

# 中国電力株式会社島根原子力発電所における 周辺斜面の安定性解析について

平成23年12月19日  
原子力安全・保安院

# 目次

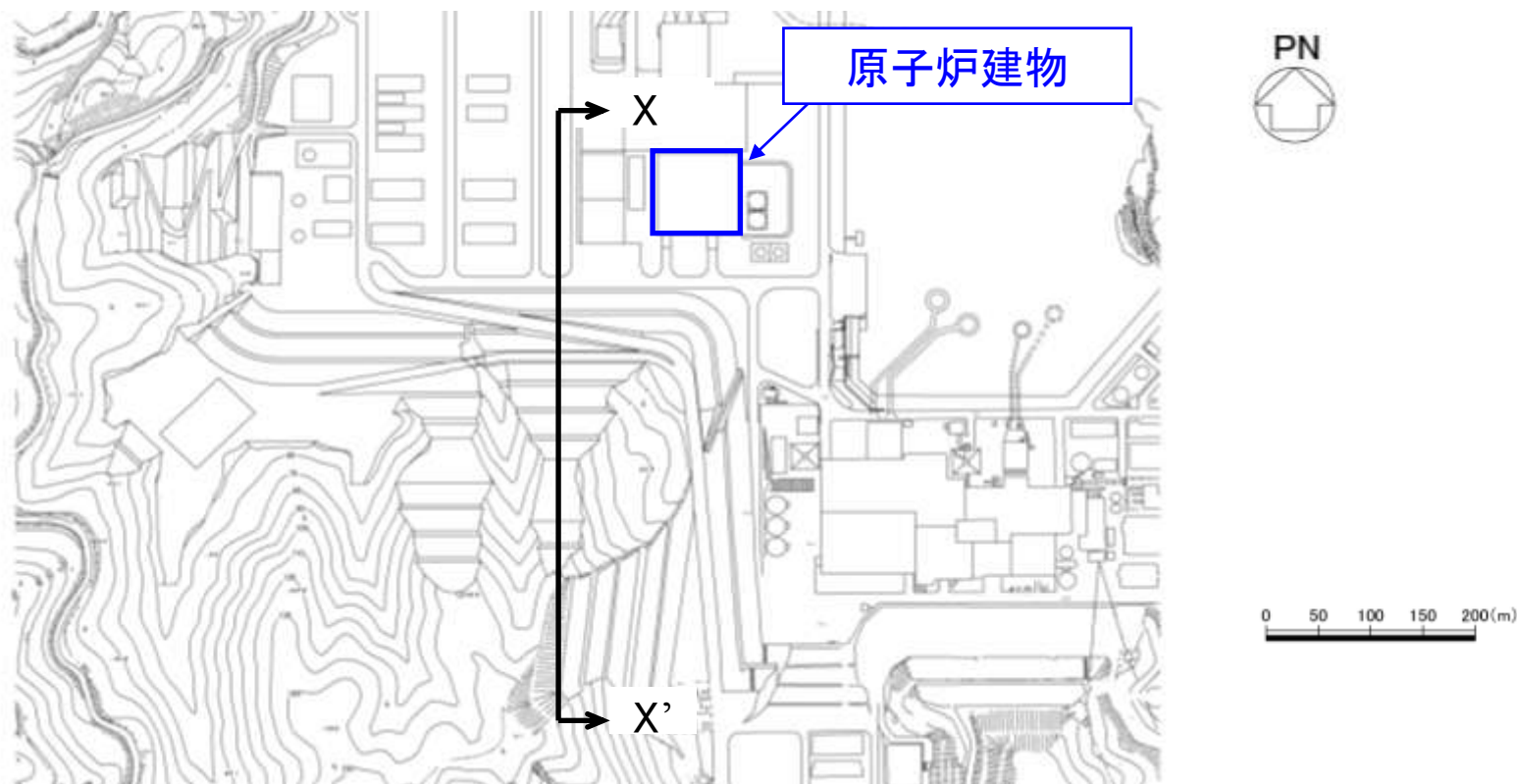
1. 評価方針
  2. 評価斜面の選定
  3. 地質概要
  4. 評価方法
  5. 評価結果
  6. まとめ
- ＜参考＞岩級区分基準
  - ＜参考＞解析用物性値設定の考え方
  - ＜参考＞解析用物性値一覧表

# 1. 評価方針

耐震安全上重要な機器・配管系を内包する建物・構築物等の周辺斜面について、基準地震動 $S_s$ による地震力に対して、施設の安全性に重大な影響を与えるような崩壊を起こさないことを確認するため、すべりに対する安定性を評価する。

## 2. 評価斜面の選定

「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008」では、安定性評価の対象とすべき斜面は斜面法尻と対象施設の離間距離が約50m以内、あるいは斜面高さの約1.4倍以内の斜面としている。安定性評価の対象とすべき斜面は、原子炉建物等と斜面法尻との距離および斜面高さ等を考慮し、当該斜面法尻に直交する断面(X-X'断面)とする。



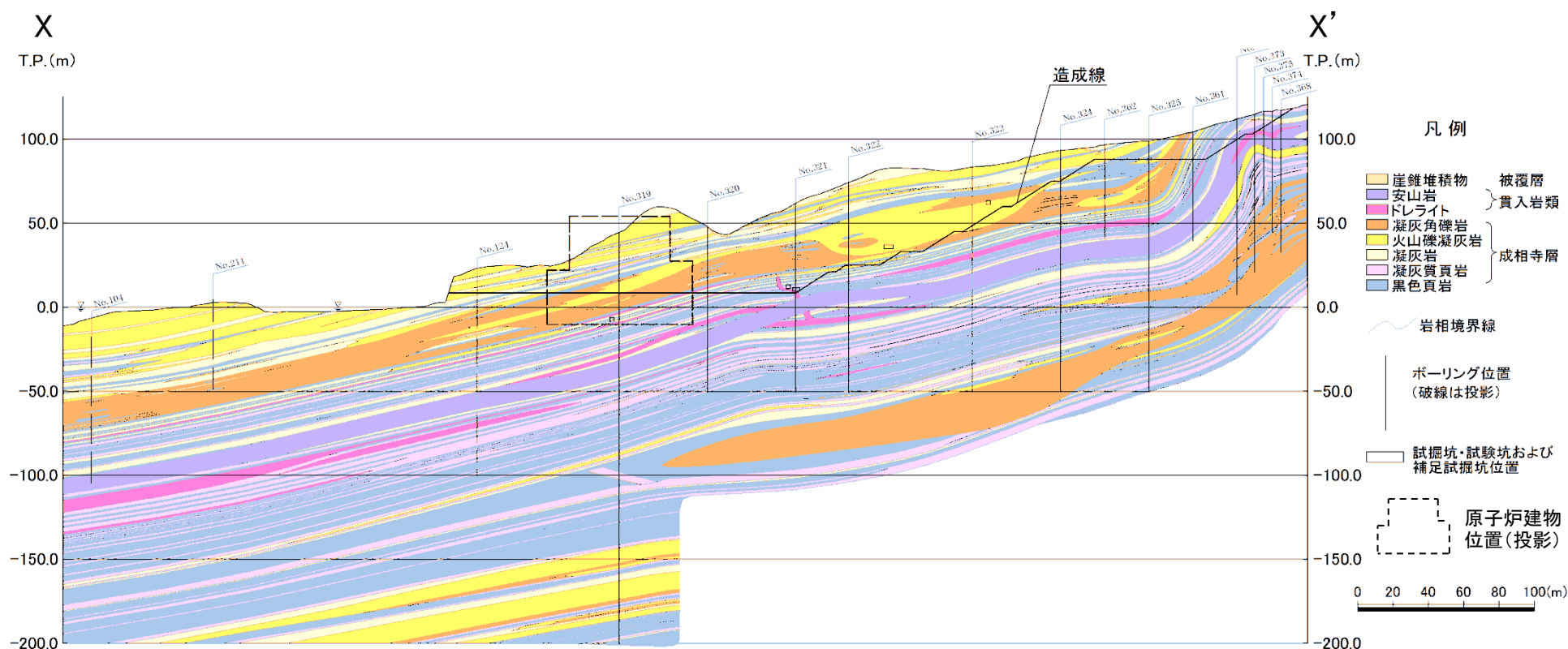
敷地平面図

### 3. 地質概要

#### (1) 地質断面図

対象斜面における成相寺層は、走向N70° W～E-W, 傾斜約10° ～20° Nであるが、南へ向かうに従って急勾配となり、背斜軸の近接部では最大65° Nを示す。

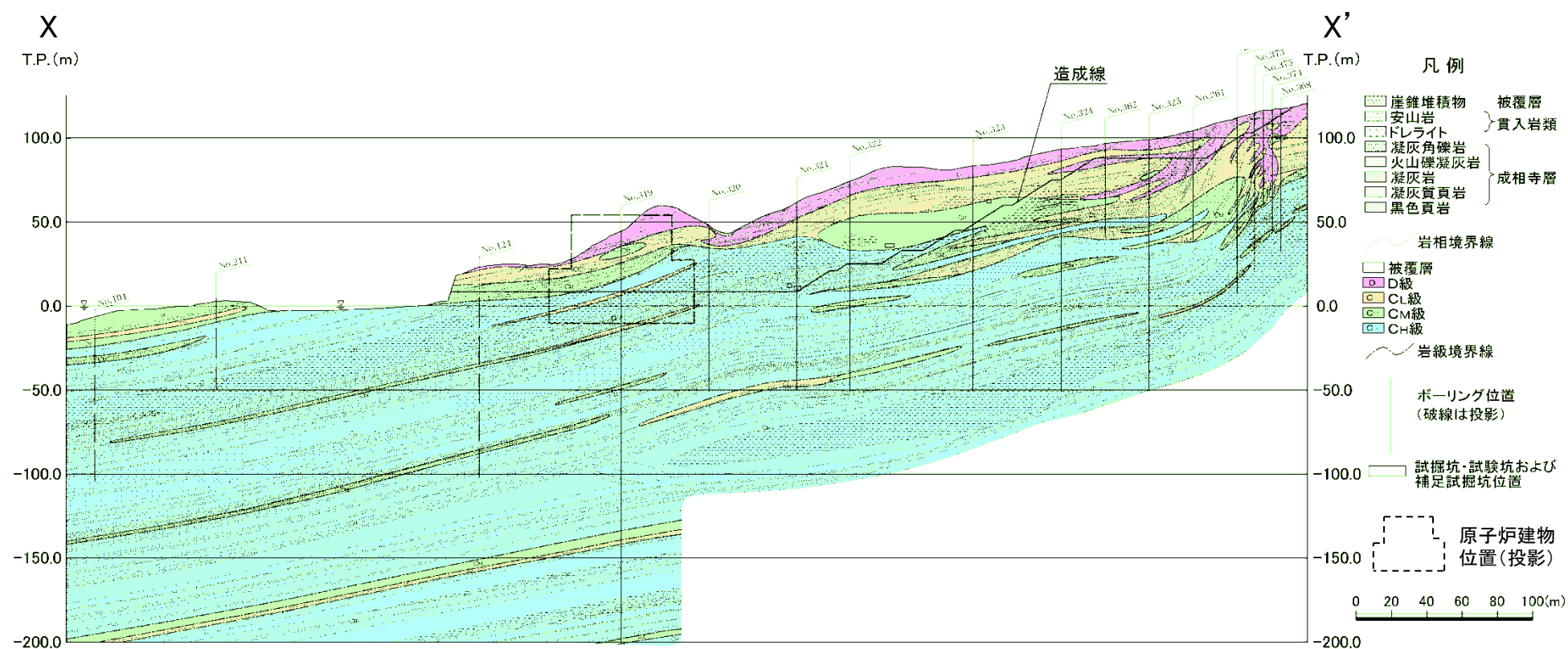
造成線から深度30m～40m程度まで、風化によるC<sub>L</sub>級及びD級の岩盤が存在するが、大部分がC<sub>H</sub>級及びC<sub>M</sub>級の岩盤からなる。



鉛直地質断面図

### 3. 地質概要

#### (1) 地質断面図

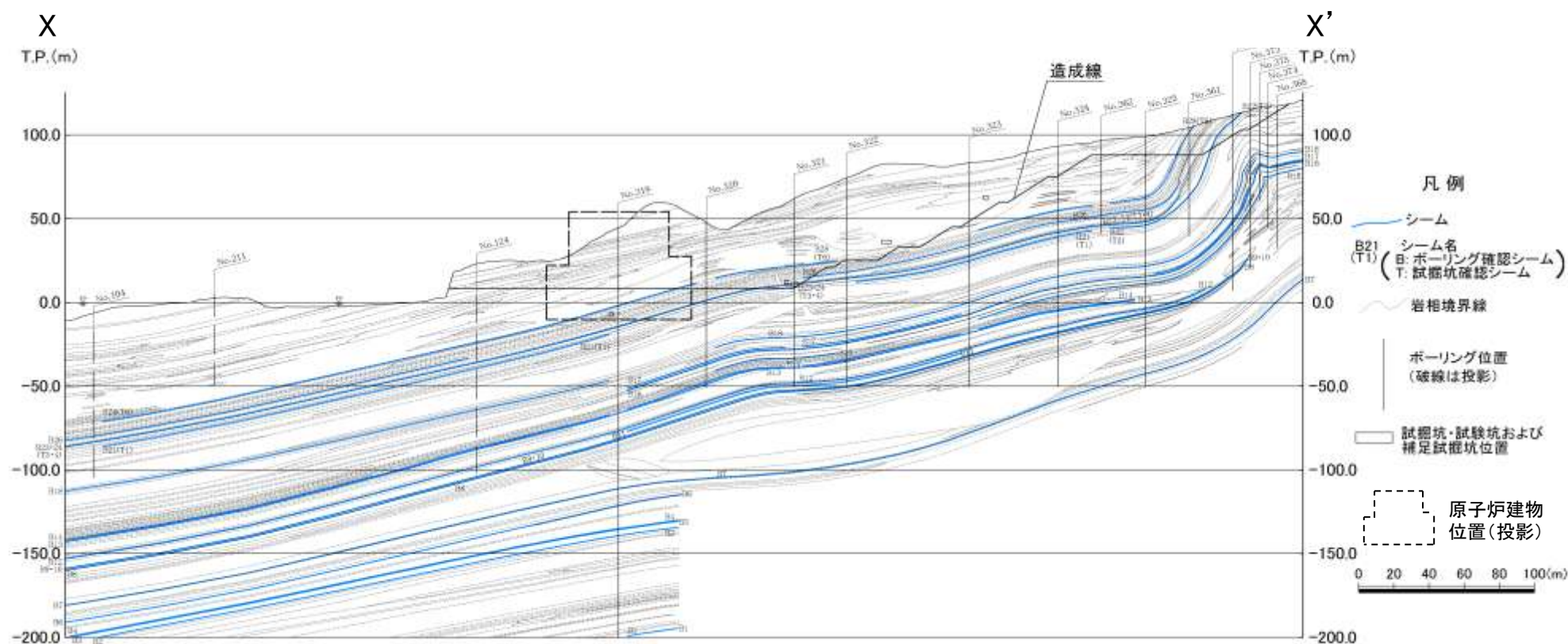


鉛直岩盤分類図

### 3. 地質概要

#### (1) 地質断面図

敷地内には、29枚(層準)のシームがある広がりをもって断続的に分布している。シームは全て層理に平行な走向・傾斜で、厚さはほとんどが3cm程度以下である。



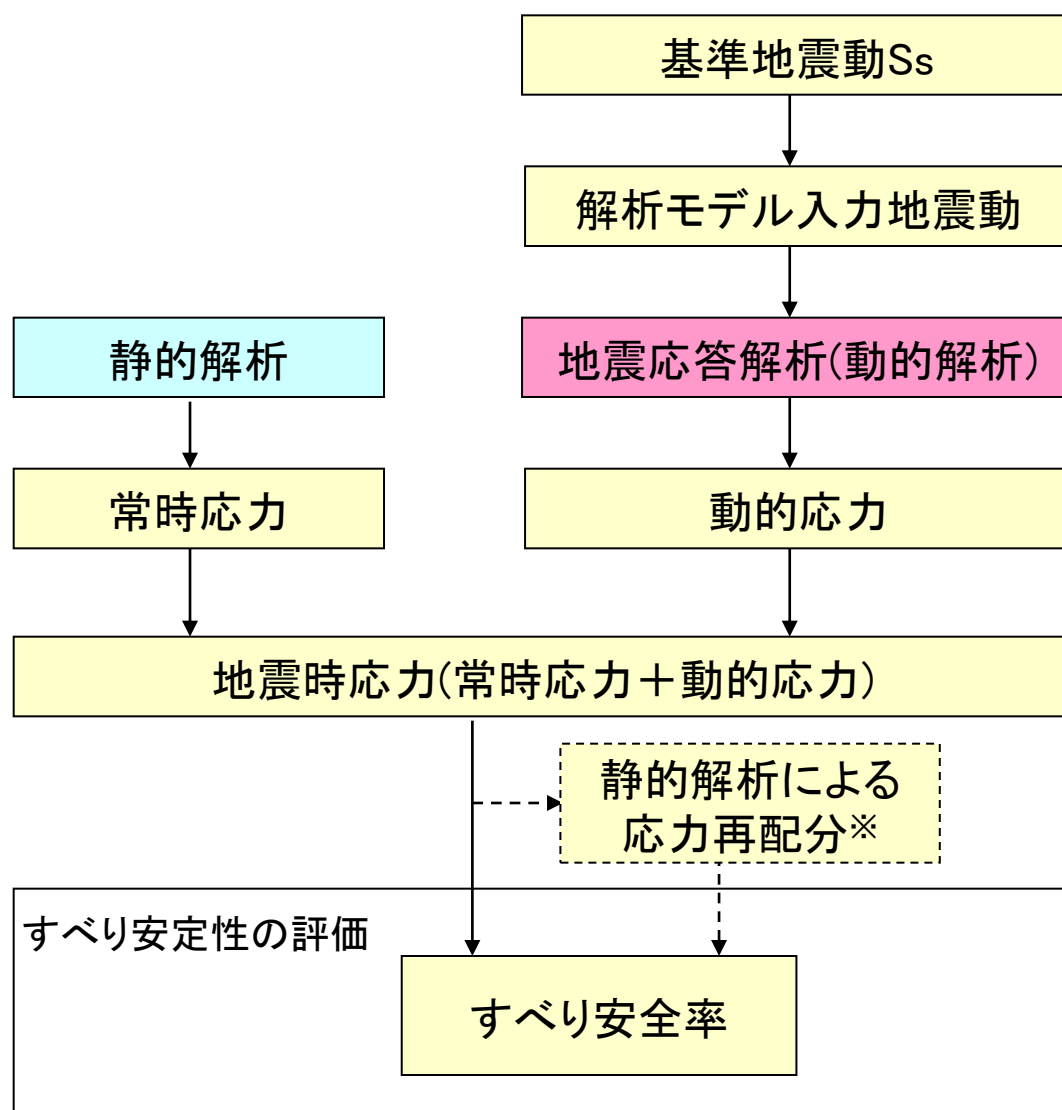
鉛直シーム分布図

## 4. 評価方法

## (1) 安定性評価フロー

〈常時荷重〉

〈地震時荷重〉



## 解析手法

## 静的解析

- 地盤の自重解析

## 地震応答解析(動的解析)

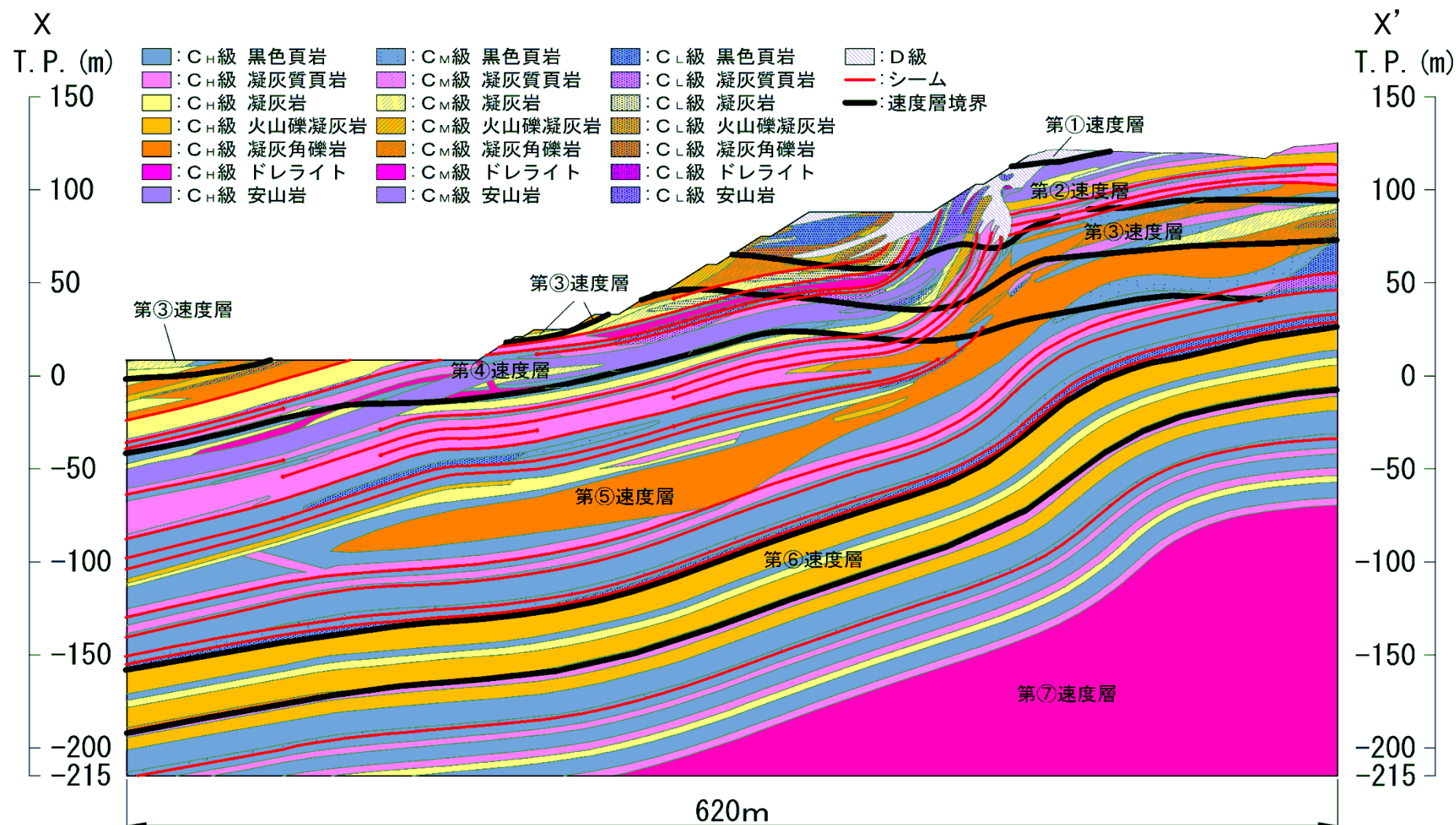
- 等価線形化法による周波数  
応答解析手法
- 水平地震動と鉛直地震動の  
同時入力

※最小すべり安全率を示す時刻に対して、静的解析によって応力再配分を行った上ですべり安全率を計算

## 4. 評価方法

## (2) 解析用岩盤分類図

解析用岩盤分類図は、地質断面図を基に岩相、岩級、シーム及び速度層を反映して作成する。

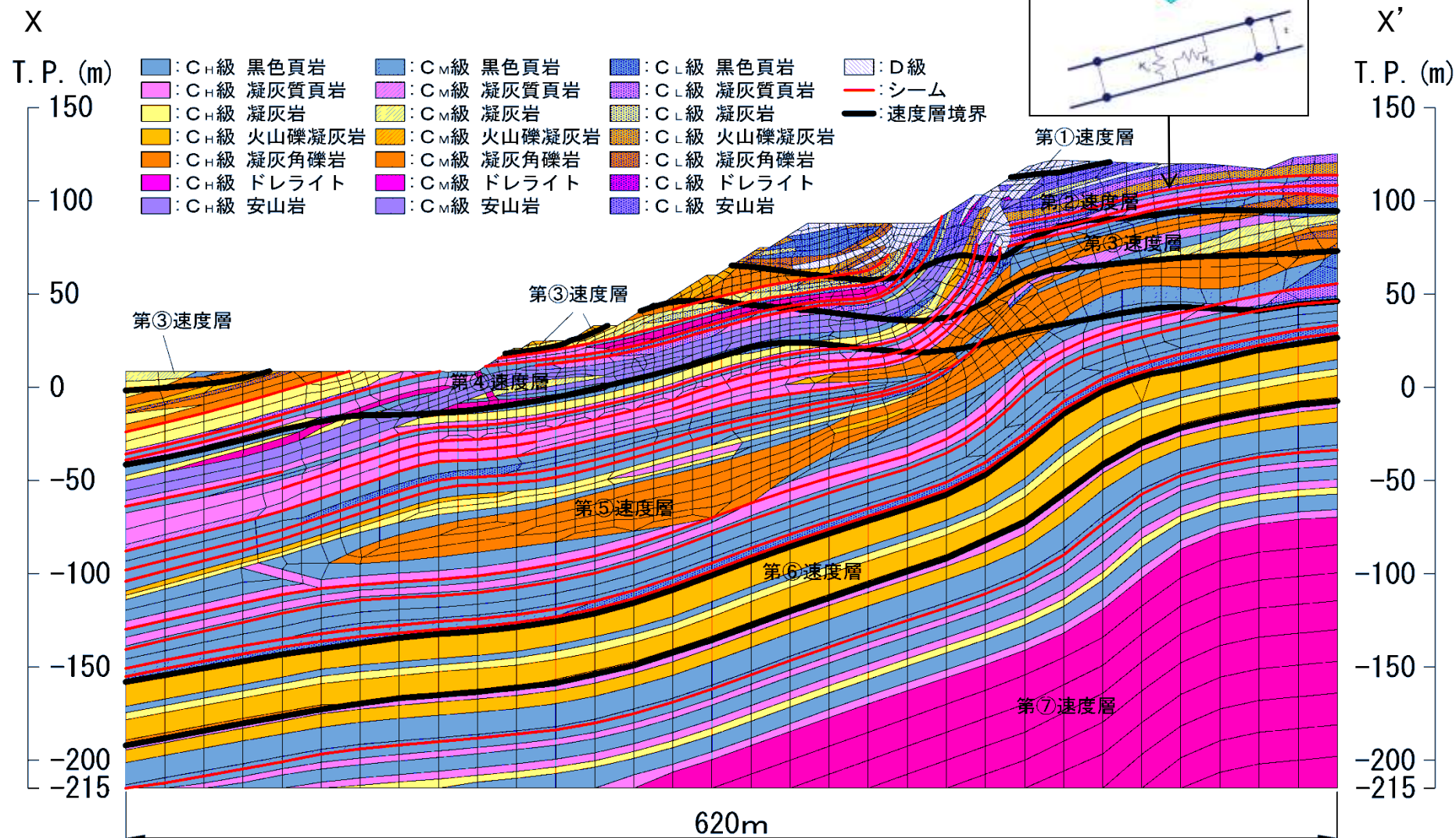
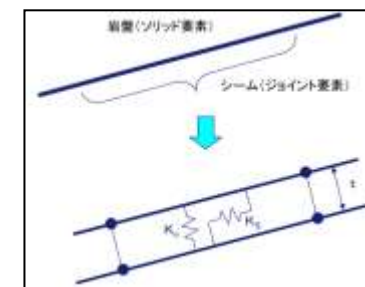


## 4. 評価方法

## (3) 解析モデル

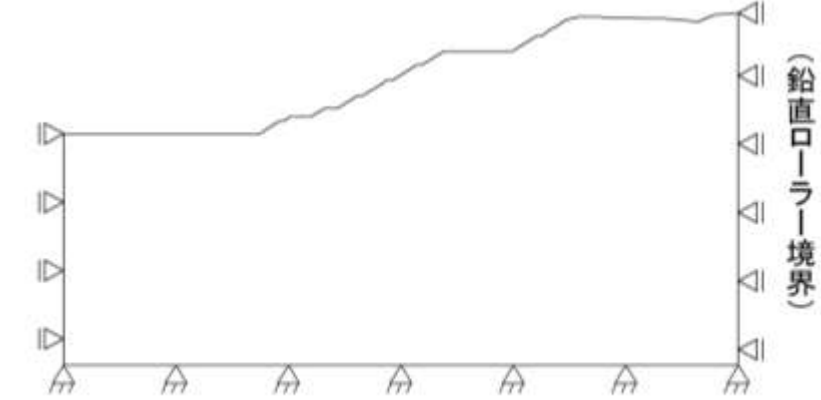
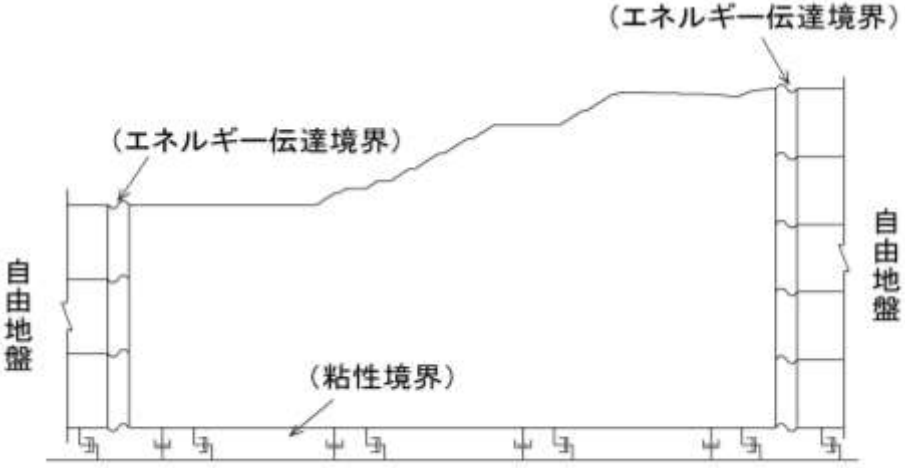
地盤モデルは、解析用岩盤分類図を基に作成する。

シームはジョイント要素でモデル化。せん断バネ定数は、地震時のひずみに応じた剛性低下を考慮した非線形バネでモデル化。



## 4. 評価方法

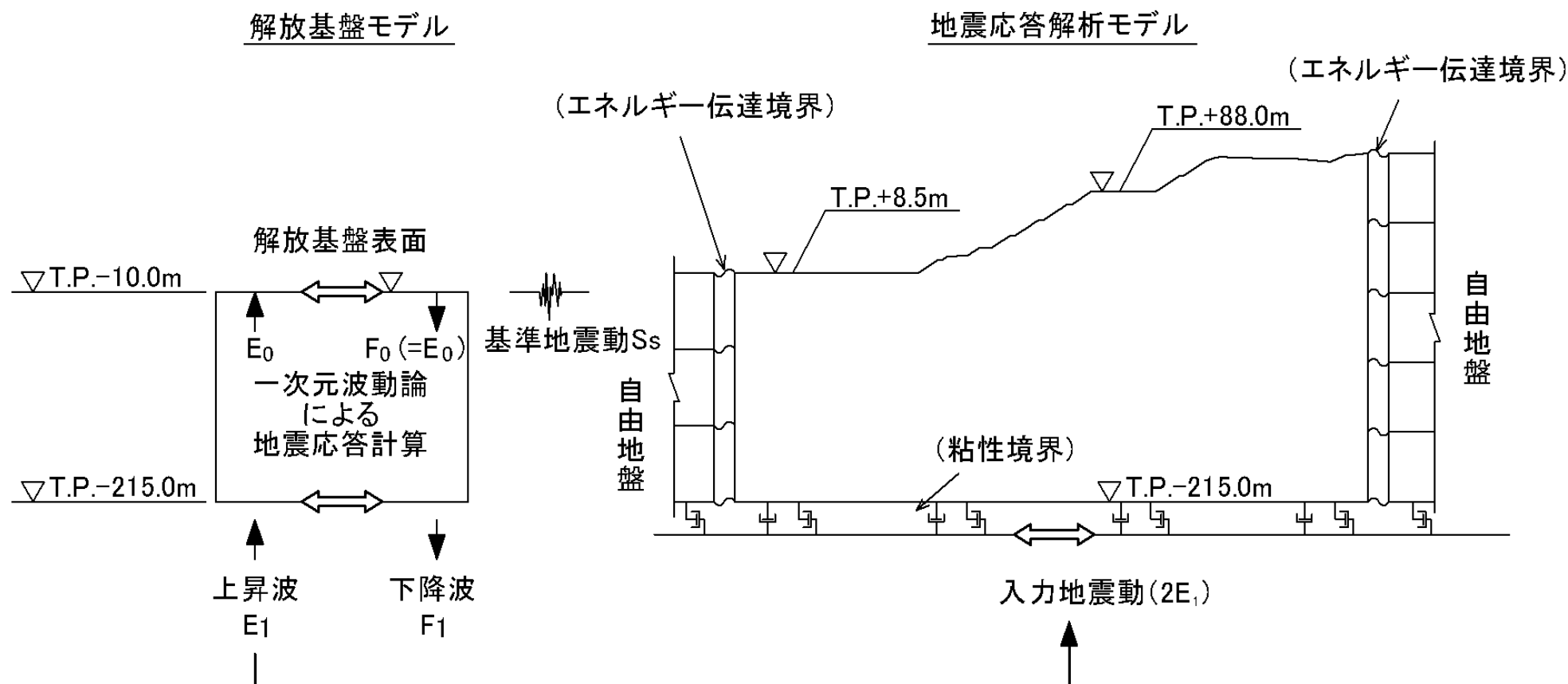
### (4) 境界条件

|                        |                                                                                                                                                                              |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>常時<br/>(静的解析時)</p>  |  <p>(固定境界)</p> <p>(鉛直ローラー境界)</p>                                                           |
| <p>地震時<br/>(動的解析時)</p> |  <p>(エネルギー伝達境界)</p> <p>(エネルギー伝達境界)</p> <p>自由地盤</p> <p>自由地盤</p> <p>(粘性境界)</p> <p>半無限地盤</p> |

## 4. 評価方法

## (5) 入力地震動の考え方

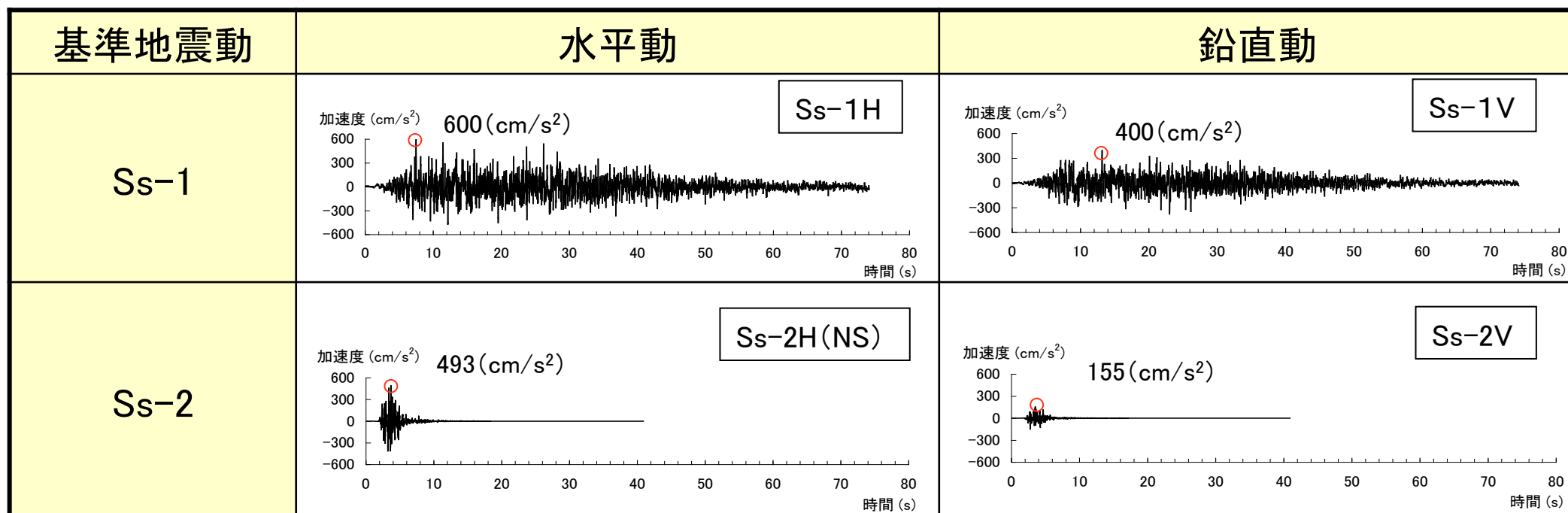
解析モデル底面に入力する地震動としては、解放基盤表面(T.P.-10m)で定義した基準地震動 $S_s$ を、炉心における速度層区分による一次元波動論に基づき入力基盤面(T.P.-215m)まで引き戻した地震波を用いる。



## 4. 評価方法

## (6) 基準地震動Ss

解放基盤表面で定義される基準地震動Ssのうち、Ss-1は水平動の最大加速度が $600\text{cm/s}^2$ 、鉛直動の最大加速度が $400\text{cm/s}^2$ であり、Ss-2は水平動の最大加速度が $493\text{cm/s}^2$ 、鉛直動の最大加速度が $155\text{cm/s}^2$ である。



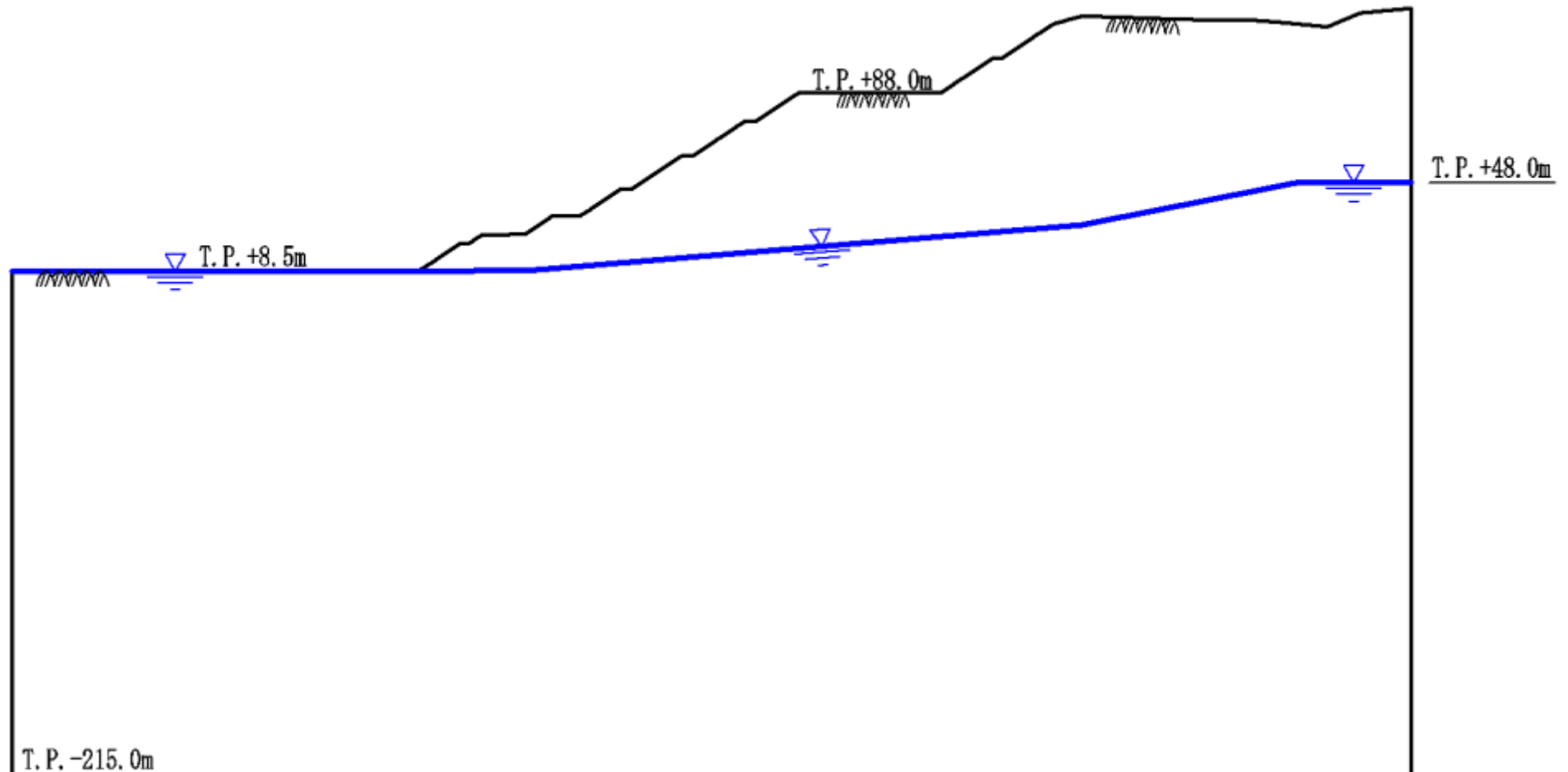
Ss-1: 検討用地震による地震動に余裕を持たせて策定した地震動

Ss-2: 突道断層の断層モデルによる地震動(応力降下量(短周期レベル)1.5倍)

## 4. 評価方法

### (7) 地下水位

解析用地下水位は、ボーリング孔における水位観測結果に基づく各孔の最高水位を初期条件とし、大雨状態を想定した浸透流解析により設定する。



## 4. 評価方法

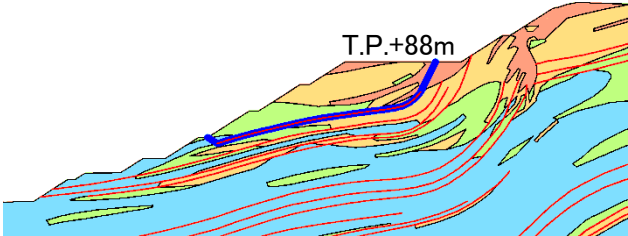
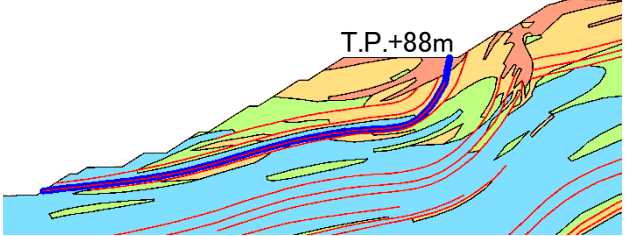
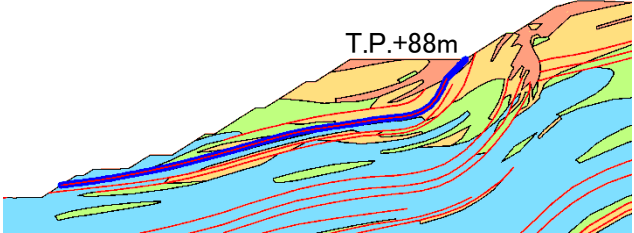
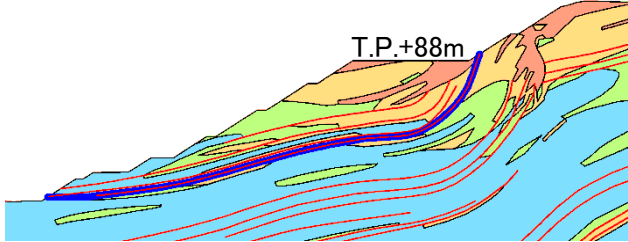
## (8) 評価内容

| 評価項目                 | 評価内容                                                                           |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 想定すべり線における<br>すべり安全率 | 想定すべり線上の応力状態を基に、すべり線上のせん断抵抗力の和をすべり線上のせん断力の和で除して求める。なお検討は、主にシーム沿いの想定すべり線を対象とする。 |

## 5. 評価結果

## (1) すべり安全率

すべり安全率は、いずれも評価基準値1.2を上回ることから、すべりに対して十分な安定性を有している。

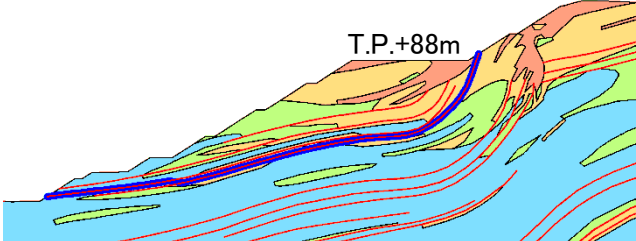
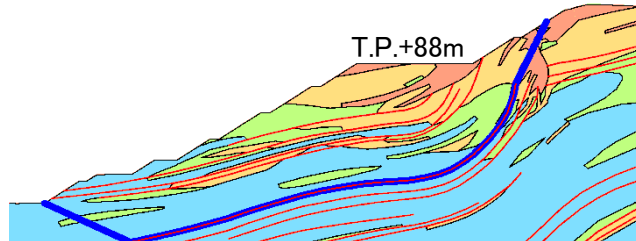
| すべり線形状                                                                                                                                | Ss-1                    | Ss-2                   | すべり線形状                                                                                                                                           | Ss-1                    | Ss-2                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| <p>X1</p>  <p>B28シームを通過して<br/>T.P.+88m盤に抜けるすべり線</p>   | <p>2.1</p> <p>11.83</p> | <p>2.4</p> <p>5.03</p> | <p>X3</p>  <p>B23・24シームを通過して<br/>T.P.+88m盤に抜けるすべり線</p>        | <p>1.8</p> <p>13.52</p> | <p>2.2</p> <p>(2.2)</p> <p>3.74</p> |
| <p>X2</p>  <p>B26シームを通過して<br/>T.P.+88m盤に抜けるすべり線</p> | <p>2.0</p> <p>28.30</p> | <p>2.5</p> <p>5.03</p> | <p>X4</p>  <p>法尻からB21・22シームを通過して<br/>T.P.+88m盤付近に抜けるすべり線</p> | <p>2.1</p> <p>16.10</p> | <p>2.7</p> <p>3.74</p>              |

— : すべり線    ○ : 最小すべり安全率    □ : 時刻(秒)

※( )内の数値は、最小すべり安全率を示す時刻に対して、静的解析によって応力再配分を行った場合のすべり安全率を示す。

## 5. 評価結果

## (1) すべり安全率

| すべり線形状                                                                                                                                                              | Ss-1                           | Ss-2                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| <p>X5</p>  <p>法尻近傍のCL岩盤内をB23・24シームから<br/>B21・22シームに飛び移り<br/>T.P.+88m盤付近に抜けるすべり線</p> | <p>1.8<br/>(1.8)<br/>16.10</p> | <p>2.2<br/>3.74</p> |
| <p>X6</p>  <p>法尻からB18シームを通して<br/>法肩付近に抜けるすべり線</p>                                  | <p>2.2<br/>11.49</p>           | <p>2.8<br/>3.74</p> |

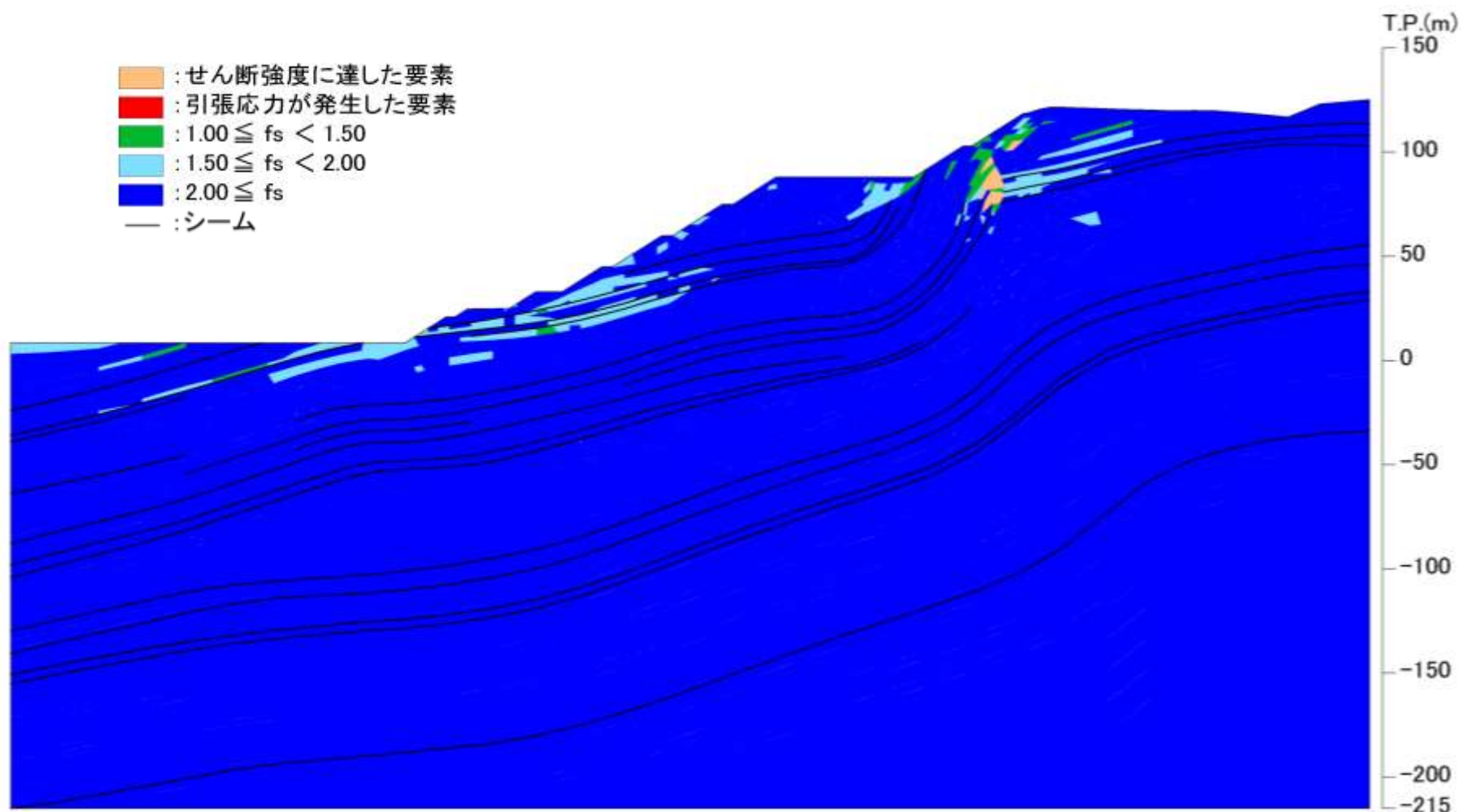
— : すべり線    ○ : 最小すべり安全率    □ : 時刻(秒)

※( )内の数値は、最小すべり安全率を示す時刻に対して、静的解析によって応力再配分を行った場合のすべり安全率を示す。

## 5. 評価結果

## (2) 岩盤の局所安全係数

局所安全係数が1.00を下回る要素は連続していない。

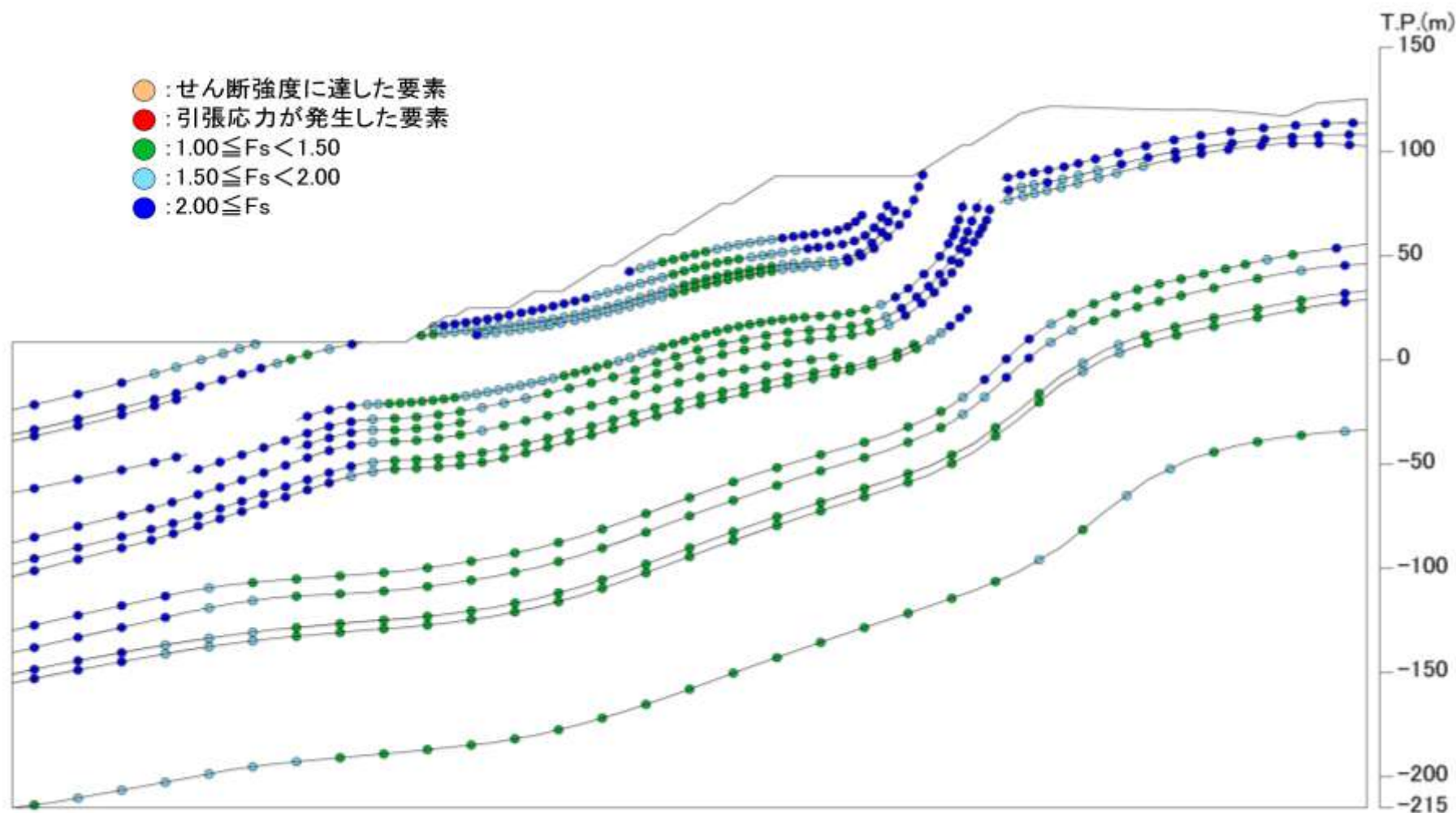


岩盤の局所安全係数[Ss-1, 最小すべり安全率発生時刻16.10秒]

## 5. 評価結果

## (3) シームの局所安全係数

局所安全係数が1.00を下回る要素は連続していない。



シームの局所安全係数[ $S_s-1$ , 最小すべり安全率発生時刻16.10秒]

## 6. まとめ

想定すべり線におけるすべり安全率は評価基準値1.2を上回っており、周辺斜面は、基準地震動 $S_s$ に対して施設の安全性に重大な影響を与えるような崩壊を起こさないことを確認した。

## <参考> 岩級区分基準

岩盤分類は、(社)日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」の岩盤分類法の適用において硬岩に分類されるため、電研式岩盤分類を基本とし、「割れ目間隔」「割れ目状態」「風化程度」を分類の指標として、岩種毎にC<sub>H</sub>級、C<sub>M</sub>級、C<sub>L</sub>級及びD級の4段階とした。

| 割れ目間隔 |                                  |
|-------|----------------------------------|
| I     | 30cm以上[コア形状は長柱状]                 |
| II    | 10cm～30cm[コア形状は柱状]               |
| III   | 5cm～10cm[コア形状は短柱状]               |
| IV    | 3cm～5cm[コア形状は岩片状<br>(柱状に復元可能)]   |
| V     | 3cm以下[コア形状は短片状<br>(柱状に復元不可能)]    |
| VI    | 割れ目として認識できない土砂状の岩盤<br>[コア形状は土砂状] |

| 割れ目状態    |                    |
|----------|--------------------|
| $\alpha$ | 新鮮                 |
| $\beta$  | 割れ目が汚染され、岩石組織が若干変質 |
| $\gamma$ | 粘土、風化物質、外来物質を介在する  |

| 風化程度 |                                                |
|------|------------------------------------------------|
| 1    | 新鮮である。ハンマの軽打で澄んだ金属音を発する。                       |
| 2    | 概ね新鮮であるが、部分的に褐色の風化汚染が認められる。ハンマの軽打で一部低い金属音を発する。 |
| 3    | 全体にやや風化変質している。ハンマの軽打でやや濁った金属音を発する。             |
| 4    | 岩芯まで風化変質している。ハンマの軽打で容易に岩片状となる。                 |
| 5    | 強風化を受け、砂～粘土状を呈する。                              |

# <参考> 岩級区分基準

| 割れ目<br>間 隔 | 風化程度<br>割れ目状態 | 1              | 2              | 3              | 4              | 5 |
|------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---|
|            |               |                |                |                |                |   |
| I          | $\alpha$      | C <sub>H</sub> | C <sub>H</sub> |                |                |   |
|            | $\beta$       | C <sub>H</sub> | C <sub>H</sub> | C <sub>M</sub> |                |   |
|            | $\gamma$      | C <sub>H</sub> | C <sub>H</sub> | C <sub>M</sub> | C <sub>L</sub> |   |
| II         | $\alpha$      | C <sub>H</sub> | C <sub>H</sub> | C <sub>M</sub> |                |   |
|            | $\beta$       | C <sub>H</sub> | C <sub>M</sub> | C <sub>M</sub> | C <sub>L</sub> |   |
|            | $\gamma$      | C <sub>M</sub> | C <sub>M</sub> | C <sub>L</sub> | C <sub>L</sub> |   |
| III        | $\alpha$      | C <sub>M</sub> | C <sub>M</sub> | C <sub>M</sub> | C <sub>L</sub> |   |
|            | $\beta$       | C <sub>M</sub> | C <sub>L</sub> | C <sub>L</sub> | C <sub>L</sub> |   |
|            | $\gamma$      | C <sub>M</sub> | C <sub>L</sub> | C <sub>L</sub> | C <sub>L</sub> |   |

| 割れ目<br>間 隔 | 風化程度<br>割れ目状態 | 1              | 2              | 3              | 4              | 5 |
|------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---|
|            |               |                |                |                |                |   |
| IV         | $\alpha$      | C <sub>L</sub> | C <sub>L</sub> | C <sub>L</sub> |                |   |
|            | $\beta$       | C <sub>L</sub> | C <sub>L</sub> | C <sub>L</sub> | C <sub>L</sub> |   |
|            | $\gamma$      | C <sub>L</sub> | C <sub>L</sub> | C <sub>L</sub> | C <sub>L</sub> |   |
| V          | $\alpha$      | C <sub>L</sub> | C <sub>L</sub> | C <sub>L</sub> | D              |   |
|            | $\beta$       | C <sub>L</sub> | D              | D              | D              |   |
|            | $\gamma$      |                |                | D              | D              | D |
| VI         | $\alpha$      |                |                |                |                |   |
|            | $\beta$       |                |                |                |                |   |
|            | $\gamma$      |                |                |                | D              | D |

# <参考>解析用物性値設定の考え方

## 岩盤、シームの物理、強度特性

|      |                                      |                  | 岩 盤                              |       |     |             |                                  |       |                     | シーム |
|------|--------------------------------------|------------------|----------------------------------|-------|-----|-------------|----------------------------------|-------|---------------------|-----|
|      |                                      |                  | 黒色頁岩                             | 凝灰質頁岩 | 凝灰岩 | 火山礫凝灰岩      | 凝灰角礫岩                            | ドレライト | 安山岩                 |     |
| 物理特性 | 密度( $\rho_s$ )                       | C <sub>H</sub> 級 | 密度試験結果(飽和)                       |       |     |             |                                  |       | 力学試験用<br>供試体の<br>密度 |     |
|      |                                      | C <sub>M</sub> 級 | 密度試験結果(飽和)                       |       |     |             |                                  |       |                     |     |
|      |                                      | C <sub>L</sub> 級 | 密度試験結果(飽和)                       |       |     |             |                                  |       |                     |     |
|      |                                      | D級               | 密度試験結果(飽和)の平均値                   |       |     |             |                                  |       |                     |     |
| 強度特性 | せん断強度( $\tau_0$ )<br>内部摩擦角( $\phi$ ) | C <sub>H</sub> 級 | ブロックせん断試験結果                      |       |     |             | C <sub>H</sub> 級凝灰岩の物性に基づき算定する   |       | 単純せん<br>断試験結<br>果   |     |
|      |                                      | C <sub>M</sub> 級 | C <sub>M</sub> 級凝灰角礫岩の物性に基づき算定する |       |     | ブロックせん断試験結果 | C <sub>M</sub> 級凝灰角礫岩の物性に基づき算定する |       |                     |     |
|      |                                      | C <sub>L</sub> 級 | C <sub>L</sub> 級凝灰角礫岩の物性に基づき算定する |       |     | ブロックせん断試験結果 | C <sub>L</sub> 級凝灰角礫岩の物性に基づき算定する |       |                     |     |
|      |                                      | D級               | 中型三軸圧縮試験結果                       |       |     |             |                                  |       |                     |     |
|      | 残留強度( $\tau$ )                       | C <sub>H</sub> 級 | 摩擦抵抗試験結果                         |       |     |             | C <sub>H</sub> 級凝灰岩の物性に基づき算定する   |       | —                   |     |
|      |                                      | C <sub>M</sub> 級 | C <sub>M</sub> 級凝灰角礫岩の物性に基づき算定する |       |     | 摩擦抵抗試験結果    | C <sub>M</sub> 級凝灰角礫岩の物性に基づき算定する |       |                     |     |
|      |                                      | C <sub>L</sub> 級 | C <sub>L</sub> 級凝灰角礫岩の物性に基づき算定する |       |     | 摩擦抵抗試験結果 ※1 | C <sub>L</sub> 級凝灰角礫岩の物性に基づき算定する |       |                     |     |
|      |                                      | D級               | —                                |       |     |             |                                  |       |                     |     |

：岩石・岩盤試験のデータによる。

：他の岩種・岩級のデータ物性に基づき算定する。

※1:物性値は得られているが、上位岩級における同一岩種との物性値の大小関係が逆転するため、上位岩級の物性値を限度とする。

# <参考>解析用物性値設定の考え方

## 岩盤、シームの静的変形特性

|      |                         |                  | 岩 盤                                       |       |     |          |          |                                           |                                 | シーム       |
|------|-------------------------|------------------|-------------------------------------------|-------|-----|----------|----------|-------------------------------------------|---------------------------------|-----------|
|      |                         |                  | 黒色頁岩                                      | 凝灰質頁岩 | 凝灰岩 | 火山礫凝灰岩   | 凝灰角礫岩    | ドレライト                                     | 安山岩                             |           |
| 変形特性 | 静弾性係数(E)<br>静せん断弾性係数(G) | C <sub>H</sub> 級 | 岩盤変形試験結果                                  |       |     |          |          | C <sub>H</sub> 級凝灰岩の物性に基づき算定する            |                                 | 単純せん断試験結果 |
|      |                         | C <sub>M</sub> 級 | C <sub>M</sub> 級火山礫凝灰岩および凝灰角礫岩の物性に基づき算定する |       |     | 岩盤変形試験結果 |          | C <sub>M</sub> 級火山礫凝灰岩および凝灰角礫岩の物性に基づき算定する |                                 |           |
|      |                         | C <sub>L</sub> 級 | C <sub>L</sub> 級凝灰角礫岩の物性に基づき算定する          |       |     |          | 岩盤変形試験結果 | C <sub>L</sub> 級凝灰角礫岩の物性に基づき算定する          |                                 |           |
|      |                         | D級               | 中型三軸圧縮試験結果                                |       |     |          |          |                                           |                                 |           |
|      | 静ポアソン比(ν)               | C <sub>H</sub> 級 | 一軸圧縮試験結果                                  |       |     |          |          |                                           |                                 | 慣用値       |
|      |                         | C <sub>M</sub> 級 | 一軸圧縮試験結果                                  |       |     |          |          | C <sub>M</sub> 級ドレライトの一軸圧縮試験結果 ※2         | C <sub>M</sub> 級安山岩の一軸圧縮試験結果 ※1 |           |
|      |                         | C <sub>L</sub> 級 | C <sub>H</sub> 級ドレライトの一軸圧縮試験結果 ※3         |       |     |          |          |                                           |                                 |           |
|      |                         | D級               | 慣用値                                       |       |     |          |          |                                           |                                 |           |

：岩石・岩盤試験のデータによる。

：他の岩種・岩級のデータ物性に基づき算定する。

：慣用値で代替する。

※1:物性値は得られているが、上位岩級における同一岩種との物性値の大小関係が逆転するため、上位岩級の物性値を限度とする。

※2:物性値が得られていないため、上位岩級における同一岩種の物性値を用いる。

※3:C<sub>L</sub>級の岩石試験結果によるポアソン比に替えて、試験結果から得られた最大のポアソン比(C<sub>H</sub>級ドレライト)を用いる。

# ＜参考＞解析用物性値設定の考え方

## 岩盤、シームの動的変形特性

|        |                   |                  | 岩 盤                                                                             |       |     |        |       |       |     | シーム         |
|--------|-------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------|-----|--------|-------|-------|-----|-------------|
|        |                   |                  | 黒色頁岩                                                                            | 凝灰質頁岩 | 凝灰岩 | 火山礫凝灰岩 | 凝灰角礫岩 | ドレライト | 安山岩 |             |
| 動的変形特性 | 動せん断弾性係数( $G_d$ ) | C <sub>H</sub> 級 | 第①速度層 (埋戻土の弾性波試験によるVsと各岩種・岩級の密度から設定)<br>第②～第⑦速度層 (PS検層による速度層毎のVsと各岩種・岩級の密度から設定) |       |     |        |       |       |     | 動的単純せん断試験結果 |
|        |                   | C <sub>M</sub> 級 |                                                                                 |       |     |        |       |       |     |             |
|        |                   | C <sub>L</sub> 級 |                                                                                 |       |     |        |       |       |     |             |
|        |                   | D級               | 動的中型三軸圧縮試験結果                                                                    |       |     |        |       |       |     |             |
|        | 動ポアソン比( $\nu_d$ ) | C <sub>H</sub> 級 | 第①速度層 (慣用値)<br>第②～第⑦速度層 (PS検層による速度層毎のVp, Vsから設定)                                |       |     |        |       |       |     | 慣用値         |
|        |                   | C <sub>M</sub> 級 |                                                                                 |       |     |        |       |       |     |             |
|        |                   | C <sub>L</sub> 級 |                                                                                 |       |     |        |       |       |     |             |
|        |                   | D級               | 慣用値                                                                             |       |     |        |       |       |     |             |
|        | 減衰定数(h)           | C <sub>H</sub> 級 | 慣用値                                                                             |       |     |        |       |       |     | 動的単純せん断試験結果 |
|        |                   | C <sub>M</sub> 級 |                                                                                 |       |     |        |       |       |     |             |
|        |                   | C <sub>L</sub> 級 |                                                                                 |       |     |        |       |       |     |             |
|        |                   | D級               | 動的中型三軸圧縮試験結果                                                                    |       |     |        |       |       |     |             |
|        | $G_d, h$ のひずみ依存性  | C <sub>H</sub> 級 | —                                                                               |       |     |        |       |       |     | 動的単純せん断試験結果 |
|        |                   | C <sub>M</sub> 級 |                                                                                 |       |     |        |       |       |     |             |
|        |                   | C <sub>L</sub> 級 |                                                                                 |       |     |        |       |       |     |             |
|        |                   | D級               | 動的中型三軸圧縮試験結果                                                                    |       |     |        |       |       |     |             |

: 岩石・岩盤試験のデータによる。  
: 慣用値で代替する。

# <参考>解析用物性値一覧表

## C<sub>H</sub>、C<sub>M</sub>、C<sub>L</sub>級岩盤の解析用物性値

| 岩種・岩級 |                               |                                             | C <sub>H</sub> 級岩盤  |                     |                     |                     |                     |                     |                     | C <sub>M</sub> 級岩盤  |                     |                     |                     |                     |                     |                     | C <sub>L</sub> 級岩盤  |                     |                     |                     |                     |                     |                     |       |
|-------|-------------------------------|---------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------|
|       |                               |                                             | 黒色頁岩                | 凝灰質頁岩               | 凝灰岩                 | 火山礫凝灰岩              | 凝灰角礫岩               | トレイト                | 安山岩                 | 黒色頁岩                | 凝灰質頁岩               | 凝灰岩                 | 火山礫凝灰岩              | 凝灰角礫岩               | トレイト                | 安山岩                 | 黒色頁岩                | 凝灰質頁岩               | 凝灰岩                 | 火山礫凝灰岩              | 凝灰角礫岩               | トレイト                | 安山岩                 |       |
| 物性値   |                               |                                             |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |       |
| 物理特性  | 密度<br>$\rho_s(\text{g/cm}^3)$ |                                             | 2.59                | 2.54                | 2.49                | 2.47                | 2.46                | 2.66                | 2.68                | 2.58                | 2.54                | 2.43                | 2.36                | 2.41                | 2.60                | 2.68                | 2.58                | 2.50                | 2.30                | 2.29                | 2.31                | 2.53                | 2.59                |       |
| 強度特性  | 静的動的特性                        | せん断強度<br>$\tau_s(\text{N/mm}^2)$            | 1.64                | 1.04                | 2.03                | 1.68                | 2.52                | 2.01                | 2.01                | 0.74                | 0.47                | 0.92                | 0.76                | 1.14                | 0.91                | 0.91                | 0.49                | 0.31                | 0.61                | 0.51                | 0.76                | 0.61                | 0.61                |       |
|       |                               | 内部摩擦角<br>$\phi(^{\circ})$                   | 53                  | 57                  | 58                  | 57                  | 57                  | 58                  | 58                  | 44                  | 47                  | 48                  | 47                  | 47                  | 48                  | 48                  | 44                  | 47                  | 48                  | 47                  | 47                  | 48                  | 48                  |       |
|       |                               | 残留強度<br>$\tau(\text{N/mm}^2)$               | $1.28\sigma^{0.87}$ | $1.24\sigma^{0.75}$ | $1.16\sigma^{0.88}$ | $1.22\sigma^{0.87}$ | $1.21\sigma^{0.88}$ | $1.15\sigma^{0.88}$ | $1.15\sigma^{0.88}$ | $1.07\sigma^{0.84}$ | $1.03\sigma^{0.84}$ | $0.95\sigma^{0.84}$ | $1.01\sigma^{0.84}$ | $1.00\sigma^{0.84}$ | $0.94\sigma^{0.84}$ | $0.94\sigma^{0.84}$ | $0.87\sigma^{0.84}$ | $0.83\sigma^{0.84}$ | $0.75\sigma^{0.84}$ | $0.81\sigma^{0.84}$ | $0.80\sigma^{0.84}$ | $0.74\sigma^{0.84}$ | $0.74\sigma^{0.84}$ |       |
| 変形特性  | 静的特性                          | 静弾性係数<br>$E(\times 10^5\text{N/mm}^2)$      | 5.97                | 6.58                | 7.70                | 8.55                | 4.27                | 10.72               | 10.72               | 1.59                | 1.63                | 1.70                | 1.76                | 1.47                | 1.91                | 1.91                | 0.78                | 0.80                | 0.83                | 0.86                | 0.72                | 0.93                | 0.93                |       |
|       |                               | 静ポアソン比<br>$\nu$                             | 0.19                | 0.18                | 0.18                | 0.16                | 0.20                | 0.27                | 0.25                | 0.20                | 0.19                | 0.18                | 0.17                | 0.22                | 0.27                | 0.25                | 0.27                | 0.27                | 0.27                | 0.27                | 0.27                | 0.27                | 0.27                |       |
|       | 動的特性                          | 動せん断弾性係数<br>$G_d(\times 10^5\text{N/mm}^2)$ | 第①速度層               | 0.19                | 0.19                | 0.18                | 0.18                | 0.18                | 0.19                | 0.20                | 0.19                | 0.19                | 0.18                | 0.17                | 0.18                | 0.19                | 0.20                | 0.19                | 0.18                | 0.17                | 0.17                | 0.17                | 0.18                | 0.19  |
|       |                               |                                             | 第②速度層               | 1.00                | 0.98                | 0.96                | 0.95                | 0.95                | 1.02                | 1.03                | 0.99                | 0.98                | 0.93                | 0.91                | 0.93                | 1.00                | 1.03                | 0.99                | 0.96                | 0.88                | 0.88                | 0.89                | 0.97                | 1.00  |
|       |                               |                                             | 第③速度層               | 2.39                | 2.34                | 2.29                | 2.28                | 2.27                | 2.45                | 2.47                | 2.38                | 2.34                | 2.24                | 2.17                | 2.22                | 2.40                | 2.47                | 2.38                | 2.30                | 2.12                | 2.11                | 2.13                | 2.33                | 2.39  |
|       |                               |                                             | 第④速度層               | 5.98                | 5.87                | 5.75                | 5.71                | 5.68                | 6.15                | 6.19                | 5.96                | 5.87                | 5.61                | 5.45                | 5.57                | 6.01                | 6.19                | 5.96                | 5.78                | 5.31                | 5.29                | 5.34                | 5.85                | 5.98  |
|       |                               |                                             | 第⑤速度層               | 9.35                | 9.17                | 8.99                | 8.92                | 8.88                | 9.60                | 9.67                | 9.31                | 9.17                | 8.77                | 8.52                | 8.70                | 9.39                | 9.67                | 9.31                | 9.03                | 8.30                | 8.27                | 8.34                | 9.13                | 9.35  |
|       |                               |                                             | 第⑥速度層               | 11.42               | 11.20               | 10.98               | 10.89               | 10.85               | 11.73               | 11.82               | 11.38               | 11.20               | 10.72               | 10.41               | 10.63               | 11.47               | 11.82               | 11.38               | 11.03               | 10.14               | 10.10               | 10.19               | 11.16               | 11.42 |
|       |                               |                                             | 第⑦速度層               | 8.11                | 7.96                | 7.80                | 7.74                | 7.71                | 8.33                | 8.40                | 8.08                | 7.96                | 7.61                | 7.39                | 7.55                | 8.15                | 8.40                | 8.08                | 7.83                | 7.21                | 7.17                | 7.24                | 7.93                | 8.11  |
|       |                               | 動ポアソン比<br>$\nu_d$                           | 第①速度層               | 0.45                |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |       |
|       |                               |                                             | 第②速度層               | 0.42                |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |       |
|       |                               |                                             | 第③速度層               | 0.39                |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |       |
|       |                               |                                             | 第④速度層               | 0.36                |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |       |
|       |                               |                                             | 第⑤速度層               | 0.34                |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |       |
| 減衰特性  | 減衰定数<br>$h$                   | 第⑥速度層                                       | 0.33                |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |       |
|       |                               | 第⑦速度層                                       | 0.36                |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |       |
|       |                               |                                             | 0.03                |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |       |

※1:表中の $\sigma$ は拘束圧を表す。

# ＜参考＞解析用物性値一覧表

## D級岩盤、シームの解析用物性値

| 岩種・岩級 |                                        |                                               | D級岩盤                                                                                                                        | シーム                                                                                          |
|-------|----------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 物性値   |                                        |                                               |                                                                                                                             |                                                                                              |
| 物理特性  | 密度<br>$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )    |                                               | 2.28                                                                                                                        | 2.23                                                                                         |
|       | せん断強度<br>$\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> ) |                                               | 0.10                                                                                                                        | 0.19                                                                                         |
| 強度特性  | 静的<br>動的<br>特性                         | 内部摩擦角<br>$\phi$ (°)                           | 11                                                                                                                          | 18                                                                                           |
|       |                                        | 残留強度<br>$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )           | —                                                                                                                           | —                                                                                            |
|       |                                        | 静弾性係数<br>$E$ (N/mm <sup>2</sup> )             | $60 \sigma^{0.20}$                                                                                                          | $G_{0.5} = 44 \sigma^{0.34}$                                                                 |
| 変形特性  | 静的<br>特性                               | 静ポアソン比<br>$\nu$                               | 0.30                                                                                                                        | 0.40                                                                                         |
|       |                                        | 動せん断<br>弾性係数<br>$G_d$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $G_0 = 148 \sigma^{0.45}$ (N/mm <sup>2</sup> )<br>$G/G_0 = 1/(1 + \gamma/0.00062)$                                          | $G_0 = 225 \sigma^{0.31}$ (N/mm <sup>2</sup> )<br>$G/G_0 = 1/[1 + (\gamma/0.00149)^{0.849}]$ |
|       | 動的<br>特性                               | 動ポアソン比<br>$\nu_d$                             | 0.45                                                                                                                        |                                                                                              |
|       |                                        | 減衰定数<br>$h$                                   | $\gamma \leq 1 \times 10^{-4}$ : $h=0.023$<br>$\gamma > 1 \times 10^{-4}$ : $h=0.023$<br>$+0.071 \cdot \log(\gamma/0.0001)$ | $h = \gamma / (2.14 \gamma + 0.017) + 0.031$                                                 |

※1:表中の $\sigma$ は拘束圧、 $\gamma$ はせん断ひずみを表す。

※2:シームの静的変形特性については、単純せん断試験により直接、せん断剛性( $G_{0.5}$ )を求めている。