

再処理施設 廃棄物管理施設 MOX燃料加工施設

設工認申請の対応状況について

令和5年6月20日



日本原燃株式会社

本日の審査会合での説明事項

【再処理施設、廃棄物管理施設、MOX燃料加工施設】
1. 設工認の審査対応等について



3

【再処理施設、廃棄物管理施設】

2. 「第2回設工認に係る当面の説明方針」の進捗状況
(耐震設計の条文)



6

別添 1 : 「基本地盤モデル」の設定について

別添 2 : 岩盤部分の物性値等の設定について

別添 3 : 岩盤部分の非線形性に係る検討について

別添 4 : 岩盤部分の減衰定数に係る検討について

別添 5 : 表層地盤の物性値に係る検討について

【再処理施設、廃棄物管理施設、MOX燃料加工施設】
3. 「第2回設工認に係る当面の説明方針」の進捗状況



21

(MOX閉じ込め条文に係る構造設計等の説明)

1. 設工認の審査対応等について

1. 設工認の審査対応等について

【事実関係の認識】

- 設工認の審査において技術的な論点の議論に進めておらず、また、申請書において多数の記載不備が発生したのは、申請時期のみを強く意識した業務遂行により、準備が十分整っていない状態で申請を行った結果であり、加えて、責任の所在が不明確で、それぞれの責任を有する者がやるべきことをやっていたことが大きな問題と認識。
- 更に、施設の維持管理において、「セル内の照明全消灯に伴うIAEA査察カメラによる監視の一時中断」等の事象が発生し、これらは責任の所在に係る類似要因によるものと考えており、全社的な問題点と認識。
- 上記の状況を受け、原子力規制委員会との意見交換において、当社社長に対し、「堅実に積み重ねて着実にプロセスを踏んでいくというやり方に代わるべき時期に来ているのではないか。」等の意見をいただいた。

【改善に係る取り組みの方向性】

- 今後長期にわたる施設の安全・安定的な操業のためにも、強い危機感をもって以下に取り組むことが必要と認識。
 - ◆ 社長を含む経営層自らが現場の実態を把握するとともに、各層において実態の裏付けのある計画を策定し、適宜状況を確認、連携し、計画にフィードバックをかける
 - ◆ 各部署において、役割と責任を明確にした業務計画を策定し、その進捗管理を確実に行うとともに情報共有を密に行うことで、安全最優先の業務遂行を実施
 - ◆ 設工認の審査においては、各人が客観的な根拠に基づく技術論を第一に考え、説明責任を果たすことを意識した対応

【設工認総括責任者としての取り組み】

- ステアリングチームを設置し、あるべき姿に基づいた業務遂行ができる体制を整え、さらに次のステアリングチームを担う人材を決め、要員拡充に向けた人材育成ができる環境を整備。
- 毎朝のミーティングでステアリングチーム等から設工認に係る対応状況を確認し、課題等の実態把握を踏まえ、課題解決に必要なリソースの投入・配分、目標の見直し等問題解決のための方策を提示。

1. 設工認の審査対応等について

【ステアリングチーム設置以降の対応】

- 電力会社の支援を受け、ステアリングチームによる体制を整えた以降、許可との関係を踏まえた設工認として説明すべき事項などに関する実態把握を実施してきている。現状のステアリングチームの規模での対応可能な範囲として優先順位をつけて実施。

【ステアリングチームによる問題認識】

- ステアリングチームによる設計担当部署などへの聞き取りによる実態把握の結果、以下の問題を認識
 - ◆ 設工認の審査においては、これまで「自らが進めた設計ありきの説明であり、その設計に至った客観的で技術的な裏付けをもった根拠の説明が不十分」であり、それは既認可等の従前の設計に固執する考えがあったこと、状況の変化に対して、その変化を踏まえて必要なことを、ひとつひとつ積み上げることができていなかったことが要因。

【ステアリングチームとしての取り組み】

- 設工認として説明すべき事項に対する客観的で技術的な裏付けをもった説明方針を策定、その方針に基づき説明責任を果たすとはどういうことかを実践。
- これにより、計画の立案や計画に基づく実行における「あるべき姿」を見せることにより、当社のこれまでの問題点の改善、次のステアリングチームを担う人材の拡充としてあるべき姿を見据えた人材の育成を実現。（当社社員が「あるべき姿」を実行できるようにしていく）
- これまでの取り組みにおいて、以下の点で改善が図られつつあると認識。
 - 入力地震動の策定での地盤モデルの設定において、申請したモデルの妥当性を説明する際、まずは客観的かつ科学的な手法で、データに基づく整理からやり直すこととし、妥当性の説明性向上を図ることとした。（具体的な反省と改善についてはP9に示す。）
 - 上記の取り組みにおいて、次のステアリングチームを担う人材の育成も併せて進めている。

2. 「第2回設工認に係る当面の説明方針」の進捗状況
(耐震設計の条文)

「第五条 安全機能を有する施設の地盤」、 「第六条 地震による損傷の防止」の説明方針

【説明事項】

- Sクラスの耐震設計（Ss、Sd、水平地震力3Ci※、保有水平耐力）
 - Bクラスの耐震設計（1.5Ci※、上位クラスへの波及影響）
 - Cクラスの耐震設計（1.0Ci※、上位クラスへの波及影響）
- ※建物構築物の場合。機器・配管系の場合は20%増しとして算定。

灰枠：説明済みの事項

緑枠：今回一部説明する事項

分類		申請対象設備	1. 設計条件及び評価判断基準	2. 具体的な設備等の設計	3. 具体的な設備等の設計と評価判断基準との照合
A. 新規に設置するもの		【再処理施設】 Sクラス：4基 Cクラス：2、083基(Sクラスへの波及影響：21基) *1 【廃棄物管理施設】 Cクラス：5基	Sクラスの耐震設計、 B、Cクラスの耐震設計（上位クラスへの波及影響）に係る設計条件及び評価判断基準（特に、基準地震動に基づく入力地震動の策定）	2-1：システム設計、構造設計等 ・構造図、系統図等	3-1：設計要求等との照合
B. 既設	B-1: 設計条件が変更になったもの	【再処理施設】 Sクラス：2、284基(耐震クラス変更：104基) Bクラス（Sクラスへの波及影響を考慮）：60基 Cクラス（Sクラスへの波及影響を考慮）：6基 【廃棄物管理施設】 Sクラス：9基 Cクラス（Sクラスへの波及影響を考慮）：3基		2-1：システム設計、構造設計等 （工事有の場合） 2-2：解析・評価等 ・FRS、解析モデル、耐震評価等	3-2：評価判断基準等との照合 ・評価結果等と許容限界の比較
	B-2: 設計条件が追加になったもの	—		—	—
	B-3: 新たに申請対象になったもの	—		—	—
	B-4: 設計条件に変更がないもの	【再処理施設】 Bクラス：1、134基 *2 Cクラス：1、817基 *1, 2 【廃棄物管理施設】 Bクラス：9基 Cクラス：188基		変更がないこと の理由を説明	—

* 1: Cクラスに分類される設備のうち、11・35条「火災等による損傷の防止」と12条「再処理施設内における溢水による損傷の防止」にて機能維持を要求する設備の評価方法等はB-1のSクラスと合わせて説明する方針

* 2: B-4のB・Cクラスに分類される設備のうち、12条「再処理施設内における溢水による損傷の防止」で溢水源から除外する設備の評価方法等はB-1のSクラスと合わせて説明する方針

【主な説明内容】

- 申請対象設備を重要度毎に明確化 ➡ 申請対象設備は説明済み
 * 既設設備の工事の有無や解析モデル等の評価方法の変更の有無は引き続き精査する。
- 設計条件及び評価判断基準の明確化（特に、基準地震動に基づく入力地震動の策定） ➡ P9～20
- 同じ評価方法になるものについては、同じ評価方法の纏まりを説明したうえで合理的に説明

「第三十二条 重大事故等対処施設の地盤」、「第三十三条 地震による損傷の防止」、「第三十六条 重大事故等対処設備」のうち地震を要因とする重大事故等に対する施設の耐震設計の説明方針

【説明事項】

- 常設耐震重要SA設備の耐震設計（Sクラスの機能を代替（新設、既設にSA設備の条件を追加））
- 地震を要因とする重大事故等に対する施設の耐震設計（1.2Ss（常設設備・可搬型設備））
- 常設耐震重要SA設備以外の常設SA設備の耐震設計（B、Cクラスの機能を代替）

灰枠：説明済みの事項

緑枠：今回一部説明する事項

分類		申請対象設備	1. 設計条件及び評価判断基準	2. 具体的な設備等の設計	3. 具体的な設備等の設計と評価判断基準との照合
A. 新規に設置するもの		【再処理施設】 常設耐震重要：1、148基 常設耐震重要以外：130基 可搬型設備：2、693基	常設耐震重要SA設備の耐震設計（Ss）、地震を要因とする重大事故等に対する施設の耐震設計（1.2Ss）等の設計条件及び評価判断基準	2-1：システム設計、構造設計等 ・構造図、系統図等 2-2：解析、評価等 ・入力地震動、FRS、解析モデル、耐震評価等（S、B、C、1.2Ss） ・地震を要因とする重大事故等に対する施設の評価判断基準の設定（1.2Ss） 等	3-1：設計要求等との照合 3-2：評価判断基準等との照合 ・評価結果等と許容限界の比較等
B. 既設	B-1: 設計条件が変更になったもの	-		-	-
	B-2: 設計条件が追加になったもの	【再処理施設】 常設耐震重要：807基 常設耐震重要以外：130基		2-1：システム設計、構造設計等（工事有の場合） 2-2：解析、評価等 ・入力地震動、FRS、解析モデル、耐震評価等（S、1.2Ss） ・地震を要因とする重大事故等に対する施設の評価判断基準の設定（1.2Ss） 等	3-1：設計要求等との照合 3-2：評価判断基準等との照合 ・評価結果等と許容限界の比較等
	B-3: 新たに申請対象になったもの	-		-	-
	B-4: 設計条件に変更がないもの	-	-	-	-

【主な説明内容】

- 申請対象設備を重要度毎に明確化 ➡ 申請対象設備は説明済み
* 既設設備の工事の有無や解析モデル等の評価方法の変更の有無は引き続き精査する。
- 設計条件及び評価判断基準の明確化（特に、基準地震動に基づく入力地震動の策定） ➡ P9～20
- 同じ評価方法になるものについては、同じ評価方法の纏まりを説明したうえで合理的に説明
- 入力地震動の策定は第五条、第六条と共通するため併せて合理的に説明

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

■ これまでの新規制基準の対応における経緯

- 新規制基準の適用に向けた設計では、客観的な視点に基づき設計根拠の妥当性等を確認すべきところ、新規制基準の施行以前に認可された設計条件である地盤モデルを踏襲しなければならないとの先入観があり、この地盤モデル（以下、「申請地盤モデル」という）を適用した。
- 本来であれば、「申請地盤モデル」の適用に対して、既認可以降における以下の「状態変化を踏まえた確認」を行う必要であったが、確認が不十分であった。
 - ① 新規制基準に伴う基準地震動の増大を踏まえた適用性
 - ② 新設施設の設置位置と「申請地盤モデル」の適用範囲の関係性
 - ③ 既認可以降の新たな調査結果（PS検層結果、地震観測記録）と「申請地盤モデル」に用いた既往のデータとの関係性
- また、新規制基準後の第1回の設工認実績（再処理・MOX施設）と「申請地盤モデル」との対応関係を踏まえた説明を行うべきであった。

■ 今後の対応

- 入力地震動の算定に用いる地盤モデルの検討にあたっては、上記の状態変化を踏まえ、客観的な視点に基づく一般的・標準的な手法でのモデル（以下「基本地盤モデル」という）を設定する。
- 「基本地盤モデル」と「申請地盤モデル」の比較を行い、その違いを整理した上で、「申請地盤モデル」による入力地震動の本案申請における取扱いを整理する。

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

■ 今後の検討の進め方

- 「基本地盤モデル」の設定に当たっては、以下の事項に基づき検討を実施する。
 - 近接する建物・構築物グループ（12Gr）において直下又は近傍の地盤の特性を考慮する。
 - 得られているデータ全てを用いる。
 - 各因子に対する検討により、敷地における地盤の特性を整理する。

一般的・標準的な地盤モデルの設定方法に基づく「基本地盤モデル」を作成

・現時点においては、右記a.b.d.に示す各因子に対する整理は全グループ完了。
・c.に示す因子については、今後データ拡充の可否を含めた検討を実施。
・基本地盤モデルの作成については、上記c.因子に係る検討を実施した上で作成する。

(本日ご説明範囲)

「基本地盤モデル」と「申請地盤モデル」の差を整理・分析

(次回以降ご説明)

上記を踏まえ「申請地盤モデル」の適用性の確認

(次回以降ご説明)

a. 岩盤部分の物性値等について

- 新增設の建屋も含め、新增設前に策定していたエリアごとの平均化地盤モデルの考えを適用していたが、前頁の状態変化②を踏まえ、12Grそれぞれにおける直下又は近傍のPS検層結果に基づく地盤物性を整理する必要がある。
- 既認可時に用いていた物性値データをそのまま用いていたが、前頁の状態変化③を踏まえ、既認可以降に得られたデータも追加した上で物性値を設定する必要がある。

b. 岩盤部分の非線形性について

- 既認可を踏襲し、線形条件としていたが、前頁の状態変化①の状態変化を踏まえ、基準地震動Ssによる非線形化の影響を確認する必要がある。

c. 岩盤部分の減衰定数の設定について

- 既認可を踏襲して3%をそのまま適用していたが、前頁の状態変化③を踏まえ、地震観測記録のデータ等に基づき、敷地における減衰定数を確認する必要がある。

d. 表層地盤の物性値について

- 前頁の状態変化③を踏まえ、埋戻し土の物性値として敷地内平均値を設定したが、その根拠を示す必要がある。
- 一部の建屋については実際に埋め込まれているものの、埋込非考慮の条件としていたが、当該建屋の表層地盤の物性値を整理と共に設定における扱いを整理する必要がある。

本日は、全グループに対して実施した、各因子についての一般的・標準的な手法に基づくデータの整理状況または結果について、AA建屋グループを代表として説明するとともに、「基本地盤モデル」のAA建屋グループにおける作成状況について説明する。

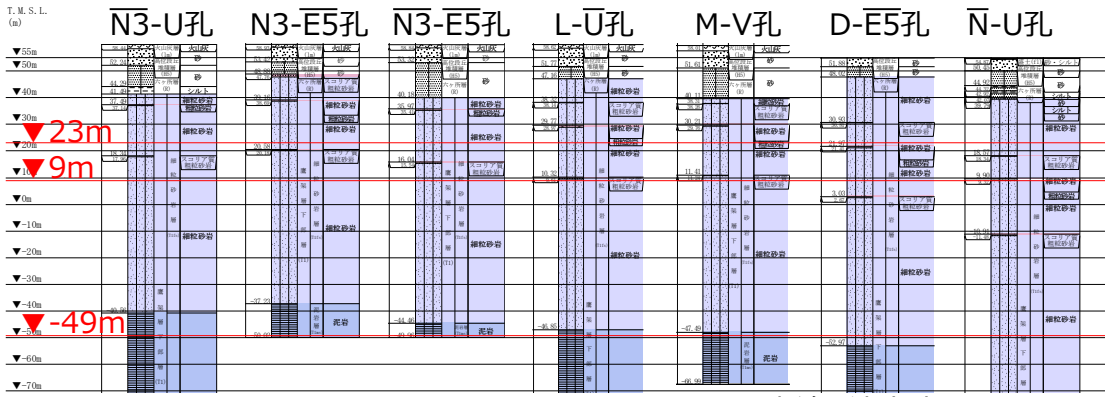
基準地震動に基づく入力地震動の策定 (地盤モデル)

【基本地盤モデルの作成：岩盤部分の物性値等】

a. 岩盤部分の物性値等について

【一般的・標準的な手法に基づく整理】

- 既認可時と比べ、新增設に伴いエリアが拡大されていること、及び既認可以降の新たな地盤調査結果が得られていることを踏まえて設定。
- 一般的・標準的な手法として、JEAG4601-1987に示される物性値設定の考え方にに基づき、近接する建屋グループ (12Gr) における直下又は近傍のPS検層結果のデータを全て用いた整理を行う。



*：赤線は速度境界レベルを示す。

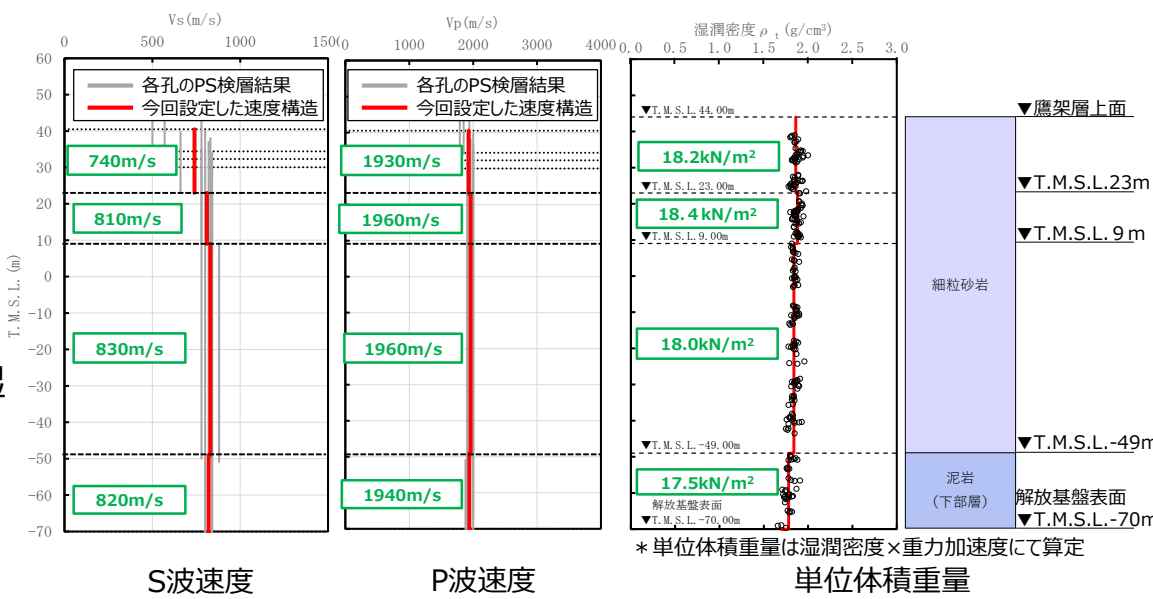
図1 AA周辺の岩盤部分の物性値等の設定に用いるPS検層孔の柱状図

複数のPS検層結果を平均化 (S波速度、P波速度、層厚、単位体積重量)

➤ **岩盤部分の物性値等の設定結果**
 得られているデータ全て (P20における ● + ●) を用いて12Grそれぞれにおける物性値を設定した。

- 速度構造は、複数のPS検層結果を速度境界及び地質境界で平均化
- 単位体積重量は、PS検層孔で得られた湿潤密度を平均化
- 岩種の深さ分布は、複数の地質柱状図を踏まえた、主要な岩種を設定
- 上記設定は、第1回申請 (PA、A4B*) と同様の考え方

*：PA：燃料加工建屋、A4B：安全冷却水B冷却塔



* 単位体積重量は湿潤密度×重力加速度にて算定

図2 AA周辺のPS検層結果に基づく速度構造及び単位体積重量

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

【基本地盤モデルの作成：岩盤部分の非線形性】

b. 岩盤部分の非線形性について

【一般的・標準的な手法に基づく整理】

- 既認可時と比べ、基準地震動の増大に伴い、基準地震動 S_s が伝播した際に地盤のせん断ひずみが大きくなり、岩盤部分においても剛性低下が生じる可能性があることを踏まえ、岩盤部分の非線形化による剛性低下が入力地震動に及ぼす影響の確認を行う。

➤ **岩盤部分の非線形性が入力地震動に及ぼす影響の確認結果**
 基準地震動 S_s における岩盤部分について、非線形条件とした場合と線形条件とした場合の層せん断ひずみ度及び入力地震動の応答スペクトルを比較した結果、岩盤部分の非線形性による影響は小さいことから、線形条件とする。

- S_s 地震時の岩盤部分のせん断ひずみは 10^{-4} 程度であり、主要な岩種において局所的な大ひずみ等は生じていない。（図1）
- 地盤の非線形性を考慮した場合（等価線形解析の結果）と、線形解析による結果と比較すると、基礎底面レベルの入力地震動については、周期特性もよく一致しており、同等の結果となる。（図3）
- 第1回申請（PA、A4B）においては、岩盤部分の減衰定数についてひずみ依存特性を考慮したことから、剛性についても考え方を揃える観点でひずみ依存特性を考慮し非線形を考慮することとしていた。
- S_s 地震時の岩盤のせん断ひずみはPA、A4Bともに 10^{-4} 程度であったことから、岩盤部分の非線形性の考慮又は非考慮は、第1回申請における入力地震動の算定結果にも影響を与えない。

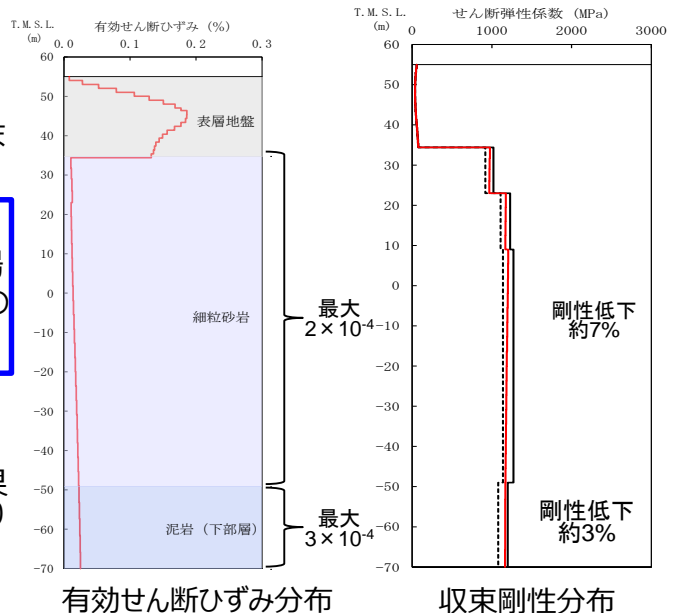


図1 地盤の等価線形解析結果（AB）

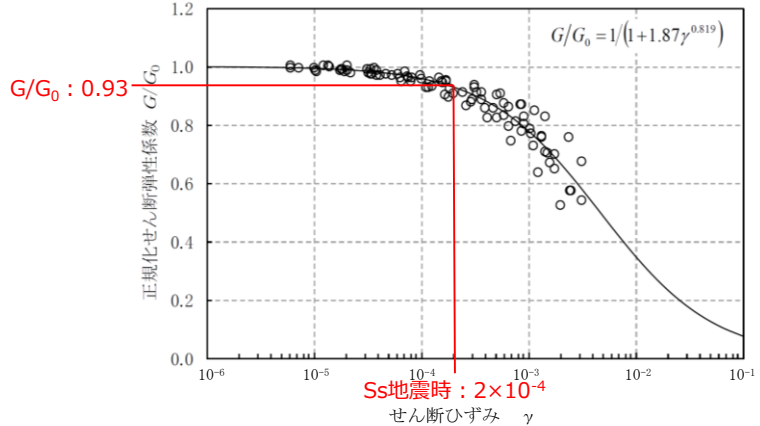


図2 ひずみ依存特性（細粒砂岩の例）

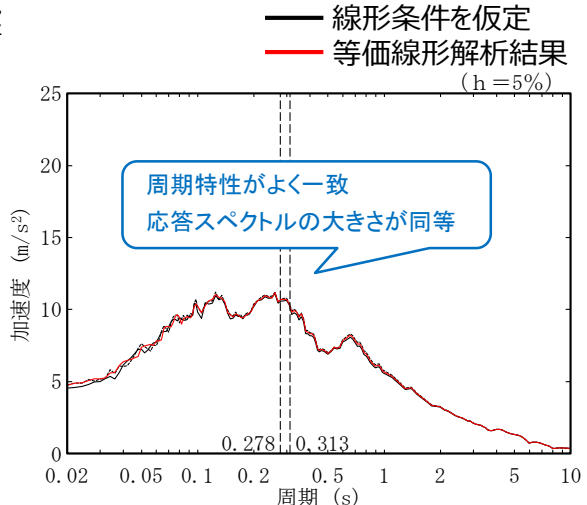


図3 基礎底面レベルの入力地震動（AB）

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

【基本地盤モデルの作成：岩盤の減衰定数（1/2）】

c. 岩盤の減衰定数について

【一般的・標準的な手法に基づく整理】

- 規格規準類に則った評価を実施することとし、JEAG4601-1987に示される複数の減衰定数の同定手法に基づき、敷地地盤における岩盤部分の減衰定数を評価した。
- 岩盤部分に設定する減衰定数については、JEAG4601-2015における減衰定数の慣用値（軟岩サイトで3～5%）も鑑みて設定する。

➤ 繰返し三軸圧縮試験による評価結果（材料減衰のみ考慮）

この手法により評価された減衰定数は、敷地における岩種ごとのひずみ依存特性に対応するものとして、事業変更許可における添付書類四「4. 地盤」にて整理済み。

➤ S波検層による評価結果（材料減衰と散乱減衰の両方を考慮）（図1）

S波検層による評価は、その手法の条件として高振動数側をターゲットとしており（20Hz以上）、建物・構築物の固有振動数帯（2～3Hz）に適合する減衰定数は評価できないが、敷地における評価結果では、10～20Hzにて約4%（中央地盤）、約6%（西側地盤）の値が得られている。東側地盤では約20%の値が得られており、ばらつきの大きい結果になっている。

➤ 地震観測記録を用いた評価結果（材料減衰と散乱減衰の両方を考慮）（図2）

敷地において得られている地震観測記録と整合するように減衰定数を評価。（事業変更許可におけるはざとり地盤モデルの作成と同様の手法。ただし振動数依存性考慮なし）

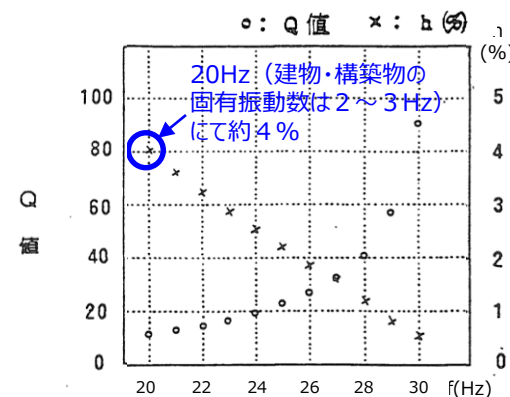
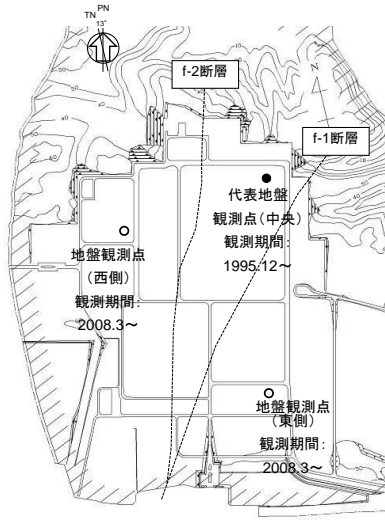


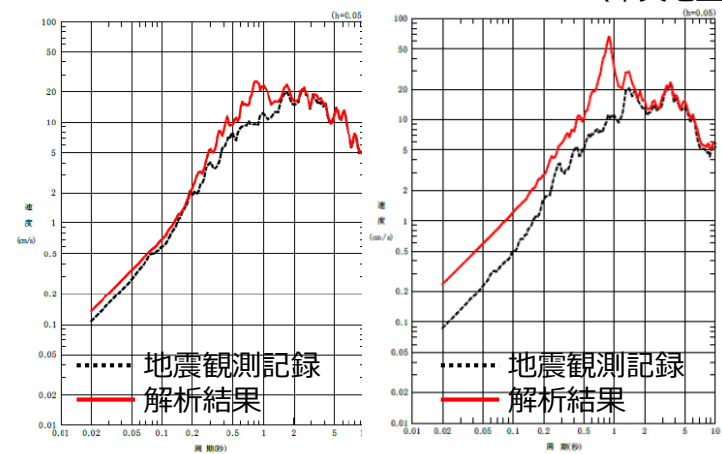
図1 S波検層による評価結果（中央地盤L-T孔）



(1) 敷地における地震観測位置

(2) 観測記録に基づく減衰定数の評価結果

地震観測点	減衰定数の評価結果
中央地盤	6.7%
西側地盤	6.3%
東側地盤	5.9%



(3) 地震観測記録を用いた評価結果に対する観測地震の整合確認（中央地盤の例）

図2 地震観測記録を用いた評価結果

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

【基本地盤モデルの作成：岩盤の減衰定数（2/2）】

c. 岩盤の減衰定数について

【一般的・標準的な手法に基づく整理】

- 前頁に示した、JEAG4601-1987に示される複数手法による減衰定数の設定について、JEAG4601-2015における減衰定数の慣用値と合わせて整理した。（図3）

- 地震観測記録を用いた評価結果に基づく値
（中央：6.7%、西側：6.3%、東側：5.9%）
- JEAG4601-2015に示される値の範囲（3～5%）。
- 敷地において用いる減衰定数の値を設定するために、他のデータ拡充の可否を含めた検討を実施する。

- 第1回申請（PA、A4B）においても、本来、一般的・標準的な方法を用いて、地震観測記録等に基づき、材料減衰と散乱減衰を含めた値を設定すべきであったが、材料減衰のみを考慮した減衰定数を設定してしまった。ただし、材料減衰のみを考慮することにより小さい値の減衰定数を用いているため、第1回申請において算定した入力地震動が非安全側となることはない。

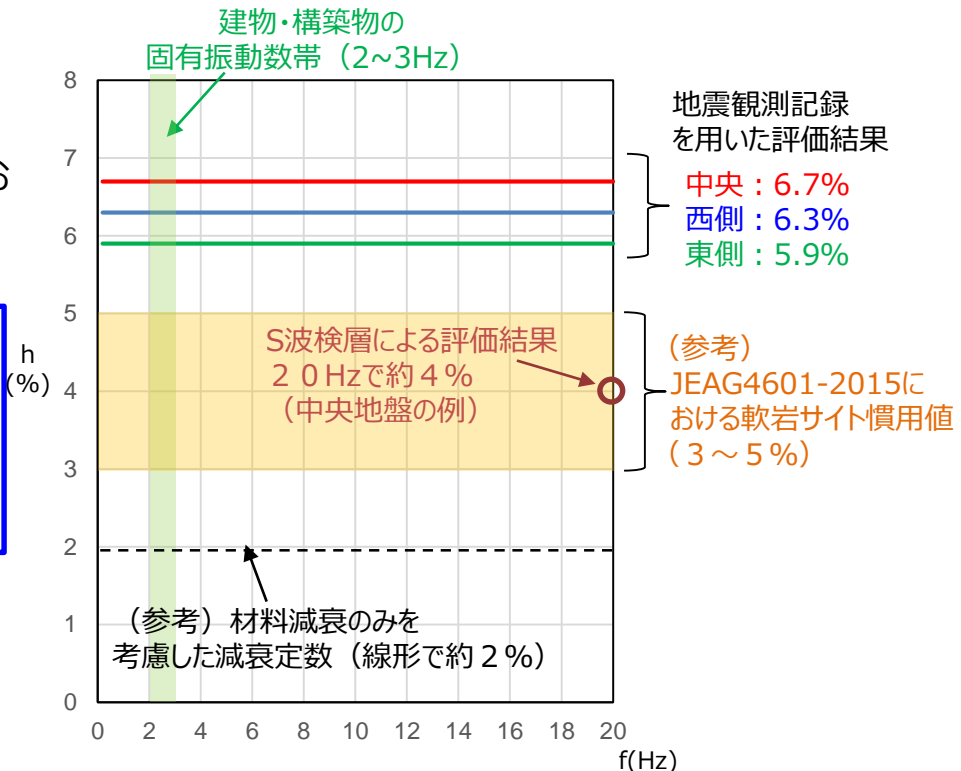


図3 各評価手法による減衰定数の比較

基準地震動に基づく入力地震動の策定 (地盤モデル)

【基本地盤モデルの作成：表層地盤の物性値 (1/3)】

d. 表層地盤の物性値について

【一般的・標準的な手法に基づく整理】

- 敷地内で得られている埋戻し土の全データを用いて設定する。
- 人工材料である地盤については、施工プロセスや品質管理条件にも着目した確認を実施する。

➤ 埋戻し土の施工状況・管理方法

- 再処理施設における埋戻し土は、主に2つの施工時期 (1994~1996年と2000年~2003年) で実施されている (図1参照)。
- 各々の施工時期においては、道路土工 (施工指針)、地盤工学会関係基準に基づく施工要領により、同等な施工管理 (施工プロセス：締固め工法、管理基準：締固め度) がなされている。

➤ 埋戻し土の物性値

- 埋戻し土の物性値として、再処理敷地内全体で採取された物性値データを図2及び図3に示す。図3の動せん断弾性係数 G_0 分布 (ρ_t と V_s (PS検層)から算定) に示すとおり、敷地内全体における埋戻し土は、一般的な土質材料の傾向と同様に、拘束圧依存による影響としての深度依存が確認されている。
- 図4に示す全孔で計測されている V_s 分布を比較すると施工時期によらず同程度のばらつきを有しており、○で示す1m毎の V_s 平均値は深度依存の傾向を示す。この平均 V_s と図2の ρ_t の回帰から算定した G_0 を重ね書いたものを図5に示す。図に示すとおり、各施工時期ともに埋戻し土としての深度依存性を示すとともに、再処理敷地内全体平均の標準誤差 ($\pm\sigma$)の $\pm 1\sigma$ 程度のばらつきになっている。

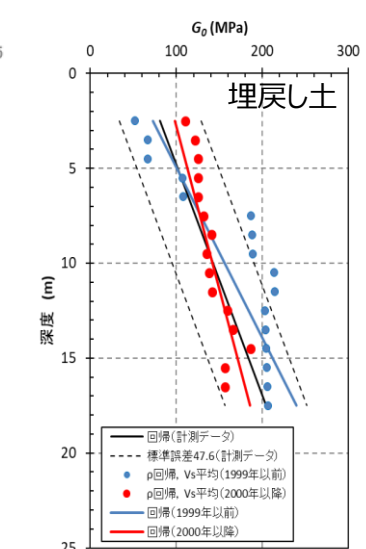
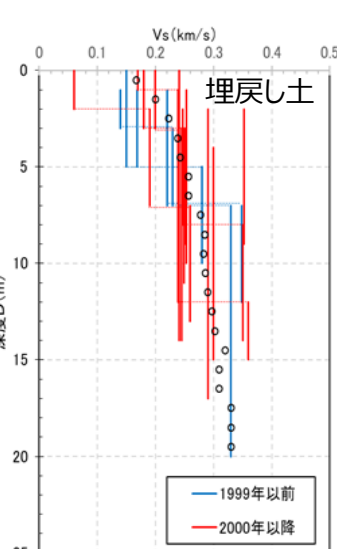
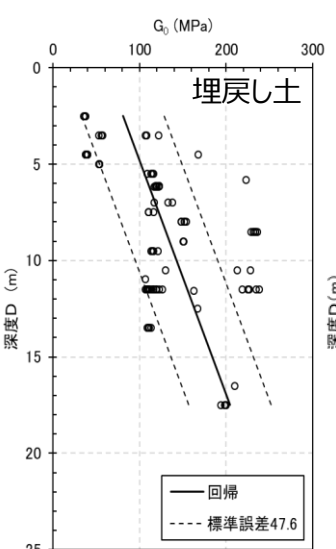
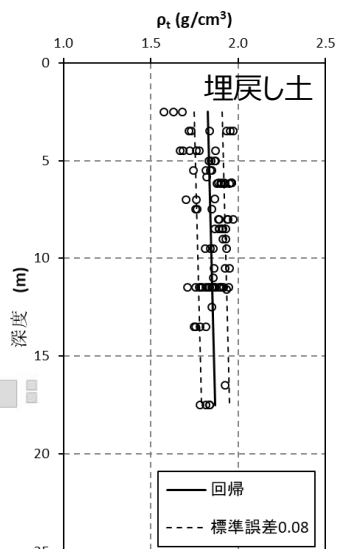
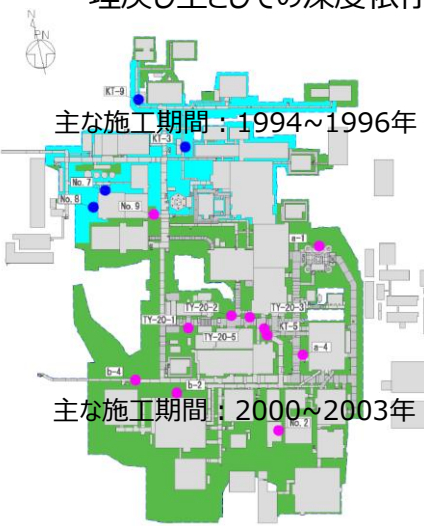


図1 埋戻し土のボーリング位置図 (埋戻し範囲を施工年代別表示)

図2 湿潤密度 ρ_t 分布図

図3 動せん断弾性係数 G_0 分布図

図4 ボーリング孔の V_s 分布図

図5 V_s と ρ_t 回帰による G_0 分布図

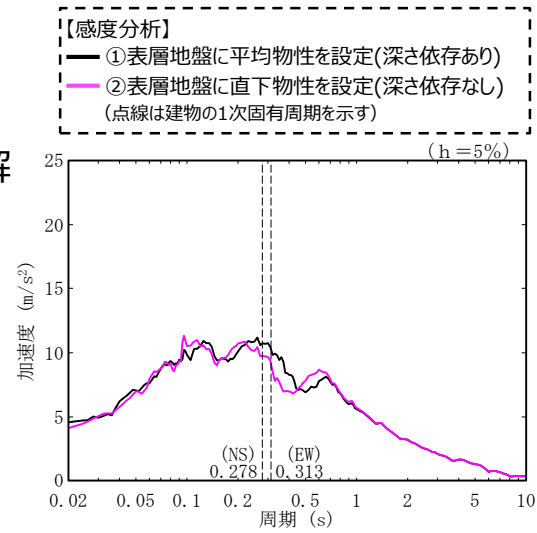
基準地震動に基づく入力地震動の策定 (地盤モデル)

【基本地盤モデルの作成：表層地盤の物性値 (2/3)】

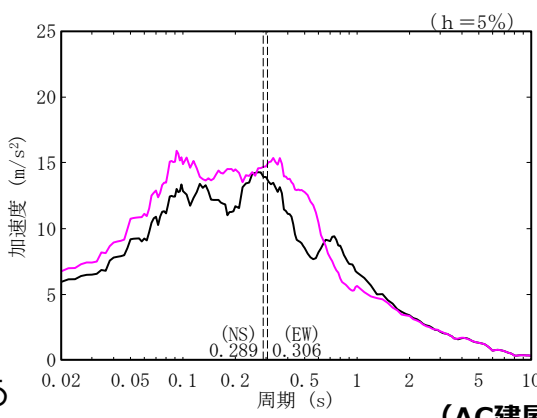
■ 表層地盤の物性値について

- 4月24日審査会合にて、表層地盤の物性値に係る感度解析にあたって、一定の仮定を設けて直下物性を設定した場合の入力地震動の算定結果を示した。感度解析結果における直下物性と平均物性による入力地震動の算定結果の差について、以下のとおり考察した。
(AA建屋グループ及びAC建屋における例を示すが、他グループにおいても同様の考察)

- 回帰式に基づく深度依存性を考慮するか、PS検層データに基づき深度依存性を離散的に考慮するかによって、一部のグループにおいて平均物性と直下物性の応答スペクトルに差が生じた。(図6)
- この要因は、品質管理された土質材料である埋戻し土に対し、深度依存性が離散的となっている単独データを抽出して物性値を設定したことで、地盤内の速度構造のコントラストが極端な設定となったため。(図7)
- 埋戻し土が品質管理された人工材料であることを踏まえれば、単独データに基づくモデルよりも、敷地において得られている全データから統計的に設定した物性値 (= 平均物性) を用いて入力地震動を算定することが適切であると考えられる。



(AB建屋)



(AC建屋)

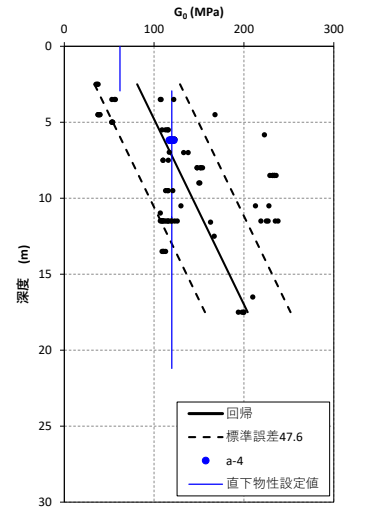
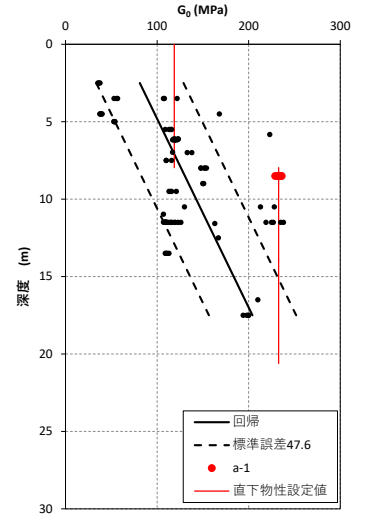


図6 平均物性 (深度依存性あり) と直下物性 (深度依存なし) の入力地震動の感度分析結果 (4月24日審査会合資料より抜粋)

図7 平均物性と直下物性の設定値の比較

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

【基本地盤モデルの作成：表層地盤の物性値（3/3）】

➤ 流動化処理土の施工状況・管理方法

- 流動化処理土は、流動化処理土利用技術マニュアル等に基づき施工管理がなされ、一定の品質となるよう管理基準（固化材(セメント) 75~95kg/m³程度添加）を定め、施工がなされている。

➤ 流動化処理土の物性値

- 流動化処理土のボーリング位置図を図8に示す。また、再処理敷地内全体で採取された物性値データを図9及び図10に示す。
- 図9及び図10ともに、物性値のばらつきは、± 1 σ程度となっている。
- また、深度方向において、剛性が高くなる傾向が見られるものの、流動化処理土はセメント添加による人工材料であるため、一般的に土質材料のような拘束圧依存による深度依存性は見られないと考えられることから、材料（セメント添加量、母材等）としてのばらつきと考へ、深度依存のない平均値として地盤物性値を設定した。

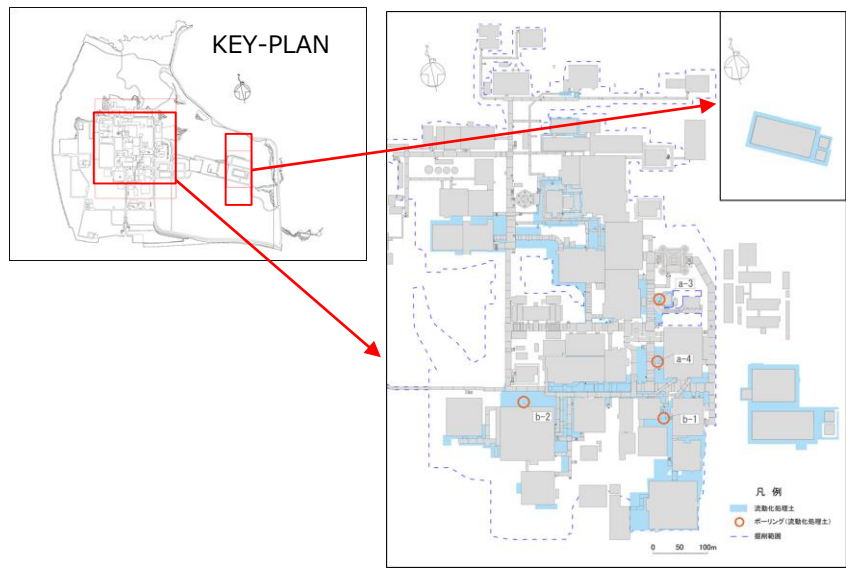


図8 流動化処理土のボーリング位置図

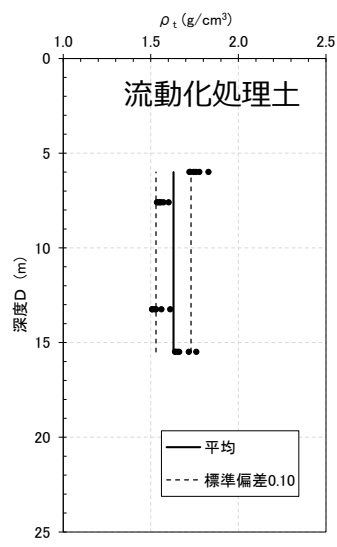


図9 湿潤密度 ρ_t 分布図

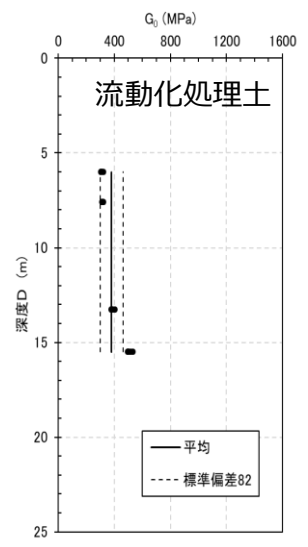


図10 動せん断弾性係数 G_0 分布図

➤ 表層地盤の物性値等の設定結果

- 人工材料である地盤（埋戻し土、流動化処理土）は、施工時期によらず、施工プロセスや品質管理条件が同等と確認できたことから、敷地内で得られたデータの平均値を用いる。
- 埋戻し土については、土質材料であることから、JEAG4601-2008に基づき、拘束圧の影響による深度依存性を考慮した物性表示を適用する。
- 入力地震動には、表層地盤に埋め込まれているいずれの建屋に対しても表層地盤を考慮する。

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

【基本地盤モデルの作成】

■ 各因子の「基本地盤モデル」における設定の考え方

- 各因子について一般的・標準的な手法に基づき検討した内容を踏まえ、以下のとおり「基本地盤モデル」を作成

因子	基本地盤モデルにおける設定方針
a. 岩盤部分の物性値等	・ 近接する建屋グループ(12Gr)ごとに、得られているデータ全てを用いて物性値を設定。
b. 岩盤部分の非線形性	・ 岩盤部分の剛性低下が入力地震動に及ぼす影響は小さいことから線形条件を設定。
c. 岩盤部分の減衰定数	・ 地震観測記録を用いた評価結果に基づく値(中央:6.7%、西側:6.3%、東側:5.9%) ・ JEAG4601-2015に示される値の範囲(3~5%)。 ・ 他のデータ拡充の可否を含めたさらなる深掘りを行った上で基本地盤モデルに設定する値を決定。
d. 表層地盤の物性値等	・ 人工材料である地盤については、敷地内における平均的な物性値を設定。 ・ 埋戻し土については、拘束圧の影響による深度依存性を考慮して設定。 ・ 表層地盤に埋め込まれているいずれの建屋に対しても表層地盤を考慮。

- 上記の考え方により設定したAA周辺の「基本地盤モデル」を以下に示す。

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 G/G0	減衰定数 h	
▽地表面							
55.00	表層地盤						
	埋戻し土	*1	*1	*1	*1	*1	
▽AB基礎底面							
34.39	岩盤	18.2	740	1930	b. 非考慮 (線形条件)	c. 今後 検討	
23.00		細粒砂岩	18.4	810			1960
9.00			18.0	830			1960
-49.00		泥岩(下部層)	17.5	820			1940
▽解放基礎表面							
-70.00	—	17.5	820	1940			

注記 *1 : 埋戻し土の平均値(深度依存性考慮)を設定する。

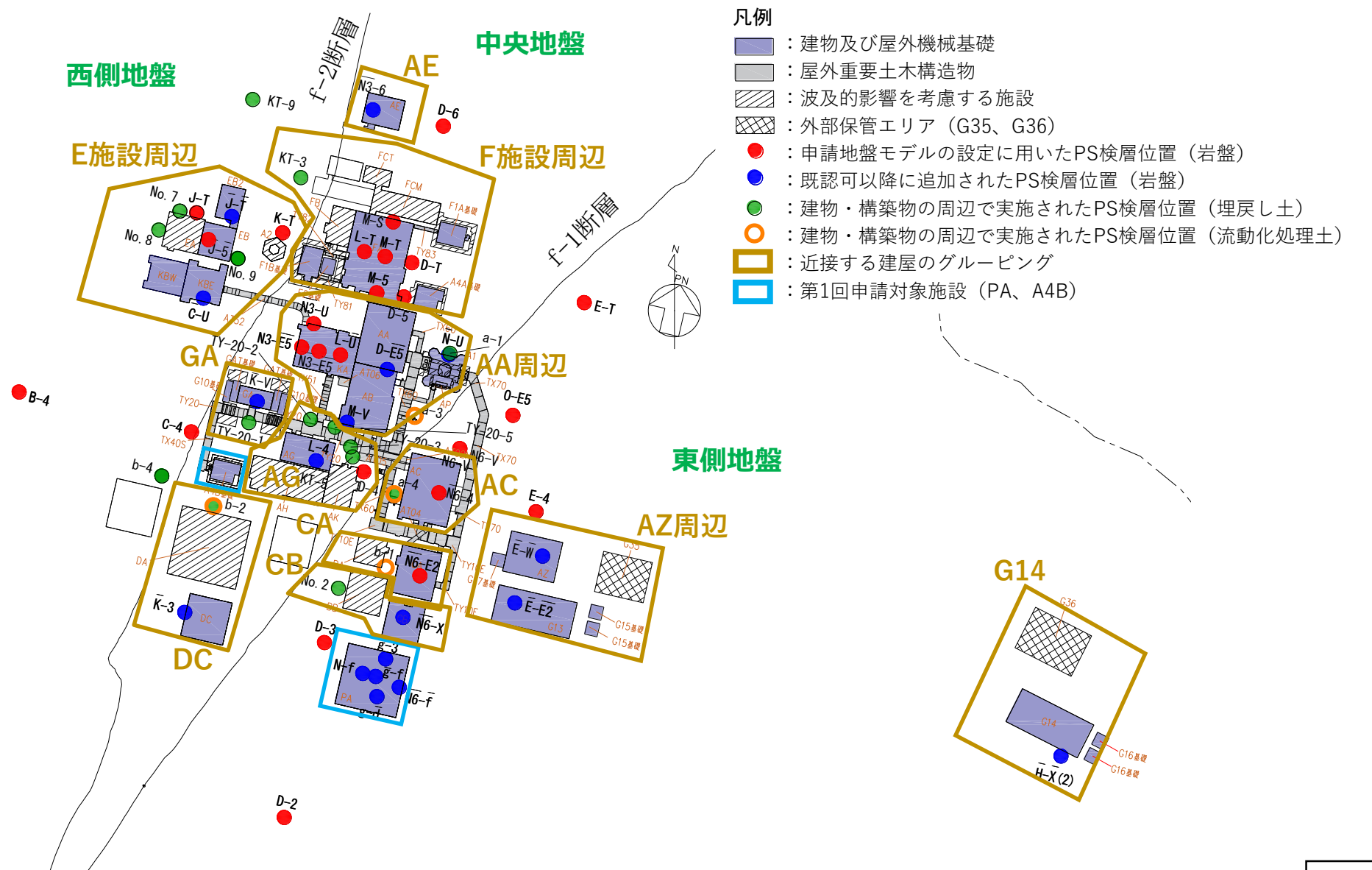
d.

基準地震動に基づく入力地震動の策定（地盤モデル）

■今後の対応

- 岩盤部分の減衰定数に係るデータの拡充の可否も含めた検討を行い、敷地において用いる減衰定数の値を決定する。
- 減衰定数に係る検討が完了すれば、基本地盤モデルの全パラメータを設定可能となるため、各グループに対して「基本地盤モデル」を作成する。
- 「基本地盤モデル」と「申請地盤モデル」について入力地震動の算定結果の比較を行い、その違いを整理する。
- 「基本地盤モデル」と「申請地盤モデル」の比較を行い、その違いを整理した上で、「申請地盤モデル」による入力地震動の本件申請における取扱いを整理する。

別図 近接する建屋のグルーピング



3. 「第2回設工認に係る当面の説明方針」の進捗状況
(MOX閉じ込め条文に係る構造設計等の説明)

「第十条 閉じ込めの機能」の説明方針

【説明事項】

- グローブボックス等の閉じ込め機能設計（放射性物質の閉じ込め、負圧維持、漏えい拡大防止等）
- 液体状の放射性物質に係る閉じ込め機能設計（放射性物質の閉じ込め、漏えい拡大防止等）

■ 灰枠：説明済みの事項

■ 緑枠：今回一部説明する事項

分類		申請対象設備	1. 設計条件及び評価判断基準	2. 具体的な設備等の設計	3. 具体的な設備等の設計と評価判断基準との照合
A. 新規に申請するもの		グローブボックス等：715基 落下等防止に係る設備：2基 液体の放射性物質を取り扱う設備等：93基	グローブボックス等の閉じ込め機能設計等の設計条件及び評価判断基準	2-1：システム設計、構造設計等 ・構造図等（グローブボックス、漏えい液受皿等）	3-1：設計要求等との照合
				2-2：解析、評価等 ・負圧維持、漏えい液受皿容量評価等	3-2：評価判断基準等との照合
B. 認可実績のある設備	B-1: 設計条件が変更になったもの	-		-	-
	B-2: 設計条件が追加になったもの	落下等防止に係る設備：24基		2-1：システム設計、構造設計等(設計変更等ありの場合) ・構造図等	3-1：設計要求等との照合
	B-3: 新たに申請対象になったもの	-	2-2：解析、評価等 ・負圧維持、漏えい液受皿容量評価等	3-2：評価判断基準等との照合	
	B-4: 設計条件に変更がないもの	63基	-	変更がないこと 理由を説明	-

【説明内容】

- 申請対象設備を重要度毎に明確化
- 設計条件及び評価判断基準の明確化
- 「2. 具体的な設備等の設計」のうち、「2 - 1 システム設計、構造設計等（構造図、系統図等）」を説明
- 同じ設計になるものについては、同様の説明となる範囲を整理したうえで合理的に説明

「2-1：システム設計、構造設計等」に係る対応状況

【構造設計等の説明方法の整理】

- 「2-1：システム設計、構造設計等」については、MOXの閉じ込めを主条文とするグローブボックスを例として、具体的な設備の設計が設計方針に沿っているかの説明を行うための方法（資料の構成等）の整理を実施している。
- 構造設計等の説明の目的は、基本設計方針等の設計方針に沿った設備設計であることであるが、一つの設備に複数の条文の要求が関係すること等を踏まえ、説明内容の類似性等を考慮した類型分類を行い、合理的に説明する方針。
- 具体的には、申請対象設備に対し設工認として説明が必要な事項を踏まえ類型化し、同様の設計方針を展開する設備を可能な限りグルーピング（設計説明分類による類型化）することを検討。
- グルーピングについては、施設に対する要求事項を踏まえたものとする。
 - 新規に設備を設計するMOXであれば、対象となる設備に対して要求事項の変更の有無にかかわらず説明すべき構造設計等の内容を全て説明することを踏まえ、設備の構造等に着目して整理。
 - 再処理については、既認可に対し新規制基準を受けて変更が生じた事項が説明の観点であるため、変更点を説明ポイントに着目してグルーピングを整理。

「2-1：システム設計、構造設計等」に係る対応状況

【構造設計等の説明方法の整理（つづき）】

- MOXにおいては、設備の構造等を踏まえて類型し、類型した設備の設計の骨格を決める要求事項を主条文として整理し、関連する他の条文の要求事項を構造設計等の説明において紐づけながら一連の設計の説明を完結させるよう説明単位を検討している。
- 再処理においては、新規制基準の要求事項を設計基準であれば外的、内的に大きく分け、それぞれの要求事項での関連性を考慮して、構造設計等の説明におけるグルーピングを検討。同じ設備に対する同種の要求事項は関連条文として合わせて説明する等を検討している。
- また、再処理での要求事項に変更はないものの設計条件の変更により改造等を行った設備の説明方法についても併せて整理している。

【説明の進め方】

- MOXの主要設備であるグローブボックス（閉じ込めが主条文）及び関連する換気設備、機械装置・搬送設備、ラック／ピット／棚に係る構造設計等の説明を最初の項目として説明。
- 上記の後、再処理の変更点としての主要項目である重大事故等対処設備、外的の竜巻、内的の溢水、設計条件の変更により改造等に係る耐震を優先項目として構造設計等の説明を実施。従前の設計に固執し、根拠等の説明が不十分であった反省を踏まえ、再処理の上記説明を行う前に、構造設計等の説明に係る前提条件となる事項の説明を行う。
- また、グローブボックス等以外のMOX施設の構造設計等の説明は、再処理施設と合わせて説明できるものを一体で説明することにより、合理的に審査が進められるよう資料構成をまとめていく。
- 以降、合理的に説明できるよう一定の纏まりで説明を順次展開。

「2-1：システム設計、構造設計等」に係る対応状況

－ 構造設計等に係る説明の進め方（MOXの例） －

設備の構造等を踏まえて類型

項目	設計説明分類
1	グローブボックス（オープンポートボックス、フードを含む）
2	グローブボックスと同等の閉じ込め機能を有する設備
3	換気設備
4	液体の放射性物質を取り扱う設備
5	運搬・製品容器
6	機械装置・搬送設備
7	施設外漏えい堰
8	洞道
9	ラック/ピット/棚
10	消火設備
11	火災防護設備（ダンパ）
12	火災防護設備（シャッタ）
13	警報設備等
14	遮蔽扉、遮蔽蓋
15	その他（非管理区域換気空調設備、窒素ガス供給設備）
16	その他（被覆施設、組立施設等の設備構成）
17	重大事故等対処設備

新規に設備を設計する観点で申請対象設備を設備の構造等を踏まえて類型

グローブボックスに係る一連の設計の説明を完結させるよう説明単位を設定

設計の関連性を踏まえた説明の纏まりの設定

主要設備である「**1. グローブボックス（オープンポートボックス、フードを含む）**」

グローブボックスの主要要求事項として閉じ込め（主条文）

グローブボックスに繋げて系統設計し閉じ込めの要求事項を達成する「**3. 換気設備**」

グローブボックスの閉じ込めに係る構造設計に関連する内装機器として、「**6. 機械装置・搬送設備**」、「**9. ラック/ピット/棚**」

構造設計等に係る説明の進め方 (MOXの例)

関連条文については、設計としての説明の纏まりを考慮し、他の説明グループで纏めて説明

説明グループ	項目	設計説明分類	主条文	本説明グループで説明を行う関連条文	別の説明グループで説明を行う関連条文
1 閉じ込め 関係条文 の対象 (グローブ ボックスに係 る一連の設 計範囲)	1	グローブボックス (オープンポート ボックス、フードを 含む)	第10条 閉じ込め 【閉じ込め機能】 【換気設備】 【容器落下】	第5条、第26条 地盤、第6条、第27条 地震【質点系：換気設備(ファン)、有限要素：グローブボックス、標準支持間隔：換気設備(配管、ダクト、ダンパ)並びにB及びCクラスの設計方針<<(Gr1,2,3,4共通)>>】	第4条 臨界 【単一ユニット管理、単一ユニット間の配置設計(Gr3/2を代表に説明)】 第8条 外部衝撃 【換気設備の竜巻の構造強度設計、換気系のばい煙等の建屋内侵入防止(Gr2/3で説明)】【防護対象施設の配置 (Gr2/10を代表に説明)】【避雷設計等(Gr2/15を代表に説明)】
	3	換気設備		第14条 安有【内部発生飛散物】【地下階への設置】	第11条、第29条 火災【GB及び換気系の火災区域貫通部の延焼防止対策(シャッタ、ダンパ) (Gr2/11,12を代表に説明)】【水素滞留等に係る換気、系統分離対策を講じる設備の配置等(Gr2/3で説明)】【GBパネル、遮蔽体等の不燃材、難燃材の使用(Gr2/1,6で説明)】
	6	機械装置・搬送設備		第16条 搬送【落下、転倒防止】 第17条 貯蔵【貯蔵施設に対する換気設計等】 第20条 廃棄【気体廃棄】 第23条 換気【換気】	第12条 溢水【防護対象施設の機能喪失高さ等(Gr3/1,3で説明)】 第14条 安有【洞道の共用に伴う負圧管理方法等(Gr3/8を代表に説明)】【施設共通方針(Gr4/16を代表に説明)】 第15条、第31条 材料【構造計算で示す設備、設計方針で示す設備(Gr3/4を代表に説明)】 第22条 遮蔽【遮蔽体の構造設計(Gr4/14)を代表に説明】
	9	ラック/ピット/棚	第17条 貯蔵【崩壊熱除去に係る設計】	—	第4条 臨界【ラック/ピット/棚の複数ユニットの構造設計(Gr3/9で説明)】 第5条、第26条 地盤、第6条、第27条 地震【有限要素(Gr1/1,6を代表に説明)】 第8条 外部衝撃【防護対象設備の配置(Gr2/10,11を代表に説明)】 第11条、第29条 火災【遮蔽体の不燃材、難燃材の使用等(Gr2/1,6を代表に説明)】 第12条 溢水【防護対象施設の機能喪失しない構造(Gr3/9で説明)】 第14条 安有【施設共通設計(Gr4/16を代表に説明)】 第17条 貯蔵【貯蔵能力(Gr3/9で説明)】【貯蔵施設の設備構成(Gr4/16で説明)】 第22条 遮蔽【遮蔽体の構造設計(Gr4/14を代表に説明)】

MOXは、大きく4つに分割して申請するため第2回で設計が全て揃わないものがあるため、対象となる条文を下線で示す。

- 説明グループ1はMOXの主要な設備であるグローブボックスについて、主条文である閉じ込めの適合説明と、閉じ込めと関係するため合わせて説明が必要な関連条文を対象とする。(ラック/ピット/棚の第17条に係る崩壊熱除去の適合説明は換気設備の崩壊熱除去設計と合わせて説明)
- 上記以外のグローブボックスの関連条文は、後段の説明グループで他の設計説明分類と纏めて説明することで効率的に適合説明を行う。

- ※ 「Gr○ (説明グループ) / ○ (項目番号)」を示す。
- ※ 条文名称は略称とする。
- ※ 【 】は、説明内容を示す。
- ※ ()は、別グループの展開先のグループ、項目番号を示す。
- ※ << >>は、別グループからの展開元を示す。

構造設計等を合理的に説明するための設計説明分類（MOXの例）

説明グループ	項目	設計説明分類	主条文	本説明グループで説明を行う関連条文	別の説明グループで説明を行う関連条文
2 火災、外部衝撃 関係条文の 対象	10	消火設備	第11条、第29条 火災【消火設備】 【GB及び換気系の火災区域貫通部の延焼防止対策(シャッタ、ダンパ) <<Gr1/1,3>>】	第8条 外部衝撃【防護対象施設の配置設計<<Gr1/1,3,9>>】 第18条 警報【自動回路に係る設計】	第5条、第26条 地盤、第6条、第27条 地震【質点系、有限要素、標準支持間隔、Cクラスの設計方針(Gr1/1,3,6を代表に説明)】 第12条 溢水【防護対象施設の機能喪失高さ等(Gr3/1,3,9を代表に説明)】 第14条 安有【施設共通設計(Gr4/16を代表に説明)】 第15条、第31条 材料【構造計算で示す設備、設計方針で示す設備(Gr3/4を代表に説明)】
	11	火災防護設備(ダンパ)			
	12	火災防護設備(シャッタ)			
	15	その他(非管理区域換気空調設備、窒素ガス供給設備)	第8条 外部からの衝撃による損傷の防止(その他)(外部火災)(火山) 【換気設備の竜巻の構造強度設計、換気系のばい煙等の建屋内侵入防止、避雷設計等(Gr2/3を代表に説明)】 【避雷設計等<<Gr1/3>>】	-	第5条、第26条 地盤、第6条、第27条 地震【Cクラスの設計方針(Gr1/1,3,6を代表に説明)】 第11条、第29条 火災【(油内包設備等の設置室の換気(Gr2/3を代表に説明)】 第14条 安有【施設共通設計(Gr4/16を代表に説明)】
	1	グローブボックス(オープンポートボックス、フードを含む)(Gr1)	第10条 閉じ込め ※Gr1で閉じ込め、容器落下について説明	第11条、第29条 火災【GBパネル等の不燃材、難燃材の使用<<Gr1/1,6,9>><<Gr3/5,8>><<Gr4/14>>】	- Gr1/1,6のとおり
	6	機械装置・搬送設備(Gr1)			
	3	換気設備(Gr1)	第10条 閉じ込め ※Gr1で換気設備について説明	第8条 外部衝撃【換気設備の竜巻の構造強度設計、換気系のばい煙等の建屋内侵入防止、防護対象施設の配置<<Gr1/3>>】 第11条、第29条 火災【水素滞留等に係る換気、系統分離対策を講じる設備の配置等<<Gr1/3>><<Gr2/15>>】	- Gr1/3のとおり

不燃性、難燃性材料の使用に係る設計方針(第11条)については、Gr2の火災の説明と合わせて説明

外気を取り入れる設備の防護設計(第8条)、水素滞留等に係る換気の設計方針(第11条)について、Gr2の火災及び外部衝撃の説明と合わせて説明

- 説明グループ2はMOXの主要な設備である消火設備に係る設備について、主条文である火災に係る設計方針を説明する。また、消火設備は外部衝撃の防護対象であることから、外部衝撃に係る設計方針について説明する。

※「Gr〇(説明グループ)/〇(項目番号)」を示す。
 ※ 条文名称は略称とする。
 ※【】は、説明内容を示す。
 ※()は、別グループの展開先のグループ、項目番号を示す。
 ※<< >>は、別グループからの展開元を示す。

構造設計等を合理的に説明するための設計説明分類（MOXの例）

説明グループ	項目	設計説明分類	主条文	本説明グループで説明を行う関連条文	別の説明グループで説明を行う関連条文
3 閉じ込め 関係条文 の対象	2	グローブボックスと同等の閉じ込め機能を有する設備	第10条 閉じ込め 【閉じ込め（グローブボックス以外）】 【漏えい防止】	第4条 臨界【臨界計算に係る運搬・製品容器の構造、形状】【単一ユニット管理、単一ユニット間の配置設計<<Gr1/1,6>>】 第11条、第29条 火災【洞道の火災区域・火災区画】【ドレン系統の煙流入防止等】 第12条 溢水【洞道の地下水の流入が生じ難い構造】 第14条 安有【洞道の共用に伴う負圧管理方法等<<Gr3/3>>】 第15条、第31条 材料【構造計算で示す設備、設計方針で示す設備<<Gr1/1,3>><<Gr2/10,11>>】 第17条 貯蔵【貯蔵能力（容器の容量）】 第20条 廃棄【液体廃棄】 第21条 汚染防止【洞道の塗装】	第5条、第26条 地盤、第6条、第27条 地震【Cクラスの設計方針(Gr1/1,3,6を代表に説明)】 第22条 遮蔽【遮蔽体の構造設計(Gr4/14を代表に説明)】 第14条 安有【施設共通設計(Gr4/16を代表に説明)】 第11条、第29条 火災【遮蔽体の不燃材、難燃材の使用(Gr2/ 1,6を代表に説明)】
	4	液体の放射性物質を取り扱う設備			
	5	運搬・製品容器			
	7	施設外漏えい堰			
	8	洞道			
1	グローブボックス（オープンポートボックス、フードを含む）(Gr1)	第10条 閉じ込め ※Gr1で閉じ込め、容器落下、換気設備について説明	第12条 溢水【防護対象施設の機能喪失高さ等<<Gr1/1,3>><<Gr2/10, 11>>】	- Gr1/1,3のとおり	
3	換気設備(Gr1)				
9	ラック/ピット/棚(Gr1)	第17条貯蔵 【貯蔵能力(Gr1/9)】 ※Gr1で崩壊熱除去に係る設計について説明	第4条 臨界【ラック/ピット/棚の複数ユニットの構造設計<<Gr1/9>><<Gr2/10>>】 第12条 溢水【防護対象施設の機能喪失しない構造<<Gr1/9>>】	- Gr1/9のとおり	

Gr3のラック/ピット/棚と合わせて溢水防護対象設備の機能喪失高さ等の設計方針について、説明

- 説明グループ3はグローブボックス以外の閉じ込めに係る設備について、主条文である閉じ込めの適合説明と、閉じ込めと関係するため合わせて説明が必要な関連条文を対象とする。
- ラック/ピット/棚については、貯蔵能力、臨界管理等の設計が運搬・製品容器と関連するため、説明グループ3で合わせて説明する。
- ラック/ピット/棚に関連して、溢水の防護対象設備に係る設計方針について、説明グループ3で合わせて説明する。

- ※ 「Gr○（説明グループ）/○（項目番号）」を示す。
- ※ 条文名称は略称とする。
- ※ 【 】は、説明内容を示す。
- ※ ()は、別グループの展開先のグループ、項目番号を示す。
- ※ << >>は、別グループからの展開元を示す。

構造設計等を合理的に説明するための設計説明分類（MOXの例）

説明グループ	項目	設計説明分類	主条文	本説明グループで説明を行う関連条文	別の説明グループで説明を行う関連条文
4 警報、遮蔽、安有 関係条文の対象	13	警報設備等	第18条 警報 【警報に係る設計】	—	第5条、第26条 地盤、第6条、第27条 地震 【Cクラスの設計方針(Gr1/1,3,6を代表に説明)】
	14	遮蔽扉、遮蔽蓋	第22条 遮蔽【遮蔽 《Gr1/1,6,9》 《Gr3/5,8》】	—	第5条、第26条 地盤、第6条、第27条 地震 【Cクラスの設計方針(Gr1/1,3,6を代表に説明)】 第11条、第29条 火災【遮蔽体の不燃材、難燃材の使用（Gr2/1,6）】
	16	その他（被覆施設、組立施設等の設備構成）	第14条 安有 【その他加工施設の構成】 【施設共通方針《Gr1,2,3,4共通》】	第17条 貯蔵【貯蔵施設の設備構成 《Gr1/9》】	第5条、第26条 地盤、第6条、第27条 地震 【B及びCクラスの設計方針(Gr1/1,3,6を代表に説明)】
5 重大事故関係条文の対象	17	重大事故等対処設備	第30条 重大事故等対処設備【健全性、1.2Ss等】	第5条、第26条 地盤、第6条、第27条 地震 【常設耐震重要重大事故等対処設備、常設耐震重要重大事故等対処設備以外】 第11条、第29条 火災【難燃材の使用】 第15条、第31条 材料【設計方針で示す設備】 第33条 閉じ込める機能の喪失【外部放出抑制、代替グローブボックス排気】	—

- 説明グループ4は、閉じ込め、火災、外部衝撃、溢水以外の適合性に係る設備の設計方針について、説明する。
- 説明グループ5は、重大事故等対処設備について説明する。重大事故等対処設備については、MOXの第2回申請の対象設備における重大事故等対処設備は限定的なものであるため、重大事故等対処設備の設計説明分類等の整理は再処理で先行して進め、その結果をMOXに展開することとする。そのため、現時点では重大事故等対処設備として仮分類している。

- ※ 「Gr○（説明グループ）/○（項目番号）」を示す。
- ※ 条文名称は略称とする。
- ※ 【 】は、説明内容を示す。
- ※ ()は、別グループの展開先のグループ、項目番号を示す。
- ※ 《 》は、別グループからの展開元を示す。

基本地盤モデルの設定について

- ・ 本資料は、4月24日審査会合にて示した、地盤モデル設定に係る因子に対する一般的・標準的な手法に基づく整理結果を踏まえた、基本地盤モデルの設定結果について説明するものである。
- ・ 今後、「基本地盤モデル」と申請時点の地盤モデルとの比較を行い、その違いを整理した上で、建物・構築物の入力地震動の算定に用いる地盤モデルを設定する。
- ・ 本資料の内容については、今後、補足説明資料「耐震建物 08 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」への取り込みを検討する。

目 次

	ページ
1. はじめに	1
2. 基本地盤モデル設定の考え方	3
3. 基本地盤モデルの設定結果	4

1. はじめに

本資料においては、地盤モデルの設定パラメータとなる4因子（岩盤部分の地盤物性等の設定、岩盤部分の非線形性の設定、岩盤部分の減衰定数の設定、表層地盤部分の地盤物性等の設定）に対し、客観的な視点に基づく一般的・標準的な手法を用いて整理した結果を踏まえ、「基本地盤モデル」を作成した結果を示す。

基本地盤モデルの作成において、地盤モデルの設定パラメータとなる4因子に対しては、既認可以降における以下の①～③の状態変化を踏まえた確認を行うこととする。

状態変化を踏まえた確認事項の整理結果を第1-1表に示す。

既認可以降の状態変化

- ① 新規規制基準に伴う基準地震動の増大を踏まえた適用性
- ② 新施設の設置位置と「申請地盤モデル」の適用範囲の関係性
- ③ 既認可以降の新たな調査結果（PS検層結果、地震観測記録）と「申請地盤モデル」に用いた既往のデータとの関係性

第 1-1 表 状態変化を踏まえた確認事項の整理結果

地盤モデルの 設定パラメータと なる因子	申請地盤モデルにおける設定	状態変化を踏まえた確認事項
岩盤部分の 物性値等の設定	<ul style="list-style-type: none"> • 新增設の建屋も含め、新增設前に策定していたエリアごとの平均化地盤モデルの考えを適用した。 	<ul style="list-style-type: none"> • 状態変化②を踏まえ、12Gr それぞれにおける直下又は近傍の PS 検層結果に基づく地盤物性を整理する。
	<ul style="list-style-type: none"> • 既認可時に用いていた物性値データをそのまま用いた。 	<ul style="list-style-type: none"> • 状態変化③を踏まえ、既認可以降に得られたデータも追加した上で物性値を設定する。
岩盤部分の 非線形性の設定	<ul style="list-style-type: none"> • 既認可を踏襲し線形条件とした。 	<ul style="list-style-type: none"> • 状態変化①を踏まえ、基準地震動 S_s による非線形化の影響を確認する。
岩盤部分の 減衰定数の設定	<ul style="list-style-type: none"> • 既認可を踏襲して 3% をそのまま適用した。 	<ul style="list-style-type: none"> • 状態変化③を踏まえ、地震観測記録のデータ等に基づき、敷地における減衰定数を確認する必要がある。
表層地盤部分の 物性値等の設定	<ul style="list-style-type: none"> • 状態変化③を踏まえ、埋戻し土の物性値として敷地内平均値を設定した。 	<ul style="list-style-type: none"> • 敷地内平均値を設定することの根拠を示す。
	<ul style="list-style-type: none"> • 一部の建屋については実際に埋め込まれているものの、埋込非考慮の条件とした。 	<ul style="list-style-type: none"> • 当該建屋の表層地盤の物性値の整理と共に設定における扱いを整理する。

2. 基本地盤モデル設定の考え方

地盤モデルの設定パラメータとなる 4 因子に対して，一般的・標準的な手法に基づく整理結果を踏まえた基本地盤モデルにおける設定の考え方を第 2-1 表に示す。なお，各因子の整理結果については，以下の資料それぞれにおいて，その詳細を示す。

- 「岩盤部分の物性値等の設定について」
- 「岩盤部分の非線形性に係る検討について」
- 「岩盤部分の減衰定数に係る検討について」
- 「表層地盤の物性値に係る検討について」

第 2-1 表 各因子に対する基本地盤モデル設定の考え方

地盤モデルの設定パラメータとなる因子	基本地盤モデルにおける設定
岩盤部分の物性値等の設定	<ul style="list-style-type: none"> • 近接する建屋グループ（12Gr）ごとに，得られているデータ全てを用いて物性値を設定。
岩盤部分の非線形性の設定	<ul style="list-style-type: none"> • 岩盤部分の剛性低下が入力地震動に及ぼす影響は小さいことから線形条件を設定。
岩盤部分の減衰定数の設定	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">検討中</div>
表層地盤部分の物性値等の設定	<ul style="list-style-type: none"> • 人工材料である地盤については，敷地内における平均的な物性値（深度依存性考慮）を設定。 • 埋戻し土については，拘束圧の影響による深度依存性を考慮して設定。 • 表層地盤に埋め込まれているいずれの建屋に対しても表層地盤を考慮。

3. 基本地盤モデルの設定結果

「2. 基本地盤モデル設定の考え方」に示す考えに基づき設定した各グループの基本地盤モデルを第 3-1 表～第 3-12 表に示す。

第 3-1 表 基本地盤モデル (AA 周辺)

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽地表面						
表層地盤	埋戻し土	*1	*1	*1	*1	*1
▽AB基礎底面						
23.00	細粒砂岩	18.2	740	1930	非考慮 (線形条件)	検討中
9.00		18.4	810	1960		
-49.00		18.0	830	1960		
▽解放基礎表面	泥岩 (下部層)	17.5	820	1940		
-70.00	—	17.5	820	1940		

注記 *1: 埋戻し土の平均値 (深度依存性考慮) を設定することとし、三軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性を考慮する。

第 3-2 表 基本地盤モデル (F 施設周辺)

追而

第 3-3 表 基本地盤モデル (AE)

追而

第 3-4 表 基本地盤モデル (AG)

追而

第 3-5 表 基本地盤モデル (GA)

追而

第 3-6 表 基本地盤モデル (DC)

追而

第 3-7 表 基本地盤モデル (AC)

追而

第 3-8 表 基本地盤モデル (CA)

追而

第 3-9 表 基本地盤モデル (CB)

追而

第 3-10 表 基本地盤モデル (AZ 周辺)

追而

第 3-11 表 基本地盤モデル (G14)

追而

第 3-12 表 基本地盤モデル (E 施設周辺)

追而

岩盤部分の物性値等の設定について

- ・ 文章中の下線部は R0 から R1 への変更箇所を示す。
- ・ 本資料は、4月24日審査会合にて示した、地盤モデル設定に係る因子のうち、岩盤部分の物性値等の設定について説明するものであり、令和5年6月8日に提示した「岩盤部分の物性値等の設定について（R0）」に対し、ヒアリングにおける指摘事項を踏まえ、記載を拡充したものである。
- ・ 本資料の内容については、今後、補足説明資料「耐震建物08 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」への取り込みを検討する。

目 次

1. はじめに	1
2. 岩盤部分の物性値等の設定	2
2.1 岩盤部分の物性値等に係る一般的・標準的な設定方法の整理	2
2.2 岩盤部分の物性値等の設定方法	3
3. 各グループの物性値の設定結果	11
3.1 AA 周辺における物性値の設定結果	11
3.2 F 施設周辺における物性値の設定結果	23
3.3 AE における物性値の設定結果	35
3.4 AG における物性値の設定結果	39
3.5 GA における物性値の設定結果	47
3.6 DC における物性値の設定結果	51
3.7 AC における物性値の設定結果	55
3.8 CA における物性値の設定結果	59
3.9 CB における物性値の設定結果	63
3.10 AZ 周辺における物性値の設定結果	67
3.11 G14 における物性値の設定結果	75
3.12 E 施設周辺における物性値の設定結果	79
4. まとめ	92

1. はじめに

本資料は、地盤モデルの設定パラメータとなる4因子のうち、岩盤部分の物性値等について、既認可時の地盤モデルを踏襲した地盤モデル（以下、「申請地盤モデル」という。）との差分を確認するために、一般的・標準的な地盤物性値の設定方法に基づく、データの整理結果を示すものである。

なお、データの整理にあたっては、一般的・標準的な地盤物性値の設定の考えとして、既認可時と比べ、新增設に伴いエリアが拡大されていること、及び既認可以降の新たな地盤調査結果が得られていることを踏まえ、近接する建屋グループ（全12グループ）における直下又は近傍のPS検層結果のデータを全て用いた整理を行う。

2. 岩盤部分の物性値等の設定

2.1 岩盤部分の物性値等に係る一般的・標準的な設定方法の整理

地盤の物性値の設定における，一般的・標準的な設定方法として，JEAG 4601-1987 に示される設定方法を整理する。

JEAG 4601-1987 の「5.2.2 地盤及び構築物の物性値評価 (1)地盤の物性値」に示される内容を踏まえると，以下の方法が一般的・標準的であると考えられる。

- ・ 地盤の弾性係数を求める手法としては，弾性波試験（PS 検層）が最もふさわしい。
- ・ 弾性波試験結果そのものがもつバラツキが，地層全体の振動特性の評価に及ぼす影響は小さく，その平均値をもって評価することで実用上十分である。
- ・ 弾性波試験（特に PS 検層などにより求められた深度方向の速度層序）で地盤の成層性が確認された場合は，地盤の成層性を考慮した解析モデル・手法として，上述の方法による値をそのまま適用できる。

上記の考えに従い，一般的・標準的な設定方法として，建屋個別若しくは近接する建屋群ごとに，その直下又は近傍で得られた PS 検層結果を用いて，その平均値をもって地盤の弾性係数を設定し，岩盤部分の物性値等の設定を行う。

2.2 岩盤部分の物性値等の設定方法

岩盤部分の物性値等については、建屋個別若しくは近接する建屋として、第 2-1 図に示す近接する建屋グルーピング（全 12 グループ）ごとに整理を行った上で設定する。

また、岩盤部分の物性値等の設定に用いる PS 検層結果については、既認可降に得られているデータも含めて全てのデータを用いることとし、12 グループそれぞれにおける、建物・構築物の直下の PS 検層結果を選定する。なお、建物・構築物の直下に PS 検層結果がない場合は、建物・構築物近傍の PS 検層結果を用いる。各グループの岩盤部分の物性値等の設定に用いる PS 検層孔の選定結果を第 2-1 表に示す。

速度構造の設定にあたっては、複数の PS 検層結果より設定する場合は、複数孔の速度境界の乖離を最小するため、第 2-2 図に示す手順により速度境界の探査を行った上で、S 波速度及び P 波速度それぞれの平均値を設定する。なお、速度境界の設定においては、速度境界の探査結果及び地質柱状図を踏まえ、速度境界と地質境界の整合性を踏まえた設定を行う。単独の PS 検層結果より設定する場合は、当該孔にて得られた S 波速度及び P 波速度を設定することとし、速度境界の設定においては、複数の PS 検層結果より設定する場合と同様に、速度境界と地質境界の整合性を踏まえた設定を行う。

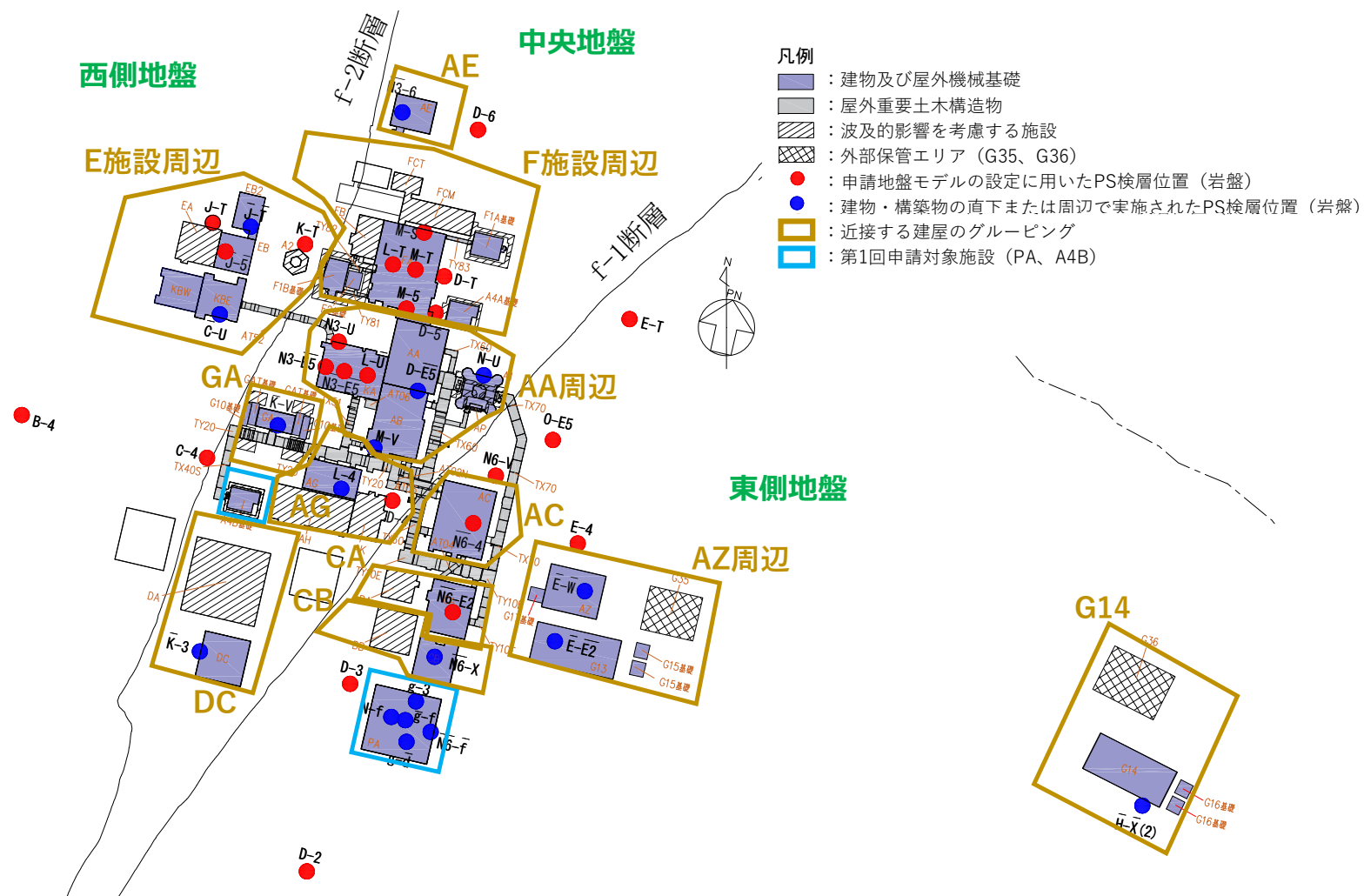
単位体積重量の設定にあたっては、速度構造の設定に用いた PS 検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき、各岩種ごとに平均値を設定する。なお、速度構造に用いた PS 検層孔において、設定する岩種の湿潤密度データが得られていない場合においては、添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」及び「II-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す各岩種の湿潤密度の回帰式により設定する。

また、同一岩種内において、湿潤密度試験結果の傾向の切り替わりが確認できる場合、湿潤密度の設定にあたっては、同一岩種内の各深さで湿潤密度を切り替えることも考えられるが、地盤の応答解析において用いる諸元である地盤のせん断弾性係数 ($G_0 = \rho V_s^2$) に対しては、S 波速度の値が支配的であることから、湿潤密度については、同一岩種内で一定の値を設定する。

各層の岩種の設定にあたっては、複数孔のデータに基づき設定する場合は主要な岩種における平均的な境界レベルを設定し、単独孔のデータに基づき設定する場合は、その孔の地質柱状図に基づき設定する。

なお、複数孔のデータに基づき設定する場合、薄層は入力地震動に対する寄与が小さいこと、また、岩種の違いは非線形性の違いのみであり、「岩盤部分の非線形性に係る検討について」に示すとおりその影響は小さいことから、主要な岩種のみを考慮することとした。

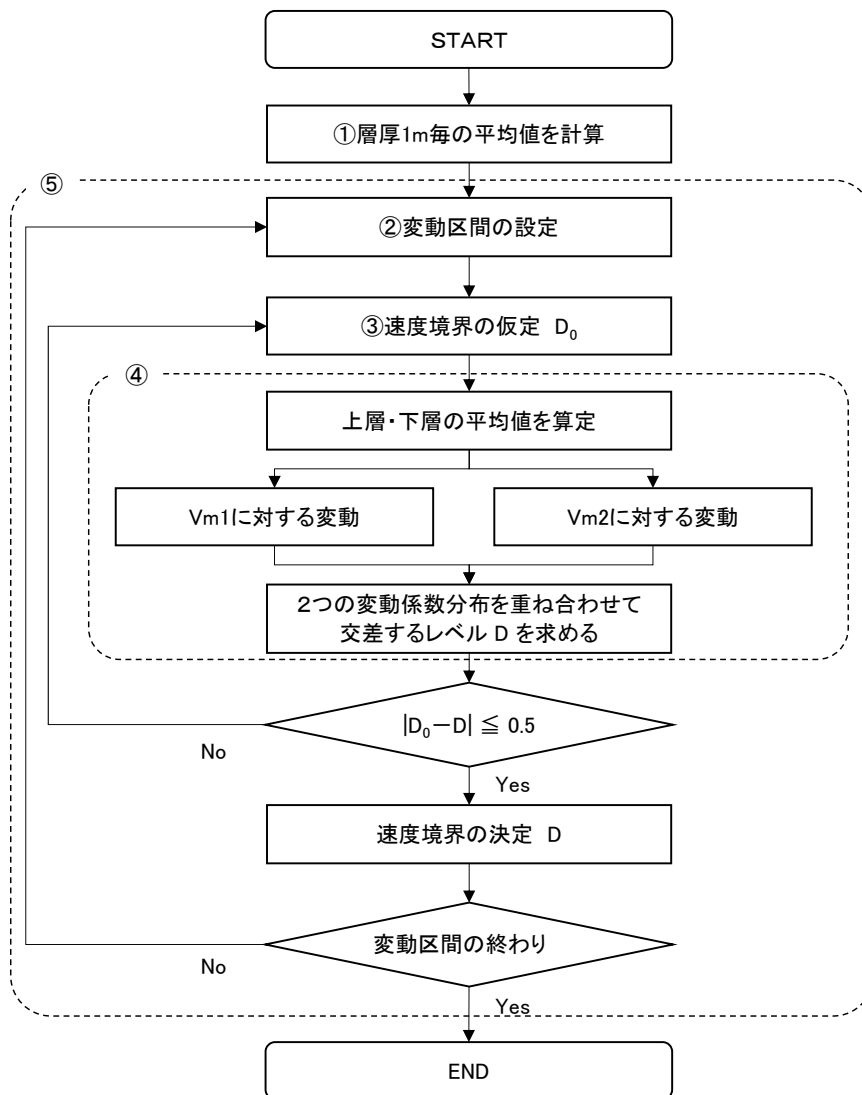
なお、上述の物性値の設定方法については、補足説明資料「耐震建物 08 耐震設計の基本方針に関する地震応答解析における地盤モデル及び物性値の設定について」の「別紙 1 建物・構築物の入力地震動算定に用いる地盤モデルの設定」に示す燃料加工建屋及び安全冷却水 B 冷却塔と同様の方法である。



第 2-1 図 近接する建屋のグルーピング

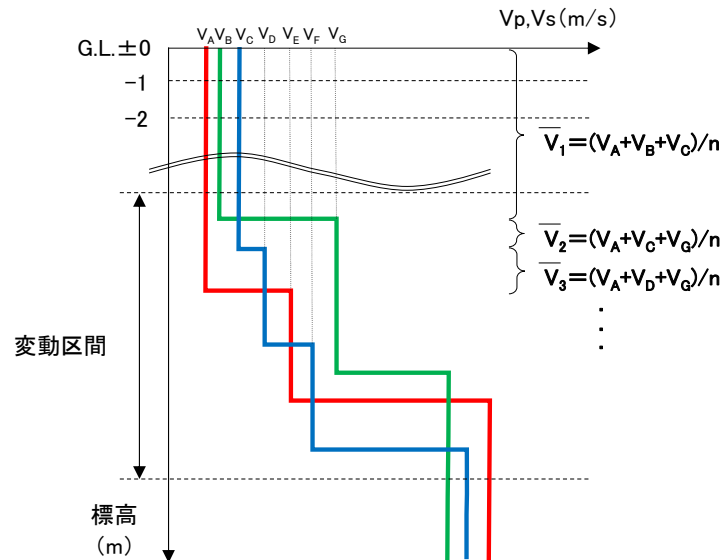
第 2-1 表 岩盤部分の物性値の設定に用いる PS 検層孔

近接建屋 グループ	近接する建屋グループの 直下 PS 検層孔 (第 2-1 図のうち●又は●)
AA 周辺	N3_-U, N3-E5_, N3_-E5_, L-U_, D-E5_, M-V, N_-U
F 施設周辺	M-S, L-T, M-T, M-5, D-T, D-5
AE	N3_-6
AG	L-4, D-4
GA	K_-V
DC	K_-3
AC	N6_-4
CA	N6_-E2
CB	N6_-X
AZ 周辺	E_-W_, E_-E2_
G14	H_-X_(2)
E 施設周辺	J_-T_, J_-5_, C_-U, J-T, K-T



第 2-2 図 速度境界設定の手順 (1/4)

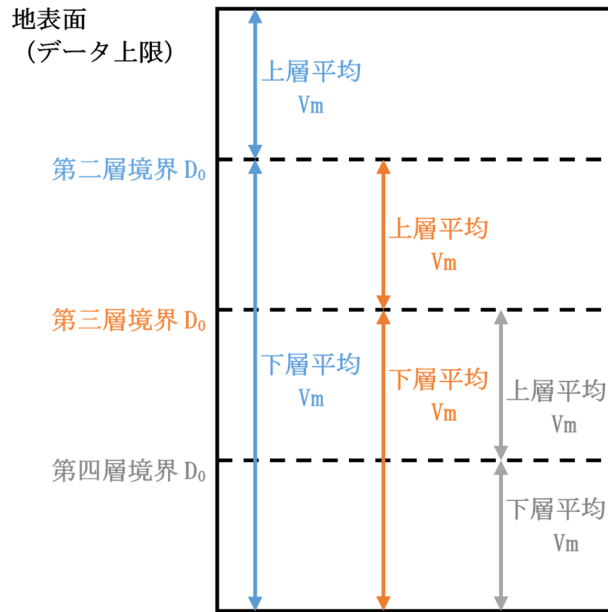
- ① 対象ボーリングデータを層厚 1m 毎に平均化し, V を計算する
- ② 平均化で得られる速度の深さ方向分布図より, 変化する区間 (各ボーリング孔の速度境界が集中する区間と捉え, ここでは「変動区間」と呼ぶ。) を定める。



注記 : n 数のボーリング孔による PS 検層結果の場合

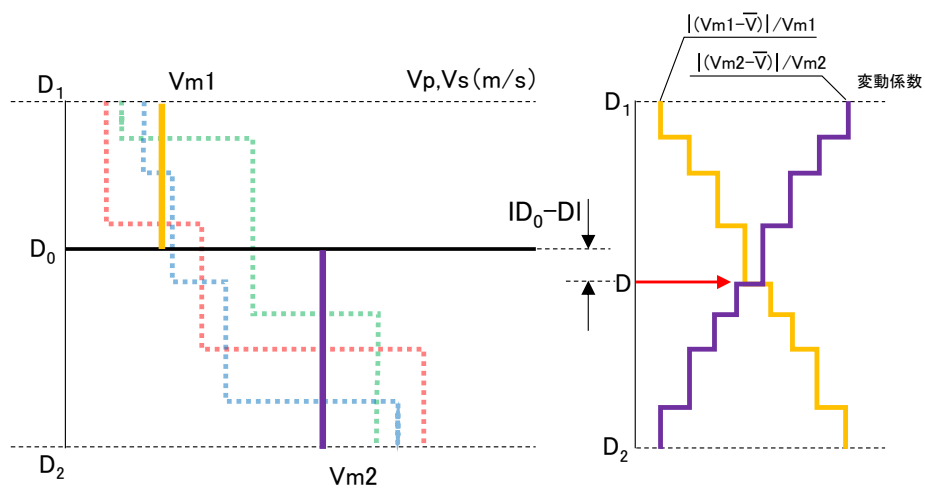
第 2-2 図 速度境界設定の手順 (2/4)

- ③ 変動区間内の任意の深度に速度境界 D_0 を仮定する。
- ④ 仮定した速度境界を境に，上層・下層それぞれの平均値 V_m を計算し，各値に対して変動係数（＝標準偏差／平均値）の分布を求める。



第 2-2 図 速度境界設定の手順 (3/4)

- ⑤ 上層・下層の平均速度を離散化することによる地盤内の連続速度変化との乖離を最小にするため、2本の変動係数分布について、交差する深度を求め、最初に仮定した速度境界と比較して概ね一致するまで繰り返す。



第 2-2 図 速度境界設定の手順 (4/4)

3. 各グループの物性値の設定結果

3.1 AA周辺における物性値の設定結果

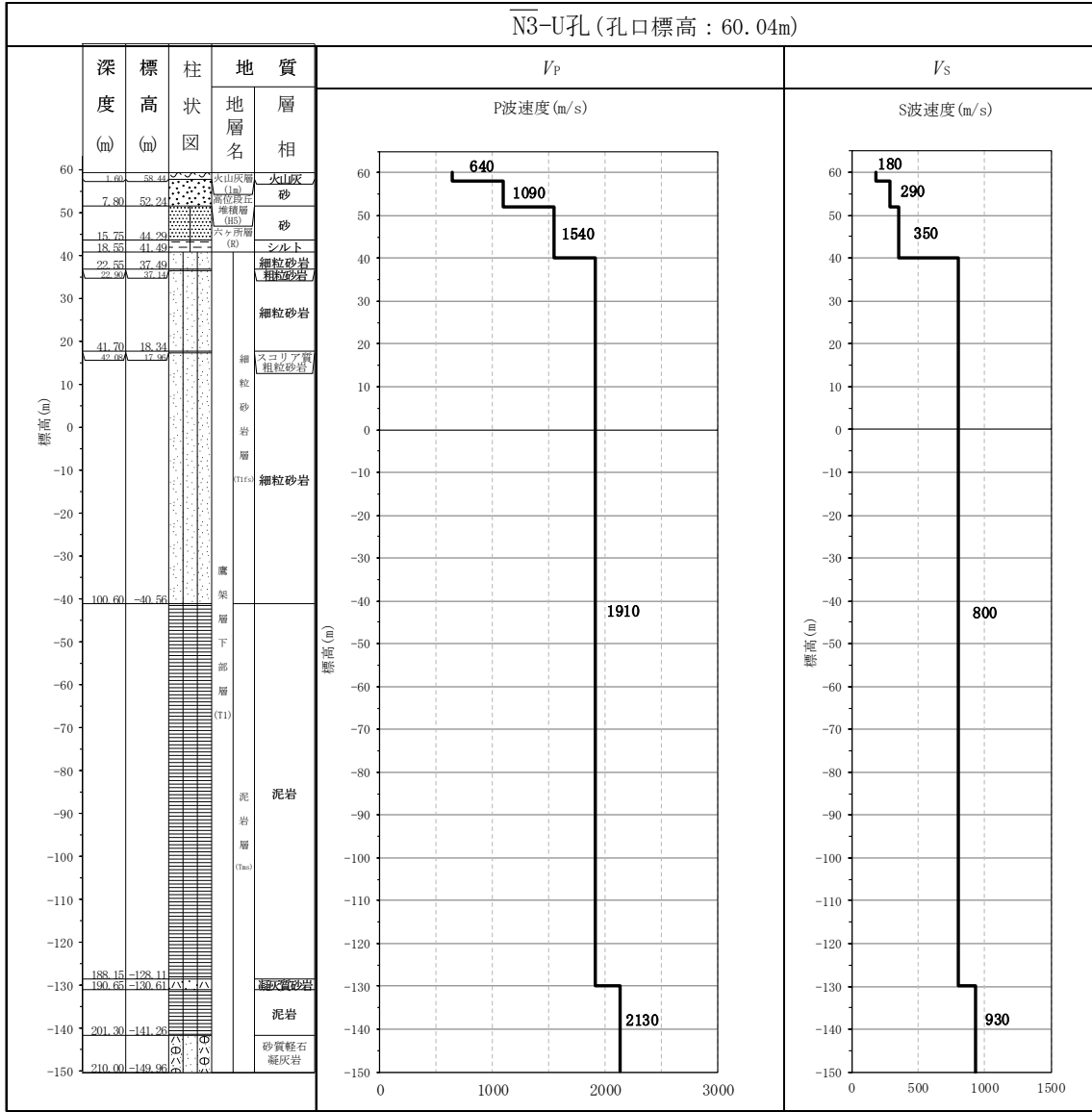
(1) 速度構造の設定

速度構造については、第 2-1 表に示す AA 周辺の PS 検層結果 (N3-U, N3-E5_, N3-E5_, L-U_, M-V, D-E5_, N-U) により設定する。物性値の設定に用いた PS 検層孔の S 波速度、P 波速度及び地質柱状図を第 3.1-1 図に示す。

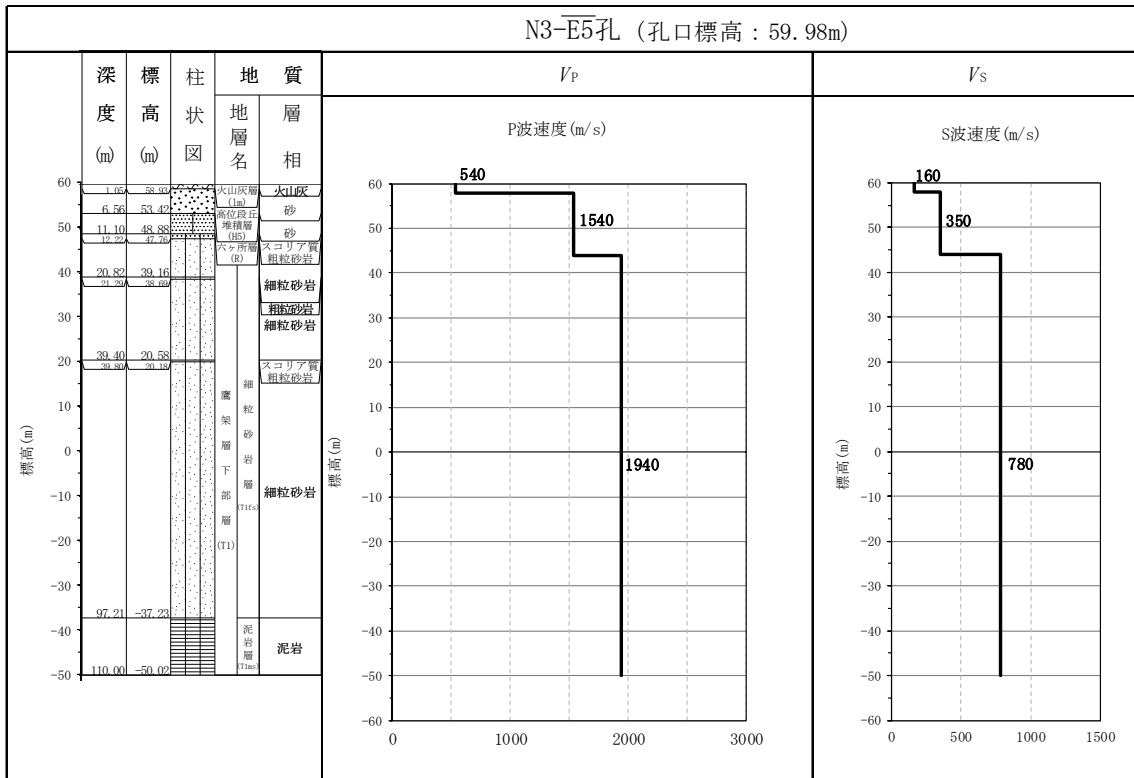
速度境界の探査の結果、第 3.1-2 図～第 3.1-4 図に示すとおり、T.M.S.L. 23m、T.M.S.L. 9m 及び T.M.S.L. -51m において、各標高を境に上層の S 波速度平均値に対する変動係数と下層の S 波速度の平均値に対する変動係数が共に急変することから、上記 3 つの標高を速度境界として設定する。また、第 3.1-5 図に示す地質柱状図の比較結果のとおり、泥岩 (下部層) の上面レベルの平均高さは T.M.S.L. -49m であることを踏まえ、T.M.S.L. -51m の速度境界については、泥岩 (下部層) の上面レベルの平均高さに補正した。なお、泥岩 (下部層) の上面レベルの平均高さ算定において、N-U 孔は他の 6 孔に比べて泥岩 (下部層) と細粒砂岩の境界レベルが深く、第 3.1-1 図 (7/7) の地質柱状図のとおり T.M.S.L. -73.66m において確認される。これについては、第 3.1-1 図 (7/7) の PS 検層結果より、泥岩 (下部層) と直上の細粒砂岩の岩種境界において速度の切り替わりは見られない。

この特徴については、AA 周辺の N-U 孔を除く 6 孔の速度構造でも同様の傾向となっていることから、N-U 孔の物性値も含めて平均化することに問題はないと判断し、泥岩 (下部層) の上面レベルについては全ての孔の値を平均して設定した。

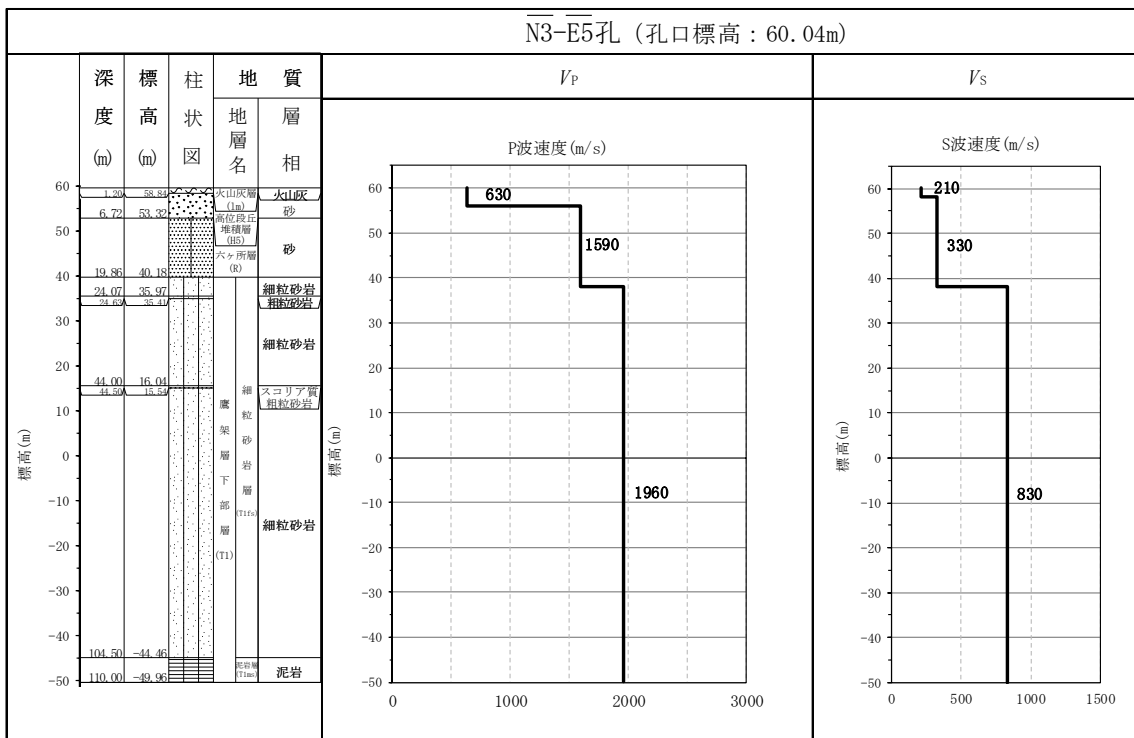
上記に基づき設定した AA 周辺の速度構造及び PS 検層結果の比較を第 3.1-6 図に示す。



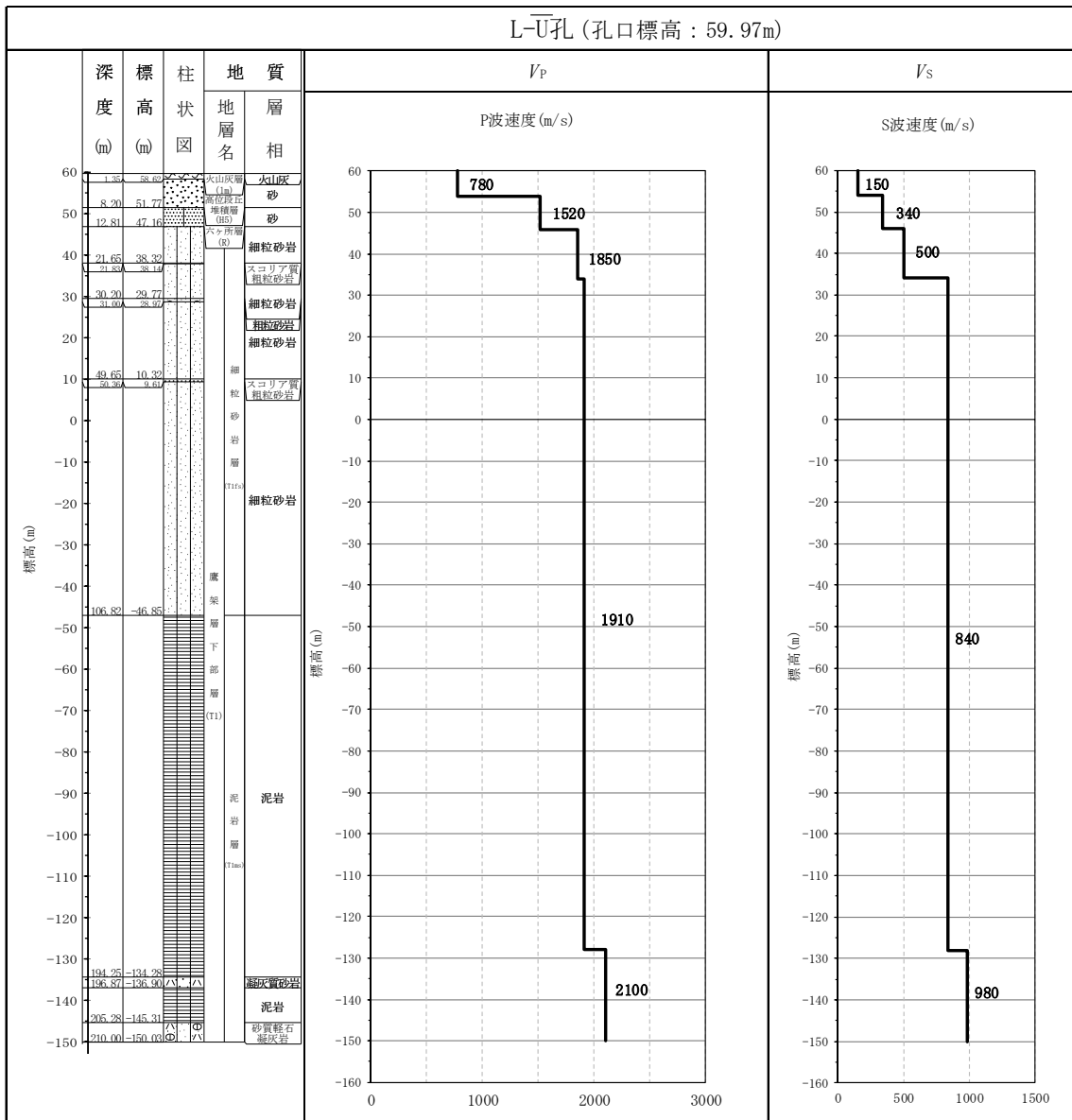
第 3.1-1 図 PS 検層結果 (AA 周辺) (1/7)



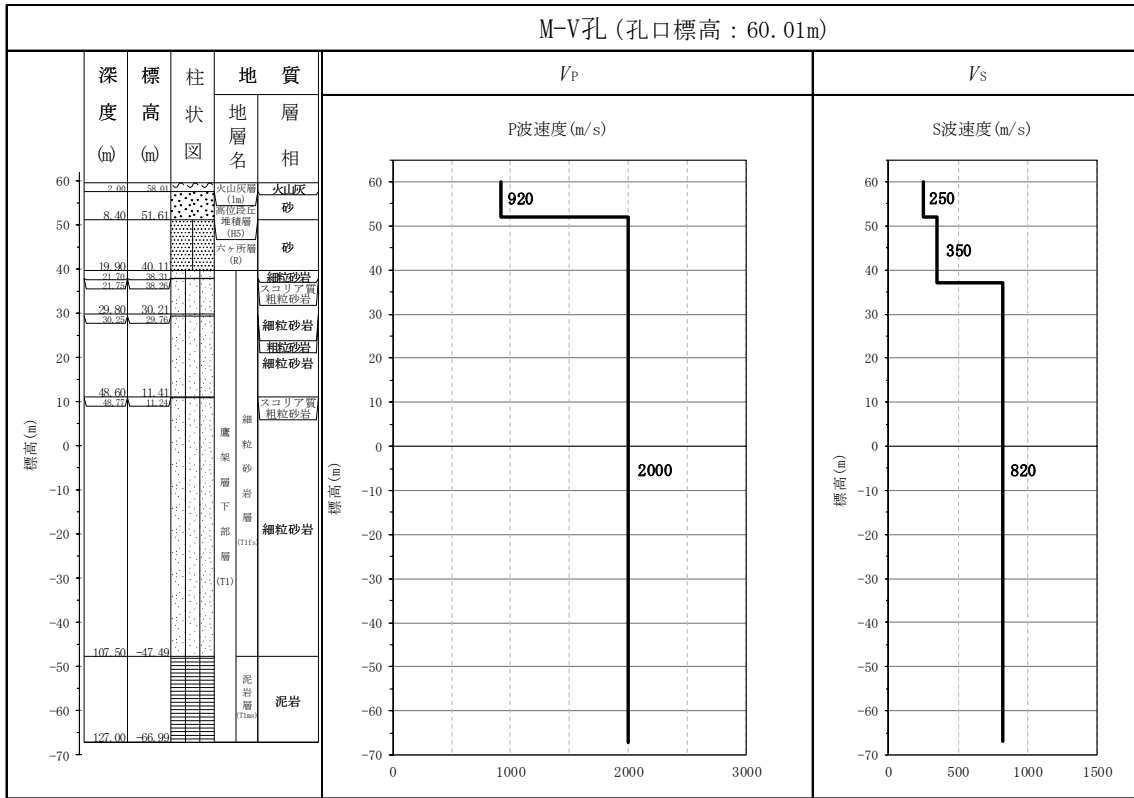
第 3.1-1 図 PS 検層結果 (AA 周辺) (2/7)



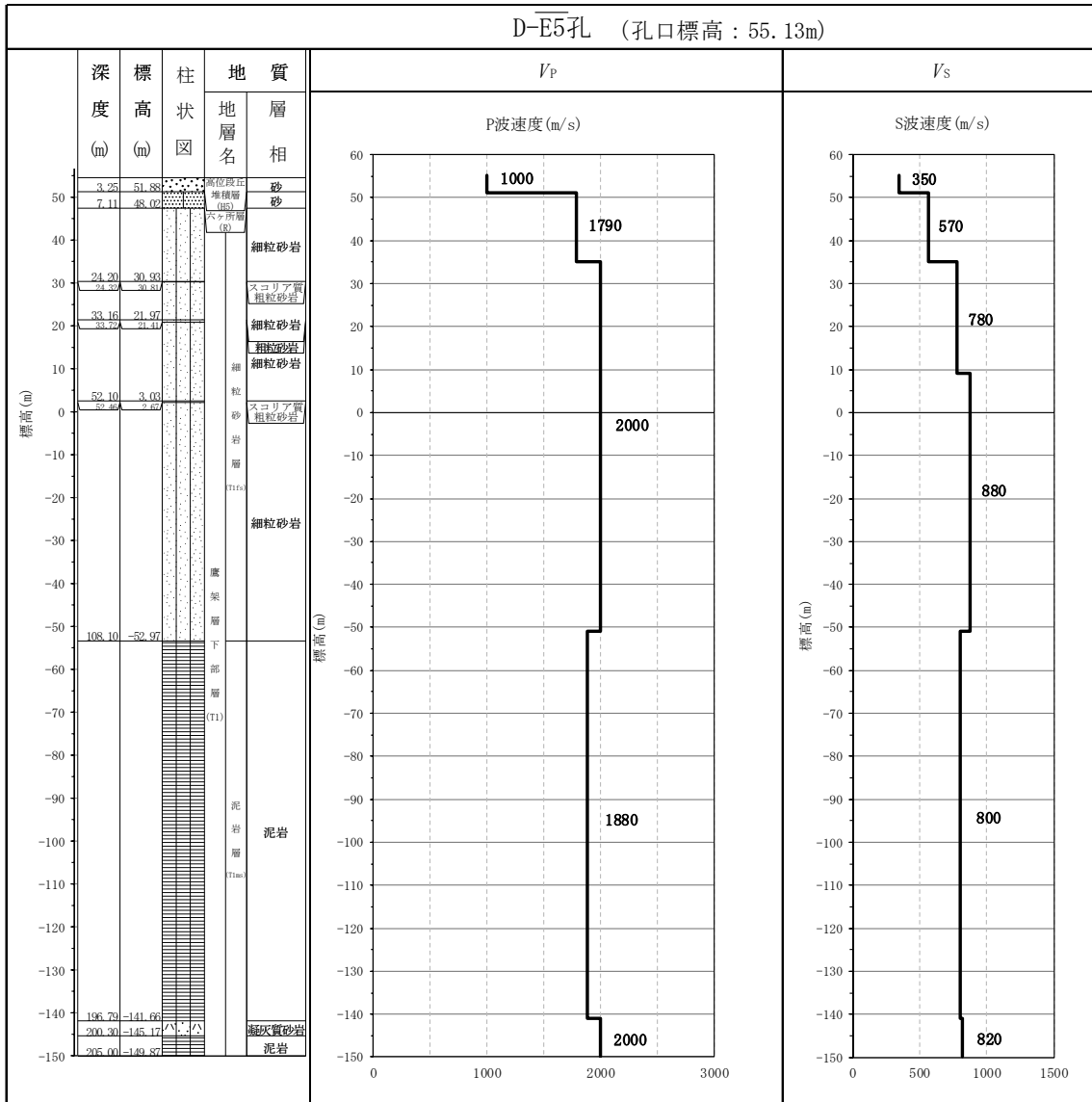
第 3.1-1 図 PS 検層結果 (AA 周辺) (3/7)



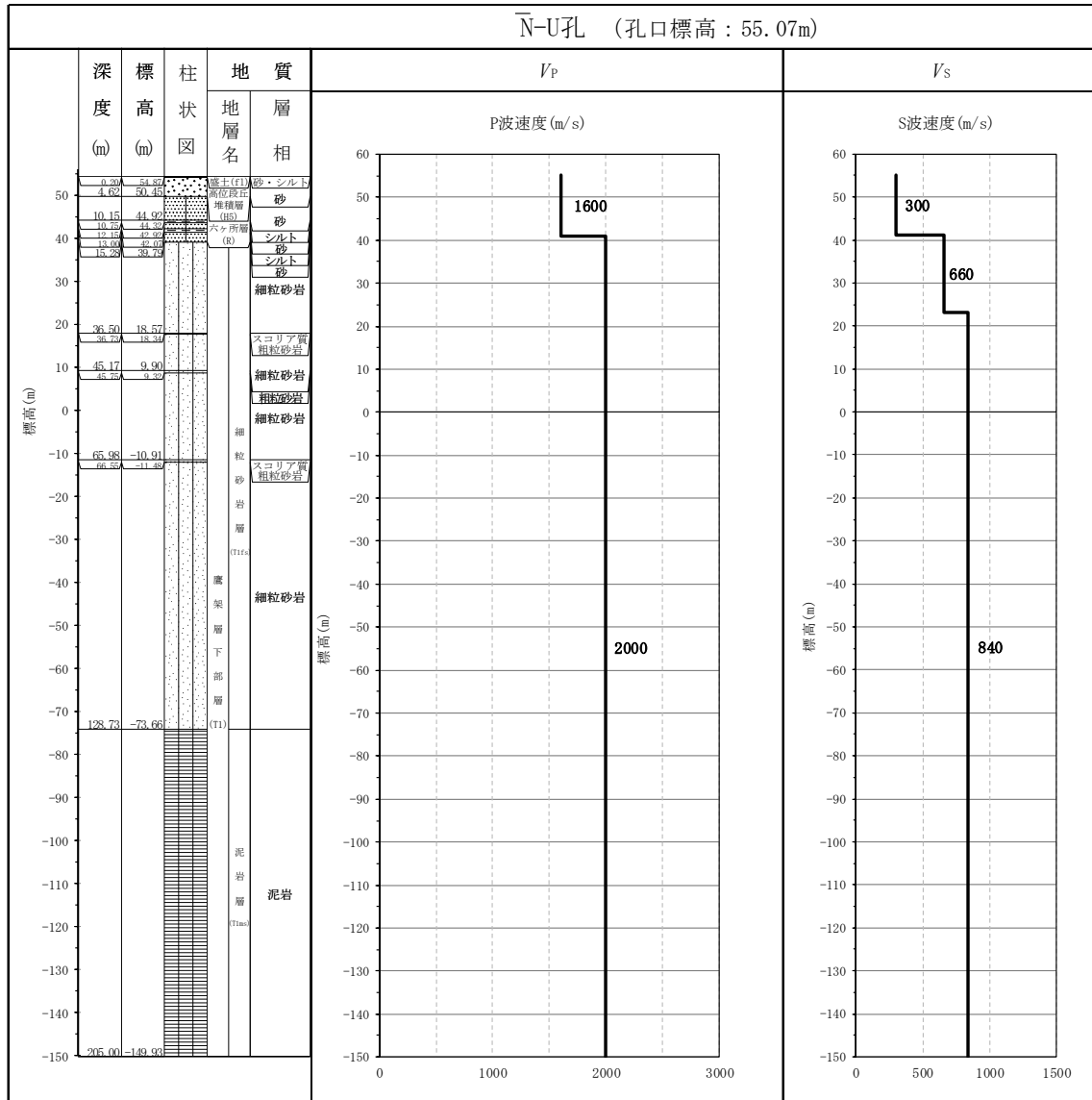
第 3.1-1 図 PS 検層結果 (AA 周辺) (4/7)



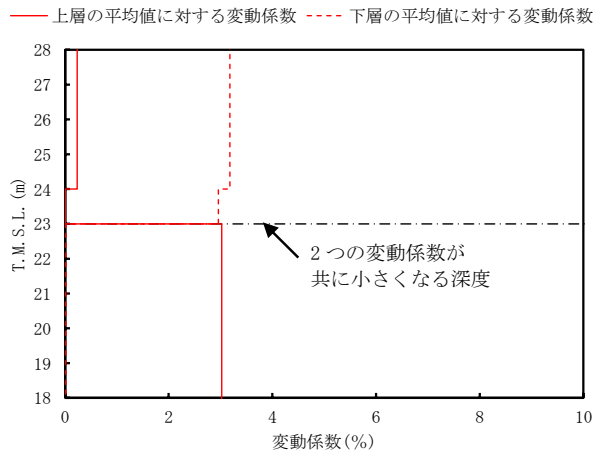
第 3.1-1 図 PS 検層結果 (AA 周辺) (5/7)



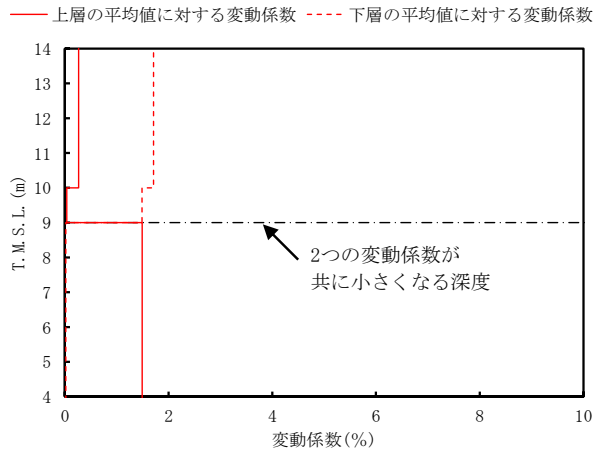
第 3.1-1 図 PS 検層結果 (AA 周辺) (6/7)



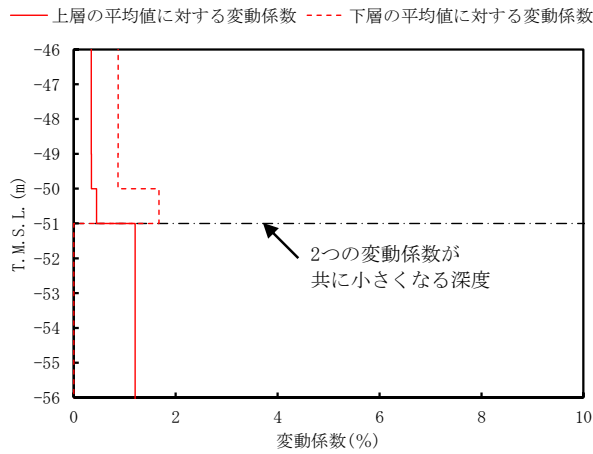
第 3.1-1 図 PS 検層結果 (AA 周辺) (7/7)



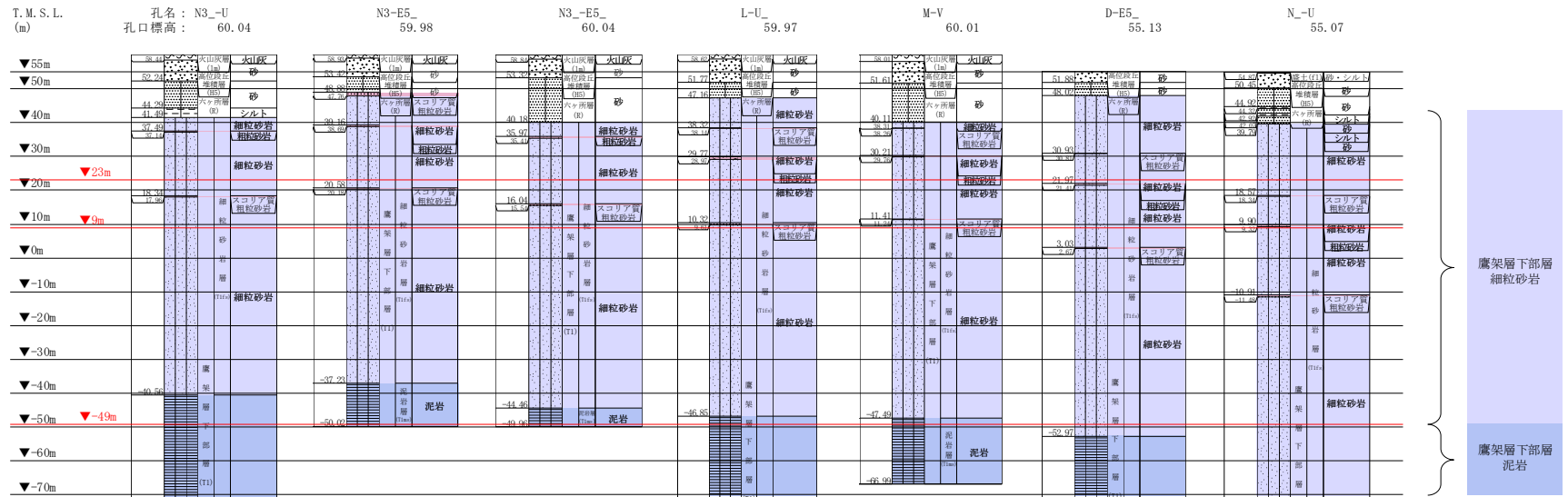
第 3.1-2 図 S 波速度の変動係数の分布 (T.M.S.L. 23m 付近)



第 3.1-3 図 S 波速度の変動係数の分布 (T.M.S.L. 9m 付近)



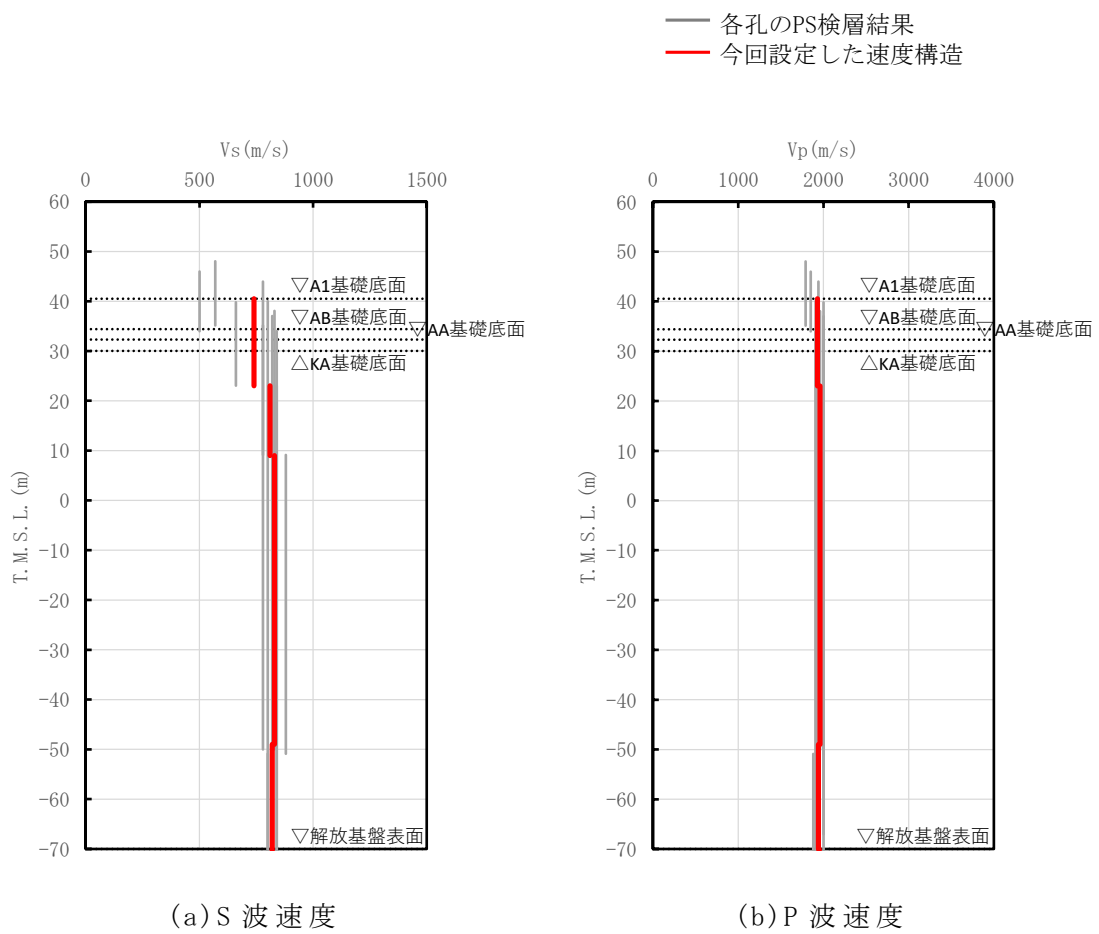
第 3.1-4 図 S 波速度の変動係数の分布 (T.M.S.L. -51m 付近)



注記 : 赤線は速度境界レベルを示す。

岩盤の最上面レベル = $(41.49 \text{ m} + 48.88 \text{ m} + 40.18 \text{ m} + 47.16 \text{ m} + 40.11 \text{ m} + 48.02 \text{ m} + 39.79 \text{ m}) / 7 = 43.66 \text{ m} \approx 44 \text{ m}$
 泥岩（下部層）の上面レベル平均高さ = $((-40.56 \text{ m}) + (-37.23 \text{ m}) + (-44.46 \text{ m}) + (-46.85 \text{ m}) + (-47.49 \text{ m}) + (-52.97 \text{ m}) + (-73.66 \text{ m})) / 7 = -49.03 \text{ m} \approx -49 \text{ m}$

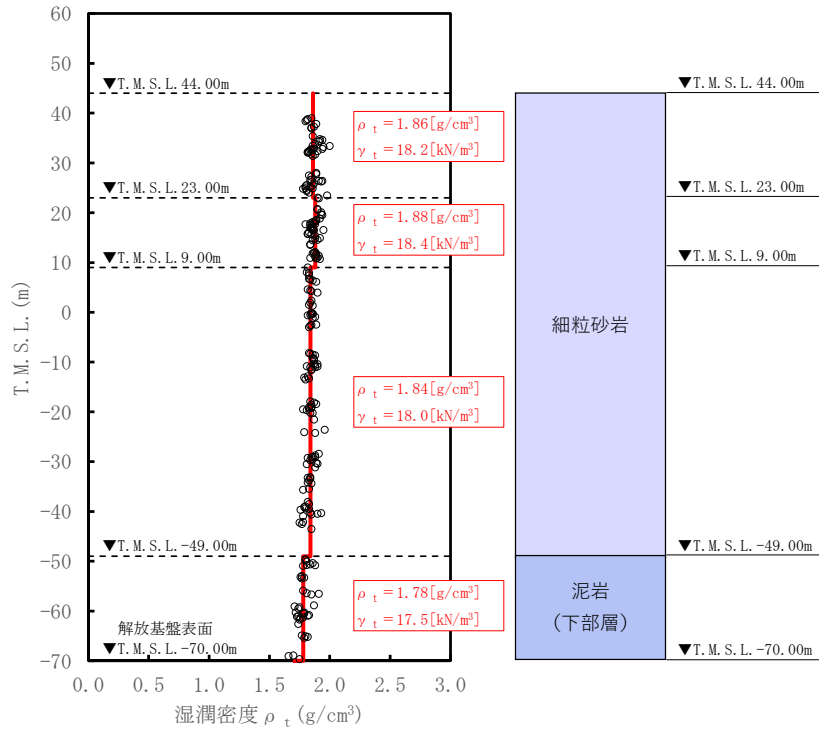
第 3.1-5 図 地質柱状図の比較



第 3.1-6 図 AA 周辺の速度構造と PS 検層結果の比較

(2) 単位体積重量の設定

単位体積重量は，第 3.1-7 図に示すとおり，速度構造の設定に用いた PS 検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき，各岩種ごとに平均値を設定した。



注記 : 赤実線及び赤字は地盤モデルに設定した値を示す。

γ_t は ρ_t に重力加速度 ($g=9.80665\text{m/s}^2$) を乗じた値を設定する。

第 3.1-7 図 単位体積重量の設定結果

(3) 地盤物性値の設定結果

AA 周辺の直下又は近傍の PS 検層結果に基づいて設定した物性値を第 3.1-1 表に示す。

第 3.1-1 表 AA 周辺の直下又は近傍の PS 検層結果に基づく物性値

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)
▽A1基礎底面 40.50	細粒砂岩	18.2	740	1930
▽AB基礎底面 34.39				
▽AA基礎底面 33.20				
▽KA基礎底面 30.03				
23.00				
9.00	18.4	810	1960	
-49.00	18.0	830	1960	
▽解放基盤表面 -70.00	泥岩 (下部層)	17.5	820	1940
	—	17.5	820	1940

3.2 F 施設周辺における物性値の設定結果

(1) 速度構造の設定

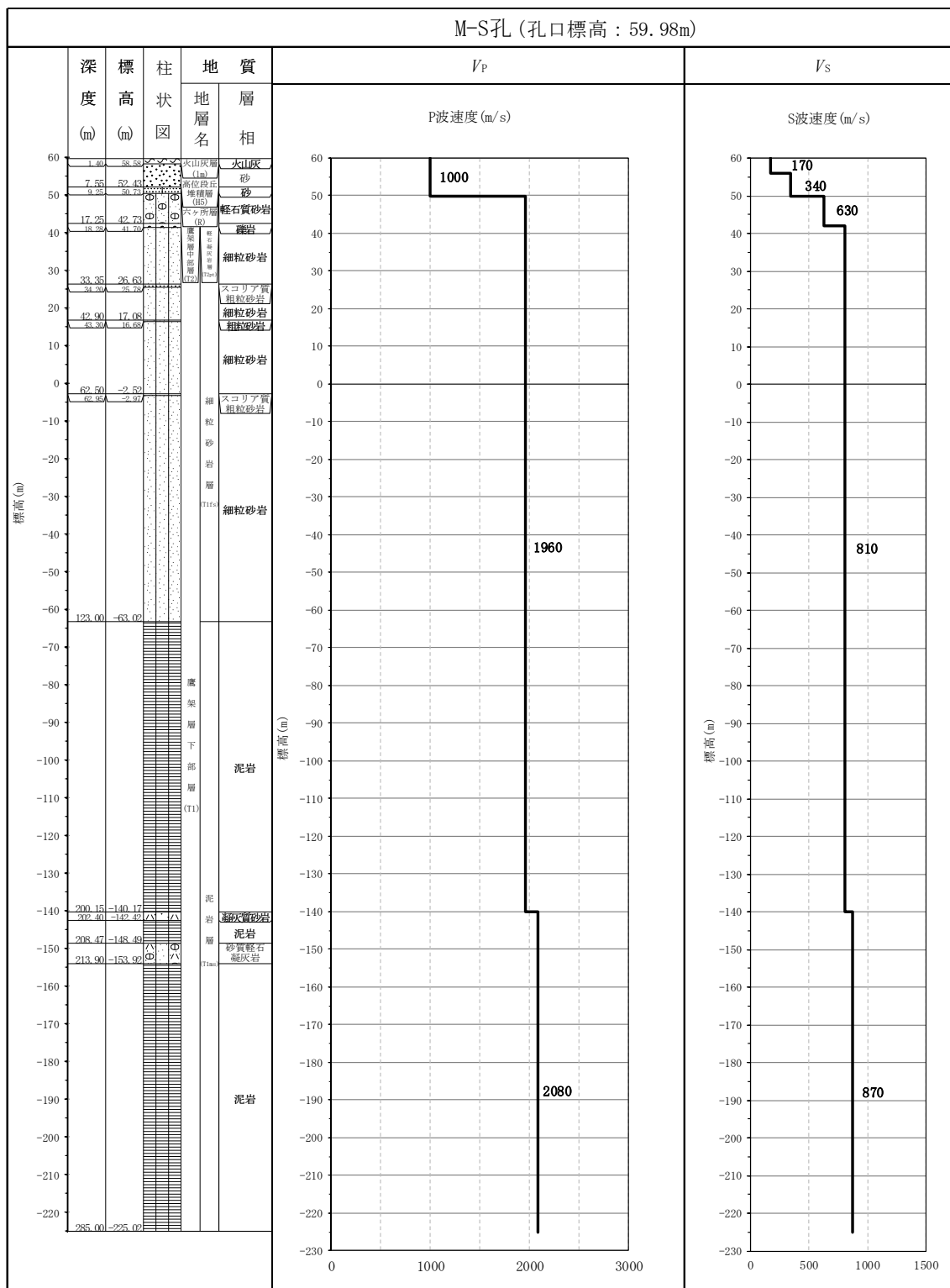
速度構造については、第 2-1 表に示す F 施設周辺の PS 検層結果 (M-S, L-T, M-T, M-5, D-T, D-5) により設定する。物性値の設定に用いた PS 検層孔の S 波速度, P 波速度及び地質柱状図を第 3.2-1 図に示す。

速度境界の探査の結果、第 3.2-2 図に示すとおり、T.M.S.L.23m を境に上層の S 波速度平均値に対する変動係数と下層の S 波速度の平均値に対する変動係数が共に急変することから、T.M.S.L.23m を速度境界として設定する。また、第 3.2-3 図に示す地質柱状図の比較結果のとおり、泥岩(下部層)の上面レベルは、各孔の平均値より T.M.S.L.-53m とした。なお、泥岩(下部層)の上面レベルの平均高さ算定において、M-S 孔は他の 5 孔に比べて泥岩(下部層)と細粒砂岩の境界レベルが深く、第 3.2-1 図(1/6)の地質柱状図のとおり T.M.S.L.-63.02m において確認される。これについては、第 3.2-1 図(1/6)の PS 検層結果より、泥岩(下部層)と直上の細粒砂岩の岩種境界において速度の切り替わりは見られない。

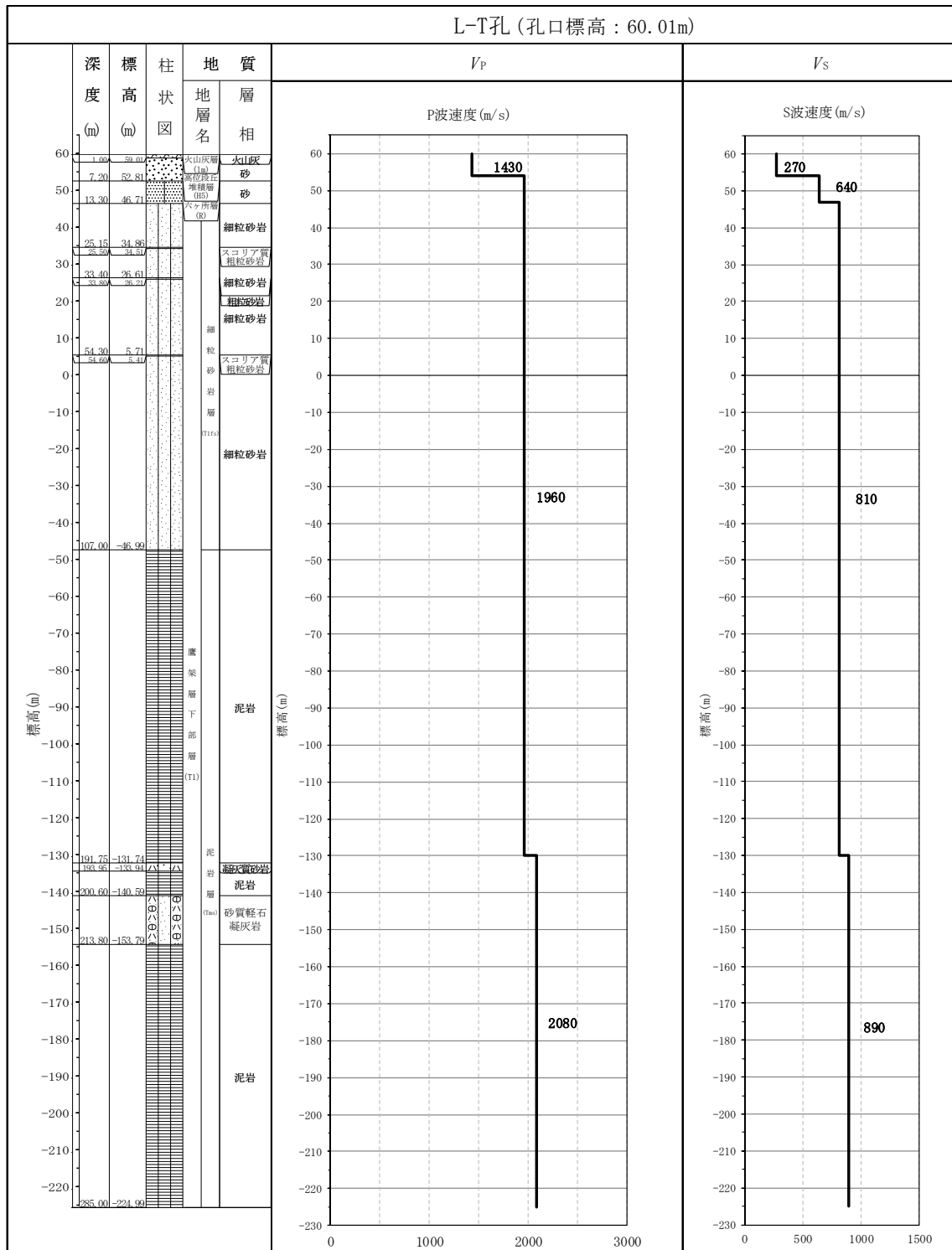
この特徴については、F 施設周辺の M-S 孔を除く 5 孔の速度構造でも同様の傾向となっていることから、M-S 孔の物性値も含めて平均化することに問題はないと判断し、泥岩(下部層)の上面レベルについては全ての孔の値を平均して設定した。

F 施設周辺の建物・構築物のうち、F1A, F2, A4A については、第 3.2-3 図に示す鷹架層上面レベルの平均高さ (T.M.S.L.45m) よりも浅部に設置されるが、基礎直下には MMR が施工されている。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 直下の物性値を設定した。

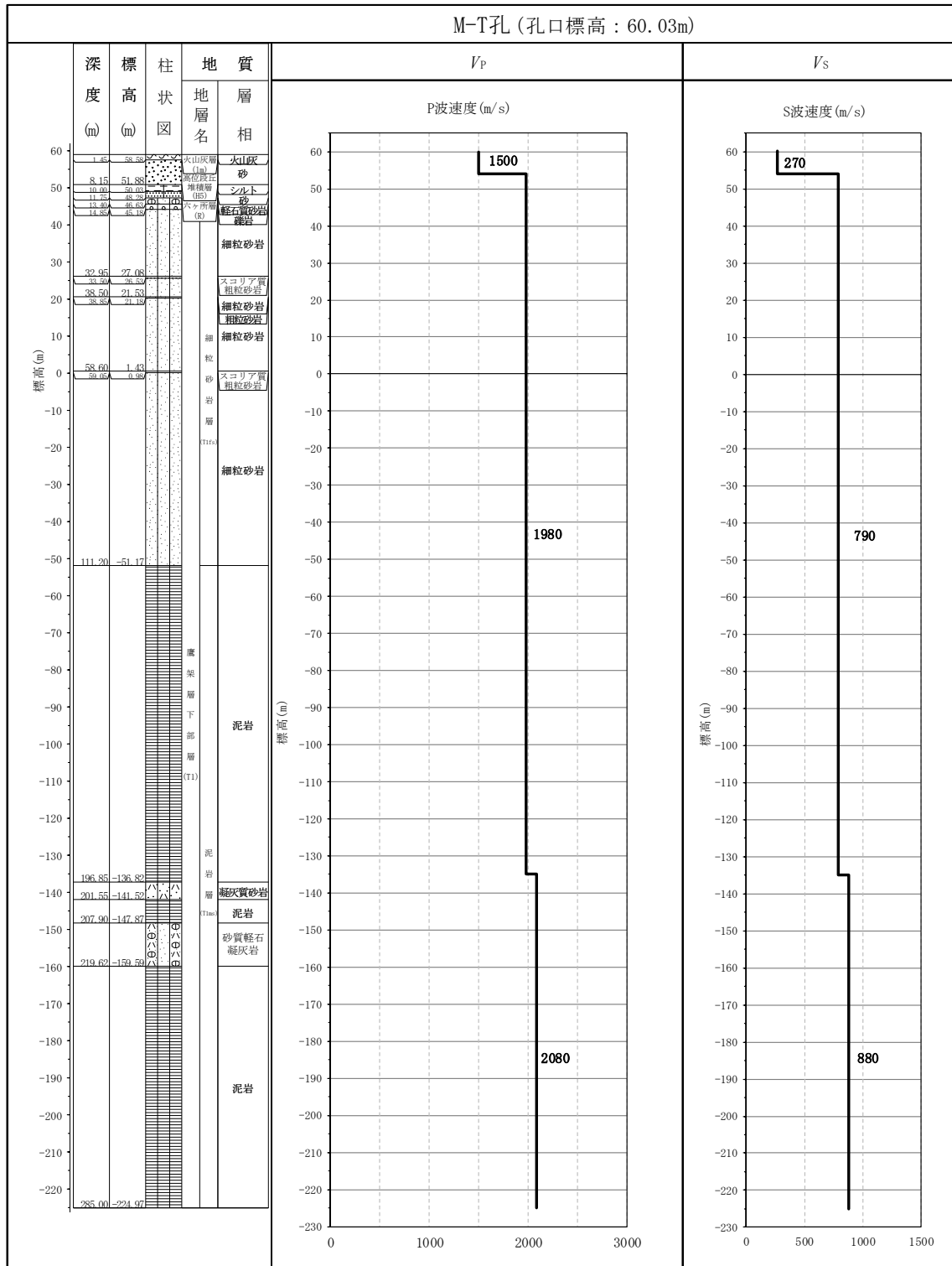
上記に基づき設定した F 施設周辺の速度構造及び PS 検層結果の比較を第 3.2-4 図に示す。



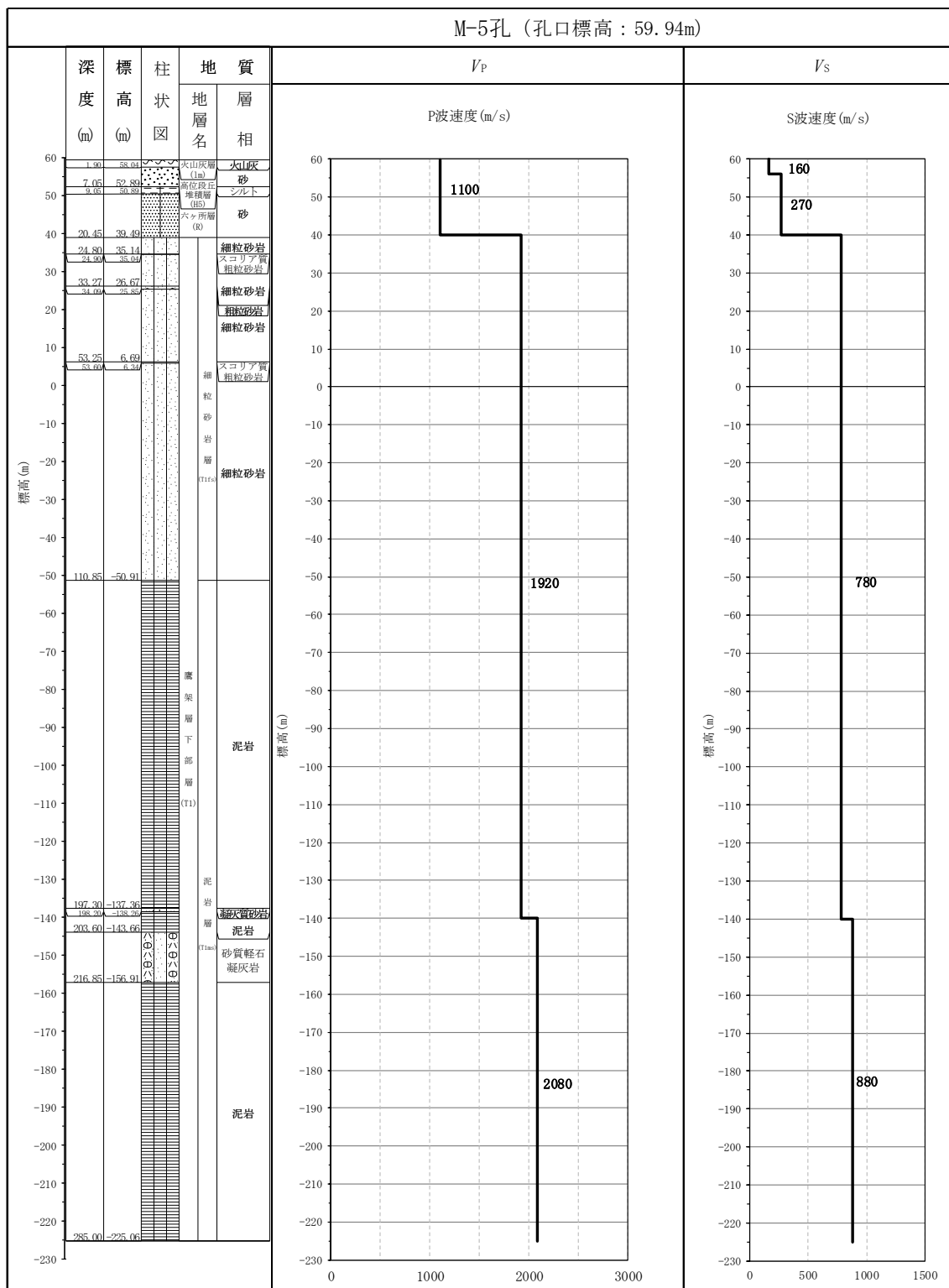
第 3.2-1 図 PS 検層結果 (F 施設周辺) (1/6)



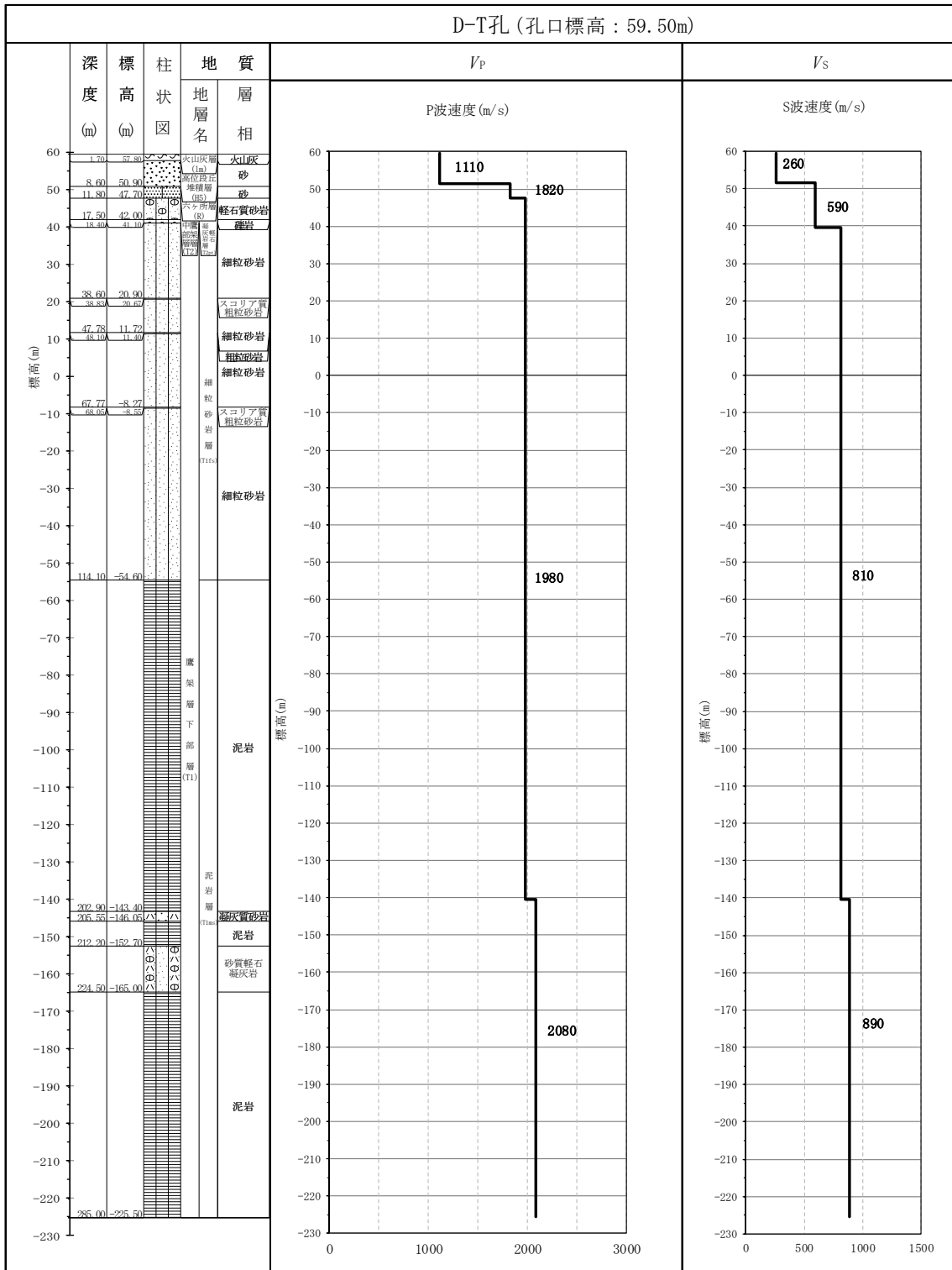
第 3.2-1 図 PS 検層結果 (F 施設周辺) (2/6)



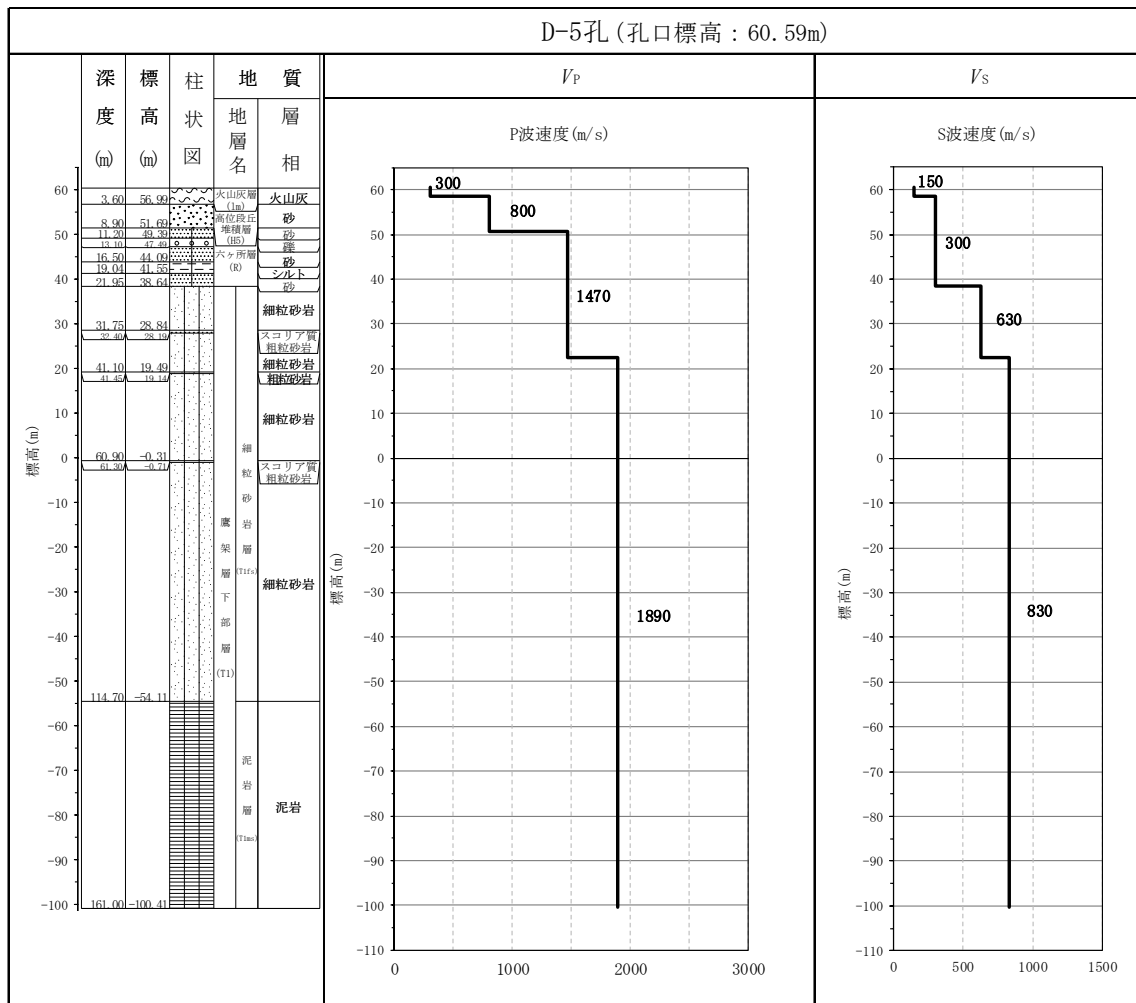
第 3.2-1 図 PS 検層結果 (F 施設周辺) (3/6)



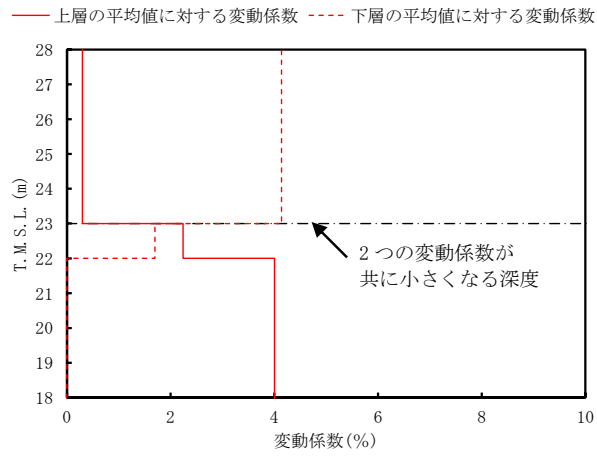
第 3.2-1 図 PS 検層結果 (F 施設周辺) (4/6)



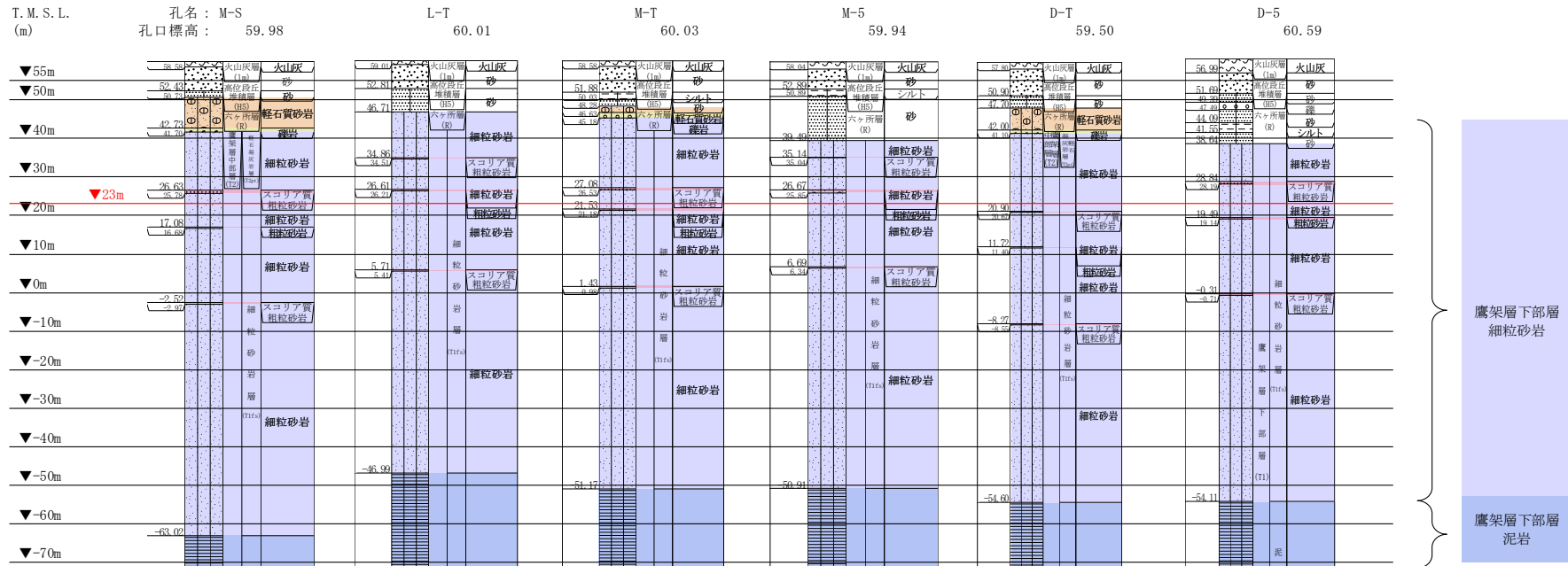
第 3.2-1 図 PS 検層結果 (F 施設周辺) (5/6)



第 3.2-1 図 PS 検層結果 (F 施設周辺) (6/6)



第 3.2-2 図 S 波速度の変動係数の分布 (T.M.S.L. 23m 付近)

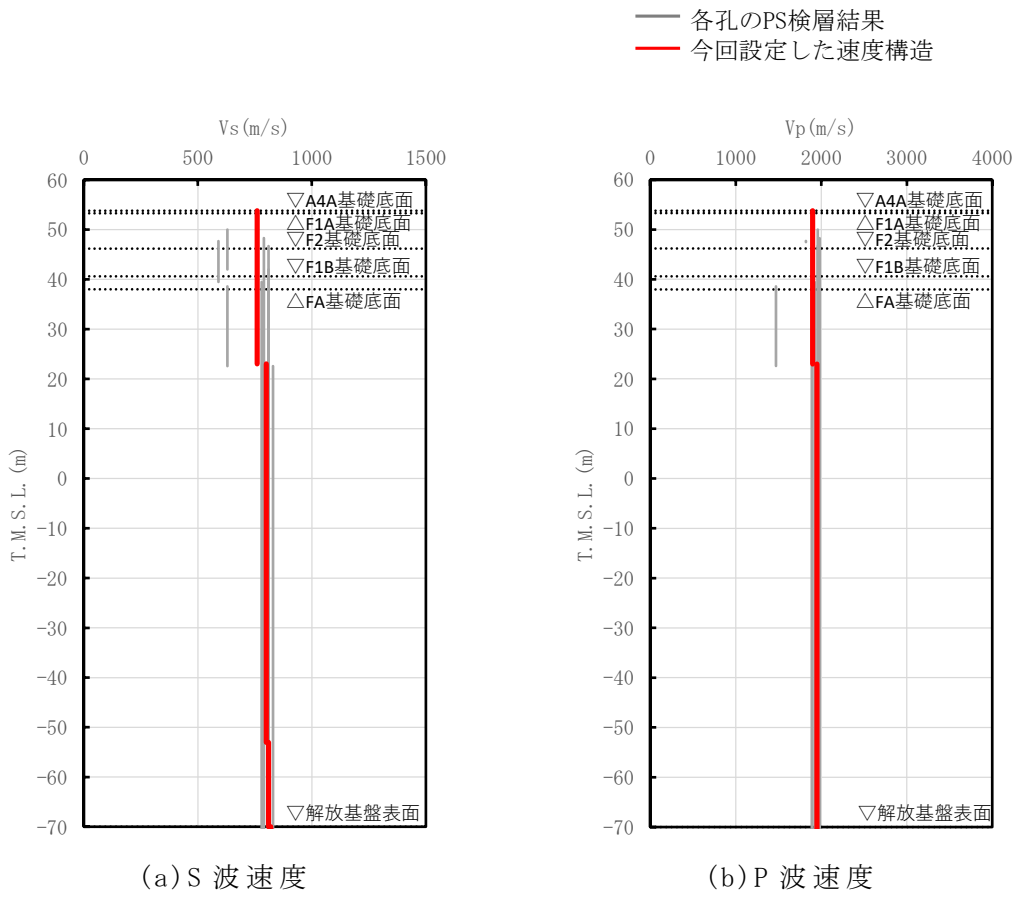


注記 : 赤線は速度境界レベルを示す。

$$\text{岩盤の最上面レベル} = (50.73 \text{ m} + 46.71 \text{ m} + 48.28 \text{ m} + 39.49 \text{ m} + 47.70 \text{ m} + 38.64 \text{ m}) / 6 = 45.26 \text{ m} \approx 45 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{泥岩（下部層）の上面レベル平均高さ} &= ((-63.02 \text{ m}) + (-46.99 \text{ m}) + (-51.17 \text{ m}) + (-50.91 \text{ m}) + (-54.60 \text{ m}) + (-54.11 \text{ m})) / 6 \\ &= -53.47 \text{ m} \approx -53 \text{ m} \end{aligned}$$

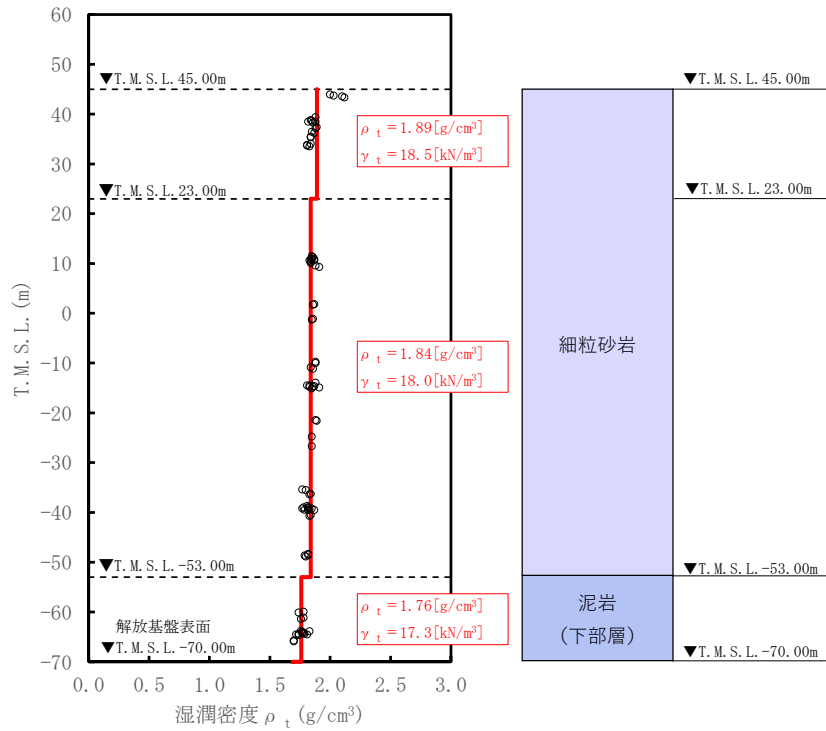
第 3.2-3 図 地質柱状図の比較



第 3.2-4 図 F 施設周辺の速度構造と PS 検層結果の比較

(2) 単位体積重量の設定

単位体積重量は，第 3.2-5 図に示すとおり，速度構造の設定に用いた PS 検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき，各岩種ごとに平均値を設定した。



注記 : 赤実線及び赤字は地盤モデルに設定した値を示す。
 γ_t は ρ_t に重力加速度 ($g=9.80665\text{m/s}^2$) を乗じた値を設定する。

第 3.2-5 図 単位体積重量の設定結果

(3) 地盤物性値の設定結果

F 施設周辺の直下又は近傍の PS 検層結果に基づいて設定した物性値を第 3.2-1 表に示す。

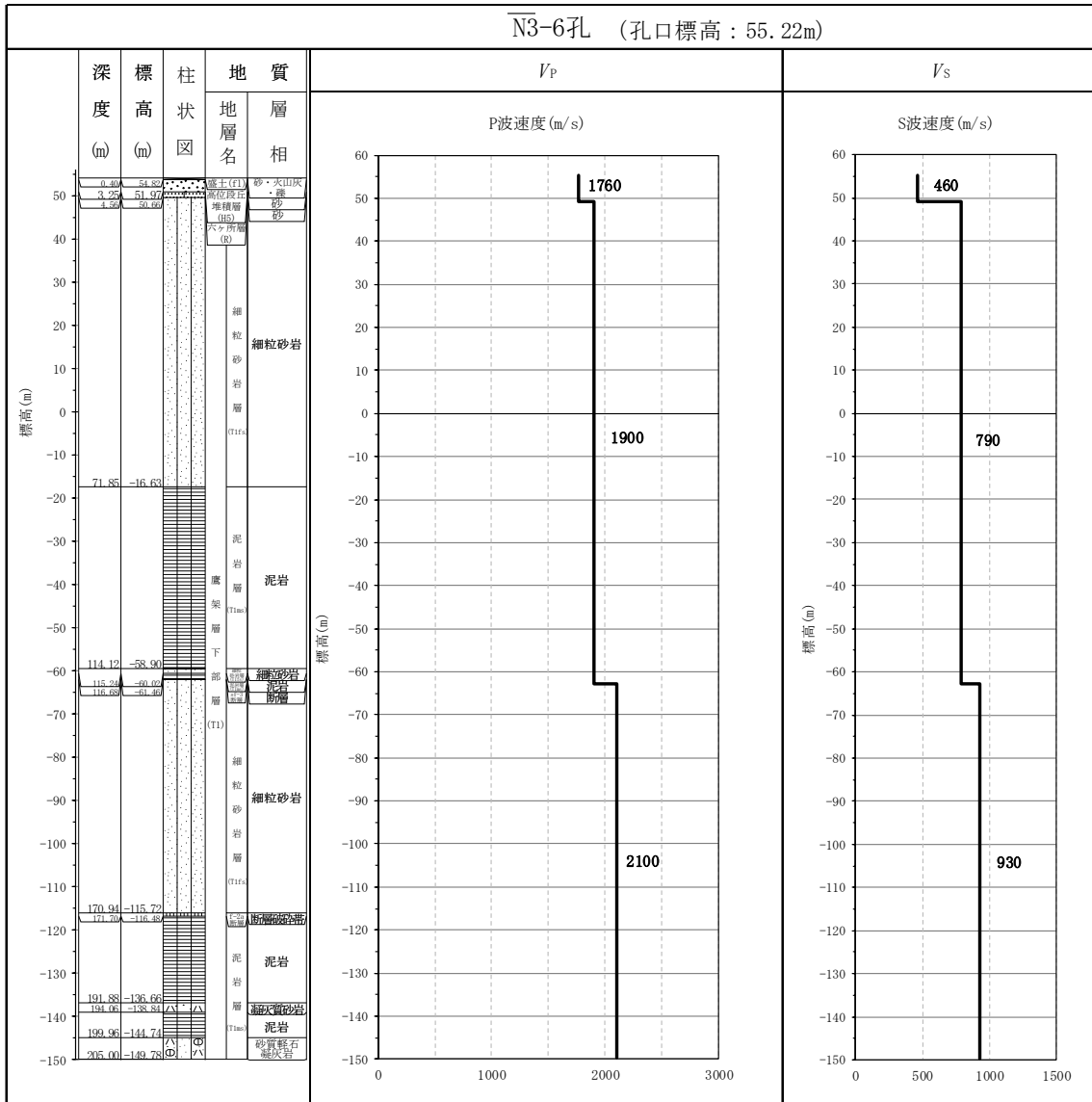
第 3.2-1 表 F 施設周辺の直下又は近傍の PS 検層結果に基づく物性値

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)
▽A4A基礎底面 53.80	細粒砂岩	18.5	760	1900
▽F1A基礎底面 53.30				
▽F2基礎底面 46.20				
▽F1B基礎底面 40.60				
▽FA基礎底面 38.00				
23.00		18.0	800	1950
-53.00	泥岩 (下部層)	17.3	810	1950
▽解放基盤表面 -70.00	—	17.3	810	1950

3.3 AEにおける物性値の設定結果

(1) 速度構造の設定

速度構造の設定については、第 2-1 表に示す AE の PS 検層結果 (N3_6) の S 波速度及び P 波速度を設定する。物性値の設定に用いた PS 検層孔の S 波速度、P 波速度及び地質柱状図を第 3.3-1 図に示す。

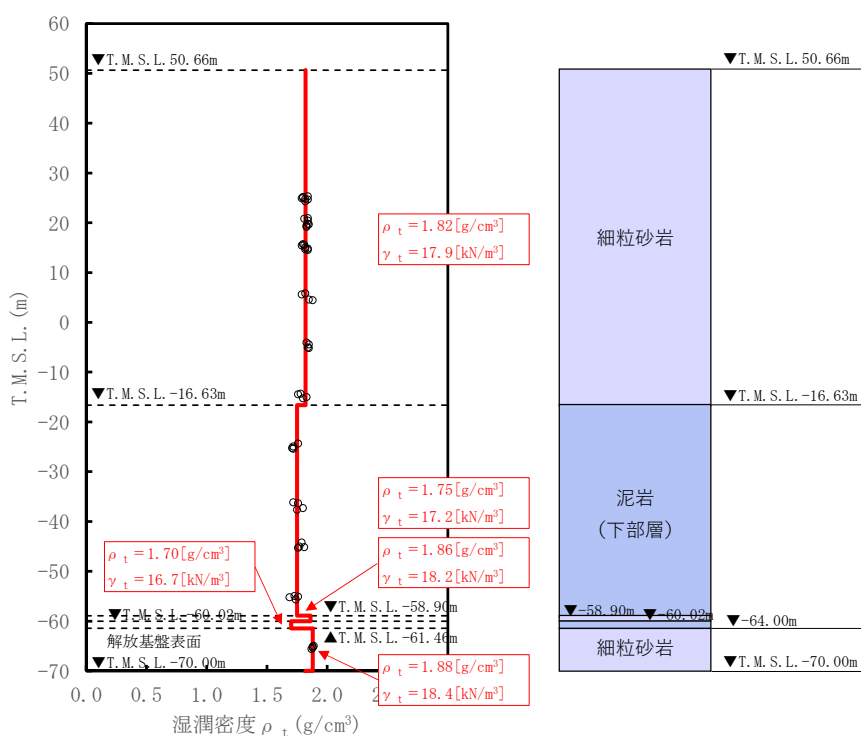


第 3.3-1 図 PS 検層結果 (AE)

(2) 単位体積重量の設定

単位体積重量は、第 3.3-2 図に示すとおり、速度構造の設定に用いた PS 検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき、各岩種ごとに平均値を設定した。

なお、T.M.S.L. -58.90m ~ -64.00m における薄層の細粒砂岩及び泥岩（下部層）については、単位体積重量データが得られていないことを踏まえ、添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す各岩種の湿潤密度を設定した。



注記 : 赤実線及び赤字は地盤モデルに設定した値を示す。

γ_t は ρ_t に重力加速度 ($g=9.80665\text{m}/\text{s}^2$) を乗じた値を設定する。

第 3.3-2 図 単位体積重量の設定結果

(3) 地盤物性値の設定結果

AEの直下又は近傍のPS検層結果に基づいて設定した物性値を第3.3-1表に示す。

第3.3-1表 AEの直下又は近傍のPS検層結果に基づく物性値

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)
▽AE基礎底面 30.80				
-16.63	細粒砂岩	17.9	790	1900
-58.90	泥岩(下部層)	17.2	790	1900
-60.02	細粒砂岩	18.2	790	1900
-61.46	泥岩(下部層)	16.7	790	1900
▽解放基礎表面 -70.00	細粒砂岩	18.4	930	2100
	—	18.4	930	2100

3.4 AGにおける物性値の設定結果

(1) 速度構造の設定

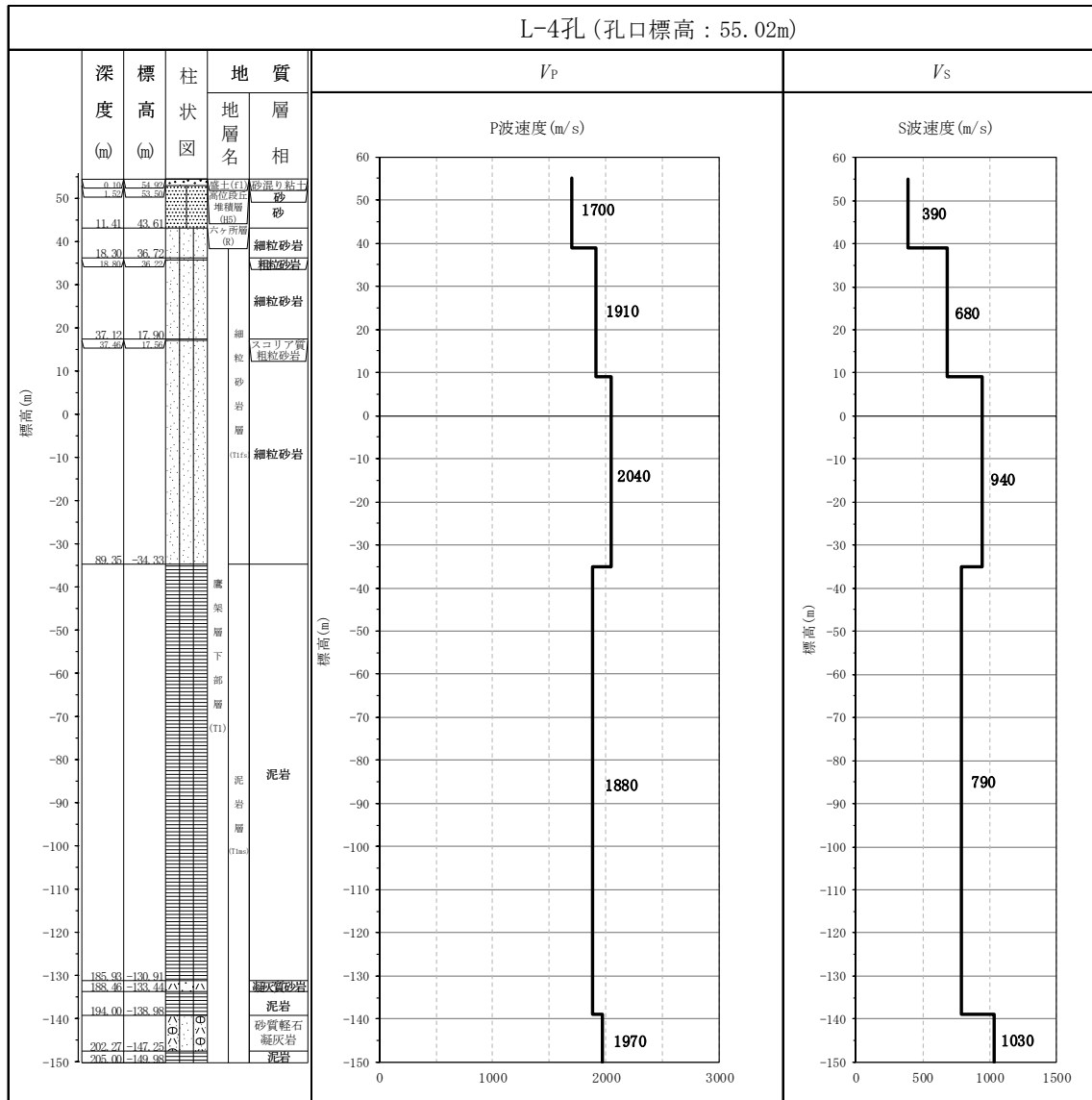
速度構造の設定については、第 2-1 表に示す AG の PS 検層結果 (L-4, D-4) により設定する。物性値の設定に用いた PS 検層孔の S 波速度, P 波速度及び地質柱状図を第 3.4-1 図に示す。

速度境界の探査の結果、第 3.4-2 図及び第 3.4-3 図に示すとおり、T.M.S.L. 9m 及び T.M.S.L. -35m を境に上層の S 波速度平均値に対する変動係数と下層の S 波速度の平均値に対する変動係数が共に急変することから、上記 2 つの標高を速度境界として設定する。

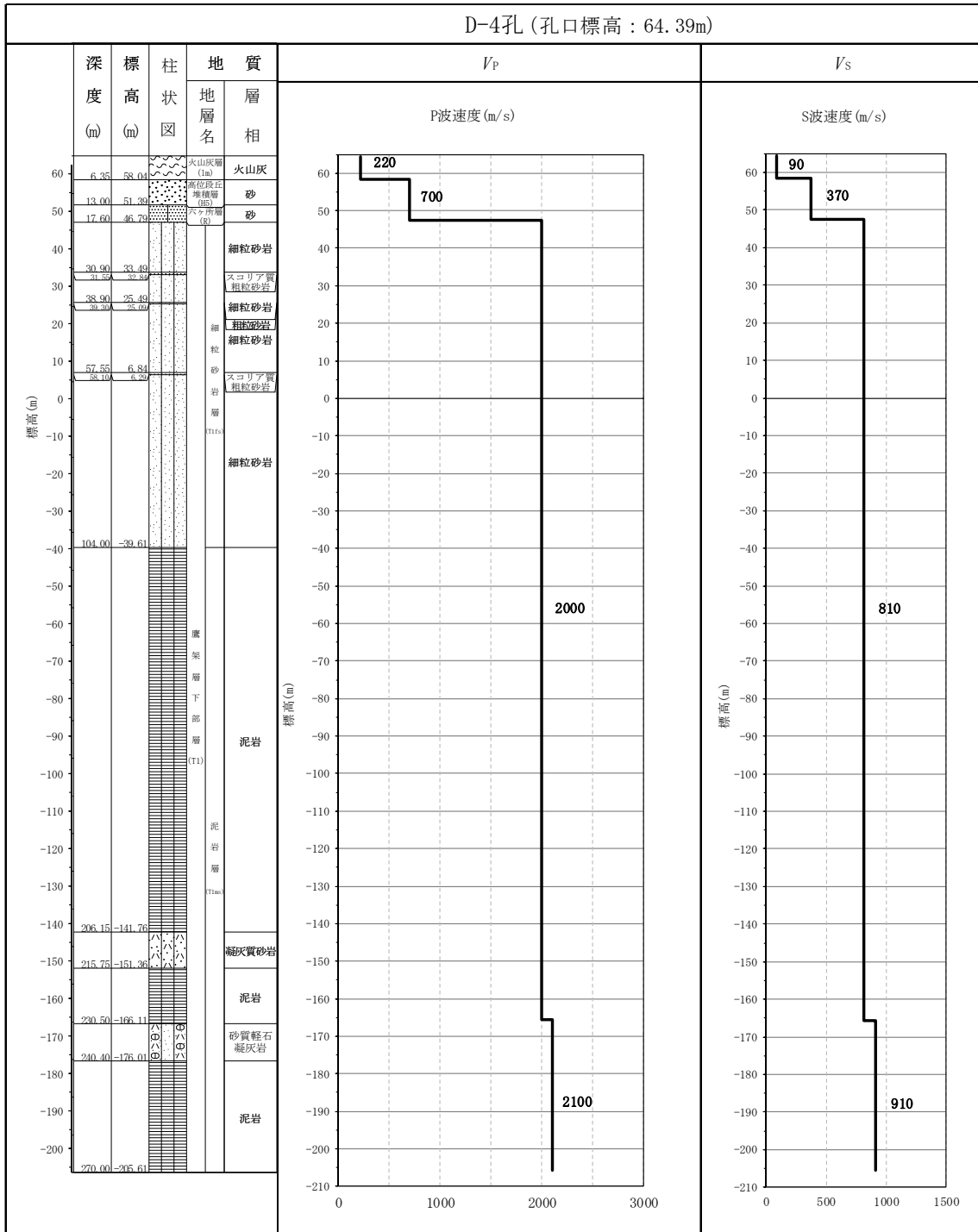
なお、第 3.4-4 図に示す地質柱状図の比較結果のとおり、泥岩 (下部層) の上面レベルの平均高さは T.M.S.L. -37m であることを踏まえ、T.M.S.L. -35m の速度境界については、泥岩 (下部層) の上面レベルの平均高さに補正した。

上記に基づき設定した AG の速度構造及び PS 検層結果の比較を第 3.4-5 図に示す。

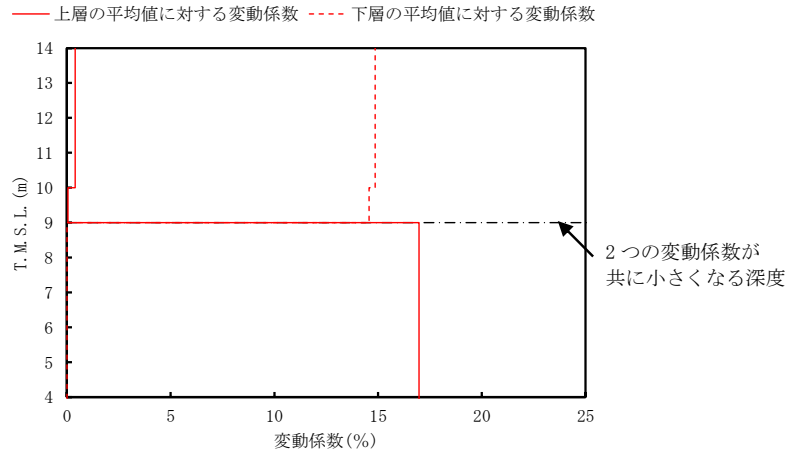
なお、再処理施設の第 1 回設工認申請における安全冷却水 B 冷却塔 (A4B) については、直下で速度構造データが得られていないことを踏まえ、近傍の PS 検層孔のうち、速度構造に着目してインピーダンス比が大きい AG 直下の PS 検層孔である L-4 孔を選定した。今回、AG グループにおける岩盤部分の物性値等の設定を行うにあたり、「2.2 岩盤部分の物性値等の設定方法」に示す PS 検層結果選定の考え方とおり、建物・構築物直下の PS 検層結果を選定する方針としており、AG グループについては、基準地震動 S_s により評価を行う施設として、AG のみならず AH 及び AK が含まれていることを踏まえ、AG 直下の PS 検層孔である L-4 孔に加え、AG に隣接する AK の近傍孔である D-4 孔を選定している。



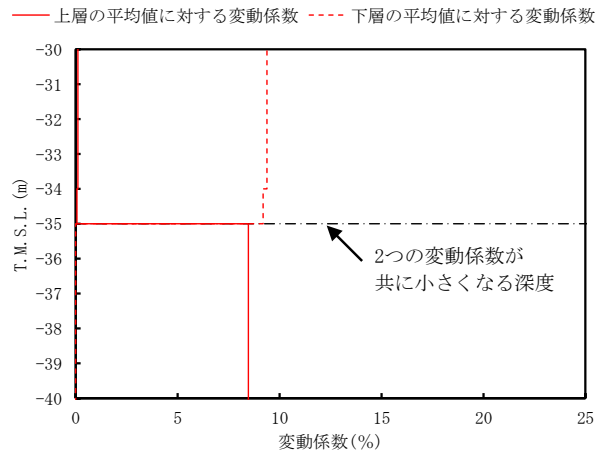
第 3.4-1 図 PS 検層結果 (AG) (1/2)



第 3.4-1 図 PS 検層結果 (AG) (2/2)



第 3.4-2 図 S 波速度の変動係数の分布 (T. M. S. L. 9m 付近)

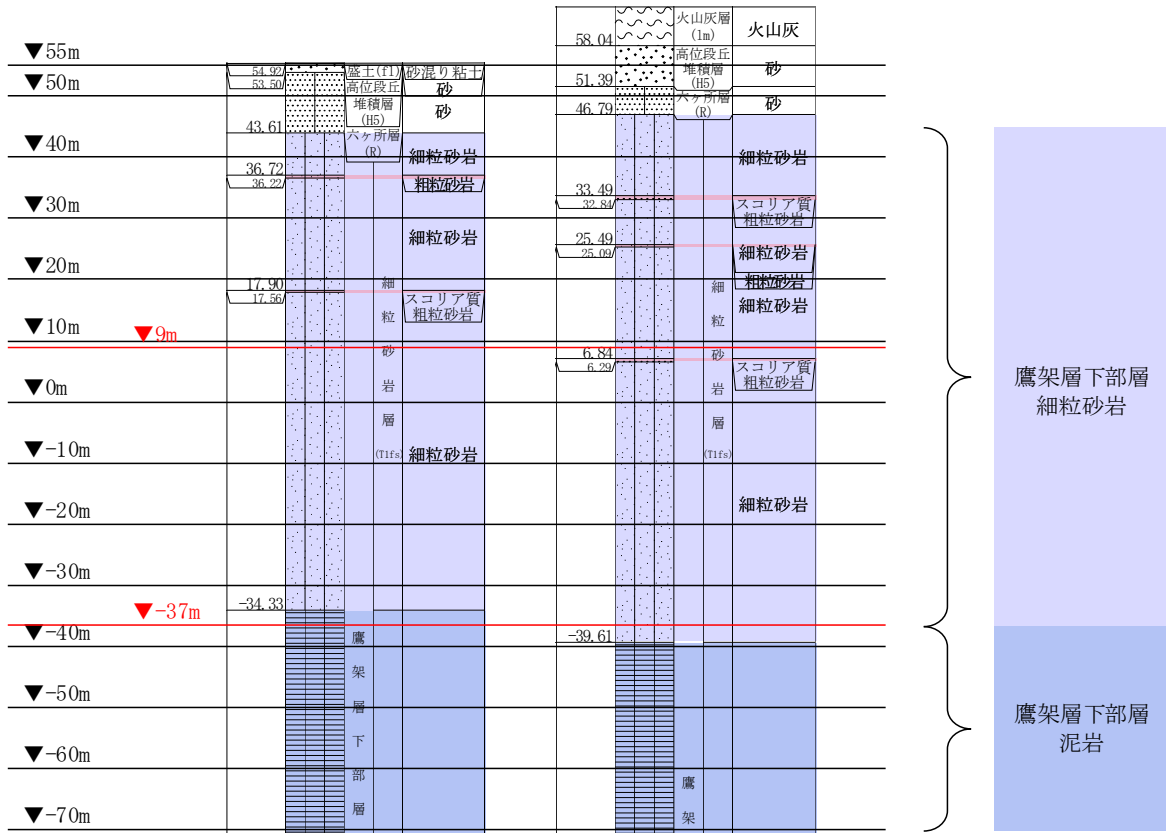


第 3.4-3 図 S 波速度の変動係数の分布 (T. M. S. L. -35m 付近)

T. M. S. L.
(m)

孔名 : L-4
孔口標高 : 55.02

D-4
64.39

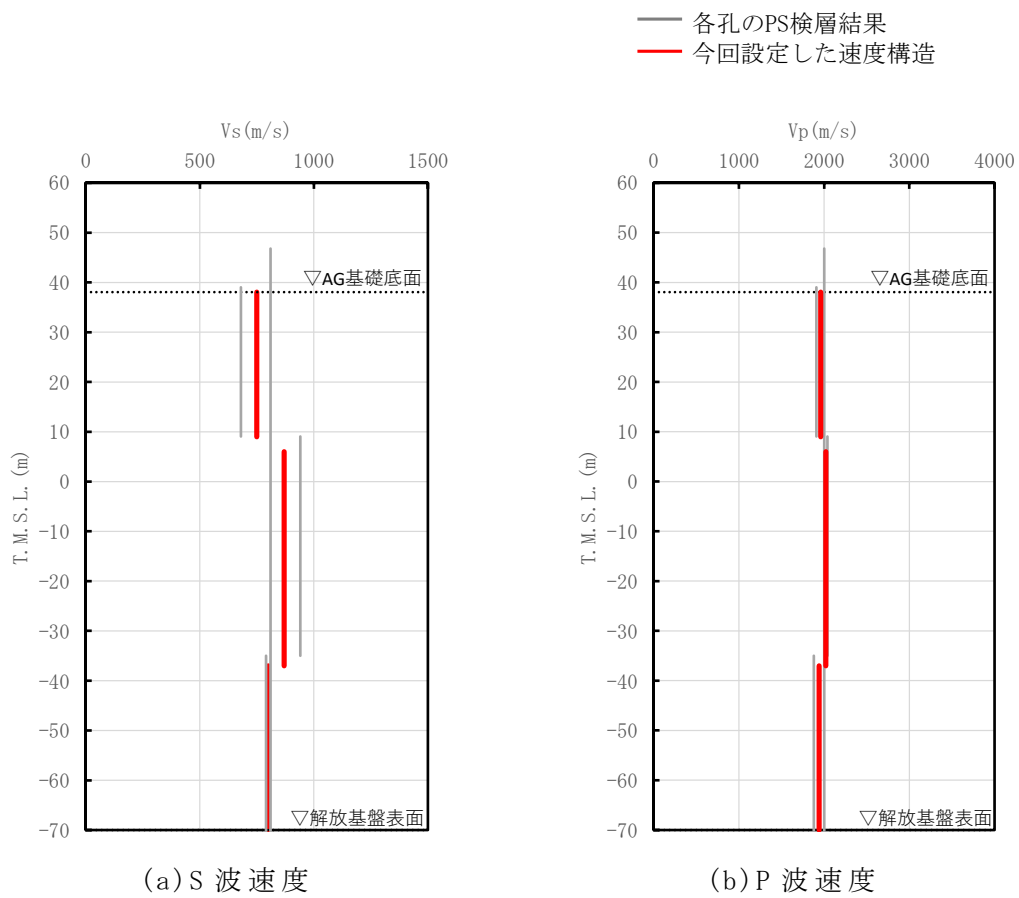


注記 : 赤線は速度境界レベルを示す。

岩盤の最上面レベル = $(43.61 \text{ m} + 46.79 \text{ m}) / 2 = 45.20 \text{ m} \approx 45 \text{ m}$

泥岩 (下部層) の上面レベル平均高さ = $((-34.33 \text{ m}) + (-39.61 \text{ m})) / 2$
 $= -36.97 \text{ m} \approx -37 \text{ m}$

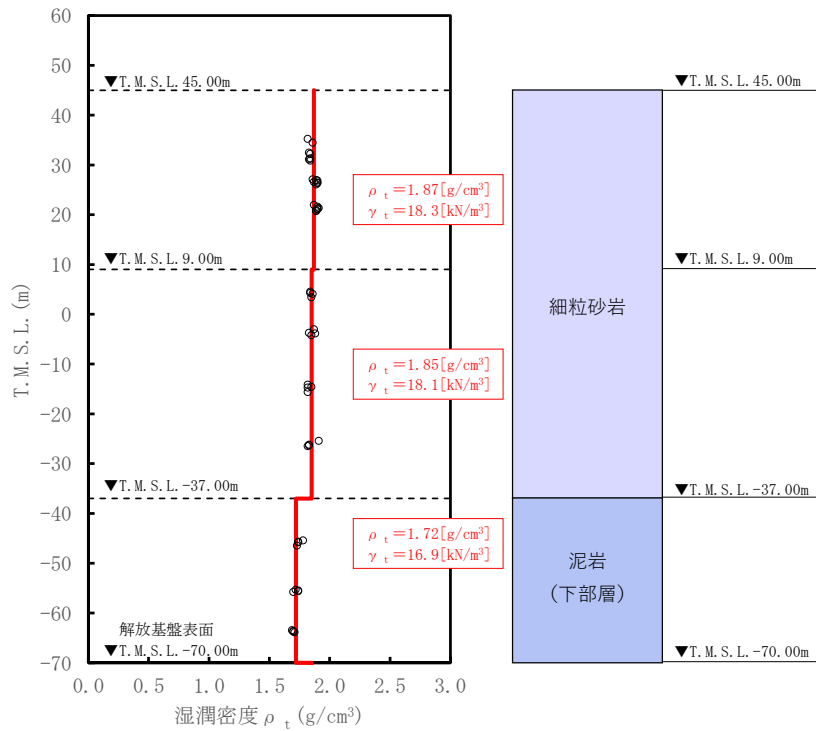
第 3.4-4 図 PS 検層孔の地質柱状図



第 3.4-5 図 AG の速度構造と PS 検層結果の比較

(2) 単位体積重量の設定

単位体積重量は，第 3.4-6 図に示すとおり，速度構造の設定に用いた PS 検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき，各岩種ごとに平均値を設定した。



注記 : 赤実線及び赤字は地盤モデルに設定した値を示す。
 γ_t は ρ_t に重力加速度 ($g=9.80665\text{m/s}^2$) を乗じた値を設定する。

第 3.4-6 図 単位体積重量の設定結果

(3) 地盤物性値の設定結果

AGの直下又は近傍のPS検層結果に基づいて設定した物性値を第3.4-1表に示す。

第3.4-1表 AGの直下又は近傍のPS検層結果に基づく物性値

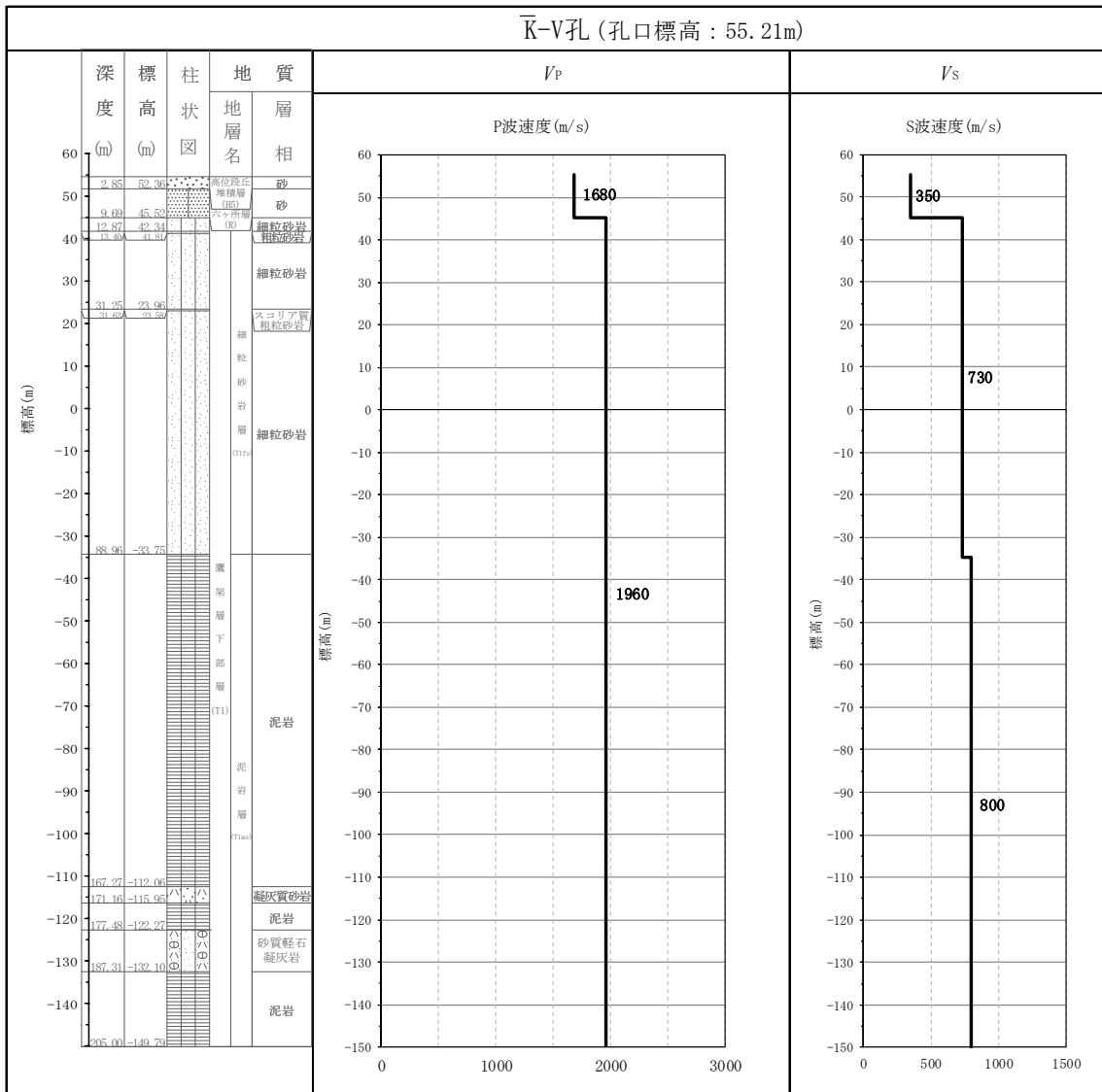
T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)
▽AG基礎底面 38.05				
9.00	細粒砂岩	18.3	750	1960
-37.00		18.1	870	2020
▽解放基盤表面 -70.00	泥岩（下部層）	16.9	800	1940
	—	16.9	800	1940

3.5 GAにおける物性値の設定結果

(1) 速度構造の設定

速度構造の設定については、第 2-1 表に示す GA の PS 検層結果 (K-V) の S 波速度及び P 波速度を設定する。物性値の設定に用いた PS 検層孔の S 波速度、P 波速度及び地質柱状図を第 3.5-1 図に示す。

なお、GA 周辺の建物・構築物については、鷹架層上面レベルの平均高さ (T.M.S.L. 45.52m) よりも浅部に設置されるが、基礎直下には MMR が施工されている。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 直下の物性値を設定した。

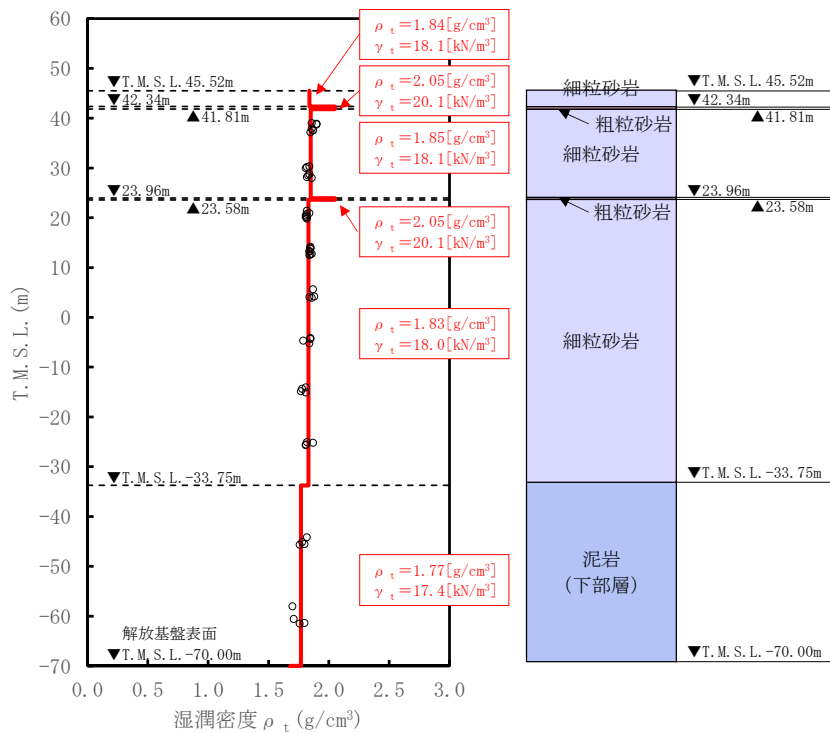


第 3.5-1 図 PS 検層結果 (GA)

(2) 単位体積重量の設定

単位体積重量は、第 3.5-2 図に示すとおり、速度構造の設定に用いた PS 検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき、各岩種ごとに平均値を設定した。

なお、T. M. S. L. 42.34m~41.81m 及び T. M. S. L. 23.96m~23.58m における粗粒砂岩については、単位体積重量データが得られていないことを踏まえ、添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す各岩種の湿潤密度を設定した。



注記 : 赤実線及び赤字は地盤モデルに設定した値を示す。

γ_t は ρ_t に重力加速度 ($g=9.80665\text{m/s}^2$) を乗じた値を設定する。

第 3.5-2 図 単位体積重量の設定結果

(3) 地盤物性値の設定結果

GA の直下又は近傍の PS 検層結果に基づいて設定した物性値を第 3.5-1 表に示す。

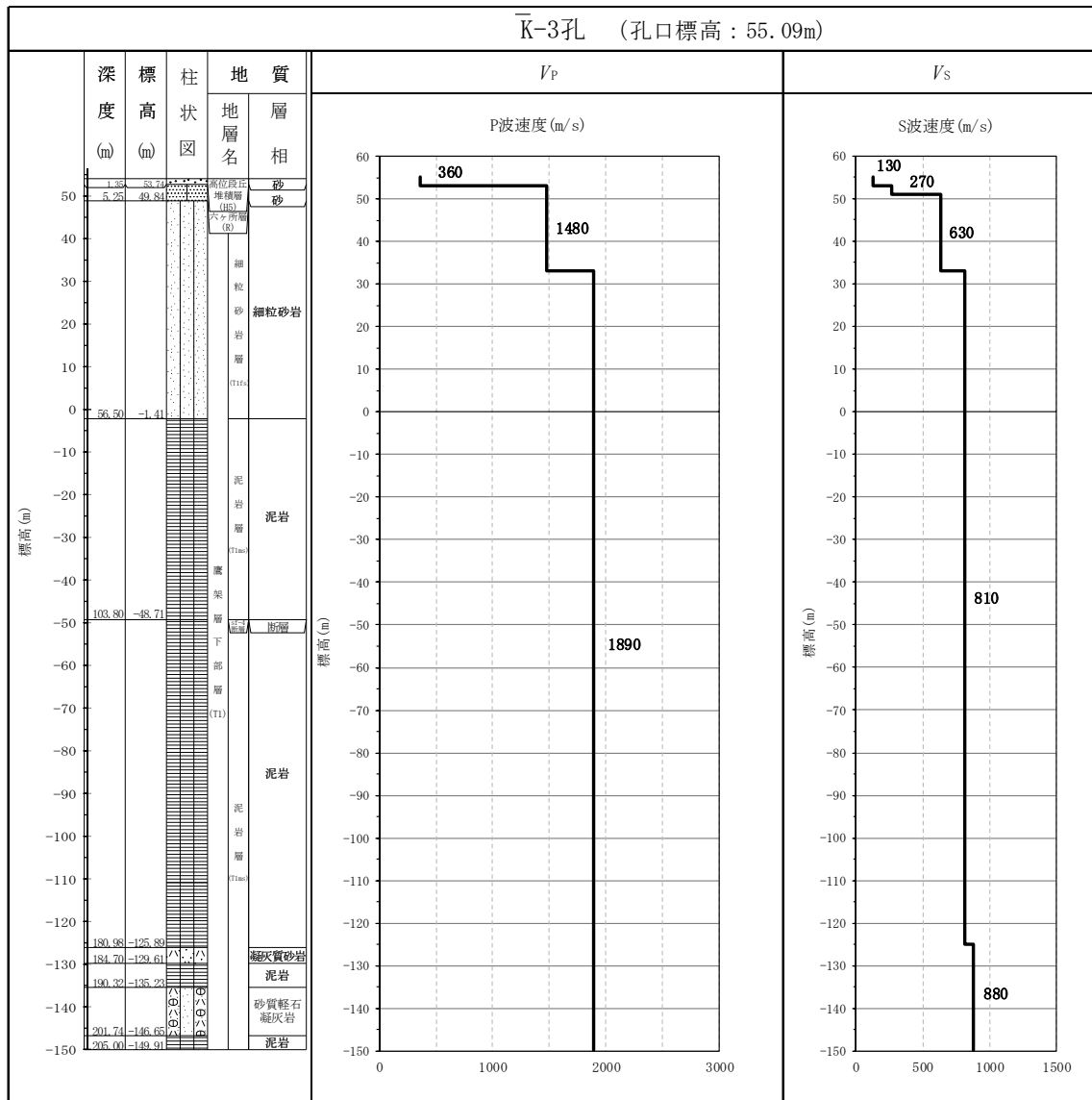
第 3.5-1 表 GA の直下又は近傍の PS 検層結果に基づく物性値

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)
▽G10基礎底面 52.30				
▽GA基礎底面 47.50	細粒砂岩	18.1	730	1960
▽GAT基礎底面 46.18				
42.34	粗粒砂岩	20.1	730	1960
41.81	細粒砂岩	18.1	730	1960
23.96	粗粒砂岩	20.1	730	1960
23.58	細粒砂岩	18.0	730	1960
-33.75	泥岩 (下部層)	17.4	800	1960
▽解放基盤表面 -70.00				
	—	17.4	800	1960

3.6 DCにおける物性値の設定結果

(1) 速度構造の設定

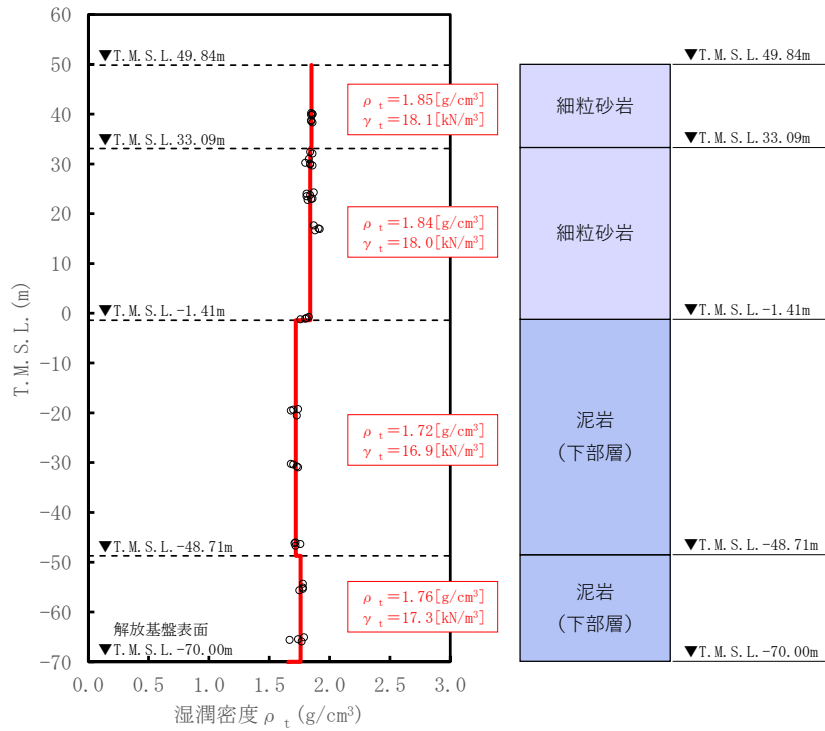
速度構造の設定については、第 2-1 表に示す DC の PS 検層結果 (K-3) の S 波速度及び P 波速度を設定する。物性値の設定に用いた PS 検層孔の S 波速度、P 波速度及び地質柱状図を第 3.6-1 図に示す。



第 3.6-1 図 PS 検層結果 (DC)

(2) 単位体積重量の設定

単位体積重量は、第 3.6-2 図に示すとおり、速度構造の設定に用いた PS 検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき、各岩種ごとに平均値を設定した。



注記 : 赤実線及び赤字は地盤モデルに設定した値を示す。
 γ_t は ρ_t に重力加速度 ($g=9.80665\text{m/s}^2$) を乗じた値を設定する。

第 3.6-2 図 単位体積重量の設定結果

(3) 地盤物性値の設定結果

DCの直下又は近傍のPS検層結果に基づいて設定した物性値を第3.6-1表に示す。

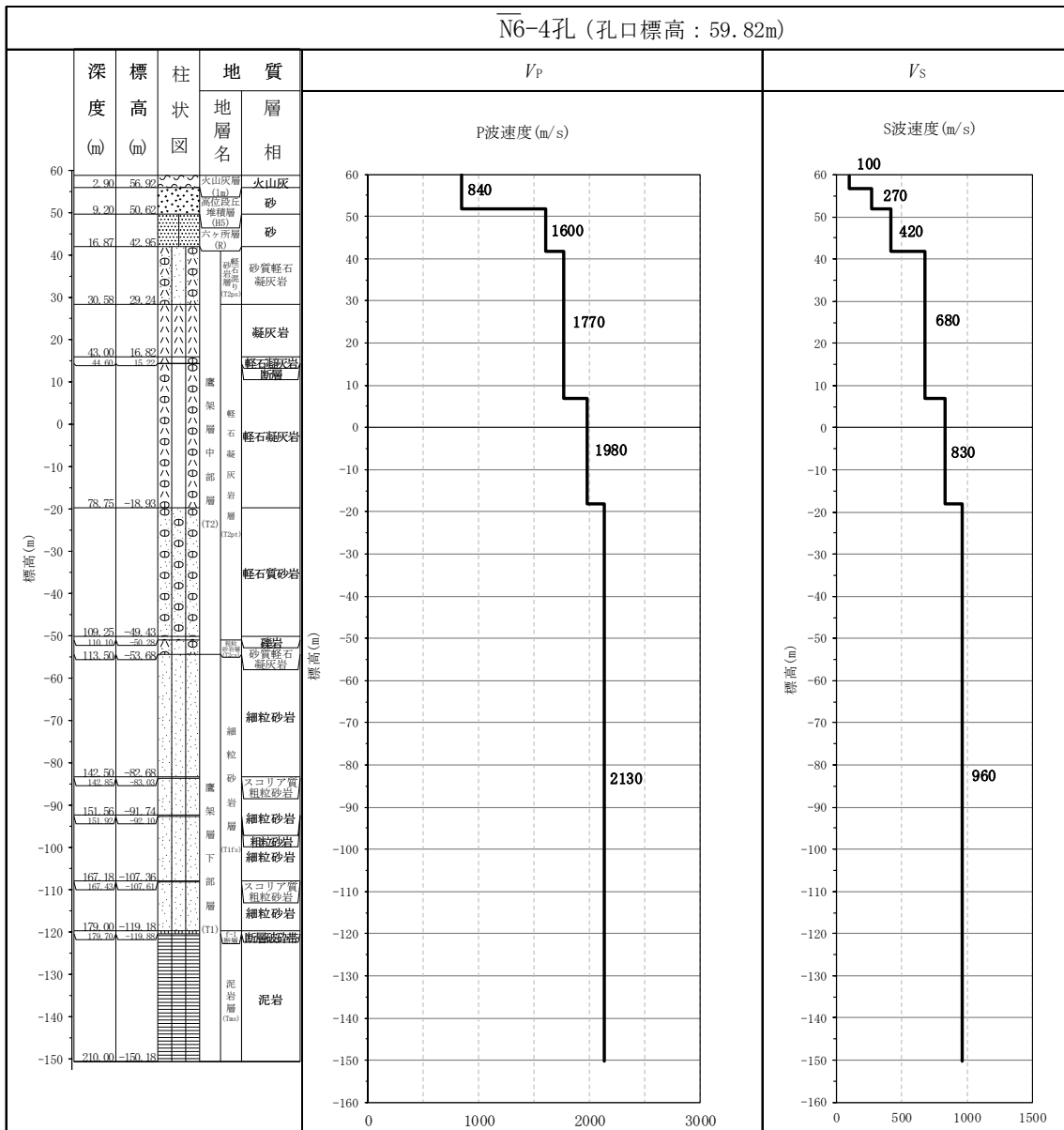
第3.6-1表 DCの直下又は近傍のPS検層結果に基づく物性値

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)
▽DC基礎底面 45.03				
33.09	細粒砂岩	18.1	630	1480
-1.41		18.0	810	1890
-48.71	泥岩 (下部層)	16.9	810	1890
▽解放基盤表面 -70.00		17.3	810	1890
	—	17.3	810	1890

3.7 ACにおける物性値の設定結果

(1) 速度構造の設定

速度構造の設定については、第 2-1 表に示す AC の PS 検層結果 (N6_4) の S 波速度及び P 波速度を設定する。物性値の設定に用いた PS 検層孔の S 波速度、P 波速度及び地質柱状図を第 3.7-1 図に示す。

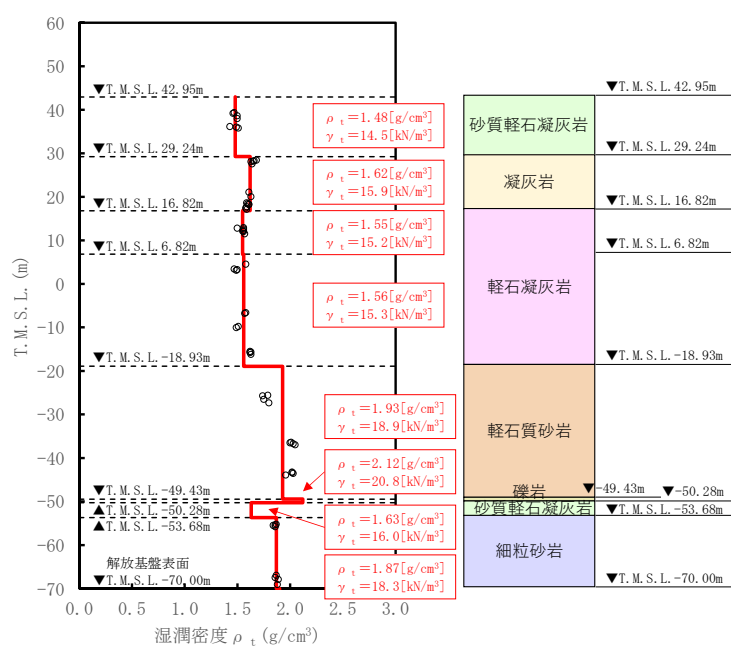


第 3.7-1 図 PS 検層結果 (AC)

(2) 単位体積重量の設定

単位体積重量は、第 3.7-2 図に示すとおり、速度構造の設定に用いた PS 検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき、各岩種ごとに平均値を設定した。

なお、T. M. S. L. -49.43m~-53.68m における薄層の礫岩及び砂質軽石凝灰岩については、単位体積重量データが得られていないことを踏まえ、添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す各岩種の湿潤密度を設定した。



注記 : 赤実線及び赤字は地盤モデルに設定した値を示す。

γ_t は ρ_t に重力加速度 ($g=9.80665\text{m}/\text{s}^2$) を乗じた値を設定する。

第 3.7-2 図 単位体積重量の設定結果

(3) 地盤物性値の設定結果

ACの直下又は近傍のPS検層結果に基づいて設定した物性値を第3.7-1表に示す。

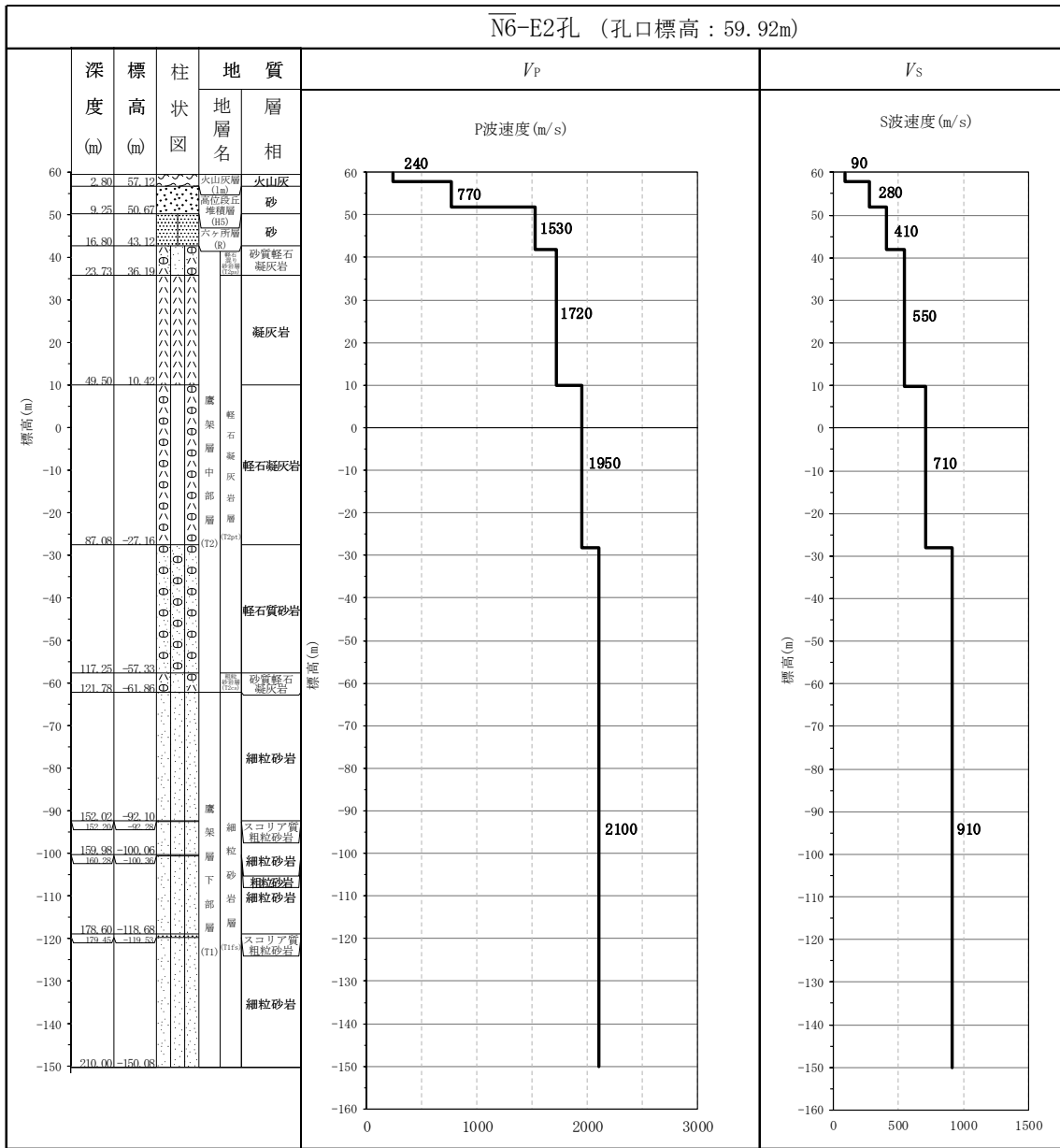
第3.7-1表 ACの直下又は近傍のPS検層結果に基づく物性値

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)
▽AC基礎底面				
33.80	砂質軽石凝灰岩	14.5	680	1770
29.24	凝灰岩	15.9	680	1770
16.82	軽石凝灰岩	15.2	680	1770
6.82		15.3	830	1980
-18.93	軽石質砂岩	18.9	960	2130
-49.43	礫岩	20.8	960	2130
-50.28	砂質軽石凝灰岩	16.0	960	2130
-53.68	細粒砂岩	18.3	960	2130
▽解放基盤表面				
-70.00	—	18.3	960	2130

3.8 CAにおける物性値の設定結果

(1) 速度構造の設定

速度構造の設定については、第 2-1 表に示す CA の PS 検層結果 (N6-E2) の S 波速度及び P 波速度を設定する。物性値の設定に用いた PS 検層孔の S 波速度、P 波速度及び地質柱状図を第 3.8-1 図に示す。

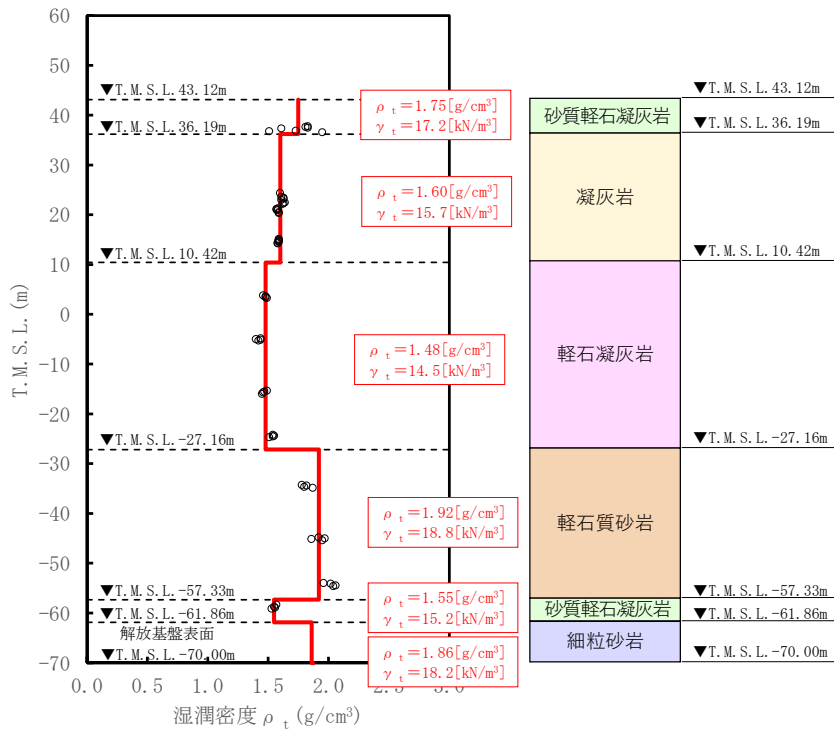


第 3.8-1 図 PS 検層結果 (CA)

(2) 単位体積重量の設定

単位体積重量は，第 3.8-2 図に示すとおり，速度構造の設定に用いた PS 検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき，各岩種ごとに平均値を設定した。

なお，T. M. S. L. -61.86m 以深における細粒砂岩については，単位体積重量データが得られていないことを踏まえ，添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す各岩種の湿潤密度を設定した。



注記 : 赤実線及び赤字は地盤モデルに設定した値を示す。

γ_t は ρ_t に重力加速度 ($g=9.80665\text{m/s}^2$) を乗じた値を設定する。

第 3.8-2 図 単位体積重量の設定結果

(3) 地盤物性値の設定結果

CAの直下又は近傍のPS検層結果に基づいて設定した物性値を第3.8-1表に示す。

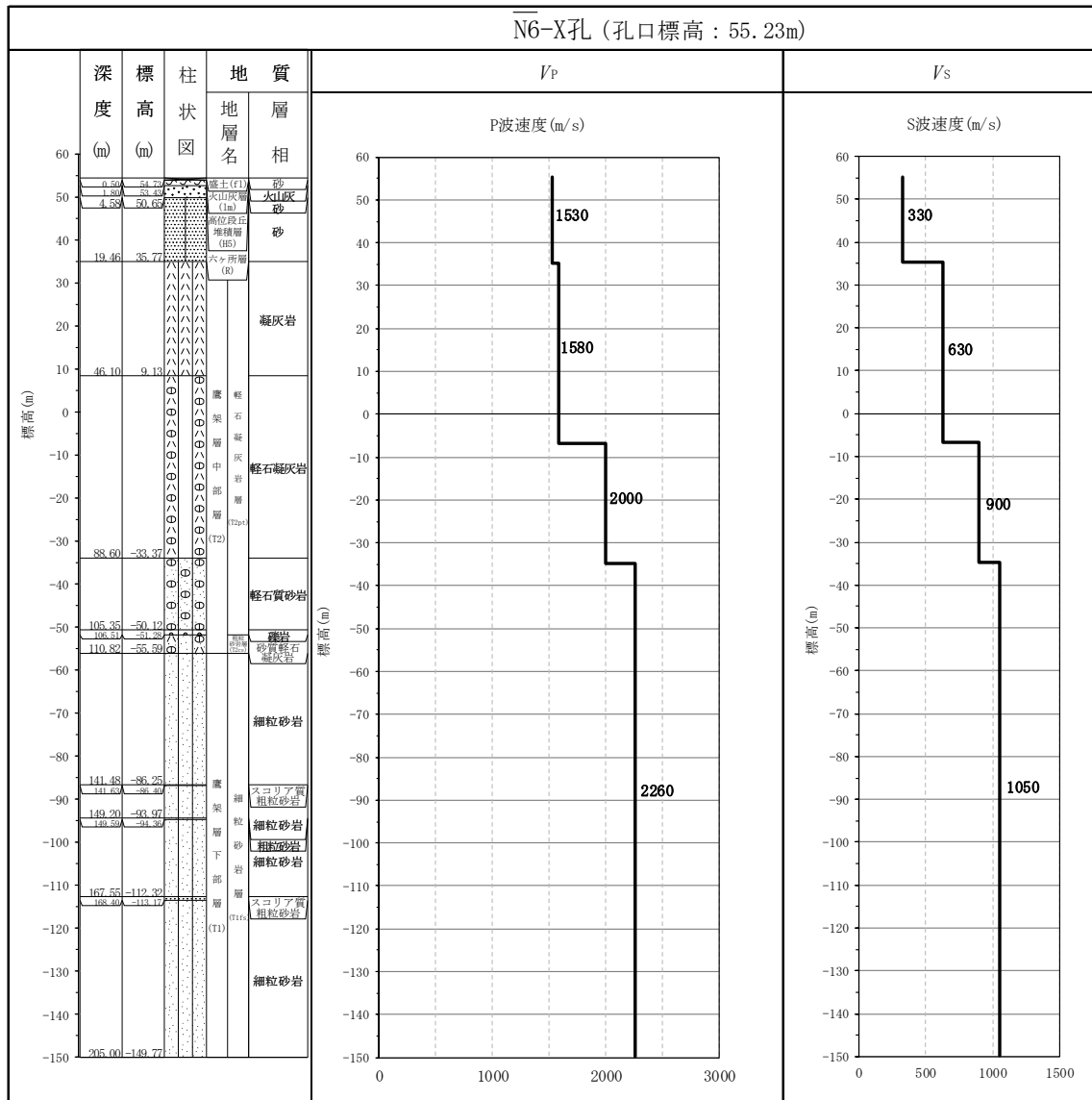
第3.8-1表 CAの直下又は近傍のPS検層結果に基づく物性値

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)
▽CA基礎底面				
36.30	砂質軽石凝灰岩	17.2	550	1720
36.19	凝灰岩	15.7	550	1720
10.42	軽石凝灰岩	14.5	710	1950
-27.16	軽石質砂岩	18.8	910	2100
-57.33	砂質軽石凝灰岩	15.2	910	2100
-61.86	細粒砂岩	18.2	910	2100
▽解放基礎表面				
-70.00	—	18.2	910	2100

3.9 CBにおける物性値の設定結果

(1) 速度構造の設定

速度構造の設定については、第 2-1 表に示す CB の PS 検層結果 (N6-X) の S 波速度及び P 波速度を設定する。物性値の設定に用いた PS 検層孔の S 波速度、P 波速度及び地質柱状図を第 3.9-1 図に示す。

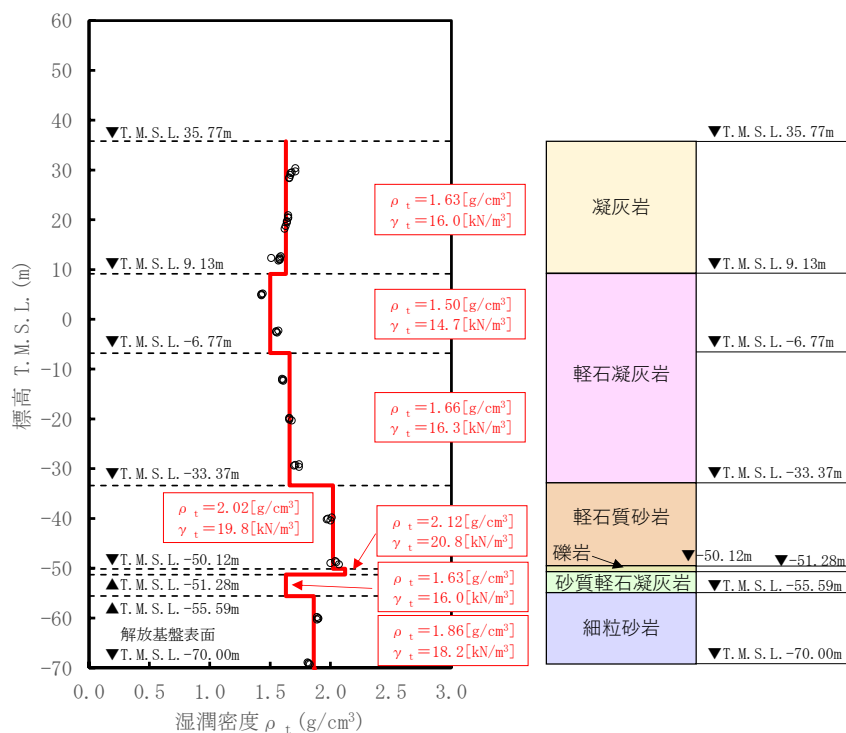


第 3.9-1 図 PS 検層結果 (CB)

(2) 単位体積重量の設定

単位体積重量は、第 3.9-2 図に示すとおり、速度構造の設定に用いた PS 検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき、各岩種ごとに平均値を設定した。

なお、T.M.S.L. -50.12m～-55.59m における薄層の礫岩及び砂質軽石凝灰岩については、単位体積重量データが得られていないことを踏まえ、添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す各岩種の湿潤密度を設定した。



注記 : 赤実線及び赤字は地盤モデルに設定した値を示す。

γ_t は ρ_t に重力加速度 ($g=9.80665\text{m/s}^2$) を乗じた値を設定する。

第 3.9-2 図 単位体積重量の設定結果

(3) 地盤物性値の設定結果

CBの直下又は近傍のPS検層結果に基づいて設定した物性値を第3.9-1表に示す。

第3.9-1表 CBの直下又は近傍のPS検層結果に基づく物性値

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)
<u>▽CB基礎底面</u> 35.00				
9.13	凝灰岩	16.0	630	1580
-6.77	軽石凝灰岩	14.7	630	1580
-33.37		16.3	900	2000
-50.12	軽石質砂岩	19.8	1050	2260
-51.28	礫岩	20.8	1050	2260
-55.59	砂質軽石凝灰岩	16.0	1050	2260
<u>▽解放基盤表面</u> -70.00	細粒砂岩	18.2	1050	2260
	—	18.2	1050	2260

3.10 AZ 周辺における物性値の設定結果

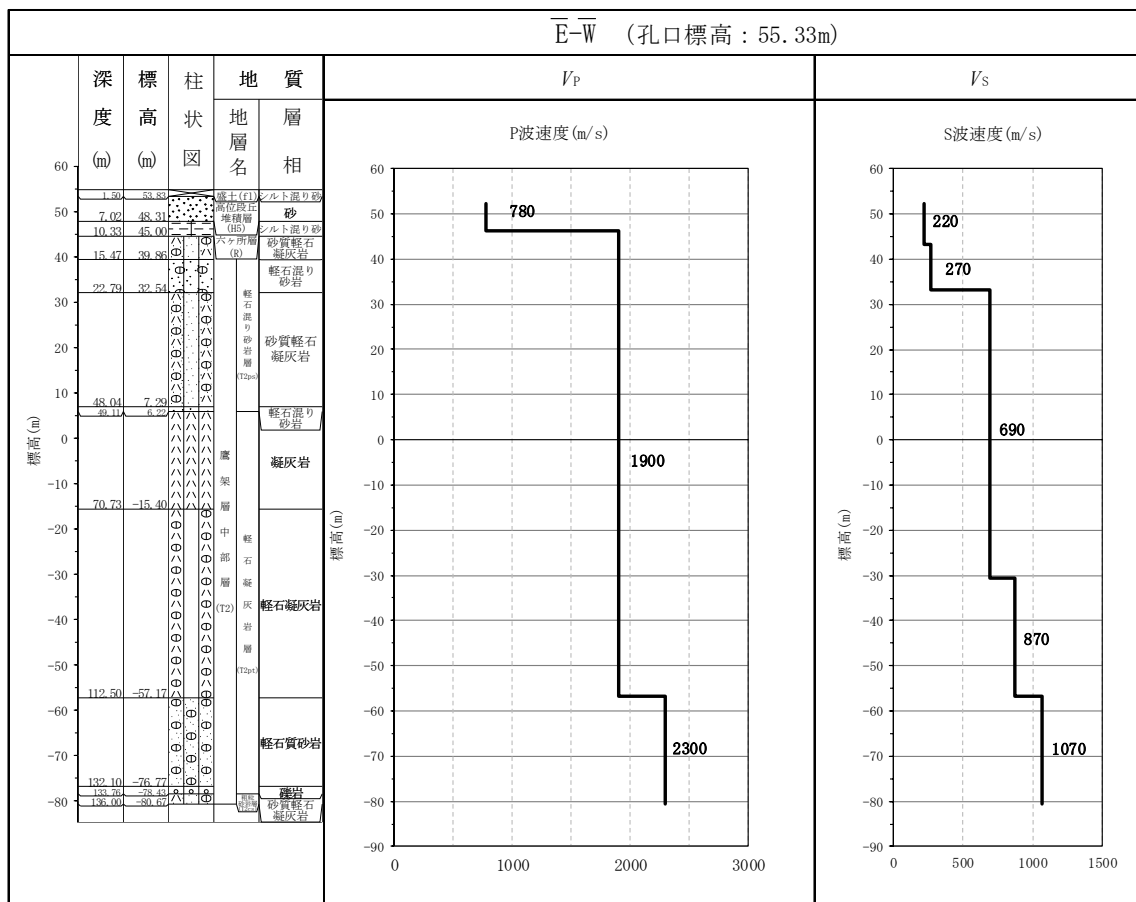
(1) 速度構造の設定

速度構造については、第 2-1 表に示す AZ 周辺の PS 検層結果 (E₁-W₁, E₁-E2₁) により設定する。物性値の設定に用いた PS 検層孔の S 波速度, P 波速度及び地質柱状図を第 3.10-1 図に示す。

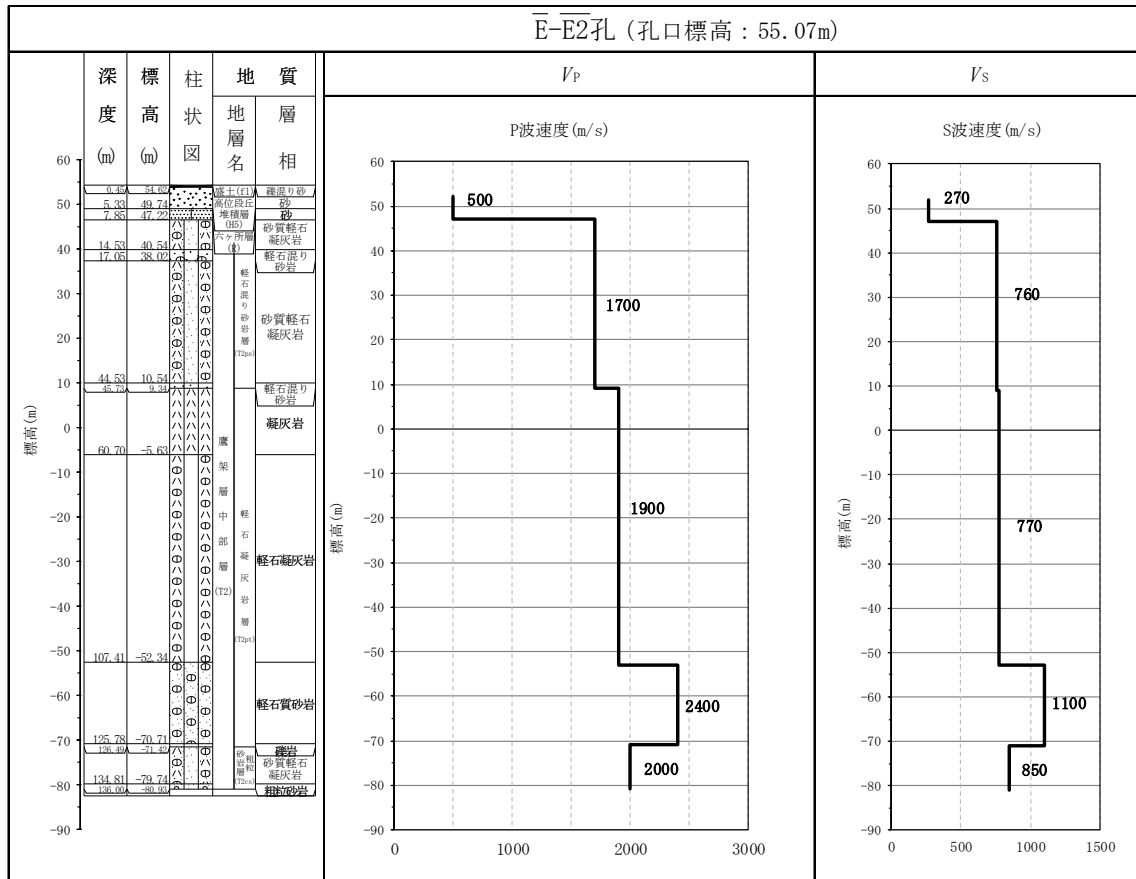
速度境界の探査の結果, 第 3.10-2 図～3.10-4 図に示すとおり, T. M. S. L. 9m, T. M. S. L. -31m 及び T. M. S. L. -53m において, 各レベルを境に上層の S 波速度平均値に対する変動係数と下層の S 波速度の平均値に対する変動係数が共に急変することから, 上記 3 つの標高を速度境界として設定する。

なお, 第 3.10-5 図に示す地質柱状図の比較結果のとおり, 凝灰岩の上面レベルの平均高さは T. M. S. L. 8m であること, また, 軽石質砂岩の上面レベルの平均高さは T. M. S. L. -55m であることを踏まえ, T. M. S. L. 9m 及び T. M. S. L. -53m の速度境界については, それぞれ凝灰岩と軽石質砂岩の上面レベルの平均高さに補正した。

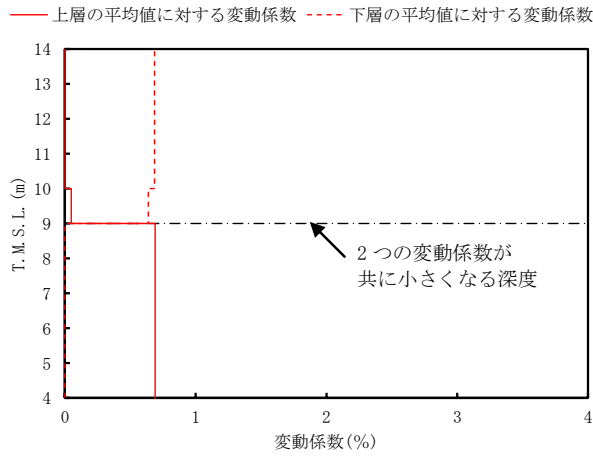
上記に基づき設定した AZ 周辺の速度構造及び PS 検層結果の比較を第 3.10-6 図に示す。



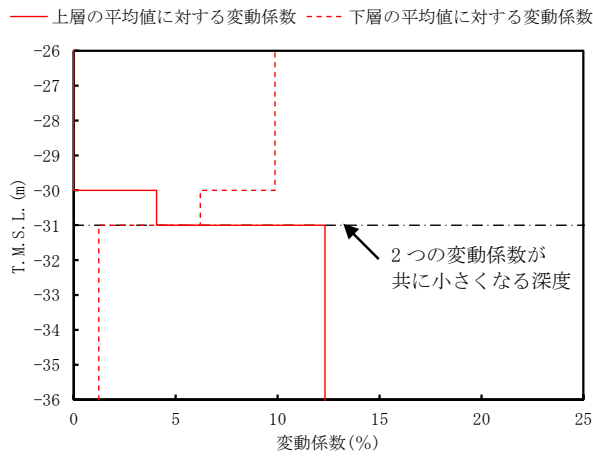
第 3.10-1 図 PS 検層結果 (AZ 周辺) (1/2)



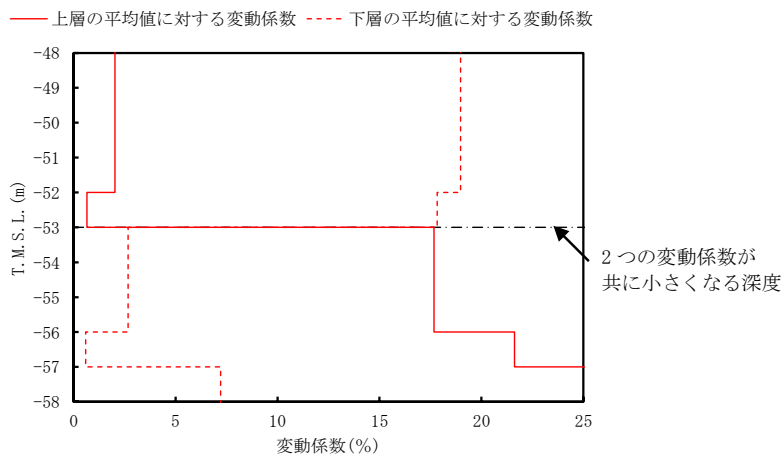
第 3.10-1 図 PS 検層結果 (AZ 周辺) (2/2)



第 3.10-2 図 S 波速度の変動係数の分布 (T.M.S.L. 9m 付近)



第 3.10-3 図 S 波速度の変動係数の分布 (T.M.S.L. -31m 付近)

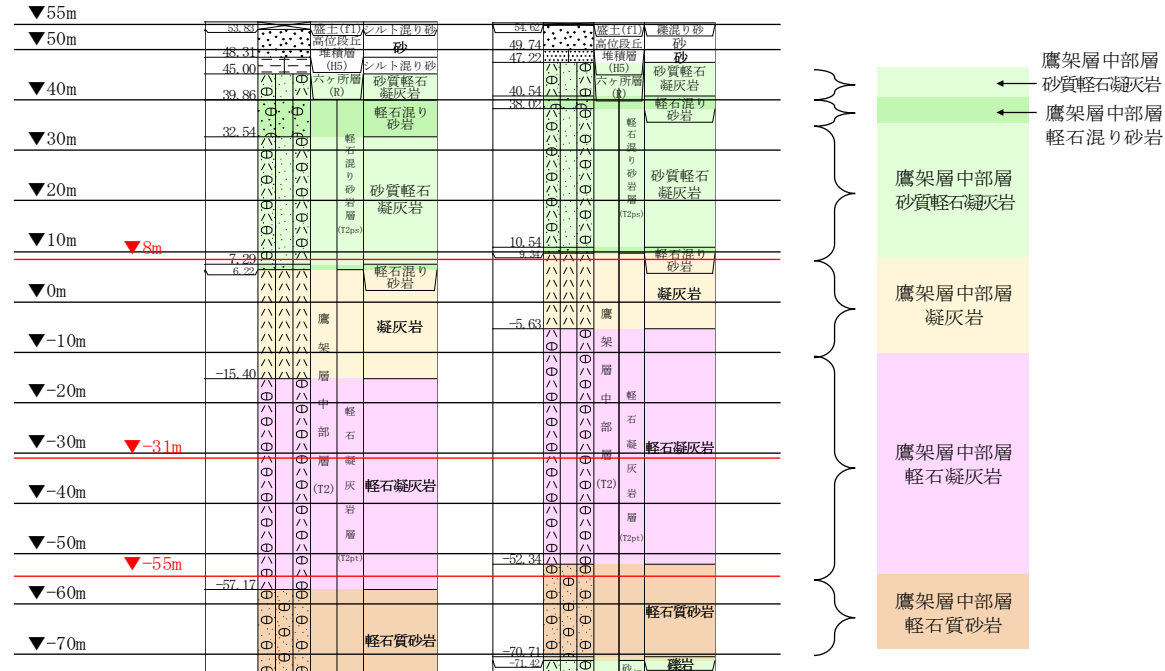


第 3.10-4 図 S 波速度の変動係数の分布 (T.M.S.L. -53m 付近)

T. M. S. L.
(m)

孔名： E_-W_
孔口標高： 55.33

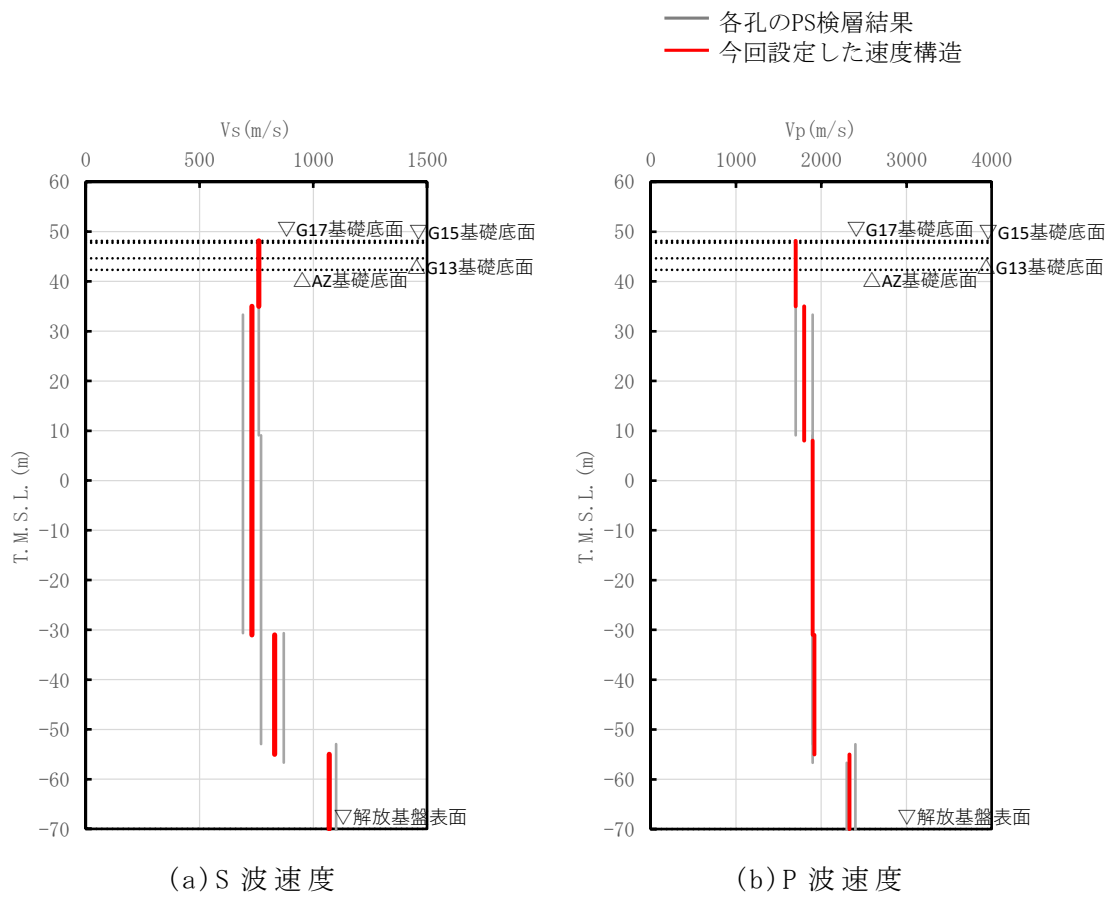
E_-E2_
55.07



注記：赤線は速度境界レベルを示す。

岩盤の最上面レベル = $(45.00 \text{ m} + 47.22 \text{ m}) / 2 = 46.11 \text{ m} \approx 46 \text{ m}$
 軽石混り砂岩の上面レベル平均高さ = $(39.86 \text{ m} + 40.54 \text{ m}) / 2 = 40.20 \text{ m} \approx 40 \text{ m}$
 砂質軽石凝灰岩の上面レベル平均高さ = $(32.54 \text{ m} + 38.02 \text{ m}) / 2 = 35.28 \text{ m} \approx 35 \text{ m}$
 凝灰岩の上面レベル平均高さ = $(6.22 \text{ m} + 9.34 \text{ m}) / 2 = 7.78 \text{ m} \approx 8 \text{ m}$
 軽石凝灰岩の上面レベル平均高さ = $((-15.40 \text{ m}) + (-5.63 \text{ m})) / 2 = -10.52 \text{ m} \approx -11 \text{ m}$
 軽石質砂岩の上面レベル平均高さ = $((-57.17 \text{ m}) + (-52.34 \text{ m})) / 2 = -54.76 \text{ m} \approx -55 \text{ m}$

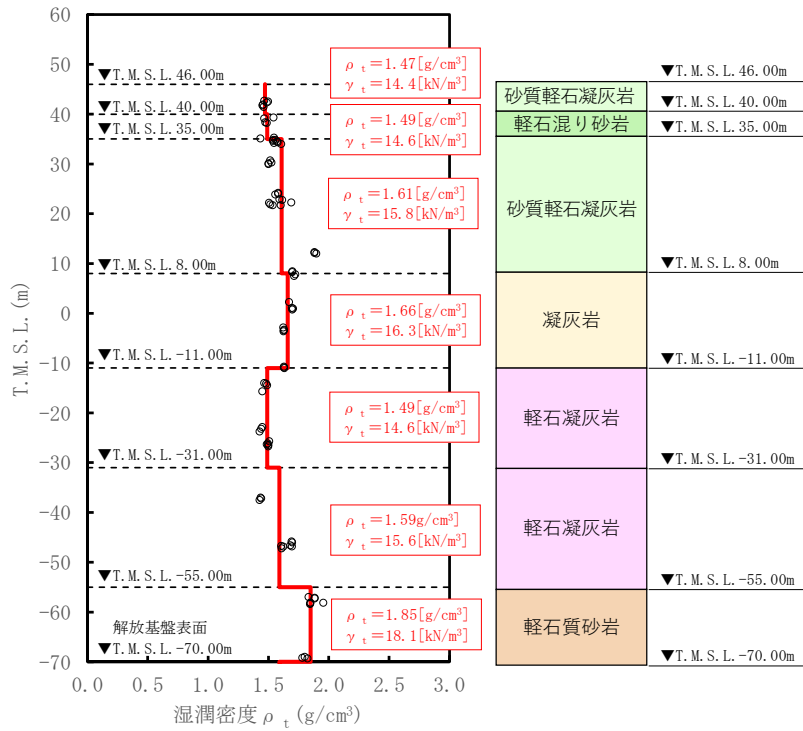
第 3.10-5 図 PS 検層孔の地質柱状図



第 3.10-6 図 AZ 周辺 の 速度 構造 と PS 検 層 結 果 の 比 較

(2) 単位体積重量の設定

単位体積重量は、第 3.10-7 図に示すとおり、速度構造の設定に用いた PS 検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき、各岩種ごとに平均値を設定した。



注記 : 赤実線及び赤字は地盤モデルに設定した値を示す。
 γ_t は ρ_t に重力加速度 ($g=9.80665\text{m/s}^2$) を乗じた値を設定する。

第 3.10-7 図 単位体積重量の設定結果

(3) 地盤物性値の設定結果

AZ 周辺の直下又は近傍の PS 検層結果に基づいて設定した物性値を第 3.10-1 表に示す。

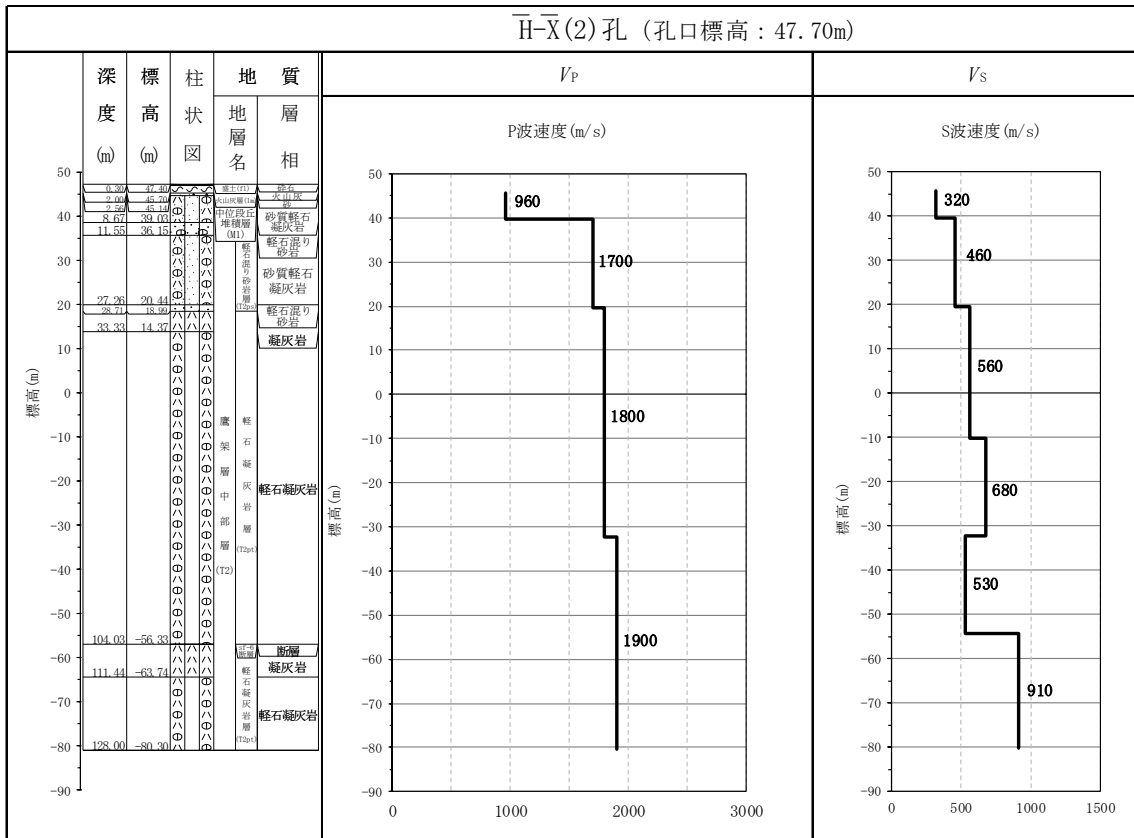
第 3.10-1 表 AZ 周辺の直下又は近傍の PS 検層結果に基づく物性値

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)
▽G17基礎底面 48.15				
▽G15基礎底面 47.75				
▽G13基礎底面 44.65	砂質軽石凝灰岩	14.4	760	1700
▽AZ基礎底面 42.30				
40.00	軽石混り砂岩	14.6	760	1700
35.00	砂質軽石凝灰岩	15.8	730	1800
8.00	凝灰岩	16.3	730	1900
-11.00	軽石凝灰岩	14.6	730	1900
-31.00		15.6	830	1920
-55.00	軽石質砂岩	18.1	1070	2330
▽解放基盤表面 -70.00	—	18.1	1070	2330

3.11 G14 における物性値の設定結果

(1) 速度構造の設定

速度構造の設定にあたっては、第 2-1 表に示す G14 の PS 検層結果(H_X_(2)) の S 波速度及び P 波速度を設定する。物性値の設定に用いた PS 検層孔の S 波速度、P 波速度及び地質柱状図を第 3.11-1 図に示す。

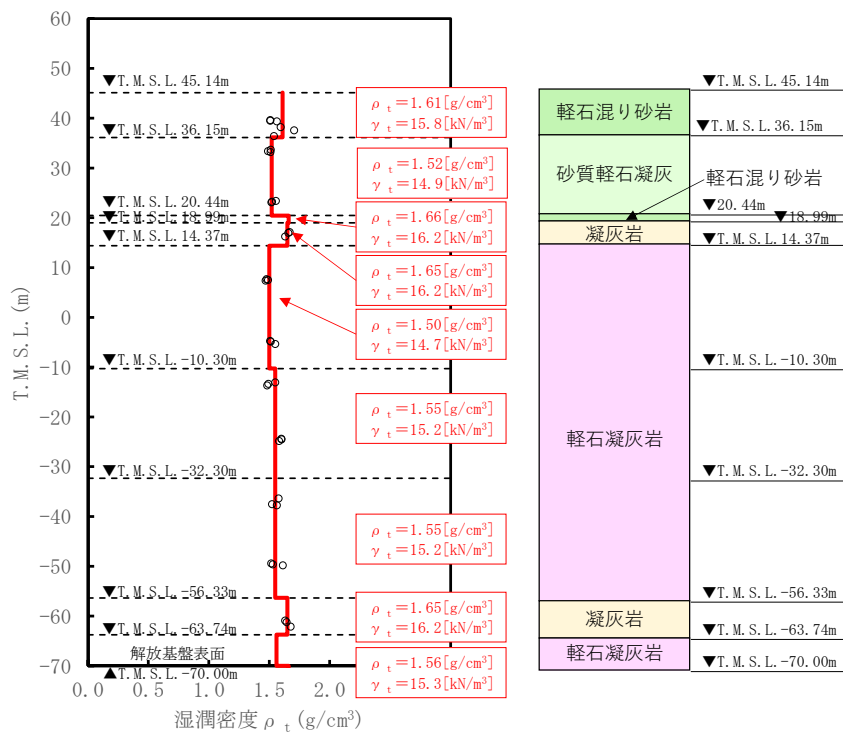


第 3.11-1 図 PS 検層結果 (G14)

(2) 単位体積重量の設定

単位体積重量は、第 3.11-2 図に示すとおり、速度構造の設定に用いた PS 検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき、各岩種ごとに平均値を設定した。

なお、T.M.S.L. 20.44m～18.99m 及び T.M.S.L. -63.74m 以深における軽石混り砂岩及び軽石凝灰岩については、単位体積重量データが得られていないことを踏まえ、添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す各岩種の湿潤密度を設定した。



注記 : 赤実線及び赤字は地盤モデルに設定した値を示す。

γ_t は ρ_t に重力加速度 ($g=9.80665\text{m/s}^2$) を乗じた値を設定する。

第 3.11-2 図 単位体積重量の設定結果

(3) 地盤物性値の設定結果

G14 の直下又は近傍の PS 検層結果に基づいて設定した物性値を第 3.11-1 表に示す。

第 3.11-1 表 G14 の直下又は近傍の PS 検層結果に基づく物性値

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)
<u>▽G16基礎底面</u> 40.95				
<u>▽G14基礎底面</u> 38.15	軽石混り砂岩	15.8	460	1700
36.15	砂質軽石凝灰岩	14.9	460	1700
20.44	軽石混り砂岩	16.2	460	1700
18.99	凝灰岩	16.2	560	1800
14.37	軽石凝灰岩	14.7	560	1800
-10.30		15.2	680	1800
-32.30		15.2	530	1900
-56.33	凝灰岩	16.2	910	1900
-63.74	軽石凝灰岩	15.3	910	1900
<u>▽解放基盤表面</u> -70.00	—	15.3	910	1900

3.12 E 施設周辺における物性値の設定結果

(1) 速度構造の設定

速度構造については、第 2-1 表に示す E 施設周辺の PS 検層結果 (J-T, J_-5, J_-T, C_-U, K-T) により設定する。物性値の設定に用いた PS 検層孔の S 波速度、P 波速度及び地質柱状図を第 3.12-1 図に示す。

岩種境界については、E 施設周辺における複数の孔において分布する主要な岩種 (泥岩 (上部層), 砂岩・凝灰岩互層, 礫混り砂岩) の境界レベルを岩種境界として設定することとし、その境界レベルは当該岩種が分布する孔における境界レベルを平均して設定した。

速度境界の探査の結果、第 3.12-2 図～第 3.12-6 図に示すとおり、T.M.S.L. -14m, T.M.S.L. -22m, T.M.S.L. -33m, T.M.S.L. -50m 及び T.M.S.L. -57m において、各レベルを境に上層の S 波速度平均値に対する変動係数と下層の S 波速度の平均値に対する変動係数が共に急変することから、上記 5 つの標高を速度境界として設定する。なお、第 3.12-7 図に示す地質柱状図の比較結果のとおり、礫混り砂岩の上面レベルの平均高さ算定において、C_-U 孔は他の 3 孔に比べて礫混り砂岩の上面レベルの境界レベルが深く、第 3.12-1 図 (4/5) の地質柱状図のとおり T.M.S.L. -76.00m において確認される。これについては、第 3.12-1 図 (4/5) の PS 検層結果より、砂岩・凝灰岩互層から礫混り砂岩の岩種境界において速度の切り替わりは見られない。

この特徴については、E 施設周辺の C_-U 孔を除く 3 孔の速度構造でも同様の傾向となっていることから、C_-U 孔の物性値も含めて平均化することに問題はないと判断し、礫混り砂岩の上面レベルについては全ての孔の値を平均して設定した。

また、砂岩・凝灰岩互層の上面レベルの平均高さは T.M.S.L. -51m であることを踏まえ、T.M.S.L. -50m の速度境界については砂岩・凝灰岩互層の上面レベルの平均高さに補正した。

上記に基づき設定した E 施設周辺の速度構造及び PS 検層結果の比較を第 3.12-8 図に示す。

なお、E 施設周辺の速度構造については、地質構造に違いの見られる K-T 孔も含め平均化をおこなっている。

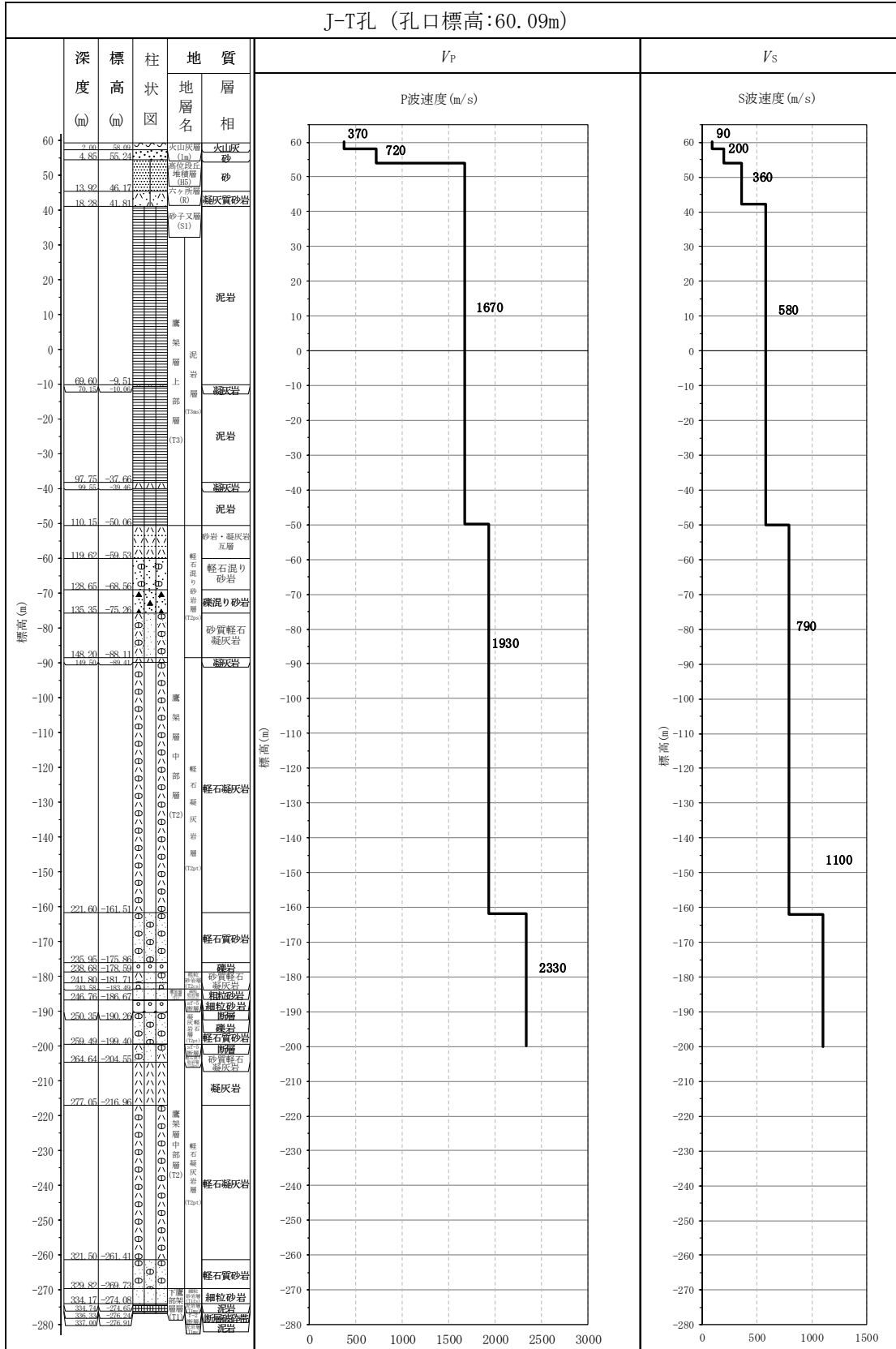
K-T 孔においては、他の 4 孔と異なり、泥岩 (上部層) の下層に軽石凝灰岩が分布し、その境界レベル (T.M.S.L. -21.98m) において速度のコントラスト (590~720m/s) が確認できる。

一方、K-T 孔以外の孔においては、軽石凝灰岩の分布は認められず、

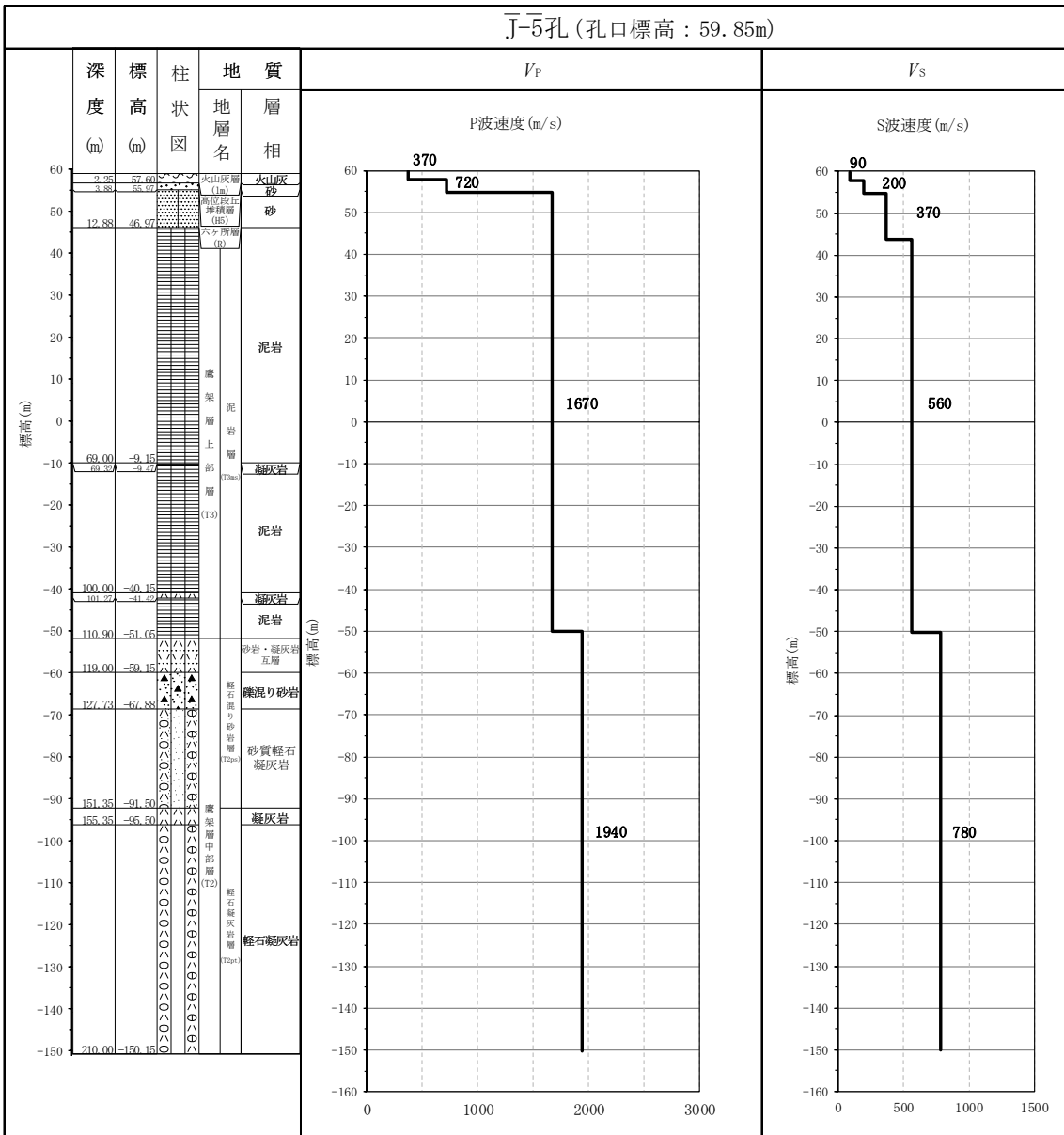
T. M. S. L. -22m 付近においては泥岩（上部層）が分布しており，泥岩（上部層）中で速度のコントラスト（510～720m/s）が確認でき，上記の K-T 孔における泥岩（上部層）と軽石凝灰岩の速度のコントラスト（590～720m/s）と同等となっている。

また，泥岩（上部層）中の速度の切り替わりレベルは，約-15m～-30m であり，K-T 孔における泥岩（上部層）と軽石凝灰岩の境界レベルと同等の標高になっている。

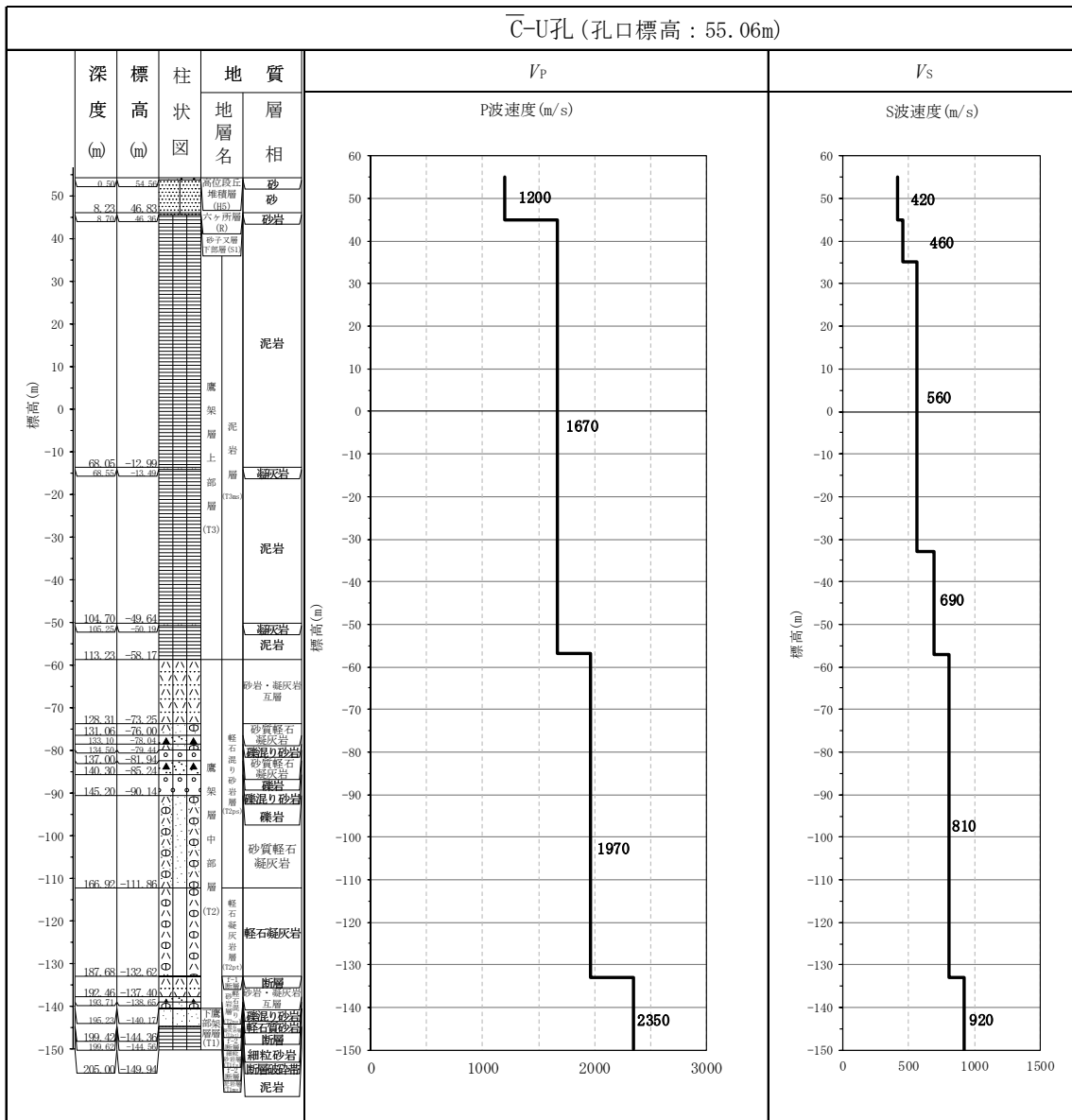
以上を踏まえ速度の切り替わりレベル及び速度のコントラストが同等であることから速度構造として K-T 孔の物性値も含めて平均化することに問題はないと判断し，速度構造については，全ての孔の値を平均して設定した。



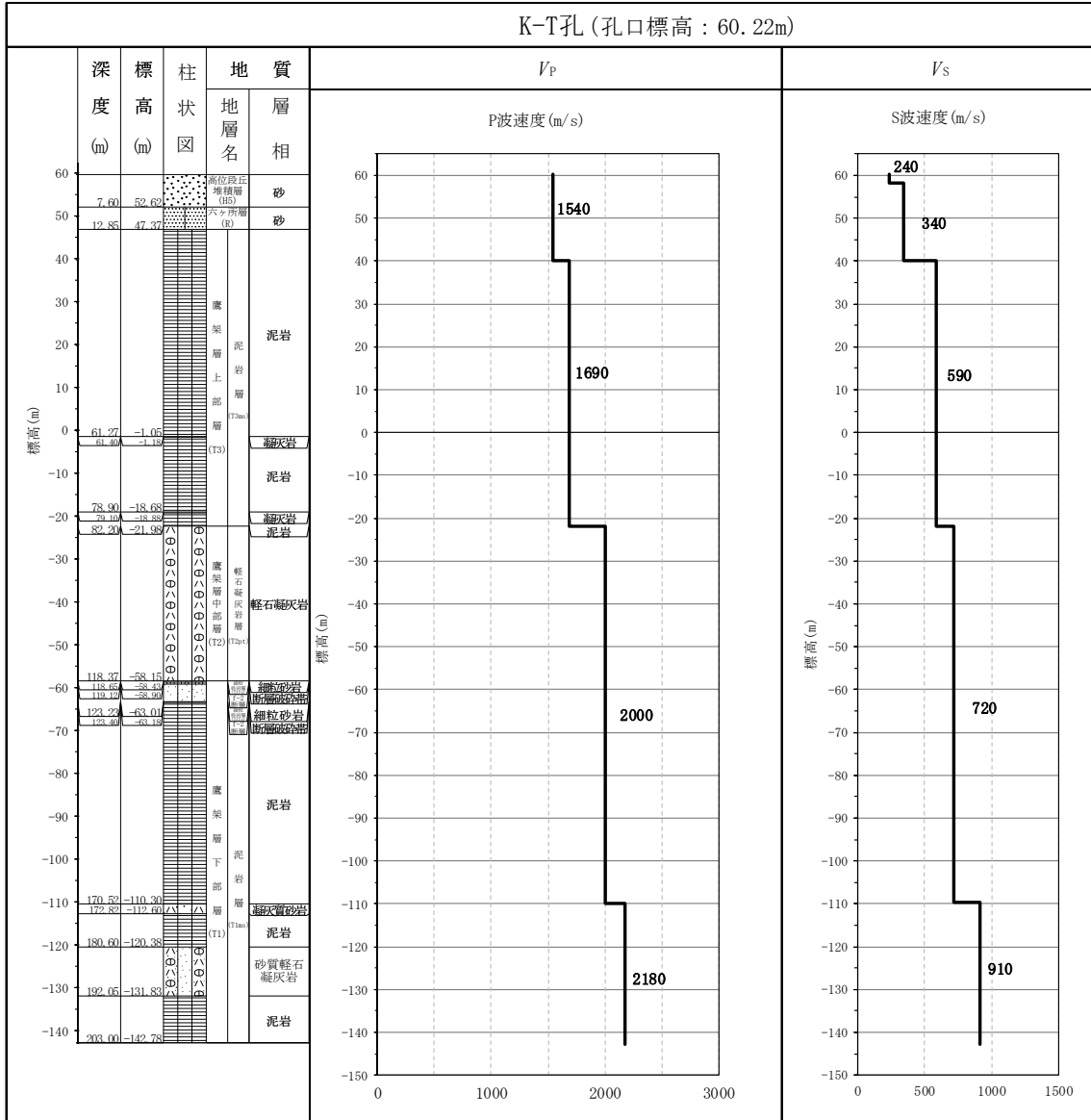
第 3.12-1 図 PS 検層結果 (E 施設周辺) (1/5)



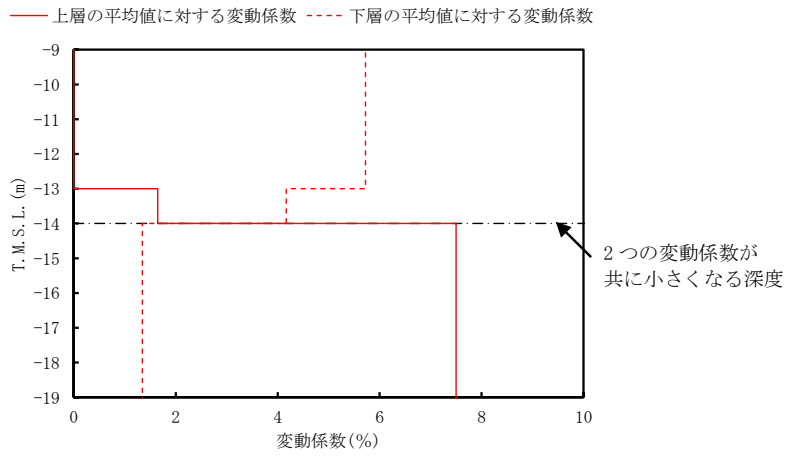
第 3.12-1 図 PS 検層結果 (E 施設周辺) (2/5)



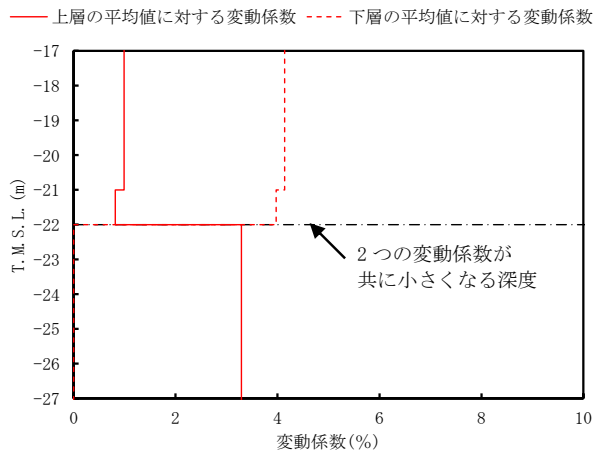
第 3.12-1 図 PS 検層結果 (E 施設周辺) (4/5)



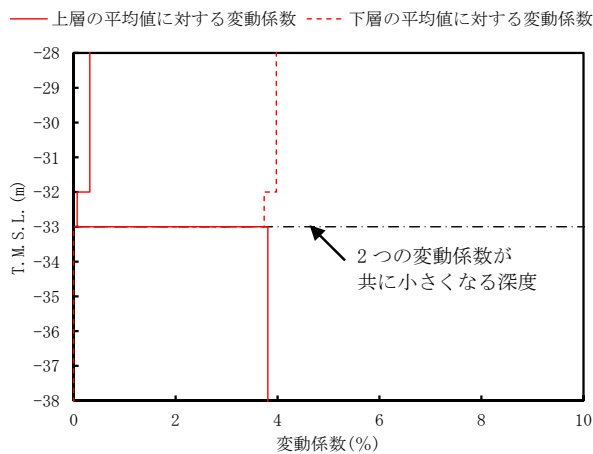
第 3.12-1 図 PS 検層結果 (E 施設周辺) (5/5)



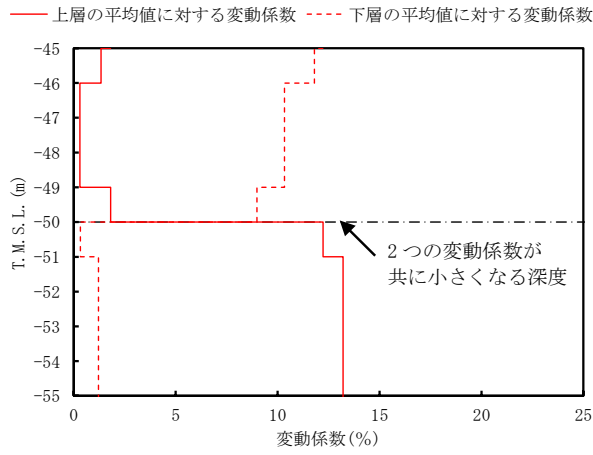
第 3.12-2 図 S 波速度の変動係数の分布 (T.M.S.L. -14m 付近)



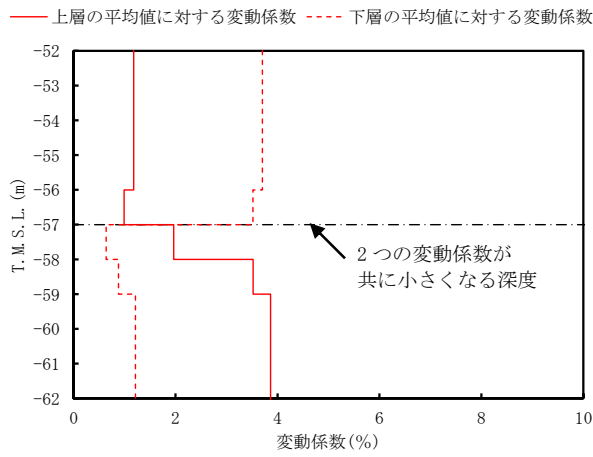
第 3.12-3 図 S 波速度の変動係数の分布 (T.M.S.L. -22m 付近)



第 3.12-4 図 S 波速度の変動係数の分布 (T.M.S.L. -33m 付近)

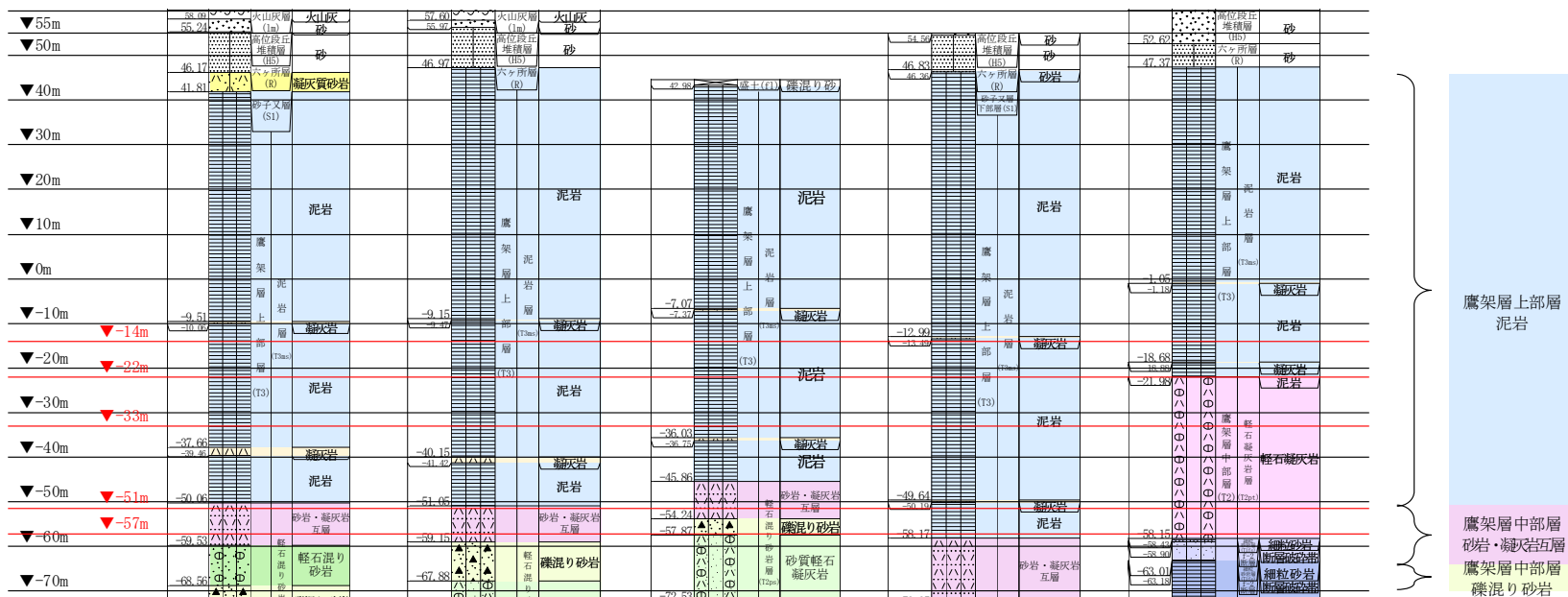


第 3.12-5 図 S 波速度の変動係数の分布 (T.M.S.L. -50m 付近)



第 3.12-6 図 S 波速度の変動係数の分布 (T.M.S.L. -57m 付近)

T. M. S. L. (m) 孔名: J-T 孔口標高: 60.09 J-5_ 59.85 J-T_ 44.22 C-U 55.06 K-T 60.22



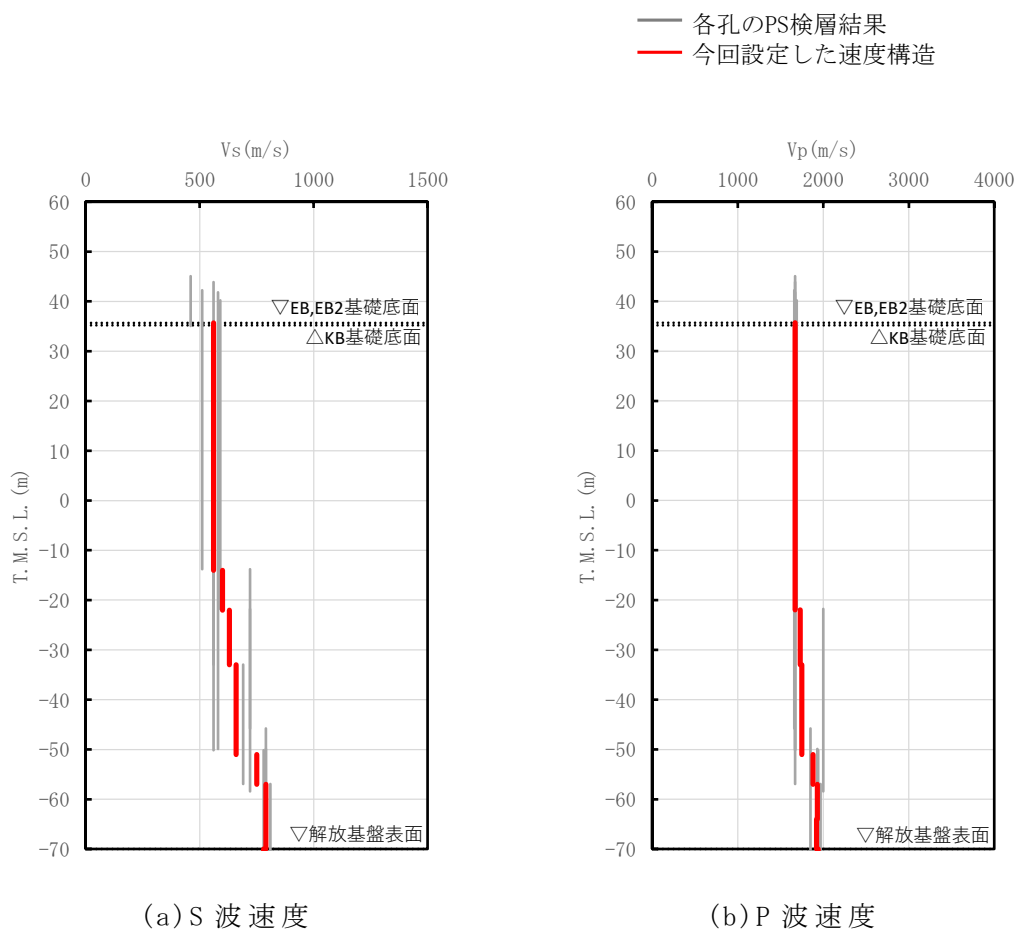
注記 : 赤線は速度境界レベルを示す。

$$\text{岩盤の最上面レベル} = (46.17 \text{ m} + 46.97 \text{ m} + 42.98 \text{ m} + 46.36 \text{ m} + 47.37 \text{ m}) / 5 = 45.97 \text{ m} \approx 46 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{砂岩・凝灰岩互層の上面レベル平均高さ} &= ((-50.06 \text{ m}) + (-51.05 \text{ m}) + (-45.86 \text{ m}) + (-58.17 \text{ m})) / 4 \\ &= -51.29 \text{ m} \approx -51 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{礫混り砂岩の上面レベル平均高さ} = ((-68.56 \text{ m}) + (-59.15 \text{ m}) + (-54.24 \text{ m}) + (-76.00 \text{ m})) / 4 = -64.49 \text{ m} \approx -64 \text{ m}$$

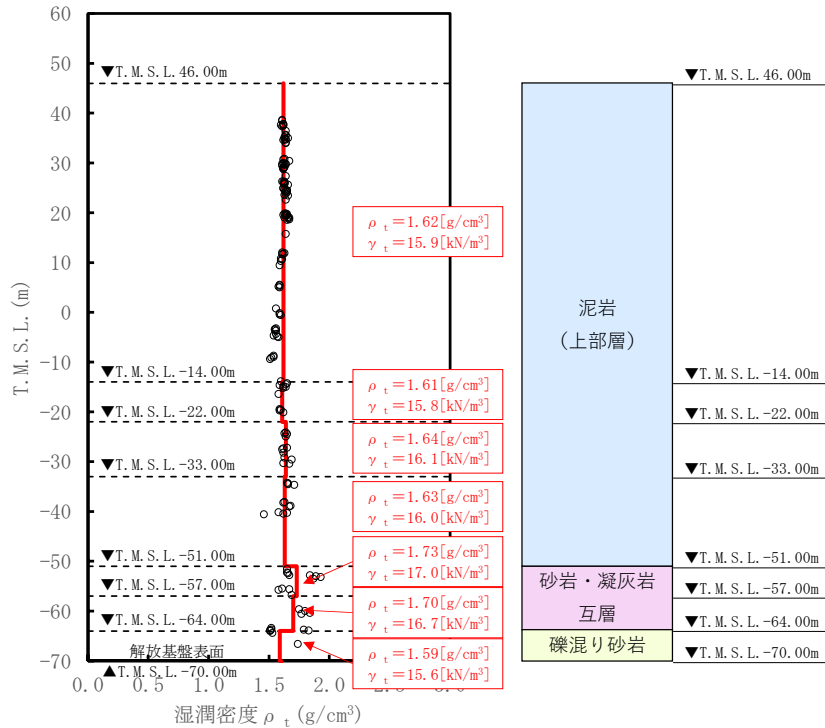
第 3.12-7 図 PS 検層孔の地質柱状図



第 3.12-8 図 E 施設周辺の速度構造と PS 検層結果の比較

(2) 単位体積重量の設定

単位体積重量は、第 3.12-9 図に示すとおり、速度構造の設定に用いた PS 検層孔において得られている湿潤密度試験結果に基づき、各岩種ごとに平均値を設定した。



注記 : 赤実線及び赤字は地盤モデルに設定した値を示す。

γ_t は ρ_t に重力加速度 ($g=9.80665\text{m/s}^2$) を乗じた値を設定する。

第 3.12-9 図 単位体積重量の設定結果

(3) 地盤物性値の設定結果

E 施設周辺の直下又は近傍の PS 検層結果に基づいて設定した物性値を第 3.12-1 表に示す。

第 3.12-1 表 E 施設周辺の直下又は近傍の PS 検層結果に基づく物性値

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)
▽EB, EB2基礎底面 35.70				
▽KB基礎底面 35.20	泥岩 (上部層)	15.9	560	1670
-14.00		15.8	600	1670
-22.00		16.1	630	1730
-33.00		16.0	660	1750
-51.00		砂岩・凝灰岩 互層	17.0	750
-57.00	16.7		790	1930
-64.00	礫混り砂岩	15.6	790	1920
▽解放基盤表面 -70.00	—	15.6	790	1920

4. まとめ

本資料においては、一般的・標準的な手法による岩盤部分の物性値等を設定した。

今後、基本地盤モデルの設定にあたっては、上記の設定結果を用いる。

岩盤部分の非線形性に係る検討について

- 文章中の下線部は R0 から R1 への変更箇所を示す。
- 本資料は、4月24日審査会合にて示した、地盤モデルの設定に係る因子のうち、岩盤部分の非線形性の設定に対する検討結果を示すものであり、令和5年6月8日に提示した「岩盤部分の非線形性に係る検討について (R0)」に対し、ヒアリングにおける指摘事項を踏まえ、記載を拡充したものである。
- 本資料の内容については、今後、補足説明資料「耐震建物 08 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」への取り込みを検討する。

目 次

	ページ
1. はじめに	1
2. 岩盤部分の非線形性の設定に係る検討	2
2.1 各グループの地下構造（岩盤分類の深さ分布）の整理	2
2.2 岩種ごとのひずみ依存特性	2
2.3 地盤応答解析の条件	9
3. 地盤応答解析結果	11
3.1 中央地盤における岩盤部分の非線形性の影響	11
3.2 東側地盤における岩盤部分の非線形性の影響	18
3.3 西側地盤における岩盤部分の非線形性の影響	24
3.4 <u>中央地盤・東側地盤・西側地盤の比較</u>	<u>26</u>
4. まとめ	28

1. はじめに

本資料は、地盤モデルの設定パラメータとなる4因子のうち、岩盤部分の非線形性について、既認可時の地盤モデルを踏襲した地盤モデル（以下、「申請地盤モデル」という。）との差分を確認するために、一般的・標準的な考え方に基づき検討結果を示すものである。

なお、検討にあたっては、一般的・標準的な考え方として、既認可時と比べ、基準地震動の増大に伴い、基準地震動 S_s が伝播した際（以下、「 S_s 地震時」という。）に地盤のせん断ひずみが大きくなり、岩盤部分においても剛性低下が生じる可能性があることを踏まえ、岩盤部分について、非線形化による剛性低下が入力地震動に及ぼす影響について以下のとおり確認を行う。

- ・ 近接する建屋グループ（全12グループ）（以下、「12グループ」という。）それぞれの直下又は近傍における地下構造（岩盤分類の深さ分布）に応じたひずみ依存特性を考慮する。
- ・ 12グループのそれぞれについて、 S_s 地震時における岩盤部分の有効せん断ひずみに応じた剛性低下を考慮した入力地震動を算定する。
- ・ 本検討において着目するのは、表層地盤部分と比較して剛性が大きく、地盤のせん断ひずみが大きくなりにくい岩盤部分であることを踏まえ、線形条件を仮定した場合の入力地震動の算定結果との比較を行う。
- ・ 上記の入力地震動の比較結果に基づき、岩盤部分の非線形性が入力地震動に与える影響について確認する。

2. 岩盤部分の非線形性の設定に係る検討

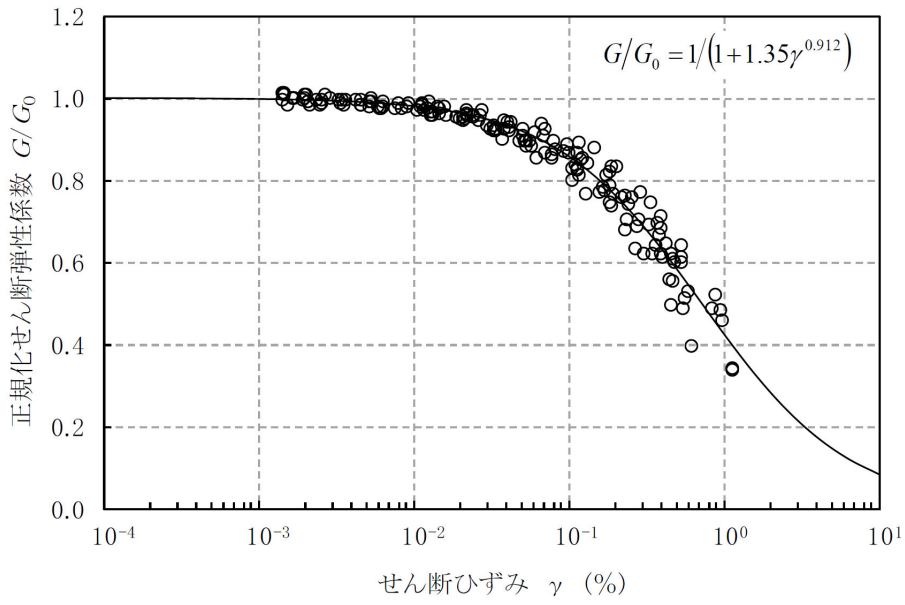
2.1 各グループの地下構造（岩盤分類の深さ分布）の整理

12グループごとの岩盤部分における地下構造については、資料「岩盤部分の物性値等の設定について」にて設定した、12グループそれぞれにおける直下又は近傍のPS検層結果を踏まえて設定した物性値及び岩盤分類ごとの深さ分布を用いる。

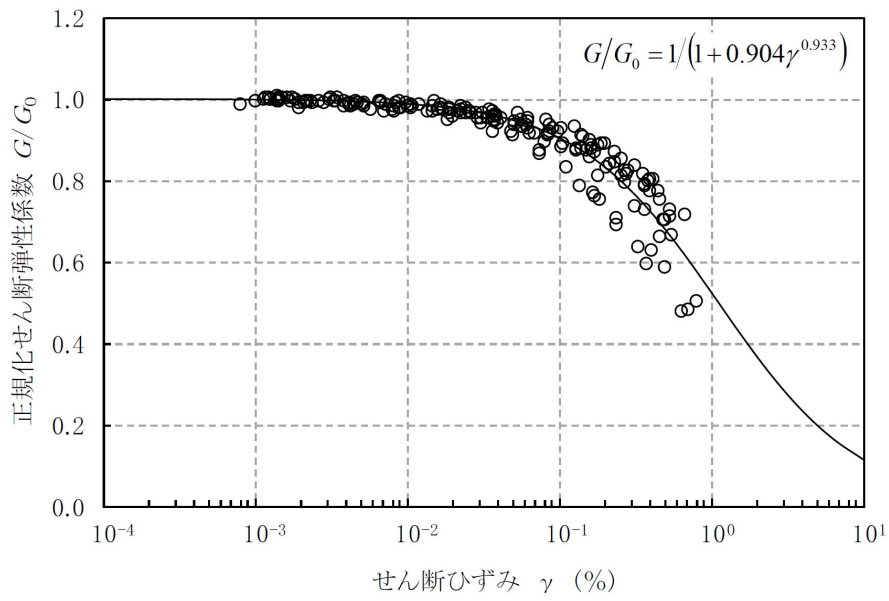
2.2 岩種ごとのひずみ依存特性

岩種ごとに設定するひずみ依存特性は、添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」及び「II-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す、敷地内のボーリング調査における室内試験結果に基づく剛性低下率（ $G/G_0-\gamma$ 曲線）とする。

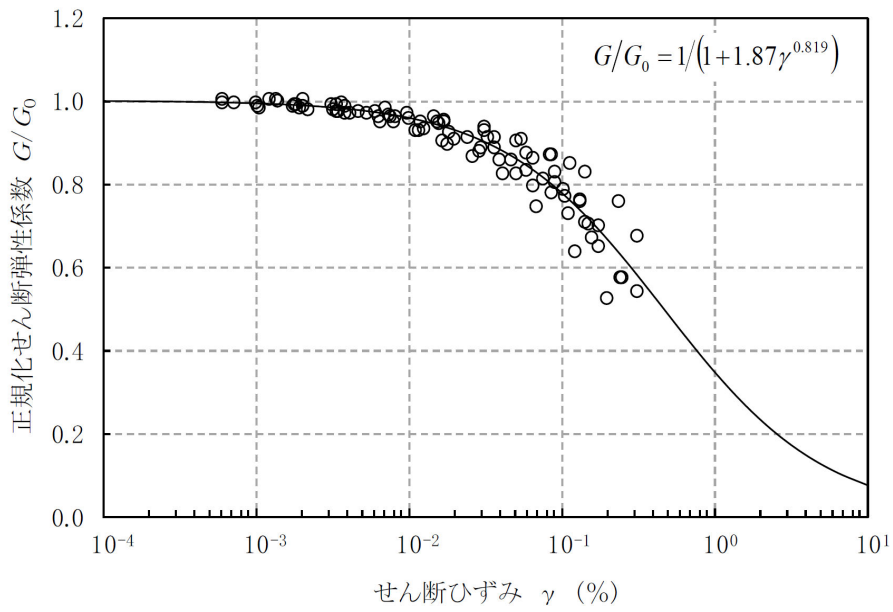
第2.2-1図～第2.2-12図に、今回の検討に用いる岩種ごとのひずみ依存特性（ $G/G_0-\gamma$ 曲線）を示す。



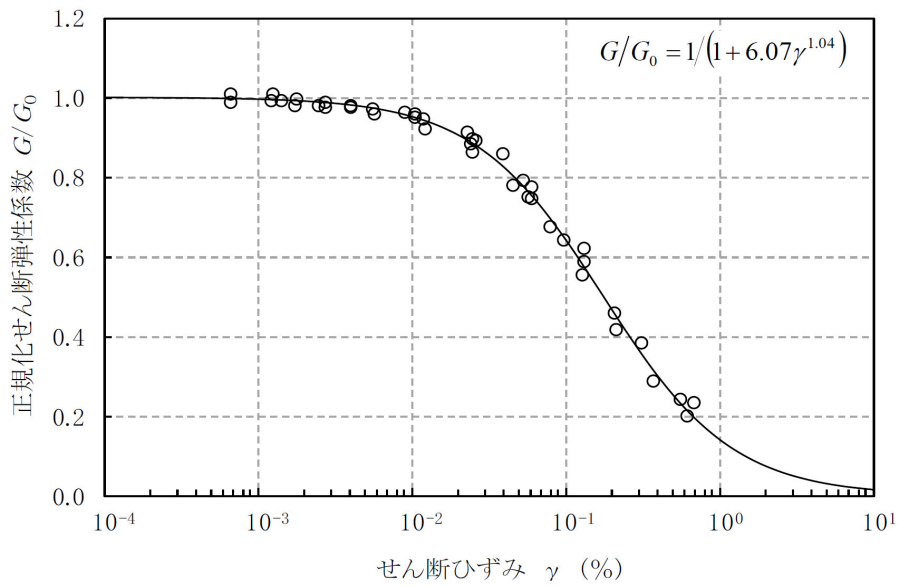
第 2.2-1 図 ひずみ依存特性 (泥岩 (上部層))



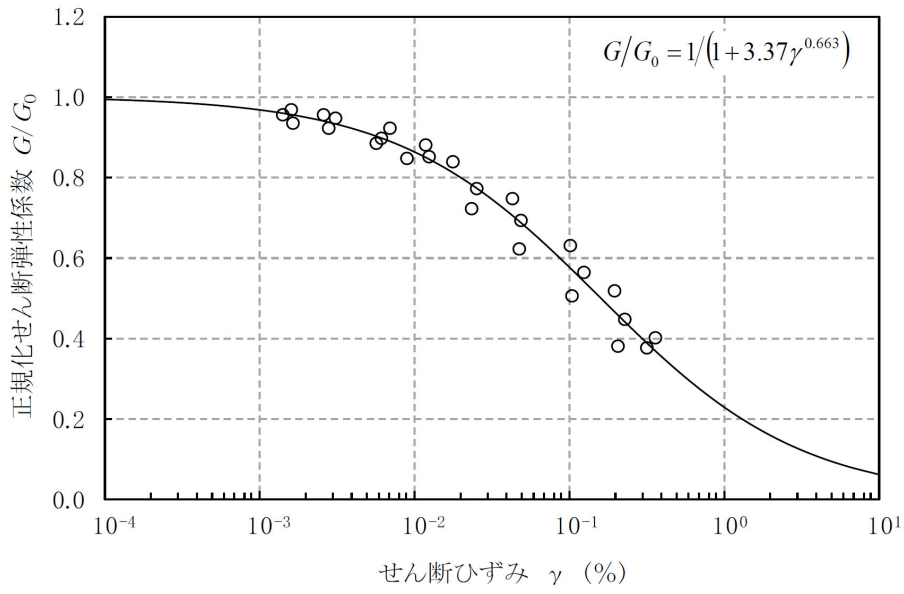
第 2.2-2 図 ひずみ依存特性 (泥岩 (下部層))



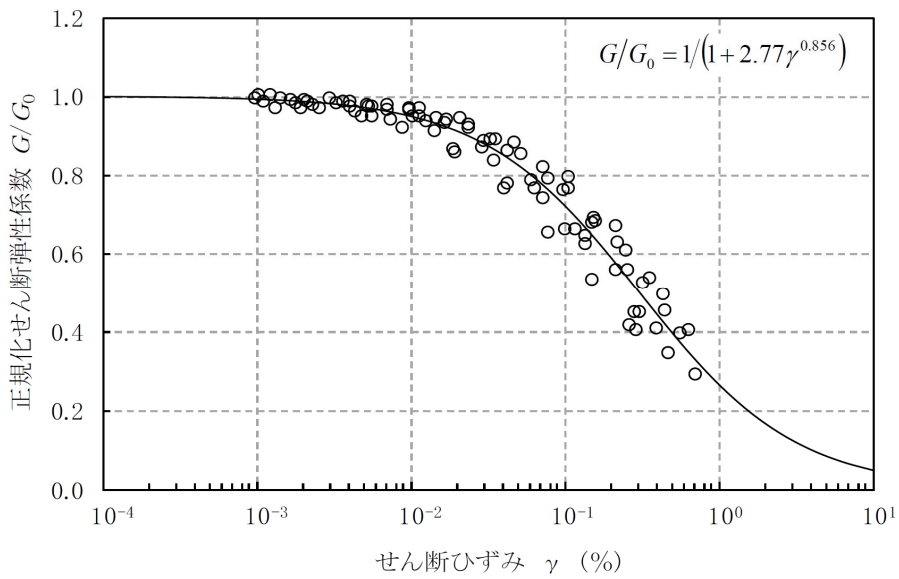
第 2.2-3 図 ひずみ依存特性（細粒砂岩）



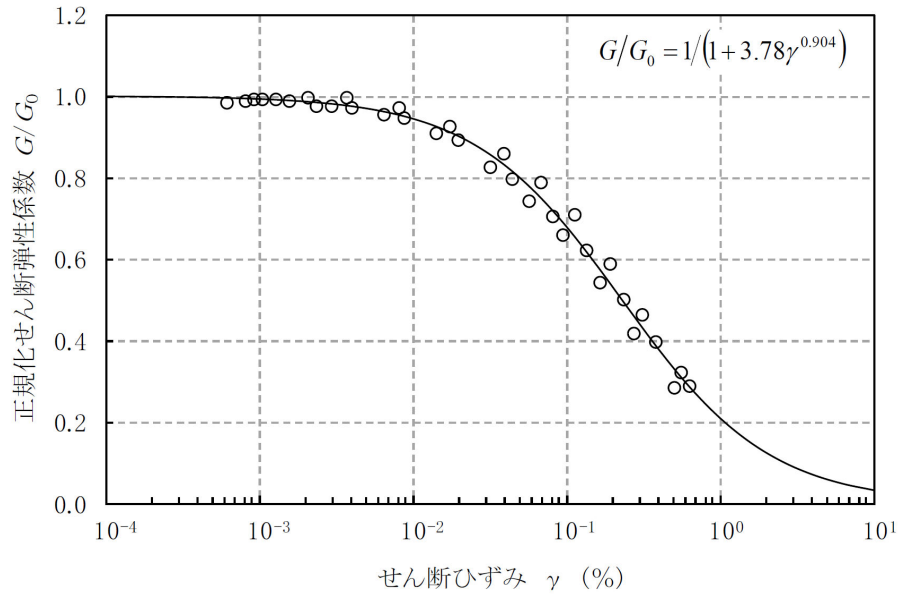
第 2.2-4 図 ひずみ依存特性（軽石質砂岩）



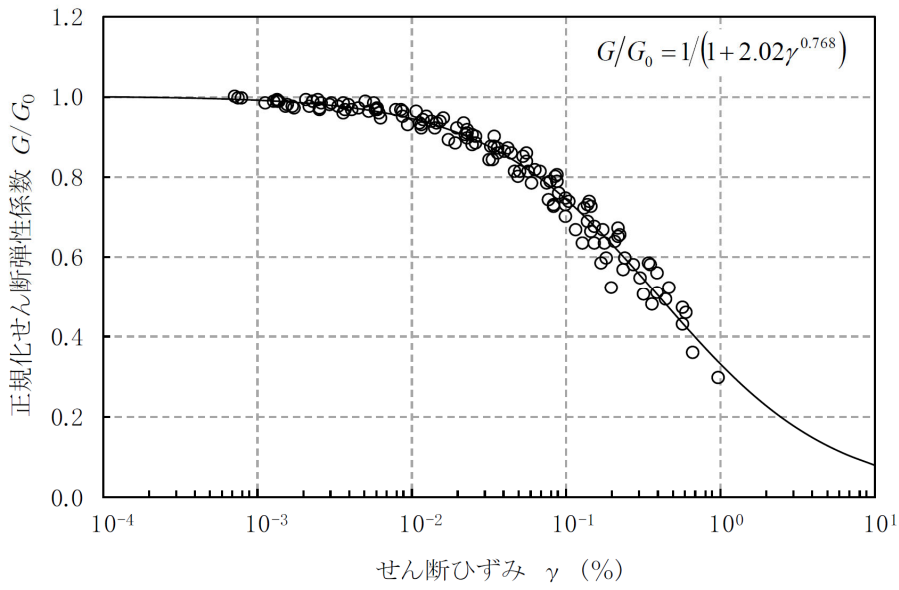
第 2.2-5 図 ひずみ依存特性 (粗粒砂岩)



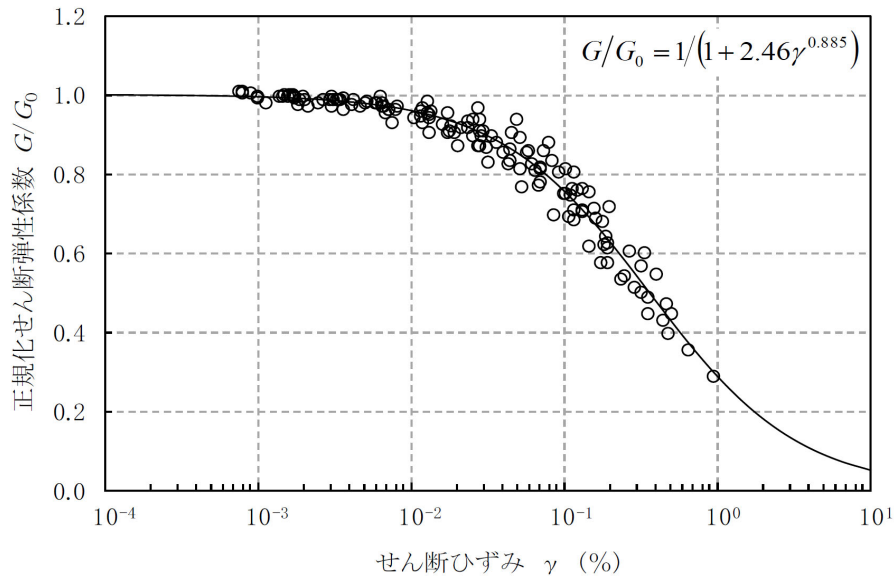
第 2.2-6 図 ひずみ依存特性 (砂岩・凝灰岩互層)



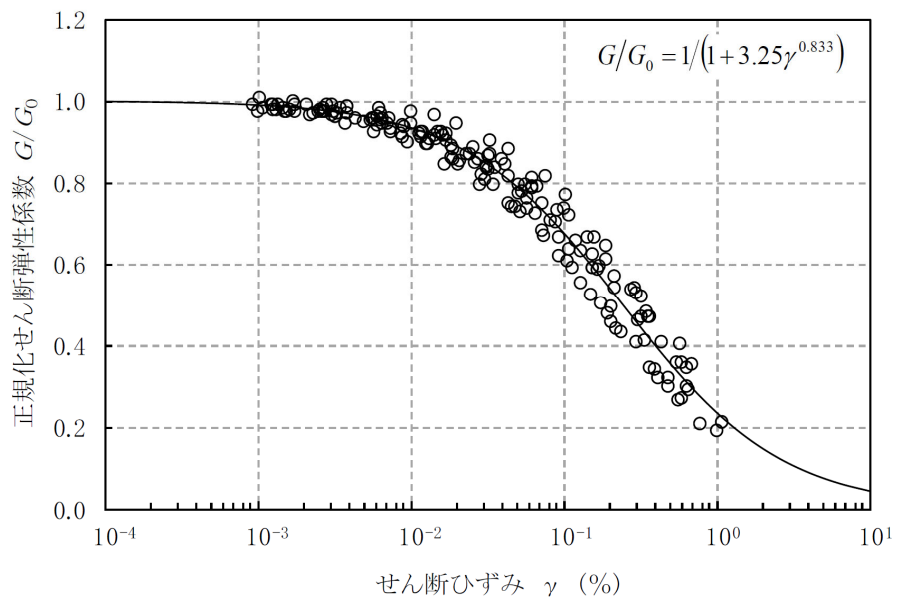
第 2.2-7 図 ひずみ依存特性（凝灰岩）



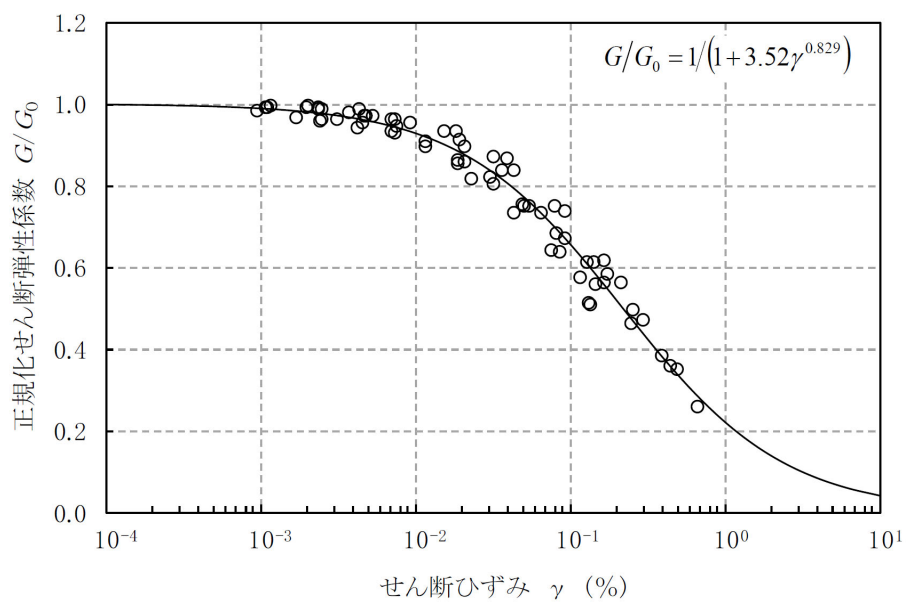
第 2.2-8 図 ひずみ依存特性（軽石凝灰岩）



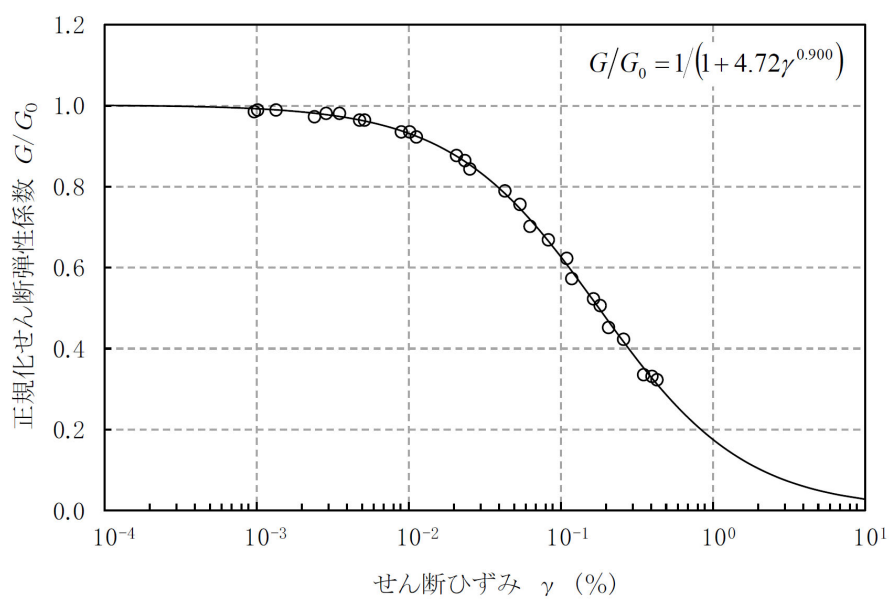
第 2.2-9 図 ひずみ依存特性 (砂質軽石凝灰岩)



第 2.2-10 図 ひずみ依存特性 (礫混り砂岩)



第 2.2-11 図 ひずみ依存特性（軽石混り砂岩）



第 2.2-12 図 ひずみ依存特性（礫岩）

2.3 地盤応答解析の条件

岩盤部分の非線形性の影響を確認するため、基準地震動 S_s -A に対する地盤の等価線形解析を実施し、有効せん断ひずみ、剛性低下率 G/G_0 及び基礎底面レベルの加速度応答スペクトルについて確認を行った。

地盤の等価線形解析について、岩盤部分の物性値は、12 グループそれぞれにおいて設定した物性値を初期物性値として設定し、「2.2 岩種ごとのひずみ依存特性」に示すひずみ依存特性 (G/G_0 - γ 曲線) を設定する。なお、基礎底面レベルから地表面レベルの表層地盤及び岩盤部分の減衰定数について、今回の検討では岩盤部分の非線形化に伴う剛性低下が入力地震動に及ぼす影響を確認することが目的であることから、以下の条件を仮定して等価線形解析を行った。

- ・表層地盤の物性値については、敷地内一律の値として、添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」及び「II-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す物性値を仮定
- ・岩盤部分の減衰定数については、敷地内一律の値として 3% を仮定
- ・岩盤部分の物性値として、解放基盤表面以深の物性値については、いずれのグループにおいても敷地内の平均的な値を設定*

また、岩盤部分の物性値は各グループ内それぞれで同一であり、基礎底面レベルの違いによる層厚の違いはあるものの、岩盤のせん断ひずみレベルについては、大きく変わらないと考えられるため、地盤の等価線形解析を実施する建屋は、12 グループそれぞれ 1 建屋を代表として解析を実施した。

その上で、上記の等価線形解析による基礎底面レベルの加速度応答スペクトルに対し、岩盤部分を線形条件とした場合の結果と比較を行うことで、 S_s 地震時の岩盤部分の剛性低下が入力地震動に及ぼす影響の確認を行った。

なお、上記の検討に加え、岩盤の非線形性の考慮の有無による入力地震動の算定結果への感度を確認する観点で実施した、岩盤に 10% の剛性低下を与えた条件での確認結果も参考値として示す。

注記 * : 今回検討においては、解放基盤表面 (T.M.S.L. -70m) ~ 基礎底面レベルまでの岩盤部分における非線形化の影響を確認することが目的であり、上記 3 つの解析 (等価線形解析, 線形解析, 感度

確認用の解析)における解放基盤表面以深の物性値はいずれも同じ値として評価を行っているため、岩盤部分の非線形性の影響を解析条件ごとの相対的な比較を行ううえでは問題ないと判断した。

3. 地盤応答解析結果

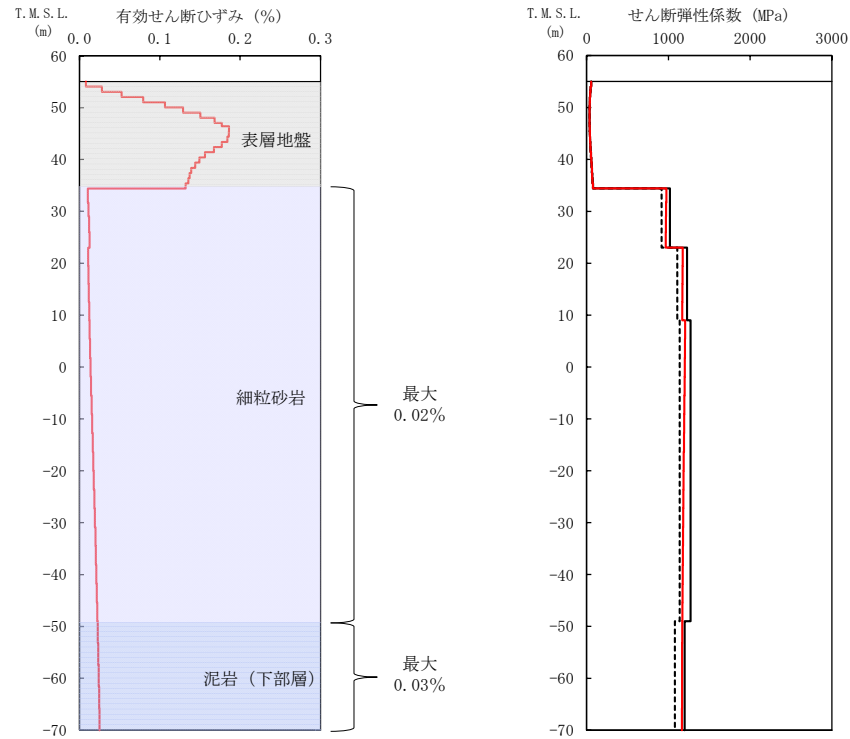
3.1 中央地盤における岩盤部分の非線形性の影響

中央地盤における各グループの等価線形解析の結果として、地盤の有効せん断ひずみ分布、収束剛性分布、収束物性値及び各建屋の基礎底面レベルにおける入力地震動の加速度応答スペクトルを第 3.1-1 図～第 3.1-6 図に示す。

地盤の等価線形解析の結果、各岩種の有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 は以下のとおりとなっていることを確認した。なお、以下に記載する最大有効せん断ひずみの値については、中央地盤の全 6 グループの中で最大の値を記載している。

- ・細粒砂岩：最大有効せん断ひずみ 0.03%，剛性低下率 G/G_0 0.911
- ・泥岩(下部層)：最大有効せん断ひずみ 0.03%，剛性低下率 G/G_0 0.969
- ・粗粒砂岩：最大有効せん断ひずみ 0.01%，剛性低下率 G/G_0 0.827

基礎底面レベルの加速度応答スペクトルの比較結果から、線形条件と等価線形解析の結果については、周期特性に顕著な乖離がないことから、中央地盤の各グループにおいて、0.01%～0.03%程度の有効せん断ひずみに対する剛性低下の影響は十分に小さいことを確認した。



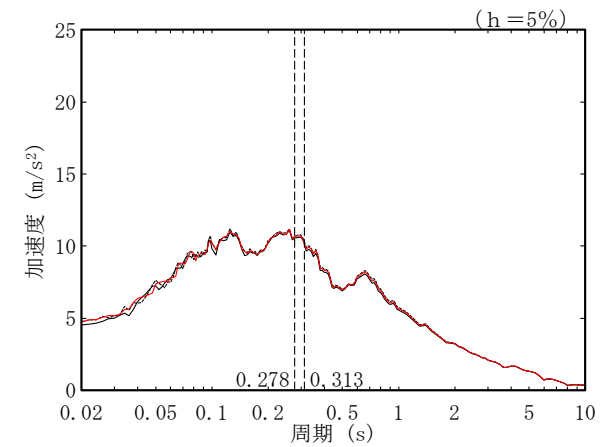
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AB基礎底面						
34.39	細粒砂岩	18.2	1020	971	0.952	0.03
23.00		18.4	1230	1172	0.953	0.03
9.00		18.0	1270	1188	0.935	0.03
-49.00	泥岩(下部層)	17.5	1200	1167	0.973	0.03
▽解放基礎表面	-	17.0	1164	1164	1.000	0.03

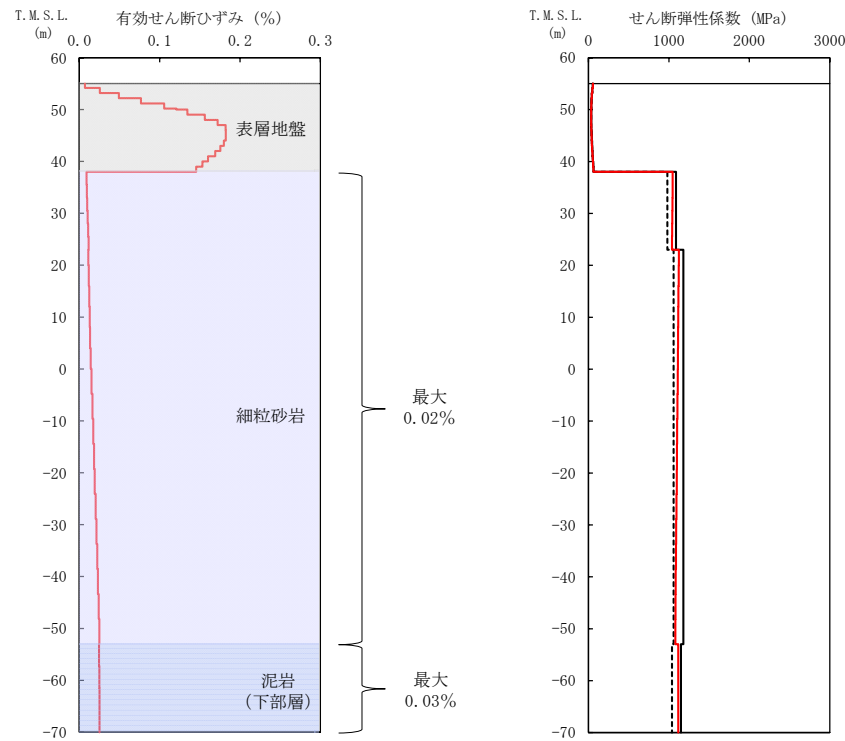
(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

第 3.1-1 図 地盤の等価線形解析結果 (AA 周辺, AB)



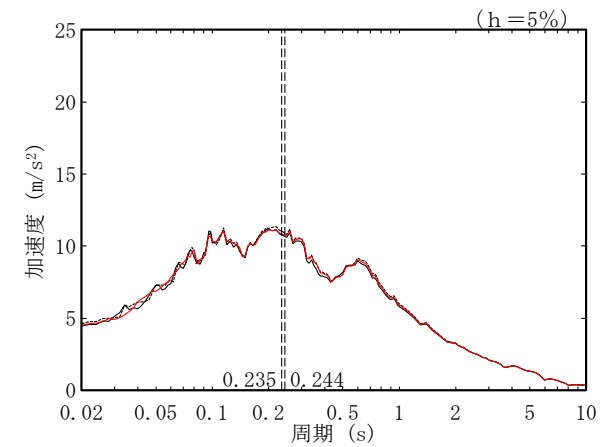
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽FA基礎底面						
38.00	細粒砂岩	18.5	1090	1044	0.958	0.03
23.00		18.0	1180	1102	0.934	0.03
-53.00	泥岩(下部層)	17.3	1150	1117	0.971	0.03
▽解放基礎表面		-	17.0	1164	1164	1.000

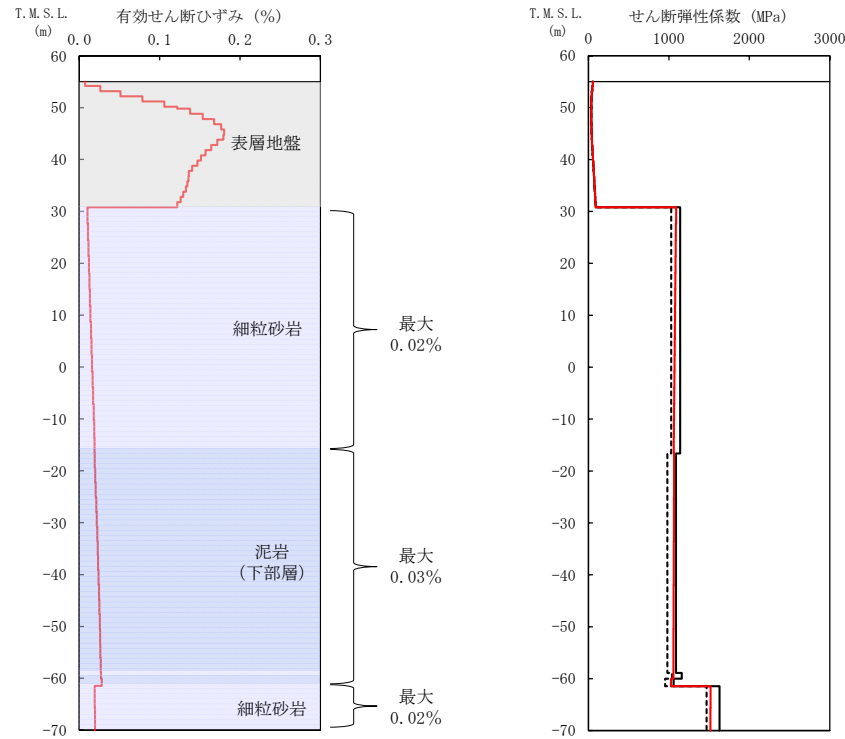
(c) 収束物性値



(d) 加速度応答スペクトル

* : 図中の縦点線は建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

第 3.1-2 図 地盤の等価線形解析結果 (F 施設周辺, FA)



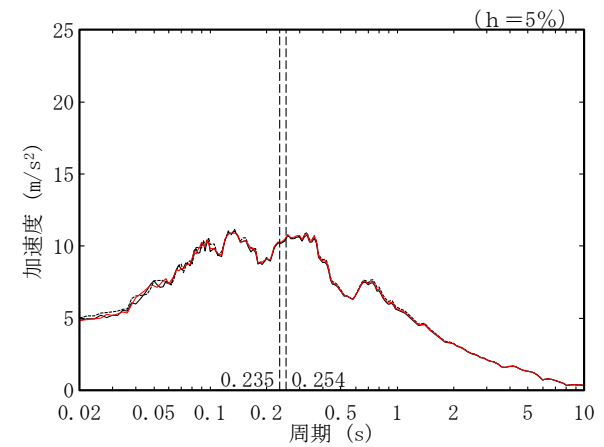
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN}/\text{m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN}/\text{m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AE基礎底面						
30.80	細粒砂岩	17.9	1140	1076	0.944	0.03
-16.63	泥岩(下部層)	17.2	1090	1061	0.973	0.03
-58.90	細粒砂岩	18.2	1160	1057	0.911	0.03
-60.02	泥岩(下部層)	16.7	1060	1027	0.969	0.03
-61.46	細粒砂岩	18.4	1630	1517	0.931	0.03
▽解放基盤表面						
-70.00	—	17.0	1164	1164	1.000	0.03

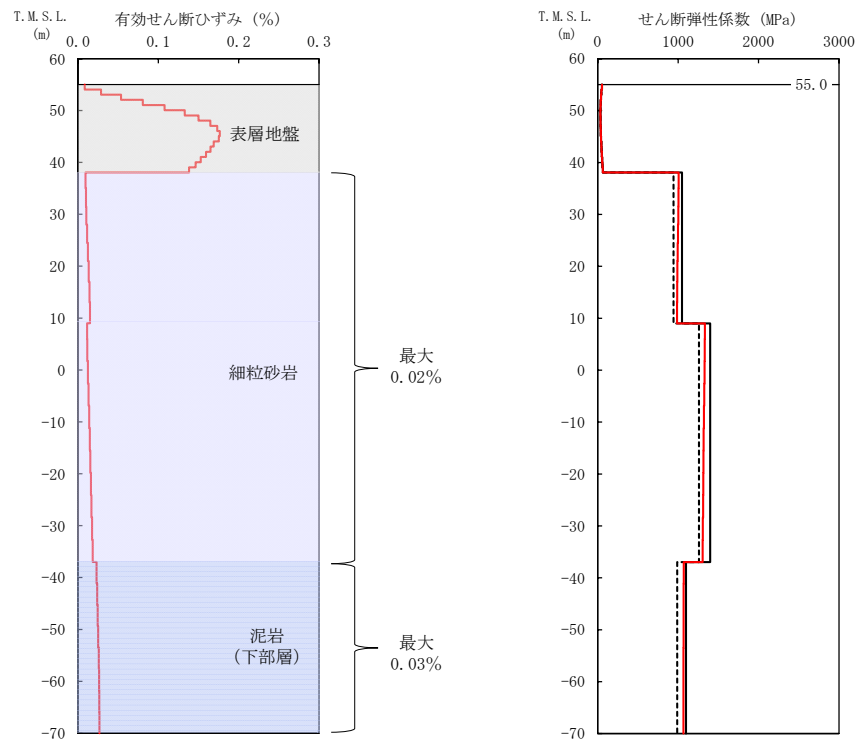
(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

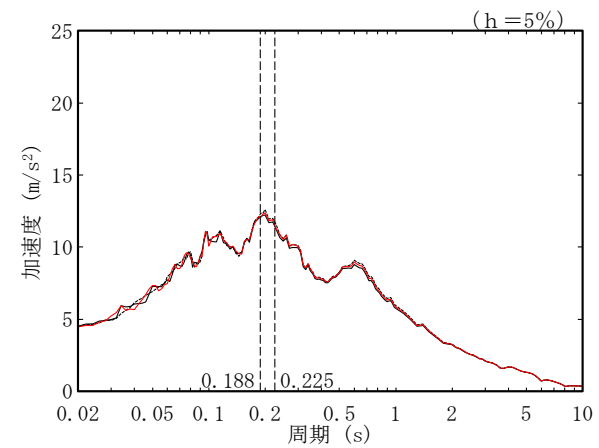
(d) 加速度応答スペクトル

第 3.1-3 図 地盤の等価線形解析結果 (AE)



T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AG基礎底面						
38.05						
9.00	細粒砂岩	18.3	1050	997	0.950	0.03
-37.00	泥岩(下部層)	18.1	1400	1319	0.942	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	17.0	1164	1164	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

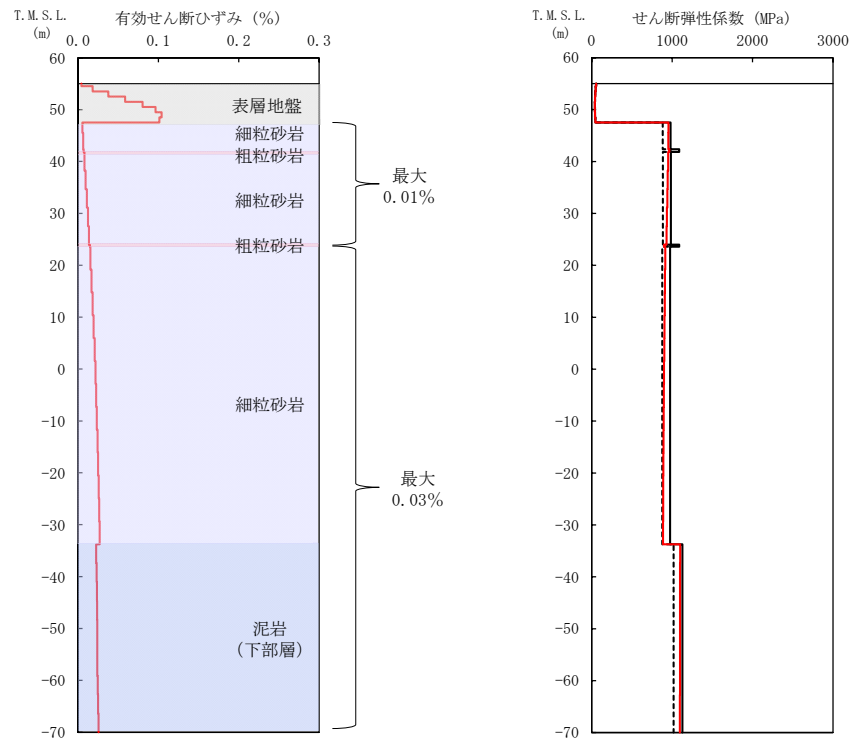
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 3.1-4 図 地盤の等価線形解析結果 (AG)



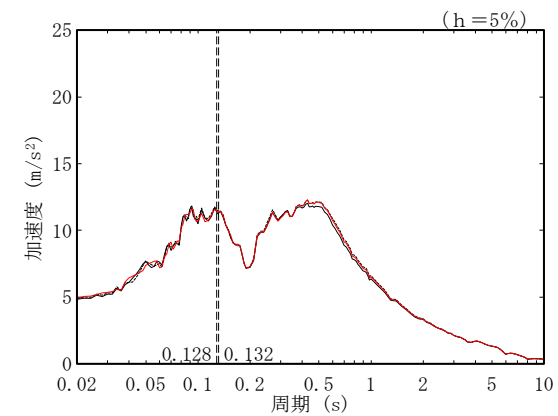
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽GA基礎底面						
47.50	細粒砂岩	18.1	982	955	0.973	0.03
42.34	粗粒砂岩	20.1	1090	967	0.887	0.03
41.81	細粒砂岩	18.1	986	942	0.955	0.03
23.96	粗粒砂岩	20.1	1090	901	0.827	0.03
23.58	細粒砂岩	18.0	975	900	0.923	0.03
-33.75	泥岩(下部層)	17.4	1130	1099	0.973	0.03
▽解放基盤表面						
-70.00	-	17.0	1164	1164	1.000	0.03

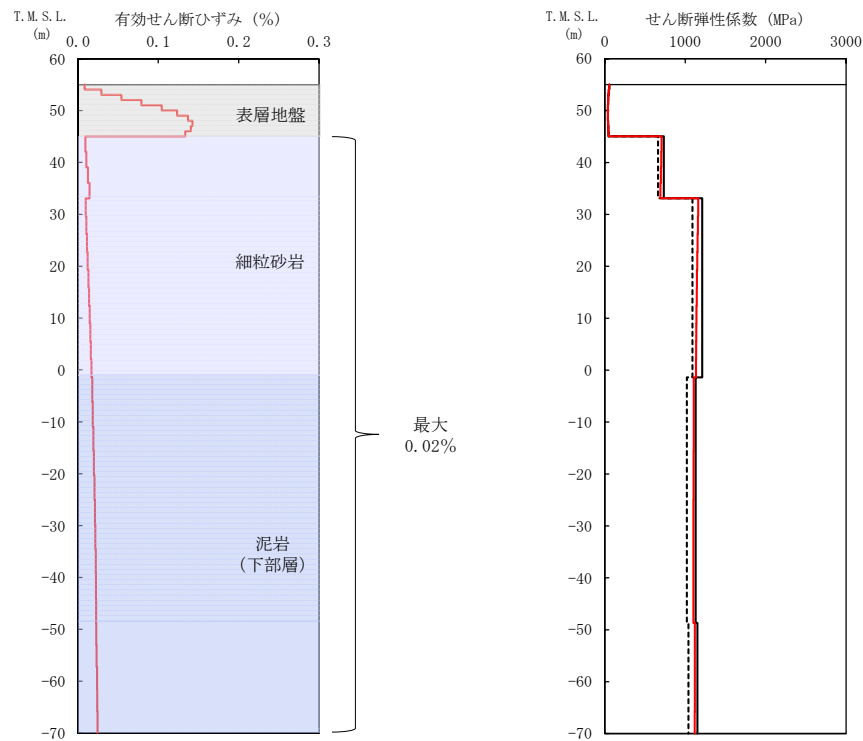
(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

第 3.1-5 図 地盤の等価線形解析結果 (GA)



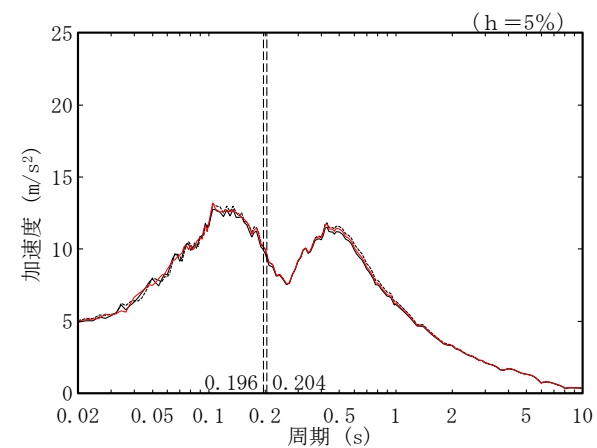
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽DC基礎底面						
45.03						
33.09	細粒砂岩	18.1	734	699	0.952	0.03
-1.41		18.0	1210	1146	0.947	0.03
-48.71	泥岩(下部層)	16.9	1130	1103	0.976	0.03
▽解放基礎表面		17.3	1150	1119	0.973	0.03
-70.00	—	17.0	1164	1164	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

第 3.1-6 図 地盤の等価線形解析結果 (DC)

3.2 東側地盤における岩盤部分の非線形性の影響

東側地盤における等価線形解析の結果として、地盤の有効せん断ひずみ分布、収束剛性分布、収束物性値及び各建屋の基礎底面レベルにおける入力地震動の加速度応答スペクトルを第 3.2-1 図～第 3.2-5 図に示す。

地盤の等価線形解析の結果、AC, CA, CB 及び AZ 周辺の各岩種の有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 は以下のとおりとなっていることを確認した。なお、以下に記載する最大有効せん断ひずみの値については、上記 4 グループの中で最大の値を記載している。

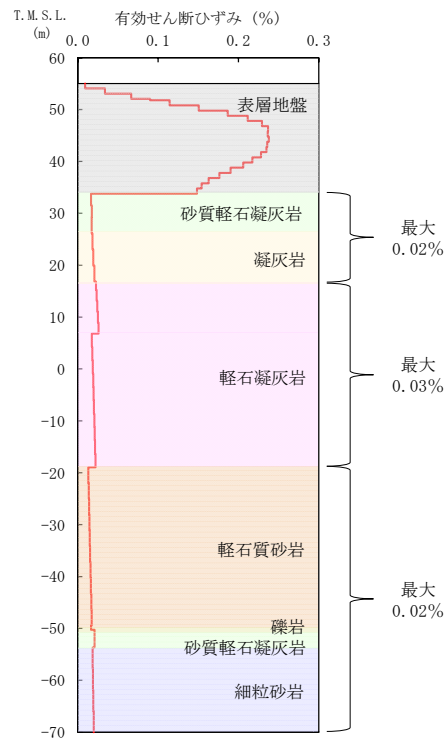
- ・砂質軽石凝灰岩：最大有効せん断ひずみ 0.03%，剛性低下率 G/G_0 0.910
- ・凝灰岩：最大有効せん断ひずみ 0.04%，剛性低下率 G/G_0 0.851
- ・軽石凝灰岩：最大有効せん断ひずみ 0.04%，剛性低下率 G/G_0 0.864
- ・軽石質砂岩：最大有効せん断ひずみ 0.02%，剛性低下率 G/G_0 0.911
- ・軽石混り砂岩：最大有効せん断ひずみ 0.01%，剛性低下率 G/G_0 0.916
- ・礫岩：最大有効せん断ひずみ 0.02%，剛性低下率 G/G_0 0.893
- ・細粒砂岩：最大有効せん断ひずみ 0.02%，剛性低下率 G/G_0 0.923

また、G14 の各岩種の有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 は以下のとおりとなっていることを確認した。なお、以下に記載する最大有効せん断ひずみの値については、最大の値を記載している。

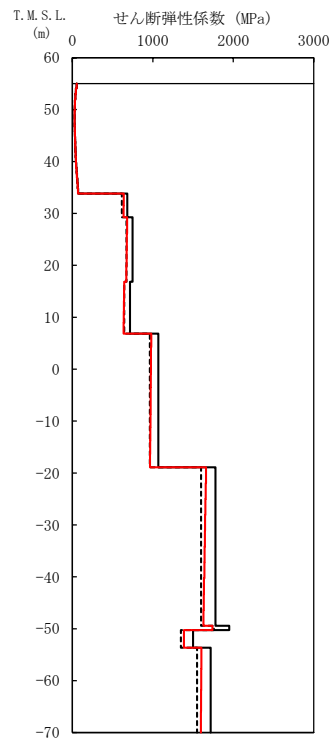
- ・砂質軽石凝灰岩：有効せん断ひずみ 0.05%，剛性低下率 G/G_0 0.876
- ・凝灰岩：有効せん断ひずみ 0.03%，剛性低下率 G/G_0 0.849
- ・軽石凝灰岩：有効せん断ひずみ 0.08%，剛性低下率 G/G_0 0.779
- ・軽石混り砂岩：有効せん断ひずみ 0.05%，剛性低下率 G/G_0 0.774

G14 については、AC, CA, CB 及び AZ 周辺と比べ、軽石凝灰岩の有効せん断ひずみが大きい傾向となっている。これは、その他グループにおける同程度の深さの軽石凝灰岩 (G_0 =約 1100MPa) と比較して、G14 では初期せん断弾性係数が小さくなっている (G_0 =約 450MPa) ことに起因しており、地震時の地盤のせん断ひずみが卓越しやすい物性値となっているためである。

基礎底面レベルの加速度応答スペクトルの比較結果から、線形条件と等価線形解析の結果については周期特性に顕著な乖離がないことから、AC, CA, CB, AZ 周辺及び G14 において 0.01%～0.08% 程度の有効せん断ひずみに対する剛性低下の影響は十分に小さいことを確認した。



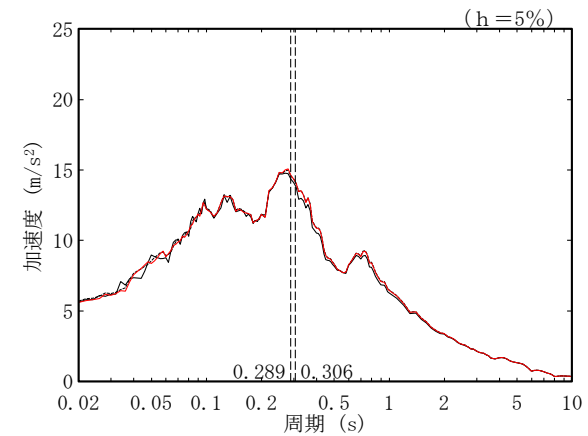
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単体体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AC基礎底面						
33.80	砂質軽石凝灰岩	14.5	684	640	0.936	0.03
29.24	凝灰岩	15.9	749	677	0.904	0.03
16.82	軽石凝灰岩	15.2	717	641	0.894	0.03
6.82		15.3	1070	973	0.909	0.03
-18.93	軽石質砂岩	18.9	1780	1646	0.925	0.03
-49.43	礫岩	20.8	1950	1742	0.893	0.03
-50.28	砂質軽石凝灰岩	16.0	1500	1388	0.925	0.03
-53.68	細粒砂岩	18.3	1720	1601	0.931	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値

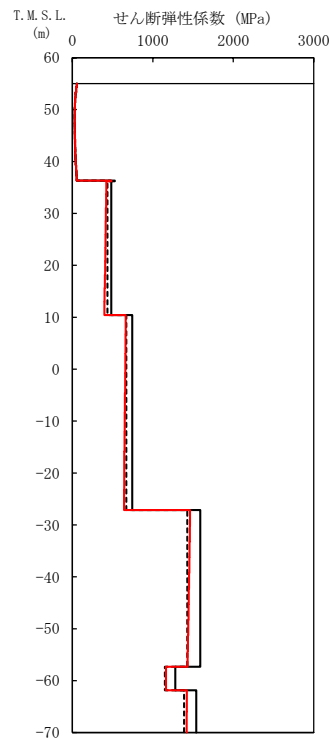
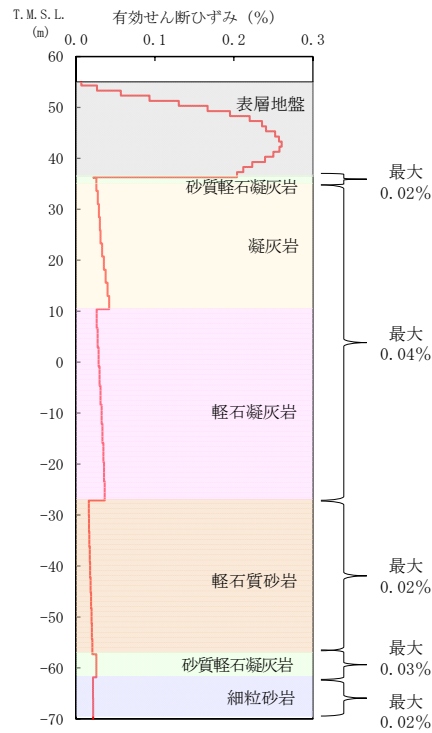


* : 図中の縦点線は建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

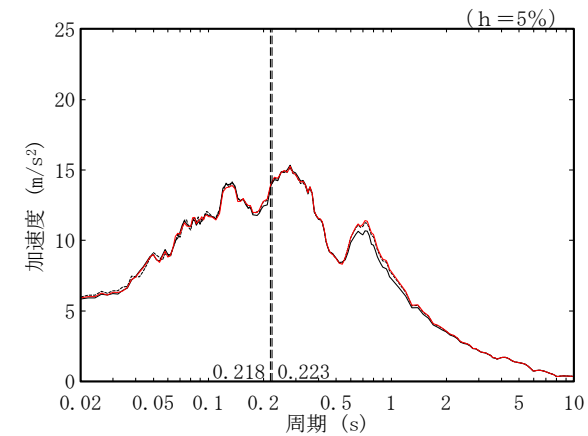
- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 3.2-1 図 地盤の等価線形解析結果 (AC)



T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^4 \text{kN/m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^4 \text{kN/m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽CA基礎底面						
36.30	砂質軽石凝灰岩	17.2	529	486	0.919	0.03
36.19	凝灰岩	15.7	484	412	0.851	0.03
10.42	軽石凝灰岩	14.5	746	653	0.875	0.03
-27.16	軽石質砂岩	18.8	1590	1449	0.911	0.03
-57.33	砂質軽石凝灰岩	15.2	1280	1165	0.910	0.03
-61.86	細粒砂岩	18.2	1540	1422	0.923	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	—	18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

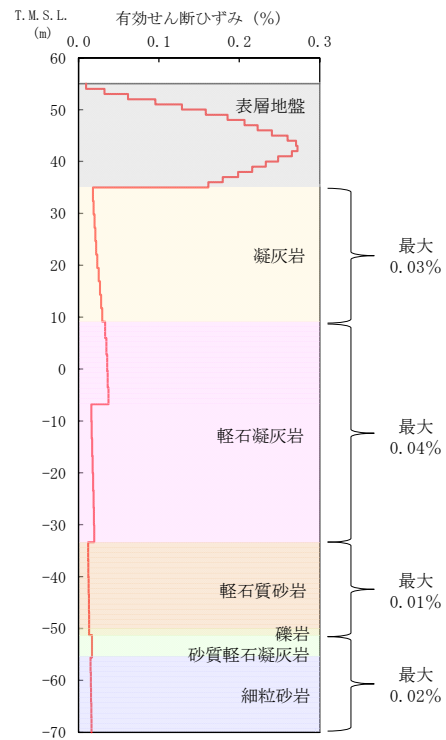
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

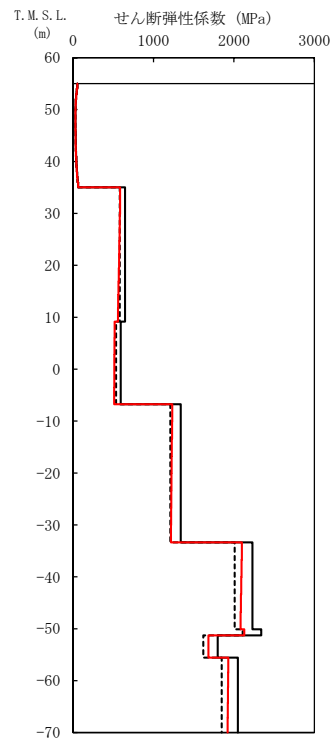
(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 3.2-2 図 地盤の等価線形解析結果 (CA)



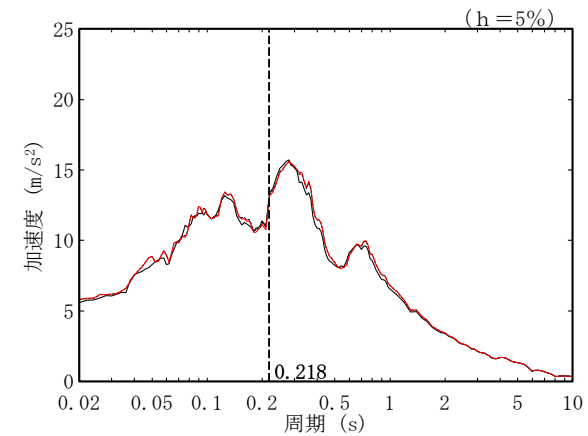
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN}/\text{m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN}/\text{m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽CB基礎底面						
35.00	凝灰岩	16.0	647	574	0.887	0.03
9.13	軽石凝灰岩	14.7	595	515	0.866	0.03
-6.77		16.3	1340	1226	0.915	0.03
-33.37	軽石質砂岩	19.8	2230	2092	0.938	0.03
-50.12	礫岩	20.8	2340	2130	0.910	0.03
-51.28	砂質軽石凝灰岩	16.0	1800	1685	0.936	0.03
-55.59	細粒砂岩	18.2	2050	1926	0.940	0.03
▽解放基礎表面		-	18.1	1601	1601	1.000

(c) 収束物性値

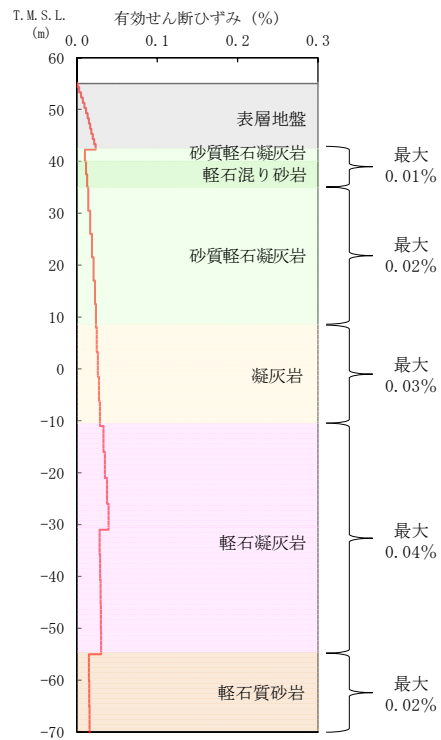


* : 図中の縦点線は建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

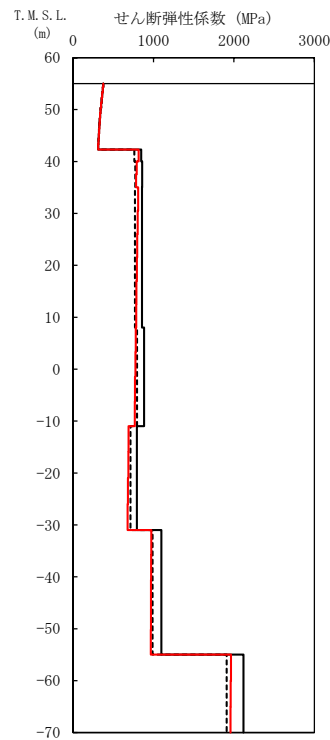
(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 3.2-3 図 地盤の等価線形解析結果 (CB)



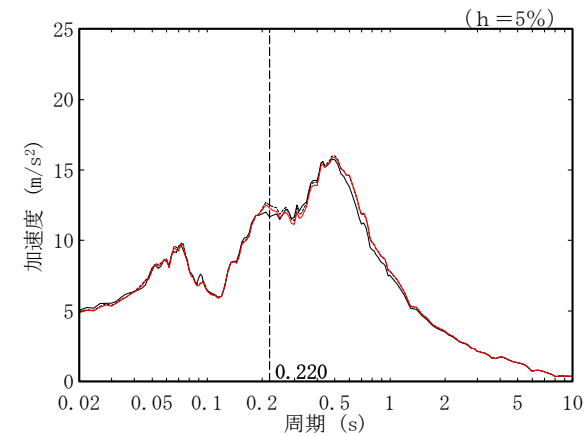
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN}/\text{m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN}/\text{m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AZ基礎底面						
42.30	砂質軽石凝灰岩	14.4	849	816	0.961	0.03
40.00	軽石混り砂岩	14.6	861	789	0.916	0.03
35.00	砂質軽石凝灰岩	15.8	858	798	0.930	0.03
8.00	凝灰岩	16.3	885	774	0.875	0.03
-11.00	軽石凝灰岩	14.6	794	686	0.864	0.03
-31.00		15.6	1100	971	0.883	0.03
-55.00	軽石質砂岩	18.1	2120	1961	0.925	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値

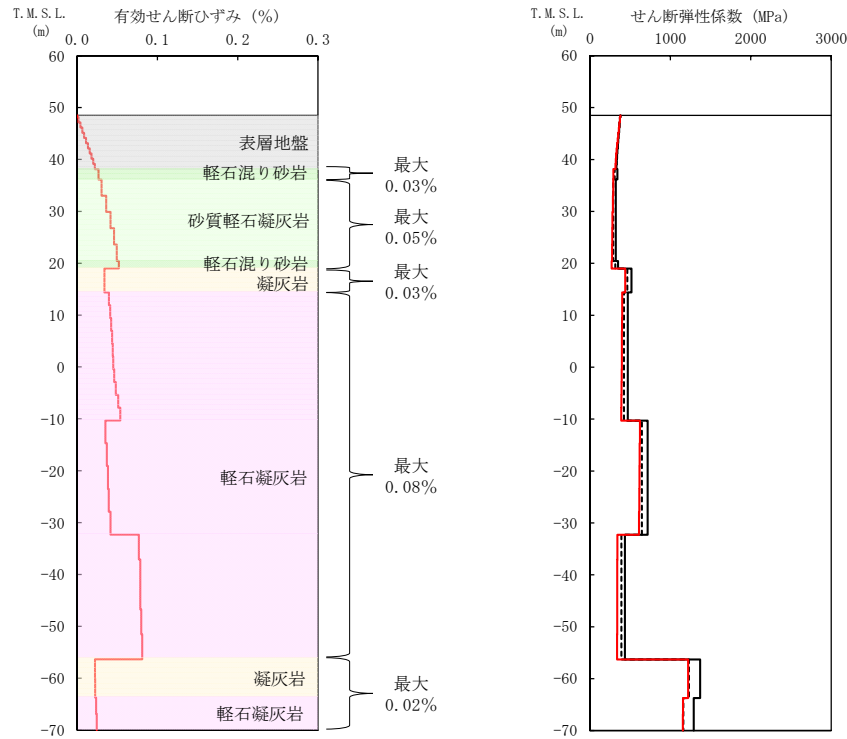


* : 図中の縦点線は建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 3.2-4 図 地盤の等価線形解析結果 (AZ 周辺, AZ)



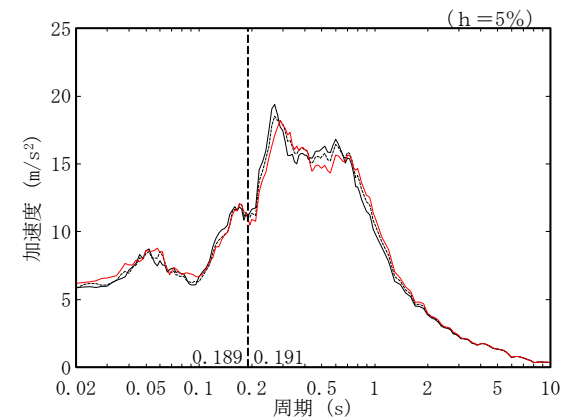
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽G14基礎底面						
38.15	軽石混り砂岩	15.8	341	291	0.853	0.03
36.15	砂質軽石凝灰岩	14.9	322	282	0.876	0.03
20.44	軽石混り砂岩	16.2	350	271	0.774	0.03
18.99	凝灰岩	16.2	517	439	0.849	0.03
14.37		14.7	470	396	0.843	0.03
-10.30	軽石凝灰岩	15.2	717	616	0.859	0.03
-32.30		15.2	435	339	0.779	0.03
-56.33	凝灰岩	16.2	1370	1220	0.891	0.03
-63.74	軽石凝灰岩	15.3	1290	1156	0.896	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

第 3.2-5 図 地盤の等価線形解析結果 (G14)

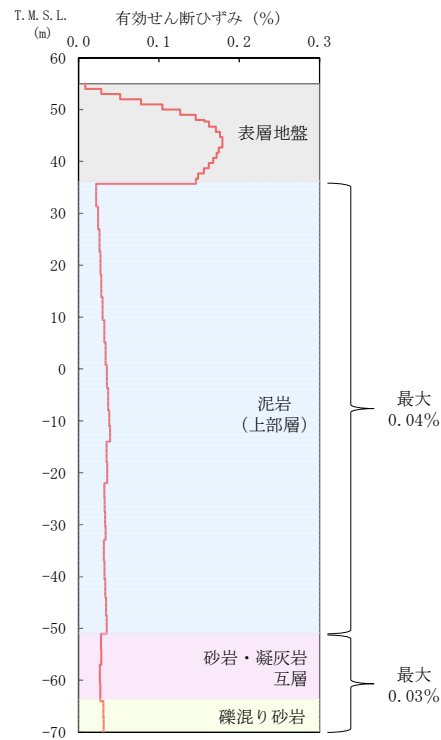
3.3 西側地盤における岩盤部分の非線形性の影響

西側地盤における等価線形解析の結果として、地盤の有効せん断ひずみ分布、収束剛性分布、収束物性値及び各建屋の基礎底面レベルにおける入力地震動の加速度応答スペクトルを第 3.3-1 図に示す。

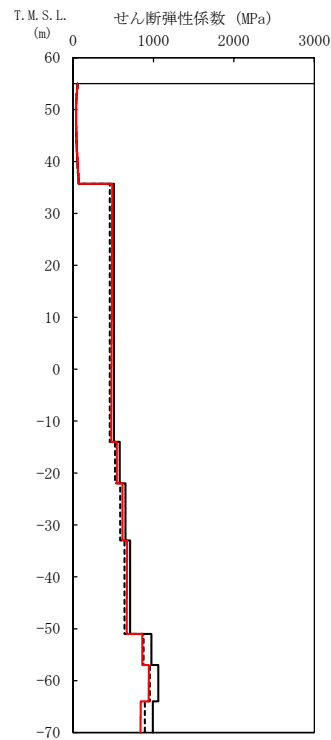
地盤の等価線形解析の結果、各岩種の有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 は以下のとおりとなっていることを確認した。なお、以下に記載する最大有効せん断ひずみの値については、最大の値を記載している。

- ・泥岩(上部層):最大有効せん断ひずみ 0.04%, 剛性低下率 G/G_0 0.940
- ・砂岩・凝灰岩互層:最大有効せん断ひずみ 0.03%, 剛性低下率 G/G_0 0.884
- ・礫混り砂岩:最大有効せん断ひずみ 0.03%, 剛性低下率 G/G_0 0.847

基礎底面レベルの加速度応答スペクトルの比較結果から、線形条件と等価線形解析の結果については、周期特性に顕著な乖離がないことから、西側地盤のグループにおいて、0.03%~0.04%程度の有効せん断ひずみに対する剛性低下の影響は十分に小さいことを確認した。



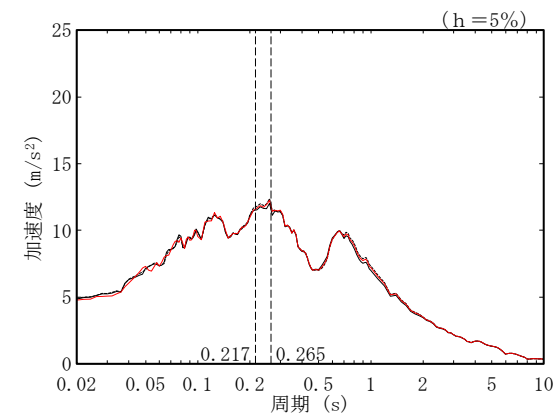
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽EB基礎底面						
35.70		15.9	508	481	0.947	0.03
-14.00	泥岩(上部層)	15.8	580	545	0.940	0.03
-22.00		16.1	651	614	0.943	0.03
-33.00		16.0	710	669	0.942	0.03
-51.00	砂岩・凝灰岩 互層	17.0	973	860	0.884	0.03
-57.00		16.7	1060	942	0.889	0.03
-64.00	礫混り砂岩	15.6	992	840	0.847	0.03
▽解放基礎表面	-	15.9	987	987	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 3.3-1 図 地盤の等価線形解析結果 (E 施設周辺, EB)

3.4 中央地盤・東側地盤・西側地盤の比較

3.1 節～3.3 節の結果を踏まえて、中央地盤、東側地盤及び西側地盤における地盤の有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 の比較結果を第 3.4-1 表に整理する。

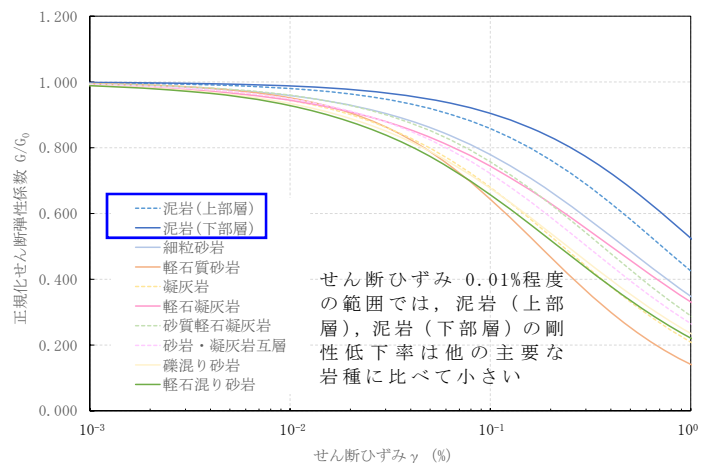
中央地盤、G14 を除く東側地盤及び西側地盤では、いずれも最大有効せん断ひずみが 0.04% 程度以内に収まり、剛性低下率 G/G_0 は 0.8 程度以上の範囲にあることを確認した。なお、中央地盤の主要な岩種である泥岩（下部層）及び西側地盤の主要な岩種である泥岩（上部層）については、剛性低下率 G/G_0 は 0.95 程度以上の範囲にあり、その他の岩種と比べ岩盤部分の非線形性の影響がより小さいと考えられる。これは、第 3.4-1 図に示すひずみ依存特性の比較結果のとおり、泥岩（下部層）及び泥岩（上部層）は、他の岩種と比較し、剛性が低下しにくい傾向となっているためであると考えられる。

東側地盤の G14 については、3.2 節に示したとおり、軽石凝灰岩の初期せん断弾性係数が他グループと比べ小さいことから、地震時の地盤のせん断ひずみが卓越しやすく、剛性低下が他岩種と比べて大きい傾向であると考えられる。

加速度応答スペクトルへの影響に関しては、中央地盤、東側地盤、西側地盤いずれにおいても、周期特性に顕著な乖離がないことから、剛性低下による影響は小さいものと判断する。

第 3.4-1 表 地盤応答解析結果の比較

	最大有効せん断ひずみ	剛性低下率 G/G_0 の 最大値
中央地盤	0.01%～0.03%	0.827
東側地盤（G14 を除く）	0.01%～0.04%	0.851
東側地盤（G14）	0.02%～0.08%	0.774
西側地盤	0.03%～0.04%	0.847



第 3.4-1 図 中央地盤・東側地盤・西側地盤の主要な岩種の
ひずみ依存特性の比較

4. まとめ

本資料においては、一般的・標準的な手法による岩盤部分の非線形性に係る検討を実施した。

今後、基本地盤モデルの設定にあたっては、本資料に示す加速度応答スペクトルの比較結果を踏まえ、岩盤部分の非線形性が入力地震動に及ぼす影響は小さいことから、線形条件とする。

岩盤部分の減衰定数に係る検討について

- ・ 文章中の下線部は R0 から R1 への変更箇所を示す。
- ・ 本資料は、4月24日審査会合にて示した、地盤モデル設定に係る因子のうち、岩盤部分の減衰定数に係る検討について説明するものであり、令和5年6月8日に提示した「岩盤部分の減衰定数に係る検討について (R1)」に対し、ヒアリングにおける指摘事項を踏まえた修正を行ったものである。
- ・ 本資料の内容については、今後、補足説明資料「耐震建物 08 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」への取り込みを検討する。

目 次

	ページ
1. はじめに	1
2. 地盤の減衰定数に係る一般的・標準的な設定手法の整理	2
2.1 JEAG4601-2015 における設定方法	3
2.2 JEAG4601-1987 における設定方法	3
3. 敷地における減衰定数の評価	4
3.1 JEAG4601-1987 に示される評価方法	4
3.1.1 三軸圧縮試験による評価	6
3.1.2 S波検層による評価	6
3.1.3 地震観測記録による評価	7
3.1.4 散乱減衰を考慮可能な手法の違いについて	8
3.2 敷地における減衰定数の評価に用いる手法	9
3.2.1 既認可時点における設定の考え方	9
3.2.2 本資料において実施する評価	11
4. 敷地におけるS波検層による評価	12
5. 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価	15
5.1 敷地における地震観測の概要	16
5.2 評価に用いる地震観測記録	19
5.3 評価方法	26
5.3.1 初期モデルの設定及び探索範囲	26
5.3.2 目的関数の設定	31
5.3.3 評価方法及び条件	35
5.4 評価結果	36
6. 評価結果に対する考察	47
6.1 既往知見等または評価手法間の整合性	47
6.2 事業変更許可申請におけるはぎとり地盤モデルとの関係	49
6.3 シミュレーション解析結果における観測記録との差に関する分析 ..	51
6.4 Ss地震時における非線形性を考慮した減衰定数に係る考察	53
7. まとめ	55

1. はじめに

本資料は、地盤モデルの設定パラメータとなる4因子のうち、岩盤部分の減衰定数について、既認可時の地盤モデルを踏襲した地盤モデル（以下、「申請地盤モデル」という。）との差分を確認するために、一般的・標準的な地盤物性値の設定手法に基づくデータの整理結果を示すものである。

申請地盤モデルでは、岩盤部分の減衰定数について、既認可における基準地震動 S2 時の設定値である 3% を踏襲して用いているが、今回設工認申請時点にあたっては、既認可時と比較して、地盤の検討に関する知見や、近年発生した地震の観測記録が得られていることを踏まえ、一般的かつ標準的な減衰定数の設定の考え方として、JEAG4601-1987 に示される複数の設定手法から、適切な手法を選定して検討を実施した。

また、申請地盤モデルでは、岩盤部分の減衰定数については、非線形性を考慮せず、地盤のひずみによらず一定の値を設定しているが、既認可時と比較して基準地震動 S_s が増大しており、岩盤部分についても非線形性により入力地震動の算定への影響が考えられることから、「岩盤部分の非線形性に係る検討について」において整理している S_s 地震時の岩盤部分のせん断ひずみレベルに対応する減衰定数を確認し、本資料において評価した敷地地盤における減衰定数との関係性について考察を行った。

2. 地盤の減衰定数に係る一般的・標準的な設定手法の整理

「1. はじめに」に示したとおり、「申請地盤モデル」において考慮している岩盤部分の減衰定数については、既認可時点において用いている入力地震動算定用の地盤モデルに設定している基準地震動 S2 に対する地盤の減衰定数を踏襲し、岩盤に対して全層一律に、3%として設定している。

このことから、まずは現時点において一般的・標準的な手法である、JEAG4601-2015 及び JEAG4601-1987 に示される評価手法を整理した。

2.1 JEAG4601-2015における設定方法

JEAG4601-2015では、地盤の減衰定数の設定について、既設発電所における減衰定数の設定に係る調査に基づく慣用値が示されており、「硬岩では減衰定数として2～3%、軟岩では3～5%の範囲の値が用いられている」とされている。

2.2 JEAG4601-1987における設定方法

JEAG4601-1987では、動的解析用の地盤の物性値を定める上で、地震観測や振動試験などの動的な実現象と整合することの観点で、地盤の物性値を定めるための試験または評価手法が複数示されている。

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

また、JEAG4601-2015においても、建物・構築物の耐震設計における地震応答解析に用いる地盤の物性値の設定手法について、JEAG4601-1987と同様の3手法が示された上で、地盤の応答解析においては、材料減衰と散乱減衰を含んだものを用いるとされており、また、地震観測結果により減衰定数が算定されている場合には、その減衰定数を参考にすることができるとされている。

3. 敷地における減衰定数の評価

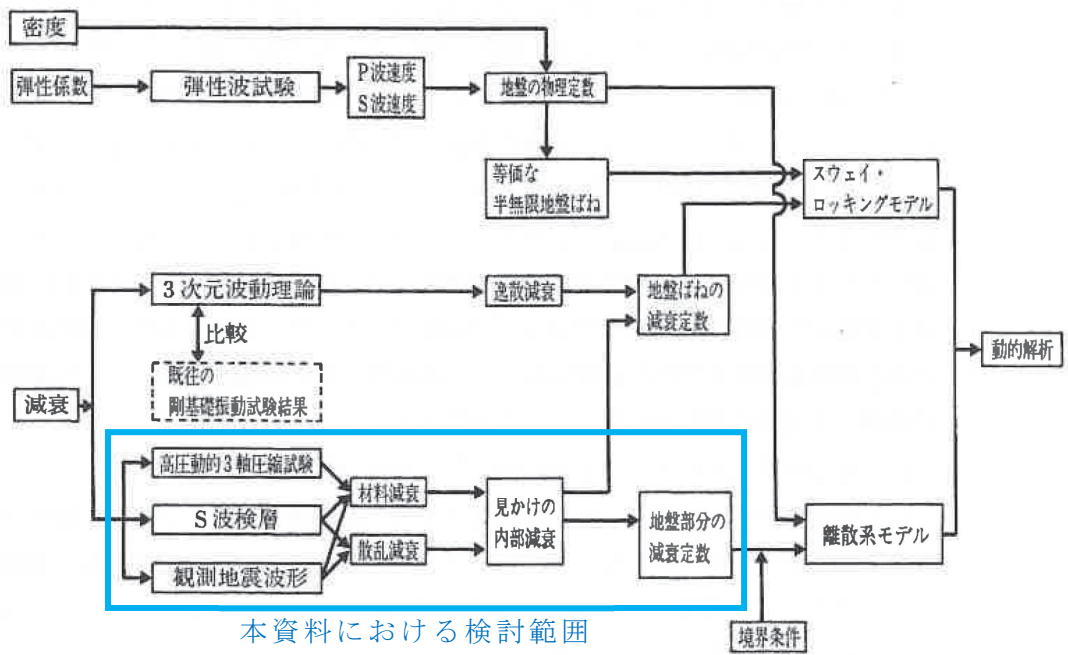
「2. 地盤の減衰定数に係る一般的・標準的な設定手法の整理」を踏まえ、敷地における減衰定数を評価するための一般的・標準的な手法として、JEAG4601-1987に示される手法に従い、敷地における減衰定数を評価する。

3.1 JEAG4601-1987に示される評価方法

第 3.1-1 図に、JEAG4601-1987 に記載の地盤の物性値評価のフローを示す。JEAG4601-1987 では、地震応答解析において検討の対象となる地盤の減衰としては、以下の 2 要因が挙げられており、地盤の減衰はこれらが組み合わせられたものであるとされている。

- ・材料減衰：地盤内部の非弾性的性質によるもの（ひずみ依存特性に対応）
- ・散乱減衰：地盤の不均質，不連続による境界面での反射などによる波動の逸散によるもの

あわせて、JEAG4601-1987 では、3.1.1～3.1.4 に示すとおり、減衰定数の評価手法についても示されており、地盤の減衰定数を評価する手法ごとに、考慮可能な地盤減衰の因子（材料減衰と散乱減衰）が異なるとされている。



第 3.1-1 図 地盤の物性値評価のフロー（JEAG4601-1987 に加筆）

3.1.1 三軸圧縮試験による評価

JEAG4601-1987 において、本手法は、繰返し三軸圧縮試験により、せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を把握するものとされている。

本手法は、振動 1 サイクル中の最大ひずみエネルギーとその間に消費されるエネルギー、すなわち履歴減衰を評価しているものであり、上述の材料減衰に相当していることになる。また、ボーリングコアから得られた供試体を用いた試験によるものであることから、原位置における地盤の不均質・不連続による散乱減衰は考慮されていない。

なお、この手法により評価された減衰定数は、添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」及び「II-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示している、敷地における三軸圧縮試験結果に基づく岩種ごとのひずみ依存特性に対応するものである。

また、基本地盤モデルの設定にあたり、表層地盤の減衰定数については、 S_s 地震時に生じる表層地盤のひずみは大きくなると考えられ、散乱減衰よりも材料減衰による寄与が大きくなると考えられることから、「基本地盤モデルの設定について」に示すとおり、三軸圧縮試験結果に基づくひずみ依存特性 ($h-\gamma$ 曲線) のみを考慮することとしている。

3.1.2 S 波検層による評価

JEAG4601-1987 において、本手法は、ボーリング孔において実施した S 波検層の記録波形のうち、直達波と判断される部分の振幅の変化率に基づき、振動数ごとに求めた見かけ上の減衰から、地盤のモデルより求めた幾何減衰及び境界面での反射等による影響を差し引くことで、地盤のモデル上寄与しない薄層や亀裂の影響も含まれた減衰量を評価するものとされている。

このことから、S 波検層による評価は、材料減衰と散乱減衰の両方が含まれた減衰定数を評価可能な手法である。

ただし、石田他 (1987) * によれば、S 波検層による評価は、一般に地震時に比べて、検層時の地盤のひずみレベルが小さく、ターゲットとなる卓越振動数が数十～百数十 Hz レベルであるとされている。

注記 * : 石田他「室内試験, S 波検層および観測地震動に基づく地盤の減衰評価」

第 15 回地盤振動シンポジウム, 日本建築学会, 1987. 8. 27

3.1.3 地震観測記録による評価

JEAG4601-1987において、本手法は、観測された地震動波形について、「3.1.2 S波検層による評価」と同様、直達波と判断される部分を取り出し、応答波の入射波に対する比から減衰評価を行うものとされている。また、各種の複雑な波動現象（上述のS波検層にて述べた地盤のモデル上寄与しない薄層や亀裂の影響を含む）を含んだ状態における等価な減衰定数を評価可能とされている。

このことから、地震観測記録による評価は、材料減衰と散乱減衰の両方が含まれ、さらに、実地震の複雑な伝播経路等を踏まえた、実態に近い減衰定数を評価可能な手法である。

石田他（1987）によれば、地震観測記録による評価は、上述のS波検層による評価と比較してターゲットとなる卓越振動数が低周波側にあり、数～数十 Hz レベルとされている。

なお、地震観測記録を用い、その位置ごとの比率を用いて減衰定数を含む地盤のパラメータを評価する手法については、基準地震動 S_s の策定に係る検討において、敷地における地震観測記録を一次元波動論に基づく基盤波を計算するための地盤モデル（以下、「はぎとり地盤モデル」という。）の作成を行う上で、当社事業変更許可及び他原子力事業者における実績が多数存在する。

3.1.4 散乱減衰を考慮可能な手法の違いについて

S波検層による評価及び地震観測記録による評価については、いずれも原位置において測定あるいは観測された実態波データを用いて、材料減衰及び散乱減衰を含めた減衰量の総和を算定する手法である。建物・構築物の入力地震動を算定するための減衰定数を求めることに着目し、S波検層及び地震観測記録の手法の違いについて以下に整理した。

- ・ 両手法においてターゲットとなる周波数レンジを踏まえると、建物・構築物の主要固有周波数帯（数 Hz オーダー）に対しては、地震観測記録を用いた手法の方がより適合する。

なお、一般的に、地盤の減衰定数については周波数依存性を有しており、高振動数側で減衰定数が小さくなる傾向であることから、S波検層のように、高振動数側をターゲットとした場合には、地盤全体の減衰定数を小さく評価する可能性がある。

- ・ 地震観測記録を用いた手法は、当社事業変更許可及び他原子力事業者におけるはぎとり地盤モデルの作成において適用実績のある手法である。
- ・ 敷地における地震観測記録では、S波検層において一般的に得られる振幅レンジよりも大振幅の波形が得られており、振幅の比率を評価する上で、ノイズによる影響が小さく抑えられると考えられる。

3.2 敷地における減衰定数の評価に用いる手法

3.2.1 既認可時点における設定の考え方

以下に示すとおり、既認可時点における地盤の減衰定数の設定にあたり、上記にて整理した JEAG4601-1987 と同様の手法を用いての減衰定数の評価実績があるかの確認を行った。

既認可時点においては、以下の文献調査並びに検討に基づいて地盤の減衰定数を設定している。

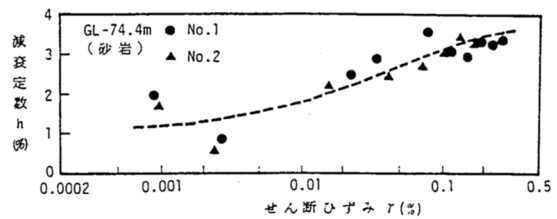
- ・ 嶋ほか（1983）の知見において、いわき地点の砂岩における減衰定数の評価結果として、第 3.2.1-1 図に示すとおり、高圧動的三軸圧縮試験結果より、低ひずみ領域では減衰定数が 1～2%，ひずみ 0.1% 付近では 3% となっていること、また、S 波検層や地震観測記録に基づく減衰定数の評価手法によっては、それよりも大きな値（最大 8% 程度）として評価されていること。
- ・ 中村他（1990）において、富岡地点における泥岩層での Q 値の検討が行われており、下式に示す Q 値の周波数依存性の関係に対し、 $n=1.0$ 、 $\alpha=200$ とした場合に、地震観測記録と整合することが示されていることから、敷地における泥岩層（ $V_s=800\text{m/s}$ ）の減衰定数を算定した結果、建屋の固有振動数（2.5Hz～5Hz）の領域では $h=2\%$ を上回る値となること。

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

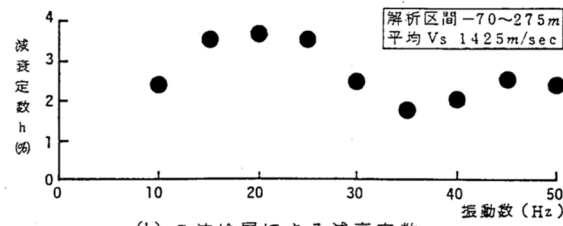
$$\left(\begin{array}{l} Q : Q \text{ 値} \\ h : \text{減衰定数} \\ V_s : S \text{ 波速度} \\ f : \text{周波数} \\ n, \alpha : \text{係数} \end{array} \right)$$

以上を踏まえ、既認可時点においては、敷地や施設の特徴に配慮した考え方に基づき設定を行っており、設計上考慮する地震動レベル及び建屋の固有振動数を考慮すると、基準地震動 S1 に対しては 2%，基準地震動 S2 で 3% とすることは妥当としている。

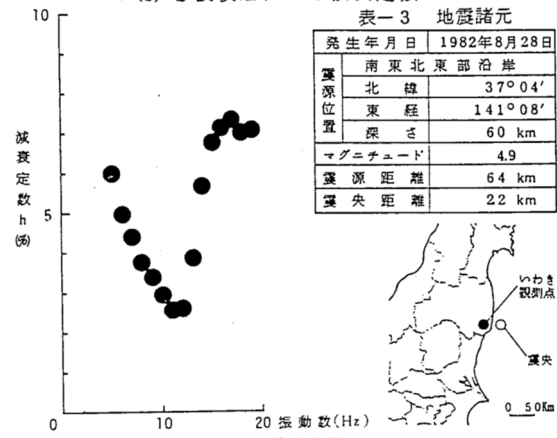
以上のことから、既認可時点においては、JEAG4601-1987 に示される手法に基づき、直接敷地において減衰定数を評価した実績は無いものの、JEAG4601-1987 に示される手法に基づく国内の各種試験結果を敷地に適用した確認を行うことにより、地盤の減衰定数を設定している。



(a) 高圧動的三軸圧縮試験による減衰定数



(b) S波検層による減衰定数



(c) 観測地震による減衰定数

震央位置

第 3.2.1-1 図 嶋ほか (1983) におけるいわき地点の減衰定数の評価結果 (嶋ほか (1983) より抜粋)

3.2.2 本資料において実施する評価

「3.1 JEAG4601-1987 に示される評価手法」に示したとおり、JEAG4601-1987 には、3 種類の減衰定数の評価手法が示されている。

三軸圧縮試験による評価結果については、前述のとおり、添付書類「Ⅳ-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」及び「Ⅱ-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」における岩種ごとのひずみ依存特性として既に整理されている。

このことから、本資料における検討においては、材料減衰と散乱減衰の両方が含まれた、地震波が地盤を伝播する際の減衰の全体量を評価可能な手法に基づく評価を実施する。

具体的には、「3.1.2 S波検層による評価」及び「3.1.3 地震観測記録による評価」に示したとおり、JEAG4601-1987 において、散乱減衰も含めた減衰定数の評価が可能な手法として、S波検層による手法及び地震観測記録を用いた手法が示されており、これらの手法については、「3.2.1 既認可時点における設定の考え方」に示したとおり、既認可時点においても敷地において実績が無いことから、現時点において得られている最新のデータを用いた評価を、敷地において実施する。

敷地における S波検層による評価方法及び結果を「4. 敷地における S波検層による評価」に、敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価の方法及び結果を「5. 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価」に示す。

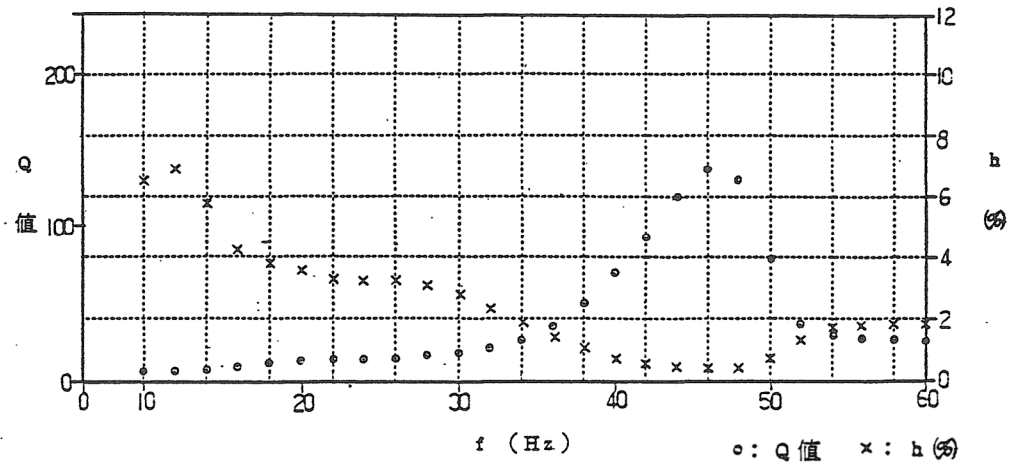
4. 敷地における S 波検層による評価

敷地において、過去のボーリング調査時に、第 4-1 図に示す敷地内の 3 地点（J-T 孔，L-T 孔，E-T 孔）において、PS 検層に基づく減衰定数の評価が行われていることから、当該評価結果について整理した。

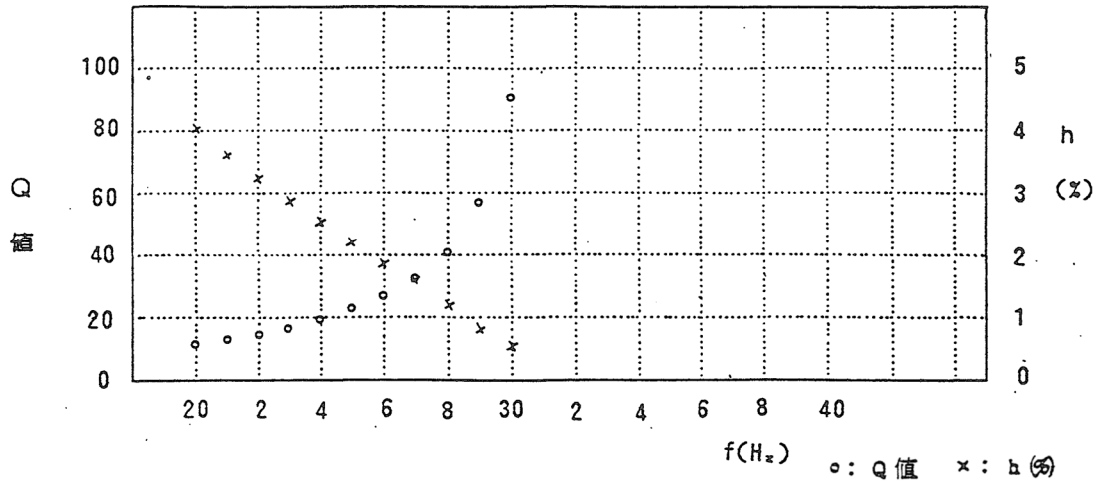
敷地における PS 検層に基づく減衰定数の評価にあたっては、加振波とボーリング孔内観測波の応答スペクトルの振幅比に基づき、当該地点の減衰定数として周波数ごとに評価している。

第 4-2 図に、PS 検層に基づく減衰定数について、J-T 孔，L-T 孔，E-T 孔における主要な岩盤部分に対応する評価結果を示す。PS 検層に基づく減衰定数は、いずれの孔においても、高振動数成分に着目した評価を行っており、ターゲットとしている周波数レンジは 10Hz 又は 20Hz よりも高振動数側の領域としている。

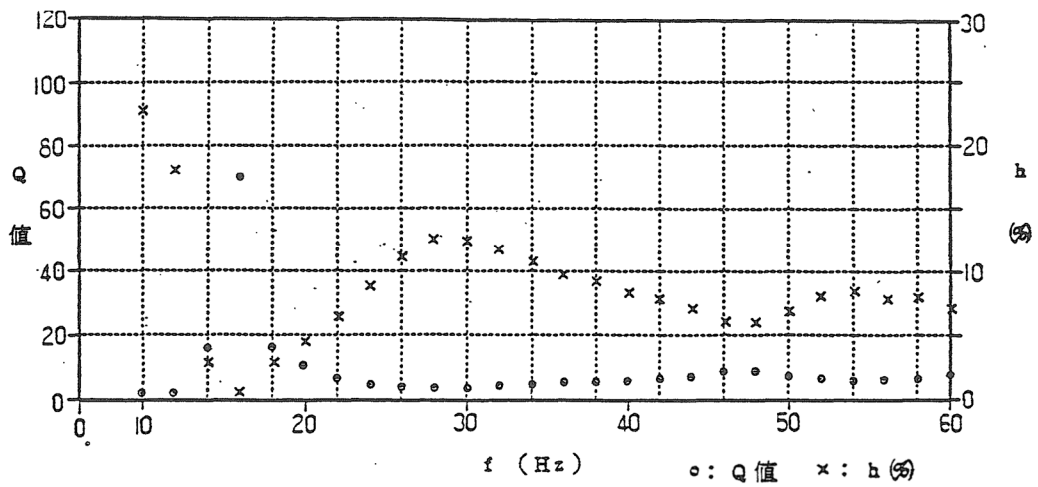
また、減衰定数の大きさの傾向として、振動数に反比例する傾向の周波数依存性を有していることが確認でき、高振動数側では 1 % 未満の非常に小さい減衰定数が得られているが、低振動数側では、西側地盤に対応する J-T 孔で約 6 %，中央地盤に対応する L-T 孔で約 4 % の値が得られている。一方で東側地盤に対応する E-T 孔では 20% 以上の減衰定数が得られており、ばらつきの大きい結果になっていると考えられる。



(a) J-T 孔 (西側地盤の泥岩上部層に対応)



(b) L-T 孔 (中央地盤の細粒砂岩及び泥岩下部層に対応)



(c) E-T 孔 (東側地盤の軽石質砂岩に対応)

第 4-2 図 S 波検層による減衰定数の評価結果

5. 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価

敷地において実現象を最もよく説明する減衰定数として、材料減衰及び散乱減衰の両方が含まれた値を、敷地において得られている地震観測記録を用いて評価する。

本検討において用いる地震観測記録は地中波であることから、表層地盤による影響も含まれた情報に基づく評価となるが、本資料における評価の目的が岩盤部分の減衰定数に対する確認であることを踏まえ、表層地盤と岩盤部分を個別に評価することにより、表層地盤における影響を分離した岩盤部分の減衰定数を評価することとした。

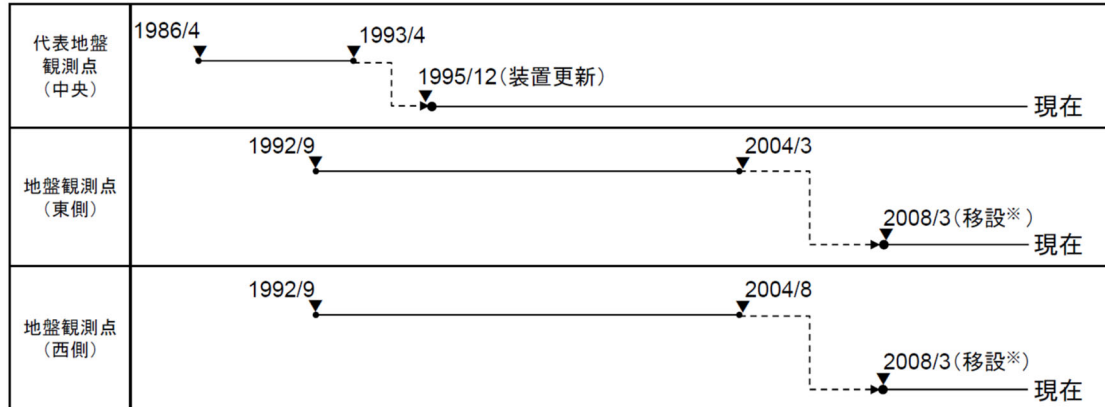
また、地震計を設置している敷地内の中央地盤、西側地盤、東側地盤の3地点のそれぞれに対して評価を実施することで、大局的な地下構造の違いによる減衰定数の違いについても確認する。

5.1 敷地における地震観測の概要

敷地では、中央、西側、東側地盤の3地点において地震観測記録の収集を行っている。また、第5.1-1図～第5.1-3図に示すとおり、地震観測位置のうち、西側及び東側地盤観測点については、2008年を境に移設を行っている。

西側及び東側地盤観測点における地震観測位置の移設については、事業変更許可において説明を実施しており、移設前後において地下構造が大きく変わらないことを、移設前後のPS検層結果及びはざとり地盤モデルの速度構造との比較により示している。

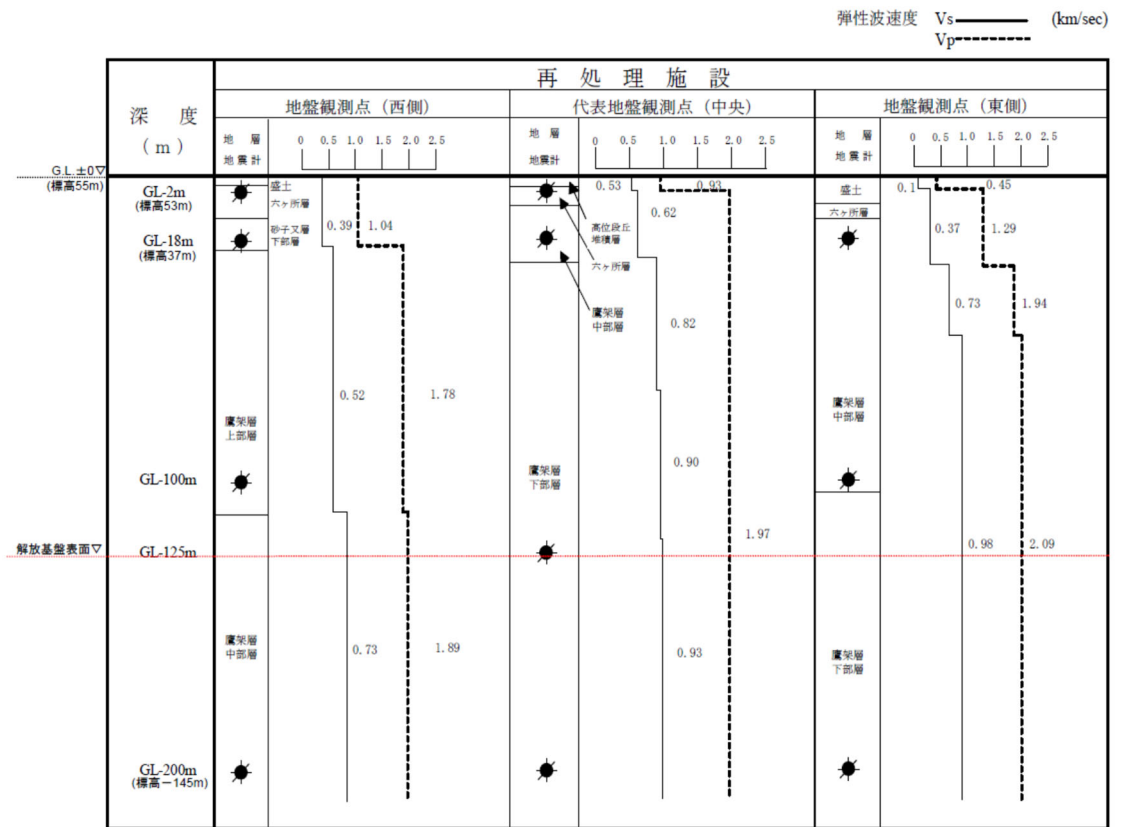
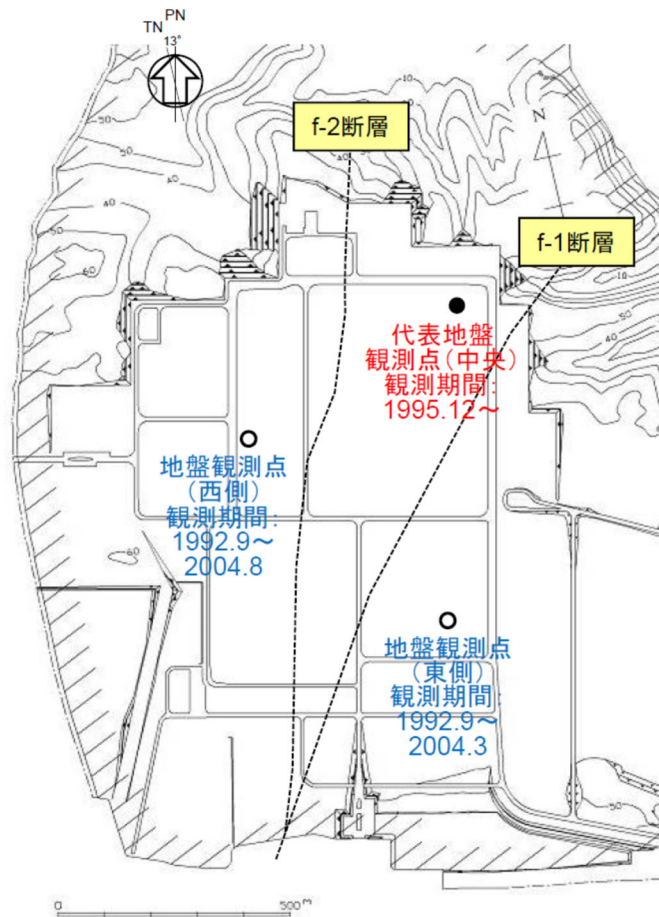
本資料においては、後述のとおり、はざとり地盤モデルの作成と同様の手法により減衰定数を評価する際、S波速度についても、周波数特性の適合度を向上させる観点で変動させていることから、変動後の速度構造との評価結果との関係性について、「6.2 事業変更許可申請におけるはざとり地盤モデルとの関係」にて事業変更許可申請と同様に速度構造の比較を行う。



※G.L.-100m地震観測点を、G.L.-125mに移設

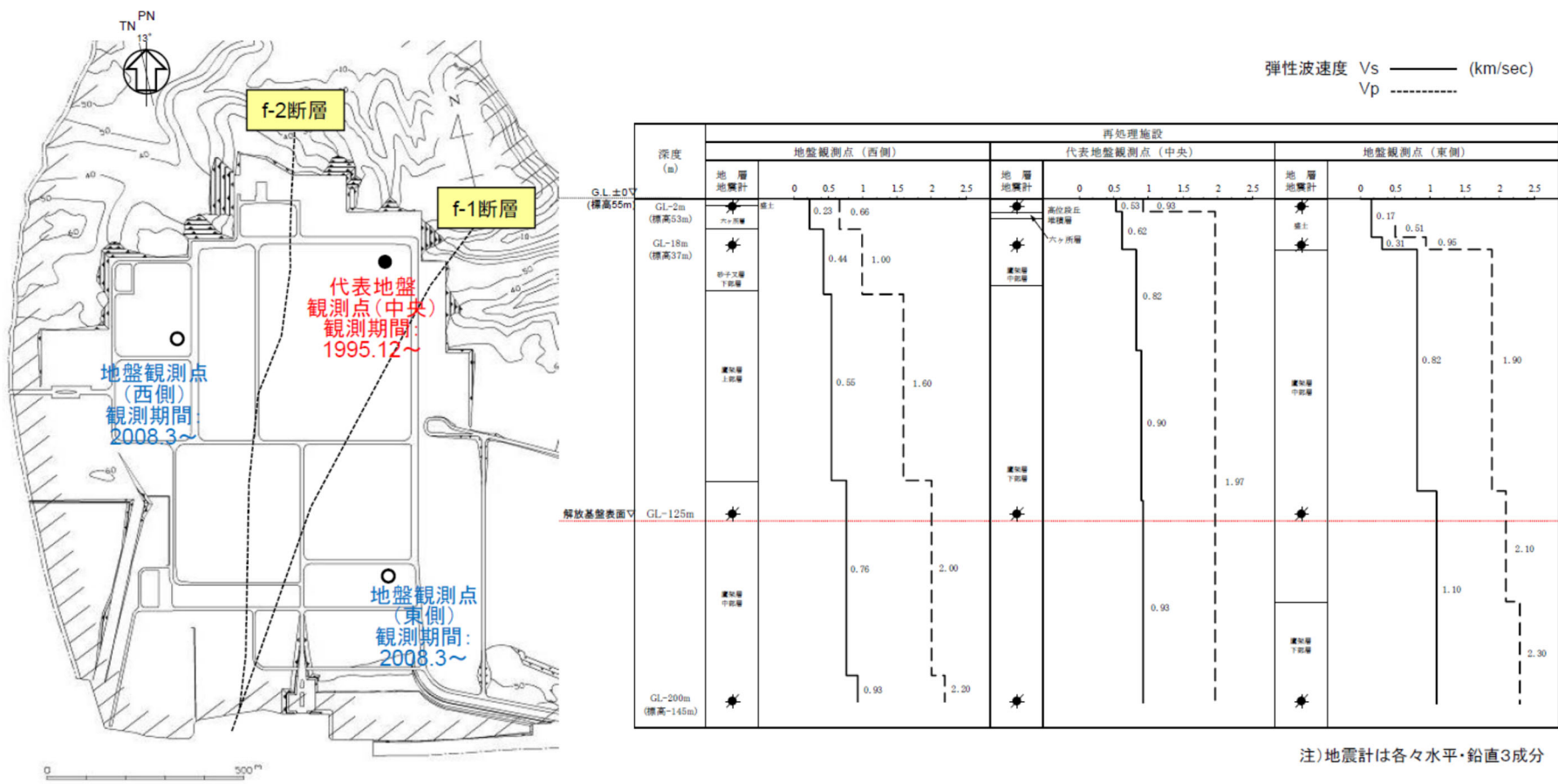
第5.1-1図 敷地内各位置における地震観測期間

(2020年2月21日第339回審査会合 資料1-4-1 p38より抜粋)



注)地震計は各々水平・鉛直3成分

第 5.1-2 図 2004 年以前の地震観測位置
 (2020 年 2 月 21 日第 339 回審査会合 資料 1-4-2 p9 より抜粋)



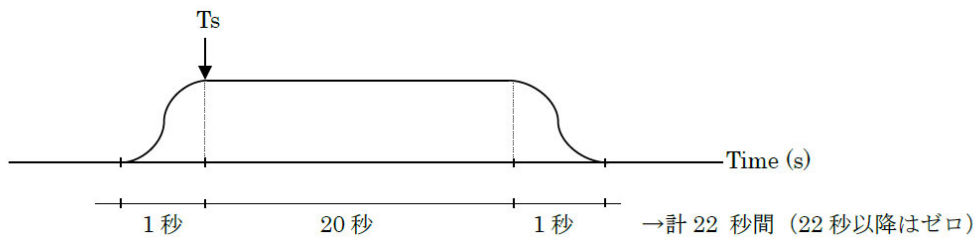
第 5.1-3 図 2008 年以降の地震観測位置(本資料における評価に用いる地震観測位置)
(2020 年 2 月 21 日第 339 回審査会合 資料 1-4-2 p10 より抜粋)

5.2 評価に用いる地震観測記録

評価に用いる地震観測記録について、当社敷地では2011年以降に比較的大加速度の地震観測記録が多く得られていることを踏まえ、中央、西側及び東側地震観測点において、現在の地震観測位置における地震観測記録から選定する。中央、西側及び東側地盤観測点のそれぞれについて、第5.1-1図に示した移設後の地震観測期間内で、最深部（GL-200m）において10Gal以上の最大加速度が得られている地震を選定することを基本とし、10Gal以上の地震を選定した結果、その数が10地震に満たない場合は、選定基準を5Gal以上に拡大し、10地震以上のサンプルが得られるよう配慮した。

また、地震観測記録の波形に対する処理としては、直達波による影響を適切に考慮するため、TR成分（各地震の震央方向に直行する方向の成分）に変換した後、第5.2-1図に示すように、S波の初動以降を約20秒間切り出したものを用いた。

各地震観測点において評価に用いた地震の選定の考え方及び結果について、以下(1)～(3)に示す。



第5.2-1図 時刻歴波形の処理概要

(1) 中央地盤観測点

中央地盤観測点においては、最深部（GL-200m）で 10Gal 以上の記録が得られている地震である 14 地震を選定し、各観測深さ（GL-200m, GL-125m, GL-18m 及び GL-2m）の地震観測記録を評価に用いた。

選定した地震を第 5.2-1 表に示す。

第 5.2-1 表 評価に用いる地震の選定結果（中央地盤観測点）

No.	年	月	日	時	分	震源地名	東経		北緯		M	深さ	震央距離	震源距離	GL-200m		
															NS	EW	UD
1	2001	12	2	22	1	SOUTHERN IWATE PREF	141	15.79	39	23.9	6.4	121.5	174	212	10.10	11.60	6.10
2	2002	10	14	23	12	E OFF AOMORI PREF	142	16.85	41	9.11	6.1	52.71	83	98	12.20	10.60	8.86
3	2003	5	26	18	24	NORTHERN MIYAGI PREF	141	39.04	38	49.26	7.1	72.03	239	250	12.50	12.40	10.50
4	2003	9	26	4	50	SE OFF TOKACHI	144	4.71	41	46.71	8.0	45.07	247	251	18.60	20.20	13.00
5	2003	9	26	6	8	SE OFF ERIMOMISAKI	143	41.49	41	42.59	7.1	21.41	215	216	21.30	17.00	13.20
6	2008	7	24	0	26	NORTHERN IWATE PREF	141	38.12	39	43.92	6.8	108.08	139	176	39.10	33.90	23.44
7	2011	3	11	14	46	FAR E OFF MIYAGI PREF	142	51.66	38	6.21	9.0	23.74	344	345	28.99	21.46	17.77
8	2011	3	11	15	8	E OFF IWATE PREF	142	46.01	39	49.24	7.4	32.02	176	179	17.93	18.83	11.97
9	2011	6	23	6	50	E OFF IWATE PREF	142	35.45	39	56.87	6.9	36.4	155	159	23.85	14.72	9.22
10	2012	5	24	0	2	E OFF AOMORI PREF	142	7.4	41	20.6	6.1	60	79	99	37.98	24.62	16.13
11	2012	12	7	17	18	OFF SANRIKU	143	52	38	1.1	7.3	49	393	396	11.17	11.14	10.32
12	2013	2	2	23	17	SOUTHERN TOKACHI REGION	143	13.6	42	42.1	6.5	102	249	269	10.48	12.00	5.61
13	2015	7	10	3	32	NORTHERN INLAND OF IWATE PREF	141	33.5	40	21.2	5.7	88	70	112	12.41	10.50	5.81
14	2016	1	14	12	25	OFF URAKAWA	142	41	48	58.2	6.7	52	166	174	12.07	13.32	8.62

(2) 西側地盤観測点

西側地盤観測点においては、最新部（GL-200m）で 10Gal 以上の地震を選定した結果、NS 方向において 10Gal 以上の記録となっている地震は 9 つであったことから、選定基準を 5Gal に拡大し、全 12 地震を選定したうえで、各観測深さ（GL-200m, GL-125m, GL-18m 及び GL-2m）の地震観測記録を評価に用いた。

選定した地震を第 5.2-2 表に示す。

第 5.2-2 表 評価に用いる地震の選定結果（西側地盤観測点）

No.	年	月	日	時	分	震源地名	東経		北緯		M	深さ	震央距離	震源距離	GL-200m		
															NS	EW	UD
1	2008	7	24	0	26	NORTHERN IWATE PREF	141	38.12	39	43.92	6.8	108.08	139	176	41.72	54.67	24.37
2	2011	3	11	14	46	FAR E OFF MIYAGI PREF	142	51.66	38	6.21	9.0	23.74	344	345	28.57	21.73	17.18
3	2011	3	11	15	8	E OFF IWATE PREF	142	46.01	39	49.24	7.4	32.02	176	179	23.04	21.22	13.00
4	2011	4	7	23	32	E OFF MIYAGI PREF	141	55.21	38	12.25	7.2	65.89	310	317	10.67	11.23	7.90
5	2011	6	23	6	50	E OFF IWATE PREF	142	35.45	39	56.87	6.9	36.4	155	159	16.72	23.08	13.48
6	2012	5	24	0	2	E OFF AOMORI PREF	142	7.42	41	20.62	6.1	59.6	79	99	21.84	20.39	14.11
7	2012	12	7	17	18	FAR E OFF MIYAGI PREF	143	52.02	38	1.19	7.3	49	393	396	13.26	12.64	10.46
8	2014	8	10	12	43	E OFF AOMORI PREF	142	16.74	41	8.04	6.1	50.56	82	96	8.06	10.82	6.61
9	2016	1	14	12	25	S OFF URAKAWA	142	48.07	41	58.21	6.7	51.51	166	174	10.18	11.48	10.72
10	2019	8	15	14	32	SHIMOKITA PENINSULA REG	141	20.36	40	47.52	5.5	92.6	19	95	11.53	15.43	11.22
11	2020	12	21	2	23	E OFF AOMORI PREF	142	41.5	40	46.9	6.5	43	117	125	8.14	6.55	6.91
12	2022	3	16	23	36	OFF FUKUSHIMA PREF	141	37.3	37	41.8	7.4	57	363	367	9.00	10.27	7.08

(3) 東側地盤観測点

東側地盤観測点においては、最新部（GL-200m）で 10Gal 以上の地震を選定した結果、NS 方向、EW 方向、UD 方向全てにおいて、10Gal 以上の記録となっている地震は 5 つであったことから、選定基準を 5Gal に拡大し、全 12 地震を選定したうえで、各観測深さ（GL-200m、GL-125m、GL-18m 及び GL-2m）の地震観測記録を評価に用いた。

選定した地震を第 5.2-3 表に示す。

第 5.2-3 表 評価に用いる地震の選定結果（東側地盤観測点）

No.	年	月	日	時	分	震源地名	東経		北緯		M	深さ	震央距離	震源距離	GL-200m		
															NS	EW	UD
1	2008	7	24	0	26	NORTHERN IWATE PREF	141	38.12	39	43.92	6.8	108.08	139	176	26.09	23.88	15.64
2	2011	3	11	14	46	FAR E OFF MIYAGI PREF	142	51.66	38	6.21	9.0	23.74	344	345	20.74	18.99	19.35
3	2011	3	11	15	8	E OFF IWATE PREF	142	46.01	39	49.24	7.4	32.02	176	179	12.46	17.57	11.74
4	2011	4	7	23	32	E OFF MIYAGI PREF	141	55.21	38	12.25	7.2	65.89	310	317	7.86	7.69	6.70
5	2011	6	23	6	50	E OFF IWATE PREF	142	35.45	39	56.87	6.9	36.4	155	159	13.04	11.57	10.52
6	2012	5	24	0	2	E OFF AOMORI PREF	142	7.42	41	20.62	6.1	59.6	79	99	19.16	14.87	13.92
7	2012	12	7	17	18	FAR E OFF MIYAGI PREF	143	52.02	38	1.19	7.3	49	393	396	7.87	8.60	7.97
8	2014	8	10	12	43	E OFF AOMORI PREF	142	16.74	41	8.04	6.1	50.56	82	96	6.80	8.17	5.55
9	2016	1	14	12	25	S OFF URAKAWA	142	48.07	41	58.21	6.7	51.51	166	174	9.05	7.75	6.79
10	2019	8	15	14	32	SHIMOKITA PENINSULA REG	141	20.36	40	47.52	5.5	92.6	19	95	9.13	8.59	5.85
11	2020	12	21	2	23	E OFF AOMORI PREF	142	41.5	40	46.9	6.5	43	117	125	5.12	6.56	5.07
12	2022	3	16	23	36	OFF FUKUSHIMA PREF	141	37.3	37	41.8	7.4	57	363	367	7.70	8.56	6.43

5.3 評価方法

5.3.1 初期モデルの設定及び探索範囲

評価にあたっては、事業許可における基準地震動の策定において、各地震観測点の地震観測記録を再現するように作成しているはぎとり地盤モデルと同様に、第 5.1-2 図及び第 5.1-3 図に示した当該地震観測点における PS 検層結果から得られている密度及び S 波速度を、初期モデルとして設定した。

事業許可におけるはぎとり地盤モデルは、当該観測点の PS 検層結果から得られている密度及び S 波速度を初期モデルとして設定し、地震観測記録の伝達関数を再現するよう S 波速度及び減衰定数を変数として同定を行っている。減衰定数については、地震動評価において一般的に用いられている Takemura et al. (1993)*等の知見に基づき、周波数依存特性を考慮して同定を行っている。

本評価における減衰定数の評価にあたっては、減衰定数を変数とした収束計算を行うことにより、観測記録に適合する減衰定数を評価する。評価を行う上で設定する減衰定数の探索範囲は、建物・構築物の入力地震動を算定する上で用いる設定方法にならない、モデル底面から地表面の全層に対し、全周波数帯において一定値となる条件として、探索範囲を 0～10%の範囲で設定した。

今回評価に用いた初期モデル及び減衰定数の探索範囲を、第 5.3.1-1 表～第 5.3.1-3 表に示す。

ここで、中央地盤観測点については、事業変更許可にてはぎとり地盤モデルを策定する際に、地震観測記録における振動特性を再現するよう、既に現在の地震観測位置における PS 検層データから S 波速度をチューニングしていることから、チューニング後のはぎとり地盤モデルに設定している S 波速度を採用し、減衰定数のみを変数として設定することとした。

また、西側地盤及び東側地盤観測点については、事業変更許可における西側及び東側地盤のはぎとり地盤モデルを作成する際、移設前の地震観測位置の情報に基づいて S 波速度をチューニングしており、移設後の位置における S 波速度のチューニングは実施していない。「5.1 敷地における地震観測の概要」及び「5.2 評価に用いる地震観測記録」に示したとおり、西側地盤及び東側地盤観測点における評価では、近

年得られた地震観測記録を用いるために、2008年以降の移設後の地震観測点における地震観測記録を用いたことから、本評価にあたっては、移設後の地震観測点におけるPS検層結果（第5.1-3図）におけるS波速度を初期モデルとして設定し、減衰定数に加え、S波速度についても変数として設定することとした。

注記 *：武村 雅之，池浦 友則，高橋 克也，石田 寛，大島 豊，：堆積地盤における地震波減衰特性と地震動評価，日本建築学会構造系論文報告集，446，pp. 1-11，1993.

第 5.3.1-1 表 初期モデル及び減衰定数の探索範囲

中央地盤観測点

	深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S 波速度 V_s (m/s)	減衰定数 h	
	GL 0m	2	1.94	470	表層 1	0~0.2
地震観測位置→	-2.0	1.5				
	-3.5	1.5	1.94	560	表層 2	0~0.2
	-5	13	1.64	720	岩盤 1	0~0.15
地震観測位置→	-18	2				
	-20	40	1.75	760	岩盤 2	0~0.1
	-60	60	1.85	830		
	-120	5	1.85	950	基盤	0~0.1
地震観測位置→	-125	75				
地震観測位置→	-200	—				

第 5.3.1-2 表 初期モデル及び減衰定数の探索範囲

西側地盤観測点

		深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S 波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h	
地震観測位置→		GL 0m	2	1.73	230 (±20%)	表層 1	0~0.2
		-2.00	8.1				
地震観測位置→		-10.10	7.9	2.02	440 (±20%)	表層 2	0~0.2
		-18.00	18.82				
		-36.82	75.78	1.59	550 (±5%)	岩盤	0~0.1
地震観測位置→		-112.60	12.40	1.75	760 (±5%)	基盤 1	0~0.1
		-125.00	63.87				
地震観測位置→		-188.87	11.13	1.57	930 (±5%)	基盤 2	
		-200.00	—				

第 5.3.1-3 表 初期モデル及び減衰定数の探索範囲

東側地盤観測点

	深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S 波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h	
地震観測位置→	GL 0m	2	1.69	170 (±20%)	表層 1	0~0.2
	-2.00	12.73				
地震観測位置→	-14.73	3.27	1.72	310 (±20%)	表層 2	0~0.2
	-18.00	0.68				
地震観測位置→	-18.68	97.05	1.59	820 (±5%)	岩盤	0~0.1
	-115.73	9.27				
地震観測位置→	-125.00	34.31	1.82	1100 (±5%)	基盤 1	0~0.1
	-159.31	40.69				
地震観測位置→	-200.00	—	1.90	1100 (±5%)	基盤 2	

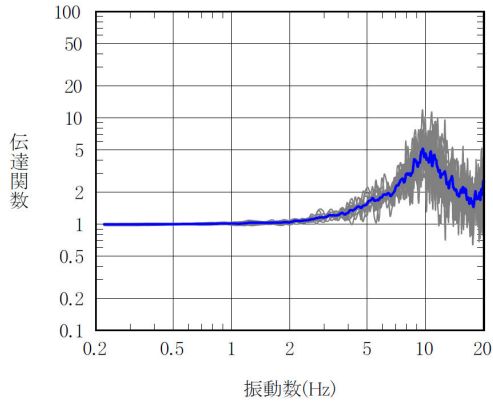
5.3.2 目的関数の設定

評価にあたっては、当社事業変更許可において実績のある、はざとり地盤モデルと同様に、収束計算に用いる目的関数を以下のとおり設定した。

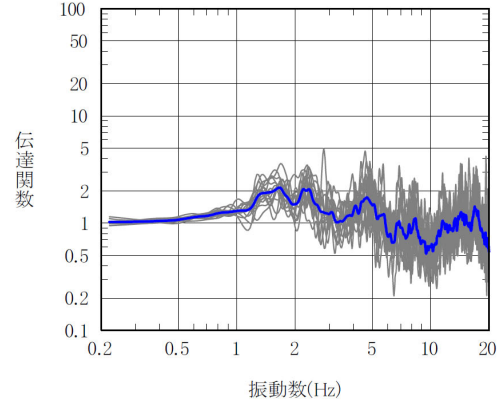
目的関数は、「5.2 評価に用いる地震観測記録」に示した各地盤観測点において得られている地震観測記録に基づき算定した、各観測深さ間の伝達関数の平均値とする。

伝達関数は、表層地盤と岩盤部分を個別に評価するために、各観測深さ（GL-200m, GL-125m, GL-18m 及び GL-2m）間のフーリエスペクトル比（全6組合せ）として算定した。第 5.3.2-1 図～第 5.3.2-3 図に、地震観測記録に基づく、各深さ間の伝達関数の作成結果を示す。

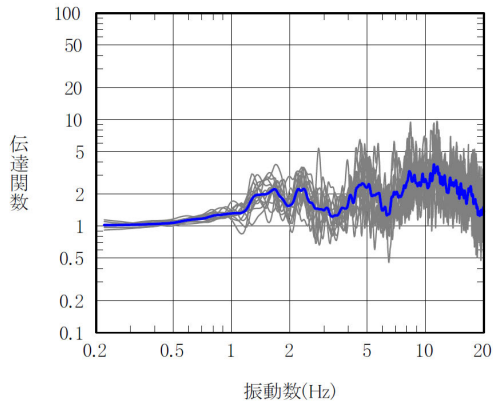
— 観測 (個別)
 — 観測 (平均)



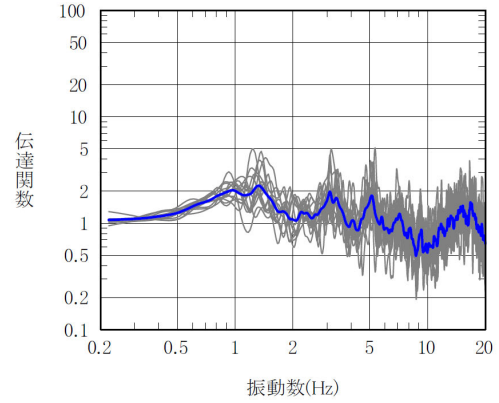
① GL-2m/GL-18m



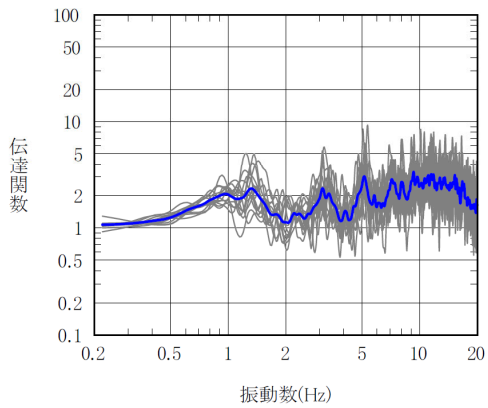
④ GL-18m/GL-125m



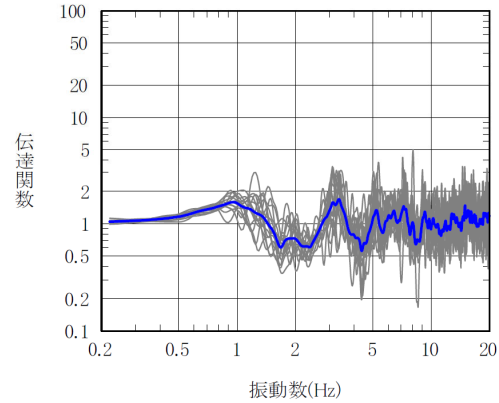
② GL-2m/GL-125m



⑤ GL-18m/GL-200m



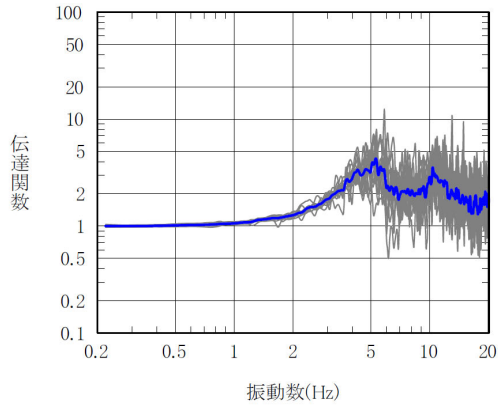
③ GL-2m/GL-200m



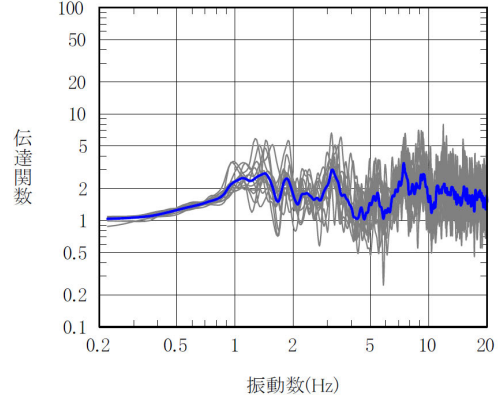
⑥ GL-125m/GL-200m

第 5.3.2-1 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数
 (中央地盤観測点, 灰色線: 個別地震, 青線: 目的関数)

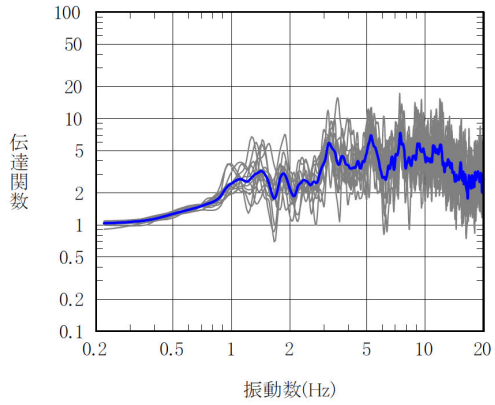
— 観測 (個別)
 — 観測 (平均)



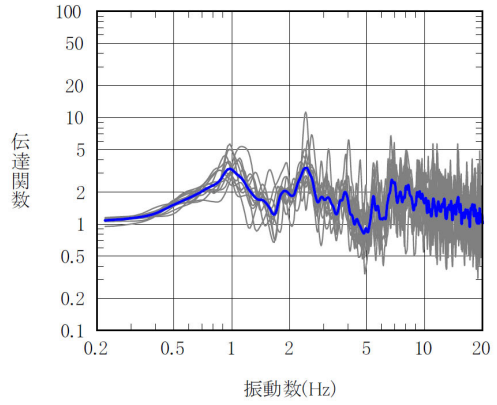
① GL-2m/GL-18m



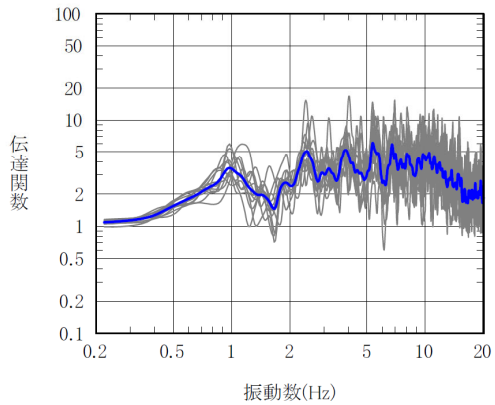
④ GL-18m/GL-125m



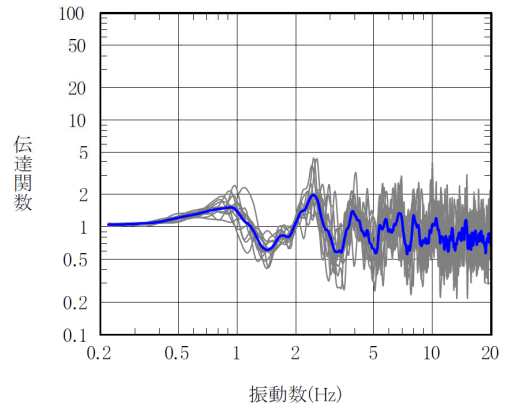
② GL-2m/GL-125m



⑤ GL-18m/GL-200m



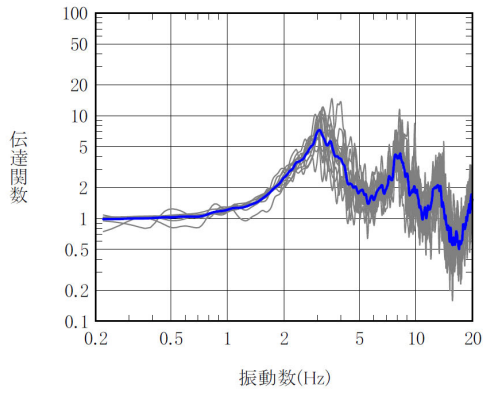
③ GL-2m/GL-200m



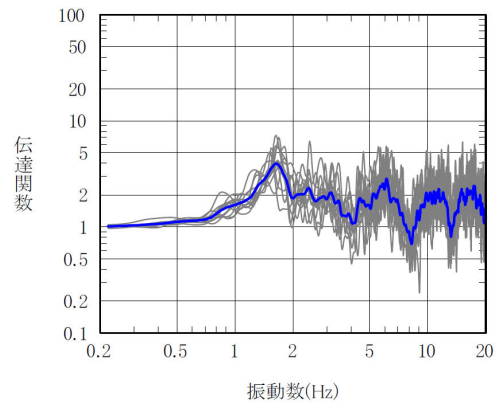
⑥ GL-125m/GL-200m

第 5.3.2-2 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数
 (西側地盤観測点, 灰色線: 個別地震, 青線: 目的関数)

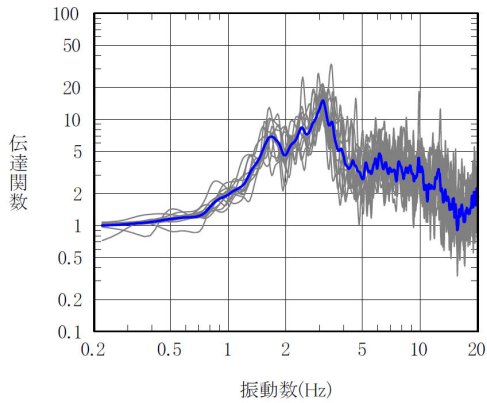
— 観測 (個別)
 — 観測 (平均)



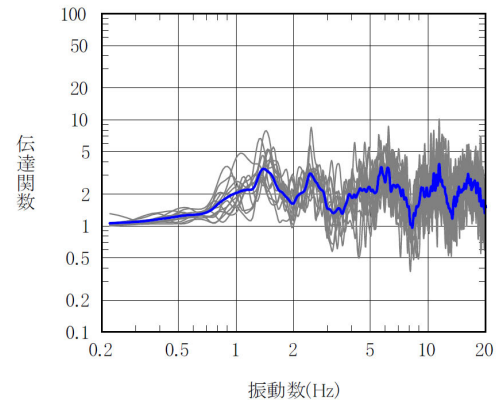
① GL-2m/GL-18m



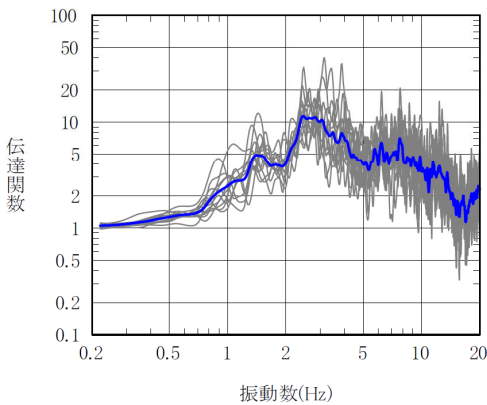
④ GL-18m/GL-125m



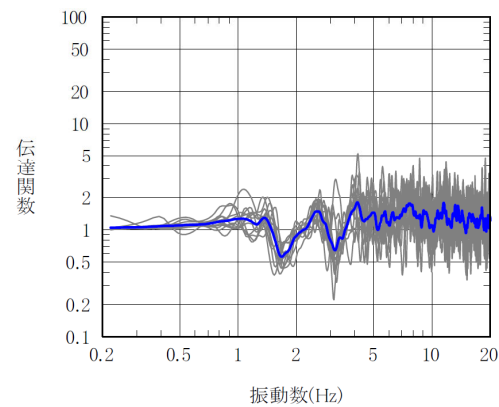
② GL-2m/GL-125m



⑤ GL-18m/GL-200m



③ GL-2m/GL-200m



⑥ GL-125m/GL-200m

第 5.3.2-3 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数

(東側地盤観測点, 灰色線: 個別地震, 青線: 目的関数)

5.3.3 評価方法及び条件

評価としては、各深さ（GL-200m, GL-125m, GL-18m 及び GL-2m）間の地震動の増幅特性を最もよく説明する減衰定数を、地震観測点ごとに遺伝的アルゴリズム法により同定し、その値が地震観測記録の応答スペクトルを再現可能であることを確認する。評価条件を第 5.3.3-1 表に示す。

ここで、評価対象とする減衰定数については、本検討の目的が、建物・構築物の入力地震動を算定する上で地盤モデルに設定する減衰定数を評価するものであることを踏まえ、周波数依存性を考慮しない条件とした。

第 5.3.3-1 表 遺伝的アルゴリズム法による評価条件

未知数	減衰定数 (h) (周波数依存性なし)
世代交代数	30 世代
個体数	30 固体
突然変異率	2 %
交差率	70%
未知変数のビット長	8 ビット
対象とする周波数範囲	0 ~ 20Hz

5.4 評価結果

「3. 敷地における減衰定数の評価」に示した手法に従い、減衰定数を評価した結果及び伝達関数の適合状況を第 5.4-1 表～第 5.4-3 表及び第 5.4-1 図～第 5.4-3 図に示す。地震観測記録を用いた減衰定数の評価の結果、解放基盤表面～基礎底面レベルの岩盤部分に相当する層の減衰定数として、中央地盤観測点においては 6.7%、西側地盤観測点においては 6.3%、東側地盤観測点においては 5.9%の減衰定数が得られた。

あわせて、「5.3.2 目的関数の設定」に示した目的関数に対する同定後の伝達関数の比較を示す。評価結果としては、いずれ観測点においても、5 世代目以降で概ね収束した解が得られていること、また、高振動数成分において乖離が見られるものの、建物・構築物の固有振動数帯である 2～3 Hz においては良好な対応を示しているほか、地盤の 1 次及び 2 次ピークの周波数が乖離している状況はみられず概ね整合的であること、さらに、西側及び東側地盤の評価において変動させた S 波速度についても、初期物性から大きく変動はしていないことから、各地震観測点における地下構造の特徴を踏まえた上で、最適な減衰定数が評価されていると考えられる。

ただし、伝達関数における各ピークの振幅比については、乖離の大きい周波数帯もみられることから、評価された減衰定数が妥当であることの確認として、地震観測記録を用いたシミュレーション解析を実施し、地盤応答の応答スペクトルが、地震観測記録とシミュレーション解析結果で整合するかの確認を実施した。

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

シミュレーション解析に用いる地盤モデルは、「5.3.1 初期モデルの設定及び探索範囲」に示した各地震観測位置における初期モデルに対して第 5.4-1 表～第 5.4-3 表に示した減衰定数の評価結果を反映したものとする。また、用いる地震は、各地震観測点において、大きな観測記録が得られている 2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震の NS 成分及び EW 成分において得られている地震観測記録とした。

シミュレーション解析の結果を第 5.4-4 図～第 5.4-6 図に示す。観測記録

と解析結果は、全周期帯において、概ね同等またはシミュレーション解析結果が観測記録に対して大きな地盤応答を与える結果となった。

以上のことから、今回検討において評価された、地震観測記録に基づく減衰定数は、敷地における地震観測記録をよく再現する値として評価されていることを確認した。

第 5.4-1 表 地震観測記録により評価された減衰定数
(中央地盤観測点)

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	減衰定数 h
0	2	1.94	470	0.166
-2	1.5	1.94	470	
-3.5	1.5	1.94	560	0.160
-5	13	1.64	720	0.111
-18	2	1.64	720	
-20	40	1.75	760	0.067
-60	60	1.85	830	
-120	5	1.85	950	0.055
-125	75	1.85	950	
-200	—	1.85	950	

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

第 5.4-2 表 地震観測記録により評価された減衰定数

(西側地盤観測点)

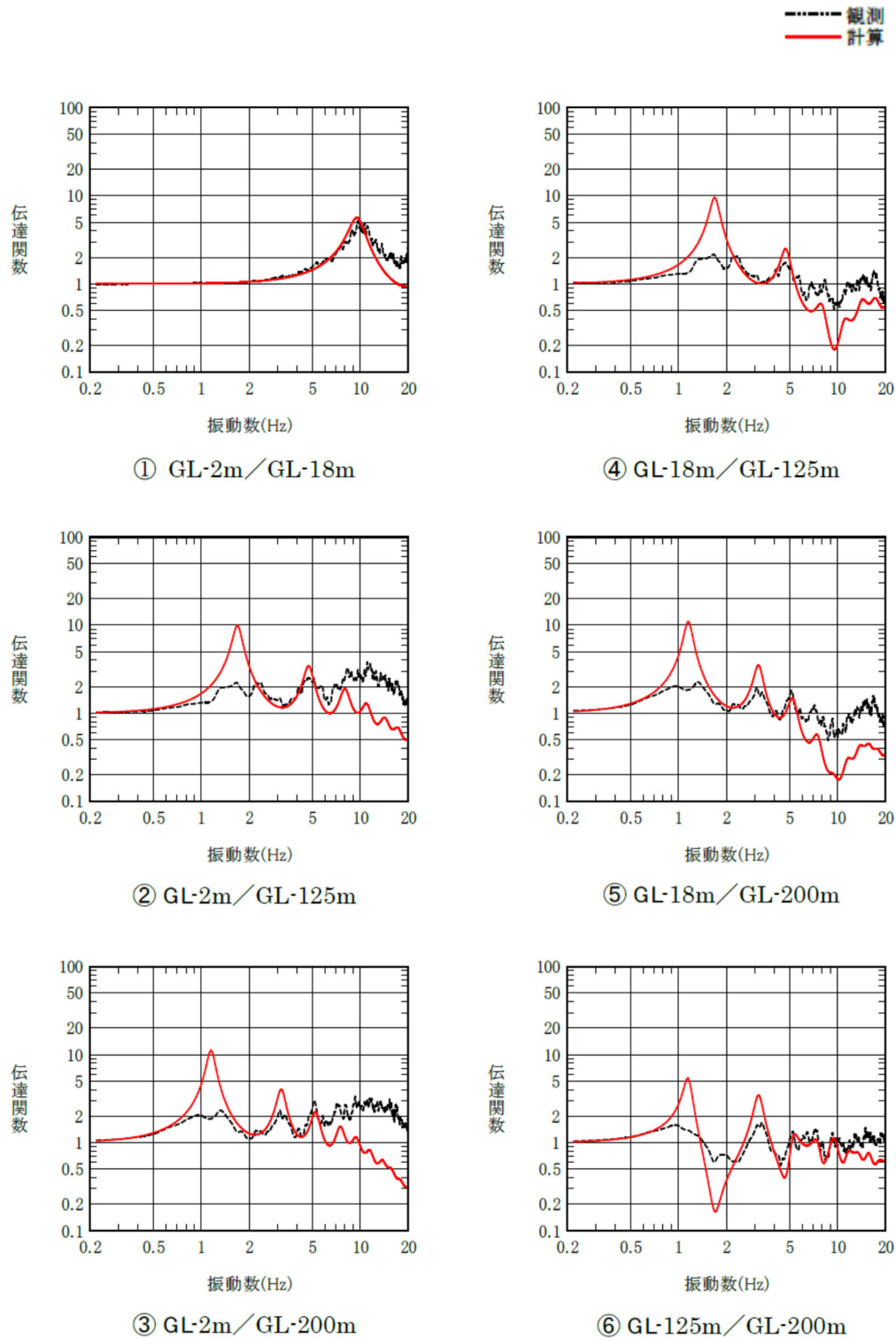
深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h
0	2	1.73	240	0.164
-2.00	8.1	1.73	240	
-10.1	7.9	2.02	480	0.069
-18.00	18.82	2.02	480	
-36.82	75.78	1.59	590	0.063
-112.60	12.40	1.75	760	0.055
-125.00	63.87	1.75	760	
-188.87	11.13	1.57	960	
-200.00	—	1.57	960	

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

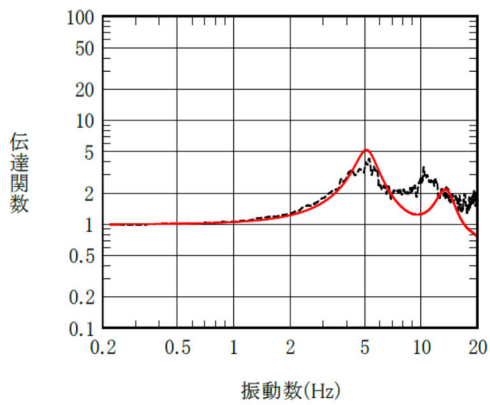
第 5.4-3 表 地震観測記録により評価された減衰定数
(東側地盤観測点)

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S 波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h
0	2	1.69	190	0.079
-2.00	12.73	1.69	190	
-14.73	3.27	1.72	310	0.060
-18.00	0.68	1.72	310	
-18.68	97.05	1.59	850	0.059
-115.73	9.27	1.82	1130	0.049
-125.00	34.31	1.82	1130	
-159.31	40.69	1.90	1150	
-200.00	—	1.90	1150	

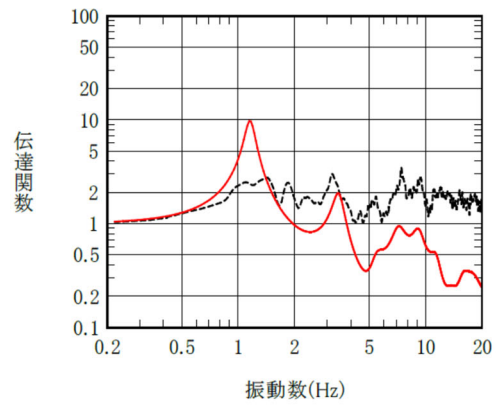
解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当



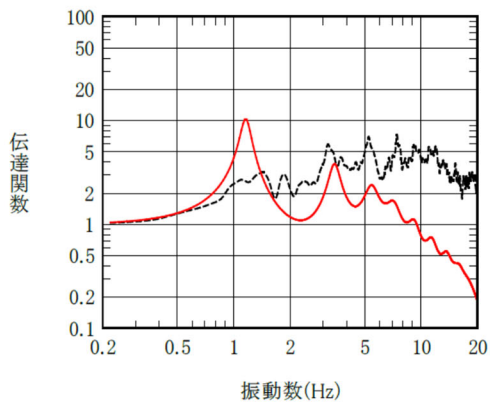
第 5.4-1 図 評価結果 (伝達関数フィッティング結果, 中央地盤観測点)



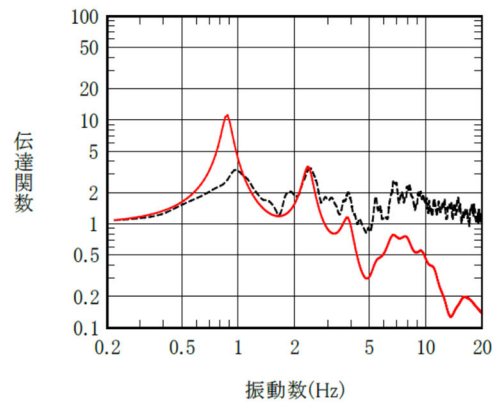
① GL-2m/GL-18m



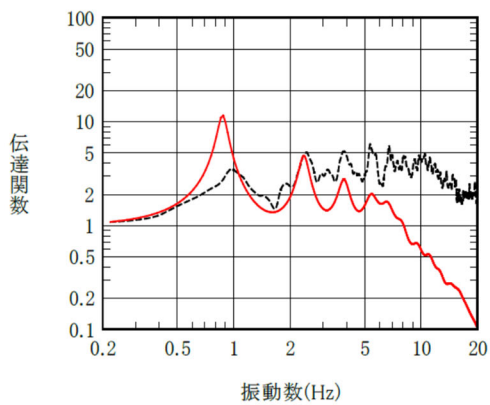
④ GL-18m/GL-125m



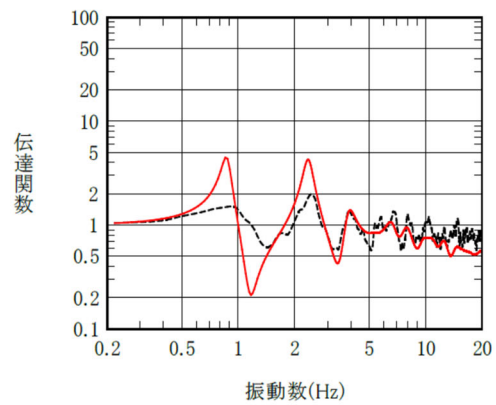
② GL-2m/GL-125m



⑤ GL-18m/GL-200m

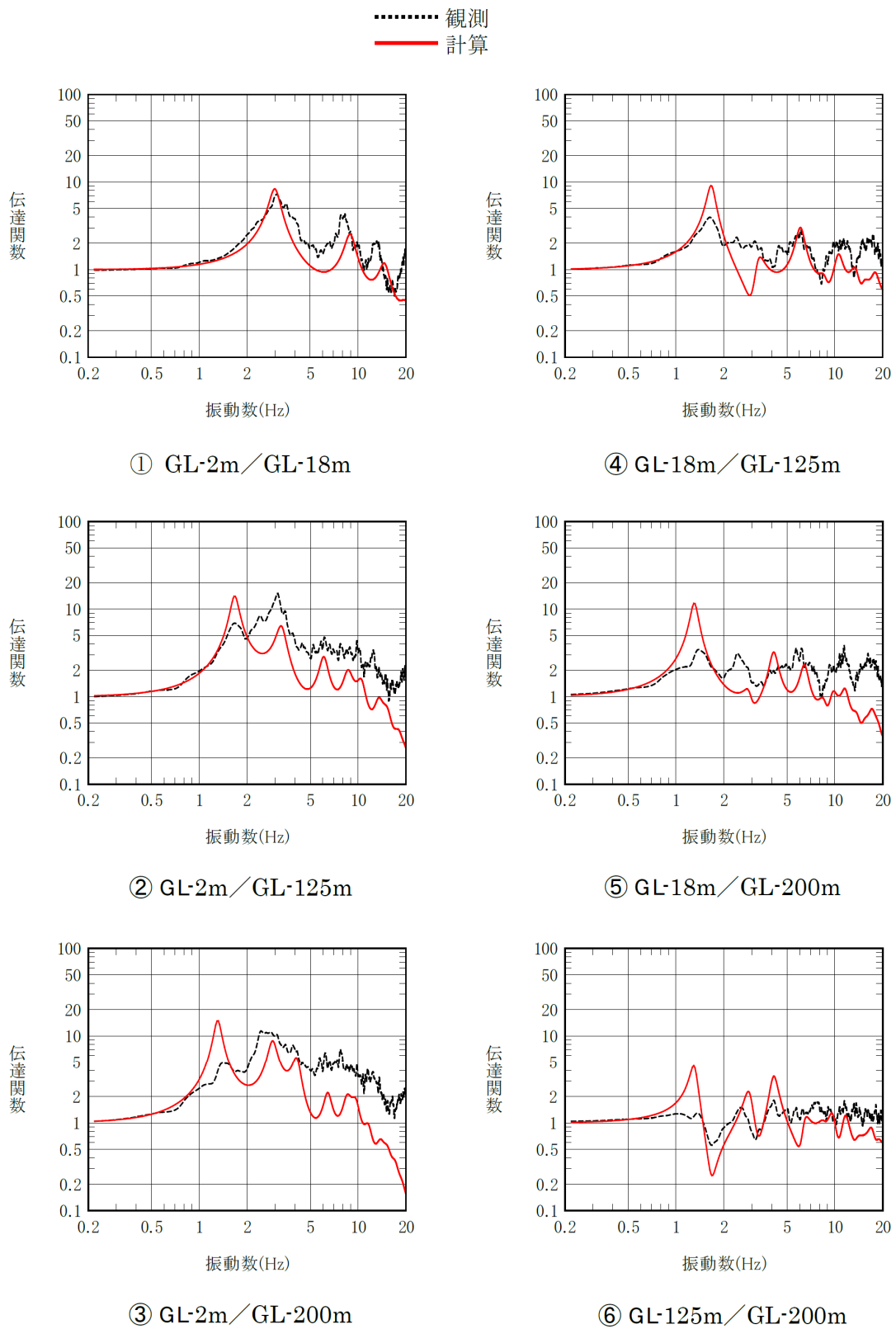


③ GL-2m/GL-200m

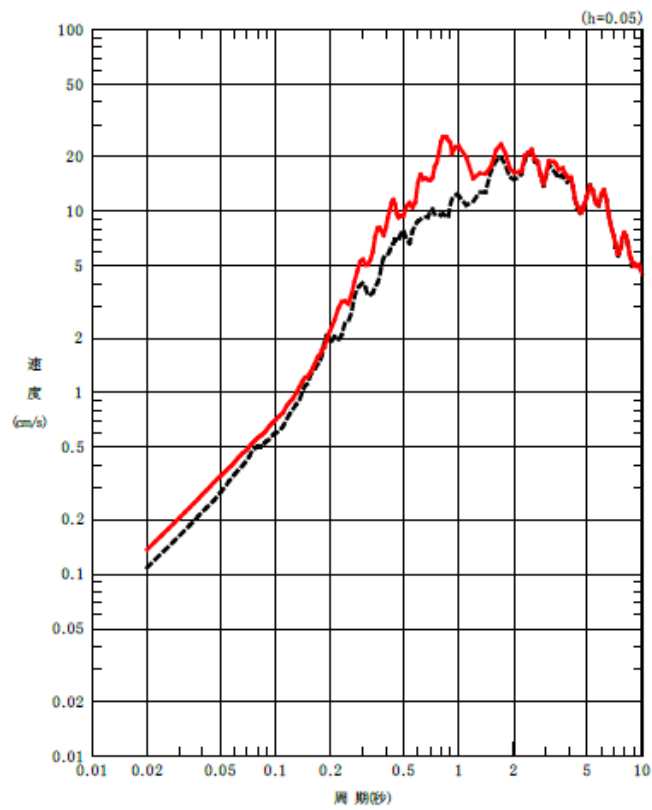


⑥ GL-125m/GL-200m

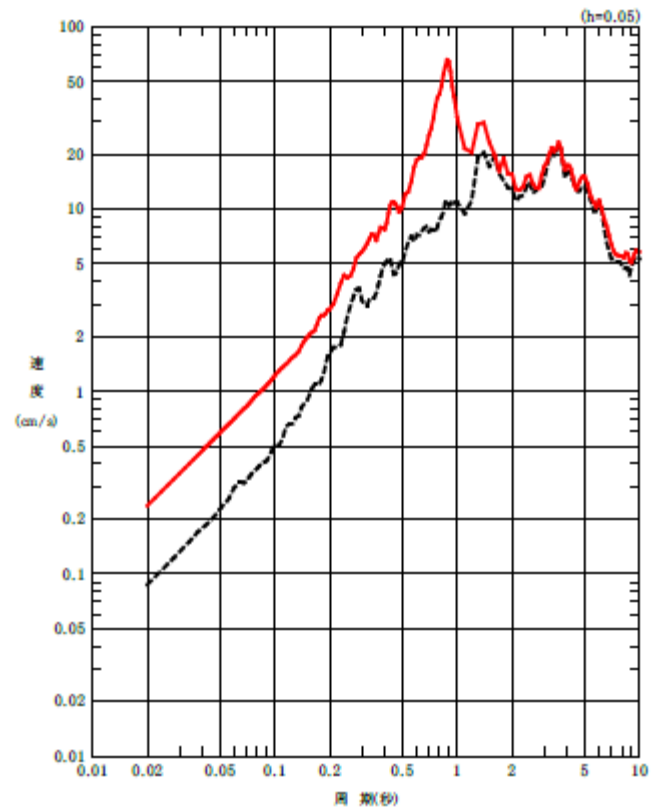
第 5.4-2 図 評価結果 (伝達関数フィッティング結果, 西側地盤観測点)



第 5.4-3 図 評価結果（伝達関数フィッティング結果，東側地盤観測点）



(a) NS 成分

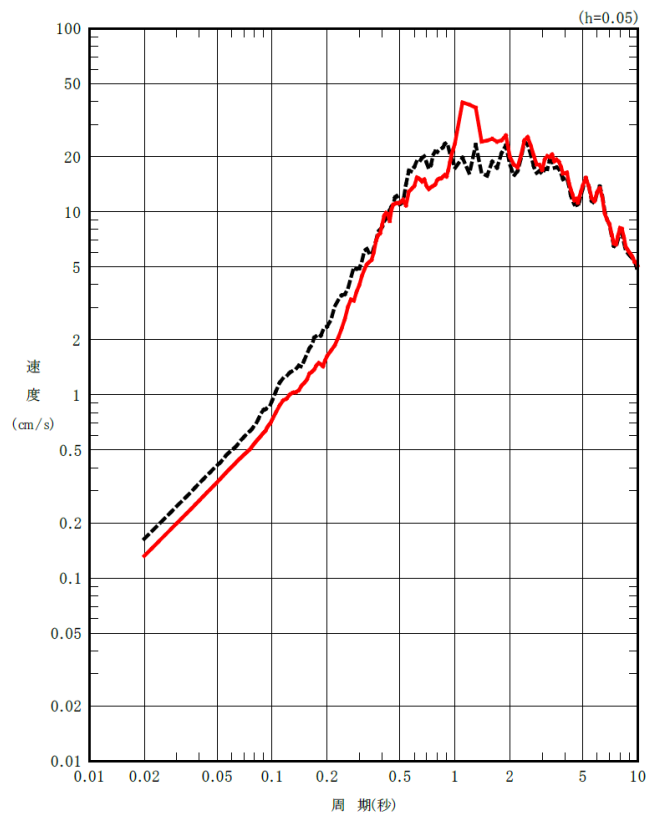


(b) EW 成分

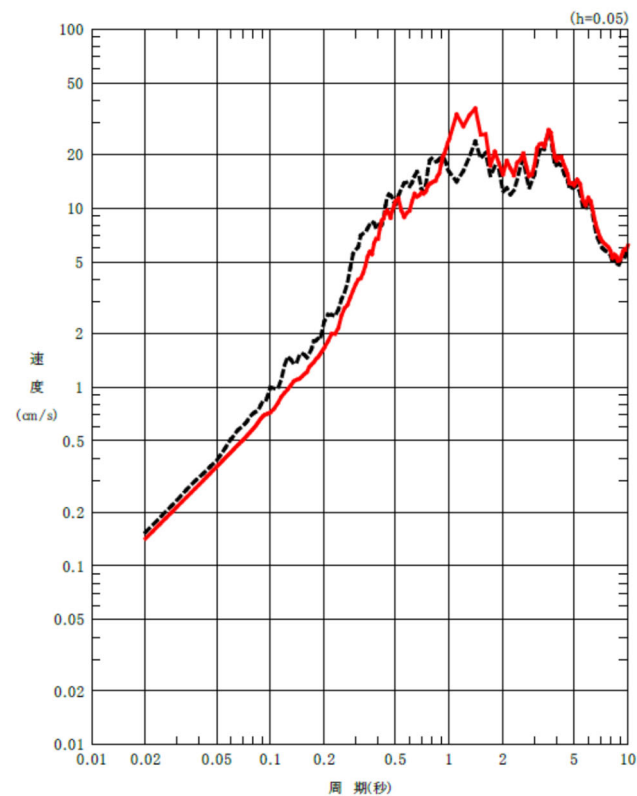
第 5.4-4 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

(中央地盤観測点, 2011.3.11 東北地方太平洋沖地震 NS 成分)

(黒: 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録, 赤: 同定された減衰定数を用いた GL-18m における解析結果)



(a) NS 成分

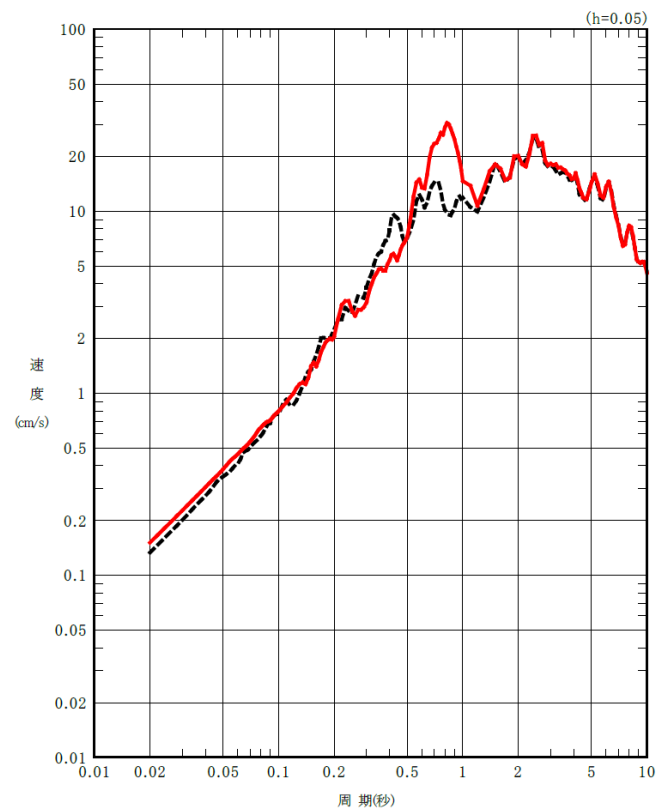


(b) EW 成分

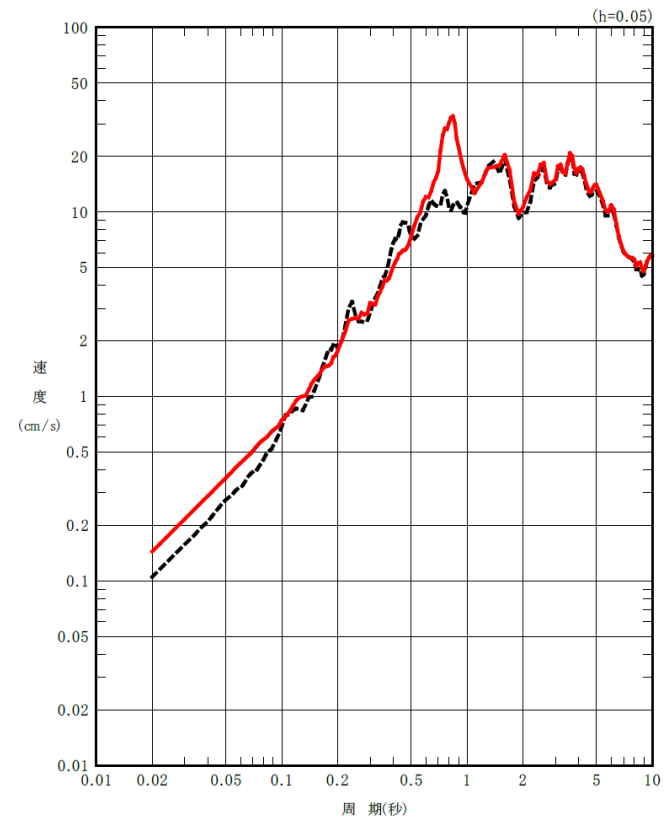
第 5.4-5 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

(西側地盤観測点, 2011.3.11 東北地方太平洋沖地震 NS 成分)

(黒：建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録, 赤：同定された減衰定数を用いた GL-18m における解析結果)



(a) NS 成分



(b) EW 成分

第 5.4-6 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

(東側地盤観測点, 2011.3.11 東北地方太平洋沖地震 NS 成分)

(黒：建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録, 赤：同定された減衰定数を用いた GL-18m における解析結果)

6. 評価結果に対する考察

6.1 既往知見等または評価手法間の整合性

「5.4 評価結果」に示した、地震観測記録に基づく手法による各地震観測点における解放基盤表面～基礎底面レベルの岩盤部分に相当する層の減衰定数の評価結果について、JEAG4601-1987に示される他の評価手法や、既往知見における値との比較を行う。

地震観測記録を用いた評価結果によれば、解放基盤表面～基礎底面レベルの岩盤部分に相当する層の減衰定数として、中央地盤観測点においては6.7%、西側地盤観測点においては6.3%、東側地盤においては5.9%の減衰定数が得られている。この値によれば、敷地内のいずれの地点においても、JEAG4601-2015に示される、既設発電所における減衰定数の設定に係る調査に基づく設計上の慣用値のうち、軟岩サイトにおける範囲（3～5%）よりも大きい値となっている。

一方、今回実施した地震観測記録を用いた減衰定数の評価における知見として、嶋ほか（1983）におけるいわき地点の検討が挙げられるが、当該地点における地震観測記録に基づき定めた減衰定数（第3.2.1-1図）については、最大8%程度の値が得られており、また、建物・構築物の固有振動数帯（2～3Hz）における値を読み取れば、約6%の減衰定数が得られていることから、本検討において評価した岩盤部分の減衰定数は、敷地内のいずれの地点においても、実現象をよく説明する減衰定数の値としては、既往の知見から乖離したものとはなっておらず、適切に評価されていると考えられる。

また、JEAG4601-1987にて示される減衰定数の評価手法のうち、S波検層による評価については、「4. 敷地におけるS波検層による評価」に示したとおり、敷地におけるデータが得られていることから、その結果との比較を行った。

「3.1.2 S波検層による評価」に示したとおり、S波検層による評価は、地震観測記録による評価と同様に、材料減衰と散乱減衰の両方が含まれた減衰定数を評価可能であるが、「4. 敷地におけるS波検層による評価」に示したとおりターゲットとしている周波数レンジは10Hz又は20Hzよりも高振動数側の領域となっている。また、第4-2図に示したとおり、敷地におけるS波検層による評価結果としては、周波数依存性を有し、低周波になるほど減衰定数は大きな値となっており、評価対象周波数のうち最低周波数（10Hzまたは20Hz）においては、4%～6%を上回る減衰定

数が得られている。このことから、建物・構築物の固有振動数帯（2～3 Hz）に着目した減衰定数を鑑みると、上記値よりも大きな値が地震観測記録による評価結果として得られていることは、特異な結果ではないと考えられる。

6.2 事業変更許可申請におけるはぎとり地盤モデルとの関係

本資料における減衰定数の評価にあたって用いる初期地盤モデルについては、中央地盤観測点位置においては、事業変更許可にて示したはぎとり地盤モデルの速度構造を用いている。すなわち、地震観測記録の振動特性を説明できるようにチューニングが行われている速度構造を用いている。

このことから、中央地盤観測点については、本資料における検討結果とはぎとり地盤モデルの差異は、「5.3.1 初期モデルの設定及び探索範囲」に示した、減衰定数に対する周波数特性の考慮の有無の違いのみとなる。

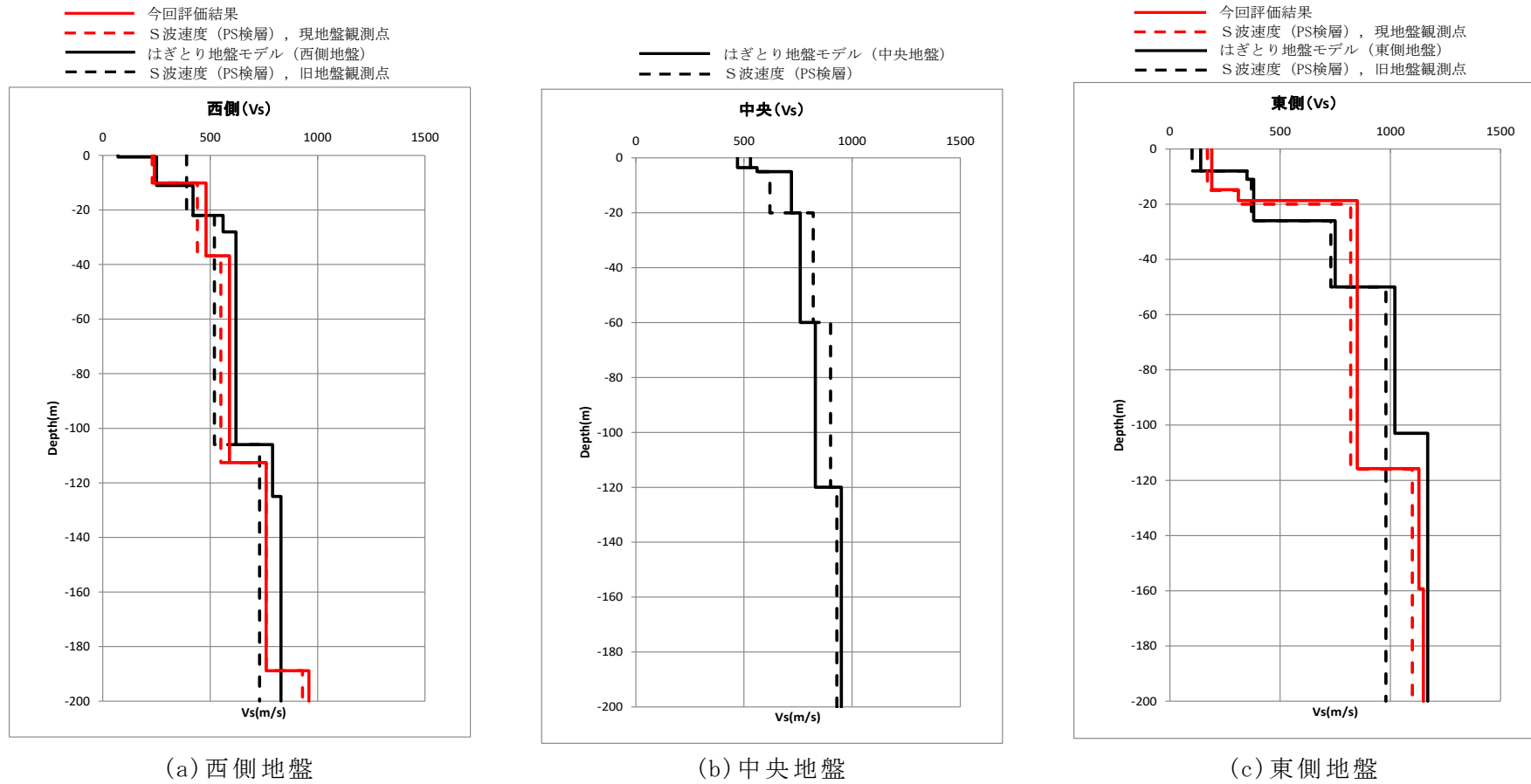
一方で、西側地盤観測点及び東側地盤観測点位置において、事業変更許可にて示しているはぎとり地盤モデルについては、「5.1 敷地における地震観測の概要」に示した 2004 年以前の地震観測位置の地盤データ及び地震観測記録に基づいて作成しているが、本資料における評価にあたっては、比較的大振幅の地震観測記録が得られている 2008 年以降の地震観測位置における地盤データを初期地盤モデルとして用い、減衰定数の評価とあわせて、地震観測記録の振動特性を説明できるように速度構造のチューニングを今回行っている。

このことから、西側地盤観測点及び東側地盤観測点については、本資料における検討結果とはぎとり地盤モデルの差異は、「5.3 評価方法」に示した、減衰定数の周波数特性の考え方の違いに加え、速度構造も異なる。

事業変更許可においては、地震観測位置の移設前後で、PS 検層結果に大きな差異は認められず、また、推定されたはぎとり地盤モデルとも概ね整合していることを説明している。今回評価を行った 2008 年以降の地震観測位置についてチューニングされた速度構造についても同様の比較を行った結果を第 6.2-1 図に示す。

結果として、今回評価を行った 2008 年以降の地震観測位置について、西側及び東側地盤観測点においてチューニングされた速度構造についても、地震観測位置の移設前後における PS 検層結果及び事業変更許可にて示した 2004 年以前の地震観測位置におけるはぎとり地盤モデルと概ね同等となっていることを確認した。

以上のことから、本資料において、2008 年以降の地震観測位置における地盤データに基づいて速度構造をチューニングした結果については、事業変更許可における説明とも整合していることを確認した。



第 6.2-1 図 今回評価した地震観測点における PS 検層結果

及びはぎとり地盤モデルの速度構造の比較

(2020 年 2 月 21 日第 339 回審査会合 資料 1-4-1 p48 に加筆修正)

6.3 シミュレーション解析結果における観測記録との差に関する分析

「5.4 評価結果」に示したとおり、地震観測記録を用いた評価にあたっては、伝達関数のフィッティング結果に対する検証として、地震観測記録を用いたシミュレーション解析を実施している。

地震観測記録を用いたシミュレーション解析においては、地震観測記録よりも地震動を大きく評価する等の乖離が一部方向や周期帯において見られる。具体的な状況を以下①及び②に示す。これらの要因について考察を実施した。

- ①中央、西側、東側地盤共通の特徴としては、周期 1 秒付近において、観測記録よりもシミュレーション解析結果が大きく評価される。
- ②中央地盤においては、NS 成分と比較して、EW 成分における観測記録とシミュレーションの乖離が大きい。

考察にあたっては、シミュレーション解析を基礎底面相当レベルである GL-18m の地盤応答の比較として実施していることから、GL-18m までの上昇波による影響が支配的であると考え、GL-18m/GL-200m の伝達関数のフィッティング状況に着目して行った。

(1) 上記①に対する考察

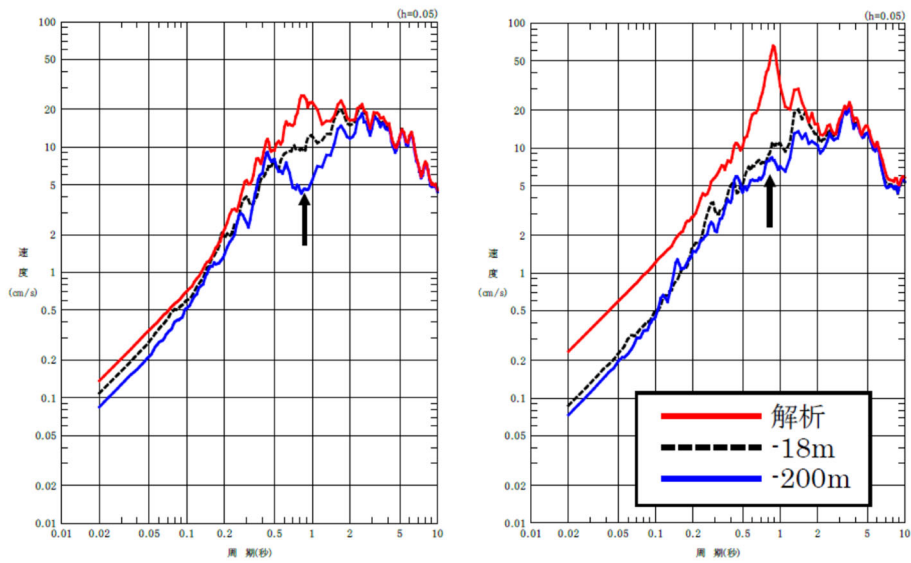
第 5.4-4 図～第 5.4-6 図に示すとおり、シミュレーション解析結果は、周期約 1 秒において、地震観測記録では見られないピークが発生している傾向となっており、その傾向は、中央地盤観測点、西側地盤観測点及び東側地盤で共通となっている。

第 5.4-1 図～第 5.4-3 図の⑤に示した、各位置の GL-18m/GL-200m における地震観測記録から得られた伝達関数（目的関数）は、周期 1 秒に相当する 1Hz の周波数帯にて、1 次のピークを有する傾向となっており、各位置で共通的な特徴となっている。

一方、フィッティングの結果によれば、約 1Hz の周波数帯のピーク的位置についてはよく再現しているものの、伝達関数を約 5 倍程度大きく評価している。この傾向は、今回検討にあたり評価する減衰定数を、建物・構築物の入力地震動を算定することを目的とした設定として、低周波ほど大きくなるような周波数依存性を考慮しない条件としたために、低周波側の伝達関数を大きく評価する結果となったものと考えられる。

(2) 上記②に対する考察

中央地盤において、NS 方向と比較して、EW 方向の方が観測記録よりも大きなシミュレーション解析結果が得られている要因としては、第 6.3-1 図に示すとおり、GL-200m において周期 0.9 秒付近で NS 成分のみ応答スペクトルの谷が見られるという当該地震固有の特徴があることから、(1)に示した周期約 1 秒を大きく評価する傾向と相まって、応答スペクトル上の短周期領域までを大きく評価したと考えられる。



第 6.3-1 図 GL-200m 地中観測記録とシミュレーション解析結果の比較

6.4 Ss 地震時における非線形性を考慮した減衰定数に係る考察

本資料における減衰定数の評価結果との関係の確認として、「岩盤部分の非線形性に係る検討について」に示す、ひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）に基づく Ss 地震時の岩盤部分のせん断ひずみに対応した減衰定数に基づく考察を以下に示す。

今回、減衰定数の評価に用いた 19 地震の観測記録のうち、最大の加速度を有する地震は、最深部（GL-200m）において 30Gal 程度のものであることから、今回実施した評価では、地盤が線形状態であるときの減衰定数を評価していると考えられる。

中央地盤、東側地盤及び西側地盤の各岩種におけるひずみ依存特性により求めた減衰定数は以下のとおりであり、地盤の非線形化が進行することで、地盤の減衰定数が大きくなることを確認した。

なお、地盤のせん断ひずみに対応する減衰定数については、添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」及び「II-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す各岩種のひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）を用いて算定した。

- ・細粒砂岩：線形条件：約 1.3%，非線形条件：約 2.3%
- ・泥岩（下部層）：線形条件：約 1.3%，非線形条件：約 1.6%
- ・粗粒砂岩：線形条件：約 1.6%，非線形条件：約 2.7%
- ・砂質軽石凝灰岩：線形条件：約 1.5%，非線形条件：約 2.9%
- ・凝灰岩：線形条件：約 1.5%，非線形条件：約 4.1%
- ・軽石凝灰岩：線形条件：約 1.3%，非線形条件：約 3.8%
- ・軽石質砂岩：線形条件：約 0.8%，非線形条件：約 2.0%
- ・軽石混り砂岩：線形条件：約 1.5%，非線形条件：約 3.5%
- ・礫岩：線形条件：約 0.3%，非線形条件：約 2.0%
- ・泥岩（上部層）：線形条件：約 1.4%，非線形条件：約 2.0%
- ・砂岩・凝灰岩互層：線形条件：約 2.0%，非線形条件：約 3.8%
- ・礫混り砂岩：線形条件：約 1.1%，非線形条件：約 2.7%

ひずみ依存特性により求めた減衰定数については、JEAG 4601-1987 に記載のとおり、地盤の非弾性的性質による材料減衰として示される。

しかし、JEAG4601-1987 においては、地盤の減衰定数について、材料減衰、

散乱減衰及び各種波動現象を含んだ減衰定数となっていると言われており、評価手法ごとに、以下の関係性となっている。

$$h_{\text{室内試験}}(\text{材料減衰}) < h_{\text{弾性波探査}}(=\text{材料}+\text{散乱}) < h_{\text{地震観測}}$$

本資料において観測記録により評価した減衰定数は、線形条件における材料減衰、散乱減衰及び各種波動現象を含んだ値として評価されているものであり、Ss地震時には、上記のうち材料減衰が、線形条件における値(約0.3%～約2.0%)から大きくなる(約1.6%～約4.1%)ことを踏まえると、非線形状態が見込まれるSs地震時には、地震観測により評価した減衰定数は、さらに大きい値となると考えられる。

なお、第1回申請(PA, A4B)において考慮した地盤の減衰定数については、三軸圧縮試験に基づく材料減衰のみを考慮した減衰定数を設定した。

本来であれば、「1. はじめに」に示した本資料における検討の位置付けと同様に、まずは一般的・標準的な地盤物性値の設定方法に基づき、敷地における岩盤部分の減衰定数として、材料減衰と散乱減衰を含めた減衰定数を把握した上で、パラメータの設定を行う必要があったが、第1回申請においては、本資料に示すような検討までは行わずに、上記の設定結果を示したものである。

ただし、材料減衰のみを考慮することにより、結果的に小さい値の減衰定数を採用していることになるため、一般的・標準的な減衰定数の方法に従った設定を考慮したとしても、第1回申請において算定した入力地震動が非安全側となることはない。

7. まとめ

本資料において整理した，一般的・標準的な手法による岩盤部分の減衰定数の設定に係る検討結果は以下のとおりである。

①JEAG4601-2015に示される岩盤の減衰定数

・軟岩サイトにおける慣用値として，3～5%の値が示されている。

②JEAG4601-1987に示される手法に基づく検討結果

・敷地におけるS波検層による減衰定数の評価として，20Hzにおいて約4%以上の減衰定数が得られている。

・敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価として，中央地盤観測点においては6.7%，西側地盤観測点においては6.3%，東側地盤観測点においては5.9%の減衰定数が得られた。

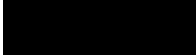
基本地盤モデルのうち，岩盤部分の減衰定数については，他のデータ拡充の可否を含めた検討を実施した上で設定する。

表層地盤の物性値に係る検討について

- 本資料は、4月24日審査会合にて示した、地盤モデルの設定に係る因子のうち、表層地盤（埋戻し土及び流動化処理土）の物性値に係る検討結果を示すものである。
- 文中の下線部は R1 からの変更箇所を示す。
- 本資料の内容については、今後、補足説明資料「耐震建物 08 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」への取り込みを検討する。

目 次

	ページ
1. はじめに	1
2. 埋戻し土の物性に係る検討	2
2.1 均質性及び物性値設定について	2
2.1.1 埋戻し土の施工管理状況	2
2.1.2 埋戻し土の物性値設定について	6
2.1.3 埋戻し土の均質性について	8
2.1.4 数値統計学に基づく埋戻し土の物性値 (G_0) の最尤モデル	12
2.1.5 まとめ	15
2.2 物性値の不確実性に関するパラメータスタディ	16
2.2.1 ばらつきを有する表層地盤の加速度応答	16
2.2.2 ばらつきを有する地盤の実現象範囲	19
2.2.3 まとめ	21
2.3 埋戻し土の物性設定のまとめ	22
3. 流動化処理土の物性に係る検討	23
3.1 均質性及び物性値設定について	23
3.1.1 流動化処理土の施工管理状況及び均質性	23
3.1.2 流動化処理土の物性値設定について	27
3.2 流動化処理土の物性設定のまとめ	28
4. 表層地盤のまとめ	29

 : 商業機密の観点から公開できない箇所

1. はじめに

本資料は、地盤モデルの設定パラメータとなる4因子のうち、表層地盤の物性値等について、既認可時の地盤モデルを踏襲した地盤モデル(以下、「申請地盤モデル」という。)との差分を確認するために、一般的・標準的な表層地盤物性値の設定方法に基づく、データの整理結果を示すものである。

建築物の設計において表層地盤の物性値を設定する場合、建築物近傍のボーリング試験により得られたデータに基づき設定することが一般的な考え方である。

当該地点の建物・構築物は、施設の特徴から建屋間の連携をとるために、複数の建物・構築物を同時に構築することから広範囲な掘削、埋戻しが実施されている。建物・構築物周辺の埋戻しについては、建物近傍の排水を目的として、砂質土としての特性を維持するために、十分な品質管理の下で施工が実施されている。このことから、一般的な考え方に基づくデータの整理にあたっては、埋戻し土の施工プロセスや品質管理条件にも着目して実施する。

表層地盤は人工材料であることから、一定の品質管理のもとで均質に施工されれば、広範囲のエリアに同一の物性値を用いることができ、複数のボーリング孔から得られる統計的に信頼できる物性値を設定できるものと考えられる。

以上のことを踏まえ、本資料では、当該敷地における表層地盤(埋戻し土)の均質性について、施工管理の観点から検討を行う。表層地盤(埋戻し土)の物性値の設定については、本来の土質材料としての力学特性に基づき考察を行い、さらに、数値統計理論により、物性値として与えるべき最適な統計的モデルについて説明する。また、施工管理された埋戻し土においても一定のばらつきを有することを前提とし、埋戻し土が有する確率分布モデル(平均と標準誤差による正規分布)を適用したモンテカルロシミュレーションにより不確かさに関する考察を行った。

なお、表層地盤(流動化処理土)についても、その均質性について施工管理の観点から検討を行い、物性値の設定について検討を行う。

2. 埋戻し土の物性に係る検討

2.1 均質性及び物性値設定について

2.1.1 埋戻し土の施工管理状況

埋戻し土は、第 2.1.1-1 図に示すとおり、敷地内北側が 1999 年以前、敷地内中央部から南側にかけて 2000 年以降に施工しており、第 2.1.1-1 表に示す材料基準、施工手順及び管理基準により実施され、品質管理記録により施工時の品質(管理基準値)を確認している(参考1)。

埋戻し土の施工については、敷地における掘削土を段丘砂又は六ヶ所層の砂及び鷹架層掘削に伴う岩ズリに対し、土質性状に応じて粒度毎に仮置きし、水分調整及び粒度調整をして混合する手法(ストックパイル方式)により施工している。

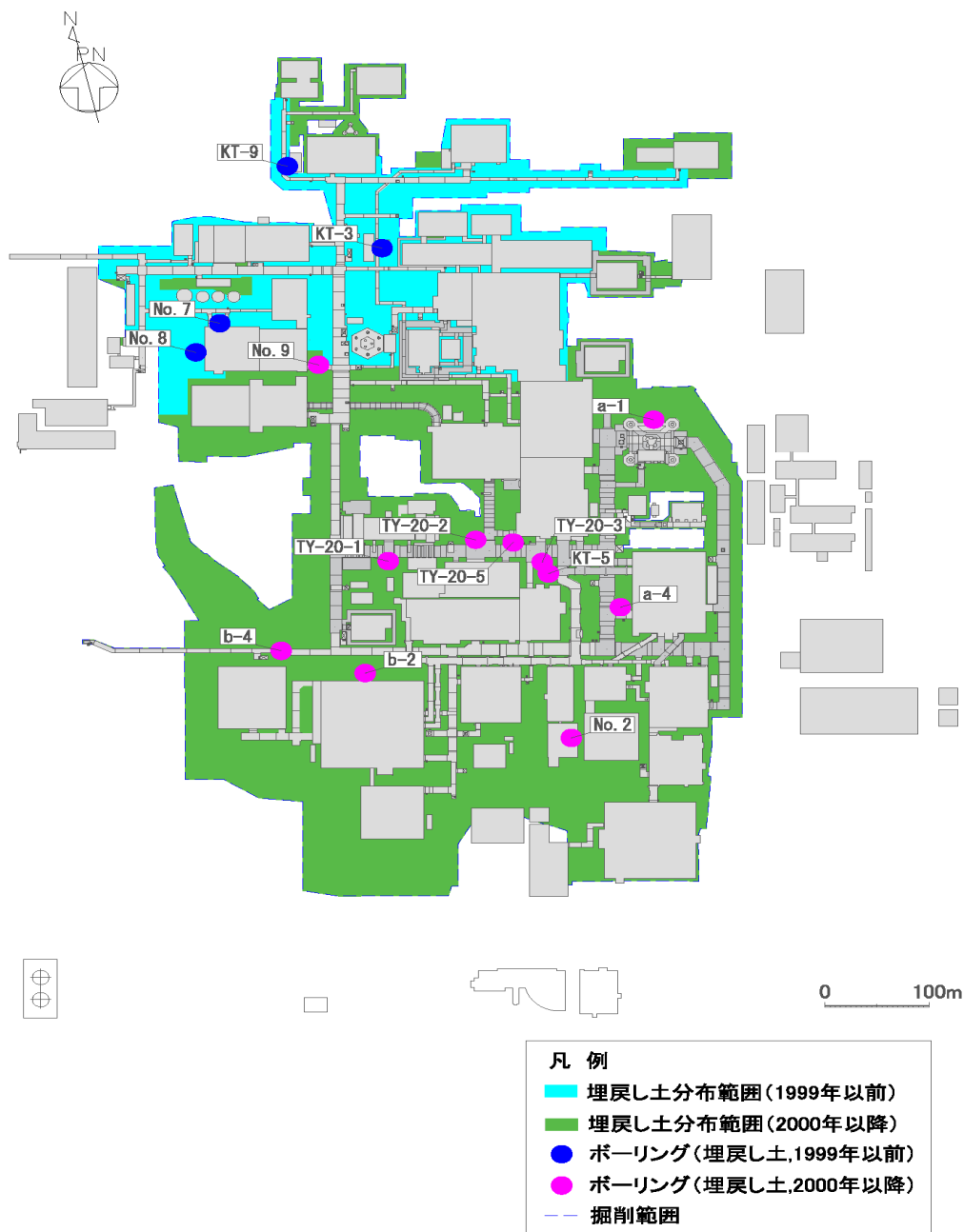
まず、ストックパイルヤードにおいては、掘削土等をバックホウにより混合・攪拌することで粒度調整される。建設工事の進捗に応じ、埋戻し土を対象箇所付近に運搬・仮置きし、場内小運搬により当該所定の場所に設置される。撤出し及び転圧にあたっては、工事着手前の試験施工によって確認された撤出し厚さ及び転圧回数の基準を定め、たうえで施工している。また、敷地内の埋戻し施工については、第 2.1.1-1 表の施工プロセスによるものとなっているが、品質管理においては、1999 年以前はポータブルコーン試験による貫入抵抗、2000 年以降は締固め度により、施工結果を確認している。

1999 年以前の埋戻し土については、敷地北側のエリアにおいて撒き出した各層毎にコーン貫入試験を実施しており、一軸圧縮試験で得られる一軸圧縮強度 qu と同等の評価ができるコーン貫入抵抗により管理を行っている。2000 年以降は、敷地南側のエリアにおいて締固め度 $D_c=90\%$ 以上を締固め仕様として管理を行っている。両者とも最大乾燥密度と最適含水比による締固め材料基準に基づき、既定の撤出し厚における振動ローラ、ブルドーザ等による転圧が行われ、品質記録の確認により土質材料として十分に締め固まった品質が確保されている。

土の締固め管理として 1999 年以前はポータブルコーン試験により、一軸圧縮強度 $qu \geq 0.2\text{MPa}$ を目標に管理を行っており、せん断強度は、 $\tau = qu/2 = 0.2/2 = 0.1\text{MPa}$ となる。第 2.1.1-2 図に埋戻し土の強度特性として 1999 年以前と 2000 年以降を合わせた非排水せん断強度と圧密応力の関係を示す。埋戻し土の非排水せん断強度は、深度 10m 相当で 0.11MPa 程度の値が得られている。敷地全体の埋戻し土の強度については、第 2.1.1-2 図に示すとおり、1999 年以前と 2000 年以降で同様な値となっている。

なお、砂質土における強度特性と締固め度の関係(第 2.1.1-1 表※2)に基づけば、 $qu=0.2\text{MPa}$ から換算されるせん断抵抗角 ϕ は 36° となり、せん断抵抗角と締固め度の関係式より、締固め度 96% 程度の値が得られる。先の第 2.1.1-2 図に示した当該地点の埋戻し土のせん断抵抗角 ϕ も 37° の値が得られていることから、1999 年以前の締固め度は 90% 以上が維持されているものと言える。

以上のことから、敷地内すべての埋戻し工事における施工プロセスはほぼ同等であり、埋戻し土は均質となるよう管理されていると考える。



注 建物・構築物と重なるボーリング孔については、当該建物・構築物の設置前にボーリング調査を実施している。

第 2.1.1-1 図 埋戻し土の施工範囲及び施工年代平面図

第 2.1.1-1 表 埋戻し土の密度及び力学特性に係る品質管理一覧

(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盤の支持性能について[耐震地盤 01]から引用して加筆)

	1999 年以前	2000 年以降
材料基準	段丘砂(中位段丘) 最大乾燥密度, 最適含水比	ブレンド材(鷹架層及び六ヶ所層) 最大乾燥密度, 最適含水比
施工手順	<p>ストックパイルヤード</p> <pre> graph TD A[混合・攪拌 (バックホウ)] --> B[積込・運搬 (バックホウ・ダンプ)] B --> C[埋戻し箇所付近] C --> D[現場仮置き] D --> E[小運搬 (バックホウ・ダンプ)] E --> F[投入 (バックホウ・クラムシェル)] F --> G[撒出し・数均し (ブルドーザ)] G --> H[転圧 (振動ローラ、タンバ)] H --> I[次工程引渡し] </pre> <p>(品質管理) 最大乾燥密度 最適含水比</p> <p>(品質管理) 撒出し厚さ</p> <p>(品質管理) ポータブルコーン貫入試験 転圧回数</p>	<p>ストックパイルヤード</p> <pre> graph TD A[混合・攪拌 (バックホウ)] --> B[積込・運搬 (バックホウ・ダンプ)] B --> C[埋戻し箇所付近] C --> D[現場仮置き] D --> E[小運搬 (バックホウ・ダンプ)] E --> F[投入 (バックホウ・クラムシェル)] F --> G[撒出し・数均し (ブルドーザ)] G --> H[転圧 (振動ローラ、タンバ)] H --> I[次工程引渡し] </pre> <p>(品質管理) 細粒分含有率Fc = 30%以下 最大粒径:150mm以下 最大乾燥密度 最適含水比</p> <p>(品質管理) 撒出し厚さ</p> <p>(品質管理) 締固め度 転圧回数</p>
管理基準	コーン貫入抵抗 $q_c \geq 1.0\text{MPa}$ (目標値) $q_u = 0.2 \times q_c = 0.2 \times 1.0 = 0.2\text{MPa}^{*1}$ (締固め度 90% 以上 ^{*2})	締固め度 $D_c \geq 90\%$

※1 再処理施設, 廃棄物管理施設及び MOX 燃料加工施設の事業変更許可申請書における埋戻し土の強度特性のうち, 非排水せん断強度 $s_u = 0.049 + 0.761p$ (MPa) より

深度 10m 相当の圧密応力 $p = 0.08\text{MPa}$ のとき, $s_u \approx 0.11\text{MPa}$ となる。

※2 $q_u = 0.2\text{MPa} = 200\text{kN/m}^2$ から「地盤調査の方法と解説」(社)地盤工学会, 平成 25 年 3 月 25 日発行, p.308」より, 一軸圧縮強度 q_u を N 値に換算すると,

$$N = q_u / 12.5 = 200 / 12.5 = 16$$

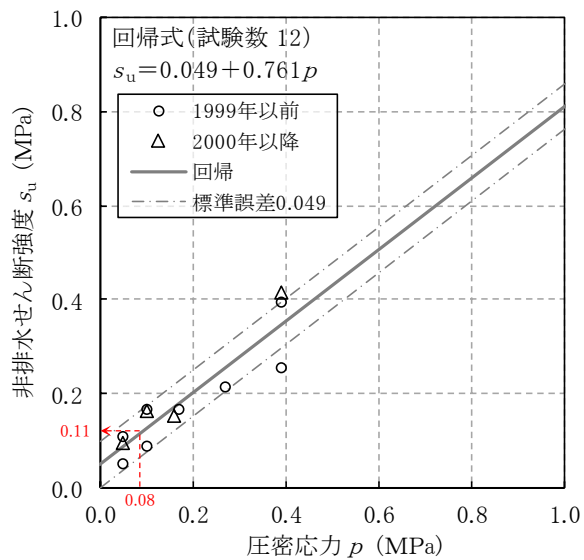
「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編」(社)日本道路協会, 平成 29 年 11 月, pp.536-537」より, せん断抵抗角 ϕ を算定すると,

$$\phi = 4.8 \log_e(170N / (\sigma'_v + 70)) + 21 = 4.8 \log_e(170 \times 16 / (50 + 70)) + 21 = 35.98 \approx 36^\circ$$

(原位置の σ'_v が $\sigma'_v < 50\text{kN/m}^2$ である場合には, $\sigma'_v = 50\text{kN/m}^2$ として算出する。)

せん断抵抗角 ϕ ($^\circ$) と締固め度 D_c (%) の関係より,

$$Dc = \log_e(\phi / 6.42) / 0.018 = \log_e(36/6.42) / 0.018 = 95.78 \approx 96\% \geq 90\%$$



第 2.1.1-2 図 埋戻し土の強度特性 (非排水せん断強度と圧密応力の関係)
 (再処理施設, 廃棄物管理施設及びMOX 燃料加工施設の事業変更許可申請書より抜粋して加筆)

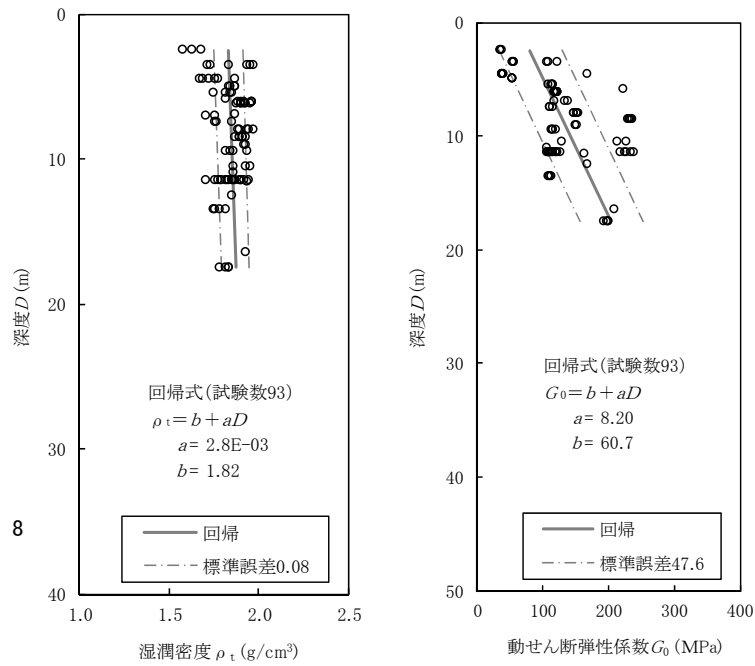
2.1.2 埋戻し土の物性値設定について

埋戻し土については、ボーリング柱状図を確認した上で、物理特性試験及びPS検層に基づき解析物性値を設定している。埋戻し土のボーリング柱状図及び物理・力学特性を参考2に示す。

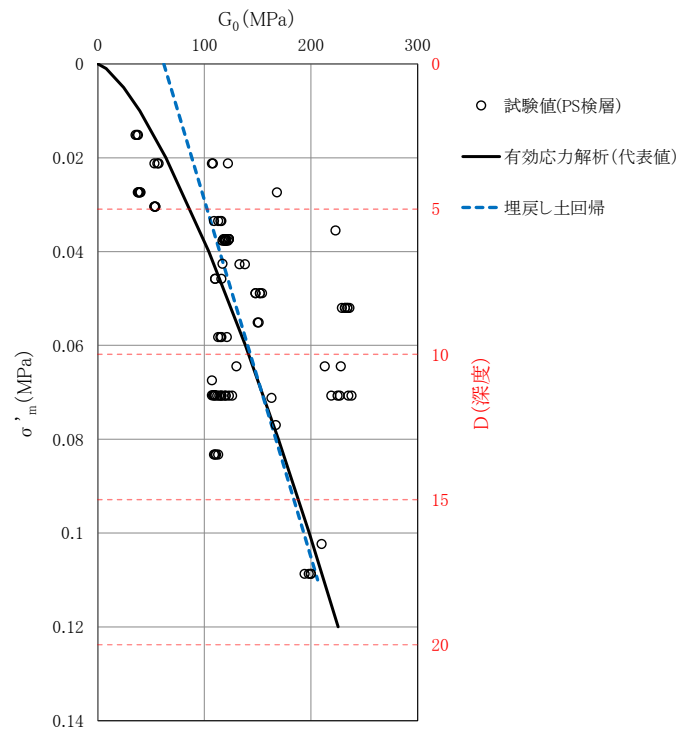
埋戻し土のせん断波速度 (V_s) は、深くなるとおおむね大きくなる傾向を示しており、土質材料の力学特性における拘束圧依存と整合する結果を示している。第 2.1.2-1 図に埋戻し土の解析用物性値のうち、湿潤密度（以下、 ρ_t という。）と動せん断弾性係数（以下、 G_0 という。）を示す。いずれも深度方向に物性値が増加しており、深度方向依存の 1 次回帰により整理できる。 G_0 については、 $G_0 = \rho_t \cdot V_s^2$ で与えられることから、参考2に示した埋戻し土の V_s が一定であっても ρ_t が深度依存していれば、 G_0 は深度依存することとなる。

なお、埋戻し土の解析用物性値については、JEAG4601-2008 に基づき、拘束圧の影響を考慮した表示として深度依存式を用いて、「再処理施設、廃棄物管理施設及び MOX 燃料加工施設の事業変更許可申請書」における基礎地盤安定性評価において、第 2.1.2-1 図に示した解析用物性値（湿潤密度と動せん断弾性係数に深度方向依存を考慮した回帰式）を適用している。

また、第 1 回申請における安全冷却水 B 冷却塔 (A4B) の竜巻防護ネットの液状化検討 (FLIP: 砂の応力-ひずみと過剰間隙水圧モデル) においては、第 2.1.2-2 図に示すとおり、第 2.1.2-1 図に示した埋め戻し土の G_0 のデータを用いた、有効拘束圧に応じた指数関数の拘束圧依存式 (FLIP 関数型指定) を適用している。なお、図中には、深度依存の 1 次回帰も示す。



第 2.1.2-1 図 埋戻し土の湿潤密度及び動せん断弾性係数の回帰式と標準誤差
(再処理施設, 廃棄物管理施設及び MOX 燃料加工施設の事業変更許可申請書より抜粋)



第 2.1.2-2 図 液状化応答解析の初期せん断弾性係数 G_0 物性値

2.1.3 埋戻し土の均質性について

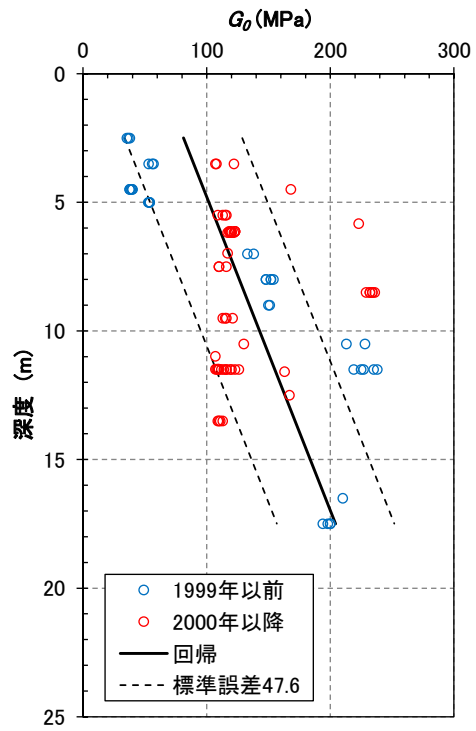
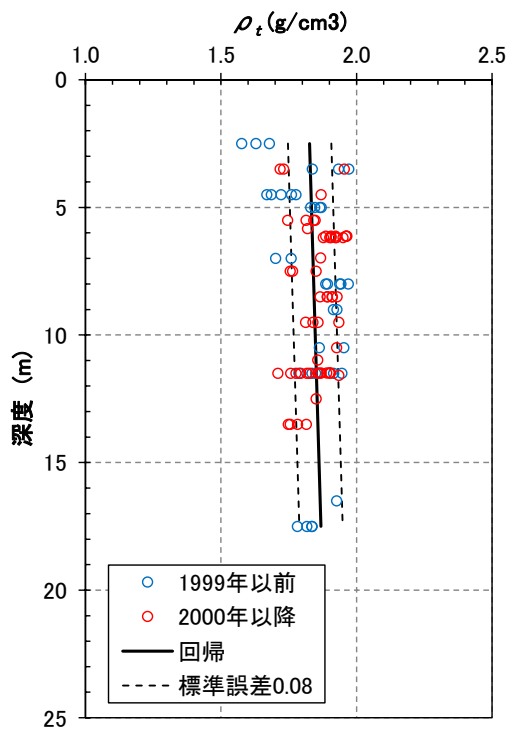
当該地点の埋戻し土は、敷地内北側が1999年以前、敷地内中央部から南側にかけて2000年以降に施工しており、施工時期から大別すると前者が1994年～1996年の3年間、後者が2000年～2003年の4年間で主要な埋戻し工事を実施している。この施工時期の違いに基づき、埋戻し土の物性値 (ρ_t , G_0) を施工年代別に分類したものを第2.1.3-1図に示す。図によれば、 ρ_t 及び G_0 の分布は青色の1999年以前と赤色の2000年以降で同様のばらつきの範囲に入っていることがわかる。

第2.1.3-1図に示した埋戻し土のエリア全体のデータサンプリングにおいては、均質施工と考えることから、平面的・深さを含め網羅的に行っており、統計的に十分なデータセット (ρ_t , G_0) が得られているものの、年代別に分けた時には、それぞれのデータセットのうち、 ρ_t の深度に関するサンプリング範囲が限定的であるため、 G_0 を対象として評価することが難しいものとなっている。そこで、全ボーリング孔の埋戻し土範囲で共通に計測されている V_s を用いて施工年代別の V_s 分布の整理を実施した。

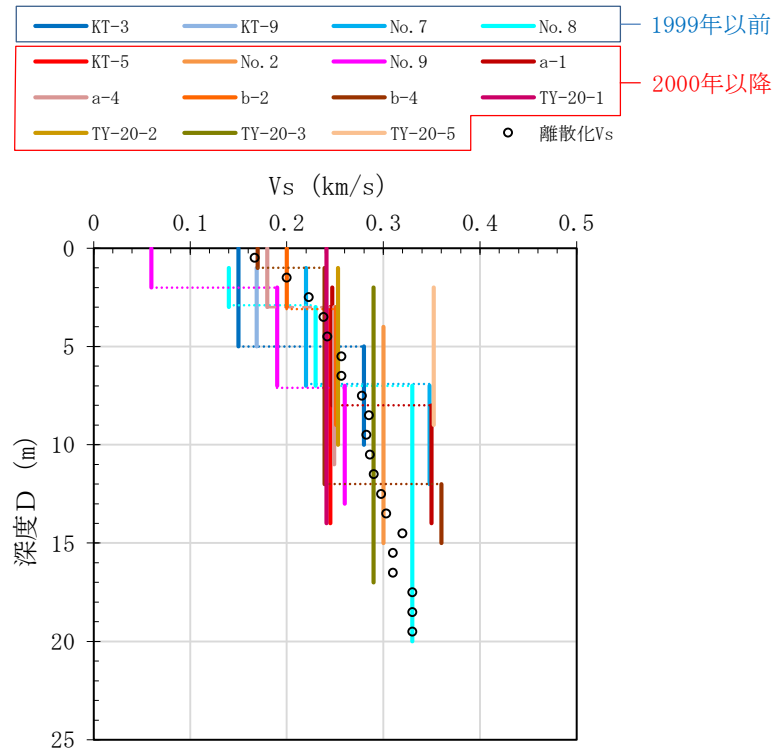
埋戻し土の V_s について、参考2の埋戻し土の柱状図から全ボーリング孔(15孔)及び施工年代別に整理した結果を第2.1.3-2図及び第2.1.3-3図に示す。なお、図中には、深度1m区間ごとの V_s (離散化 V_s と呼ぶ)の平均値を○印で示している。

ここで、先の第2.1.3-1図に示した ρ_t の回帰平均を用いて離散化 V_s の平均から補完した両年代の G_0 (補完 G_0 と呼ぶ)を比較し、第2.1.3-4図に示す。図には、1999年以前、2000年以降の補完 G_0 の値を●印、補完 G_0 の深度回帰をそれぞれ青線と赤線で示す。また、先の第2.1.2-1図に示した事業許可申請書に記載している計測データセットから算定した G_0 の物性値及び標準誤差($\pm 1\sigma$)の深度回帰を黒線、黒破線で示している。

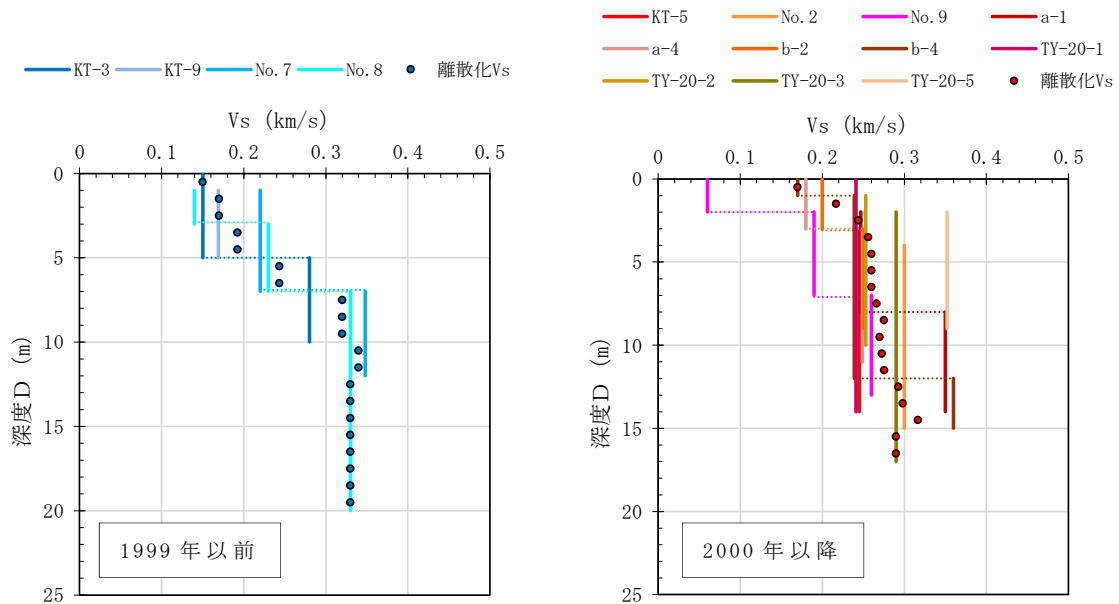
図によれば、1999年以前、2000年以降の G_0 の分布には、それぞれ若干異なった傾向(深度依存勾配)を示すものの、それぞれの G_0 回帰は、計測データセットから得られた標準誤差($\pm 1\sigma$)範囲に収まっており、平均値として設定できるものと考えられる。



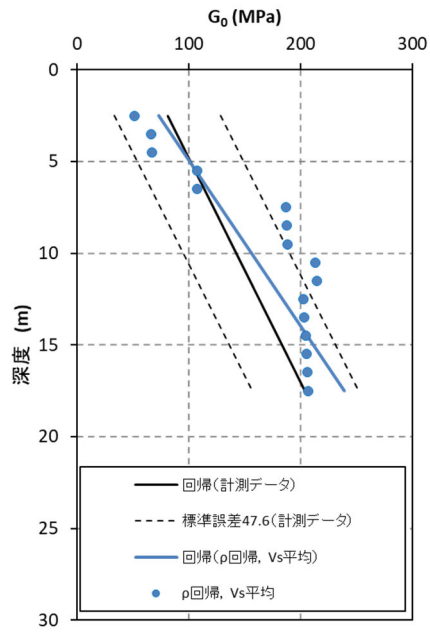
第 2.1.3-1 図 施工年代別の物性値 (ρ_t , G_θ)



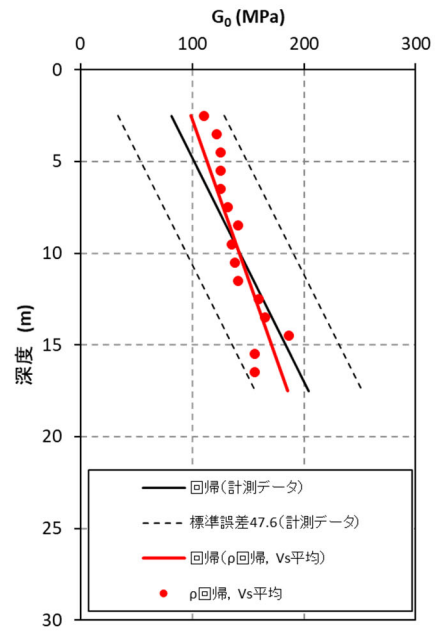
第 2.1.3-2 図 ボーリング柱状図による V_s と離散化 V_s (全 15 孔)



第 2.1.3-3 図 施工年代別の V_s と離散化 V_s



1999 年以前



2000 年以降

第 2.1.3-4 図 施工年代別の V_s 平均から求められる G_0 分布と回帰

2.1.4 数値統計学に基づく埋戻し土の物性値 (G_0) の最尤モデル

2.1.1 に述べたように当該地点の埋戻し土は、均質な施工管理が実施されており、動的変形特性については、深度方向依存の物性値を示している。そこで、得られた試験データから現状における統計学的に最も適した物性値の設定方法について検討を行った。

得られたデータからその元となる構造を推定する、あるいは、将来、起こることを予測する手法は統計的モデリング*1と呼ばれている。統計的モデリングは、客観的に存在するものではなく、解析する対象に関する知識や期待、経験や過去のデータに基づく知識から解析の目的に応じて作られる。統計的モデルによって、特定のモデルが得られても実際の対象物が厳密にそのモデルに従って変動しているわけではなく、他の要因の影響も受けると考えるべきである。しかし、統計的モデルは真の構造を正確に表現しているかどうかではなく、必要とする情報を取り出すために適当かどうかということである。良いモデルを用いれば良い結果が得られるが、不適切なモデルを用いれば、良い結果が期待できない。そのモデリングでは、正確さ（偏りとばらつき）、複雑さ（適用のしやすさやパラメータの数）、物理的意味との整合性などの種々の視点があり、出来具合にも優劣がある。この場合、パラメータの数や次数を増やせば増やすほど、その測定データとの適合度を高めることができるが、その反面、ノイズなどの偶発的な（測定対象の構造と無関係な）変動にも無理に合わせてしまうため、同種のデータには合わなくなることもある。

そのようなモデルの良さの評価を行う手法として、情報量規準があり、主観性を持ったモデルの良さを客観的に評価するものである。

代表的な情報量規準として AIC (Akaike Information Criterion: 赤池情報量基準*1) があり、以下の式で表される。

$$AIC = -2 \cdot \ln L + 2k$$

ここで L は最大尤度、 k は自由パラメータの数である。
各標本（観測データ）の確率分布が正規分布の場合、

$$AIC = \sum_{i=0}^n \ln(2\pi\sigma_i^2) + 2k = \sum_{i=0}^n \ln\sigma_i^2 + 2k + n \ln 2\pi$$
$$AIC = \sum_{i=0}^n \ln\sigma_i^2 + 2k$$

と表せる。 n は標本サイズ、 σ_i は各標本の標準誤差である。2行目は、定数項を省略した値である。それに加えさらに、各標本の標準誤差が等しい場合は、

$$AIC = n \ln(2\pi\sigma^2) + 2k = n \ln \sigma^2 + 2k + n \ln 2\pi$$

$$AIC = n \ln \sigma^2 + 2k$$

AICは、数理統計理論を駆使して編み出したモデル選択指標のパラダイムであり、この値が小さいほど良いモデル（＝選択すべきモデル）という基準を定量的に示すものである*2。

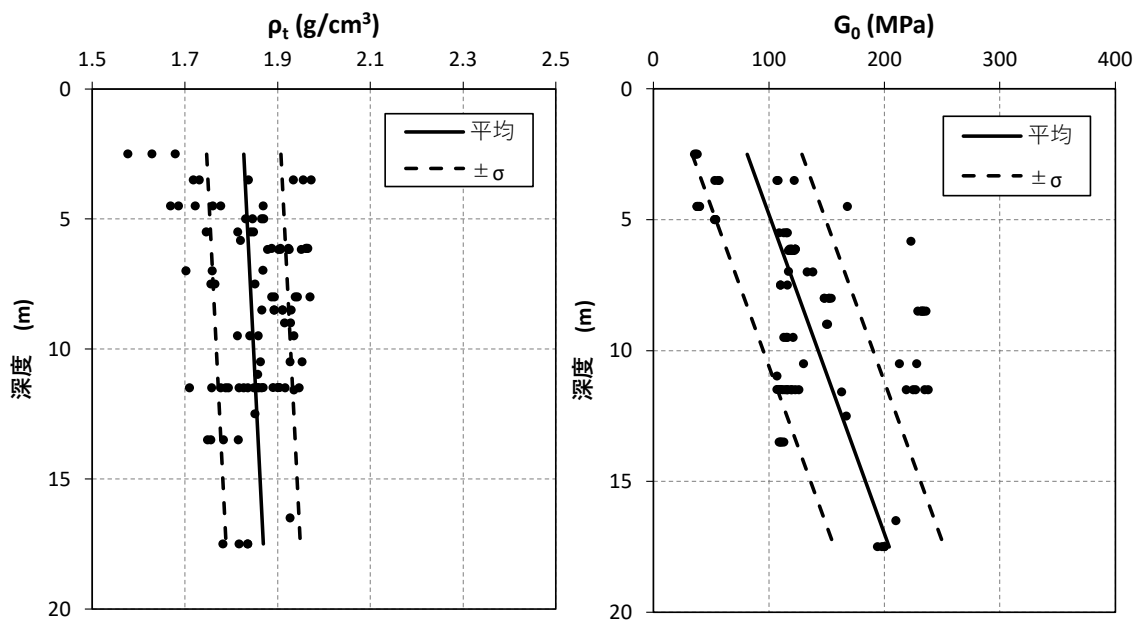
先述したように、パラメータを多くすると残差平方和を小さくできるが、統計的モデリングにおいてはバランスが大事であり、誤差が同じ程度なら予測値との乖離を少なくするにはパラメータ数の少ないモデルを選ぶべきである。

上記のAICを埋戻し土の G_0 の深度依存回帰の指標に適用し、現状の試験結果の統計情報からモデルに与えるべき最適（最尤：最も尤もらしい）な地盤物性値モデルを検討した。

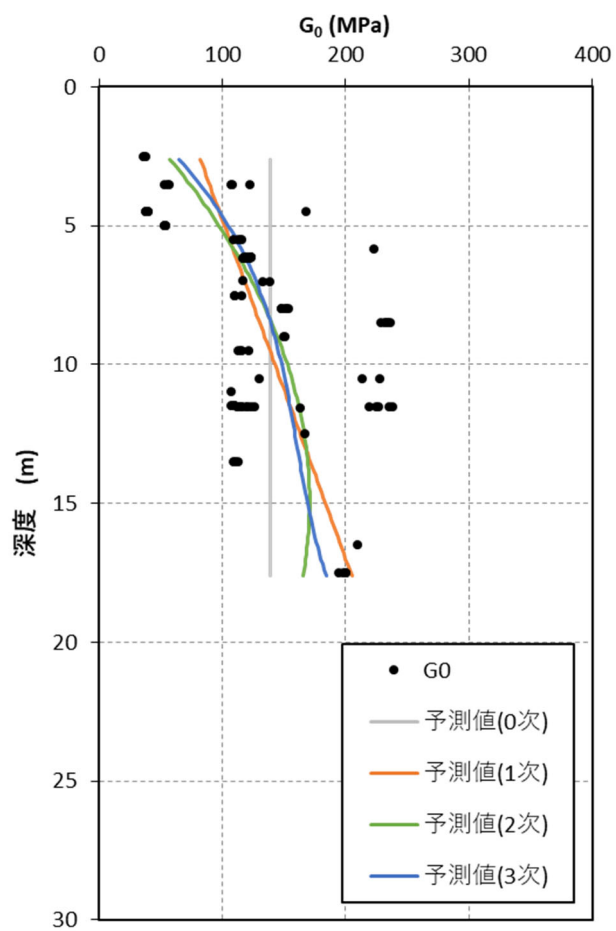
第2.1.4-1図（第2.1.3-1図の主要箇所拡大図）に、埋戻し土の動的変形特性として用いる ρt 、 G_0 の深度分布と深度依存回帰式を示す。第2.1.4-2図に既往データの0次（平均）、1次関数回帰、2次関数回帰のフィッティングと回帰式（最小二乗法）を示す。数値統計学的なフィッティングの良否を定量的に評価するため、第2.1.4-3図に各次数に対するAIC（オレンジ線）と残差平方和（青線）を示す。AICは、0次（平均）に比べると1次回帰で大きく減少し、2次、3次と次数が増えるのに伴い緩やかに減少する。誤差（残差平方和）が同程度であれば、パラメータの少ないモデルが適切と考えられる。

（参考文献）*1:情報量規準；小西貞則，北川源四郎，予測と発見の科学，朝倉書店

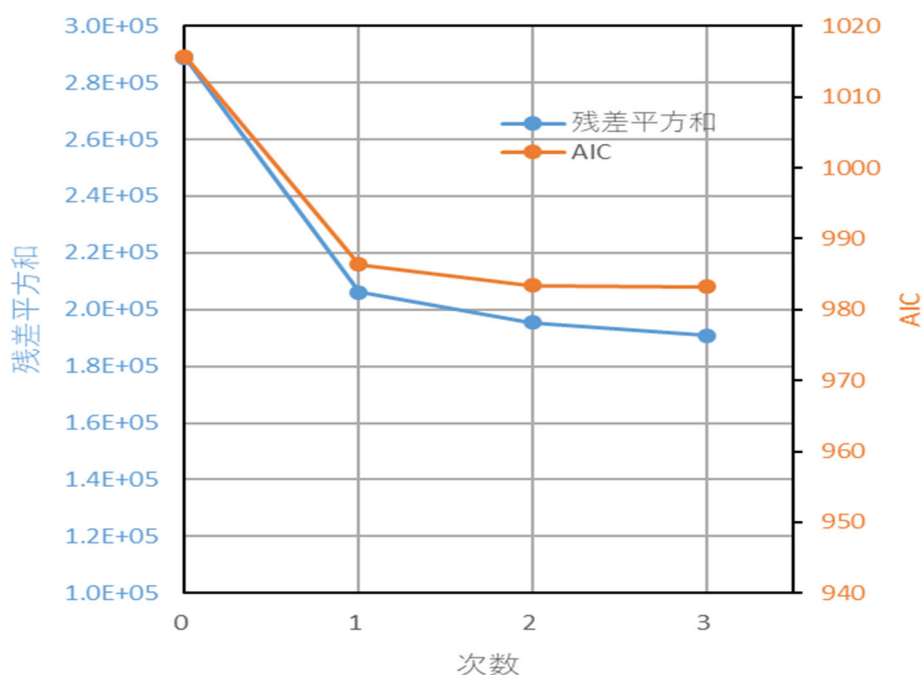
*2:AIC(赤池情報量規準)を学ぶ；唐沢好男，デジタル移動通信の電波伝搬基礎 補足資料 YK-048, 2020.



第 2.1.4-1 図 埋戻し土の湿潤密度と動せん断弾性係数の回帰式と標準偏差



第 2.1.4-2 図 動せん断弾性係数 G_0 の任意次数回帰



第 2.1.4-3 図 既往データによる AIC の算定結果 (AIC・残差～次数関係)

2.1.5 まとめ

当該地点の埋戻し土の動的変形特性のうち G_0 については、一般的な土質材料であることから土質力学的には拘束圧依存を示し、品質管理された均質材料であることから深度依存(均質であれば深度方向に拘束圧が大きくなる)を示すものと判断される。

また、数理統計理論に基づく AIC による最尤推定モデルとしては、0 次(平均)よりも 1 次回帰(深度依存)の方が小さな値となり、2 次、3 次と次数が増えるのに伴い緩やかに減少するものの誤差(残差平方和)が同程度であれば、パラメータの少ないモデルが適切であることと合わせると 1 次関数回帰式がより選択すべきモデルとの指標が得られ、統計的(予測)モデルとしては最適と考える。

2.2 物性値の不確実性に関するパラメータスタディ

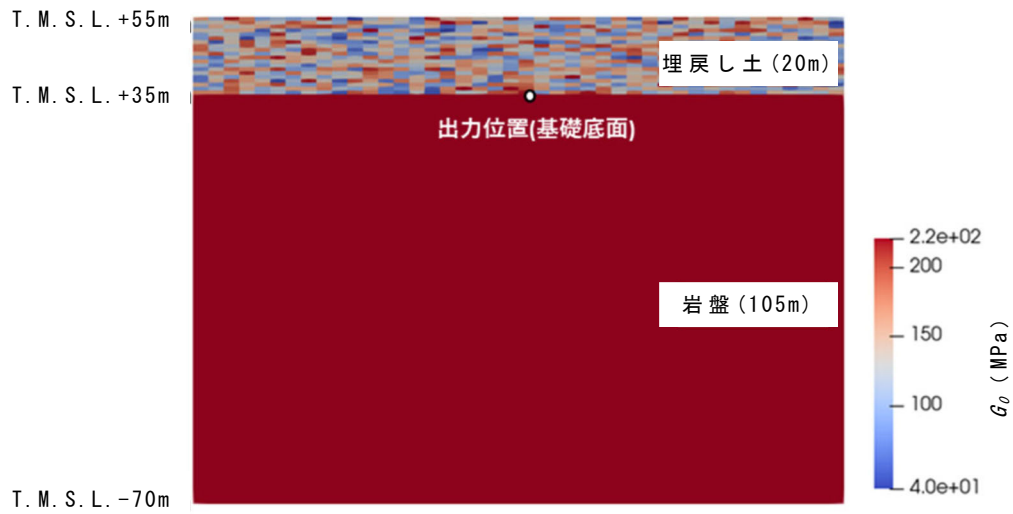
2.2.1 ばらつきを有する表層地盤の加速度応答

地震時のせん断弾性波（S波）は，地表面に向かって面的に振動しながら伝播してくる。当該地点の埋戻し土は平面的にも均質な品質となるように管理されていることから地盤の加速度応答は，周辺岩盤を包絡した平均的な挙動を呈するものと考えられる。

そこで，表層地盤（埋戻し土）のばらつきの確率密度分布を表層部にランダムに与えた場合の加速度応答による平均とばらつきの比較及び表層地盤（埋戻し土）の深度依存も考慮した場合の不確からしさ（ばらつきの特徴）についてモンテカルロシミュレーションを用いて検討した。

この検討では，第2.2.1-1図に示すような簡易的に地表から20mを表層地盤（埋戻し土），T.M.S.L.+35m～-70mの層厚105mを岩盤部としたモデルを設定した。解析手法は，2次元周波数応答解析の解析コード（Super FLUSH/2D）を用いて，建屋の基礎底面相当位置（岩盤上限面）での応答加速度の考察を行った。解析に用いた物性値を第2.2.1-1表に示す。

表層地盤については，埋戻し土の G_0 の全データ（ $N=93$ ）について，平均値と標準偏差を算定すると，それぞれ $G_0=131\text{MPa}$ ， $\sigma=56\text{MPa}$ が算出される。岩盤部については，平均的な岩盤の細粒砂岩層の解放基盤面相当の G_0 を一様に与え，表層地盤20mに対しては，埋戻し土の統計的な確率密度を用いて，モンテカルロシミュレーション（ $N=200$ 回）を実施した。

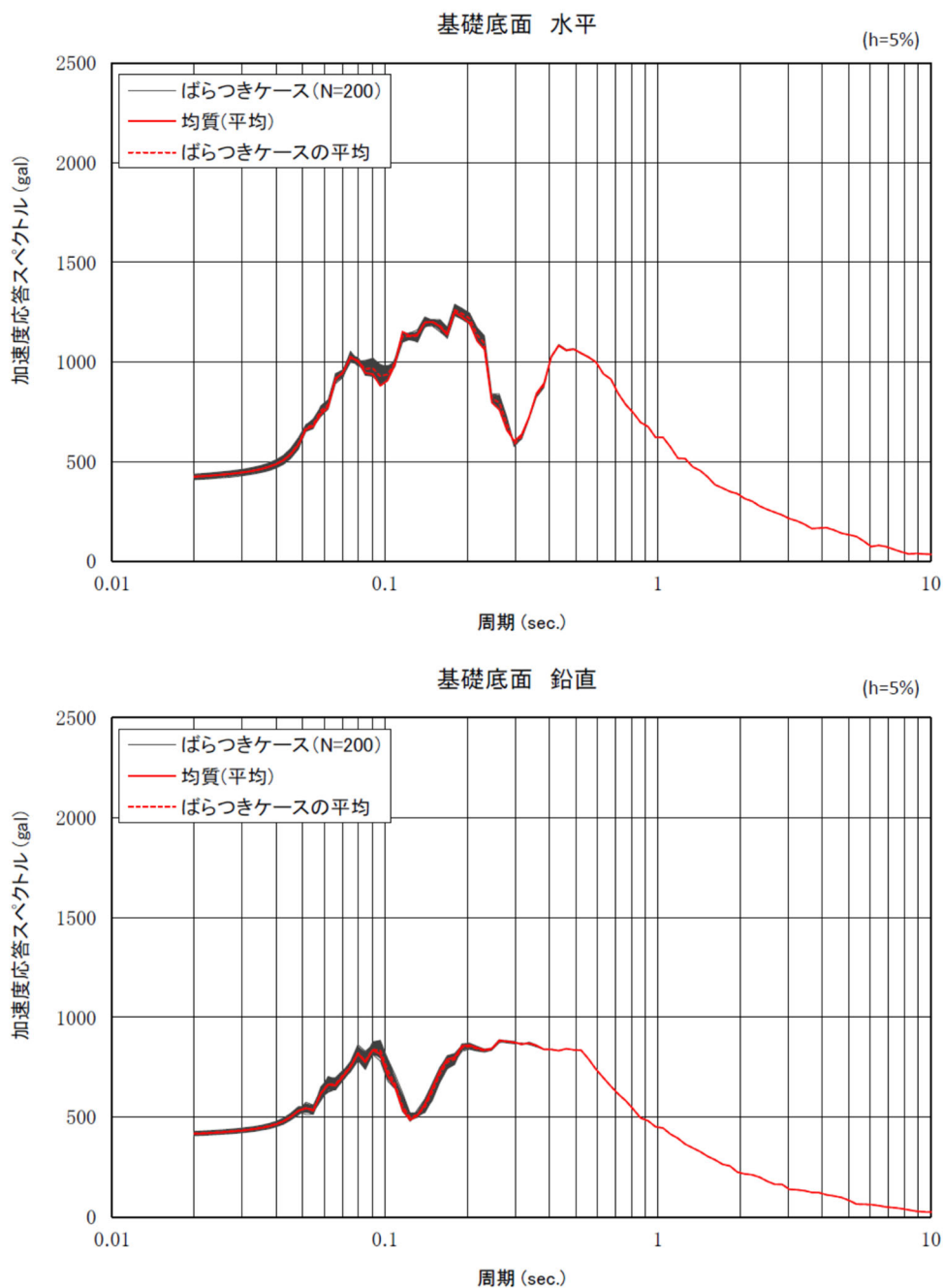


第2.2.1-1図 解析モデル図（深度方向依存なし）

第2.2.1-1表 解析モデル物性諸元

項目	仕様	備考
モデルサイズ	幅168m×深さ125m	
要素数	埋戻し土：840 鷹架層：1176	
境界条件	側方：自由境界 底盤：粘性境界	
表層物性値 (200モデル)	$G_0 = 131$ (MPa) $\sigma = 56$ (MPa) $\nu d = 0.39$ $h = 0.03$	G_0 の平均，標準偏差は， 全サンプル (N=93) の 平均値
岩盤物性値	$G_0 = 1600$ MPa $\nu d = 0.38$ $h = 0.03$	細粒砂岩解放基盤相当
入力地震動	Ss-A (T.M.S.L. -70m：2E入力)	

解析結果として、第2.2.1-2図に岩盤上限面（第2.2.1-1図における出力位置）の加速度応答スペクトルを示す。第2.2.1-1図の岩盤上限面の加速度応答スペクトルの結果によれば、表層地盤20mに埋戻し土の有する確率密度分布で独立に物性値を与えたとしても、図中赤線で示す平均値の均質地盤の加速度応答スペクトルとおおむね一致し、平均値とばらつきの関係が確認された。

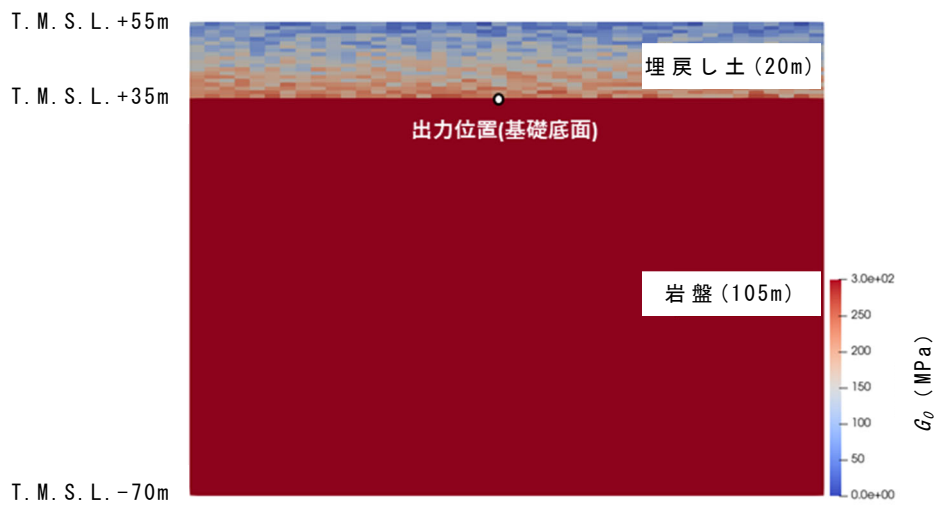


第2.2.1-2図 モンテカルロシミュレーションにおける加速度応答スペクトル

2.2.2 ばらつきを有する地盤の実現象範囲

表層地盤の G_0 を深度依存と考えたモデルにおいて、起こりうる事象の範囲についてパラメータスタディを実施した。

ここでは、表層地盤について、深度毎（1メッシュ毎）に $\pm 1\sigma$ の標準誤差の確率密度を平面的にランダムに与えたモデルと深度方向依存の平均値及び $\pm 1\sigma$ を与えたモデルの岩盤上限面の加速度応答スペクトルを比較する。第2.2.2-1図に解析モデル図、第2.2.2-1表に解析に用いた物性諸元を示す。



(1) 深度方向依存ランダムモデル例



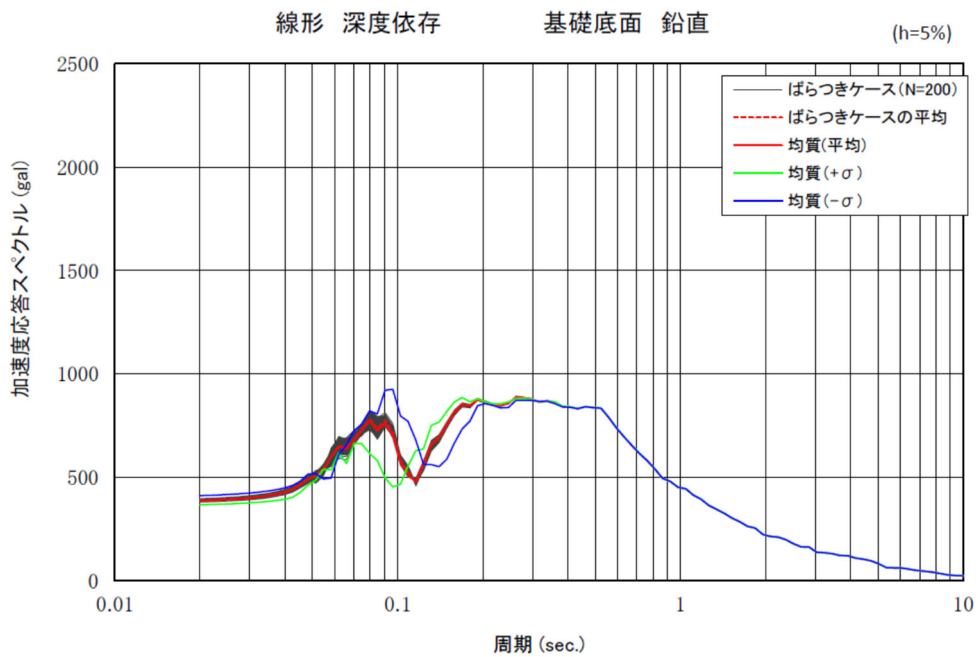
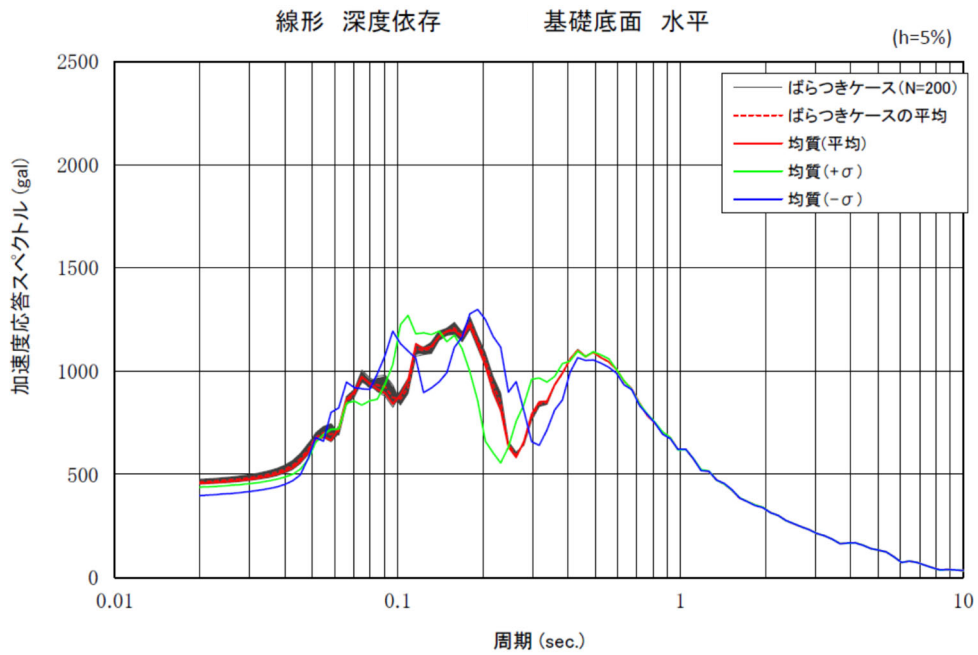
(2) 深度方向依存平均モデル例 (+1 σ)

第2.2.2-1図 解析モデル図（深度方向依存考慮）

第2.2.2-1表 解析モデル物性諸元

項目	仕様	備考
モデルサイズ	幅168m×深さ125m	
要素数	埋戻し土： 840 鷹架層：1176	
境界条件	側方：自由境界 底盤：粘性境界	
表層物性値 (200モデル)	$G_0 = 60.7 + 8.20D$ (MPa) G_0 標準誤差 = 47.6 (MPa) D : 深度 (m) $\nu d = 0.39$ $h = 0.03$	正規分布 (事業変更許可申請において設定した物性値)
岩盤物性値	$G_0 = 1600$ MPa $\nu d = 0.38$ $h = 0.03$	細粒砂岩解放基盤相当
入力地震動	Ss-A (T. M. S. L. - 70m : 2E入力)	

解析結果として、第2.2.2-2図に岩盤上限面（第2.2.2-1図における出力位置）の加速度応答スペクトルを示す。表層地盤に深度方向依存のばらつきを与えたケース（赤線：均質，グレー：ばらつき）においても加速度応答スペクトルは、平均値を均質に与えた加速度応答スペクトルとおおむね一致することを確認した。また、表層地盤に深度方向依存の $\pm 1\sigma$ を均質物性として与えたケース（ $+\sigma$ ：緑線， $-\sigma$ ：青線）の加速度応答スペクトルは、それぞれ表層地盤の固有周期が変化する方向（ $+\sigma$ は低周期側， $-\sigma$ は高周期側）へおおむね平行に移動する。平均値の赤線とばらつきのグレーがほぼ一致することから、 $\pm 1\sigma$ でばらつきを有していても加速度応答スペクトルはこの範囲にほぼ収まることが確認できた。



第2.2.2-2図 モンテカルロシミュレーションにおける加速度応答スペクトル

2.2.3 まとめ

表層地盤（埋戻し土）の平均値とばらつきを考慮したモンテカルロシミュレーションの結果から表層地盤全体の G_0 が一定の確率密度分布（品質管理下の限定的なばらつき）を有していれば、平均値で与えた均質地盤の加速度応答スペクトルとおおむね一致することが確認できた。

2.3 埋戻し土の物性設定のまとめ

- 埋戻し土は、一定の品質管理の下で施工されていることが確認できたことから、全エリアのボーリングデータを統計的に扱って得られる同一の物性値を用いることが適切である。
- 物性値は、平均値よりも1次の深度依存回帰を用いる方が予測モデルとしては適切である。
- 均質であることが確認された物性値のばらつきは、平均値 $\pm 1\sigma$ に包含される。

3. 流動化処理土の物性に係る検討

3.1 均質性及び物性値設定について

3.1.1 流動化処理土の施工管理状況及び均質性

流動化処理土は、第 3.1.1-1 図に示すとおり、建物・構築物の基礎掘削を行った地下部の埋戻しに際し、施設近傍や狭隘部における施工性向上を目的に適用しており、第 3.1.1-1 表に示す品質管理基準により実施され、品質管理記録により施工時の品質（強度仕様）を確認している（参考 3）。

第 3.1.1-1 表 流動化処理土の密度及び力学特性に係る品質管理一覧

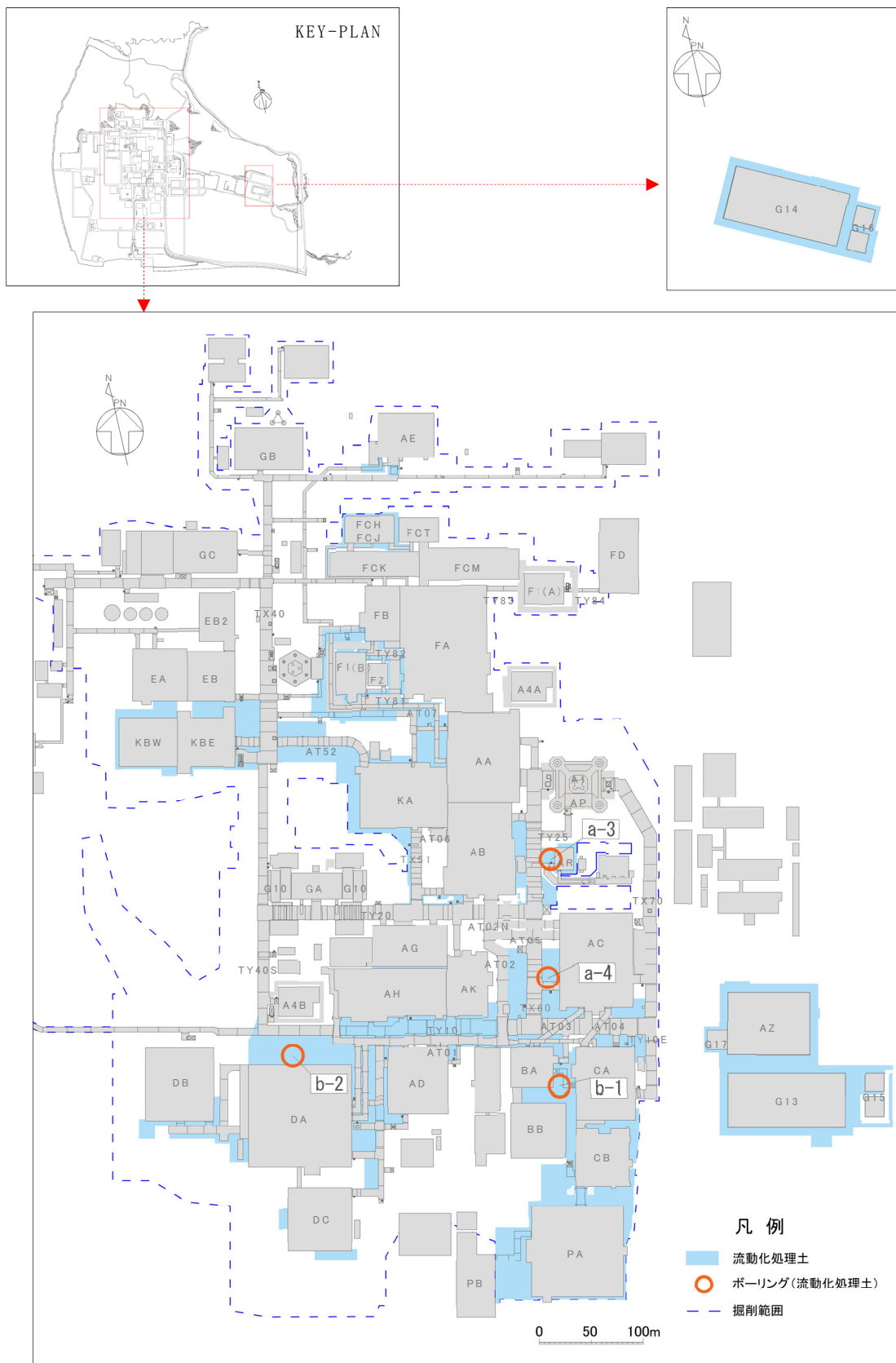
対象箇所	材料基準	強度仕様
流動化処理土	使用材料：六ヶ所層 セメント添加：75～95kg/m ³ 程度	$q_u \geq 3.0\text{kgf/cm}^2 \approx 0.3\text{MPa}$

第 3.1.1-1 図の施工範囲位置図に流動化処理土の PS 検層ボーリング孔位置を示す。なお、先に示した埋戻し土の第 2.1.1-1 図は埋戻し土を施工した当初の位置状況を示しており、その後、現在に至るまで施設建設及び地盤改良が実施され更新されている。

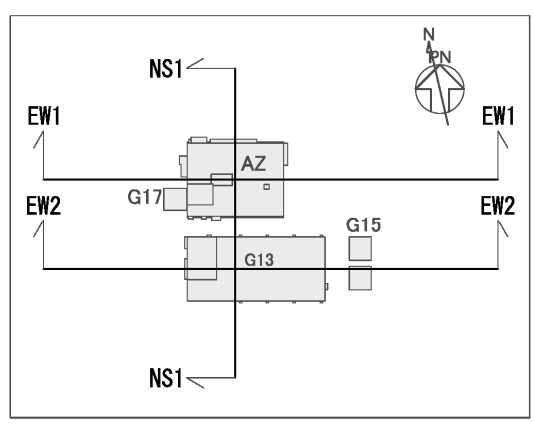
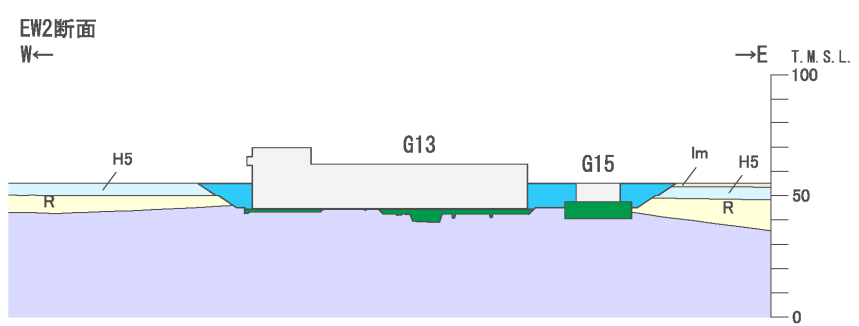
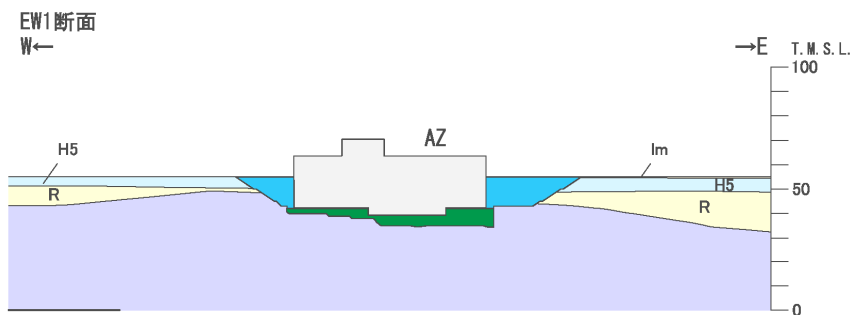
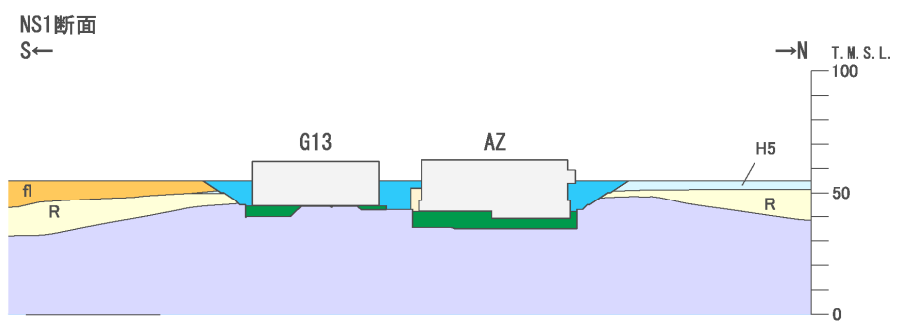
流動化処理土の施工については、施設近傍のクレーン架台基礎及び狭隘部施工あるいは架台埋戻しを目的としているため、掘削した六ヶ所層にセメントを 75～95kg/m³程度添加させた置換工法を採用している。

品質管理として、一軸圧縮強度 q_u が 3.0kgf/cm²（ $\approx 0.3\text{MPa}$ ）以上になるよう管理が行われており、均質な人工材料である。

緊急時対策建屋（AZ）、第 1 保管庫・貯水所（G13）及び第 2 保管庫・貯水所（G14）の周囲にある表層の配置断面図を第 3.1.1-2 図に示す。各建屋の周辺は、地山掘削が行われ、建物・構築物が建設された後に流動化処理土による埋戻しが行われている。これらの地盤モデルの設定にあたっては、これらの地盤状況を考慮して設定する。



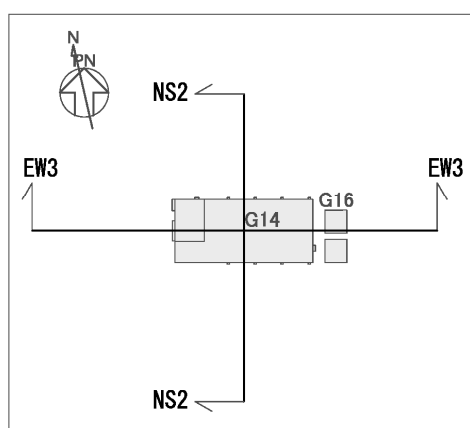
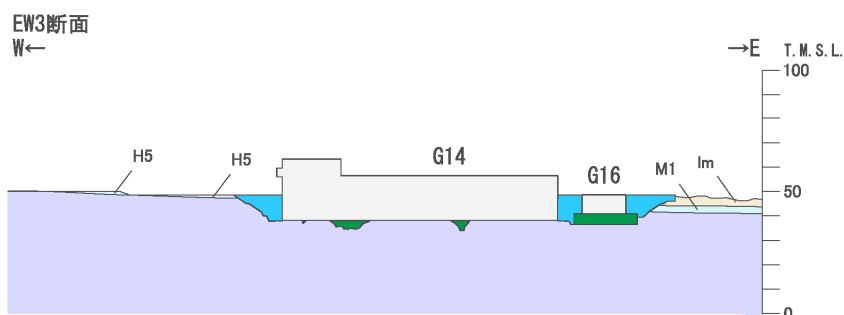
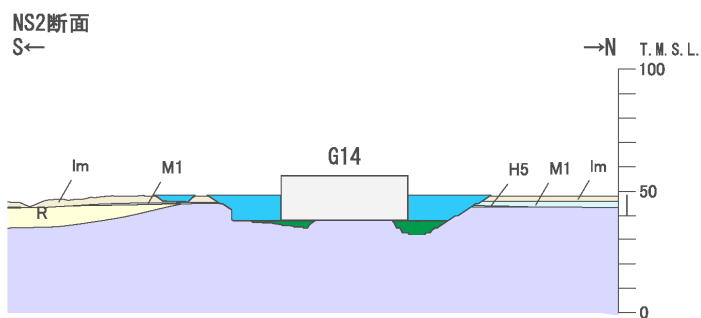
第 3.1.1-1 図 流動化処理土の施工範囲位置図



凡例

bk	埋戻し土	流動化処理土
fi	造成盛土	MMR
al	沖積低地堆積層	改良地盤A
Im	火山灰層	改良地盤B
H5	高位段丘堆積層	蛇巻基礎
M1	中位段丘堆積層	エアモルタル
R	六ヶ所層	ベントナイト混合土
S1	砂子又層下部層	建物及び構築物
腐架層		

第 3.1.1-2 図(1) 建物・構築物の周囲にある表層の配置断面図 (AZ・G13)



凡 例

bk	埋戻し土		流動化処理土
fl	造成盛土	bk	MMR
al	沖積低地堆積層		改良地盤A
lm	火山灰層		改良地盤B
Hs	高位段丘堆積層		竜巻基礎
M1	中位段丘堆積層		エアモルタル
R	六ヶ所層		ペントナイト混合土
S1	砂子又層下部層		建物及び構築物
	鷹架層		

第 3.1.1-2 図(2) 建物・構築物の周囲にある表層の配置断面図 (G14)

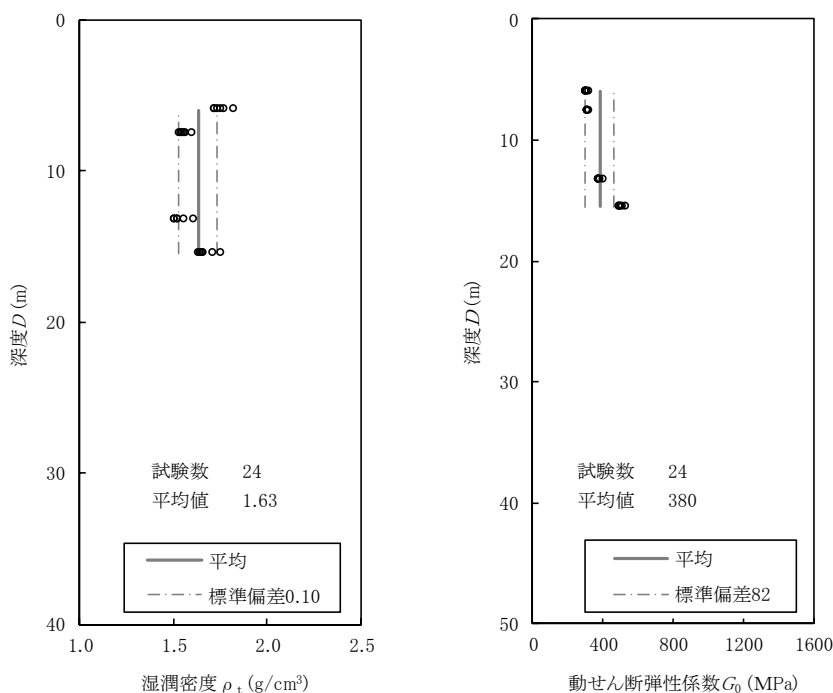
3.1.2 流動化処理土の物性値設定について

流動化処理土については、ボーリング柱状図を確認した上で、物理特性試験及びPS検層に基づき解析物性値を設定している。流動化処理土のボーリング柱状図及び物理・力学特性を参考4に示す。

流動化処理土のせん断波速度 (V_s) には、顕著な深度方向への依存性は認められず、4孔の平均として480m/s (標準偏差 50.5) の値が得られている。

第3.1.2-1図に流動化処理土の解析用物性値のうち、 ρ_t と G_0 の値を示す。 ρ_t は、深さ方向に関係なくばらつきを有しており、 V_s と ρ_t から算出した G_0 は、見かけでは深度依存を示しているが工学的には一定値を取るべきと考えられ、第3.1.2-1図に示すように、平均値380MPaを設定している。

なお、流動化処理土の解析用物性値については、「再処理施設、廃棄物管理施設及びMOX燃料加工施設の事業変更許可申請書」における基礎地盤安定性評価において、第3.1.2-1図に示した解析用物性値(湿潤密度と動せん断弾性係数)に平均を適用している。



第3.1.2-1図 流動化処理土の湿潤密度及び動せん断弾性係数の平均と標準偏差
(再処理施設、廃棄物管理施設及びMOX燃料加工施設の事業変更許可申請書より抜粋)

3.2 流動化処理土の物性設定のまとめ

- ・流動化処理土は，一定の品質管理の下で施工されていることが確認できたことから，計測されたボーリングデータに基づき得られた同一の物性値を用いることが適切である。

4. 表層地盤のまとめ

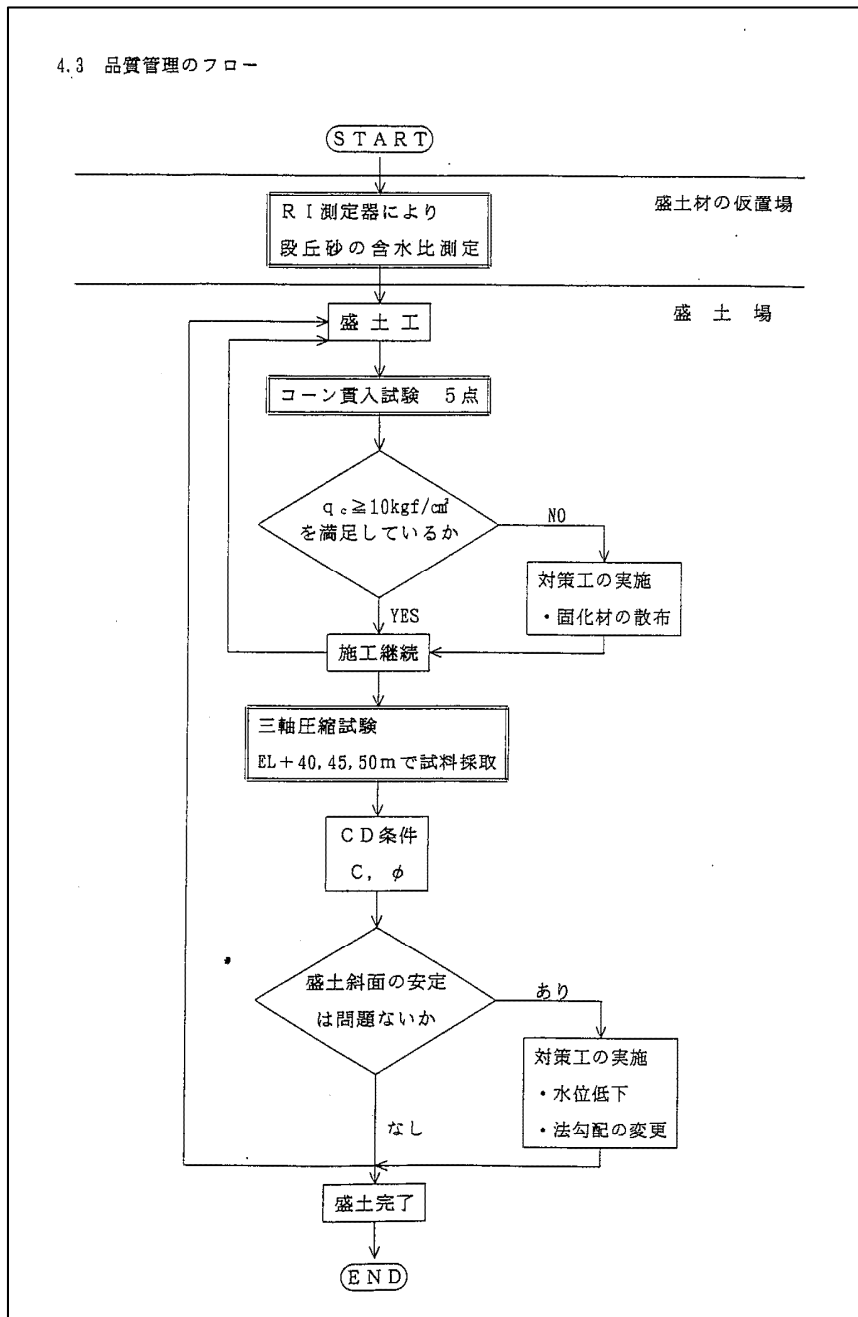
本資料においては、一般的・標準的な手法による表層地盤の物性値等を設定した。今後、基本地盤モデルの設定にあたっては、上記の設定結果を用いる。また、基本地盤モデルの設定においては、一部建屋において、実際に表層地盤に埋め込まれているものの、埋め込みを考慮していない建屋については、埋め込みを考慮した状態で設定する。

参考 1

埋戻し土の施工に係る品質管理について

本編 2.1.1 埋戻し土の施工管理状況及び均質性の検討における品質管理要領及び品質管理記録を施工年代別に参考 1-1 図～参考 1-4 図のとおり示す。

4.3 品質管理のフロー



参考1-1図 1999年以前の品質管理要領

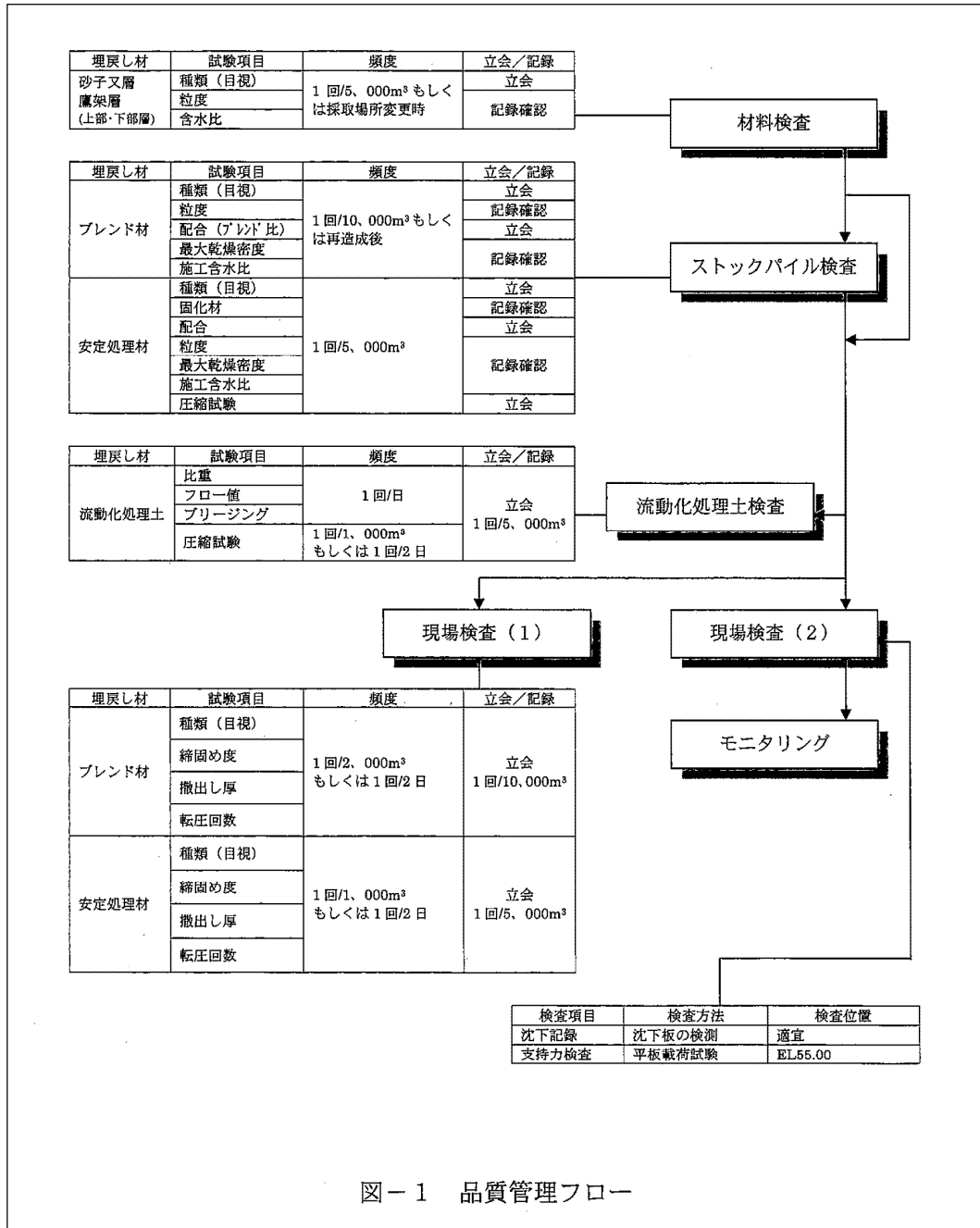


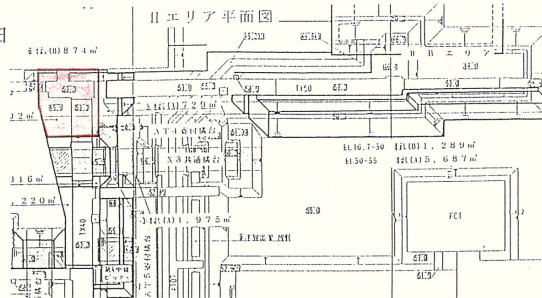
図-1 品質管理フロー

参考1-2図 2000年以降の品質管理要領

コーンペネトロメーターによる貫入試験

測定年月日 : 平成 7年 7月17日
 測定者 : XXXXXXXXXX

先端コーン(小) : 3.24cm²
 先端コーン(大) : 6.45cm²
 リング係数 : 0.4269



II - (A) 5層目

測定回数 1				測定回数 2				測定回数				
貫入量	検力計	荷重	コーン指数	貫入量	検力計	荷重	コーン指数	貫入量	検力計	荷重	コーン指数	
cm	1/100 _m	kgf	kgf/㎡	cm	1/100 _m	kgf	kgf/㎡	cm	1/100 _m	kgf	kgf/㎡	
0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	
5	41.0	17.5	5.4	5	47.0	20.1	6.2	5	44.0	18.8	5.8	
10	63.0	26.9	8.3	10	70.0	29.9	9.2	10	66.5	28.4	8.8	
15	108.0	46.1	14.2	15	95.0	40.6	12.5	15	101.5	43.3	13.4	
20	112.0	47.8	14.8	20	110.0	47.0	14.5	20	111.0	47.4	14.6	
25				25				25				
30				30				30				含水比
35				35				35				16.4%
												qc
10・15平均値			11.3	10・15平均値			10.9	10・15平均値			11.1	10.9

II - (A) 5層目

測定回数 1				測定回数 2				測定回数				
貫入量	検力計	荷重	コーン指数	貫入量	検力計	荷重	コーン指数	貫入量	検力計	荷重	コーン指数	
cm	1/100 _m	kgf	kgf/㎡	cm	1/100 _m	kgf	kgf/㎡	cm	1/100 _m	kgf	kgf/㎡	
0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	
5	47.0	20.1	6.2	5	44.0	18.8	5.8	5	45.5	19.4	6.0	
10	82.0	35.0	10.8	10	75.0	32.0	9.9	10	78.5	33.5	10.3	
15	108.0	46.1	14.2	15	106.0	45.3	14.0	15	107.0	45.7	14.1	
20	131.0	55.9	17.3	20	110.0	47.0	14.5	20	120.5	51.4	15.9	
25				25				25				
30				30				30				含水比
35				35				35				16.4%
												qc
10・15平均値			12.5	10・15平均値			11.9	10・15平均値			12.2	11.9

参考 1-3 図 品質管理記録の例
 (No. 9 孔近傍, 1999 年以前)

現場検査-ブレンド材

現場品質検査表		JNFL	JV
工事名		検査期日	
再処理施設埋戻し工事(その1.B工区)		平成13年9月20日	
ブロック : Bブロック		立会者	
検査位置 : BB建屋西側		JNFL	
埋戻し材 : ブレンド材			
施工 : 小規模 中規模 大規模		JV	
埋戻し土量: 累計 220,000m ³			
検査内容 : 転圧仕様(まき出し厚、転圧回数、転圧機種) 品質(締固め度)			
1. 目視による埋戻し地盤の検査			
(1) 雑材の混入		合・否	(3) 転圧面の状態(弱部の有無)
(2) オーバーサイズ有無		合・否	合・否
2. 転圧仕様の検査			
(1) まき出し厚		(2) 転圧回数	
検査位置	実測値(cm)	合・否	検査位置
1	40	合・否	実測値(回)
2	40	合・否	1
3	40	合・否	2
			3
			6
(3) 転圧機種		(4) その他	
施工	転圧機種	合・否	
まき出し	21tBD	合・否	
転圧	12tSV	合・否	
表面仕上げ	21tBD	合・否	
3. RI計測結果			
土質定数(IN PUT DAT)		ρ_s 2.569	ρ_{dmax} 1.607g/cm ³
検査位置	締固め度(%)	合・否	α 値 0.120
1	92.5	合・否	検査位置
2	95.2	合・否	締固め度(%)
3	98.3	合・否	4
			5
			6
			93.0
			98.2
			94.2
			95.3
【検査位置図】		平均	
別 紙 参 照			

参考 1-4 図(1) 品質管理記録の例(1/2)
 (No. 2 孔近傍, 2000 年以降)

密度検査表					JNFL		JV		
工事名					検査期日				
再処理施設埋戻し工事(その1、B工区)					H13.9.20				
検査箇所:BB建屋南西側大規模220,000m3					立会者				
検査内容:埋戻し密度管理 (RI法-6点管理平均値)					JNFL				
					JV				
規格値 : 締め度90%以上					合否		(合) ・ 否		
測点	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	平均 (%)	E. L (m)	備考
	92.5	95.2	98.3	93.0	98.2	94.2	95.3	55.00	
平面図									
断面図									

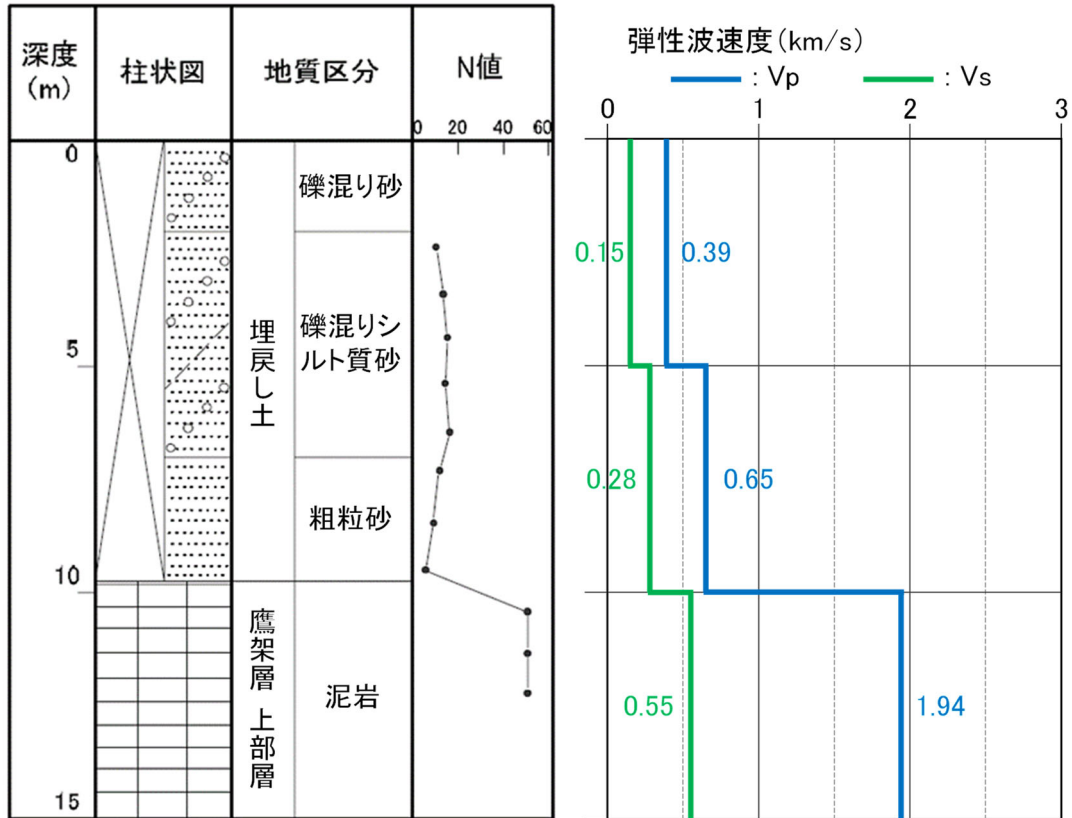
参考 1-4 図(2) 品質管理記録の例(2/2)
(No. 2 孔近傍, 2000 年以降)

参考 2

埋戻し土のボーリング柱状図について

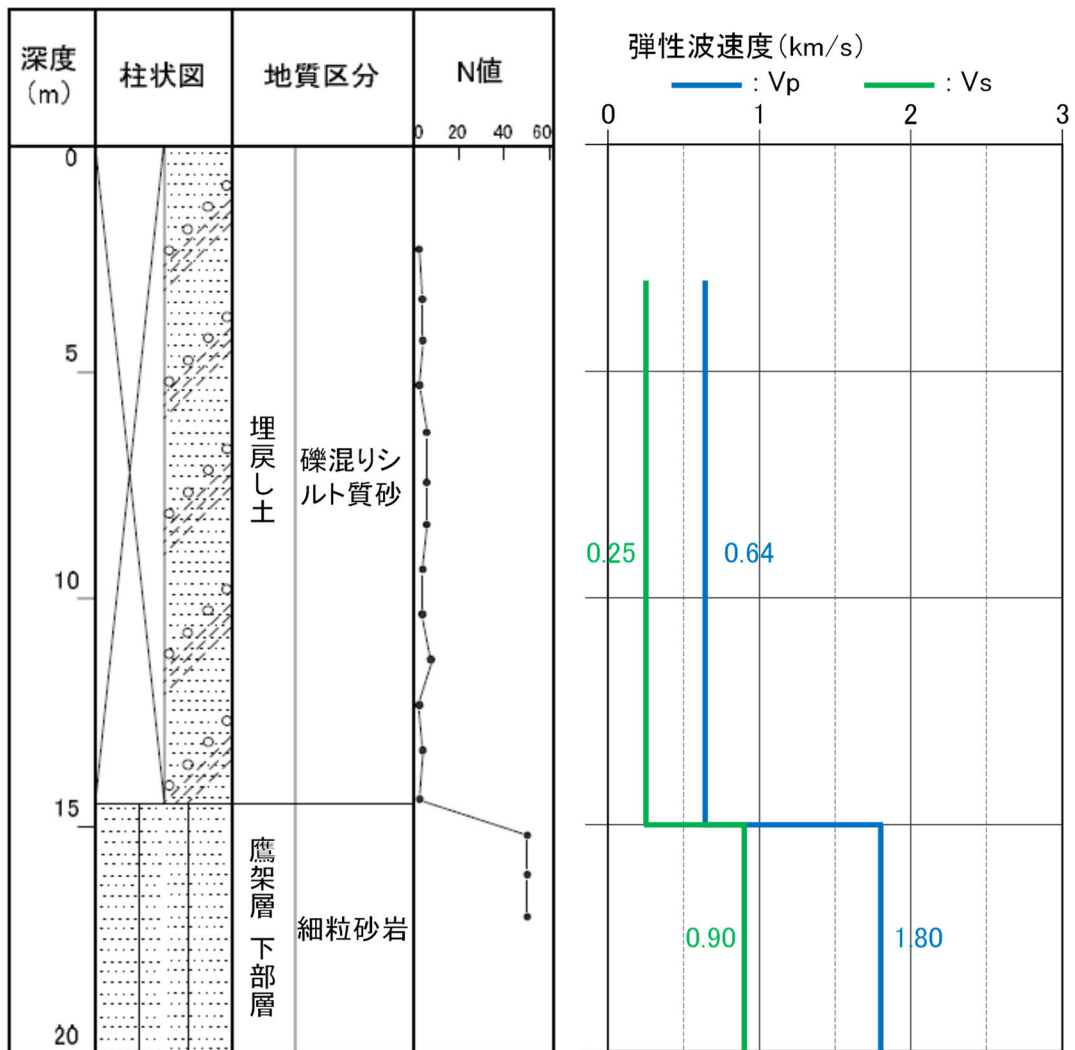
本編 2.1.2 埋戻し土の物性値設定の検討における事業変更許可申請書で設定した埋戻し土のボーリング柱状図及び物理・力学特性を参考 2-1 図～参考 2-15 図に示す。

KT-3 (孔口標高 55.17m)



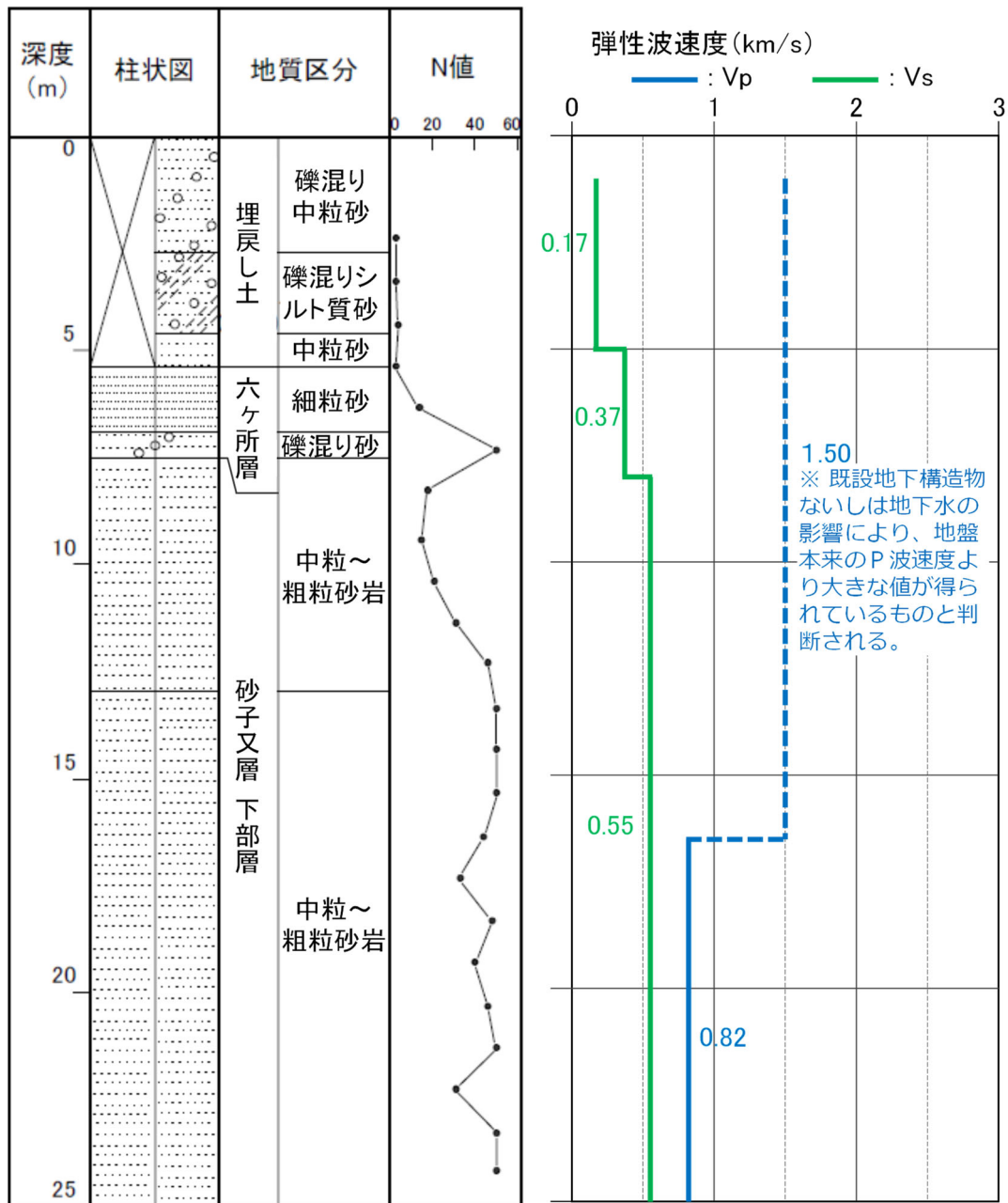
参考 2-1 図 ボーリング柱状図 (KT-3孔)

KT-5 (孔口標高 54.93m)



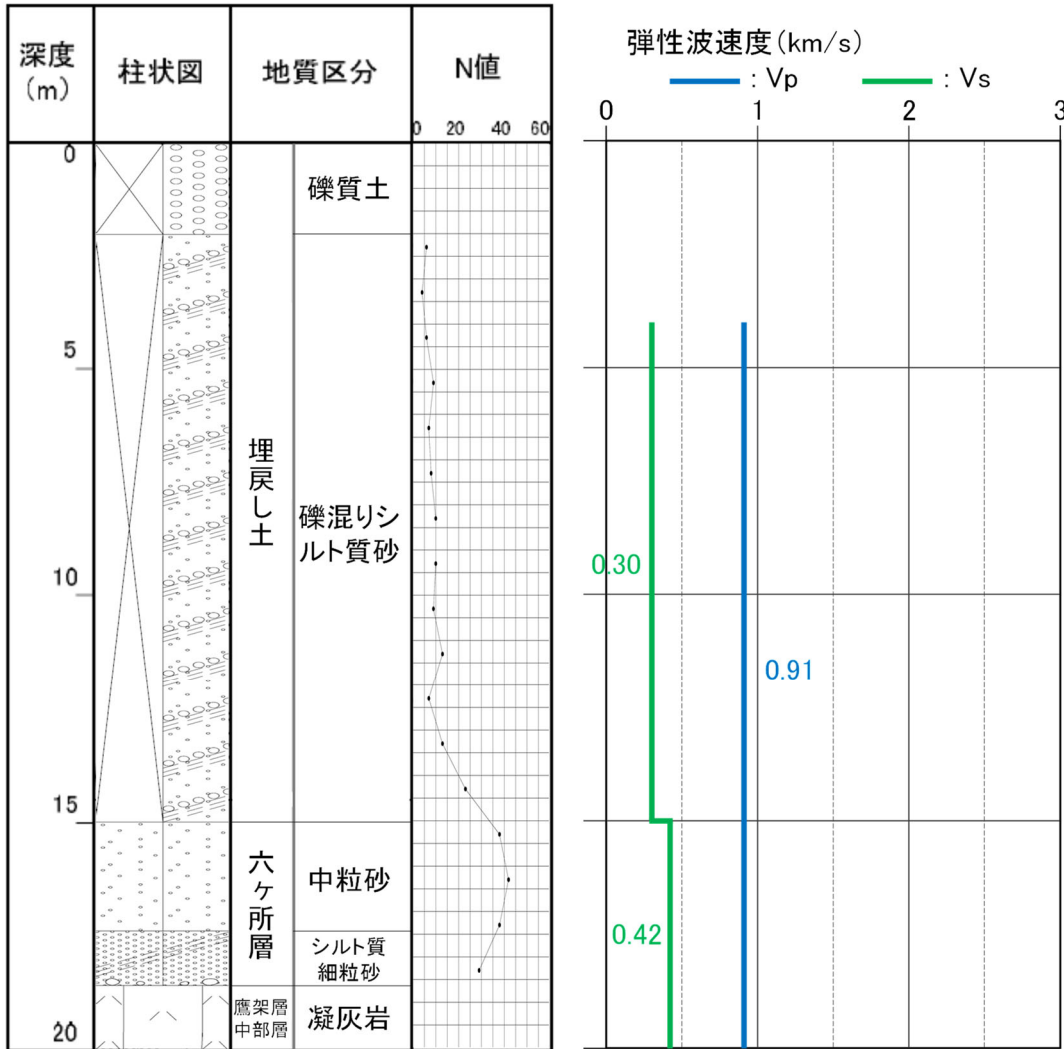
参考2-2図 ボーリング柱状図 (KT-5孔)

KT-9 (孔口標高 54.94m)



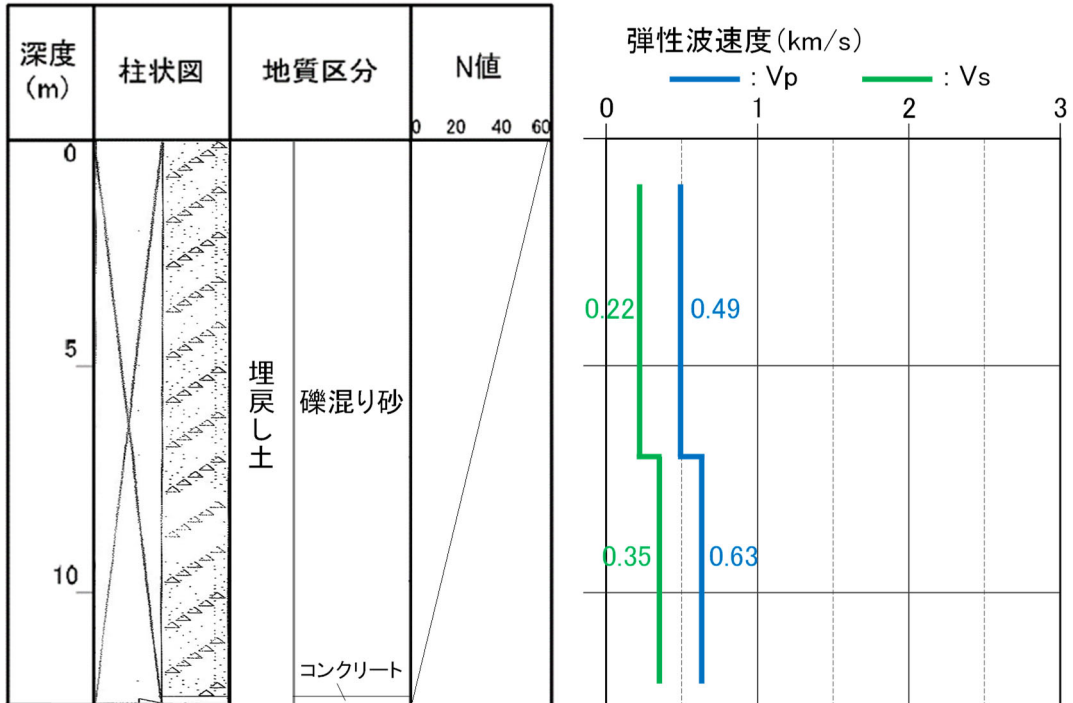
参考2-3図 ボーリング柱状図 (KT-9孔)

No.2 (孔口標高 54.99m)



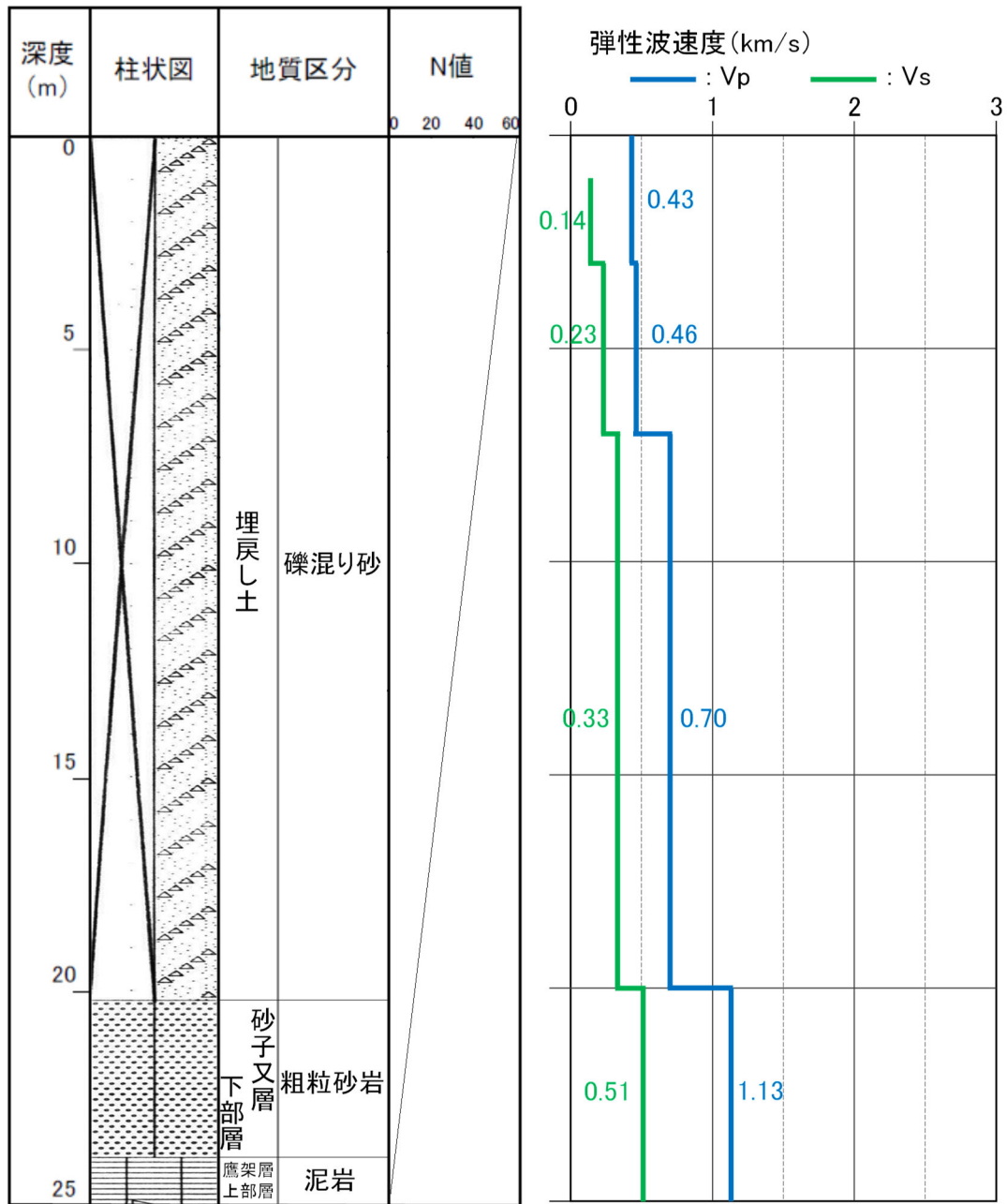
参考2-4図 ボーリング柱状図 (No. 2孔)

No.7 (孔口標高 55.20m)



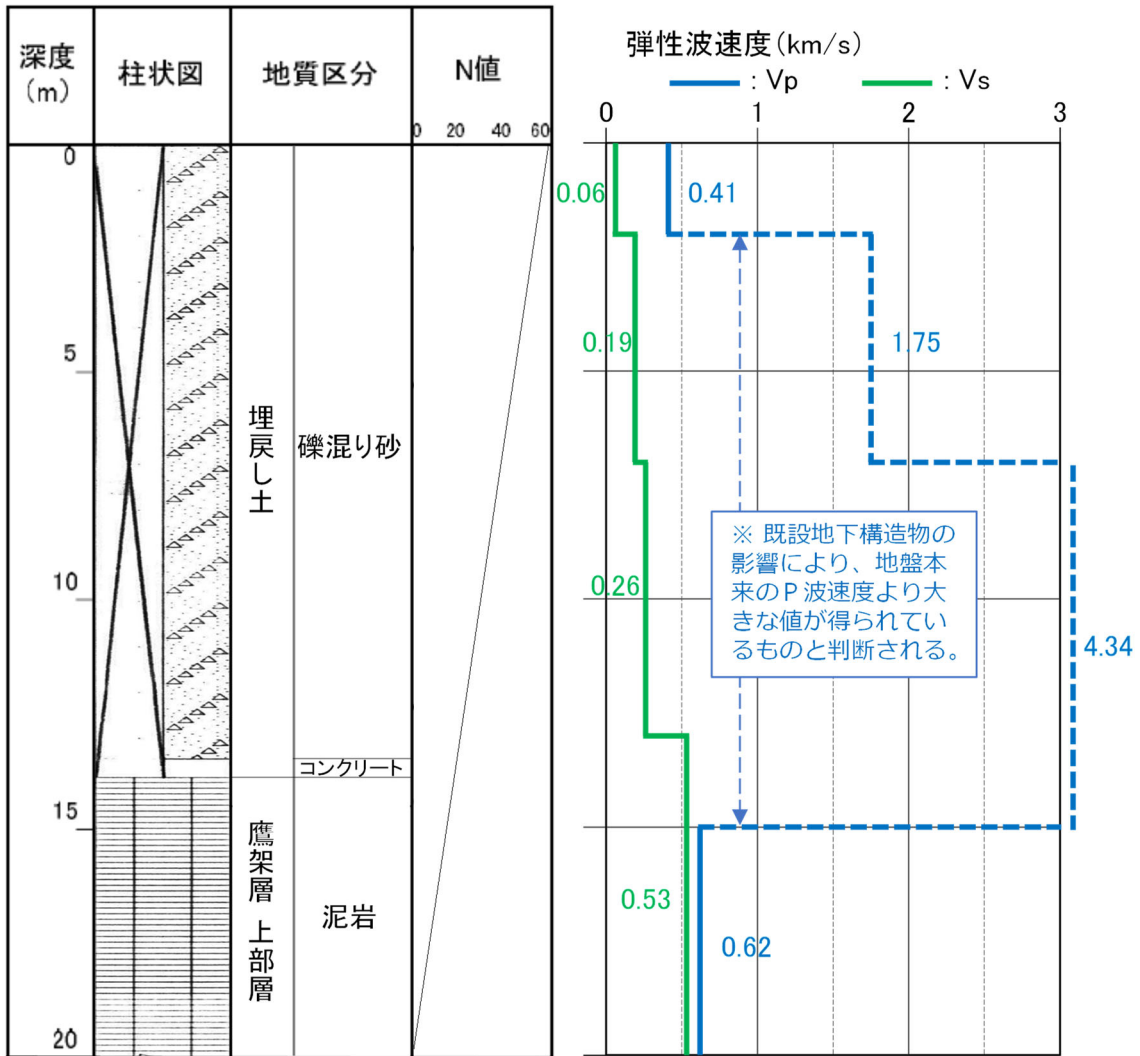
参考2-5図 ボーリング柱状図 (No.7孔)

No.8 (孔口標高 55.03m)



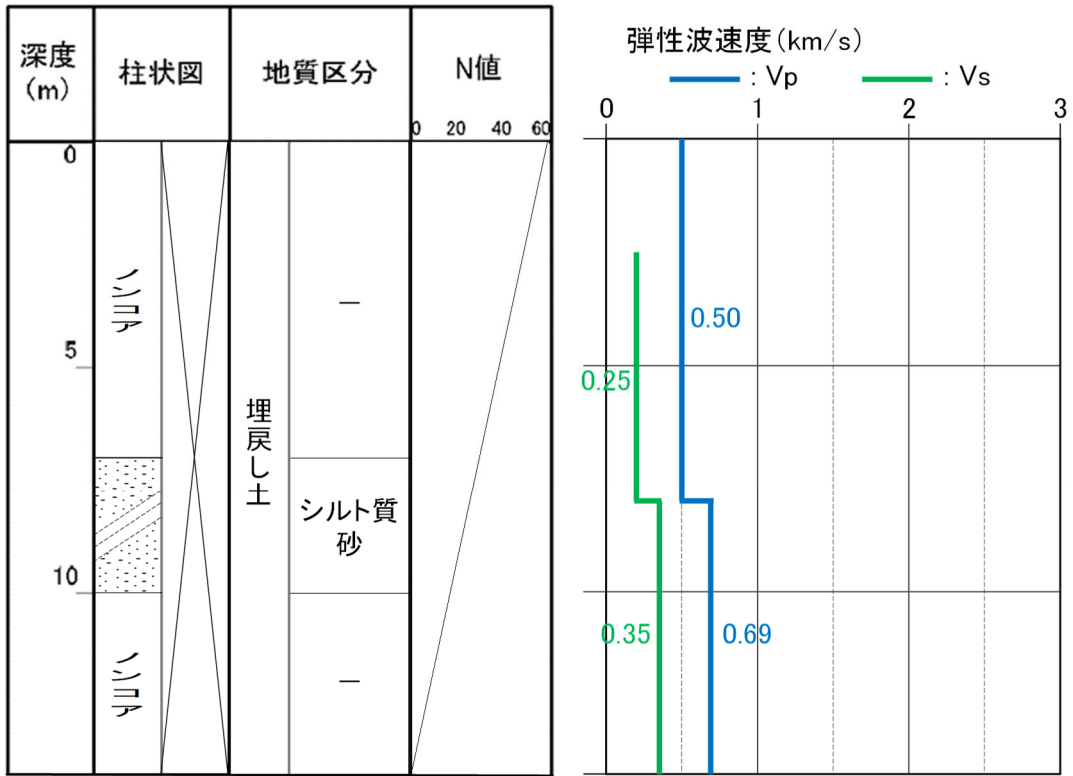
参考2-6図 ボーリング柱状図 (No. 8孔)

No.9 (孔口標高 55.10m)



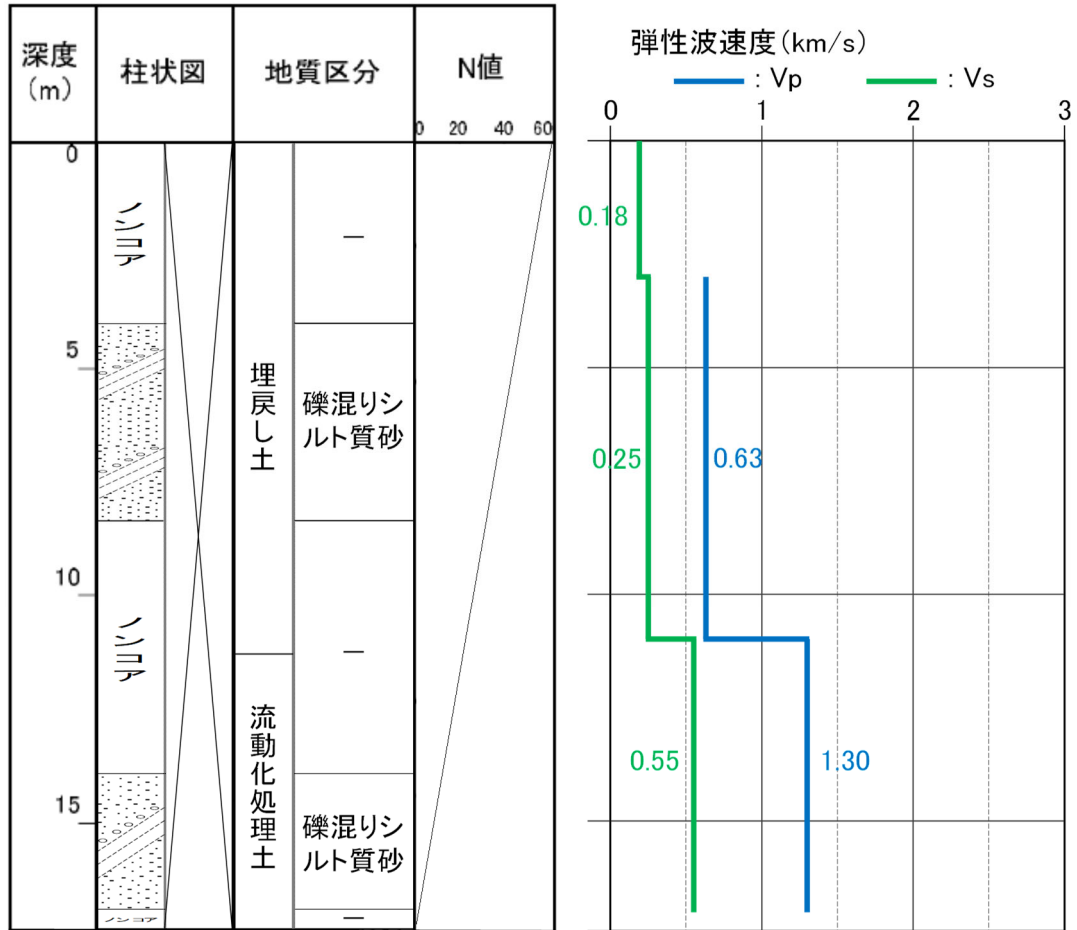
参考2-7図 ボーリング柱状図 (No. 9孔)

a-1 (孔口標高 55.03m)



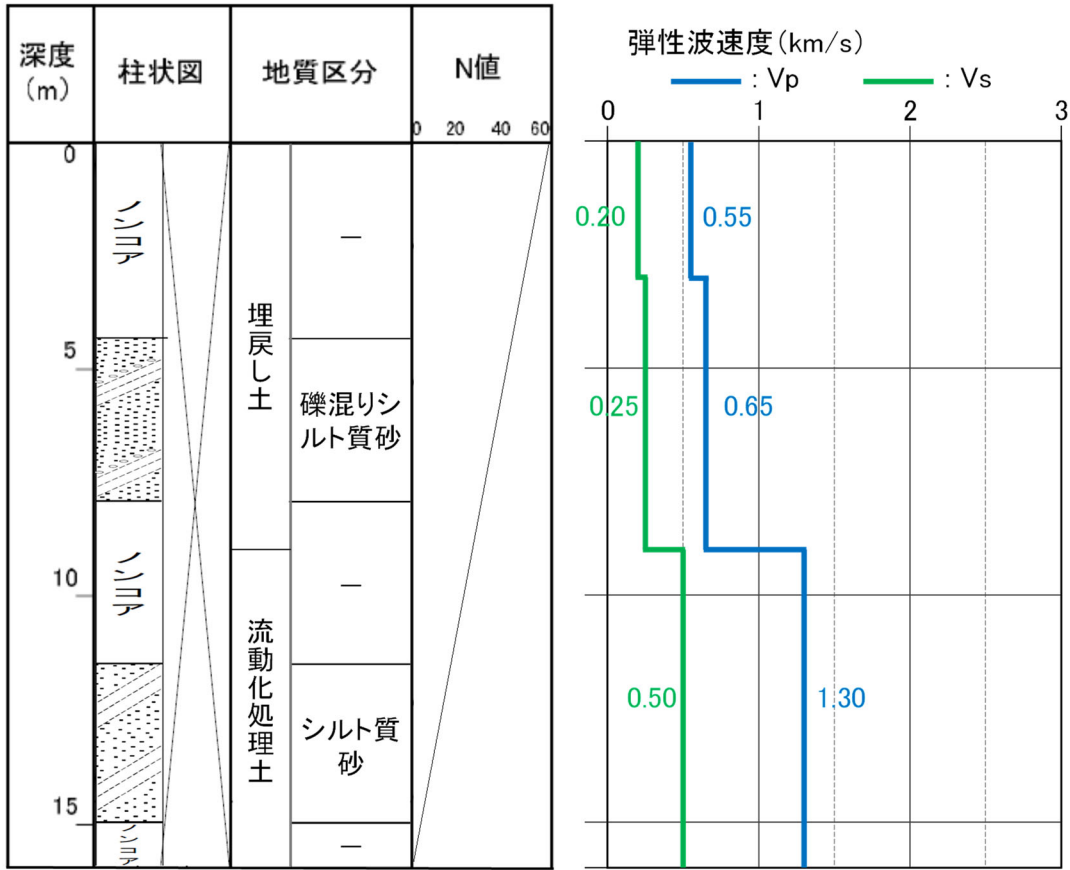
参考2-8図 ボーリング柱状図 (a-1孔)

a-4 (孔口標高 55.06m)



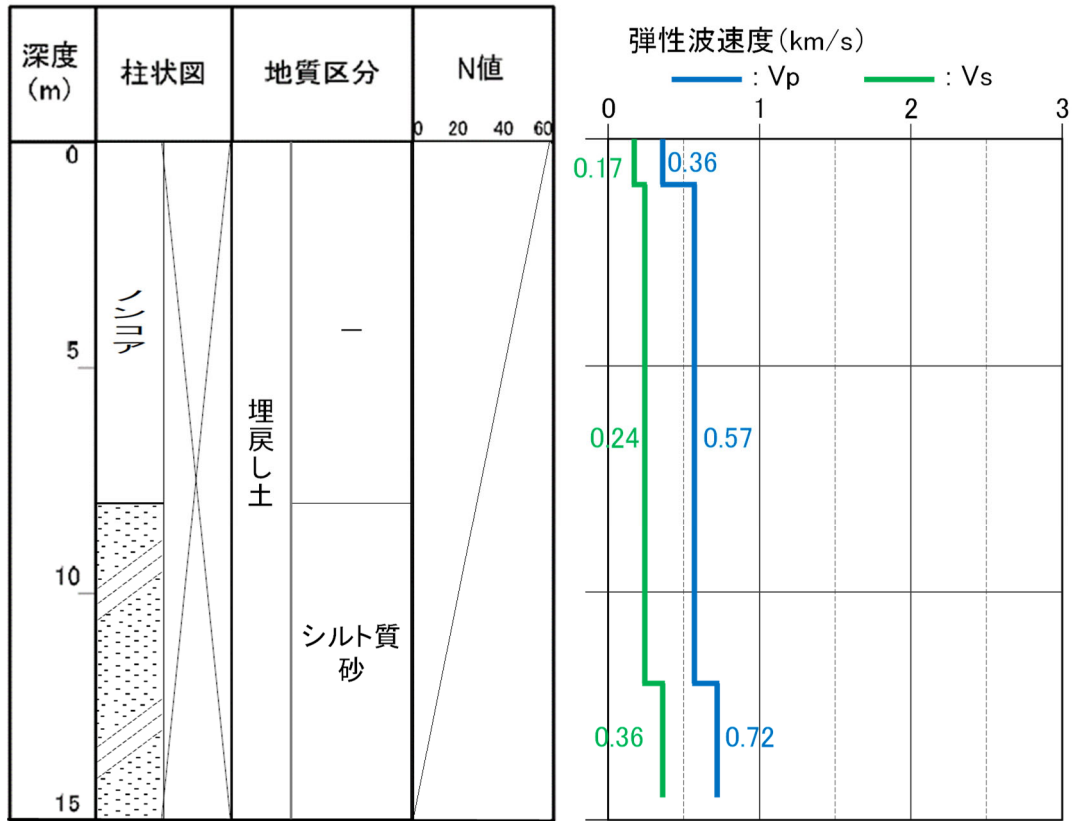
参考2-9図 ボーリング柱状図 (a-4孔)

b-2 (孔口標高 55.04m)



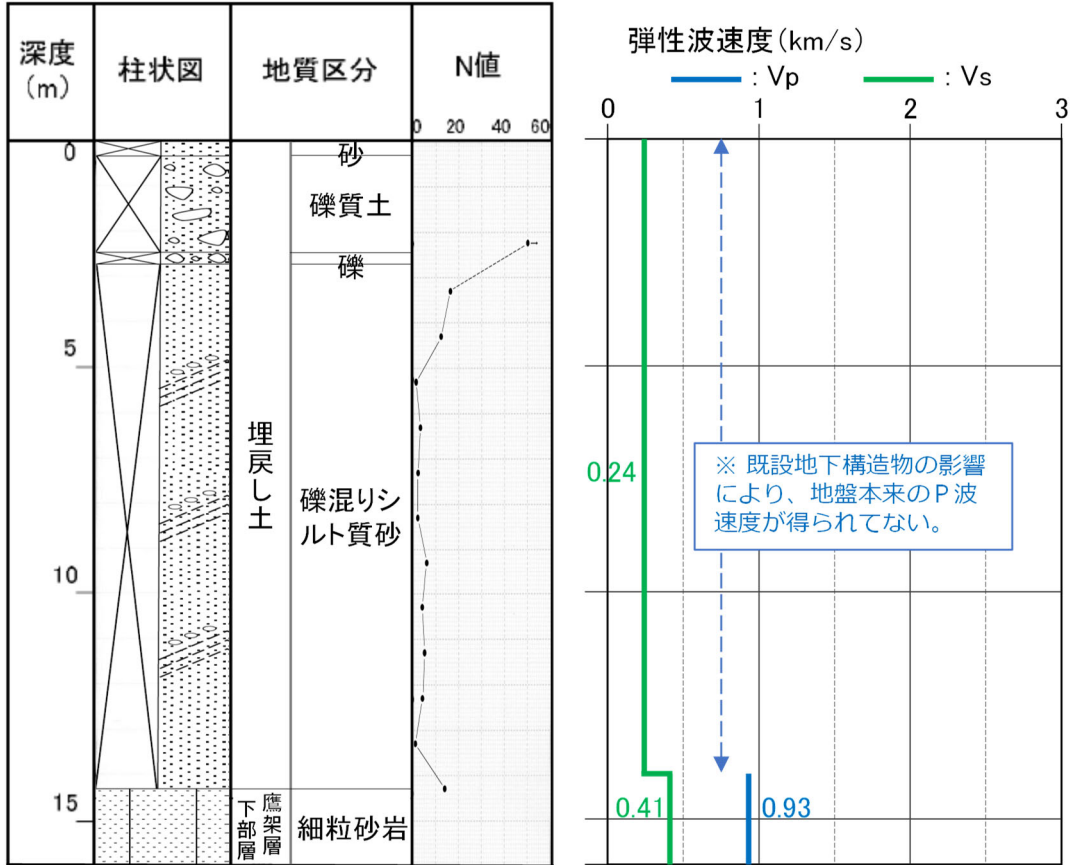
参考2-10図 ボーリング柱状図 (b-2孔)

b-4(孔口標高 54.95m)



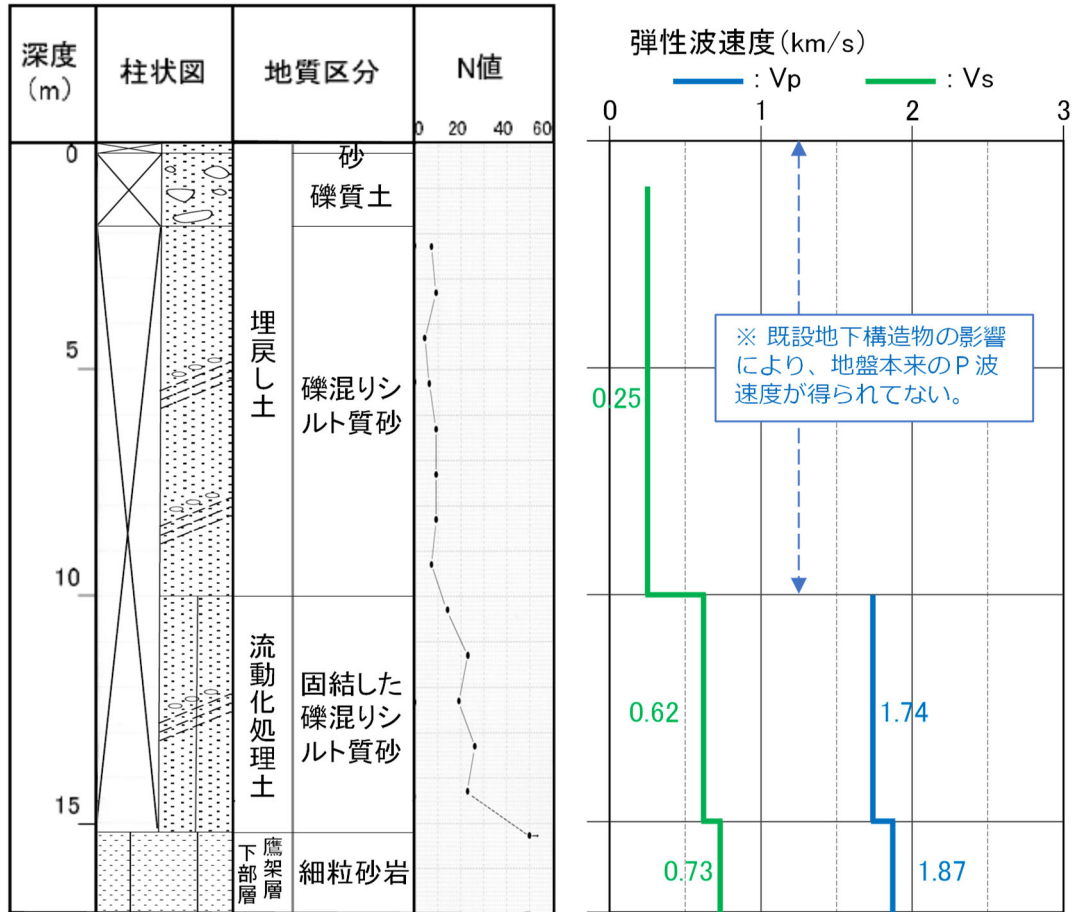
参考2-11図 ボーリング柱状図 (b-4孔)

TY-20-1 (孔口標高 54.98m)



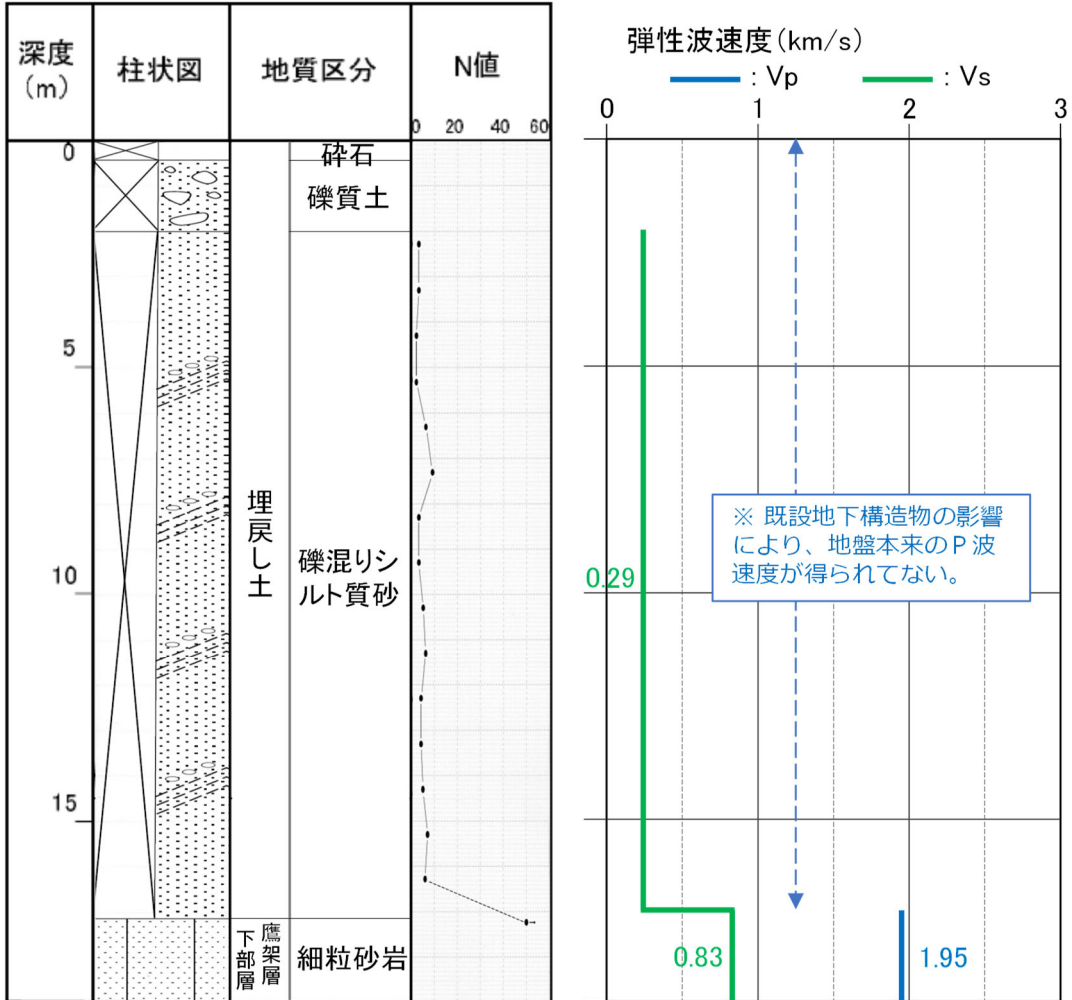
参考2-12図 ボーリング柱状図 (TY-20-1孔)

TY-20-2 (孔口標高 55.08m)



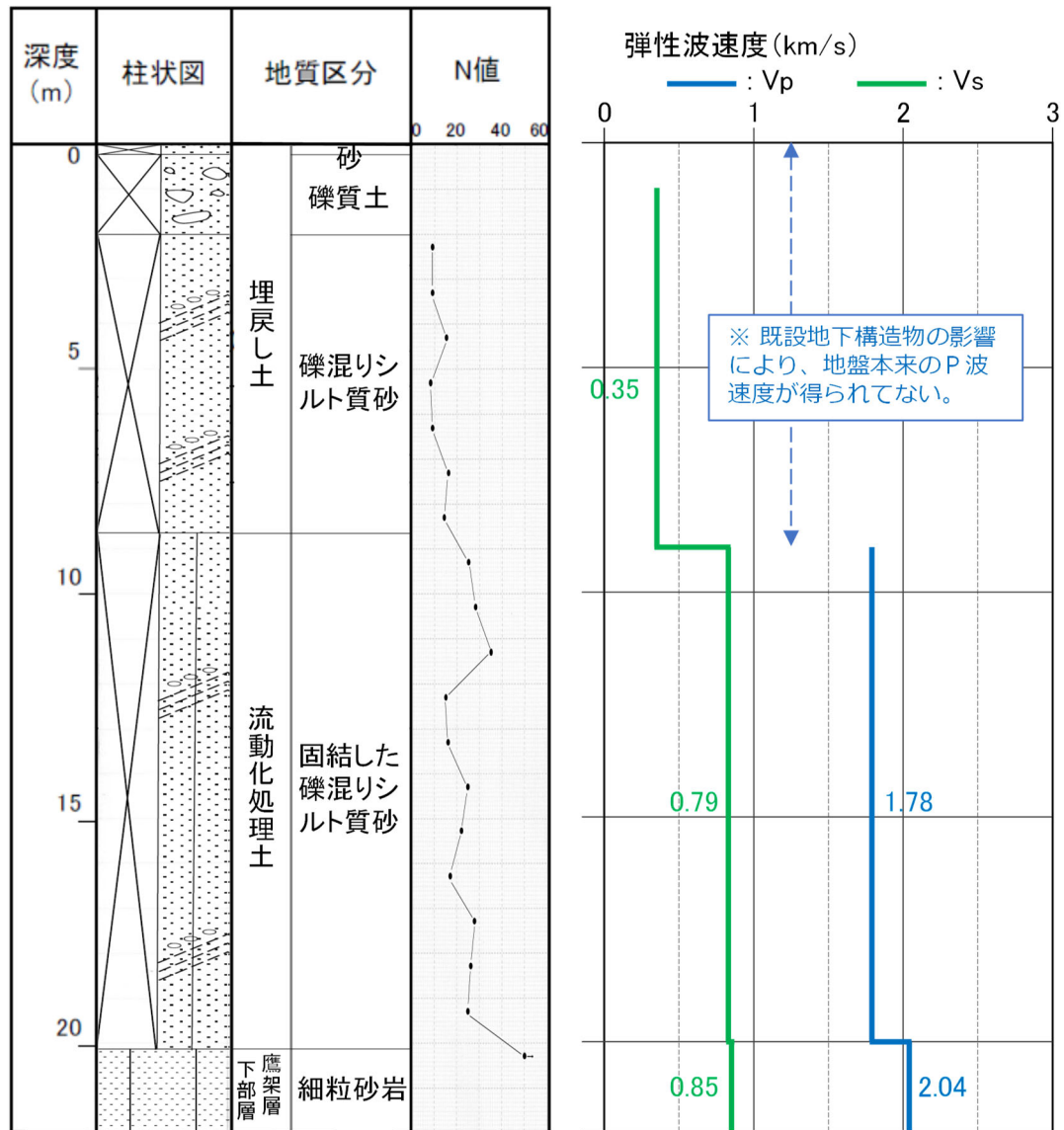
参考2-13図 ボーリング柱状図 (TY-20-2孔)

TY-20-3 (孔口標高 54.83m)



参考2-14図 ボーリング柱状図 (TY-20-3孔)

TY-20-5 (孔口標高 55.01m)



参考2-15図 ボーリング柱状図 (TY-20-5孔)

参考 3

流動化処理土の施工に係る品質管理について

本編 3.1.1 流動化処理土の施工管理状況及び均質性の検討における品質管理要領及び品質管理記録の一例を参考3-1図及び参考3-2図のとおり示す。

(1) 品質確認頻度

工法に対する諸基準・指針における必要調査箇所数を参考1表に示す。工法における品質確認頻度は、参考1表に示す諸基準・指針の必要調査箇所数を満足するように、各構造物の改良地盤の施工数量に応じて設定する。

参考1表 諸基準・指針における必要調査箇所数

対象施設	工法	基準略称	必要調査箇所数
飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）	掘削置換工法 （流動化処理土置換工法）	流動化処理土マニュアル	打設する際、1日に1回の測定

(2) 品質確認方法

飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B）における流動化処理土の品質確認方法及び基準値を参考2表に示す。

参考2表 改良地盤の品質確認方法及び基準値

対象施設	改良地盤種別	工法	品質確認項目		品質確認試験	基準値
飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）	流動化処理土A	掘削置換方法 （流動化処理土置換工法）	強度	一軸圧縮強度 （kgf/cm ² ）	一軸圧縮試験 （JGS 2521）	3.0

参考3-1図 流動化処理土に関する品質管理要領

（設工認に係る補足説明資料 耐震設計の基本方針に関する建物・構築物周辺の設計用地下水位の設定について[耐震建物13]から引用）

(3) 品質確認結果

飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B）における流動化処理土の品質確認頻度を参考 3 表に示す。また、品質確認結果を参考 4 表に示す。

品質確認頻度については、諸基準・指針に示される必要調査箇所数と流動化処理土の調査箇所数を比較した結果、文献による必要調査数を満足することを確認した。

参考 3 表 流動化処理土の品質確認頻度

対象施設	適用基準	品質確認項目		施工日数	必要調査数 (A)	調査箇所数 (B)	判定 (B) ≥ (A)
飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)	流動化処理土マニュアル	強度	一軸圧縮強度	29日	29回	29回	○

参考 4 表 流動化処理土の品質確認結果

打設日数	一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	打設日数	一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)
1	7.43	16	4.39
2	10.36	17	8.79
3	7.16	18	7.55
4	3.83	19	6.53
5	4.94	20	6.04
6	5.38	21	5.22
7	12.02	22	7.53
8	8.66	23	4.7
9	3.36	24	4.21
10	3.14	25	4.7
11	7.50	26	3.86
12	6.13	27	6.81
13	3.79	28	6.32
14	7.70	29	5.32
15	6.01		

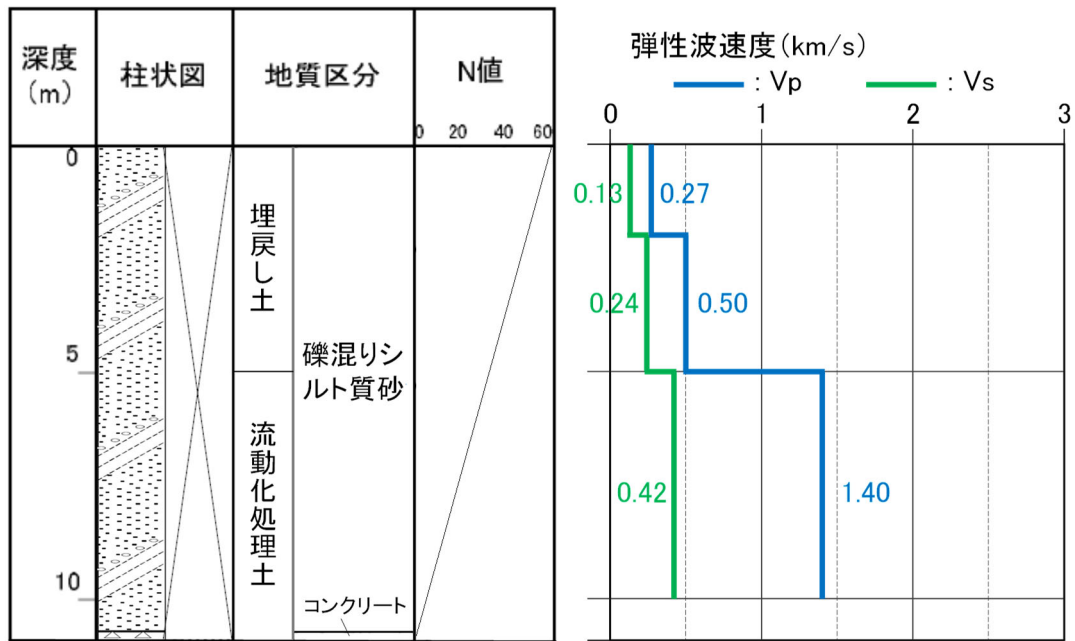
参考 3-2 図 流動化処理土に関する品質確認結果の例
 (設工認に係る補足説明資料 耐震設計の基本方針に関する建物・構築物周辺の設計用地下水位の設定について[耐震建物 13]から引用)

参考 4

流動化処理土のボーリング柱状図について

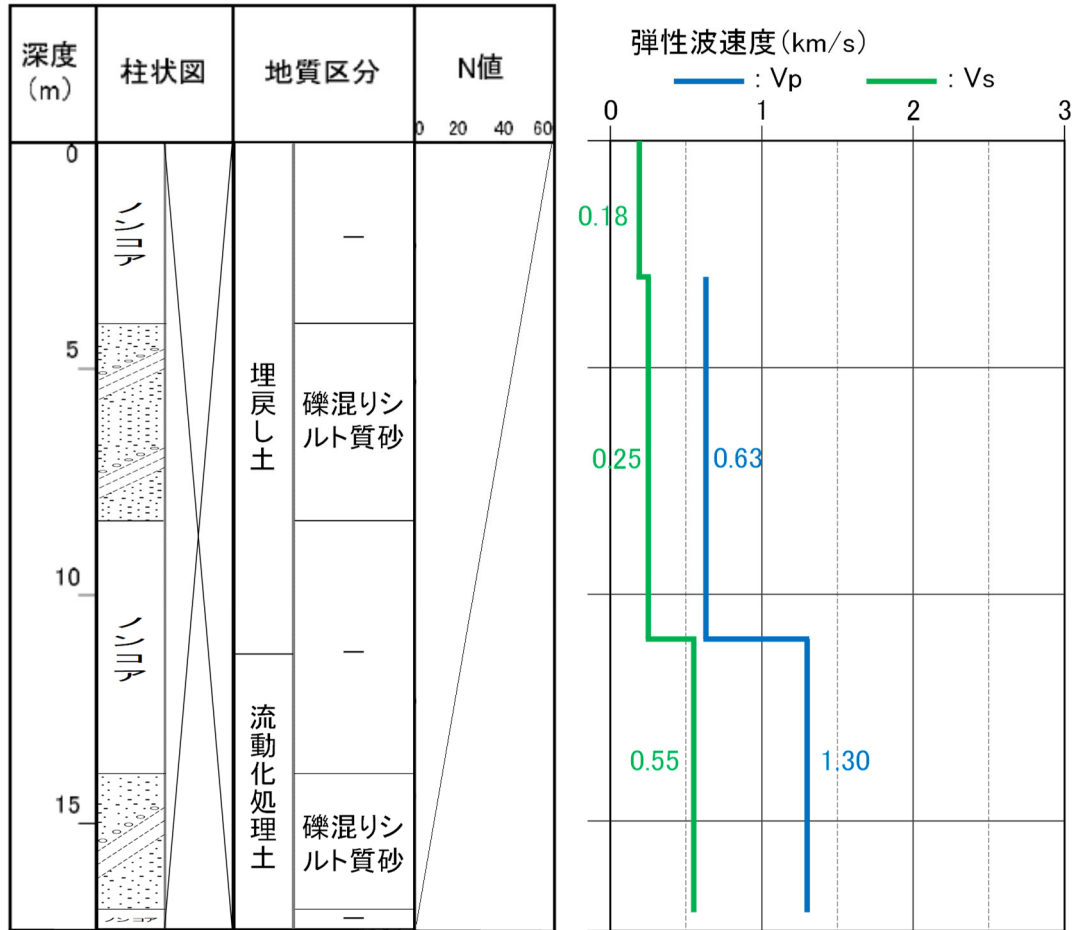
本編 3.1.1 流動化処理土の施工管理状況及び均質性の検討における事業変更許可申請書で設定した流動化処理土のボーリング柱状図及び物理・力学特性を参考 4-1 図～参考 4-4 図に示す。

a-3 (孔口標高 54.91m)



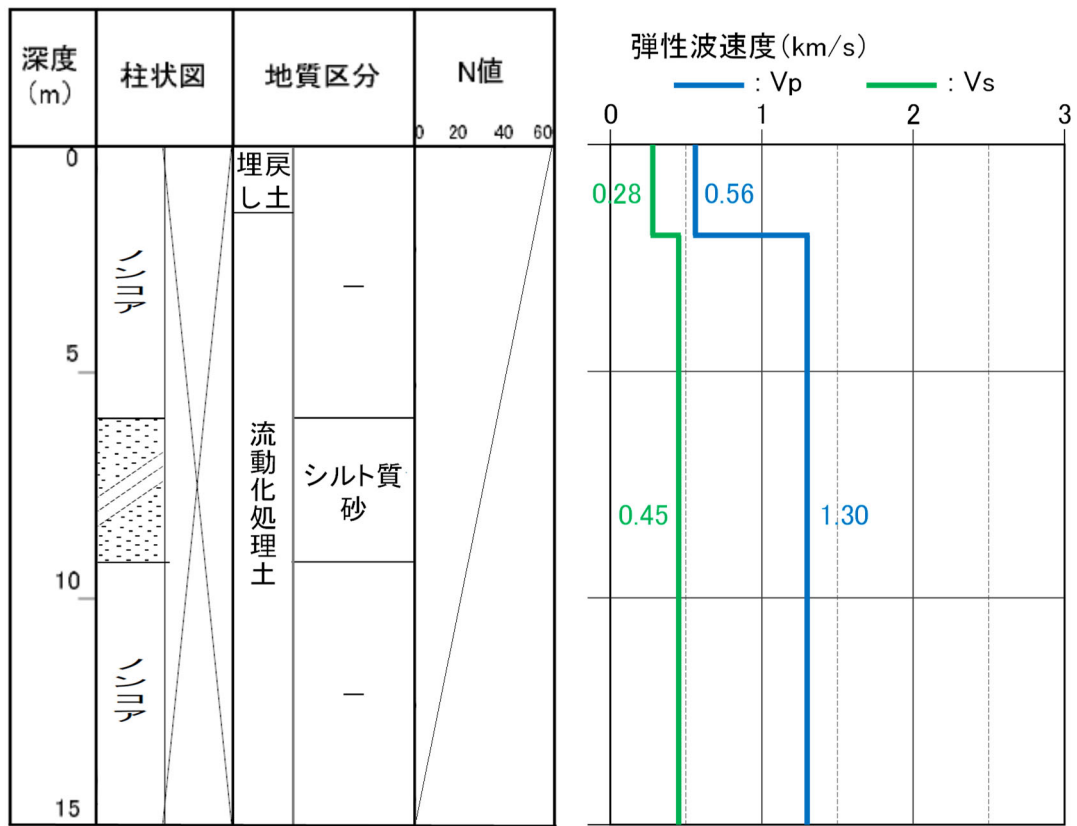
参考4-1図 ボーリング柱状図 (a-3孔)

a-4 (孔口標高 55.06m)



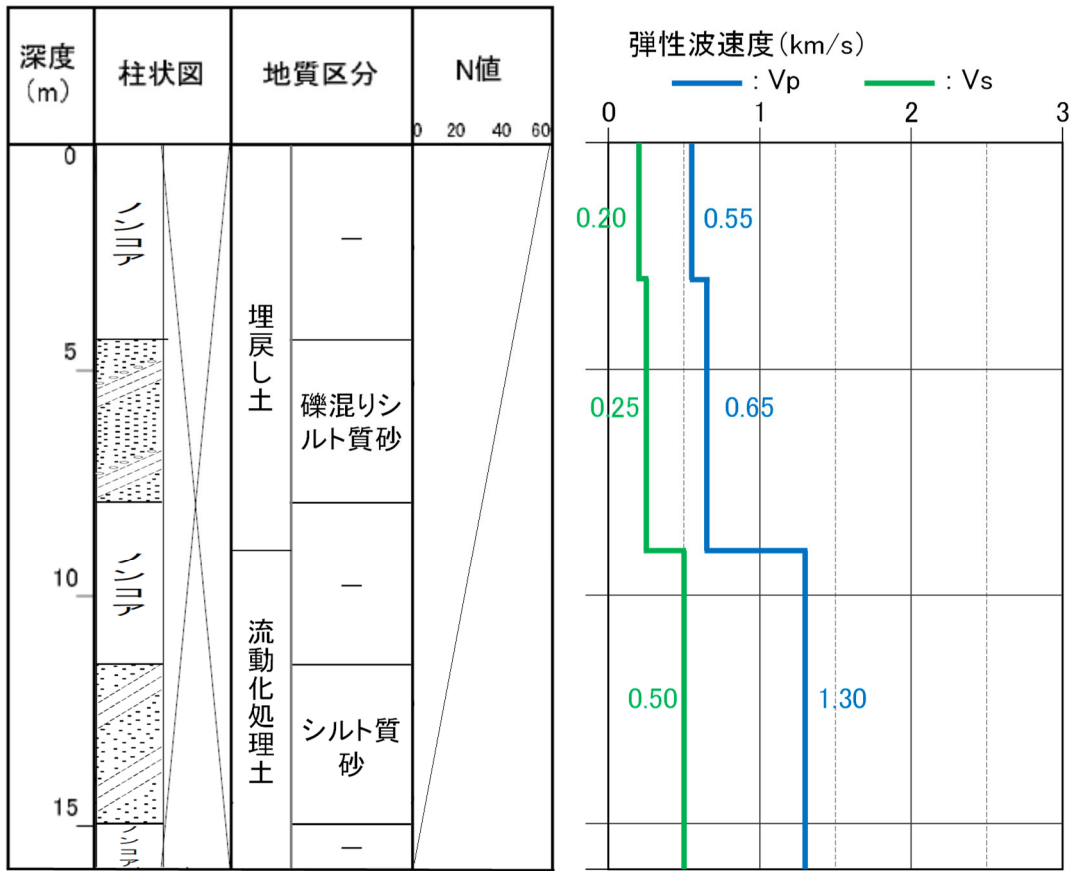
参考4-2図 ボーリング柱状図 (a-4孔)

b-1 (孔口標高 55.04m)



参考4-3図 ボーリング柱状図 (b-1孔)

b-2 (孔口標高 55.04m)



参考4-4図 ボーリング柱状図 (b-2孔)

参考 5

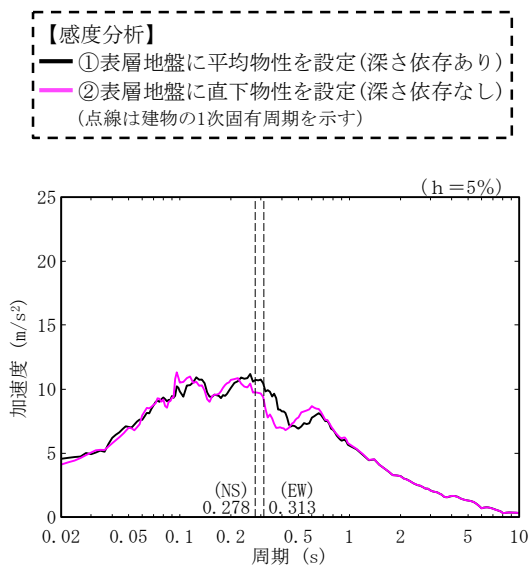
表層地盤の物性値の与え方による影響について

令和5年4月22日審査会合において、表層地盤の物性値に係る感度分析にあたって、一定の仮定を設けた直下物性を設定した場合の入力地震動の算定結果を示した。感度分析結果における直下物性と平均物性による入力地震動の算定結果の差について、参考5-1図及び参考5-2図に示す結果より以下のとおり考察した。

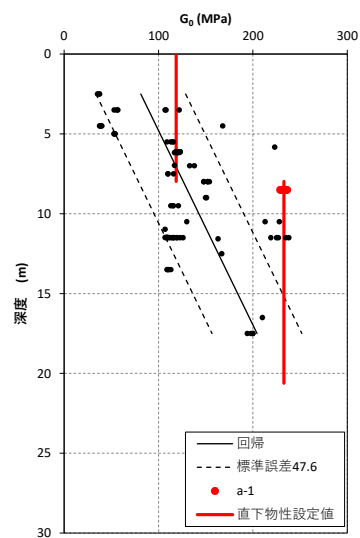
感度分析において考慮した物性値設定のうち、平均物性については、埋戻し土が人工材料であることを踏まえ、敷地内における調査結果等に基づき、深度依存性を考慮した平均的な物性値を設定している。

一方、直下物性については、敷地内におけるPS検層データに基づき、参考5-1図及び参考5-2図に示す赤線または青線のとおり、回帰式による深度依存性が無い条件を仮定して設定しているが、深くなるほど初期せん断弾性係数 G_0 が大きくなる傾向を有している。

以上を踏まえると、直下物性による設定の方が、深度依存性が離散的に表現されるため、層間のインピーダンスの現れ方によっては、本文の第2.1.2-1図に示した回帰式による深度依存性を考慮した場合と比較して、入力地震動の周波数特性や、地震動の大きさの違いとして現れたと考えられる。

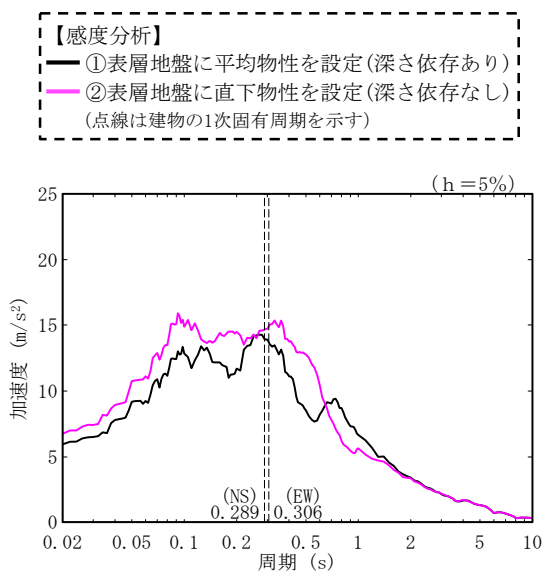


(a) 感度分析結果

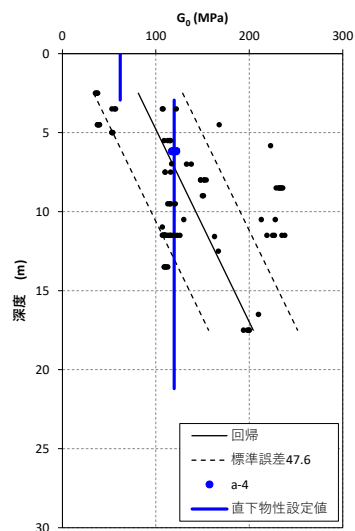


(b) 平均物性と直下物性の
設定値の違い

参考 5-1 図 入力地震動の感度分析結果 (AB 建屋)



(a) 感度分析結果



(b) 平均物性と直下物性の
設定値の違い

参考 5-2 図 入力地震動の感度分析結果 (AC 建屋)