

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震建物 08 R26
提出年月日	令和5年 12月 27日

設工認に係る補足説明資料

耐震設計の基本方針に関する


建物・構築物の入力地震動の算定に用いる

地盤モデルの設定について

1. 文章中の下線部は R25 からの変更箇所を示す。
2. 本資料（R26）は令和5年12月11日に提示した「耐震設計の基本方針に関する建物・構築物の入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定について（R25）」に対し、「別紙 2-3 岩盤部分の減衰定数に係る検討について」及び「別紙 2-4 表層地盤の物性値等に係る検討について」の内容について、これまでのヒアリング及び審査会合における指摘事項を踏まえ修正を行ったものである。
3. 「別紙 2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」及び「別紙 2-2 岩盤部分の剛性の非線形性について」については、次回提出時に添付する。
4. これまで、敷地において得られたデータの整理・分析までを 12Gr ごとに行っている。今後、これらのデータに基づき、因子ごとの Gr 間の関係性等について考察を行った上で、敷地の地盤の特徴を捉えた地下構造の設定に係る検討を行う。考察の内容及び検討結果については、次回提出時に反映予定。

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 本資料における説明の全体像	2
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	7
4. 敷地における地盤モデルの構成	8
4.1 地質学的に見た敷地近傍の地質構造	8
4.2 地質学的に見た敷地内の地質構造	10
4.3 敷地の地質構造及び耐震設計方法を踏まえた地盤モデルの構成 ..	20
5. 第1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	23
5.1 データ整理	23
5.1.1 地盤モデルに設定するパラメータの整理	23
5.1.2 地盤モデル検討の考え方の整理	26
5.1.3 因子の抽出	30
5.1.4 データ整理方針	30
5.2 「基本地盤モデル」の設定	31
5.2.1 「基本地盤モデル」の設定方針	31
5.2.2 「基本地盤モデル」の設定結果	34
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	37
6.1 データ整理	37
6.1.1 地盤モデルに設定するパラメータの整理	37
6.1.2 地盤モデル検討の考え方の整理	40
6.1.3 因子の抽出	44
6.1.4 データ整理方針	44
6.2 データ分析	53
6.2.1 データ分析方針	53
6.3 「基本地盤モデル」の設定	56
6.3.1 「基本地盤モデル」の設定方針	56
6.3.2 「基本地盤モデル」の設定結果	59
7. 計算書の取りまとめに係る検討	60
7.1 検討方針	60
7.2 入力地震動の算定方法	60
7.3 入力地震動の比較結果	60
7.4 計算書の取りまとめに係る検討結果	60
8. まとめ	61

 : 核不拡散の観点から公開できない箇所

1. 概要

本資料は、再処理施設、MOX 燃料加工施設及び廃棄物管理施設に係る設計及び工事の方法の認可申請書（第1回申請：2020年12月24日申請，第2回申請：2022年12月26日申請）（以下，上記の第1回申請及び第2回申請を総じて「今回設工認」という。）のうち，以下に示す建物・構築物の地震応答計算書を補足説明するものである。

再処理施設及びMOX 燃料加工施設の第1回設工認申請

- ・再処理施設 添付書類「IV-2-1-1-1-1-1 安全冷却水B冷却塔基礎の地震応答計算書」
- ・再処理施設 添付書類「IV-2-1-3-2-1-2-1 飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）の計算書」
- ・MOX 燃料加工施設 添付書類「III-2-1-1-1-1-1 燃料加工建屋の地震応答計算書」
- ・MOX 燃料加工施設 添付書類「III-6-2-1-1-1 燃料加工建屋の基準地震動を1.2倍した地震力に対する耐震性評価結果」

再処理施設の第2回設工認申請及び廃棄物管理施設の設工認申請

- ・再処理施設 添付書類「IV-2-1-1-1 建物・構築物（屋外重要土木構造物以外）の耐震性に関する計算書」のうち，建物・構築物（屋外重要土木構造物以外）の地震応答計算書
- ・再処理施設 添付書類「IV-2-1-1-2 屋外重要土木構造物の耐震性に関する計算書」のうち，屋外重要土木構造物の地震応答計算書
- ・再処理施設 添付書類「IV-2-2-2-1-1 建物・構築物（屋外重要土木構造物以外）の耐震性に関する計算書」のうち，建物・構築物（屋外重要土木構造物以外）の耐震性に関する計算書
- ・再処理施設 添付書類「IV-5-2-1-1 建物・構築物（屋外重要土木構造物以外）」のうち，建物・構築物（屋外重要土木構造物以外）の基準地震動 S_s を1.2倍した地震力に対する地震応答計算書
- ・再処理施設 添付書類「IV-5-2-1-2-1 洞道の基準地震動 S_s を1.2倍した地震力に対する耐震計算結果」
- ・再処理施設 添付書類「IV-5-2-3 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価結果」のうち，建物・構築物の耐震性に関する計算書
- ・廃棄物管理施設 添付書類「II-2-1-1-1 建物・構築物（屋外重要土木構造物以外）の耐震性に関する計算書」のうち，建物・構築物（屋外重要土木構造物以外）の地震応答計算書
- ・廃棄物管理施設 添付書類「II-2-2-2-1-1 建物・構築物（屋外重要土木構造物以外）の耐震性に関する計算書」のうち，建物・構築物（屋外重要土木構造物以外）の耐震性に関する計算書

2. 本資料における説明の全体像

本資料の目的は、耐震設計における入力地震動について、その算定に用いる地盤モデルの設定方針、プロセス及び結果について説明するとともに、入力地震動の策定結果を説明するものである。

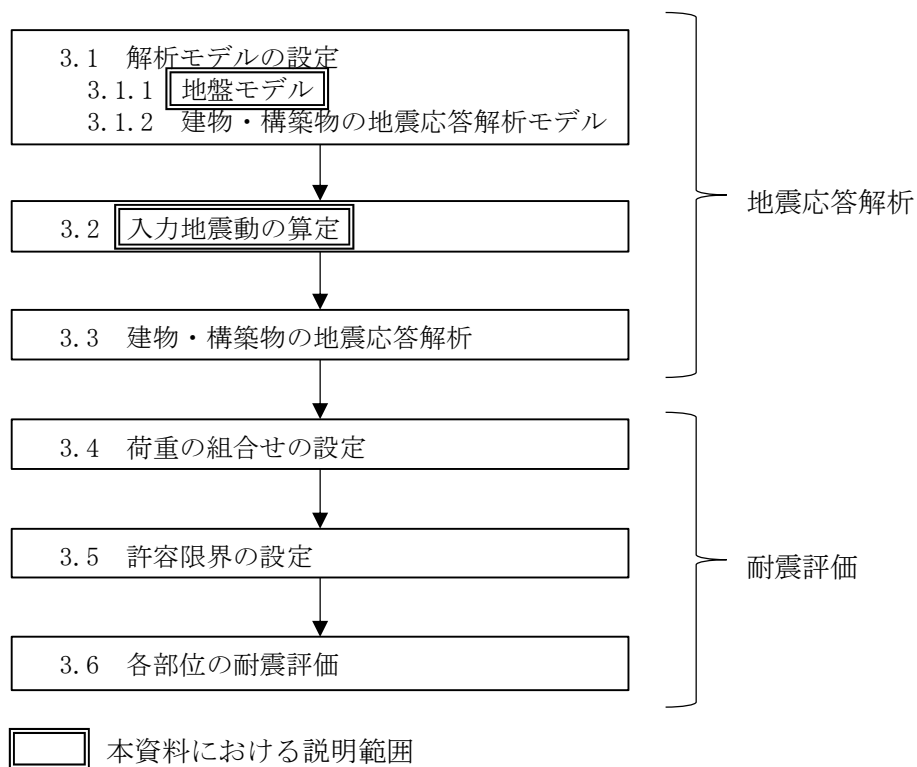
本資料の説明内容は、第2-1図に示すとおり、添付書類「IV-1-2-1-1 建物・構築物の耐震計算に関する基本方針」に示す耐震設計の全体プロセスのうち、地震応答解析における「解析モデルの設定」、「入力地震動の算定」に該当する。

本資料においては、科学的・技術的に適正なパラメータ設定を行い、入力地震動の算定に用いる地盤モデルを設定する。

また、上記において設定した地盤モデルを用いて、第2-1図に示す耐震設計の全体プロセスのとおり「入力地震動の算定」を行い、その結果を用いて「建物・構築物の地震応答解析」を実施し、「各部位の耐震評価」までの詳細な耐震設計を行う。

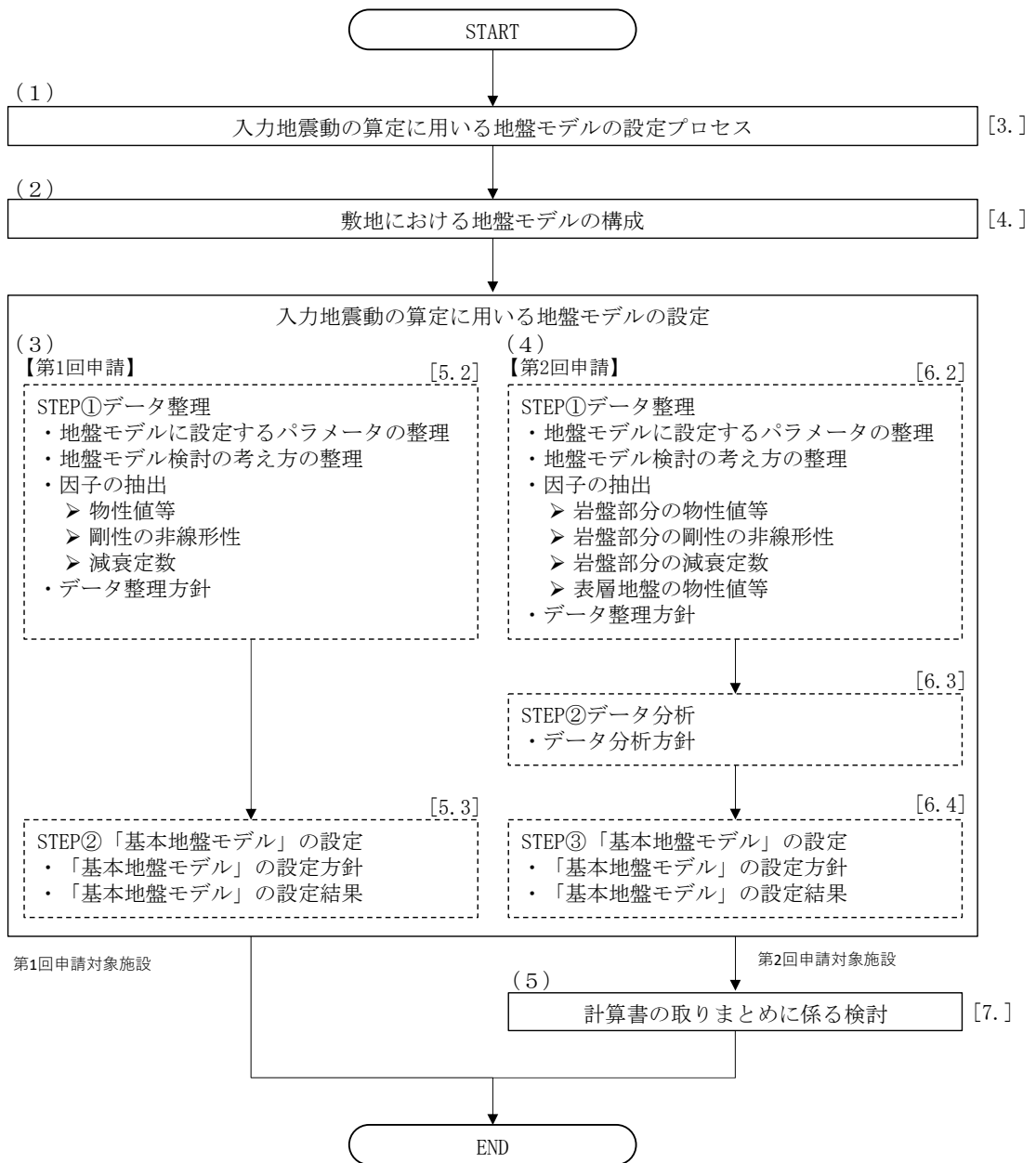
なお、今回設工認のうち第2回設工認申請においては、耐震評価を行う施設が多岐に亘ることから、効果的かつ効率的な計算書の取りまとめを検討する。

上記目的を達成するために、本資料においては、第2-2図に示す説明の全体像のとおり、以下(1)～(5)のステップで説明を行う。



注記 : 各項目の番号は添付書類「建物・構築物の耐震計算に関する基本方針」のうち、「3. 耐震計算プロセスの詳細」の章番号に対応する。

第 2-1 図 建物・構築物の耐震設計プロセス



注記 : []内は本資料における章番号を示す。

第 2-2 図 説明の全体像

(1) 入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定プロセス

- ・今回設工認における入力地震動の算定に用いる地盤モデルを、地盤の実態を踏まえた科学的・技術的に適正な地盤モデルとして設定するためのプロセスについて説明する。具体的には、各建物・構築物の直下又は近傍の地盤の物性値等に基づき、データの整理及び分析を行い「敷地地盤の特徴をとらえた地盤構造」を明らかにした上で、入力地震動の算定に用いる「基本地盤モデル」を設定する方針とすることを述べる。

(2) 敷地における地盤モデルの構成

- ・当社敷地においては、解放基盤表面 (G.L. -125m) にて基準地震動 S_s を定義していること、建物・構築物は、概ね G.L. -20m 程度の深さにて、岩盤に支持されていること、また、建物・構築物の基礎底面以浅においては、表層地盤に埋め込まれていることを踏まえ、それぞれの深さにおいて当社敷地における地盤の概要を説明する。
- ・建物・構築物については、上記のとおり、岩盤に支持されていること、また、第2回設工認申請において、側面地盤による埋め込みを考慮し、側面地盤ばねを考慮していることを踏まえ、建物・構築物の入力地震動の算定の考え方を説明する。
- ・上記の敷地における地盤の概要及び入力地震動の算定の考え方を踏まえ、敷地において設定する地盤モデルの構成について説明する。

(3) 第1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設定の流れ

- ・入力地震動の算定に用いる地盤モデルを設定するにあたり、以下の STEP①～STEP②の手順に基づき地盤モデルを設定する旨を説明。

STEP①データ整理

- ・上記(2)において示した地盤モデルの構成に従い、地盤の各深さにおいて地盤モデルに設定する必要があるパラメータ項目を明らかにする。
- ・これらのパラメータに対して、新規制基準施行前の設計及び工事の方法の認可申請書(以下、「既認可」という。)からの状態変化を踏まえた、地盤モデル検討の考え方を示す。
- ・データの整理を行う必要があるパラメータ(検討が必要な因子)の抽出を行った上で、各因子に対する検討を実施していることから、抽出の考え方及び結果を説明する。
- ・各パラメータに対するデータの整理方針について説明する。各パラメータのデータの整理結果については、別紙にてその詳細を説明する。

STEP②「基本地盤モデル」の設定

- ・STEP①のデータ整理結果に基づき、耐震設計において、入力地震動算定に用いる地盤

モデルとして設定した「基本地盤モデル」の設定結果を示す。

- ・上記検討においては、入力地震動を算定する上で考慮する地盤物性のばらつきの設定の考え方及び結果についてもあわせて示す。

(4) 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設定の流れ

- ・入力地震動の算定に用いる地盤モデルを設定するにあたり、以下のSTEP①～STEP③の手順に基づき地盤モデルを設定する旨を説明。

STEP①データ整理

- ・上記(2)において示した地盤モデルの構成に従い、地盤の各深さにおいて地盤モデルに設定する必要があるパラメータ項目を明らかにする。
- ・これらのパラメータに対して、新規規制基準施行前の設計及び工事の方法の認可申請書(以下、「既認可」という。)からの状態変化を踏まえた、地盤モデル検討の考え方を示す。
- ・データの整理を行う必要があるパラメータ(検討が必要な因子)の抽出を行った上で、各因子に対する検討を実施していることから、抽出の考え方及び結果を説明する。
- ・各因子に対するデータの整理方針として、JEAG等を踏まえた一般的・標準的な手法の内容及び一般的・標準的な手法に基づく検討内容について説明する。各因子のデータの整理結果については、因子ごとに別紙にてその詳細を説明する。

STEP②データ分析(「敷地地盤の特徴をとらえた地盤構造」の検討)

- ・各因子に対するstep1のデータ整理結果を踏まえ、科学的な観点で書く手法に基づくデータの適用条件・適用範囲や物理的な位置づけを踏まえた分析を行う内容について説明する。各因子のデータの分析内容については、因子ごとに別紙にてその詳細を説明する。

STEP③「基本地盤モデル」の設定

- ・STEP①のデータ整理結果及びSTEP②のデータ分析結果を踏まえ、耐震設計において、入力地震動算定に用いる地盤モデルとして、各因子に対し工学的判断に基づき設定した「基本地盤モデル」の設定結果を示す。
- ・上記検討においては、入力地震動を算定する上で考慮する地盤物性のばらつきの設定の考え方及び結果についてもあわせて示す。

(5) 計算書の取りまとめに係る検討

- ・今回設工認のうち第2回設工認申請においては、耐震評価を行う施設が多伎に亘ることから、効果的かつ効率的な計算書の取りまとめを検討する。

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

既認可における耐震設計では、建物・構築物の基礎底面以深の支持地盤の地盤物性値に基づき、線形の地盤モデルを設定していた。ここで、支持岩盤の地盤物性値については、敷地内を中央地盤、西側地盤、東側地盤の3つのエリアに区分しており、エリア単位の平均的な物性値を設定したエリアごとの共通モデルを使用していた。

しかしながら、今回設工認における耐震設計では、建物の埋め込みを考慮するために表層地盤を考慮に加えている。また、基準地震動 S_s が新規制基準を踏まえて大きくなっており、特に表層地盤において非線形性が現れてくる等、設計条件が変化している。

このことから、今回設工認における入力地震動の算定にあたっては、地盤の実態を踏まえた科学的・技術的に適正な地盤モデルとして、各建物・構築物の直下又は近傍のデータの整理及び分析を行った上で、入力地震動の算定に用いる地盤モデルを決定する。

上記のデータの整理及び分析を行い、「敷地地盤の特徴をとらえた地盤構造」を明らかにした上で、入力地震動の算定に用いる地盤モデルとして、「基本地盤モデル」を設定する。

なお、第1回設工認申請及び第2回設工認申請のいずれにおいても、上記の設定プロセスは同じであるが、各段階における検討項目や条件について差がある場合においては、各段階に対応する章にてその差について具体的に説明する。

4. 敷地における地盤モデルの構成

「基本地盤モデル」を設定する上で、再処理施設及び廃棄物管理施設の敷地における地質構造及び建物・構築物の入力地震動の算定方法を踏まえ、設定するモデルの構成について整理した。

4.1 地質学的に見た敷地近傍の地質構造

再処理施設及び廃棄物管理施設の敷地近傍において実施した地表地質調査、反射法地震探査、ボーリング調査及びトレンチ調査に基づき作成した地質構造図を第 4.1-1 図に示す。

敷地の北北東約 5km 付近には、ほぼ南北走向の出戸西方断層が分布しており、断層直近の鷹架層は図面上に示した走向線^{*1}が密集し、急傾斜している。また、出戸西方断層の西側約 1km にはほぼ南北走向の背斜軸が分布しており、背斜構造^{*2}を示している。

敷地の南東約 3km 付近には、北北東-南南西走向の向斜軸が分布しており、軸の西翼部が東へ約 30°、東翼部が西側へ約 10° 傾斜する向斜構造^{*3}を示す。

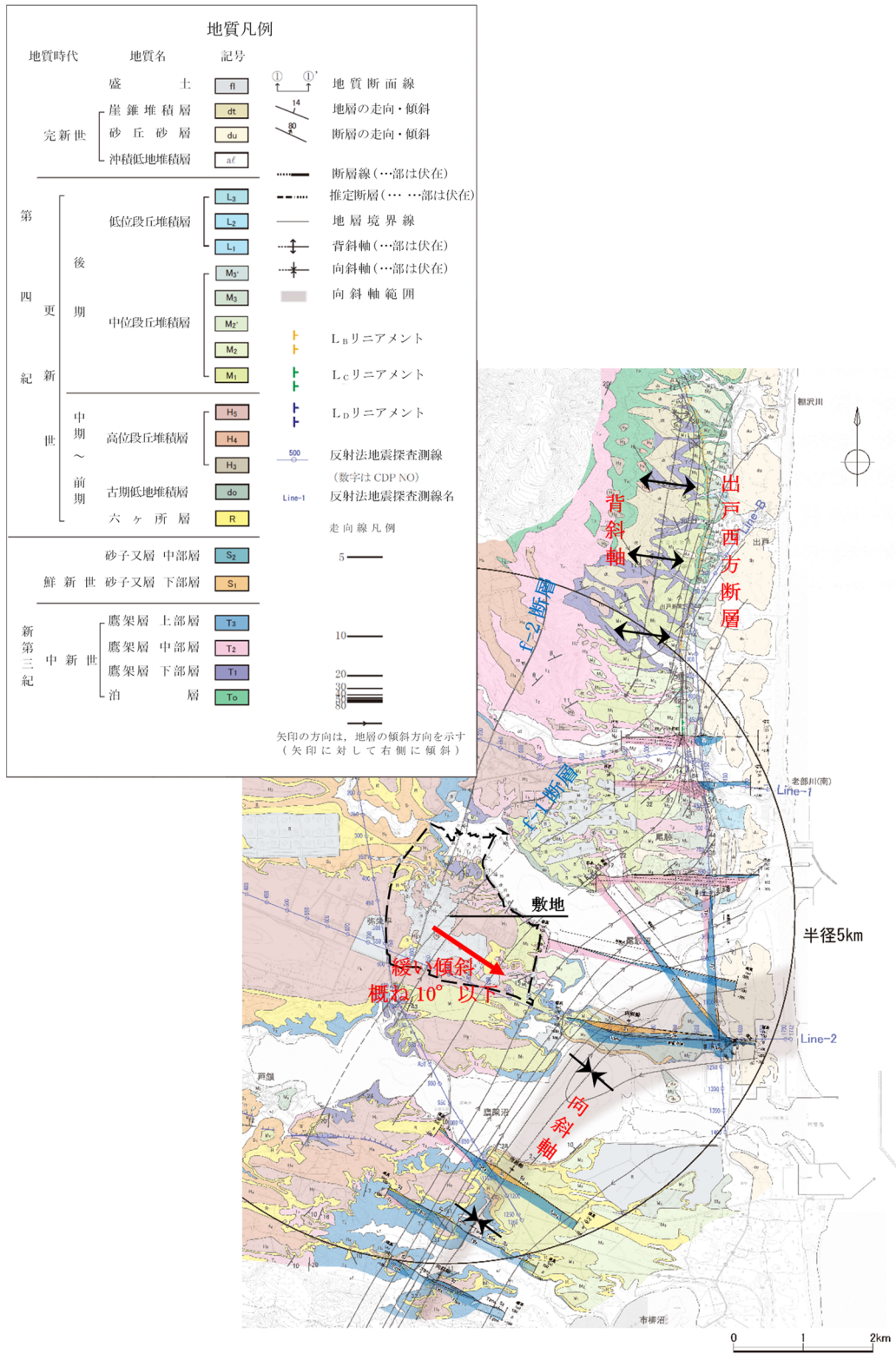
敷地の主たる支持地盤は鷹架層であり、堆積年代の古い順に、鷹架層下部層、鷹架層中部層、鷹架層上部層に区分される。鷹架層の地質構造は、ボーリング調査結果や基礎掘削面の露頭観察結果によると褶曲構造は見られず、南東へ概ね 10° 以下の緩やかな一様な傾斜（同斜構造^{*4}）で分布し、概ね水平成層である。

注記 *1：地層の走向方向を線で示し、傾斜を線の間隔で表現したもの。地層の傾斜が緩いと間隔が広く、急傾斜だと狭く表現している。

*2：層序的に下位の地層が中心に出ている褶曲構造。一般的には褶曲している地層の山にあたる部分。

*3：層序的に上位の地層が中心に出ている褶曲構造。一般的には褶曲している地層の谷にあたる部分。

*4：地層が一方向へ一様な角度で傾斜する地質構造。



第 4.1-1 図 敷地近傍の地質構造図

4.2 地質学的に見た敷地内の地質構造

敷地内において地質構造の確認を行ったボーリング調査孔の位置図を第 4.2-1 図に示す。

ボーリング調査間隔は、JEAG4601-1987 に示されている建物近傍 200m グリッド，地質構造，岩盤分布及び岩質を把握する 40～50m グリッドに準拠し，敷地周辺では 125m グリッド，建物近傍では 62.5m グリッドで全域にわたって調査を実施しており，平面的及び深さ方向の地質構造を網羅的に把握している。

敷地の主たる岩盤である鷹架層は，建物・構築物の基礎底面～解放基盤表面及び解放基盤表面以深に分布しており，第 4.2-2 図に示すように f-1 断層と f-2 断層に規制されており，敷地内の岩盤は，f-1 断層と f-2 断層を境界として，大きく 3 つの特徴を有する岩盤に区分される。

第 4.2-3 図及び第 4.2-4 図に示すように f-1 断層は最大落差 140m の正断層で東側が低下しており，f-2 断層は最大落差 330m の正断層で西側が低下している。そのため，f-1 断層と f-2 断層に挟まれる敷地中央では鷹架層下部層が地塁*状に高まって分布しており，落差の大きい f-2 断層の西側では主に鷹架層上部層が分布し，落差の小さい f-1 断層の東側では主に鷹架層中部層が分布している。

第 4.2-5 図及び第 4.2-6 図に示すように建物設置範囲の東西断面で見た場合，西側では概ね水平，中央と東側では東へ緩い傾斜を示す。

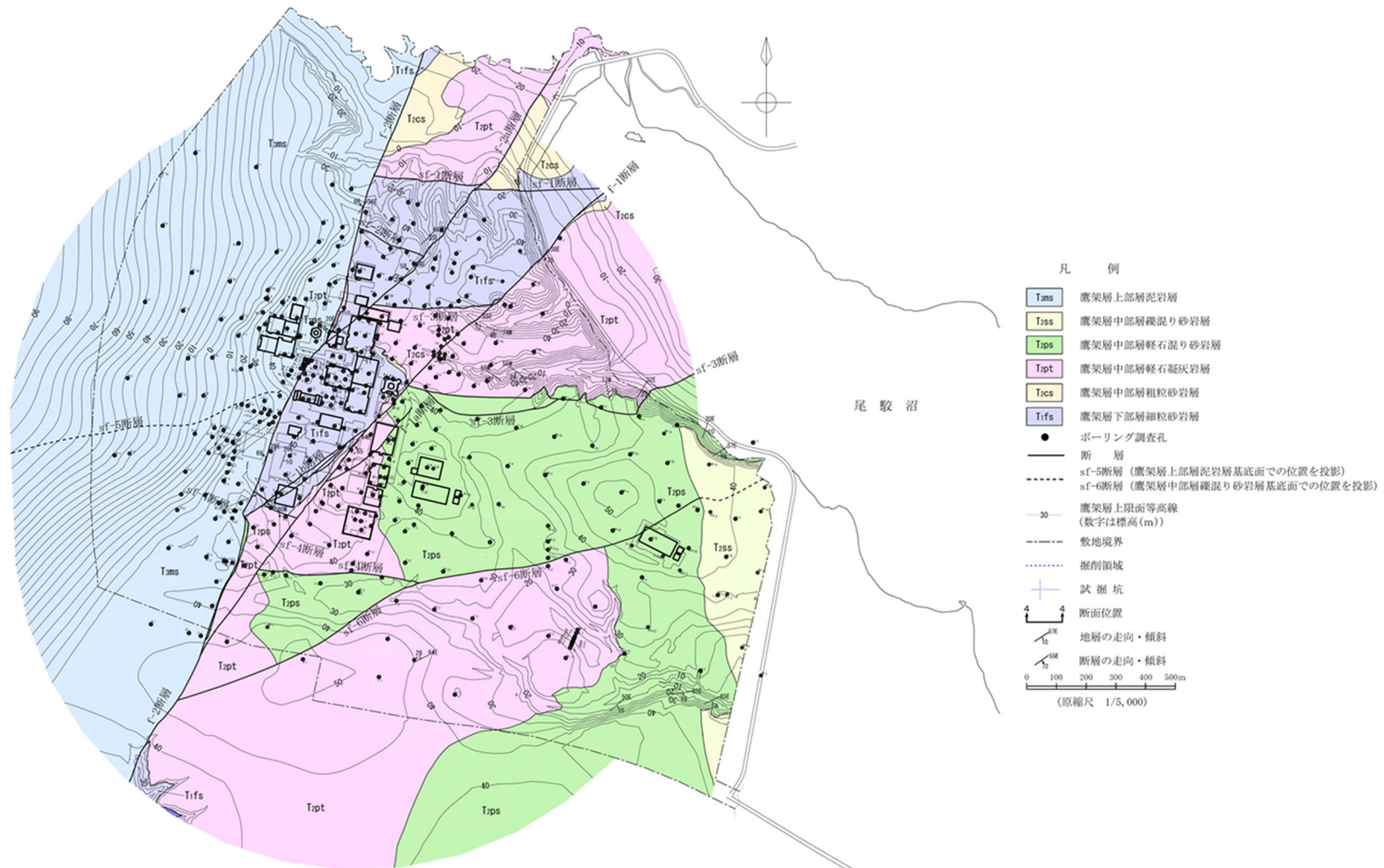
第 4.2-7 図～第 4.2-9 図に示すように建物直近の南北断面で見た場合，西側では南へ緩い傾斜，中央では概ね水平，東側では北へ緩い傾斜を示す。

以上より，敷地内の支持地盤は f-1 断層と f-2 断層を境界として，大局的に，敷地内の中央，西側，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。

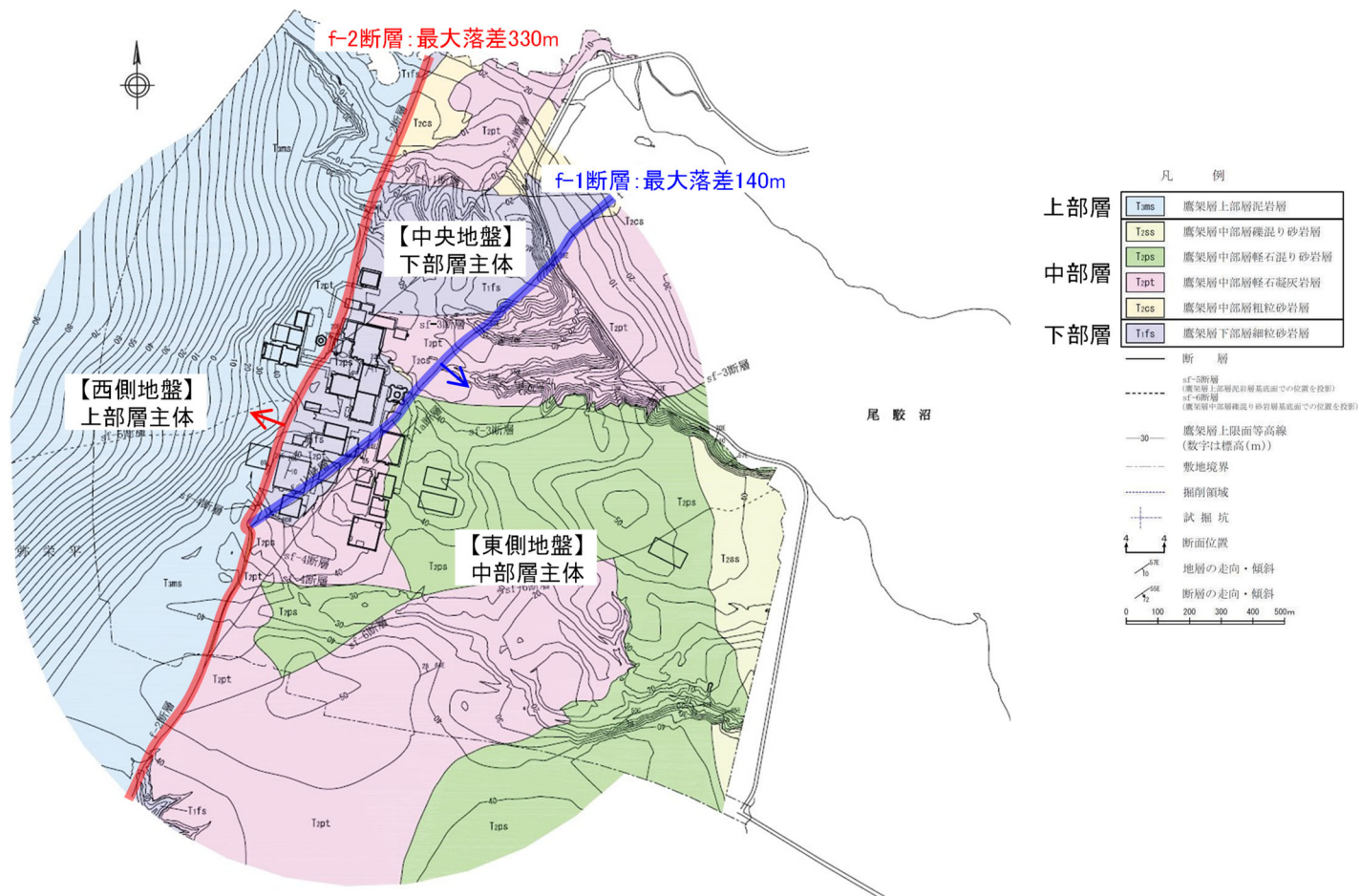
注記 *：正断層で限られた，幅に比して延長の長い，両側に対して相対的に隆起した地塊

また，第 4.2-5 図～第 4.2-9 図より，地表面～建物・構築物の基礎底面において，建物の周辺は広範囲が掘削され，埋戻し工事が実施されたことにより，埋戻し土が広く分布している。

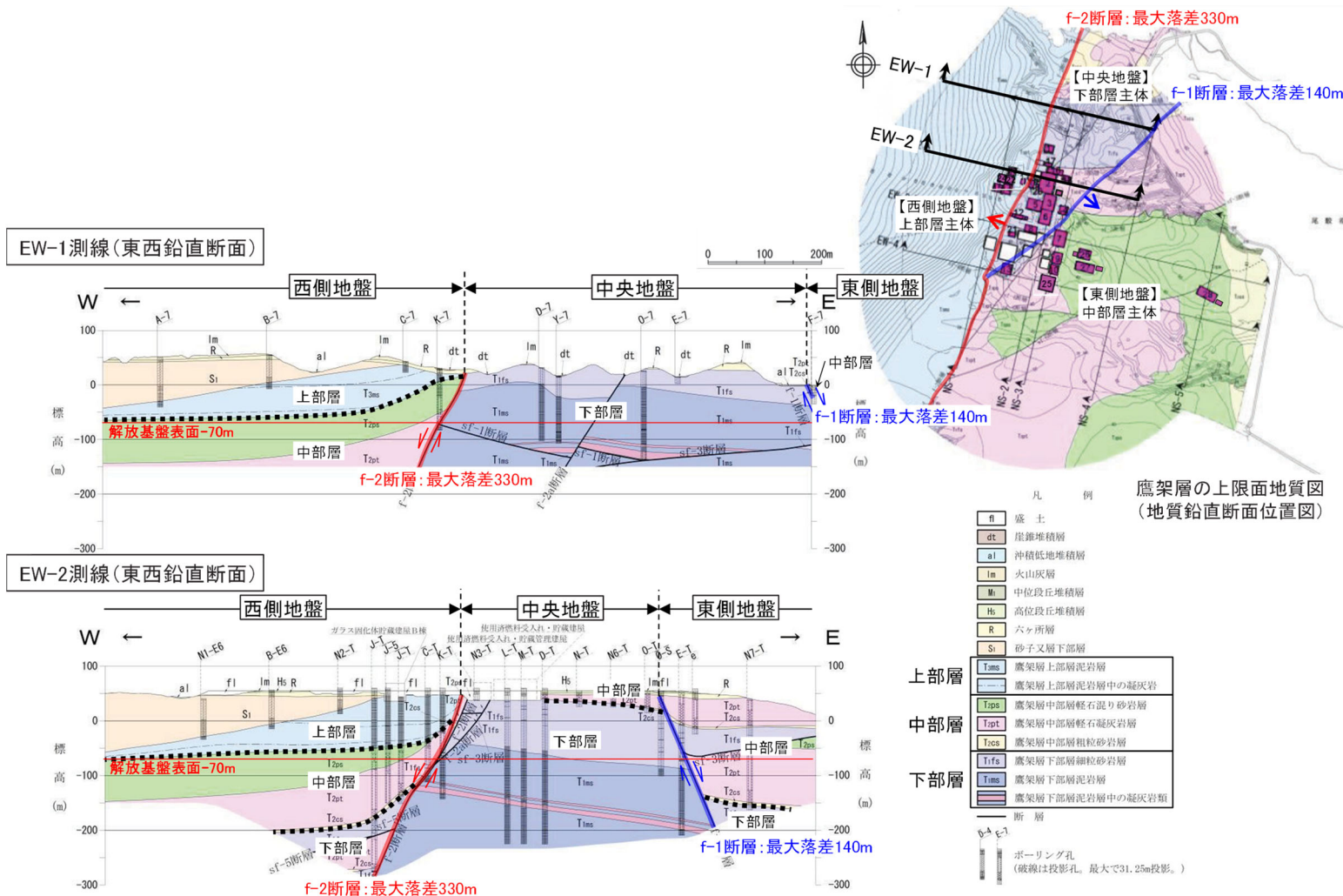
「基本地盤モデル」の設定におけるデータの分析については，上記の再処理施設及び廃棄物管理施設の敷地の特徴を踏まえ，さらに，建物・構築物の配置等を踏まえた各位置における調査結果等に基づき設定を行う。



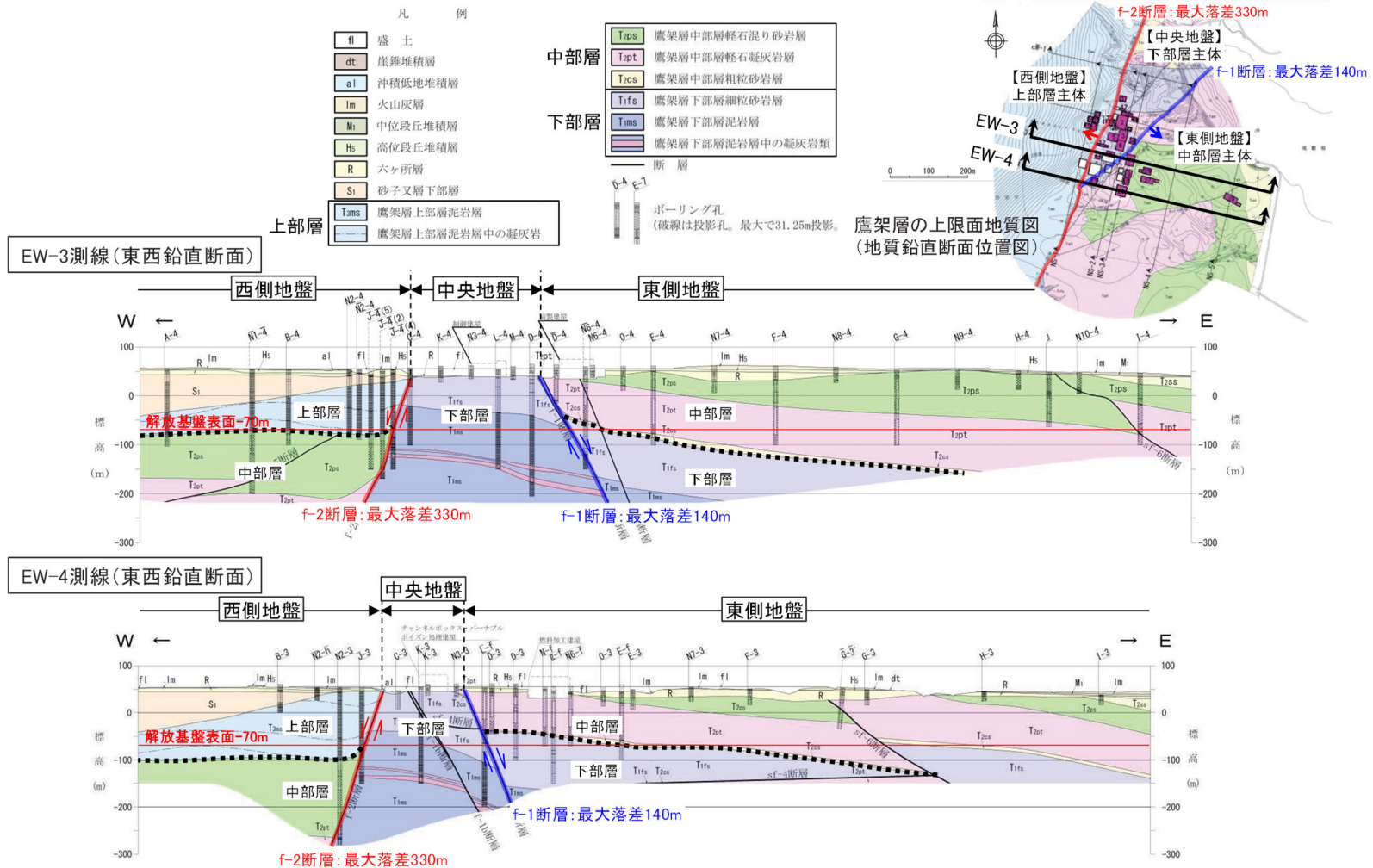
第 4.2-1 図 ボーリング調査位置図



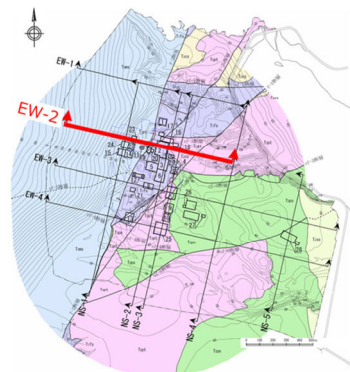
第 4.2-2 図 鷹架層上限面及び等高線図(主体地盤と f-1, f-2 断層)



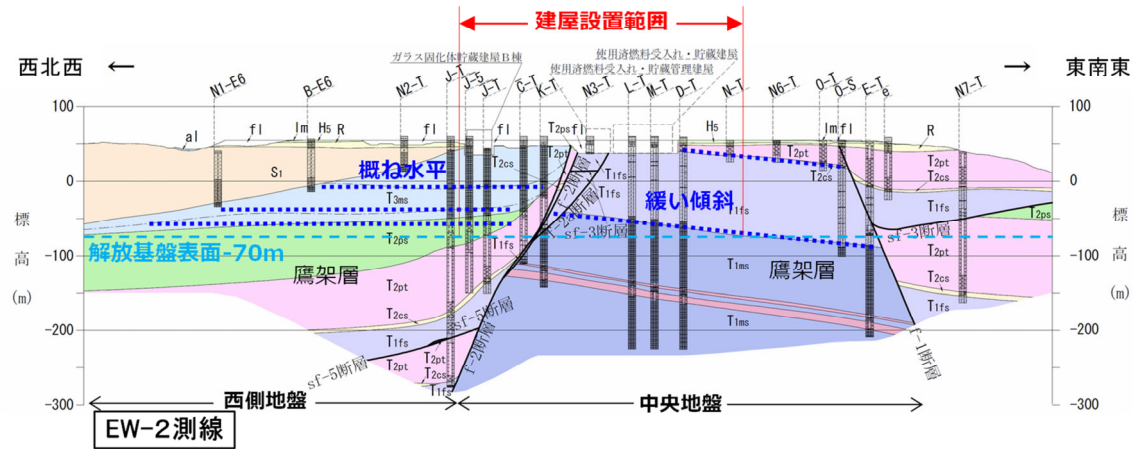
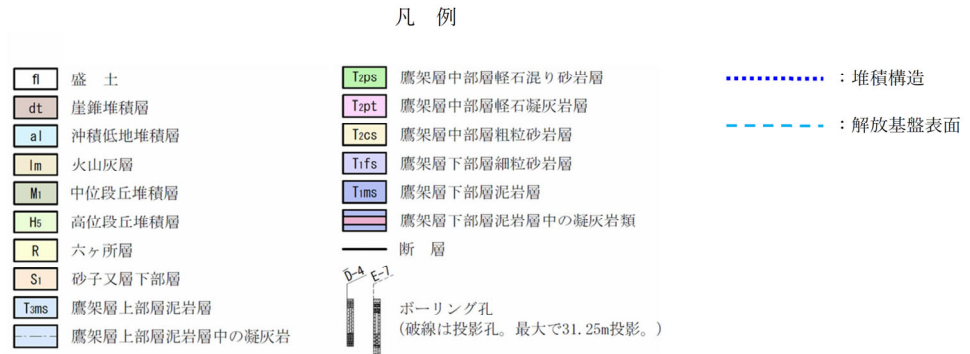
第 4.2-3 図 地質鉛直断面図 (東西断面 EW-1 測線, EW-2 測線)



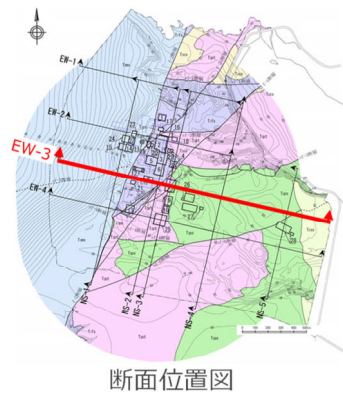
第 4.2-4 図 地質鉛直断面図 (東西断面 EW-3 測線, EW-4 測線)



断面位置図

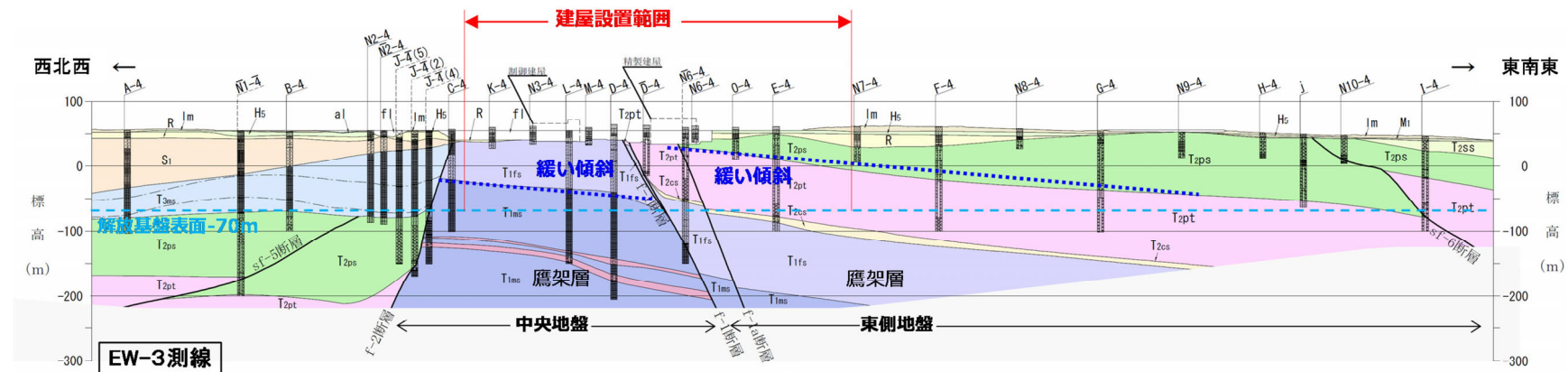


第 4.2-5 図 敷地の地質断面図 (東西断面 EW-2 測線)

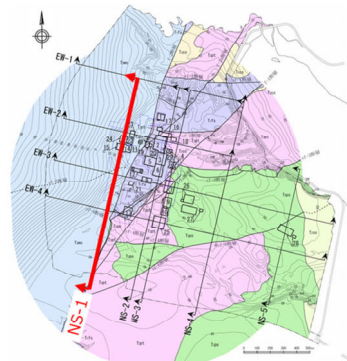


凡例

- | | | | | | |
|------|----------------|------|-----------------|---------|-----------------------|
| fl | 盛土 | T2ps | 鷹架層中部層軽石混り砂岩層 | | 堆積構造 |
| dt | 崖錐堆積層 | T2pt | 鷹架層中部層軽石凝灰岩層 | - - - - | 解放基盤表面 |
| al | 沖積低地堆積層 | T2cs | 鷹架層中部層粗粒砂岩層 | — | 断層 |
| lm | 火山灰層 | T1fs | 鷹架層下部層細粒砂岩層 | ○ | ボーリング孔 |
| Mi | 中位段丘堆積層 | T1ms | 鷹架層下部層泥岩層 | ○ | (破線は投影孔。最大で31.25m投影。) |
| Hs | 高位段丘堆積層 | | 鷹架層下部層泥岩層中の凝灰岩類 | | |
| R | 六ヶ所層 | | | | |
| S1 | 砂子又層下部層 | | | | |
| T3ms | 鷹架層上部層泥岩層 | | | | |
| | 鷹架層上部層泥岩層中の凝灰岩 | | | | |



第 4.2-6 図 敷地の地質断面図 (東西断面 EW-3 測線)

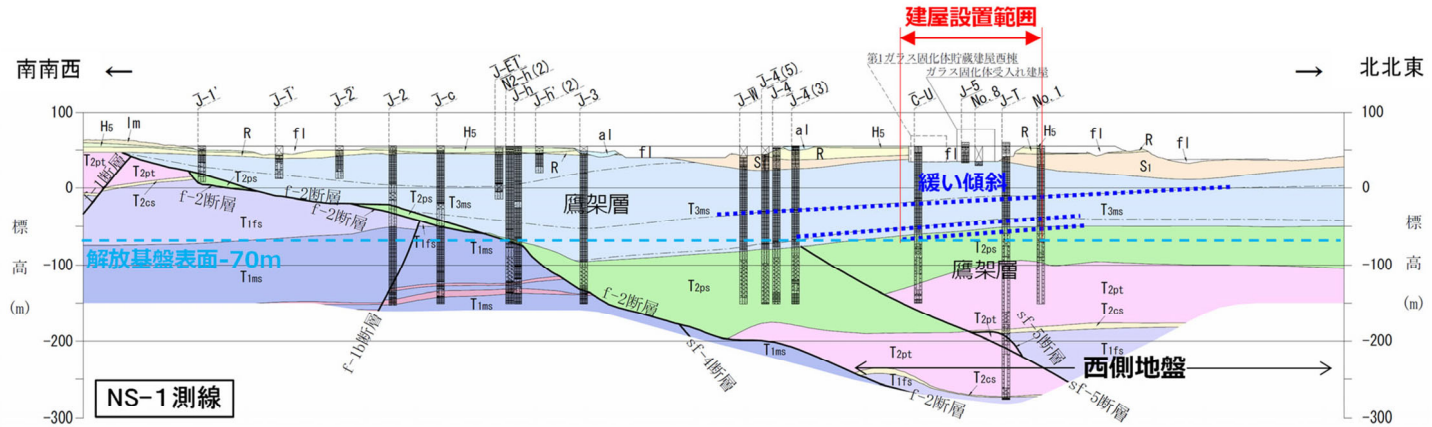


断面位置図

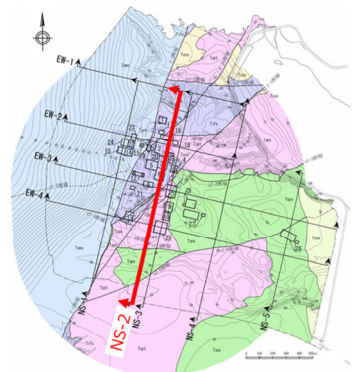
- fl 盛土
- dt 崖堆積層
- al 沖積低地堆積層
- lm 火山灰層
- Mi 中位段丘堆積層
- Hs 高位段丘堆積層
- R 六ヶ所層
- S1 砂子又層下部層
- T3ms 鷹架層上部泥岩層
- T1ms 鷹架層上部泥岩層中の凝灰岩

凡例

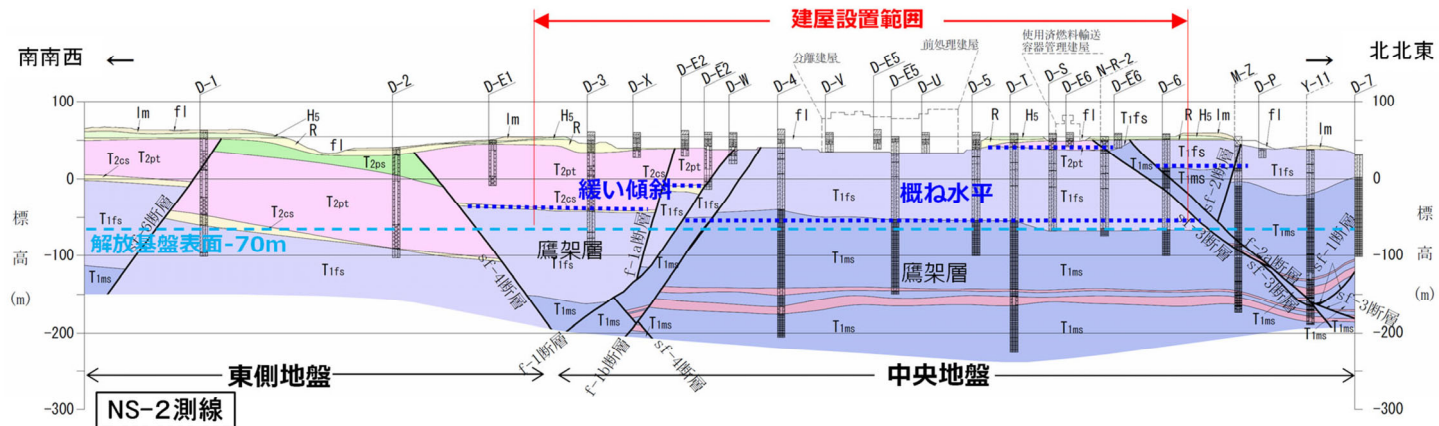
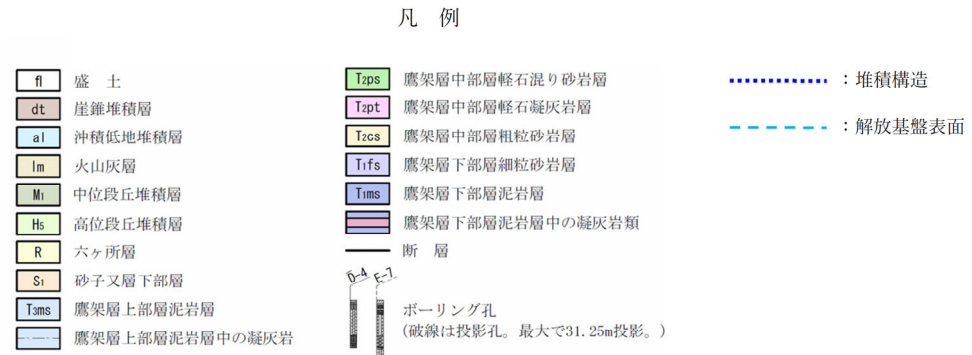
- T2ps 鷹架層中部層軽石混り砂岩層
- T2pt 鷹架層中部層軽石凝灰岩層
- T2cs 鷹架層中部層粗粒砂岩層
- T1fs 鷹架層下部層細粒砂岩層
- T1ms 鷹架層下部層泥岩層
- 鷹架層下部層泥岩層中の凝灰岩類
- 断層
- ボーリング孔
(破線は投影孔。最大で31.25m投影。)
- : 堆積構造
- - - - : 解放基盤表面



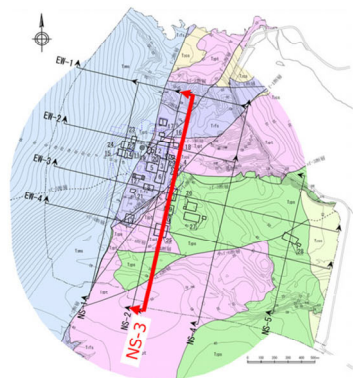
第 4.2-7 図 敷地の地質断面図 (南北断面 NS-1 測線)



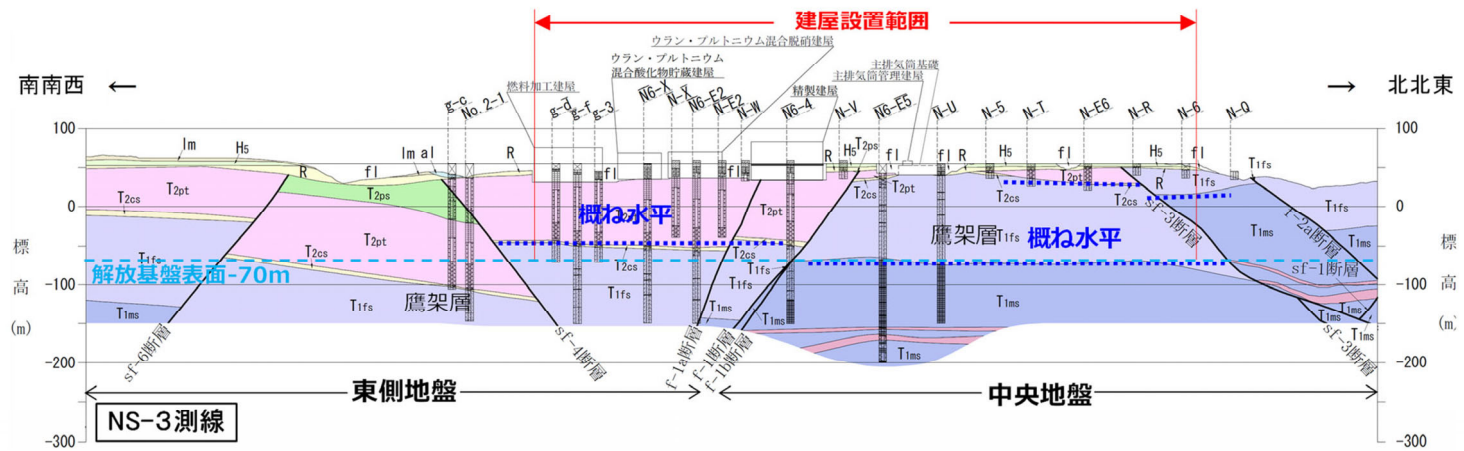
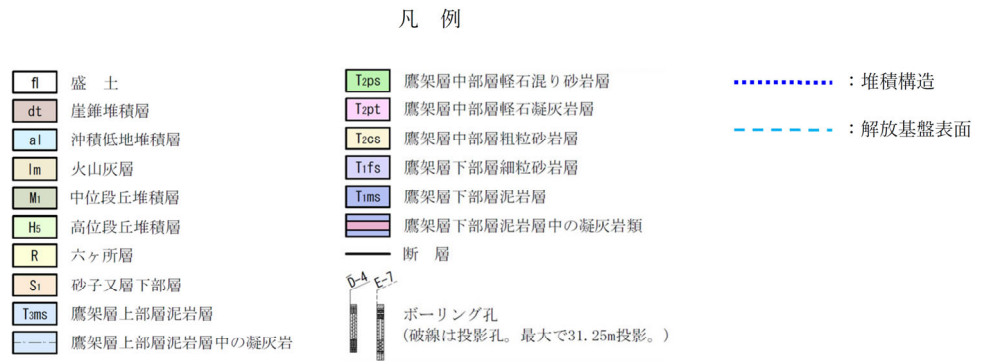
断面位置図



第 4.2-8 図 敷地の地質断面図 (南北断面 NS-2 測線)



断面位置図



第 4.2-9 図 敷地の地質断面図 (南北断面 NS-3 測線)

4.3 敷地の地質構造及び耐震設計方法を踏まえた地盤モデルの構成

「4.1 地質学的に見た敷地近傍の地質構造」及び「4.2 地質学的に見た敷地内の地質構造」に示したとおり、当社敷地の地盤については、以下の特徴を有している。

- ・事業変更許可申請書において、基準地震動 S_s を定義する解放基盤表面は、T. M. S. L. -70m (G. L. -125m) に設定している。
- ・敷地の主たる岩盤である鷹架層は、建物・構築物の基礎底面～解放基盤表面及び解放基盤表面以深に分布している
- ・地表面～建物・構築物の基礎底面において、建物の周辺は広範囲が掘削され、埋戻し工事が実施されたことにより、埋戻し土が広く分布している。

以上を踏まえ、当社敷地における地盤モデルは、地表面～建物・構築物の基礎底面の表層地盤、建物・構築物の基礎底面～解放基盤表面の岩盤部分及び解放基盤表面以深の3つの深さについて、それぞれ設定を行う。

また、当社施設において耐震設計を行うにあたり、入力地震動は、基準地震動 S_s を建物・構築物の地震応答解析モデルにおける各入力点深さまで伝播させるモデルを用いて算定する。

- ・「JEAG4601-1987」に基づき、建物と地盤の相互作用を考慮したモデルとして、スウェイ・ロッキングモデルを用いており、地盤ばねを介して入力地震動が地震応答解析モデルに入力される。
- ・基礎底面地盤ばねについては、設置する岩盤の剛性に応じたばね剛性を設定している。
- ・第1回設工認申請及び第2回設工認申請ともに、建物・構築物の地震応答解析においては、周辺地盤による埋め込みを適切に考慮することとしており、側面地盤ばねを地下階の各床レベル相当深さに設定している。側面地盤ばねの剛性は、周辺の地盤の剛性に応じたばね剛性を設定している。

以上を踏まえ、入力地震動は、底面地盤ばねを設定する建物・構築物の基礎底面レベル及び側面地盤ばねを設定する建物・構築物の地下部の各床レベル相当深さにて算定する。

入力地震動は、JEAG1986-1987に基づき、一次元波動論により算定することとし、各深さでの上昇波(2E波)だけでなく、地表面～建物・構築物の基礎底面までの地盤を伝播する反射波も考慮して算定(E+F波)する。

なお、埋め込み深さが浅く、地下に層を有しない建物・構築物については、側面地盤

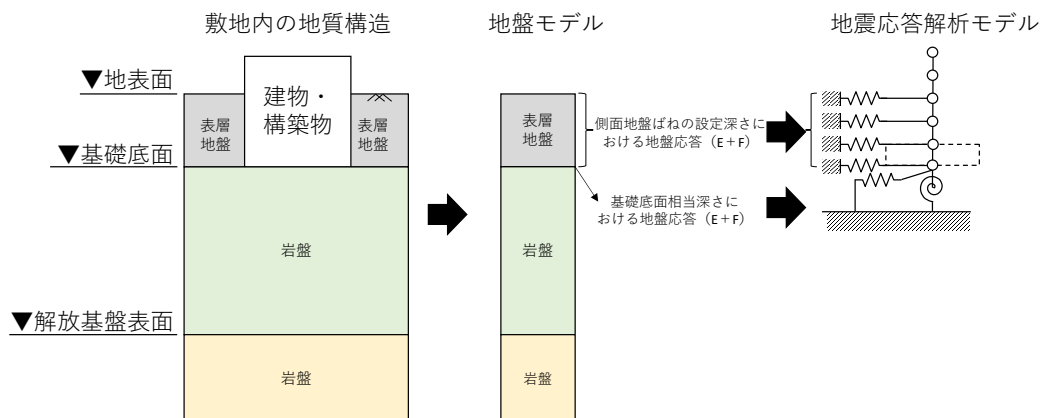
との相互作用を見込めないことから側面地盤ばねは考慮せず，表層地盤における反射波の影響も小さいことから建物・構築物の基礎底面レベルにおける上昇波（2E波）を考慮する。

上記の地盤モデルの構成及び入力地震動の算定イメージを第 4.3-1 図に示す。

第 1 回設工認申請においては，燃料加工建屋(PA)及び安全冷却水 B 冷却塔(A4B)について個別に地盤モデルを設定するが，第 2 回設工認申請においては，広範囲に配置された多数の建物・構築物が申請対象となることから，隣接・近接する建物・構築物をグルーピングし，そのグループごとに地盤モデルを設定する。

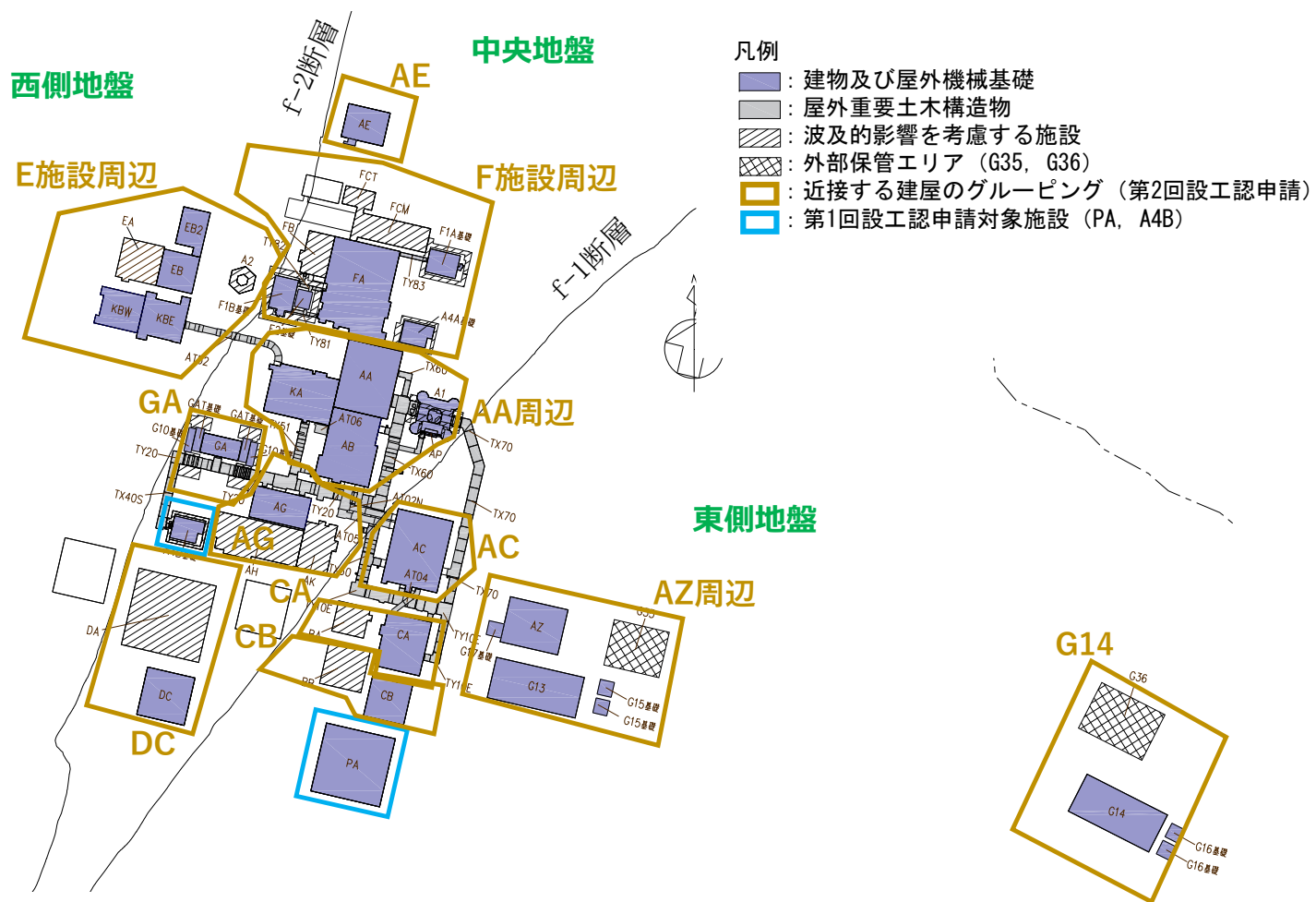
当社敷地においては，「4.2 地質学的に見た敷地内の地質構造」に示したとおり，地質構造の違いによって，大局的に，中央，西側，東側の 3 つのエリアに分かれており，それぞれのエリアにおいて，複数の施設が隣接・近接して配置されている。

上記を踏まえ，第 2 回設工認申請におけるグルーピングにおいて，「基本地盤モデル」を設定する上では，近接する建物グループ単位（全 12 グループ）で検討を行う。第 4.3-2 図において，第 2 回設工認申請における地盤モデルのグルーピング結果（全 12 グループ）をまとめて示す。



注記：屋外機械基礎等，埋め込み深さが浅く，地下に層を有しない建物・構築物については，側面地盤との相互作用を見込めないことから側面地盤ばねは考慮せず，表層地盤における反射波の影響も小さいことから建物・構築物の基礎底面レベルにおける上昇波（2E波）を考慮する。

第 4.3-1 図 敷地における地盤モデルの構成イメージ



第 4.3-2 図 第 2 回設工認申請における近接する建物・構築物のグルーピング

5. 第1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

入力地震動の算定に用いる地盤モデルを設定するにあたっては、以下の STEP①及び STEP②の検討を行う。

STEP①：データ整理

STEP②：「基本地盤モデル」の設定

STEP①におけるデータ整理方針については「5.1 データ整理」に示し、整理結果については、以下の別紙に示す。

STEP②における「基本地盤モデル」の設定方針及び設定結果については、「6.3 「基本地盤モデル」の設定」に示し、各因子における詳細については、以下の別紙に示す。

- ・別紙 1-1 燃料加工建屋の地盤モデルの設定
- ・別紙 1-2 安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデルの設定

5.1 データ整理

5.1.1 地盤モデルに設定するパラメータの整理

入力地震動算定に用いる地盤モデルの設定を行うにあたり、「4.3 敷地の地質構造及び耐震設計方法を踏まえた地盤モデルの構成」に示したとおり、建物・構築物の入力地震動算定の考え方にに基づき、一次元波動論により入力地震動を算定するために必要なパラメータの整理を行った。

一次元波動論による計算は、地盤の各境界面にて反射・屈折を繰り返すと、地震動は概ね鉛直入射に近い傾向を示すという地震動の特徴を踏まえ、地震動の鉛直入射を仮定し、深さ方向一次元の地盤モデルを設定して行う。

ここで、地盤の各境界面における反射及び屈折を正しく評価するために、地震波の地中伝播経路や、速度境界におけるインピーダンスに係るパラメータ、地震波が地中を伝播する際の散乱やエネルギー消費に伴う減衰を適切に設定する必要がある。また、評価の対象とする地震動の振幅が大きい場合においては、地盤のひずみレベルが大きくなると剛性が低下し、減衰は大きくなるという非線形性を鑑み、この影響が地盤の応答に及ぼす影響を適切に評価する必要がある。

上記解析の特徴を踏まえ、一次元波動論による計算に用いる地盤モデルに設定するパラメータを第 5.1.1-1 表に示す。また、各パラメータの入力地震動の算定結果への寄与についてもあわせて示す。

第 5.1.1-1 表に示すとおり、地盤モデルに設定するパラメータとしては、入力地震動の算定結果に直接寄与するものとして、物性値等（層厚、S 波速度、P 波速度、単位体積重量）、減衰定数及び剛性の非線形性の 3 つのパラメータがあげられる。

これらの 3 つのパラメータについては、「4.3 敷地の地質構造及び耐震設計方法を踏まえた地盤モデルの構成」に示した地盤モデルの構成を踏まえ、地表面～建物・構築物の基礎底面の表層地盤、建物・構築物の基礎底面～解放基盤表面の岩盤部分及び解放基盤表面以深の 3 つの深さに対してそれぞれ整理を行う。

第 5.1.1-1 表 地盤モデルに考慮するパラメータ

	パラメータ		記号	入力地震動の算定結果への寄与
入力地震動の算定結果に直接寄与するパラメータ	物性値等	層厚	—	各速度層の厚さによる地震波の地中伝播経路の設定が、主に地盤の固有周期及び入力地震動の周波数特性に寄与。
		S 波速度	V_s (m/s)	速度境界におけるインピーダンスが、水平成分の入力地震動の周波数特性及び増幅特性に寄与。
		P 波速度	V_p (m/s)	速度境界におけるインピーダンスが、鉛直成分の入力地震動の周波数特性及び増幅特性に寄与。
		単位体積重量	γ_t^* (kN/m ³)	一次元波動論に基づく計算に用いる地盤の剛性 ($G_0 = \rho V_s^2$) に寄与。
	剛性の非線形性		$G/G_0 - \gamma$	地震動による地盤のひずみ量に応じた剛性の低下に伴い、上記 V_s, V_p, G_0 及び h の値の変動による入力地震動の周波数特性、増幅特性及び減衰に寄与。
	減衰定数		h $h - \gamma$	地盤中を伝播する地震動の減衰（波動 1 周期ごとの振幅の低下率）に寄与。 地震動による地盤のひずみ量に応じた h の値の変動に寄与。
上記パラメータから算定するパラメータ	初期せん断弾性係数	G_0 (kN/m ²)	地盤モデルの層ごとに設定した V_s 及び γ から求められる値であり、一次元波動論に基づく計算に用いる地盤の剛性 ($G_0 = \rho V_s^2$) を算出する際に用いる。	
	ポアソン比	ν	地盤モデルの層ごとに設定した V_s 及び V_p から求められる値であり、非線形性を考慮した収束剛性から V_p を算出する際に用いる。	

注記 *： $\gamma_t = g \times \rho$ (g は重力加速度)

5.1.2 地盤モデル検討の考え方の整理

「5.2.1 地盤モデルに設定するパラメータの整理」に示す，入力地震動の算定結果に直接寄与するパラメータの整理結果に基づき，地表面～建物・構築物の基礎底面の表層地盤，建物・構築物の基礎底面～解放基盤表面の岩盤部分及び解放基盤表面以深の 3 つの深さに対し，以下に示す既認可以降における状態変化①～③を踏まえた上で，確認する必要がある事項について整理を行った。また，状態変化を踏まえた確認事項に対する地盤モデルの検討の考え方を整理した。第 5.1.2-1 表～第 5.1.2-3 表に上記の整理結果を示す。

既認可以降における状態変化

- ①新規制基準に伴う基準地震動の増大を踏まえた適用性
- ②新設施設の設置に伴う設計や既設施設の設計条件変更
- ③既認可以降の新たな調査結果（PS 検層結果，地震観測記録）

第 5.1.2-1 表 状態変化を踏まえた確認事項及び地盤モデル検討の考え方（地表面～建物・構築物の基礎底面（表層部分））

地盤の各深さ	地盤モデルの設定パラメータ	既認可時*1の地盤モデルにおける設定の考え方	既認可以降における状態変化			状態変化を踏まえた確認事項	地盤モデルの検討の考え方
			状態変化の項目*2	具体的な状態変化の内容	入力地震動算定に与える影響		
地表面～建物・構築物の基礎底面（表層地盤）	物性値等	実際に埋め込まれているものの、埋込非考慮の条件とした。（表層地盤の設定なし）	②新施設の設置に伴う設計や既施設の設計条件変更	建物・構築物の地震応答解析モデルに埋込みを考慮した。	表層地盤を地盤モデルに考慮する場合、入力地震動の周期特性や増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	施設の埋め込み状況を踏まえ、表層地盤の物性値等を設定する必要がある。 実際に埋め込まれている建物については、埋込みを考慮する必要がある。	実際に埋め込まれている建物については、既認可からの設計条件の変更として埋込みを考慮することとし、埋め込み状況を踏まえ、敷地内で得られているボーリング調査結果等に基づく物性値等の根拠を整理した上で設定する。
	剛性の非線形性	同上	①新規基準に伴う基準地震動の増大を踏まえた適用性	基準地震動が大きくなった。	地盤が非線形化し、地盤の剛性低下が生じることで、入力地震動の周期特性や増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	表層地盤の剛性の非線形性を考慮する必要がある。	表層地盤は岩盤よりも剛性が小さく、基準地震動 S_s に対する地盤のひずみによる影響が無視できないと判断し、剛性の非線形性を考慮する。
	減衰定数	同上	①新規基準に伴う基準地震動の増大を踏まえた適用性	基準地震動が大きくなった。	地盤が非線形化し、地盤の減衰定数が変化することで、入力地震動の増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	表層地盤の減衰定数の非線形性を考慮する必要がある。	表層地盤は岩盤よりも剛性が小さく、基準地震動 S_s に対する地盤のひずみによる影響が無視できないと判断し、減衰定数の非線形性を考慮する。

注記 *1：新規基準施工前の設計及び工事の方法の認可申請書

*2：「5.1.2 地盤モデル設定の考え方の整理」に示した既認可以降における状態変化①～③と対応。

第 5.1.2-2 表 状態変化を踏まえた確認事項及び地盤モデル検討の考え方（建物・構築物の基礎底面～解放基盤表面（岩盤部分））

地盤の各深さ	地盤モデルの設定パラメータ	既認可時*1の地盤モデルにおける設定の考え方	既認可以降における状態変化			状態変化を踏まえた確認事項	地盤モデルの検討の考え方
			状態変化の項目*2	具体的な状態変化の内容	入力地震動算定に与える影響		
建物・構築物の基礎底面～解放基盤表面（岩盤部分）	物性値等	敷地内を中央地盤、西側地盤、東側地盤の3つのエリアに区分し、エリア単位の平均的な物性値を設定した。	②新設施設の設置に伴う設計や既設施設の設計条件変更	既認可時点の地盤モデル設定に用いているデータが無い位置に新設施設が設置されている。	新設施設の設置位置のデータによっては、物性値等の設定結果が変わり、入力地震動の周期特性や増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	新設施設の設置位置を踏まえ、岩盤部分の物性値等を設定する必要がある。	近接する建物・構築物のグループごとに、直下又は近傍のデータに基づく物性値を設定する。
			③既認可以降の新たな調査結果（PS 検層結果、地震観測記録）	既認可以降に新たな調査結果が得られている。	既認可時のデータと傾向が異なる場合、物性値等の設定結果が変わり、入力地震動の周期特性や増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	既認可以降に得られた新たな調査結果を用いて物性値等を設定する必要がある。	
	剛性の非線形性	岩盤部分の剛性については、線形条件とした。	①新規基準に伴う基準地震動の増大を踏まえた適用性	基準地震動が大きくなった。	地盤が非線形化し、地盤の剛性低下が生じることで、入力地震動の周期特性や増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	岩盤部分の剛性の非線形性を考慮する必要がある。	岩盤部分の剛性の非線形性を考慮する。
	減衰定数	岩盤部分の減衰定数については、設計上考慮する地震動レベルに応じ、基準地震動 S1 に対しては 2%、基準地震動 S2 に対しては 3% と設定した。	①新規基準に伴う基準地震動の増大を踏まえた適用性	基準地震動が大きくなった。	地盤が非線形化し、地盤の減衰定数が変化することで、入力地震動の増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	岩盤部分の減衰定数の非線形性を考慮する必要がある。	敷地において得られた各種データに基づき設定する。
			③既認可以降の新たな調査結果（PS 検層結果、地震観測記録）	既認可以降に新たな地震観測記録のデータが得られている。	設定する減衰定数の値に応じて、入力地震動増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	既認可以降に得られた地震観測記録のデータを用いた検討を行い、減衰定数を設定する必要がある。	

注記 *1：新規基準施工前の設計及び工事の方法の認可申請書

*2：「5.1.2 地盤モデル設定の考え方の整理」に示した既認可以降における状態変化①～③と対応。

第 5.1.2-3 表 状態変化を踏まえた確認事項及び地盤モデル検討の考え方（解放基盤表面以深）

地盤の各深さ	地盤モデルの設定パラメータ	既認可時*1の地盤モデルにおける設定の考え方	既認可以降における状態変化			状態変化を踏まえた確認事項	地盤モデルの検討の考え方	
			既認可以降における状態変化の項目*2	具体的な状態変化の内容	入力地震動算定に与える影響			
解放基盤表面以深 (岩盤部分)	物性値等	敷地内を中央地盤、西側地盤、東側地盤の3つのエリアに区分し、エリア単位の平均的な物性値を設定した。	②新設施設の設置に伴う設計や既設施設の設計条件変更	既認可時点の地盤モデル設定に用いているデータが無い位置に新設施設が設置されている。	新設施設の設置位置のデータによっては、物性値等の設定結果が変わり、入力地震動の周期特性や増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	新設施設の設置位置を踏まえ、岩盤部分の物性値等を設定する必要がある。	一次元波動論に基づく評価においては、半無限層として設定されることから、解放基盤表面レベルの物性値が連続する設定とする。	
			③既認可以降の新たな調査結果（PS 検層結果，地震観測記録）	既認可以降に新たな調査結果が得られている。	既認可時のデータと傾向が異なる場合、物性値等の設定結果が変わり、入力地震動の周期特性や増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	既認可以降に得られた新たな調査結果を用いて物性値等を設定する必要がある。		
	剛性の非線形性	解放基盤表面以深の剛性については、線形条件とした。	①新規基準に伴う基準地震動の増大を踏まえた適用性	基準地震動が大きくなった。	地盤が非線形化し、地盤の剛性低下が生じることで、入力地震動の周期特性や増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	岩盤部分の剛性の非線形性を考慮する必要がある。		一次元波動論に基づく評価においては、半無限層として設定されること、また、実際の地盤では岩盤部分の剛性よりも更に硬いことから、線形条件とする。
	減衰定数	岩盤部分の減衰定数については、地盤のひずみに依らず一定値を設定した。	①新規基準に伴う基準地震動の増大を踏まえた適用性	基準地震動が大きくなった。	地盤が非線形化し、地盤の減衰定数が変化することで、入力地震動の増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	岩盤部分の減衰定数の非線形性を考慮する必要がある。		一次元波動論に基づく評価においては、半無限層として設定されることから、解放基盤表面レベルの減衰定数及び非線形性に対する考え方が連続する設定とする。
			③既認可以降の新たな調査結果（PS 検層結果，地震観測記録）	既認可以降に新たな地震観測記録のデータが得られている。	設定する減衰定数の値に応じて、入力地震動増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	既認可以降に得られた地震観測記録のデータを用いた検討を行い、減衰定数を設定する必要がある。		
			解放基盤以深の減衰定数については、設計上考慮する地震動レベルに応じ、基準地震動 S1 に対しては 2%、基準地震動 S2 に対しては 3%と設定した。					

注記 *1：新規基準施工前の設計及び工事の方法の認可申請書

*2：「5.1.2 地盤モデル設定の考え方の整理」に示した既認可以降における状態変化①～③と対応。

5.1.3 因子の抽出

基本地盤モデルの設定に用いるデータの整理を行うにあたり、「5.2.2 地盤モデル検討の考え方」に示した入力地震動の算定に用いる地盤モデルの検討の考え方を踏まえ、データの整理を行うものとして、以下の3つの因子を抽出した。

「5. 第1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」に示したSTEP①データ整理については、以下の3因子に対して行うものとする。

- ・物性値等の設定
- ・剛性の非線形性の設定
- ・減衰定数の設定

5.1.4 データ整理方針

入力地震動算定に用いる地盤モデル設定におけるデータの整理にあたり、各パラメータにおけるデータの整理方針を以下の(1)～(3)に示す。

(1) 物性値等

岩盤部分及び表層地盤の物性値等の整理については、第5.1.2-1表～第5.1.2-2表に示す検討の考え方のおり、各建物・構築物の入力地震動を適切に評価可能なよう、表層地盤及び岩盤部分のいずれについても、対象とする建物・構築物の直下又は近傍のPS検層結果を建物・構築物ごとに選定し、当該孔における速度構造データを用いた整理を行う。

(2) 剛性の非線形性

剛性の非線形性の整理については、第5.1.2-1表～第5.1.2-2表に示す検討の考え方のおり、表層地盤及び岩盤部分のいずれについても、各岩種に対する繰返し三軸圧縮試験結果に基づくひずみ依存特性 ($G/G_0 - \gamma$ 曲線) を整理する。

(3) 減衰定数

剛性の非線形性の整理については、地盤の減衰定数について、第5.1.2-1表～第5.1.2-2表に示す検討の考え方のおり、表層地盤及び岩盤部分のいずれについても、各岩種に対する繰返し三軸圧縮試験結果に基づくひずみ依存特性 ($h - \gamma$ 曲線) を整理する。

上記(1)～(3)のデータ整理結果については、「別紙1-1 燃料加工建屋の地盤モデルの設定」及び「別紙1-2 安全冷却水B冷却塔の地盤モデルの設定」に示す。

5.2 「基本地盤モデル」の設定

5.2.1 「基本地盤モデル」の設定方針

「基本地盤モデル」の設定にあたっては、「5.1 データ整理」に示したデータの整理結果に基づき、入力地震動の算定に用いる地盤モデルとして「基本地盤モデル」を設定する。

また、耐震設計において、入力地震動を算定する上で考慮する地盤物性のばらつきの設定の考え方及び設定結果についても併せて示す。

各パラメータにおける「基本地盤モデル」の設定方針を以下の(1)～(3)に示す。

(1) 物性値等

表層地盤及び岩盤部分の物性値等については、「別紙 1-1 燃料加工建屋の地盤モデルの設定」及び「別紙 1-2 安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデルの設定」に示したデータ整理結果を踏まえ、以下のとおり「基本地盤モデル」を設定する。

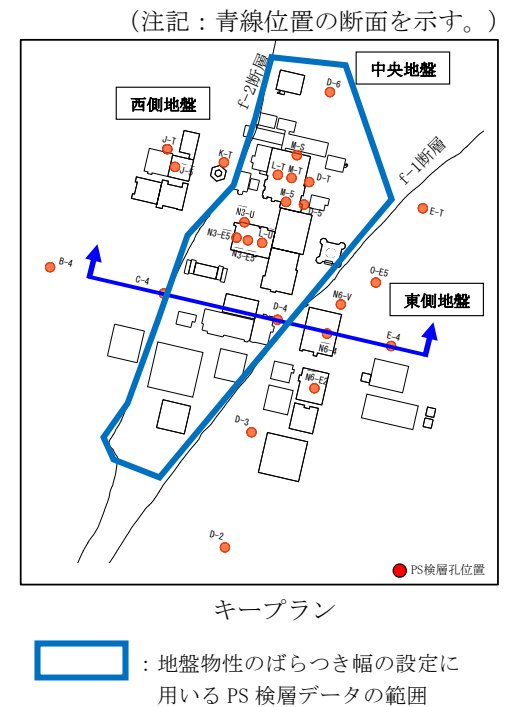
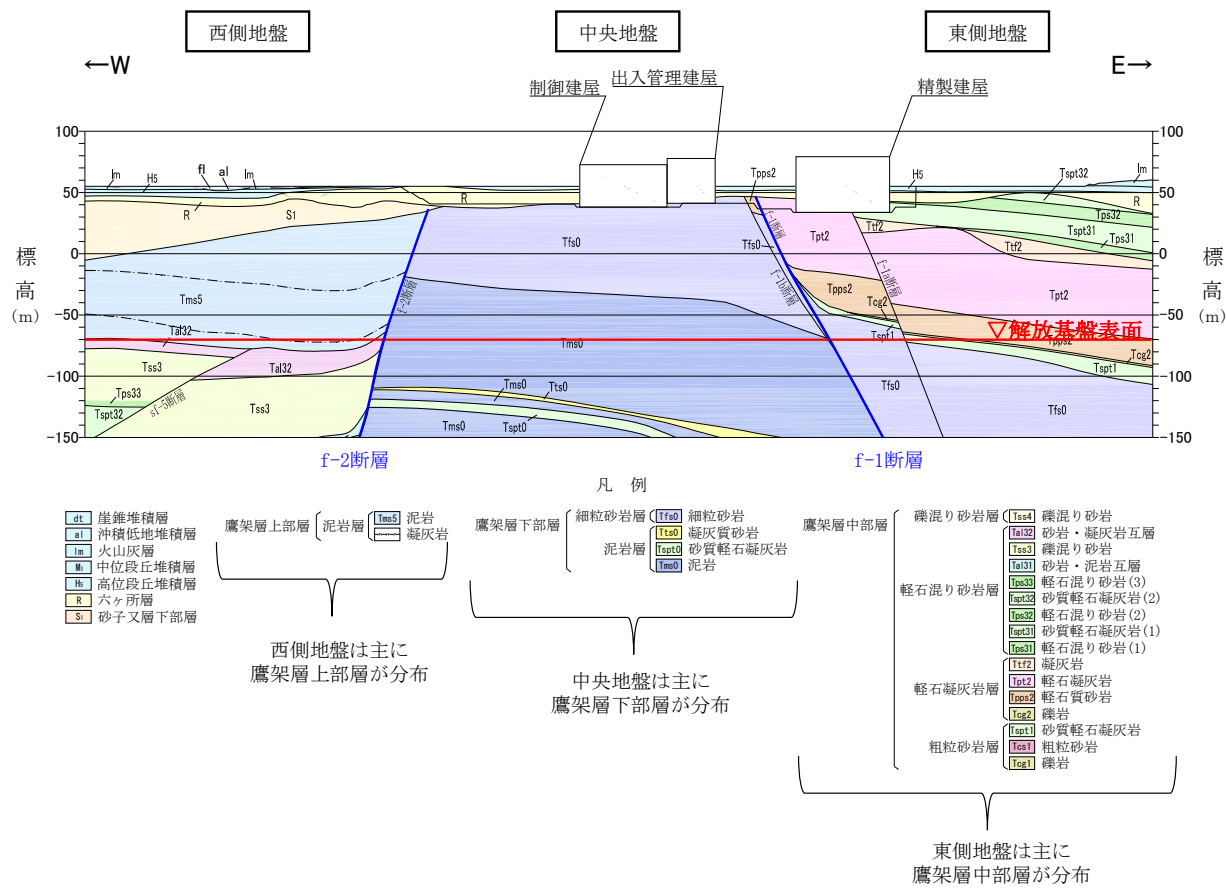
- ・表層地盤及び岩盤部分のいずれについても、建物・構築物の直下又は近傍の PS 検層結果に基づき整理した物性値等を基本ケースとして採用する。
- ・地盤物性のばらつきを考慮することとし、表層地盤及岩盤部分ともに基本ケースの設定に用いたデータの母集団に基づきばらつき幅を設定する。

ばらつき幅の設定にあたっては、建物・構築物の直下又は近傍に、複数の PS 検層データが存在する PA については、表層地盤及び岩盤部分ともに、それらのデータの平均値に対する $\pm 1\sigma$ のばらつき幅を設定する。

建物・構築物の直下又は近傍に、単一の PS 検層データのみが存在する A4B については、周辺の地盤状況を踏まえ、当該建物・構築物直下と地質構造が同様なエリアにおける PS 検層データを参照し、岩種ごとに適切なばらつき幅を設定することとする。

再処理施設の敷地は、第 5.2.1-1 図に示す地質断面図のとおり、f-1 断層及び f-2 断層を境界として地質構造が大きく異なり、A4B が含まれる f-1 断層及び f-2 断層の間のエリアでは主に鷹架層下部層が分布している。

このことから、A4B におけるばらつき幅の設定にあたっては、エリアごとに地質構造が大きく異なることを踏まえ、第 5.2.1-1 図に示すエリアにおける PS 検層データを母集団とし、その S 波速度及び P 波速度の標準偏差 σ に相当する変動係数を算定し、A4B の基本地盤モデルに対して $\pm 1\sigma$ のばらつき幅を設定する。



第 5.2.1-1 図 地質断面図 (東西方向)

(2) 剛性の非線形性

剛性の非線形性については、「別紙 1-1 燃料加工建屋の地盤モデルの設定」及び「別紙 1-2 安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデルの設定」に示したデータ整理結果を踏まえ、以下のとおり「基本地盤モデル」を設定する。

- ・表層地盤及び岩盤部分のいずれについても、各岩種に対する繰返し三軸圧縮試験結果に基づくひずみ依存特性（ $G/G_0-\gamma$ 曲線）を設定する。

(3) 減衰定数

減衰定数については、「別紙 1-1 燃料加工建屋の地盤モデルの設定」及び「別紙 1-2 安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデルの設定」に示したデータ整理結果を踏まえ、以下のとおり「基本地盤モデル」を設定する。

- ・表層地盤及び岩盤部分のいずれについても、各岩種に対する繰返し三軸圧縮試験結果に基づくひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）を設定する。

5.2.2 「基本地盤モデル」の設定結果

第1回設工認申請の対象施設において設定した基本地盤モデルを第5.2.2-1表に示す。なお、A4Bの基本地盤モデルは、基礎、本体、飛来物防護ネットにおいて同じ基本地盤モデルを用いる。

PA及びA4Bの基本地盤モデルについては、本補足説明資料における設定方針及び方法に従い、建物・構築物直下又は近傍のPS検層結果に基づき作成されており、さらに、非線形性についても、建物・構築物直下又は近傍に分布する岩種ごとに実施された繰返し三軸圧縮試験結果に基づいて設定していることから、作成した地盤モデルには、建物・構築物直下又は近傍の地盤の情報が適切に反映されている。

また、地盤物性のばらつき幅についても、PAについては複数の建物直下PS検層結果に基づいて設定しており、近傍孔のPS検層結果を用いているA4Bについては、敷地内の広域なエリアにおける複数のボーリング調査結果に基づいて設定しており、当該建物・構築物の地盤の実態を踏まえて適切なばらつき幅が設定されている。

入力地震動の算定に用いる地盤物性は、ひずみ依存特性を考慮した等価線形解析に基づく等価物性値を用いる。

地盤の等価線形解析の適用範囲については、「JEAC4601-2008」によれば、支持岩盤の剛性低下率の平均値が0.7を下回らない範囲とされているが、建物・構築物の基礎底面以深の地盤は、せん断ひずみが卓越しにくい硬質な岩盤であることから、上記の適用範囲外となることは無いと考えられる。

PAの地盤の等価線形解析にあたっては、表層地盤のうち、造成盛土の一部の層において、等価線形解析の一般的な適用の目安である有効せん断ひずみ1%を大きく上回る場合があるが、造成盛土のひずみ依存特性において、有効せん断ひずみ1%の段階で、既に剛性としては最低値付近まで低下しており、それ以上のひずみレベルにおける剛性低下を考慮したとしても、得られる等価物性値としては大きく変化しないことから、等価線形解析を用いたとしても、入力地震動の算定結果に大きな影響を与えることは無いと考えられる。

上記の考え方に対し、定量的な確認として、地盤の非線形特性を時々刻々と評価可能な逐次非線形解析を実施し、解析手法の相違が入力地震動の算定結果に影響を与えないことを確認した。

また、地盤の有効せん断ひずみが1%を大きく上回り、ひずみ依存特性における繰返し三軸圧縮試験結果の外挿範囲となっていることを踏まえて、当該範囲における非線形特性のパラメータスタディを実施しても、入力地震動の算定結果に影響を与えないことを確認した。

なお、「別紙1-1 燃料加工建屋の地盤モデルの設定」及び「別紙1-2 安全冷却水B冷却塔の地盤モデルの設定」に示す地盤モデルについては、設工認申請書における以下に示す地盤の支持性能に係る添付書類に記載する。

- ・再処理施設 添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」
- ・MOX 燃料加工施設 添付書類「III-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」

その上で、以下に示す添付書類において、この地盤モデルを用いた入力地震動に基づいて建物・構築物の地震応答解析を実施し、耐震設計を実施する。

- ・再処理施設 添付書類「IV-2-1-1-1-1-1 安全冷却水 B 冷却塔基礎の地震応答計算書」
- ・再処理施設 添付書類「IV-2-1-3-2-1-2-1 飛来物防護ネット（再処理設備本体用安全冷却水系冷却塔 B）の計算書」
- ・MOX 燃料加工施設 添付書類「III-2-1-1-1-1-1 燃料加工建屋の地震応答計算書」
- ・MOX 燃料加工施設 添付書類「III-6-2-1-1-1 燃料加工建屋の基準地震動を 1.2 倍した地震力に対する耐震性評価結果」

第 5.2.2-1 表 第 1 回設工認申請における基本地盤モデル

(a) PA

標高 T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽地表面						
55.00	造成盛土	15.7	160	580		*1
46.00	六ヶ所層	16.5	320	980		*2
35.00						
▽基礎スラブ底面						
31.53	軽石凝灰岩	15.3	660	1860		*3
9.00		15.6	810	1920		
-28.00	軽石質砂岩	18.2	1090	2260		*4
-49.00	細粒砂岩					*5
▽解放基盤表面						
-70.00	細粒砂岩	18.2	1090	2260		*6

- 注記 *1：造成盛土のひずみ依存特性を設定する。
 *2：六ヶ所層のひずみ依存特性を設定する。
 *3：軽石凝灰岩のひずみ依存特性を設定する。
 *4：軽石質砂岩のひずみ依存特性を設定する。
 *5：細粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。
 *6：直上層のひずみ依存特性における線形時の値を設定する。

(b) A4B

標高 T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽基礎スラブ底面						
53.80	MMR	*1	*1	*1		*1
▽MMR下端レベル						39.00
37.08	細粒砂岩	18.3	680	1910		*3
36.63	粗粒砂岩					
9.02	細粒砂岩	18.1	940	2040		*2
-25.57	泥岩（下部層）	16.9	790	1880		*4
▽解放基盤表面						
-70.00	泥岩（下部層）	16.9	790	1880		*5

- 注記 *1：支持地盤相当の岩盤に支持されているとみなし、MMR直下の支持地盤の物性値を設定する。
 *2：細粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。
 *3：粗粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。
 *4：泥岩（下部層）のひずみ依存特性を設定する。
 *5：直上層のひずみ依存特性における線形時の値を設定する。

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
入力地震動の算定に用いる地盤モデルを設定するにあたっては、以下のSTEP①～STEP③の検討を行う。

STEP①：データ整理

STEP②：データ分析

STEP③：「基本地盤モデル」の設定

STEP①及びSTEP②におけるデータ整理方針及びデータ分析方針については「6.1 データ整理」及び「6.2 データ分析」に示し、整理結果及び分析結果については、以下の別紙に示す。

STEP③における「基本地盤モデル」の設定方針及び設定結果については、「6.3 「基本地盤モデル」の設定」に示し、各因子における詳細については、以下の別紙に示す。

- ・別紙 2-1 岩盤部分の物性値等の設定について
- ・別紙 2-2 岩盤部分の剛性の非線形性に係る検討について
- ・別紙 2-3 岩盤部分の減衰定数に係る検討について
- ・別紙 2-4 表層地盤の物性値等に係る検討について

6.1 データ整理

6.1.1 地盤モデルに設定するパラメータの整理

入力地震動算定に用いる地盤モデルの設定を行うにあたり、「4.3 敷地の地質構造及び耐震設計方法を踏まえた地盤モデルの構成」に示したとおり、建物・構築物の入力地震動算定の考え方にに基づき、一次元波動論により入力地震動を算定するために必要なパラメータの整理を行った。

一次元波動論による計算は、地盤の各境界面にて反射・屈折を繰り返すと、地震動は概ね鉛直入射に近い傾向を示すという地震動の特徴を踏まえ、地震動の鉛直入射を仮定し、深さ方向一次元の地盤モデルを設定して行う。

ここで、地盤の各境界面における反射及び屈折を正しく評価するために、地震波の地中伝播経路や、速度境界におけるインピーダンスに係るパラメータ、地震波が地中を伝播する際の散乱やエネルギー消費に伴う減衰を適切に設定する必要がある。また、評価の対象とする地震動の振幅が大きい場合においては、地盤のひずみレベルが大きくなると剛性が低下し、減衰は大きくなるという非線形性を鑑み、この影響が地盤の応答に及ぼす影響を適切に評価する必要がある。

上記解析の特徴を踏まえ、一次元波動論による計算に用いる地盤モデルに設定するパラメータを第6.1.1-1表に示す。また、各パラメータの入力地震動の算定結

果への寄与についてもあわせて示す。

第 6.1.1-1 表に示すとおり，地盤モデルに設定するパラメータとしては，入力地震動の算定結果に直接寄与するものとして，物性値等（層厚，S 波速度，P 波速度，単位体積重量），減衰定数及び剛性の非線形性の 3 つのパラメータがあげられる。これらの 3 つのパラメータについては，「4.3 敷地の地質構造及び耐震設計方法を踏まえた地盤モデルの構成」に示した地盤モデルの構成を踏まえ，地表面～建物・構築物の基礎底面の表層地盤，建物・構築物の基礎底面～解放基盤表面の岩盤部分及び解放基盤表面以深の 3 つの深さに対してそれぞれ整理を行う。

第 6.1.1-1 表 地盤モデルに考慮するパラメータ

	パラメータ		記号	入力地震動の算定結果への寄与
入力地震動の算定結果に直接寄与するパラメータ	物性値等	層厚	—	各速度層の厚さによる地震波の地中伝播経路の設定が、主に地盤の固有周期及び入力地震動の周波数特性に寄与。
		S 波速度	V_s (m/s)	速度境界におけるインピーダンスが、水平成分の入力地震動の周波数特性及び増幅特性に寄与。
		P 波速度	V_p (m/s)	速度境界におけるインピーダンスが、鉛直成分の入力地震動の周波数特性及び増幅特性に寄与。
		単位体積重量	γ_t^* (kN/m ³)	一次元波動論に基づく計算に用いる地盤の剛性 ($G_0 = \rho V_s^2$) に寄与。
	剛性の非線形性		$G/G_0 - \gamma$	地震動による地盤のひずみ量に応じた剛性の低下に伴い、上記 V_s, V_p, G_0 及び h の値の変動による入力地震動の周波数特性、増幅特性及び減衰に寄与。
	減衰定数		h $h - \gamma$	地盤中を伝播する地震動の減衰（波動 1 周期ごとの振幅の低下率）に寄与。 地震動による地盤のひずみ量に応じた h の値の変動に寄与。
上記パラメータから算定するパラメータ	初期せん断弾性係数	G_0 (kN/m ²)	地盤モデルの層ごとに設定した V_s 及び γ から求められる値であり、一次元波動論に基づく計算に用いる地盤の剛性 ($G_0 = \rho V_s^2$) を算出する際に用いる。	
	ポアソン比	ν	地盤モデルの層ごとに設定した V_s 及び V_p から求められる値であり、非線形性を考慮した収束剛性から V_p を算出する際に用いる。	

注記 *： $\gamma_t = g \times \rho$ (g は重力加速度)

6.1.2 地盤モデル検討の考え方の整理

「6.2.1 地盤モデルに設定するパラメータの整理」に示す，入力地震動の算定結果に直接寄与するパラメータの整理結果に基づき，地表面～建物・構築物の基礎底面の表層地盤，建物・構築物の基礎底面～解放基盤表面の岩盤部分及び解放基盤表面以深の 3 つの深さに対し，以下に示す既認可以降における状態変化①～③を踏まえた上で，確認する必要がある事項について整理を行った。また，状態変化を踏まえた確認事項に対する地盤モデルの検討の考え方を整理した。第 6.1.2-1 表～第 6.1.2-3 表に上記の整理結果を示す。

既認可以降における状態変化

- ①新規制基準に伴う基準地震動の増大を踏まえた適用性
- ②新設施設の設置に伴う設計や既設施設の設計条件変更
- ③既認可以降の新たな調査結果（PS 検層結果，地震観測記録）

第 6.1.2-1 表 状態変化を踏まえた確認事項及び地盤モデル検討の考え方（地表面～建物・構築物の基礎底面（表層部分））

地盤の各深さ	地盤モデルの設定パラメータ	既認可時*1の地盤モデルにおける設定の考え方	既認可以降における状態変化			状態変化を踏まえた確認事項	地盤モデルの検討の考え方
			状態変化の項目*2	具体的な状態変化の内容	入力地震動算定に与える影響		
地表面～建物・構築物の基礎底面（表層地盤）	物性値等	実際に埋め込まれているものの、埋込非考慮の条件とした。（表層地盤の設定なし）	②新施設の設置に伴う設計や既設施設の設計条件変更	建物・構築物の地震応答解析モデルに埋込みを考慮した。	表層地盤を地盤モデルに考慮する場合、入力地震動の周期特性や増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	施設の埋め込み状況を踏まえ、表層地盤の物性値等を設定する必要がある。 実際に埋め込まれている建物については、埋込みを考慮する必要がある。	実際に埋め込まれている建物については、既認可からの設計条件の変更として埋め込みを考慮することとし、埋め込み状況を踏まえ、敷地内で得られているボーリング調査結果等に基づく物性値等の根拠を整理した上で設定する。
	剛性の非線形性	同上	①新規規制基準に伴う基準地震動の増大を踏まえた適用性	基準地震動が大きくなった。	地盤が非線形化し、地盤の剛性低下が生じることで、入力地震動の周期特性や増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	表層地盤の剛性の非線形性を考慮する必要がある。	表層地盤は岩盤よりも剛性が小さく、基準地震動 S_s に対する地盤のひずみによる影響が無視できないと判断し、剛性の非線形性を考慮する。
	減衰定数	同上	①新規規制基準に伴う基準地震動の増大を踏まえた適用性	基準地震動が大きくなった。	地盤が非線形化し、地盤の減衰定数が変化することで、入力地震動の増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	表層地盤の減衰定数の非線形性を考慮する必要がある。	表層地盤は岩盤よりも剛性が小さく、基準地震動 S_s に対する地盤のひずみによる影響が無視できないと判断し、減衰定数の非線形性を考慮する。

注記 *1：新規規制基準施工前の設計及び工事の方法の認可申請書

*2：「5.1.2 地盤モデル設定の考え方の整理」に示した既認可以降における状態変化①～③と対応。

第 6.1.2-2 表 状態変化を踏まえた確認事項及び地盤モデル検討の考え方（建物・構築物の基礎底面～解放基盤表面（岩盤部分））

地盤の各深さ	地盤モデルの設定パラメータ	既認可時*1の地盤モデルにおける設定の考え方	既認可以降における状態変化			状態変化を踏まえた確認事項	地盤モデルの検討の考え方
			状態変化の項目*2	具体的な状態変化の内容	入力地震動算定に与える影響		
建物・構築物の基礎底面～解放基盤表面（岩盤部分）	物性値等	敷地内を中央地盤、西側地盤、東側地盤の3つのエリアに区分し、エリア単位の平均的な物性値を設定した。	②新設施設の設置に伴う設計や既設施設の設計条件変更	既認可時点の地盤モデル設定に用いているデータが無い位置に新設施設が設置されている。	新設施設の設置位置のデータによっては、物性値等の設定結果が変わり、入力地震動の周期特性や増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	新設施設の設置位置を踏まえ、岩盤部分の物性値等を設定する必要がある。	近接する建物・構築物のグループごとに、直下又は近傍のデータに基づく物性値を設定する。
			③既認可以降の新たな調査結果（PS 検層結果、地震観測記録）	既認可以降に新たな調査結果が得られている。	既認可時のデータと傾向が異なる場合、物性値等の設定結果が変わり、入力地震動の周期特性や増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	既認可以降に得られた新たな調査結果を用いて物性値等を設定する必要がある。	
	剛性の非線形性	岩盤部分の剛性については、線形条件とした。	①新規基準に伴う基準地震動の増大を踏まえた適用性	基準地震動が大きくなった。	地盤が非線形化し、地盤の剛性低下が生じることで、入力地震動の周期特性や増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	岩盤部分の剛性の非線形性を考慮する必要がある。	岩盤部分の剛性の非線形性を考慮する。
	減衰定数	岩盤部分の減衰定数については、設計上考慮する地震動レベルに応じ、基準地震動 S1 に対しては 2%、基準地震動 S2 に対しては 3% と設定した。	①新規基準に伴う基準地震動の増大を踏まえた適用性	基準地震動が大きくなった。	地盤が非線形化し、地盤の減衰定数が変化することで、入力地震動の増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	岩盤部分の減衰定数の非線形性を考慮する必要がある。	敷地において得られた各種データ（地震観測記録、調査結果等）に基づき、材料減衰と散乱減衰を含んだ減衰定数について検討する。
			③既認可以降の新たな調査結果（PS 検層結果、地震観測記録）	既認可以降に新たな地震観測記録のデータが得られている。	設定する減衰定数の値に応じて、入力地震動増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	既認可以降に得られた地震観測記録のデータを用いた検討を行い、減衰定数を設定する必要がある。	

注記 *1：新規基準施工前の設計及び工事の方法の認可申請書

*2：「5.1.2 地盤モデル設定の考え方の整理」に示した既認可以降における状態変化①～③と対応。

第 6.1.2-3 表 状態変化を踏まえた確認事項及び地盤モデル検討の考え方（解放基盤表面以深）

地盤の各深さ	地盤モデルの設定パラメータ	既認可時*1の地盤モデルにおける設定の考え方	既認可以降における状態変化			状態変化を踏まえた確認事項	地盤モデルの検討の考え方	
			既認可以降における状態変化の項目*2	具体的な状態変化の内容	入力地震動算定に与える影響			
解放基盤表面以深 (岩盤部分)	物性値等	敷地内を中央地盤、西側地盤、東側地盤の3つのエリアに区分し、エリア単位の平均的な物性値を設定した。	②新施設の設置に伴う設計や既施設の設計条件変更	既認可時点の地盤モデル設定に用いているデータが無い位置に新施設が設置されている。	新施設の設置位置のデータによっては、物性値等の設定結果が変わり、入力地震動の周期特性や増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	新施設の設置位置を踏まえ、岩盤部分の物性値等を設定する必要がある。	一次元波動論に基づく評価においては、半無限層として設定されることから、解放基盤表面レベルの物性値が連続する設定とする。	
			③既認可以降の新たな調査結果（PS 検層結果，地震観測記録）	既認可以降に新たな調査結果が得られている。	既認可時のデータと傾向が異なる場合、物性値等の設定結果が変わり、入力地震動の周期特性や増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。			既認可以降に得られた新たな調査結果を用いて物性値等を設定する必要がある。
	剛性の非線形性	解放基盤表面以深の剛性については、線形条件とした。	①新規基準に伴う基準地震動の増大を踏まえた適用性	基準地震動が大きくなった。	地盤が非線形化し、地盤の剛性低下が生じることで、入力地震動の周期特性や増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	岩盤部分の剛性の非線形性を考慮する必要がある。		一次元波動論に基づく評価においては、半無限層として設定されること、また、実際の地盤では岩盤部分の剛性よりも更に硬いことから、線形条件とする。
	減衰定数	岩盤部分の減衰定数については、地盤のひずみに依らず一定値を設定した。	①新規基準に伴う基準地震動の増大を踏まえた適用性	基準地震動が大きくなった。	地盤が非線形化し、地盤の減衰定数が変化することで、入力地震動の増幅傾向に影響を及ぼす可能性がある。	岩盤部分の減衰定数の非線形性を考慮する必要がある。		一次元波動論に基づく評価においては、半無限層として設定されることから、解放基盤表面レベルの減衰定数及び非線形性に対する考え方が連続する設定とする。
		解放基盤以深の減衰定数については、設計上考慮する地震動レベルに応じ、基準地震動 S1 に対しては 2%、基準地震動 S2 に対しては 3%と設定した。						

注記 *1：新規基準施工前の設計及び工事の方法の認可申請書

*2：「5.1.2 地盤モデル設定の考え方の整理」に示した既認可以降における状態変化①～③と対応。

6.1.3 因子の抽出

基本地盤モデルの設定に用いるデータの整理を行うにあたり、「6.2.2 地盤モデル検討の考え方」に示した入力地震動の算定に用いる地盤モデルの検討の考え方を踏まえ、データの整理を行うものとして、以下の4つの因子を抽出した。

「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」に示したSTEP①データ整理及びSTEP②データ分析については、以下の4因子に対して行うものとする。

- ・岩盤部分の物性値等の設定
- ・岩盤部分の剛性の非線形性の設定
- ・岩盤部分の減衰定数の設定
- ・表層地盤の物性値等の設定

6.1.4 データ整理方針

入力地震動算定に用いる地盤モデル設定におけるデータの整理にあたっては、各因子に対し、JEAG4601-1987に示される手法や他サイトにおける審査実績を踏まえ、一般的・標準的な手法について確認を行う。

また、各因子に対する一般的・標準的な手法に基づく検討を実施し、敷地の特徴を捉えたデータを整理する。なお、一般的・標準的な手法に基づく検討を行うにあたり、既往のデータのみで整理ができない因子については、追加調査を行い、データを拡充する。

各因子におけるデータの整理方針を以下の(1)～(4)に示す。

(1) 岩盤部分の物性値等

岩盤部分の物性値等において、一般的・標準的な手法として、JEAG4601-1987における記載内容及び他サイトの新規制基準における審査実績の整理を行った。JEAG4601-1987における記載は以下のとおりである。

- ・動的解析用の地盤の弾性係数については、地盤の地震時の振動性状を最も的確に評価し得る試験法として弾性波試験が挙げられる。(中略)ここで言う弾性波試験は、PS検層、横坑内弾性波、坑間弾性波などである。
- ・動的解析用の弾性係数を求めるための試験法として、地震時の波動伝播の現象に近い試験方法である弾性波試験が最もふさわしいと結論されよう。
- ・弾性波試験結果そのものが持つバラツキが、地層全体の振動特性の評価に及ぼす影響は小さく、その平均値をもって評価することで実用上十分であると考えられる。
- ・弾性波試験(特にPS検層などにより求められた深度方向の速度層序)で地盤の成

層性が確認された場合について述べる。成層地盤に対して動的解析を行う場合、地盤の成層性を考慮した解析モデルや解析手法を用いる際には、地盤の弾性係数は前項までに述べた方法による値をそのまま適用できる。

JEAG4601-1987 「5.2.2 地盤及び構築物の物性値評価 (1)地盤の物性値」より引用

また、地下構造の特徴として軟岩を主体としているサイト（東海第二及び柏崎刈羽6,7号）においては、地震応答解析に用いる地盤の速度構造モデルとして、PS検層結果に基づく、地層ごとのせん断波速度 V_s と粗密波速度 V_p を設定している。

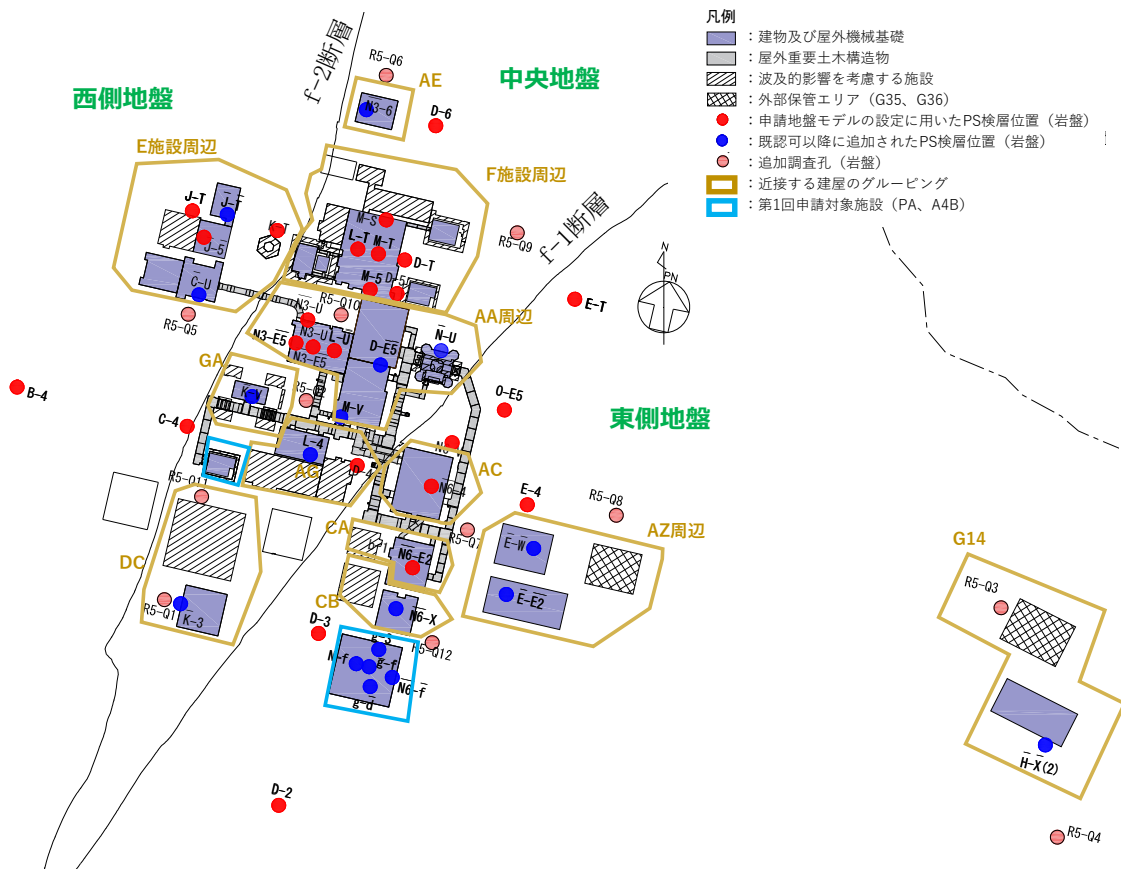
上記の JEAG4601-1987、審査ガイドの整理内容及び他サイトの実績を踏まえ、岩盤部分の物性値等に対する整理においては、「4.3 敷地の地質構造及び耐震設計方法を踏まえた地盤モデルの構成」に示した、近接する建物グループ単位において、建物・構築物の直下又は近傍の PS 検層結果を用いる。

第 6.1.4-1 図に岩盤部分の物性値等の整理に用いる PS 検層位置を示す。なお、後述の「(3)岩盤部分の減衰定数」に示すとおり、各グループの S 波検層データを拡充することを目的に、各地点において岩盤部分の PS 検層を実施することから、岩盤部分の物性値等の整理に用いるデータとして、追加調査データも用いる。

上記を踏まえた岩盤部分の物性値等の整理における検討内容を以下に示す。

- ・近接する建物・構築物グループにおいて、単一の PS 検層結果を有するグループについては、建物・構築物直下又は近傍の PS 検層結果に基づき物性値を設定する。なお、「別紙 2-3 岩盤部分の減衰定数に係る検討について」に示すとおり、岩盤部分の減衰定数の設定に係る追加調査により、各グループ内または近傍において PS 検層結果が得られることから、得られたデータを踏まえ、物性値等の設定を行う。
- ・近接する建物・構築物グループにおいて、複数の PS 検層結果を有するグループについては、物性値の設定に伴い PS 検層結果の平均化を行う。平均化を行う際は、地質構造及び速度構造がグループ内で同じ傾向を示していることを確認した上で、グループ内において得られている PS 検層結果の平均化を実施し、その平均した物性値を設定する。

岩盤部分の物性値等の整理結果については、「別紙 2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」に示す。



第 6.1.4-1 図 岩盤部分の物性値等の整理に用いる PS 検層位置

(2) 岩盤部分の剛性の非線形性

岩盤部分の剛性の非線形性において、一般的・標準的な手法として、JEAG4601-1987 及び基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイドの記載内容及び他サイトの新規制基準における審査実績の整理を行った。JEAG4601-1987 及び審査ガイドにおける記載は以下のとおりである。

- ・ 地盤には、ひずみレベルが大きくなると剛性が低下するという非線形性がある。
- ・ 岩盤中の地震時の剛性低下については以下のように 1 次元波動理論などにより検討する方法がある。(略) 図 5.2.2-12 に示すような非線形特性を仮定し、1 次元波動理論により解析する。

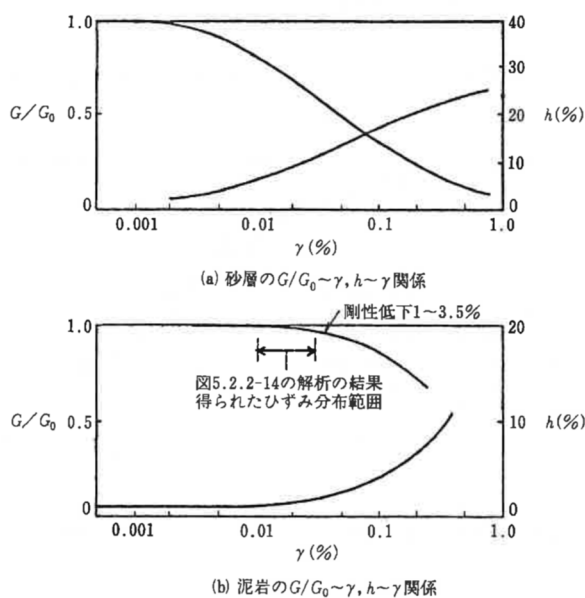


図 5.2.2-12 地盤の $G/G_0 \sim \gamma, h \sim \gamma$ 関係 ^(5.2.2-4)

JEAG4601-1987 「5.2.2 地盤及び構築物の物性値評価 (1)地盤の物性値」より引用

7.2.2 入力地震動の評価

- (2) 入力地震動の評価において、建物・構築物と地盤の相互作用、埋込効果及び周辺地盤の非線形等が必要に応じて考慮されていることを確認する。

基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイドより引用

また、他サイトの実績として、地下構造の特徴として軟岩を主体としているサイト（東海第二及び柏崎刈羽 6,7 号）においては、岩盤部分に対し、剛性の非線形性を考慮して入力地震動を算定している。

上記の JEAG4601-1987, 審査ガイドの整理内容及び他サイトの実績を踏まえると, 岩盤部分の剛性の非線形性として, 岩盤種別ごとに得られたデータに基づき, 三軸圧縮試験結果に基づくひずみ依存特性 ($G/G_0-\gamma$ 曲線) を考慮することが一般的・標準的な設定手法であると考えられる。

ひずみ依存特性 ($G/G_0-\gamma$ 曲線) については, 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ことからこれを整理する。

岩盤部分の剛性の非線形性の整理結果については, 「別紙 2-2 岩盤部分の剛性の非線形性に係る検討について」に示す。

(3) 岩盤部分の減衰定数

岩盤部分の減衰定数において、一般的・標準的な手法として、JEAG4601-1987における記載内容及び他サイトの新規制基準における審査実績の整理を行った。JEAG4601-1987における記載は以下のとおりである。

(1) 高圧動的 3 軸圧縮試験

本試験は、高圧繰り返し 3 軸圧縮試験機を用いて高拘束圧領域（10～200kgf/cm²）におけるせん断弾性係数Gと減衰定数hのひずみ依存性を把握することを目的としている。

(2) S波検層

地震計埋設用の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を振動数ごとに求め、一方、地盤のモデルから求めた減衰量（幾何学的な波面の拡散によるもの及び境界面での反射によるもの）を計算し、これを差し引いた残差を地盤の内部減衰によるものとして減衰評価を行った。

(3) 地震観測

地震動波形をRT変換し伝播方向に直行する水平成分をSH波と考え、直達波と判断される部分を取り出し、応答波の入力波に対する比から減衰評価を行っている。

JEAG4601-1987 「5.2.2 地盤及び構築物の物性値評価 (1)地盤の物性値」より引用

JEAG4601-1987の整理結果を踏まえると、岩盤部分の減衰定数の設定における一般的・標準的な設定手法として、JEAG4601-1987に示される3手法を用い、敷地において得られた各種調査データ等に基づき評価を行い、地盤の実態を表現することのできる減衰定数を設定する。また、地震観測記録を用いたシミュレーション解析を行い、地震観測記録との整合を確認することで、上記にて設定した減衰定数として、地盤の実態を考慮した値が評価されているか確認する。

なお、上記3手法に関する具体的な評価方法については、他サイトにおいて審査実績のある手法も参照して選定する。

上記を踏まえた岩盤部分の減衰定数の整理における検討内容を以下に示す。

- ・ 三軸圧縮試験による評価において、材料減衰並びにその非線形特性を考慮した減衰定数として、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- γ 曲線）の結果を確認する。
- ・ S波検層による評価において、現時点において得られている3地点のデータに基づき材料減衰と散乱減衰を含んだ減衰定数として、試験条件を確認の上、適切な周波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

定数及びその周波数依存特性を確認する。

- ・ 地震観測記録による評価において、材料減衰と散乱減衰を含んだ減衰定数として、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減衰定数を確認する。なお、伝達関数の評価においては、リニア型の周波数依存特性を考慮した評価を行うとともに、その他の知見として示されるバイリニア型の周波数依存特性を考慮した評価及び地震波干渉法に基づく評価を行い、伝達関数により評価された減衰定数との整合性について確認を行う。
- ・ 現時点において敷地内でデータを有していない岩石コア試験を追加実施し、弾性領域における材料減衰を考慮した減衰定数として、同じ物理的な意味合いをもつ三軸圧縮試験結果に基づく弾性領域における材料減衰との整合性の確認を行う。
- ・ 地震観測記録を用いた検討は敷地内の3地点で得られた記録のみ用いていること、また、S波検層結果についても現時点において敷地内の3地点での結果のみ用いていることから、各グループ個別の減衰定数の傾向が既往データからは確認できていない。このため、各グループ内または近傍においてS波検層を追加実施し、グループ間の平面方向又は深さ方向における相対的な差分を確認する。

岩盤部分の減衰定数の整理結果については、「別紙 2-3 岩盤部分の減衰定数に係る検討について」に示す。

(4) 表層地盤の物性値等

表層地盤の物性値等における一般的・標準的な手法として、JEAG4601-1987の記載内容及び他サイトの新規制基準における審査実績の整理を行った。の整理を行った。JEAG4601-1987における記載は以下のとおりである。

【詳細設計段階】

- ・目的：必要に応じて埋戻地盤の動的な特性を調べ、構造物の地震応答解析に資す。
- ・留意点：弾性波速度試験により、実際に埋戻された地盤の物性を調べ、解析に用いた物性値の妥当性を検討する場合がある。

JEAG4601-1987 「3.4 調査・試験計画の例 ⑦埋戻し地盤」より引用

また、地下構造の特徴として軟岩を主体としているサイト（東海第二及び柏崎刈羽6,7号）においては、地震応答解析に用いる地盤の速度構造モデルとして、PS検層結果に基づき、地層ごとのせん断波速度 V_s と粗密波速度 V_p を設定している。

上記のJEAG4601-1987及び他サイトの実績を踏まえ、建屋周辺の表層地盤(埋戻し土及び流動化処理土)の物性値等に対する整理においては、第6.1.4-2図に示すPS検層結果を用いる。なお、表層地盤のうち埋戻し土については、敷地全体で平面的に物性を把握するため、データを拡充し、既往の整理結果との比較を目的として追加調査を行う。

上記を踏まえた表層地盤の物性値などの整理における検討内容を以下に示す。

- ・敷地における表層地盤の施工プロセス及びその特徴の観点から動的な特性を確認する。
- ・上記の確認と敷地内のPS検層データの傾向を踏まえ、物性値設定の母集団を設定する。
- ・埋戻し土については、既存データにて、全敷地範囲における埋戻し土の統計データとしては満足しているものの、平面的に採取されていない箇所や深部データに一部偏りがあることから、追加調査にてデータを拡充し、平面的に一定のばらつきに収まっているか及び深度依存性を確認する。

以上の表層地盤の物性値等の具体的な整理結果については、「別紙2-4 表層地盤の物性値等に係る検討について」に示す。

なお、第2回申請における建屋以外の表層地盤は以下の通りである。

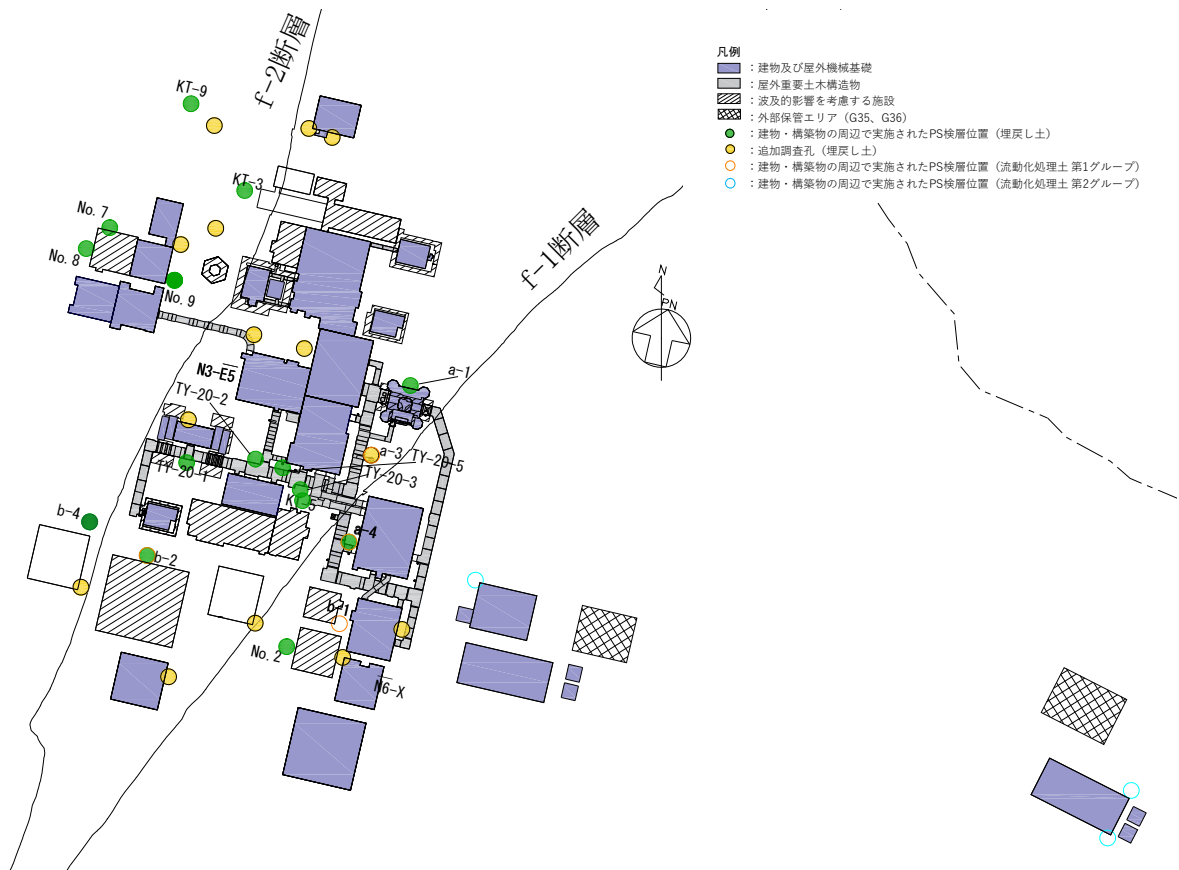
洞道周辺に出現する表層地盤は、埋戻し土と六ヶ所層である。

屋外構築物周辺に出現する表層地盤は、埋戻し土と六ヶ所層である。

サブドレン周辺に出現する表層地盤は、埋戻し土、造成盛土、六ヶ所層及び高位段丘堆積物である。

建物及び屋外機械基礎周辺に出現する表層地盤は、埋戻し土である。

(これらのうち、埋戻し土及び流動化処理土以外の表層地盤の物性値(動的変形特性)の設定については、追って次ステップで設定内容を示す。)



第 6.1.4-2 図 表層地盤の物性値等の整理に用いる PS 検層位置

6.2 データ分析

6.2.1 データ分析方針

入力地震動算定に用いる地盤モデル設定におけるデータの分析にあたっては、「6.1 データ整理」に示した各因子におけるデータの整理結果を踏まえ、科学的な観点で各手法に基づくデータの適用範囲や位置づけを踏まえた分析を行う。

各因子におけるデータの分析方針を以下の(1)～(4)に示す。

(1) 岩盤部分の物性値等

岩盤部分の物性値等における分析にあたっては、「別紙 2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」に示したデータ整理結果に基づき、近接する建物・構築物グループごとのPS 検層データに基づく物性値等について、各建物・構築物直下の地下構造を踏まえた適用性を確認する。

各建物・構築物直下の地下構造を踏まえた適用性の確認については、以下の内容について検討を行う。

- ・直下又は近傍にPS 検層がない建物・構築物については、付近のPS 検層の結果の適用性の確認を行う。付近のPS 検層結果の適用性の確認においては、ボーリング孔又は岩盤分類図により当該建物・構築物直下の地質構造を確認し、同様の傾向を示していることを確認することでその適用性の判断を行う。
- ・また、当該建物・構築物直下において、f-1 断層 f-2 断層の派生断層及びsf 系断層が確認される建物・構築物については、PS 検層結果や岩盤分類図の確認を行い、断層境界における岩種分布や速度の切り替わりに着目し、断層が与える影響の確認を行う。
- ・上記の分析にあたっては、地盤応答解析を行い、建物・構築物の基礎底面レベルにおける加速度応答スペクトルの比較を行うことで、その適用性の確認を行う。

岩盤部分の物性値等の分析結果については、「別紙 2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」に示す。

(2) 岩盤部分の剛性の非線形性

岩盤部分の剛性の非線形性における分析にあたっては、「別紙 2-2 岩盤部分の剛性の非線形性に係る検討について」に示したデータ整理結果に基づき、「別紙 2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」に示した近接する建物・構築物グループごとに整理した物性値等に基づき、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。

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については、以下の内容について検討を行う。

- ・「別紙 2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」に示す各グループの物性値等に基づき、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。
- ・上記の入力地震動の算定結果の比較においては、各グループにおける建物・構築物の基礎底面レベルの加速度応答スペクトルの比較を行い、各建物の 1 次固有周期に着目し、応答の大小について分析する。
- ・また、建物・構築物の基礎底面地盤ばねの剛性の比較を行い、基礎底面地盤ばねや建物の固有周期の観点から分析する。

岩盤部分の剛性の非線形性の分析結果については、「別紙 2-2 岩盤部分の剛性の非線形性に係る検討について」に示す。

(3) 岩盤部分の減衰定数

岩盤部分の減衰定数における分析にあたっては、「別紙 2-3 岩盤部分の減衰定数に係る検討について」に示したデータ整理結果に基づき、各調査及び評価手法の特徴（信頼区間としている周期帯，材料減衰または散乱減衰の成分，対象としている地震動の大きさ，データの取得位置）を踏まえ，各調査・評価により得られたデータ及び評価結果のもつ物理的な意味合いを分析する。

岩盤部分の減衰定数における各調査・評価により得られたデータ及び評価結果のもつ物理的な意味合いを分析については、以下の内容について確認を行う。

- ・各データが有する材料減衰と散乱減衰の成分について分析する。
- ・類似する速度構造の地盤における既往の減衰定数の評価に係る知見を参照し，整合性の確認を行う。
- ・各評価結果にみられる減衰定数の振動数特性の特徴に基づき，地盤応答に対する影響を分析する。

- ・減衰定数の非線形性について、
- ・敷地内各地点において直接減衰定数を測定したデータである S 波検層及びコア試験について、敷地内の速度構造との対応について分析し、地震観測地点におけるデータに基づく評価結果の適用範囲について分析する。

岩盤部分の減衰定数の分析結果については、「別紙 2-3 岩盤部分の減衰定数に係る検討について」に示す。

(4) 表層地盤の物性値等

表層地盤の物性値等における分析にあたっては、「別紙 2-4 表層地盤の物性値等に係る検討について」に示したデータ整理結果に基づき、敷地内の各地点において得られている PS 検層データについて、施工年代ごと・深さ依存の特徴を踏まえた物性値等进行分析する。

表層地盤の物性値等の分析結果については、「別紙 2-4 表層地盤の物性値等に係る検討について」に示す。

各因子のデータ分析によって得られた所見（岩盤部分の減衰定数における地震観測地点の地盤の特徴等）については、「基本地盤モデル」の設定にあたって、その他の因子との関係性について考察を行う。その内容については追而。

6.3 「基本地盤モデル」の設定

6.3.1 「基本地盤モデル」の設定方針

「基本地盤モデル」の設定にあたっては、「6.1 データ整理」に示した各因子におけるデータの整理結果及び「6.2 データ分析」に示した各因子におけるデータの分析結果を踏まえ、耐震設計において、入力地震動の算定に用いる地盤モデルとして、各因子に対し工学的判断に基づき設定した「基本地盤モデル」を設定する。

また、耐震設計において、入力地震動を算定する上で考慮する地盤物性のばらつきの設定の考え方及び設定結果についても併せて示す。

各因子における「基本地盤モデル」設定方針を以下の(1)～(4)に示す。

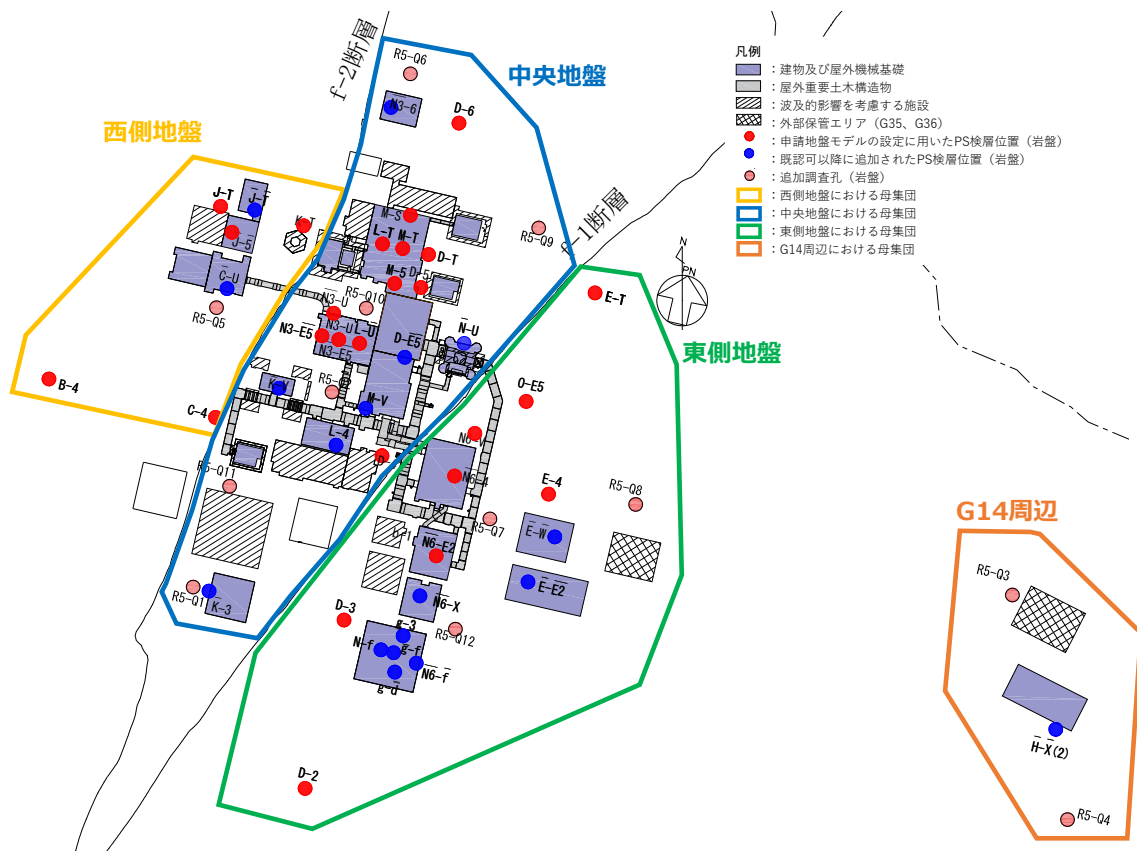
(1) 岩盤部分の物性値等

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」に示したデータ分析結果を踏まえ、以下のとおり「基本地盤モデル」を設定する。

- ・近接する建屋グループごとに設定した物性値を基本ケースとして採用する。
- ・建物・構築物直下の断層を踏まえた複数の物性値に対しては、保守的な地盤応答を与える物性等を設定する。
- ・地盤物性のばらつきを考慮することとし、各グループのデータからさらに母集団を拡大してばらつき幅を設定する。
- ・建物・構築物直下の MMR については、岩盤に支持されているとみなし、MMR 直下の物性値を設定する。

岩盤部分の物性値等における地盤物性のばらつきについては、岩盤部分の地盤物性のばらつき幅は、「4.2 地質学的に見た敷地内の地質構造」に示すとおり、敷地内の f-1 断層及び f-2 断層を境界として、f-1 断層と f-2 断層に挟まれる敷地中央では鷹架層下部層が分布しており、f-2 断層の西側では主に鷹架層上部層が分布し、f-1 断層の東側では主に鷹架層中部層が分布していることを踏まえ、中央地盤、西側地盤、東側地盤それぞれの範囲におけるデータを母集団とする。ただし、東側地盤の範囲のうち、G14 周辺については、sf-6 断層により、建物・構築物基礎底面における岩種が異なることから、個別の母集団として設定する。「基本地盤モデル」の設定に用いた各 PS 検層データに対し、第 6.3.1-1 図に示す範囲のデータを母集団とし、各範囲のデータにおける S 波速度及び P 波速度の標準偏差 σ とする。

以上を踏まえ、基本地盤モデルに考慮する地盤物性のばらつきは、各グループにおける基本地盤モデルに対し、上記の S 波速度及び P 波速度の標準偏差 $\pm 1 \sigma$ のばらつきを設定する。



第 6.3.1-1 図 地盤物性のばらつき幅の設定に用いる PS 検層データの範囲

今後、追加調査により得られた PS 検層結果も踏まえて上記考え方について再度検討を行い、最終的なばらつき幅の設定値について追記する。

(2) 岩盤部分の剛性の非線形性

岩盤部分の剛性の非線形性については、「別紙 2-2 岩盤部分の剛性の非線形性に係る検討について」に示したデータ分析結果を踏まえ、以下のとおり「基本地盤モデル」を設定する。

- ・岩盤部分の剛性の非線形性が入力地震動の及ぼす影響が小さいと判断できる場合は、耐震設計上線形条件とし、影響が認められる場合は、耐震設計上非線形条件とする。
- ・AZ 周辺及び G14 においては、加速度応答スペクトルの傾向に若干の差が見られることから、その他の因子の「基本地盤モデル」の設定結果も踏まえ、その応答の差について考察を行う。

(3) 岩盤部分の減衰定数

岩盤部分の減衰定数については、「別紙 2-3 岩盤部分の減衰定数に係る検討について」に示したデータ分析結果を踏まえ、以下のとおり「基本地盤モデル」を設定する。

- ・各手法による減衰定数の分析結果を踏まえ、JEAG4601-2015 における一般的な設定（周波数依存性なし 3～5%）の適用性や、設計上の保守性を考慮した減衰定数を設定する。

(4) 表層地盤の物性値等

表層地盤の物性値等については、「別紙 2-4 表層地盤の物性値等に係る検討について」に示したデータ分析結果を踏まえ、以下のとおり「基本地盤モデル」を設定する。

- ・埋戻し土の動的変形特性については、一般的な土質材料であることから土質力学的には拘束圧依存を示し、品質管理された均質材料であることから深度依存（均質であれば深度方向に拘束圧が大きくなる）を示すと考え、深度依存性を考慮した物性値を基本ケースとして設定する。
- ・流動化処理土の動的変形特性については、セメント添加材料であることから、土質材料のような拘束圧依存による深度依存性は見られないと考えられることから、深度依存のない平均値としての物性値を基本ケースとして設定する。
- ・地盤物性のばらつきを考慮することとし、埋戻し土、流動化処理土（第 1 グループ）、流動化処理土（第 2 グループ）の基本ケースの設定に用いたデータの母集団に基づきばらつき幅を設定する。

6.3.2 「基本地盤モデル」の設定結果

「基本地盤モデル」の設定結果については追而
岩盤部分の物性値等，岩盤部分の剛性の非線形性，岩盤部分の減衰定数及び表
層地盤の物性値等については，今後追加調査により得られたデータを含んだデ
ータ整理及びデータ分析を行ったうえで「基本地盤モデル」の設定を行う。

7. 計算書の取りまとめに係る検討

7.1 検討方針

「2. 本資料における説明の全体像」に示したとおり，今回設工認のうち第2回設工認申請においては，耐震評価を行う施設が膨大であることから，効果的かつ効率的な計算書の取りまとめを検討する。

具体的な検討方針は追而

7.2 入力地震動の算定方法

追而

7.3 入力地震動の比較結果

追而

7.4 計算書の取りまとめに係る検討結果

追而

8. まとめ

追而

別紙

設工認に係る補足説明資料 別紙リスト

令和5年12月27日 R15

耐震建物 08 【建物・構築物の入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定について】

別紙				備考
資料 No.	名称	提出日	Rev	
別紙 1	第 1 回設工認申請における建物・構築物の入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定			-
別紙 1-1	燃料加工建屋の地盤モデルの設定	2022/9/16	3	今回提出版では省略
別紙 1-2	安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデルの設定	2022/9/16	2	今回提出版では省略
別紙 2	第 2 回設工認申請における建物・構築物の入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定			-
別紙 2-1	岩盤部分の物性値等の設定について	2023/12/7	4	今回提出版では省略
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	2023/12/7	4	今回提出版では省略
別紙 2-3	岩盤部分の減衰定数に係る検討について	<u>2023/12/27</u>	<u>7</u>	-
別紙 2-4	表層地盤の物性値等に係る検討について	<u>2023/12/27</u>	<u>6</u>	-

別紙 2

第 2 回設工認申請における建物・構築物の
入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定

資料構成

- 別紙 2-1 岩盤部分の物性値等の設定について
- 別紙 2-2 岩盤部分の剛性の非線形性に係る検討について
- 別紙 2-3 岩盤部分の減衰定数に係る検討について
- 別紙 2-4 表層地盤の物性値等に係る検討について

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。
- ・ 敷地内各地点におけるデータの整理及び分析については、岩石コア試験に関する内容を次回提出時に反映予定。
- ・ 今後、整理されたデータに基づき、「7.」において、評価手法間の比較、各地点間の傾向の比較等に関する考察を行い、敷地の地盤の特徴を捉えた地下構造の設定に係る検討を行う。考察の内容及び検討結果については、次回提出時に反映予定。

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	3
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	3
2.1.1 JEAG4601-2015における評価手法.....	3
2.1.2 JEAG4601-1987における評価手法.....	4
2.2 散乱減衰を考慮可能な手法の違いについて	9
3. 敷地における減衰定数の評価方法	10
3.1 既認可時点における評価の考え方	10
3.2 第2回申請対象施設における評価の考え方	12
3.3 敷地における減衰定数の評価方法	15
3.3.1 三軸圧縮試験による評価方法	18
3.3.2 S波検層による評価方法.....	18
3.3.3 地震観測記録による評価方法	19
3.3.4 岩石コア試験による評価方法	20
4. 三軸圧縮試験による評価結果	21
5. 敷地におけるS波検層による評価結果	28
5.1 既往のS波検層データ	28
5.2 追加のS波検層データ	31
5.3 追加調査により得られたS波検層データの特徴	39
6. 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価結果	45
6.1 地震観測記録を用いた減衰定数の評価方法	46
6.2 敷地における地震観測の概要	47
6.3 伝達関数による検討	50
6.3.1 評価に用いる地震観測記録	50
6.3.2 初期モデルの設定及び探索範囲	62
6.3.3 目的関数の設定	75
6.3.4 減衰定数の振動数依存特性の考慮	82

6.3.5	評価方法及び条件	86
6.3.6	振動数依存性を考慮する場合の評価結果	88
6.3.7	振動数依存性を考慮しない場合の評価結果	146
6.3.7.1	伝達関数による評価結果（振動数依存性なし）	146
6.3.7.2	応答スペクトルによる評価結果（振動数依存性なし）	159
6.4	地震波干渉法による検討	187
6.4.1	評価の概要	187
6.4.2	地震観測記録のスタッキング及び評価に用いる観測記録の抽出	188
6.4.3	減衰定数の推定結果	213
7.	敷地の地盤の特徴を捉えた地下構造に係る考察	215
7.1	各データが有する振動数特性及び減衰定数の成分に係る分析	216
7.1.1	各手法により評価された材料減衰と散乱減衰に係る考察	216
7.1.2	速度構造の相対的な比較に基づく考察	227
7.1.3	振動数特性について	233
7.2	減衰定数の非線形性に係る分析	235
7.3	岩石コア試験結果に基づく速度層断面による検討	236
7.4	敷地の地盤の特徴を捉えた岩盤部分の減衰定数	237
8.	「基本地盤モデル」に考慮するパラメータの設定	238
8.1	振動数依存特性を考慮しない設定の適用性	239
8.2	減衰定数の非線形性についての検討	241
8.3	鉛直方向の減衰定数の扱い	244
8.4	「基本地盤モデル」に用いるパラメータの設定結果	245
9.	まとめ	246
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	初期モデルにおいて地震観測位置近傍の地下構造を考慮しない場合と考慮した場合の同定結果比較	
参考 3	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図表等	

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整理する。

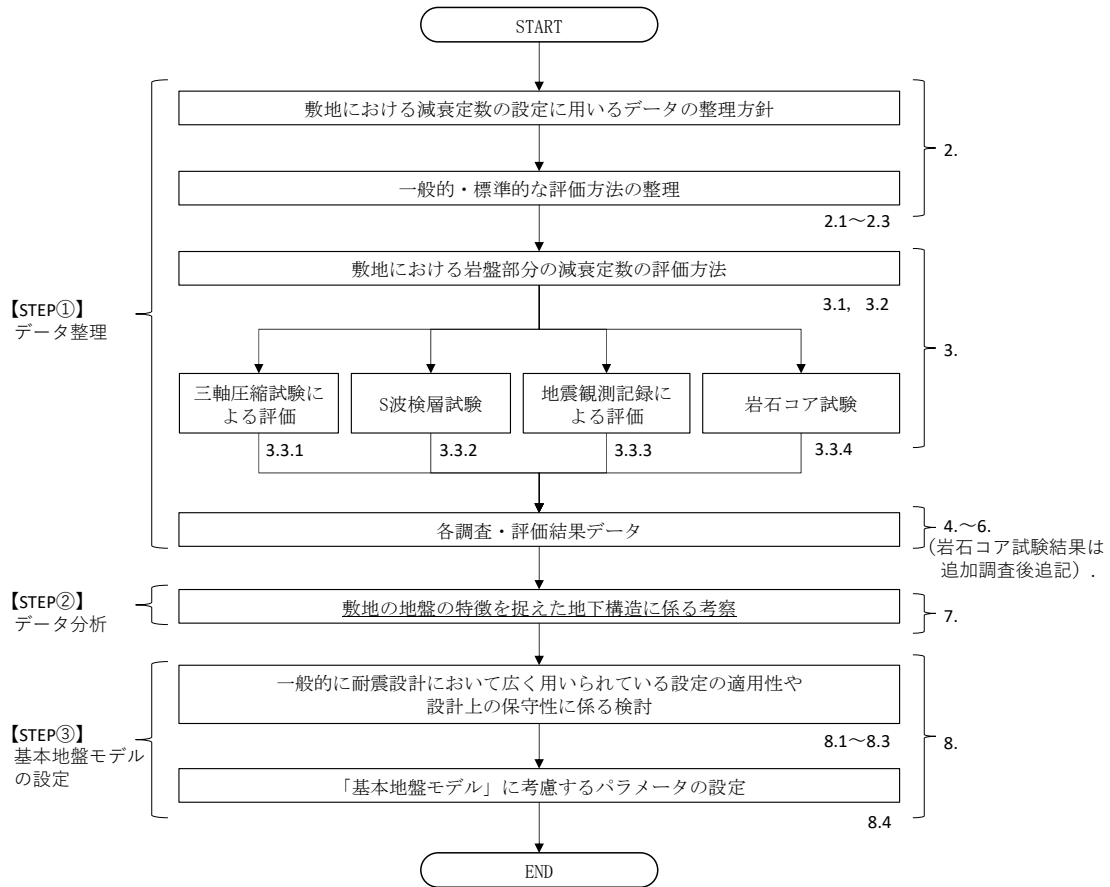
次に、これらのデータに対し、科学的な観点で各データの有する特徴や、地点間の関係性に係る考察を行い、敷地の地盤の特徴を捉えた地下構造について検討を行う。

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 S_s 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、JGAG4601-1987 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 S_s 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 S_s 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。

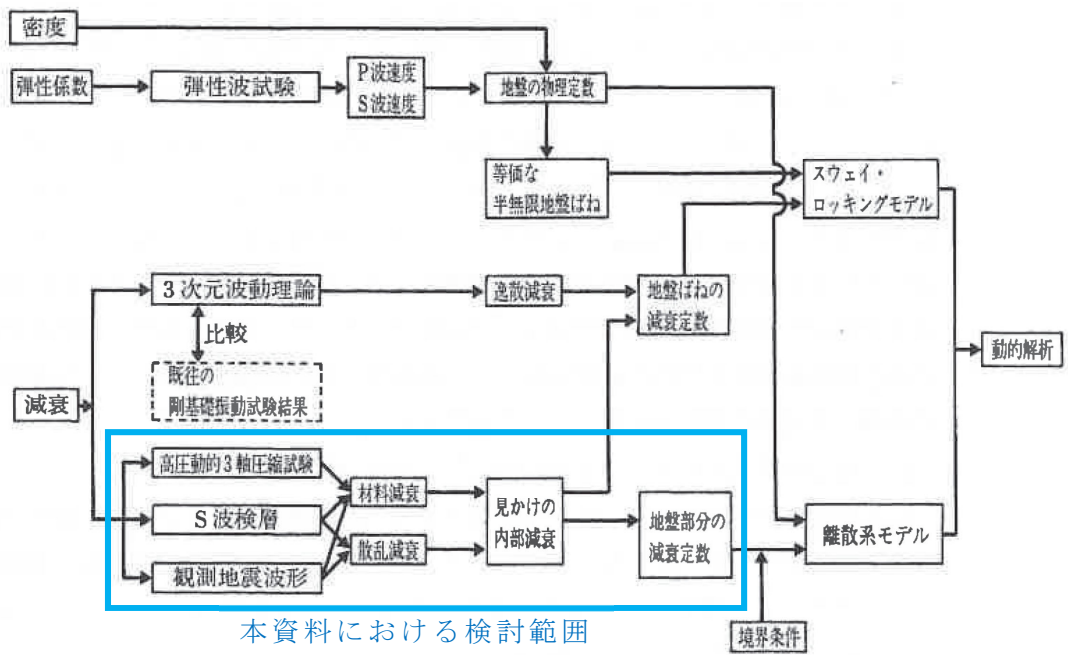
このうち、地盤の減衰定数については、高圧動的三軸圧縮試験（以下、「三軸圧縮試験」という。）、S波検層、地震観測記録に基づく3手法が示されており、それぞれの手法において着目される地盤減衰の因子（材料減衰と散乱減衰）の違いや、既往知見における評価例があわせて示されている。

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の評価方法

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。

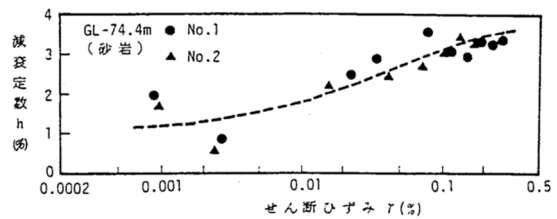
- ・ 嶋ほか（1983）の知見において、いわき地点の砂岩における減衰定数の評価結果として、第 3.1-1 図に示すとおり、高圧動的三軸圧縮試験結果より、低ひずみ領域では減衰定数が 1～2%，ひずみ 0.1% 付近では 3% となっていること、また、S 波検層や地震観測記録に基づく減衰定数の評価手法によっては、それよりも大きな値（最大 8% 程度）として評価されていること。
- ・ 中村他（1990）において、富岡地点における泥岩層での Q 値の検討が行われており、下式に示す Q 値の振動数依存性の関係に対し、 $n=1.0$ 、 $\alpha=200$ とした場合に、地震観測記録と整合する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

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

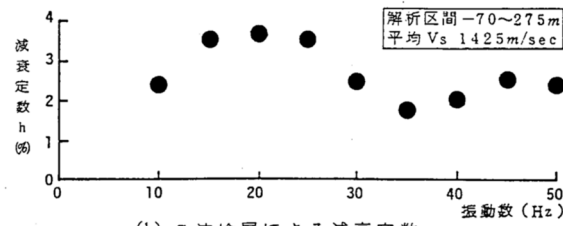
$$\left(\begin{array}{l} Q : Q \text{ 値} \\ h : \text{減衰定数} \\ V_s : S \text{ 波速度} \\ f : \text{周波数} \\ n, \alpha : \text{係数} \end{array} \right)$$

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。

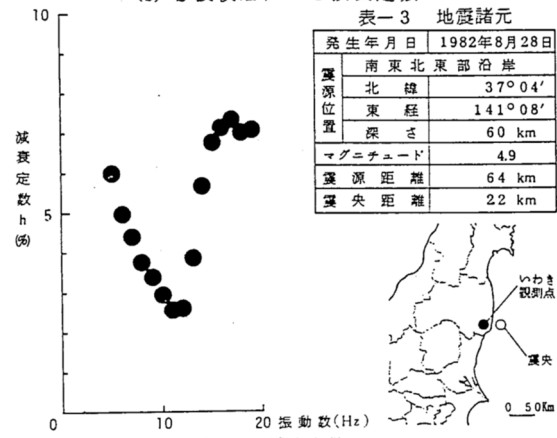
以上のことから、既認可時点においては、JEAG4601-1987 に示される手法に基づき、直接敷地において減衰定数を評価した実績は無いものの、JEAG4601-1987 に示される手法に基づく国内の各種試験結果を敷地に適用した確認を行うことにより、地盤の減衰定数を設定している。



(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、既認可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可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、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、地盤の減衰定数に係る議論については、他サイト各社の設置変更許可申請においても詳細な議論がなされていることから、至近に審査会合が行われている玄海3,4号、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。	・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。	・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。	・事業許可におけるはぎ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、はぎとり地盤モデルは、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。	・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。	・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。	・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。	・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。	・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。	・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。	・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	

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	
	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					
本資料における 設定範囲	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 ($h-\gamma$) 	<ul style="list-style-type: none"> 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。
			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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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。
	解放基盤表面 ▼ (G.L. -125m)		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"> 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。
	解放基盤表面以深				

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 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。

3.3.3 地震観測記録による評価方法

「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られるとされているが、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。

3.3.4 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。

本章における岩石コア試験による評価については、 今後追加調査を実施し、その結果を追加する。
--

4. 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。

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。

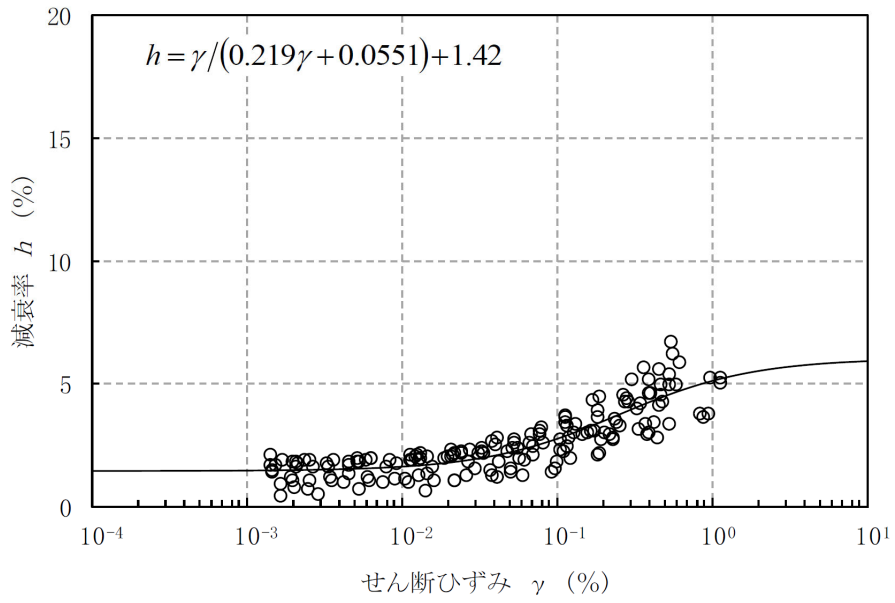
第4-1図～第4-12図に、敷地内の岩盤部分を構成する岩種ごとのひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）を示す。

第4-1図～第4-12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。

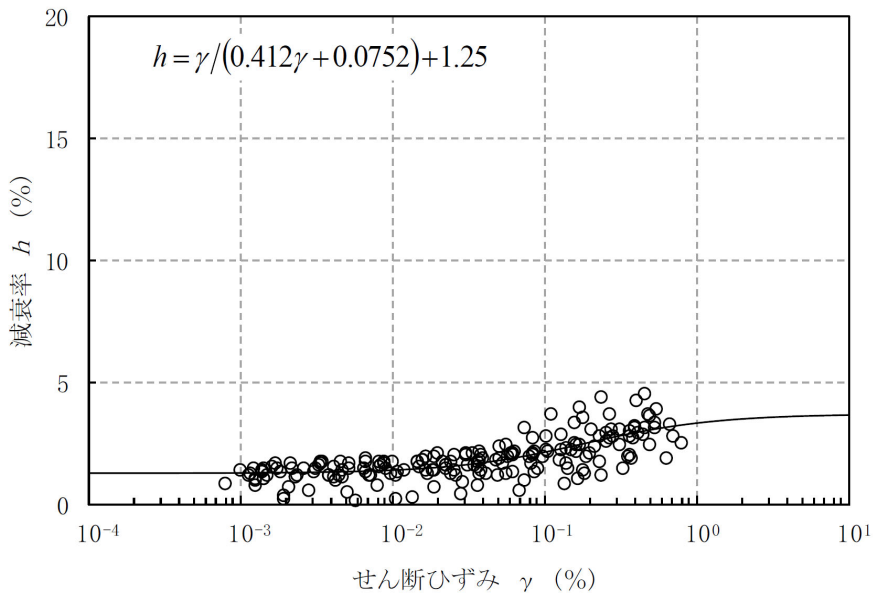
また、いずれの岩種においても、岩盤部分のひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）については、地盤のせん断ひずみが 10^{-2} 程度までは非線形化による減衰定数の変動は小さく、いずれの岩種についても約1～2%程度の減衰定数を示す。また、せん断ひずみが 10^{-2} よりも大きい範囲に達すると、泥岩、細粒砂岩及び軽石凝灰岩については約5%程度に、その他の岩種については約10～15%程度に遷移的に減衰定数が増大していく傾向となっている。

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。

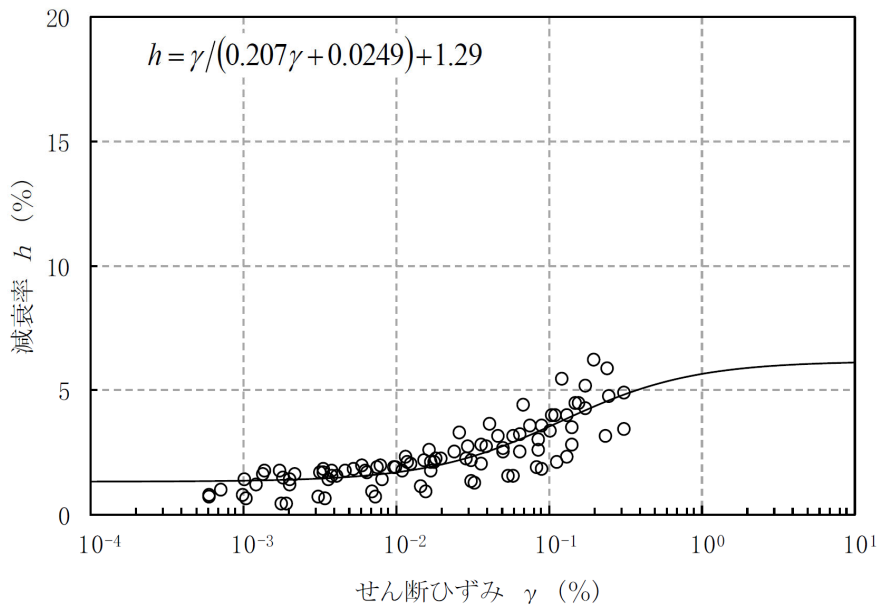
注記 *：事業変更許可申請の引用部分については、当社事業間で記載内容に差が無いことから、再処理施設事業変更許可申請書における章を代表として記載。



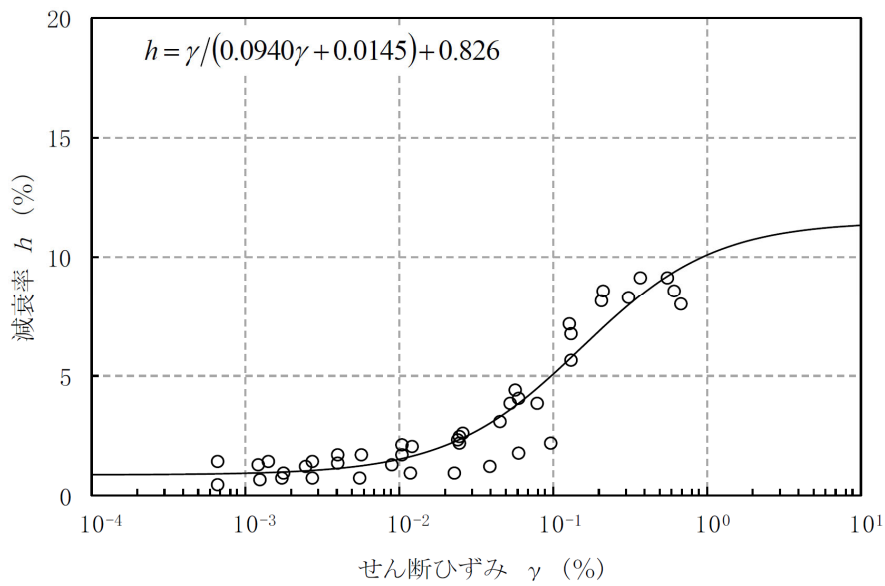
第 4-1 図 ひずみ依存特性 (泥岩 (上部層))



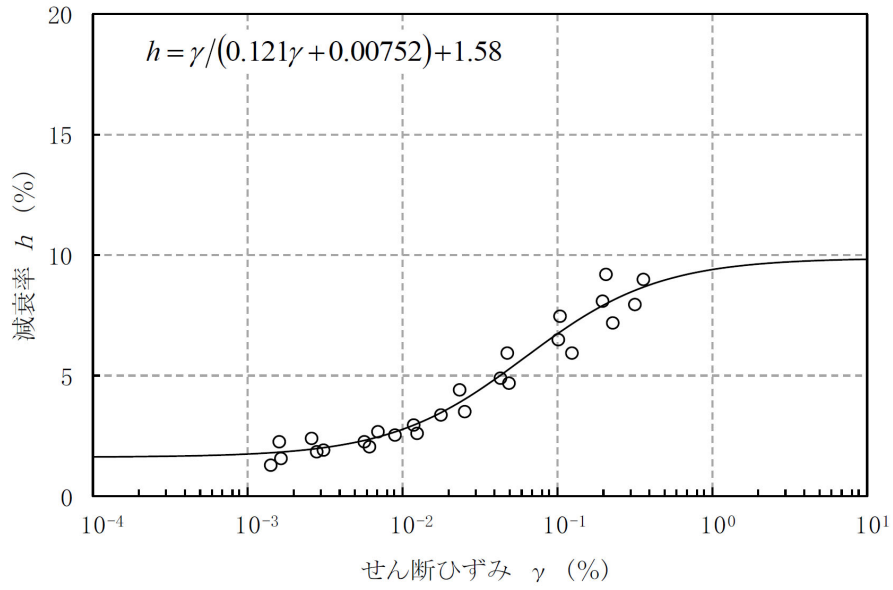
第 4-2 図 ひずみ依存特性 (泥岩 (下部層))



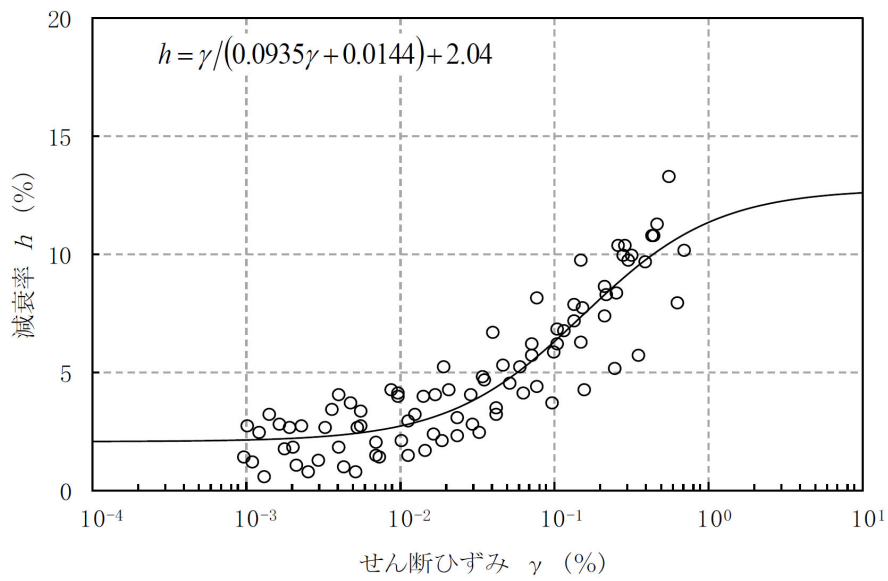
第 4-3 図 ひずみ依存特性 (細粒砂岩)



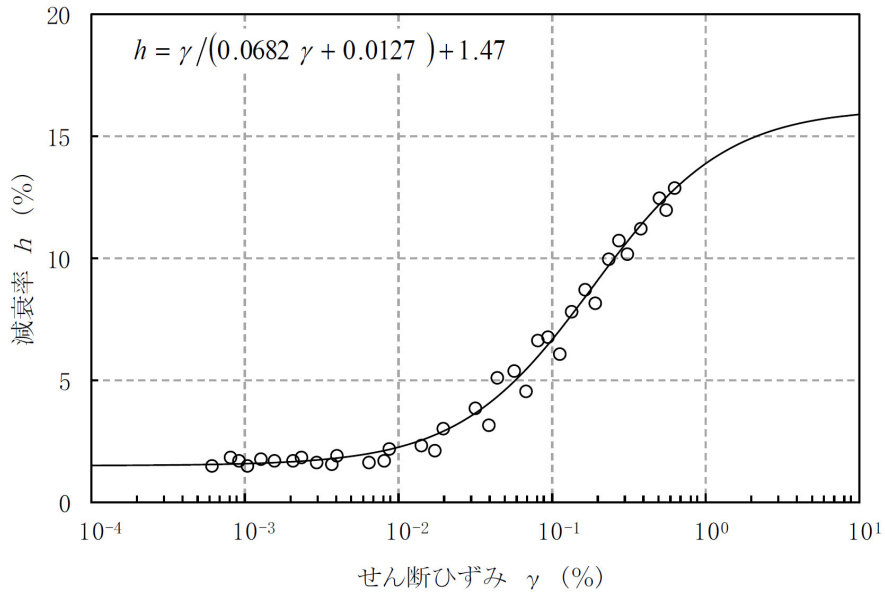
第 4-4 図 ひずみ依存特性 (軽石質砂岩)



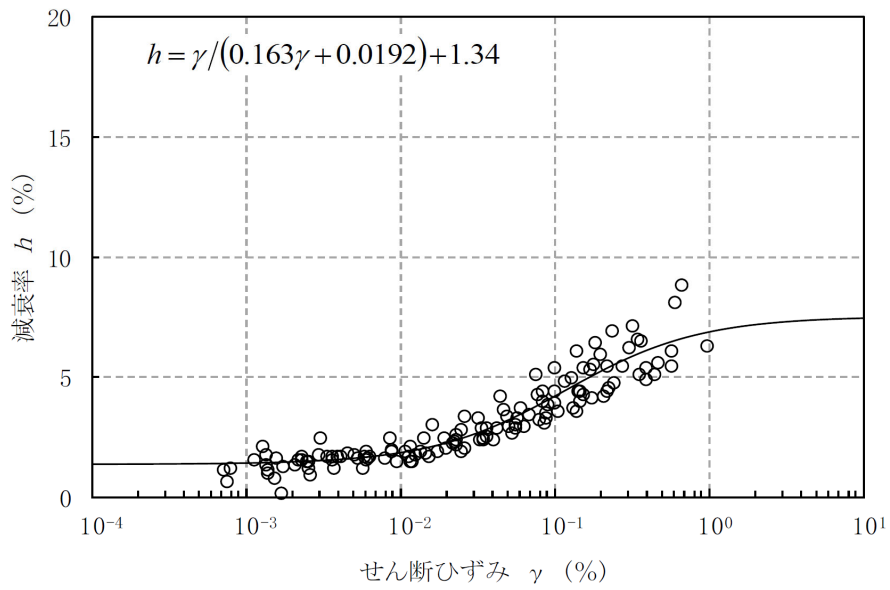
第 4-5 図 ひずみ依存特性 (粗粒砂岩)



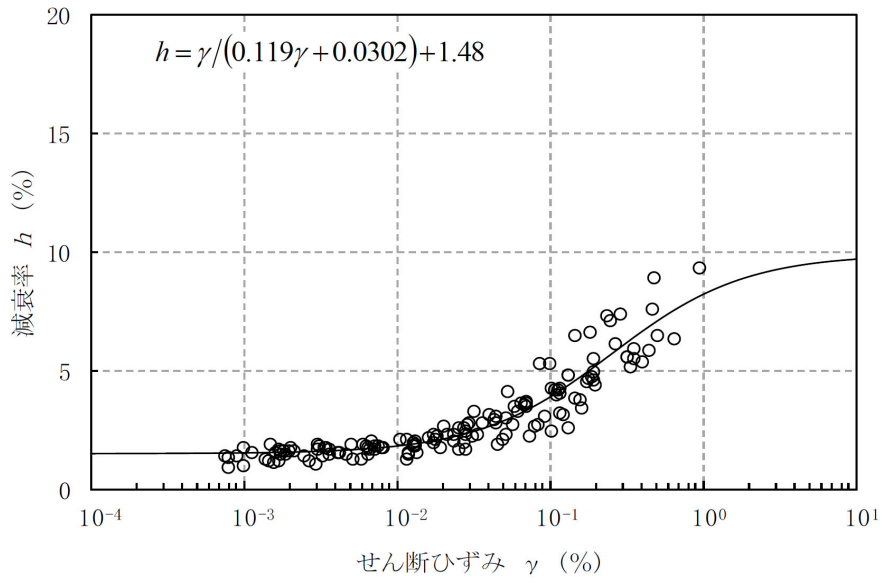
第 4-6 図 ひずみ依存特性 (砂岩・凝灰岩互層)



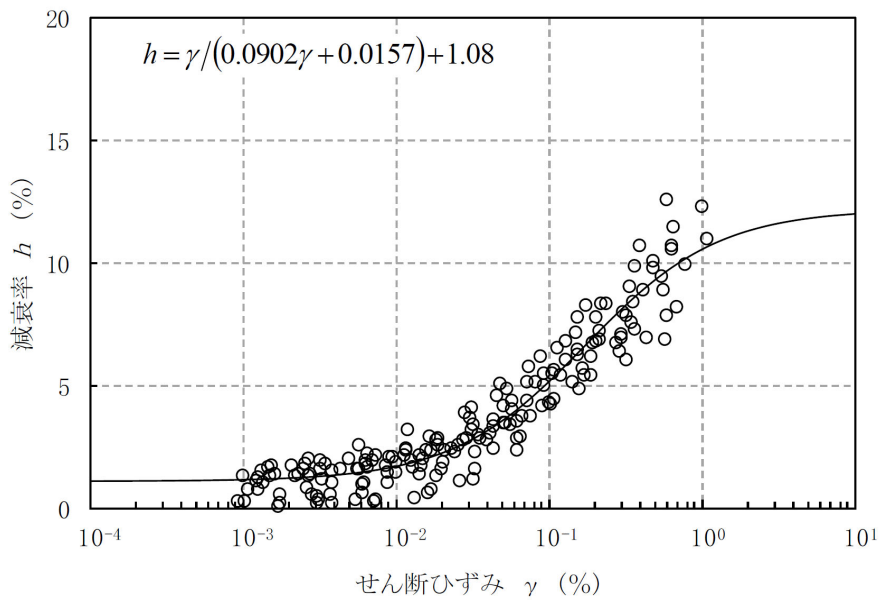
第 4-7 図 ひずみ依存特性 (凝灰岩)



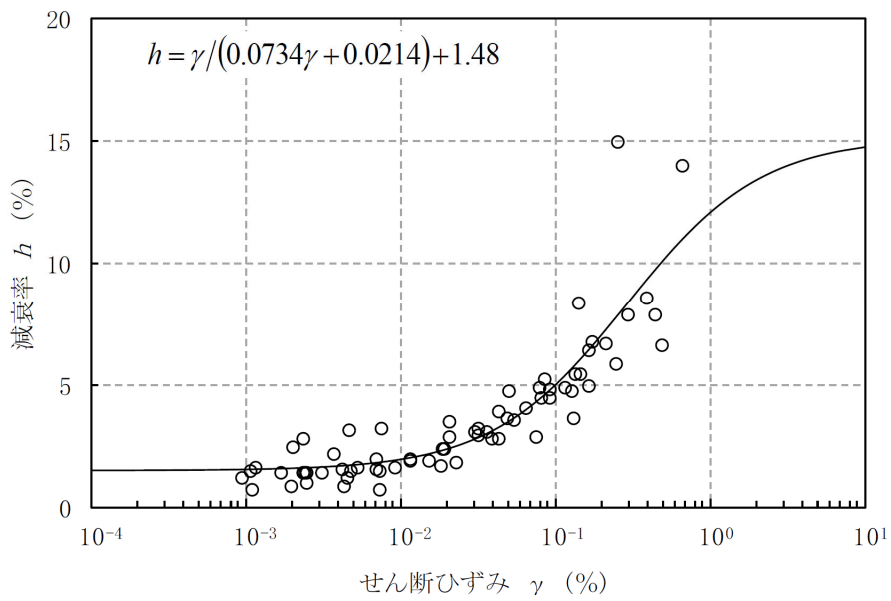
第 4-8 図 ひずみ依存特性 (軽石凝灰岩)



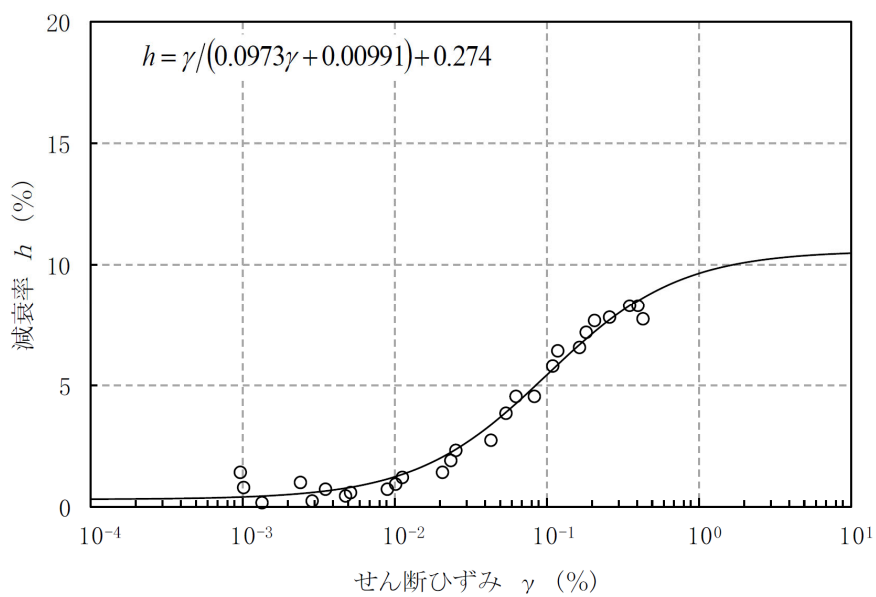
第 4-9 図 ひずみ依存特性 (砂質軽石凝灰岩)



第 4-10 図 ひずみ依存特性 (礫混り砂岩)



第 4-11 図 ひずみ依存特性（軽石混り砂岩）



第 4-12 図 ひずみ依存特性（礫岩）

5. 敷地における S 波検層による評価結果

5.1 既往の S 波検層データ

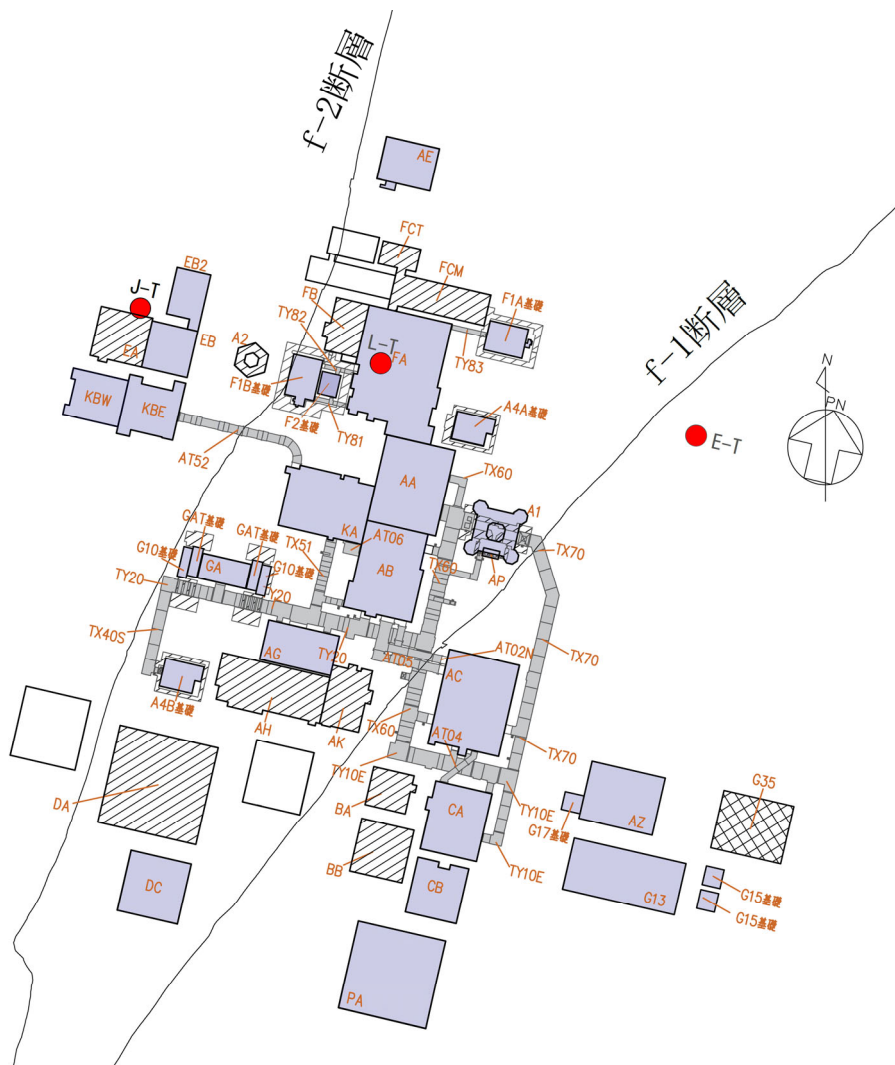
敷地において、過去のボーリング調査時に、第 5.1-1 図に示す敷地内の 3 地点（J-T 孔，L-T 孔，E-T 孔）において、PS 検層に基づく減衰定数の評価が行われていることから、当該位置における評価結果について整理した。上記 3 地点については、本文「4.1 地質学的に見た敷地内の地質構造」に示したとおり、敷地内の岩盤は f-1 断層と f-2 断層を境界として、大局的に、敷地内の西側，中央，東側の 3 つの地盤に区分され、それぞれの地盤において、地質構造は緩い傾斜はあるものの、概ね水平であるとしていることに対し、区分されたそれぞれの領域におけるデータとして得られており、鷹架層下部層，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。

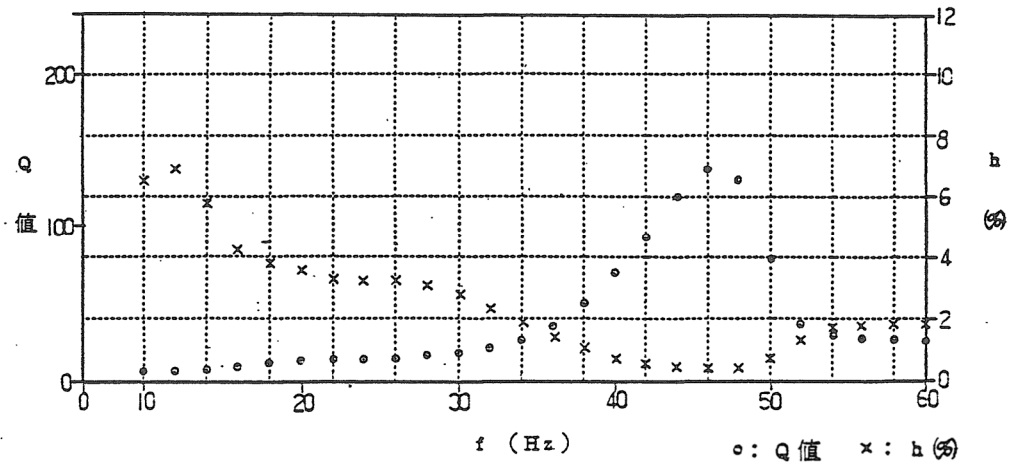
第 5.1-2 図に、PS 検層に基づく減衰定数について、J-T 孔，L-T 孔，E-T 孔における主要な岩盤部分に対応する評価結果を示す。PS 検層に基づく減衰定数は、いずれの孔においても、高振動数成分に着目した評価を行っており、振動数方向の信頼区間は 10Hz 又は 20Hz よりも高振動数側の領域としている。

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。

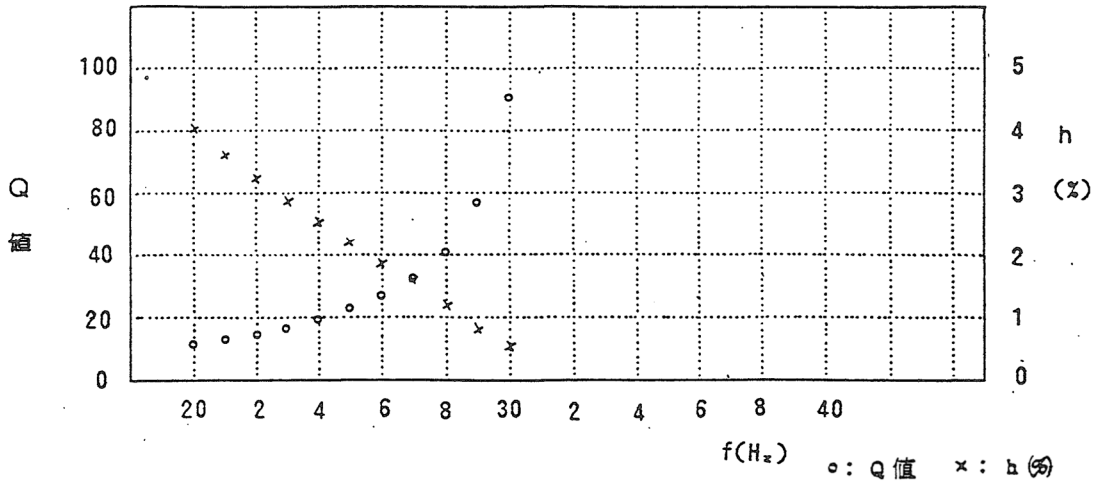
敷地における減衰定数の値に着目すると、高振動数側では 1%未満の非常に小さい減衰定数が得られているが、低振動数側では、西側地盤に対応する J-T 孔で約 6%（10Hz）、中央地盤に対応する L-T 孔で約 4%（20Hz）の値が得られている。一方で東側地盤に対応する E-T 孔では 20%以上（10Hz）の減衰定数が得られており、ばらつきの大きい結果になっていると考えられる。



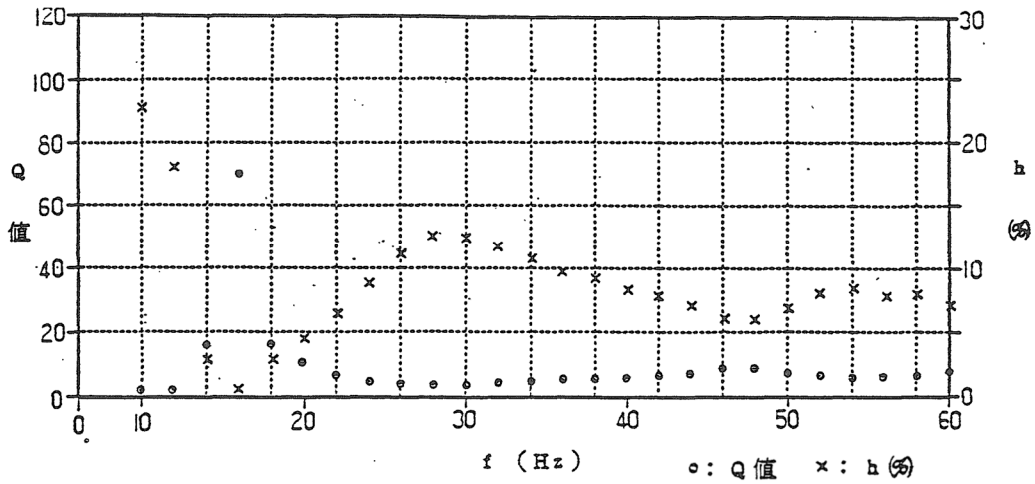
第 5.1-1 図 S 波検層による減衰定数の評価を実施しているボーリング孔位置



(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 5.1-2 図 S 波検層による減衰定数の評価結果

5.2 追加の S 波検層データ

「5.1 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する。

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、「6. 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価結果」に示す、地震観測記録に基づく評価結果との整合性を確認する。

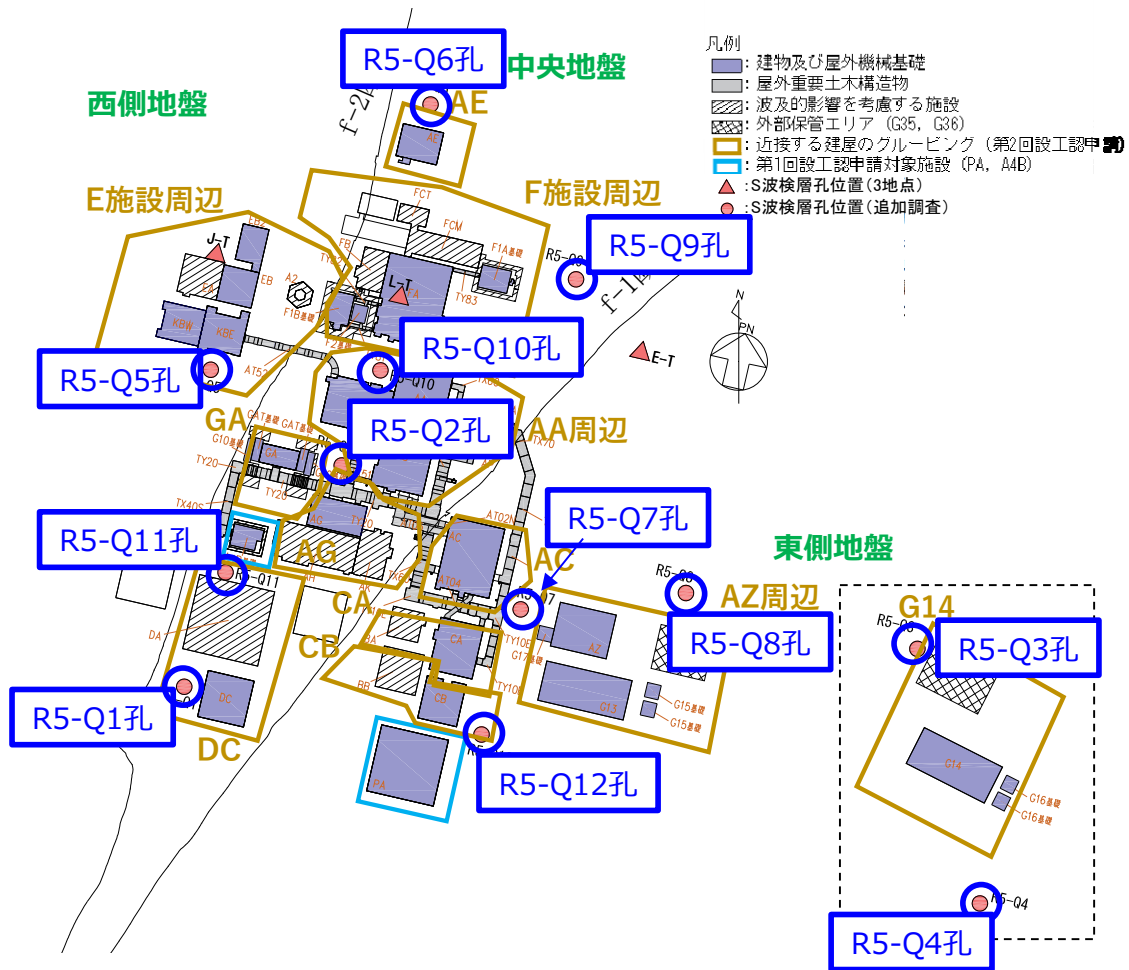
以上の確認により各建屋グループにおける岩盤部分の減衰定数を把握した上で、基本地盤モデルに考慮する岩盤部分の減衰定数の設定を行う。

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。

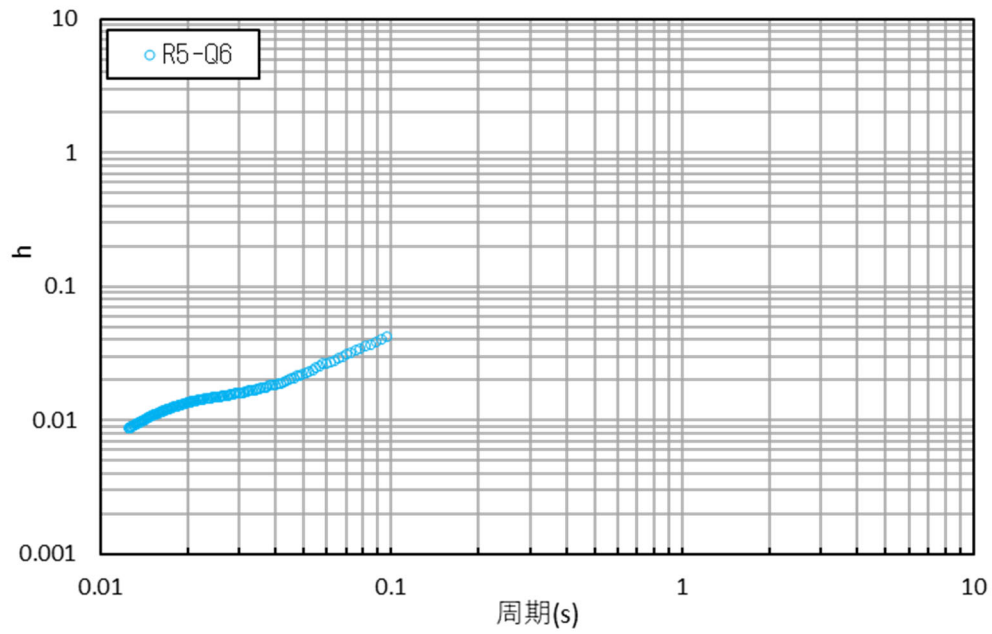
追加調査を実施した地点について、第 5.2-1 図に示す。

各地点において得られた S 波検層結果のデータを第 5.2-2 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。

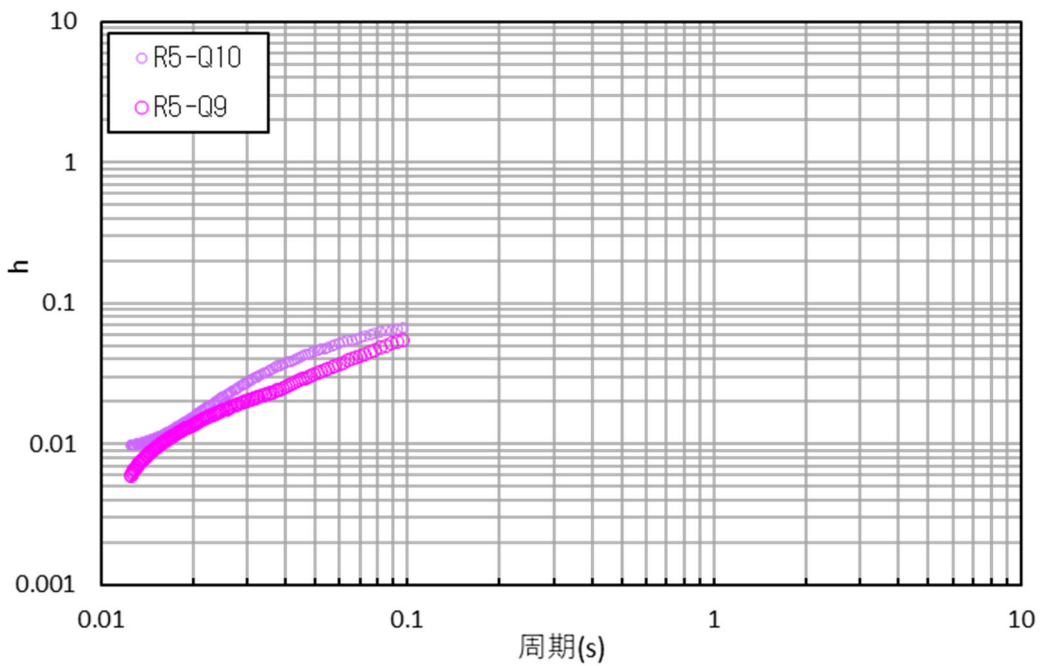
S 波検層において波形は、周波数を 10Hz～80Hz に変調させたスイープ波形を用いていることから、当該周波数帯に対応する減衰定数の測定結果を図中に示す。



第 5.2-1 図 S波検層に係る追加調査位置図

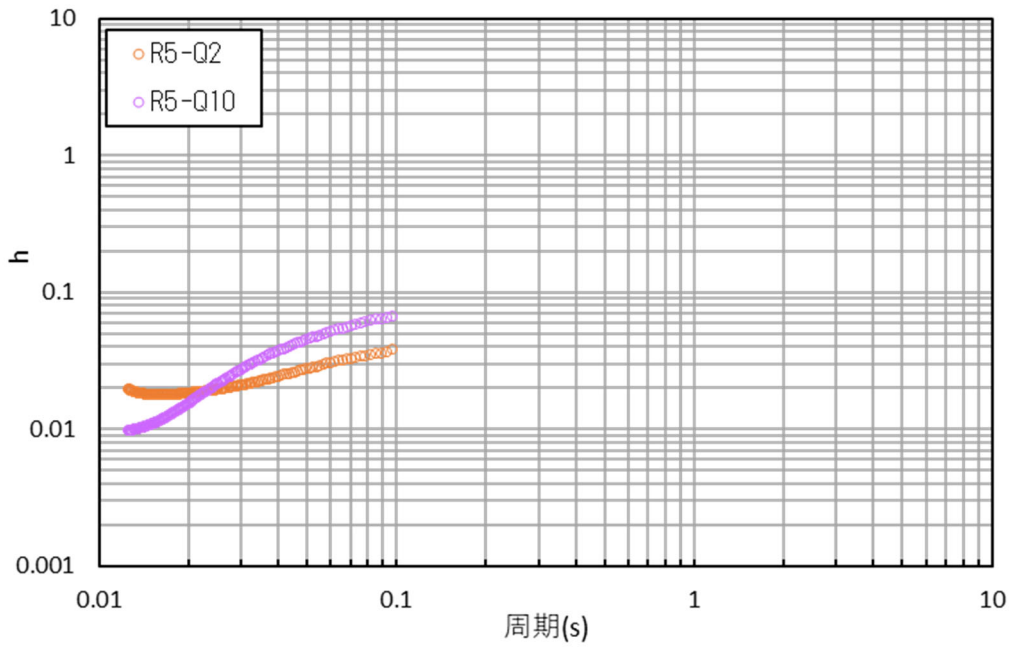


(1) AE グループ (R5-Q6) における S 波検層結果

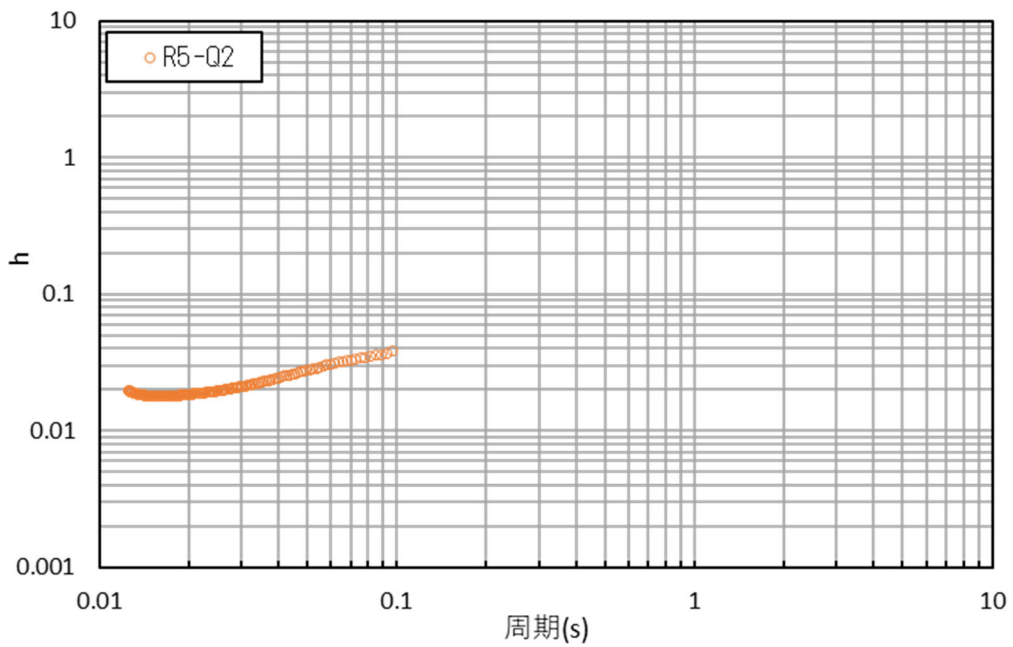


(2) F 施設周辺グループ (R5-Q9, 10) における S 波検層結果

第 5.2-2 図 追加調査における S 波検層結果 (1/6)

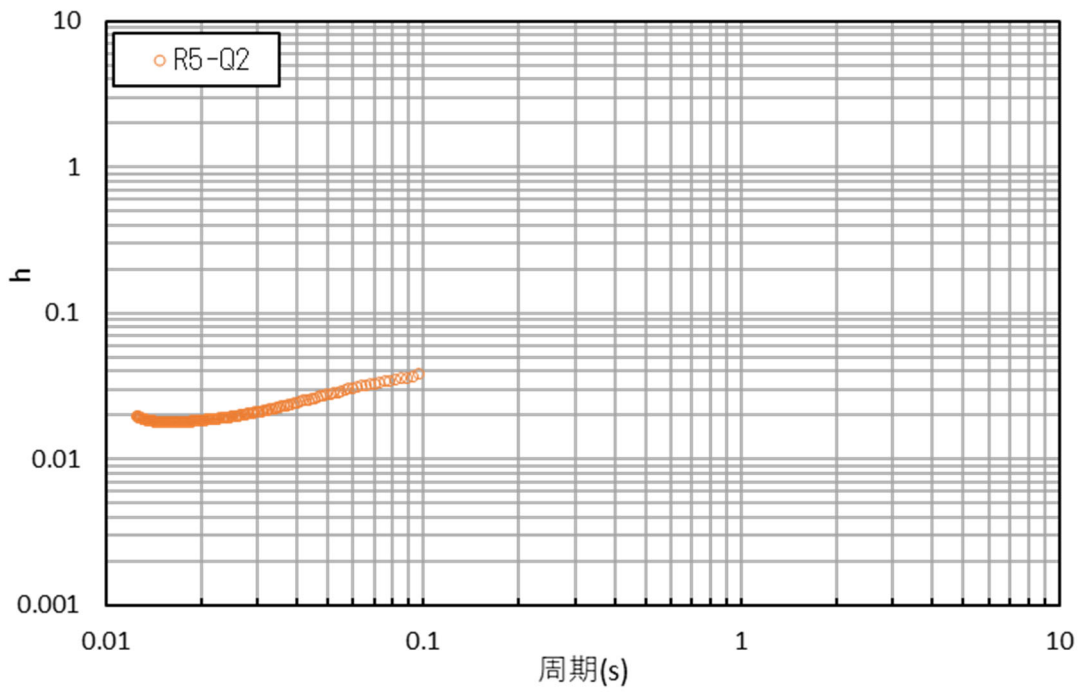


(3) AA 周辺グループ (R5-Q2, 10) における S 波検層結果

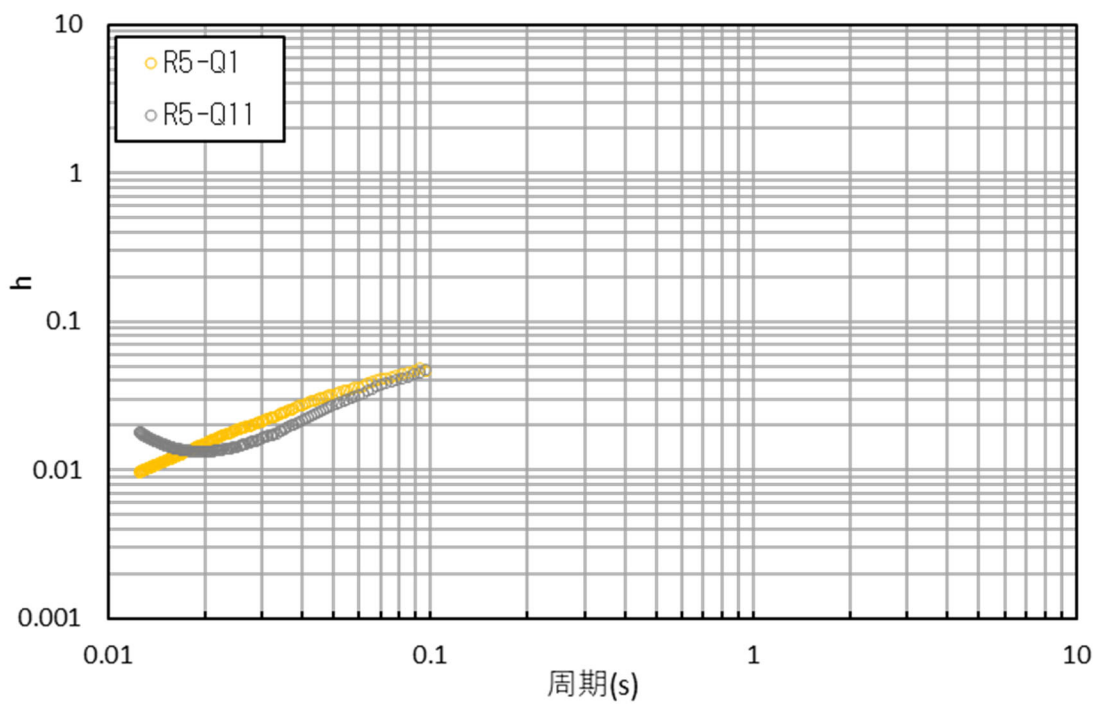


(4) GA グループ (R5-Q2) における S 波検層結果

第 5.2-2 図 追加調査における S 波検層結果 (2/6)

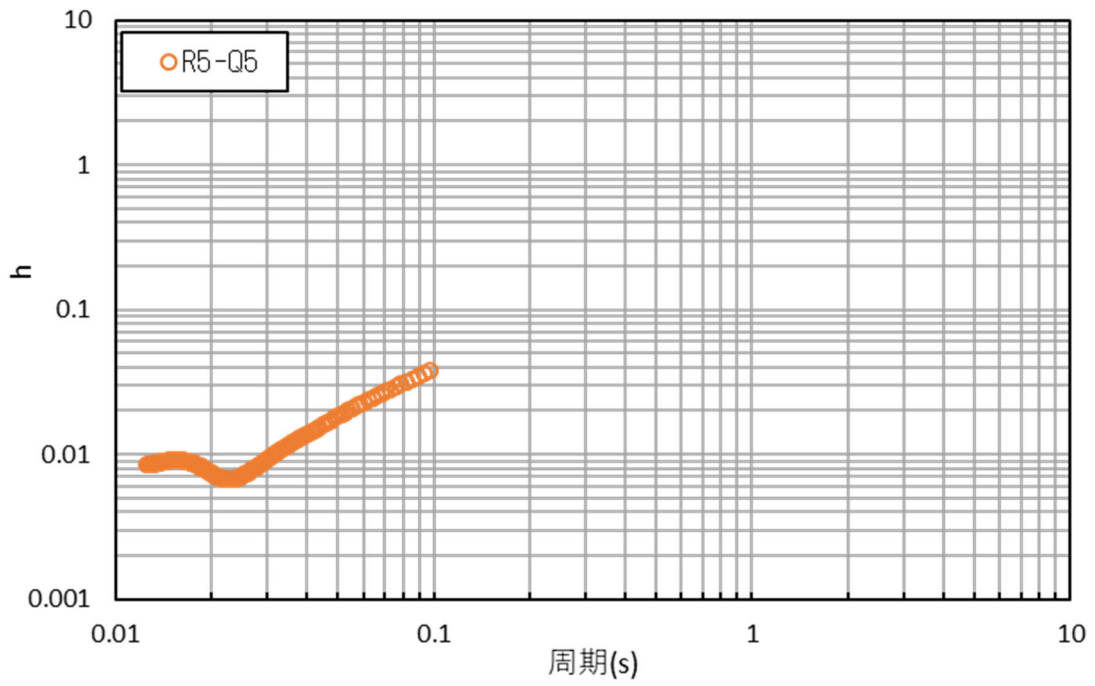


(5) AG グループ (R5-Q2) における S 波検層結果

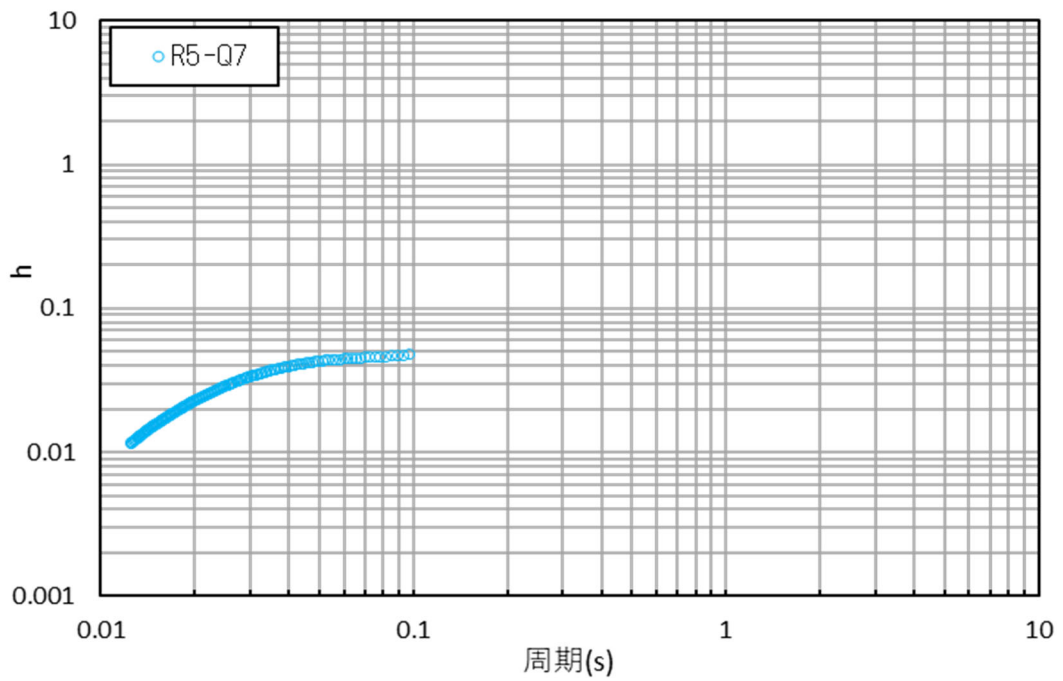


(6) DC グループ (R5-Q1, 11) における S 波検層結果

第 5.2-2 図 追加調査における S 波検層結果 (3/6)

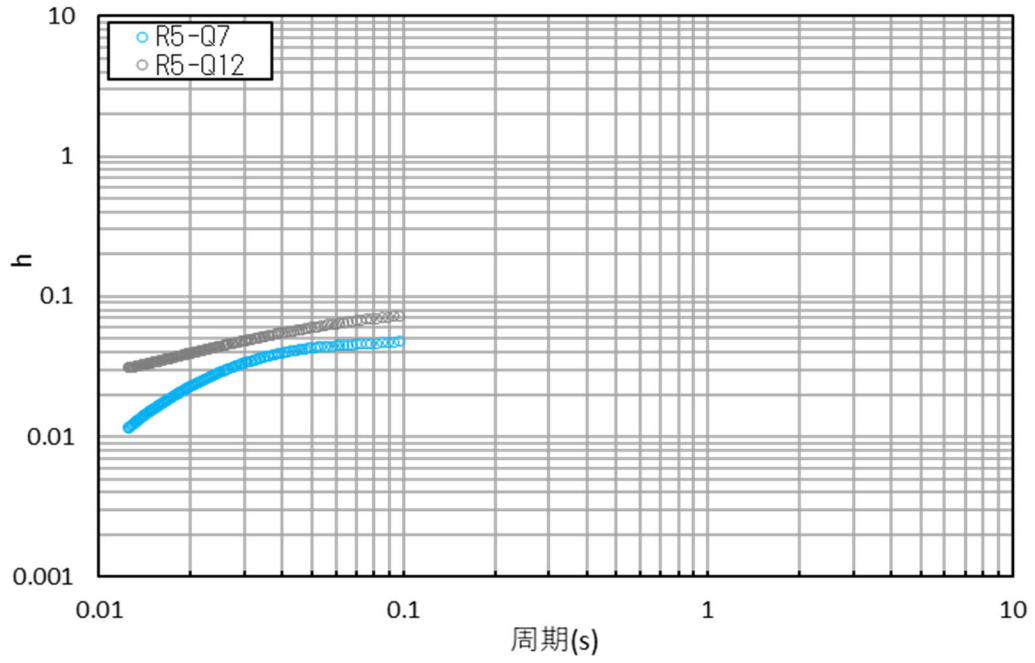


(7)E 施設周辺グループ (R5-Q5) における S 波検層結果

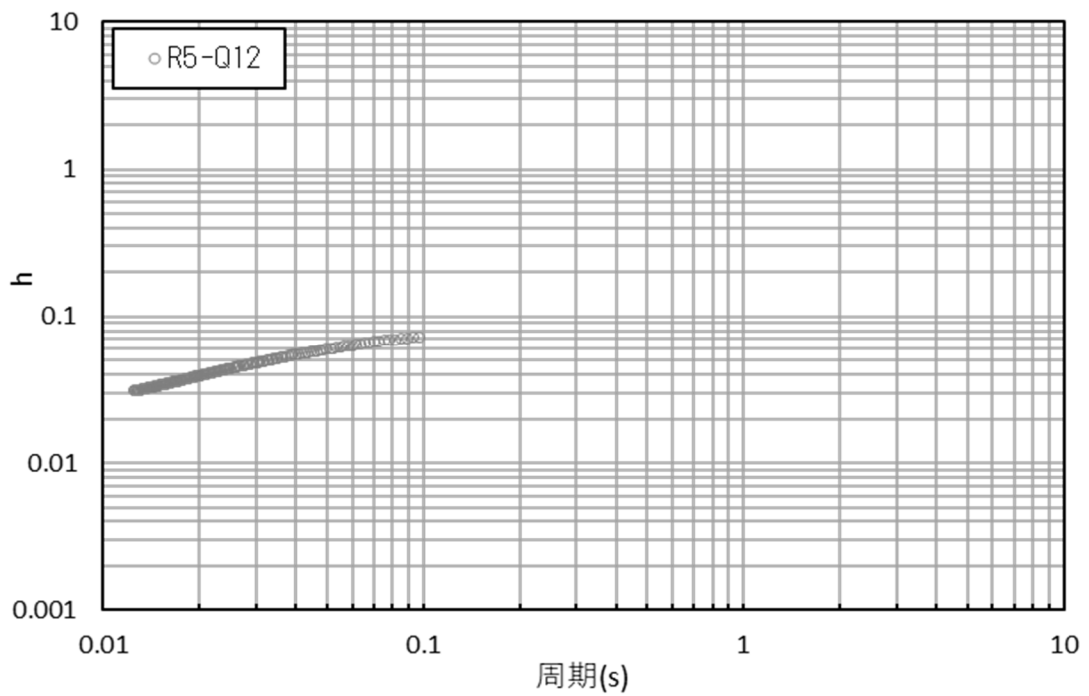


(8)AC グループ (R5-Q7) における S 波検層結果

第 5.2-2 図 追加調査における S 波検層結果 (4/6)

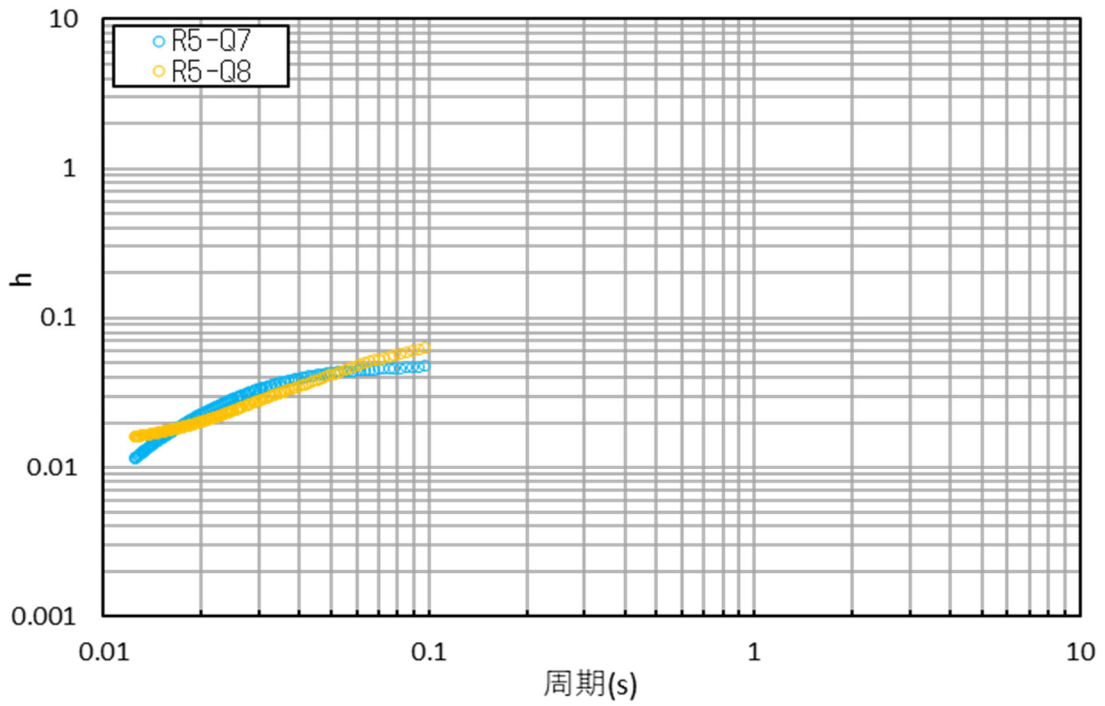


(9) CA グループ (R5-Q7, 12) における S 波検層結果

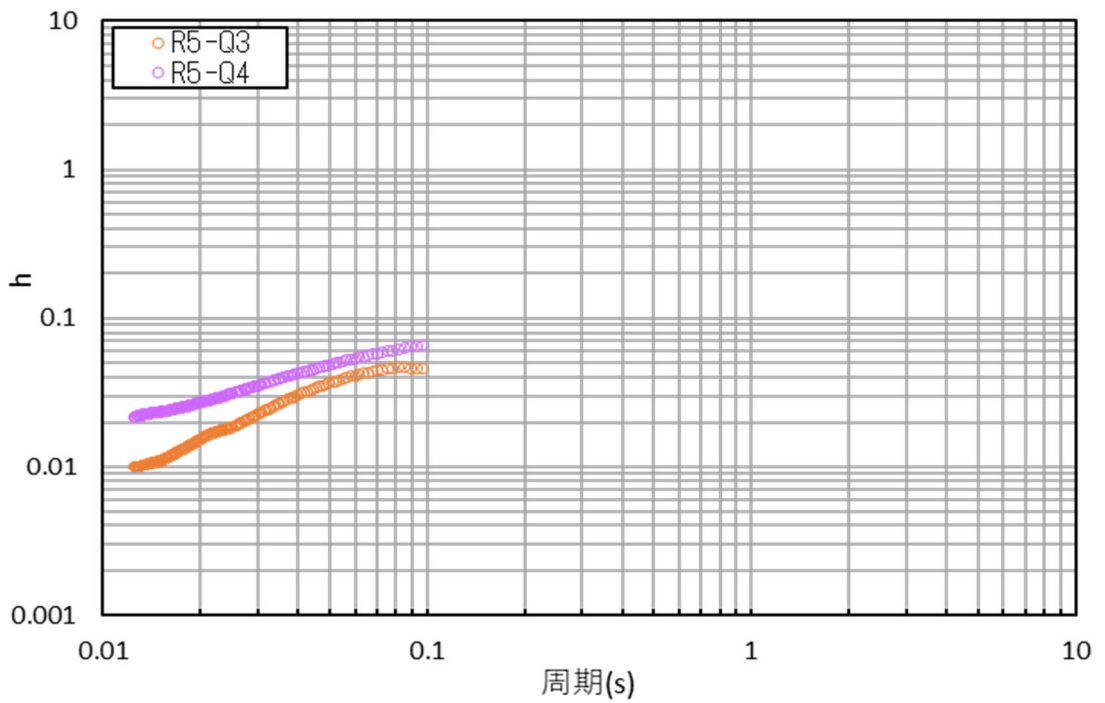


(10) CB グループ (R5-Q12) における S 波検層結果

第 5.2-2 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 5.2-2 図 追加調査における S 波検層結果 (6/6)

5.3 追加調査により得られた S 波検層データの特徴

「5.1 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、「5.2 追加の S 波検層結果」に示したデータについては、敷地内の近接する建屋の各位置個別の特徴を示した減衰定数のデータと位置付けられる。

このことから、各地点における減衰定数データの傾向について、敷地内の各位置における速度構造や地質構造と対比した整理結果を以下に示す。各位置における速度構造は、「別紙 2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」に示す、各 S 波検層位置において実施している PS 検層結果を参照する。

「別紙 2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」に示したとおり、敷地においては、岩盤種別としては、敷地内に分布する f-1 断層、f-2 断層を境として、中央地盤、西側地盤、東側地盤のそれぞれにおいて、分布する岩種が同等であることから、まずは、これら 3 エリア内で、S 波速度と減衰定数の相関性の観点で確認を行った。

第 5.3.-1 図～第 5.3.-3 図に、各エリアにおける追加調査データから得られた減衰定数と S 波速度を示す。また、これらの重ね書きを第 5.3.-4 図に示す。

各データの比較の結果、複数の追加調査データが得られている中央地盤及び東側地盤のいずれにおいても、各孔において得られた減衰定数はばらつきが小さく、概ね場所によらず一様の値及び周波数依存性の傾きを有していることが見て取れる。また、既往知見における傾向に基づけば、S 波速度が大きい地盤においては減衰定数を小さく、S 波速度が小さい地盤においては減衰定数を大きくなるようなデータが得られることも考えられるが、中央地盤と東側地盤のいずれにおいても、エリア内においては、S 波速度と減衰定数の大きさに明瞭な相関性は見られない。

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く、また、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いることから、この谷は地下構造の特徴に起因するものではなく、測定におけるゆらぎの範疇であると考えられる。

以下の地点間の関係性に係る記述については、今後記載を拡充する「7. 敷地の地盤の特徴を捉えた地下構造に係る考察」の中に移動することを検討中。

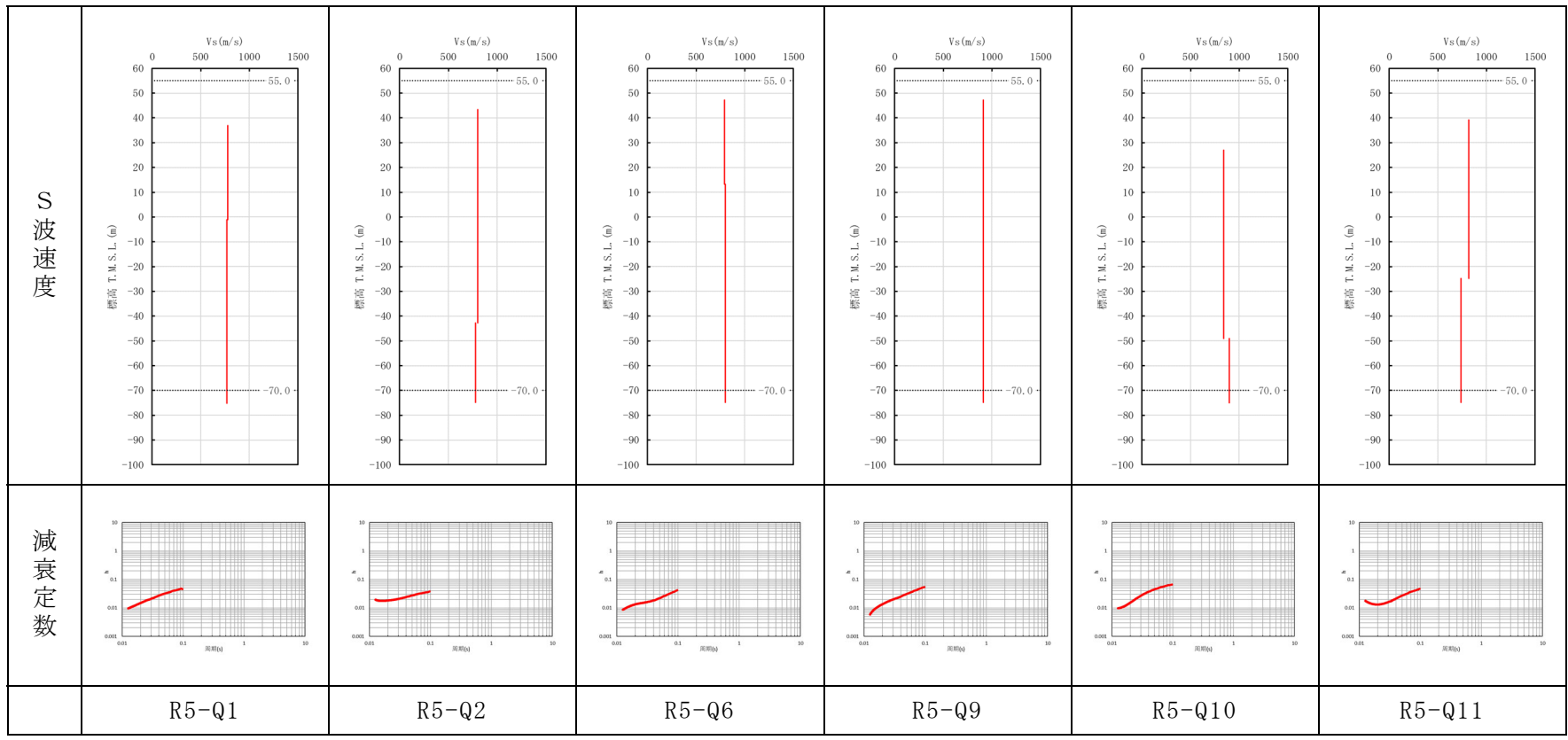
次に、第 5.3-3 図に基づき、中央地盤、西側地盤、東側地盤間の S 波速度と減衰定数の傾向について、エリア間の相対的な関係性について確認した。

減衰定数の値は、西側地盤<中央地盤<東側地盤で大きくなる傾向が見取れる。

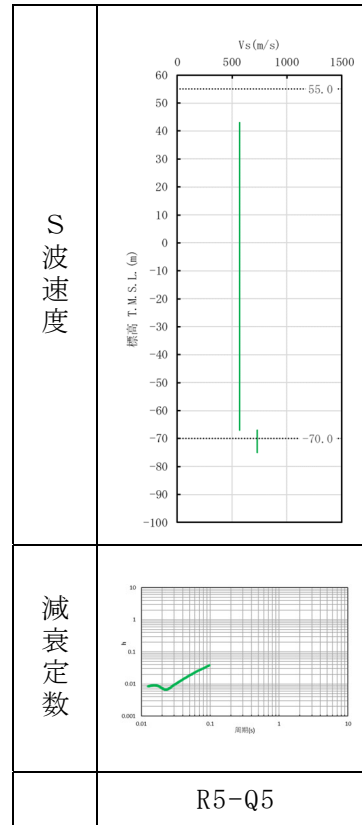
S 波速度については、中央地盤については、概ね浅部から深部まで一定の S 波速度を示し、西側地盤は中央地盤よりも小さい S 波速度を示す。東側地盤については、T.M.S.L. -10~-40m の深さにおいて、速度境界が見られるという特徴を有している。

上記の状況を踏まえると、東側地盤においては、地震波の散乱等が生じると考えられる速度境界が見られることに起因して、中央地盤及び東側地盤と比較して大きい減衰定数となっている可能性が示唆される。また、既往知見においては一般的に S 波速度が大きい地盤においては減衰定数が小さく、S 波速度が小さい地盤においては減衰定数が大きくなるとの傾向が示されていることに対し、敷地においては、この傾向に対して、S 波速度の大きさと減衰定数の相関性としては明確に現れていない。

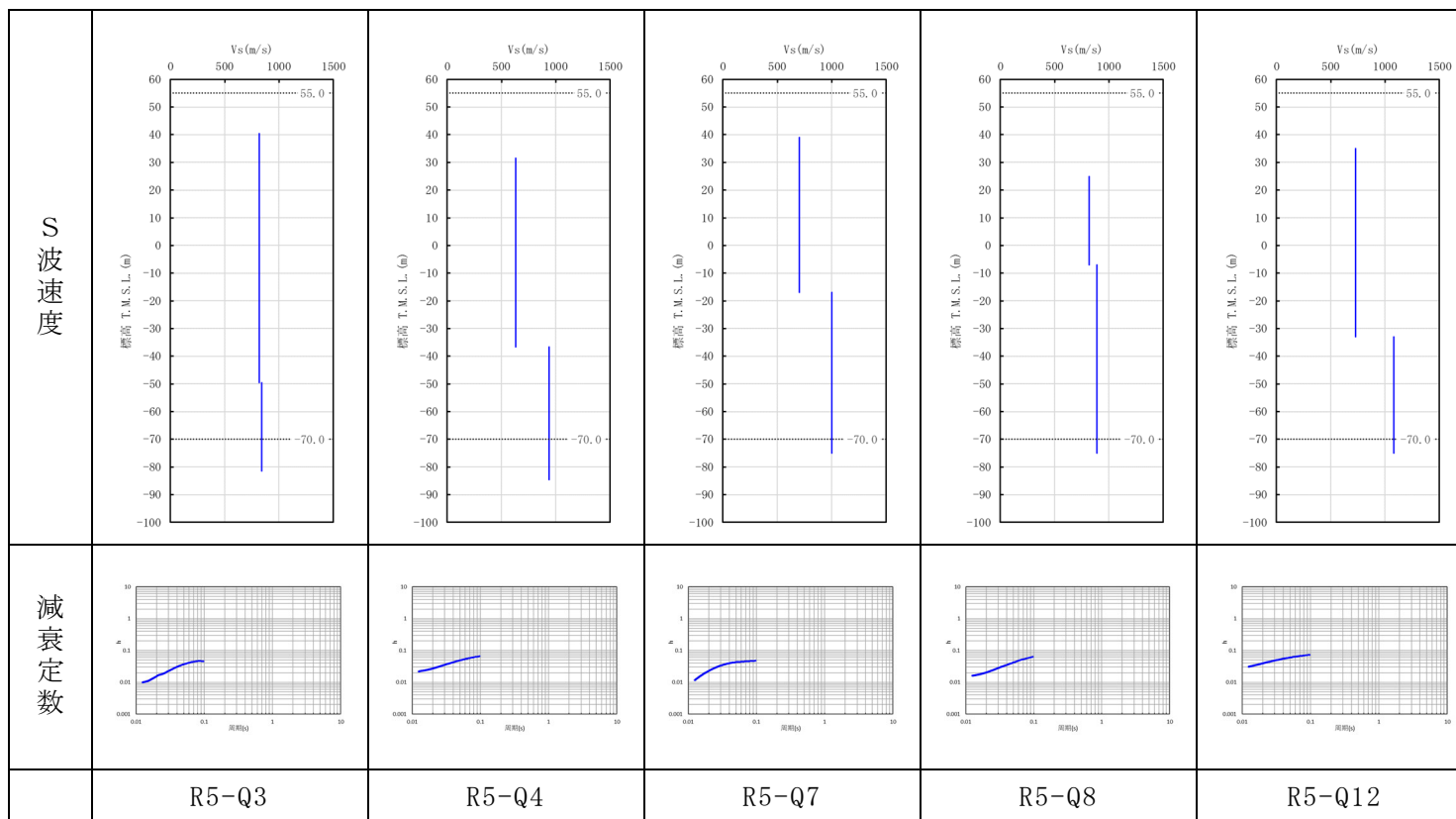
また、岩種分布に着目すると、東側地盤における減衰定数が他地点に比べて大きな値となっていることは、中央地盤及び西側地盤では比較的均質な堆積岩が主要な分布岩種であることに対し、東側地盤においては、軽石などの大きめな内部構造の不均質さをもつ火山性の堆積物に対応する岩種が多く分布していることにより、層中での散乱が他地点と比較して卓越しやすい傾向になっていると考えられる。



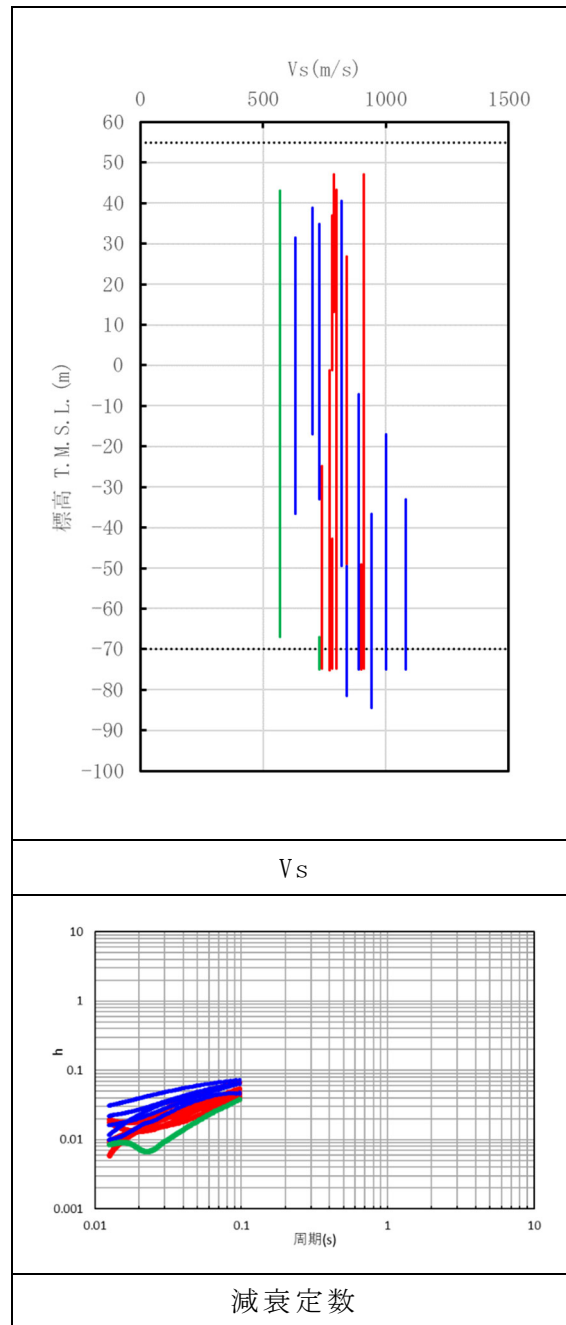
第 5.3-1 図 追加調査により得られた S 波速度と減衰定数（中央地盤）



第 5.3-2 図 追加調査により得られた S 波速度と減衰定数（西側地盤）



第 5.3-3 図 追加調査により得られた S 波速度と減衰定数（東側地盤）



第 5.3-4 図 追加調査により得られた S 波速度と減衰定数
 (赤：中央地盤，青：東側地盤，緑：西側地盤)

6. 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価結果

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。

本評価における伝達関数の算定及び地盤応答解析において用いている解析コードについて今後記載する。

本解析コードの妥当性を確認した結果については、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。

6.1 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「6.3 伝達関数による検討」に、地震波干渉法による検討については「6.4 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。

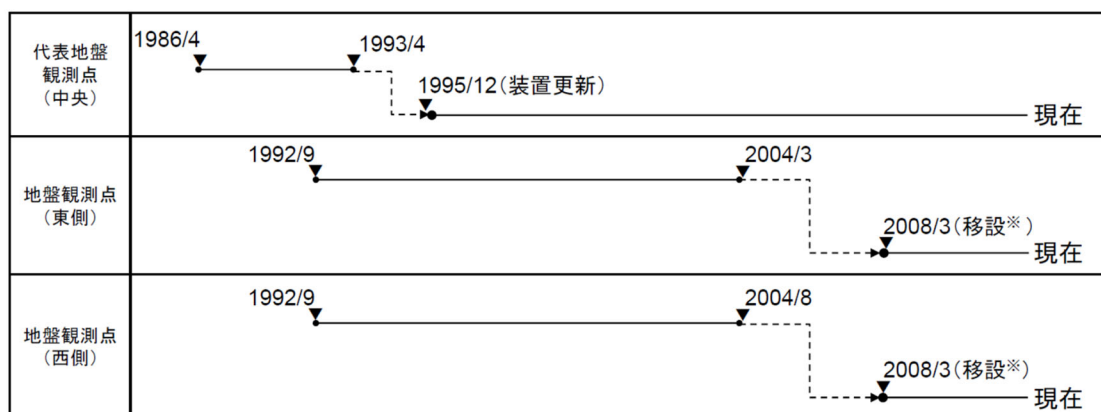
これら複数の考え方に基づく減衰定数の評価を実施し、各方法における地震観測記録の再現性及び振動数特性に着目し、岩盤部分における減衰定数を評価する。

6.2 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6.2-1図～第6.2-3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。

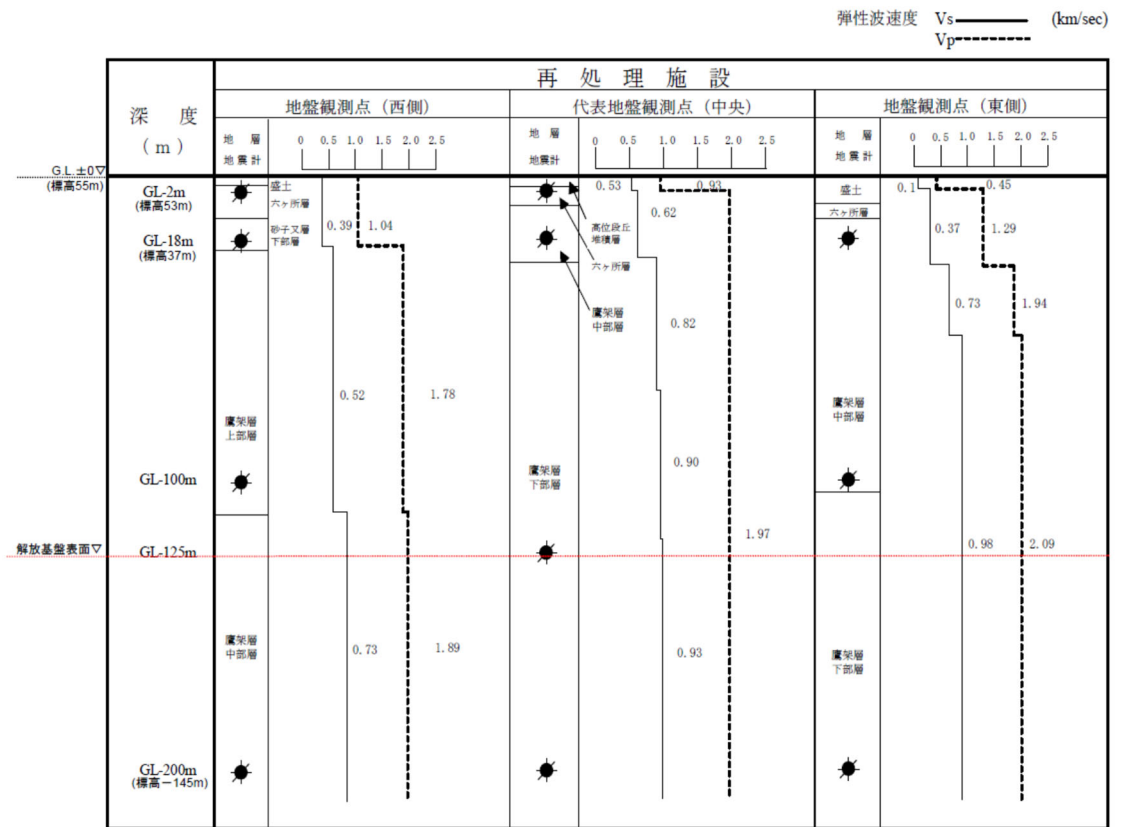
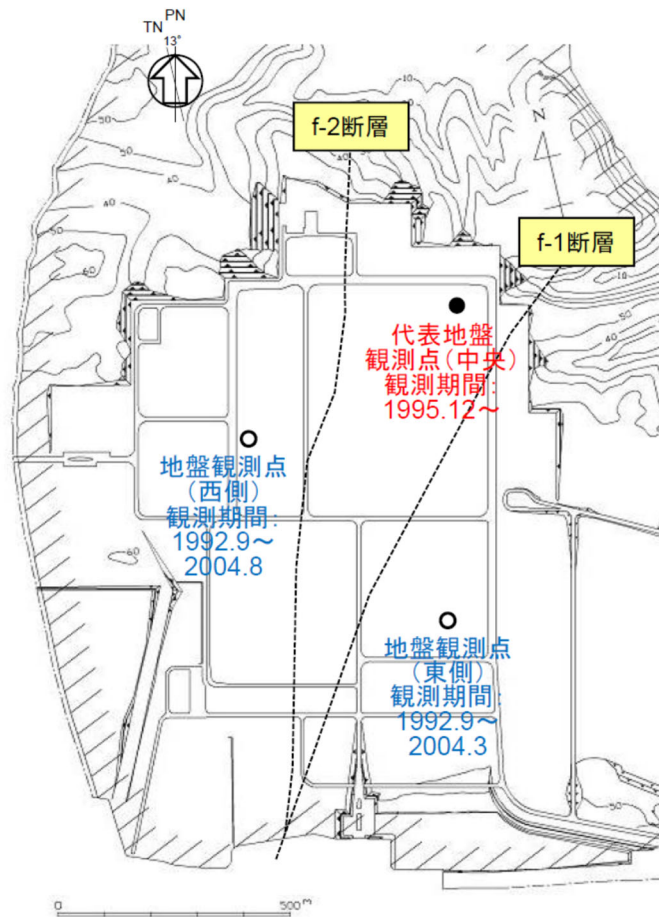
本資料においては、後述のとおり、はぎとり地盤モデルの作成と同様の手法により減衰定数を評価する際、S波速度についても、振動数特性の適合度を向上させる観点で変動させていることから、変動後の速度構造との評価結果との関係性について、事業変更許可申請と同様に速度構造の比較を行う。



※G.L.-100m地震観測点を、G.L.-125mに移設

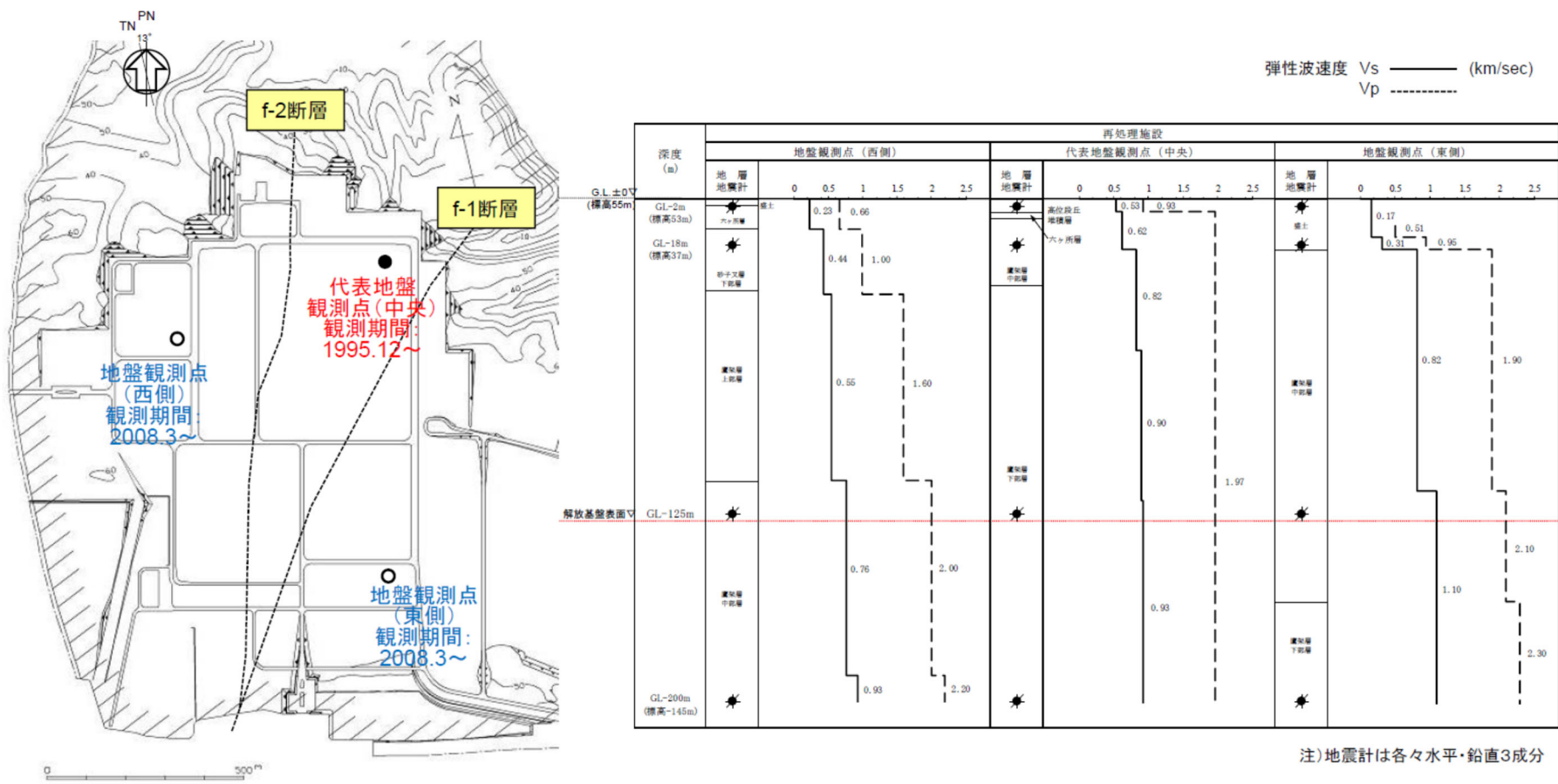
第6.2-1図 敷地内各位置における地震観測期間

(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 6.2-2 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 6.2-3 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)

6.3 伝達関数による検討

6.3.1 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。

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。

また、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ほか、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。

「6.2 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。

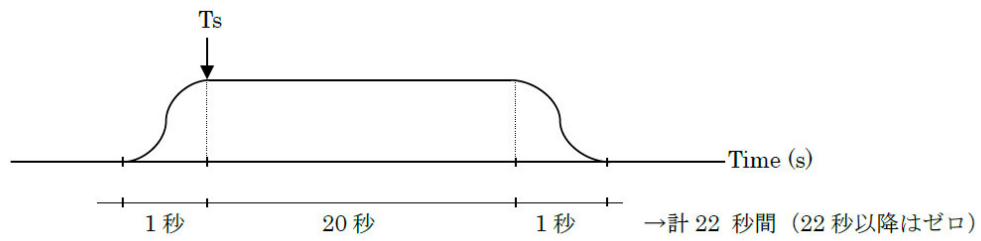
事業変更許可申請におけるはざとり地盤モデルは、敷地において得られた地震観測記録に基づいて解放基盤表面における基盤地震動を算定し、解放基盤表面において、敷地全体で概ね同等の地震動となることの確認に用いるものであったこと、また、基準地震動の策定において考慮する検討用地震に対して、断層モデルを用いた手法による地震動評価を行う際、経験的グリーン関数法による地震動評価に用いる要素地震として、主に2008年の観測装置移設前の時点に発生した地震観測記録に基づいて設定していたことから、この条件との整合性を考慮するために、移設前の地震観測地点における地震観測記録に基づいて設定していた。

また、後述の「6.3.3 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6.2-1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5Gal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6.3.1-1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 6.3.1-1 図 時刻歴波形の処理概要

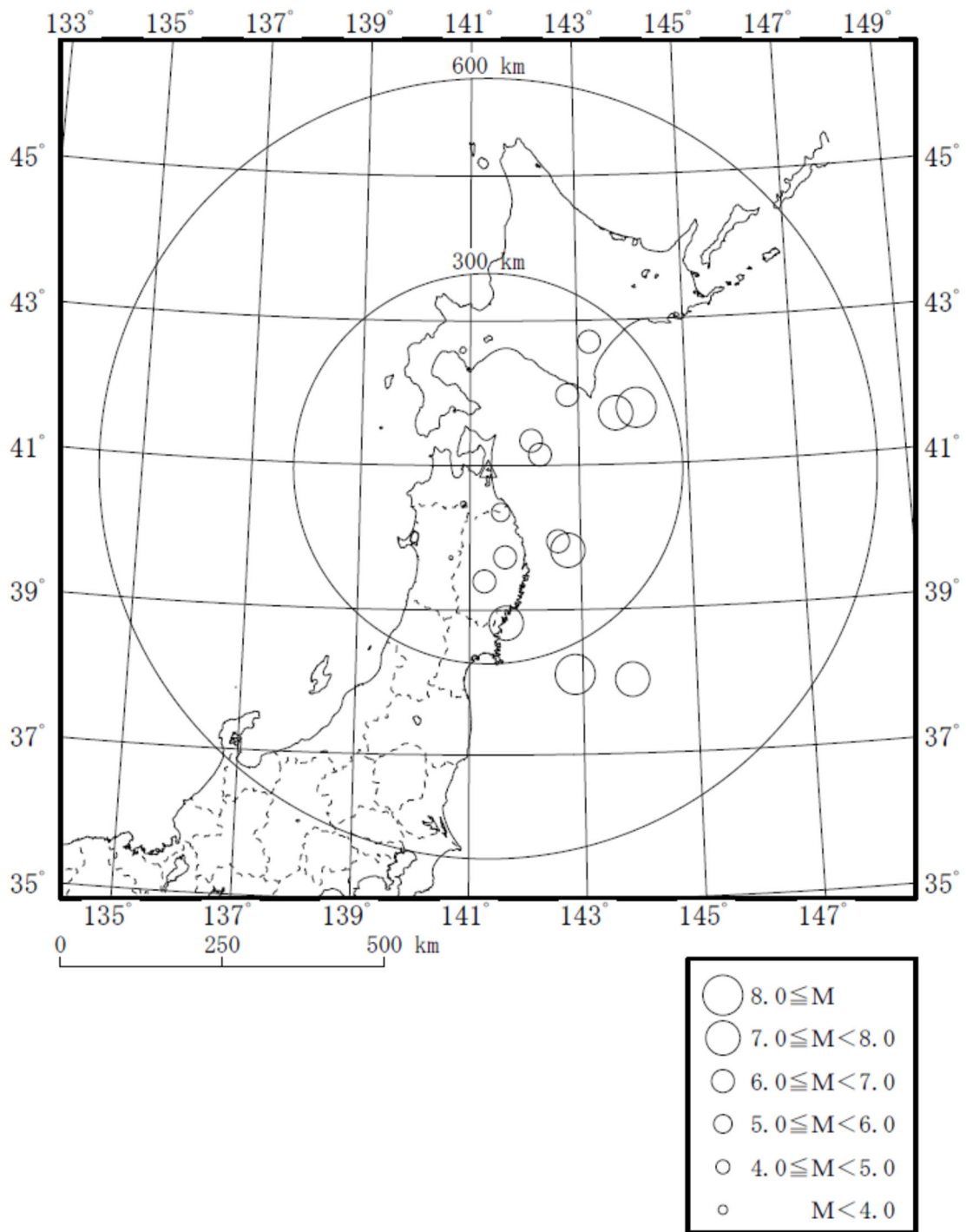
(1) 中央地盤観測点

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 6.3.1-1 表に、選定した地震の震央分布を第 6.3.1-2 図に示す。

第 6.3.1-1 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 6.3.1-2 図 評価に用いた地震の震央分布（中央地盤）

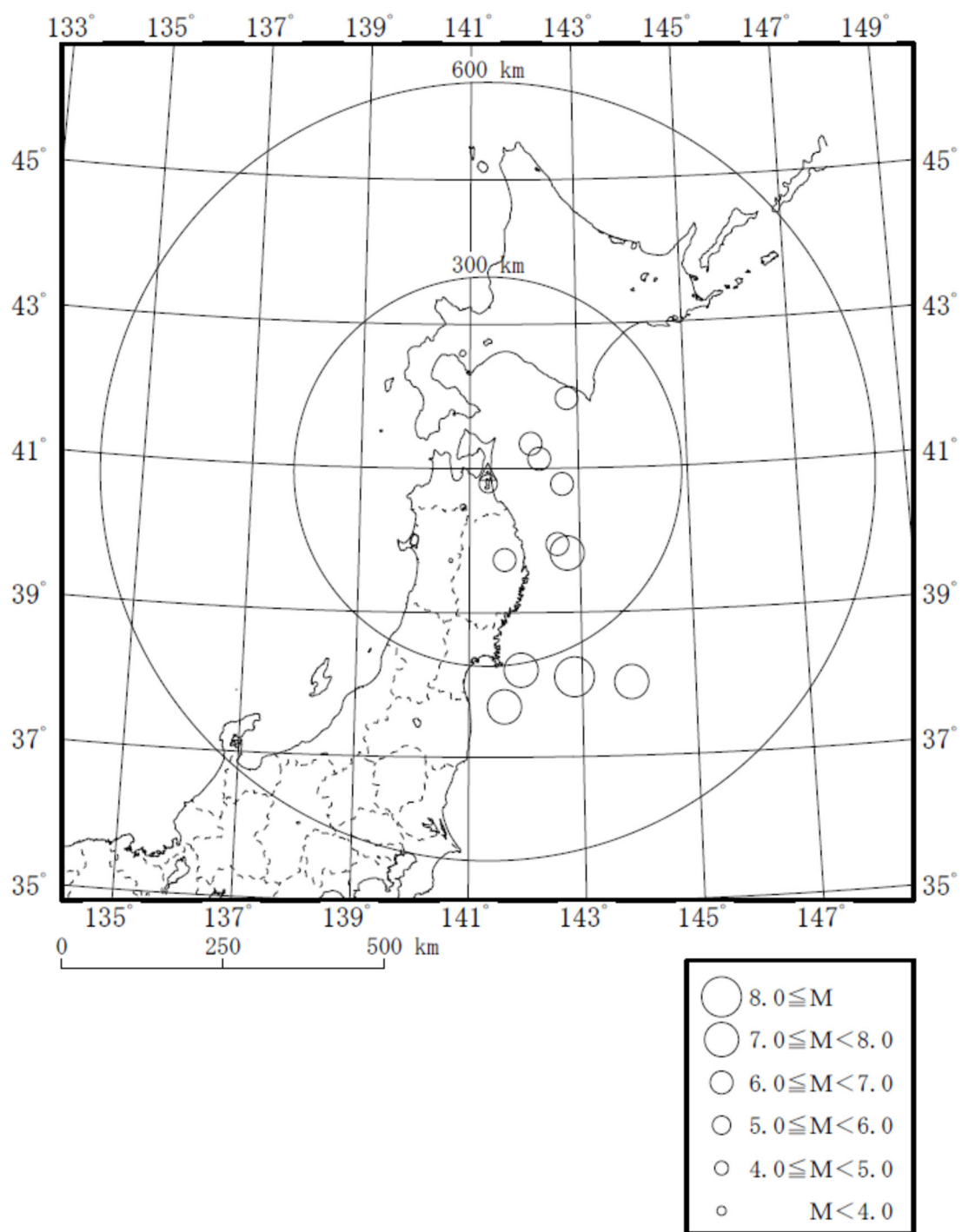
(2) 西側地盤観測点

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 6.3.1-2 表に、選定した地震の震央分布を第 6.3.1-3 図に示す。

第 6.3.1-2 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 6.3.1-3 図 評価に用いた地震の震央分布（西側地盤）

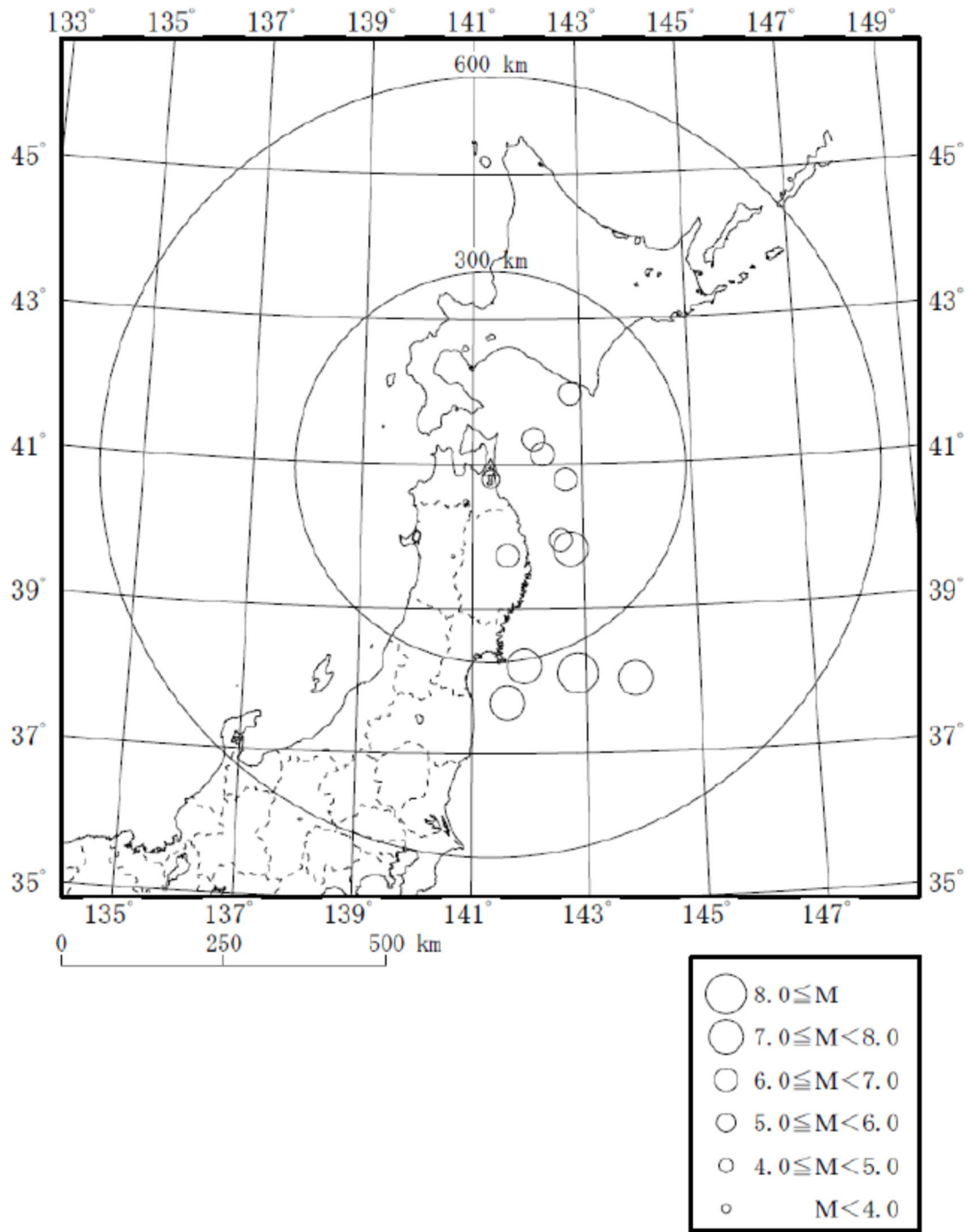
(3) 東側地盤観測点

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 6.3.1-3 表に、選定した地震の震央分布を第 6.3.1-4 図に示す。

第 6.3.1-3 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 6.3.1-4 図 評価に用いた地震の震央分布 (東側地盤)

6.3.2 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 6.2-2 図及び第 6.2-3 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。「6.2 敷地における地震観測の概要」及び「6.3.1 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 6.2-3 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。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とから、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、初期モデルの設定の見直しを行っている。

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 6.3.2-1 表～第 6.3.2-3 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、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。

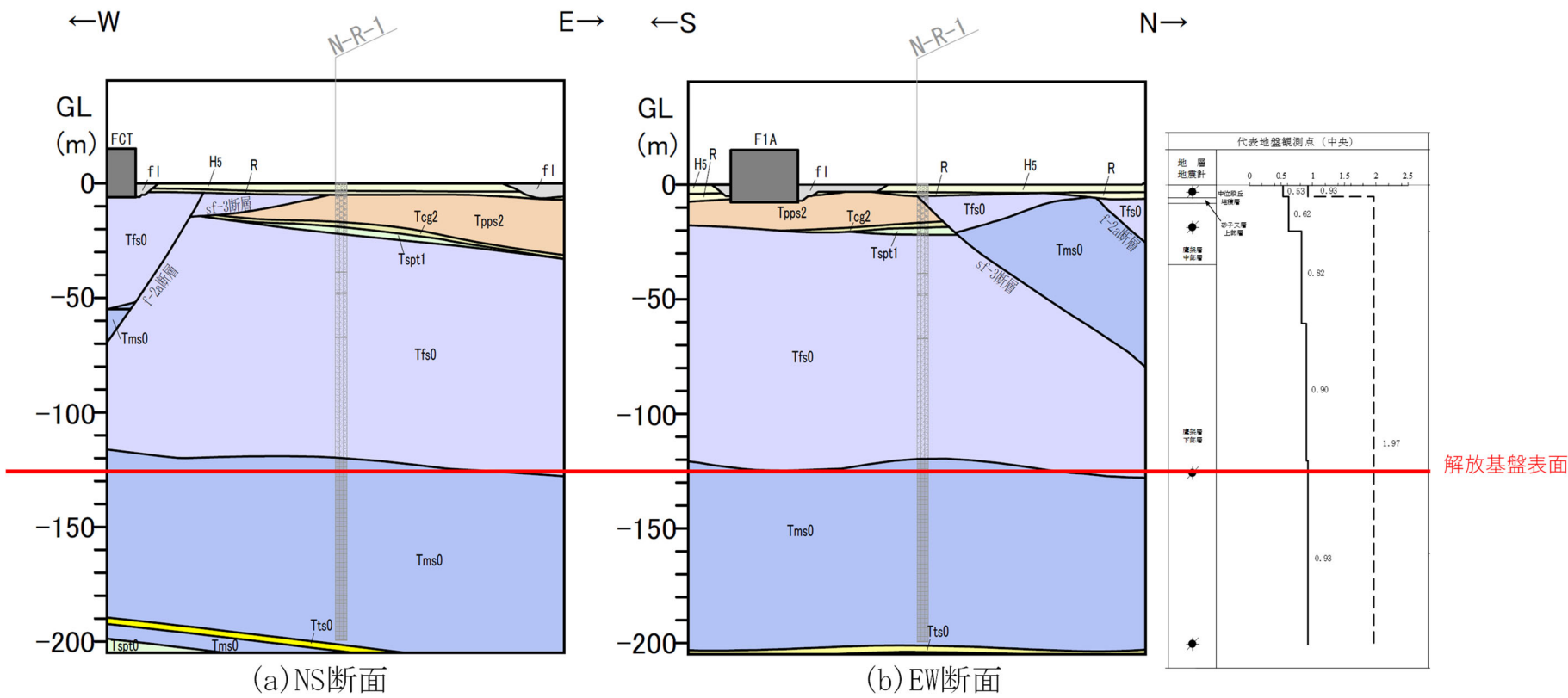
初期モデルの設定にあたっては、地震観測位置近傍の地下構造を確認しており、約 GL-20m 以深においては、速度構造に大きな違いの無い細粒砂岩と泥岩で構成される鷹架層下部層が広がっており、地震観測位置近傍において、地盤応答に影響を与えるような速度構造の違いはないことを確認している。

一方、約 G1-20m 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。

「6.3.7.1 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 6.3.2-1 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 初期モデルにおいて地震観測位置近傍の地下構造を考慮しない場合と考慮した場合の同定結果比較」の参考 2.1-1 図及び参考 2.1-2 図に示したとおり、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、6.3.2-1 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。

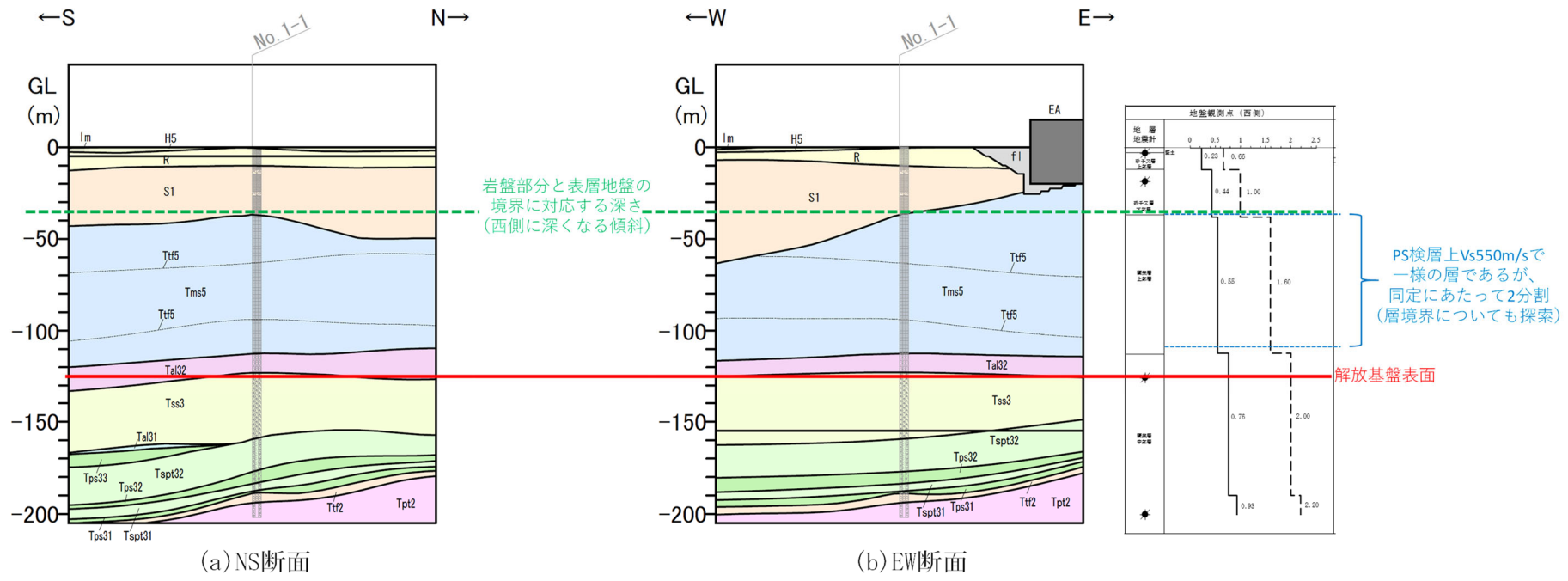
このことから、西側地盤における地震観測位置の地下構造としては、観測位置の北西側に向かって深くなるように岩盤部分と表層地盤の層境界が傾斜しており、高速度を示す岩盤である泥岩（上部層）の上端が、地震観測位置と比較して、その北西側では深部に分布していることにより、西側地盤における地震観測位置において、PS 検層位置の一点における鉛直方向の地盤の速度構造だけでなく、地震観測位置の周辺までを含めた面的な地盤の速度構造が地盤の振動に影響を与えている可能性が示唆される。

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 6.3.2-1 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 初期モデルにおいて地震観測位置近傍の地下構造を考慮しない場合と考慮した場合の同定結果比較」の参考 2.2-1 図及び参考 2.2-2 図に示したとおり、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 820m/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、6.3.2-2 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、6.3.2-2 図(a)及び(b)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。

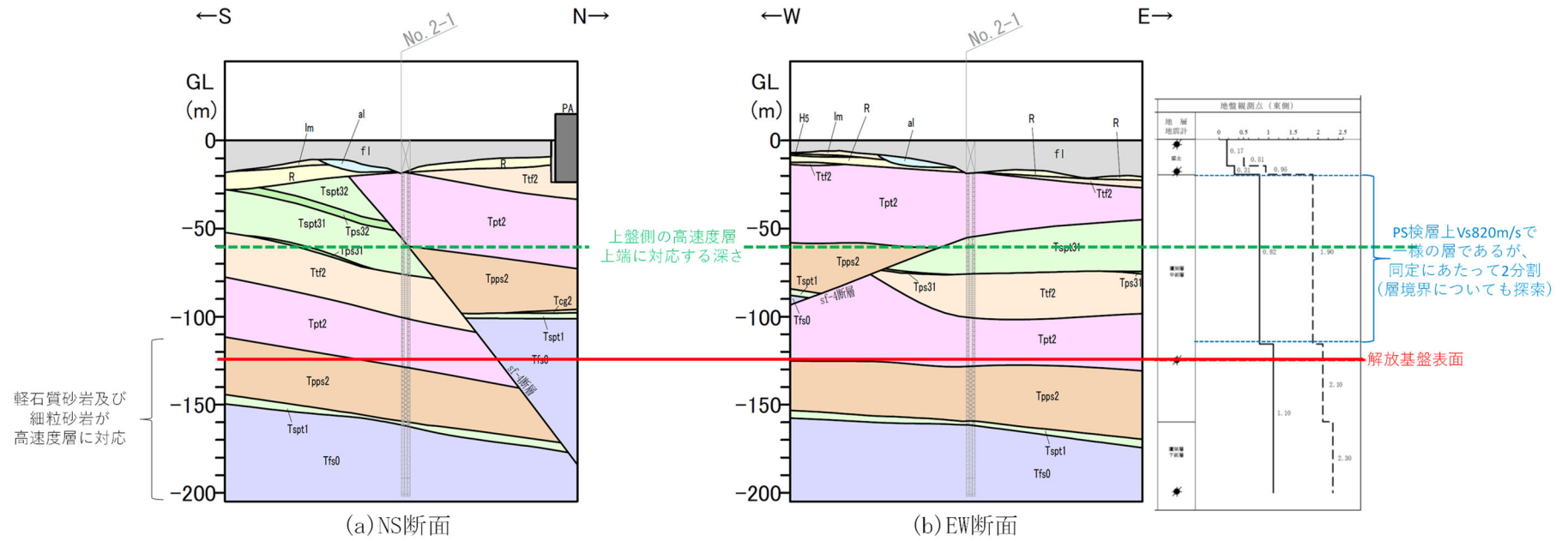
このことから、東側地盤における地震観測位置の地下構造としては、高速度を示す岩盤が浅部に至っている地下構造となっていることにより、東側地盤における地震観測位置において、PS 検層位置の一点における鉛直方向の地盤の速度構造だけでなく、地震観測位置の周辺までを含めた面的な地盤の速度構造が地盤の振動に影響を与えている可能性が示唆される。

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 820m/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 6.3.2-2 図 東側地震観測点における地質断面図及び PS 検層結果

第 6.3.2-1 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 6.3.2-2 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 6.3.2-3 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 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	1.69	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

6.3.3 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、「6.3.1 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。

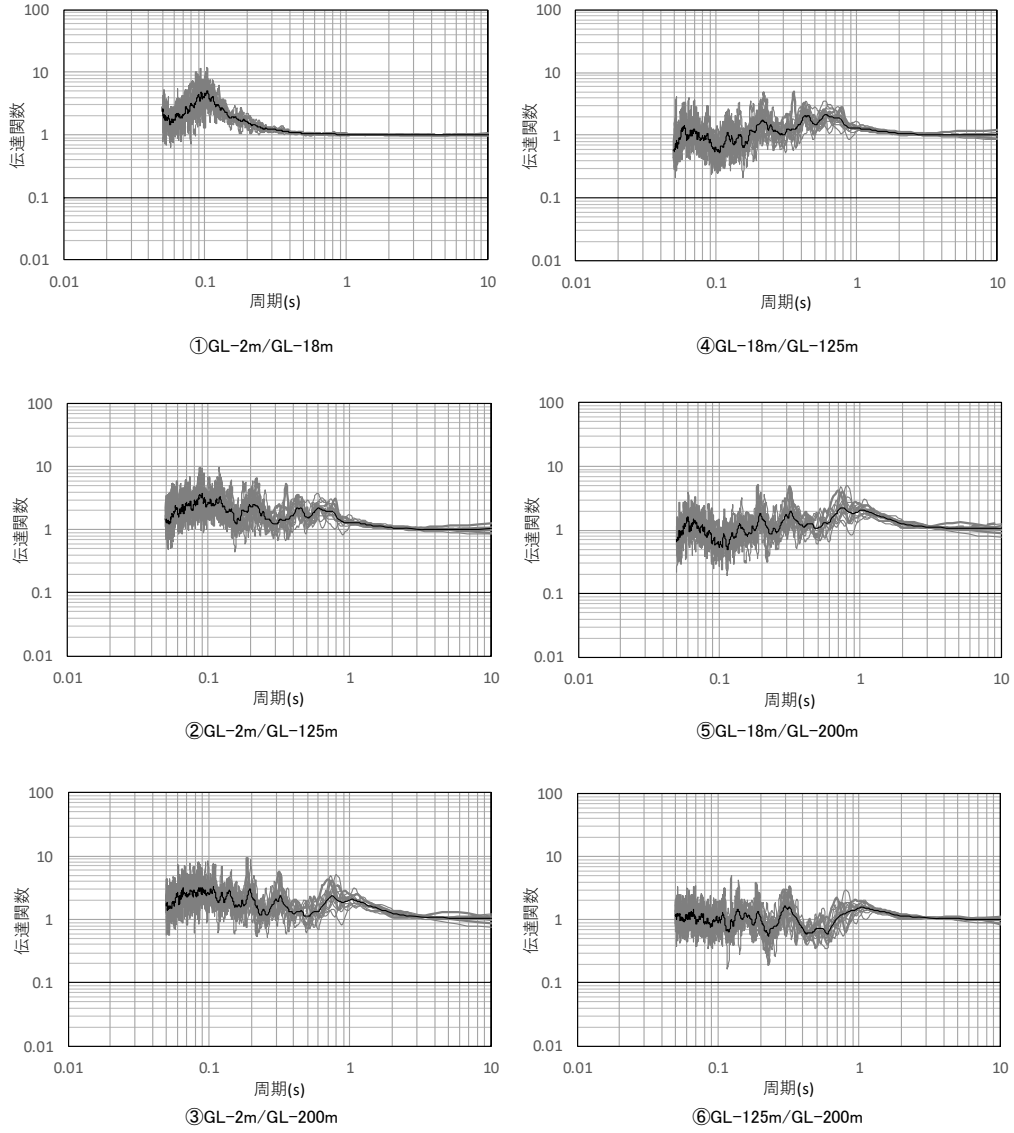
伝達関数は、表層地盤と岩盤部分を個別に同定するために、各観測深さ (GL-200m, GL-125m, GL-18m 及び GL-2m) 間のフーリエスペクトル比 (全 6 組合せ) として算定した。第 6.3.3-1 図～第 6.3.3-6 図に、地震観測記録に基づく、各深さ間の伝達関数の作成結果を示す。

さらに、「6.3.1 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 3 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図表等」の「1. 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。

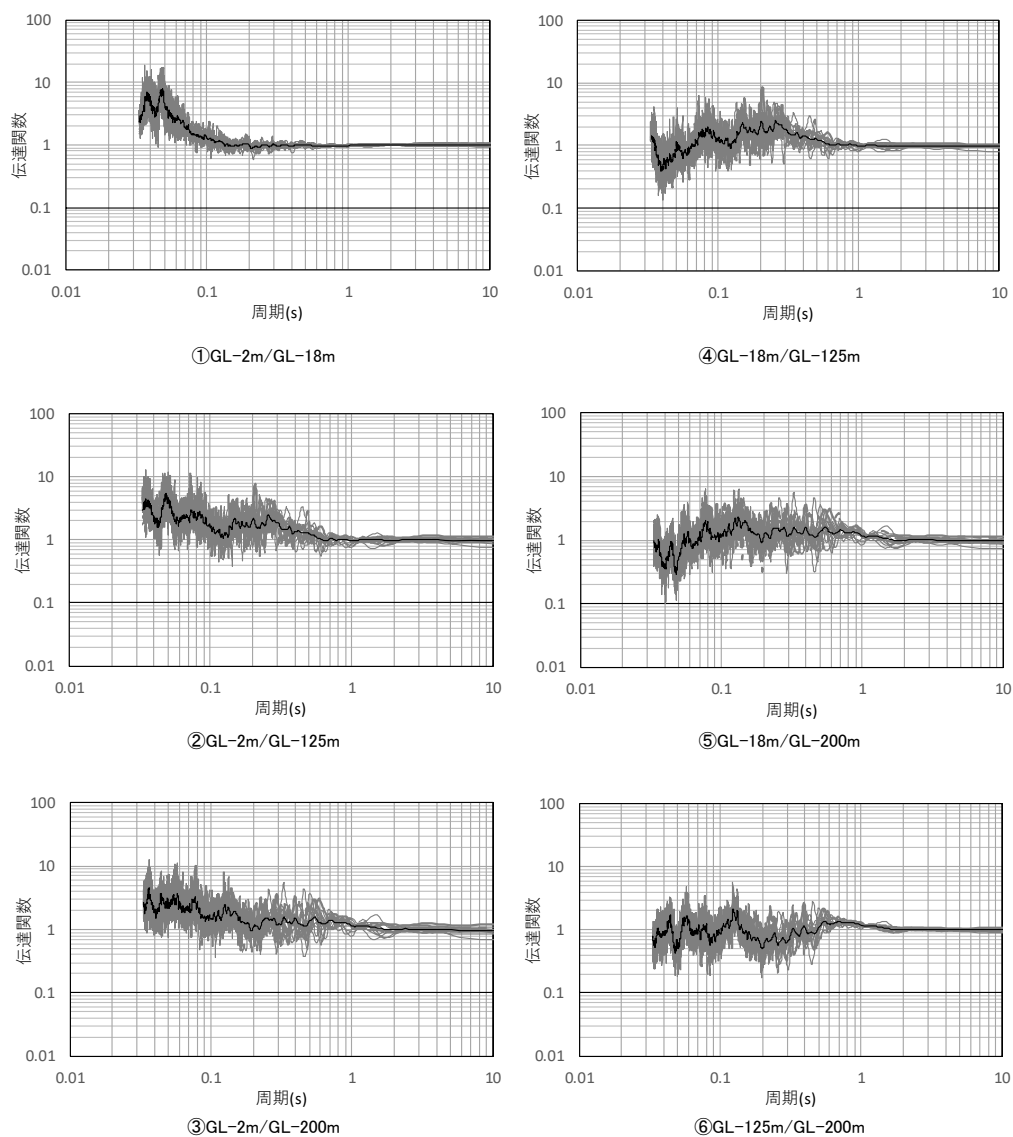
いずれの地点においても、地震数を増やした場合の伝達関数は、本評価に用いる伝達関数と有意な差は無いことから、「6.3.1 評価に用いる地震観測記録」にて選定した各地点における本評価に用いる地震は、敷地の振動特性を捉える上で十分な選定結果となっていることを確認した。

—— 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



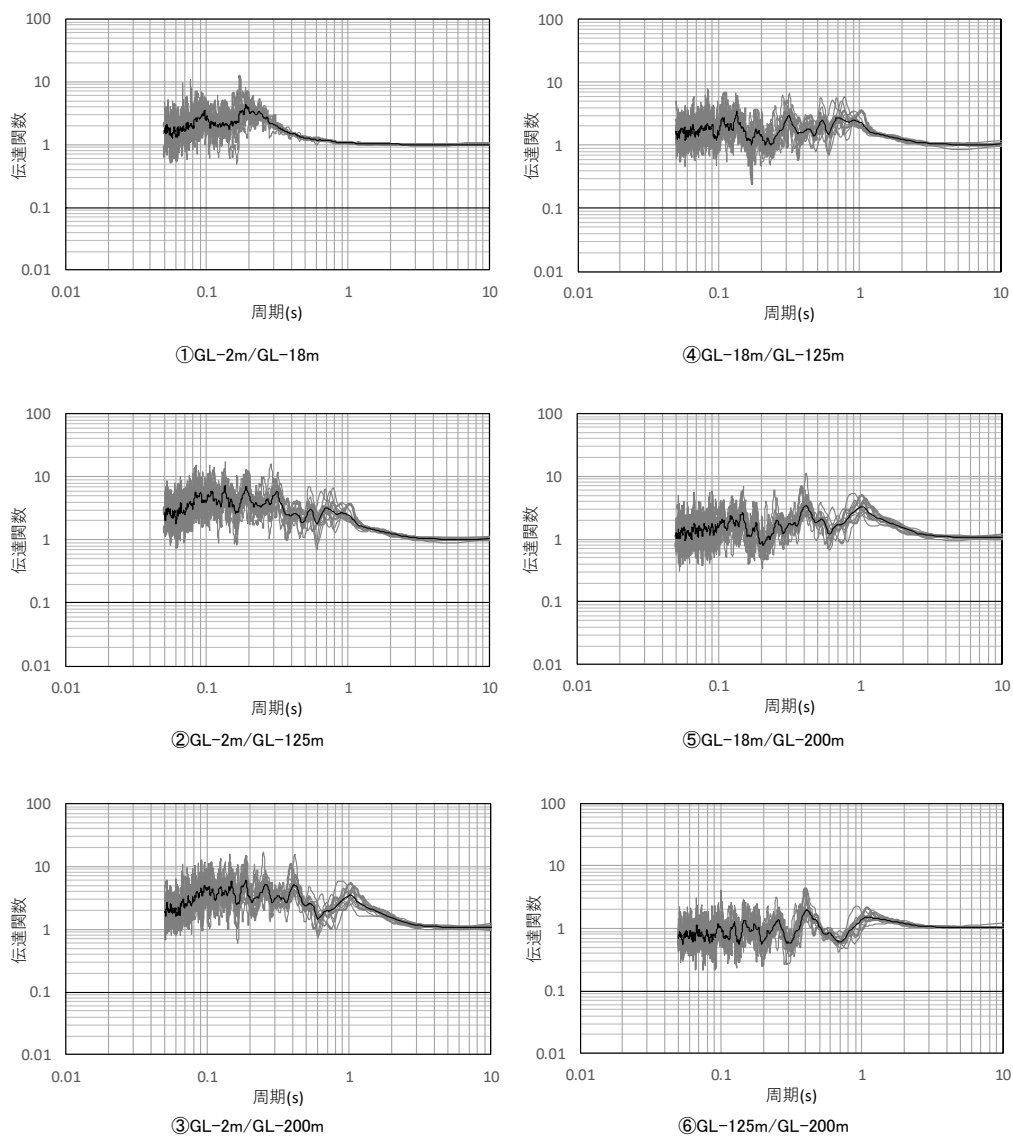
第 6.3.3-1 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数
 （中央地盤観測点，水平）

—— 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



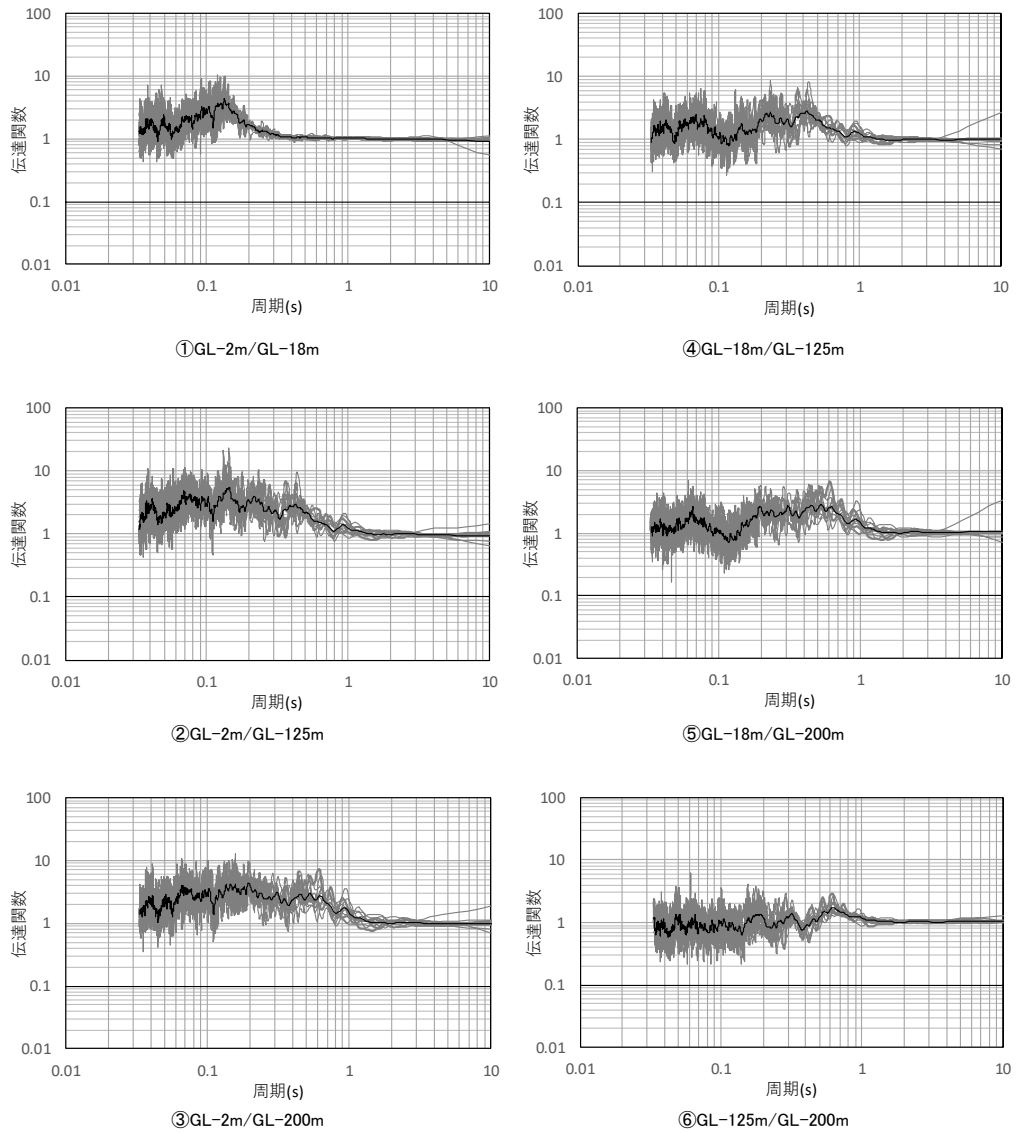
第 6.3.3-2 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数
 （中央地盤観測点，鉛直）

—— 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



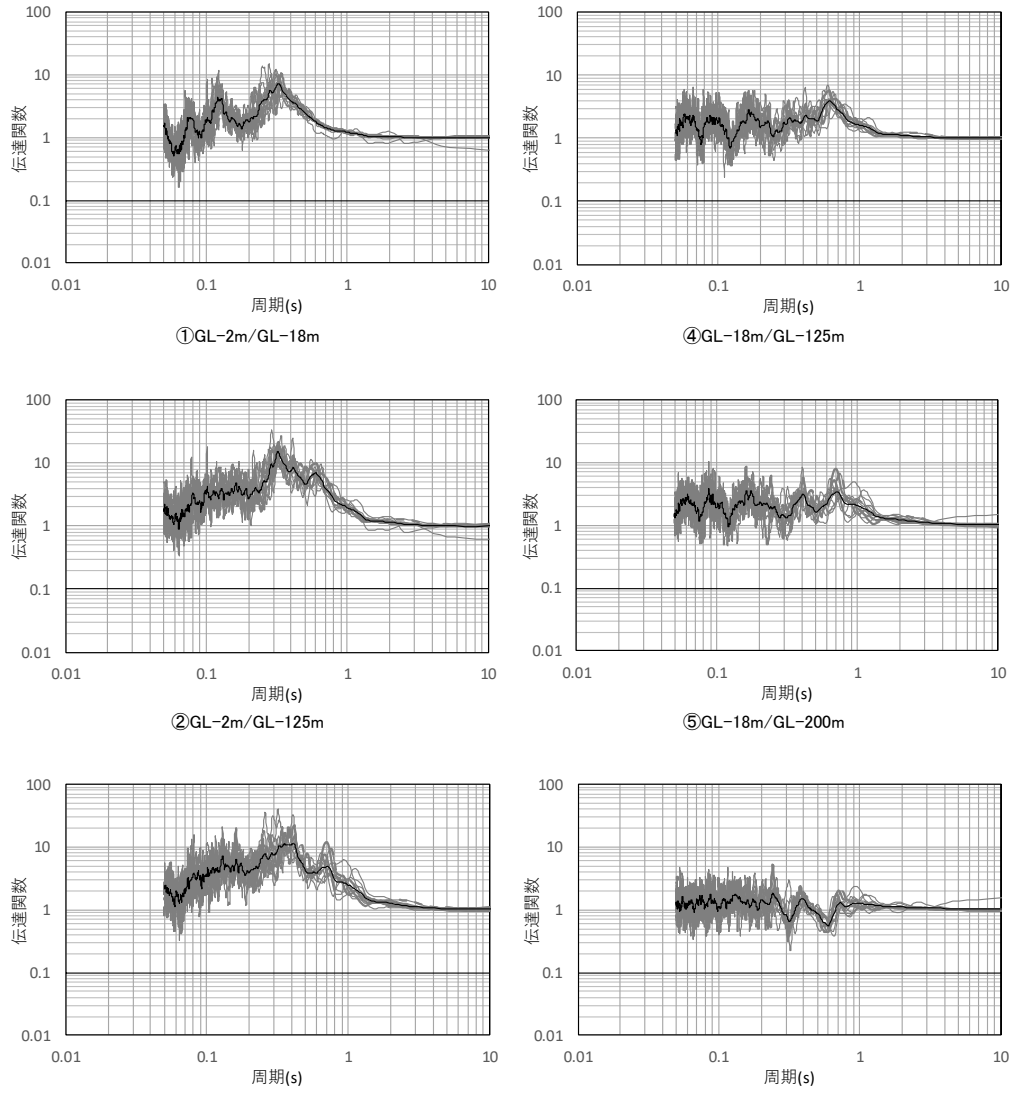
第 6.3.3-3 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数
 （西側地盤観測点，水平）

—— 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



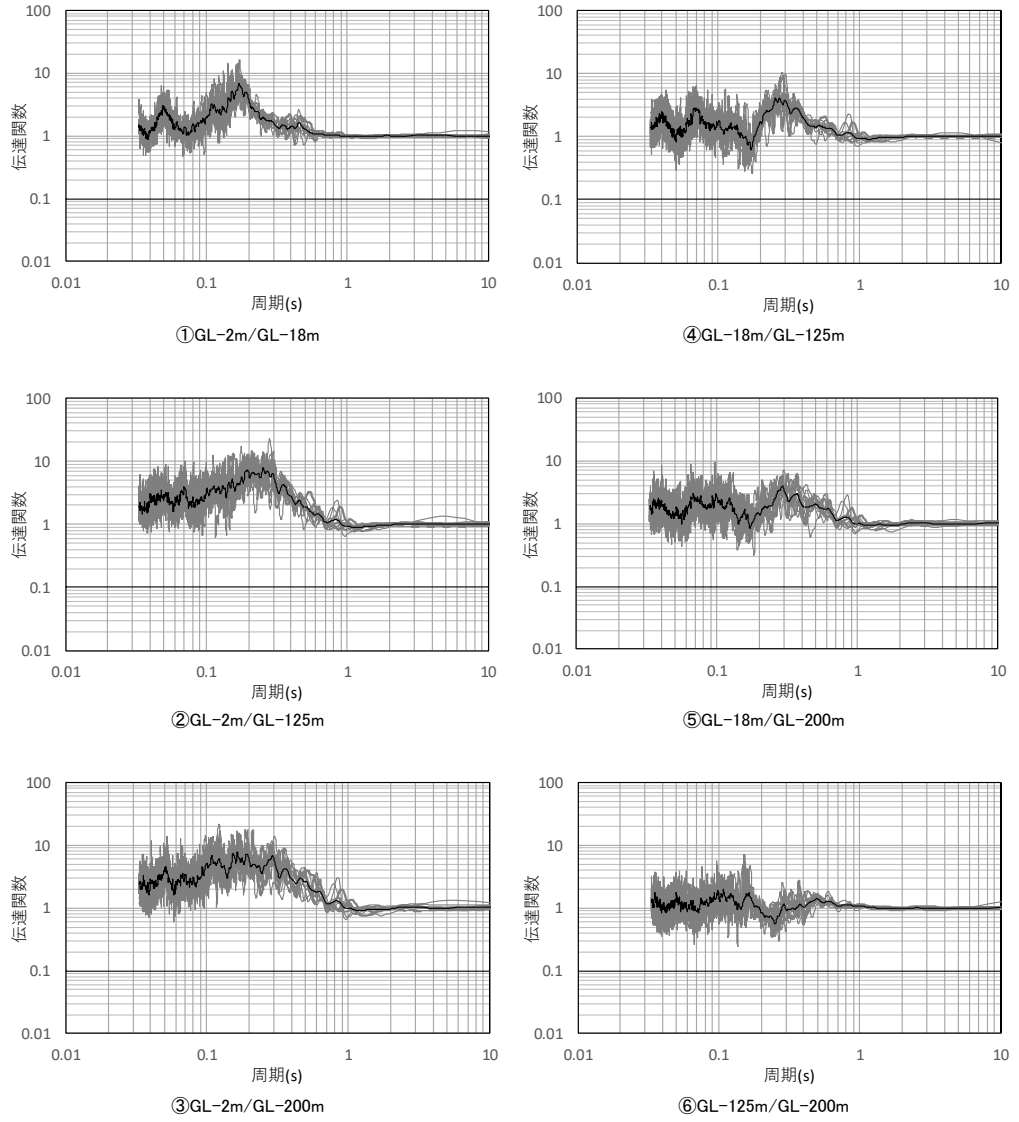
第 6.3.3-4 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数
 （西側地盤観測点，鉛直）

—— 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 6.3.3-5 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 6.3.3-6 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）

6.3.4 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6.3.4-1表に示す。

下記(1)及び(2)に示す振動数依存性を考慮する場合の設定の評価結果については，「6.3.6 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，「6.3.7 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。

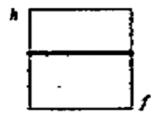

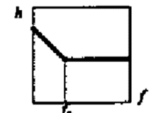
注記 *：佐藤 浩章，金谷 守，大鳥 靖樹：減衰定数の下限値を考慮したスペクトル比の逆解析による同定手法の提案-岩盤における鉛直アレイ記録への適用と減衰特性の評価-，日本建築学会構造系論文報告集第 604 号，p55-62，2006.

(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 6.3.4-1 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。

6.3.5 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 6.3.5-1 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 3 地震観測記録のシミュレーション解析に関する補足図表等」に、「6.3.7.1 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」に示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 6.3.5-1 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)

6.3.6 振動数依存性を考慮する場合の評価結果

6.3.6.1 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）

「6.3.5 評価方法及び条件」に示した手法に従い、減衰定数を同定した結果及び伝達関数の適合状況を第 6.3.6.1-2 図～第 6.3.6.1-5 図及び第 6.3.6.1-8 図～第 6.3.6.1-9 図（中央地盤）、第 6.3.6.1-11 図～第 6.3.6.1-14 図及び第 6.3.6.1-17～第 6.3.6.1-18 図（西側地盤）及び第 6.3.6.1-20 図～第 6.3.6.1-23 図及び第 6.3.6.1-26 図～第 6.3.6.1-27 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 6.3.6.1-1 図及び第 6.3.6.1-7 図（中央地盤）、第 6.3.6.1-15 図及び第 6.3.6.1-16 図（西側地盤）及び第 6.3.6.1-24 図及び第 6.3.6.1-25 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、「6.3.5 評価方法及び条件」に示した、同定解析上対象とする振動数よりも広い範囲（20Hz よりも高振動数側、0.05 秒よりも短周期側）についても、評価された減衰定数の振動数特性が同様の傾向を示すと仮定し、当該範囲については外挿して示す。

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

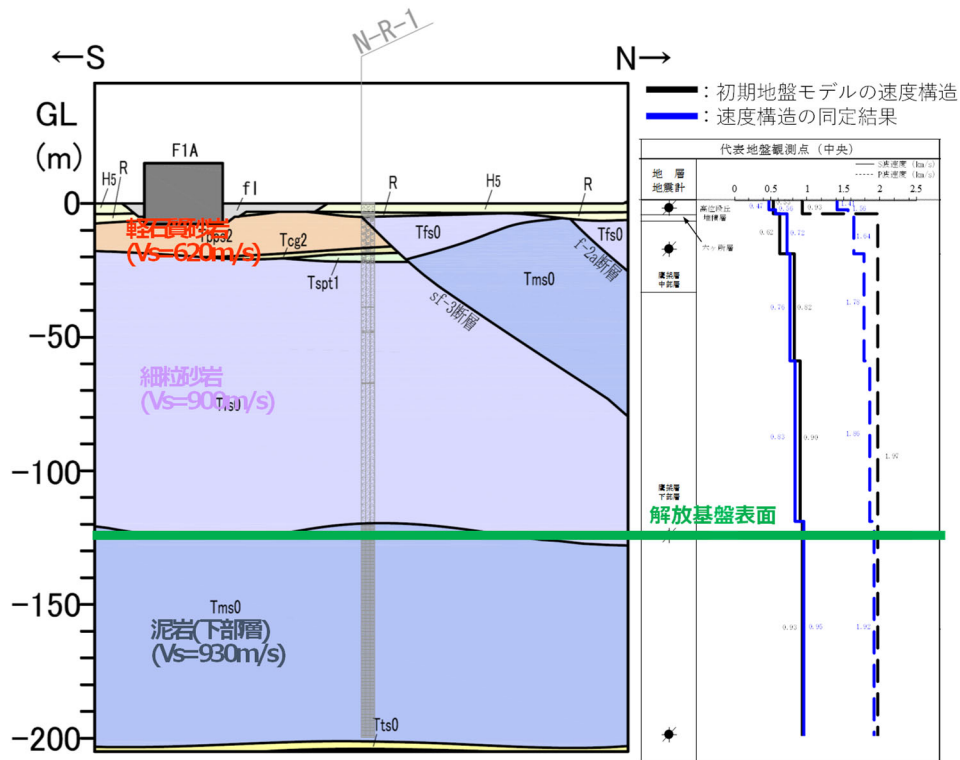
中央地盤における伝達関数による地盤物性及び減衰定数の同定結果について以下に示す。

- ・ 第 6.3.6.1-1 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 6.3.6.1-1 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 6.3.6.1-2 図及び第 6.3.6.1-4 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 6.3.6.1-3 図及び第 6.3.6.1-5 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 6.3.6.1-7 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 6.3.6.1-6 図及び第 6.3.6.1-7 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 6.3.6.1-8 図及び第 6.3.6.1-9 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 6.3.6.1-1 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 6.3.6.1-1 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

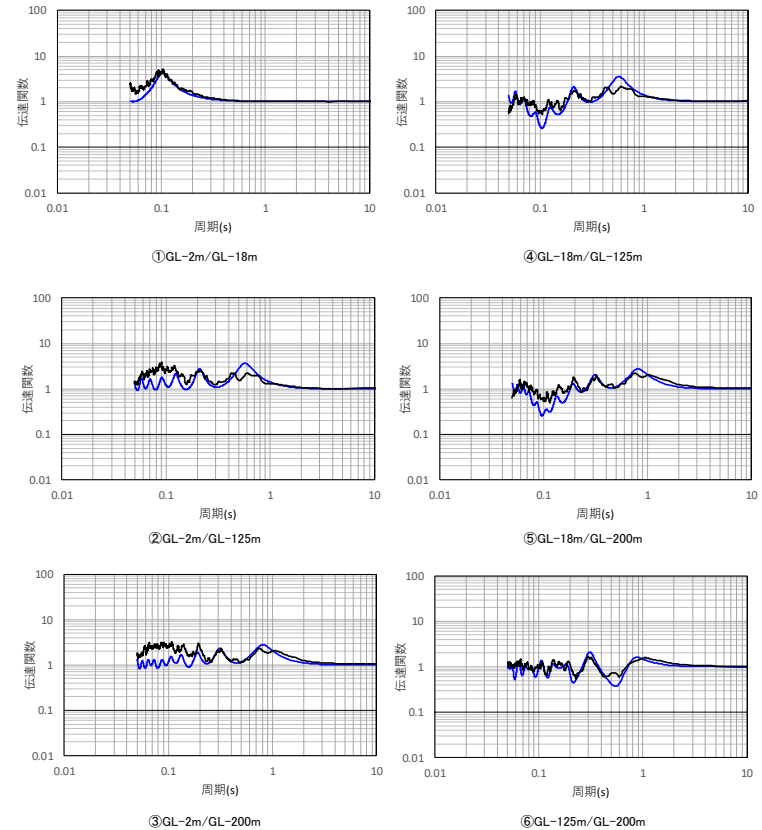
深度 GL (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h^{*1}		
					分類	h ₀	n
0	1	2	1.94	470	表層 1	0.3	0.8
-2	2	1.5					
-3.5	3	1.5	1.64	720	表層 2	0.5	0.5
-5	4	13					
-18	5	2	1.75	760	岩盤	0.3	0.9
-20	6	40					
-60	7	60	1.85	830	岩盤	0.3	0.9
-120	8	5					
-125	9	75	1.85	950	基盤	0.3	0.9
-200	10	—					

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 6.3.6.1-2 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)

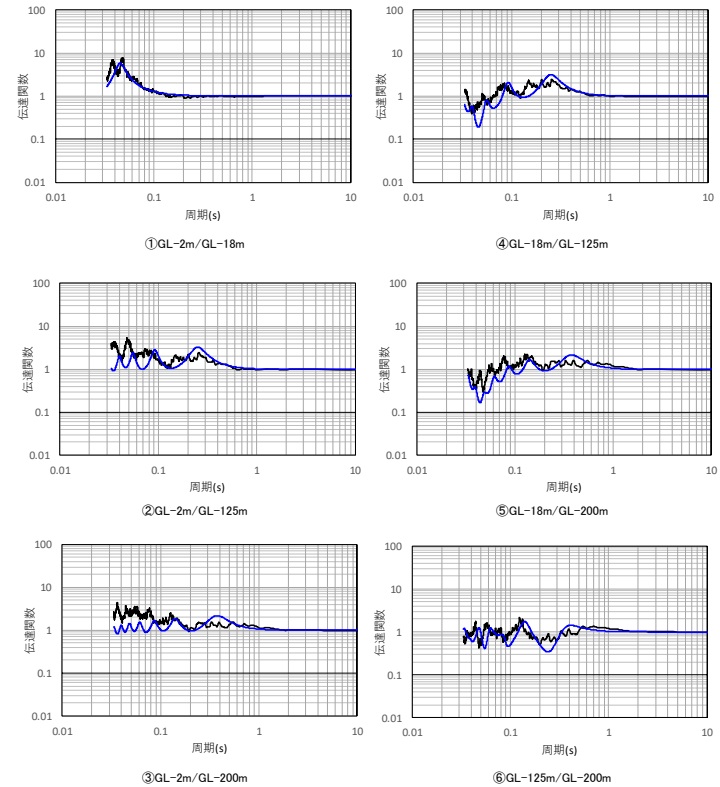
— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 — 周波数依存型（リニア型）

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 6.3.6.1-3 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）

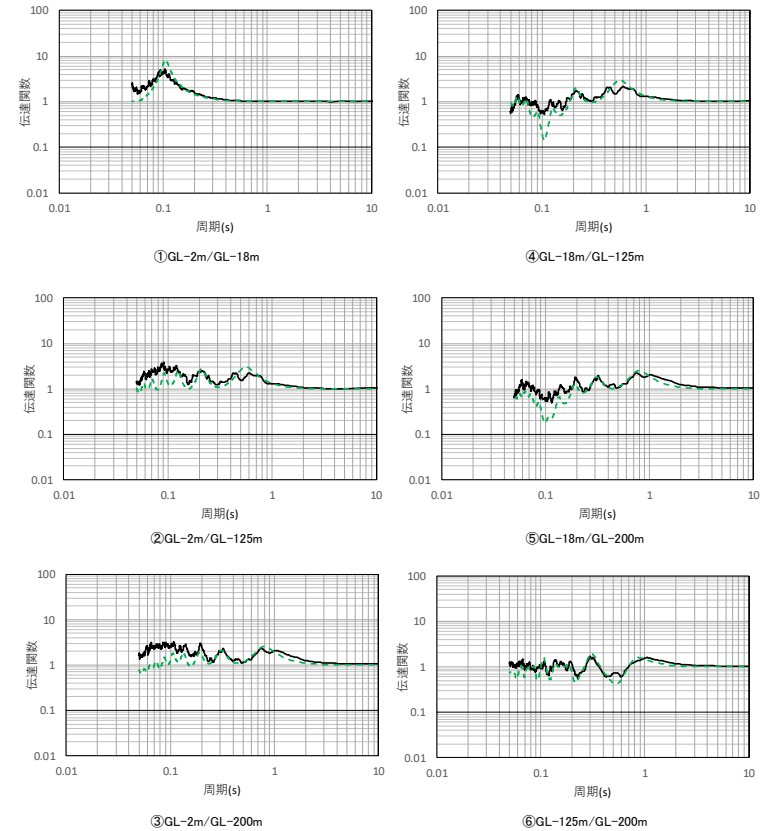
深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h*1		
					分類	h ₀	n
GL.0m	1	2	1.94	470	表層 1	0.3	0.9
-2.0	2	1.5					
-3.5	3	1.5	1.64	560	表層 2	0.5	0.8
-5.0	4	13					
-18.0	5	2	1.75	760	岩盤	0.4	1.0
-20.0	6	40					
-60.0	7	60					
-120.0	8	5	1.85	950	基盤	0.3	0.9
-125.0	9	75					
-200.0	10	—					

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 6.3.6.1-4 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)

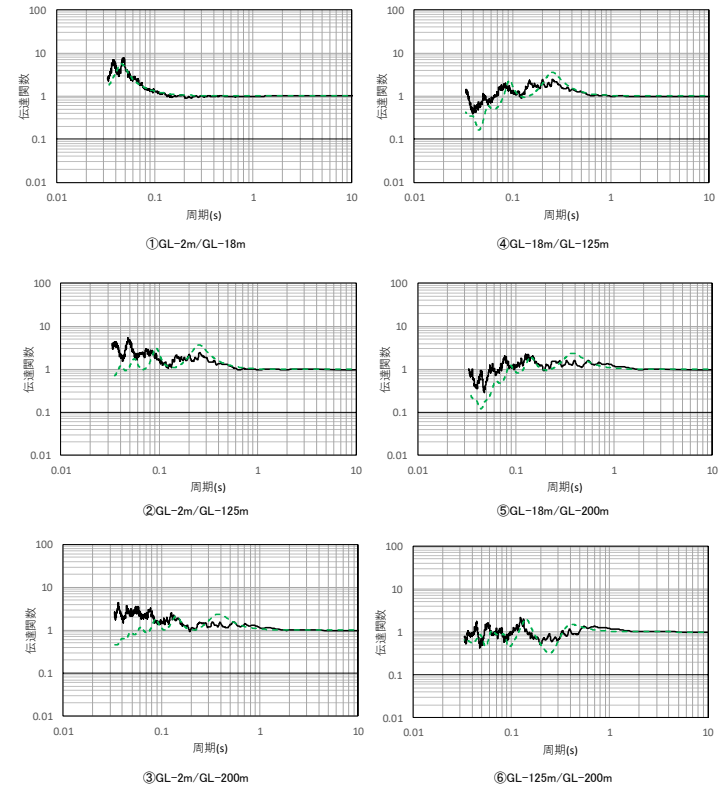
深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	P波速度 Vp(m/s)	減衰定数 h^{*1}		
					分類	h ₀	n
GL.0m	1	2	1.94	1410	表層 1	0.5	0.9
-2.0	2	1.5				0.7	0.8
-3.5	3	1.5	1.64	1640	表層 2	0.7	0.8
-5.0	4	13				0.7	0.8
-18.0	5	2	1.75	1780	岩盤	0.7	1.0
-20.0	6	40					
-60.0	7	60	1.85	1860	岩盤	0.7	1.0
-120.0	8	5					
-125.0	9	75	1.85	1920	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。

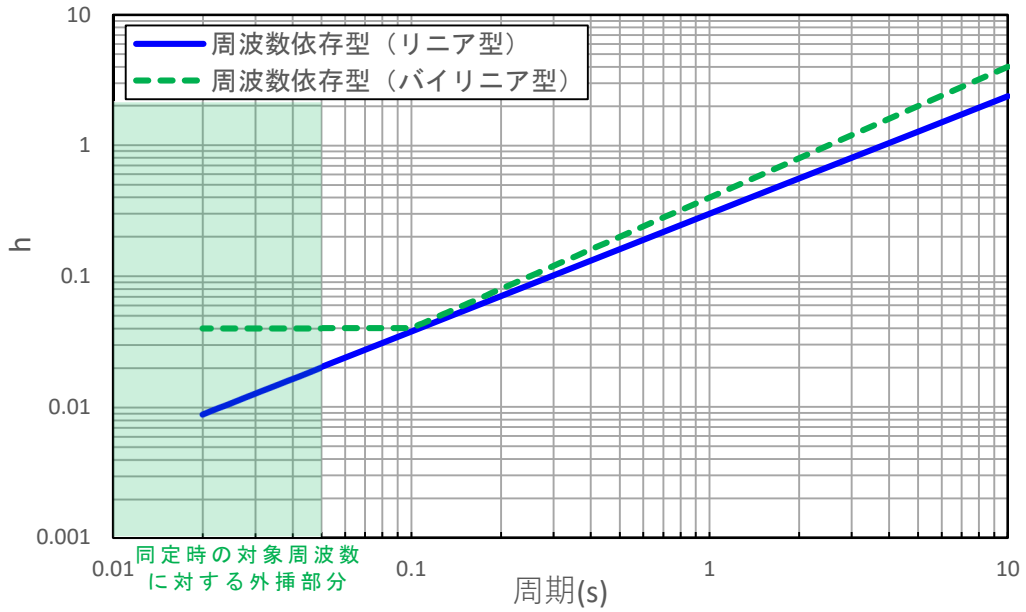
—— 目的関数 (観測記録の伝達関数を平均して作成)
- - - 周波数依存型 (バイリニア型)



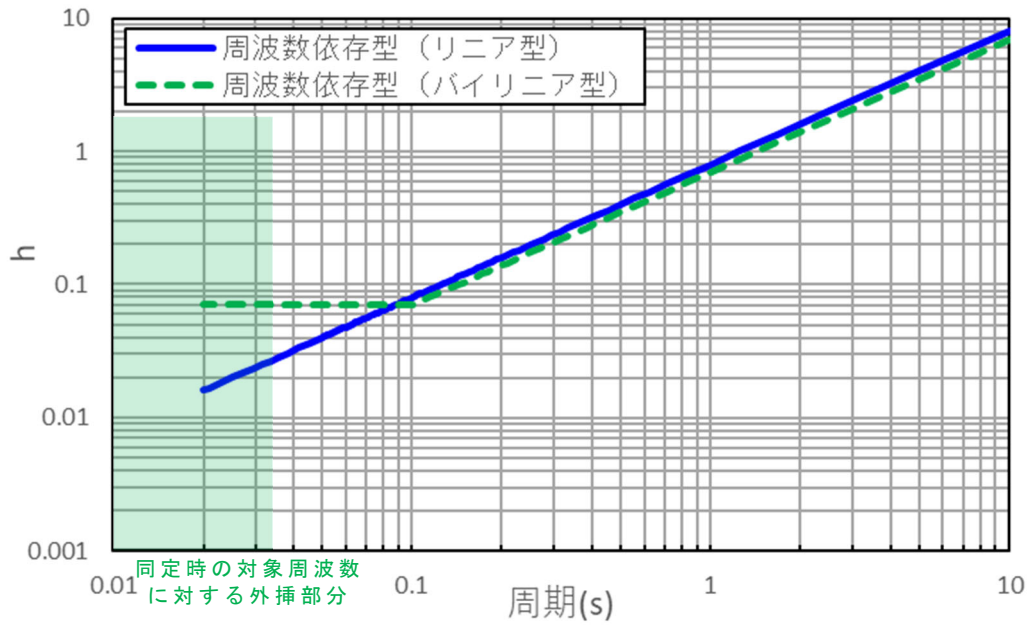
(a) 同定された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

第 6.3.6.1-5 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)

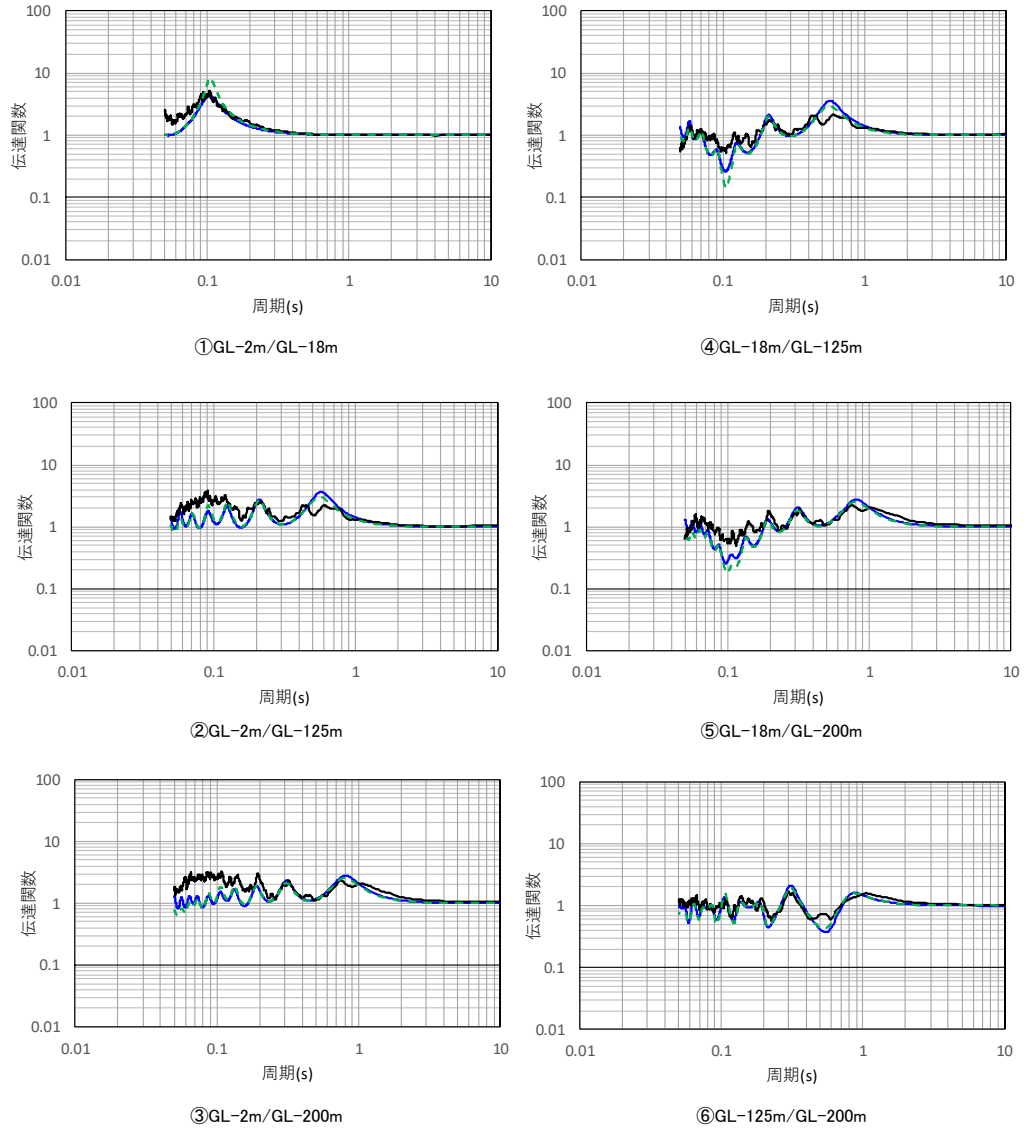


第 6.3.6.1-6 図 振動数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(中央地盤観測点, 水平)



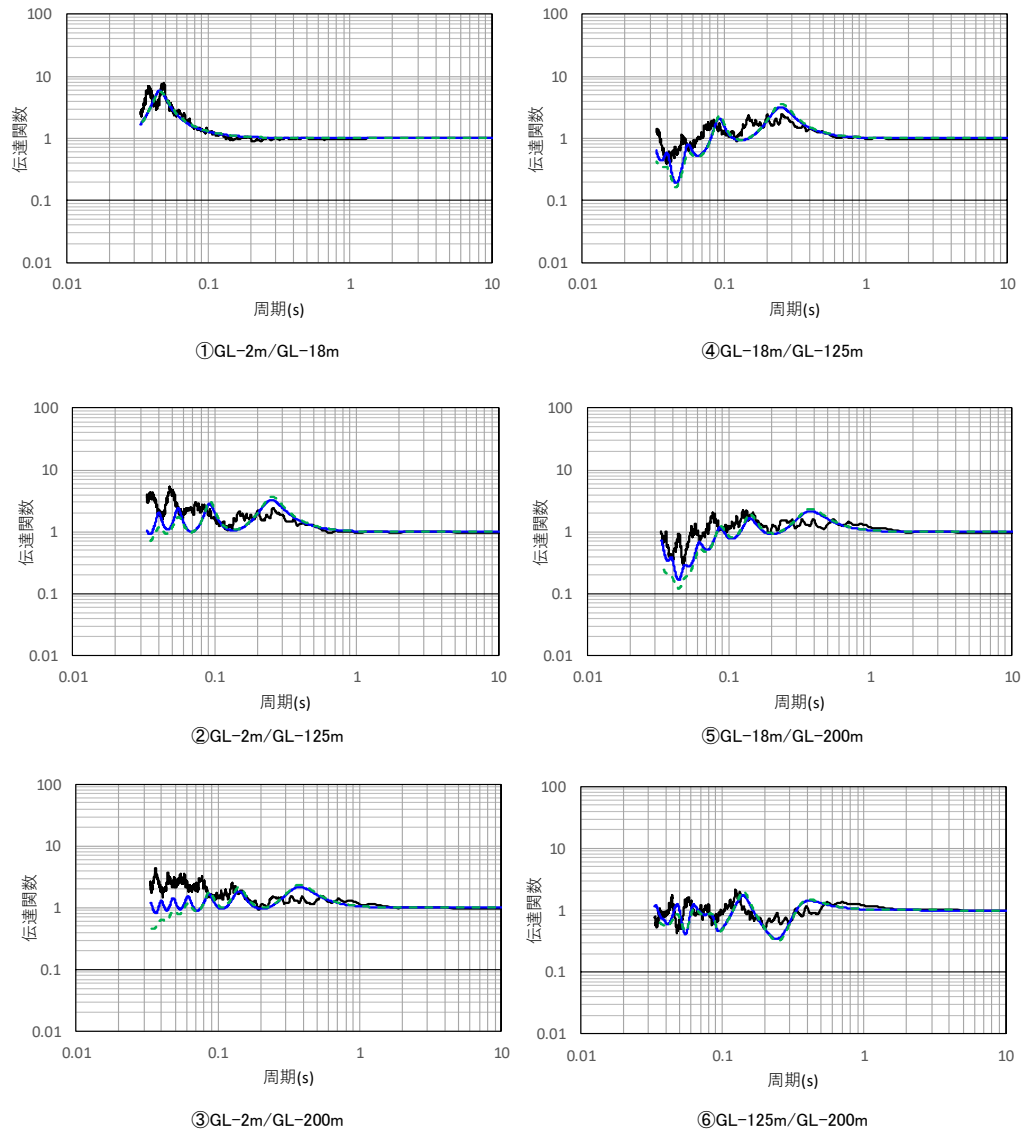
第 6.3.6.1-7 図 振動数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(中央地盤観測点, 鉛直)

- 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 6.3.6.1-8 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 6.3.6.1-9 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

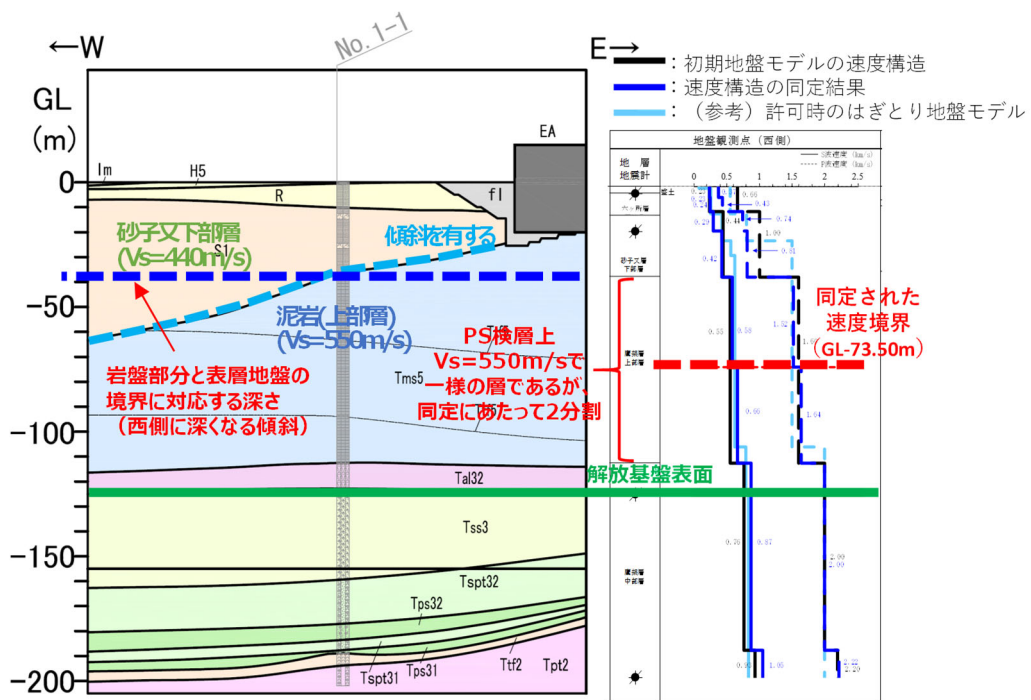
西側地盤における伝達関数による地盤物性及び減衰定数の同定結果について以下に示す。

- ・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6.3.6.1-10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6.3.6.1-2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6.3.6.1-11図及び第6.3.6.1-13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や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6.3.6.1-12図及び第6.3.6.1-14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6.3.6.1-16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 6.3.6.1-15 図及び第 6.3.6.1-16 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 6.3.6.1-17 図及び第 6.3.6.1-18 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。
- ・「6.3.2 初期モデルの設定及び探索範囲」に示したとおり、西側地盤については、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 初期モデルにおいて地震観測位置近傍の地下構造を考慮しない場合と考慮した場合の同定結果比較」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 6.3.6.1-10 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 6.3.6.1-2 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

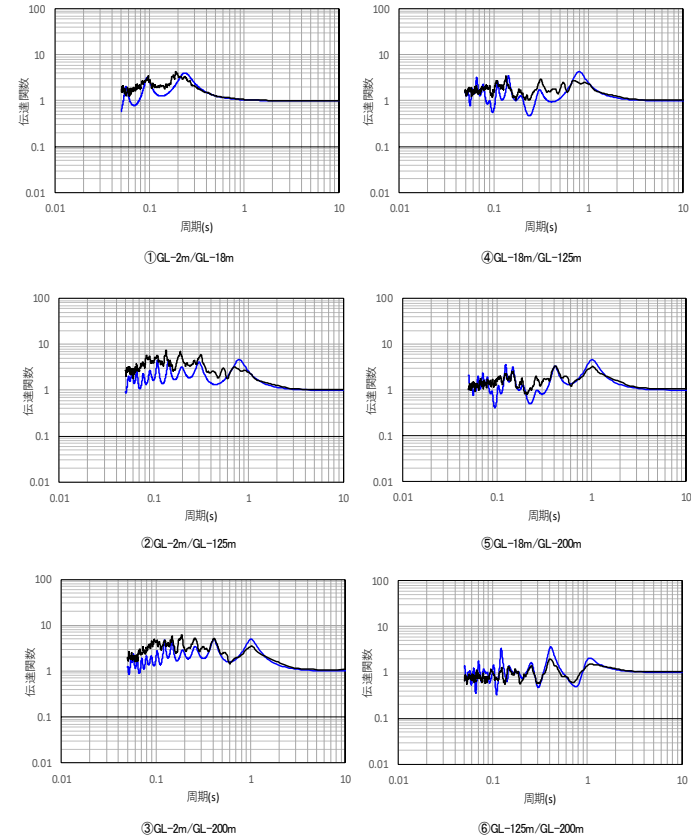
—— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 —— 周波数依存型（リニア型）

深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	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	0.2	0.8
-2.00	2	2.34				0.1	0.9
-4.34	3	5.76		0.8		0.7	
-10.10	4	7.9	2.02	290	表層 2	0.1	0.9
-18.00	5	18.82				0.2	1.0
-36.82	6	36.68	1.59	580		岩盤	0.2
-73.5	7	39.1			660		
-112.60	8	12.40	1.75	870	基盤		
-125.00	9	63.87					
-188.87	10	11.13	1.57	1050			
-200.00	11	—					

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

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

(b) 伝達関数適合状況

第 6.3.6.1-11 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）

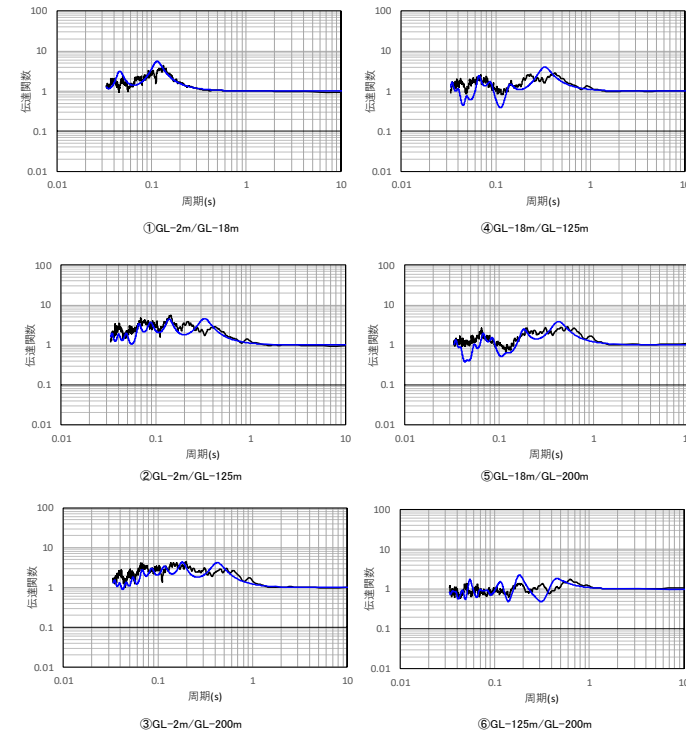
深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	P波速度 Vp(m/s)	減衰定数 h^{*1}		
					分類	h ₀	n
GL 0m	1	2	1.73	370	表層 1	0.2	0.6
-2.00	2	2.34				0.3	0.7
-4.34	3	5.76		0.9		0.6	
-10.10	4	7.9	2.02	810	表層 2	0.2	0.8
-18.00	5	18.82				0.4	0.7
-36.82	6	36.68	1.59	1640	岩盤	0.4	0.7
-73.5	7	39.1					
-112.60	8	12.40	1.75	2000	基盤	0.3	0.7
-125.00	9	63.87					
-188.87	10	11.13	1.57	2220	基盤	0.3	0.7
-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. -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。

— 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 6.3.6.1-12 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	—					

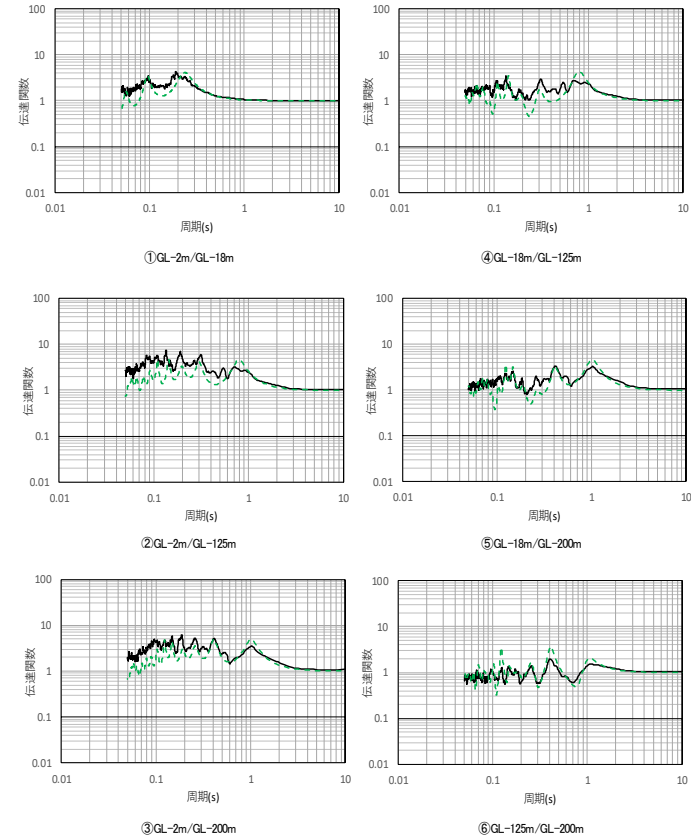
解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

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 6.3.6.1-13 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				430	0.3
-4.34	3	5.76		740			0.9
-10.10	4	7.9	2.02		810	表層 2	0.3
-18.00	5	18.82		1520			岩盤
-36.82	6	36.68	1640		基盤		
-73.5	7	39.1		1.59		2000	
-112.60	8	12.40	1.75				2220
-125.00	9	63.87		1.57	-		
-188.87	10	11.13	-			-	
-200.00	11	-					

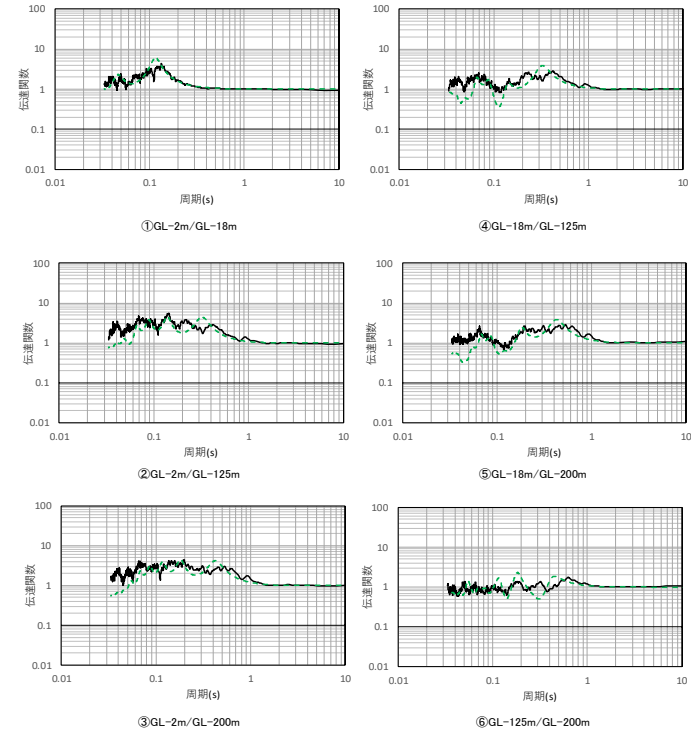
解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

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、 $h_0=0.48$, $n=0.89$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

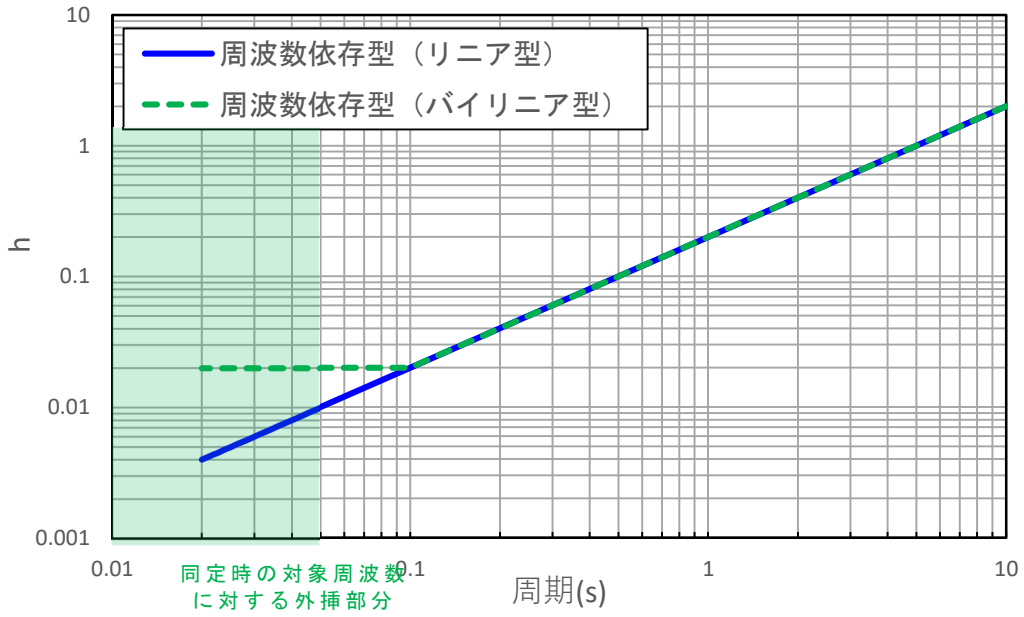
(a) 同定された物性値及び減衰定数

—— 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)

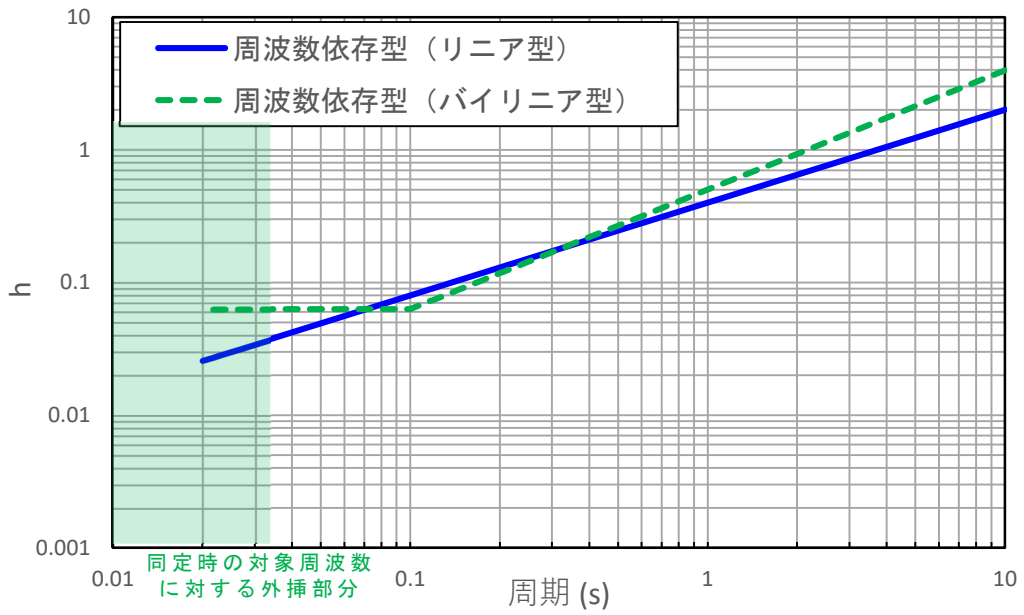


(b) 伝達関数適合状況

第 6.3.6.1-14 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)

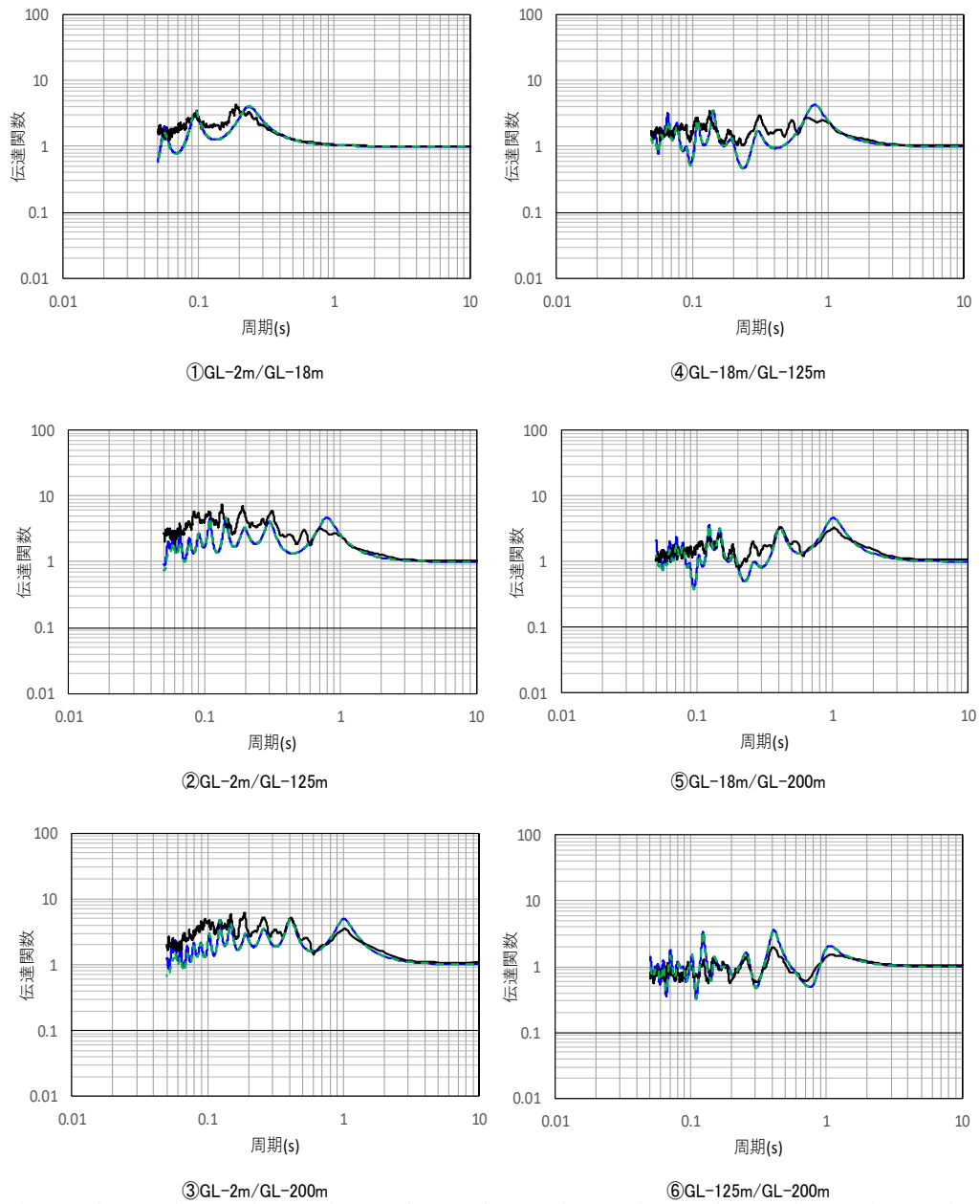


第 6.3.6.1-15 図 振動数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(西側地盤観測点, 水平)



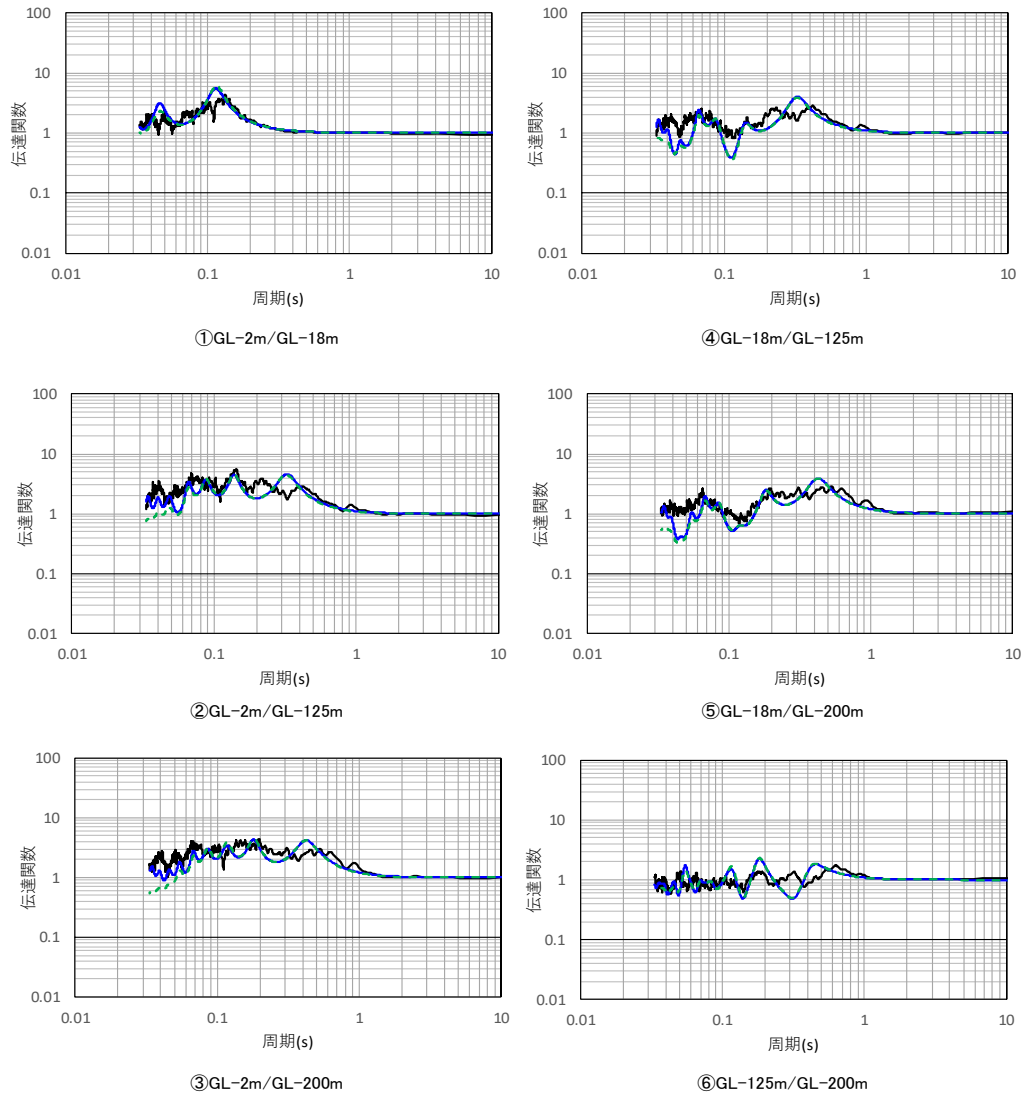
第 6.3.6.1-16 図 振動数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(西側地盤観測点, 鉛直)

- 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 6.3.6.1-17 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 6.3.6.1-18 図 伝達関数の比較結果（西側地盤観測点，鉛直）

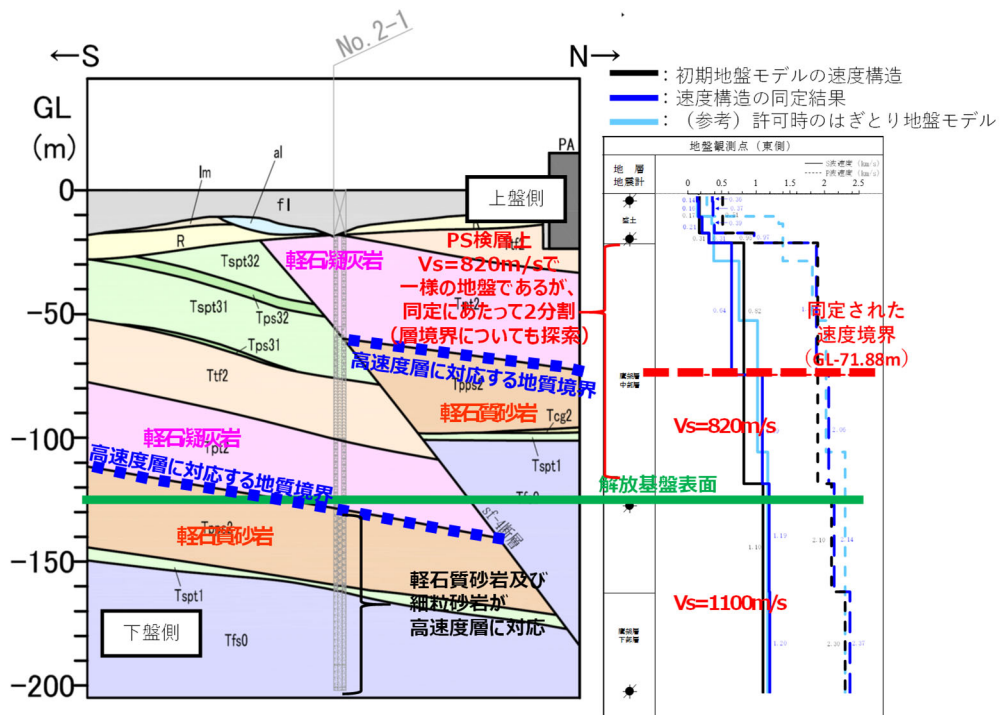
(3) 東側地盤観測点

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6.3.6.1-19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6.3.6.1-3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6.3.6.1-20図及び第6.3.6.1-22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・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6.3.6.1-21図及び第6.3.6.1-23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6.3.6.1-25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 6.3.6.1-24 図及び第 6.3.6.1-25 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 6.3.6.1-26 図及び第 6.3.6.1-27 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。
- ・「6.3.2 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 初期モデルにおいて地震観測位置近傍の地下構造を考慮しない場合と考慮した場合の同定結果比較」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 6.3.6.1-19 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 6.3.6.1-3 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

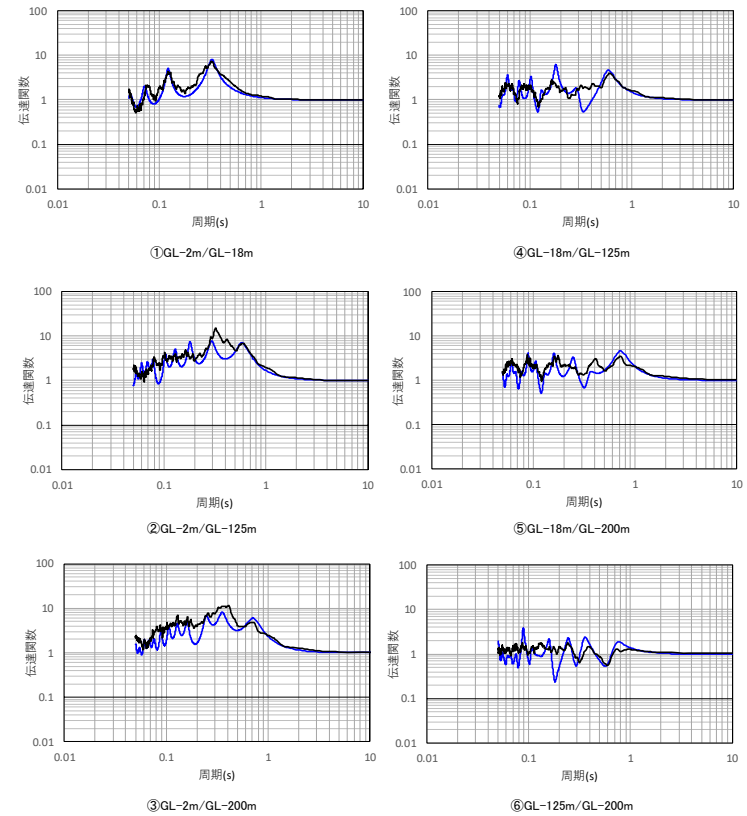
深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h^{*1}		
					分類	h_0	n
0	1	2	1.69	140	表層 1	0.8	0.3
-2.00	2	6.33		160		0.2	0.9
-8.33	3	6.4		210			
-14.73	4	3.27	1.72	310	表層 2	0.3	0.8
-18.00	5	0.68					
-18.68	6	53.2	1.59	640	岩盤	0.2	1.0
-71.88	7	43.85		1090			
-115.73	8	9.27	1.82	1190	基盤	0.2	0.9
-125.00	9	34.31					
-159.31	10	40.69	1.90	1200	基盤	0.2	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 $h=ho \cdot f^{-n}$

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 6.3.6.1-20 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)

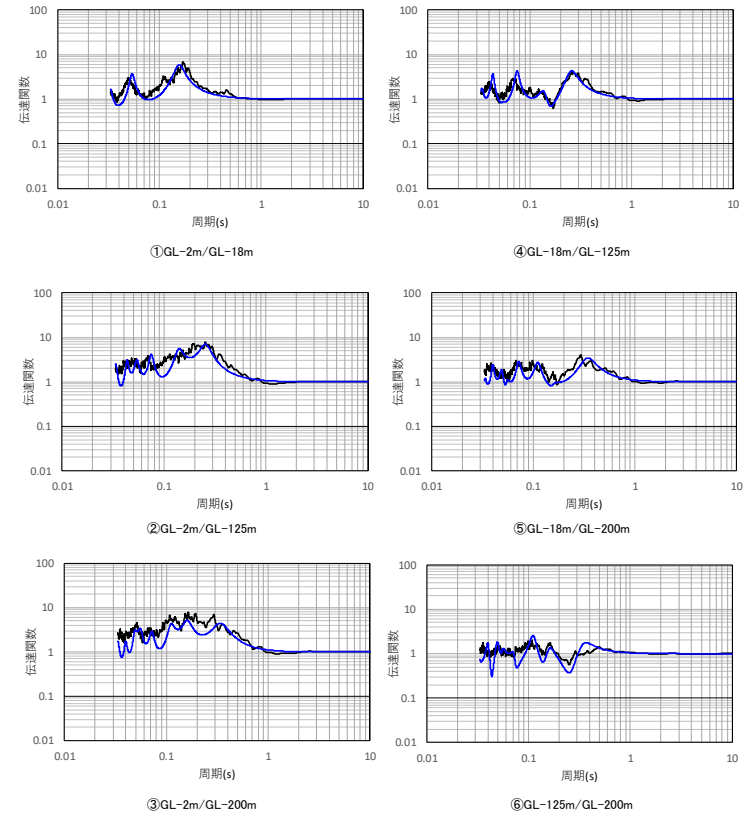
深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	P波速度 Vp(m/s)	減衰定数 h^{*1}		
					分類	h ₀	n
0	1	2	1.69	360	表層 1	0.4	0.7
-2.00	2	6.33		370			
-8.33	3	6.4		390			
-14.73	4	3.27	1.72	970	表層 2	0.4	0.8
-18.00	5	0.68					
-18.68	6	53.2	1.59	1880	岩盤	0.4	0.9
-71.88	7	43.85		2060			
-115.73	8	9.27	1.82	2140	基盤	0.5	0.8
-125.00	9	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 6.3.6.1-21 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	
-8.33	3	6.4		210	表層 2	0.3	0.9
-14.73	4	3.27	310	0.68			
-18.00	5	0.68		640	岩盤	0.2	1.0
-18.68	6	53.2	1090				
-71.88	7	43.85		1190	基盤	0.2	1.0
-115.73	8	9.27	1200				
-125.00	9	34.31		—			
-159.31	10	40.69	—				
-200.00	11	—		—			

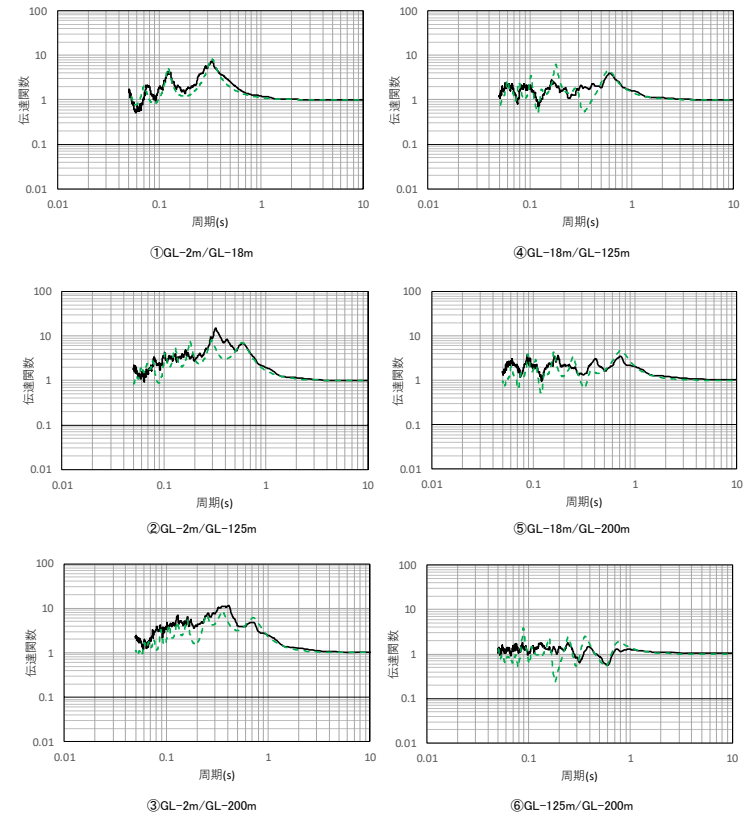
解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

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、 $h_0 = 0.20$, $n = 1.00$ 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 6.3.6.1-22 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)

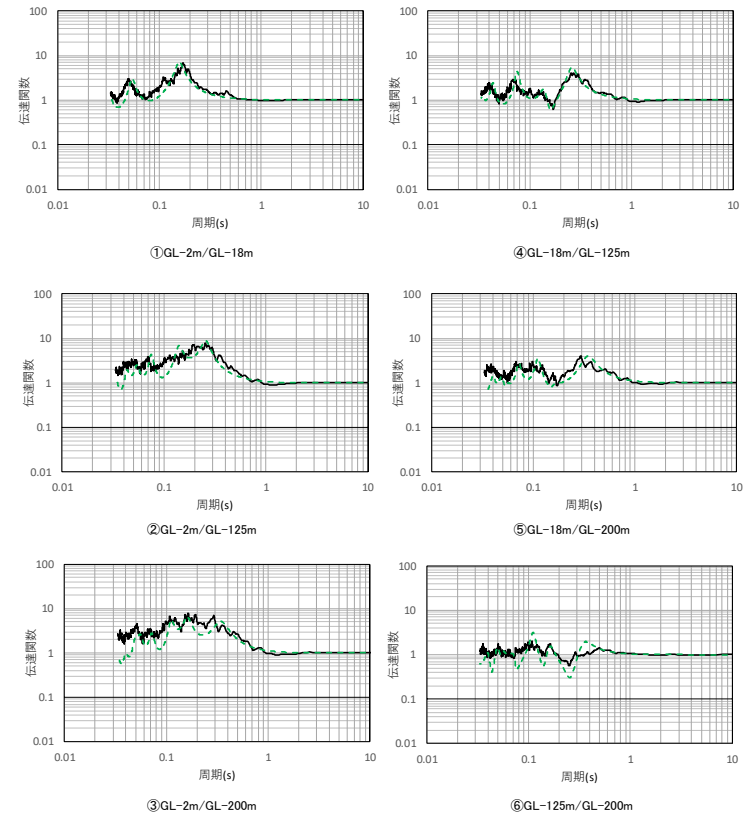
深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	P波速度 Vp(m/s)	減衰定数 h^{*1}		
					分類	h ₀	n
0	1	2	1.69	360	表層 1	0.4	0.8
-2.00	2	6.33		370			
-8.33	3	6.4		390			
-14.73	4	3.27	1.72	970	表層 2	0.3	0.8
-18.00	5	0.68					
-18.68	6	53.2	1.59	1880	岩盤	0.3	0.9
-71.88	7	43.85		2060			
-115.73	8	9.27	1.82	2140	基盤	0.5	0.9
-125.00	9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

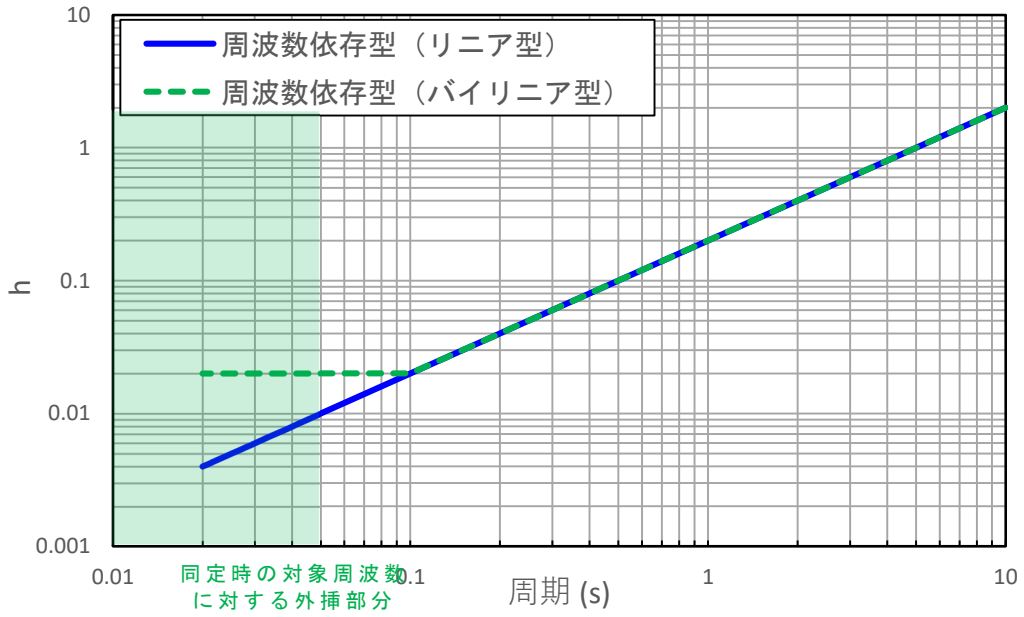
—— 目的関数 (観測記録の伝達関数を平均して作成)
- - - 周波数依存型 (バイリニア型)



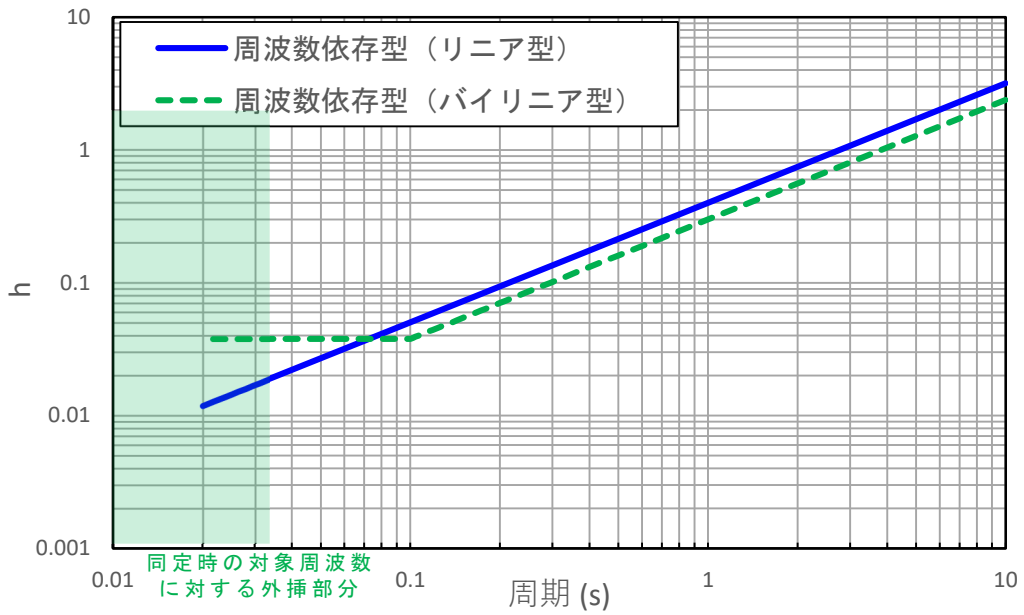
(a) 同定された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

第 6.3.6.1-23 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)

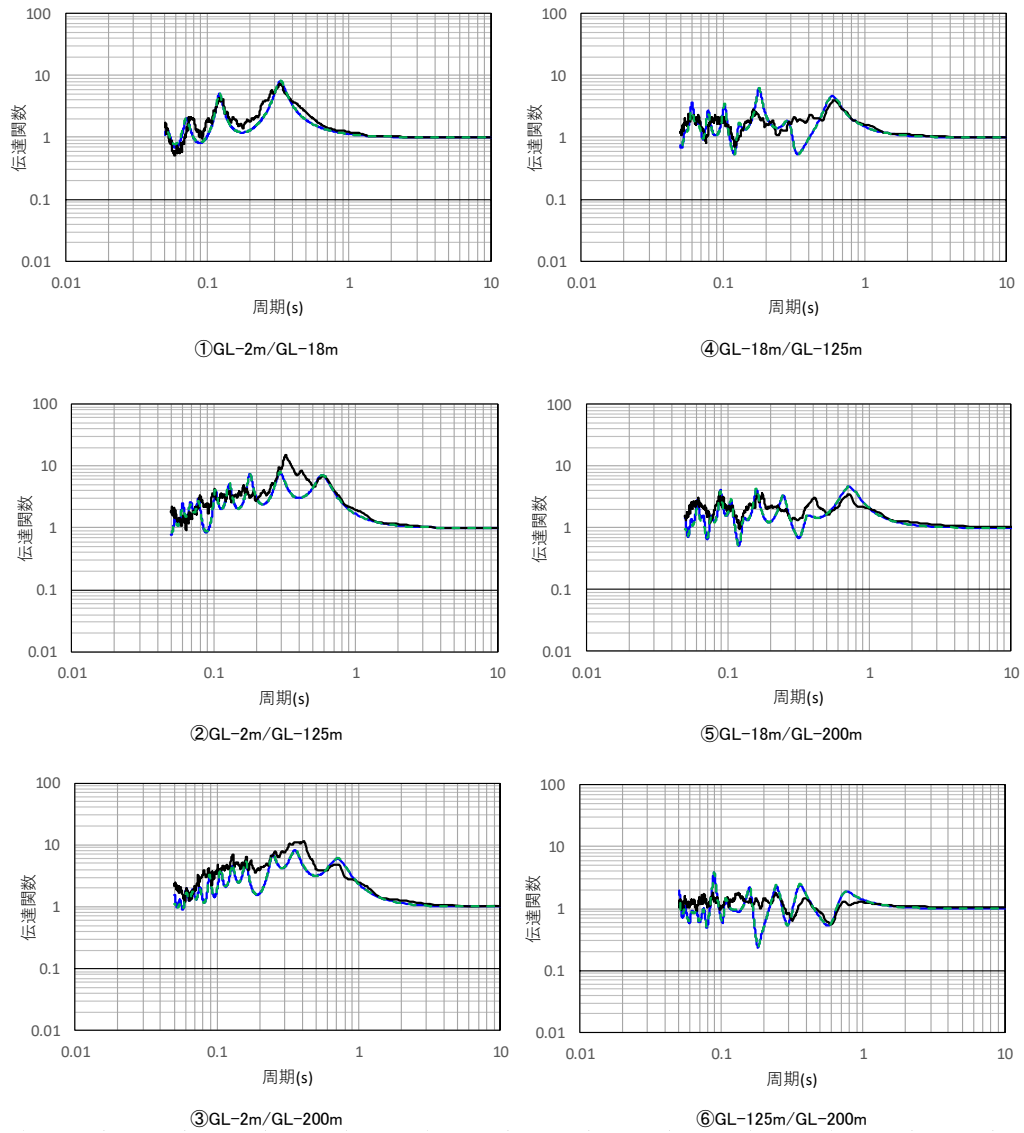


第 6.3.6.1-24 図 振動数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(東側地盤観測点, 水平)



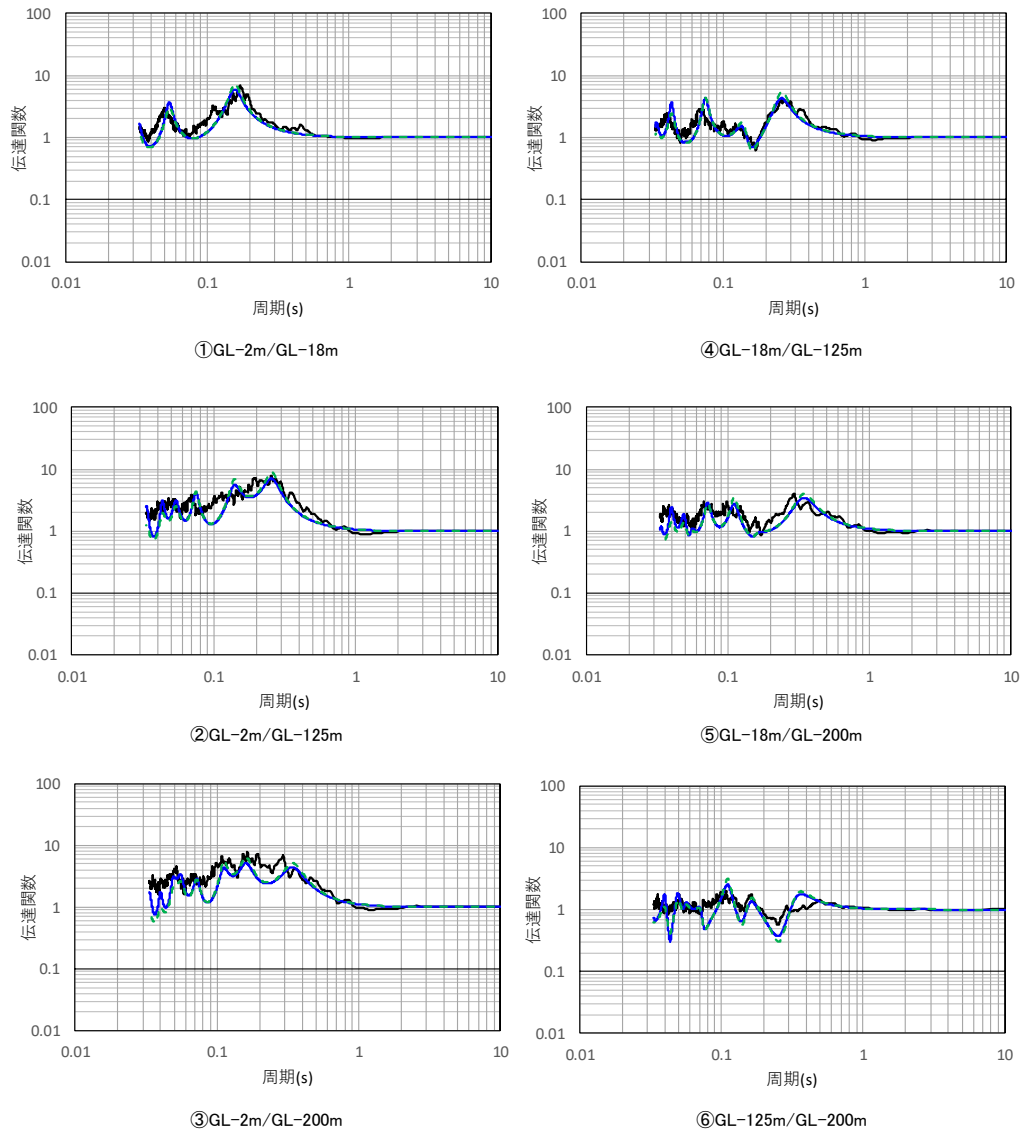
第 6.3.6.1-25 図 振動数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(東側地盤観測点, 鉛直)

- 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 6.3.6.1-26 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 6.3.6.1-27 図 伝達関数の比較結果（東側地盤観測点，鉛直）

6.3.6.2 応答スペクトルによる評価結果（振動数依存性あり）

「6.3.6.1 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」に示した評価結果においては、伝達関数における各ピークの振幅比について、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用いる地震は、第 6.3.1-1 表～第 6.3.1-3 表に示す評価に用いたすべての地震について、地震観測記録の NS 成分、EW 成分及び UD 成分を対象とした。

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

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

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

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

録（地中波）との比較を行うことで実施した。地震応答解析は線形解析（周波数応答解析）として実施した。また、「6.3.5 評価方法及び条件」に示した同定解析上対象とする振動数よりも広い範囲（水平方向：20Hz よりも高振動数側（0.05 秒よりも短周期側），鉛直方向：30Hz よりも高振動数側（0.033 秒よりも短周期側））についても，評価された減衰定数の振動数特性が同様の傾向を示すと仮定し，当該範囲の減衰定数については外挿とする条件とした。

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。

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

ここで，

h ：減衰定数

i ：虚数単位

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

シミュレーション解析に用いる地盤モデルは、「6.3.2 初期モデルの設定及び探索範囲」に示した各地震観測位置における初期モデルに対して第 6.3.6.1-2 図～第 6.3.6.1-5 図，第 6.3.6.1-11 図～第 6.3.6.1-14 図，第 6.3.6.1-20 図～第 6.3.6.1-23 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 6.3.6.2-1 図に示す。

シミュレーション解析の結果、中央地盤については、すべての地震の水平方向、鉛直方向ともに、応答スペクトルに見られるピーク周期は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。

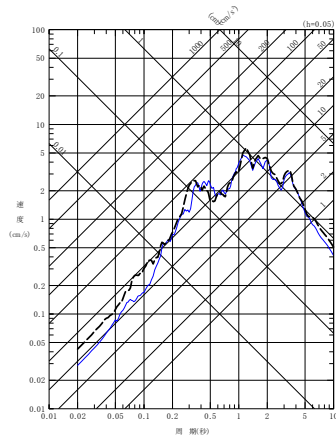
リニア型及びバイリニア型の比較については、「6.3.6.1 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」において、減衰定数の設定が異なる 10Hz よりも高振動数帯の領域において、減衰定数の評価結果に差を有するよう評価されている。なお、同定結果における伝達関数に差は見られない。

このことから、応答スペクトルによる評価にあたっては、高振動数帯における感度を重点的に確認する観点で、代表として、「6.3.1 評価に用いる地震観測記録」に示した各地震観測地点における地震観測記録のうち、各地点共通に大きな加速度が得られており、高振動数帯の地震動の成分を十分に含んでいると考えられる 3 地震（2008 年 7 月 24 日 00 時 26 分の地震、2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分の地震及び 2011 年 3 月 11 日 15 時 08 分の地震）に対し、バイリニア型を仮定した同定結果を用いてシミュレーション解析を実施し、その結果について、第 6.3.6.2-1 図の(6)～(8)に緑破線にてリニア型の結果と重ね書きを行った。第 6.3.6.1-8 図及び第 6.3.6.1-9 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

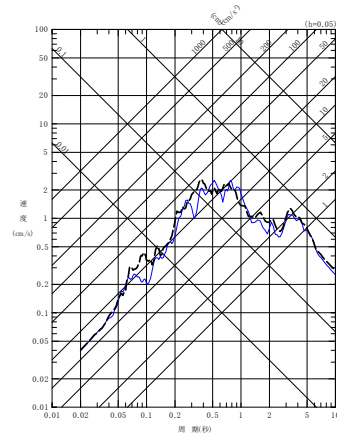
イリニア型における短周期側の減衰定数の設定の差はシミュレーション解析結果に影響を与えないことを確認した。

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

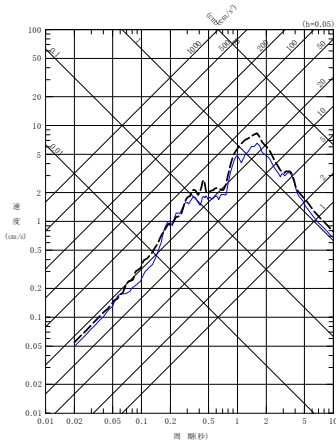
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



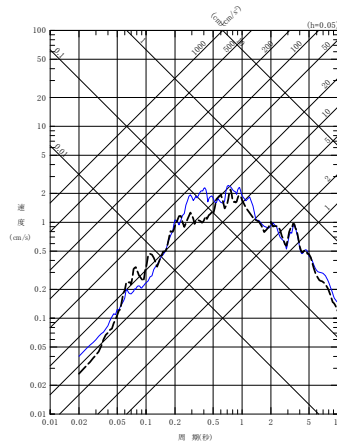
(a) NS 方向



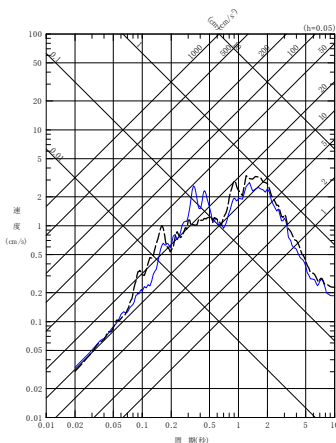
(a) NS 方向



(b) EW 方向

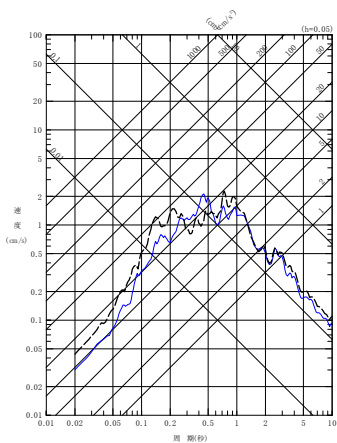


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200112022201 地震

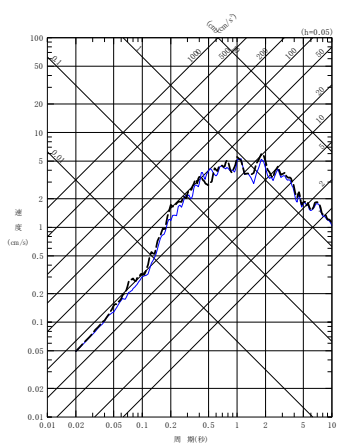


(c) UD 方向

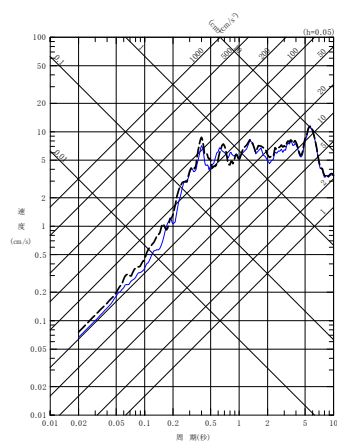
(2) 200210142312 地震

第 6.3.6.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果
 中央地盤観測点 (1/7)

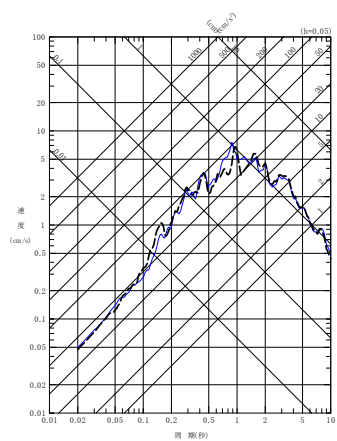
----- 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ———— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



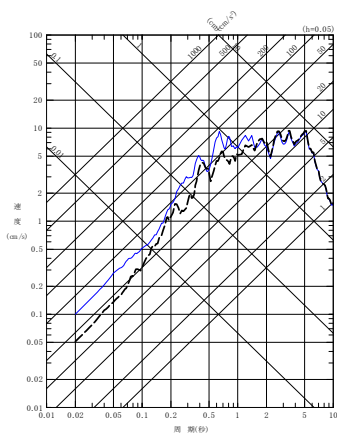
(a) NS 方向



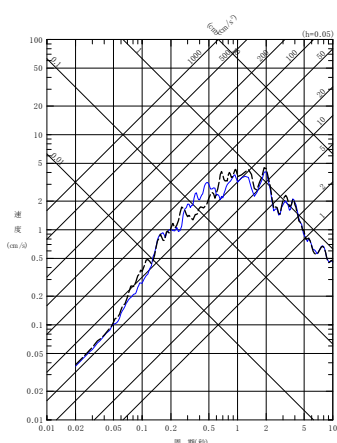
(a) NS 方向



(b) EW 方向

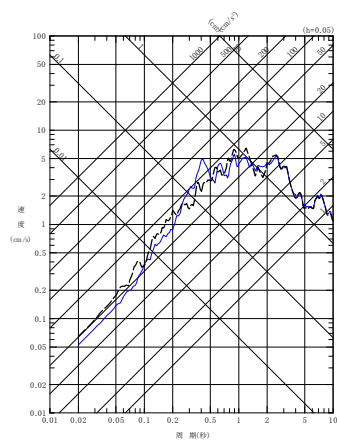


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 200305261824 地震

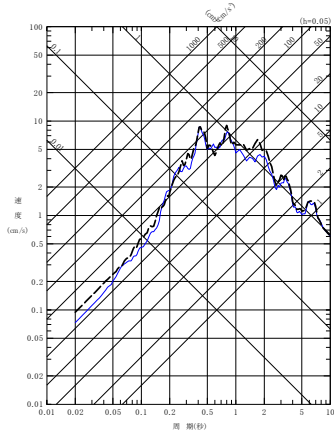


(c) UD 方向

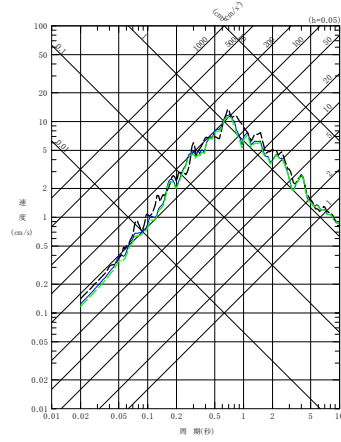
(4) 200309260450 地震

第 6.3.6.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果
 中央地盤観測点 (2/7)

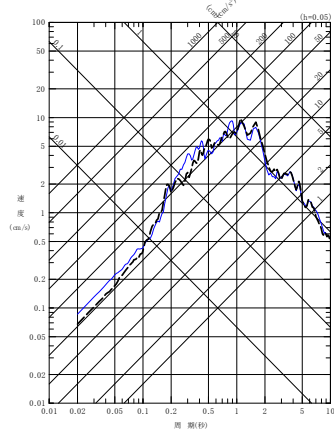
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



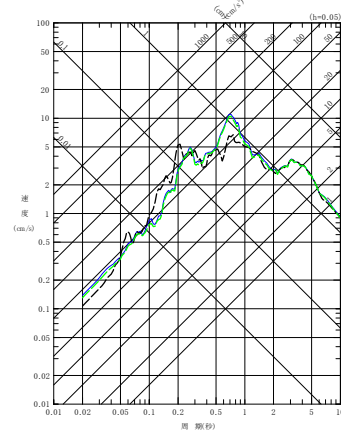
(a) NS 方向



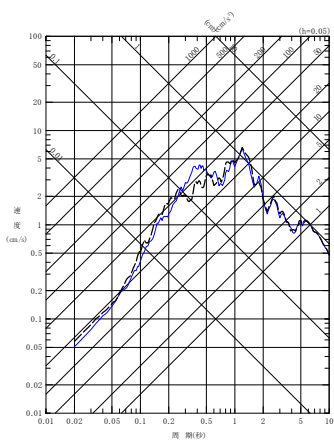
(a) NS 方向



(b) EW 方向

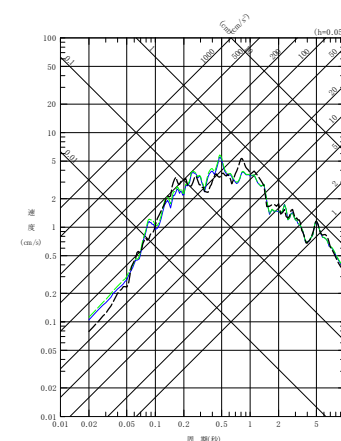


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 200309260608 地震



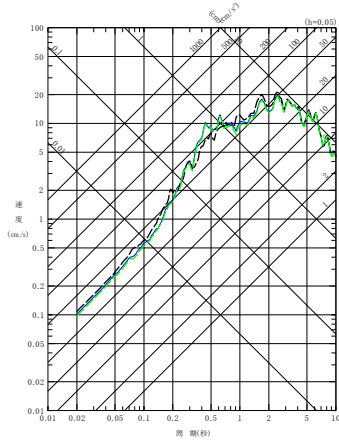
(c) UD 方向

(6) 200807240026 地震

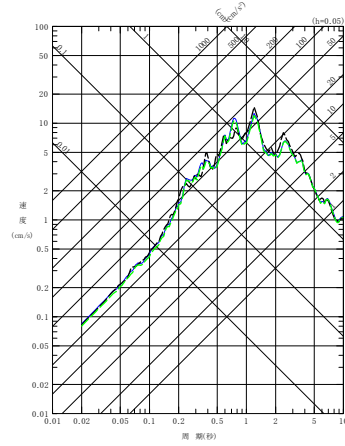
第 6.3.6.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (3/7)

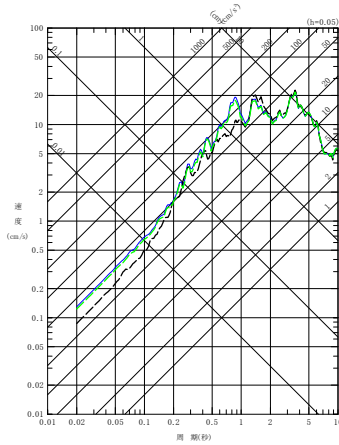
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



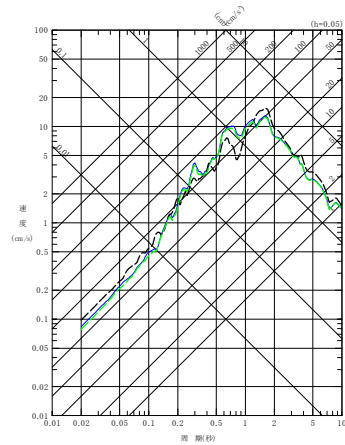
(a) NS 方向



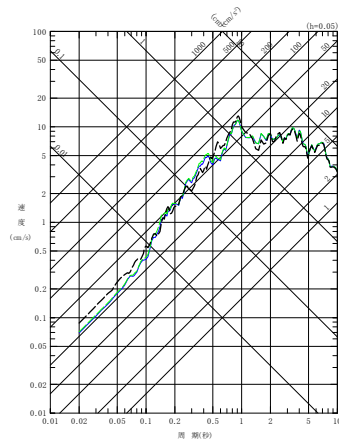
(a) NS 方向



(b) EW 方向

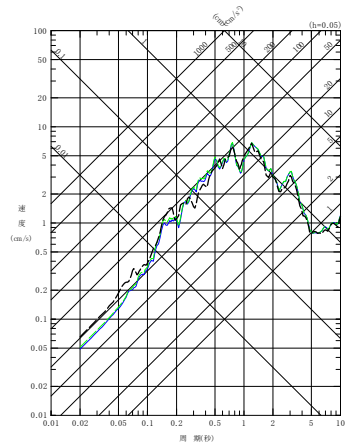


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201103111446 地震



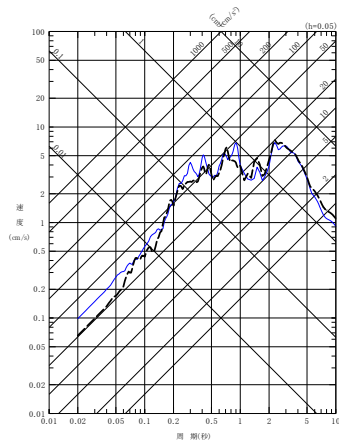
(c) UD 方向

(8) 201103111508 地震

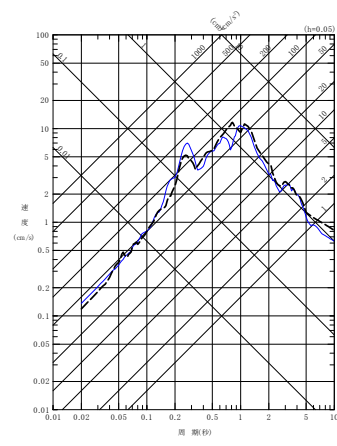
第 6.3.6.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (4/7)

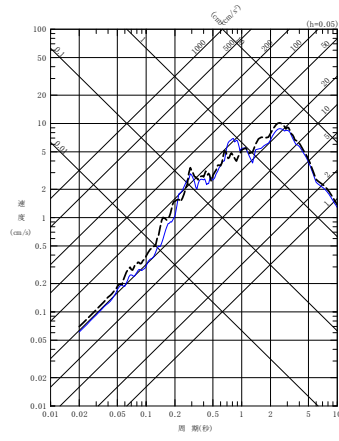
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



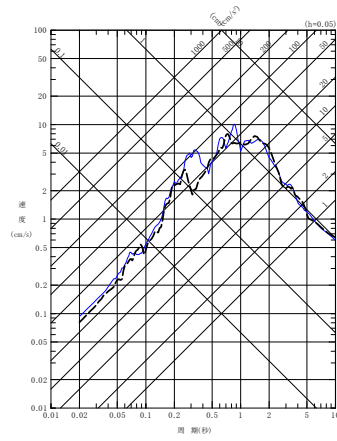
(a) NS 方向



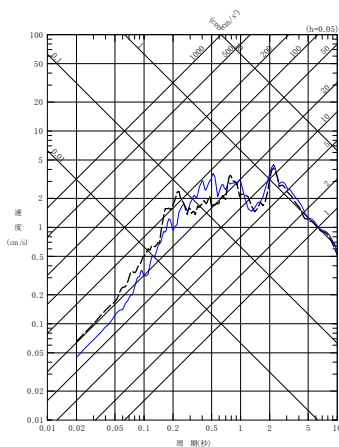
(a) NS 方向



(b) EW 方向

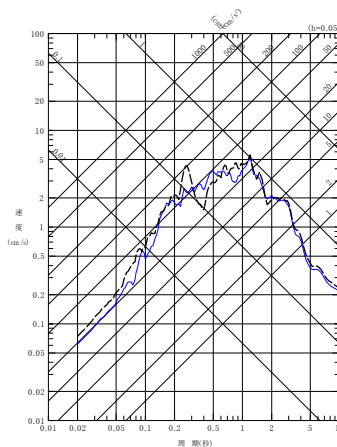


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201106230650 地震



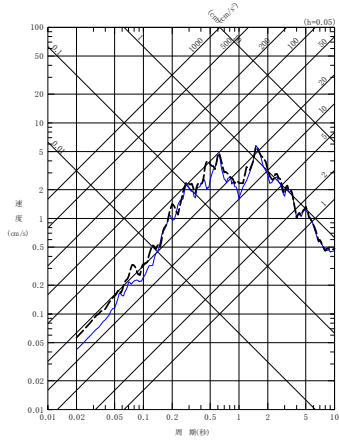
(c) UD 方向

(10) 201205240002 地震

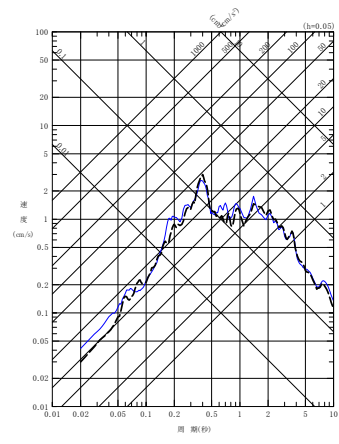
第 6.3.6.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (5/7)

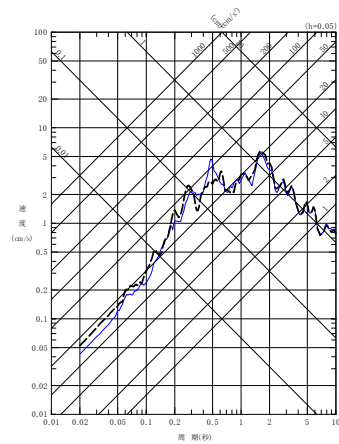
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



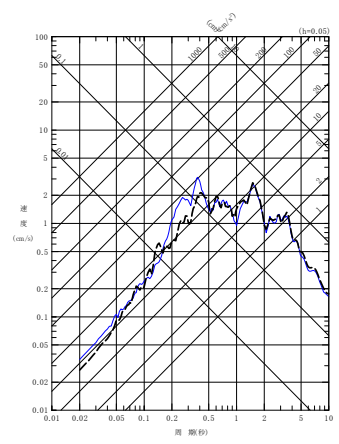
(a) NS 方向



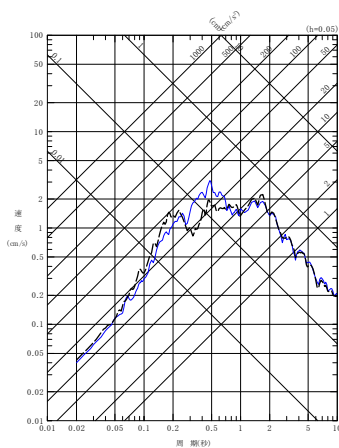
(a) NS 方向



(b) EW 方向

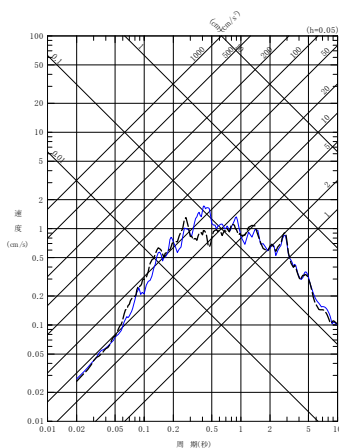


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 201212071718 地震



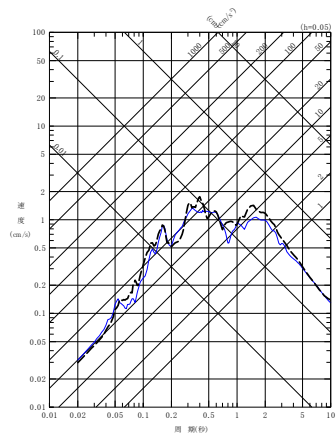
(c) UD 方向

(12) 201302022317 地震

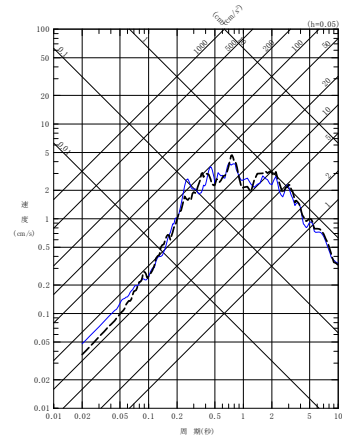
第 6.3.6.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (6/7)

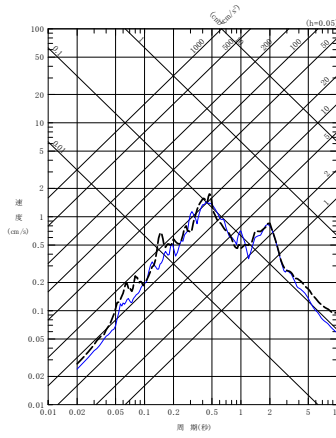
- - - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ———— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



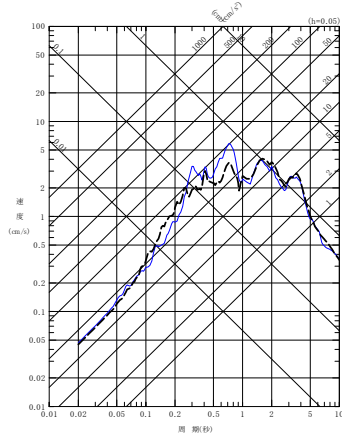
(a) NS 方向



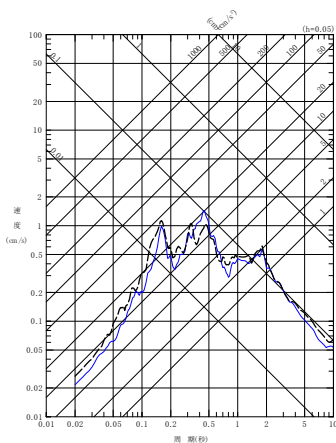
(a) NS 方向



(b) EW 方向

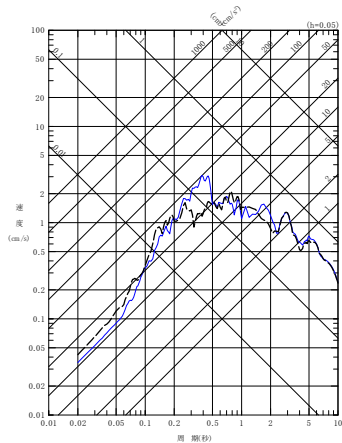


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(13) 201507100332 地震



(c) UD 方向

(14) 201601141225 地震

第 6.3.6.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (7/7)

(2) 西側地盤観測点

西側地盤観測点におけるシミュレーション解析の結果を第 6.3.6.2-2 図に示す。

シミュレーション解析の結果、西側地盤については、すべての地震の水平方向、鉛直方向ともに、応答スペクトルに見られるピーク周期は整合しており、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 6.3.6.1-11 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、「6.3.6.1 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」において、減衰定数の設定が異なる 10Hz よりも高振動数帯の領域において、減衰定数の評価結果に差を有するよう評価されている。なお、同定結果における伝達関数に差は見られない。

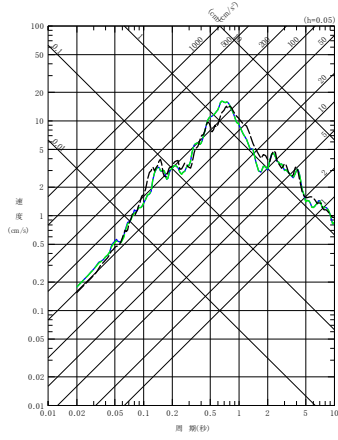
このことから、応答スペクトルによる評価にあたっては、高振動数帯における感度を重点的に確認する観点で、代表として、「6.3.1 評価に用いる地震観測記録」に示した各地震観測地点における地震観測記録のうち、各地点共通に大きな加速度が得られており、高振動数帯の地震動の成分を十分に含んでいると考えられる 3 地震（2008 年 7 月 24 日 00 時 26 分の地震、2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分の地震及び 2011 年 3 月 11 日 15 時 08 分の地震）に対し、バイリニア型を仮定した同定結果を用いてシミュレーション解析を実施し、その結果について、第 6.3.6.2-2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

～(3)に緑破線にてリニア型の結果と重ね書きを行った。

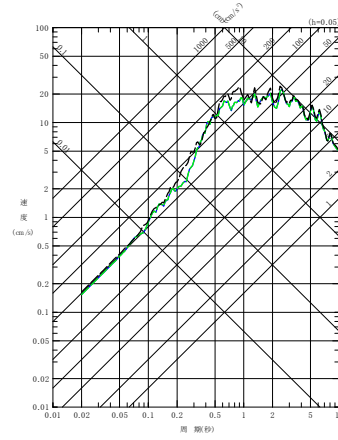
第 6.3.6.1-17 図及び第 6.3.6.1-18 図に示した伝達係数の傾向と同様に、リニア型の同定結果を用いたシミュレーション結果に対してシミュレーション解析結果の応答スペクトルに有意な差は無いことを確認しており、リニア型とバイリニア型における短周期側の減衰定数の設定の差はシミュレーション解析結果に影響を与えないことを確認した。

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

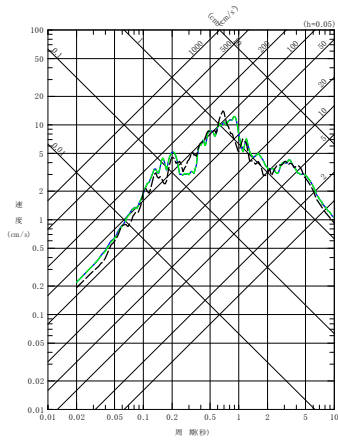
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



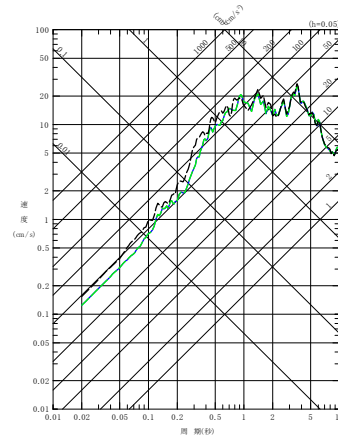
(a) NS 方向



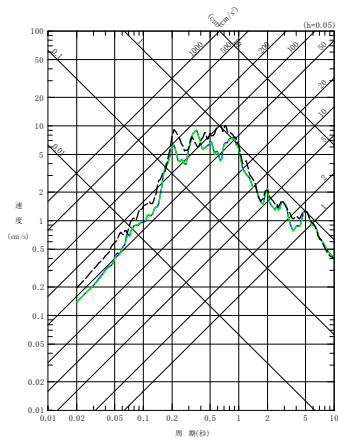
(a) NS 方向



(b) EW 方向

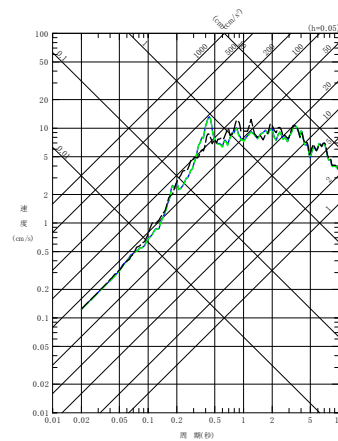


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200807240026 地震



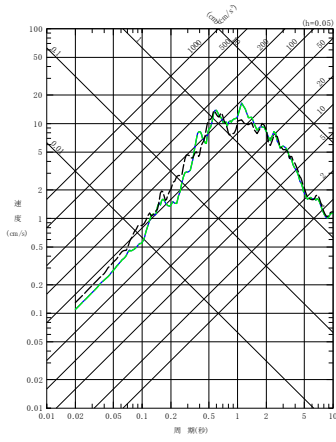
(c) UD 方向

(2) 201103111446 地震

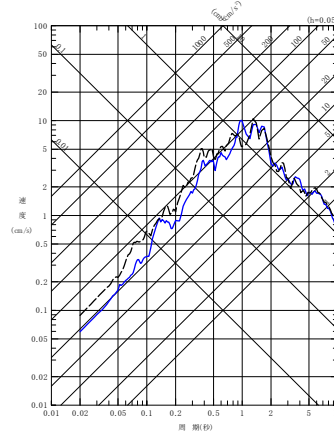
第 6.3.6.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (1/6)

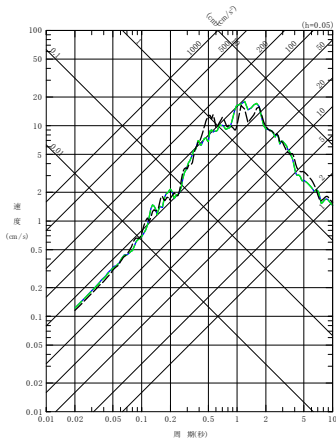
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



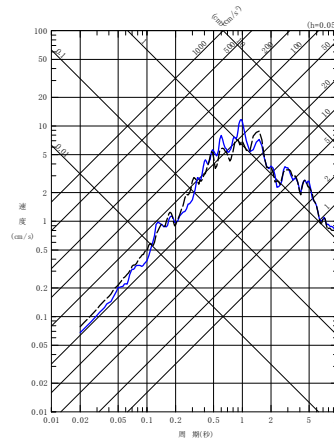
(a) NS 方向



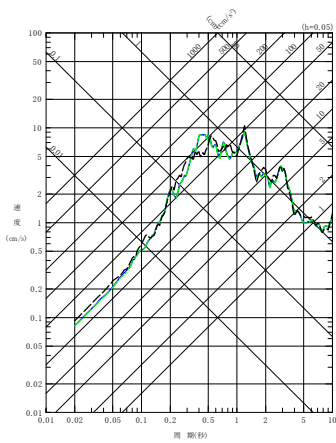
(a) NS 方向



(b) EW 方向

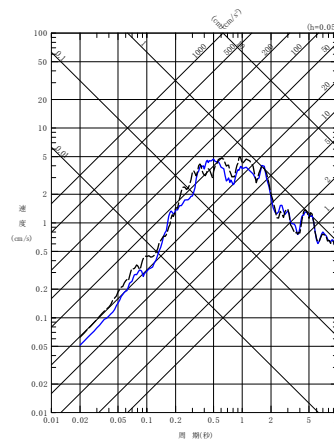


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 201103111508 地震



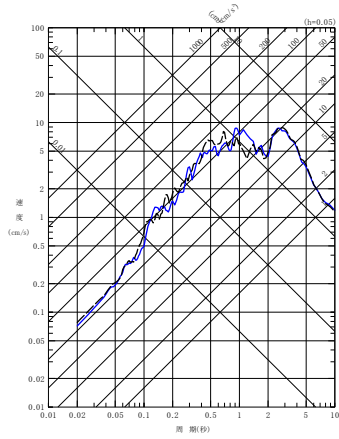
(c) UD 方向

(4) 201104072332 地震

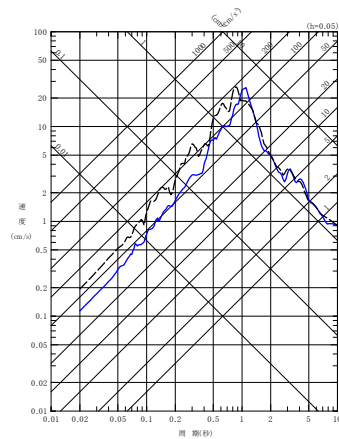
第 6.3.6.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (2/6)

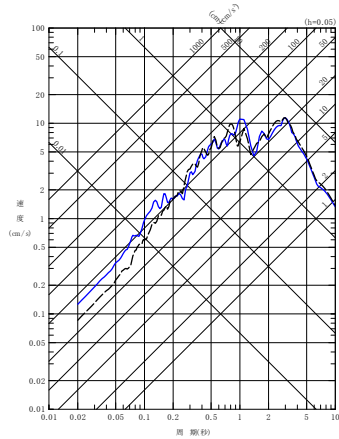
- - - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



(a) NS 方向



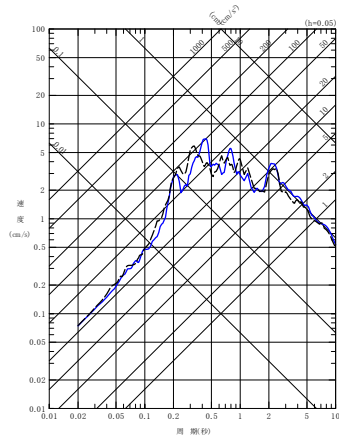
(a) NS 方向



(b) EW 方向

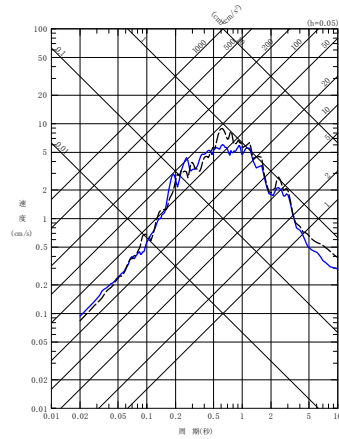


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 201106230650 地震



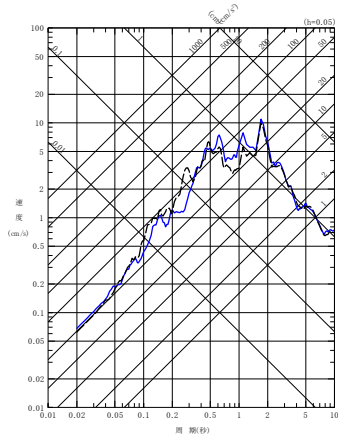
(c) UD 方向

(6) 201205240002 地震

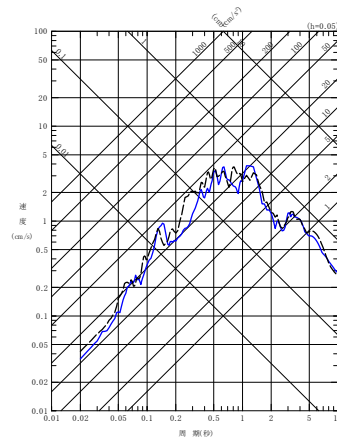
第 6.3.6.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (3/6)

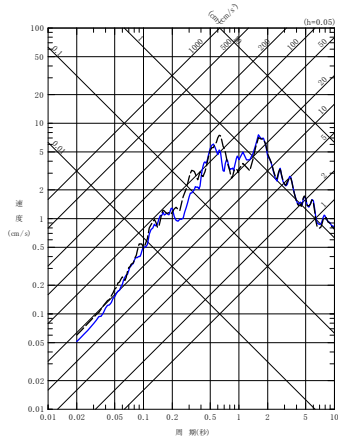
- - - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ———— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



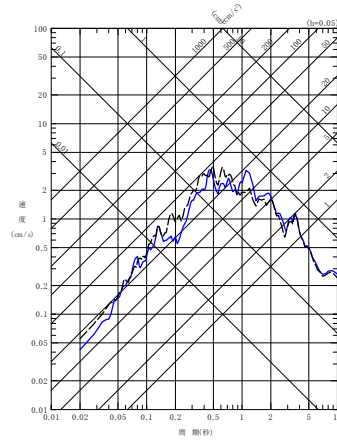
(a) NS 方向



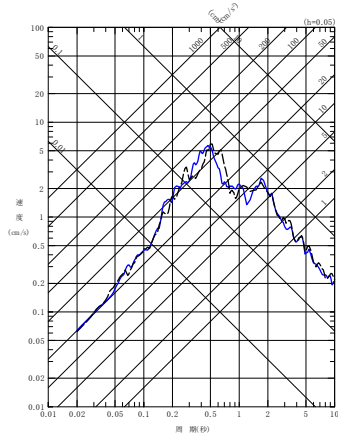
(a) NS 方向



(b) EW 方向

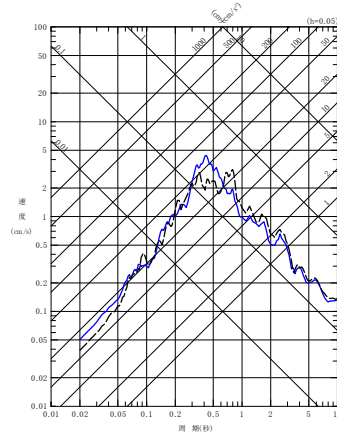


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201212071718 地震

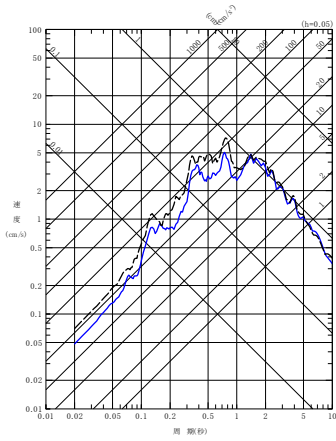


(c) UD 方向

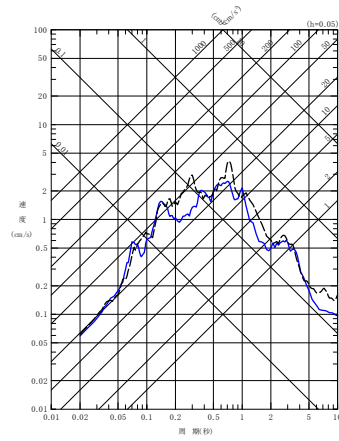
(8) 201408101243 地震

第 6.3.6.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果
 西側地盤観測点 (4/6)

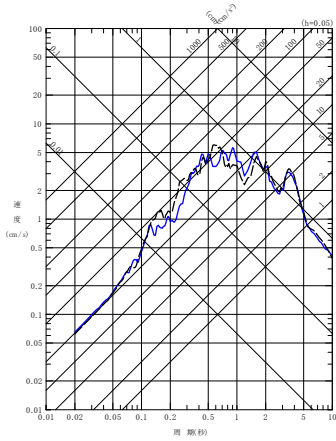
- - - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



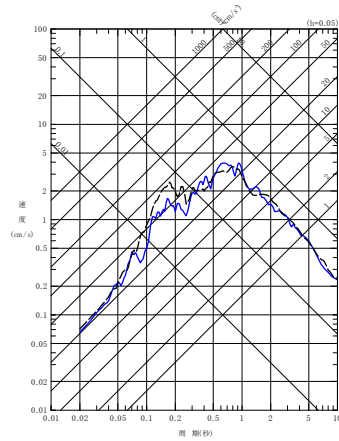
(a) NS 方向



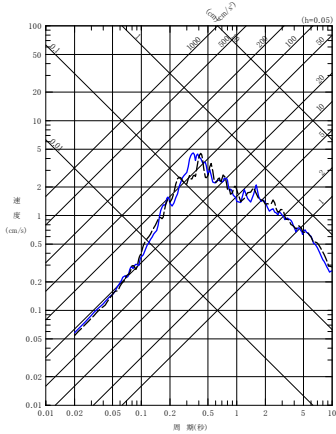
(a) NS 方向



(b) EW 方向

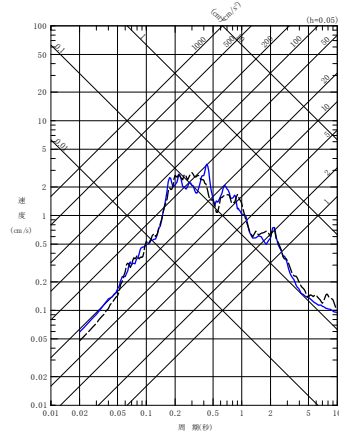


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201601141225 地震



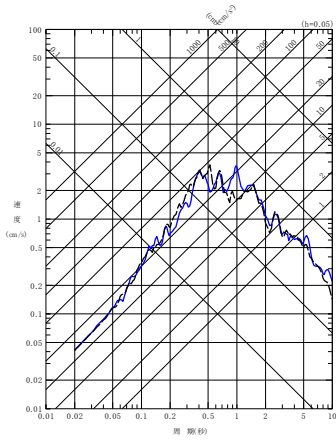
(c) UD 方向

(10) 201908151432 地震

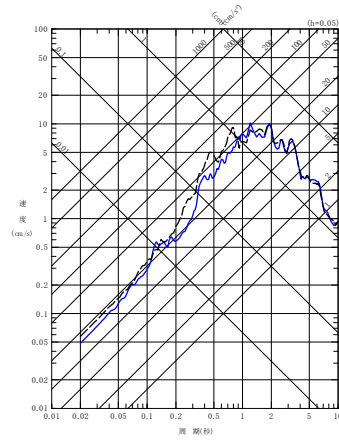
第 6.3.6.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (5/6)

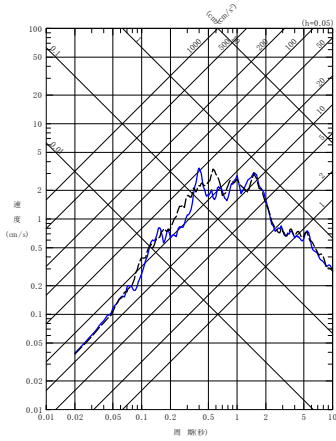
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



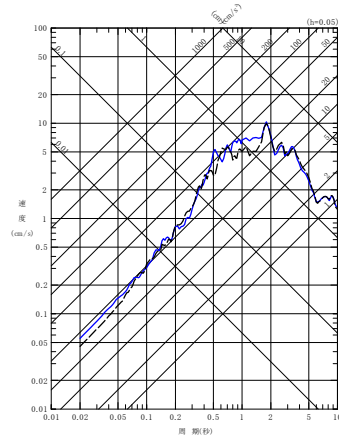
(a) NS 方向



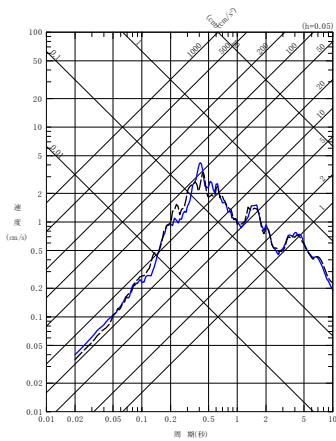
(a) NS 方向



(b) EW 方向

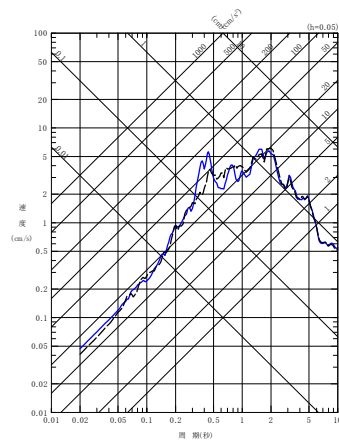


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 202012210223 地震



(c) UD 方向

(12) 202203162336 地震

第 6.3.6.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果
 西側地盤観測点 (6/6)

(3) 東側地盤観測点

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

シミュレーション解析の結果，東側地盤については，すべての地震の水平方向，鉛直方向ともに，応答スペクトルに見られるピーク周期は整合しており，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 6.3.6.1-20 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。

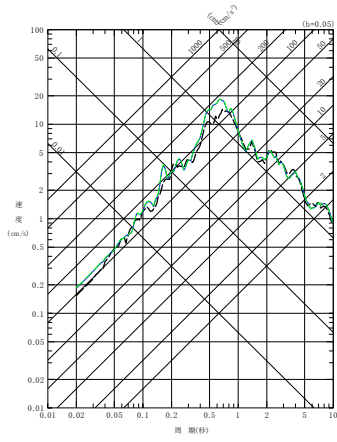
リニア型及びバイリニア型の比較については，「6.3.6.1 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」において，減衰定数の設定が異なる 10Hz よりも高振動数帯の領域において，減衰定数の評価結果に差を有するよう評価されている。なお，同定結果における伝達関数に差は見られない。

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

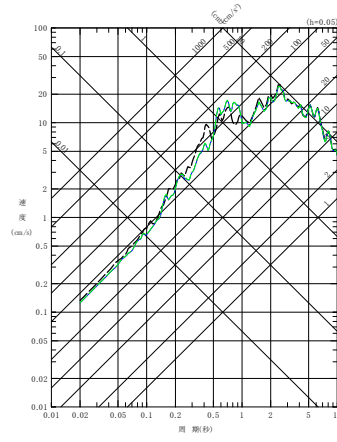
図及び第 6.3.6.1-27 図に示した伝達係数の傾向と同様に、リニア型の同定結果を用いたシミュレーション結果に対してシミュレーション解析結果の応答スペクトルに有意な差は無いことを確認しており、リニア型とバイリニア型における短周期側の減衰定数の設定の差はシミュレーション解析結果に影響を与えないことを確認した。

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

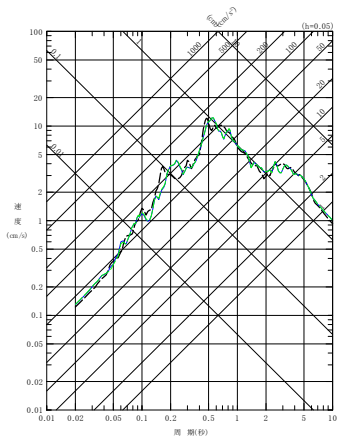
- 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
- 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
- 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



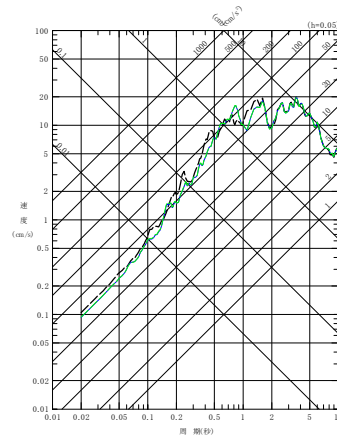
(a) NS 方向



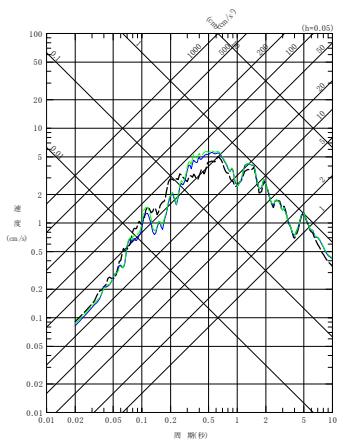
(a) NS 方向



(b) EW 方向

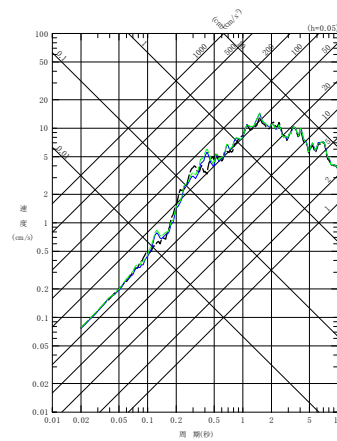


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200807240026 地震



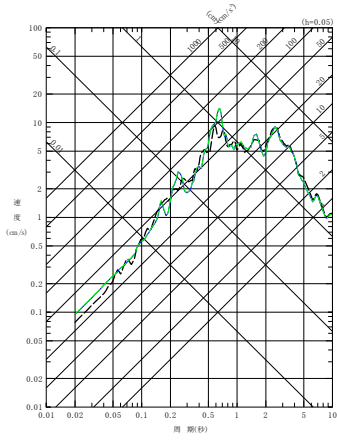
(c) UD 方向

(2) 201103111446 地震

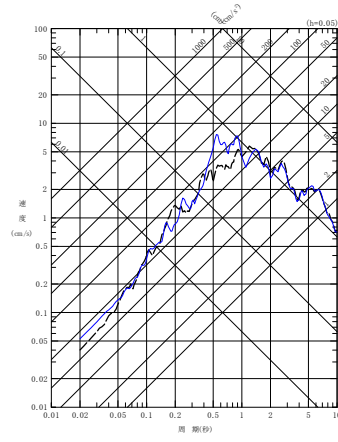
第 6.3.6.2-3 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (1/6)

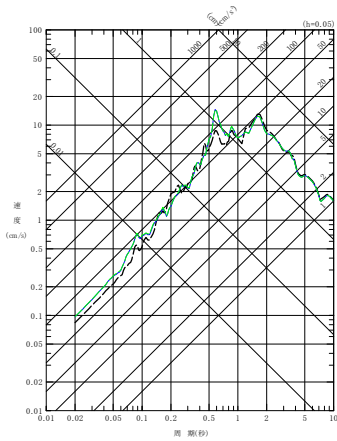
- 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
- 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
- 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



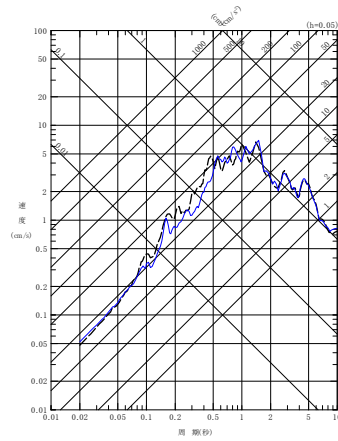
(a) NS 方向



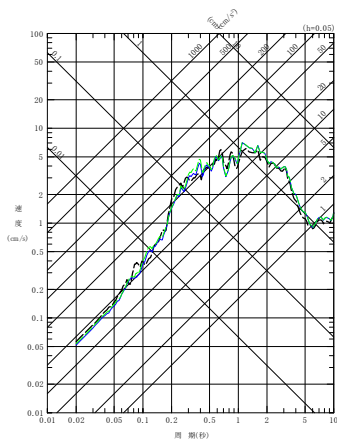
(a) NS 方向



(b) EW 方向

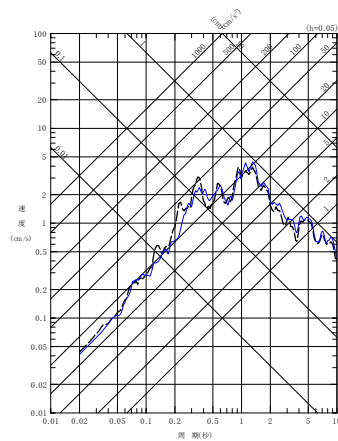


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 201103111508 地震

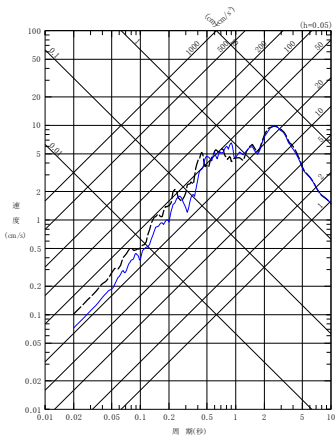


(c) UD 方向

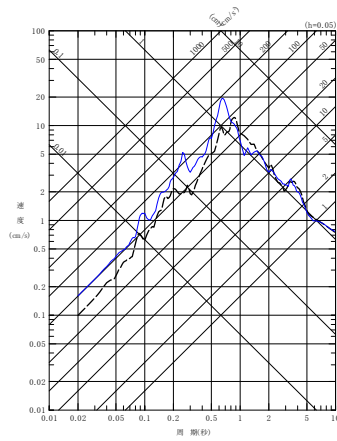
(4) 201104042332 地震

第 6.3.6.2-3 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果
東側地盤観測点 (2/6)

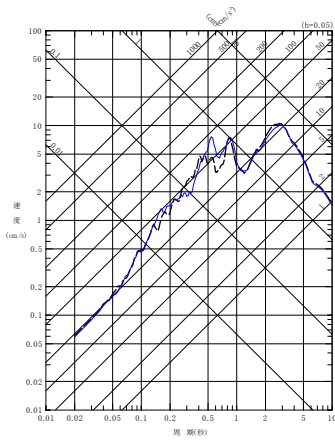
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



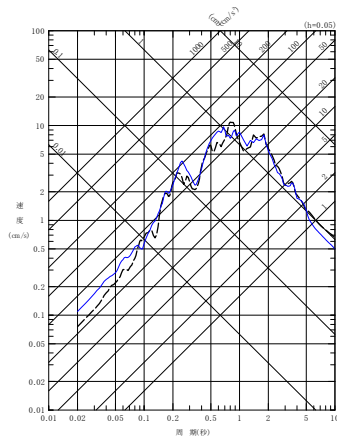
(a) NS 方向



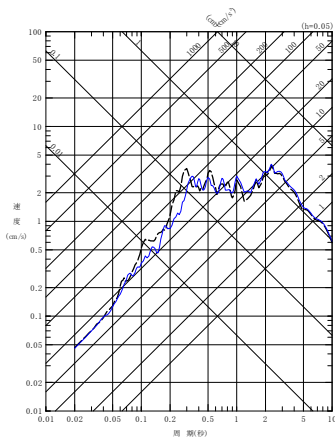
(a) NS 方向



(b) EW 方向

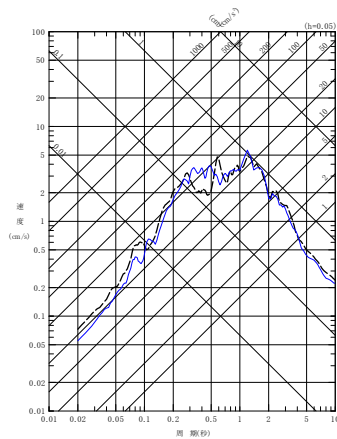


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 201106230650 地震



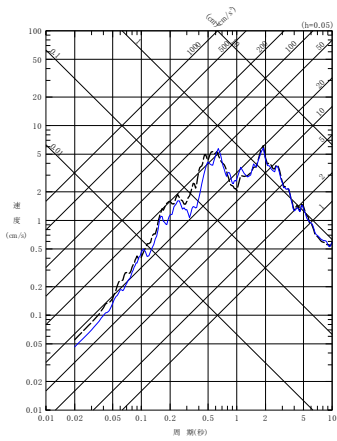
(c) UD 方向

(6) 201205240002 地震

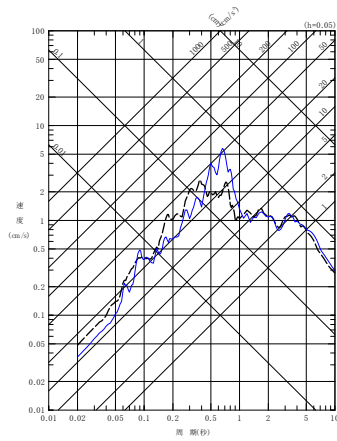
第 6.3.6.2-3 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (3/6)

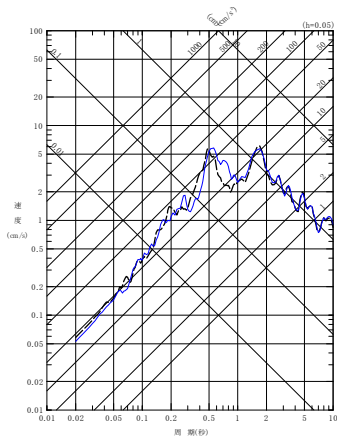
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



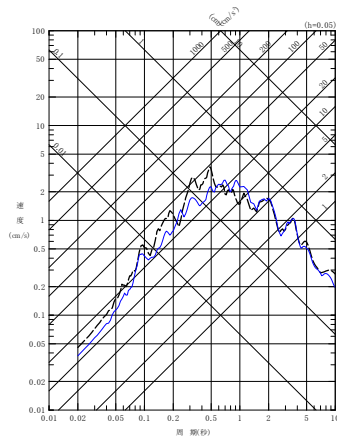
(a) NS 方向



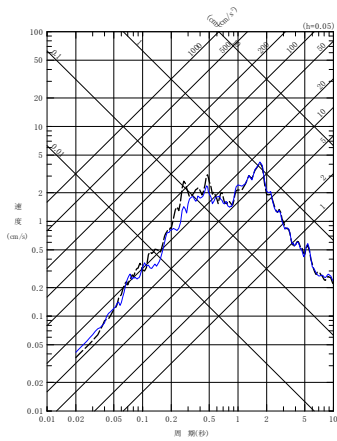
(a) NS 方向



(b) EW 方向

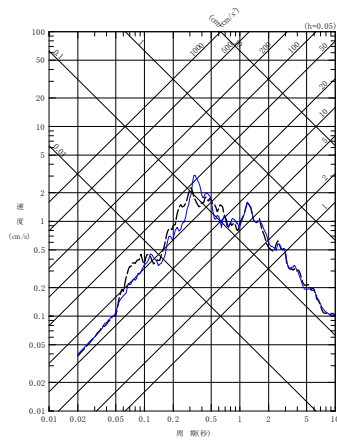


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201212071718 地震



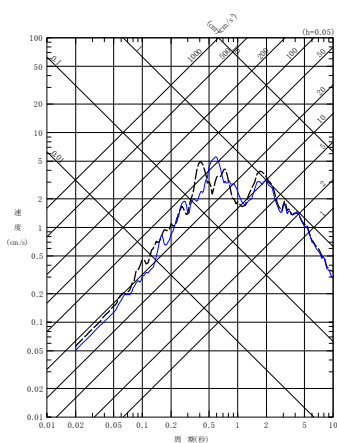
(c) UD 方向

(8) 201408101243 地震

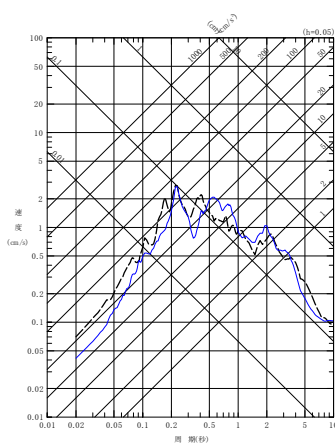
第 6.3.6.2-3 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (4/6)

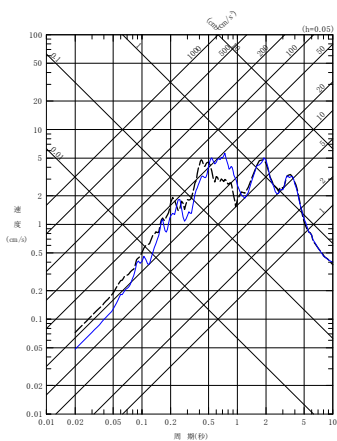
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



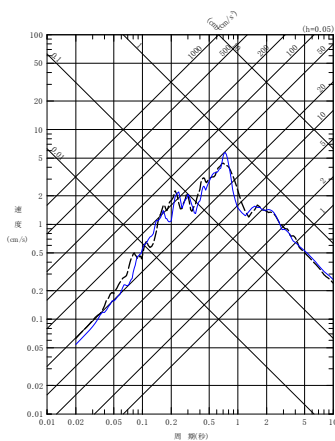
(a) NS 方向



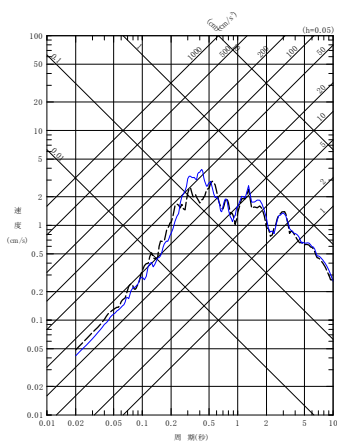
(a) NS 方向



(b) EW 方向

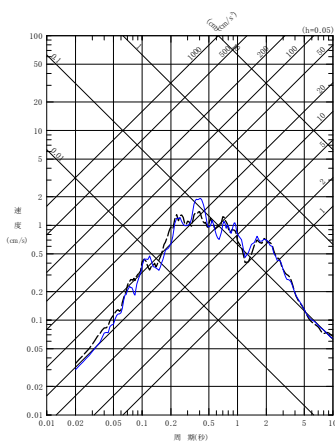


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201601141225 地震

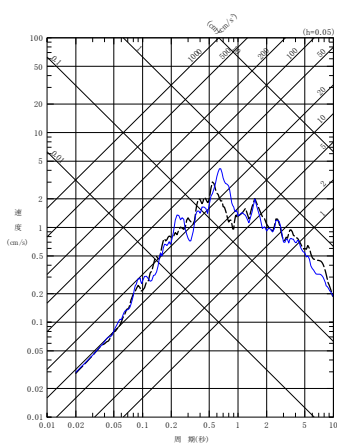


(c) UD 方向

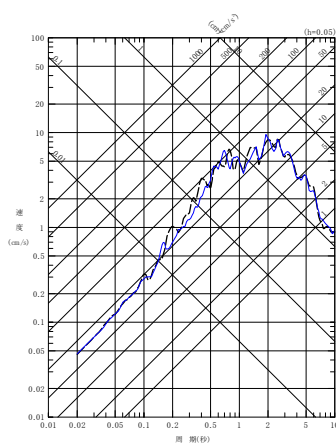
(10) 201908151432 地震

第 6.3.6.2-3 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果
 東側地盤観測点 (5/6)

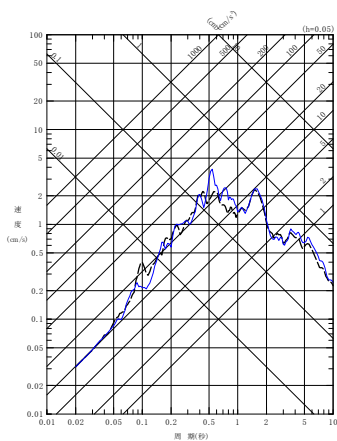
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



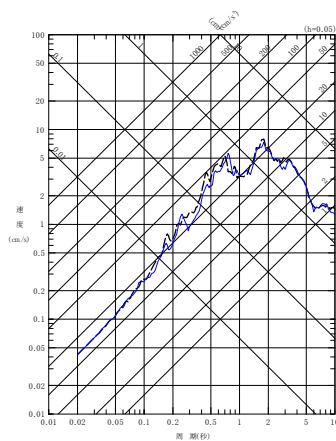
(a) NS 方向



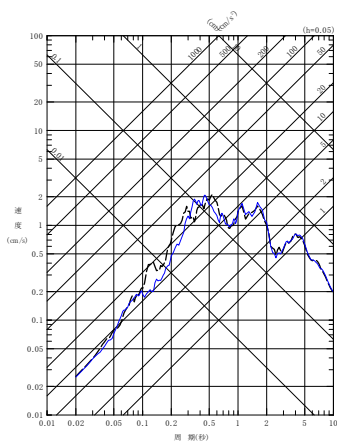
(a) NS 方向



(b) EW 方向

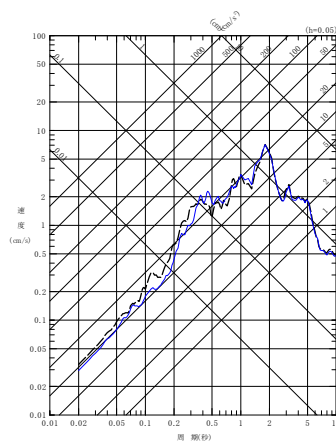


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 202012210223 地震



(c) UD 方向

(12) 202203162336 地震

第 6.3.6.2-3 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果
 東側地盤観測点 (6/6)

6.3.7 振動数依存性を考慮しない場合の評価結果

6.3.7.1 伝達関数による評価結果（振動数依存性なし）

「6.3.5 評価方法及び条件」に示した手法に従い、減衰定数を同定した結果及び伝達関数の適合状況を第 6.3.7.1-1 図及び第 6.3.7.1-2 図（中央地盤）、第 6.3.7.1-5 図及び第 6.3.7.1-6 図（西側地盤）、第 6.3.7.1-9 図及び第 6.3.7.1-10 図（東側地盤）に示す。また、各手法における減衰定数の同定結果を第 6.3.7.1-3 図及び第 6.3.7.1-4 図（中央地盤）、第 6.3.7.1-7 図及び第 6.3.7.1-8 図（西側地盤）、第 6.3.7.1-11 図及び第 6.3.7.1-12 図（東側地盤）にグラフとして示す。

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

なお、本グラフについては、「6.3.5 評価方法及び条件」に示した、同定解析上対象とする振動数よりも広い範囲（20Hz よりも高振動数側、0.05 秒よりも短周期側）についても、評価された減衰定数の振動数特性が同様の傾向を示すと仮定し、当該範囲については外挿して示す。

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、「6.3.4 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、「6.3.7.2 応答スペクトルによる評価結果（振動数依存性なし）」に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 6.3.7.1-1 図～第 6.3.7.1-4 図に示す。

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

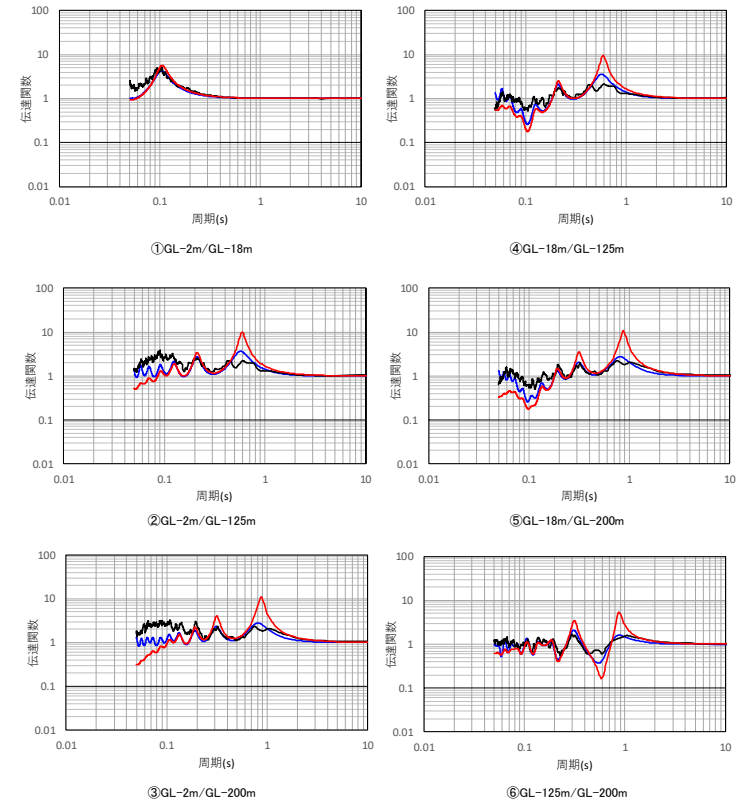
振動数依存性なしの条件により求められる伝達関数は、「6.3.6.1 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」にて同定した振動数依存性を考慮した結果と比較して、ピーク振動数については変わらないものの、伝達関数の大きさについては地震観測記録との差異が見られる結果となっており、長周期側では振動数依存性なしの条件による伝達関数が観測記録に対して大きく、短周期側では小さく評価されている。

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

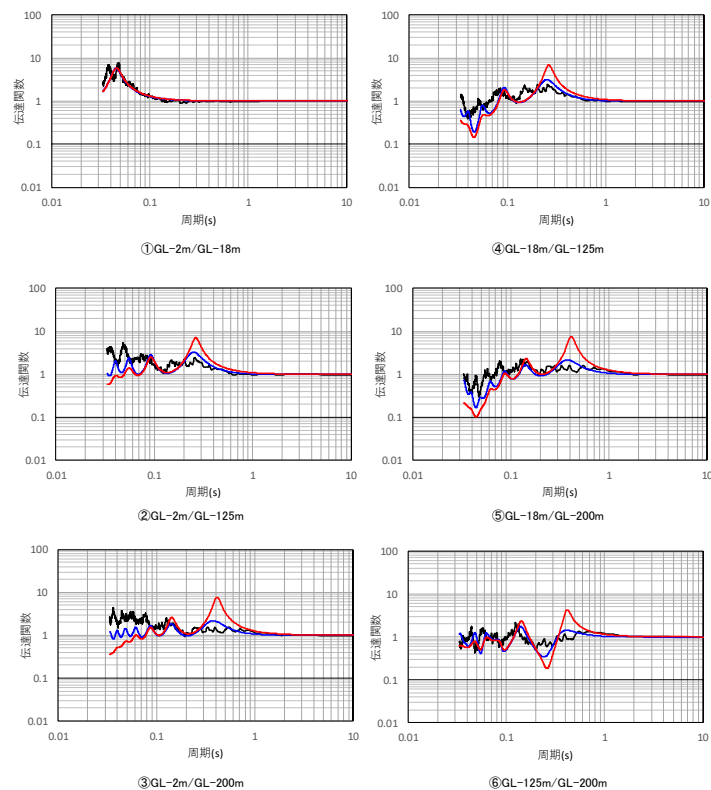
第 6.3.7.1-1 図 伝達関数による評価結果 (中央地盤観測点: 振動数依存性なし, 水平)

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

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

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。

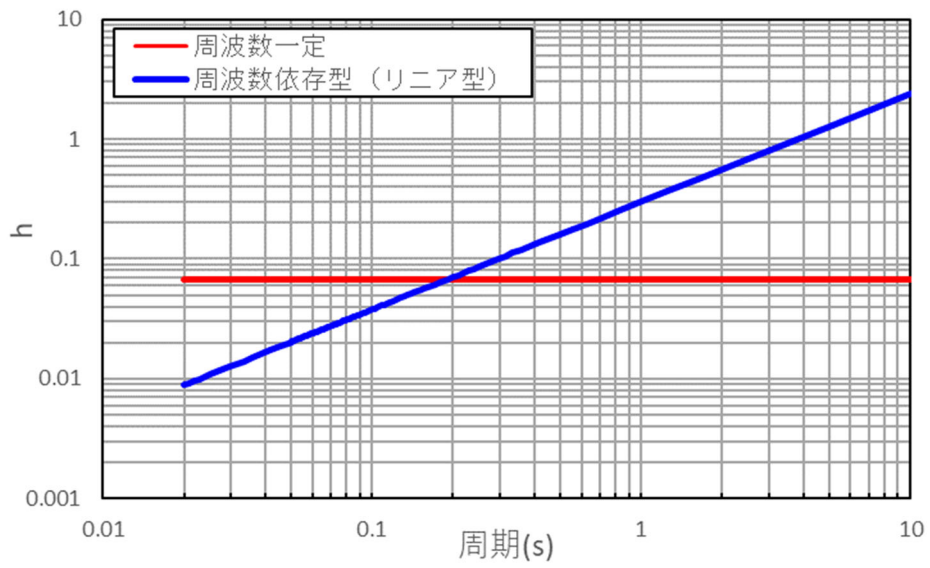
— 目的関数 (観測記録の伝達関数を平均して作成)
— 周波数依存型 (リニア型)
— 周波数依存なし



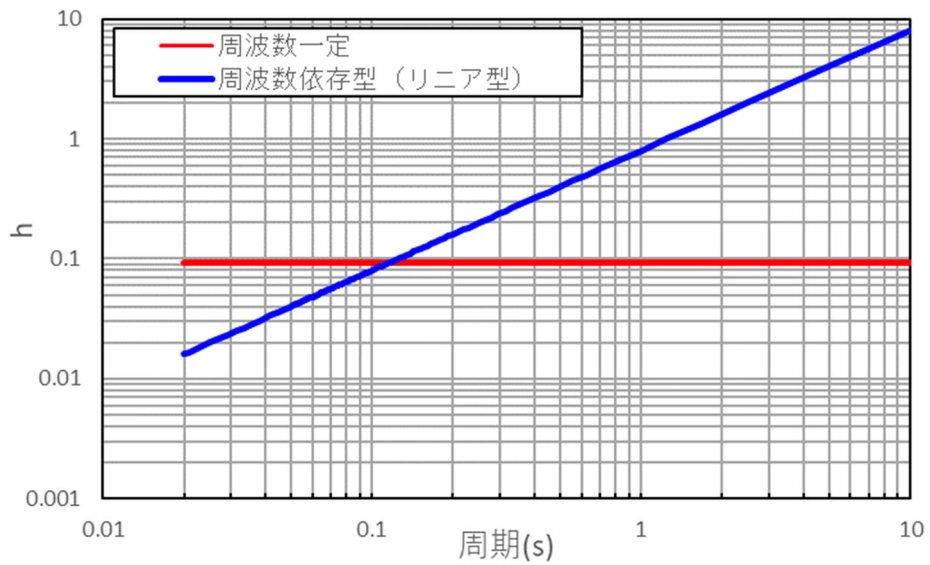
(a) 評価された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

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



第 6.3.7.1-3 図 減衰定数と周期の関係（中央地盤観測点，水平）



第 6.3.7.1-4 図 減衰定数と周期の関係（中央地盤観測点，鉛直）

(2) 西側地盤観測点

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

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

振動数依存性なしの条件により求められる伝達関数は、「6.3.6.1 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」にて同定した振動数依存性を考慮した結果と比較して、ピーク振動数については変わらないものの、伝達関数の大きさについては地震観測記録との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。

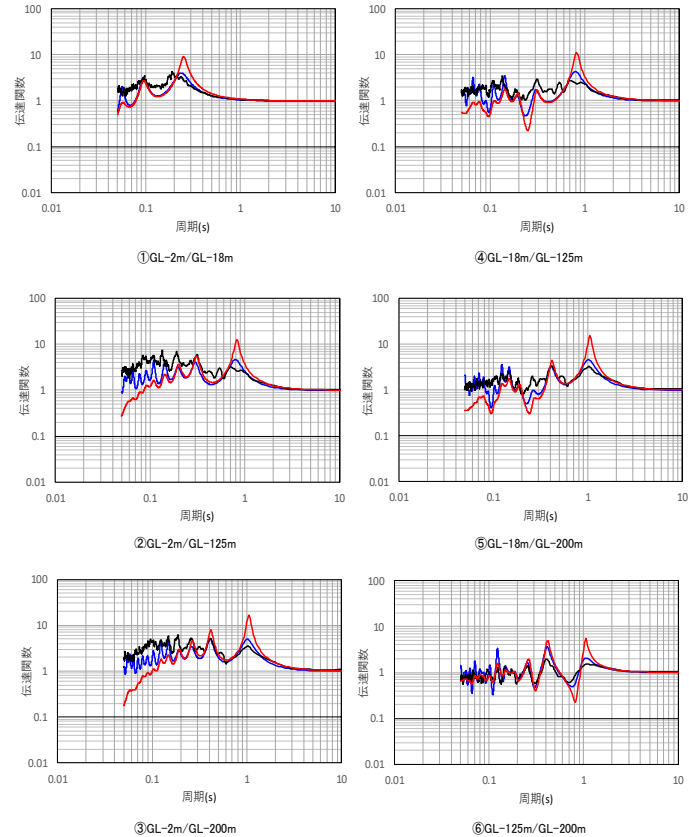
深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h
GL 0m	1	2	1.73	230	0.120
-2.00	2	2.34		240	
-4.34	3	5.76		290	
-10.10	4	7.9	2.02	420	0.067
-18.00	5	18.82		580	
-36.82	6	36.68	1.59	660	0.055
-73.50	7	39.1			
-112.60	8	12.4	1.75	870	0.030
-125.00	9	63.87			
-188.87	10	11.13	1.57	1050	
-200.00	11	—			

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

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

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

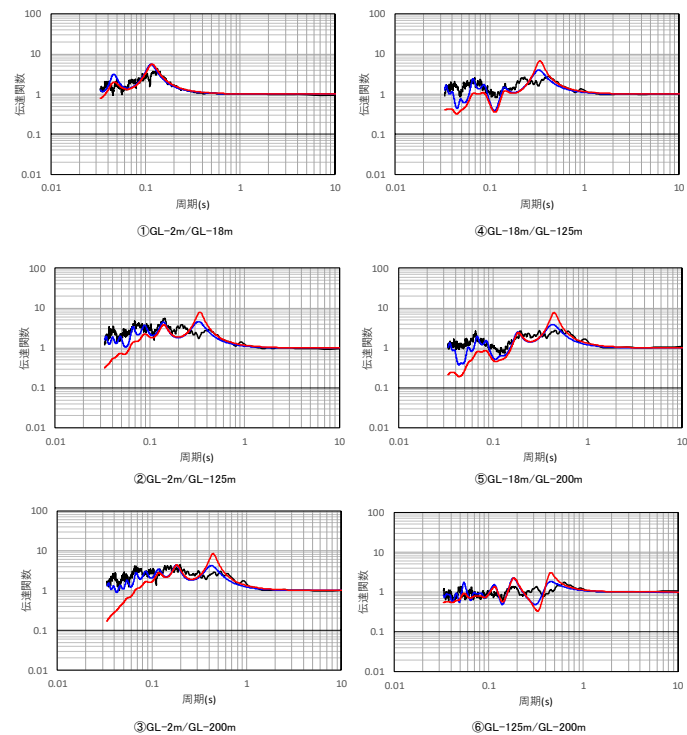
深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	P波速度 Vp(m/s)	減衰定数 h
GL 0m	1	2	1.73	370	0.166
-2.00	2	2.34		430	
-4.34	3	5.76			
-10.10	4	7.9	2.02	740	0.103
-18.00	5	18.82		1520	
-36.82	6	36.68	1.59		1640
-73.50	7	39.1		1.75	2000
-112.60	8	12.4			
-125.00	9	63.87			
-188.87	10	11.13	1.57	2220	0.085
-200.00	11	—			

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。

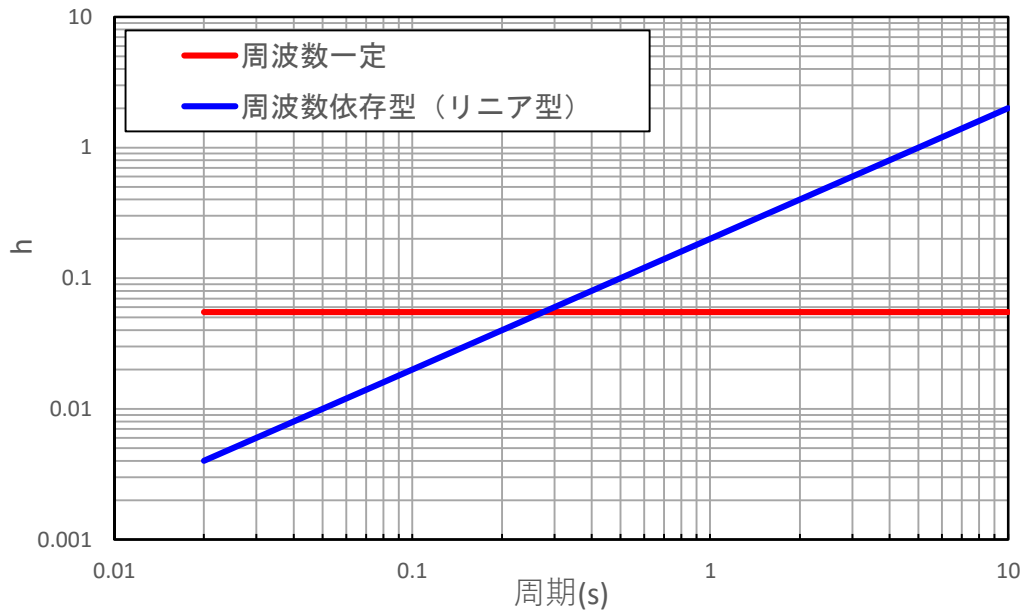
(a) 評価された物性値及び減衰定数

— 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

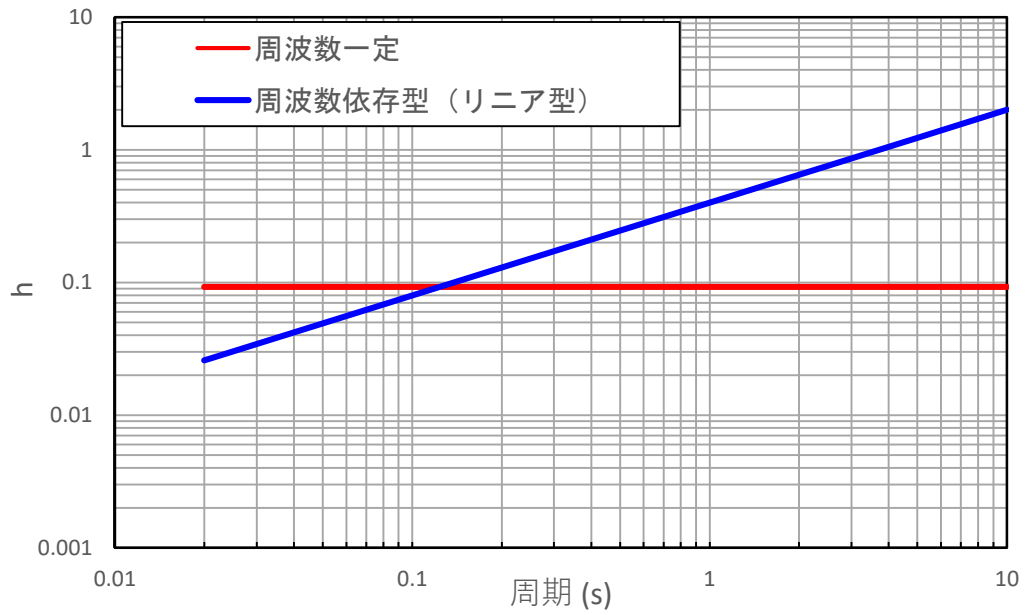


(b) 伝達関数適合状況

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



第 6.3.7.1-7 図 減衰定数と周期の関係（西側地盤観測点，水平）



第 6.3.7.1-8 図 減衰定数と周期の関係（西側地盤観測点，鉛直）

(3) 東側地盤観測点

東側地盤観測点における振動数依存性を考慮しない場合の減衰定数の評価結果を第 6.3.7.1-9 図～第 6.3.7.1-12 図に示す。

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

振動数依存性なしの条件により求められる伝達関数は、「6.3.6.1 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」にて同定した振動数依存性を考慮した結果と比較して、ピーク振動数については変わらないものの、伝達関数の大きさについては地震観測記録との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。

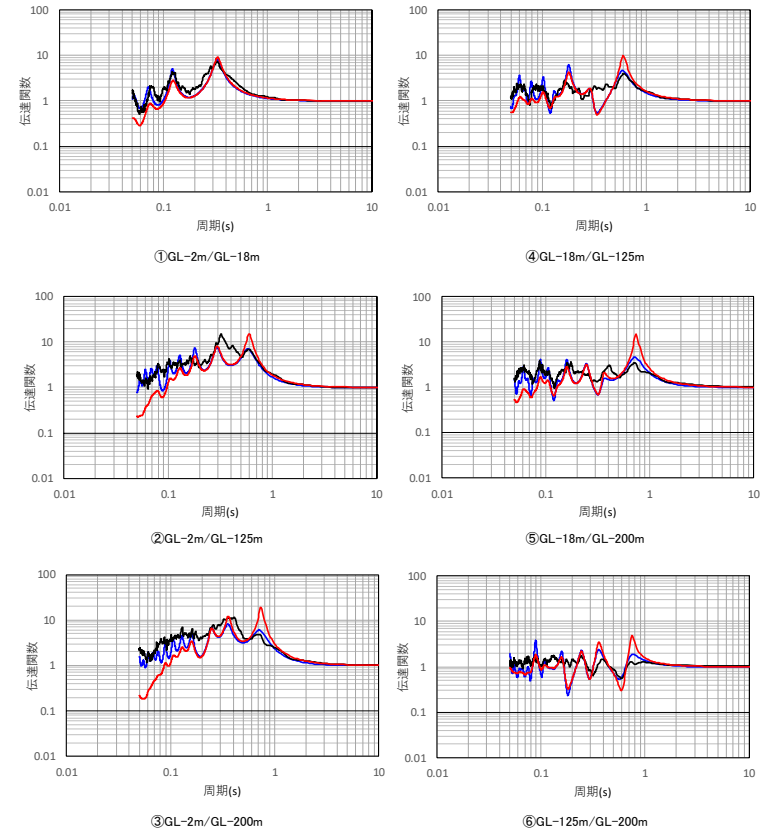
深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h
0	1	2	1.69	140	0.136
-2.00	2	6.33		160	0.075
-8.33	3	6.4		210	
-14.73	4	3.27	1.72	310	0.061
-18.00	5	0.68	1.59	640	0.055
-18.68	6	53.2			
-71.88	7	43.85		1090	
-115.73	8	9.27	1.82	1190	0.033
-125.00	9	34.31			
-159.31	10	40.69	1.90	1200	
-200.00	11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

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 6.3.7.1-9 図 伝達関数による評価結果 (東側地盤観測点: 振動数依存性なし, 水平)

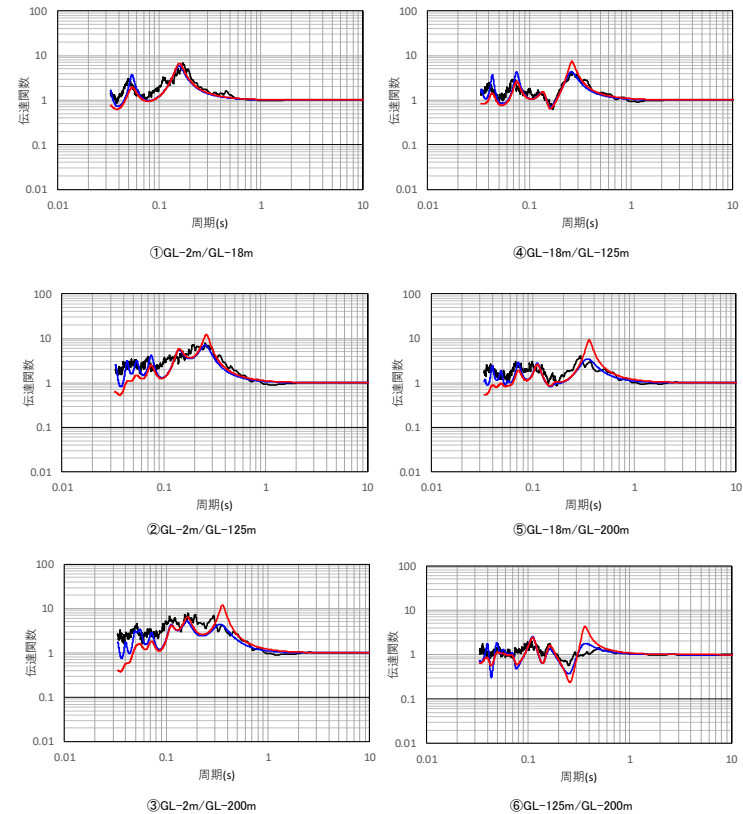
深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	P波速度 Vp(m/s)	減衰定数 h
0	1	2	1.69	360	0.097
-2.00	2	6.33		370	
-8.33	3	6.4		390	
-14.73	4	3.27	1.72	970	0.081
-18.00	5	0.68			
-18.68	6	53.2	1.59	1880	0.070
-71.88	7	43.85		2060	
-115.73	8	9.27	1.82	2140	0.066
-125.00	9	34.31			
-159.31	10	40.69	1.90	2370	0.066
-200.00	11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

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。

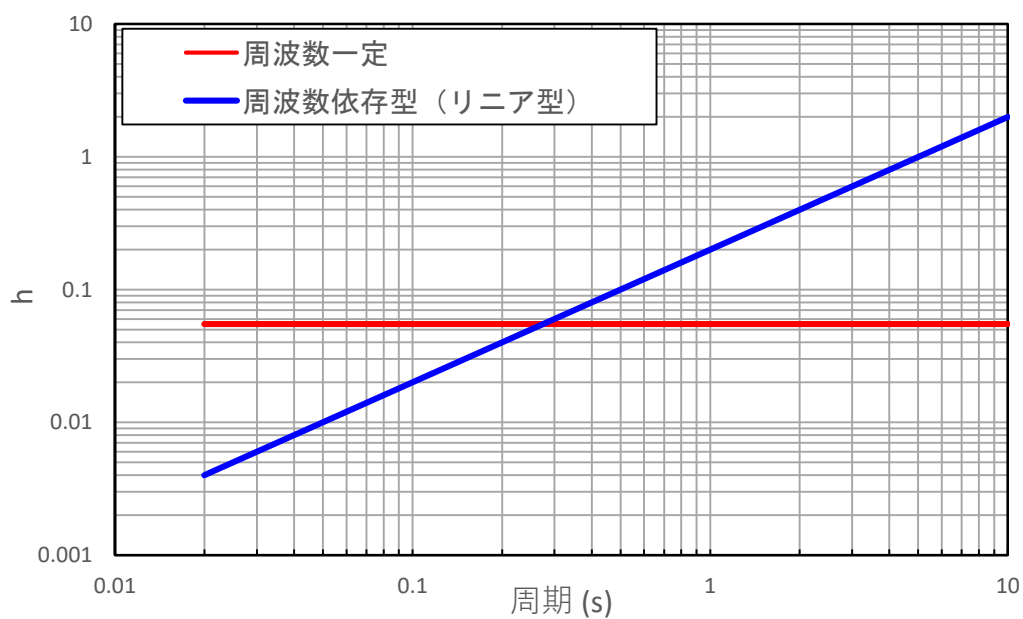
(a) 評価された物性値及び減衰定数

— 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

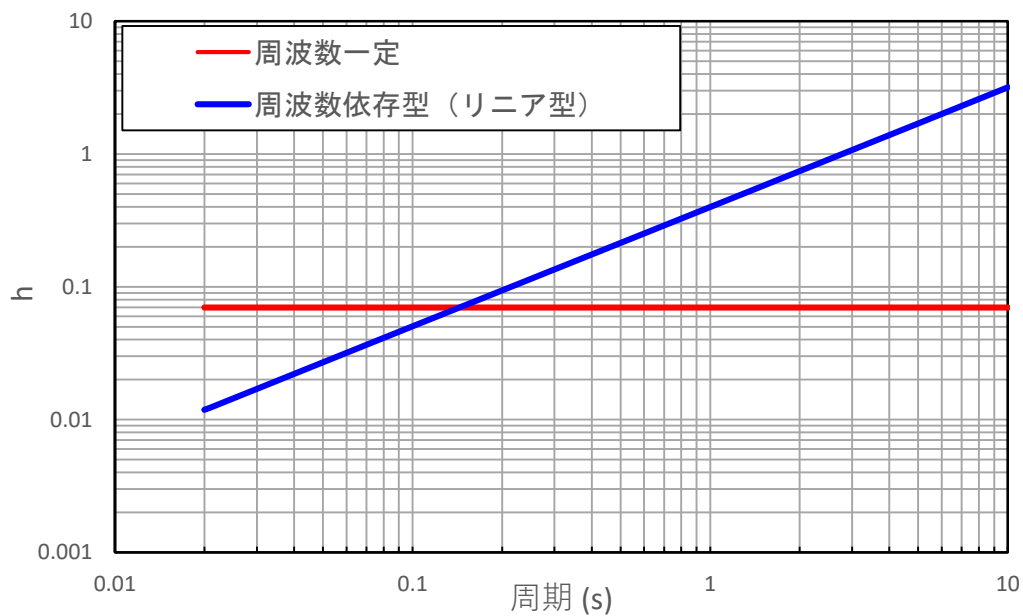


(b) 伝達関数適合状況

第 6.3.7.1-10 図 伝達関数の比較 (東側地盤観測点: 振動数依存性なし, 鉛直)



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



第 6.3.7.1-12 図 減衰定数と周期の関係 (東側地盤観測点, 鉛直)

6.3.7.2 応答スペクトルによる評価結果（振動数依存性なし）

「6.3.7.1 伝達関数による評価結果（振動数依存性なし）」において評価した減衰定数について、振動数依存性を考慮する場合としない場合における伝達関数の差異が、入力地震動の算定結果に対してどのように影響するか、「6.3.6.2 応答スペクトルによる評価結果（振動数依存性あり）」と同様の方法により、地震観測記録のシミュレーション結果の比較により確認する。

(1) 中央地盤観測点

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

中央地盤において、振動数依存性を考慮しない場合は、長周期成分において、振動数依存特性を考慮する場合に比べて減衰定数を小さく評価することから、長周期成分の地盤応答を大きく与えることを確認した。

短周期側については、減衰定数を振動数依存特性を考慮する場合に比べて大きく評価することになるものの、地盤応答に対しては小さく評価されず、振動数依存性を考慮した場合と比較して、建物・構築物の固有周期帯（水平 0.2～0.3 秒，鉛直 0.1 秒～0.2 秒）において、概ねいずれの地震においても、振動数依存性を考慮し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 6.3.7.1-1 図及び第 6.3.7.1-2 図に示すとおり、振動数依存性を考慮した場合と比較して、長周期側を大きく評価する結果となっていることによるものと考えられる。

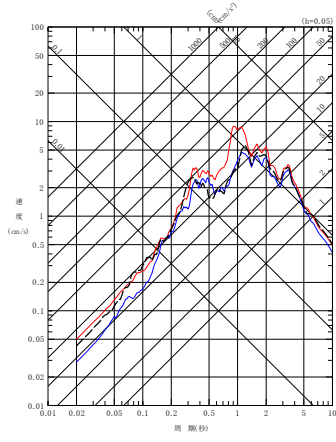
伝達関数は、地震波が有する周期成分ごとの地震動の大きさを直接示したフーリエスペクトルの比率により算定されるが、ある周期成分の地震動は、その周辺の周期帯にも応答として作用することになる。本評価において確認している応答スペクトルは、様々な周期成分をもつ地震動に対する応答の最大値を周期ごとにプロットしたものであることから、前述の同定結果における伝達関数の周期ごとの大小関係とは必ずしも一致しない。

地盤の応答解析において応答スペクトルを評価する際には、特に、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。

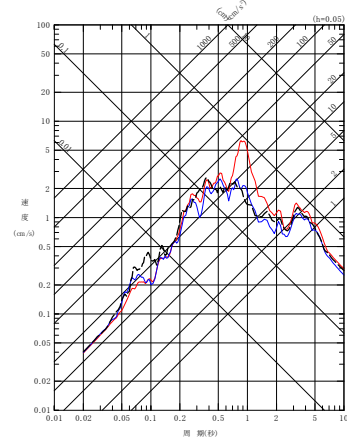
「参考 3 地震観測記録のシミュレーション解析に関する補足図表等」の参考 3-3.1 図に、本シミュレーション解析結果のフーリエスペクトルを示す。フーリエスペクトルは、減衰定数の大小関係と対応するように、短周期側の地震動成分は「周波数依存性あり（リニア型）」>「周波数依存性あり（バイリニア型）」>「周波数依存性なし」と、「周波数依存性なし」とした場合が最も小さくなっているが、長周期側（特に地盤の 1 次に相当する水平では 0.5～1.0 秒，鉛直では 0.4 秒付近の卓越）では、逆に「周波数依存性なし」が最も大きくなっている。

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。

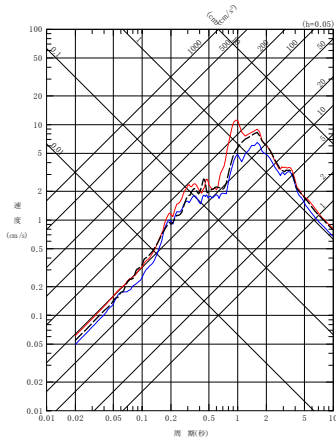
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 - - 周波数依存型 (1)ニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



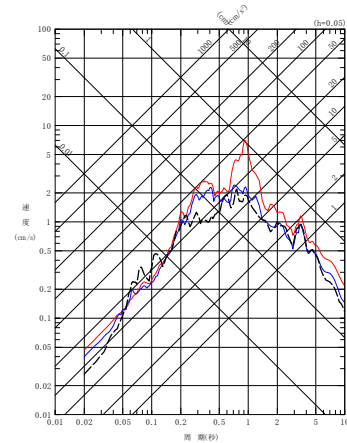
(a) NS 方向



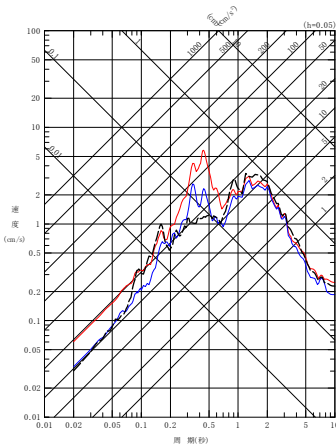
(a) NS 方向



(b) EW 方向

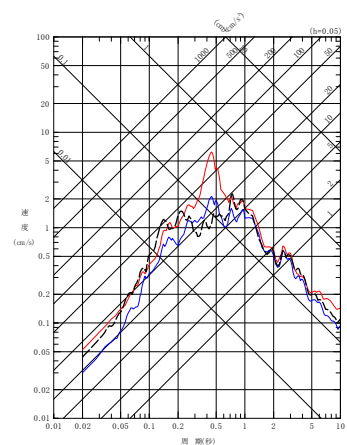


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200112022201 地震



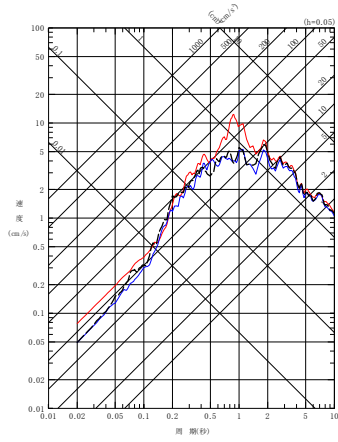
(c) UD 方向

(2) 200210142312 地震

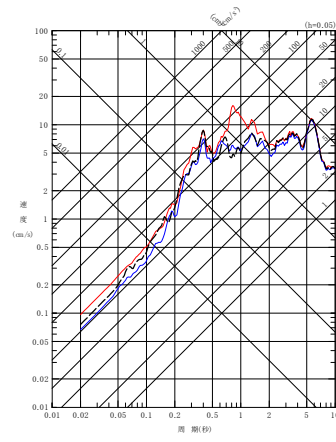
第 6.3.7.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (1/7)

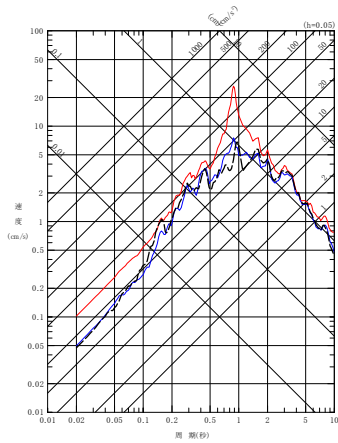
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (1)ニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



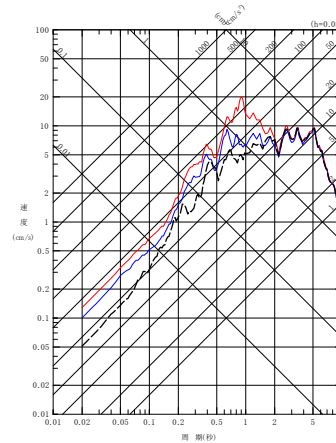
(a) NS 方向



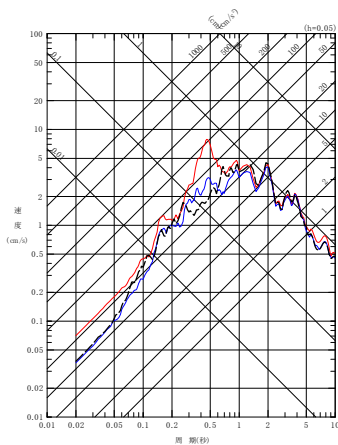
(a) NS 方向



(b) EW 方向

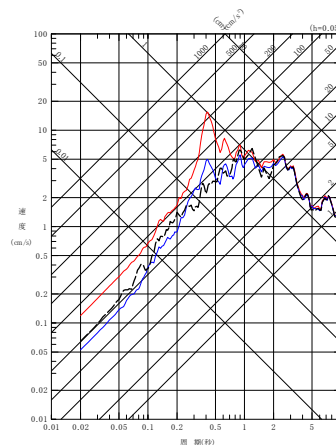


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 200305261824 地震



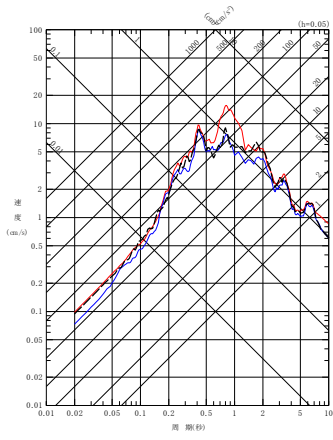
(c) UD 方向

(4) 200309260450 地震

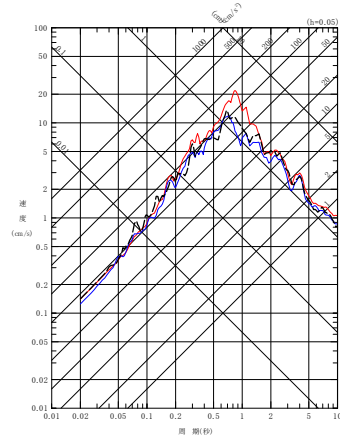
第 6.3.7.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (2/7)

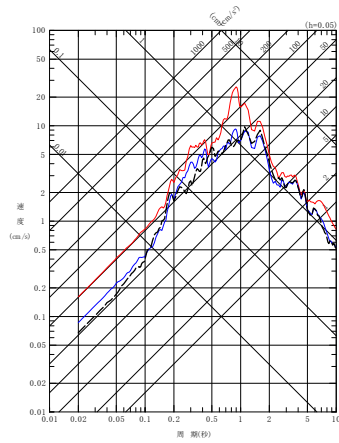
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (1)ニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



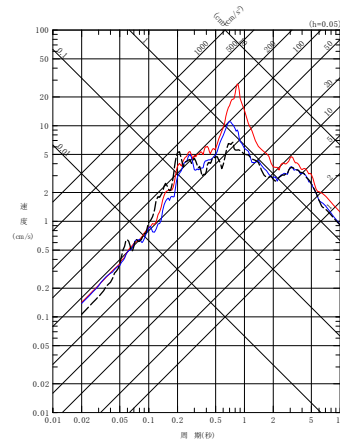
(a) NS 方向



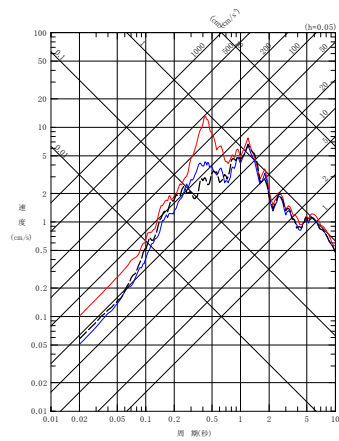
(a) NS 方向



(b) EW 方向

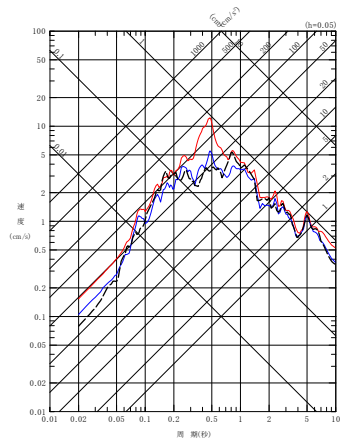


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 2009260608 地震



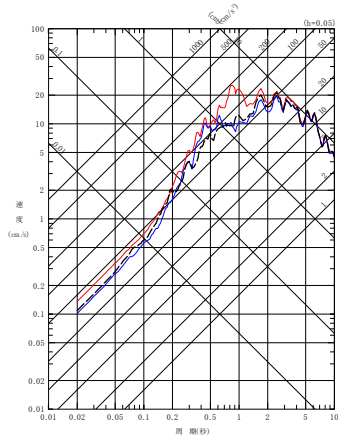
(c) UD 方向

(6) 200807240026 地震

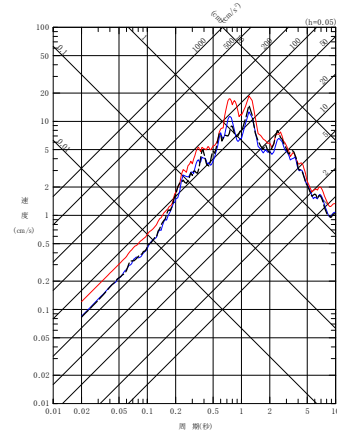
第 6.3.7.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (3/7)

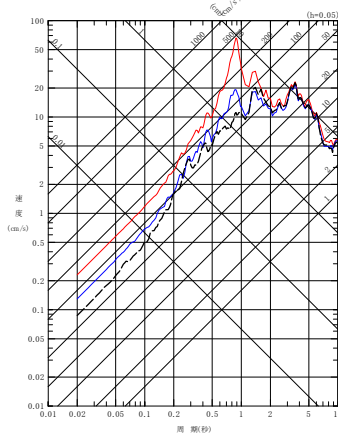
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 — 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



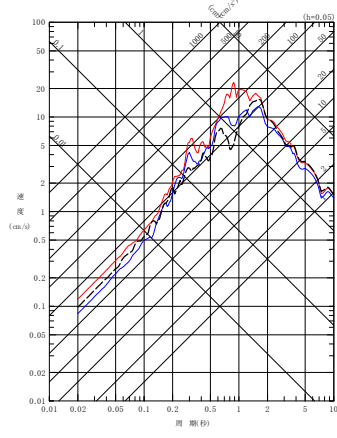
(a) NS 方向



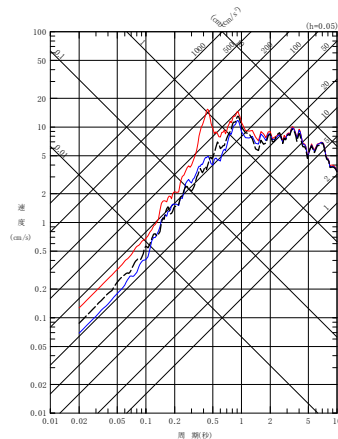
(a) NS 方向



(b) EW 方向

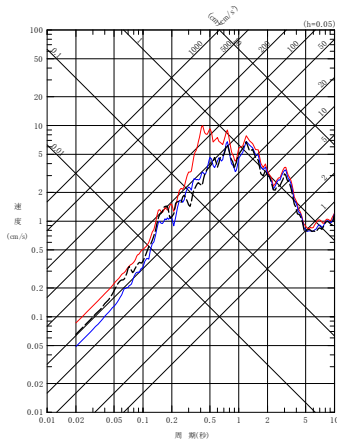


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201103111446 地震



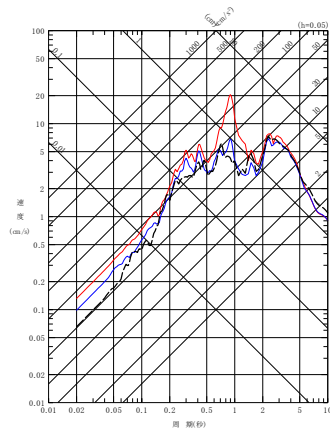
(c) UD 方向

(8) 201103111508 地震

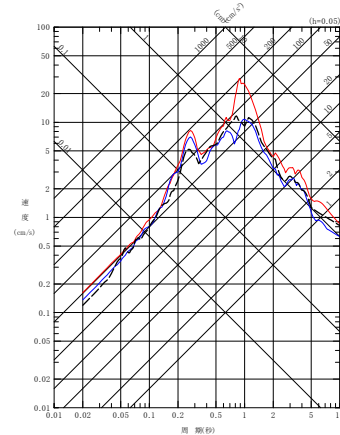
第 6.3.7.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (4/7)

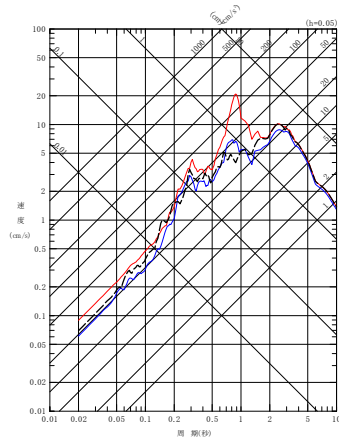
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



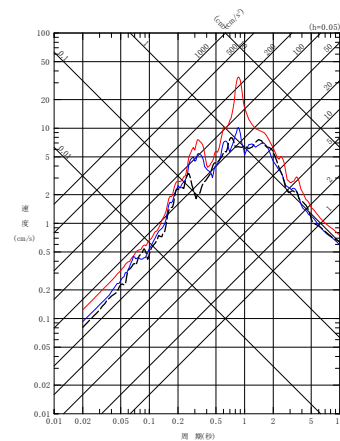
(a) NS 方向



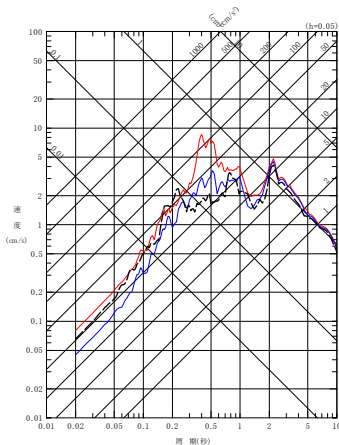
(a) NS 方向



(b) EW 方向

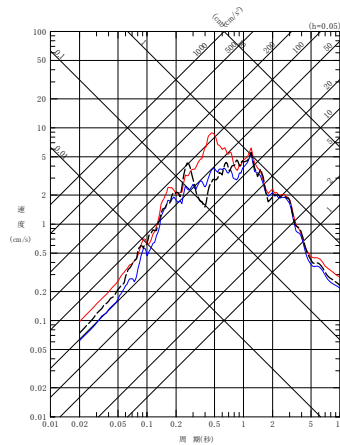


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201106230650 地震



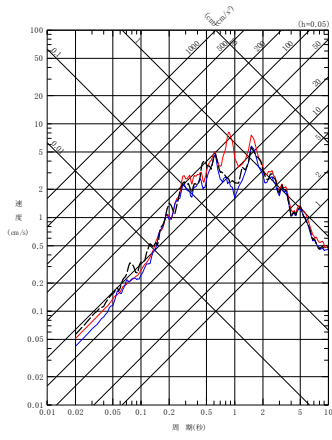
(c) UD 方向

(10) 201205240002 地震

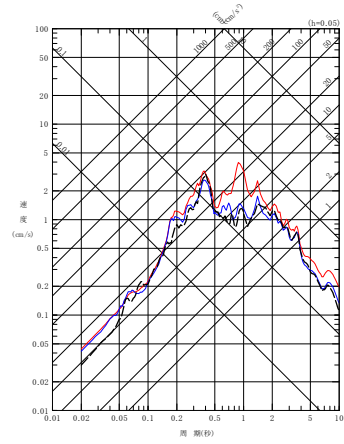
第 6.3.7.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (5/7)

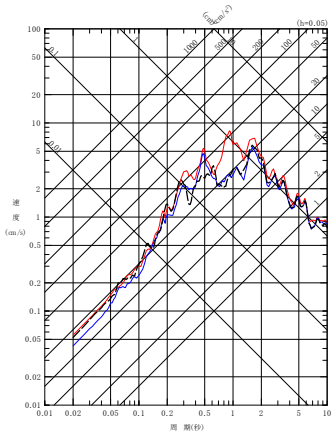
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



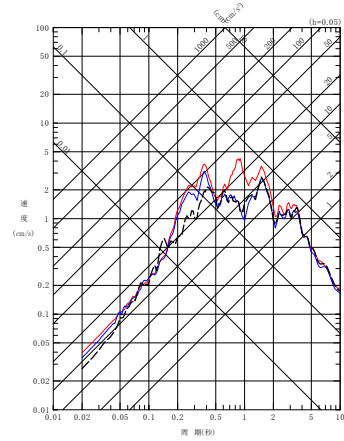
(a) NS 方向



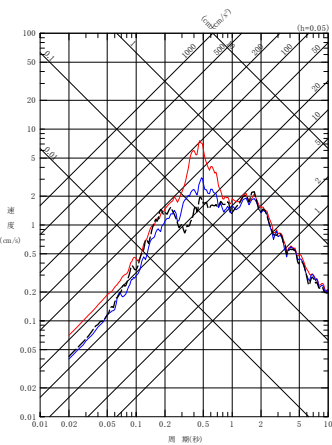
(a) NS 方向



(b) EW 方向

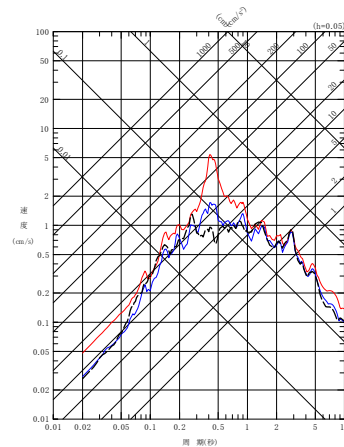


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 201212071718 地震



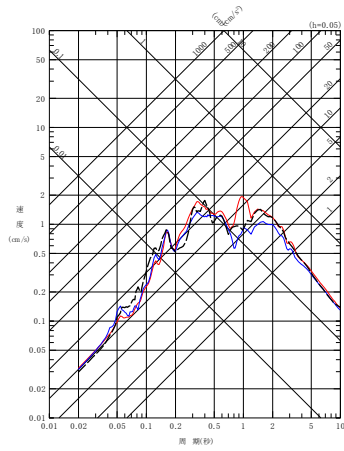
(c) UD 方向

(12) 201302022317 地震

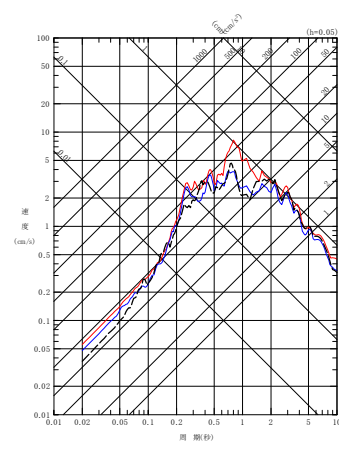
第 6.3.7.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (6/7)

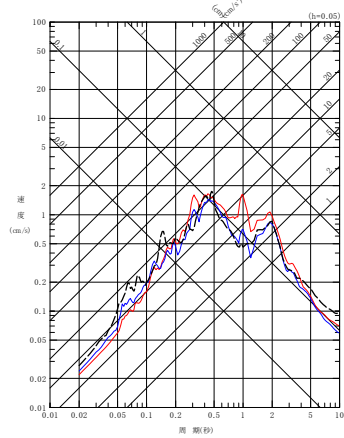
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



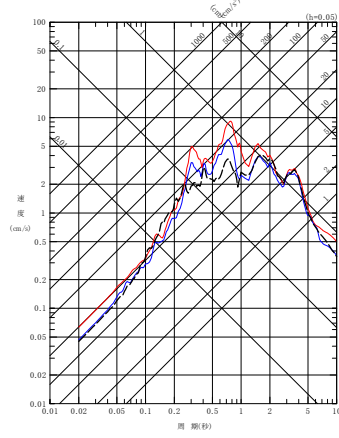
(a) NS 方向



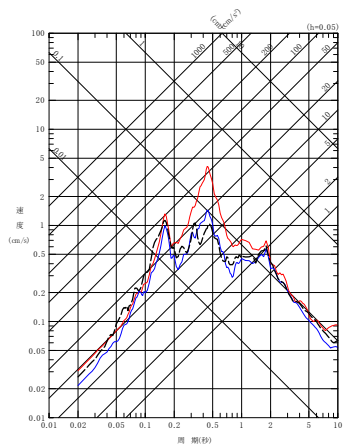
(a) NS 方向



(b) EW 方向

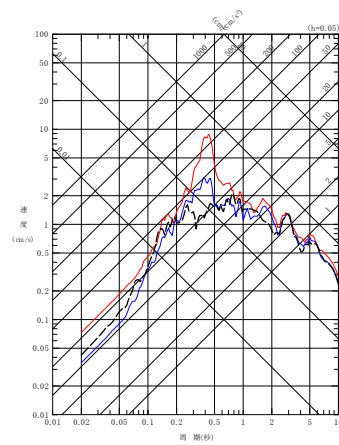


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(13) 201507100332 地震



(c) UD 方向

(14) 201601141225 地震

第 6.3.7.2-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (7/7)

(2) 西側地盤観測点

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

西側地盤において、振動数依存性を考慮しない場合は、長周期成分において、振動数依存特性を考慮する場合に比べて減衰定数を小さく評価することから、長周期成分の地盤応答を大きく与えることを確認した。

短周期側については、減衰定数を振動数依存特性を考慮する場合に比べて大きく評価することになるものの、地盤応答に対しては小さく評価されず、振動数依存性を考慮した場合と比較して、建物・構築物の固有周期帯（水平 0.2～0.3 秒，鉛直 0.1 秒～0.2 秒）において、概ねいずれの地震においても、振動数依存性を考慮し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 6.3.7.1-5 図及び第 6.3.7.1-6 図における同定結果の伝達関数のグラフに示すとおり、振動数依存性を考慮した場合と比較して、長周期側を大きく評価する結果となっていることによるものと考えられる。

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

地盤の応答解析において応答スペクトルを評価する際には、特に、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 3 地震観測記録のシミュレーション解析に関する補足図表等」の参考 3-3.2 図に、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。

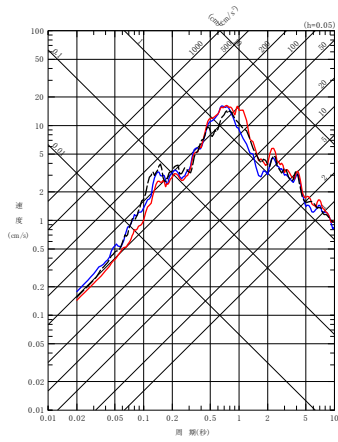
応答スペクトルについては、卓越する周期成分による応答が短周期成分の応答まで影響を与えるため、フーリエスペクトルに見られるような差は直接現れず、むしろ短周期側の応答も「周波数依存性なし」の方が大きくなっている。このような応答スペクトルの特性に加えて、フーリエスペクトルの短周期側の振幅レベルが、長周期側の振幅レベルに対して $10^2 \sim 10^3$ オーダーで小さくなっていることも、短周期側の応答が減衰定数の大小関係と一致しない要因となっている。

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。

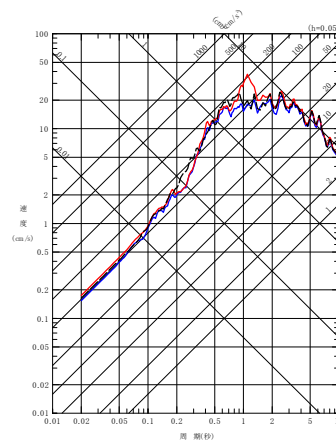
これは、第 6.3.7.1-5 図に示した同定結果において、上記周期で部分的にリニア型の同定結果を下回っており、さらに、これらの地震は、基準地震動 S_s において検討用地震として考慮する地震や、検討に用いたその他の地震と比較して地震規模が小さいため（(8) 201408101243 地震：M6.1，(10) 201908151432 地震：M5.5），第 6.3.7.2-3 図に示す各地震のフーリエスペクトルのとおり，他地震と比較して長周期側の成分の地震動レベルが小さくなっていることから，上記に示した長周期側の地震動を大きく評価する効果が現れなかったことに起因すると考えられる。

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。

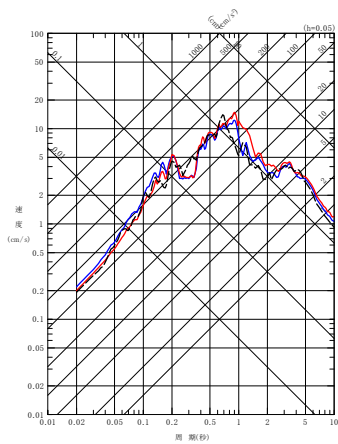
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 - - - 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



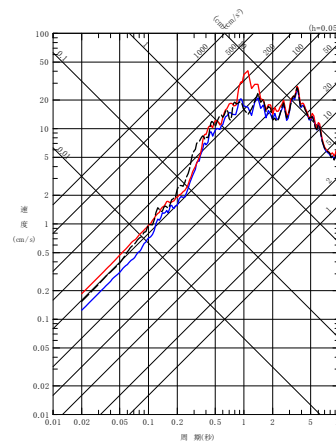
(a) NS 方向



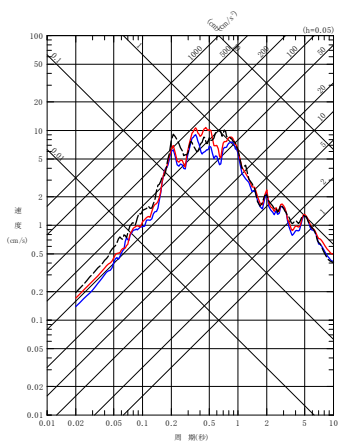
(a) NS 方向



(b) EW 方向

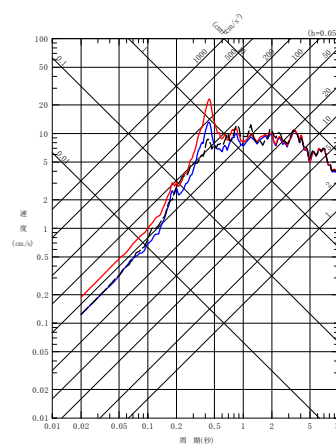


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200807240026 地震



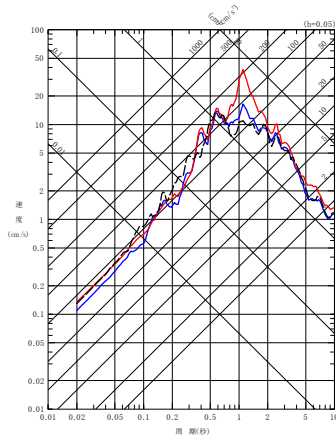
(c) UD 方向

(2) 201103111446 地震

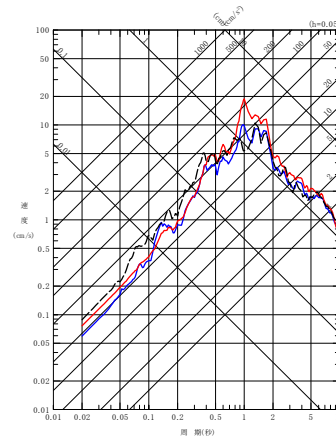
第 6.3.7.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (1/6)

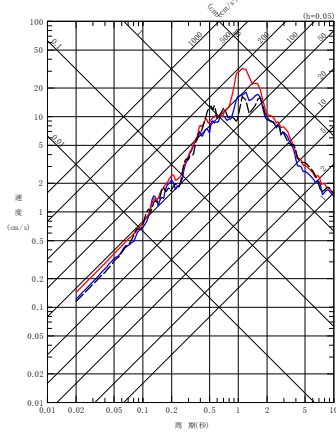
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



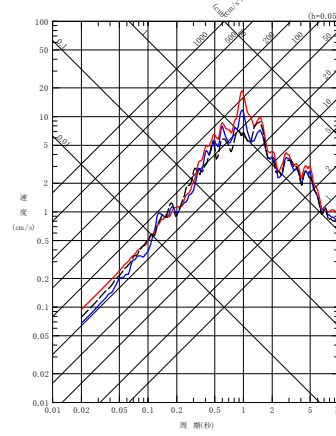
(a) NS 方向



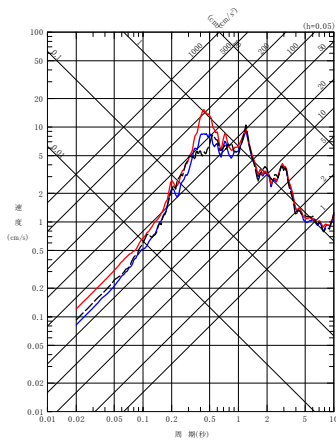
(a) NS 方向



(b) EW 方向

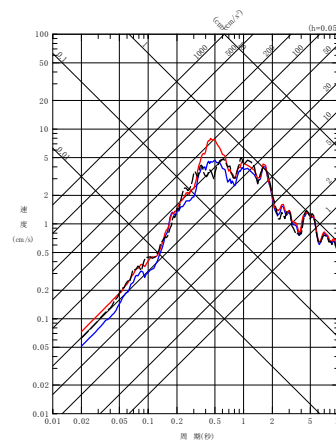


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 201103111508



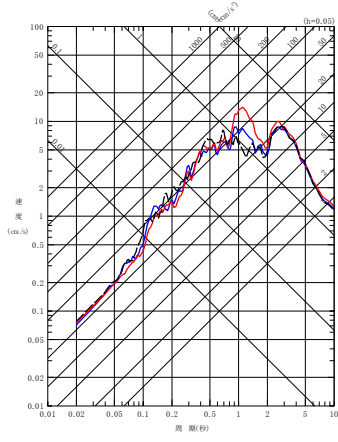
(c) UD 方向

(4) 201104072332 地震

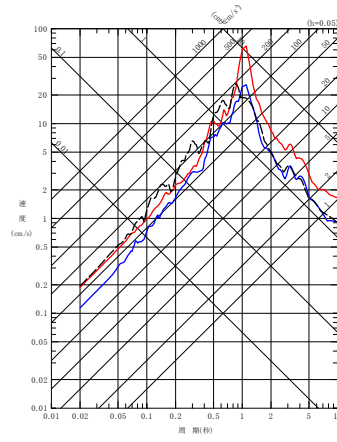
第 6.3.7.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (2/6)

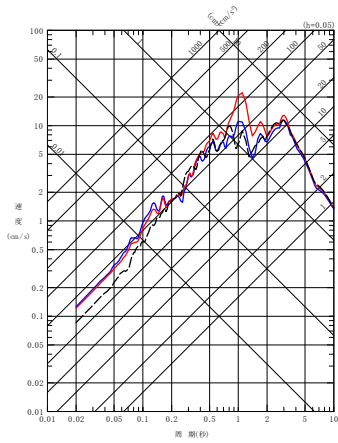
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (1)ニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



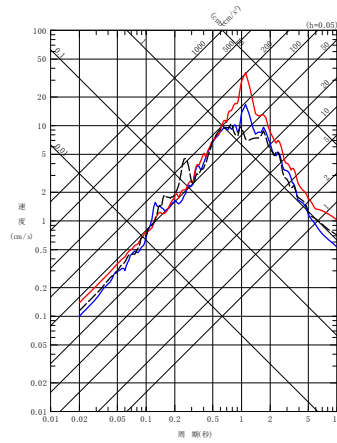
(a) NS 方向



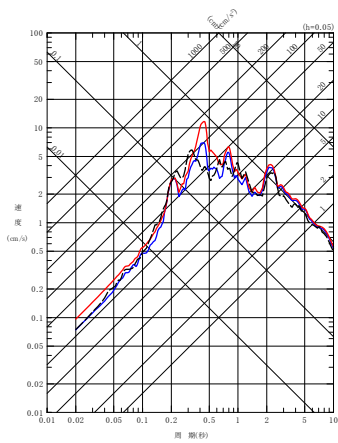
(a) NS 方向



(b) EW 方向

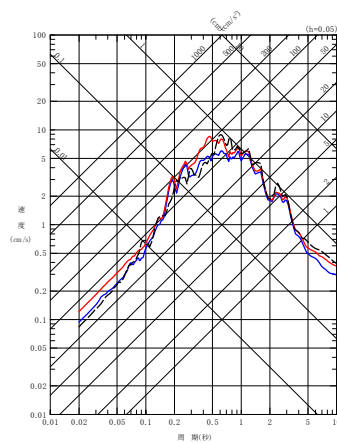


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 201106230650 地震



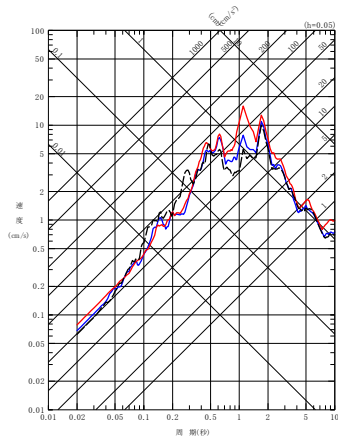
(c) UD 方向

(6) 201205240002 地震

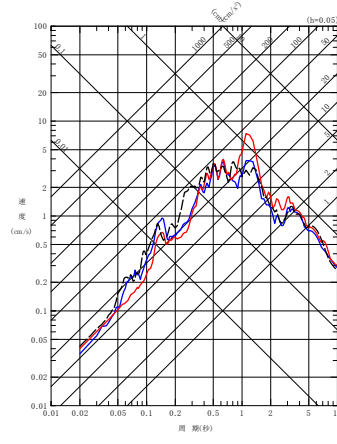
第 6.3.7.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (3/6)

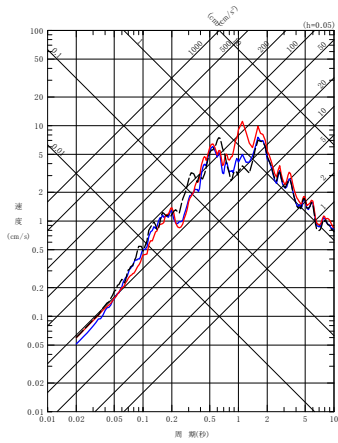
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



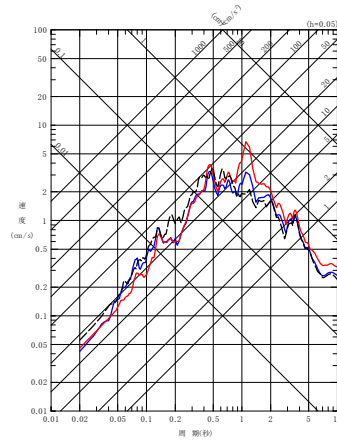
(a) NS 方向



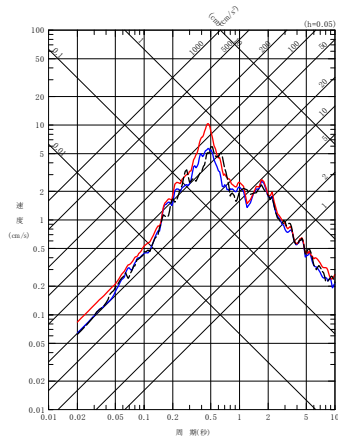
(a) NS 方向



(b) EW 方向

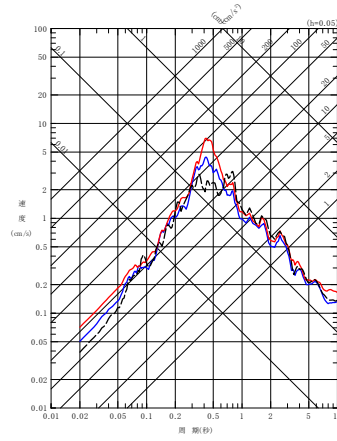


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201212071718 地震



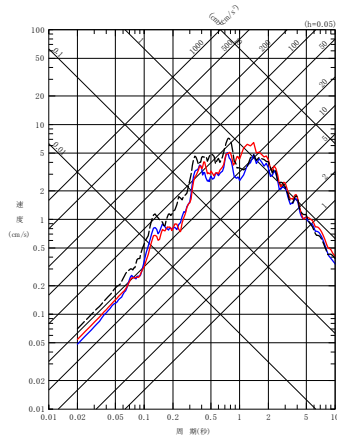
(c) UD 方向

(8) 201408101243 地震

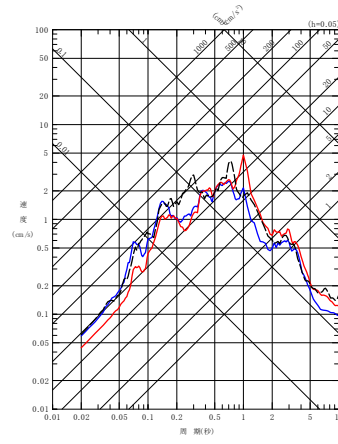
第 6.3.7.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (4/6)

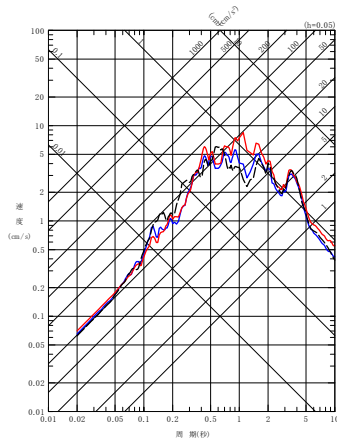
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



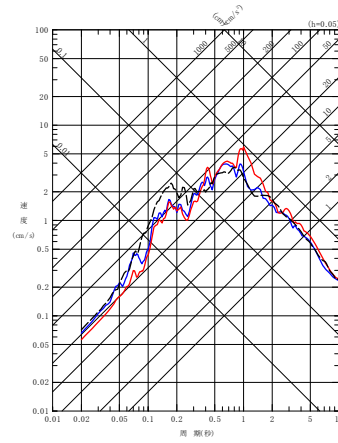
(a) NS 方向



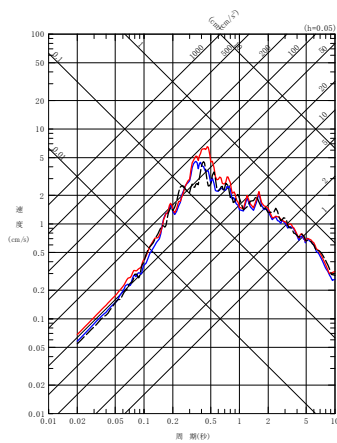
(a) NS 方向



(b) EW 方向

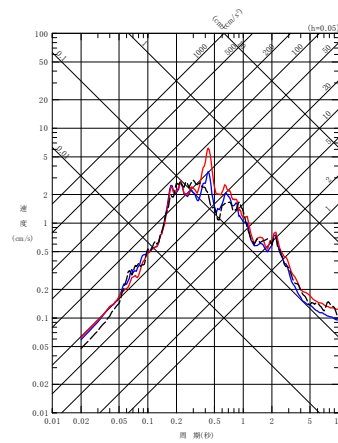


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201601141225 地震



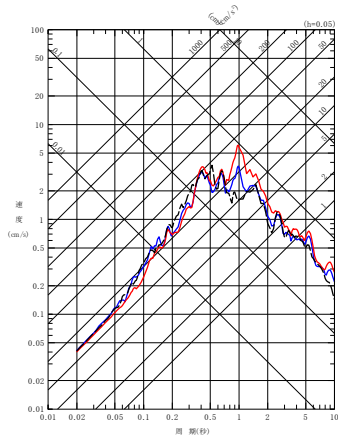
(c) UD 方向

(10) 201908151432 地震

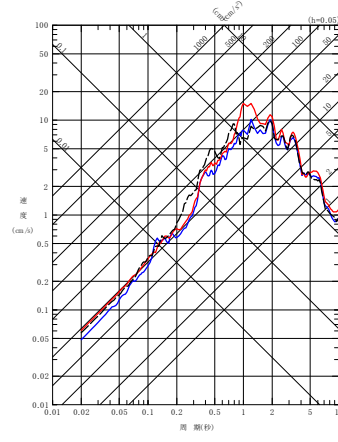
第 6.3.7.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (5/6)

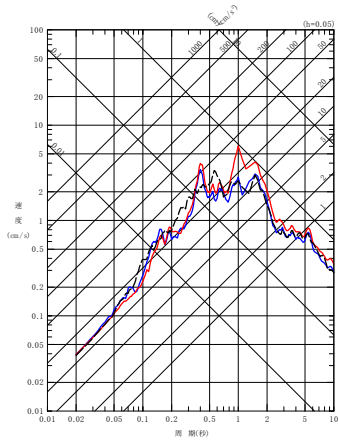
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 - - - 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



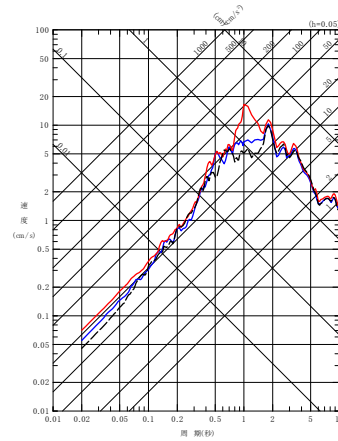
(a) NS 方向



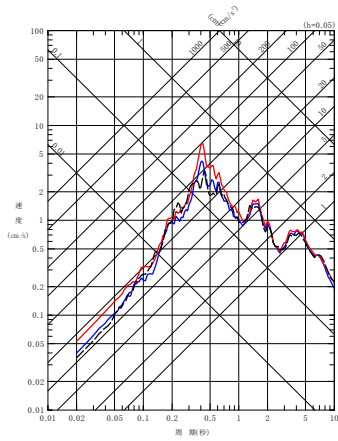
(a) NS 方向



(b) EW 方向

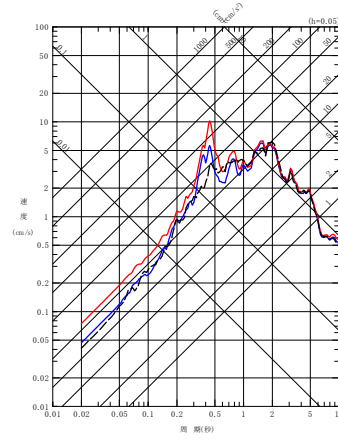


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 202012210223 地震

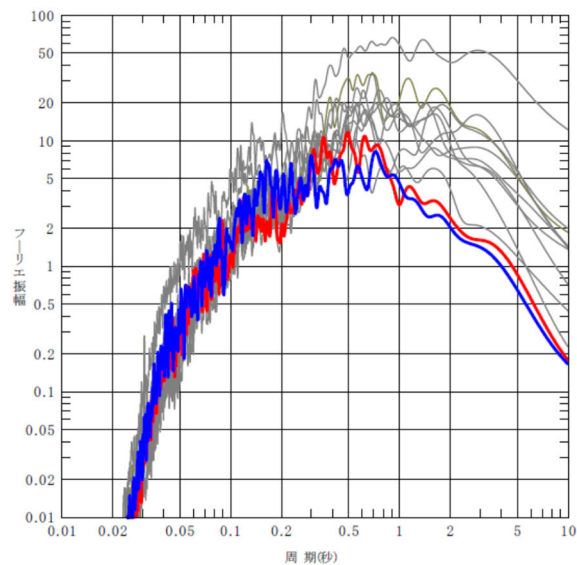
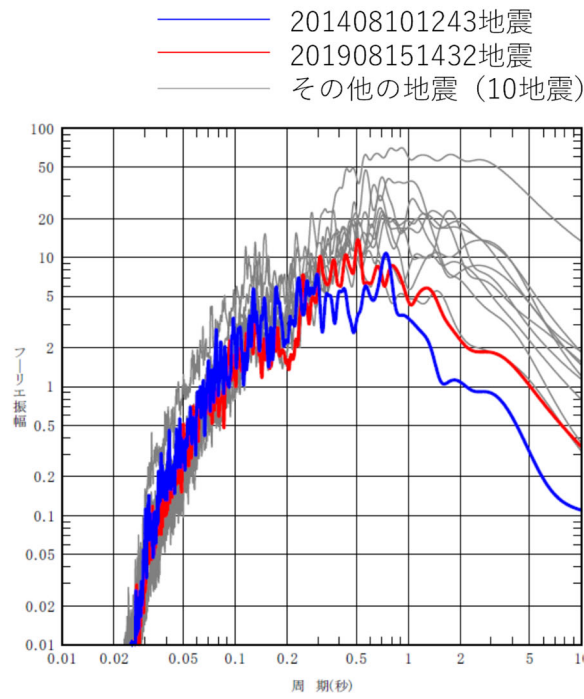


(c) UD 方向

(12) 202203162336

第 6.3.7.2-2 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (6/6)



第 6.3.7.2-3 図 検討に用いた地震観測記録のフーリエスペクトル
 (西側地盤, GL-18m, Parzen ウィンドウ 0.2Hz)

(3) 東側地盤観測点

東側地盤における振動数依存性を考慮しない場合の条件における地震観測記録のシミュレーション結果を、振動数依存性を考慮した場合の条件における結果とあわせて第 6.3.7.2-4 図に示す。

東側地盤において、振動数依存性を考慮しない場合は、長周期成分において、振動数依存特性を考慮する場合に比べて減衰定数を小さく評価することから、長周期成分の地盤応答を大きく与えることを確認した。

短周期側については、減衰定数を振動数依存特性を考慮する場合に比べて大きく評価することになるものの、地盤応答に対しては小さく評価されず、振動数依存性を考慮した場合と比較して、建物・構築物の固有周期帯（水平 0.2～0.3 秒，鉛直 0.1 秒～0.2 秒）において、概ねいずれの地震においても、振動数依存性を考慮し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 6.3.7.1-9 図及び第 6.3.7.1-10 図における同定結果の伝達関数のグラフに示すとおり、振動数依存性を考慮した場合と比較して、長周期側を大きく評価する結果となっていることによるものと考えられる。

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

地盤の応答解析において応答スペクトルを評価する際には、特に、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考えられる。

「参考 3 地震観測記録のシミュレーション解析に関する補足図表等」の参考 3-3.3 図に、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。

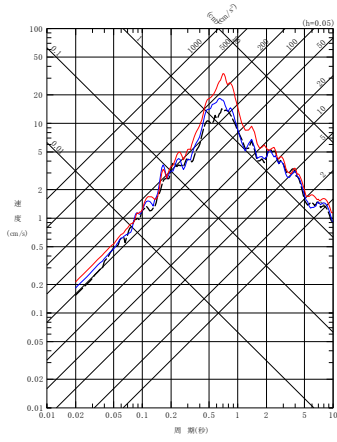
応答スペクトルについては、卓越する周期成分による応答が短周期成分の応答まで影響を与えるため、フーリエスペクトルに見られるような差は直接現れず、むしろ短周期側の応答も「周波数依存性なし」の方が大きくなっている。このような応答スペクトルの特性に加えて、フーリエスペクトルの短周期側の振幅レベルが、長周期側の振幅レベルに対して $10^2 \sim 10^3$ オーダーで小さくなっていることも、短周期側の応答が減衰定数の大小関係と一致しない要因となっている。

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

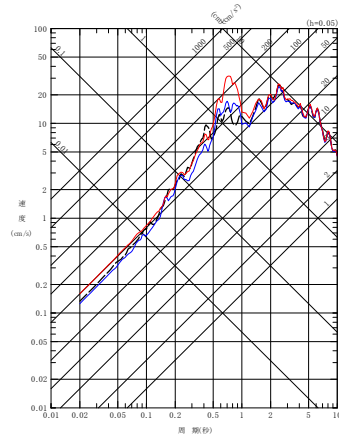
これは、第 6.3.7.1-9 図に示した同定結果において、上記周期で部分的にリニア型の同定結果を下回っており、さらに、これらの地震は、基準地震動 S_s において検討用地震として考慮する地震や、検討に用いたその他の地震と比較して地震規模が小さいため（(8) 201408101243 地震：M6.1, (10) 201908151432 地震：M5.5）、第 6.3.7.2-5 図に示す各地震のフーリエスペクトルのとおり、他地震と比較して長周期側の成分の地震動レベルが小さくなっていることから、上記に示した長周期側の地震動を大きく評価する効果が現れなかったことに起因すると考えられる。

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。

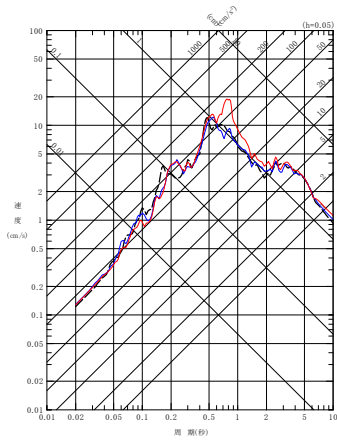
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



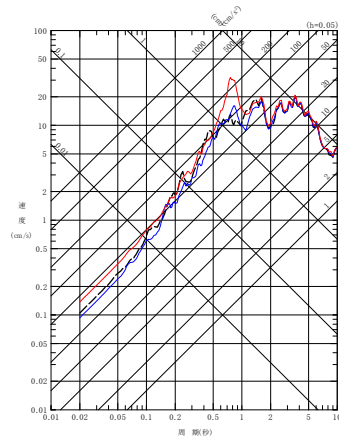
(a) NS 方向



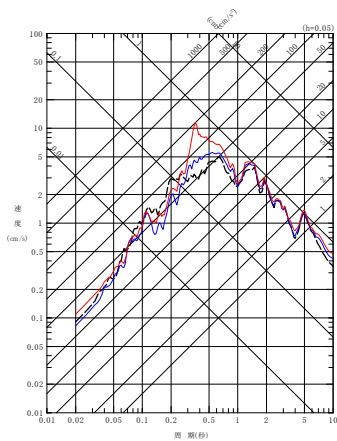
(a) NS 方向



(b) EW 方向

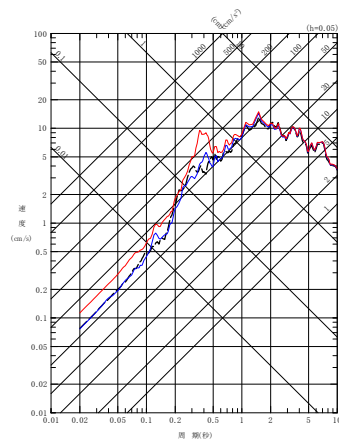


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200807240026 地震



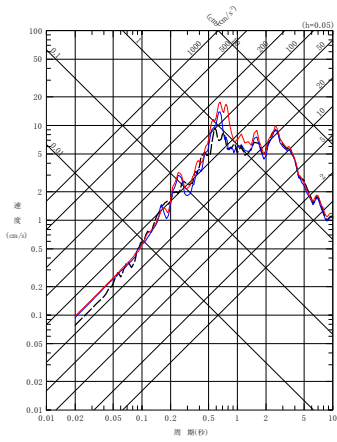
(c) UD 方向

(2) 201103111446 地震

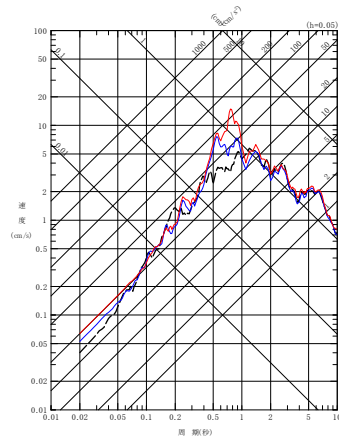
第 6.3.7.2-4 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (1/6)

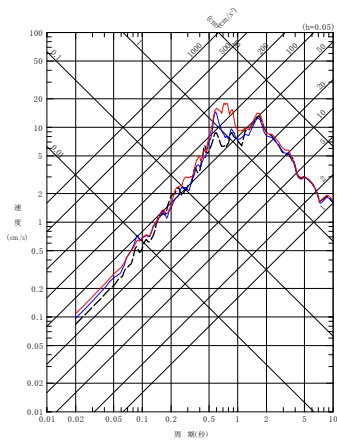
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



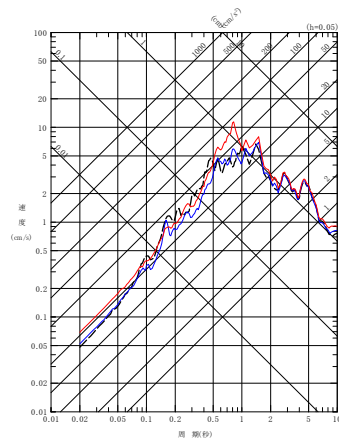
(a) NS 方向



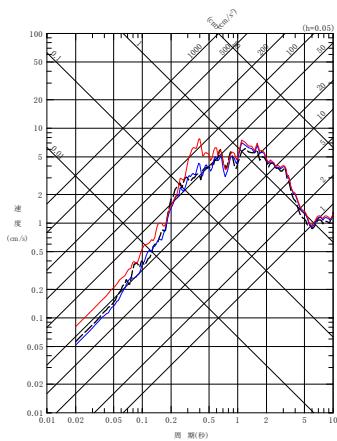
(a) NS 方向



(b) EW 方向

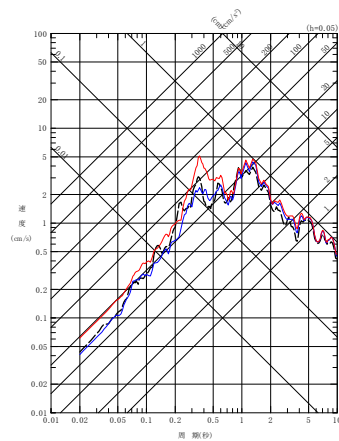


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 201103111508 地震



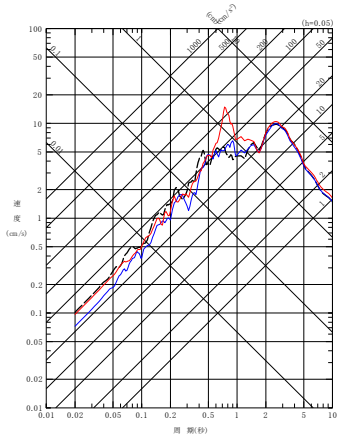
(c) UD 方向

(4) 201104072332 地震

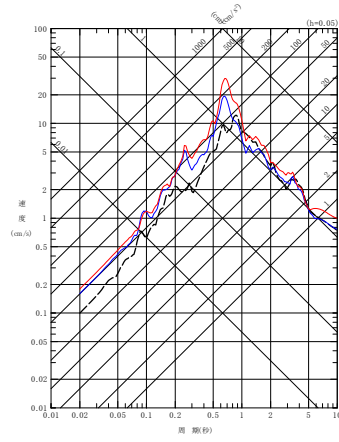
第 6.3.7.2-4 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (2/6)

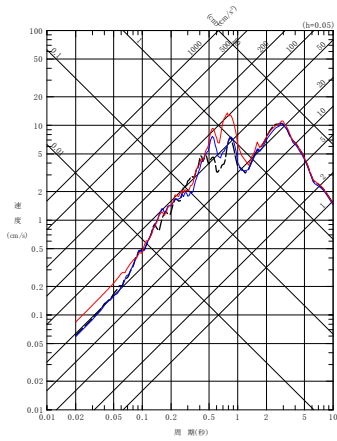
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 - - 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



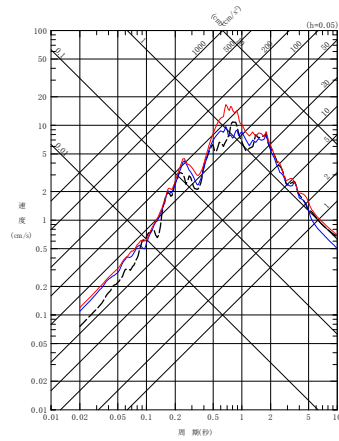
(a) NS 方向



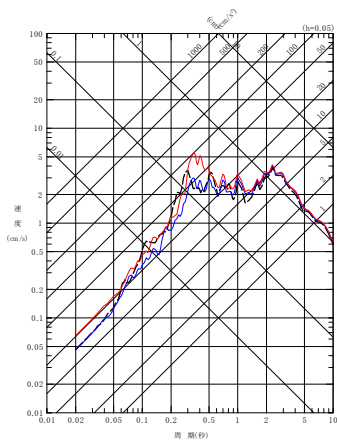
(a) NS 方向



(b) EW 方向

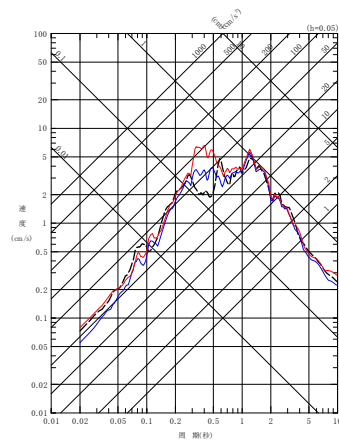


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 201106230650 地震

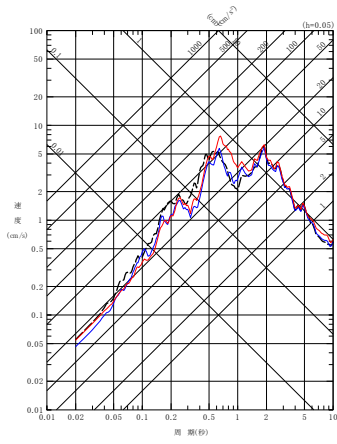


(c) UD 方向

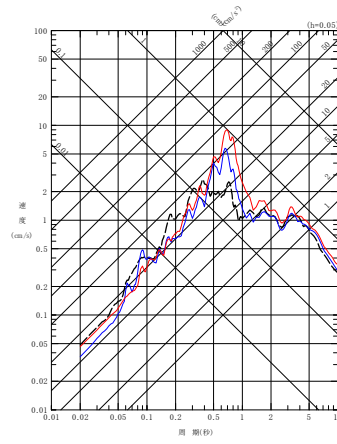
(6) 201205240002 地震

第 6.3.7.2-4 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果
 東側地盤観測点 (3/6)

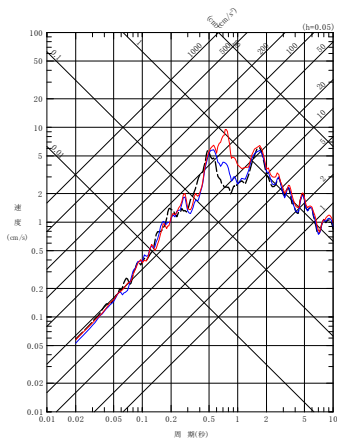
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



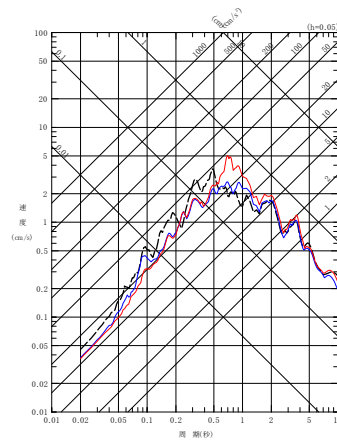
(a) NS 方向



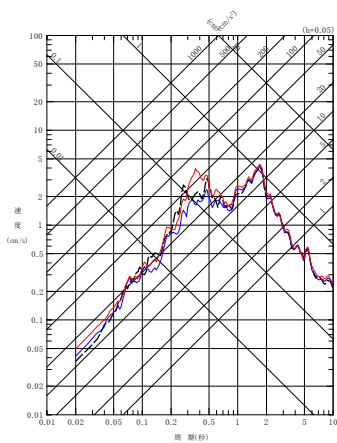
(a) NS 方向



(b) EW 方向

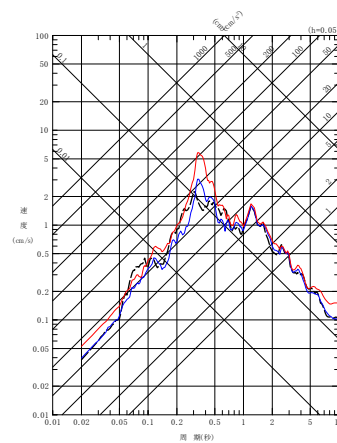


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201212071718 地震



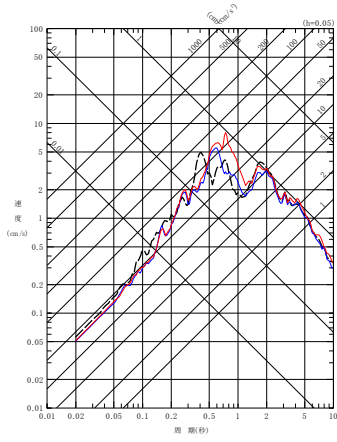
(c) UD 方向

(8) 201408101243 地震

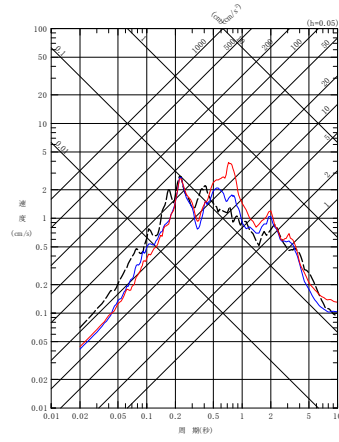
第 6.3.7.2-4 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (4/6)

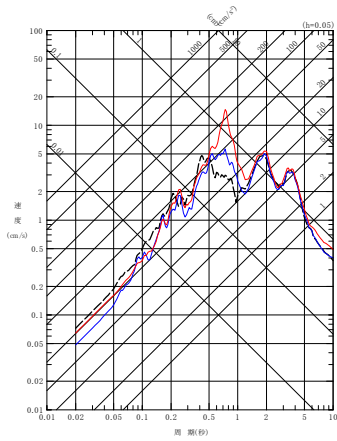
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



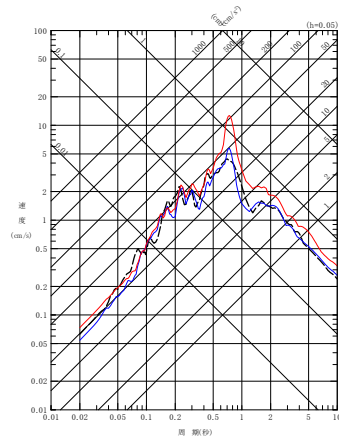
(a) NS 方向



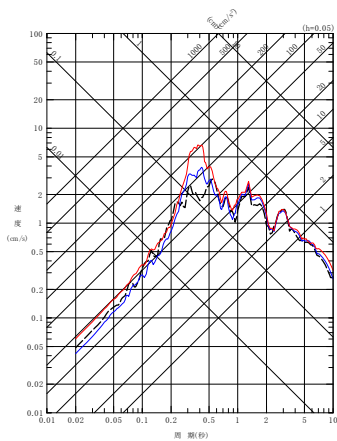
(a) NS 方向



(b) EW 方向

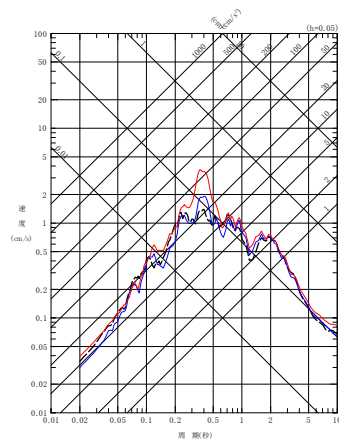


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201601141225 地震

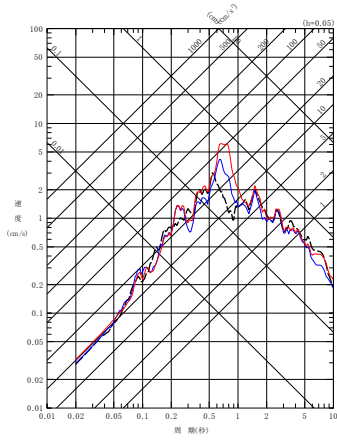


(c) UD 方向

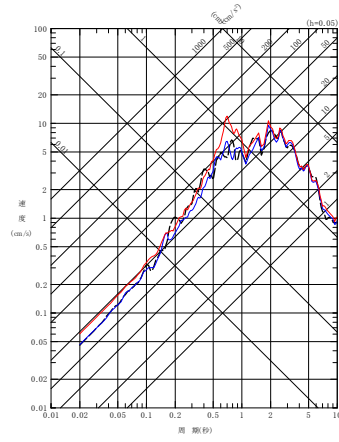
(10) 201908151432 地震

第 6.3.7.2-4 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果
 東側地盤観測点 (5/6)

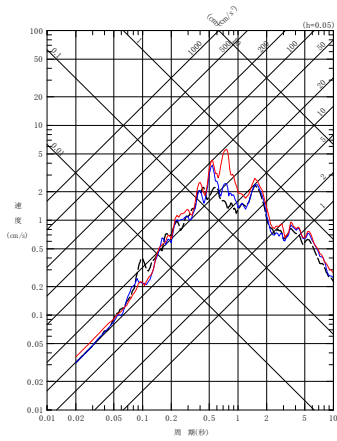
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



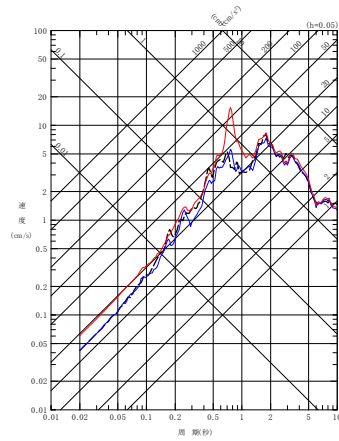
(a) NS 方向



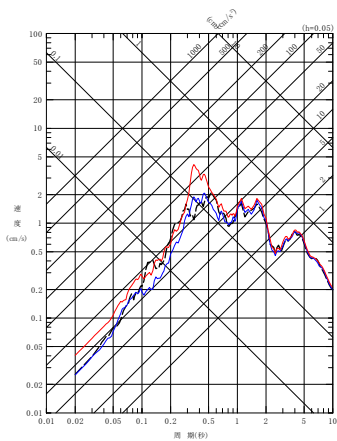
(a) NS 方向



(b) EW 方向

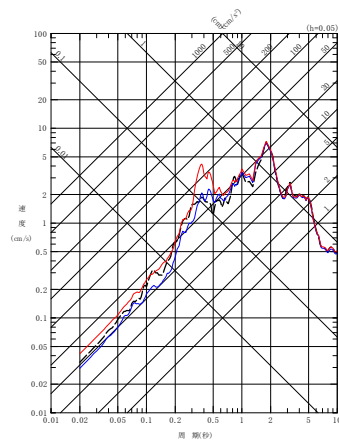


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 202012210223 地震



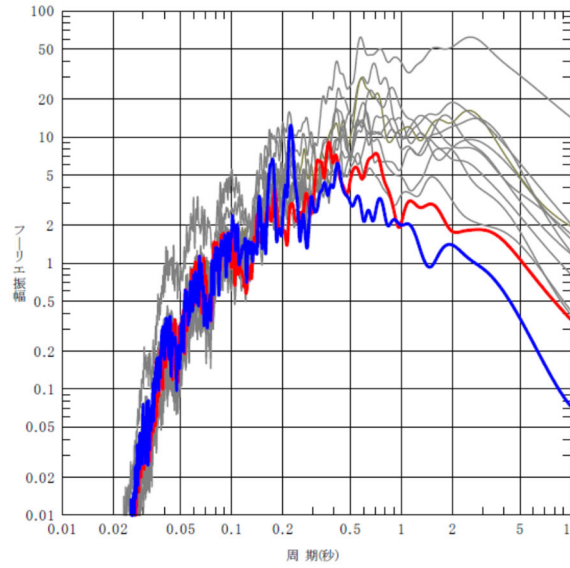
(c) UD 方向

(12) 202203162336 地震

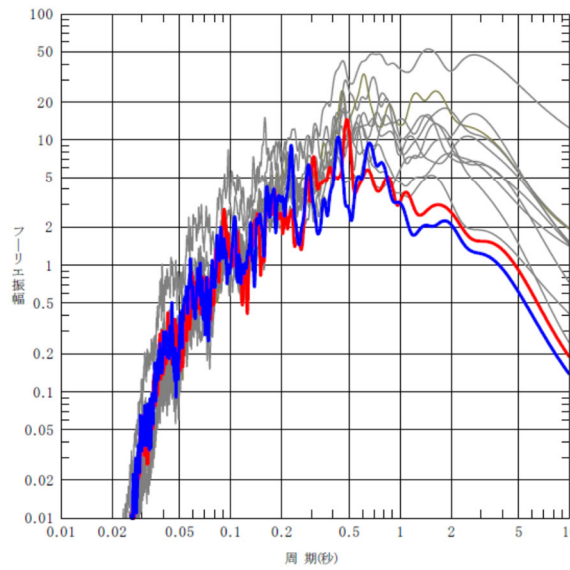
第 6.3.7.2-4 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (6/6)

— 201408101243地震
— 201908151432地震
— その他の地震 (10地震)



(NS成分)



(EW成分)

第 6.3.7.2-5 図 検討に用いた地震観測記録のフーリエスペクトル
 (東側地盤, GL-18m, Parzen ウィンドウ 0.2Hz)

6.4 地震波干渉法による検討

6.4.1 評価の概要

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

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

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

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

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

6.4.2 地震観測記録のスタッキング及び評価に用いる観測記録の抽出

(1) 検討対象とする地震

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

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

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

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

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

(2) 地震観測記録に対する処理

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

中央地盤において作成したスタッキング波形を第6.4.2-3図に示す。第6.4.2-3図のとおり、中央地盤の地震観測記録に基づくスタッキング波形については、入射波のピークと反射波のピークが明確に分離されていることから、「6.4.1 評価の概要」に示したとおり、Fukushima et al. (2016)における手法を当社敷地に適用することに問題はないと判断した。

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

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

西側地盤及び東側地盤について、この要因の分析を以下のとおり実施した。

(a) 西側地盤

第 6.4.2-5 図 (b) に、地震波干渉法に用いる地震のうち、解放基盤表面 (G. L. -125m) 深さにおける最大速度が大きい 10 地震を代表として西側地盤における速度時刻歴波形を示す。同図 (a) に示すとおり、中央地盤については、最深部の GL-200m から、最浅部の GL-2m まで、概ね時刻歴波形がその経時特性を保ったまま伝播している傾向がみられる。

一方、同図 (b) に示す西側地盤については、岩盤部分の地震観測深さである GL-125m 及び GL-200m と比較して、表層地盤の地震観測深さである GL-2m 及び GL-18m においては、主要動終了後に後続波が確認でき、表層地盤と岩盤部分で異なる経時特性の傾向を示している。

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

第 6.4.2-6 図 (1/2) に示す各地震観測点の地質構造及び PS 検層結果によれば、中央地盤については、表層地盤に該当する六ヶ所層及び高位段丘堆積層の層厚は数 m 程度と薄く、岩盤である鷹架層中部層との速度のコントラストも小さいものとなっている。

一方で、西側地盤については、地震観測位置において表層地盤が層厚約 30m 程度に厚く分布している。

さらに、西側地盤特有の傾向として、表層地盤を構成する砂子又層上部層及び砂子又下部層の境界で大きなコントラストを有する速度構造となっている。

また、第 6.4.2-6 図 (2/2) (b) に示したとおり、同定解析における初期モデルの作成時に参照した地震計設置位置における地下構造によれば、岩盤部分 (泥岩 (上部層)) と表層地盤 (砂子又層下部層) の境界面では、北西側に向かって深くなる傾斜を有している。

このことから、西側地盤については、岩盤部分を上昇した地震波が、地表において反射し、その下降波が、地震観測点において表層地盤中の速度コントラストを有する境界面及び岩盤部分と表層地盤部分の境界面で再度反射して上昇波となることで表層地盤内で重複反射を繰り返す傾向となり、さらに、岩盤部分と表層地盤部分の境界面における傾斜の影響によりその経時特性が複雑なものとなったために、表

層地盤中の地震観測点における後続波が現れ、岩盤部分と表層地盤部分の経時特性が異なるものとなったと考えられる。

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

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

常時微動観測記録のパワースペクトルを算定し、地震波干渉法に用いた地震との比較を行った結果を第 6.4.2-7 図(b)に示す。敷地に設置している地震観測装置については、定時校正が行われており、装置の異常は確認されていないこと、また、得られた常時微動観測記録には、地震波干渉法に用いる GL-2m 及び GL-125m のいずれの深さにおいても、その大きさは地震波干渉法に用いる地震と比較して十分に小さく、地震観測記録を本解析に用いる上で特異な傾向が無いことが確認できた。

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

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

(b) 東側地盤

第 6.4.2-5 図 (c) に、地震波干渉法に用いる地震のうち、解放基盤表面 (G. L. -125m) 深さにおける最大速度が大きい 10 地震を代表として東側地盤における速度時刻歴波形を示す。同図 (a) に示すとおり、中央地盤については、最深部の GL-200m から、最浅部の GL-2m まで、概ね時刻歴波形がその経時特性を保ったまま伝播している傾向がみられる。

一方、同図 (c) に示す東側地盤については、最深部の GL-200m と比較して、主要動終了後、後続波が明瞭に確認できる。この後続波は、岩盤部分を上昇した地震波が、地表において反射し、その下降波が、地震観測点において岩盤部分と表層地盤部分の境界である GL-18m で再度反射して上昇波となり、表層地盤内で重複反射を繰り返す傾向となったためであると考えられる。

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

第 6.4.2-6 図 (1/2) 及び第 6.4.2-6 図 (2/2) (c) に示す各地震観測点の地質構造及び PS 検層結果によれば、中央地盤については、表層地盤に該当する六ヶ所層及び高位段丘堆積層の層厚は数 m 程度と薄く、岩盤である鷹架層中部層との速度のコントラストも小さいものとなっている。

一方で、東側地盤については、西側地盤と同様に表層地盤が厚く分布している傾向にあり、地震観測位置において盛土が層厚約 20m 程度に厚く分布しており、さらに、東側地盤特有の傾向として、岩盤である鷹架層中部層との速度のコントラストが中央・西側地盤と比較して大きくなっている。

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

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

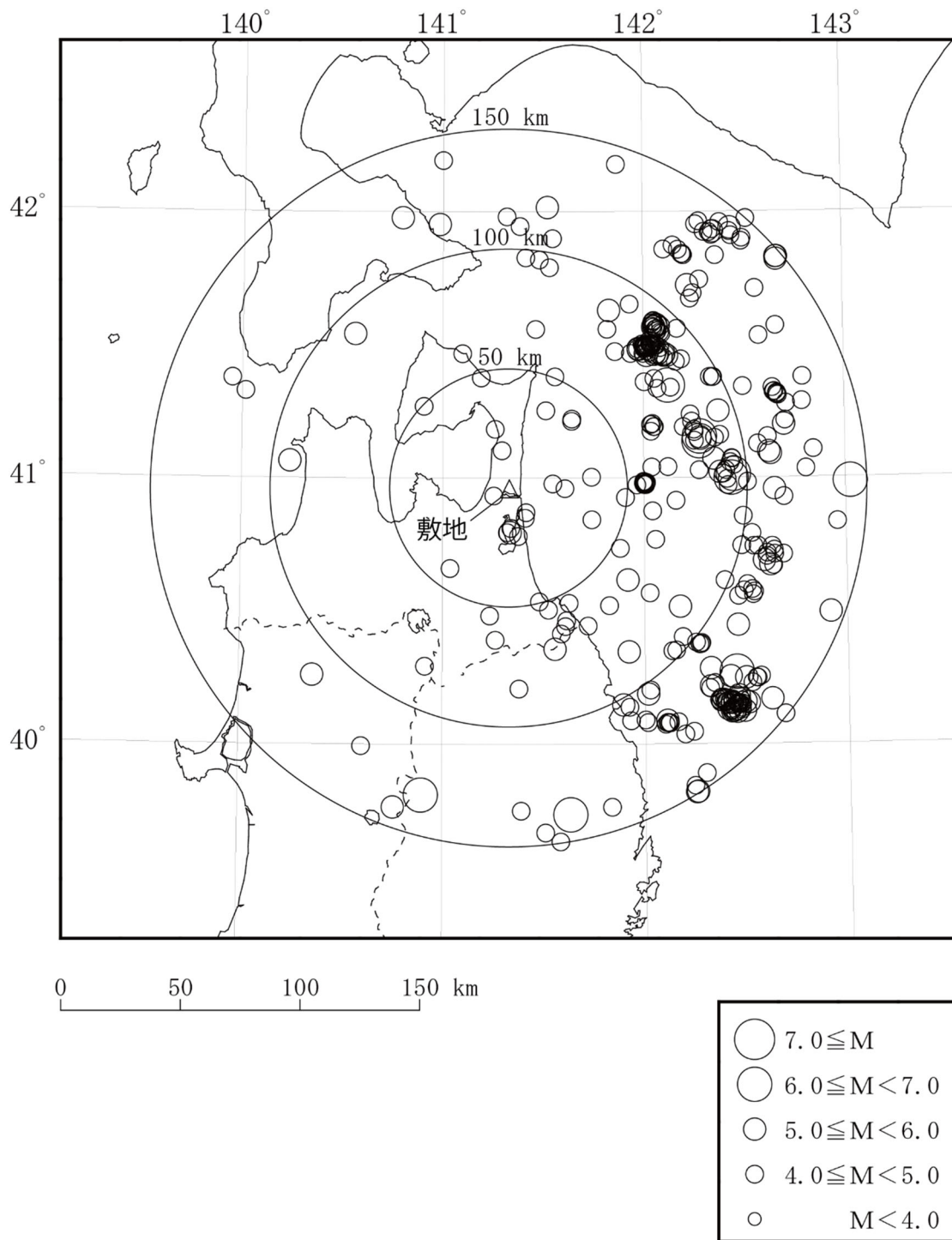
ていることに起因するものであり、本地震観測地点特有のものである。

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

常時微動観測記録のパワースペクトルを算定し、地震波干渉法に用いた地震との比較を行った結果を第6.4.2-6図(2/2)(c)に示す。敷地に設置している地震観測装置については、定時校正が行われており、装置の異常は確認されていないこと、また、得られた常時微動観測記録には、地震波干渉法に用いるGL-2m及びGL-125mのいずれの深さにおいても、その大きさは地震波干渉法に用いる地震と比較して十分に小さく、地震観測記録を本解析に用いる上で特異な傾向が無いことが確認できた。

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

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



第 6.4.2-1 図 評価に用いた地震の震央位置

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

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



注記：GOF が8 以上のデコンボリューション波形は赤色で示す。

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



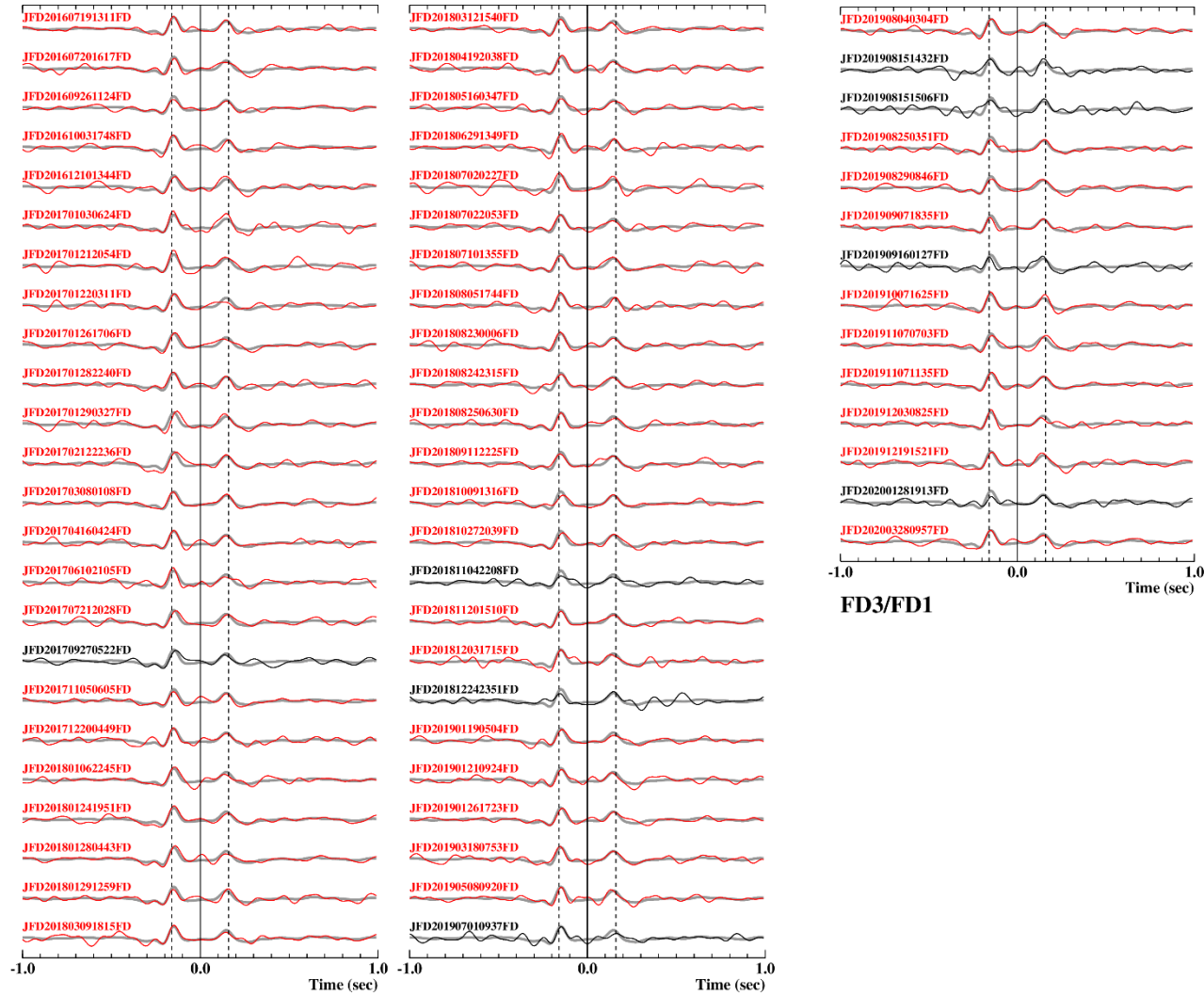
注記：GOF が8 以上のデコンボリューション波形は赤色で示す。

第6. 4. 2-2図 GL-2mに対するGL-125mの各地震のデコンボリューション波形（細線）とスタッキング波形（灰太線）（2/4）



注記：GOF が8 以上のデコンボリューション波形は赤色で示す。

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



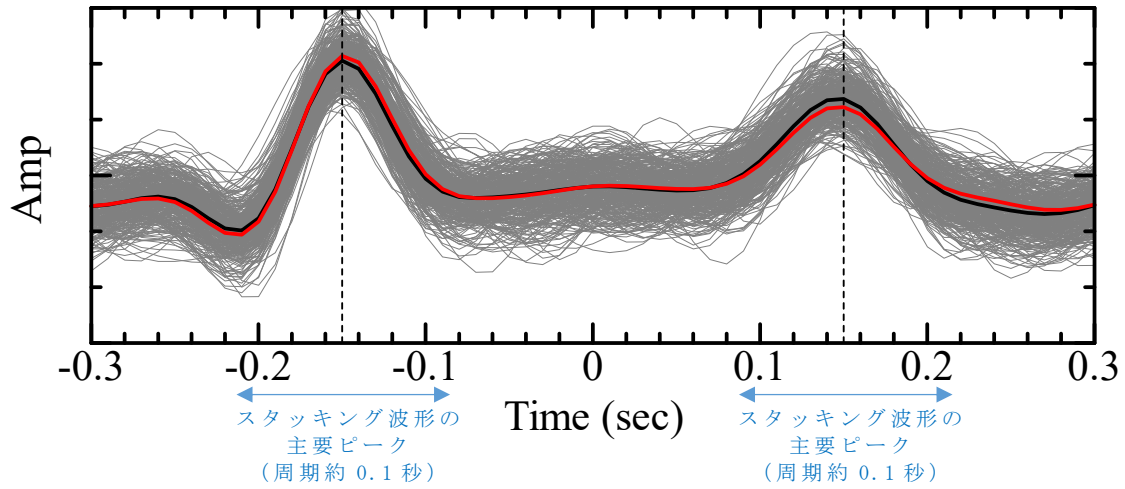
注記：GOF が8 以上のデコンボリューション波形は赤色で示す。

第6. 4. 2-2図 GL-2mに対するGL-125mの各地震のデコンボリューション波形（細線）とスタッキング波形（灰太線）（4/4）

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

黒線：311個の地震記録のスタッキング（平均）波形

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



注記：鎖線は、スタッキング波形のピーク時刻（ ± 0.15 秒）を示す。

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