

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7 添-3-014-11 改1
提出年月日	2020年6月11日

V-3-別添 2-6 コントロール建屋の強度計算書

2020年6月

東京電力ホールディングス株式会社

V-3-別添 2-6 コントロール建屋の強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	6
2.4 適用規格	8
3. 強度評価方法及び評価条件	9
3.1 評価対象部位	9
3.2 荷重及び荷重の組合せ	11
3.2.1 荷重	11
3.2.2 荷重の組合せ	13
3.3 許容限界	14
3.4 解析モデル及び諸元	17
3.4.1 モデル化の基本方針	17
3.5 評価方法	19
3.5.1 屋根スラブの評価方法	19
3.5.2 耐震壁の評価方法	24
4. 強度評価結果	25
4.1 屋根スラブの評価結果	25
4.2 耐震壁の評価結果	27

別紙 年超過確率  $10^{-2}$  相当地震動に対するコントロール建屋の地震応答計算書

## 1. 概要

本資料は，V-3-別添 2-1-4「コントロール建屋の強度計算の方針」に示すとおり，コントロール建屋が降下火砕物及び積雪の堆積時においても，内包する防護すべき施設に降下火砕物を堆積させない機能，放射線の遮蔽機能（以下「遮蔽性」という。）及び放射性物質の閉じ込め機能（以下「気密性」という。）の維持を考慮して，建屋全体及び建屋の主要な構造部材が構造健全性を維持することを確認するものである。



## 2. 基本方針

コントロール建屋は、V-3-別添 2-1-4「コントロール建屋の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、本資料では、「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

### 2.1 位置

コントロール建屋は、V-3-別添 2-1-4「コントロール建屋の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す位置に設置する。コントロール建屋の配置を図 2-1 に示す。

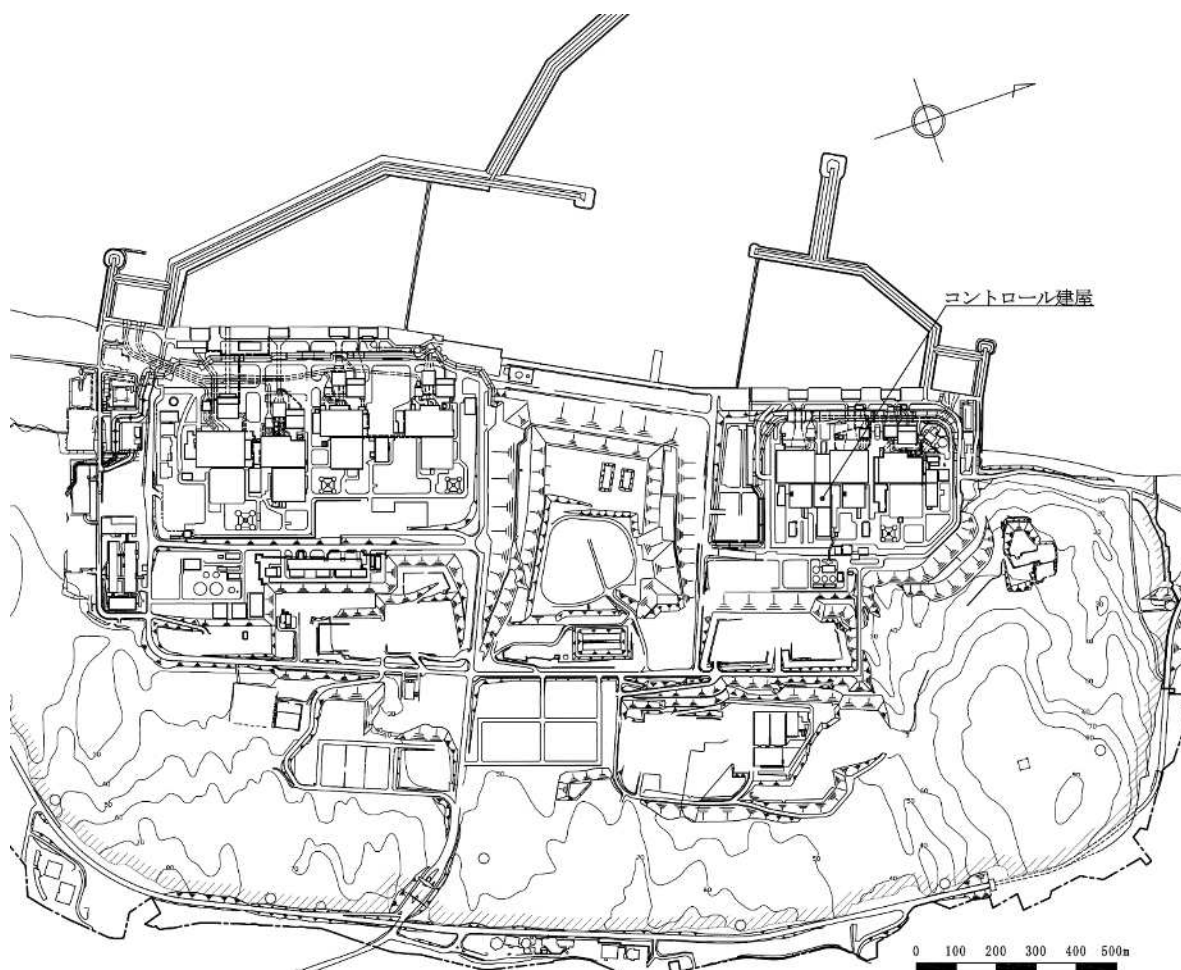


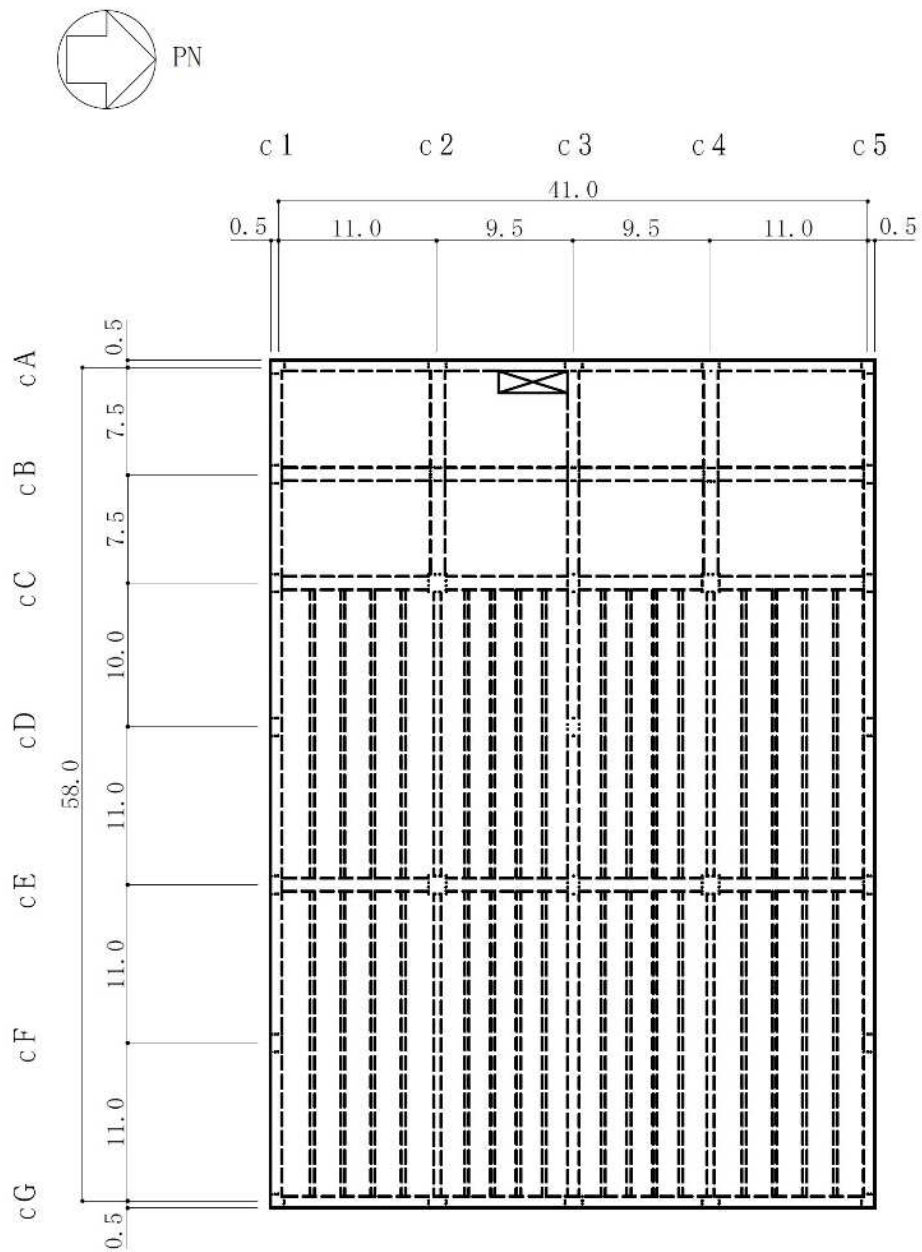
図 2-1 コントロール建屋の配置図

## 2.2 構造概要

コントロール建屋は、V-3-別添 2-1-4「コントロール建屋の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

コントロール建屋は、平面が 42.0m (NS 方向) × 59.0m (EW 方向) で、主体構造が鉄筋コンクリート造の地上 2 階、地下 2 階の建物である。

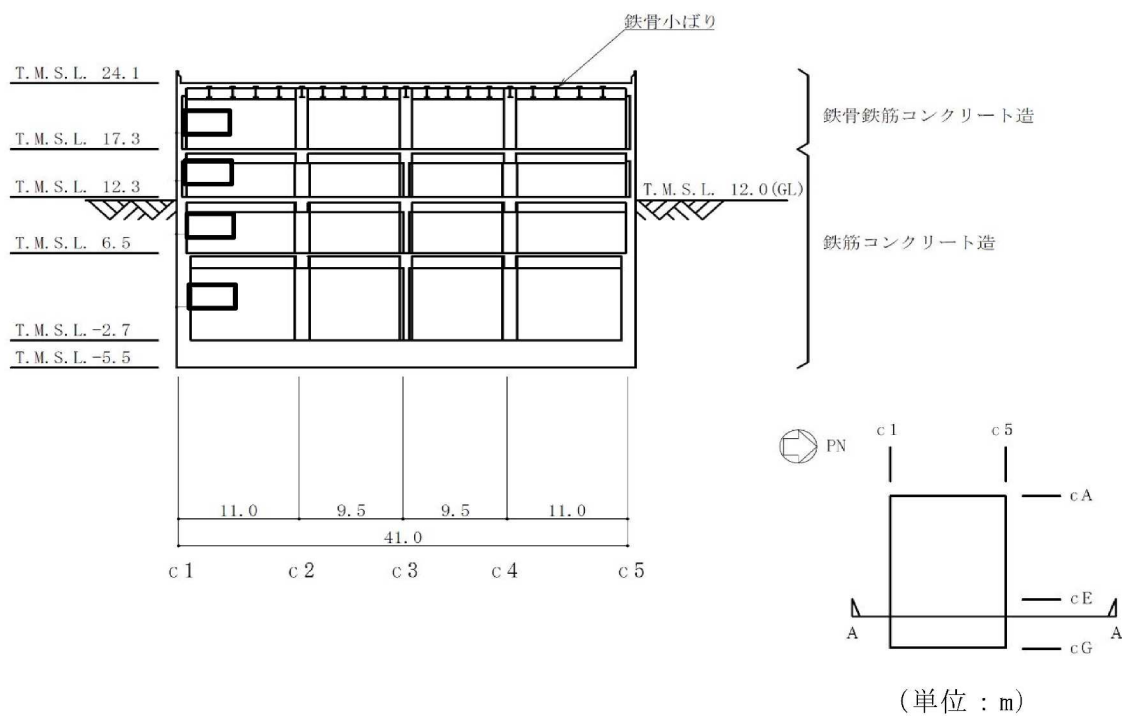
コントロール建屋の屋根面の概略平面図を図 2-2 に、概略断面図を図 2-3 に示す。



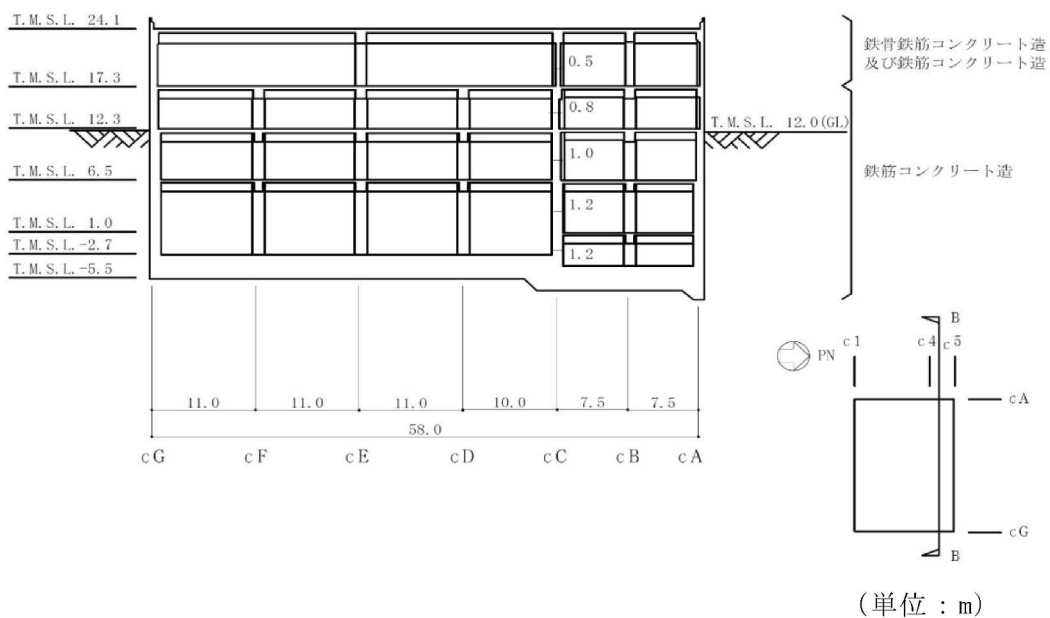
(単位：m)

注：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

図 2-2 コントロール建屋の概略平面図 (RF, T.M.S.L. 24.1m)



NS 方向断面



EW 方向断面

図2-3 コントロール建屋の概略断面図

### 2.3 評価方針

コントロール建屋の強度評価は、V-3-別添 2-1-4「コントロール建屋の強度計算の方針」のうち「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している荷重、荷重の組合せ及び許容限界を踏まえて、建屋の評価対象部位に発生する応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法及び評価条件」に示す方法及び評価条件を用いて計算し、「4. 強度評価結果」にて確認する。強度評価フローを図 2-4 に示す。

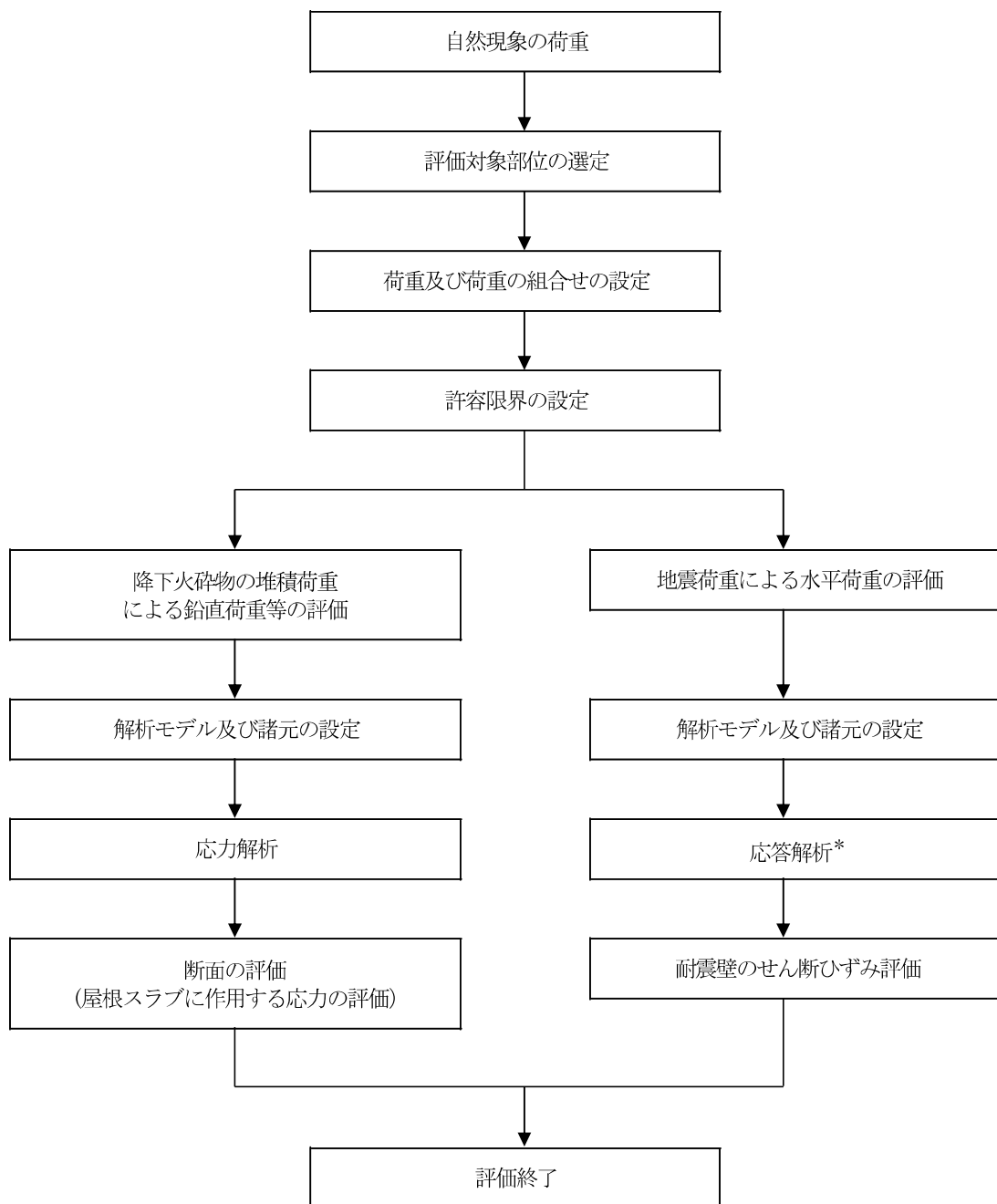
コントロール建屋の強度評価においては、その構造を踏まえて降下火砕物堆積による鉛直荷重及びこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

降下火砕物堆積による鉛直荷重及び設計荷重に対しては、鉛直荷重に抵抗する評価対象部位として屋根スラブを、水平荷重に抵抗する評価対象部位として耐震壁を選定した。

設計荷重は、V-3-別添 2-1-4「コントロール建屋の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に従い設定する。

屋根スラブ及び耐震壁に作用する荷重は、V-3-別添 2-1-4「コントロール建屋の強度計算の方針」のうち「5. 強度評価条件及び強度評価方法」に従い、コントロール建屋の質点系モデルを用いて評価する。

許容限界は、V-3-別添 2-1-4「コントロール建屋の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に従い設定する。



注記\*：別紙「年超過確率  $10^{-2}$  相当地震動に対するコントロール建屋の地震応答計算書」に示す。

図 2-4 強度評価フロー

## 2.4 適用規格

コントロール建屋の強度評価に用いる規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 新潟県建築基準法施行細則（昭和 35 年 12 月 30 日新潟県規則第 82 号）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987((社)日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社)日本電気協会)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社)日本建築学会, 1999 改定)
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社)日本建築学会, 2005 制定) (以下「RC-N 規準」という。)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社)日本電気協会)

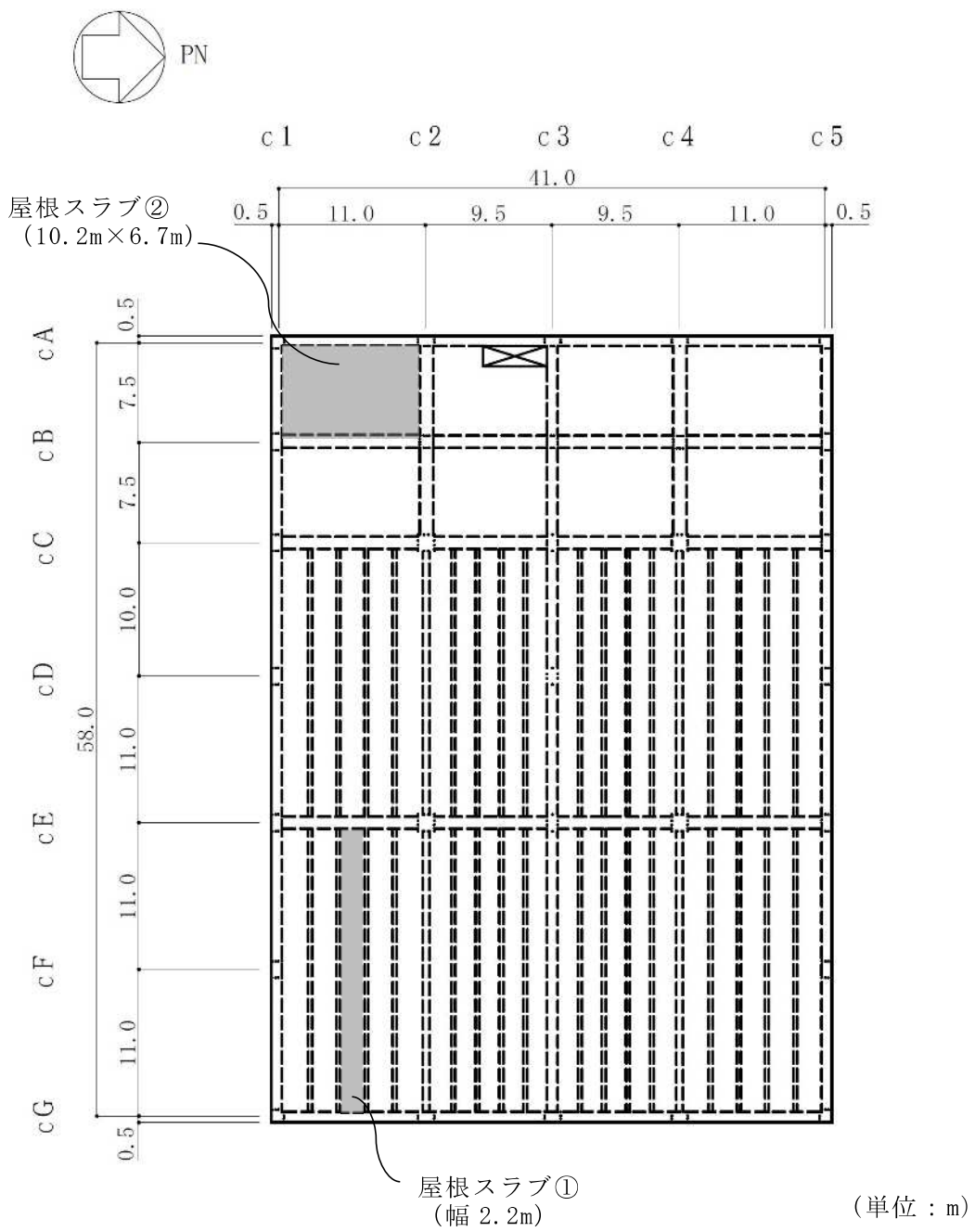
### 3. 強度評価方法及び評価条件

#### 3.1 評価対象部位

コントロール建屋の評価対象部位は、V-3-別添 2-1-4「コントロール建屋の強度計算の方針」のうち「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、屋根スラブ及び耐震壁とする。

なお、屋根スラブの評価については、各断面についてスラブのスパン、スラブに作用する荷重等を考慮して、検定値が最も大きい部材を選定する。選定については、両端固定ばりとして評価するスラブ及び四辺固定版として評価するスラブそれぞれから選定して示す。屋根スラブの評価対象部位を図 3-1 に示す。





(RF, T. M. S. L. 24. 1m)

図 3-1 屋根スラブの評価対象部位

### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、V-3-別添 2-1-4「コントロール建屋の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### 3.2.1 荷重

##### (1) 屋根スラブ

##### a. 鉛直荷重

表 3-1 に鉛直荷重の一覧を示す。屋根スラブに考慮する鉛直荷重は、常時作用する荷重 ( $F_d$ )、降下火砕物による荷重 ( $F_a$ ) 及び積雪荷重 ( $F_s, F_{sb}$ ) を考慮する。常時作用する荷重は、固定荷重 ( $G$ ) 及び積載荷重 ( $P$ ) とし、平成 4 年 10 月 13 日付け 4 資庁第 8732 号にて認可された工事計画の添付資料「IV-2-2-1 コントロール建屋の耐震性についての計算書」に基づき設定する。降下火砕物による荷重は、湿潤密度  $1.5\text{g/cm}^3$  の降下火砕物が 35cm 堆積した場合の荷重として考慮する。積雪荷重は積雪量 1cm ごとに  $29.4\text{N/m}^2$  とし、柏崎市における 1 日当たりの積雪量の年超過確率  $10^{-2}$  規模の値 84.3cm が堆積した場合の荷重を主荷重である降下火砕物による荷重に組み合わせる積雪荷重 ( $F_s$ ) とする。また、ベース負荷として日最深積雪量の平均値に当たる 31.1cm による荷重を常時考慮する積雪荷重 ( $F_{sb}$ ) として考慮する。

表 3-1 鉛直荷重一覧 (屋根スラブ)

常時作用する荷重 ( $F_d$ )	固定荷重 ( $G$ )	屋根スラブ①	15.79 $\text{kN/m}^2$
		屋根スラブ②	45.11 $\text{kN/m}^2$
	積載荷重 ( $P$ )		0.8826 $\text{kN/m}^2$
降下火砕物による荷重 ( $F_a$ )			5.148 $\text{kN/m}^2$
積雪荷重	年超過確率 $10^{-2}$ ( $F_s$ )		2.478 $\text{kN/m}^2$
	常時考慮する積雪荷重 ( $F_{sb}$ )		0.9143 $\text{kN/m}^2$

b. 地震荷重

屋根スラブに考慮する地震荷重 ( $F_k$ ) は、別紙「年超過確率  $10^{-2}$  相当地震動に対するコントロール建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析から得られる屋根スラブレベル (RF, T.M.S.L. 24.1m) の鉛直方向最大応答加速度より鉛直震度を算定する。

(2) 耐震壁

耐震壁の評価に考慮する荷重は、別紙「年超過確率  $10^{-2}$  相当地震動に対するコントロール建屋の地震応答計算書」に示す。

### 3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-2 に示す。

ケース 1 は、従荷重として地震荷重を組み合わせ、鉛直荷重と水平荷重を用いて評価するため、屋根スラブ及び耐震壁を評価対象とする。ケース 2 は、従荷重として積雪荷重を組み合わせ、鉛直荷重のみを用いて評価するため、屋根スラブを評価対象とする。

表 3-2 荷重の組合せ

考慮する荷重の組合せ	荷 重					
	常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )		主荷重	従荷重		ベース負荷
	固定荷重	積載荷重	降下火砕物による荷重 (F <sub>a</sub> )	地震荷重 (F <sub>k</sub> )	積雪荷重 (F <sub>s</sub> )	常時考慮する積雪荷重 (F <sub>s b</sub> )
ケース 1	○	○	○	○	—	○
ケース 2	○	○	○	—	○	○

注：「○」は考慮する荷重を示す。

### 3.3 許容限界

コントロール建屋の許容限界はV-3-別添 2-1-4「コントロール建屋の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.1 評価対象部位」にて設定している建屋の評価対象部位ごとに設定する。

屋根スラブ及び耐震壁の許容限界を表 3-3 に、コンクリート及び鉄筋の短期許容応力度を表 3-4 及び表 3-5 に示す。

表 3-3 許容限界

要求機能	構造強度設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
—	構造健全性を維持すること	屋根スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N 規準」に基づく終局強度
		耐震壁*1	最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $2.0 \times 10^{-3}$
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性能を損なわないこと	屋根スラブ	部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N 規準」に基づく短期許容応力度*3
		耐震壁*1,2	最大せん断ひずみが遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $2.0 \times 10^{-3}$
気密性	換気性能とあいまって気密性を維持すること	屋根スラブ	部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N 規準」に基づく短期許容応力度*4
		耐震壁*1,2	最大せん断ひずみが気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $2.0 \times 10^{-3}$ *5

注記\*1 : 建屋全体としては、地震力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、はり、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従すること、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられるため、各層の耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。また、「別紙 年超過確率  $10^{-2}$  相当地震動に対するコントロール建屋の地震応答計算書」で補助壁を耐震要素とした地震応答解析を行っているため、評価対象部位には補助壁を含む。

\*2 : コントロール建屋の一部を構成している 1 階及び 2 階に位置する中央制御室遮蔽及び中央制御室バウンダリに関する部分を対象とする。

\*3 : 許容限界は終局強度に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

\*4 : 地震時に生じる応力に対して許容応力度設計とし、地震時及び地震後においても気密性を維持できる設計とする。

\*5 : 事故時に換気性能とあいまって居住性を維持できる気密性を有する設計とし、地震時においてもその機能を維持できる設計とする。耐震壁の気密性に対する許容限界の適用性は、V-2「耐震性に関する説明書」のうち V-2-8-4-3「中央

制御室遮蔽の耐震性についての計算書 別紙 中央制御室の気密性に関する計算書」に示す。

表 3-4 コンクリートの短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

設計基準強度 F <sub>c</sub>	圧縮	せん断
32.3	21.5	1.21

表 3-5 鉄筋の短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

種別	引張及び圧縮	面外せん断補強
SD35 (SD345相当)	345	345

### 3.4 解析モデル及び諸元

#### 3.4.1 モデル化の基本方針

##### (1) 屋根スラブ

屋根スラブは、柱、壁及びはりで囲まれた範囲についてモデル化する。

屋根スラブの解析モデルは、屋根スラブ①については単位幅についてはりで支持された両端固定ばりとして評価する。屋根スラブ②については、四辺固定版として評価する。屋根スラブの解析モデルを図 3-2 に示す。

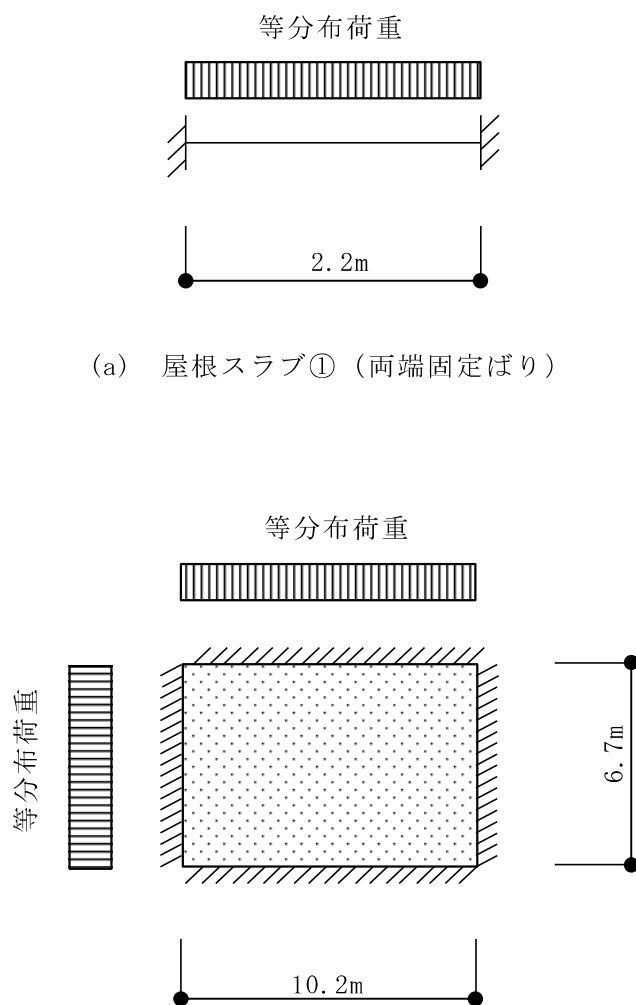


図 3-2 屋根スラブの解析モデル





### 3.5 評価方法

#### 3.5.1 屋根スラブの評価方法

##### (1) 応力解析方法

##### a. 荷重ケース

作用荷重のうち地震荷重は，固定荷重及び積載荷重と同じ鉛直下向きに作用する場合に生じる応力が最大となるため，地震荷重は鉛直下向きの場合のみ考慮する。最大鉛直加速度及び鉛直震度を表 3-6 に示す。

- $F_d$  : 常時作用する荷重
- $F_a$  : 降下火砕物による荷重
- $F_k$  : 地震荷重 (鉛直方向)
- $F_s$  : 積雪荷重 (地震時以外)
- $F_{sb}$  : 積雪荷重 (常時)

表 3-6 最大鉛直加速度及び鉛直震度

T. M. S. L. (m)	階	最大鉛直 加速度 ( $m/s^2$ )	鉛直震度
24.1	RF	1.43	0.15

##### b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3-7 に示す。

表 3-7 荷重の組合せケース (屋根スラブ)

組合せケース	荷重の組合せ
ケース 1	$F_d + F_a + F_k + F_{sb}$
ケース 2	$F_d + F_a + F_s + F_{sb}$

## c. 応力算出方法

等分布荷重を受ける両端固定ばり及び四辺固定版の曲げモーメント及びせん断力は下式より求める。

(両端固定ばり)

- ・ 端部曲げモーメント ( $M_E$ )

$$M_E = -\frac{1}{12} w \cdot \ell^2$$

- ・ 中央部曲げモーメント ( $M_C$ )

$$M_C = \frac{1}{24} w \cdot \ell^2$$

- ・ せん断力 ( $Q_E$ )

$$Q_E = \frac{1}{2} w \cdot \ell$$

ここで,

$\ell$  : 有効スパン (m)

$w$  : 単位面積あたりの荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

(四辺固定版)

- ・ 短辺の端部曲げモーメント ( $M_{x1}$ )

$$M_{x1} = -\frac{1}{12} w_x \cdot \ell_x^2$$

- ・ 短辺の中央部曲げモーメント ( $M_{x2}$ )

$$M_{x2} = \frac{1}{18} w_x \cdot \ell_x^2$$

- ・ 短辺のせん断力 ( $Q_x$ )

$$Q_x = 0.52 w \cdot \ell_x$$

- ・ 長辺の端部曲げモーメント ( $M_{y1}$ )

$$M_{y1} = -\frac{1}{24} w \cdot \ell_x^2$$

- ・ 長辺の中央部曲げモーメント ( $M_{y2}$ )

$$M_{y2} = \frac{1}{36} w \cdot \ell_x^2$$

・ 長辺のせん断力 ( $Q_y$ )

$$Q_y = 0.46 w \cdot l_x$$

ここで,

$l_x$  : 短辺有効スパン (m)

$l_y$  : 長辺有効スパン (m)

$w$  : 単位面積あたりの荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$$w_x = \frac{l_y^4}{l_x^4 + l_y^4} w$$

## (2) 断面の評価方法

断面の評価は以下の方法で行う。

屋根スラブについては、曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度及び面外せん断力を算定し、許容限界を超えないことを確認する。

## a. 曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N 規準」に基づき、次式をもとに計算した評価対象箇所に生じる曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度が、短期許容応力度を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{a_t \cdot j}$$

ここで、 $\sigma_t$  : 鉄筋の引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

M : 曲げモーメント (N・mm)

$a_t$  : 引張鉄筋断面積 (mm<sup>2</sup>)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

## b. 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N 規準」に基づき、評価対象箇所に生じる面外せん断力が、次式をもとに計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 \cdot w \cdot f_t \cdot (p_w - 0.002) \}$$

ここで、 $Q_A$  : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

$\alpha$  : 許容せん断力の割増し係数

(2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M/(Q \cdot d) + 1}$$

ここで、M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

$f_s$  : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$w \cdot f_t$  : せん断補強筋の短期許容引張応力度で、表 3-5 に示す値 (N/mm<sup>2</sup>)

$p_w$  : せん断補強筋比で、次式による。(0.002 以上とする。\*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

$a_w$  : せん断補強筋の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$x$  : せん断補強筋の間隔 (mm)

注記\* : せん断補強筋がない領域については、第 2 項を 0 とする。

### 3.5.2 耐震壁の評価方法

耐震壁は，別紙「年超過確率  $10^{-2}$  相当地震動に対するコントロール建屋の地震応答計算書」に示す耐震壁のせん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

4. 強度評価結果

4.1 屋根スラブの評価結果

「3.5 評価方法」に基づいた評価結果を表 4-1 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって発生する曲げモーメントに対する鉄筋の引張応力度が許容限界を超えないこと及び発生する面外せん断力が許容限界を超えないことを確認した。

表 4-1 屋根スラブの評価結果 (1/2)

評価対象部位		屋根スラブ① (幅2.2m)	
T. M. S. L. (m)		24.1	
厚さ t (mm)		□	
有効せい d (mm)		240	
配筋 (鉄筋断面積)		D13@200 (635mm <sup>2</sup> /m)	
検討ケース		ケース1	ケース2
曲げモーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	10.55	10.17
	鉄筋の引張応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	79.12	76.27
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345	345
	検定値	0.23	0.23
面外せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	28.77	27.73
	せん断スパン比による 割増し係数 $\alpha$	1.0	1.0
	許容限界 (kN/m)	254.1	254.1
	検定値	0.12	0.11



表 4-1 屋根スラブの評価結果 (2/2)

評価対象部位		屋根スラブ② (10.2m×6.7m)	
T. M. S. L. (m)		24.1	
厚さ t (mm)		□	
有効せい d (mm)		640	
配筋 (鉄筋断面積)		D22@200 (1935mm <sup>2</sup> /m)	
検討ケース		ケース1	ケース2
曲げモーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	188.8	172.0
	鉄筋の引張応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	174.2	158.7
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345	345
	検定値	0.51	0.46
面外せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	208.6	190.0
	せん断スパン比による 割増し係数 $\alpha$	1.0	1.0
	許容限界 (kN/m)	677.6	677.6
	検定値	0.31	0.29

#### 4.2 耐震壁の評価結果

「3.5 評価方法」に基づいた評価結果を表 4-2 に示す。なお、各方向において、最大せん断ひずみが生じる部材のみを示す。

年超過確率  $10^{-2}$  相当地震動による水平荷重等によって、評価対象部位に生じるせん断ひずみが許容限界を超えないことを確認した。なお、遮蔽性及び気密性の要求機能がある中央制御室（上部）レベル（T.M.S.L. 17.3～24.1m 部材番号 1）及び中央制御室（下部）レベル（T.M.S.L. 12.3～17.3m 部材番号 2）のせん断ひずみは、最大せん断ひずみより小さい値であり、許容限界を超えていない。

表 4-2 耐震壁の評価結果

検討 ケース	評価項目	方向	部材番号	せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	許容限界 ( $\times 10^{-3}$ )
ケース1	せん断ひずみ	NS方向	5	0.0483	2.0
		EW方向	5	0.0373	

別紙 年超過確率  $10^{-2}$  相当地震動に対するコントロール建屋の  
地震応答計算書

## 目 次

1. 概要	別紙-1
2. 基本方針	別紙-1
2.1 位置	別紙-1
2.2 構造概要	別紙-2
2.3 解析方針	別紙-10
2.4 適用規格	別紙-12
3. 解析方法	別紙-13
3.1 検討用地震動	別紙-13
3.2 地震応答解析モデル	別紙-16
3.2.1 水平方向モデル	別紙-17
3.2.2 鉛直方向モデル	別紙-18
3.3 解析方法	別紙-31
4. 解析結果	別紙-32
4.1 固有値解析結果	別紙-32
4.2 応答解析結果	別紙-32

## 1. 概要

本資料は、V-3-別添 2-1-4「コントロール建屋の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す年超過確率  $10^{-2}$  相当地震動に対するコントロール建屋の地震応答解析について説明するものである。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

コントロール建屋の設置位置を図 2-1 に示す。

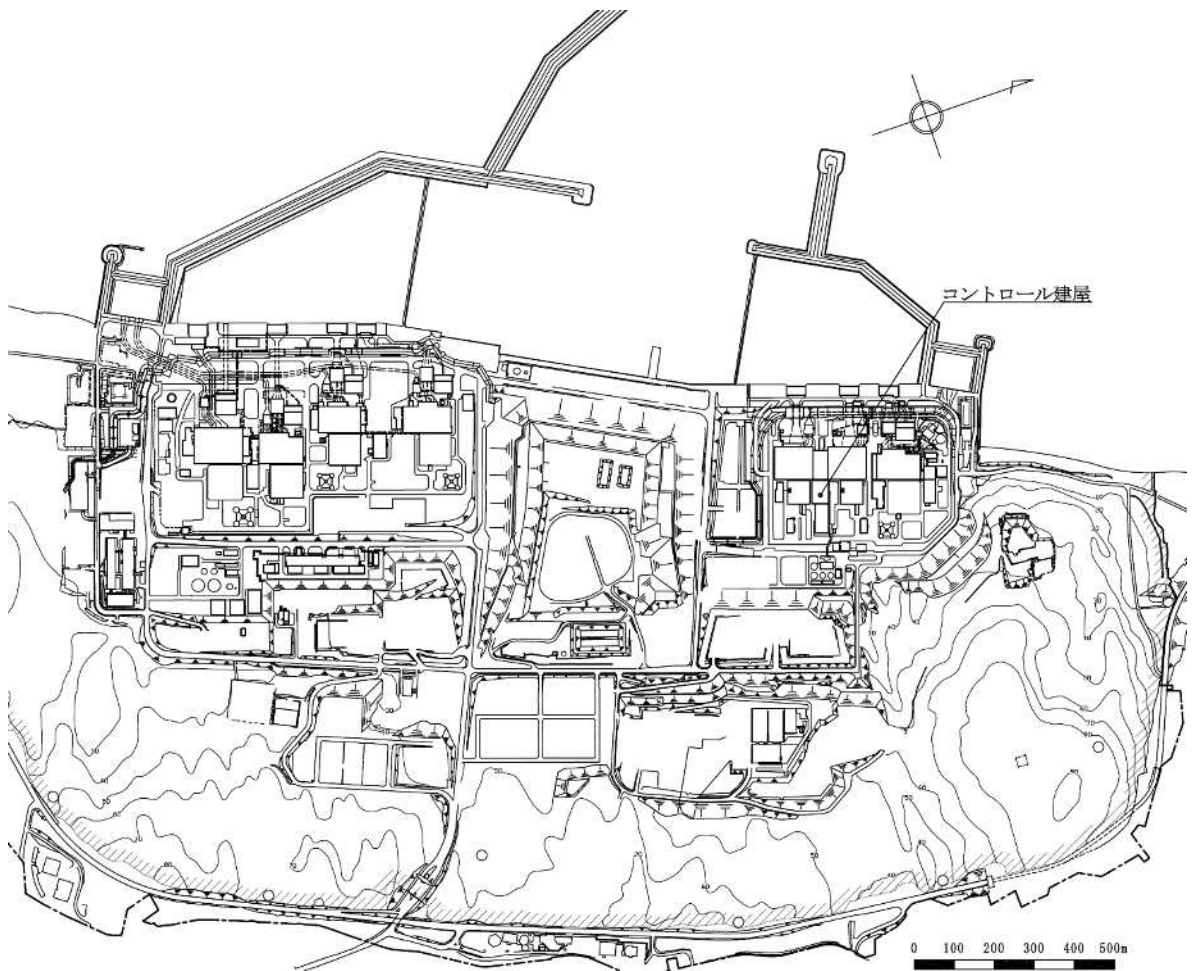


図 2-1 コントロール建屋の設置位置

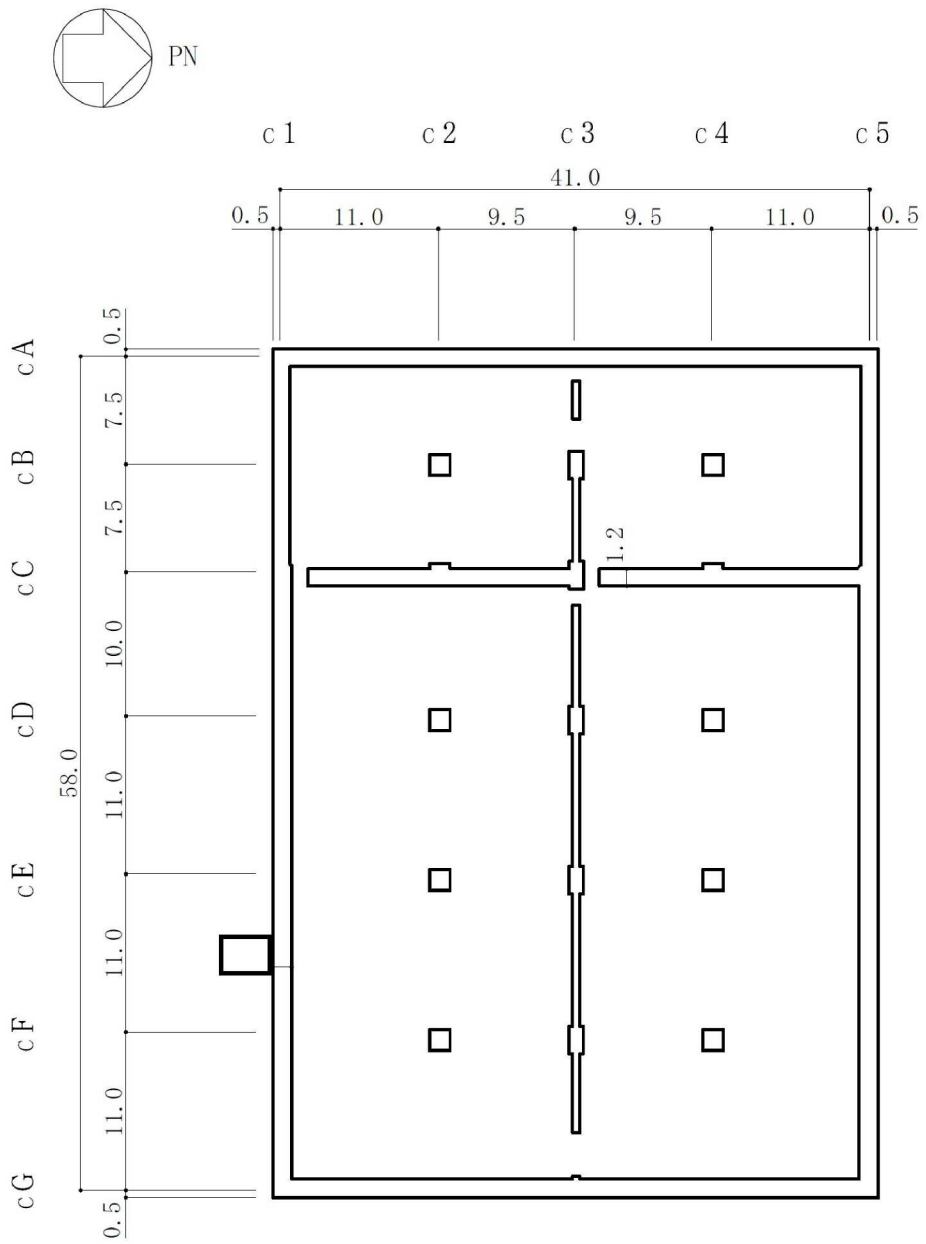
## 2.2 構造概要

コントロール建屋は、地上2階、地下2階建ての鉄筋コンクリート造を主体とした建物となっている。コントロール建屋の概略平面図及び概略断面図を図2-2及び図2-3に示す。

コントロール建屋の平面は、42.0m（NS方向）×59.0m（EW方向）である。基礎スラブ底面からの高さは29.6mであり、地上高さは12.1mである。また、コントロール建屋は隣接する他の建屋と構造的に分離している。

コントロール建屋の基礎は厚さ2.8mのべた基礎で、支持地盤である泥岩上にマンメイドロックを介して設置している。

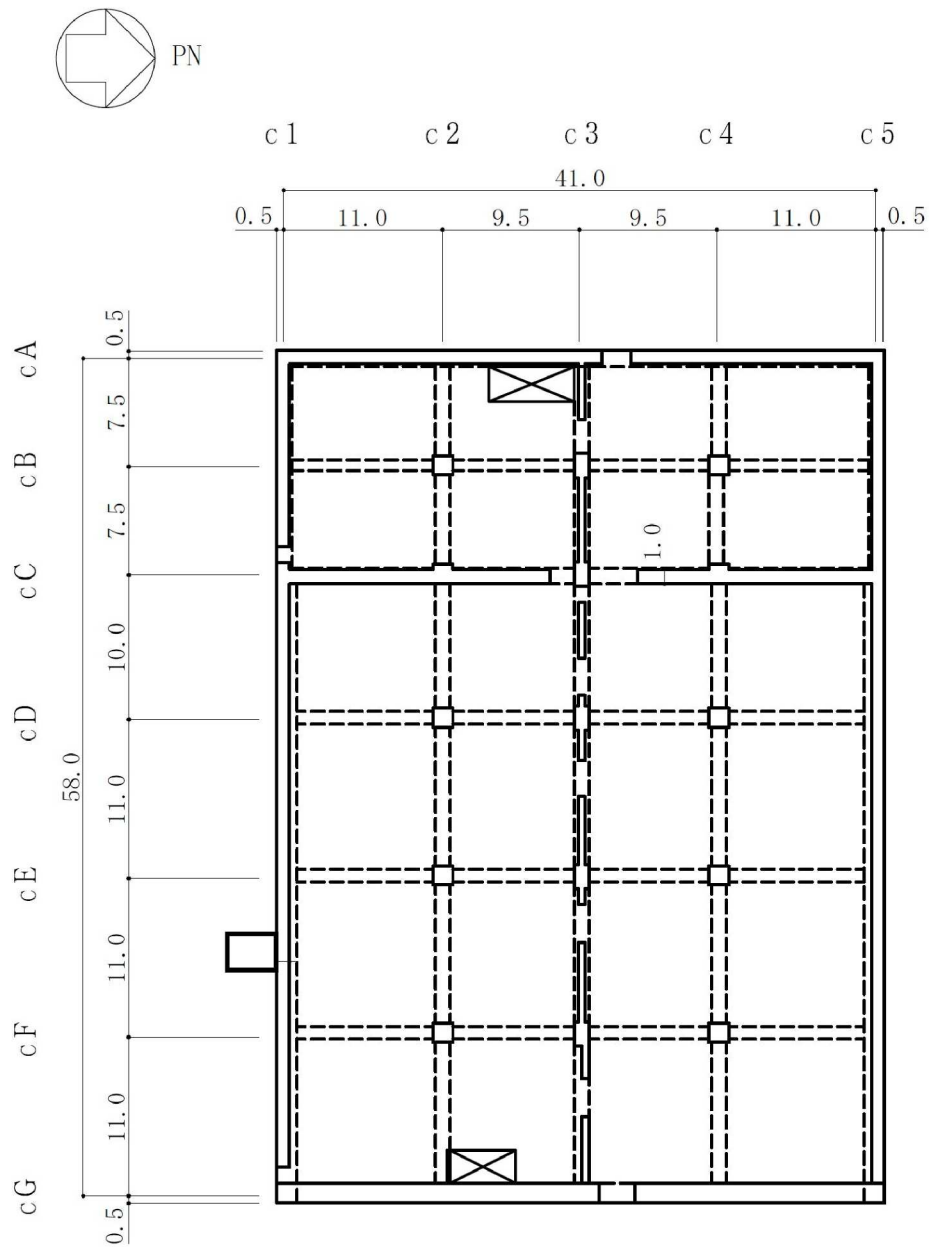
コントロール建屋の主な耐震壁は、外壁である。主要な耐震壁は建屋の中心に対してほぼ対称に配置しており、開口部も少なく、建屋は全体として非常に剛性の高い構造となっている。



(単位 : m)

注 : 東京湾平均海面 (以下「T.M.S.L.」という。)

図 2-2 コントロール建屋の概略平面図 (B2F, T.M.S.L. -2.7m) (1/5)

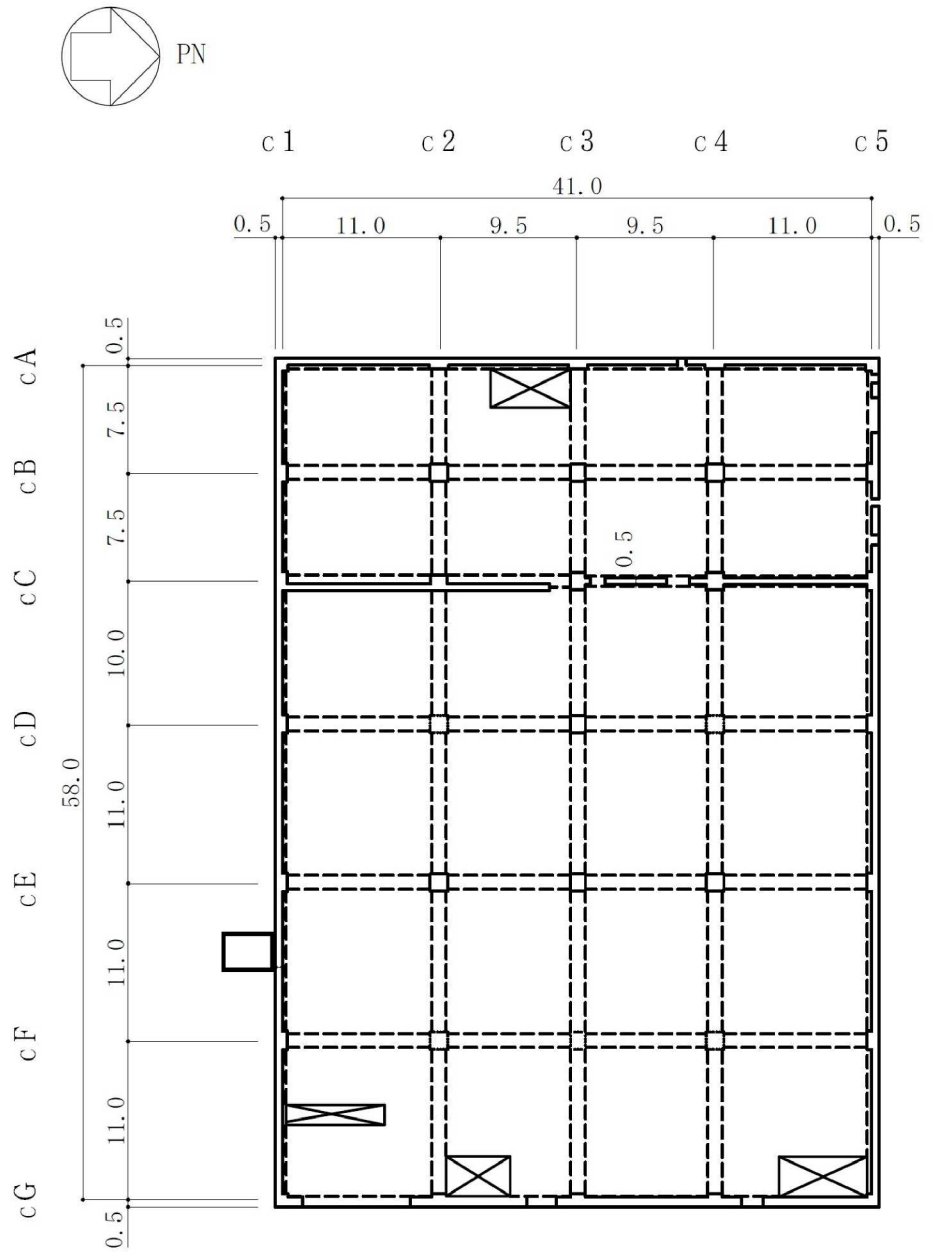


(単位 : m)

図2-2 コントロール建屋の概略平面図 (B1F, T.M.S.L. 6.5m) (2/5)

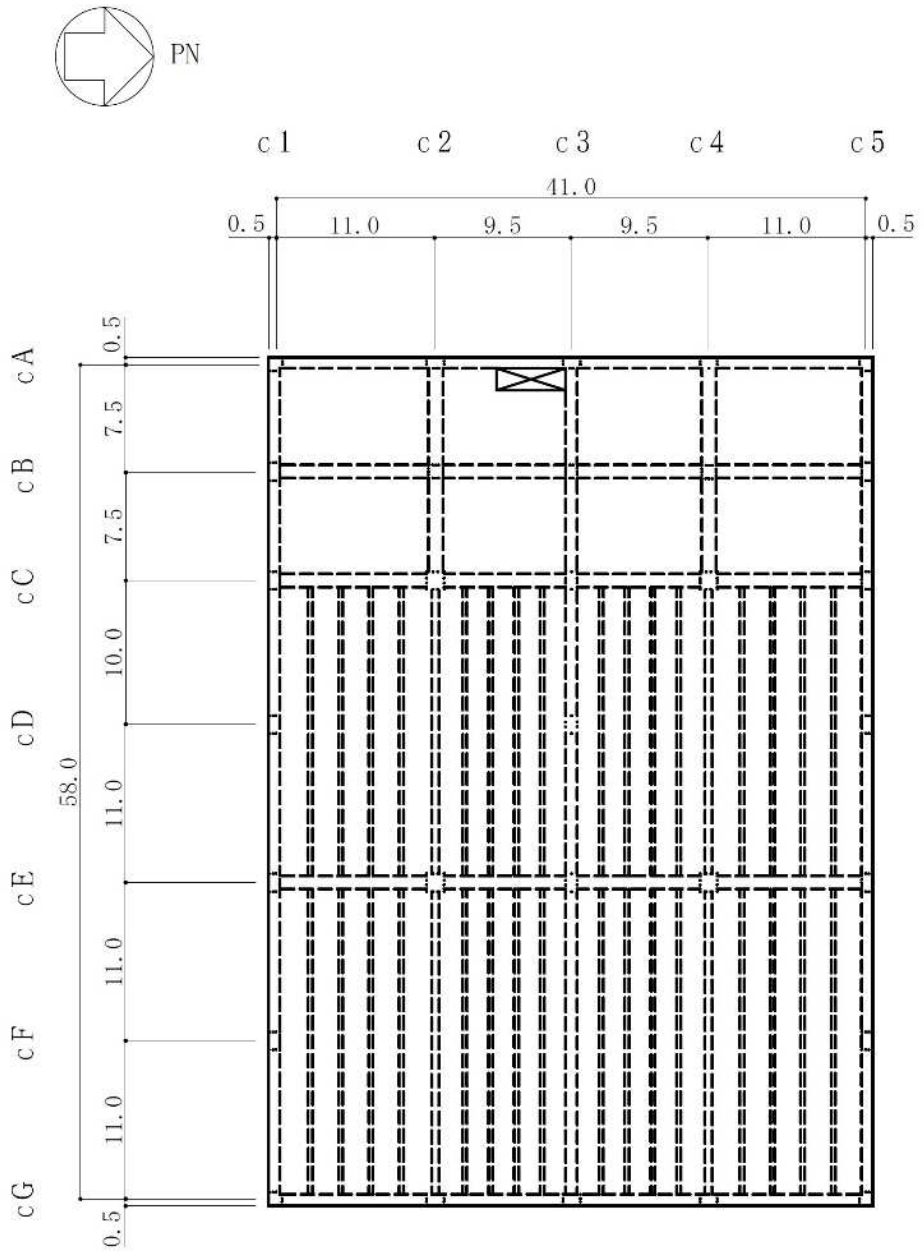






(単位 : m)

図2-2 コントロール建屋の概略平面図 (2F, T.M.S.L. 17.3m) (4/5)



(単位 : m)

図2-2 コントロール建屋の概略平面図 (RF, T.M.S.L. 24.1m) (5/5)

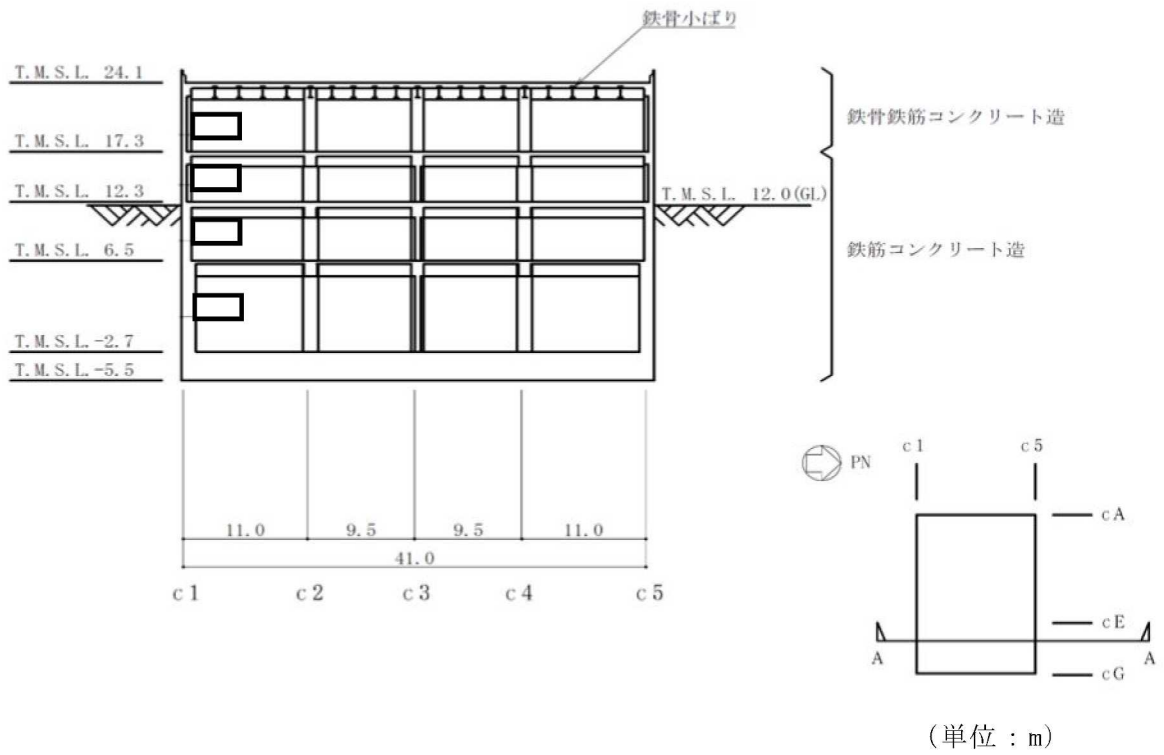


図 2-3 コントロール建屋の概略断面図 (NS 方向) (1/2)

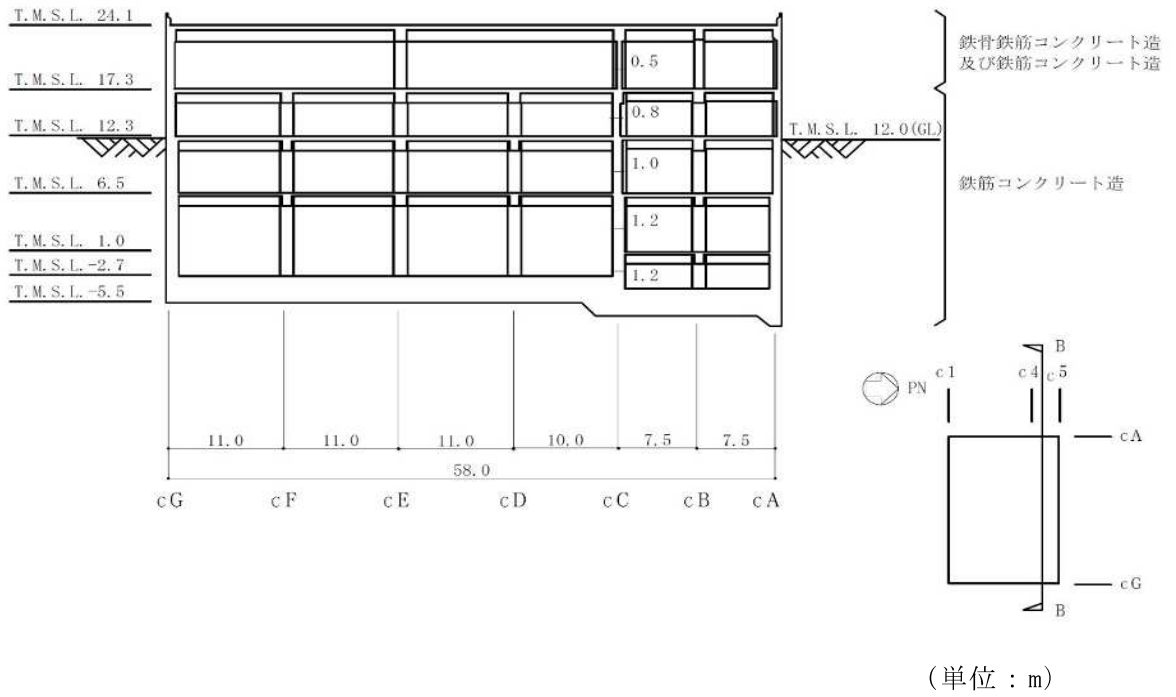


図 2-3 コントロール建屋の概略断面図 (EW 方向) (2/2)

## 2.3 解析方針

コントロール建屋の地震応答解析は、V-2「耐震性に関する説明書」のうちV-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づいて行う。

図 2-4 にコントロール建屋の地震応答解析フローを示す。

地震応答解析は、「3.1 検討用地震動」及び「3.2 地震応答解析モデル」において設定した地震応答解析モデルを用いて実施することとし、「3.3 解析方法」に基づき、「4. 解析結果」において、加速度，変位，せん断ひずみ等を含む各種応答値を算出する。

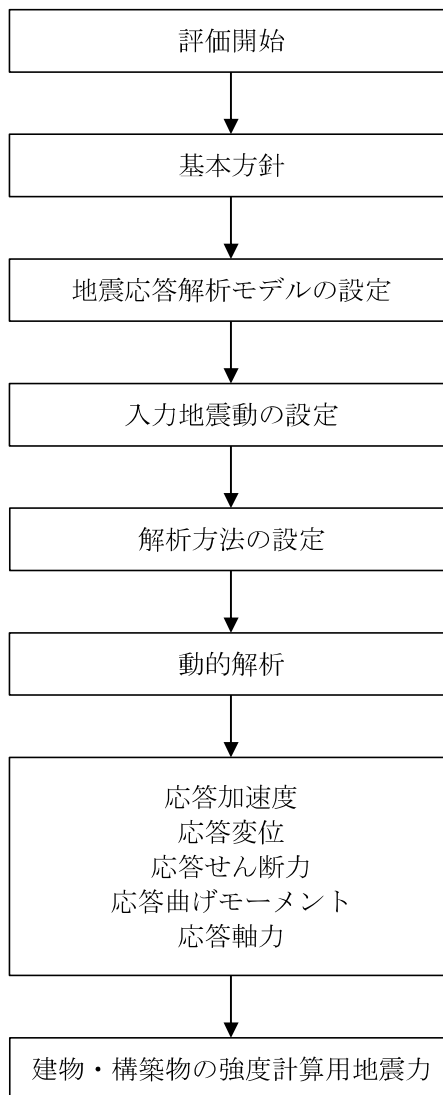


図 2-4 コントロール建屋の地震応答解析フロー

## 2.4 適用規格

地震応答解析において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・ 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005 改定)

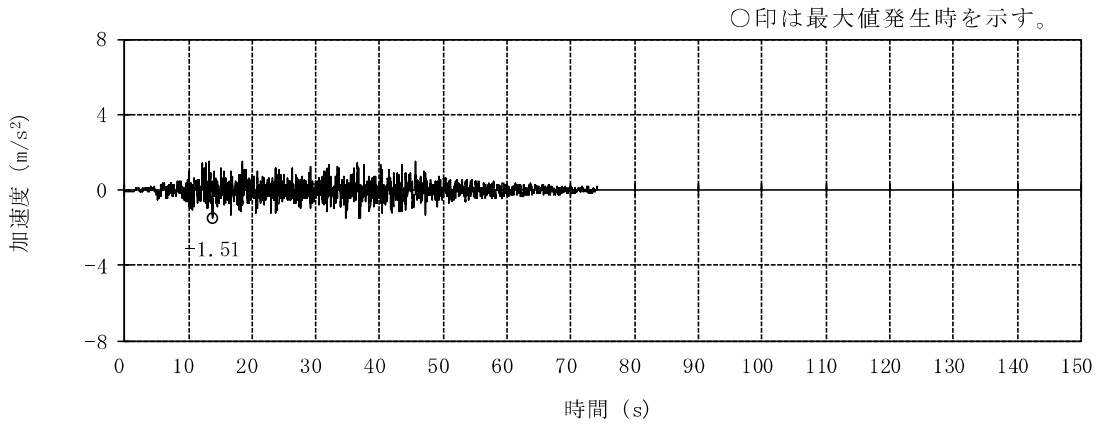


### 3. 解析方法

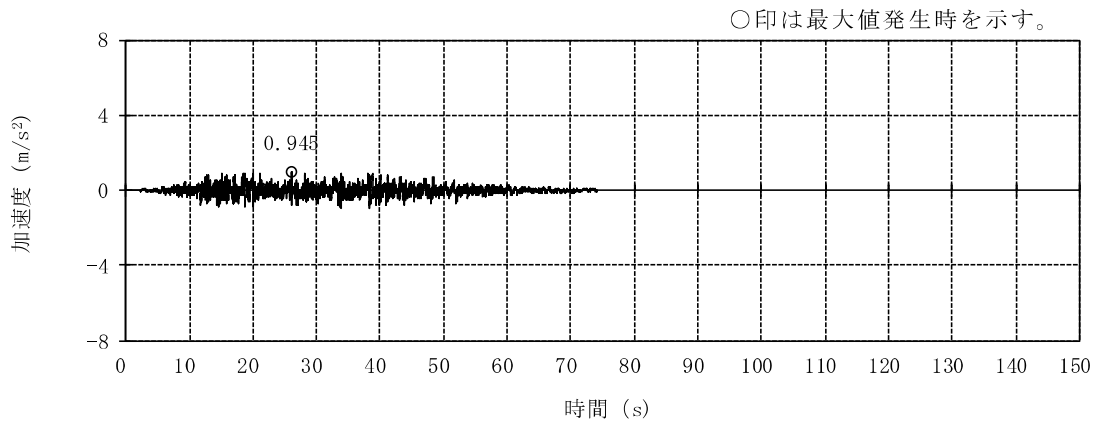
#### 3.1 検討用地震動

コントロール建屋の地震応答解析モデルは、建屋と地盤の相互作用を評価した建屋－地盤連成モデルとする。この建屋－地盤連成モデルへの入力地震動は、V-3-別添2-1-4「コントロール建屋の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す解放基盤表面レベルに想定する年超過確率  $10^{-2}$  相当地震動を用いることとする。

年超過確率  $10^{-2}$  相当地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを図 3-1 及び図 3-2 に示す。

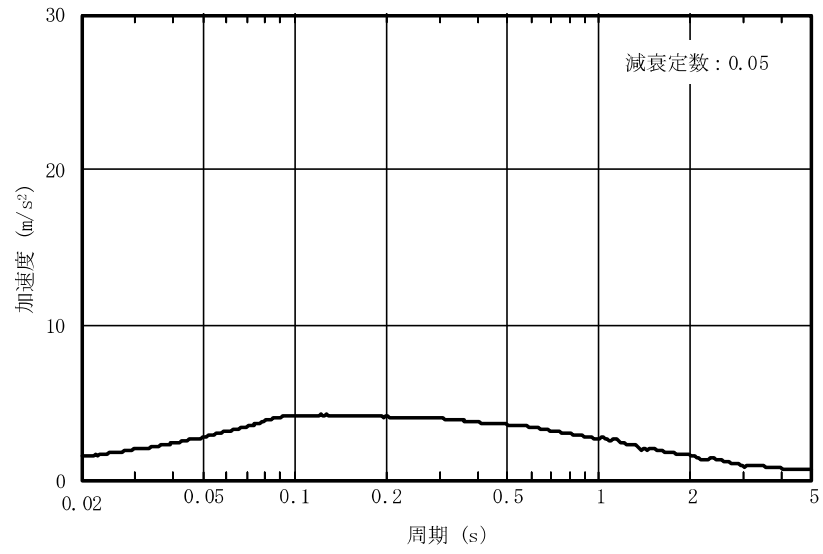


(a) 水平方向

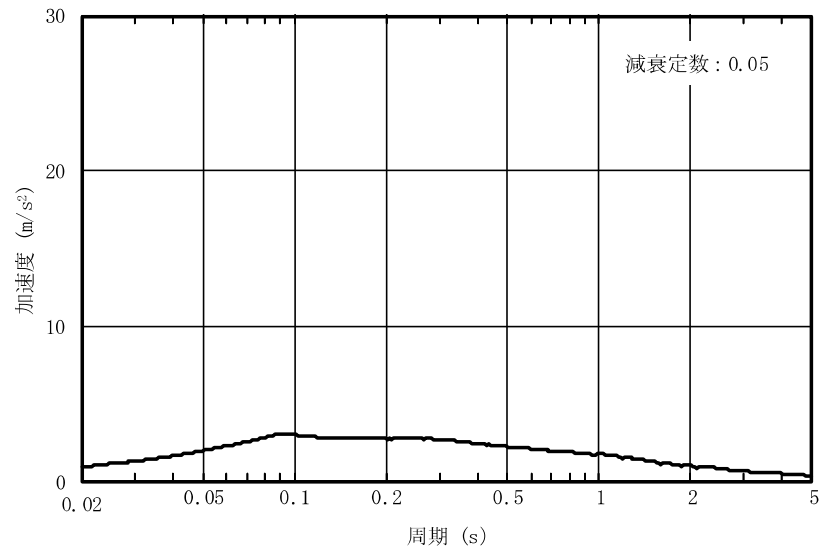


(b) 鉛直方向

図 3-1 加速度時刻歴波形 (年超過確率  $10^{-2}$  相当地震動)



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

図 3-2 加速度応答スペクトル (年超過確率  $10^{-2}$  相当地震動)

### 3.2 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、V-2「耐震性に関する説明書」のうちV-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、水平方向及び鉛直方向それぞれについて設定する。

地震応答解析モデルの設定に用いた建物・構築物の物性値を表 3-1 に示す。

ここで、コンクリート剛性については、実現象に近い応答を模擬するという観点から、建設時コンクリートの 91 日強度データを基に設定した実強度を用いて算定する。

表 3-1 建物・構築物の物性値

部位	使用材料	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 G (N/mm <sup>2</sup> )	減衰定数 h (%)
建屋部	コンクリート*： $\sigma_c=43.1$ (N/mm <sup>2</sup> ) ( $\sigma_c=440$ kgf/cm <sup>2</sup> ) 鉄筋：SD35 (SD345 相当)	$2.88 \times 10^4$	$1.20 \times 10^4$	5
基礎スラブ	コンクリート*： $\sigma_c=39.2$ (N/mm <sup>2</sup> ) ( $\sigma_c=400$ kgf/cm <sup>2</sup> ) 鉄筋：SD35 (SD345 相当)	$2.79 \times 10^4$	$1.16 \times 10^4$	5

注記\*：実強度に基づくコンクリート強度。

### 3.2.1 水平方向モデル

水平方向の地震応答解析モデルは、地盤との相互作用を考慮し、曲げ及びせん断剛性を考慮した質点系モデルとし、弾性時刻歴応答解析を行う。

建屋のモデル化は NS 方向、EW 方向それぞれについて行っている。また、設計時には考慮していなかった補助壁を、実現象に近い応答を模擬するという観点から、耐震要素と位置づけ、地震応答解析モデルに取り込む。地震応答解析モデルを図 3-3 に、地震応答解析モデルの諸元を表 3-2 及び表 3-3 に示す。

地盤は、地盤調査に基づき水平成層地盤とし、基礎底面地盤ばねについては、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版 ((社) 日本電気協会)」(以下「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」という。)により、成層補正を行ったのち、振動アドミッタンス理論に基づき求めたスウェイ及びロッキングの地盤ばねを、近似法により定数化して用いる。基礎底面地盤ばねの評価には解析コード「ADMIT」を用いる。

また、埋込み部分の建屋側面地盤ばねについては、建屋側面位置の地盤定数を用いて、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」により、Novak の方法に基づき求めた水平ばねを、基礎底面地盤ばねと同様に、近似法により定数化して用いる。また、設計時に考慮していなかった回転ばねを、水平ばねと同様に、定数化して用いる。なお、地盤表層部(新期砂層)については、地盤ばねを考慮しない。建屋側面の水平・回転ばねの評価には、解析コード「LNOVAK」を用いる。

水平方向モデルへの入力地震動は、次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定する年超過確率  $10^{-2}$  相当地震動に対する地盤の応答として評価する。また、基礎底面レベルにおけるせん断力(以下「切欠き力」という。)を入力地震動に付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮する。図 3-4 に、地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を用いる。

年超過確率  $10^{-2}$  相当地震動に対する地盤定数を表 3-4 に示す。なお、地盤定数は地盤のひずみ依存特性を考慮して求めた等価地盤物性値を用いる。ひずみ依存特性については、V-2「耐震性に関する説明書」のうち V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づく。設定した地盤定数に基づき算定した基礎底面位置(T.M.S.L.-5.5m)における入力地震動の加速度応答スペクトルを図 3-5 に示す。地震応答解析に用いる地盤のばね定数と減衰係数を表 3-5 に示す。

なお、水平方向の解析に用いる解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、V-3「強度に関する説明書 別紙 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

### 3.2.2 鉛直方向モデル

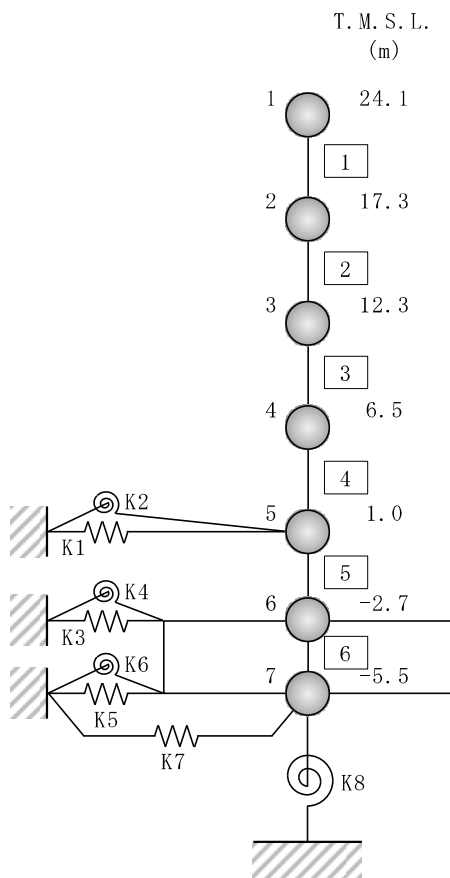
鉛直方向の地震応答解析モデルは、耐震壁の軸剛性を考慮した質点系モデルとし、弾性時刻歴応答解析を行う。水平方向モデルと同様に、補助壁を地震応答解析モデルに取り込む。鉛直方向の地震応答解析モデルを図3-6に、地震応答解析モデルの諸元を表3-6に示す。

地盤は、地盤調査に基づき水平成層地盤とし、基礎底面地盤ばねについては、スウェイ及びロッキングばね定数の評価法と同様、成層補正を行ったのち、振動アドミッタンス理論に基づき求めた鉛直ばねを近似法により定数化して用いる。基礎底面地盤ばねの評価には解析コード「ADMIT」を用いる。

鉛直方向モデルへの入力地震動は、一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定する年超過確率 $10^{-2}$ 相当地震動に対する地盤の応答として評価したものであり、基礎底面レベルに直接入力する。図3-7に、地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を用いる。

設定した地盤定数に基づき算定した基礎底面位置(T.M.S.L. -5.5m)における入力地震動の加速度応答スペクトルを図3-8に示す。なお、地盤定数は表3-4に示すとおりである。地震応答解析に用いる地盤のばね定数と減衰係数を表3-7に示す。

なお、鉛直方向の解析に用いる解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、V-3「強度に関する説明書 別紙 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。



注 1 : 数字は質点番号を示す。

注 2 : □内は部材番号を示す。

図 3-3 地震応答解析モデル (水平方向)

表 3-2 地震応答解析モデル諸元 (NS 方向)

質点 番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I <sub>G</sub> (×10 <sup>6</sup> kN・m <sup>2</sup> )	部材 番号	せん断断面積 A <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> )	断面二次モーメント I (m <sup>4</sup> )
1	76040	12.2			
			①	76.7	24000
2	92410	14.8			
			②	112.1	27400
3	103900	18.6			
			③	151.7	41700
4	120780	22.6			
			④	156.8	53200
5	65170	13.9			
			⑤	153.6	53200
6	124330	19.9			
			⑥	2478.0	364300
7	81650	12.0			
合計	664280				

① 建屋部

ヤング係数 E	2.88 × 10 <sup>4</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
せん断弾性係数 G	1.20 × 10 <sup>4</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
ポアソン比 ν	0.20
減衰定数 h	5 %

② 基礎スラブ

ヤング係数 E	2.79 × 10 <sup>4</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
せん断弾性係数 G	1.16 × 10 <sup>4</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
ポアソン比 ν	0.20
減衰定数 h	5 %

基礎形状 42.0m(NS 方向) × 59.0m(EW 方向)



表 3-3 地震応答解析モデル諸元 (EW 方向)

質点 番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I <sub>G</sub> (×10 <sup>6</sup> kN・m <sup>2</sup> )	部材 番号	せん断断面積 A <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> )	断面二次モーメント I (m <sup>4</sup> )
1	76040	25.3			
			①	68.9	38100
2	92410	30.1			
			②	129.8	61100
3	103900	33.2			
			③	151.7	84100
4	120780	37.4			
			④	204.1	109100
5	65170	24.9			
			⑤	202.3	107800
6	124330	38.7			
			⑥	2478.0	718800
7	81650	23.7			
合計	664280				

① 建屋部

ヤング係数 E            2.88×10<sup>4</sup> (N/mm<sup>2</sup>)  
 せん断弾性係数 G      1.20×10<sup>4</sup> (N/mm<sup>2</sup>)  
 ポアソン比 ν            0.20  
 減衰定数 h              5 %

② 基礎スラブ

ヤング係数 E            2.79×10<sup>4</sup> (N/mm<sup>2</sup>)  
 せん断弾性係数 G      1.16×10<sup>4</sup> (N/mm<sup>2</sup>)  
 ポアソン比 ν            0.20  
 減衰定数 h              5 %

基礎形状                    42.0m(NS 方向)×59.0m(EW 方向)

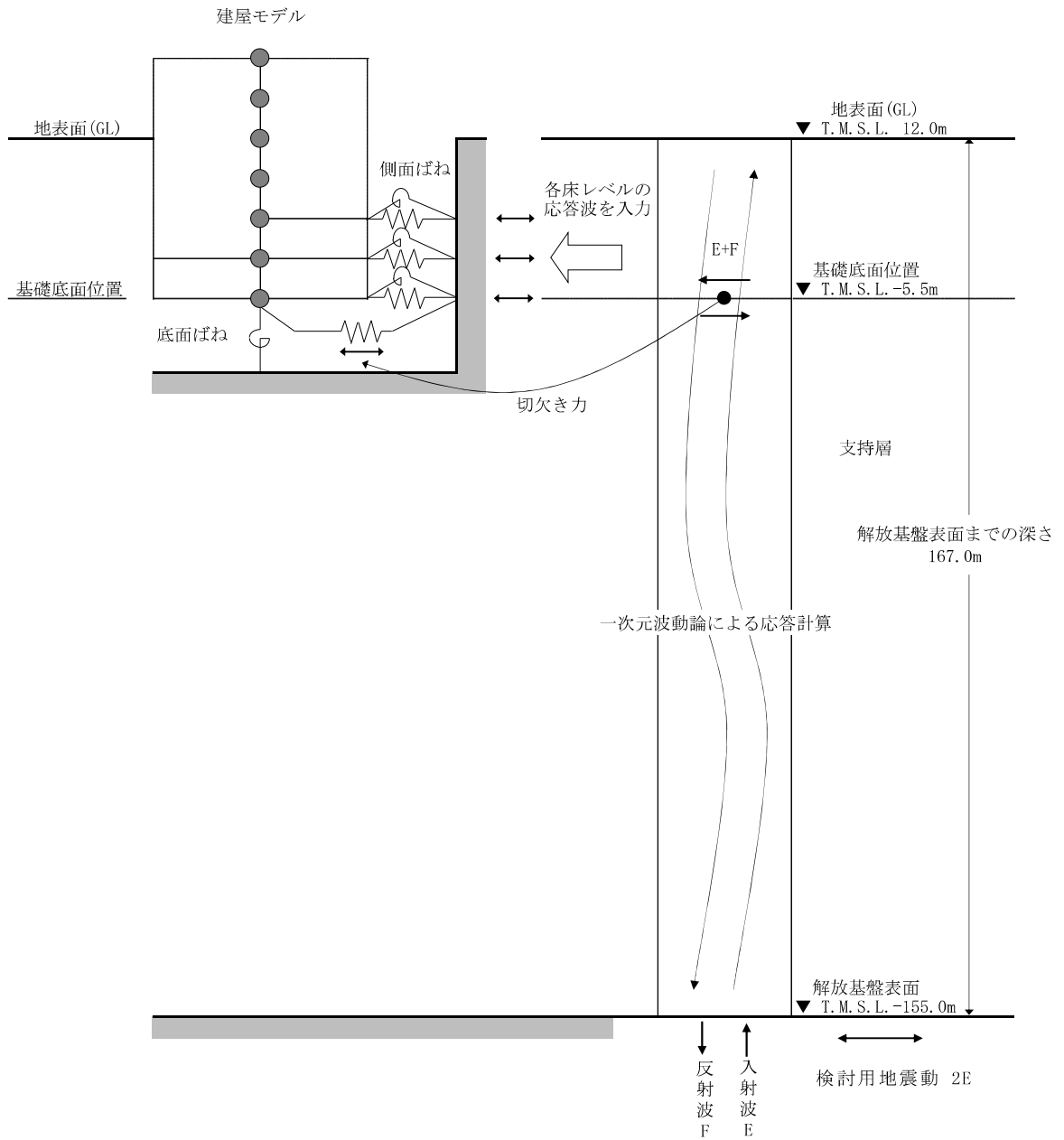


図 3-4 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図 (水平方向)

表 3-4 地盤定数 (年超過確率  $10^{-2}$  相当地震動)

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 $V_s$ (m/s)	単位体積 重量 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 $\nu$	せん断 弾性係数 $G$ ( $\times 10^5$ kN/m <sup>2</sup> )	初期せん断 弾性係数 $G_0$ ( $\times 10^5$ kN/m <sup>2</sup> )	剛性 低下率 $G/G_0$	減衰 定数 $h$ (%)
+12.0	新期砂層	150	16.1	0.347	0.247	0.369	0.67	8
+8.0		200	16.1	0.308	0.374	0.657	0.57	11
+4.0	古安田層	330	17.3	0.462	1.53	1.92	0.80	3
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	4.07	4.16	0.98	3
-33.0		530	16.6	0.446	4.60	4.75	0.97	3
-90.0		590	17.3	0.432	6.01	6.14	0.98	3
-136.0		650	19.3	0.424	8.15	8.32	0.98	3
-155.0		椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00
$\infty$								

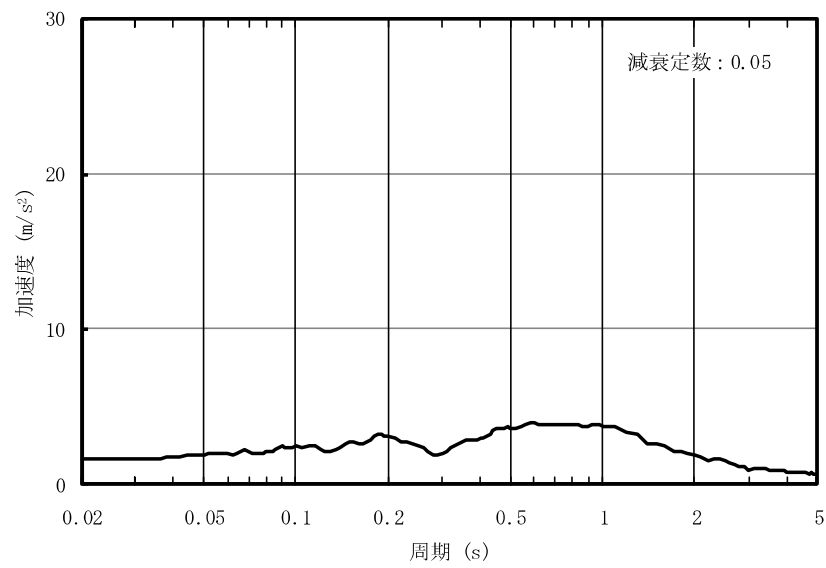


図 3-5 入力地震動の加速度応答スペクトル  
(年超過確率  $10^{-2}$  相当地震動, 水平方向, T.M.S.L. -5.5m)

表 3-5 地盤のばね定数と減衰係数 (年超過確率  $10^{-2}$  相当地震動)

(a) NS 方向

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	ばね定数* <sup>1</sup>	減衰係数* <sup>2</sup>
K1	5	側面・並進	$3.21 \times 10^6$	$9.15 \times 10^5$
K2	5	側面・回転	$1.83 \times 10^9$	$1.65 \times 10^8$
K3	6	側面・並進	$2.15 \times 10^6$	$6.13 \times 10^5$
K4	6	側面・回転	$1.23 \times 10^9$	$1.11 \times 10^8$
K5	7	側面・並進	$9.27 \times 10^5$	$2.64 \times 10^5$
K6	7	側面・回転	$5.29 \times 10^8$	$4.77 \times 10^7$
K7	7	底面・並進	$6.62 \times 10^7$	$2.25 \times 10^6$
K8	7	底面・回転	$3.75 \times 10^{10}$	$3.44 \times 10^8$

注記\*1 : K1, K3, K5, K7 は kN/m K2, K4, K6, K8 は kN・m/rad

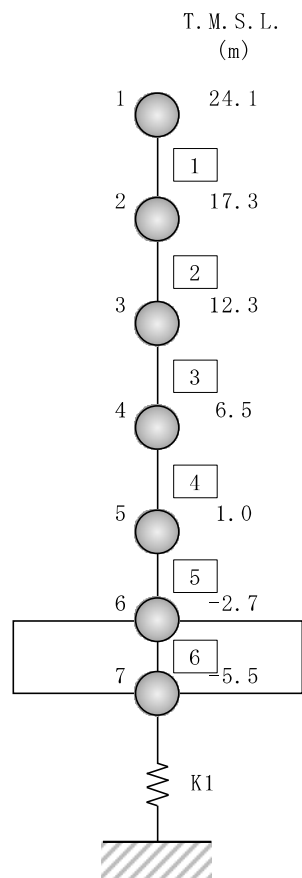
\*2 : K1, K3, K5, K7 は kN・s/m K2, K4, K6, K8 は kN・m・s/rad

(b) EW 方向

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	ばね定数* <sup>1</sup>	減衰係数* <sup>2</sup>
K1	5	側面・並進	$3.21 \times 10^6$	$9.26 \times 10^5$
K2	5	側面・回転	$1.83 \times 10^9$	$1.66 \times 10^8$
K3	6	側面・並進	$2.15 \times 10^6$	$6.21 \times 10^5$
K4	6	側面・回転	$1.23 \times 10^9$	$1.11 \times 10^8$
K5	7	側面・並進	$9.27 \times 10^5$	$2.67 \times 10^5$
K6	7	側面・回転	$5.29 \times 10^8$	$4.80 \times 10^7$
K7	7	底面・並進	$6.42 \times 10^7$	$2.11 \times 10^6$
K8	7	底面・回転	$6.20 \times 10^{10}$	$8.04 \times 10^8$

注記\*1 : K1, K3, K5, K7 は kN/m K2, K4, K6, K8 は kN・m/rad

\*2 : K1, K3, K5, K7 は kN・s/m K2, K4, K6, K8 は kN・m・s/rad



注 1：数字は質点番号を示す。

注 2：□内は部材番号を示す。

図 3-6 地震応答解析モデル（鉛直方向）

表 3-6 地震応答解析モデル諸元 (鉛直方向)

質点 番号	質点重量 W (kN)	部材 番号	軸断面積 A <sub>N</sub> (m <sup>2</sup> )
1	76040		
		①	151.8
2	92410		
		②	240.0
3	103900		
		③	306.0
4	120780		
		④	350.0
5	65170		
		⑤	348.7
6	124330		
		⑥	2478.0
7	81650		
合計	664280		

① 建屋部

ヤング係数 E             $2.88 \times 10^4$  (N/mm<sup>2</sup>)  
せん断弾性係数 G         $1.20 \times 10^4$  (N/mm<sup>2</sup>)  
ポアソン比  $\nu$             0.20  
減衰定数 h                5 %

② 基礎スラブ

ヤング係数 E             $2.79 \times 10^4$  (N/mm<sup>2</sup>)  
せん断弾性係数 G         $1.16 \times 10^4$  (N/mm<sup>2</sup>)  
ポアソン比  $\nu$             0.20  
減衰定数 h                5 %

基礎形状                    42.0m(NS 方向) × 59.0m(EW 方向)

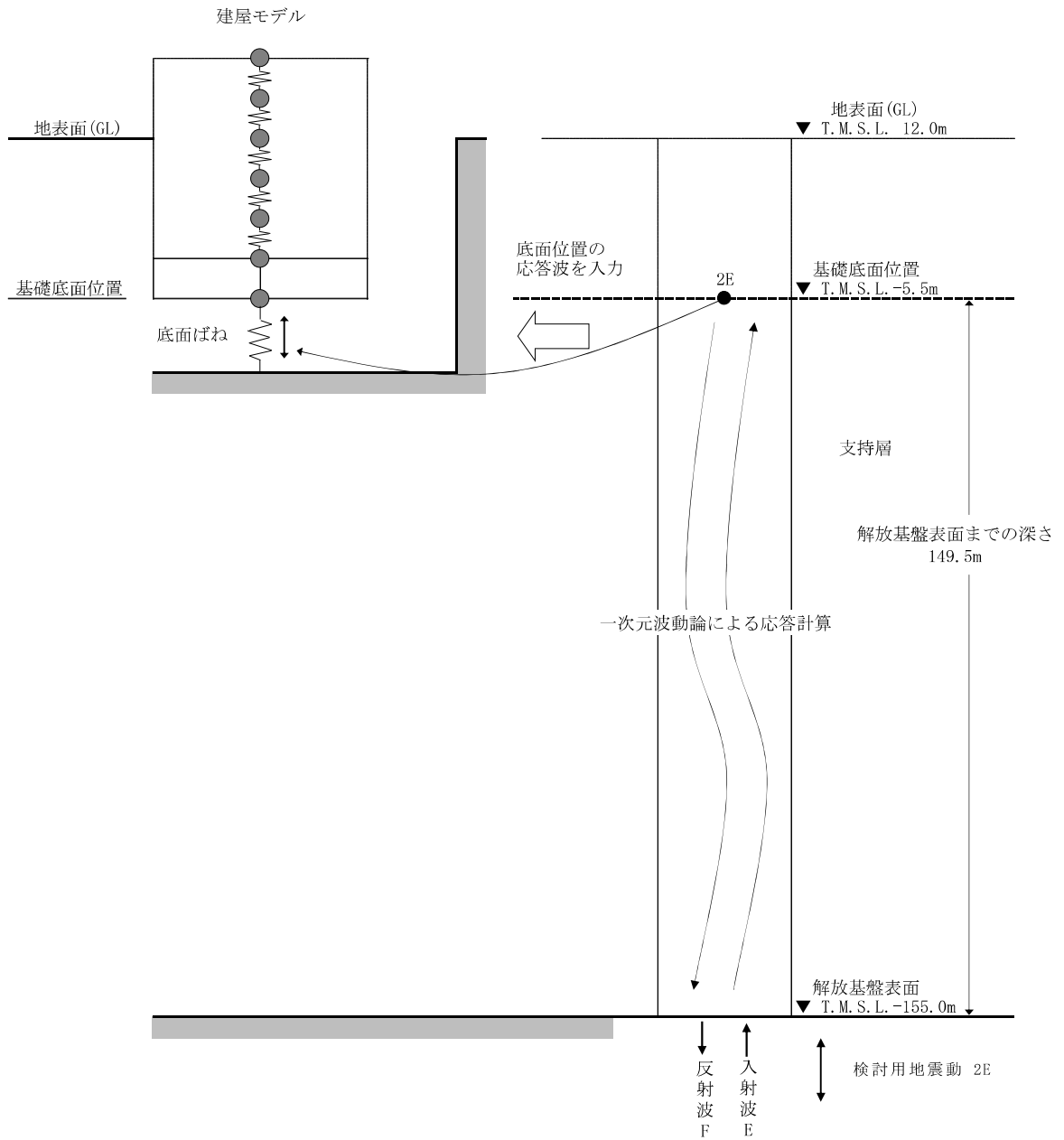


図 3-7 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図（鉛直方向）



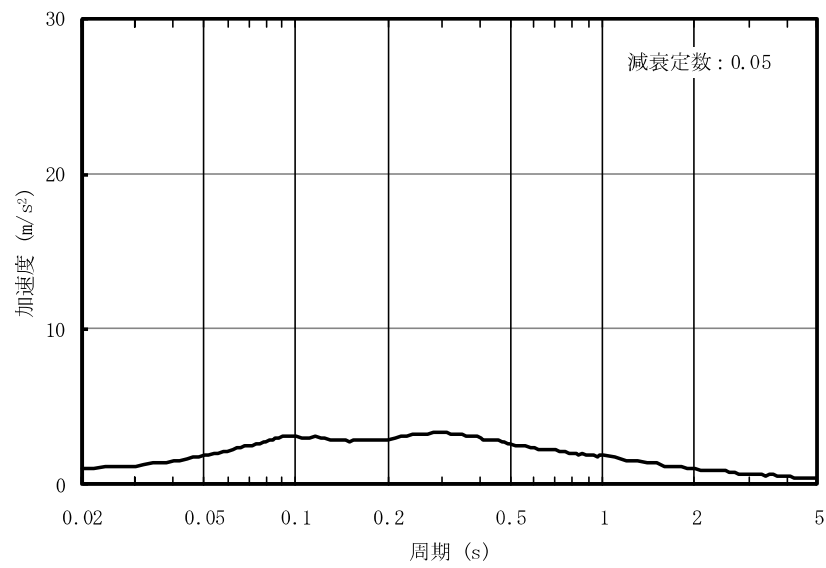


図 3-8 入力地震動の加速度応答スペクトル  
(年超過確率  $10^{-2}$  相当地震動, 鉛直方向, T.M.S.L. -5.5m)

表 3-7 地盤のばね定数と減衰係数（鉛直方向，年超過確率  $10^{-2}$  相当地震動）

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
K1	7	底面・鉛直	$1.05 \times 10^8$	$5.05 \times 10^6$

### 3.3 解析方法

コントロール建屋の地震応答解析は、V-2「耐震性に関する説明書」のうちV-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、時刻歴応答解析により実施する。時刻歴応答解析には、解析コード「D Y N A 2 E」を用いる。なお、解析に用いる解析コードの検証、妥当性の確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

#### 4. 解析結果

##### 4.1 固有値解析結果

固有値解析結果（固有周期及び固有振動数）を表 4-1 に示す。刺激関数図を図 4-1 に示す。

なお、刺激係数は、モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に規準化して得られる値を示す。

##### 4.2 応答解析結果

地震応答解析結果を図 4-2～図 4-12 及び表 4-2，表 4-3 に示す。

表 4-1 固有値解析結果

## (a) NS 方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.253	3.96	1.323	建屋-地盤連成 1 次
2	0.119	8.38	0.441	
3	0.056	17.77	-0.083	
4	0.045	22.09	0.071	
5	0.032	31.57	0.002	

## (b) EW 方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.238	4.20	1.275	建屋-地盤連成 1 次
2	0.123	8.12	0.332	
3	0.060	16.70	-0.125	
4	0.043	23.39	0.058	
5	0.033	30.23	0.002	

## (c) 鉛直方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.165	6.08	1.067	建屋-地盤連成 1 次
2	0.033	30.59	-0.084	
3	0.019	53.25	0.019	
4	0.013	77.80	0.006	
5	0.010	104.97	0.002	

注記\* : モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に規準化して得られる刺激係数を示す。

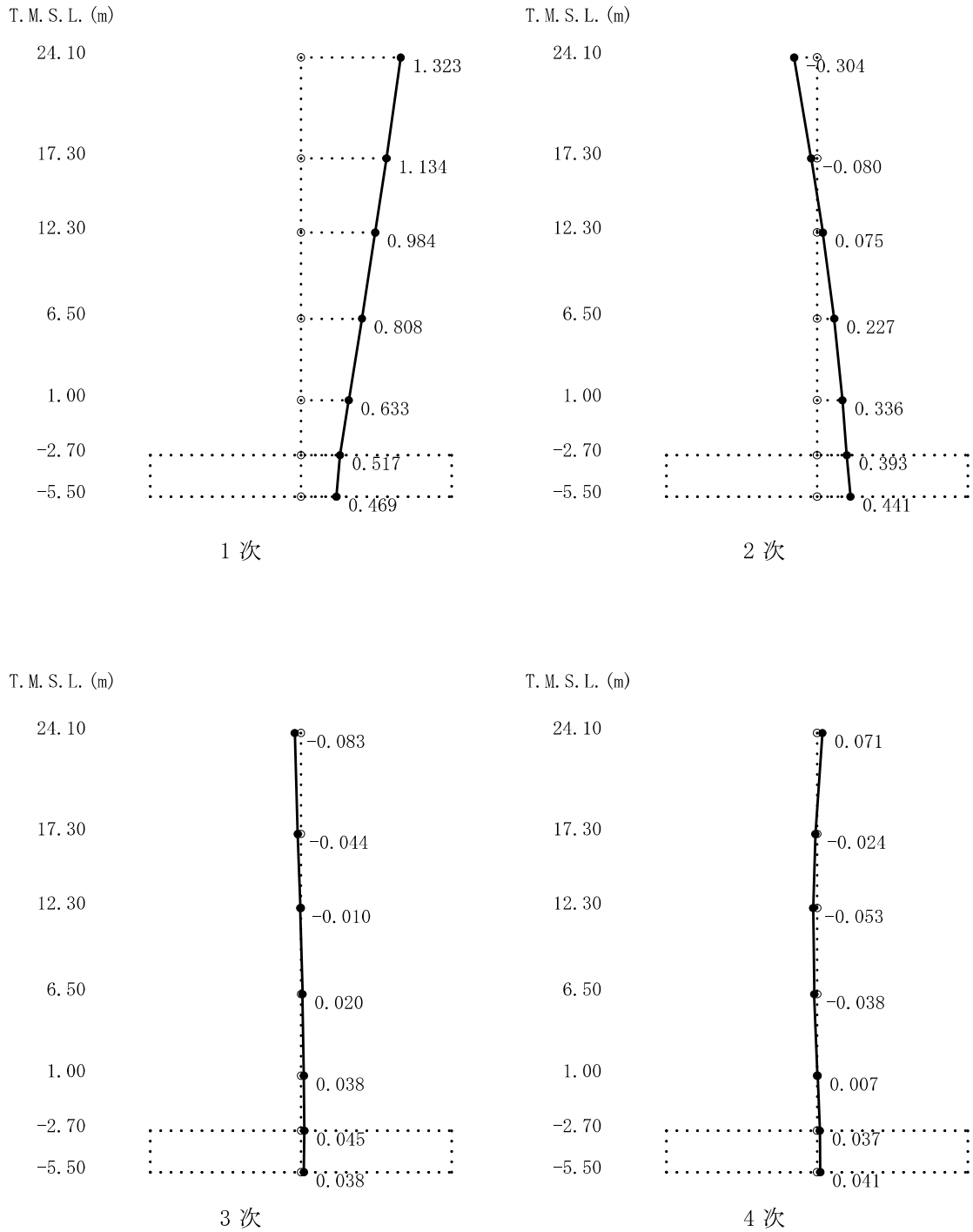


図 4-1 刺激関数図 (NS 方向) (1/3)

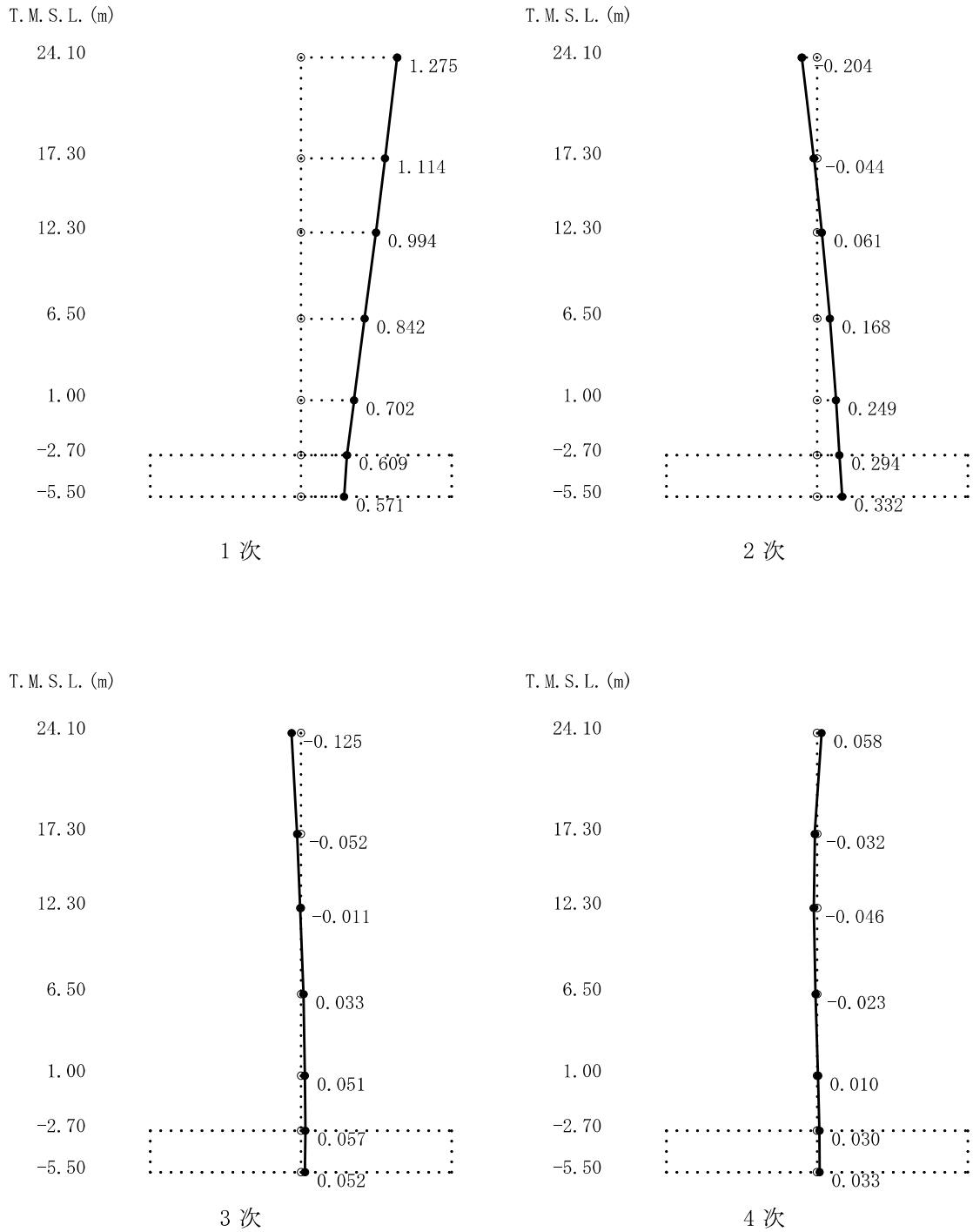


図 4-1 刺激関数図 (EW 方向) (2/3)

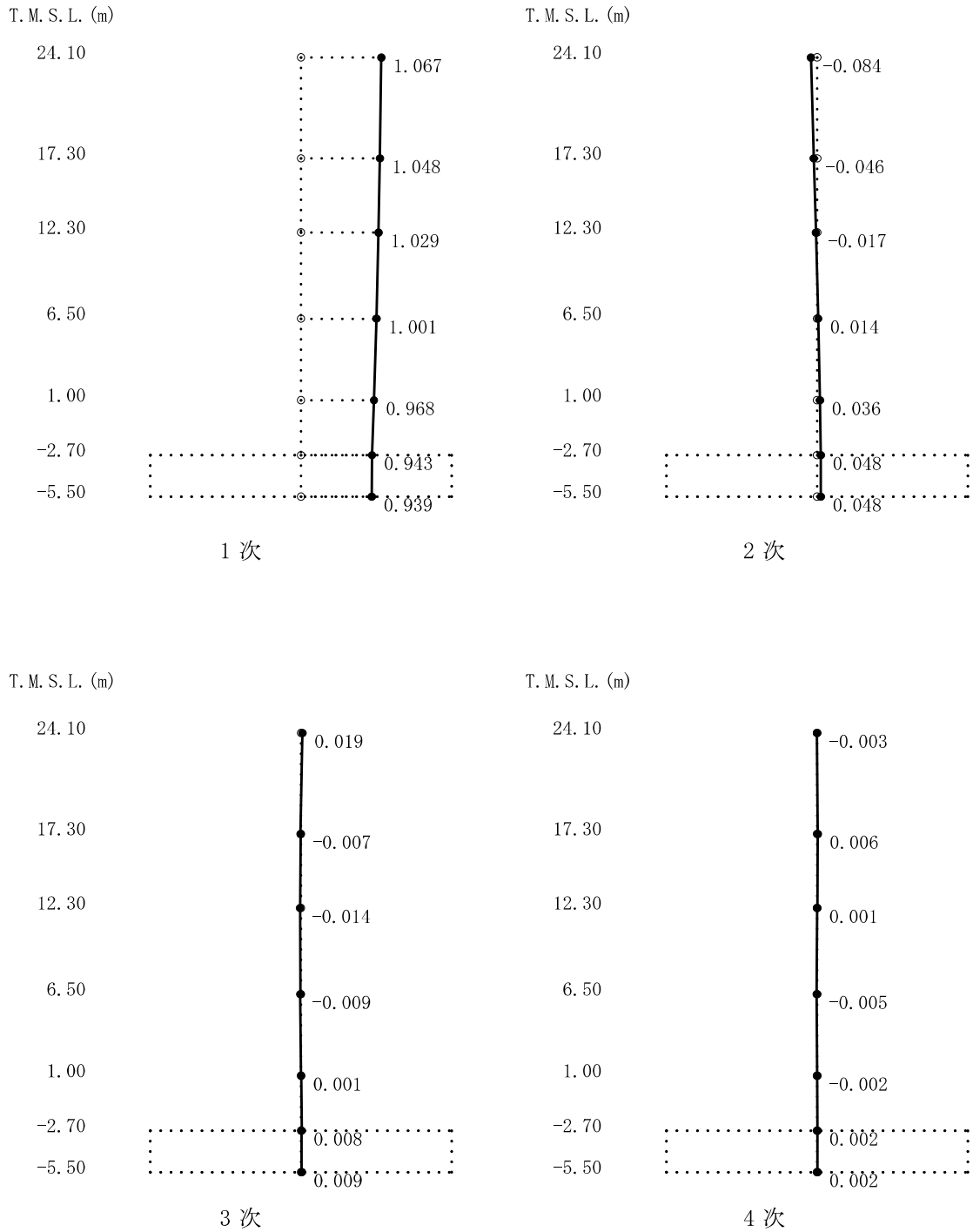


図 4-1 刺激関数図 (鉛直方向) (3/3)



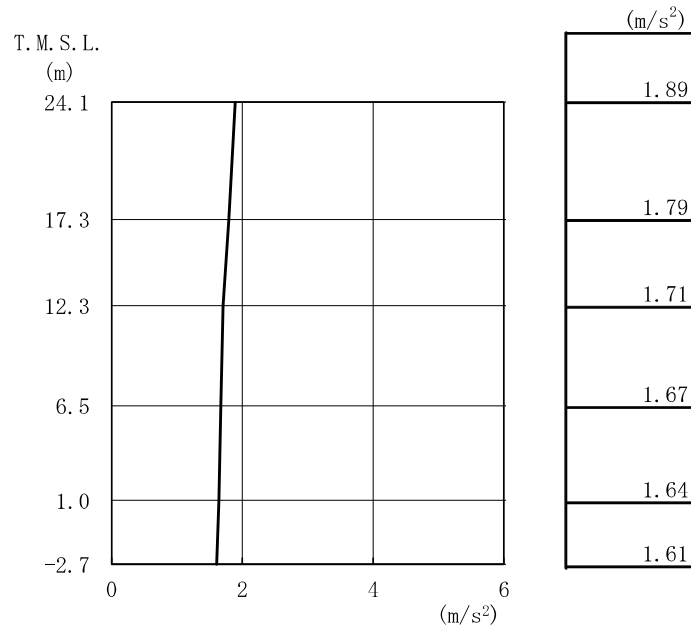


图 4-2 最大応答加速度 (NS 方向)

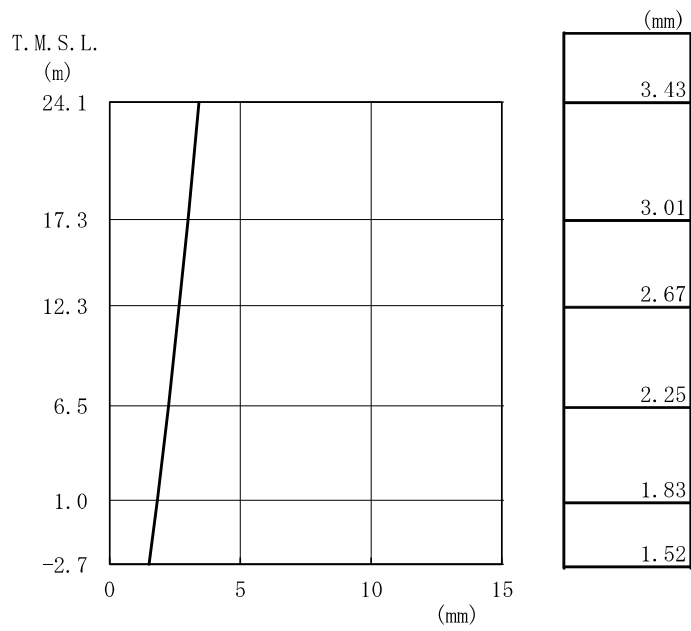


図 4-3 最大応答変位 (NS 方向)

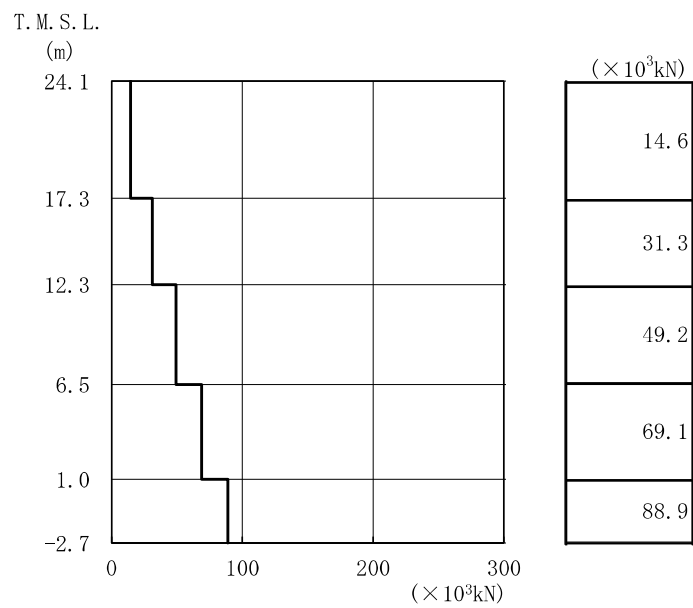


图 4-4 最大応答せん断力 (NS 方向)

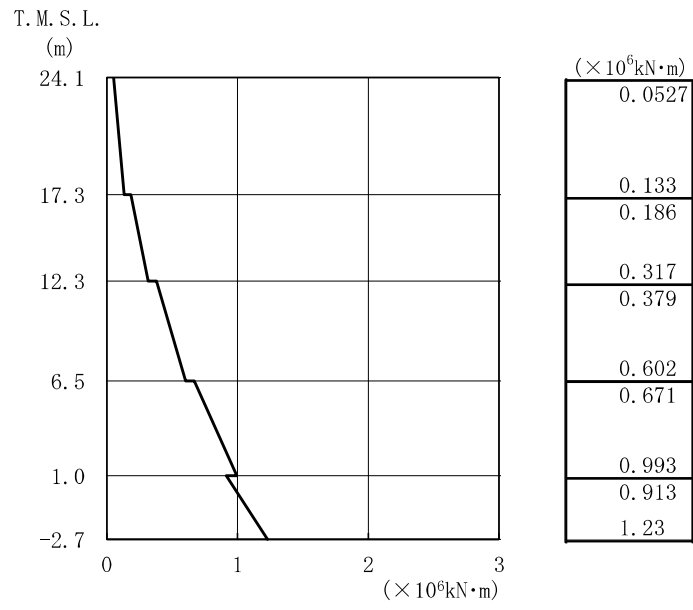


図 4-5 最大応答曲げモーメント (NS 方向)

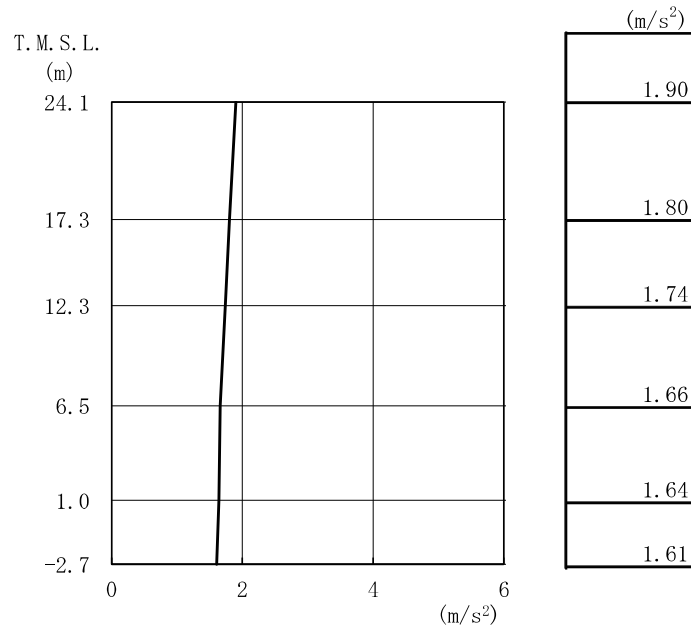


图 4-6 最大応答加速度 (EW 方向)

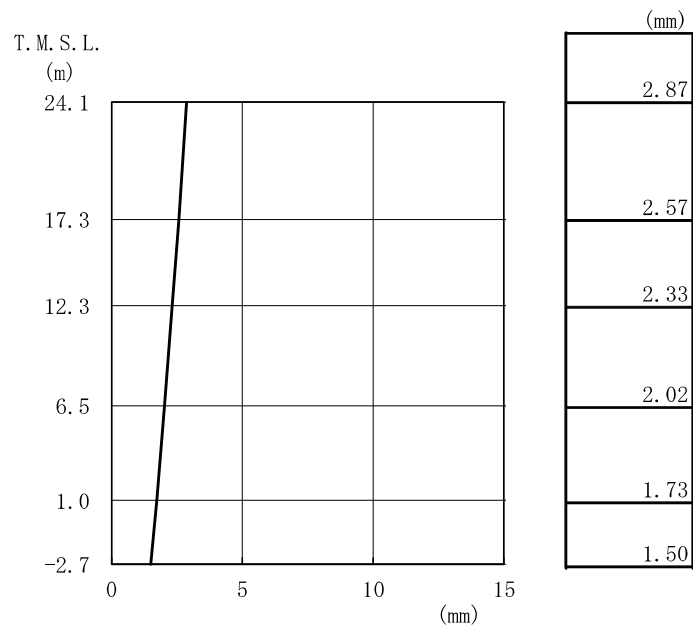


図 4-7 最大応答変位 (EW 方向)

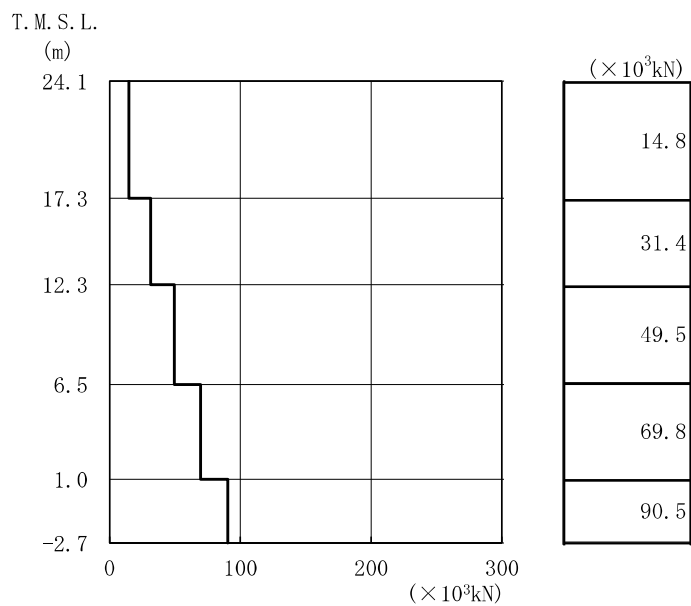


図 4-8 最大応答せん断力 (EW 方向)

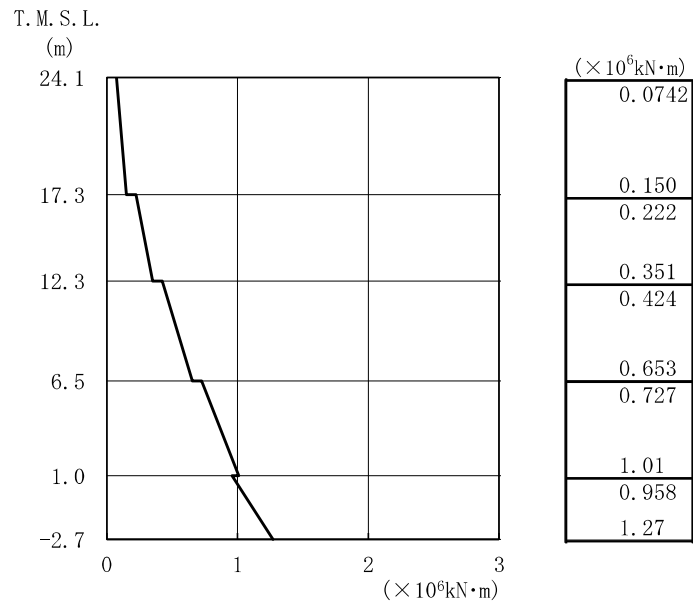


図 4-9 最大応答曲げモーメント (EW 方向)



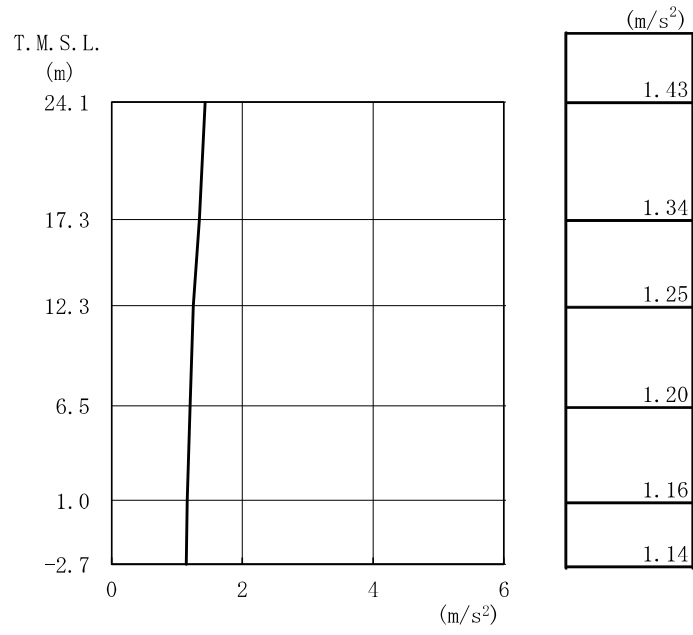


図 4-10 最大応答加速度（鉛直方向）

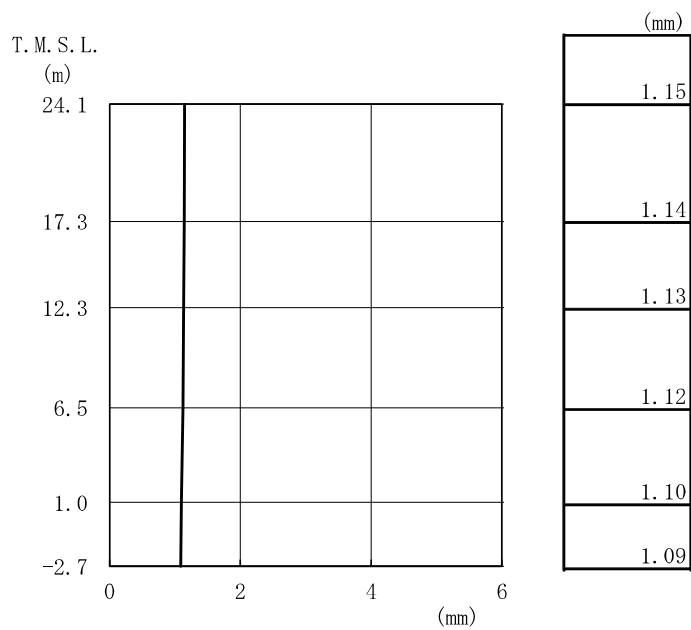


図 4-11 最大応答変位（鉛直方向）

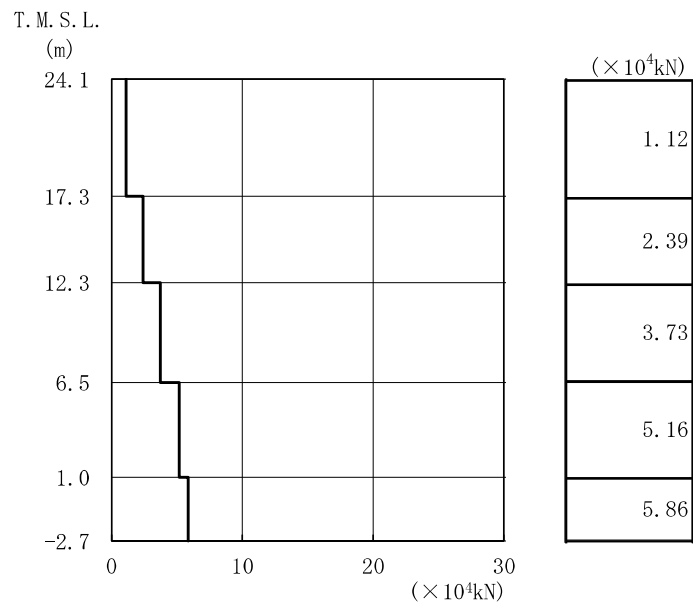


図 4-12 最大応答軸力（鉛直方向）

表 4-2 耐震壁の最大せん断ひずみ

NS 方向

T. M. S. L. (m)	地震応答解析 モデルの部材 番号	最大せん断 ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	許容限界 ( $\times 10^{-3}$ )
24.1~17.3	1	0.0159	2.0
17.3~12.3	2	0.0233	
12.3~6.5	3	0.0271	
6.5~1.0	4	0.0368	
1.0~-2.7	5	0.0483	

注：ハッチングは各階の最大せん断ひずみのうち最も大きい値を表示

EW 方向

T. M. S. L. (m)	地震応答解析 モデルの部材 番号	最大せん断 ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	許容限界 ( $\times 10^{-3}$ )
24.1~17.3	1	0.0179	2.0
17.3~12.3	2	0.0202	
12.3~6.5	3	0.0272	
6.5~1.0	4	0.0285	
1.0~-2.7	5	0.0373	

注：ハッチングは各階の最大せん断ひずみのうち最も大きい値を表示

表 4-3 地震応答解析結果に基づく接地率

方向	最大接地圧 ( $\text{kN/m}^2$ )	最大転倒モーメント ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	最小接地率 (%)
NS 方向	364	1.46	100
EW 方向	343	1.53	100

別紙 7 ADMIT

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-3-別添 2	火山への配慮が必要な施設の強度に関する説明書	導入時 Ver.

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	ADMIT
使用目的	底面地盤ばね算定
開発機関	東電設計株式会社
開発時期	1984年
使用したバージョン	導入時 Ver.
コードの概要	<p>本解析コードは、基礎底面地盤ばねを求めるために開発されたプログラムである。振動アドミタンス理論に基づき、地盤を半無限等方均質弾性体として、基礎底面における水平方向、鉛直方向及び回転方向の地盤ばねが求められる。</p>
<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>本解析コードは、コントロール建屋の地震応答解析モデルにおける基礎底面地盤ばねを算定するために使用している。</p> <p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 300px; height: 15px;"></span></li> <li>・ <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 80px; height: 15px;"></span>と本解析コードによる解析解を比較した結果、双方の解がおおむね一致していることを確認している。</li> <li>・ 動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 検証の内容のとおり、水平方向、鉛直方向及び回転方向の地盤ばねについて検証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。</li> </ul>

### 3. 解析手法

#### 3.1 一般事項

本解析コードは、基礎底面地盤ばねを求めるために開発されたプログラムである。

本解析コードは、コントロール建屋の地震応答解析モデルにおける基礎底面地盤ばねを算定するために、動的インピーダンスの計算を行う。

#### 3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴を以下に示す。

- ・ 振動アドミッタンス理論に基づき、基礎底面地盤ばねを求めることができる。
- ・ 任意の振動数に対する動的ばねを求めることができる。
- ・ 応力分布として一様分布（回転の場合には三角形分布）、また剛基礎を仮定した一様変位分布が選択できる。
- ・ 解析結果としては、水平方向、鉛直方向及び回転方向の地盤ばねが求められる。

### 3.3 解析手法

図3-1に示す基礎分割法による地盤ばねを求めるに当たり，荷重，変位関係の式は，以下の式で表される。

$$\left\{ U_j^1 \right\} = \left[ D_{ij}^{kl} \right] \left\{ P_i^k \right\} \quad (3.1)$$

ここで，

$\left\{ U_j^1 \right\}$  : j要素の1方向変位

$\left\{ P_i^k \right\}$  : i要素のk方向に加わる力

$\left[ D_{ij}^{kl} \right]$  : 柔性マトリックス（各成分はi要素のk方向に単位の加振力が作用した時のj要素における1方向変位を表す）

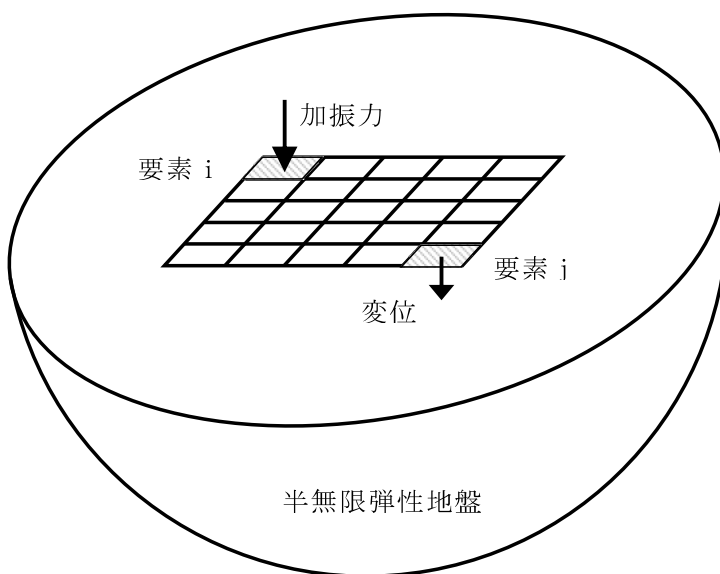


図3-1 基礎分割法による地盤ばねの求め方について

なお，解析当たっては下記の仮定を設けている。

- ・ 基礎が半無限地盤の地表面上に置かれているものと仮定する。
- ・ 基礎は無質量の剛体と見なす。
- ・ 基礎を微小要素に分割する。
- ・ 各要素内では，変位及び応力は一定であると仮定する。



### 3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図3-2に示す。

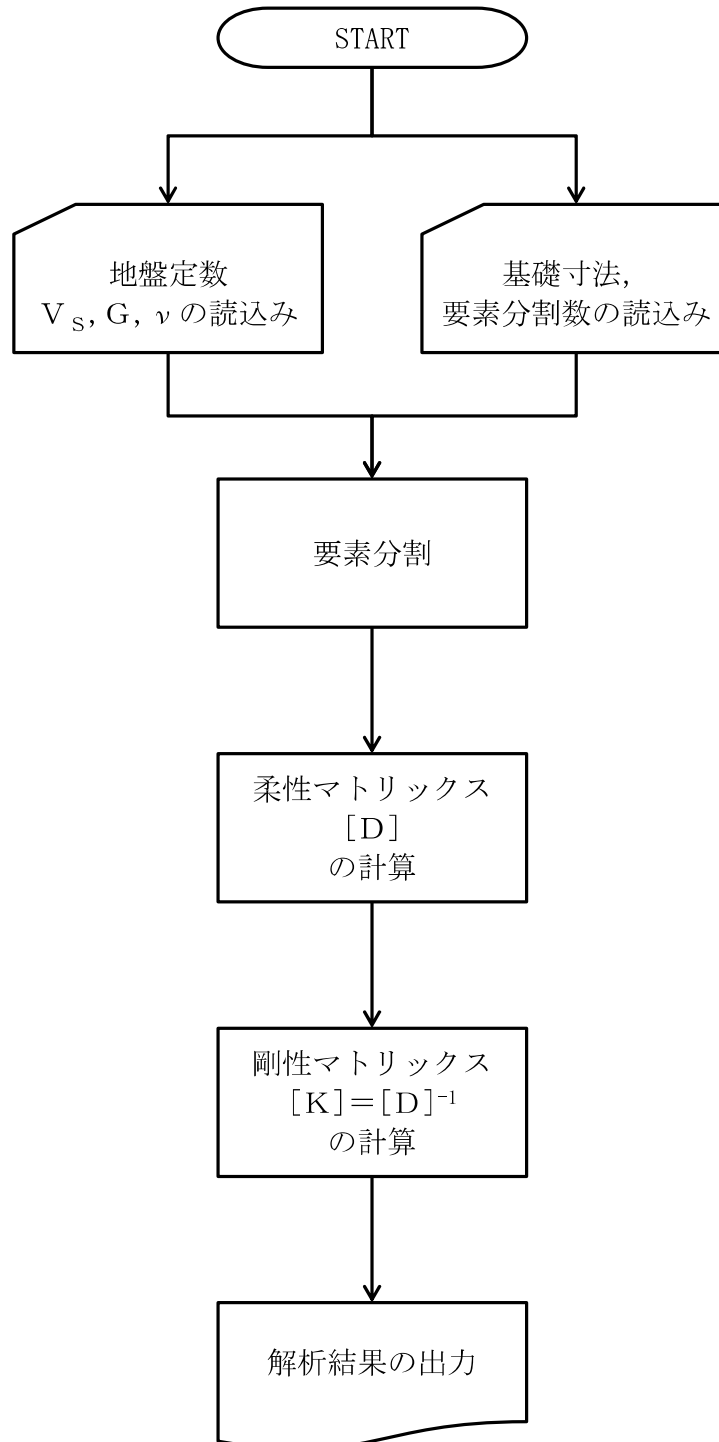


図3-2 解析フローチャート

### 3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)

#### 3.5.1 文献との比較による検証

本解析コードについて、

との比較を行う。

を対象に基礎底面地盤ばねを算定する。なお、解析条件は以下の条件とした。

- ・基礎形状 :
- ・基礎分割数 :
- ・分布仮定 :
- ・基礎下地盤 : せん断波速度  $V_s =$   
単位体積重量  $\gamma =$   
ポアソン比  $\nu =$
- ・計算振動数 (無次元) :

解析結果の比較を図 3-3～図 3-5 に示す。

図より、本解析コードの結果は

とおおむね一致していることが確認できる。

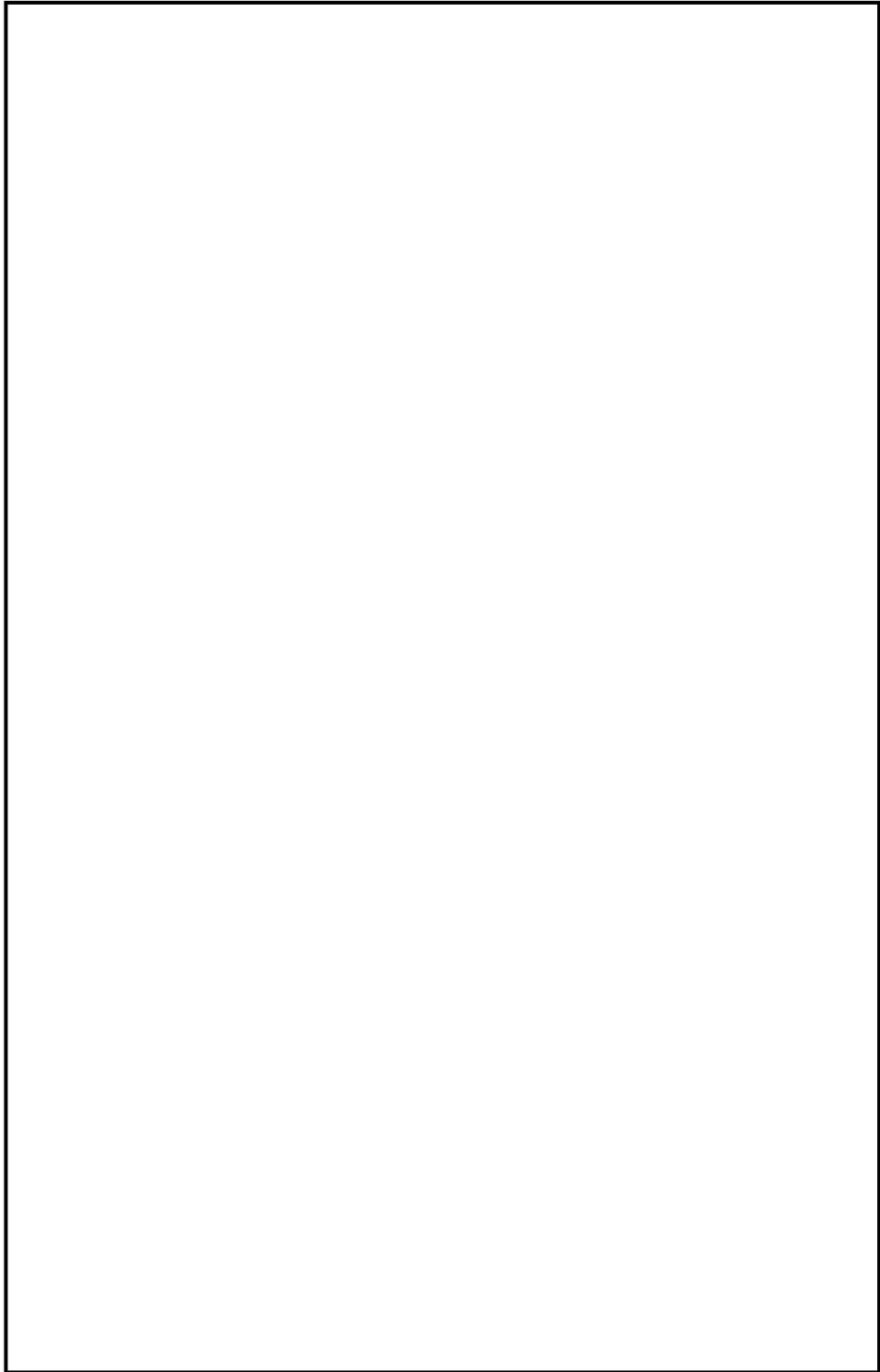


図 3-3 解析結果の比較（水平方向）

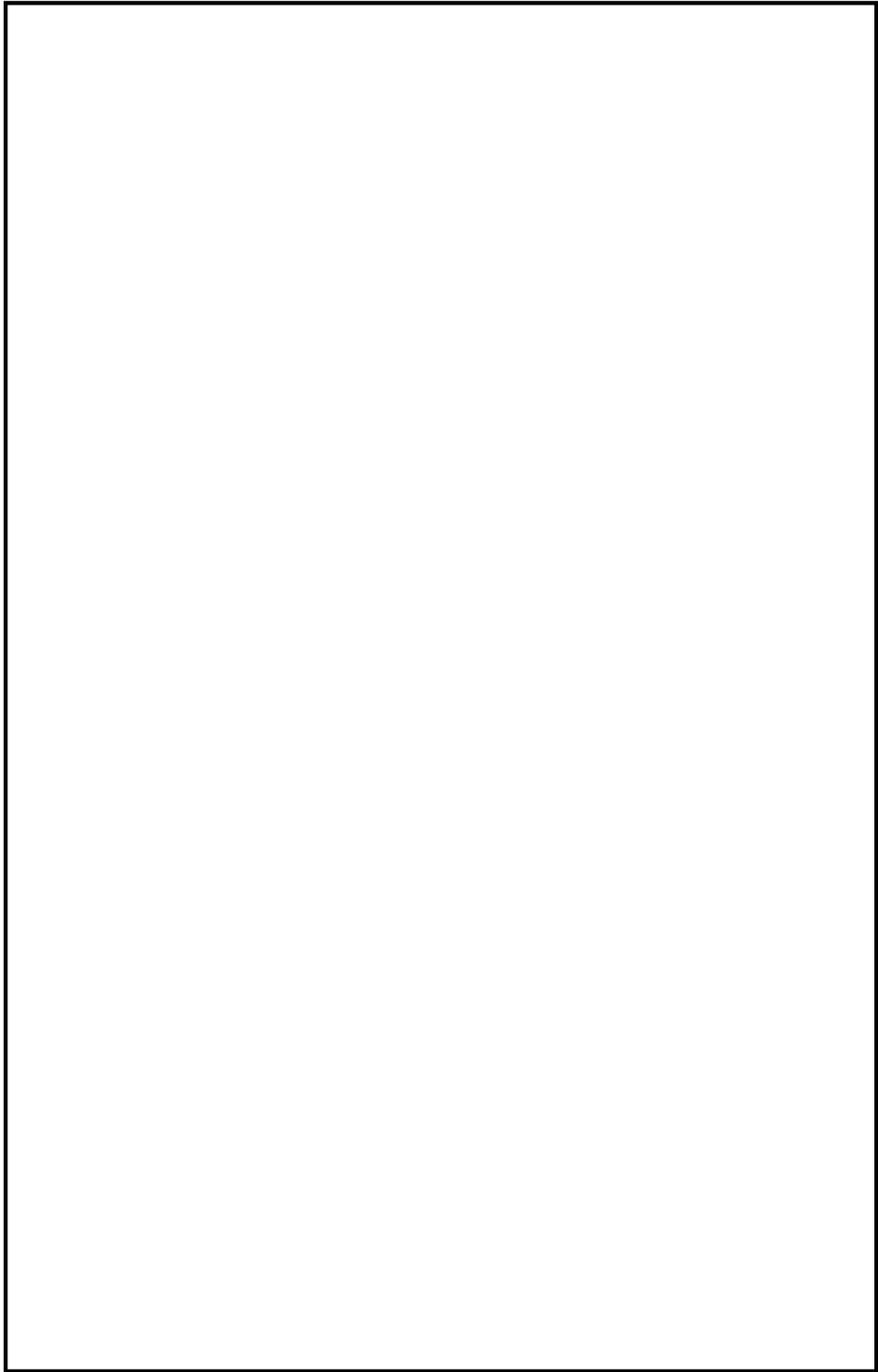


図 3-4 解析結果の比較（鉛直方向）

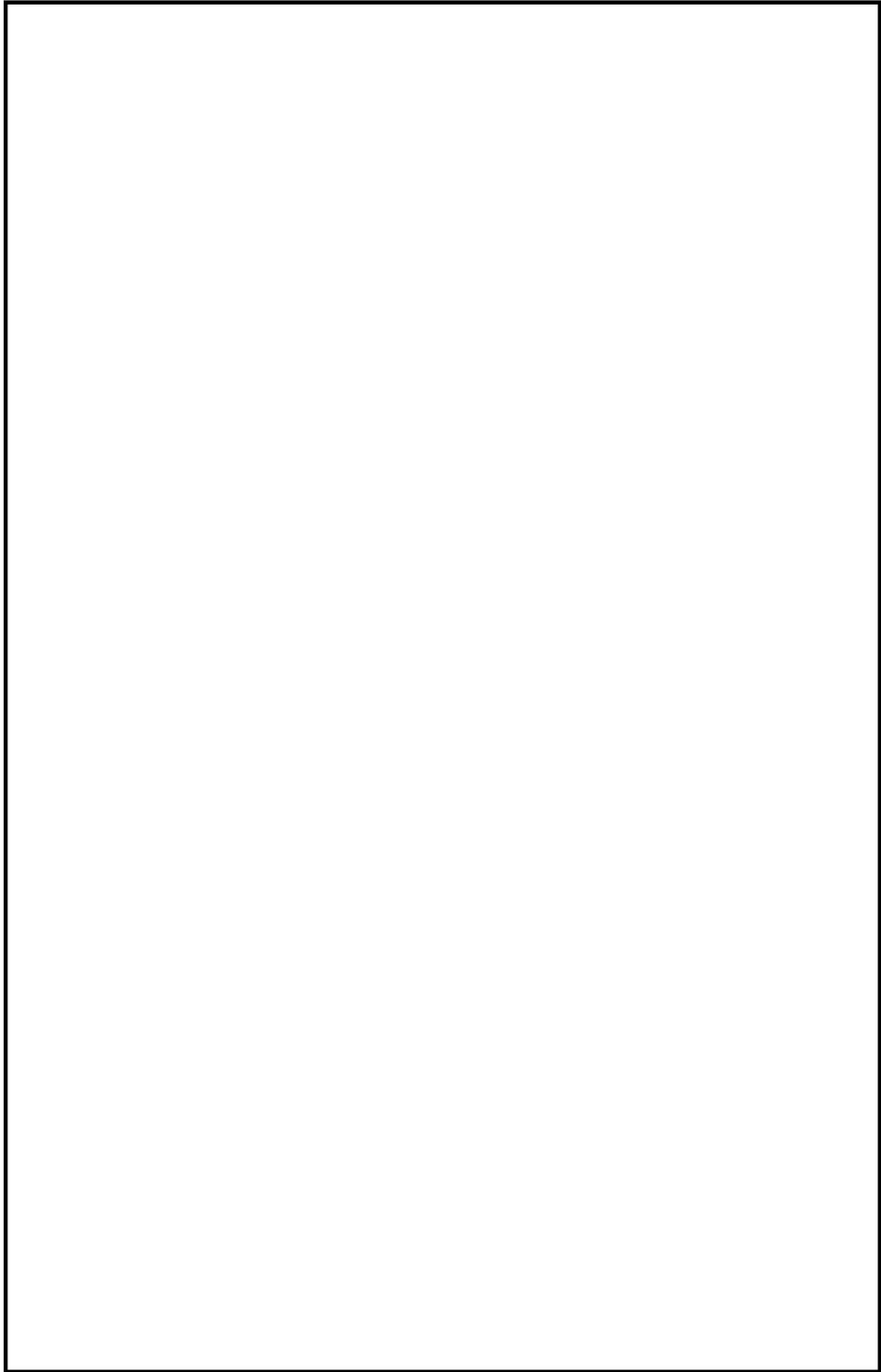


図 3-5 解析結果の比較（回転方向）

### 3.5.2 使用内容に対する妥当性

コントロール建屋の地震応答解析モデルにおける基礎底面地盤ばねの算定に本解析コードを使用することは、次のとおり、本解析の適用範囲に対して検証されており、妥当である。

- ・検証の内容のとおり、水平方向、鉛直方向及び回転方向の地盤ばねについて検証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。

## 4. 引用文献

(1)

[Redacted]

[Redacted]

別紙9 D Y N A 2 E

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-3-別添2	火山への配慮が必要な施設の強度に関する説明書	Ver. 8.0.4 Ver. 7.2.18

2.2 D Y N A 2 E Ver. 7. 2. 18

項目	コード名 D Y N A 2 E
使用目的	固有値解析及び地震応答解析
開発機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
開発時期	2005 年
使用したバージョン	Ver. 7. 2. 18
コードの概要	<p>本解析コードは，土木・建築分野における 2 次元／3 次元骨組構造物の動的解析を目的として開発されたプログラムである。微小変形理論に基づき，固有値，振動モード，各質点と部材の最大応答値及び各質点の応答加速度時刻歴等が求められる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードは，コントロール建屋の地震応答解析に使用している。</p> <p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・汎用コードである [ ] による解析解と本解析コードによる解析解を比較した結果，双方の解がおおむね一致していることを確認している。</li> <li>・汎用コードである [ ] による解析解と本解析コードによる解析解を比較した結果，双方の解がおおむね一致していることを確認している。</li> <li>・動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・検証の内容のとおり，弾塑性を考慮した多質点系の地震応答について検証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。</li> </ul>



別紙 13 LNOVAK

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-3-別添 2	火山への配慮が必要な施設の強度に関する説明書	導入時 Ver.

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	LNOVAK
使用目的	側面地盤ばね算定
開発機関	東電設計株式会社
開発時期	1986年
使用したバージョン	導入時 Ver.
コードの概要	<p>本解析コードは、Novakの方法による側面地盤ばねを求めるために開発されたプログラムである。埋込み部を等価な円形に置換することで、全無限弾性体中の無質量剛な円盤が定常振動するときのインピーダンスを解析的に求める。</p>
<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>本解析コードは、コントロール建屋の地震応答解析モデルにおける Novak の方法による側面地盤ばねを算定するために使用している。</p> <p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 200px; height: 15px;"></span></li> <li>・ <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 80px; height: 15px;"></span>と本解析コードによる解析解を比較した結果、双方の解がおおむね一致していることを確認している。</li> <li>・ 動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 検証の内容のとおり、建屋側面地盤の水平ばね及び回転ばねについて検証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。</li> </ul>

### 3. 解析手法

#### 3.1 一般事項

本解析コードは、Novakの方法による側面地盤ばねを求めるために開発されたプログラムである。本解析コードは、コントロール建屋の地震応答解析モデルにおける側面地盤ばねを算定するために、動的インピーダンスの計算を行う。

#### 3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴を以下に示す。

- ・全無限弾性体中の無質量剛な円盤が定常振動するときのインピーダンスを求めることができる。
- ・水平方向，鉛直方向及び回転方向のばねを求めることができる。
- ・任意の振動数に対する動的ばねを求めることができる。
- ・解析結果としては，任意の振動数に対する水平方向，鉛直方向及び回転方向の地盤ばねが求められる。

### 3.3 解析手法

図3-1に示す加振を受ける剛な円盤の水平方向のインピーダンス算定式は、以下の式で表される。

$$\tilde{k}_a = -\pi \cdot G \cdot a_0^2 \cdot \frac{4K_1(b_0^*) \cdot K_1(a_0^*) + a_0^* \cdot K_1(b_0^*) \cdot K_0(a_0^*) + b_0^* \cdot K_0(b_0^*) \cdot K_1(a_0^*)}{b_0^* \cdot K_0(b_0^*) \cdot K_1(a_0^*) + a_0^* \cdot K_1(b_0^*) \cdot K_0(a_0^*) + b_0^* \cdot K_0(b_0^*) \cdot K_0(a_0^*)} \quad (3.1)$$

ここで、

$K_0( )$  : 0次の変形ベッセル関数

$K_1( )$  : 1次の変形ベッセル関数

$a_0$  :  $\omega \cdot r_0 / V_S$  で定義される無次元振動数 ( $a_0^* = \frac{a_0}{\sqrt{1+i \cdot 2h}} \cdot i$ )

$b_0$  :  $\omega \cdot r_0 / V_P$  で定義される無次元振動数 ( $b_0^* = \frac{a_0^*}{\eta}$ ,  $\eta = \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{1-2\nu}}$ )

回転方向のインピーダンス算定式は、以下の式で表される。

$$\tilde{k}_c = \pi \cdot G \cdot r_0^2 \left[ 1 + a_0^* \cdot \frac{K_0(a_0^*)}{K_1(a_0^*)} \right] \quad (3.2)$$



図3-1 加振を受ける剛円盤 (引用文献(2)参照)

なお、解析当たっては下記の仮定を設けている。

- ・ 建屋埋込み部分を等価な円形と仮定する。
- ・ 建屋埋込み部分は無質量の剛体と見なす。
- ・ 建屋-地盤間の接触・剥離は考慮しない。

### 3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図3-2に示す。

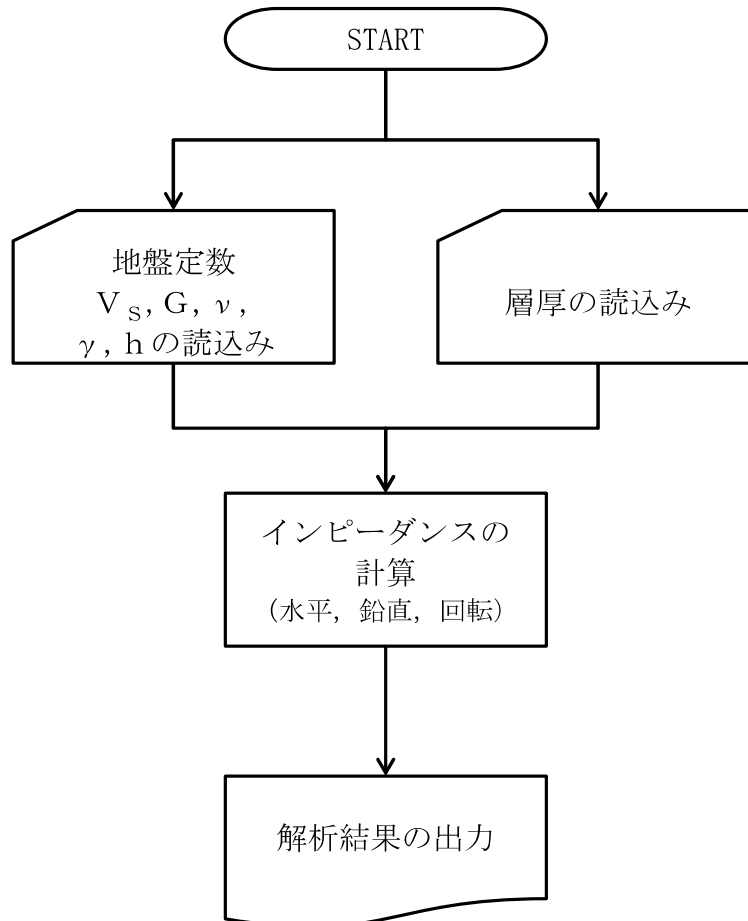


図3-2 解析フローチャート

### 3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)

#### 3.5.1 文献との比較による検証

本解析コードについて、

との比較を行う。

以下の条件下により Novak の方法による側面地盤ばねを算定する。

- ・側面地盤 : せん断波速度  $V_s =$    
単位体積重量  $\gamma =$    
ポアソン比  $\nu =$
- ・計算振動数 :
- ・層厚 :

解析結果の比較を図 3-3, 図 3-4 に示す。

図より, 本解析コードの結果は

と一致していることが確認できる。

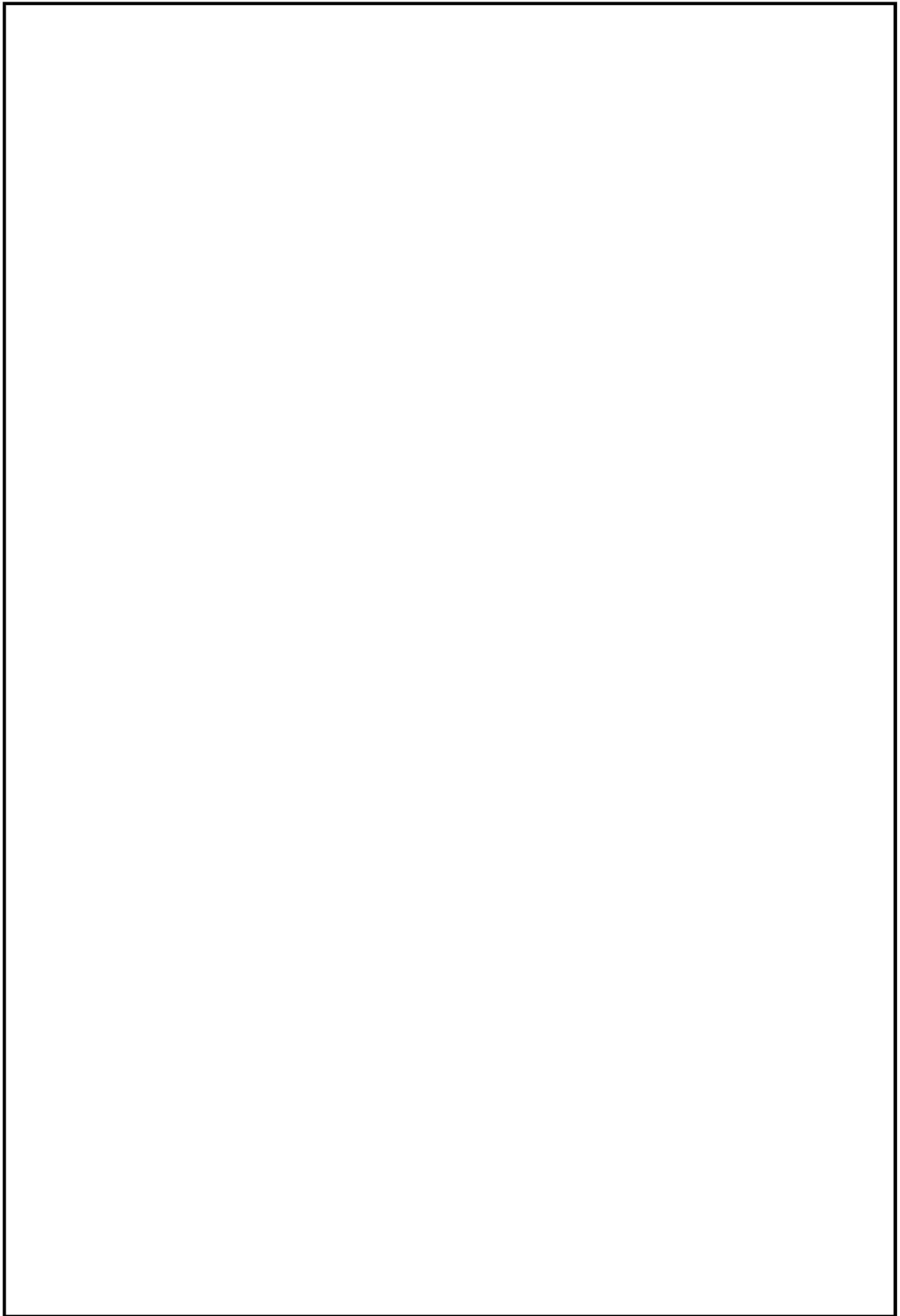


図 3-3 解析結果の比較 (水平方向)

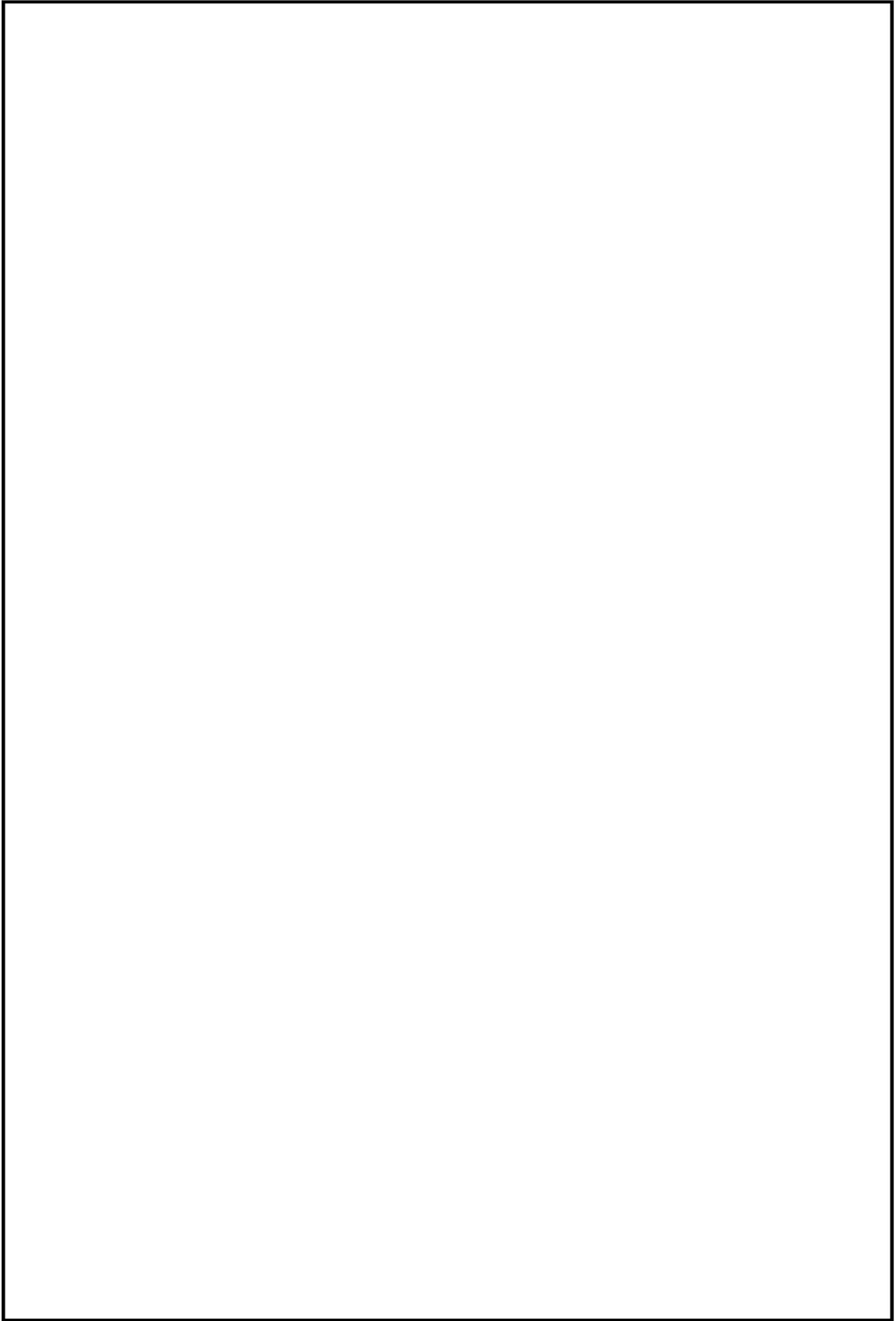


図 3-4 解析結果の比較 (回転方向)



### 3.5.2 使用内容に対する妥当性

コントロール建屋の地震応答解析モデルにおける側面地盤ばねの算定に本解析コードを使用することは、次のとおり、本解析の適用範囲に対して検証されており、妥当である。

- ・検証の内容のとおり、建屋側面地盤の水平ばね及び回転ばねについて検証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。

## 4. 引用文献

(1)

(2)

--

別紙 18 S H A K E

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-3-別添 2	火山への配慮が必要な施設の強度に関する説明書	導入時 Ver.

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	SHAKE
使用目的	入力地震動算定
開発機関	東電設計株式会社（オリジナル：カリフォルニア大学）
開発時期	1988年
使用したバージョン	導入時 Ver.
コードの概要	<p>本解析コードは、1次元波動論に基づき、多層地盤の地震応答解析を効率よく行うために開発されたプログラムである。等価線形解析を行うことができ、各層における加速度、応力度、ひずみ度等の伝達関数、応答波形等が求められる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードは、コントロール建屋の地震応答解析における入力地震動の策定において、基準地震動 <math>S_s</math> 及び弾性設計用地震動 <math>S_d</math> に対する地盤の応答を評価するために使用している。</p> <p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードを用いて評価した弾性地盤の増幅特性が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・汎用コードである <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 150px; height: 1.2em; vertical-align: middle;"></span></li> <li><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 350px; height: 1.2em; vertical-align: middle;"></span></li> <li><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 150px; height: 1.2em; vertical-align: middle;"></span>と本解析コードによる解析解を比較した結果、双方の解がおおむね一致していることを確認している。</li> <li>・動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・検証の内容のとおり、地盤の応答解析について検証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。</li> </ul>

### 3. 解析手法

#### 3.1 一般事項

本解析コードは、1次元波動論に基づき、多層地盤の地震応答解析を効率よく行うために開発されたプログラムである。本解析コードは、コントロール建屋の地震応答解析における入力地震動策定のために、多層地盤の地震応答解析を行う。

#### 3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴を以下に示す。

- ・1次元波動論に基づき、多層地盤の地震応答解析を効率よく行うことができる。
- ・等価線形解析を行うことができる。
- ・解析結果としては、地盤の各層における加速度、応力度、ひずみ度等の伝達関数、応答波形等が求められる。

### 3.3 解析手法

図 3-1 に示す多層地盤における 1 次元波動方程式は、以下の式で表される。

$$\rho \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \eta \cdot \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \cdot \partial t} \quad (3.1)$$

ここで、

- $\rho$  : 単位体積重量
- $G$  : せん断弾性係数
- $u$  : 変位
- $\eta$  : 粘性係数

ただし、変位  $u(x, t)$  は次式で表す。

$$u(x, t) = E \cdot e^{i(k \cdot x + \omega \cdot t)} + F \cdot e^{-i(k \cdot x - \omega \cdot t)} \quad (3.2)$$

ここで、右辺第 1 項は上昇波、第 2 項は下降波を示すもので、 $k$  は複素波数と呼ばれ、下式を満足するものである。

$$k^2 = \frac{\rho \cdot \omega^2}{G + i \omega \cdot \eta} = \frac{\rho \cdot \omega^2}{G^*} \quad (3.3)$$

ここで、

- $G^*$  : 複素せん断弾性係数

また伝達関数は、上記の変位の式より求められる  $m$  層と  $n$  層の変位を

$$U_m = E_m(\omega) + F_m(\omega) \quad (3.4)$$

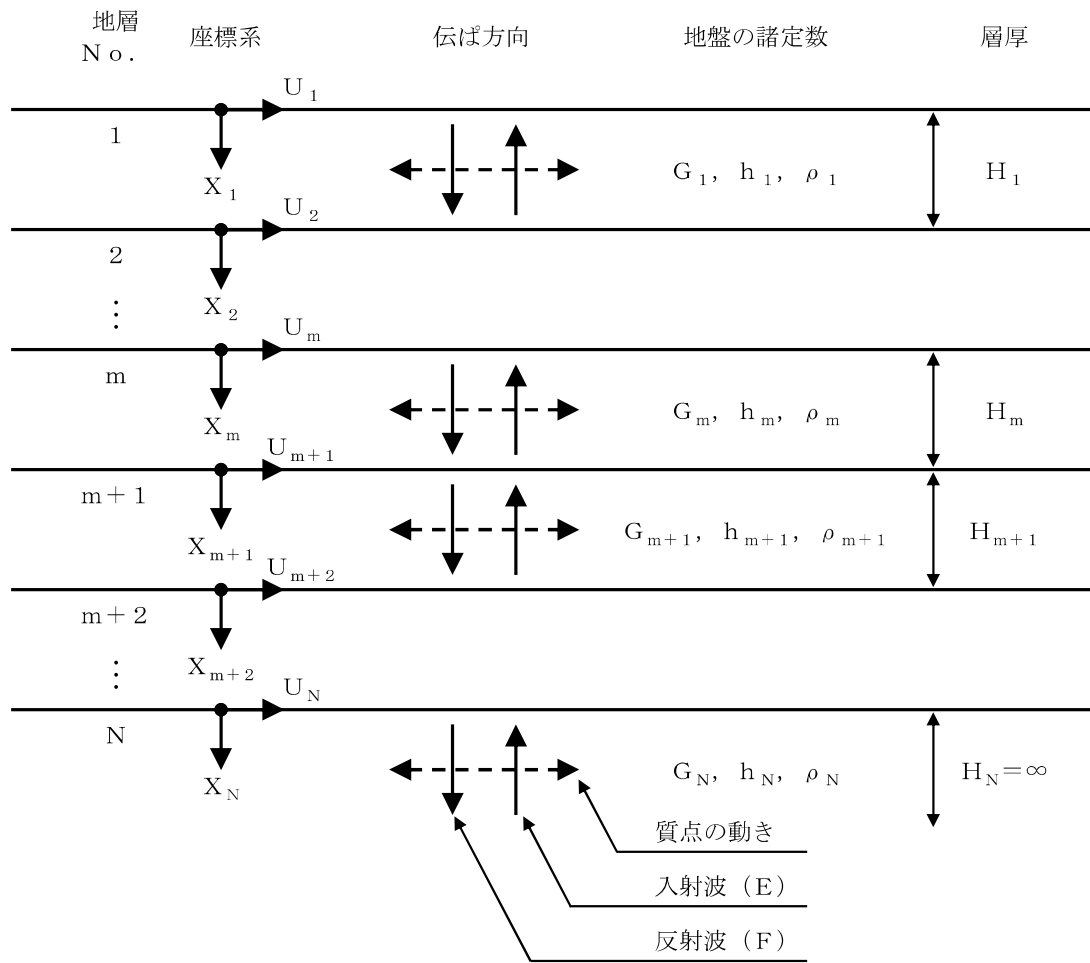
$$U_n = E_n(\omega) + F_n(\omega) \quad (3.5)$$

と表わせば、 $m$  層と  $n$  層の伝達関数  $A_{n,m}(\omega)$  は次式で求められる。

$$A_{n,m}(\omega) = \frac{U_m}{U_n} = \frac{E_m(\omega) + F_m(\omega)}{E_n(\omega) + F_n(\omega)} \quad (3.6)$$

なお、解析当たっては下記の仮定を設けている。

- ・地盤を水平成層よりなるものと仮定し、その各層はせん断弾性係数、減衰定数、単位体積重量及び層厚により規定されるものとする。
- ・各層の応答は、鉛直方向に伝ばするせん断波のみにより励起されるものとする。



記号

- $G_m$  : m層のせん断弾性係数
- $h_m$  : m層の減衰定数
- $\rho_m$  : m層の単位体積重量
- $H_m$  : m層の層厚
- $U_m$  : m層の水平変位
- $X_m$  : m層の局所座標

図 3-1 解析対象の多層地盤

### 3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図3-2に示す。

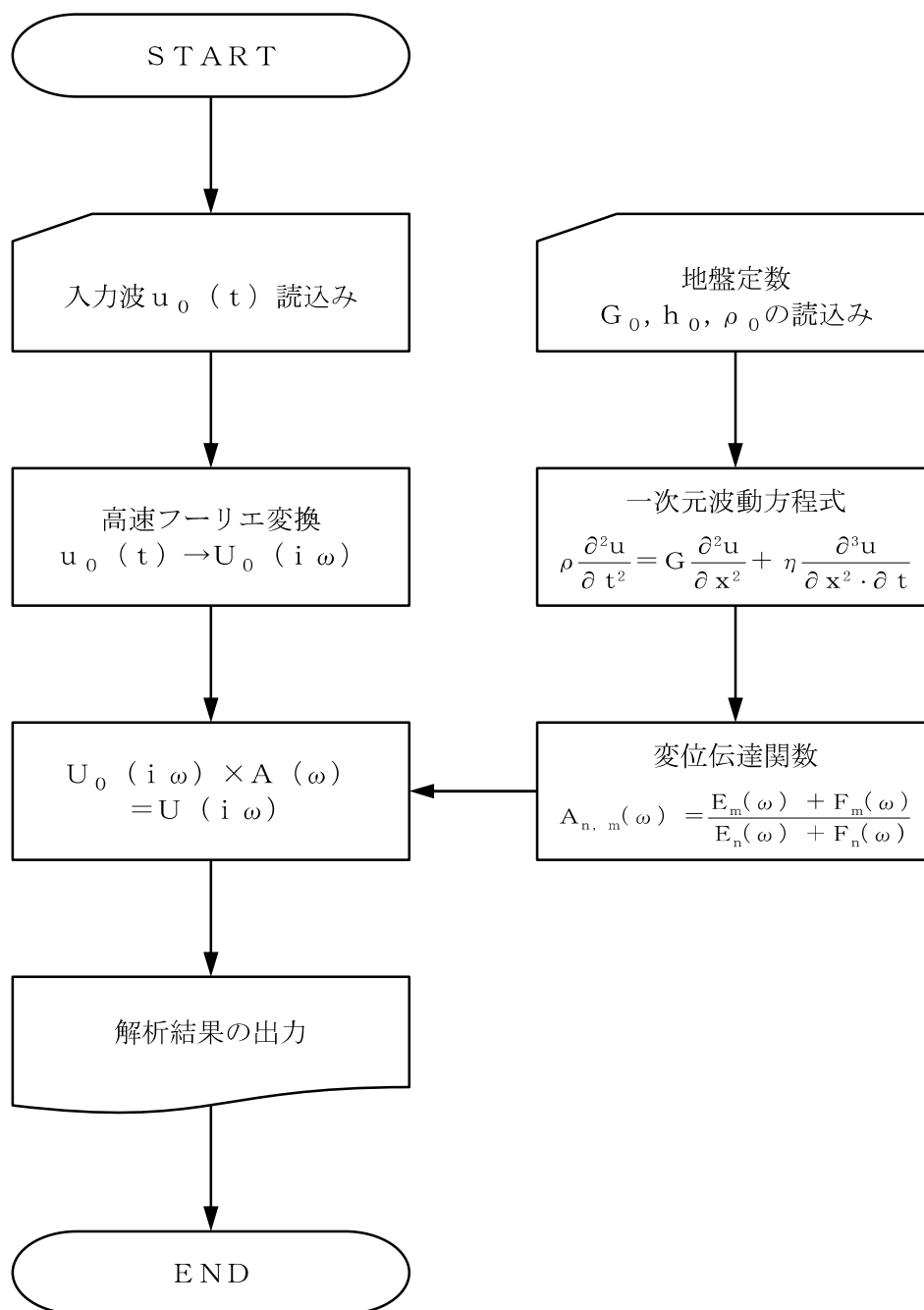


図3-2 解析フローチャート

### 3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)

#### 3.5.1 理論解との比較による検証

本解析コードについて、

の理論解（非減衰時の伝達関数）との比較を行う。

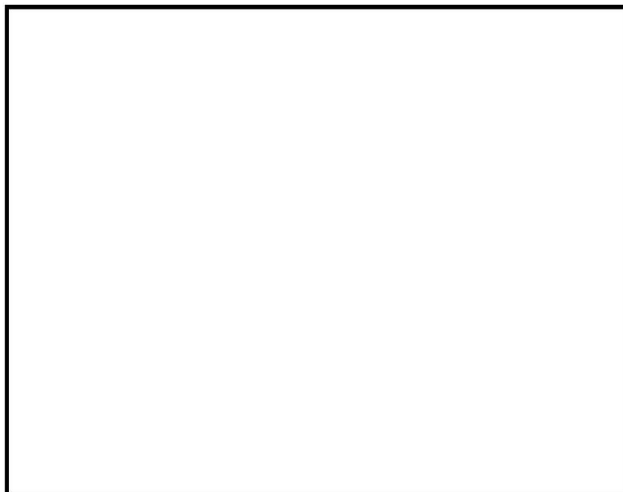
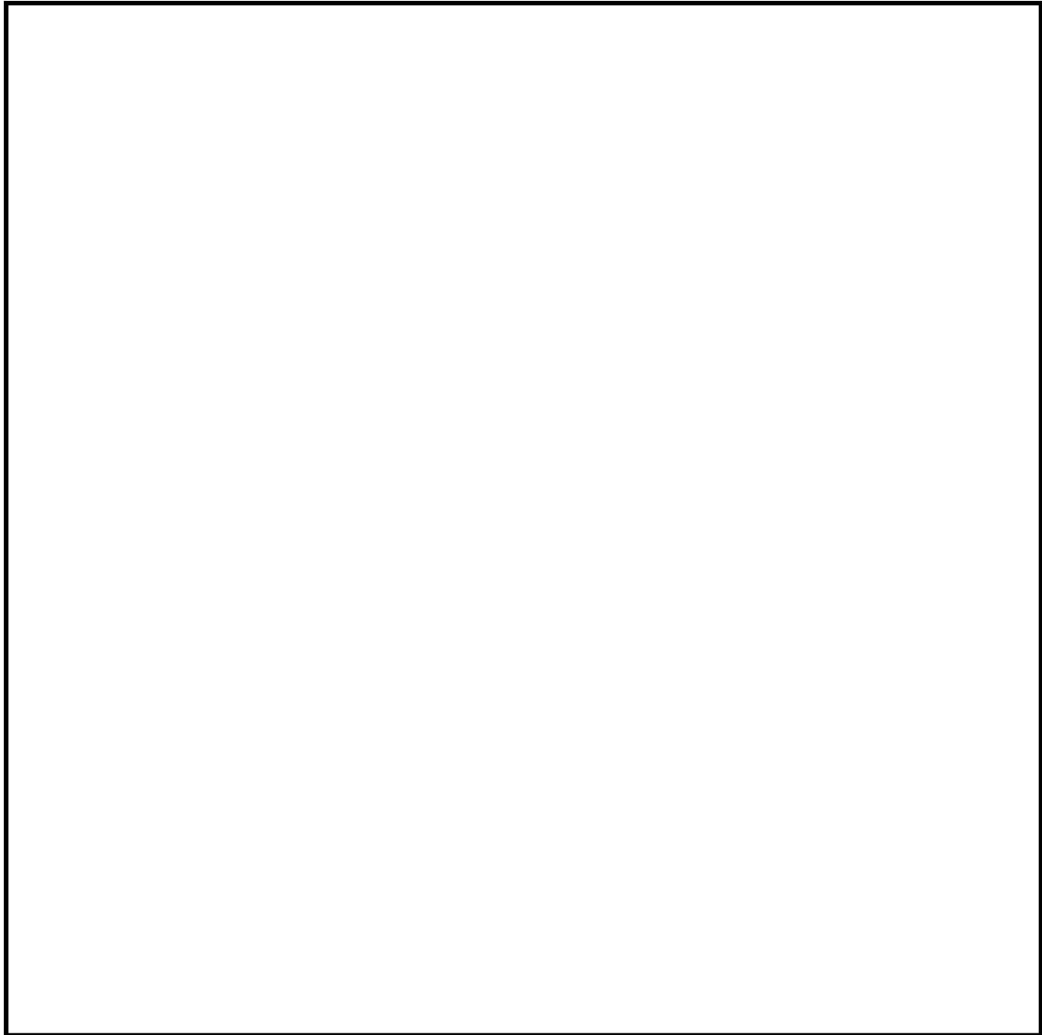


図3-3 検討用地盤モデル



非減衰時における伝達関数の比較を図 3-4 に示す。

図より、本解析コードの結果は理論解と一致しており、地盤応答を正しく評価していることが確認できる。

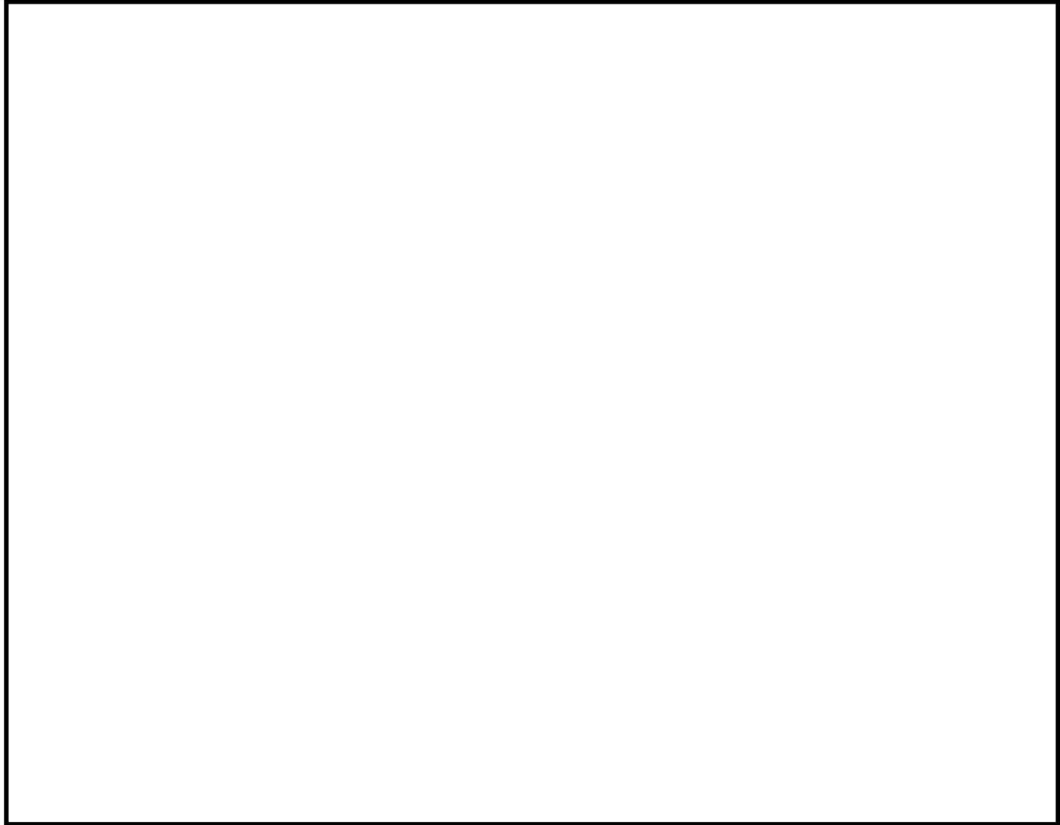


図3-4 伝達関数の理論解との比較

### 3.5.2 他コードとの比較による検証

本解析コードについて、市販されている 2 次元有限要素法による地盤-構造物連成系の動的相互作用解析プログラム [ ] と [ ] との比較を行う。

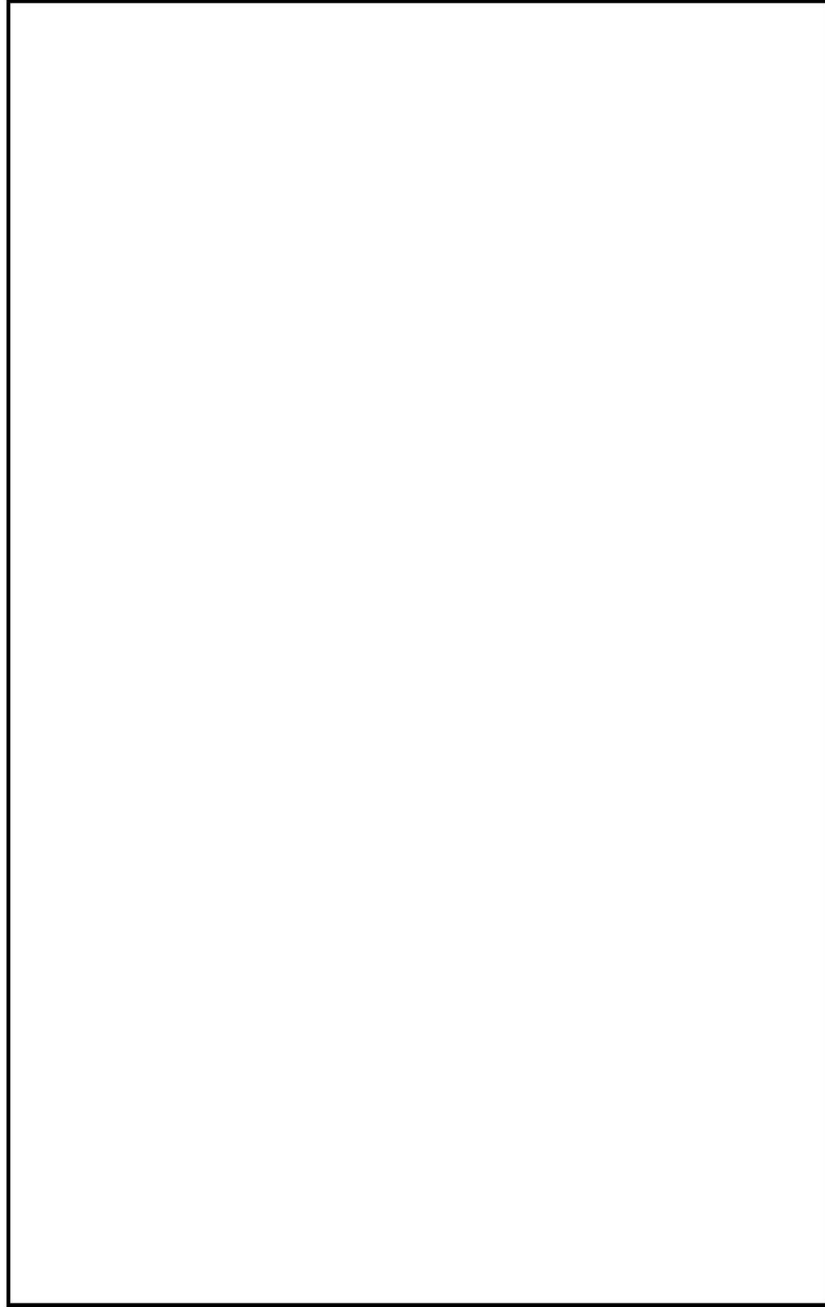
多層地盤を対象に、等価線形解析を実施する。検討用地盤モデルを表 3-1 に、各地層の動的ひずみ依存特性を図 3-5 に示す。図 3-6 に示す入力地震動を [ ] に基準化した地震動を、モデル下端に 2E 波として入力した。なお、解析条件は以下の条件とした。

- ・考慮する振動数 : [ ]
- ・有効せん断ひずみの算定に用いる係数 : [ ]

解析結果の比較を図 3-7、表 3-2 に示す。

図より、本解析コードの結果は [ ] による結果とおおむね一致していることが確認できる。

表 3-1 検討用地盤モデル



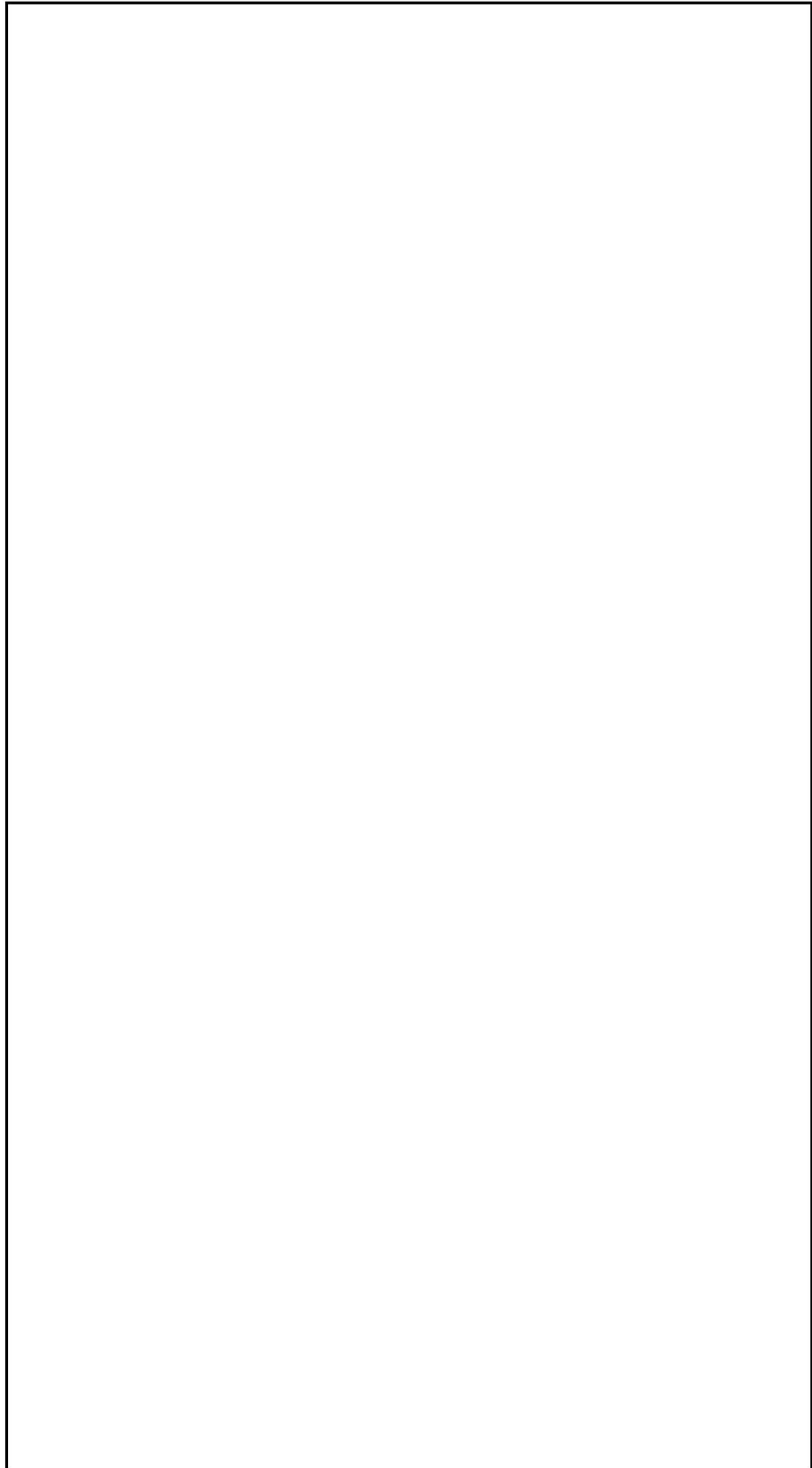


図 3-5 各地層の動的ひずみ依存特性



図 3-6 入力地震動

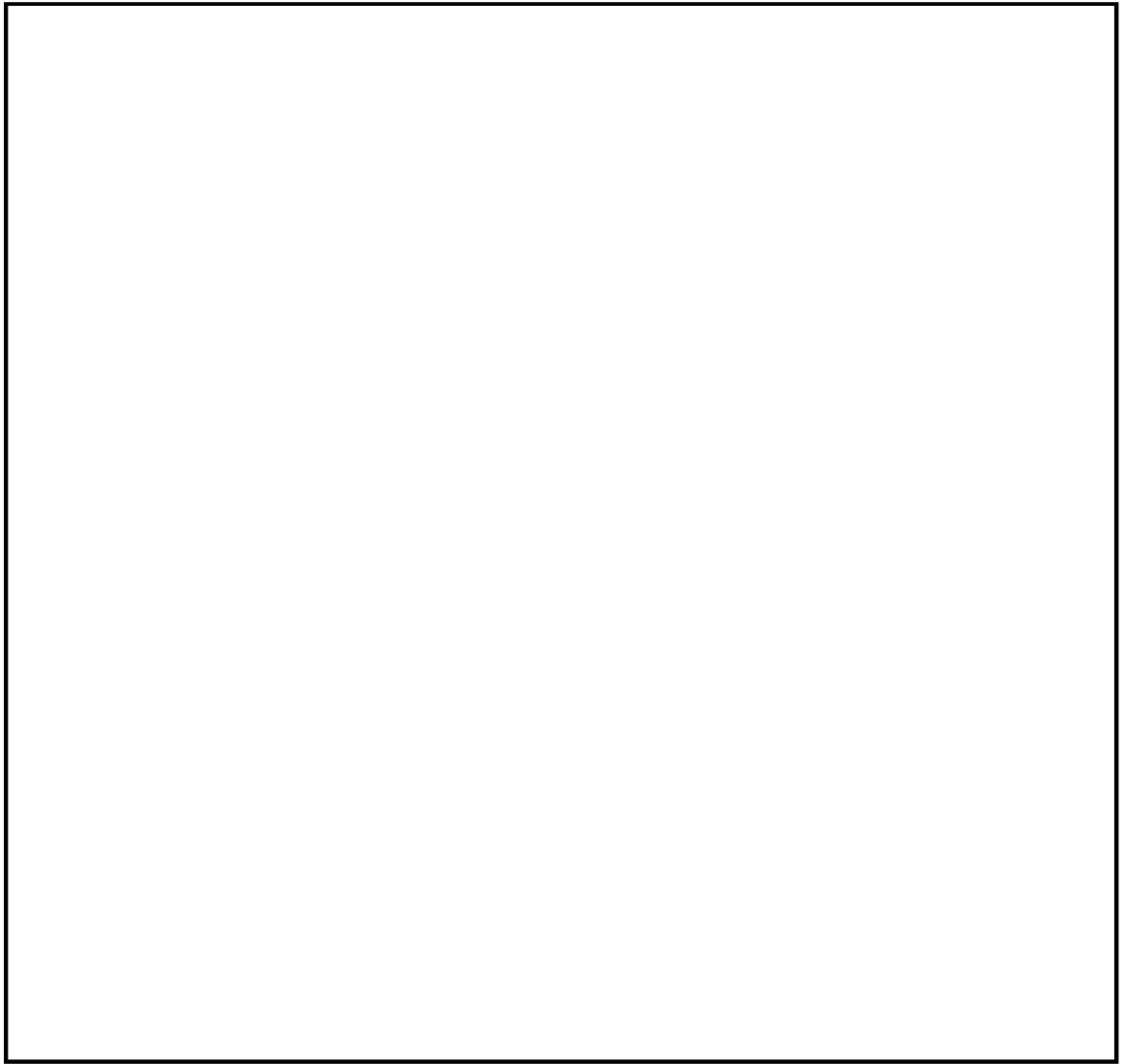


図 3-7 解析結果の比較

表 3-2 解析結果の比較（最大応答加速度）（1/2）

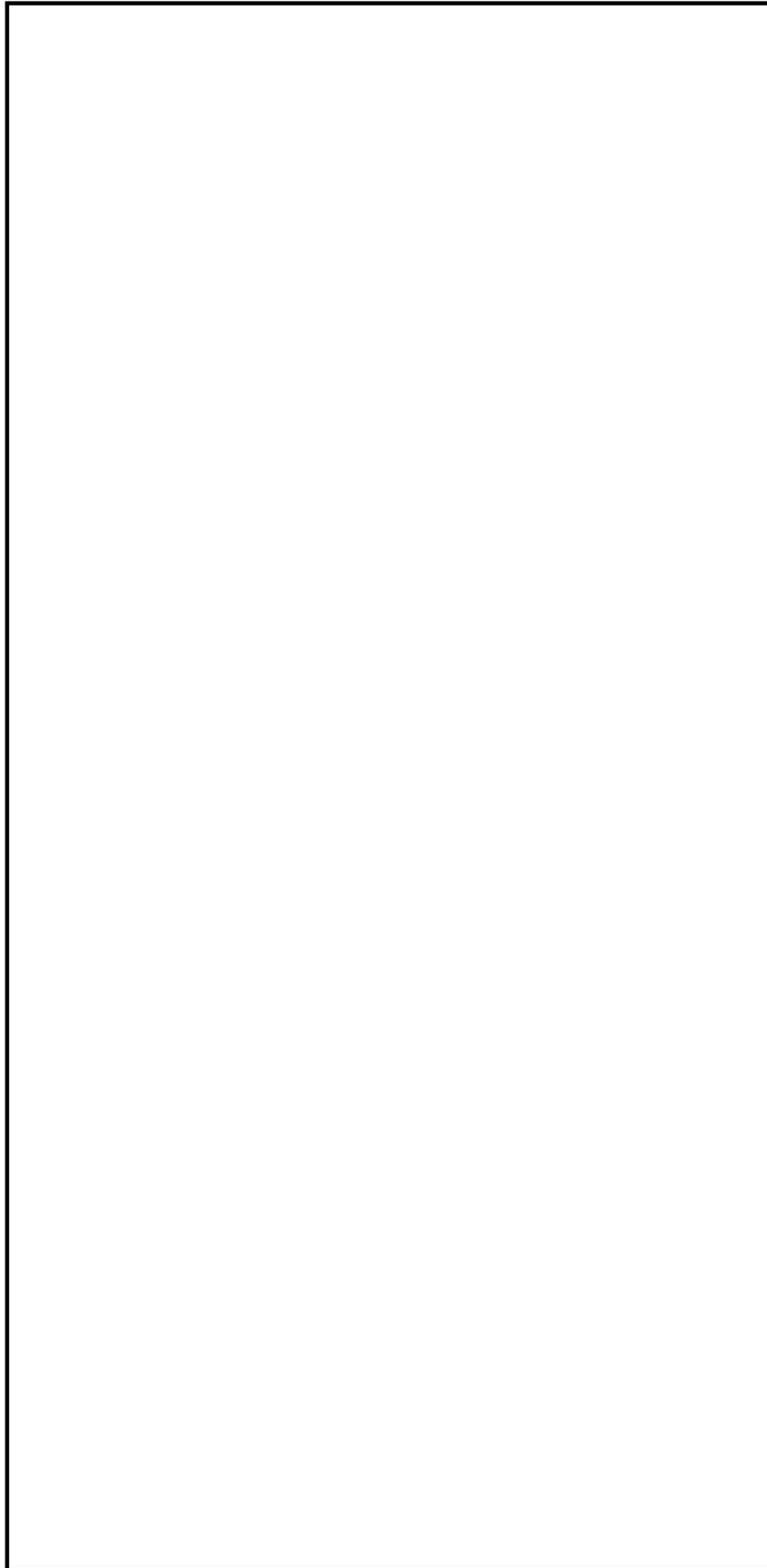
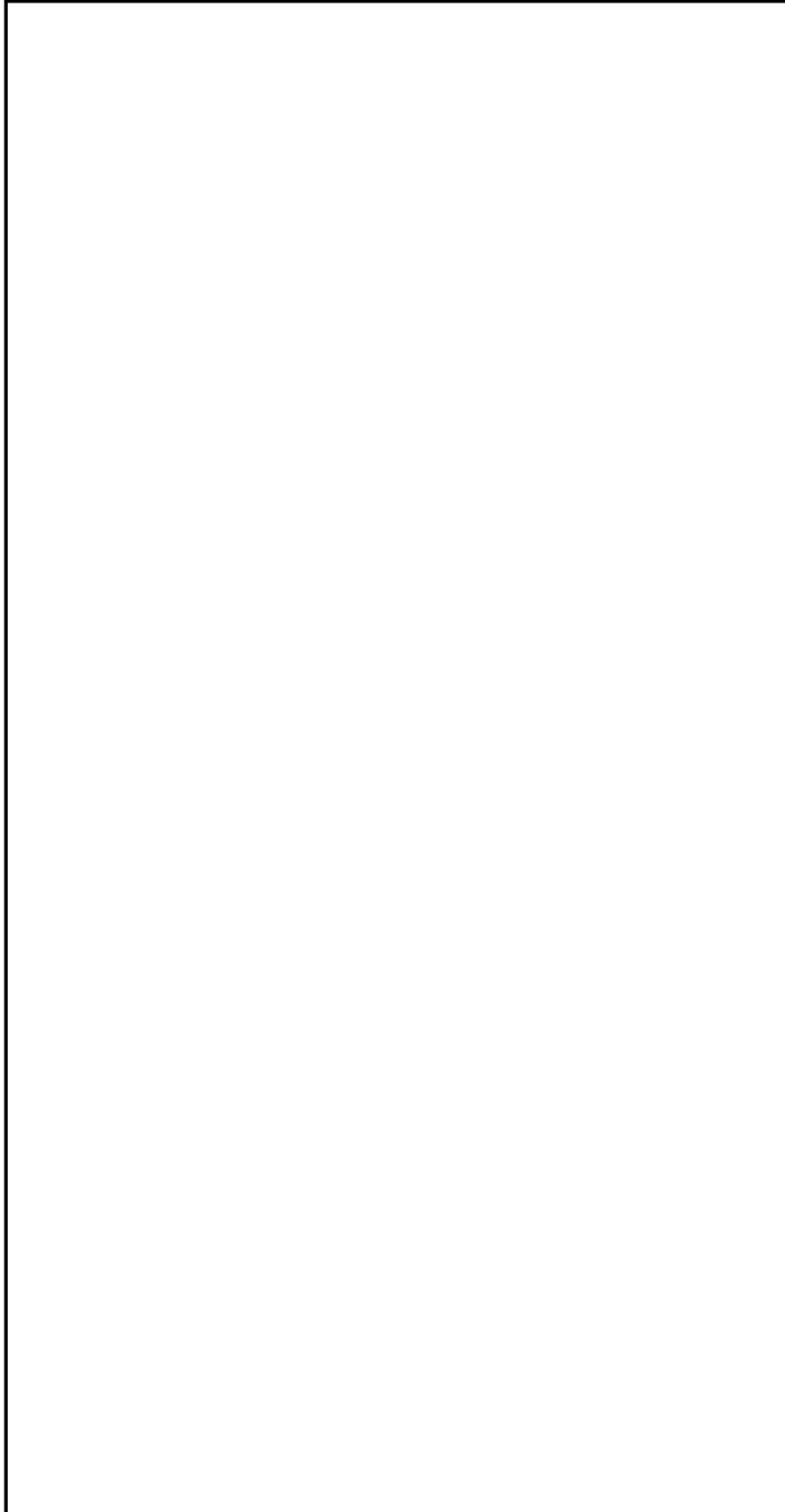


表 3-2 解析結果の比較（最大せん断ひずみ）（2/2）



### 3.5.3 使用内容に対する妥当性

コントロール建屋の地震応答解析における入力地震動の策定に本解析コードを使用することは、次のとおり、本解析の適用範囲に対して検証されており、妥当である。

- ・多層地盤の地震応答解析について、による解析結果と比較しておおむね一致していることから、解析の目的に照らして今回の解析に使用することは妥当である。
- ・検証の内容のとおり、地盤の応答解析について検証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。
- ・評価地盤を水平成層と仮定していることから、1次元重複反射理論の適用範囲である。

## 4. 引用文献

(1)