

04-大間設C-40改

電源開発株式会社  
大間原子力発電所

原子炉建屋基礎地盤の安定性検討

平成19年3月

原子力発電安全審査課

## 目 次

1. 検討目的.....	1
2. 原子炉建屋基礎地盤の地質概要.....	2
3. 解析概要.....	3
4. 慣用法による安定性検討.....	4
4.1 解析条件.....	4
4.1.1 解析断面.....	4
4.1.2 地震力.....	4
4.1.3 地下水位.....	4
4.2 解析手法.....	4
4.2.1 支持力に対する検討.....	4
4.2.2 平面すべりに対する検討.....	5
4.2.3 沈下に対する検討.....	5
4.3 解析結果.....	6
4.3.1 支持力に対する解析結果.....	6
4.3.2 平面すべりに対する解析結果.....	6
4.3.3 沈下に対する解析結果.....	6

5. 動的FEM解析による安定性検討.....	8
5.1 解析条件.....	8
5.1.1 解析モデル.....	8
5.1.2 解析用物性値.....	11
5.1.3 地震力.....	16
5.1.4 地下水位.....	17
5.2 解析手法.....	17
5.2.1 解析手法.....	17
5.2.2 検討ケース.....	18
5.2.3 検討内容.....	18
5.3 解析結果.....	19
5.3.1 支持力に対する解析結果.....	19
5.3.2 すべりに対する解析結果.....	20
5.3.3 沈下に対する解析結果.....	22
6. まとめ.....	23
6.1 慣用法による安定性検討.....	23
6.1.1 支持力に対する安全性.....	23
6.1.2 平面すべりに対する安全性.....	23
6.1.3 沈下に対する安全性.....	23
6.2 動的FEM解析による安定性検討.....	24
6.2.1 支持力に対する安全性.....	24
6.2.2 すべりに対する安全性.....	24
6.2.3 沈下に対する安全性.....	24

## 1. 検討目的

申請者が実施した原子炉建屋基礎地盤の安定性検討について評価を行う。

## 2. 原子炉建屋基礎地盤の地質概要

ボーリング調査，試掘坑調査等の結果によれば，原子炉建屋基礎地盤は，図-1 に示すように易国間層の安山岩溶岩及び火山砕屑岩並びに大間層のシルト岩及び火山砕屑岩で構成され，敷地北側には大畑層の凝灰質礫岩が分布している。同じく，敷地北側の大間層にはデイサイトが貫入し，さらに深部には玄武岩が貫入している。

また，原子炉建屋基礎底面地盤は，易国間層上部層の淡灰色火山礫凝灰岩からなり，易国間層の全体的な地質構造と同じく南に緩く傾斜した構造となっている。この岩盤の分布状況は，図-1(1)の原子炉建屋基礎地盤の標高T. P. -14mにおける地質水平断面図に示すように建屋の範囲内に一様に分布している。

原子炉建屋基礎地盤の岩盤分類については，一部の安山岩溶岩(塊状)を除く易国間層及び大間層の岩盤が軟岩に属することから，岩種・岩相によるグルーピングを基本とした岩盤分類を行い，その分類に従った地盤のモデル化及び解析用物性値の設定を行っている。

岩盤分類図を図-2 に示す。

### 3. 解析概要

申請者は、原子炉建屋基礎地盤の安定性を検討するに当たって、原子炉建屋基礎底面の支持力、平面すべり及び建屋築造による沈下に対する安全性については慣用法により検討を行っている。また、原子炉建屋基礎地盤の支持力、すべり及び原子炉建屋基礎底面の沈下に対する安全性については、動的FEM解析を主体とした検討を行っている。

なお、原子炉建屋基礎地盤のすべりに対する安全性については、社団法人日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針」(JEAG4601-1987)に基づいて慣用法(Janbu法)及び静的FEM解析による検討も実施している。慣用法(Janbu法)及び静的FEM解析の結果を巻末に添付する。

原子炉建屋基礎地盤の安定性検討の流れを図-3に示す。

## 4. 慣用法による安定性検討

### 4.1 解析条件

#### 4.1.1 解析断面

解析で対象とする断面は、図-4 に示す炉心を通る南北方向断面である X-X' 断面と、これに直交し炉心を通る東西方向断面である Y-Y' 断面としている。

#### 4.1.2 地震力

水平方向の地震力については、原子炉建屋に地震層せん断力係数 3.0  $C_1$  に基づく地震力を、鉛直方向の地震力については、原子炉建屋に 0.24G を作用させている。作用方向は解析断面の水平方向及び鉛直 2 方向としている。

#### 4.1.3 地下水位

地下水位は、基礎スラブ上面に設定している。

### 4.2 解析手法

#### 4.2.1 支持力に対する検討

支持力に対する検討では、原子炉建屋を剛体とみなし、かつ建屋に作用する荷重を建屋基礎底面地盤のみで支持させるものとし、その基礎底面における接地圧分布より原子炉建屋基礎底面地盤（淡灰色火山礫凝灰岩）の常時及び地震時の支持力に対する安定性を検討している。

#### 4.2.2 平面すべりに対する検討

原子炉建屋基礎底面の平面すべりの検討では，原子炉建屋基礎底面の岩盤区分である淡灰色火山礫凝灰岩のブロックせん断試験結果による強度（ $\tau = 0.52 + \sigma \tan 35^\circ$ （N/mm<sup>2</sup>））を用いて，平面的なすべり安定性を検討している。

平面すべりの検討ケースを表-1 に示す。

#### 4.2.3 沈下に対する検討

沈下に対する検討では，図-5 に示すように，原子炉建屋及びタービン建屋築造による沈下量，並びに隣接して設置するタービン建屋及び廃棄物処理建屋によって原子炉建屋に生じる不同沈下に対する安全性を検討している。

沈下量は次式によって算定している。

$$S = \sigma_n \frac{1 - \nu^2}{E_c} \sum (B_I \times I_I) \quad (\text{mm})$$

ここで，

$\sigma_n$  : 接地圧 (N/mm<sup>2</sup>)

$\nu$  : ポアソン比

$E_c$  : クリープ係数による割増を考慮した変形係数 (N/mm<sup>2</sup>)

$$E_c = \frac{E}{1 + \alpha}$$

$\alpha$  : クリープ係数

$B_I$  : 接地面の短辺長 (mm)

$L_I$  : 接地面の長辺長 (mm)

$I_I$  : 影響係数 (沈下係数)

$$I_I = \frac{1}{\pi} \left\{ m \times \log_e \frac{1 + \sqrt{1 + m^2}}{m} + \log_e \left( m + \sqrt{1 + m^2} \right) \right\}$$

$$m = \frac{L_I}{B_I} \quad (\text{辺長比})$$

### 4.3 解析結果

#### 4.3.1 支持力に対する解析結果

原子炉建屋基礎底面における接地圧分布を表-2 に示す。

原子炉建屋の常時の接地圧は約  $0.6 \text{ N/mm}^2$  であり、地震時の最大接地圧は約  $1.6 \text{ N/mm}^2$  である。

また、原子炉建屋基礎地盤の支持力は、「岩石・岩盤物性」(意見聴取会資料「04-大間設C-28」) に基づき、原子炉建屋基礎底面の岩盤区分である淡灰色火山礫凝灰岩の支持力試験による上限降伏値が  $6.1 \text{ N/mm}^2$ 、極限支持力が  $13.1 \text{ N/mm}^2$  以上である。

#### 4.3.2 平面すべりに対する解析結果

原子炉建屋基礎底面の平面すべりの検討結果は表-3 に示すとおりであり、最小すべり安全率は 2.1 である。

#### 4.3.3 沈下に対する解析結果

慣用法による沈下検討結果を表-4 に示す。

原子炉建屋築造による沈下量は、原子炉建屋中心で約 2.3 c m である。また、隣接するタービン建屋及び廃棄物処理建屋の荷重の影響による沈下量を加えると、原子炉建屋中心で約 3.2 c m となる。

隣接して設置するタービン建屋及び廃棄物処理建屋によって原子炉建屋に生じる不同沈下量は最大約 0.8 c m、建屋の傾斜は最大約 1/7,300 となる。

## 5. 動的FEM解析による安定性検討

### 5.1 解析条件

#### 5.1.1 解析モデル

##### (1) 解析断面

解析で対象とする断面は、炉心を通る南北方向断面であるX-X'断面と、これに直交し炉心を通る東西方向断面であるY-Y'断面としている。

原子炉建屋周辺のレイアウト及び解析用断面位置を図-4に示す。

##### (2) 解析用モデルの設定

###### a. 解析用地盤モデル

解析用地盤モデルは、ボーリング調査、試掘坑調査等の結果を基に検討した、「敷地及び原子炉施設設置位置付近の地質・地質構造並びに岩盤分類」（意見聴取会資料「04-大間設C-13」）及び「岩石・岩盤物性」（意見聴取会資料「04-大間設C-28」）に基づき、作成している。

###### (a) 解析モデルの領域

解析モデルの幅については、原子炉建屋基礎幅（約60m）の5倍以上を十分に確保するようX-X'断面では炉心位置から左（南）へ300m、右（北）へ500mとしている。またY-Y'断面では炉心位置から左（西）へ300m、右（東）へ300mとしている。

解析モデルの深さについては、X-X'断面及びY-Y'断面と

もに、原子炉建屋基礎幅の 1.5 倍～2 倍を十分に確保するよう T. P. -300m までとしている。

(b) 岩盤分類及び速度層区分

岩盤分類及び速度層区分は、図-2 に示す岩盤分類図及び図-6 に示す速度層断面図に基づいている。

(c) 境界条件

動的 F E M 解析における境界条件は、モデル下端を粘性境界、側方をエネルギー伝達境界としている。動的 F E M 解析における境界条件を図-7 に示す。

なお、常時応力算定時における境界条件を、図-8 に示す。

(d) F E M 解析に用いる要素

F E M 解析に用いる要素は、原則として四角形要素を用いるが、岩盤区分を適切に表現するため、また大きさの異なる要素を接続するために、一部に三角形要素を用いている。

要素の最大高さは、鉛直方向に伝播するせん断波の周波数成分のうち、本検討において考慮すべき最大周波数を 20Hz とし、次式に基づき、速度層ごとに設定している。

$$\text{最大要素高さ (m)} = \frac{1}{5} \times \frac{\text{対象地盤のせん断波速度 } V_s \text{ (m/s)}}{20 \text{ (Hz)}}$$

要素分割に当たっては、原子炉建屋基礎地盤の安定性評価上重

要となる原子炉建屋近傍については、地形や地層、建屋の影響等を詳細に検討するために、要素の幅、高さを一般部より細かく設定している。

(e) 断層及びシーム

岩盤分類図に示した断層及びシームは、厚さを持たないジョイント要素によりモデル化している。

ジョイント要素に用いるばね定数  $k_s$ 、 $k_n$  については、試験によって得られたせん断弾性係数  $G$  並びに断層及びシームの厚さ  $t$  から求めている。

断層については、補足調査坑、トレンチ及びボーリングによって確認された最大幅を断層厚さとし、補足調査坑内から採取した断層内物質の試験結果を用いて物性値を設定している。

また、シームについては、補足調査坑、トレンチ及びボーリングによって確認された最大厚さをシーム厚さとし、補足調査坑内から採取したシームの試験結果を用いて物性値を設定している。

$$k_s = \frac{G}{t}$$
$$k_n = \frac{(1-\nu)E}{(1+\nu)(1-2\nu)t}$$

ここで、

$k_s$  : せん断ばね定数

$k_n$  : 垂直ばね定数

$t$  : 断層及びシームの厚さ

- G : せん断弾性係数  
E : 弾性係数 ( $E = 2(1 + \nu)G$ )  
 $\nu$  : ポアソン比

以上の方針に基づいて作成した解析用要素分割図を図-9 に示す。

#### b. 解析用建屋モデル

原子炉建屋及びタービン建屋のモデルは、それぞれについて設定された多質点系モデルから有限要素モデルに変換することにより作成している。図-10 に解析用建屋モデル作成の概略手順を示す。

### 5.1.2 解析用物性値

#### (1) 岩盤の物性

岩盤分類の結果、火山砕屑岩である細粒凝灰岩、粗粒凝灰岩、淡灰色火山礫凝灰岩、暗灰色火山礫凝灰岩、凝灰角礫岩、酸性凝灰岩、軽石凝灰岩、火山砕屑岩（クリンカー質部）及び火山砕屑岩（風化部）、堆積岩であるシルト岩、シルト岩（硬質部）及び堆積岩（風化部）並びに溶岩・貫入岩である安山岩溶岩（塊状・規則性節理部）、安山岩溶岩（塊状・不規則性節理部）、安山岩溶岩（角礫状）、デイサイト及び玄武岩（角礫状）に分類される。図-2 に岩盤分類図を示す。

安山岩溶岩（塊状・規則性節理部）及び安山岩溶岩（塊状・不規則性節理部）の強度・静的変形特性については、試験坑内で実施した岩盤試験結果から解析用物性値を設定している。

また、原子炉建屋基礎底面地盤である淡灰色火山礫凝灰岩並びに細粒凝灰岩、粗粒凝灰岩、暗灰色火山礫凝灰岩、凝灰角礫岩、酸性凝灰岩、軽石凝灰岩、火山砕屑岩（クリンカー質部）、シルト岩、シルト岩（硬質部）、安山岩溶岩（角礫状）及び玄武岩（角礫状）の12種類の強度・静的変形特性については、節理の少ない軟岩であるため、三軸圧縮試験等の岩石試験結果から解析用物性値を設定している。

さらに、デイサイトの強度・静的変形特性については、節理の発達した硬岩であるが、試掘坑内等に分布しないため、安山岩溶岩（塊状・不規則性節理部）の値を用いている。

解析用物性値設定の考え方を表-5(1)に示す。

a. 物理特性

物理特性は、岩石試験により得られた密度を用いている。

b. 強度特性

強度特性については以下のとおり設定している。

(a) 安山岩溶岩（塊状・規則性節理部）及び安山岩溶岩（塊状・不規則性節理部）

強度特性は、試験坑内で実施したブロックせん断試験の結果を用いている。なお、安山岩溶岩（塊状・規則性節理部）の残留強度は、安山岩溶岩（塊状・不規則性節理部）の値を用いている。

- (b) 細粒凝灰岩，粗粒凝灰岩，淡灰色火山礫凝灰岩，暗灰色火山礫凝灰岩，凝灰角礫岩，酸性凝灰岩，軽石凝灰岩，火山碎屑岩（クリンカー質部），シルト岩，シルト岩（硬質部），安山岩溶岩（角礫状）及び玄武岩（角礫状）

強度特性は，三軸圧縮試験等の岩石試験結果を用いている。

- (c) デイサイト

強度特性は，安山岩溶岩（塊状・不規則性節理部）のブロックせん断試験結果を用いている。

- c. 動的変形特性

動的変形特性は，P S 検層の結果に基づく速度層断面図を作成し，各速度層の岩盤区分毎に解析用物性値を設定している。

速度層断面図を図-6 に示す。

なお，減衰定数は，岩盤の慣用値として一般的に設定される値を用いている。

- d. 静的変形特性

静的変形特性については以下のとおり設定している。

なお，静ポアソン比については，一軸圧縮試験及び三軸圧縮試験の結果を用いている。

- (a) 安山岩溶岩（塊状・規則性節理部）及び安山岩溶岩（塊状・不規則性節理部）

静的変形特性は、試験坑内で実施した岩盤変形試験の結果を用いている。

- (b) 細粒凝灰岩，粗粒凝灰岩，淡灰色火山礫凝灰岩，暗灰色火山礫凝灰岩，凝灰角礫岩，酸性凝灰岩，軽石凝灰岩，火山碎屑岩（クリンカー質部），シルト岩，シルト岩（硬質部），安山岩溶岩（角礫状）及び玄武岩（角礫状）

静的変形特性は、三軸圧縮試験の結果を用いている。

- (c) デイサイト

静的変形特性は、安山岩溶岩（塊状・不規則性節理部）の岩盤変形試験結果を用いている。

- (2) 火山碎屑岩（風化部），堆積岩（風化部），表土及び埋戻・盛土材の物性

火山碎屑岩（風化部），堆積岩（風化部），表土及び埋戻・盛土材の強度・変形特性については、三軸圧縮試験結果等から解析用物性値を設定している。

解析用物性値設定の考え方を表-5(2)に示す。

a. 物理特性

物理特性は、密度試験の結果を用いている。

b. 強度特性

強度特性は、三軸圧縮試験の結果を用いている。

c. 動的変形特性

動的変形特性は、動的三軸試験の結果を用いている。

なお、堆積岩（風化部）の動ポアソン比は、P S 検層の結果を用いている。また、火山砕屑岩（風化部）、表土及び埋戻・盛土材の動ポアソン比は、慣用値を用いている。

d. 静的変形特性

静的変形特性は、三軸圧縮試験の結果を用いている。

なお、埋戻・盛土材の静ポアソン比は、表土の値を用いている。

(3) 断層内物質及びシームの物性

断層内物質及びシームの強度・変形特性については、単純せん断試験結果等から解析用物性値を設定している。

解析用物性値設定の考え方を表-5(2)に示す。

a. 物理特性

物理特性は、密度試験の結果を用いている。

b. 強度特性

強度特性は，静的単純せん断試験の結果を用いている。

c. 動的変形特性

動的変形特性は，動的単純せん断試験の結果を用いている。

なお，動ポアソン比は，慣用値を用いている。

d. 静的変形特性

静的変形特性は，静的単純せん断試験の結果を用いている。

なお，静ポアソン比は，表土の値を用いている。

(4) 解析用物性値

原子炉建屋基礎地盤の安定性の評価において使用する解析用物性値を表-6 に示す。

5.1.3 地震力

水平地震動は基準地震動  $S_s$  (水平方向) を，鉛直地震動は基準地震動  $S_s$  (鉛直方向) を炉心位置において，一次元応答解析により入力基盤面 (T. P. -300m) まで引戻した地震波を入力している。基準地震動  $S_s$  は， $S_s$ -1 及び  $S_s$ -2 の 2 種類とし，図-11 に基準地震動  $S_s$  の加速度時刻歴を，図-12 に入力地震動設定の考え方を示す。

#### 5.1.4 地下水位

解析用の地下水位は、図-13 に示すとおり地表面及び基礎スラブ上面に設定している。

### 5.2 解析手法

申請者は、原子炉建屋基礎地盤の安定性検討の動的解析手法を以下のとおりとしている。

#### 5.2.1 解析手法

動的FEM解析は、等価線形化法により動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を考慮した周波数応答解析手法を用いている。等価線形解析においては、動的鉛直動を考慮し、初期の動せん断弾性係数及び動ポアソン比からあらかじめ体積弾性係数を求めておき、動せん断弾性係数が変動しても体積弾性係数は初期値一定として解析を実施している。地震時応力は、基準地震動 $S_g$ を用いて動的FEM解析により求める動的応力と、静的FEM解析により求める常時応力とを重ね合わせるにより求めている。動的応力は、水平地震動による応答解析及び鉛直地震動による応答解析結果を同時刻で重ね合わせるにより求めている。

なお、常時応力は、地盤の自重計算により求まる初期応力に、建屋基礎掘削に伴う解放力と、建屋及び盛土荷重とを考慮して求めている。

動的FEM解析による安定性検討の流れを図-14 に示す。

## 5.2.2 検討ケース

検討ケースを表-7に示す。

## 5.2.3 検討内容

### (1) 支持力に対する検討

原子炉建屋の接地圧が最大となる時刻の主応力分布，要素ごとの安全率及びモビライズド面による応力状態を考慮して原子炉建屋基礎地盤の支持力について検討している。要素ごとの安全率は下式で求めている。

$$f_s = \frac{2c \cos \phi + (\sigma_1 + \sigma_3) \sin \phi}{\sigma_1 - \sigma_3}$$

ここで，

$f_s$  : 要素ごとの安全率

$c, \phi$  : 強度定数

$\sigma_1, \sigma_3$  : 主応力 (圧縮を正)

### (2) すべりに対する検討

#### a. 主応力分布及び要素ごとの安全率

b. で求める最小すべり安全率を示す時刻における原子炉建屋基礎地盤の主応力分布及び要素ごとの安全率について検討している。

#### b. すべり安全率

すべり安全率は，原子炉建屋基礎底面沿いの想定すべり線，断層

及びシームを通る想定すべり線並びに応力状態を考慮した想定すべり線について検討するとともに、すべり安全率が最小となる時刻における主応力分布と要素ごとの安全率とについて検討している。

なお、引張応力が発生した要素については、引張面の方向がすべり線方向と±20度以内の角度で交差する場合はその要素の強度定数を0とし、それ以外の場合は残留強度を用いている。

また、せん断強度に達した要素では残留強度を用いている。

### (3) 沈下に対する検討

原子炉建屋基礎両端の相対変位について検討している。

## 5.3 解析結果

### 5.3.1 支持力に対する解析結果

#### (1) X-X'断面

動的FEM解析結果の原子炉建屋の接地圧が最大を示すS<sub>s</sub>-2波入力の時刻T=4.45秒における主応力図、要素ごとの安全率及びモビライズド面を参考図表集の図-1～図-3に示す。

原子炉建屋基礎岩盤については、引張応力が発生した要素及びせん断強度に達した要素はない。

シームについては、原子炉建屋基礎掘削面に接する部分に引張応力が発生した要素があるが、これは常時応力解析により生じたものである。なお、せん断強度に達した要素はない。

また、原子炉建屋基礎地盤について、要素ごとのモビライズド面が連続するようなすべり線は存在しない。

## (2) Y-Y' 断面

動的 FEM 解析結果の原子炉建屋の接地圧が最大を示す  $S_s$ -2 波入力の時刻  $T=4.45$  秒における主応力図、要素ごとの安全率及びモビライズド面を参考図表集の図-4～図-6 に示す。

原子炉建屋基礎岩盤については、引張応力が発生した要素及びせん断強度に達した要素はない。

シームについては、引張応力が発生した要素及びせん断強度に達した要素はない。

また、原子炉建屋基礎地盤について、要素ごとのモビライズド面が連続するようなすべり線は存在しない。

## 5.3.2 すべりに対する解析結果

### (1) X-X' 断面

#### a. 主応力分布及び要素ごとの安全率

動的 FEM 解析結果の最小すべり安全率を示す  $S_s$ -1 波入力の時刻  $T=23.80$  秒における水平方向加速度分布図、鉛直方向加速度分布図、主応力図及び要素ごとの安全率を参考図表集の図-7～図-10 に示す。

原子炉建屋基礎岩盤については、引張応力が発生した要素及びせん断強度に達した要素はない。

シームについては、原子炉建屋基礎掘削面に接する部分に引張応力が発生した要素があるが、これは常時応力解析により生じたものである。なお、せん断強度に達した要素はない。

断層については、引張応力が発生した要素及びせん断強度に達した要素はない。

#### b. すべり安全率

動的FEM解析により得られた最小すべり安全率及びすべり安全率の時刻歴を表-8(1)及び表-9に示す。

最小すべり安全率は、 $S_s-1$ 波入力の時刻 $T=23.80$ 秒において生じ、3.4である。

### (2) Y-Y'断面

#### a. 主応力分布及び要素ごとの安全率

動的FEM解析結果の最小すべり安全率を示す $S_s-1$ 波入力の時刻 $T=16.69$ 秒における水平方向加速度分布図、鉛直方向加速度分布図、主応力図及び要素ごとの安全率を参考図表集の図-11～図-14に示す。

原子炉建屋基礎岩盤については、引張応力が発生した要素及びせん断強度に達した要素はない。

シームについては、引張応力が発生した要素及びせん断強度に達した要素はない。

b. すべり安全率

動的 F E M 解析により得られた最小すべり安全率及びすべり安全率の時刻歴を表-8(2)及び表-10 に示す。

最小すべり安全率は、 $S_g-1$  波入力 of 時刻  $T=16.69$  秒において生じ、4.3 である。

5.3.3 沈下に対する解析結果

(1) X - X' 断面

原子炉建屋基礎両端の相対変位量の時刻歴を表-11 に示す。

地震時の原子炉建屋基礎両端における鉛直方向の相対変位量は、 $S_g-1$  波入力 of 時刻  $T=46.95$  秒において最大となり 0.48 c m で、その時の原子炉建屋基礎の傾斜は約 1/13,000 である。

(2) Y - Y' 断面

原子炉建屋基礎両端の相対変位量の時刻歴を表-12 に示す。

地震時の原子炉建屋基礎両端における鉛直方向の相対変位量は、 $S_g-1$  波入力 of 時刻  $T=23.98$  秒において最大となり 0.33 c m で、その時の原子炉建屋基礎の傾斜は約 1/17,000 である。

## 6. まとめ

申請者は、原子炉建屋基礎地盤の安定性検討結果を要約し、以下のとおりとしている。

### 6.1 慣用法による安定性検討

#### 6.1.1 支持力に対する安全性

(1) 原子炉建屋基礎底面地盤は、原子炉建屋の常時の接地圧約  $0.6 \text{ N/mm}^2$  に対して淡灰色火山礫凝灰岩の支持力試験による上限降伏値が  $6.1 \text{ N/mm}^2$  と大きく上回ることから、十分な長期の支持力を有している。

(2) 原子炉建屋基礎底面地盤は、原子炉建屋の地震時の最大接地圧約  $1.6 \text{ N/mm}^2$  に対して淡灰色火山礫凝灰岩の支持力試験による極限支持力が  $13.1 \text{ N/mm}^2$  以上と大きく上回ることから、十分な地震時の支持力を有している。

#### 6.1.2 平面すべりに対する安全性

慣用法による原子炉建屋基礎底面の地震時のすべり安全率は 2.1 以上であり、すべりに対して十分な安全性を有している。

#### 6.1.3 沈下に対する安全性

慣用法による原子炉建屋の沈下量は、隣接して設置するタービン建屋及び廃棄物処理建屋の荷重を考慮すると、原子炉建屋中心で約 3.2

cmである。また、原子炉建屋に生じる不同沈下量は最大約 0.8 cm、建屋の傾斜は最大約 1/7,300 であり、問題となる不同沈下が生じることはない。

## 6.2 動的FEM解析による安定性検討

### 6.2.1 支持力に対する安全性

動的FEM解析結果による原子炉建屋基礎地盤の地震時における応力状態からみて支持力が問題となるものではない。

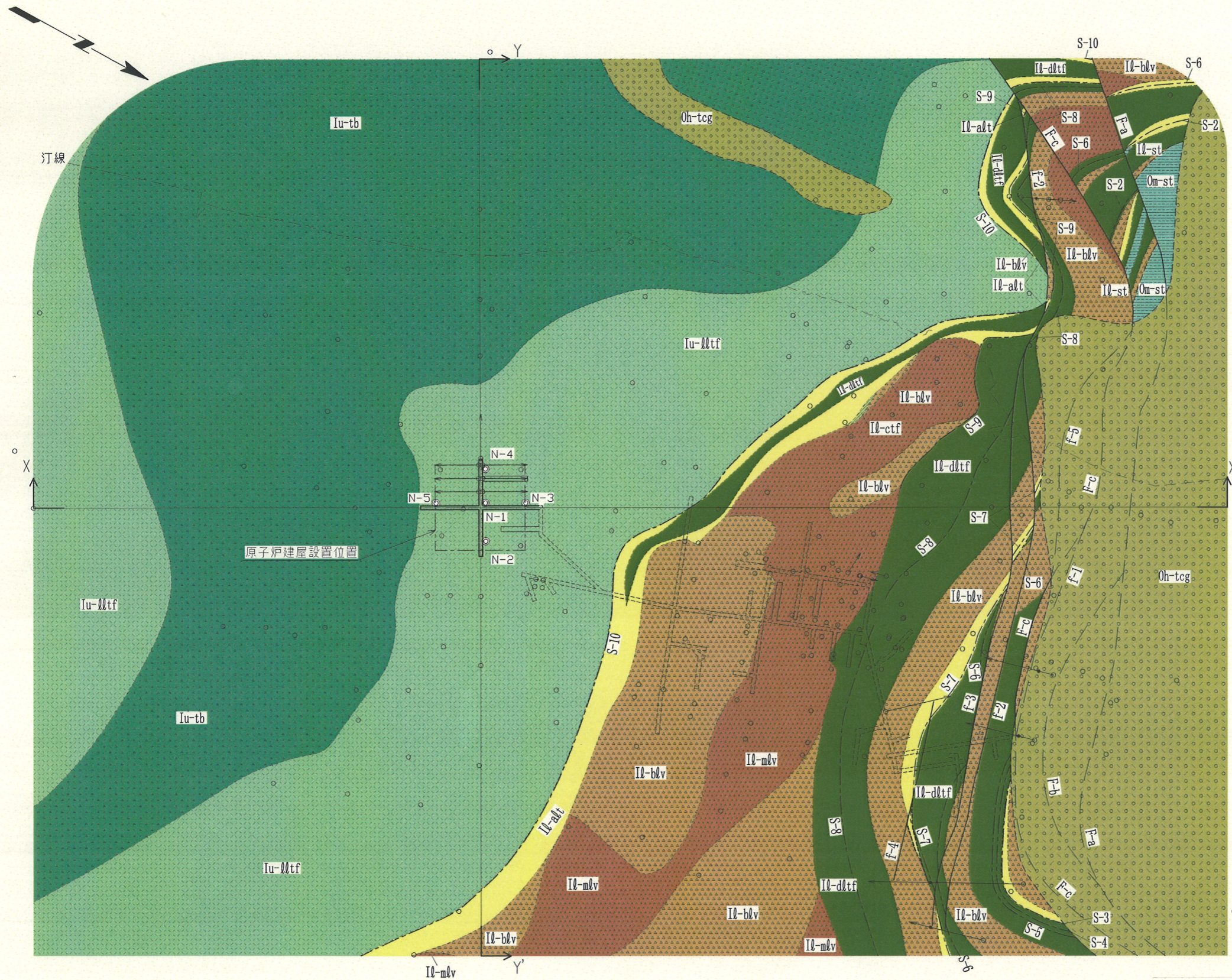
### 6.2.2 すべりに対する安全性

動的FEM解析結果による原子炉建屋基礎地盤の地震時のすべり安全率は3.4以上であり、すべりに対して十分な安全性を有している。

### 6.2.3 沈下に対する安全性

動的FEM解析結果による地震時の原子炉建屋基礎の傾斜は約1/13,000以下であり、問題となる不同沈下が生じることはない。

以上の結果より、申請者が実施した原子炉建屋基礎地盤の安定性検討は適切であると評価する。



凡例

大層層	Oh-tcg	凝灰質礫岩
上部層	Iu-lltf	淡灰色火山礫凝灰岩
	Iu-tb	凝灰角礫岩
易国層層	Iu-ctf	粗粒凝灰岩
	Iu-dltf	暗灰色火山礫凝灰岩
	Iu-blv	安山岩溶岩 (角礫状)
	Iu-mlv	安山岩溶岩 (塊状)
	Iu-st	シルト岩
	Iu-alt	細粒凝灰岩・粗粒凝灰岩・ 暗灰色火山礫凝灰岩互層 粗粒凝灰岩・暗灰色火山礫 凝灰岩・シルト岩互層
大層層	Om-st	シルト岩
	---	地層境界
	---	地質境界
	f-2	断 (破線は伏在部)
	S-3	シーム
	□	試掘坑
	□	試験坑
	□	補足調査坑
	●	炉心ボーリング
	○	鉛直ボーリング
	○	水平・斜めボーリング (*は T.P.-14m における ボーリング孔位置)
	X-X'	断面図位置

図-1(1) 地質水平断面図 (T.P. -14m)

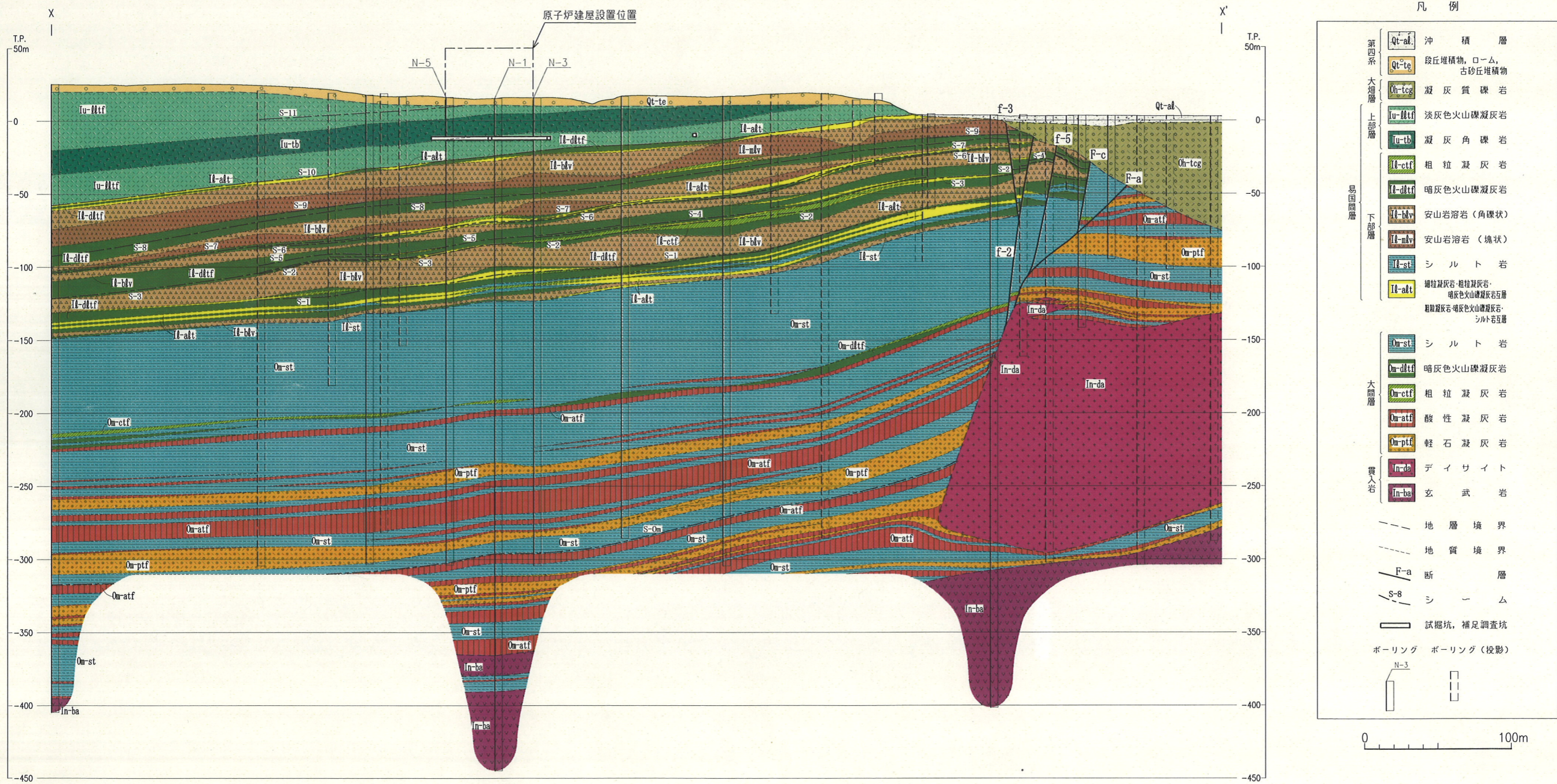


図-1(2) 地質鉛直断面図 (X-X' 断面)

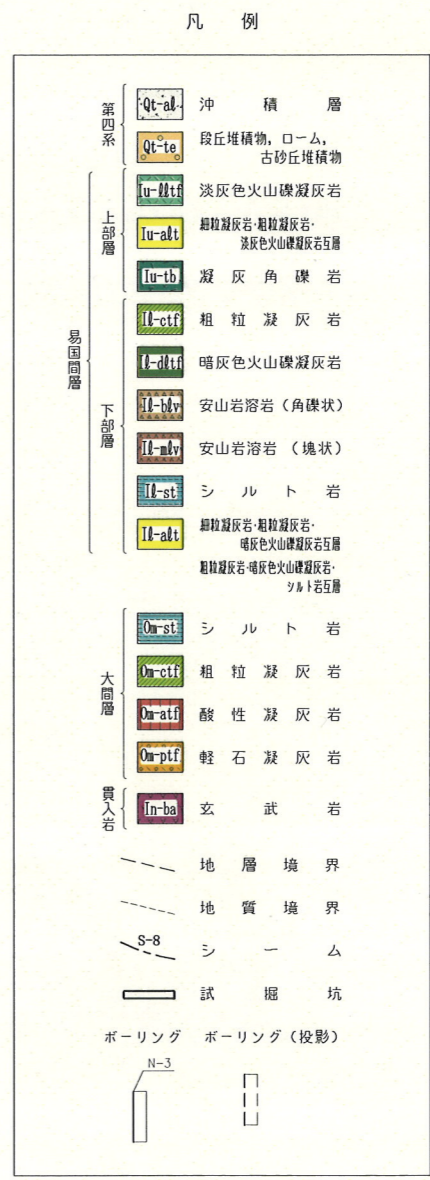
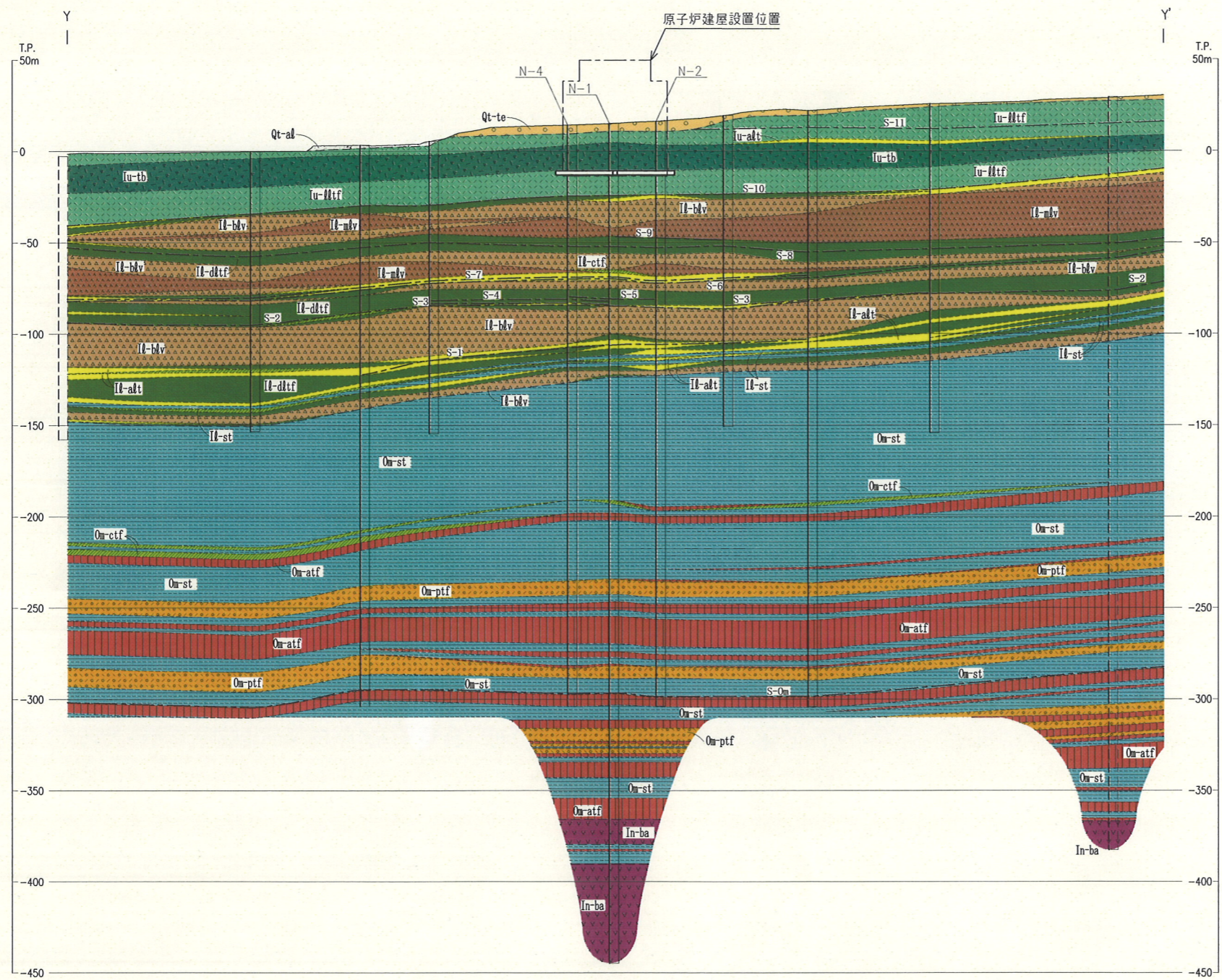


図-1(3) 地質鉛直断面図 (Y-Y' 断面)

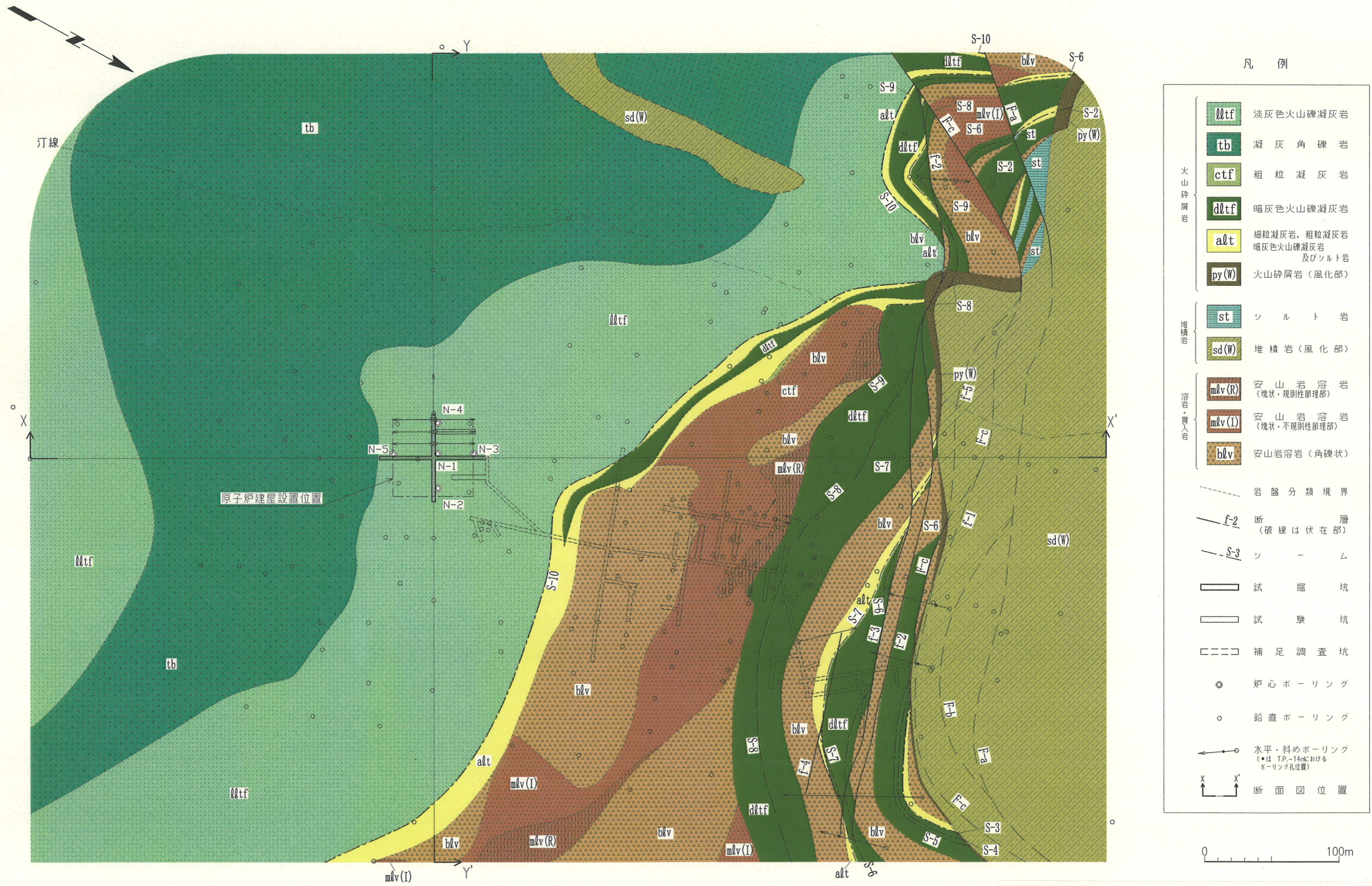
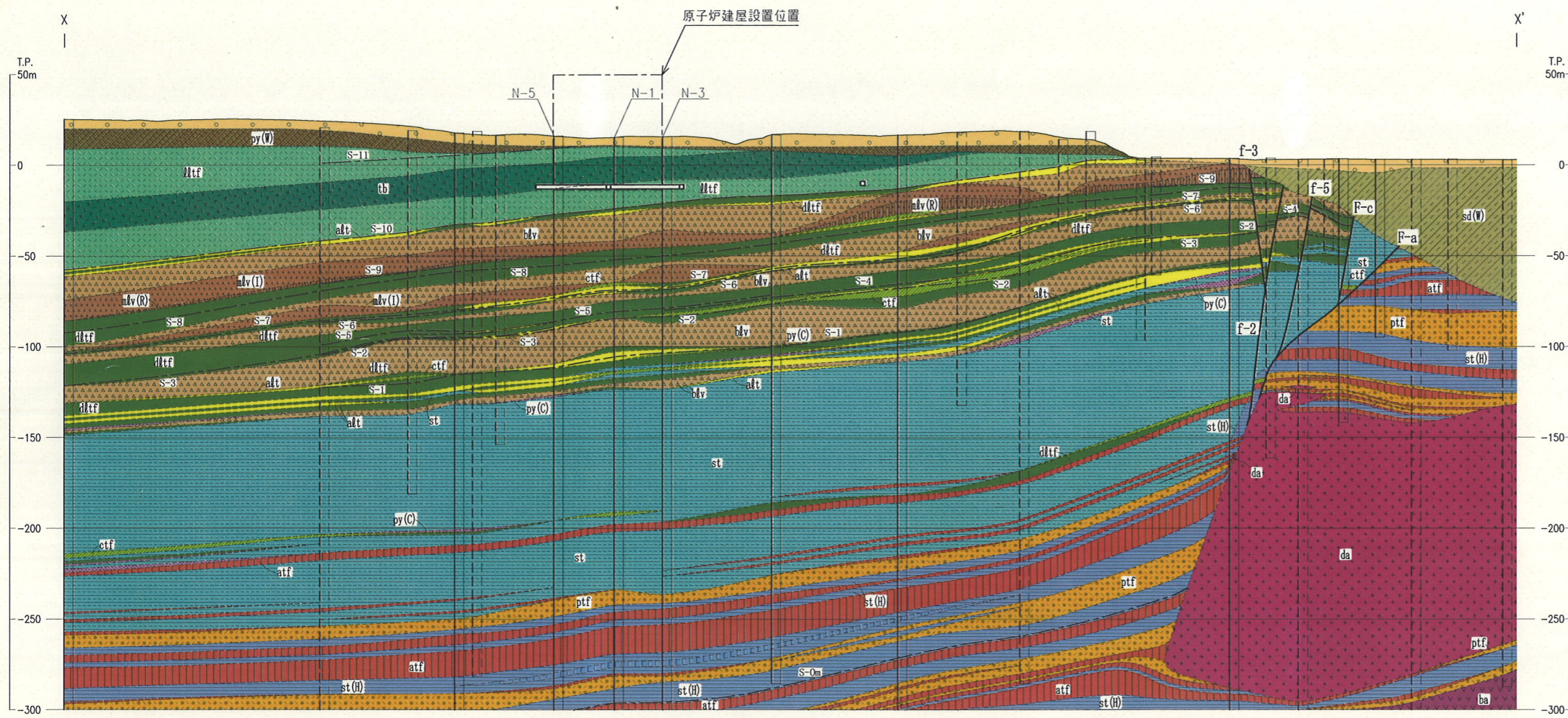


図-2(1) 岩盤分類図 (T. P. -14m)



凡例

- 第四系
- py(V) 火山砕屑岩(風化部)
- dtf 淡灰色火山礫凝灰岩
- tb 凝灰角礫岩
- ctf 粗粒凝灰岩
- dtf 暗灰色火山礫凝灰岩
- alt 細粒凝灰岩, 粗粒凝灰岩, 暗灰色火山礫凝灰岩, 及びシルト岩
- atf 酸性凝灰岩
- ptf 軽石凝灰岩
- py(C) 火山砕屑岩(クランカー質部)
- sd(W) 堆積岩(風化部)
- st シルト岩
- st(H) シルト岩(硬質部)
- lv(R) 安山岩溶岩(塊状・規則性節理部)
- lv(I) 安山岩溶岩(塊状・不規則性節理部)
- blv 安山岩溶岩(角礫状)
- da デイサイト
- ba 玄武岩(角礫状)
- 岩盤分類境界
- F-a 断層
- S-8 シーム
- 試掘坑, 補足調査坑
- ボーリング ボーリング(投影)

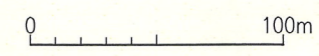
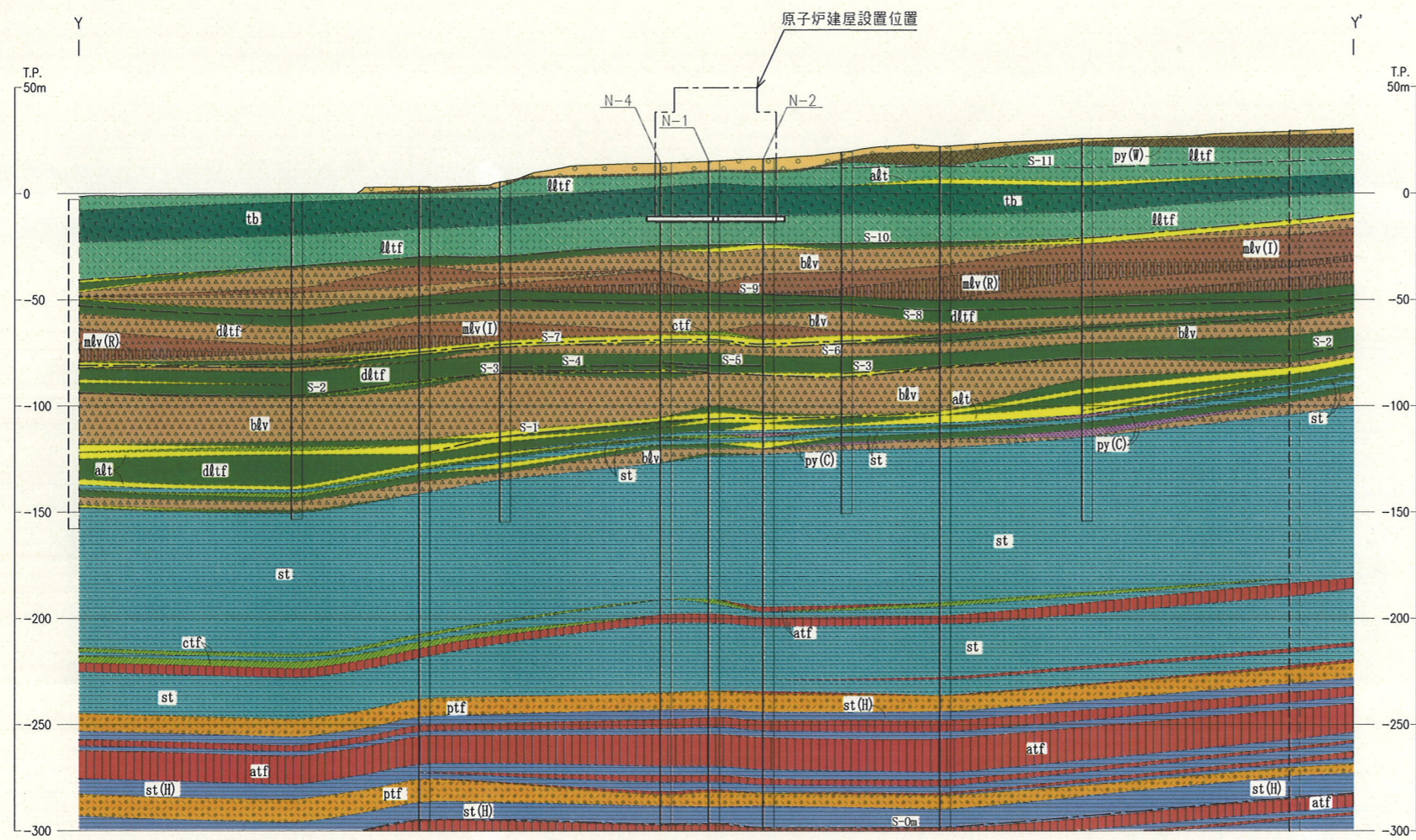


図-2(2) 岩盤分類図 (X-X' 断面)



凡例

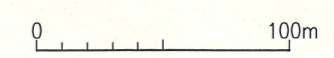
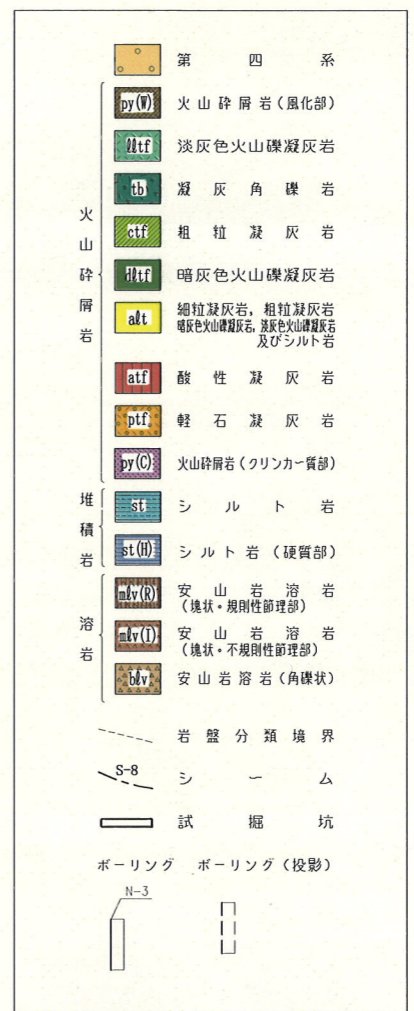


図-2(3) 岩盤分類図 (Y-Y' 断面)

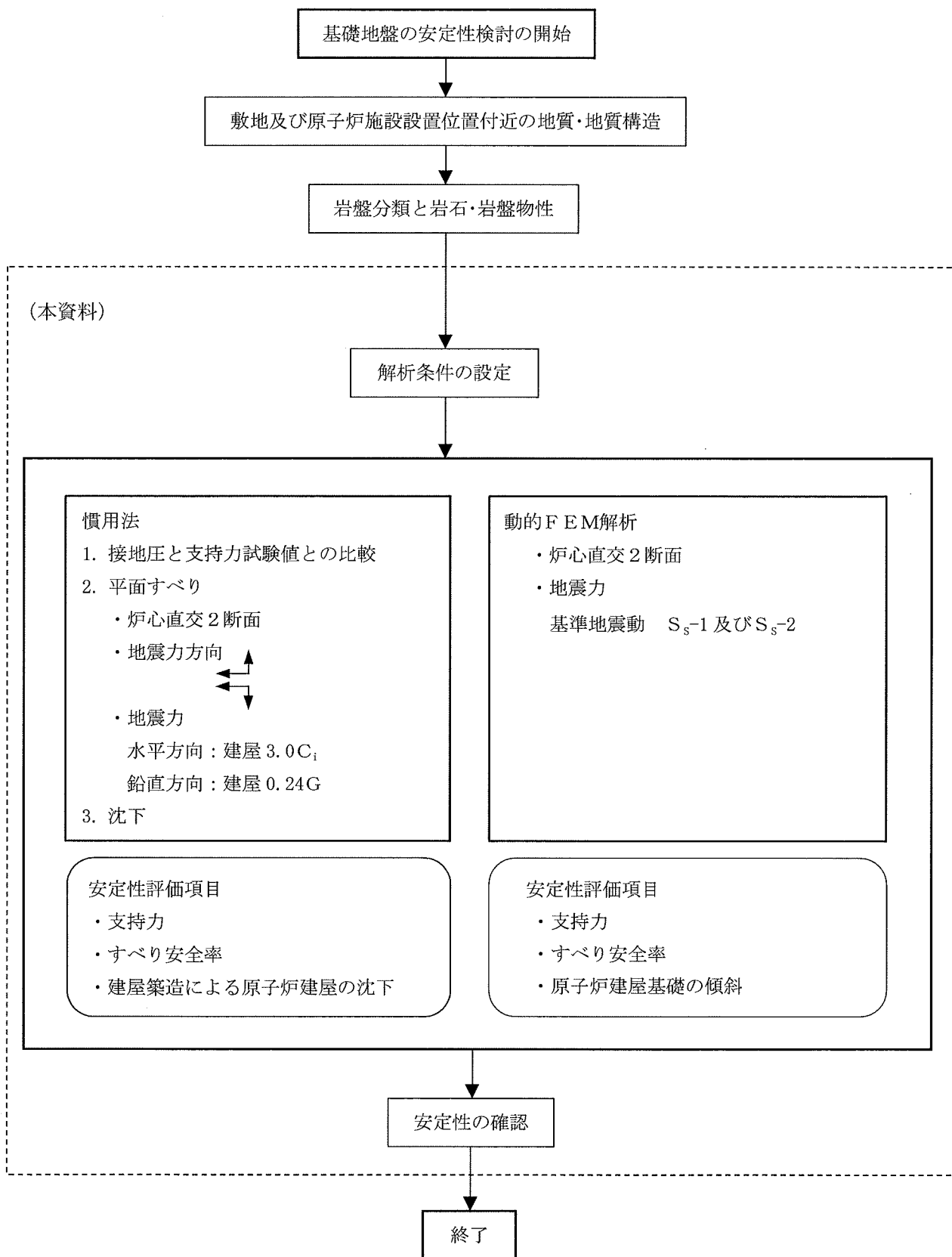


図-3 原子炉建屋基礎地盤の安定性検討フロー

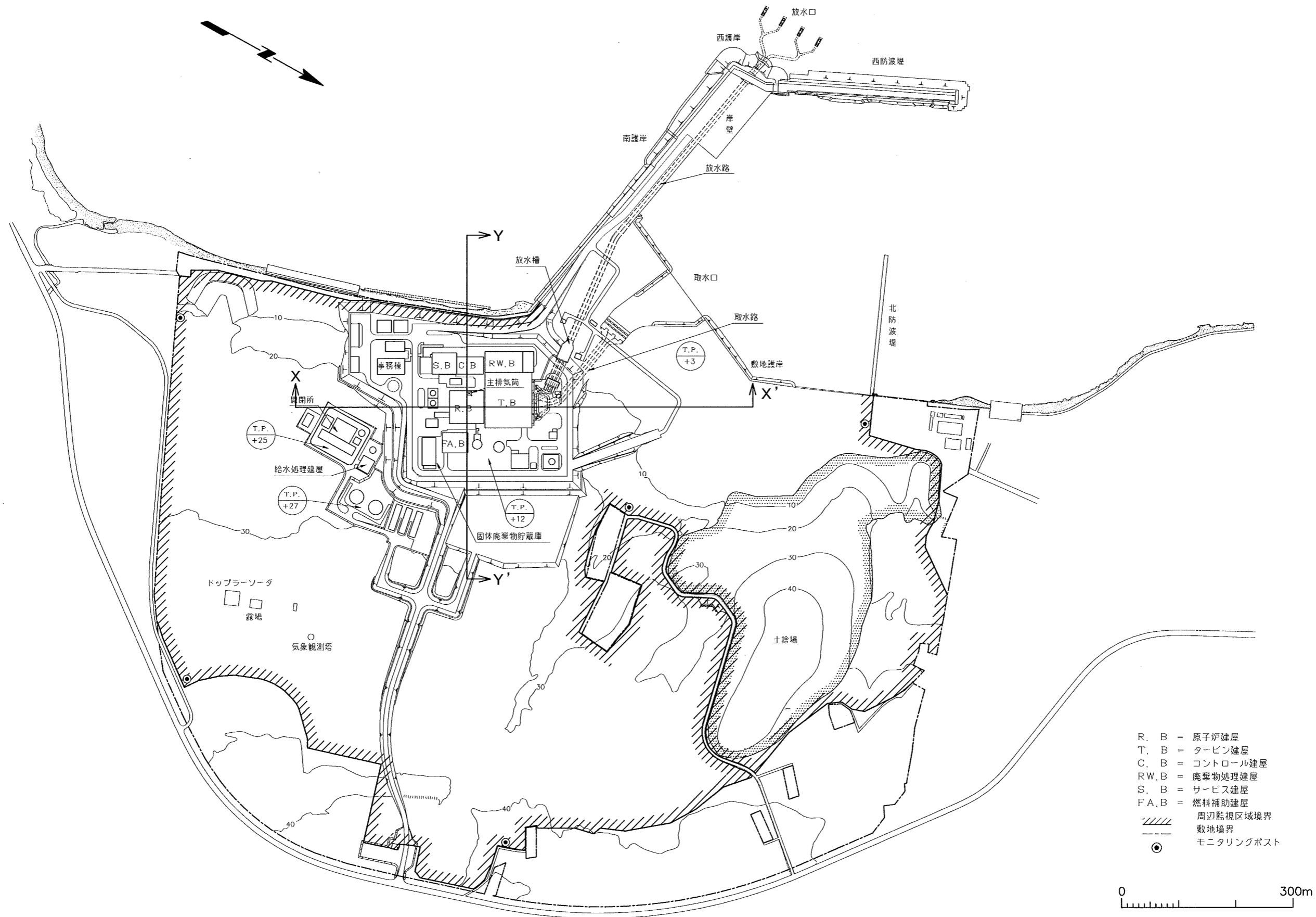
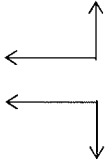
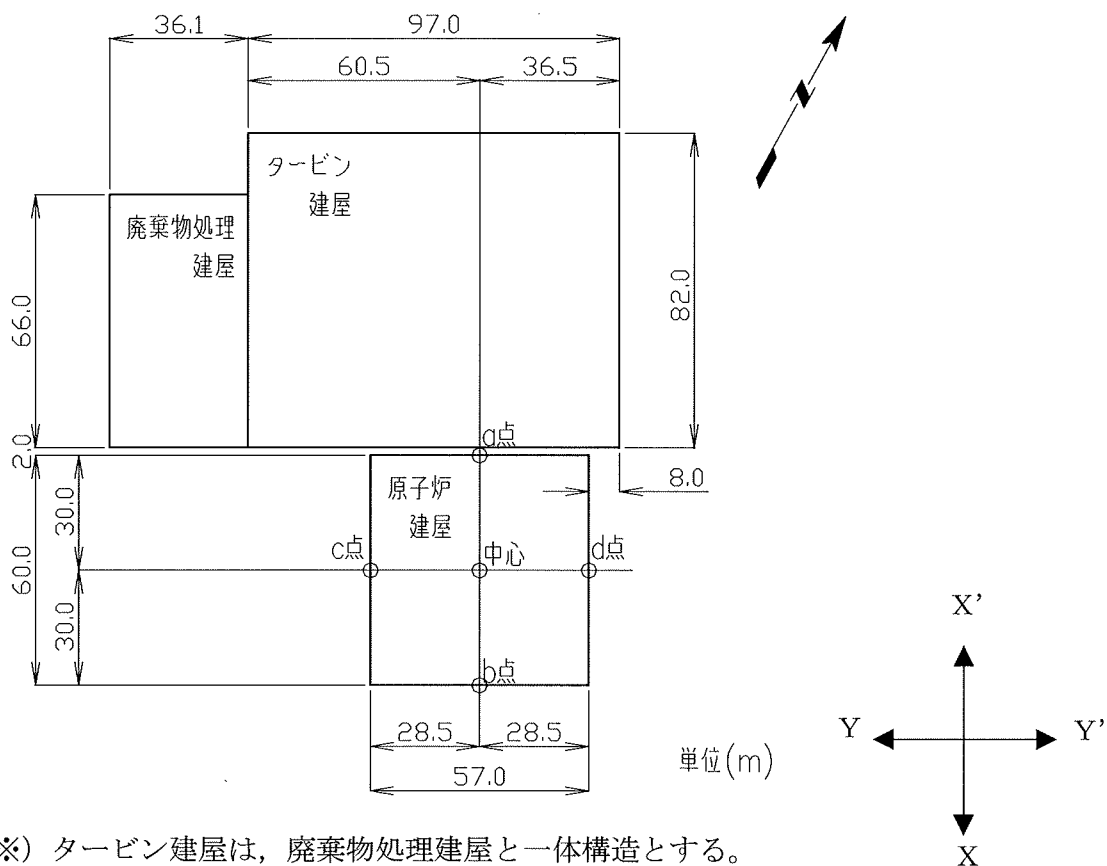


図-4 解析断面位置図

表-1 慣用法検討ケース

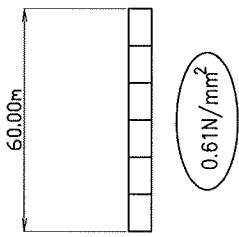
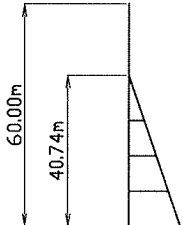
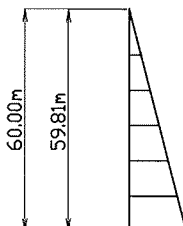
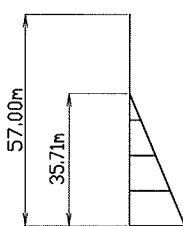
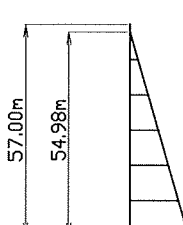
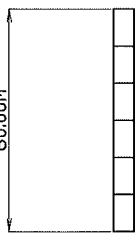
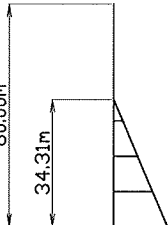
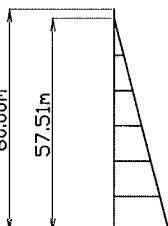
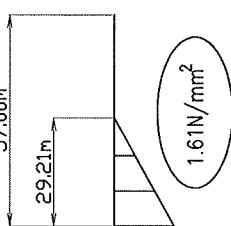
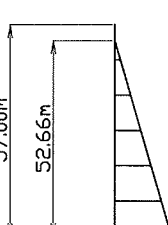
解析手法	解析断面	地震力方向
慣用法 (平面すべり)	X-X' 断面	
	Y-Y' 断面	



淡灰色火山礫凝灰岩の解析用物性値		設定の考え方
弾性係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	1.62 × 10 <sup>3</sup>	岩盤変形試験による割線弾性係数
ポアソン比 ν	0.44	一軸圧縮試験及び三軸圧縮試験
クリープ係数 α	0.14	三軸クリープ試験

図-5 原子炉建屋の沈下に対する検討位置及び物性値

表-2 支持力に対する検討結果

水平地震力方向 鉛直地震力方向	地震時														
	X-X'						Y-Y'								
	↑			↓			↑			↓					
鉛直力・有効鉛直力 <sup>1)</sup> (N)	鉛直力	有効鉛直力	鉛直力	有効鉛直力	鉛直力	有効鉛直力	鉛直力	有効鉛直力	鉛直力	有効鉛直力	鉛直力	有効鉛直力			
	建物荷重	$210.23 \times 10^7$	$191.78 \times 10^7$	$159.77 \times 10^7$	$141.33 \times 10^7$	$260.69 \times 10^7$	$242.24 \times 10^7$	$159.77 \times 10^7$	$141.33 \times 10^7$	$260.69 \times 10^7$	$242.24 \times 10^7$	$159.77 \times 10^7$	$141.33 \times 10^7$	$260.69 \times 10^7$	$242.24 \times 10^7$
転倒モーメント <sup>2)</sup> (N・m)	—						—								
水平力 <sup>2)</sup> (N)	—						—								
浮力を考慮 しない場合	 60.00m 0.61N/mm <sup>2</sup>			 60.00m 40.74m 1.38N/mm <sup>2</sup>			 60.00m 59.81m 1.53N/mm <sup>2</sup>			 57.00m 35.71m 1.49N/mm <sup>2</sup>			 57.00m 54.98m 1.58N/mm <sup>2</sup>		
	浮力を考慮 した場合	 60.00m 0.56N/mm <sup>2</sup>			 60.00m 34.31m 1.45N/mm <sup>2</sup>			 60.00m 57.51m 1.48N/mm <sup>2</sup>			 57.00m 29.21m 1.61N/mm <sup>2</sup>			 57.00m 52.66m 1.53N/mm <sup>2</sup>	
2, 623.3 × 10 <sup>7</sup>						2, 651.9 × 10 <sup>7</sup>									
89.56 × 10 <sup>7</sup>						89.56 × 10 <sup>7</sup>									

注1) 有効鉛直力では浮力を考慮 注2) 3C<sub>i</sub>による 注3) ○は常時, 地震時それぞれの最大値を示す

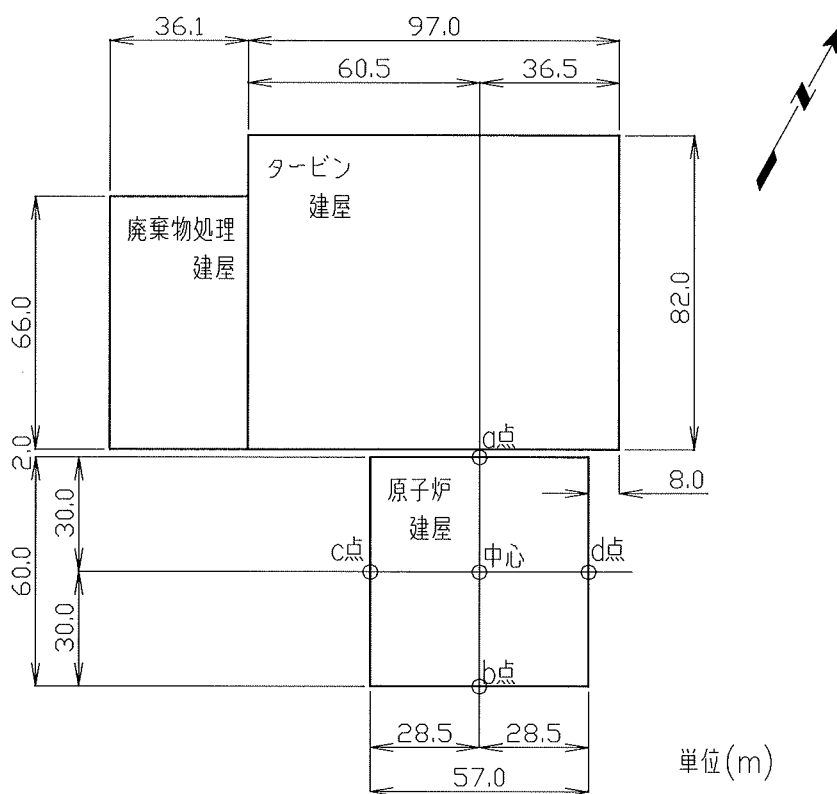
表-3 すべり安全率 原子炉建屋基礎底面の平面すべり

水平地震力方向	鉛直地震力方向	抵抗力(N)	せん断力(N)	すべり安全率
X-X'	↑	$200.7 \times 10^7$	$89.56 \times 10^7$	2.2
	↓	$340.1 \times 10^7$	$89.56 \times 10^7$	3.7
Y-Y'	↑	$190.1 \times 10^7$	$89.56 \times 10^7$	2.1
	↓	$333.9 \times 10^7$	$89.56 \times 10^7$	3.7

表-4 原子炉建屋の沈下に対する検討結果

		沈下量算定位置				
		中心	a点	b点	c点	d点
原子炉建屋荷重による沈下量 (cm)		2.31	1.57	1.57	1.58	1.58
タービン建屋荷重による沈下	沈下量 (cm)	0.85	1.43	0.61	0.88	0.75
	不同沈下量 (cm)	—	0.82		0.13	
	傾斜	—	1/7,300		1/44,000	
原子炉建屋及びタービン建屋荷重による沈下量 (cm)		3.16	3.00	2.18	2.46	2.33

※)タービン建屋は、廃棄物処理建屋と一体構造とする。



原子炉建屋の沈下に対する検討位置図

速度層区分	P波速度 V <sub>p</sub> (km/s)	S波速度 V <sub>s</sub> (km/s)	動ポアソン比 ν <sub>d</sub>
①	0.84	0.36	0.45
②	1.91	0.83	0.38
③	2.63	1.12	0.39
④	1.81	0.64	0.43
⑤	2.08	0.90	0.38
北①	1.86	0.57	0.45
北②	1.69	0.49	0.45
北③	1.86	0.67	0.43
北④	3.77	1.63	0.39

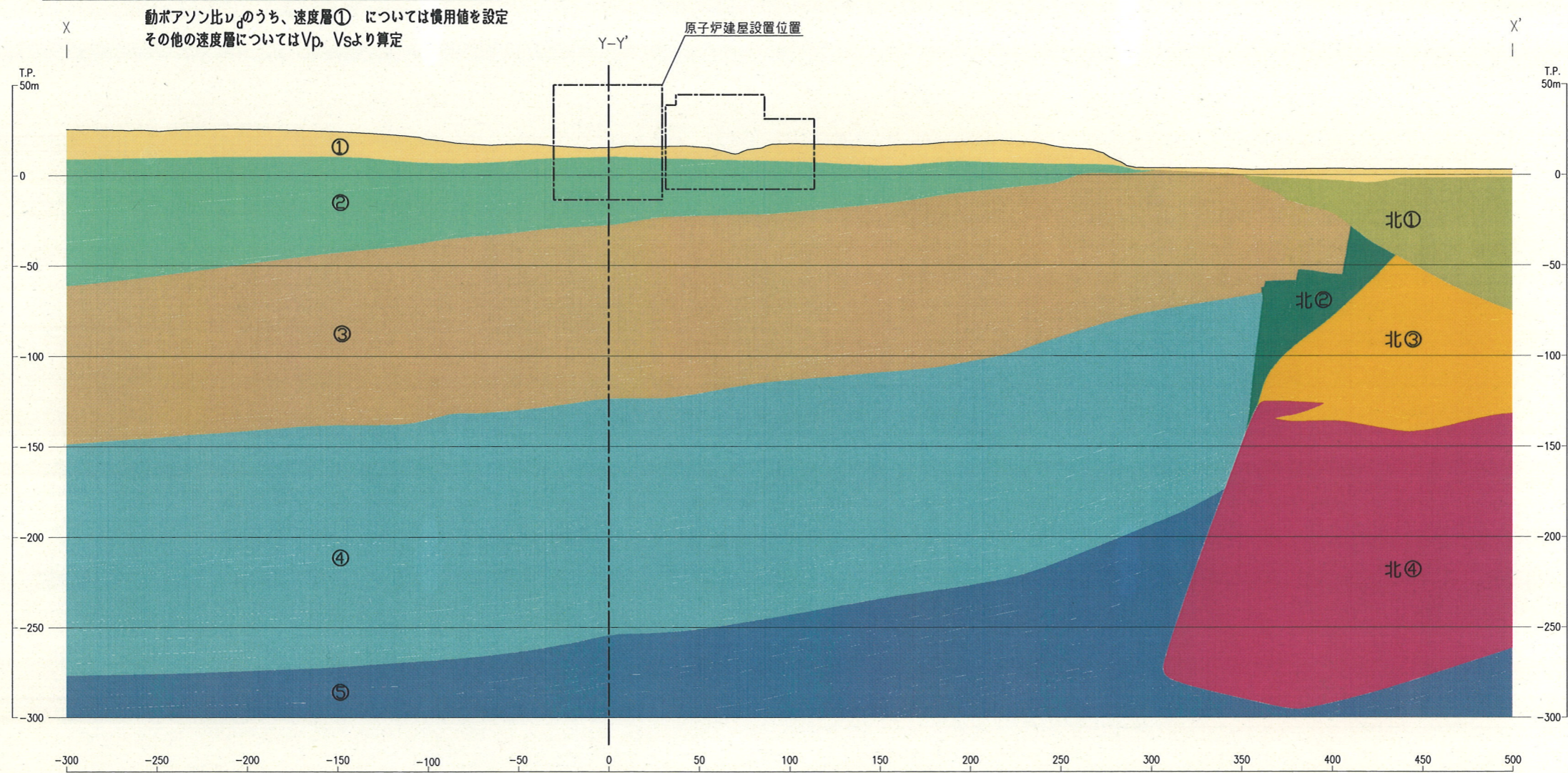


図-6(1) PS検層による速度層断面図 (X-X'断面)

速度層区分	P波速度 V <sub>p</sub> (km/s)	S波速度 V <sub>s</sub> (km/s)	動ポアソン比 ν <sub>d</sub>
①	0.84	0.36	0.45
②	1.91	0.83	0.38
③	2.63	1.12	0.39
④	1.81	0.64	0.43
⑤	2.08	0.90	0.38

動ポアソン比ν<sub>d</sub>のうち、速度層①については慣用値を設定  
その他の速度層についてはV<sub>p</sub>、V<sub>s</sub>より算定

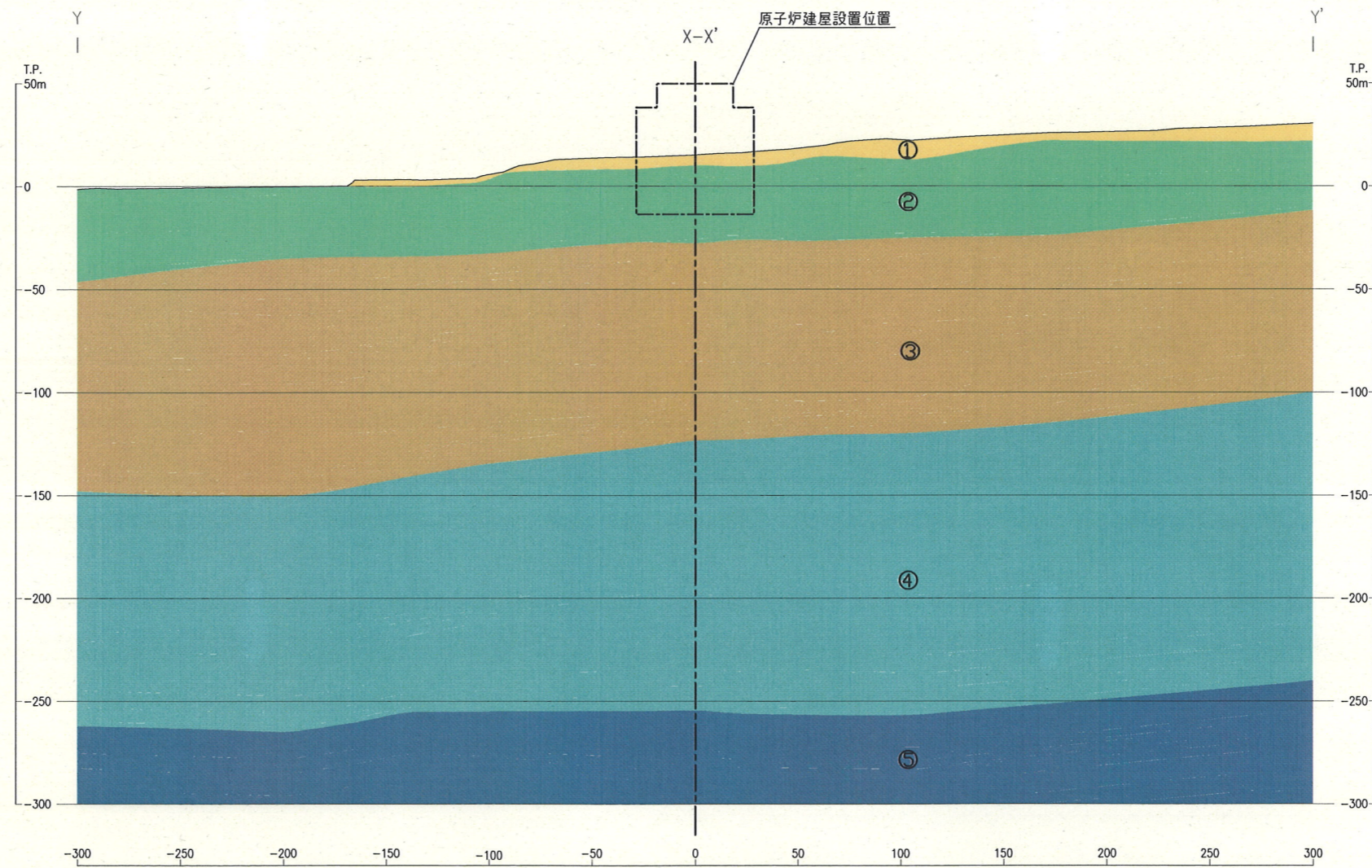


図-6(2) PS検層による速度層断面図 (Y-Y'断面)

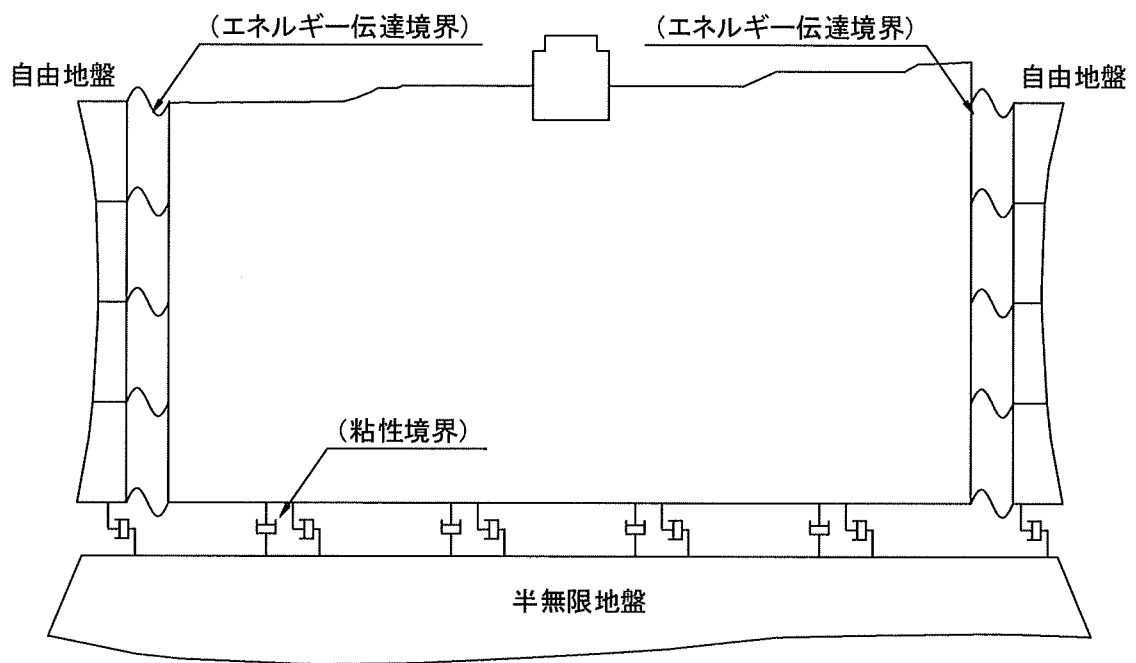


図-7 動的FEM解析における境界条件

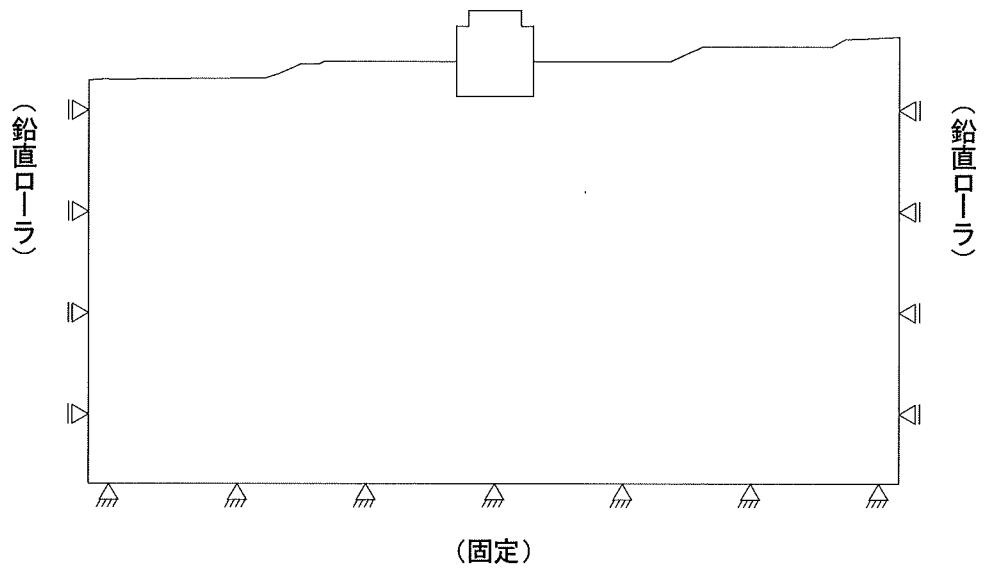


図-8 常時応力算定時における境界条件

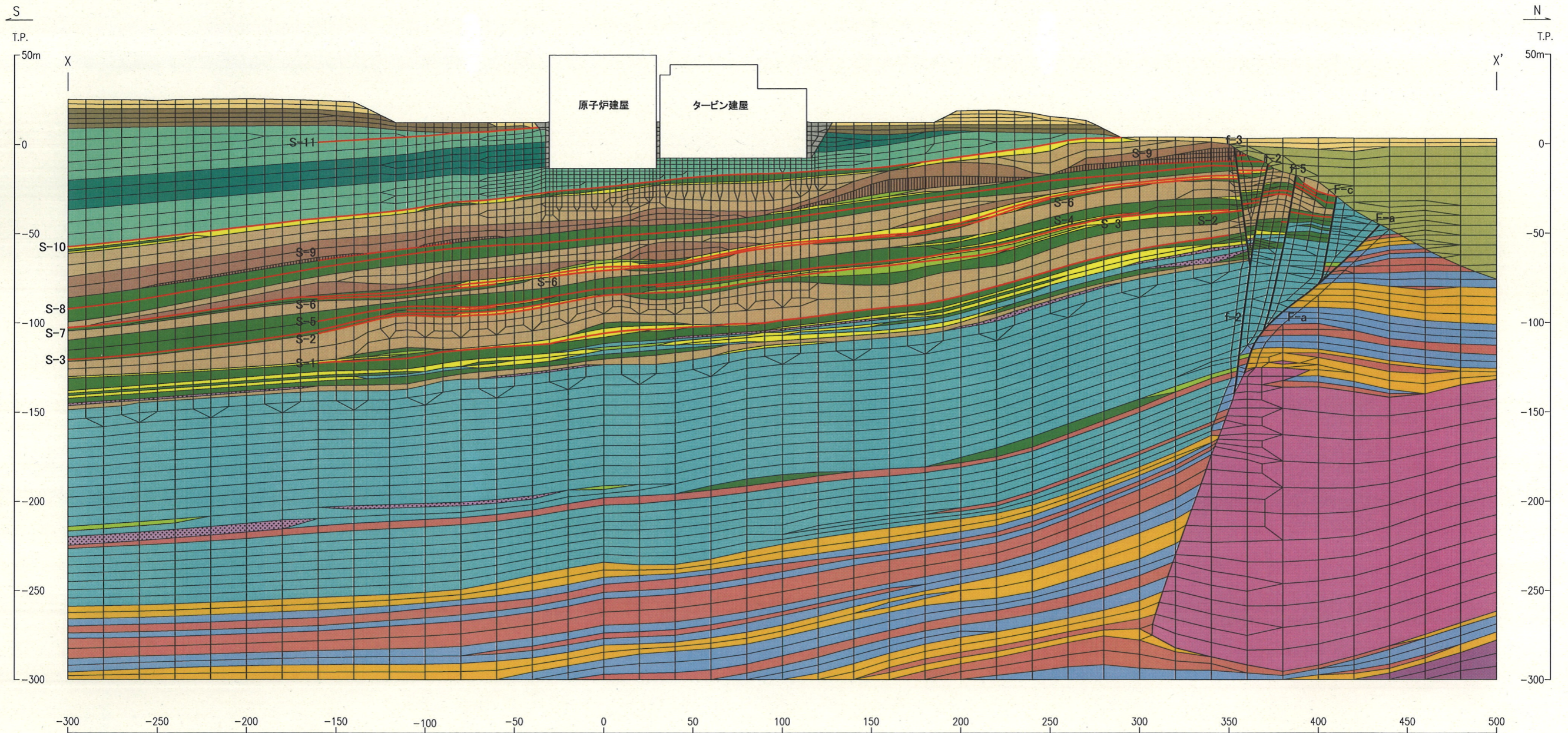
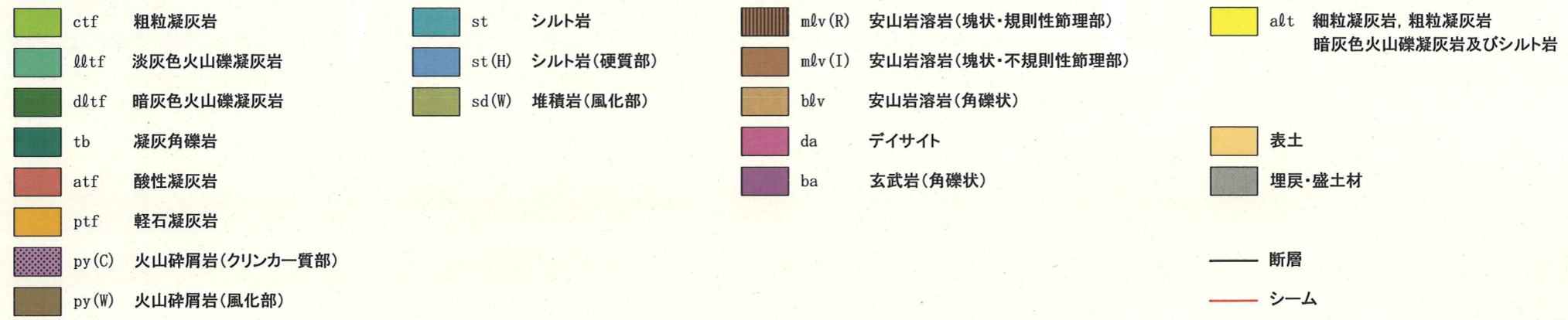


図-9(1) 解析用要素分割図 (X-X' 断面)

- |                      |                 |                          |                                     |
|----------------------|-----------------|--------------------------|-------------------------------------|
| ctf 粗粒凝灰岩            | st シルト岩         | mlv(R) 安山岩溶岩(塊状・規則性節理部)  | alt 細粒凝灰岩, 粗粒凝灰岩<br>暗灰色火山礫凝灰岩及びシルト岩 |
| lltf 淡灰色火山礫凝灰岩       | st(H) シルト岩(硬質部) | mlv(I) 安山岩溶岩(塊状・不規則性節理部) |                                     |
| dltf 暗灰色火山礫凝灰岩       | sd(W) 堆積岩(風化部)  | blv 安山岩溶岩(角礫状)           |                                     |
| tb 凝灰角礫岩             |                 | da デイサイト                 | 表土                                  |
| atf 酸性凝灰岩            |                 | ba 玄武岩(角礫状)              | 埋戻・盛土材                              |
| ptf 軽石凝灰岩            |                 |                          |                                     |
| py(C) 火山碎屑岩(クリンカー質部) |                 |                          | 断層                                  |
| py(W) 火山碎屑岩(風化部)     |                 |                          | シーム                                 |

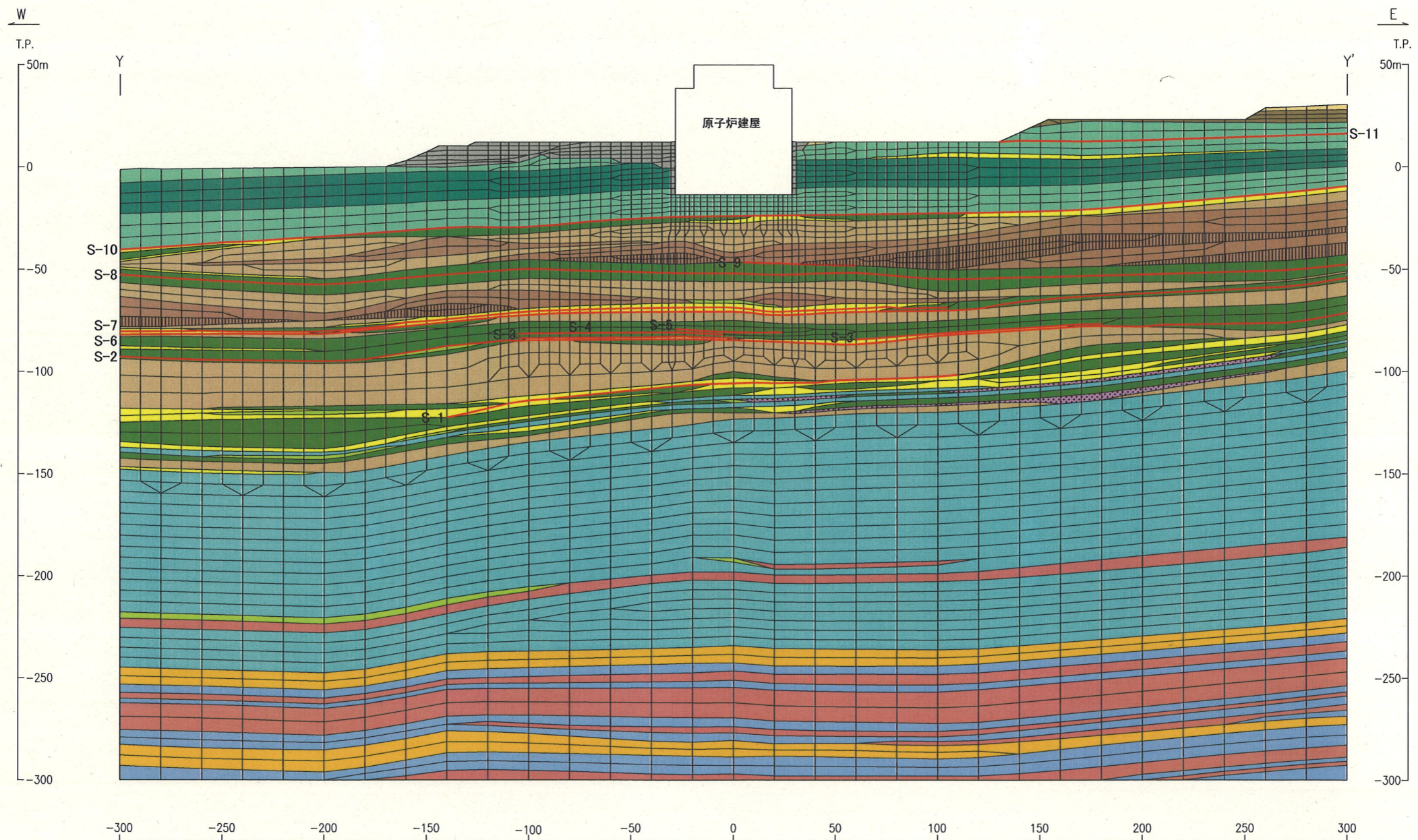


図-9(2) 解析用要素分割図 (Y-Y' 断面)

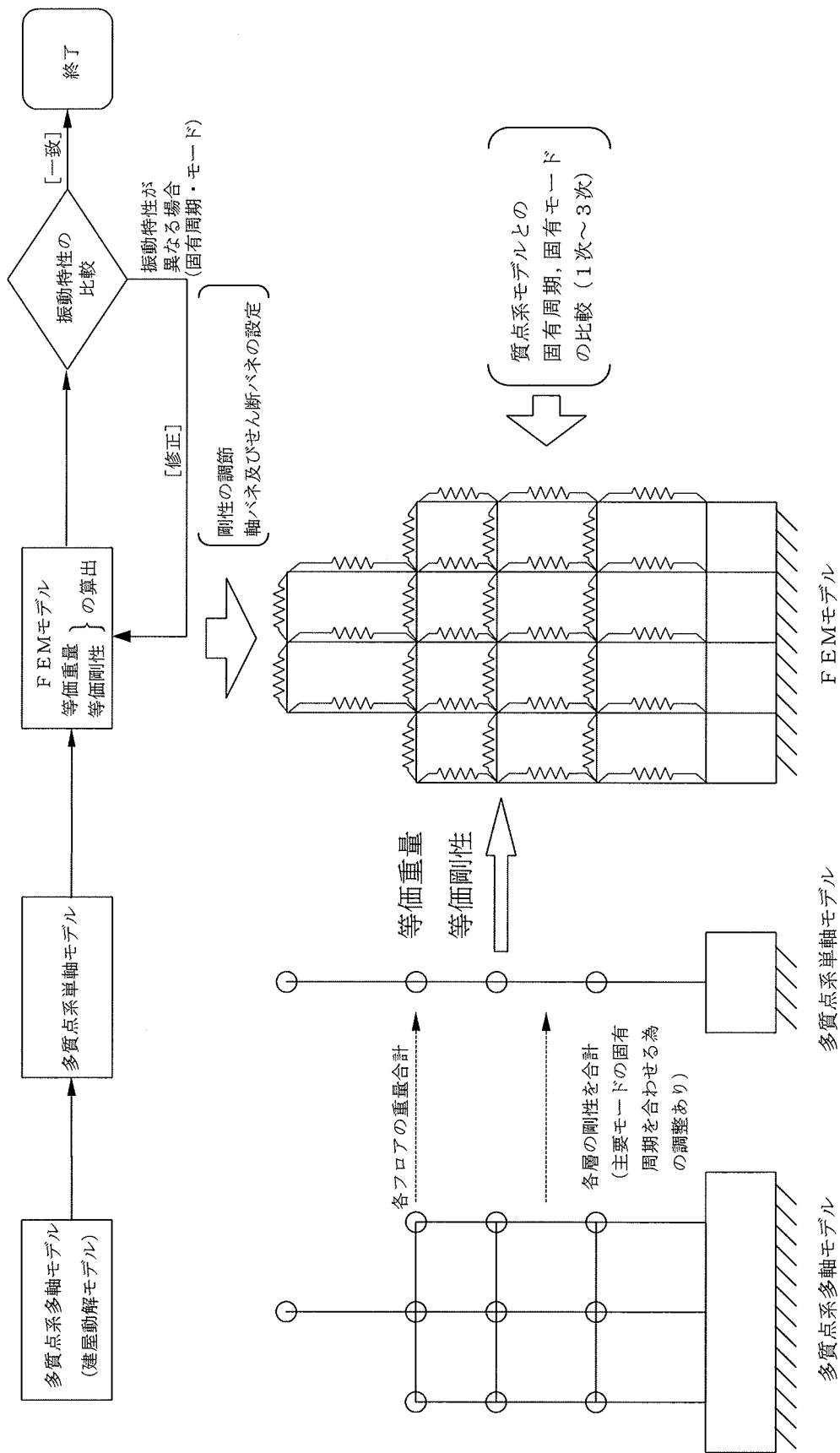


図-10 解析用建屋 FEMモデル作成の概略手順

表-5(1) 解析用物性値設定の考え方

		火山砕屑岩							堆積岩		溶岩・貫入岩				
		細粒凝灰岩 ftf	粗粒凝灰岩 ctf	淡灰色火山 礫凝灰岩 <sup>1)</sup> lltf	暗灰色火山 礫凝灰岩 dltf	凝灰角礫岩 tb	酸性凝灰岩 atf	軽石凝灰岩 ptf	火山砕屑岩 (クリンカー 質部) py(C)	シルト岩 st	シルト岩 (硬質部) st(H)	安山岩溶岩 (角礫状) blv	玄武岩 (角礫状) ba	安山岩溶岩 (塊状・規則 性節理部) mlv(R)	安山岩溶岩 (塊状・不規則 性節理部) mlv(I)
物理特性	密度 $\gamma$	ボーリングコア，試掘坑内等から採取した供試体の密度（湿潤）													
強度特性	せん断強度 $\tau_0$ 内部摩擦角 $\phi$	ボーリングコア，試掘坑内等から採取した供試体の圧裂試験結果，一軸圧縮試験結果及び三軸圧縮試験結果											ブロックせん断試験結果		mlv(I)の試験 結果を使用
	残留強度	ボーリングコア，試掘坑内等から採取した供試体の一軸圧縮試験結果及び三軸圧縮試験結果											mlv(I)の試験 結果を使用	摩擦抵抗 試験結果	
動的変形特性	動せん断 弾性係数 $G_d$	P S 検層による速度層毎の $V_p$ 、 $V_s$ 及び岩盤区分毎の密度により算定													
	動ポアソン比 $\nu_d$														
	減衰定数 $h$	慣用値													
静的変形特性	静弾性係数 $E$	ボーリングコア，試掘坑内等から採取した供試体の三軸圧縮試験結果											岩盤変形試験による 割線弾性係数		mlv(I)の試験 結果を使用
	静ポアソン比 $\nu$	ボーリングコア，試掘坑内等から採取した供試体の一軸圧縮試験及び三軸圧縮試験による静ポアソン比													

1) 慣用法による平面すべり，支持力及び沈下の検討では，原子炉建屋基礎底面地盤である淡灰色火山礫凝灰岩について，ブロックせん断試験，岩盤変形試験及び支持力試験の岩盤試験結果を使用する。

※ 初期応力を求める FEM 解析（初期応力解析）の物性値は，初期地圧測定結果を考慮して設定する。

表-5(2) 解析用物性値設定の考え方

		断層内物質	シーム	堆積岩 (風化部) sd(W)	火山砕屑岩 (風化部) py(W)	表土	埋戻・盛土材
物理特性	密度 $\gamma$	密度試験結果					
	せん断強度 $\tau_0$ 内部摩擦角 $\phi$	静的 単純せん断試験結果		三軸圧縮試験結果			
強度特性	残留強度	同上		同上			
動的変形特性	動せん断 弾性係数 $G_d$	動的 単純せん断試験結果		P S 検層 結果	動的三軸試験結果		
	動ポアソン比 $\nu_d$	慣用値			慣用値		
	減衰定数 $h$	動的 単純せん断試験結果		動的三軸試験結果			
	$G_d, h$ のひずみ 依存性						
静的変形特性	静弾性係数 $E$ (静せん断 弾性係数 $G$ )	静的 単純せん断試験結果		三軸圧縮試験結果			
	静ポアソン比 $\nu$	表土の 三軸圧縮試験結果		同上			表土の 三軸圧縮試験結果

※ 初期応力を求める FEM 解析（初期応力解析）の物性値は、初期地圧測定結果を考慮して設定する。

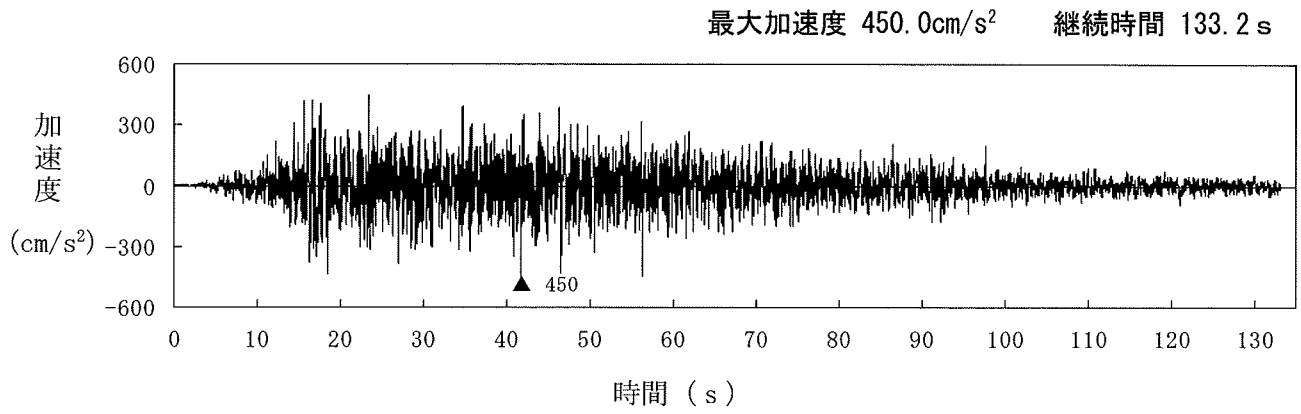
表-6(1) 解析用物性値

	物理特性	強度特性		動的変形特性			静的変形特性		
	密度 $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	せん断強度 $\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	残留強度 (N/mm <sup>2</sup> )	動せん断弾性係数 $G_d$ ( $\times 10^3$ N/mm <sup>2</sup> )	動ポアソン比 $\nu_d$	減衰定数 h	静弾性係数 E (静せん断弾性係数 G) ( $\times 10^3$ N/mm <sup>2</sup> )	静ポアソン比 $\nu$	
細粒凝灰岩	1.59	$(\tau/0.45)^2=1+\sigma/0.18$ $\tau=0.76+\sigma \tan 18^\circ$	$(-0.18\text{N/mm}^2 \leq \sigma < 0.66\text{N/mm}^2)$ $(\sigma \geq 0.66\text{N/mm}^2)$	$0.79 \sigma^{0.43}$	表-6(2) 解析用物性値(動的変形特性) 参照	0.03	$0.83 \sigma^{0.29}$	0.43	
粗粒凝灰岩	1.91	$(\tau/2.44)^2=1+\sigma/1.51$ $\tau=3.90+\sigma \tan 9^\circ$	$(-1.51\text{N/mm}^2 \leq \sigma < 3.44\text{N/mm}^2)$ $(\sigma \geq 3.44\text{N/mm}^2)$	$1.55 \sigma^{0.49}$		0.03	$2.40 \sigma^{0.13}$	0.45	
淡灰色火山礫凝灰岩	1.83	$(\tau/0.61)^2=1+\sigma/0.21$ $\tau=1.43+\sigma \tan 8^\circ$	$(-0.21\text{N/mm}^2 \leq \sigma < 1.21\text{N/mm}^2)$ $(\sigma \geq 1.21\text{N/mm}^2)$	$1.12 \sigma^{0.36}$		0.03	$1.36 \sigma^{0.21}$	0.44	
暗灰色火山礫凝灰岩	1.95	$(\tau/1.51)^2=1+\sigma/0.58$ $\tau=2.73+\sigma \tan 14^\circ$	$(-0.58\text{N/mm}^2 \leq \sigma < 2.10\text{N/mm}^2)$ $(\sigma \geq 2.10\text{N/mm}^2)$	$1.34 \sigma^{0.51}$		0.03	$2.20 \sigma^{0.14}$	0.45	
凝灰角礫岩	2.05	$(\tau/0.50)^2=1+\sigma/0.15$ $\tau=1.27+\sigma \tan 16^\circ$	$(-0.15\text{N/mm}^2 \leq \sigma < 1.58\text{N/mm}^2)$ $(\sigma \geq 1.58\text{N/mm}^2)$	$1.22 \sigma^{0.50}$		0.03	$1.41 \sigma^{0.27}$	0.47	
酸性凝灰岩	1.69	$(\tau/1.56)^2=1+\sigma/0.79$ $\tau=2.36+\sigma \tan 12^\circ$	$(-0.79\text{N/mm}^2 \leq \sigma < 1.58\text{N/mm}^2)$ $(\sigma \geq 1.58\text{N/mm}^2)$	$1.48 \sigma^{0.42}$		0.03	$1.46 \sigma^{0.18}$	0.45	
軽石凝灰岩	1.65	$(\tau/0.78)^2=1+\sigma/0.33$ $\tau=1.47+\sigma \tan 11^\circ$	$(-0.33\text{N/mm}^2 \leq \sigma < 1.25\text{N/mm}^2)$ $(\sigma \geq 1.25\text{N/mm}^2)$	$1.16 \sigma^{0.37}$		0.03	$0.65 \sigma^{0.29}$	0.47	
火山砕屑岩 (クリンカー質部)	1.94	$(\tau/0.13)^2=1+\sigma/0.01$ $\tau=1.06+\sigma \tan 14^\circ$	$(-0.01\text{N/mm}^2 \leq \sigma < 1.08\text{N/mm}^2)$ $(\sigma \geq 1.08\text{N/mm}^2)$	$1.10 \sigma^{0.51}$		0.03	$0.20 \sigma^{0.60}$	0.48	
シルト岩	1.48	$(\tau/1.45)^2=1+\sigma/0.87$ $\tau=2.37+\sigma \tan 15^\circ$	$(-0.87\text{N/mm}^2 \leq \sigma < 4.27\text{N/mm}^2)$ $(\sigma \geq 4.27\text{N/mm}^2)$	$1.36 \sigma^{0.34}$		0.03	$0.89 \sigma^{0.21}$	0.44	
シルト岩 (硬質部)	1.52	$(\tau/2.37)^2=1+\sigma/1.35$ $\tau=3.76+\sigma \tan 6^\circ$	$(-1.35\text{N/mm}^2 \leq \sigma < 2.49\text{N/mm}^2)$ $(\sigma \geq 2.49\text{N/mm}^2)$	$1.37 \sigma^{0.36}$		0.03	$0.90 \sigma^{0.20}$	0.45	
安山岩溶岩 (塊状・規則性節理部)	2.40	$\tau=1.32+\sigma \tan 45^\circ$		$\sigma \tan 47^\circ$		0.03	2.18	0.19	
安山岩溶岩 (塊状・不規則性節理部)	2.36	$\tau=1.53+\sigma \tan 29^\circ$		$\sigma \tan 47^\circ$		0.03	1.63	0.28	
安山岩溶岩 (角礫状)	2.18	$(\tau/1.09)^2=1+\sigma/0.38$ $\tau=1.12+\sigma \tan 38^\circ$	$(-0.38\text{N/mm}^2 \leq \sigma < 0.05\text{N/mm}^2)$ $(\sigma \geq 0.05\text{N/mm}^2)$	$1.27 \sigma^{0.75}$		0.03	$1.70 \sigma^{0.62}$	0.46	
デイサイト	2.39	$\tau=1.53+\sigma \tan 29^\circ$		$\sigma \tan 47^\circ$		0.03	1.63	0.26	
玄武岩 (角礫状)	2.13	$(\tau/1.36)^2=1+\sigma/0.91$ $\tau=1.45+\sigma \tan 27^\circ$	$(-0.91\text{N/mm}^2 \leq \sigma < 0.79\text{N/mm}^2)$ $(\sigma \geq 0.79\text{N/mm}^2)$	$1.04 \sigma^{0.61}$	0.03	$2.17 \sigma^{0.26}$	0.30		
断層内物質	1.60	$\tau=0.23+\sigma \tan 21^\circ$		$\tau=0.19+\sigma \tan 21^\circ$	$G_0=0.181 \sigma^{0.49}$ $G_d/G_0=1/(1+\gamma/0.0015)$	0.45	$\gamma > 4.4 \times 10^{-4}$ $h=0.041+0.084(\log \gamma + 3.4)$ $\gamma \leq 4.4 \times 10^{-4}$ h=0.041	$G=0.0265 \sigma^{0.36}$	0.48
シーム	1.71	$\tau=0.24+\sigma \tan 19^\circ$		$\tau=0.19+\sigma \tan 18^\circ$	$G_0=0.116 \sigma^{0.39}$ $G_d/G_0=1/(1+\gamma/0.0039)$	0.45	$\gamma > 9.0 \times 10^{-4}$ $h=0.021+0.159(\log \gamma + 3.0)$ $\gamma \leq 9.0 \times 10^{-4}$ h=0.021	$G=0.0412 \sigma^{0.22}$	0.48
火山砕屑岩 (風化部)	1.57	$\tau=0.07+\sigma \tan 8^\circ$		$\tau=0.07+\sigma \tan 7^\circ$	$G_0=0.115 \sigma^{0.25}$ $G_d/G_0=1/(1+\gamma/0.0010)$	0.45	$\gamma > 2.7 \times 10^{-5}$ $h=0.024+0.034(\log \gamma + 4.6)$ $\gamma \leq 2.7 \times 10^{-5}$ h=0.024	$0.121 \sigma^{0.65}$	0.48
堆積岩 (風化部)	2.00	$\tau=0.39+\sigma \tan 20^\circ$		$\tau=0.39+\sigma \tan 19^\circ$	$G_0=0.69$ $G_d/G_0=1/(1+\gamma/0.0008)$	0.45	$\gamma > 8.8 \times 10^{-5}$ $h=0.022+0.067(\log \gamma + 4.1)$ $\gamma \leq 8.8 \times 10^{-5}$ h=0.022	$0.143 \sigma^{0.66}$	0.49
表土	1.47	$\tau=0.03+\sigma \tan 10^\circ$		$\tau=0.02+\sigma \tan 10^\circ$	$G_0=0.142 \sigma^{0.55}$ $G_d/G_0=1/(1+\gamma/0.0015)$	0.45	$\gamma > 2.4 \times 10^{-4}$ $h=0.019+0.082(\log \gamma + 3.6)$ $\gamma \leq 2.4 \times 10^{-4}$ h=0.019	$0.123 \sigma^{0.53}$	0.48
埋戻・盛土材	1.90	$\tau=0.25+\sigma \tan 14^\circ$		$\tau=0.25+\sigma \tan 14^\circ$	$G_0=0.563 \sigma^{0.61}$ $G_d/G_0=1/(1+\gamma/0.0004)$	0.45	$\gamma > 2.8 \times 10^{-5}$ $h=0.013+0.045(\log \gamma + 4.6)$ $\gamma \leq 2.8 \times 10^{-5}$ h=0.013	$0.053 \sigma^{0.31}$	0.48

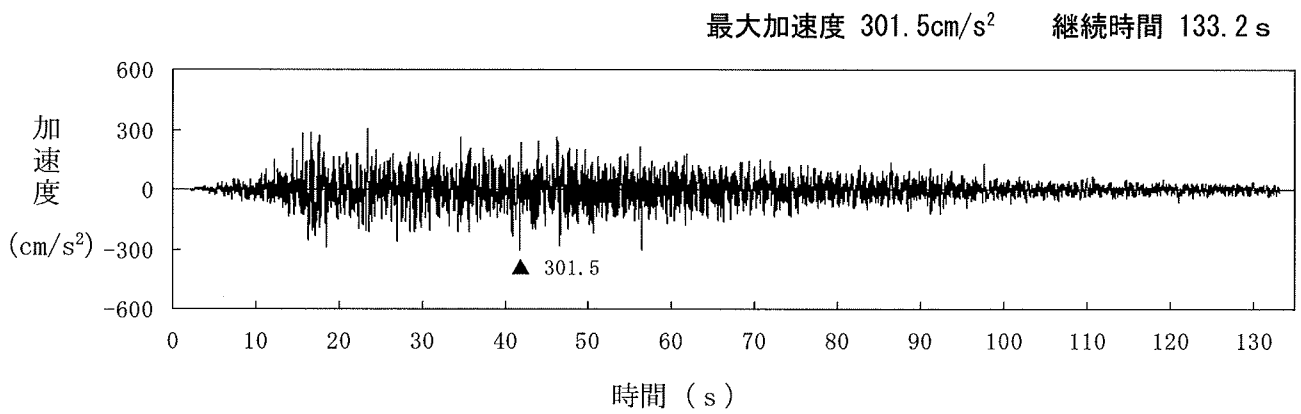
※初期応力解析では、初期地圧測定結果を踏まえ、密度 $\gamma$ は表-5の解析用物性値の考え方に従うとともに静的変形特性は一般的な物性値 ( $E=100\text{N/mm}^2$ ,  $\nu=0.49$ ) を使用している。

表-6(2) 解析用物性値 (動的変形特性)

速度層区分	岩盤区分	動せん断弾性係数 $G_d$ ( $\times 10^3 \text{N/mm}^2$ )	動ポアソン比 $\nu_d$
②	細粒凝灰岩	1.10	0.38
	淡灰色火山礫凝灰岩	1.26	
	暗灰色火山礫凝灰岩	1.34	
	凝灰角礫岩	1.41	
③	細粒凝灰岩	1.99	0.39
	粗粒凝灰岩	2.40	
	暗灰色火山礫凝灰岩	2.45	
	火山砕屑岩 (クリンカー質部)	2.43	
	シルト岩	1.86	
	安山岩溶岩 (塊状・規則性節理部)	3.01	
	安山岩溶岩 (塊状・不規則性節理部)	2.96	
	安山岩溶岩 (角礫状)	2.73	
④	粗粒凝灰岩	0.78	0.43
	暗灰色火山礫凝灰岩	0.80	
	酸性凝灰岩	0.69	
	軽石凝灰岩	0.68	
	火山砕屑岩 (クリンカー質部)	0.79	
	シルト岩	0.61	
	シルト岩 (硬質部)	0.62	
⑤	酸性凝灰岩	1.37	0.38
	軽石凝灰岩	1.34	
	シルト岩 (硬質部)	1.23	
	玄武岩 (角礫状)	1.73	
北②	粗粒凝灰岩	0.46	0.45
	酸性凝灰岩	0.41	
	シルト岩	0.36	
	シルト岩 (硬質部)	0.36	
北③	酸性凝灰岩	0.76	0.43
	軽石凝灰岩	0.74	
	シルト岩	0.66	
	シルト岩 (硬質部)	0.68	
	デイサイト	1.07	
北④	デイサイト	6.35	0.39



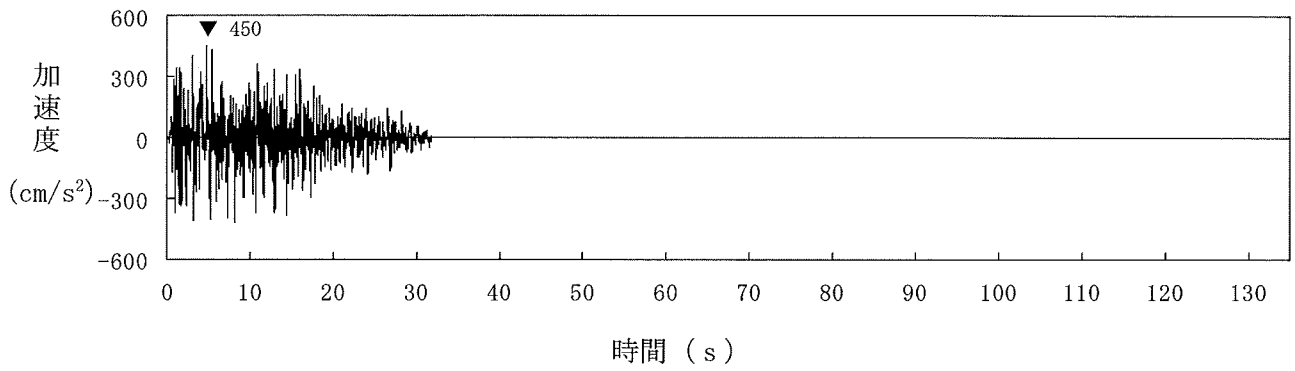
水平方向



鉛直方向

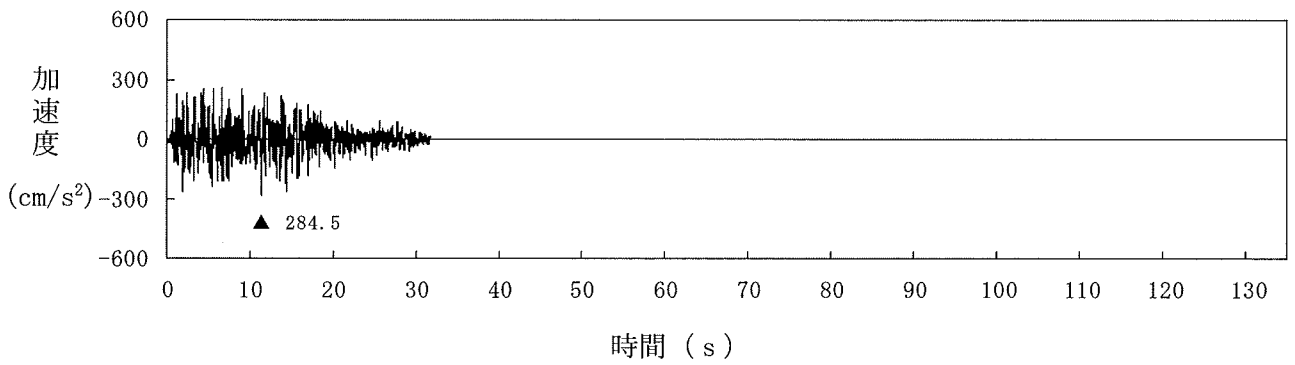
図-11(1) 基準地震動 S<sub>s</sub>-1 の加速度時刻歴

最大加速度 450.0cm/s<sup>2</sup> 継続時間 31.7 s



水平方向

最大加速度 284.5cm/s<sup>2</sup> 継続時間 31.7 s



鉛直方向

図-11(2) 基準地震動 S<sub>s</sub>-2 の加速度時刻歴

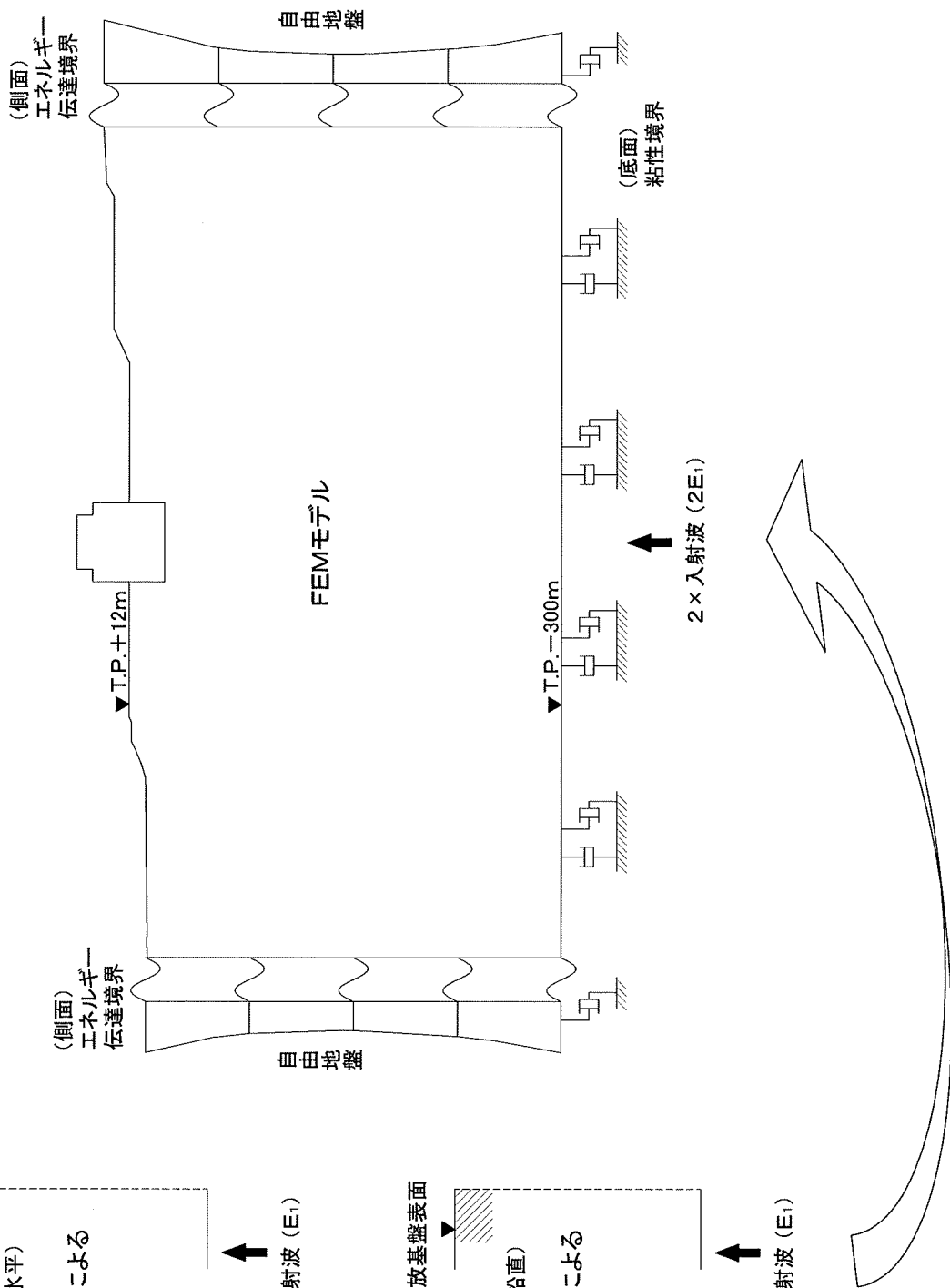
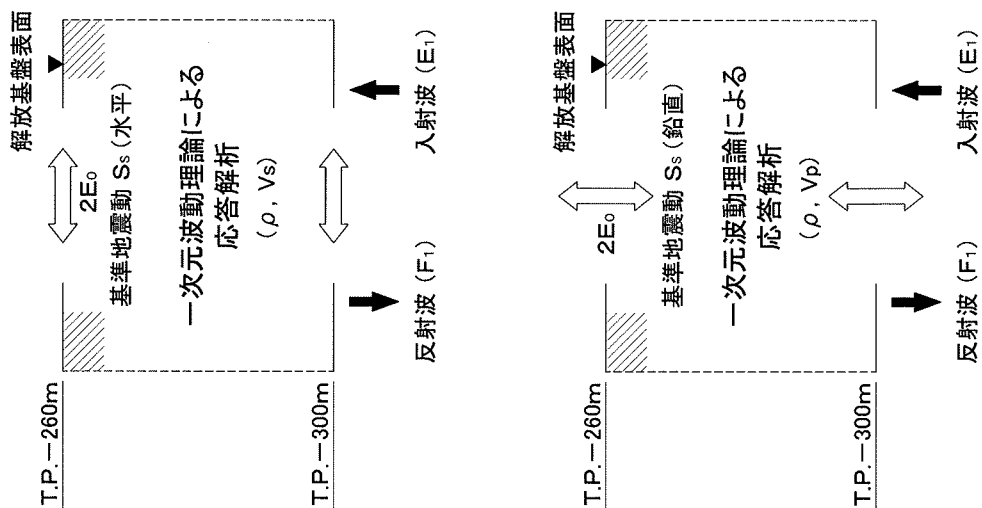
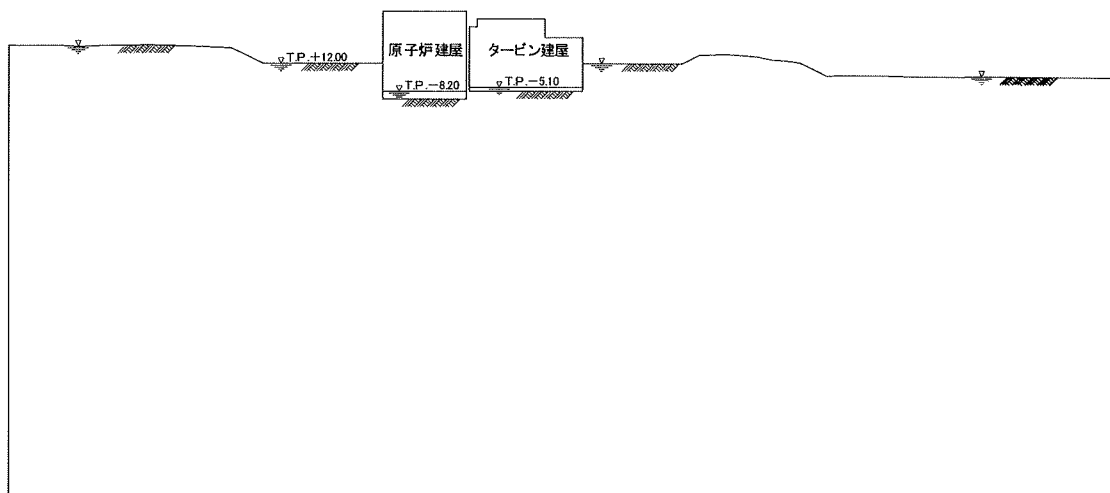
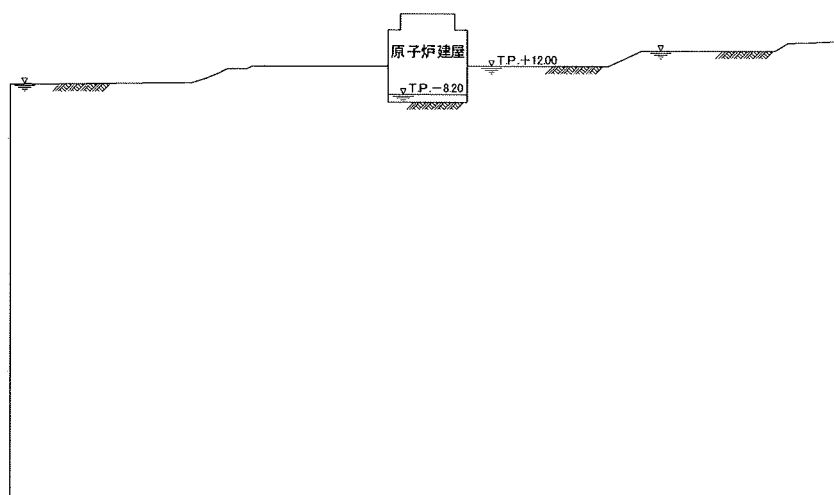


図-12 入力地震動設定の考え方



X-X' 断面



Y-Y' 断面

図-13 地下水位設定図

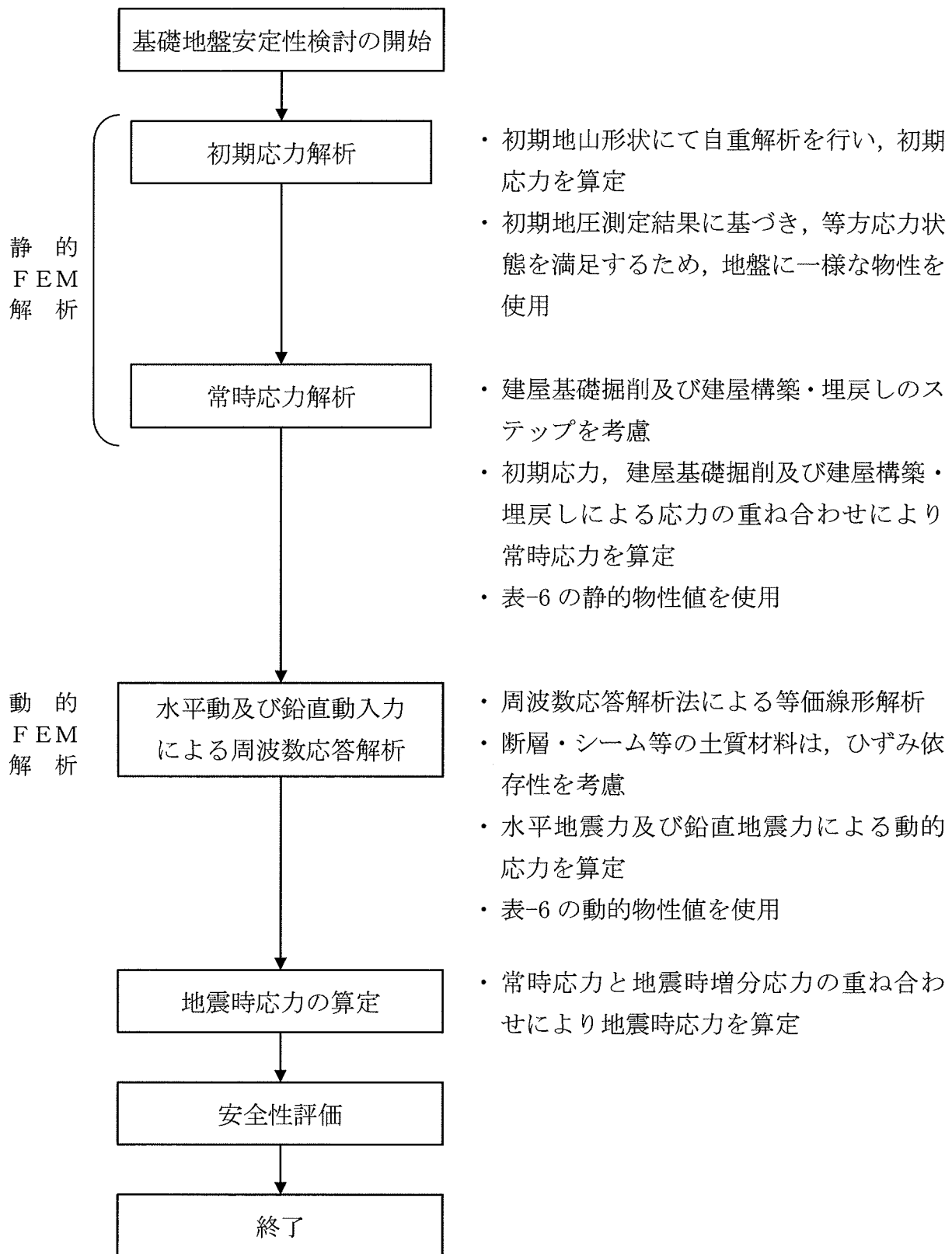


図-14 動的 FEM 解析による安定性検討フロー

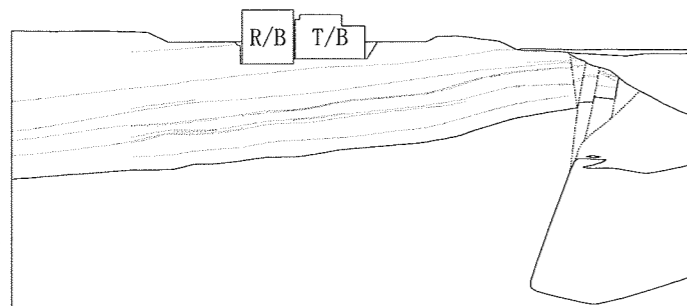
表-7 動的FEM解析検討ケース

解析手法	解析断面	地震力
動的FEM解析	X-X' 断面	基準地震動 S <sub>s</sub> -1 及び S <sub>s</sub> -2
	Y-Y' 断面	

表-8(1) すべり安全率 (X-X' 断面, 動的FEM解析)

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		S <sub>s</sub> -1 波	S <sub>s</sub> -2 波
1		6.5	7.8
2		7.1	9.0
3		8.3	8.4
4		4.9	5.3

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		S <sub>s</sub> -1 波	S <sub>s</sub> -2 波
5		5.2	5.7
6		5.0	5.4
7		4.9	5.7
8		3.4	4.2
9		3.6	4.5

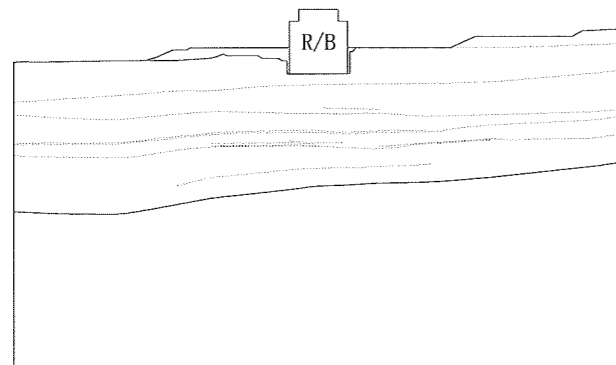


- 凡例
- すべり線
  - 断層・シーム
  - 地層境界
  - すべり安全率の最小値

表-8(2) すべり安全率 (Y-Y' 断面, 動的FEM解析)

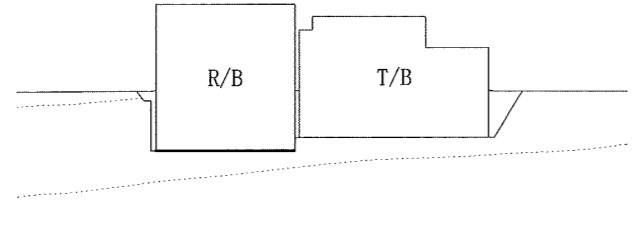
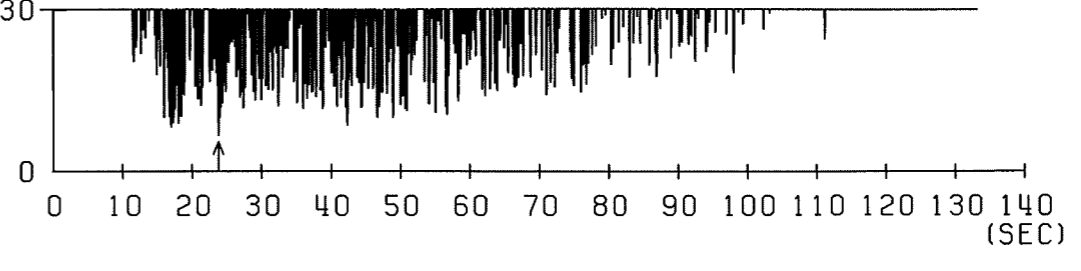
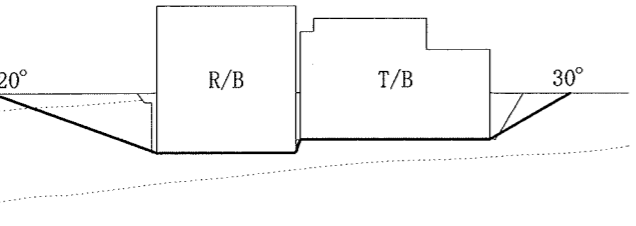
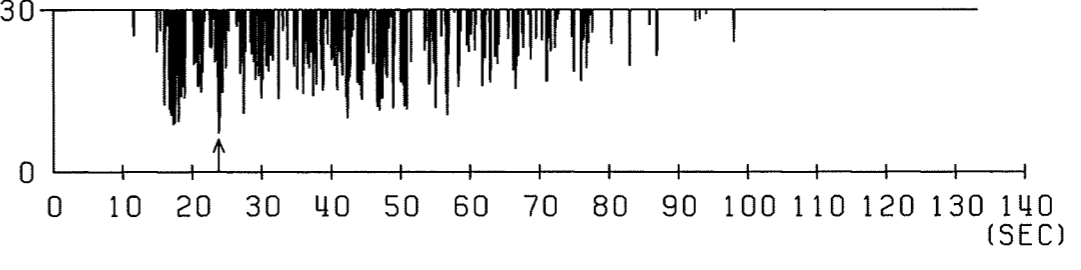
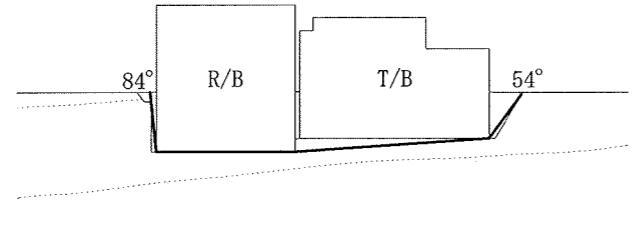
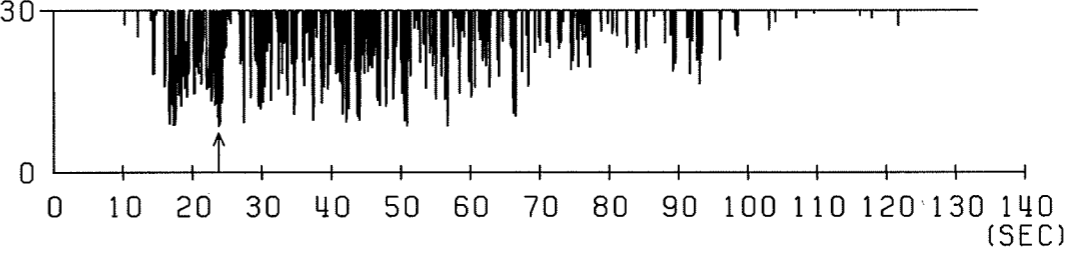
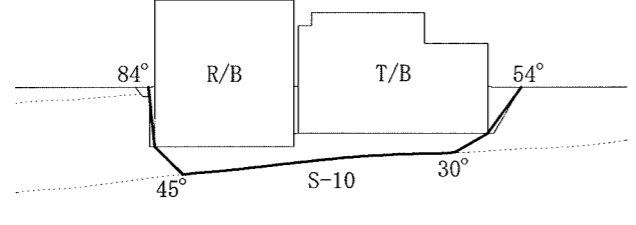
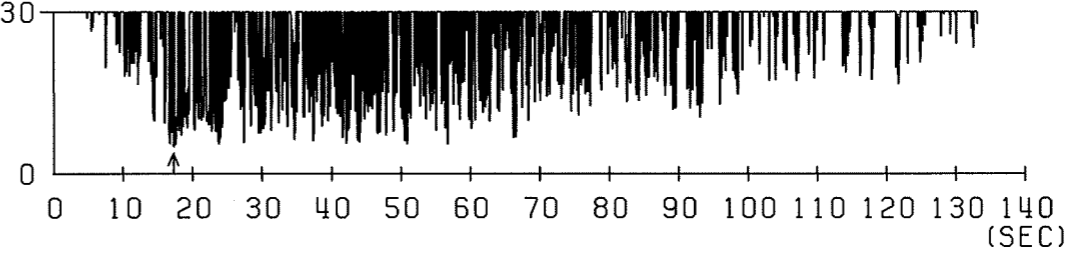
すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		S <sub>s</sub> -1 波	S <sub>s</sub> -2 波
1		9.3	9.6
2		10.4	10.5
3		9.9	9.8
4		13.8	13.0

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		S <sub>s</sub> -1 波	S <sub>s</sub> -2 波
5		12.0	11.9
6		11.4	12.2
7		7.0	7.6
8		4.3	4.7



- 凡例
- すべり線
  - - - 断層・シーム
  - 地層境界
  - すべり安全率の最小値

表-9(1) すべり安全率 (X-X' 断面, 動的FEM解析, S<sub>s</sub>-1 波)

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	時刻 (秒)	すべり安全率F <sub>s</sub> タイムヒストリー
1		6.5	23.79	
2		7.1	23.80	
3		8.3	23.80	
4		4.9	17.26	

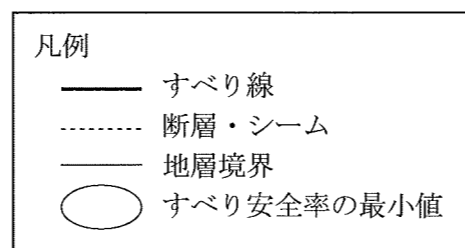
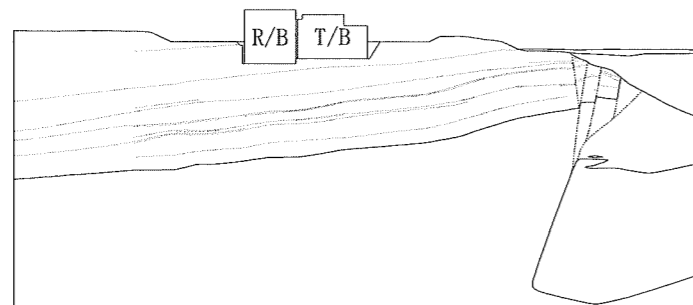


表-9(2) すべり安全率 (X-X'断面, 動的FEM解析, S<sub>s</sub>-1波)

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	時刻 (秒)	すべり安全率F <sub>s</sub> タイムヒストリー
5		5.2	17.26	
6		5.0	17.26	
7		4.9	17.26	
8		3.4	23.80	
9		3.6	17.53	

表-9(3) すべり安全率 (X-X' 断面, 動的FEM解析, S<sub>s</sub>-2 波)

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	時刻 (秒)	すべり安全率F <sub>s</sub> タイムヒストリー
1		7.8	4.42	
2		9.0	4.45	
3		8.4	3.95	
4		5.3	3.94	

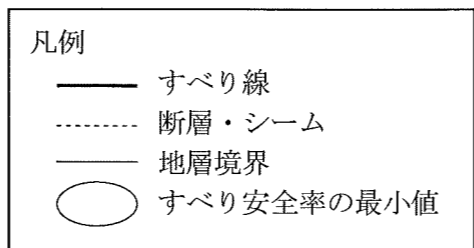
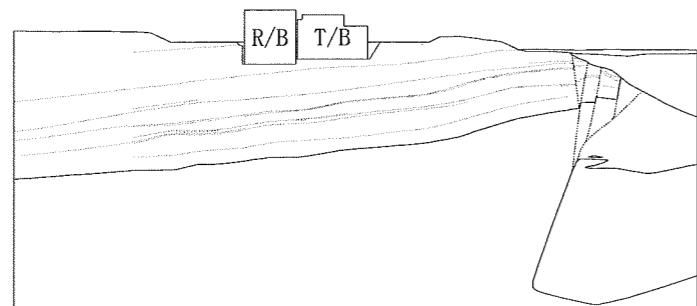
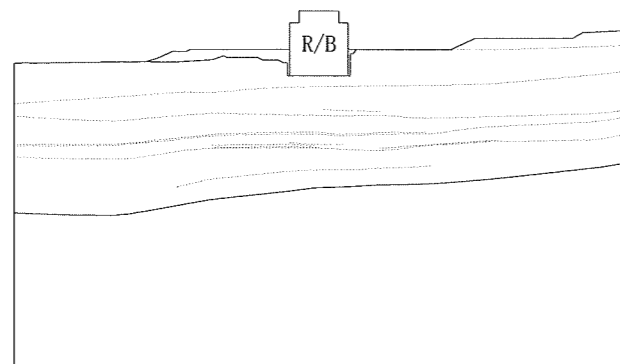


表-9(4) すべり安全率 (X-X' 断面, 動的FEM解析, S<sub>s</sub>-2 波)

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	時刻 (秒)	すべり安全率F <sub>s</sub> タイムヒストリー
5		5.7	3.94	
6		5.4	3.94	
7		5.7	3.94	
8		4.2	3.94	
9		4.5	4.53	

表-10(1) すべり安全率 (Y-Y'断面, 動的FEM解析, S<sub>s</sub>-1波)

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	時刻 (秒)	すべり安全率F <sub>s</sub> タイムヒストリー
1		9.3	23.79	
2		10.4	23.80	
3		9.9	56.71	
4		13.8	16.96	



- 凡例
- すべり線
  - ..... 断層・シーム
  - 地層境界
  - すべり安全率の最小値

表-10(2) すべり安全率 (Y-Y' 断面, 動的FEM解析, S<sub>s</sub>-1 波)

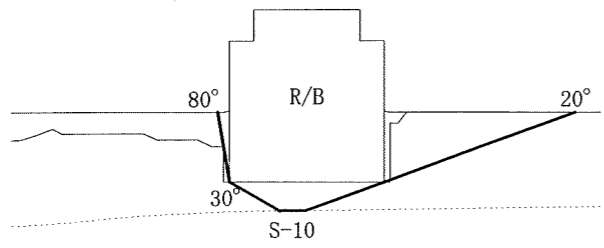
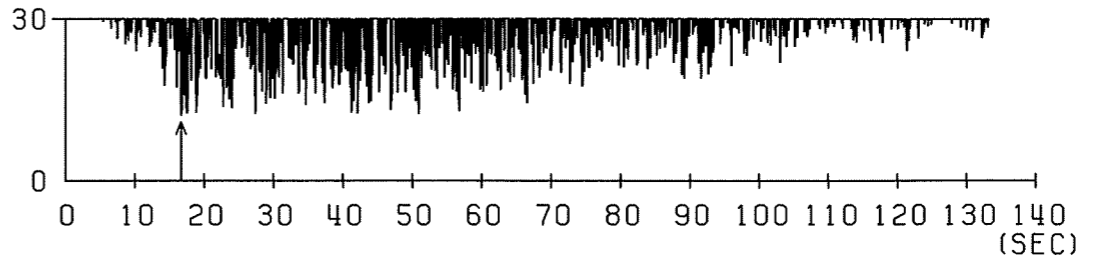
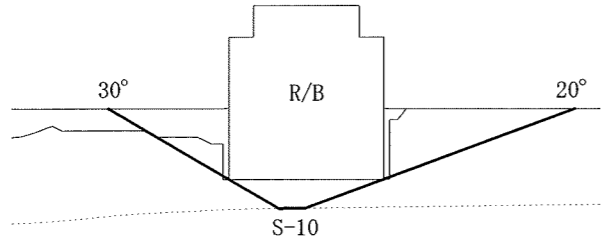
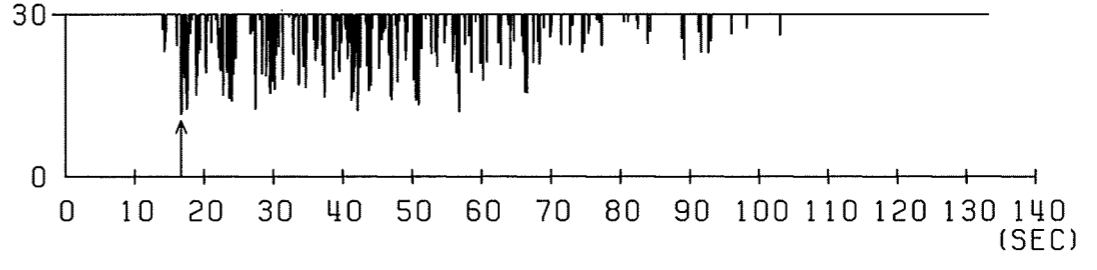
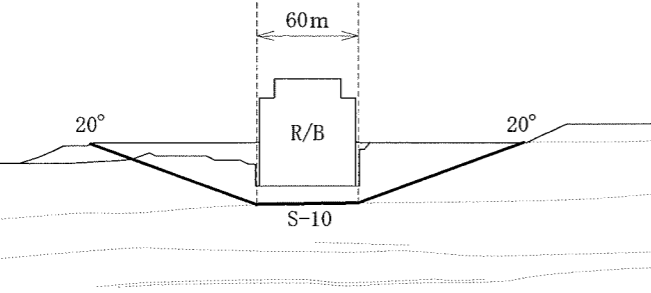
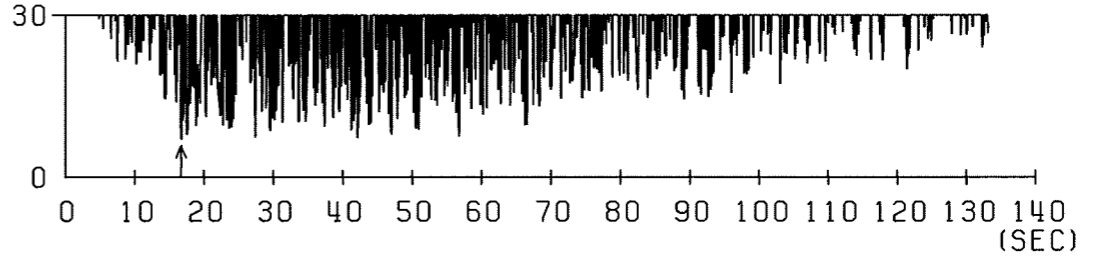
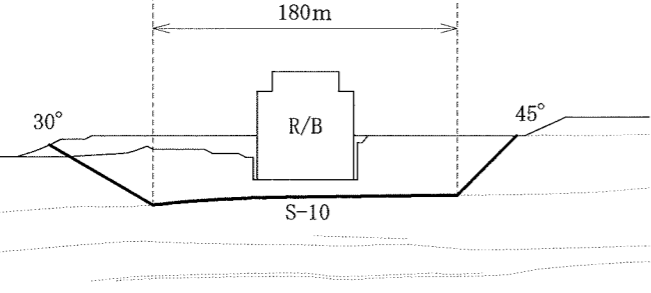
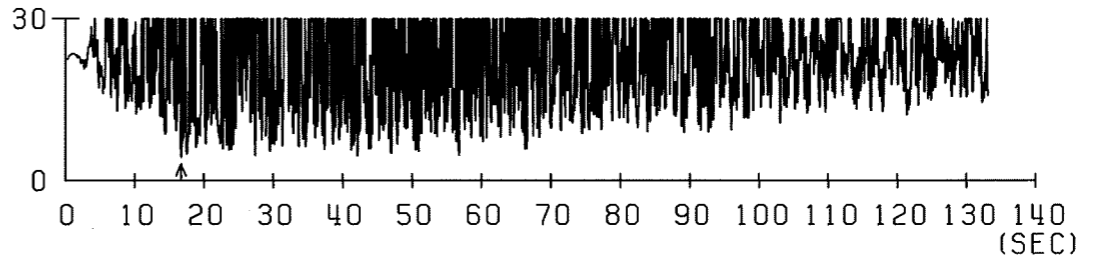
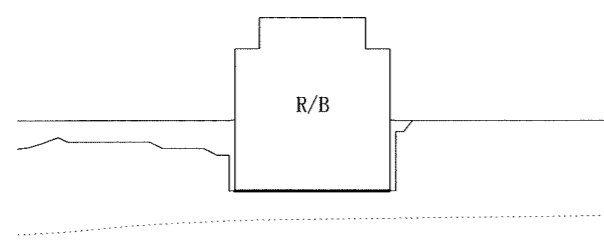
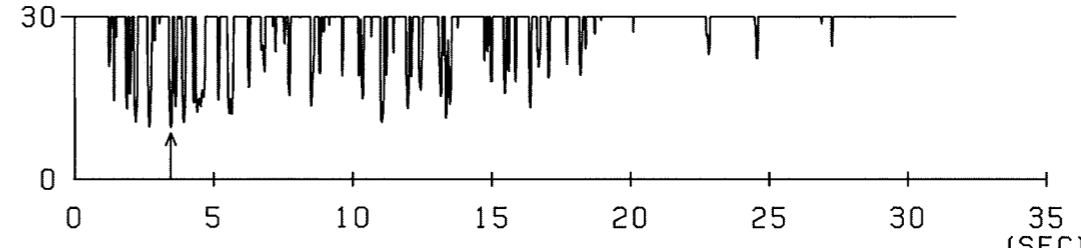
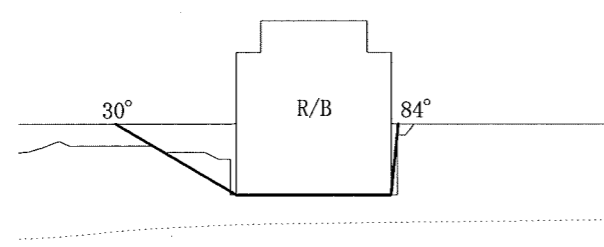
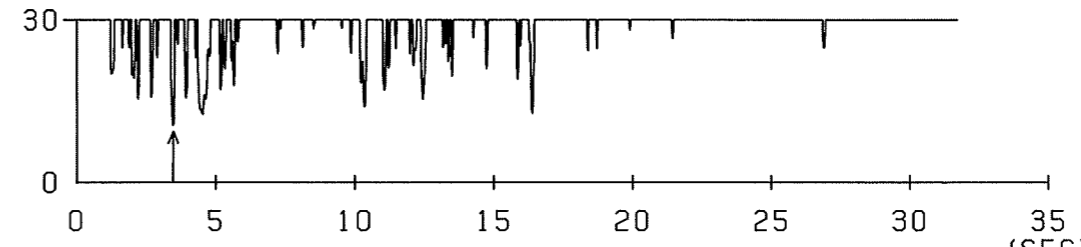
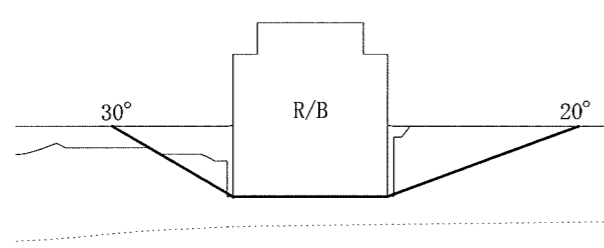
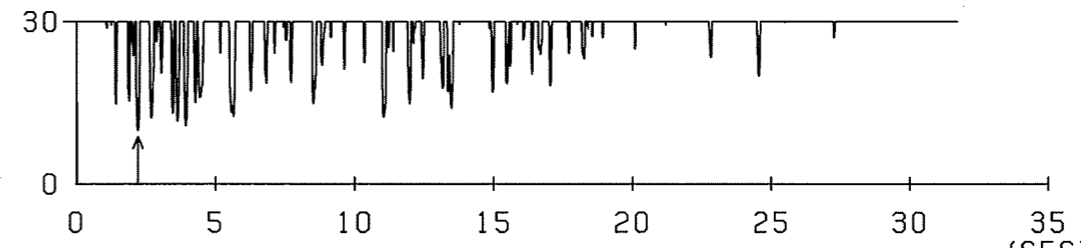
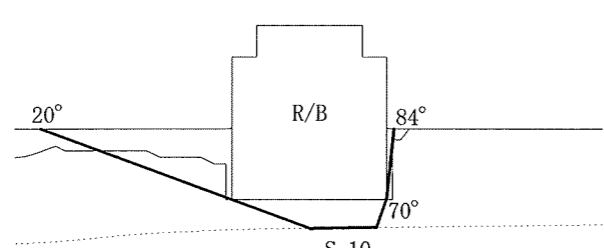
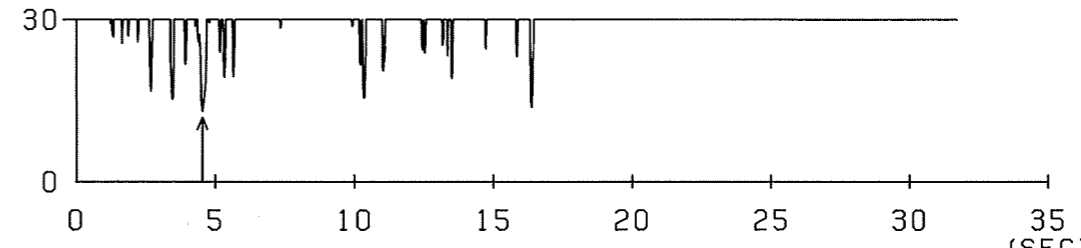
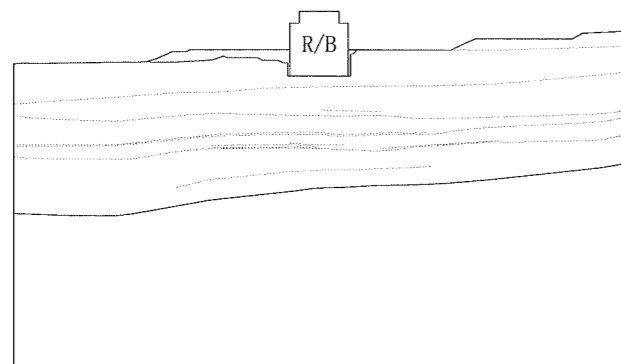
すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	時刻 (秒)	すべり安全率F <sub>s</sub> タイムヒストリー
5		12.0	16.67	
6		11.4	16.68	
7		7.0	16.69	
8		4.3	16.69	

表-10(3) すべり安全率 (Y-Y'断面, 動的FEM解析, S<sub>s</sub>-2波)

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	時刻 (秒)	すべり安全率F <sub>s</sub> タイムヒストリー
1		9.6	3.46	
2		10.5	3.47	
3		9.8	2.21	
4		13.0	4.54	



- 凡例
- すべり線
  - ..... 断層・シーム
  - 地層境界
  - すべり安全率の最小値

表-10(4) すべり安全率 (Y-Y' 断面, 動的FEM解析, S<sub>s</sub>-2 波)

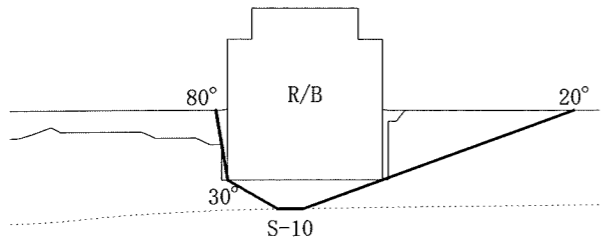
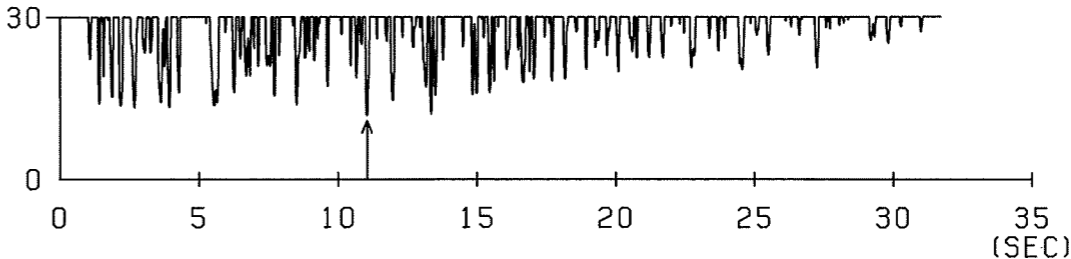
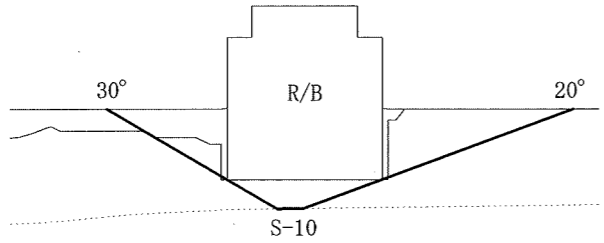
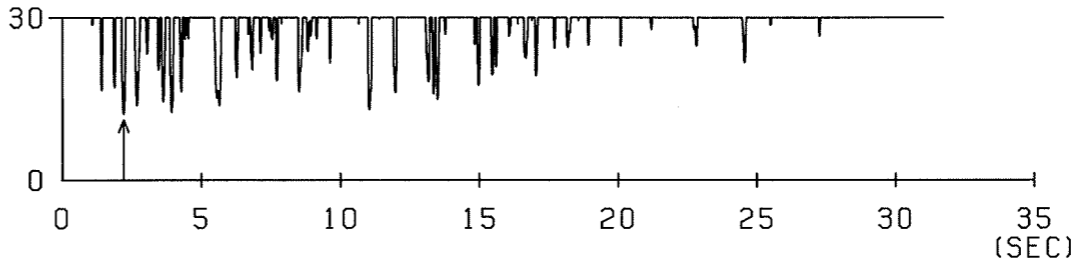
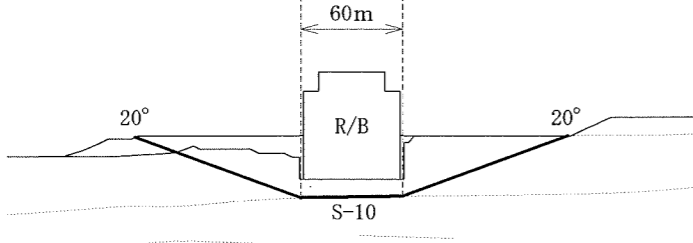
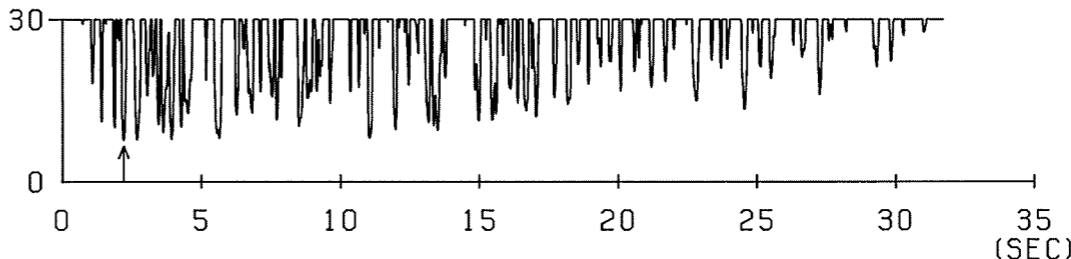
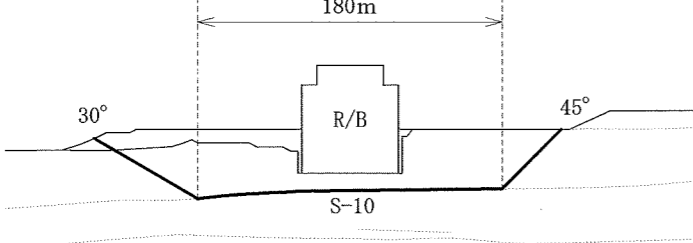
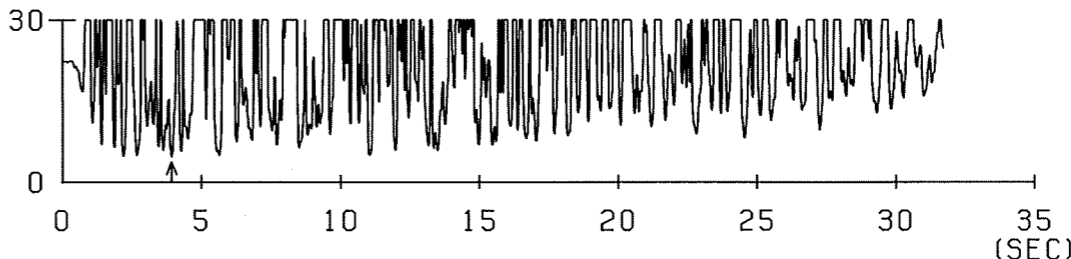
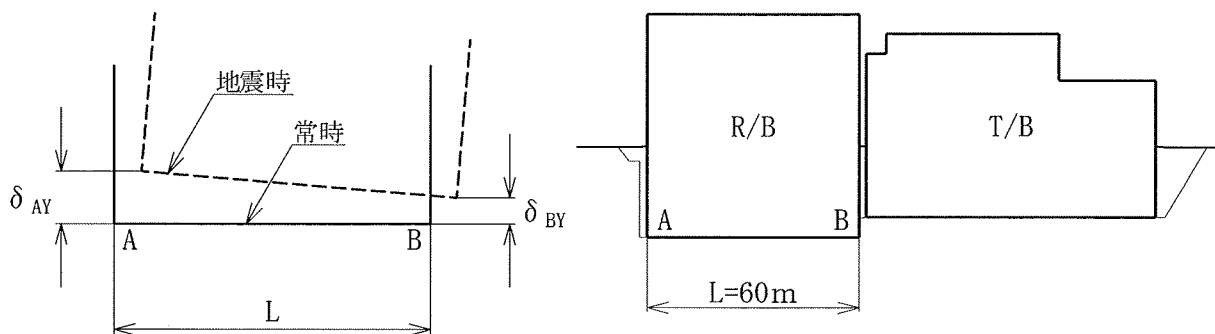
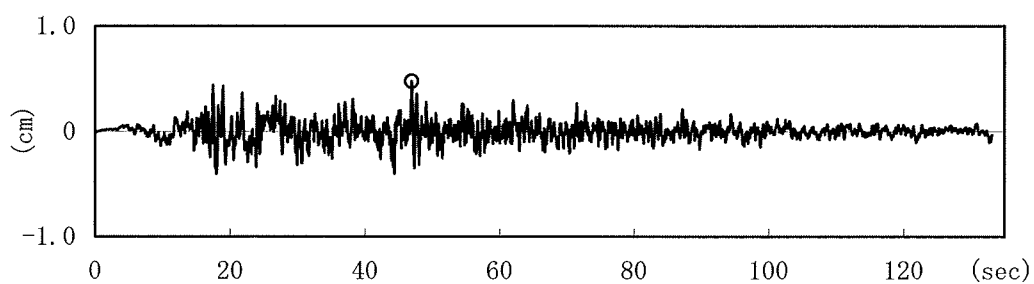
すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	時刻 (秒)	すべり安全率F <sub>s</sub> タイムヒストリー
5		11.9	11.04	
6		12.2	2.21	
7		7.6	2.21	
8		4.7	3.93	

表-11(1) 原子炉建屋基礎の傾斜 (X-X' 断面, 動的 FEM 解析, S<sub>s</sub>-1 波)

時刻 (秒)	最大相対変位量 (鉛直方向)	最大傾斜
	$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
46.95	0.48	1/13,000

相対変位量 (鉛直方向) の時刻歴



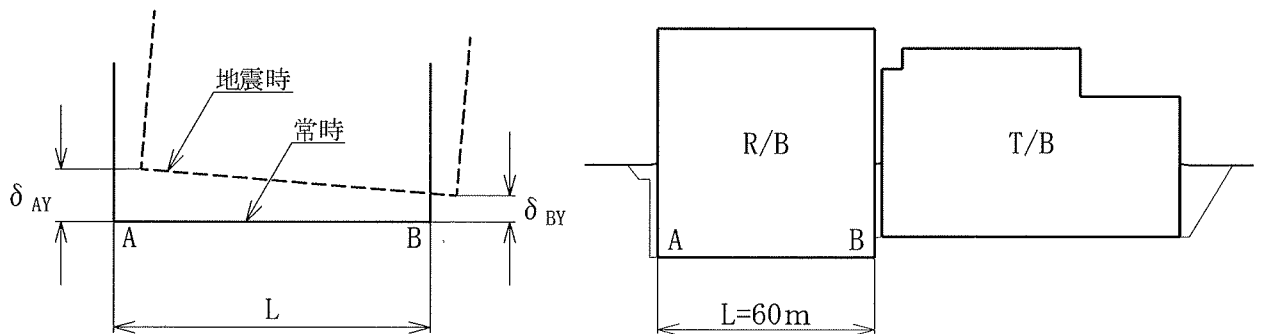
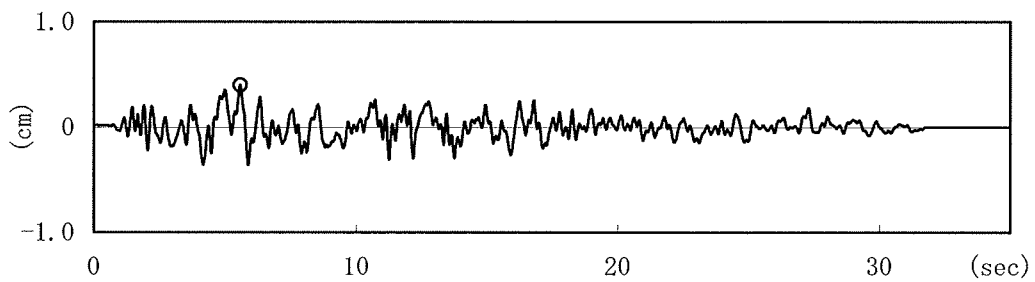
$\delta_{AY}$ ,  $\delta_{BY}$  は上向きを正とする。

鉛直方向相対変位は左上りを正とする。

表-11(2) 原子炉建屋基礎の傾斜 (X-X' 断面, 動的FEM解析, S<sub>s</sub>-2 波)

時刻 (秒)	最大相対変位量 (鉛直方向)	最大傾斜
	$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
5.57	0.40	1/15,000

相対変位量 (鉛直方向) の時刻歴



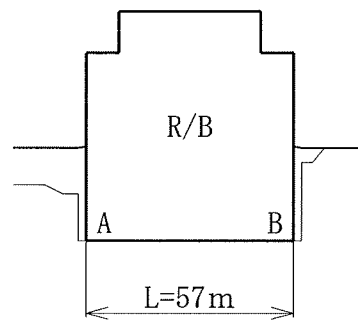
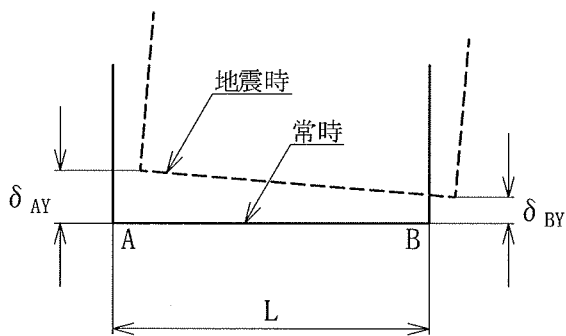
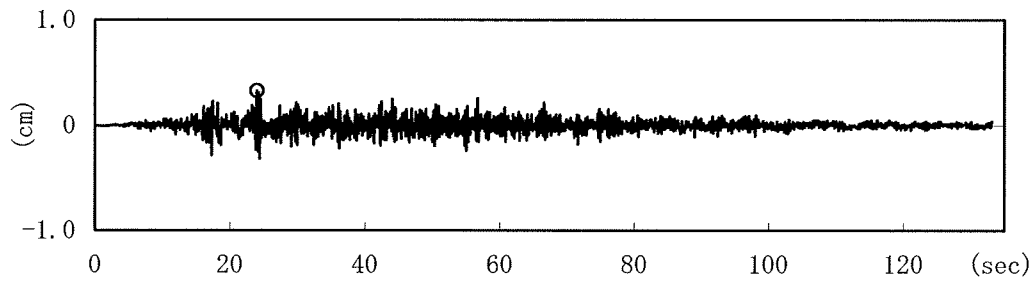
$\delta_{AY}$ ,  $\delta_{BY}$  は上向きを正とする。

鉛直方向相対変位は左上りを正とする。

表-12(1) 原子炉建屋基礎の傾斜 (Y-Y' 断面, 動的 FEM 解析, S<sub>s</sub>-1 波)

時刻 (秒)	最大相対変位量 (鉛直方向)	最大傾斜
	$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
23.98	0.33	1/17,000

相対変位量 (鉛直方向) の時刻歴



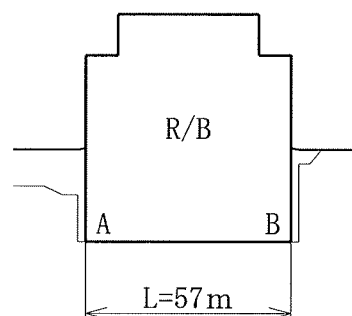
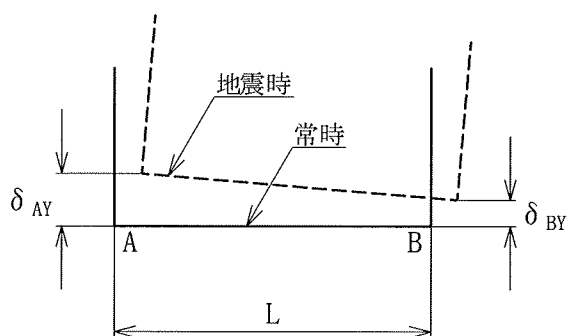
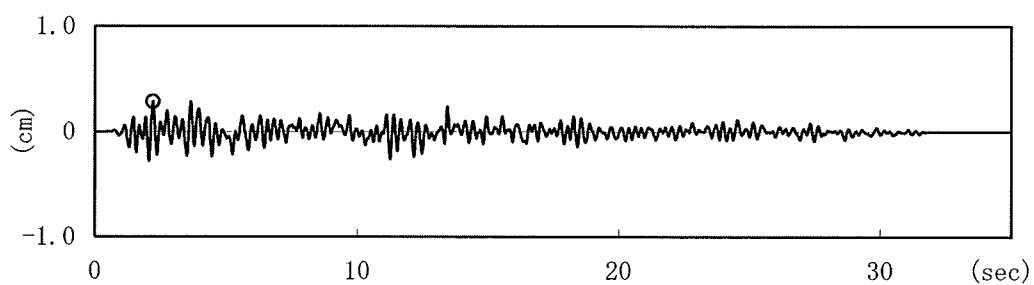
$\delta_{AY}$ ,  $\delta_{BY}$  は上向きを正とする。

鉛直方向相対変位は左上りを正とする。

表-12(2) 原子炉建屋基礎の傾斜 (Y-Y' 断面, 動的 FEM 解析, S<sub>s</sub>-2 波)

時刻 (秒)	最大相対変位量 (鉛直方向)	最大傾斜
	$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
2.21	0.28	1/20,000

相対変位量 (鉛直方向) の時刻歴



$\delta_{AY}$ ,  $\delta_{BY}$  は上向きを正とする。

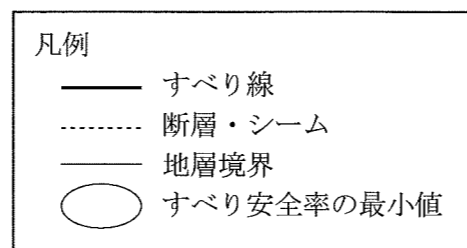
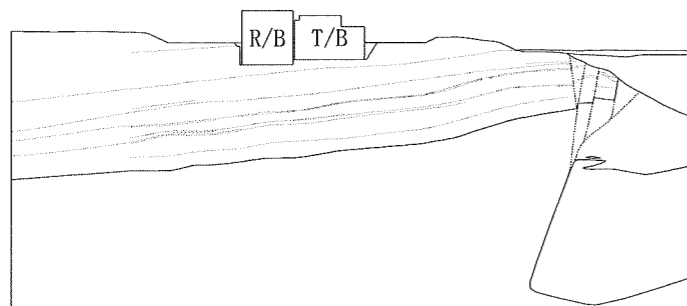
鉛直方向相対変位は左上りを正とする。

〈 参考資料 〉

別表-1 すべり安全率 (X-X'断面, 慣用法及び静的FEM解析)

すべり線 番号	すべり線形状	地震力 方向	すべり安全率	
			慣用法 (Janbu法)	静的 FEM解析
1			2.5	5.9
			2.5	6.9
			4.2	5.9
			4.2	7.2
2			5.4	7.1
			6.0	7.7
			6.5	7.2
			6.6	7.8
3			6.6	7.3
			4.5	5.9
			7.2	7.2
			5.3	6.2
4			7.0	4.9
			2.8	4.0
			6.8	4.9
			3.4	4.3

すべり線 番号	すべり線形状	地震力 方向	すべり安全率	
			慣用法 (Janbu法)	静的 FEM解析
5			6.9	5.2
			3.1	4.3
			6.6	5.0
			3.5	4.6
6			6.5	4.9
			2.9	4.1
			6.9	5.0
			3.5	4.3
7			6.7	5.1
			3.1	4.4
			6.8	5.1
			3.6	4.7
8			5.3	3.4
			2.4	3.3
			5.2	3.3
			2.6	3.4
9			4.9	3.6
			2.8	3.6
			5.6	3.8
			3.2	3.5



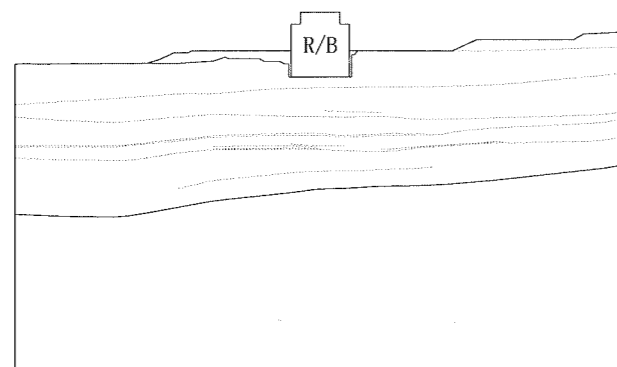
注1) 水平方向の地震力については地盤に0.2G, 各建屋には地震層せん断力係数3.0C<sub>1</sub>に基づく地震力を, 鉛直方向の地震力については地盤に0.1G, 各建屋に0.24Gを作用させている。

注2) 解析用物性値は, 表-6の静的物性値を用いている。

別表-2 すべり安全率 (Y-Y' 断面, 慣用法及び静的FEM解析)

すべり線 番号	すべり線形状	地震力 方向	すべり安全率	
			慣用法 (Janbu 法)	静的 FEM解析
1			2.2	7.4
			2.2	6.6
			4.1	7.7
			4.1	7.0
2			4.2	7.7
			8.4	8.9
			6.5	7.9
			9.7	9.3
3			6.1	9.4
			6.1	7.6
			7.3	9.6
			7.2	7.8
4			12.1	12.2
			33.9	14.6
			19.0	13.0
			25.3	14.2

すべり線 番号	すべり線形状	地震力 方向	すべり安全率	
			慣用法 (Janbu 法)	静的 FEM解析
5			19.7	33.9
			14.0	11.2
			17.6	35.7
			16.0	11.4
6			14.5	16.0
			11.7	10.1
			13.4	16.5
			12.7	10.3
7			5.9	8.2
			5.9	5.8
			5.9	8.2
			6.0	5.8
8			4.0	5.4
			4.4	3.6
			4.1	5.4
			4.4	3.6







- 凡例
- すべり線
  - 断層・シーム
  - 地層境界
  - すべり安全率の最小値

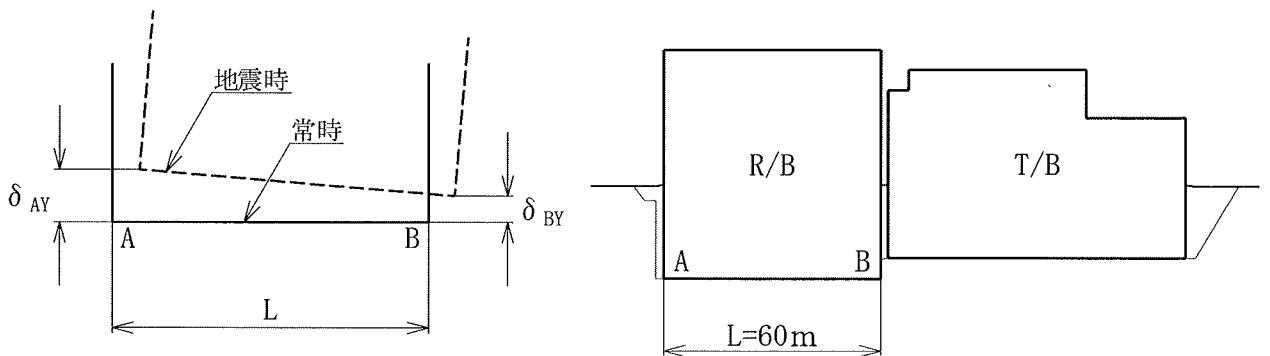
注1) 水平方向の地震力については地盤に0.2G, 各建屋には地震層せん断力係数 $3.0C_1$ に基づく地震力を, 鉛直方向の地震力については地盤に0.1G, 各建屋に0.24Gを作用させている。

注2) 解析用物性値は, 表-6の静的物性値を用いている。

別表-3 原子炉建屋基礎の傾斜 (X-X' 断面, 静的 FEM 解析)

地震力方向	相対変位量 (鉛直方向)	傾斜
	$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
	-1.33	1/4, 500
	0.94	1/6, 400
	-0.94	1/6, 400
	1.33	1/4, 500





注 1) 水平方向の地震力については地盤に 0.2G, 各建屋には地震層せん断力係数  $3.0C_i$  に基づく地震力を, 鉛直方向の地震力については地盤に 0.1G, 各建屋に 0.24G を作用させている。  
 注 2) 解析用物性値は, 表-6 の静的物性値を用いている。



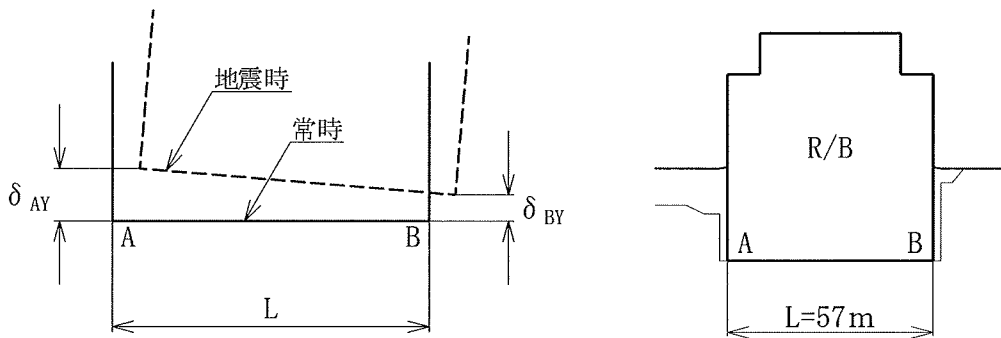
$\delta_{AY}$ ,  $\delta_{BY}$  は上向きを正とする。

鉛直方向相対変位は左上りを正とする。

別表-4 原子炉建屋基礎の傾斜 (Y-Y' 断面, 静的 FEM 解析)

地震力方向	相対変位量 (鉛直方向)	傾斜
	$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
	-1.73	1/3, 300
	1.66	1/3, 400
	-1.66	1/3, 400
	1.73	1/3, 300

注 1) 水平方向の地震力については地盤に 0.2G, 各建屋には地震層せん断力係数  $3.0C_i$  に基づく地震力を, 鉛直方向の地震力については地盤に 0.1G, 各建屋に 0.24G を作用させている。  
 注 2) 解析用物性値は, 表-6 の静的物性値を用いている。



$\delta_{AY}$ ,  $\delta_{BY}$  は上向きを正とする。

鉛直方向相対変位は左上りを正とする。