

柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉

原子炉建屋等の基礎地盤及び周辺斜面の安定性
【コメント回答】

平成28年 4月 15日

東京電力ホールディングス株式会社

※安田層下部層のMIS10～MIS7とMIS6の境界付近の堆積物
については、本資料では『古安田層』と仮称する。

TEPCO

| No. | H28.3.4 第336回審査会合 コメント | 回答（回答方針） | ページ |
|-----|--|---|------|
| 1 | 大湊側の基礎地盤のすべり評価のうち奥行きを考慮したすべり評価（以降、「擬似三次元解析」と称す）について、近傍の地すべり規模との比較などの奥行き方向のすべり範囲設定も含めた評価の妥当性について説明すること。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 二次元解析と擬似三次元解析を比較し、いずれも十分な保守性を有する評価方法であることを確認した。 ・ 奥行き方向のすべり範囲について、建屋設置による地盤への影響検討や近傍の地すべり規模との比較を行うとともに、すべり面を拡大した検討を行い、設定したすべり範囲の妥当性を確認した。 ・ 擬似三次元解析に基づくすべり安全率は、地表面に抜けるすべり面の立上げ角度や立上げ位置をパラメータとしたパラメータスタディを実施し、1.5を上回ることを確認した。 ・ あわせて、奥行き方向の地表面に抜けるすべり面の抵抗を考慮しない場合についても評価を実施し、すべり安全率が1.5を上回ることを確認した。 | P.2 |
| 2 | 基礎の傾斜について、基本設計段階の目安値である1/2000を上回る結果となっていることから、基礎地盤の評価だけではなく、設備側の評価も加えた総合評価が必要であるため、その設計方針を明確にすること。 | 「原子炉設置変更許可申請書 添付資料8 耐震設計」に、基準地震動S _s による基礎の傾斜に対して安全機能を保持できる設計とすることを記載する。 | — |
| 3 | 物性値について、補足説明資料との結びつきがわかるように資料を明確化すること。 | 大湊側のF系・V系断層、及び荒浜側の西山層、V系断層に関して、低圧部と高圧部の使い分けがわかるよう補足資料を修正した。 | P.26 |
| 4 | 地下水位の設定について、実際の地下水位との違いを示すこと。 | 建屋部の地下水位低下方法について確認し、解析における地下水位の設定が保守的な設定であることを確認した。 | P.38 |

| No. | H28.3.4 第336回審査会合 コメント | 回 答 |
|-----|---|--|
| 1 | <p>大湊側の基礎地盤のすべり評価のうち奥行きを考慮したすべり評価（以降、「擬似三次元解析」と称す）について、近傍の地すべり規模との比較などの奥行き方向のすべり範囲設定も含めた評価の妥当性について説明すること。</p> | <ul style="list-style-type: none">• 二次元解析と擬似三次元解析を比較し、いずれも十分な保守性を有する評価方法であることを確認した。• 奥行き方向のすべり範囲について、建屋設置による地盤への影響検討や近傍の地すべり規模との比較を行うとともに、すべり面を拡大した検討を行い、設定したすべり範囲の妥当性を確認した。• 擬似三次元解析に基づくすべり安全率は、地表面に抜けるすべり面の立上げ角度や立上げ位置をパラメータとしたパラメータスタディを実施し、1.5を上回ることを確認した。• あわせて、奥行き方向の地表面に抜けるすべり面の抵抗を考慮しない場合についても評価を実施し、すべり安全率が1.5を上回ることを確認した。 |

1. 奥行きを考慮した基礎地盤のすべり評価〔擬似三次元解析〕について

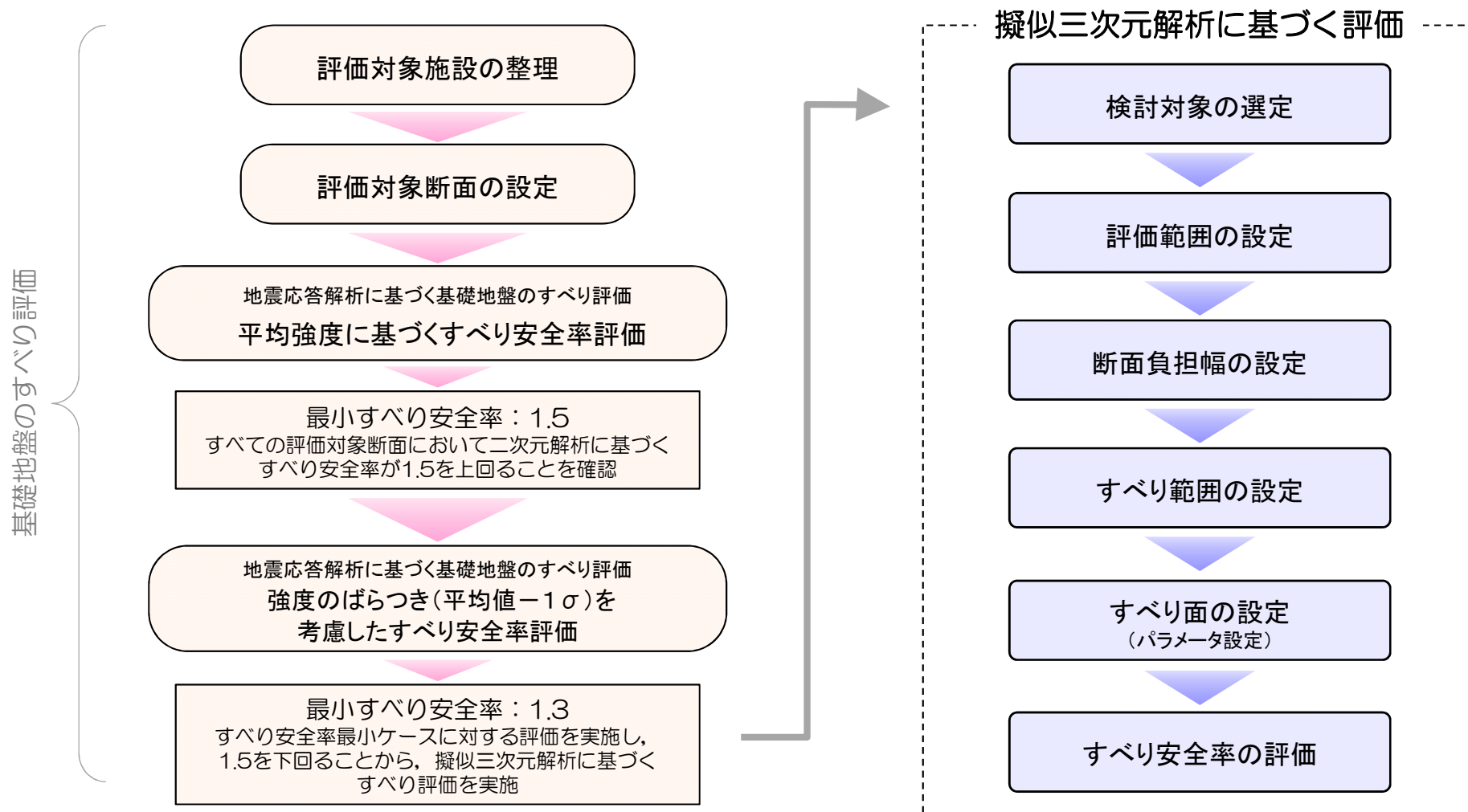
1. 1 検討概要

1. 2 基礎地盤のすべり評価方法について

1. 3 擬似三次元解析に基づくすべり評価 〔強度のばらつき考慮〕

検討概要

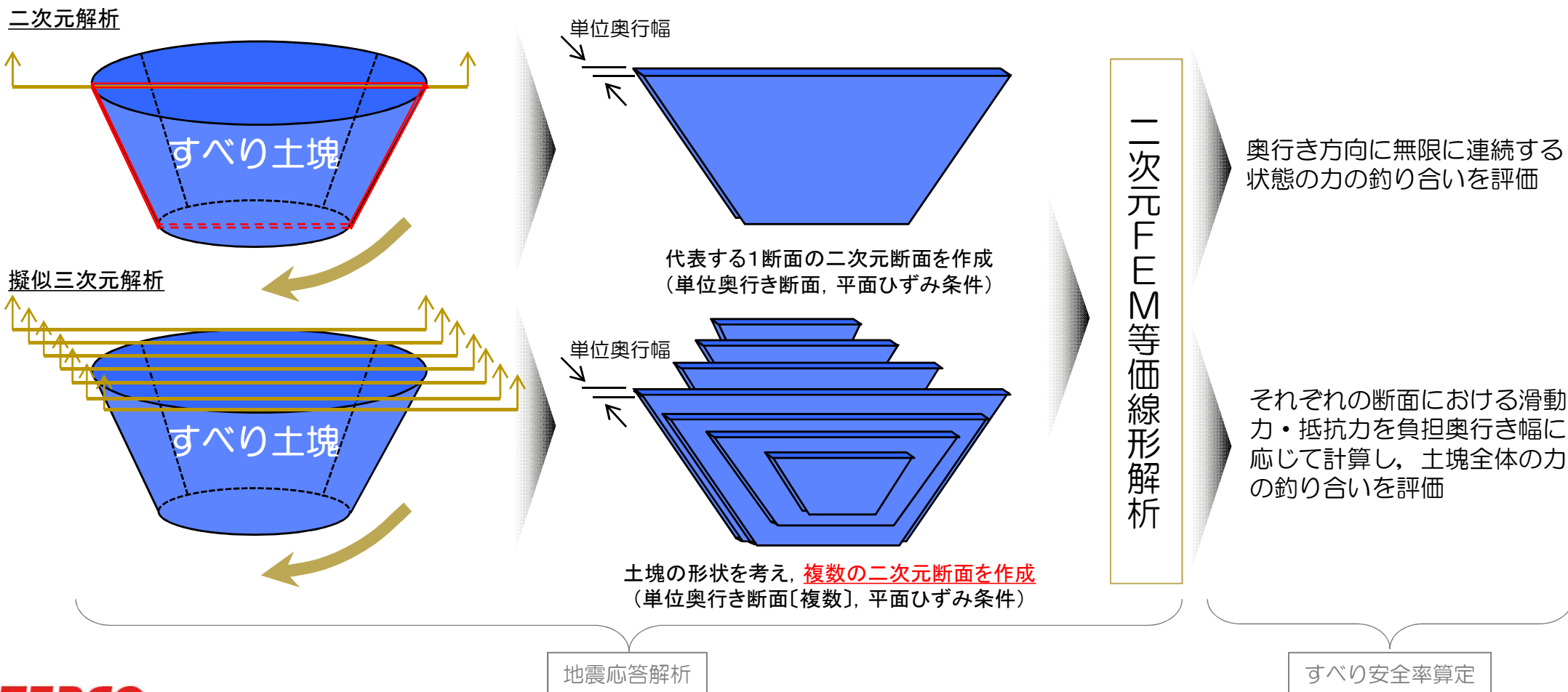
- 大湊側の基礎地盤のすべり評価は、下図の流れで実施している。二次元地震応答解析に基づく平均強度を用いたすべり安全率は、最小値で1.5であり、基準地震動に対してすべての評価対象断面で1.5を上回ることを確認している。
- さらに、すべり安全率が最小となったケースについて、強度のばらつき（平均値－1 σ ）を考慮した評価を実施した結果、すべり安全率は1.3であり、1.5を下回ることから、奥行き方向の建屋形状や地質状況、すべり面形状等を考慮した擬似三次元解析に基づく評価を実施した。



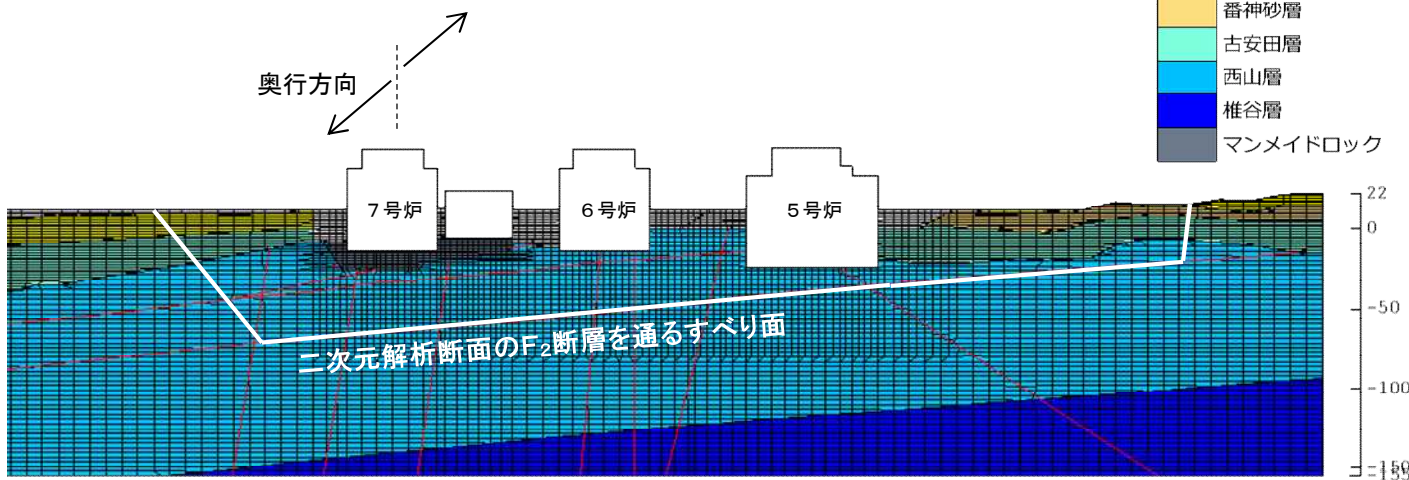
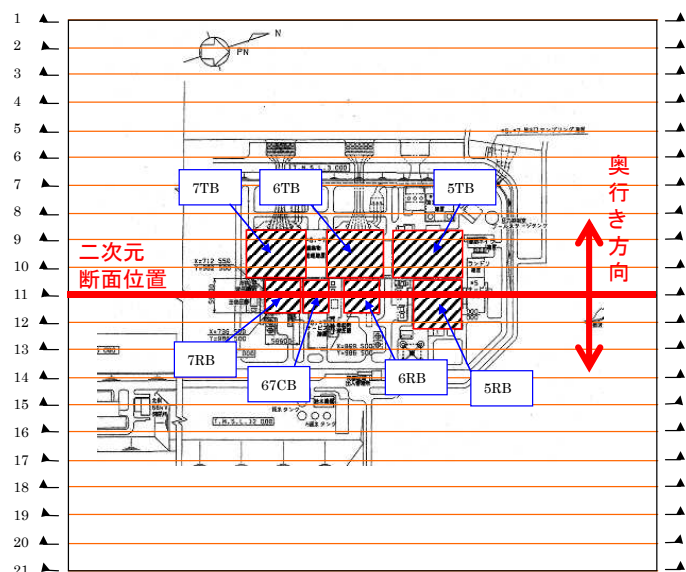
1. 奥行きを考慮した基礎地盤のすべり評価〔擬似三次元解析〕について
 1. 1 検討概要
 1. 2 基礎地盤のすべり評価方法について
 1. 3 擬似三次元解析に基づくすべり評価
〔強度のばらつき考慮〕

擬似三次元解析の概念

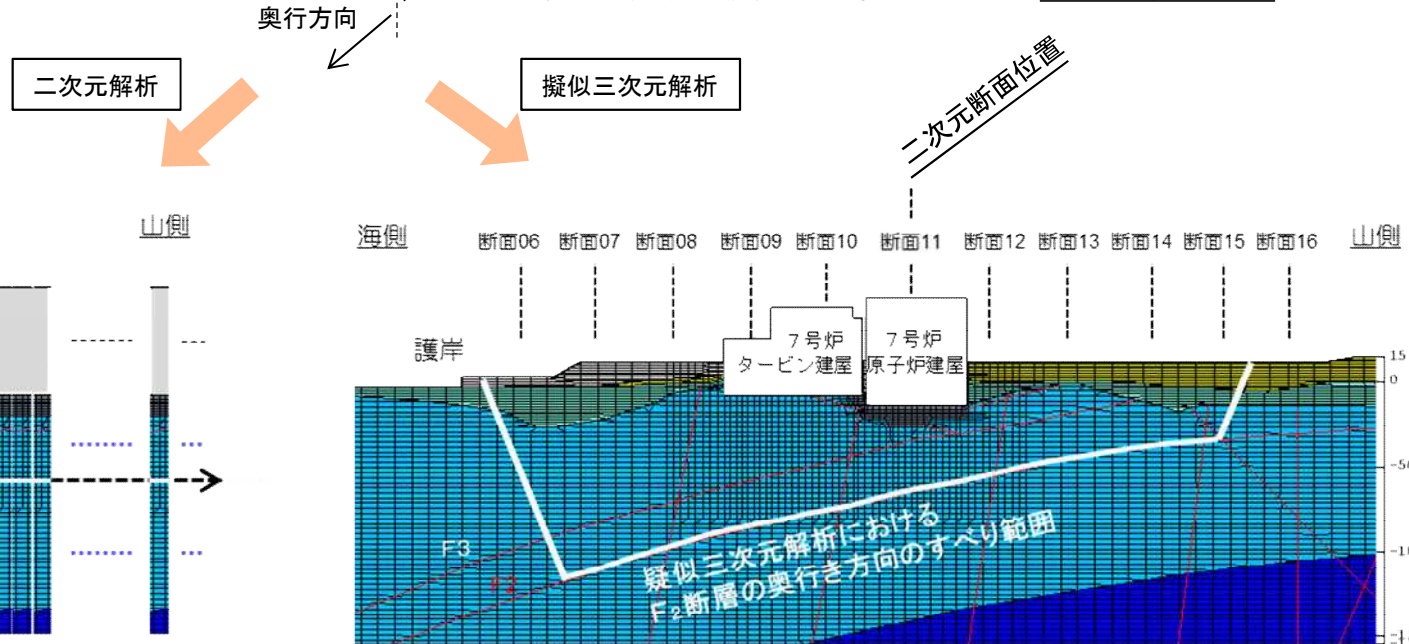
- 基礎地盤のすべり安定性は、地震時に土塊に作用する滑動力と地盤の持つ抵抗力の釣り合いを評価するものである。すべり安全率は、滑動力と抵抗力の比であり、滑動力が抵抗力を上回るとすべり安全率が1を下回る。
- 二次元解析の場合、代表する1断面から単位奥行き幅の二次元断面を作成し、平面ひずみ条件で解析することから、奥行き方向に無限に連続し、かつ変化しない土塊に対して力の釣り合いを評価していると考えられることができる。
- しかしながら、現実のすべり土塊は有限かつ奥行き方向にも変化していることから、複数の二次元断面を作成して解析を行い、すべり土塊の形状を考慮して力の釣り合いを評価するものが擬似三次元解析である。



大湊側 基礎地盤評価への適用イメージ



6, 7号炉原子炉建屋汀線平行断面(二次元解析断面)



二次元解析における奥行き方向のすべり面のイメージ

擬似三次元解析における奥行き方向のすべり面のイメージ

評価方法に関する整理

- 二次元解析と擬似三次元解析における条件設定やモデル化等について、実現象との対応を整理した。
- 地盤物性の設定 (①)，断層のモデル化 (②) については、いずれの方法も保守的な (すべり安全率が常に小さく評価される) 設定やモデル化をしている。次ページ以降で、③～⑤のすべり安全率への影響について詳述する。

| 影響項目 | 実現象(実地盤, 実構造物) | 二次元解析 | 擬似三次元解析 |
|--------------------------|---|---|---|
| ① 地盤物性の設定 | 物性のばらつきはあるものの、地盤全体としては平均値を示す | 保守的 保守的にすべての地盤及び断層の強度を「 <u>平均値-1σ</u> 」に低減した評価を実施 | 保守的 二次元解析と同じ |
| ② 断層のモデル化 | 実際の断層形状は、滑らかではなく不陸がある | 保守的 保守的に断層形状が滑らかであると仮定してモデル化 | 保守的 二次元解析と同じ |
| ③ 建屋のモデル化 (P.9-10) | 建屋は、箱型で断面方向及び奥行き方向に有限な形状 例)原子炉建屋: 約60m×60m | 断面方向には建屋形状を考慮しているが、奥行き方向には建屋が無限に続く状態が仮定されるため、奥行き方向の建屋形状を考慮できない | 奥行き方向に複数の断面を設定することにより、建屋の奥行き方向の形状を考慮できる |
| ④ 奥行き方向の地質変化 (P.11) | 地質・地質構造(地層境界や断層形状)は断面方向及び奥行き方向に変化 | 断面方向には地質変化を考慮しているが、奥行き方向には無限かつ変化しない状態が仮定されるため、奥行き方向の地質変化を考慮できない | 奥行き方向に複数の断面を設定することにより、奥行き方向の地質変化を考慮できる |
| ⑤ すべり面形状 (P.12) | すべり面は地表面に抜けるため、断面方向及び奥行き方向に有限な形状 | 断面方向にはすべり面形状を考慮しているが、奥行き方向にはすべり面無限に続く状態が仮定されるため、奥行き方向の地表面に抜けるすべり面の抵抗を考慮できない | 奥行き方向に複数の断面を設定することにより、奥行き方向の有限なすべり面形状を考慮でき、奥行き方向の地表面に抜けるすべり面の抵抗を考慮できる |

③ 建屋のモデル化について

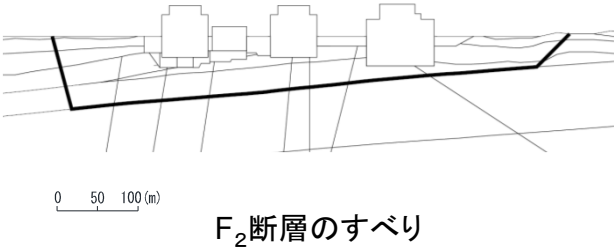
| 影響項目 | 実現象(実地盤, 実構造物) | 二次元解析 | 擬似三次元解析 |
|--------------|--|--|--|
| ③ 建屋のモデル化 | 建屋は、箱型で断面方向及び奥行き方向に有限な形状 例)原子炉建屋:約60m×60m | 断面に依存 ※ 断面方向の建屋形状を考慮しているが、奥行き方向には建屋が無限に続く状態が仮定されるため、断面の諸条件に依存してすべり安全率は変動する | 実現象考慮 ※ 奥行き方向に複数の断面を設定することにより、建屋の奥行き方向の形状を考慮できるため、断面に依存せずより実現象に近いすべり安全率の算定ができる |

- 一般的に、建屋の有無がすべり安全率の変動に影響を与える因子としては、建屋（形状、重量、剛性等）の地震時慣性力や振動特性、基礎地盤の剛性や強度、すべり面の形状などが挙げられ、これらの条件の組合せで、すべり安全率は変動すると考えられる（例えば、建屋があることで地震時慣性力は増加するが、直下の地盤は拘束が増して地盤の強度も増加するため、そのバランスですべり安全率は変動する）。
- 二次元解析は、代表する1断面から単位奥行き幅の二次元断面を作成することから、奥行き方向に建屋が無限に続く状態が仮定されるため、そのすべり安全率は断面における上記の諸条件に依存して変動する。
- 擬似三次元解析は、奥行き方向に複数の断面を設定することにより、建屋の奥行き方向の形状を考慮できるため、断面に依存せずより実現象に近いすべり安全率の算定ができる。

※解析における条件設定やモデル化により、すべり安全率が常に小さく評価される項目を「保守的」、二次元断面における建屋や地盤条件等に依存する項目を「断面に依存」、実現象をある程度考慮する項目を「実現象考慮」と表記。

③ 建屋のモデル化について

- 具体的な例として、6, 7号炉原子炉建屋汀線平行断面において、建屋の有無の影響をF₂断層を通るすべりに対するすべり安全率で比較検討した。その結果、本モデルにおいては、建屋の有無の影響は小さいことを確認した。

| 評価対象断面 及び地震動 | すべり線形状のパターン | すべり安全率 〔平均-1σ強度〕 | |
|--------------------------------------|---|---------------------|------|
| | | 建屋あり | 建屋なし |
| 6, 7号炉原子炉建屋 汀線平行断面 【Ss-3(正,逆)】 |  | 1.30 | 1.37 |

※ 基準地震動Ss-3の(正,逆)は、鉛直反転を示す。

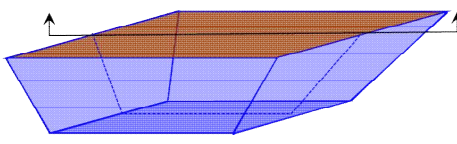
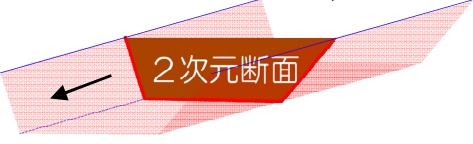
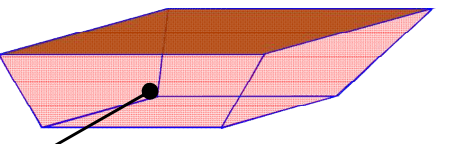
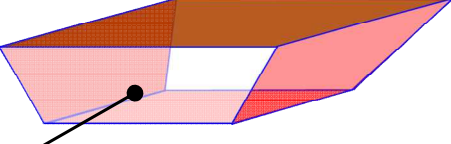
④ 奥行き方向の地質変化について

| 影響項目 | 実現象(実地盤, 実構造物) | 二次元解析 | 擬似三次元解析 |
|---------------------|-----------------------------------|---|---|
| ④ 奥行き方向の 地質変化 | 地質・地質構造(地層境界や断層形状)は断面方向及び奥行き方向に変化 | 断面に依存 ※ 断面方向には地質変化を考慮しているが, 奥行き方向には無限かつ変化しない状態が仮定されるため, 断面の地質状況に依存してすべり安全率は変動する | 実現象考慮 ※ 奥行き方向に複数の断面を設定することにより, 奥行き方向の地質変化を考慮できるため, 断面に依存せずより実現象に近いすべり安全率の算定ができる |

- 地層や断層等の地質・地質構造は奥行き方向に変化していることから, その状況に応じてすべり安全率は変動すると考えられる。
- 二次元解析は, 代表する1断面から単位奥行き幅の二次元モデルを作成することから, 奥行き方向に無限かつ変化しない状態が仮定されるため, そのすべり安全率は断面における地質・地質構造の状況に依存して変動する。
- 擬似三次元解析は, 奥行き方向に複数の断面を設定することにより, 奥行き方向の断層等の地質・地質構造の変化を考慮できるため, 断面に依存せずより実現象に近いすべり安全率の算定ができる。

※解析における条件設定やモデル化により, すべり安全率が常に小さく評価される項目を「保守的」, 二次元断面における建屋や地盤条件等に依存する項目を「断面に依存」, 実現象をある程度考慮する項目を「実現象考慮」と表記。

⑤ すべり面形状について

| 影響項目 | 実現象 | 二次元解析 | 擬似三次元解析 | |
|-------------|--|---|--|---|
| ⑤ すべり面形状 | すべり面は地表面に抜けるため、断面方向及び奥行き方向に有限な形状 | <p>保守的※</p> 奥行き方向にはすべり面が無限に続く状態が仮定され、奥行き方向の地表面に抜けるすべり面の抵抗を考慮できないことからすべり安全率は保守的に算定される | <p>実現象考慮※</p> 奥行き方向に複数の断面を設定することにより、奥行き方向の地表面に抜けるすべり面の抵抗を考慮できるため、より実現象に近いすべり安全率の算定ができる | <p>保守的※</p> 地表面に抜けるすべり面の抵抗を考慮しない場合、すべり安全率は二次元解析と同様に保守的に算定される |
| | (二次元断面位置)  すべり土塊は有限 |  奥行き方向 奥行き方向 2次元断面 |  奥行き方向のすべり面を考慮 |  保守的に奥行き方向のすべり面の抵抗を0と設定 |

- すべり面は必ず地表面に抜けるため、断面方向及び奥行き方向に有限な形状である。
- 二次元解析は、代表する1断面から単位奥行き幅の二次元モデルを作成するため、奥行き方向に無限かつ変化しない状態が仮定され、奥行き方向の地表面に抜けるすべり面が考慮できないことから、すべり安全率は保守的に算定される。
- 擬似三次元解析は、奥行き方向に複数の断面を設定することにより、すべり面の三次元的に有限な形状を考慮でき、地表面に抜けるすべり面の抵抗を考慮できるため、より実現象に近いすべり安全率の算定ができる。なお、擬似三次元解析の検討にあたっては、後述のとおり、二次元解析の持つ保守性を考慮し、奥行き方向の地表面に抜けるすべり面の抵抗を考慮しない場合についてもあわせて検討する。

※解析における条件設定やモデル化により、すべり安全率が常に小さく評価される項目を「保守的」、二次元断面における建屋や地盤条件等に依存する項目を「断面に依存」、実現象をある程度考慮する項目を「実現象考慮」と表記。

まとめ

- 二次元解析と擬似三次元解析における条件設定やモデル化等について、実現象との対応を整理した結果、いずれも十分な保守性を有する評価方法であり、擬似三次元解析は二次元解析に対して、より実現象に近いすべり安全率の算定ができる評価方法であると整理される。
- なお、擬似三次元解析におけるすべり面形状（⑤）については、二次元解析の持つ保守性を考慮し、奥行き方向の地表面に抜けるすべり面の抵抗を考慮しない場合についてもあわせて検討する。

| 影響項目 | 実現象(実地盤, 実構造物) | 二次元解析 | 擬似三次元解析 |
|--------------|--|--|--|
| ① 地盤物性の設定 | 物性のばらつきはあるものの、地盤全体としては平均値を示す | 保守的 ※ 保守的にすべての地盤及び断層の強度を「平均値-1σ」に低減した評価を実施 | 保守的 ※ 二次元解析と同じ |
| ② 断層のモデル化 | 実際の断層形状は、滑らかではなく不陸がある | 保守的 ※ 保守的に断層形状が滑らかであると仮定してモデル化 | 保守的 ※ 二次元解析と同じ |
| ③ 建屋のモデル化 | 建屋は、箱型で断面方向及び奥行き方向に有限な形状 例) 原子炉建屋: 約60m×60m | 断面に依存 ※ 断面方向の建屋形状を考慮しているが、奥行き方向には建屋が無限に続く状態が仮定されるため、断面の諸条件に依存してすべり安全率は変動する | 実現象考慮 ※ 奥行き方向に複数の断面を設定することにより、建屋の奥行き方向の形状を考慮できるため、断面に依存せずより実現象に近いすべり安全率の算定ができる |
| ④ 奥行き方向の地質変化 | 地質・地質構造(地層境界や断層形状)は断面方向及び奥行き方向に変化 | 断面に依存 ※ 断面方向には地質変化を考慮しているが、奥行き方向には無限かつ変化しない状態が仮定されるため、断面の諸条件に依存してすべり安全率は変動する | 実現象考慮 ※ 奥行き方向に複数の断面を設定することにより、奥行き方向の地質変化を考慮できるため、断面に依存せずより実現象に近いすべり安全率の算定ができる |
| ⑤ すべり面形状 | すべり面は地表面に抜けるため、断面方向及び奥行き方向に有限な形状 | 保守的 ※ 奥行き方向にはすべり面が無限に続く状態が仮定され、奥行き方向の地表面に抜けるすべり面の抵抗を考慮できないことからすべり安全率は保守的に算定される | 実現象考慮 ※ 奥行き方向に複数の断面を設定することにより、奥行き方向の地表面に抜けるすべり面の抵抗を考慮できるため、より実現象に近いすべり安全率の算定ができる |
| | | | 保守的 ※ 地表面に抜けるすべり面の抵抗を考慮しない場合、すべり安全率は二次元解析と同様に保守的に算定される |

※解析における条件設定やモデル化により、すべり安全率が常に小さく評価される項目を「保守的」、二次元断面における建屋や地盤条件等に依存する項目を「断面に依存」、実現象をある程度考慮する項目を「実現象考慮」と表記。

1. 奥行きを考慮した基礎地盤のすべり評価〔擬似三次元解析〕について
 1. 1 検討概要
 1. 2 基礎地盤のすべり評価方法について
 1. 3 擬似三次元解析に基づくすべり評価
〔強度のばらつき考慮〕

評価概要と検討対象の選定

- すべり安全率が最小となったケースについて、強度のばらつき（平均値-1σ）を考慮した評価を実施した結果、すべり安全率は1.3であり、1.5を下回ることから、奥行き方向の建屋形状や地質状況、すべり面形状等を考慮し、より実現象に近いすべり安全率の算定ができる擬似三次元解析に基づく評価を実施した。
- 擬似三次元解析では、複数の二次元断面を作成し、解析用地盤物性値や境界条件等の解析条件は、二次元解析に準じて設定した。各断面で解析を実施して地震時応力を算定し、すべり安全率を算定した。

検討対象の選定

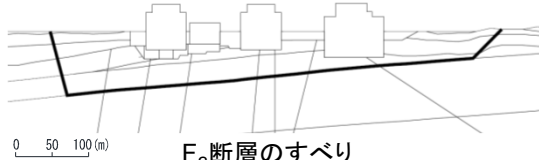
評価範囲の設定

断面負担幅の設定

すべり範囲の設定

すべり面の設定
(パラメータ設定)

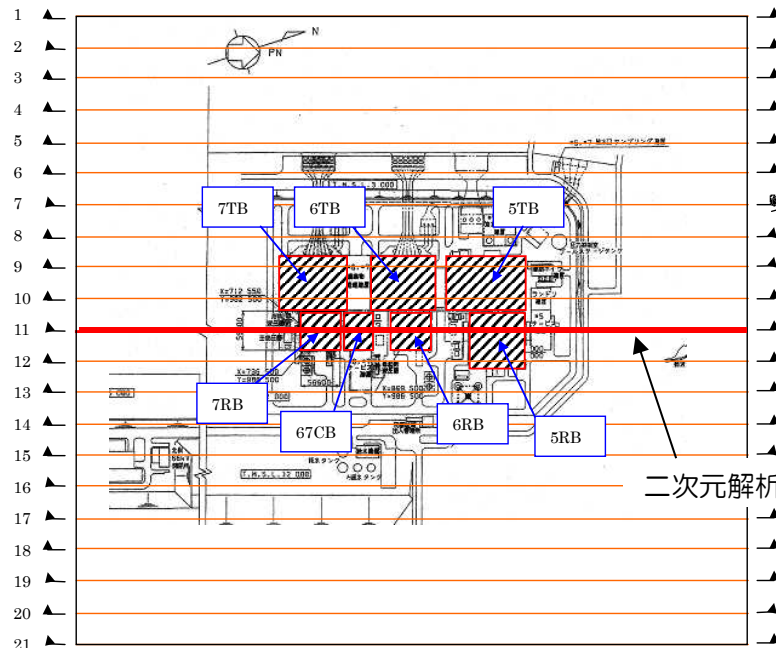
すべり安全率の評価

| 評価対象断面及び地震動 | すべり線形状のパターン |
|--------------------------------------|---|
| 6, 7号炉原子炉建屋 汀線平行断面 【Ss-3(正,逆)】 |  F ₂ 断層のすべり |

すべり安全率の計算方法

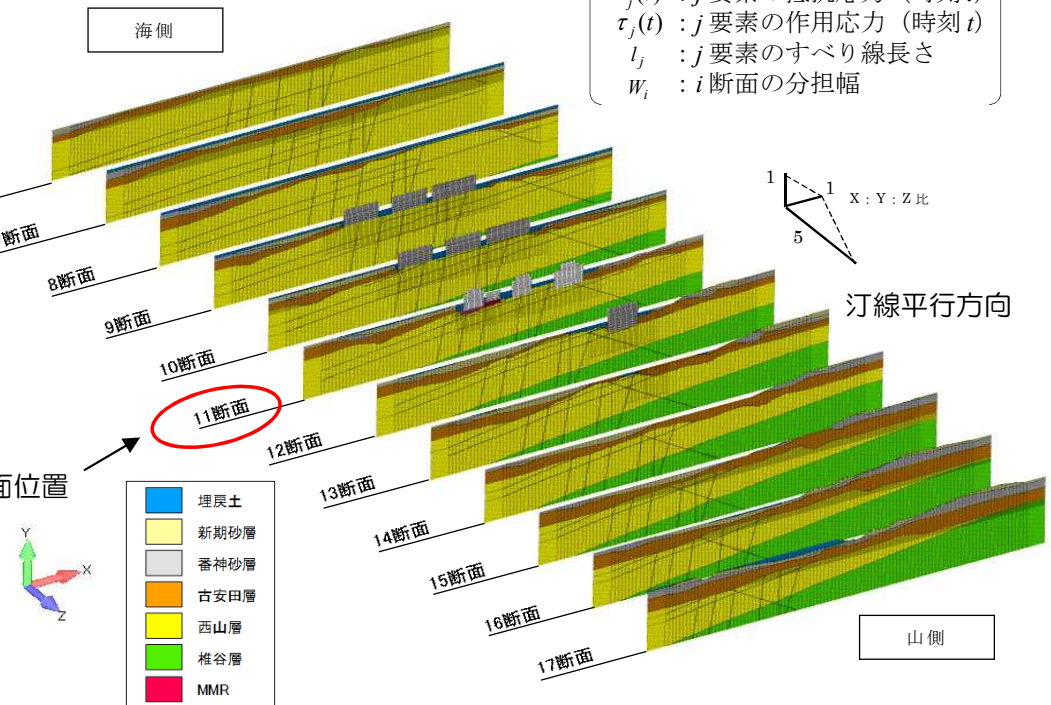
$$Fs(t) = \frac{\sum_{i=1}^n R_i(t)}{\sum_{i=1}^n L_i(t)} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m r_j(t) \cdot l_j \cdot W_i}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tau_j(t) \cdot l_j \cdot W_i}$$

- $Fs(t)$: 全体の安全率 (時刻 t)
- $R_i(t)$: i 断面の抵抗力 (時刻 t)
- $L_i(t)$: i 断面の滑動力 (時刻 t)
- $r_j(t)$: j 要素の抵抗応力 (時刻 t)
- $\tau_j(t)$: j 要素の作用応力 (時刻 t)
- l_j : j 要素のすべり線長さ
- W_i : i 断面の分担幅



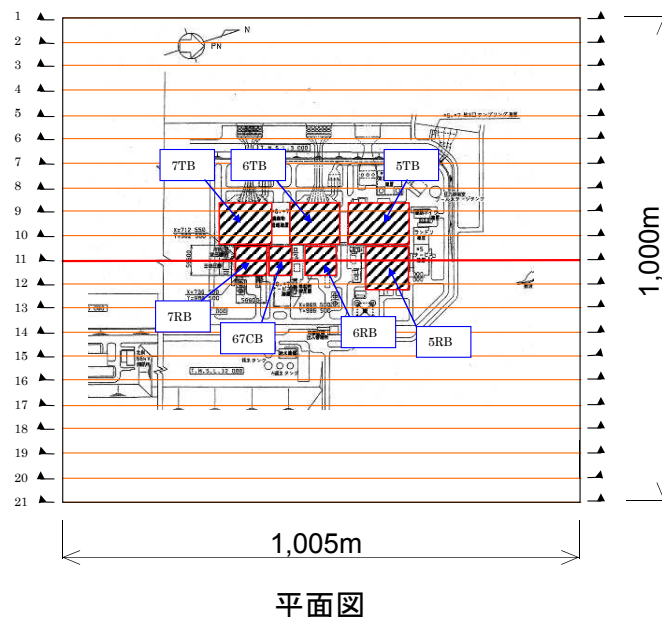
平面図

二次元解析断面位置



評価範囲の設定

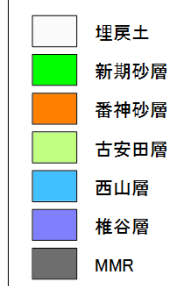
- 擬似三次元解析の評価範囲は、地形・地質状況や建屋形状を考慮して適切に設定する必要がある。
- 奥行き方向の評価範囲は、二次元解析の断面幅（1,005m）と概ね同等となるよう、原子炉建屋を中心に1000mの範囲とした。
- 二次元断面の間隔については、原子炉建屋の大きさ（約60m×60m）や地質・地質構造、特にすべり面を形成するF₂断層に局所的な変化がないことなどを考慮し、50m間隔を基本とし、合計21断面の二次元断面を作成した。



| No. | 各二次元解析断面 |
|-----|----------|
| 1 | |
| 2 | |
| 3 | |
| 4 | |
| 5 | |
| 6 | |
| 7 | |
| 8 | |

| No. | 各二次元解析断面 |
|-----|----------|
| 9 | |
| 10 | |
| 11 | |
| 12 | |
| 13 | |
| 14 | |
| 15 | |
| 16 | |

| No. | 各二次元解析断面 |
|-----|----------|
| 17 | |
| 18 | |
| 19 | |
| 20 | |
| 21 | |



二次元断面の負担幅の設定

- 各断面の負担幅は断面間隔と同様、50mを基本とした。
- なお、原子炉建屋やタービン建屋を通る断面の負担幅については、建屋の幅に合うよう負担幅を調整した。

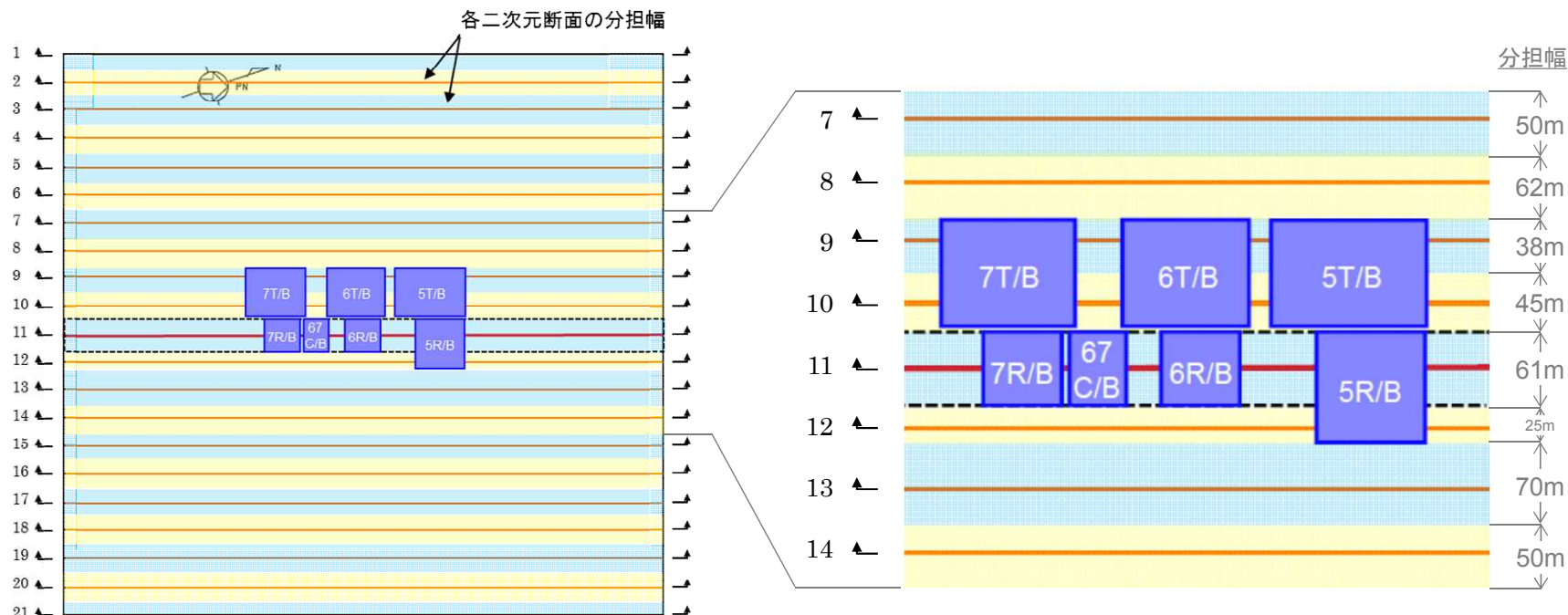
検討対象の選定

評価範囲の設定

断面負担幅の設定

すべり範囲の設定

すべり面の設定
(パラメータ設定)



各二次元断面の負担幅図

奥行き方向のすべり範囲の検討

- 建屋等の構築物が設置される以前の断層のある地盤の安定性については、地質・地質構造の評価（断層の活動性評価）により確認している。
- 基礎地盤の地震時安定性は、建屋等の構築物が設置されたことによる地盤の応力状態の変化に対して、解析的な検討により基礎地盤の安定性を評価するものであることから、以下の観点で奥行き方向のすべり範囲の検討を実施した。

- A) 建屋がある場合とない場合の動的解析を行い、両者の応力変動を比較することにより、建屋の影響を受ける範囲を検討する。*
- B) 設定した範囲について、敷地内及び敷地近傍における過去の地すべり規模と比較する。

※ 土木学会原子力土木委員会：原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術<技術資料>，2009年2月

断層のある地盤の安定性評価

地質的立証（構築物建設前の地盤安定性）

原子力発電所の耐震設計で考慮すべき期間内の地震に対して発電所建設前の地盤は安定

発電所構築物建設後の地盤安定性

すべり範囲の検討A

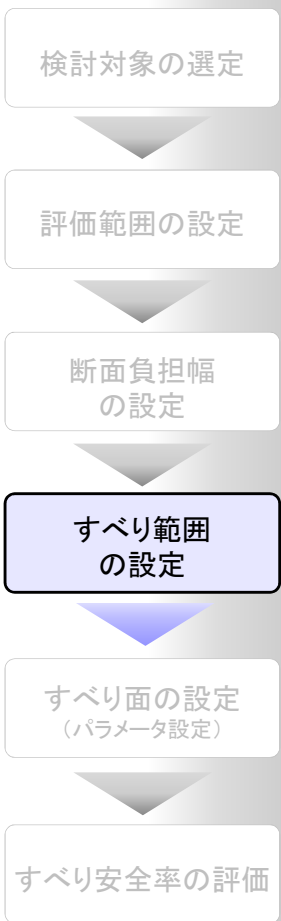
安定性評価範囲の設定

構築物のある場合とない場合の解析的な検討*

基礎地盤安定性評価範囲

すべり安全率の算定による地盤の安定性の定量的評価

基礎地盤の安定性評価における安定性評価範囲の設定に関する基本的な流れ

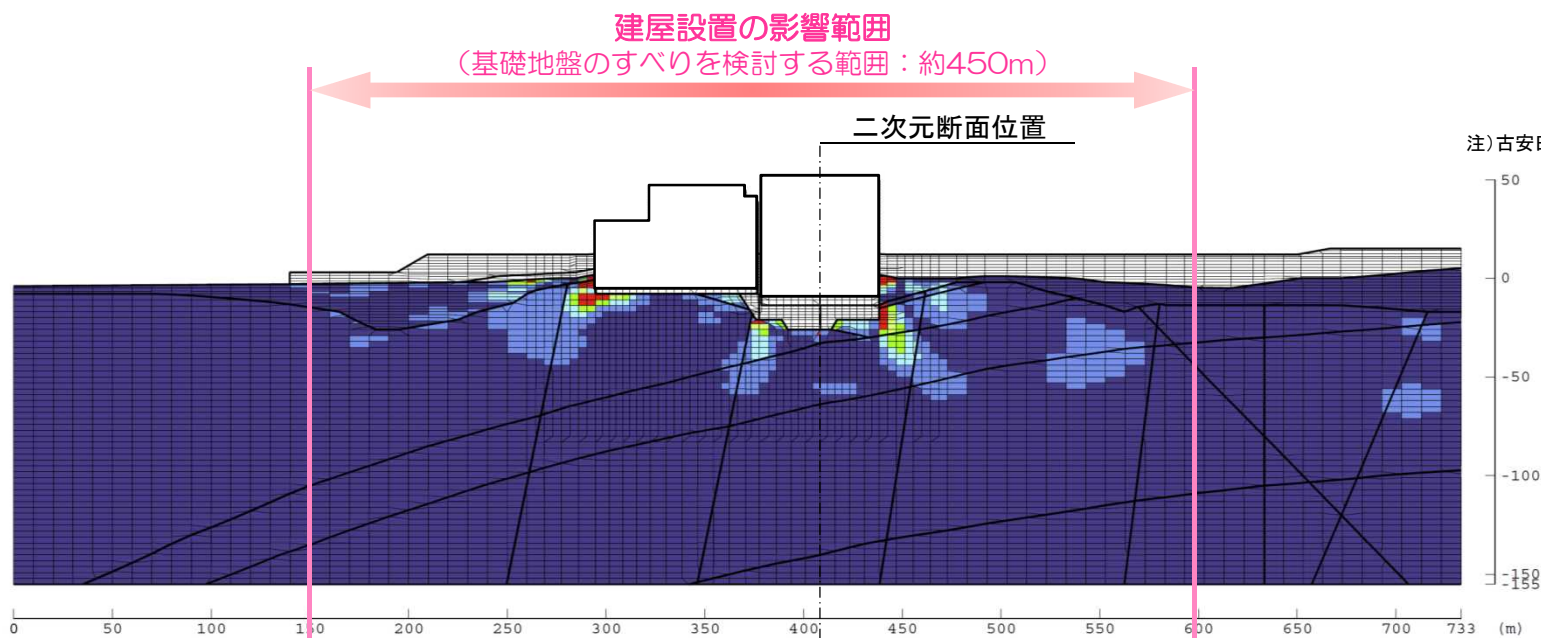


奥行き方向のすべり範囲の検討 A) 地震時応力に基づく検討

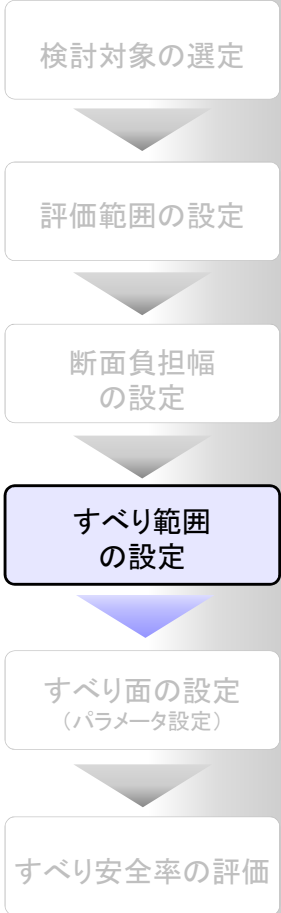
- 建屋のある場合とない場合の動的解析を行い、両者の解析によって得られる応力変動「最大せん断応力比」を指標として比較することにより、建屋の影響を受ける範囲を検討した。
- 奥行き方向のすべりを検討する範囲は、建屋の影響範囲とみなせる応力が変動する領域より広くなるよう設定した。また、そのすべり範囲は「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008」で示されている建屋幅の2.5倍を満足していることを確認した。なお、山側の一部に最大せん断応力比が若干大きい領域があるが、この領域はF系断層とV系断層の交差部付近であり、複数の断層の影響で応力の変動が若干大きくなったと推測される。

最大せん断応力比算定式

$$\text{最大せん断応力比} = \left| \frac{\text{建屋ありの} T_{\max} - \text{建屋なしの} T_{\max}}{\text{建屋なしの} T_{\max}} \right| \times 100 (\%)$$

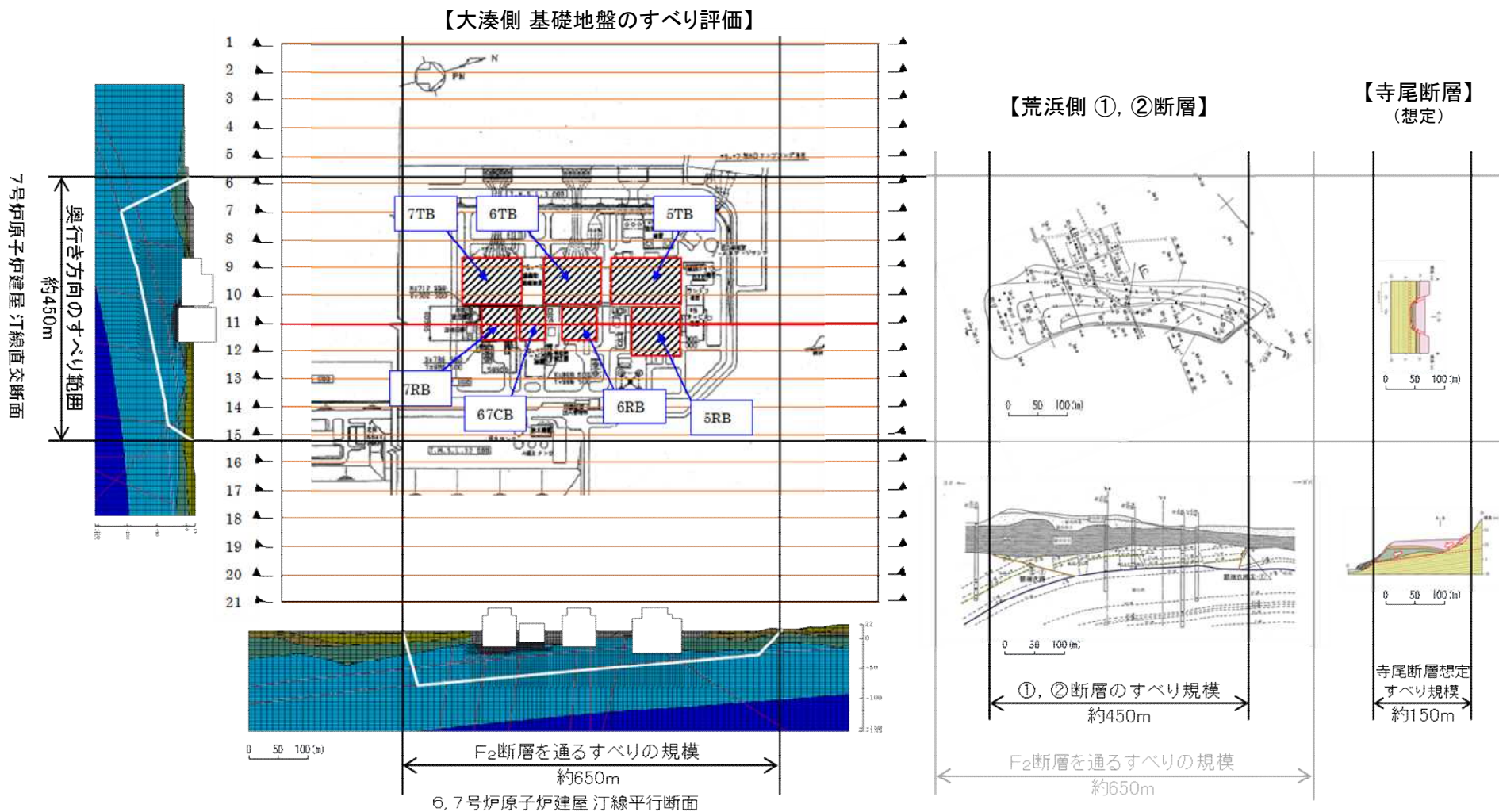
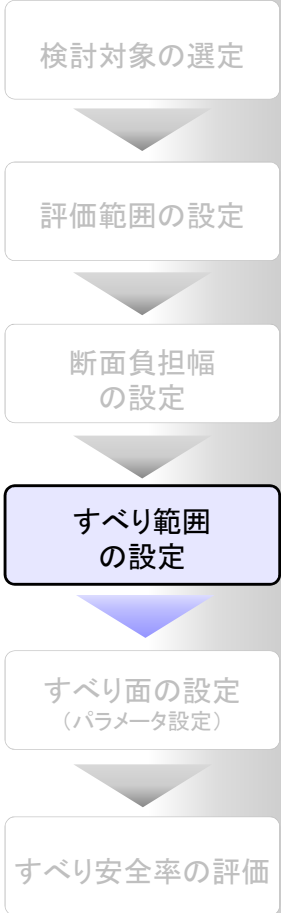


最大せん断応力比分布と奥行き方向のすべり範囲(7号炉原子炉建屋汀線直交断面)



奥行き方向のすべり範囲の検討 B) 地すべり規模との比較

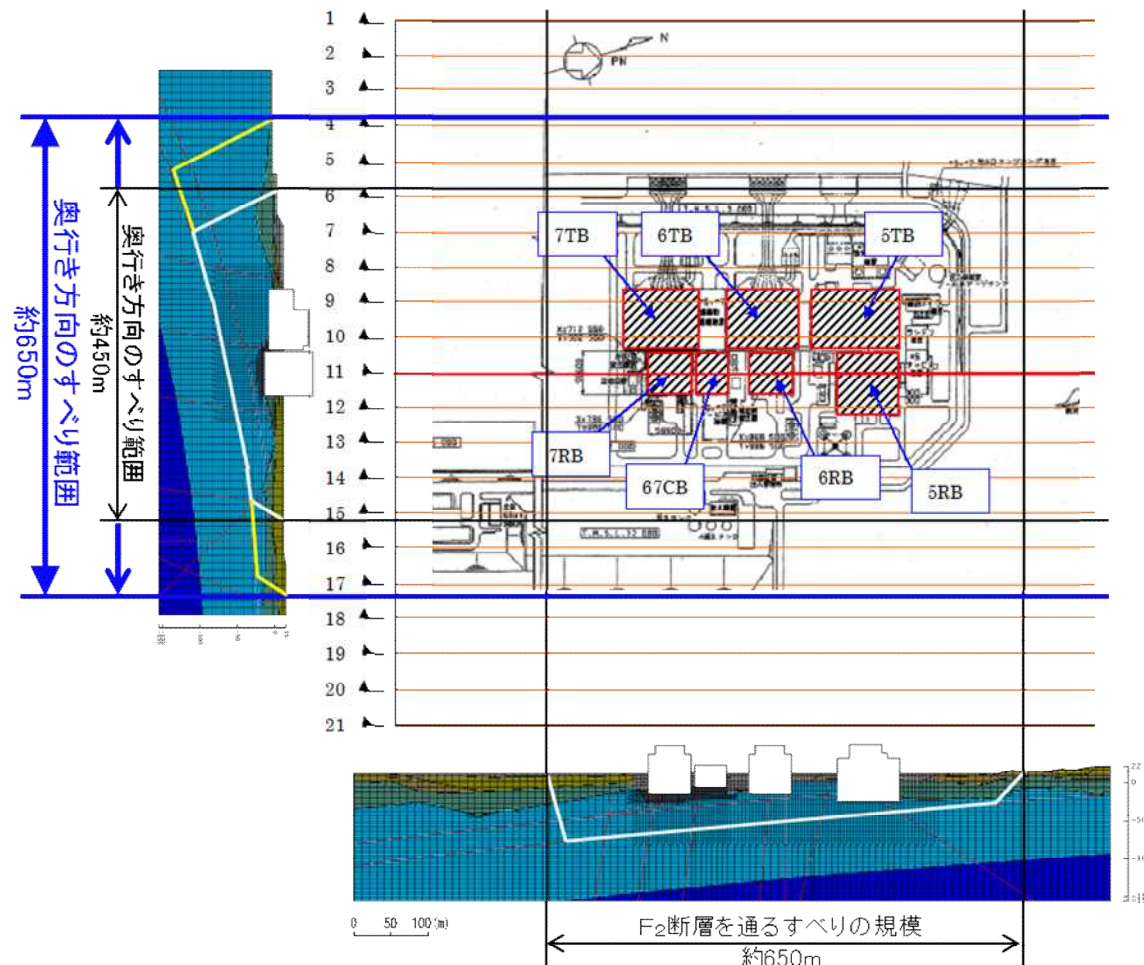
- 敷地内及び近傍の地すべり断層として、①，②断層と寺尾断層を抽出し，設定したすべり範囲と比較した。
- 設定したすべり範囲は，既往の地すべり規模と比較して十分に大きい。



設定したすべり範囲と地すべり規模の比較

奥行き方向のすべり面拡大の検討

- 奥行き方向のすべり範囲の不確かさを考慮し、設定したすべり範囲に対して、さらにすべり面を拡大した検討を実施する。
- 奥行き方向のすべり面が汀線平行断面のF₂断層を通るすべりの規模と同程度となるよう、海側、山側にそれぞれ100m拡大し、約650mとした。



6, 7号炉原子炉建屋 汀線平行断面

奥行き方向のすべり面拡大範囲図

検討対象の選定

評価範囲の設定

断面負担幅
の設定

すべり範囲
の設定

すべり面の設定
(パラメータ設定)

すべり安全率の評価

すべり面の設定 (パラメータ設定)

- すべり面の設定は、建屋設置の影響範囲を考慮して設定したすべり範囲 (450m) に基づき、地表面に抜けるすべり面の立上げ角度を3ケース、立上げ位置を4ケース変えてすべり面を設定し、パラメータスタディを実施した。
- また、前述の通り、奥行き方向のすべり面をさらに拡げて、汀線平行方向のすべり範囲と同等としたケース (立上げ位置ケース5、すべり範囲650m) についても検討を行った。

検討対象の選定

評価範囲の設定

断面負担幅の設定

すべり範囲の設定

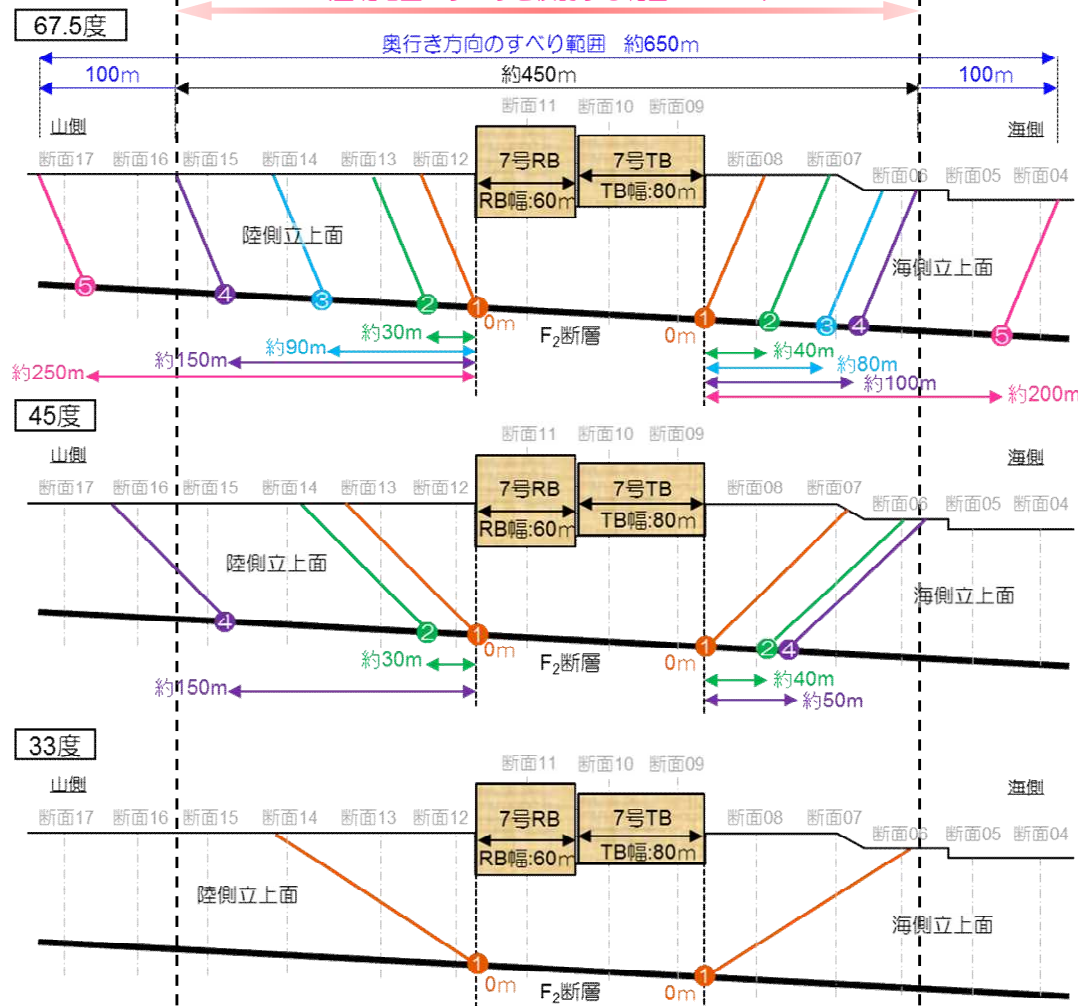
すべり面の設定 (パラメータ設定)

すべり安全率の評価

すべり面の設定 (パラメータスタディ実施ケース)

| | | Ss-3 (正, 逆) | | | | |
|-----------------|-----|-------------|-----|-----|-----|--|
| 立上位置 側面の立上角度 | ケース | ケース | ケース | ケース | ケース | |
| | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | |
| 67.5度 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 45度 | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| 33度 | ○ | 建屋影響の範囲外 | | | | |

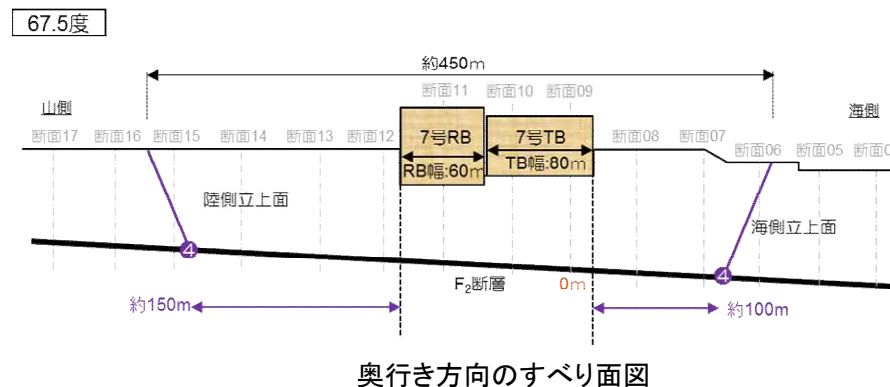
建屋設置の影響範囲
(基礎地盤のすべりを検討する範囲: 450m)



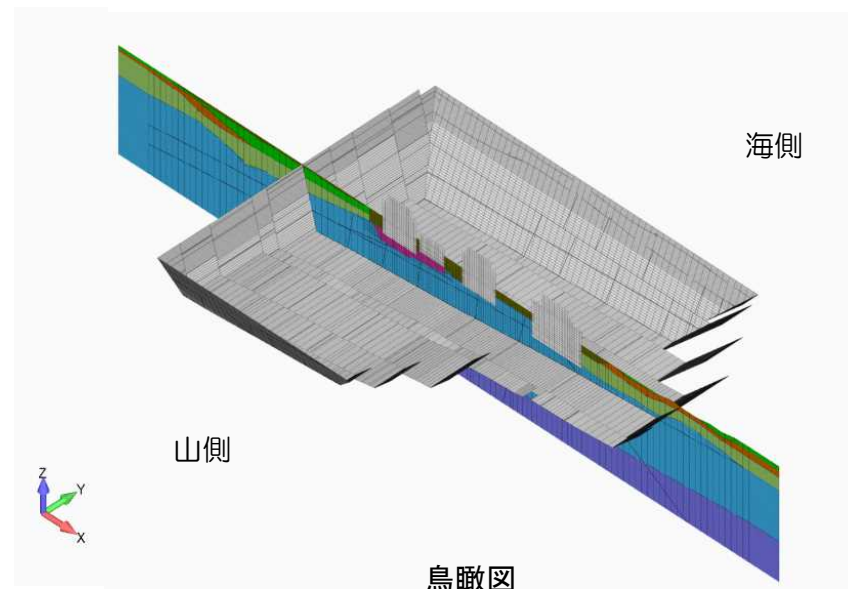
奥行き方向のすべり面イメージ図 (パラメータ設定: 立上げ角度, 立上げ位置)

評価結果 (1)

- パラメータスタディの結果、最小すべり安全率は2.7であり、1.5を上回ることを確認した。また、奥行き方向のすべり面を拡大したケース5の安全率は3.3であり、最小すべり安全率を上回ることを確認した。
- パラメータスタディの結果、本評価では、立上げ角度の影響は小さく、立上げ位置が建屋から離れるほど、すべり安全率が小さくなる傾向が認められる。ただし、建屋の影響範囲 (450m) を超え、海側のF₂断層がさらに深くなるケース5については、3.3とすべり安全率が上昇した。
- これは、F₂断層が海側に向かってやや傾斜を急にしながら深部に向かっているため、西山層を通るすべり面の面積増加や強度増加の、抵抗力増加に対する寄与が増したことが、主要要因として考えられる。



奥行き方向のすべり面図



鳥瞰図

評価結果

| | | Ss-3 (正, 逆) | | | | |
|-------------|-------|-------------|----------|------|------|------|
| 側面の 立上角度 | 立上位置 | ケース① | ケース② | ケース③ | ケース④ | ケース⑤ |
| | 67.5度 | | 3.3 | 2.9 | 2.8 | 2.7 |
| 45度 | | 3.1 | 3.0 | —* | 2.7 | |
| 33度 | | 3.3 | 建屋影響の範囲外 | | | |

※：パラメータスタディの結果、67.5度の場合と同様にケース1と4に内包されると推測されるため、省略した。

すべり安全率が最小となるケースのすべり面
(立上げ角度:67.5度, 立上げ位置:ケース4)

検討対象の選定

評価範囲の設定

断面負担幅
の設定

すべり範囲
の設定

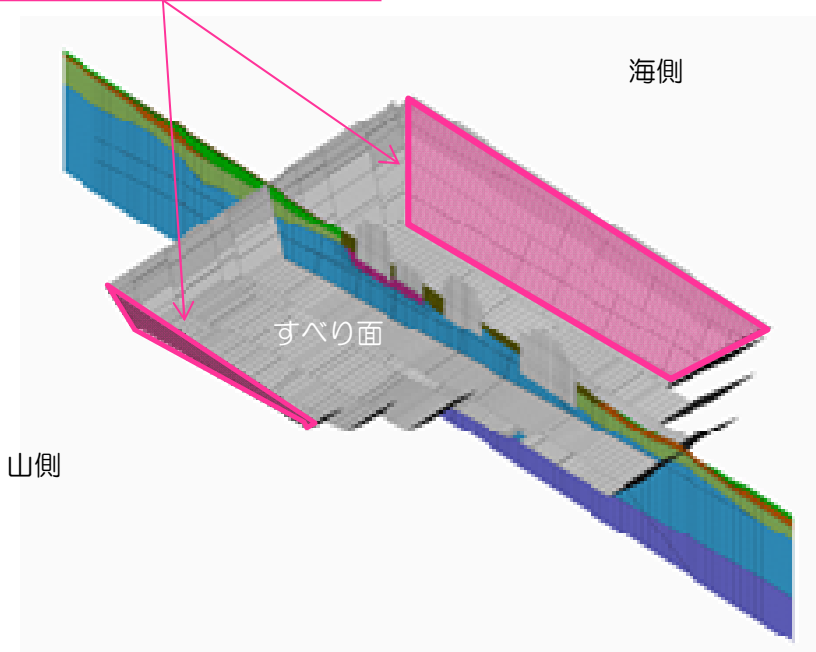
すべり面の設定
(パラメータ設定)

すべり安全率の評価

評価結果 (2)

- すべり安全率が最小となるケースに対して、奥行き方向の地表面に抜けるすべり面の抵抗を考慮しない場合について検討を行った。また、立上げ角度67.5度、立上げ位置ケース5について同様の検討を行った。
- 検討の結果、すべり安全率は1.6以上であり、1.5を上回ることを確認した。

奥行き方向の地表面に抜けるすべり面の抵抗を考慮しない



すべり安全率が最小となるケース
(立上げ角度:67.5度, 立上げ位置:ケース4)

鳥瞰図

| 検討ケース | 奥行き方向の地表面に抜けるすべり面の抵抗 | |
|-----------------------|----------------------|------|
| | 考慮 | 考慮なし |
| 67.5度 ケース④ | 2.7 | 1.7 |
| 45度 ケース④ | 2.7 | 1.6 |
| (参考) 67.5度 ケース⑤ | 3.3 | 1.9 |

- 検討対象の選定
- 評価範囲の設定
- 断面負担幅の設定
- すべり範囲の設定
- すべり面の設定 (パラメータ設定)
- すべり安全率の評価

- 二次元解析と擬似三次元解析における条件設定やモデル化等について、実現象との対応を整理した結果、いずれも十分な保守性を有する評価方法であり、擬似三次元解析は二次元解析に対して、より実現象に近い安全率の算定ができる評価方法であると整理される。

- 大湊側の基礎地盤のすべり評価については、二次元地震応答解析に基づく平均強度を用いたすべり安全率は、基準地震動に対してすべての評価対象断面で1.5を上回ることを確認している。さらに、すべり安全率が最小となるケースについて強度のばらつきを考慮した評価を実施した結果、すべり安全率が1.5を下回ることから、奥行き方向の地質・地質構造の変化や建屋形状等を考慮できる擬似三次元解析に基づく基礎地盤のすべり評価を実施した。
 - 奥行き方向のすべり範囲について、建屋設置による地盤への影響検討や近傍の地すべり規模との比較を行うとともに、すべり面を拡大した検討を行い、設定したすべり範囲の妥当性を確認した。
 - 地表面に抜けるすべり面の立上げ角度や立上げ位置を変えてすべり面を設定し、パラメータスタディを実施した結果、擬似三次元解析に基づくすべり安全率の最小値は2.7であり、1.5を上回ることを確認した。
 - あわせて、奥行き方向の地表面に抜けるすべり面の抵抗を考慮しない場合についても評価を実施し結果、すべり安全率の最小値は1.6であり、すべり安全率が1.5を上回ることを確認した。

| No. | H28.3.4 第336回審査会合 コメント | 回 答 |
|-----|--|---|
| 3 | 物性値について、補足説明資料との結びつきがわかるように資料を明確化すること。 | 大湊側のF系・V系断層、及び荒浜側の西山層、V系断層に関して、低圧部と高圧部の使い分けがわかるよう補足資料を修正した。 |

3. 解析用物性値に関する補足

大湊側 F系・V系断層（初期接線弾性係数 E_0 ；高压部・低压部）

| 物性値 | | 地層区分 | 断層部 | | | |
|------|------------|------------------------------------|---|---|---------------------------------|---------------------------|
| | | | F系断層 | | V系断層 | L系断層 |
| | | | 粘土部 | 破碎部 | | |
| 物理特性 | | ρ_t (g/cm ³) | 1.92 層厚の重み付き平均=1.75 | 1.73 層厚の重み付き平均=1.75 | 1.78 | 1.82 |
| 変形特性 | 静的 変形特性 | E_0 (N/mm ²) | 62.4+80.5・P | 低压部：48.8+923・P 高压部：224+131・P | 低压部：141+389・P 高压部：296+78.0・P | 165+148・P |
| | | ν | 0.46 | 0.46 | 0.46 | 0.46 |
| | 動的 変形特性 | G_0 (N/mm ²) | 337 層厚の重み付き平均=340 | 340 層厚の重み付き平均=340 | 394 | 230 |
| | | ν_d | 0.47 層厚の重み付き平均=0.43 | 0.42 層厚の重み付き平均=0.43 | 0.44 | 0.47 |
| | | $G/G_0 \sim \gamma$ | $1/(1+7.45\gamma^{1.14})$ 層厚の重み付き平均= $1/(1+9.69\gamma^{1.04})$ | $1/(1+9.79\gamma^{1.03})$ 層厚の重み付き平均= $1/(1+9.69\gamma^{1.04})$ | $1/(1+4.75\gamma^{0.68})$ | $1/(1+4.86\gamma^{0.73})$ |
| | | $h \sim \gamma$ (%) | $41.0\gamma^{0.62}$ 層厚の重み付き平均= $36.0\gamma^{0.44}$ | $35.0\gamma^{0.42}$ 層厚の重み付き平均= $36.0\gamma^{0.44}$ | $18.0\gamma^{0.28}+0.1$ | $17.0\gamma^{0.31}$ |
| 強度特性 | ピーク強度 | C_u (N/mm ²) | 0.286+0.191・P 粘土部と破碎部の強度の低い方を用いる。 | 0.279+0.242・P 粘土部と破碎部の強度の低い方を用いる。 | 0.504+0.359・P | 0.486+0.481・P |
| | | ϕ_u (°) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | σ_t (N/mm ²) | — | — | — | — |
| | 残留強度 | C_{ur} (N/mm ²) | 0.219+0.251・P 粘土部と破碎部の強度の低い方を用いる。 | 0.278+0.181・P 粘土部と破碎部の強度の低い方を用いる。 | 0.485+0.293・P | 0.497+0.353・P |

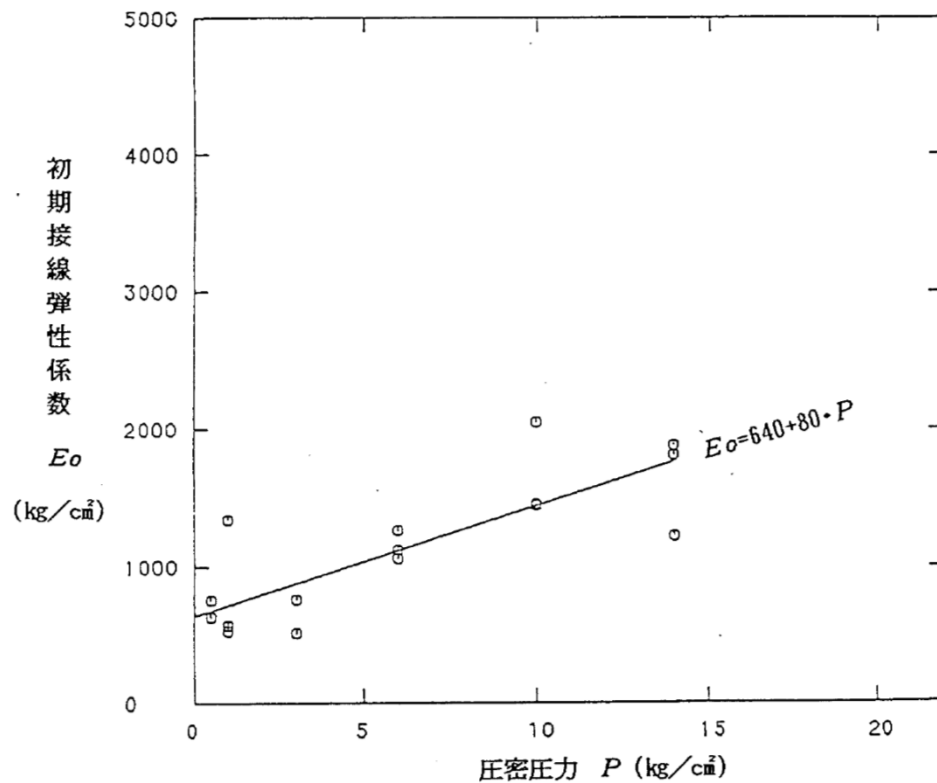
注：Pは、平均有効拘束圧(N/mm²)を示す。

注：γは、せん断歪み(%)を示す。

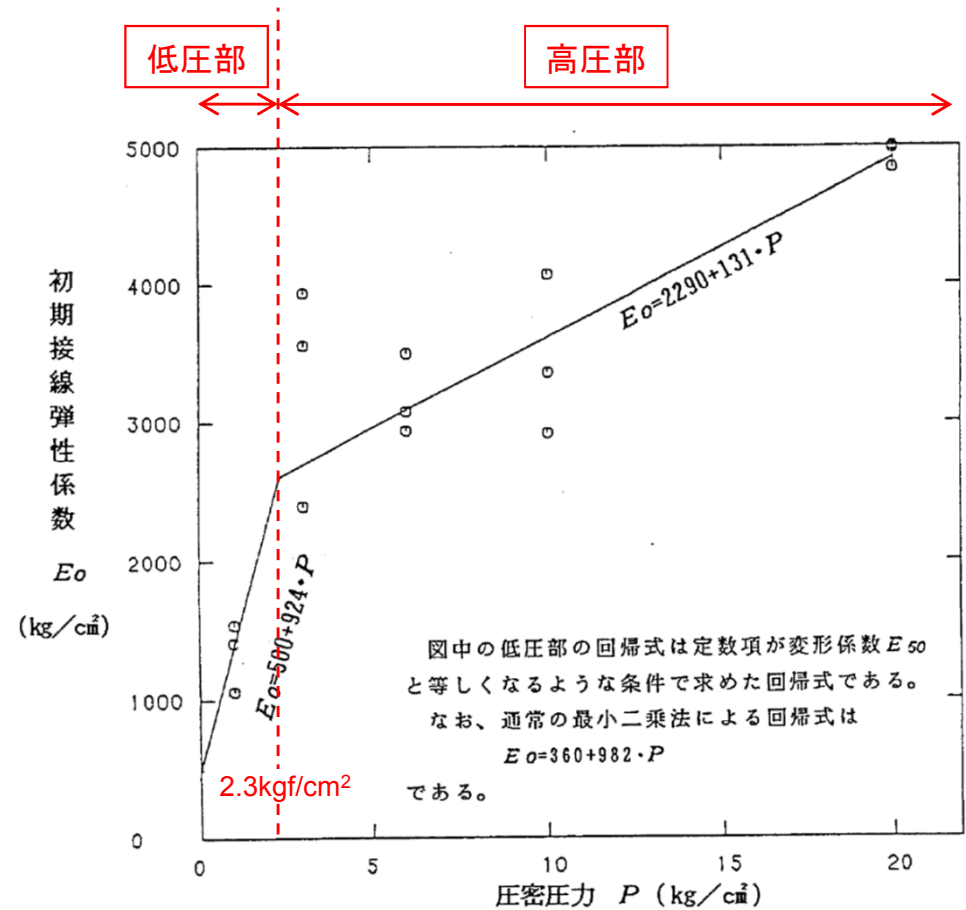
3. 解析用物性値に関する補足

大湊側 F系断層（初期接線弾性係数 E_0 ；高压部・低压部）

- F系断層（粘土部及び破碎部）の初期接線弾性係数は， F_3 断層（粘土部及び破碎部）の試掘坑内のブロック試料による三軸圧縮試験（CU条件）に基づき設定した。



F_3 断層（粘土部）の初期接線弾性係数

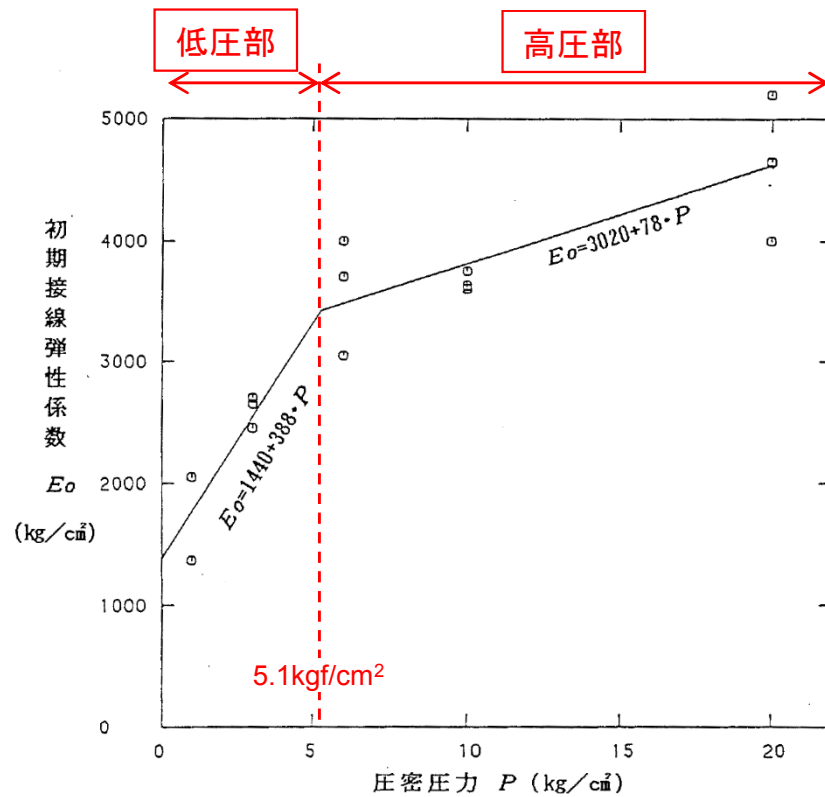


F_3 断層（破碎部）の初期接線弾性係数

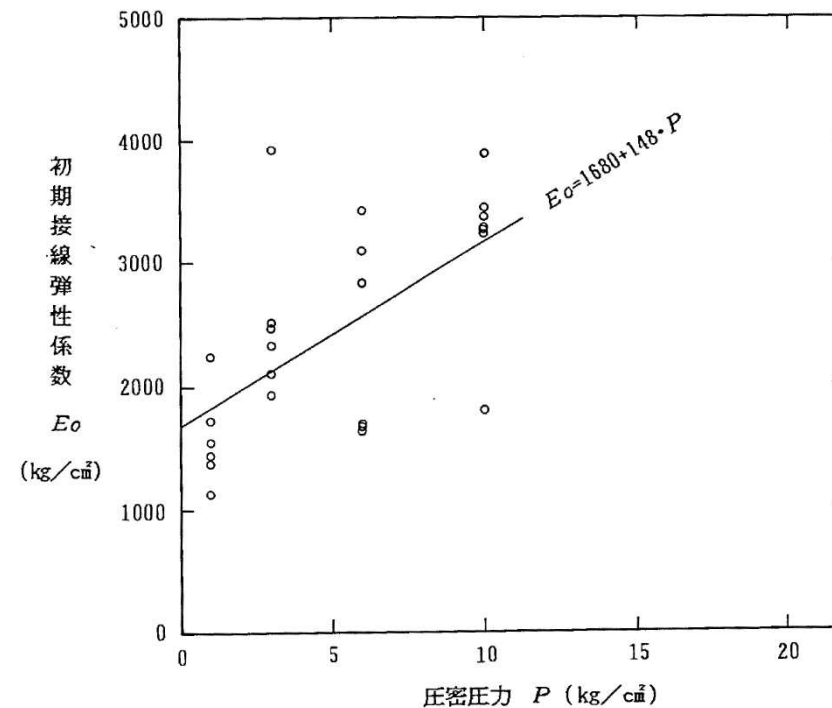
3. 解析用物性値に関する補足

大湊側 V系断層（初期接線弾性係数 E_0 ；高压部・低压部）

- V系断層の初期接線弾性係数は、 V_2 断層（破碎部）の試掘坑内のブロック試料による三軸圧縮試験（CU条件）に基づき設定した。
- L系断層の初期接線弾性係数は、 $L_1 \cdot L_2$ 断層（破碎部）の試掘坑内のブロック試料による三軸圧縮試験（CU条件）に基づき設定した。



V_2 断層（破碎部）の初期接線弾性係数



$L_1 \cdot L_2$ 断層（破碎部）の初期接線弾性係数

3. 解析用物性値に関する補足

荒浜側 西山層（ピーク強度；高圧部・低圧部）

| 物性値 | | 地層区分 | | 西山層（泥岩） | 西山層 （へき開含有帯） | 灰爪層 | 古安田層 |
|------|------------|------------------------------------|---|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------|
| | | 物理特性 | ρ_t (g/cm ³) | 1.58-0.00076・Z | 1.61 | 1.71 | 1.75 |
| 変形特性 | 静的 変形特性 | E_0 (N/mm ²) | 381-2.07・Z | 193+178・P | 255+434・P | 19.6+140・P | |
| | | ν | 0.46 | 0.43 | 0.49 | 0.46 | |
| | 動的 変形特性 | G_0 (N/mm ²) | 251-2.10・Z | 332 | 395 | 161 | |
| | | ν_d | 0.463+0.00017・Z | 0.44 | 0.46 | 0.48 | |
| | | $G/G_0 \sim \gamma$ | 1/(1+2.65 $\gamma^{1.37}$) | 1/(1+2.97 $\gamma^{0.95}$) | 1/(1+3.03 $\gamma^{0.852}$) | 1/(1+3.71 $\gamma^{0.97}$) | |
| | | $h \sim \gamma$ (%) | 27.4 $\gamma^{1.00}$ +0.7 | 23.0 $\gamma^{0.93}$ +2.3 | 8.49 $\gamma^{0.323}$ | 26.4 $\gamma^{0.75}$ +1.2 | |
| 強度特性 | ピーク強度 | C_u (N/mm ²) | 低圧部： $\tau_R=0.58-0.0011 \cdot Z$ 高圧部： $C_u=0.83-0.0056 \cdot Z$ | 0.42+0.31・P | 0.98+0.66・P | 0.076+0.69・P | |
| | | ϕ_u (°) | 低圧部：— 高圧部： $6.5+0.021 \cdot Z$ | 0 | 0 | 0 | |
| | | σ_t (N/mm ²) | 0.48 | — | — | — | |
| | 残留強度 | C_{ur} (N/mm ²) | 0.49-0.0016・Z | 0.42+0.22・P | 0.62+0.72・P | 0.065+0.41・P | |

注：Zは、T.M.S.L. (m)を示す。

注：Pは、平均有効拘束圧(N/mm²)を示す。

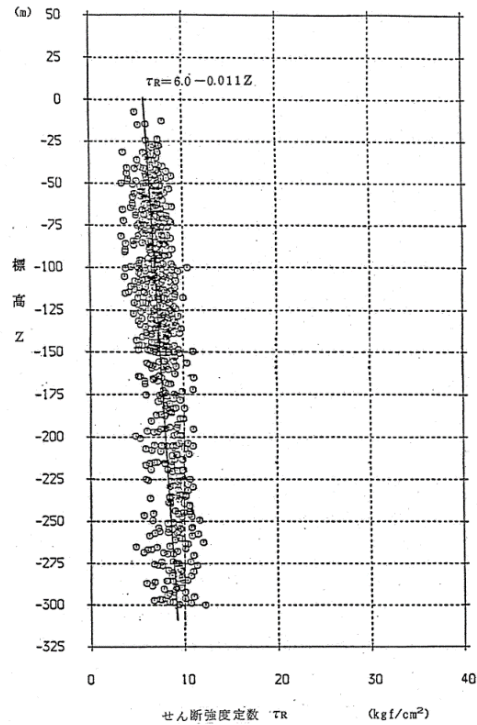
注： γ は、せん断歪み (%)を示す。

注：西山層（泥岩）の σ_t （引張強度）は、平均強度を用いた
すべり安全率評価では、保守的に強度を考慮しない。

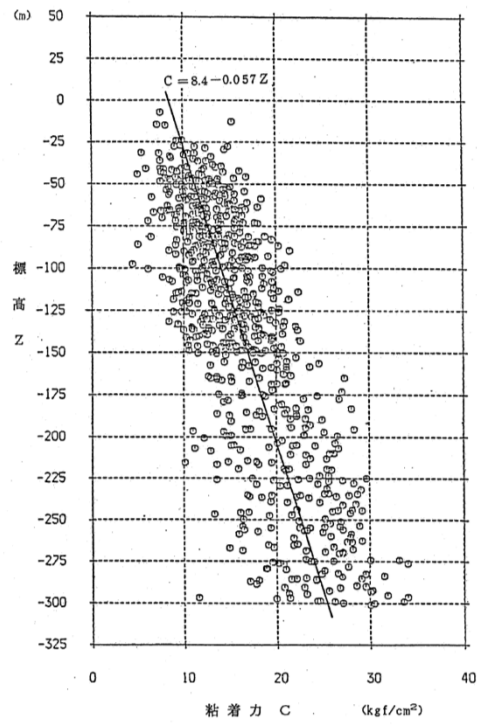
3. 解析用物性値に関する補足

荒浜側 西山層（ピーク強度Cu；高圧部・低圧部）

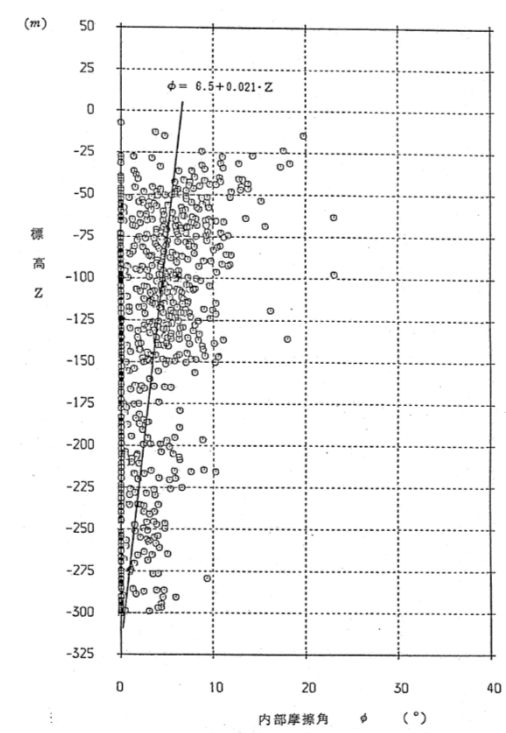
- 西山層（泥岩）の強度特性は、ボーリングコア試料による三軸圧縮試験（UU条件）に基づき設定した。



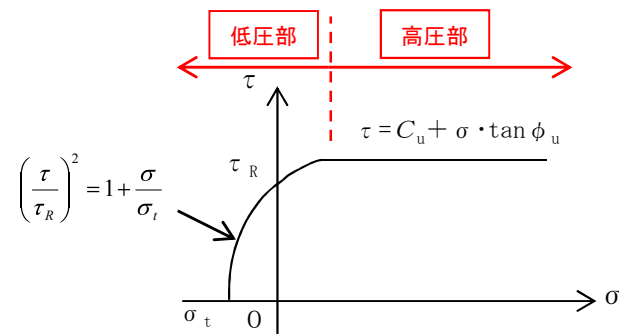
西山層（泥岩）のせん断強度〔低圧部〕



西山層（泥岩）の粘着力〔高圧部〕



西山層（泥岩）の内部摩擦角〔高圧部〕



強度特性の設定

注) 上図に基づき、各深度におけるせん断強度τR（低圧部），粘着力Cu（高圧部），内部摩擦角φ（高圧部）を設定している。各深度の強度特性は、左図に基づき設定される。

3. 解析用物性値に関する補足

荒浜側 V系断層（ピーク・残留強度；高压部・低压部）

| 物性値 | | 地層区分 | 断層部 | | | |
|------|----------------------------------|--------------------------------------|---|------------------------------------|--------------------------------|-----------|
| | | | F ₅ 断層 | V系断層, α・β断層 [※] | ①・②断層 | |
| 物理特性 | ρ_t (g/cm ³) | 粘土部：1.95, 破砕部：1.58 層厚の重み付き平均=1.77 | | | 1.58 | 1.59 |
| | | 静的 変形特性 | E_0 (N/mm ²) | 粘土部：96.1+147・P 破砕部：135+159・P | 135+159・P | 118+135・P |
| 変形特性 | 動的 変形特性 | | ν | 0.46 | 0.46 | 0.44 |
| | | G_0 (N/mm ²) | 粘土部：108, 破砕部：228 層厚の重み付き平均=147 | 228 | 158 | |
| | | ν_d | 粘土部：0.49, 破砕部：0.45 層厚の重み付き平均=0.47 | 0.45 | 0.45 | |
| | | $G/G_0 \sim \gamma$ | $0.00134 G_1 \cdot G_2 / (G_1 + G_2)$ 粘土部： $G_1 = 1100 / (1 + 2.94 \gamma^{0.99})$ 破砕部： $G_2 = 2320 / (1 + 2.80 \gamma^{0.77})$ | $1 / (1 + 2.80 \gamma^{0.77})$ | $1 / (1 + 2.68 \gamma^{0.75})$ | |
| | | $h \sim \gamma$ (%) | $(h_1 G_2 + h_2 G_1) / (G_1 + G_2)$ 粘土部： $h_1 = 21.3 \gamma^{0.96} + 2.8$ 破砕部： $h_2 = 12.7 \gamma^{0.57} + 1.8$ | $12.7 \gamma^{0.57} + 1.8$ | $11.0 \gamma^{0.55} + 2.0$ | |
| 強度特性 | ピーク強度 | C_u (N/mm ²) | $0.40 + 0.06 \cdot P$ | 低压部：0.32+0.61・P 高压部：0.73+0.18・P | $0.41 + 0.19 \cdot P$ | |
| | | ϕ_u (°) | 0 | 0 | 0 | |
| | | σ_t (N/mm ²) | — | — | — | |
| | 残留強度 | C_{ur} (N/mm ²) | $0.23 + 0.24 \cdot P$ | 低压部：0.31+0.61・P 高压部：0.54+0.19・P | $0.40 + 0.18 \cdot P$ | |

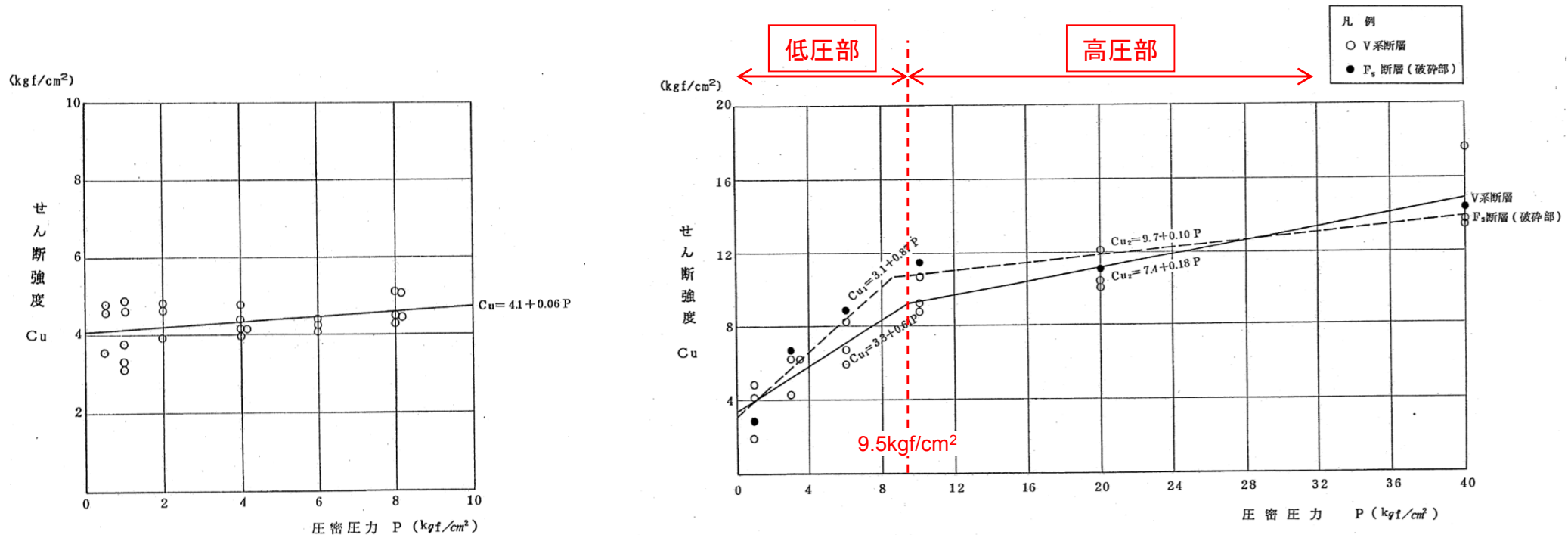
注：Pは、平均有効拘束圧(N/mm²)を示す。
注：γは、せん断歪み(%)を示す。

※ α・β断層は、同じ高角度のV系断層の物性値を用いた。

3. 解析用物性値に関する補足

荒浜側 V系断層 (ピーク強度Cu ; 高压部・低压部)

- F₅断層のせん断強度は, F₅断層 (粘土部) の試掘坑内のブロック試料による三軸圧縮試験 (CU条件) に基づき設定した。
- V系断層のせん断強度は, 3V-1断層の試掘坑内のブロック試料による三軸圧縮試験 (CU条件) に基づき設定した。



F₅断層 (粘土部) のせん断強度

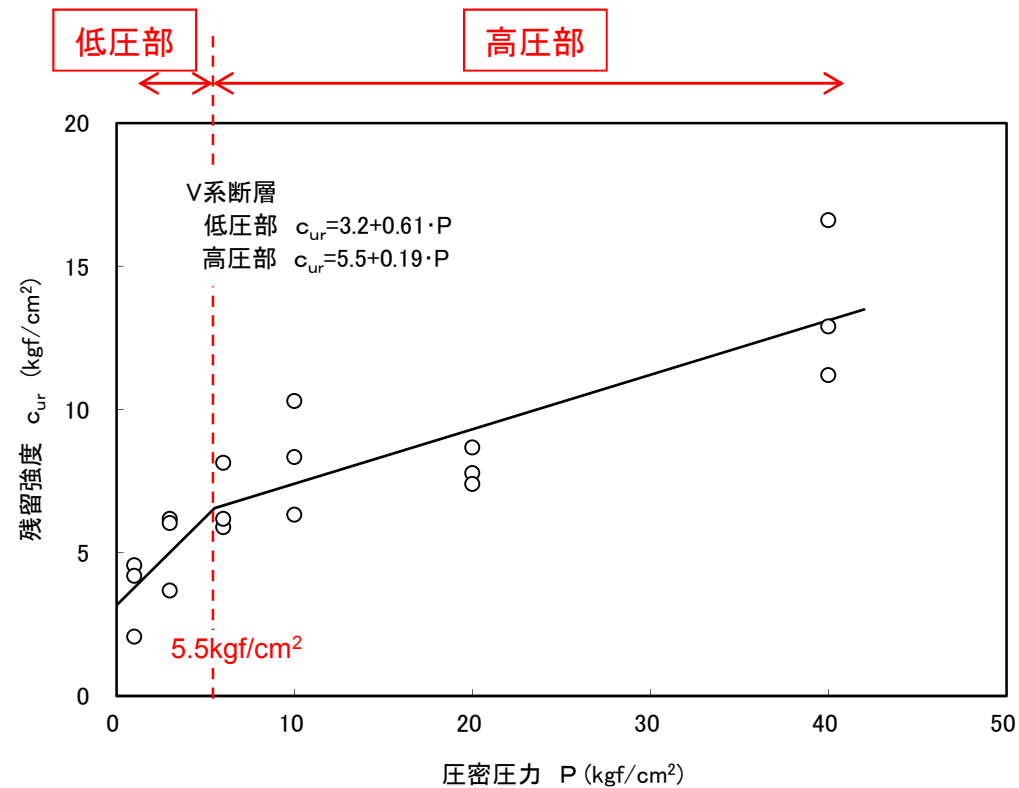
F₅断層 (破碎部), 3V-1断層のせん断強度

※ F₅断層のせん断強度は, 解析で対象とする圧密圧力の範囲では, 粘土部の強度が破碎部の強度を下回るため粘土部の強度を用いる。

3. 解析用物性値に関する補足

荒浜側 V系断層（残留強度Cur；高压部・低压部）

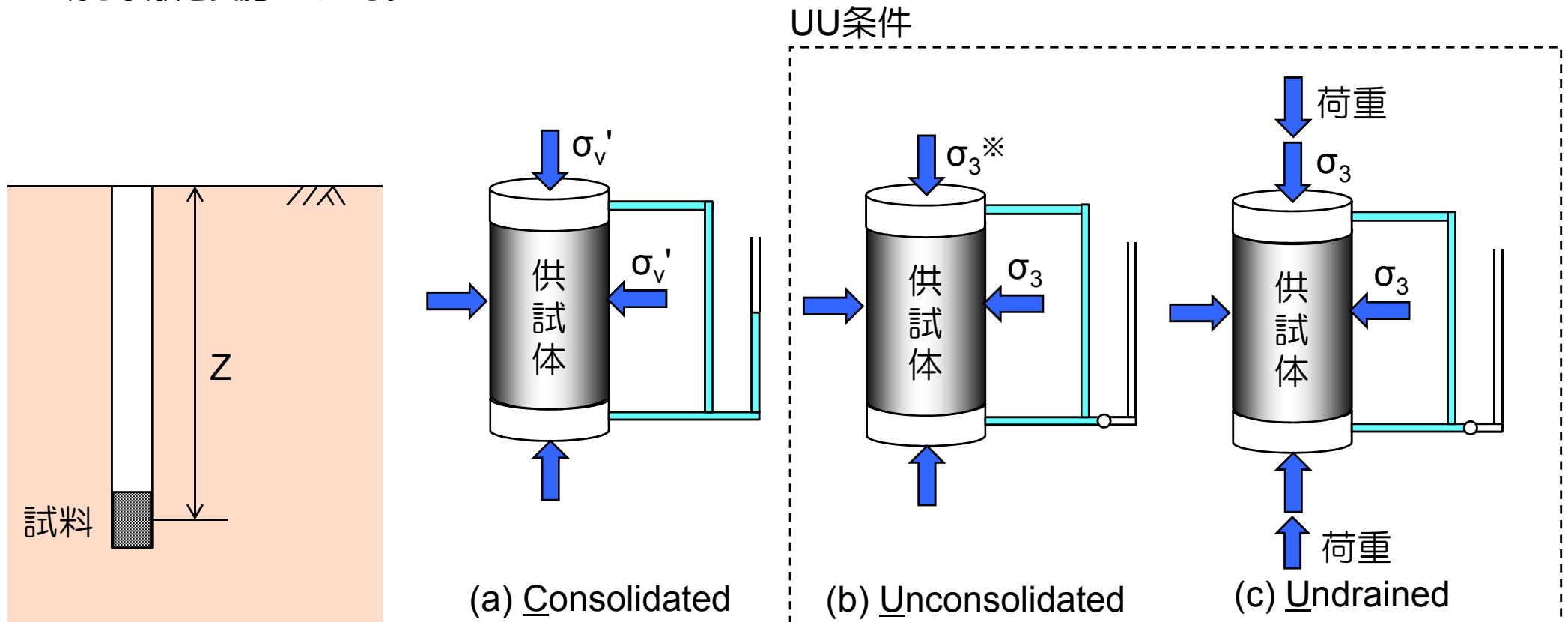
- V系断層の残留強度は，3V-1断層の試掘坑内のブロック試料による三軸圧縮試験（CU条件）に基づき設定した。



3 V - 1 断層の残留強度

三軸圧縮試験（CU条件）の考え方（1）

- ボーリングにより深部から採取した試料は、 $\sigma_v' = \gamma Z$ （ σ_v' ：有効土被り圧、 γ ：単位体積重量、 Z ：深度）の分だけ応力解放されていることから、その深度における応力状態まで戻した状態でUU試験を行えば、試料採取深度における力学特性を得ることができると考えられる。
- 上記の概念に基づき、柏崎刈羽原子力発電所6，7号炉の調査では、ボーリングにより採取した供試体を、採取深度における有効土被り圧で圧密し（CUU試験のC状態）、その後、非排水状態でせん断（CUU試験のUU状態）を行う試験を実施している。

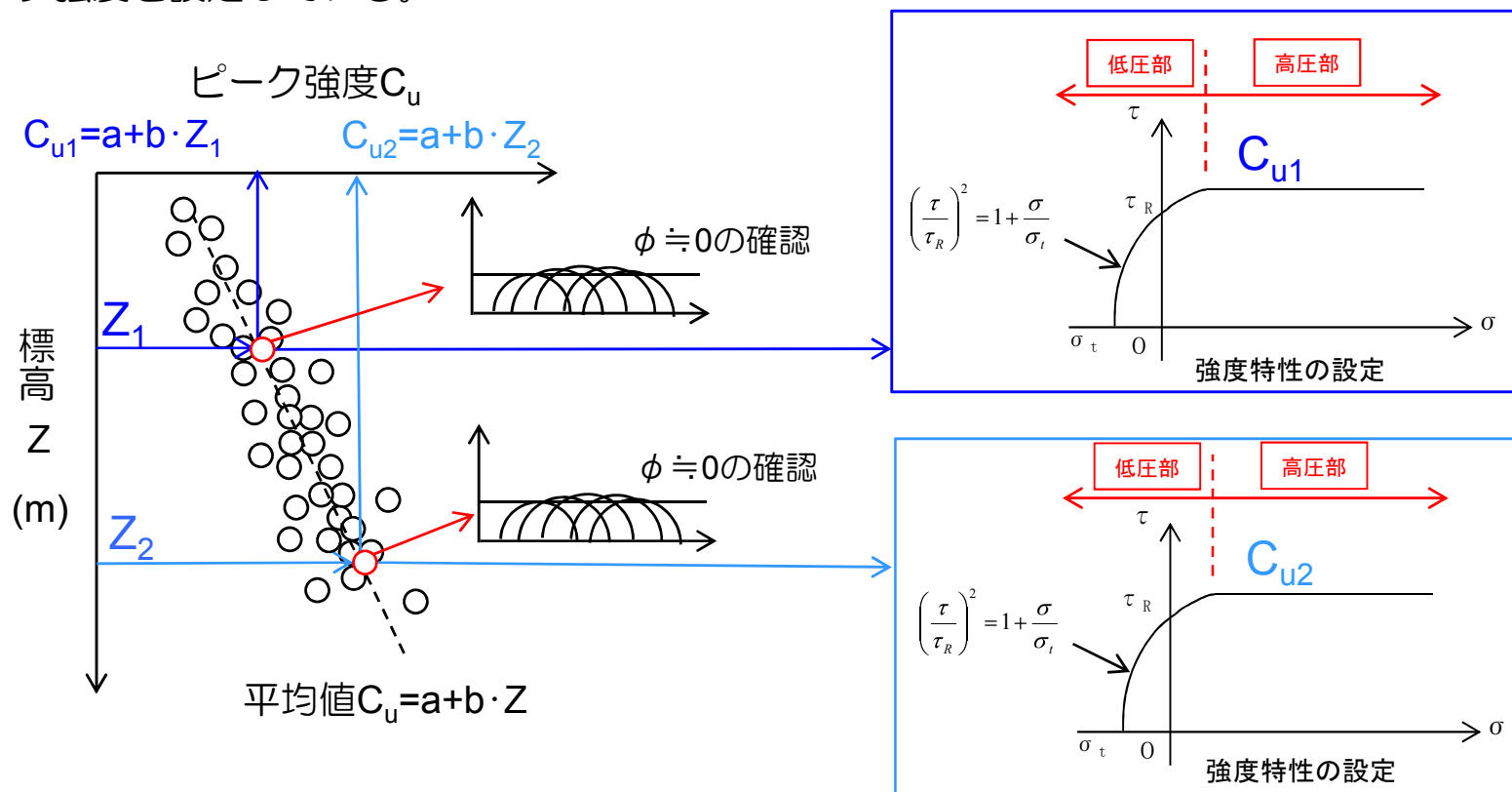


三軸圧縮試験（CUU条件）の試験方法 ※ $\sigma_3 = \sigma_v'$ の時，CU条件となる。

三軸圧縮試験（CU条件）の考え方（2）

- ① ボーリングコアを所定の深度ピッチで採取する。
- ② 採取深度における有効上載圧 σ_v' で等方圧密する（排水状態）。
- ③ 地震時のせん断応力変化を考慮して、所定の側圧 σ_3 を決める（非排水状態）。
- ④ せん断試験を実施する（非排水状態）。
- ⑤ 試験結果は、所定の深度ピッチ毎にモール・クーロンの破壊包絡線として整理する。

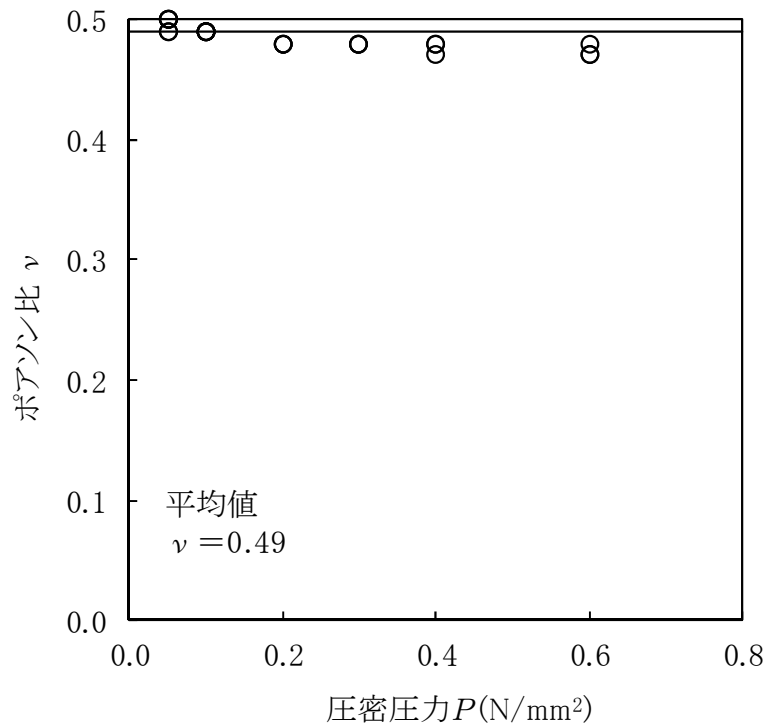
以上の結果を用いて解析用物性値として適用するが、飽和した堆積性軟岩を対象とした三軸圧縮試験（CUU条件）では、せん断抵抗角 ϕ はほぼゼロであることから、拘束圧 σ_3 が有効土被り圧 σ_v' 相当の試験結果（つまりCU条件）からピーク強度を設定している。



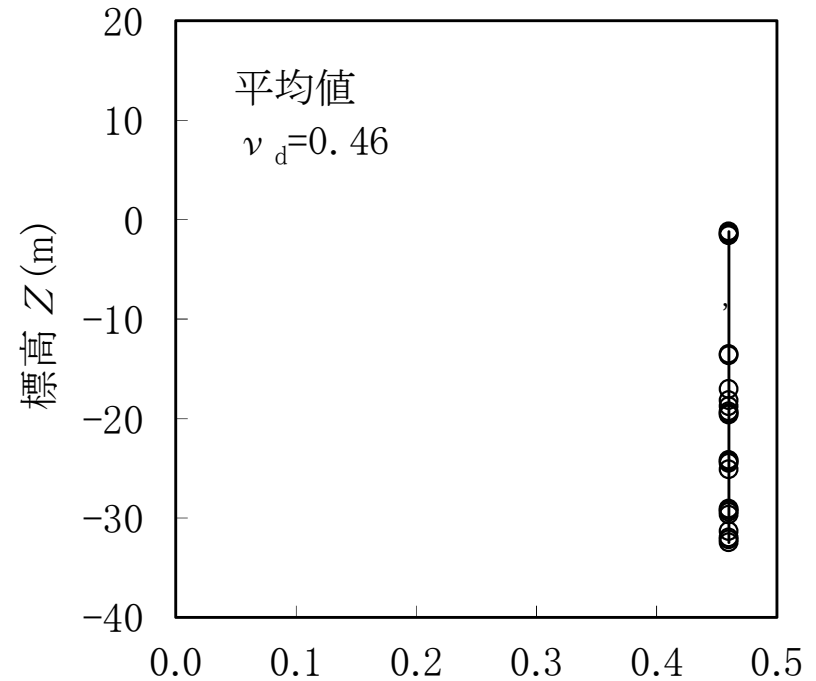
荒浜側 灰爪層のポアソン比について

- 灰爪層のポアソン比は、ボーリングコア試料による三軸圧縮試験（CU条件）に基づき設定した。
- 灰爪層の動ポアソン比 ν_d は、PS検層によるS波速度 V_s 、P波速度 V_p に基づき式(1)により設定した。

$$\nu_d = 1/2 \cdot \{(V_p/V_s)^2 - 2\} / \{(V_p/V_s)^2 - 1\} \quad \dots (1)$$



灰爪層のポアソン比

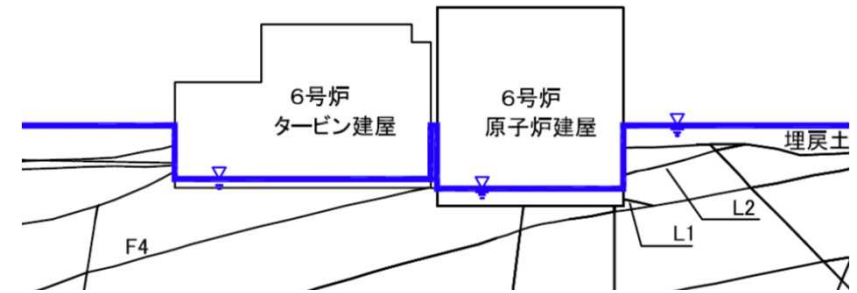


灰爪層の動ポアソン比

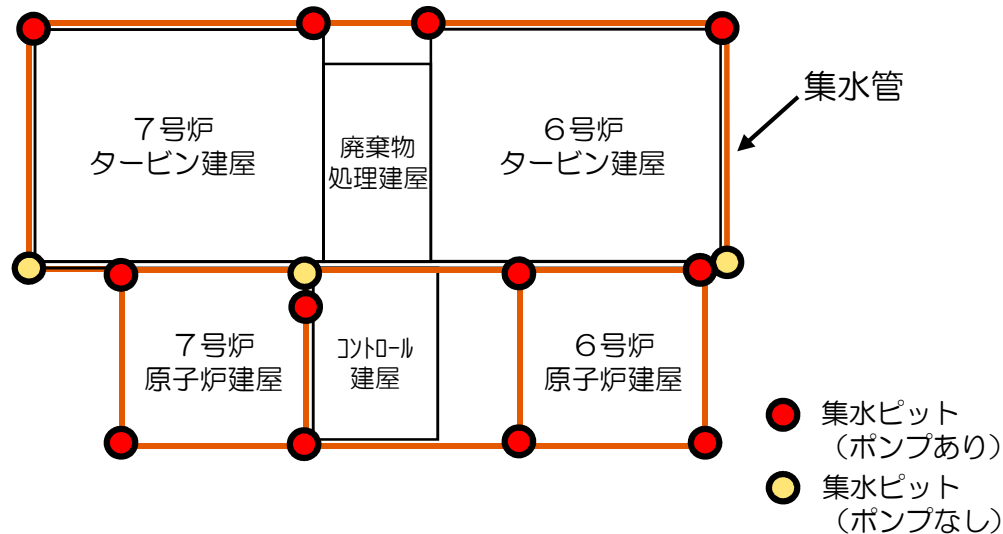
| No. | H28.3.4 第336回審査会合 コメント | 回 答 |
|-----|-------------------------------|---|
| 4 | 地下水位の設定について、実際の地下水位との違いを示すこと。 | 建屋部の地下水位低下方法について確認し、解析における地下水位の設定が保守的な設定であることを確認した。 |

4. 建屋部の地下水位設定について

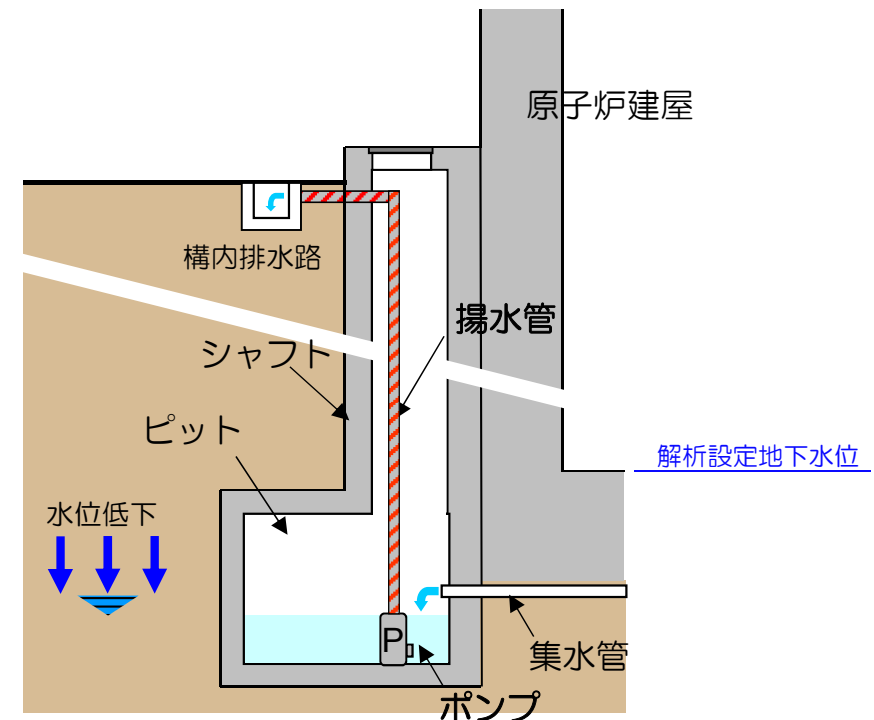
- 建屋部は、建屋底版の下部に集水管を設置して地下水位を低下させている。
- 集水した地下水は集水ピットに貯留され、ポンプにより排水することにより、集水管より低い水位で管理している。
- 上記より、解析における建屋底版上端の地下水位設定は保守的な設定であるといえる。



解析における地下水位設定(6号炉の例)



集水管, 集水ピット配置図(6, 7号炉の例)



集水ピット構造図