

【公開版】

再処理施設 廃棄物管理施設

入力地震動の策定 次回会合説明の骨子案

令和5年12月5日



日本原燃株式会社

1. 入力地震動の算定に用いる地盤モデルの検討に係る対応全体計画	3
2. 敷地において得られたデータの整理及び分析	
a. 岩盤部分の物性値等	5
b. 岩盤部分の剛性の非線形性	11
c. 岩盤部分の減衰定数	14
d. 表層地盤の物性値等	24
3. まとめ	27

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

【1. 入力地震動の算定に用いる地盤モデルの検討に係る対応全体計画】

■ 今回の説明

今回説明までに得られているデータ及び今後の取得見込みを踏まえ、以下の内容について説明予定。

① 追加調査の実施状況について説明。

⇒岩石コアを用いた減衰測定、S波検層（フェーズ2及び3）及び埋戻し土の物性値のデータ取得状況

⇒岩石コア試験以外のデータは今回提示

そのうえで、既往データに加えて取得分の追加調査結果も含めた「a.岩盤部分の物性値等」、「b.岩盤部分の剛性の非線形性」、「c.岩盤部分の減衰定数」及び「d.表層地盤の物性値等」に係るデータを示す。

② ①で示したa.～d.の因子それぞれに係るデータについて、科学的な観点で各データの適用範囲や位置づけを踏まえたデータの分析方針及び追加調査を含め現時点にて得られているデータに基づく分析状況を説明。

【a.～d.の各因子におけるデータの分析に係る説明内容】

a.岩盤部分の物性値等

近接する建屋グループ毎に得られているPS検層データに基づく地盤物性等について、各建物・構築物直下の地下構造を踏まえた適用性を確認。

b.岩盤部分の剛性の非線形性

近接する建屋グループ毎に非線形化を考慮して算出した地盤応答について、線形条件とした場合に対する影響を分析。

c.岩盤部分の減衰定数

今回の減衰定数の検討における各調査及び評価ごとの特徴（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。


d.表層地盤の物性値等

・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地盤物性等を整理。

⇒上記の検討は電力会社、メーカ、ゼネコンの専門家の意見を十分に頂きつつ慎重に実施した。

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

【1. 入力地震動の算定に用いる地盤モデルの検討に係る対応全体計画】

 : 本資料における説明範囲

因子		各因子における実施項目		これまでの審査会合	今回審査会合	今後の対応
a. 岩盤部分の物性値等		<ul style="list-style-type: none"> 近接する建屋グループごとに、直下又は近傍のPS検層データを整理 		<ul style="list-style-type: none"> 敷地内12Grごとに直下又は近傍のPS検層データに基づく物性値の設定内容を説明（6/20） 	<ul style="list-style-type: none"> 既往及び追加データに基づく分析方針及び結果について説明 5 	-
b. 岩盤部分の剛性の非線形性		<ul style="list-style-type: none"> Ss地震時の地盤のひずみの大きさを踏まえた影響確認 		<ul style="list-style-type: none"> 非線形性が入力地震動に及ぼす影響が無く、線形条件を設定可能であることの確認内容を説明（6/20） 	<ul style="list-style-type: none"> 既往及び追加データに基づく分析方針及び現時点における結果について説明 11 ~ 13 	追加PS検層データを反映した評価結果
c. 岩盤部分の減衰定数	既往データによる検討	材料減衰	<ul style="list-style-type: none"> 繰返し三軸圧縮試験 	<ul style="list-style-type: none"> 事業許可にて整理している繰返し三軸圧縮試験結果に基づくひずみ依存特性について説明（6/20） 	<ul style="list-style-type: none"> 既往及び追加データに基づく分析方針及び結果について説明 14 ~ 23 	岩石コア試験結果及びその分析結果
		材料減衰+散乱減衰	<ul style="list-style-type: none"> S波検層（既往3地点のみ） 	<ul style="list-style-type: none"> 既往3地点において得られているデータの周波数領域、減衰定数の大きさについて説明（6/20） 		
			<ul style="list-style-type: none"> 地震観測記録を用いた検討 <ul style="list-style-type: none"> 伝達関数による検討 応答スペクトルによる検討 	<ul style="list-style-type: none"> 中央地盤における観測記録との整合性を考慮した条件(周波数依存性考慮・非考慮)による検討内容を説明（9/4） 東側地盤・西側地盤・中央地盤の観測記録及び地震観測位置における地質構造の特徴の確認（10/13） 東側地盤・西側地盤における観測記録との整合性を考慮した条件(周波数依存性考慮・非考慮)による検討内容を説明（10/13,11/20） 		
	追加データによる検討	材料減衰	<ul style="list-style-type: none"> 岩石コアを用いた減衰測定（データを有していないことから新規取得） 	<ul style="list-style-type: none"> 追加調査の目的及び計画を説明（9/4） 実施状況を説明（10/13,11/20） 		
		材料減衰+散乱減衰	<ul style="list-style-type: none"> S波検層（各Grごとに追加取得） 常時微動の計測（データを有していないことから新規取得） 	<ul style="list-style-type: none"> 中央地盤における検討内容を説明（9/4） 東側地盤における検討内容を説明（10/13） 西側地盤における検討内容を説明（11/20） 		
d. 表層地盤の物性値等	既往データによる検討	<ul style="list-style-type: none"> 埋戻し土及び流動化処理土に対して、既往のデータ（施工管理・物性データ）の整理 		<ul style="list-style-type: none"> 既往データに基づく物性データの整理結果を説明。（6/20） 既往データに基づく施工管理方法・物性データの整理結果に基づく物性値等の設定内容を説明。（9/4） 	<ul style="list-style-type: none"> 既往及び追加データに基づく分析方針及び結果について説明 24 ~ 26 	-
	追加データによる検討	<ul style="list-style-type: none"> 表層地盤の物性値に係る調査（施工年代別の範囲における採取されていない箇所や一部偏りがある深部について追加取得） 		<ul style="list-style-type: none"> 追加調査の目的及び計画を説明（9/4） 実施状況を説明（10/13,11/20） 		

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

2.敷地において得られたデータの整理及び分析 a.岩盤部分の物性値等

■データの整理及び分析の全体像

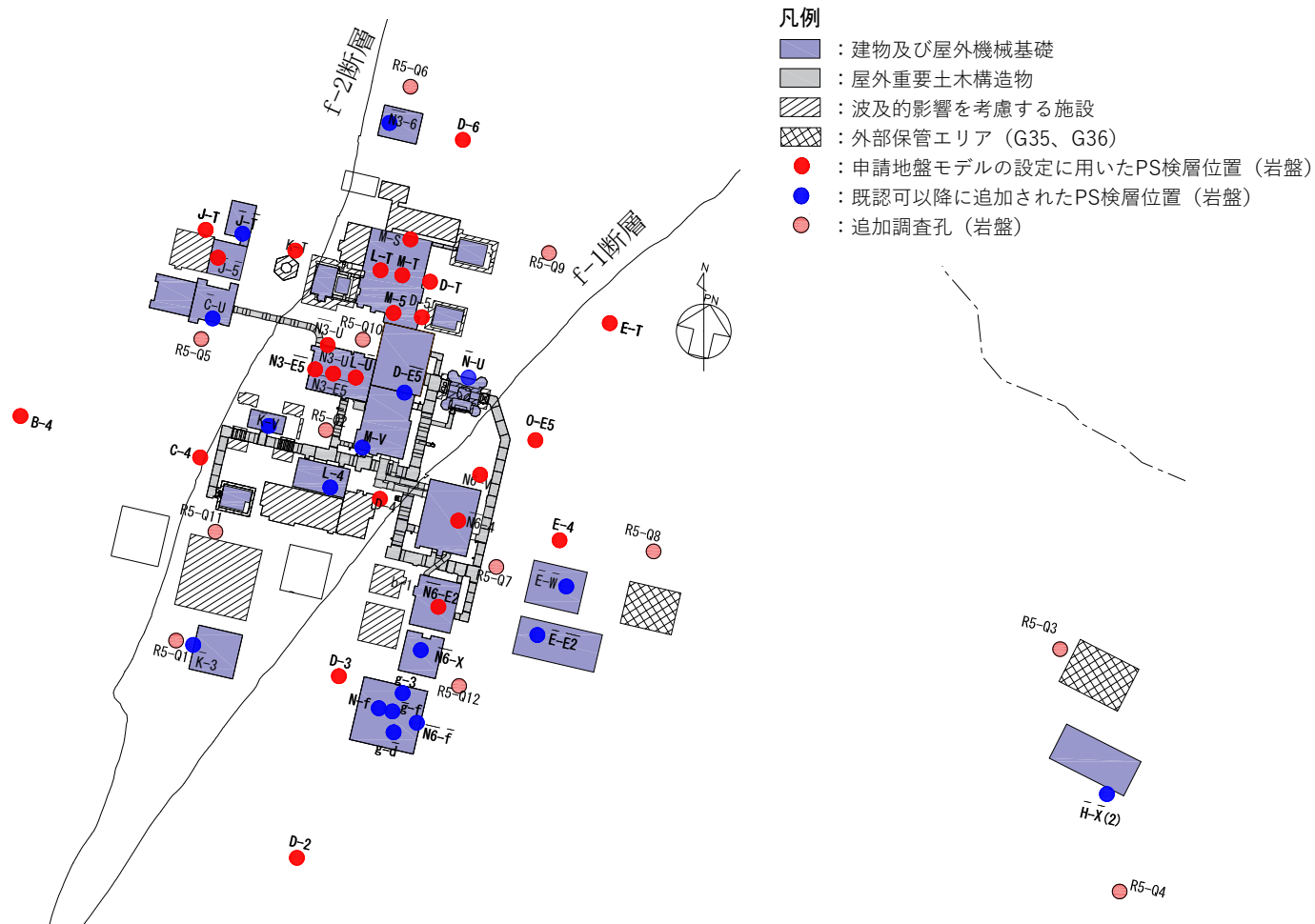
着目する因子	既往データの整理	追加データの取得及び整理	データの分析	敷地の地盤の特徴を捉えた地下構造	
a.岩盤部分の物性値等	検討内容	<ul style="list-style-type: none"> ➢敷地内の各建物・構築物の直下又は近傍のPS検層データ（●+●）を整理。 ➢近接する建屋グループごとに建物・構築物直下又は近傍の地下構造断面を整理。 	<ul style="list-style-type: none"> ➢減衰定数の検討にて実施する追加調査において得られる、各グループにおけるPS検層データ（●）を追加取得。 	<p>左記データに基づき敷地の地盤の特徴を捉える上で、以下の着目点での分析を実施。</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢上記分析にあたっては、近接する建物・構築物のグループを仮定した上で実施。 ➢左記データ（●+●+●）と、各データ取得位置及び建屋設置位置における地下構造の関係に基づき、各建物・構築物直下の地下構造を分析。 →AA周辺グループを代表として説明 ➢直下に断層による地下構造の不連続性が確認できる建屋については、地盤応答への影響の確認。 →G14グループを代表として説明 	<ul style="list-style-type: none"> ➢分析の結果、仮定した近接する建物・構築物のグループ（G14,BA以外）のそれぞれにおいて、同様の地下構造が分布していることがわかった →近接する建屋の地下構造を建屋個別に確認・比較した結果、左記データ（●+●+●）を平均化した物性値等を設定する。 ➢G14、BAについては、直下に断層を有し、地質構造の不連続性による地盤応答への影響が考えられる →断層による影響を適切に考慮する必要がある。 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>12/7提出の耐震建物08及び審査会合資料案にて、データとともに説明。</p> </div>
	データの信頼性	<p>用いるデータに対しては、以下の観点で信頼性を有することを確認したうえで用いる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢校正された機器を用いていること ➢適切な波形処理（常時微動等の影響）がされていること ➢原子力施設における調査実績を多数有する調査会社を実施していること 	<ul style="list-style-type: none"> ➢分析に係る着目点の把握、分析の実施にあたっては、これまで認可を受けている原子炉サイトにおける地盤モデルの策定において多数の実績を有する見識者を中心に実施。 ➢分析に当たっては、以下の着目点での確認が必要と判断。 <ul style="list-style-type: none"> ・グループ内における地下構造の特徴の把握 ・断層等の影響により建屋直下で地質構造が異なる場合の地盤応答への影響 		

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

2.敷地において得られたデータの整理及び分析 a.岩盤部分の物性値等

■ 既往データ及び追加データの整理

- まず、既往データの整理として、近接する建屋グループごとに建物・構築物直下又は近傍のPS検層データ（● + ●）を整理した。
- さらに、後述の「c.岩盤部分の減衰定数」にて実施する各グループにおけるS波検層の追加調査孔（●）においてPS検層データを取得し、データの拡充を実施。

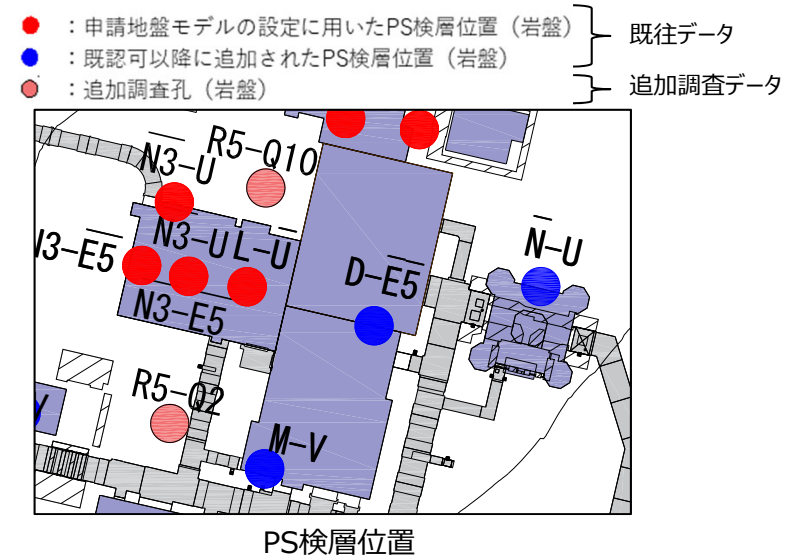
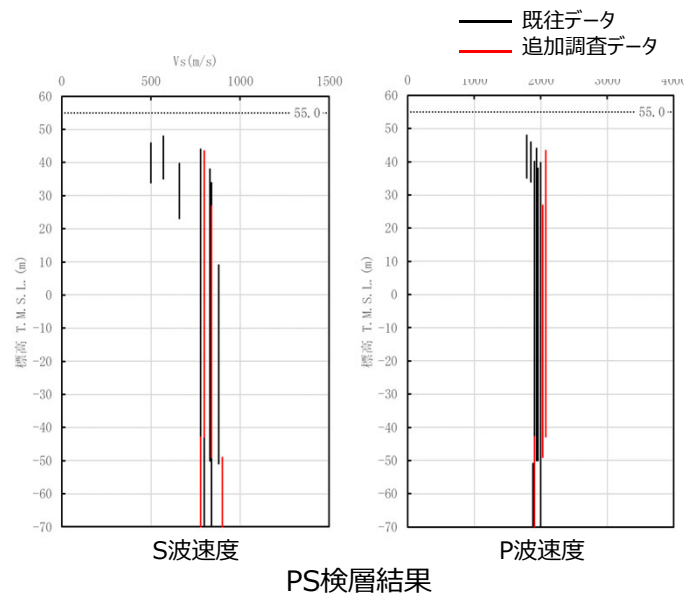


基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

2.敷地において得られたデータの整理及び分析 a.岩盤部分の物性値等

■ 既往データ及び追加データの整理

➢ 近接する建物・構築物のグループ（ここではAA周辺グループを代表として示す）におけるPS検層の追加データ取得結果を以下に示す。



● データの信頼性

- PS検層に用いた受信機は、校正されたものを用いている。また、起振波の振幅レベルに対して、常時微動による影響がないことを確認している。
- PS検層方法としては「JGS-1122 地盤の弾性波速度検層方法」に適合する方法を用いている。
→観測直後に記録した波形が特異なものでないこと及び信号の到達時間が妥当であることを現場にて確認。
- 速度構造の解析時に、初動走時を正確に把握するために、記録波形を位相反転した波形に対しても確認を実施し、読み取り精度の向上を図っている。
- PS検層の作業及びデータの読み取り・分析については、原子力施設における多数の実績を有する調査会社によって実施。

● 本データから得られた知見（他因子における分析への要反映項目）

- PS検層データを追加したことにより、他因子における地盤応答を比較した分析については、本追加データを反映した上で再実施が必要。
→p13に示すとおり、「b.岩盤部分の剛性の非線形性」に係る分析において、非線形性の考慮の有無による入力地震動の比較を、地盤応答解析により実施していることから、解析条件となる物性値等に対して追加データを反映し、再度解析・分析を行う。

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

2.敷地において得られたデータの整理及び分析 a.岩盤部分の物性値等

■データの分析

- 取得したデータ（● + ● + ●）の分析にあたり、各データ取得位置及び建屋設置位置における地下構造の関係に基づき、各建物・構築物直下の地下構造を把握。（本資料においてはAA周辺グループを代表として説明）
- その上で、直下に断層による地下構造の不連続性が確認できる建屋については、地盤応答への影響を確認。（本資料においてはG14グループを代表として説明）
- 上記分析にあたっては、近接する建物・構築物のグループの、全グループに対して同様の観点で実施した。
- 上記分析は、原子炉サイトの地盤物性の設定において多数の実績を有する見識者による検討を実施した。



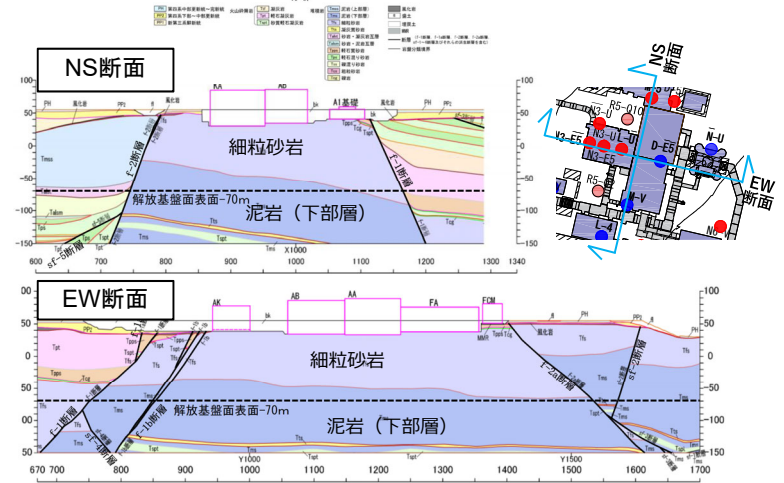
基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

2.敷地において得られたデータの整理及び分析 a.岩盤部分の物性値等

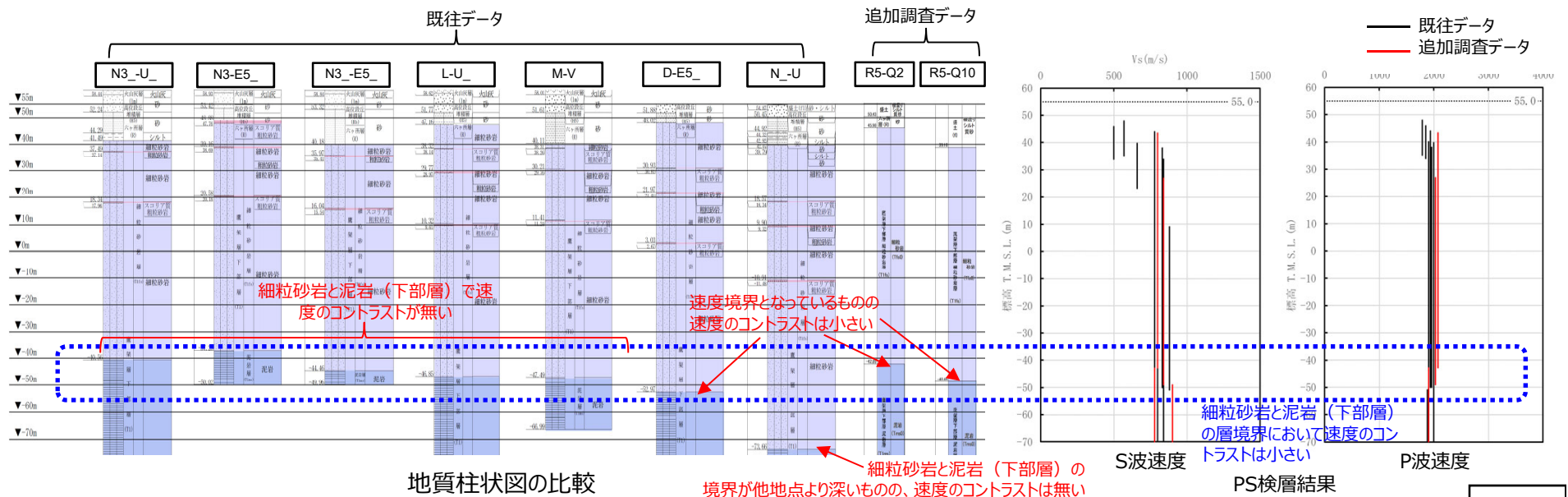
■データの分析

●グループ内の地下構造の特徴の把握（AA周辺グループの例）

- 岩盤分類図を用いてAA周辺グループの地下構造について確認し、建物・構築物直下においては、鷹架層下部層の細粒砂岩及び泥岩が主に分布していることを確認した。
- AA周辺グループの建物・構築物直下においては、岩種の分布に差を与えるような断層は見られない。
- また、前頁に示したPS検層（●+●+●）のうち、AA周辺グループにおけるPS検層孔の地質柱状図及び速度構造の比較を行い、建物・構築物直下の地下構造の特徴について整理した。
- N₋U孔を除く8孔については、岩種境界レベルが同等となっており、その境界における速度のコントラストは小さいまたは無いことを確認。N₋U孔は岩種境界レベルは他地点と異なるものの、細粒砂岩と泥岩の境界では速度のコントラストは無い。
- 以上のことから、地質構造及び速度構造の観点より、AA周辺グループにおいては、いずれの地点においても同様の地下構造が分布していると考えられる。



岩盤分類図



基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

2.敷地において得られたデータの整理及び分析 a.岩盤部分の物性値等

■データの分析

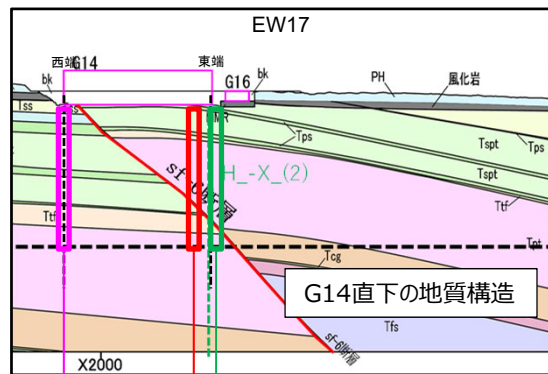
●断層等の影響により、グループ内で地質構造が異なる場合の地盤応答への影響（G14グループの例）

【分析方針】

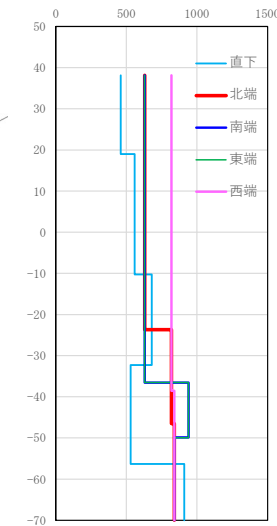
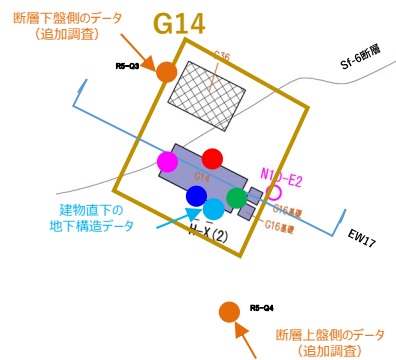
- p16に示すとおり、「c.岩盤部分の減衰定数」に係るデータ整理において、地震観測地点のPS検層データに対し、観測地点近傍における地層の傾斜や断層による地質構造の切り替わりが見られる場合、地震観測記録を再現する応答を与えるために速度構造を補正する必要があったことを踏まえ、建物・構築物直下に断層があり、断層を境として直下に異なる地質構造が見られる場合は、以下の検討を実施した。
- 以下のとおり設定した複数の地盤物性に基づく入力地震動の応答スペクトルを比較する。
 - ・ 建屋直下において断層を境として異なる岩種の分布が確認される施設を対象として、建物・構築物の直下又は近傍のPS検層結果だけでなく、建物設置範囲の各位置における地質構造の違いを反映した地盤物性を複数設定。
 - ・ 設定にあたっては、各位置の地質構造の特徴が捉えられているPS検層結果（図中●）に基づき設定。
 ⇒sf-6断層により、G14建屋直下の各位置において異なる地質構造が分布しているG14グループを代表として説明する。
- 応答スペクトルの比較にあたっては、施設の耐震設計において重要となる周期帯として、建物・構築物及び内包する設備への影響を考慮し、建物の1次固有周期よりも短周期側における応答スペクトルの大小関係に着目する。

【分析結果】

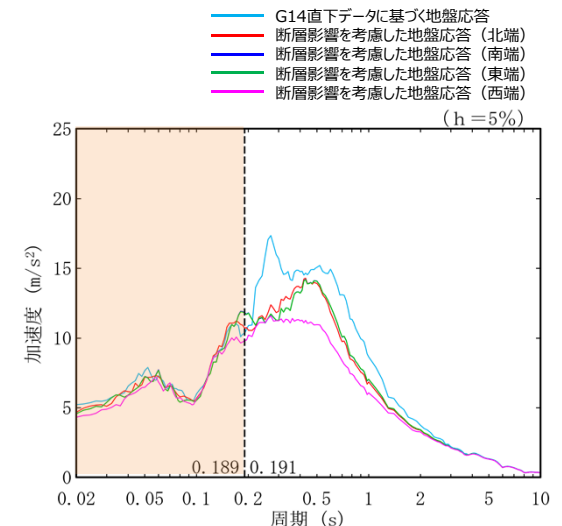
- 下盤側の地盤が支配的な構造となっている建屋西端（図中●）よりも、上盤側の地盤が支配的となっている北端（図中●）、南端（図中●）、東端（図中●）のほうが、大きな地盤応答を与える傾向。
- なお、上記建屋直下各位置の地盤物性（図中●,●,●,●）に対し、G14直下データに基づく地盤物性（図中●）は、全周期帯にわたって大きな地盤応答を与える傾向。



G14直下に存在する断層による地下構造の不連続性（東西断面の例）



G14直下各位置の速度構造



基礎底面レベルの応答スペクトル

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

2. 敷地において得られたデータの整理及び分析 a. 岩盤部分の剛性の非線形性

■データの整理及び分析の全体像

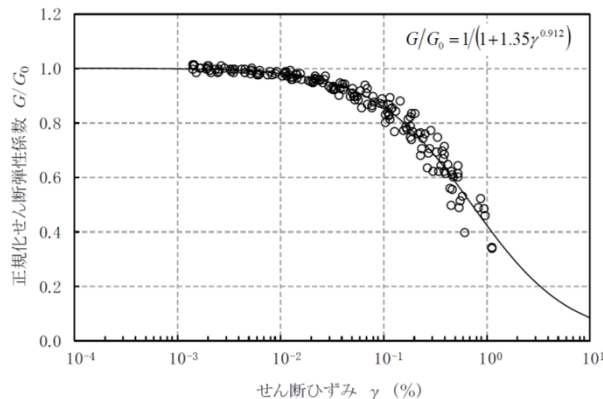
着目する因子		既往データの整理	追加データの取得及び整理	データの分析	敷地の地盤の特徴を捉えた地下構造
a. 岩盤部分の物性値等	検討内容	<ul style="list-style-type: none"> ➢非線形条件（地盤剛性のひずみ依存特性）に係るデータを整理。 	-	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 線形条件と非線形条件の入力地震動を比較し、入力地震動の応答スペクトルに与える影響を確認。 ➢ 上記確認における解析条件については、「a. 岩盤部分の物性値等」に係る追加データを反映して見直しを実施。 	<ul style="list-style-type: none"> ➢AZ及びG14については、Ssの振幅レベルにおいて、線形条件と比較して入力地震動の算定結果に影響を与える非線形性を有している。 ➢上記以外のグループについては、Ssの振幅レベルにおいても、線形条件と比較して入力地震動の算定結果に影響をしない程度の非線形性を有している。 <p>（上記は追加調査データ反映前の検討における見込み）</p>
	信頼性の確保	<p>用いるデータに対しては、以下の観点で信頼性を有することを確認したうえで用いる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢三軸圧縮試験としてはJISに適合する方法を用いている。 ➢原子力施設における多数の実績を有する調査会社によって実施。 		<ul style="list-style-type: none"> ➢ 分析に係る着目点の把握、分析の実施にあたっては、これまで認可を受けている原子炉サイトにおける地盤モデルの策定において多数の実績を有する見識者を中心に実施。 ➢ 分析に当たっては、以下の着目点での確認が必要と判断。 <ul style="list-style-type: none"> ・Ss地震時の岩盤部分の非線形レベル（ひずみの大きさ及び剛性低下率） ・非線形性が入力地震動に与える影響（線形条件とした場合の入力地震動の比較） 	

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

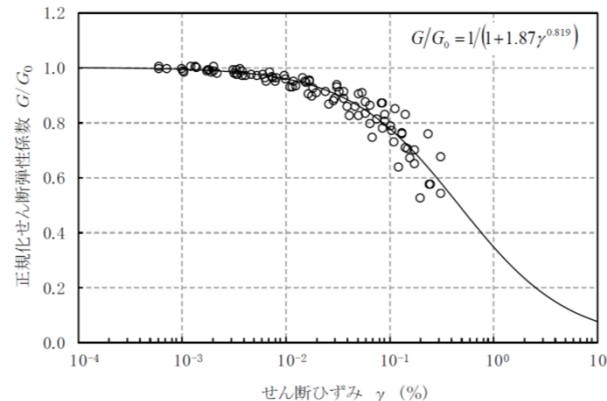
2. 敷地において得られたデータの整理及び分析 a. 岩盤部分の剛性の非線形性

■ 既往データ及び追加データの整理

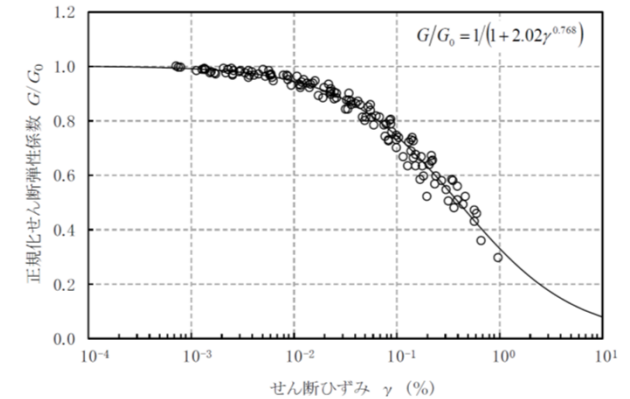
➤ 下図に、敷地に分布する岩盤である鷹架層のうち、主要な岩種（層厚の大きい岩種）を代表として、三軸圧縮試験による剛性のひずみ依存特性を示す。



泥岩（上部層）のひずみ依存特性
（剛性低下率）の例



細粒砂岩のひずみ依存特性
（剛性低下率）の例



軽石凝灰岩のひずみ依存特性
（剛性低下率）の例

● データの信頼性

➤ 動的変形特性試験は、JIS2563-2020「軟岩の変形特性を求めるための繰り返し三軸試験方法」に基づくに方法により実施している。

- ・十分な剛性を有する試験機材の使用
- ・ベディングエラーの排除（ギャップセンサー、LDT(Local Deformation Transducer)の使用
- ・弾性範囲内の初期偏差応力設定

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

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

2.敷地において得られたデータの整理及び分析 a.岩盤部分の剛性の非線形性

■データの分析

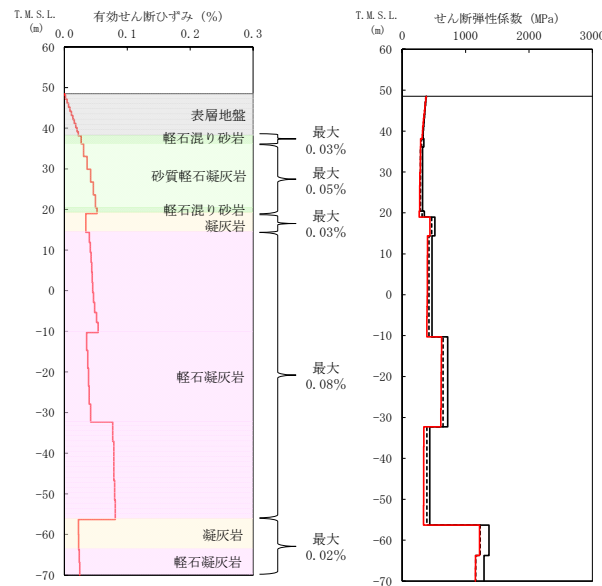
●Ss地震時の岩盤部分の非線形レベル及び非線形性が入力地震動に与える影響に係る分析

【分析方針】

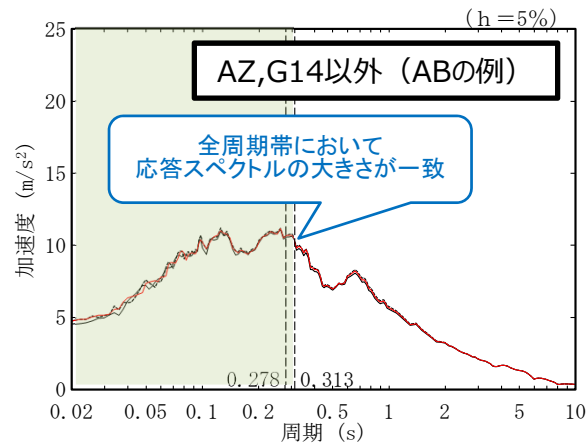
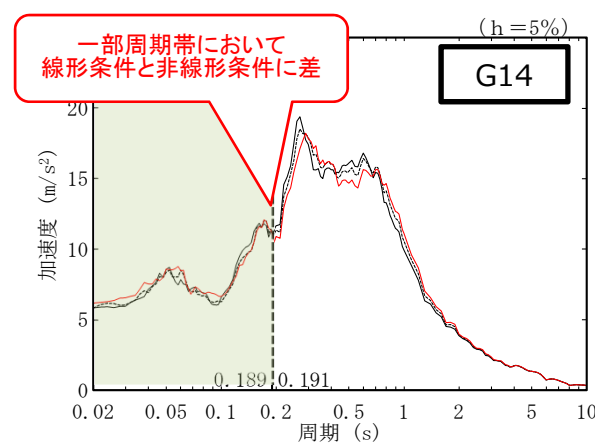
- 非線形条件とした場合と線形条件とした場合の地盤のせん断ひずみ度及び入力地震動の応答スペクトルへの影響を確認する。
- 応答スペクトルの比較にあたっては、施設の耐震設計において重要となる周期帯として、建物・構築物及び内包する設備への影響を考慮し、建物の1次固有周期よりも短周期側における応答スペクトルの大小関係に着目する。
- P7に示したとおり、上記確認における解析条件については、「a. 岩盤部分の物性値等」に係る追加データを反映して見直しを再実施する。
⇒上記については次回反映を行った結果を示す。

【分析結果】

- AZ及びG14については、建物の1次固有周期よりも短周期側の領域において、線形条件と非線形条件の違いによって、入力地震動の算定結果にわずかな差を与える。
- 施設の耐震設計において重要となる建物・構築物及び内包する設備への影響を考慮し、建物の1次固有周期よりも短周期側において、応答スペクトルが一致し、線形条件と非線形条件の違いが入力地震動の算定結果に差を与えない。



地盤の等価線形解析結果（G14の例）



線形条件及び非線形条件における基礎底面レベルの入力地震動の比較

注：追加調査にて得られる岩盤部分のPS検層データを踏まえ、岩盤部分の物性値等を見直した条件に基づき、今後同様の解析・比較を再実施する。

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

2.敷地において得られたデータの整理及び分析 c.岩盤部分の減衰定数

■データの整理及び分析の全体像

着目する因子		既往データの整理	追加データの取得及び整理	分析方針	敷地の地盤の特徴を捉えた地下構造
a.岩盤部分の物性値等	検討内容	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 地震観測記録に基づく手法 ➢ S波検層（敷地内3地点） ➢ 3軸圧縮試験 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ S波検層（12地点） ➢ 岩石コア試験 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 以下に示すとおり、各調査・検討条件を踏まえ、物理的な意味合いとして、各データの持つ以下の特徴着目した分析を実施。 <ul style="list-style-type: none"> ・考慮する地震動の振幅レベル ・各データの周波数特性を踏まえた減衰定数の成分（材料減衰又は散乱減衰） ・各データの取得位置 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 地震観測記録を用いた同定結果及びS波検層結果から、敷地内の地盤の減衰定数の特徴としては、いずれの地点においても、ごく短周期～長周期にわたり、周波数依存性を有していると考えられる。 ➢ 今回用いているデータは、いずれについても、低振幅レベルにおける調査・評価結果であることから、線形状態における地盤の減衰定数を示している。 ➢ 地震観測記録に基づく同定結果（周波数依存性あり：リニア型）が、S波検層結果に対して小さい減衰定数を与えることから、敷地内各地点における岩盤部分の減衰定数は、地震観測地点における同定結果によって、代表することが可能。
	信頼性の確保	<p>【地震観測記録の信頼性】</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 地震観測装置の設置時の施工管理及び保守 ➢ 得られた観測記録の適切な方位補正 ➢ 日々の定時校正 ➢ 常時微動による影響が無いことの確認 <p>【S波検層の信頼性】</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 校正された機器を用いて測定を行っている。 ➢ PS検層方法としては「JGS-1122 地盤の弾性波速度検層方法」に適合する方法を用いている。 ➢ スイープ震源により、周波数特性を精度よく把握できるデータを使用。 ➢ 近接建屋や表層地盤の影響を加味した波形処理 <p>【三軸圧縮試験の信頼性】</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ JISに適合する方法による試験の実施 ➢ 原子力施設における多数の実績を有する調査会社によって実施。 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 分析に係る着目点の把握、分析の実施にあたっては、原子炉サイトにおける地盤モデルの策定において多数の実績を有する見識者を中心に実施。 ➢ 分析に当たっては、以下の着目点での確認が必要と判断。 <ul style="list-style-type: none"> ・各調査・検討において考慮している地震動の振幅レベルと、耐震設計において考慮する地震動の振幅レベルの違いによる減衰定数への影響 ・既往知見に基づけば、減衰定数の成分（材料減衰及び散乱減衰）は周波数特性の違いとして現れることから、各データにみられる周波数特性から敷地における上記成分の構成を把握 ・既往データが、敷地内の代表的な地点における特徴を示すものであることから、敷地内各位置で得られるS波検層の追加データを踏まえ、既往データの適用範囲または敷地内において代表可能な範囲について確認 		

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

2. 敷地において得られたデータの整理及び分析 c. 岩盤部分の減衰定数

■ 既往データ及び追加データの整理（まとめ）

- JEAGに示される手法（三軸圧縮試験、S波検層、地震観測記録による検討）に基づくデータを整理。
- 既往データにおいては、地盤の減衰（材料減衰+散乱減衰）を直接測定するS波検層データが、敷地内の限定的な位置でのみ行われていたことから、敷地内各グループごとの減衰定数に係るデータを取得するために、S波検層の追加データを取得。
- あわせて、上記S波検層を追加する孔におけるコアサンプリングを行い、岩石コア試験による材料減衰の測定データを取得。

岩盤部分の減衰定数に係るデータ

データ	成分	着目周期帯	取得位置		考慮する地震動の振幅レベル	備考	
			既往データ	追加データ			
地震観測記録に基づく手法	地震観測記録に基づく同定解析	材料減衰 + 散乱減衰	0.02～5s程度 (建物・構築物の固有周期帯に対応)	地震観測位置 (3地点)	—	実地震観測記録の振幅レベル(敷地においては40ガル程度まで)	・伝達関数の説明性: リニア型>一定減衰型 ・地震観測記録のシミュレーション結果の大きさ: 一定減衰≧リニア型 ≡地震観測記録
	地震波干渉法	材料減衰 + 散乱減衰	デコンボリューション波形の卓越周期周辺	地震観測位置 (3地点)	—	実地震観測記録の振幅レベル(敷地においては40ガル程度まで)	西側及び東側地盤においては、表層地盤の地下構造による影響が確認され、適切な評価が不可
S波検層	材料減衰 + 散乱減衰	0.01～0.1s程度のごく短周期領域	中央、西側、東側地盤各1地点ずつ (合計3地点)	各Gr(12地点)	微小振幅レベル	—	
3軸圧縮試験	材料減衰	なし	敷地内各地点および各岩種	—	直接地震動の振幅とは対応しないが、地盤のせん断ひずみ(1%程度まで)に対応した非線形特性を測定可能	—	
岩石コア試験	材料減衰	数百Hz～のごく高振動数・短周期帯	—	各Gr(12地点)	微小振幅レベル	データの信頼性含め次回追記	

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

2.敷地において得られたデータの整理及び分析 c.岩盤部分の減衰定数

■ 既往データ及び追加データの整理（地震観測記録に基づく方法）

● 地震観測記録から得られた減衰定数のデータ

- 地震観測記録を用いた減衰定数の同定にあたり、周波数依存性なしのケースにおける減衰定数を評価しているが、地震観測記録を用いたシミュレーション解析の結果、周波数依存性あり（リニア型）と周波数依存性なしのケースのいずれについても、シミュレーション解析結果は地震観測記録を再現することから、入力地震動を算定する上で、周波数依存性あり（リニア型）と周波数依存性なしのケースは、等価なものとなっていると考えられる。
- 地震波干渉法については、中央地盤においては、振動数依存性は確認できないものの、用いた地震波における卓越周期（約0.1秒）における減衰定数の値としては信頼性が高い結果が得られていると考えられる。西側地盤及び東側地盤については、地震波に特異な後続波の影響（表層地盤の構造等に起因）が見られたことから、信頼性の高い評価はできないと判断した。
- 地震観測記録に基づく方法においては、地震波干渉法も実施しているが、表層地盤による影響等により、西側地盤及び東側地盤においては岩盤部分の特徴を捉える上で信頼性の高い地震波形を抽出できなかったことから、中央地盤のみ実施。

● データの信頼性

- 地震観測装置自体の健全性としては、装置設置時点における実際の方位とセンサの方位のずれの確認等の施工管理を行っており、年一度の保守管理、装置の耐用年数を踏まえた定期的なリプレースを実施している。さらに、観測装置は1日1回の定時校正を行い、センサに異常が無いことを確認している。
- 検討に用いている地震観測記録の処理・分析にあたっては、上記のセンサの方位のずれに対して適切な方位補正を行っているほか、地震観測装置を用いた常時微動の観測により、特異な傾向が無いことを確認しており、地盤の振動を把握する上で精度の高いデータとなっている。

● 本データから得られた知見（他因子における検討への要反映項目）

- 減衰定数の同定にあたり、速度構造もあわせて同定しているが、地震観測地点のPS検層データに対し、観測地点近傍における地層の傾斜や断層による地質構造の切り替わりが見られる場合には、この影響を踏まえた速度構造を設定することにより、地震観測記録との整合性を改善した。

⇒「a.岩盤部分の物性値等」におけるデータ分析（p10）において、建屋直下に断層が分布しており地質構造の不連続性が確認できる場合に、その不連続性が地盤応答に与える影響を踏まえ、複数の物性値等を設定して入力地震動の算定結果への影響を確認している。

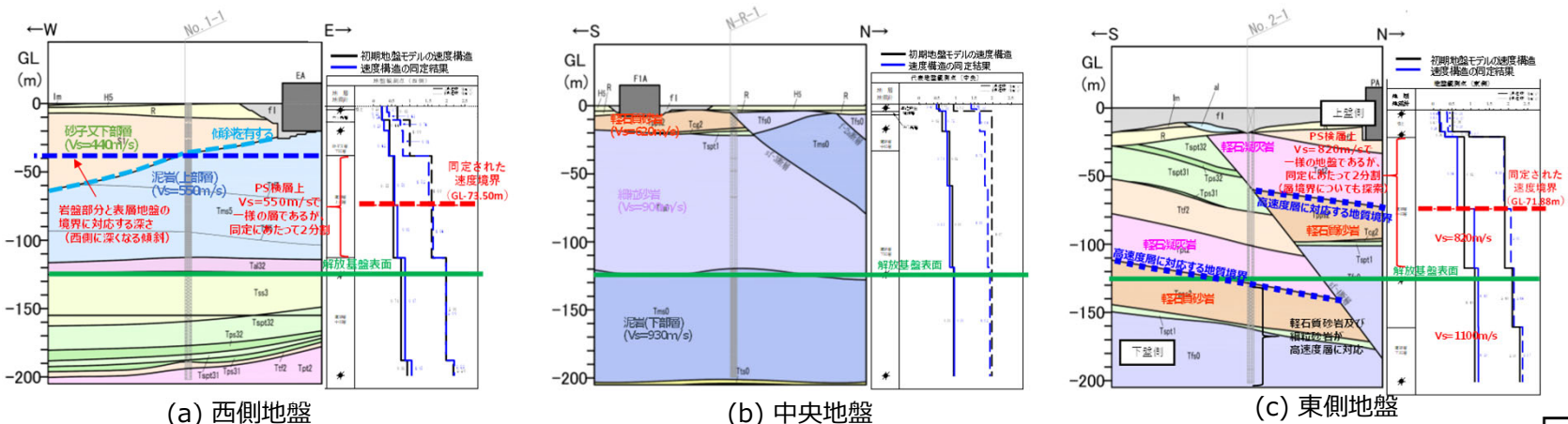
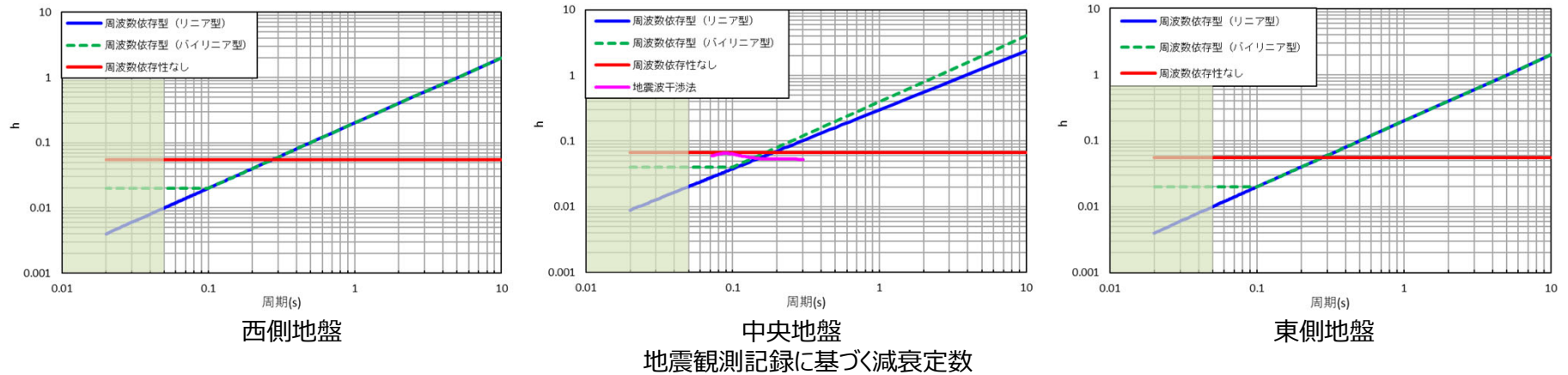


図7 地震観測位置の地質断面図及び速度構造・速度境界の同定結果

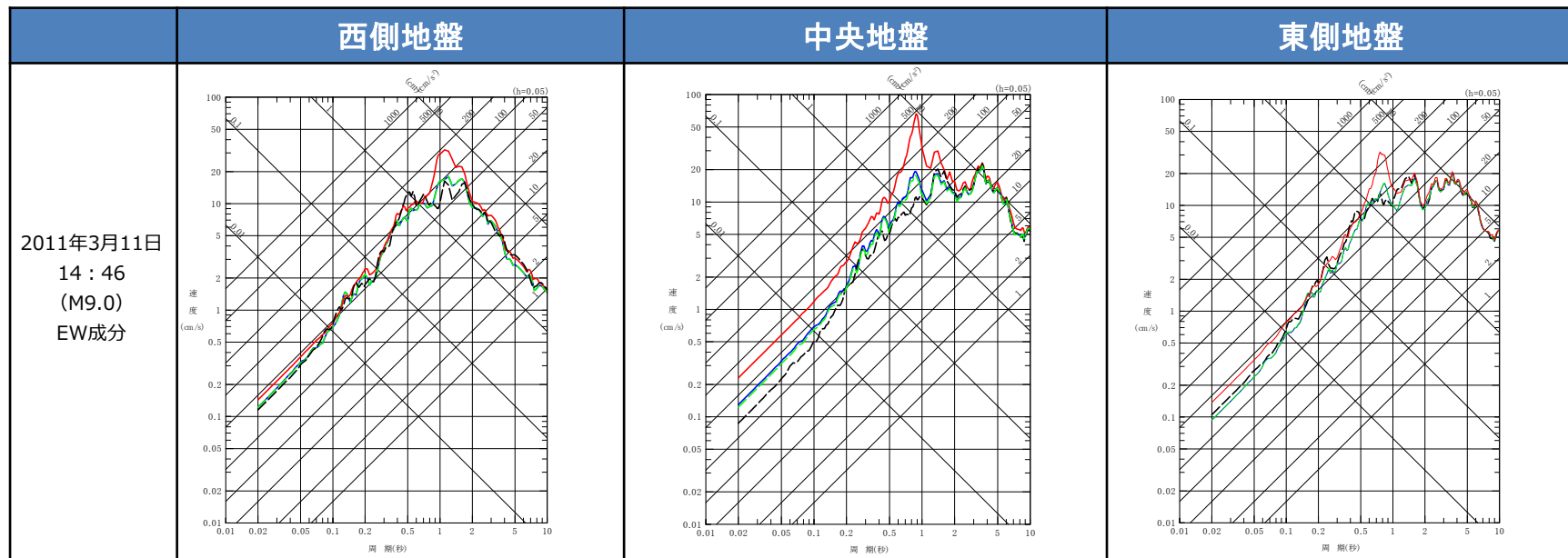
基準地震動に基づく入力地震動の策定 (地盤モデル)

2.敷地において得られたデータの整理及び分析 c.岩盤部分の減衰定数

●地震観測記録から得られた減衰定数のデータ



●同定された減衰定数を用いた地震観測記録のシミュレーション解析結果



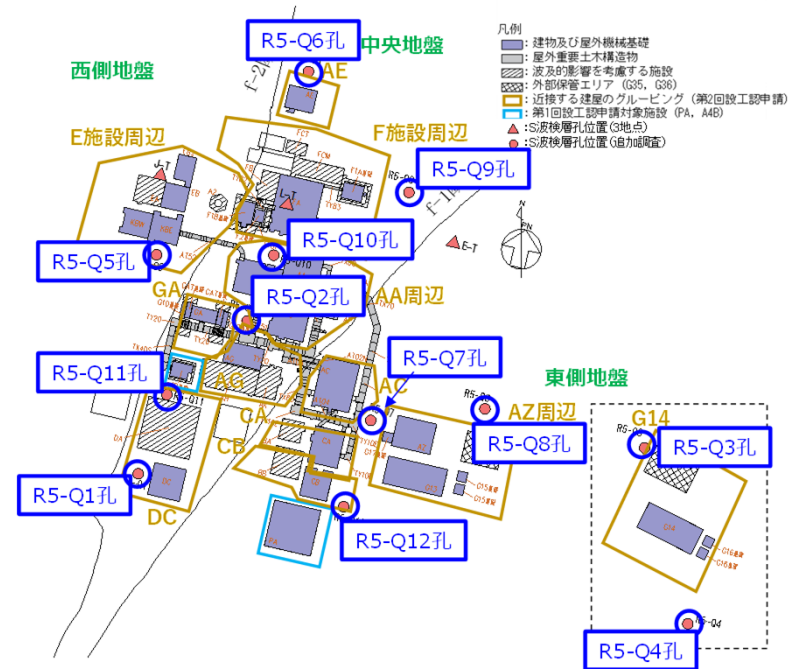
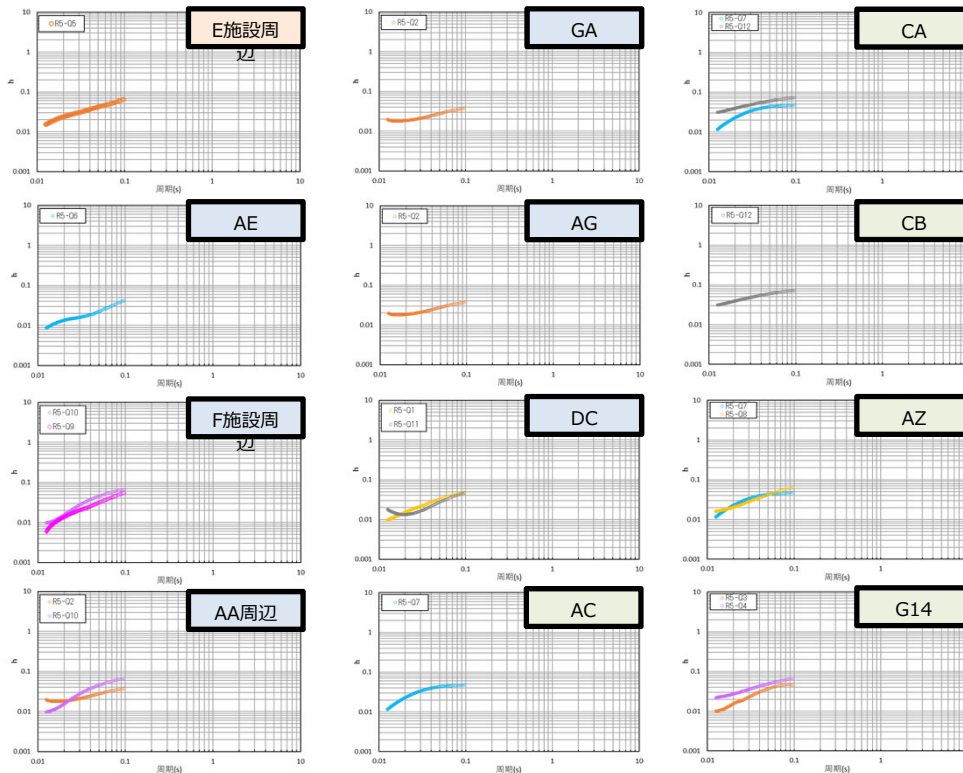
地震観測記録シミュレーション解析結果 (2011年3月11日の地震を代表として示す。)

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

2.敷地において得られたデータの整理及び分析 c.岩盤部分の減衰定数

■ 既往データ及び追加データの整理（S波検層）

➢ 追加調査により取得したS波検層データを、各グループごとに整理。



● データの信頼性

➢ 調査方法及び装置の信頼性は、以下の内容により確保している。

- S波検層に用いた受信機は、校正されたものを用いている。また、起振波の振幅レベルに対して、常時微動による影響がないことを確認している。
- S波検層方法としては「JGS-1122 地盤の弾性波速度検層方法」に適合する方法を用いている。
→ 観測直後に記録した波形が特異なものでないこと及び信号の到達時間が妥当であることを現場にて確認。

➢ 各種分析を行う上でのデータの信頼性は、以下の内容により確保している。

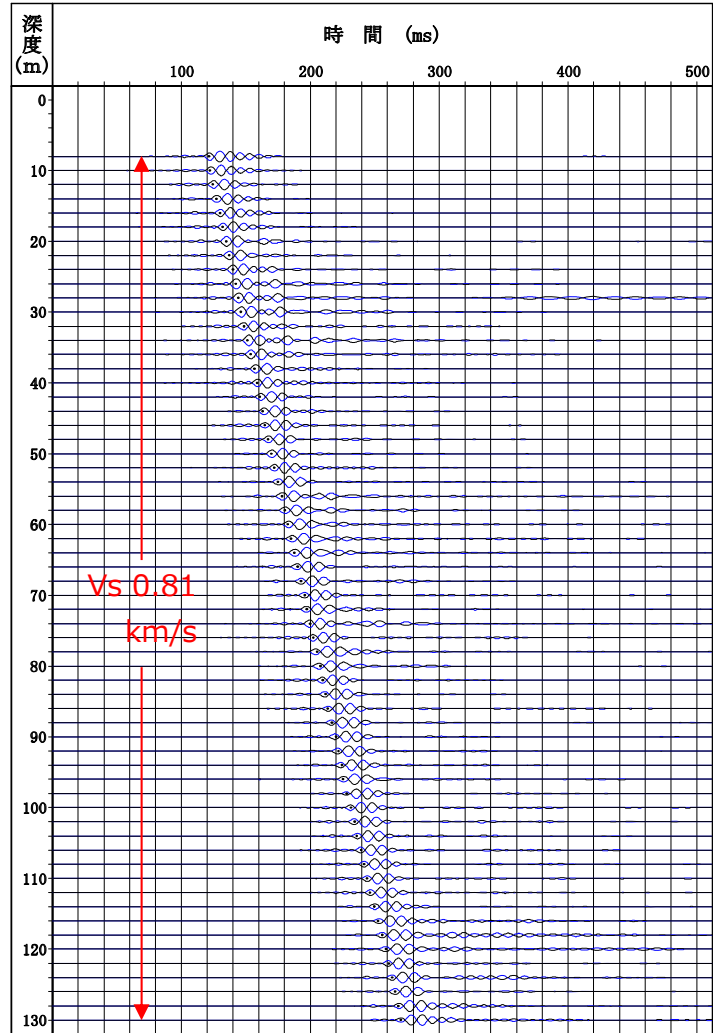
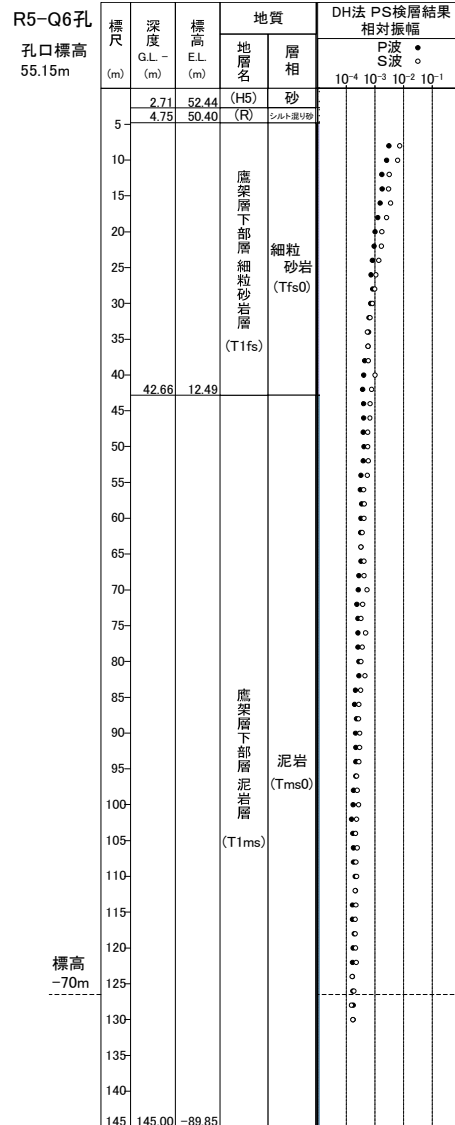
- 近接建屋や表層地盤の影響を加味した波形処理を実施し、岩盤部分の減衰定数としての精度を確保している（次頁にて詳細を示す）。
- スイープ震源を用いることにより、周波数特性を把握する上での精度を確保している。
- 速度構造の解析時に、初動走時を正確に把握するために、記録波形を位相反転した波形に対しても確認を実施し、読み取り精度の向上を図っている。
- S波検層の作業及びデータの読み取り・分析については、原子力施設における多数の実績を有する調査会社によって実施している。

基準地震動に基づく入力地震動の策定 (地盤モデル)

2.敷地において得られたデータの整理及び分析 c.岩盤部分の減衰定数

■ 既往データ及び追加データの整理 (S波検層)

● データの信頼性



相対振幅と観測波形(コリレーション処理後 : R5-Q6孔)

【観測波形の信頼性】

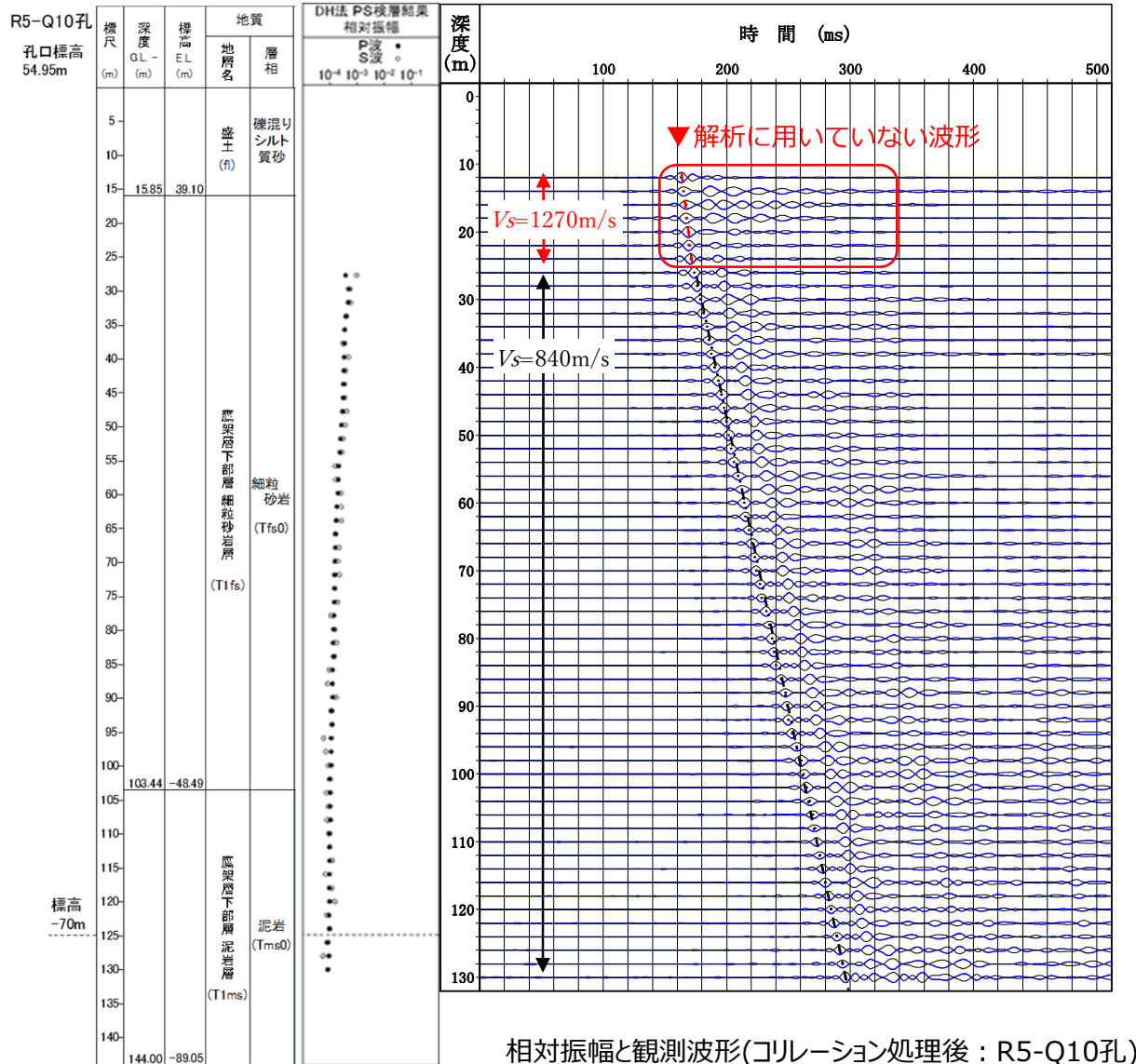
- ・S波検層においてボーリング孔内に設置する8深度×3成分の受振器は、観測前のセルフキャリブレーションにより、全chにインパルス信号を入力し、波形とスペクトルを比較し、異常のないことを確認する。
- ・インパルス波形は、モニター波形の相互相関関数であることから、深度方向に同様の波形が得られていること、S波の速度構造が対象岩盤と同等であることから観測波形に異常のないことを確認する。
- ・観測波形は、深度毎に独立して解析されており、図に示すS波の相対振幅が深度方向に連続に減少することを確認する。
- ・常時微動の影響については、観測波形の前後(トリガー前、加振後)で平坦であることから影響のないことを確認する。
- ・コリレーション処理後の後続波に一定周期の波形が観測されるが、減衰算定は、初動から一波長(10Hz : 100ms)で解析を実施するため、結果への影響はない。
- ・上記のことを満足することにより信頼できる観測波形を用いてQ値測定を実施している。

基準地震動に基づく入力地震動の策定 (地盤モデル)

2.敷地において得られたデータの整理及び分析 c.岩盤部分の減衰定数

■ 既往データ及び追加データの整理 (S波検層)

● データの信頼性



【観測深度の設定】

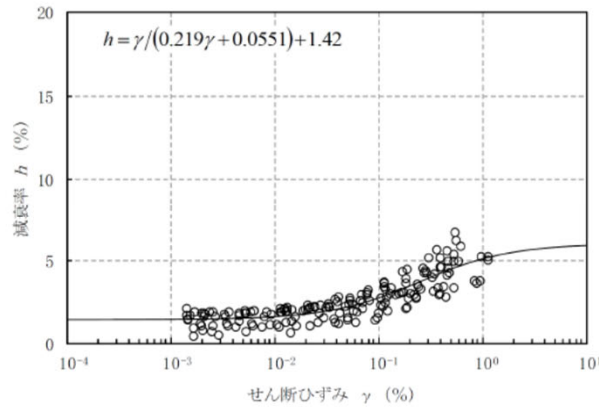
- ・Q値測定 of 解析に用いる観測深度については、モニター波形との相似性等から判断した表層影響のない岩盤上限面からボーリング孔下端 (GL-130m) を対象とする。
- ・S波検層のボーリング孔のコリレーション処理後の波形については、左図に示すような信号の到達時間が妥当でないものは、データの信頼性の観点から観測深度から棄却する。
(「JGS-1122 地盤の弾性波速度検層方法」)
- ・岩盤上限面の観測波形における建屋近傍あるいは表層地盤の影響の要因については、表層地盤構造、地表面の不陸、近接建屋との離隔、載荷面の条件(地山未舗装、碎石舗装、アスファルト舗装)、常時微動等が挙げられる。各ボーリング孔の棄却データの有無と観測位置の周辺環境を参考に示すが、R5-Q10は複数建屋が近接し、R5-Q4は表層に不陸を有している。同様の状況でも波形に影響がない孔もあるため、原因は特定できないが、これらを棄却した信頼区間の観測深度によりデータ分析を実施する。
- ・減衰定数は、上記の信頼できる観測深度の同一速度構造において、収録した全ての波形(インパルス波形)の振幅値と伝搬距離(≒深度)の関係を、最小二乗法を用いて一時近似した値をもとに算定する。

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

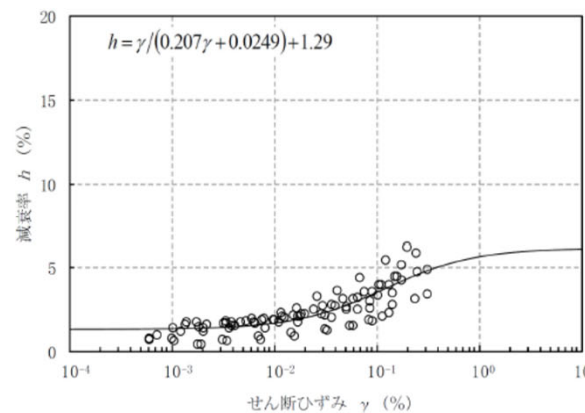
2.敷地において得られたデータの整理及び分析 c.岩盤部分の減衰定数

■ 既往データ及び追加データの整理（三軸圧縮試験）

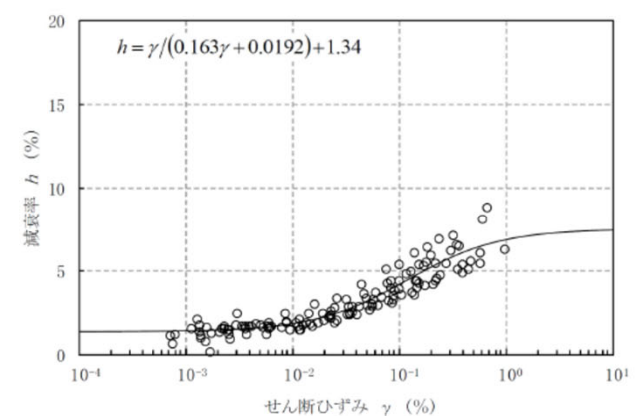
▶ 下図に、敷地に分布する岩盤である鷹架層のうち、主要な岩種（層厚の大きい岩種）を代表として、三軸圧縮試験による減衰定数のひずみ依存特性を示す。



泥岩（上部層）のひずみ依存特性
（減衰定数）の例



細粒砂岩のひずみ依存特性
（減衰定数）の例



軽石凝灰岩のひずみ依存特性
（減衰定数）の例

● データの信頼性

▶ 動的変形特性試験は、JIS2563-2020「軟岩の変形特性を求めるための繰り返し三軸試験方法」に基づくに方法により実施している。

- ・十分な剛性を有する試験機材の使用
- ・ベディングエラーの排除（ギャップセンサー、LDT(Local Deformation Transducer)の使用
- ・弾性範囲内の初期偏差応力設定

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

岩石コア試験結果については、次回審査会合にて示す。

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

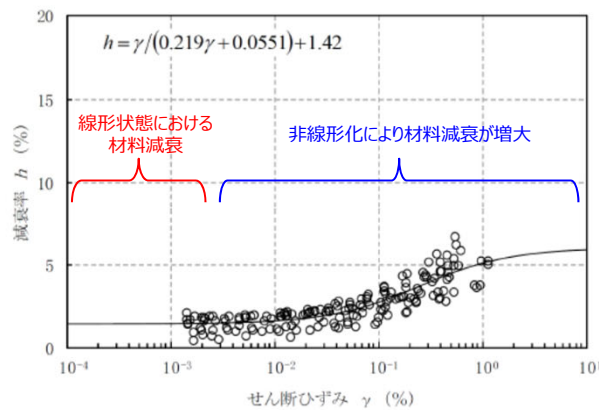
2. 敷地において得られたデータの整理及び分析 c. 岩盤部分の減衰定数

【各データの物理的な意味合いの分析】

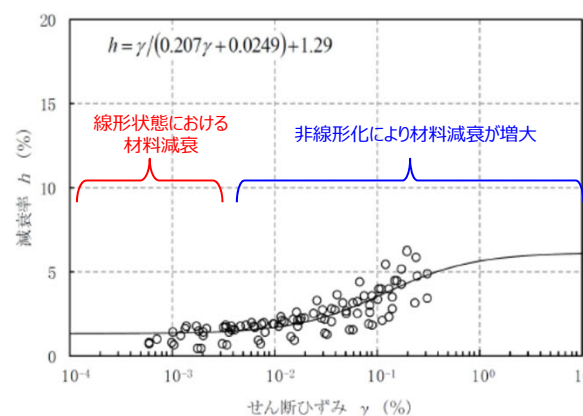
- ▶ 以下に示すとおり、各調査・検討条件を踏まえた物理的な意味合い（材料減衰又は散乱減衰の考慮、調査・評価において着目している地震動の振幅及び周波数特性、評価対象地点）について分析を実施した。

● 考慮する地震動の振幅レベルを踏まえた分析

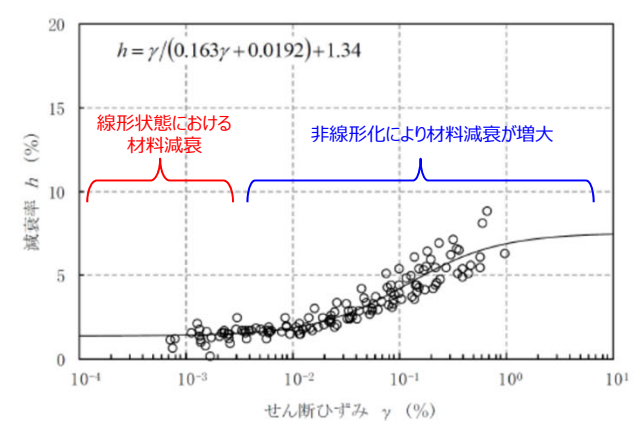
- ▶ 各調査・検討において考慮される地震動の振幅レベルについては、地震観測記録に基づく方法を除き、いずれも微小振幅レベルにおける減衰定数の傾向を示すものであり、岩盤部分が線形条件にあるときの減衰定数に相当する。
- ▶ 地震観測記録に基づく方法においても、用いている地震の加速度は、最大40Gal程度（最深部GL-200m）の振幅であり、地盤のせん断ひずみが大きくなるような振幅レベルではないことから、この方法に基づく評価結果についても、岩盤部分が線形条件にあるときの減衰定数に相当すると考えられる。
- ▶ 三軸圧縮試験結果から得られる地盤のひずみ依存特性によれば、地盤の材料減衰は、地盤のせん断ひずみが大きくなり、非線形化が進行するほど増大する傾向であることから、耐震設計において考慮する地震動レベル（基準地震動 S_s ）においては、今回整理した各種調査・検討に基づくデータに対して、岩盤部分の減衰定数は、線形条件よりもさらに増大することになる。



泥岩（上部層）のひずみ依存特性
（減衰定数）の例



細粒砂岩のひずみ依存特性
（減衰定数）の例



軽石凝灰岩のひずみ依存特性
（減衰定数）の例

岩盤部分のひずみ依存特性（h-γ曲線）

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

2. 敷地において得られたデータの整理及び分析 c. 岩盤部分の減衰定数

■ 周波数特性を踏まえた減衰定数の成分（材料減衰又は散乱減衰）についての分析

【散乱減衰】

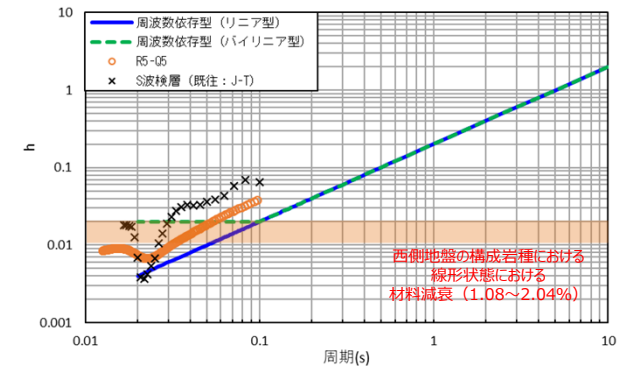
- 地震観測記録を用いた減衰定数の同定結果によれば、周波数依存型の減衰定数を与えた場合、地震観測記録との伝達関数及び地震観測記録のシミュレーションの両方について、整合性が良い結果が得られている。
- S波検層結果（敷地内各位置の追加データ）によれば、敷地内のいずれの地点においても、0.01～0.02秒以下のごく短周期領域からスイープ波形の最長周期0.1秒までにおいて、周波数依存性を有している。
- 佐藤ほか（2006）等の知見に示されるとおり、地盤の減衰定数は、周波数依存性を有する散乱減衰と、周波数によらず一定となる材料減衰で構成されることを踏まえると、地震観測記録を用いた同定結果及びS波検層結果から、敷地内の地盤の減衰定数の特徴としては、いずれの地点においても、ごく短周期～長周期にわたり、散乱減衰の成分を有していると考えられる。

【材料減衰】

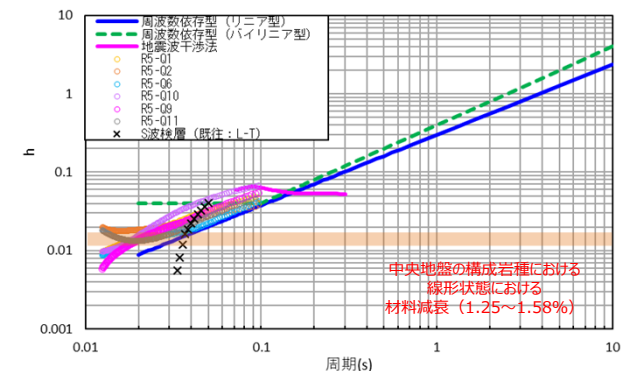
- 三軸圧縮試験結果から得られている材料減衰（ひずみ依存特性のうち小ひずみ領域の値）については、中央、西側地盤については、S波検層結果においてごく短周期側の散乱減衰が小さくなる領域において、同等のオーダーの値となっている。東側地盤については、S波検層の評価対象周期の最短周期においても三軸圧縮試験の結果が小さく、さらに短周期側において材料減衰が卓越している可能性が示唆される。
- 今後、岩石コア試験結果を反映した上で、材料減衰に係る分析を行う。

■ 各データの取得位置を踏まえた分析

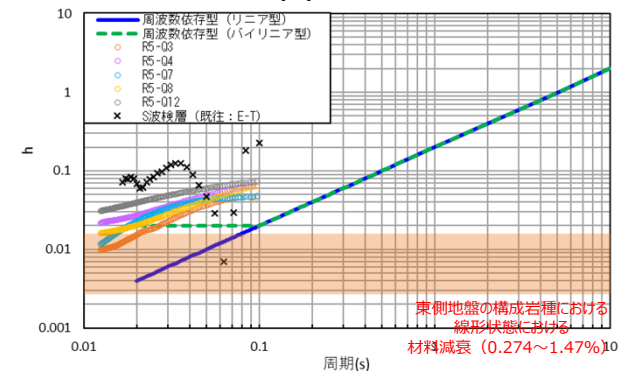
- 中央、西側、東側地盤それぞれ1地点の地震観測地点における減衰定数の同定結果（周波数依存:リニア型）と比較して、当該地盤内のS波検層結果（敷地内各位置の追加データ）は、いずれの地点においても周波数特性の傾きがよく整合している。
- 各地点のS波検層結果の減衰定数の大きさは、データを取得した全周期帯（周期0.0125～0.1秒）において、地震観測記録に基づく減衰定数の同定結果よりも大きい。
- 今後、岩石コア試験結果を踏まえ、敷地内各位置及び深さにおける減衰定数に係る分析を行う。



(a)西側地盤



(b)中央地盤



(c)東側地盤

周波数特性に着目した比較結果

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

2.敷地において得られたデータの整理及び分析 d.表層地盤の物性値等

■データの整理及び分析の全体像

着目する因子	既往データの整理	追加データの取得及び整理	分析方針	敷地の地盤の特徴を捉えた地下構造	
d.表層地盤の物性値等	検討内容	<ul style="list-style-type: none"> ➢敷地内の建物・構築物周辺の表層地盤（人工地盤である埋戻し土及び流動化処理土）について、PS検層データを整理 ➢人工地盤であることから施工プロセスや管理記録を整理 	<ul style="list-style-type: none"> ➢埋戻し土については面的及び深さ方向の網羅性が不足していることからデータ拡充 	<ul style="list-style-type: none"> ➢施工管理プロセス及び品質管理指標により分類 ⇒埋戻し土は1999年以前と2000年以降で施工管理プロセスとして、同じ砂質土となるが品質管理基準が異なる ⇒流動化処理土は第1Gr.と第2Gr.で品質管理指標として強度が異なる ➢分類別に算出される剛性G_0のばらつきの程度を確認し、その特徴を分析 ⇒埋戻し土は剛性G_0の値として年代別の深度依存傾向に相違はあるが、平均$\pm 1\sigma$及び分散に大きな相違はない（く、追加データを含めたばらつきを考慮しても、既往データに包含される） ⇒流動化処理土はGr.毎の平均$\pm 1\sigma$及び分散に大きく相違あり 	<ul style="list-style-type: none"> ➢埋戻し土は施工年代別に剛性G_0の深度依存性の傾向を踏まえて等価で扱えることから、深度依存性を考慮した1つの物性値としてみなすことができる。 ➢流動化処理土は品質管理指標別に剛性G_0に大きな乖離があることから、第1Gr.及び第2Gr.としてそれぞれ個別の物性値として深度依存を考慮しない。 <div style="border: 1px solid black; background-color: yellow; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>12/11提出の耐震建物08にて、データとともに説明。</p> </div>
	信頼性の確保	<p>【PS検層及び湿潤密度試験】</p> <p>用いるデータに対しては、以下の観点で信頼性を有することを確認したうえで用いる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢校正された機器を用いていること ➢適切な波形処理（常時微動等の影響）がされていること ➢原子力施設における調査実績を多数有する調査会社が実施していること 	<ul style="list-style-type: none"> ➢これまで認可を受けている原子炉サイトにおける地盤物性の設定において多数の実績を有する見識者による検討を実施している。 <p>【着眼点】</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢分析に当たっては、以下の着目点での確認が必要と判断。 ➢データの取り扱いにあたっては、上記有識者により統計的な妥当性を確認して実施している。 <ul style="list-style-type: none"> ・施工管理プロセスの違いごとに追加データを反映した剛性を算定。 ・追加データを反映した剛性の特徴（施工管理プロセスごとの深度依存性の傾向の差など）を確認。 		

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

2.敷地において得られたデータの整理及び分析 d.表層地盤の物性値等

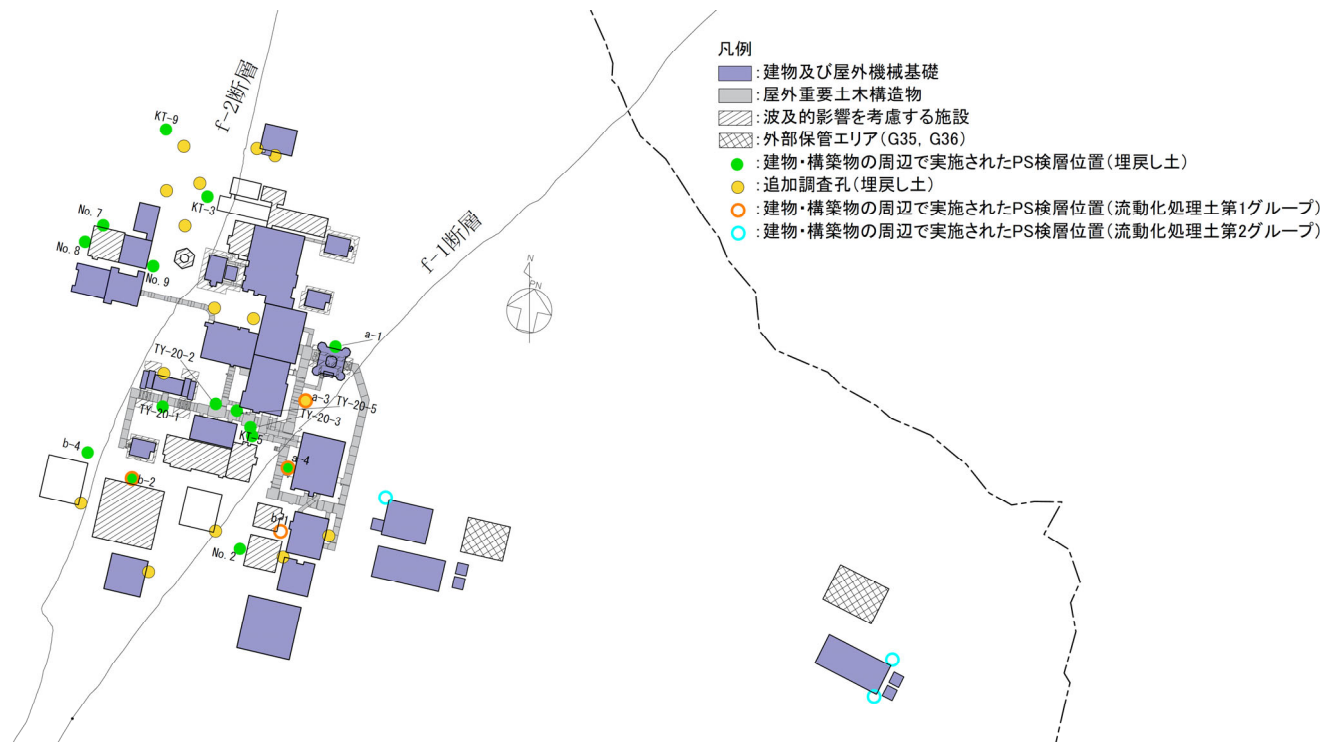
■ 表層部分の物性値等の設定

【検討内容】

- 敷地内の建物・構築物周辺の表層地盤（人工地盤である埋戻し土及び流動化処理土）について、敷地内のPS検層データを整理。
- 人工地盤であることから、施工プロセスや管理の記録についてもあわせて整理する。
- 埋戻し土については、既往データでは、データの面的または深さ方向の網羅性が不足していることから、追加調査としてPS検層データを取得。

【追加調査の扱い】

- 既往のデータ（埋戻し土：●、流動化処理土：○及び○）に加え、追加調査により得られたPS検層結果（埋戻し土：●）を用いる。
- 埋戻し土については、追加調査による平面的に採取されていない箇所のデータを含めた分析を踏まえ、既往のデータ収集として統計的に満足していることを確認する。



基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

2.敷地において得られたデータの整理及び分析 d.表層地盤の物性値等

■ 施工プロセス及びその特徴による確認結果

以下のとおり、埋戻し土及び流動化処理土について、人工地盤であることを踏まえ、施工プロセスや品質管理指標を参照し、物性値の傾向（剛性の大きさ及び深度依存性等）の特徴を分析。

【埋戻し土】

- 施工プロセスとして使用材料が施工年代別に異なる。（1999年以前：中位段丘堆積砂、2000年以降：鷹架層の岩ずり及び六ヶ所層のブレンド材）
- 既往データに追加調査結果を加え、拘束圧依存による深度依存性、平均及びばらつきの程度についての分析を行う。

【流動化処理土】

- 品質管理指標（一軸圧縮強度 q_u ）の違いにより2つのグループ（第1Gr.： $q_u \geq 0.2 \sim 0.3 \text{MPa}$ 、第2Gr.： $q_u \geq 0.6 \text{MPa}$ ）に分かれる。
- セメント添加による人工材料であるものとして、深度依存性、グループ毎の平均値及びばらつきの程度についての分析を行う。

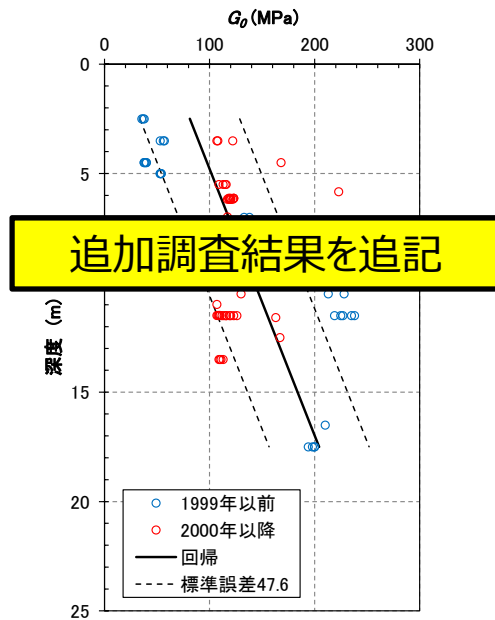
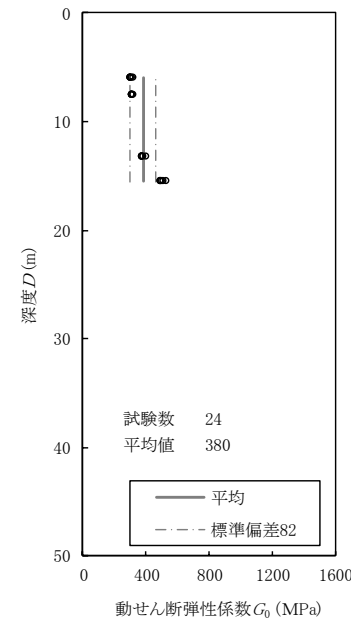
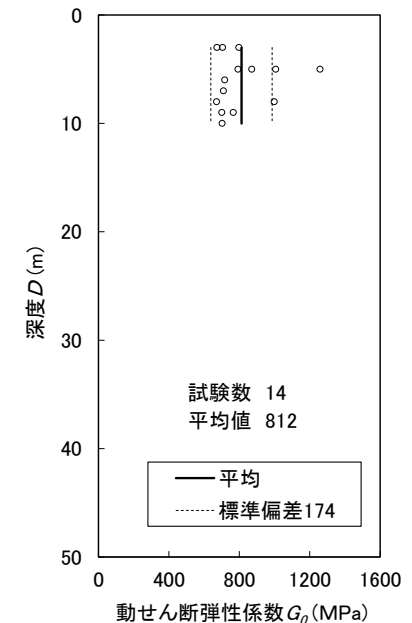


図 埋戻し土の動せん断弾性係数 G_0



第1グループ ($q_u \geq 0.2 \sim 0.3 \text{MPa}$)



第2グループ ($q_u \geq 0.6 \text{MPa}$)

図 流動化処理土の動せん断弾性係数 G_0

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

3. まとめ

- 今回整理したデータに基づく、敷地の地盤の特徴を捉えた地下構造は以下のとおり。

因子	敷地の地盤の特徴を捉えた地下構造
a. 岩盤部分の物性値等	<ul style="list-style-type: none">➢G14、BAについては、直下に断層を有し、地質構造の不連続性による地盤応答への影響が考えられることから、断層による影響を適切に考慮する必要がある。➢上記以外の建物については、近接する建物のグループ単位で同一の地盤が広がっているとみなすことが可能。
b. 岩盤部分の非線形性	<ul style="list-style-type: none">➢AZ及びG14については、Ssの振幅レベルにおいて、線形条件と比較して入力地震動の算定結果に影響を与える非線形性を有している。➢上記以外のグループについては、Ssの振幅レベルにおいても、線形条件と比較して入力地震動の算定結果に影響をしない程度の非線形性となっている。
c. 岩盤部分の減衰定数	<ul style="list-style-type: none">➢地震観測記録を用いた同定結果及びS波検層結果から、敷地内の地盤の減衰定数の特徴としては、いずれの地点においても、ごく短周期～長周期にわたり、散乱減衰に起因する周波数依存性を有している。➢本資料にて示したデータは、いずれについても、低振幅レベルにおける調査・評価結果であることから、線形状態における地盤の減衰定数を示していることから、Ss地震の振幅レベルにおいては、さらに大きな減衰定数となる。➢地震観測記録に基づく同定結果（周波数依存性あり）が、S波検層結果に対して小さい減衰定数を与えることから、敷地内各地点における岩盤部分の減衰定数は、地震観測地点における同定結果によって代表することが可能。
d. 表層地盤の物性値等	<ul style="list-style-type: none">➢埋戻し土は施工年代別に剛性G_0の深度依存性の傾向を踏まえて等価で扱えることから、1つの物性値として深度依存性を考慮する必要がある。なお、保守性を考慮し、ばらつきの大い既往データ（追加データを含めない）による整理とする。➢流動化処理土は品質管理指標別に剛性G_0に大きな乖離があることから、第1Gr.及び第2Gr.としてそれぞれ個別の物性値として深度依存を考慮しない。

- 今後、上記の各因子ごとの敷地の地盤の特徴を捉えた地下構造の整理結果に基づき、基本地盤モデルを設定する。基本地盤モデルに設定するパラメータは、施設設計への適用を念頭に、工学的な配慮を加え設定する。