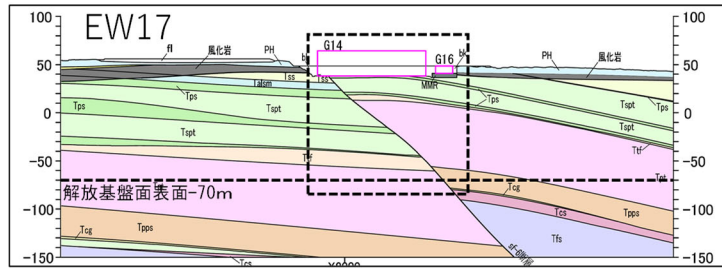
第3.5-2図 G14 建屋において選定したPS検層結果による層境界レベルの補正の結果 (1/4)

参考 4-36



(b) 南端ケース

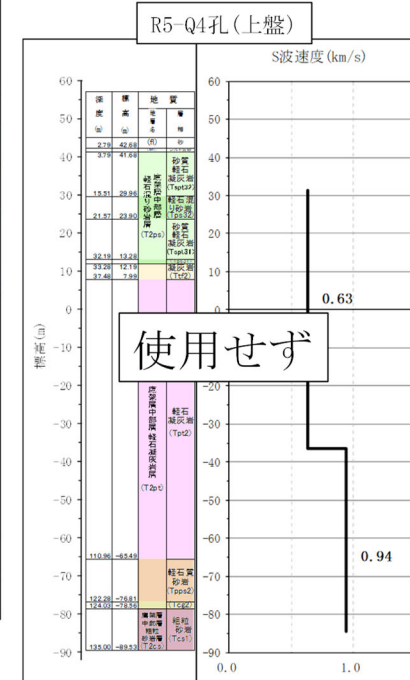
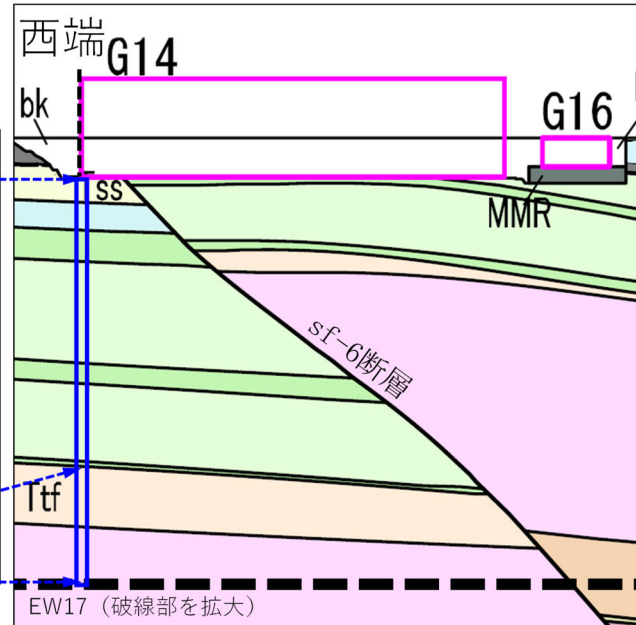
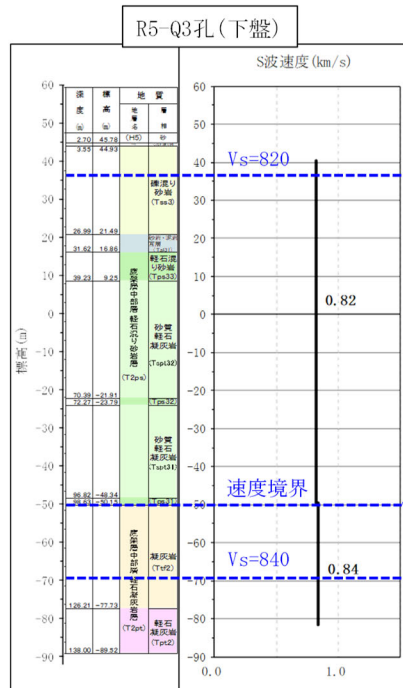
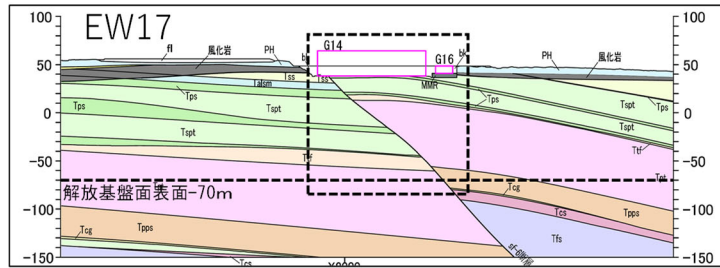
第 3.5-2 図 G14 建屋において選定した PS 検層結果による層境界レベルの補正の結果 (2/4)



(c) 東端ケース

第 3.5-2 図 G14 建屋において選定した PS 検層結果による層境界レベルの補正の結果 (3/4)

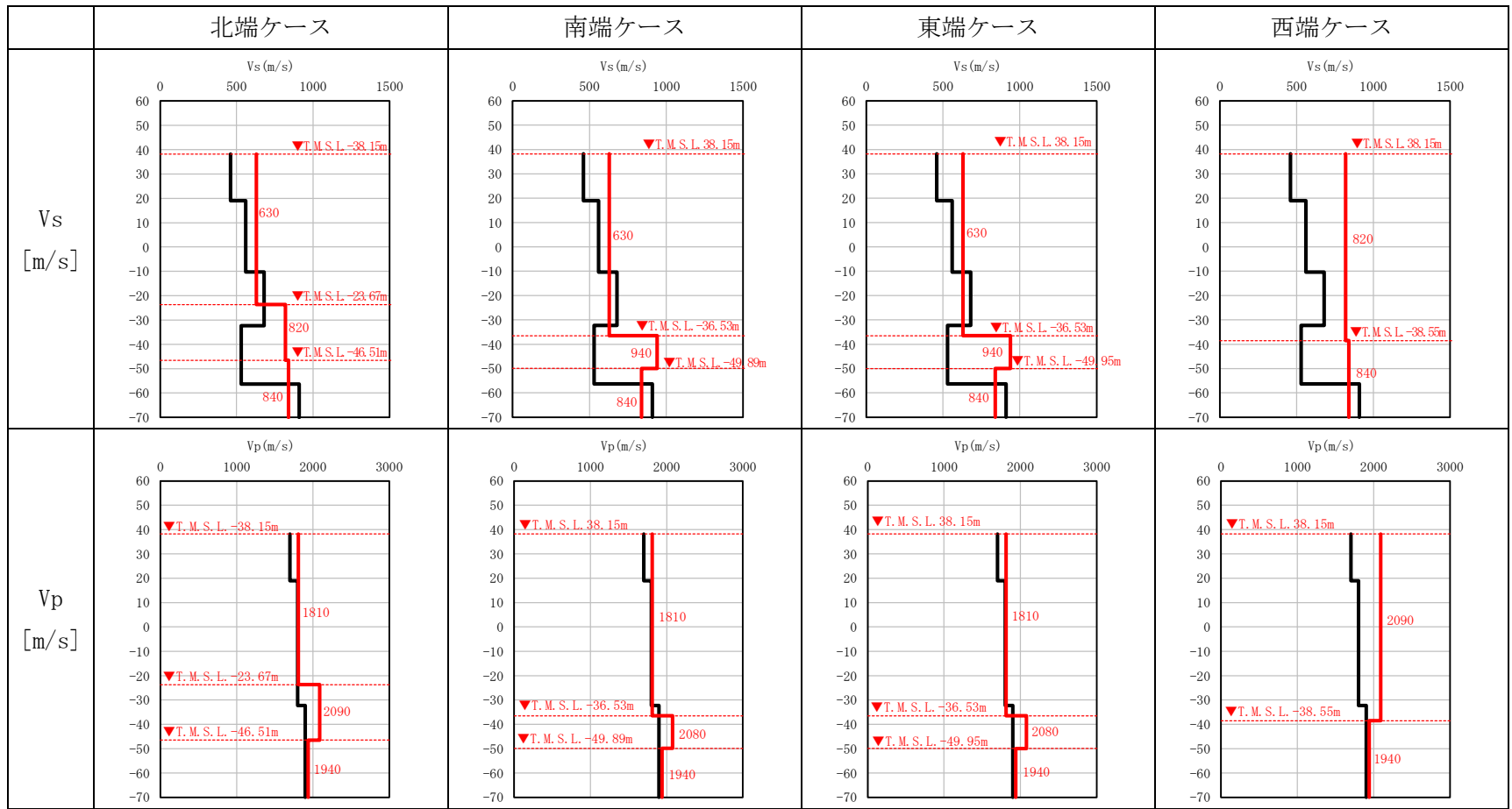
参考 4-38



(d) 西端ケース

第 3.5-2 図 G14 建屋において選定した PS 検層結果による層境界レベルの補正の結果 (4/4)

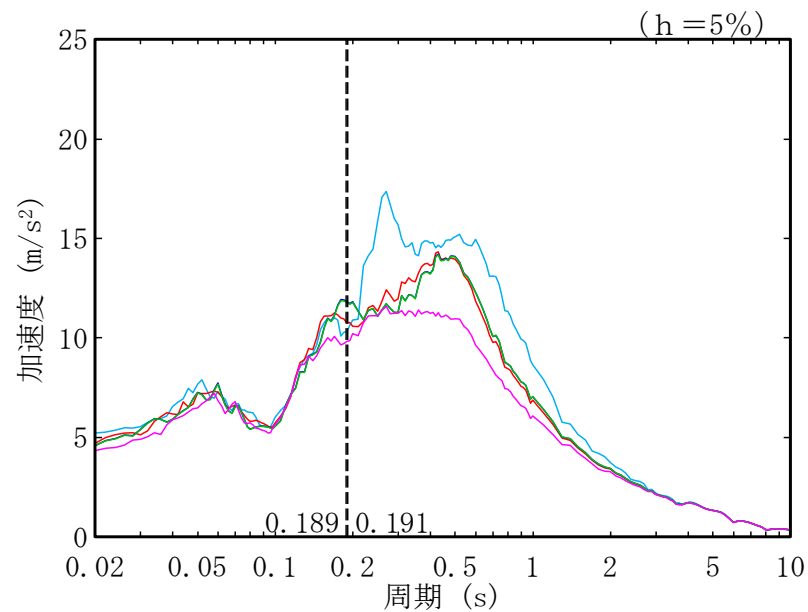
参考 4-39



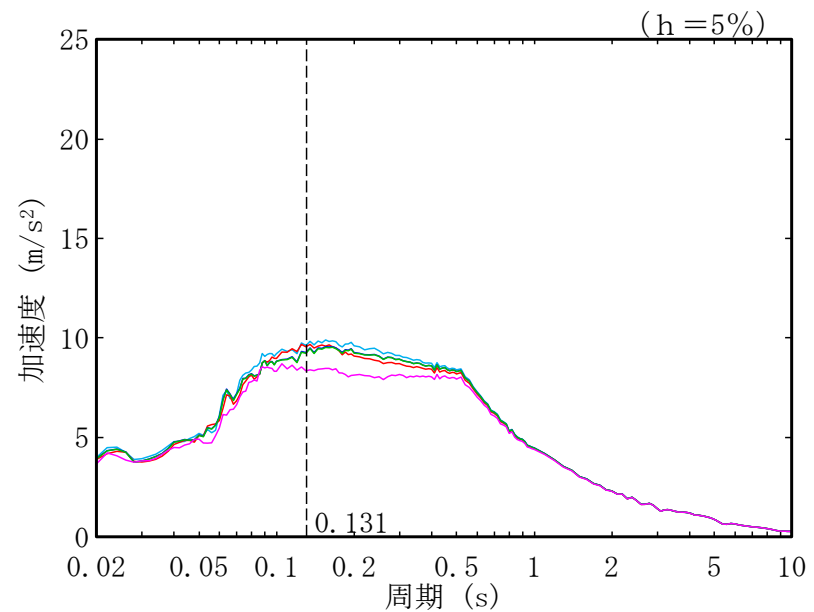
凡例 ——— : G14 グループにおいて設定した物性値等
 ——— : G14 建屋の東西南北端の直下の地質構造を反映した物性値等

第 3.5-3 図 G14 建屋直下の断層を考慮した物性値等の設定結果

参考 4-40



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

- : G14 グループにおいて設定した物性値等
- : G14 建屋の北端直下の地質構造を反映した物性値等 (北端ケース)
- : G14 建屋の南端直下の地質構造を反映した物性値等 (南端ケース)
- : G14 建屋の東端直下の地質構造を反映した物性値等 (東端ケース)
- : G14 建屋の西端直下の地質構造を反映した物性値等 (西端ケース)

注記 : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-18-1 第2保管庫・貯水所の地震応答計算書」に示す Ss-A での G14 建屋の 1 次固有周期 (NS, EW, UD) を示す。

第 3.5-4 図 G14 建屋の基礎底面レベルの入力地震動の比較結果

参考 4-41

参考 5

2次元 FEM モデルを用いた
断層が地盤応答へ与える影響の確認

目 次

	ページ
1. 概要	参考 5-1
2. 2次元 FEM モデルを用いた検討	参考 5-1
2.1 検討対象施設の選定.....	参考 5-1
2.2 2次元 FEM モデルを用いた検討方針	参考 5-6
2.3 2次元 FEM モデルを用いた検討結果	参考 5-8

1. 概要

直下に断層が確認される建物・構築物のうち、断層を跨いで地質構造に差が確認された建物・構築物において、断層が建物・構築物の基礎底面レベルの入力地震動に与える影響の確認については、「参考 4 断層が地盤応答へ与える影響」に示すとおり、対象となる建物・構築物の東西南北の端の位置における地質構造を反映した物性値等に基づき、1次元波動論により入力地震動の算定を行い、比較することで検討している。

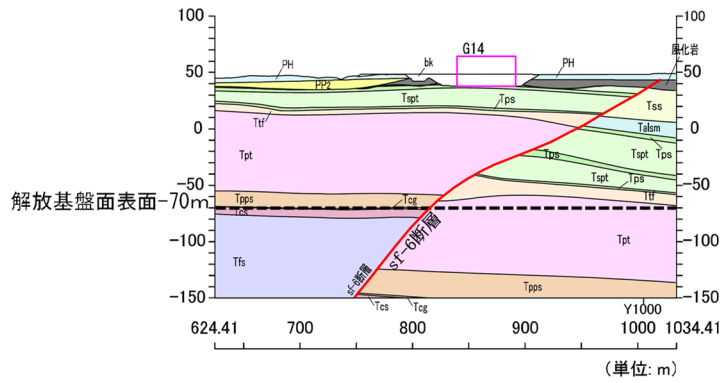
上記に対し、断層による地質構造の差の影響を確認するうえで、詳細なモデルを用いた検討が可能な解析手法である 2次元 FEM モデルを用いた検討を行うことで、「参考 4 断層が地盤応答へ与える影響」に示す 1次元波動論による断層を考慮した地盤応答の確認方法の適用性について検討する。

2. 2次元 FEM モデルを用いた検討

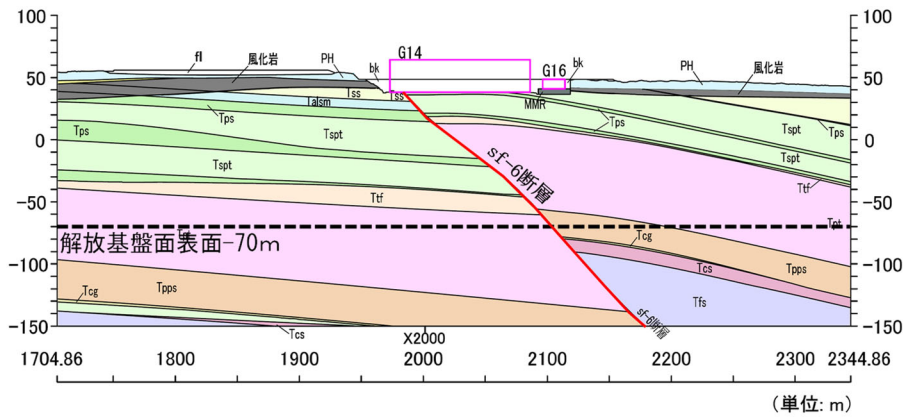
2.1 検討対象施設の選定

本資料における 2次元 FEM モデルを用いた検討においては、第 2.1-1 図に示すとおり、断層により建物・構築物直下の地質構造の違いが顕著に現れている G14 建屋を代表として検討を行う。

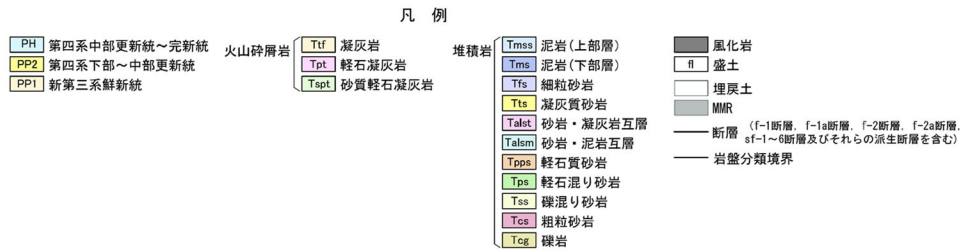
また、第 2.1-2 図及び第 2.1-3 図に示す G14 建屋における東西南北位置の地質構造を反映した物性値等及び入力地震動の比較結果（「参考 4」より引用）のとおり、東端ケースについては、解放基盤表面～基礎底面レベルの速度のコントラストが大きい ($V_s=630\text{m/s}\sim 940\text{m/s}$) ことに対し、西端ケースについては、解放基盤表面～基礎底面レベルの速度のコントラストが小さい ($V_s=820\text{m/s}\sim 840\text{m/s}$) ことから、入力地震動の比較結果においても、物性値等の違いの影響で、周期特性に差が生じている。これを踏まえ、東端及び西端の地質構造の違いによる影響を評価することのできる EW 断面を代表として検討を行う。



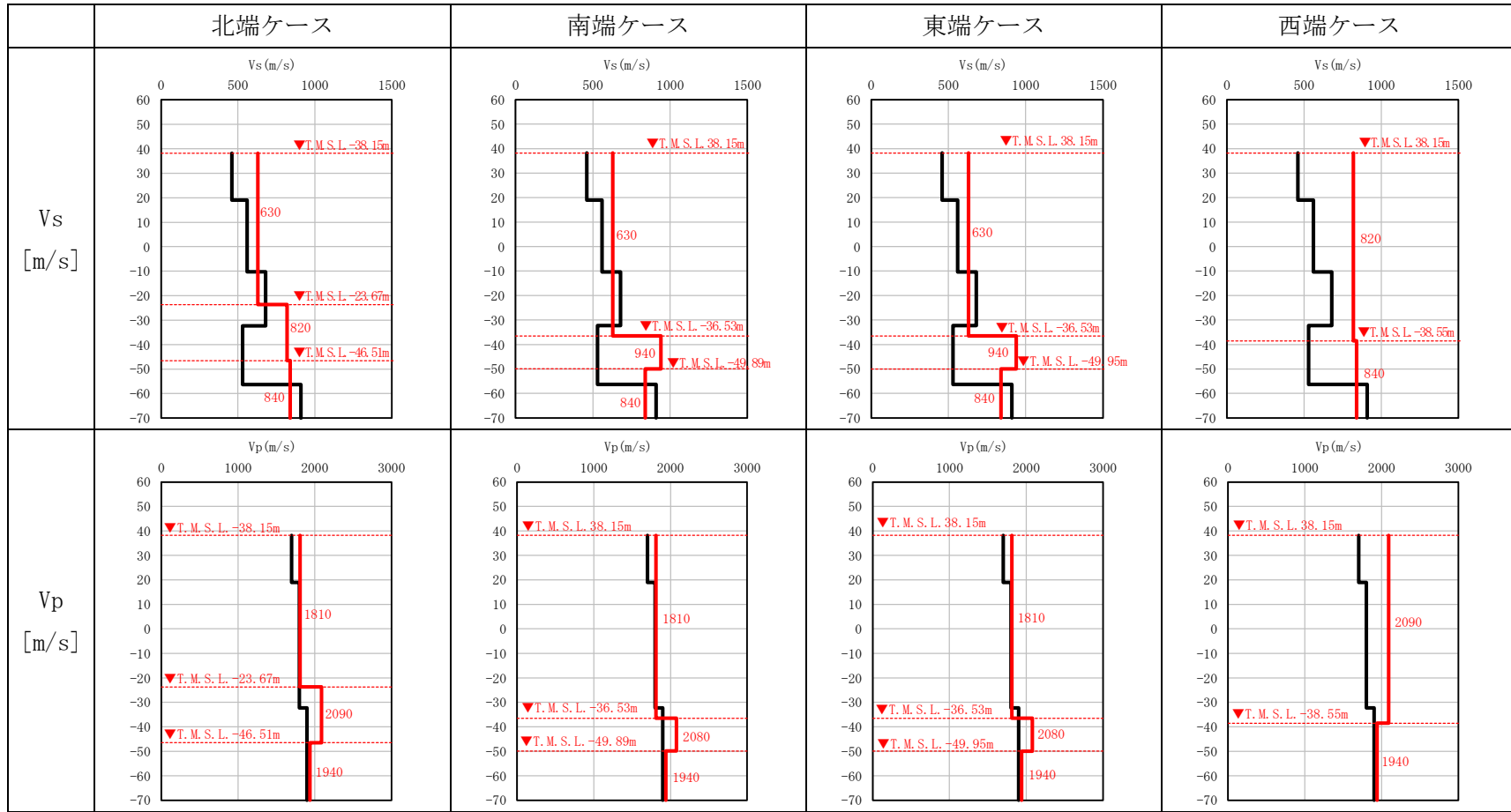
NS14



EW17

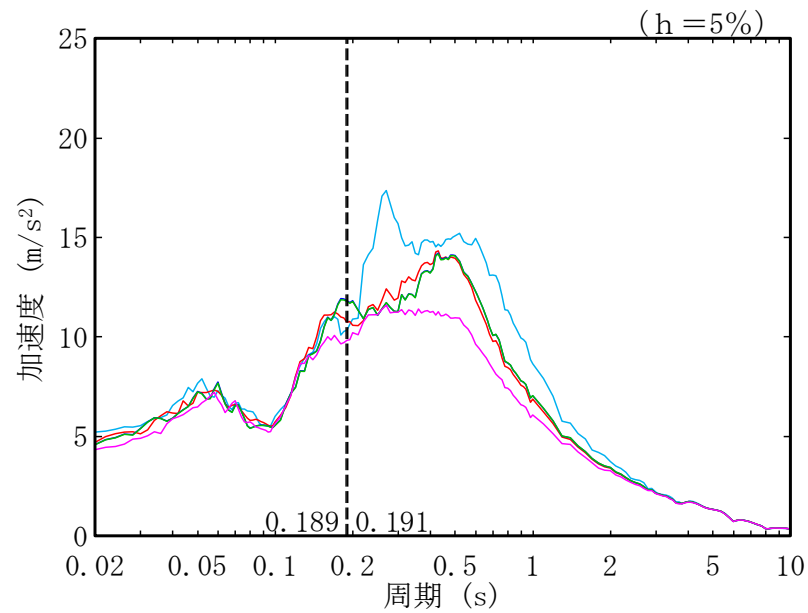


第 2.1-1 図 G14 の地質断面図 (「参考 2」引用)

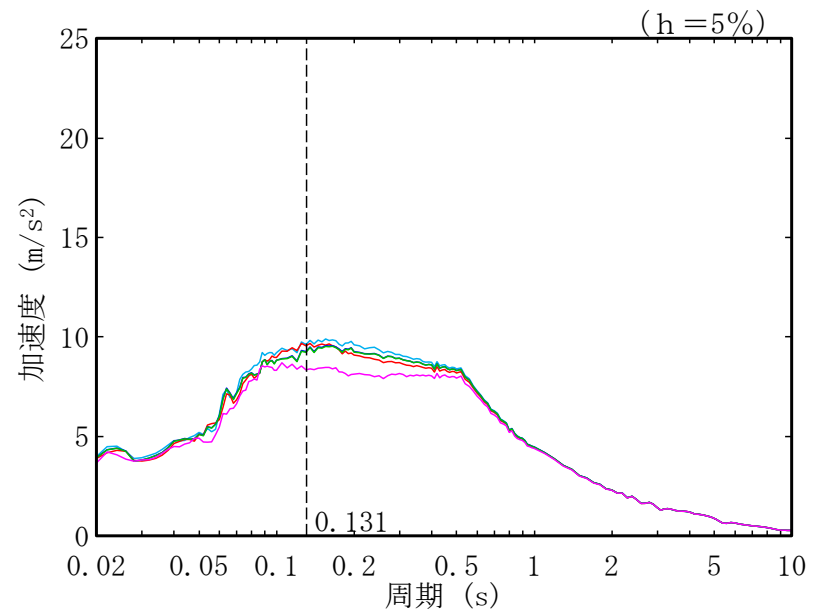


凡例 ——— : G14 グループにおいて設定した物性値等
 ——— : G14 建屋の東西南北端の直下の地質構造を反映した物性値等

第 2.1-2 図 G14 建屋直下の断層を考慮した物性値等の設定結果 (「参考 4 引用」)



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

- : G14 グループにおいて設定した物性値等
- : G14 建屋の北端直下の地質構造を反映した物性値等 (北端ケース)
- : G14 建屋の南端直下の地質構造を反映した物性値等 (南端ケース)
- : G14 建屋の東端直下の地質構造を反映した物性値等 (東端ケース)
- : G14 建屋の西端直下の地質構造を反映した物性値等 (西端ケース)

注記 : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-18-1 第2保管庫・貯水所の地震応答計算書」に示す Ss-A での G14 建屋の 1 次固有周期 (NS, EW, UD) を示す。

第 2.1-3 図 G14 建屋の基礎底面レベルの入力地震動の比較結果 (「参考 4 引用」)

2.2 2次元 FEM モデルを用いた検討方針

2次元 FEM モデルを用いた検討においては、以下の3ケースの解析モデルを設定し、基礎底面レベルの入力地震動を比較する。第2.2-1図～第2.2-3図に各ケースの解析モデルの速度構造を示す。なお、解析モデルは、解放基盤表面～G14基礎底面レベルまでをモデル化し、解放基盤表面に基準地震動 S_s-A を入力した場合の基礎底面レベルの入力地震動 (2E) を比較する。

・ケース1：断層を考慮したモデル

sf-6断層より西側は R5-Q3 孔に基づき、東側は R5-Q4 孔に基づき設定

・ケース2：東端位置の地質構造に基づき水平成層を仮定したモデル

R5-Q4 孔に基づき設定

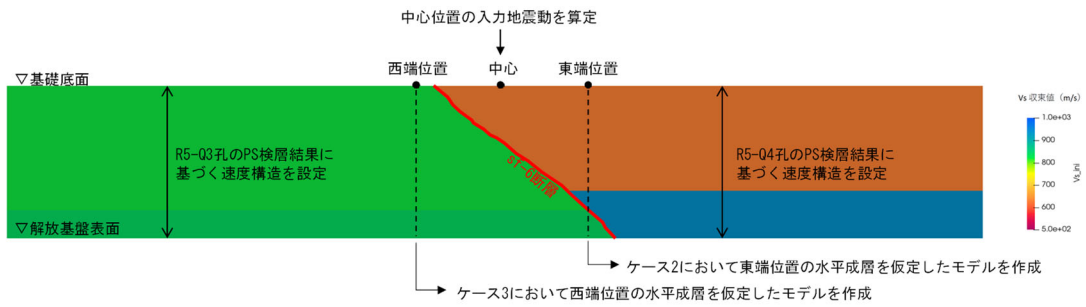
・ケース3：西端位置の地質構造に基づき水平成層を仮定したモデル

R5-Q3 孔に基づき設定

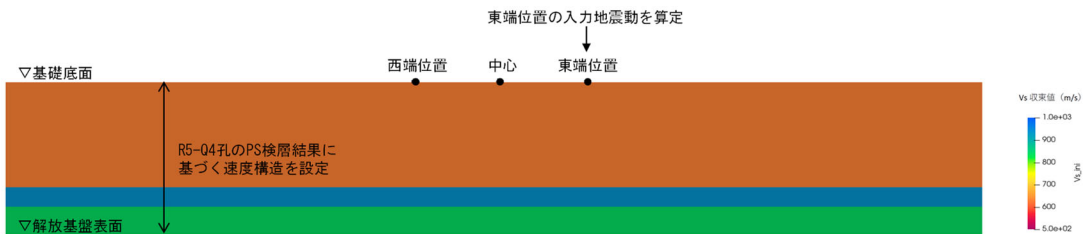
ケース2及びケース3については、東端地点及び西端地点の地質構造を水平方向に広がっていることを仮定した解析モデルとすることで、「参考4」に示す東端ケース及び西端ケースの検討と同様の条件による検討となる。

ケース1とケース2及びケース3の入力地震動を比較し、応答スペクトルの傾向が同様となっている場合は、ケース2及びケース3と同様の条件となる「参考4」に示す1次元波動論に基づく影響評価は適用可能と考えられる。

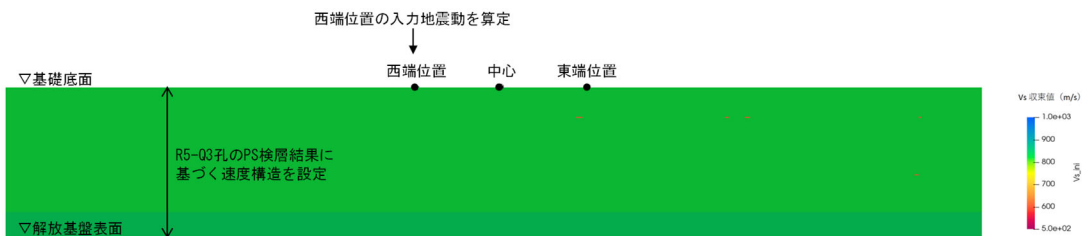
2次元 FEM モデルを用いた検討について、解析コードは「SuperFLUSH2D」を用いる。本解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、補足説明資料「耐震建物 29 耐震設計の基本方針に関する計算機プログラム(解析コード)の概要について」にて示す。



第 2.2-1 図 解析モデルの速度構造 (ケース 1)



第 2.2-1 図 解析モデルの速度構造 (ケース 2)



第 2.2-1 図 解析モデルの速度構造 (ケース 3)

2.3 2次元 FEM モデルを用いた検討結果

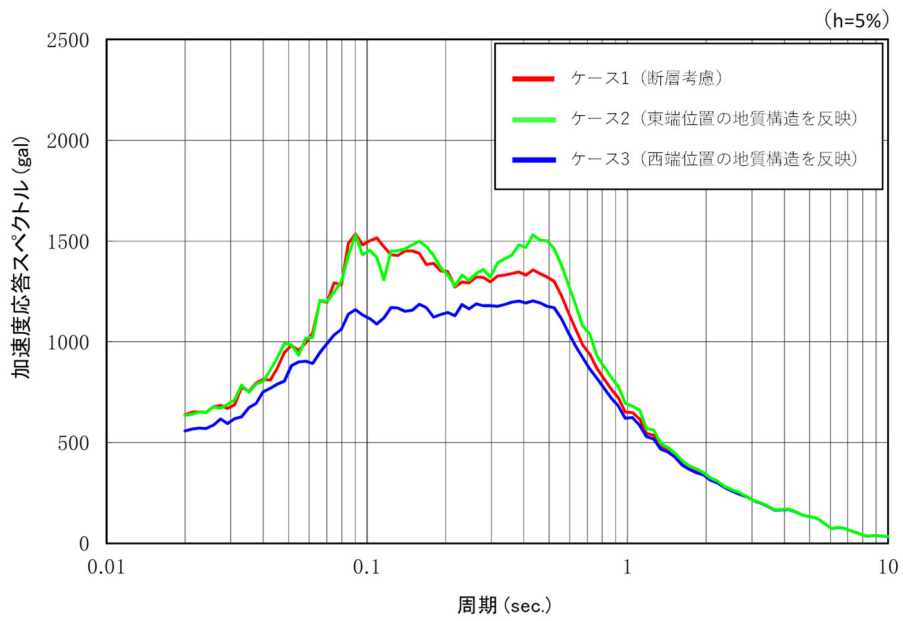
「2.2 2次元 FEM モデルを用いた検討方針」に基づき算定した、ケース1～ケース3の入力地震動の比較結果を第2.3-1図に示す。

第2.3-1図の入力地震動の比較結果より、ケース1の断層を考慮した場合の結果とケース2の東端位置の地質構造を反映した結果と同程度の応答となっている。また、ケース1の断層を考慮した場合の結果と比較し、ケース3の西端位置の地質構造を反映した結果は応答スペクトルが小さい傾向を示す。

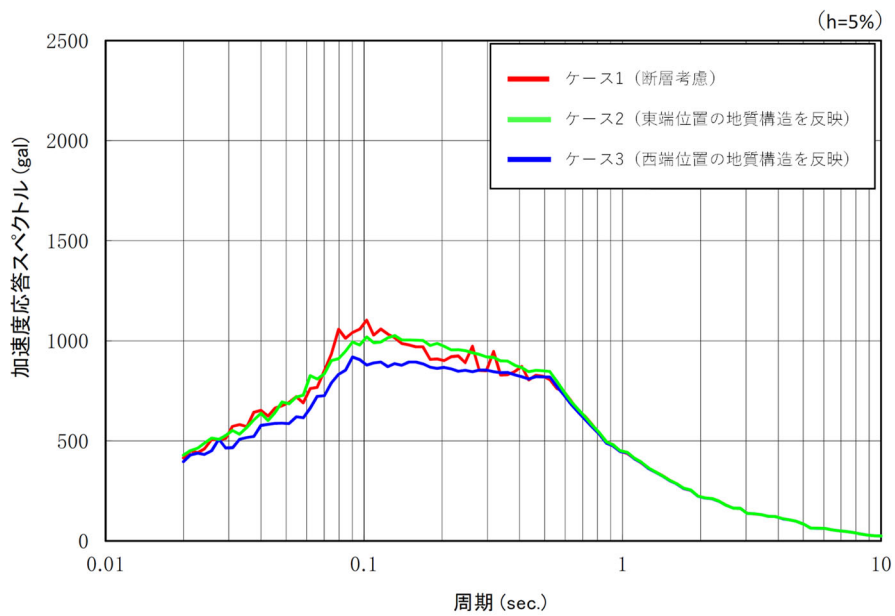
上記の応答スペクトルの傾向については、第2.2-1図～第2.2-3図に示す各ケースの解析モデルの速度構造より以下の通り考察を行った。

- ・ケース3の西端位置の地質構造を反映した場合、解放基盤表面～基礎底面までの速度のコントラストは小さく ($V_s=820\text{m/s}\sim 840\text{m/s}$)、岩盤内での増幅がその他のケースと比べ小さいものとなっていることが考えられる。
- ・ケース2の東端位置の地質構造を反映した場合、解放基盤表面～基礎底面までの速度のコントラスト ($V_s=630\text{m/s}\sim 840\text{m/s}$) は、ケース1 (断層考慮) と同等であるため、周期特性もケース1と同様の結果となったと考えられる。
- ・ケース2とケース3の周期特性の違いについては、第2.1-3図 (参考4引用) に示す1次元波動論に基づく応答スペクトルにおいても同様の関係性となっている。なお、第2.1-3図と第2.3-1図の0.2sより短周期側の応答の違いについては、表層地盤 (流動化処理土) を考慮又は非考慮としている条件の違いによるものと考えられる。

以上のことから、断層の影響評価にあたり、精度よく評価することのできる2次元 FEM モデルに対し、東西南北地点の地質構造について水平成層を仮定した条件による評価を行うことで、断層による地盤応答への影響は確認可能であることから、参考4において、1次元波動論に基づき同様の評価を実施していることに問題は無い。



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

第 2.3-1 図 入力地震動の比較結果

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

- ・ 追加調査結果を考慮した物性値等に基づく地盤応答解析結果について、以下の建屋については、結果が得られ次第資料に反映する。
F 施設周辺, AE, AG, GA, DC, CA, CB
- ・ 上記グループの解析結果を踏まえ、記載内容については見直し。

目 次

	ページ
1. はじめに	1
2. 岩盤部分の剛性の非線形性におけるデータ整理	2
2.1 岩盤部分のひずみ依存特性の整理	2
2.2 データの信頼性の確認	10
3. 岩盤部分の剛性の非線形性におけるデータ分析	11
3.1 検討方針	11
3.2 解析条件	12
4. 基準地震動 S _s -A の地盤応答解析結果	15
4.1 中央地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響	15
4.2 東側地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響	23
4.3 西側地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響	31
4.4 中央地盤・東側地盤・西側地盤の比較	34
5. 1.2×S _s -A の地盤応答解析結果	36
6. 追加調査結果を考慮した物性値等における剛性の非線形性の影響	1
6.1 中央地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響	1
6.2 東側地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響	9
6.3 西側地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響	15
7. 「基本地盤モデル」における岩盤部分の剛性の非線形性の設定	17

1. はじめに

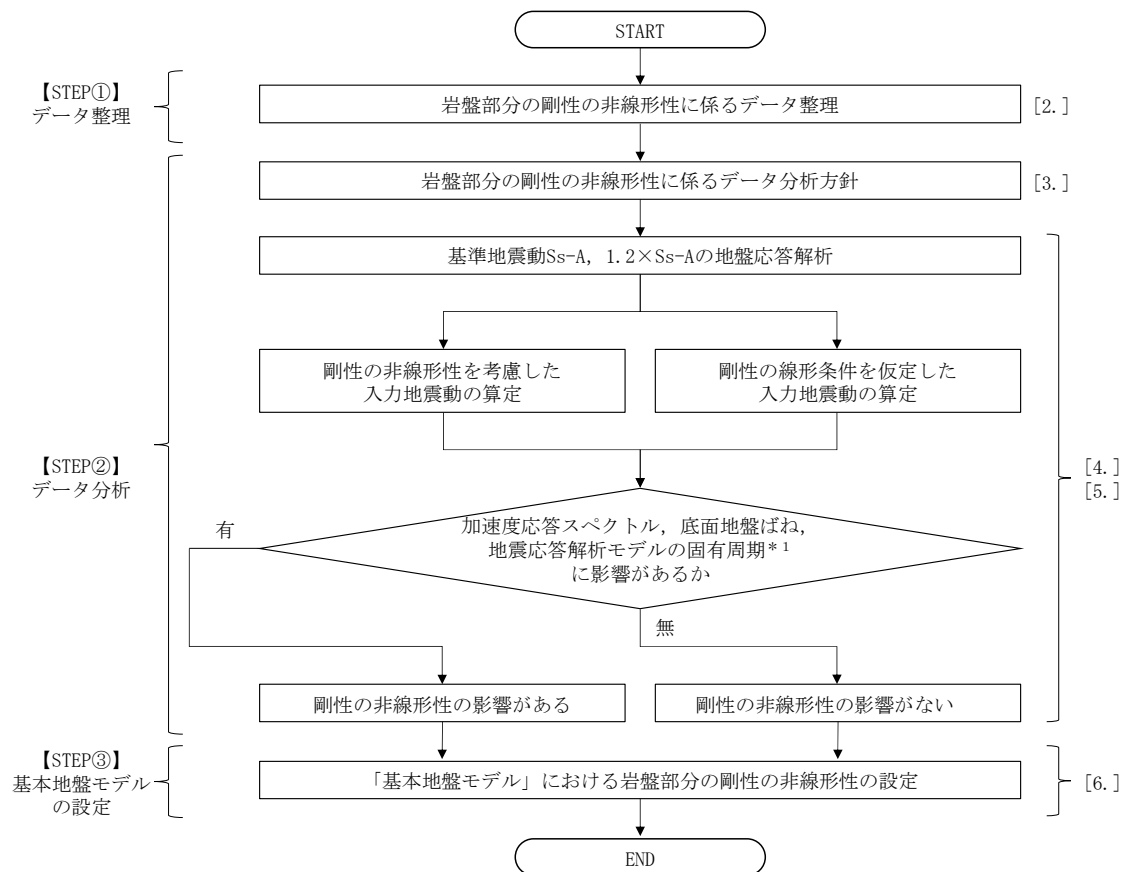
本資料は、第2回申請対象施設における地盤モデルのパラメータのうち、岩盤部分の剛性の非線形性について、その設定の考え方を示すものである。

岩盤部分の剛性の非線形性については、本文に示すとおり、一般的・標準的な手法に基づき、岩盤種別ごとに得られたデータに基づくひずみ依存特性（ $G/G_0-\gamma$ 曲線）を整理する。

また、これらのデータに対し、非線形条件と線形条件の入力地震動を比較し、岩盤部分の剛性低下が入力地震動に及ぼす影響について分析する。

上記のデータの分析結果を踏まえ、「基本地盤モデル」における設計上の設定を行う。

上記の検討に係るフローを第1-1図に示す。



注記 *1:底面地盤ばねに影響があるグループについては、地震応答解析モデルの固有周期への影響も踏まえ、剛性の非線形性の影響の有無の確認を行う。

注記 : []内は本資料における章番号を示す。

第1-1図 検討フロー

2. 岩盤部分の剛性の非線形性におけるデータ整理

2.1 岩盤部分のひずみ依存特性の整理

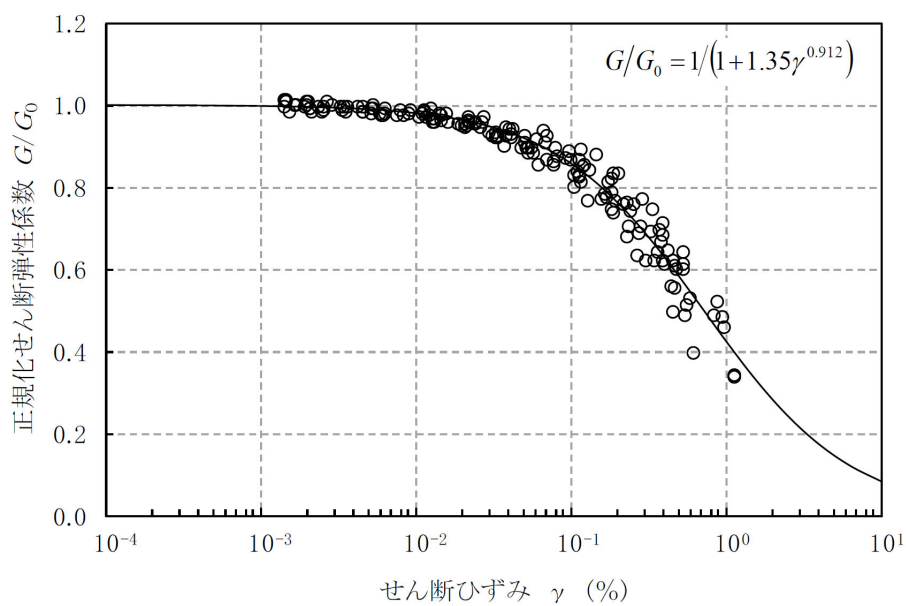
各グループの岩盤部分における剛性の非線形性の設定については、「別紙 2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」にて設定した、12 グループそれぞれにおける直下又は近傍の PS 検層結果を踏まえて設定した物性値及び岩種ごとにひずみ依存特性 ($G/G_0-\gamma$ 曲線) を設定する。

ひずみ依存特性 ($G/G_0-\gamma$ 曲線) 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」に示す値とする。第 2.1-1 図～第 2.1-14 図に、岩種ごとのひずみ依存特性 ($G/G_0-\gamma$ 曲線) を示す。

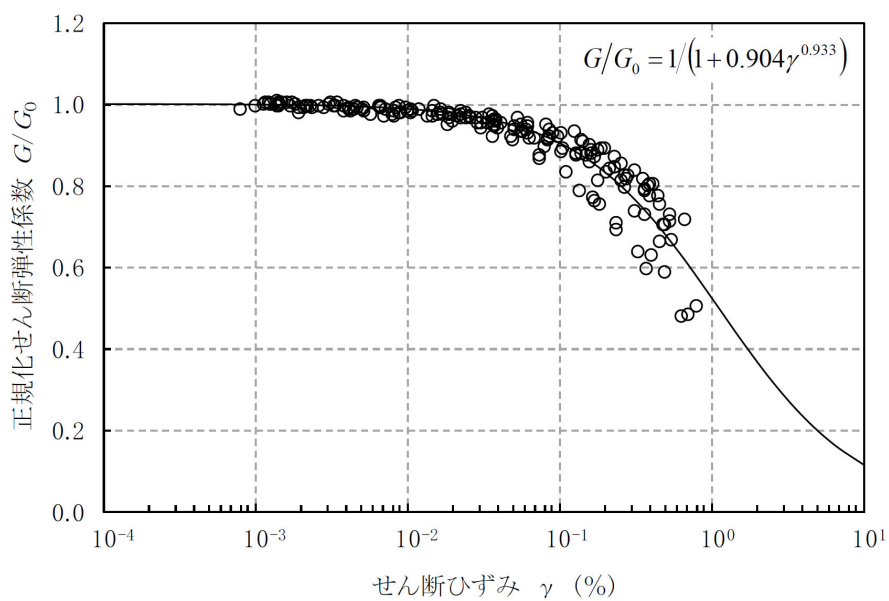
当社敷地の鷹架層は、硬岩に見られるような片理、節理等の亀裂が少なく、JEAG4601-1987 でも示されている軟岩地盤と同様に、岩盤の性質を規定する要素が、風化又は節理等の亀裂よりも岩盤を構成する組成や堆積年代(深度等)に依存するとされている。

したがって、工学的な特性については、JEAG4601-1987 に基づく岩盤分類による地質区分を適用することにより、岩盤分類ごとの統一物性を設定できる。鷹架層の岩盤分類は、準硬質軟岩(軟岩Ⅰ類)では、泥岩(上部層)、泥岩(下部層)、細粒砂岩(下部層)、凝灰質砂岩(下部層)、軽石質砂岩(中部層)、粗粒砂岩(中部層)、砂質・泥岩互層(中部層)、砂質・凝灰岩互層(中部層)の 8 つに区分され、不均質軟岩(軟岩Ⅲ類)では、火山碎屑岩系の凝灰岩(中部層)、軽石凝灰岩(中部層)、砂質軽石凝灰岩(中部層、一部下部層)、堆積岩系の礫混り砂岩(中部層)、軽石混り砂岩(中部層)、礫岩(中部層)の 6 つに区分される。工学的には、この 14 分類の力学特性を設定することで代表性を網羅できるものと考えられる。

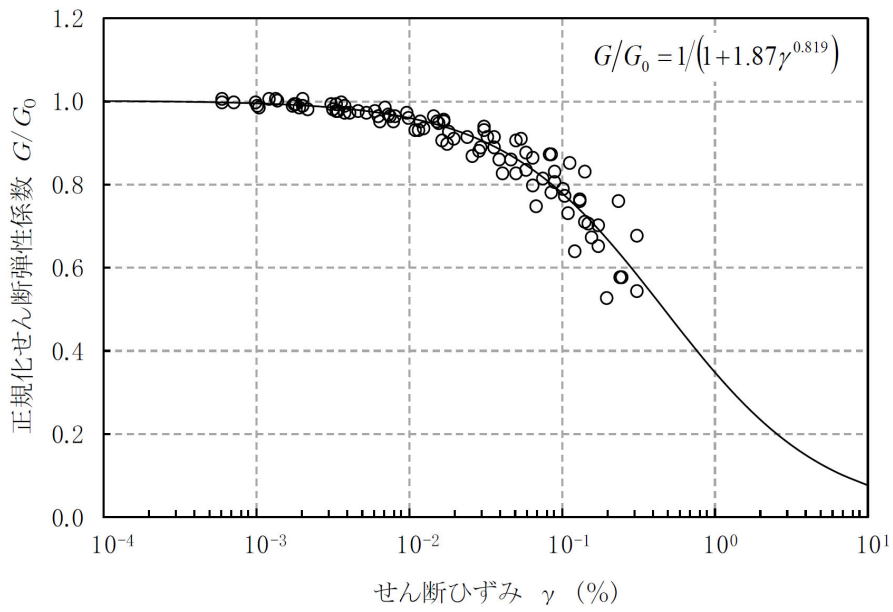
第 2-1 図～第 2-12 図に示したひずみ依存特性 ($G/G_0-\gamma$ 曲線) のとおり、 $G/G_0-\gamma$ 曲線は、岩盤種別ごとに試験結果から得られた近似式であらわされている。敷地内の岩種はいずれの岩種においてもデータのばらつきは小さく、 G_0 で規準化することにより岩盤分類ごとの特性は表現できるものと考えられる。



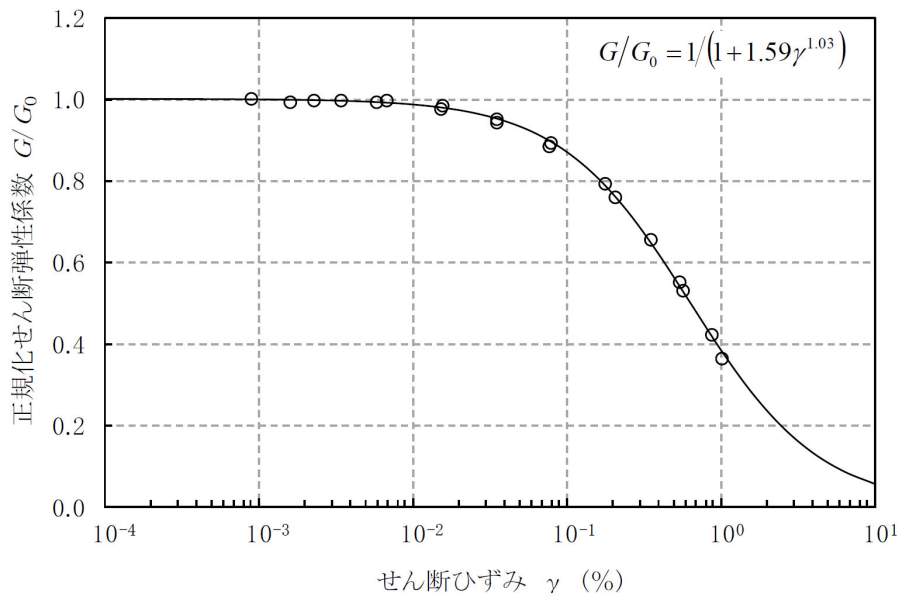
第 2.1-1 図 ひずみ依存特性 (泥岩 (上部層))



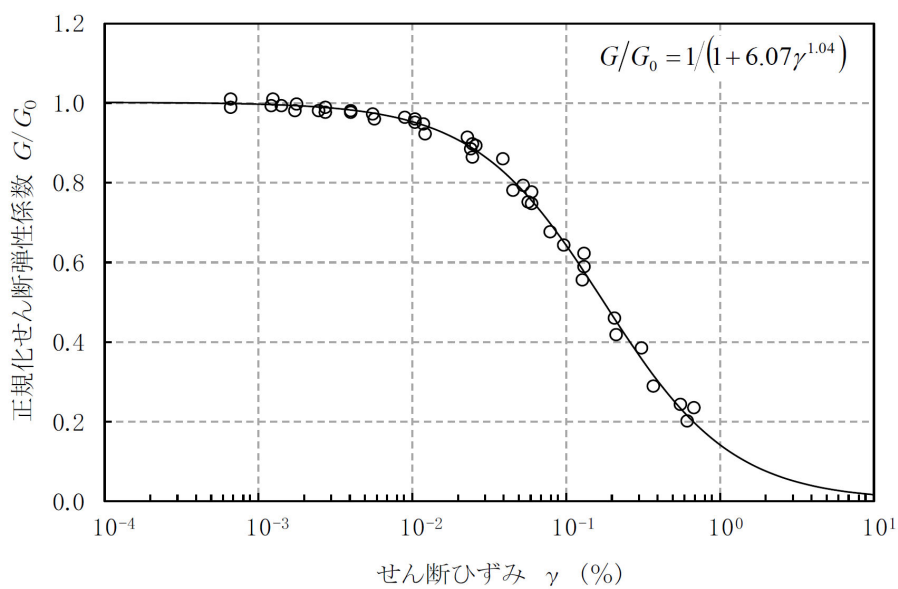
第 2.1-2 図 ひずみ依存特性 (泥岩 (下部層))



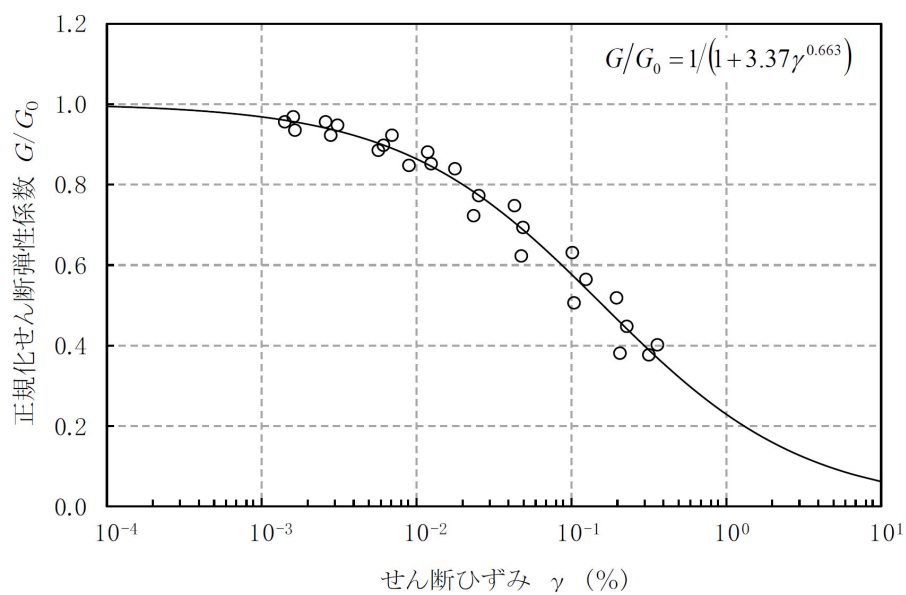
第 2.1-3 図 ひずみ依存特性（細粒砂岩）



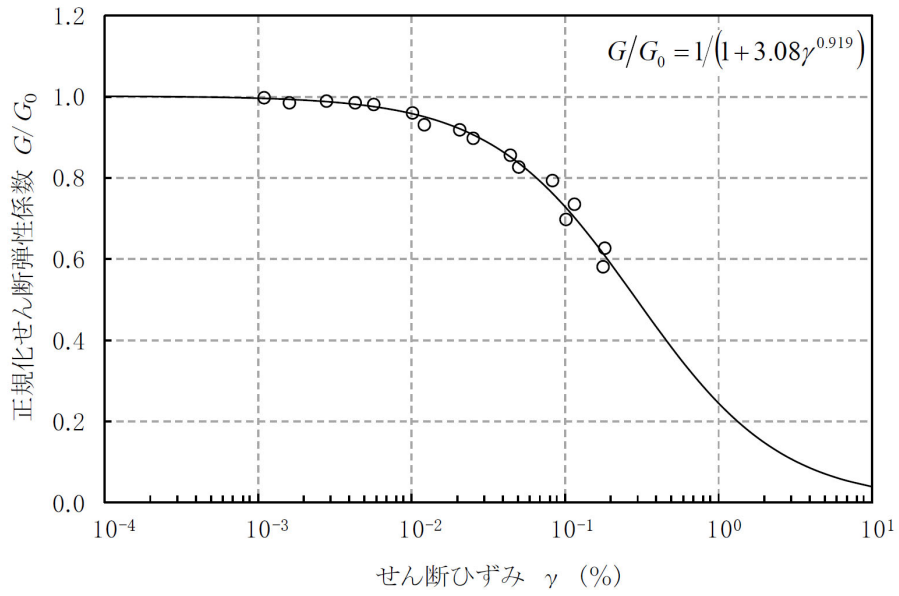
第 2.1-4 図 ひずみ依存特性（凝灰質砂岩）



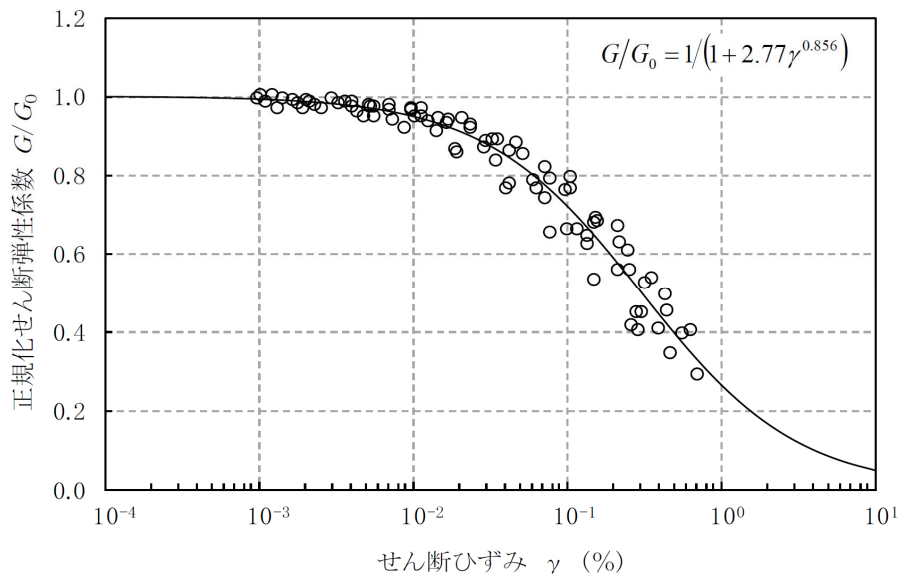
第 2.1-5 図 ひずみ依存特性（軽石質砂岩）



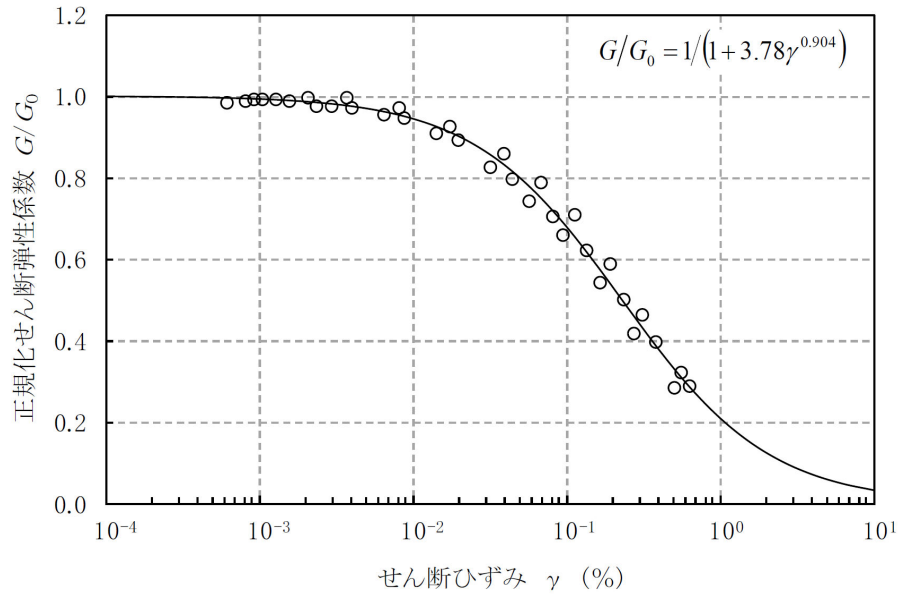
第 2.1-6 図 ひずみ依存特性（粗粒砂岩）



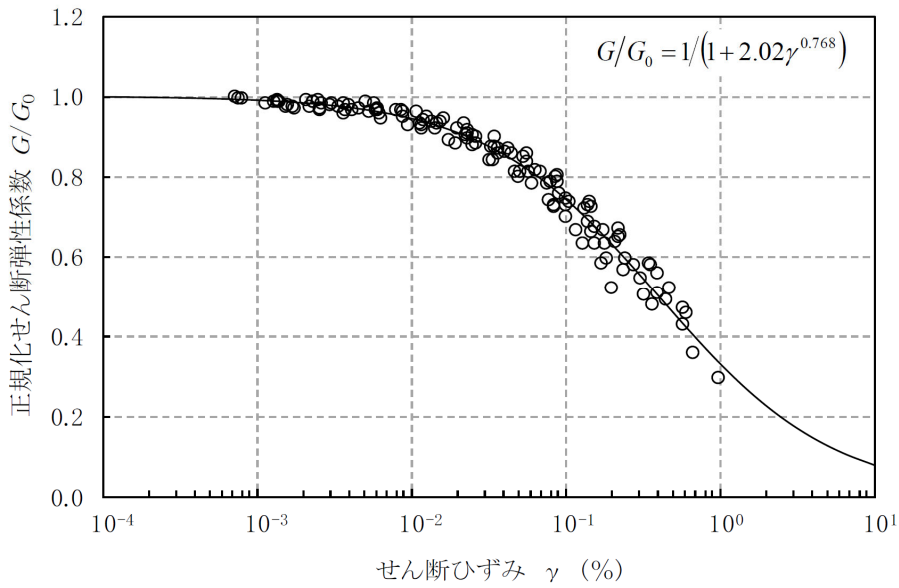
第 2.1-7 図 ひずみ依存特性 (砂岩・泥岩互層)



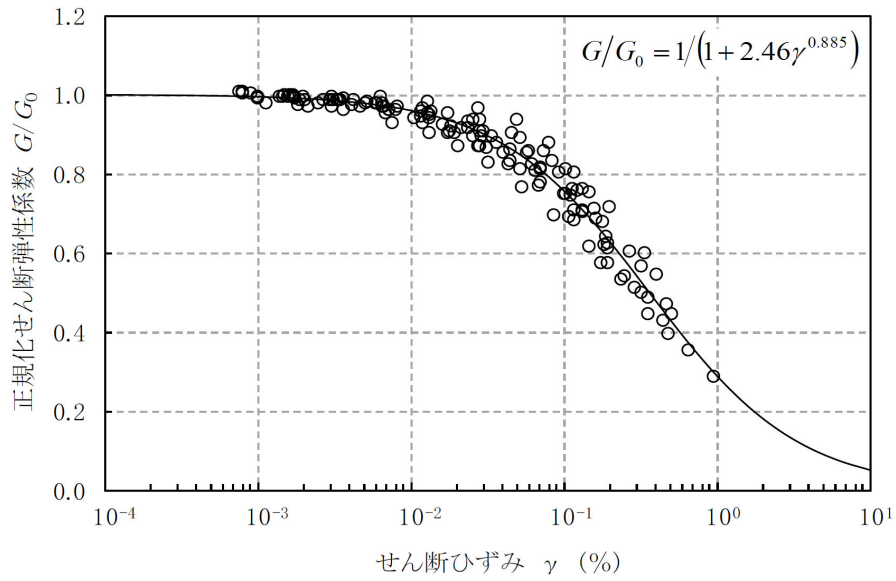
第 2.1-8 図 ひずみ依存特性 (砂岩・凝灰岩互層)



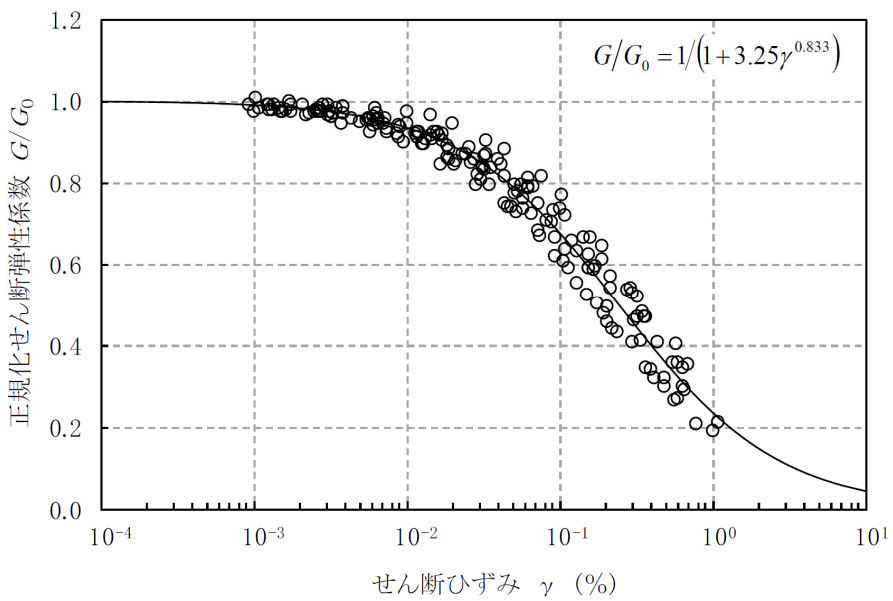
第 2.1-9 図 ひずみ依存特性 (凝灰岩)



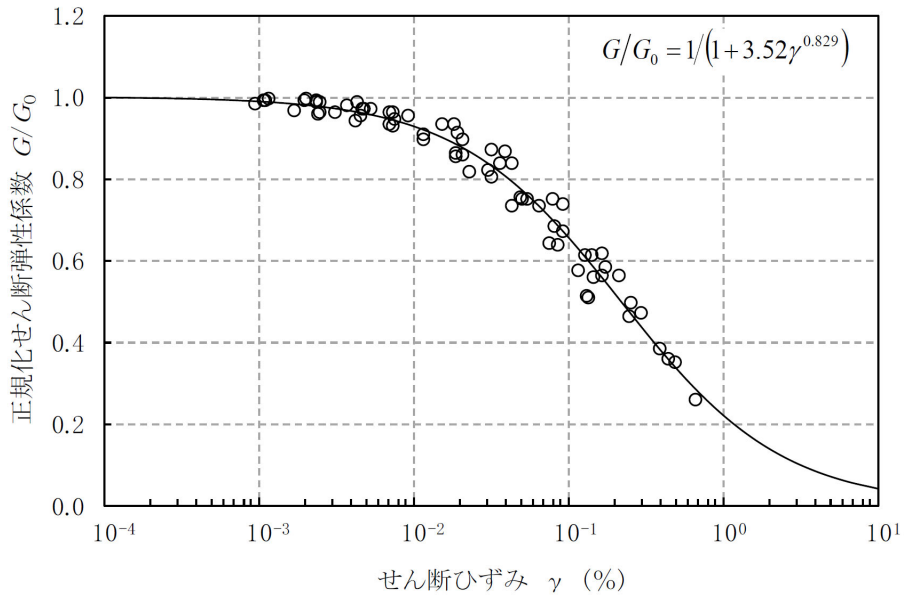
第 2.1-10 図 ひずみ依存特性 (軽石凝灰岩)



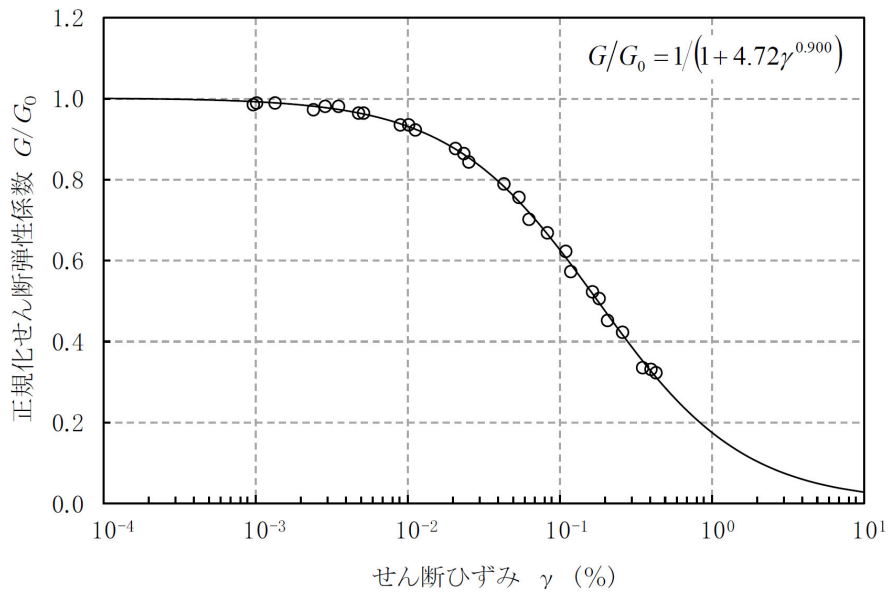
第 2.1-11 図 ひずみ依存特性 (砂質軽石凝灰岩)



第 2.1-12 図 ひずみ依存特性 (礫混り砂岩)



第 2-13 図 ひずみ依存特性 (軽石混り砂岩)



第 2-14 図 ひずみ依存特性 (礫岩)

2.2 データの信頼性の確認

岩盤部分の剛性の非線形性の分析に用いるデータについては、本文「6.1.5 データの信頼性の確認」に示すとおり、データの取得や処理が適切な方法で正しく行われていることを確認し、データの信頼性が担保されていることの確認を行う。

岩盤部分の剛性の非線形性の分析に用いるデータについて、以下のとおり信頼性の確認を行った。

- ・動的変形特性試験は、JGS2563-2020「軟岩の変形特性を求めるための繰り返し三軸試験方法」に基づく方法により実施している。
- ・調査データそのものの信頼性を確保するために、ベディングエラーの排除できる機材（ギャップセンサー、LDT(Local Deformation Transducer)）を使用している。
- ・地盤の剛性に係るデータを正確に把握するために、試験機材自体についても十分な剛性を有するものを使用している。
- ・試験体のひずみに応じた特性を正確に把握するために、弾性範囲内に初期偏差応力を設定している。
- ・調査結果に対する信頼性を確保するために、試験及び試験データの分析については、原子力施設における多数の実績を有する調査会社によって実施している。

3. 岩盤部分の剛性の非線形性におけるデータ分析

3.1 検討方針

岩盤部分の剛性の非線形性が入力地震動に及ぼす影響の分析を行うため、検討にあたっては、はじめに、「2. 岩盤部分の剛性に非線形性におけるデータ整理」に示す岩種ごとのひずみ依存特性（ $G/G_0-\gamma$ 曲線）を設定した地盤の 1 次元波動理論に基づく入力地震動を算定する。また、岩盤部分の剛性の線形条件を仮定した入力地震動を算定し、両者の結果を比較することで、岩盤部分の剛性の非線形性が入力地震動に及ぼす影響を確認する。

以下に検討の流れを示す。

- ・ 12 グループそれぞれの直下又は近傍における地下構造（岩盤分類の深さ分布）に応じたひずみ依存特性を考慮する。
- ・ 12 グループのそれぞれについて、 S_s 地震時における岩盤部分の有効せん断ひずみに応じた剛性低下を考慮した入力地震動を算定する。
- ・ 本検討において着目するのは、表層地盤部分と比較して剛性が大きく、地盤のせん断ひずみが大きくなりにくい岩盤部分であることを踏まえ、線形条件を仮定した場合の入力地震動の算定結果との比較を行う。
- ・ 上記の入力地震動の比較結果に基づき、岩盤部分の剛性の非線形性が入力地震動に与える影響について確認する。具体的には、有効せん断ひずみに応じた剛性低下の程度を把握し、基礎底面レベルにおける入力地震動の加速度応答スペクトル及び底面地盤ばねの剛性への影響の有無を確認する。
- ・ 加速度応答スペクトルへの影響の有無については、周期特性に顕著な乖離がないこと、建屋の 1 次固有周期において同程度の応答となることを確認する。
- ・ 底面地盤ばねの剛性への影響の有無については、ばね定数に顕著な差が生じないことを確認する。ばね定数に差が見られた場合は、地震応答解析モデルの固有周期への影響を確認する。

3.2 解析条件

岩盤部分の剛性の非線形性の影響を確認するため、基準地震動 S_s -A 及び基準地震動 S_s -A を 1.2 倍した地震力（以下、「 $1.2 \times S_s$ -A」という。）に対する地盤の等価線形解析を実施し、有効せん断ひずみ、剛性低下率 G/G_0 及び基礎底面レベルの加速度応答スペクトルについて確認を行った。

地盤の等価線形解析について、岩盤部分の物性値は、12 グループそれぞれにおいて設定した物性値を初期物性値として設定し、「2. 岩盤部分の剛性に非線形性におけるデータ整理」に示すひずみ依存特性 (G/G_0 - γ 曲線) を設定する。なお、基礎底面レベルから地表面レベルの表層地盤及び岩盤部分の減衰定数について、今回の確認では岩盤部分の非線形化に伴う剛性低下が入力地震動に及ぼす影響を確認することが目的であることから、以下の条件を仮定して等価線形解析を行った。

- ・表層地盤の物性値については、敷地内一律の値として、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」に示す物性値（AZ 周辺及び G14 以外のグループは埋戻し土とし、AZ 周辺及び G14 は流動化処理土とする。解析用物性値は第 3.2-1 表に示す。）を仮定*
- ・岩盤部分の減衰定数については、敷地内一律の値として 3% を仮定*
- ・岩盤部分の物性値として、解放基盤表面以深の物性値については、いずれのグループにおいても敷地内の平均的な値を設定*

また、岩盤部分の物性値は各グループ内それぞれで同一であり、基礎底面レベルの違いによる層厚の違いはあるものの、岩盤のせん断ひずみレベルについては、大きく変わらないと考えられるため、地盤の等価線形解析を実施する建屋は、12 グループそれぞれ 1 建屋を代表として解析を実施した。

その上で、上記の等価線形解析による基礎底面レベルの加速度応答スペクトルに対し、岩盤部分の剛性を線形条件とした場合の結果と比較を行うことで、 S_s 地震時の岩盤部分の剛性低下が入力地震動に及ぼす影響の確認を行った。

なお、上記の確認に加え、岩盤部分の剛性の非線形性の考慮の有無による入力地震動の算定結果への感度を確認する観点で実施した、岩盤部分に 10% の剛性低下を与えた条件での確認結果も参考値として示す。

注記 * : 今回の確認においては、解放基盤表面 (T. M. S. L. -70m) ~ 基礎底面レベルまでの岩盤部分の剛性の非線形化の影響を確認することが目的であり、上記3つの解析 (等価線形解析、線形解析、感度確認用の解析) における表層地盤の物性値、岩盤部分の減衰定数及び解放基盤表面以深の物性値はそれぞれ同じ値として評価を行っているため、岩盤部分の非線形性の影響について解析条件ごとの相対的な比較を行ううえでは問題ないと判断した。なお、岩盤部分の減衰定数については、一律3%として仮定しているが、これは、JEAG4601-1987に示される軟岩サイトの慣用値 (3%~5%) における最小値であり、本確認においてせん断ひずみが過小評価とならないように考慮して設定した。

また、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ついては、地盤のせん断ひずみが大きくなるほど減衰定数も大きくなる設定であることから、線形条件と比較して大きくなることが考えられる。

本資料で求めた地盤のせん断ひずみに対応する減衰定数に対する考察については、「別紙 2-3 岩盤部分の減衰定数に係る検討について」において説明する。

第 3.2-1 表 表層地盤の解析用物性値

(a) 埋戻し土

(添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」の第 3-1 表 (4) の引用)

区分			新第三系鮮新統 PP1		区分		第四系下部～中部 更新統 (六ヶ所層) PP2		第四系 中部更新統 ～完新統 PH		造成盛土 f1		埋戻し土 bk			
物理特性	湿潤密度	ρ_t (g/cm ³)	2.12-3.12×10 ⁻³ ・Z		湿潤密度	ρ_t (g/cm ³)	1.73		1.89		1.66+3.3×10 ⁻³ ・D		1.82+2.8×10 ⁻³ ・D			
強度特性	ビーク	粘着力	c (MPa)		非排水せん断強度	σ_u (MPa)	0.115+0.341p		0		0		0			
		内部摩擦角	ϕ (°)				13.8		0		0		0			
静的変形特性	残留	残留粘着力	c _r (MPa)		非排水せん断強度	σ_{ur} (MPa)	0.102+0.341p		0		0		0			
		残留内部摩擦角	ϕ_r (°)				13.8		0		0		0			
静的変形特性	初期	初期変形係数	E ₀ (MPa)		初期変形係数	E ₀ (MPa)	29.0+262p		74.6+434p		9.96+289p		22.1+266p			
		ポアソン比	ν				0.48+1.3×10 ⁻⁴ ・Z		0.49		0.49		0.48		0.48	
動的変形特性	動せん断	動せん断弾性係数	G ₀ (MPa)		動せん断弾性係数	G ₀ (MPa)	303		189		32.4+4.02D		60.7+8.20D			
		動ポアソン比	ν _d				0.39+6.5×10 ⁻⁴ ・Z		0.41		0.45		0.42		0.39	
		正規化せん断弾性係数	G/G ₀ ～γ (%)				$\frac{1}{1+5.32 \cdot \gamma^{0.776}}$		$\frac{1}{1+5.91 \cdot \gamma^{0.758}}$		$\frac{1}{1+15.4 \cdot \gamma^{0.891}}$		$\frac{1}{1+9.27 \cdot \gamma^{0.992}}$		$\frac{1}{1+12.7 \cdot \gamma^{0.914}}$	
		減衰率	h (%) ～γ (%)				$\frac{\gamma}{0.0786 \gamma + 0.00692} + 1.26$		$\frac{\gamma}{0.0829 \gamma + 0.00582} + 1.18$		$\frac{\gamma}{0.0570 \gamma + 0.00824} + 1.81$		$\frac{\gamma}{0.0438 \gamma + 0.0150} + 1.74$		$\frac{\gamma}{0.0631 \gamma + 0.00599} + 1.29$	

注記 Z: 標高 (m), p: 土被り圧から静水圧を差し引いた圧密応力 (MPa), γ: せん断ひずみ (%), D: 深度 (G.L.-m)

(b) 流動化処理土

(添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」の第 3-1 表 (5) の引用)

区分			流動化処理土(A)		区分			流動化処理土(B)		MMR		
			1.63					Vs 1200		設計基準強度 14.8MPa		
物理特性	湿潤密度	ρ_t (g/cm ³)	1.63		物理特性	湿潤密度	ρ_t (g/cm ³)	1.85		2.35		
強度特性	ビーク	非排水せん断強度	σ_u (MPa)		強度特性	ビーク	粘着力	c (MPa)		0.95		
		内部摩擦角	ϕ (°)				30.0		-		-	
静的変形特性	残留	非排水せん断強度	σ_{ur} (MPa)		静的変形特性	残留	残留粘着力	c _r (MPa)		0		
		内部摩擦角	ϕ_r (°)				0		-		-	
静的変形特性	初期	初期変形係数	E ₀ (MPa)		静的変形特性	初期	初期変形係数	E ₀ (MPa)		1050		
		ポアソン比	ν				0.46		0.33		0.167	
動的変形特性	動せん断	動せん断弾性係数	G ₀ (MPa)		動的変形特性	動せん断	動せん断弾性係数	G ₀ (MPa)		2750		
		動ポアソン比	ν _d				0.42		0.33		0.167	
		正規化せん断弾性係数	G/G ₀ ～γ (%)				$\frac{1}{1+9.63 \cdot \gamma^{1.01}}$		$\frac{1}{1+5.87 \cdot \gamma^{0.974}}$		線形	
		減衰率	h (%) ～γ (%)				$\frac{\gamma}{0.0798 \gamma + 0.0150} + 1.48$		0.83 (γ ≤ 0.01%)		5.0	
								$0.83 + 2.59 \log(\gamma/0.01)$ (γ > 0.01%)				

注記 Z: 標高 (m), p: 土被り圧から静水圧を差し引いた圧密応力 (MPa), γ: せん断ひずみ (%)

4. 基準地震動 Ss-A の地盤応答解析結果

4.1 中央地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響

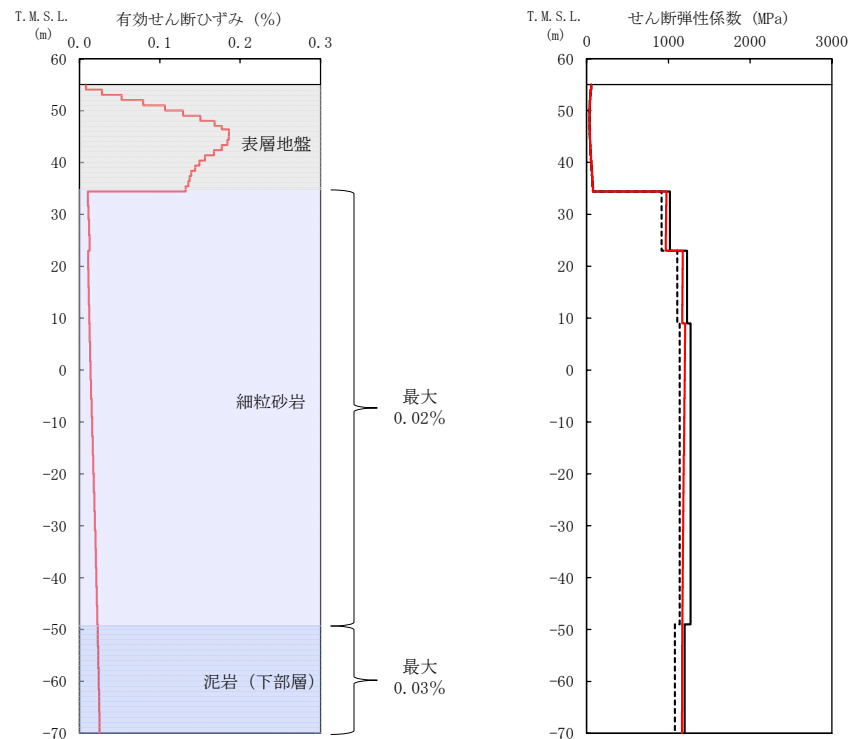
中央地盤における各グループの基準地震動 Ss-A に対する等価線形解析の結果として、地盤の有効せん断ひずみ分布、収束剛性分布、収束物性値及び各建屋の基礎底面レベルにおける入力地震動の加速度応答スペクトルを第 4.1-1 図～第 4.1-6 図に示す。また、基礎底面地盤ばねのばね定数を第 4.1-1 表に示す。

地盤の等価線形解析の結果、各岩種の有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 は以下のとおりとなっていることを確認した。なお、以下に記載する最大有効せん断ひずみの値については、中央地盤の全 6 グループの中で最大の値を、剛性低下率 G/G_0 については、中央地盤の全 6 グループの中で最小の値を記載している。

- ・細粒砂岩：最大有効せん断ひずみ 0.03%，剛性低下率 G/G_0 0.911
- ・泥岩(下部層)：最大有効せん断ひずみ 0.03%，剛性低下率 G/G_0 0.969
- ・粗粒砂岩：最大有効せん断ひずみ 0.01%，剛性低下率 G/G_0 0.827

基礎底面レベルの加速度応答スペクトルの比較結果から、線形条件と等価線形解析の結果については、周期特性に顕著な乖離がないこと、また、建屋の 1 次固有周期において同程度の応答となることから、中央地盤の各グループにおいて、0.01%～0.03% 程度の有効せん断ひずみに対する剛性低下の影響は小さいことを確認した。

基礎底面地盤ばねのばね定数の比較結果から、底面地盤ばねの剛性への影響も小さいことを確認した。



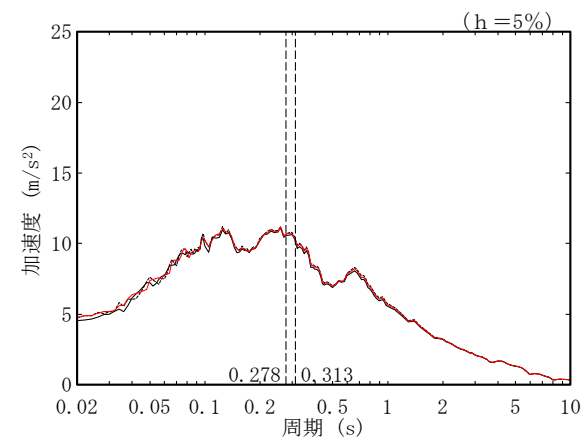
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

- (凡例)
- 初期物性値
 - 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AB基礎底面						
34.39	細粒砂岩	18.2	1020	971	0.952	0.03
23.00		18.4	1230	1172	0.953	0.03
9.00		18.0	1270	1188	0.935	0.03
-49.00	泥岩(下部層)	17.5	1200	1167	0.973	0.03
▽解放基礎表面	-	17.0	1164	1164	1.000	0.03

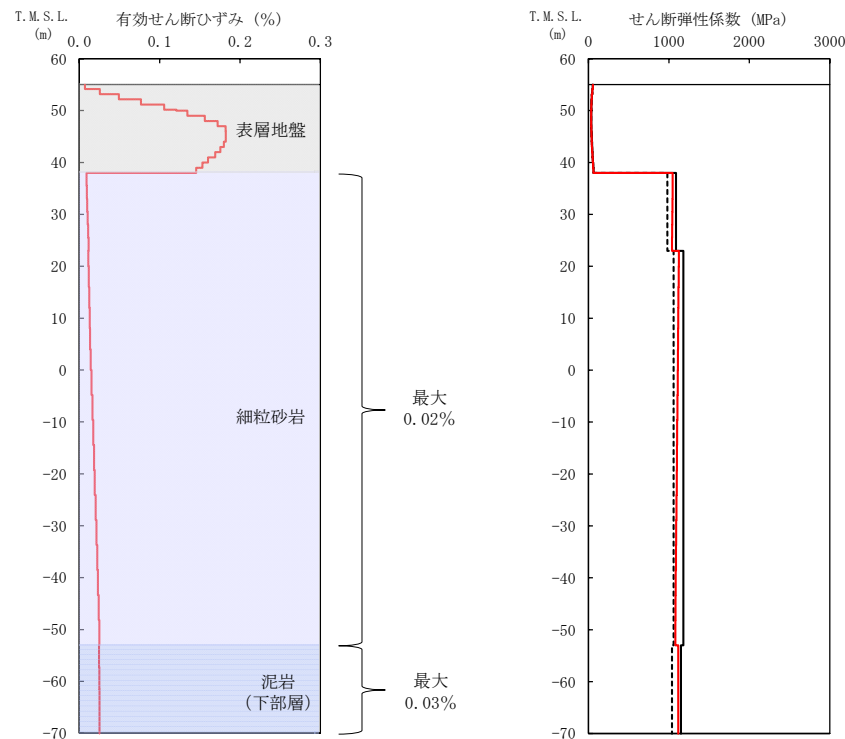
(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-2-1 分離建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

第 4.1-1 図 地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, AA 周辺, AB)



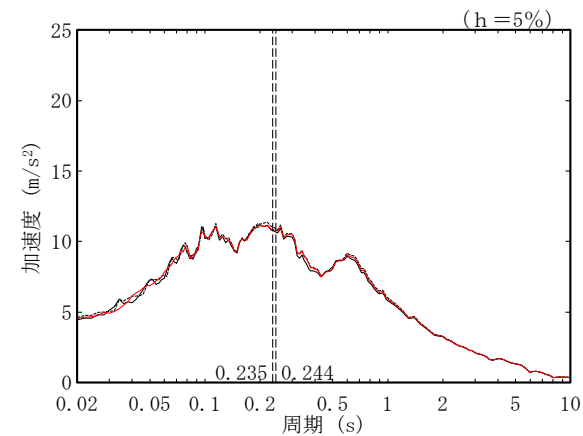
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

- (凡例)
- 初期物性値
 - 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽FA基礎底面						
38.00	細粒砂岩	18.5	1090	1044	0.958	0.03
23.00		18.0	1180	1102	0.934	0.03
-53.00	泥岩(下部層)	17.3	1150	1117	0.971	0.03
-70.00		—	17.0	1164	1164	1.000

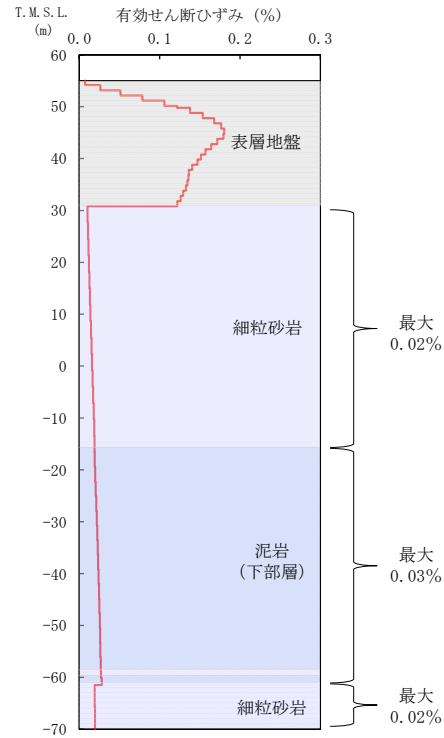
(c) 収束物性値



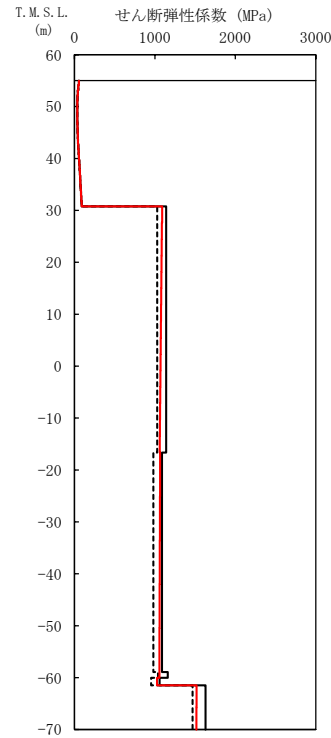
* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1-1-1 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

第 4.1-2 図 地盤の等価線形解析結果 (S_s -A, F 施設周辺, FA)



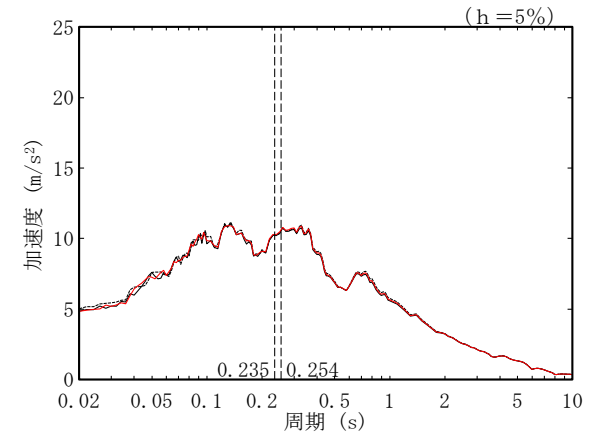
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN}/\text{m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN}/\text{m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AE基礎底面						
30.80	細粒砂岩	17.9	1140	1076	0.944	0.03
-16.63	泥岩(下部層)	17.2	1090	1061	0.973	0.03
-58.90	細粒砂岩	18.2	1160	1057	0.911	0.03
-60.02	泥岩(下部層)	16.7	1060	1027	0.969	0.03
-61.46	細粒砂岩	18.4	1630	1517	0.931	0.03
▽解放基礎表面	-	17.0	1164	1164	1.000	0.03

(c) 収束物性値

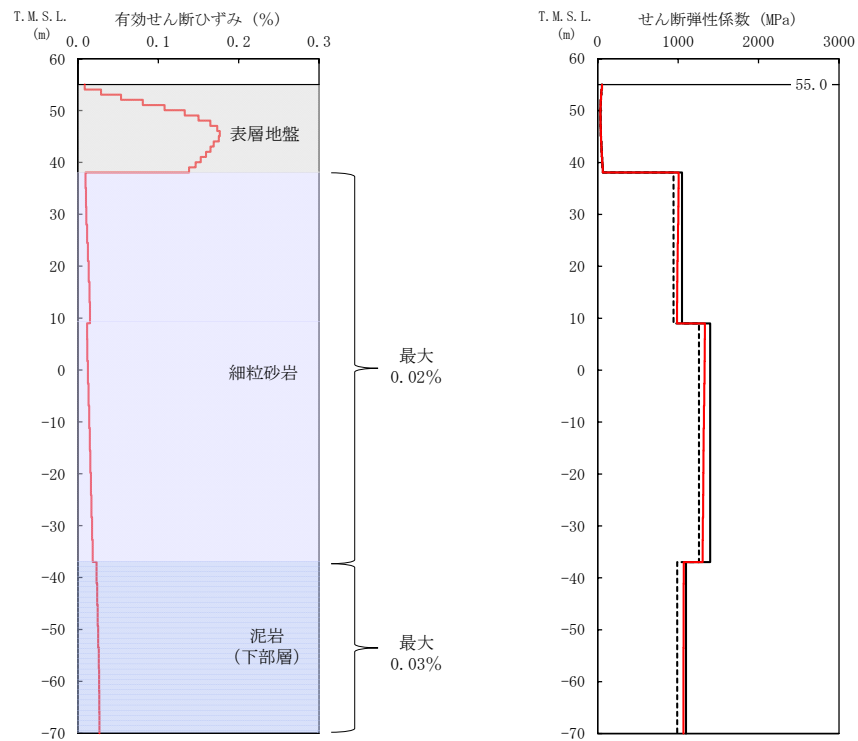


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1-1-1-1 ハル・エンドピース貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 4.1-3 図 地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, AE)



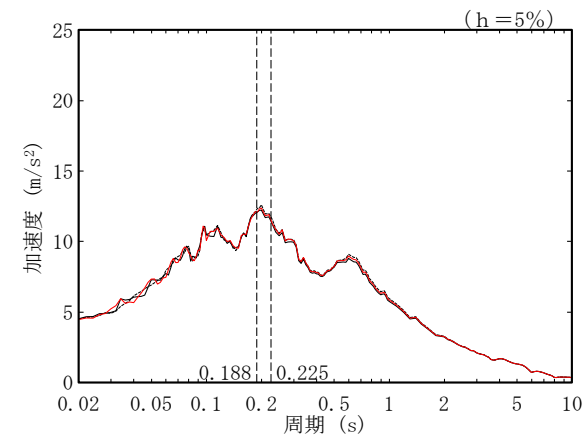
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AG基礎底面						
38.05		18.3	1050	997	0.950	0.03
9.00	細粒砂岩	18.1	1400	1319	0.942	0.03
-37.00	泥岩(下部層)	16.9	1100	1068	0.971	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	17.0	1164	1164	1.000	0.03

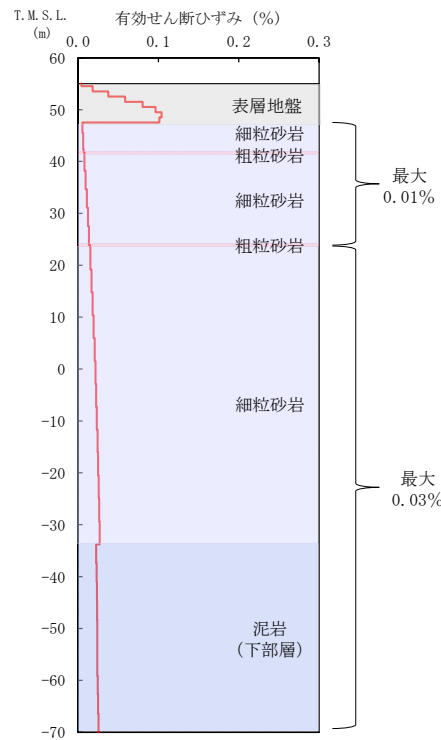
(c) 収束物性値



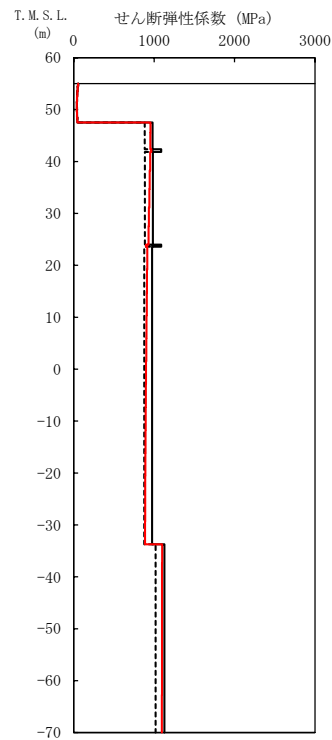
* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-6-1 制御建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

第 4.1-4 図 地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, AG)



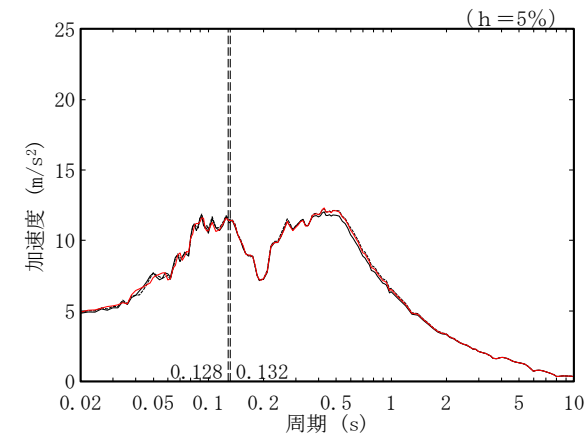
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽GA基礎底面						
47.50	細粒砂岩	18.1	982	955	0.973	0.03
42.34	粗粒砂岩	20.1	1090	967	0.887	0.03
41.81	細粒砂岩	18.1	986	942	0.955	0.03
23.96	粗粒砂岩	20.1	1090	901	0.827	0.03
23.58	細粒砂岩	18.0	975	900	0.923	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	泥岩(下部層)	17.4	1130	1099	0.973	0.03
	-	17.0	1164	1164	1.000	0.03

(c) 収束物性値

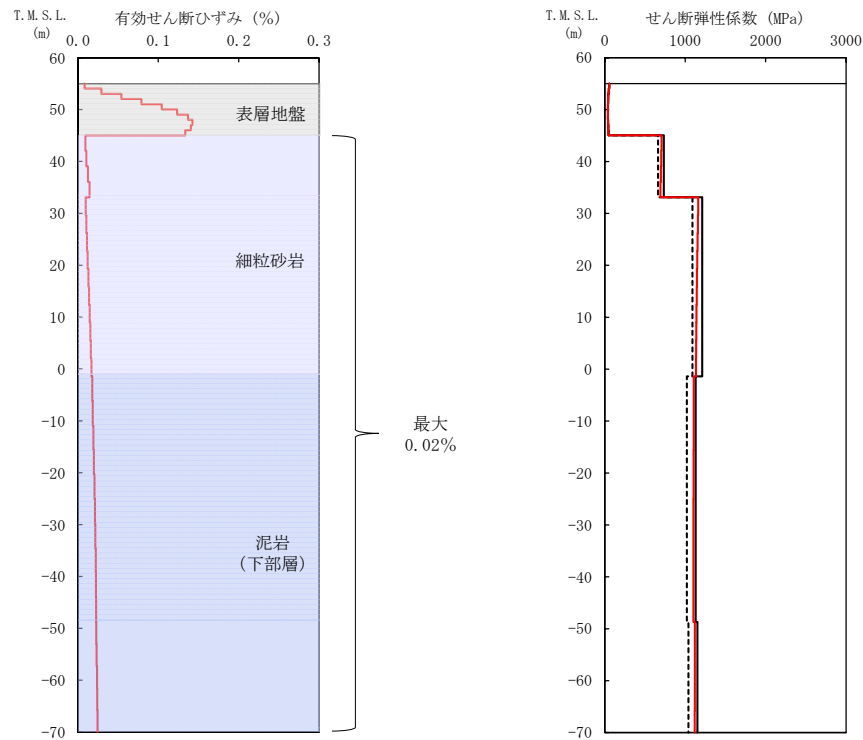


(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

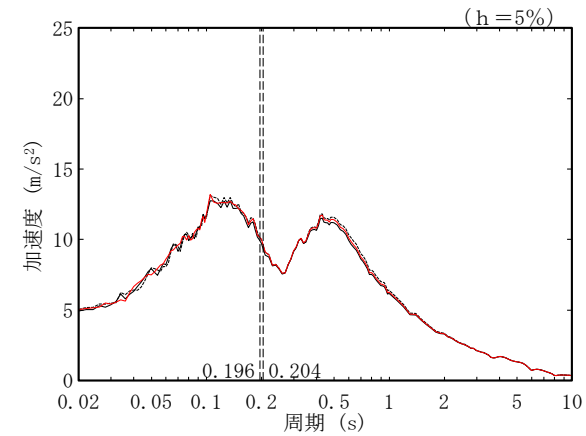
* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1 3-1 非常用電源建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

第 4.1-5 図 地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, GA)



T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽DC基礎底面						
45.03						
33.09	細粒砂岩	18.1	734	699	0.952	0.03
-1.41		18.0	1210	1146	0.947	0.03
-48.71	泥岩(下部層)	16.9	1130	1103	0.976	0.03
▽解放基礎表面		17.3	1150	1119	0.973	0.03
-70.00	—	17.0	1164	1164	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1 0-1 チャンネルボックス・パーナブルポイズン処理建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 4.1-6 図 地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, DC)

第 4.1-1 表 基礎底面地盤ばねのばね定数 (中央地盤)

(a) Ss-A, AA 周辺, AB

方向	種別	① 初期物性値	② 等価線形解析による収束物性値	②/①
NS	底面スウェイばね(kN/m)	2.51.E+08	2.39.E+08	0.952
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	5.69.E+11	5.39.E+11	0.947
EW	底面スウェイばね(kN/m)	2.58.E+08	2.46.E+08	0.953
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	3.52.E+11	3.34.E+11	0.949
UD	底面鉛直ばね(kN/m)	3.59.E+08	3.46.E+08	0.964

(b) Ss-A, F 施設周辺, FA

方向	種別	① 初期物性値	② 等価線形解析による収束物性値	②/①
NS	底面スウェイばね(kN/m)	3.16.E+08	3.01.E+08	0.953
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	1.14.E+12	1.08.E+12	0.947
EW	底面スウェイばね(kN/m)	3.24.E+08	3.09.E+08	0.954
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	7.08.E+11	6.69.E+11	0.945
UD	底面鉛直ばね(kN/m)	4.33.E+08	4.18.E+08	0.965

(c) Ss-A, AE

方向	種別	① 初期物性値	② 等価線形解析による収束物性値	②/①
NS	底面スウェイばね(kN/m)	1.70.E+08	1.61.E+08	0.947
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	1.14.E+11	1.08.E+11	0.947
EW	底面スウェイばね(kN/m)	1.68.E+08	1.59.E+08	0.946
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	1.32.E+11	1.25.E+11	0.947
UD	底面鉛直ばね(kN/m)	2.33.E+08	2.24.E+08	0.961

(d) Ss-A, AG

方向	種別	① 初期物性値	② 等価線形解析による収束物性値	②/①
NS	底面スウェイばね(kN/m)	1.82.E+08	1.74.E+08	0.956
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	1.09.E+11	1.04.E+11	0.954
EW	底面スウェイばね(kN/m)	1.72.E+08	1.64.E+08	0.953
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	2.39.E+11	2.27.E+11	0.950
UD	底面鉛直ばね(kN/m)	2.48.E+08	2.39.E+08	0.964

(e) Ss-A, GA

方向	種別	① 初期物性値	② 等価線形解析による収束物性値	②/①
NS	底面スウェイばね(kN/m)	1.06.E+08	1.04.E+08	0.981
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	2.27.E+10	2.15.E+10	0.947
EW	底面スウェイばね(kN/m)	9.84.E+07	9.58.E+07	0.974
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	6.17.E+10	5.84.E+10	0.947
UD	底面鉛直ばね(kN/m)	1.34.E+08	1.26.E+08	0.940

(f) Ss-A, DC

方向	種別	① 初期物性値	② 等価線形解析による収束物性値	②/①
NS	底面スウェイばね(kN/m)	1.80.E+08	1.73.E+08	0.961
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	2.39.E+11	2.29.E+11	0.958
EW	底面スウェイばね(kN/m)	1.80.E+08	1.73.E+08	0.961
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	2.39.E+11	2.29.E+11	0.958
UD	底面鉛直ばね(kN/m)	2.68.E+08	2.61.E+08	0.974

4.2 東側地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響

東側地盤における各グループの基準地震動 S_s-A に対する等価線形解析の結果として、地盤の有効せん断ひずみ分布、収束剛性分布、収束物性値及び各建屋の基礎底面レベルにおける入力地震動の加速度応答スペクトルを第 4.2-1 図～第 4.2-5 図に示す。また、基礎底面地盤ばねのばね定数を第 4.2-1 表に示す。

地盤の等価線形解析の結果、AC, CA, CB 及び AZ 周辺の各岩種の有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 は以下のとおりとなっていることを確認した。なお、以下に記載する最大有効せん断ひずみの値については、上記 4 グループの中で最大の値を、剛性低下率 G/G_0 については、上記 4 グループの中で最小の値を記載している。

- ・砂質軽石凝灰岩：最大有効せん断ひずみ 0.03%，剛性低下率 G/G_0 0.910
- ・凝灰岩：最大有効せん断ひずみ 0.04%，剛性低下率 G/G_0 0.851
- ・軽石凝灰岩：最大有効せん断ひずみ 0.04%，剛性低下率 G/G_0 0.864
- ・軽石質砂岩：最大有効せん断ひずみ 0.02%，剛性低下率 G/G_0 0.911
- ・軽石混り砂岩：最大有効せん断ひずみ 0.01%，剛性低下率 G/G_0 0.916
- ・礫岩：最大有効せん断ひずみ 0.02%，剛性低下率 G/G_0 0.893
- ・細粒砂岩：最大有効せん断ひずみ 0.02%，剛性低下率 G/G_0 0.923

また、G14 の各岩種の有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 は以下のとおりとなっていることを確認した。なお、以下に記載する最大有効せん断ひずみの値については、最大の値を、剛性低下率 G/G_0 については、最小の値を記載している。

- ・砂質軽石凝灰岩：有効せん断ひずみ 0.05%，剛性低下率 G/G_0 0.876
- ・凝灰岩：有効せん断ひずみ 0.03%，剛性低下率 G/G_0 0.849
- ・軽石凝灰岩：有効せん断ひずみ 0.08%，剛性低下率 G/G_0 0.779
- ・軽石混り砂岩：有効せん断ひずみ 0.05%，剛性低下率 G/G_0 0.774

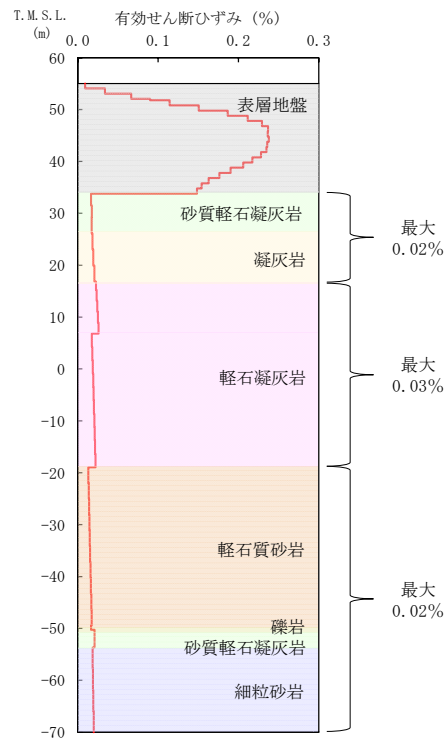
G14 については、AC, CA, CB 及び AZ 周辺と比べ、軽石凝灰岩の有効せん断ひずみが大きい傾向となっている。これは、CB 及び AZ 周辺における同程度の深さの軽石凝灰岩 (G_0 = 約 1100～1300MPa, 第 4.2-3 図 (c) の青枠及び第 4.2-4 図 (c) の青枠) と比較して、G14 では初期せん断弾性係数が小さくなっている (G_0 = 約 450MPa, 第 4.2-5 図 (c) の青枠) ことに起因しており、

地震時の地盤のせん断ひずみが卓越しやすい物性値となっているためである。

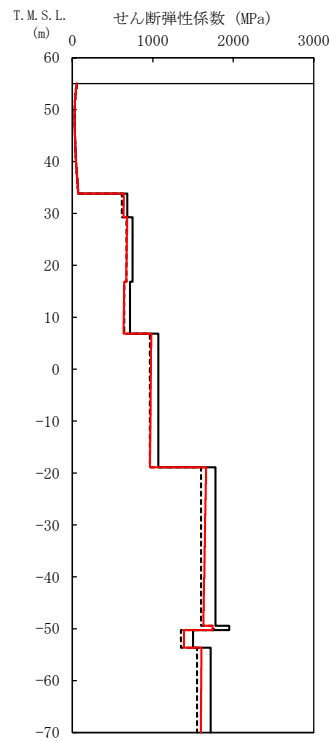
基礎底面レベルの加速度応答スペクトルの比較結果から、線形条件と等価線形解析の結果については、AC、CA、CB及びAZ周辺において周期特性に顕著な乖離はみられない。一方でG14においては、周期2.0s程度以下の周期帯で若干の差がみられる。これは、前述したとおり、G14直下の主要な岩種である軽石凝灰岩の層(T. M. S. L. -32.30m～T. M. S. L. -56.33m)の初期せん断弾性係数は、CB及びAZ周辺に比べて小さく、第4.2-5図(b)に示すとおり上下の層に比べて剛性が小さくなっていることが原因と考えられる。当該層の剛性低下率は他の層に比べて極端に小さくないことから、G14の短周期帯の応答の差の原因は、剛性の非線形性による影響よりも速度構造による影響が大きいものと考えられる。

また、建屋の1次固有周期において、AC、CA、CBについては同程度の応答となっていることから、0.01%～0.08%程度の有効せん断ひずみに対する剛性低下の影響は小さいことを確認した。

基礎底面地盤ばねのばね定数の比較結果から、AC及びAZ周辺については、底面地盤ばねの剛性への影響は小さいことを確認した。一方で、CA、CB及びG14については、初期物性値のばね定数に比べ、等価線形解析による収束物性値のばね定数は最大で12%～14%程度小さく、他の建屋グループに比べて岩盤部分の剛性の非線形性の影響が大きいと考えられるため、地震応答解析モデルの固有周期への影響を確認する。「参考1 固有値解析結果」より、いずれの建屋においても、初期物性値による結果と等価線形解析による収束物性値による結果の差は小さく、剛性低下による影響は小さいものと判断する。



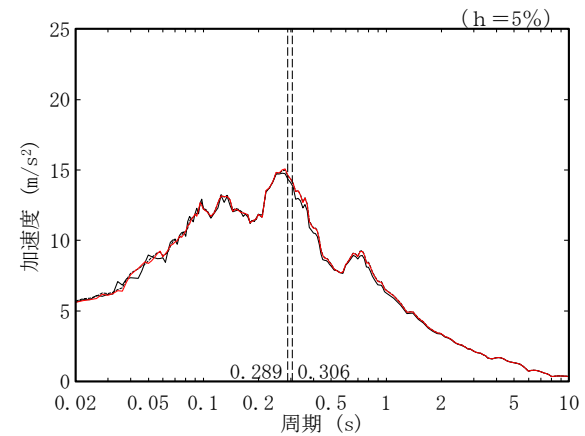
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AC基礎底面						
33.80	砂質軽石凝灰岩	14.5	684	640	0.936	0.03
29.24	凝灰岩	15.9	749	677	0.904	0.03
16.82	軽石凝灰岩	15.2	717	641	0.894	0.03
6.82		15.3	1070	973	0.909	0.03
-18.93	軽石質砂岩	18.9	1780	1646	0.925	0.03
-49.43	礫岩	20.8	1950	1742	0.893	0.03
-50.28	砂質軽石凝灰岩	16.0	1500	1388	0.925	0.03
-53.68	細粒砂岩	18.3	1720	1601	0.931	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値

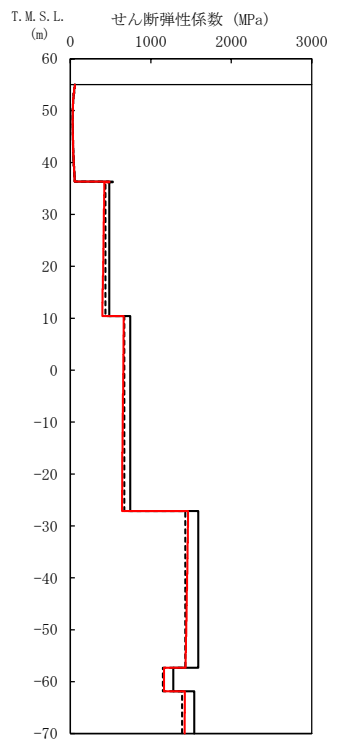
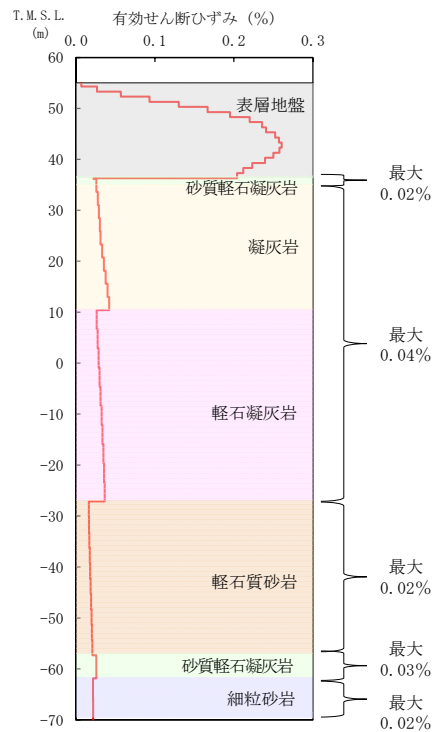


(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

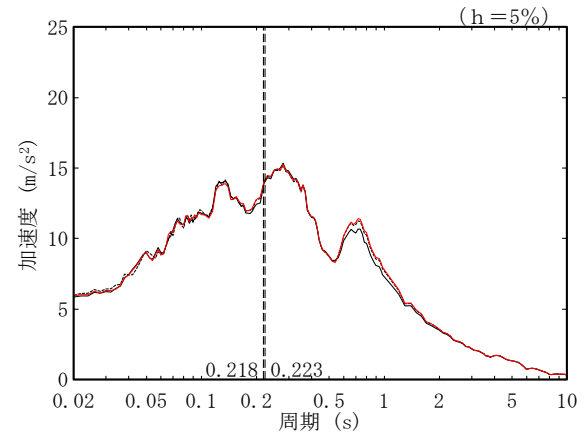
* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-3-1 精製建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS,EW) を示す。

第 4.2-1 図 地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, AC)



T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽CA基礎底面						
36.30	砂質軽石凝灰岩	17.2	529	486	0.919	0.03
36.19	凝灰岩	15.7	484	412	0.851	0.03
10.42	軽石凝灰岩	14.5	746	653	0.875	0.03
-27.16	軽石質砂岩	18.8	1590	1449	0.911	0.03
-57.33	砂質軽石凝灰岩	15.2	1280	1165	0.910	0.03
-61.86	細粒砂岩	18.2	1540	1422	0.923	0.03
▽解放基盤表面						
-70.00	-	18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-4-1 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

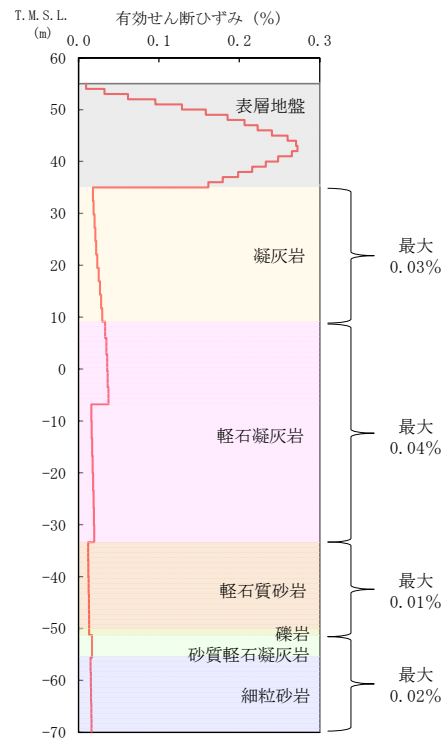
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

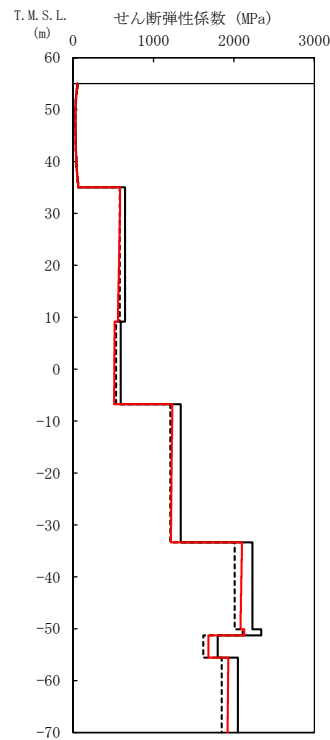
(d) 加速度応答スペクトル

(凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 4.2-2 図 地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, CA)



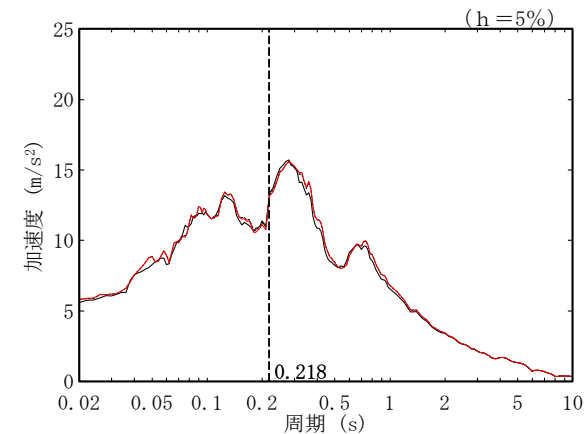
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN}/\text{m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN}/\text{m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽CB基礎底面						
35.00	凝灰岩	16.0	647	574	0.887	0.03
9.13	軽石凝灰岩	14.7	595	515	0.866	0.03
-6.77		16.3	1340	1226	0.915	0.03
-33.37	軽石質砂岩	19.8	2230	2092	0.938	0.03
-50.12	礫岩	20.8	2340	2130	0.910	0.03
-51.28	砂質軽石凝灰岩	16.0	1800	1685	0.936	0.03
-55.59	細粒砂岩	18.2	2050	1926	0.940	0.03
▽解放基礎表面		-	18.1	1601	1601	1.000

(c) 収束物性値

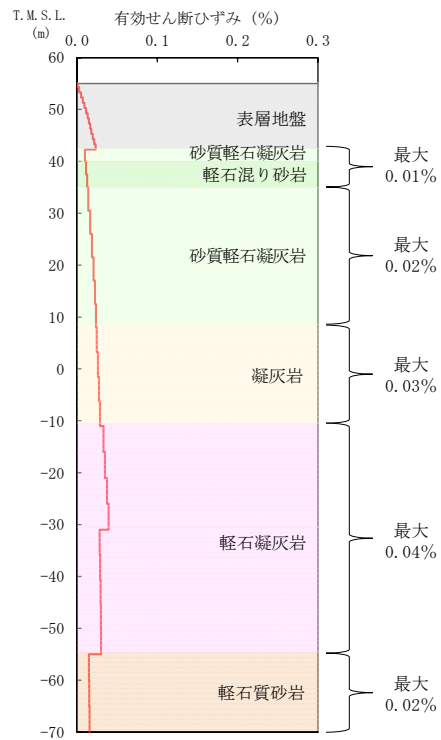


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-5-1 ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A の建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

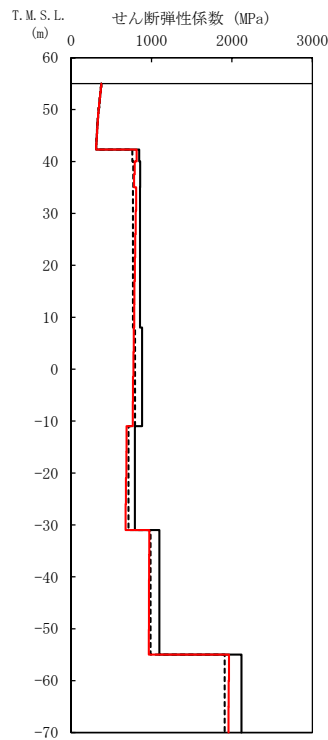
(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 4.2-3 図 地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, CB)



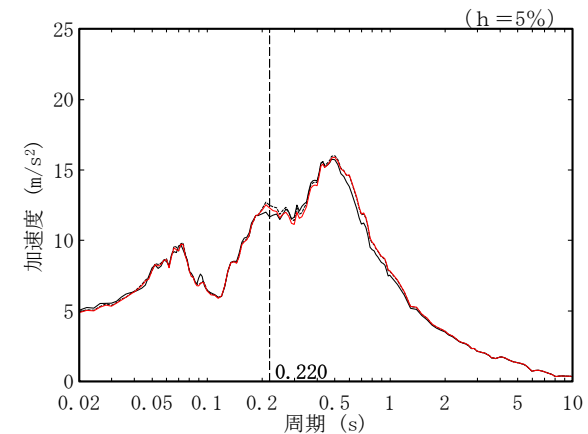
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AZ基礎底面						
42.30	砂質軽石凝灰岩	14.4	849	816	0.961	0.03
40.00	軽石混り砂岩	14.6	861	789	0.916	0.03
35.00	砂質軽石凝灰岩	15.8	858	798	0.930	0.03
8.00	凝灰岩	16.3	885	774	0.875	0.03
-11.00	軽石凝灰岩	14.6	794	686	0.864	0.03
-31.00	軽石凝灰岩	15.6	1100	971	0.883	0.03
-55.00	軽石質砂岩	18.1	2120	1961	0.925	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値

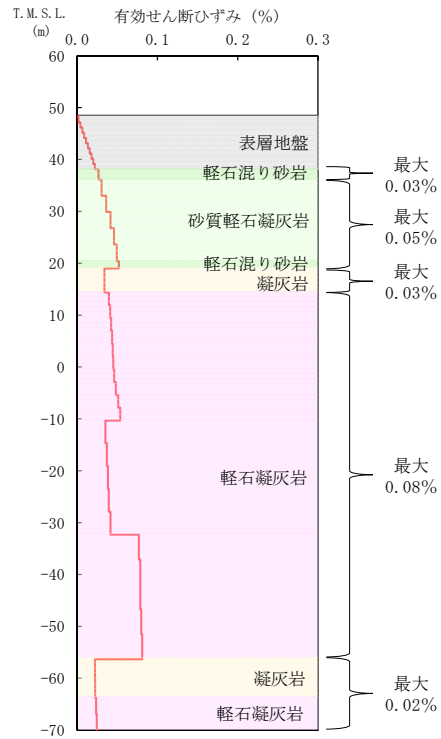


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-2 1-1 緊急時対策建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

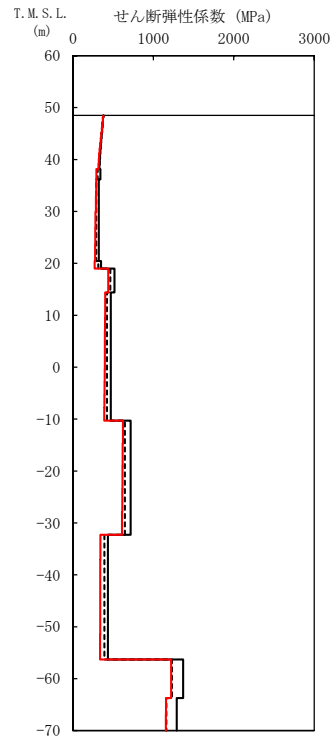
(d) 加速度応答スペクトル

(凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 4.2-4 図 地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, AZ 周辺, AZ)



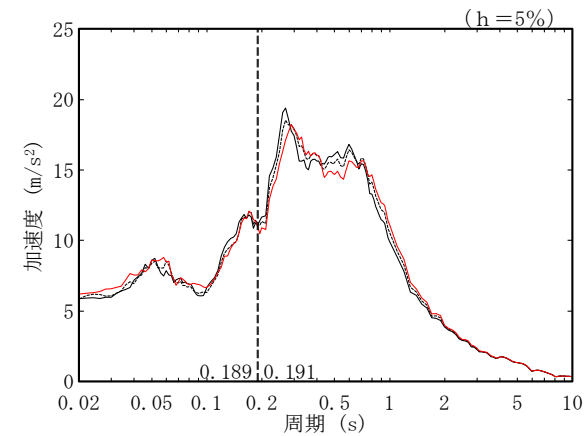
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽G14基礎底面						
38.15	軽石混り砂岩	15.8	341	291	0.853	0.03
36.15	砂質軽石凝灰岩	14.9	322	282	0.876	0.03
20.44	軽石混り砂岩	16.2	350	271	0.774	0.03
18.99	凝灰岩	16.2	517	439	0.849	0.03
14.37		14.7	470	396	0.843	0.03
-10.30	軽石凝灰岩	15.2	717	616	0.859	0.03
-32.30		15.2	435	339	0.779	0.03
-56.33	凝灰岩	16.2	1370	1220	0.891	0.03
-63.74	軽石凝灰岩	15.3	1290	1156	0.896	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-18-1 第2保管庫・貯水所の地震応答計算書」に示す S_s -Aでの建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 4.2-5 図 地盤の等価線形解析結果 (S_s -A, G14)

第 4.2-1 表 基礎底面地盤ばねのばね定数（東側地盤）

(a) Ss-A, AC

方向	種別	① 初期物性値	② 等価線形解析による収束物性値	②/①
NS	底面スウェイばね(kN/m)	2.27.E+08	2.08.E+08	0.916
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	5.77.E+11	5.25.E+11	0.910
EW	底面スウェイばね(kN/m)	2.30.E+08	2.11.E+08	0.917
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	4.32.E+11	3.93.E+11	0.910
UD	底面鉛直ばね(kN/m)	4.14.E+08	3.86.E+08	0.932

(b) Ss-A, CA

方向	種別	① 初期物性値	② 等価線形解析による収束物性値	②/①
NS	底面スウェイばね(kN/m)	1.13.E+08	9.78.E+07	0.865
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	1.69.E+11	1.46.E+11	0.864
EW	底面スウェイばね(kN/m)	1.16.E+08	1.01.E+08	0.871
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	1.23.E+11	1.06.E+11	0.862
UD	底面鉛直ばね(kN/m)	2.18.E+08	1.94.E+08	0.890

(c) Ss-A, CB

方向	種別	① 初期物性値	② 等価線形解析による収束物性値	②/①
NS	底面スウェイばね(kN/m)	1.12.E+08	9.87.E+07	0.881
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	8.92.E+10	7.82.E+10	0.877
EW	底面スウェイばね(kN/m)	1.13.E+08	9.95.E+07	0.881
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	8.09.E+10	7.09.E+10	0.876
UD	底面鉛直ばね(kN/m)	1.92.E+08	1.71.E+08	0.891

(d) Ss-A, AZ 周辺, AZ

方向	種別	① 初期物性値	② 等価線形解析による収束物性値	②/①
NS	底面スウェイばね(kN/m)	1.75.E+08	1.59.E+08	0.909
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	1.83.E+11	1.65.E+11	0.902
EW	底面スウェイばね(kN/m)	1.71.E+08	1.56.E+08	0.912
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	2.48.E+11	2.34.E+11	0.944
UD	底面鉛直ばね(kN/m)	2.61.E+08	2.36.E+08	0.904

(e) Ss-A, G14

方向	種別	① 初期物性値	② 等価線形解析による収束物性値	②/①
NS	底面スウェイばね(kN/m)	1.00.E+08	8.74.E+07	0.874
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	9.56.E+10	8.24.E+10	0.862
EW	底面スウェイばね(kN/m)	9.21.E+07	8.03.E+07	0.872
	底面ロッキングばね(kN・m/rad)	3.30.E+11	2.83.E+11	0.858
UD	底面鉛直ばね(kN/m)	1.95.E+08	1.70.E+08	0.872

4.3 西側地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響

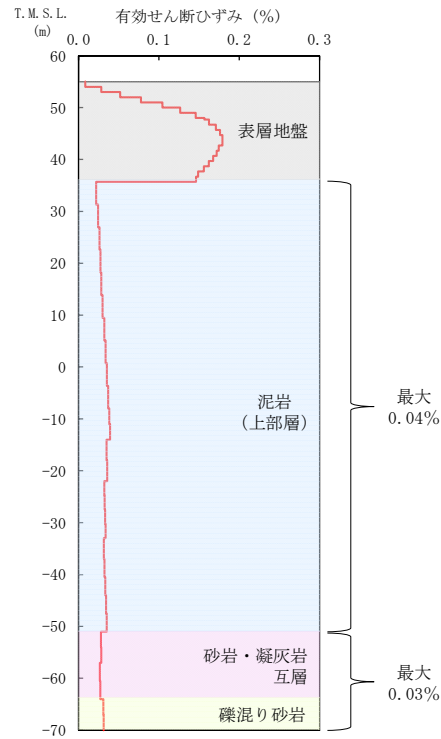
西側地盤における基準地震動 Ss-A に対する等価線形解析の結果として、地盤の有効せん断ひずみ分布、収束剛性分布、収束物性値及び各建屋の基礎底面レベルにおける入力地震動の加速度応答スペクトルを第 4.3-1 図に示す。また、基礎底面地盤ばねのばね定数を第 4.3-1 表に示す。

地盤の等価線形解析の結果、各岩種の有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 は以下のとおりとなっていることを確認した。なお、以下に記載する最大有効せん断ひずみの値については、最大の値を、剛性低下率 G/G_0 については、最小の値を記載している。

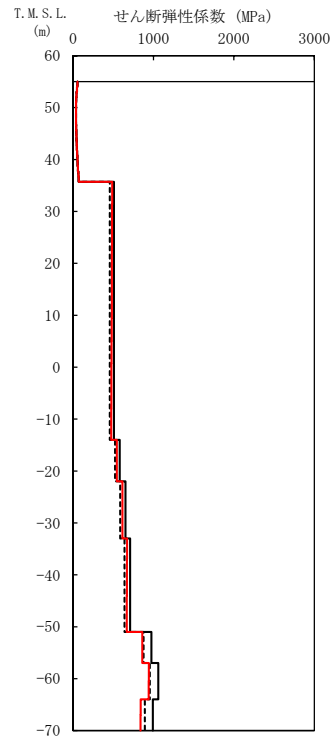
- ・泥岩(上部層):最大有効せん断ひずみ 0.04%, 剛性低下率 G/G_0 0.940
- ・砂岩・凝灰岩互層:最大有効せん断ひずみ 0.03%, 剛性低下率 G/G_0 0.884
- ・礫混り砂岩:最大有効せん断ひずみ 0.03%, 剛性低下率 G/G_0 0.847

基礎底面レベルの加速度応答スペクトルの比較結果から、線形条件と等価線形解析の結果については、周期特性に顕著な乖離がないこと、また、建屋の 1 次固有周期において同程度の応答となることから、西側地盤のグループにおいて、0.03%~0.04% 程度の有効せん断ひずみに対する剛性低下の影響は小さいことを確認した。

基礎底面地盤ばねのばね定数の比較結果から、底面地盤ばねの剛性への影響も小さいことを確認した。



(a) 有効せん断ひずみ

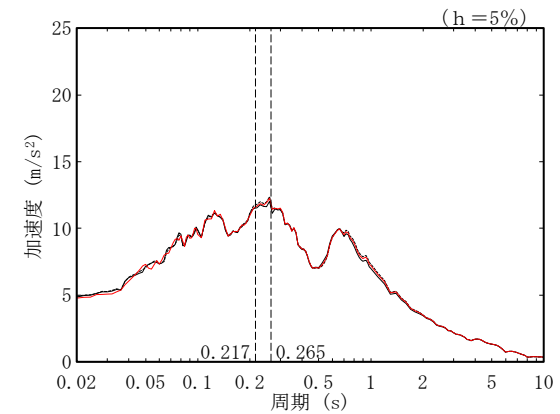


(b) 収束剛性分布

(凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽EB基礎底面						
35.70		15.9	508	481	0.947	0.03
-14.00	泥岩(上部層)	15.8	580	545	0.940	0.03
-22.00		16.1	651	614	0.943	0.03
-33.00		16.0	710	669	0.942	0.03
-51.00	砂岩・凝灰岩 互層	17.0	973	860	0.884	0.03
-57.00		16.7	1060	942	0.889	0.03
-64.00	礫混り砂岩	15.6	992	840	0.847	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	15.9	987	987	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「II-2-1-1-1-1-1 ガラス固化体貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

第 4.3-1 図 地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, E 施設周辺, EB)

第 4.3-1 表 基礎底面地盤ばねのばね定数（西側地盤，Ss-A，EB）

方向	種別	① 初期物性値	② 等価線形解析による収束物性値	②/①
NS	底面スウェイばね (kN/m)	7.38.E+07	7.00.E+07	0.949
	底面ロッキングばね (kN・m/rad)	4.74.E+10	4.48.E+10	0.945
EW	底面スウェイばね (kN/m)	7.39.E+07	7.01.E+07	0.949
	底面ロッキングばね (kN・m/rad)	4.58.E+10	4.34.E+10	0.948
UD	底面鉛直ばね (kN/m)	1.15.E+08	1.10.E+08	0.957

4.4 中央地盤・東側地盤・西側地盤の比較

「4.1」～「4.3」の結果を踏まえて、中央地盤、東側地盤及び西側地盤における基準地震動 S_s-A に対する地盤の各岩種の最大有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 の比較結果を第 4.4-1 表に整理する。

中央地盤、G14 を除く東側地盤及び西側地盤では、いずれも最大有効せん断ひずみが 0.04% 程度以内に収まり、剛性低下率 G/G_0 は 0.8 程度以上の範囲にあることを確認した。なお、中央地盤の主要な岩種である泥岩（下部層）及び西側地盤の主要な岩種である泥岩（上部層）については、剛性低下率 G/G_0 は 0.95 程度以上の範囲にあり、その他の岩種と比べ岩盤部分の非線形性の影響がより小さいと考えられる。これは、第 4.4-1 図に示すひずみ依存特性の比較結果のとおり、泥岩（下部層）及び泥岩（上部層）は、他の岩種と比較し、剛性が低下しにくい傾向となっているためであると考えられる。

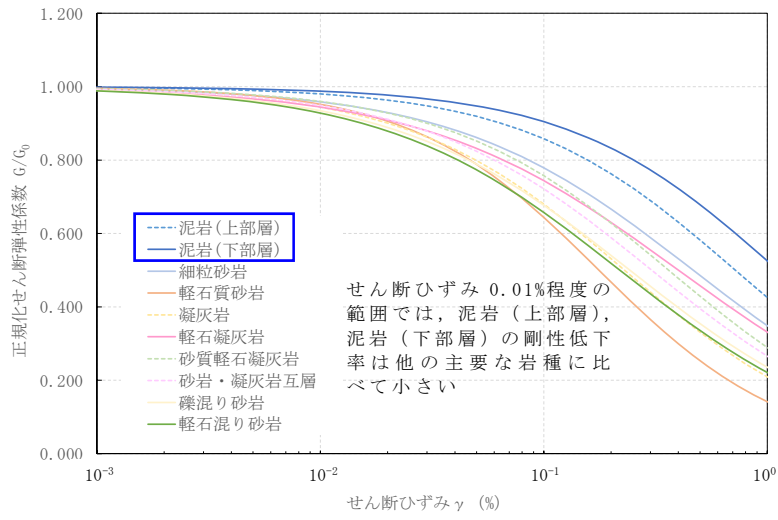
東側地盤の G14 については、3.2 節に示したとおり、軽石凝灰岩の初期せん断弾性係数が他グループと比べ小さいことから、地震時の地盤のせん断ひずみが卓越しやすく、剛性低下が他岩種と比べて大きい傾向であると考えられる。

加速度応答スペクトルへの影響に関しては、中央地盤、東側地盤、西側地盤いずれにおいても、周期特性に顕著な乖離がないこと、また、建屋の 1 次固有周期において同程度の応答となることから、剛性低下による影響は小さいものと判断する。

底面地盤ばねの剛性への影響に関しては、東側地盤の CA、CB 及び G14 を除く全てのグループで、ばね定数への影響は小さいことを確認した。また、東側地盤の CA、CB 及び G14 については、ばね定数への影響は見られたものの、地震応答解析モデルの固有周期に及ぼす影響は小さいことから、剛性低下による影響は小さいものと判断する。

第 4.4-1 表 地盤応答解析結果の比較

	最大有効せん断ひずみ	剛性低下率 G/G_0 の 最小値
中央地盤	0.01%～0.03%	0.827
東側地盤（G14 を除く）	0.01%～0.04%	0.851
東側地盤（G14）	0.03%～0.08%	0.774
西側地盤	0.03%～0.04%	0.847



第 4.4-1 図 中央地盤・東側地盤・西側地盤の主要な岩種のひずみ依存特性の比較

5. 1.2×S_s-A の地盤応答解析結果

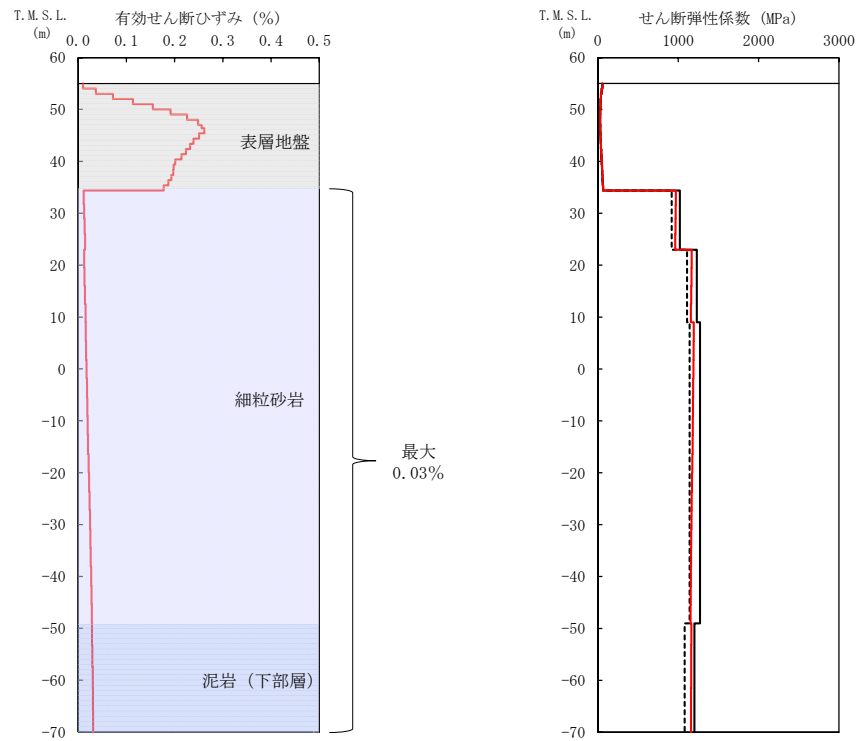
中央地盤、東側地盤及び西側地盤における各グループの 1.2×S_s-A に対する等価線形解析の結果として、地盤の有効せん断ひずみ分布、収束剛性分布、収束物性値及び各建屋の基礎底面レベルにおける入力地震動の加速度応答スペクトルを第 5-1 図～第 5-12 図に示す。また、地盤の各岩種の最大有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 の比較結果を基準地震動 S_s-A の地盤応答解析結果と合わせて第 5-1 表に整理する。

いずれのグループにおいても、1.2×S_s-A の地盤応答解析結果は、基準地震動 S_s-A の地盤応答解析結果と比較して、最大有効せん断ひずみの若干の増加に伴い、剛性低下率 G/G_0 の最小値は減少するものの、著しい剛性低下が見られるグループはなかった。また、「4. 基準地震動 S_s-A の地盤応答解析結果」において、底面地盤ばねの剛性への影響及び地震応答解析モデルの固有周期への影響は小さいことから、基準地震動 S_s-A と比較して著しい剛性低下の見られなかった 1.2×S_s-A においても、同様の傾向となると考えられる。上記のことから、岩盤部分の非線形性による剛性低下の影響は小さいものと判断する。

加速度応答スペクトルへの影響に関しては、基準地震動 S_s-A の地盤応答解析結果と同様に、中央地盤、東側地盤、西側地盤いずれにおいても、周期特性に顕著な乖離がないこと、また、建屋の 1 次固有周期において同程度の応答となることから、剛性低下による影響は小さいものと判断する。

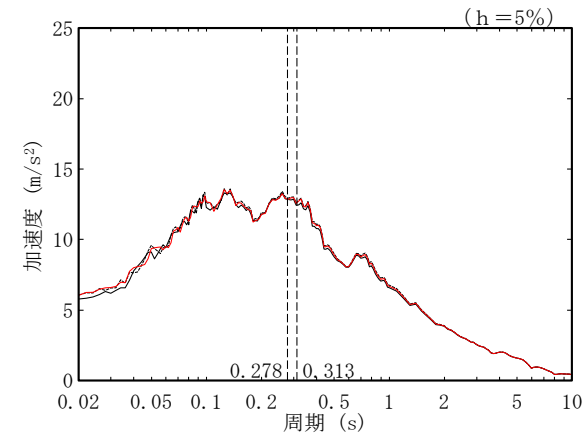
第 5-1 表 地盤応答解析結果の比較

	基準地震動	最大有効 せん断ひずみ	剛性低下率 G/G_0 の 最小値
中央地盤	S _s -A	0.01%～0.03%	0.827
	1.2×S _s -A	0.02%～0.03%	0.809
東側地盤 (G14 を除く)	S _s -A	0.01%～0.04%	0.851
	1.2×S _s -A	0.02%～0.06%	0.820
東側地盤 (G14)	S _s -A	0.03%～0.08%	0.774
	1.2×S _s -A	0.04%～0.10%	0.740
西側地盤	S _s -A	0.03%～0.04%	0.847
	1.2×S _s -A	0.03%～0.05%	0.823



T.M.S.L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AB基礎底面						
34.39	細粒砂岩	18.2	1020	966	0.947	0.03
23.00		18.4	1230	1162	0.945	0.03
9.00		18.0	1270	1173	0.924	0.03
-49.00	泥岩(下部層)	17.5	1200	1160	0.967	0.03
▽解放基礎表面	-	17.0	1164	1164	1.000	0.03
-70.00						

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-2-1 分離建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

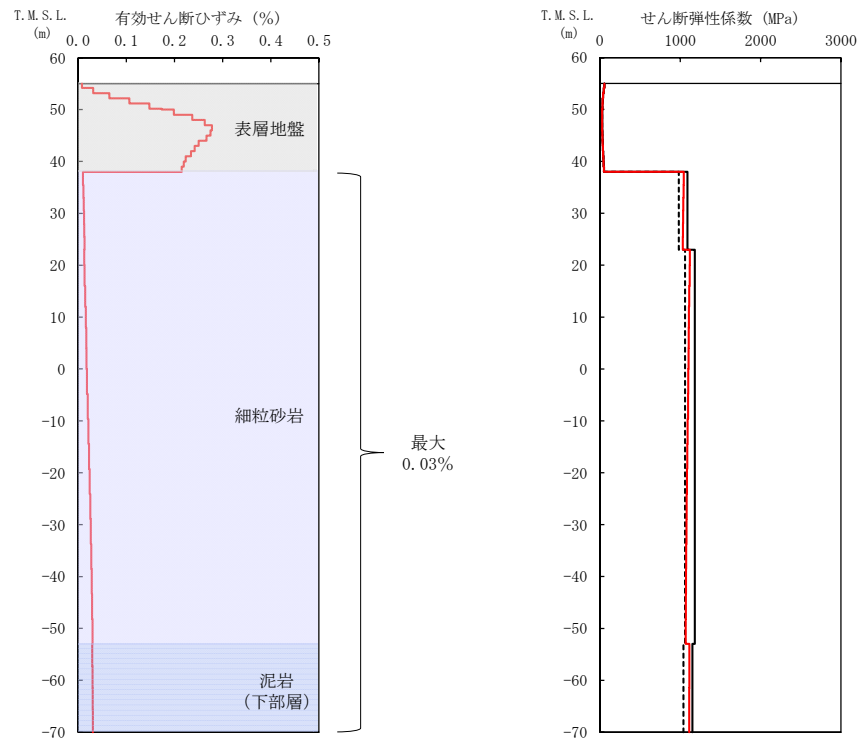
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 5-1 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2×Ss-A, AA 周辺, AB)



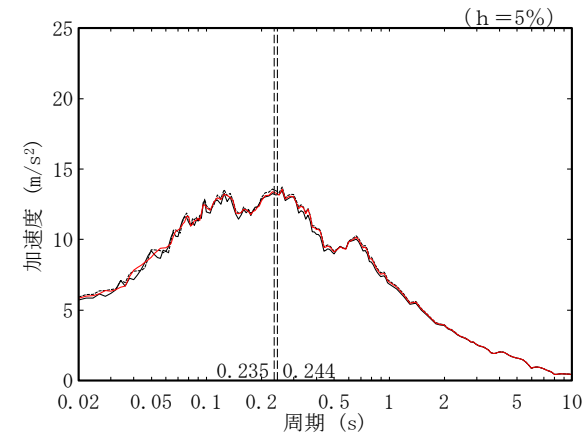
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽FA基礎底面						
38.00	細粒砂岩	18.5	1090	1037	0.951	0.03
23.00		18.0	1180	1090	0.924	0.03
-53.00	泥岩(下部層)	17.3	1150	1112	0.967	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	17.0	1164	1164	1.000	0.03

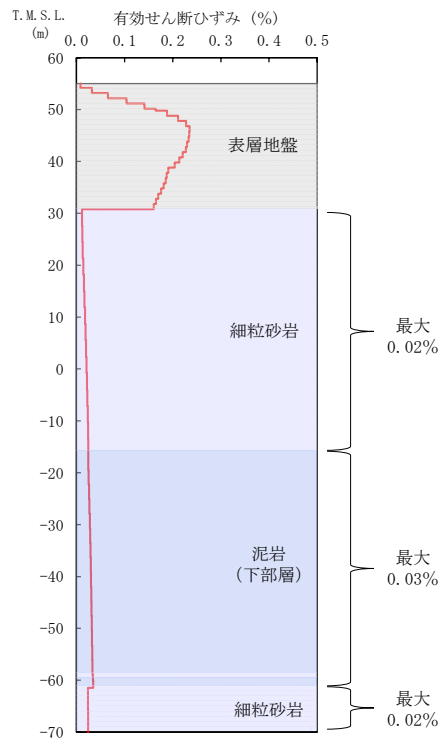
(c) 収束物性値



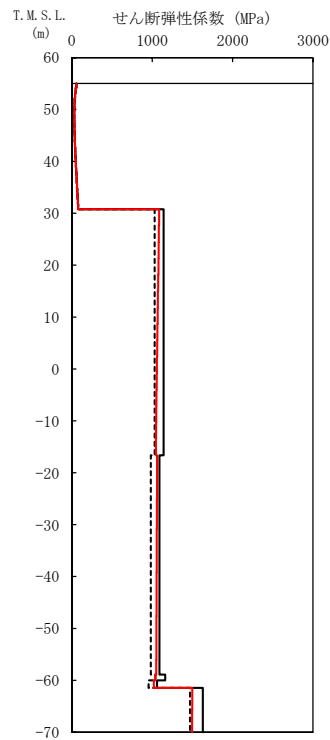
* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1-1-1 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す S_s -Aでの建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

第 5-2 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2 \times S_s-A, F 施設周辺, FA)



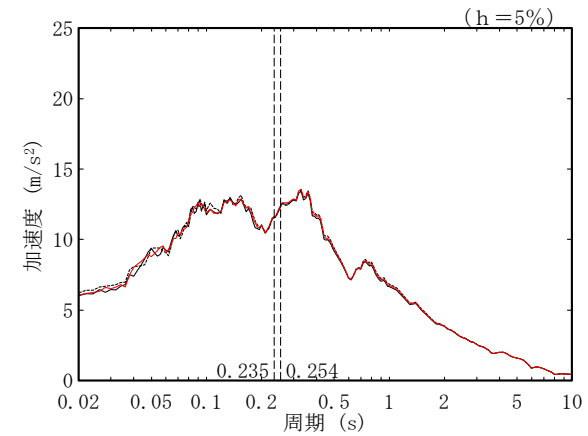
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AE基礎底面						
30.80	細粒砂岩	17.9	1140	1064	0.933	0.03
-16.63	泥岩(下部層)	17.2	1090	1055	0.968	0.03
-58.90	細粒砂岩	18.2	1160	1038	0.895	0.03
-60.02	泥岩(下部層)	16.7	1060	1020	0.962	0.03
-61.46	細粒砂岩	18.4	1630	1497	0.918	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	—	17.0	1164	1164	1.000	0.03

(c) 収束物性値

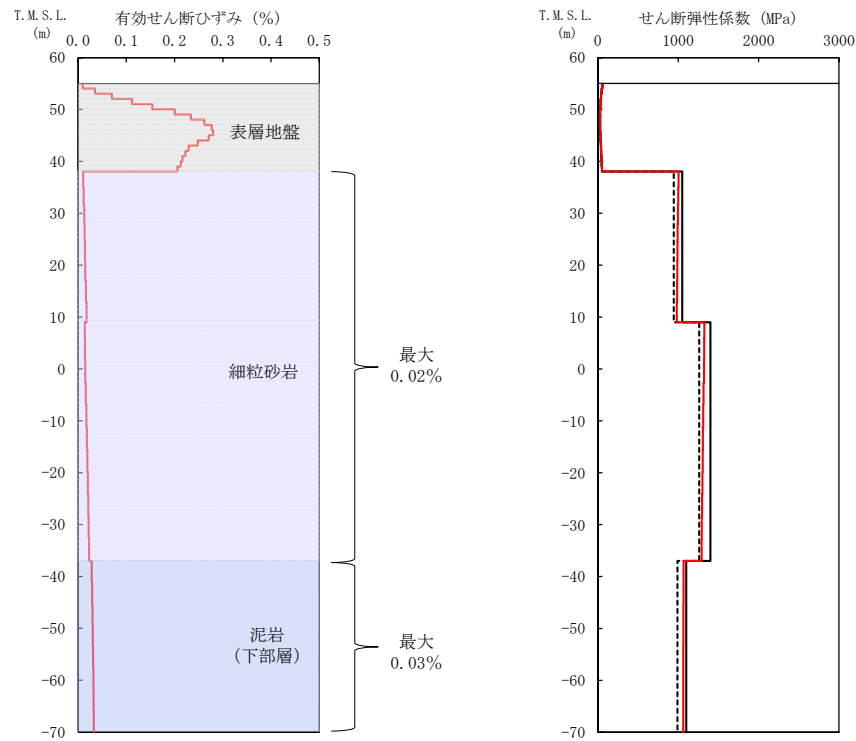


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1-1-1-1-1-1 ハル・エンドピース貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

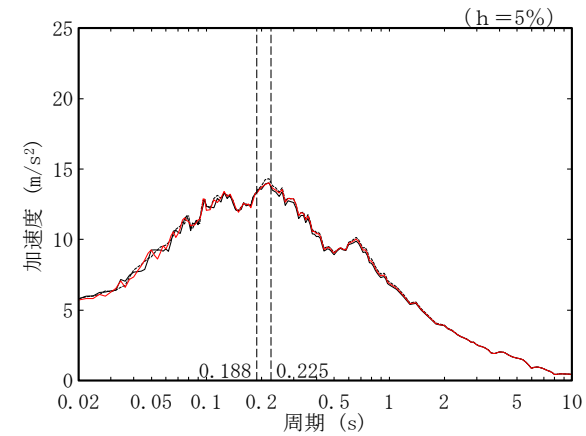
- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 5-3 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2× S_s -A, AE)



T.M.S.L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AG基礎底面						
38.05		18.3	1050	992	0.945	0.03
9.00	細粒砂岩	18.1	1400	1307	0.934	0.03
-37.00	泥岩 (下部層)	16.9	1100	1063	0.966	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	17.0	1164	1164	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-6-1 制御建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

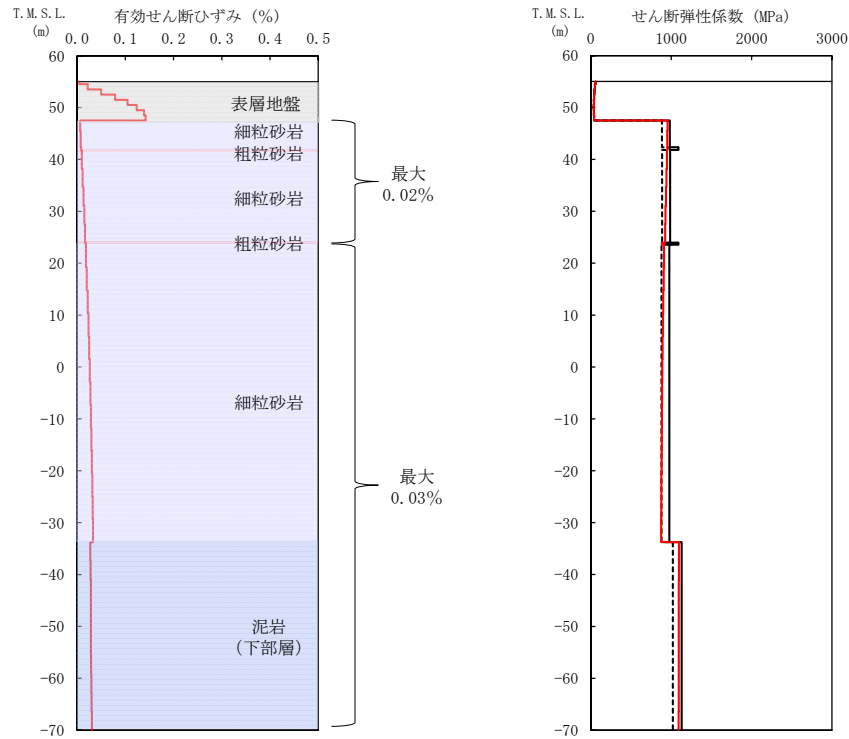
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(d) 加速度応答スペクトル

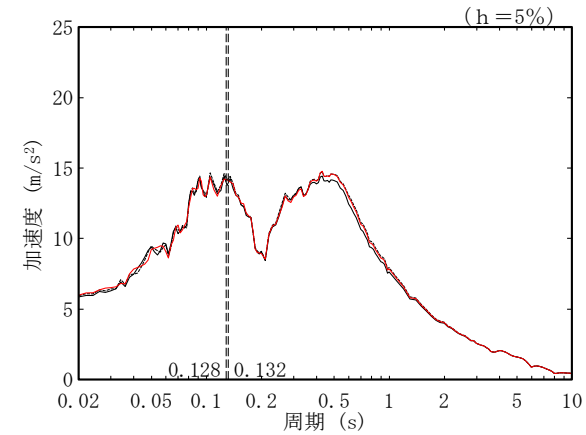
(凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 5-4 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2×Ss-A, AG)



T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽GA基礎底面						
47.50	細粒砂岩	18.1	982	951	0.968	0.03
42.34	粗粒砂岩	20.1	1090	954	0.875	0.03
41.81	細粒砂岩	18.1	986	935	0.948	0.03
23.96	粗粒砂岩	20.1	1090	882	0.809	0.03
23.58	細粒砂岩	18.0	975	889	0.912	0.03
-33.75	泥岩(下部層)	17.4	1130	1094	0.968	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	17.0	1164	1164	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1-13-1 非常用電源建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

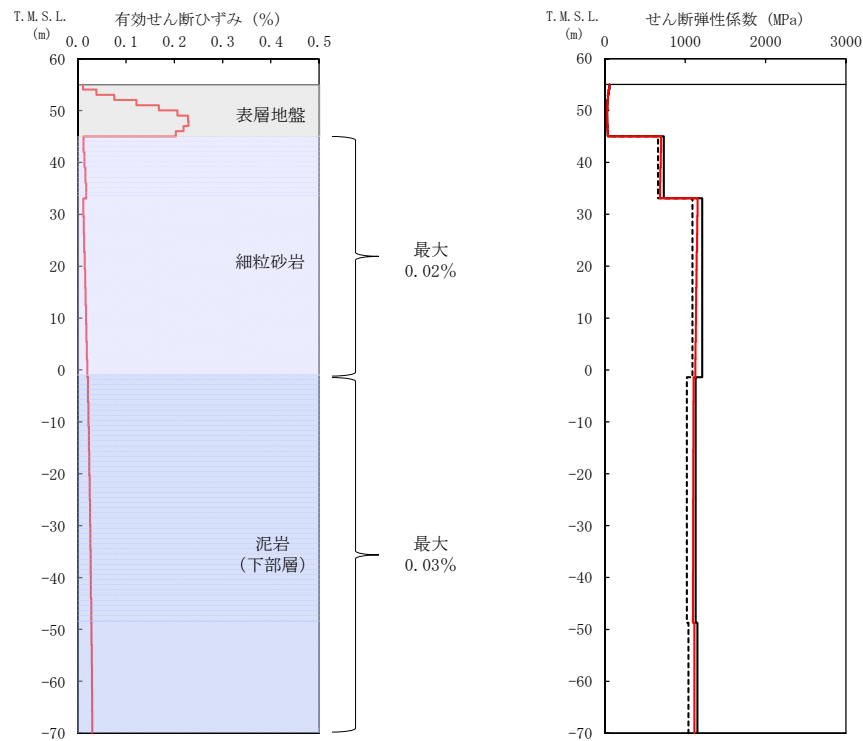
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 5-5 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2×Ss-A, GA)

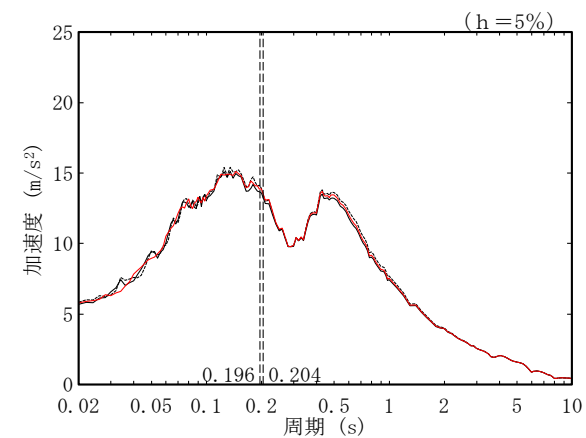


(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h	
▽DC基礎底面	45.03						
	細粒砂岩	18.1	734	693	0.944	0.03	
		33.09	18.0	1210	1138	0.940	0.03
	泥岩(下部層)	-1.41	16.9	1130	1098	0.972	0.03
		-48.71	17.3	1150	1113	0.968	0.03
▽解放基礎表面	-70.00	-	17.0	1164	1164	1.000	0.03

(c) 収束物性値

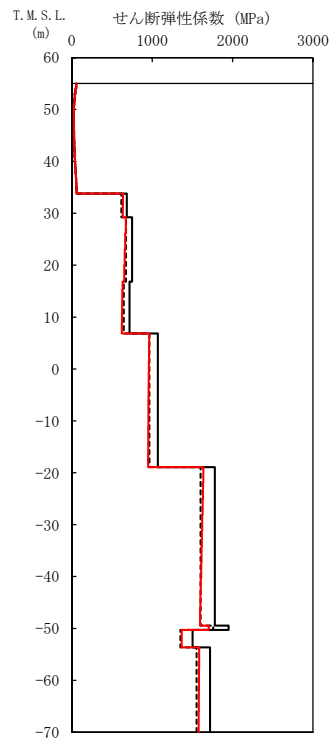
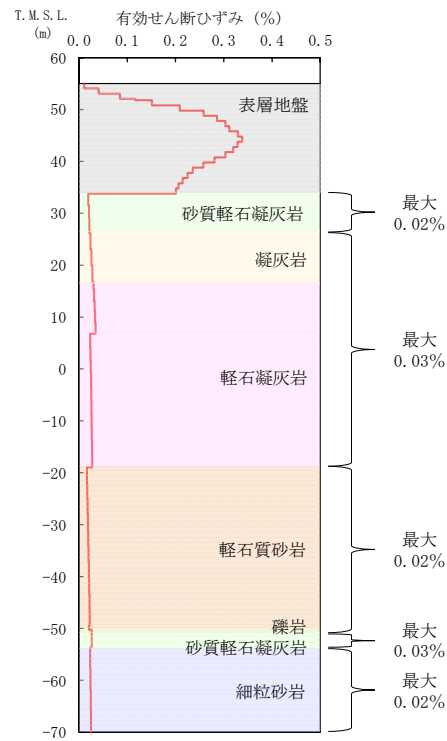


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1-10-1 チャンネルボックス・パーナブルポイズン処理建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

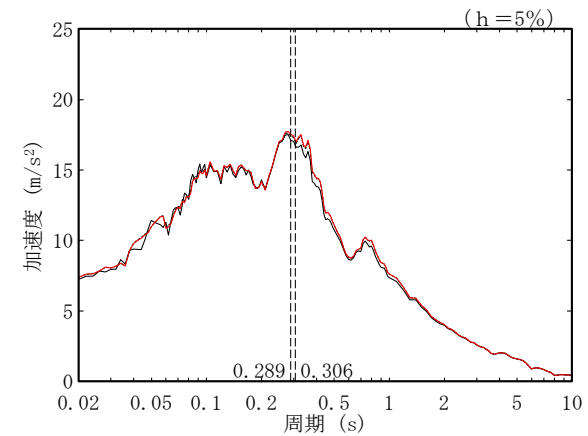
- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 5-6 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2 \times S_s -A, DC)



T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AC基礎底面						
33.80	砂質軽石凝灰岩	14.5	684	635	0.928	0.03
29.24	凝灰岩	15.9	749	661	0.883	0.03
16.82	軽石凝灰岩	15.2	717	626	0.873	0.03
6.82		15.3	1070	954	0.892	0.03
-18.93	軽石質砂岩	18.9	1780	1616	0.908	0.03
-49.43	礫岩	20.8	1950	1704	0.874	0.03
-50.28	砂質軽石凝灰岩	16.0	1500	1365	0.910	0.03
-53.68	細粒砂岩	18.3	1720	1579	0.918	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-3-1 精製建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS,EW) を示す。

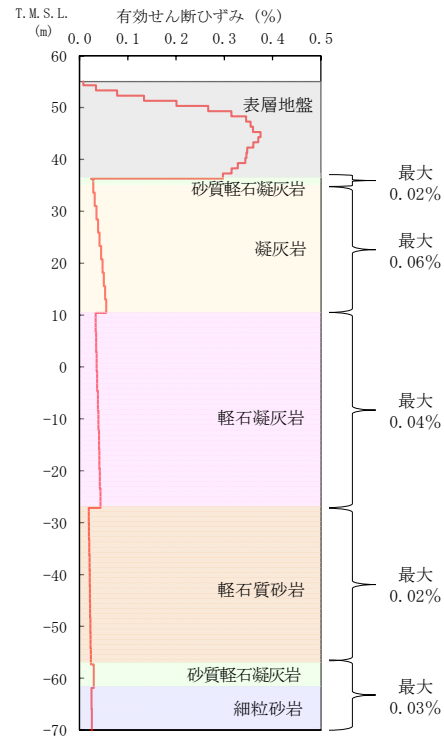
(d) 加速度応答スペクトル

(a) 有効せん断ひずみ

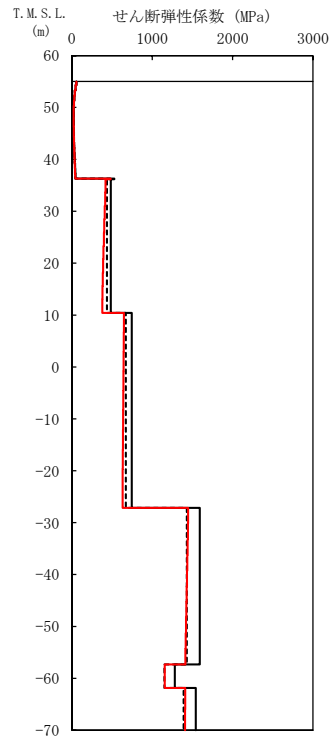
(b) 収束剛性分布

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 5-7 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2×Ss-A, AC)



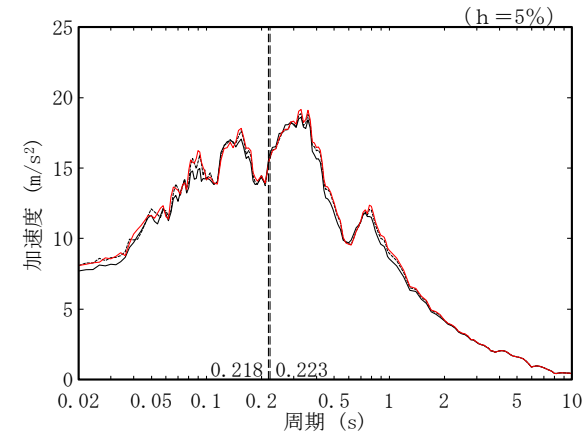
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽CA基礎底面						
36.30	砂質軽石凝灰岩	17.2	529	483	0.913	0.03
36.19	凝灰岩	15.7	484	397	0.820	0.03
10.42	軽石凝灰岩	14.5	746	639	0.857	0.03
-27.16	軽石質砂岩	18.8	1590	1429	0.899	0.03
-57.33	砂質軽石凝灰岩	15.2	1280	1155	0.902	0.03
-61.86	細粒砂岩	18.2	1540	1409	0.915	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値

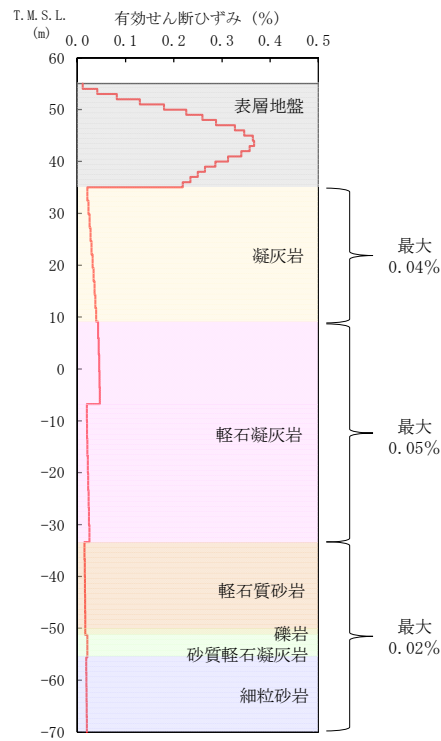


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-4-1 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

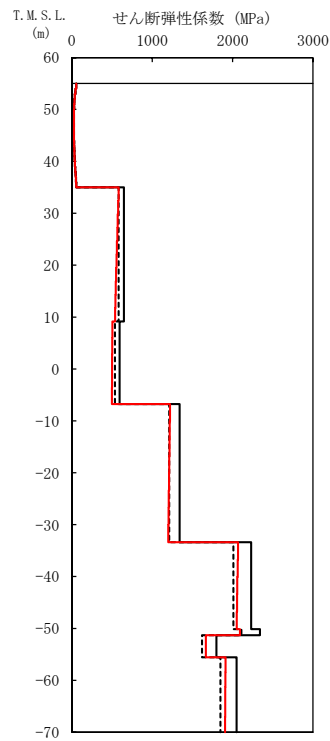
(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 5-8 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2 \times S_s-A, CA)



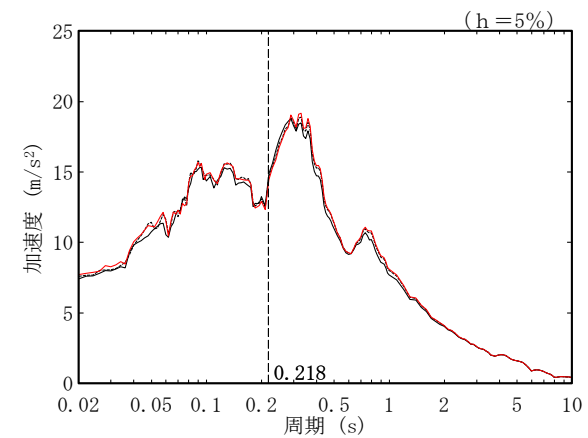
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽CR基礎底面						
35.00	凝灰岩	16.0	647	559	0.864	0.03
9.13	軽石凝灰岩	14.7	595	501	0.842	0.03
-6.77		16.3	1340	1210	0.903	0.03
-33.37	軽石質砂岩	19.8	2230	2059	0.923	0.03
-50.12	礫岩	20.8	2340	2092	0.894	0.03
-51.28	砂質軽石凝灰岩	16.0	1800	1667	0.926	0.03
-55.59	細粒砂岩	18.2	2050	1910	0.932	0.03
▽解放基礎表面		18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値

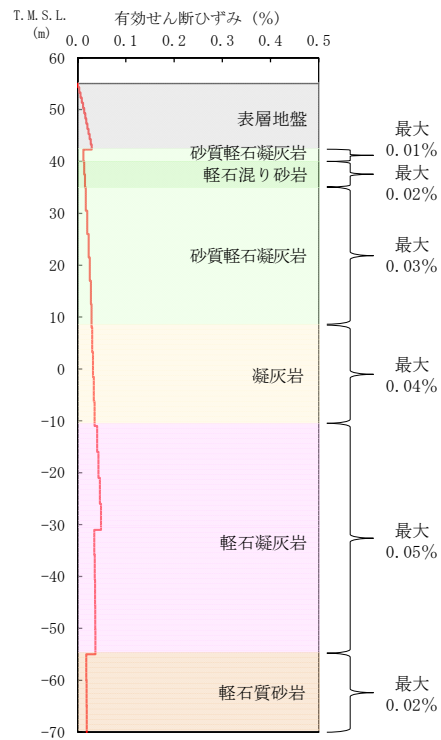


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-5-1 ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A の建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

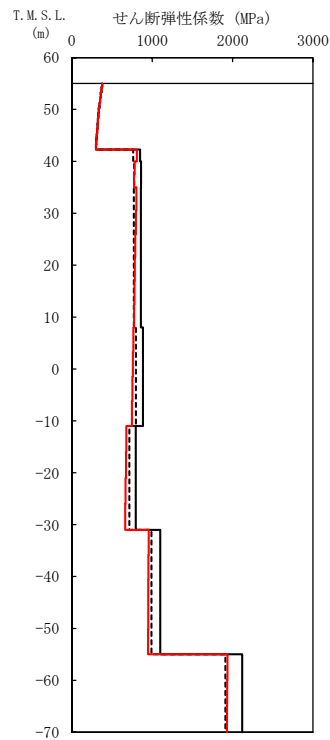
(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 5-9 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2×Ss-A, CB)



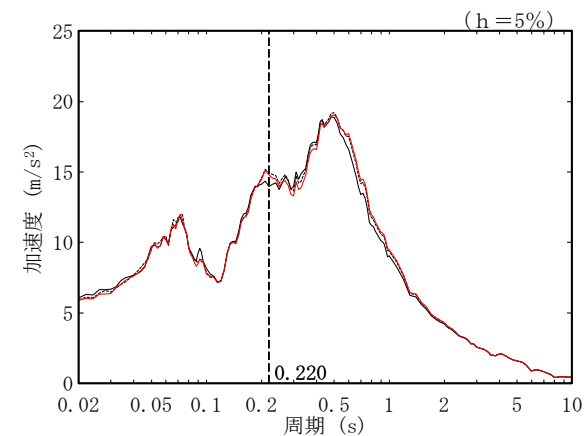
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AZ基礎底面						
42.30	砂質軽石凝灰岩	14.4	849	809	0.953	0.03
40.00	軽石混り砂岩	14.6	861	777	0.902	0.03
35.00	砂質軽石凝灰岩	15.8	858	788	0.918	0.03
8.00	凝灰岩	16.3	885	756	0.854	0.03
-11.00	軽石凝灰岩	14.6	794	671	0.845	0.03
-31.00		15.6	1100	951	0.865	0.03
-55.00	軽石質砂岩	18.1	2120	1933	0.912	0.03
▽解放基盤表面						
-70.00	-	18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値

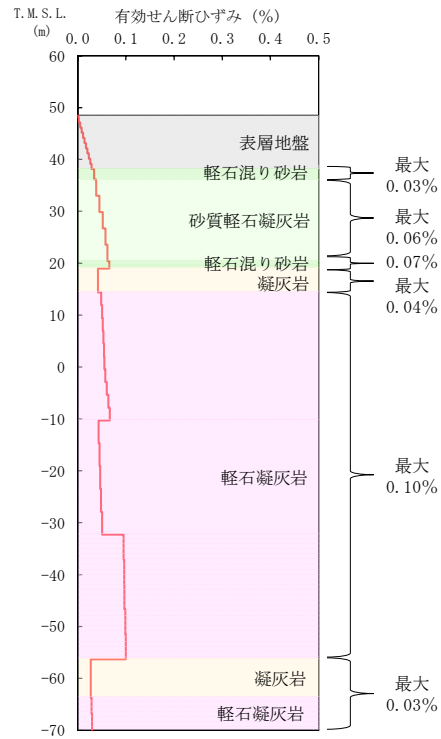


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-2 1-1 緊急時対策建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

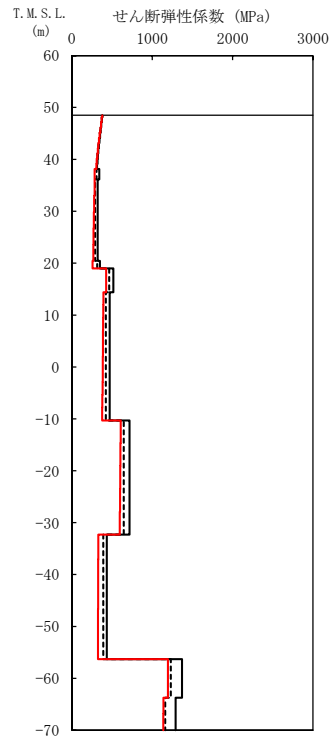
(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 5-10 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2×Ss-A, AZ 周辺, AZ)



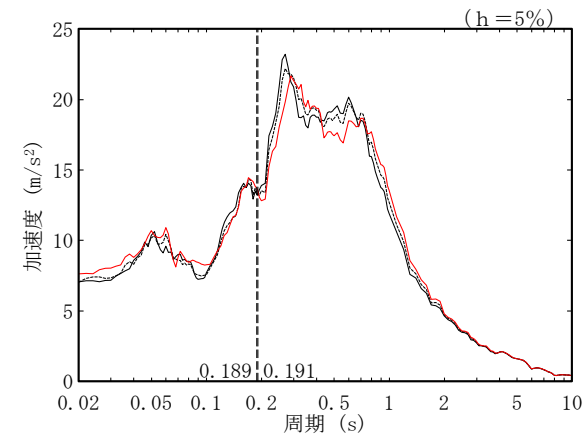
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽G14基礎底面						
38.15	軽石混り砂岩	15.8	341	283	0.830	0.03
36.15	砂質軽石凝灰岩	14.9	322	275	0.854	0.03
20.44	軽石混り砂岩	16.2	350	259	0.740	0.03
18.99	凝灰岩	16.2	517	426	0.824	0.03
14.37		14.7	470	386	0.821	0.03
-10.30	軽石凝灰岩	15.2	717	602	0.840	0.03
-32.30		15.2	435	327	0.752	0.03
-56.33	凝灰岩	16.2	1370	1195	0.872	0.03
-63.74	軽石凝灰岩	15.3	1290	1138	0.882	0.03
▽解放基盤表面						
-70.00	—	18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値

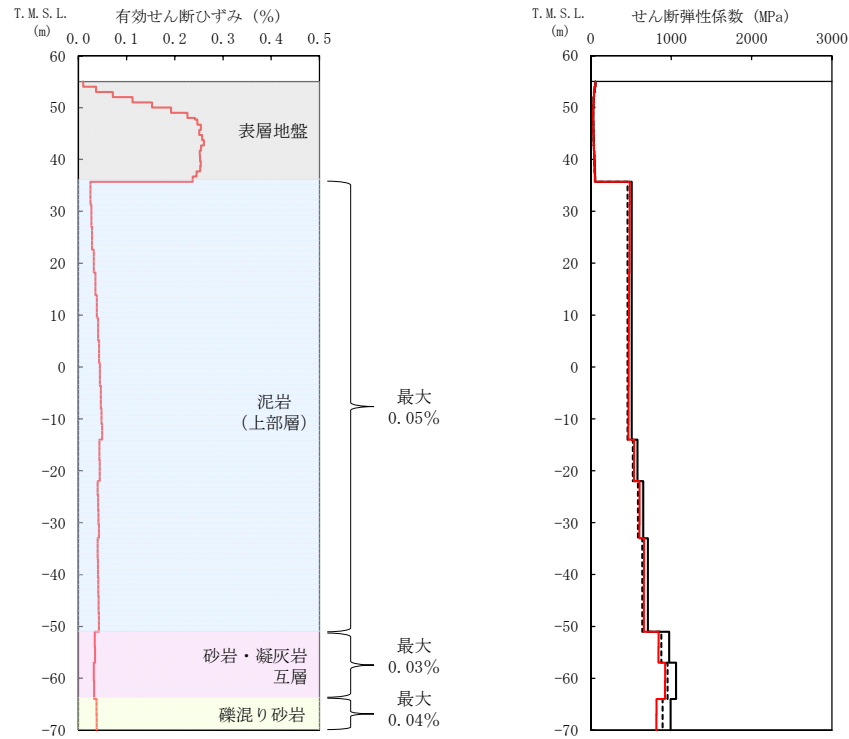


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-18-1 第2保管庫・貯水所の地震応答計算書」に示す S_s -Aでの建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 5-11 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2 \times S_s-A, G14)



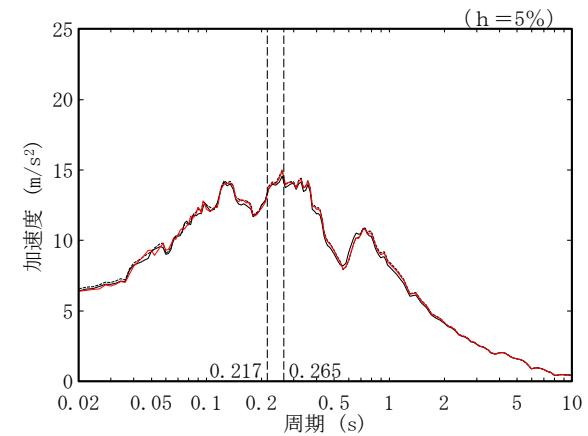
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽FR基礎底面						
-35.70	泥岩(上部層)	15.9	508	475	0.935	0.03
-14.00		15.8	580	537	0.926	0.03
-22.00		16.1	651	606	0.931	0.03
-33.00		16.0	710	660	0.930	0.03
-51.00	砂岩・凝灰岩互層	17.0	973	841	0.864	0.03
-57.00		16.7	1060	922	0.870	0.03
-64.00	礫混り砂岩	15.6	992	816	0.823	0.03
▽解放基盤表面						
-70.00	-	15.9	987	987	1.000	0.03

(c) 収束物性値



(d) 加速度応答スペクトル

* : 図中の縦点線は、添付書類「II-2-1-1-1-1-1 ガラス固化体貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

第 5-12 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2 \times S_s-A, E 施設周辺, EB)

6. 追加調査結果を考慮した物性値等における剛性の非線形性の影響

「4. 基準地震動 S_s -A の地盤応答解析結果」及び「5. $1.2 \times S_s$ -A の地盤応答解析結果」における岩盤部分の剛性の非線形性が入力地震動に及ぼす影響の確認結果については、既往データに基づく岩盤部分の物性値等を用いた地盤応答解析にて確認を行っている。

岩盤部分の物性値等については、「別紙 2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」に示すとおり、既往データに加え、岩盤部分の減衰定数に係る追加調査にて得られた PS 検層結果も含め、物性値等の設定を行うこととしている。

上記を踏まえ、本章においては、追加調査結果も含め設定した岩盤部分の物性値等を用いた地盤応答解析を実施し、岩盤部分の剛性の非線形性が入力地震動に及ぼす影響について確認する。

なお、近接する建物・構築物グループのうち、G14 については、「別紙 2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」に示すとおり、建屋直下の断層による入力地震動への影響を踏まえ、「4. 基準地震動 S_s -A の地盤応答解析結果」と同条件の物性値等を設定することから、本章における検討は対象外となる。

6.1 中央地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響

第 6.1-1 図～第 6.1-6 図に各グループにおける基準地震動 S_s -A に対する等価線形解析の結果として、地盤の有効せん断ひずみ分布、収束剛性分布、収束物性値及び各建屋の基礎底面レベルにおける入力地震動の加速度応答スペクトルを示す。なお、加速度応答スペクトルについては、「4. 基準地震動 S_s -A の地盤応答解析結果」に示す加速度応答スペクトルも重ねて示す。

地盤の等価線形解析の結果、各岩種の有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 は以下のとおりとなっていることを確認した。なお、以下に記載する最大有効せん断ひずみの値については、中央地盤の全 6 グループの中で最大の値を、剛性低下率 G/G_0 については、中央地盤の全 6 グループの中で最小の値を記載している。

- ・細粒砂岩：最大有効せん断ひずみ 0.02%，剛性低下率 G/G_0 0.935
- ・泥岩(下部層)：最大有効せん断ひずみ 0.02%，剛性低下率 G/G_0 0.973

基礎底面レベルの加速度応答スペクトルの比較結果から、線形条件と等価線形解析の結果については、周期特性に顕著な乖離がないこと、また、建屋の 1 次固有周期において同程度の応答となることから、中央地盤の AA 周

辺グループにおいて、0.02%程度の有効せん断ひずみに対する剛性低下の影響は小さいことを確認した。

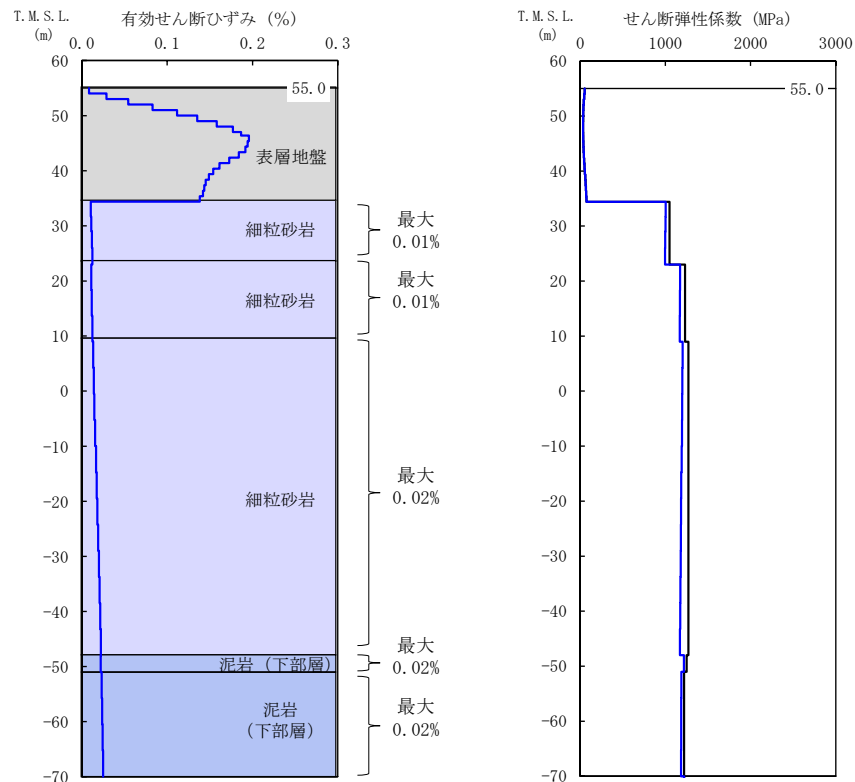
「4.1 中央地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響」に示した既往データに基づく検討結果と、本章の追加調査結果を考慮した検討結果を比較すると、加速度応答スペクトルより、追加調査結果を考慮した応答は、既往データに基づく応答と同程度の大きさとなっており、応答スペクトルのピーク的位置は整合している。また、線形条件と非線形条件の応答の関係性も同様の傾向となっていることを確認した。

以上のことより、既往データに基づく検討結果及び追加調査結果を考慮した物性値等に基づく検討結果のいずれであっても、剛性の非線形性が入力地震動に及ぼす影響は小さいことを確認した。

以下のグループの地盤の等価線形解析結果は追而

F 施設周辺, AE, AG, GA, DC

上記グループの解析結果を踏まえ、記載内容については見直し。

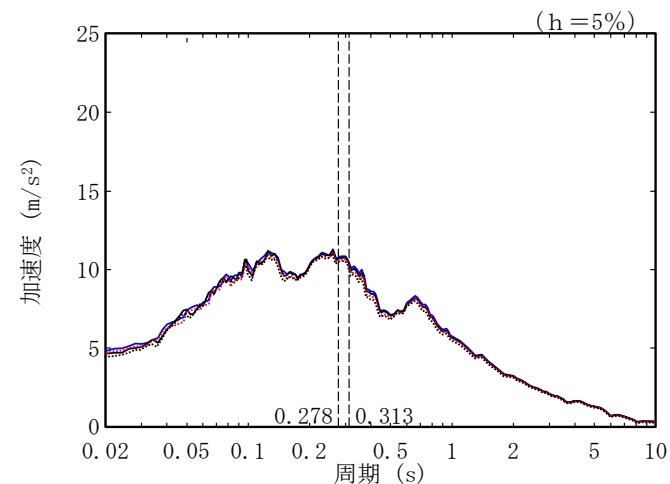


(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AB基礎底面						
34.39	細粒砂岩	18.3	1050	1000	0.952	0.03
23.00		18.3	1230	1171	0.952	0.03
9.00		18.0	1270	1187	0.935	0.03
-48.00	泥岩 (下部層)	17.8	1250	1218	0.974	0.03
-51.00		17.4	1220	1187	0.973	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	17.4	1220	1220	1.000	0.03

(c) 収束物性値

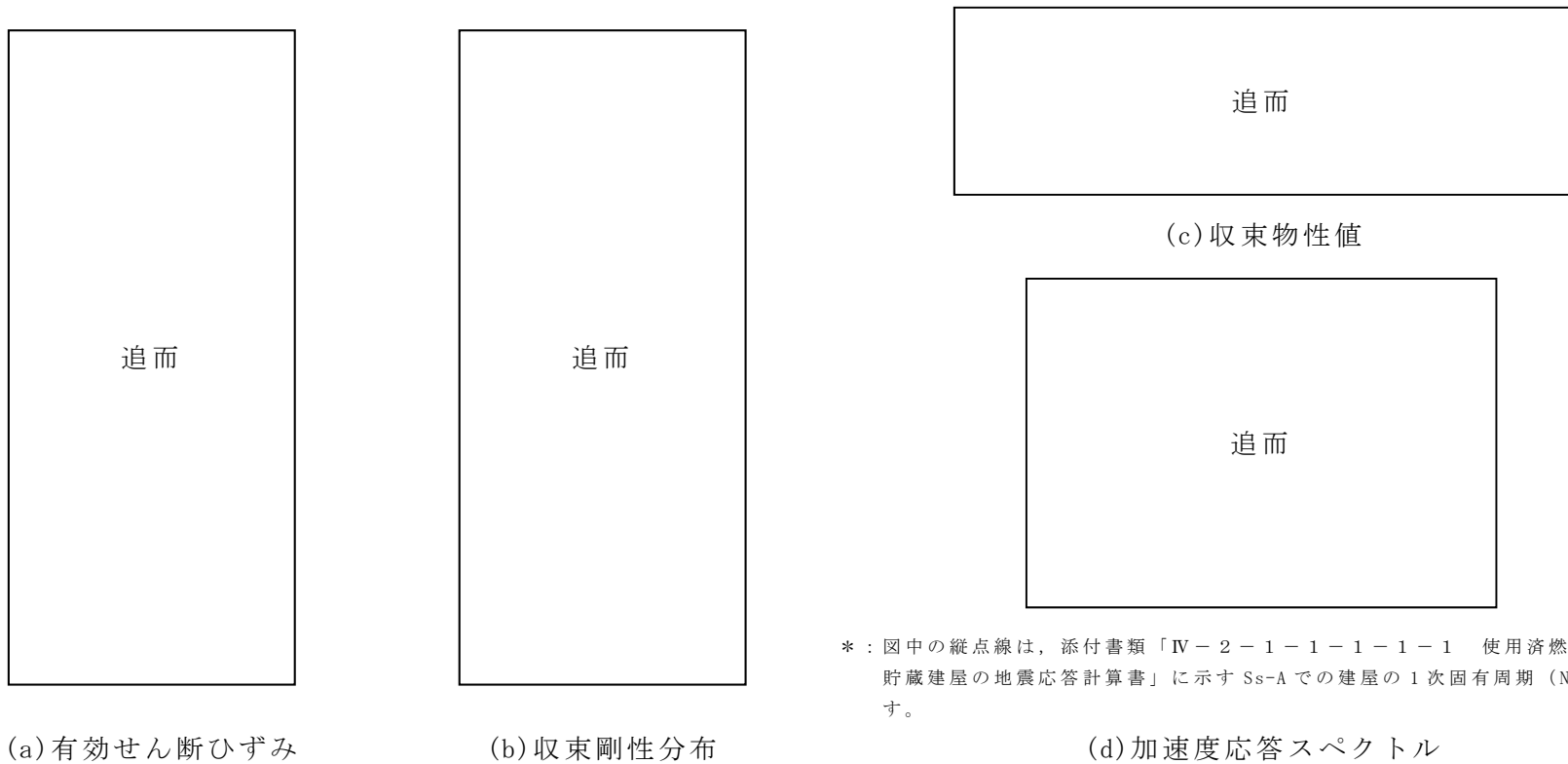


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-2-1 分離建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) ———— 初期物性値 ······ 初期物性値 (追加調査孔非考慮)
 ———— 等価線形解析による収束物性値 ······ 等価線形解析による収束物性値 (追加調査孔非考慮)

第 6.1-1 図 追加調査孔を考慮した地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, AA 周辺, AB)



*：図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1-1 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

- (凡例)
- 初期物性値
 - 初期物性値 (追加調査孔非考慮)
 - 等価線形解析による収束物性値
 - 等価線形解析による収束物性値 (追加調査孔非考慮)

第 6.1-2 図 追加調査孔を考慮した地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, F 施設周辺, FA)



(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布



(c) 収束物性値



(d) 加速度応答スペクトル

* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1-1-1 ハル・エンドピース貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値

..... 初期物性値 (追加調査孔非考慮)
 等価線形解析による収束物性値 (追加調査孔非考慮)

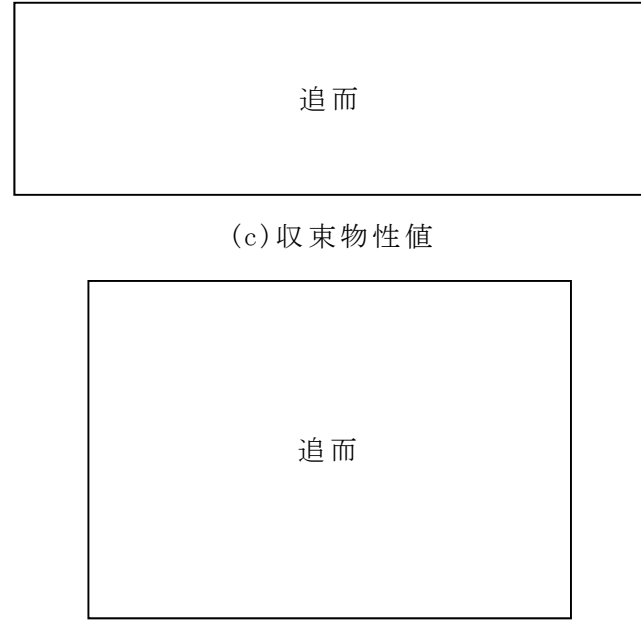
第 6.1-3 図 追加調査孔を考慮した地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, AE)



(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布



(c) 収束物性値

* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-6-1 制御建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

(凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値

..... 初期物性値 (追加調査孔非考慮)
 等価線形解析による収束物性値 (追加調査孔非考慮)

第 6.1-4 図 追加調査孔を考慮した地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, AG)



(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布



(c) 収束物性値



(d) 加速度応答スペクトル

* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-13-1 非常用電源建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

- (凡例)
- 初期物性値
 - 等価線形解析による収束物性値
 - 初期物性値 (追加調査孔非考慮)
 - 等価線形解析による収束物性値 (追加調査孔非考慮)

第 6.1-5 図 追加調査孔を考慮した地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, GA)



(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布



(c) 収束物性値



(d) 加速度応答スペクトル

* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-10-1 チャンネルボックス・パーナブルポイズン処理建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値

..... 初期物性値 (追加調査孔非考慮)
 等価線形解析による収束物性値 (追加調査孔非考慮)

第 6.1-6 図 追加調査孔を考慮した地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, DC)

6.2 東側地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響

第 6.2-1 図～第 6.2-4 図に各グループにおける基準地震動 S_s -A に対する等価線形解析の結果として、地盤の有効せん断ひずみ分布、収束剛性分布、収束物性値及び各建屋の基礎底面レベルにおける入力地震動の加速度応答スペクトルを示す。なお、加速度応答スペクトルについては、「4. 基準地震動 S_s -A の地盤応答解析結果」に示す加速度応答スペクトルも重ねて示す。

以下のグループの地盤の等価線形解析結果は追而

CA, CB

上記グループの解析結果を踏まえ、記載内容については見直し。

地盤の等価線形解析の結果、AC、及び AZ 周辺の各岩種の有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 は以下のとおりとなっていることを確認した。なお、以下に記載する最大有効せん断ひずみの値については、上記 4 グループの中で最大の値を、剛性低下率 G/G_0 については、上記 4 グループの中で最小の値を記載している。

- ・砂質軽石凝灰岩：最大有効せん断ひずみ 0.02%，剛性低下率 G/G_0 0.928
- ・凝灰岩：最大有効せん断ひずみ 0.03%，剛性低下率 G/G_0 0.879
- ・軽石凝灰岩：最大有効せん断ひずみ 0.03%，剛性低下率 G/G_0 0.881
- ・軽石質砂岩：最大有効せん断ひずみ 0.02%，剛性低下率 G/G_0 0.897
- ・軽石混り砂岩：最大有効せん断ひずみ 0.02%，剛性低下率 G/G_0 0.866
- ・細粒砂岩：(追而)

基礎底面レベルの加速度応答スペクトルの比較結果から、線形条件と等価線形解析の結果については、AC 及び AZ 周辺において周期特性に顕著な乖離はみられない。また、建屋の 1 次固有周期において、AC については同程度の応答となっていることから、0.02%～0.03% 程度の有効せん断ひずみに対する剛性低下の影響は小さいことを確認した。

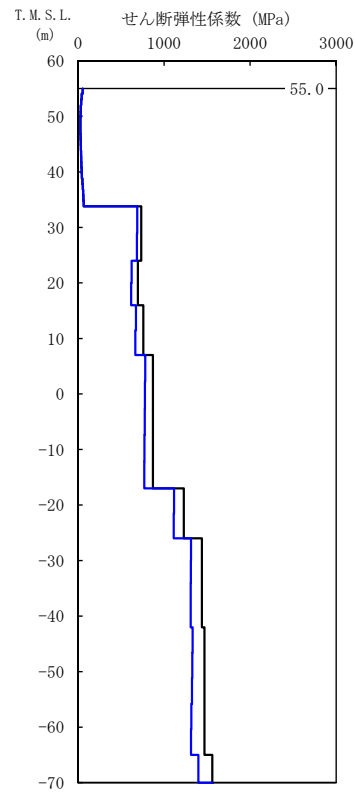
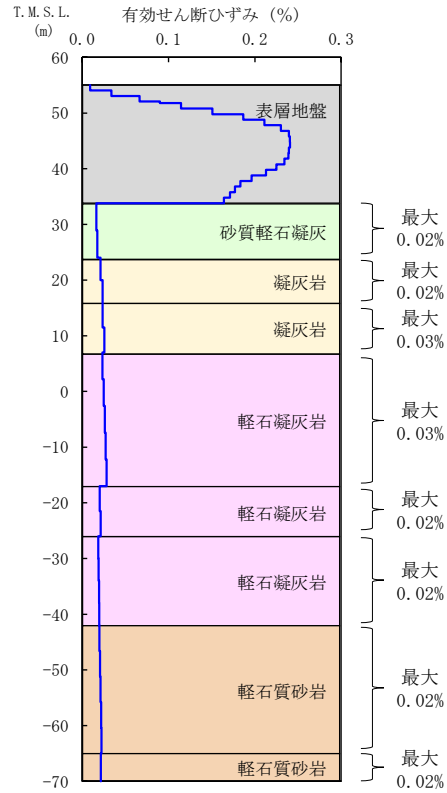
「4.2 東側地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響」に示した既往データに基づく検討結果と、追加調査結果を考慮した検討結果を比較し、以下の内容について確認した。

- ・ AC について、追加調査結果を考慮した応答と、既往データに基づく応答は概ね同程度の大きさとなっており、応答スペクトルのピークの位

置は整合している。また、線形条件と非線形条件の応答の関係性も同様の傾向となっていることを確認した。0.3sでは、追加調査結果を考慮した物性値等に基づく応答が既往データに基づく応答と比べ小さくなっているが、これは、「別紙2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」にて、追加調査孔を考慮することで解放基盤表面付近のS波速度が若干小さく設定され、解放基盤表面から基礎底面レベルまでの速度のコントラストが小さくなったためと考えられる。

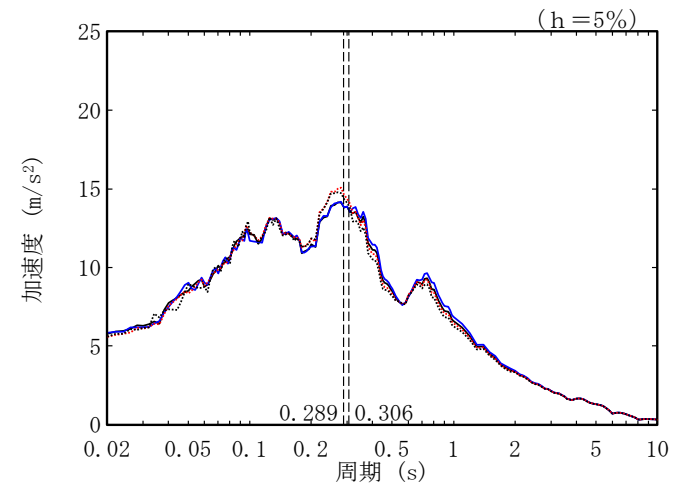
- ・ AZについては、追加調査結果を考慮した応答は、周期1~2s程度以下の周期帯において、既往データに基づく応答を上回っているが、応答スペクトルのピーク的位置は整合している。また、線形条件と非線形条件の応答の関係性も同様の傾向となっていることを確認した。

以上のことより、既往データに基づく検討結果及び追加調査結果を考慮した物性値等に基づく検討結果のいずれであっても、ACについて剛性の非線形性が入力地震動に及ぼす影響は小さいことを確認した。また、AZについては、建屋の1次固有周期において、応答に若干の差がみられることを確認した。



T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AC基礎底面						
33.80	砂質軽石凝灰岩	16.1	736	688	0.935	0.03
24.00	凝灰岩	15.7	697	621	0.891	0.03
16.00		15.2	759	670	0.883	0.03
7.00	軽石凝灰岩	15.6	871	776	0.891	0.03
-17.00		16.3	1230	1115	0.907	0.03
-26.00		16.7	1440	1312	0.911	0.03
-42.00	軽石質砂岩	17.1	1470	1323	0.900	0.03
-65.00		18.4	1560	1400	0.897	0.03
▽解放基礎表面		18.4	1560	1560	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-3-1 精製建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値

..... 初期物性値 (追加調査孔非考慮)
 等価線形解析による収束物性値 (追加調査孔非考慮)

第 6.2-1 図 追加調査孔を考慮した地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, AC)



(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布



(c) 収束物性値



(d) 加速度応答スペクトル

* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-4-1 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値

..... 初期物性値 (追加調査孔非考慮)
 等価線形解析による収束物性値 (追加調査孔非考慮)

第 6.2-2 図 追加調査孔を考慮した地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, CA)



(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布



(c) 収束物性値



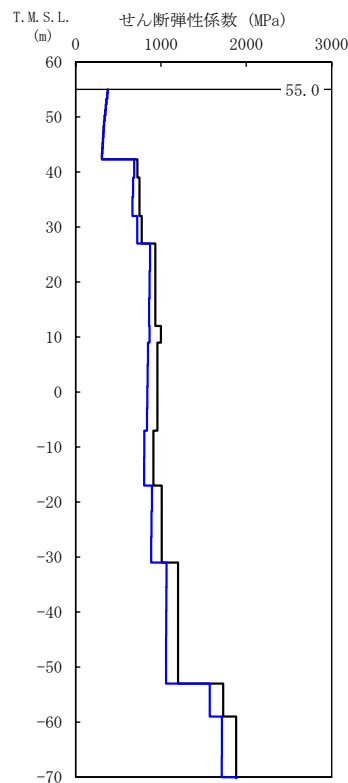
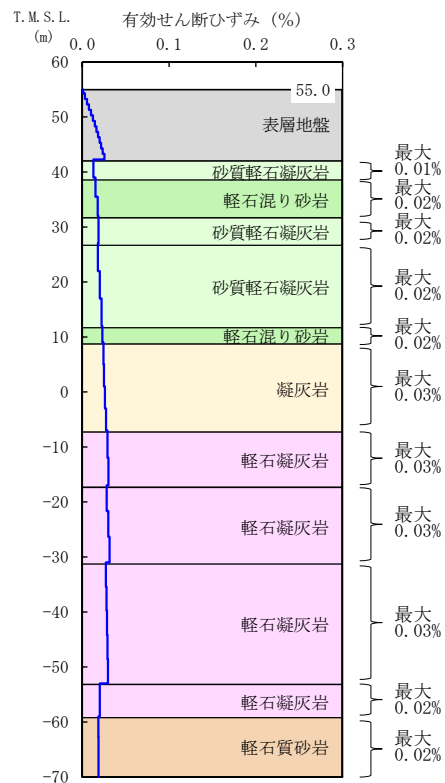
(d) 加速度応答スペクトル

* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-5-1 ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す S_S-A の建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値

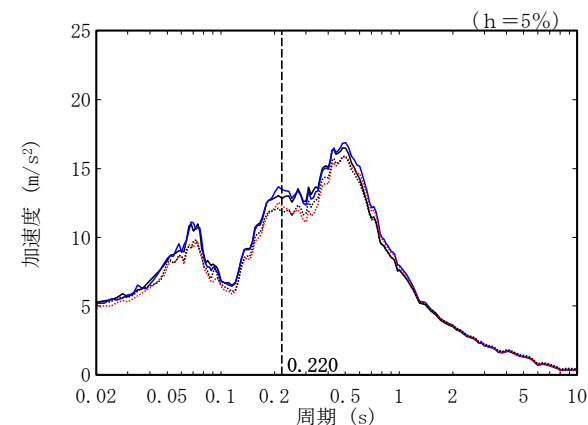
..... 初期物性値 (追加調査孔非考慮)
 等価線形解析による収束物性値 (追加調査孔非考慮)

第 6.2-3 図 追加調査孔を考慮した地盤の等価線形解析結果 (S_S-A, CB)



T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AZ基礎底面						
42.30	砂質軽石凝灰岩	14.5	725	688	0.949	0.03
39.00	軽石混り砂岩	15.0	749	670	0.895	0.03
32.00	砂質軽石凝灰岩	15.1	776	723	0.932	0.03
27.00	砂質軽石凝灰岩	16.3	934	867	0.928	0.03
12.00	軽石混り砂岩	17.0	1000	866	0.866	0.03
9.00	凝灰岩	16.3	959	843	0.879	0.03
-7.00	軽石凝灰岩	15.1	913	805	0.882	0.03
-17.00		14.4	1010	890	0.881	0.03
-31.00	軽石凝灰岩	15.5	1200	1062	0.885	0.03
-53.00		18.0	1730	1573	0.909	0.03
-59.00	軽石質砂岩	18.4	1880	1713	0.911	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	—	18.4	1880	1880	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-2 1-1 緊急時対策建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 初期物性値 (追加調査孔非考慮)
 等価線形解析による収束物性値 (追加調査孔非考慮)

第 6.2-4 図 追加調査孔を考慮した地盤の等価線形解析結果 (Ss-A, AZ 周辺, AZ)

6.3 西側地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響

第 6.3-1 図に各グループにおける基準地震動 S_s-A に対する等価線形解析の結果として、地盤の有効せん断ひずみ分布、収束剛性分布、収束物性値及び各建屋の基礎底面レベルにおける入力地震動の加速度応答スペクトルを示す。なお、加速度応答スペクトルについては、「4. 基準地震動 S_s-A の地盤応答解析結果」に示す加速度応答スペクトルも重ねて示す。

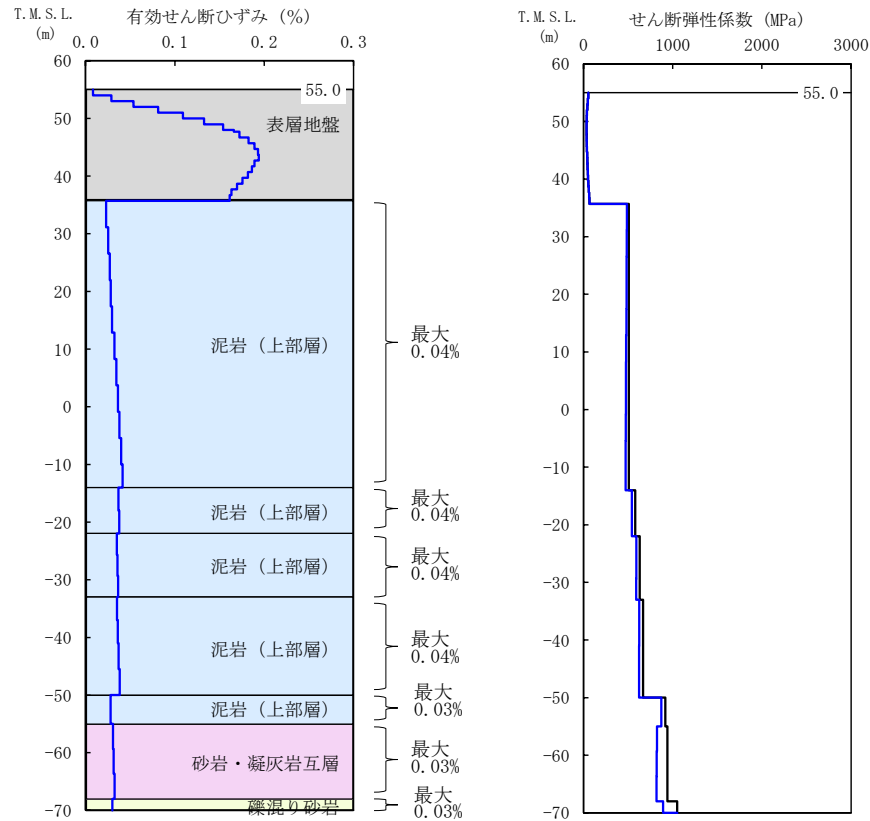
地盤の等価線形解析の結果、各岩種の有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 は以下のとおりとなっていることを確認した。なお、以下に記載する最大有効せん断ひずみの値については、最大の値を、剛性低下率 G/G_0 については、最小の値を記載している。

- ・泥岩(上部層):最大有効せん断ひずみ 0.04%, 剛性低下率 G/G_0 0.936
- ・砂岩・凝灰岩互層:最大有効せん断ひずみ 0.03%, 剛性低下率 G/G_0 0.873
- ・礫混り砂岩:最大有効せん断ひずみ 0.03%, 剛性低下率 G/G_0 0.850

基礎底面レベルの加速度応答スペクトルの比較結果から、線形条件と等価線形解析の結果については、周期特性に顕著な乖離がないこと、また、建屋の 1 次固有周期において同程度の応答となることから、西側地盤のグループにおいて、0.03%~0.04% 程度の有効せん断ひずみに対する剛性低下の影響は小さいことを確認した。

「4.3 西側地盤における岩盤部分の剛性の非線形性の影響」に示した既往データに基づく検討結果と、追加調査結果を考慮した検討結果を比較すると、加速度応答スペクトルの比較結果より、追加調査結果を考慮した応答は、既往データに基づく応答よりも若干大きくなっているものの、応答スペクトルのピークの位置は整合している。また、線形条件と非線形条件の応答の関係性も同様の傾向となっていることを確認した。

以上のことより、既往データに基づく検討結果及び追加調査結果を考慮した物性値等に基づく検討結果のいずれであっても、剛性の非線形性が入力地震動に及ぼす影響は小さいことを確認した。



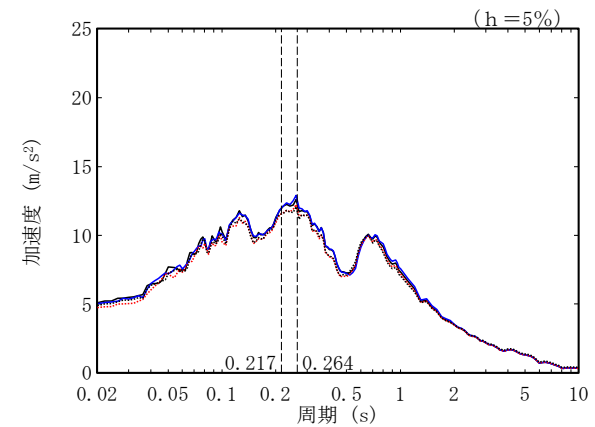
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(凡例) ——— 初期物性値
 ——— 初期物性値 (追加調査孔非考慮)
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値 (追加調査孔非考慮)

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽FB基礎底面						
35.70		15.9	508	479	0.943	0.03
-14.00	泥岩 (上部層)	15.8	580	543	0.936	0.03
-22.00		16.1	630	591	0.938	0.03
-33.00		16.0	667	625	0.937	0.03
-50.00		17.4	918	872	0.950	0.03
-55.00	砂岩・凝灰岩互層	16.4	940	821	0.873	0.03
-68.00	礫混り砂岩	16.9	1050	892	0.850	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	—	16.9	1050	1050	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「II-2-1-1-1-1-1 ガラス固化体貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の1次固有周期 (NS,EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

第 6.3-1 図 追加調査孔を考慮した地盤の等価線形解析結果 (S_s -A, E 施設周辺, EB)

7. 「基本地盤モデル」における岩盤部分の剛性の非線形性の設定

本資料においては、岩盤部分の剛性の非線形性が入力地震動に及ぼす影響についての検討を行い、岩盤部分の剛性の非線形性を考慮した場合の影響は小さいことを確認した。

上記を踏まえ、「基本地盤モデル」の設定にあたって、岩盤部分は線形条件とする。

なお、AZ 周辺及び G14 では、加速度応答スペクトルに若干の差がみられることから、「基本地盤モデル」におけるその他のパラメータの保守性等も考慮したうえで、線形又は非線形の条件を設定する。

参考 1

固有値解析結果

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 固有値解析結果	1

1. 概要

底面地盤ばねのばね定数について、等価線形解析による収束物性値の結果が初期物性値による結果に比べて最大で 12%~14%程度小さくなり、岩盤部分の剛性低下による影響が他の建屋に比べて比較的大きいと考えられる CA, CB 及び G14 について、建屋の地震応答解析モデルの固有周期の確認を行う。

2. 固有値解析結果

CA, CB 及び G14 の固有値解析結果及び刺激係数図を第 2-1 表~第 2-12 表に示す。各方向の主要な固有モードにおける固有振動数について、初期物性値による結果と等価線形解析による収束物性値による結果を比較すると、CA 及び CB では最大で 5%程度以内の差であり、G14 では最大で 7%程度以内の差であった。

以上より、地震応答解析モデルの固有周期においては、初期物性値による結果と等価線形解析による収束物性値による結果の差は小さく、剛性低下による影響は小さいものと判断する。

第 2-1 表 CA の固有値解析結果

(a) NS 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.236	0.249	4.24	4.01	0.946
2	0.115	0.122	8.72	8.23	0.944
3	0.064	0.065	15.68	15.42	0.983
4	0.048	0.048	20.96	20.88	0.996

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

(b) EW 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.241	0.255	4.15	3.93	0.947
2	0.117	0.125	8.51	8.02	0.942
3	0.061	0.061	16.53	16.32	0.987
4	0.045	0.045	22.26	22.17	0.996

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

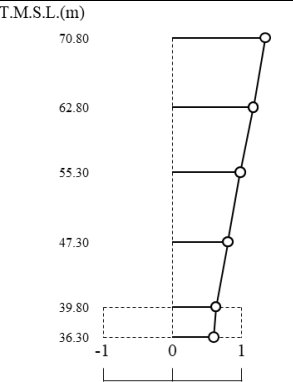
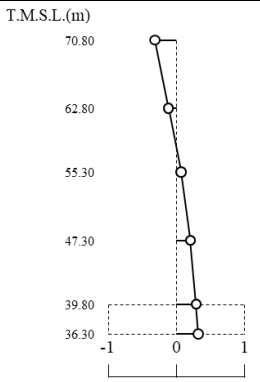
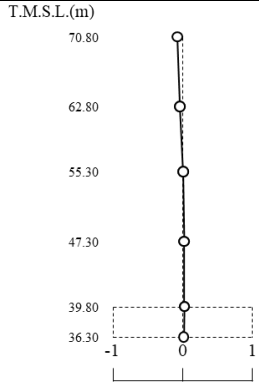
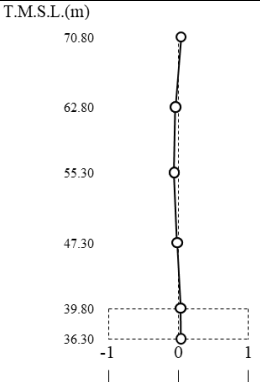
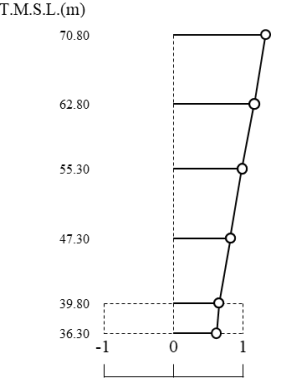
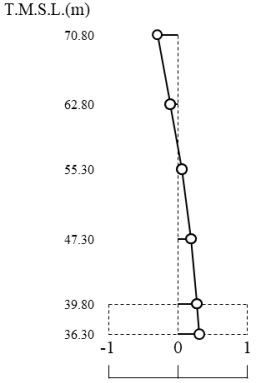
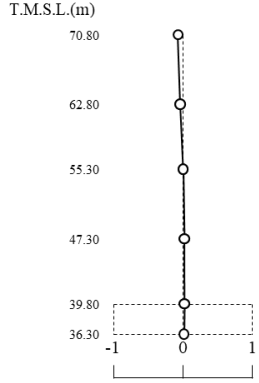
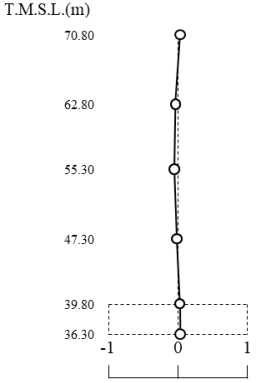
(c) UD 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.148	0.156	6.75	6.40	0.948
2	0.037	0.037	26.93	26.83	0.996

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

第 2-2 表 CA の刺激係数図 (NS 方向)

	1 次モード	2 次モード	3 次モード	4 次モード
①	 <p>刺激係数 $\beta_1 = 1.342$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_2 = 0.326$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_3 = -0.072$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_4 = -0.056$</p>
②	 <p>刺激係数 $\beta_1 = 1.324$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_2 = 0.312$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_3 = -0.069$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_4 = -0.048$</p>

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

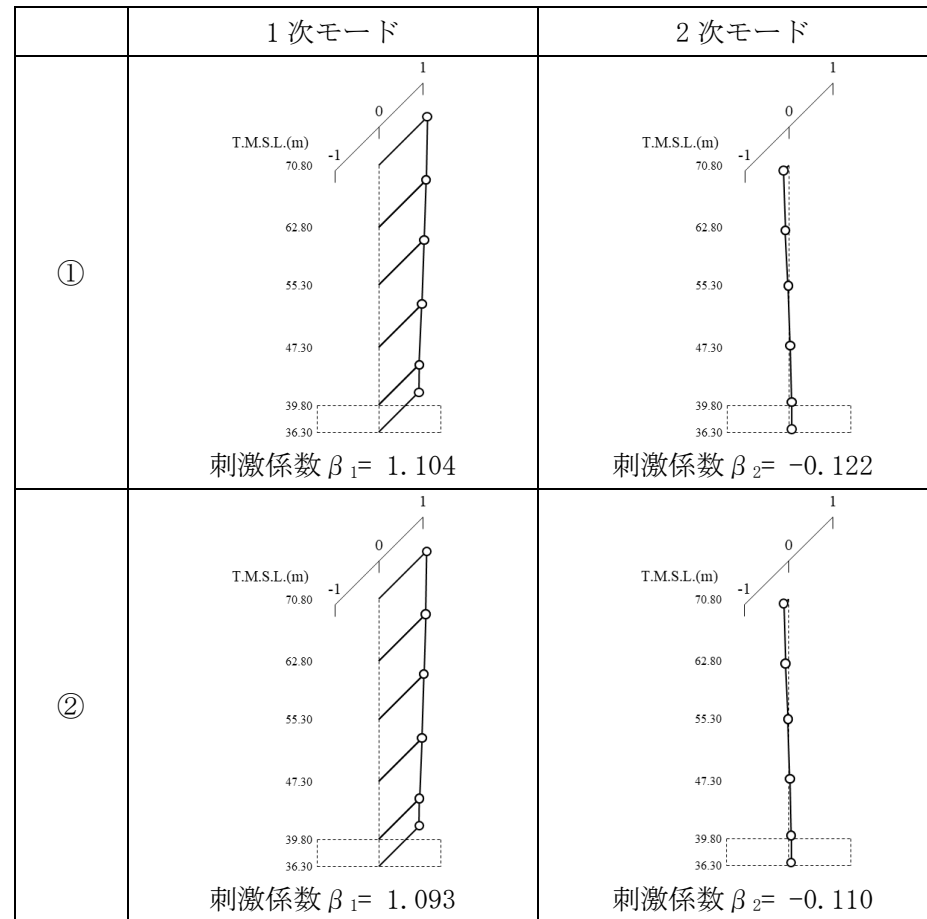
第 2-3 表 CA の刺激係数図 (EW 方向)

	1 次モード	2 次モード	3 次モード	4 次モード
①	<p>刺激係数 $\beta_1 = 1.342$</p>	<p>刺激係数 $\beta_2 = 0.387$</p>	<p>刺激係数 $\beta_3 = -0.073$</p>	<p>刺激係数 $\beta_4 = -0.060$</p>
②	<p>刺激係数 $\beta_1 = 1.329$</p>	<p>刺激係数 $\beta_2 = 0.379$</p>	<p>刺激係数 $\beta_3 = -0.068$</p>	<p>刺激係数 $\beta_4 = -0.052$</p>

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

第2-4表 CAの刺激係数図 (UD方向)



① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

第 2-5 表 CB の固有値解析結果

(a) NS 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.221	0.233	4.52	4.30	0.951
2	0.108	0.114	9.25	8.75	0.946
3	0.054	0.055	18.46	18.30	0.991
4	0.045	0.045	22.35	22.31	0.998

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

(b) EW 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.222	0.233	4.51	4.29	0.951
2	0.108	0.114	9.25	8.76	0.947
3	0.048	0.049	20.76	20.59	0.992
4	0.037	0.037	26.94	26.79	0.994

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

(c) UD 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.139	0.147	7.19	6.82	0.949
2	0.030	0.030	33.14	33.03	0.997

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

第2-6表 CBの刺激係数図 (NS方向)

	1次モード	2次モード	3次モード	4次モード
①	<p>刺激係数 $\beta_1 = 1.409$</p>	<p>刺激係数 $\beta_2 = -0.394$</p>	<p>刺激係数 $\beta_3 = -0.185$</p>	<p>刺激係数 $\beta_4 = 0.235$</p>
②	<p>刺激係数 $\beta_1 = 1.395$</p>	<p>刺激係数 $\beta_2 = 0.382$</p>	<p>刺激係数 $\beta_3 = -0.167$</p>	<p>刺激係数 $\beta_4 = 0.206$</p>

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

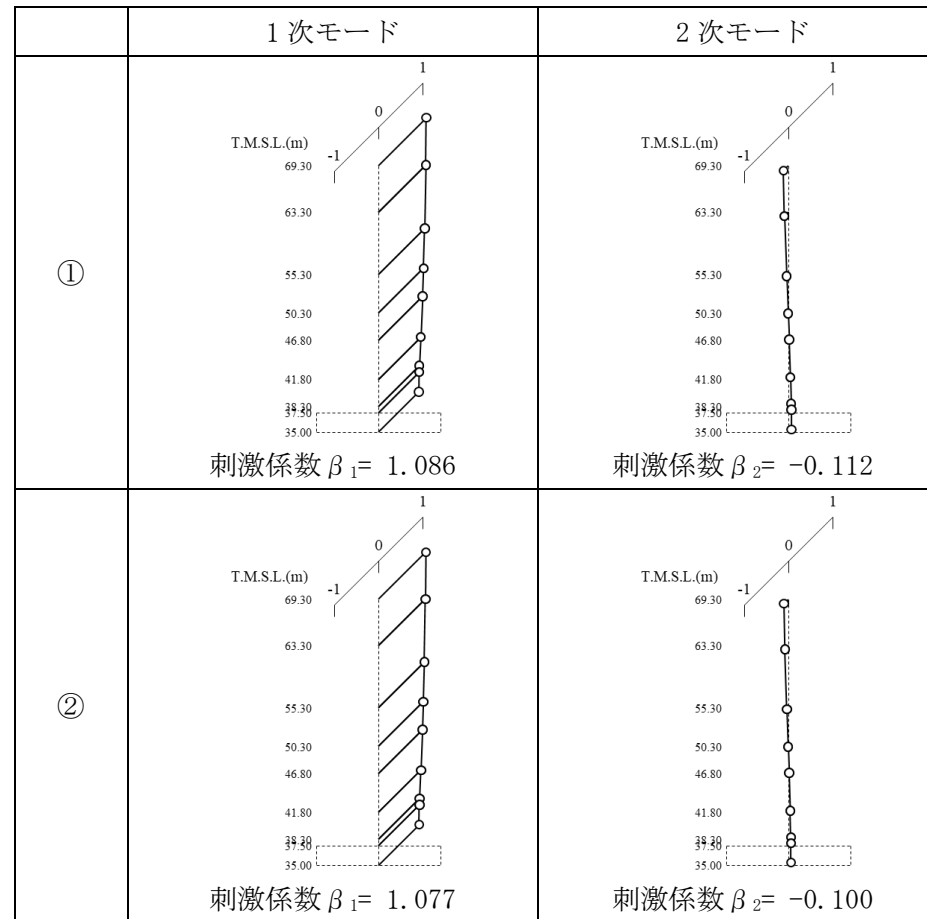
第2-7表 CBの刺激係数図 (EW方向)

	1次モード	2次モード	3次モード	4次モード
①	<p>刺激係数 $\beta_1 = 1.376$</p>	<p>刺激係数 $\beta_2 = 0.406$</p>	<p>刺激係数 $\beta_3 = -0.080$</p>	<p>刺激係数 $\beta_4 = 0.084$</p>
②	<p>刺激係数 $\beta_1 = 1.367$</p>	<p>刺激係数 $\beta_2 = 0.404$</p>	<p>刺激係数 $\beta_3 = -0.073$</p>	<p>刺激係数 $\beta_4 = 0.073$</p>

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

第 2-8 表 CB の刺激係数図 (UD 方向)



① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

第 2-9 表 G14 の固有値解析結果

(a) NS 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.228	0.242	4.38	4.14	0.945
2	0.121	0.129	8.30	7.75	0.934
3	0.061	0.061	16.42	16.34	0.995
4	0.044	0.044	22.75	22.74	0.9996

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

(b) EW 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.229	0.242	4.37	4.13	0.945
2	0.133	0.143	7.52	6.99	0.930
3	0.059	0.059	16.88	16.84	0.998
4	0.038	0.038	26.41	26.40	0.9996

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

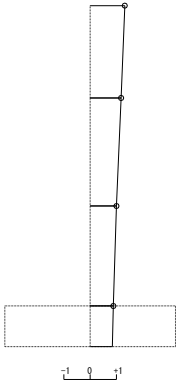
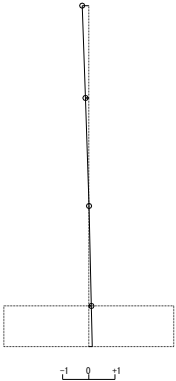
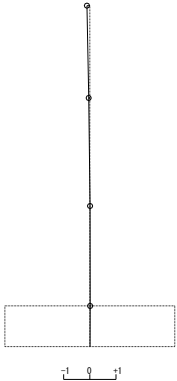
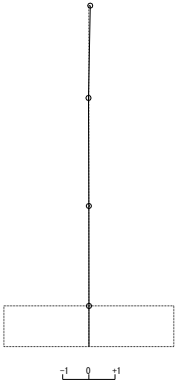
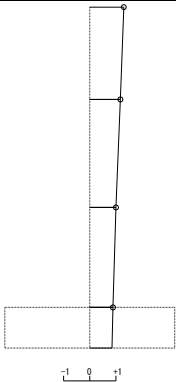
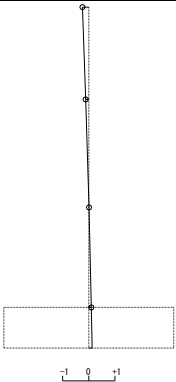
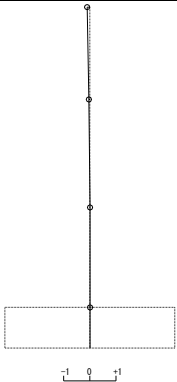
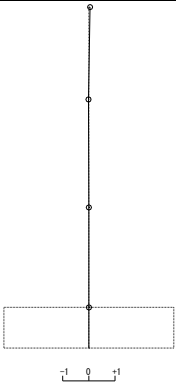
(c) UD 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.166	0.178	6.02	5.63	0.935
2	0.028	0.028	36.36	36.34	0.999

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

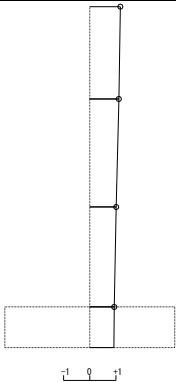
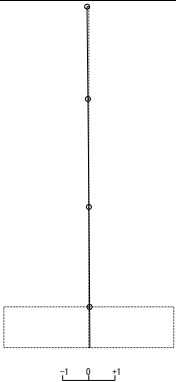
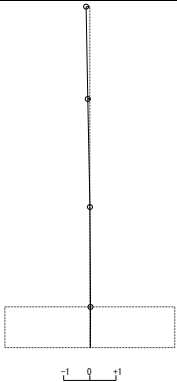
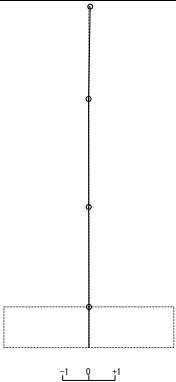
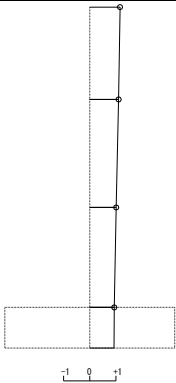
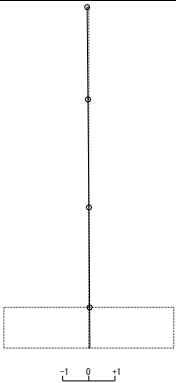
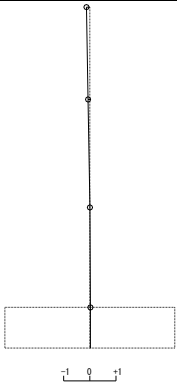
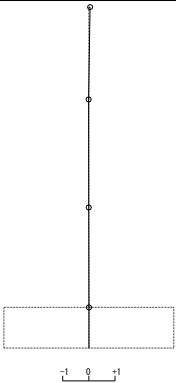
第 2-10 表 G14 の刺激係数図 (NS 方向)

	1 次モード	2 次モード	3 次モード	4 次モード
①	 <p>刺激係数 $\beta_1 = 1.317$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_2 = -0.254$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_3 = -0.111$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_4 = 0.054$</p>
②	 <p>刺激係数 $\beta_1 = 1.301$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_2 = -0.241$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_3 = -0.102$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_4 = 0.048$</p>

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

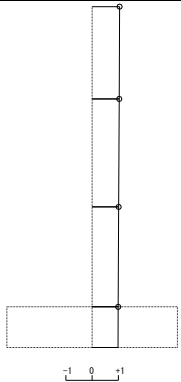
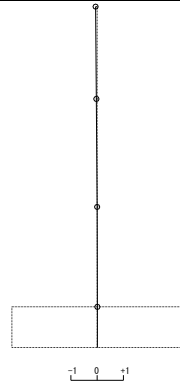
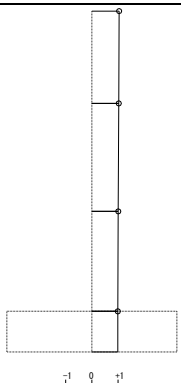
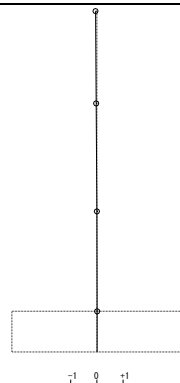
第 2-11 表 G14 の刺激係数図 (EW 方向)

	1 次モード	2 次モード	3 次モード	4 次モード
①	 <p>刺激係数 $\beta_1 = 1.171$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_2 = -0.065$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_3 = -0.145$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_4 = 0.054$</p>
②	 <p>刺激係数 $\beta_1 = 1.158$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_2 = -0.063$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_3 = -0.128$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_4 = 0.047$</p>

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

第 2-12 表 G14 の刺激係数図 (UD 方向)

	1 次モード	2 次モード
①	 <p>刺激係数 $\beta_1 = 1.046$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_2 = -0.060$</p>
②	 <p>刺激係数 $\beta_1 = 1.040$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_2 = -0.052$</p>

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

別紙 2-3

岩盤部分の減衰定数に係る検討について

- ・ 本資料に記載のデータ及びそれに基づく考察等は、現時点において得られているデータに基づくものであり、以下の内容については、今後記載の追加を行う旨、資料中に で示す。
- ▶ 4. 「別紙 2-3 岩盤部分の減衰定数に係る検討について」における岩石コア試験に関しては、専門家の指導を踏まえて、データの整理を再度実施することとしたため、岩石コア試験による減衰定数は結果が得られ次第追記する。
- ▶ 今回追加した「5.」におけるデータ分析結果に基づき、今後、「6.」において、基本地盤モデルに設定する減衰定数の設定に係る検討を行う。

目 次

ページ

1. はじめに	1
2. 敷地における減衰定数の検討に用いるデータの整理方針	4
2.1 地盤の減衰定数に係る一般的・標準的な評価手法の整理	4
2.1.1 JEAG4601-2015における評価手法.....	4
2.1.2 JEAG4601-1987における評価手法.....	5
2.2 散乱減衰を考慮可能な手法の違いについて	10
3. 敷地における減衰定数に係るデータの取得方法	11
3.1 既認可時点における評価の考え方	11
3.2 第2回申請対象施設における評価の考え方	13
3.3 敷地における減衰定数の評価方法	16
3.3.1 三軸圧縮試験による評価方法	19
3.3.2 岩石コア試験による評価方法	20
3.3.3 S波検層による評価方法.....	21
3.3.4 地震観測記録を用いた同定及び地震波干渉法による評価	22
4. データの取得及び整理	23
4.1 三軸圧縮試験による評価結果	23
4.2 岩石コア試験による評価結果	31
4.3 敷地におけるS波検層による評価結果	32
4.3.1 既往のS波検層データ	32
4.3.2 追加のS波検層データ	35
4.4 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	45
4.4.1 地震観測記録を用いた減衰定数の評価方法	46
4.4.2 敷地における地震観測の概要	47
4.4.3 評価に用いる地震観測記録	50
4.4.4 初期モデルの設定及び探索範囲	62
4.4.5 目的関数の設定	76
4.4.6 減衰定数の振動数依存特性の考慮	83
4.4.7 評価方法及び条件	87
4.4.8 振動数依存性を考慮する場合の評価結果	89

4.4.9	振動数依存性を考慮しない場合の評価結果	148
a.	伝達関数による評価結果（振動数依存性なし）	148
b.	応答スペクトルによる評価結果（振動数依存性なし）	161
4.5	地震波干渉法による検討	189
4.5.1	評価の概要	189
4.5.2	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	190
4.5.3	減衰定数の推定結果	215
4.6	データの取得結果及び整理結果	217
5.	データの分析	219
5.1	各データが有する振動数特性に係る分析	220
5.1.1	散乱減衰を含むデータに係る評価手法間の比較	220
5.1.2	既往知見との整合性を踏まえた比較	227
5.1.3	各位置において得られたS波検層データの扱いに関する分析	239
5.1.4	各エリアにおける地盤の特徴を捉えた減衰定数の設定に係る検討	244
5.2	材料減衰に係る分析	257
5.2.1	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	257
5.2.2	地盤の特徴を捉えた減衰定数の非線形性に係る設定	266
5.3	敷地の地盤の特徴を捉えた岩盤部分の減衰定数	267
6.	「基本地盤モデル」に考慮するパラメータの設定	268
6.1	振動数依存特性を考慮しない設定の適用性	269
6.2	減衰定数の非線形性についての検討	271
6.3	鉛直方向の減衰定数の扱い	274
6.4	「基本地盤モデル」に用いるパラメータの設定結果	275
7.	まとめ	276

参考1 岩盤部分の減衰定数の設定に係る追加調査

参考2 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価に関する
補足検討結果

1. はじめに

本資料は、第 2 回申請対象施設における地盤モデルのパラメータのうち、岩盤部分の減衰定数について、その設定の考え方を示すものである。

岩盤部分の減衰定数については、本文「3. 入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定プロセス」に基づき、まずは、一般的・標準的な手法に則り、敷地における減衰定数に関するデータを取得・整理する。データの取得にあたっては、その信頼性を確保するとともに、敷地における地盤の特徴を捉える上で不足していると考えられるデータがある場合には、追加調査によりデータの拡充を行うことにより、以後設定する敷地の地盤の特徴を捉えた減衰定数の信頼性を高める。

次に、これらのデータに対し、科学的な観点で各データが有する特徴や、地点間の関係性に係る分析を行うことで、データの持つ物理的な意味合いを把握し、敷地の地盤の特徴を捉えた減衰定数を設定する。

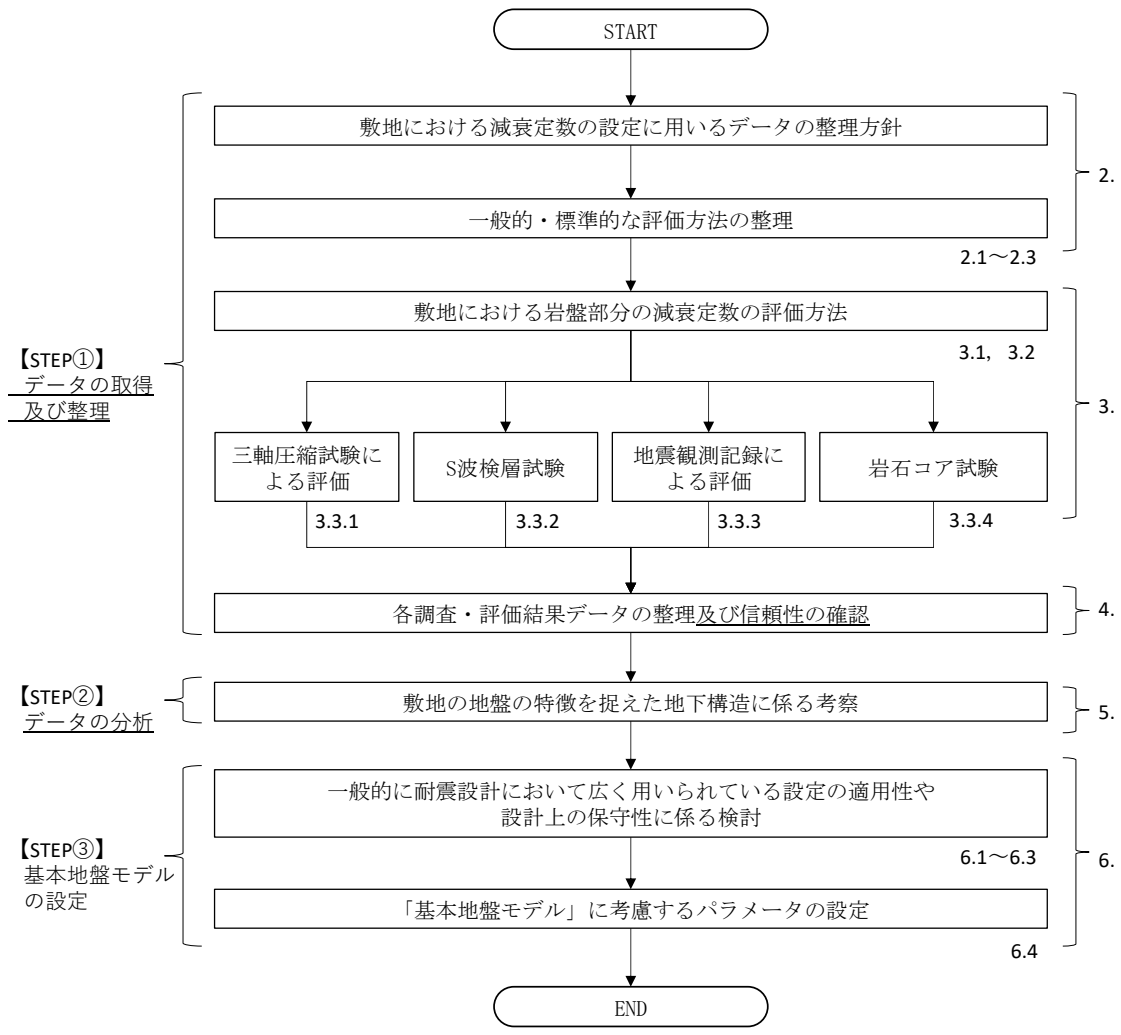
その上で、第 2 回申請対象施設における「基本地盤モデル」の設定にあたり、一般的に耐震設計において広く用いられている設定の適用性や設計上の保守性を考慮した上で、耐震設計上用いるパラメータを設定する。

上記の検討に係るフローを第 1-1 図に示す。

既認可時点においては、岩盤部分の減衰定数について、基準地震動 S2 時の設定値として 3 %としているが、今回設工認においては、地盤の実態を考慮する上で、既認可時と比較して、基準地震動 Ss の増大に伴い地盤の非線形性を考慮する必要性が発生していることや、地盤の検討に関する知見や近年発生した地震の観測記録が得られていることを踏まえ、一般的かつ標準的な減衰定数の設定の考え方として、JEAG4601-1987 に示される複数の設定手法に基づき検討を実施した。

また、既認可時点においては、岩盤部分の減衰定数について、非線形性を考慮せず、地盤のひずみによらず一定の値を設定しているが、今回設工認においては、地盤の実態を考慮する上で、既認可時と比較して基準地震動 Ss が増大しており、岩盤部分についても非線形化により入力地震動の算定への影響が考えられることから、「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」において整理している Ss 地震時の岩盤部分のせん断ひずみレベルに対応する減衰定数を確認し，本資料において評価した敷地地盤における減衰定数との関係性について考察を行った。



注記：図中左側に、本文「6. 第2回設工認申請における入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定」に示すSTEPとの対応を示す。また、図中右側に付す番号は本資料において対応する章番号を記載している。

第 1-1 図 検討フロー

2. 敷地における減衰定数の検討に用いるデータの整理方針

敷地における地盤の減衰定数の検討に用いるデータとしては、規格・基準類に基づく一般的・標準的な手法に則り実施された調査または評価結果によるデータを整理する。

2.1 地盤の減衰定数に係る一般的・標準的な評価手法の整理

岩盤部分の減衰定数の設定に係る一般的・標準的な手法である，JEAG4601-2015 及び JEAG4601-1987 に示される評価手法を整理した。

2.1.1 JEAG4601-2015 における評価手法

JEAG4601-2015 では，地盤の減衰定数の設定について，既設発電所における減衰定数の設定に係る調査に基づく慣用値が示されており，「硬岩では減衰定数として 2～3%，軟岩では 3～5%の範囲の値が用いられている」とされている。

2.1.2 JEAG4601-1987における評価手法

JEAG4601-1987では、動的解析用の地盤の物性値を定める上で、地震観測や振動試験などの動的な実現象と整合することの観点で、地盤の物性値を定めるための試験または評価手法が複数示されている。

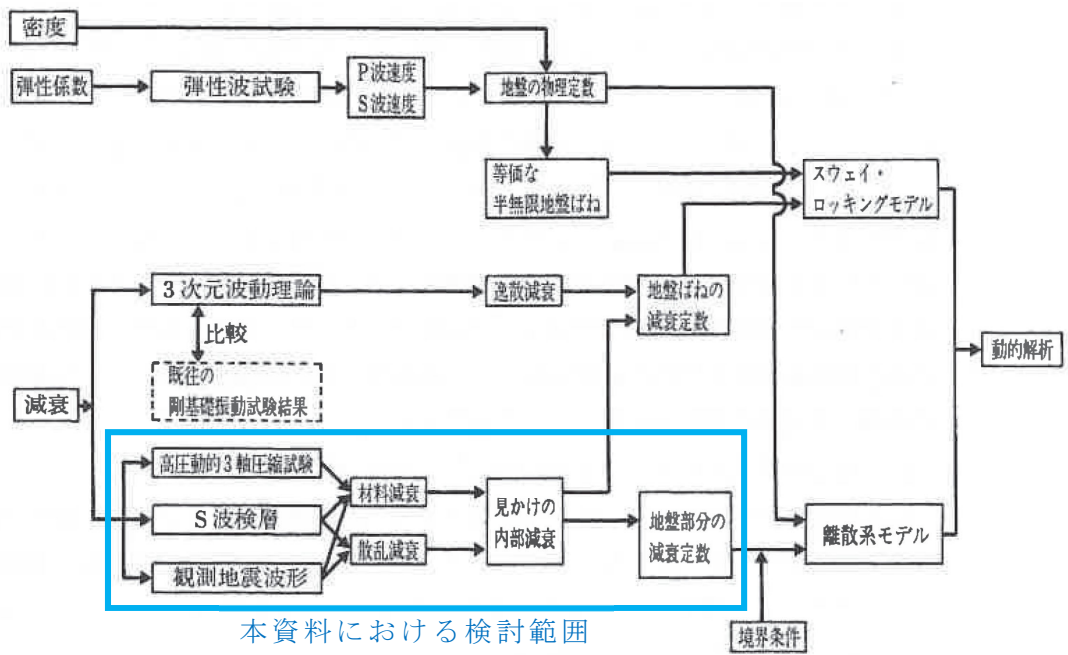
このうち、地盤の減衰定数については、高圧動的三軸圧縮試験（以下、「三軸圧縮試験」という。）、S波検層、地震観測記録に基づく3手法が示されており、それぞれの手法において着目される地盤減衰の因子（材料減衰と散乱減衰）の違いや、既往知見における評価例があわせて示されている。

また、JEAG4601-2015においても、建物・構築物の耐震設計における地震応答解析に用いる地盤の物性値の設定手法について、JEAG4601-1987と同様の3手法が示された上で、地盤の応答解析においては、材料減衰と散乱減衰を含んだものを用いるとされており、また、地震観測結果により減衰定数が算定されている場合には、その減衰定数を参考にすることができるとされている。

第2.1.2-1図に、JEAG4601-1987に記載の地盤の物性値評価のフローを示す。JEAG4601-1987では、地震応答解析において検討の対象となる地盤の減衰としては、以下の2要因が挙げられており、地盤の減衰はこれらが組み合わされたものであるとされている。

- ・材料減衰：地盤内部の非弾性的性質によるもの（ひずみ依存特性に対応）
- ・散乱減衰：地盤の不均質、不連続による境界面での反射などによる波動の逸散によるもの

あわせて、JEAG4601-1987では、(1)～(3)に示すとおり、減衰定数の評価手法についても示されており、地盤の減衰定数を評価する手法ごとに、考慮可能な地盤減衰の因子（材料減衰と散乱減衰）が異なるとされている。



第 2.1.2-1 図 地盤の物性値評価のフロー（JEAG4601-1987 に加筆）

(1) 三軸圧縮試験による評価

JEAG4601-1987において、本手法は、繰返し三軸圧縮試験により、せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を把握するものとされている。

本手法は、振動1サイクル中の最大ひずみエネルギーとその間に消費されるエネルギー、すなわち履歴減衰を評価しているものであり、地盤減衰の因子のうち、材料減衰に相当していることになる。また、ボーリングコアから得られた供試体を用いた試験によるものであることから、原位置における地盤の不均質・不連続による散乱減衰は考慮されていない。

なお、この手法により評価された減衰定数は、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」に示している、敷地における三軸圧縮試験結果に基づく岩種ごとのひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）に対応するものである。

また、表層地盤の減衰定数については、 S_s 地震時に生じる表層地盤のひずみは大きくなると考えられ、散乱減衰よりも材料減衰による寄与が大きくなると考えられることから、本文に示すとおり、三軸圧縮試験結果に基づくひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）のみを考慮することとしている。

(2) S波検層による評価

JEAG4601-1987において、本手法は、ボーリング孔において実施したS波検層の記録波形のうち、直達波と判断される部分の振幅の変化率に基づき、振動数ごとに求めた見かけ上の減衰から、地盤のモデルより求めた幾何減衰及び境界面での反射等による影響を差し引くことで、地盤のモデル上寄与しない薄層や亀裂の影響も含まれた減衰量を評価するものとされている。

このことから、S波検層による評価は、材料減衰と散乱減衰の両方が含まれた減衰定数を評価可能な手法である。

ただし、石田他(1987)*によれば、S波検層による評価は、一般に地震時に比べて、検層時の地盤のひずみレベルが小さく、ターゲットとなる卓越振動数が数十～百数十 Hz レベルであるとされている。

注記 * : 石田他「室内試験, S波検層および観測地震動に基づく地盤の減衰評価」

第15回地盤振動シンポジウム, 日本建築学会, 1987. 8. 27

(3) 地震観測記録による評価

JEAG4601-1987において、本手法は、観測された地震動波形について、「(2) S波検層による評価」と同様、直達波と判断される部分を取り出し、応答波の入射波に対する比から減衰評価を行うものとされている。また、各種の複雑な波動現象（「(2) S波検層による評価」にて述べた地盤のモデル上寄与しない薄層や亀裂の影響を含む）を含んだ状態における等価な減衰定数を評価可能とされている。

このことから、地震観測記録による評価は、材料減衰と散乱減衰の両方が含まれ、さらに、実地震の複雑な伝播経路等を踏まえた、実態に近い減衰定数を評価可能な手法である。

石田他（1987）によれば、地震観測記録による評価は、S波検層による評価と比較してターゲットとなる卓越振動数が低周波側にあり、数～数十 Hz レベルとされている。

なお、地震観測記録を用い、その位置ごとの比率を用いて減衰定数を含む地盤のパラメータを評価する手法については、基準地震動 S_s の策定に係る検討において、敷地における地震観測記録を一次元波動論に基づく基盤波を計算するための地盤モデル（以下、「はぎとり地盤モデル」という。）の作成を行う上で、当社事業変更許可及び他サイトにおける実績が多数存在する。

2.2 散乱減衰を考慮可能な手法の違いについて

S波検層による評価及び地震観測記録による評価については、いずれも原位置において測定あるいは観測された実体波データを用いて、材料減衰及び散乱減衰を含めた減衰量の総和を算定する手法である。建物・構築物の入力地震動を算定するための減衰定数を求めることに着目し、S波検層及び地震観測記録の手法の違いについて以下に整理した。

- ・ 両手法において評価に用いるデータの特徴を踏まえると、地震観測記録については広い周波数領域の振動成分を含む地震観測記録（建物・構築物の主要固有周波数帯（数 Hz オーダー））に対して同定が可能であり、基準地震動の策定等に係る他サイトにおける適用実績が豊富である。これに対し、S波検層による評価は、加振方法により対象周波数が限られるものの、任意のボーリング調査位置において測定が可能であり、他サイトにおける適用実績も有している。
- ・ なお、一般的に、地盤の減衰定数については振動数依存性を有しており、高振動数側で減衰定数が小さくなる傾向であることから、S波検層のように、高振動数側をターゲットとした場合には、地盤全体の減衰定数を小さく評価する可能性がある。
- ・ 地震観測記録を用いた手法は、当社事業変更許可及び他サイトにおけるはぎとり地盤モデルの作成において適用実績のある手法である。
- ・ 敷地における地震観測記録では、S波検層における加振波の振幅に対して大振幅の波形が得られており、減衰定数の評価にあたり、深さ方向に異なる観測点間の振幅の比率を評価する上で、各周波数成分における特徴を明瞭に確認することができる。

3. 敷地における減衰定数に係るデータの取得方法

3.1 既認可時点における評価の考え方

以下に示すとおり、既認可時点における減衰定数の評価に対し、「2.1.2 JEAG4601-1987における評価手法」にて整理した JEAG4601-1987 と同様の手法を用いた減衰定数の評価実績があるか確認を行った。

既認可時点においては、以下の文献調査並びに検討に基づいて地盤の減衰定数を設定している。

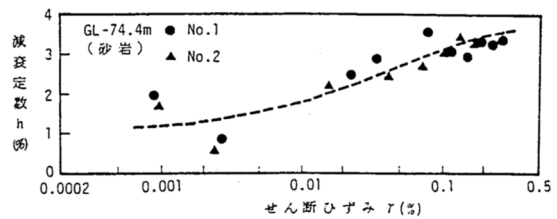
- ・ 嶋ほか（1983）の知見において、いわき地点の砂岩における減衰定数の評価結果として、第 3.1-1 図に示すとおり、高圧動的三軸圧縮試験結果より、低ひずみ領域では減衰定数が 1～2%，ひずみ 0.1%付近では 3%となっていること、また、S 波検層や地震観測記録に基づく減衰定数の評価手法によっては、それよりも大きな値（最大 8%程度）として評価されていること。
- ・ 中村他（1990）において、富岡地点における泥岩層での Q 値の検討が行われており、下式に示す Q 値の振動数依存性の関係に対し、 $n=1.0$ 、 $\alpha=200$ とした場合に、地震観測記録と整合することが示されていることから、敷地における泥岩層（ $V_s=800\text{m/s}$ ）の減衰定数を算定した結果、建屋の固有振動数（2.5Hz～5Hz）の領域では $h=2\%$ を上回る値となること。

$$Q = V_s \cdot f^n / \alpha \quad (h = 1/2Q)$$

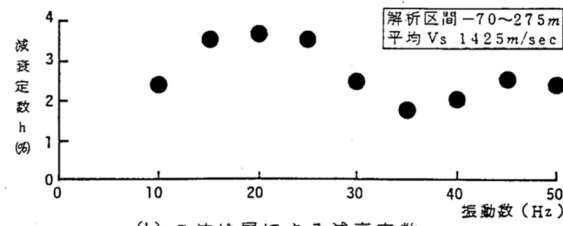
$$\left(\begin{array}{l} Q : Q \text{ 値} \\ h : \text{減衰定数} \\ V_s : S \text{ 波速度} \\ f : \text{周波数} \\ n, \alpha : \text{係数} \end{array} \right)$$

以上を踏まえ、既認可時点においては、敷地や施設の特徴に配慮した考え方に基づき設定を行っており、設計上考慮する地震動レベル及び建屋の固有振動数を考慮すると、基準地震動 S1 に対しては 2%，基準地震動 S2 で 3% とすることは妥当としている。

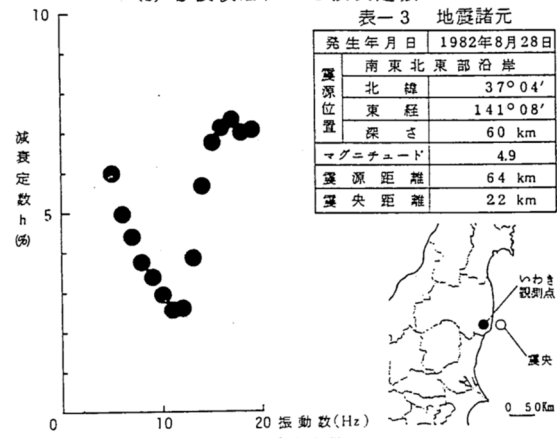
以上のことから、既認可時点においては、JEAG4601-1987 に示される手法に基づき、直接敷地において減衰定数を評価した実績は無いものの、JEAG4601-1987 に示される手法に基づく国内の各種試験結果を敷地に適用した確認を行うことにより、地盤の減衰定数を設定している。



(a) 高圧動的三軸圧縮試験による減衰定数



(b) S波検層による減衰定数



(c) 観測地震による減衰定数

第 3.1-1 図 嶋ほか (1983) におけるいわき地点の減衰定数の評価結果
(嶋ほか (1983) より抜粋)

3.2 第2回申請対象施設における評価の考え方

岩盤部分の減衰定数に係るデータ整理に当たっては、上述の JEAG4601-1987 に示される手法に基づく調査及び評価結果を整理する。

本文「3. 入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定プロセス」に示したとおり、データの整理にあたっては、既認以降に生じた状態変化を鑑みて実施することとしている。岩盤部分の減衰定数のデータ整理にあたり、各状態変化を踏まえて必要と考える視点を以下に示す。

①敷地における地下構造の特徴を適切に反映する。

- ・敷地地下の地質構造や速度構造の特徴、実現象との整合性の観点で評価を行う。

②基準地震動 S_s が増大したことを踏まえた影響を適切に反映する。

- ・減衰定数の非線形性（ひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）を適切に評価する。
- ・その上で、減衰定数の設定において S_s 地震時の地盤のひずみ量を踏まえて減衰定数の非線形性の考慮要否を適切に判断する。

③最新のデータを用いて評価する。

- ・敷地において得られている最新の地震観測記録・ボーリング調査結果を用いる。
- ・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や敷地内の地下構造の特徴を踏まえ、十分な量のデータを用いる。

「2.1.2 JEAG4601-1987 における評価手法」に示したとおり、JEAG4601-1987 には、3種類の減衰定数の評価手法が示されていることを踏まえ、第3.2-1表に示すとおり、各手法に対する検討内容を整理した。

また、検討内容の整理とあわせて、客観的な視点に基づき設定方法を選定する観点で、これまでの新規制基準における各社地下構造に係る審査における、他サイトの減衰定数の設定実績を整理した。

他サイトの設工認における実績としては、まず、敷地と類似した地下構造を有するサイトを対象とし、地下構造の特徴として軟岩を主体としており、解放基盤表面から建物基礎底面までの地震動の伝播を考慮して入力地震動を設定しているサイト（東海第二及び柏崎刈羽 6,7号）を参照した。

また、設工認だけでなく、地盤の減衰定数に係る最新の審査において採用されている評価方法についても整理できるよう、他サイトにおける標準応答スペクトルに基づく基準地震動の策定に係る設置変更許可申請についても参照した。至近に審査会合が行われており、地下構造モデルの作成に関する詳細な議論がなされているサイトのうち、玄海 3,4号及び川内 1,2号において、複数の手法による減衰定数の評価手法を採用していることから、これを参照した。また、当社敷地との類似性を踏まえ、地下構造の特徴として軟岩を主体としているサイト（東海第二及び大間サイト）における設置変更許可の審査実績についても参照した。

第 3.2-1 表 岩盤部分の減衰定数のデータ整理に係る検討内容

手法	具体的手法	3.2.1 に示した視点①～③を踏まえた留意事項	検討内容	実施サイト (設工認)	実施サイト (設置許可)	
JEAG4601-1987 に基づく方法	三軸圧縮試験による方法	ひずみ依存特性 (h- γ) の評価	①敷地に分布する岩種ごとの試験結果に基づき評価することで敷地地下の地質構造や速度構造の特徴を反映。 ②岩種ごとのひずみ依存特性 (h- γ) として、非線形性を考慮可能。 ③地盤モデルに考慮する岩種を網羅的に評価する必要がある。	<ul style="list-style-type: none"> 三軸圧縮試験による方法による岩盤種別ごとのひずみ依存特性 (h-γ 関係) の整理を行う。 Ss 地震時の非線形の度合いに対し、非線形化が入力地震動の算定結果に影響を及ぼす可能性に配慮した確認を実施する必要があると判断。 	東海第二 柏崎刈羽 6.7 号	—
	S 波検層による方法	ボーリング孔内減衰測定による検討	①敷地における各位置のボーリング調査における原位置試験により敷地地下の地質構造や速度構造の特徴を反映。 ②加振時の振幅が小さいため、線形状態における減衰定数を評価することとなる。 ③敷地内において十分な量のデータに基づいて検討を行う必要がある。	<ul style="list-style-type: none"> 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、先行発電炉における実績があることから、本方法による減衰定数の評価結果を確認する。 確認にあたっては、測定結果に見られる振動数依存特性の特徴を踏まえ、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。 ただし、留意事項③に照らし、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から、さらなる確度の向上のために、データの拡充を行う。 	—	玄海 3, 4 号 東海第二 大間
	地震観測記録による方法	伝達関数 (リニア型) による検討	①敷地において得られている地震観測記録により評価することで、実現象との整合性を考慮。 施設の固有振動数に近い帯域をターゲットとして評価可能。 ②地震観測記録が小さい場合、線形状態における減衰定数を評価することとなる。 ③最新の地震観測記録を用いる必要がある。	<ul style="list-style-type: none"> 事業許可におけるはざとり地盤モデルを作成する際に、振動数依存型 (リニア型) の減衰定数を考慮し、実現象をよく説明する地盤モデルとして作成済み。 ただし、はざとり地盤モデルは、留意事項③に照らし、西側、東側地盤において用いている地震観測記録が現時点において最新ではない (地震観測位置の移設 (2008 年) 後の情報は含まれていない) との課題があることから、最新の地震観測記録を用いた評価を今回改めて実施する必要があると判断。 	—	玄海 3, 4 号 東海第二 大間
		伝達関数 (バイリニア型) による検討	①敷地において得られている地震観測記録により評価することで、実現象との整合性を考慮。 施設の固有振動数に近い帯域をターゲットとして評価可能。 ②地震観測記録が小さい場合、線形状態における減衰定数を評価することとなる。 ③最新の地震観測記録を用いる必要がある。	<ul style="list-style-type: none"> 事業許可における深部地盤モデルを作成する際に、解放基盤表面～地震基盤までの増幅特性を考慮するための地盤モデルとして、バイリニア型の減衰定数を設定した実績がある。 ただし、解放基盤表面～建屋基礎底面の岩盤部分については本条件での評価は実施していないことから、上記振動数依存型に加え、さらに多角的な検討を行う観点で、今回実施する必要があると判断。 	—	玄海 3, 4 号 大間
		伝達関数 (振動数依存性なし) による検討	①敷地において得られている地震観測記録により評価することで、実現象との整合性を考慮。 施設の固有振動数に近い帯域をターゲットとして評価可能。 ②地震観測記録が小さい場合、線形状態における減衰定数を評価することとなる。 ③最新の地震観測記録を用いる必要がある。	<ul style="list-style-type: none"> 他サイト設工認において、振動数依存性を考慮しない減衰定数を設定した実績が多数あり、JEAG4601-2015 にも記載があることから、耐震設計において一般的に広く用いられている設定である。 本設定が、当社敷地においても地盤の実態を踏まえた値となるか、上記の振動数依存性を考慮した減衰定数と比較することにより確認する必要があると判断。 	—	耐震設計上の一般的な設定条件として多くの実績あり
		地震波干渉法による検討	①敷地において得られている地震観測記録により評価することで、実現象との整合性を考慮。 施設の固有振動数に近い帯域をターゲットとして評価可能。 ②地震観測記録が小さい場合、線形状態における減衰定数を評価することとなる。 ③最新の地震観測記録を用いる必要がある。	<ul style="list-style-type: none"> 他サイトにて実績はあるが、敷地においてこれまで未実施であったことから、速度構造の仮定によらず減衰定数を評価可能な手法として、新規に実施する必要があると判断。 鉛直アレー観測記録に Fukushima et al. (2016) に基づく地震波干渉法を適用し、評価を実施する。 	—	玄海 3, 4 号
		伝達関数による確認	減衰定数の評価ではなく、地震観測記録を用いて評価した値に対しての実現象との整合性の観点での考察に該当。	<ul style="list-style-type: none"> 上記 3 手法により評価した減衰定数について、実現象との整合性を確認するために、観測記録による伝達関数と評価した減衰定数に基づく伝達関数の比較結果を踏まえた考察を実施する。 	—	玄海 3, 4 号
		応答スペクトルによる確認	減衰定数の評価ではなく、地震観測記録を用いて評価した値に対して、耐震設計において地盤応答解析により入力地震動を算定する上での位置づけの観点での考察に該当。	<ul style="list-style-type: none"> 上記 3 手法により求められた減衰定数に基づく地盤応答の応答スペクトルを算定し、地震観測記録の応答スペクトルとの比較を実施し、その結果を踏まえた考察を実施する。 	—	玄海 3, 4 号
	その他	岩石コアを用いた減衰測定による確認	JEAG に示される評価ではないが、他サイトにおいて地震観測記録を用いた手法によりデータが得られない最深部地震計以深の減衰定数の設定根拠として実施されている実績がある。	<ul style="list-style-type: none"> 他サイト実績において、いずれの手法においても、減衰定数の値の直接的な根拠ではなく、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。 岩石コア試験については、三軸圧縮試験結果における材料減衰との整合性や、その他の評価または調査結果との整合性を確認し、これらによる評価の確度を向上することを目的に、データの取得を実施していく。 	—	玄海 3, 4 号
		速度層断面による検討	減衰定数の評価ではなく、他サイトにおいて地震観測記録を用いた手法によりデータが得られない最深部地震計以深の減衰定数の設定根拠として実施されている実績がある。	<ul style="list-style-type: none"> 速度層断面については、各 Gr における S 波検層及び岩石コア試験結果と各 Gr の速度構造と比較することにより、減衰定数と速度構造の相関性等について考察を行う。その上で、地震観測記録による方法により評価された地震観測地点での減衰定数に関する各 Gr への適用可否についての考え方について整理を行う。 	—	玄海 3, 4 号

注記 玄海 3, 4 号及び川内 1, 2 号においては、標準応答スペクトルを考慮した地震動評価に係る地下構造モデルの設定にあたり、両サイト同様の手法を採用しているから、上表においては玄海 3, 4 号を代表として記載している。

3.3 敷地における減衰定数の評価方法

「3.2 第2回申請対象施設における評価の考え方」に示した手法を用い、敷地における岩盤部分の減衰定数について、以下に示す方針により、敷地における岩盤部分の減衰定数の設定に係るデータを整理する。

また、現時点において敷地で得られているデータは、岩盤部分の減衰定数を評価する上で、第3.3-1表に示す観点で十分に課題があることから、追加調査等によるデータの取得を実施する。(第3.3-1表では、現時点における追加調査等によるデータの取得状況もあわせて示す。)

本検討において実施する評価手法について、各手法において評価される値の物理的な意味合いを踏まえ、地盤の各深さにおける位置付けを、上記の追加調査により取得するデータを用いた検討も含め、第3.3-2表に整理して示す。それぞれの具体的な考え方については、3.3.1～3.3.4の各章にて示す。

各手法により得られた調査及び評価結果に係るデータに対しては、第3.3-2表にて整理した各手法のもつ物理的な意味合いを踏まえた分析を、「7. 敷地の地盤の特徴を捉えた地下構造に係る考察」にて行う。

第 3.3-1 表 追加調査によるデータ取得の考え方

検討内容		十分性の観点	追加調査の考え方
S 波検層による方法	ボーリング孔内減衰測定による検討	既往データは敷地内の 3 地点のみであり、各グループにおける減衰定数を確認するデータセットとなっていない。	各グループの減衰定数を確認できるような位置で追加調査を実施し、データを取得する。 ➡調査実施中
その他	岩石コアを用いた減衰測定による確認	他サイトにおける実績（第 3.2-1 表）があるが、敷地内でデータが得られていない。	各グループの材料減衰を確認できるような位置で新規に調査を実施し、データを取得する。 ➡調査実施中
	常時微動の計測	検討に用いる大加速度記録は取得しているが、常時微動データは取得しておらず、地震観測記録にノイズが含まれる場合にその傾向の分析ができない。	敷地内の鉛直アレ観測地点における常時微動観測を新規に実施し、データを取得する。 ➡取得済み

第 3.3-2 表 各深さにおける評価手法の位置付け

▼地表		材料減衰	材料減衰+散乱減衰	備考
本資料における 設定範囲	表層地盤	以下の理由から、三軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性 ($h-\gamma$) を設定。 <ul style="list-style-type: none"> Ss地震時の表層地盤の非線形化による材料減衰の増大の寄与が大きい 	以下理由から散乱減衰は考慮しない <ul style="list-style-type: none"> Ss地震時の表層地盤の非線形化による材料減衰の寄与が大きい 解放基盤以浅の地盤全体の中で層厚の占める割合が小さく、散乱の効果が岩盤部分と比べて相対的に小さいと考えられる 	—
	▼建屋基礎底面レベル相当			
	岩盤部分	既往データによる検討 <ul style="list-style-type: none"> 三軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性 ($h-\gamma$) 	地震観測記録による方法 ⇒伝達関数 (周波数依存性無し) による検討 ⇒伝達関数 (周波数依存型) による検討 ⇒伝達関数 (バイリニア型) による検討 ⇒地震波干渉法による検討 S波検層による方法 (既往3孔データ) 現時点で得られている中央・西側・東側地盤の3地点におけるデータを用いて評価を実施。	<ul style="list-style-type: none"> 材料減衰について、Ss地震時の岩盤部分の非線形性による影響が無いまたは線形条件とした場合の方が保守的と判断できる場合は線形条件とする。 伝達関数による評価について、多角的な検討を行う観点で周波数依存性を考慮する場合と考慮しない場合の両方について実施。
	解放基盤表面 ▼ (G.L. -125m)	追加データによる検討 <ul style="list-style-type: none"> 岩石コア試験による確認 S波検層データの追加取得とあわせて実施。上記三軸圧縮試験において評価される材料減衰との比較や、他手法により求められる減衰定数について、位置・深さによる相対的な違いに対する考察を実施。 	S波検層による方法 各グループにおけるデータを追加取得し、既往3地点におけるS波検層データとの相対的な比較により、各グループにおける岩盤部分の減衰定数に差があるかの確認を実施。 常時微動の計測 地震観測記録による方法の信頼性確認のため、敷地内の鉛直アレー観測地点における常時微動観測を新規に実施し、地震観測記録に含まれるノイズの影響等に係る考察を実施。	<ul style="list-style-type: none"> 各GrにおけるS波検層及び岩石コア試験結果を踏まえ、速度構造との関係性について考察を実施。
解放基盤表面以深	解放基盤表面レベルと同じ減衰定数が続く設定とする。	解放基盤表面レベルと同じ減衰定数が続く設定とする。	<ul style="list-style-type: none"> 入力地震動の算定時においては解放基盤表面以深を半無限層として設定。 岩盤部分の物性値の設定と整合した設定。 	

3.3.1 三軸圧縮試験による評価方法

本手法による評価結果については、材料減衰並びにその非線形性を考慮したものであり、敷地における散乱等による減衰は考慮されない。

また、実現象を踏まえると、地盤の減衰定数の非線形性は、地盤のひずみが大きくなるほど、減衰定数が大きくなる傾向を示すことから、地盤のひずみ大きい領域においては材料減衰が支配的となり、地盤のひずみが小さい領域においては、全体の減衰定数に対する材料減衰の寄与は小さくなり、散乱減衰が支配的となる。

これらの特徴を踏まえ、敷地内のボーリング調査結果により得られた試験体による三軸圧縮試験結果に基づくひずみ依存特性（ $h - \gamma$ 曲線）の結果を確認する、

3.3.2 岩石コア試験による評価方法

これまで当社敷地において、本手法による試験は実施されていないが、他サイト実例における実績があることから、確度向上のための取り組みとして、今回実施するS波検層データの追加取得とあわせて実施する。

本手法による試験方法の特性上、弾性領域における材料減衰について考慮したものであることから、他サイト実例においては、上記の地震観測記録による評価またはS波検層による評価により評価される、散乱減衰と材料減衰の両方が含まれた減衰定数の値とは異なる値として評価される。

このことから、本手法による試験結果については、同じ物理的な意味合いをもつ三軸圧縮試験による評価結果における弾性領域における材料減衰に対しての整合性の確認に用いる。また、三軸圧縮試験による評価結果が岩盤分類ごとに整理されたものであることを踏まえ、コア試験結果を用いてボーリング調査位置ごとの傾向を分析する。

あわせて、上述の地震観測記録による評価及びS波検層によって得られる減衰定数の評価結果に対し、平面方向または深さ方向における相対的な差分を分析する。これらの分析にあたっては、「別紙2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」にて設定した速度構造のGr間の違いとの対応も踏まえた考察を行う。

なお、速度構造の違いとの対応を踏まえた考察については、「3.3.3 地震観測記録による評価方法」に示した方法により評価された減衰定数の値に対し、敷地内の地震観測点間の相対的な速度構造の違いとの対応を踏まえた考察にも用いる。

岩石コア試験結果については、現時点において当社においてデータを有していないことから追加調査にて実施することとする。岩石コアを用いた弾性波速度検層の計画及び実施内容の詳細については、「参考1 岩盤部分の減衰定数の設定に係る追加調査」に示す。

3.3.3 S波検層による評価方法

「2.1.2 JEAG 4601-1987における評価手法」に示したとおり、地盤の応答解析においては、材料減衰と散乱減衰を含んだものを用いるとされており、本手法は、その両方を含んだ値として、実現象に適合した評価方法である。

本評価は、地震観測記録による評価と同様に、敷地における地盤の内部を伝播・反射する波動データを分析することで減衰定数を評価することが可能であり、評価に用いる地震動の観測状況に左右される地震観測記録による評価に対して、任意の場所または時点における評価が可能な方法である。

減衰定数の値の評価にあたっては、広い範囲の振動数成分の情報を含んだ実地震ではなく、起振車等による加振波の測定データに基づく方法であることから、試験条件を確認の上、適切に振動数の信頼区間を確認した上で、敷地内の岩盤における実測値としての減衰定数及びその振動数依存特性について評価する。

3.3.4 地震観測記録を用いた同定及び地震波干渉法による評価

「2.1.2 JEAG4601-1987における評価手法」に示したとおり、地盤の応答解析においては、材料減衰と散乱減衰を含んだものを用いるとされているが、本手法は、その両方を含んだ値を評価可能であり、敷地における地盤の内部を伝播・反射する地震動データを分析することで、実現象に適合した値を評価可能な方法である。

地震観測記録による評価にあたっては、当社事業許可及び他サイトにおける実績を踏まえ、敷地内における鉛直アレー地震観測記録による深さ方向の伝達関数を再現する地盤の減衰定数を同定する。

地盤の減衰定数を同定する上では、地盤の減衰定数については振動数依存特性を有するとの知見があることから、リニア型の振動数依存特性を考慮した評価を実施する。

また、多角的な検討として、振動数依存特性を考慮する上では、第3.2-1表に示したとおり、他サイトにおいてバイリニア型の振動数依存性を考慮していることから、この条件を考慮した場合の減衰定数についても同定を実施する。

あわせて、耐震設計上、一般的に広く用いられている設定である振動数依存性を考慮しない条件を考慮した場合についても、当社敷地においても地震観測記録と整合する値となるか確認を行うこととし、この条件を考慮した場合の減衰定数について同定を実施する。

地震観測記録による評価においては、第3.2-1表に示したとおり、伝達関数と応答スペクトルの両方の観点からの確認により、地震観測記録との整合性の観点で行う。

また、他サイト実績を踏まえ、地震波干渉法による評価も合わせて実施する。地震波干渉法は、複数の地震観測記録から、地表までの上昇波と、地表で反射した下降波の傾向を捉え、その差を分析することにより地盤の減衰定数を評価する方法である。

地震波干渉法は、上昇波と下降波の傾向を明確に捉える上で、振動数の信頼区間を適切に定める必要があることから、これに留意した上で、上記の伝達関数による検討によって評価された減衰定数との整合性を確認する。

4. データの取得及び整理

「3. 敷地における減衰定数の評価方法」に示した各手法により、敷地内における各種調査・評価結果に係るデータを整理した。減衰定数に係るデータの取得にあたっては、各手法において、データの取得や処理が適切な方法で正しく行われていることを確認し、敷地において得られているデータの信頼性が担保されていることを確認した。

4.1 三軸圧縮試験による評価結果

JEAG4601-1987に示される方法のうち、三軸圧縮試験による方法については、地盤の材料減衰を主とした方法である。

敷地においては、事業変更許可申請における「添付書類六 4. 地盤」*において、敷地地下に分布する岩盤種別ごとに三軸圧縮試験結果に基づくひずみ依存特性が設定されている。

ひずみ依存特性は、地盤のせん断ひずみが大きくなるほど減衰定数が増大するとの特徴を示したものであり、地震時の非線形性を表すものである。

三軸圧縮試験については、地盤の剛性がせん断ひずみに応じて低下するとの非線形性についてもあわせて評価されている。

三軸圧縮試験により取得されたデータについては、以下の内容を確認することにより、信頼性を有するデータであることを確認している。

まず、試験方法については、JGS2563-2020 「軟岩の変形特性を求めるための繰り返し三軸試験方法」に定められた信頼性のある方法を用いている。

また、調査データそのものの信頼性を確保するため、試験装置については、ベディングエラーの排除できる機材（ギャップセンサー、LDT(Local Deformation Tranceduser)を使用して試験を行っているほか、地盤の剛性
に係るデータを正確に把握するために、試験機材自体についても十分な剛性を有するものを使用している。

試験データの分析における信頼性の確保としては、試験体のひずみに応じた特性を正確に把握するために、弾性範囲内に初期偏差応力を設定する。

なお、試験及び試験データの分析については、原子力施設における多数の実績を有する調査会社によって実施している。

岩種ごとに評価されているひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）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」に示している。

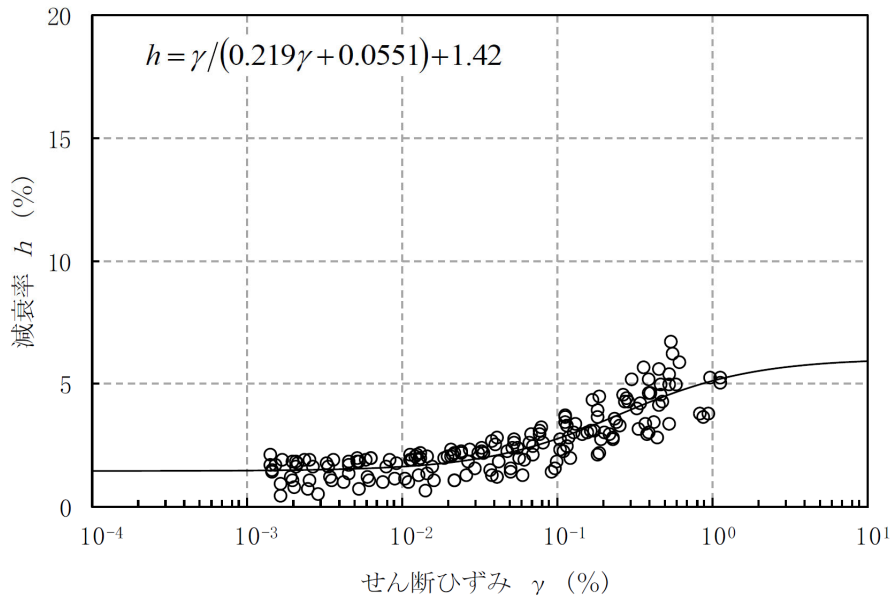
第 4.1-1 図～第 4.1-12 図に、敷地内の岩盤部分を構成する岩種ごとのひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）を示す。

第 4.1-1 図～第 4.1-12 図に示したひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）に示されるとおり、 $h-\gamma$ 曲線は、岩盤種別ごとに、試験結果から得られたデータに対し双曲線型の近似式で表されている。敷地内の岩盤はいずれの岩種においてもデータのばらつきは小さく、適切な設定となっている。

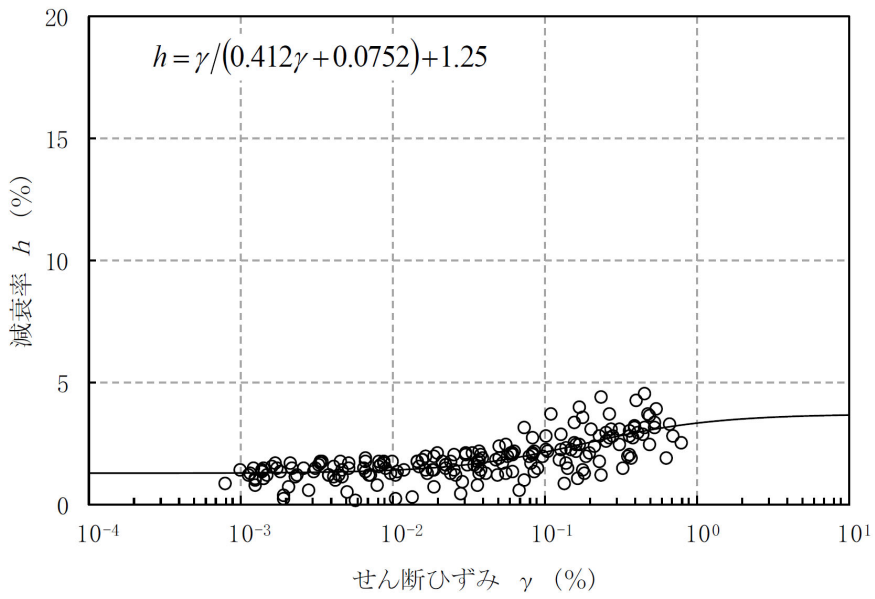
また、いずれの岩種においても、岩盤部分のひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）については、地盤のせん断ひずみが 10^{-2} 程度までは非線形化による減衰定数の変動は小さく、いずれの岩種についても約 1～2% 程度の減衰定数を示す。また、せん断ひずみが 10^{-2} よりも大きい範囲に達すると、泥岩、細粒砂岩及び軽石凝灰岩については約 5% 程度に、その他の岩種については約 10～15% 程度に遷移的に減衰定数が増大していく傾向となっている。

なお、三軸圧縮試験データについては、ボーリング孔中の各深さにおける試験体に対する試験結果で構成されるが、上記のとおり $h-\gamma$ 曲線に対して全体としてデータのばらつきは小さいことから、岩盤分類ごとに深さ方向の材料減衰の違いは有意なものでは無いと考えられる。

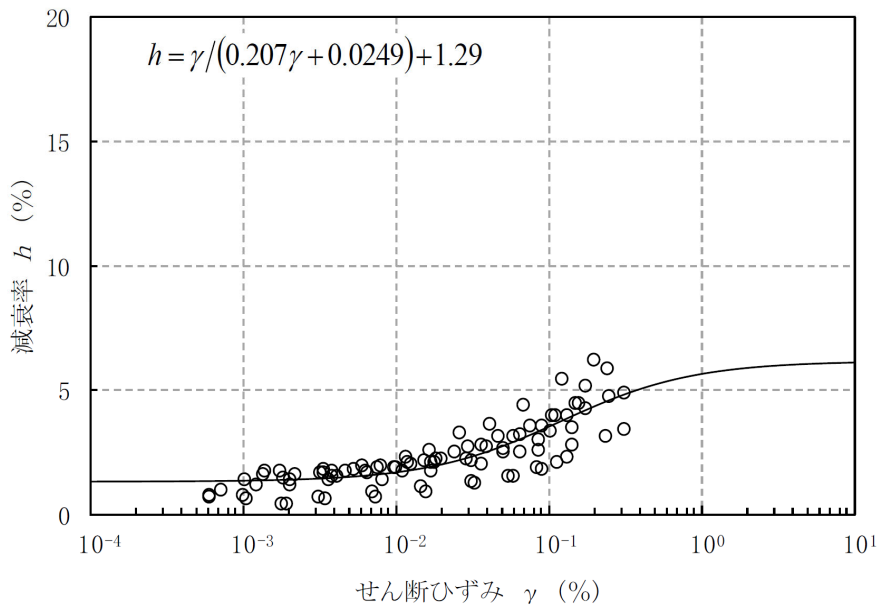
注記 *：事業変更許可申請の引用部分については、当社事業間で記載内容に差が無いことから、再処理施設事業変更許可申請書における章を代表として記載。



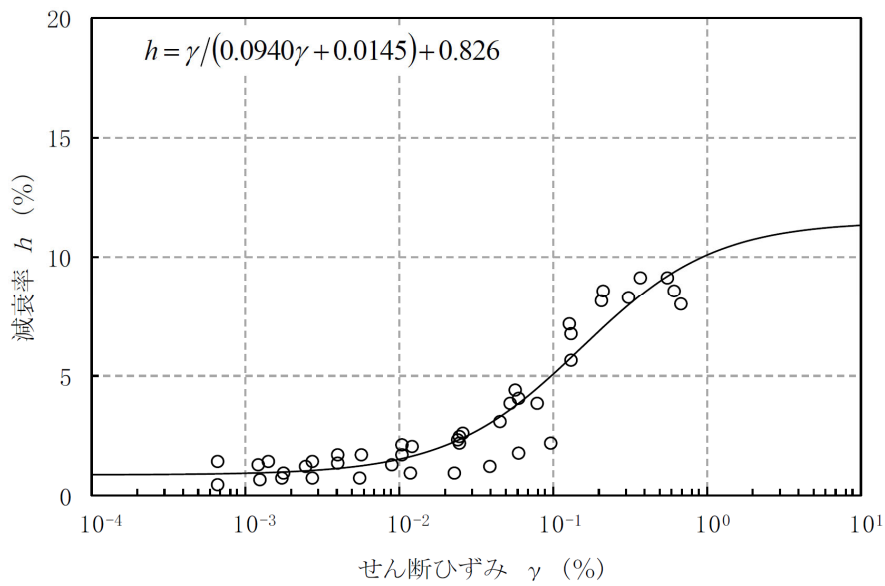
第 4.1-1 図 ひずみ依存特性 (泥岩 (上部層))



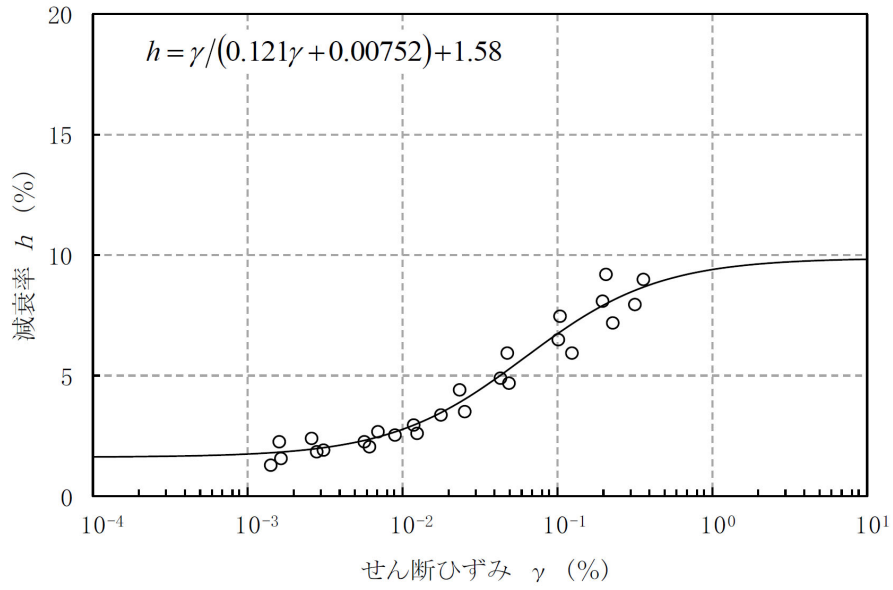
第 4.1-2 図 ひずみ依存特性 (泥岩 (下部層))



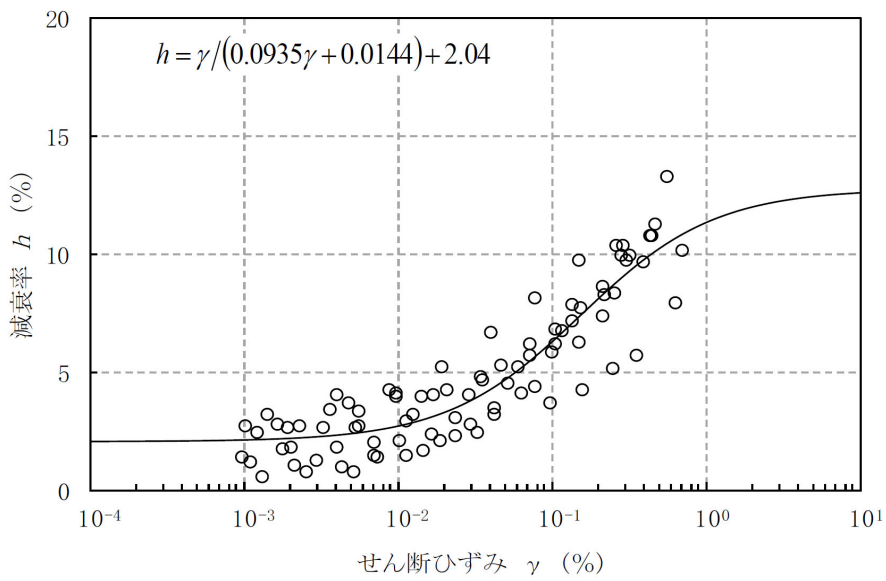
第 4.1-3 図 ひずみ依存特性 (細粒砂岩)



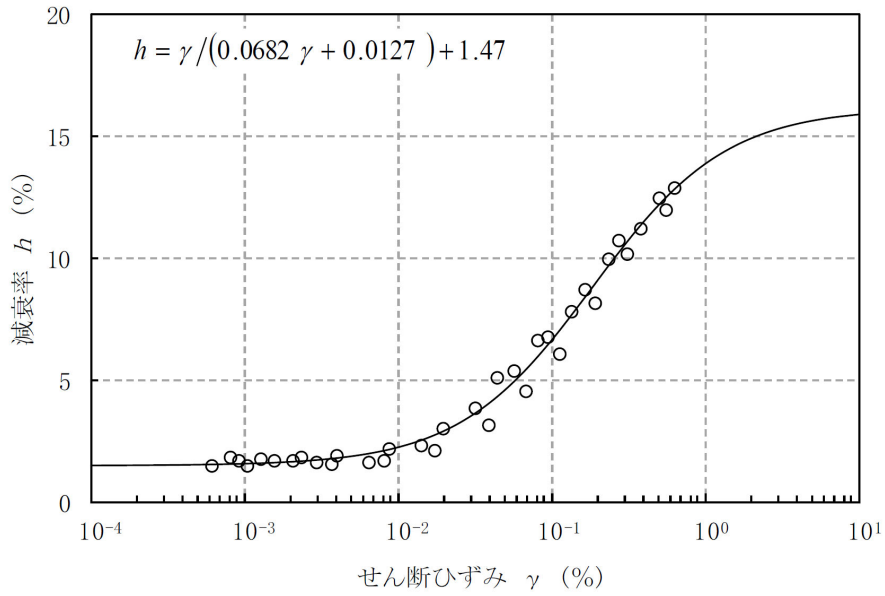
第 4.1-4 図 ひずみ依存特性 (軽石質砂岩)



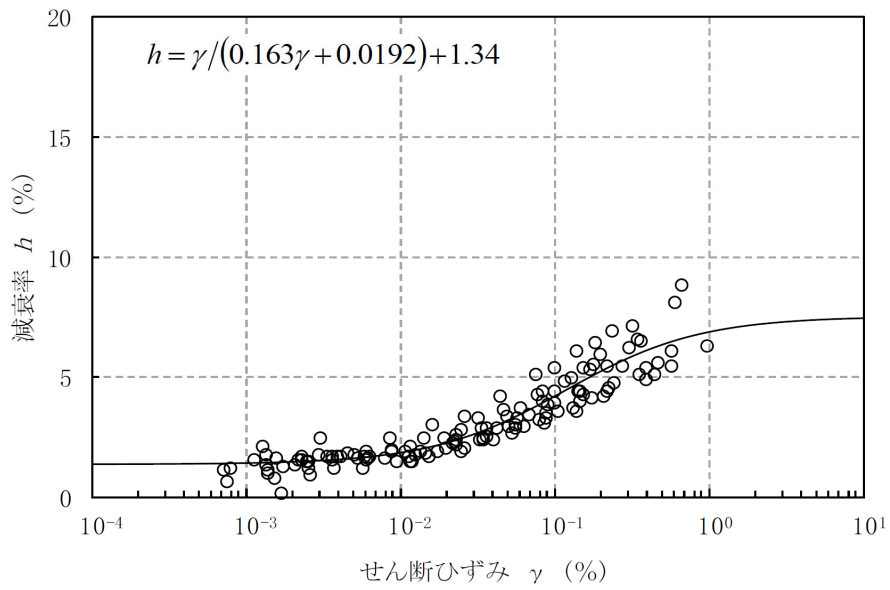
第 4.1-5 図 ひずみ依存特性 (粗粒砂岩)



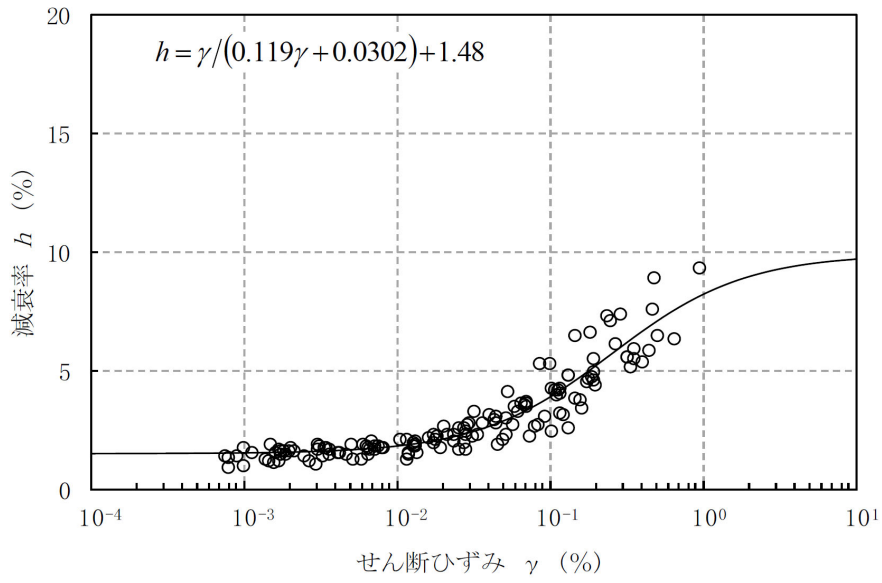
第 4.1-6 図 ひずみ依存特性 (砂岩・凝灰岩互層)



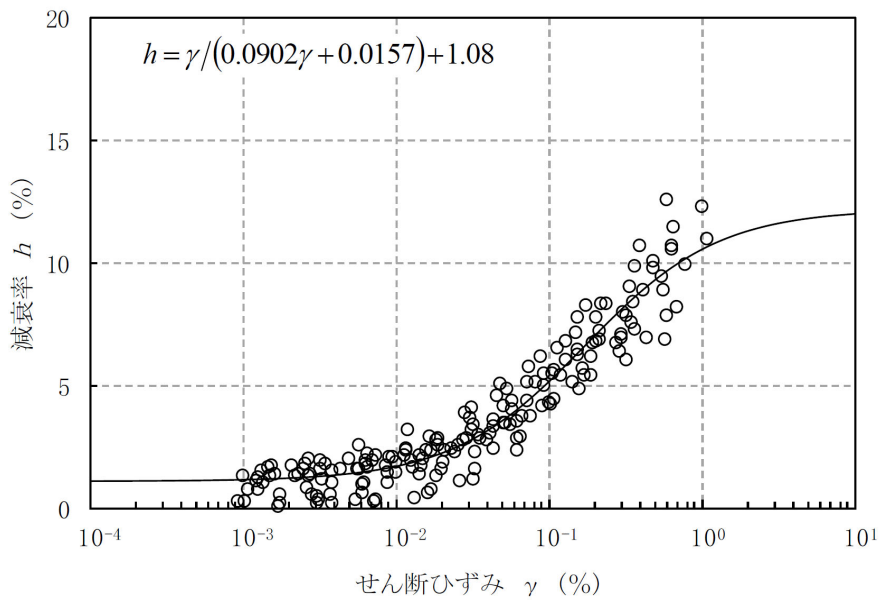
第 4.1-7 図 ひずみ依存特性 (凝灰岩)



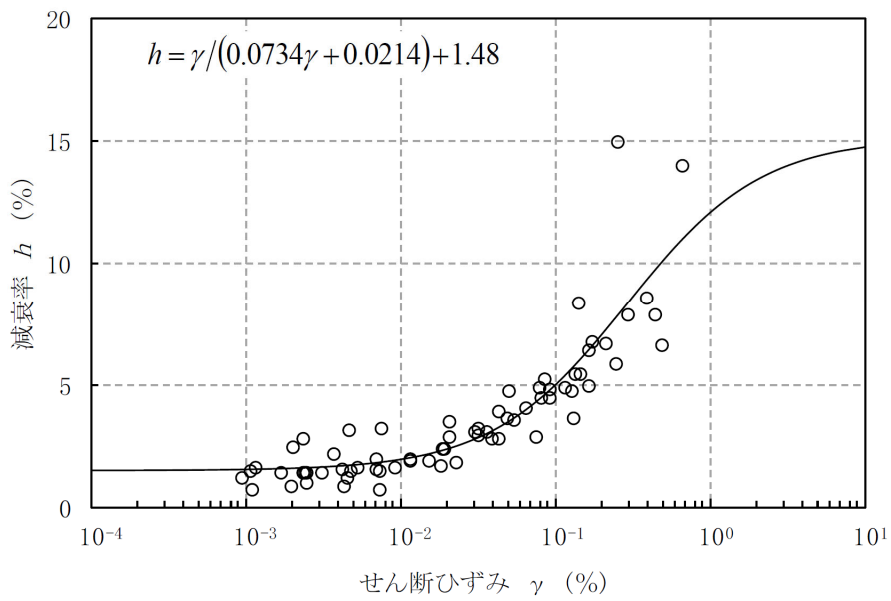
第 4.1-8 図 ひずみ依存特性 (軽石凝灰岩)



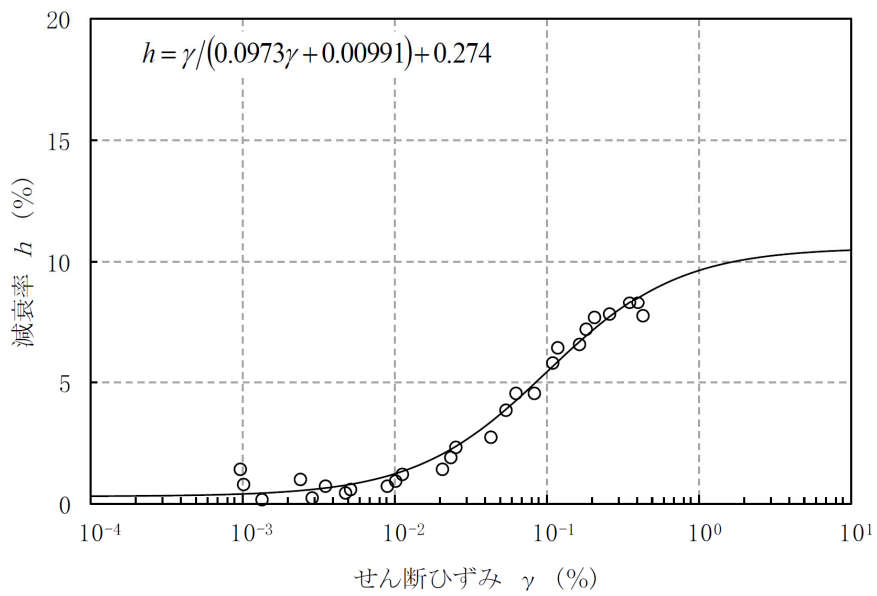
第 4.1-9 図 ひずみ依存特性 (砂質軽石凝灰岩)



第 4.1-10 図 ひずみ依存特性 (礫混り砂岩)



第 4.1-11 図 ひずみ依存特性 (軽石混り砂岩)



第 4.1-12 図 ひずみ依存特性 (礫岩)

4.2 岩石コア試験による評価結果

追而

4.3 敷地における S 波検層による評価結果

4.3.1 既往の S 波検層データ

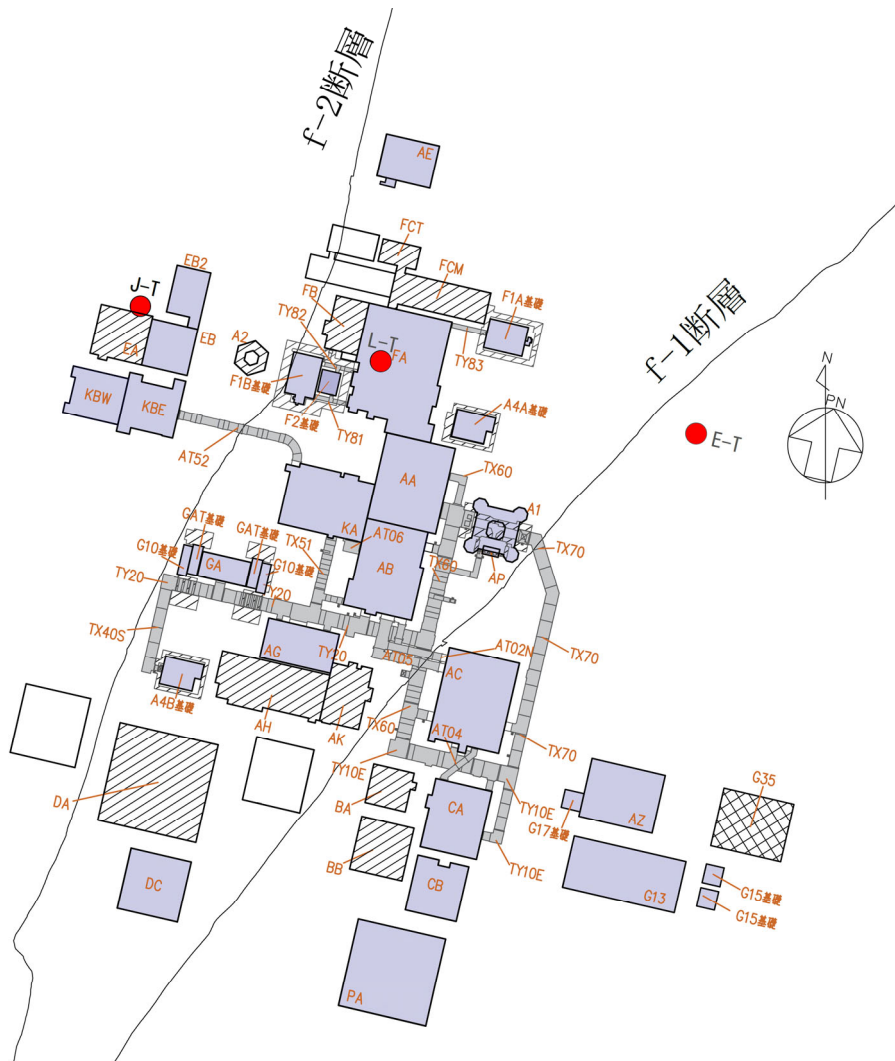
敷地において、過去のボーリング調査時に、第 4.3.1-1 図に示す敷地内の 3 地点（J-T 孔、L-T 孔、E-T 孔）において、PS 検層に基づく減衰定数の評価が行われていることから、当該位置における評価結果について整理した。上記 3 地点については、本文「4.1 地質学的に見た敷地内の地質構造」に示したとおり、敷地内の岩盤は f-1 断層と f-2 断層を境界として、大局的に、敷地内の西側、中央、東側の 3 つの地盤に区分され、それぞれの地盤において、地質構造は緩い傾斜はあるものの、概ね水平であるとしていることに対し、区分されたそれぞれの領域におけるデータとして得られており、鷹架層下部層、鷹架層上部層、鷹架層中部層といった主な地質構造の分布としては各領域の特徴を捉えたデータとなっていると考えられる。

敷地における PS 検層に基づく減衰定数の評価にあたっては、加振波とボーリング孔内観測波の応答スペクトルの振幅比に基づき、当該地点の減衰定数として振動数ごとに評価している。

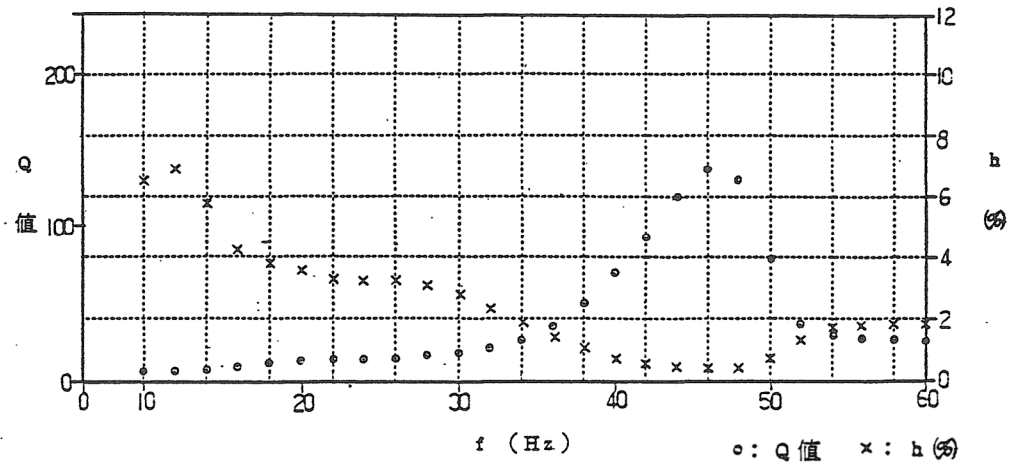
第 4.3.1-2 図に、S 波検層に基づく減衰定数について、J-T 孔、L-T 孔、E-T 孔における主要な岩盤部分に対応する評価結果を示す。PS 検層に基づく減衰定数は、いずれの孔においても、高振動数成分に着目した評価を行っており、振動数方向の信頼区間は 10Hz 又は 20Hz よりも高振動数側の領域としている。

また、敷地における減衰定数の振動数依存性の特徴として、振動数に反比例する傾向を有していることが確認できる。なお、第 3.2-1 表に示したとおり、減衰定数の振動数依存性については、10～20Hz 以上の振動数において頭打ちになるとの知見があるが、本評価結果においては、西側地盤では約 20Hz 以降でやや高振動数側で減衰定数の減少が緩やかになる傾向がみられるが、中央地盤及び東側地盤では同様の傾向は明瞭に確認できない。

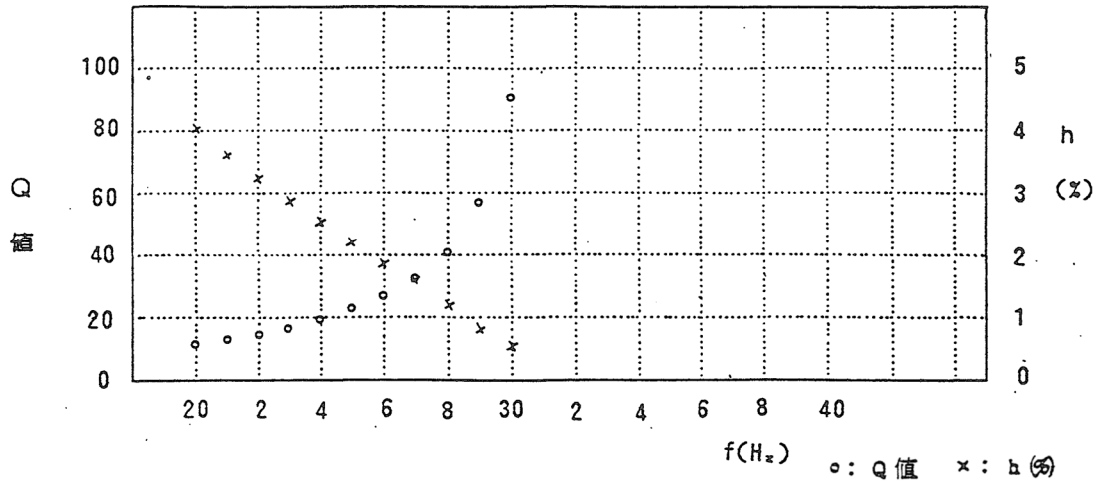
敷地における減衰定数の値に着目すると、高振動数側では 1% 未満の非常に小さい減衰定数が得られているが、低振動数側では、西側地盤に対応する J-T 孔で約 6%（10Hz）、中央地盤に対応する L-T 孔で約 4%（20Hz）の値が得られている。一方で東側地盤に対応する E-T 孔では 20%以上（10Hz）の減衰定数が得られており、ばらつきの大きい結果になっていると考えられる。



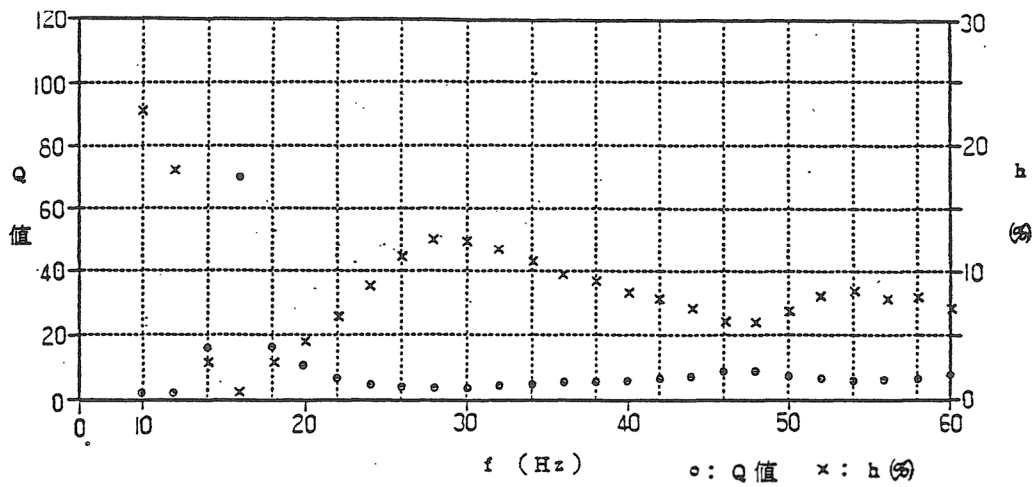
第 4.3.1-1 図 S 波検層による減衰定数の評価を実施している
ボーリング孔位置



(a) J-T 孔 (西側地盤の泥岩上部層に対応)



(b) L-T 孔 (中央地盤の細粒砂岩及び泥岩下部層に対応)



(c) E-T 孔 (東側地盤の軽石質砂岩に対応)

第 4.3.1-2 図 S 波検層による減衰定数の評価結果

4.3.2 追加の S 波検層データ

「4.3.1 既往の S 波検層データ」に示したとおり、既往の S 波検層による評価については、敷地内の 3 地点において実施されており、これは、既認可時における地盤モデルのエリア設定の考え方（西側地盤，中央地盤，東側地盤の 3 つのエリア）に基づき実施したものである。これに対し、今回設工認においては、本文並びに「別紙 2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」に示すとおり、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に加え、敷地内を網羅的に把握するために S 波検層データを追加取得し、各グループにおけるデータの特徴を踏まえた分析を実施する必要があると考えられる。

以上のことから、S 波検層による評価結果の信頼性向上を目的とし、近接する建屋のグループ単位における S 波検層の追加調査を実施した。

追加調査にて実施する S 波検層の計画及び実施内容の詳細については、「参考 1 岩盤部分の減衰定数の設定に係る追加調査」に示す。

S 波検層の追加調査により取得されたデータについては、以下の内容を確認することにより、信頼性を有するデータであることを確認している。

まず、試験方法については、「JGS-1122 地盤の弾性波速度検層方法」に適合する、信頼性を有する方法を用いている。

調査データそのものの信頼性を確保するために、試験装置については、校正された受信機を使用して試験を行っているほか、試験波形についても、減衰定数に見られる周波数特性を把握する上での精度を確保するために、振動数を変動させたスイープ震源を用いている。また、速度構造の解析時に初動走時を正確に把握するために、記録波形を位相反転した波形に対しても確認を実施し、読み取り精度の向上を図っている。

さらに、各種分析を行う上でのデータの信頼性を確保するために、起振波の振幅レベルに対して、常時微動による影響がないことの確認や、近接建屋や表層地盤の影響を加味した波形処理を実施している。これらの影響の確認結果については「参考 1 岩盤部分の減衰定数の設定に係る追加調査」にその詳細を示す。

なお、調査結果に対する信頼性を確保するために、S波検層の作業及びデータの読み取り・分析については、原子力施設における多数の実績を有する調査会社によって実施している。

本追加調査で得られる建屋グループ単位におけるS波検層による評価結果については、上記3地点のデータに対しての相対的な比較を行うとともに、各グループにおける速度構造との相関性について考察を行い、「5. データの分析」に示す、地震観測記録に基づく評価結果との整合性を確認する。

以上の確認により各建屋グループにおける岩盤部分の減衰定数を把握した上で、基本地盤モデルに考慮する岩盤部分の減衰定数の設定を行う。

追加調査を実施した地点について、第4.3.2-1図に示す。

各地点において得られたS波検層結果のデータを第4.3.2-2図に示す。S波検層データについては、「別紙2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」にて示した、近接する建屋のグループと、それに対応する追加調査孔ごとに整理して示す。

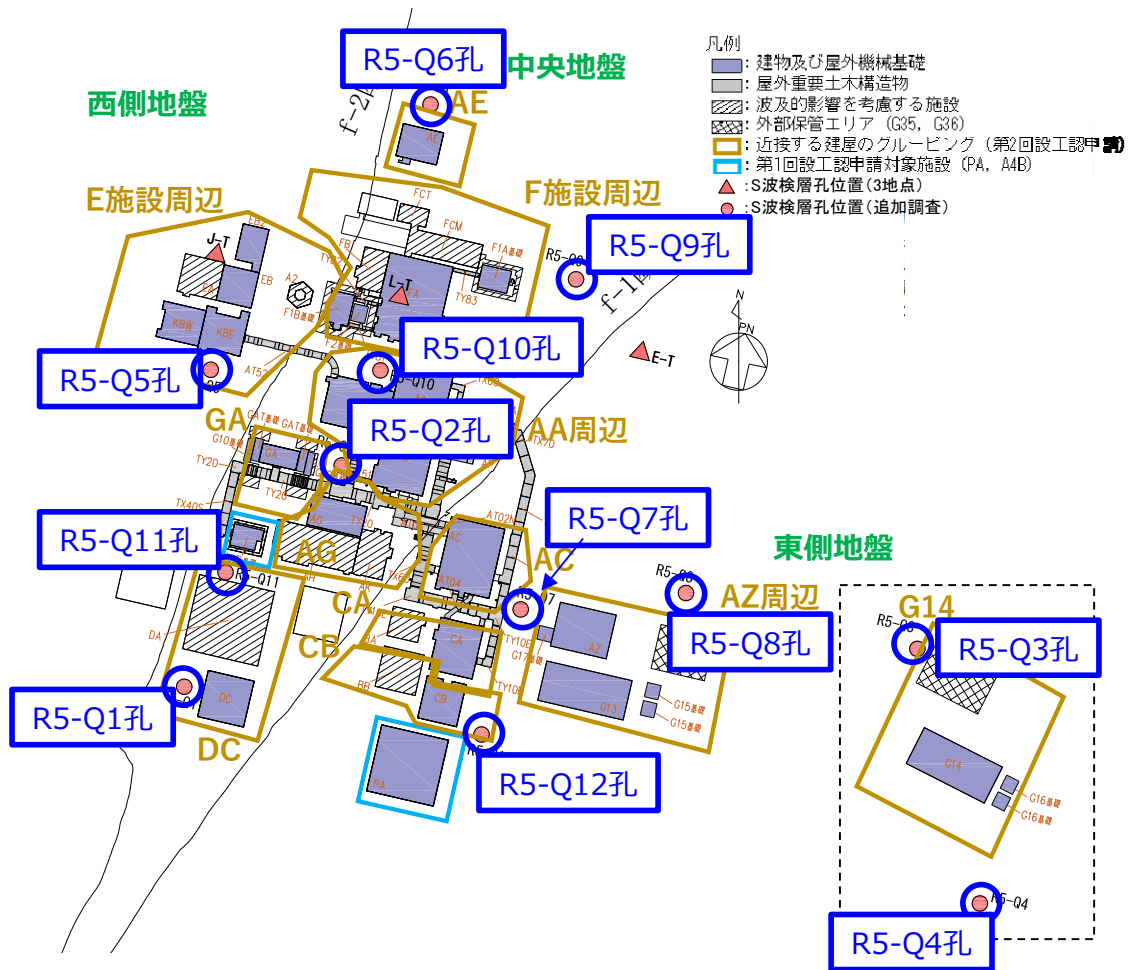
S波検層において波形は、周波数を10Hz～80Hzに変調させたスイープ波形を用いていることから、当該周波数帯に対応する減衰定数の測定結果を図中に示す。

なお、DCグループにおけるR5-Q11孔及びE施設周辺グループにおけるR5-Q5孔においては、周期0.02～0.03sの領域において谷となる傾向が見て取れるものの、地盤の減衰定数が、周波数依存性をもたない材料減衰と、短周期側に向かって小さくなる周波数特性を有する散乱減衰で構成されることを考慮すると、短周期側に向かって減衰定数が大きくなる傾向は考えにくいことから、この谷は地下構造の特徴に起因するものではないと考えられる。

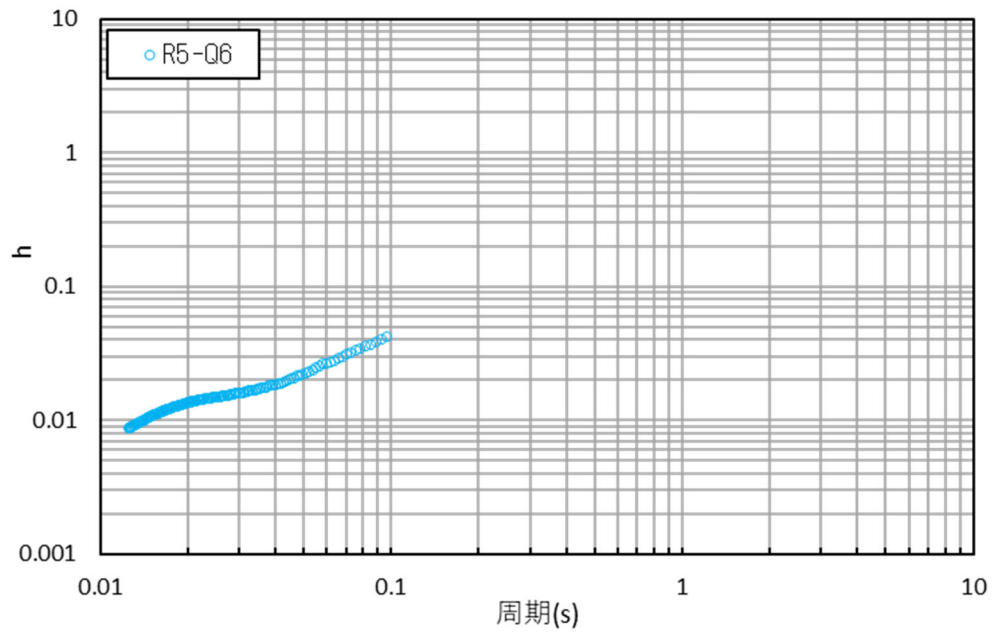
また、この谷の大きさは、地盤応答解析において考慮する応答スペクトルの周期帯における減衰定数の値（一桁%オーダー）に対して小さいオーダーでの傾向となっており、減衰定数の周波数特性に大きな影響を及ぼすものではない。

また、他サイトにおける調査実例においても、このような山谷となる傾向は見られること、他サイトにおける実例や、「4.3.1 既往のS

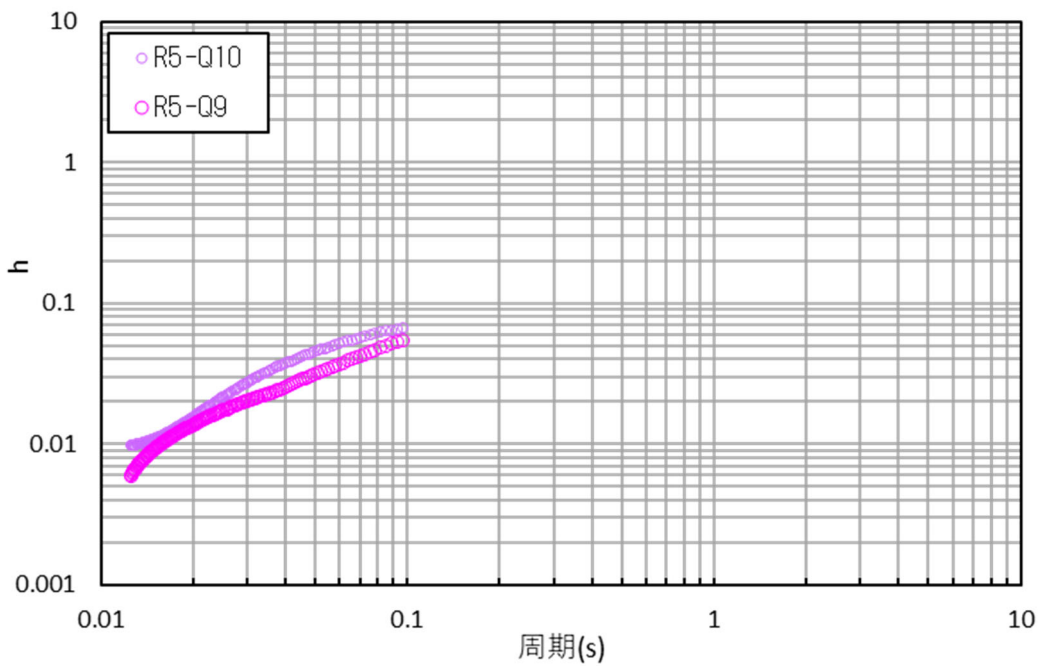
波検層データ」における東側地盤及び西側地盤において見られる山谷は，本追加調査データに見られる山谷よりも大きい変動となっていることを踏まえれば，追加調査により得られた減衰定数は，精度よく得られていると考えられる。



第 4.3.2-1 図 S 波検層に係る追加調査位置図

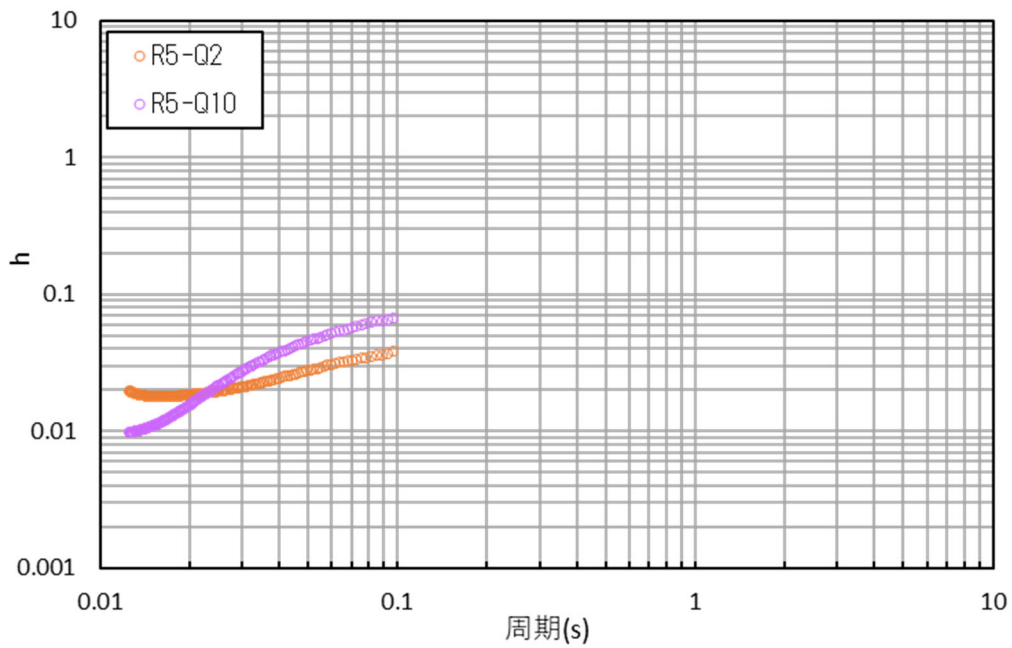


(1) AE グループ (R5-Q6) における S 波検層結果

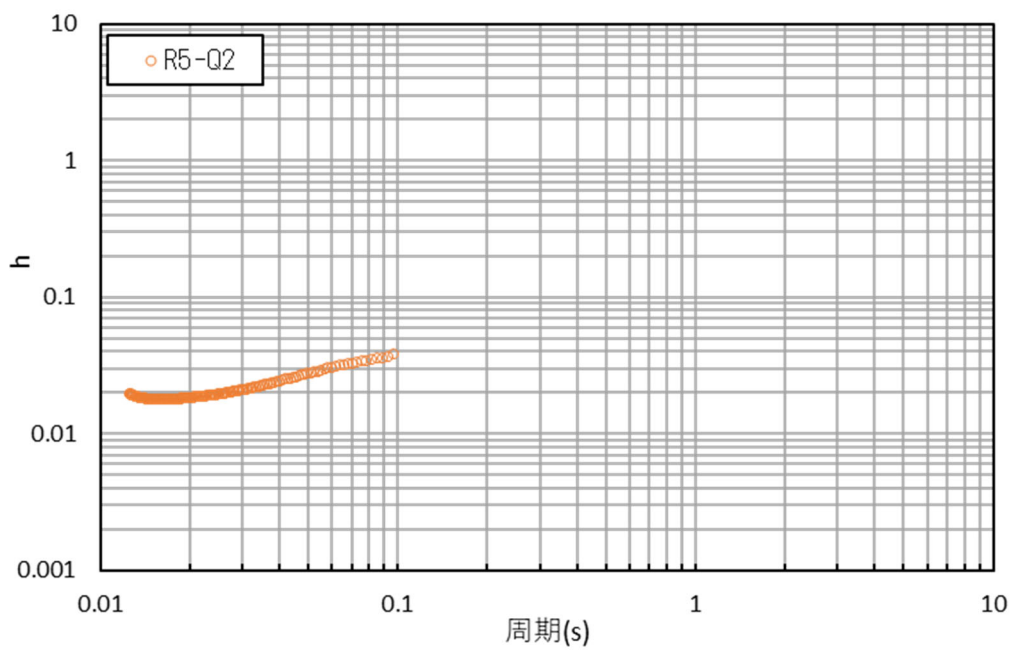


(2) F 施設周辺グループ (R5-Q9, 10) における S 波検層結果

第 4.3.2-2 図 追加調査における S 波検層結果 (1/6)

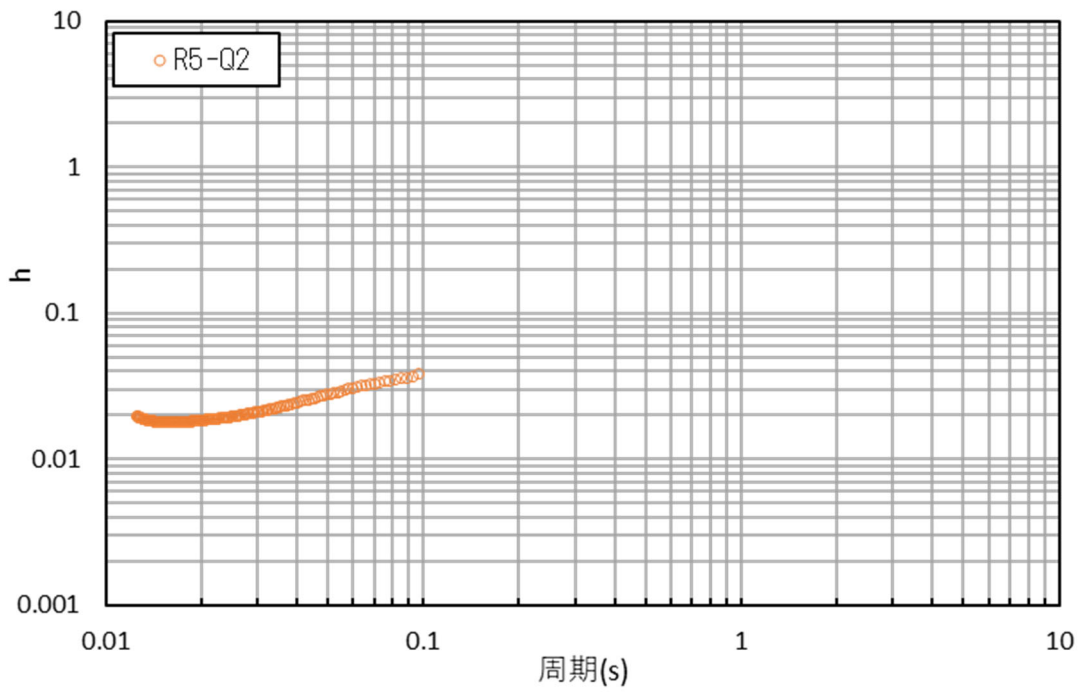


(3) AA 周辺グループ (R5-Q2, 10) における S 波検層結果

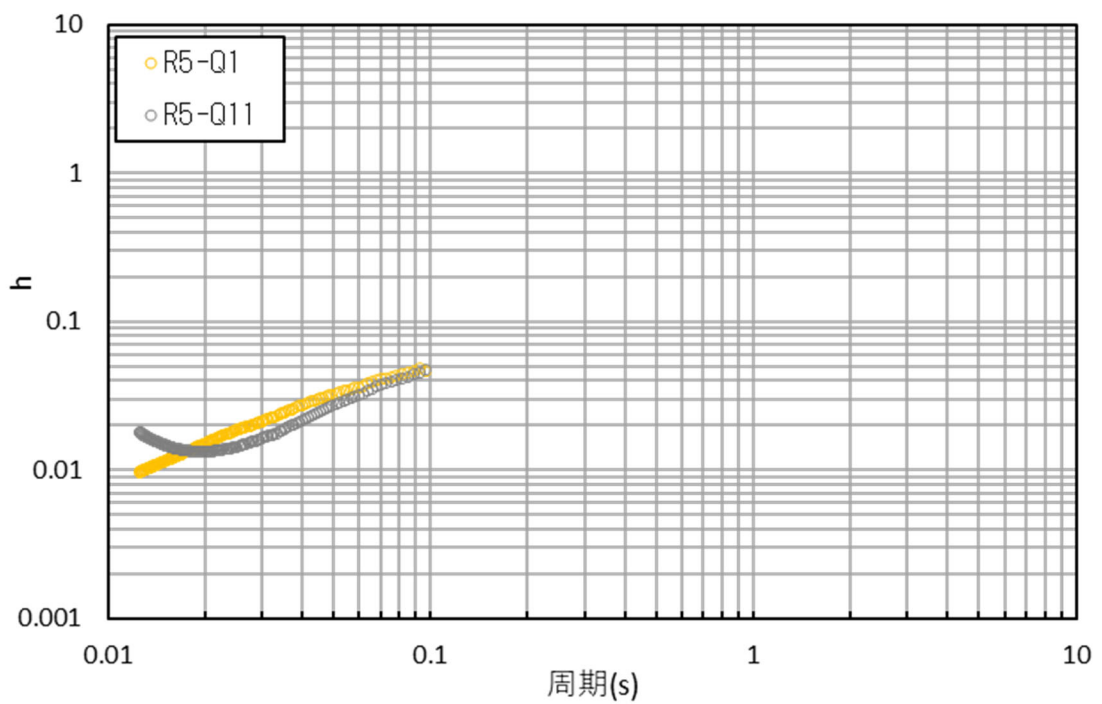


(4) GA グループ (R5-Q2) における S 波検層結果

第 4.3.2-2 図 追加調査における S 波検層結果 (2/6)

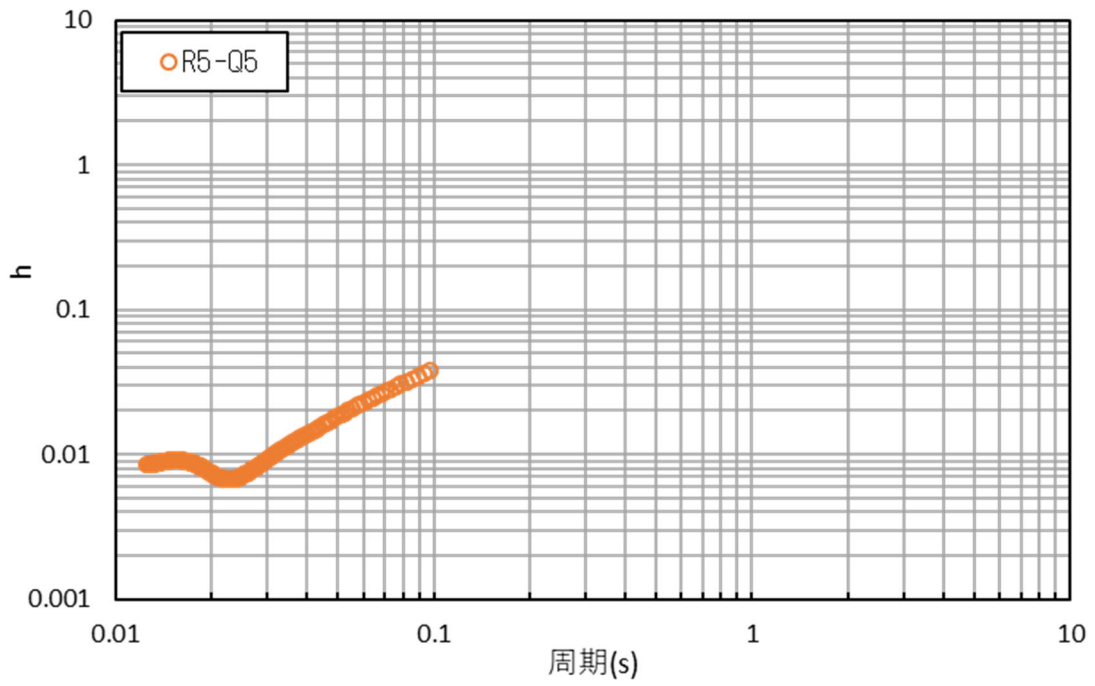


(5) AG グループ (R5-Q2) における S 波検層結果

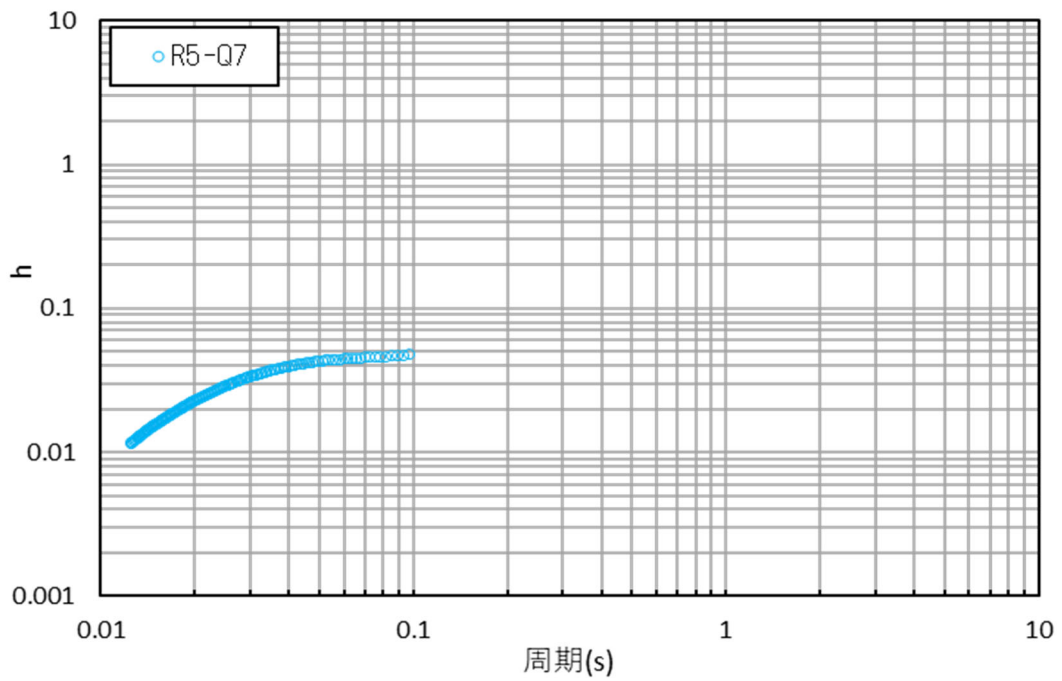


(6) DC グループ (R5-Q1, 11) における S 波検層結果

第 4.3.2-2 図 追加調査における S 波検層結果 (3/6)

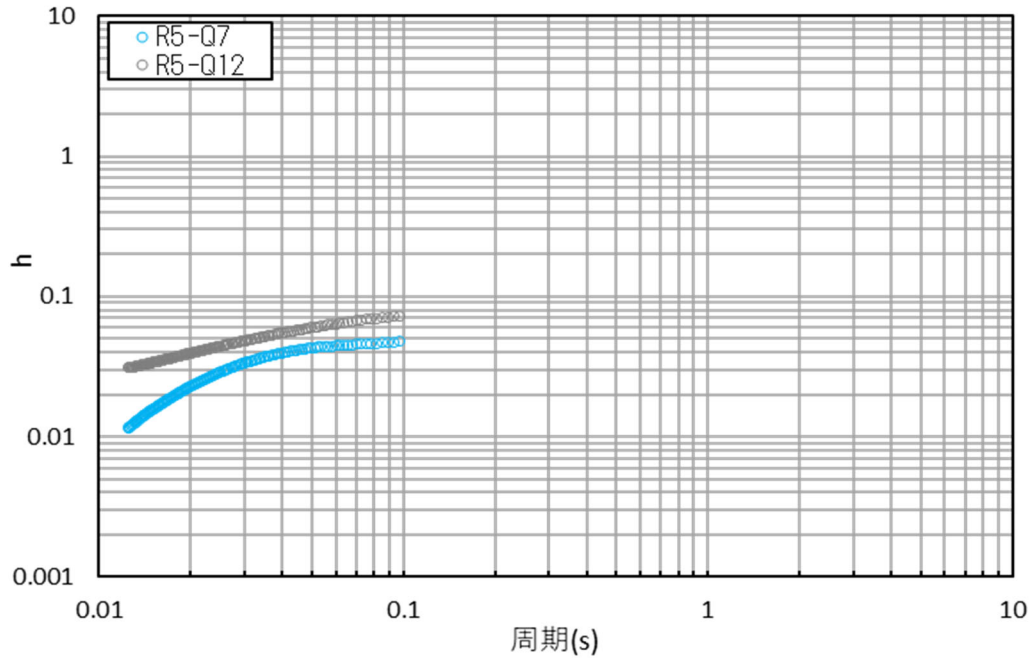


(7)E 施設周辺グループ (R5-Q5) における S 波検層結果

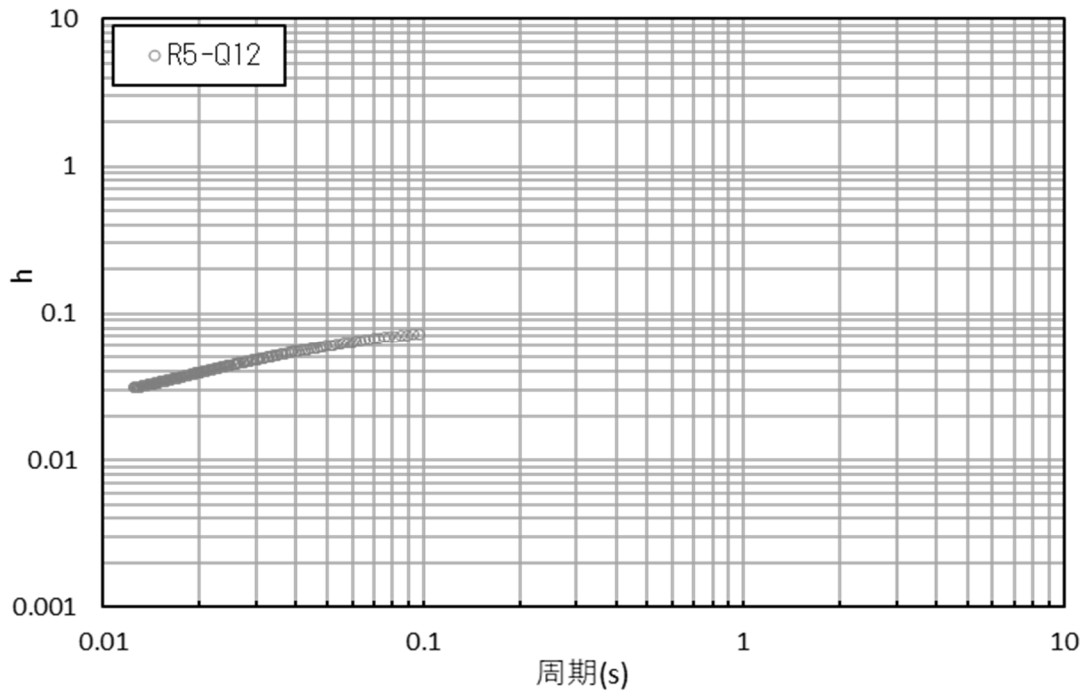


(8)AC グループ (R5-Q7) における S 波検層結果

第 4.3.2-2 図 追加調査における S 波検層結果 (4/6)

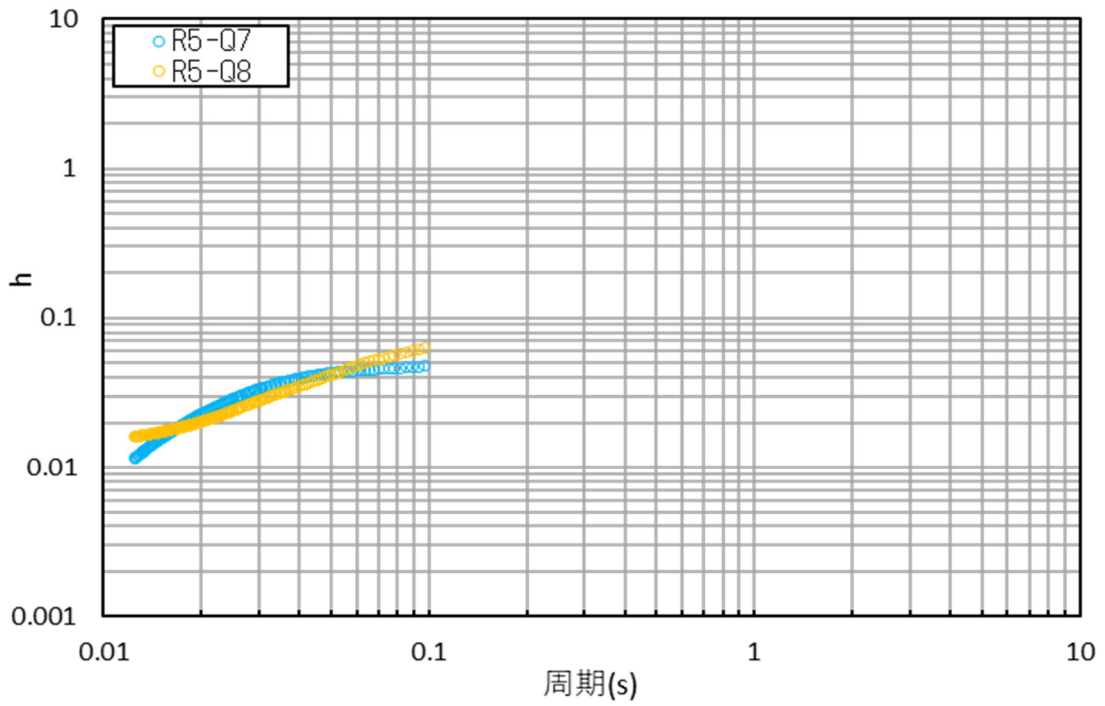


(9) CA グループ (R5-Q7, 12) における S 波検層結果

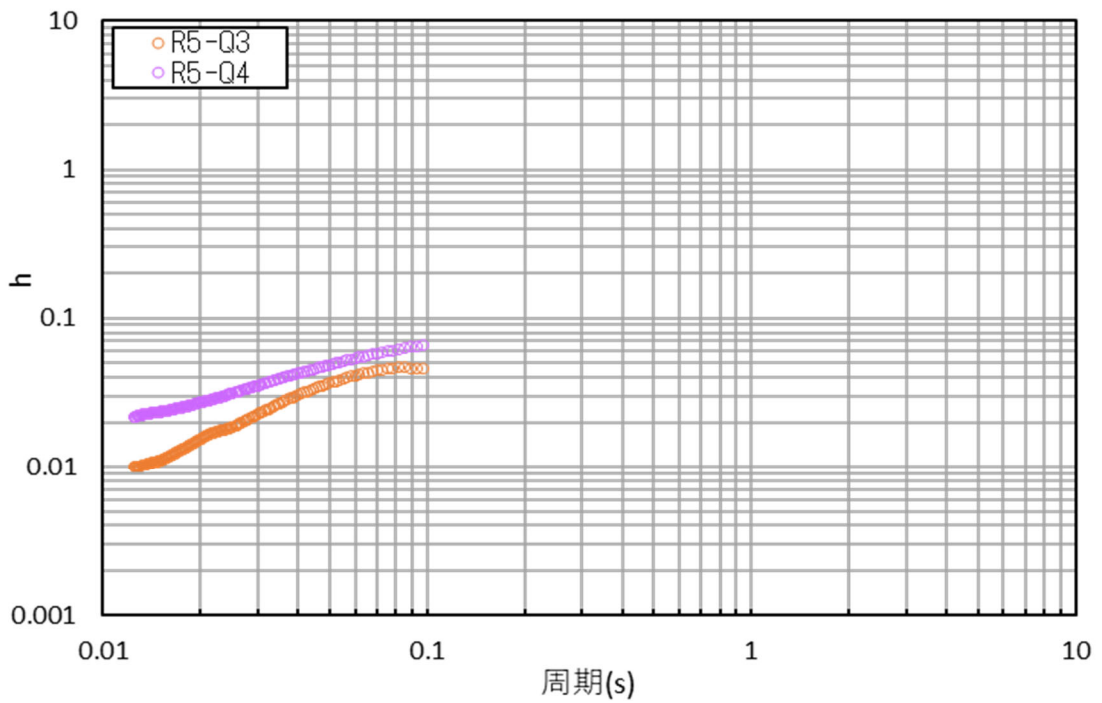


(10) CB グループ (R5-Q12) における S 波検層結果

第 4.3. 2-2 図 追加調査における S 波検層結果 (5/6)



(11) AZ グループ (R5-Q7, 8) における S 波検層結果



(12) G14 グループ (R5-Q3, 4) における S 波検層結果

第 4.3.2-2 図 追加調査における S 波検層結果 (6/6)

4.4 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

敷地における岩盤部分の減衰定数として、材料減衰及び散乱減衰の両方が含まれた値を、敷地において得られている地震観測記録を用いて同定する。

本検討において用いる地震観測記録は地中波であることから、表層地盤による影響も含まれた情報に基づく評価となるが、本資料における評価の目的が岩盤部分の減衰定数に対する確認であることを踏まえ、表層地盤と岩盤部分を個別に同定することにより、表層地盤における影響を分離した岩盤部分の減衰定数を評価することとした。

また、地震計を設置している敷地内の中央地盤、西側地盤、東側地盤の3地点のそれぞれに対して同定を実施し、その違いを確認することで、各地震観測位置において、地震観測記録をよく説明する減衰定数を評価する。

本章における同定解析について、解析コードは「Trans_GA(Ver.2023)」を、地震観測記録を用いたシミュレーション解析については「PSDENT(Ver.2023)」は用いる。本解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、補足説明資料「耐震建物 29 耐震設計の基本方針に関する計算法プログラム(解析コード)の概要について」にて示す。

4.4.1 地震観測記録を用いた減衰定数の評価方法

本章では、以下の方法により、地震観測記録を用いた敷地における岩盤部分の減衰定数の評価を実施する。

「3.3.3 地震観測記録による評価方法」に示したとおり、伝達関数による検討については、多角的な検討を行う観点で、振動数依存性について条件を変化させた検討を実施する。また、上記以外の手法として、地盤の速度構造によらず直接地盤の減衰定数を評価する方法として、地震波干渉法による検討を実施する。

伝達関数による検討については「4.4 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、地震波干渉法による検討については「4.4.5 地震波干渉法による検討」に、それぞれの評価条件及び評価結果を示す。

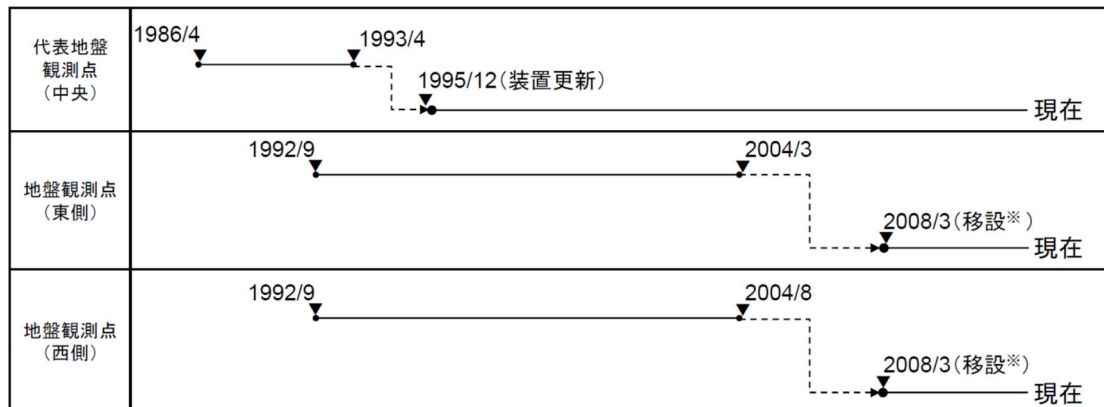
これら複数の考え方に基づく減衰定数の評価を実施し、各方法における地震観測記録の再現性及び振動数特性に着目し、岩盤部分における減衰定数を評価する。

4.4.2 敷地における地震観測の概要

敷地では、中央、西側、東側地盤の3地点において地震観測記録の収集を行っている。また、第4.4.2-1図～第4.4.2-3図に示すとおり、地震観測位置のうち、西側及び東側地盤観測点については、2008年を境に移設を行っている。

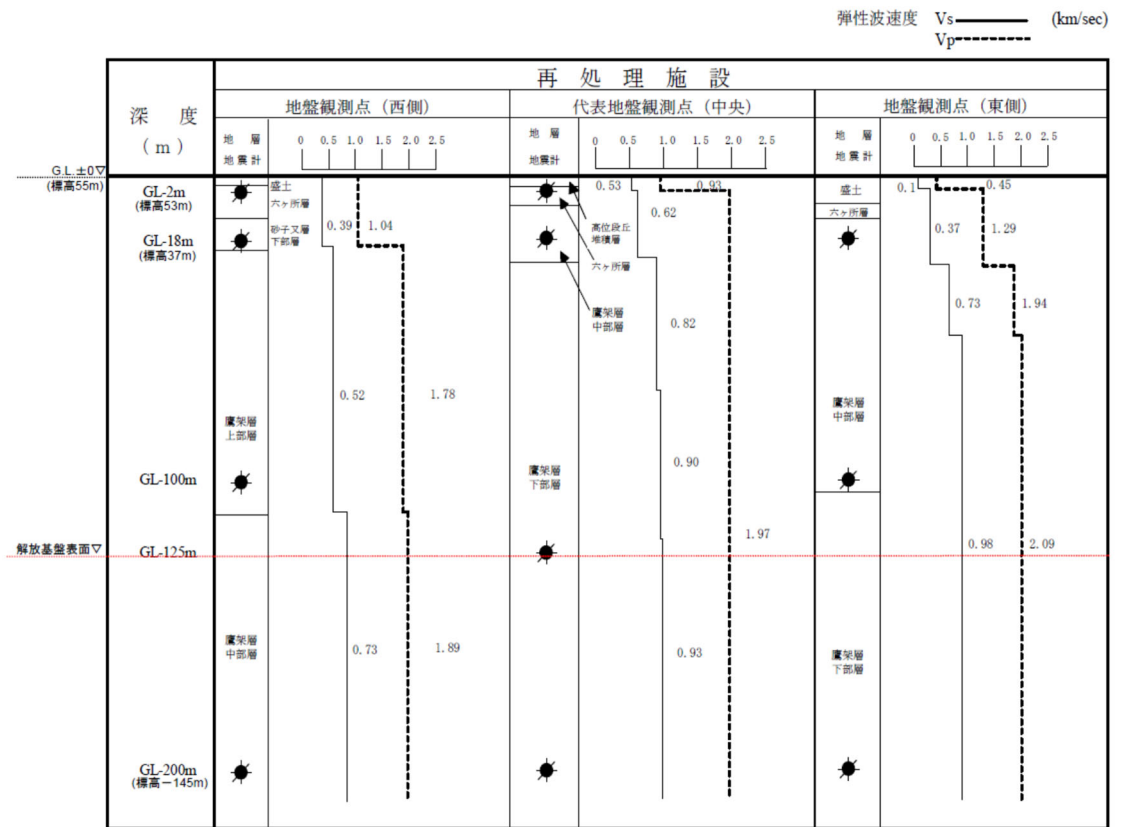
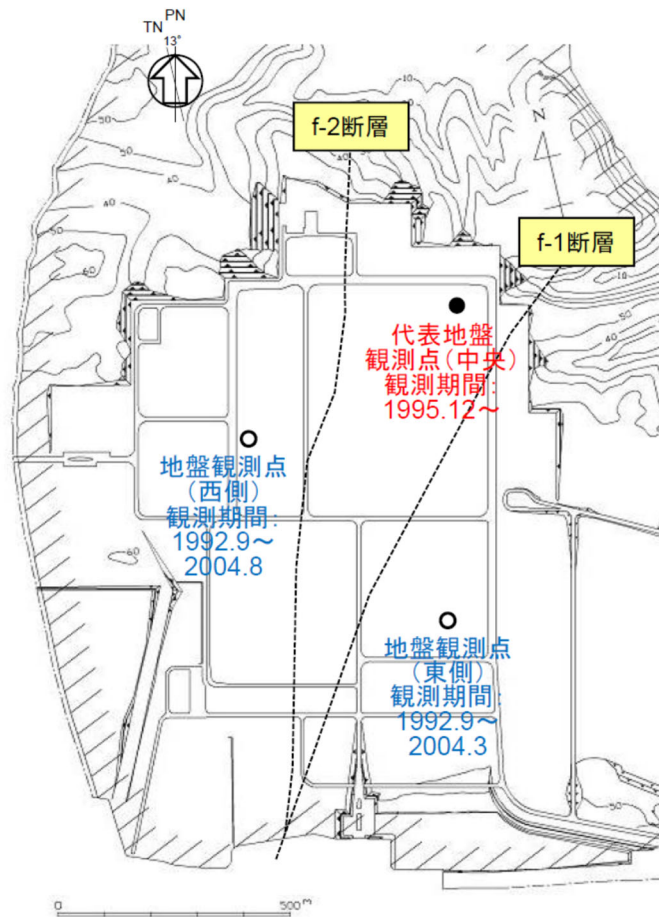
西側及び東側地盤観測点における地震観測位置の移設については、事業変更許可申請において説明を実施しており、移設前後において地下構造が大きく変わらないことを、移設前後のPS検層結果及びはぎとり地盤モデルの速度構造との比較により示している。

本資料においては、後述のとおり、はぎとり地盤モデルの作成と同様の手法により減衰定数を評価する際、S波速度についても、振動数特性の適合度を向上させる観点で変動させていることから、変動後の速度構造との評価結果との関係性について、事業変更許可申請と同様に速度構造の比較を行う。



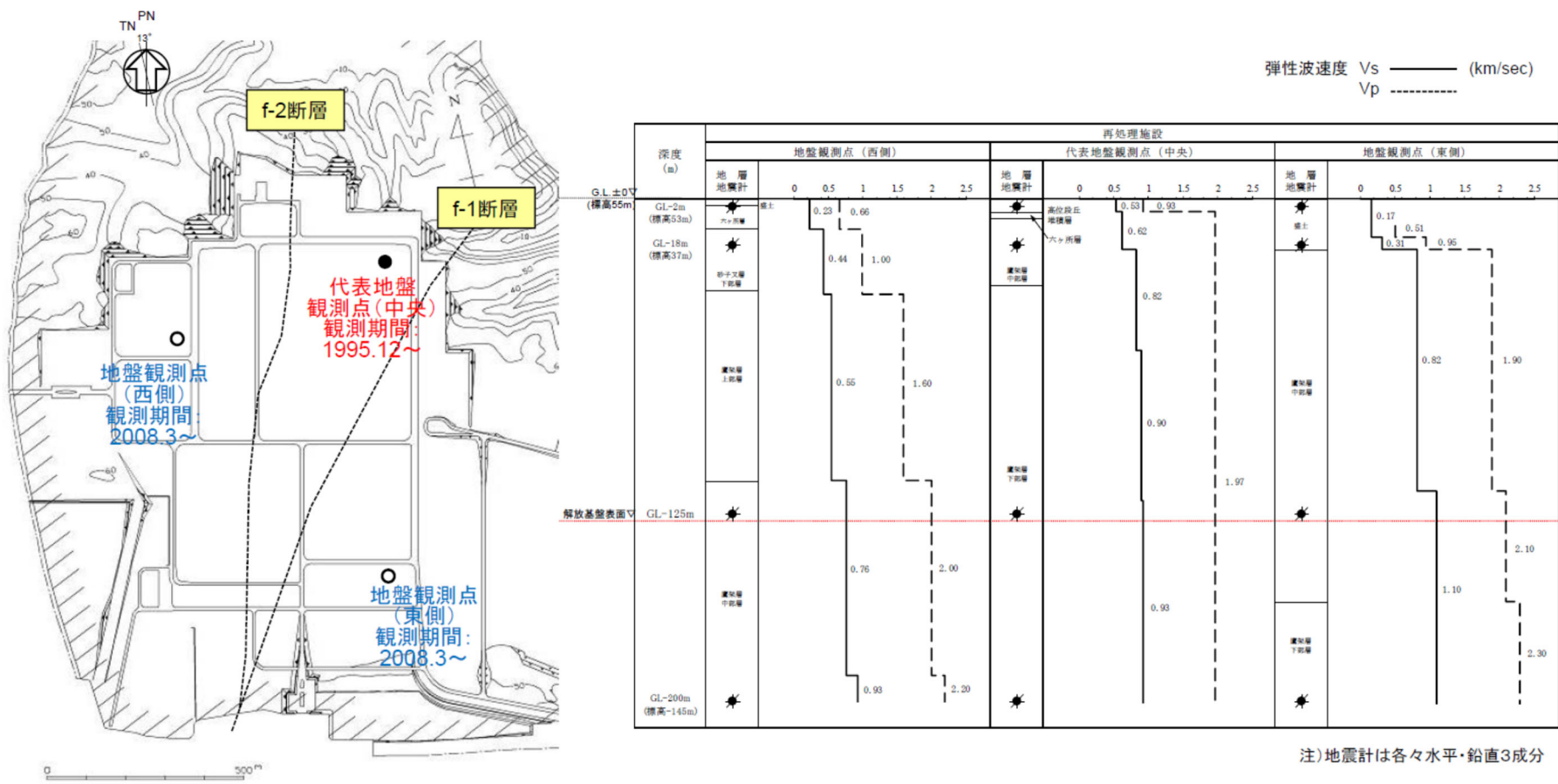
※G.L.-100m地震観測点を、G.L.-125mに移設

第4.4.2-1図 敷地内各位置における地震観測期間
(2020年2月21日第339回審査会合 資料1-4-1 p38より抜粋)



注)地震計は各々水平・鉛直3成分

第 4.4.2-2 図 2004 年以前の地震観測位置
(2020 年 2 月 21 日第 339 回審査会合 資料 1-4-2 p9 より抜粋)



第 4.4.2-3 図 2008 年以降の地震観測位置(本資料における評価に用いる地震観測位置)
(2020 年 2 月 21 日第 339 回審査会合 資料 1-4-2 p10 より抜粋)

4.4.3 評価に用いる地震観測記録

評価に用いる地震観測記録について、敷地内で地震観測を実施している中央、西側及び東側地盤のそれぞれの地震観測点において、現在の地震観測位置における地震観測記録から選定する。

評価に用いる地震観測記録については、以下の取り組み及び確認により、信頼性が確保されたものを用いている。

- ・敷地における地震観測記録は、これを用いた評価・分析が適切に行えるよう、正確な地震観測記録を得るために、設置時において、NS成分及びEW成分の地震動を測定するセンサの方向と、実際の方位のずれを計測しており、観測記録の取得時にはその方位ずれを補正することにより、正しい方向性を有した地震観測記録を取得している。
- ・地震観測装置の健全性を保つための取り組みとして、センサ並びに収録装置を含む観測装置全体について、機器の耐用年数に応じたリプレースを継続的に実施していることから、地震観測装置の健全性は保たれている。
- ・地震観測装置は、1日1回の定時校正を行っており、センサに異常が無いことを確認していることから、観測装置は正常に動作していることを確認している。

地震観測記録の選定にあたっては、伝達関数の再現解析を行う上で、地盤の各深さ間の伝達関数に見られるピークを精度よく把握する必要があるため、加速度振幅の大きい地震を選定することとした。

選定する地震数としては、事業変更許可申請において地震動評価に用いるはぎとり地盤モデルを作成する際、2003年までに得られている13地震を対象に、本評価と同様の伝達関数の再現解析を実施していたことを踏まえ、概ね同数の地震を選定することとした。

「4.4.2 敷地における地震観測の概要」に示したとおり、2008年に西側地盤及び東側地盤の地震観測装置の移設を行っているが、本資料における検討においては、現時点にて移設後の地震観測記録が豊富に得られており、震源情報の整理も進んでいること、また、2011年東北地方太平洋沖地震等及びその余震を含む大加速度の地震についても地震観測記録が多く取得できていることから、移設後の2008年以降の地

震観測記録を用いて評価を行うこととした。

なお、事業変更許可申請に係る検討時点においては、移設後の地震観測地点における地震観測記録に対し、移設前の地震観測記録が多かったこと、また、移設前に観測された地震については震源情報等についても詳細に整理がなされていたことから、移設前の地震観測記録を用いた評価を行っていた。

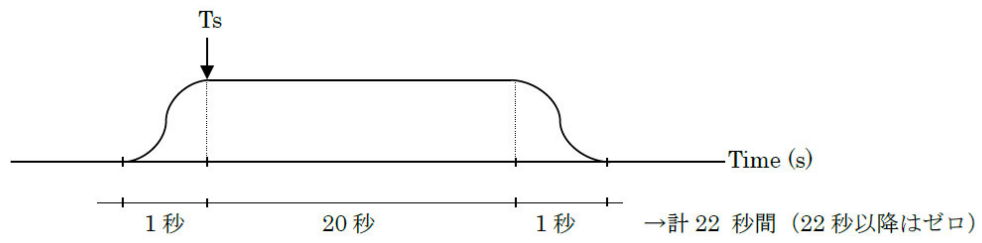
事業変更許可申請におけるはざとり地盤モデルは、敷地において得られた地震観測記録に基づいて解放基盤表面における基盤地震動を算定し、解放基盤表面において、敷地全体で概ね同等の地震動となることの確認に用いるものであったこと、また、基準地震動の策定において考慮する検討用地震に対して、断層モデルを用いた手法による地震動評価を行う際、経験的グリーン関数法による地震動評価に用いる要素地震として、主に2008年の観測装置移設前の時点に発生した地震観測記録に基づいて設定していたことから、この条件との整合性を考慮するために、移設前の地震観測地点における地震観測記録に基づいて設定していた。

また、後述の「4.4.5 目的関数の設定」において、上記の考え方により選定した地震が、敷地における地盤の振動特性を把握する上で十分であることを、地震数を増やした場合の伝達関数の平均値への影響の観点で確認する。

上記を踏まえ、中央、西側及び東側地盤観測点のそれぞれについて、第 4.4.2-1 図に示した移設後の地震観測期間内で、最深部（GL-200m）において、いずれかの成分で 10Gal 以上の最大加速度が得られている地震を選定することを基本とし、10Gal 以上の地震を選定した結果、その数が 10 地震に満たない場合は、選定基準を 5 Gal 以上に拡大し、10 地震以上のサンプルが得られるよう配慮した。

また、地震観測記録の波形に対する処理としては、直達波による影響を適切に考慮するため、TR 成分（各地震の震央方向に直行する方向の成分）に変換した後、第 4.4.3-1 図に示すように、S 波の初動以降を約 20 秒間切り出したものを用いた。

各地震観測点において評価に用いた地震の選定の考え方及び結果について、以下(1)～(3)に示す。



第 4.4.3-1 図 時刻歴波形の処理概要

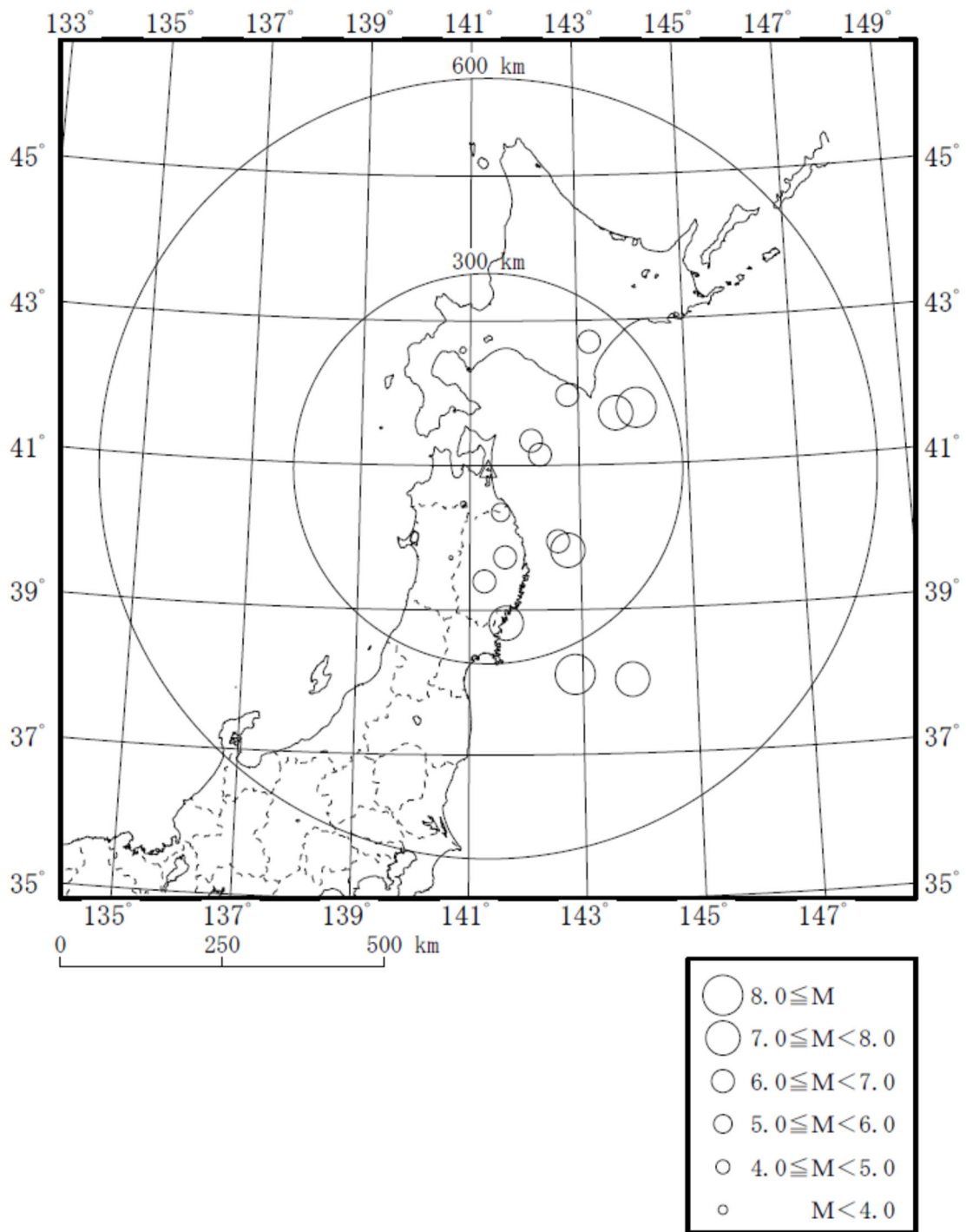
(1) 中央地盤観測点

中央地盤観測点においては、最深部（GL-200m）で 10Gal 以上の記録が得られている地震である 14 地震を選定し、各観測深さ（GL-200m, GL-125m, GL-18m 及び GL-2m）の地震観測記録を評価に用いた。

選定した地震を第 4.4.3-1 表に、選定した地震の震央分布を第 4.4.3-2 図に示す。

第 4.4.3-1 表 評価に用いる地震の選定結果（中央地盤観測点）

No.	年	月	日	時	分	震源地名	東経		北緯		M	深さ	震央距離	震源距離	GL-200m		
															NS	EW	UD
1	2001	12	2	22	1	SOUTHERN IWATE PREF	141	15.79	39	23.9	6.4	121.5	174	212	10.10	11.60	6.10
2	2002	10	14	23	12	E OFF AOMORI PREF	142	16.85	41	9.11	6.1	52.71	83	98	12.20	10.60	8.86
3	2003	5	26	18	24	NORTHERN MIYAGI PREF	141	39.04	38	49.26	7.1	72.03	239	250	12.50	12.40	10.50
4	2003	9	26	4	50	SE OFF TOKACHI	144	4.71	41	46.71	8.0	45.07	247	251	18.60	20.20	13.00
5	2003	9	26	6	8	SE OFF ERIMOMISAKI	143	41.49	41	42.59	7.1	21.41	215	216	21.30	17.00	13.20
6	2008	7	24	0	26	NORTHERN IWATE PREF	141	38.12	39	43.92	6.8	108.08	139	176	39.10	33.90	23.44
7	2011	3	11	14	46	FAR E OFF MIYAGI PREF	142	51.66	38	6.21	9.0	23.74	344	345	28.99	21.46	17.77
8	2011	3	11	15	8	E OFF IWATE PREF	142	46.01	39	49.24	7.4	32.02	176	179	17.93	18.83	11.97
9	2011	6	23	6	50	E OFF IWATE PREF	142	35.45	39	56.87	6.9	36.4	155	159	23.85	14.72	9.22
10	2012	5	24	0	2	E OFF AOMORI PREF	142	7.4	41	20.6	6.1	60	79	99	37.98	24.62	16.13
11	2012	12	7	17	18	OFF SANRIKU	143	52	38	1.1	7.3	49	393	396	11.17	11.14	10.32
12	2013	2	2	23	17	SOUTHERN TOKACHI REGION	143	13.6	42	42.1	6.5	102	249	269	10.48	12.00	5.61
13	2015	7	10	3	32	NORTHERN INLAND OF IWATE PREF	141	33.5	40	21.2	5.7	88	70	112	12.41	10.50	5.81
14	2016	1	14	12	25	OFF URAKAWA	142	41	48	58.2	6.7	52	166	174	12.07	13.32	8.62



第 4.4.3-2 図 評価に用いた地震の震央分布（中央地盤）

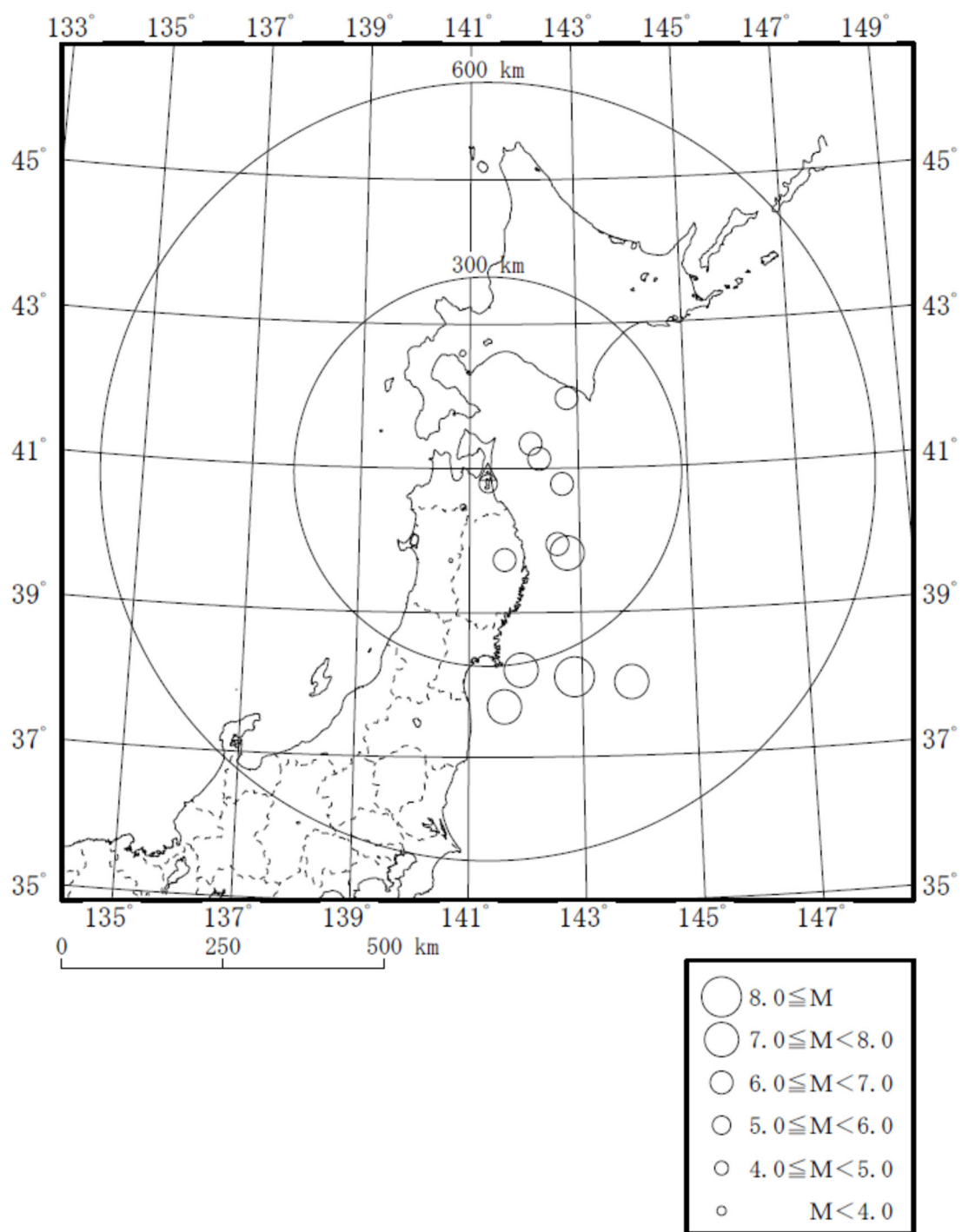
(2) 西側地盤観測点

西側地盤観測点においては、最新部（GL-200m）で 10Gal 以上の地震を選定した結果、NS 方向において 10Gal 以上の記録となっている地震は 9 つであったことから、選定基準を 5Gal に拡大し、全 12 地震を選定したうえで、各観測深さ（GL-200m, GL-125m, GL-18m 及び GL-2m）の地震観測記録を評価に用いた。

選定した地震を第 4.4.3-2 表に、選定した地震の震央分布を第 4.4.3-3 図に示す。

第 4.4.3-2 表 評価に用いる地震の選定結果（西側地盤観測点）

No.	年	月	日	時	分	震源地名	東経		北緯		M	深さ	震央距離	震源距離	GL-200m		
															NS	EW	UD
1	2008	7	24	0	26	NORTHERN IWATE PREF	141	38.12	39	43.92	6.8	108.08	139	176	41.72	54.67	24.37
2	2011	3	11	14	46	FAR E OFF MIYAGI PREF	142	51.66	38	6.21	9.0	23.74	344	345	28.57	21.73	17.18
3	2011	3	11	15	8	E OFF IWATE PREF	142	46.01	39	49.24	7.4	32.02	176	179	23.04	21.22	13.00
4	2011	4	7	23	32	E OFF MIYAGI PREF	141	55.21	38	12.25	7.2	65.89	310	317	10.67	11.23	7.90
5	2011	6	23	6	50	E OFF IWATE PREF	142	35.45	39	56.87	6.9	36.4	155	159	16.72	23.08	13.48
6	2012	5	24	0	2	E OFF AOMORI PREF	142	7.42	41	20.62	6.1	59.6	79	99	21.84	20.39	14.11
7	2012	12	7	17	18	FAR E OFF MIYAGI PREF	143	52.02	38	1.19	7.3	49	393	396	13.26	12.64	10.46
8	2014	8	10	12	43	E OFF AOMORI PREF	142	16.74	41	8.04	6.1	50.56	82	96	8.06	10.82	6.61
9	2016	1	14	12	25	S OFF URAKAWA	142	48.07	41	58.21	6.7	51.51	166	174	10.18	11.48	10.72
10	2019	8	15	14	32	SHIMOKITA PENINSULA REG	141	20.36	40	47.52	5.5	92.6	19	95	11.53	15.43	11.22
11	2020	12	21	2	23	E OFF AOMORI PREF	142	41.5	40	46.9	6.5	43	117	125	8.14	6.55	6.91
12	2022	3	16	23	36	OFF FUKUSHIMA PREF	141	37.3	37	41.8	7.4	57	363	367	9.00	10.27	7.08



第 4.4.3-3 図 評価に用いた地震の震央分布（西側地盤）

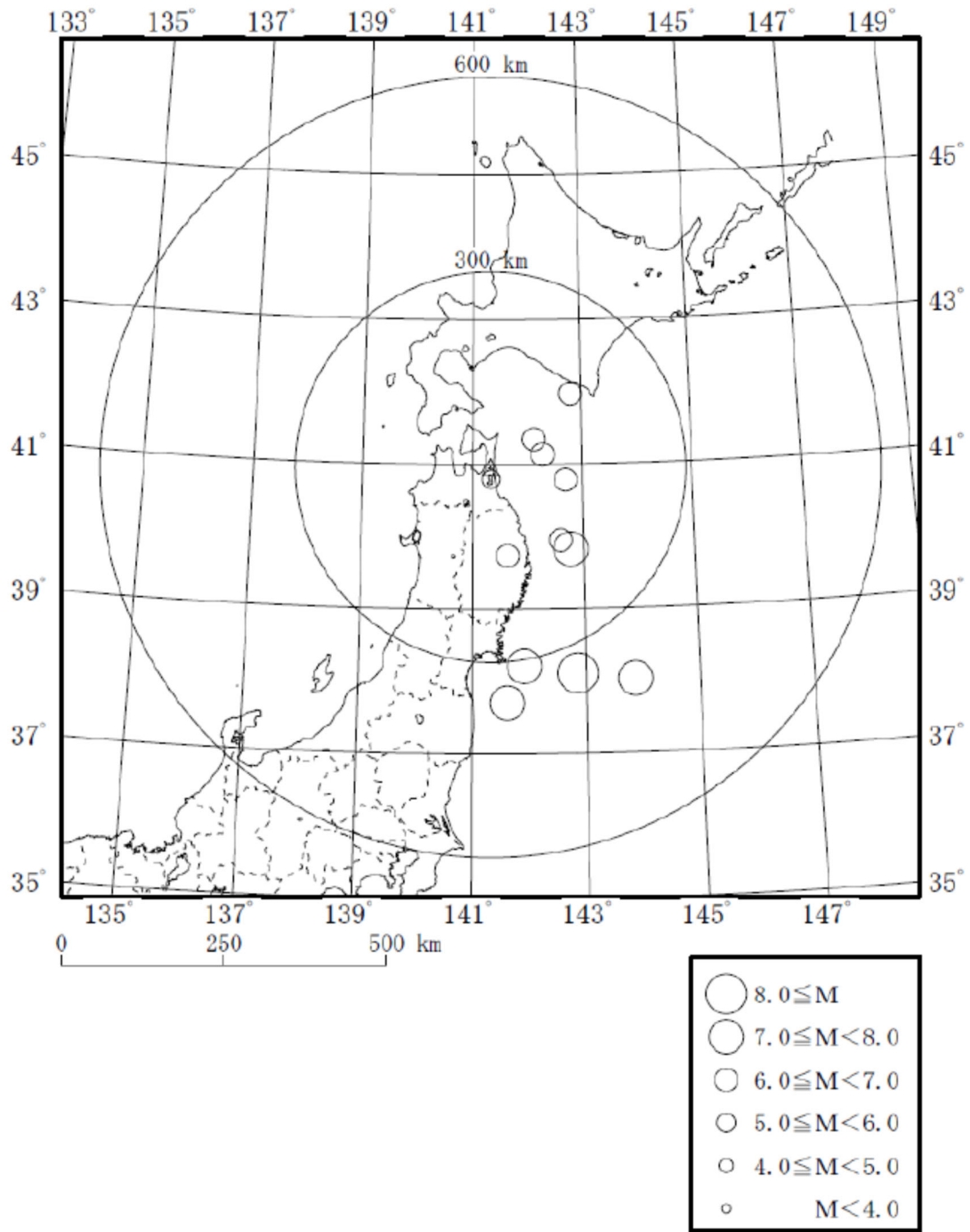
(3) 東側地盤観測点

東側地盤観測点においては、最新部（GL-200m）で 10Gal 以上の地震を選定した結果、NS 方向、EW 方向、UD 方向全てにおいて、10Gal 以上の記録となっている地震は 5 つであったことから、選定基準を 5Gal に拡大し、全 12 地震を選定したうえで、各観測深さ（GL-200m、GL-125m、GL-18m 及び GL-2m）の地震観測記録を評価に用いた。

選定した地震を第 4.4.3-3 表に、選定した地震の震央分布を第 4.4.3-4 図に示す。

第 4.4.3-3 表 評価に用いる地震の選定結果（東側地盤観測点）

No.	年	月	日	時	分	震源地名	東経		北緯		M	深さ	震央距離	震源距離	GL-200m		
															NS	EW	UD
1	2008	7	24	0	26	NORTHERN IWATE PREF	141	38.12	39	43.92	6.8	108.08	139	176	26.09	23.88	15.64
2	2011	3	11	14	46	FAR E OFF MIYAGI PREF	142	51.66	38	6.21	9.0	23.74	344	345	20.74	18.99	19.35
3	2011	3	11	15	8	E OFF IWATE PREF	142	46.01	39	49.24	7.4	32.02	176	179	12.46	17.57	11.74
4	2011	4	7	23	32	E OFF MIYAGI PREF	141	55.21	38	12.25	7.2	65.89	310	317	7.86	7.69	6.70
5	2011	6	23	6	50	E OFF IWATE PREF	142	35.45	39	56.87	6.9	36.4	155	159	13.04	11.57	10.52
6	2012	5	24	0	2	E OFF AOMORI PREF	142	7.42	41	20.62	6.1	59.6	79	99	19.16	14.87	13.92
7	2012	12	7	17	18	FAR E OFF MIYAGI PREF	143	52.02	38	1.19	7.3	49	393	396	7.87	8.60	7.97
8	2014	8	10	12	43	E OFF AOMORI PREF	142	16.74	41	8.04	6.1	50.56	82	96	6.80	8.17	5.55
9	2016	1	14	12	25	S OFF URAKAWA	142	48.07	41	58.21	6.7	51.51	166	174	9.05	7.75	6.79
10	2019	8	15	14	32	SHIMOKITA PENINSULA REG	141	20.36	40	47.52	5.5	92.6	19	95	9.13	8.59	5.85
11	2020	12	21	2	23	E OFF AOMORI PREF	142	41.5	40	46.9	6.5	43	117	125	5.12	6.56	5.07
12	2022	3	16	23	36	OFF FUKUSHIMA PREF	141	37.3	37	41.8	7.4	57	363	367	7.70	8.56	6.43



第 4.4.3-4 図 評価に用いた地震の震央分布 (東側地盤)

4.4.4 初期モデルの設定及び探索範囲

評価にあたっては、事業変更許可申請における基準地震動の策定において、各地震観測点の地震観測記録を再現するように作成しているはぎとり地盤モデルと同様に、第 4.4.2-2 図及び第 4.4.2-3 図に示した当該地震観測点における PS 検層結果から得られている密度及び 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変数として同定を行った。

この際、PS 検層結果による速度構造（S 波速度、P 波速度及びこれらの速度が切り替わる層境界深さ）をそのまま用いて初期モデルとして設定することを基本とするが、地震観測記録と同定された地盤パラメータに基づく理論伝達関数の適合性に課題が生じた場合においては、地震観測地点周辺の地質状況等を確認し、適合度の課題が生じている周期帯に対する影響を考察した上で、初期モデルの S 波速度構造や層厚又は層境界を適宜見直すこととする。

事業変更許可申請におけるはぎとり地盤モデルは、当該観測点の PS 検層結果から得られている密度及び S 波速度を初期モデルとして設定し、地震観測記録の伝達関数を再現するよう S 波速度及び減衰定数を変数として同定を行っている。減衰定数については、地震動評価において一般的に用いられている武村ほか(1993)*等の知見に基づき、振動数依存特性を考慮して同定を行っている。

本評価における減衰定数の評価にあたっては、速度構造及び減衰定数を変数とした収束計算を行うことにより、観測記録に適合する減衰定数を同定する。また、減衰定数の探索範囲は、岩盤部分では 0～10%、表層地盤では 0～20%とし、S 波速度及び P 波速度については、佐藤ほか(2006)において探索範囲を PS 検層結果に基づく地下構造を初期条件として、硬質層 ($V_s 1000\text{m/s}$ 以上) では 10～30%、軟質層 ($V_s 250\text{m/s}$ 及び $V_s 600\text{m/s}$) では約 50%としていることを踏まえ、敷地における PS 検層における速度の大きさや、後述の地震観測位置周辺の地下構造を踏まえて個別に設定した。

ここで、中央地盤観測点については、事業変更許可申請にてはぎとり地盤モデルを策定する際に、地震観測記録における振動特性を再現

するよう、既に現在の地震観測位置における PS 検層データから S 波速度も再設定しており、後述の目的関数に合致することを確認していることから、再設定後のはぎとり地盤モデルに設定している S 波速度を採用し、減衰定数のみを変数として設定することとした。

西側地盤及び東側地盤観測点については、事業変更許可申請における西側及び東側地盤のはぎとり地盤モデルを作成する際、移設前の地震観測位置の情報に基づいて S 波速度も再設定しており、移設後の位置における S 波速度の再設定は実施していない。「4.4.2 敷地における地震観測の概要」及び「4.4.3 評価に用いる地震観測記録」に示したとおり、西側地盤及び東側地盤観測点における評価では、近年得られた地震観測記録を用いるために、2008 年以降の移設後の地震観測点における地震観測記録を用いたことから、本評価にあたっては、移設後の地震観測点における PS 検層結果（第 4.4.2-3 図）における S 波速度を初期モデルとして設定することとし、減衰定数と S 波速度の両方を変数として設定することとした。

初期モデルの設定にあたっての地震観測位置ごとの考え方を、以下(1)～(3)に示す。

ここで、事業変更許可申請におけるはぎとり地盤モデルの作成においては、移設前の地震観測位置の情報に基づく速度構造及び減衰定数の同定により、地震観測記録をよく説明するモデルを作成できたことから、層境界深さについては同定における変数とはしていなかった。

ただし、本資料における検討に際しては、東側地盤及び西側地盤について、移設後の地震観測位置における同定を実施しており、西側地盤及び東側地盤については、上記方針に基づき設定した初期モデルを用いて速度構造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。このことを踏まえ、許可時点の検討から、移設後の地震観測地点における検討に変更したことにより、地震観測地点の地下構造の特徴についても許可時点から変更となっていることから、これについて改めて考察し、許可時には考慮していなかった層境界深さについても同定時の変数として設定することとした。

具体的には、以下(2)及び(3)に示すとおり、初期モデルの設定にあたり、地震観測地点近傍の地下構造を踏まえ、初期モデルにおいて考

慮する層境界の設定の見直し及び層境界深さを変数とした同定を行っている。

今回評価に用いた初期モデル及び減衰定数の探索範囲を、第 4.4.4-1 表～第 4.4.4-3 表に示す。

注記 * : 武村 雅之, 池浦 友則, 高橋 克也, 石田 寛, 大島 豊, : 堆積地盤における地震波減衰特性と地震動評価, 日本建築学会構造系論文報告集, 446, pp. 1-11, 1993.

(1) 中央地盤

中央地盤については、初期モデルの設定にあたり、事業変更許可申請におけるはぎとり地盤モデルにおける S 波速度及び P 波速度をそのまま設定している。

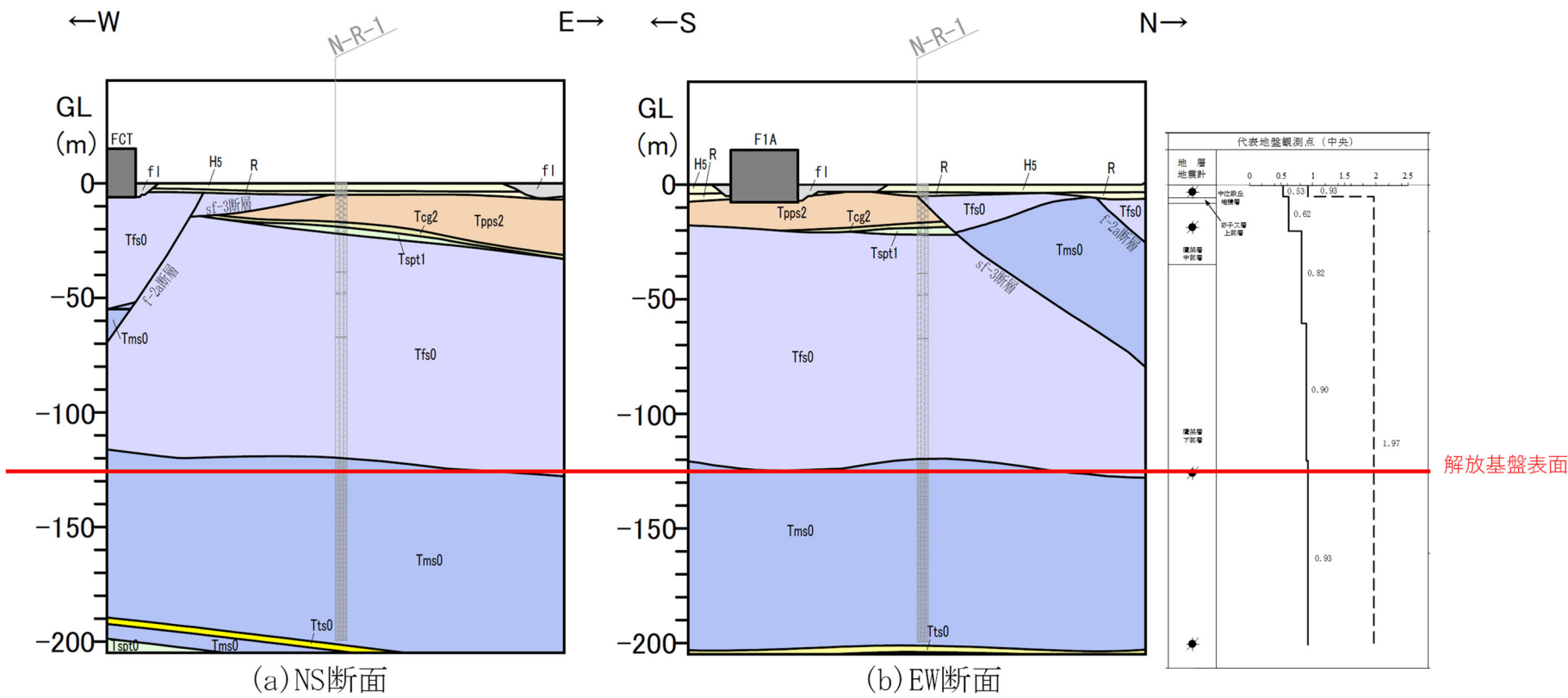
初期モデルの設定にあたっては、地震観測位置近傍の地下構造を確認しており、中央地盤については、第 4.4.4-1 図に示す地質断面図のとおり、約 GL-20m 以深においては、速度構造に大きな違いの無い細粒砂岩と泥岩で構成される鷹架層下部層が広がっており、地震観測位置近傍において、地盤応答に影響を与えるような速度構造の違いはないことを確認している。

一方、約 GL-20m 以浅においては、地震観測位置においては鷹架層中部層が分布していることに対し、地震観測位置近傍に分布する sf-3 断層よりも北側においては、地震観測位置では約 GL-20m 以深に分布する鷹架層下部層が、地表付近まで分布している。

仮に、鷹架層下部層が地表面付近まで分布していることが、地震観測位置における地盤の振動性状に影響を与えているとしても、同定において GL-20m 以浅における S 波速度及び P 波速度を変動させることで、新たに速度境界等を設定せずとも表現が可能であることから、初期モデルの設定にあたっては、地震観測位置における PS 検層結果に基づく S 波速度及び P 波速度をそのまま用いることに問題は無いと判断した。

「4.4.9 a. 伝達関数による評価結果（振動数依存性なし）」に示すとおり、中央地盤について、PS 検層結果に基づく S 波速度を初期モデルとして設定した場合、同定時の S 波速度の変動量に着目すると、GL-20m 以浅における速度構造が、初期地盤モデルでは $V_s 620\text{m/s}$ から、同定後には 720m/s と大きい値に変動している。

この同定結果は、地震観測記録と整合させる上で、地震観測位置近傍において鷹架層下部層が地表面付近まで分布していることも加味されたものとなったと考えられる。



第 4.4.4-1 図 中央地震観測点における地質断面図及び PS 検層結果

(2) 西側地盤

「参考 2 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価に関する補足検討結果」の「1.1 西側地盤における比較結果」に示したとおり、西側地盤については、PS 検層結果に基づく S 波速度を初期モデルと設定した場合、GL-18m/GL-200m の伝達関数において、0.1 秒よりも短周期側における地震観測記録に対し、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。

この要因を分析するために、まずは、地盤の固有周期に最も影響を与える層として、初期モデルのうち最も層厚の大きい GL-36.82m～-112.60m ($V_s550\text{m/s}$) の層に着目し、下記のとおり、地震観測地点周辺の地質構造の分析を行った。

西側地盤については、第 4.4.4-2 図に示す地質断面図のとおり、地震観測位置において、岩盤部分の泥岩（上部層）と表層地盤の砂子又層下部層の境界で速度のコントラストを有している。また、その境界については、同図 (a) の南北断面においては、地震観測位置の南側では概ね平坦となっているが、北側に向かって深くなる傾斜を有する傾向を有している。また、同図 (b) の東西断面より、地震観測位置周辺においては、この境界が、西側に向かって深くなる傾斜が現れており、地震観測位置の東側に比べ、西側でその傾斜が大きくなっている。

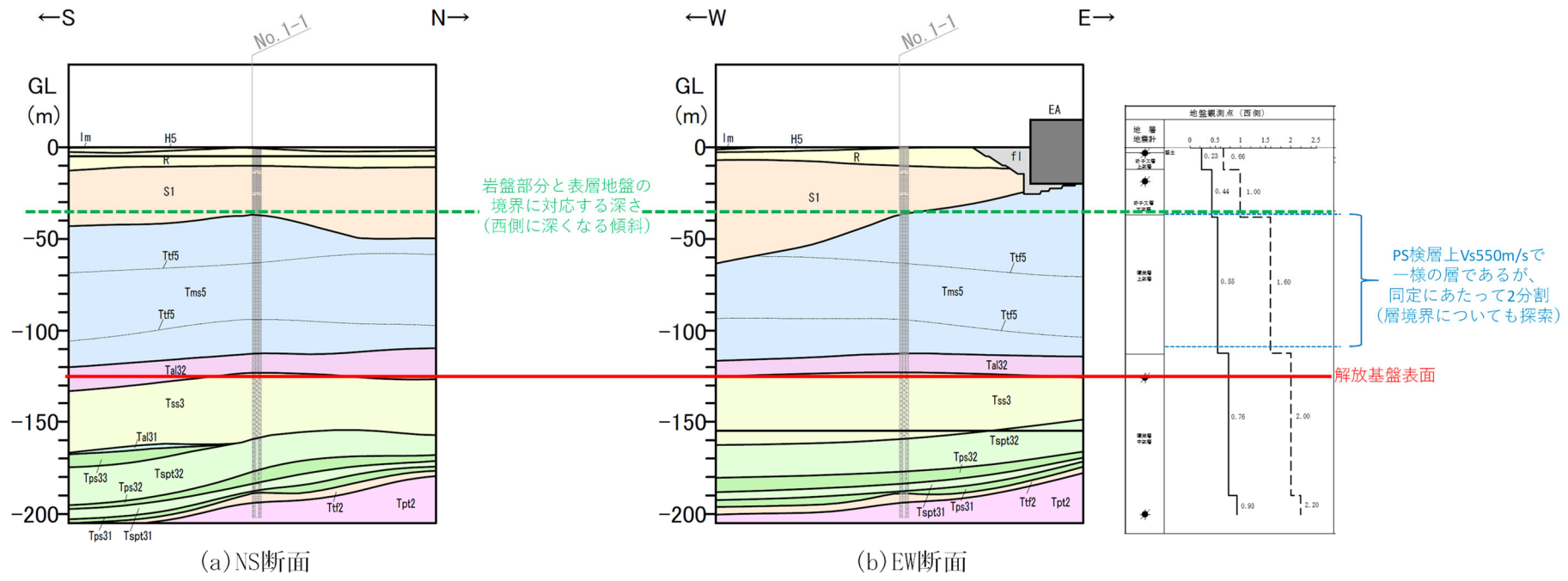
このことから、西側地盤における地震観測位置の地下構造としては、観測位置の北西側に向かって深くなるように岩盤部分と表層地盤の層境界が傾斜しており、高速度を示す岩盤である泥岩（上部層）の上端が、地震観測位置と比較して、その北西側では深部に分布していることにより、西側地盤における地震観測位置において、PS 検層位置の一点における鉛直方向の地盤の速度構造だけでなく、地震観測位置の周辺までを含めた面的な地盤の速度構造が地盤の振動に影響を与えている可能性が示唆される。

これにより、PS 検層結果に基づく初期モデルの設定及び同定の際には、当該層境界を PS 検層結果に基づく深さに固定して同定を行ったことで、観測事実上、高次成分のピークが現れる短周期帯において伝達関数を谷となるように評価されたと考えられる。

以上を踏まえ、西側地盤については、初期モデルの設定にあたり、地震観測位置の周辺までを含めた面的な地盤の速度構造を反映するため

に、PS 検層結果において $V_s550\text{m/s}$ の等速度層としてデータが得られている $\text{GL}-36.82\text{m}\sim-112.60\text{m}$ の層の中間に層境界を新たに考慮することにより、複数の層に細分化するとともに、当該層境界自体も探索対象とした。

さらに、表層地盤のうち、最も低速度層となる領域 ($V_s230\text{m/s}$ の $\text{GL}0\text{m}\sim-10.10\text{m}$) の間についても、周辺に六ヶ所層以外の地盤が分布していることを鑑み、同定の詳細化を目的として、層の細分化を行い、その層境界の深さについても探索対象とした。また、表層地盤の S 波速度及び P 波速度の探索範囲についても $\pm 30\%\sim 50\%$ に拡大した。



第 4.4.4-2 図 西側地震観測点における地質断面図及び PS 検層結果

(3) 東側地盤

「参考 2 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価に関する補足検討結果」の「1.2 東側地盤における比較結果」に示したとおり、東側地盤については、PS 検層結果に基づく S 波速度を初期モデルと設定した場合、GL-18m/GL-200m の伝達関数の一部周期帯（約 0.4 秒）において、同定結果における理論伝達関数が谷となり、地震観測記録との適合に課題が見られた。

この要因を分析するために、まずは、地盤の固有周期に最も影響を与える層として、初期モデルのうち最も層厚の大きい GL-18.68m～115.73m ($V_s 820\text{m/s}$) の層に着目し、下記のとおり、地震観測地点周辺の地質構造の分析を行った。

東側地盤については、第 4.4.4-3 図に示す地質断面図のとおり、地震観測位置において、敷地内の sf-4 断層が地下に分布している。

地震観測位置は sf-4 断層の下盤側に位置しており、初期モデルとしてまず設定することとなる同位置におけるボーリング調査及び PS 検層結果によれば、高速度を示す岩盤である軽石質砂岩及び細粒砂岩が概ね GL-120m 以深に分布している。

一方で、第 4.4.4-3 図に示すとおり、地震観測位置の北側及び西側近傍においては、同断層の上盤側の地盤が分布しており、高速度を示す岩盤である軽石質砂岩及び細粒砂岩が、浅部（概ね GL-50m 以深）に分布していることが確認できる。

このことから、東側地盤における地震観測位置の地下構造としては、高速度を示す岩盤が浅部に至っている地下構造となっていることにより、東側地盤における地震観測位置において、PS 検層位置の一点における鉛直方向の地盤の速度構造だけでなく、地震観測位置の周辺までを含めた面的な地盤の速度構造が地盤の振動に影響を与えている可能性が示唆される。

これにより、PS 検層結果に基づく初期モデルでは、本来高速度層として考慮すべき層を低速度層として設定したことで、観測事実上、伝達関数上谷とならない周期帯において谷として評価したと考えられる。

以上を踏まえ、東側地盤については、初期モデルの設定にあたり、地震観測位置の周辺までを含めた面的な地盤の速度構造を反映するために、PS 検層結果において $V_s 820\text{m/s}$ の等速度層としてデータが得られている GL-18.68m～115.73m の層の中間に層境界を新たに考慮するこ

とにより、複数の層に細分化するとともに、当該層境界自体も探索対象とした。さらに、探索範囲の設定として、設定した層境界の下部層における S 波速度の探索範囲上限を GL -115.73m 以深の層における PS 検層結果の S 波速度 (1100m/s) の +5% まで拡大して設定した。

さらに、表層地盤のうち、最も低速度層となる領域 (V_s 170m/s の GL0m ~ -14.73m) の間については、盛土が厚く分布し、盛土以外の地盤が分布していることを鑑み、同定の詳細化を目的として、層の細分化を行い、その層境界の深さについても探索対象とした。また、表層地盤の S 波速度及び P 波速度の探索範囲についても $\pm 10\% \sim 30\%$ に拡大した。

第 4.4.4-1 表 初期モデル及び減衰定数の探索範囲

中央地盤観測点

	深度 GL (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S 波速度 Vs(m/s)	P 波速度 Vp(m/s)	分類	減衰定数 h
地震観測位置→	0	2	1.94	470	1410	表層 1	0~0.2
	-2	1.5					
	-3.5	1.5					
地震観測位置→	-5	13	1.64	720	1640	表層 2	0~0.2
	-18	2					
	-20	40					
地震観測位置→	-60	60	1.75	760	1780	岩盤	0~0.1
			1.85	830	1860		
地震観測位置→	-120	5	1.85	950	1920	基盤	0~0.1
	-125	75					
地震観測位置→	-200	—					

第 4.4.4-2 表 初期モデル及び減衰定数の探索範囲
西側地盤観測点

	深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	P波速度 Vp(m/s)	分類	減衰定数 h
	GL 0m	2					
地震観測位置→	-2.00	(*2)	1.73	230 (±50%)	660 (±50%)	表層 1	0~0.2
	(*1)	(*2)					
地震観測位置→	-10.10	7.9	2.02	440 (±50%)	1000 (±30%)	表層 2	0~0.2
	-18.00	18.82					
	-36.82	(*2)	1.59	550 (±20%)	1600 (±10%)	岩盤	0~0.1
	(*1)	(*2)					
地震観測位置→	-112.60	12.40	1.75	760 (±20%)	2000 (±5%)	基盤	0~0.1
	-125.00	63.87					
地震観測位置→	-188.87	11.13	1.57	930 (±20%)	2200 (±5%)		
	-200.00	—					

注記 *1：地震観測地点の地質構造を踏まえ層境界を設定（境界深さも同定）

*2：境界深さの同定結果に応じた層厚を設定

第 4.4.4-3 表 初期モデル及び減衰定数の探索範囲
東側地盤観測点

	深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S 波速度 V_s (m/s)	P 波速度 V_p (m/s)	分類	減衰定数 h
地震観測位置→	0	2	1.69	170 (±30%)	510 (±30%)	表層 1	0~0.2
	-2.00	(*2)	1.69				
	(*1)	(*2)	1.69				
地震観測位置→	-14.73	3.27	1.72	310 (±10%)	950 (±20%)	表層 2	0~0.1
	-18.00	0.68	1.59	310(-10%) ~ 820(+10%)	1900 (±10%)	岩盤	0~0.1
	-18.68	(*2)		820(-10%) ~ 1100(+10%)			
地震観測位置→	-115.73	9.27	1.82	1100 (±10%)	2100 (±5%)	基盤	0~0.1
	-125.00	34.31					
	-159.31	40.69	1.90	1100 (±10%)	2300 (±5%)		
-200.00	—						

注記 *1 : 地震観測地点の地質構造を踏まえ層境界を設定 (境界深さも同定)

*2 : 境界深さの同定結果に応じた層厚を設定

4.4.5 目的関数の設定

同定にあたっては、当社事業変更許可申請において実績のある、はぎとり地盤モデルと同様に、収束計算に用いる目的関数を以下のとおり設定した。

目的関数は、「4.4.3 評価に用いる地震観測記録」に示した各地盤観測点において得られている地震観測記録に基づき算定した、各観測深さ間の伝達関数の平均値とする。各観測深さにおける水平成分の地震観測記録については、NS 成分及び EW 成分の地震観測記録に基づき Transverse 成分に変換し、伝達関数の算定を行った。

各観測深さ間の地震個別の伝達関数は、各深さの地震観測記録にフーリエスペクトルに 0.2Hz の Parzen Window を施した上で、2 点間の比として算定している。

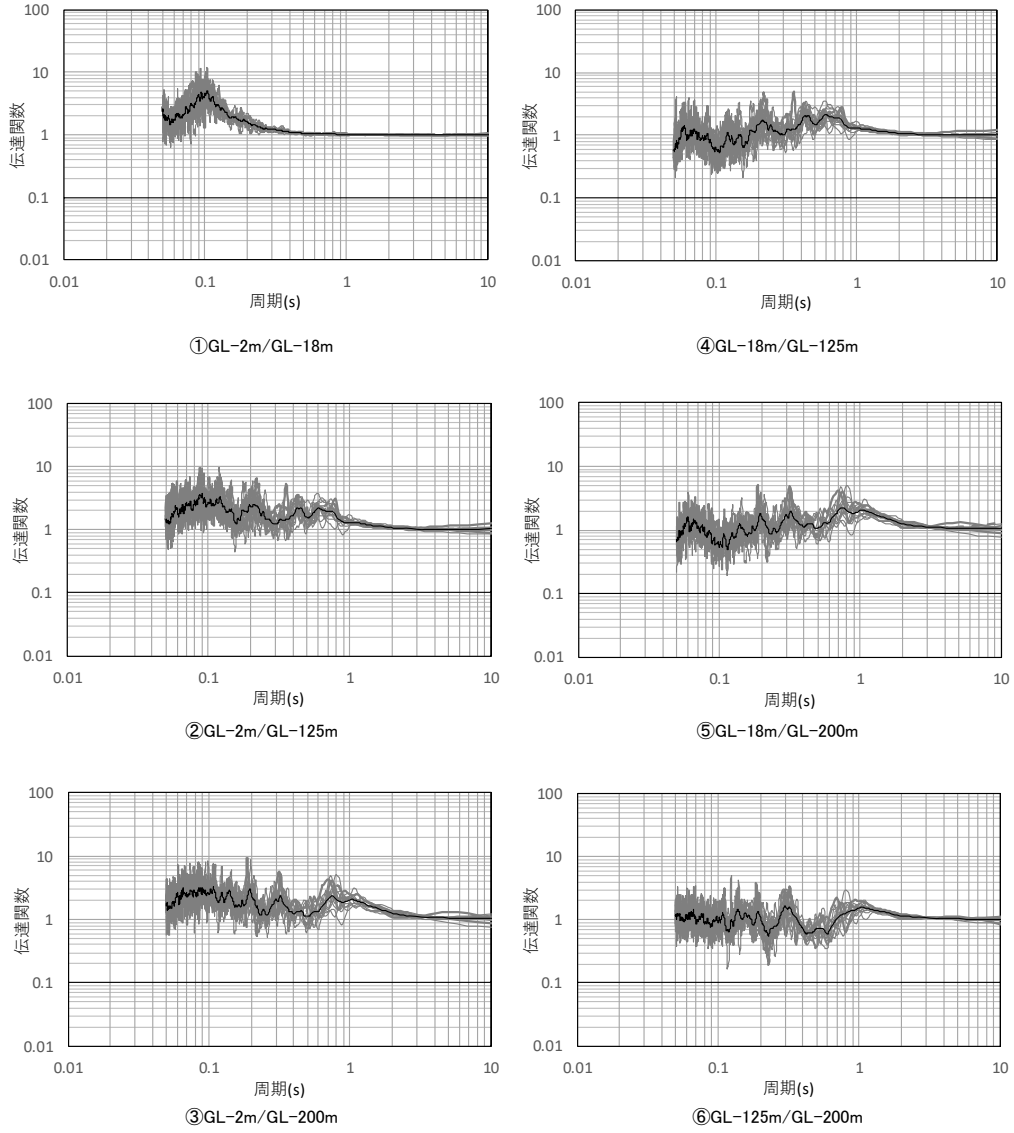
伝達関数は、表層地盤と岩盤部分を個別に同定するために、各観測深さ (GL-200m, GL-125m, GL-18m 及び GL-2m) 間のフーリエスペクトル比 (全 6 組合せ) として算定した。第 4.4.5-1 図～第 4.4.5-6 図に、地震観測記録に基づく、各深さ間の伝達関数の作成結果を示す。

さらに、「4.4.3 評価に用いる地震観測記録」にて選定した各地点における本評価に用いる地震についての十分性及び妥当性を確認するために、選定時の最大加速度の閾値を考慮せず、地震数を倍程度の 30 地震に増加させた場合の伝達関数の平均値を算定した。

地震数を増加させた場合の検討に用いた地震の諸元、震央分布及び伝達関数の平均値と、今回評価に用いる目的関数を比較した図を「参考 2 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価に関する補足検討結果」の「2. 地震数を増加させた場合の伝達関数への影響確認」に示す。

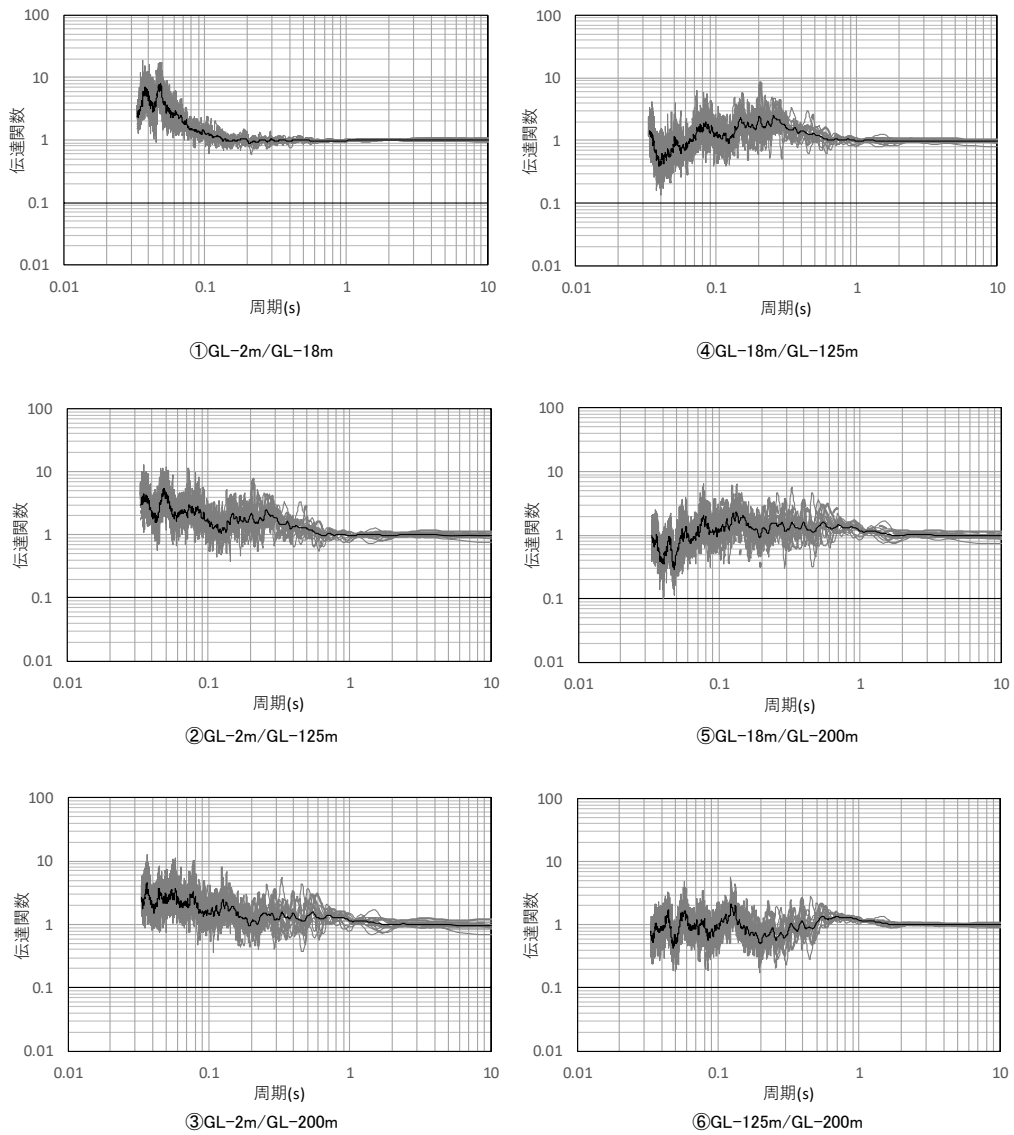
いずれの地点においても、地震数を増やした場合の伝達関数は、本評価に用いる伝達関数と有意な差は無いことから、「4.4.3 評価に用いる地震観測記録」にて選定した各地点における本評価に用いる地震は、敷地の振動特性を捉える上で十分な選定結果となっていることを確認した。

—— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 —— 個別地震の観測記録の伝達関数



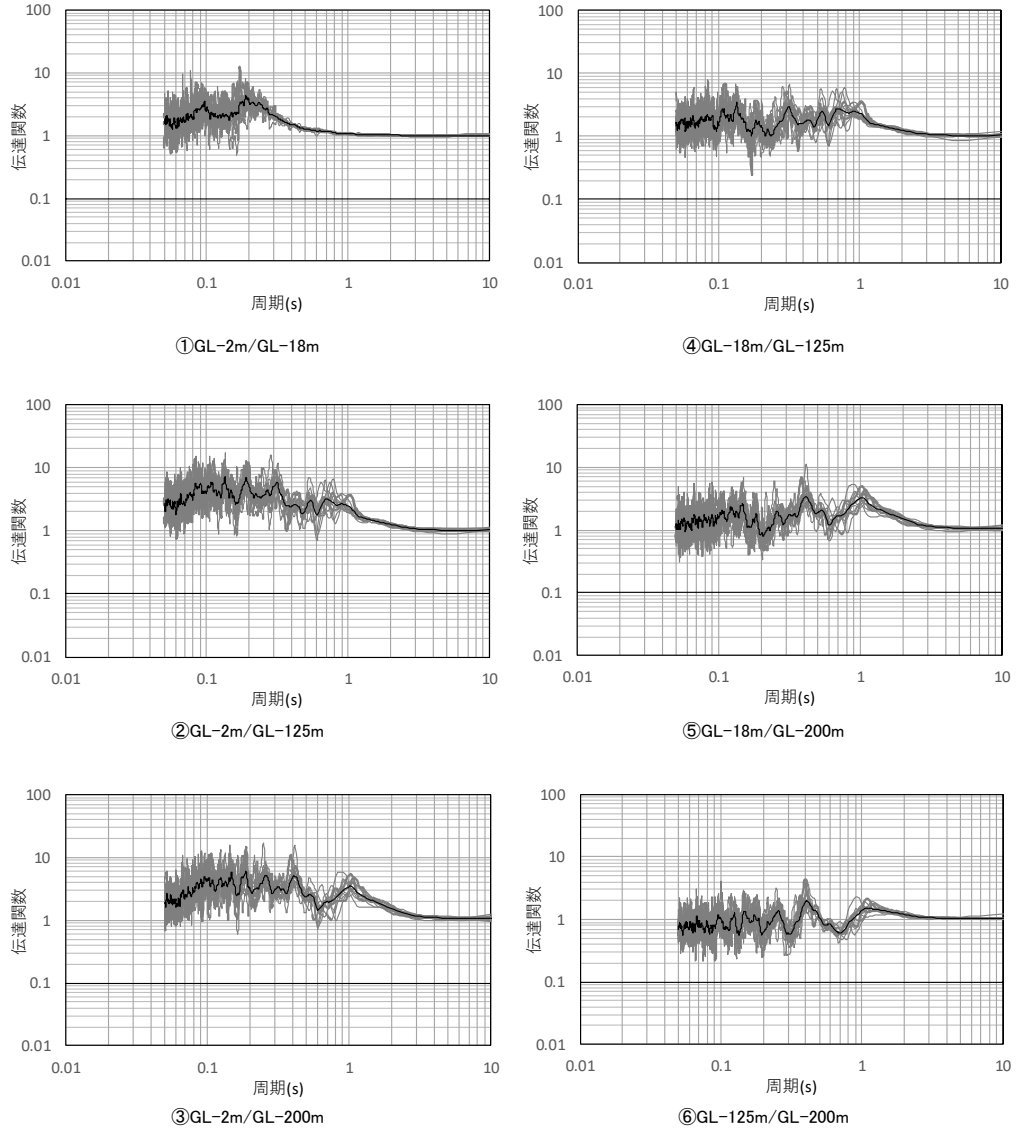
第 4.4.5-1 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数
 （中央地盤観測点，水平）

—— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 —— 個別地震の観測記録の伝達関数



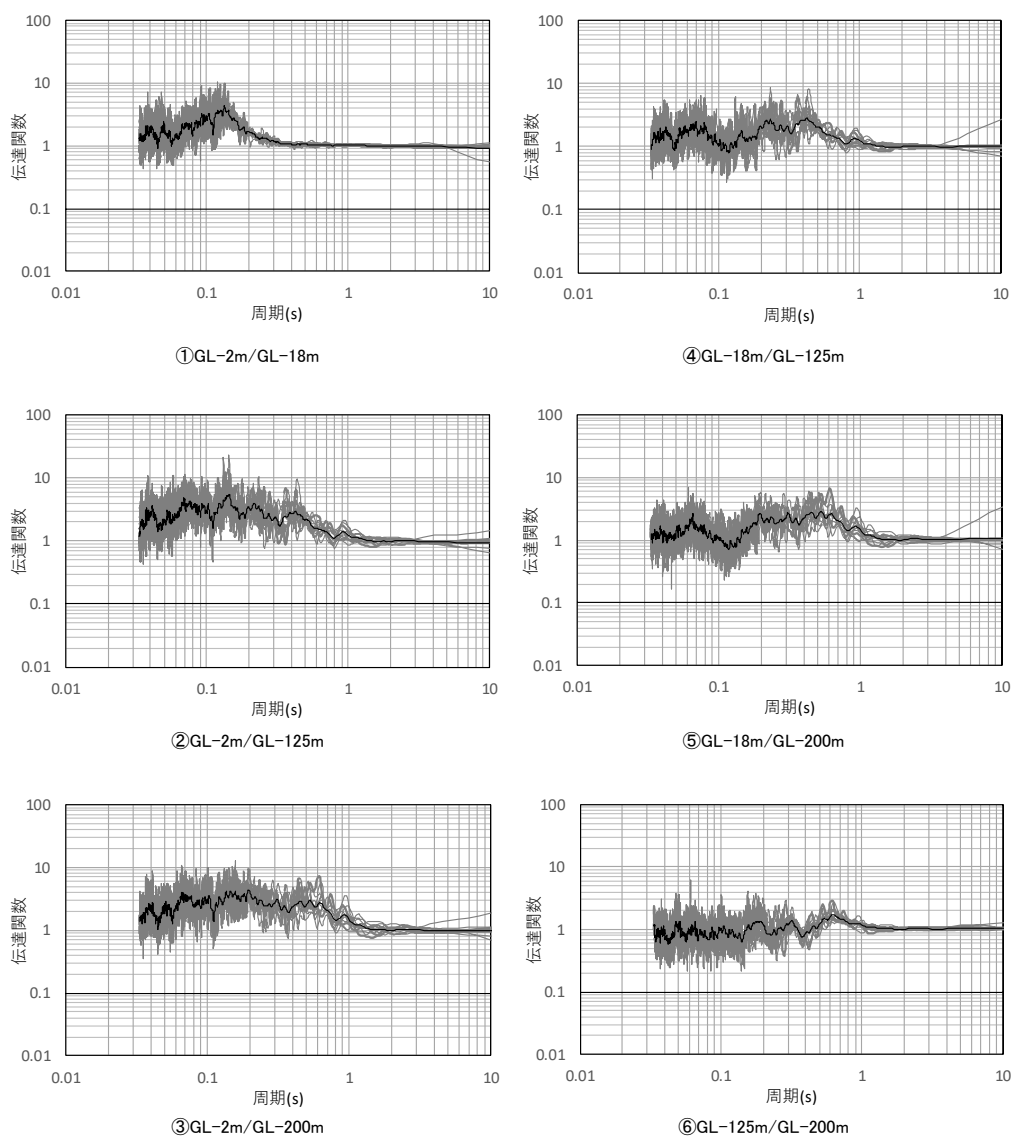
第 4.4.5-2 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数
 （中央地盤観測点，鉛直）

—— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 —— 個別地震の観測記録の伝達関数



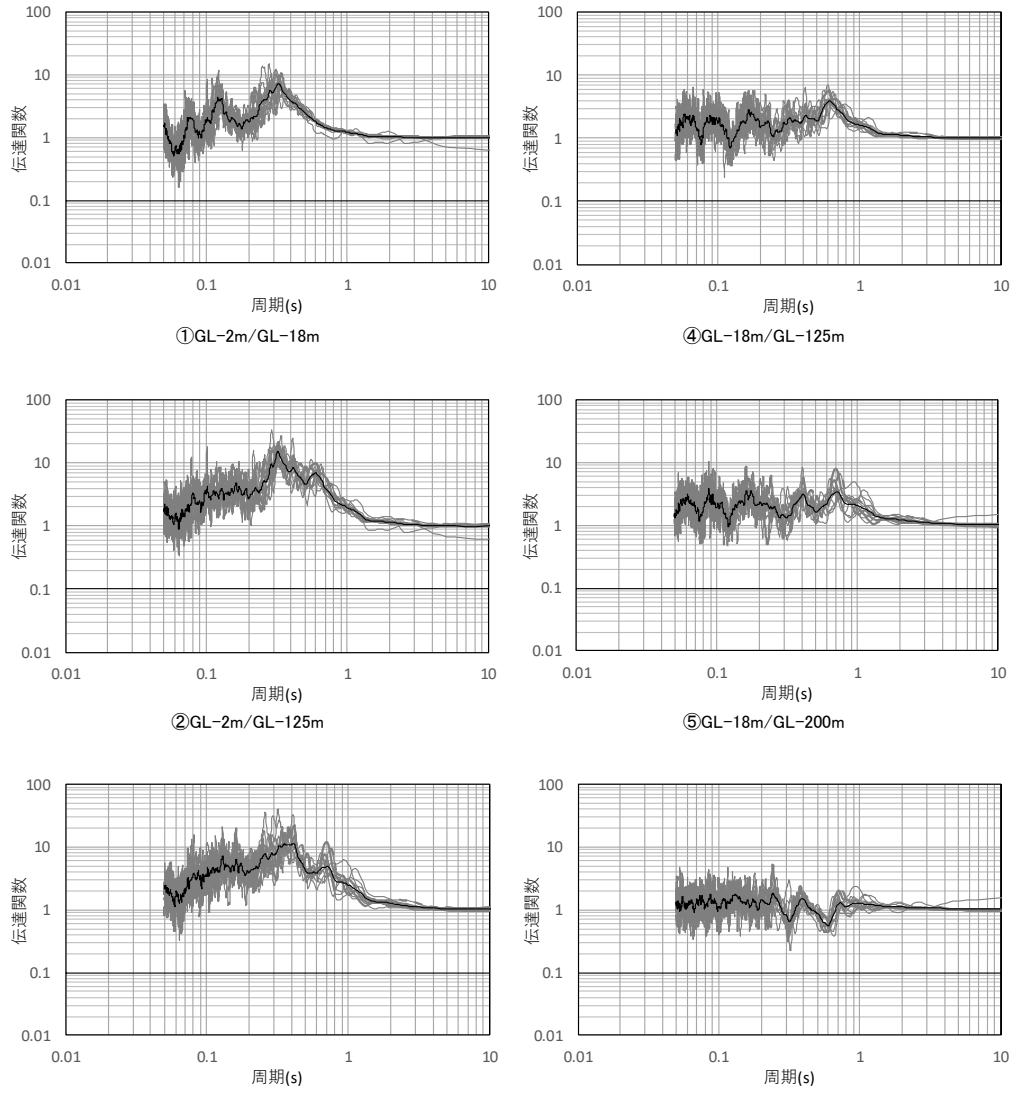
第 4.4.5-3 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数
 （西側地盤観測点，水平）

—— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 —— 個別地震の観測記録の伝達関数



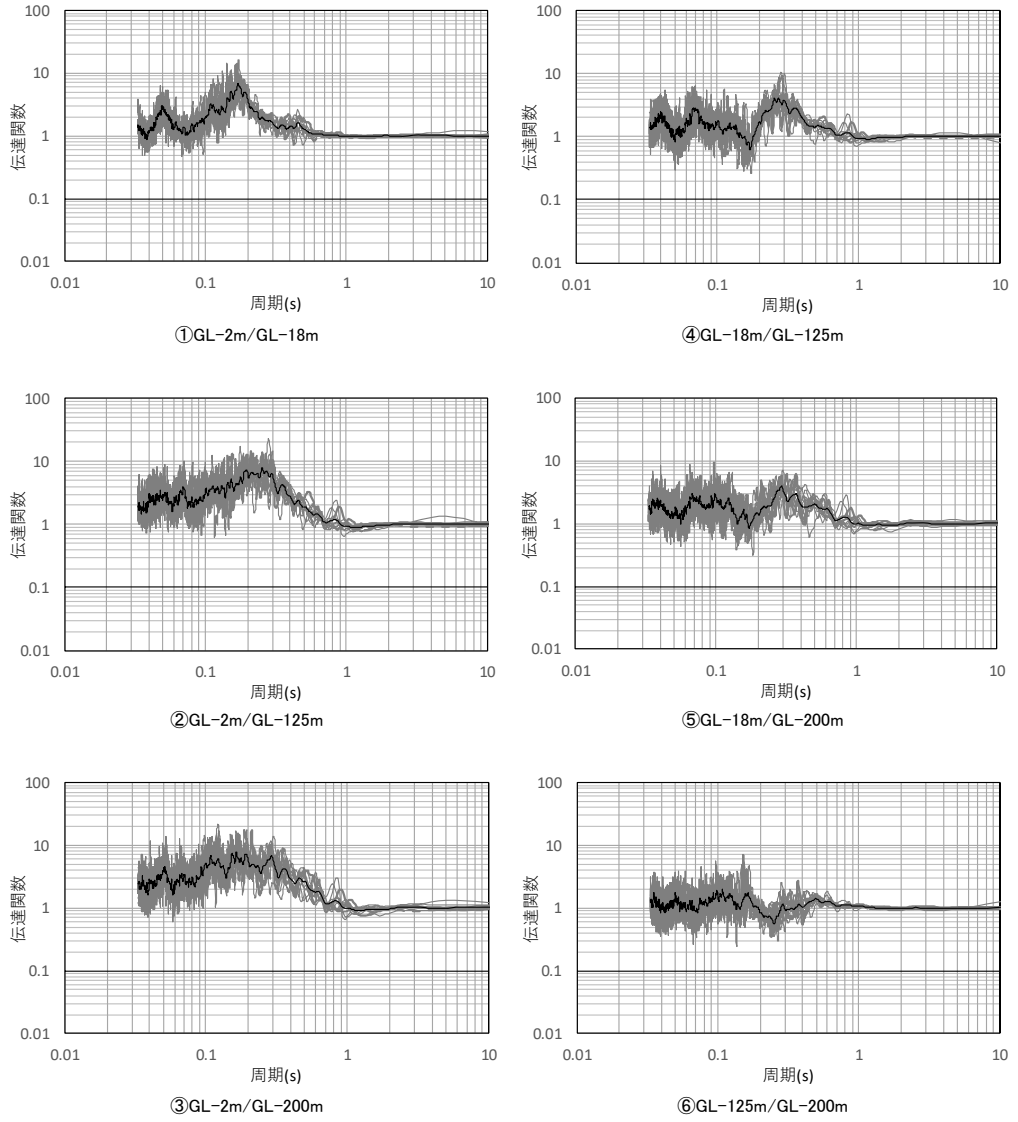
第 4.4.5-4 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数
 （西側地盤観測点，鉛直）

—— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 —— 個別地震の観測記録の伝達関数



第 4.4.5-5 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数
 （東側地盤観測点，水平）

—— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 —— 個別地震の観測記録の伝達関数



第 4.4.5-6 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数
 （東側地盤観測点，鉛直）

4.4.6 減衰定数の振動数依存特性の考慮

各深さの地震観測記録に対し，以下のとおり，実現象に対する説明性を考慮し，3種類の減衰モデルを考慮した検討を実施する。各減衰モデルの考え方の概要を第4.4.6-1表に示す。

下記(1)及び(2)に示す振動数依存特性を考慮する場合の設定の評価結果については，「4.4.8 振動数依存性を考慮する場合の評価結果」にて，リニア型とバイリニア型の評価結果の比較とともに示す。下記(3)に示す振動数依存性を考慮しない場合の設定の評価結果については，「4.4.9 振動数依存性を考慮しない場合の評価結果」にて，振動数依存性を考慮した場合の評価結果との比較とともに示す。

(1) 振動数依存性を考慮する設定（リニア型）

武村ほか（1993）*等の知見に示されるように，振動数のべき乗に比例する関数モデル（ $h=h_0 \times f^{-n}$ ）を仮定し，減衰定数を同定する。

このモデルは，地震観測記録に基づく地盤の減衰定数の評価に係る各種文献において採用されている設定であり，実観測記録に対する再現性に優れたモデルである。

注記 *：武村 雅之，池浦 友則，高橋 克也，石田 寛，大島 豊，：堆積地盤における地震波減衰特性と地震動評価，日本建築学会構造系論文報告集，446，pp.1-11，1993.

(2) 振動数依存性を考慮する設定（バイリニア型）

佐藤ほか（2006）*の知見に示されるように，低振動数側では減衰定数が振動数のべき乗に比例（ $h=h_0 \times f^{-n}$ ）し，ある振動数より高振動数側では下限値で頭打ちするバイリニア型関数モデルを仮定し，減衰定数を同定する。

バイリニア型の減衰定数は，佐藤ほか（2006）において，材料減衰と散乱減衰の両方が考慮されたモデルとされており，高振動になるに従って減少する散乱減衰が，ある振動数以上で，振動数に依存しない材料減衰が支配的になり，一定の値を示すとの考え方に基づいている。すなわち，バイリニア型の減衰定数における低振動数側の振動数に依存する領域を散乱減衰として，高振動数側の一定値となっている減衰定数を材料減衰としてみなしている。

同定にあたっては，S波速度については，各振動数帯における伝達関数のピークについては，「(1) 振動数依存性を考慮する設定（リニア型）」において再現されるように既に同定が行われていることから，S波速度は「(1) 振動数依存性を考慮する設定（リニア型）」のものをを用い，減衰定数のみを変数として同定を実施する。

ここで，同定にあたっては，折れ点の振動数 f_0 を探索パラメータとすることが考えられるが，以下の考え方により，10Hz に固定した条件とする。

敷地の岩盤部分における高振動数側の減衰定数の傾向については，「5. 敷地におけるS波検層による評価結果」に示している。敷地内のS波検層結果によれば，減衰定数の振動数依存性については，西側地盤及び東側地盤では約20Hz以降でやや高振動数側で減衰定数の減少が緩やかになる傾向がみられる。中央地盤では同様の傾向は明瞭に確認できない結果が得られており，少なくとも減衰定数が頭打ちとなるのは，中央地盤のS波検層の評価区間である30Hzよりも高振動数側であると考えられる。

後述のとおり，伝達関数による減衰定数の同定としては，水平方向で0～20Hzの範囲が信頼区間となっていることから，バイリニア型の折れ点の振動数 f_0 は，敷地においては信頼区間外となり，同定の精度が確保できない可能性がある。

以上のことから，本検討におけるバイリニア型の減衰定数の同定は，リニア型の減衰定数の同定結果に対する伝達関数及び応答スペクトルの

感度を比較することを目的とし、佐藤ほか（2006）の知見における f_0 の範囲 10Hz～20Hz のうち、低振動数側の 10Hz 以上の高振動数側で頭打ちすることを仮定することで、上記「(1) 振動数依存性を考慮する設定（リニア型）」における設定との差が最大になるように設定する。

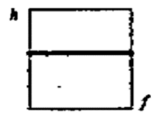

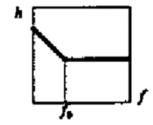
注記 *：佐藤 浩章，金谷 守，大鳥 靖樹：減衰定数の下限値を考慮したスペクトル比の逆解析による同定手法の提案-岩盤における鉛直アレイ記録への適用と減衰特性の評価-，日本建築学会構造系論文報告集第 604 号，p55-62，2006.

(3) 振動数依存性を考慮しない設定

上述のとおり、実際の地盤並びに地震観測記録に見られる特徴に対しては、減衰定数に振動数依存性を考慮した設定が、既往知見においても適合するものとされているが、耐震設計上、一般的に広く用いられている設定である振動数依存性を考慮しない条件における減衰定数を考慮した場合についても、地震観測記録を説明可能な減衰定数の評価を行う。

評価手法及び評価に用いる地震については、振動数依存性を考慮する設定と同様の評価条件とし、減衰定数の同定に係る振動数依存性の条件のみ、全振動数において一定となる条件設定を行った。

第 4.4.6-1 表 減衰定数の振動数依存性の考え方

種別	減衰定数モデル式	モデル形状	文献
周波数依存性なし	$h=h_0$		Ohta(1975) 等
周波数依存型 (リニア型)	$h(f)=h_0f^{-n}$		Takemura et al. (1993)等
周波数依存型 (バイリニア型)	$h(f)=h_0f^{-n} \quad (f \leq f_0)$ $h(f)=h_0f_0^{-n} \quad (f > f_0)$		佐藤ほか (2006)

注記 バイリニア型における f_0 の値は 10Hz と設定。

4.4.7 評価方法及び条件

伝達関数による検討の方法としては、地震観測記録の得られている地盤の各深さ（GL-200m, GL-125m, GL-18m 及び GL-2m）間の地震動の増幅特性を最もよく説明する減衰定数を、地震観測点ごとに遺伝的アルゴリズム法により同定し、その値が地震観測記録の応答スペクトルを再現可能であることを確認する。解析条件を第 4.4.7-1 表に示す。

なお、対象とする振動数範囲については、水平及び鉛直方向ともに 0 Hz～としており、長周期側も対象として同定を実施している。例えば佐藤ほか（2006）における地震観測記録を用いた地盤物性及び減衰定数の同定解析の実績においては、地盤の 1 次固有周期よりも長周期側については同定の対象外としているが、地盤の 1 次固有周期よりも長周期側の地震動については、地盤の速度構造による増幅による影響は小さく、さらに、長周期地震動は波長が長く、地中を伝播する地震波のサイクル数が短周期側と比較して少なくなることから、減衰定数の設定が伝達関数に及ぼす影響は非常に小さく、増幅率に相当する伝達関数の大きさが概ね 1 に収束することから、佐藤ほか（2006）の実績に対して外挿となる範囲においても適用範囲とすることに問題はないと判断した。

なお、「参考 2 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価に関する補足検討結果」の「3. 長周期側の減衰定数を一定条件とした場合のシミュレーション解析結果」に、「4.4.8 a. 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）」に示す振動数依存性を考慮した減衰定数（リニア型）の同定結果に対し、周期 1 秒以降の長周期側の減衰定数を、仮に一定値とした場合に地震観測記録のシミュレーション結果に与える影響を示す。長周期側の減衰定数を一定値とした場合についても、伝達関数及び地震観測記録のシミュレーション結果の応答スペクトルに差が生じないことを確認している。

第 4.4.7-1 表 遺伝的アルゴリズム法による解析条件

未知数	減衰定数 (h)
世代交代数	30 世代
個体数	30 固体
突然変異率	2 %
交差率	70%
未知変数のビット長	8 ビット
対象とする振動数範囲	0 ~ 20Hz (水平) 0 ~ 30Hz (鉛直)

4.4.8 振動数依存性を考慮する場合の評価結果

a. 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）

「4.4.7 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 4.4.8-2 図～第 4.4.8-5 図及び第 4.4.8-8 図～第 4.4.8-9 図（中央地盤）、第 4.4.8-11 図～第 4.4.8-14 図及び第 4.4.8-17～第 4.4.8-18 図（西側地盤）及び第 4.4.8-20 図～第 4.4.8-23 図及び第 4.4.8-26 図～第 4.4.8-27 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 4.4.8-1 図及び第 4.4.8-7 図（中央地盤）、第 4.4.8-15 図及び第 4.4.8-16 図（西側地盤）及び第 4.4.8-24 図及び第 4.4.8-25 図（東側地盤）にグラフとして示す。なお、本グラフについては、「4.4.7 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。

減衰定数の評価結果を確認するにあたっては、入力地震動を算定する上で、応答スペクトルの大きさや周期特性に対して支配的となる地盤の 1 次及び 2 次の伝達関数のピーク周期がよく再現されているかに着目して行う。さらに、本モデル（リニア型・バイリニア型）による同定結果については、1 次及び 2 次のピークにおける伝達関数の大きさについても着目し、地震観測記録と乖離していないことを確認する。

(1) 中央地盤観測点

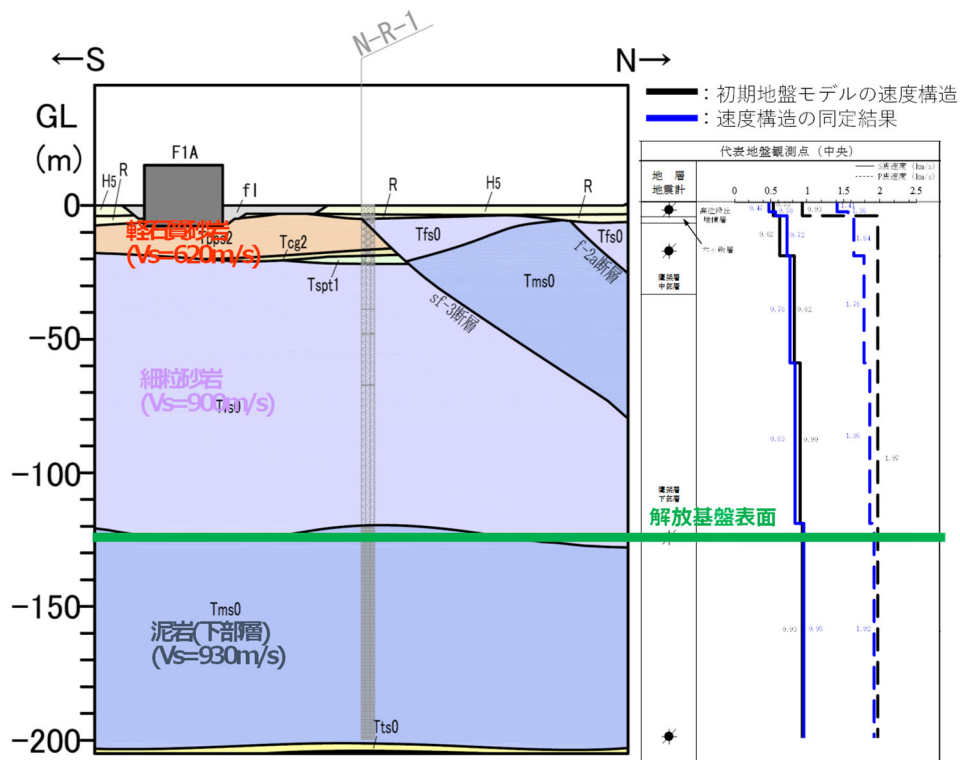
中央地盤における伝達関数による地盤物性及び減衰定数の同定結果について以下に示す。

- ・ 第 4.4.8-1 図に示すとおり、同定された速度構造は、初期地盤モデルにおいて深部に向かって高速度となるもののそのコントラストは小さいとの傾向に対し、途中層での速度の逆転などの特異な結果とはなっていない。その上で、速度構造が寄与する伝達関数の 1 次及び 2 次ピークの周期について良い再現性を示している。また、同定前後のポアソン比の比較を第 4.4.8-1 表に示すが、本同定に当たっては V_s と V_p を個別に同定していることからポアソン比の値は変動しているものの、その値は同定後においても 0.5 を上回ることは無く、物理的に不自然な速度構造とはなっていないことを確認した。
- ・ 水平成分の伝達関数の傾向としては、第 4.4.8-2 図及び第 4.4.8-4 図に示すとおり、リニア型及びバイリニア型のいずれについても、建物・構築物の固有周期帯（約 0.2～0.3 秒）を含む周期 0.2 秒よりも長周期側において、伝達関数の各周期帯におけるピークをよく再現している。また、周期 0.2 秒よりも短周期側においては、目的関数に明瞭な周期ごとのピークが明確になっていない傾向となっており、同定結果における高次数ピークと整合しない周期帯があるものの、全体的に伝達関数のレベルに大きな差異は無い。
- ・ 特に、入力地震動を算定する上で、応答スペクトルの大きさや周期特性に対して支配的となる地盤の 1 次及び 2 次の伝達関数のピークについては、いずれの深さ間の伝達関数においてもよく再現されていることを確認した。
- ・ 鉛直成分の伝達関数の傾向としては、第 4.4.8-3 図及び第 4.4.8-5 図に示すとおり、概ね全周期帯において、伝達関数の各周期帯におけるピークをよく再現している。また、第 4.4.8-7 図に示すとおり、減衰定数の値としては、水平方向よりも大きい値を与えることを確認した。
- ・ 第 4.4.8-6 図及び第 4.4.8-7 図に示すとおり、リニア型とバイリニア型の減衰定数は、折れ点として設定した 0.1 秒よりも短周期側では、リニア型については約 1%～4%の範囲で長周期側になるに従い大きくなる値が得られ、バイリニア型では約 4%の一定の値として得られた。折れ

点として設定した 0.1 秒よりも長周期側では、リニア型とバイリニア型ともに、建物の固有周期帯である 0.2～0.3 秒で 10～15% 程度の減衰定数が得られた。

- ・ 第 4.4.8-8 図及び第 4.4.8-9 図に示すとおり、リニア型とバイリニア型による伝達関数を比較すると、周期 0.1 秒付近で若干の差異があるものの、今回同定の範囲 (0～20Hz) で、かつ減衰定数の設定が異なる 10Hz 以上に対応する周期帯 (0.05～0.1 秒) においても伝達関数に対する感度は有していない結果が得られた。
- ・ 耐震設計において入力地震動を評価する建物・構築物の周辺は、埋戻し土等が分布しており、地震観測位置とは表層地盤の地下構造が異なるものの、本地震観測点における表層地盤の分布はごく薄く、岩盤部分の減衰定数の評価結果に与える寄与としては小さいと考えられる。

以上のことから、中央地盤について、振動数依存性を考慮した岩盤部分の減衰定数は、地震観測記録をよく再現する値が得られたと考えられる。



第 4.4.8-1 図 同定された速度構造と地下構造の比較（中央地盤）
（地下構造は NS 断面を代表として示す）

第 4.4.8-1 表 同定結果のポアソン比の確認結果（中央地盤）

深度 GL (m)	層厚 (m)	ポアソン比 ν^*	
		PS検層結果	同定結果
0	2.00	0.260	0.438
-2.00	1.50	0.260	0.438
-3.50	1.50	0.260	0.426
-5.00	13.00	0.445	0.381
-18.00	2.00	0.445	0.381
-20.00	40.00	0.395	0.389
-60.00	60.00	0.368	0.376
-120.00	5.00	0.357	0.338
-125.00	75.00	0.357	0.338
-200.00	-	0.357	0.338

注記 * : ポアソン比はS波速度及びP波速度に基づき算定

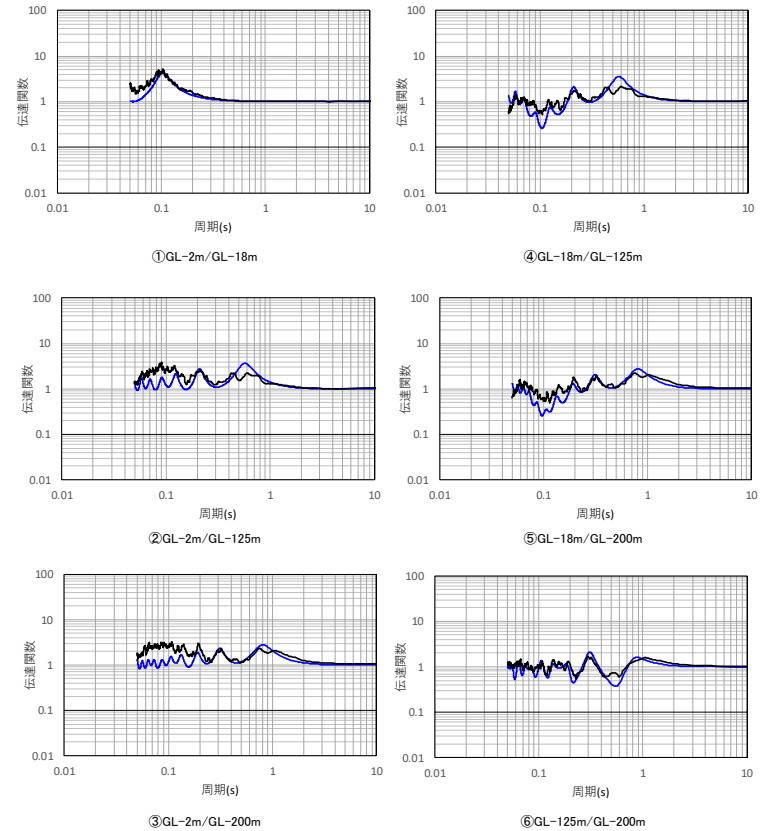
深度 GL (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h^{*1}		
					分類	h ₀	n
0	1	2	1.94	470	表層 1	0.3	0.8
-2	2	1.5					
-3.5	3	1.5	1.64	720	表層 2	0.5	0.5
-5	4	13					
-18	5	2	1.75	760	岩盤	0.3	0.9
-20	6	40					
-60	7	60	1.85	830	岩盤	0.3	0.9
-120	8	5					
-125	9	75	1.85	950	基盤	0.3	0.9
-200	10	—					

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

注記 *1: 振動数依存減衰 $h=h_0 \cdot f^{-n}$

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G.L. -120m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h_0=0.30$ 、 $n=0.90$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

— 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)



(a) 同定された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

第 4.4.8-2 図 伝達関数による同定結果 (中央地盤観測点: 振動数依存型 (リニア型), 水平)

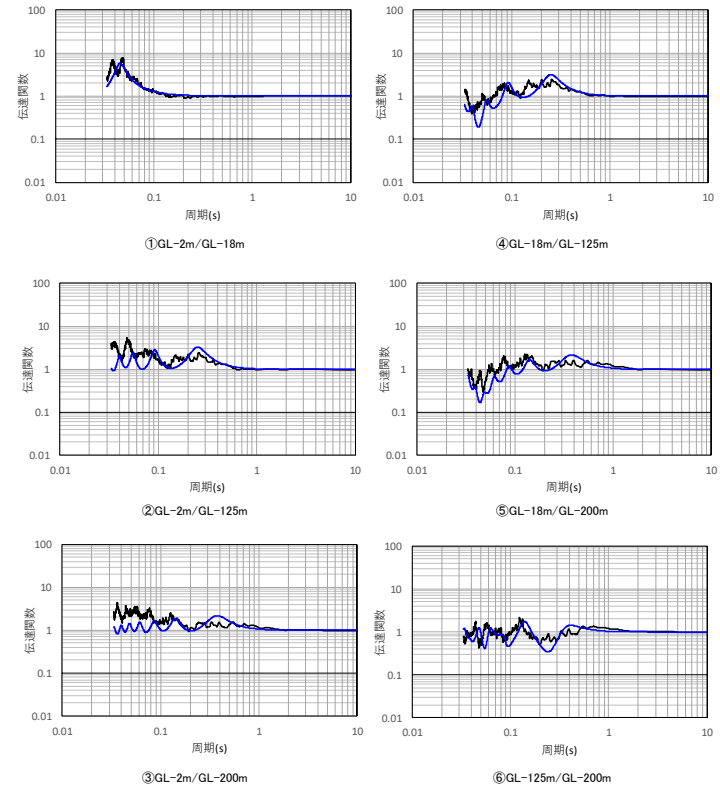
— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 — 周波数依存型（リニア型）

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^{*1}		
					分類	h ₀	n
GL 0m	1	2	1.94	1410	表層 1	0.5	0.8
-2.0	2	1.5					
-3.5	3	1.5					
-5.0	4	13	1.64	1640	表層 2	0.7	0.6
-18.0	5	2					
-20.0	6	40	1.75	1780	岩盤	0.8	1.0
-60.0	7	60	1.85	1860			
-120.0	8	5	1.85	1920			
-125.0	9	75					
-200.0	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

注記 *1: 振動数依存減衰 $h = h_0 \cdot f^{-n}$

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G.L. -120m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h_0 = 0.80$ 、 $n = 1.00$ となり、上記代表値と大きな差は無い。



(a) 同定された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

第 4.4.8-3 図 伝達関数による同定結果（中央地盤観測点：振動数依存型（リニア型）、鉛直）

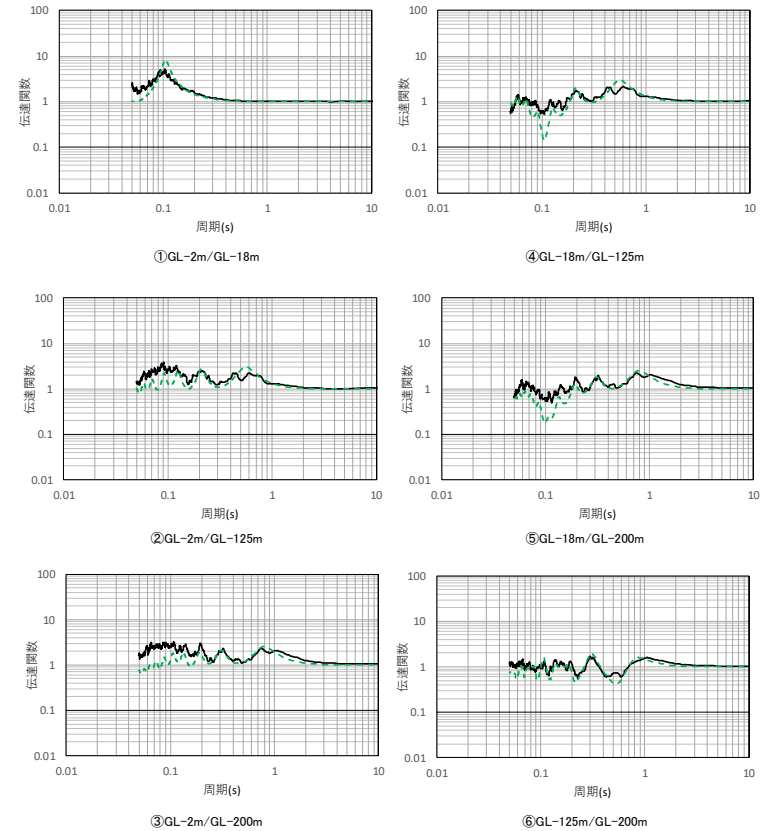
深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h*1		
					分類	h ₀	n
GL.0m	1	2	1.94	470	表層 1	0.3	0.9
-2.0	2	1.5					
-3.5	3	1.5	1.94	560	表層 2	0.5	0.8
-5.0	4	13					
-18.0	5	2	1.64	720			
-20.0	6	40	1.75	760	岩盤	0.4	1.0
-60.0	7	60	1.85	830			
-120.0	8	5	1.85	950	基盤	0.3	0.9
-125.0	9	75					
-200.0	10	—					

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

注記 *1: 振動数依存減衰 $h=ho \cdot f^{-n}$ (10Hz 以上一定)

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G. L. -120m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h_0=0.40$ 、 $n=1.00$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

—— 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 (バイリニア型)



(a) 同定された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

第 4.4.8-4 図 伝達関数による同定結果 (中央地盤観測点: 振動数依存型 (バイリニア型), 水平)

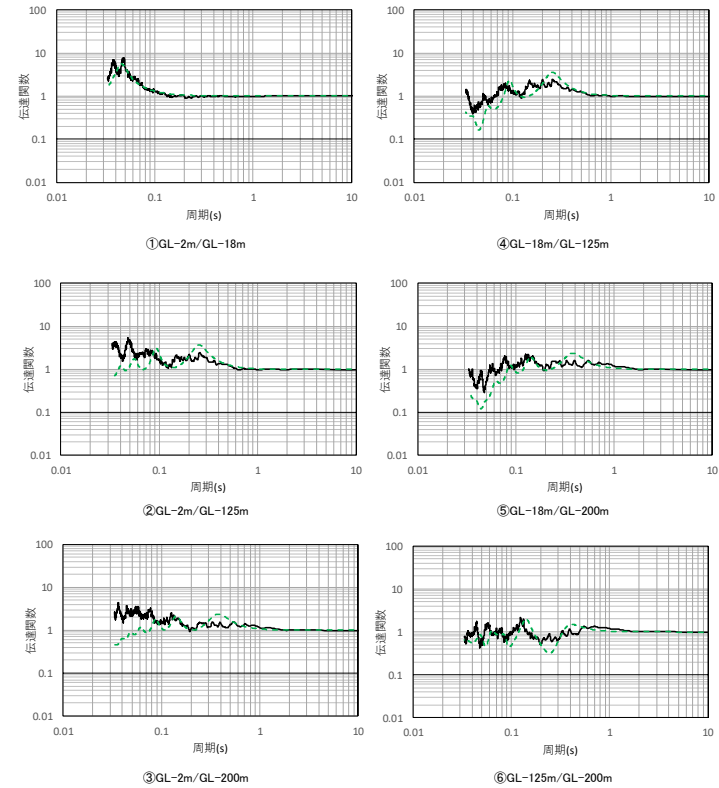
—— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 - - - 周波数依存型（バイリニア型）

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^{*1}		
					分類	h ₀	n
GL.0m	1	2	1.94	1410	表層 1	0.5	0.9
-2.0	2	1.5				0.7	0.8
-3.5	3	1.5	1.64	1640	表層 2	0.7	0.8
-5.0	4	13				0.7	0.8
-18.0	5	2	1.75	1780	岩盤	0.7	1.0
-20.0	6	40					
-60.0	7	60	1.85	1860	岩盤	0.7	1.0
-120.0	8	5					
-125.0	9	75	1.85	1920	基盤	0.8	1.0
-200.0	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

注記 *1: 振動数依存減衰 $h=h_0 \cdot f^{-n}$ (10Hz 以上一定)

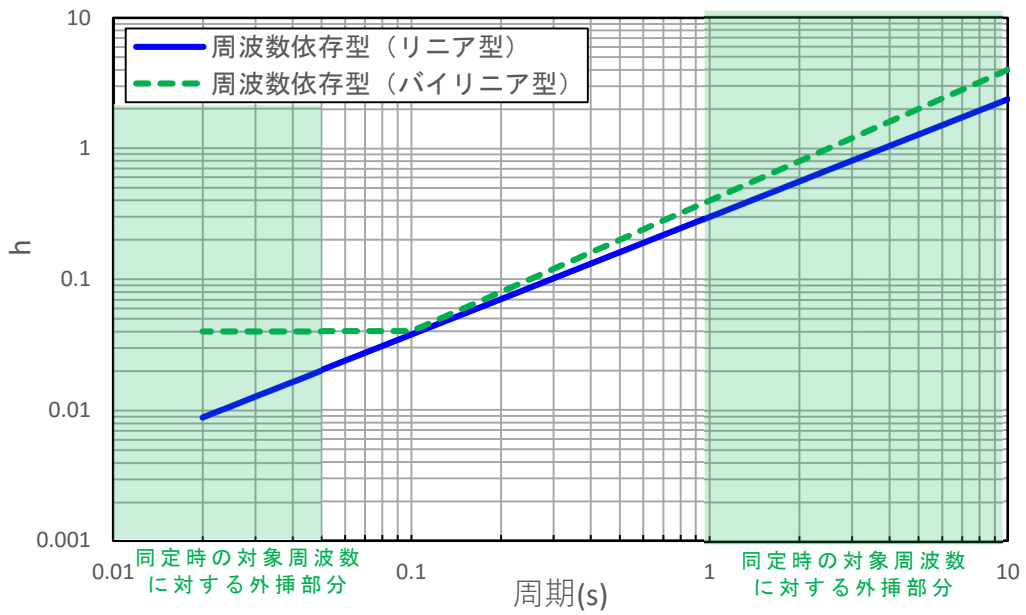
注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G. L. -120m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h_0=0.71$ 、 $n=1.00$ となり、上記代表値と大きな差は無い。



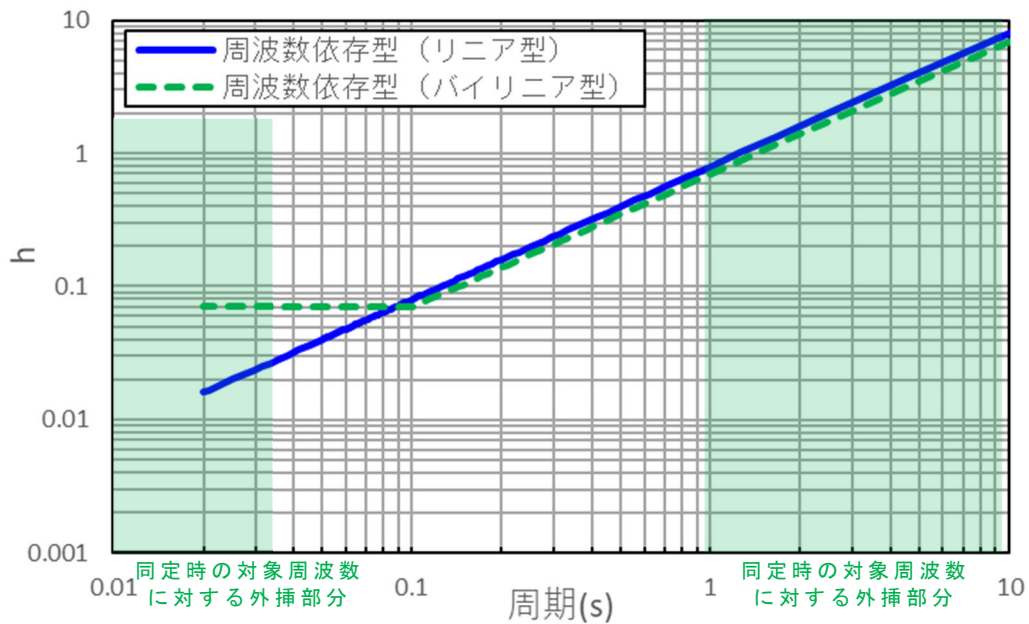
(a) 同定された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

第 4.4.8-5 図 伝達関数による同定結果（中央地盤観測点：振動数依存型（バイリニア型），鉛直）

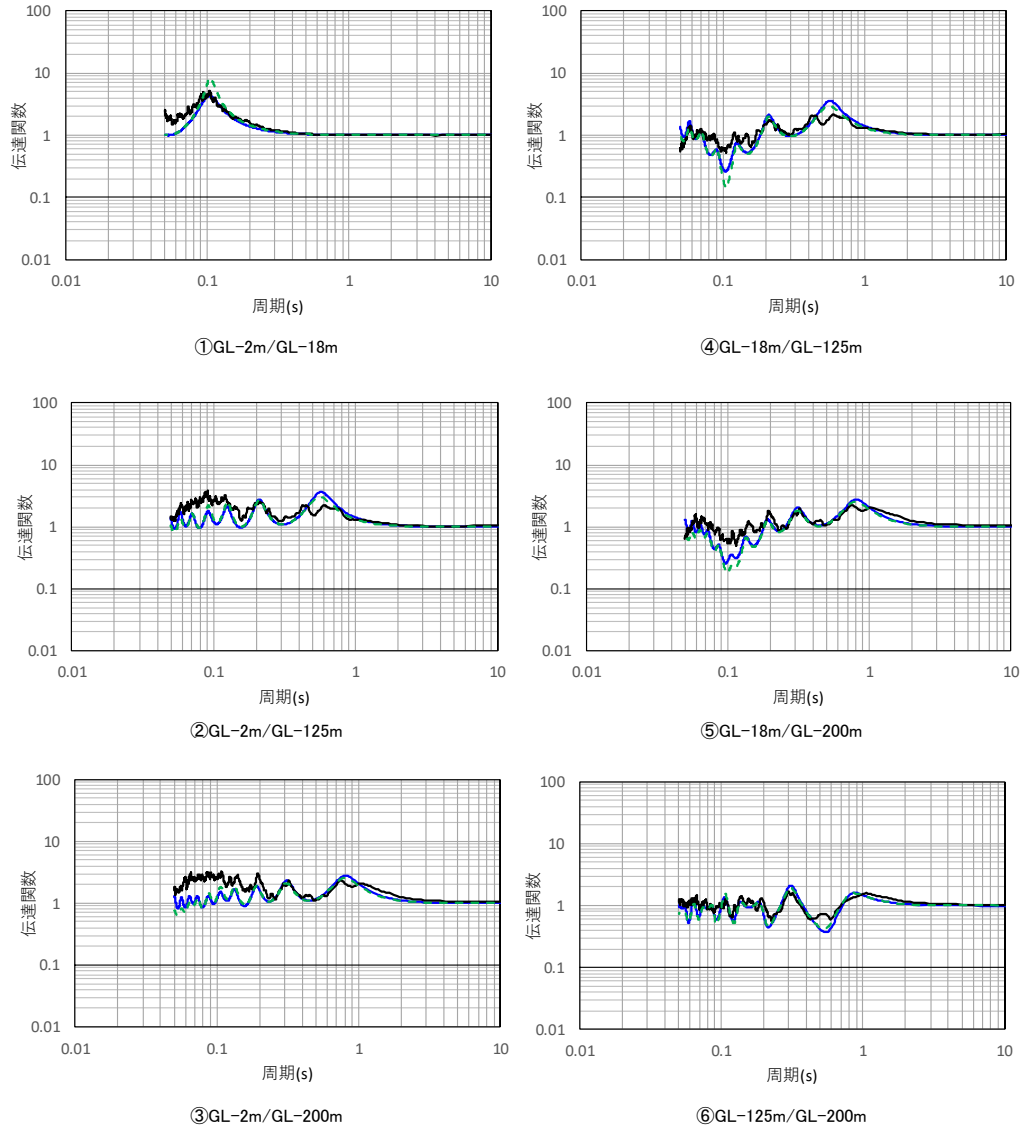


第 4.4.8-6 図 振動数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(中央地盤観測点, 水平)



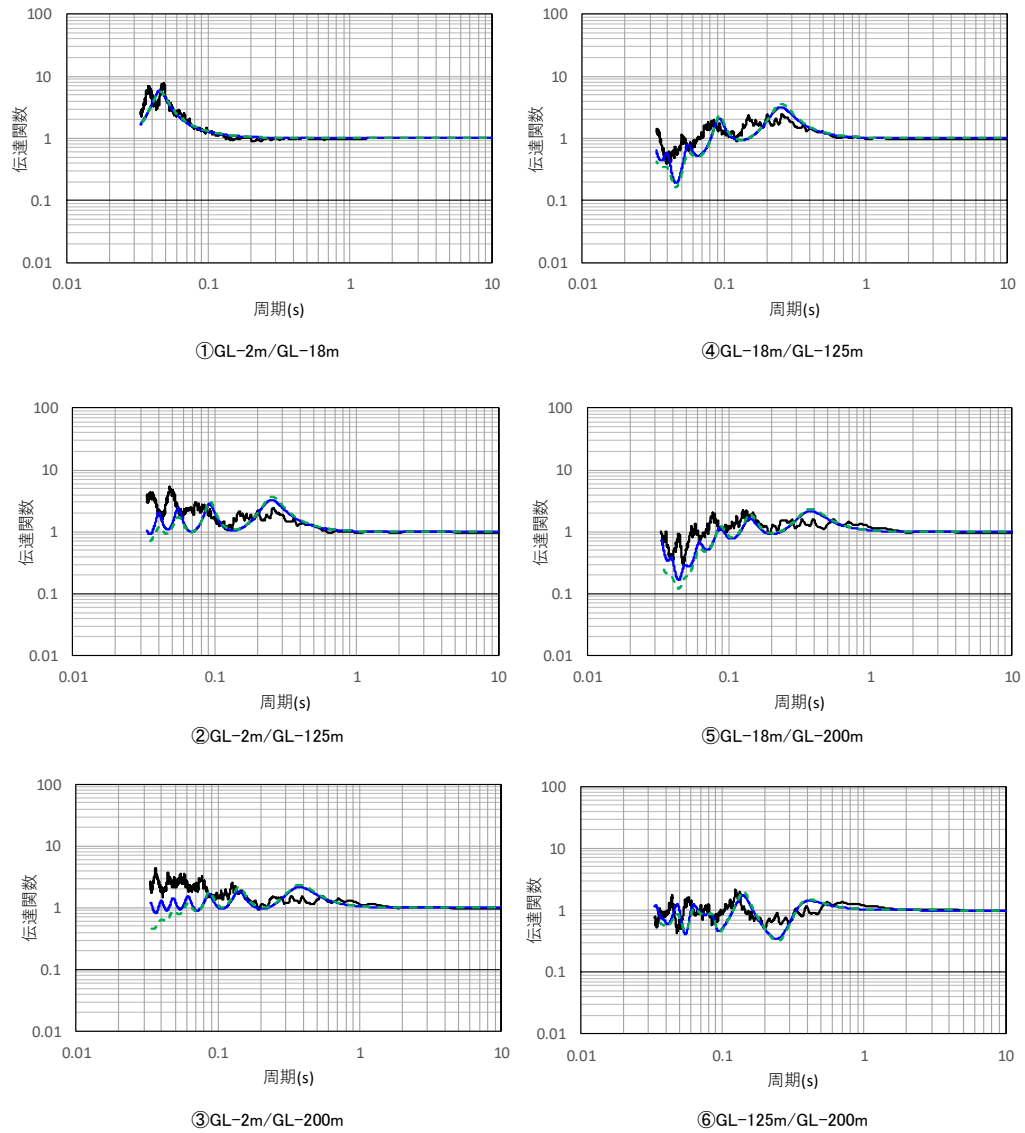
第 4.4.8-7 図 振動数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(中央地盤観測点, 鉛直)

- 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（バイリニア型）



第 4.4.8-8 図 伝達関数の比較結果（中央地盤観測点，水平）

— 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 4.4.8-9 図 伝達関数の比較結果（中央地盤観測点，鉛直）

(2) 西側地盤観測点

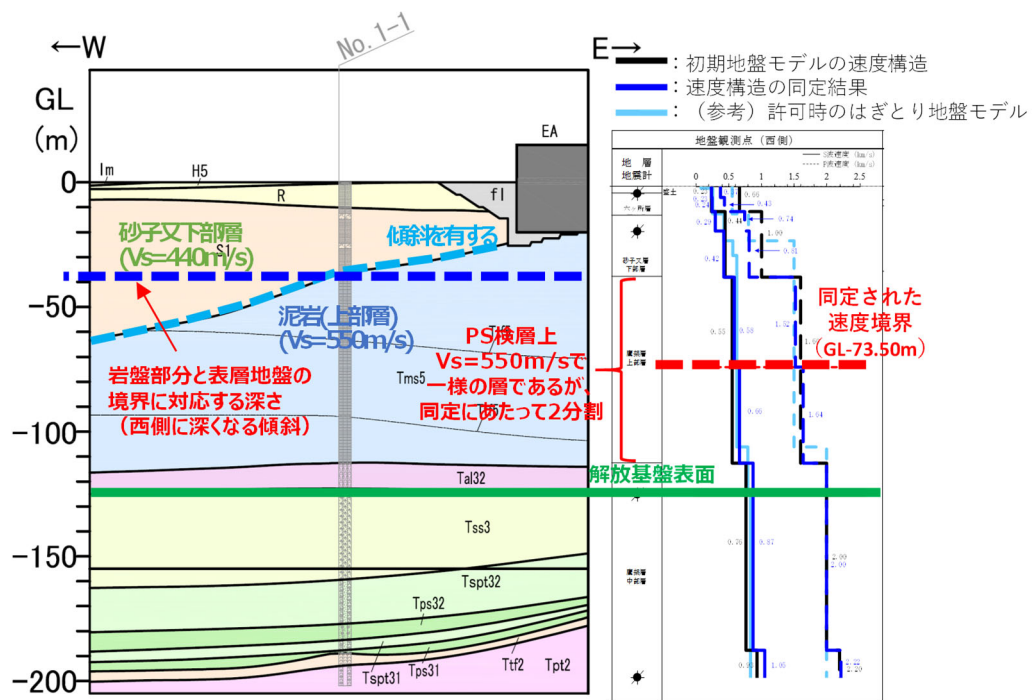
西側地盤における伝達関数による地盤物性及び減衰定数の同定結果について以下に示す。

- ・初期モデルにおいて設定した層境界（GL-36.82m～-112.00mを2分割）については、その境界レベルとしてGL-73.50mに同定され、その上下において速度のコントラストが現れる結果となった。このことから、地震観測位置近傍における岩盤部分（泥岩上部層）と表層地盤（砂子又層下部層）の層境界が観測位置の西側において深部に分布していることを踏まえ、岩盤（泥岩上部層）中に速度境界を与える設定が、地震観測記録に対して整合する結果となった。
- ・第4.4.8-10図に示すとおり、同定された速度構造は、地震観測位置周辺の地下構造と矛盾していないほか、初期地盤モデルにおいて深部に向かって高速度となるとの傾向に対し、途中層での速度の逆転などの特異な結果とはなっておらず、佐藤ほか（2006）での実績と同等の探索範囲を設定した範囲内の結果となっている。また、許可時に作成しているはぎとり地盤モデルの速度構造に対して、岩盤部分における差が小さい。
- ・同定前後のポアソン比の比較を第4.4.8-2表に示すが、本同定に当たっては V_s と V_p を個別に同定していることからポアソン比の値は変動しているものの、その値は同定後においても0.5を上回ることは無く、物理的に不自然な速度構造とはなっていない。
- ・水平成分の伝達関数の傾向としては、第4.4.8-11図及び第4.4.8-13図に示すとおり、リニア及びバイリニア型のいずれについても、各周期帯におけるピークの山谷の大きさが若干地震観測記録と異なるものの、概ね全周期帯において伝達関数の各周期帯におけるピークをよく再現している。
- ・特に、入力地震動を算定する上で、応答スペクトルの大きさや周期特性に対して支配的となる地盤の1次及び2次の伝達関数のピークについては、いずれの深さ間の伝達関数においてもよく再現されていることを確認した。
- ・鉛直成分の伝達関数の傾向としては、第4.4.8-12図及び第4.4.8-14図に示すとおり、概ね全周期帯において、伝達関数の各周期帯におけるピークをよく再現している。また、第4.4.8-16図に示すとおり、鉛直方向の

減衰定数は、水平方向よりも大きい値を与えることを確認した。

- ・ 第 4.4.8-15 図及び第 4.4.8-16 図に示すとおり、リニア型とバイリニア型の減衰定数は、折れ点として設定した 0.1 秒よりも短周期側では、リニア型については約 0.4%~2%の範囲で長周期側になるに従い大きくなる値が得られ、バイリニア型では約 2%の一定の値として得られた。折れ点として設定した 0.1 秒よりも長周期側では、振動数依存性の傾きの傾向及び減衰定数の値が同じであり、リニア型とバイリニア型ともに、建物の固有周期帯である 0.2~0.3 秒で 6~10%程度の減衰定数が得られた。
- ・ 第 4.4.8-17 図及び第 4.4.8-18 図に示すとおり、リニア型とバイリニア型による伝達関数を比較すると、今回同定の範囲（0~20Hz）で、かつ減衰定数の設定が異なる 10Hz 以上に対応する周期帯（0.05~0.1 秒）においても伝達関数に対する感度は有していない結果が得られた。
- ・ 「4.4.4 初期モデルの設定及び探索範囲」に示したとおり、西側地盤については、地震観測位置近傍の地下構造を踏まえて初期地盤モデルの設定を行っているが、「参考 2 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価に関する補足検討結果」の「1.1 西側地盤における比較結果」に示すとおり、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に対して、地下構造を考慮した場合の本同定結果は、周期 0.1 秒よりも短周期側の高次成分の伝達関数のピークをよく再現した結果が得られた。
- ・ 耐震設計において入力地震動を評価する建物・構築物の周辺は、埋戻し土等が分布しており、地震観測位置とは表層地盤の地下構造が異なるものの、本地震観測点における同定結果において、岩盤中の地震動の伝播が支配的となる深さ間における伝達関数（各伝達関数グラフにおける④~⑥が該当）について、観測記録をよく再現する結果となっている。

以上のことから、西側地盤について、振動数依存性を考慮した岩盤部分の減衰定数は、地震観測記録をよく再現する値が得られたと考えられる。



第 4.4.8-10 図 同定された速度構造と地下構造の比較（西側地盤）
 （地下構造は EW 断面を代表として示す）

第 4.4.8-2 表 同定結果のポアソン比の確認結果（西側地盤）

深度 GL (m)	層厚 (m)	ポアソン比 ν^*	
		PS検層結果	同定結果
0	2.00	0.431	0.185
-2	2.34	0.431	0.185
-4.34	5.76	0.431	0.274
-10.10	7.90	0.380	0.409
-18.00	18.82	0.380	0.316
-36.82	36.68	0.433	0.415
-73.50	39.10	0.433	0.403
-112.60	12.40	0.416	0.383
-125.00	63.87	0.416	0.383
-188.87	11.13	0.391	0.356
-200.00	-	0.391	0.356

注記 * : ポアソン比はS波速度及びP波速度に基づき算定

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^{*1}		
					分類	h ₀	n
GL.0m	1	2	1.73	230	表層 1	0.2	0.8
-2.00	2	2.34				0.1	0.9
-4.34	3	5.76		290	表層 2	0.8	0.7
-10.10	4	7.9	0.1			0.9	
-18.00	5	18.82	2.02	420	岩盤	0.2	1.0
-36.82	6	36.68					
-73.5	7	39.1	1.59	660	岩盤	0.2	1.0
-112.60	8	12.40					
-125.00	9	63.87	1.75	870	基盤	0.1	0.9
-188.87	10	11.13					
-200.00	11	—	1.57	1050	基盤	0.1	0.9

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

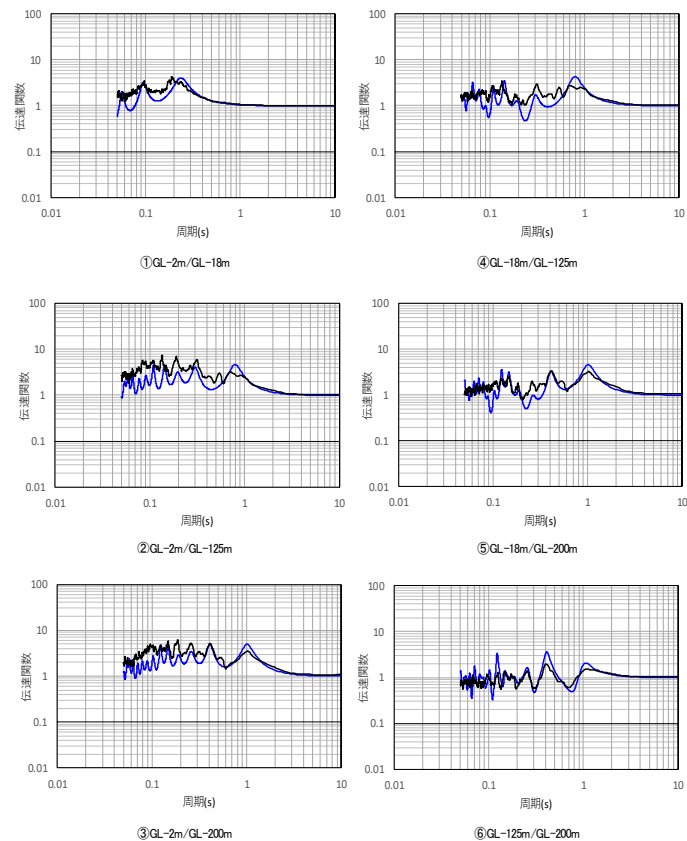
注記 *1: 振動数依存減衰 $h=ho \cdot f^{-n}$

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G.L. -112.6m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h_0=0.19$, $n=0.99$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

(a) 同定された物性値及び減衰定数

第 4.4.8-11 図 伝達関数による同定結果 (西側地盤観測点: 振動数依存型 (リニア型), 水平)

— 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)



(b) 伝達関数適合状況

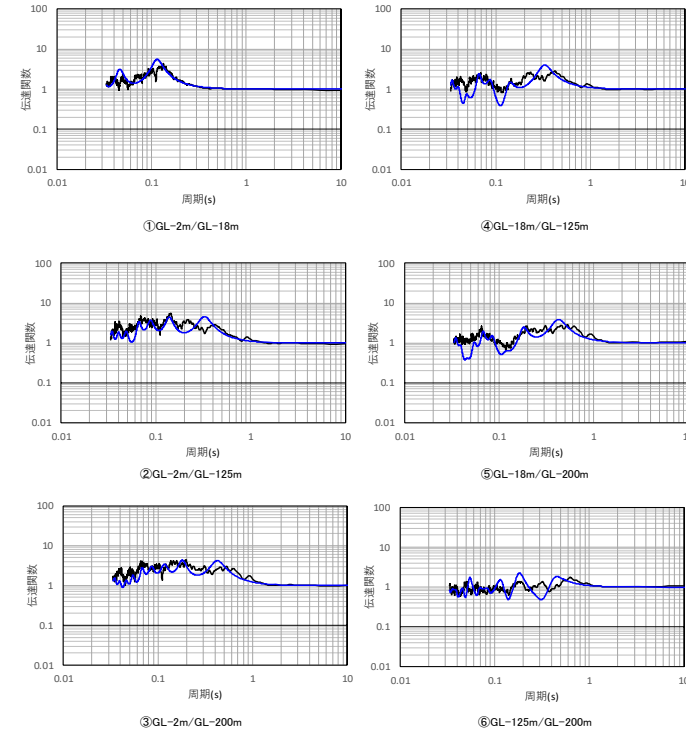
—— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 —— 周波数依存型（リニア型）

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^{*1}		
					分類	h ₀	n
GL0m	1	2	1.73	370	表層 1	0.2	0.6
-2.00	2	2.34				0.3	0.7
-4.34	3	5.76		0.9		0.6	
-10.10	4	7.9	2.02	740	表層 2	0.2	0.8
-18.00	5	18.82				0.4	0.7
-36.82	6	36.68	1.59	1520		岩盤	0.4
-73.5	7	39.1			0.3		0.7
-112.60	8	12.40	1.75	2000	基盤		0.3
-125.00	9	63.87				0.3	0.7
-188.87	10	11.13	1.57	2220		基盤	0.3
-200.00	11	—			0.3		0.7

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

注記 *1: 振動数依存減衰 $h=ho \cdot f^{-n}$

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G. L. -112.6m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h_0=0.39$ 、 $n=0.70$ となり、上記代表値と大きな差は無い。



(a) 同定された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

第 4.4.8-12 図 伝達関数による同定結果（西側地盤観測点：振動数依存型（リニア型）、鉛直）

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^{*1}		
					分類	ho	n
GL.0m	1	2	1.73	230	表層 1	0.1	0.9
-2.00	2	2.34		240		0.1	0.9
-4.34	3	5.76		290	表層 2	0.9	0.8
-10.10	4	7.9	420	0.1		0.9	
-18.00	5	18.82	2.02	580	岩盤	0.2	1.0
-36.82	6	36.68		660			
-73.5	7	39.1	1.75	870	基盤	0.1	0.9
-112.60	8	12.40					
-125.00	9	63.87					
-188.87	10	11.13	1.57	1050	基盤	0.1	0.9
-200.00	11	—					

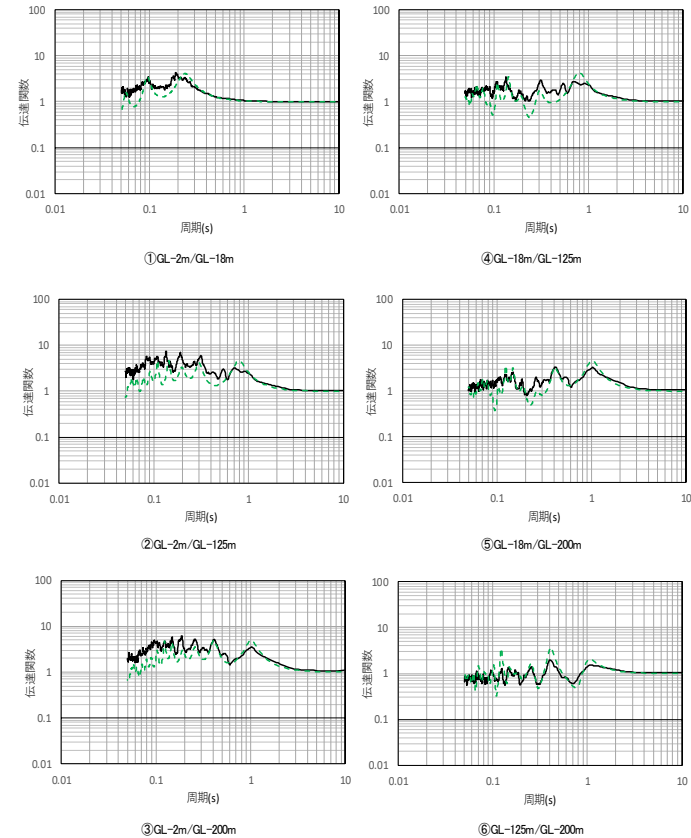
解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

注記 *1: 振動数依存減衰 $h=ho \cdot f^{-n}$ (10Hz 以上一定)

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G. L. -112.6m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h_0=0.19$, $n=0.99$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

(a) 同定された物性値及び減衰定数

—— 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 (バイリニア型)



(b) 伝達関数適合状況

第 4.4.8-13 図 伝達関数による同定結果 (西側地盤観測点: 振動数依存型 (バイリニア型), 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^{*1}		
					分類	h ₀	n
GL 0m	1	2	1.73	370	表層 1	0.3	0.7
-2.00	2	2.34				0.3	0.7
-4.34	3	5.76		740	表層 2	0.9	0.7
-10.10	4	7.9	0.3			0.8	
-18.00	5	18.82	2.02	810	岩盤	0.5	0.9
-36.82	6	36.68				1520	1640
-73.5	7	39.1	1.59	2000	0.3		
-112.60	8	12.40				1.75	2220
-125.00	9	63.87	1.57	2220	0.3		
-188.87	10	11.13				1.57	2220
-200.00	11	—	1.57	2220	0.3		

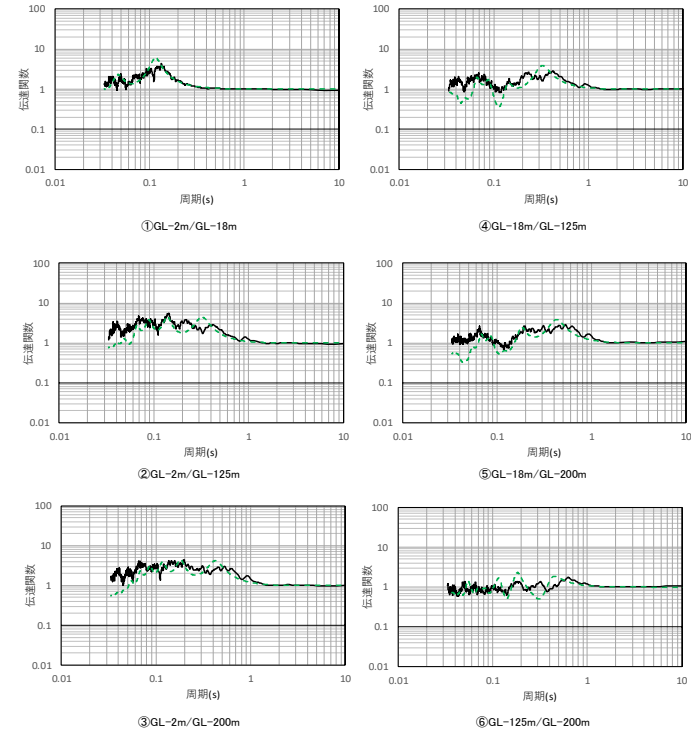
解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

注記 *1: 振動数依存減衰 $h = h_0 \cdot f^{-n}$ (10Hz 以上一定)

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G. L. -112.6m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h_0 = 0.48$, $n = 0.89$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

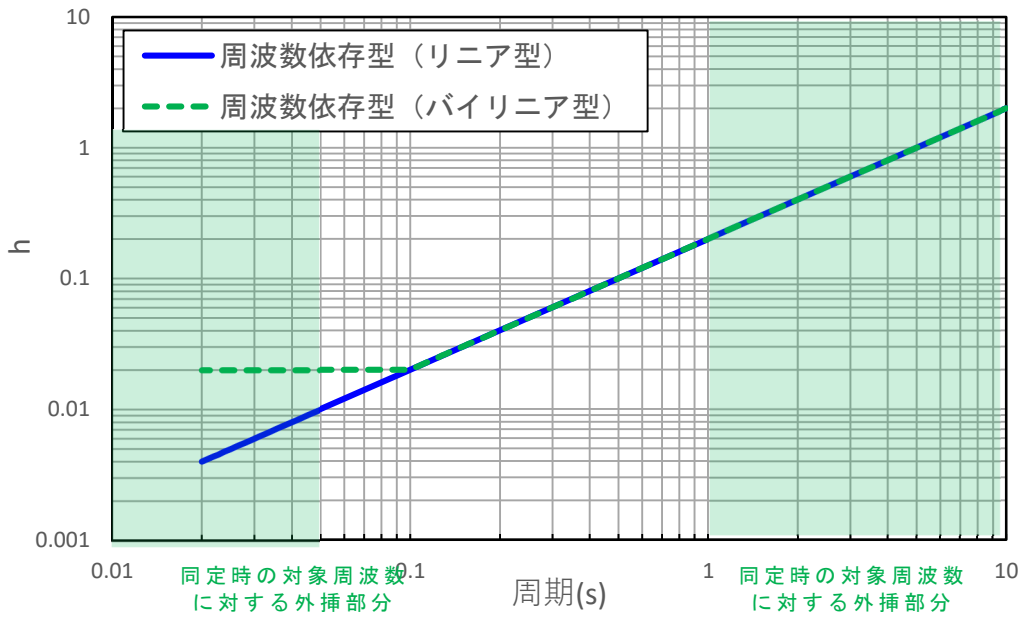
(a) 同定された物性値及び減衰定数

—— 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 (バイリニア型)

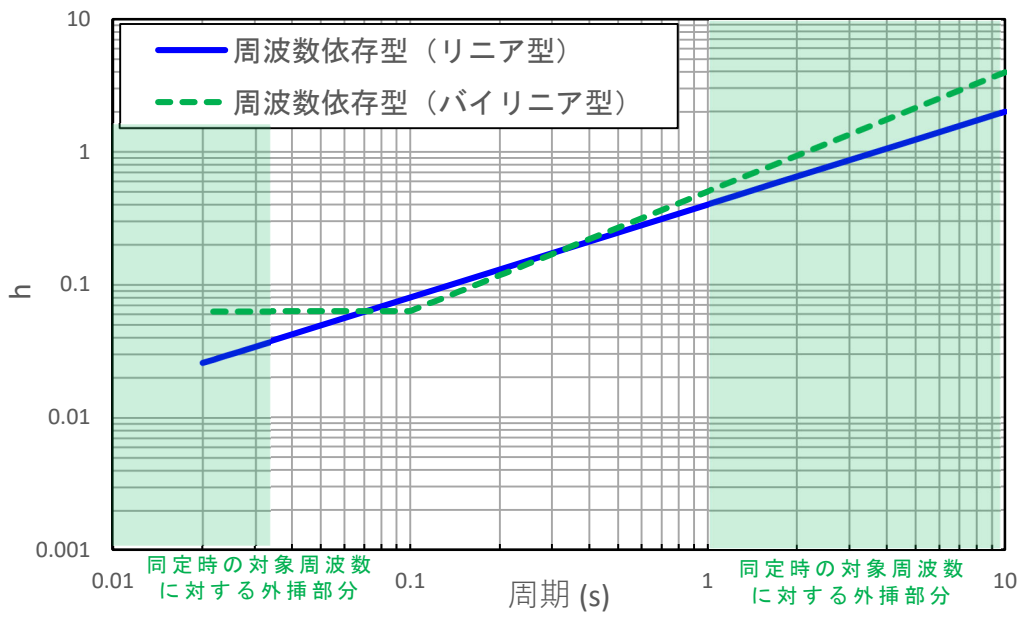


(b) 伝達関数適合状況

第 4.4.8-14 図 伝達関数による同定結果 (西側地盤観測点: 振動数依存型 (バイリニア型), 鉛直)

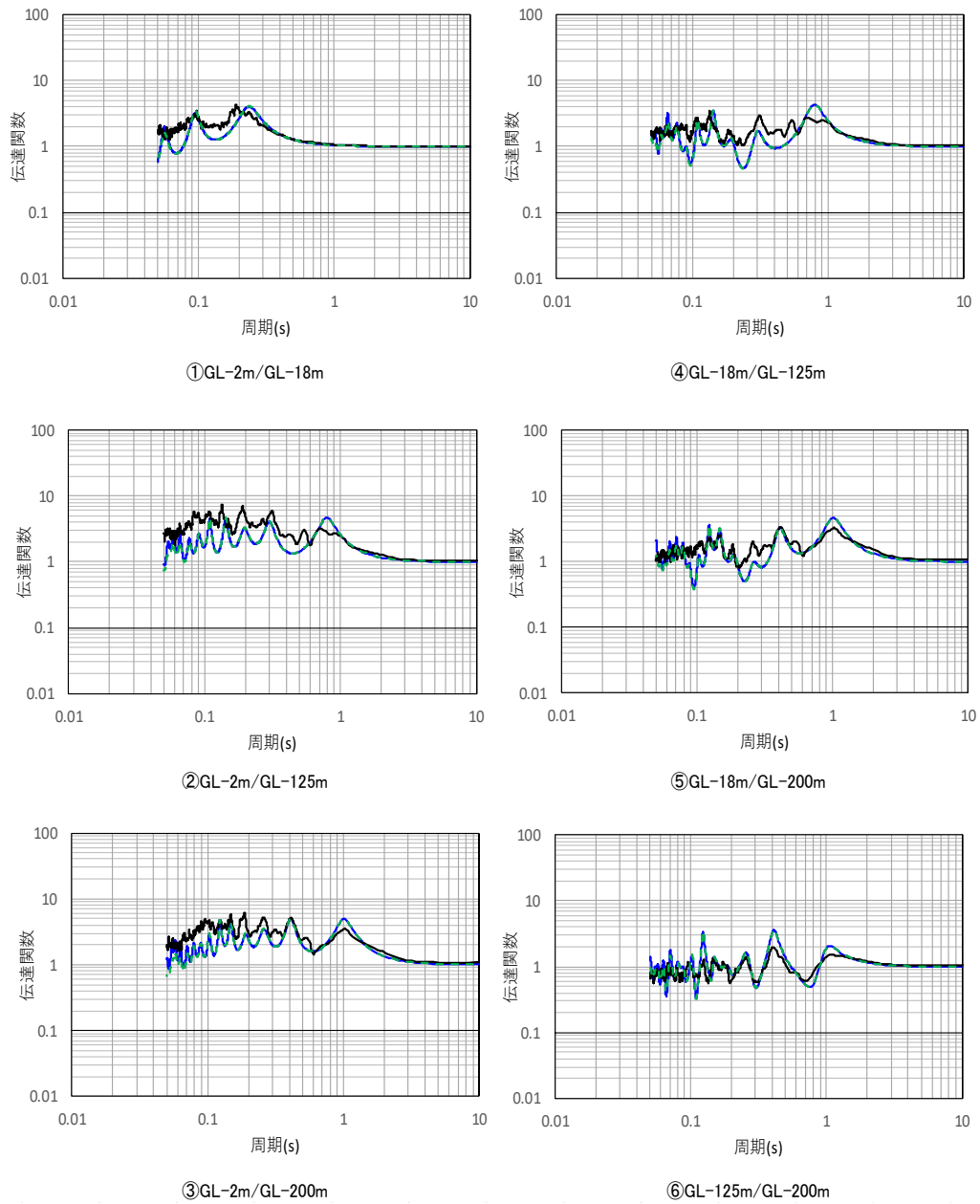


第 4.4.8-15 図 振動数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(西側地盤観測点, 水平)



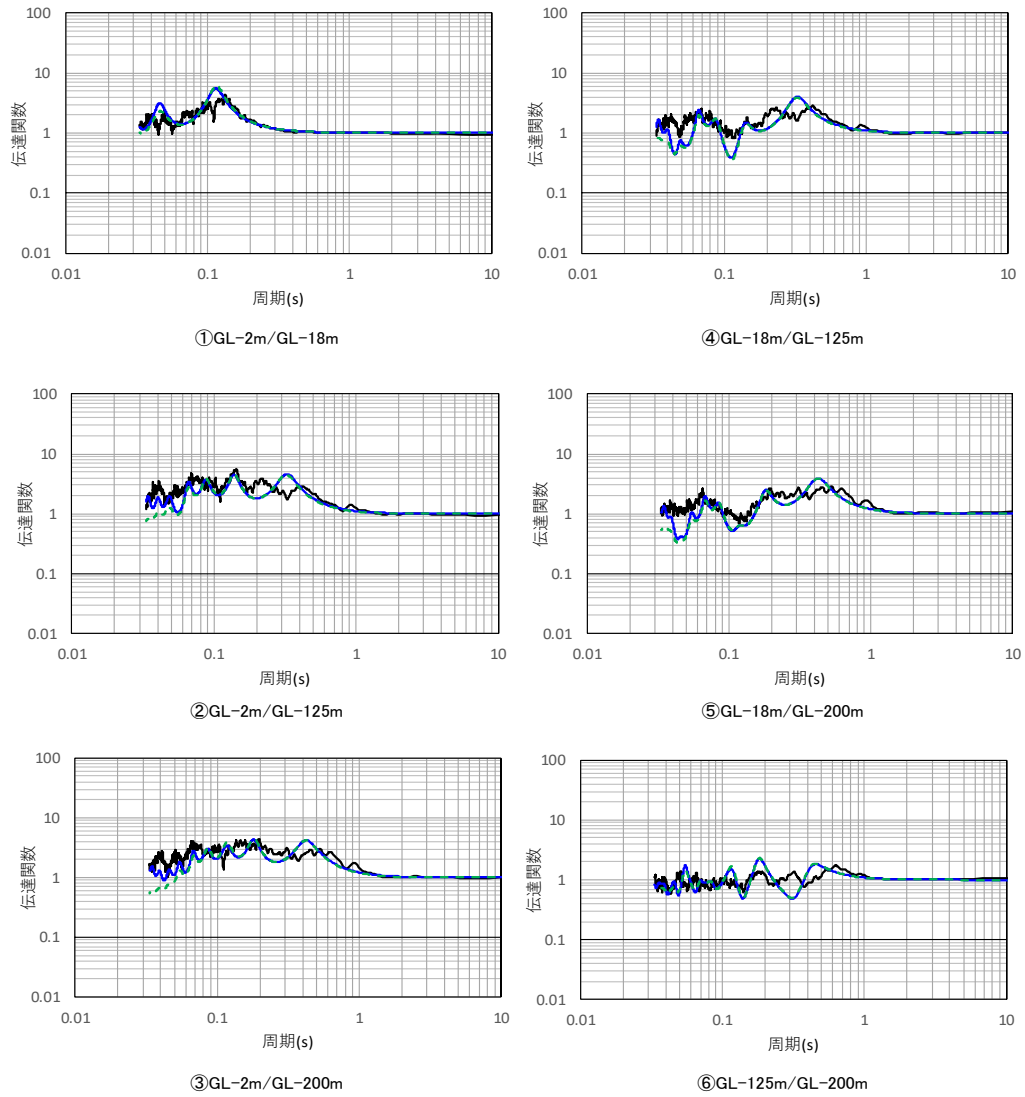
第 4.4.8-16 図 振動数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(西側地盤観測点, 鉛直)

- 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 4.4.8-17 図 伝達関数の比較結果（西側地盤観測点，水平）

— 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 4.4.8-18 図 伝達関数の比較結果（西側地盤観測点，鉛直）

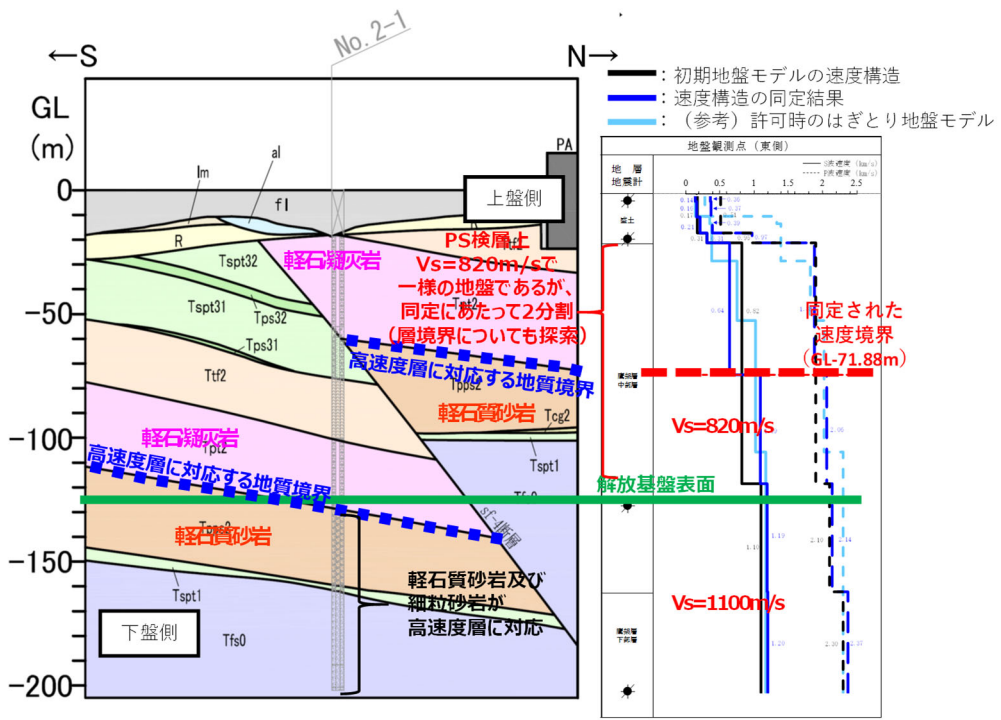
(3) 東側地盤観測点

東側地盤における伝達関数による地盤物性及び減衰定数の同定結果について以下に示す。

- ・初期モデルにおいて設定した層境界（GL-18.68m～-115.73mを2分割）については、その境界レベルとしてGL-71.88mに同定された。この深さは、sf-4断層の上盤側における軽石質砂岩（Tpps）及び細粒砂岩（Tfs）の上端レベル（高速度である岩盤上端に対応）に近いことから、東側地盤観測点については、その振動性状として、断層上盤側の地下構造による振動特性が支配的であると考えられる。
- ・第4.4.8-19図に示すとおり、同定された速度構造は、地震観測位置周辺の地下構造と矛盾していないほか、初期地盤モデルにおいて深部に向かって高速度になるとの傾向に対し、途中層での速度の逆転などの特異な結果とはなっておらず、佐藤ほか（2006）での実績と同等の探索範囲を設定した範囲内の結果となっており、許可時に作成しているはぎとり地盤モデルの速度構造に対して、岩盤部分における差が小さい。
- ・同定前後のポアソン比の比較を第4.4.8-3表に示すが、本同定に当たっては V_s と V_p を個別に同定していることからポアソン比の値は変動しているものの、その値は同定後においても0.5を上回ることは無く、物理的に不自然な速度構造とはなっていない。
- ・水平成分の伝達関数の傾向としては、第4.4.8-20図及び第4.4.8-22図に示すとおり、リニア及びバイリニア型のいずれについても、各周期帯におけるピークの山谷の大きさが若干地震観測記録と異なるものの、概ね全周期帯において伝達関数の各周期帯におけるピークをよく再現している。
- ・特に、入力地震動を算定する上で、応答スペクトルの大きさや周期特性に対して支配的となる地盤の1次及び2次の伝達関数のピークについては、いずれの深さ間の伝達関数においてもよく再現されていることを確認した。
- ・鉛直成分の伝達関数の傾向としては、第4.4.8-21図及び第4.4.8-23図に示すとおり、概ね全周期帯において、伝達関数の各周期帯におけるピークをよく再現している。また、第4.4.8-25図に示すとおり、鉛直方向の減衰定数は、水平方向よりも大きい値を与えることを確認した。

- ・第 4.4.8-24 図及び第 4.4.8-25 図に示すとおり，リニア型とバイリニア型の減衰定数は，折れ点として設定した 0.1 秒よりも短周期側では，リニア型については約 0.4%～2%の範囲で長周期側になるに従い大きくなる値が得られ，バイリニア型では約 2%の一定の値として得られた。折れ点として設定した 0.1 秒よりも長周期側では，振動数依存性の傾きの傾向及び減衰定数の値が同じであり，リニア型とバイリニア型ともに，建物の固有周期帯である 0.2～0.3 秒で 6～10%程度の減衰定数が得られた。
- ・第 4.4.8-26 図及び第 4.4.8-27 図に示すとおり，リニア型とバイリニア型による伝達関数を比較すると，今回同定の範囲（0～20Hz）で，かつ減衰定数の設定が異なる 10Hz 以上に対応する周期帯（0.05～0.1 秒）においても伝達関数に対する感度は有していない結果が得られた。
- ・「4.4.4 初期モデルの設定及び探索範囲」に示したとおり，東側地盤については，地震観測位置近傍の地下構造を踏まえて初期地盤モデルの設定を行っているが，「参考 2 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価に関する補足検討結果」の「1.2 東側地盤における比較結果」に示すとおり，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に対して，地下構造を考慮した場合の本同定結果は，周期 0.4 秒程度の伝達関数のピークをよく再現した結果が得られた。
- ・耐震設計において入力地震動を評価する建物・構築物の周辺は，埋戻し土等が分布しており，地震観測位置とは表層地盤の地下構造が異なるものの，本地震観測点における同定結果において，岩盤中の地震動の伝播が支配的となる深さ間における伝達関数（各伝達関数グラフにおける④～⑥が該当）について，観測記録をよく再現する結果となっている。

以上のことから，東側地盤について，振動数依存性を考慮した岩盤部分の減衰定数は，地震観測記録をよく再現する値が得られたと考えられる。



第 4.4.8-19 図 同定された速度構造と地下構造の比較 (東側地盤)
(地下構造は NS 断面を代表として示す)

第 4.4.8-3 表 同定結果のポアソン比の確認結果

深度 GL (m)	層厚 (m)	ポアソン比 ν^*	
		PS検層結果	同定結果
0	2.00	0.438	0.411
-2	6.33	0.438	0.385
-8.33	6.40	0.438	0.296
-14.73	3.27	0.440	0.443
-18.00	0.68	0.440	0.443
-18.68	53.20	0.386	0.434
-71.88	43.85	0.386	0.306
-115.73	9.27	0.311	0.276
-125.00	34.34	0.311	0.276
-159.31	40.69	0.352	0.328
-200.00	-	0.352	0.328

注記 * : ポアソン比はS波速度及びP波速度に基づき算定

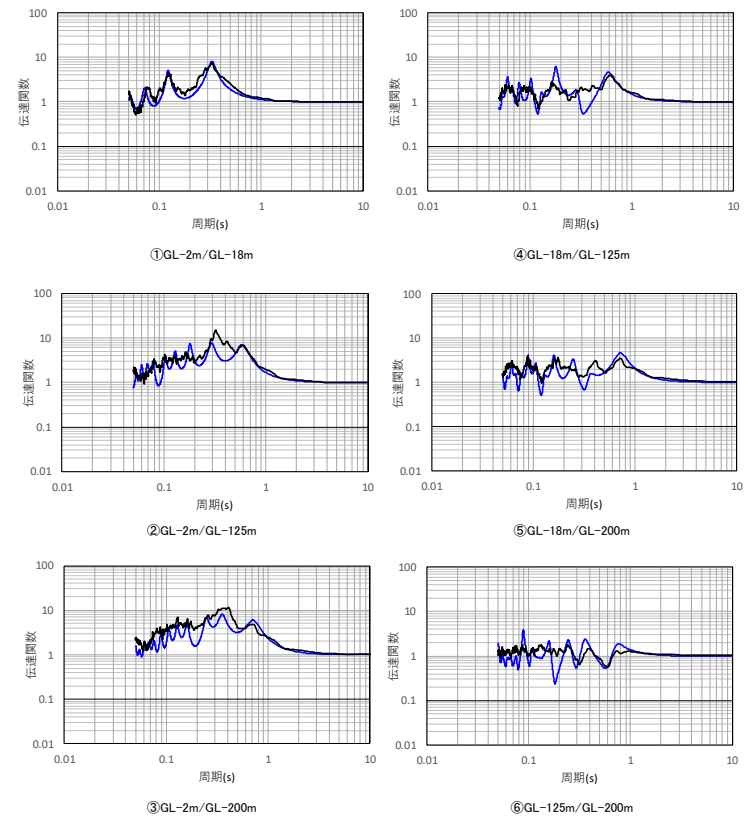
深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h^{*1}				
					分類	h_0	n		
0	1	2	1.69	140	表層 1	0.8	0.3		
-2.00	2	6.33		160		0.2	0.9		
-8.33	3	6.4		210					
-14.73	4	3.27	1.72	310	表層 2	0.3	0.8		
-18.00	5	0.68							
-18.68	6	53.2	1.59	640	岩盤	0.2	1.0		
-71.88	7	43.85		1090					
-115.73	8	9.27	1.82	1190	基盤	0.2	0.9		
-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

注記 *1: 振動数依存減衰 $h=ho \cdot f^{-n}$

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G. L. -115.73m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h_0=0.20$, $n=0.99$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

— 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)



(a) 同定された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

第 4.4.8-20 図 伝達関数による同定結果 (東側地盤観測点: 振動数依存型 (リニア型), 水平)

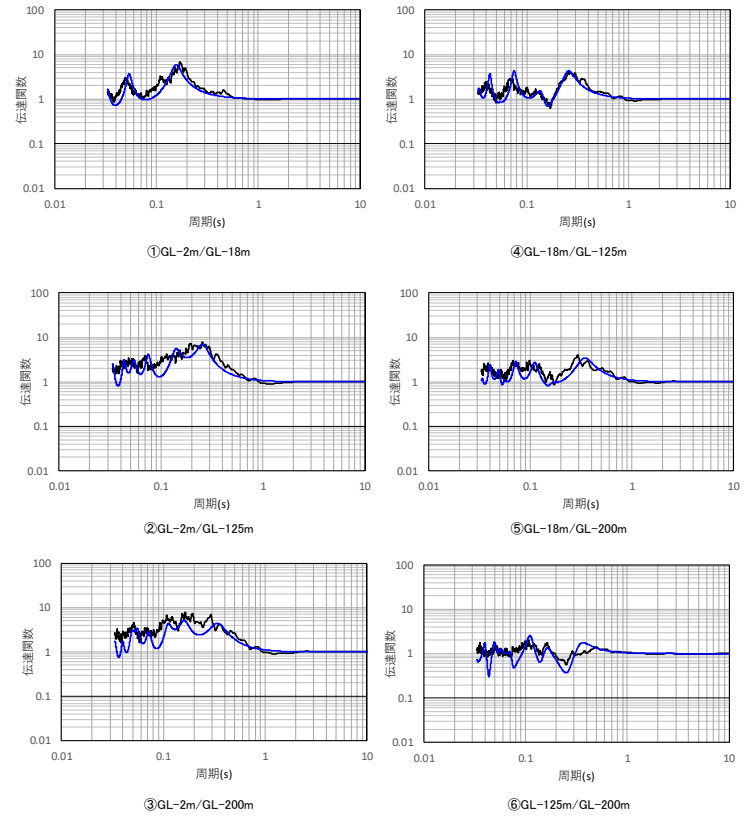
深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	P波速度 Vp(m/s)	減衰定数 h^{*1}		
					分類	h ₀	n
0	1	2	1.69	360	表層 1	0.4	0.7
-2.00	2	6.33		370			
-8.33	3	6.4		390			
-14.73	4	3.27	1.72	970	表層 2	0.4	0.8
-18.00	5	0.68					
-18.68	6	53.2	1.59	1880	岩盤	0.4	0.9
-71.88	7	43.85		2060			
-115.73	8	9.27	1.82	2140	基盤	0.5	0.8
-125.00	9	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

注記 *1: 振動数依存減衰 $h = h_0 \cdot f^{-n}$

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G. L. -115.73m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h_0 = 0.41$, $n = 0.89$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

— 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)



(a) 同定された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

第 4.4.8-21 図 伝達関数による同定結果 (東側地盤観測点: 振動数依存型 (リニア型), 鉛直)

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^{*1}		
					分類	h ₀	n
0	1	2	1.69	140	表層 1	0.8	0.2
-2.00	2	6.33		160		0.2	0.9
-8.33	3	6.4		210	表層 2	0.3	0.9
-14.73	4	3.27	310				
-18.00	5	0.68	1.72	640	岩盤	0.2	1.0
-18.68	6	53.2					
-71.88	7	43.85	1.59	1090	岩盤	0.2	1.0
-115.73	8	9.27					
-125.00	9	34.31	1.82	1190	岩盤	0.2	1.0
-159.31	10	40.69					
-200.00	11	—	1.90	1200	岩盤	0.2	1.0

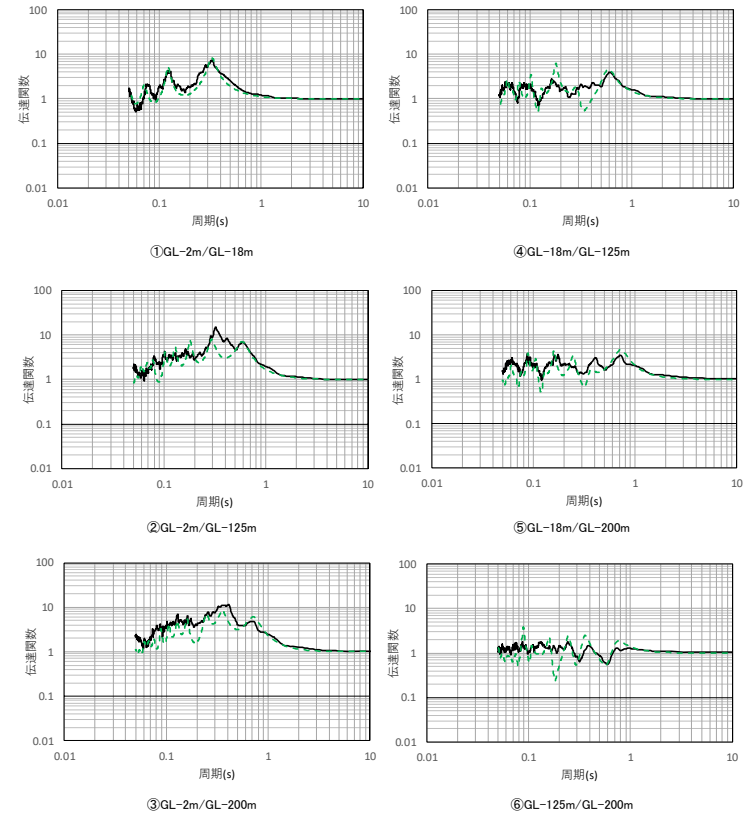
解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

注記 *1: 振動数依存減衰 $h = h_0 \cdot f^{-n}$ (10Hz 以上一定)

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G.L. -115.73m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h_0 = 0.20$, $n = 1.00$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

(a) 同定された物性値及び減衰定数

—— 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 (バイリニア型)



(b) 伝達関数適合状況

第 4.4.8-22 図 伝達関数による同定結果 (東側地盤観測点: 振動数依存型 (バイリニア型), 水平)

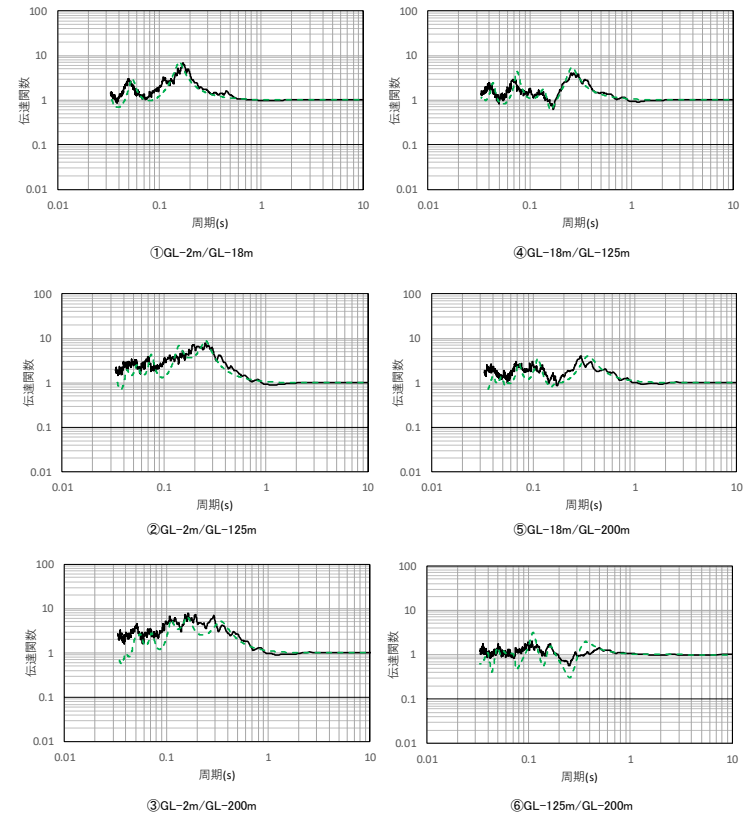
深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	P波速度 Vp(m/s)	減衰定数 h^{*1}		
					分類	h ₀	n
0	1	2	1.69	360	表層 1	0.4	0.8
-2.00	2	6.33		370			
-8.33	3	6.4		390			
-14.73	4	3.27	1.72	970	表層 2	0.3	0.8
-18.00	5	0.68					
-18.68	6	53.2	1.59	1880	岩盤	0.3	0.9
-71.88	7	43.85		2060			
-115.73	8	9.27	1.82	2140	基盤	0.5	0.9
-125.00	9	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

注記 *1: 振動数依存減衰 $h = h_0 \cdot f^{-n}$ (10Hz 以上一定)

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G. L. -115.73m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h_0 = 0.32$, $n = 0.90$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

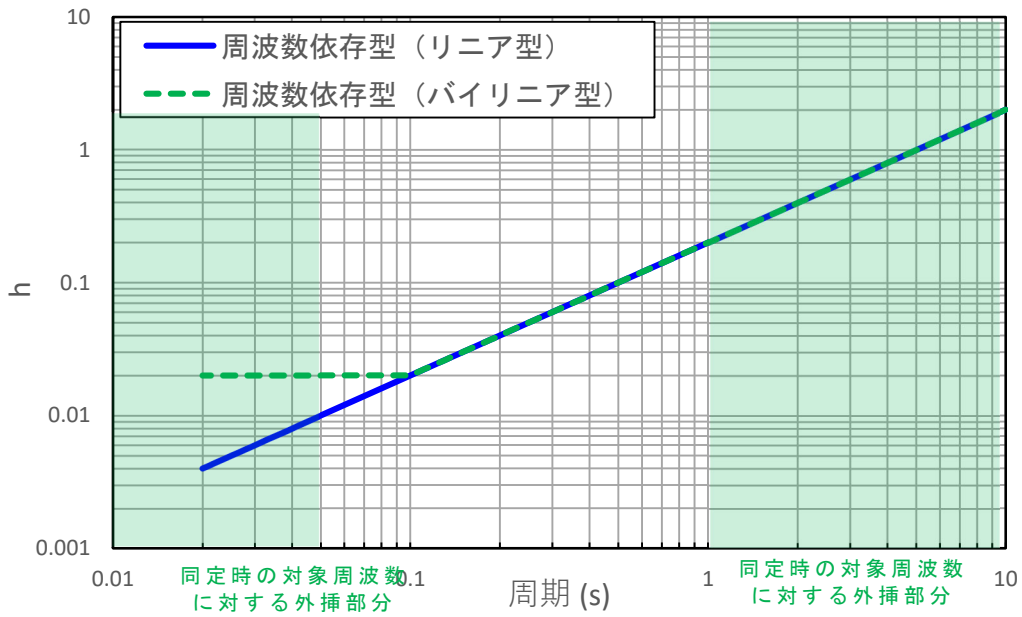
—— 目的関数 (観測記録の伝達関数を平均して作成)
- - - 周波数依存型 (バイリニア型)



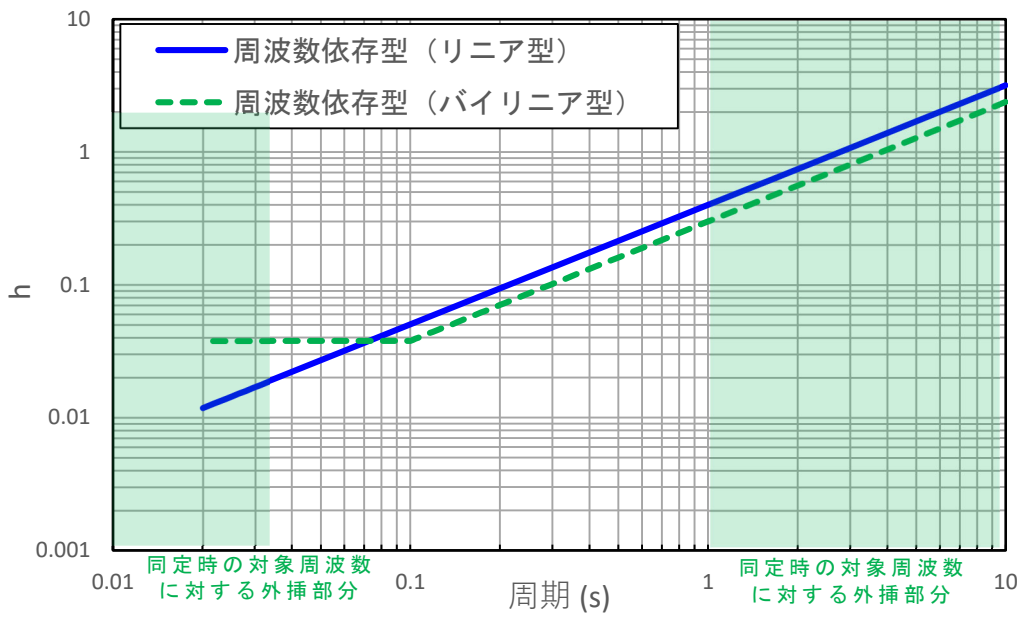
(a) 同定された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

第 4.4.8-23 図 伝達関数による同定結果 (東側地盤観測点: 振動数依存型 (バイリニア型), 鉛直)

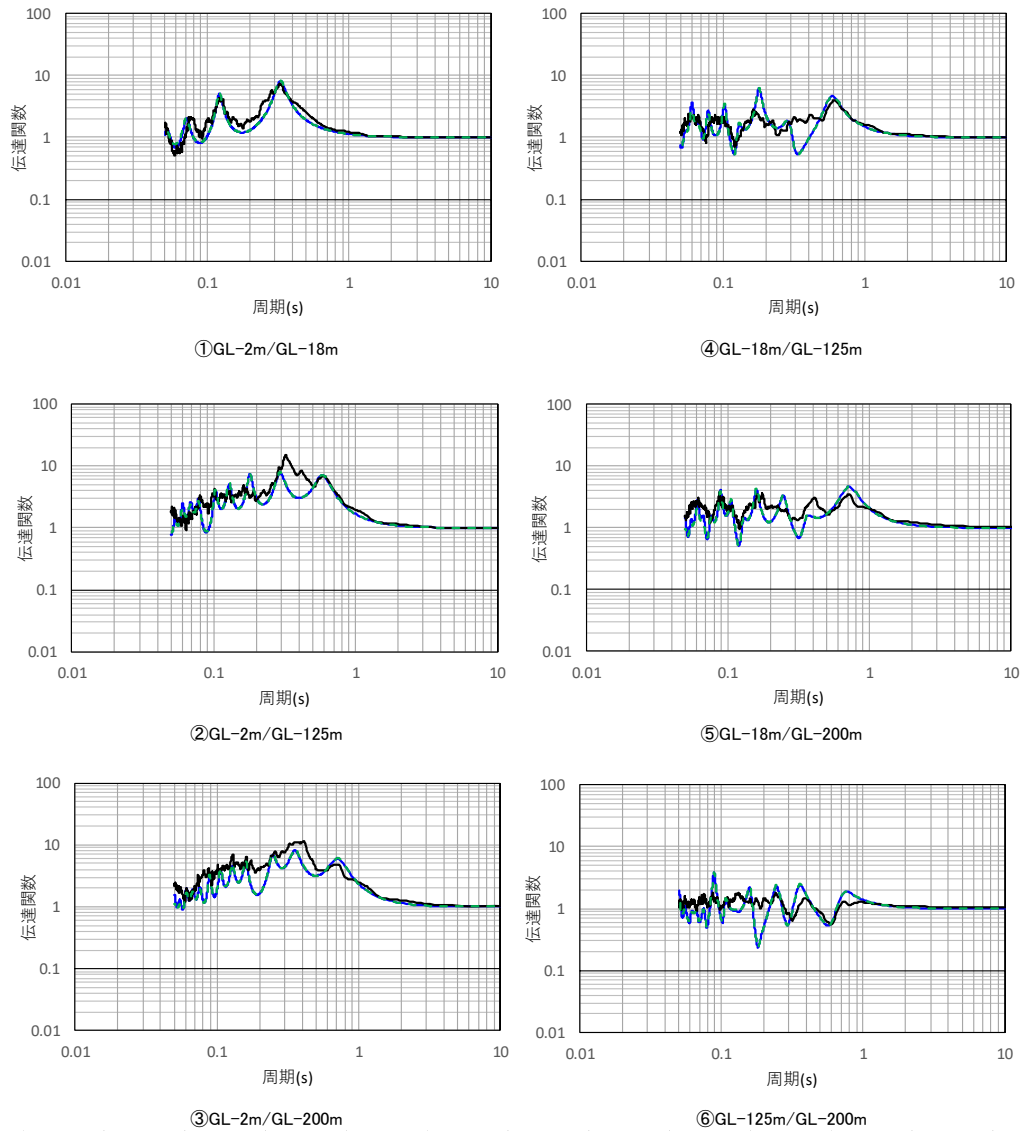


第 4.4.8-24 図 振動数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(東側地盤観測点, 水平)



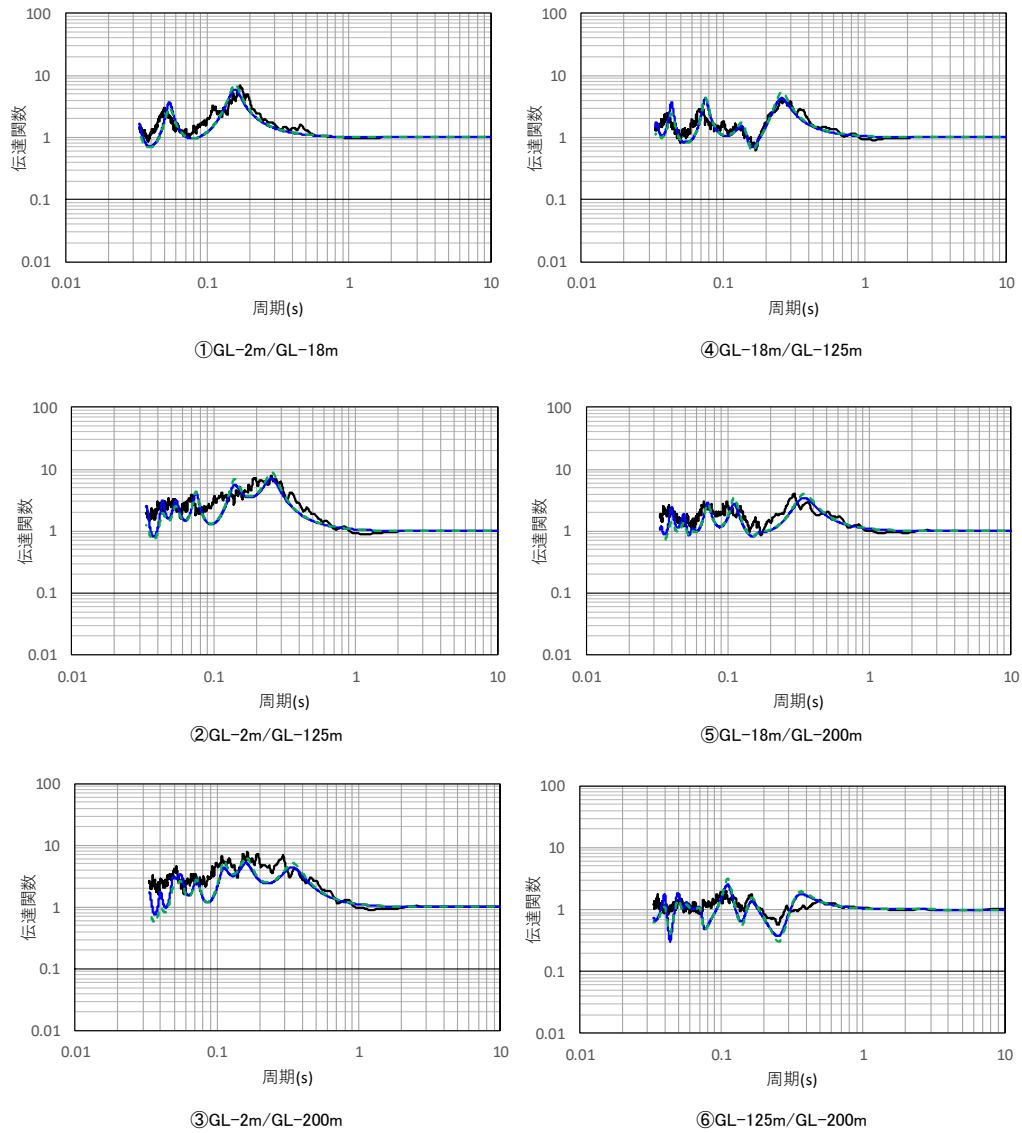
第 4.4.8-25 図 振動数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(東側地盤観測点, 鉛直)

- 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 4.4.8-26 図 伝達関数の比較結果（東側地盤観測点，水平）

- 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 4.4.8-27 図 伝達関数の比較結果（東側地盤観測点，鉛直）

b. 応答スペクトルによる評価結果（振動数依存性あり）

「4.4.8 a. 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、差異がみられる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おいて考慮する減衰定数については、各位置において同定された減衰定数の信頼区間周期に対し、その範囲外の周期においても同様の周波数依存性が続くものと仮定し、外挿して減衰定数を設定した。この外挿を行った減衰定数の設定について問題が無いことについても、シミュレーション解析結果より確認することとする。

シミュレーション解析に用いる地震は、第 4.4.3-1 表～第 4.4.3-3 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、「4.4.7 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。

入力地震動の算定にも用いている一次元波動解析では、せん断弾性係数 G は(1)式のような複素剛性 G^* として表されおり、本解析においても同様の考え方を適用している。ただし、(1)式において減衰定数 h は振動数に依存しない一定減衰として扱われていることから、本解析に当たっては、振動数依存型の減衰を考慮するために、この h を(2)式で示すように振動数 f に依存する形で表し、複素剛性 G^* が振動数に依存して変化するものとした。

$$G^* = (1 + 2ih)G \quad \dots \dots (1)$$

ここで、

h : 減衰定数

i : 虚数単位

$$h = h_0 \cdot f^{-n} \quad \dots \dots (2)$$

シミュレーション解析に用いる地盤モデルは、「4.4.4 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 4.4.8-2 図～第 4.4.8-5 図、第 4.4.8-11 図～第 4.4.8-14 図、第 4.4.8-20 図～第 4.4.8-23 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 4.4.8-28 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地震観測記録と整合しており、その大きさは周期によって大小はあるものの、全周期帯において地震観測記録に対して大きな差異の無いレベルである結果を示している。

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、「4.4.8 a. 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、「4.4.3 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 4.4.8-28 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 4.4.8-8 図及び第 4.4.8.1-9 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

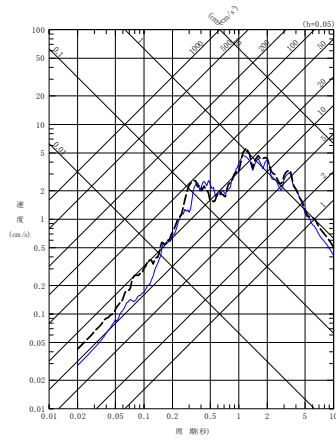
リニア型における短周期側の減衰定数の設定の差はシミュレーション解析結果に影響を与えないことを確認した。

また、減衰定数の同定における周期方向の信頼区間については、第4.4.7-1表に示した最大周波数（水平方向 20Hz：0.05 秒，鉛直方向 30Hz：0.03 秒）から、地盤の一次固有周期よりも長周期側の範囲（約 1 秒以上）までの範囲となるが、シミュレーション解析を実施する上では、その範囲外の周期においても同様の周波数依存性が続くものと仮定し、外挿して減衰定数を設定している。

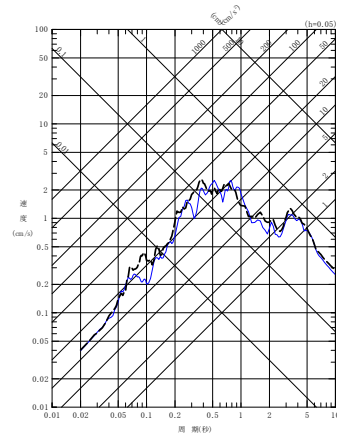
シミュレーション解析結果においては、上記外挿範囲も含む全周期帯において地震観測記録をよく説明することができることから、短周期側及び長周期側ともに、外挿を行った減衰定数の設定について問題が無いことを確認した。

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。

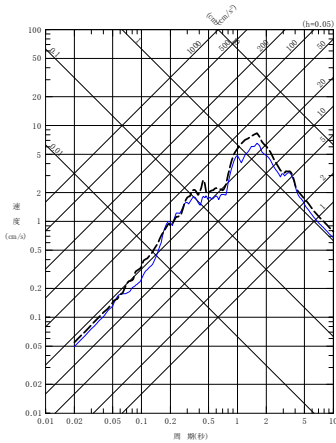
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



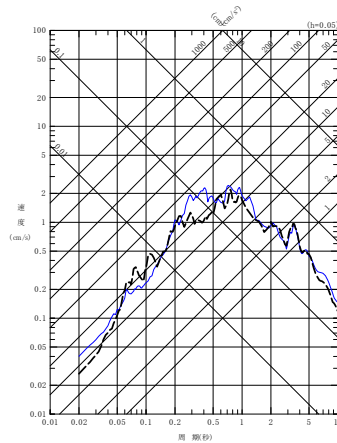
(a) NS 方向



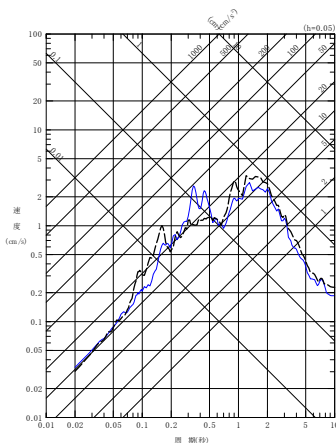
(a) NS 方向



(b) EW 方向

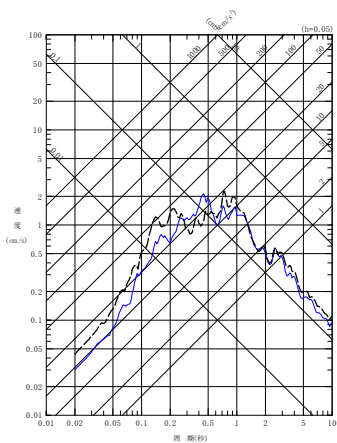


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200112022201 地震



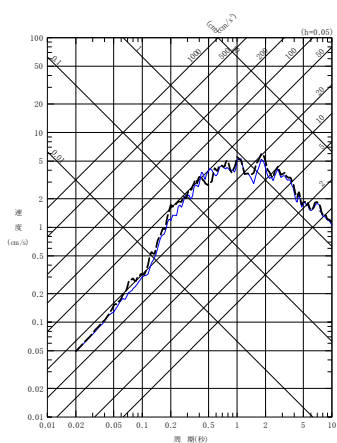
(c) UD 方向

(2) 200210142312 地震

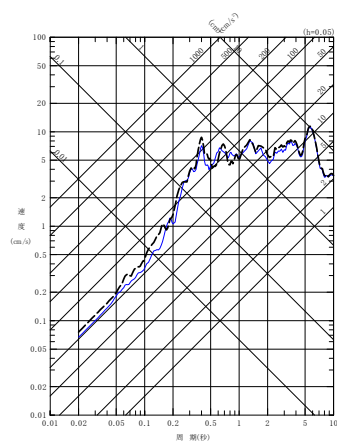
第 4.4.8-28 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (1/7)

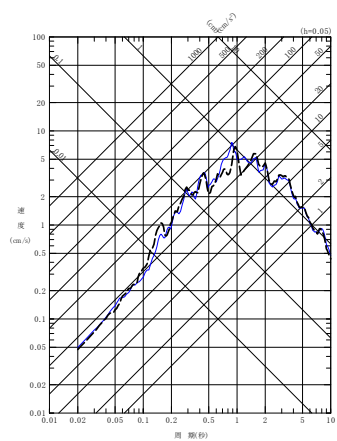
----- 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ———— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



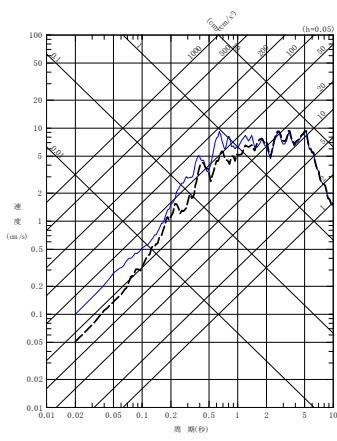
(a) NS 方向



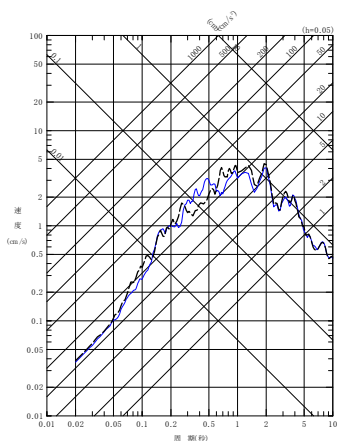
(a) NS 方向



(b) EW 方向

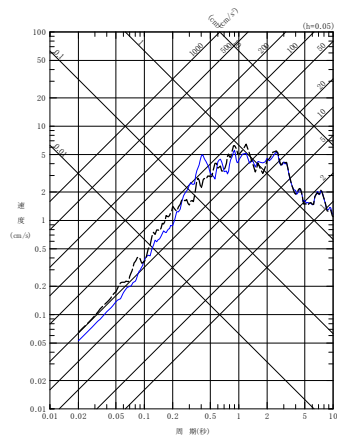


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 200305261824 地震



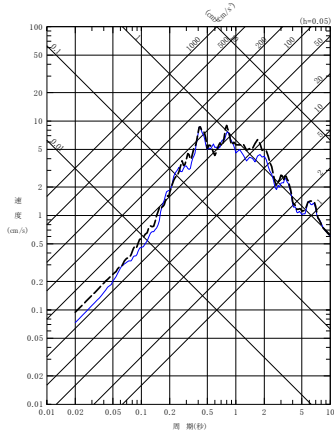
(c) UD 方向

(4) 200309260450 地震

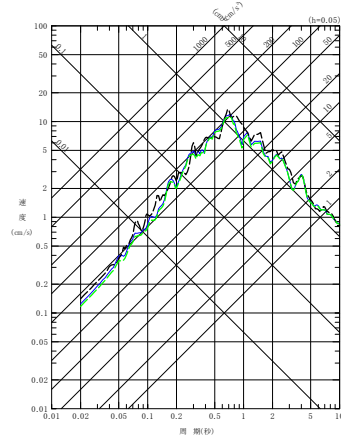
第 4.4.8-28 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (2/7)

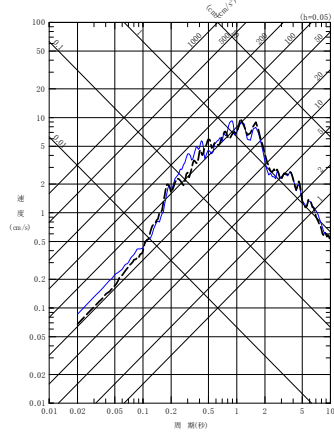
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



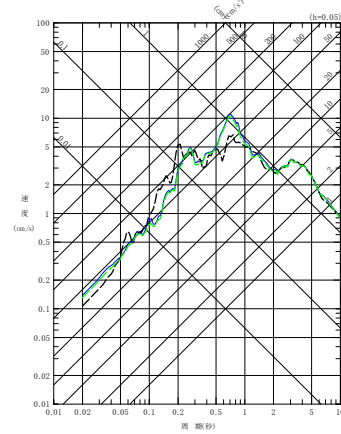
(a) NS 方向



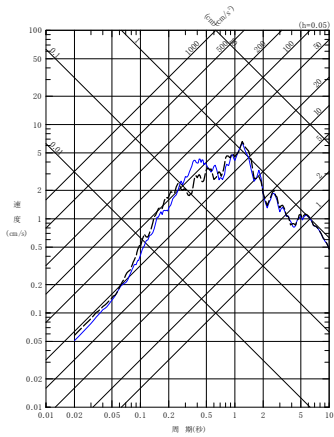
(a) NS 方向



(b) EW 方向

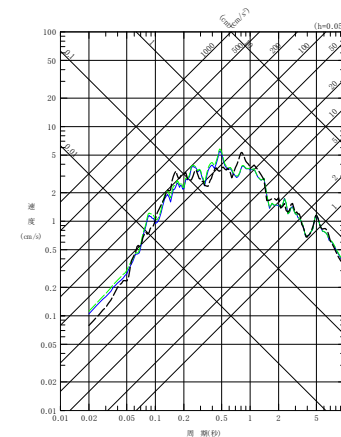


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 200309260608 地震



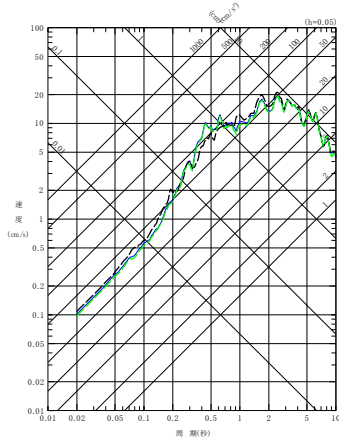
(c) UD 方向

(6) 200807240026 地震

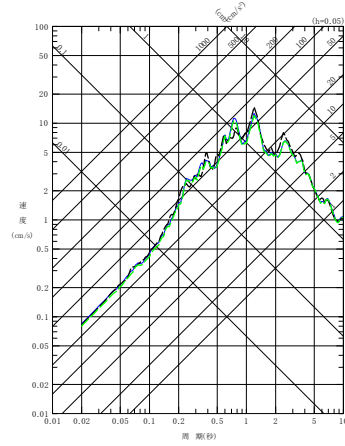
第 4.4.8-28 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (3/7)

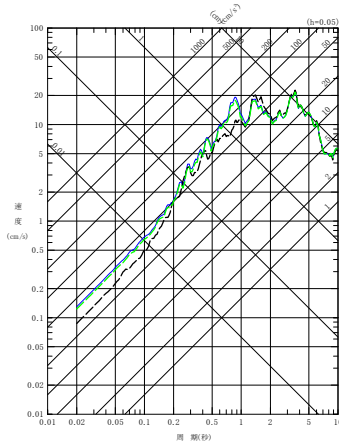
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



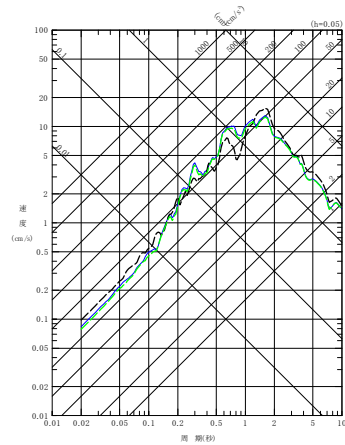
(a) NS 方向



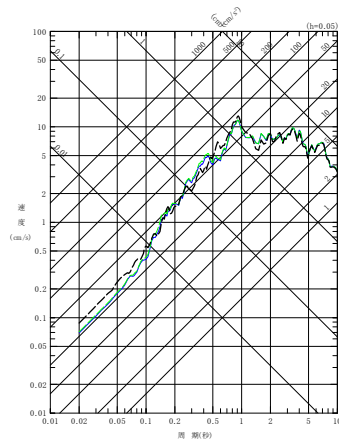
(a) NS 方向



(b) EW 方向

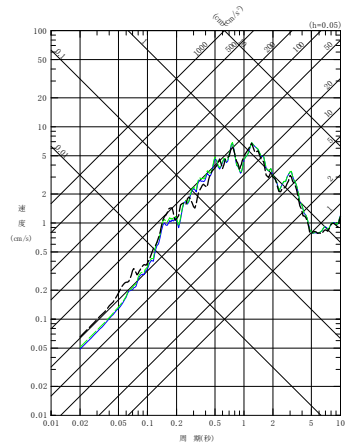


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201103111446 地震



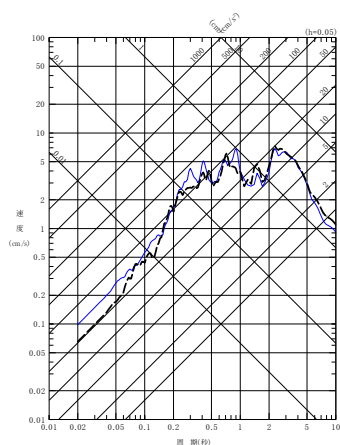
(c) UD 方向

(8) 201103111508 地震

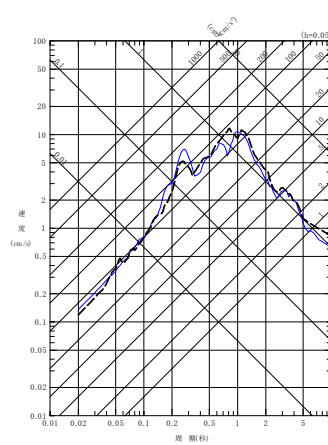
第 4.4.8-28 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (4/7)

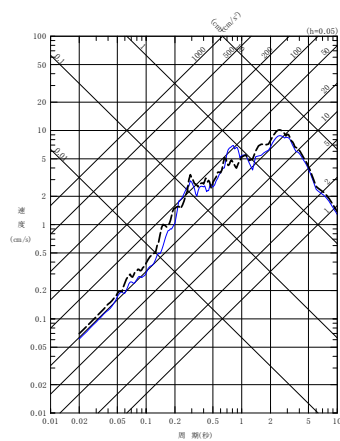
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



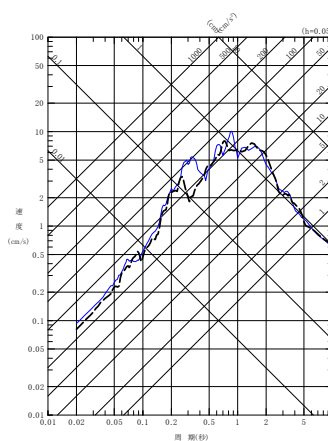
(a) NS 方向



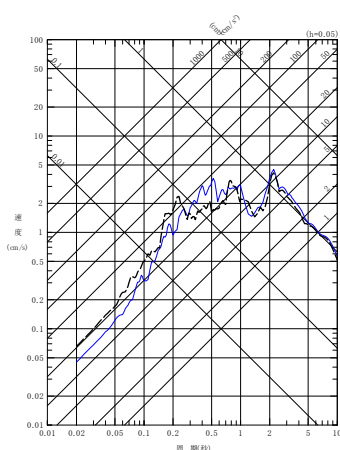
(a) NS 方向



(b) EW 方向

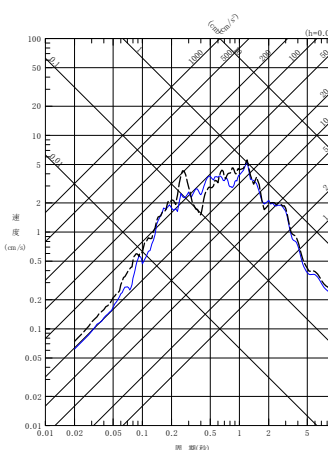


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201106230650 地震



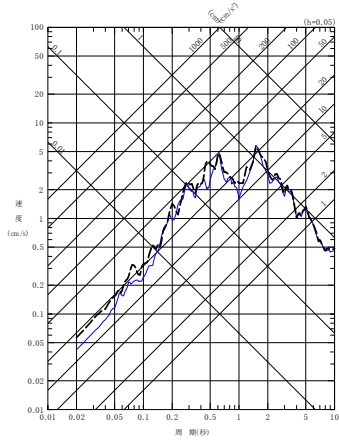
(c) UD 方向

(10) 201205240002 地震

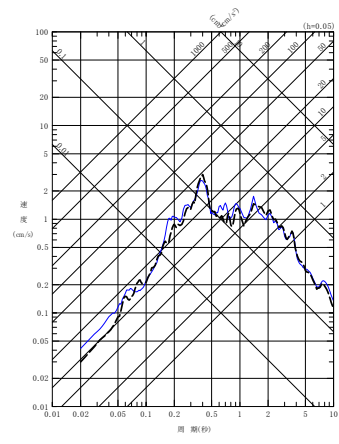
第 4.4.8-28 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (5/7)

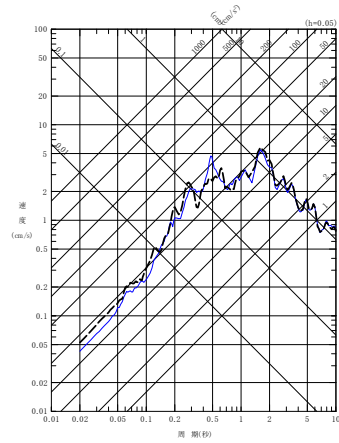
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



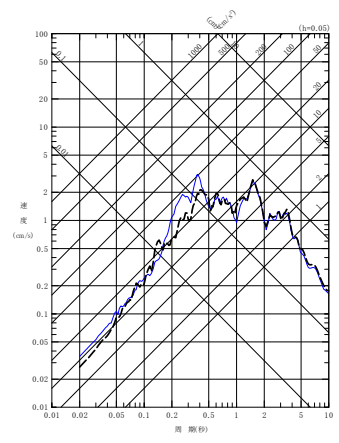
(a) NS 方向



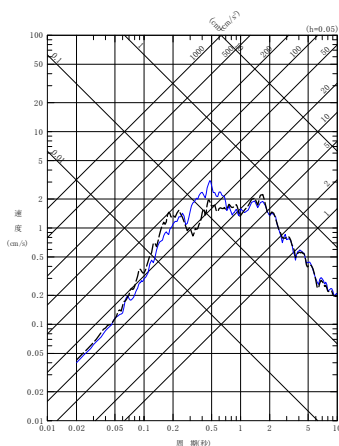
(a) NS 方向



(b) EW 方向

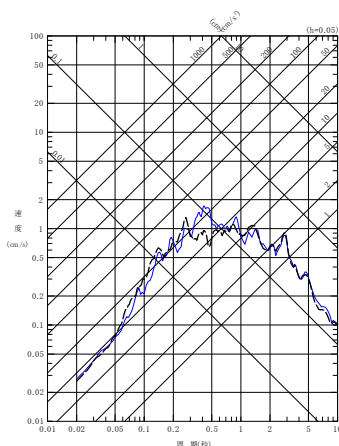


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 201212071718 地震



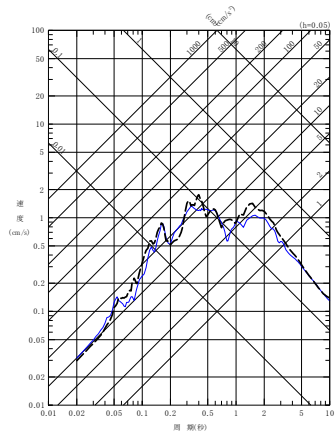
(c) UD 方向

(12) 201302022317 地震

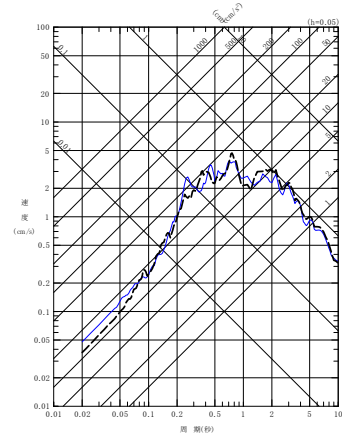
第 4.4.8-28 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (6/7)

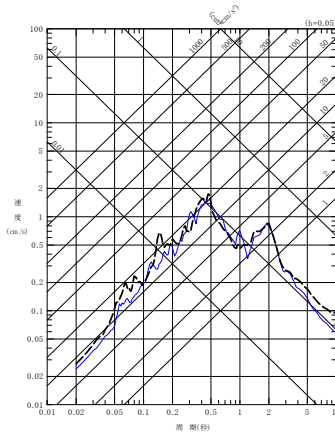
- - - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



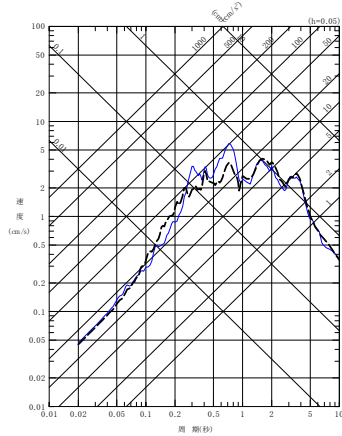
(a) NS 方向



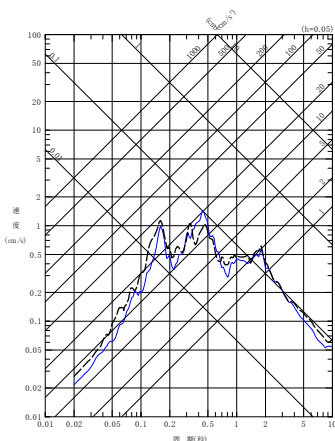
(a) NS 方向



(b) EW 方向

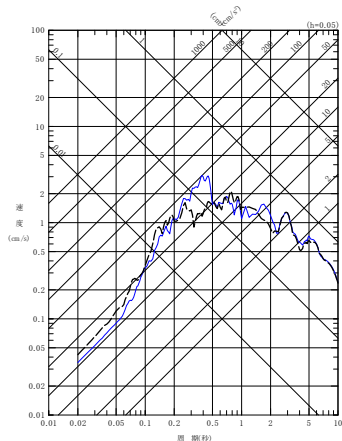


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(13) 201507100332 地震



(c) UD 方向

(14) 201601141225 地震

第 4.4.8-28 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 4.4.8-29 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整合しており、その大きさは周期によって大小はあるものの、全周期帯において地震観測記録に対して大きな差異の無いレベルである結果を示している。

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 4.4.8-11 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、「4.4.8 a. 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、「4.4.3 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 4.4.8-29 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。

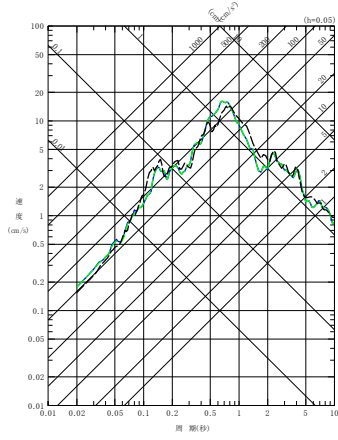
第 4.4.8-17 図及び第 4.4.8-18 図に示した伝達係数の傾向と同様に、リニア型の同定結果を用いたシミュレーション結果に対してシミュレーション解析結果の応答スペクトルに有意な差は無いことを確認しており、リニア型とバイリニア型における短周期側の減衰定数の設定の差はシミュレーション解析結果に影響を与えないことを確認した。

また、減衰定数の同定における周期方向の信頼区間については、第 4.4.7-1 表に示した最大周波数（水平方向 20Hz：0.05 秒、鉛直方向 30Hz：0.03 秒）から、地盤の一次固有周期よりも長周期側の範囲（約 1 秒以上）までの範囲となるが、シミュレーション解析を実施する上では、その範囲外の周期においても同様の周波数依存性が続くものと仮定し、外挿して減衰定数を設定している。

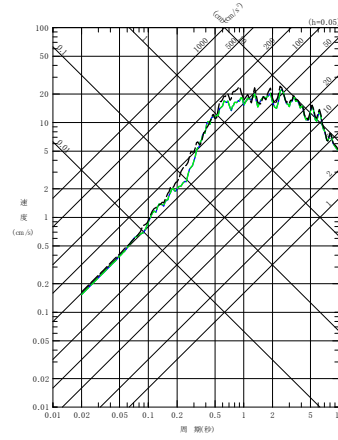
シミュレーション解析結果においては、上記外挿範囲も含む全周期帯において地震観測記録をよく説明することができることから、短周期側及び長周期側ともに、外挿を行った減衰定数の設定について問題が無いことを確認した。

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。

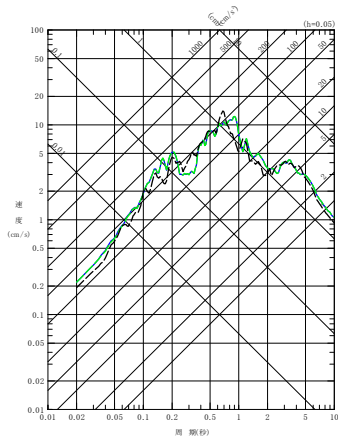
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



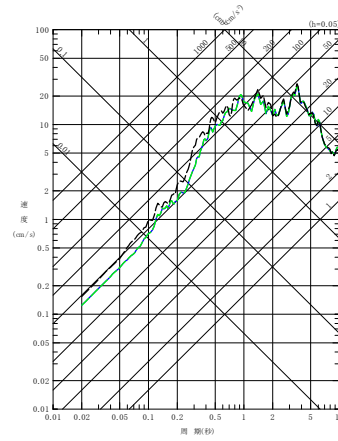
(a) NS 方向



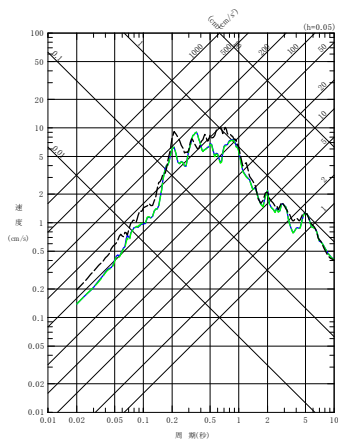
(a) NS 方向



(b) EW 方向

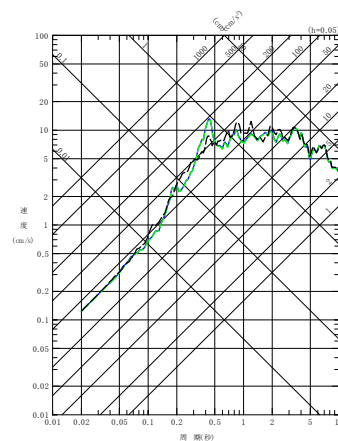


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200807240026 地震



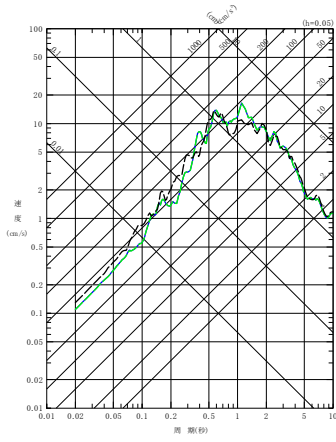
(c) UD 方向

(2) 201103111446 地震

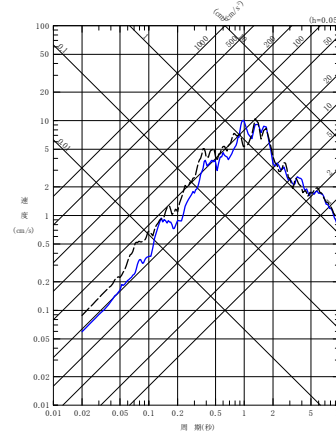
第 4.4.8-29 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (1/6)

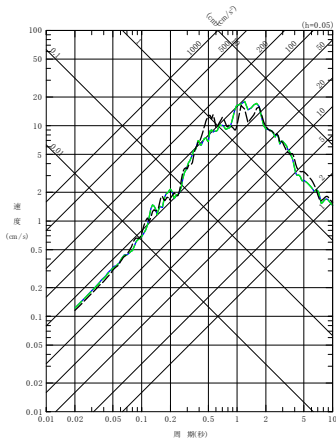
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



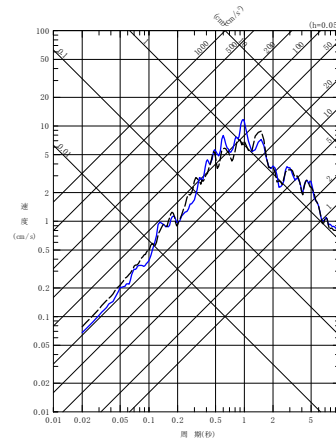
(a) NS 方向



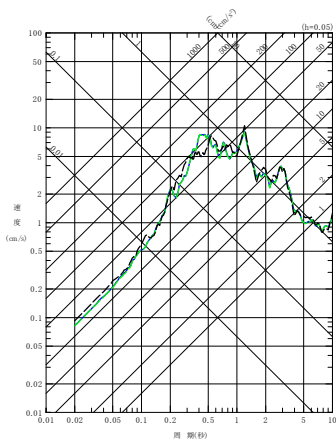
(a) NS 方向



(b) EW 方向

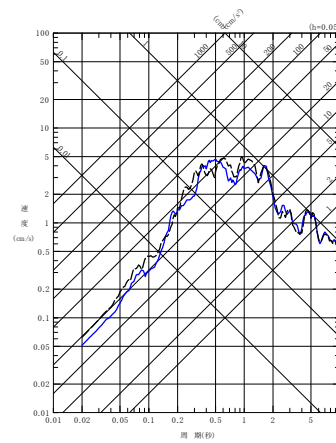


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 201103111508 地震



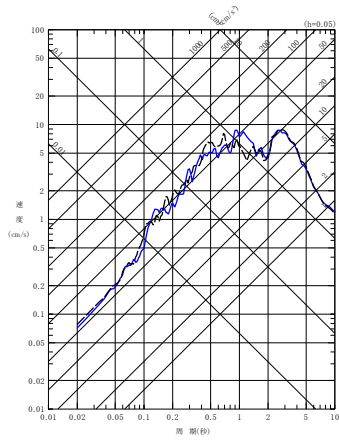
(c) UD 方向

(4) 201104072332 地震

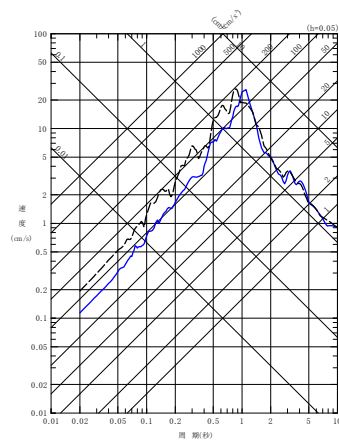
第 4.4.8-29 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (2/6)

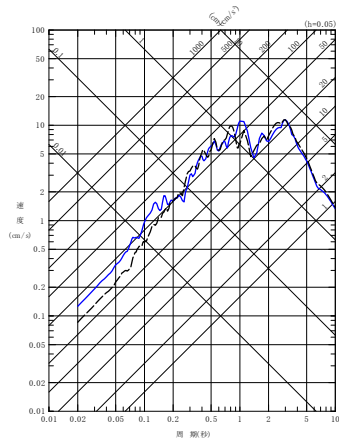
- - - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ———— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



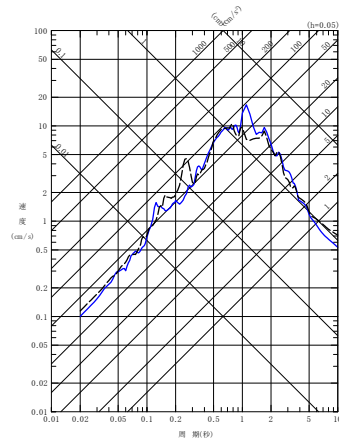
(a) NS 方向



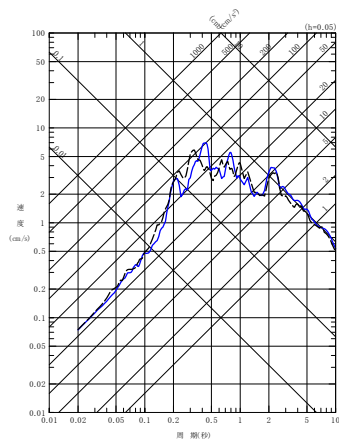
(a) NS 方向



(b) EW 方向

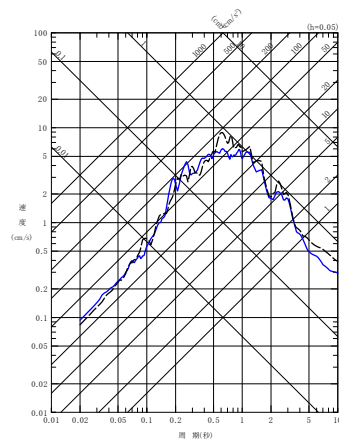


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 201106230650 地震



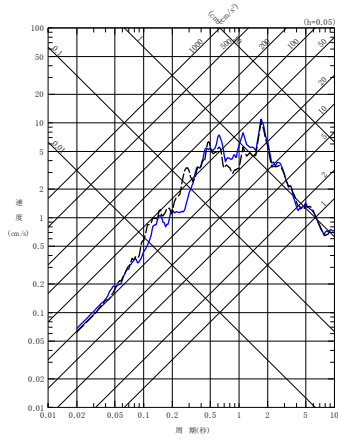
(c) UD 方向

(6) 201205240002 地震

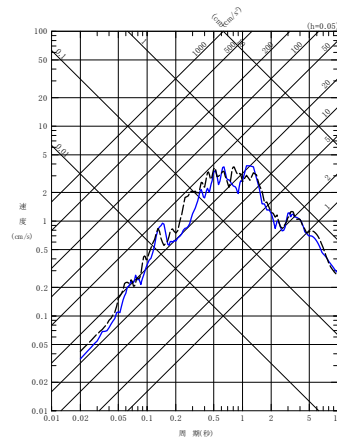
第 4.4.8-29 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (3/6)

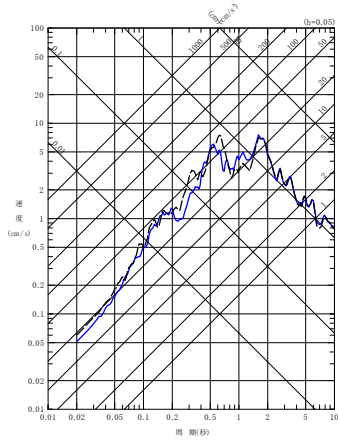
- - - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



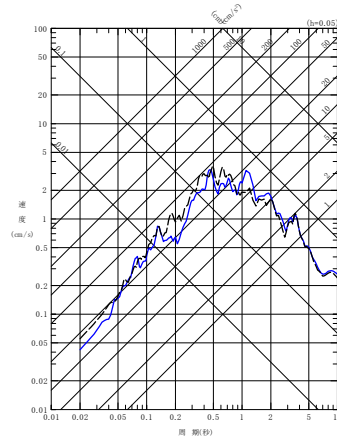
(a) NS 方向



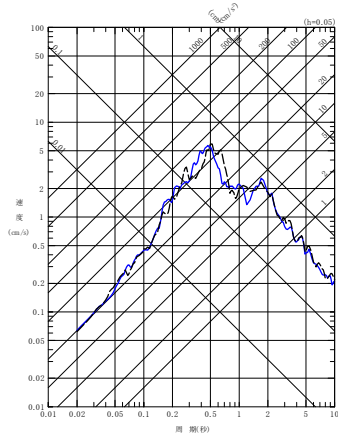
(a) NS 方向



(b) EW 方向

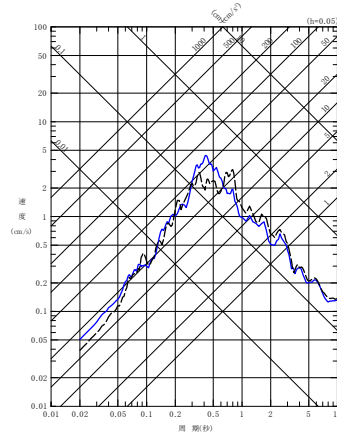


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201212071718 地震



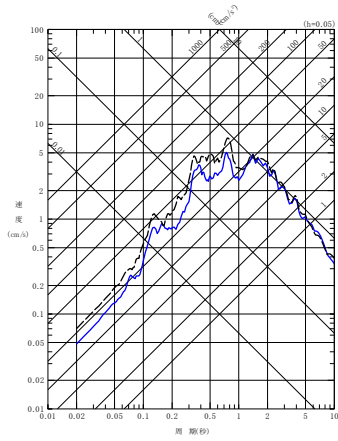
(c) UD 方向

(8) 201408101243 地震

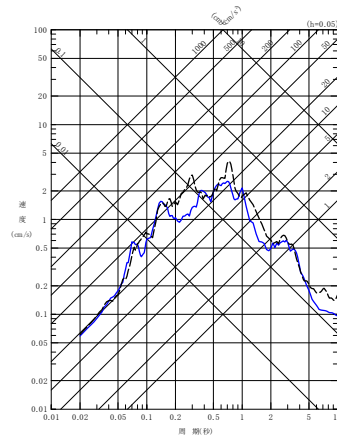
第 4.4.8-29 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (4/6)

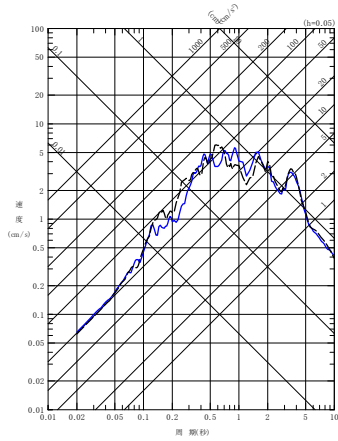
- - - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



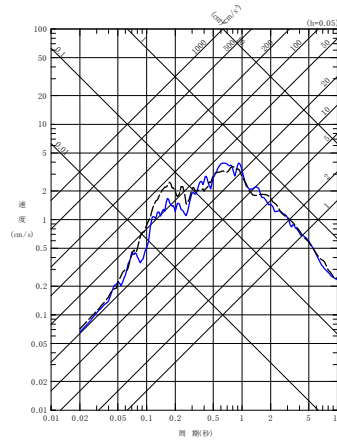
(a) NS 方向



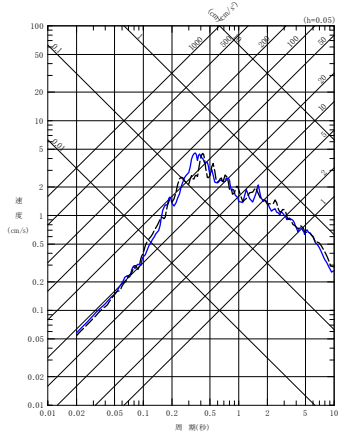
(a) NS 方向



(b) EW 方向

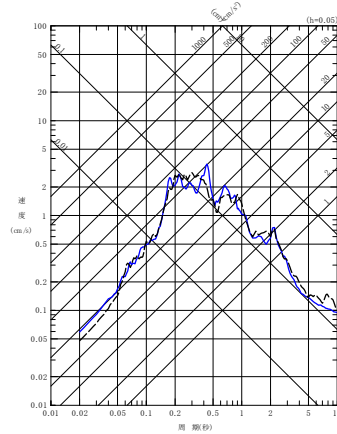


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201601141225 地震



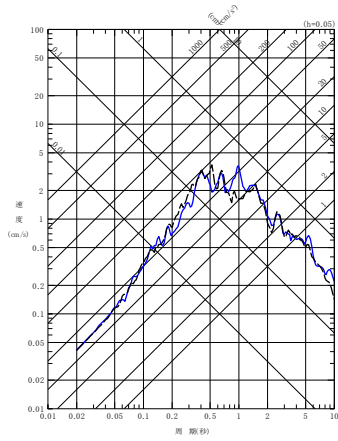
(c) UD 方向

(10) 201908151432 地震

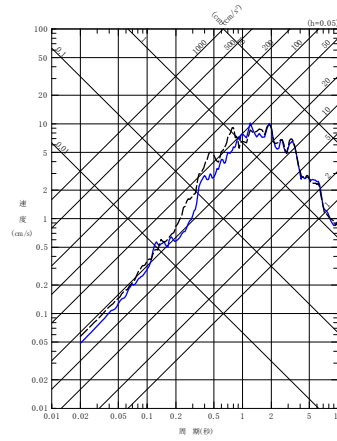
第 4.4.8-29 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (5/6)

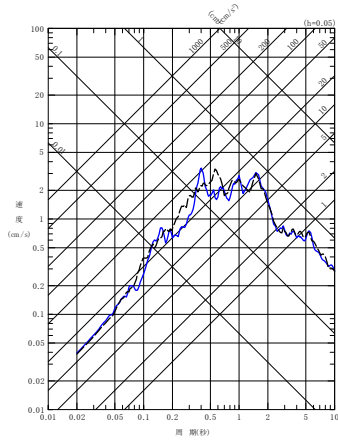
- - - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ———— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



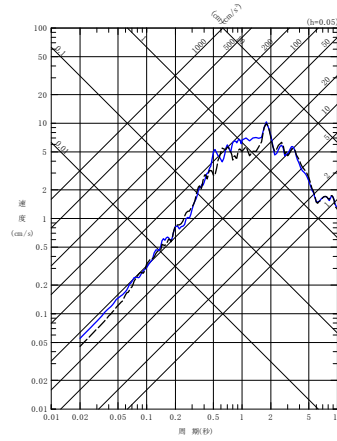
(a) NS 方向



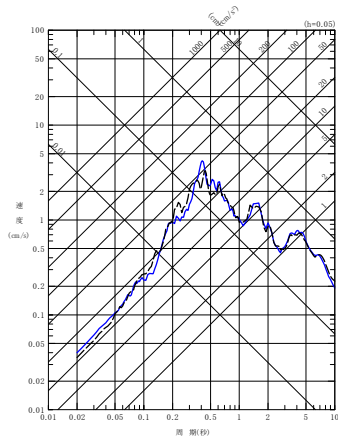
(a) NS 方向



(b) EW 方向

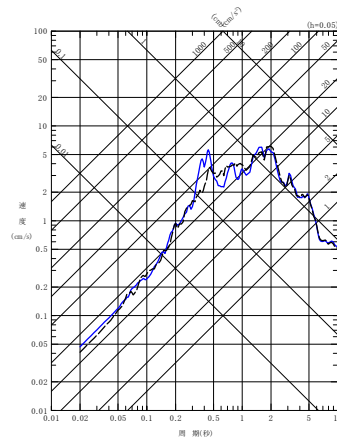


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 202012210223 地震



(c) UD 方向

(12) 202203162336 地震

第 4.4.8-29 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 4.4.8-30 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整合しており，その大きさは周期によって大小はあるものの，全周期帯において地震観測記録に対して大きな差異の無いレベルである結果を示している。

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 4.4.8-20 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，「4.4.8 a. 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，「4.4.3 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 4.4.8-30 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 4.4.8-26 図及

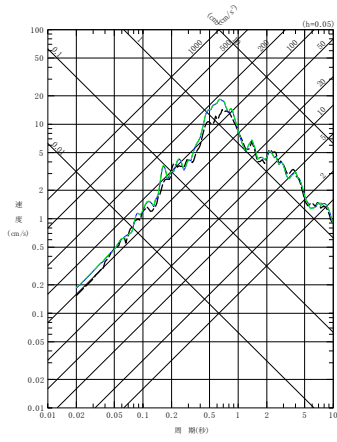
び第 4.4.8-27 図に示した伝達係数の傾向と同様に、リニア型の同定結果を用いたシミュレーション結果に対してシミュレーション解析結果の応答スペクトルに有意な差は無いことを確認しており、リニア型とバイリニア型における短周期側の減衰定数の設定の差はシミュレーション解析結果に影響を与えないことを確認した。

また、減衰定数の同定における周期方向の信頼区間については、第 4.4.7-1 表に示した最大周波数（水平方向 20Hz：0.05 秒，鉛直方向 30Hz：0.03 秒）から、地盤の一次固有周期よりも長周期側の範囲（約 1 秒以上）までの範囲となるが、シミュレーション解析を実施する上では、その範囲外の周期においても同様の周波数依存性が続くものと仮定し、外挿して減衰定数を設定している。

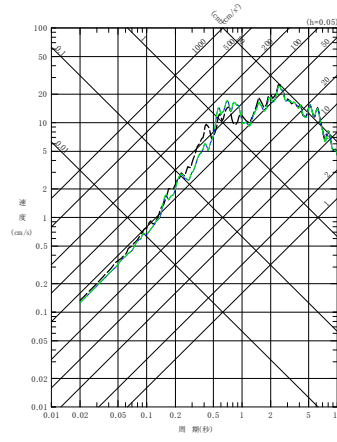
シミュレーション解析結果においては、上記外挿範囲も含む全周期帯において地震観測記録をよく説明することができることから、短周期側及び長周期側ともに、外挿を行った減衰定数の設定について問題が無いことを確認した。

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。

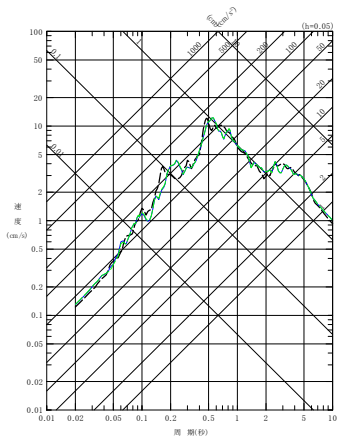
- 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
- 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
- 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



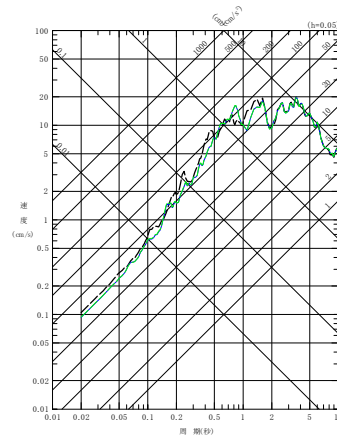
(a) NS 方向



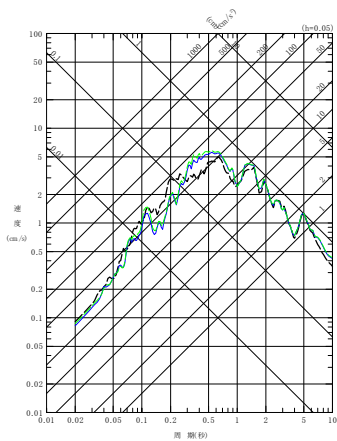
(a) NS 方向



(b) EW 方向

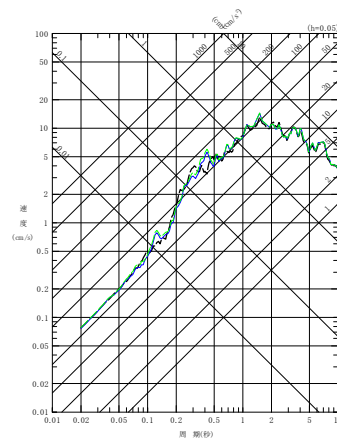


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200807240026 地震



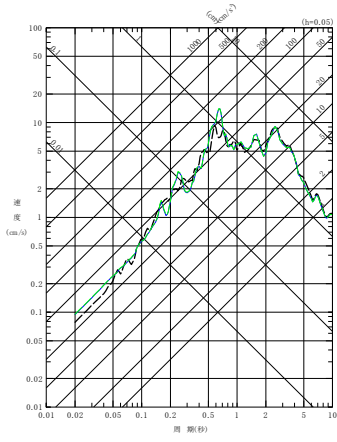
(c) UD 方向

(2) 201103111446 地震

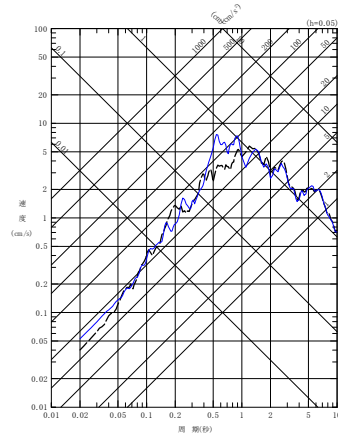
第 4.4.8-30 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (1/6)

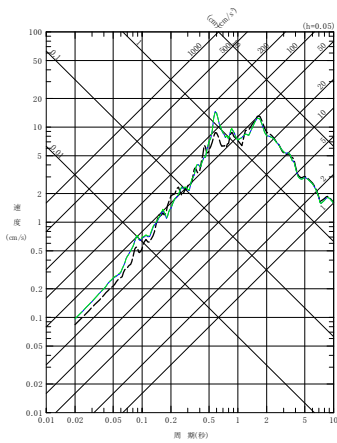
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



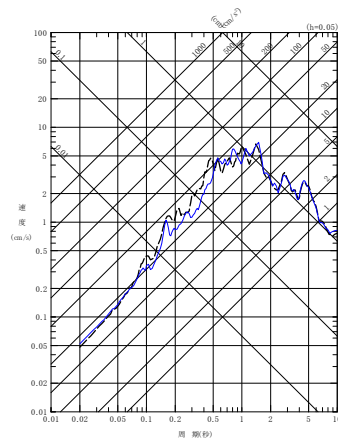
(a) NS 方向



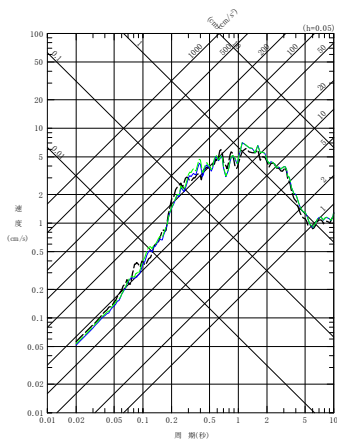
(a) NS 方向



(b) EW 方向

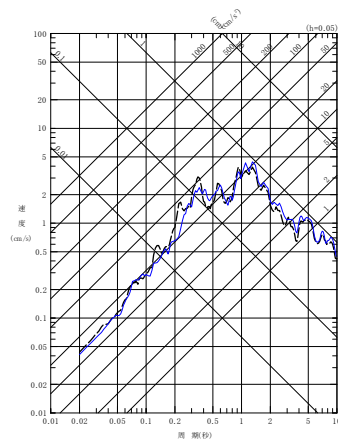


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 201103111508 地震

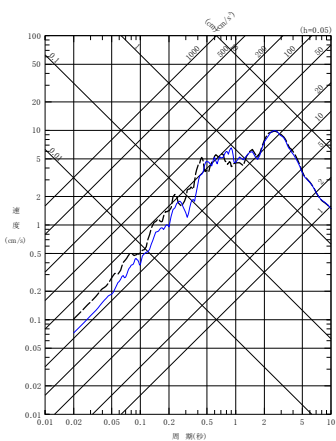


(c) UD 方向

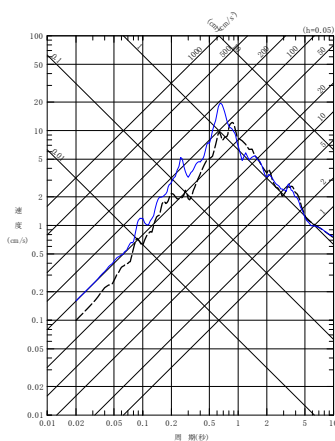
(4) 201104042332 地震

第 4.4.8-30 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)

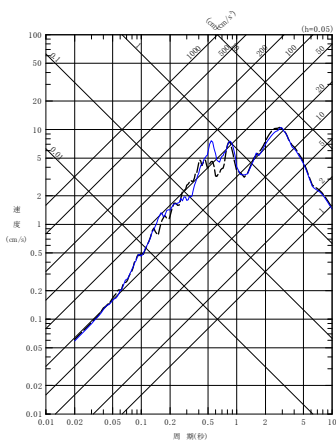
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



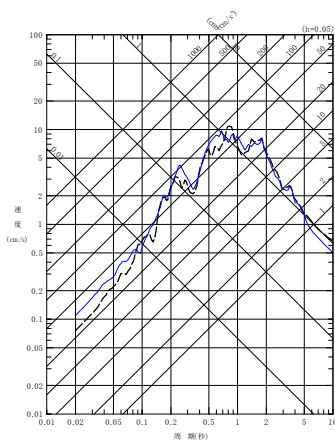
(a) NS 方向



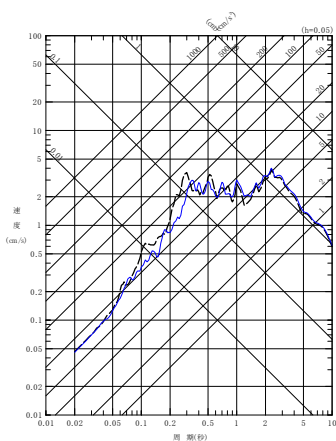
(a) NS 方向



(b) EW 方向

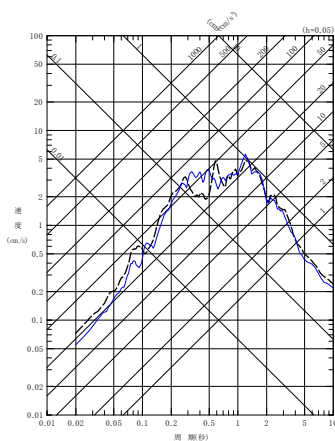


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 201106230650 地震



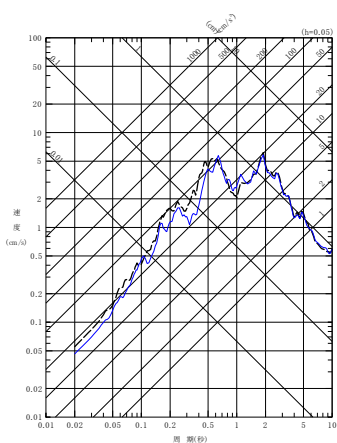
(c) UD 方向

(6) 201205240002 地震

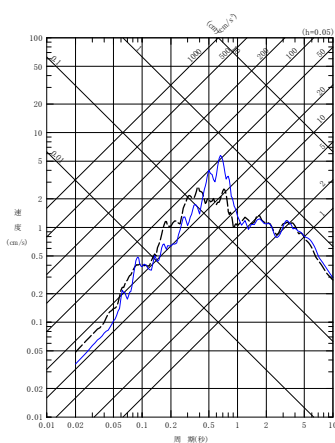
第 4.4.8-30 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (3/6)

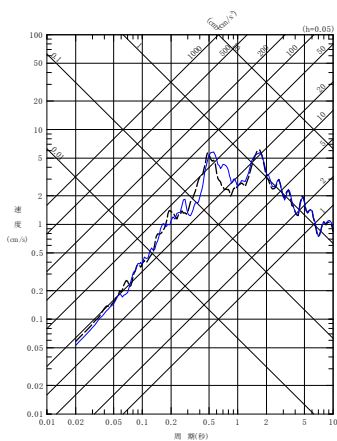
----- 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ———— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



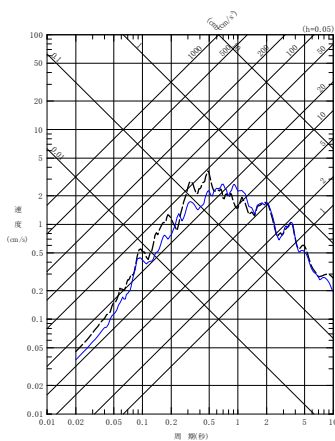
(a) NS 方向



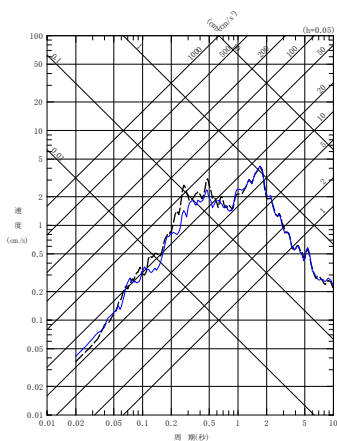
(a) NS 方向



(b) EW 方向

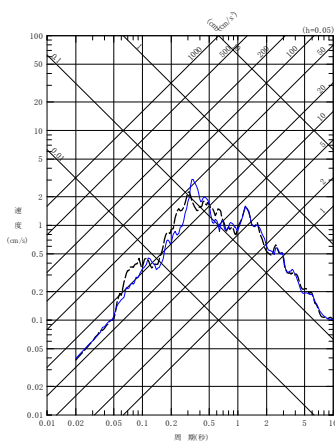


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201212071718 地震



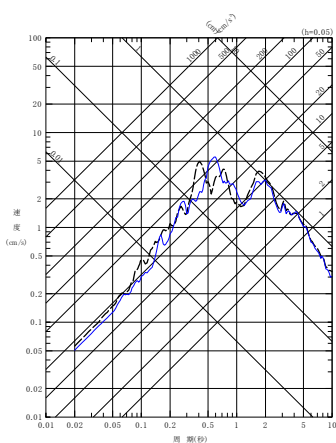
(c) UD 方向

(8) 201408101243 地震

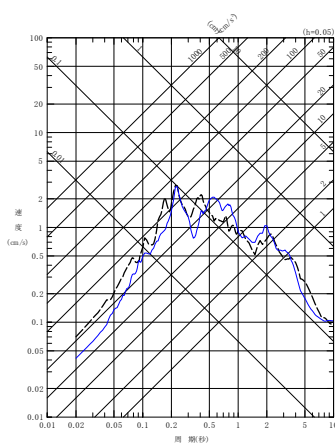
第 4.4.8-30 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (4/6)

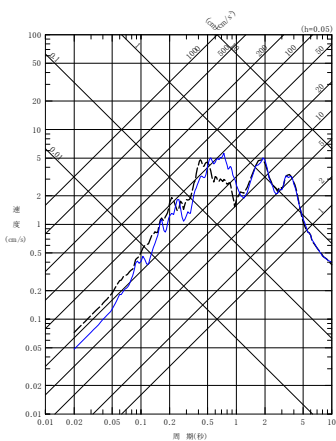
--- 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



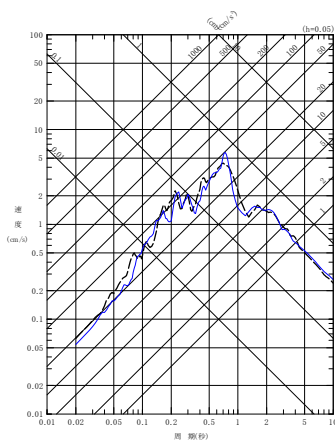
(a) NS 方向



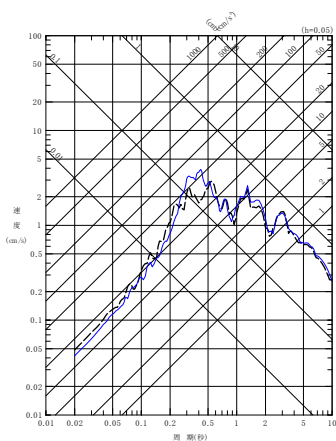
(a) NS 方向



(b) EW 方向

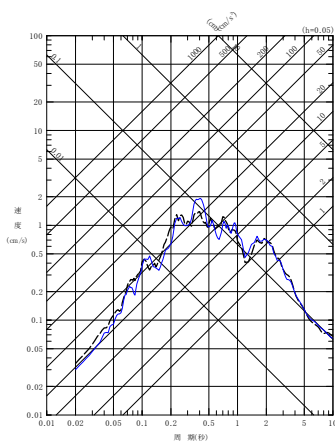


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201601141225 地震



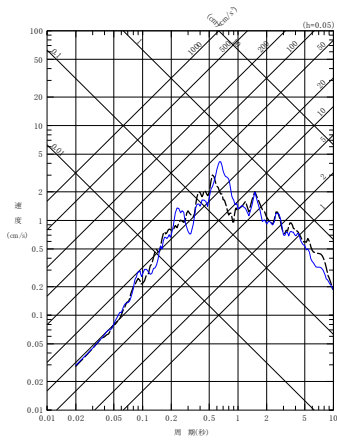
(c) UD 方向

(10) 201908151432 地震

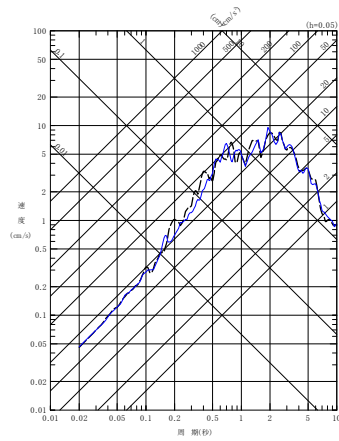
第 4.4.8-30 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (5/6)

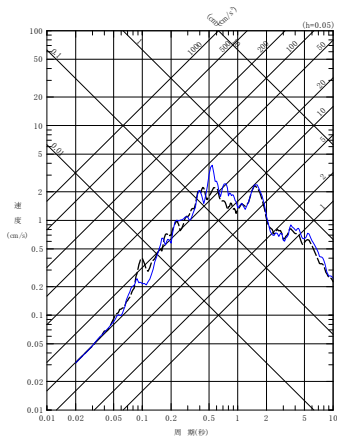
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



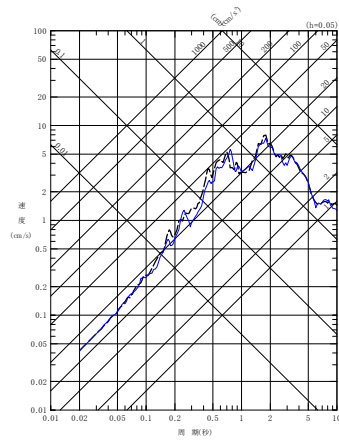
(a) NS 方向



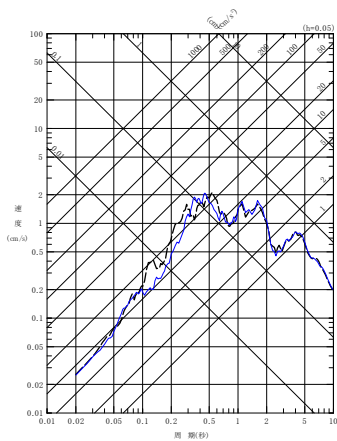
(a) NS 方向



(b) EW 方向

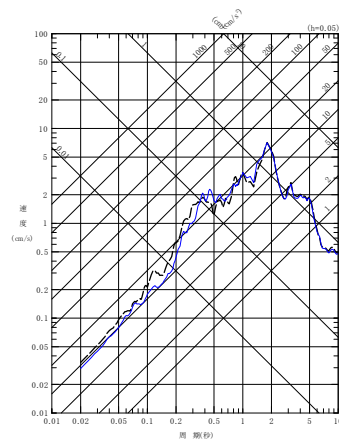


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 202012210223 地震



(c) UD 方向

(12) 202203162336 地震

第 4.4.8-30 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)

4.4.9 振動数依存性を考慮しない場合の評価結果

a. 伝達関数による評価結果（振動数依存性なし）

「4.4.7 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4.4.9-1図及び第4.4.9-2図（中央地盤）、第4.4.9-5図及び第4.4.9-6図（西側地盤）、第4.4.9-9図及び第4.4.9-10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4.4.9-3図及び第4.4.9-4図（中央地盤）、第4.4.9-7図及び第4.4.9-8図（西側地盤）、第4.4.9-11図及び第4.4.9-12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、「4.4.8 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、「4.4.7 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。

減衰定数の評価結果を確認するにあたっては、入力地震動を算定する上で、応答スペクトルの大きさや周期特性に対して支配的となる地盤の1次及び2次の伝達関数のピーク周期がよく再現されているかに着目して行う。

さらに、本モデル（振動数依存性なし）による同定結果については、「4.4.6 伝達関数の振動数依存性の考慮」に示したとおり、振動数依存性を有しない設定となり、実観測記録にみられるとされる振動数依存性に対し、長周期側では減衰定数を小さく、短周期側では大きく評価することが考えられる。

このため、1次及び2次のピークにおいて、伝達関数の大きさについては、上記減衰定数の周波数特性の大小関係に対して矛盾していないこと、すなわち長周期側では伝達関数を大きく、短周期側では小さく評価していることの確認まで行い、地震観測記録との整合性については、「4.4.9 b. 応答スペクトルによる評価結果（振動数依存性なし）」による地震観測記録を用いたシミュレーション解析結果にて行う。

(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 4.4.9-1 図～第 4.4.9-4 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、「4.4.8 a. 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。

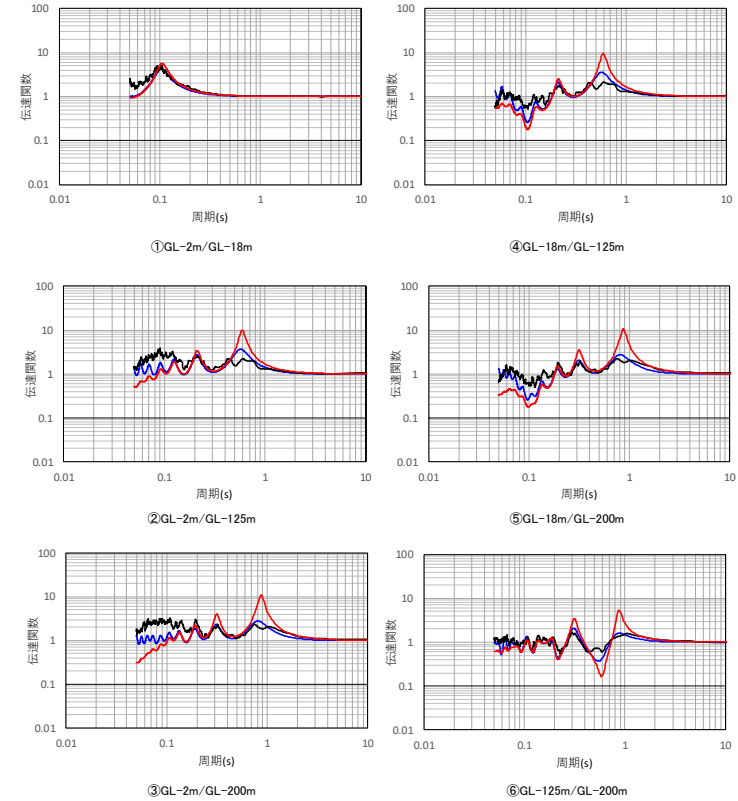
振動数依存性なしの条件により求められる伝達関数は、「4.4.8 a. 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」にて同定した振動数依存性を考慮した結果と比較して、ピーク振動数については変わらないものの、伝達関数の大きさについては地震観測記録との差異が見られる結果となっており、長周期側では振動数依存性なしの条件による伝達関数が観測記録に対して大きく、短周期側では小さく評価されている。

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

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G.L. -120m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h=0.066$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

— 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

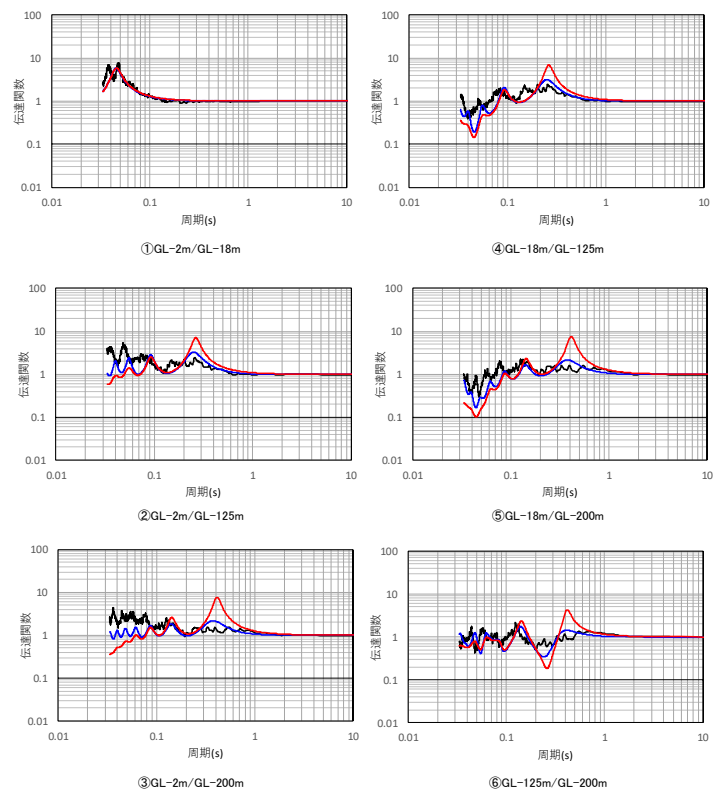
第 4.4.9-1 図 伝達関数による評価結果 (中央地盤観測点: 振動数依存性なし, 水平)

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

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G. L. -120m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h=0.092$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

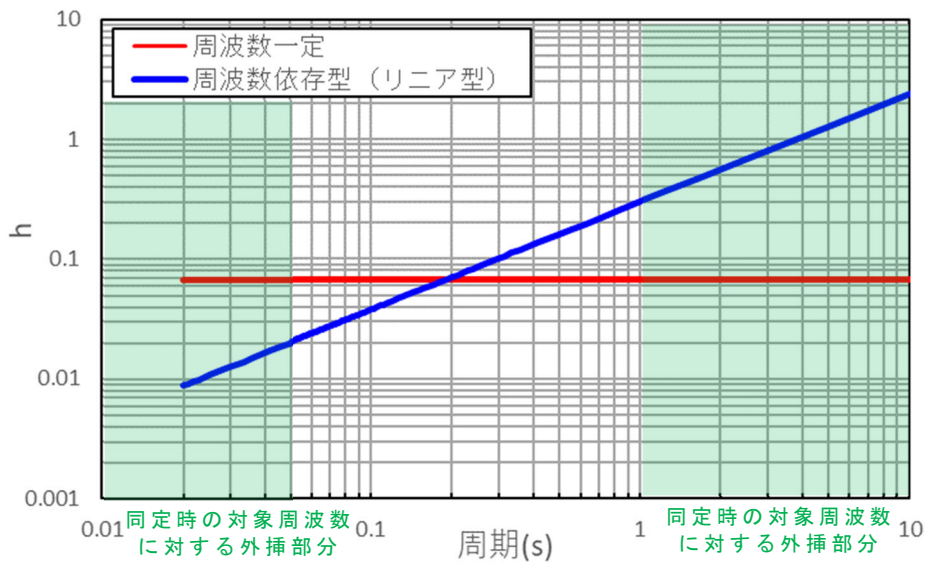
— 目的関数 (観測記録の伝達関数を平均して作成)
— 周波数依存型 (リニア型)
— 周波数依存なし



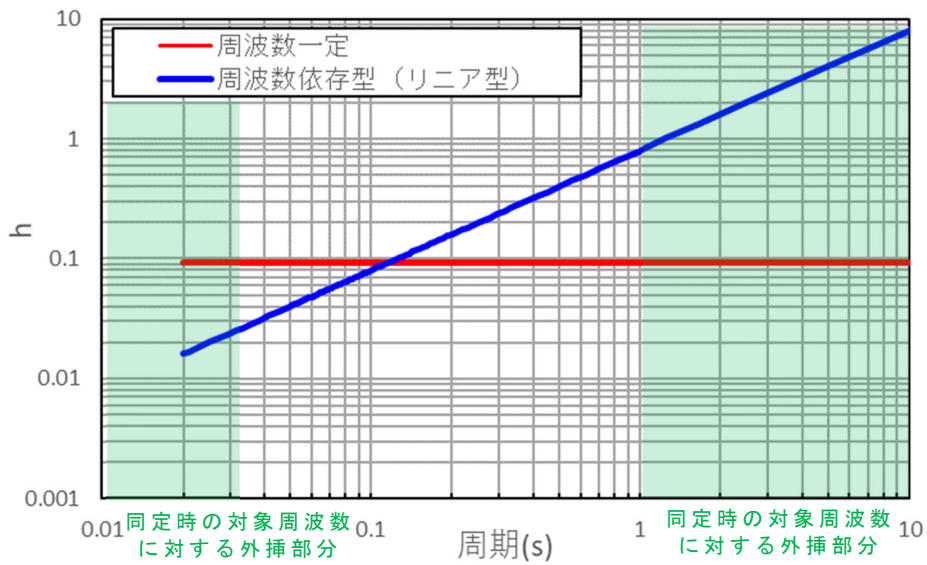
(a) 評価された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

第 4.4.9-2 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 4.4.9-3 図 減衰定数と周期の関係 (中央地盤観測点, 水平)



第 4.4.9-4 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 4.4.9-5 図～第 4.4.9-8 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、「4.4.8 a. 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。

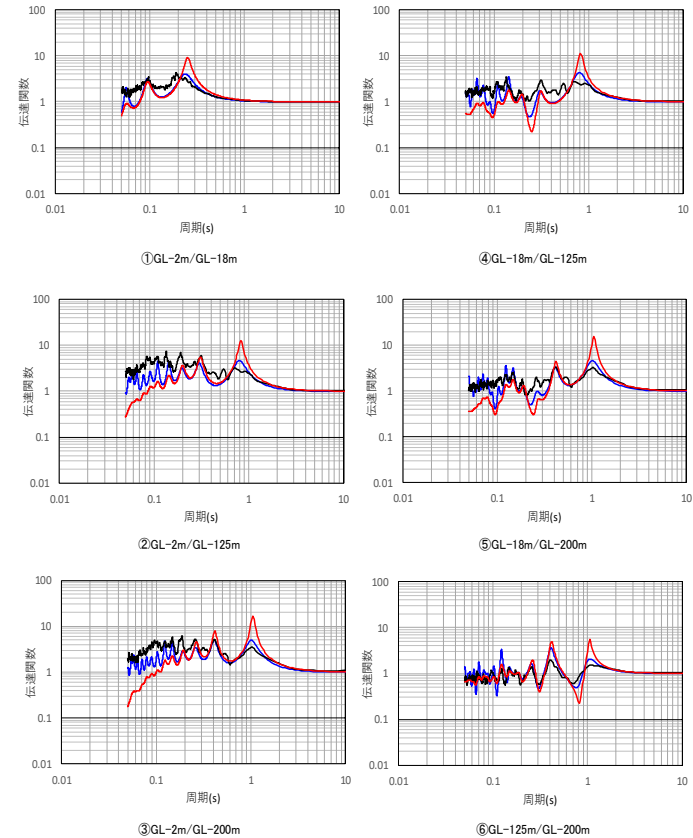
振動数依存性なしの条件により求められる伝達関数は、「4.4.8 a. 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」にて同定した振動数依存性を考慮した結果と比較して、ピーク振動数については変わらないものの、伝達関数の大きさについては地震観測記録との差異が見られる結果となっており、長周期側では振動数依存性なしの条件による伝達関数が観測記録に対して大きく、短周期側では小さく評価されている。

— 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

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		240	0.081
-4.34	3	5.76		290	0.067
-10.10	4	7.9	420		
-18.00	5	18.82	2.02	580	0.055
-36.82	6	36.68		660	
-73.50	7	39.1	1.59	870	0.030
-112.60	8	12.4			
-125.00	9	63.87	1.75	1050	0.030
-188.87	10	11.13			
-200.00	11	—	1.57		

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

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G. L. -112.6m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h=0.052$ となり、上記代表値と大きな差は無い。



(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 4.4.9-5 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			
-10.10	4	7.9	2.02	740	0.103
-18.00	5	18.82		1520	
-36.82	6	36.68	1.59		1640
-73.50	7	39.1		1.75	2000
-112.60	8	12.4			
-125.00	9	63.87			
-188.87	10	11.13	1.57	2220	0.085
-200.00	11	—			

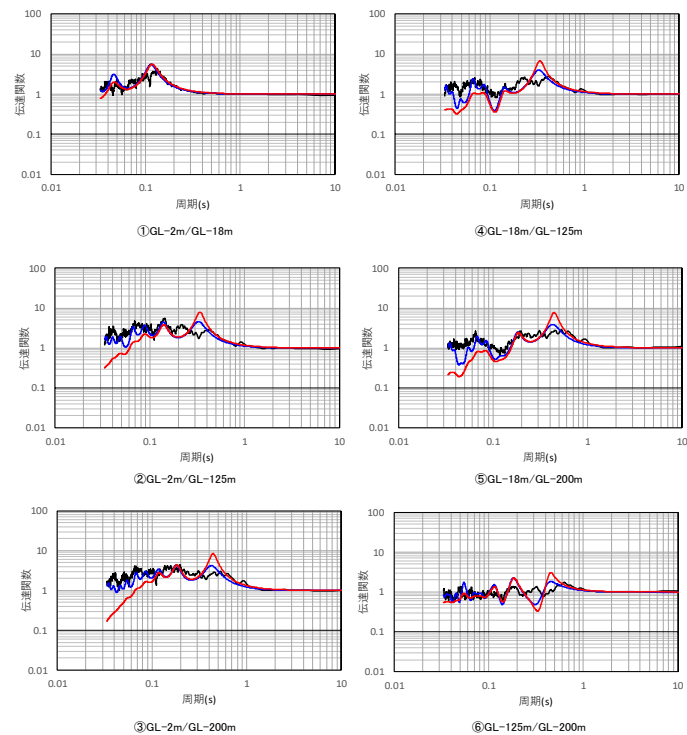
解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G. L. -112.6m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h=0.092$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

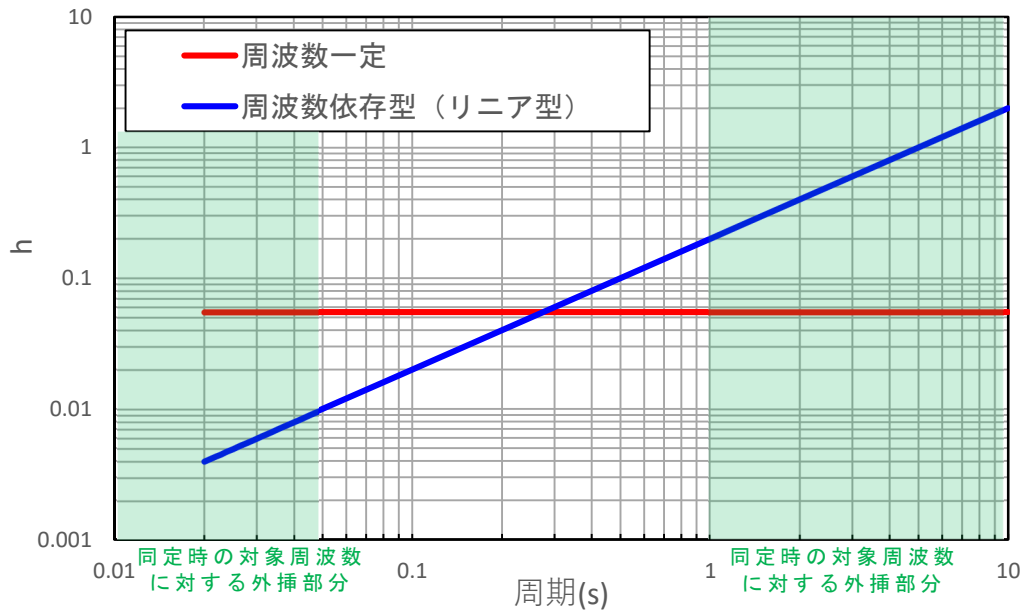
(a) 評価された物性値及び減衰定数

第 4.4.9-6 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)

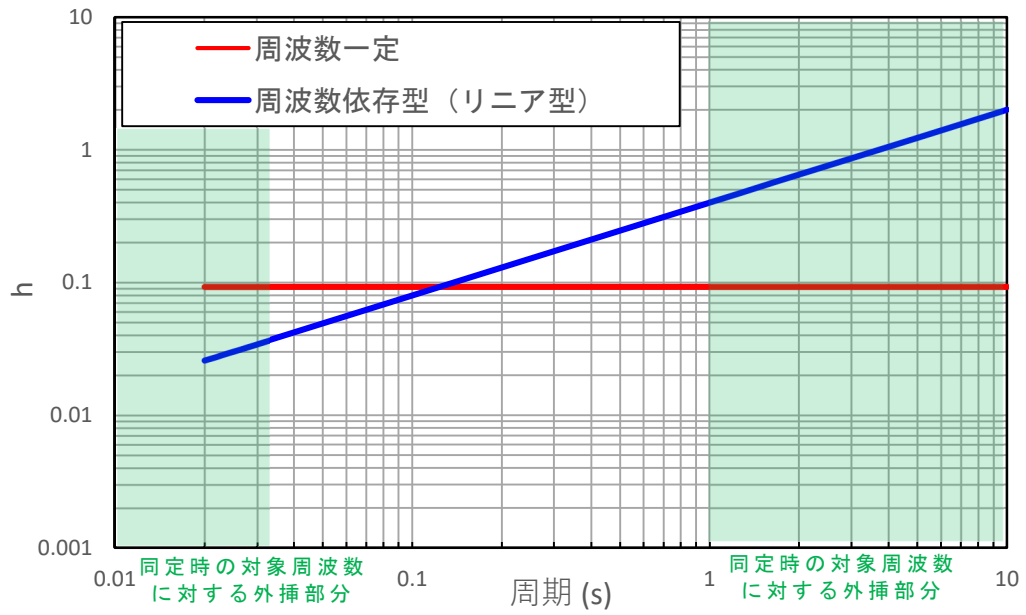
— 目的関数 (観測記録の伝達関数を平均して作成)
— 周波数依存型 (リニア型)
— 周波数依存なし



(b) 伝達関数適合状況



第 4.4.9-7 図 減衰定数と周期の関係（西側地盤観測点，水平）



第 4.4.9-8 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 4.4.9-9 図～第 4.4.9-12 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、「4.4.8 a. 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、「4.4.8 a. 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差異が見られる結果となっており、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。

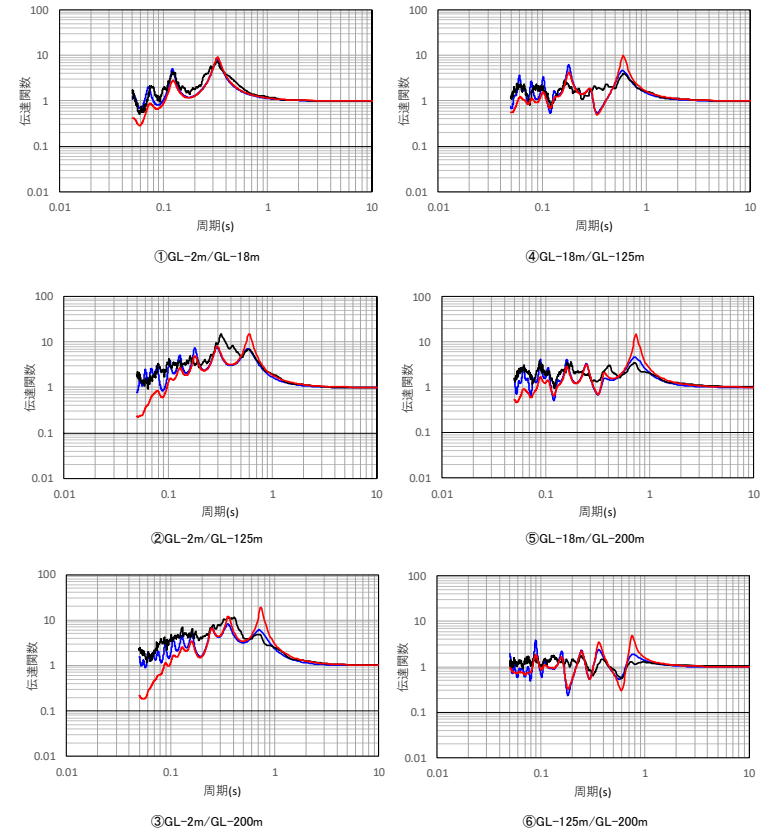
深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h
0	1	2	1.69	140	0.136
-2.00	2	6.33		160	0.075
-8.33	3	6.4		210	
-14.73	4	3.27	1.72	310	0.061
-18.00	5	0.68	1.59	640	0.055
-18.68	6	53.2			
-71.88	7	43.85		1090	
-115.73	8	9.27	1.82	1190	0.033
-125.00	9	34.31			
-159.31	10	40.69	1.90	1200	
-200.00	11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

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

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G. L. -115.73m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h=0.053$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

(a) 評価された物性値及び減衰定数

— 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



(b) 伝達関数適合状況

第 4.4.9-9 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)

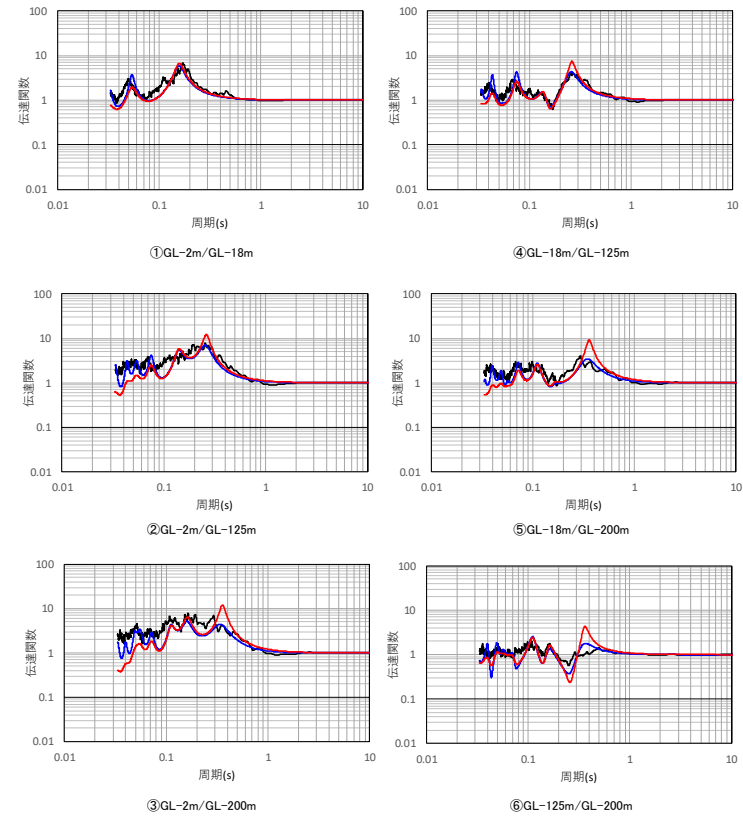
深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	P波速度 Vp(m/s)	減衰定数 h
0	1	2	1.69	360	0.097
-2.00	2	6.33		370	
-8.33	3	6.4		390	
-14.73	4	3.27	1.72	970	0.081
-18.00	5	0.68			
-18.68	6	53.2	1.59	1880	0.070
-71.88	7	43.85		2060	
-115.73	8	9.27	1.82	2140	0.066
-125.00	9	34.31			
-159.31	10	40.69	1.90	2370	0.066
-200.00	11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

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

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近のG.L.-115.73m～-125mの層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h=0.070$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

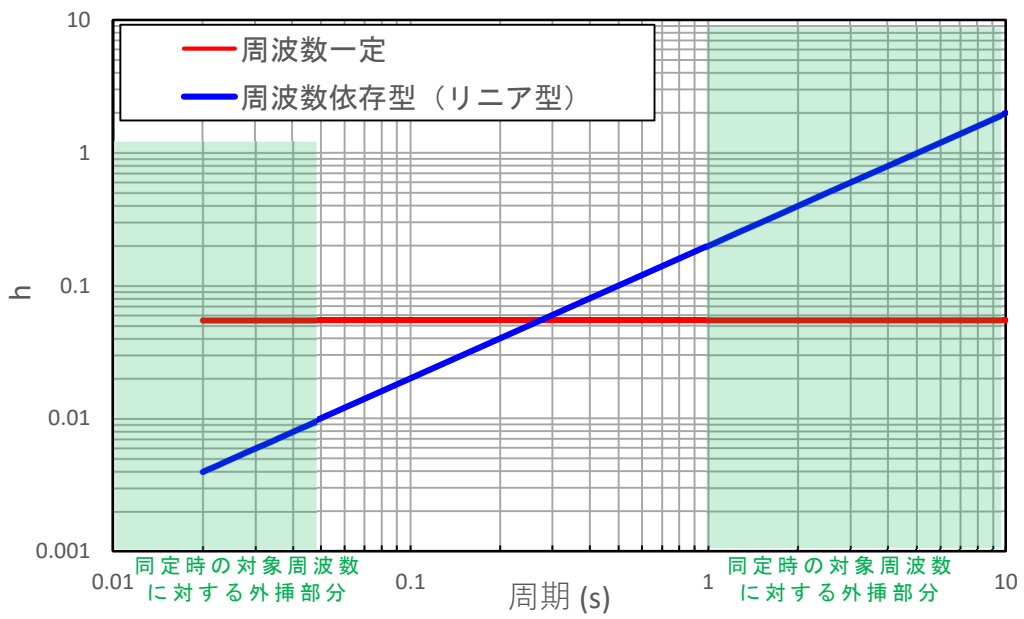
(a) 評価された物性値及び減衰定数

— 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

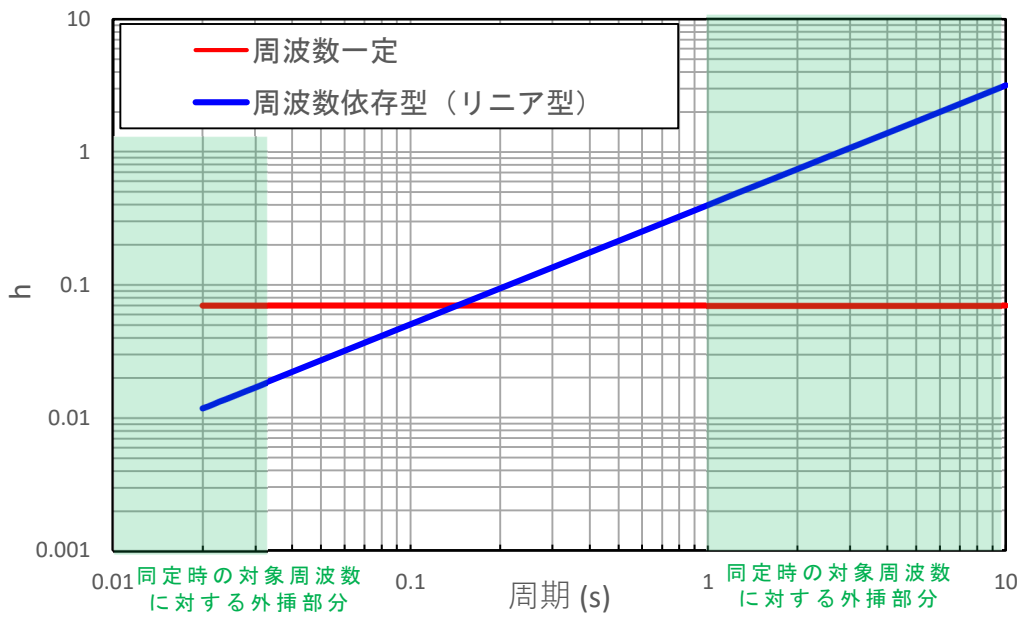


(b) 伝達関数適合状況

第 4.4.9-10 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 4.4.9-11 図 減衰定数と周期の関係（東側地盤観測点，水平）



第 4.4.9-12 図 減衰定数と周期の関係（東側地盤観測点，鉛直）

b. 応答スペクトルによる評価結果（振動数依存性なし）

「4.4.9 a.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差異が、入力地震動の算定結果に対してどのように影響するか、「4.4.8 b.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 4.4.9-13 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ない条件によるシミュレーション結果が、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を上回ることを確認した。

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 4.4.9-1 図及び第 4.4.9-2 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。

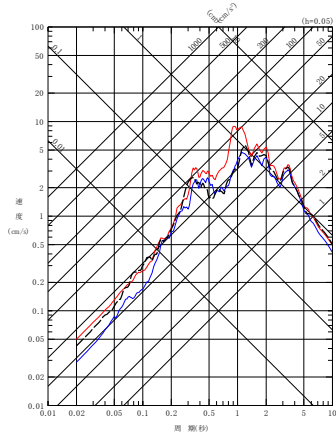
伝達関数は、地震波が有する周期成分ごとの地震動の大きさを直接示したフーリエスペクトルの比率により算定されるが、ある周期成分の地震動は、その周辺の周期帯にも応答として作用することになる。本評価において確認している応答スペクトルは、様々な周期成分をもつ地震動に対する応答の最大値を周期ごとにプロットしたものであることから、前述の同定結果における伝達関数の周期ごとの大小関係とは必ずしも一致しない。

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、地盤応答を評価する上で支配的な、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、短周期側の応答スペクトルを大きく評価することになる。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。

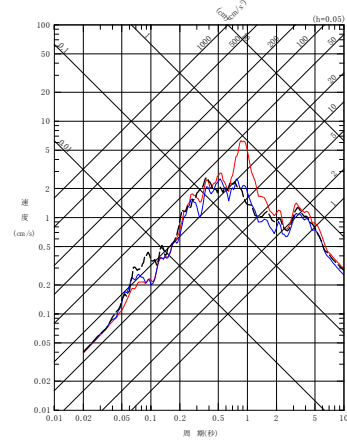
「参考2 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価に関する補足検討結果」の「4. シミュレーション解析結果のフーリエスペクトル」に、本シミュレーション解析結果のフーリエスペクトルを示す。フーリエスペクトルは、減衰定数の大小関係と対応するように、短周期側の地震動成分は「周波数依存性あり（リニア型）」>「周波数依存性あり（バイリニア型）」>「周波数依存性なし」と、「周波数依存性なし」とした場合が最も小さくなっているが、長周期側（特に地盤の1次に相当する水平では0.5～1.0秒、鉛直では0.4秒付近の卓越）では、逆に「周波数依存性なし」が最も大きくなっている。

応答スペクトルについては、卓越する周期成分による応答が短周期成分の応答まで影響を与えるため、フーリエスペクトルに見られるような差は直接現れず、むしろ短周期側の応答も「周波数依存性なし」の方が大きくなっている。このような応答スペクトルの特性に加えて、フーリエスペクトルの短周期側の振幅レベルが、長周期側の振幅レベルに対して $10^2 \sim 10^3$ オーダーで小さくなっていることも、短周期側の応答が減衰定数の大小関係と一致しない要因となっている。

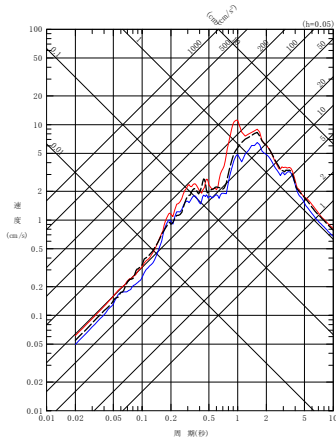
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 - - 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



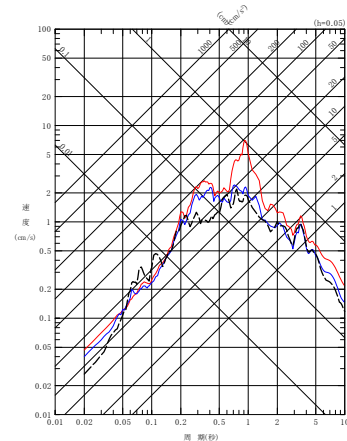
(a) NS 方向



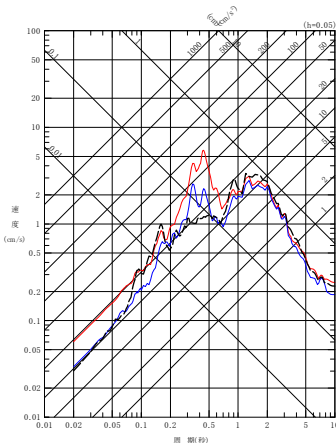
(a) NS 方向



(b) EW 方向

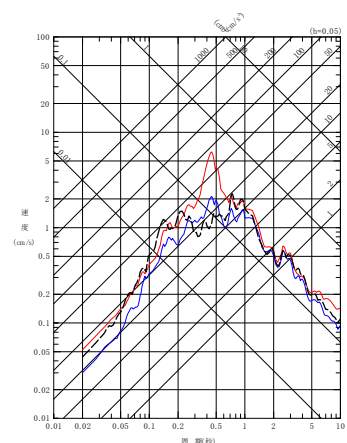


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200112022201 地震



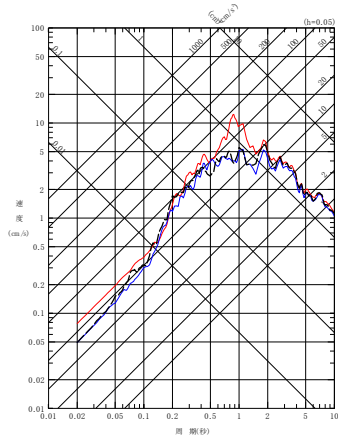
(c) UD 方向

(2) 200210142312 地震

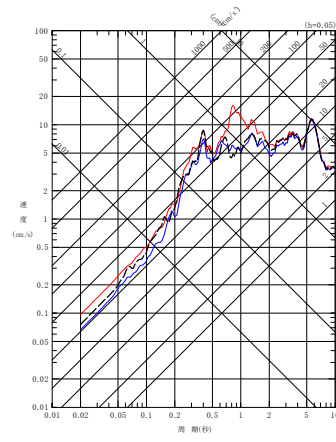
第 4.4.9-13 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (1/7)

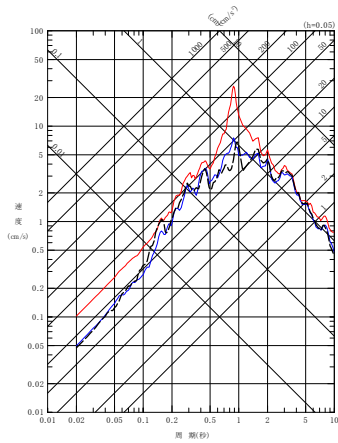
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 - - 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



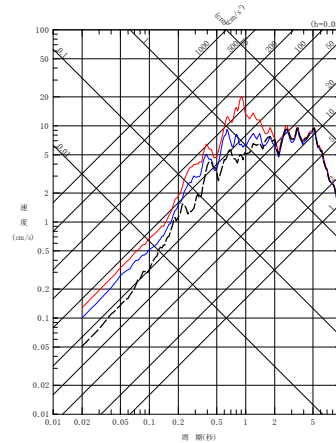
(a) NS 方向



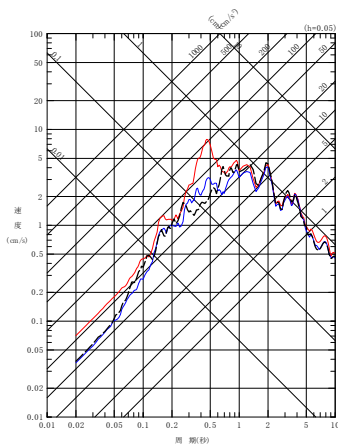
(a) NS 方向



(b) EW 方向

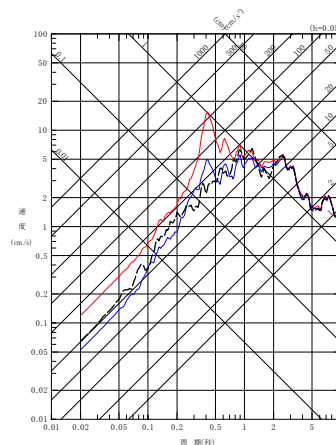


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 200305261824 地震



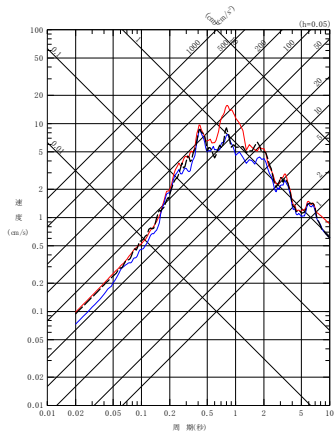
(c) UD 方向

(4) 200309260450 地震

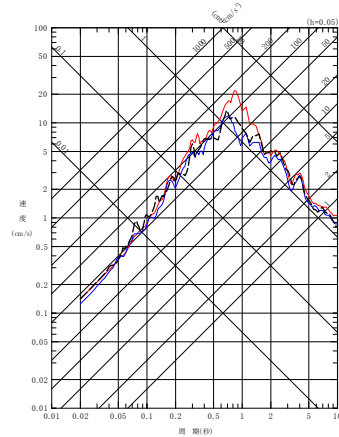
第 4.4.9-13 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (2/7)

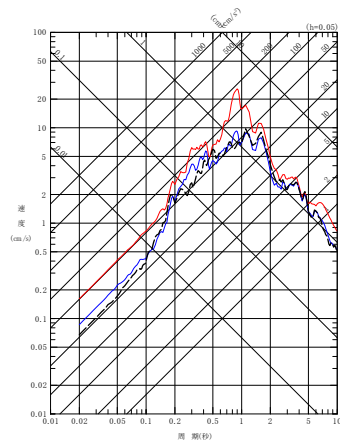
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 - - 周波数依存型 (1)ニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



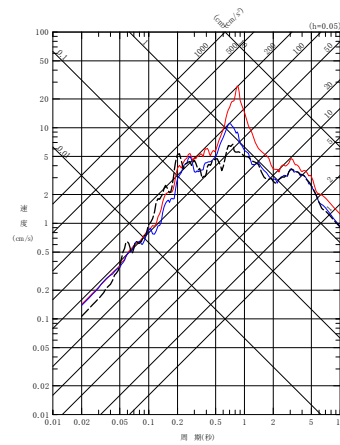
(a) NS 方向



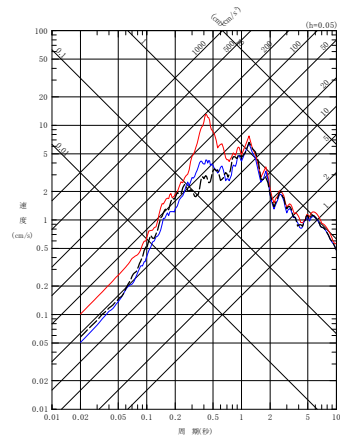
(a) NS 方向



(b) EW 方向

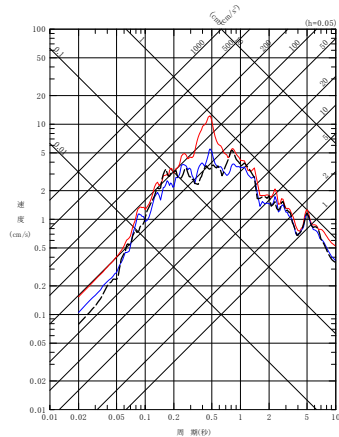


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 2009260608 地震



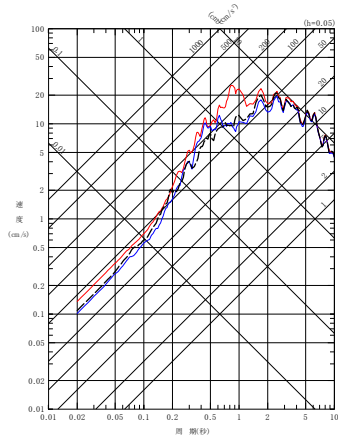
(c) UD 方向

(6) 200807240026 地震

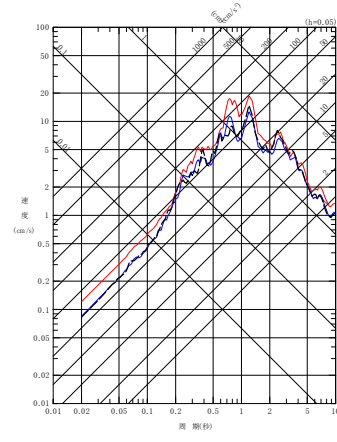
第 4.4.9-13 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (3/7)

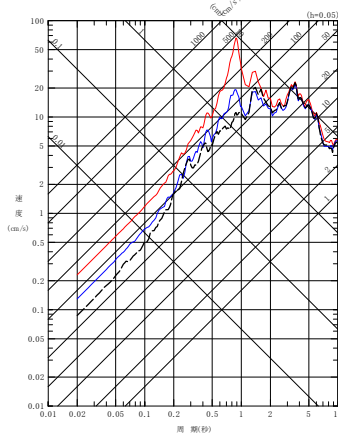
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 - - 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



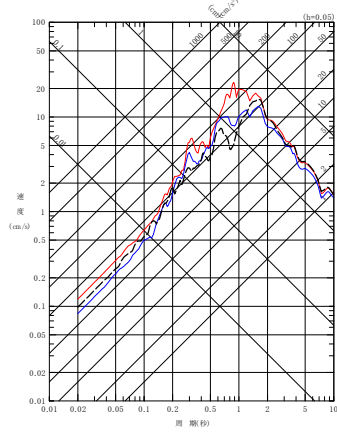
(a) NS 方向



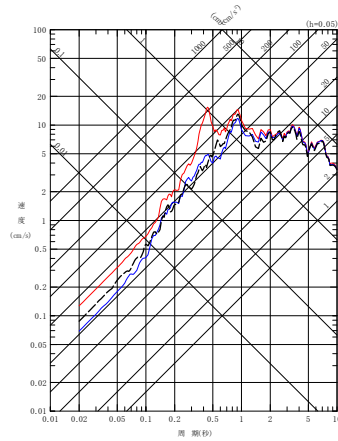
(a) NS 方向



(b) EW 方向

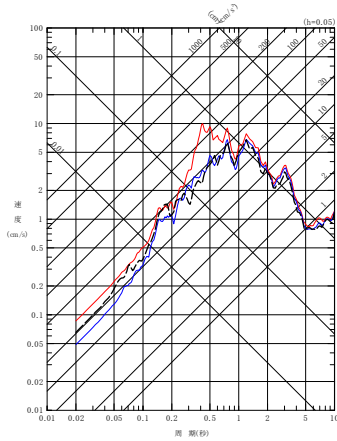


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201103111446 地震



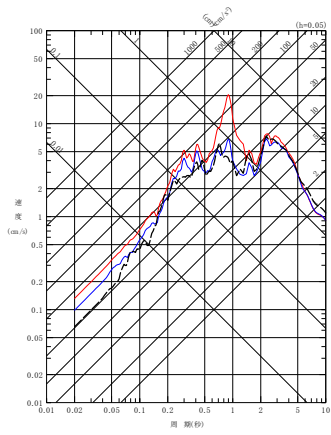
(c) UD 方向

(8) 201103111508 地震

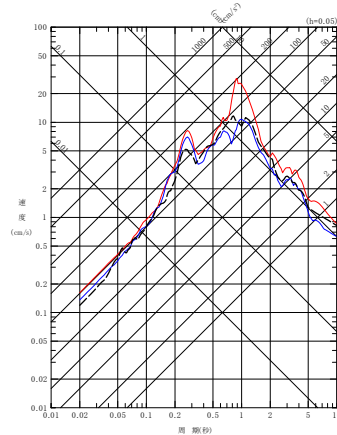
第 4.4.9-13 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (4/7)

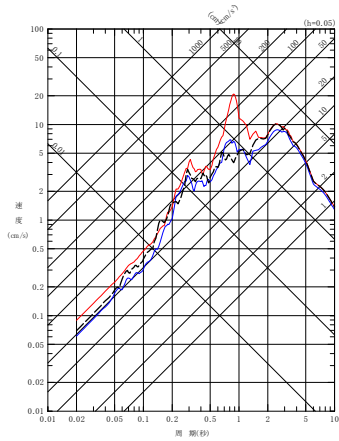
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



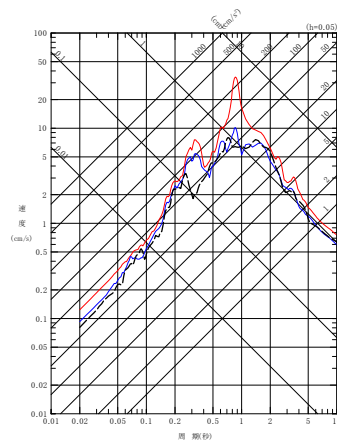
(a) NS 方向



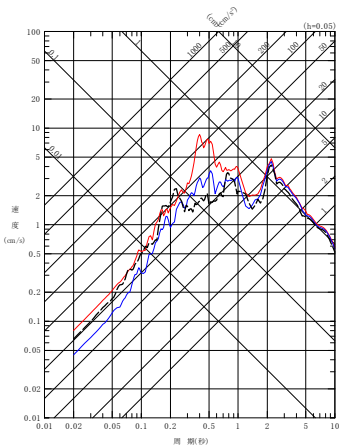
(a) NS 方向



(b) EW 方向

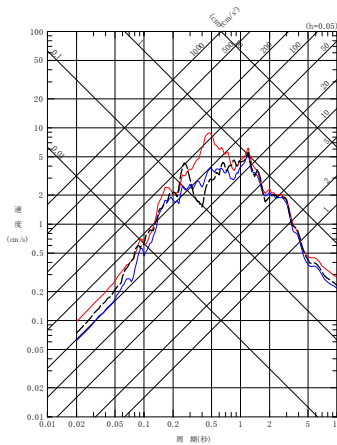


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201106230650 地震



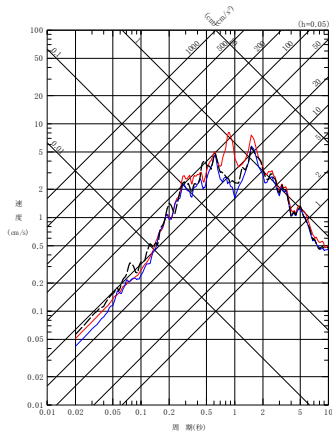
(c) UD 方向

(10) 201205240002 地震

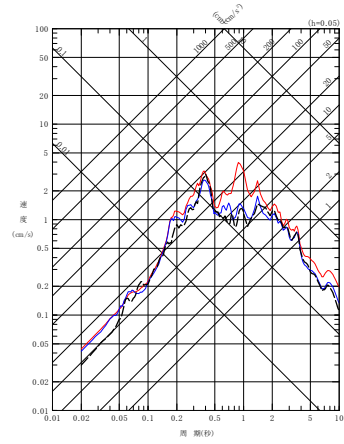
第 4.4.9-13 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (5/7)

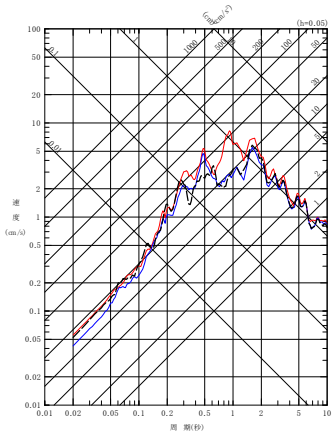
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



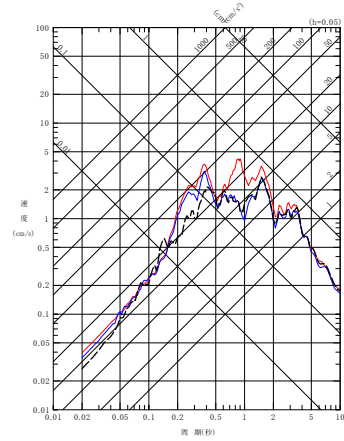
(a) NS 方向



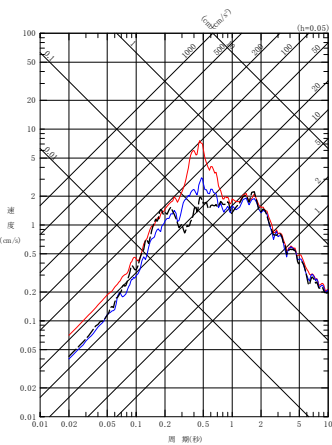
(a) NS 方向



(b) EW 方向

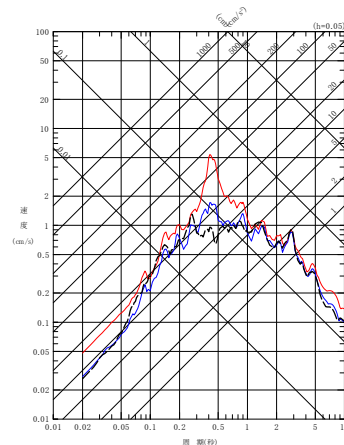


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 201212071718 地震



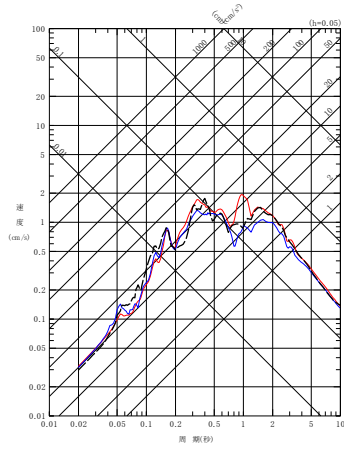
(c) UD 方向

(12) 201302022317 地震

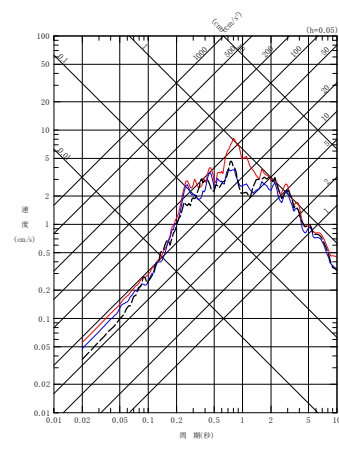
第 4.4.9-13 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (6/7)

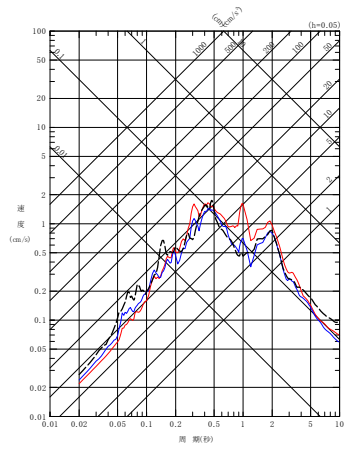
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



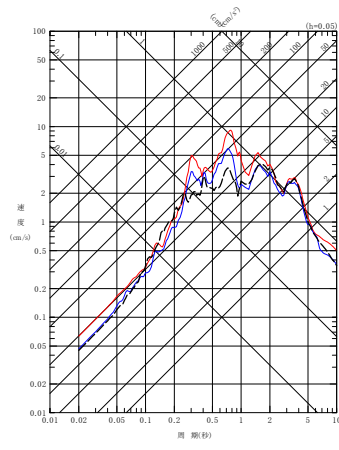
(a) NS 方向



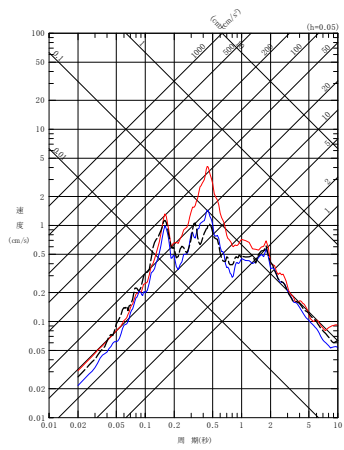
(a) NS 方向



(b) EW 方向

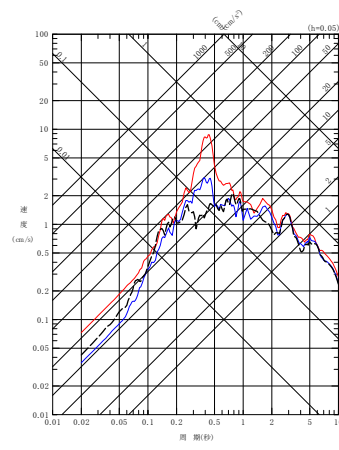


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(13) 201507100332 地震



(c) UD 方向

(14) 201601141225 地震

第 4.4.9-13 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 4.4.9-14 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ない条件によるシミュレーション結果が、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を上回ることを確認した。

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 4.4.9-5 図及び第 4.4.9-6 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、地盤応答を評価する上で支配的な、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、短周期側の応答スペクトルを大きく評価することになる。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。

「参考 2 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価に関する補足検討結果」の「4. シミュレーション解析結果のフーリエスペクトル」に、本シミュレーション解析結果のフーリエスペクトルを示す。フーリエスペクトルは、減衰定数の大小関係と対応するように、短周期側の地震動成分は「周波数依存性あり（リニア型）」>「周波数依存性あり（バイリニア型）」>「周波数依存性なし」と、「周波数依存性なし」とした場合が最も小さくなっているが、長周期側（特に地盤の1次に相当する水平では0.5～1.0秒、鉛直では0.4秒付近の卓越）では、逆に「周波数依存性なし」が最も大きくなっている。

応答スペクトルについては、卓越する周期成分による応答が短周期成分の応答まで影響を与えるため、フーリエスペクトルに見られるような差は直接現れず、むしろ短周期側の応答も「周波数依存性なし」の方が大きくなっている。このような応答スペクトルの特性に加えて、フーリエスペクトルの短周期側の振幅レベルが、長周期側の振幅レベルに対して $10^2 \sim 10^3$ オーダーで小さくなっていることも、短周期側の応答が減衰定数の大小関係と一致しない要因となっている。

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 4.4.9-5 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いため（(8)201408101243 地震：M6.1、(10)201908151432 地震：M5.5）、第 4.4.9-15 図に示す各地震のフーリエスペクトルのとおり、他地震と比較して長周期側の成分の地震動レベルが小さくなっていることから、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。