

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震建物 08 R13
提出年月日	令和 4 年 7 月 8 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

地震応答解析における地盤モデル及び

物性値の設定について

1. 文章中の下線部は R12 から R13 への変更箇所を示す。
2. 本資料（R13）は 4 月 6 日に提示した「耐震設計の基本方針に関する地震応答解析における地盤モデル及び物性値の設定について（R12）」に対し、ヒアリングにおける主な指摘事項である「別紙 1-1 燃料加工建屋の地盤モデルの設定」における等価線形解析結果と逐次非線形解析結果の比較における考察について記載内容を拡充したものである。

目 次

1. 概要	1
2. 入力地震動の算定に用いる地盤モデルの作成方針.....	2
3. 「地盤の実態を考慮した地盤モデル」の設定方法.....	8
3.1 速度構造の設定方法	8
3.2 ひずみ依存特性の設定方法	8
3.3 ばらつきの設定方法	8
4. 今回設工認における地盤モデルの設定結果.....	10
4.1 第1回申請対象施設における地盤モデル.....	10
4.2 第2回申請以降の対象施設における地盤モデル.....	12

1. 概要

本資料は、再処理施設及び MOX 燃料加工施設に対する、第 1 回設工認申請（令和 2 年 12 月 24 日申請）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 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」

注記 *：本資料の引用で他の資料の説明に代える場合には、引用範囲を明らかに記すこととする。

2. 入力地震動の算定に用いる地盤モデルの作成方針

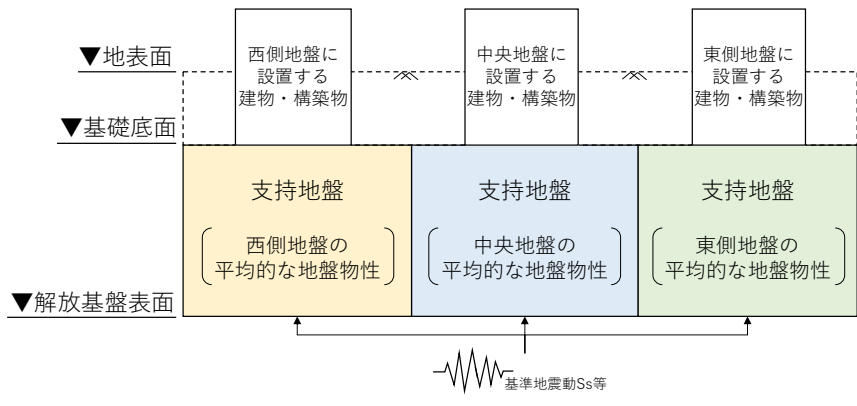
既認可設工認における耐震設計では、建物・構築物の基礎底面以深の支持地盤の地盤物性値に基づき、線形の地盤モデルを設定していた。ここで、支持岩盤の地盤物性値については、敷地内を中央地盤、西側地盤、東側地盤の3つのエリアに区分しており、エリア単位の平均的な物性値を設定したエリア毎の共通モデルを使用していた。

しかしながら、今回設工認における耐震設計では、建屋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。

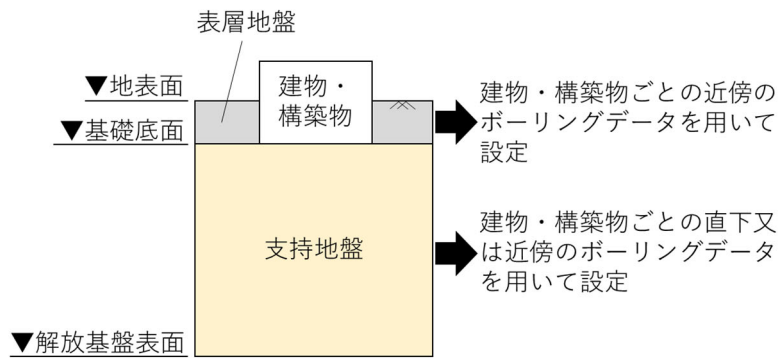
このことから、今回設工認における入力地震動の算定にあたっては、各建物・構築物に対して「地盤の実態を考慮した地盤モデル」を設定した上で、入力地震動の算定に用いる地盤モデルを決定する。

また、「地盤の実態を考慮した地盤モデル」については、各建物・構築物の直下または近傍の地盤のデータを用いて作成することとし、上記の設計条件の変化を踏まえ、地盤の非線形性を適切に考慮する。

既認可設工認における耐震設計に用いていた地盤モデル及び「地盤の実態を考慮した地盤モデル」の概要図を、第2.-1図に示す。また、今回設工認において、入力地震動の算定に用いる地盤モデルの作成対象となる建物・構築物の一覧を第2.-1表に、地盤モデルの作成に用いるPS検層孔位置を第2.-2図に示す。



(a) 既認可設工認における地盤モデルの概要図



(b) 今回設工認における「地盤の実態を考慮した地盤モデル」の概要図

第 2.-1 図 地盤モデルの概要図

第 2. -1 表 (1/3) 地盤モデルの作成対象となる建物・構築物
(a) 第 1 回申請対象施設

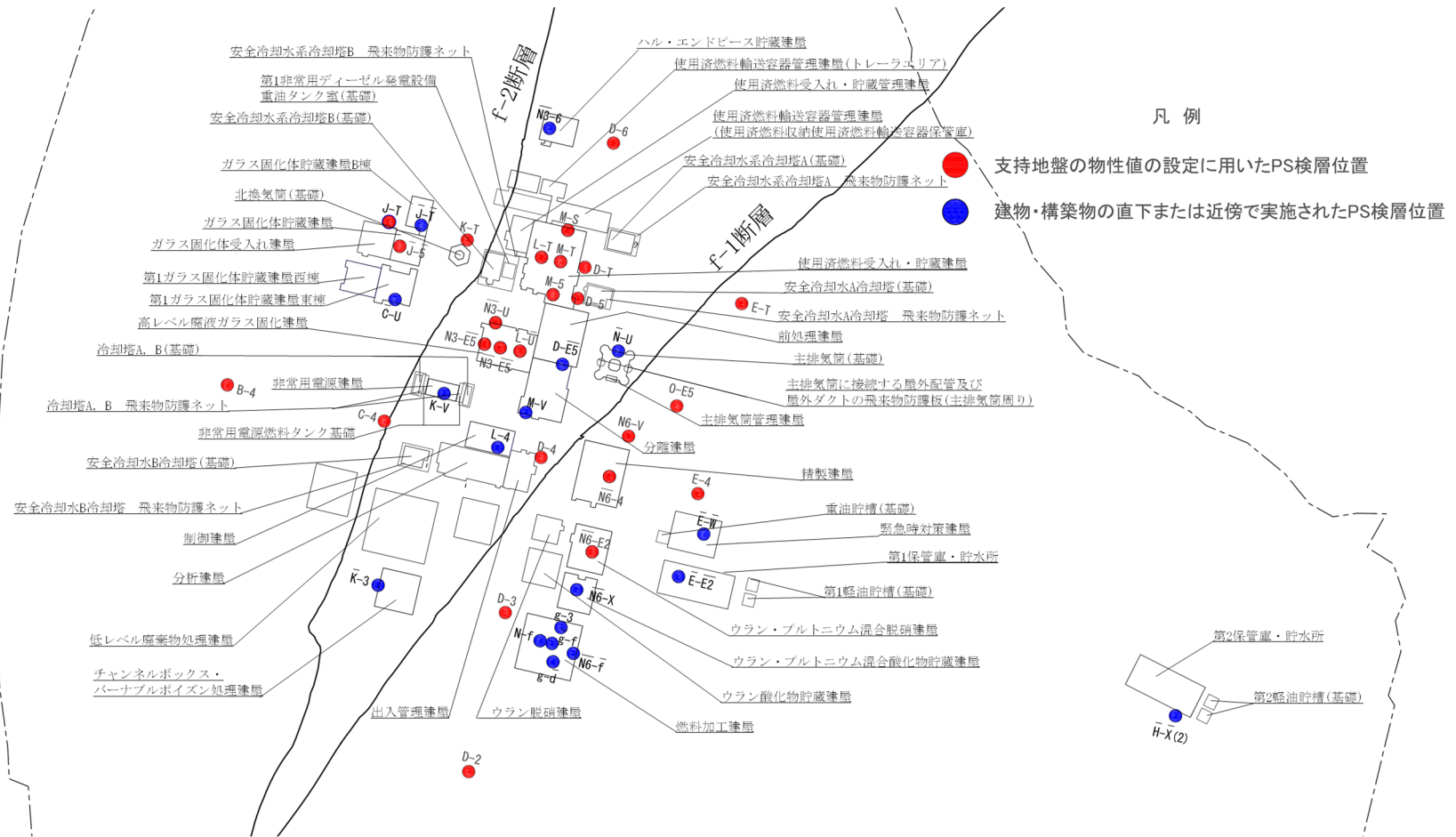
分類	建物・構築物名称		(参考) 設置エリア
S クラス施設または S クラス施設の 間接支持構造物	安全冷却水 B 冷却塔 (基礎)	A4(B) 基礎	中央地盤
	燃料加工建屋	PA	東側地盤
上位クラス施設等 への波及的影響を 考慮する施設	安全冷却水 B 冷却塔 飛来物防護ネット		A4(B) 竜巻 中央地盤

第 2. -1 表 (2/3) 地盤モデルの作成対象となる建物・構築物
(b) 第 2 回以降申請対象施設 (1/2)

分類	建物・構築物名称		(参考) 設置エリア
S クラス施設または S クラス施設の間接支持構造物	前処理建屋	AA	中央地盤
	分離建屋	AB	
	主排気筒 (基礎)	A1 基礎	
	主排気筒管理建屋	AP	
	制御建屋	AG	
	安全冷却水 A 冷却塔 (基礎)	A4(A) 基礎	
	ハル・エンドピース貯蔵建屋	AE	
	高レベル廃液ガラス固化建屋	KA	
	チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋	DC	
	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋	FA	
	安全冷却水系冷却塔 A (基礎)	F1(A) 基礎	
	安全冷却水系冷却塔 B (基礎)	F1(B) 基礎	
	第 1 非常用ディーゼル発電設備重油タンク室 (基礎)	F2 基礎	
	非常用電源建屋	GA	
冷却塔 A, B (基礎)	G10 基礎		
非常用電源燃料タンク基礎	GAT 基礎		
S クラス施設または S クラス施設の間接支持構造物	精製建屋	AC	東側地盤
	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	CA	
	ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋	CB	
常設耐震重要重大事故等対処設備	緊急時対策建屋	AZ	東側地盤
	第 1 保管庫・貯水所	G13	
	第 2 保管庫・貯水所	G14	
	第 1 軽油貯槽 (基礎)	G15 基礎	
	第 2 軽油貯槽 (基礎)	G16 基礎	
	重油貯槽 (基礎)	G17 基礎	
S クラス施設または S クラス施設の間接支持構造物	ガラス固化体貯蔵建屋	EB	西側地盤
	ガラス固化体貯蔵建屋 B 棟	EB2	
	第 1 ガラス固化体貯蔵建屋東棟	KBE	
	第 1 ガラス固化体貯蔵建屋西棟	KBW	

第 2. -1 表 (3/3) 地盤モデルの作成対象となる建物・構築物
(b) 第 2 回以降申請対象施設 (2/2)

分類	建物・構築物名称		(参考) 設置エリア
上位クラス施設 等への波及的影 響を考慮する施 設	分析建屋	AH	中央地盤
	出入管理建屋	AK	
	低レベル廃棄物処理建屋	DA	
	使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋	FB	
	使用済燃料輸送容器管理建屋 (使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫)	FC (FCM)	
	使用済燃料輸送容器管理建屋 (トレーラエリア)	FC (FCT)	
	北換気筒 (基礎)	A2 基礎	西側地盤
	ガラス固化体受入れ建屋	EA	
	ウラン脱硝建屋	BA	東側地盤
	ウラン酸化物貯蔵建屋	BB	
	主排気筒に接続する屋外配管及び 屋外ダクトの飛来物防護板 (主排気筒周り)	A1 竜巻	中央地盤
	安全冷却水 A 冷却塔 飛来物防護ネット	A4(A) 竜巻	
	安全冷却水系冷却塔 A 飛来物防護ネット	F1(A) 竜巻	
	安全冷却水系冷却塔 B 飛来物防護ネット	F1(B) 竜巻	
	冷却塔 A, B 飛来物防護ネット	G10 竜巻	



第 2.-2 図 地盤モデル作成に用いる PS 検層孔の位置

3. 「地盤の実態を考慮した地盤モデル」の設定方法

3.1 速度構造の設定方法

「2. 入力地震動の算定に用いる地盤モデルの作成方針」に示したとおり、「地盤の実態を考慮した地盤モデル」については、各建物・構築物の入力地震動を適切に評価可能なよう、対象とする建物・構築物の直下または近傍のPS 検層孔を建物・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て設定する。

3.2 ひずみ依存特性の設定方法

今回設工認において、入力地震動の算定に用いる地盤モデルについては、建物・構築物直下または近傍における岩種ごとの非線形特性を考慮し、ひずみ依存特性を考慮することとする。ひずみ依存特性は、各岩種に対する繰返し三軸圧縮試験結果に基づいて設定する。

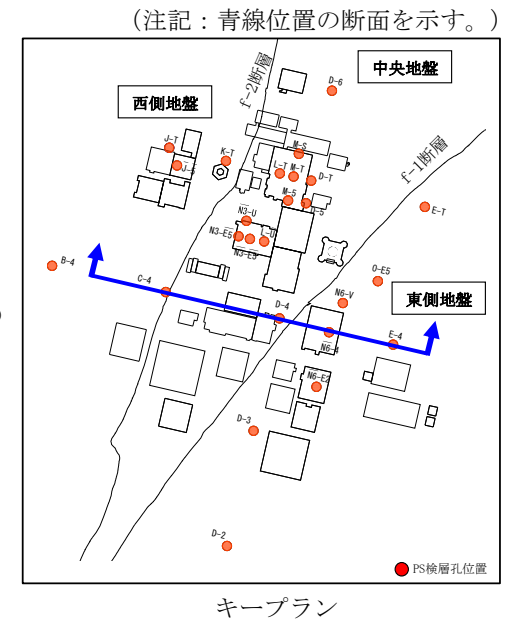
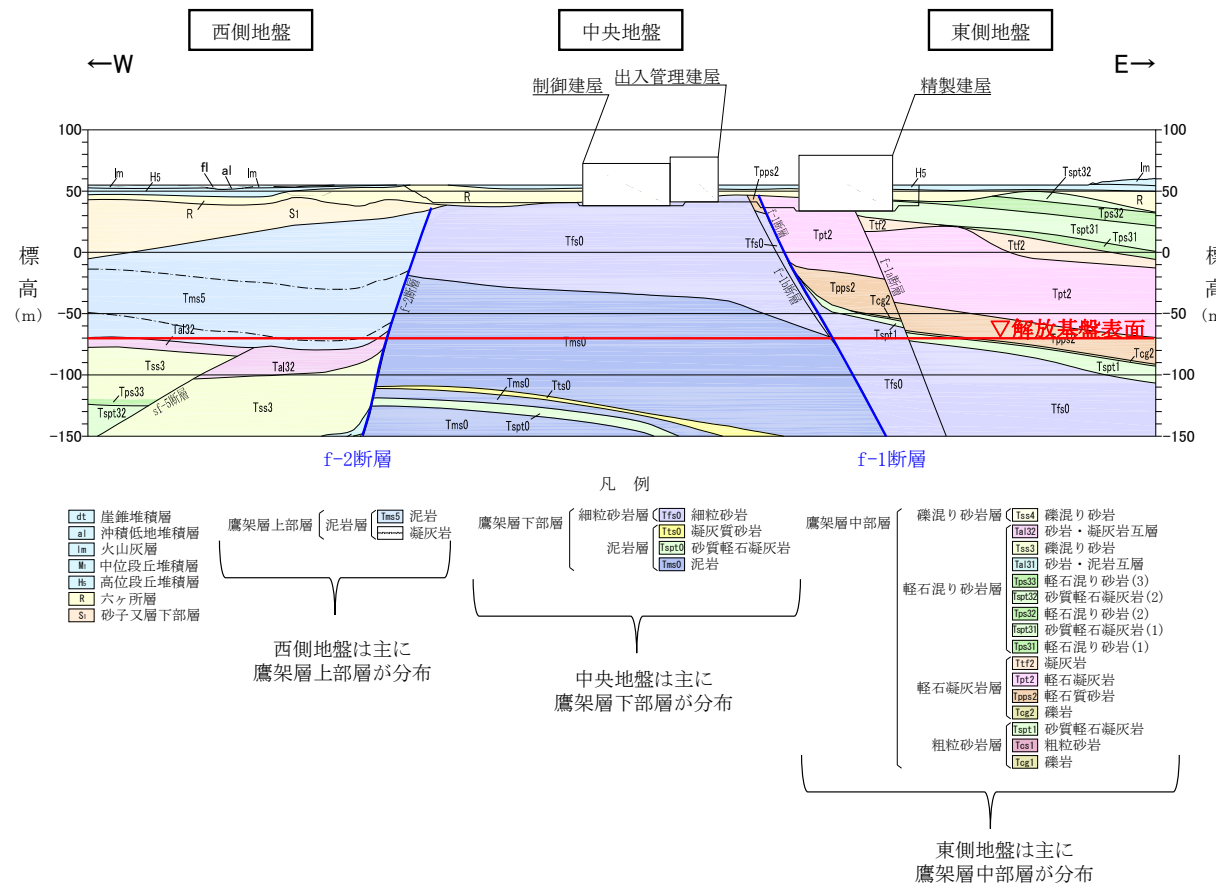
3.3 ばらつきの設定方法

今回設工認において、入力地震動の算定に用いる地盤モデルについては、「3.1 速度構造の設定方法」に基づく速度構造に対してばらつきを考慮し、各建物・構築物の地震応答計算書における地盤物性のばらつきケースとして設定する。

ばらつき幅の設定にあたっては、対象とする建物・構築物の直下または近傍に、複数のPS 検層データが存在する場合は、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。対象とする建物・構築物の直下または近傍に、単一のPS 検層データのみが存在する場合には、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。

再処理事業所の敷地は、第3.3-1 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、f-2 断層の西側のエリアでは主に鷹架層上部層が分布し、f-1 断層の東側のエリアでは主に鷹架層中部層が分布し、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。

地質構造が同様なエリアの参照にあたっては、エリアごとに地質構造が大きく異なることを踏まえ、建物・構築物の設置されるエリアを参照することを基本とする。



第 3.3-1 図 地質断面図 (東西方向)

4. 今回設工認における地盤モデルの設定結果

4.1 第1回申請対象施設における地盤モデル

燃料加工建屋の入力地震動の算定に用いる地盤モデルの作成結果を「別紙 1-1 燃料加工建屋の地盤モデルの設定」に、安全冷却水 B 冷却塔（基礎、本体、飛来物防護ネットを含む）の入力地震動の算定に用いる地盤モデルの作成結果を「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。

燃料加工建屋及び安全冷却水 B 冷却塔の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・構築物直下または近傍の 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・構築物直下また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・構築物直下また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、燃料加工建屋については複数の建屋直下 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安全冷却水 B 冷却塔については、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、再処理事業所の建物・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。

燃料加工建屋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」

4.2 第2回申請以降の対象施設における地盤モデル

第2回申請以降については、比較的近接した複数の建物・構築物を同時申請することから、複数の建物・構築物近傍の「地盤の実態を考慮した地盤モデル」として、各建物・構築物の直下または近傍のボーリングを含むデータに基づいて岩種ごとの地盤特性を整理し、適切な地盤モデルを設定する。

この際、上記の適切な地盤モデルを用いた場合の各建物・構築物の入力地震動の算定結果に対して、ある1次元地盤モデルを用いた場合の入力地震動の算定結果を比較し、複数の建物・構築物に対して、その1次元地盤モデルを用いて入力地震動を算定することに耐震設計上問題が無いことが確認できた場合には、その1次元地盤モデルを入力地震動の算定に用いることとする。

別紙

設工認に係る補足説明資料 別紙リスト

令和4年7月8日 R2

耐震建物 08【地震応答解析に用いる地盤モデル及び物性値の設定について】

別紙				備考
資料 No.	名称	提出日	Rev	
別紙 1	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	2022/7/8	2	-
別紙 1-2	安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデルの設定	2022/4/6	1	-
別紙 1-3～	上記以外の建物・構築物の地盤モデルの設定			後次回で示す範囲

別紙 1

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 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

令和4年7月8日 R2

別紙 1-1

燃料加工建屋の地盤モデルの設定

目 次

1. 概要	別紙 1-1-1
2. 物性値の設定	別紙 1-1-2
2.1 支持地盤	別紙 1-1-2
2.1.1 PS 検層孔の選定及び速度構造の設定	別紙 1-1-2
2.1.2 単位体積重量の設定	別紙 1-1-5
2.1.3 ひずみ依存特性の設定	別紙 1-1-7
2.1.4 ばらつき幅の設定	別紙 1-1-11
2.2 表層地盤	別紙 1-1-12
2.2.1 PS 検層孔の選定及び速度構造の設定	別紙 1-1-12
2.2.2 単位体積重量の設定	別紙 1-1-13
2.2.3 ひずみ依存特性の設定	別紙 1-1-14
2.2.4 ばらつき幅の設定	別紙 1-1-17
3. 地盤モデルの層境界の設定	別紙 1-1-18
4. 燃料加工建屋の地盤モデル	別紙 1-1-20
5. 入力地震動の算定方法	別紙 1-1-22
5.1 概要	別紙 1-1-22
5.2 入力地震動の算定方法に係る確認	別紙 1-1-22
5.3 逐次非線形解析の手法	別紙 1-1-26
5.4 確認結果	別紙 1-1-29
5.5 考察	別紙 1-1-42
5.5.1 課題 1：等価線形解析の適用について	別紙 1-1-42
5.5.2 課題 2：ひずみ依存特性の外挿範囲について	別紙 1-1-47
5.5.3 大ひずみ発生深さの違いについて	別紙 1-1-48
5.6 まとめ	別紙 1-1-59
参考 1 単位体積重量の境界を細分化した場合の影響	別紙 1-1-60
参考 2 逐次非線形解析結果の建屋応答への影響	別紙 1-1-66
参考 3 燃料加工建屋の地盤モデル作成に用いる速度構造データ集	別紙 1-1-99

1. 概要

燃料加工建屋の入力地震動の算定に用いる地盤モデルは、燃料加工建屋の直下または近傍の PS 検層孔における速度構造データを用いて作成する。

2. 物性値の設定

2.1 支持地盤

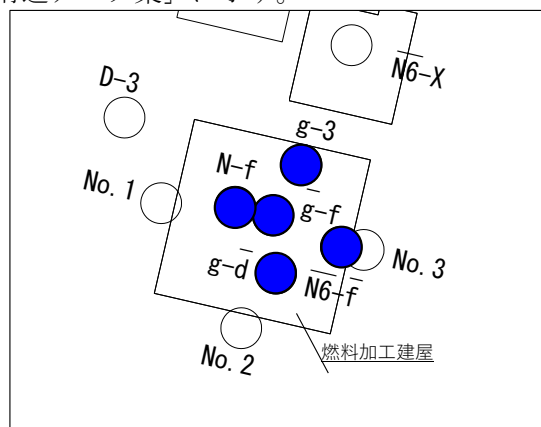
2.1.1 PS 検層孔の選定及び速度構造の設定

燃料加工建屋の地盤モデルのうち支持地盤については、直下及び近傍において速度構造データが複数得られていることから、それらの速度構造データを用いて地盤モデルを作成する。第 2.1.1-1 図に燃料加工建屋の地盤モデル作成に用いる PS 検層孔位置図を示す。支持地盤については、建屋の直下において解放基盤表面 (T. M. S. L. -70.00m) 以深まで支持地盤の物性が得られている 5 孔 (g-3 孔, N-f 孔, g-f 孔, g-d 孔, N6-f 孔) のデータを用いる。

地盤モデルの速度構造の設定にあたっては、S 波速度及び P 波速度それぞれの平均値を基本ケースとして設定する。速度境界の設定について、速度構造データを比較すると、T. M. S. L. 9m 付近において速度境界が認められ、また、T. M. S. L. -28m 付近において鷹架層中部層の軽石凝灰岩と軽石質砂岩の境界レベルと対応した速度境界が認められることから、第 2.1.1-2 図及び第 2.1.1-3 図に示す S 波速度の変動係数の分布より、上層の平均値に対する変動係数と下層の平均値に対する変動係数が共に小さくなる標高として T. M. S. L. 9.00m 及び T. M. S. L. -28.00m を設定した。なお、第 2.1.1-4 図に示す PS 検層孔の地質柱状図における T. M. S. L. -49m 付近の鷹架層中部層と鷹架層下部層の境界レベルでは、速度境界は認められない。

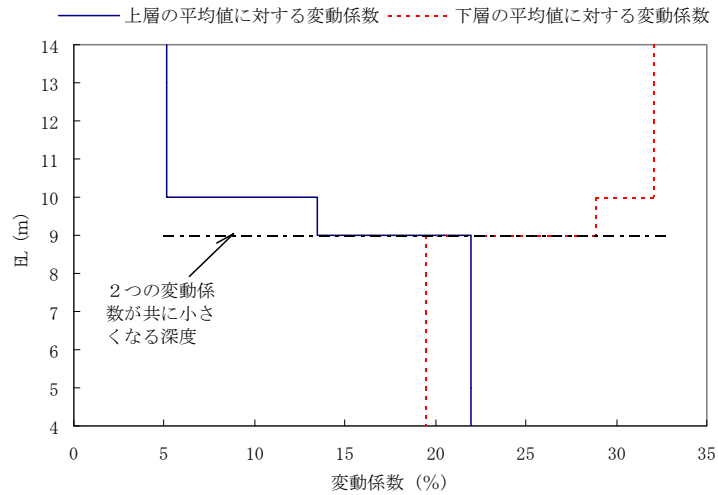
また、第 2.1.1-4 図に示す PS 検層孔の地質柱状図のとおり、支持地盤である鷹架層の上面レベルは、直下 PS 検層データそれぞれで大きく異なることから、鷹架層上面レベルの平均高さを算出し、T. M. S. L. 41.00m を設定した。

支持地盤の設定に用いた速度構造データは「(参考) 燃料加工建屋の地盤モデル作成に用いる速度構造データ集」に示す。

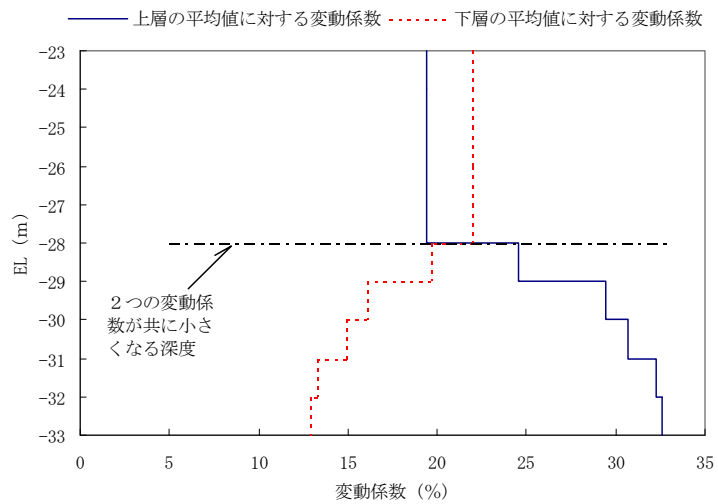


● : 地盤モデル (支持地盤) の作成に用いる PS 検層孔

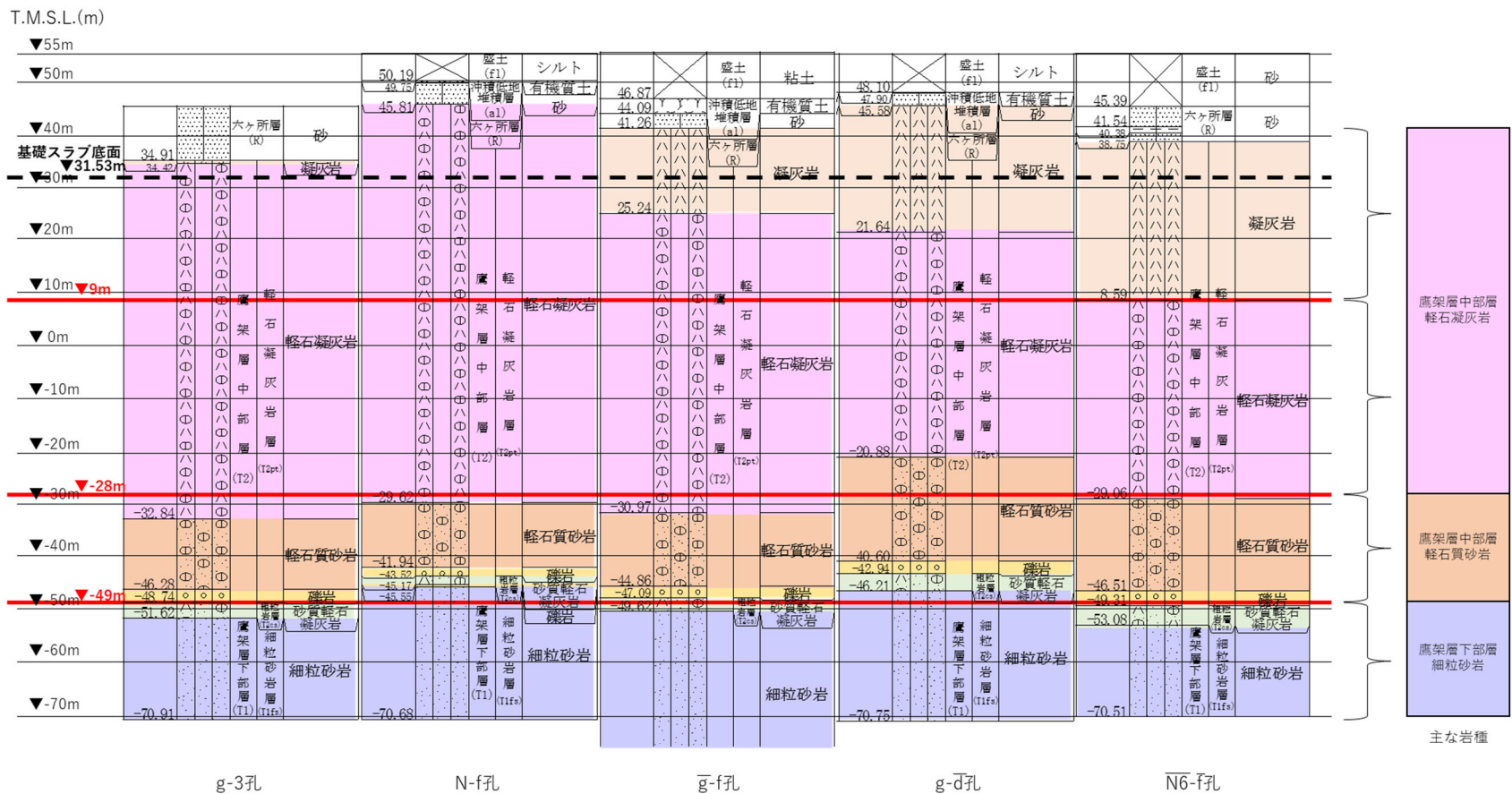
第 2.1.1-1 図 燃料加工建屋の地盤モデル作成に用いる PS 検層孔位置図 (支持地盤)



第 2.1.1-2 図 S 波速度の変動係数の分布 (T. M. S. L. 9m 付近)



第 2.1.1-3 図 S 波速度の変動係数の分布 (T. M. S. L. -28m 付近)



支持地盤の最上面レベル = $(34.91\text{m} + 45.81\text{m} + 41.26\text{m} + 45.58\text{m} + 38.75\text{m}) / 5 = 41.262 \div 41\text{m}$

細粒砂岩の上面レベル平均高さ = $((-51.62\text{m}) + (-45.55\text{m}) + (-49.62\text{m}) + (-46.21\text{m}) + (-53.08\text{m})) / 5 = -49.216\text{m} \div -49\text{m}$

第 2. 1. 1-4 図 PS 検層孔の地質柱状図

2.1.2 単位体積重量の設定

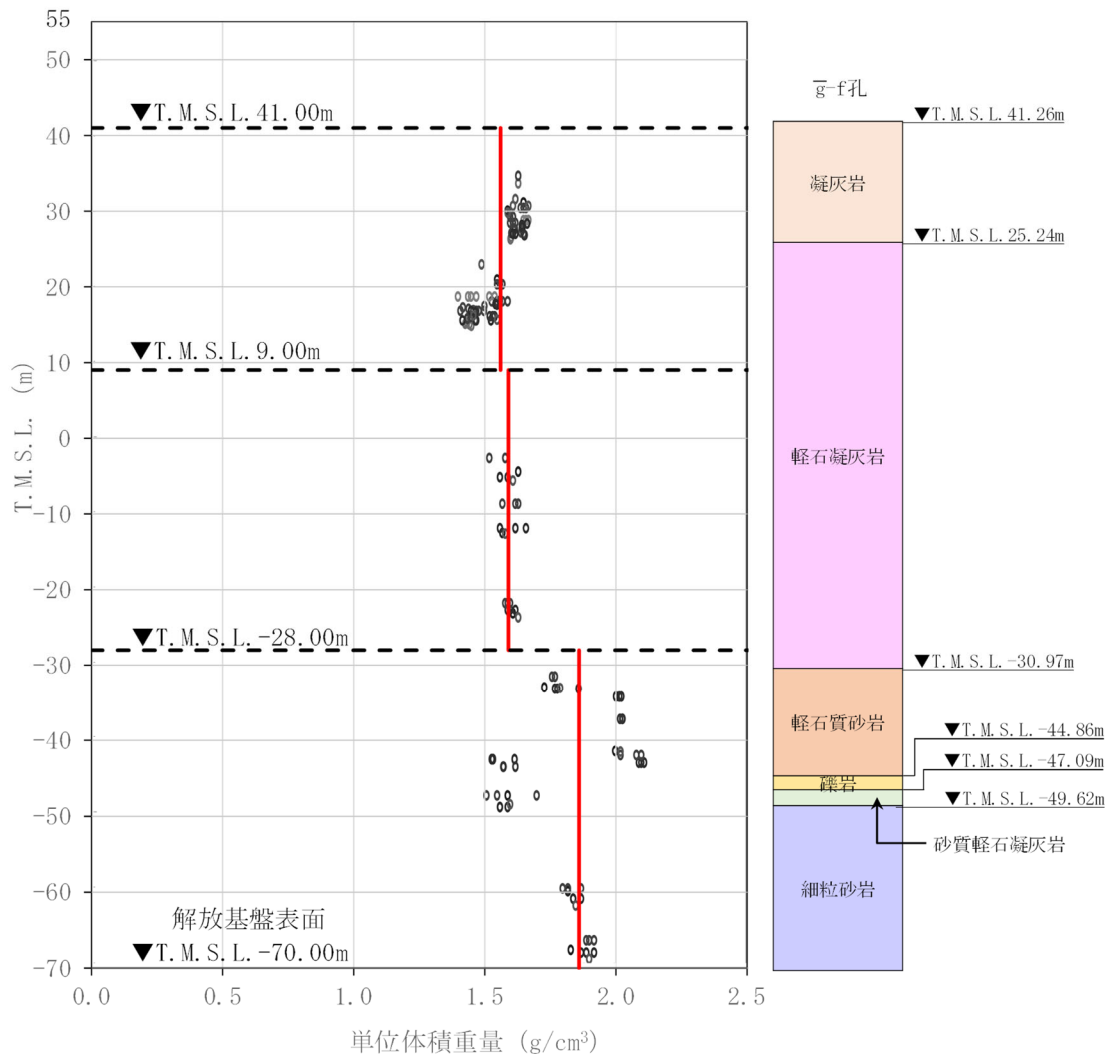
単位体積重量は、前項において速度構造の参照に用いた PS 検層孔において得られている単位体積重量データに基づき設定する。

地盤モデルに設定する値としては、第 2.1.2-1 図に示すとおり、単位体積重量データの深さ方向の分布傾向から、その変化点は概ね速度境界と対応しており、同一速度層内で深度依存性は見られない。

なお、同一速度層内において、単位体積重量データの傾向が切り替わる深さ (T. M. S. L. 25.00m, T. M. S. L. -43.00m 及び T. M. S. L. -49.00m) が見られるが、これは、第 2.1.2-1 図に示すとおり、同一速度層内であっても、異なる岩種が存在することに起因している。単位体積重量の設定にあたっては、これらの境界を考慮し、同一速度層内の各深さで単位体積重量を切り替えることも考えられるが、地盤の応答解析において用いる諸元である地盤のせん断剛性 ($G_0 = \rho V_s^2$) に対しては、S 波速度の値が支配的であることから、単位体積重量については、同一速度層内で一定の値を設定することとした。

上記設定の妥当性を確認するための検討として、「参考 1 単位体積重量の境界を細分化した場合の影響」に示すとおり、地盤の単位体積重量について、上記深さに境界を設けて細分化した場合に入力地震動に与える影響を確認した結果、入力地震動の算定結果に有意な差を与えないことを確認した。

以上を踏まえ、入力地震動の算定に用いる地盤モデルの単位体積重量については、同一速度層内において一定の値を用いることとし、同一速度層内のデータの平均値として設定する。



注記 : 黒点線は速度境界レベルを示す。

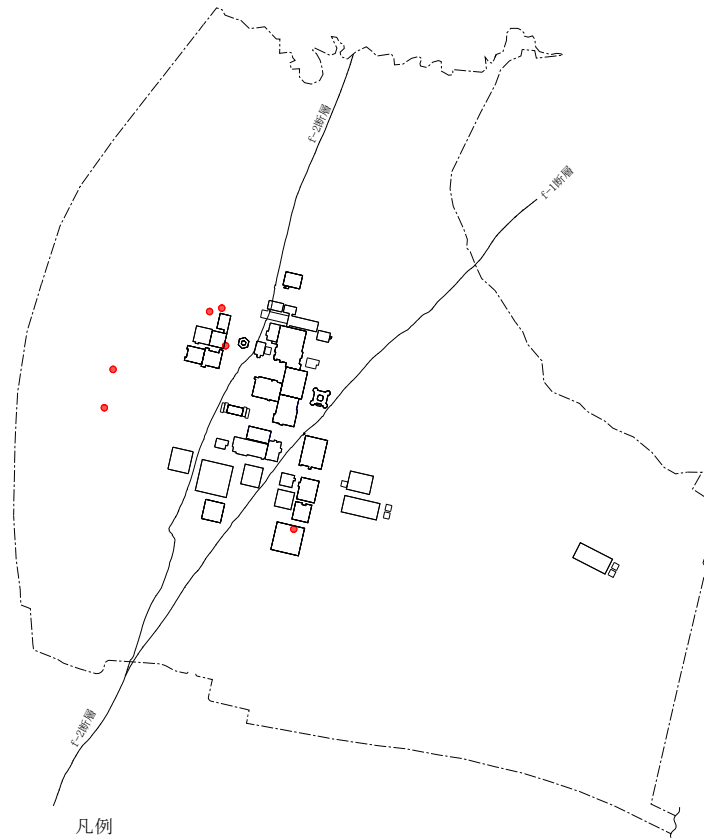
地質構造は、 \bar{g} -f 孔を代表として示す。

第 2.1.2-1 図 単位体積重量の設定結果

2.1.3 ひずみ依存特性の設定

支持地盤のひずみ依存特性については、岩種ごとに剛性低下率及び減衰定数の傾向が異なるため、燃料加工建屋直下の PS 検層孔の岩種と対応するように、各岩種の繰返し三軸圧縮試験結果に基づき設定する。第 2.1.1-4 図の PS 検層孔 5 孔の地質柱状図から、速度境界間を占める主な岩種を確認した。

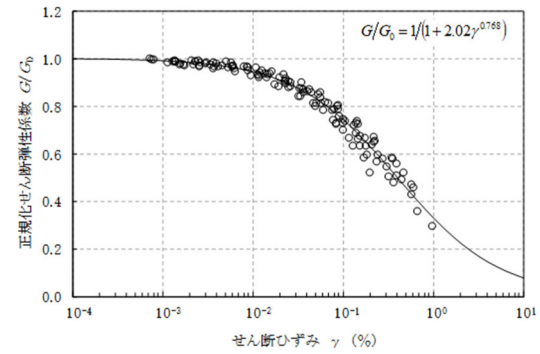
第 2.1.1-4 図から、T.M.S.L. -28.00m の速度境界において鷹架層中部層の軽石凝灰岩と軽石質砂岩の境界レベルと対応することが認められる。また、T.M.S.L. -28.00m から T.M.S.L. -70.00m の速度境界間では、鷹架層中部層から鷹架層下部層への切り替わりが見られることから、T.M.S.L. -49.00m にひずみ依存特性の境界を設定した。第 2.1.3-1 図～第 2.1.3-3 図に支持地盤の各岩種に対する繰返し三軸圧縮試験結果に基づくひずみ依存特性を示す。



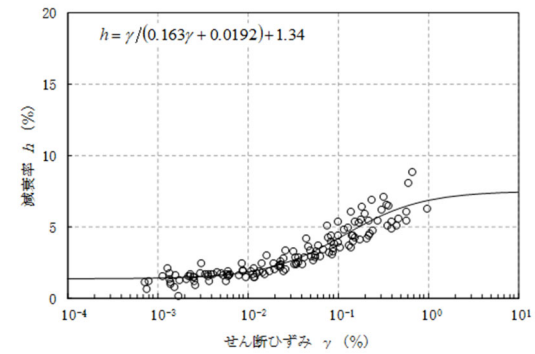
凡例

● : 支持地盤のひずみ依存特性の設定に用いたボーリング調査孔

再処理施設の事業変更許可申請書 第 4.5-13 図より引用



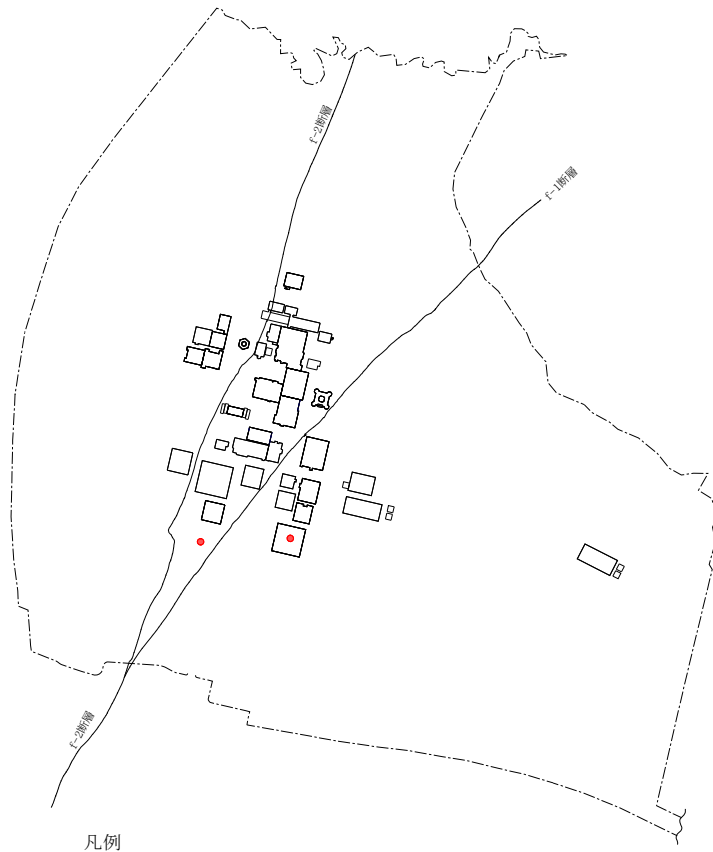
(a) 動的変形特性



(b) 減衰特性

注記 : 軽石凝灰岩は、主に敷地内の東側地盤、西側地盤に分布することから、東側地盤、西側地盤で試験データを取得した。

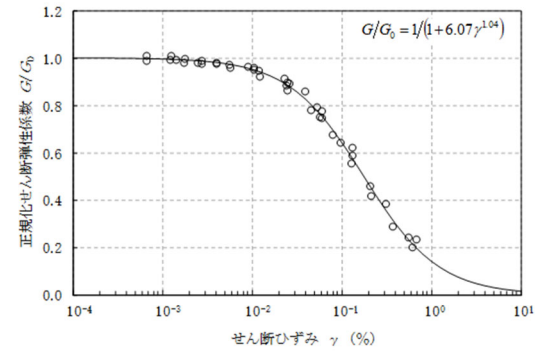
第 2.1.3-1 図 軽石凝灰岩のひずみ依存特性



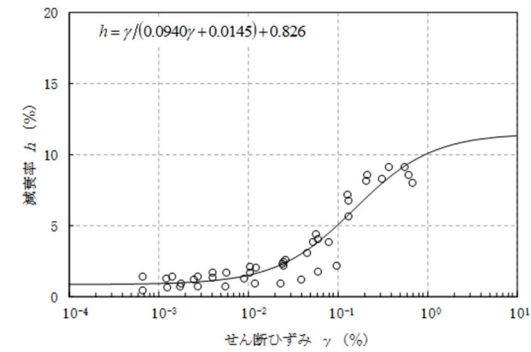
凡例

● : 支持地盤のひずみ依存特性の設定に用いたボーリング調査孔

再処理施設の事業変更許可申請書 第 4.5-13 図より引用



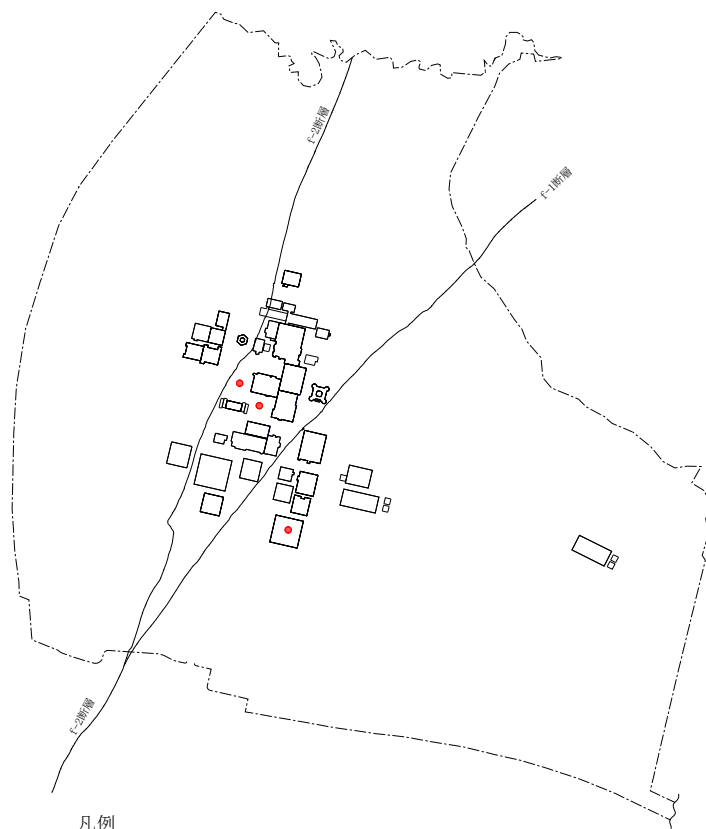
(a) 動的変形特性



(b) 減衰特性

注記 : 軽石質砂岩は、主に敷地内の中央地盤、東側地盤に分布することから、中央地盤、東側地盤で試験データを取得した。

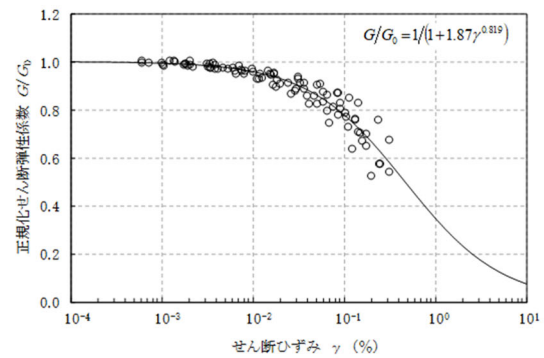
第 2.1.3-2 図 軽石質砂岩のひずみ依存特性



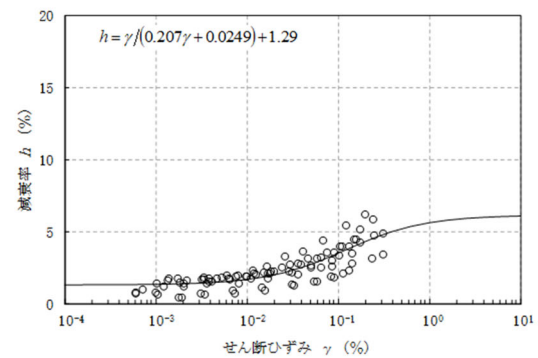
●：支持地盤のひずみ依存特性の設定に用いたボーリング調査孔

再処理施設の事業変更許可申請書 第 4.5-13 図より引用

注記：細粒砂岩は、主に敷地内の中央地盤，東側地盤に分布することから，中央地盤，東側地盤で試験データを取得した。



(a) 動的変形特性



(b) 減衰特性

第 2.1.3-3 図 細粒砂岩のひずみ依存特性

2.1.4 ばらつき幅の設定

支持地盤のばらつき幅の設定において、燃料加工建屋の地盤モデルは、複数の PS 検層孔に基づき作成しているため、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。第 2.1.4-1 表に平均値に対する標準偏差及び変動係数を示す。

第 2.1.4-1 表 平均値に対する標準偏差及び変動係数（支持地盤）

T. M. S. L. (m)	岩種	S波速度			P波速度			
		平均値	標準偏差	変動係数	平均値	標準偏差	変動係数	
		(m/s)	(m/s)	(%)	(m/s)	(m/s)	(%)	
▼支持地盤最上面	41.0							
	9.0	軽石凝灰岩	660	50	8	1860	70	4
	-28.0		810	90	11	1920	90	5
	-49.0	軽石質砂岩	1090	90	8	2260	80	4
		細粒砂岩						
▼解放基盤表面	-70.0	細粒砂岩	1090	90	8	2260	80	4

注記 * : 解放基盤表面 (T. M. S. L. -70.00m) 以深については、T. M. S. L. -150.00m までデータが得られている g-f 孔において解放基盤表面以浅と以深で速度構造は一定となっていることから、解放基盤表面 (T. M. S. L. -70.00m) 直上の設定値を設定した。

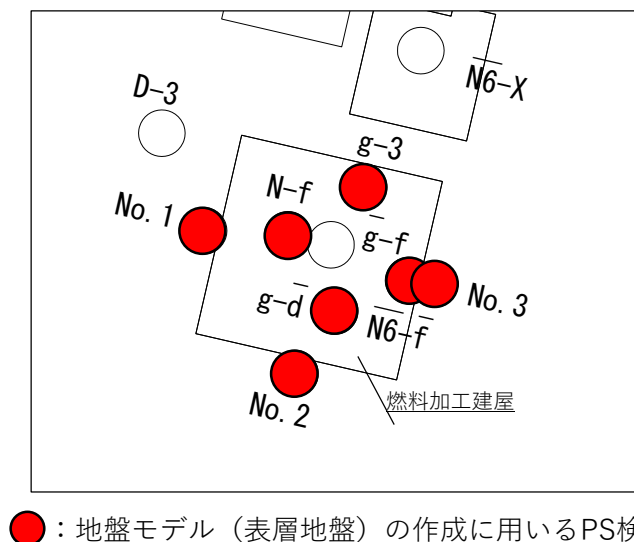
2.2 表層地盤

2.2.1 PS 検層孔の選定及び速度構造の設定

燃料加工建屋の地盤モデルのうち表層地盤については，直下及び近傍において速度構造データが複数得られていることから，それらの速度構造データを用いて地盤モデルを作成する。第 2.2.1-1 図に燃料加工建屋の地盤モデル作成に用いる PS 検層孔位置図を示す。表層地盤については，建屋直下及び近傍において表層地盤の物性が得られているデータ（g-3 孔，N-f 孔，g-d 孔，N6-f 孔，No.1 孔，No.2 孔，No.3 孔）を用いる。

地盤モデルの速度構造の設定にあたっては，S 波速度及び P 波速度それぞれの平均値を基本ケースとして設定する。層境界の設定については，「3. 地盤モデルの層境界の設定」に示すとおり，燃料加工建屋の周辺地盤状況を踏まえ，造成盛土と六ヶ所層の境界を T. M. S. L. 46.00m に設定した。

表層地盤の設定に用いた速度構造データは「(参考) 燃料加工建屋の地盤モデル作成に用いる速度構造データ集」に示す。

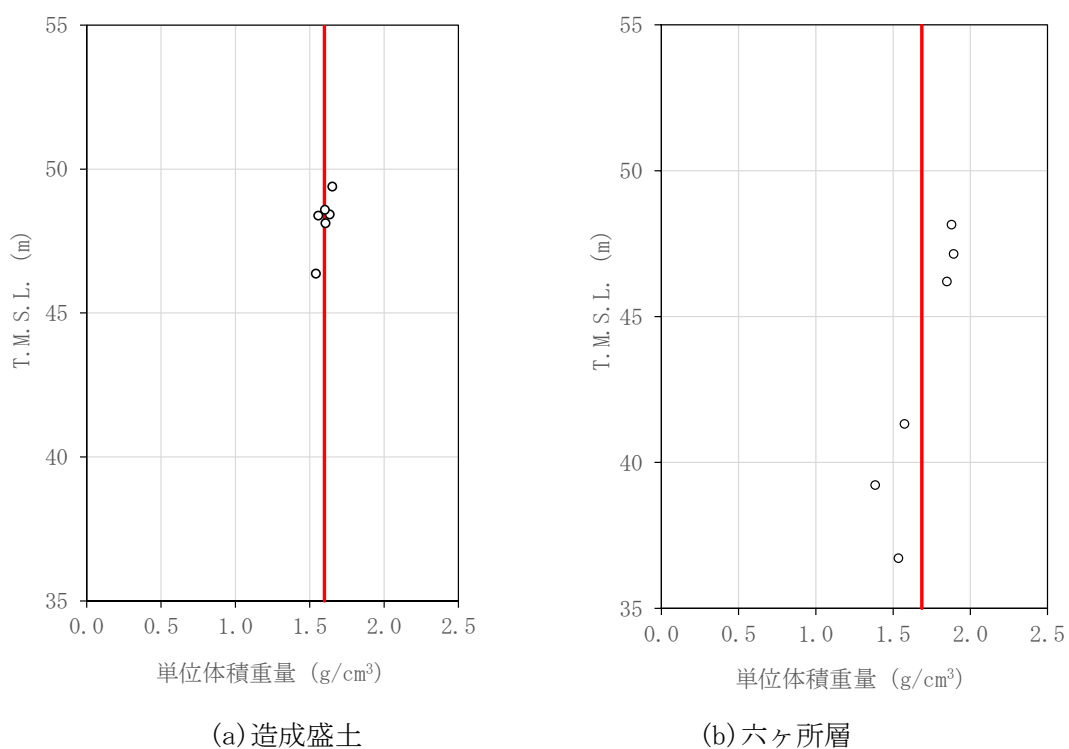


第 2.2.1-1 図 燃料加工建屋の地盤モデル作成に用いる PS 検層孔位置図（表層地盤）

2.2.2 単位体積重量の設定

単位体積重量は、第 2.2.2-1 図に示すとおり、六ヶ所層と造成盛土ごとに、速度構造の参照に用いた PS 検層孔において得られている単位体積重量データに基づき設定する。

地盤モデルに設定する値としては、岩種ごとの単位体積重量データの深さ方向の分布傾向において深度依存性が見られないことから、六ヶ所層と造成盛土ごとに一定の値を設定することとし、単位体積重量データの平均値を用いることとする。

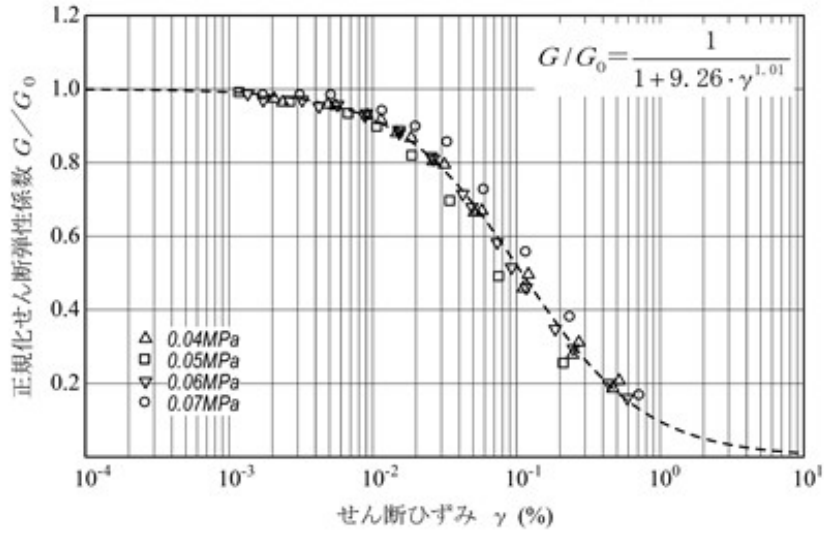


第 2.2.2-1 図 単位体積重量の設定結果

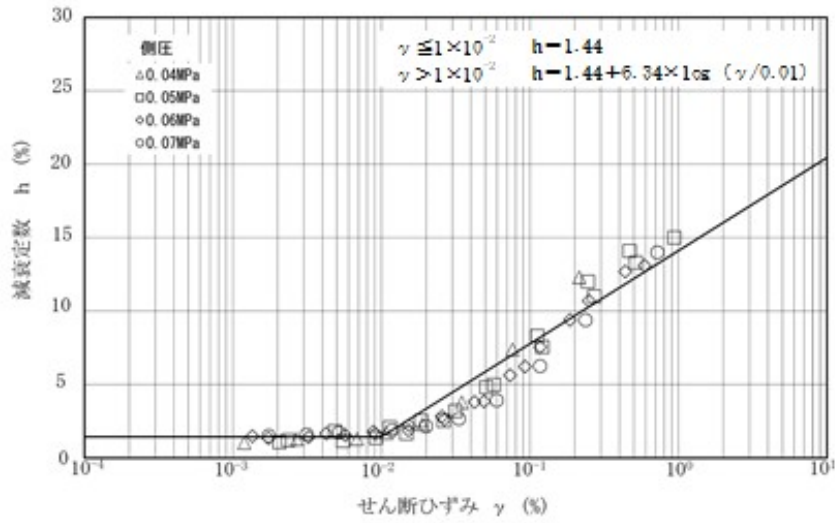
2.2.3 ひずみ依存特性の設定

表層地盤のひずみ依存特性については、岩種ごとに剛性低下率及び減衰定数の傾向が異なるため、各岩種の繰返し三軸圧縮試験結果に基づき設定する。第 2.2.3-1 図及び第 2.2.3-2 図に表層地盤の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を示す。

なお、ひずみ依存特性の減衰定数は、造成盛土及び六ヶ所層それぞれの試験結果と整合するように、直線近似したひずみ依存特性を設定した。

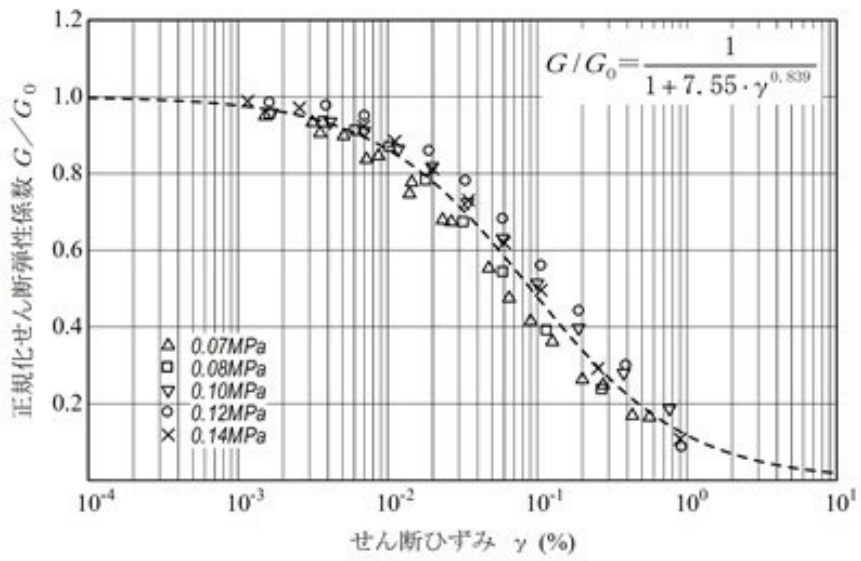


(a) 動的変形特性

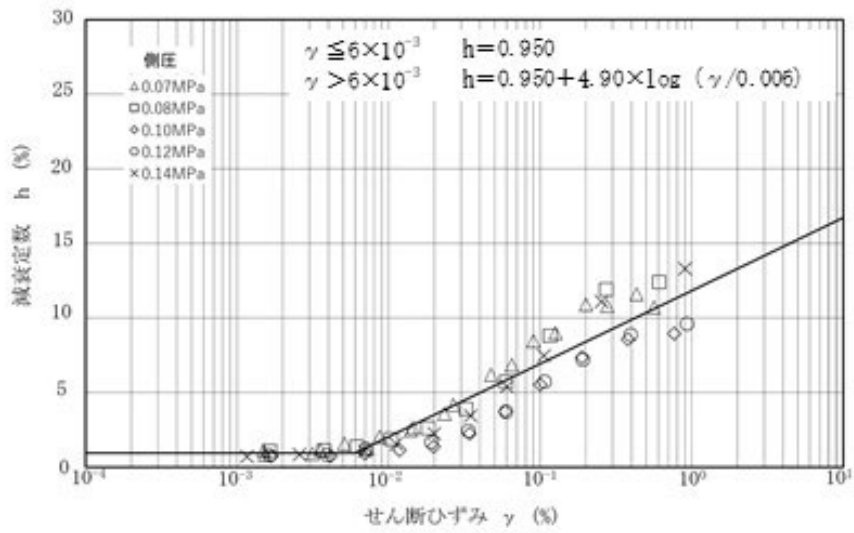


(b) 減衰特性

第 2.2.3-1 図 造成盛土のひずみ依存特性



(a) 動的変形特性



(b) 減衰特性

第 2.2.3-2 図 六ヶ所層のひずみ依存特性

2.2.4 ばらつき幅の設定

表層地盤のばらつき幅の設定において、燃料加工建屋の地盤モデルは、複数の PS 検層孔に基づき作成しているため、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。第 2.2.4-1 表に平均値に対する標準偏差及び変動係数を示す。

なお、各ボーリング孔において得られている単位体積重量データには、深さごとにデータのばらつきを有しているが、S 波速度のばらつき幅に対して小さいこと及び地盤の応答解析において用いる諸元である地盤のせん断剛性 ($G_0 = \rho V_s^2$) に対しては、S 波速度よりも感度が小さいことから、地盤物性のばらつきとしては考慮しないこととする。

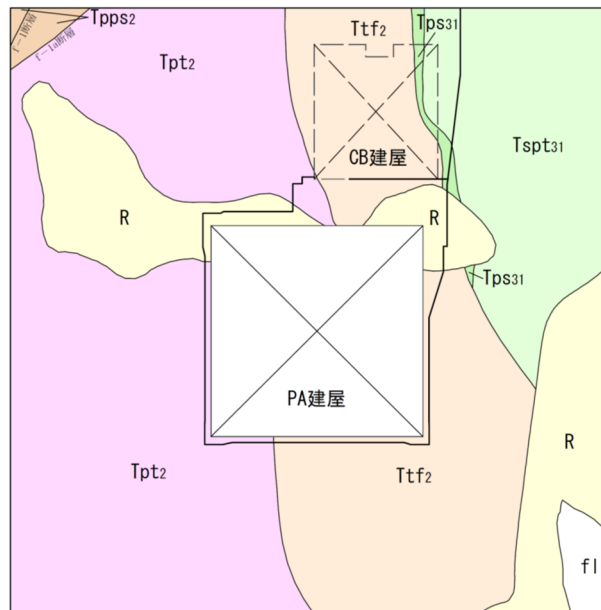
第 2.2.4-1 表 平均値に対する標準偏差及び変動係数（表層地盤）

T. M. S. L. (m)	岩種	S波速度			P波速度		
		平均値	標準偏差	変動係数	平均値	標準偏差	変動係数
		(m/s)	(m/s)	(%)	(m/s)	(m/s)	(%)
▼地表面							
55.0	造成盛土	160	20	13	580	190	33
46.0							
▼支持地盤との境界							
35.0	六ヶ所層	320	120	38	980	420	43

3. 地盤モデルの層境界の設定

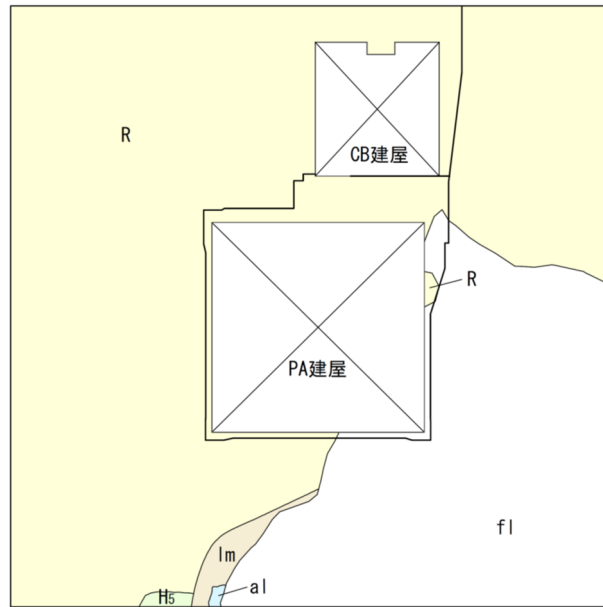
表層地盤の層境界の設定については、燃料加工建屋周辺の地盤分布状況を踏まえて設定する。第3.-1図及び第3.-2図に燃料加工建屋周辺の地盤分布状況を示す。

第3.-1図に示すとおり、T.M.S.L. 35.00mにおいては、燃料加工建屋周辺に支持地盤である鷹架層が広範囲に分布していることから、T.M.S.L. 35.00mを鷹架層と六ヶ所層の境界として設定した。また、第3.-2図に示すとおり、T.M.S.L. 46.00mにおいては、六ヶ所層が燃料加工建屋の概ね3面を囲むように分布していることから、T.M.S.L. 46.00mを六ヶ所層と造成盛土の境界として設定した。



凡 例																						
f1	盛 土																					
al	沖積低地堆積層																					
lm	火山灰層																					
H5	高位段丘堆積層																					
R	六ヶ所層																					
鷹架層																						
中部層	<table border="0"> <tr> <td>軽石混り砂岩層</td> <td>Tspt31</td> <td>砂質軽石凝灰岩(1)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tps31</td> <td>軽石混り砂岩(1)</td> </tr> <tr> <td>軽石凝灰岩層</td> <td>Ttf2</td> <td>凝灰岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tpt2</td> <td>軽石凝灰岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tpps2</td> <td>軽石質砂岩</td> </tr> <tr> <td>粗粒砂岩層</td> <td>Tspt1</td> <td>砂質軽石凝灰岩</td> </tr> <tr> <td>下部層細粒砂岩層</td> <td>Tfs0</td> <td>細粒砂岩</td> </tr> </table>	軽石混り砂岩層	Tspt31	砂質軽石凝灰岩(1)		Tps31	軽石混り砂岩(1)	軽石凝灰岩層	Ttf2	凝灰岩		Tpt2	軽石凝灰岩		Tpps2	軽石質砂岩	粗粒砂岩層	Tspt1	砂質軽石凝灰岩	下部層細粒砂岩層	Tfs0	細粒砂岩
軽石混り砂岩層	Tspt31	砂質軽石凝灰岩(1)																				
	Tps31	軽石混り砂岩(1)																				
軽石凝灰岩層	Ttf2	凝灰岩																				
	Tpt2	軽石凝灰岩																				
	Tpps2	軽石質砂岩																				
粗粒砂岩層	Tspt1	砂質軽石凝灰岩																				
下部層細粒砂岩層	Tfs0	細粒砂岩																				

第3.-1図 燃料加工建屋の周辺地盤状況 (T.M.S.L. 35.00m)



凡		例	
fl	盛土	軽石混り砂岩層	[Tspt31] 砂質軽石凝灰岩(1) [Tps31] 軽石混り砂岩(1)
al	沖積低地堆積層	軽石凝灰岩層	[Ttf2] 凝灰岩 [Tpt2] 軽石凝灰岩
lm	火山灰層	粗粒砂岩層	[Tpps2] 軽石質砂岩 [Tspt1] 砂質軽石凝灰岩
Hs	高位段丘堆積層	下部層細粒砂岩層	[Tfs0] 細粒砂岩
R	六ヶ所層		

第 3.-2 図 燃料加工建屋の周辺地盤状況 (T. M. S. L. 46.00m)

4. 燃料加工建屋の地盤モデル

燃料加工建屋の入力地震動の算定に用いる地盤モデルを第 4. -1 表～第 4. -3 表に示す。

第 4. -1 表 燃料加工建屋の地盤モデル（基本ケース）

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 $G/G_0-\gamma$	減衰定数 $h-\gamma$
▽地表面						
55.0	造成盛土	15.7	160	580	*1	
46.0	六ヶ所層	16.5	320	980	*2	
35.0						
▽基礎底面						
31.53	軽石凝灰岩	15.3	660	1860	*3	
9.0		15.6	810	1920		
-28.0	軽石質砂岩	18.2	1090	2260	*4	
-49.0	細粒砂岩				*5	
▽解放基盤表面						
-70.0	細粒砂岩	18.2	1090	2260	—	

注記 *1：第 2. 2. 3-1 図に示す造成盛土のひずみ依存特性を設定する。

*2：第 2. 2. 3-2 図に示す六ヶ所層のひずみ依存特性を設定する。

*3：第 2. 1. 3-1 図に示す軽石凝灰岩のひずみ依存特性を設定する。

*4：第 2. 1. 3-2 図に示す軽石質砂岩のひずみ依存特性を設定する。

*5：第 2. 1. 3-3 図に示す細粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。

第 4.-2 表 燃料加工建屋の地盤モデル (+1σ)

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 $G/G_0-\gamma$	減衰定数 $h-\gamma$
▽地表面						
55.0	造成盛土	15.7	180	770		*1
46.0	六ヶ所層	16.5	440	1400		*2
35.0						
▽基礎底面						
31.53	軽石凝灰岩	15.3	710	1930		*3
9.0		15.6	900	2010		
-28.0	軽石質砂岩	18.2	1180	2340		*4
-49.0	細粒砂岩					*5
▽解放基盤表面						
-70.0	細粒砂岩	18.2	1180	2340		—

注記 *1 : 第 2.2.3-1 図に示す造成盛土のひずみ依存特性を設定する。
 *2 : 第 2.2.3-2 図に示す六ヶ所層のひずみ依存特性を設定する。
 *3 : 第 2.1.3-1 図に示す軽石凝灰岩のひずみ依存特性を設定する。
 *4 : 第 2.1.3-2 図に示す軽石質砂岩のひずみ依存特性を設定する。
 *5 : 第 2.1.3-3 図に示す細粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。

第 4.-3 表 燃料加工建屋の地盤モデル (-1σ)

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 $G/G_0-\gamma$	減衰定数 $h-\gamma$
▽地表面						
55.0	造成盛土	15.7	140	390		*1
46.0	六ヶ所層	16.5	200	560		*2
35.0						
▽基礎底面						
31.53	軽石凝灰岩	15.3	610	1790		*3
9.0		15.6	720	1830		
-28.0	軽石質砂岩	18.2	1000	2180		*4
-49.0	細粒砂岩					*5
▽解放基盤表面						
-70.0	細粒砂岩	18.2	1000	2180		—

注記 *1 : 第 2.2.3-1 図に示す造成盛土のひずみ依存特性を設定する。
 *2 : 第 2.2.3-2 図に示す六ヶ所層のひずみ依存特性を設定する。
 *3 : 第 2.1.3-1 図に示す軽石凝灰岩のひずみ依存特性を設定する。
 *4 : 第 2.1.3-2 図に示す軽石質砂岩のひずみ依存特性を設定する。
 *5 : 第 2.1.3-3 図に示す細粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。

5. 入力地震動の算定方法

5.1 概要

燃料加工建屋の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。

5.2 入力地震動の算定方法に係る確認

(1) 概要

基準地震動 S_s による評価のうち、地盤の有効せん断ひずみが最大となる、地盤物性のばらつきを考慮したケース ($-\sigma$) の基準地震動 S_s-C1 に対する等価線形解析結果を第 5.2-1 図に示す。

この解析結果において、地盤の等価線形解析の適用範囲について、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% を大きく上回ることが確認できる。また、表層地盤の造成盛土の一部層の地盤のせん断ひずみが、ひずみ依存特性における繰返し三軸圧縮試験結果 (約 1% まで結果を有している) の範囲を大きく上回り、外挿範囲となっていることが確認できる。

地盤の等価線形解析の適用範囲については、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008 ((社) 日本電気協会)」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、再処理事業所の建物・構築物の基礎底面以浅の地盤は、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。

また、燃料加工建屋の地盤モデルは、建屋基礎底面以浅において、鷹架層及び六ヶ所層が分布しており、その上部に、軟質な造成盛土が分布している。第 5.2-1 図に示すとおり、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% を大きく上回るのは、建屋基礎底面以浅の地盤のうち、造成盛土の一部の層である。

建屋基礎底面以浅の地盤のうち、鷹架層及び六ヶ所層については、有効せん断ひずみは 1% を大きく上回らない結果となっていることから、建屋応答への寄与の大きい基礎底面レベルにおける入力地震動のうち、上昇波については地盤のせん断ひずみが大きくなっていることによる影響は無いと考えられる。

地盤のせん断ひずみが大きくなる造成盛土からの下降波についても、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、既に剛性としては概ね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、燃料加工建屋の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。

以上の考え方に対して、「(2) 確認方法」に示すとおり、定量的な確認を行うこととする。

(2) 確認方法

課題 1：等価線形解析の適用について

等価線形解析の適用に対する定量的な確認として、等価線形解析に基づく地盤応答と、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に基づく地盤応答の比較を行うことにより、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する。

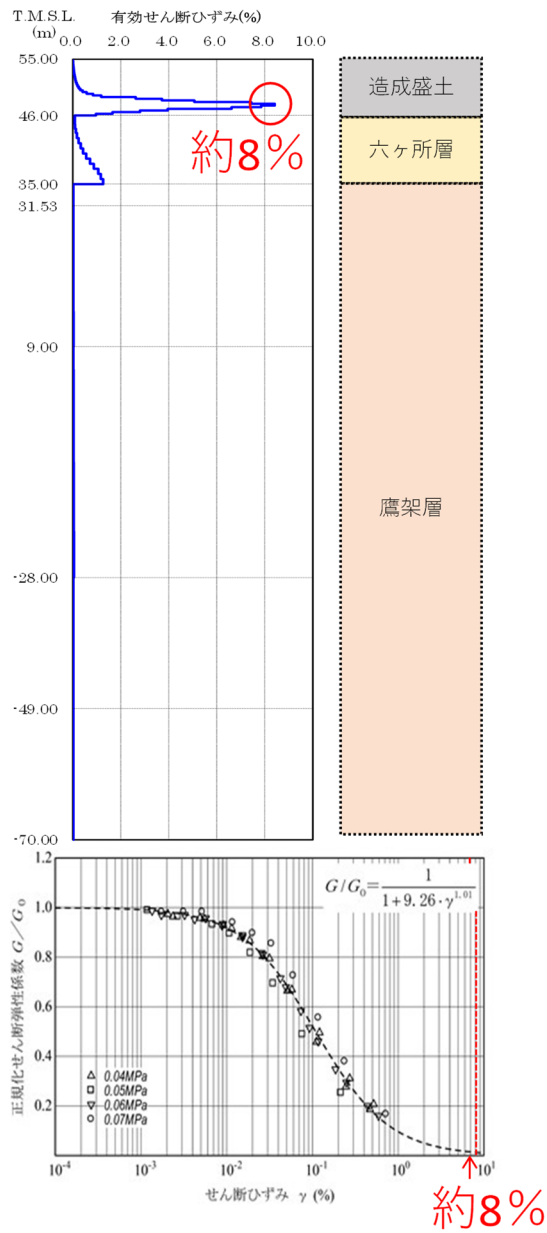
比較対象とする逐次非線形解析結果は、「5.3 逐次非線形解析の手法」にて示すケースのうち、ひずみ依存特性における繰返し三軸圧縮試験結果と一致するケース（基本ケース）によるものとする。

課題 2：ひずみ依存特性の外挿範囲について

ひずみ依存特性の外挿範囲に対する定量的な確認として、非線形特性のパラメータスタディを行い、外挿範囲のひずみ依存特性を変動させたとしても、入力地震動の算定結果に影響を与えないことを確認する。

解析手法は、逐次非線形解析及び等価線形解析の両方に対してパラメータスタディを行い、外挿範囲のひずみ依存特性を変動させたとしても、入力地震動の算定結果に影響を与えないことを確認する。

確認にあたっては、地盤のせん断ひずみの外挿範囲におけるひずみ依存特性について、非線形性が進む場合と進まない場合の両方を仮定条件としたケース（「5.3 逐次非線形解析の手法」にて示すケースのうち、ケース①及びケース②）を設定したパラメータスタディを行い、ひずみ依存特性における繰返し三軸圧縮試験結果と一致する基本ケースによる地盤応答との比較を行うことにより、入力地震動の算定結果に影響を与えないことを確認する。



第 5.2-1 図 地盤の有効せん断ひずみ
(燃料加工建屋 Ss-C1 - σ ケースの例)

(3) 確認対象地震動

造成盛土の有効せん断ひずみが、一般的な適用の目安である1%を超過する地震動を第5.2-1表に示す。本資料における入力地震動の算定方法に係る確認は、造成盛土における有効せん断ひずみが最も大きい、設計基準対象施設の評価に係る地盤物性のばらつきを考慮したケース(-σ)の基準地震動Ss-C1及び重大事故対処施設の評価に係る1.2×Ss-C1に対して行う。

入力地震動の算定方法に係る確認にあたっては、地盤のひずみレベルが大きいほど解析手法及び非線形特性の設定に起因する差が大きくなると考えられるため、地盤のせん断ひずみの小さいその他の地震波についても同様の傾向が示されると考えられる。

第5.2-1表 対象地震動

評価	地震動
対象地震動 (設計基準)	Ss-A, Ss-B1, Ss-B2, Ss-B3, Ss-B4, Ss-B5, Ss-C1, Ss-C3, Ss-C4 Sd-C1 Ss-A(+σ), Ss-B3(+σ), Ss-C1(+σ) Sd-C1(+σ) Ss-A(-σ), Ss-B1(-σ), Ss-B3(-σ), Ss-C1(-σ)* Sd-A(-σ), Sd-C1(-σ)
対象地震動(重大事故等対処施設)	1.2×Ss-A, 1.2×Ss-B1, 1.2×Ss-B2, 1.2×Ss-B3, 1.2×Ss-B4, 1.2×Ss-B5, 1.2×Ss-C1*, 1.2×Ss-C2, 1.2×Ss-C3, 1.2×Ss-C4

注記 * : 各評価において有効せん断ひずみが最大となる地震動を示す。

: 確認対象地震動

5.3 逐次非線形解析の手法

入力地震動の算定手法に係る確認を行うために実施する解析は逐次非線形解析とする。逐次非線形解析は、時間領域において非線形性を逐次考慮しながら地盤応答を計算する方法であり、地盤の非線形性を考慮するために応力～ひずみ関係の骨格曲線を用いて評価する。

本検討における土の非線形モデルについては、吉田ら^{1) 2)}にて提案されている、調査結果から得られたひずみ依存特性と整合する動的特性を考慮することが可能な方法を用い、地盤の繰返し三軸圧縮試験結果に基づく $G/G_0-\gamma$ 曲線と一致する骨格曲線 ($\tau-\gamma$) を、第 5.3-1 図の基本ケースに示すとおり設定する。履歴曲線は、地盤の逐次非線形解析を取り扱う文献^{2) 3)}において広く用いられている Masing 則を適用する。本確認は、大ひずみ領域における大変形時の地盤の挙動に着目した検討であることから、本確認にて実施する逐次非線形解析に考慮する地盤の材料減衰は、変形量の大きい低周波領域で過大な減衰を与えない設定として、剛性比例減衰を定義する。

逐次非線形解析は、荷重の載荷と除荷による時々刻々の影響を考慮し、力の釣り合いを時間領域で解析する手法であり、等価線形解析よりも大きなせん断ひずみに対して適用可能な手法である。

逐次非線形解析については、解析コードは「MuDIAN Ver. 8.0」を用いる。上記解析コードを用いる上で、せん断ひずみ 1% を超える条件を模擬した解析コードの検証を実施しており、発電用原子炉にて使用実績のある解析コードと同等の解析結果を与えることを確認している。

なお、逐次非線形解析の大ひずみ領域における適用範囲について明確に示した知見は無いものの、既往文献³⁾において、逐次非線形解析を大ひずみ領域に適用する場合の留意事項として、骨格曲線の設定にあたり、地盤のせん断ひずみの増大に伴い応力が上昇する場合には、大きなひずみ領域における対応について確認する必要性が示されている。

燃料加工建屋の造成盛土については、上記のとおり、地盤の繰返し三軸圧縮試験結果に基づく $G/G_0-\gamma$ 曲線と一致する骨格曲線 ($\tau-\gamma$) を設定しており、さらに、第 5.3-1 図に示す基本ケースの骨格曲線のとおり、試験結果が存在するせん断ひずみ 1% までの領域ではほぼ降伏していることから、試験結果が存在しない 1% よりも大きいひずみ領域では、さらに大きな応力を負担するような設定にはなっていない。このことから、既往文献³⁾にて確認の必要性が示されているような、せん断ひずみの増大に伴い、実際の地盤では負担できない応力を考慮するような設定とはしていない。

以上のことから、燃料加工建屋における確認にあたり、1% を超えるせん断ひずみに対して、逐次非線形解析を用いることに問題はないと考える。

非線形特性のパラメータスタディとしては、第 5.3-1 図に示すとおり、地盤の繰返し三軸圧縮試験結果に基づく $G/G_0-\gamma$ 曲線に対応する骨格曲線 ($\tau-\gamma$) について、地盤のせん断ひずみ 1% 以上の領域におけるせん断応力 τ を変動させることとする。

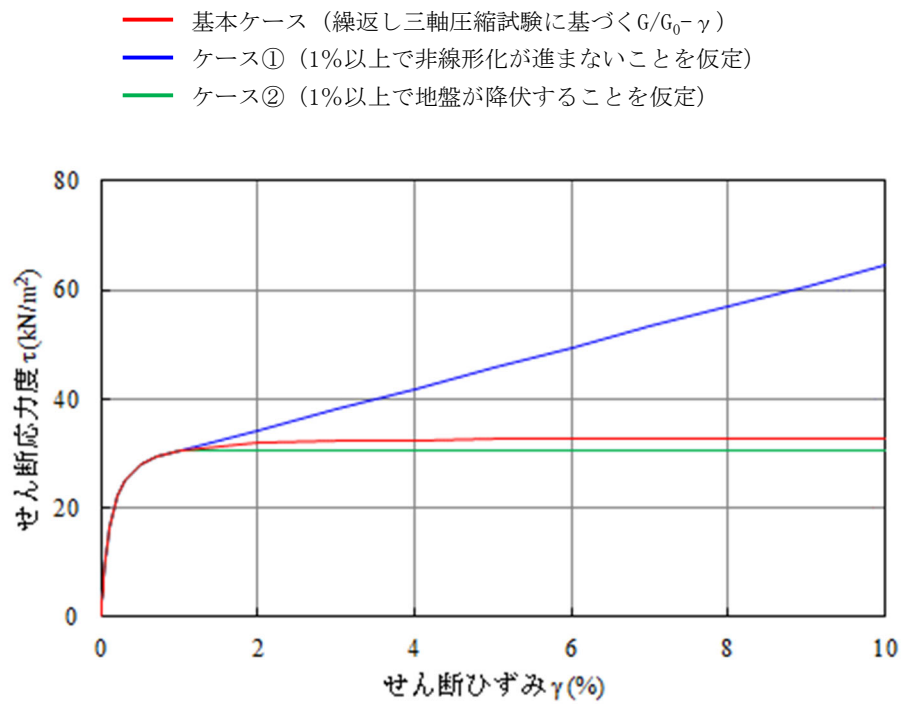
具体的には、 $G/G_0-\gamma$ 曲線に対応する骨格曲線をそのまま考慮したケース（基本ケース）に加え、極端な仮定条件として、地盤のせん断ひずみ 1% 以上において非線形化が進まず、せん断応力 τ の傾きが一定となるケース（ケース①）及び地盤のせん断ひずみ 1% 以上において地盤が降伏し、せん断応力 τ の傾きが 0 となるケース（ケース②）を

考慮する。

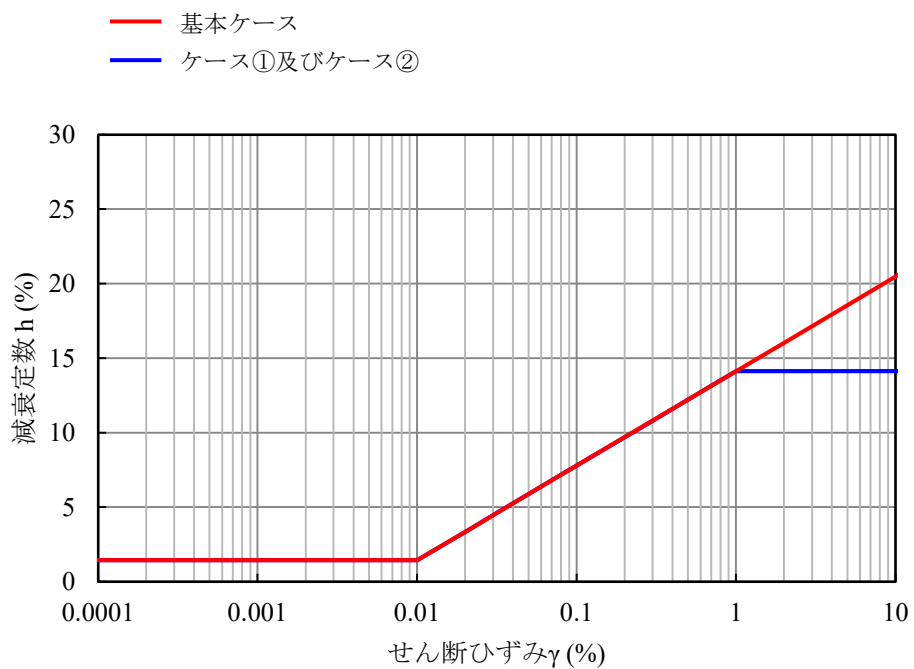
なお、上記ケース①及びケース②の条件では、地盤の繰返し三軸圧縮試験結果では、せん断ひずみ1%以降はデータが得られていないことを踏まえ、減衰が大きくなるような極端な設定として、第5.3-2図に示すとおり、地盤の繰返し三軸圧縮試験結果に基づく $h-\gamma$ 曲線に対して、ひずみ1%以上の領域について一定の値を与えることとする。

建屋応答の算定にあたっては、地震応答解析に考慮する側面地盤ばねの値についても、逐次非線形解析から得られた地盤の有効せん断ひずみに基づき、改めて算定して設定することとする。

- 1) : 吉田望他 : 地盤の1次元非線形解析に用いる土のせん断応力-せん断ひずみ関係のモデル化 (日本建築学会大会学術講演梗概集, 1990年10月)
- 2) : K. Ishihara et al. : Modelling of stress-strain relations of soils in cyclic loading (Fifth International Conference on Numerical Methods in Geomechanics / Nagoya / 1-5 April 1985)
- 3) : 建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計 (日本建築学会, 2006年)



第 5.3-1 図 パラメータスタディにおいて考慮する地盤の骨格曲線



第 5.3-2 図 パラメータスタディにおいて考慮する地盤の減衰定数

5.4 確認結果

(1) 概要

基準地震動 S_s による評価のうち、最も造成盛土における有効せん断ひずみ大きい、設計基準対象施設の評価に係る地盤物性のばらつきを考慮したケース ($-\sigma$) の基準地震動 S_s-C1 及び重大事故対処施設の評価に係る $1.2 \times S_s-C1$ に対し、「5.3 逐次非線形解析の手法」に示した基本ケースの逐次非線形解析、並びにケース①、ケース②の逐次非線形解析及び等価線形解析を実施し、入力地震動の比較を行った。

各ケースの地盤応答を第 5.4-1 図～5.4-8 図に示す。

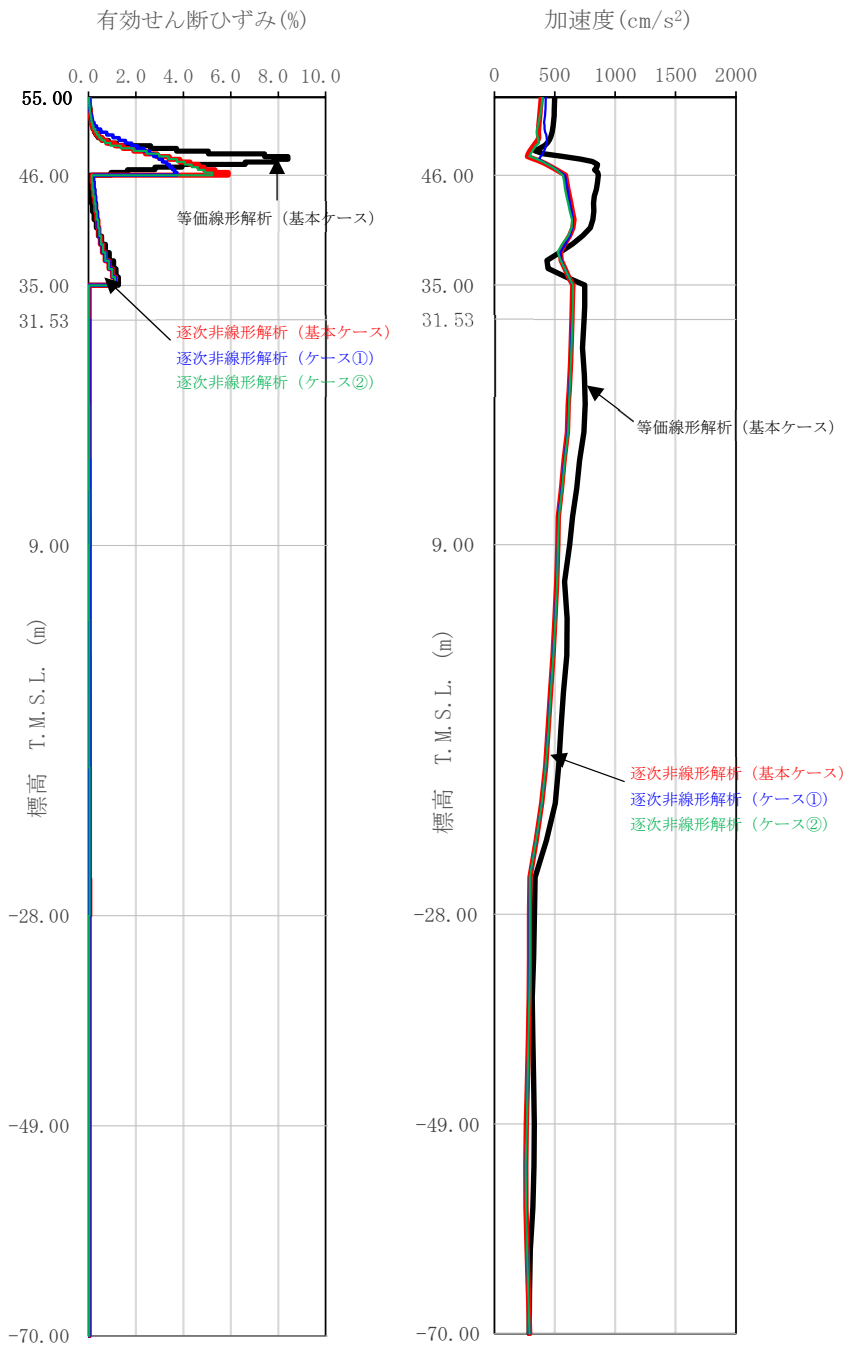
(2) 課題 1：等価線形解析の適用について

等価線形解析（基本ケース）に基づく入力地震動と逐次非線形解析（基本ケース）に基づく入力地震動の比較として、燃料加工建屋基礎底面レベル (T. M. S. L. 31.53m) 及び燃料加工建屋の側面入力地震動算定レベル (T. M. S. L. 34.23m, T. M. S. L. 35.00m, T. M. S. L. 43.20m) における地盤応答を比較した結果、第 5.4-2 図及び第 5.4-4 図に示すとおり、入力地震動の加速度応答スペクトルは、逐次非線形解析に対して等価線形解析による算定結果が同等または保守的な結果となった。なお、第 5.4-2 図 (1) に示す結果において、T. M. S. L. 43.20m の入力地震動の周期 1～2 秒等で逐次非線形解析が等価線形結果を上回る部分があるが、建屋の固有周期 (約 0.3 秒) と異なる周期帯であり、「参考 2 逐次非線形解析結果の建屋応答への影響」に示すとおり、建屋各層における床応答としては逐次非線形解析が有意に上回る結果とはなっていない。

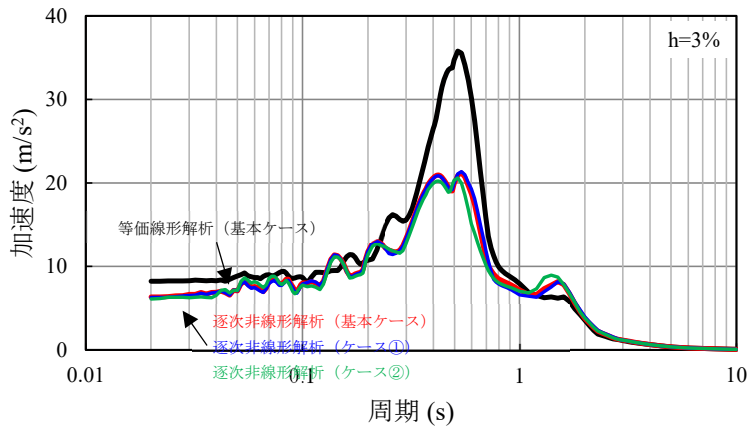
(3) 課題 2：ひずみ依存特性の外挿範囲について

逐次非線形解析に考慮する非線形特性のパラメータスタディとして、ケース①及び②に基づく入力地震動と基本ケースに基づく入力地震動の比較として、燃料加工建屋基礎底面レベル (T. M. S. L. 31.53m) 及び燃料加工建屋の側面入力地震動算定レベル (T. M. S. L. 34.23m, T. M. S. L. 35.00m, T. M. S. L. 43.20m) における地盤応答を比較した結果、第 5.4-2 図及び第 5.4-4 図に示すとおり、いずれの深さにおいても加速度応答スペクトルの全周期帯において、有意な差は無い結果となった。

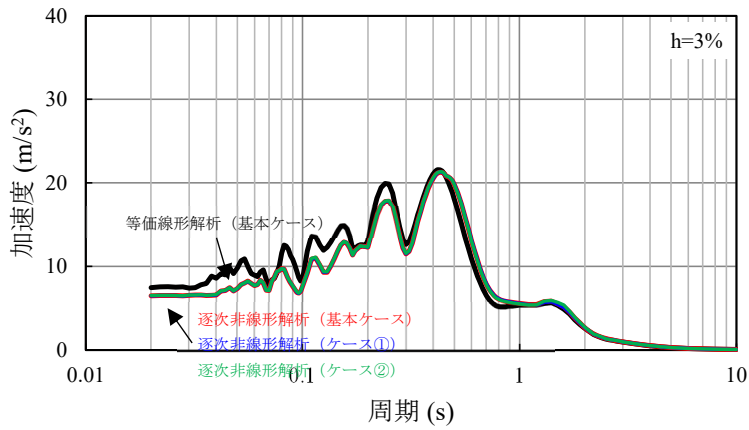
また、等価線形解析に対して上記と同様のパラメータスタディを行った結果についても、第 5.4-6 図及び第 5.4-8 図に示すとおり、上記と同様の結果が得られた。



第 5.4-1 図 地盤応答分布図 Ss-C1 (- σ)
(逐次非線形解析)



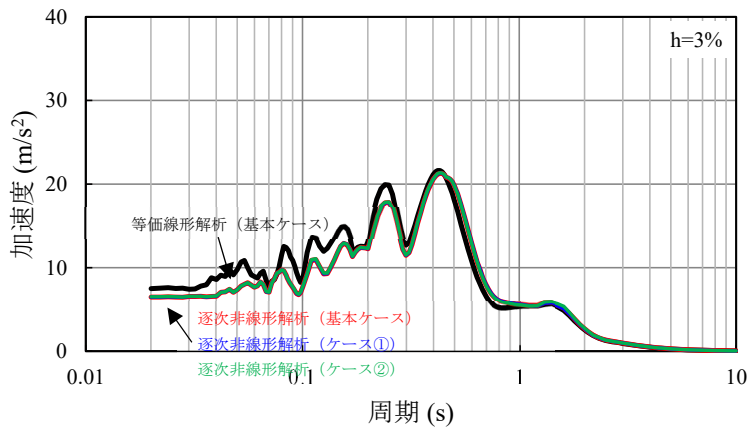
T. M. S. L. 43.20m



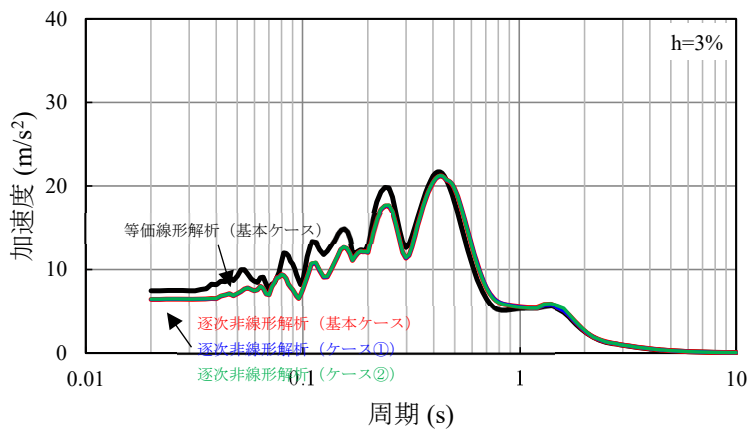
T. M. S. L. 35.00m

- 等価線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (ケース①)
- 逐次非線形解析 (ケース②)

第 5.4-2 図 (1) 入力地震動の加速度応答スペクトル S_s-C1 (−σ)
(逐次非線形解析)



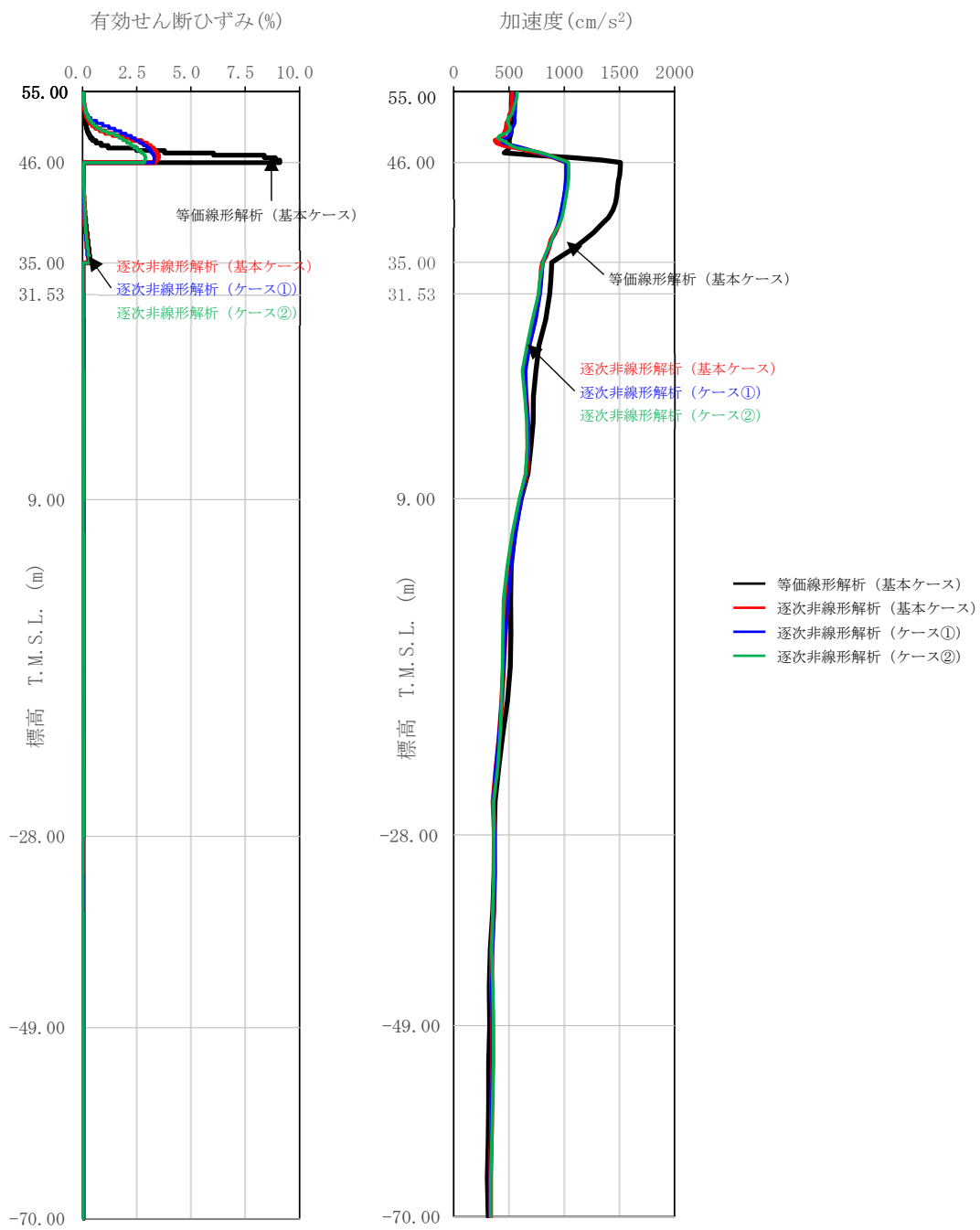
T. M. S. L. 34. 23m



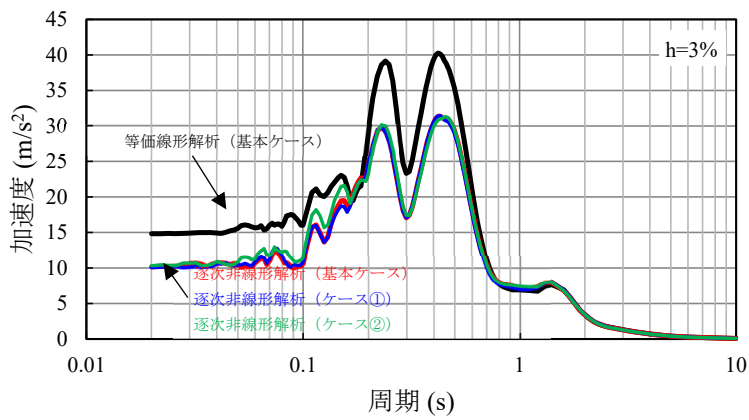
T. M. S. L. 31. 53m

- 等価線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (ケース①)
- 逐次非線形解析 (ケース②)

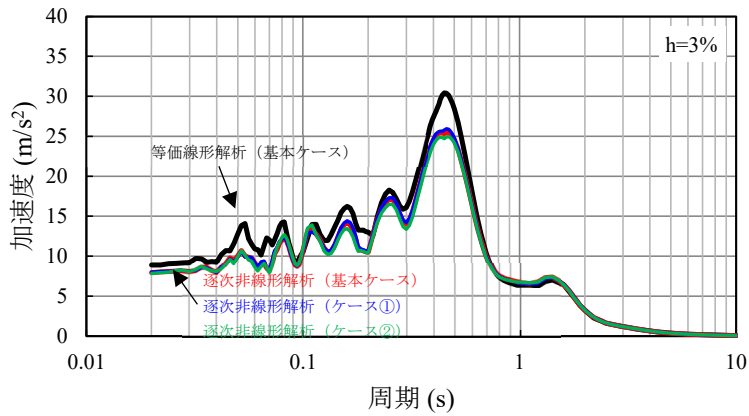
第 5. 4-2 図 (2) 入力地震動の加速度応答スペクトル S_s-C1 (— σ)
(逐次非線形解析)



第 5.4-3 図 地盤応答分布図 1.2×Ss-C1
(逐次非線形解析)



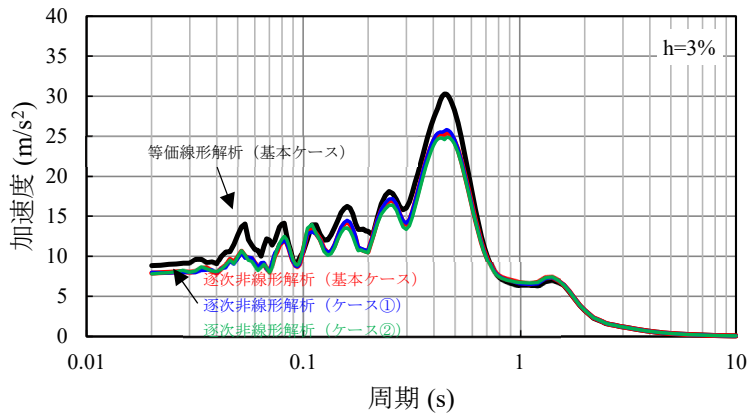
T. M. S. L. 43. 20m



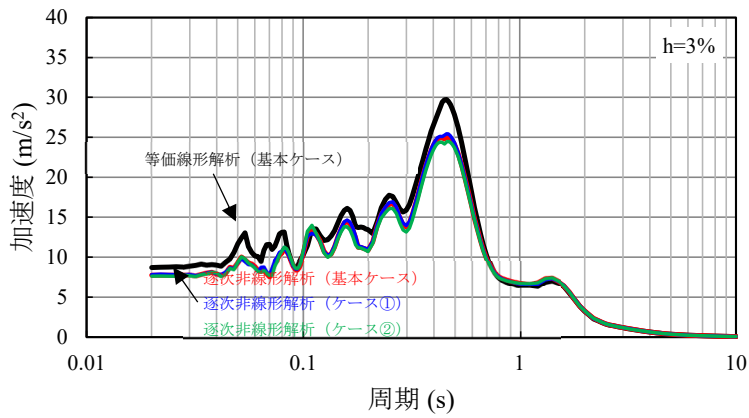
T. M. S. L. 35. 00m

- 等価線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (ケース①)
- 逐次非線形解析 (ケース②)

第 5. 4-4 図 (1) 入力地震動の加速度応答スペクトル 1.2×Ss-C1
(逐次非線形解析)



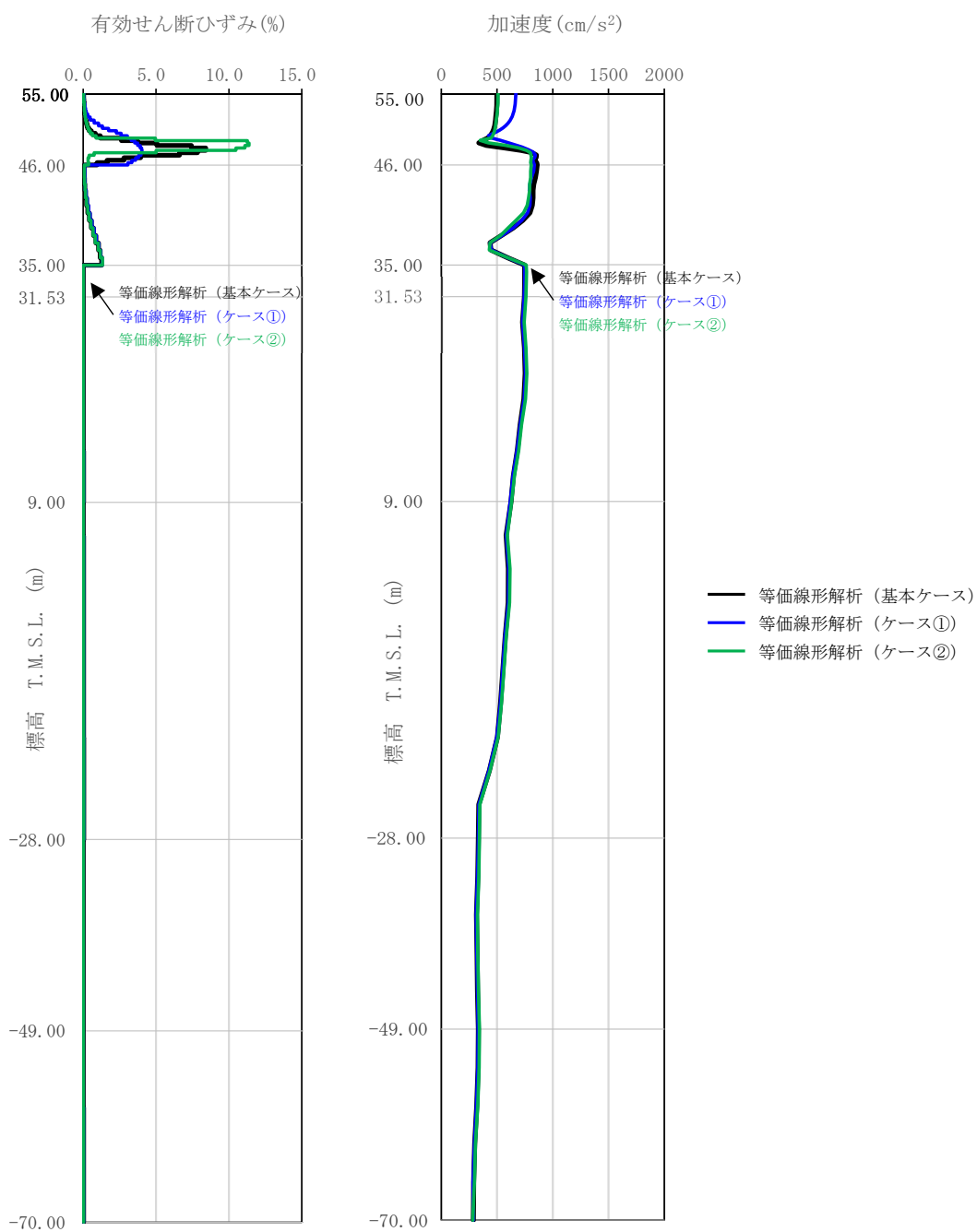
T. M. S. L. 34. 23m



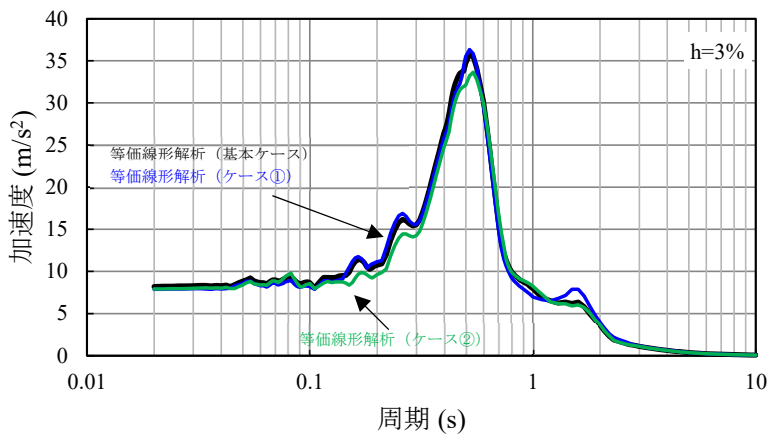
T. M. S. L. 31. 53m

- 等価線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (ケース①)
- 逐次非線形解析 (ケース②)

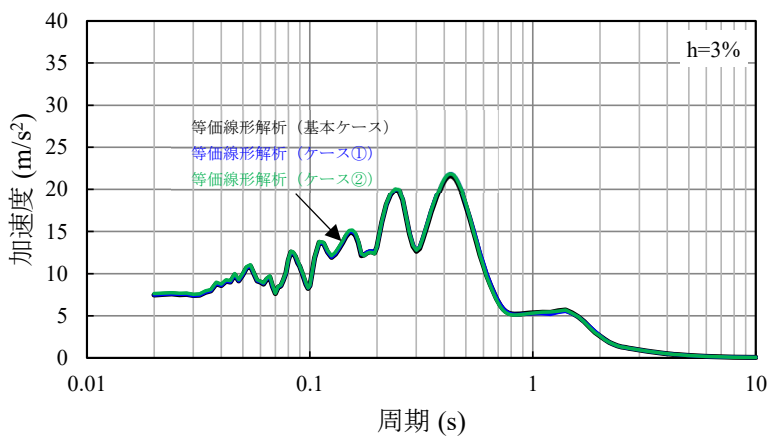
第 5. 4-4 図 (2) 入力地震動の加速度応答スペクトル 1. 2×Ss-C1
(逐次非線形解析)



第 5.4-5 図 地盤応答分布図 Ss-C1 ($-\sigma$)
(等価線形解析)



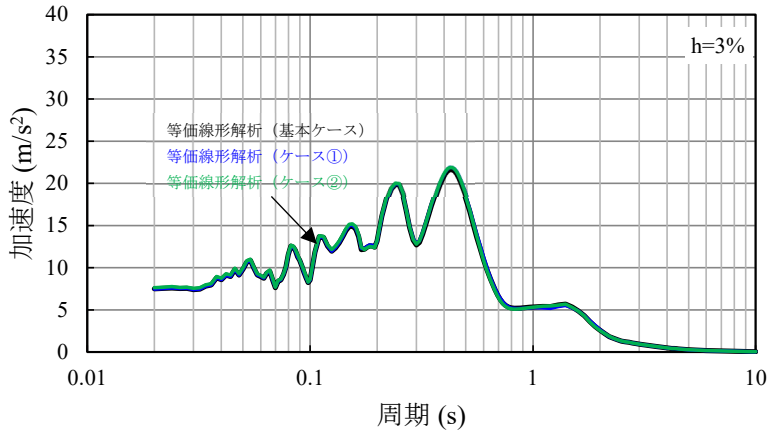
T. M. S. L. 43. 20m



T. M. S. L. 35. 00m

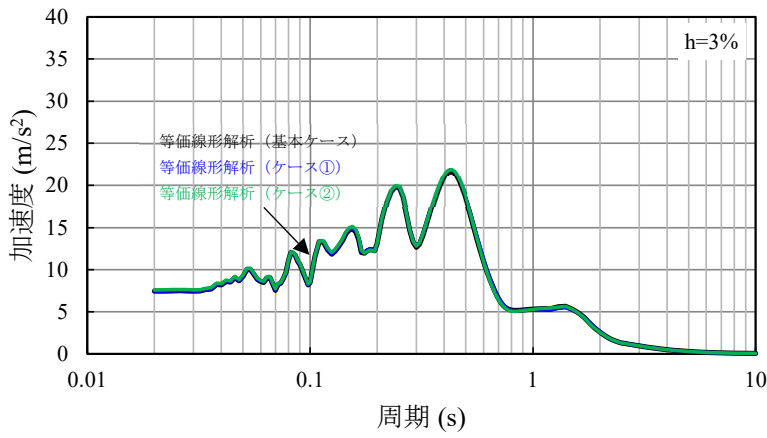
- 等価線形解析 (基本ケース)
- 等価線形解析 (ケース①)
- 等価線形解析 (ケース②)

第 5.4-6 図 (1) 入力地震動の加速度応答スペクトル S_s-C1 (−σ)
(等価線形解析)



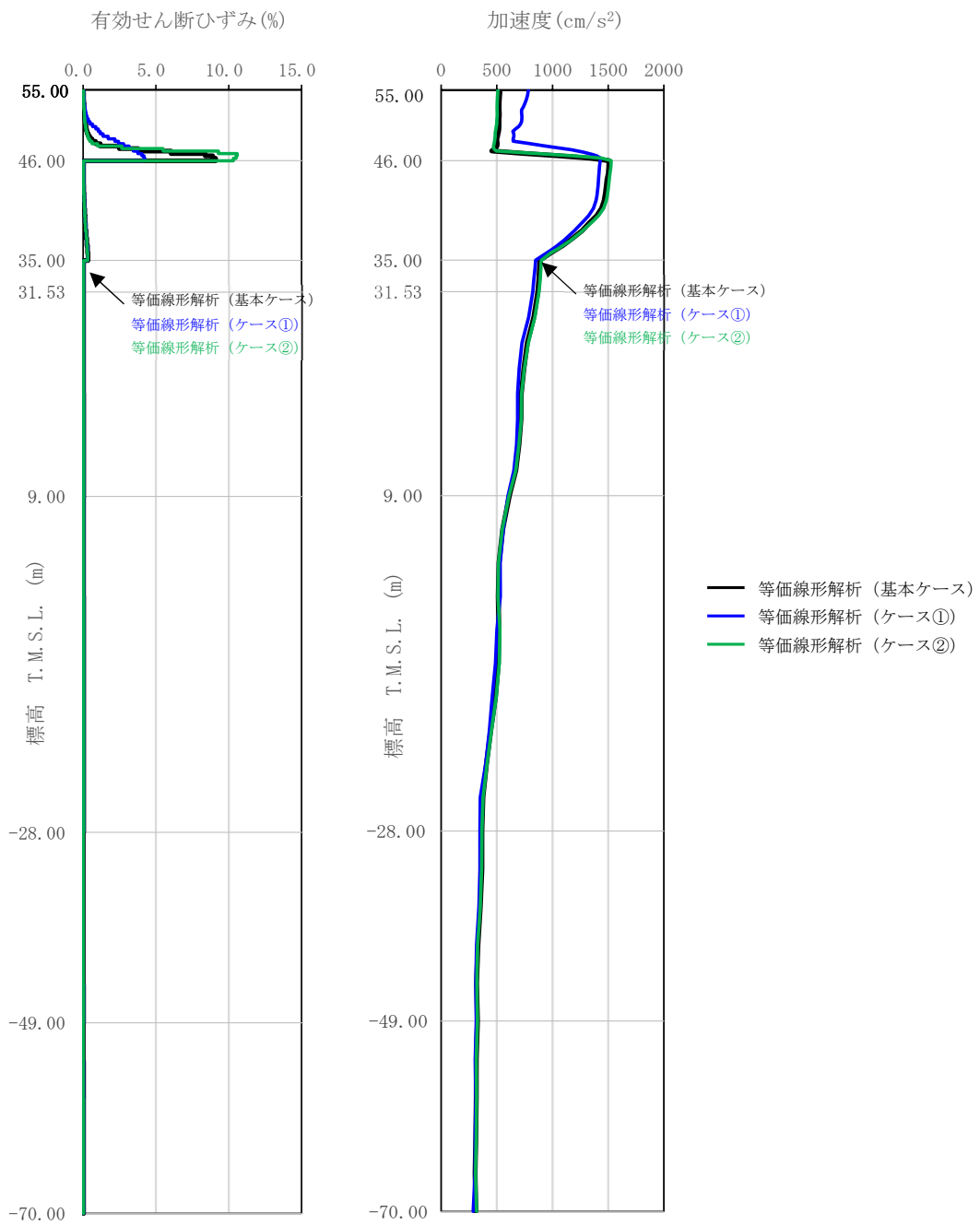
T. M. S. L. 34. 23m

- 等価線形解析 (基本ケース)
- 等価線形解析 (ケース①)
- 等価線形解析 (ケース②)

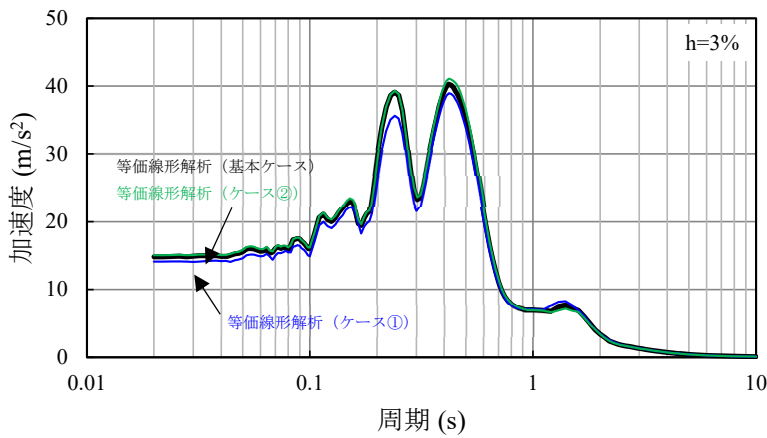


T. M. S. L. 31. 53m

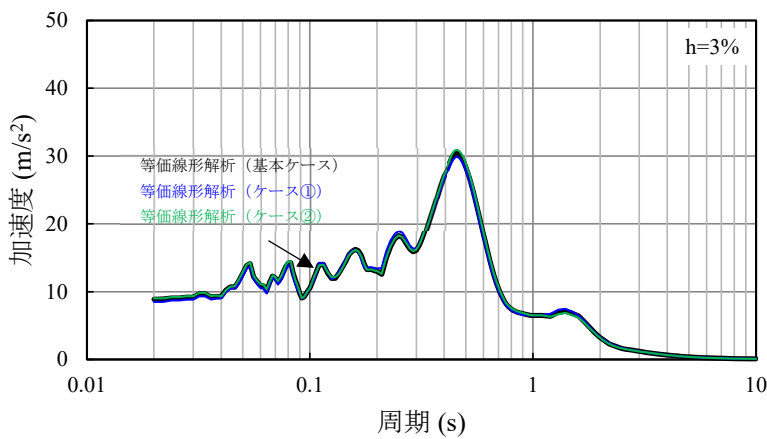
第 5.4-6 図 (2) 入力地震動の加速度応答スペクトル S_s-C1 (−σ)
(等価線形解析)



第 5.4-7 図 地盤応答分布図 1.2×Ss-C1
(等価線形解析)



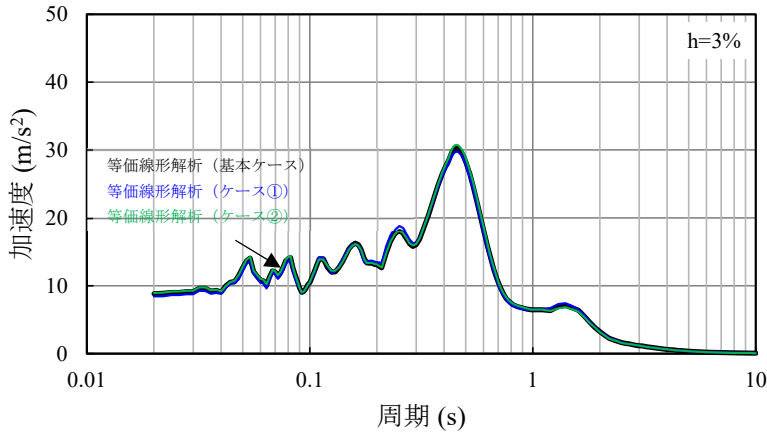
T. M. S. L. 43. 20m



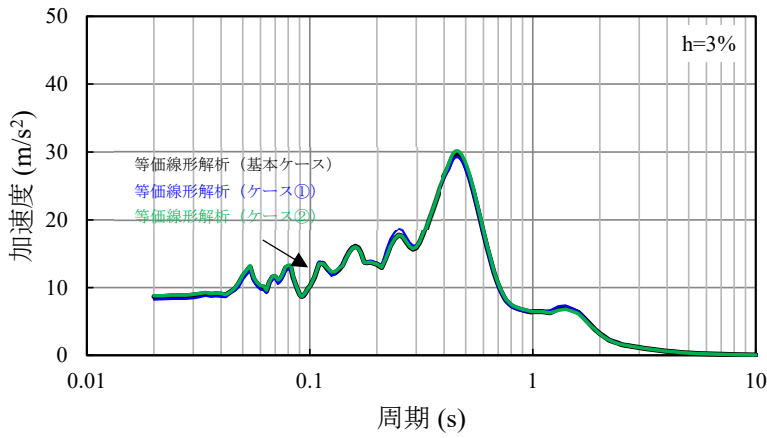
T. M. S. L. 35. 00m

— 等価線形解析 (基本ケース)
— 等価線形解析 (ケース①)
— 等価線形解析 (ケース②)

第 5. 4-8 図 (1) 入力地震動の加速度応答スペクトル $1.2 \times S_s - C1$
(等価線形解析)



T. M. S. L. 34. 23m



T. M. S. L. 31. 53m

第 5. 4-8 図 (2) 入力地震動の加速度応答スペクトル 1.2×Ss-C1
(等価線形解析)

5.5 考察

5.5.1 課題1：等価線形解析の適用について

逐次非線形解析は、一般的に、時々刻々に地盤物性が変化すること、また、骨格曲線に対して Masing 則に基づく時々刻々の履歴曲線を考慮することから、大ひずみ領域における地盤の変形が等価線形解析とは異なる挙動となり、結果として地盤応答に差が現れる傾向があるが、本確認における等価線形解析と逐次非線形解析の両手法の差が、評価を行った基準地震動 S_s-C1 （地盤物性のばらつきを考慮したケース（ $-\sigma$ ））及び $1.2 \times S_s-C1$ のいずれの地震波においても、入力地震動の算定結果として等価線形解析が保守的な結果を与えた。この要因について燃料加工建屋の地盤の特徴を踏まえて以下のとおり考察を行い、燃料加工建屋の地震応答解析において、入力地震動の算定に等価線形解析を用いることに問題が無いことを確認した。

考察にあたっては、建屋の地震応答解析モデルにおける地盤ばねについて、側面スウェイばねに対して基礎底面スウェイばねの剛性が 10 倍～100 倍のオーダーで大きく、建屋に入力される地盤応答起因の力としては、建屋基礎底面レベルにおける地震動によるものが支配的となるため、建屋基礎底面レベルにおける地盤応答に着目した。

(1) 上昇波に対する考察

まず、建屋基礎底面レベルまでの上昇波に着目した考察を行った。燃料加工建屋の地盤モデルについては、建屋基礎底面レベル以深に鷹架層が分布している。

第 5.4-1 図及び第 5.4-3 図に示した等価線形解析及び逐次非線形解析結果の地盤の最大有効せん断ひずみ分布のとおり、建屋基礎底面レベル以深の鷹架層については、有効せん断ひずみがいずれの解析手法においても 0.01% オーダーと小さくなっているが、最大加速度については、基準地震動 S_s-C1 （地盤物性のばらつきを考慮したケース（ $-\sigma$ ））及び $1.2 \times S_s-C1$ とともに、逐次非線形解析に対して等価線形解析による算定結果が大きくなっている。これは、逐次非線形解析が時々刻々に剛性低下の発生を考慮しているのに対し、等価線形解析は有効せん断ひずみに応じた剛性低下を、最大せん断ひずみに基づく等価せん断ひずみとして全時間一定に与える解析であることから、岩盤中の剛性を全時間に渡り小さく評価した結果、建屋基礎底面レベルまでの岩盤中の増幅を大きく与えたためであると考えられる。

(2) 下降波に対する考察

次に、表層地盤から建屋基礎底面レベルまでの下降波に着目した考察を行った。燃料加工建屋の地盤モデルについては、建屋基礎底面レベル以浅において、鷹架層及び六ヶ所層が分布しており、その上部に、比較的軟質な造成盛土が分布している。

第 5.4-1 図及び第 5.4-3 図に示すとおり、基準地震動 Ss-C1（地盤物性のばらつきを考慮したケース（ $-\sigma$ ））及び $1.2 \times Ss-C1$ 共に、逐次非線形解析及び等価線形解析の両方で、造成盛土の下端付近で有効せん断ひずみが大きくなっている。また、最大加速度分布は表層地盤の応答に解析手法による差異がみられる。このことから、等価線形解析と逐次非線形解析の違いとして、表層地盤からの下降波が、建屋基礎底面レベルの地盤応答に変動を与えることが考えられる。しかし、第 5.4-2 図及び及び第 5.4-4 図に示す建屋基礎底面レベルの入力地震動の応答スペクトルにおいて、基準地震動 Ss-C1（地盤物性のばらつきを考慮したケース（ $-\sigma$ ））及び $1.2 \times Ss-C1$ 共に、等価線形解析と逐次非線形解析のいずれの解析手法においても、上昇波と下降波の合成波である地中波としては概ね相似形となっており、解析手法の違いによる特異なピーク周期の発生や大きな地震動レベルの差は現れなかった。

上記の傾向となったことは、等価線形解析と逐次非線形解析のいずれの手法により入力地震動を算定したとしても、表層地盤から建屋基礎底面レベルまでの下降波としては大きく変わらず、建屋基礎底面レベルにおける入力地震動の応答スペクトルの傾向の差として現れなかったためであると考えられる。以下に、各解析結果における地盤のせん断ひずみ等の傾向や地盤応答波形の分析に基づく上記考察に対する根拠を示す。

第 5.4-1 図及び第 5.4-3 図に示す有効せん断ひずみの比較において、等価線形解析、逐次非線形解析のいずれについても、造成盛土の下端付近の同様の深さにおいてせん断ひずみが大きくなっていることから、剛性低下の影響により、この上下において地盤剛性のコントラストが大きくなる。また、第 5.4-1 図及び第 5.4-3 図に示す最大加速度分布の比較において、等価線形解析と逐次非線形解析のいずれの解析手法においても、せん断ひずみの大きい層の上部では最大加速度が小さくなっている。このことから、せん断ひずみの大きい層を境に、上昇波が伝播しにくい傾向となっていることがわかる。

さらに、第 5.4-1 図及び第 5.4-3 図に示すとおり、逐次非線形解析と等価線形解析において有効せん断ひずみの値に差はあるものの、両手法ともに造成盛土の有効せん断ひずみの値は 1% を上回っている。第 5.2-1 図及び 5.3-1 図に示す繰返し三軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性及び骨格曲線のとおり、地盤剛性としては、せん断ひずみ約 1% 程度で概ね降伏状態となっており、それ以上の領域では剛性低下率は大きく変わらない。

これらのことから、せん断ひずみが大きくなっている造成盛土の下端付近が主要な反射境界となっており、また、等価線形解析と逐次非線形解析でその深さや地

盤剛性も同等であったことにより、表層地盤からの下降波の傾向に大きな差を与えなかったと考えられる。

さらに、等価線形解析、逐次非線形解析のいずれにおいても反射境界より上部の地盤剛性が概ね降伏状態まで同等に低下したことにより、造成盛土中における地震波の減衰が大きくなり、その結果、表層地盤からの下降波が建屋基礎底面レベルの入力地震動に与える影響が小さくなったと考えられる。

なお、燃料加工建屋の側面入力地震動算定レベル（T. M. S. L. 34. 23m, T. M. S. L. 35. 00m, T. M. S. L. 43. 20m）においても、建屋基礎底面レベルの地震動と同様に、等価線形解析、逐次非線形解析のいずれについても、側面入力地震動算定レベルよりも上部の造成盛土においてせん断ひずみが1%以上に大きくなっており、地盤剛性が概ね降伏状態まで同等に低下し、主要な反射境界の深さや地盤剛性が同等だったことにより、表層地盤からの下降波における解析手法間の差が小さく、さらに入力地震動に与える寄与が小さくなっているため、等価線形解析及び逐次非線形解析の手法の違いとして特異なピーク周期の発生や大きな地震動レベルの差が現れなかったと考えられる。

上記の地盤のせん断ひずみ等の傾向に起因する表層地盤からの下降波の差を定量的に確認するために、第5.5.1-1図に示すとおり、建屋基礎底面レベルにおける地震動について、上昇波と下降波に分割を行い、加速度応答スペクトルの比較を行った。基準地震動 $S_s-C1(-\sigma)$ 及び $1.2 \times S_s-C1$ のいずれについても、上昇波に対して下降波の応答スペクトルが全周期帯にわたり有意に小さくなっており、表層地盤からの下降波が基礎底面レベルの入力地震動に与える影響が小さくなっているとの上述の考察と整合していることを確認した。

さらに、基準地震動 $S_s-C1(-\sigma)$ 及び $1.2 \times S_s-C1$ の下降波の大きさは、上昇波の地震動の大きさによらず概ね同等のレベルとなっており、反射面付近の地盤剛性が概ね降伏状態まで同程度低下したことにより、表層地盤からの下降波の傾向に大きな差を与えなかったとの上述の考察と整合していることを確認した。

なお、上昇波と下降波の比較については、重複反射理論に基づいて上昇波と下降波の分割が可能な等価線形解析に対する地盤応答を対象として行ったが、等価線形解析及び逐次非線形解析のいずれにおいても、地盤のせん断ひずみが大きくなり、地盤剛性のコントラストが大きくなる深さは同等であること、また、地盤のせん断ひずみはいずれの解析手法においても1%を上回っており、概ね降伏状態となっていることから、逐次非線形解析においても表層地盤からの下降波は同様の傾向になっていると考えられる。

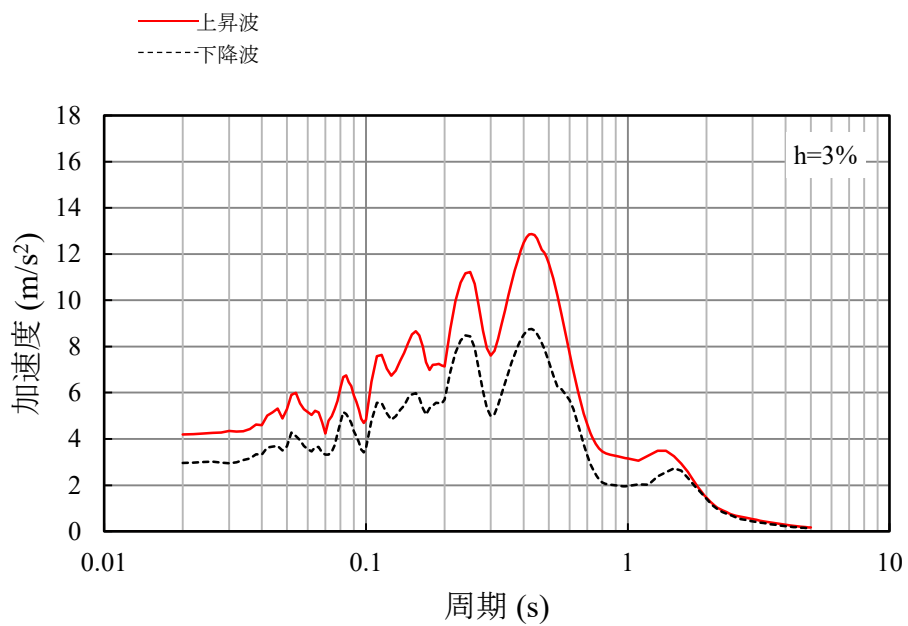
(3) 本考察のまとめ

「(1) 上昇波に対する考察」及び「(2) 下降波に対する考察」に示したとおり、地盤の有効せん断ひずみが1%を大きく超える範囲については、等価線形解析の一般的な適用の目安を上回るが、燃料加工建屋においては、地盤モデルの特徴に起因して、等価線形解析と逐次非線形解析による手法の差が表層地盤からの下降波の傾向に大きな差を与えない結果となり、さらに、等価線形解析において岩盤中の上昇波の増幅を大きく評価したことにより、逐次非線形解析と比較して、入力地震動の応答スペクトルが同等または保守的な結果となったと考えられる。

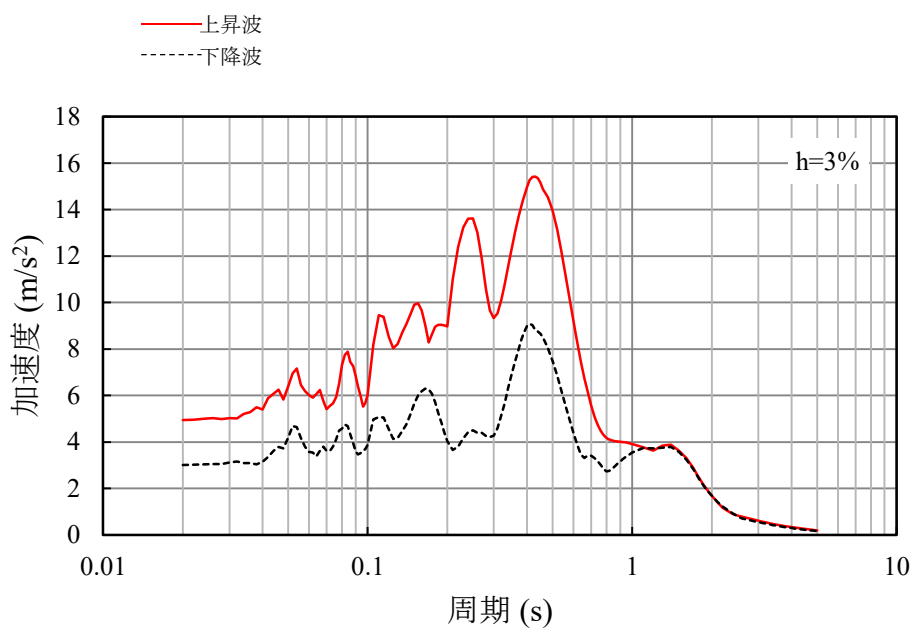
上記の考察により確認した傾向は、建屋側面に敷地造成時から残存している地層である六ヶ所層及び造成盛土が分布しており、表層地盤中で速度構造のコントラストが大きいこと、また、せん断ひずみが大きくなる造成盛土の厚さが側面地盤全体に対して薄く、せん断ひずみの卓越する層も限定的であることといった、燃料加工建屋の地盤モデルの特徴に起因していると考えられる。

なお、燃料加工建屋の地震応答解析において、地盤の非線形化が大きく進行している造成盛土については建屋－地盤間の相互作用を適切に評価することができないと判断し、建屋側面地盤ばねを考慮していないことから、建屋応答に与える影響の観点でも、造成盛土の非線形性が与える影響は小さいと考えられる。

以上のことから、燃料加工建屋の地震応答解析において、表層地盤の一部の層の有効せん断ひずみが大きくなっているものの、逐次非線形解析と比較して等価線形解析による算定結果が同等または保守的な結果を与えることから、等価線形解析を用いて入力地震動を算定することに問題は無い。



(a) Ss-C1, $-\sigma$, 水平方向



(b) $1.2 \times Ss-C1$, 水平方向

第 5.5.1-1 図 建屋基礎底面レベルにおける上昇波と下降波（等価線形解析）

5.5.2 課題2：ひずみ依存特性の外挿範囲について

外挿部分の非線形特性に対してパラメータスタディを実施した結果、等価線形解析及び逐次非線形解析のいずれにおいても、入力地震動の算定結果に影響を与えなかった要因について以下のとおり考察を行い、燃料加工建屋の地震応答解析において、繰返し三軸圧縮試験結果に基づき設定したひずみ依存特性を用いることに問題が無いことを確認した。

ケース①については、せん断応力 τ の傾きが一定となり、大ひずみ領域においても応力を負担することを仮定しているが、このことにより地盤のひずみレベルが小さくなっており、結果として、骨格曲線上、基本ケースのせん断力との差が小さくなったためであると考えられる。

ケース②については、地盤が完全に降伏することを仮定しているが、第5.3-1図に示した骨格曲線において、基本ケースは、ひずみ1%の段階で既に曲線の傾きが降伏に近い状態となっており、ケース②の骨格曲線を考慮したとしてもほぼ変動が無いためであると考えられる。

これらのことから、燃料加工建屋の地盤モデルにおいては、外挿部分の非線形特性について、非線形性を大きく見込むケースと小さく見込むケースの両方の変動を考慮したとしても、入力地震動の算定結果に有意な影響を与えない結果となった。

以上のことから、表層地盤の造成盛土の一部層の地盤のせん断ひずみが、ひずみ依存特性における繰返し三軸圧縮試験結果(約1%まで結果を有している)の範囲を大きく上回り、外挿範囲となっているものの、外挿範囲の設定が入力地震動の算定結果に有意な影響を与えないことから、燃料加工建屋の地震応答解析において、繰返し三軸圧縮試験結果に基づき設定したひずみ依存特性を用いることに問題は無い。

5.5.3 大ひずみ発生深さの違いについて

地盤のせん断ひずみは、変位量の大きい1次モードによる影響が支配的となり、結果的に、層内の下部ほどせん断力及びせん断ひずみ量が大きくなる傾向となることが一般的である。しかしながら、基準地震動 Ss-C1（地盤物性のばらつきを考慮したケース（ $-\sigma$ ））の等価線形解析結果において、第 5.5.3-1 図及び第 5.5.3-2 図に示すとおり、造成盛土と六ヶ所層の境界である T.M.S.L. 46.00m よりやや上部で地盤の有効せん断ひずみ分布が極大となり、その他の地震波並びに逐次非線形解析結果において極大となる深さと異なっていることから、その要因について以下のとおり考察を行った。

基準地震動 Ss-C1（地盤物性のばらつきを考慮したケース（ $-\sigma$ ））による解析結果において、第 5.5.3-3 図に示す解放基盤表面に対する造成盛土の加速度伝達関数によれば、造成盛土と六ヶ所層の境界である T.M.S.L. 46.00m 付近では、周期 1~2 秒付近の 1 次モードの増幅倍率は小さくなっており、周期 0.6 秒付近の高次モードの増幅倍率が大きくなっている。これに対し、第 5.5.3-4 図に示す基準地震動 Ss-C1 のフーリエ振幅スペクトルを確認すると、周期 0.6 秒付近の成分が卓越しており、この周期が上記の地盤の高次モードと一致している。

このことから、本地震動による地盤応答は、地盤の 1 次モードよりも地盤の高次モードの影響が支配的になった結果、地盤に逆せん断が生じ、せん断ひずみが造成盛土と六ヶ所層の境界ではなく、やや上部で極大となったと考えられる。なお、第 5.5.3-5 図に示す加速度時刻歴波形において、最大せん断ひずみが発生した時刻（8.13 秒）において、せん断ひずみが極大となるレベルの上下で位相が逆転していることから、高次モードの振動が卓越していることが確認できる。

次に、同条件の解析手法（等価線形解析）に対して、地震波の違いに着目して確認を行った。基準地震動 Ss-C1（地盤物性のばらつきを考慮したケース（ $-\sigma$ ））以外の地震動として、第 5.5.3-6 図及び第 5.5.3-10 図に示すとおり、地盤の有効せん断ひずみ分布が造成盛土の下端で極大となっている 1.2×Ss-C1 及び基準地震動 Ss-A（基本ケース）における等価線形解析結果について、上記と同様の確認を行った。

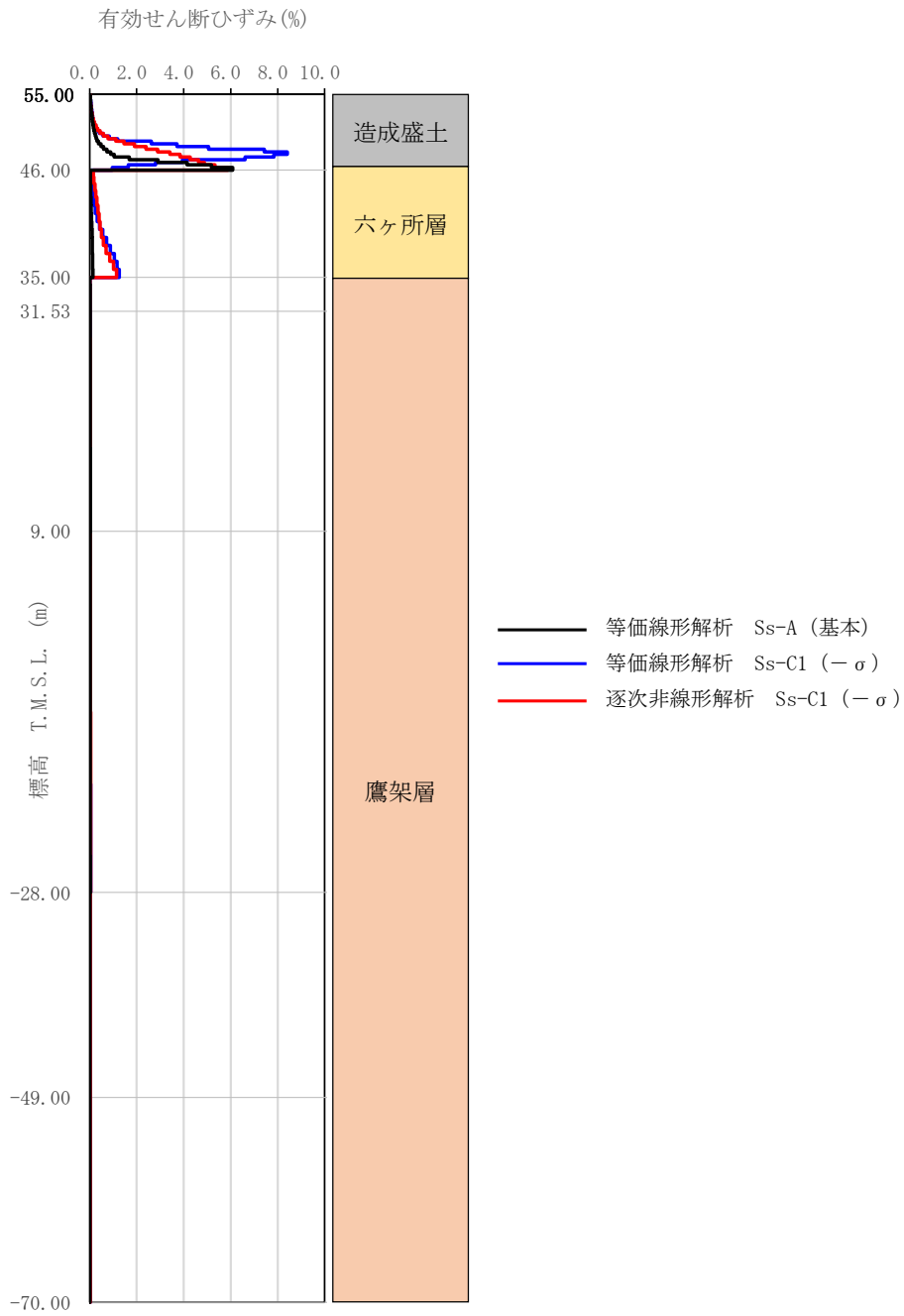
第 5.5.3-7 図及び第 5.5.3-8 図に示す伝達関数及び 1.2×Ss-C1 のフーリエ振幅スペクトルのとおおり、地盤の高次モードの周期は基準地震動 Ss-C1 の等価線形解析と比較して短周期側に現れており、1.2×Ss-C1 の卓越周期（0.6 秒付近）と一致するような傾向は見られない。また、第 5.5.3-9 図に示す加速度時刻歴波形において、基準地震動 Ss-C1 において最大せん断ひずみが発生した時刻（8.13 秒）において、せん断ひずみが極大となるレベルの上下で位相は逆転していない。

また、第 5.5.3-11 図及び第 5.5.3-12 図に示す伝達関数及び基準地震動 Ss-A のフーリエ振幅スペクトルのとおおり、上述の基準地震動 Ss-C1 と比較して、基準地震動 Ss-A は全周期帯成分において振幅を有していることから、地盤の特定のモードと地震動の卓越周期が明瞭に一致するような傾向は見られない。また、第 5.5.3-13 図に示す加速度時刻歴波形において、せん断ひずみが極大となるレベルの上下で位相は逆転していない。

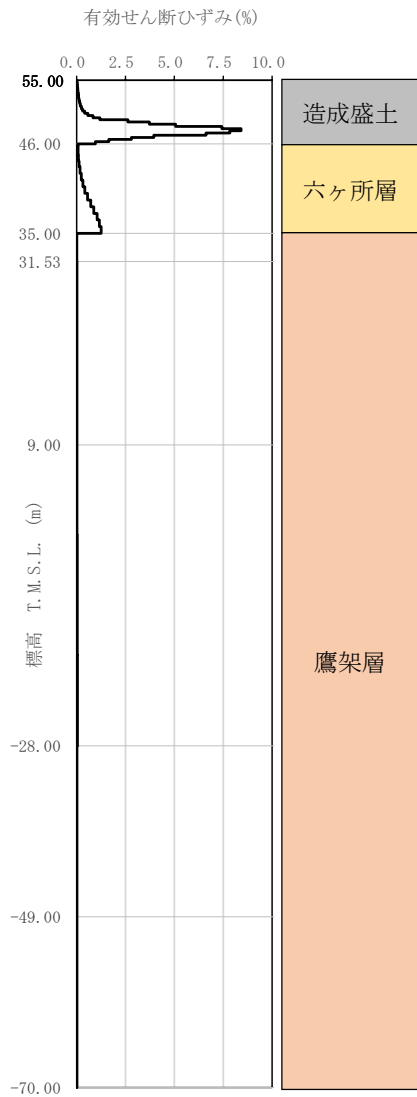
また、同じ地震波に対して、解析手法の違いにも着目して確認を行った。基準地震動 Ss-C1（地盤物性のばらつきを考慮したケース（ $-\sigma$ ））の逐次非線形解析において、第 5.5.3-14 図に示すとおり地盤の有効せん断ひずみ分布が造成盛土の下端で極大となっていることについては、逐次非線形解析が、時々刻々に地盤物性値が変化する解析手法であり、第 5.5.3-15 図及び第 5.5.3-16 図に示すフーリエスペクトル比（建屋基礎底面レベル／解放基盤表面）及び解放基盤表面における基準地震動 Ss-C1 のフーリエ振幅スペクトルのとおり、地盤の特定のモードが明瞭に見られないことから、等価線形解析と比較して、基準地震動 Ss-C1 に見られる周期 0.6 秒付近の卓越成分の影響が支配的にならなかったためであると考えられる。また、第 5.5.3-17 図に示す加速度時刻歴波形において、せん断ひずみが極大となるレベルの上下における位相の逆転は、第 5.5.3-5 図に示した等価線形解析に比べて、明瞭に現れていない。

以上のことから、等価線形解析において、基準地震動 Ss-C1（地盤物性のばらつきを考慮したケース（ $-\sigma$ ））において、造成盛土と六ヶ所層の境界よりやや上部で地盤の有効せん断ひずみ分布が極大となったことは、地盤のモードが明瞭に評価される等価線形解析において、本地震動と燃料加工建屋の地盤モデルの高次モードの周期特性が一致したことによるものであると考えられる。

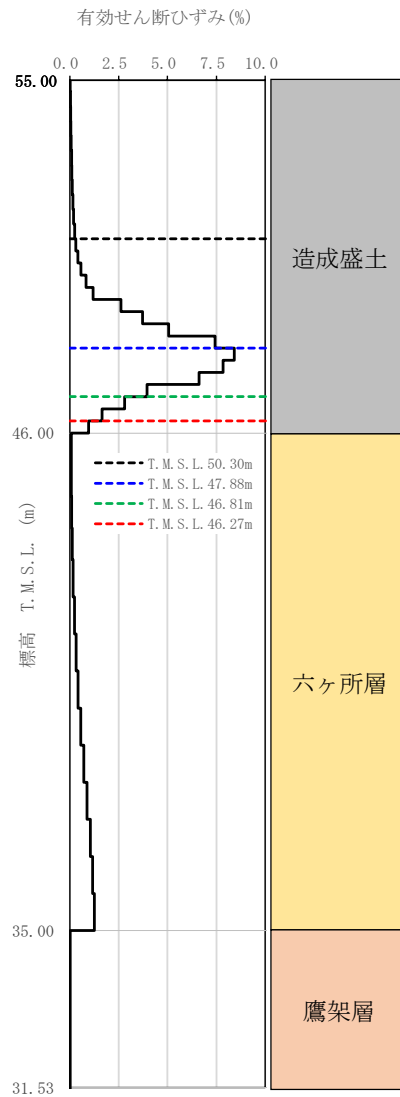
このことを踏まえると、地震動と地盤モデルの周期特性の関係に起因して、「(1) 課題 1：等価線形解析の適用について」において考察した主要な反射境界面の深さが、基準地震動 Ss-C1（地盤物性のばらつきを考慮したケース（ $-\sigma$ ））と $1.2 \times Ss-C1$ 間でわずかに異なるものの、第 5.4-2 図及び第 5.4-4 図に示したとおり、この深さの差によらず、いずれの地震波においても等価線形解析が逐次非線形解析に対して保守的な結果が得られていることから、燃料加工建屋の地震応答解析において、等価線形解析を用いることに問題は無い。



第 5.5.3-1 図 地盤の有効せん断ひずみ比較

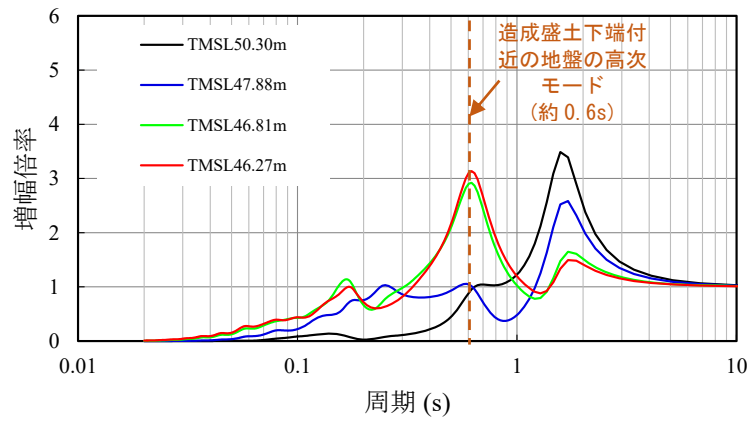


(a) 全層

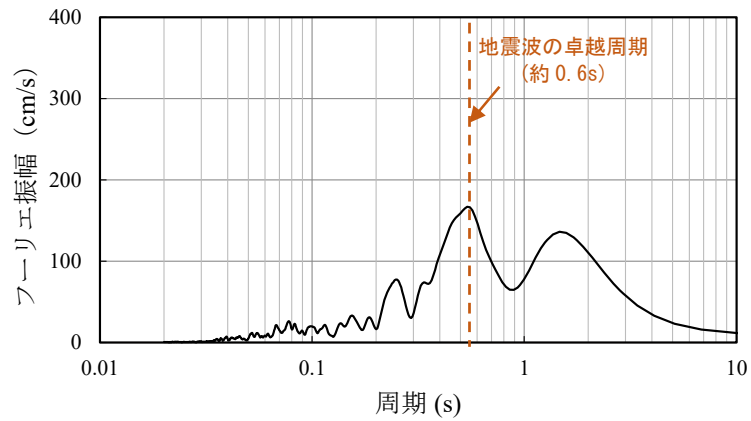


(b) 建屋基礎レベル以上

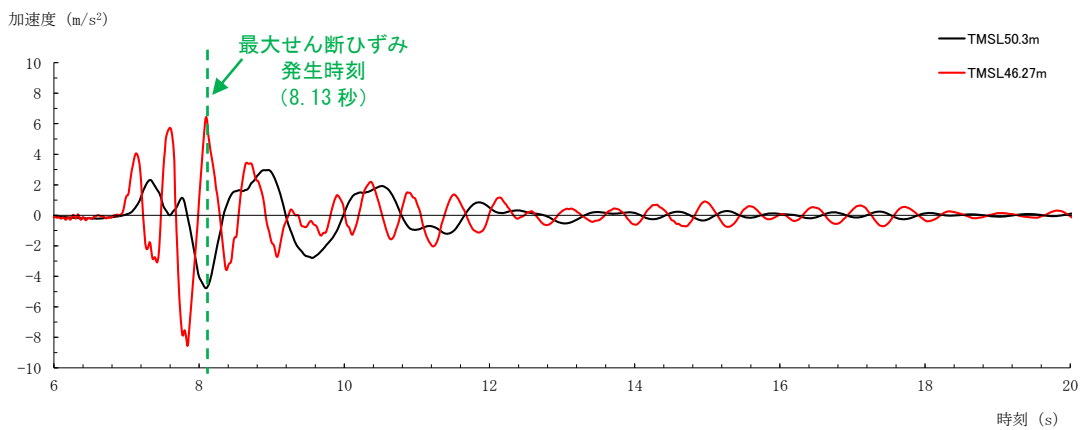
第 5.5.3-2 図 地盤の有効せん断ひずみ分布
(Ss-C1, $-\sigma$, 等価線形解析)



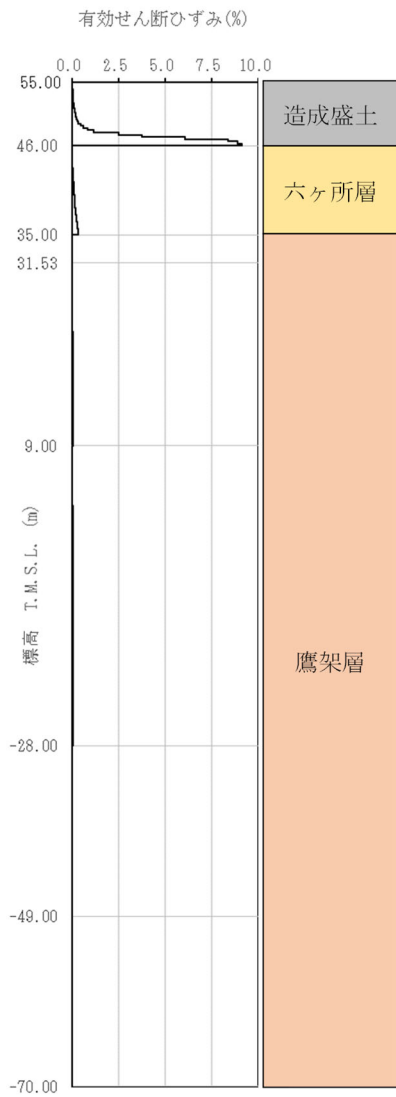
第 5.5.3-3 図 解放基盤表面に対する造成盛土の加速度伝達関数 (Ss-C1, $-\sigma$, 水平方向, 等価線形解析)



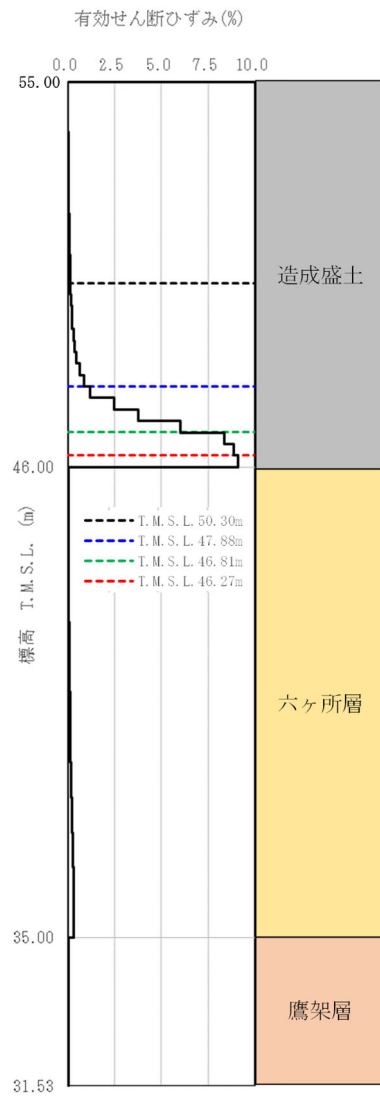
第 5.5.3-4 図 フーリエ振幅スペクトル (Ss-C1) (Parzen ウィンドウ 0.5Hz)



第 5.5.3-5 図 加速度時刻歴波形 (Ss-C1, $-\sigma$, 水平方向, 等価線形解析)

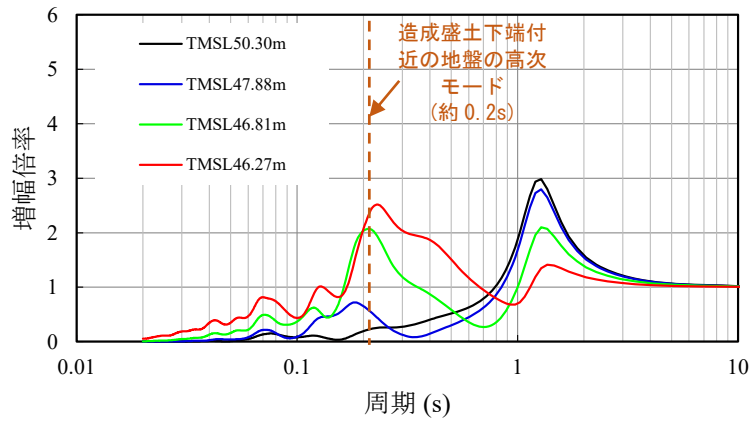


(a) 全層

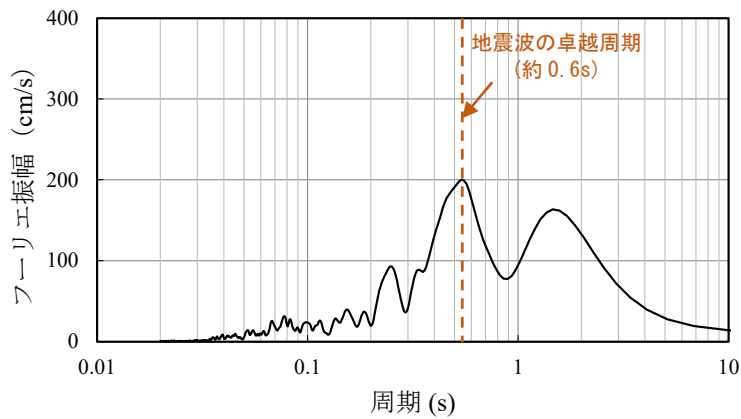


(b) 建屋基礎レベル以上

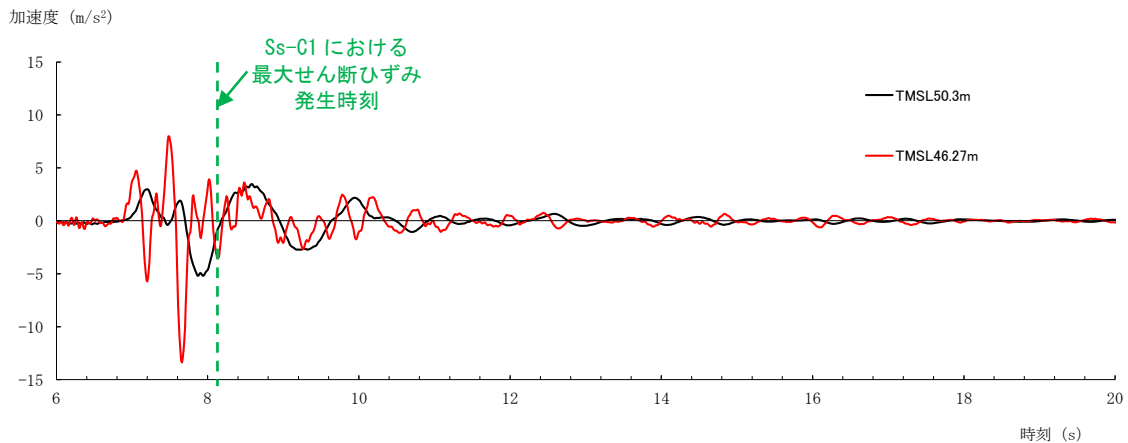
第 5.5.3-6 図 地盤の有効せん断ひずみ分布
($1.2 \times S_s - C1$, 等価線形解析)



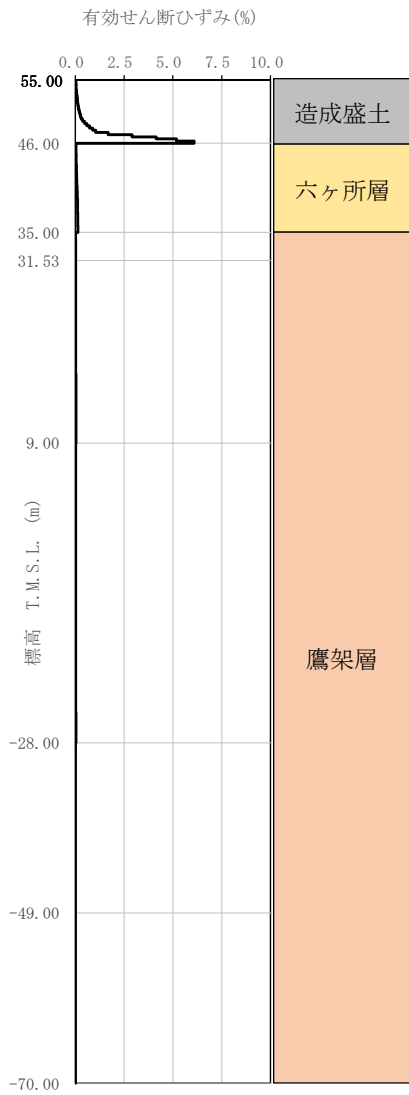
第 5.5.3-7 図 解放基盤表面に対する造成盛土の加速度伝達関数
($1.2 \times S_s-C1$, 基本, 水平方向, 等価線形解析)



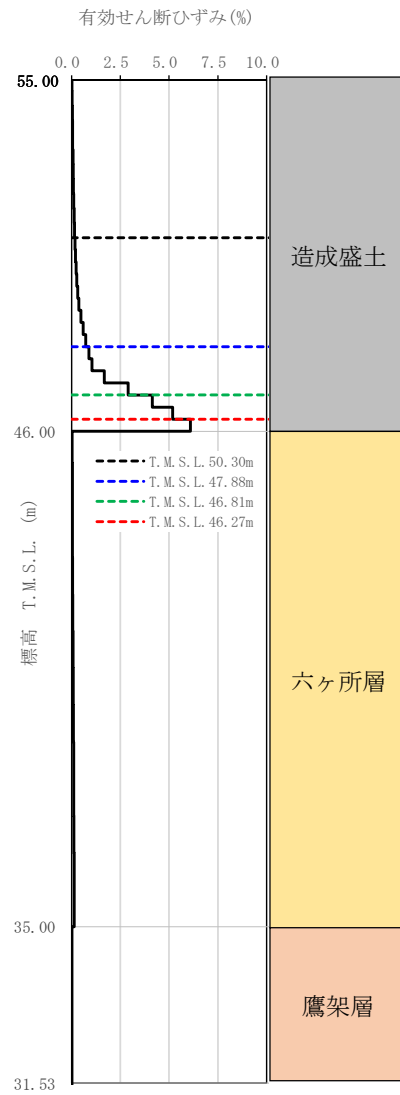
第 5.5.3-8 図 フーリエ振幅スペクトル ($1.2 \times S_s-C1$)
(Parzen ウィンドウ 0.5Hz)



第 5.5.3-9 図 加速度時刻歴波形
($1.2 \times S_s-C1$, 基本, 水平方向, 等価線形解析)

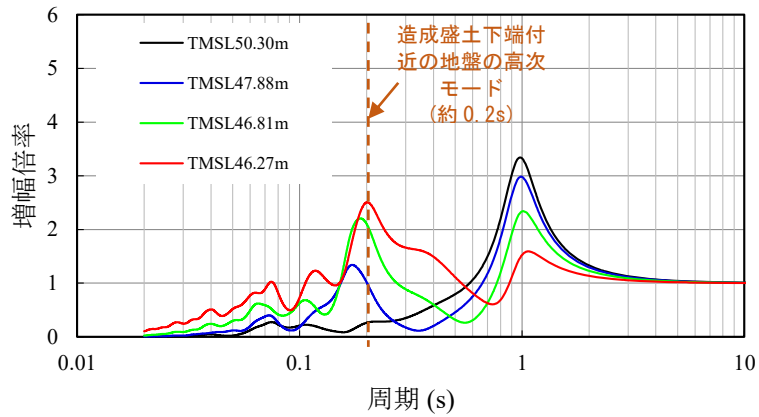


(a) 全層

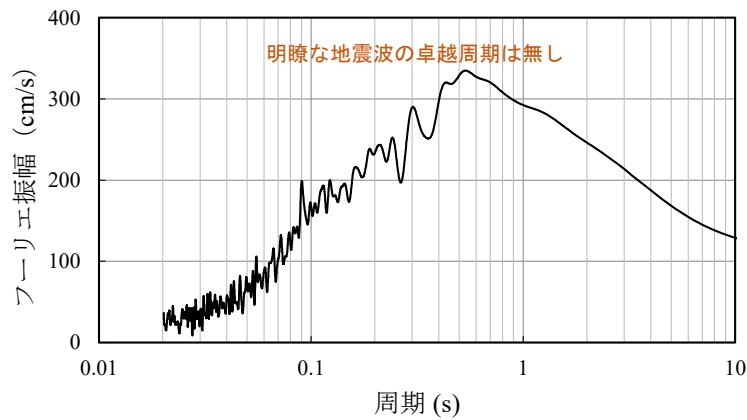


(b) 建屋基礎レベル以上

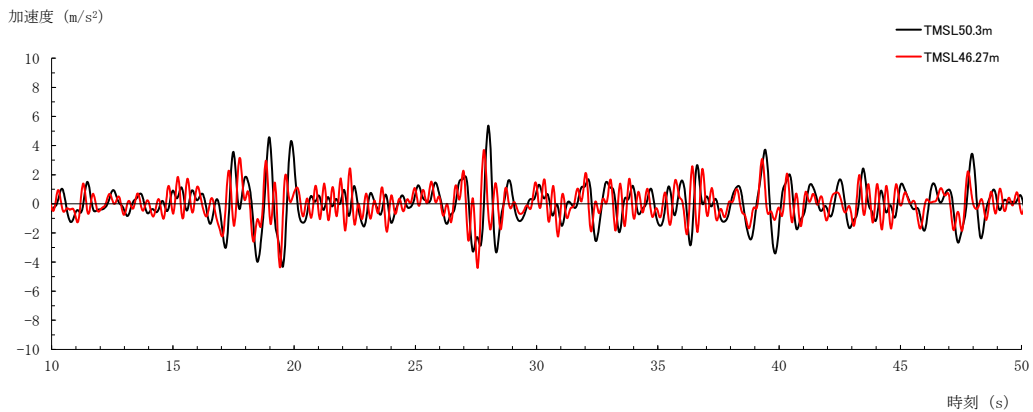
第 5.5.3-10 図 地盤の有効せん断ひずみ分布
(Ss-A, 基本, 等価線形解析)



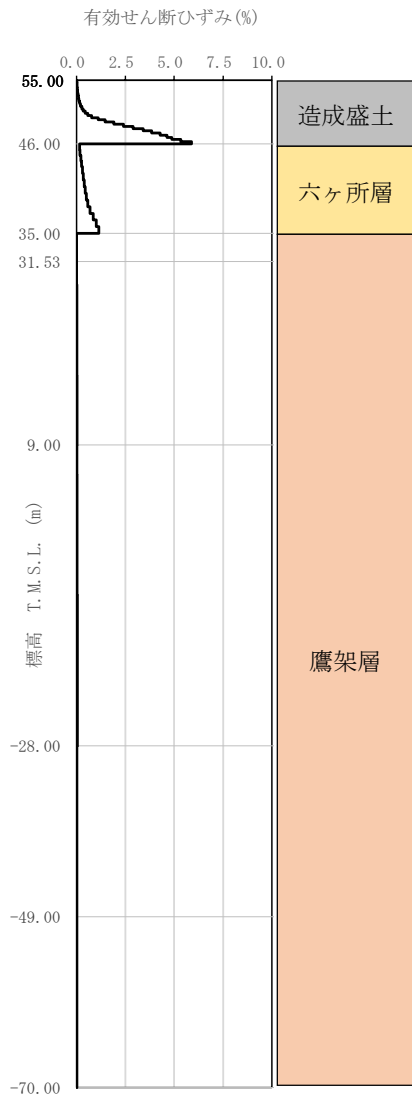
第 5.5.3-11 図 解放基盤表面に対する造成盛土の加速度伝達関数 (Ss-A, 基本, 水平方向, 等価線形解析)



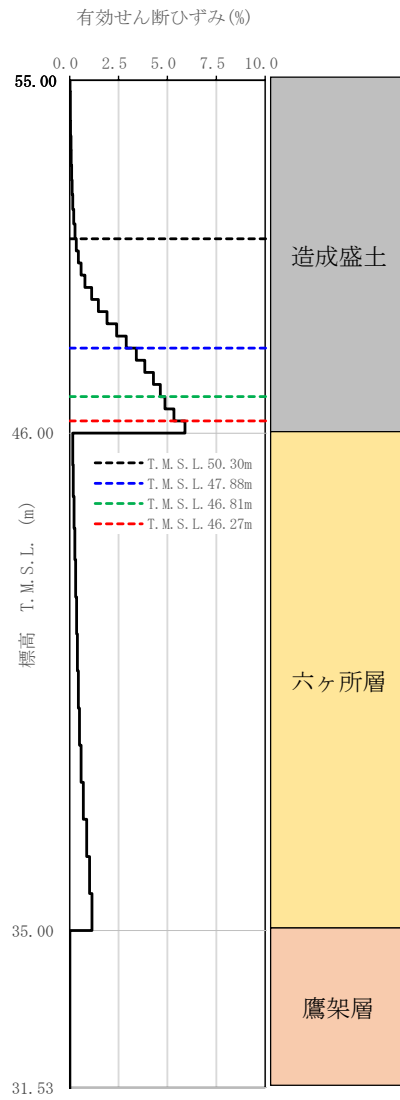
第 5.5.3-12 図 フーリエ振幅スペクトル (Ss-A) (Parzen ウィンドウ 0.5Hz)



第 5.5.3-13 図 加速度時刻歴波形 (Ss-A, 基本, 水平方向, 等価線形解析) (10s~50s の範囲を切り出し, ハイカットフィルター (3Hz 以降))

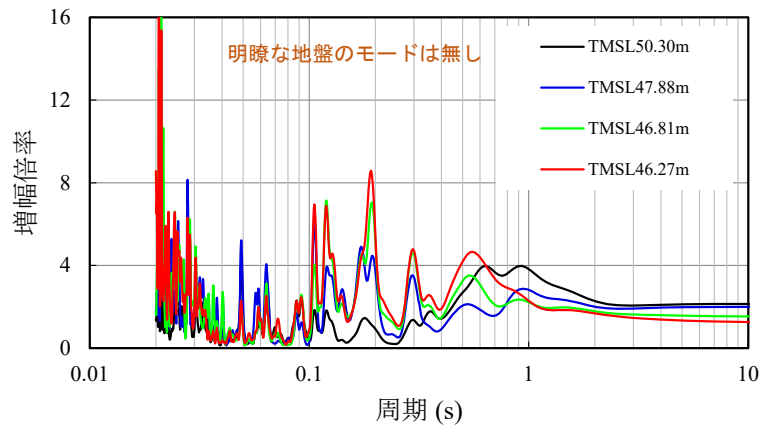


(a) 全層

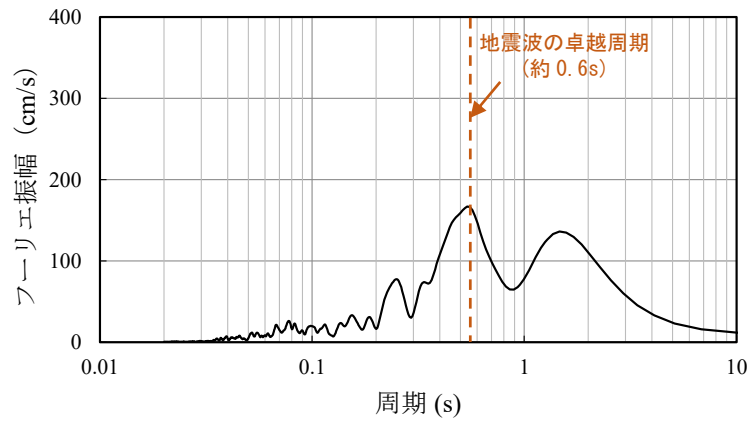


(b) 建屋基礎レベル以上

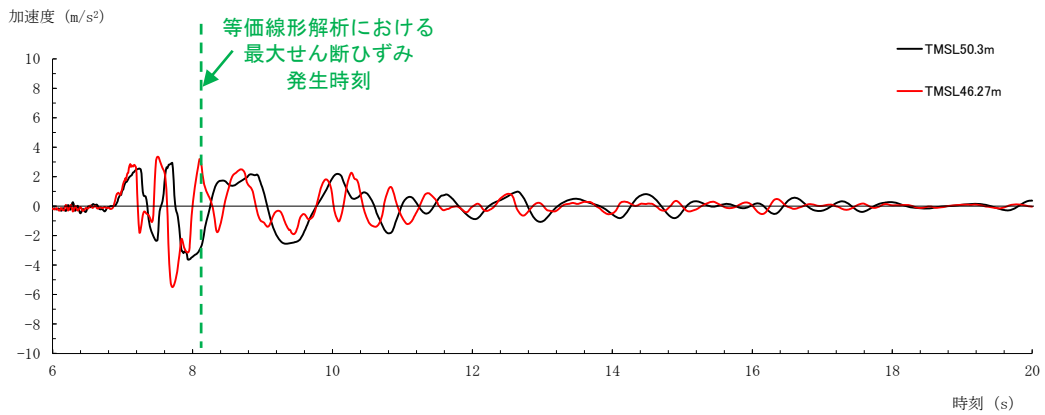
第 5.5.3-14 図 地盤の有効せん断ひずみ分布
(Ss-C1, $-\sigma$, 逐次非線形解析)



第 5.5.3-15 図 解放基盤表面に対する造成盛土のフーリエスペクトル比
(Ss-C1, $-\sigma$, 水平方向, 逐次非線形解析)



第 5.5.3-16 図 フーリエ振幅スペクトル (Ss-C1)
(Parzen ウィンドウ 0.5Hz)



第 5.5.3-17 図 加速度時刻歴波形
(Ss-C1, $-\sigma$, 水平方向, 逐次非線形解析)

5.6 まとめ

以上の確認結果及び考察に基づくまとめを以下に示す。

(1) 課題 1：等価線形解析の適用について

「5.4 確認結果」及び「5.5.1 課題 1：等価線形解析の適用について」に示したとおり、地盤の有効せん断ひずみが 1% を大きく超える範囲については、等価線形解析の一般的な適用の目安を上回るが、燃料加工建屋においては、地盤モデルの特徴に起因して、逐次非線形解析と比較して等価線形解析による算定結果が同等または保守的な結果となったことから、燃料加工建屋の地震応答解析において表層地盤の一部の層の有効せん断ひずみが大きくなっていることに対して、等価線形解析を用いて入力地震動を算定することに問題はないことを確認した。

以上を踏まえ、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」及び添付書類「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」に示す燃料加工建屋の地震応答解析においては、等価線形解析を用いて入力地震動を算定する。

(2) 課題 2：ひずみ依存特性の外挿範囲について

「5.4 確認結果」及び「5.5.2 課題 2：ひずみ依存特性の外挿範囲について」に示したとおり、燃料加工建屋の造成盛土の一部の層において、地盤の有効せん断ひずみ度が、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について、極端なパラメータスタディを行ったとしても、外挿範囲の設定が入力地震動の算定結果に有意な影響を与えない結果となったことから、燃料加工建屋の地震応答解析においては、繰返し三軸圧縮試験結果に基づき設定したひずみ依存特性を用いることに問題はないことを確認した。

以上を踏まえ、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」及び添付書類「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」に示す燃料加工建屋の地震応答解析においては、繰返し三軸圧縮試験結果に基づき設定したひずみ依存特性を用いて入力地震動を算定する。

参考 1 単位体積重量の境界を細分化した場合の影響

「4. 燃料加工建屋の地盤モデル」に示した燃料加工建屋の地盤モデルに設定している単位体積重量については、速度構造の参照に用いた PS 検層孔において得られた単位体積重量データに基づき、同一速度層内の平均値として設定しているが、「2.1.2 単位体積重量の設定」に示したとおり、支持地盤の一部深さにおいて同一速度層内でも異なる岩種が分布していることにより傾向が異なる部分があることから、これらの値を地盤モデルに反映し、単位体積重量を細分化したとしても、建屋の入力地震動の算定結果に影響を与えないことを確認する。

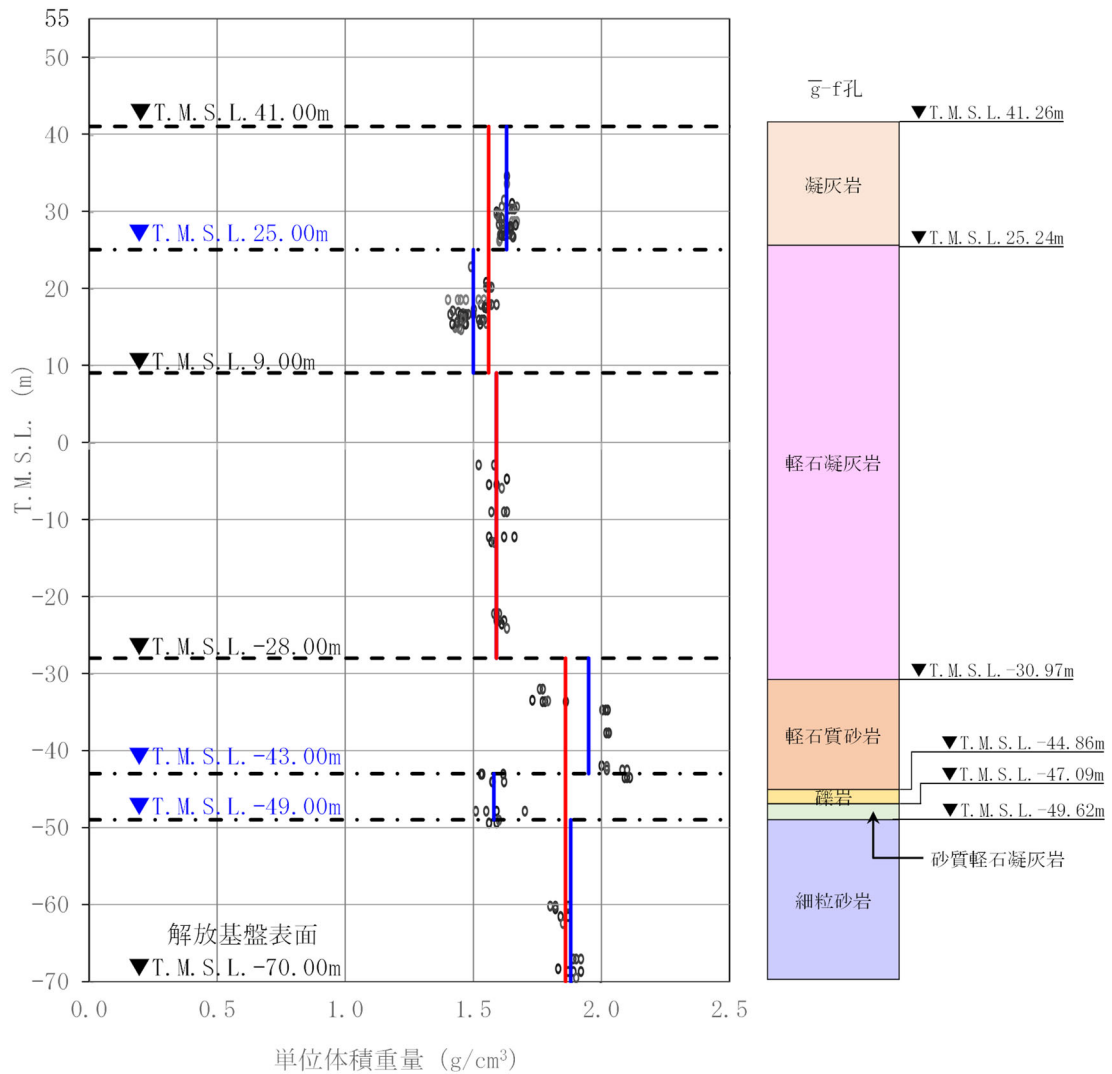
本確認に用いる単位体積重量を細分化した地盤モデルは、参考 1-1 図に示すとおり、単位体積重量データの分布傾向から、T.M.S.L. 25.00m、T.M.S.L. -43.00m 及び T.M.S.L. -49.00m について、新たに単位体積重量の層境界を設定し、細分化された各層における単位体積重量データの平均値を再算出して作成した。なお、T.M.S.L. -34.00m にも単位体積重量データが切り替わる領域があるが、岩種の切り替わりとは対応せず、上層と下層の遷移領域であると考えられること、また、評価上は T.M.S.L. -28.00m の上下で単位体積重量に大きな差を与えたほうが地震波の増幅を大きく与えると考えられることから、単位体積重量の細分化としては、T.M.S.L. -28.00m～T.M.S.L. -43.00m の範囲で単位体積重量データの平均値を算出することとした。

参考 1-1 表に、本確認に用いる単位体積重量を細分化した地盤モデルの諸元を示す。

入力地震動の算定方法は、「5. 入力地震動の算定方法」に示した等価線形解析を用いた。検討に用いる地震動は、卓越周期に著しい偏りがない基準地震動 Ss-A とする。参考 1-2 図及び参考 1-3 図に、単位体積重量を細分化した地盤モデルを用いた場合の燃料加工建屋の入力地震動の地盤応答分布図及び応答スペクトルを、「4. 燃料加工建屋の地盤モデル」に示す地盤モデルによるものと比較して示す。

比較の結果、両モデルによる入力地震動の応答スペクトルに有意な差が無いことを確認した。これは、地盤応答解析において地盤の応答解析に用いる諸元である地盤のせん断剛性 ($G_0 = \rho V_s^2$) に対しては、単位体積重量 (ρ) は S 波速度 (V_s) よりも感度が小さいためであると考えられる。

以上のことから、「4. 燃料加工建屋の地盤モデル」において設定している単位体積重量を入力地震動の算定に用いる地盤モデルに設定していることに問題はない。



注記 : 黒点線は速度境界レベルを示す。
 黒一点鎖線は単位体積重量を細分化したレベルを示す。
 地質構造は、 \bar{g} -f 孔を代表として示す。

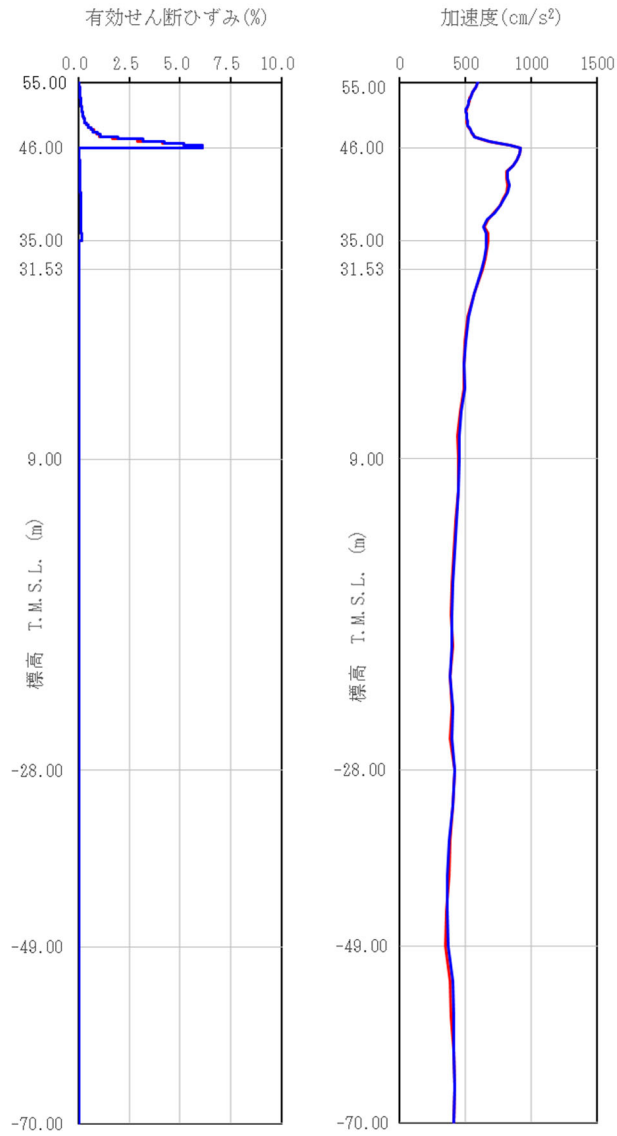
参考 1-1 図 単位体積重量の細分化結果

参考 1-1 表 単位体積重量を細分化した燃料加工建屋の地盤モデル

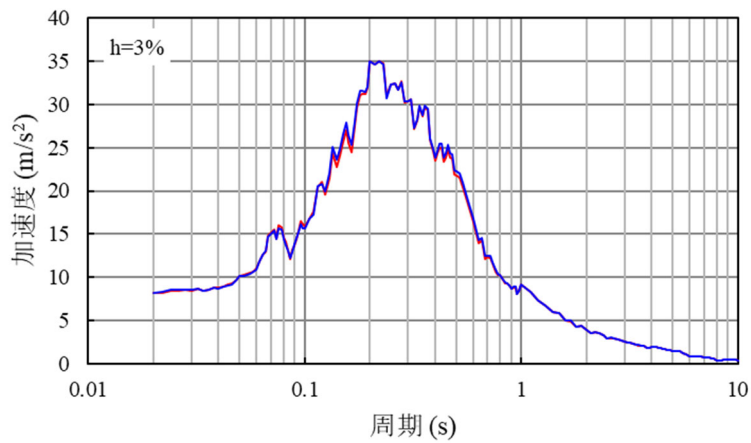
標高 T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	剛性低下率 $G/G_0-\gamma$	減衰定数 $h-\gamma$
▽地表面						
55.0	造成盛土	15.7	160	580	*1	
46.0	六ヶ所層	16.5	320	980	*2	
35.0						
▽基礎スラブ底面						
31.53	軽石凝灰岩	16.0	660	1860	*3	
25.0		14.7				
9.0		15.6				
-28.0			810	1920		
-43.0	軽石質砂岩	19.1	1090	2260	*4	
-49.0		15.5				
▽解放基盤表面	細粒砂岩	18.4			*5	
-70.0	細粒砂岩	18.4	1090	2260	—	

- 注記 *1：第 2. 2. 3-1 図に示す造成盛土のひずみ依存特性を設定する。
 *2：第 2. 2. 3-2 図に示す六ヶ所層のひずみ依存特性を設定する。
 *3：第 2. 1. 3-1 図に示す軽石凝灰岩のひずみ依存特性を設定する。
 *4：第 2. 1. 3-2 図に示す軽石質砂岩のひずみ依存特性を設定する。
 *5：第 2. 1. 3-3 図に示す細粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。
：単位体積重量を細分化した層

- : 燃料加工建屋の地盤モデル
- : 単位体積重量を細分化した地盤モデル

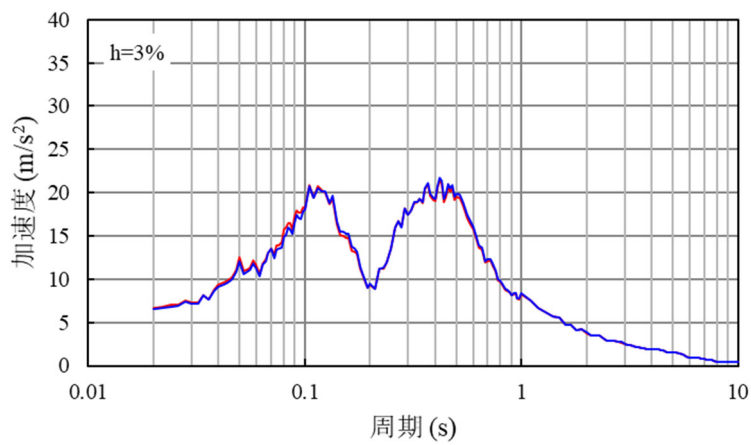


参考 1-2 図 地盤応答分布図 Ss-A



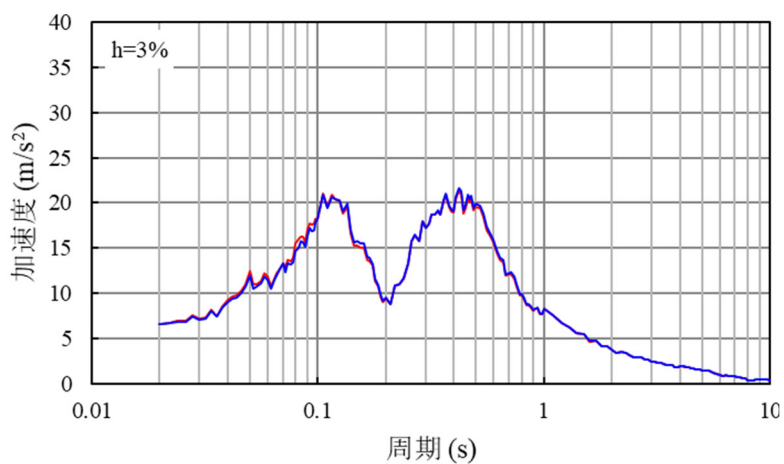
T. M. S. L. 43. 20m

— : 燃料加工建屋の地盤モデル
 — : 単位体積重量を細分化した地盤モデル



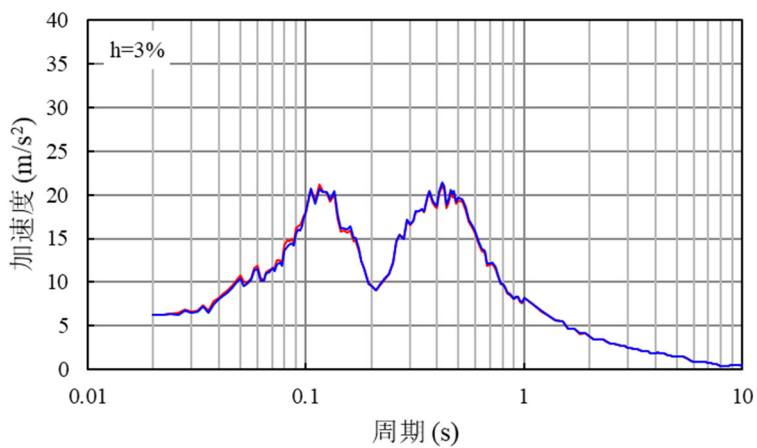
T. M. S. L. 35. 00m

参考 1-3 図 (1) 入力地震動の加速度応答スペクトル



T. M. S. L. 34. 23m

— : 燃料加工建屋の地盤モデル
 — : 単位体積重量を細分化した地盤モデル



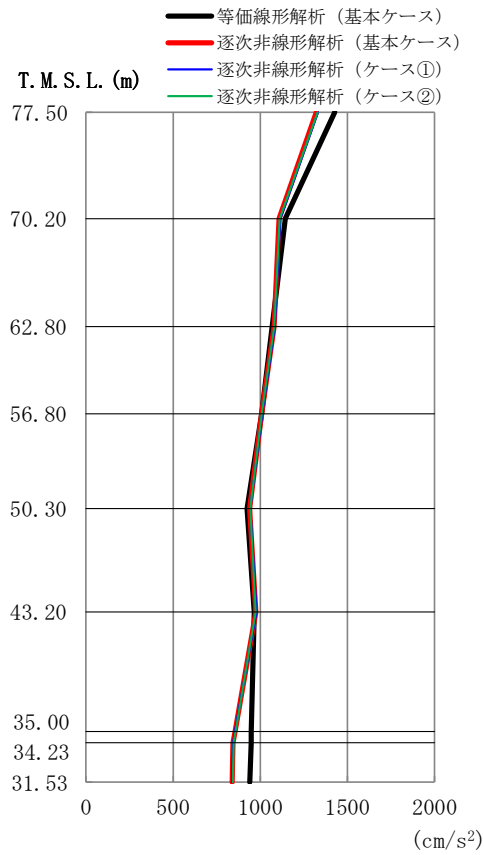
T. M. S. L. 31. 53m

参考 1-3 図 (2) 入力地震動の加速度応答スペクトル

参考 2 逐次非線形解析結果の建屋応答への影響

「5. 入力地震動の算定方法」において実施した逐次非線形解析結果並びにパラメータスタディに対し、参考として、基準地震動 S_s-C1 （地盤物性のばらつきを考慮したケース（ $-\sigma$ ））及び $1.2 \times S_s-C1$ について建屋応答を算定した結果を、参考 2-1 図～参考 2-20 図に示す。

「5. 入力地震動の算定方法」に示した入力地震動の算定結果に対する影響の傾向と同様に、燃料加工建屋の地盤モデルにおいては、解析手法の相違が建屋応答に有意な影響を与えなかったこと、また、地盤の有効せん断ひずみ度が、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について、極端なパラメータスタディを行ったとしても、建屋応答に有意な影響を与えない結果となった。

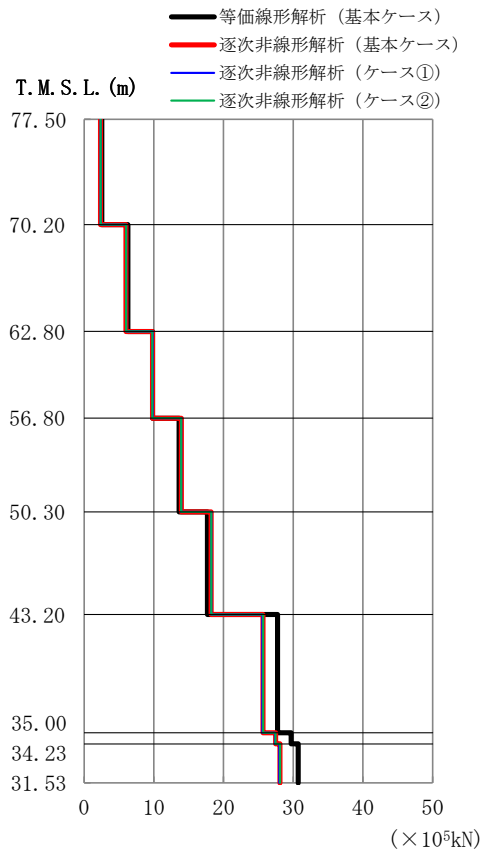


T. M. S. L. (m)	質点 番号	最大応答加速度 (cm/s ²)			
		等価線形解析	逐次非線形解析 (ケース①)	逐次非線形解析 (ケース②)	逐次非線形解析 (ケース③)
77.50	1	1426	1322	1330	1329
70.20	2	1144	1107	1114	1111
62.80	3	1068	1079	1083	1080
56.80	4	1007	1007	1011	1009
50.30	5	925	939	943	942
43.20	6	965	974	978	974
35.00	7	948	855	855	857
34.23	8	947	844	844	847
31.53	9	939	837	838	842

(a) 最大応答加速度

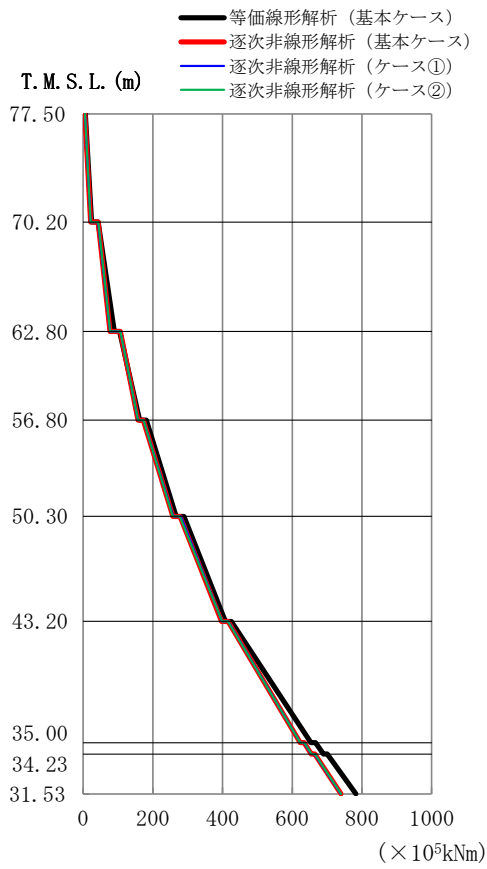
参考 2-1 図 建屋応答結果 (NS 方向)

(Ss-C1, $-\sigma$, 逐次非線形解析)



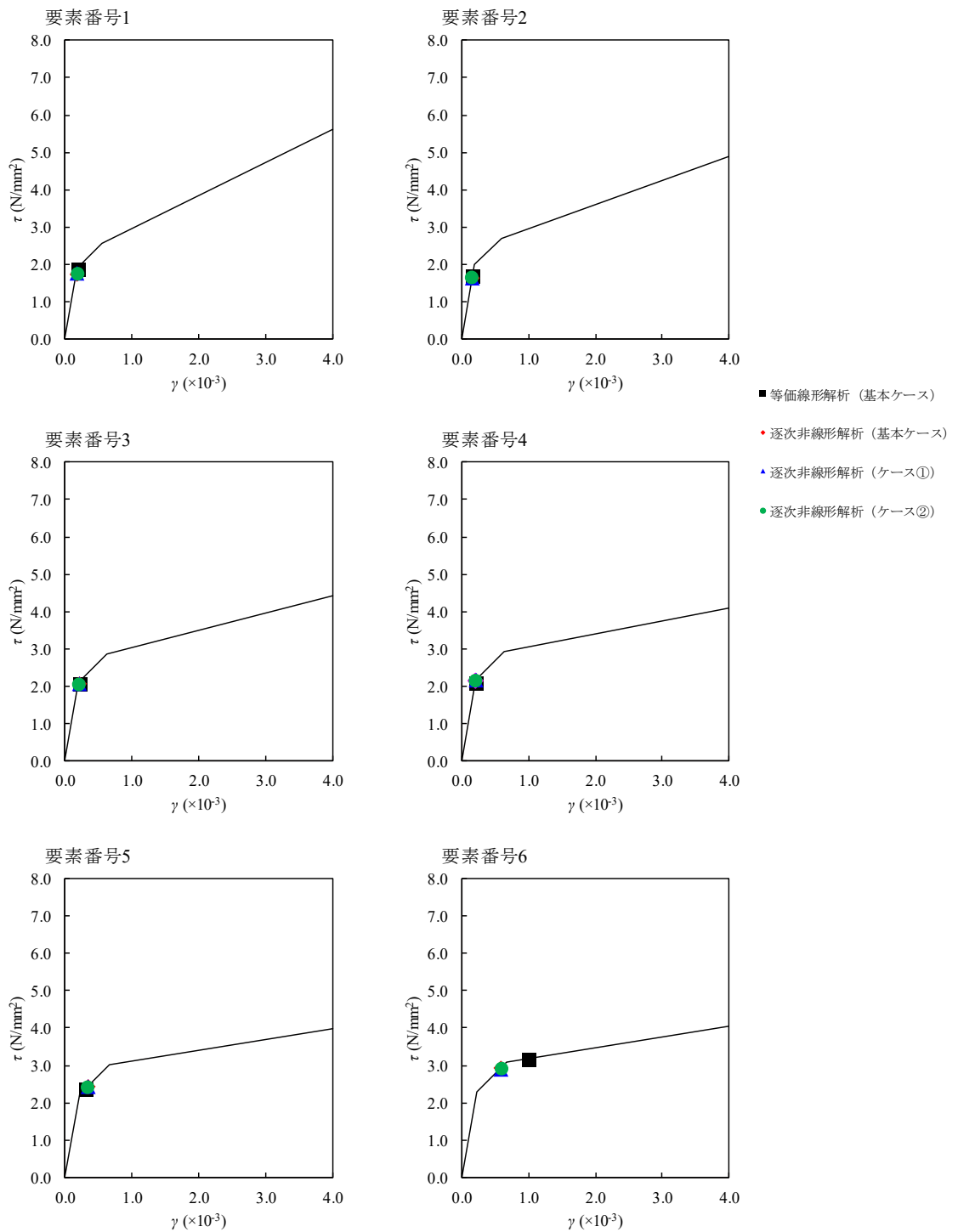
T. M. S. L. (m)	要素番号	最大応答せん断力 (×10 ⁵ kN)			
		等価線形解析	逐次非線形解析 (ケース①)	逐次非線形解析 (ケース②)	逐次非線形解析 (ケース③)
77.50	1	2.53	2.35	2.36	2.36
70.20	2	6.27	6.01	6.02	6.01
62.80	3	9.81	9.81	9.84	9.82
56.80	4	13.65	13.94	13.94	13.94
50.30	5	17.68	18.23	18.26	18.23
43.20	6	27.76	25.68	25.56	25.68
35.00	7	29.73	27.48	27.37	27.48
34.23	8	30.71	28.11	28.02	28.10
31.53					

(b) 最大応答せん断力
 参考 2-2 図 建屋応答結果 (NS 方向)
 (Ss-C1, -σ, 逐次非線形解析)



T. M. S. L. (m)	要素 番号	最大応答曲げモーメント ($\times 10^5 \text{kNm}$)			
		等価線形解析	逐次非線形解析 (ケース①)	逐次非線形解析 (ケース②)	逐次非線形解析 (ケース③)
77.50	1	24.62	21.27	21.23	21.18
70.20	2	89.59	77.08	77.22	77.51
62.80	3	161.41	156.99	157.35	157.62
56.80	4	266.88	257.27	258.24	256.97
50.30	5	408.09	397.29	398.24	398.11
43.20	6	653.15	622.70	622.49	623.16
35.00	7	689.63	654.58	654.56	655.09
34.23	8	782.38	739.66	739.27	740.34
31.53					

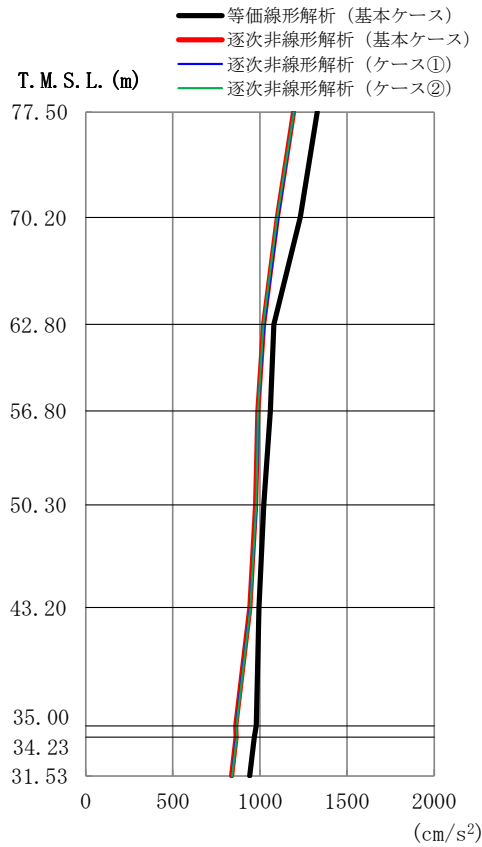
(c) 最大応答曲げモーメント
 参考 2-3 図 建屋応答結果 (NS 方向)
 (Ss-C1, $-\sigma$, 逐次非線形解析)



(d) $\tau - \gamma$ 関係

参考 2-4 図 建屋応答結果 (NS 方向)

(Ss-C1, $-\sigma$, 逐次非線形解析)

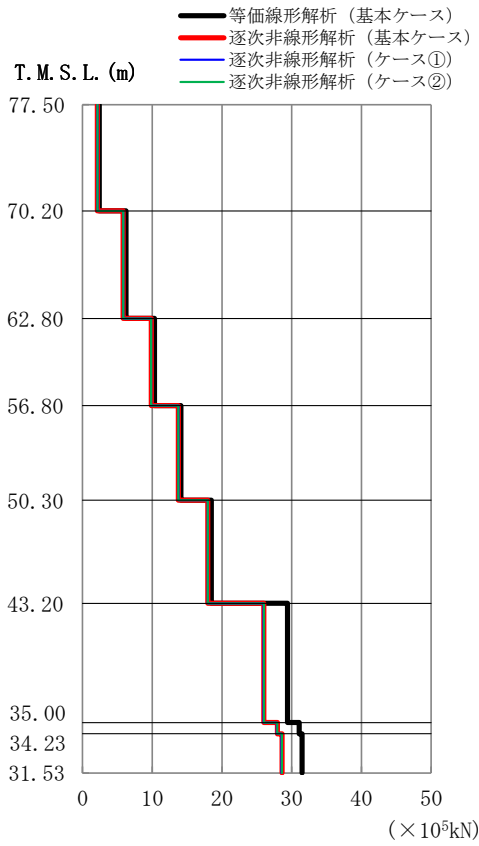


T. M. S. L. (m)	質点 番号	最大応答加速度 (cm/s ²)			
		等価線形解析	逐次非線形解析 (ケース①)	逐次非線形解析 (ケース②)	逐次非線形解析 (ケース③)
77.50	1	1329	1193	1195	1196
70.20	2	1232	1100	1104	1101
62.80	3	1080	1020	1024	1020
56.80	4	1060	989	988	989
50.30	5	1022	976	981	979
43.20	6	994	943	943	945
35.00	7	978	861	862	865
34.23	8	967	862	863	867
31.53	9	942	838	838	840

(a) 最大応答加速度

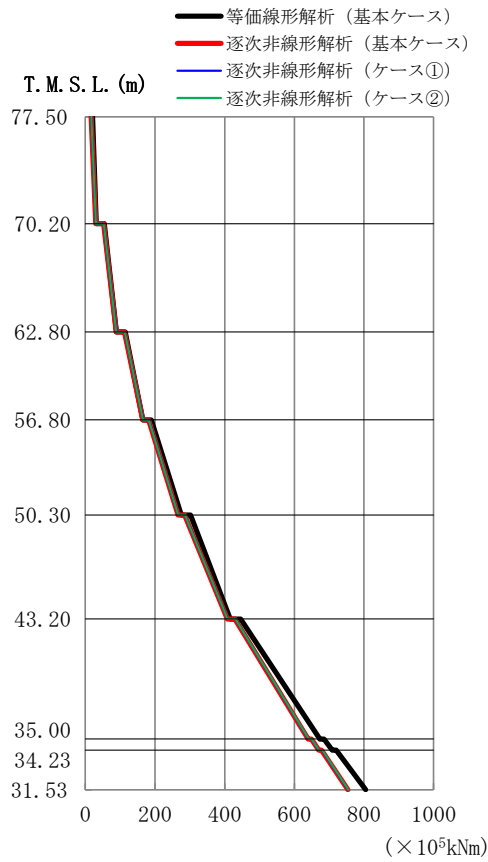
参考 2-5 図 建屋応答結果 (EW 方向)

(Ss-C1, -σ, 逐次非線形解析)



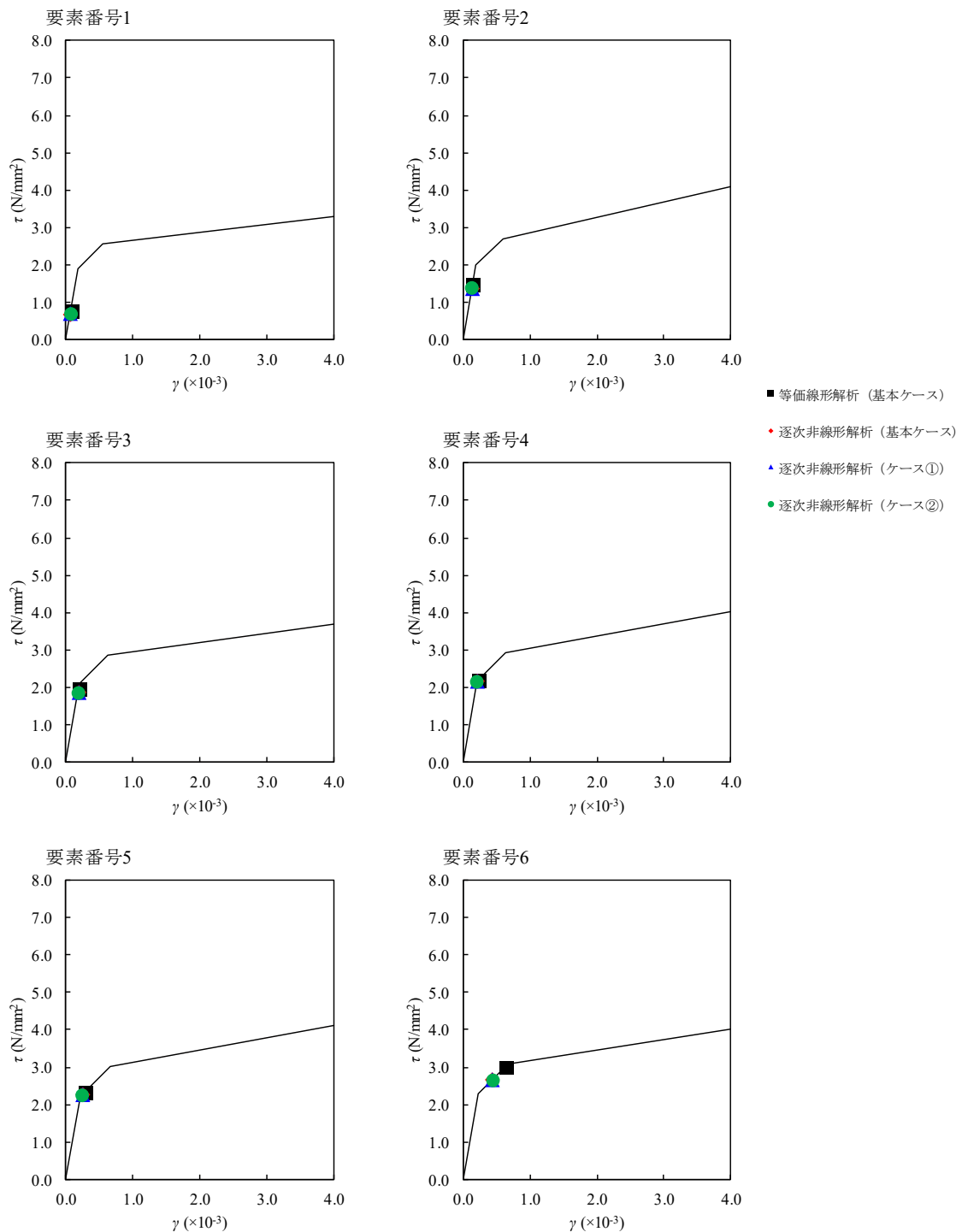
T. M. S. L. (m)	要素番号	最大応答せん断力 (×10 ⁵ kN)			
		等価線形解析	逐次非線形解析 (ケース①)	逐次非線形解析 (ケース②)	逐次非線形解析 (ケース③)
77.50	1	2.36	2.11	2.13	2.12
70.20	2	6.22	5.81	5.82	5.81
62.80	3	10.31	9.84	9.84	9.84
56.80	4	14.11	13.72	13.76	13.74
50.30	5	18.44	17.94	17.98	17.95
43.20	6	29.37	26.02	25.93	26.02
35.00	7	31.04	27.95	27.87	27.94
34.23	8	31.50	28.60	28.53	28.58
31.53					

(b) 最大応答せん断力
 参考 2-6 図 建屋応答結果 (EW 方向)
 (Ss-C1, -σ, 逐次非線形解析)



T. M. S. L. (m)	要素番号	最大応答曲げモーメント ($\times 10^5 \text{kNm}$)			
		等価線形解析	逐次非線形解析 (ケース①)	逐次非線形解析 (ケース②)	逐次非線形解析 (ケース③)
77.50	1	31.55	29.95	30.08	30.07
70.20	2	89.29	88.81	89.60	89.08
62.80	3	165.47	165.53	166.65	165.75
56.80	4	275.16	265.97	266.29	266.41
50.30	5	416.52	407.42	408.39	408.18
43.20	6	673.40	640.14	639.77	640.69
35.00	7	708.95	670.33	670.19	670.98
34.23	8	804.52	753.68	753.96	755.18
31.53					

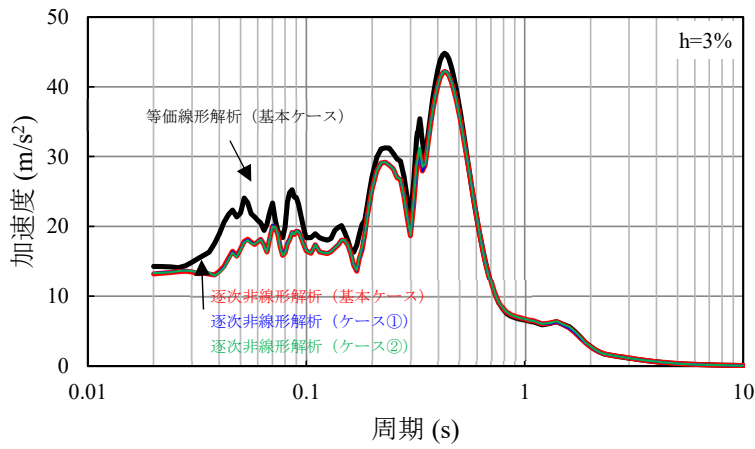
(c) 最大応答曲げモーメント
 参考 2-7 図 建屋応答結果 (EW 方向)
 (Ss-C1, $-\sigma$, 逐次非線形解析)



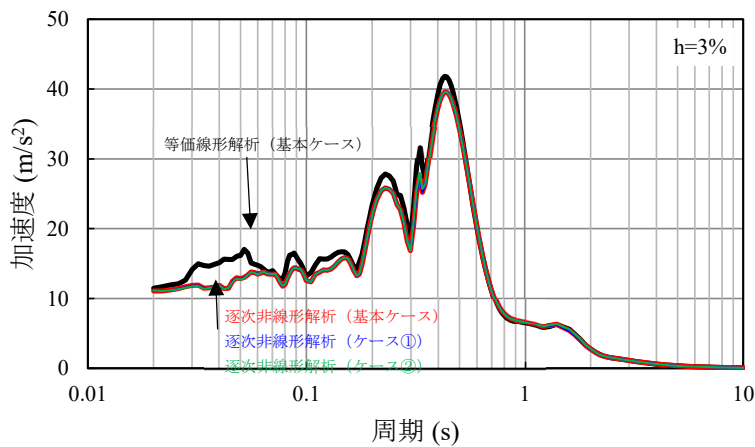
(d) $\tau - \gamma$ 関係

参考 2-8 図 建屋応答結果 (EW 方向)

(Ss-C1, $-\sigma$, 逐次非線形解析)

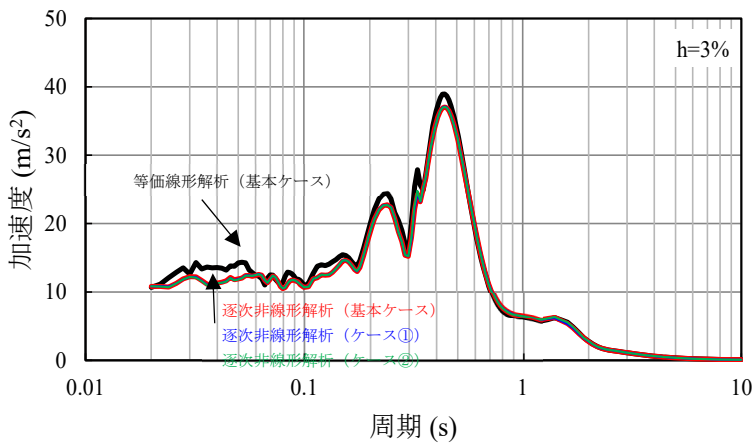


T. M. S. L. 77.50m (質点 1)



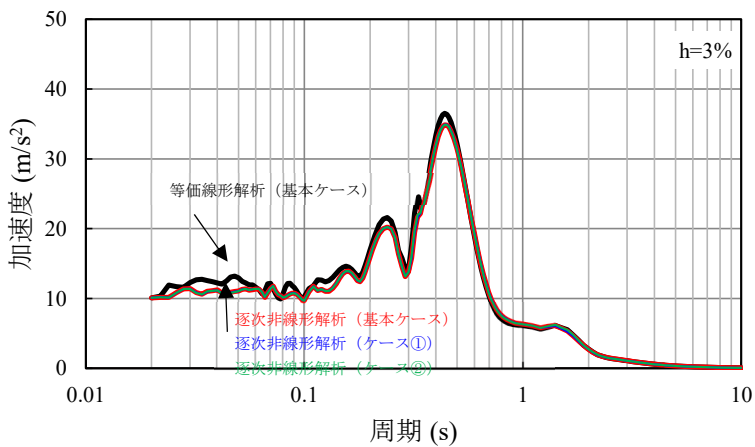
T. M. S. L. 70.20m (質点 2)

参考 2-9 図 (1) 床応答スペクトル (NS 方向)
(Ss-C1, $-\sigma$, 逐次非線形解析)



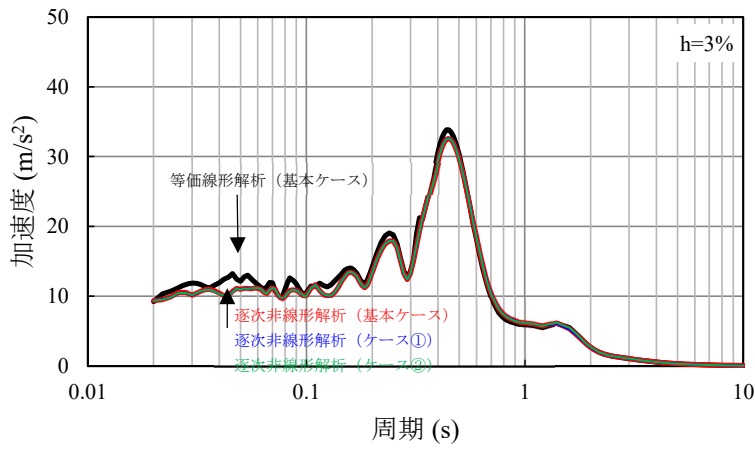
T. M. S. L. 62.80m (質点 3)

- 等価線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (ケース①)
- 逐次非線形解析 (ケース②)



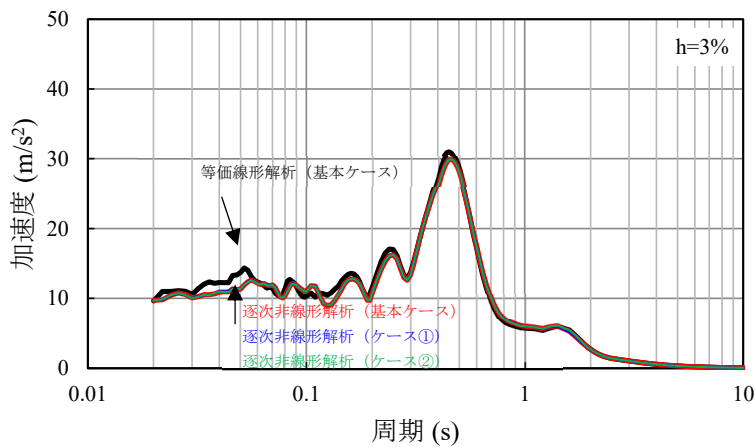
T. M. S. L. 56.80m (質点 4)

参考 2-9 図 (2) 床応答スペクトル (NS 方向)
(Ss-C1, $-\sigma$, 逐次非線形解析)



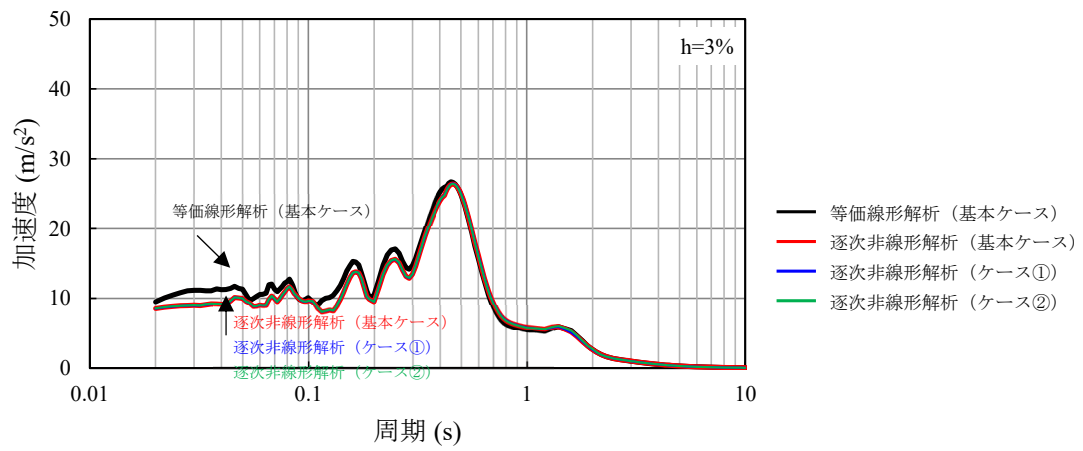
T. M. S. L. 50.30m (質点 5)

- 等価線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (ケース①)
- 逐次非線形解析 (ケース②)



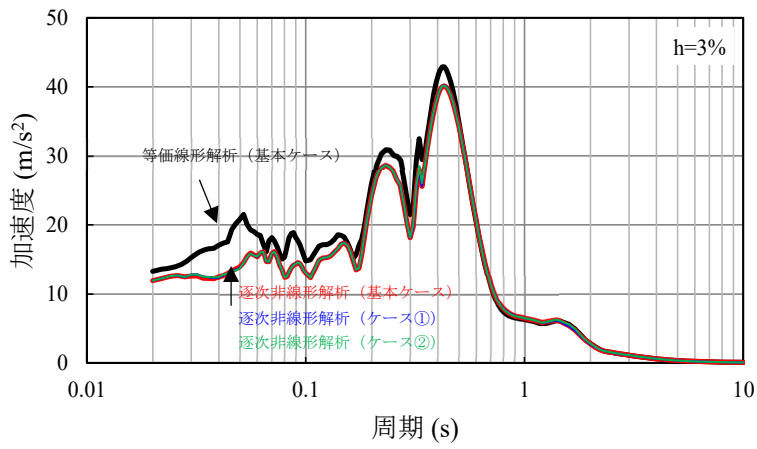
T. M. S. L. 43.20m (質点 6)

参考 2-9 図 (3) 床応答スペクトル (NS 方向)
(Ss-C1, $-\sigma$, 逐次非線形解析)



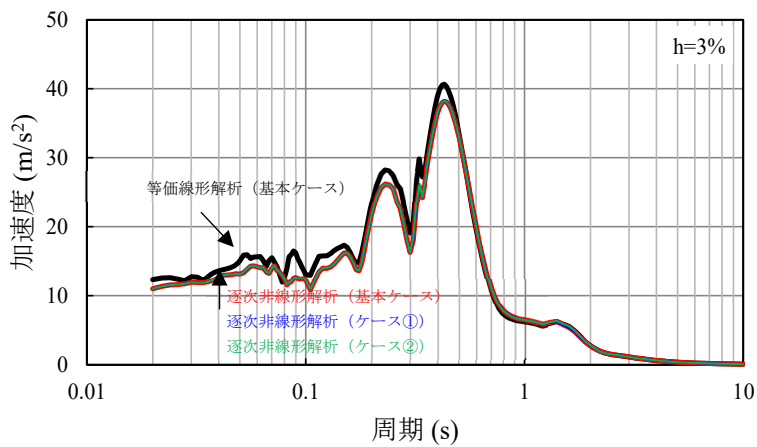
T. M. S. L. 35.00m (質点 7)

参考 2-9 図 (4) 床応答スペクトル (NS 方向)
(Ss-C1, $-\sigma$, 逐次非線形解析)



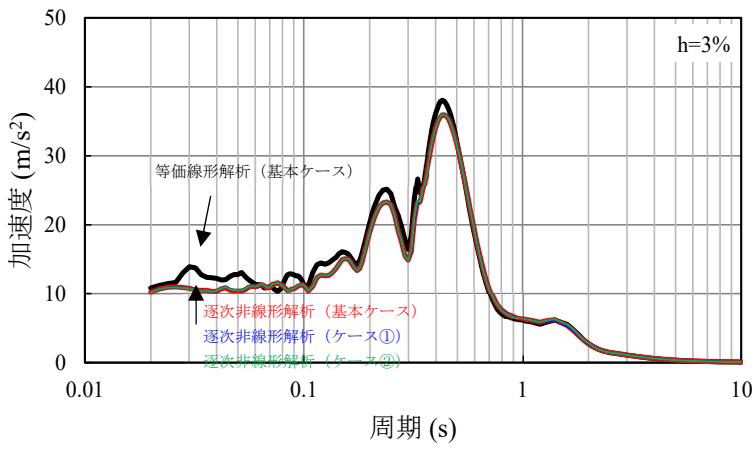
T. M. S. L. 77.50m (質点 1)

- 等価線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (ケース①)
- 逐次非線形解析 (ケース②)



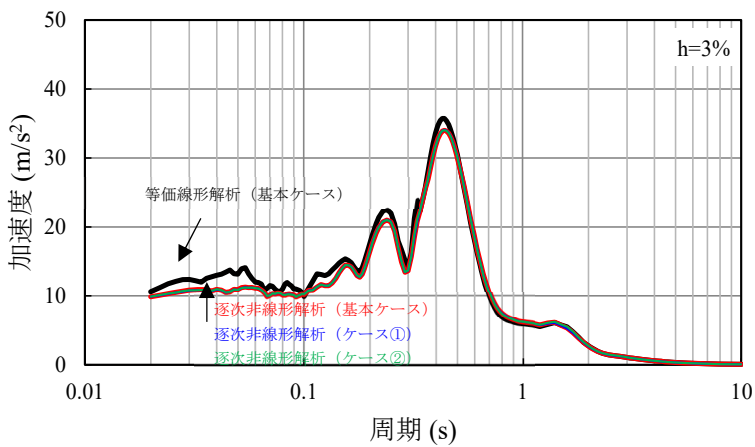
T. M. S. L. 70.20m (質点 2)

参考 2-10 図 (1) 床応答スペクトル (EW 方向)
(Ss-C1, $-\sigma$, 逐次非線形解析)



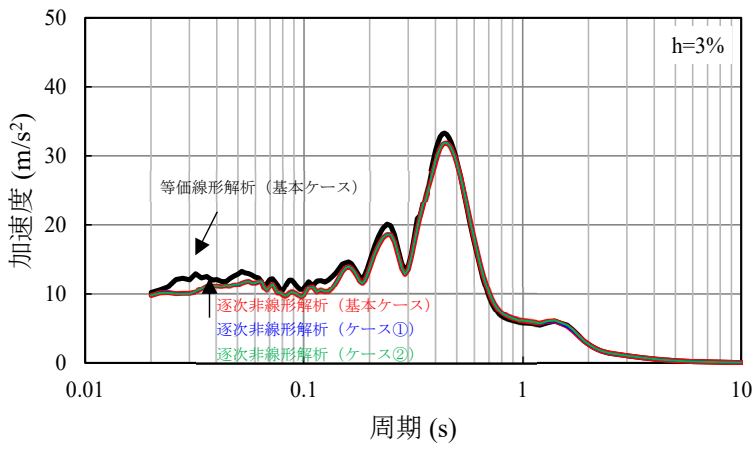
T. M. S. L. 62.80m (質点 3)

- 等価線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (ケース①)
- 逐次非線形解析 (ケース②)



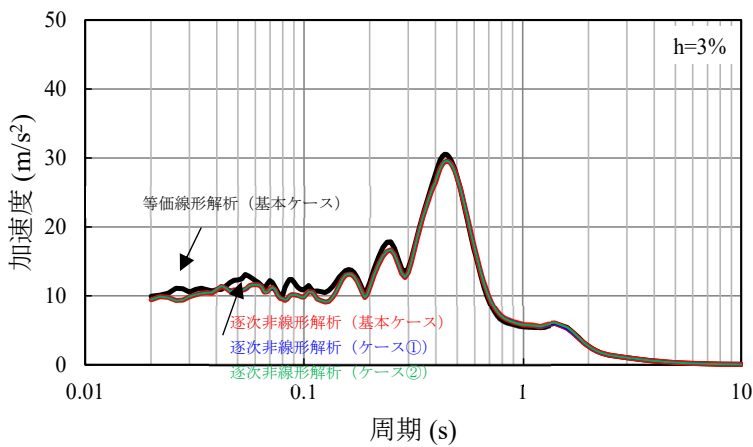
T. M. S. L. 56.80m (質点 4)

参考 2-10 図 (2) 床応答スペクトル (EW 方向)
(Ss-C1, $-\sigma$, 逐次非線形解析)



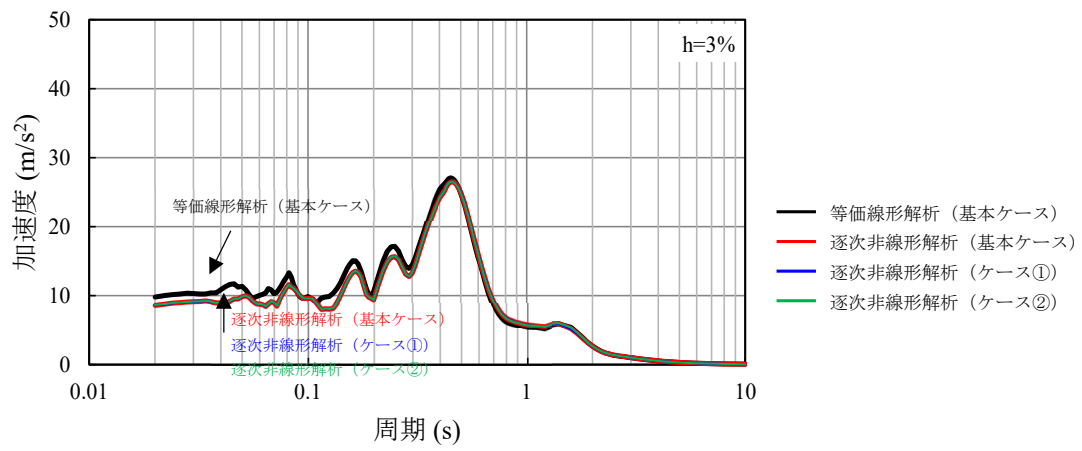
T. M. S. L. 50.30m (質点 5)

- 等価線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (ケース①)
- 逐次非線形解析 (ケース②)



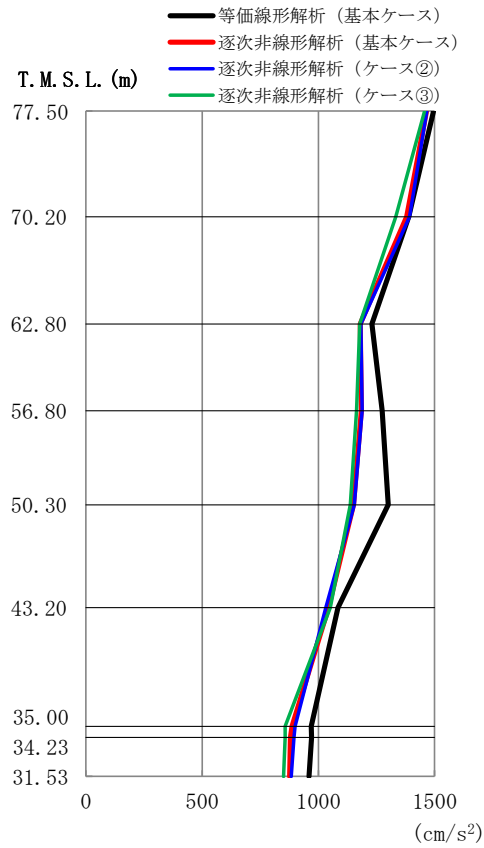
T. M. S. L. 43.20m (質点 6)

参考 2-10 図 (3) 床応答スペクトル (EW 方向)
(Ss-C1, $-\sigma$, 逐次非線形解析)



T. M. S. L. 35.00m (質点 7)

参考 2-10 図 (4) 床応答スペクトル (EW 方向)
(Ss-C1, $-\sigma$, 逐次非線形解析)

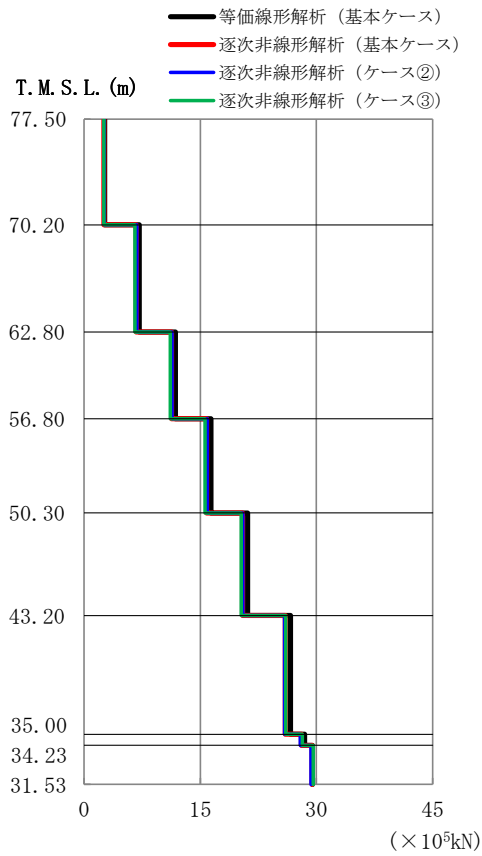


T. M. S. L. (m)	質点 番号	最大応答加速度 (cm/s ²)			
		等価線形解析 (基本ケース)	逐次非線形解析 (基本ケース)	逐次非線形解析 (ケース②)	逐次非線形解析 (ケース③)
77.50	1	1496	1465	1466	1458
70.20	2	1389	1379	1392	1333
62.80	3	1230	1180	1182	1178
56.80	4	1273	1184	1188	1164
50.30	5	1301	1152	1155	1137
43.20	6	1083	1043	1031	1051
35.00	7	969	887	900	857
34.23	8	971	880	894	857
31.53	9	960	876	884	849

(a) 最大応答加速度

参考 2-11 図 建屋応答結果 (NS 方向)

(1.2×S_s-C1, 逐次非線形解析)

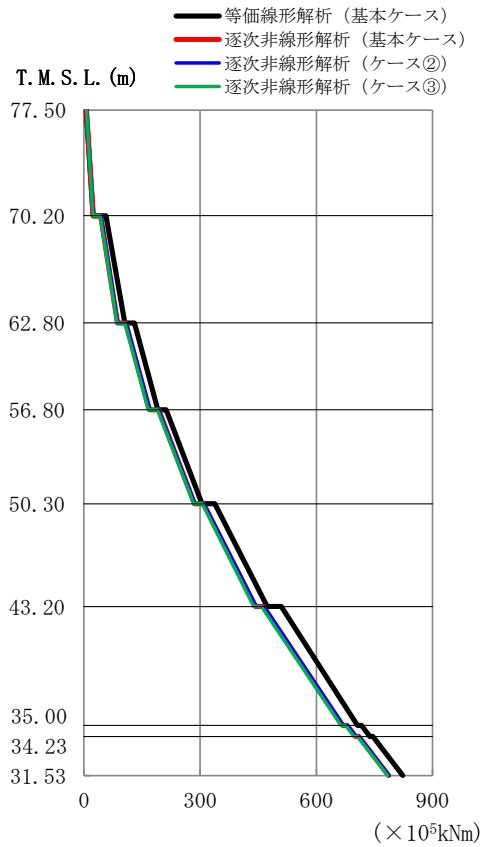


T. M. S. L. (m)	要素番号	最大応答せん断力 ($\times 10^5 \text{kN}$)			
		等価線形解析 (基本ケース)	逐次非線形解析 (基本ケース)	逐次非線形解析 (ケース②)	逐次非線形解析 (ケース③)
77.50	1	2.65	2.57	2.58	2.56
70.20	2	7.10	6.75	6.79	6.55
62.80	3	11.78	11.31	11.38	11.14
56.80	4	16.40	15.84	15.89	15.64
50.30	5	21.12	20.47	20.52	20.31
43.20	6	26.67	25.99	25.89	26.05
35.00	7	28.49	28.05	27.91	28.19
34.23	8	29.48	29.45	29.30	29.58
31.53					

(b) 最大応答せん断力

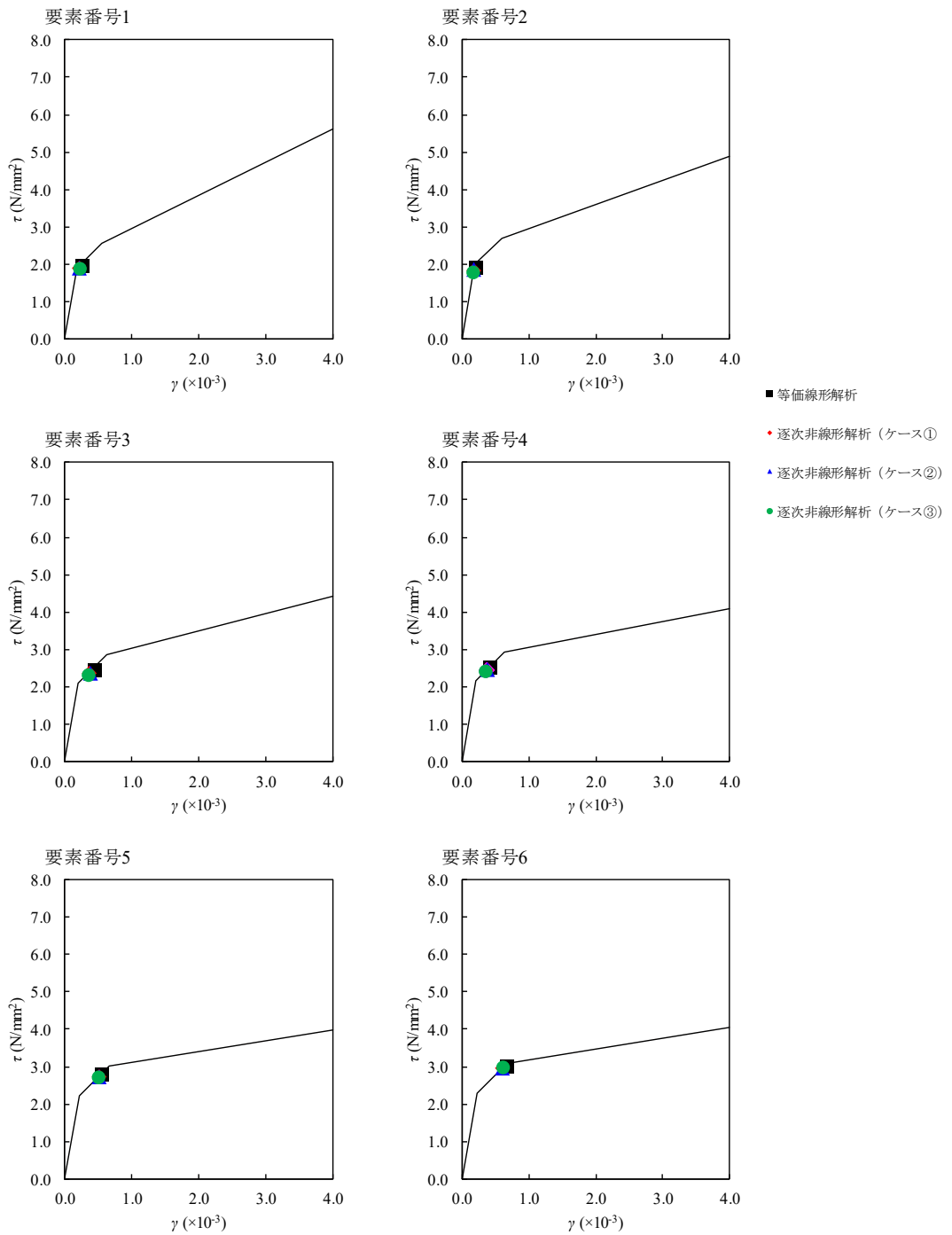
参考 2-12 図 建屋応答結果 (NS 方向)

(1.2 \times Ss-C1, 逐次非線形解析)



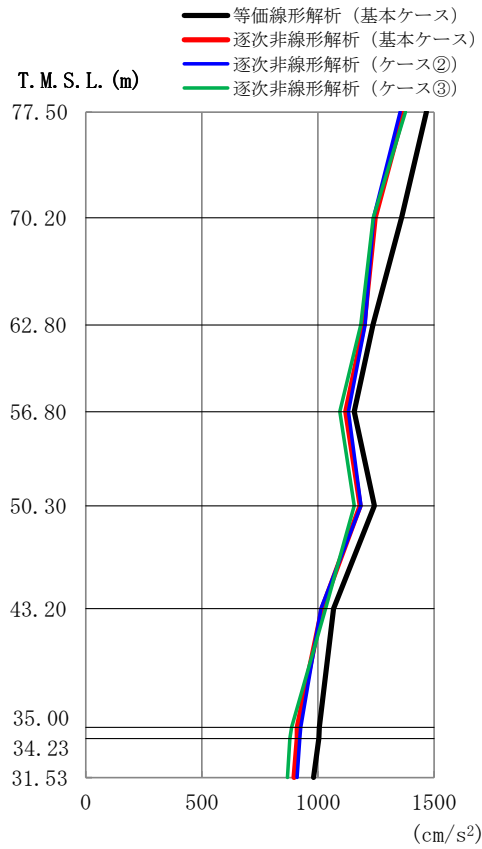
T. M. S. L. (m)	要素番号	最大応答曲げモーメント ($\times 10^5 \text{kNm}$)			
		等価線形解析 (基本ケース)	逐次非線形解析 (基本ケース)	逐次非線形解析 (ケース②)	逐次非線形解析 (ケース③)
77.50	1	23.99	23.74	24.04	23.17
70.20	2	105.33	86.30	87.40	85.02
62.80	3	190.50	169.22	170.00	166.43
56.80	4	304.79	285.04	286.12	283.01
50.30	5	473.32	443.12	445.29	438.39
43.20	6	706.09	667.88	669.45	663.35
35.00	7	737.90	700.96	702.13	697.08
34.23	8	823.36	787.04	787.65	783.91
31.53					

(c) 最大応答曲げモーメント
 参考 2-13 図 建屋応答結果 (NS 方向)
 (1.2 \times Ss-C1, 逐次非線形解析)



(d) $\tau - \gamma$ 関係

参考 2-14 図 建屋応答結果 (NS 方向)
 (1.2×Ss-C1, 逐次非線形解析)

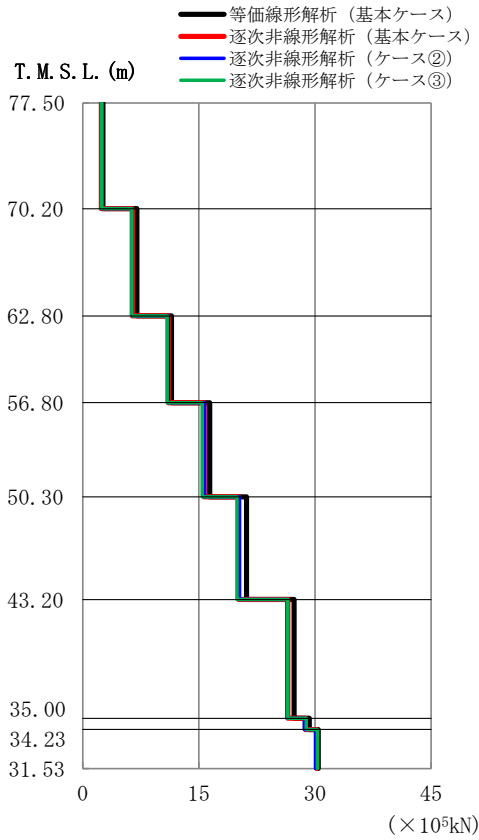


T. M. S. L. (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)			
		等価線形解析 (基本ケース)	逐次非線形解析 (基本ケース)	逐次非線形解析 (ケース②)	逐次非線形解析 (ケース③)
77.50	1	1466	1369	1355	1377
70.20	2	1360	1247	1239	1238
62.80	3	1237	1198	1203	1185
56.80	4	1157	1119	1132	1094
50.30	5	1243	1182	1186	1156
43.20	6	1066	1018	1013	1033
35.00	7	1006	911	926	886
34.23	8	1004	911	921	880
31.53	9	982	897	910	869

(a) 最大応答加速度

参考 2-15 図 建屋応答結果 (EW 方向)

(1.2 × S_s-C1, 逐次非線形解析)

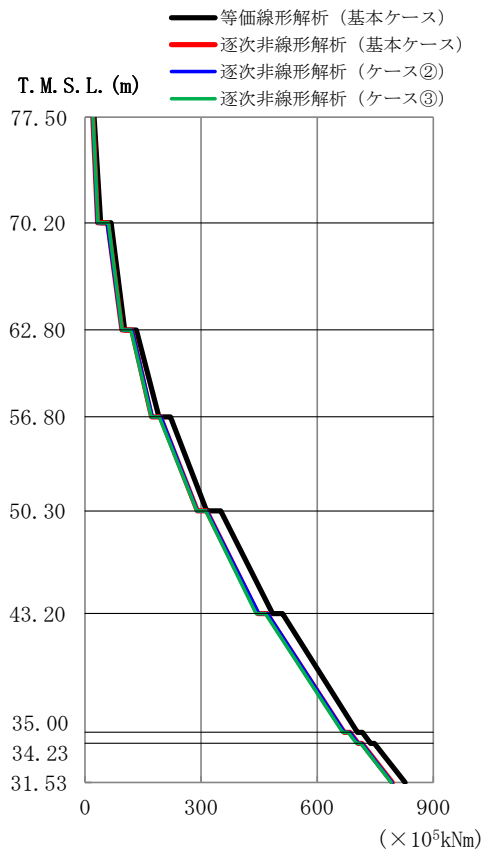


T. M. S. L. (m)	要素 番号	最大応答せん断力(×10 ⁵ kN)			
		等価線形解析 (基本ケース)	逐次非線形解析 (基本ケース)	逐次非線形解析 (ケース②)	逐次非線形解析 (ケース③)
77.50	1	2.61	2.43	2.40	2.45
70.20	2	7.00	6.41	6.41	6.38
62.80	3	11.48	11.06	11.07	10.93
56.80	4	16.43	15.68	15.77	15.45
50.30	5	21.18	20.15	20.23	19.93
43.20	6	27.29	26.50	26.41	26.47
35.00	7	29.26	28.77	28.63	28.87
34.23	8	30.43	30.21	30.06	30.31
31.53					

(b) 最大応答せん断力

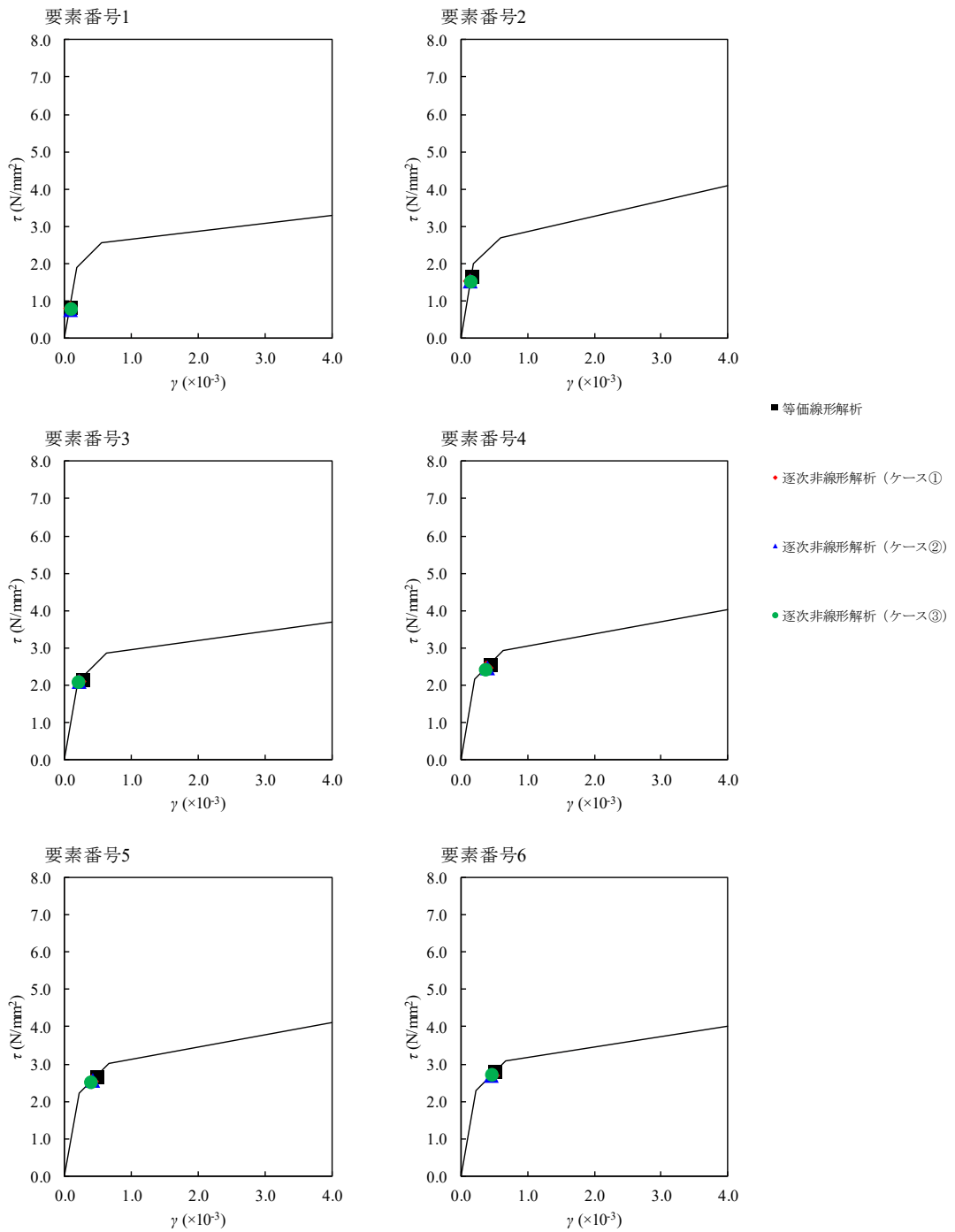
参考 2-16 図 建屋応答結果 (EW 方向)

(1.2×S_s-C1, 逐次非線形解析)



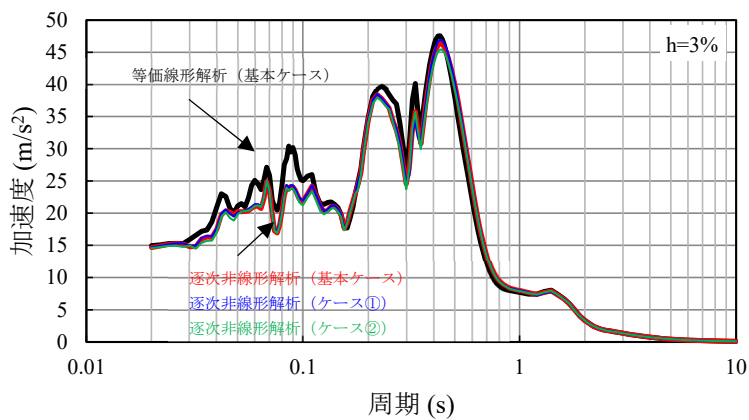
T. M. S. L. (m)	要素 番号	最大応答曲げモーメント(×10 ⁵ kNm)			
		等価線形解析 (基本ケース)	逐次非線形解析 (基本ケース)	逐次非線形解析 (ケース②)	逐次非線形解析 (ケース③)
77.50	1	40.18	32.71	32.21	33.40
70.20	2	102.78	95.13	95.11	95.97
62.80	3	191.42	172.43	173.52	171.73
56.80	4	314.06	290.31	290.50	288.93
50.30	5	484.19	446.78	448.97	442.36
43.20	6	704.17	669.78	670.00	665.79
35.00	7	738.09	705.58	705.28	701.74
34.23	8	827.10	794.10	793.69	791.15
31.53					

(c) 最大応答曲げモーメント
 参考 2-17 図 建屋応答結果 (EW 方向)
 (1.2×S_s-C1, 逐次非線形解析)

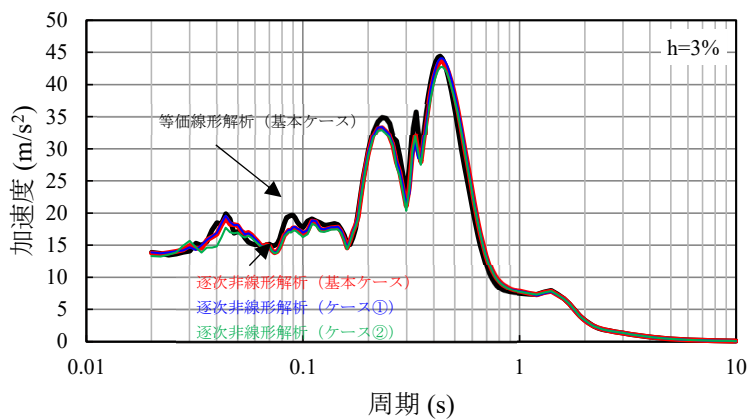


(d) $\tau - \gamma$ 関係

参考 2-18 図 建屋応答結果 (EW 方向)
 (1.2×Ss-C1, 逐次非線形解析)

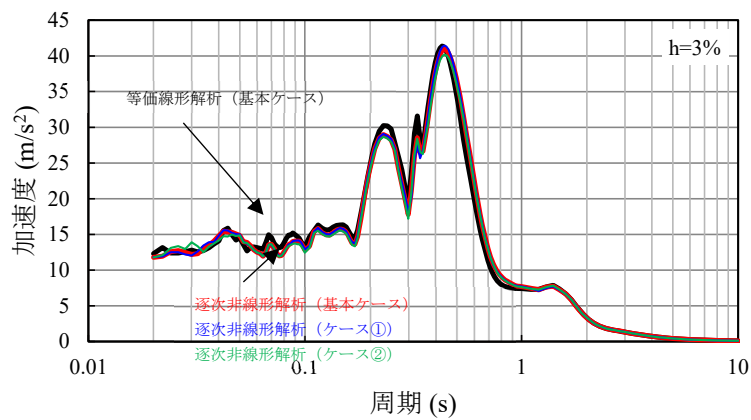


T. M. S. L. 77. 50m (質点 1)

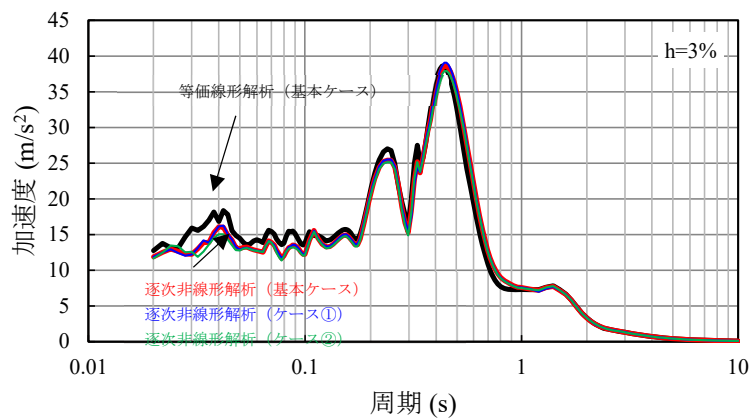


T. M. S. L. 70. 20m (質点 2)

参考 2-19 図 (1) 床応答スペクトル (NS 方向)
(1.2×Ss-C1, 逐次非線形解析)



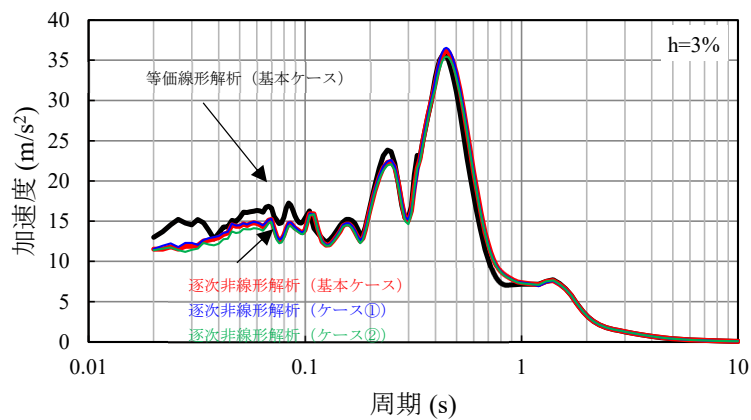
T. M. S. L. 62.80m (質点 3)



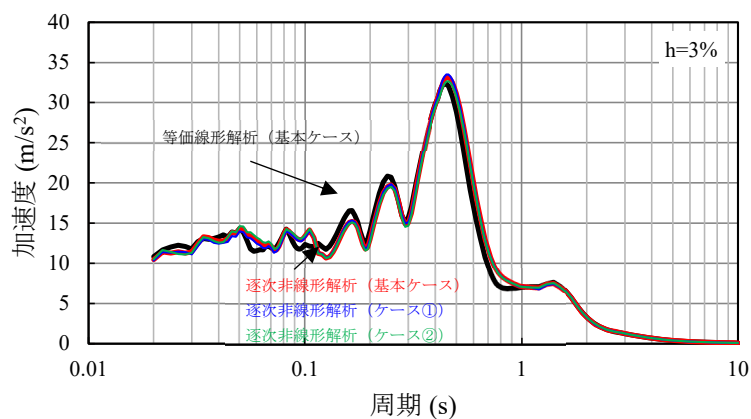
T. M. S. L. 56.80m (質点 4)

- 等価線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (ケース①)
- 逐次非線形解析 (ケース②)

参考 2-19 図 (2) 床応答スペクトル (NS 方向)
($1.2 \times S_s - C1$, 逐次非線形解析)

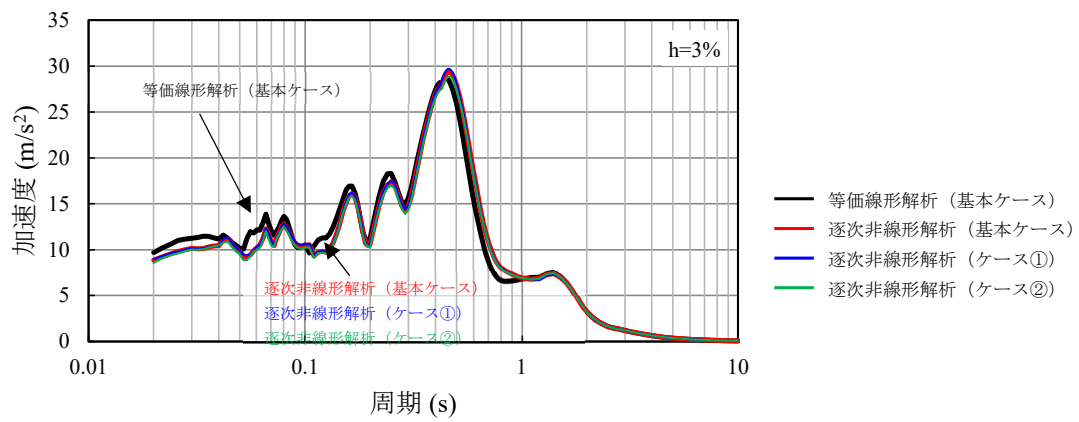


T. M. S. L. 50.30m (質点 5)



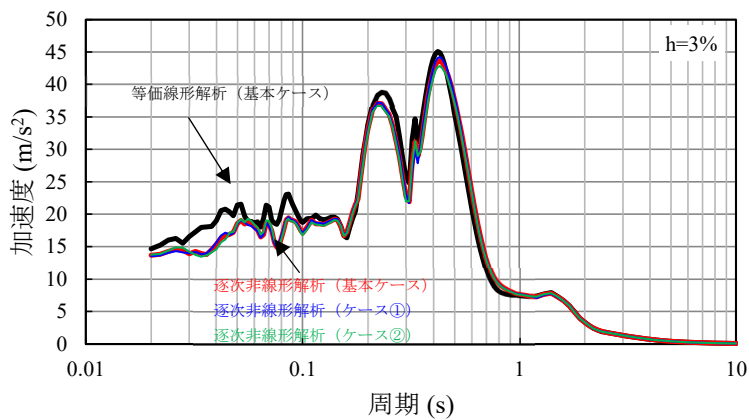
T. M. S. L. 43.20m (質点 6)

参考 2-19 図 (3) 床応答スペクトル (NS 方向)
($1.2 \times S_s - C1$, 逐次非線形解析)

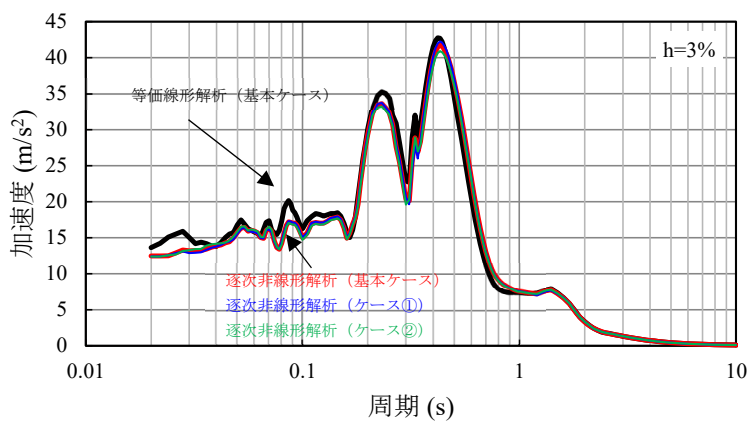


T. M. S. L. 35.00m (質点 7)

参考 2-19 図 (4) 床応答スペクトル (NS 方向)
(1.2×S_S-C1, 逐次非線形解析)

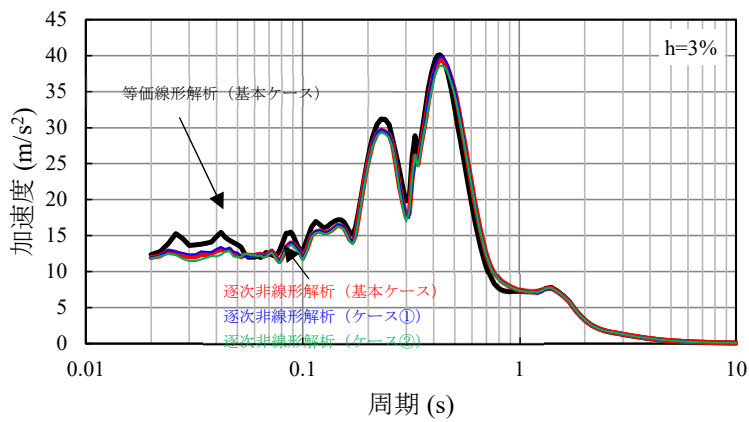


T. M. S. L. 77. 50m (質点 1)

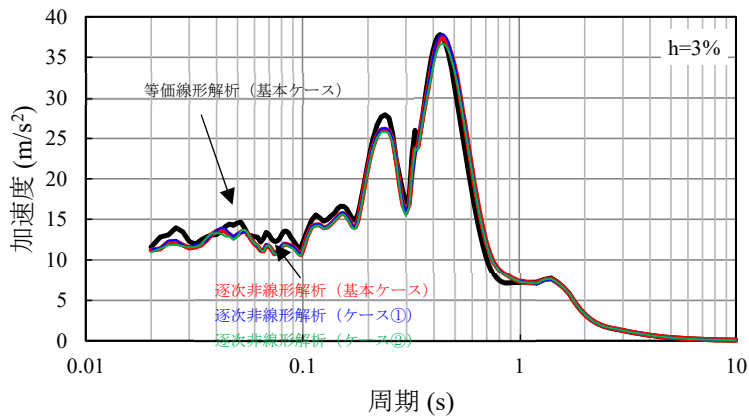


T. M. S. L. 70. 20m (質点 2)

参考 2-20 図 (1) 床応答スペクトル (EW 方向)
($1.2 \times S_s - C1$, 逐次非線形解析)



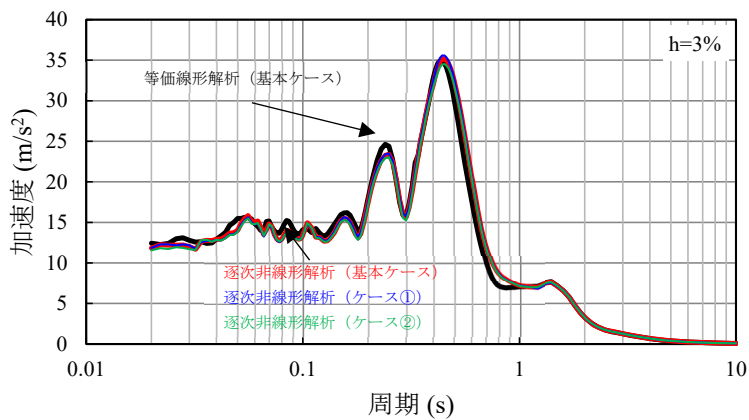
T. M. S. L. 62.80m (質点3)



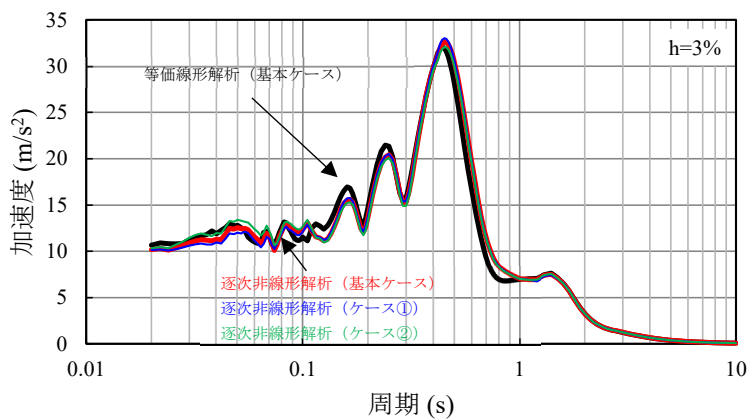
T. M. S. L. 56.80m (質点4)

- 等価線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (ケース①)
- 逐次非線形解析 (ケース②)

参考 2-20 図 (2) 床応答スペクトル (EW 方向)
($1.2 \times S_s - C1$, 逐次非線形解析)



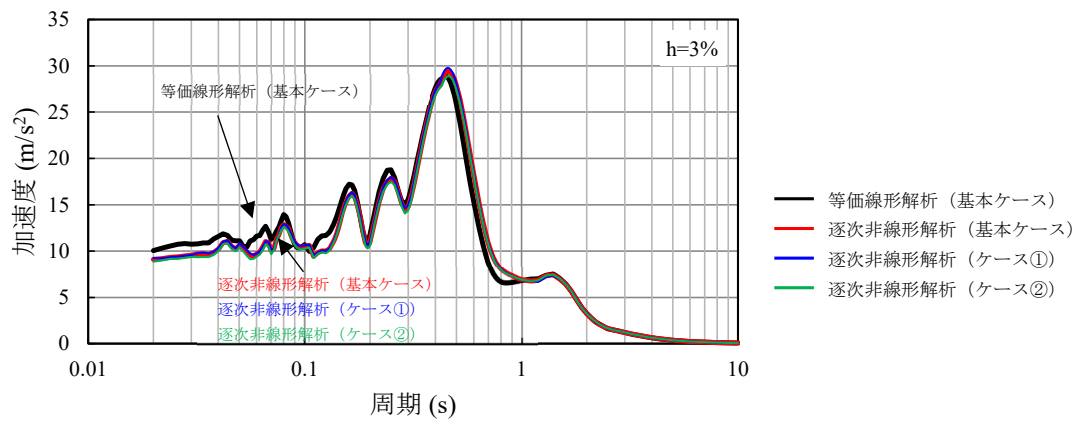
T. M. S. L. 50.30m (質点 5)



T. M. S. L. 43.20m (質点 6)

- 等価線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (ケース①)
- 逐次非線形解析 (ケース②)

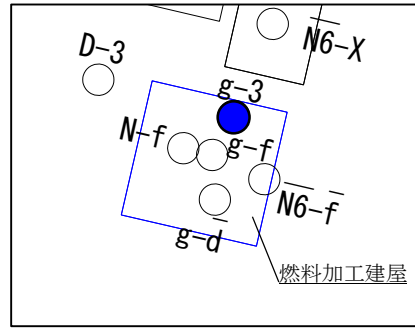
参考 2-20 図 (3) 床応答スペクトル (EW 方向)
($1.2 \times S_s - C1$, 逐次非線形解析)



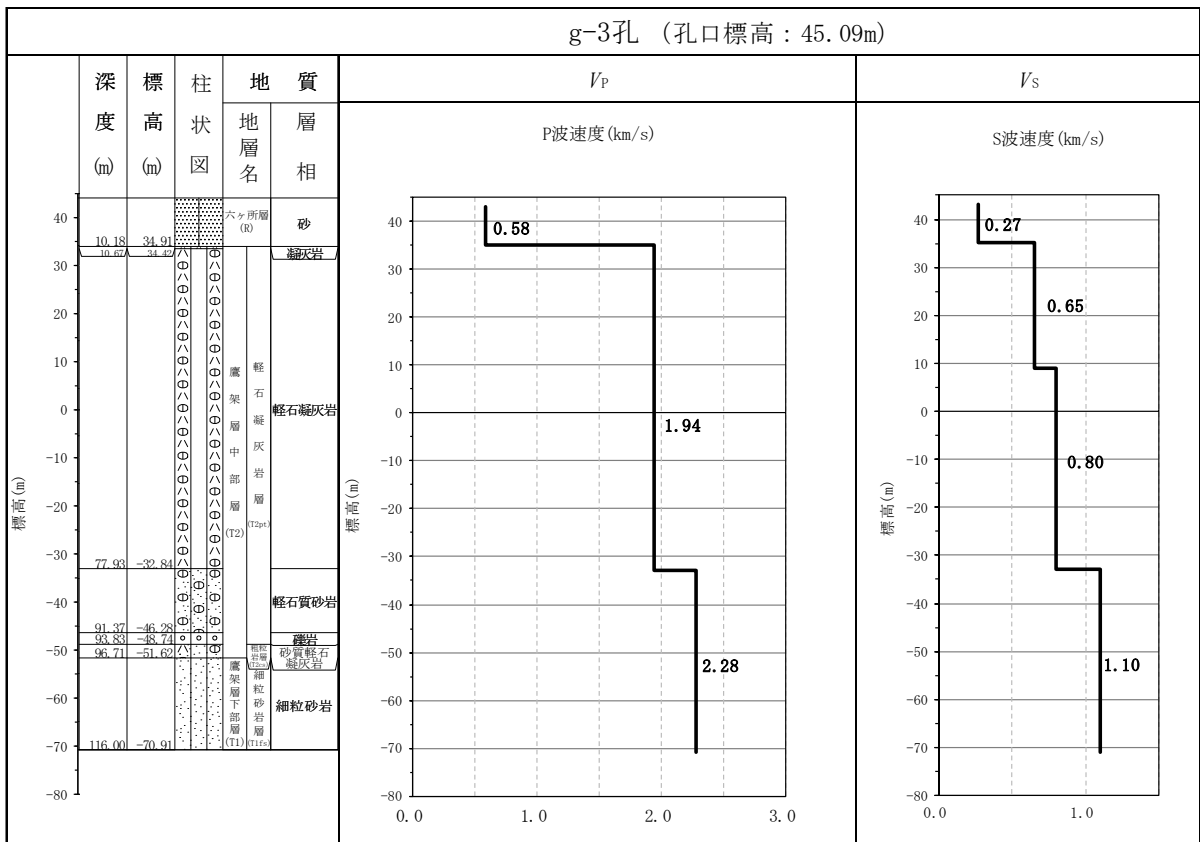
T. M. S. L. 35.00m (質点 7)

参考 2-20 図 (4) 床応答スペクトル (EW 方向)
 (1.2×S_S-C1, 逐次非線形解析)

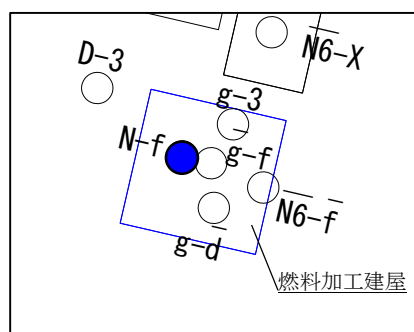
参考3 燃料加工建屋の地盤モデル作成に用いる速度構造データ集



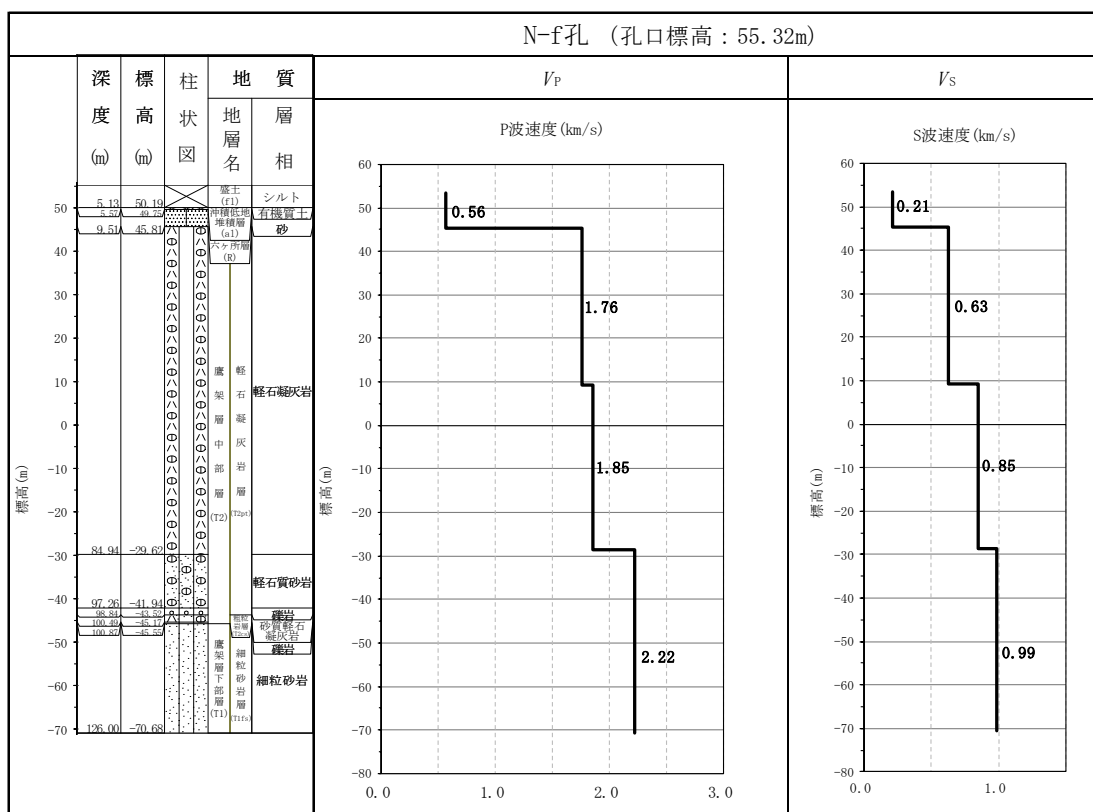
キープラン



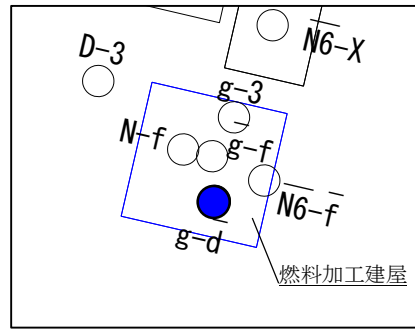
参考3-1図 燃料加工建屋の速度構造データ (1/8)



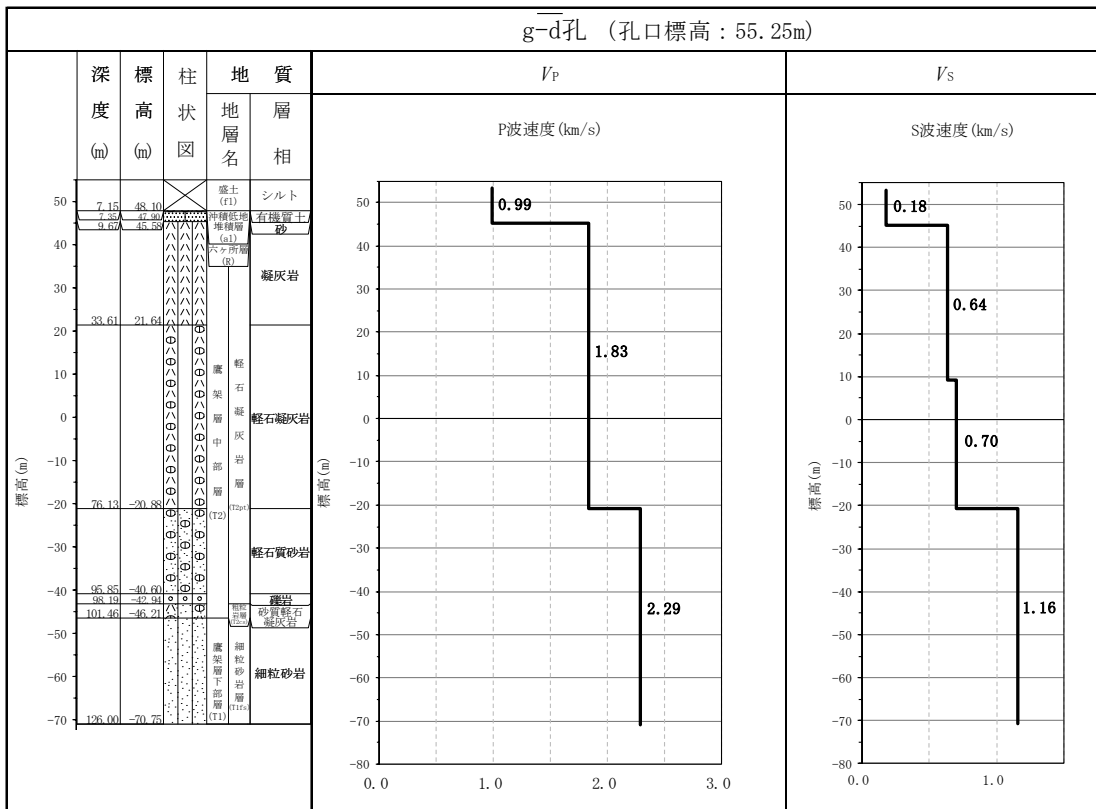
キープラン



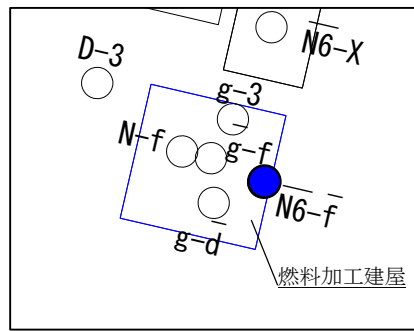
参考 3-1 図 燃料加工建屋の速度構造データ (2/8)



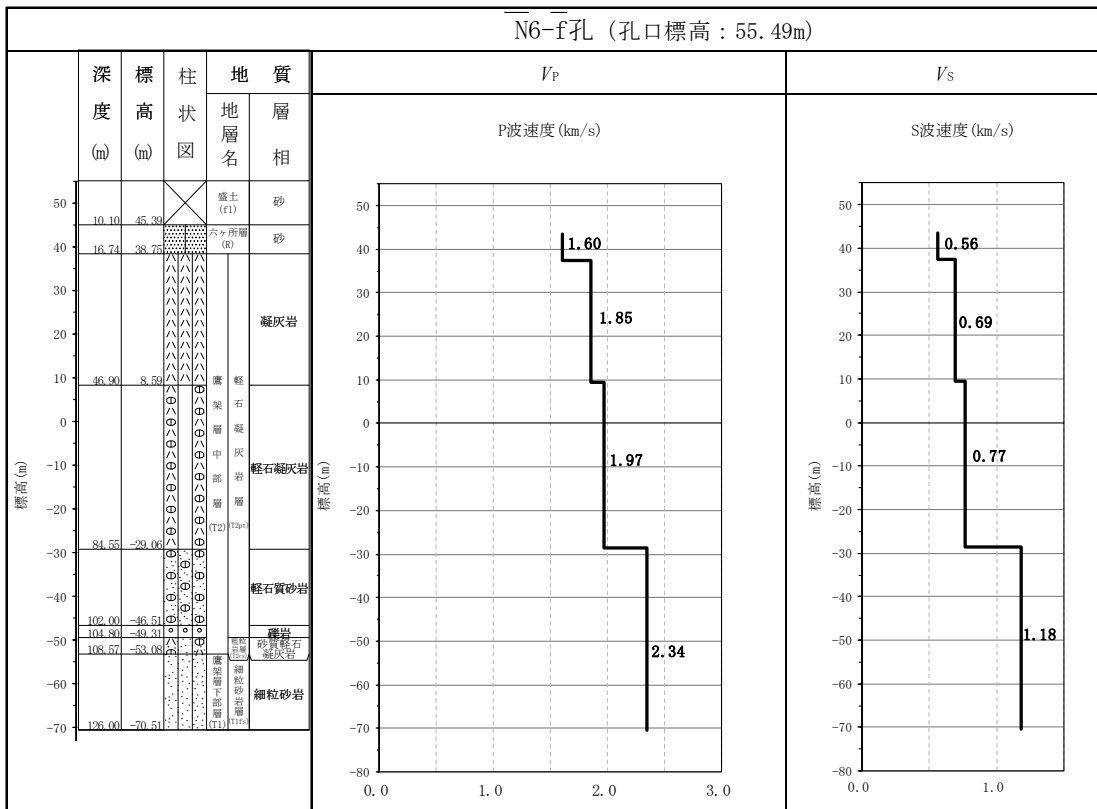
キープラン



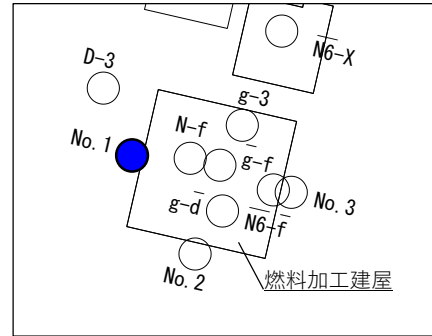
参考 3-1 図 燃料加工建屋の速度構造データ (4/8)



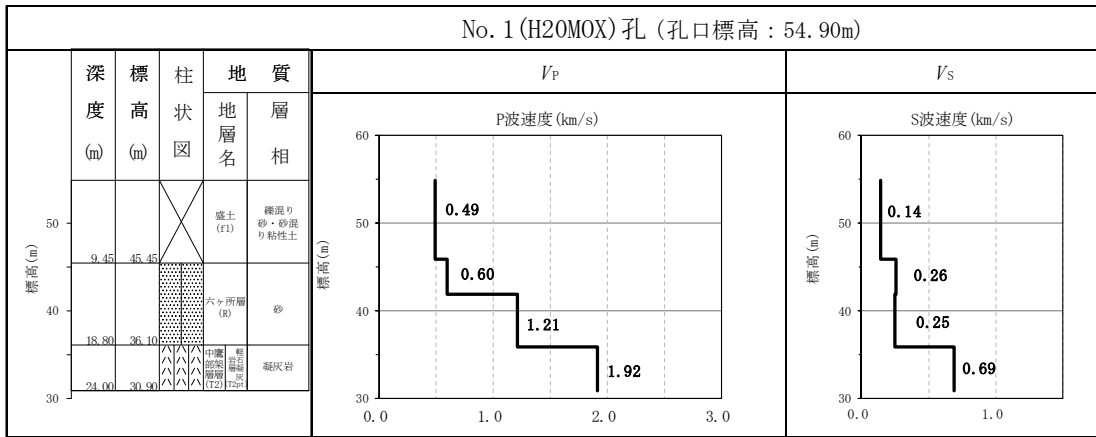
キープラン



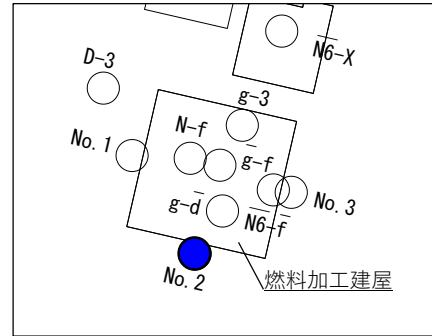
参考 3-1 図 燃料加工建屋の速度構造データ (5/8)



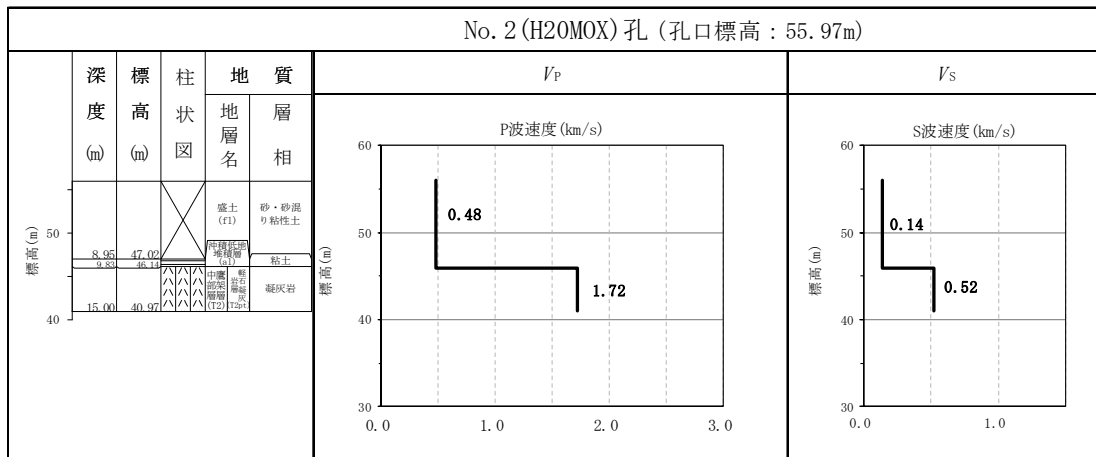
キープラン



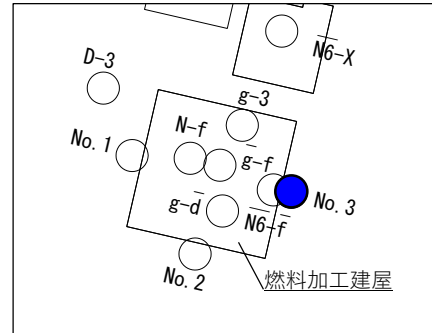
参考 3-1 図 燃料加工建屋の速度構造データ (6/8)



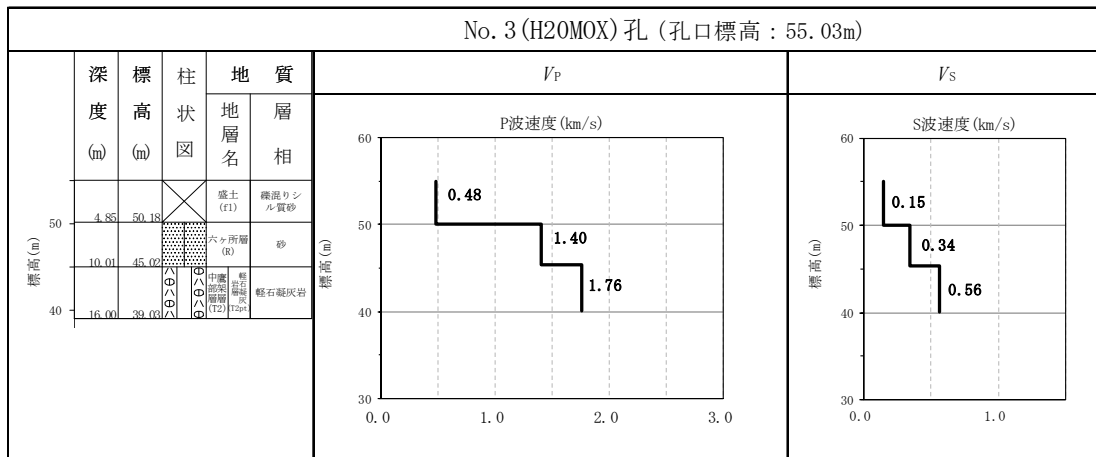
キープラン



参考 3-1 図 燃料加工建屋の速度構造データ (7/8)



キープラン



参考 3-1 図 燃料加工建屋の速度構造データ (8/8)

令和4年4月6日 R1

別紙 1-2

安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデルの設定

目 次

- 1. 概要 別紙 1-2-1
- 2. 物性値の設定 別紙 1-2-2
 - 2.1 PS 検層孔の選定及び速度構造の設定 別紙 1-2-2
 - 2.2 単位体積重量の設定 別紙 1-2-9
 - 2.3 ひずみ依存特性の設定 別紙 1-2-10
 - 2.4 ばらつき幅の設定 別紙 1-2-15
- 3. 安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデル 別紙 1-2-20
 - (参考) 安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデル作成に用いる速度構造データ集 別紙 1-2-22

1. 概要

安全冷却水 B 冷却塔（基礎，本体，飛来物防護ネットを含む）の入力地震動の算定に用いる地盤モデルは，安全冷却水 B 冷却塔の直下または近傍の PS 検層孔における速度構造データを用いて作成する。

2. 物性値の設定

2.1 PS 検層孔の選定及び速度構造の設定

安全冷却水 B 冷却塔は、地表に設置されている構築物であり、マンメイドロック（以下、「MMR」という。）を介して岩盤に設置されていることから、地盤モデルの物性値は支持地盤に対して設定する。

安全冷却水 B 冷却塔は直下において速度構造データが得られていないことから、近傍の PS 検層孔として制御建屋直下の PS 検層孔（L-4 孔）を選定した。第 2.1-1 図に安全冷却水 B 冷却塔周辺の PS 検層孔の位置図を示す。

PS 検層孔の選定にあたり、安全冷却水 B 冷却塔の地質調査結果（K-W 孔）と、安全冷却水 B 冷却塔近傍の PS 検層孔（C-4 孔、 \bar{K} -V 孔、L-4 孔）における地質構造を比較した。

安全冷却水 B 冷却塔直下の地質構造は、K-W 孔の地質柱状図から、MMR の下端から T. M. S. L. -25.57m まで鷹架層下部層の細粒砂岩及び薄層の粗粒砂岩で構成されており、T. M. S. L. -25.57m 以深は鷹架層下部層の泥岩で構成されていることを確認した。

C-4 孔については、第 2.1-2 図に示すとおり、鷹架層上部層が分布しており、f-2 断層を境に安全冷却水 B 冷却塔直下とは地質構造が異なることから、選定対象から除外した。

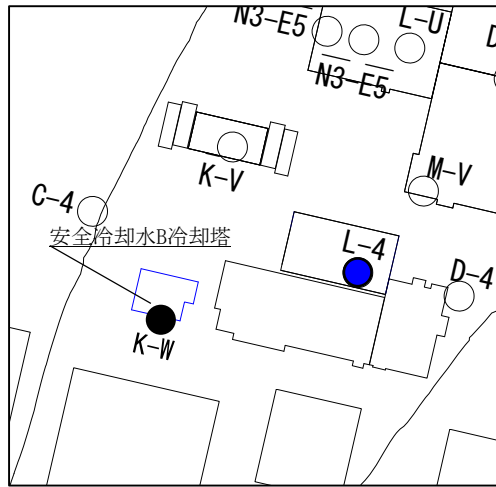
\bar{K} -V 孔及び L-4 孔については、第 2.1-2 図に示すとおり、鷹架層上面から T. M. S. L. -34m 程度まで鷹架層下部層の細粒砂岩及び薄層の粗粒砂岩で構成されており、T. M. S. L. -34m 以深は鷹架層下部層の泥岩で構成されている。なお、速度構造に着目すると、細粒砂岩と泥岩の境界レベルは、いずれの孔においても速度境界と対応しており、薄層の粗粒砂岩については、その分布深さと速度境界に対応は見られないことから、PS 検層孔の選定にあたっては、細粒砂岩と泥岩の分布状況に着目して行う。

K-W 孔の地質構造と \bar{K} -V 孔及び L-4 孔の地質構造を比較すると、細粒砂岩と泥岩について、いずれの孔においても概ね同様の分布となっていることから、 \bar{K} -V 孔及び L-4 孔のいずれを選定しても問題ないと考え、安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデルに考慮する速度構造データとしては、第 2.1-3 図に示す速度構造の比較結果のとおり、 \bar{K} -V 孔及び L-4 孔のうち、細粒砂岩中に速度境界が認められ、インピーダンス比が大きい L-4 孔を選定した。

地盤モデルの速度構造の設定にあたっては、第 2.1-4 図に示すとおり、L-4 孔における細粒砂岩中の速度境界については、K-W 孔と L-4 孔の細粒砂岩の上端レベルが概ね等しく、同様の上載圧が作用していると考えられ、細粒砂岩中の速度構造は K-W 孔と L-4 孔で同様の傾向を示すと判断し、L-4 孔と同じレベルに速度境界を設定した。また、L-4 孔においては、鷹架層下部層の細粒砂岩と泥岩の境界レベルと対応した速度境界が認められることから、K-W 孔の細粒砂岩と泥岩の境界レベルとの違いを踏まえ、K-W 孔における細粒砂岩と泥岩の境界レベルに合わせて速度境界レベルの補正を行った。

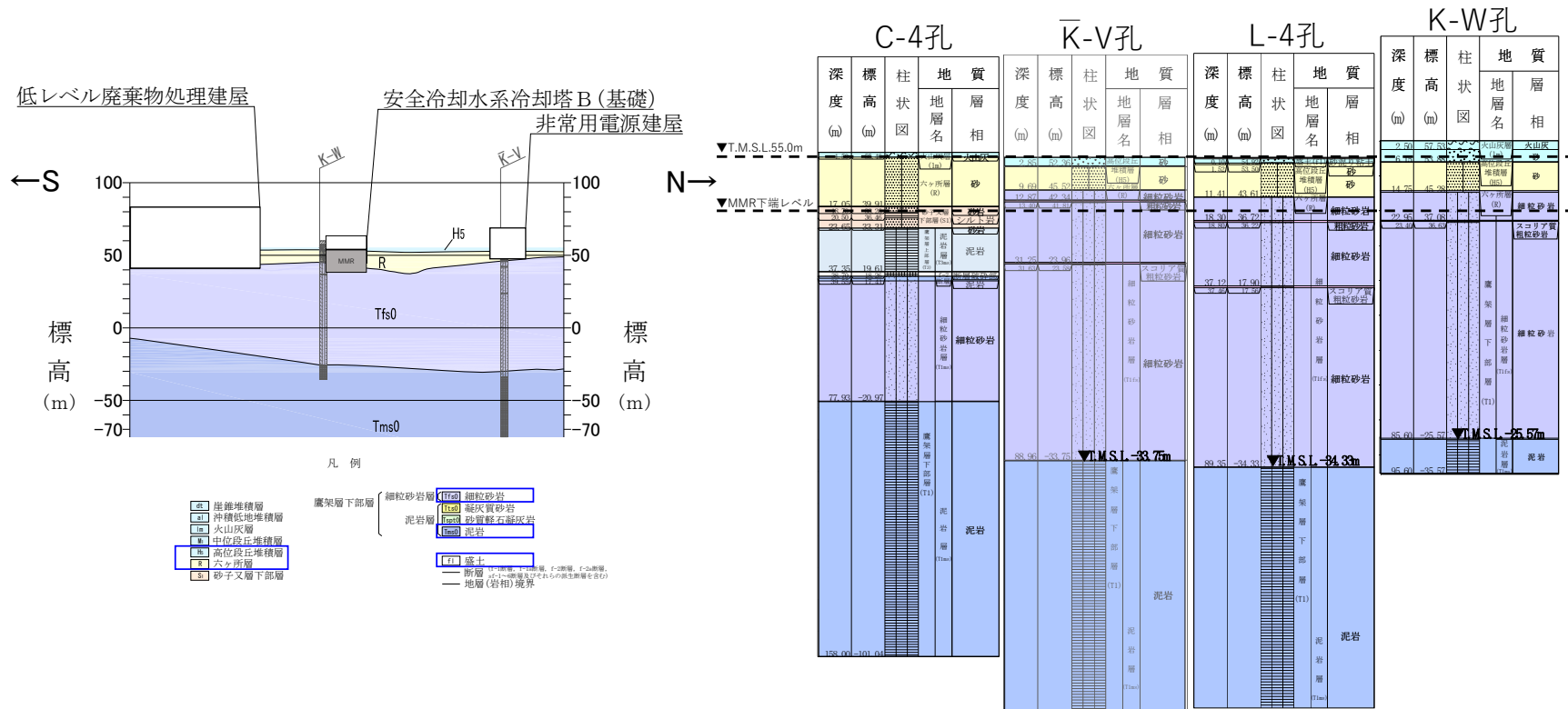
なお、安全冷却水 B 冷却塔直下の MMR 部分については、支持地盤相当の岩盤に支持されているとみなし、MMR 直下の支持地盤の物性値を設定する。第 2.1-2 図に示す K-W 孔の地質柱状図のとおり、MMR 直下には、主に鷹架層下部層の細粒砂岩が分布し、一部に粗粒砂岩が薄く分布している。MMR 部分に設定する岩種は、層の厚さとして細粒砂岩が支配的であること、また、第 2.1-4 図に示すとおり、粗粒砂岩の分布は、速度構造に影響を与えていないことから、細粒砂岩とする。

上記に基づき設定したS波速度及びP波速度を基本ケースとして設定する。
地盤モデルの設定に用いた速度データは「(参考) 安全冷却水B冷却塔の地盤モデル
作成に用いる速度構造データ集」に示す。

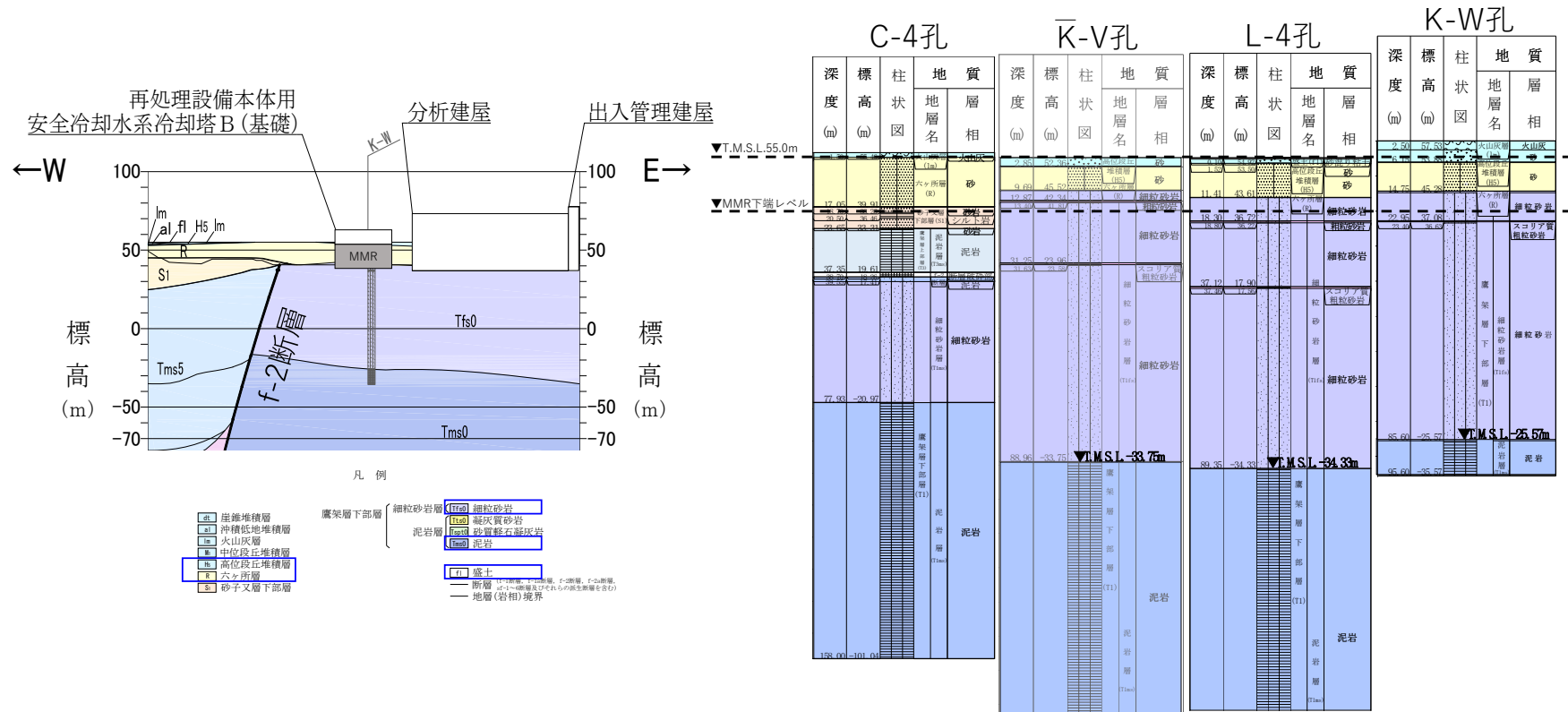


●：地盤モデルの作成に用いるPS検層孔

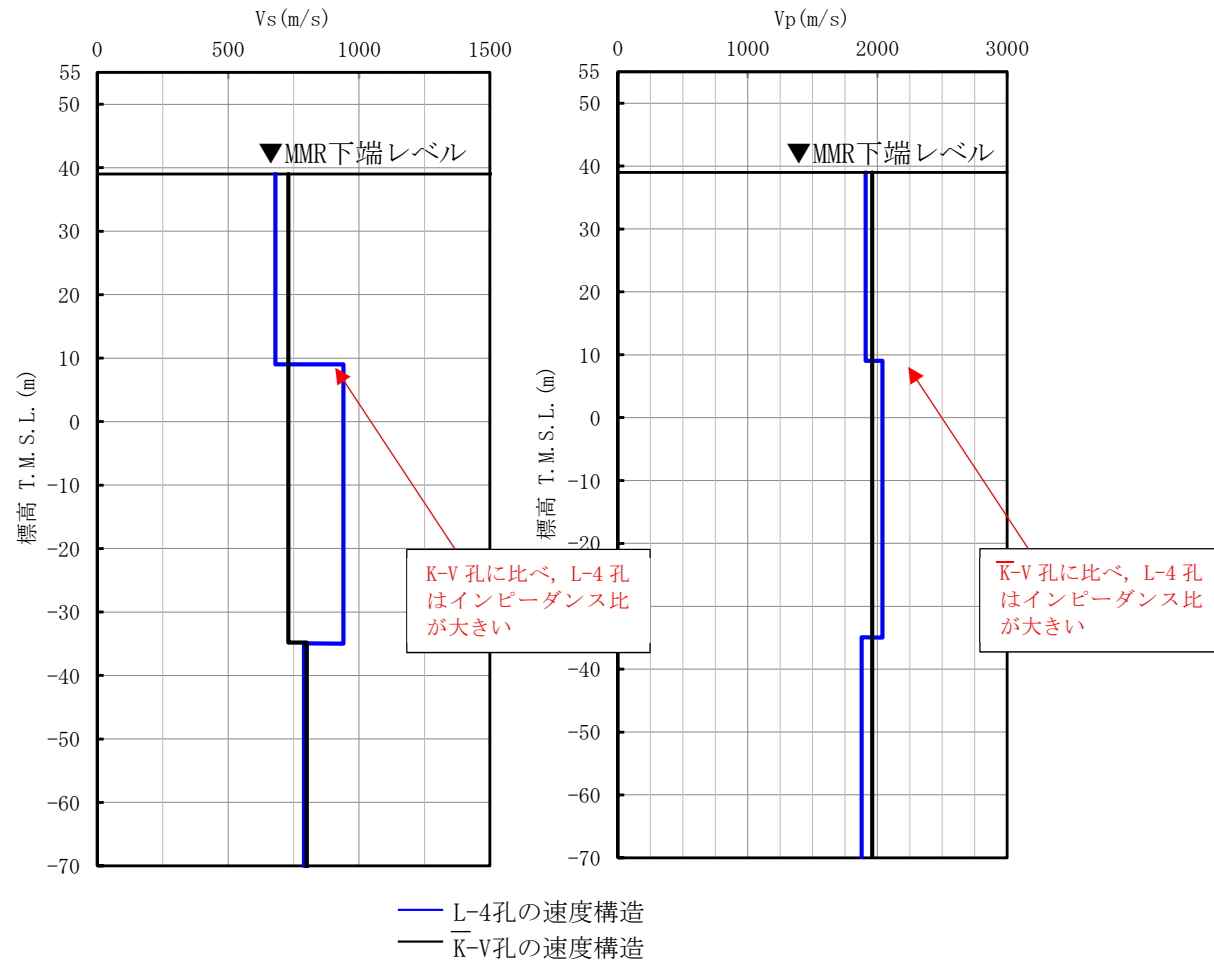
第 2. 1-1 図 安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデル作成に用いる
PS 検層孔位置図



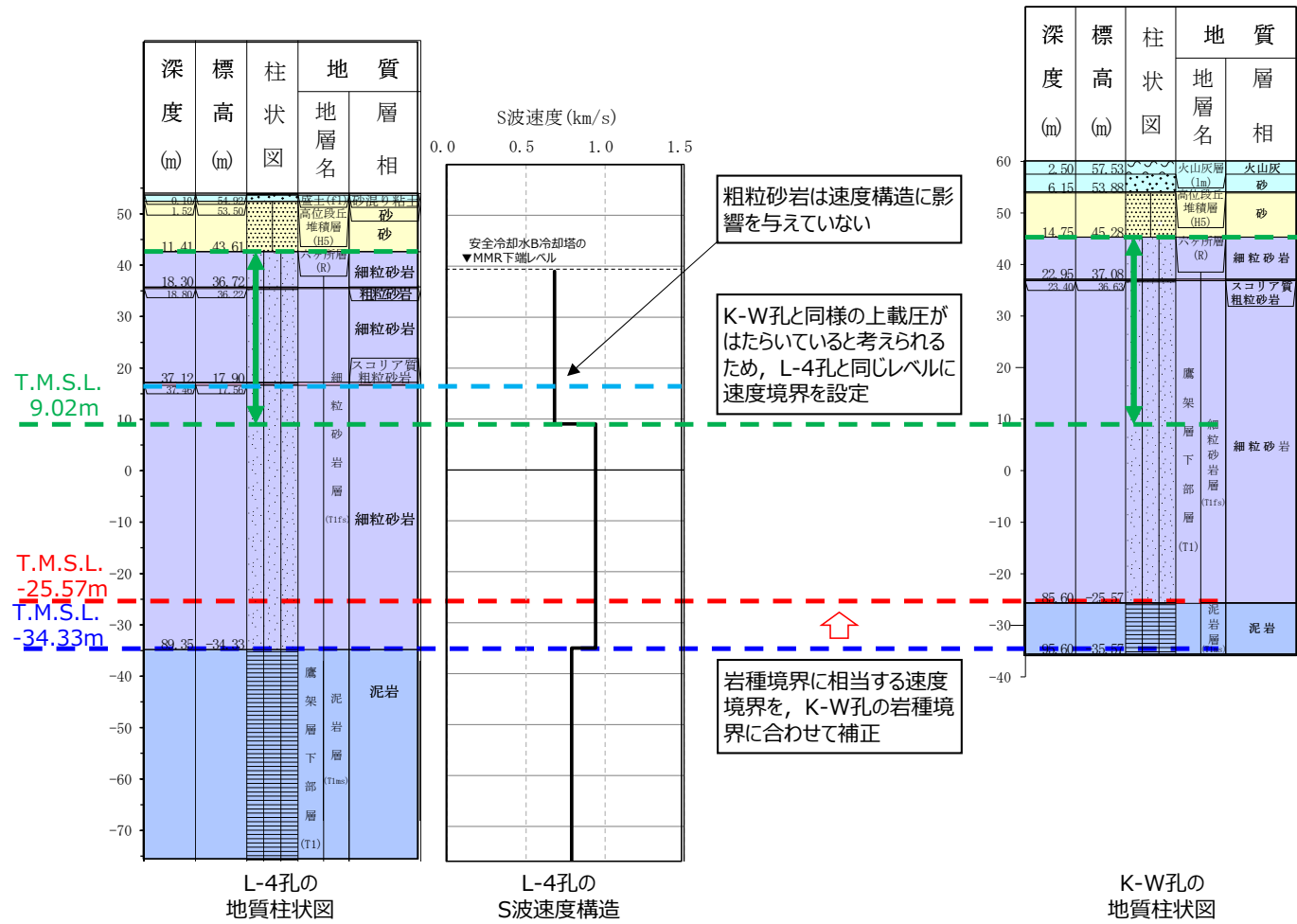
第 2.1-2 図 (1) 安全冷却水 B 冷却塔の地質断面図と近傍の PS 検層データの比較 (NS 方向)



第 2.1-2 図 (2) 安全冷却水 B 冷却塔の地質断面図と直下 PS 検層データの比較 (EW 方向)



第 2. 1-3 図 L-4 孔とK-V 孔の速度構造の比較



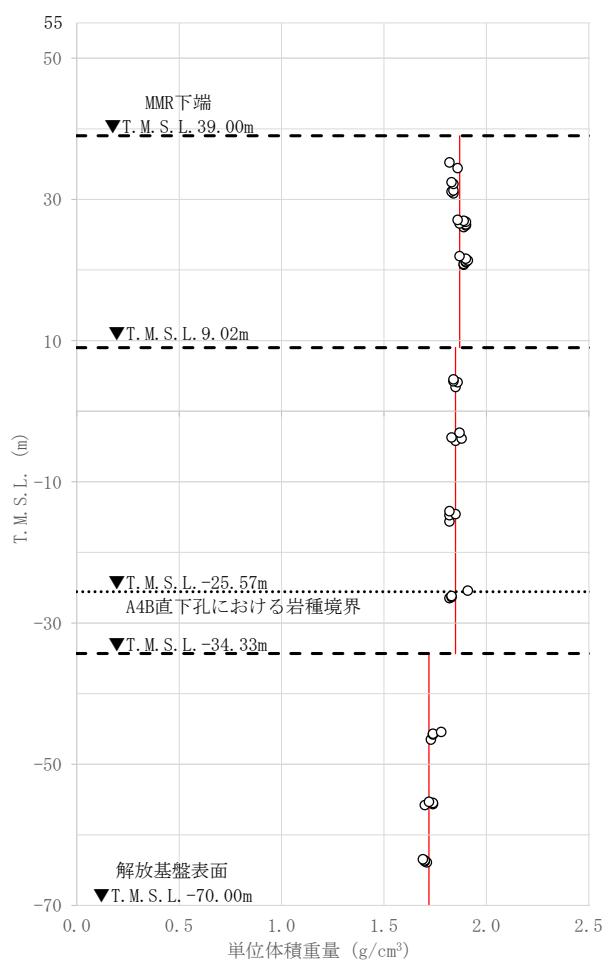
第 2.1-4 図 L-4 孔及び K-W 孔の地質構造及び速度構造の対応

2.2 単位体積重量の設定

単位体積重量は、前項において速度構造の参照に用いた PS 検層孔において得られている単位体積重量データに基づき設定する。

地盤モデルに設定する値としては、第 2.2-1 図に示すとおり、単位体積重量データの深さ方向の分布傾向から、その変化点が概ね速度境界と対応しており、同一速度層内で深度依存性が見られないことから、同一速度層内において一定の値を用いることとし、同一速度層内のデータの平均値として設定する。

なお、安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデルについては、第 2.1-4 図に示したとおり、T. M. S. L. -34.33m の層境界を、近傍孔の岩種境界に合わせて T. M. S. L. -25.57m に速度境界を補正していることから、単位体積重量についても同様に境界深さを補正する。

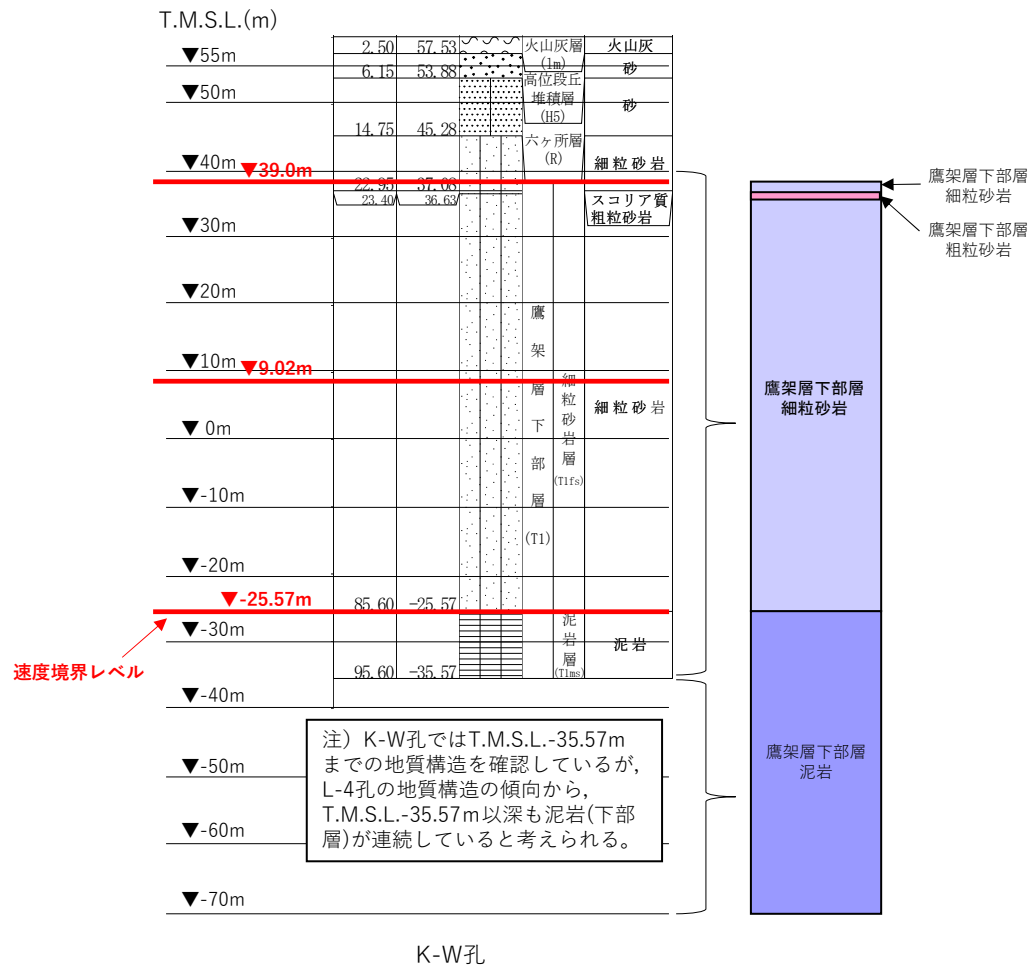


注記 : 黒点線は速度境界レベルを示す。

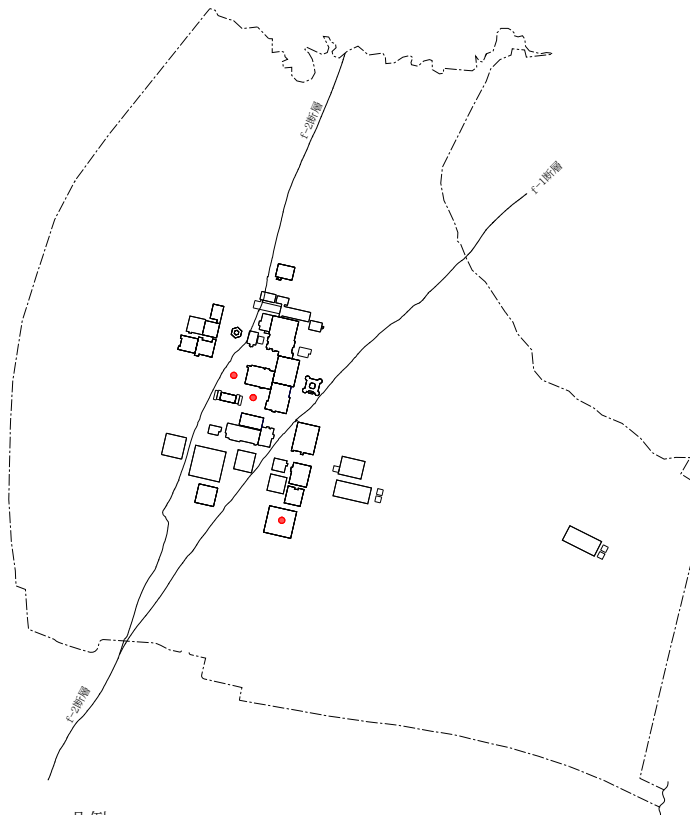
第 2.2-1 図 単位体積重量の設定結果

2.3 ひずみ依存特性の設定

ひずみ依存特性については、岩種ごとに剛性低下率及び減衰定数の傾向が異なるため、安全冷却水B冷却塔直下（K-W孔）における岩種と対応する、各岩種の繰返し三軸圧縮試験結果に基づき設定する。第2.3-1図に直下孔の地質柱状図における岩種を示す。第2.3-2図～第2.3-4図に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を示す。



第 2.3-1 図 地質柱状図

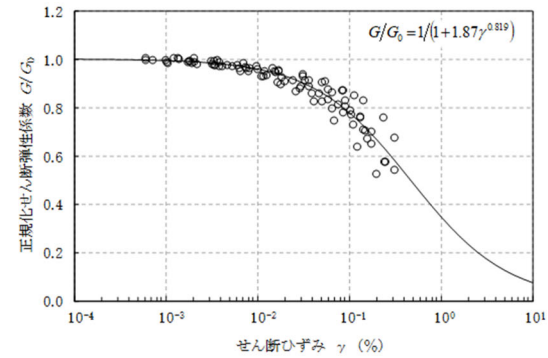


凡例

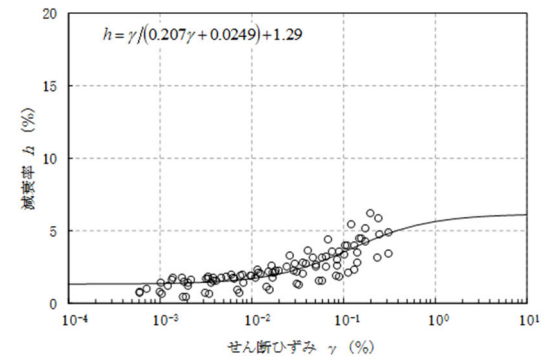
● : 支持地盤のひずみ依存特性の設定に用いたボーリング調査孔

再処理施設の事業変更許可申請書 第 4.5-13 図より引用

注記 : 細粒砂岩は、主に敷地内の中央地盤、東側地盤に分布することから、中央地盤、東側地盤で試験データを取得した。

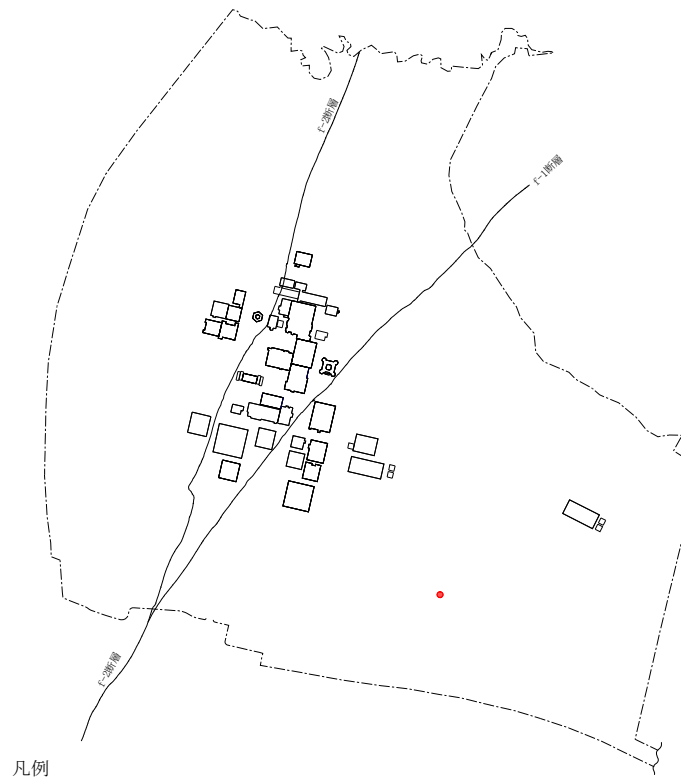


(a) 動的変形特性



(b) 減衰特性

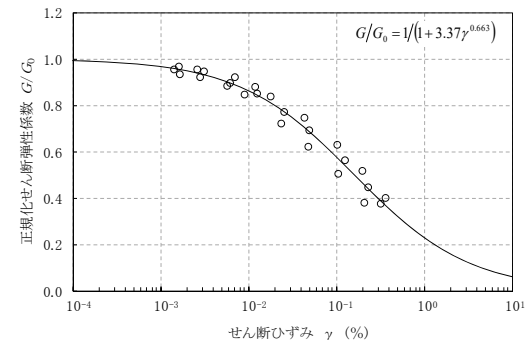
第 2.3-2 図 細粒砂岩のひずみ依存特性



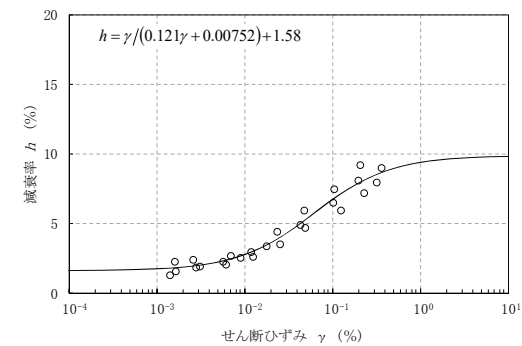
凡例

● : 支持地盤のひずみ依存特性の設定に用いたボーリング調査孔

注記 : 粗粒砂岩は、主に敷地内の中央地盤、東側地盤に分布し、中央地盤では主に鷹架層下部層細粒砂岩層細粒砂岩中に薄層として分布し、東側地盤では鷹架層中部層粗粒砂岩層中に分布している。中央地盤に分布する粗粒砂岩は層厚が薄く室内試験が実施不可のため、東側地盤で試験データを取得した。



(a) 動的変形特性



(b) 減衰特性

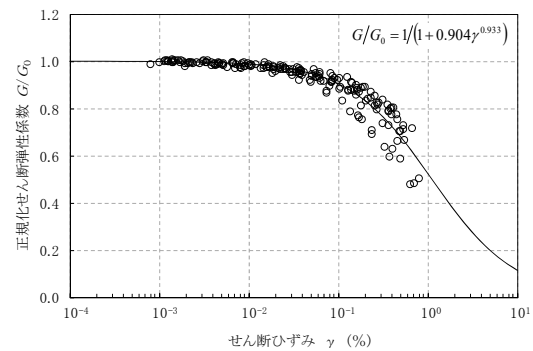
再処理施設の事業変更許可申請書 第 4.5-13 図より引用

第 2.3-3 図 粗粒砂岩のひずみ依存特性

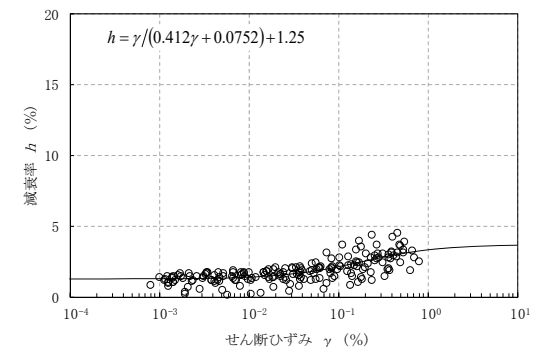


凡例

● : 支持地盤のひずみ依存特性の設定に用いたボーリング調査孔



(a) 動的変形特性



(b) 減衰特性

再処理施設の事業変更許可申請書 第 4.5-13 図より引用

注記 : 泥岩 (下部層) は、主に敷地内の中央地盤に分布することから、中央地盤で試験データを取得した。

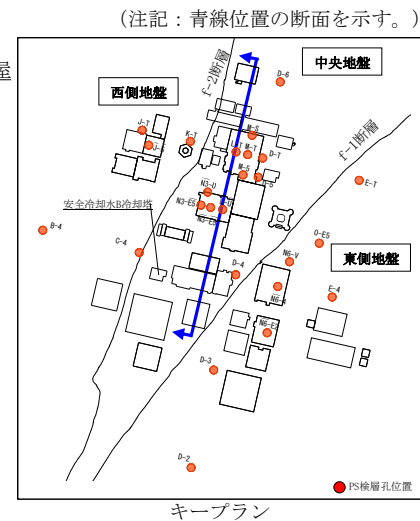
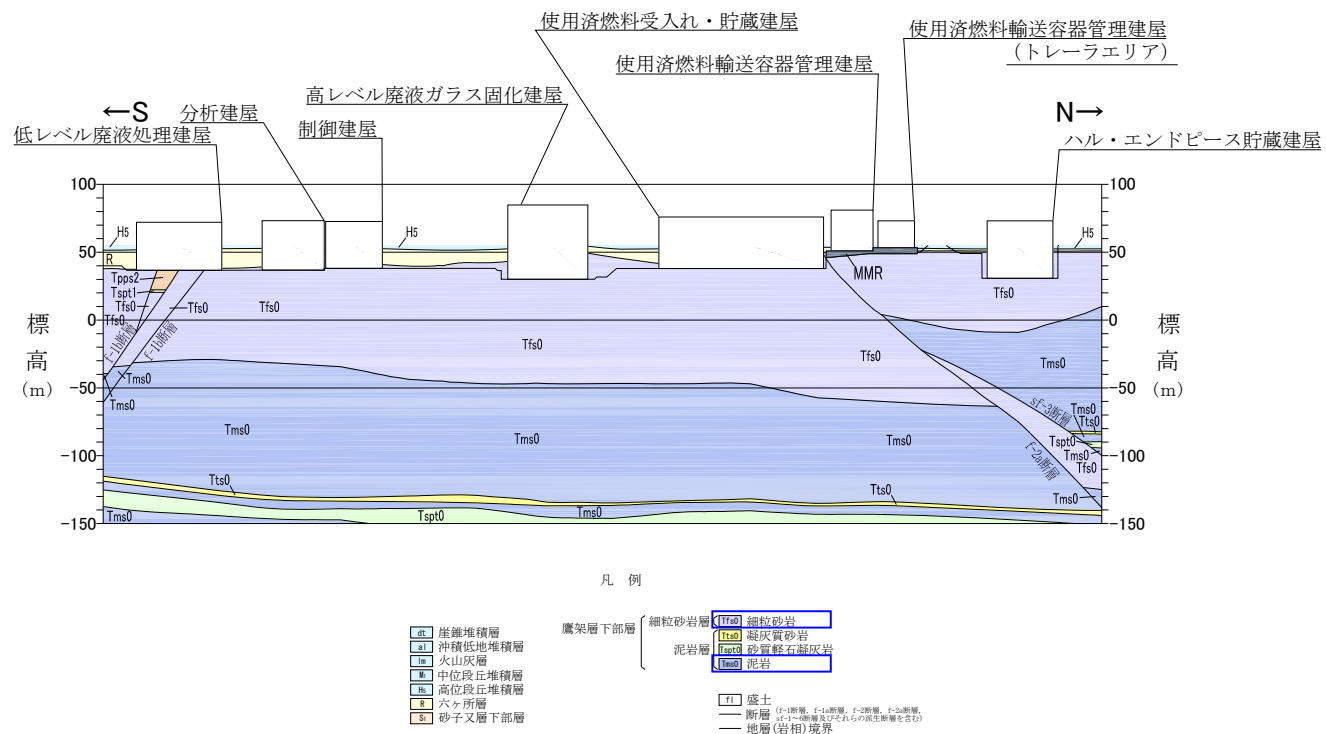
第 2.3-4 図 泥岩 (下部層) のひずみ依存特性

2.4 ばらつき幅の設定

ばらつき幅の設定において、安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデルは、近傍の単一孔の PS 検層孔に基づき作成しているため、周辺の地盤状況を参照してばらつき幅の設定を行った。

安全冷却水 B 冷却塔は、f-1 断層と f-2 断層に挟まれた中央地盤エリアに設置しており、直下には、鷹架層下部層の細粒砂岩と泥岩が主に分布している。

第 2.4-1 図に示すとおり、エリア全体として、支持地盤の主要な構成岩種は安全冷却水 B 冷却塔直下と同様であることから、ばらつき幅の設定にあたっては、第 2.4-1 表に示す中央地盤のエリア内において複数実施されている支持地盤の PS 検層データに基づく速度構造のばらつき幅に基づき、平均値 $\pm 1 \sigma$ に相当する変動係数を深さごとに設定した。第 2.4-2 表に地盤モデルの平均値に対する標準偏差及び変動係数を示す。



第 2.4-1 図 (2) 中央地盤エリアの地質断面図

第 2.4-1 表 中央地盤におけるばらつき幅

T. M. S. L. (m)	S波速度			P波速度			
	平均値	標準偏差	変動係数※	平均値	標準偏差	変動係数※	
	(m/s)	(m/s)	(%)	(m/s)	(m/s)	(%)	
▼地表面	55.0						
	42.0	660	140	22	1840	280	16
	22.0	760	90	12	1910	140	8
	4.0	800	40	5	1950	40	3
		820	50	7	1950	40	3
▼解放基盤表面	-70.0	820	50	7	1950	40	3



第 2.4-2 表 平均値に対する標準偏差及び変動係数

T. M. S. L. (m)	岩種	S波速度			P波速度		
		平均値	標準偏差	変動係数	平均値	標準偏差	変動係数
		(m/s)	(m/s)	(%)	(m/s)	(m/s)	(%)
▼MMR下端	39.00						
	37.08	680	80	12	1910	150	8
	36.63						
	9.02	940	70	7	2040	60	3
	-25.57	790	60	7	1880	60	3
▼解放基盤表面	-70.00						
		790	60	7	1880	60	3

3. 安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデル

安全冷却水 B 冷却塔の入力地震動の算定に用いる地盤モデルを第 3. -1 表～第 3. -3 表に示す。

第 3. -1 表 安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデル（基本ケース）

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 $G/G_0-\gamma$	減衰定数 $h-\gamma$
▽基礎底面						
53.80						
▽MMR下端	MMR	*1	*1	*1		*1
39.00						
37.08	細粒砂岩	18.3	680	1910		*2
36.63	粗粒砂岩					*3
9.02	細粒砂岩					*2
-25.57		18.1	940	2040		
▽解放基盤表面	泥岩（下部層）	16.9	790	1880		*4
-70.00	泥岩（下部層）	16.9	790	1880		—

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：第 2.3-2 図に示す細粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。

*3：第 2.3-3 図に示す粗粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。

*4：第 2.3-4 図に示す泥岩（下部層）のひずみ依存特性を設定する。

第 3.-2 表 安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデル (+1σ)

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 $G/G_0-\gamma$	減衰定数 $h-\gamma$
▽基礎底面						
53.80						
▽MMR下端	MMR	*1	*1	*1		*1
39.00						
	細粒砂岩	18.3	760	2060		*2
37.08	粗粒砂岩					*3
36.63						
	細粒砂岩	18.1	1010	2100		*2
9.02						
-25.57	泥岩 (下部層)	16.9	850	1940		*4
▽解放基盤表面						
-70.00	泥岩 (下部層)	16.9	850	1940		—

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: 第 2.3-2 図に示す細粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。

*3: 第 2.3-3 図に示す粗粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。

*4: 第 2.3-4 図に示す泥岩 (下部層) のひずみ依存特性を設定する。

第 3.-3 表 安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデル (-1σ)

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 $G/G_0-\gamma$	減衰定数 $h-\gamma$
▽基礎底面						
53.80						
▽MMR下端	MMR	*1	*1	*1		*1
39.00						
	細粒砂岩	18.3	600	1760		*2
37.08	粗粒砂岩					*3
36.63						
	細粒砂岩	18.1	870	1980		*2
9.02						
-25.57	泥岩 (下部層)	16.9	730	1820		*4
▽解放基盤表面						
-70.00	泥岩 (下部層)	16.9	730	1820		—

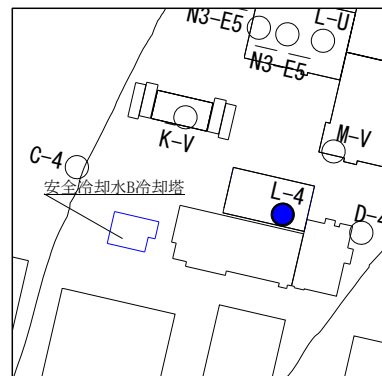
注記 *1: 支持地盤相当の岩盤に支持されているとみなし, MMR 直下の支持地盤の物性値を設定する。

*2: 第 2.3-2 図に示す細粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。

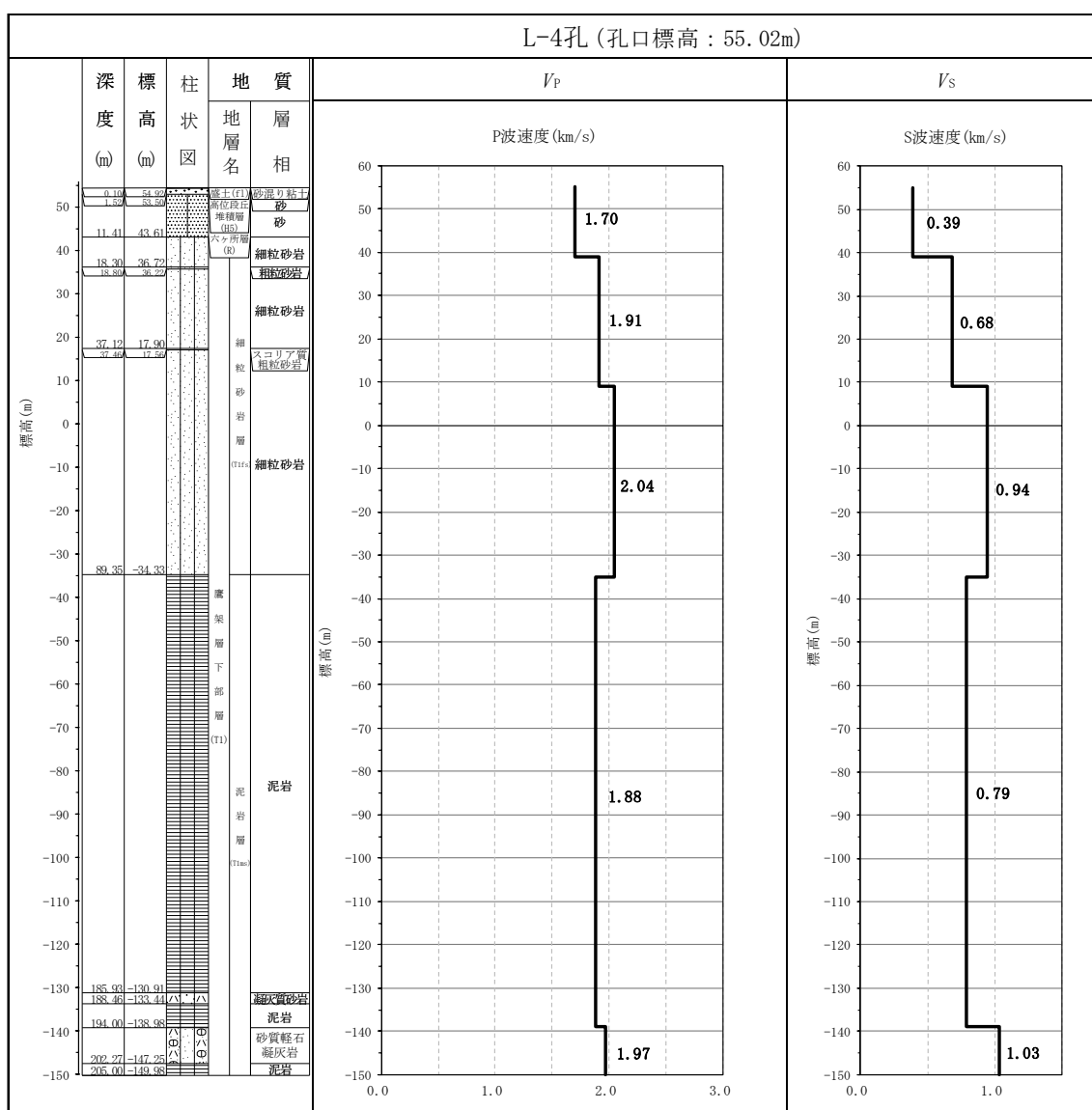
*3: 第 2.3-3 図に示す粗粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。

*4: 第 2.3-4 図に示す泥岩 (下部層) のひずみ依存特性を設定する。

(参考) 安全冷却水B冷却塔の地盤モデル作成に用いる速度構造データ集



キープラン



参考図 地盤モデル作成に用いる速度構造データ