

【公開版】

| | |
|----------|------------------|
| 日本原燃株式会社 | |
| 資料番号 | 耐震建物 08 R9 |
| 提出年月日 | 令和 3 年 10 月 22 日 |

設工認に係る補足説明資料
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

注記：文中の下線部は R8 から R9 への変更箇所を示す

今回提出にあたり更新した主な箇所は以下のとおり。

- ・燃料加工建屋における地盤の非線形性に係る確認：本文 p8, 別紙 1-1 p19～36
- ・安全冷却水 B 冷却塔における速度構造のばらつき幅の設定の考え方：本文 p7, 別紙 1-2 p13～15
- ・安全冷却水 B 冷却塔における MMR 部分に設定する物性値の考え方：別紙 1-2 p2

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 | 7 |
| 3.1 速度構造の設定方法..... | 7 |
| 3.2 ひずみ依存特性の設定方法..... | 7 |
| 3.3 ばらつきの設定方法..... | 7 |
| 4. 今回設工認における地盤モデルの設定結果..... | 8 |
| 4.1 第1回申請対象施設における地盤モデル | 8 |
| 4.2 第2回申請以降の対象施設における地盤モデル | 10 |

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

(参考) 建物・構築物の耐震評価結果

参考1-1 III-3-1-1-1 燃料加工建屋の地震応答計算書

参考1-2 III-3-1-1-2 燃料加工建屋の耐震計算書

参考1-3 III-3-3-1-1 建物・構築物の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果

参考1-4 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

参考2-1 IV-2-1-1-1 a. 安全冷却水B冷却塔の地震応答計算書

参考2-2 IV-2-1-1-1 b. 安全冷却水B冷却塔基礎の耐震計算書

参考2-3 IV-2-2-1-1 基礎の水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価結果

※上記参考資料については、R8(令和3年9月14日提出)から変更無いため、今回提出には添付しない。

1. 概要

本資料は、再処理施設、廃棄物管理施設、MOX 燃料加工施設の設計基準対象施設及び再処理施設、MOX 燃料加工施設の重大事故等対処施設に対する、建物・構築物（屋外重要土木構造物である洞道を含む）の地震応答計算書を補足説明するものである。

建物・構築物の地震応答解析では、各建物・構築物の直下又は近傍の地盤のデータを用いることで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こととする。

本資料では、入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定の考え方を示す。

また、本資料は、今回設工認申請（令和 2 年 12 月 24 日申請）のうち、以下に示す添付書類の補足説明に該当するものである。

- ・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」
- ・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」

2. 入力地震動の算定に用いる地盤モデルの作成方針

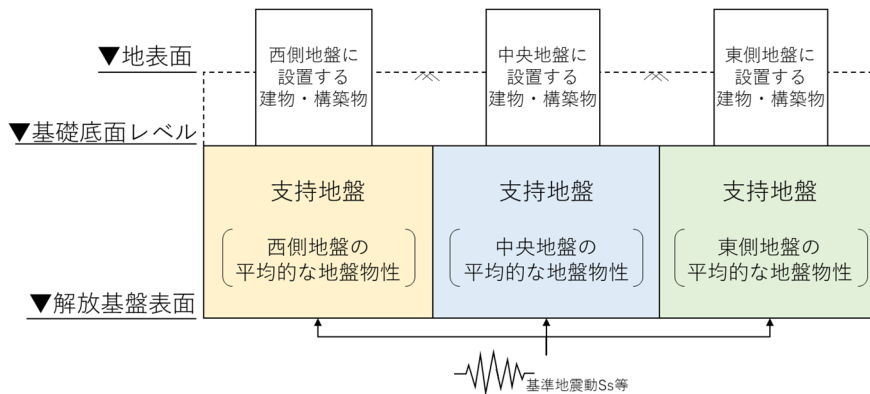
既認可設工認における耐震設計では、建物・構築物の基礎下レベル以深の支持地盤の地盤物性値に基づき、線形の地盤モデルを設定していた。ここで、支持岩盤の地盤物性値については、敷地内を中央地盤、西側地盤、東側地盤の3つのエリアに区分し、エリア単位の平均的な物性値を設定し、各エリアに設置する建物・構築物で共通のモデルを設定していた。

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。

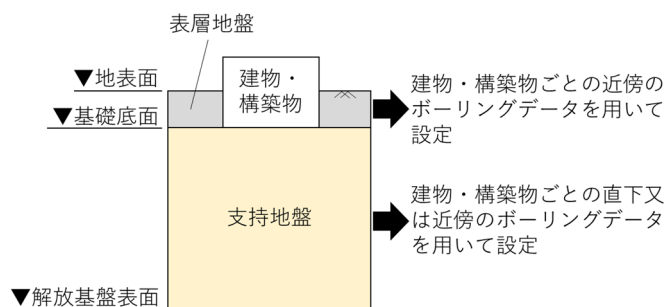
このことから、今回設工認における入力地震動の算定にあたっては、各建物・構築物に対して「地盤の実態を考慮した地盤モデル」を設定した上で、入力地震動の算定に用いる地盤モデルを決定することとする。

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・構築物の直下又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こととする。

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

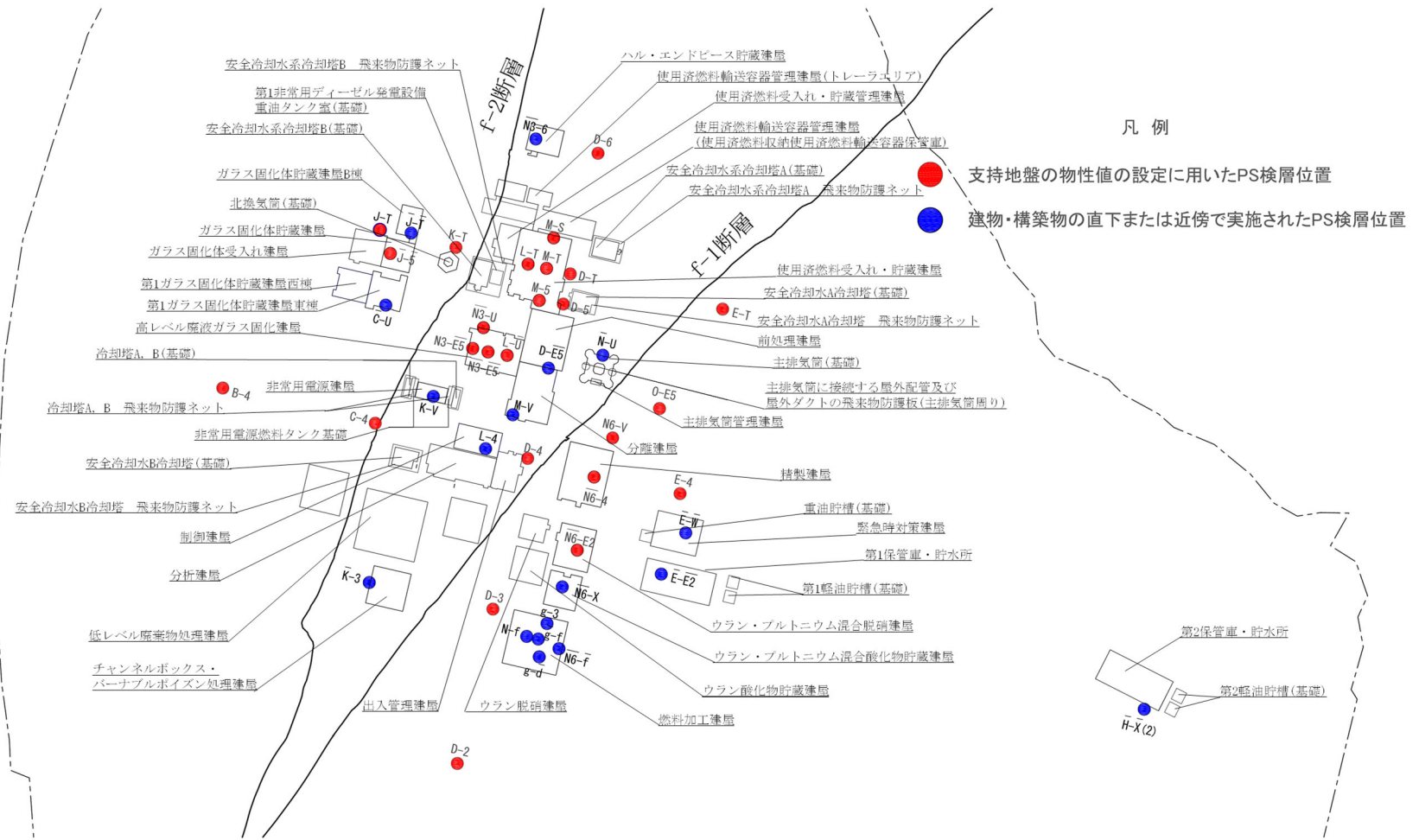
| 分類 | 建物・構築物名称 | | (参考) 設置地盤 |
|-----------------------------------|----------------------|----------|------------------|
| S クラス施設または S クラス施設の間接支持 構築物 | 安全冷却水 B 冷却塔 (基礎) | A4(B) 基礎 | 中央地盤 |
| | 燃料加工建屋 | PA | 東側地盤 |
| 上位クラス施設等への 波及的影響を考慮する 施設 | 安全冷却水 B 冷却塔 飛来物防護ネット | | A4(B) 竜巻 中央地盤 |

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) 設置地盤 |
|-----------------------------------|--------------------------------|----------|--------------|
| S クラス施設または S クラス施設の間接支持 構築物 | 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) | F1A 基礎 | |
| | 安全冷却水系冷却塔 B (基礎) | F1B 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 構築物 | 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 | |
| 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 構築物 | 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 | KB(E) | |
| | 第 1 ガラス固化体貯蔵建屋西棟 | KB(W) | |

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) 設置地盤 |
|--------------------------------|--|----------|--------------|
| 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 | F1A 竜巻 | |
| | 安全冷却水系冷却塔 B 飛来物防護ネット | F1B 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・構築物の直下又は近傍の 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・構築物直下又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」に従い定めた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・構築物の直下又は近傍に，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・構築物の直下又は近傍に，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。

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

また、地盤物性のばらつき幅についても、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、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に基づく建屋応答解析を実施し、解析手法の相違が建屋応答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、建屋応答に影響を与えないことを確認した。

以上のことから、燃料加工建屋及び安全冷却水B冷却塔の地盤モデルは、適切に地盤の実態を考慮して作成されており、入力地震動の算定に用いることに問題はない。

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」
- ・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・構築物の直下又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、さらに敷地地下の2次元的地盤の拡がりを考慮した「2次元地盤モデル」を設定することとする。なお、2次元地盤モデルについては、「2.入力地震動の算定に用いる地盤モデルの作成方針」に従い、既認可設工認から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こととする。

この際、上記2次元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 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

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 確認に用いる解析手法 | 別紙 1-1 | 21 |
| 5.4 確認結果 | 別紙 1-1 | 23 |
| 5.5 考察 | 別紙 1-1 | 31 |
| 5.6 まとめ | 別紙 1-1 | 35 |
| 5.7 今後の対応 | 別紙 1-1 | 36 |
| (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 | 別紙 1-1 | 37 |

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又は近傍の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

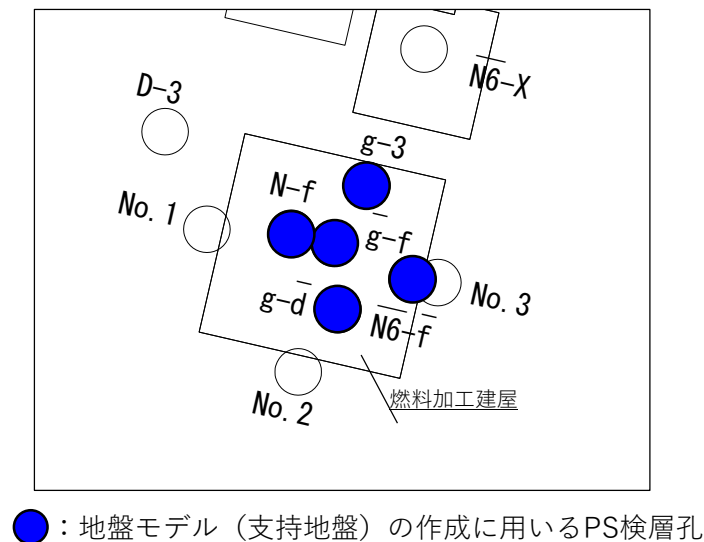
2.1.1 PS 検層孔の選定及び速度構造の設定

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, g - \bar{d} 孔, $\bar{N}6$ - \bar{f} 孔) のデータを用いる。

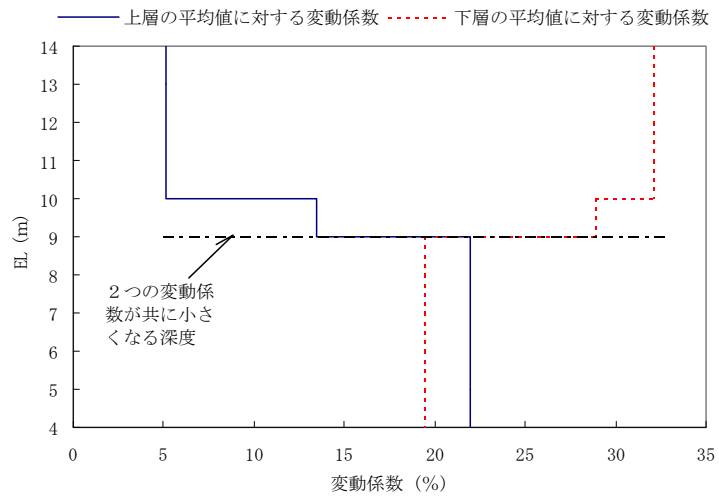
地盤モデルの速度構造の設定にあたっては、S 波速度及び P 波速度それぞれの平均値を基本ケースとして設定する。速度境界の設定について、速度構造データを比較すると、T. M. S. L. -9m 付近において速度境界が認められ、また、T. M. S. L. -28m 付近において鷹架層中部層の軽石凝灰岩と軽石質砂岩の境界レベルと対応した速度境界が認められることから、第 2.1.1-2 図及び第 2.1.1-3 図に示す S 波速度の変動係数の分布より、上層の平均値に対する変動係数と下層の平均値に対する変動係数が共に小さくなる標高として T. M. S. L. 9.0m 及び T. M. S. L. -28.0m を設定した。

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。

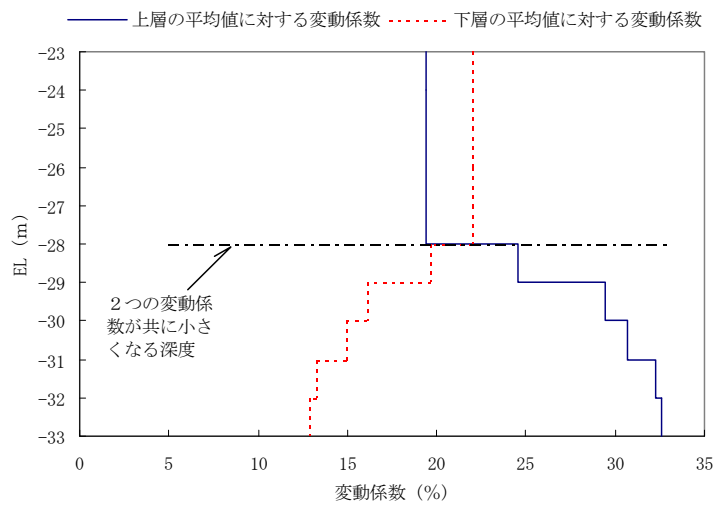
支持地盤の設定に用いた速度構造データは「(参考) 燃料加工建屋の地盤モデル作成に用いる速度構造データ集」に示す。



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)

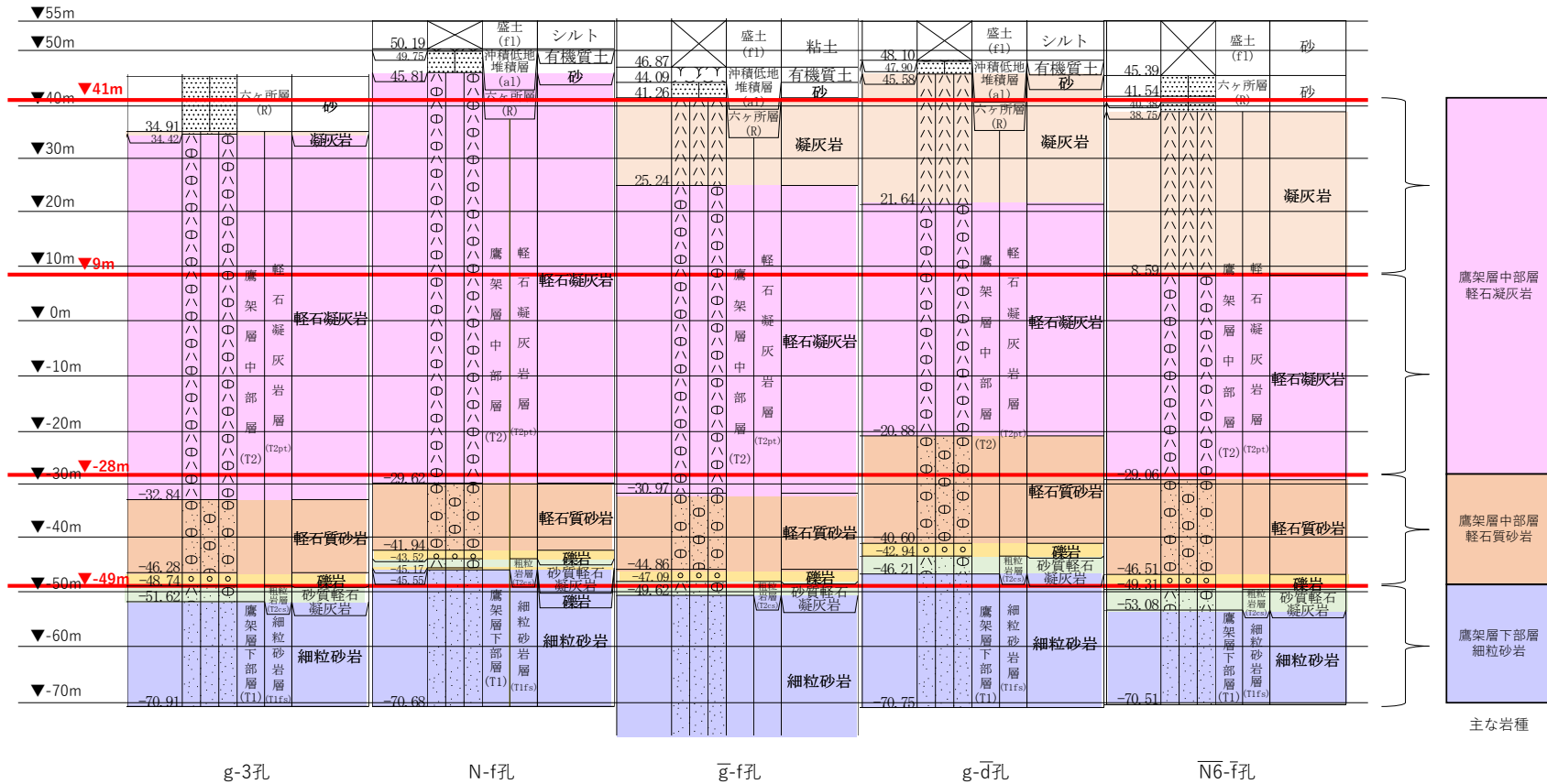


第 2. 1. 1-2 図 S 波速度の変動係数の分布 (T. M. S. L. 9. 0m 付近)



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

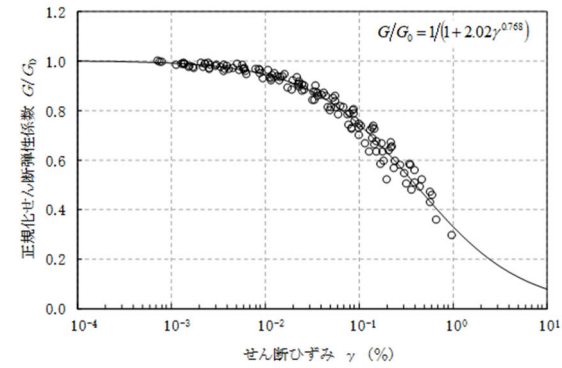
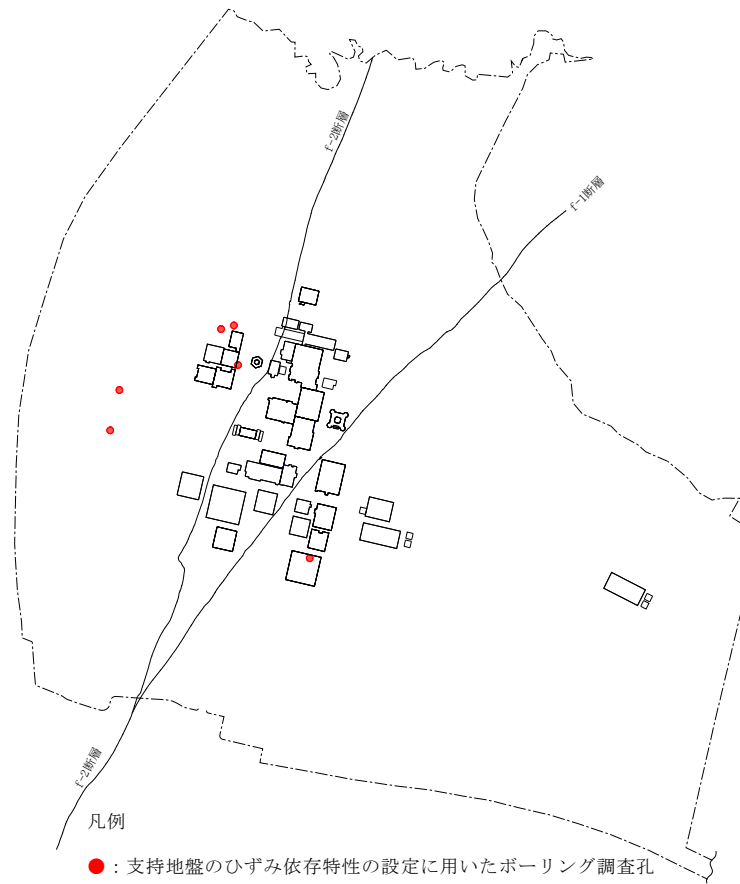
第 2.1.1-4 図 PS 検層孔の地質柱状図

別紙 1-1 -4

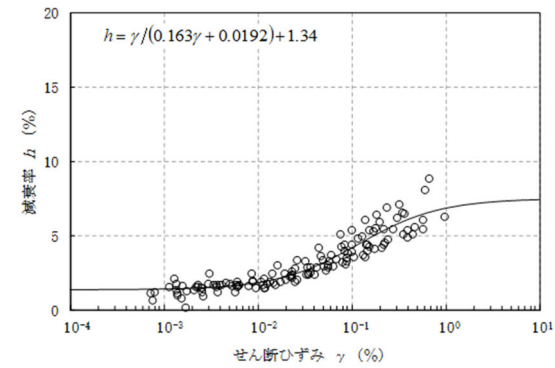
2.1.2 ひずみ依存特性の設定

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。



(a) 動的変形特性



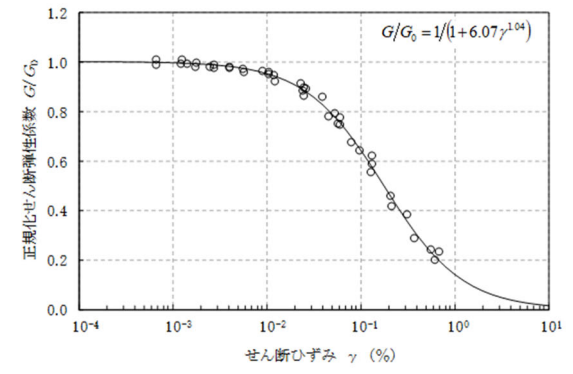
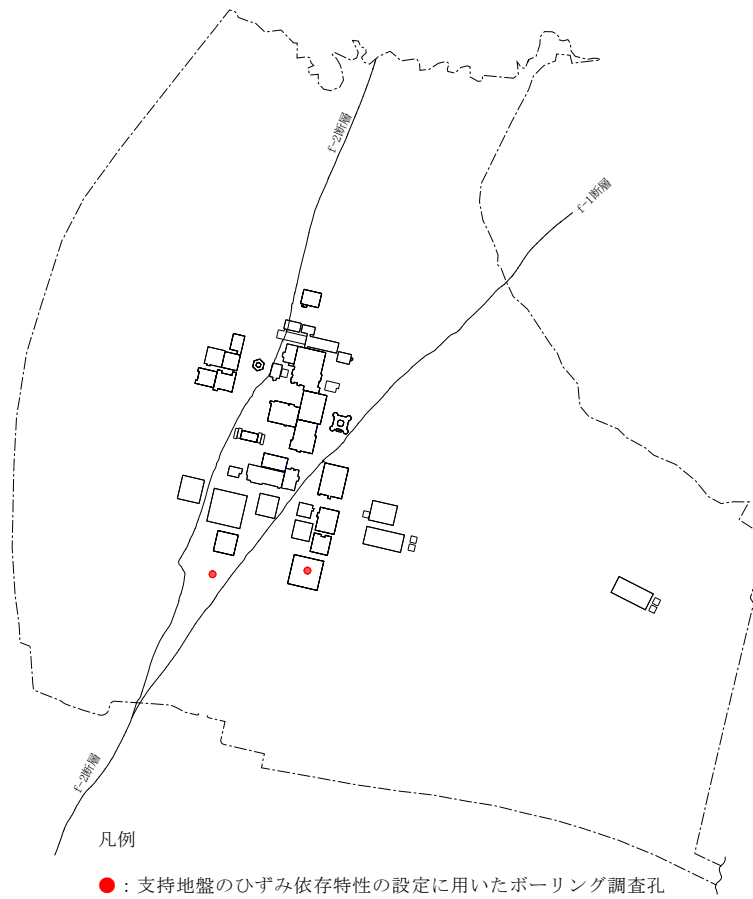
(b) 減衰特性

再処理施設の事業変更許可申請書 第 4.5-13 図より引用

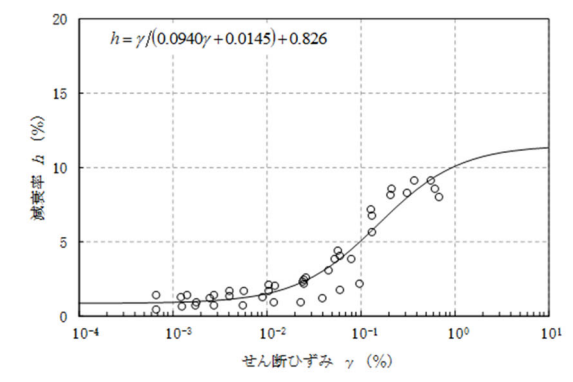
※軽石凝灰岩は、主に敷地内の東側地盤、西側地盤に分布することから、東側地盤、西側地盤で試験データを取得した。

第 2.1.2-1 図 軽石凝灰岩のひずみ依存特性

別紙 1-1 -6



(a) 動的変形特性



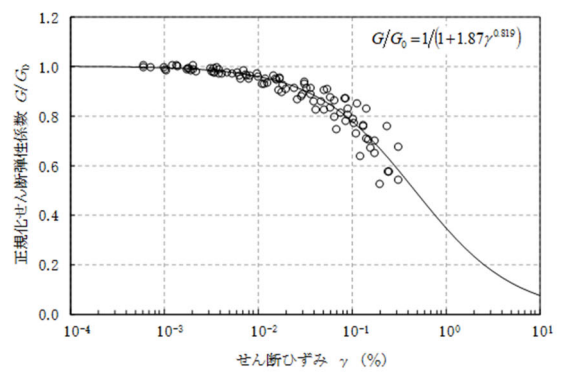
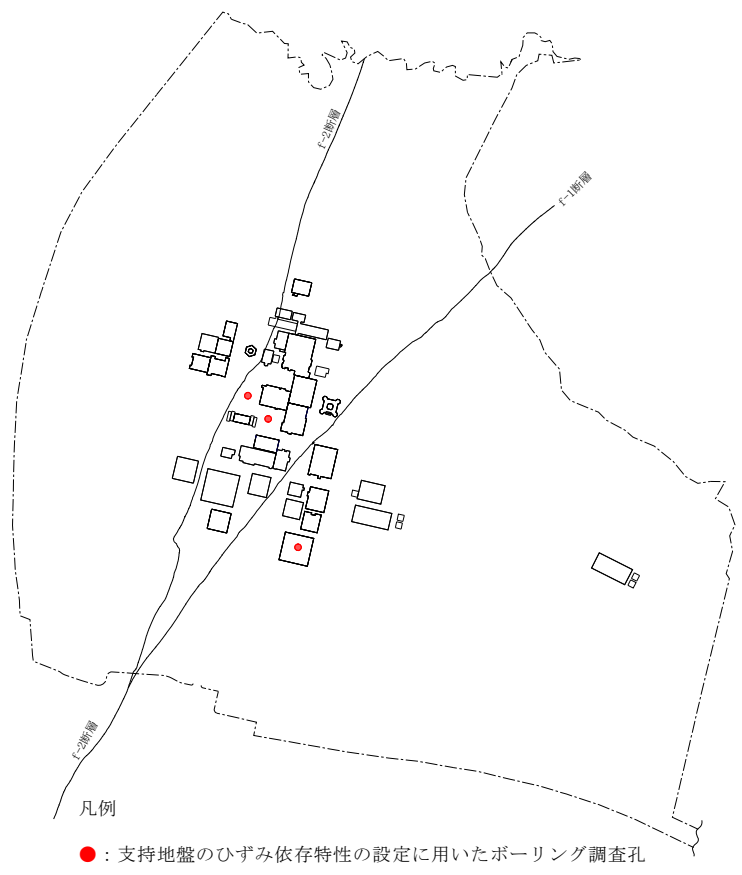
(b) 減衰特性

再処理施設の事業変更許可申請書 第 4.5-13 図より引用

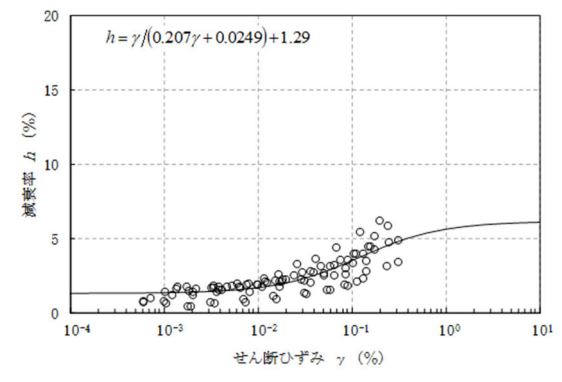
※軽石質砂岩は、主に敷地内の中央地盤、東側地盤に分布することから、中央地盤、東側地盤で試験データを取得した。

第 2.1.2-2 図 軽石質砂岩のひずみ依存特性

別紙 1-1 -7



(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) | (%) | |
| ▼支持地盤最上面レベル | 41.0 | | | | | | | |
| | 9.0 | 軽石凝灰岩 | 660 | 50 | 8 | 1860 | 70 | 4 |
| | -28.0 | 軽石質砂岩 | 810 | 90 | 11 | 1920 | 90 | 5 |
| | -49.0 | 細粒砂岩 | 1090 | 90 | 8 | 2260 | 80 | 4 |
| ▼解放基盤表面 | -70.0 | 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、直上の設定値を設定した。

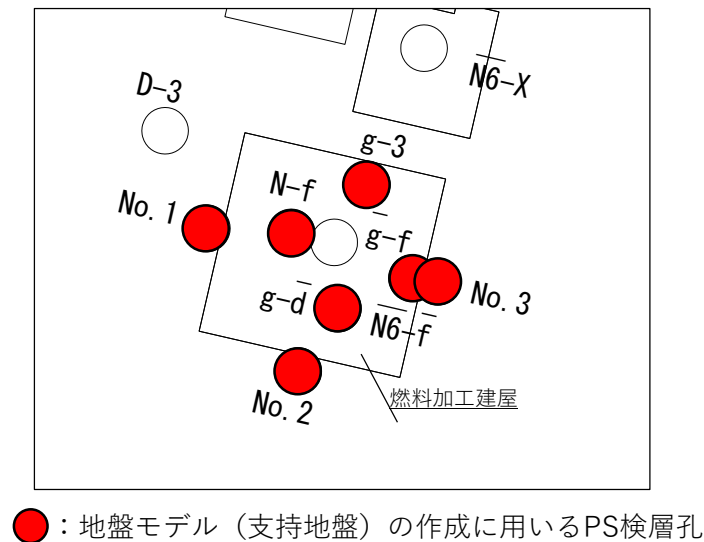
2.2 表層地盤

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。

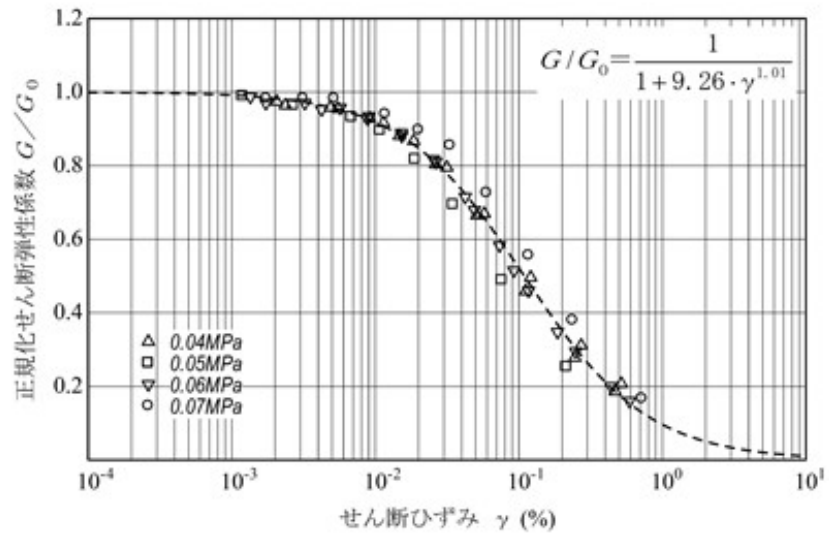


第 3.1-1 図 燃料加工建屋の地盤モデル作成に用いる PS 検層孔位置図（表層地盤）

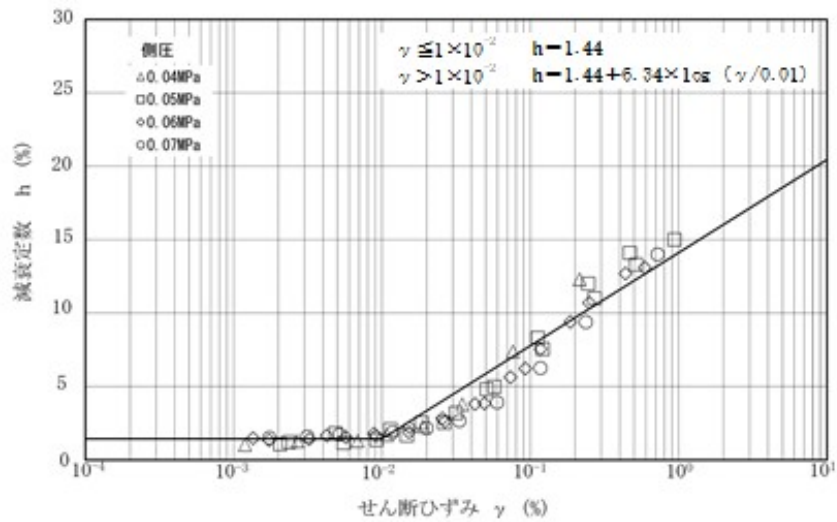
2.2.2 ひずみ依存特性の設定

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。

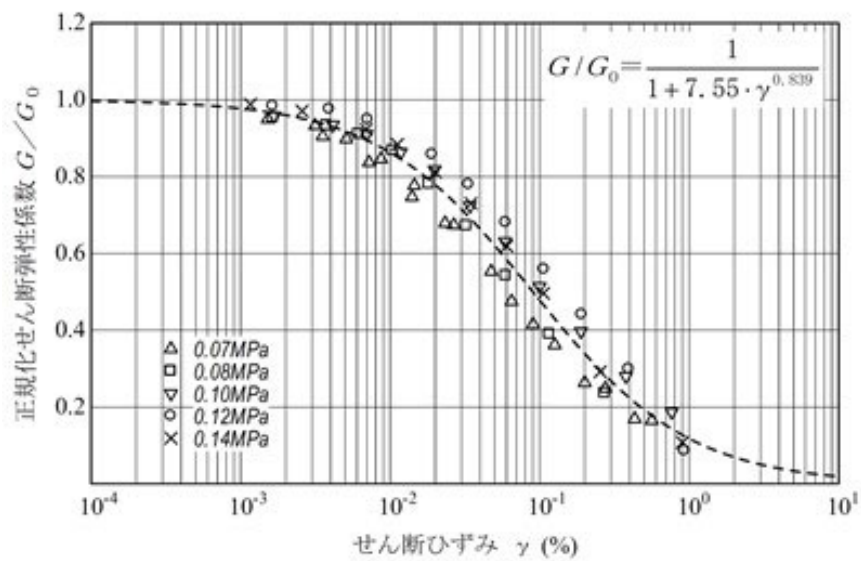


(a) 動的変形特性

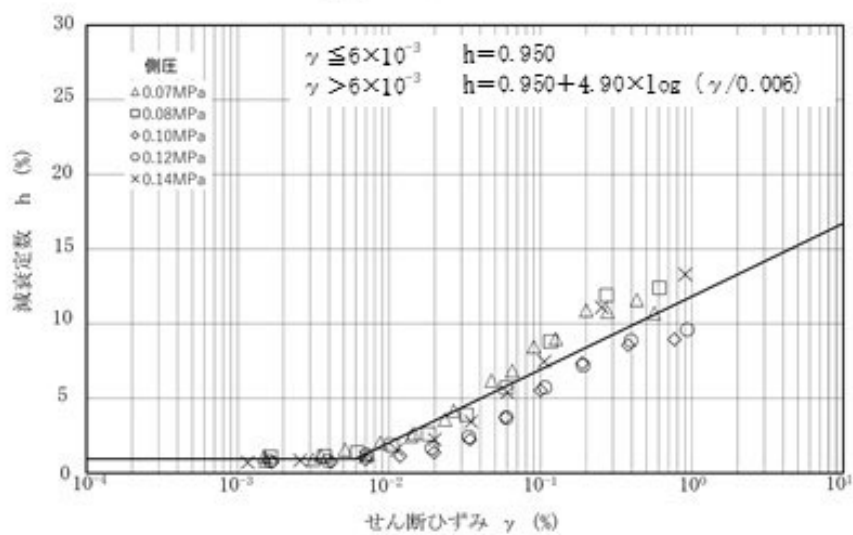


(b) 減衰特性

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。

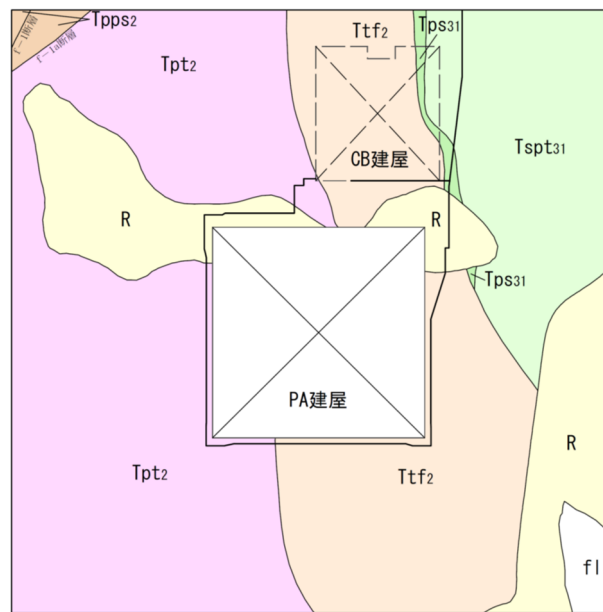
第2.2.3-1表 平均値に対する標準偏差及び変動係数（表層地盤）

| 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) | (%) | |
| ▼地表面レベル | 55.0 | | | | | | | |
| | 46.0 | 造成盛土 | 160 | 20 | 13 | 580 | 190 | 33 |
| ▼支持地盤との境界レベル | 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。

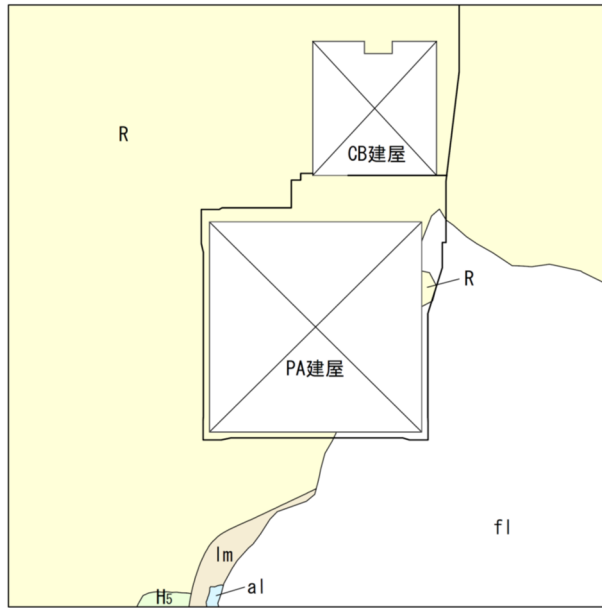
第3.-1図に示すとおり、T.M.S.L. 35.0mにおいては、燃料加工建屋周辺に支持地盤である鷹架層が広範囲に分布していることから、T.M.S.L. 35.0mを鷹架層と六ヶ所層の境界として設定した。また、第3.-2図に示すとおり、T.M.S.L. 46.0mにおいては、六ヶ所層が燃料加工建屋の概ね3面を囲むように分布していることから、T.M.S.L. 46.0mを六ヶ所層と造成盛土の境界として設定した。



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) |
| | | 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. 35.0m)



| 凡 | | 例 | |
|-----|---------|----------|--|
| f l | 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) |
| a l | 沖積低地堆積層 | 軽石凝灰岩層 | [Ttf2] 凝灰岩 [Tpt2] 軽石凝灰岩 [Tps2] 軽石質砂岩 |
| l m | 火山灰層 | 粗粒砂岩層 | [Tspt1] 砂質軽石凝灰岩 |
| H s | 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. 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 | | | | | | |
| ▽基礎スラブ底面 | | | | | | |
| 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 | | | | | | |
| ▽基礎スラブ底面 | | | | | | |
| 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 |
| ▽解放基礎表面 | | | | | | |
| -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 | | | | | | |
| ▽基礎スラブ底面 | | | | | | |
| 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 |
| ▽解放基礎表面 | | | | | | |
| -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

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、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、以下に示す確認を実施する。

(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範囲に対する定量的な確認として、等価線形解析に基づく結果と、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結果の比較を行うことにより、解析手法の相違が建屋応答に影響を与えないことを確認する。

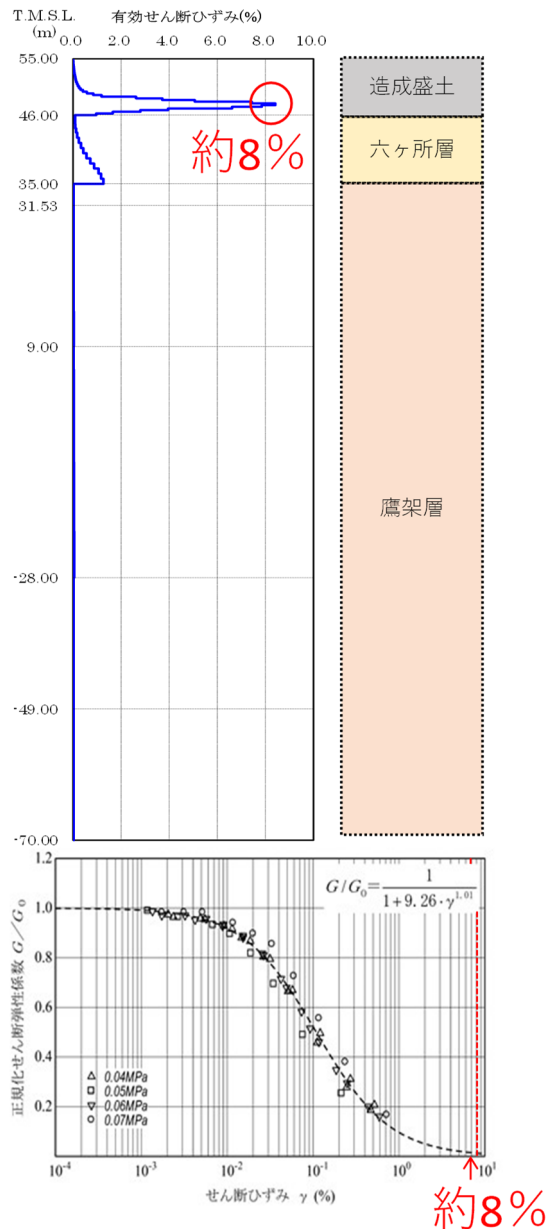
比較対象とする逐次非線形解析に基づく建屋応答は、「5.3 確認に用いる解析手法」にて示すケースのうち、ひずみ依存特性における繰返し三軸圧縮試験結果と整合させた、ケース①によるものとする。

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、建屋応答に影響を与えな

いことを確認する。なお、解析手法は課題1と同じく逐次非線形解析を用いる。

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 確認に用いる解析手法」にて示すケースのうち、ケース②及び③）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整合するケース①による結果との比較を行うことにより、建屋応答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)

5.3 確認に用いる解析手法

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、土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性については、吉田ら^{1) 2)}にて提案されている、調査結果からえ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る。逐次非線形解析では、地盤の材料減衰として剛性比例減衰を定義する。

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 (ケース①) 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②) 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③) を考慮する。

なお、上記ケース②及びケース③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。

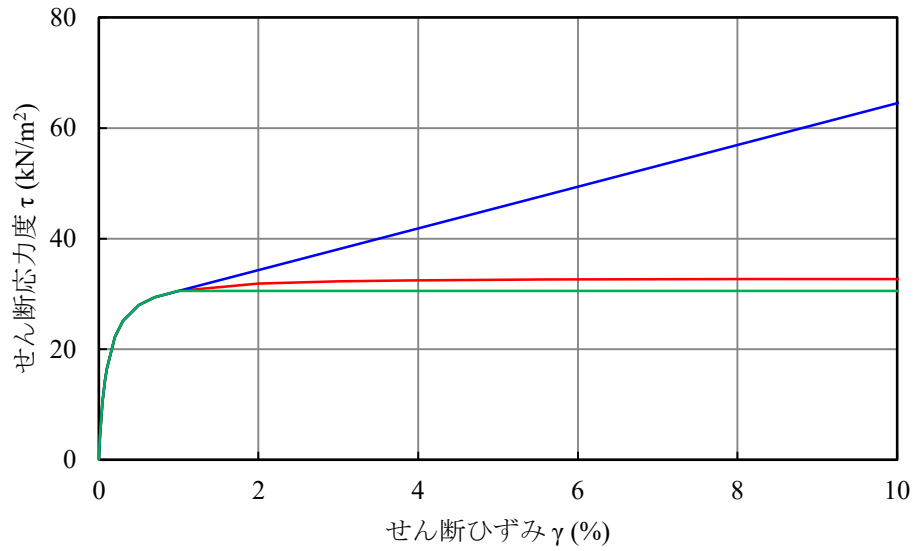
建屋応答の算定にあたっては、地震応答解析に考慮する側面地盤ばねの値についても、逐次非線形解析から得られた地盤の有効せん断ひずみに基づき、改めて算定して設定することとする。

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)

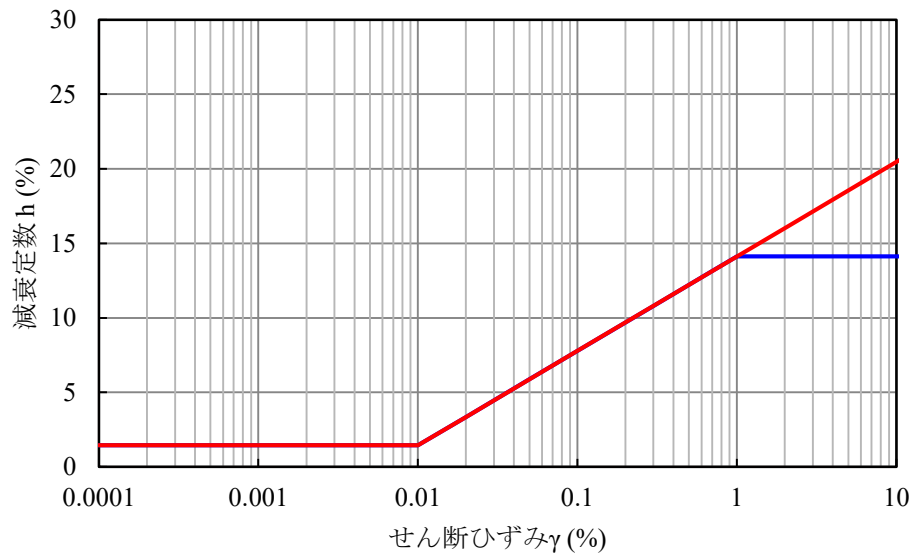
2) : K. Ishihara et al. : Modelling of stress-strain relations of soils in cyclic loading (Fifth International Conference on Numerical Methods in Geomechanics / Nagoya / 1-5 April 1985)

- : ケース① (繰返し三軸圧縮試験に基づく $G/G_0-\gamma$)
- : ケース② (1%以上で非線形化が進まないことを仮定)
- : ケース③ (1%以上で地盤が降伏することを仮定)



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

- : ケース①
- : ケース②及びケース③



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、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 に対し、「5.3 確認に用いる解析手法」に示したケース①～③の逐次非線形解析を実施し、逐次非線形解析に基づく建屋応答と等価線形解析に基づく建屋応答との比較を行った。

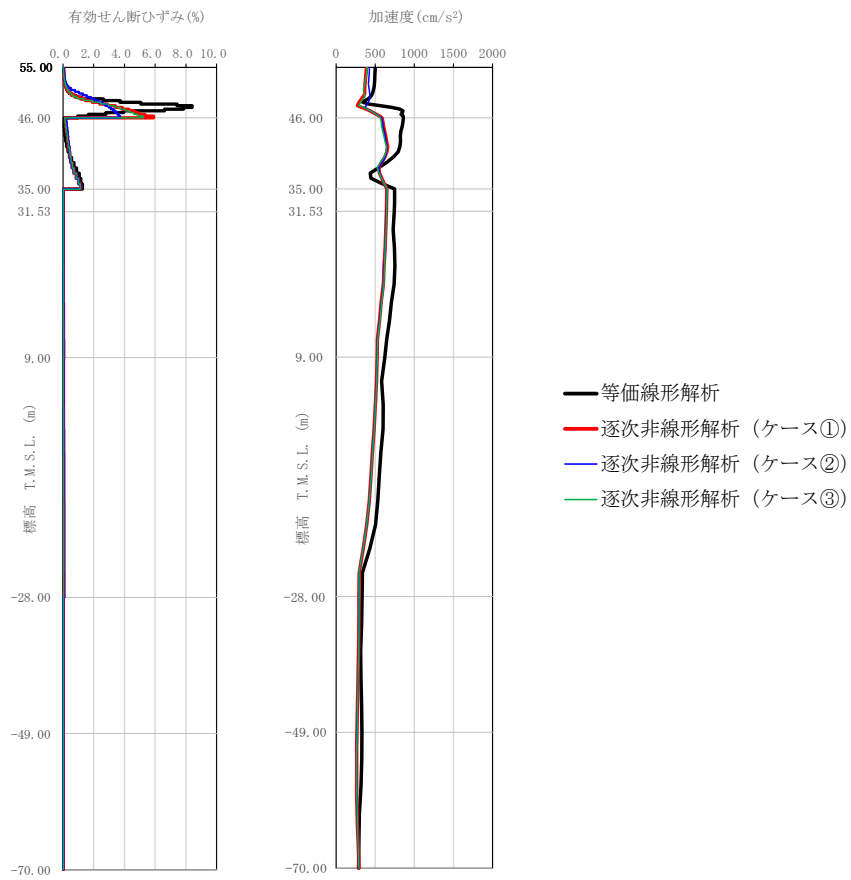
各ケースの地盤応答を第 5.4-1 図及び 5.4-2 図に、建屋応答を第 5.4-3 図～第 5.4-8 図に示す。

(2) 課題 1：等価線形解析の適用について

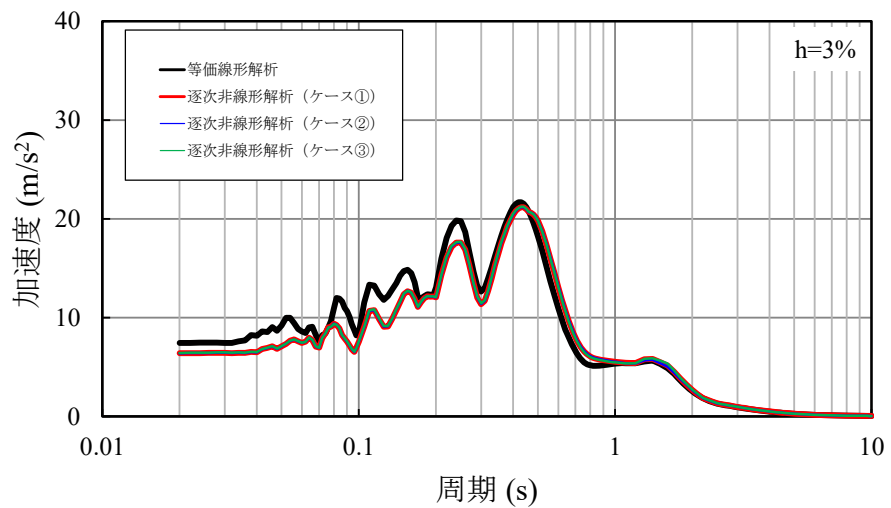
等価線形解析に基づく建屋応答と逐次非線形解析（ケース①）に基づく建屋応答を比較した結果、いずれの質点及び要素においても、有意な差は無い結果となった。

(3) 課題 2：ひずみ依存特性の外挿範囲について

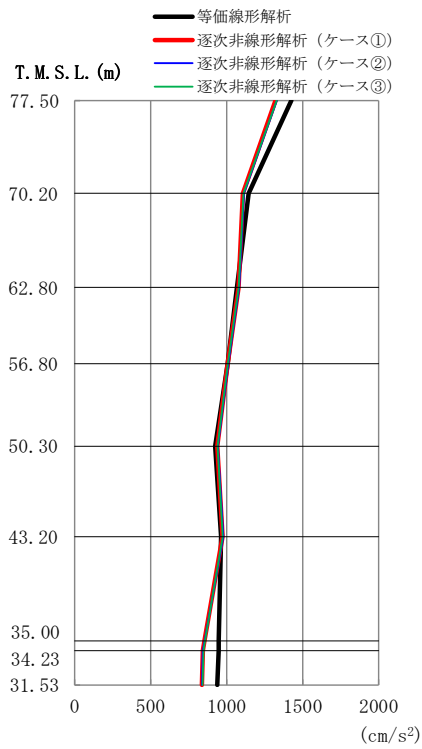
逐次非線形解析のうち、ケース②及び③の建屋応答について、ケース①の建屋応答と比較した結果、いずれの質点及び要素においても、有意な差は無い結果となった。



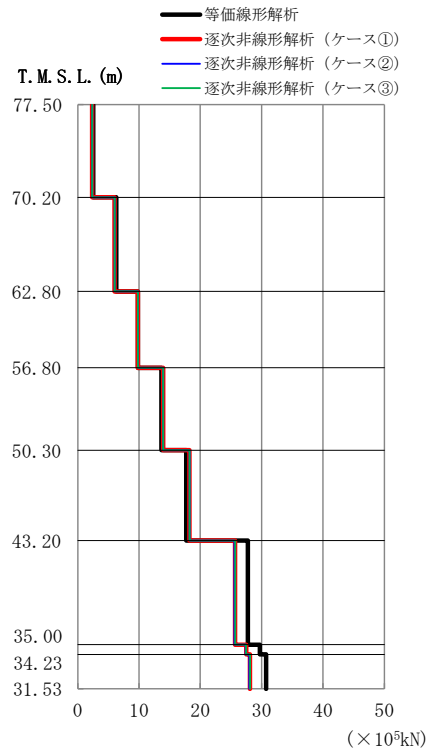
第 5.4-1 図 地盤応答分布図



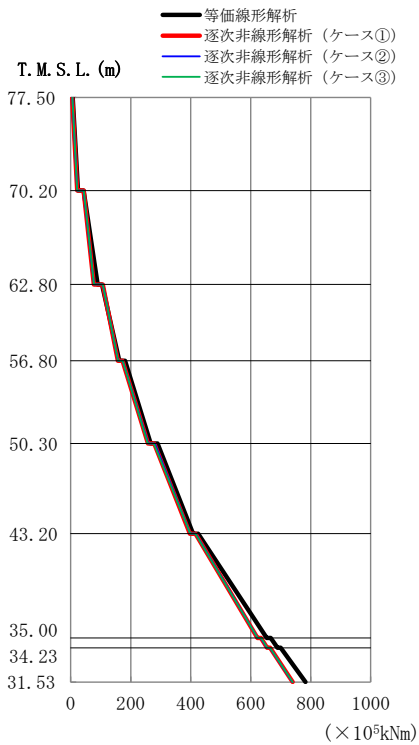
第 5.4-2 図 入力地震動の加速度応答スペクトル (基礎底面レベル)



(a) 最大応答加速度

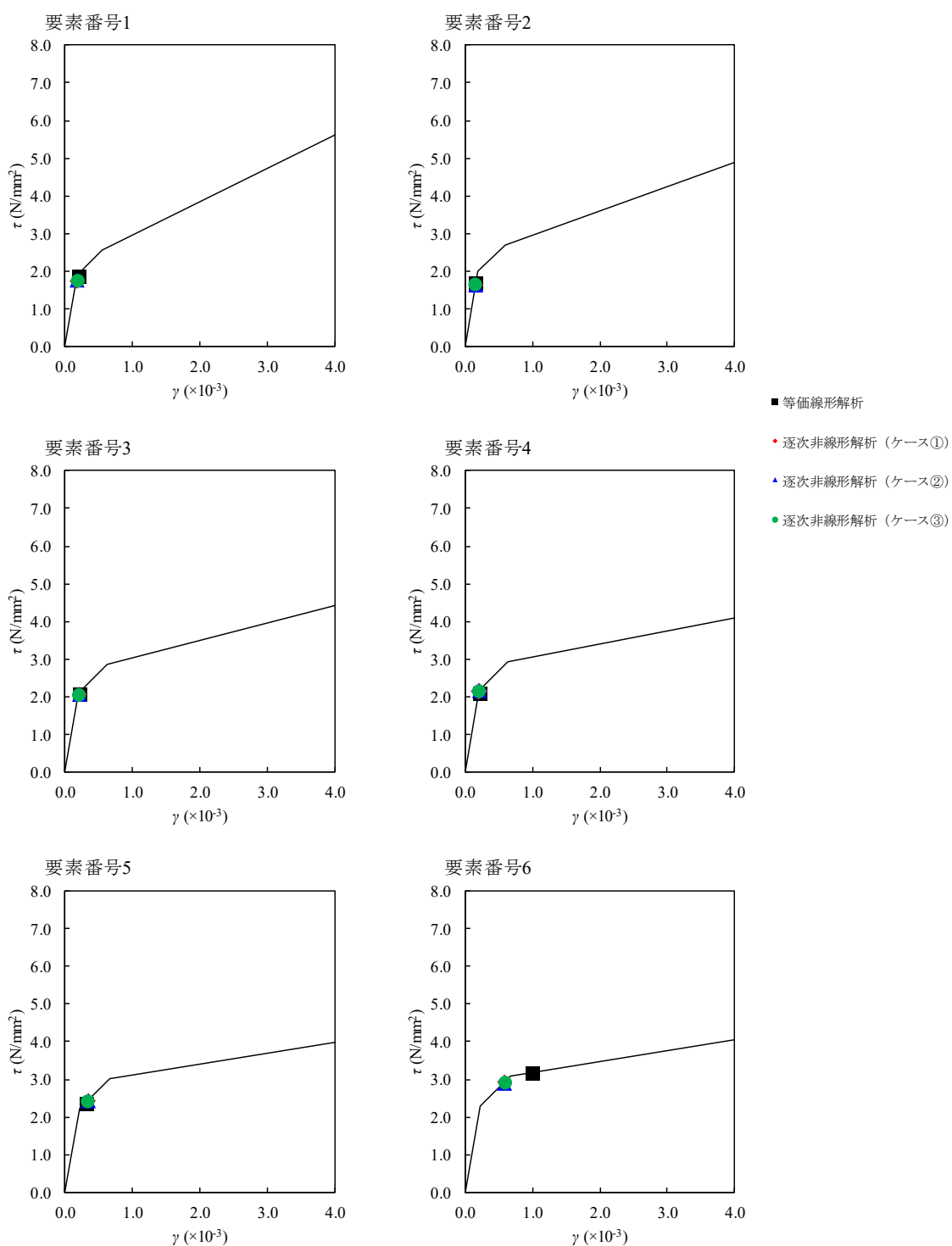


(b) 最大応答せん断力



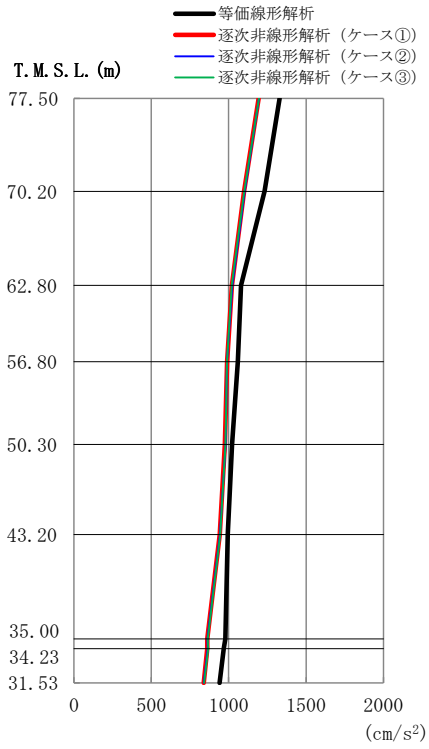
(c) 最大応答曲げモーメント

第 5.4-3 図 建屋応答結果 (NS 方向)

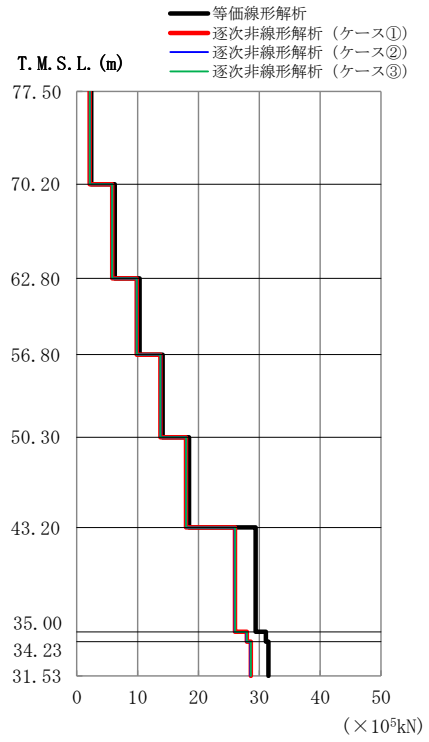


(d) $\tau - \gamma$ 関係

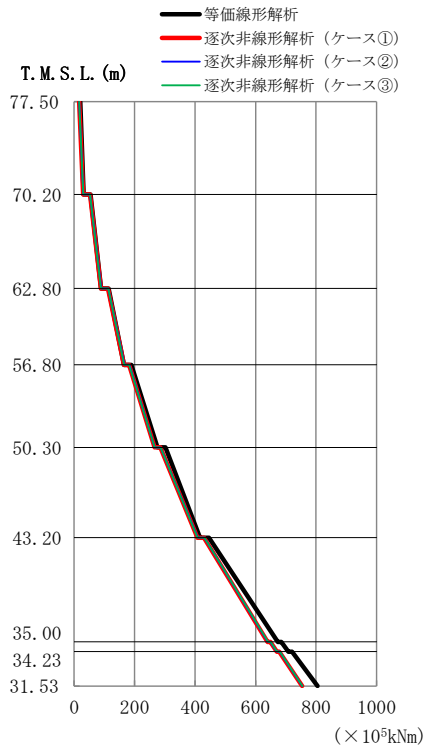
第 5.4-4 図 建屋応答結果 (NS 方向)



(a) 最大応答加速度

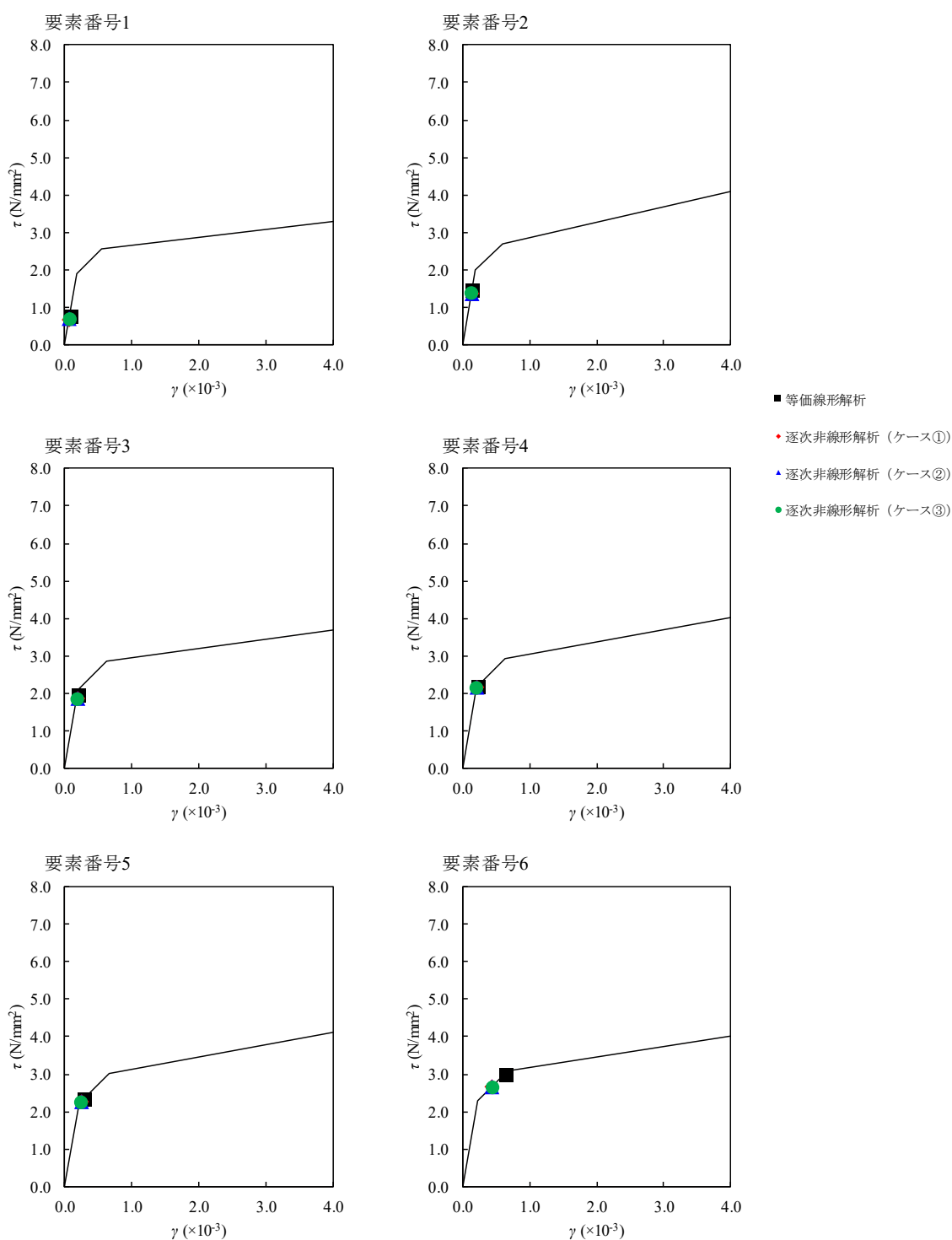


(b) 最大応答せん断力



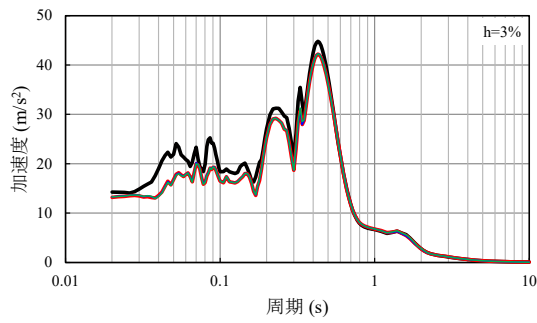
(c) 最大応答曲げモーメント

第 5.4-5 図 建屋応答結果 (EW 方向)

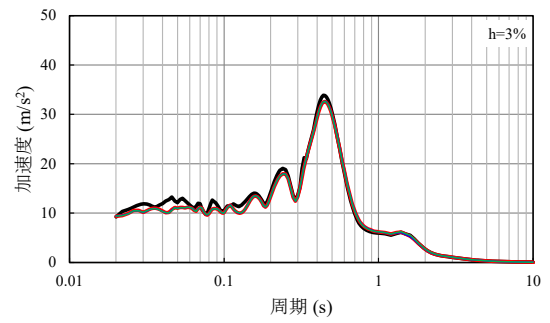


(d) $\tau - \gamma$ 関係

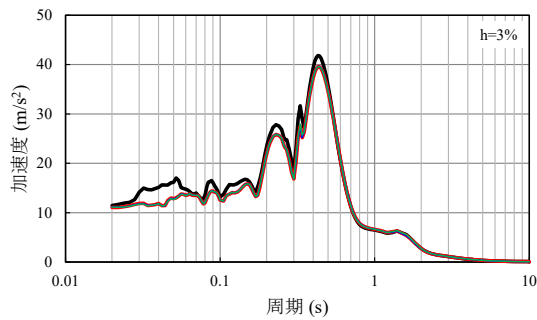
第 5.4-6 図 建屋応答結果 (EW 方向)



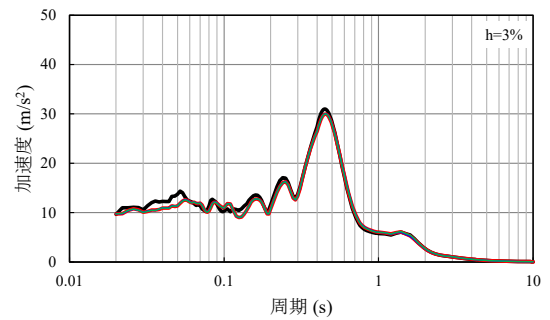
T. M. S. L. 77.50m (質点 1)



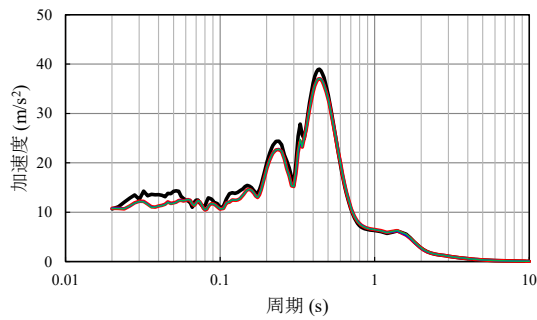
T. M. S. L. 50.30m (質点 5)



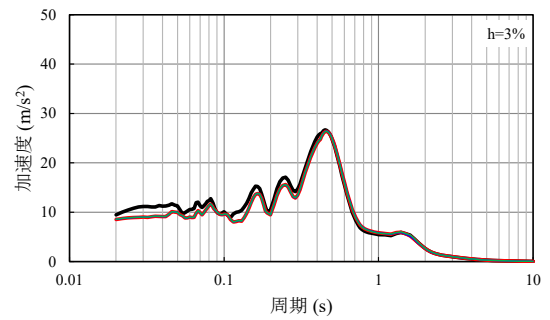
T. M. S. L. 70.20m (質点 2)



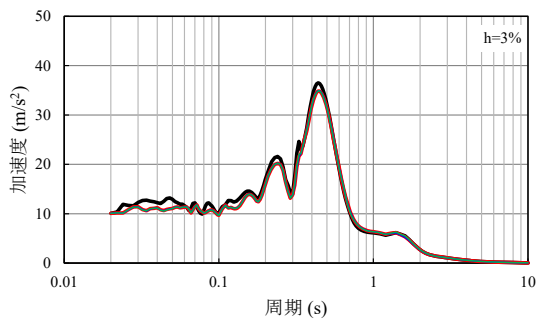
T. M. S. L. 43.20m (質点 6)



T. M. S. L. 62.80m (質点 3)



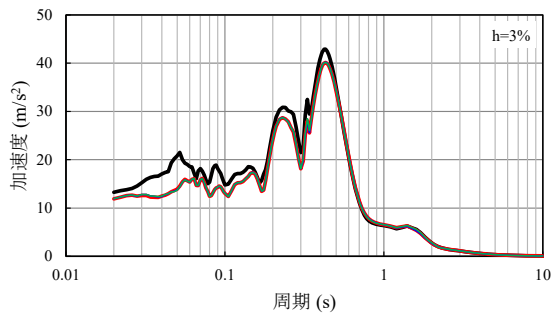
T. M. S. L. 35.00m (質点 7)



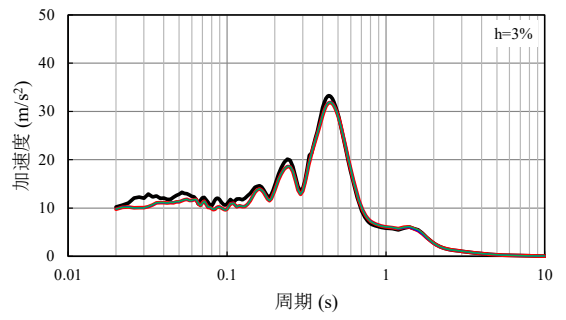
T. M. S. L. 56.80m (質点 4)

- 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)

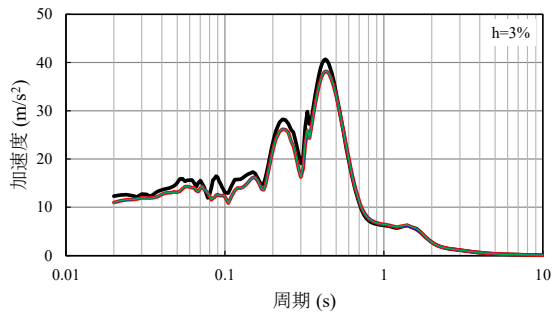
第 5.4-7 図 床応答スペクトル (NS 方向)



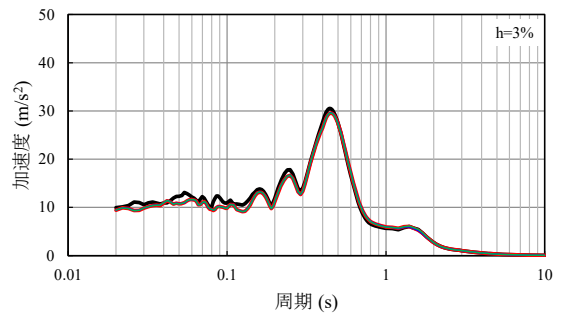
T. M. S. L. 77.50m (質点 1)



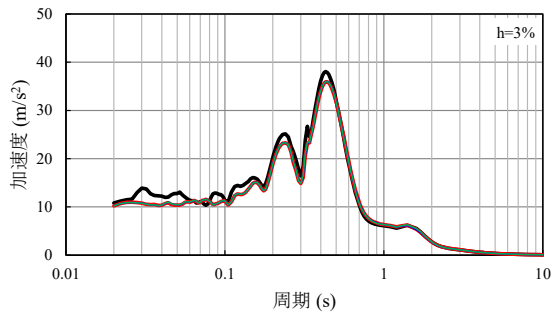
T. M. S. L. 50.30m (質点 5)



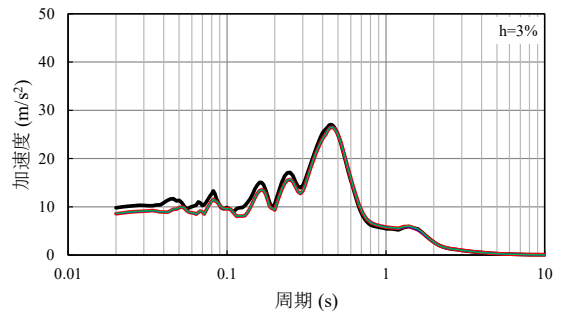
T. M. S. L. 70.20m (質点 2)



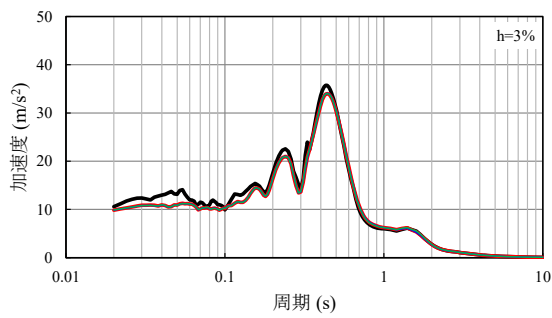
T. M. S. L. 43.20m (質点 6)



T. M. S. L. 62.80m (質点 3)



T. M. S. L. 35.00m (質点 7)



T. M. S. L. 56.80m (質点 4)

- 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)

第 5.4-8 図 床応答スペクトル (EW 方向)

5.5 考察

(1) 課題 1：等価線形解析の適用について

等価線形解析と逐次非線形解析の両手法の差が、建屋応答に有意な差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。

第 5.4-1 図より、逐次非線形解析は等価線形解析と同様に、六ヶ所層と造成盛土の境界レベル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。強非線形領域は、基礎底面レベルよりも上部であることから、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 図に示す基礎底面の入力地震動の応答スペクトルは、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、建屋応答に有意な影響を与えない結果となったと考えられる。

このような傾向は、等価線形解析と逐次非線形解析の両手法においても、造成盛土の下部のせん断ひずみが大きくなることによりせん断剛性が低下しており、造成盛土から伝播してくる反射波（下降波）の影響が小さくなっているためであると考えられる。

(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、建屋応答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②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、ケース①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③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、ケース①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③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。

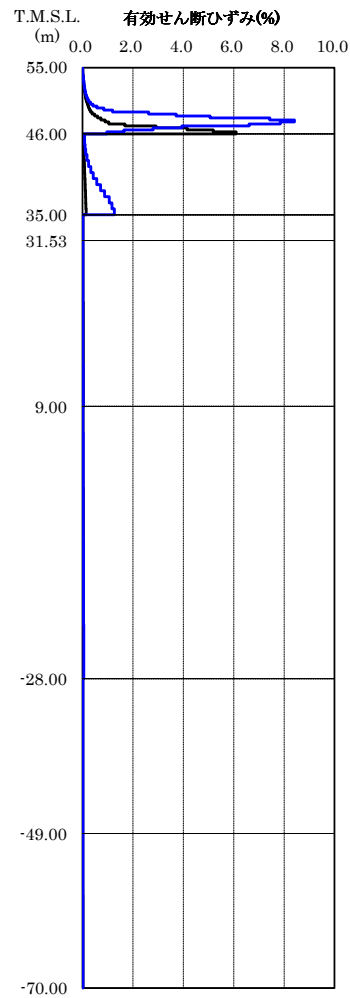
以上のことから、外挿部分の非線形特性について、非線形性を大きく見込むケースと小さく見込むケースの両方の変動を考慮したとしても、建屋応答に有意な影響を与えない結果となったと考えられる。

(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

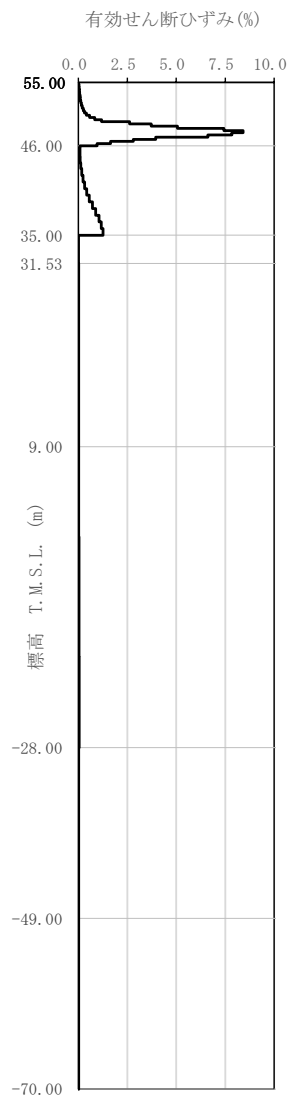
基準地震動 Ss-C1（地盤物性のばらつきを考慮したケース（ $-\sigma$ ））の等価線形解析結果において、第 5.5-1 図及び第 5.5-2 図に示すとおり、地盤の有効せん断ひずみ分布が造成盛土と六ヶ所層の境界である T. M. S. L. 46.00m よりやや上部で極大となり、その他の地震波において極大となる深さと異なっていることについて、以下のとおり考察を行った。

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

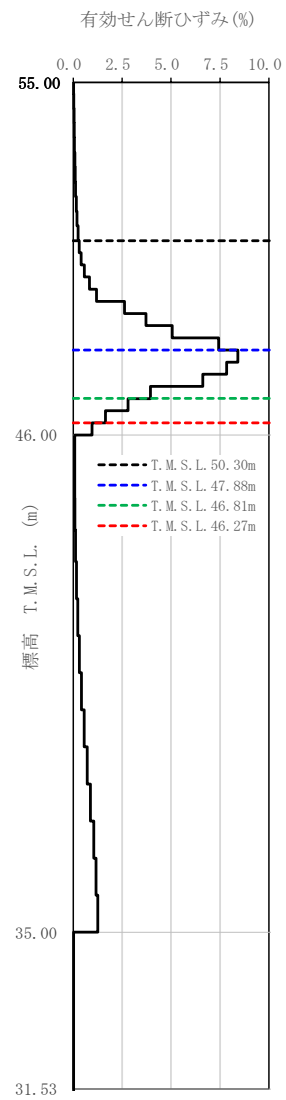
する。このことから、本地震動による地盤応答は高次モードの影響が大きく、このモードが逆せん断の生じるモードであることから、せん断ひずみが造成盛土と六ヶ所層の境界ではなく、やや上部で極大となったと考えられる。



第 5.5-1 図 等価線形解析における地盤の有効せん断ひずみ比較
 Ss-A (基本ケース) : 黒線, Ss-C1 ($-\sigma$) : 青線

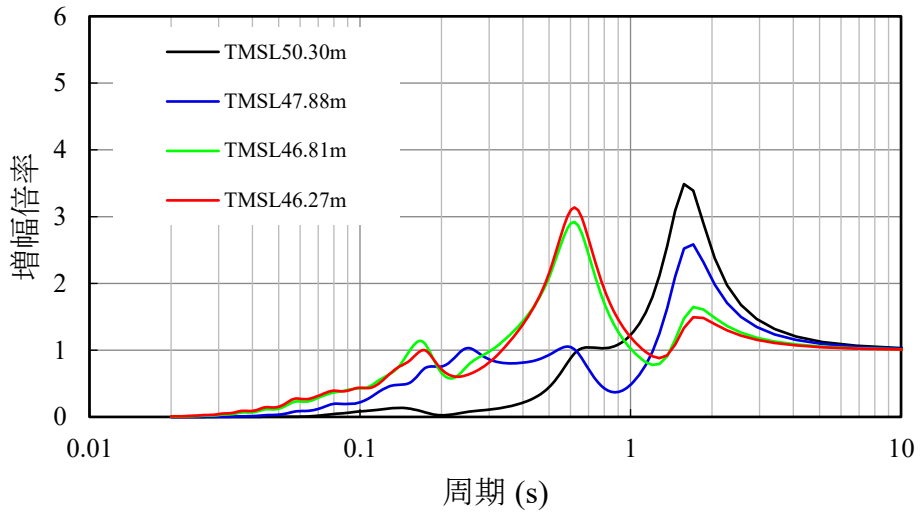


(a) 全層

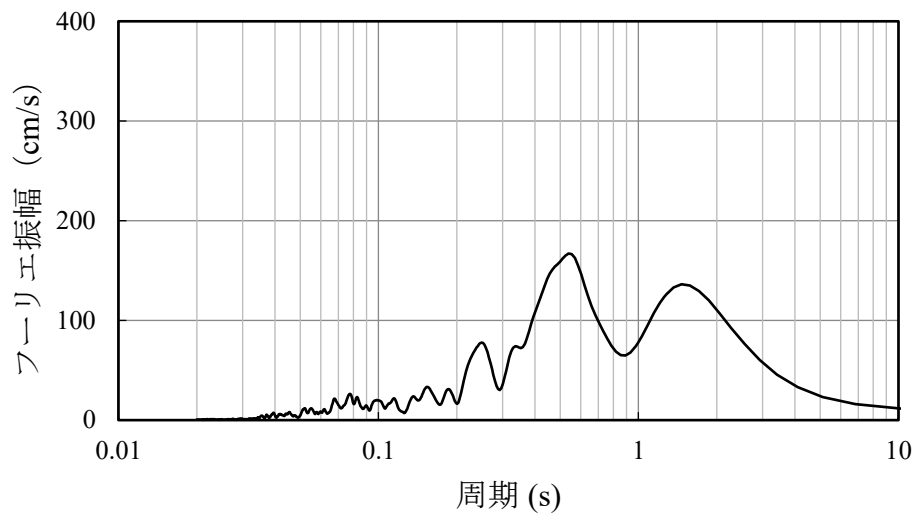


(b) 建屋基礎レベル以上

第 5.5-2 図 地盤の有効せん断ひずみ分布 (Ss-C1, $-\sigma$)



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)



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)

5.6 まとめ

以上の確認により、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た等価線形解析により算定した入力地震動を、燃料加工建屋の地震応答解析に用いることに問題が無いことを確認した。

(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、表層地盤の一部の層において有効せん断ひずみが大きくなっていることについて、等価線形解析と逐次非線形解析による建屋応答を比較しても有意な差はなく、解析手法の相違が建屋応答に与える影響は小さいため、等価線形解析を燃料加工建屋の地震応答解析に用いることに問題はない。

(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、建屋応答に有意な差はなく、外挿範囲が建屋応答に与える影響は小さいため、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。

5.7 今後の対応

今回資料においては、基準地震動 S_s による評価のうち、造成盛土におけるせん断ひずみが最も大きい、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 に対する確認結果を示した。

上記地震波に対する確認結果において、等価線形解析に基づく建屋応答が、逐次非線形解析に基づく建屋応答に影響を与えないことが確認できたことから、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。

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5.7-1表に示す。本表のうち、重大事故等対処施設の評価を行う基準地震動 S_s を1.2倍した地震力のうち、 $1.2 \times S_s$ -C1 に対して、今後、同様の評価を実施し、その結果を本資料に反映する。

第5.7-1表 対象地震動

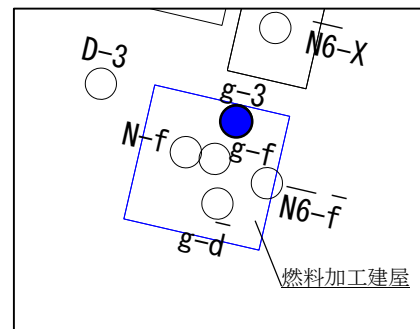
| 評価 | 地震動 |
|-------------------|--|
| 対象地震動 (設計基準) | S_s -A, S_s -B1, S_s -B2, S_s -B3, S_s -B4, S_s -B5, S_s -C1, S_s -C3, S_s -C4 S_d -C1 S_s -A(+ σ), S_s -B3(+ σ), S_s -C1(+ σ) S_d -C1(+ σ) S_s -A(- σ), S_s -B1(- σ), S_s -B3(- σ), S_s -C1(- σ)※1 S_d -A(- σ), S_d -C1(- σ) |
| 対象地震動 (重大事故等対処施設) | $1.2 \times S_s$ -A, $1.2 \times S_s$ -B1, $1.2 \times S_s$ -B2, $1.2 \times S_s$ -B3, $1.2 \times S_s$ -B4, $1.2 \times S_s$ -B5, $1.2 \times S_s$ -C1※1, $1.2 \times S_s$ -C2, $1.2 \times S_s$ -C3, $1.2 \times S_s$ -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。

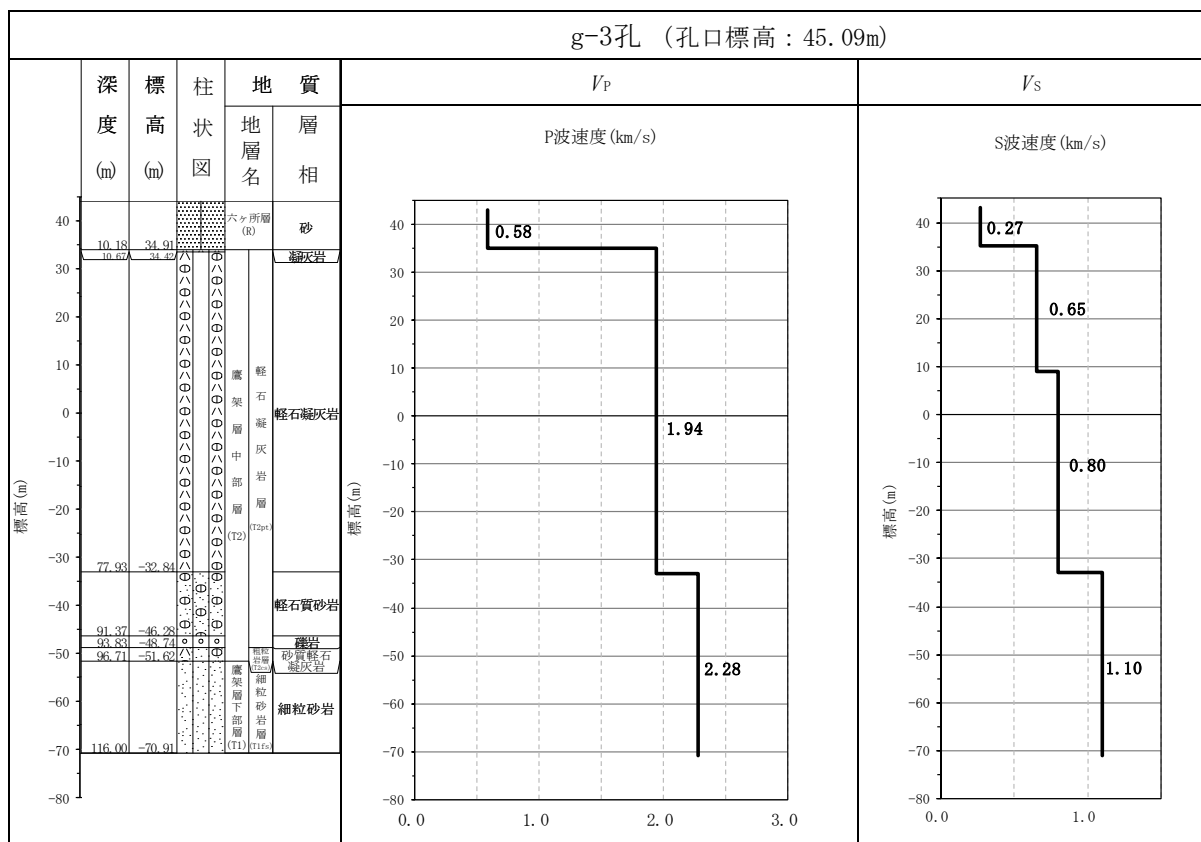
 ：今回提示

 ：今後提示

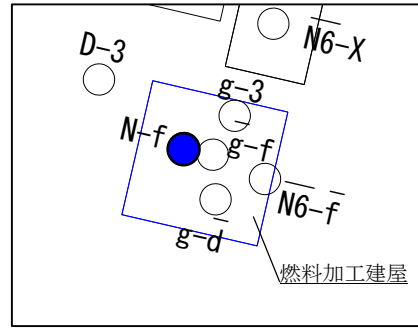
(参考) 燃料加工建屋の地盤モデル作成に用いる速度構造データ集



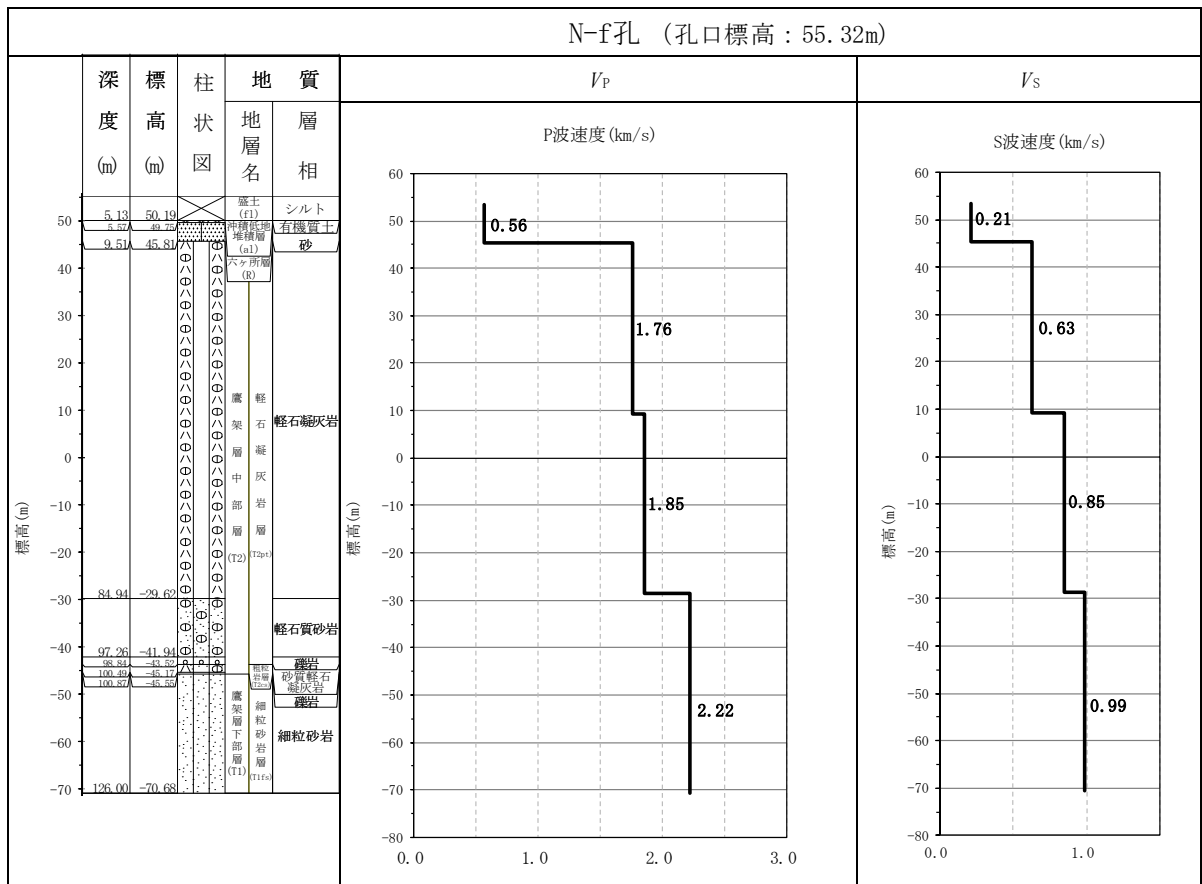
キープラン



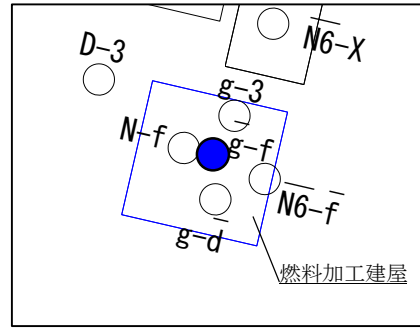
参考図 燃料加工建屋の速度構造データ (1/8)



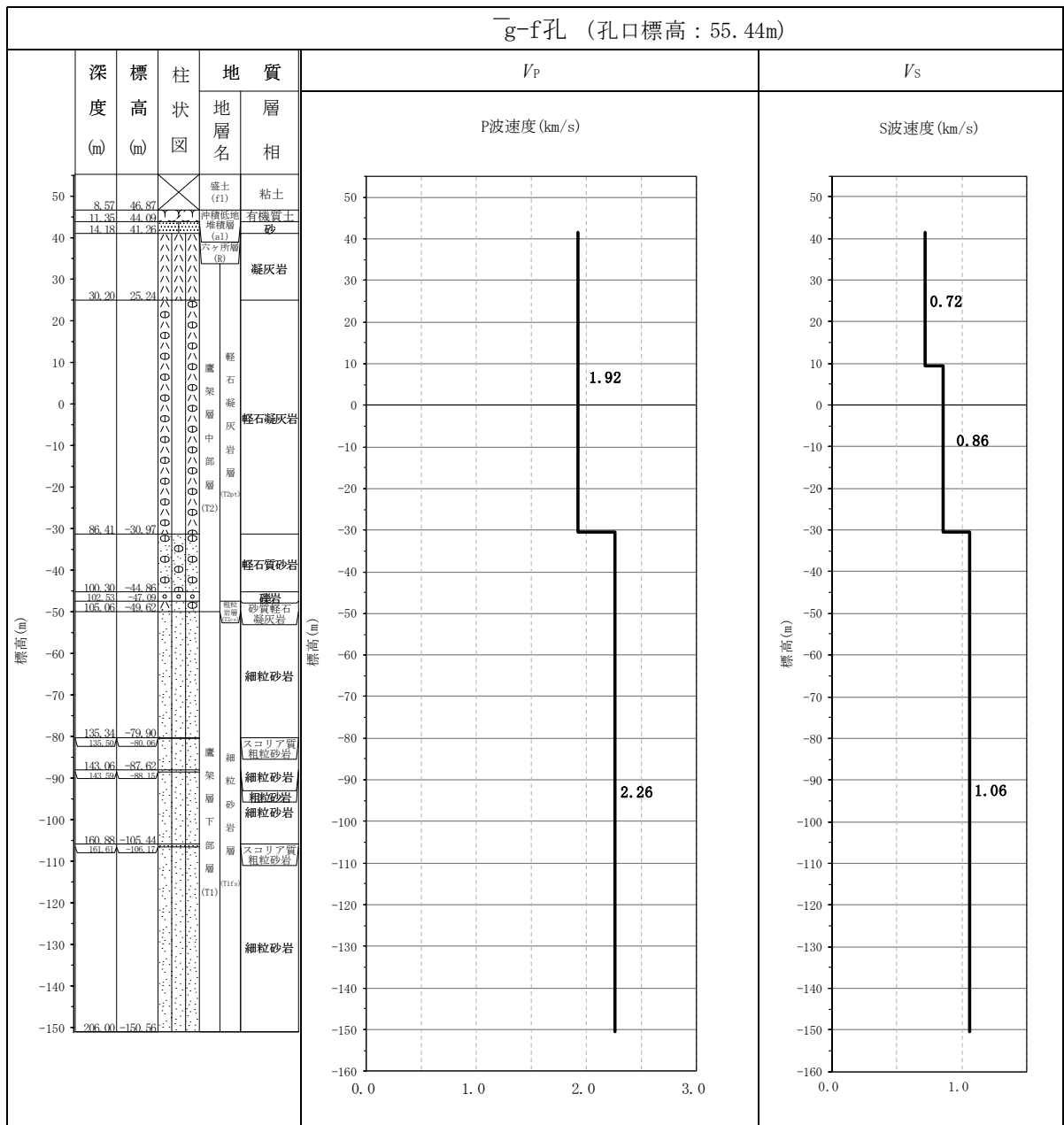
キープラン



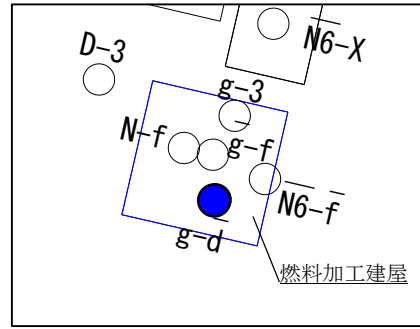
参考図 燃料加工建屋の速度構造データ (2/8)



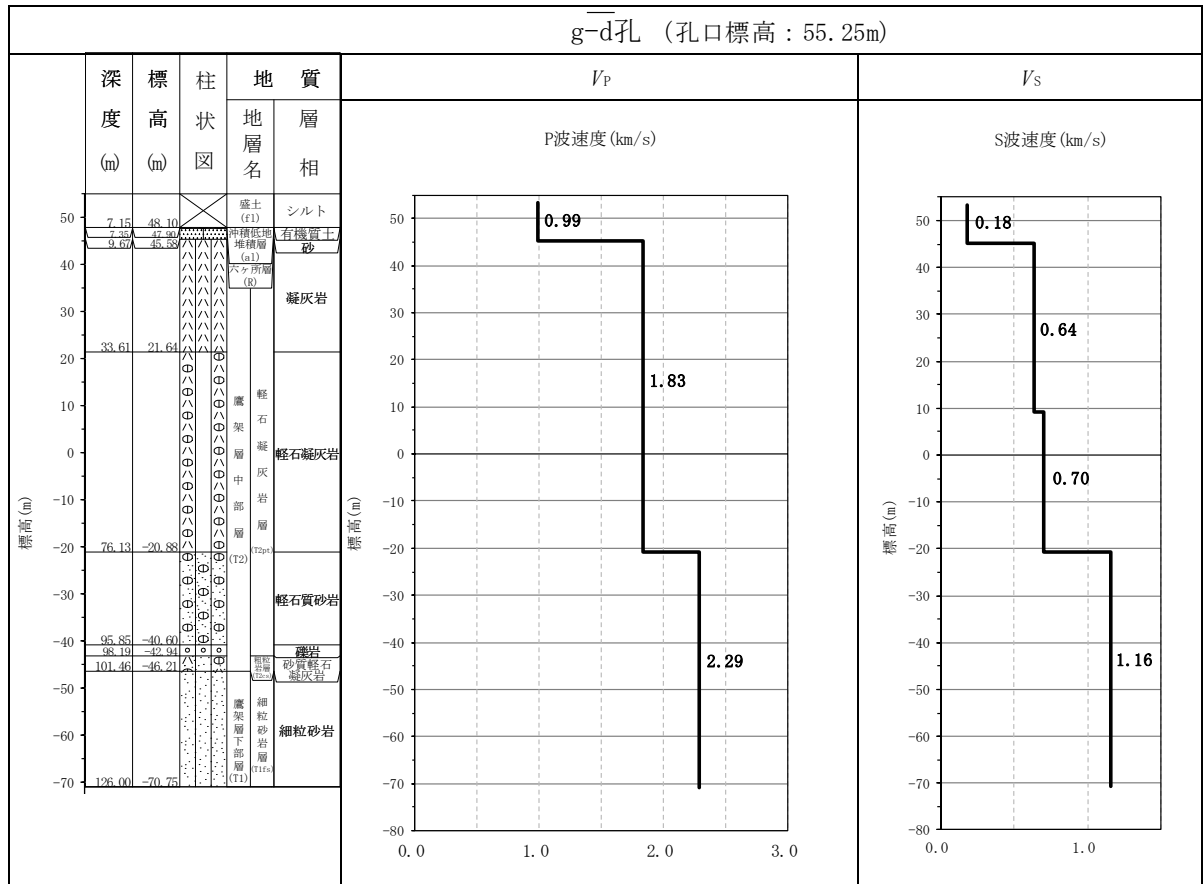
キープラン



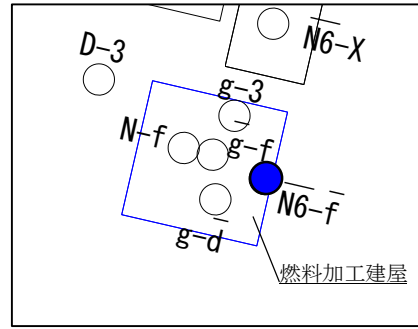
参考図 燃料加工建屋の速度構造データ (3/8)



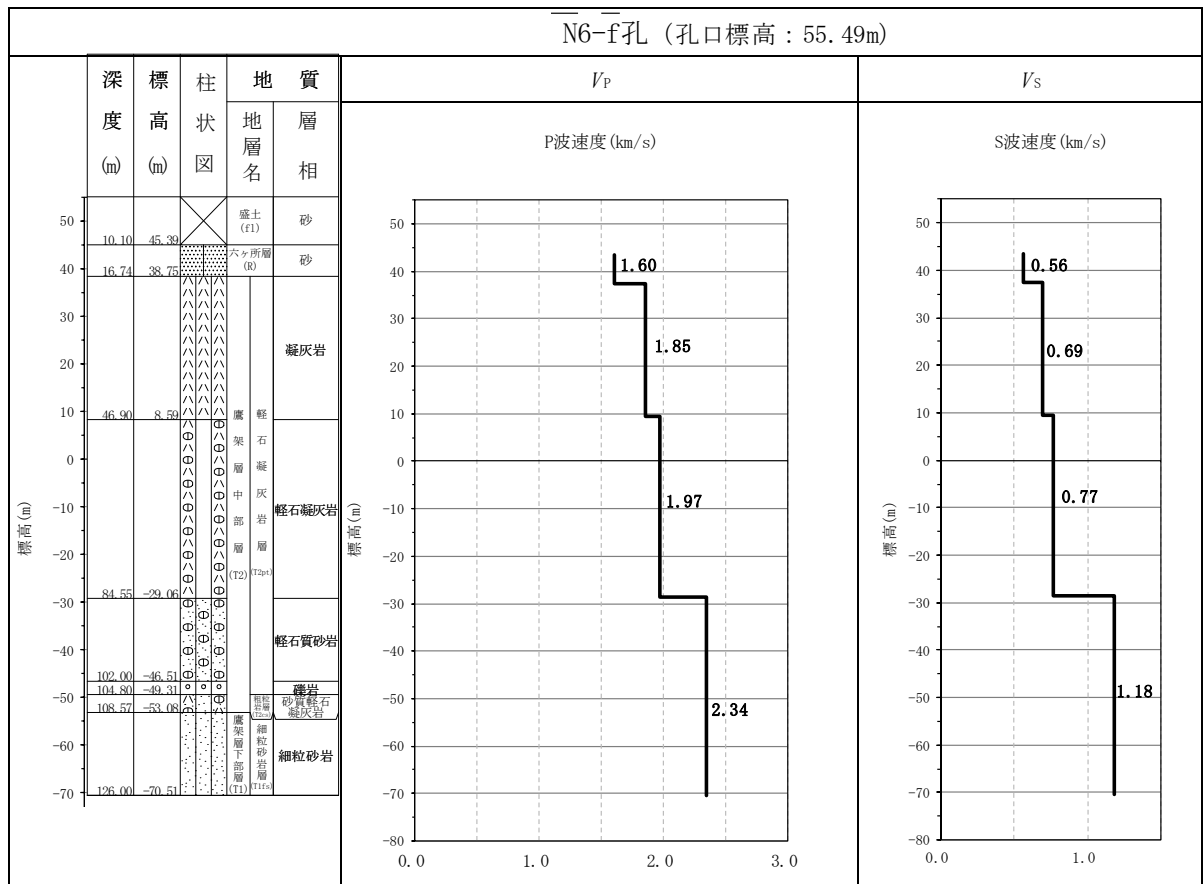
キープラン



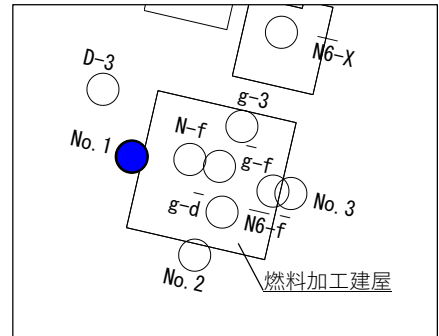
参考図 燃料加工建屋の速度構造データ (4/8)



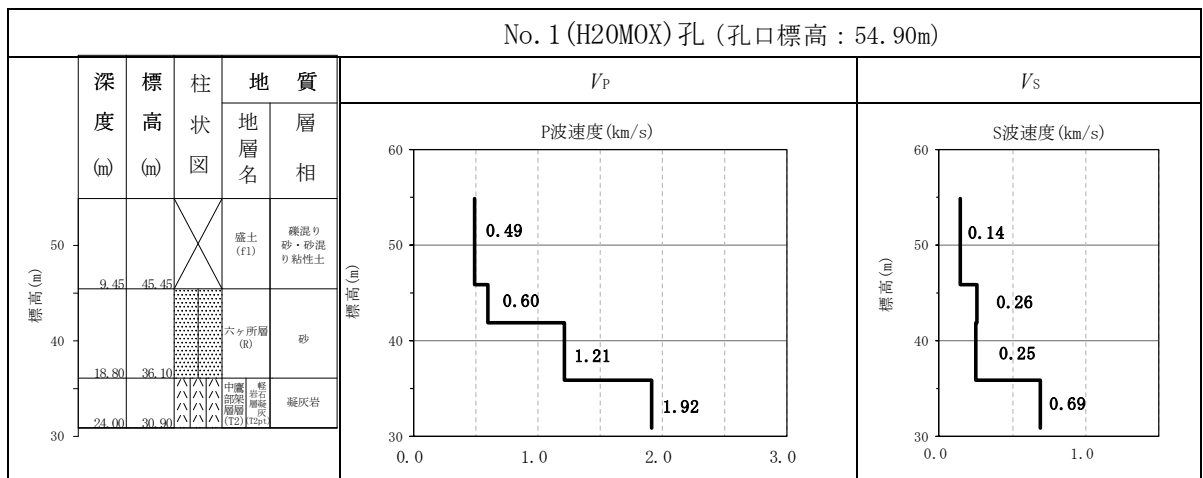
キープラン



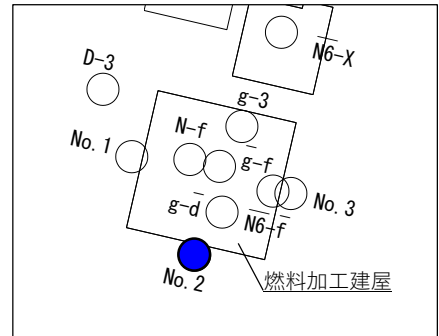
参考図 燃料加工建屋の速度構造データ (5/8)



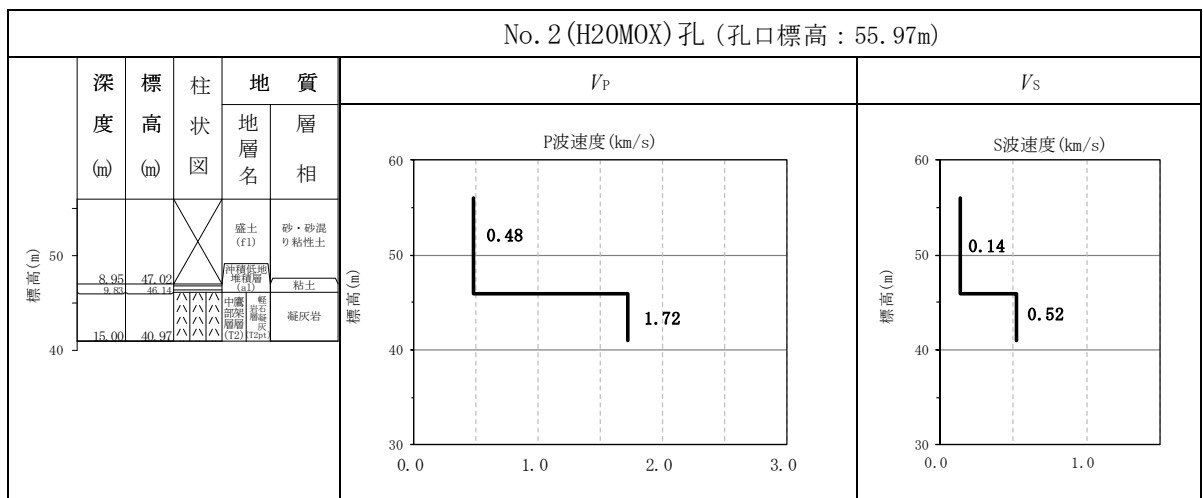
キープラン



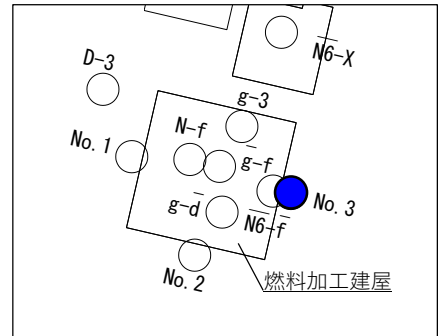
参考図 燃料加工建屋の速度構造データ (6/8)



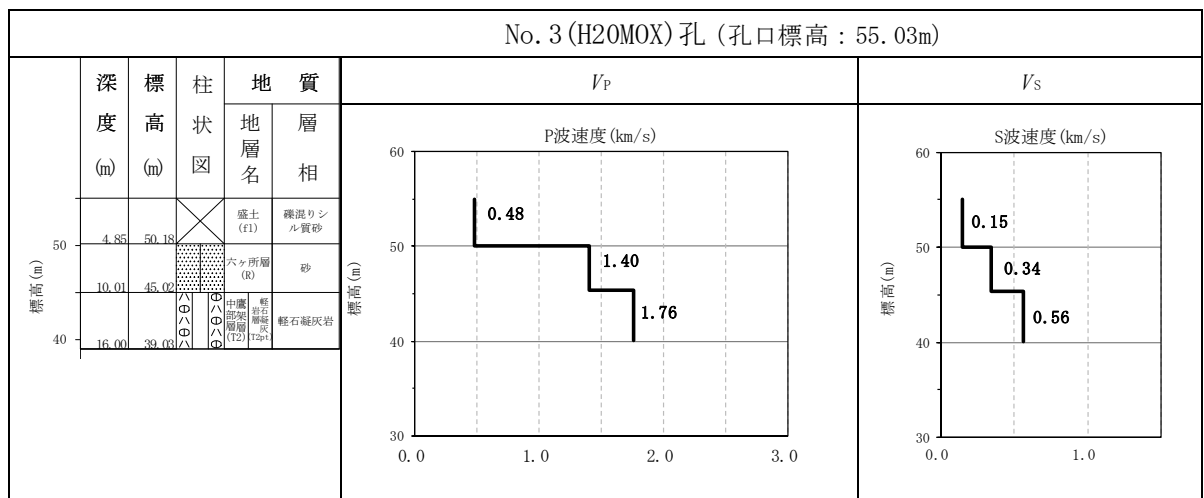
キープラン



参考図 燃料加工建屋の速度構造データ (7/8)



キープラン



参考図 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 | 2 |
| 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 冷却塔の直下又は近傍の 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、マンメイドロック (以下、「MMR」という。) 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。

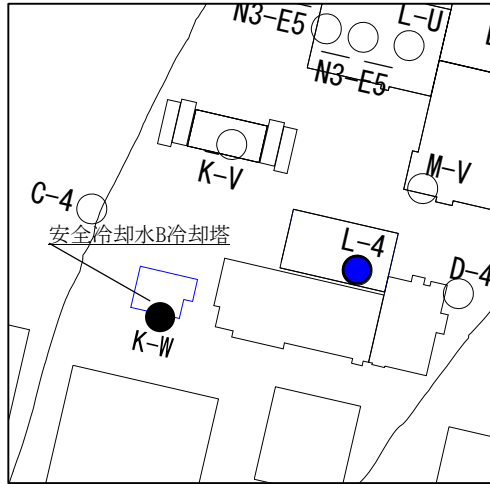
K-W 孔の地質構造と \bar{K} -V 孔及び L-4 孔の地質構造を比較すると、細粒砂岩と泥岩について、いずれの孔においても概ね同様の分布となっていることから、 \bar{K} -V 孔及び L-4 孔のいずれを選定しても問題ないと考えが、安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデルに考慮する速度構造データとしては、第 2.1-3 図に示す速度構造の比較結果のとおり、 \bar{K} -V 孔及び L-4 孔のうち、細粒砂岩中に速度境界が認められ、インピーダンス比が大きい L-4 孔を選定した。

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いため、同様の上載圧がはたらくと考えられることから、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。

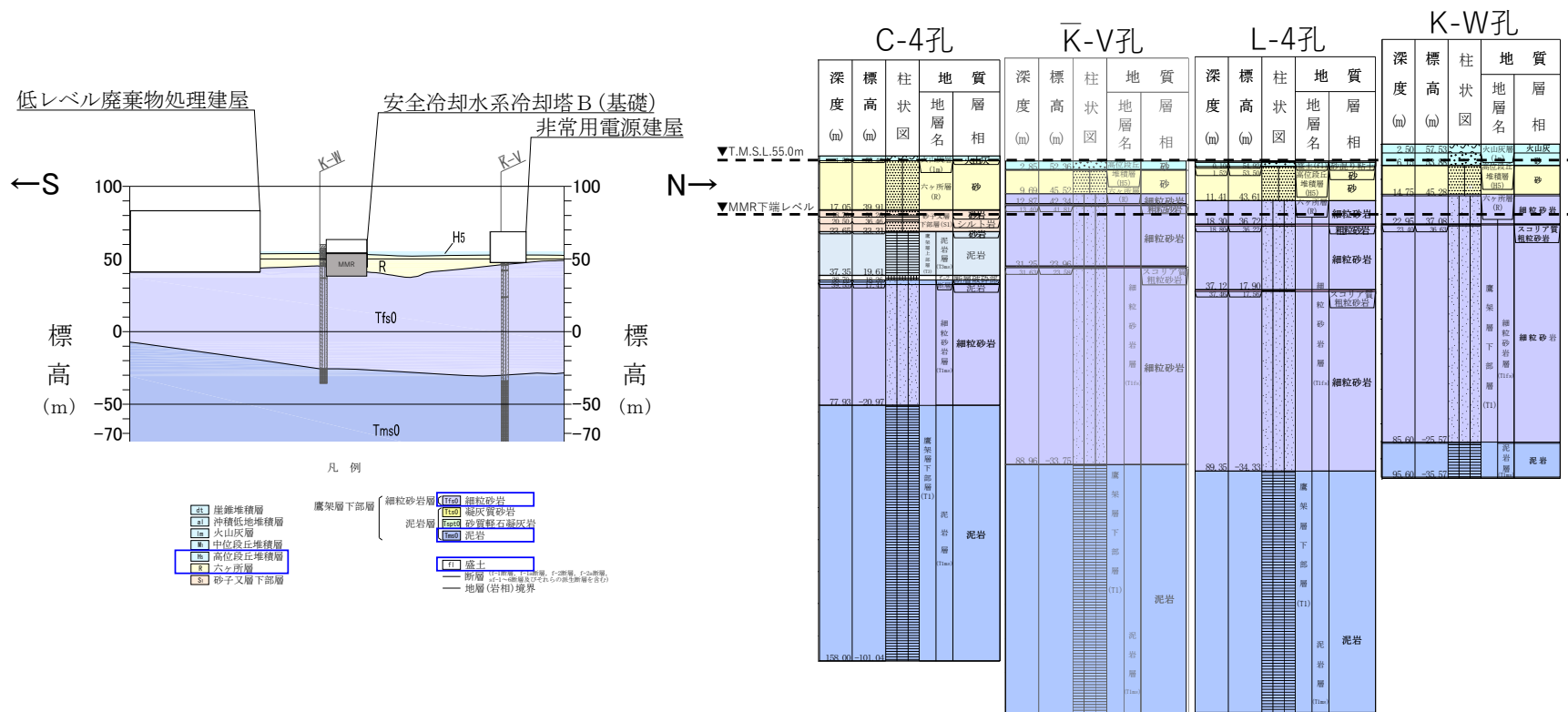
上記に基づき設定した S 波速度及び P 波速度を基本ケースとして設定する。

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。

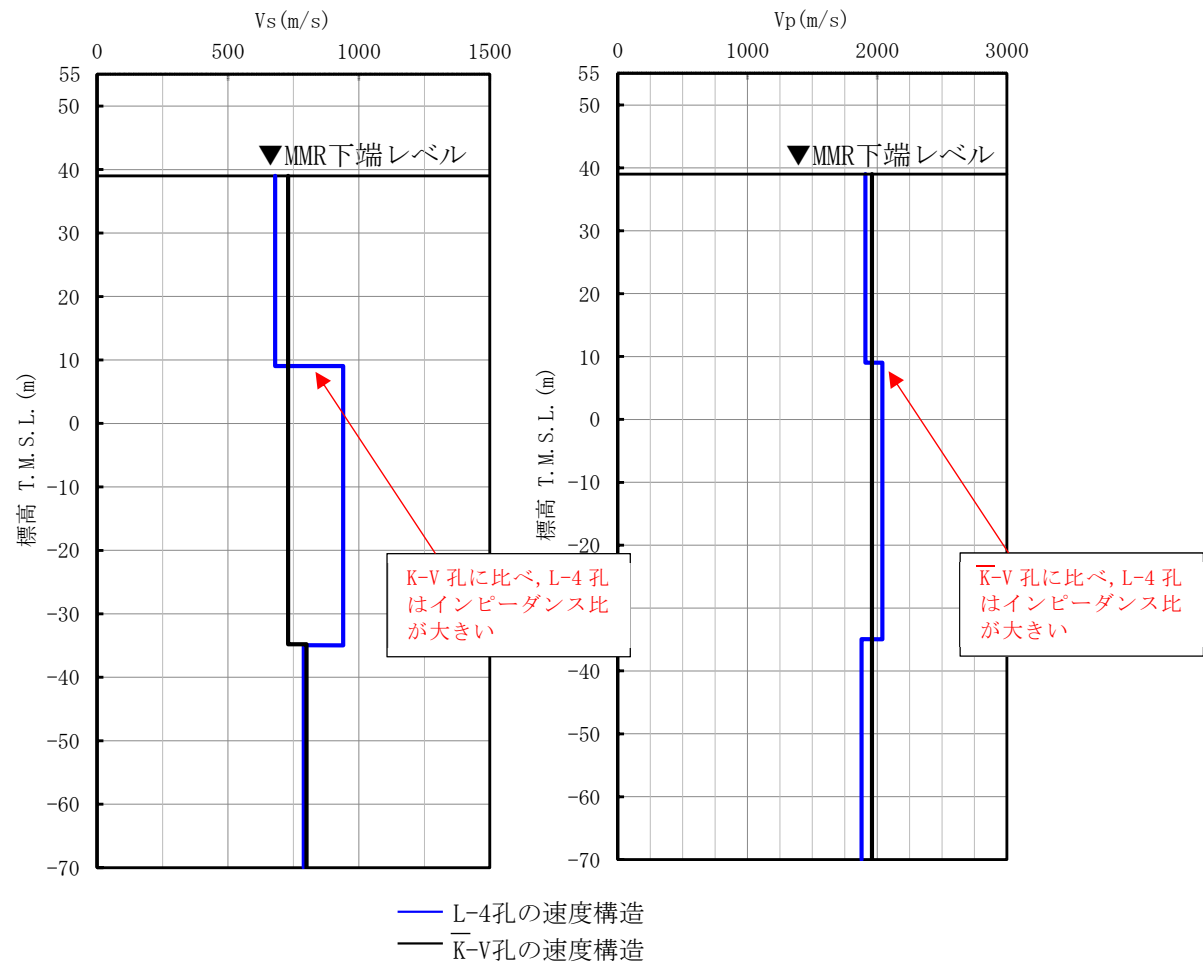


●：地盤モデルの作成に用いるPS検層孔

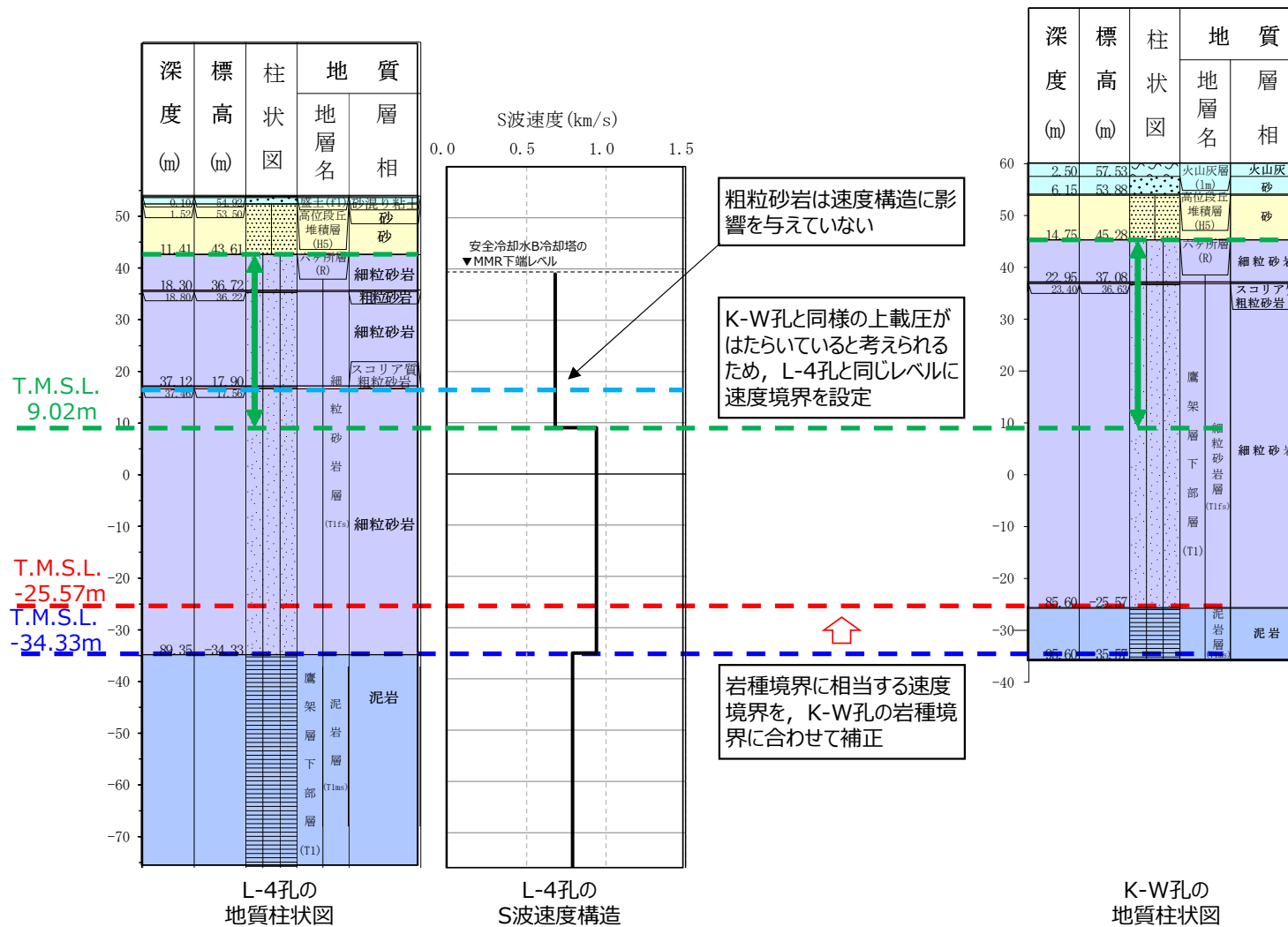
第 2.1-1 図 安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデル作成に用いる PS 検層孔位置図



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)



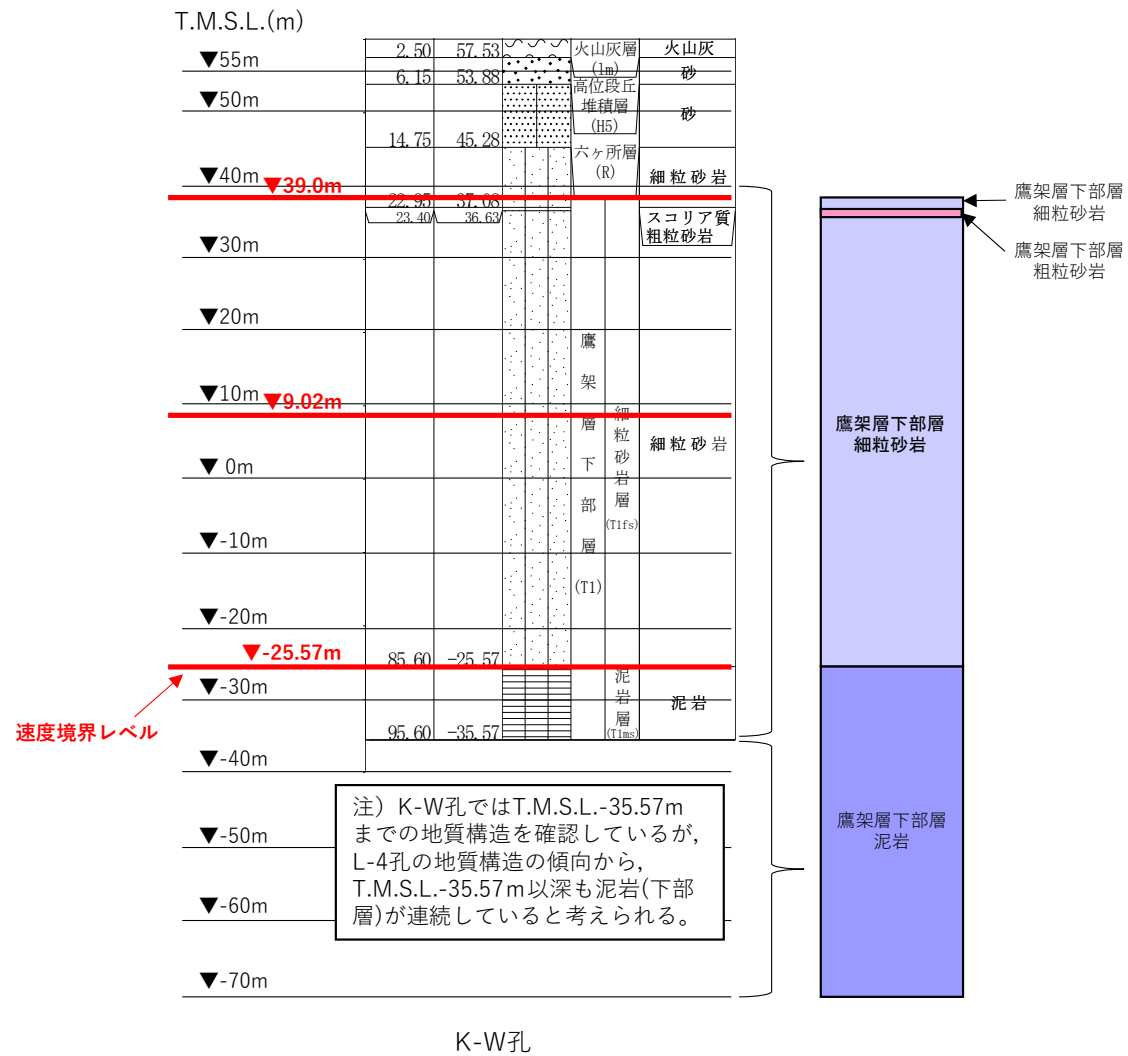
第 2. 1-3 図 L-4 孔と \bar{K} -V 孔の速度構造の比較



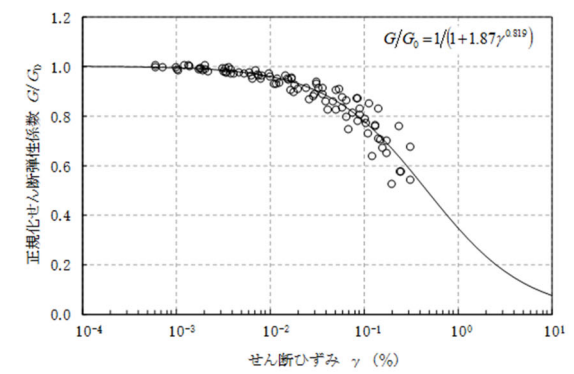
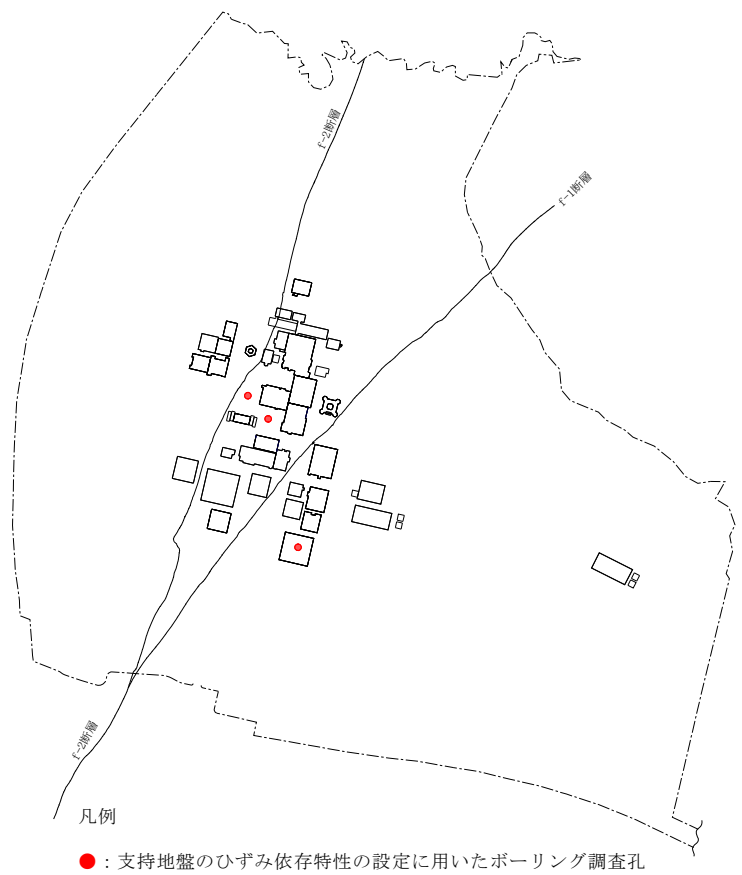
第 2.1-4 図 L-4 孔及び K-W 孔の地質構造及び速度構造の対応

2.2 ひずみ依存特性の設定

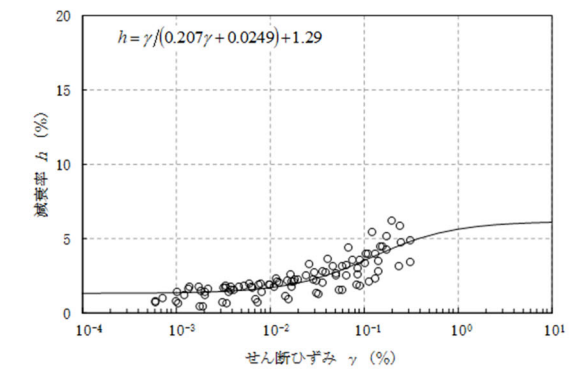
ひずみ依存特性については、岩種ごとに剛性低下率及び減衰定数の傾向が異なるため、安全冷却水 B 冷却塔直下 (K-W 孔) における岩種と対応するように、各岩種の繰返し三軸圧縮試験結果に基づき設定する。第 2.2-1 図に直下孔の地質柱状図における岩種を示す。第 2.2-2 図～第 2.2-4 図に各岩種に対する繰返し三軸圧縮試験結果に基づくひずみ依存特性を示す。



第 2.2-1 図 地質柱状図



(a) 動的変形特性

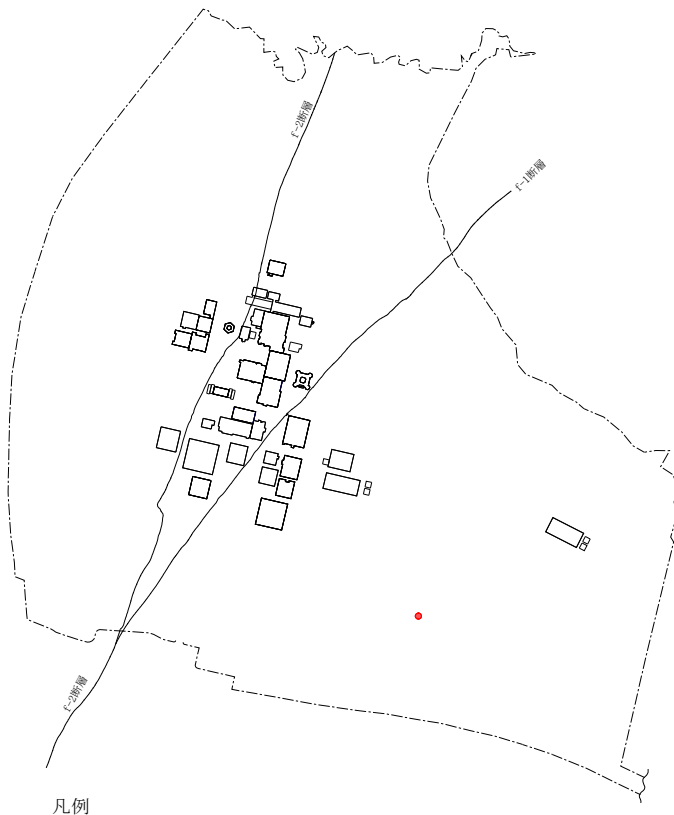


(b) 減衰特性

再処理施設の事業変更許可申請書 第 4.5-13 図より引用

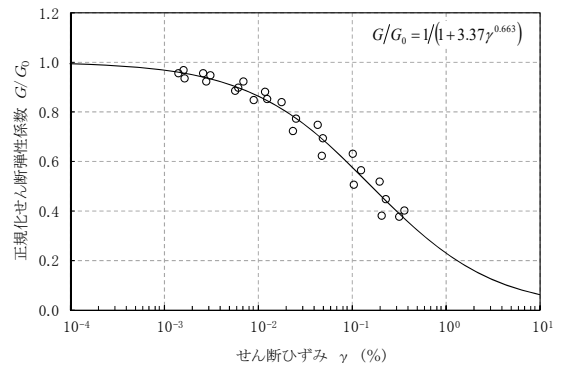
※細粒砂岩は、主に敷地内の中央地盤，東側地盤に分布することから，中央地盤，東側地盤で試験データを取得した。

第 2.2-2 図 細粒砂岩のひずみ依存特性

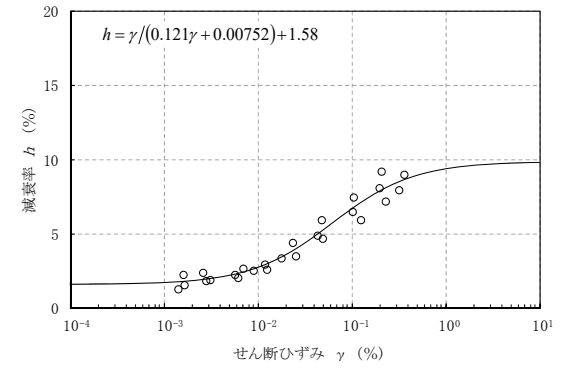


凡例

●: 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



(a) 動的変形特性

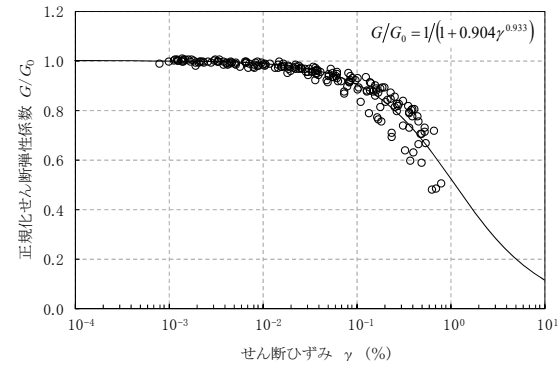
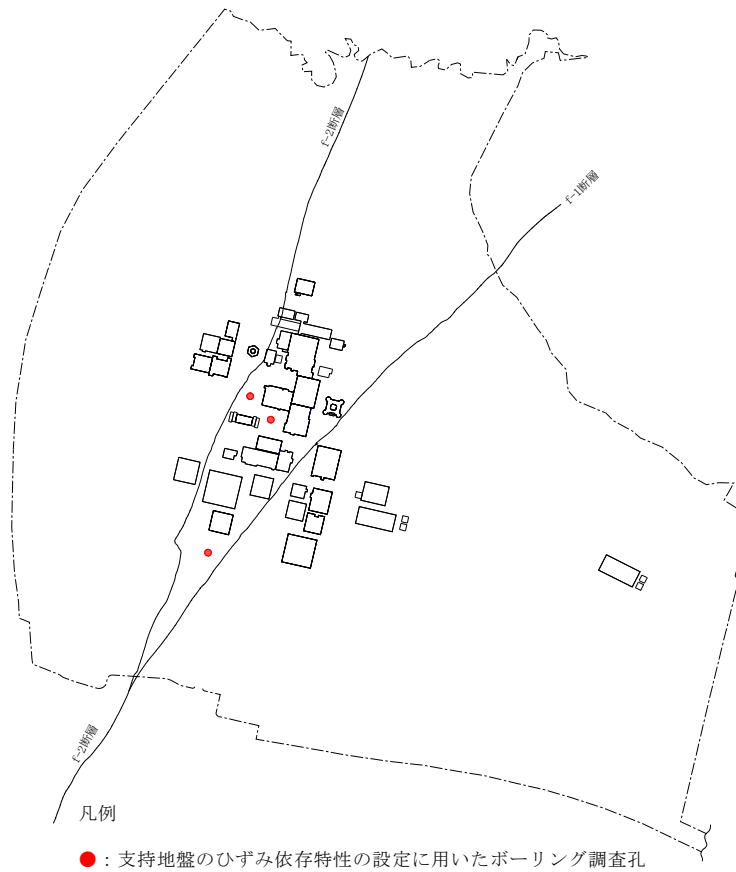


(b) 減衰特性

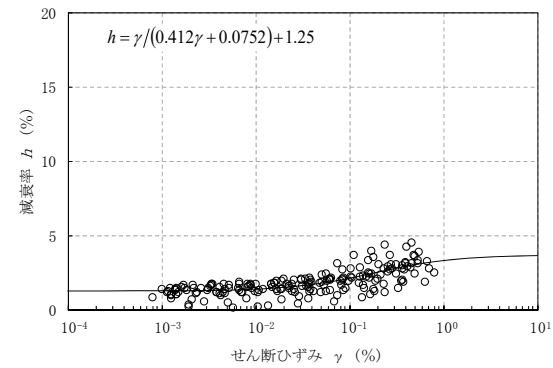
再処理施設の事業変更許可申請書 第 4.5-13 図より引用

※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。これらの試験データの取得においては、中央地盤に分布する粗粒砂岩の層厚が薄く室内試験が実施できなかったため、東側地盤の粗粒砂岩を対象にボーリング調査し室内試験を実施した。

第 2.2-3 図 粗粒砂岩のひずみ依存特性



(a) 動変形特性



(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。

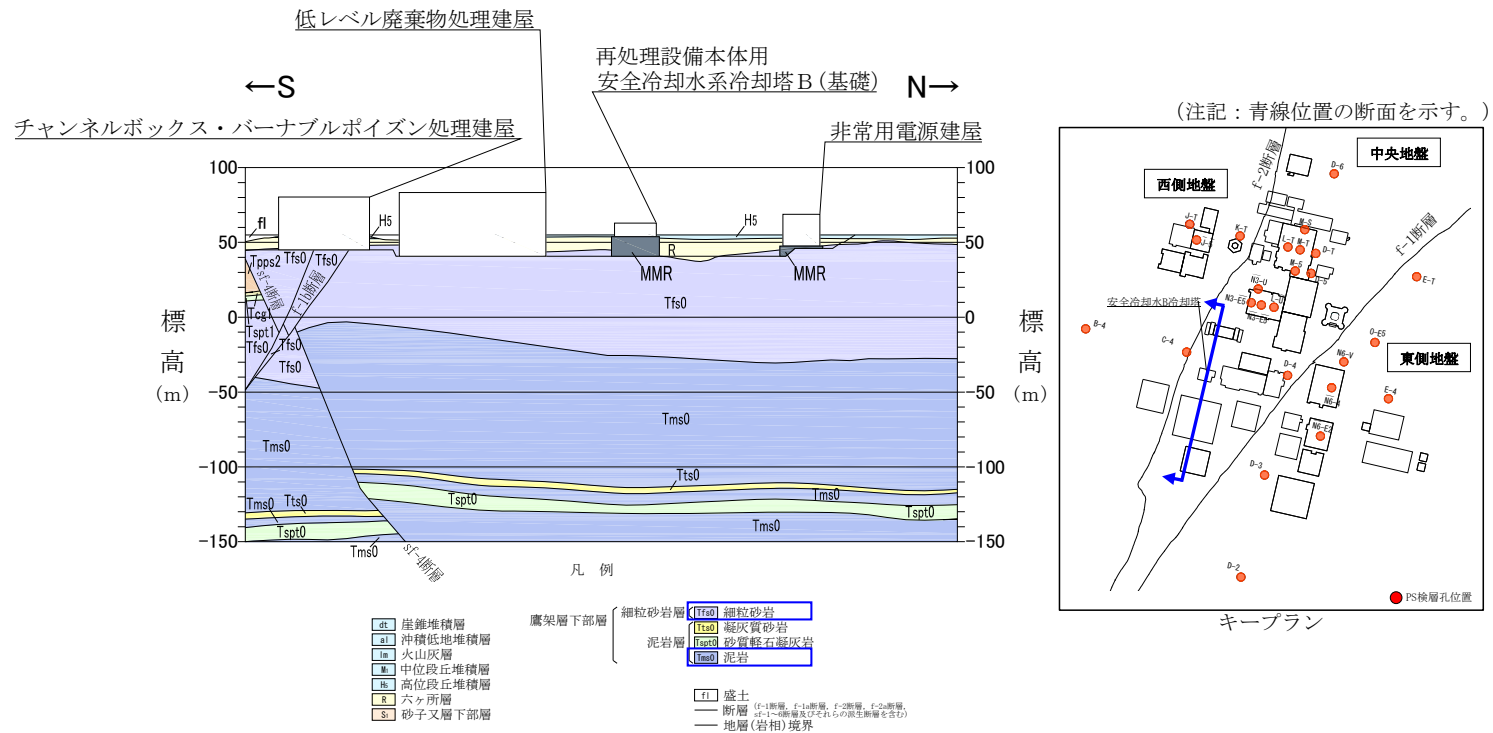
第 2.2-4 図 泥岩（下部層）のひずみ依存特性

2.3 ばらつき幅の設定

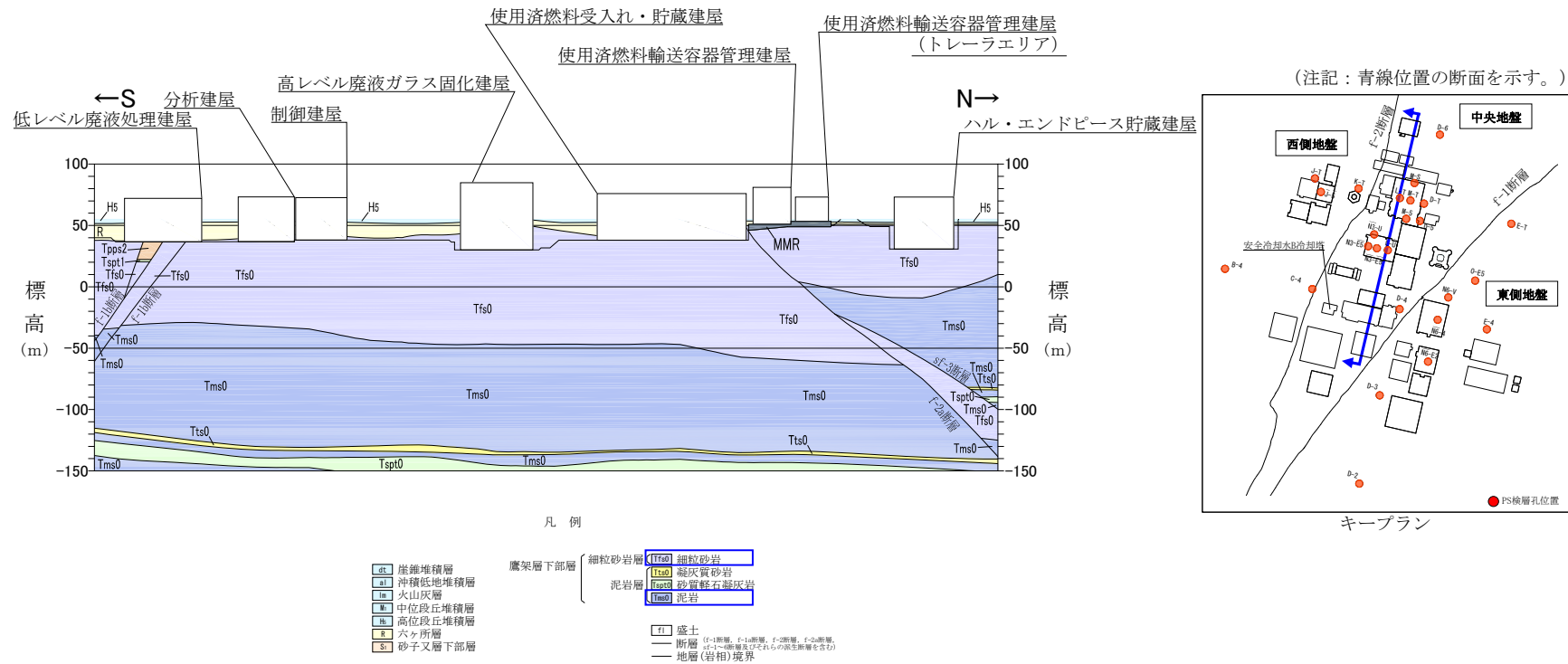
ばらつき幅の設定において、安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデルは、近傍の単一孔の PS 検層孔に基づき作成しているため、周辺の地盤状況を参照してばらつき幅の設定を行った。

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±1σ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 |
| ▼解放基盤表面 | -70.0 | 820 | 50 | 7 | 1950 | 40 | 3 |
| | | 820 | 50 | 7 | 1950 | 40 | 3 |



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下端レベル | 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 $h-\gamma$ |
|-----------------------|---------|---|---------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|
| ▽基礎スラブ底面 | | | | | | |
| 53.80 | | | | | | |
| ▽MMR下端レベル | 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 | 18.1 | 940 | 2040 | | *2 |
| -25.57 | 泥岩（下部層） | 16.9 | 790 | 1880 | | *4 |
| ▽解放基盤表面 | | | | | | |
| -70.00 | 泥岩（下部層） | 16.9 | 790 | 1880 | | — |

*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 $h-\gamma$ |
|-----------------------|----------|---|---------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|
| ▽基礎スラブ底面 | | | | | | |
| 53.80 | | | | | | |
| ▽MMR下端レベル | 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 | - | |

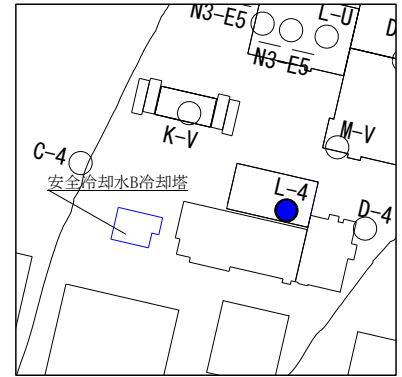
- *1：支持地盤相当の岩盤に支持されているとみなし，MMR 直下の支持地盤の物性値を設定する。
- *2：第 2.2-2 図に示す細粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。
- *3：第 2.2-3 図に示す粗粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。
- *4：第 2.2-4 図に示す泥岩 (下部層) のひずみ依存特性を設定する。

第 3.-3 表 安全冷却水 B 冷却塔の地盤モデル (-1σ)

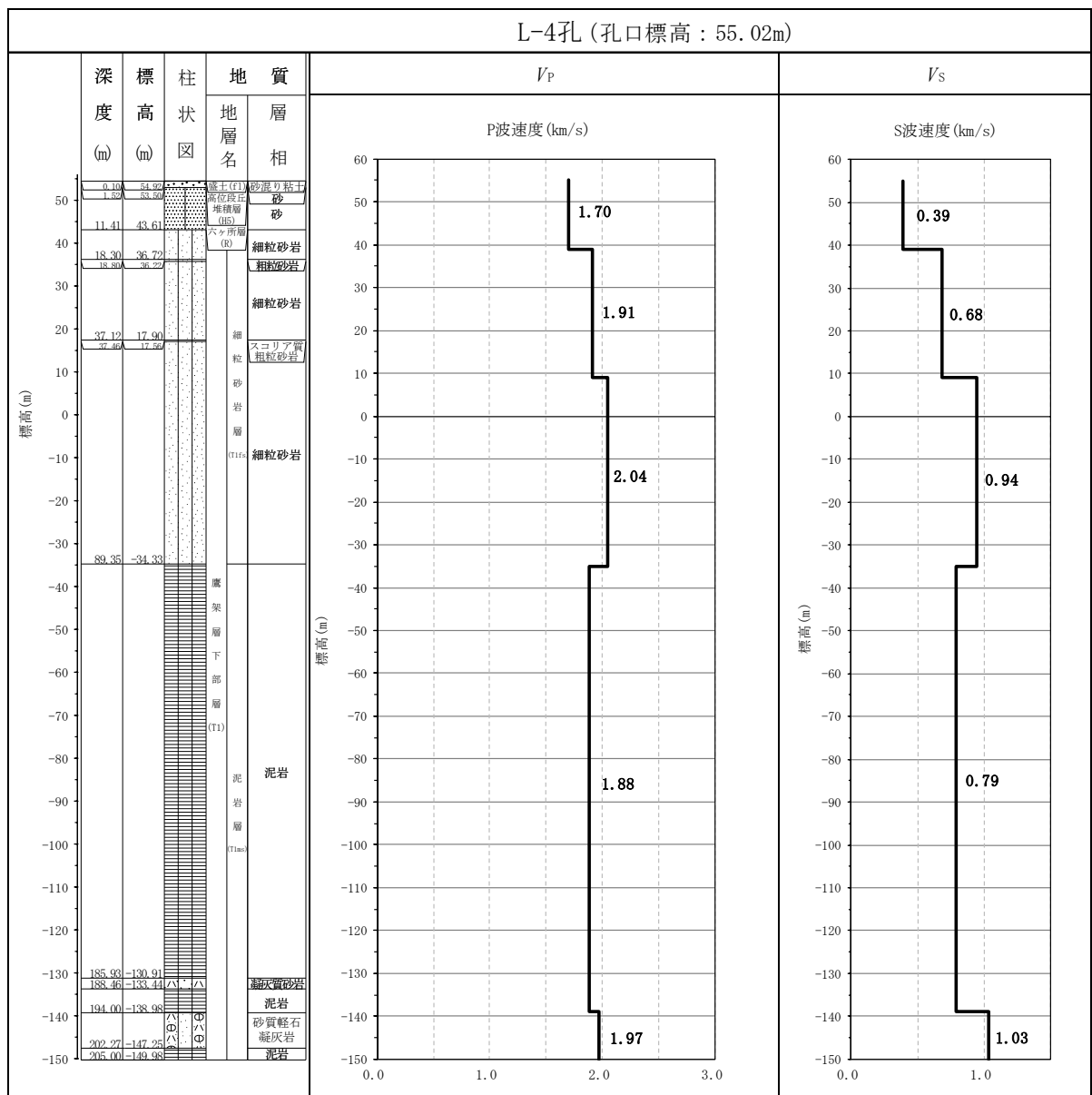
| 標高 T. M. S. L. (m) | 岩種 | 単位体積重量 γ_t (kN/m ³) | S波速度 V_s (m/s) | P波速度 V_p (m/s) | 剛性低下率 $G/G_0-\gamma$ | 減衰定数 $h-\gamma$ |
|-----------------------|----------|---|---------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|
| ▽基礎スラブ底面 | | | | | | |
| 53.80 | | | | | | |
| ▽MMR下端レベル | 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 | - | |

- *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