

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添2-014-05改01
提出年月日	2023年5月31日

VI-2-11-2-1-4 サイトバンカ建物の耐震性についての計算書

S2 補 VI-2-11-2-1-4 R0

2023年5月

中国電力株式会社

## 目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	6
2.4 適用規格・基準等	8
3. 評価方法	9
3.1 評価対象部位及び評価方針	9
3.2 設計に用いる地震波	9
3.3 荷重及び荷重の組合せ	15
3.4 許容限界	16
3.5 解析方法	17
3.5.1 地震応答解析モデル	17
3.5.2 解析方法	24
3.5.3 建物・構築物の復元力特性	25
3.5.4 地盤の回転ばねの復元力特性	38
3.5.5 誘発上下動を考慮する場合の基礎浮上り評価法	39
3.5.6 材料物性の不確かさ	41
3.6 評価方法	43
3.6.1 構造物全体としての変形性能の評価方法	43
4. 評価結果	44
4.1 構造物全体としての変形性能の評価結果	44

## 1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、サイトバンカ建物が防波壁に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

その波及的影響の評価は、防波壁の有する機能が保持されることを確認するために、施設の損傷、転倒及び落下等による影響では、サイトバンカ建物の構造物全体としての変形性能の評価を実施する。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

サイトバンカ建物の設置位置を図2-1に示す。

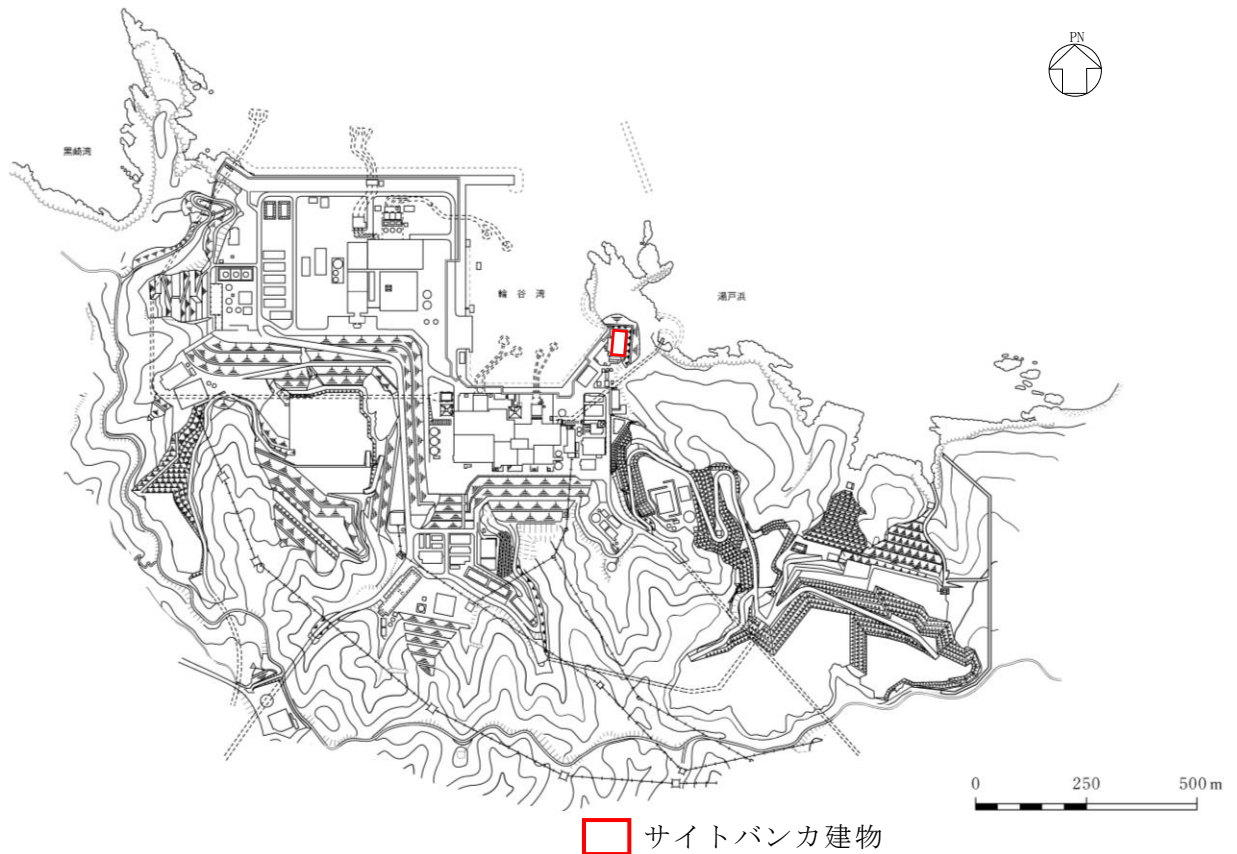


図2-1 サイトバンカ建物の設置位置

## 2.2 構造概要

サイトバンカ建物は、3階建の鉄筋コンクリート造の建物である。サイトバンカ建物の概略平面図を図2-2に、概略断面図を図2-3に、建物配置図を図2-4に示す。

サイトバンカ建物の平面は、60.0m\*（NS）×30.0m\*（EW）であり、基礎スラブ底面からの高さは29.975mである。

サイトバンカ建物の基礎は厚さ1.5m～2.5mのべた基礎で、岩盤に直接設置している。

注記\*：建物寸法は壁外面寸法とする。

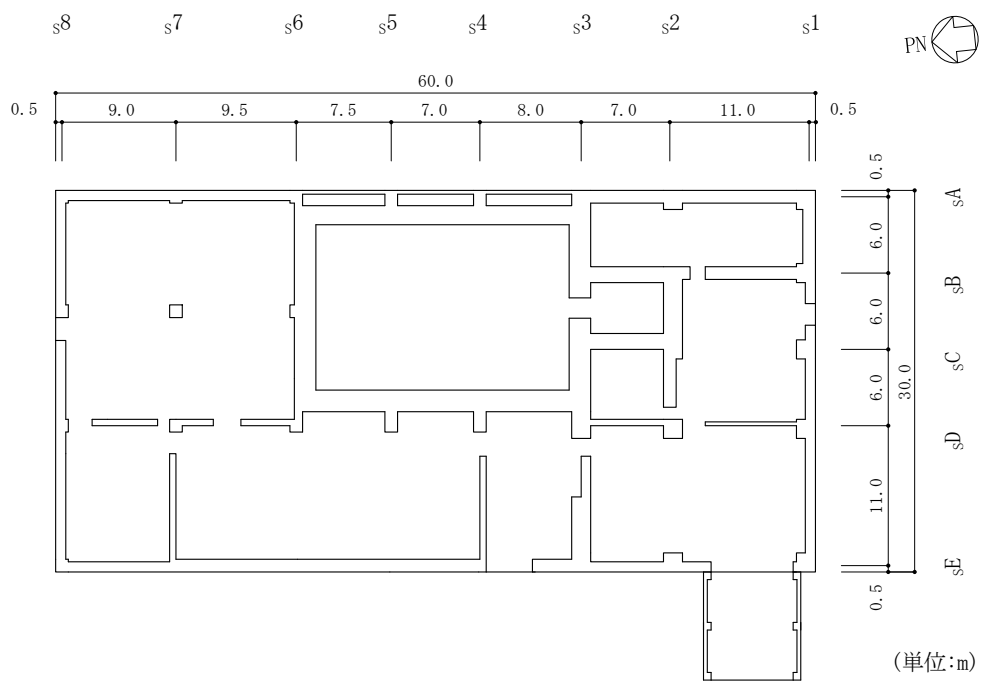


図 2-2 サイトバンカ建物の概略平面図 (EL 8.8m\*)

注記\* : 「EL」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。

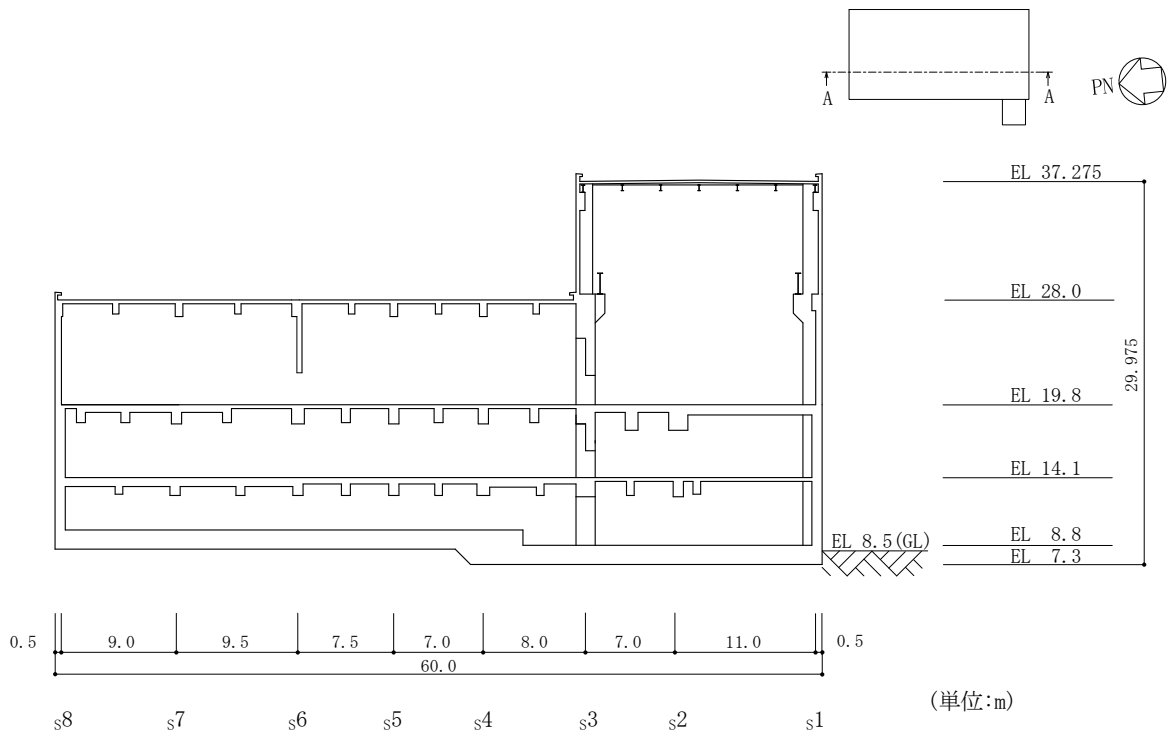


図 2-3(1) サイトバンカ建物の概略断面図 (A-A 断面, NS 方向)

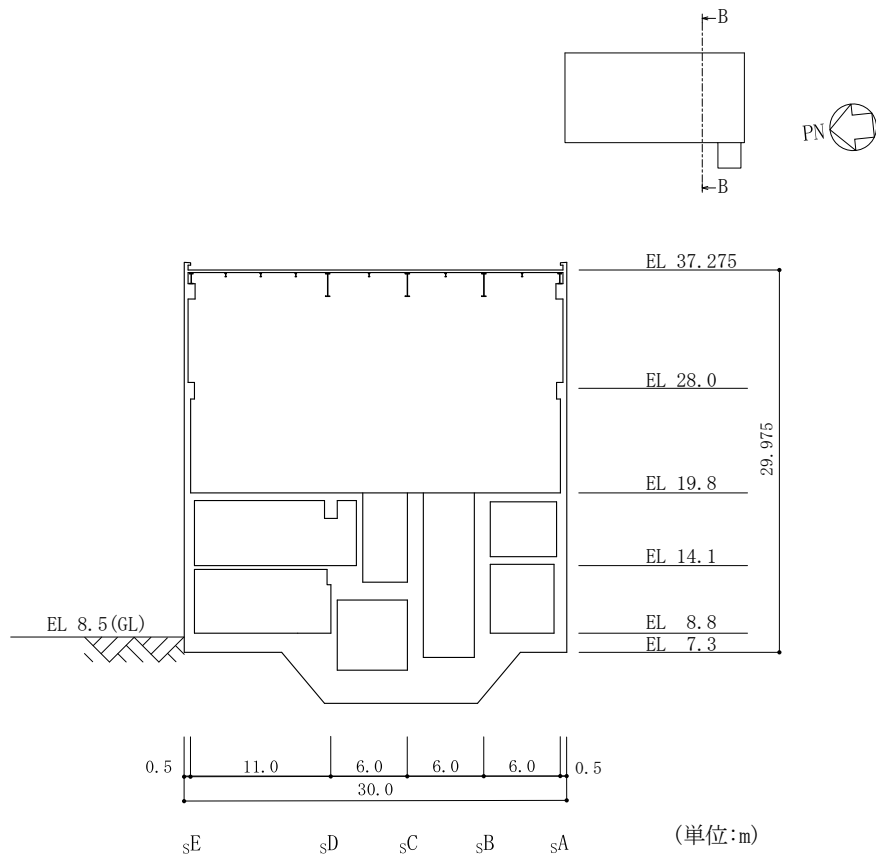


図 2-3(2) サイトバンカ建物の概略断面図 (B-B 断面, EW 方向)

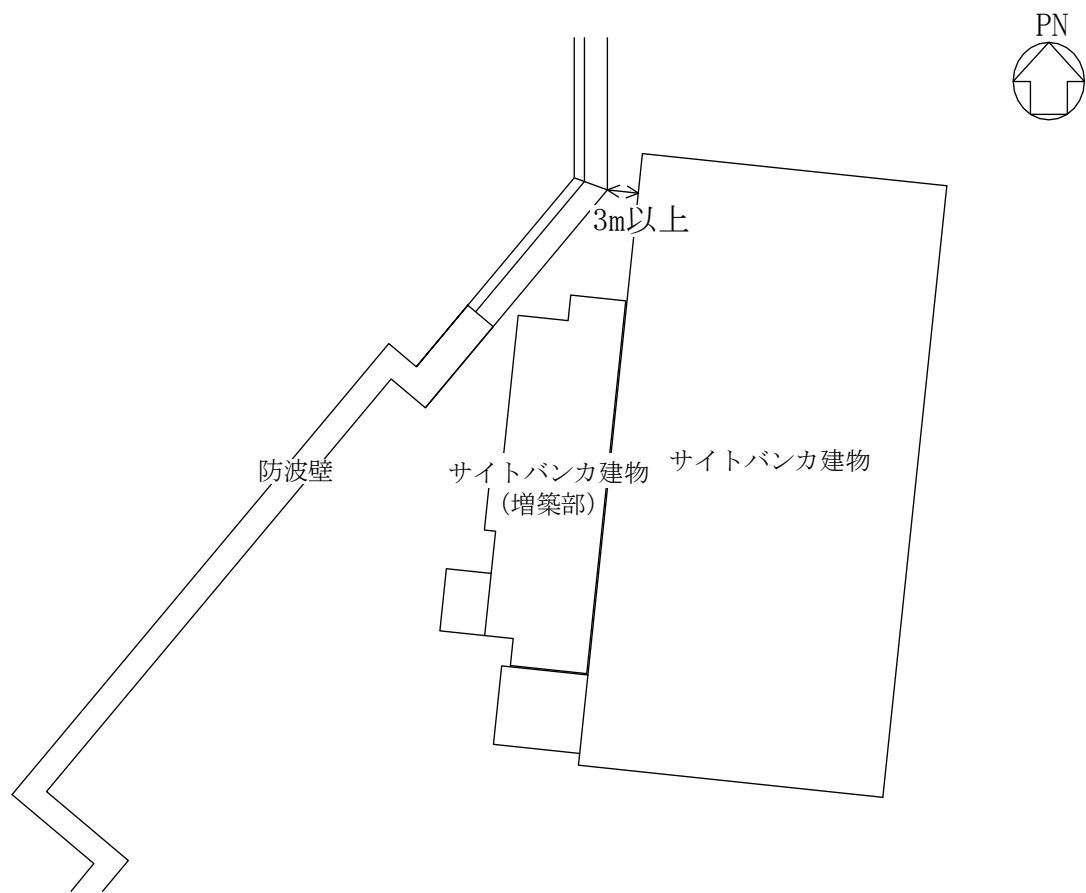


図 2-4 建物配置図

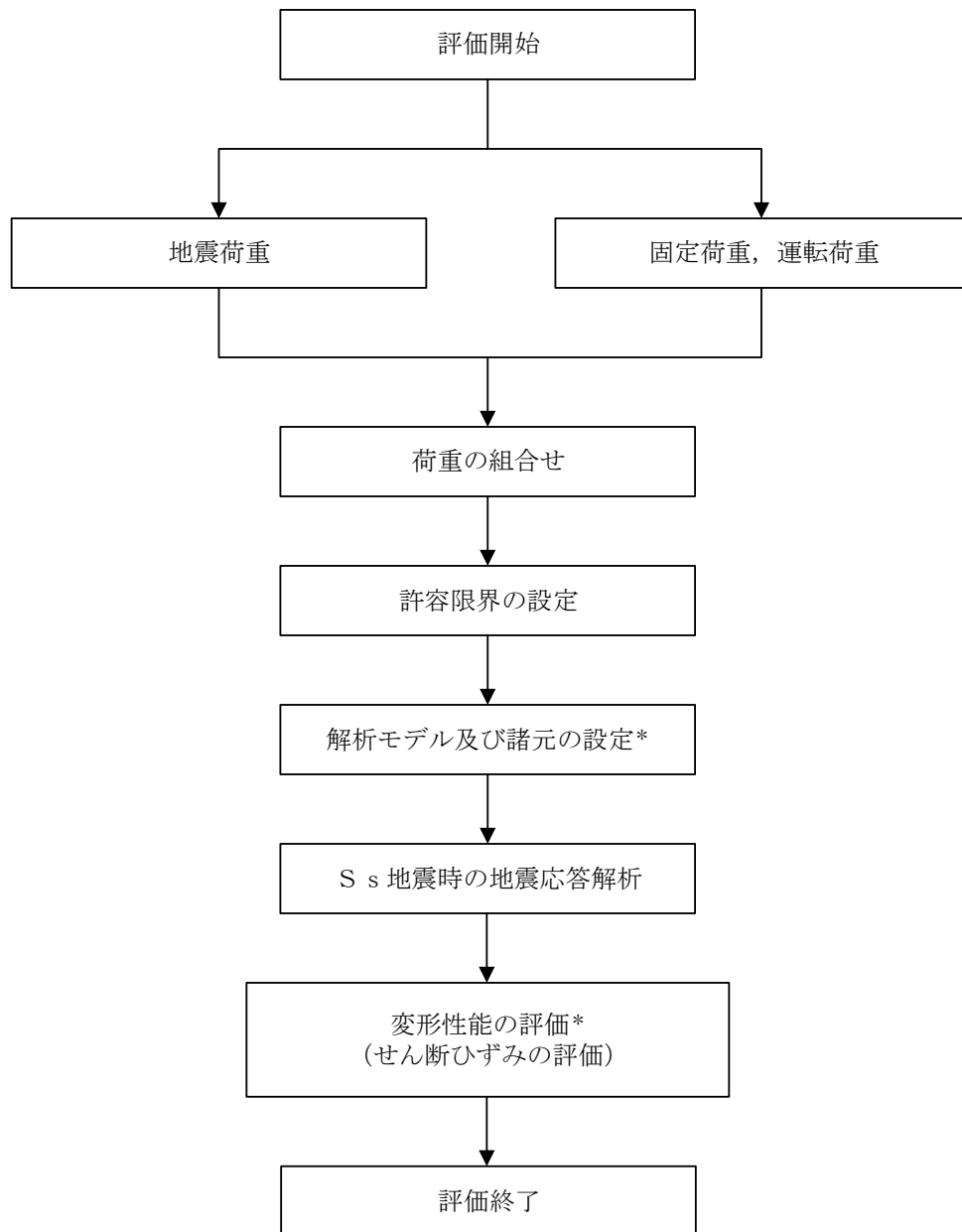
### 2.3 評価方針

サイトバンカ建物は、防波壁と同じ運転状態を想定することから、設計基準対象施設に対する波及的影響の評価を行う。

サイトバンカ建物の設計基準対象施設に対する波及的影響の評価においては、基準地震動  $S_s$  に対する評価（以下「 $S_s$  地震時に対する評価」という。）を行うこととする。サイトバンカ建物の波及的影響の評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、地震応答解析による評価において、施設の損傷、転倒及び落下等による影響では、構造物全体としての変形性能の評価を行う。サイトバンカ建物は、防波壁と 3m 以上離れており、サイトバンカ建物が倒壊しない限り衝突・接触することはない。評価にあたっては、材料物性の不確かさを考慮する。

図 2-5 に波及的影響の評価フローを示す。





注記\* : 材料物性の不確かさを考慮する。

図 2-5 サイトバンカ建物の波及的影響の評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

サイトバンカ建物の波及的影響の評価を行う際に適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・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 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)
- ・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)
- ・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)
- ・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. 評価方法

#### 3.1 評価対象部位及び評価方針

サイトバンカ建物の波及的影響の評価は、以下の方針に基づき行う。

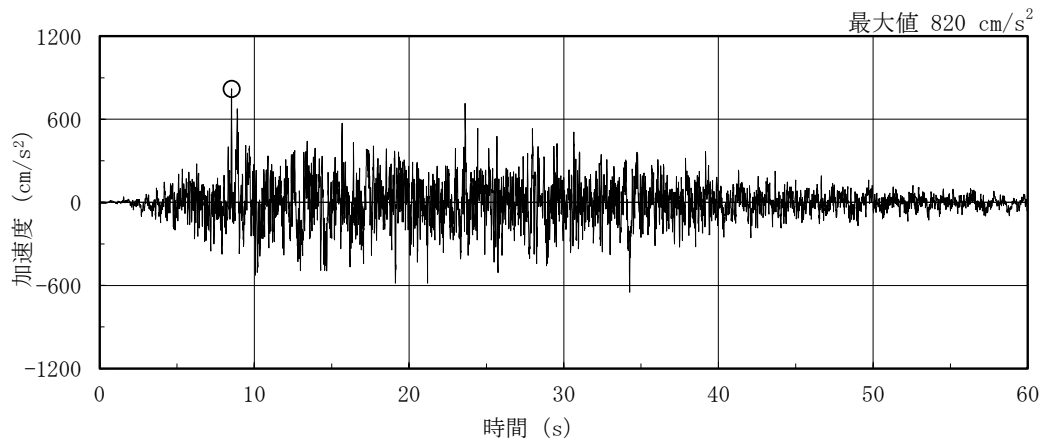
構造物全体としての変形性能の評価では、質点系モデルを用いた地震応答解析結果により求められる耐震壁の最大応答せん断ひずみが、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（社）日本電気協会」により設定した許容限界を超えないことを確認する。

以上の評価では、材料物性の不確かさを考慮する。

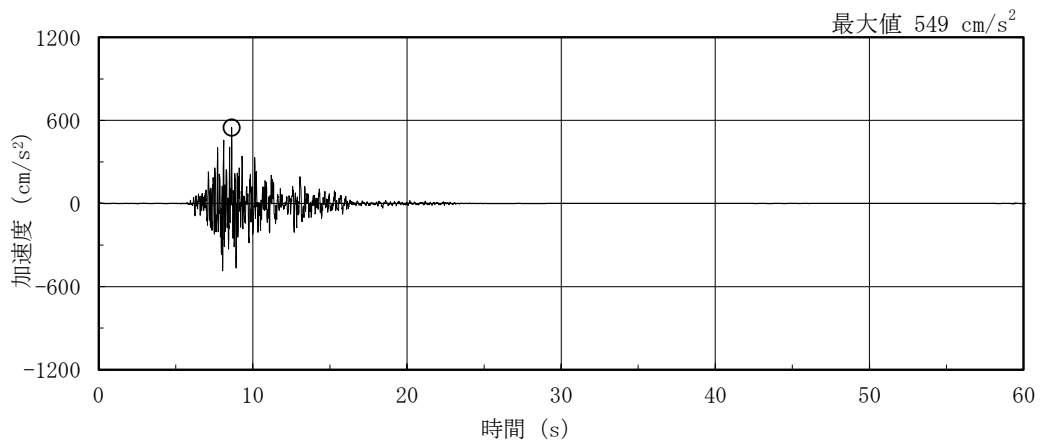
#### 3.2 設計に用いる地震波

サイトバンカ建物の地震応答解析に用いる地震波は、上位クラス施設である防波壁の評価に適用したVI-2-1-2「基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  の策定概要」に示す解放基盤表面レベルに想定する地震波のうち、基準地震動  $S_s$  を用いることとする。

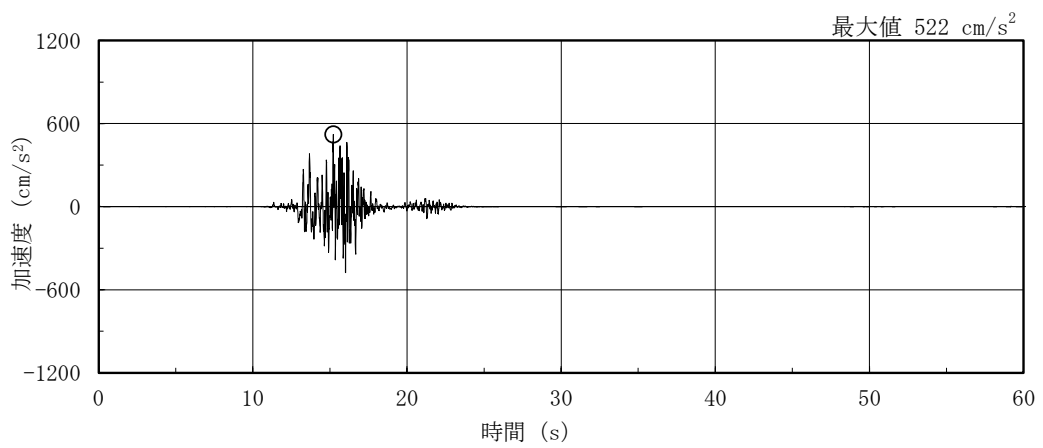
地震応答解析に用いる地震波の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを、図 3-1～図 3-3 に示す。



(a) S s - D

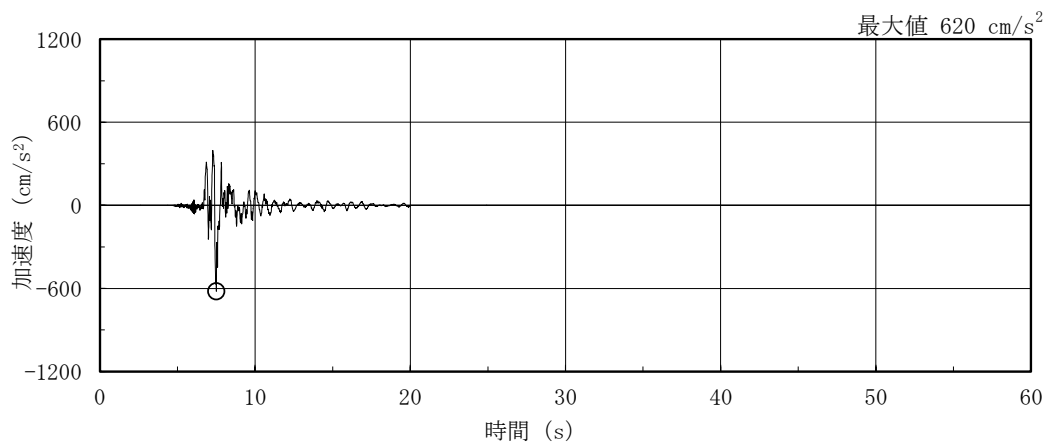


(b) S s - F 1

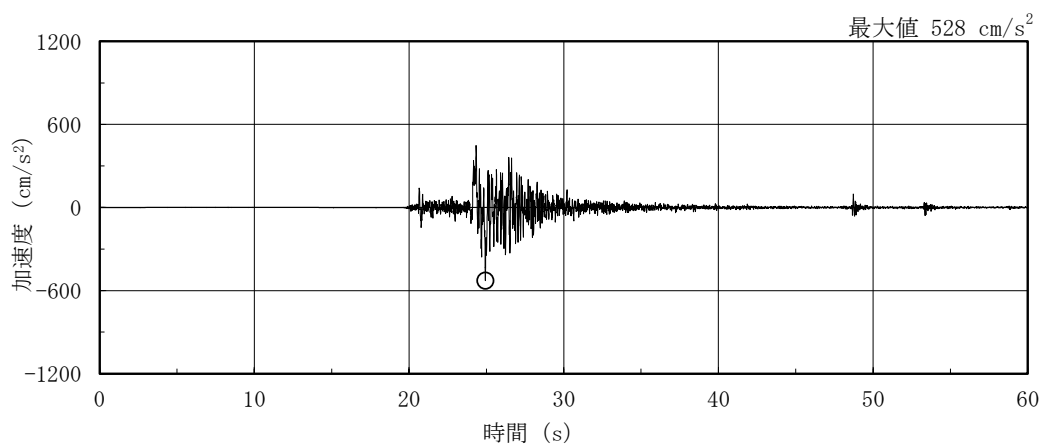


(c) S s - F 2

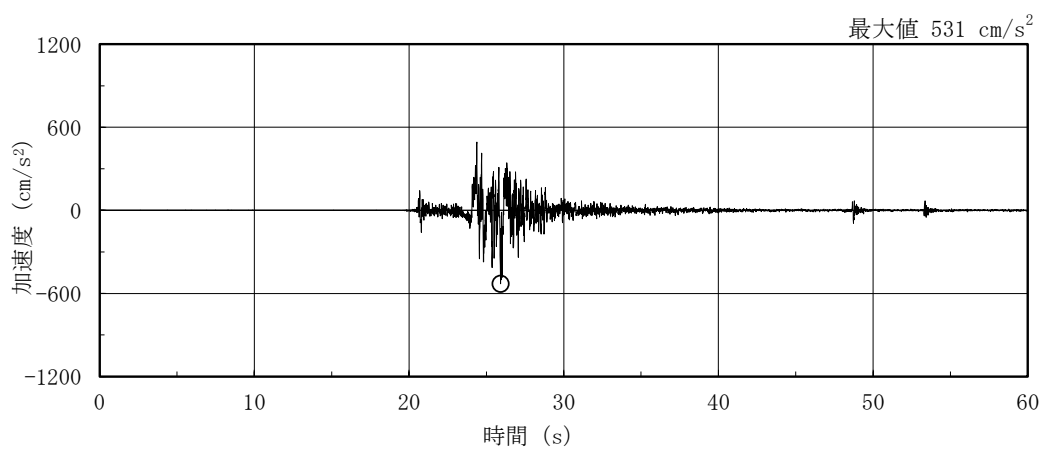
図 3-1(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, NS 方向)



(d) S s - N 1

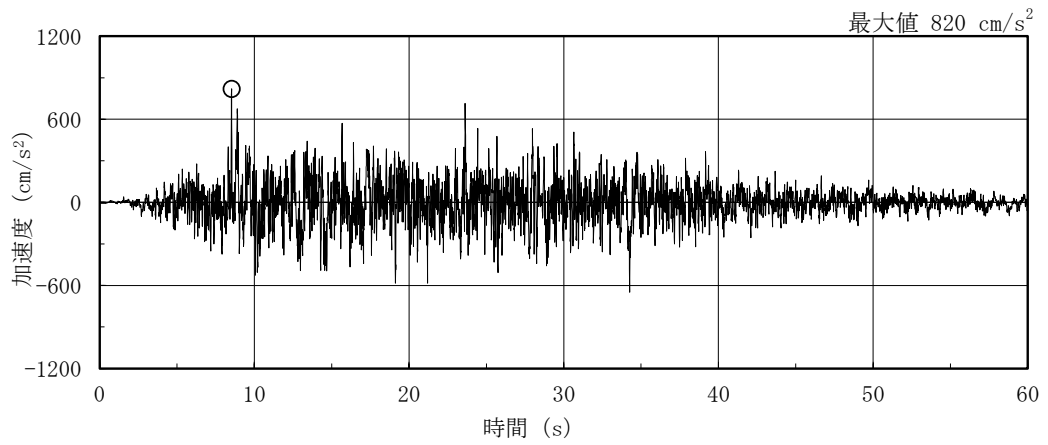


(e) S s - N 2 N S

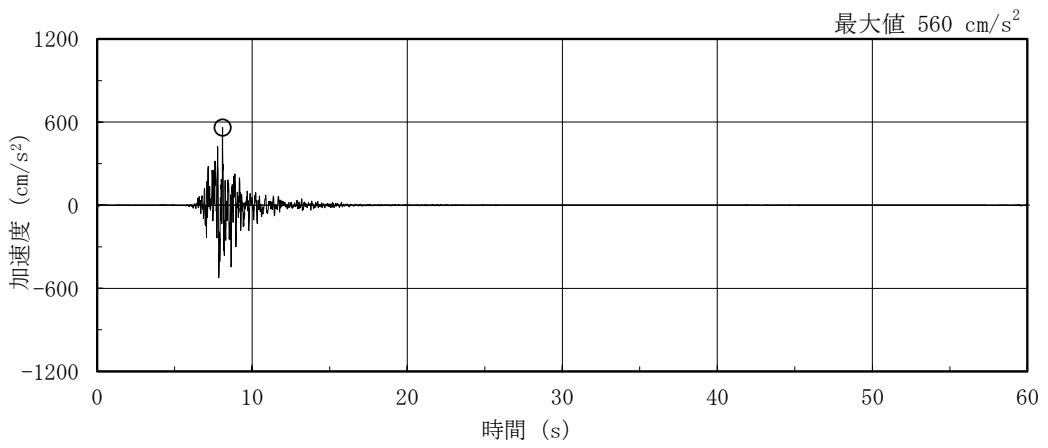


(f) S s - N 2 E W

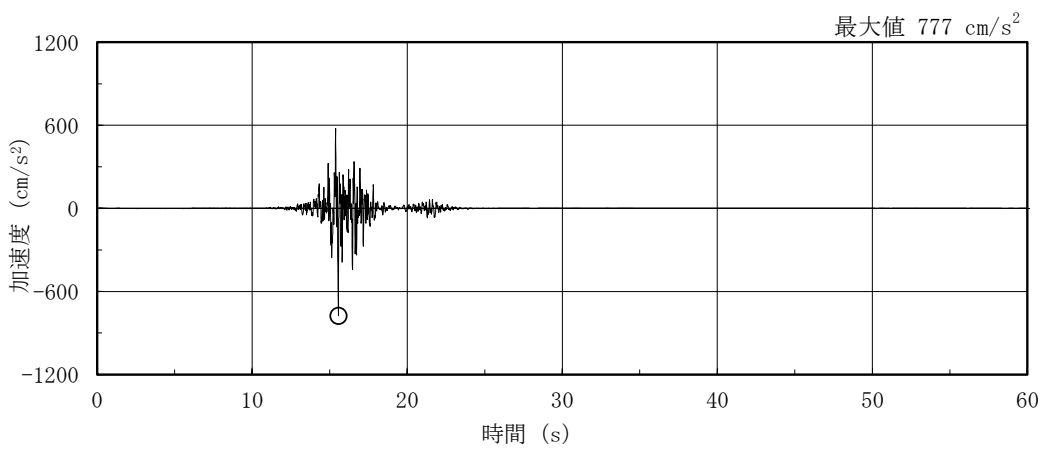
図 3-1(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , N S 方向)



(a) S s - D

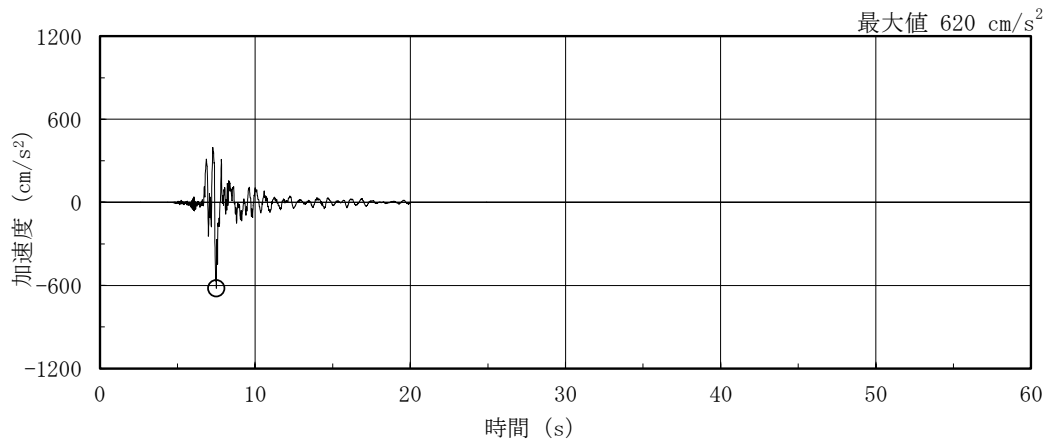


(b) S s - F 1

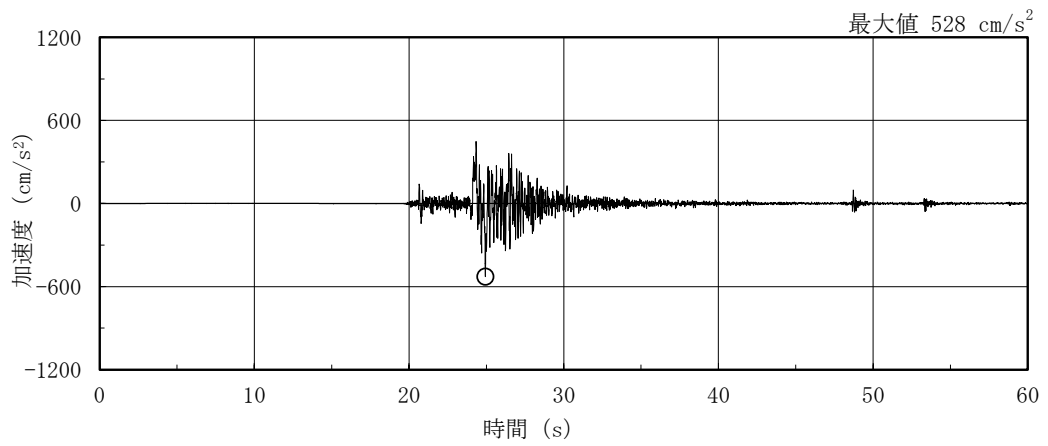


(c) S s - F 2

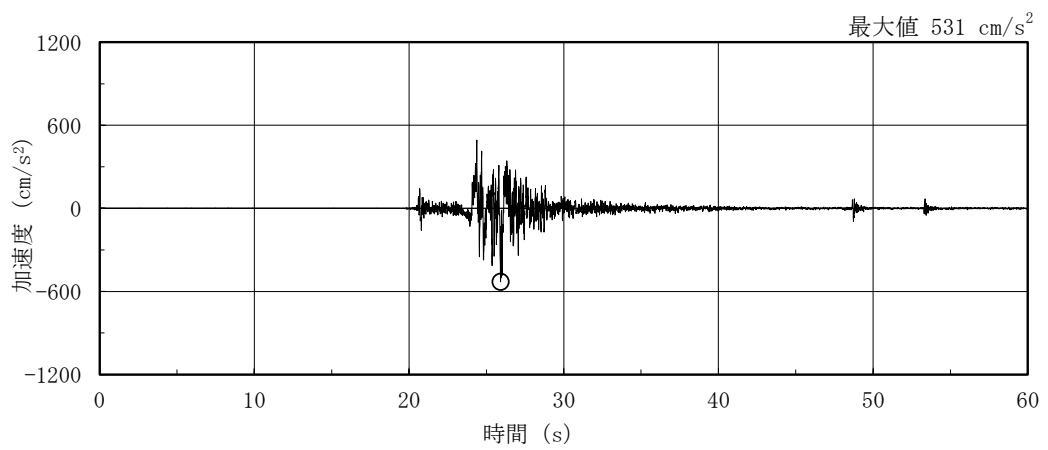
図 3-2(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, E W 方向)



(d) S s - N 1

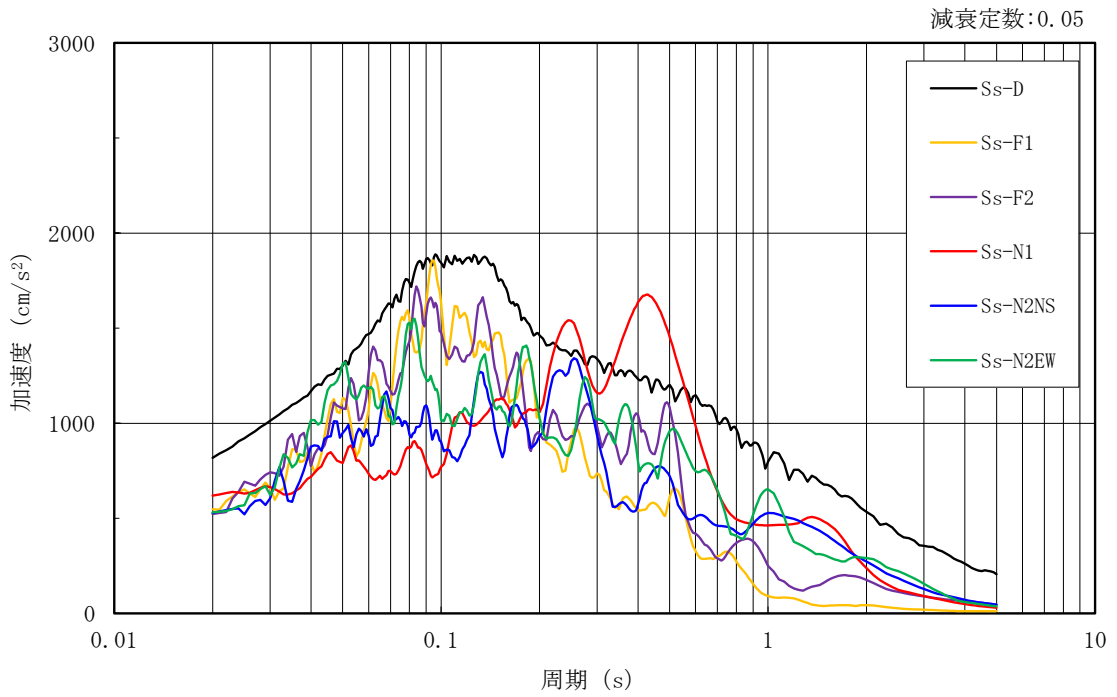


(e) S s - N 2 N S

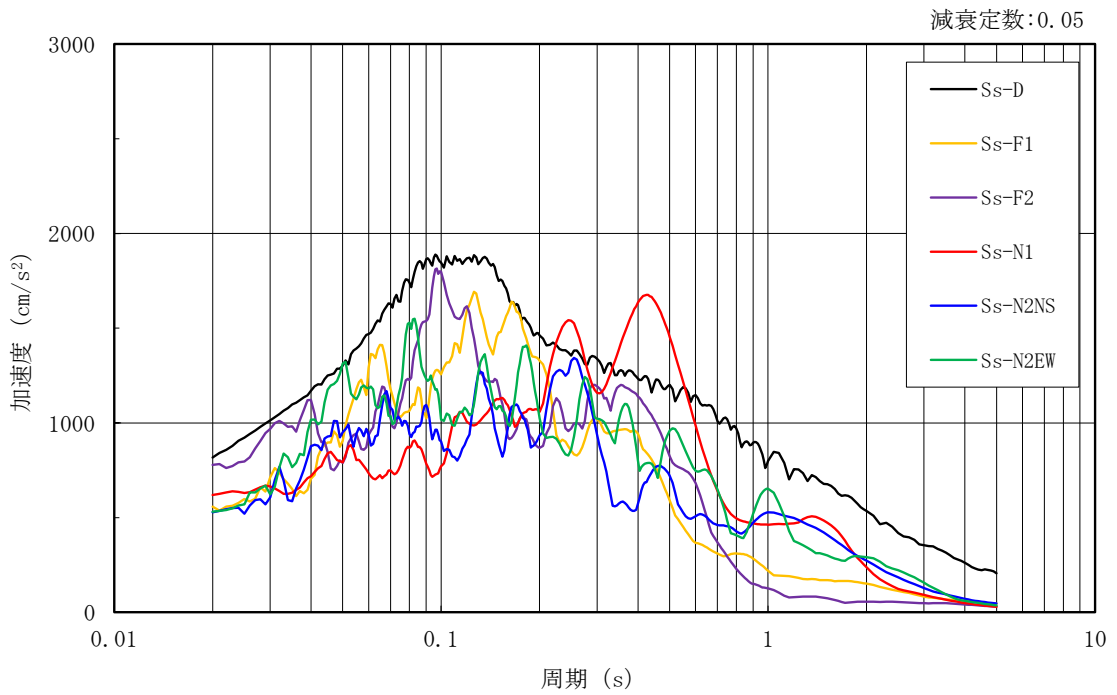


(f) S s - N 2 E W

図 3-2(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , E W 方向)



(a) N S 方向



(b) E W 方向

図 3-3 加速度応答スペクトル (基準地震動  $S_s$ )



### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。荷重の組合せを表3-1に示す。

表 3-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S <sub>s</sub> 地震時	G + P + S <sub>s</sub>

[記号の説明]

G : 固定荷重

P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態における運転荷重

S<sub>s</sub> : 基準地震動 S<sub>s</sub> により定まる地震力

### 3.4 許容限界

サイトバンカ建物の防波壁に対する波及的影響の評価における許容限界は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に記載の許容限界に基づき、表3-2のとおり設定する。

表3-2 波及的影響の評価における許容限界  
(設計基準対象施設に対する評価)

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界
防波壁に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 S <sub>s</sub>	耐震壁	最大応答せん断ひずみが構造物全体としての構造強度の確認のための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $4.0 \times 10^{-3}$

### 3.5 解析方法

#### 3.5.1 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の解析モデルの設定方針に基づき、水平方向について設定する。地震応答解析モデルの設定に用いた使用材料の物性値を表3-3に示す。

表3-3 使用材料の物性値

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 (%)	備考
鉄筋コンクリート コンクリート： Fc=23.5 (N/mm <sup>2</sup> ) (Fc=240 (kgf/cm <sup>2</sup> )) 鉄筋：SD35 (SD345 相当)	2.25×10 <sup>4</sup>	9.38×10 <sup>3</sup>	5	—

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、弾塑性時刻歴応答解析を行う。建物のモデル化は、N S方向及びE W方向それぞれについて行っている。

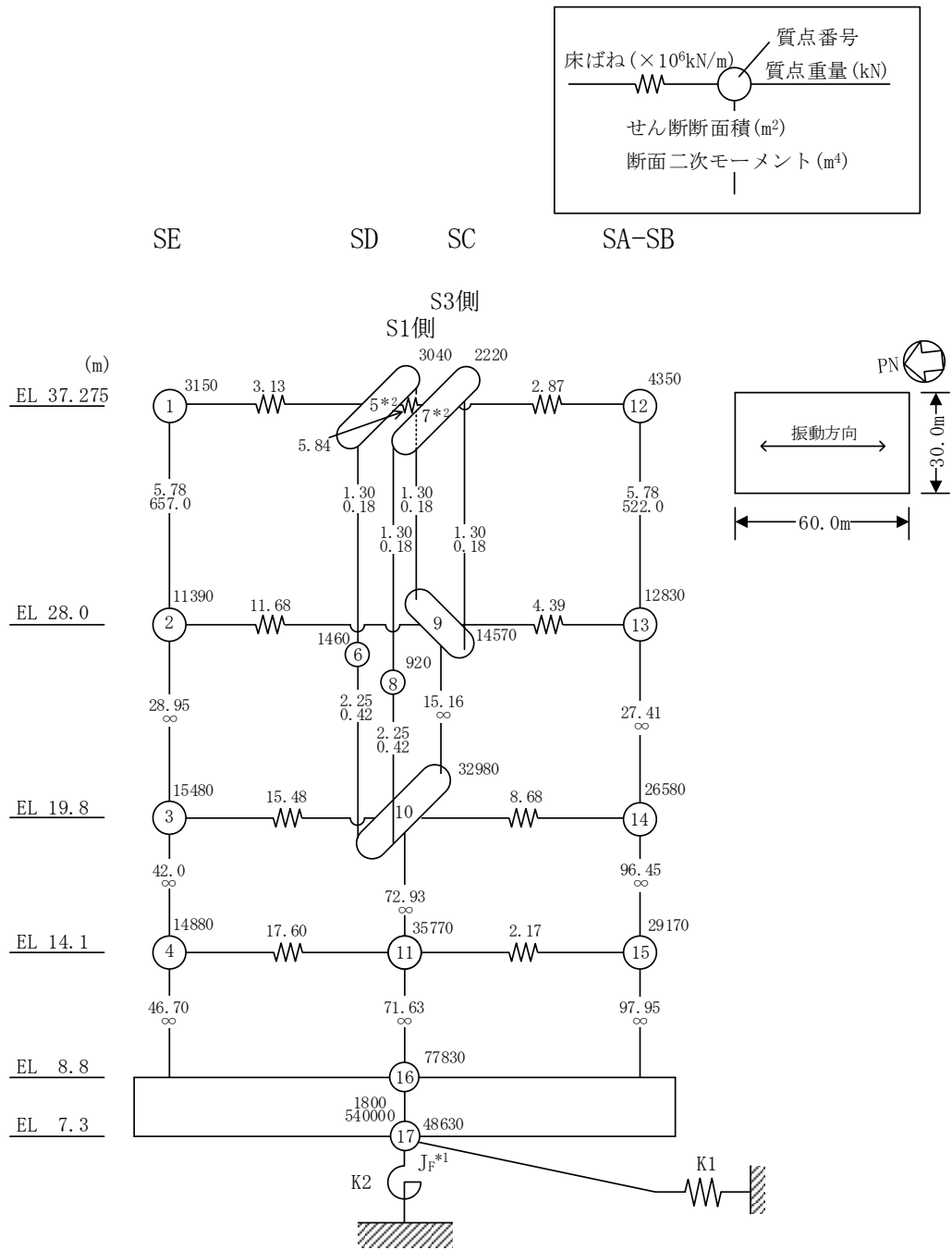
地震応答解析モデルを図3-4に示す。なお、図3-5に示す誘発上下動を考慮する場合の地震応答解析モデルについては、「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 -2008（（社）日本電気協会）」（以下「J E A C 4 6 0 1 -2008」という。）を参考に、水平加振により励起される上下応答を評価するために、耐震壁の軸剛性を考慮した質点系モデルである鉛直方向モデル及び接地率に応じて変化する回転・鉛直連成ばね $K_{VR}$ についても考慮している。

基礎底面の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、振動アドミ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。このうち、基礎底面のロッキング地盤ばねには、基礎浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。地盤ばねの定数化の概要を図3-6に、地盤ばね定数及び減衰係数を表3-4及び表3-5に示す。基礎底面ばねの評価には解析コード「ADMI THF」を用いる。評価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、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

なお、誘発上下動を考慮する場合の鉛直方向モデルの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、振動アドミ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。

入力地震動は、「3.1 評価対象部位及び評価方針」に示す基準地震動 $S_s$ を基礎底面レベルに直接入力する。なお、基準地震動 $S_s - F1$ 及び $S_s - F2$ に関しては、サイトバンカ建物の配置に応じて方位を補正した波形を用いる。

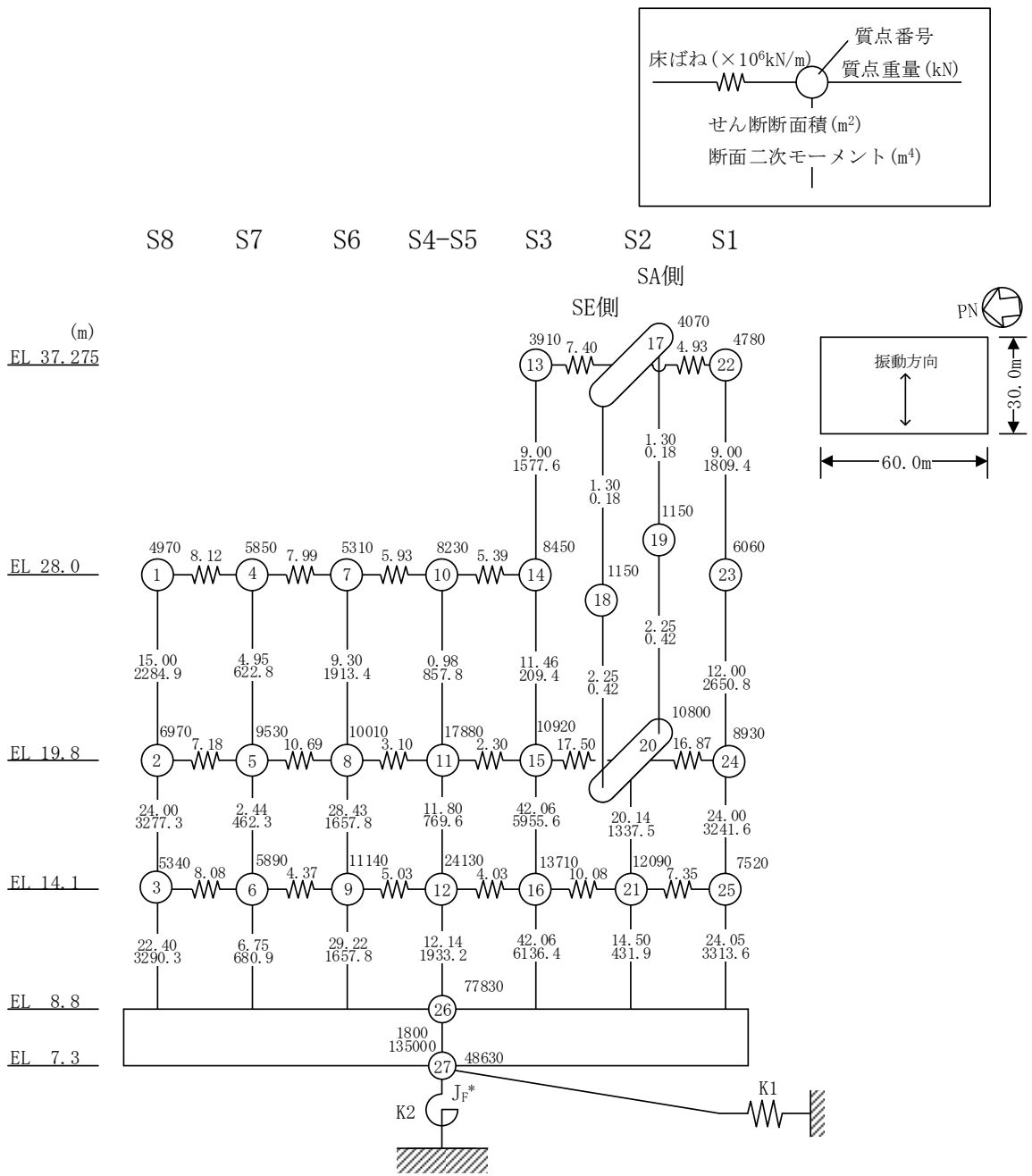
地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を図3-7に示す。



注記\*1 : 回転慣性重量 ( $97.29 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$ )

\*2 : せん断面積 ( $0.83 \text{ m}^2$ ), 断面二次モーメント ( $0.35 \text{ m}^4$ )

図 3-4(1) 地震応答解析モデル (NS 方向)



注記\* : 回転慣性重量 ( $25.29 \times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ )

図 3-4(2) 地震応答解析モデル (EW方向)

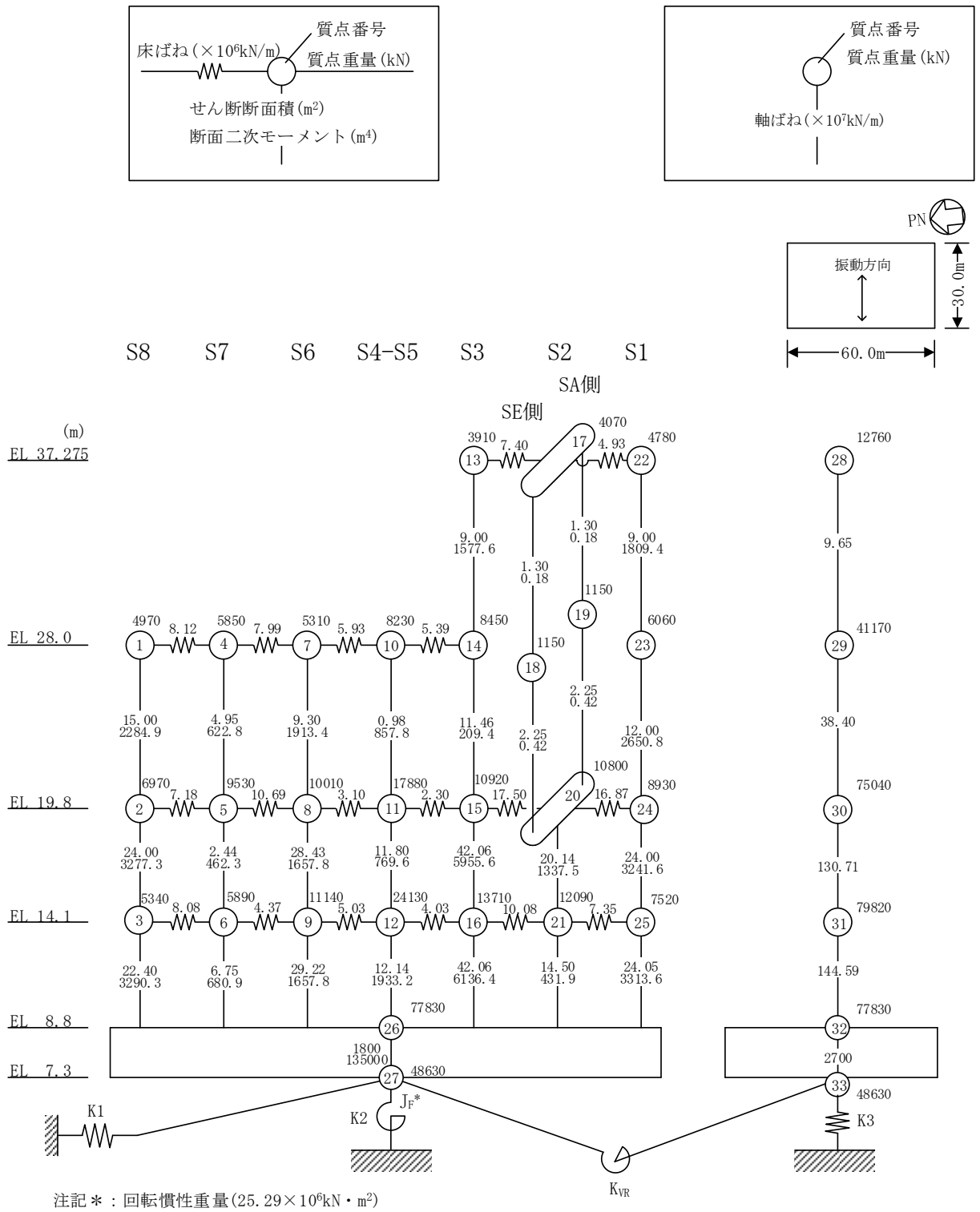
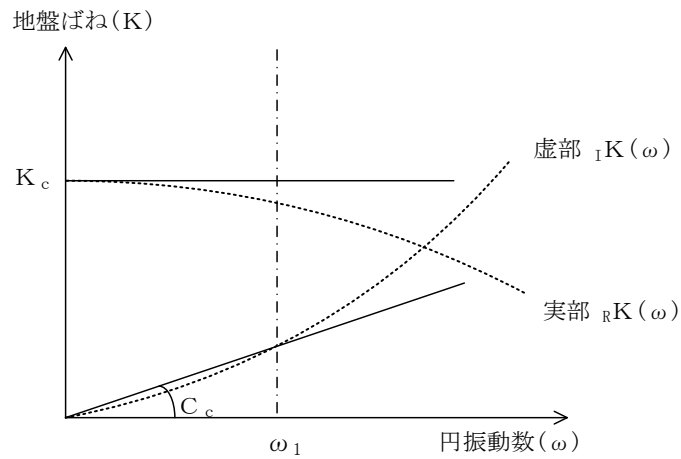


図 3-5 地震応答解析モデル (EW方向)  
(誘発上下動を考慮する場合)



ばね定数 : 0Hz のばね定数  $K_c$  で定数化

減衰係数 : 地盤-建物連成系の 1 次固有円振動数  $\omega_1$  に対応する虚部の値と原点とを結ぶ直線の傾き  $C_c$  で定数化

図 3-6 地盤ばねの定数化の概要

表 3-4 地盤ばね定数と減衰係数 (水平方向)

(a) NS 方向

ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 $K_c$	減衰係数 $C_c$
K1	底面・水平	$7.05 \times 10^8$ (kN/m)	$5.72 \times 10^6$ (kN・s/m)
K2	底面・回転	$5.90 \times 10^{11}$ (kN・m/rad)	$1.57 \times 10^9$ (kN・m・s/rad)

(b) EW 方向

ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 $K_c$	減衰係数 $C_c$
K1	底面・水平	$7.49 \times 10^8$ (kN/m)	$6.49 \times 10^6$ (kN・s/m)
K2	底面・回転	$2.18 \times 10^{11}$ (kN・m/rad)	$1.97 \times 10^8$ (kN・m・s/rad)

表 3-5 地盤ばね定数と減衰係数 (誘発上下動を考慮する場合の鉛直方向)

ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 $K_c$	減衰係数 $C_c$
K3	底面・鉛直	$9.46 \times 10^8$ (kN/m)	$1.22 \times 10^7$ (kN・s/m)



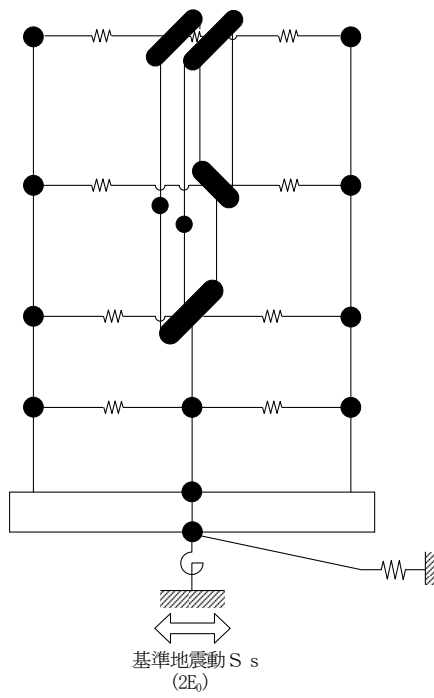


図 3-7 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図

### 3.5.2 解析方法

サイトバンカ建物の地震応答解析には，解析コード「NUPP4」を用いる。

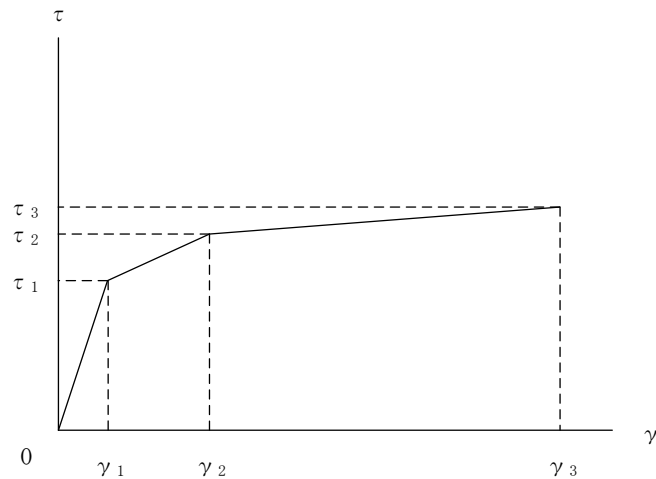
建物・構築物の地震応答解析は，VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき，時刻歴応答解析により実施する。

なお，地震応答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，VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

### 3.5.3 建物・構築物の復元力特性

#### (1) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$  関係）は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、トリリニア型スケルトン曲線とする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係を図 3-8 に示す。



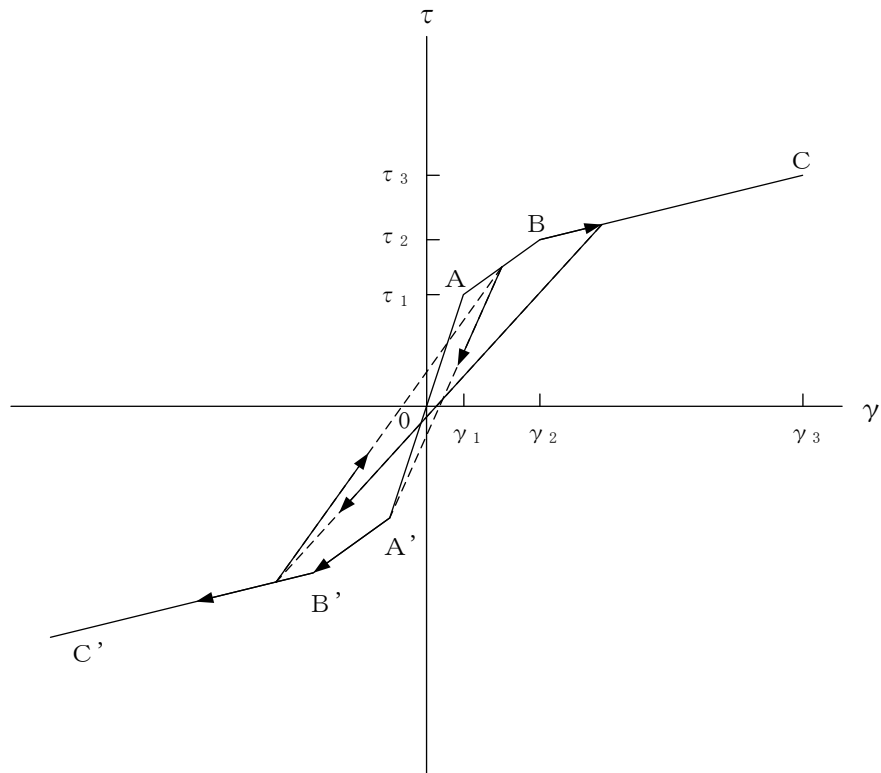
- $\tau_1$  : 第 1 折点のせん断応力度
- $\tau_2$  : 第 2 折点のせん断応力度
- $\tau_3$  : 終局点のせん断応力度\*
- $\gamma_1$  : 第 1 折点のせん断ひずみ
- $\gamma_2$  : 第 2 折点のせん断ひずみ
- $\gamma_3$  : 終局点のせん断ひずみ ( $4.0 \times 10^{-3}$ )

注記\* : フランジ壁を有しない内壁又は壁厚が薄くフランジ壁の剛性を評価できない外壁を主体とした平面形状であることから「保有水平耐力の計算方法(平成 19 年 5 月 18 日国交省告示 594 号第四)」に基づき算出

図 3-8 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係

## (2) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、最大点指向型モデルとする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性を図 3-9 に示す。

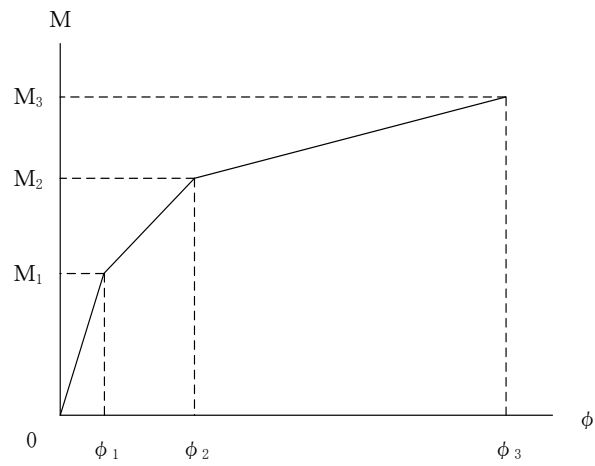


- a. 0-A 間 : 弾性範囲
- b. A-B 間 : 負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第1折点を越えていなければ、負側第1折点に向かう。
- c. B-C 間 : 負側最大点指向
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。
- e. 安定ループは面積を持たない。

図 3-9 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

(3) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- $\phi$  関係)

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- $\phi$  関係) は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、トリリニア型スケルトン曲線とする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係を図 3-10 に示す。

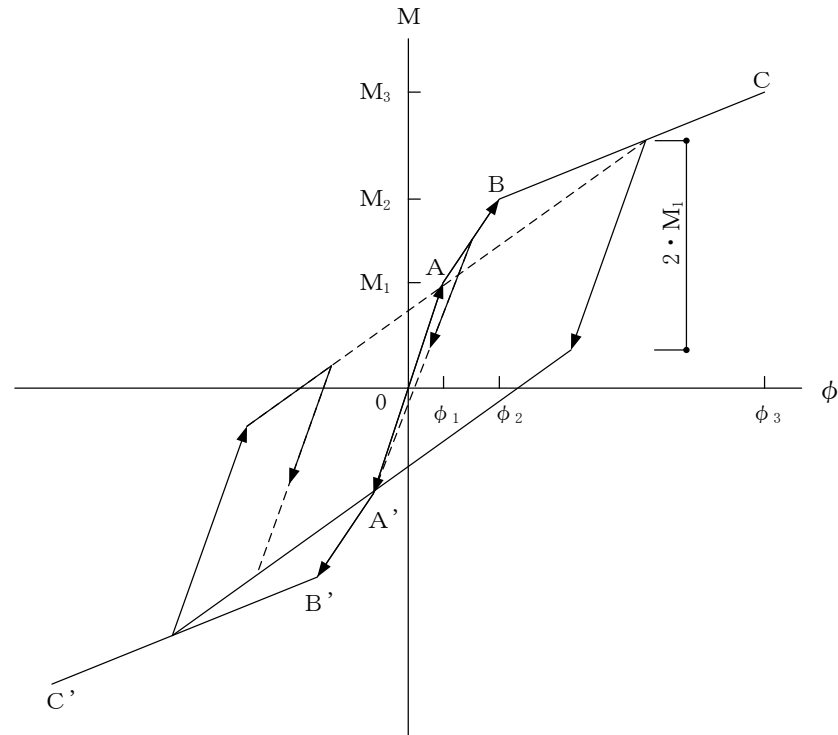


- $M_1$  : 第 1 折点の曲げモーメント  
 $M_2$  : 第 2 折点の曲げモーメント  
 $M_3$  : 終局点の曲げモーメント  
 $\phi_1$  : 第 1 折点の曲率  
 $\phi_2$  : 第 2 折点の曲率  
 $\phi_3$  : 終局点の曲率

図 3-10 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係

## (4) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、ディグレイディングトリリニア型モデルとする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性を図 3-11 に示す。



- a. 0-A 間 : 弾性範囲
- b. A-B 間 : 負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第1折点を過ぎていなければ、負側第1折点に向かう。
- c. B-C 間 : 負側最大点指向型で、安定ループは最大曲率に応じた等価粘性減衰を与える平行四辺形をしたディグレイディングトリリニア型とする。平行四辺形の折点は、最大値から  $2 \cdot M_1$  を減じた点とする。ただし、負側最大点が第2折点を過ぎていなければ、負側第2折点を最大点とする安定ループを形成する。また、安定ループ内部での繰り返しに用いる剛性は安定ループの戻り剛性に同じとする。
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。

図 3-11 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

(5) スケルトン曲線の諸数値

サイトバンク建物の各耐震壁について算定したせん断及び曲げスケルトン曲線の諸数値を表 3-6～表 3-8 に示す。

表 3-6(1) せん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (NS 方向)

SE

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
37.275~28.0	1.69	2.29	3.74	0.181	0.542	4.00
28.0~19.8	1.71	2.31	3.87	0.182	0.546	4.00
19.8~14.1	1.79	2.41	2.64	0.190	0.571	4.00
14.1~8.8	1.90	2.56	2.92	0.202	0.607	4.00

SD(S1側)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
37.275~28.0	—*					
28.0~19.8	—*					

SC(S1側)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
37.275~28.0	—*					
28.0~19.8	—*					

SD(S3側)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
37.275~28.0	—*					

注記\* : 線形部材



表 3-6(2) せん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (NS 方向)

SC (S3側)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
37.275~28.0	—*					

SC-SD (S3側)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
28.0~19.8	1.72	2.33	4.09	0.184	0.567	4.00

SC-SD

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
19.8~14.1	1.61	2.17	2.91	0.171	0.566	4.00
14.1~8.8	1.80	2.42	2.67	0.191	0.617	4.00

SA-SB

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
37.275~28.0	1.64	2.21	3.87	0.175	0.525	4.00
28.0~19.8	1.65	2.23	3.88	0.176	0.535	4.00
19.8~14.1	1.68	2.27	3.04	0.179	0.538	4.00
14.1~8.8	1.75	2.37	3.02	0.187	0.562	4.00

注記\* : 線形部材

表 3-7(1) せん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (E W 方向)

S8

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
28.0~19.8	1.66	2.25	3.89	0.177	0.532	4.00
19.8~14.1	1.75	2.36	3.68	0.186	0.559	4.00
14.1~8.8	1.86	2.51	3.74	0.198	0.594	4.00

S7

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
28.0~19.8	1.81	2.45	3.90	0.193	0.580	4.00
19.8~14.1	—*					
14.1~8.8	2.39	3.22	4.15	0.255	0.764	4.00

S6

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
28.0~19.8	1.73	2.34	4.21	0.184	0.553	4.00
19.8~14.1	1.67	2.25	3.38	0.178	0.543	4.00
14.1~8.8	1.72	2.32	3.07	0.183	0.576	4.00

S4-S5

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
28.0~19.8	—*					
19.8~14.1	—*					
14.1~8.8	1.07	1.44	1.77	0.114	0.767	4.00

注記\* : 線形部材

表 3-7(2) せん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (E W方向)

S3

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
37.275~28.0	1.69	2.28	4.17	0.180	0.539	4.00
28.0~19.8	1.52	2.06	2.12	0.162	0.567	4.00
19.8~14.1	1.77	2.39	3.11	0.189	0.565	4.00
14.1~8.8	1.88	2.54	3.19	0.200	0.601	4.00

S2(SA側)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
37.275~28.0	—*					
28.0~19.8	—*					

S2(SE側)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
37.275~28.0	—*					
28.0~19.8	—*					

S2

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
19.8~14.1	1.52	2.05	2.96	0.162	0.559	4.00
14.1~8.8	1.96	2.65	3.19	0.209	0.628	4.00

注記\* : 線形部材

表 3-7(3) せん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (E W方向)

S1

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
37.275~28.0	1.72	2.32	4.21	0.183	0.549	4.00
28.0~19.8	1.80	2.43	3.70	0.192	0.575	4.00
19.8~14.1	1.84	2.49	3.19	0.196	0.589	4.00
14.1~8.8	1.95	2.64	3.27	0.208	0.624	4.00

表 3-8(1) 曲げスケルトン曲線 (M-φ 関係) (E W 方向)

S8

EL (m)	M <sub>1</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	M <sub>2</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	M <sub>3</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	φ <sub>1</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)	φ <sub>2</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)	φ <sub>3</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)
28.0~19.8	3.35	7.02	10.2	6.52	68.4	1370
19.8~14.1	5.26	9.44	13.1	7.13	69.3	1390
14.1~8.8	5.74	10.0	13.6	7.75	70.3	1410

S7

EL (m)	M <sub>1</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	M <sub>2</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	M <sub>3</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	φ <sub>1</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)	φ <sub>2</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)	φ <sub>3</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)
28.0~19.8	1.45	2.91	3.58	10.4	104	2080
19.8~14.1	—*					
14.1~8.8	1.89	4.22	5.63	12.4	93.9	1880

S6

EL (m)	M <sub>1</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	M <sub>2</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	M <sub>3</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	φ <sub>1</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)	φ <sub>2</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)	φ <sub>3</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)
28.0~19.8	2.89	6.74	9.48	6.71	70.5	1410
19.8~14.1	3.83	6.16	8.38	10.3	108	2170
14.1~8.8	4.25	7.24	9.55	11.4	115	2290

S4-S5

EL (m)	M <sub>1</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	M <sub>2</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	M <sub>3</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	φ <sub>1</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)	φ <sub>2</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)	φ <sub>3</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)
28.0~19.8	—*					
19.8~14.1	—*					
14.1~8.8	3.19	5.65	7.49	7.33	68.3	1360

注記\* : 線形部材

表 3-8(2) 曲げスケルトン曲線 (M-φ 関係) (E W 方向)

S3

EL (m)	M <sub>1</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	M <sub>2</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	M <sub>3</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	φ <sub>1</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)	φ <sub>2</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)	φ <sub>3</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)
37.275~28.0	2.43	5.92	8.70	6.84	69.8	1400
28.0~19.8	0.627	1.50	1.87	13.3	174	3490
19.8~14.1	8.86	13.4	19.7	6.61	68.3	1370
14.1~8.8	10.2	16.1	22.5	7.40	70.4	1410

S2 (SA側)

EL (m)	M <sub>1</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	M <sub>2</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	M <sub>3</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	φ <sub>1</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)	φ <sub>2</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)	φ <sub>3</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)
37.275~28.0	—*					
28.0~19.8	—*					

S2 (SE側)

EL (m)	M <sub>1</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	M <sub>2</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	M <sub>3</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	φ <sub>1</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)	φ <sub>2</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)	φ <sub>3</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)
37.275~28.0	—*					
28.0~19.8	—*					

S2

EL (m)	M <sub>1</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	M <sub>2</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	M <sub>3</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	φ <sub>1</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)	φ <sub>2</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)	φ <sub>3</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)
19.8~14.1	2.92	6.07	8.67	9.71	105	2100
14.1~8.8	1.62	3.45	4.72	16.7	164	3280

注記\* : 線形部材

表 3-8(3) 曲げスケルトン曲線 (M-φ 関係) (E W 方向)

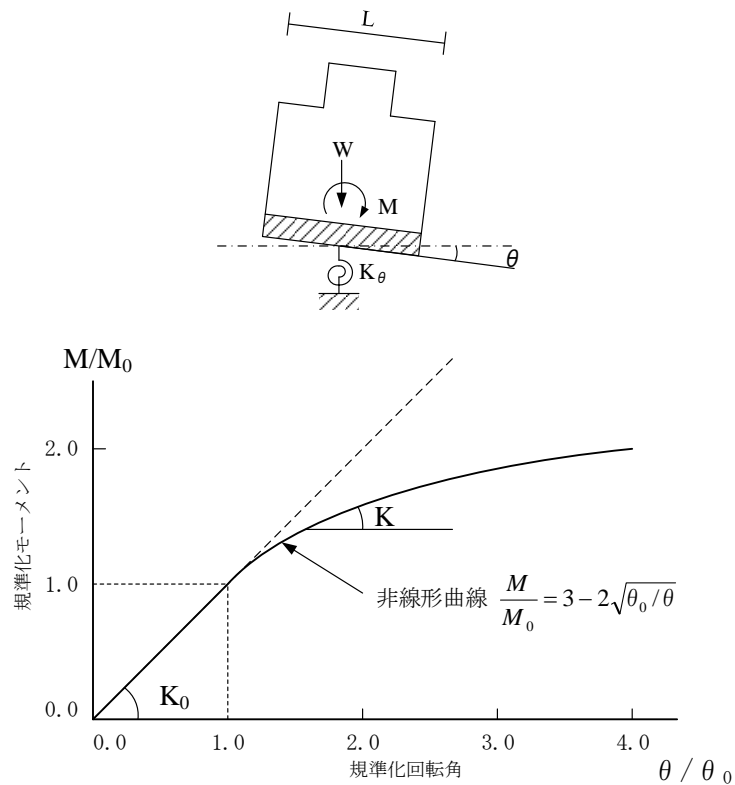
S1

EL (m)	M <sub>1</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	M <sub>2</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	M <sub>3</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m)	φ <sub>1</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)	φ <sub>2</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)	φ <sub>3</sub> (×10 <sup>-6</sup> /m)
37.275~28.0	2.87	6.55	9.33	7.05	69.1	1380
28.0~19.8	4.50	8.45	11.6	7.55	68.0	1360
19.8~14.1	4.87	8.34	12.2	6.67	66.4	1330
14.1~8.8	5.46	9.34	13.6	7.33	67.6	1350

### 3.5.4 地盤の回転ばねの復元力特性

地盤の回転ばねに関する曲げモーメント－回転角の関係は「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき，浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。地盤の回転ばねの曲げモーメント－回転角の関係を図 3-12 に示す。

浮上り時の地盤の回転ばねの剛性は，図 3-12 の曲線で表され，減衰係数は，回転ばねの接線剛性に比例するものとして考慮する。



$M$  : 転倒モーメント

$M_0$  : 浮上り限界転倒モーメント ( $=W \cdot L / 6$ )

$\theta$  : 回転角

$\theta_0$  : 浮上り限界回転角

$K_0$  : 地盤の回転ばね定数 (浮上り前)

$K$  : 地盤の回転ばね定数 (浮上り後)

$W$  : 建物総重量

$L$  : 建物基礎幅

図 3-12 地盤の回転ばねの曲げモーメント－回転角関係



### 3.5.5 誘発上下動を考慮する場合の基礎浮上り評価法

誘発上下動を考慮した地震応答解析モデルでは、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づく基礎の浮上り非線形性を考慮できる水平ばね $K_{HH}$ 及び回転ばね $K_{RR}$ に加えて、「J E A C 4 6 0 1 -2008」を参考に、接地率 $\eta_t$ に応じて時々刻々と変化する鉛直ばね $K_{VV}$ 及び回転・鉛直連成ばね $K_{VR}$ を考慮している。

図 3-13 に誘発上下動を考慮する場合の地震応答解析モデルの概念図を、表 3-9 に基礎が浮上った場合の基礎底面につく地盤ばねの剛性と減衰の評価式を示す。

$$\begin{Bmatrix} P \\ N \\ M \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{HH} & 0 & 0 \\ 0 & K_{VV} & K_{VR} \\ 0 & K_{VR} & K_{RR} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_0 \\ w_0 \\ \theta \end{Bmatrix}$$

ここで、P：水平方向慣性力  
 N：鉛直方向慣性力  
 M：転倒モーメント  
 $K_{HH}$ 、 $K_{VV}$ 、 $K_{RR}$   
 ：水平、鉛直、回転ばねの対角項  
 $K_{VR}$ ：回転・鉛直連成ばね  
 $u_0$ 、 $w_0$ 、 $\theta$ ：基礎底面中心の各変位  
 及び回転角

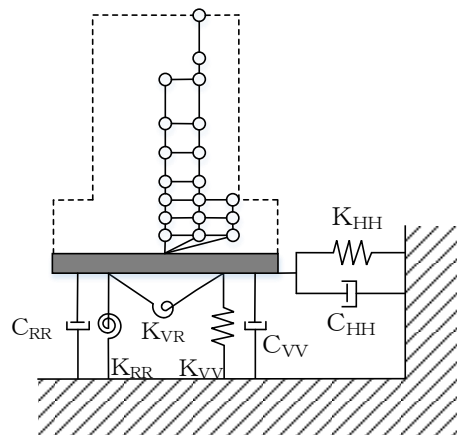


図 3-13 誘発上下動を考慮する場合の地震応答解析モデルの概念図

表 3-9 誘発上下動考慮モデルの基礎浮上り時の地盤ばねの剛性と減衰

	剛性	減衰係数
鉛直ばね	$K_{VV} = \eta_t^\beta \cdot K_{V0}$	$C_{VV} = C_{V0} \cdot \eta_t^{\frac{\alpha}{2}}$
回転・鉛直 連成ばね	$K_{VR} = \frac{1 - \eta_t}{2} L \cdot K_{VV}$	$C_{VR} = 0$
回転ばね	$K_{RR} = \frac{M - K_{VR} \cdot w_0}{\theta}$	$C_{RR} = C_{R0} \cdot \eta_t^{\frac{\alpha}{2}}$

$M$  : 転倒モーメント  
 $w_0$  : 基礎スラブ中心の鉛直変位  
 $\theta_0$  : 浮上り限界回転角  
 $L$  : 建物基礎幅  
 $K_{V0}$  : 線形域の鉛直ばね剛性  
 $\beta$  : 0.46  
 $\alpha$  : 地反力分布に応じた値  
 (三角形分布 6.0)  
 $C_{V0}$  : 線形域の鉛直ばねの減衰係数  
 $C_{R0}$  : 線形域の回転ばねの減衰係数

$\eta_t = \left( \frac{\theta_0}{\theta} \right)^{\frac{2}{\alpha-2}}$   
 $\theta$  : 回転角

### 3.5.6 材料物性の不確かさ

解析においては、「3.5.1 地震応答解析モデル」に示す物性値及び定数を基本ケースとし、材料物性の不確かさを考慮する。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、建物応答への影響の大きい地震動に対して実施することとし、基本ケースの地震応答解析の応答値のいずれかが最大となる地震動に対して実施することとする。

材料物性の不確かさのうち、地盤物性については、地盤調査結果の平均値を基に設定した数値を基本ケースとし、地盤物性の不確かさ検討にあたっては、S波速度に対して標準偏差に相当するばらつき（ $\pm 1\sigma$ ）を考慮する。なお、建物剛性の不確かさについては、コンクリートの実強度は設計基準強度よりも大きくなること及び建物剛性として考慮していない壁の建物剛性への寄与については構造耐力の向上が見られることから、保守的に考慮しない。

材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケースを表3-10に、地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性値を表3-11に示す。

表3-10 材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケース

検討ケース	コンクリート 剛性	地盤物性	備考
ケース1 (工認モデル)	設計基準強度	標準地盤	基本ケース
ケース2 (地盤物性 $+\sigma$ )	設計基準強度	標準地盤 $+\sigma$ (+10%) *	
ケース3 (地盤物性 $-\sigma$ )	設計基準強度	標準地盤 $-\sigma$ (-10%) *	

注記\*：VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、地盤のS波速度 $V_s$ の不確かさを設定する。

表 3-11 地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性値

支持地盤	地盤の S 波速度 $V_s$ (m/s)		
	基本ケース	+ $\sigma$ 相当	- $\sigma$ 相当
	1600	1760	1440

### 3.6 評価方法

サイトバンカ建物の波及的影響の評価は、基準地震動  $S_s$  における質点系モデルの地震応答解析結果を用い、以下のとおり評価する。

なお、以下の評価には、材料物性の不確かさを考慮する。

#### 3.6.1 構造物全体としての変形性能の評価方法

構造物全体としての変形性能の評価は、質点系モデルによる地震応答解析を行い、応答せん断ひずみを算定し、最大応答せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

#### 4. 評価結果

##### 4.1 構造物全体としての変形性能の評価結果

基準地震動  $S_s$  に対する建物の最大応答せん断ひずみを表 4-1 に示す。

その結果、ケース 1 (工認モデル) の最大応答せん断ひずみは、 $1.00 \times 10^{-3}$  (S4-S5 軸, EL 14.1m~EL 8.8m, EW方向,  $S_s-D$ ) である。また、材料物性の不確かさを考慮した場合の最大応答せん断ひずみは、最大で  $1.01 \times 10^{-3}$  (S4-S5 軸, EL 14.1m~EL 8.8m, EW方向, ケース 2,  $S_s-D$ ) であり、いずれの場合においても許容限界 ( $4.0 \times 10^{-3}$ ) を超えないことを確認した。

表 4-1 建物の最大応答せん断ひずみ

(単位:  $\times 10^{-3}$ )

ケース 方向	ケース 1 (工認モデル)	ケース 2	ケース 3	許容限界
N S	0.77 ( $S_s-D$ )	0.79 ( $S_s-D$ )	0.88 ( $S_s-D$ )	4.0
E W	1.00 ( $S_s-D$ )	1.01 ( $S_s-D$ )	0.99 ( $S_s-D$ )	4.0

注: ( ) 内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動  $S_s-D$ ,  $S_s-F1$ ,  $S_s-F2$ ,  $S_s-N1$ ,  $S_s-N2$  NS 及び  $S_s-N2$  EW に対して実施。