

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震建物 08 R11
提出年月日	令和 4 年 1 月 19 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 R10 から R11 への変更箇所を示す。
2. 本資料（R11）は 11 月 5 日に提示した「地盤の支持性能に係る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（R10）」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」における逐次非線形解析についての指摘を踏まえ、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
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	
別紙 1-2 安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデルの設定	

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、以下に示す添付書類に示す建物・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 安全冷却水 B 冷却塔の耐震性に関する計算書」のうち「a. 安全冷却水 B 冷却塔の地震応答計算書」
- ・再処理施設 添付書類「IV-2-1-4-2-1 安全冷却水 B 冷却塔 飛来物防護ネットの計算書」
- ・MOX 燃料加工施設 添付書類「III-3-1-1-1 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-別添-3-1-1 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」

※：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

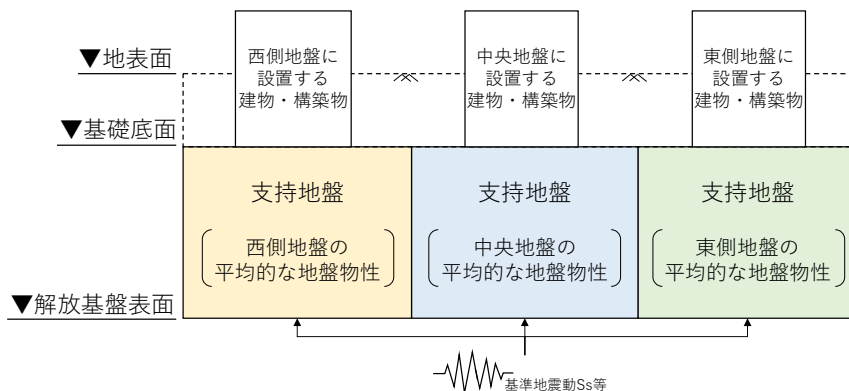
既設工認における耐震設計では、建物・構築物の基礎底面以深の支持地盤の地盤物性値に基づき、線形の地盤モデルを設定していた。ここで、支持岩盤の地盤物性値については、敷地内を中央地盤、西側地盤、東側地盤の3つのエリアに区分しており、エリア単位の平均的な物性値を設定したエリア毎の共通モデルを使用していた。

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。

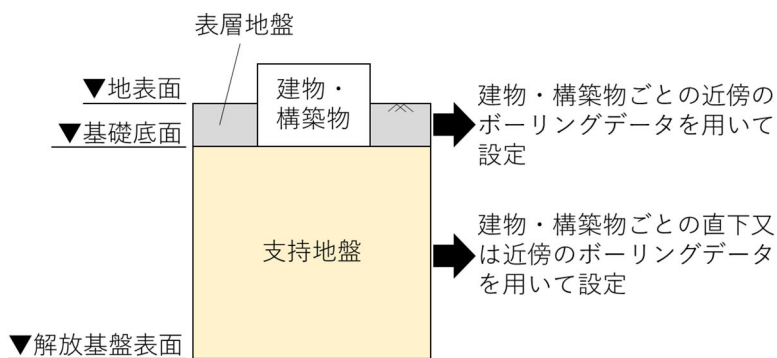
このことから、今回設工認における入力地震動の算定にあたっては、各建物・構築物に対して「地盤の実態を考慮した地盤モデル」を設定した上で、入力地震動の算定に用いる地盤モデルを決定する。

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

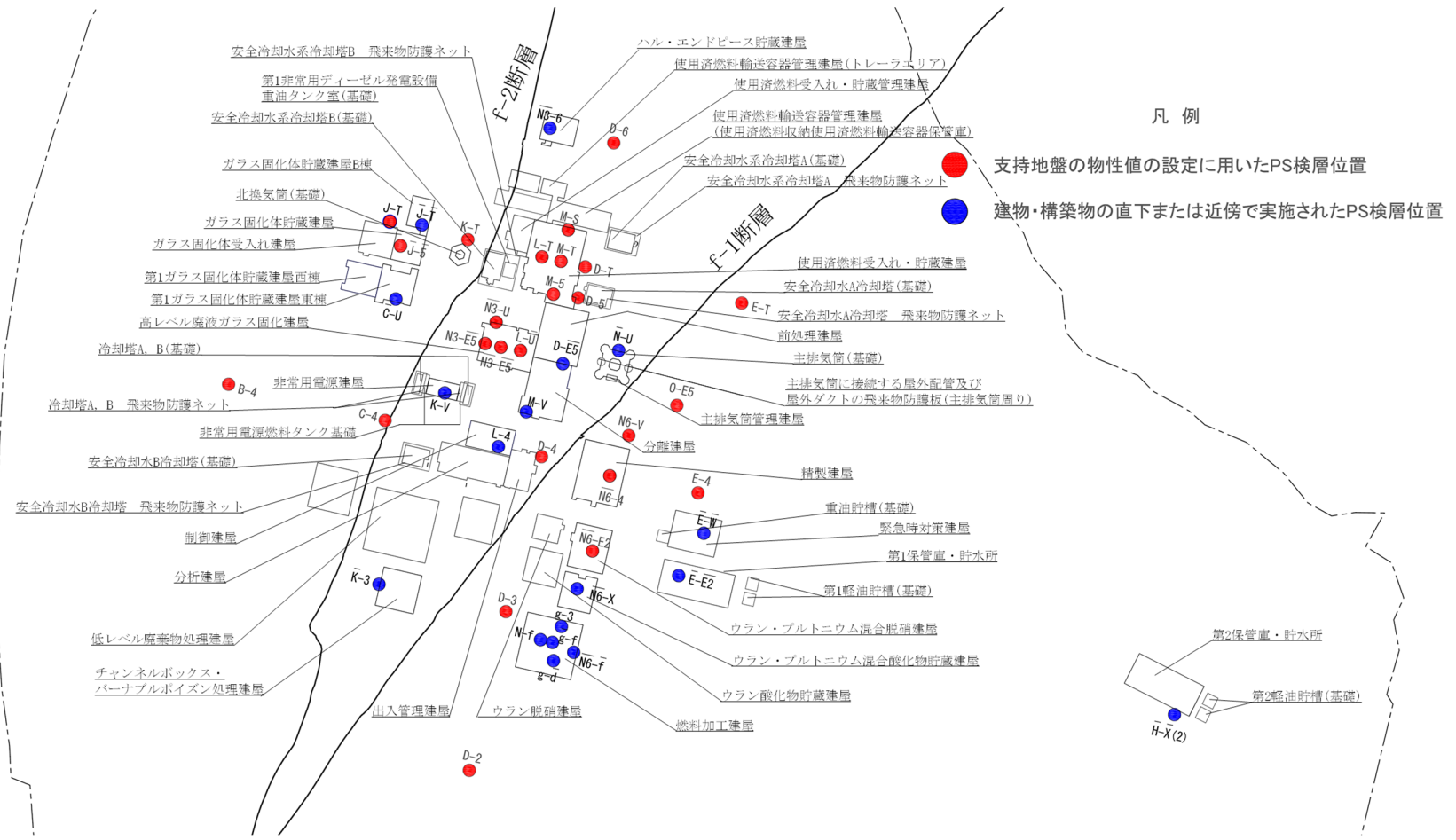
分類	建物・構築物名称		(参考) 設置エリア
S クラス施設または S クラス施設の間接支持構造物	安全冷却水 B 冷却塔 (基礎)	A4(B) 基礎	中央地盤
	燃料加工建屋	PA	東側地盤
上位クラス施設等への波及的影響を考慮する施設	安全冷却水 B 冷却塔 飛来物防護ネット		A4(B) 竜巻 中央地盤

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	
Sクラス施設 またはSクラス 施設の間接 支持構造物	重油貯槽 (基礎)	G17 基礎	西側地盤
	ガラス固化体貯蔵建屋	EB	
	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		



注) 本図では、支持地盤の速度構造の設定に用いる PS 検層孔を示す。表層地盤の設定に用いる PS 検層孔については、別紙に示す各建物・構築物の地盤モデルの設定結果に示す。

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。

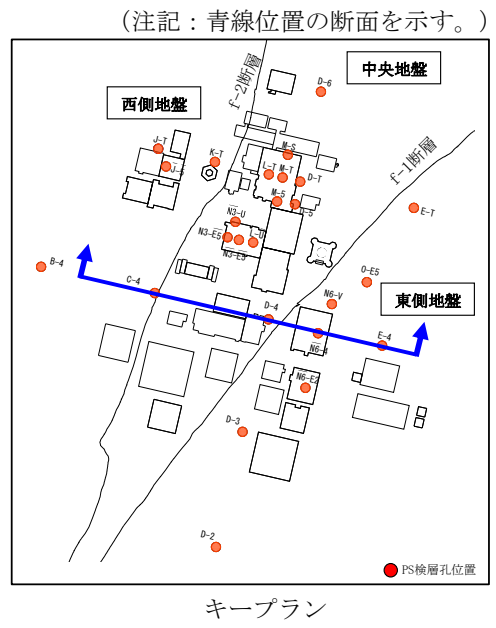
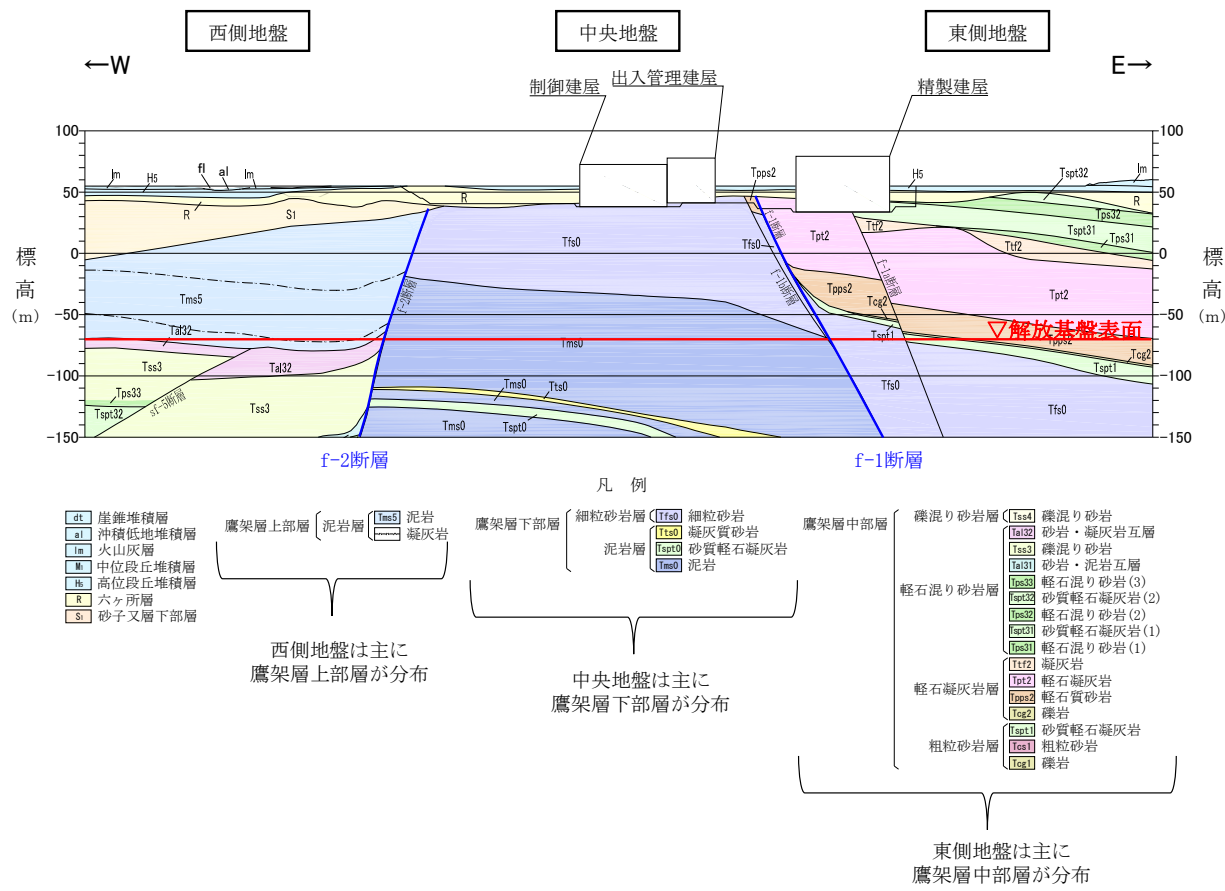
3.3 ばらつきの設定方法

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、第1回申請対象施設である燃料加工建屋及び安全冷却水B冷却塔

については、申請時点において、既認可設工認において設定していた地盤モデルを用いて入力地震動を算定し、耐震評価を実施していたことから、「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、設工認申請書における以下の添付書類に反映し、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 安全冷却水 B 冷却塔の耐震性に関する計算書」のうち「a. 安全冷却水 B 冷却塔の地震応答計算書」
- ・再処理施設 添付書類「IV-2-1-4-2-1 安全冷却水 B 冷却塔 飛来物防護ネットの計算書」
- ・MOX 燃料加工施設 添付書類「III-3-1-1-1 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-別添-3-1-1 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「地盤の実態を考慮可能なモデル」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

別紙リスト 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	2022/1/19	0	-
別紙 1-2	安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデルの設定	2022/1/19	0	-

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1月19日 RO

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 ひずみ依存特性の設定	別紙 1-1-5
2.1.3 ばらつき幅の設定	別紙 1-1-9
2.2 表層地盤	別紙 1-1-10
2.2.1 PS 検層孔の選定及び速度構造の設定	別紙 1-1-10
2.2.2 ひずみ依存特性の設定	別紙 1-1-11
2.2.3 ばらつき幅の設定	別紙 1-1-14
3. 地盤モデルの層境界の設定	別紙 1-1-15
4. 燃料加工建屋の地盤モデル	別紙 1-1-17
5. 入力地震動の算定方法	別紙 1-1-19
5.1 概要	別紙 1-1-19
5.2 入力地震動の算定方法に係る確認	別紙 1-1-19
5.3 逐次非線形解析の手法	別紙 1-1-23
5.4 確認結果	別紙 1-1-26
5.5 考察	別紙 1-1-39
5.6 まとめ	別紙 1-1-49
参考 1 逐次非線形解析結果の建屋応答への影響	別紙 1-1-50
参考 2 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 1-1-83

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

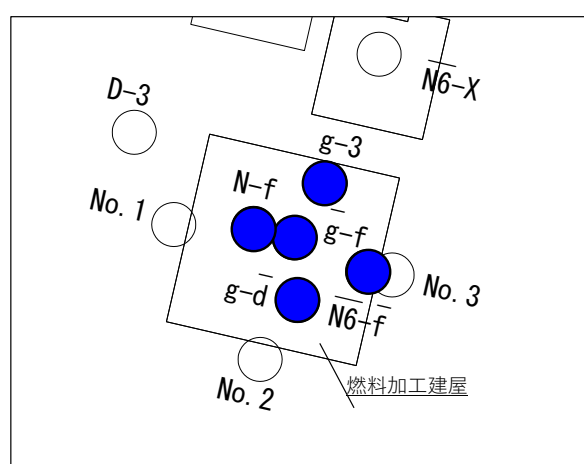
2.1.1 PS 検層孔の選定及び速度構造の設定

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.-70m) 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, \bar{g} -f 孔, \bar{g} - \bar{d} 孔, $\bar{N}6$ - \bar{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.9.0m 及び T.M.S.L.-28.0m 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。

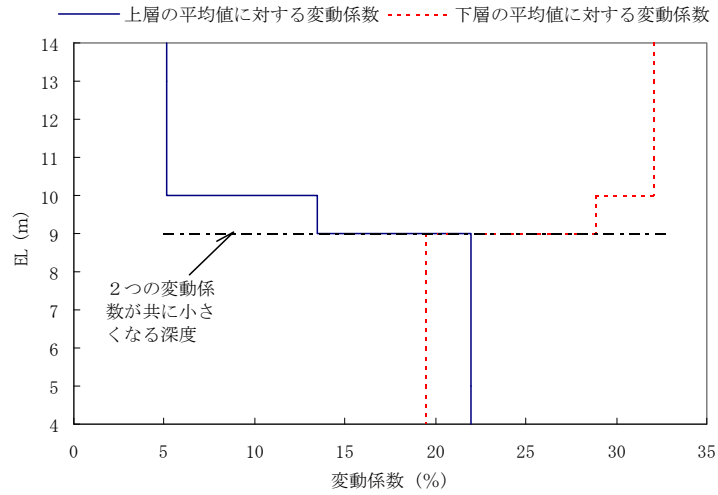
また、第 2.1.1-4 図に示す PS 検層孔の地質柱状図のとおり、支持地盤である鷹架層の上面レベルは、直下 PS 検層データそれぞれで大きく異なることから、鷹架層上面レベルの平均高さを算出し、T.M.S.L.41.0m を設定した。

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。

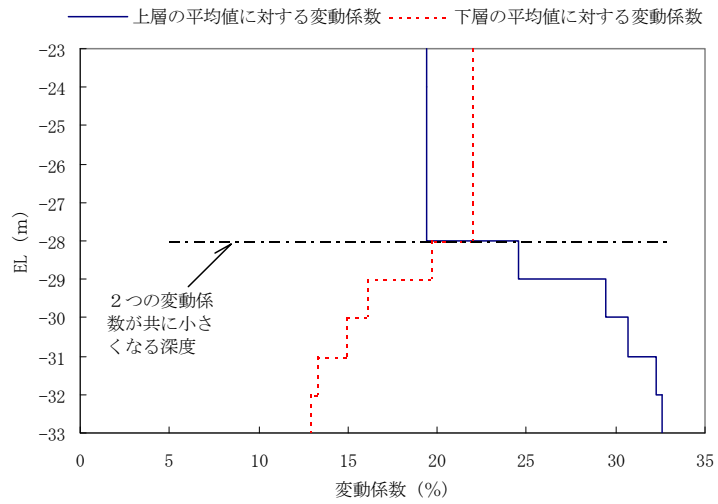


● : 地盤モデル (支持地盤) の作成に用いる PS 検層孔

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)

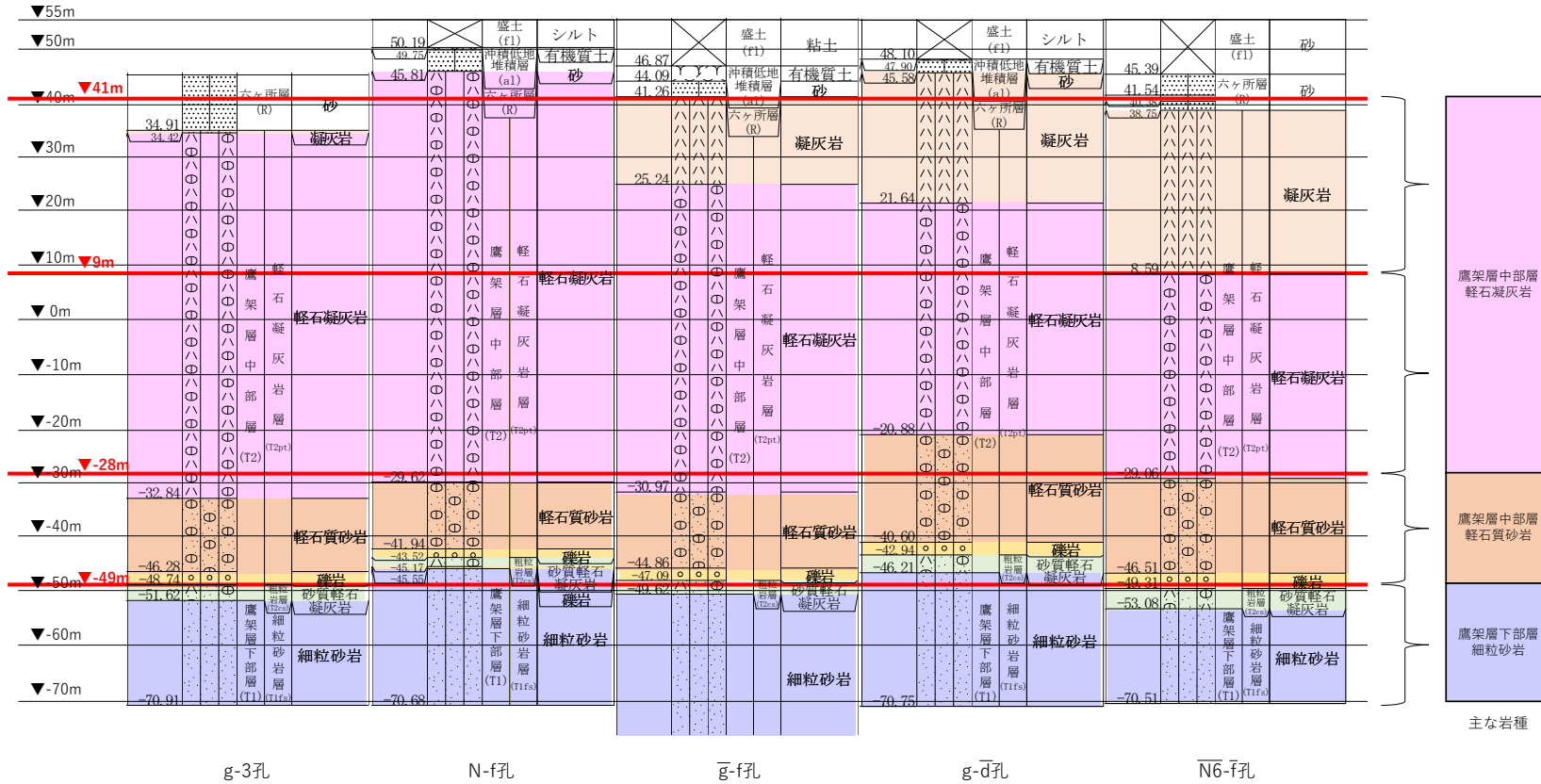


第 2.1.1-2 図 S 波速度の変動係数の分布 (T. M. S. L. 9.0m 付近)



第 2.1.1-3 図 S 波速度の変動係数の分布 (T. M. S. L. -28.0m 付近)

T.M.S.L.(m)



支持地盤の最上面レベル = 34.91m + 45.81m + 41.26m + 45.58m + 38.75m = 41.262 ≒ 41.0m

細粒砂岩の上面レベル平均高さ = (-51.52m) + (-45.55m) + (-49.62m) + (-46.21m) + (-53.08m) = -49.196m ≒ -49.0m

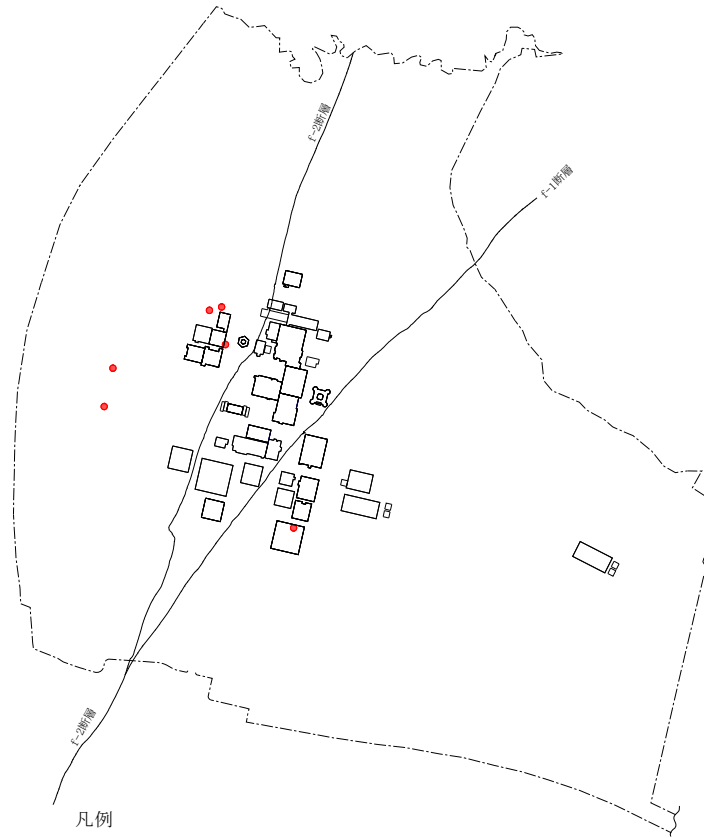
第 2. 1. 1-4 図 PS 検層孔の地質柱状図

別紙 1-1-4

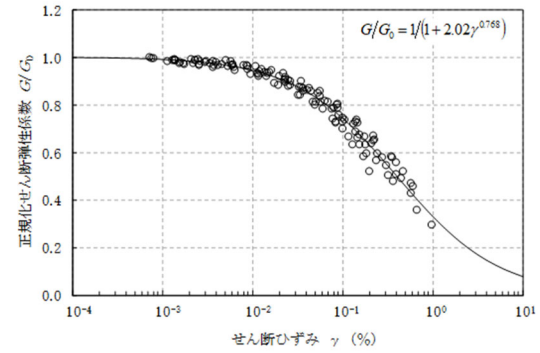
2.1.2 ひずみ依存特性の設定

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。

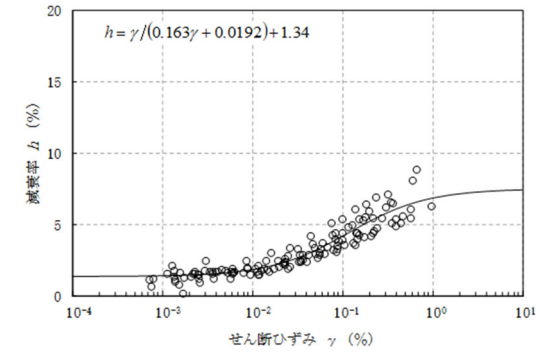
第 2.1.1-4 図から、T.M.S.L. -28m の速度境界において鷹架層中部層の軽石凝灰岩と軽石質砂岩の境界レベルと対応することが認められる。また、T.M.S.L. -28m から T.M.S.L. -70m の速度境界間では、鷹架層中部層から鷹架層下部層への切り替わりが見られることから、T.M.S.L. -49m にひずみ依存特性の境界を設定した。第 2.1.2-1 図～第 2.1.2-3 図に支持地盤の各岩種に対する繰返し三軸圧縮試験結果に基づくひずみ依存特性を示す。



●: 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



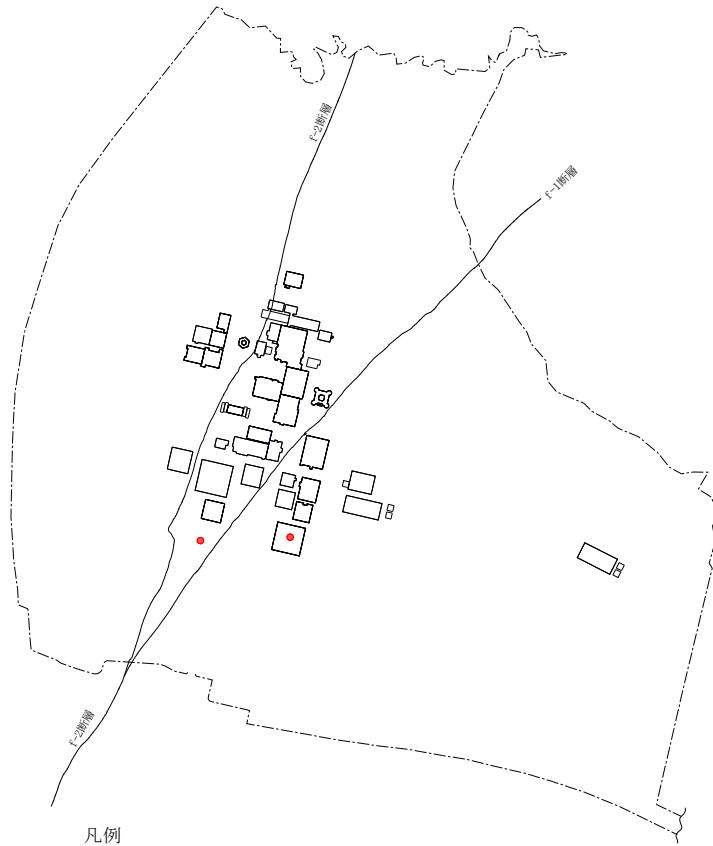
(b) 減衰特性

再処理施設の事業変更許可申請書 第4.5-13図より引用

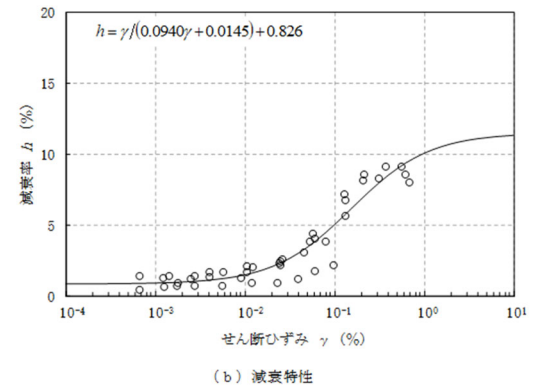
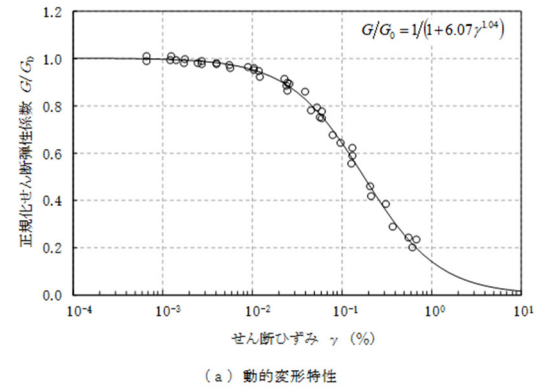
※軽石凝灰岩は、主に敷地内の東側地盤、西側地盤に分布することから、東側地盤、西側地盤で試験データを取得した。

第2.1.2-1図 軽石凝灰岩のひずみ依存特性

別紙 1-1-6



● : 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

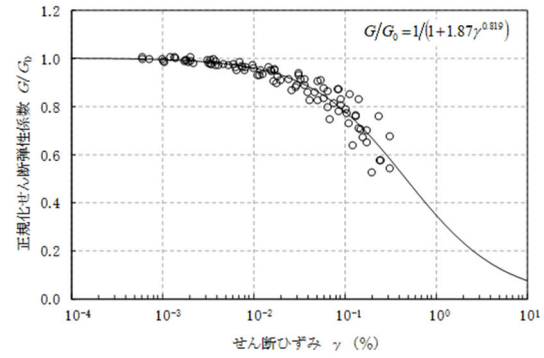


※軽石質砂岩は、主に敷地内の中央地盤、東側地盤に分布することから、中央地盤、東側地盤で試験データを取得した。

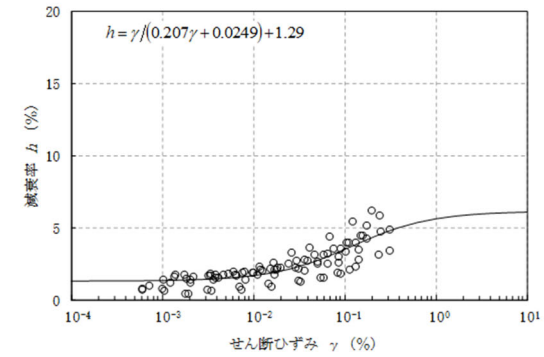
第 2.1.2-2 図 軽石質砂岩のひずみ依存特性



●：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



(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

※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。

第2.1.2-3図 細粒砂岩のひずみ依存特性

2.1.3 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2.1.3-1表に平均値に対する標準偏差及び変動係数を示す。

第2.1.3-1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
▼解放基盤表面 -70.0	細粒砂岩						
	細粒砂岩	1090	90	8	2260	80	4

*：解放基盤表面（T. M. S. L. -70m）以深については、T. M. S. L. -150m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. -70m）直上の設定値を設定した。

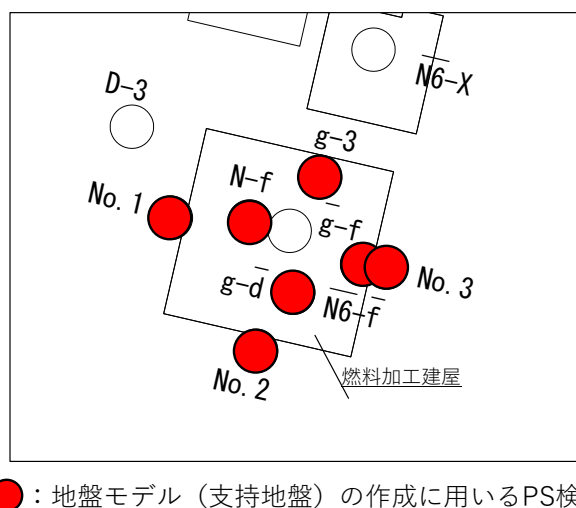
2.2 表層地盤

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. 46.0m 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。

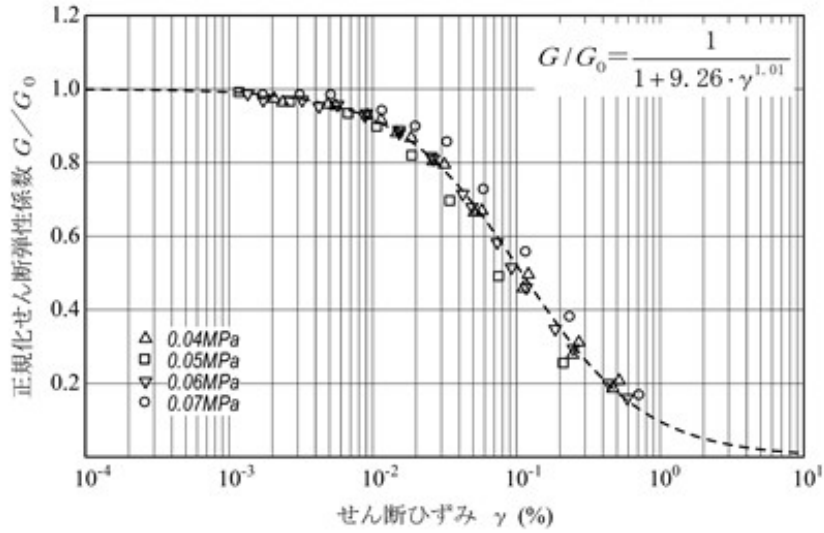


第 3.1-1 図 燃料加工建屋の地盤モデル作成に用いる PS 検層孔位置図
(表層地盤)

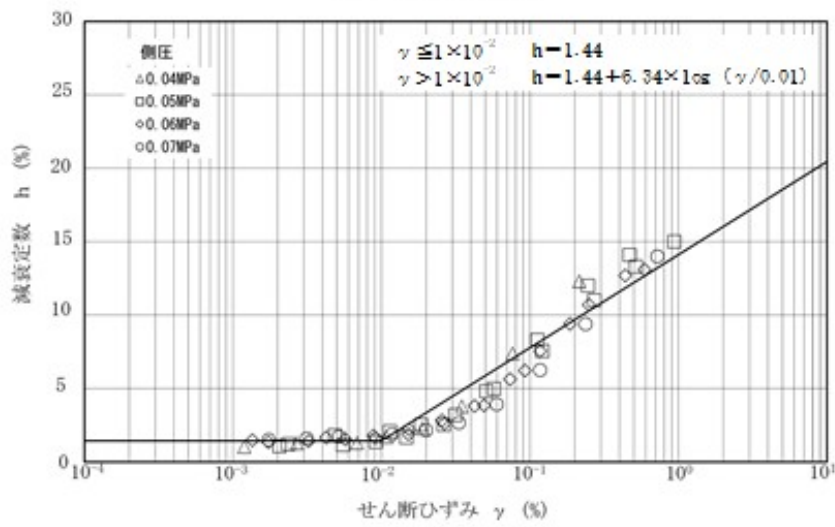
2.2.2 ひずみ依存特性の設定

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 2.2.2-1 図及び第 2.2.2-2 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。

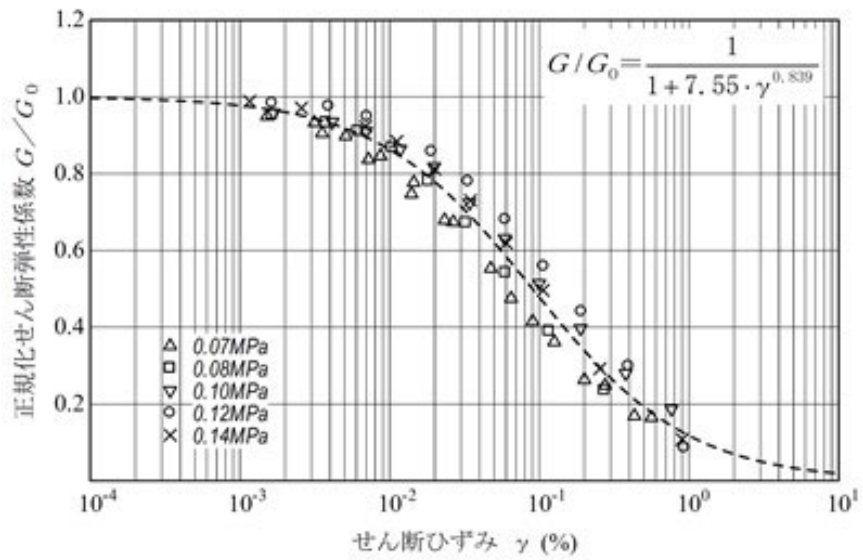


(a) 動の変形特性

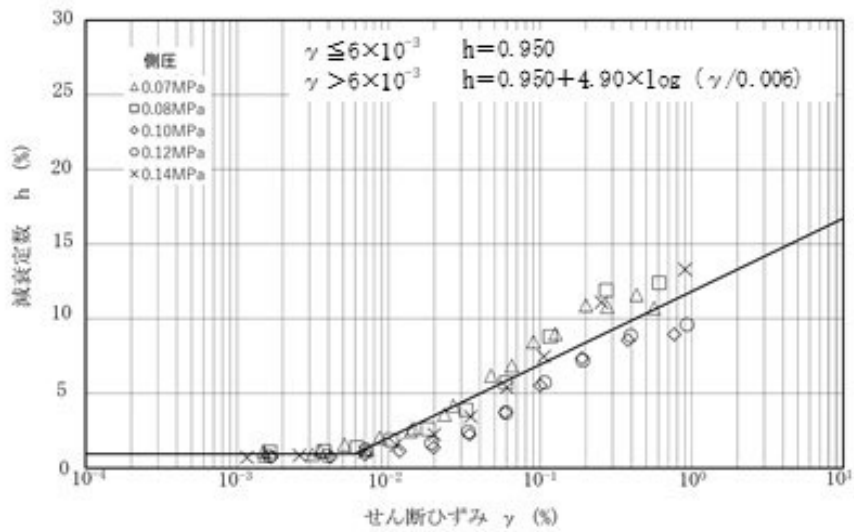


(b) 減衰特性

第 2.2.2-1 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 2.2.2-2 図 六ヶ所層のひずみ依存特性

2.2.3 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2.2.3-1表に平均値に対する標準偏差及び変動係数を示す。

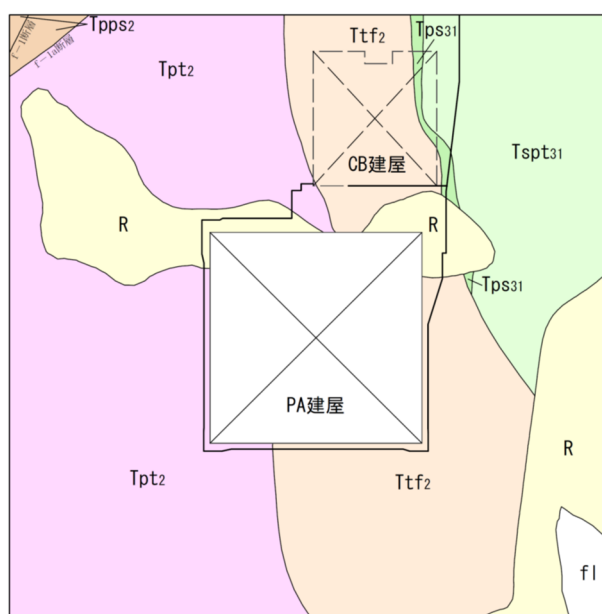
第2.2.3-1表 平均値に対する標準偏差及び変動係数（表層地盤）

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

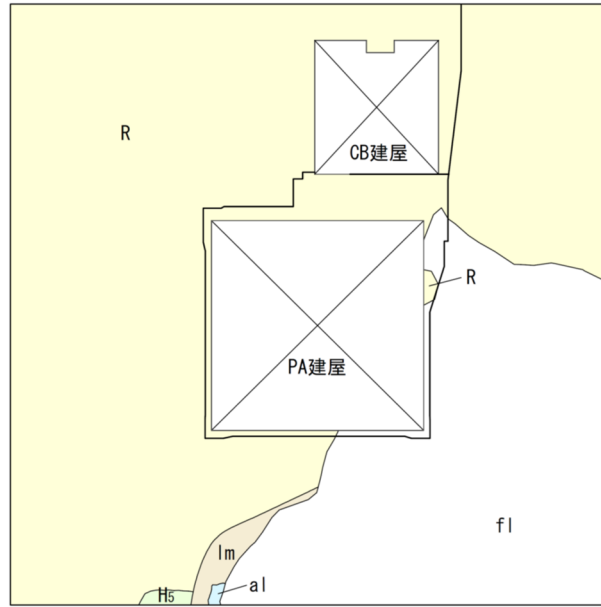
表層地盤の層境界の設定については、燃料加工建屋周辺の地盤分布状況を踏まえて設定する。第 3.-1 図及び第 3.-2 図に燃料加工建屋周辺の地盤分布状況を示す。

第 3.-1 図に示すとおり、T.M.S.L. 35.0m 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. 35.0m 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. 46.0m 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. 46.0m を六ヶ所層と造成盛土の境界として設定した。



凡 例		
fl	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	軽石混り砂岩層 [Tspt31] 砂質軽石凝灰岩(1)
		[Tps31] 軽石混り砂岩(1)
		[Ttf2] 凝灰岩
		[Tpt2] 軽石凝灰岩
		[Tpps2] 軽石質砂岩
	下部層	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. 35.0m)



凡		例	
fl	盛土	鷹架層	軽石混り砂岩層
al	沖積低地堆積層		砂質軽石凝灰岩(1)
lm	火山灰層		軽石混り砂岩(1)
H5	高位段丘堆積層		凝灰岩
R	六ヶ所層		軽石凝灰岩
			軽石質砂岩
			粗粒砂岩層
			砂質軽石凝灰岩
			下部層粗粒砂岩層
			細粒砂岩

第 3.-2 図 燃料加工建屋の周辺地盤状況 (T.M.S.L. 46.0m)

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		—

- *1：第 2.2.2-1 図に示す造成盛土のひずみ依存特性を設定する。
- *2：第 2.2.2-2 図に示す六ヶ所層のひずみ依存特性を設定する。
- *3：第 2.1.2-1 図に示す軽石凝灰岩のひずみ依存特性を設定する。
- *4：第 2.1.2-2 図に示す軽石質砂岩のひずみ依存特性を設定する。
- *5：第 2.1.2-3 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		—

- *1：第 2.2.2-1 図に示す造成盛土のひずみ依存特性を設定する。
- *2：第 2.2.2-2 図に示す六ヶ所層のひずみ依存特性を設定する。
- *3：第 2.1.2-1 図に示す軽石凝灰岩のひずみ依存特性を設定する。
- *4：第 2.1.2-2 図に示す軽石質砂岩のひずみ依存特性を設定する。
- *5：第 2.1.2-3 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		—

- *1：第 2.2.2-1 図に示す造成盛土のひずみ依存特性を設定する。
- *2：第 2.2.2-2 図に示す六ヶ所層のひずみ依存特性を設定する。
- *3：第 2.1.2-1 図に示す軽石凝灰岩のひずみ依存特性を設定する。
- *4：第 2.1.2-2 図に示す軽石質砂岩のひずみ依存特性を設定する。
- *5：第 2.1.2-3 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、「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。

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反射波についても、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。

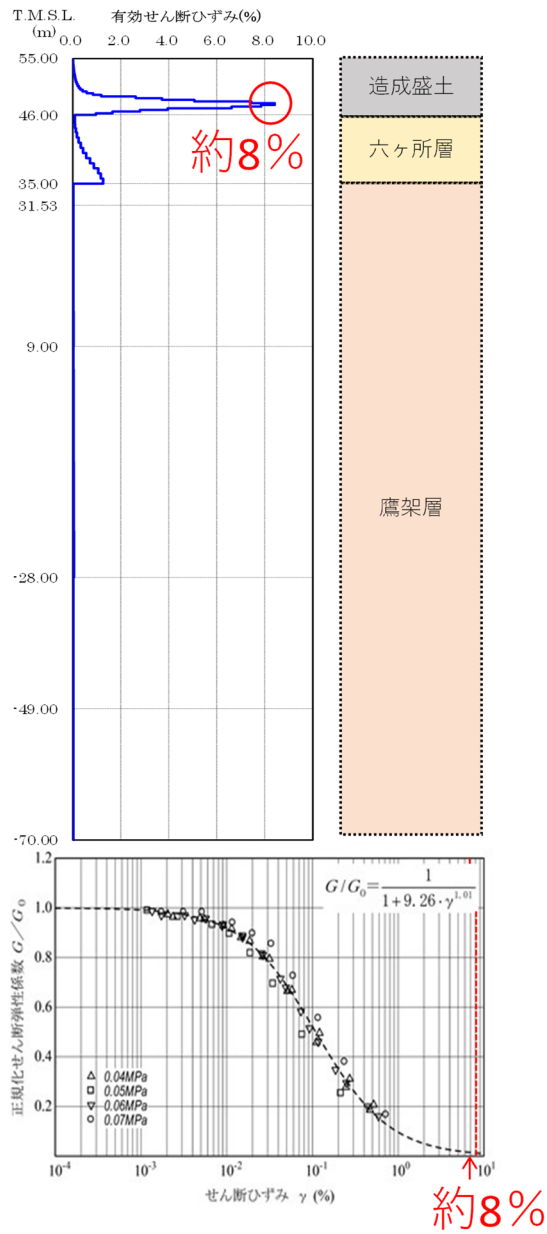
比較対象とする逐次非線形解析結果は、「5.3 逐次非線形解析の手法」にて示すケースのうち、ひずみ依存特性における繰返し三軸圧縮試験結果と一致するケース（基本ケース）によるものとする。

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部分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（ $-\sigma$ ）の基準地震動 $Ss-C1$ 及び重大事故対処施設の評価に係る $1.2 \times Ss-C1$ 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）	$Ss-A$, $Ss-B1$, $Ss-B2$, $Ss-B3$, $Ss-B4$, $Ss-B5$, $Ss-C1$, $Ss-C3$, $Ss-C4$ $Sd-C1$ $Ss-A(+\sigma)$, $Ss-B3(+\sigma)$, $Ss-C1(+\sigma)$ $Sd-C1(+\sigma)$ $Ss-A(-\sigma)$, $Ss-B1(-\sigma)$, $Ss-B3(-\sigma)$, $Ss-C1(-\sigma)^{※1}$ $Sd-A(-\sigma)$, $Sd-C1(-\sigma)$
対象地震動（重大事故等対処施設）	$1.2 \times Ss-A$, $1.2 \times Ss-B1$, $1.2 \times Ss-B2$, $1.2 \times Ss-B3$, $1.2 \times Ss-B4$, $1.2 \times Ss-B5$, $1.2 \times Ss-C1^{※1}$, $1.2 \times Ss-C2$, $1.2 \times Ss-C3$, $1.2 \times Ss-C4$

※1：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。

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 図に示したとおり、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、上記文献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おい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。

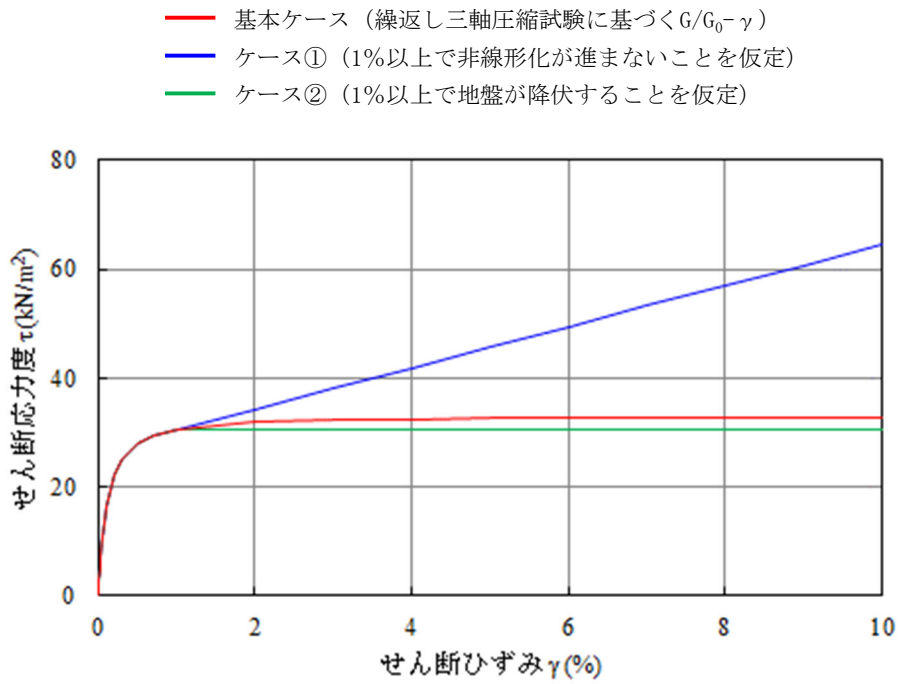
具体的には、 $G/G_0-\gamma$ 曲線に対応する骨格曲線をそのまま考慮したケース（基本ケース）に加え、極端な仮定条件として、地盤のせん断ひずみ 1% 以上において非線形化が進まず、せん断応力 τ の傾きが一定となるケース（ケース①）及び地盤のせん断ひずみ 1% 以上において地盤が降伏し、せん断応力 τ の傾きが 0 となるケース（ケース②）を考慮する。

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。

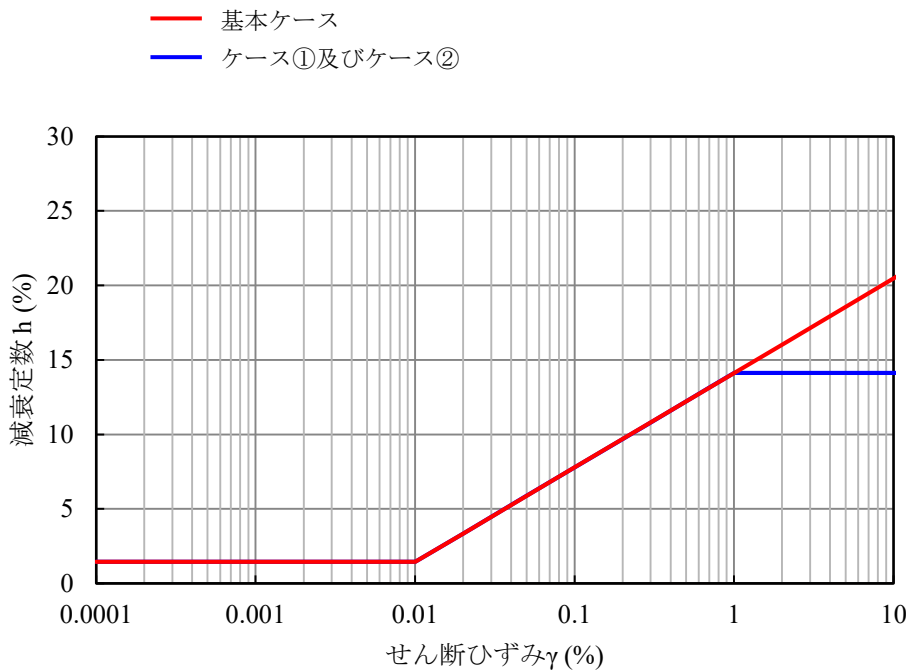
建屋応答の算定にあたっては、地震応答解析に考慮する側面地盤ばねの値についても、逐次非線形解析から得られた地盤の有効せん断ひずみに基づき、改めて算定して設定することとする。

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。

- 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～5.4-4 図に示す。

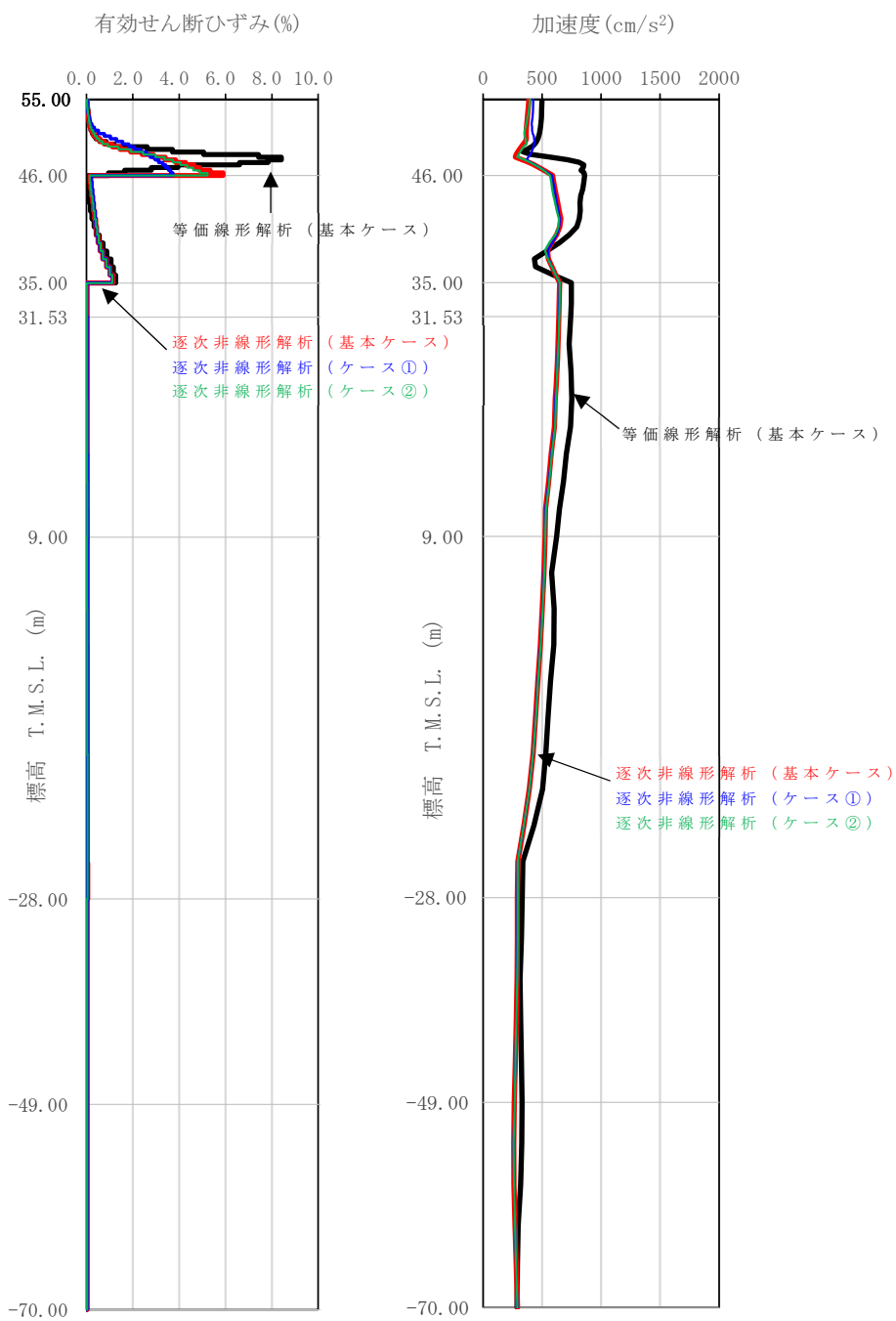
(2) 課題 1：等価線形解析の適用について

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. 35.00, 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。

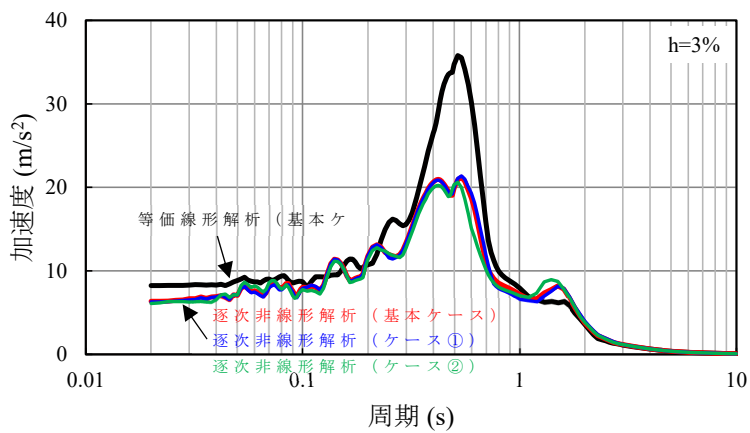
(3) 課題 2：ひずみ依存特性の外挿範囲について

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. 35.00, 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。

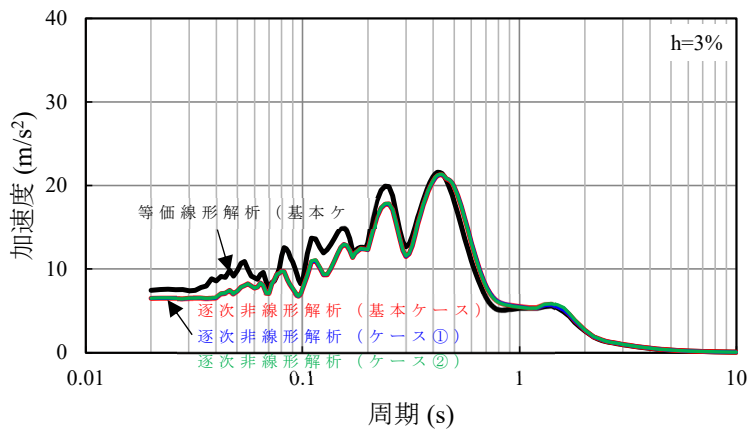


第 5.4-1 図 地盤応答分布図 S_S-C1 (- σ)
(逐次非線形解析)



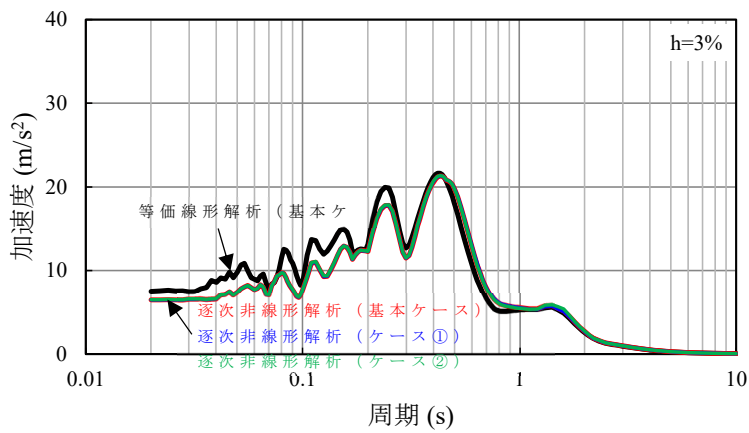
T. M. S. L. 43. 20m

- 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)



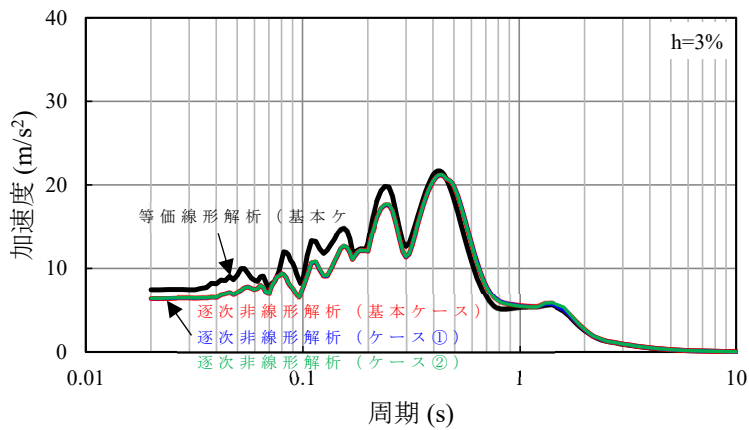
T. M. S. L. 35. 00m

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)



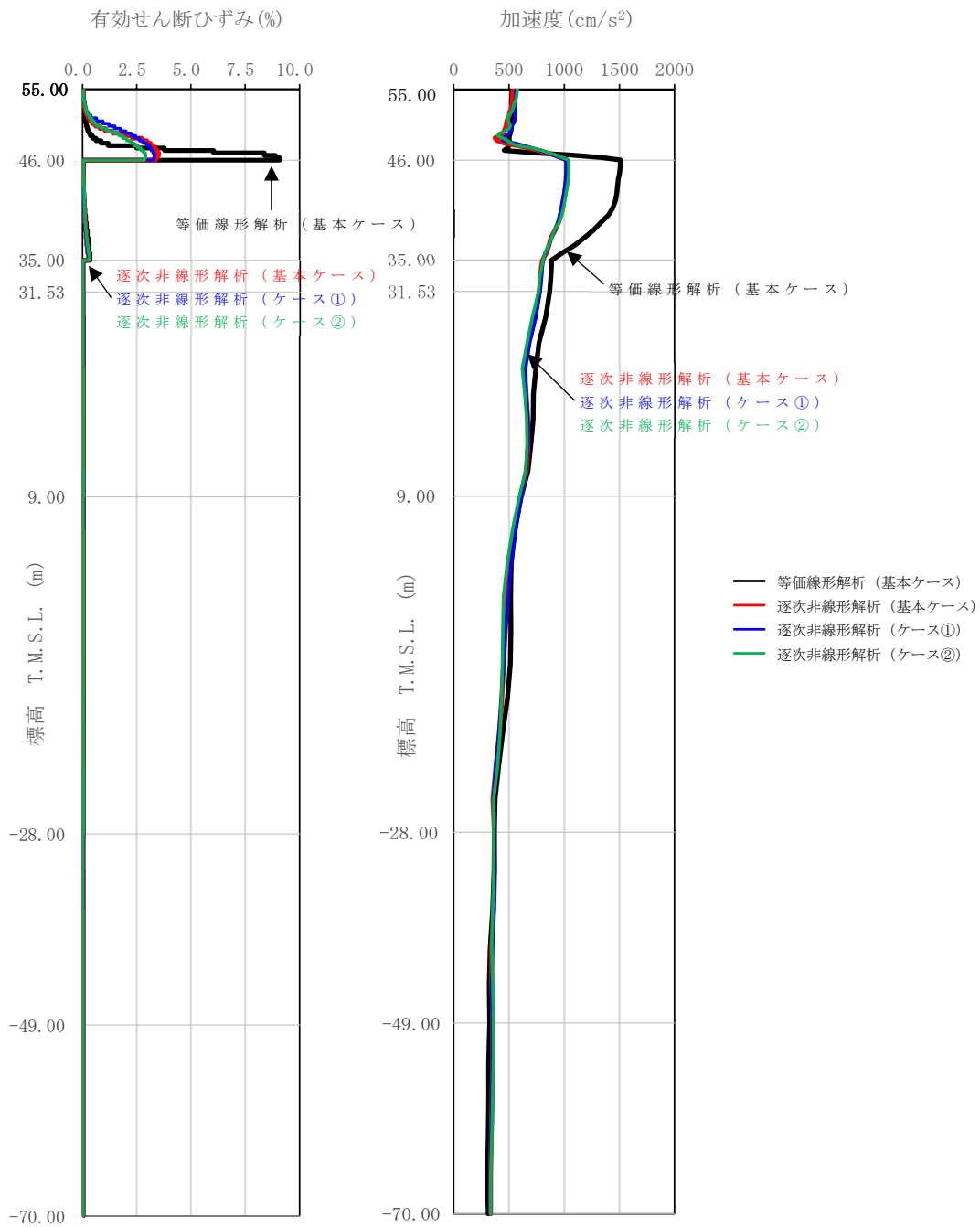
T. M. S. L. 34.23m

- 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)

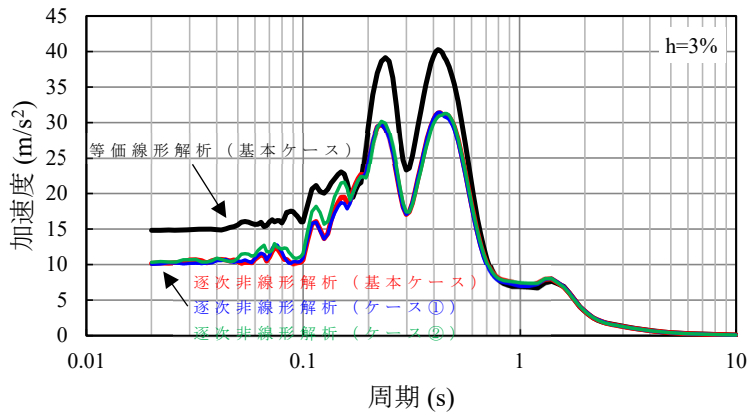


T. M. S. L. 31.53m

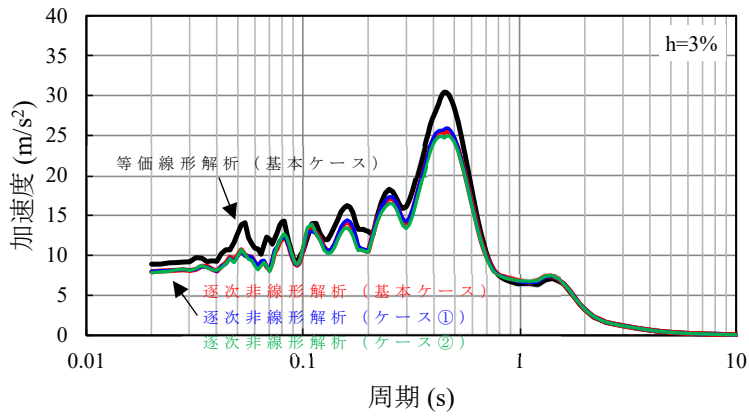
第 5.4-2 図 (2) 入力地震動の加速度応答スペクトル $S_{S-C1}(-\sigma)$
(逐次非線形解析)



第 5.4-3 図 地盤応答分布図 1.2×Ss-C1
(逐次非線形解析)



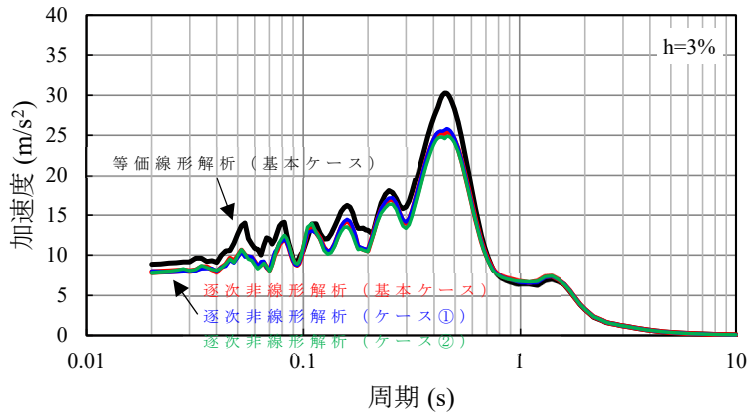
T. M. S. L. 43.20m



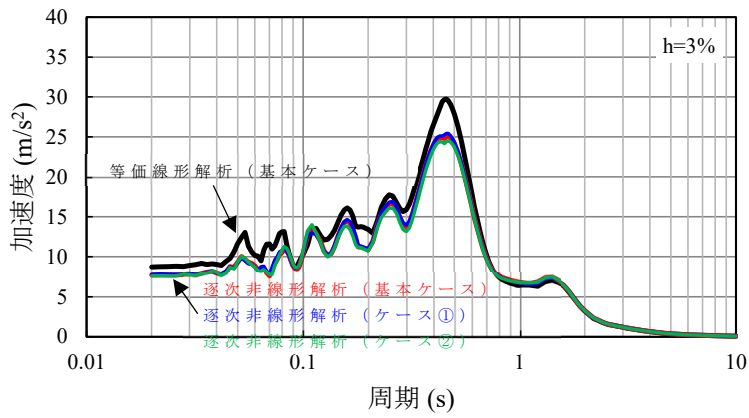
T. M. S. L. 35.00m

- 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×S_S-C1
(逐次非線形解析)



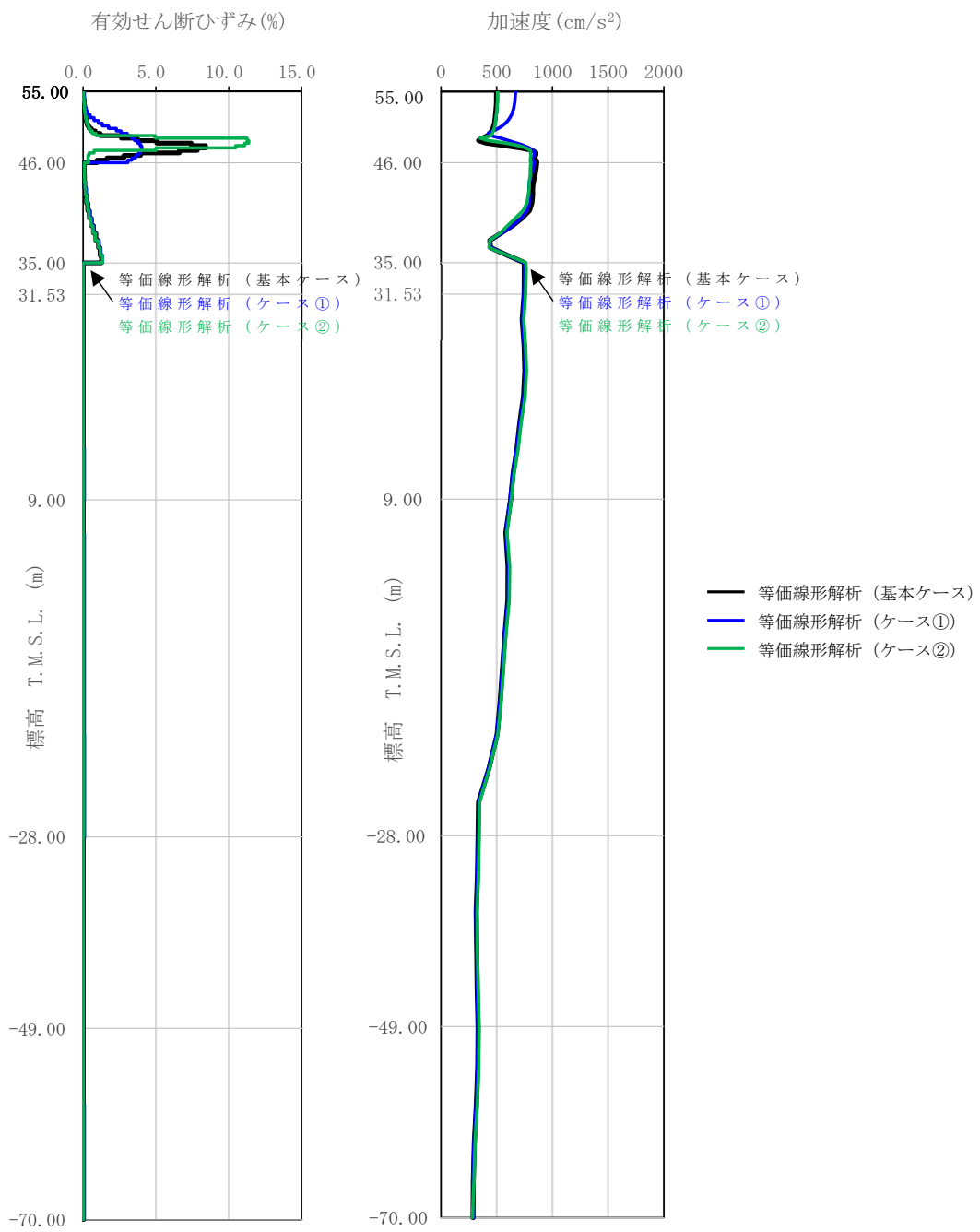
T. M. S. L. 34.23m



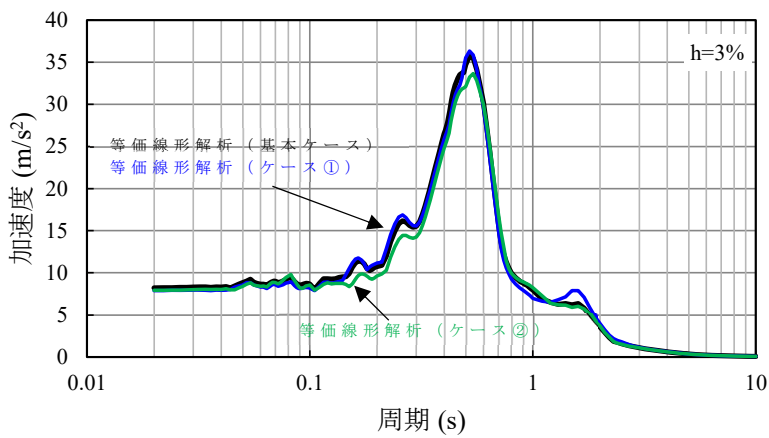
T. M. S. L. 31.53m

- 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 $1.2 \times S_s-C1$
(逐次非線形解析)

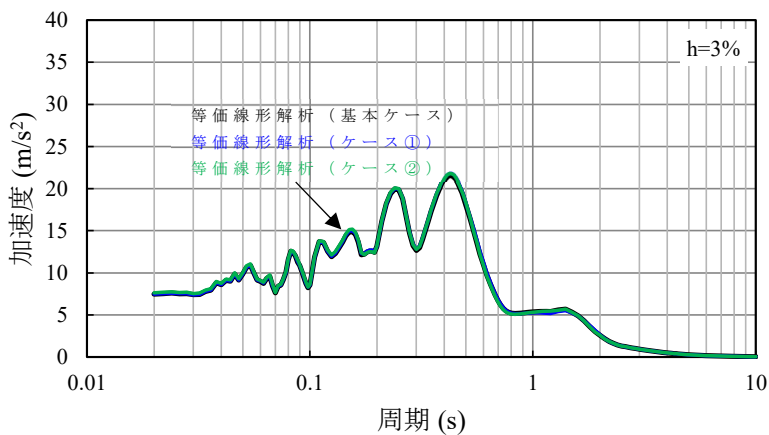


第 5.4-5 図 地盤応答分布図 S_S-C1 (- σ)
(等価線形解析)



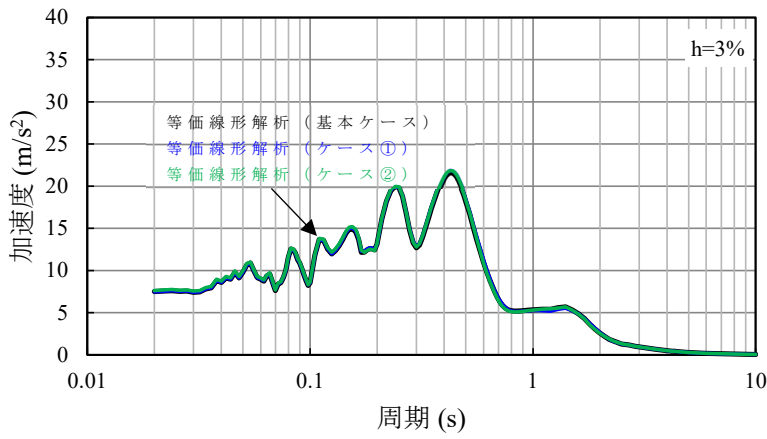
T. M. S. L. 43. 20m

- 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)



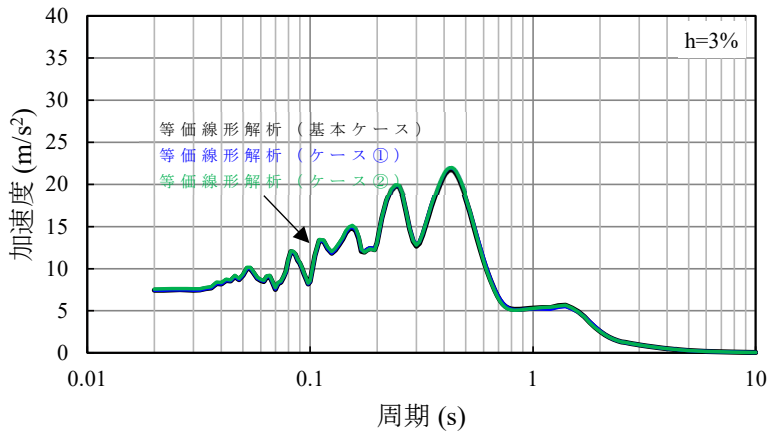
T. M. S. L. 35. 00m

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)



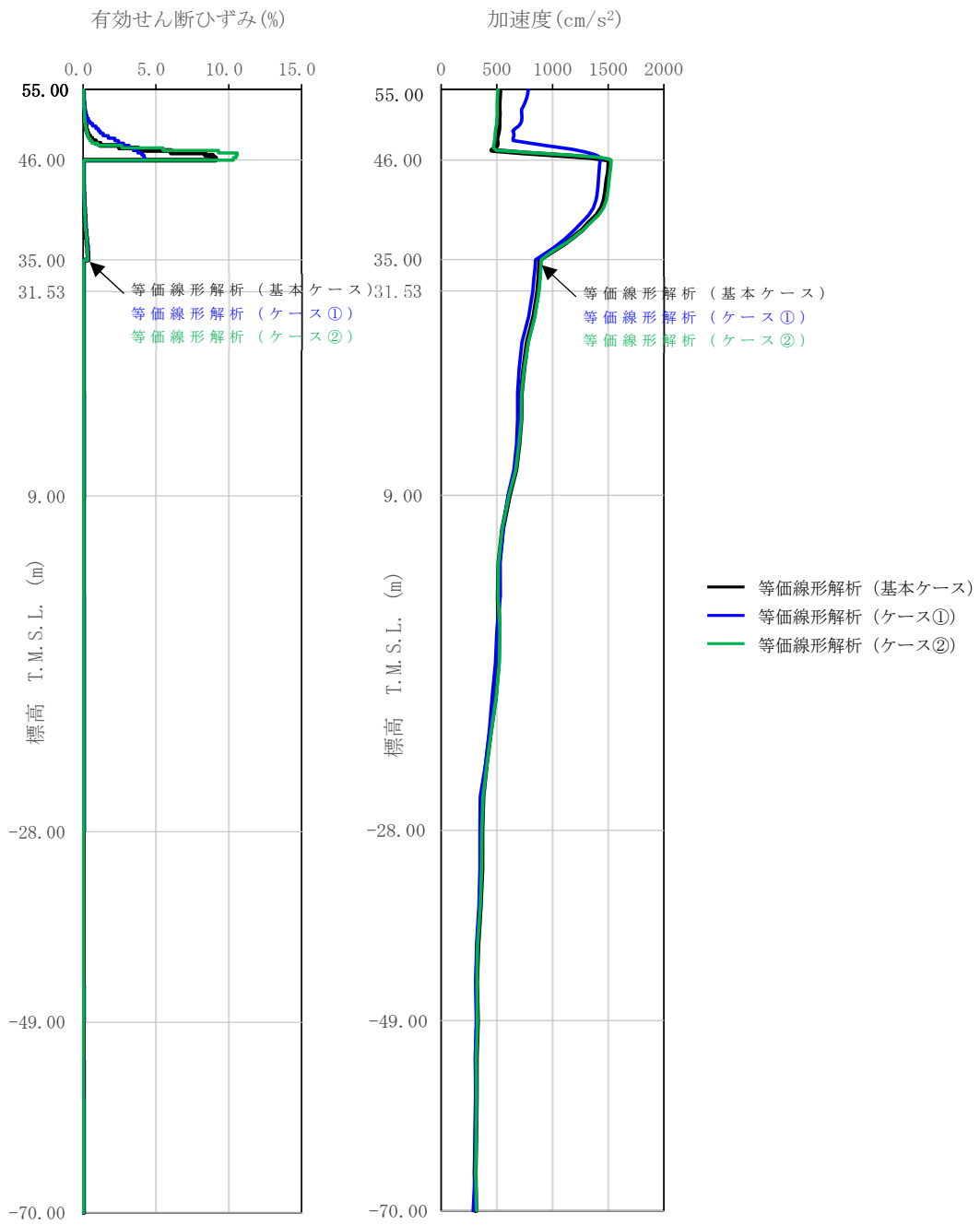
T. M. S. L. 34. 23m

- 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)

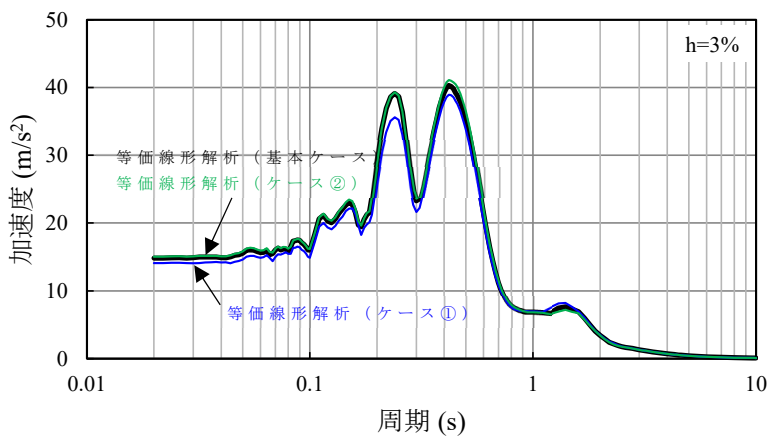


T. M. S. L. 31. 53m

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

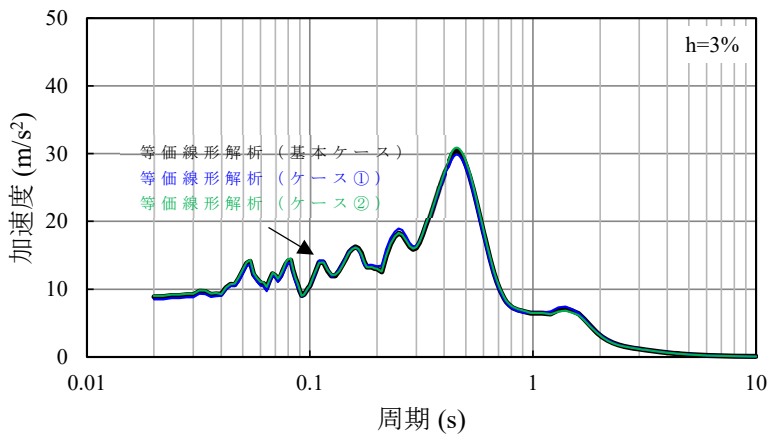


第 5.4-7 図 地盤応答分布図 $1.2 \times S_s - C1$
(等価線形解析)



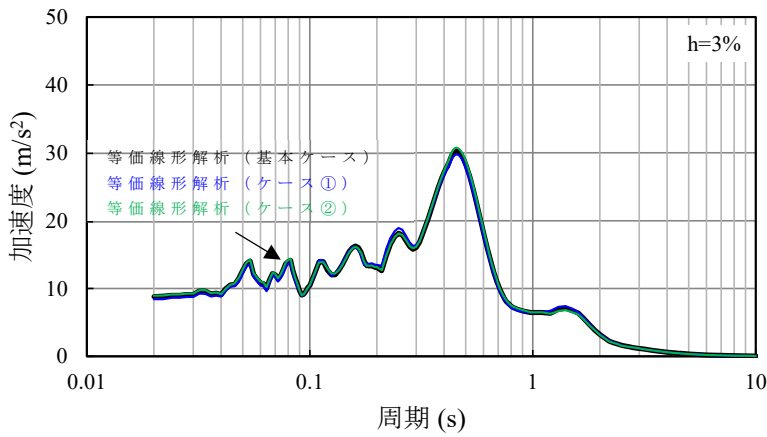
T. M. S. L. 43. 20m

- 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)



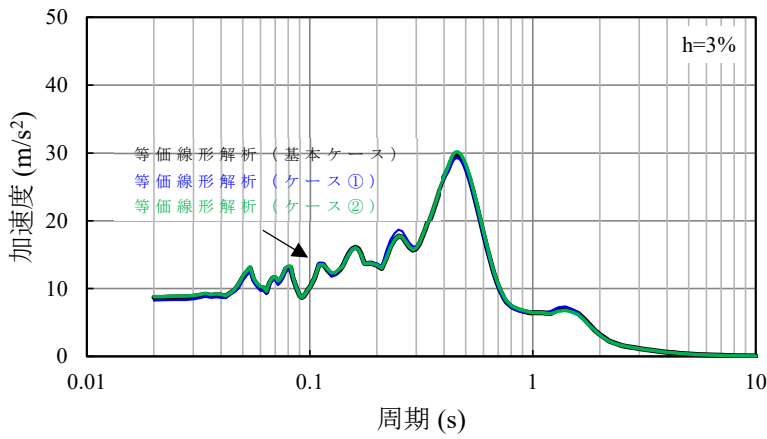
T. M. S. L. 35. 00m

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

- 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 5.4-8 図 (2) 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)

5.5 考察

(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、等価線形解析と逐次非線形解析の両手法の差が、入力地震動の算定結果に有意な差を与えなかった要因について、建屋応答に寄与の大きい建屋基礎底面レベルの入力地震動に着目し、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、建屋基礎底面以深に鷹架層が、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、比較的軟質な造成盛土が分布している。

建屋基礎底面レベルまでの上昇波に着目すると、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、建屋基礎底面以深の鷹架層については、有効せん断ひずみが解析手法によらず同等であることから、上昇波に対しては解析手法の差による影響は無いと考えられる。

一方で、表層地盤から建屋基礎底面レベルまでの反射波に着目すると、第 5.4-1 図及び第 5.4-3 図より、逐次非線形解析及び等価線形解析共に、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とから、表層地盤からの反射波の影響により、建屋の地震応答解析に対して寄与の大きい基礎底面の入力地震動が変動す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、解析手法による有意な差は現れなかったことから、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、表層地盤からの反射波は、入力地震動の算定結果に対して有意な影響を与えなかったと考えられる。

このような傾向は、燃料加工建屋の地盤モデルにおいて、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でせん断ひずみが大きくなっており、その上部では最大加速度が小さくなっていることから、造成盛土の下端付近が表層地盤における主要な反射境界となっており、その深さが解析手法によって変動しなかったためであると考えられる。

さらに、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. 35.00, T. M. S. L. 43.20m) においても、地盤応答に有意な差が見られなかったことについては、等価線形解析、逐次非線形解析のいずれについても、造成盛土においてせん断ひずみが大きくなることにより、地盤剛性が概ね降伏状態まで低下しており、造成盛土内を通る反射波が入力地震動に与える寄与が小さくなっているためであると考えられる。

上記は、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、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、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と考えられる。

(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った。

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。

以上のことから、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と考えられる。

(3)等価線形解析と逐次非線形解析における地盤応答について

基準地震動 Ss-C1（地盤物性のばらつきを考慮したケース（ $-\sigma$ ））の等価線形解析結果において、第 5.5-1 図及び第 5.5-2 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について、以下のとおり考察を行った。

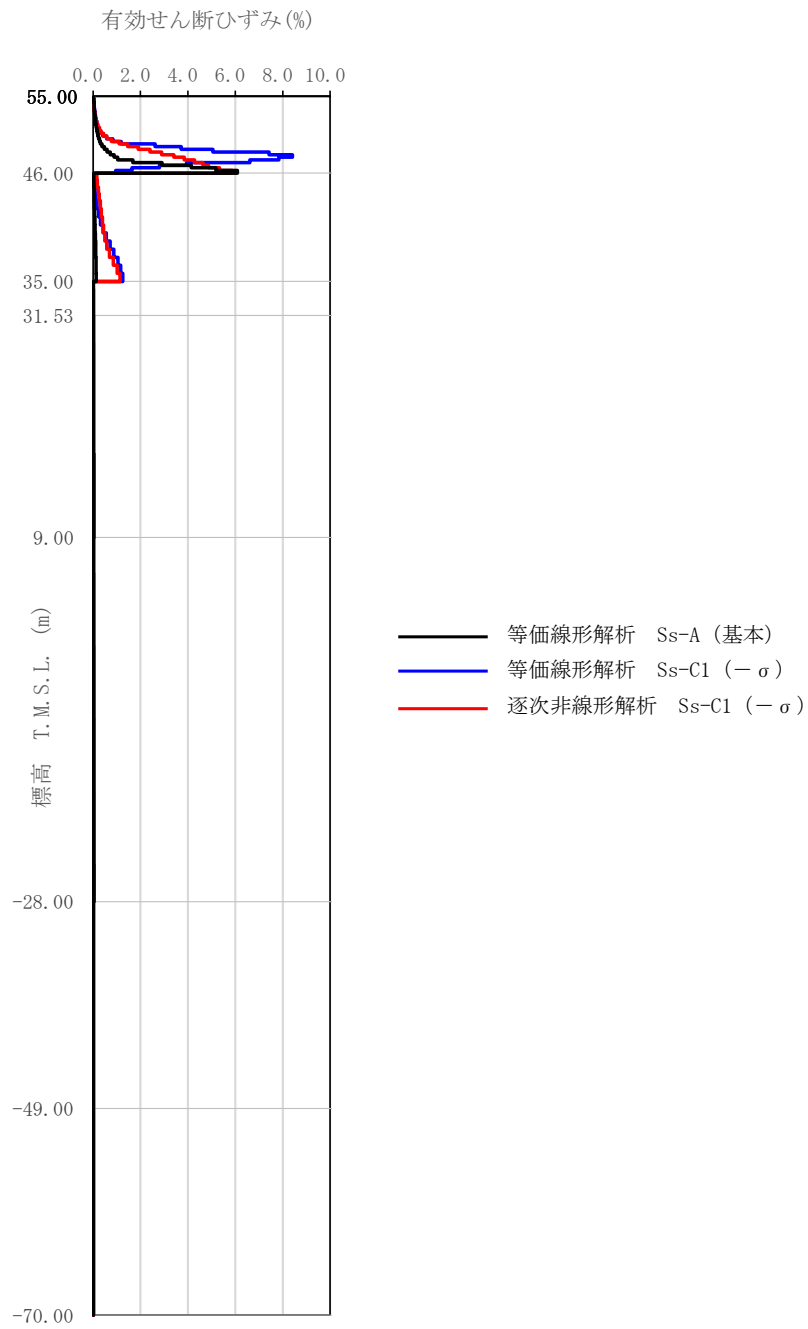
本地震動による解析結果において、第 5.5-3 図に示す解放基盤表面に対する造成盛土の加速度伝達関数によれば、周期 0.6 秒付近の高次モードの伝達関数が大きく、これは第 5.5-4 図に示す解放基盤表面における地震動のフーリエ振幅スペクトルの卓越周期と一致する。

このことから、本地震動による地盤応答は高次モードの影響が大きく、このモードが逆せん断の生じるモードであることから、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 5.5-5 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。

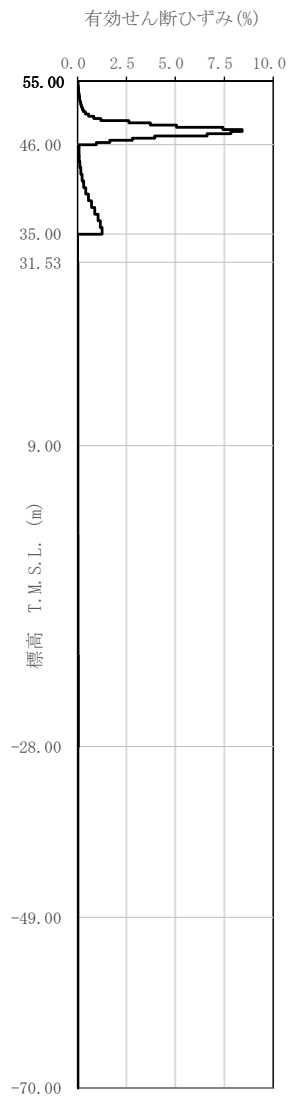
その他の地震動として、地盤の有効せん断ひずみ分布が造成盛土の下端で極大となっている、基準地震動 Ss-A（基本ケース）における等価線形解析結果についても確認を行った。第 5.5-6 図及び第 5.5-7 図に示す伝達関数及び解放基盤表面における地震動のフーリエ振幅スペクトルのおり、地盤の高次モードと地震動の卓越周期は明瞭な一致をしていない。また、第 5.5-8 図に示す加速度時刻歴波形において、せん断ひずみが極大となるレベルの上下で位相は逆転していない。

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（ $-\sigma$ ））における高次モードの振動の卓越は、本地震動と燃料加工建屋の地盤モデル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。

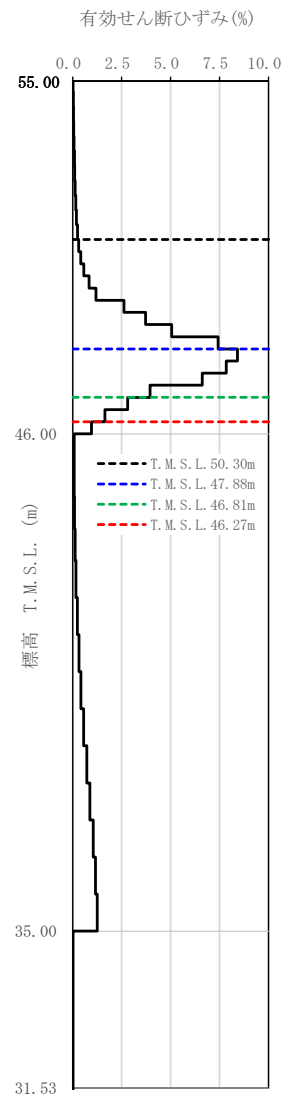
また、基準地震動 Ss-C1（地盤物性のばらつきを考慮したケース（ $-\sigma$ ））の逐次非線形解析において、第 5.5-10 図に示すとおり地盤の有効せん断ひずみ分布が造成盛土の下端で極大となっていることについては、逐次非線形解析が、時々刻々に地盤物性値が変化する解析手法であり、第 5.5-11 図及び第 5.5-12 図に示すフーリエスペクトル比（建屋基礎底面レベル／解放基盤表面）及び解放基盤表面における地震動のフーリエ振幅スペクトルのおり、等価線形解析と比較して地盤の固有周期が明瞭に卓越せず、高次モードの影響が大きく表れなかったためであると考えられる。また、第 5.5-13 図に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における位相の逆転は、第 5.5-5 図に示す等価線形解析に比べて、明瞭に現れていない。



第 5.5-1 図 地盤の有効せん断ひずみ比較

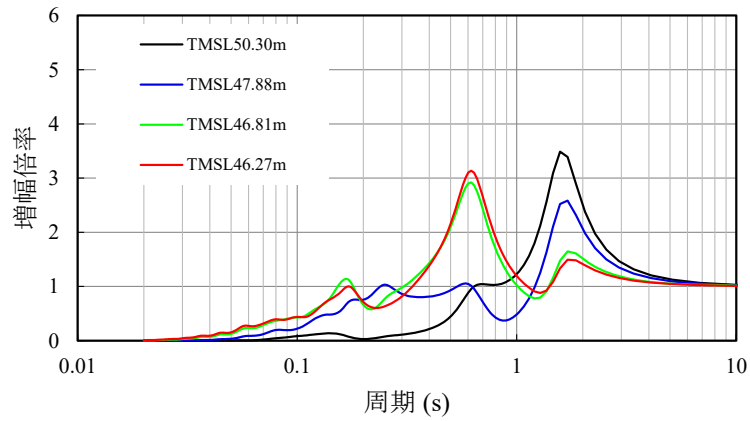


(a) 全層

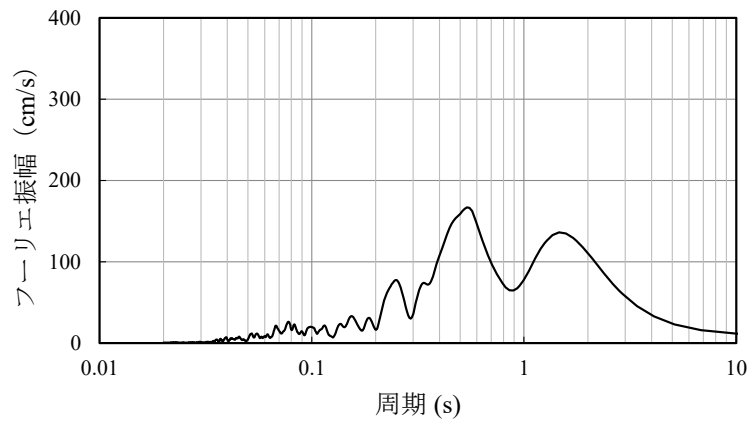


(b) 建屋基礎レベル以上

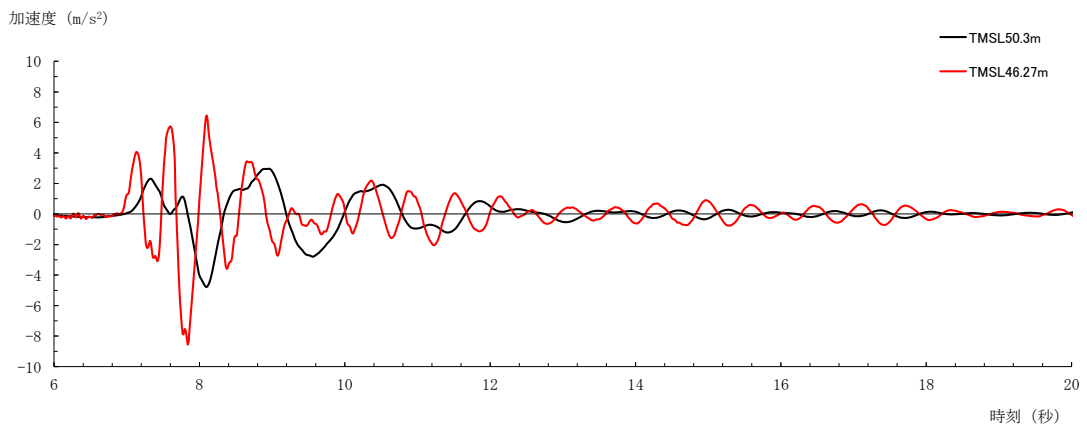
第 5.5-2 図 地盤の有効せん断ひずみ分布
(S_s -C1, $-\sigma$, 等価線形解析)



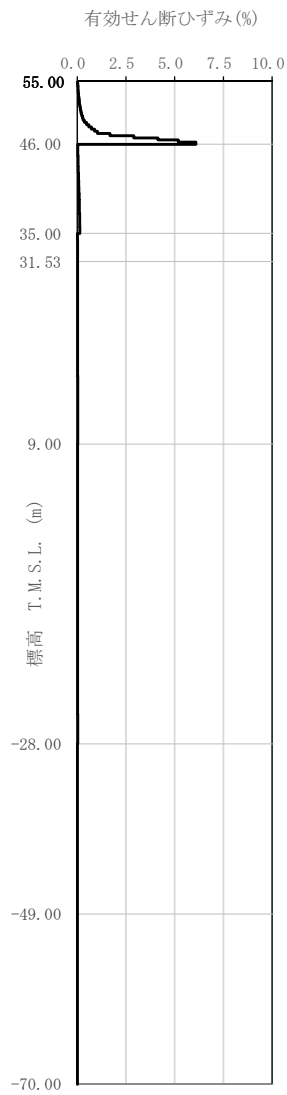
第 5.5-3 図 解放基盤表面に対する造成盛土の加速度伝達関数
(Ss-C1, $-\sigma$, 水平方向, 等価線形解析)



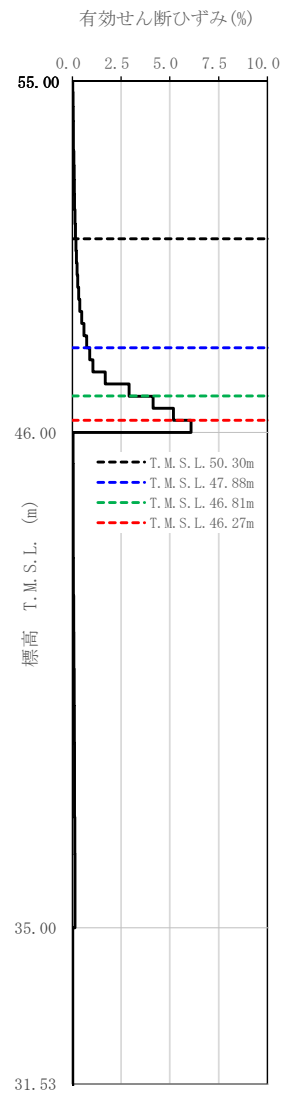
第 5.5-4 図 フーリエ振幅スペクトル (Ss-C1)
(Perzen ウィンドウ 0.5Hz)



第 5.5-5 図 加速度時刻歴波形
(Ss-C1, $-\sigma$, 水平方向, 等価線形解析)

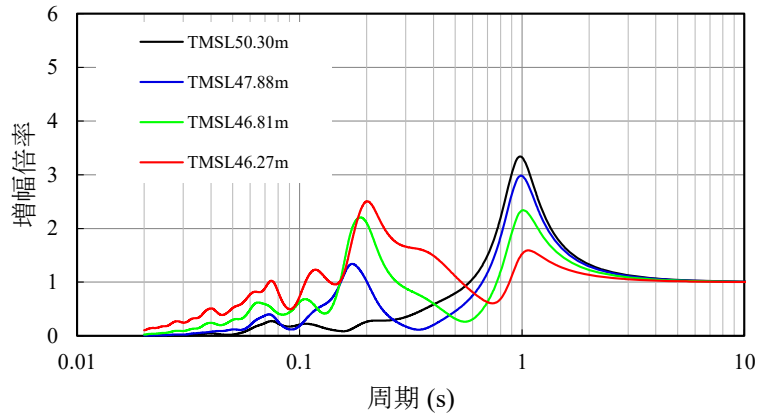


(a) 全層

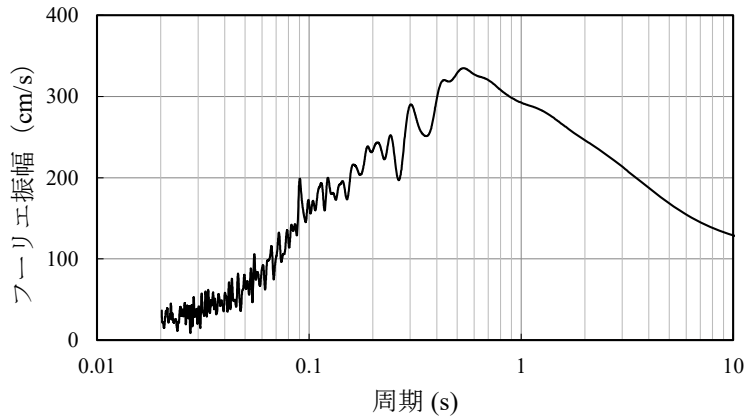


(b) 建屋基礎レベル以上

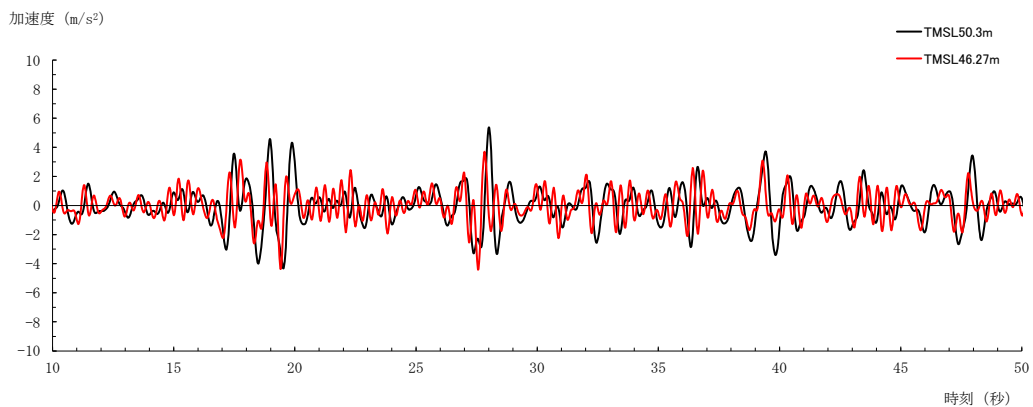
第 5.5-6 図 地盤の有効せん断ひずみ分布 (Ss-A, 基本, 等価線形解析)



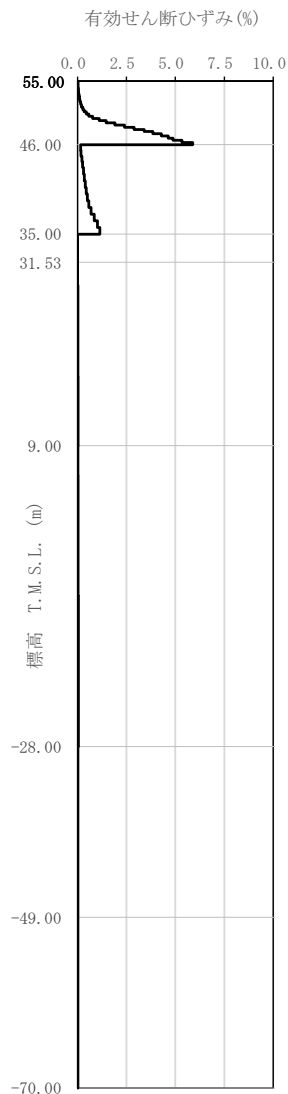
第 5.5-7 図 解放基盤表面に対する造成盛土の加速度伝達関数
(Ss-A, 基本, 水平方向, 等価線形解析)



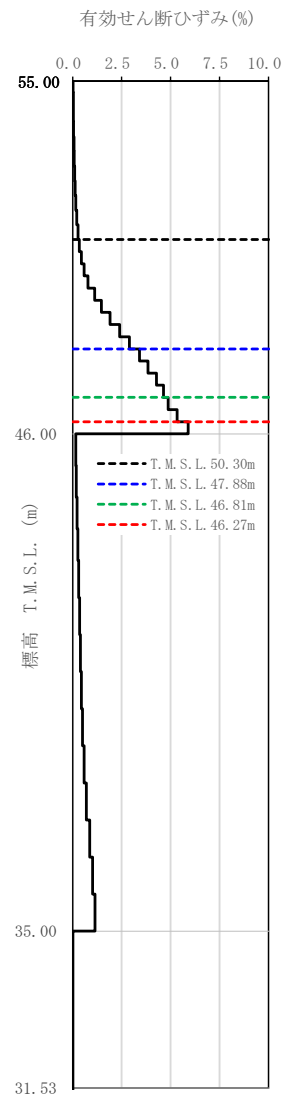
第 5.5-8 図 フーリエ振幅スペクトル (Ss-A)
(Perzen ウィンドウ 0.5Hz)



第 5.5-9 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))

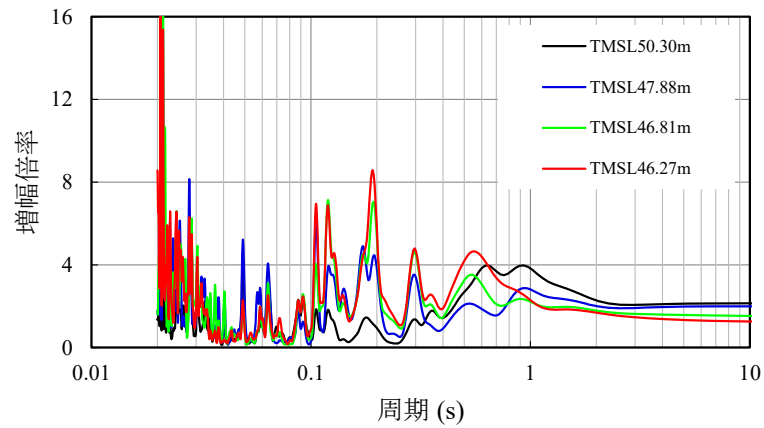


(a) 全層

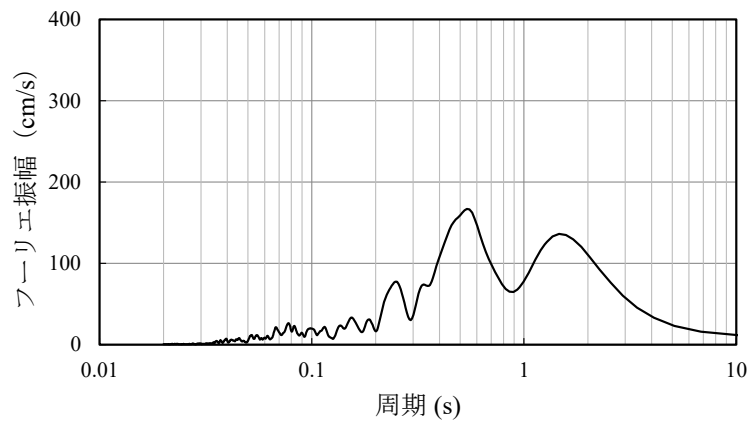


(b) 建屋基礎レベル以上

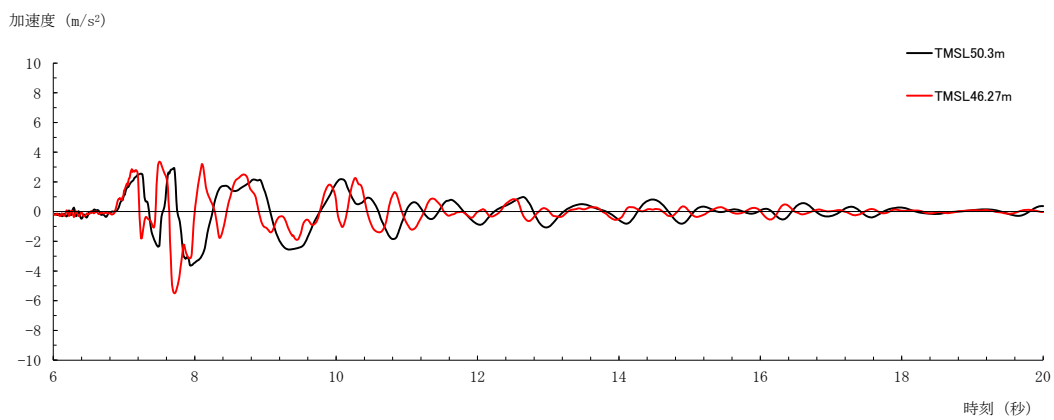
第 5.5-10 図 地盤の有効せん断ひずみ分布
(Ss-C1, $-\sigma$, 逐次非線形解析)



第 5.5-11 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
(S_S -C1, $-\sigma$, 水平方向, 逐次非線形解析)



第 5.5-12 図 フーリエ振幅スペクトル (S_S -C1)
(Perzen ウィンドウ 0.5Hz)



第 5.5-13 図 加速度時刻歴波形
(S_S -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 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ついては，入力地震動の算定結果に与える影響は無い。

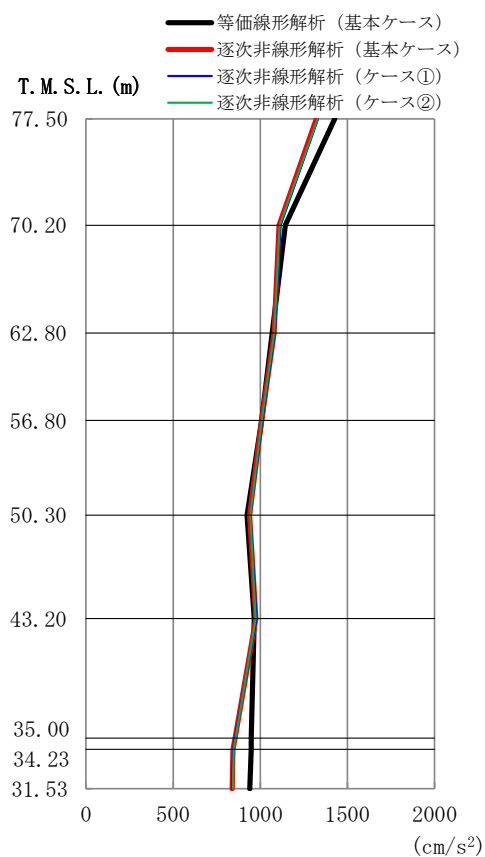
(2) 課題 2：ひずみ依存特性の外挿範囲について

「5.4 確認結果」及び「5.5 考察」に示した通り，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。

参考 1 逐次非線形解析結果の建屋応答への影響

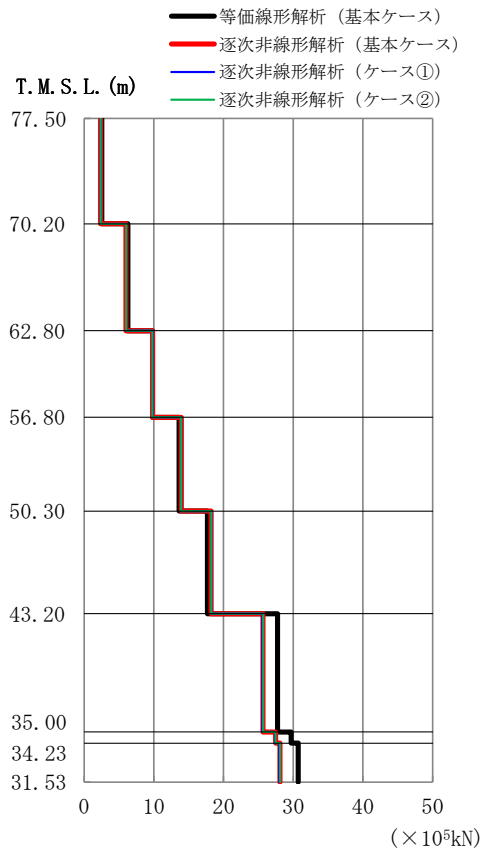
「5. 入力地震動の算定方法」において実施した逐次非線形解析結果並びにパラメータスタディに対し，参考として，基準地震動 Ss-C1（地盤物性のばらつきを考慮したケース（ $-\sigma$ ））及び $1.2 \times Ss-C1$ について建屋応答を算定した結果を，参考 1-1 図～参考 1-20 図に示す。

「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。



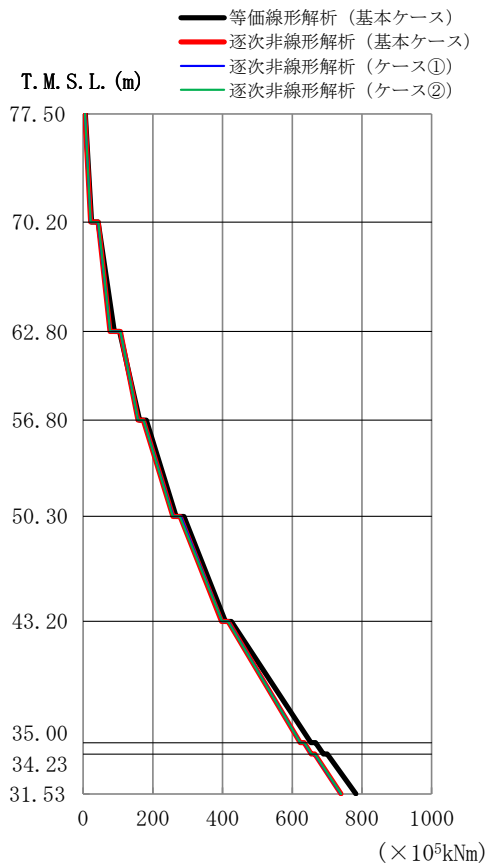
T. M. S. L. (m)	質点 番号	最大応答加速度 (cm/s ²)			
		等価線形解析	逐次非線形解析 (ケース①)	逐次非線形解析 (ケース②)	逐次非線形解析 (ケース③)
77.50	1	1426	1322	1330	1329
70.20	2	1144	1107	1114	1111
62.80	3	1068	1079	1083	1080
56.80	4	1007	1007	1011	1009
50.30	5	925	939	943	942
43.20	6	965	974	978	974
35.00	7	948	855	855	857
34.23	8	947	844	844	847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

(a) 最大応答加速度
 参考 1-1 図 建屋応答結果 (NS 方向)
 (Ss-C1, -σ, 逐次非線形解析)



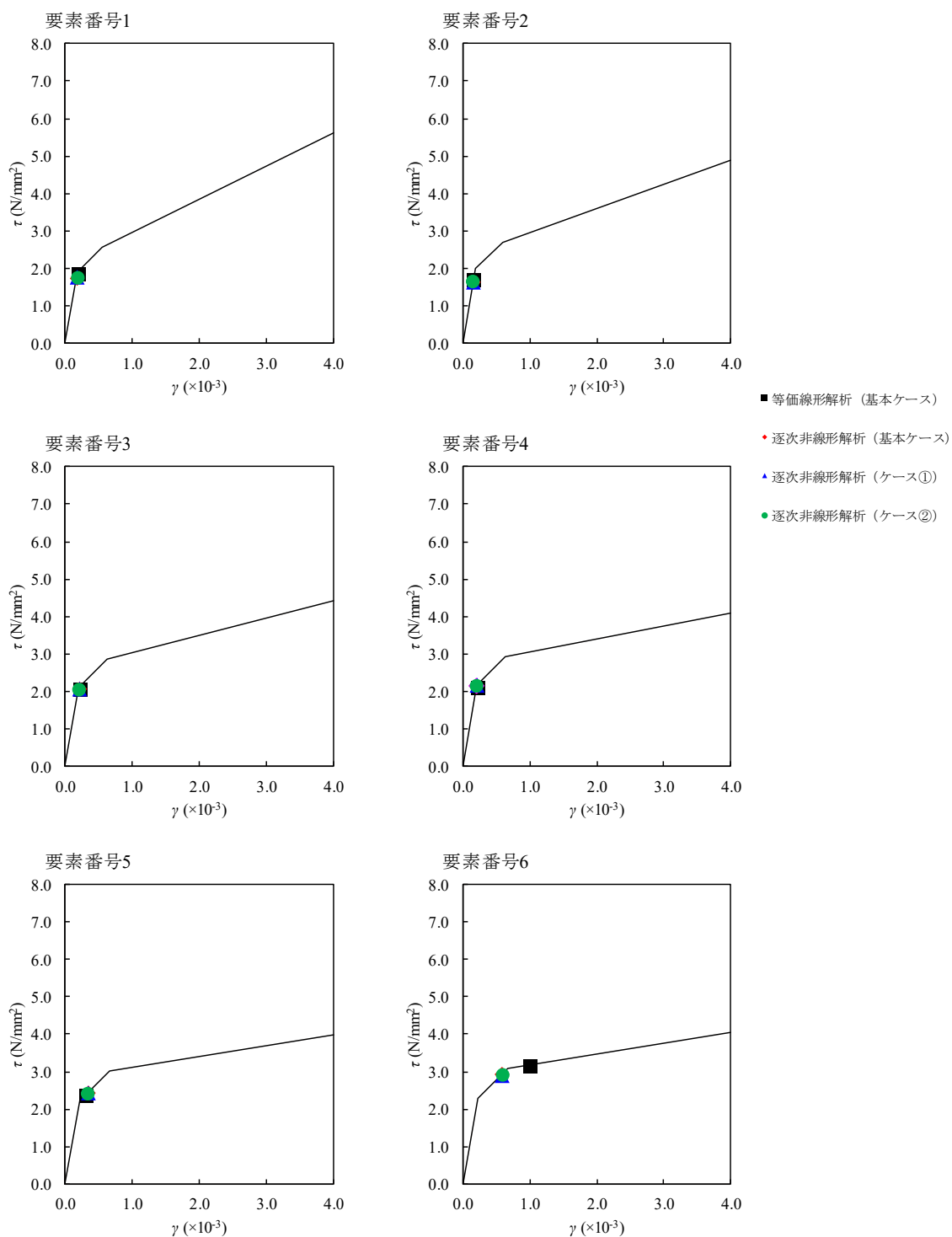
T. M. S. L. (m)	要素番号	最大応答せん断力 ($\times 10^5 \text{kN}$)			
		等価線形解析	逐次非線形解析 (ケース①)	逐次非線形解析 (ケース②)	逐次非線形解析 (ケース③)
77.50	1	2.53	2.35	2.36	2.36
70.20	2	6.27	6.01	6.02	6.01
62.80	3	9.81	9.81	9.84	9.82
56.80	4	13.65	13.94	13.94	13.94
50.30	5	17.68	18.23	18.26	18.23
43.20	6	27.76	25.68	25.56	25.68
35.00	7	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 1-2 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					

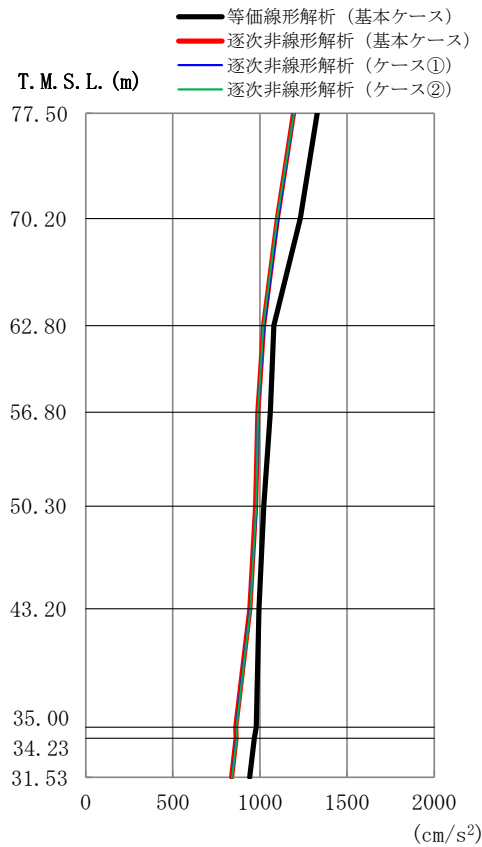
(c) 最大応答曲げモーメント
 参考 1-3 図 建屋応答結果 (NS 方向)
 (Ss-C1, $-\sigma$, 逐次非線形解析)



(d) $\tau - \gamma$ 関係

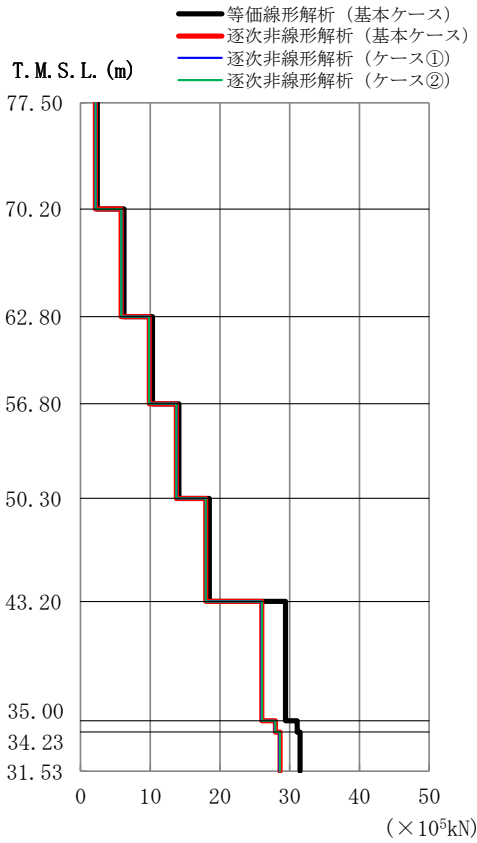
参考 1-4 図 建屋応答結果 (NS 方向)

(Ss-C1, $-\sigma$, 逐次非線形解析)



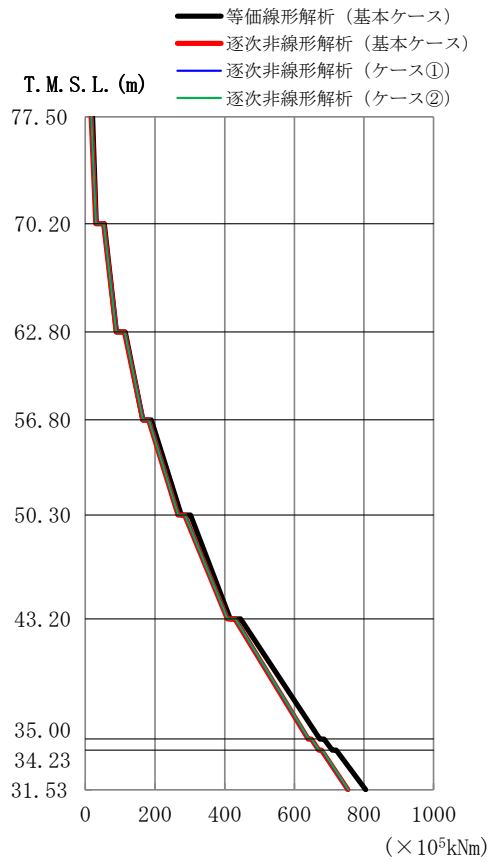
T. M. S. L. (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)			
		等価線形解析	逐次非線形解析 (ケース①)	逐次非線形解析 (ケース②)	逐次非線形解析 (ケース③)
77.50	1	1329	1193	1195	1196
70.20	2	1232	1100	1104	1101
62.80	3	1080	1020	1024	1020
56.80	4	1060	989	988	989
50.30	5	1022	976	981	979
43.20	6	994	943	943	945
35.00	7	978	861	862	865
34.23	8	967	862	863	867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

(a) 最大応答加速度
 参考 1-5 図 建屋応答結果 (EW 方向)
 (Ss-C1, -σ, 逐次非線形解析)



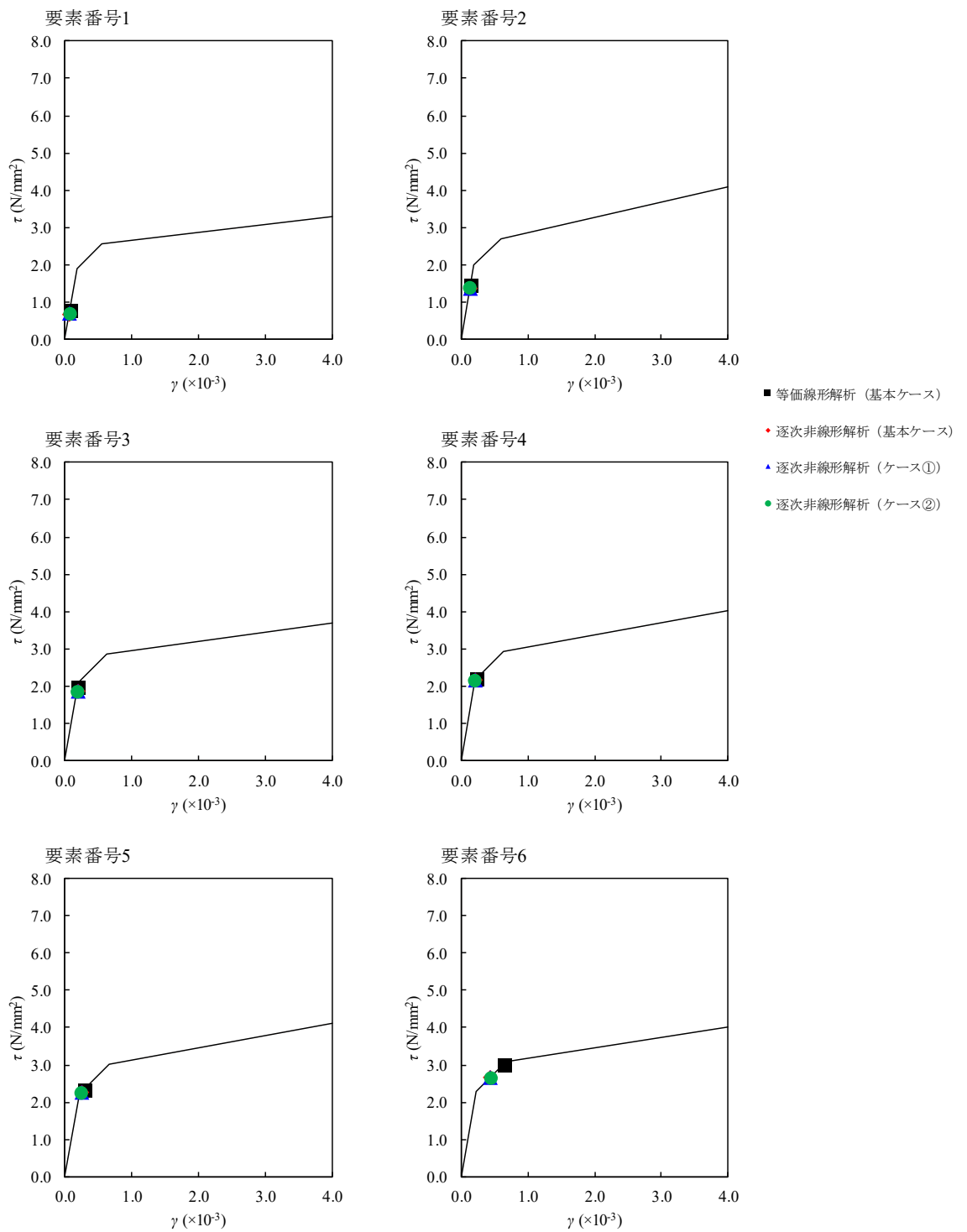
T. M. S. L. (m)	要素番号	最大応答せん断力(×10 ⁵ kN)			
		等価線形解析	逐次非線形解析 (ケース①)	逐次非線形解析 (ケース②)	逐次非線形解析 (ケース③)
77.50	1	2.36	2.11	2.13	2.12
70.20	2	6.22	5.81	5.82	5.81
62.80	3	10.31	9.84	9.84	9.84
56.80	4	14.11	13.72	13.76	13.74
50.30	5	18.44	17.94	17.98	17.95
43.20	6	29.37	26.02	25.93	26.02
35.00	7	31.04	27.95	27.87	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 1-6 図 建屋応答結果 (EW 方向)
 (Ss-C1, -σ, 逐次非線形解析)



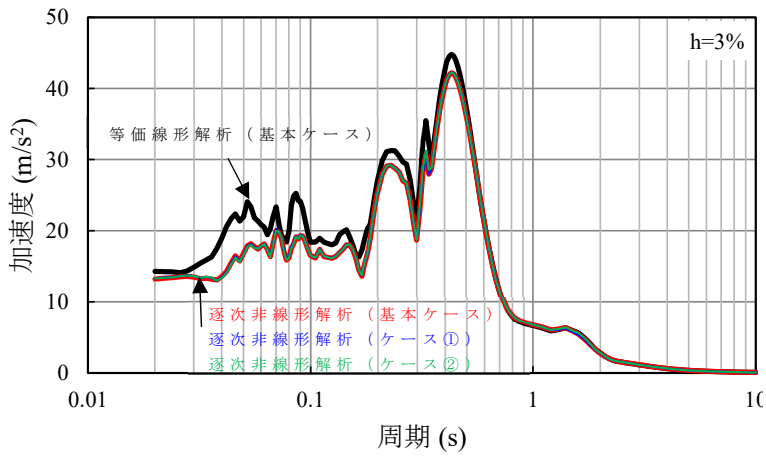
T. M. S. L. (m)	要素番号	最大応答曲げモーメント ($\times 10^5 \text{kNm}$)			
		等価線形解析	逐次非線形解析 (ケース①)	逐次非線形解析 (ケース②)	逐次非線形解析 (ケース③)
77.50	1	31.55	29.95	30.08	30.07
70.20	2	89.29	88.81	89.60	89.08
62.80	3	165.47	165.53	166.65	165.75
56.80	4	275.16	265.97	266.29	266.41
50.30	5	416.52	407.42	408.39	408.18
43.20	6	673.40	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 1-7 図 建屋応答結果 (EW 方向)
 (Ss-C1, $-\sigma$, 逐次非線形解析)

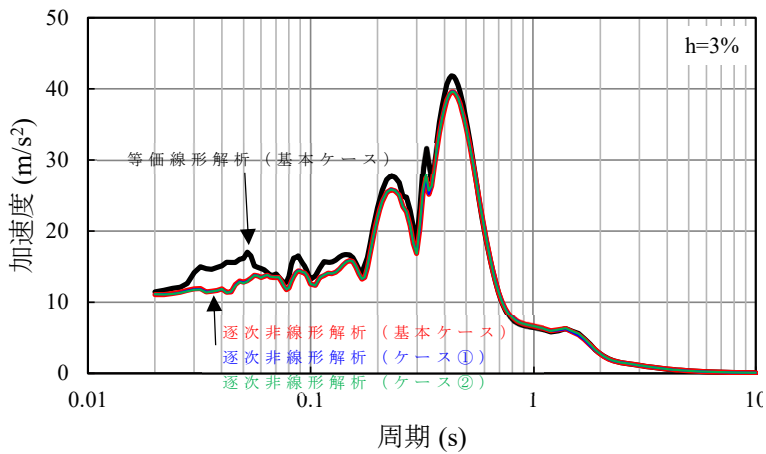


(d) $\tau - \gamma$ 関係

参考 1-8 図 建屋応答結果 (EW 方向)
 (Ss-C1, $-\sigma$, 逐次非線形解析)

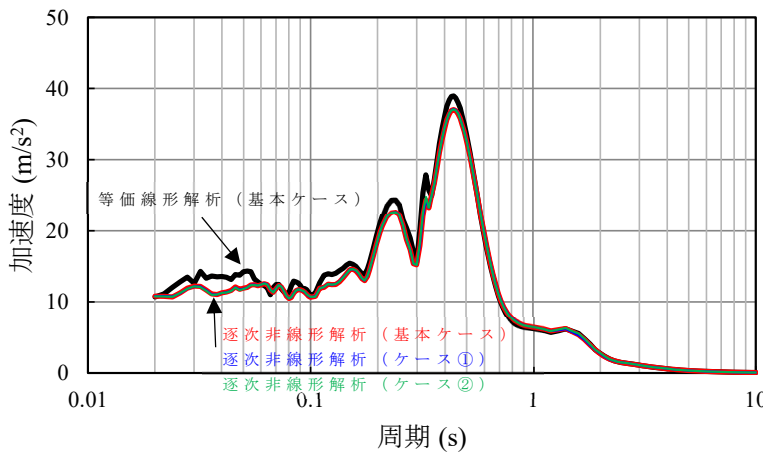


T. M. S. L. 77.50m (質点 1)



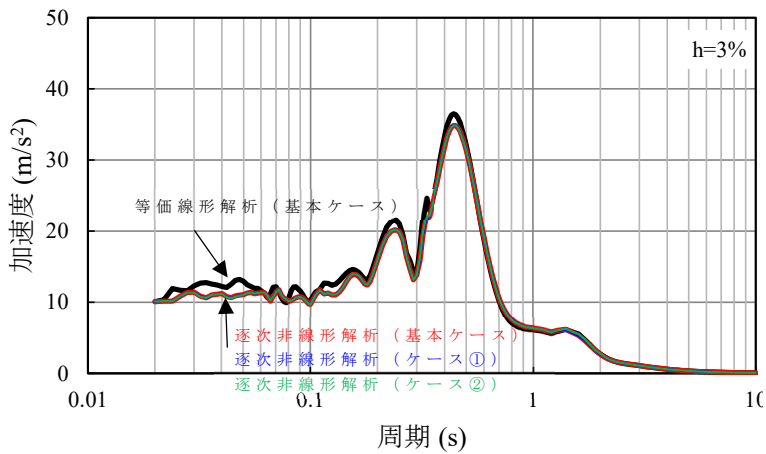
T. M. S. L. 70.20m (質点 2)

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



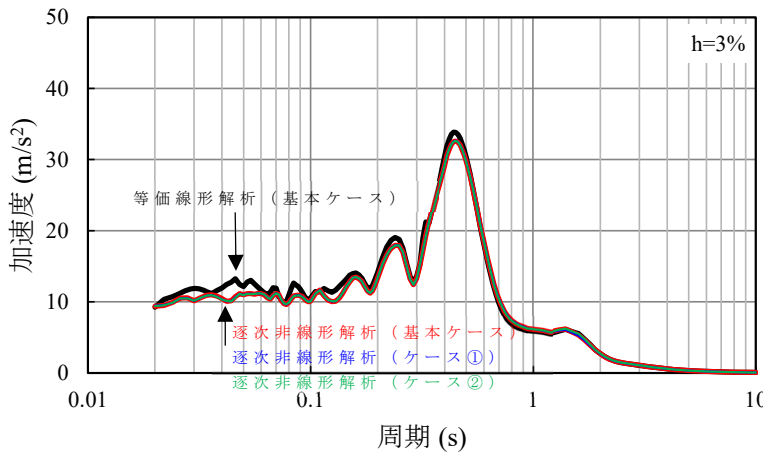
T. M. S. L. 62.80m (質点 3)

- 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)



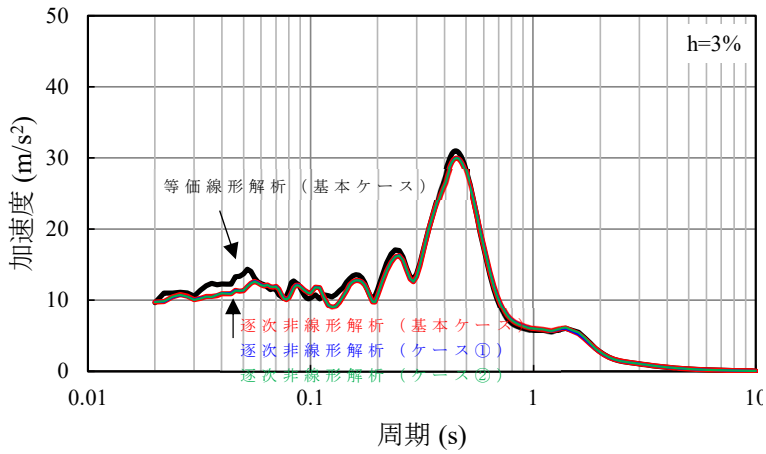
T. M. S. L. 56.80m (質点 4)

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



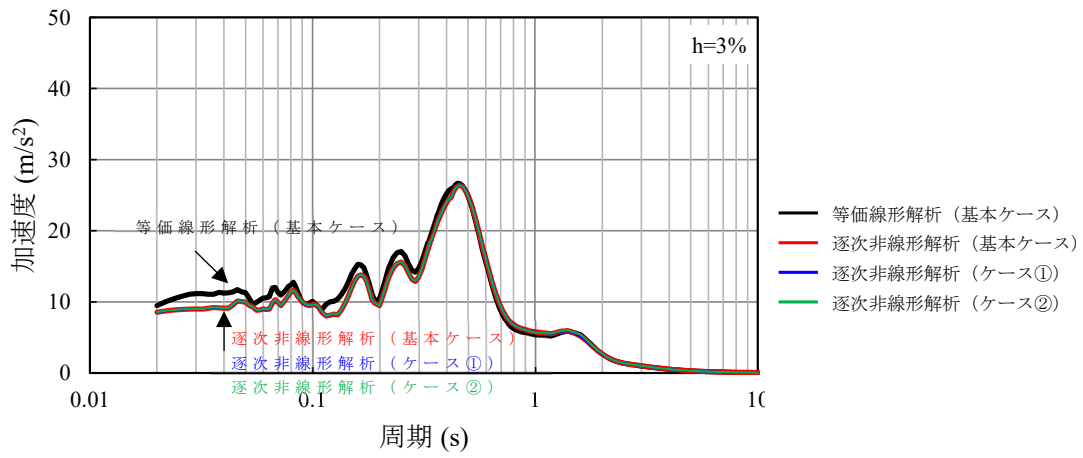
T. M. S. L. 50.30m (質点 5)

- 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)



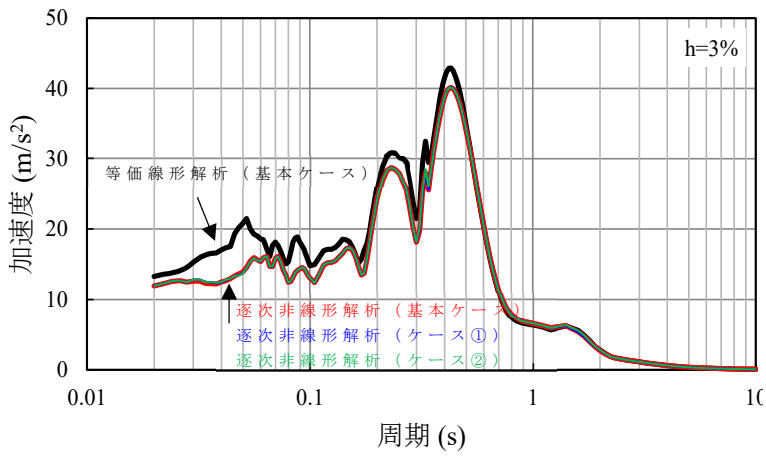
T. M. S. L. 43.20m (質点 6)

参考 1-9 図 (3) 床応答スペクトル (NS 方向)
(Ss-C1, -σ, 逐次非線形解析)



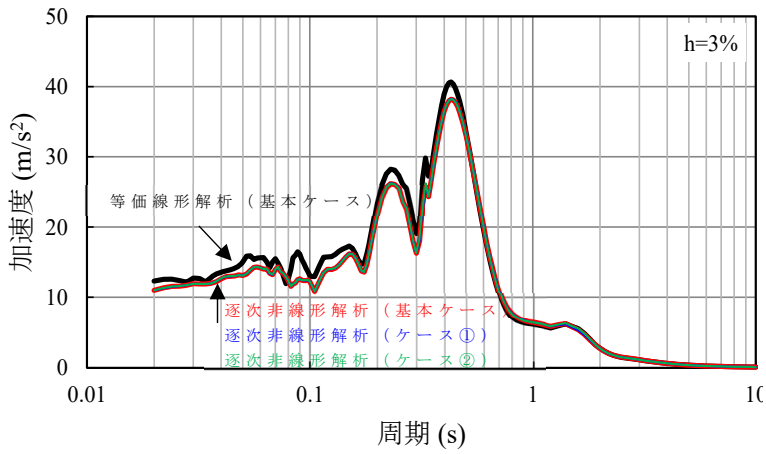
T. M. S. L. 35.00m (質点 7)

参考 1-9 図 (4) 床応答スペクトル (NS 方向)
 (Ss-C1, $-\sigma$, 逐次非線形解析)



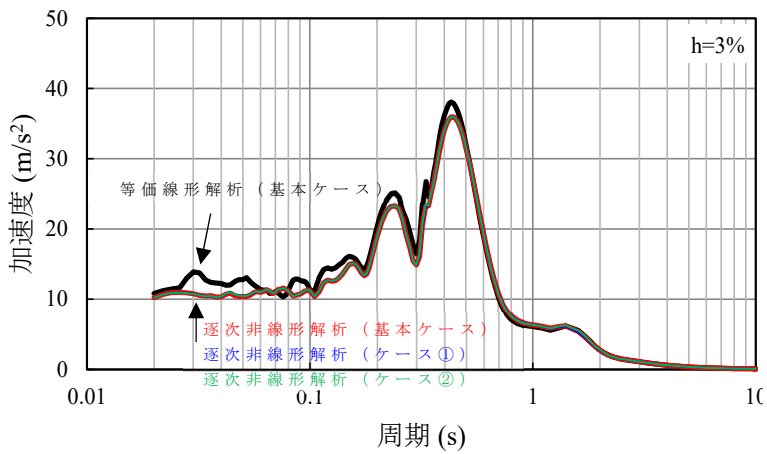
T. M. S. L. 77.50m (質点 1)

- 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)



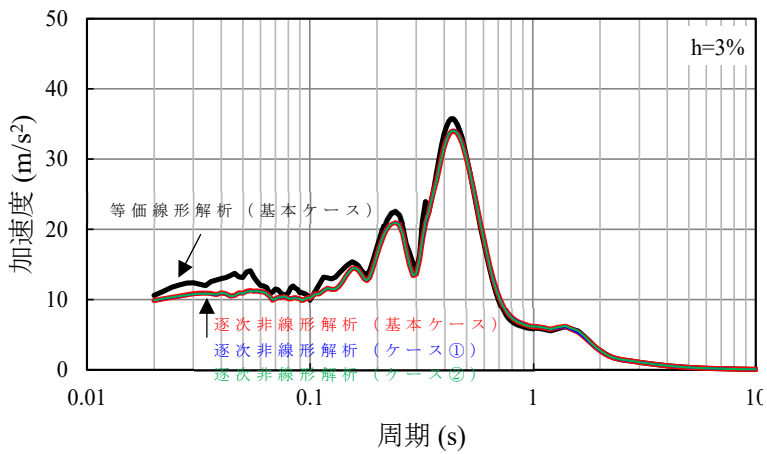
T. M. S. L. 70.20m (質点 2)

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



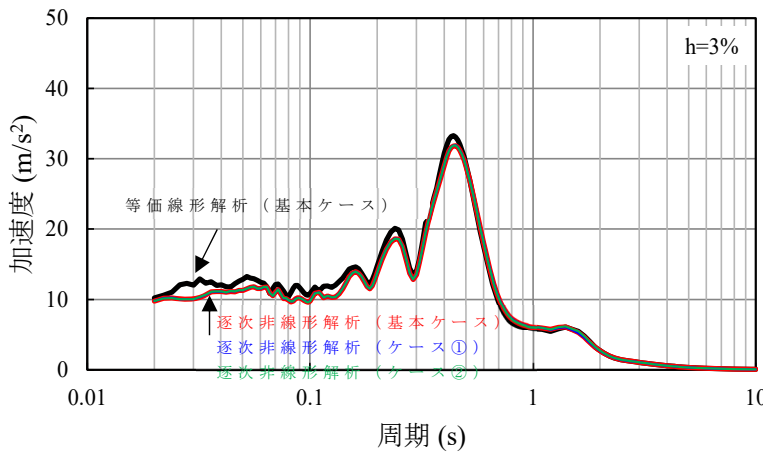
T. M. S. L. 62.80m (質点 3)

- 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)

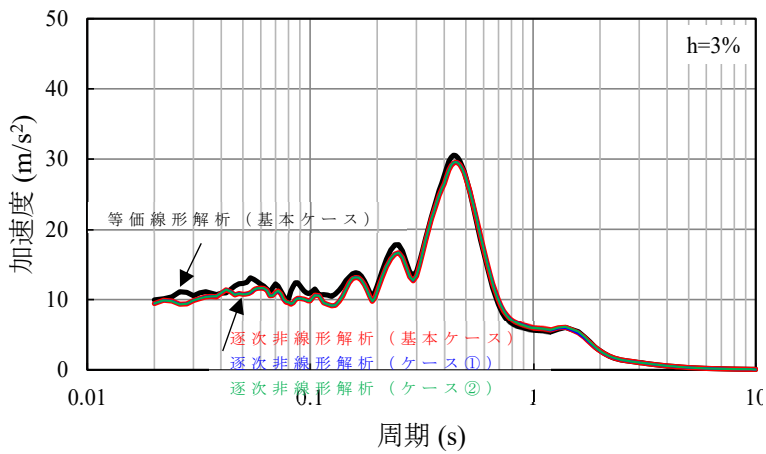


T. M. S. L. 56.80m (質点 4)

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



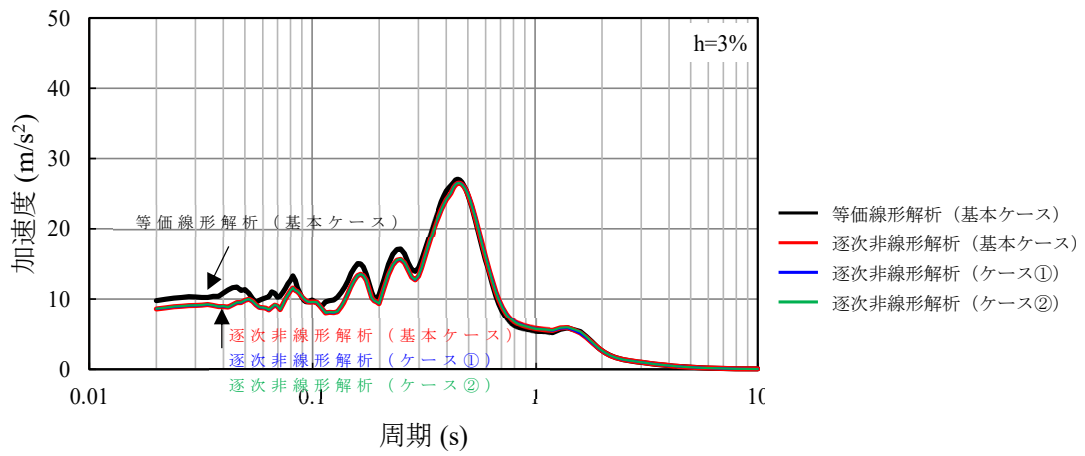
T. M. S. L. 50.30m (質点 5)



T. M. S. L. 43.20m (質点 6)

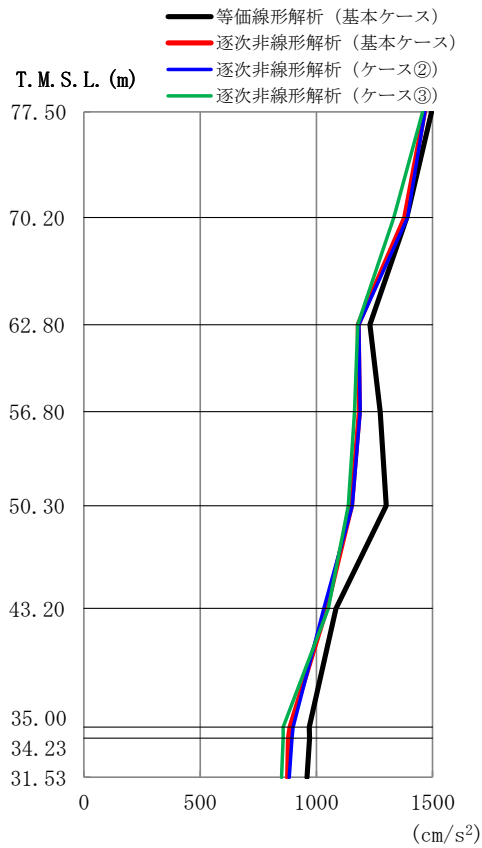
- 等価線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (基本ケース)
- 逐次非線形解析 (ケース①)
- 逐次非線形解析 (ケース②)

参考 1-10 図 (3) 床応答スペクトル (EW 方向)
(S_s-C1 , $-\sigma$, 逐次非線形解析)



T. M. S. L. 35.00m (質点 7)

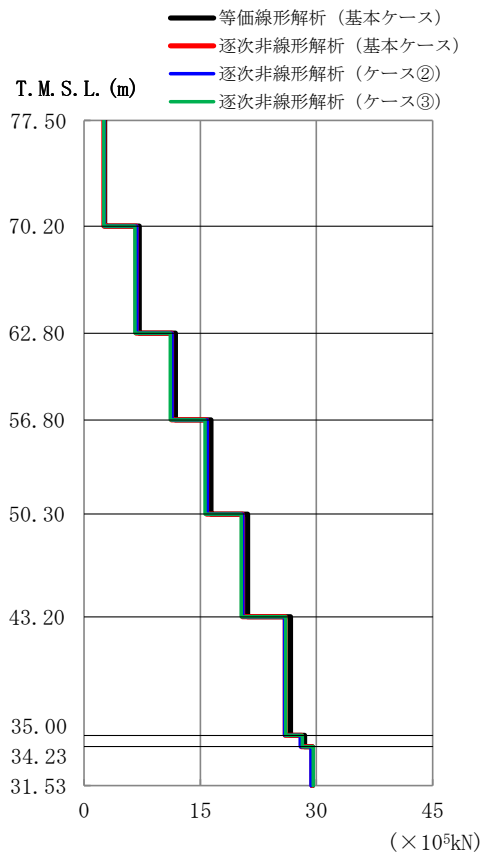
参考 1-10 図 (4) 床応答スペクトル (EW 方向)
(Ss-C1, -σ, 逐次非線形解析)



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

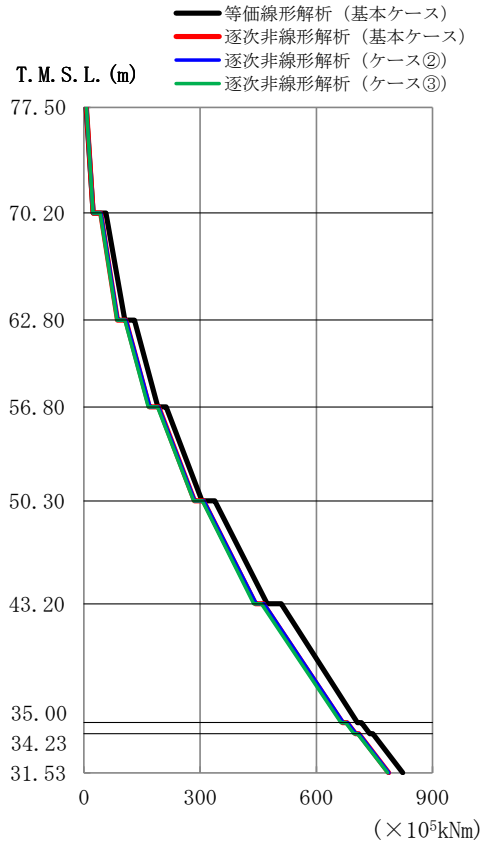
(a) 最大応答加速度

参考 1-11 図 建屋応答結果 (NS 方向)
 (1.2 × S_s-C1, 逐次非線形解析)



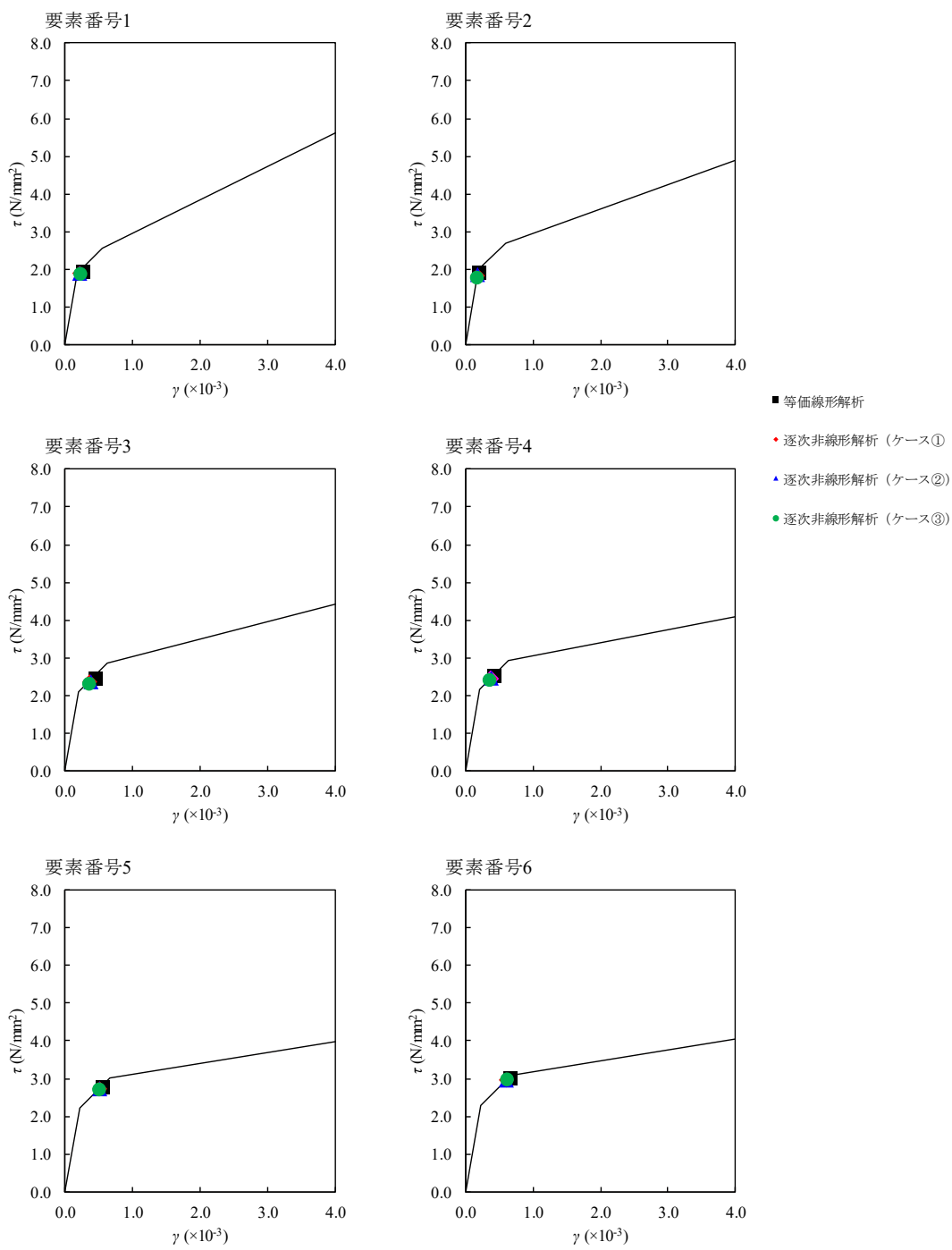
T. M. S. L. (m)	要素番号	最大応答せん断力(×10 ⁵ kN)			
		等価線形解析 (基本ケース)	逐次非線形解析 (基本ケース)	逐次非線形解析 (ケース②)	逐次非線形解析 (ケース③)
77.50	1	2.65	2.57	2.58	2.56
70.20	2	7.10	6.75	6.79	6.55
62.80	3	11.78	11.31	11.38	11.14
56.80	4	16.40	15.84	15.89	15.64
50.30	5	21.12	20.47	20.52	20.31
43.20	6	26.67	25.99	25.89	26.05
35.00	7	28.49	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 1-12 図 建屋応答結果 (NS 方向)
 (1.2×S_S-C1, 逐次非線形解析)



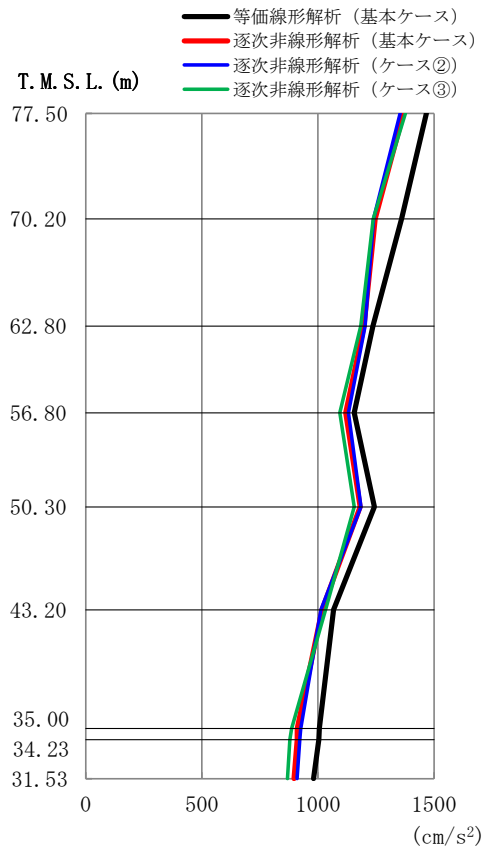
T. M. S. L. (m)	要素 番号	最大応答曲げモーメント ($\times 10^5 \text{kNm}$)			
		等価線形解析 (基本ケース)	逐次非線形解析 (基本ケース)	逐次非線形解析 (ケース②)	逐次非線形解析 (ケース③)
77.50	1	23.99	23.74	24.04	23.17
70.20	2	105.33	86.30	87.40	85.02
62.80	3	190.50	169.22	170.00	166.43
56.80	4	304.79	285.04	286.12	283.01
50.30	5	473.32	443.12	445.29	438.39
43.20	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 1-13 図 建屋応答結果 (NS 方向)
(1.2 \times S_S-C1, 逐次非線形解析)



(d) $\tau - \gamma$ 関係

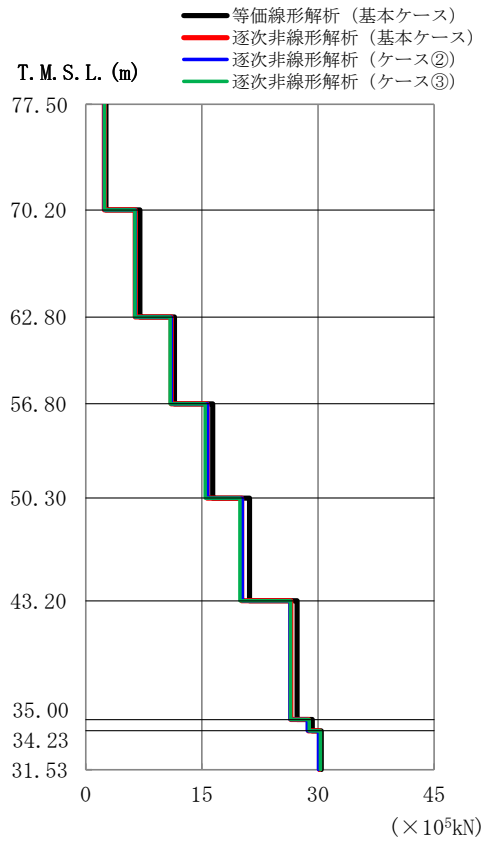
参考 1-14 図 建屋応答結果 (NS 方向)
 (1.2 × S_s-C1, 逐次非線形解析)



T. M. S. L. (m)	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

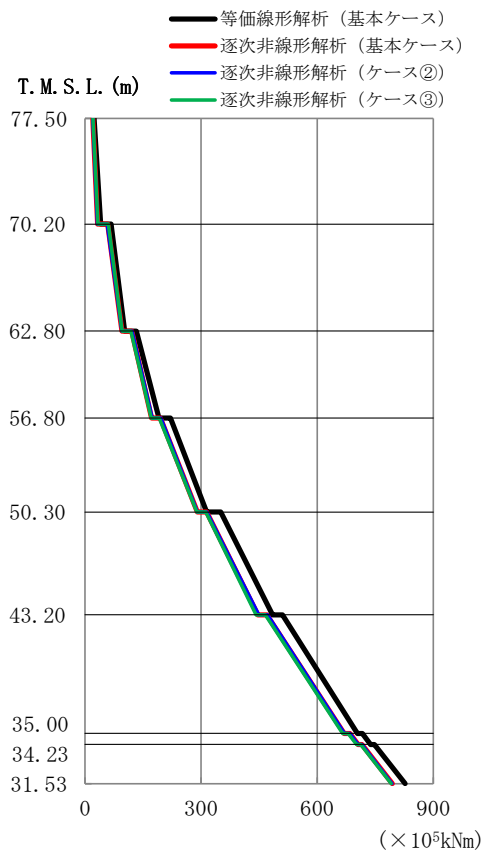
(a) 最大応答加速度

参考 1-15 図 建屋応答結果 (EW 方向)
(1.2 × S_S-C1, 逐次非線形解析)



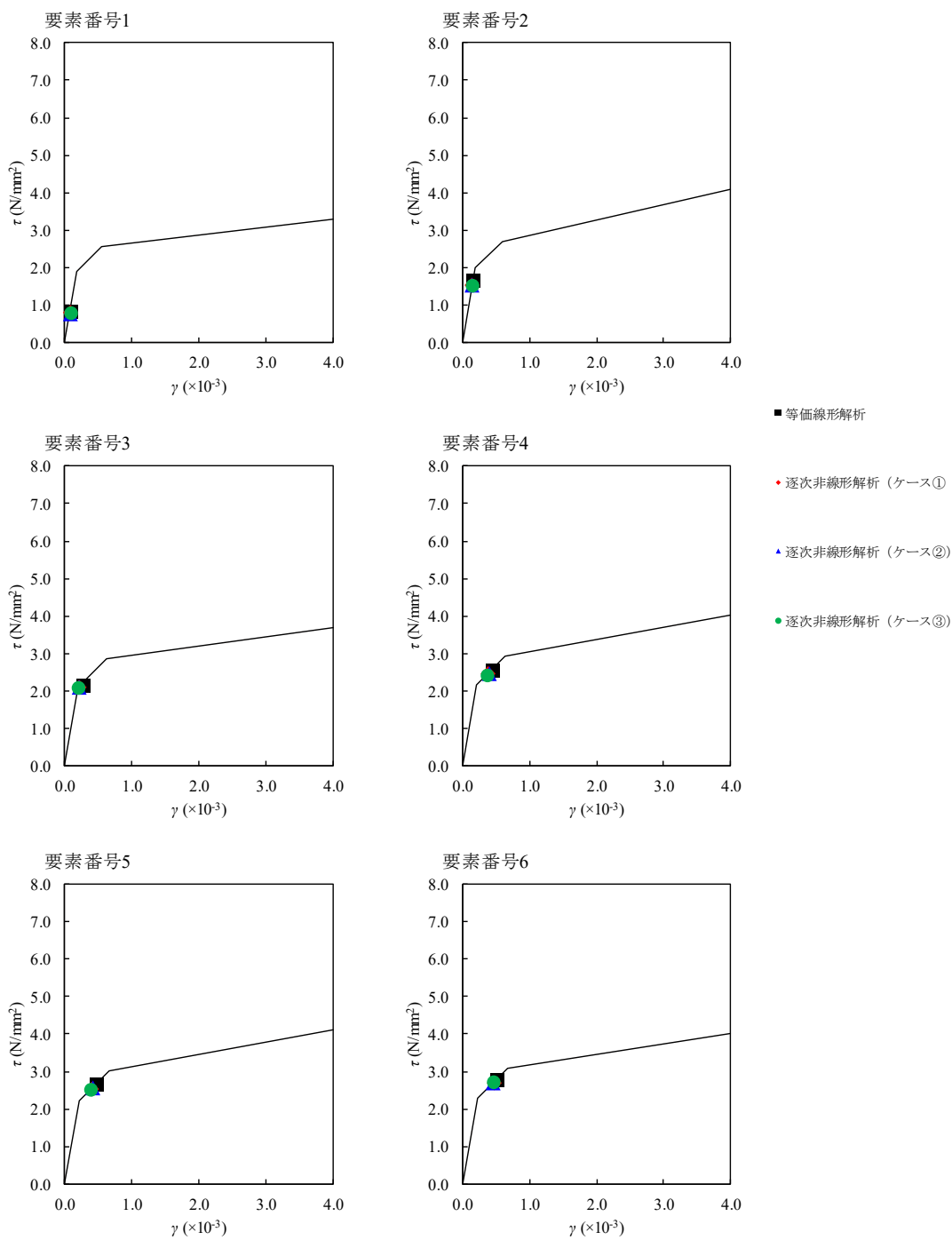
T. M. S. L. (m)	要素番号	最大応答せん断力 (×10 ⁵ kN)			
		等価線形解析 (基本ケース)	逐次非線形解析 (基本ケース)	逐次非線形解析 (ケース②)	逐次非線形解析 (ケース③)
77.50	1	2.61	2.43	2.40	2.45
70.20	2	7.00	6.41	6.41	6.38
62.80	3	11.48	11.06	11.07	10.93
56.80	4	16.43	15.68	15.77	15.45
50.30	5	21.18	20.15	20.23	19.93
43.20	6	27.29	26.50	26.41	26.47
35.00	7	29.26	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 1-16 図 建屋応答結果 (EW 方向)
 (1.2 × S_S-C1, 逐次非線形解析)



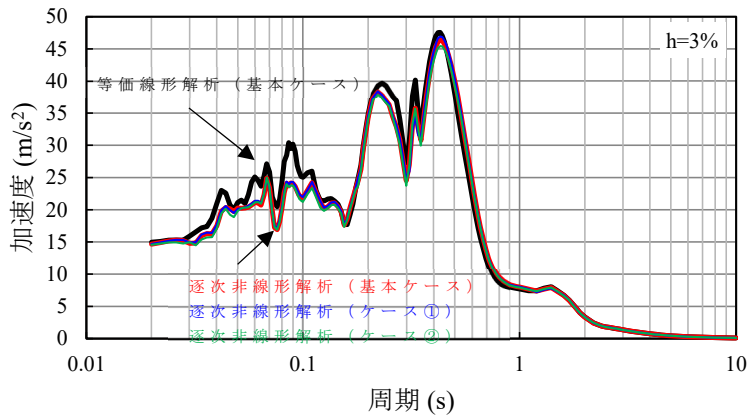
T. M. S. L. (m)	要素番号	最大応答曲げモーメント ($\times 10^5 \text{kNm}$)			
		等価線形解析 (基本ケース)	逐次非線形解析 (基本ケース)	逐次非線形解析 (ケース②)	逐次非線形解析 (ケース③)
77.50	1	40.18	32.71	32.21	33.40
70.20	2	102.78	95.13	95.11	95.97
62.80	3	191.42	172.43	173.52	171.73
56.80	4	314.06	290.31	290.50	288.93
50.30	5	484.19	446.78	448.97	442.36
43.20	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 1-17 図 建屋応答結果 (EW 方向)
 (1.2 \times S_S-C1, 逐次非線形解析)

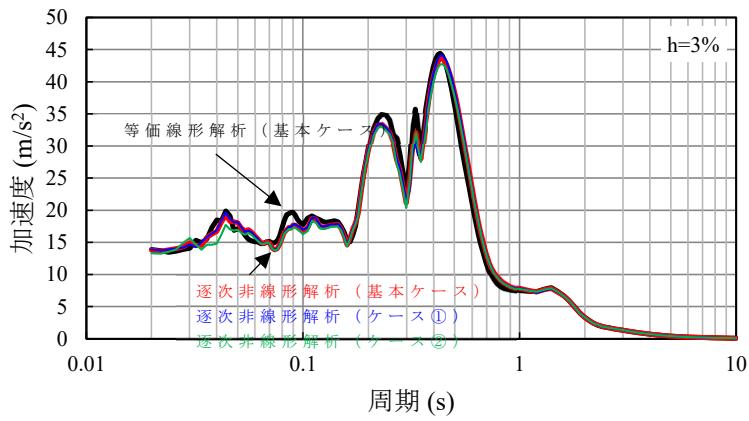


(d) $\tau - \gamma$ 関係

参考 1-18 図 建屋応答結果 (EW 方向)
(1.2 × S_s-C1, 逐次非線形解析)

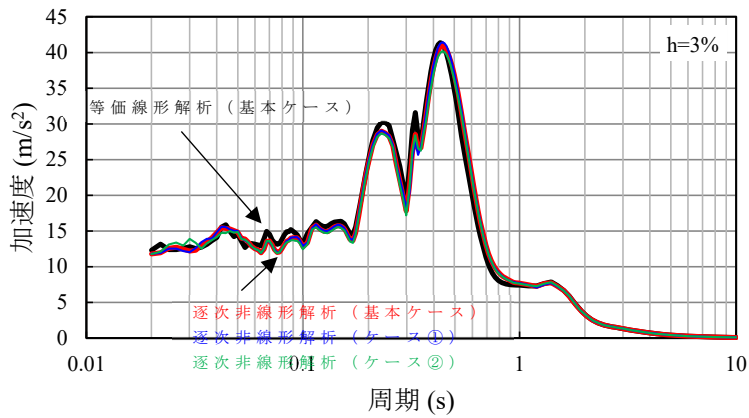


T.M.S.L. 77.50m (質点 1)

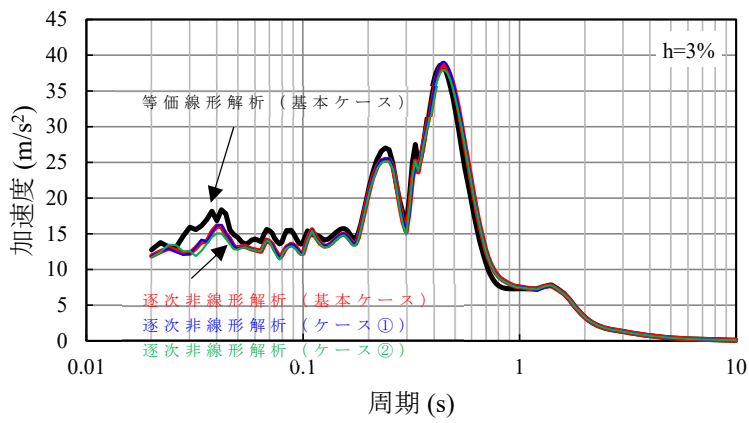


T.M.S.L. 70.20m (質点 2)

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



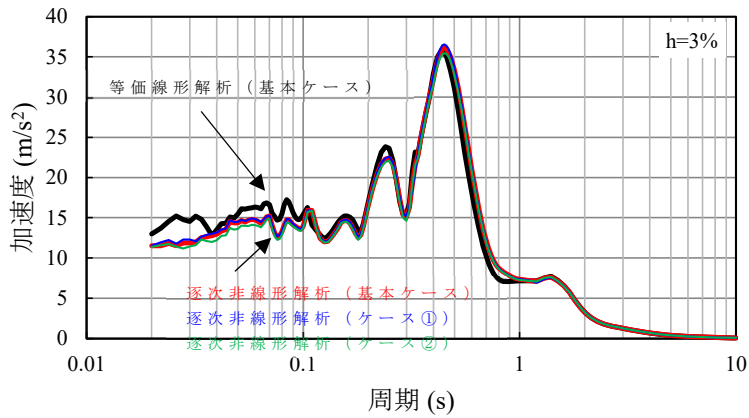
T. M. S. L. 62.80m (質点 3)



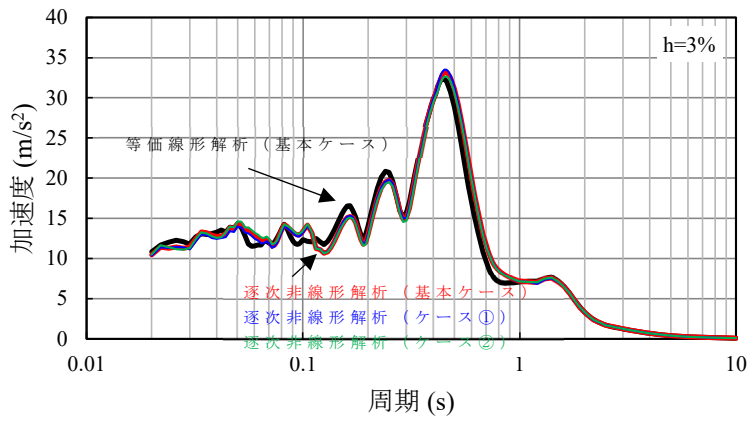
T. M. S. L. 56.80m (質点 4)

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

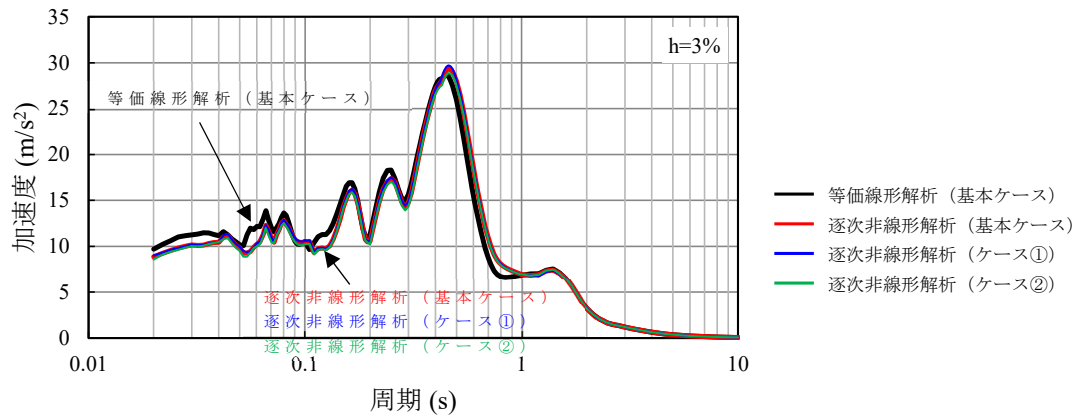


T. M. S. L. 50.30m (質点 5)



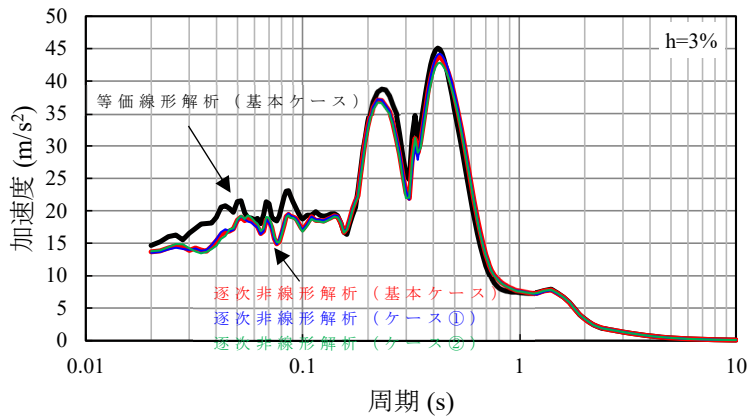
T. M. S. L. 43.20m (質点 6)

参考 1-19 図 (3) 床応答スペクトル (NS 方向)
(1.2 × S_s-C1, 逐次非線形解析)

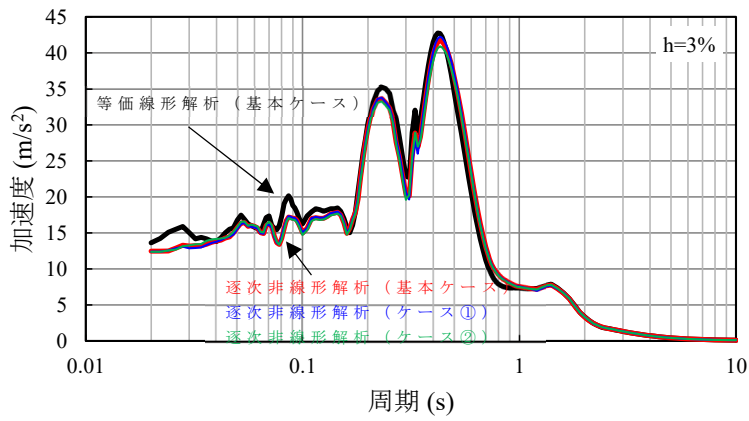


T. M. S. L. 35.00m (質点 7)

参考 1-19 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)



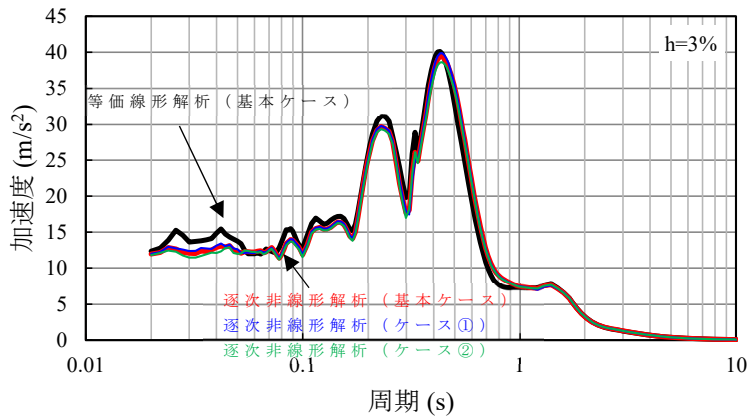
T.M.S.L. 77.50m (質点 1)



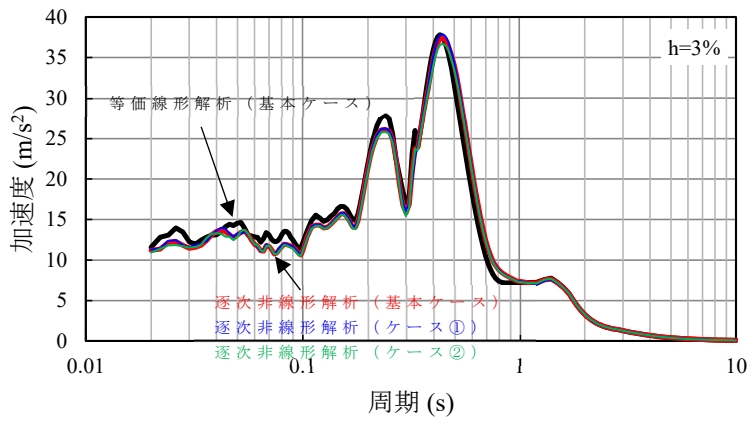
T.M.S.L. 70.20m (質点 2)

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



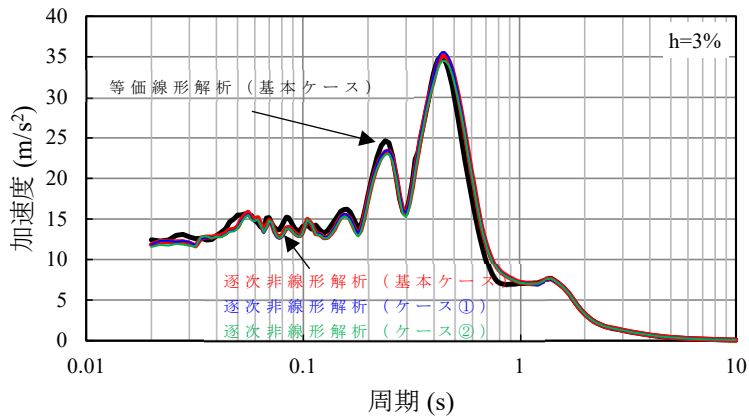
T. M. S. L. 62.80m (質点 3)



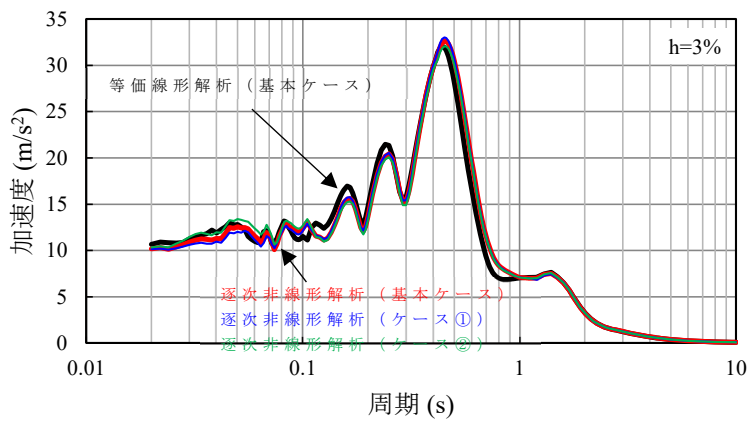
T. M. S. L. 56.80m (質点 4)

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



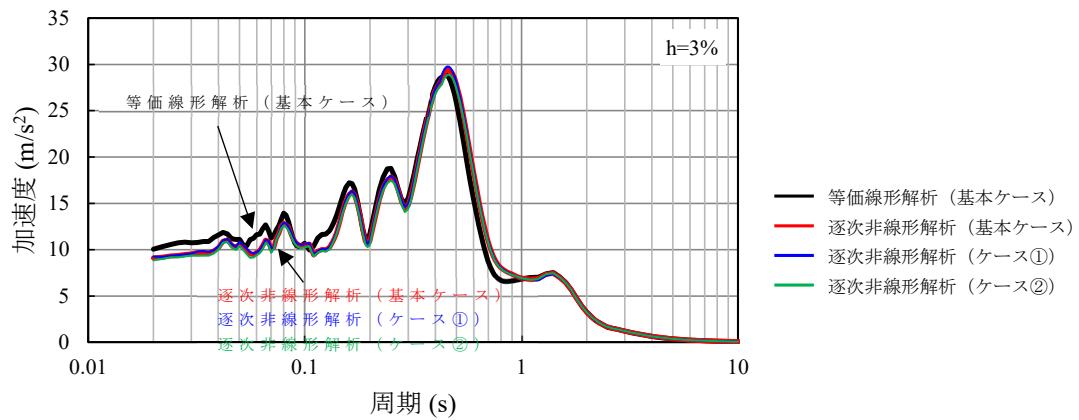
T.M.S.L. 50.30m (質点 5)



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)

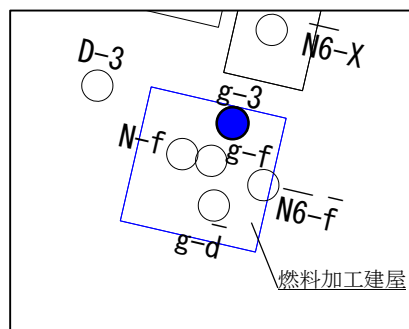
参考 1-20 図 (3) 床応答スペクトル (EW 方向)
($1.2 \times S_s - C1$, 逐次非線形解析)



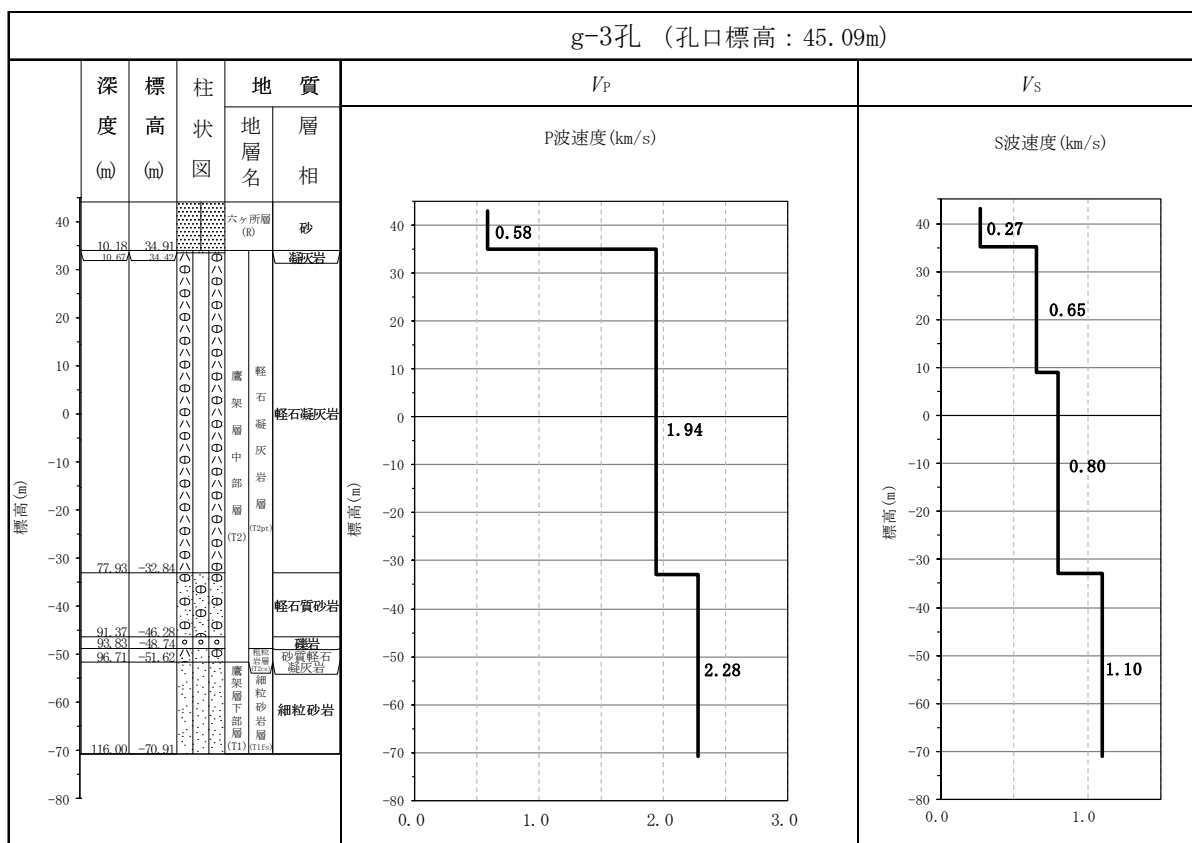
T. M. S. L. 35.00m (質点 7)

参考 1-20 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)

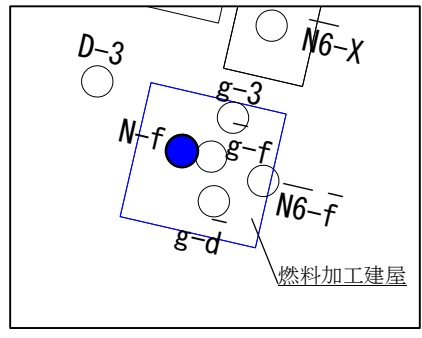
参考 2 燃料加工建屋の地盤モデル作成に用いる速度構造データ集



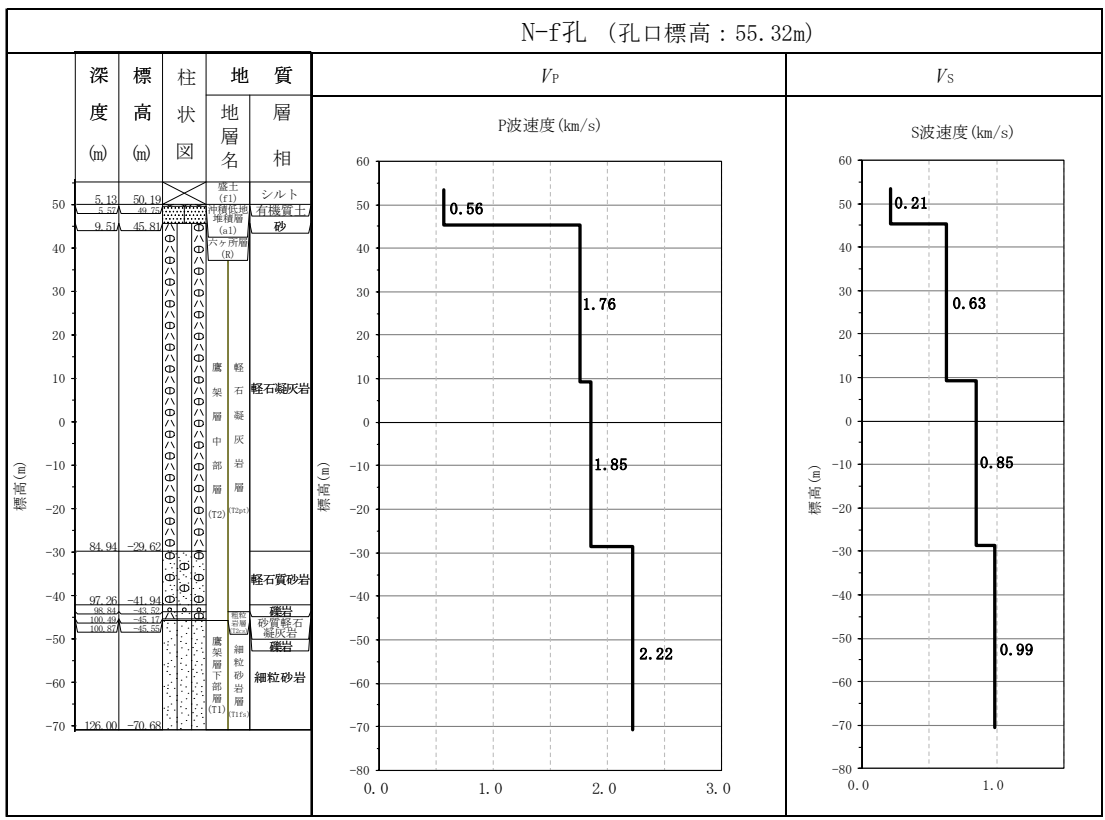
キープラン



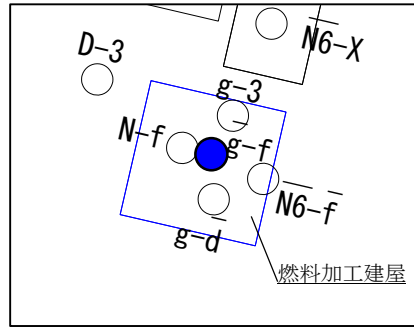
参考 2-1 図 燃料加工建屋の速度構造データ (1/8)



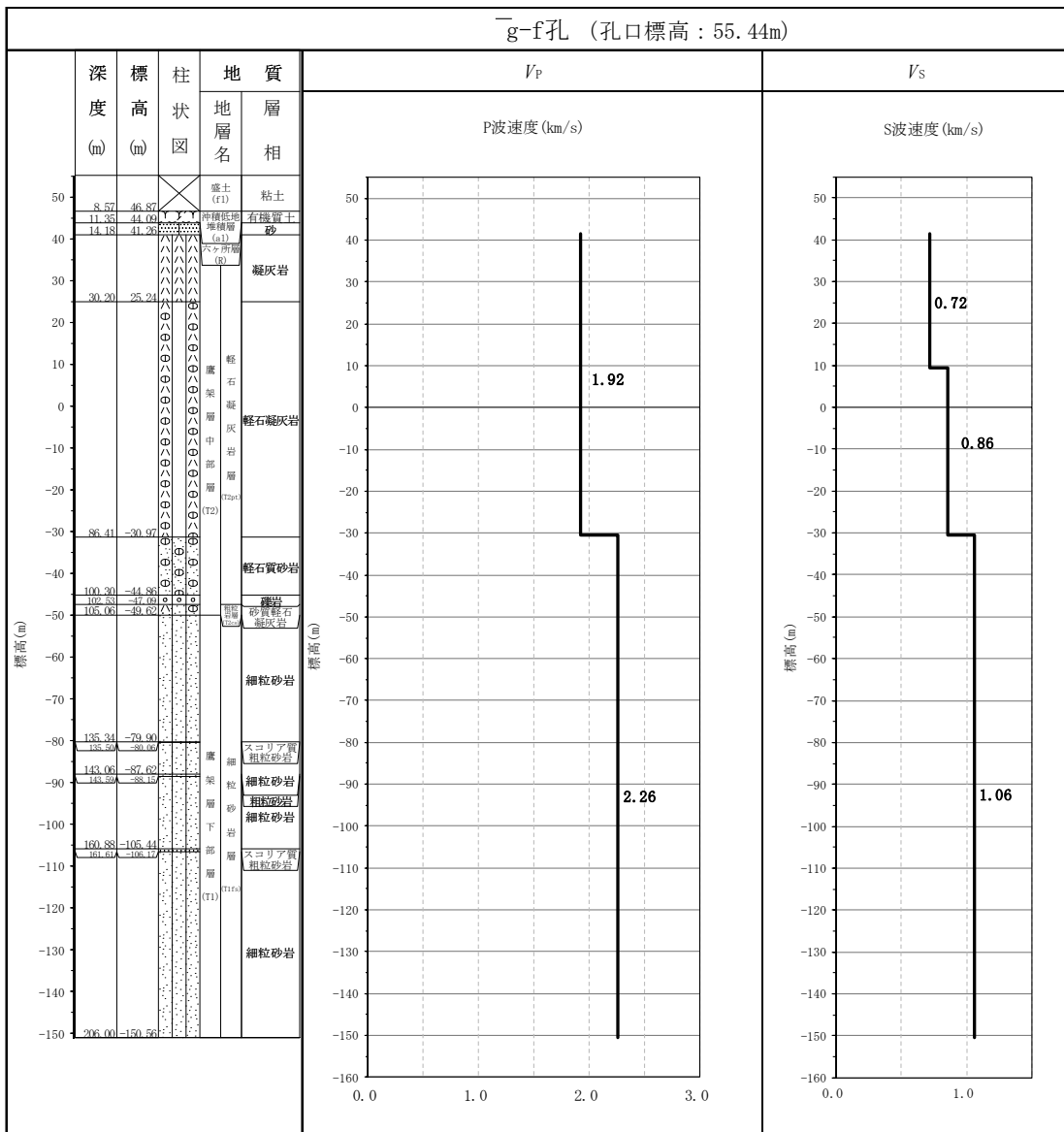
キープラン



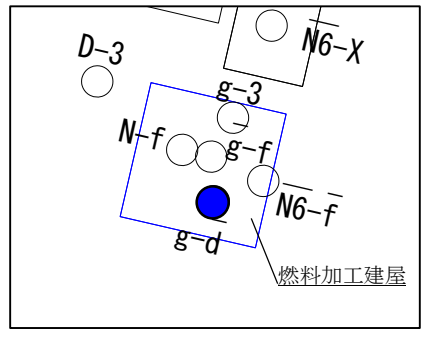
参考 2-1 図 燃料加工建屋の速度構造データ (2/8)



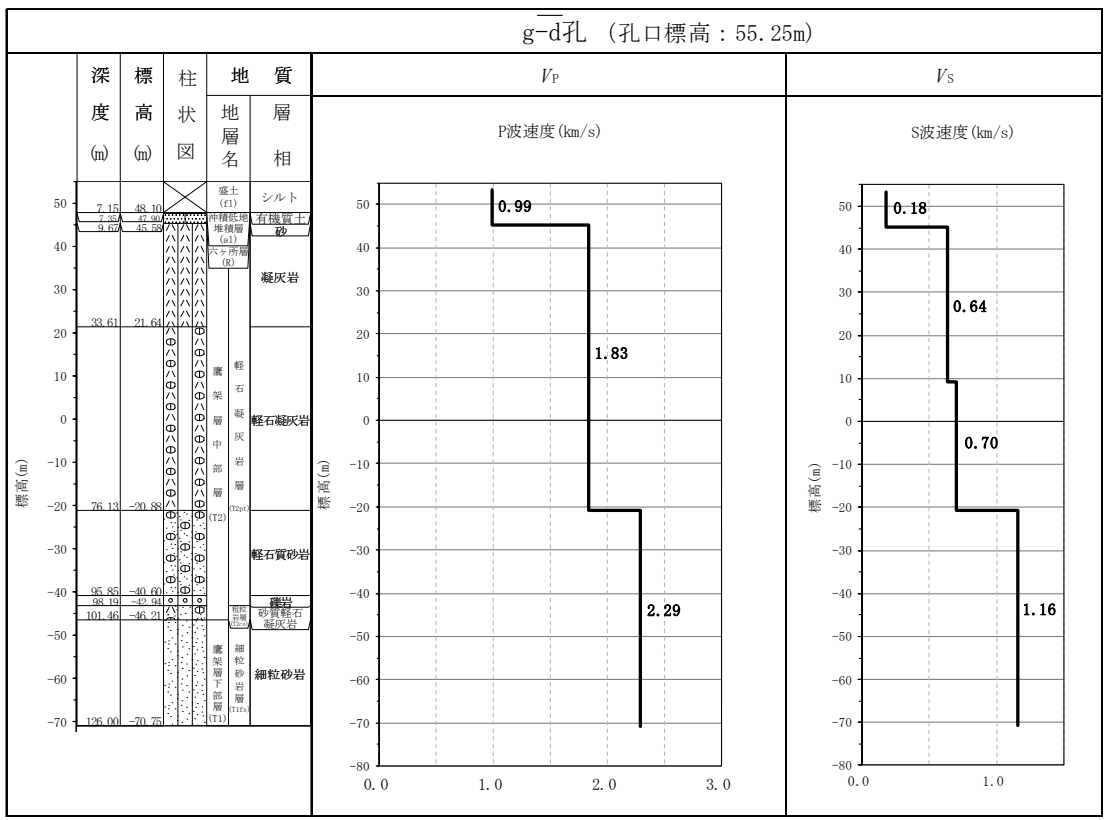
キープラン



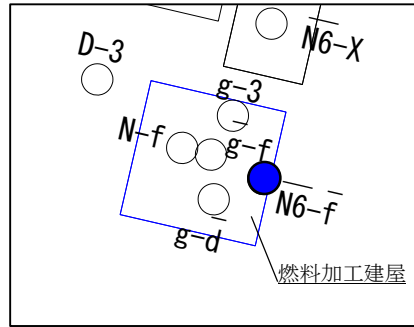
参考 2-1 図 燃料加工建屋の速度構造データ (3/8)



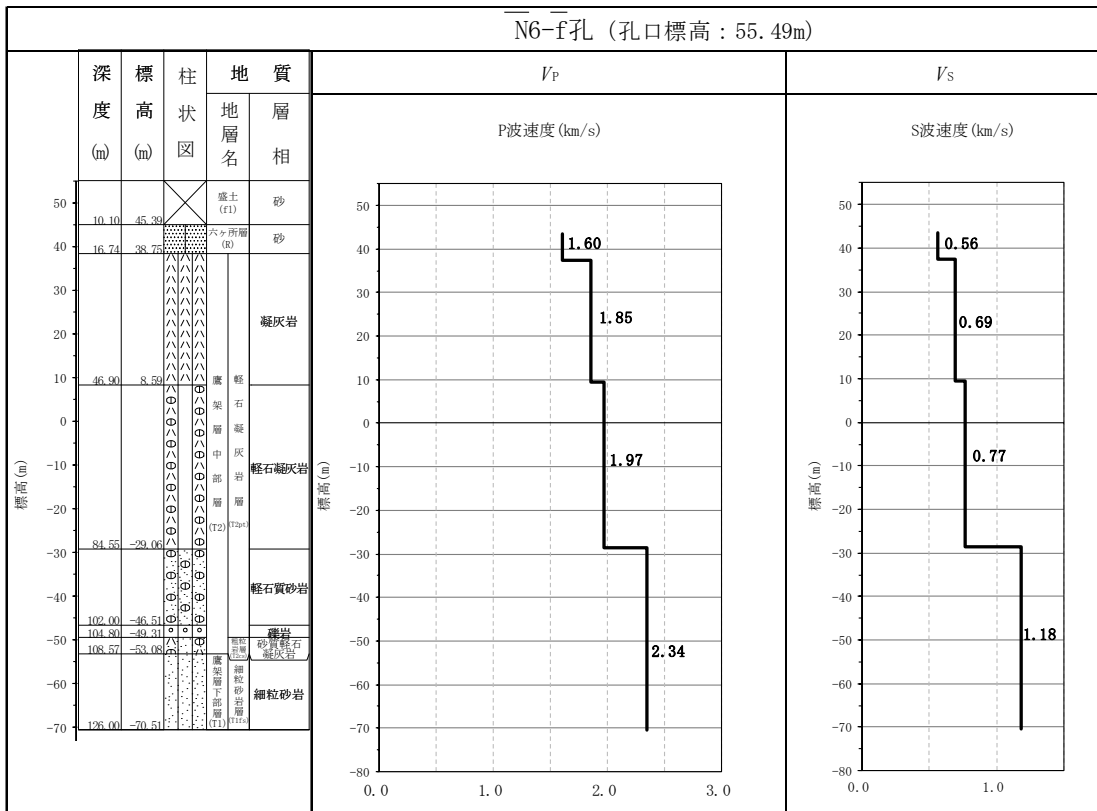
キープラン



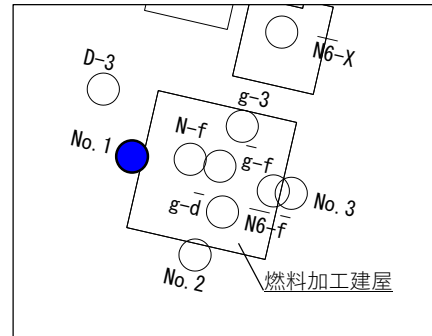
参考 2-1 図 燃料加工建屋の速度構造データ (4/8)



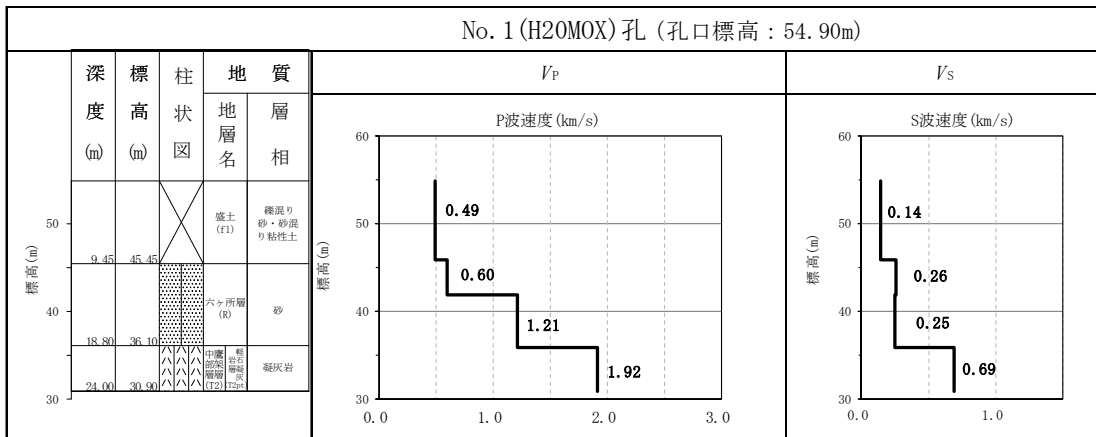
キープラン



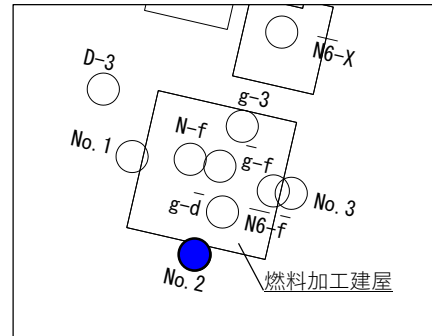
参考 2-1 図 燃料加工建屋の速度構造データ (5/8)



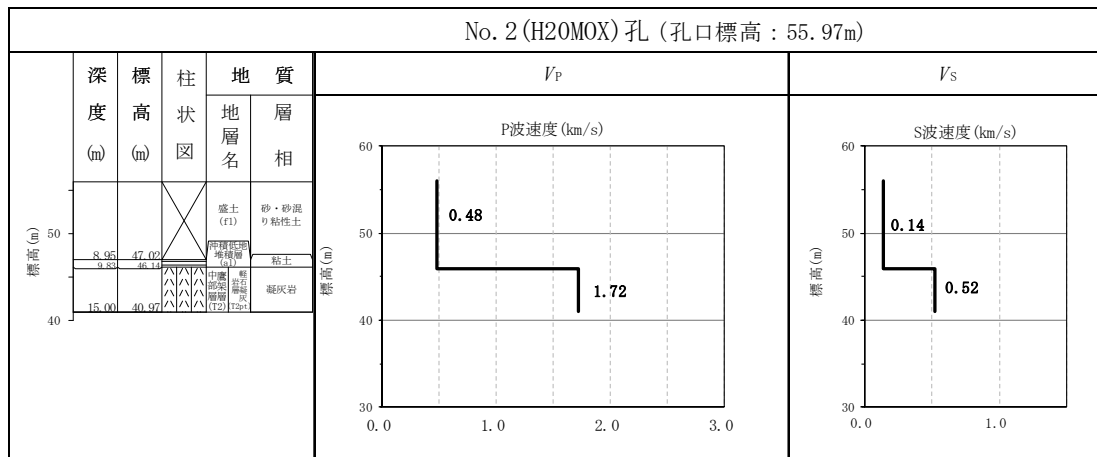
キープラン



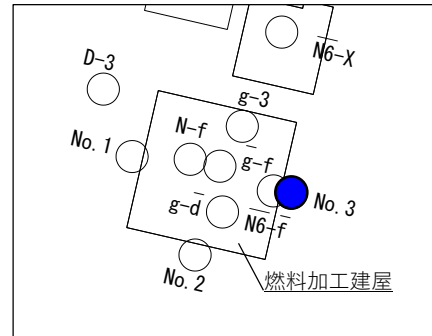
参考 2-1 図 燃料加工建屋の速度構造データ (6/8)



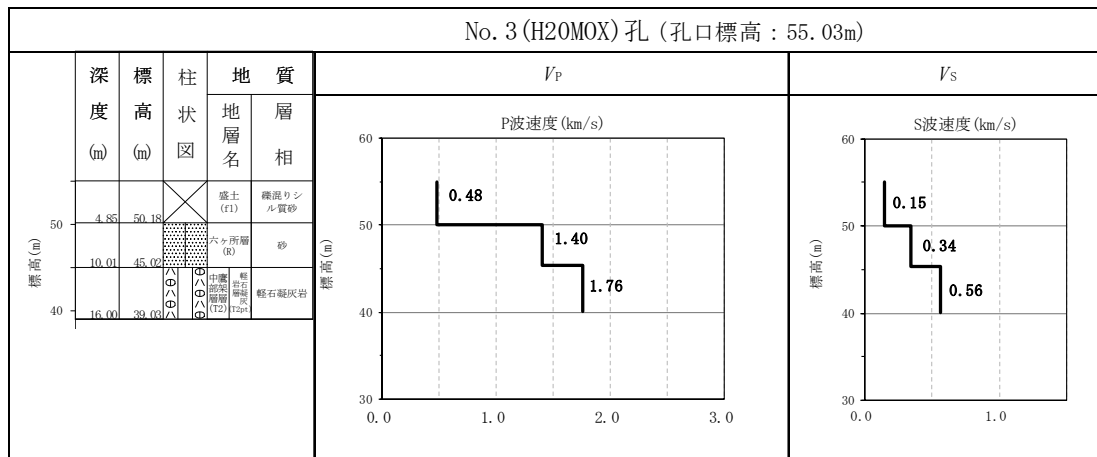
キープラン



参考 2-1 図 燃料加工建屋の速度構造データ (7/8)



キープラン



参考 2-1 図 燃料加工建屋の速度構造データ (8/8)

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	ひずみ依存特性の設定	別紙 1-2-8
2.3	ばらつき幅の設定	別紙 1-2-13
3.	安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデル	別紙 1-2-18
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 1-2-20

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るが、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。

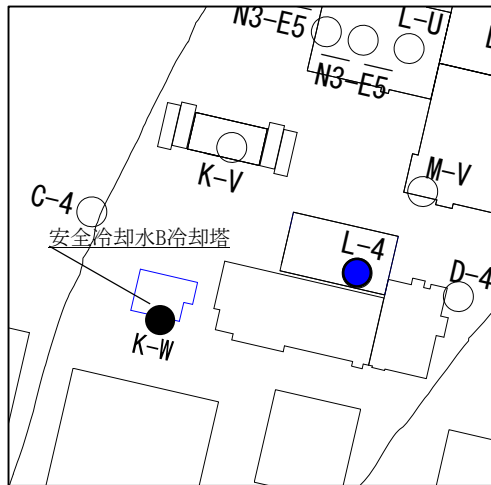
地盤モデルの速度構造の設定にあたっては、第 2.1-4 図に示すとおり、L-4 孔における細粒砂岩中の速度境界については、K-W 孔と L-4 孔の細粒砂岩の上端レベルが概ね等しく、同様の上載圧が作用していると考えられ、細粒砂岩中の速度構造は K-W 孔と L-4 孔で同様の傾向を示すと判断し、L-4 孔と同じレベルに速度境界を設定した。また、L-4 孔においては、鷹架層下部層の細粒砂岩と泥岩の境界レベルと対応した速度境界が認められることから、K-W 孔の細粒砂岩と泥岩の境界レベルとの違いを踏まえ、K-W 孔における細粒砂岩と泥岩の境界レベルに合わせて速度境界レベルの補正を行った。

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。

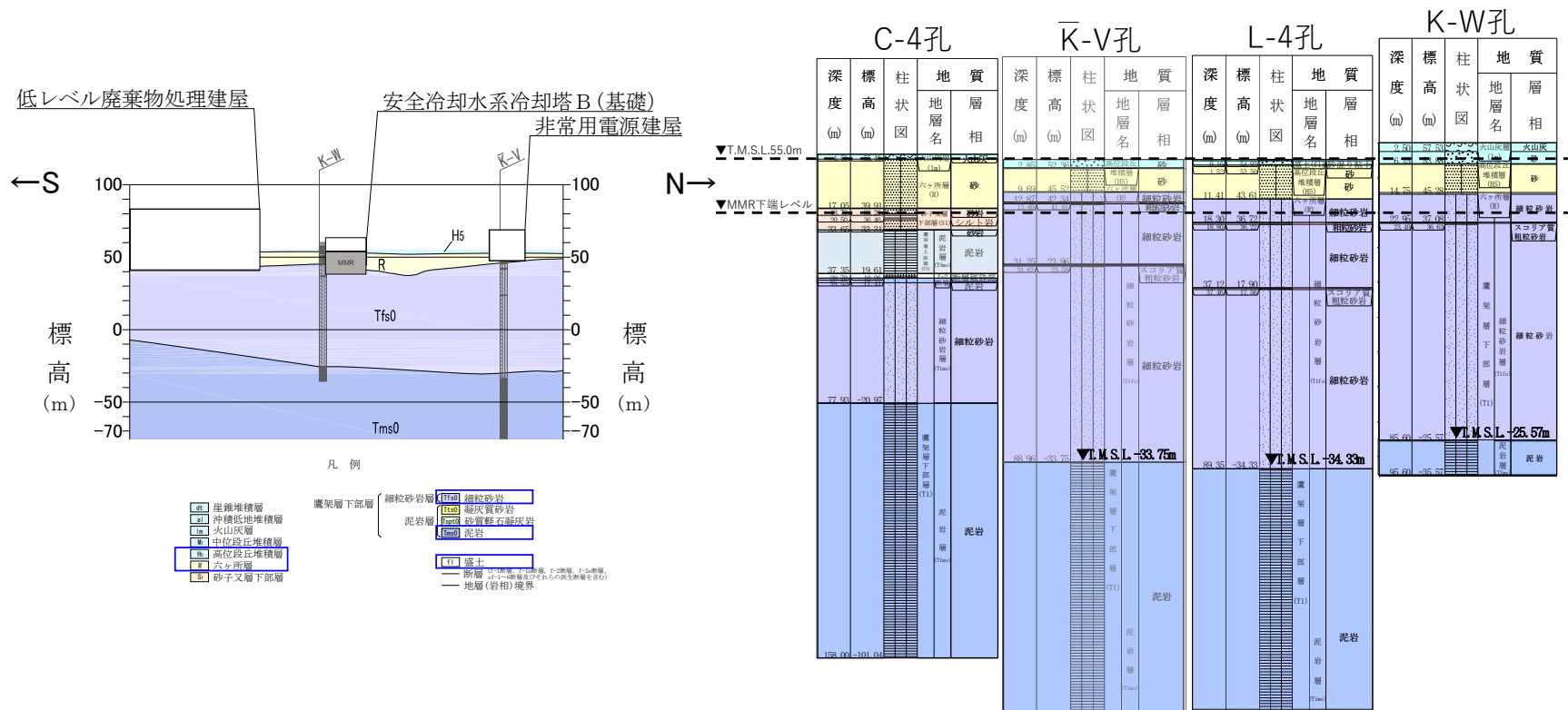
上記に基づき設定した S 波速度及び P 波速度を基本ケースとして設定する。

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。

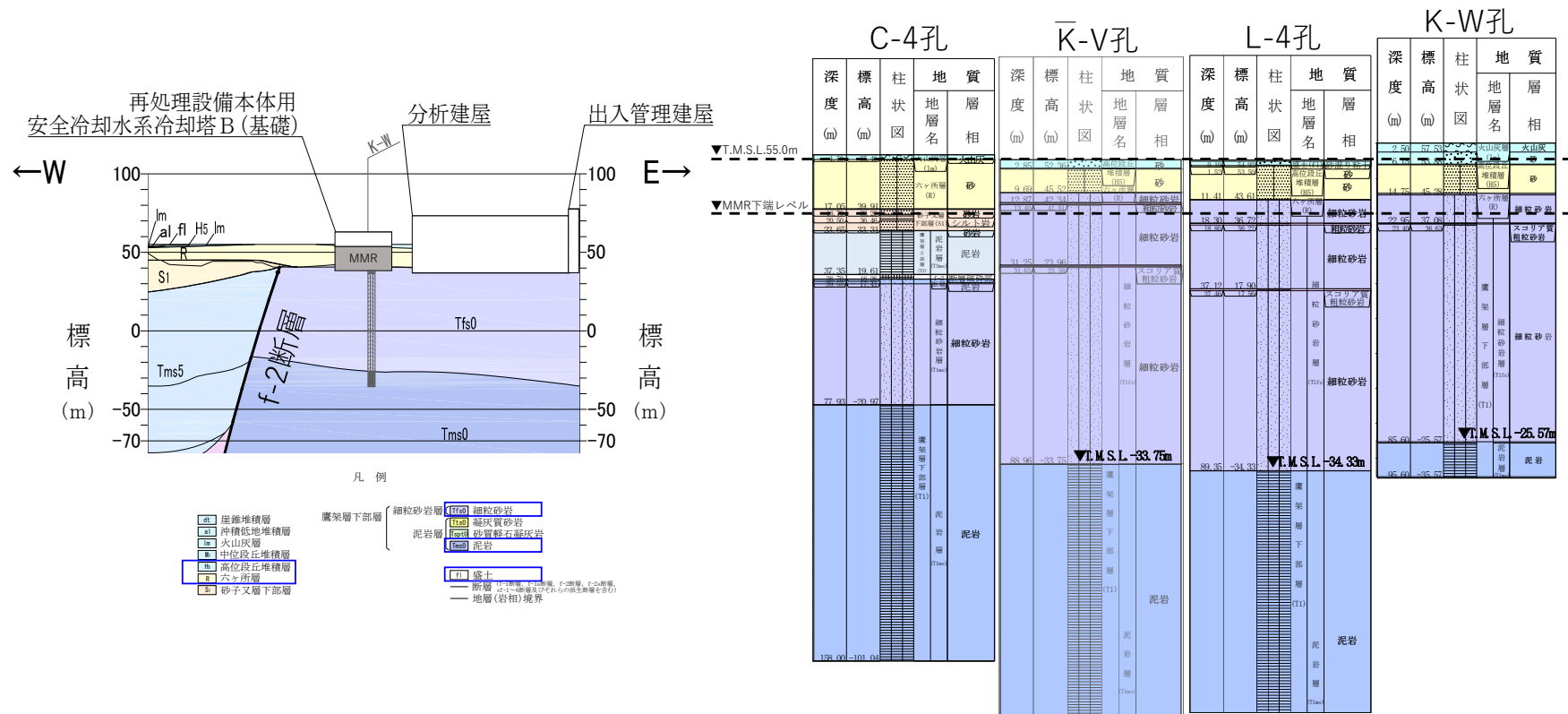


●：地盤モデルの作成に用いるPS検層孔

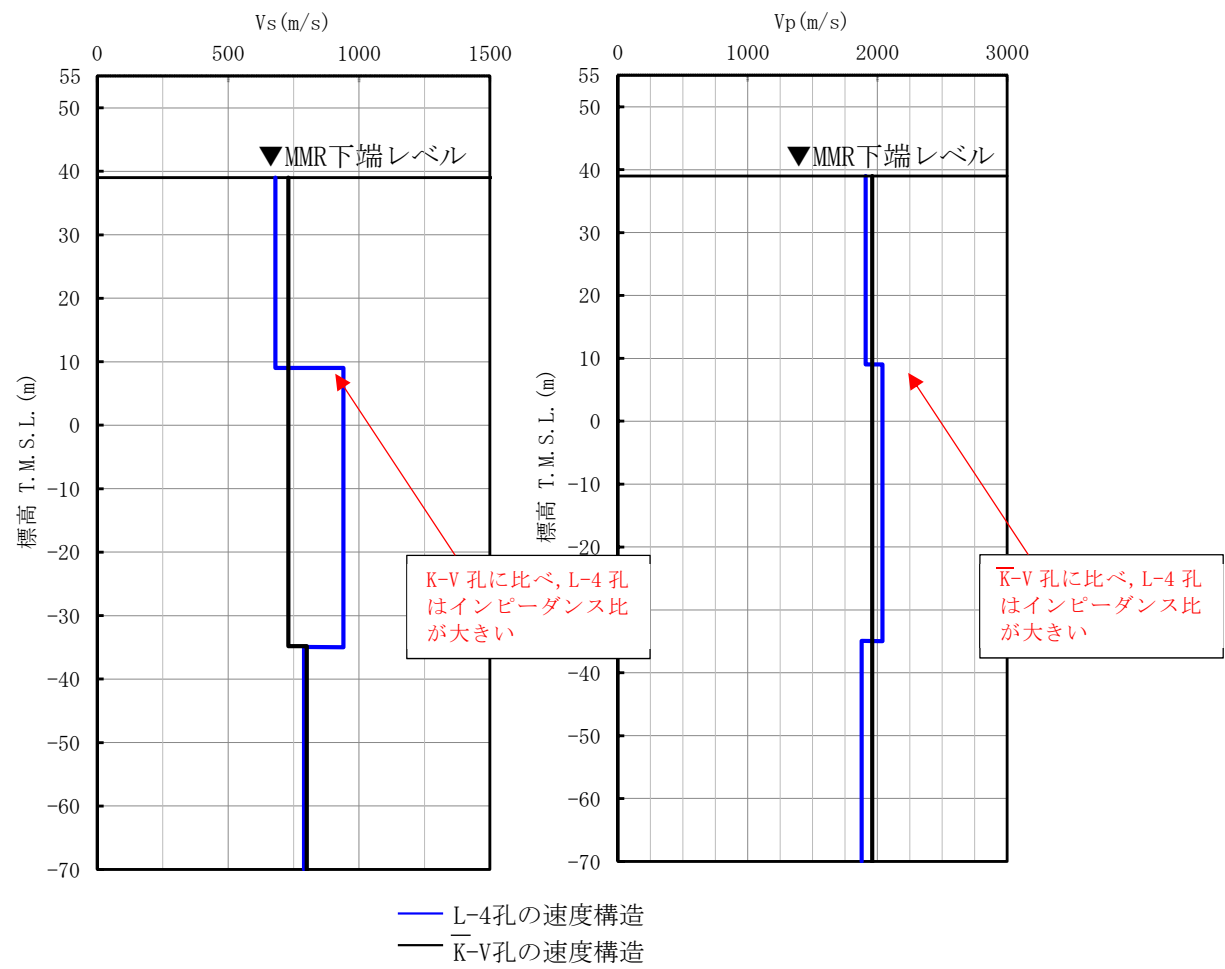
第 2.1-1 図 安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデル作成に用いる
PS 検層孔位置図



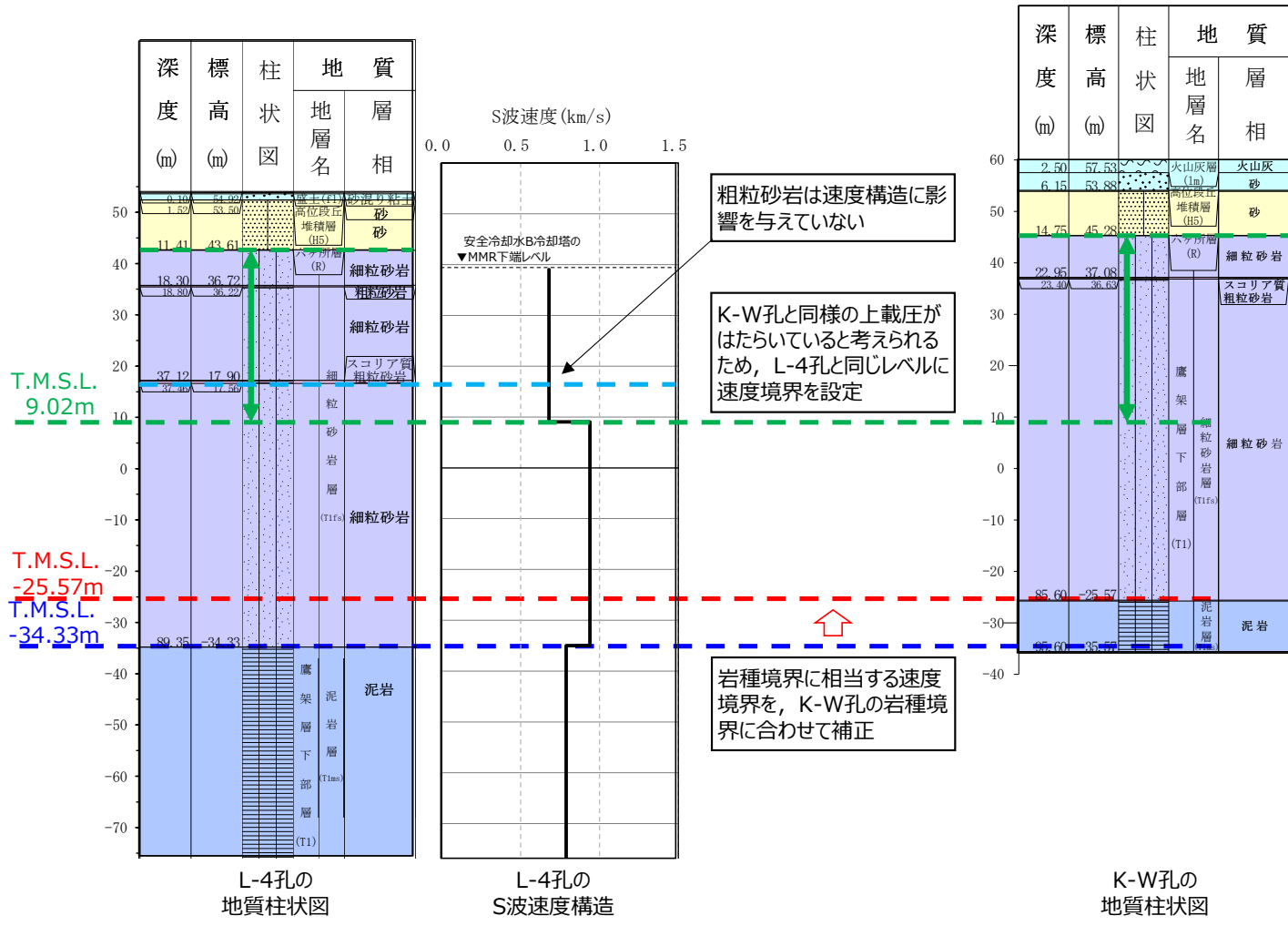
第 2.1-2 図 (1) 安全冷却水 B 冷却塔の地質断面図と近傍の PS 検層データの比較 (NS 方向)



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)



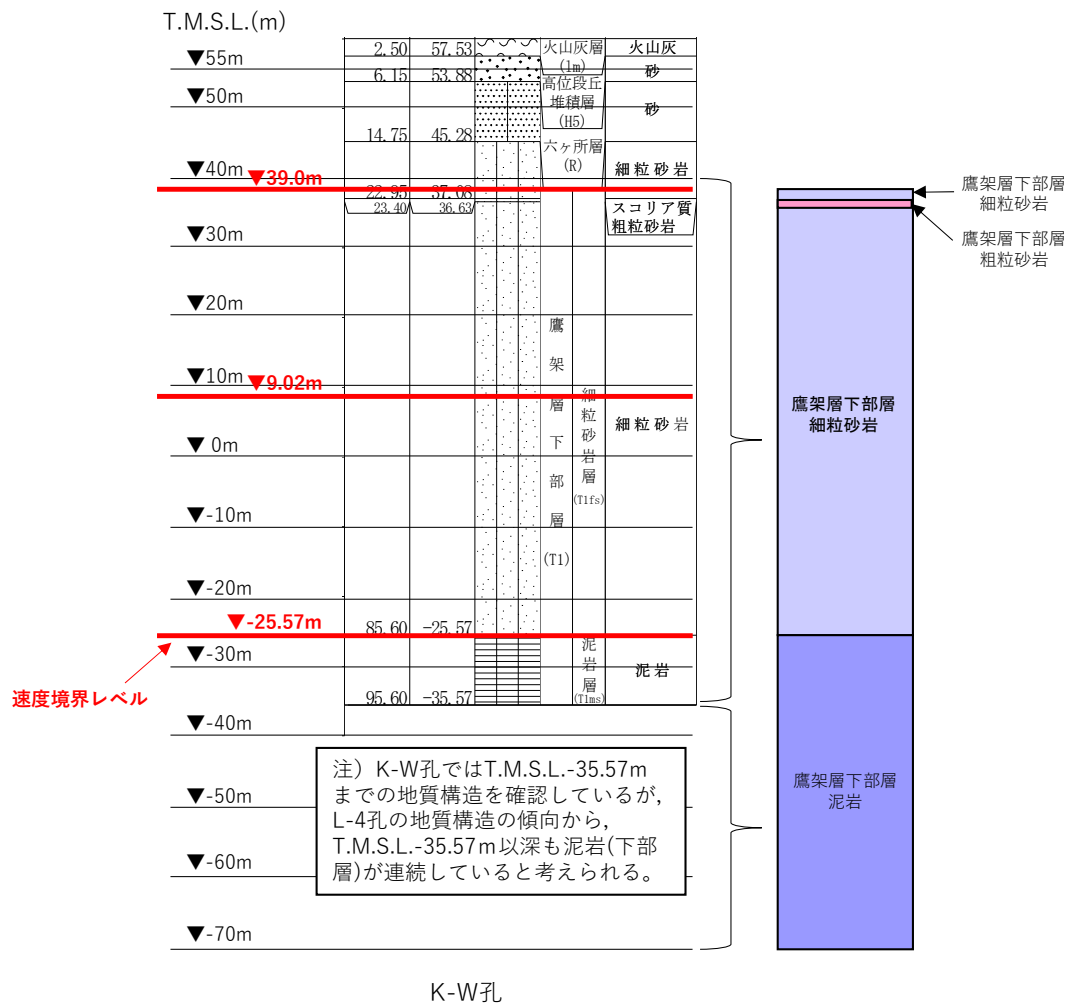
第 2.1-3 図 L-4 孔と K-V 孔の速度構造の比較



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

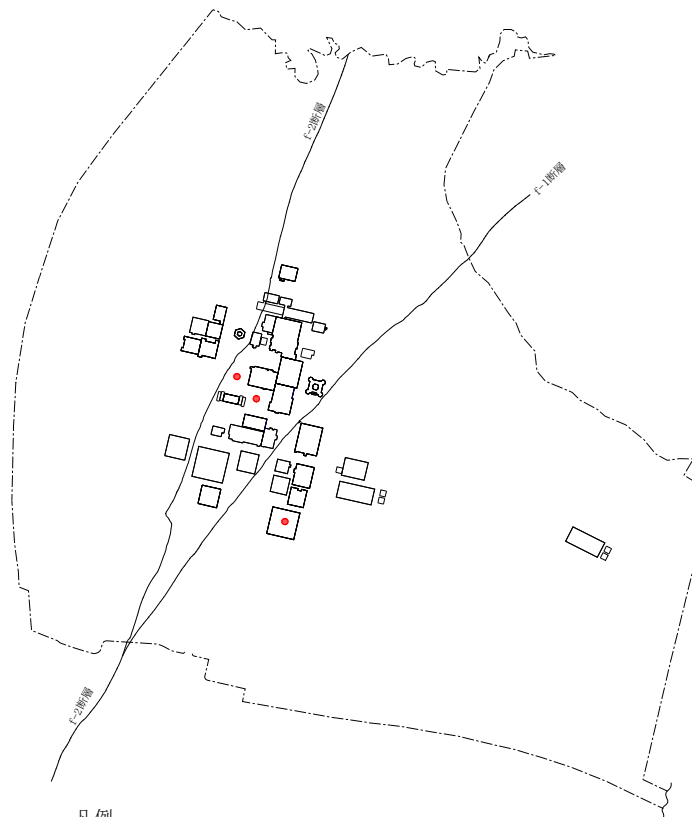
2.2 ひずみ依存特性の設定

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 2.2-1 図に直下孔の地質柱状図における岩種を示す。第 2.2-2 図～第 2.2-4 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 2.2-1 図 地質柱状図

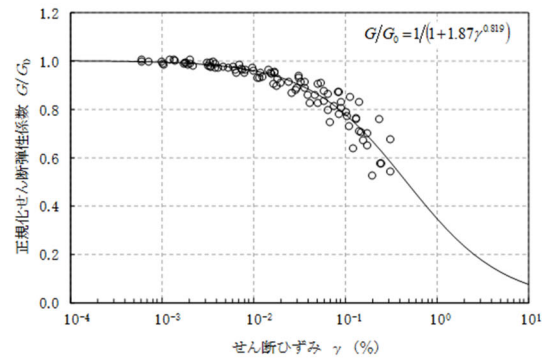
別紙 1-2-9



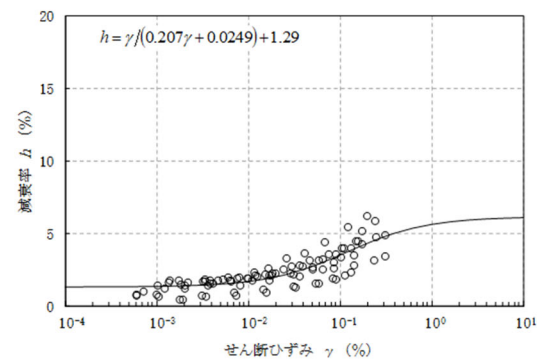
●: 支持地盤のひずみ依存特性の設定に用いたボーリング調査孔

再処理施設の事業変更許可申請書 第4.5-13図より引用

※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。

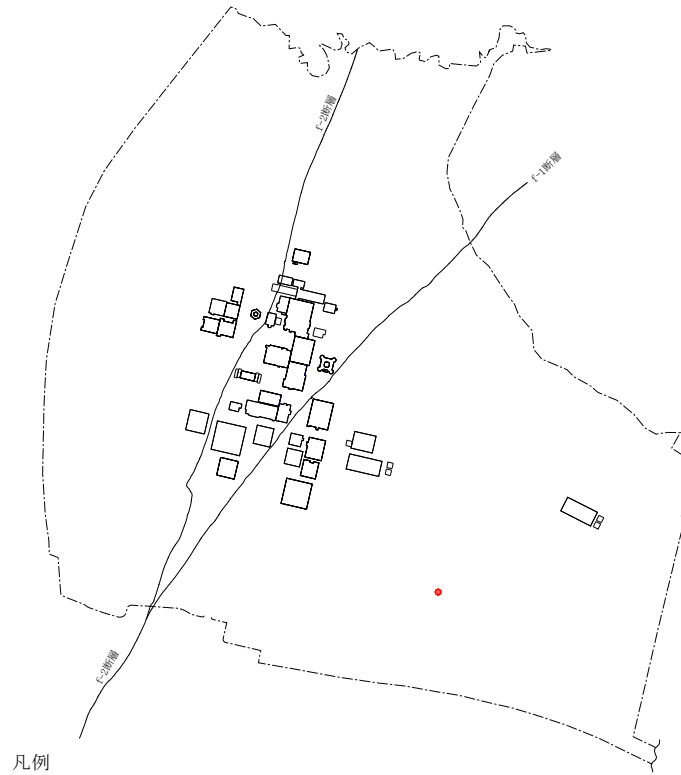


(a) 動的変形特性

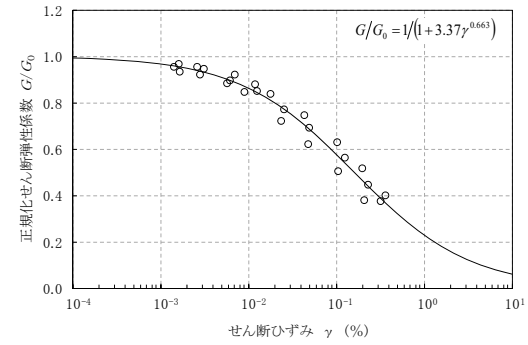


(b) 減衰特性

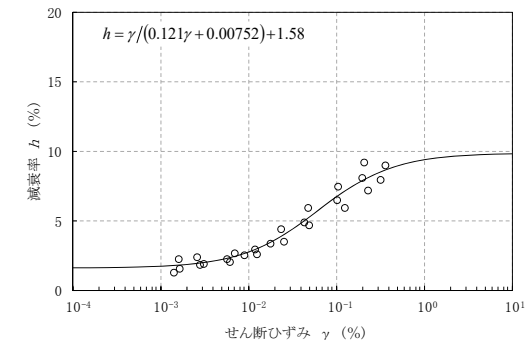
第2.2-2図 細粒砂岩のひずみ依存特性



● : 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



(a) 動的変形特性



(b) 減衰特性

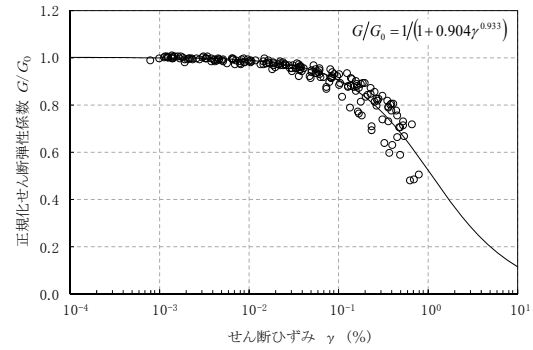
再処理施設の事業変更許可申請書 第 4.5-13 図より引用

※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。

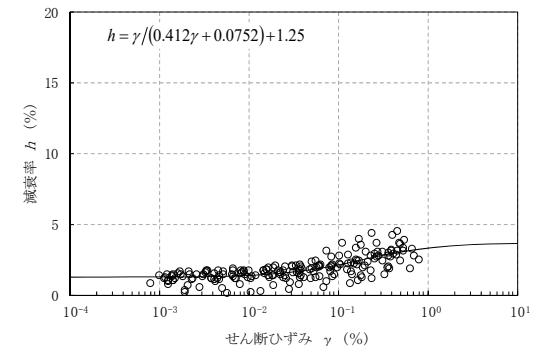
第 2.2-3 図 粗粒砂岩のひずみ依存特性



●: 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



(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

※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。

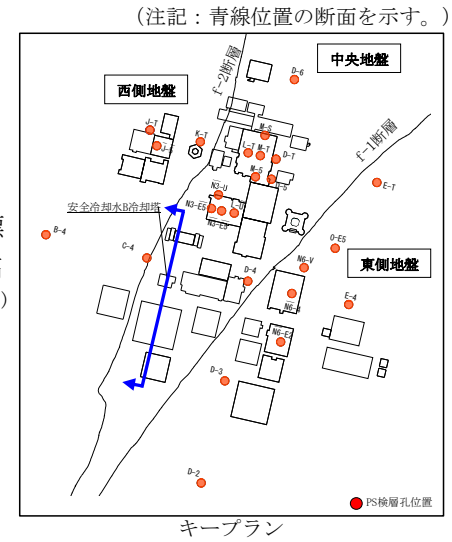
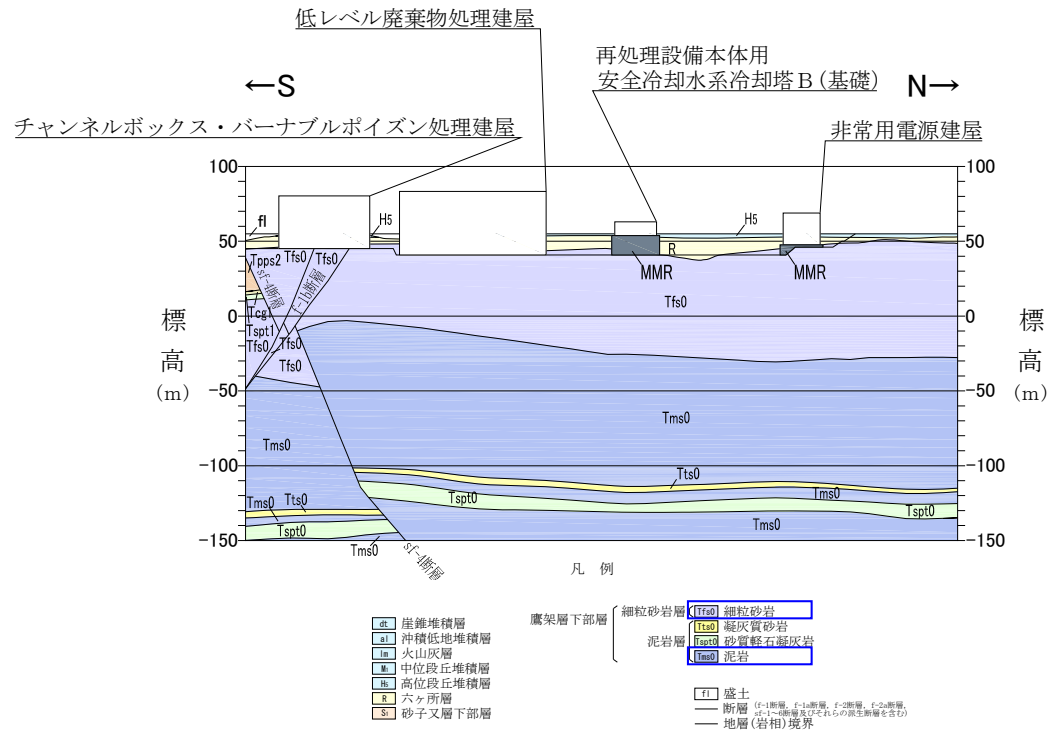
第2.2-4図 泥岩（下部層）のひずみ依存特性

2.3 ばらつき幅の設定

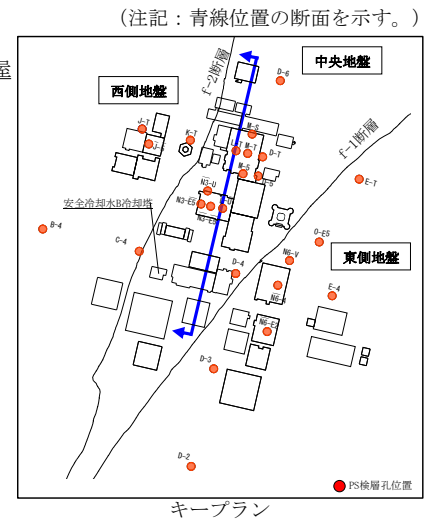
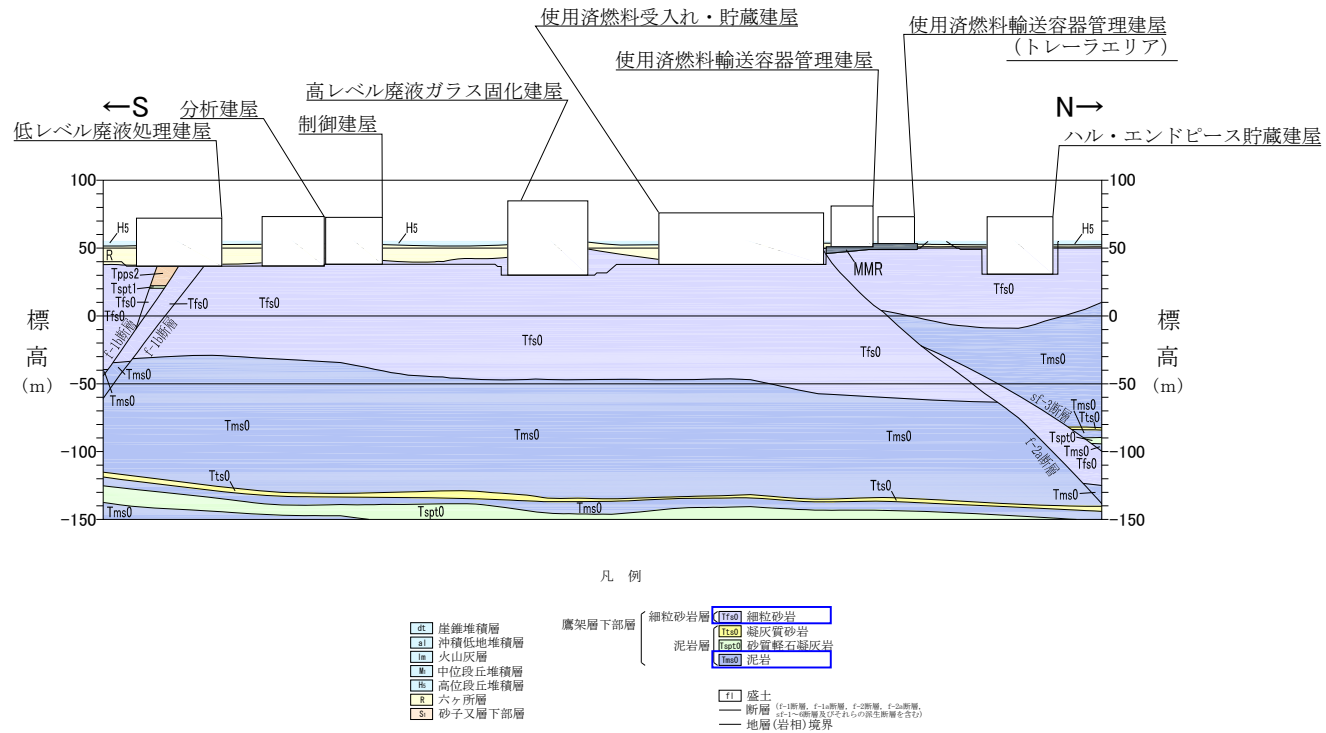
ばらつき幅の設定において、安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデルは、近傍の単一孔の PS 検層孔に基づき作成しているため、周辺の地盤状況を参照してばらつき幅の設定を行った。

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 2.3-1 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 2.3-1 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 2.3-2 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 2.3-1 図 (1) 中央地盤エリアの地質断面図

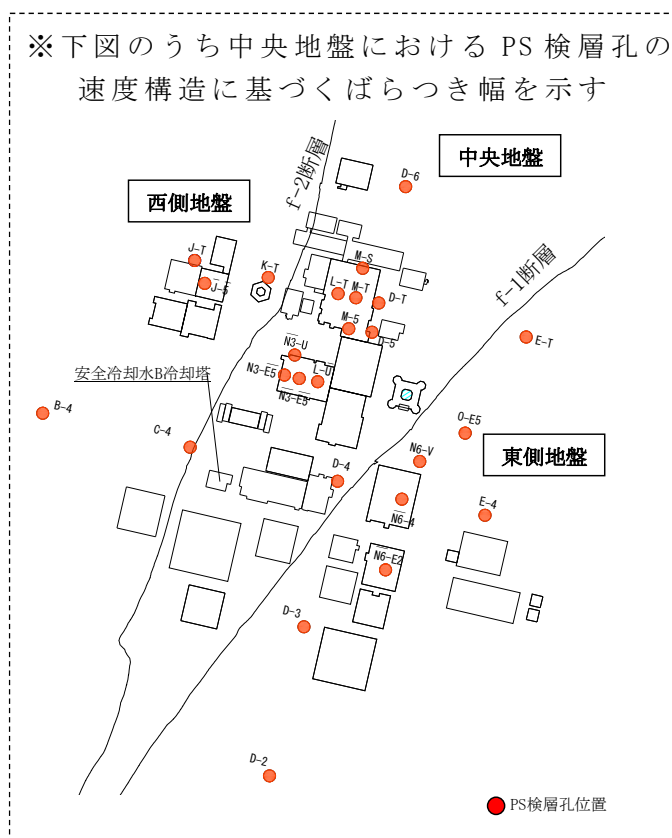


第 2.3-1 図 (2) 中央地盤エリアの地質断面図

第 2.3-1 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

※下図のうち中央地盤におけるPS検層孔の速度構造に基づくばらつき幅を示す



第 2.3-2 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
		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	細粒砂岩	18.3	680	1910		*2
37.08	粗粒砂岩					*3
36.63						
9.02	細粒砂岩	18.1	940	2040		*2
-25.57						
▽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		—

*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 2.2-2 図に示す細粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。

*3：第 2.2-3 図に示す粗粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。

*4：第 2.2-4 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						
▽MMR下端	MMR	*1	*1	*1		*1
	細粒砂岩	18.3	760	2060		*2
	粗粒砂岩					*3
	細粒砂岩	18.1	1010	2100		*2
▽解放基盤表面	泥岩 (下部層)	16.9	850	1940		*4
	泥岩 (下部層)	16.9	850	1940		—

*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 2.2-2 図に示す細粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。

*3：第 2.2-3 図に示す粗粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。

*4：第 2.2-4 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						
▽MMR下端	MMR	*1	*1	*1		*1
	細粒砂岩	18.3	600	1760		*2
	粗粒砂岩					*3
	細粒砂岩	18.1	870	1980		*2
▽解放基盤表面	泥岩 (下部層)	16.9	730	1820		*4
	泥岩 (下部層)	16.9	730	1820		—

*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 2.2-2 図に示す細粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。

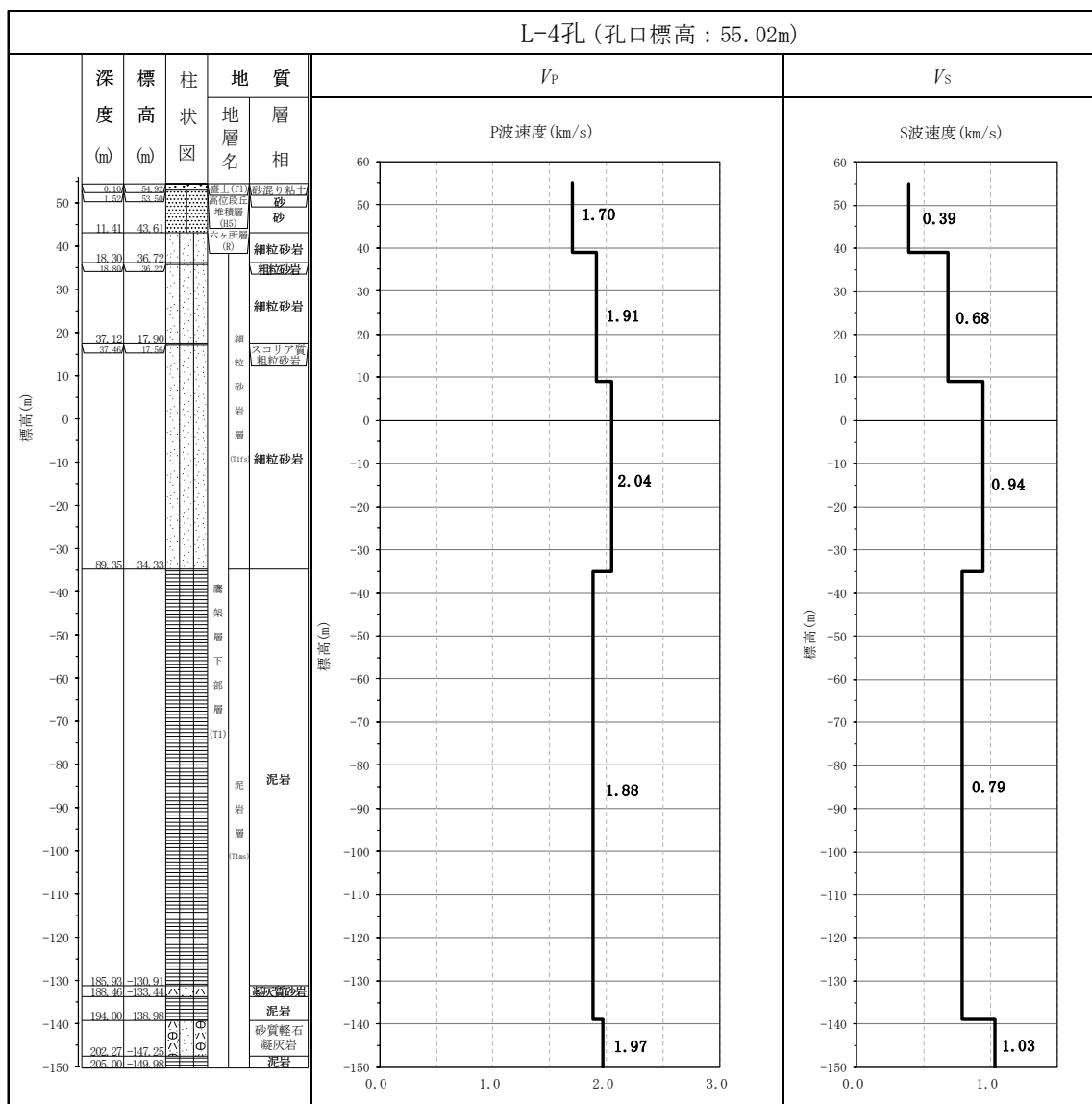
*3：第 2.2-3 図に示す粗粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。

*4：第 2.2-4 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