

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する  
影響評価方針

設計及び工事計画認可申請 資料9-8

伊 方 発 電 所 第 3 号 機

## 目 次

	頁
1. 概要 .....	資9-8-1
2. 基本方針 .....	資9-8-1
3. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動 .....	資9-8-1
4. 各施設における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針 .....	資9-8-2
4.1 建物・構築物 .....	資9-8-2
4.2 機器・配管系 .....	資9-8-2

## 1. 概要

本資料は、資料9-1「耐震設計の基本方針」のうち、「4.1 (2)動的地震力」に基づき、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価の方針について説明するものである。

## 2. 基本方針

施設の耐震設計では、設備の構造から地震力の方向に対して弱軸及び強軸を明確にし、地震力に対して配慮した構造としている。

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価として、従来の設計手法における水平1方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた耐震計算に対して、施設の構造特性から水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のある施設を評価対象施設として抽出し、施設が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。

評価対象は使用済燃料乾式貯蔵容器等及びこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する施設とする。

評価にあたっては、施設の構造特性から水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せの影響を受ける部位を抽出し、その部位について水平2方向及び鉛直方向の荷重や応力を算出し、施設が有する耐震性への影響を確認する。

施設が有する耐震性への影響が確認された場合は、詳細な手法を用いた検討等、新たに設計上の対応策を講じる。

## 3. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価には、基準地震動 $S_s-1$ 、 $S_s-2$ 及び $S_s-3$ を用いる。基準地震動 $S_s$ は、資料9-2「基準地震動 $S_s$ 及び弾性設計用地震動 $S_d$ の概要」による。

ここで、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる基準地震動は、複数の基準地震動における地震動の特性及び包絡関係を、施設の特性による影響も考慮した上で確認し、本影響評価に用いる。

#### 4. 各施設における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針

##### 4.1 建物・構築物

使用済燃料乾式貯蔵容器等のうち、使用済燃料乾式貯蔵建屋における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針は、平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.1 建物・構築物」による。

##### 4.2 機器・配管系

使用済燃料乾式貯蔵容器等のうち、使用済燃料乾式貯蔵容器及びその直接支持構造物における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針は、平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」による。



## 機能維持の基本方針

設計及び工事計画認可申請 資料9-9

伊方発電所第3号機

## 目 次

	頁
1. 概要 .....	資9-9-1
2. 機能維持の確認に用いる設計用地震力 .....	資9-9-1
3. 構造強度 .....	資9-9-5
3.1 構造強度上の制限 .....	資9-9-5
3.2 変位、変形の制限 .....	資9-9-34
4. 機能維持 .....	資9-9-35
4.1 使用済燃料乾式貯蔵容器の有する4つの安全機能（臨界防止機能、 遮蔽機能、除熱機能及び閉じ込め機能）の維持 .....	資9-9-35
4.2 遮蔽性の維持 .....	資9-9-35
4.3 支持機能の維持 .....	資9-9-35

## 1. 概要

本資料は、資料9-1「耐震設計の基本方針」のうち「4. 設計用地震力」に示す設計用地震力の算定法及び「5. 機能維持の基本方針」に示す機能維持の考え方にに基づき、機能維持に関する基本的な考え方を説明するものである。

## 2. 機能維持の確認に用いる設計用地震力

機能維持の確認に用いる設計用地震力については、資料 9-1「耐震設計の基本方針」の「4. 設計用地震力」に示す設計用地震力の算定法に基づくこととし、今回申請施設に対する具体的な算定法を第 2-1 表に示す。

第2-1表 設計用地震力

1. 静的地震力

(設計基準対象施設)

静的地震力及び必要保有水平耐力は、次の地震層せん断力係数及び震度に基づき算定する。

種別	耐震クラス	(注1) 地震層せん断力係数 及び水平震度	(注2) 地震層せん断力係数 (必要保有水平耐力算出用)	鉛直震度 (注3)
建物・構築物	C	$1.0C_i$	$1.0C_i$	—
機器・配管系	C	$1.2C_i$	—	—

(注1)  $C_i$  : 標準せん断力係数を0.2とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して求められる値で次式に基づく。

$$C_i = R_t \cdot A_i \cdot C_0$$

$R_t$  : 振動特性係数

$A_i$  :  $C_i$ の分布係数

$C_0$  : 標準せん断力係数 0.2

(注2)  $C_i$  : 標準せん断力係数を1.0とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して求められる値で次式に基づく。

$$C_i = R_t \cdot A_i \cdot C_0$$

$R_t$  : 振動特性係数

$A_i$  :  $C_i$ の分布係数

$C_0$  : 標準せん断力係数 1.0

(注3)  $C_v$  : 震度0.3とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して高さ方向に一定として求められる値で次式に基づく。

$$C_v = R_v \cdot 0.3$$

$R_v$  : 鉛直方向振動特性係数 0.8

## 2. 動的地震力

(設計基準対象施設)

動的地震力は、以下の入力地震動に基づき算定する。

種別	耐震 クラス	入力地震動 <sup>(注1)</sup>	
		水平地震動	鉛直地震動
使用済燃料乾式貯蔵 容器 (タイプ1) 及び 使用済燃料乾式貯蔵 容器 (タイプ2)	S	設計用床応答曲線 $S_s$ 又は基準地震動 $S_s$	設計用床応答曲線 $S_s$ 又は基準地震動 $S_s$

(注1) 設計用床応答曲線は、基準地震動 $S_s$ に基づき作成した設計用床応答曲線とする。

### 3. 設計用地震力

#### a. 設計基準対象施設

種別	耐震クラス	水平	鉛直	摘要
建物・構築物	C	地震層せん断力係数 $1.0C_i$	—	静的地震力とする。
機器・配管系	C	静的震度 $1.2C_i$	—	静的地震力とする。
使用済燃料乾式貯蔵容器 (タイプ1) 及び 使用済燃料乾式貯蔵容器 (タイプ2)	S	設計用 床応答曲線 $S_s$ 又は 基準地震動 $S_s$	設計用 床応答曲線 $S_s$ 又は 基準地震動 $S_s$	(注1) 荷重の組合せは、二乗和平方根 (SRSS) 法による。

(注1) 絶対値和法で組み合わせてもよいものとする。

### 3. 構造強度

#### 3.1 構造強度上の制限

申請施設の耐震設計については、資料9-1「耐震設計の基本方針」のうち「5.1 構造強度」に示す考え方にに基づき、設計基準事故対処施設の耐震重要度分類に応じた設計用地震力が加わった場合、これらに生じる応力とその他の荷重によって生じる応力の合計値等を許容限界以下とする設計とする。

許容限界は、施設の種類及び用途を考慮し、安全機能が維持できるように十分に余裕を見込んだ値とする。

地震力による応力とその他の荷重による応力の組合せに対する許容値は、平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-9「機能維持の基本方針」に基づくものとし、今回申請施設に適用するものを第3-1表に示す。また、建物・構築物の保有水平耐力は、必要保有水平耐力に対して、妥当な安全余裕を有する設計とする。支持性能が必要となる施設の基礎地盤については、接地圧が安全上適切と認められる規格及び基準等による地盤の支持力度と比べて妥当な余裕を有する設計とし、設計基準対象施設の耐震重要度分類に応じた許容限界を設定する。

耐震設計においては、地震力に加えて、自然条件として風荷重及び積雪荷重を組み合わせる。風荷重及び積雪荷重の設定フローを第3-1図に示す。風荷重については屋外に設置されている施設のうち、鉄筋コンクリート構造物などの自重が大きい施設を除いて、風荷重の影響が地震力と比べて相対的に無視できないような構造、形状及び仕様の施設においては、地震力と組み合わせる。また、積雪荷重については、屋外に設置されている施設のうち、積雪による受圧面積が小さい施設、又は埋設構造物など常時の荷重に対して積雪荷重の割合が無視できる施設を除き、地震力と組み合わせる。第3-2表に施設の区分ごとの、風荷重及び積雪荷重の組合せを示す。

通常運転時の状態、運転時の異常な過渡変化時の状態及び事故時の状態については、次のように定義される運転状態Ⅰ、運転状態Ⅱ、運転状態Ⅲ及び運転状態Ⅳのそれぞれの状態として考慮する。

- (1) 「運転状態Ⅰ」とは、発電用原子炉施設の通常運転時の状態をいう。ここで通常運転とは、運転計画等で定める起動、停止、出力運転、高温待機、燃料取替等の発電用原子炉施設の運転をいう。
- (2) 「運転状態Ⅱ」とは、運転状態Ⅰから逸脱した運転状態であって、運転状態Ⅲ、運転状態Ⅳ及び試験状態以外の状態をいう。「試験状態」とは、耐圧試験により発電用原子炉施設に最高使用圧力を超える圧力が加えられている状態をいう。
- (3) 「運転状態Ⅲ」とは、発電用原子炉施設の故障、異常な作動等により原子炉の運転の停止が緊急に必要とされる運転状態をいう。

- (4) 「運転状態Ⅳ」とは、発電用原子炉施設の安全性を評価する観点から異常な状態を想定した運転状態をいう。

運転状態と事故等の関係について、以下に示す。

運転状態と事故等の関係

(通常運転状態)	運転状態Ⅰ
運転時の異常な過渡変化状態	運転状態Ⅱ
	運転状態Ⅲ
事故状態	運転状態Ⅳ

また、使用済燃料乾式貯蔵容器の通常の手扱い時の状態、通常の手蔵時の状態及び事故時の状態については、次のように定義される設計事象Ⅰ、設計事象Ⅱ、設計事象Ⅲ及び設計事象Ⅳのそれぞれの状態として考慮する。

- (1) 「設計事象Ⅰ」とは、使用済燃料乾式貯蔵施設内での使用済燃料乾式貯蔵容器の通常の手扱い時及び使用済燃料乾式貯蔵施設での機器の通常の手蔵時の状態をいう。
- (2) 「設計事象Ⅱ」とは、使用済燃料乾式貯蔵施設において、機器の単一の故障もしくは不動作または操作員の誤操作等により、設計評価期間中に時々生じる可能性のある事象をいう。
- (3) 「設計事象Ⅲ」とは、使用済燃料乾式貯蔵施設において、機器の単一の故障もしくは不動作または操作員の誤操作等により、設計評価期間中にまれにしか生じる可能性がない事象をいう。
- (4) 「設計事象Ⅳ」とは、使用済燃料乾式貯蔵施設において、設計評価期間中に発生するとは予想されないが、技術的にみれば発生が想定され得る事象であって、施設の安全性を評価する観点から重要と考えられる事象をいう。



第3-1表 荷重の組合せ及び許容限界

(1) 建物・構築物

	耐震クラス	荷重の組合せ	許容限界	
			建物・構築物	基礎地盤の支持性能
建物・構築物	Sクラスの 間接支持構造物	$G+P+K_S$	質点系モデルによる地震応答解析の最大せん断ひずみが $2.0 \times 10^{-3}$ を超えないこと及び部材に生じる応力が終局耐力に対し妥当な安全余裕を有していること若しくは部材に生じる応力又はひずみがCCV規格における荷重状態IVの許容値を超えないこととする。	地盤の極限支持力度に対して妥当な安全余裕を持たせる。
	Cクラス	$G+P+K_C$	部材に生じる応力が短期許容応力度に基づく許容値を超えないこととする。	地盤の短期許容支持力度とする。

[記号の説明]

G : 固定荷重

P : 積載荷重

$K_S$  : 基準地震動 $S_s$ による地震力

$K_C$  : 耐震Cクラスの施設に適用される静的地震力

(2) 機器・配管系

a. 記号の説明

- D : 死荷重
- $P_D$  : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む）、又は当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重
- $M_D$  : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む）、又は当該設備に設計上定められた機械的荷重
- Sd : 弾性設計用地震動Sdにより定まる地震力又はSクラス設備に適用される静的地震力
- Ss : 基準地震動Ssにより定まる地震力
- $S_C$  : 耐震Cクラスの設備に適用される静的地震力
- $III_{AS}$  : JSME S NC1-2012の供用状態C相当の許容応力を基準として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態
- $IV_{AS}$  : JSME S NC1-2012の供用状態D相当の許容応力を基準として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態
- $C_{AS}$  : 耐震Cクラス設備の地震時の許容応力状態
- $S_y$  : 設計降伏点 JSME S NJ1-2012 Part3第1章表6に規定される値
- $S_u$  : 設計引張強さ JSME S NJ1-2012 Part3第1章表7（ただし、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則「日本機械学会「設計・建設規格」及び「材料規格」の適用に当って（別記-2）」」の要件を付したものに）に規定される値
- $S_m$  : 設計応力強さ JSME S NJ1-2012 Part3第1章表1に規定される値。ただし、耐圧部テンションボルトにあつてはJSME S NJ1-2012 Part3第1章表2に規定される値
- S : 許容引張応力 クラス2及びクラス3容器にあつてはJSME S NJ1-2012 Part3第1章表3又は表4（ただし、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則「日本機械学会「設計・建設規格」及び「材料規格」の適用に当って（別記-2）」」の要件を付したものに）に規定される値。ただし、耐圧部テンションボルトにあつては、JSME S NJ1-2012 Part3第1章表5（ただし、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則「日本機械学会「設計・建設規格」及び「材料規格」の適用に当って（別記-2）」」の要件を付したものに）に規定される値
- F : JSME S NC1-2012 SSB-3121.1(1)により規定される値

- $F^*$  : F値を求める際において、JSME S NC1-2012 SSB-3121.3の規定に従い、 $S_y$ 及び $S_y(RT)$ を $1.2S_y$ 及び $1.2S_y(RT)$ と読み替えた値
- $f_t$  : 許容引張応力 支持構造物（ボルト等を除く）に対しては、JSME S NC1-2012 SSB-3121.1(1)により規定される値。ボルト等に対しては、JSME S NC1-2012 SSB-3131(1)により規定される値
- $f_s$  : 許容せん断応力 支持構造物（ボルト等を除く）に対しては、JSME S NC1-2012 SSB-3121.1(2)により規定される値。ボルト等に対しては、JSME S NC1-2012 SSB-3131(2)により規定される値
- $f_c$  : 許容圧縮応力 支持構造物（ボルト等を除く）に対しては、JSME S NC1-2012 SSB-3121.1(3)により規定される値
- $f_b$  : 許容曲げ応力 支持構造物（ボルト等を除く）に対しては、JSME S NC1-2012 SSB-3121.1(4)により規定される値
- $f_p$  : 許容支圧応力 支持構造物（ボルト等を除く）に対しては、JSME S NC1-2012 SSB-3121.1(5)により規定される値
- $f_t^*, f_s^*, f_c^*, f_b^*, f_p^*$  : 上記の $f_t, f_s, f_c, f_b, f_p$ の値を算出する際にJSME S NC1-2012 SSB-3121.1(1)a本文中 $S_y$ 及び $S_y(RT)$ を $1.2S_y$ 及び $1.2S_y(RT)$ と読み替えて算出した値（JSME S NC1-2012 SSB-3121.3及び3133）
- ただし、その他の支持構造物の上記 $f_t \sim f_p^*$ においては、JSME S NC1-2012 SSB-3121.1(1)aのF値は、次に定める値とする。 $S_y$ 及び $0.7S_u$ のいずれか小さい方の値。ただし、使用温度が $40^\circ\text{C}$ を超えるオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては、 $1.35S_y$ 、 $0.7S_u$ 又は $S_y(RT)$ のいずれか小さい方の値
- また、 $S_y(RT)$ は $40^\circ\text{C}$ における設計降伏点の値
- $T_L$  : 形式試験により支持構造物が破損するおそれのある荷重 (N)  
(同一仕様につき3個の試験の最小値又は1個の試験の90%)
- B : JSME S FA1-2007の別図7-1及び別図7-2から求めた値

b. 荷重の組合せ及び許容応力

(a) 使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプ1）及び使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプ2）

1. 使用済燃料乾式貯蔵容器本体<sup>(注1)</sup>

耐震クラス	荷重の組合せ	許容応力区分	許容限界（密封シール部及びボルト以外）							特別な応力限界	
			一次一般膜応力	一次膜応力＋一次曲げ応力	一次局部膜応力	圧縮応力（一次）	一次＋二次応力	一次＋二次＋ピーク応力	純せん断応力	支圧応力	
											2/3S <sub>u</sub> ただし、オーステナイト系ステンレス鋼については2/3S <sub>u</sub> と2.4S <sub>m</sub> の小さい方。
S	D+P <sub>D</sub> +M <sub>D</sub> +S <sub>s</sub> <sup>(注2)</sup>	供用状態D <sup>(注3)</sup>									

耐震クラス	荷重の組合せ	許容応力区分	許容限界（密封シール部）				許容限界（ボルト）		
			一次一般膜応力	一次膜応力＋一次曲げ応力	一次局部膜応力	一次＋二次応力	平均引張応力	平均引張応力＋曲げ荷重	一次＋二次＋ピーク応力
S	D+P <sub>D</sub> +M <sub>D</sub> +S <sub>s</sub> <sup>(注2)</sup>	供用状態D <sup>(注3)</sup>	S <sub>y</sub>	S <sub>y</sub>	S <sub>y</sub>	S <sub>y</sub>	S <sub>y</sub>	S <sub>y</sub>	S <sub>s</sub> 地震動のみによる疲労解析を行い、供用状態A及びBにおける疲労累積係数との和を1.0以下とする。 <sup>(注6)(注7)</sup>

- (注1) JSME S FA1-2007の「密封容器」に準じて設計する。
- (注2)  $P_D$ と $M_D$ の荷重は「プラントの運転状態における荷重」を「設計事象 I における荷重」に読み替える。
- (注3) JSME S FA1-2007に準じた評価事象
- (注4)  $\alpha$ は純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さいほうの値とする。
- (注5)  $3S_m$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、JSME S FA1-2007 添付3-1の簡易弾塑性解析を用いる。
- (注6) JSME S FA1-2007 MCD-1332を満たすときは、疲労解析を行うことを要しない。ただし、「応力の全振幅」は「 $S_s$ 地震動による応力の全振幅」と読み替える。
- (注7) 供用状態A及びBにおいて疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数が1.0以下とする。
- (注8) ( ) 内は、支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値

ロ. トラニオン (注1)

耐震クラス	荷重の組合せ	許容応力区分	許容限界 (注2) (注3) (ボルト以外)										許容限界 (注3) (ボルト)	
			一次応力					一次+二次応力					一次応力	
			引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈	引張	せん断
S	(注4) D+P <sub>D</sub> +M <sub>D</sub> +S <sub>S</sub>	(注5) 供用状態 D	1.5f <sub>t</sub> *	1.5f <sub>s</sub> *	1.5f <sub>c</sub> *	1.5f <sub>b</sub> *	1.5f <sub>p</sub> *	3f <sub>t</sub>	(注6) 3f <sub>s</sub>	(注7) 3f <sub>b</sub>	(注8) 1.5f <sub>p</sub> *	(注7)(注8) 1.5f <sub>b</sub> , 1.5f <sub>s</sub> 又は 1.5f <sub>c</sub>	1.5f <sub>t</sub> *	1.5f <sub>s</sub> *

(注1) JSME S FA1-2007の「トラニオン」に準じて設計する。

(注2) 「鋼構造設計規準 SI単位版」(2002年日本建築学会)等の幅厚比の制限を満足させる。

(注3) 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

(注4) P<sub>D</sub>とM<sub>D</sub>の荷重は「プラントの運転状態における荷重」を「設計事象Iにおける荷重」に読み替える。

(注5) JSME S FA1-2007に準じた評価事象

(注6) すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して1.5f<sub>s</sub>とする。

(注7) JSME S FA1-2007 MCD-3311.1(4)により求めたf<sub>b</sub>とする。

(注8) 自重、熱膨張等により常時作用する荷重に、地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

ハ. 外筒 <sup>(注1)</sup>

耐震 クラ ス	荷重の 組合せ	許容応力 区分	許 容 限 界 <sup>(注2)</sup> <sup>(注3)</sup>									
			一 次 応 力					一次+二次応力				
			引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈
S	<sup>(注4)</sup> D+P <sub>D</sub> +M <sub>D</sub> +S <sub>s</sub>	<sup>(注5)</sup> 供用状態 D	1.5f <sub>t</sub> *	1.5f <sub>s</sub> *	1.5f <sub>c</sub> *	1.5f <sub>b</sub> *	1.5f <sub>p</sub> *	3f <sub>t</sub>	<sup>(注6)</sup> 3f <sub>s</sub>	<sup>(注7)</sup> 3f <sub>b</sub>	<sup>(注8)</sup> 1.5f <sub>p</sub> *	<sup>(注7)</sup> <sup>(注8)</sup> 1.5f <sub>b</sub> , 1.5f <sub>s</sub> 又は 1.5f <sub>c</sub>

(注1) JSME S FA1-2007の「中間胴」に準じて設計する。

(注2) 「鋼構造設計規準 SI単位版」(2002年日本建築学会)等の幅厚比の制限を満足させる。

(注3) 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

(注4) P<sub>D</sub>とM<sub>D</sub>の荷重は「プラントの運転状態における荷重」を「設計事象 I における荷重」に読み替える。

(注5) JSME S FA1-2007に準じた評価事象

(注6) すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して1.5f<sub>s</sub>とする。

(注7) JSME S FA1-2007 MCD3311.1(4)により求めたf<sub>b</sub>とする。

(注8) 自重、熱膨張等により常時作用する荷重に、地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

(注9) 薄肉円筒形状のものの座屈の評価にあつては、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

(b) 設計基準対象施設

イ. クラス3支持構造物

耐震 クラス	荷重の 組合せ	許容 応力 状態	許 容 限 界 <sup>(注1) (注2) (注3)</sup> ( ボ ル ト 等 以 外 )										許容限界 <sup>(注2) (注8)</sup> (ボルト等)	形式試験に よる場合	
			一 次 応 力					一 次 + 二 次 応 力					一 次 応 力		許容荷重
			引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	<sup>(注7)</sup> 座屈	引張	せん断	
S	D+P <sub>D</sub> +M <sub>D</sub> +S <sub>s</sub>	IV <sub>A</sub> S	1.5f <sub>t</sub> <sup>*</sup>	1.5f <sub>s</sub> <sup>*</sup>	1.5f <sub>c</sub> <sup>*</sup>	1.5f <sub>b</sub> <sup>*</sup>	1.5f <sub>p</sub> <sup>*</sup>	3f <sub>t</sub>	<sup>(注4)</sup> 3f <sub>s</sub>	<sup>(注5)</sup> 3f <sub>b</sub>	<sup>(注6)</sup> 1.5f <sub>p</sub> <sup>*</sup>	<sup>(注5) (注6)</sup> 1.5f <sub>b</sub> , 1.5f <sub>s</sub> 又は 1.5f <sub>c</sub>	1.5f <sub>t</sub> <sup>*</sup>	1.5f <sub>s</sub> <sup>*</sup>	T <sub>L</sub> × 0.6 × $\frac{S_{yd}}{S_{yt}}$

(注1) 「鋼構造設計規準 SI単位版」(2002年日本建築学会)等の幅厚比の制限を満足させる。

(注2) 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

(注3) 耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては、耐圧部と同じ許容応力とする。

(注4) すみ肉溶接部にあっては最大応力に対して1.5f<sub>s</sub>とする。

(注5) JSME S NC1-2012 SSB-3121.1(4)により求めたf<sub>b</sub>とする。

(注6) 自重、熱膨張等により常時作用する荷重に、地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

(注7) 薄肉円筒形状のものの座屈の評価にあっては、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

(注8) コンクリートに埋込まれるアンカーボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであって、トルク管理、材料の照合等を行わないものについては、材料の品質、据付状態等のゆらぎ等を考慮して、III<sub>A</sub>Sの許容応力を一次引張応力に対してはf<sub>t</sub>、一次せん断応力に対してはf<sub>s</sub>として、また、IV<sub>A</sub>Sの許容応力を一次引張応力に対しては1.5f<sub>t</sub>、一次せん断応力に対しては1.5f<sub>s</sub>として応力評価を行う。



ロ. 埋込金物

荷重の組合せに対する許容応力状態は、埋込金物が支持する支持構造物と同等とする。

(イ) 鋼構造物の許容応力

鋼構造物の許容応力は次による。

- i. 埋込板、アンカーフレーム、スタッド等は、その他の支持構造物（ボルト等以外）の規定による。
- ii. アンカーボルトはその他の支持構造物（ボルト等）の規定による。

(ロ) コンクリート部の許容基準

コンクリート部分の強度評価における許容荷重はJEAG4601-1991追補版に基づき、次のとおりとする。

また、アンカー部にじん性が要求される場合にあっては、原則として基礎ボルトが先に降伏するような設計とする。

i. 基礎ボルトが引張荷重を受ける場合のコンクリートの評価

(i) コンクリートにせん断補強筋がない場合

荷重の算定で得られた基礎ボルトの引張荷重は、以下に示すコンクリート部の引張荷重に対する許容値以下となるようにする。

$$p \leq p_a = \min(p_{a1}, p_{a2})$$

ここに

$$p_{a1} = 0.31K_1 A_c \sqrt{F_c}$$

$$p_{a2} = K_2 \alpha_c A_0 F_c$$

$p$  : 基礎ボルト1本当たりの引張荷重 (N)

$p_a$  : 基礎ボルト1本当たりのコンクリート部の許容引張荷重 (N)

$p_{a1}$  : コンクリート躯体がコーン状破壊する場合の基礎ボルト1本当たりの許容引張荷重 (N)

$p_{a2}$  : 基礎ボルト頭部に接するコンクリート部が支圧破壊する場合の基礎ボルト1本当たりの許容引張荷重 (N)

$K_1$  : コーン状破壊する場合の引張耐力の低減係数

$K_2$  : 支圧破壊する場合の引張耐力の低減係数

$F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_c$  : コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積 (mm<sup>2</sup>)

$\alpha_c$  : 支圧面積と有効投影面積から定まる定数、 $=\sqrt{A_c/A_0}$   
かつ10以下

$A_0$  : 支圧面積 (mm<sup>2</sup>)

また、各許容応力状態に対するコーン状破壊耐力及び支圧破壊耐力の低減係数 ( $K_1$ 及び $K_2$ ) の値を以下に示す。

荷重の組合せ	許容応力状態	コーン状破壊する場合の引張耐力の低減係数 ( $K_1$ )	支圧破壊する場合の引張耐力の低減係数 ( $K_2$ )
D+P <sub>D</sub> +M <sub>D</sub> +Sd	III <sub>A</sub> S	0.45	2/3
D+P <sub>D</sub> +M <sub>D</sub> +Ss	IV <sub>A</sub> S	0.6	0.75

(ii) コンクリートにせん断補強筋を配する場合

コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積の範囲内にせん断補強筋を配する場合、鉄筋比が0.4%以上あれば許容応力状態IV<sub>A</sub>Sにおけるコンクリート部の引張強度は、(i)の場合の1.5倍の強度を有するものとして評価することができる。

$$\text{鉄筋比} : P_t = \frac{\sum A_w}{A_c} \quad \begin{array}{l} A_w : \text{せん断補強筋断面積 (mm}^2\text{)} \\ A_c : \text{有効投影面積 (mm}^2\text{)} \end{array}$$

ii. 基礎ボルトがせん断荷重を受ける場合のコンクリートの評価  
荷重の算定で得られた基礎ボルトのせん断荷重は、以下に示すコンクリート部のせん断荷重に対する許容値以下になるようにする。

$$q \leq q_a = \min(q_{a1}, q_{a2})$$

ここに

$$q_{a2} = 0.5K_3 A_b \sqrt{E_c F_c}$$

$$q_{a2} = 0.31K_4 A_{c1} \sqrt{F_c}$$

$q$  : 基礎ボルト1本当たりのせん断荷重 (N)

$q_a$  : 基礎ボルト1本当たりのコンクリート部の許容せん断荷重 (N)

$q_{a1}$  : 基礎ボルトと基礎ボルト周辺のコンクリートが圧壊して破壊(複合破壊)する場合の基礎ボルト1本当たりの許容せん断荷重 (N)

- $q_{a2}$  : へり側コンクリートが破壊する場合の基礎ボルト1本当たりの許容せん断荷重 (N)  
 $K_3$  : 複合破壊の場合のせん断耐力の低減係数  
 $K_4$  : へり側コンクリート破壊の場合のせん断耐力の低減係数  
 $A_b$  : 基礎ボルトの谷径断面積 (スタッドの場合は軸部断面積) ( $\text{mm}^2$ )  
 $E_c$  : コンクリートのヤング係数 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )  
 $F_c$  : コンクリートの設計基準強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )  
 $a$  : へりあき距離 (mm)  
 $A_{c1}$  : コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積 ( $\text{mm}^2$ )  

$$= \pi a^2 / 2$$

ただし、 $\sqrt{E_c F_c}$  の値は、 $500\text{N}/\text{mm}^2$ 以上、 $880\text{N}/\text{mm}^2$ 以下とする。また、 $880\text{N}/\text{mm}^2$ を超える場合は、 $\sqrt{E_c F_c} = 880\text{N}/\text{mm}^2$ として計算する。また、各許容応力状態に対するせん断耐力の低減係数 ( $K_3$ 及び  $K_4$ ) の値を以下に示す。

荷重の組合せ	許容応力状態	複合破壊の場合のせん断耐力の低減係数 ( $K_3$ )	へり側コンクリート破壊の場合のせん断耐力の低減係数 ( $K_4$ )
D + P <sub>D</sub> + M <sub>D</sub> + S <sub>d</sub>	Ⅲ <sub>A</sub> S	0.6	0.45
D + P <sub>D</sub> + M <sub>D</sub> + S <sub>s</sub>	Ⅳ <sub>A</sub> S	0.8	0.6

iii. 基礎ボルトが引張、せん断の組合せ荷重を受ける場合のコンクリートの評価

基礎ボルトが引張、せん断の組合せ荷重を受ける場合、それらの組合せ荷重が以下に示すコンクリート部の引張荷重及びせん断荷重の組合せに対する許容値以下となるようにする。

$$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leq 1$$

ここに

- $p_a$  : 引張荷重のみに対する基礎ボルト1本当たりのコンクリート部の許容引張荷重 (N)  
 $= \min(p_{a1}, p_{a2})$

- $q_a$  : せん断荷重のみに対する基礎ボルト1本当たりのコンクリート部の許容せん断荷重 (N)  
 $=\min(q_{a1}, q_{a2})$   
 $p$  : 基礎ボルト1本当たりの引張荷重 (N)  
 $q$  : 基礎ボルト1本当たりのせん断荷重 (N)

iv. コンクリート部の面内せん断力が大きい場合の評価

鉄筋コンクリート造建物・構築物において、耐震要素として地震時に生じる力を負担させる壁（以下「耐震壁」という。）において地震力による各層の面内せん断ひずみ度又は面内せん断力が著しく大きい場合は、鉄筋コンクリート造壁の機器・配管に対する支持機能の評価に、下記の許容限界を用いることとする。

(i) 耐震壁の面内せん断ひずみ度と基礎ボルトの面外引張力に関する許容限界の目安値

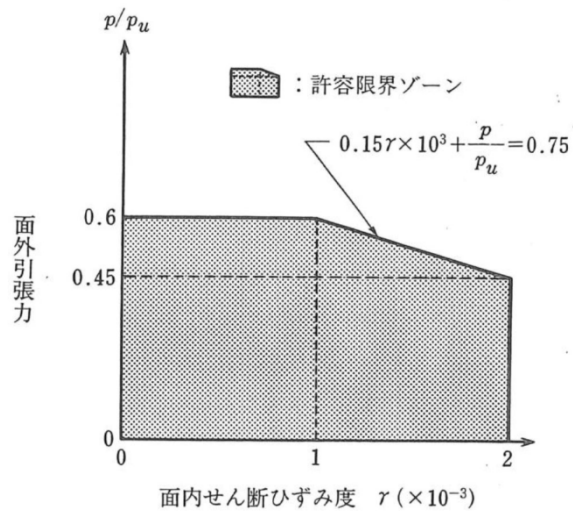
地震力による各層の面内せん断ひずみ度  $\gamma$  と機器・配管のアンカー部に作用する面外の引張力  $p$  を  $p_u$  で除した値  $p/p_u$  が、以下に示す図の網かけ部の許容限界ゾーン内にあることとする。

ここで、 $p_u$  は定着部のコンクリートのコーン状破壊耐力で、下記の式による。また、面内せん断ひずみ度  $\gamma$  は、JEAG4601で定まる復元力特性を用いた応答解析結果に基づく値とする。

$$p_u = 0.31A_c \sqrt{F_c}$$

ここに

- $p_u$  : 定着部のコンクリートのコーン状破壊耐力 (N)  
 $A_c$  : 有効投影面積（「i. 基礎ボルトが引張荷重を受ける場合のコンクリートの評価」参照）(mm<sup>2</sup>)  
 $F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)



面内せん断ひずみ度と面外引張力に関する許容限界ゾーン

(ii) 耐震壁の面内せん断力と基礎ボルトの面外引張力に関する許容限界の目安値

地震力による各層の面内せん断力 $Q$ を終局せん断耐力 $Q_u$ で除した値 $Q/Q_u$ と前記の $p/p_u$ が、以下に示す図の網かけ部の許容限界ゾーン内にあることを目安とする。

ここで、 $Q_u$ は各層の終局せん断耐力で、下記の式による。

$$Q_u = \tau_u A_s$$

ここに

$$\tau_u = \begin{cases} \left\{ 1 - \tau_s / (1.4\sqrt{F_c}) \right\} \tau_0 + \tau_s & (\tau_s < 1.4\sqrt{F_c}) \\ 1.4\sqrt{F_c} & (\tau_s \geq 1.4\sqrt{F_c}) \end{cases}$$

$$\tau_0 = (0.94 - 0.56M/QD)\sqrt{F_c}$$

ただし、 $M/QD > 1$ のとき、 $M/QD = 1$ とする。

$$\tau_s = (P_v + P_h)\sigma_y / 2 + (\sigma_v + \sigma_h) / 2$$

$Q_u$  : 終局せん断耐力 (N)

$\tau_u$  : 終局せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_s$  : 有効せん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

$F_c$  : コンクリートの圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_v$  : 縦筋比

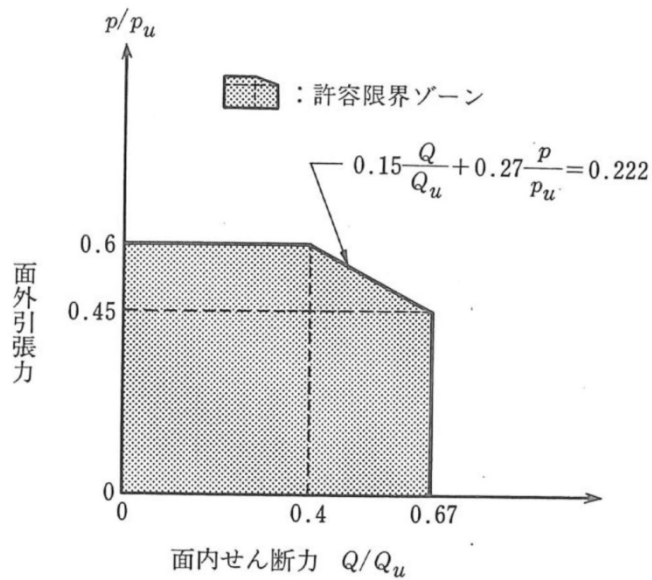
$P_h$  : 横筋比

$\sigma_v$  : 縦軸応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_h$  : 横軸応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_y$  : 鉄筋の降伏応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

- D : 引張、圧縮フランジの芯々間距離 (mm)  
 (ボックス壁であれば地震荷重加力方向の壁長、  
 円筒壁の場合は外径)
- Q : 当該耐震壁面内せん断力 (N)
- M : 当該耐震壁曲げモーメント (N・mm)



面内せん断力と面外引張力に関する許容限界ゾーン

v. コンクリートの許容圧縮応力度

コンクリートの許容圧縮応力度は下の表に示す値とする。

(N/mm<sup>2</sup>)

荷重の組合せ	許容応力 状 態	許容圧縮応力度
D+P <sub>D</sub> +M <sub>D</sub> +S <sub>d</sub>	Ⅲ <sub>A</sub> S	2/3F <sub>C</sub>
D+P <sub>D</sub> +M <sub>D</sub> +S <sub>s</sub>	Ⅳ <sub>A</sub> S	0.75F <sub>C</sub>

(注) F<sub>C</sub> : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

vi. コンクリートの許容せん断応力度

コンクリートの許容せん断応力度は下の表に示す値とする。

(N/mm<sup>2</sup>)

荷重の組合せ	許容応力状態	許容せん断応力度
D+P <sub>D</sub> +M <sub>D</sub> +S <sub>d</sub>	Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \times \min \left[ \frac{1}{30} F_c, \left( 0.49 + \frac{1}{100} F_c \right) \right]$
D+P <sub>D</sub> +M <sub>D</sub> +S <sub>s</sub>	Ⅳ <sub>A</sub> S	$1.5 \times \min \left[ \frac{1}{30} F_c, \left( 0.49 + \frac{1}{100} F_c \right) \right]$

vii. 異形鉄筋を用いる場合のコンクリートに対する許容付着応力度

異形鉄筋を用いる場合のコンクリートに対する許容付着応力度は下の表に示す値とする。

(N/mm<sup>2</sup>)

荷重の組合せ	許容応力状態	許容付着応力度
D+P <sub>D</sub> +M <sub>D</sub> +S <sub>d</sub>	Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \times \min \left[ \frac{1}{10} F_c, \left( 1.35 + \frac{1}{25} F_c \right) \right]$
D+P <sub>D</sub> +M <sub>D</sub> +S <sub>s</sub>	Ⅳ <sub>A</sub> S	$1.5 \times \min \left[ \frac{1}{10} F_c, \left( 1.35 + \frac{1}{25} F_c \right) \right]$

(注) コンクリートの沈下により異形鉄筋下面の付着が悪くなると考えられる場合は許容付着応力度を2/3の値とする。

viii. コンクリートの許容支圧応力度

コンクリートの許容支圧応力度は下の表に示す値とする。

(N/mm<sup>2</sup>)

荷重の組合せ	許容応力状態	許容支圧応力度
D+P <sub>D</sub> +M <sub>D</sub> +S <sub>d</sub>	Ⅲ <sub>A</sub> S	$f'_c = f_c \sqrt{A_c/A_1}$
D+P <sub>D</sub> +M <sub>D</sub> +S <sub>s</sub>	Ⅳ <sub>A</sub> S	かつ $f'_c \leq 2 f_c$ 及び $f'_c \leq F_c$

(注)  $f_c$  : コンクリートの許容圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_1$  : 局部圧縮を受ける面積 (支圧面積)

$A_c$  : 支圧端から離れて応力が一様分布となったところの面積 (支承面積)

ix. 引抜き力及び押抜き力に対するコンクリートの許容せん断応力度

スタッド、アンカーボルト等の引抜き力及びベースプレートの押抜き (パンチング) 力によってコンクリートに生ずる各許容応力状態におけるせん断応力度  $\tau_p$  は次式により計算し、vi. に示す許容せん断応力度より低いことを確認する。

$$\tau_p = \frac{P}{\alpha_D b_0 j}$$

ここで

$P$  : 引抜き力又は押抜き力 (N)

$\alpha_D$  : 1.5 (定数)

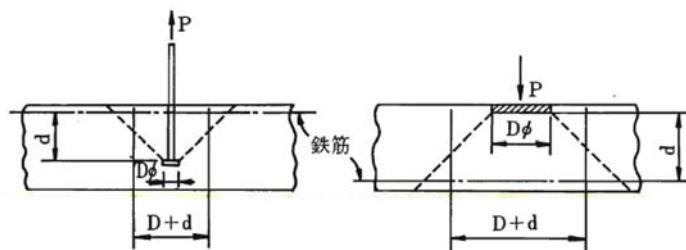
$b_0$  : せん断力算定断面の延べ幅 (mm)

$j$  :  $(7/8)d$  (mm)

$d$  : せん断力算定断面の有効せい (mm)

ただし、せん断力算定断面は次のように考える。

(スタッド、アンカーボルトの引抜きの例、ただし $b_0 = \pi(D+d)$ )	(ベースプレートの押抜きの例、ただし $b_0 = \pi(D+d)$ )
--------------------------------------------	---------------------------------------



また、本評価法以外に、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984」の「2.9.4章 埋込金物の許容応力」の解説(7).bに示される米国コンクリート学会の規定を用いる場合もある。



(ハ) 形式試験による場合

埋込金物に対し形式試験により標準設計荷重を求める場合は次による。

- i. 試験個数は、同一仕様のもを、荷重種別（引張、曲げ、せん断）ごとに最低3個とする。
- ii. 埋込金物の変形により支持構造物としての機能を喪失する限界の荷重を $T_L$  (Test-Load) とする。ただし、埋込板のごとく荷重による変形の発生と破壊との判別がつきにくいものにあつては破壊荷重を $T_L$ とする。
- iii. 許容荷重は、3個の $T_L$ のうち最小値を $(T_L)_{\min}$ とし下の表により求める。ただし、最小値が他の2個の $T_L$ に比べ過小な場合は、新たに3個の $T_L$ を求め、合計6個の $T_L$ の中で後から追加した3個の $T_L$ の最小値が最初の3個の $T_L$ の最小値を上回った場合は、合計6個の $T_L$ の最小値をはぶき2番目に小さい $T_L$ を $(T_L)_{\min}$ とする。ただし、下回った場合は、最小値を $(T_L)_{\min}$ とする。

荷重の組合せ	許容応力状態	許容荷重
$D+P_D+M_D+S_d$	Ⅲ <sub>A</sub> S	$(T_L)_{\min} \times 1/2$
$D+P_D+M_D+S_s$	Ⅳ <sub>A</sub> S	$(T_L)_{\min} \times 0.6$

(ニ) スタッドの評価

スタッドの評価においては、せん断耐力の評価式を規定している日本建築学会「各種合成構造設計指針」設計式（AIJ式）を用いることができる。

(ホ) メカニカルアンカー、ケミカルアンカーの許容応力

建屋施工後に設置する後打ちアンカーには、メカニカルアンカー及びケミカルアンカーがあり、その許容値は、「各種合成構造設計指針・同解説」（日本建築学会、2010年改定）に基づき以下の通りとする。

i. メカニカルアンカー

「各種合成構造設計指針・同解説 第4編 各種アンカーボルト設計指針・解説 資料5 金属拡張アンカーボルトの設計」に基づき設計する。

(i) 引張力を受ける場合

荷重の算定で得られた基礎ボルトの引張荷重は以下に示す許容荷重 $p_a$ 以下となるようにする。

$$p_a = \min(p_{a1}, p_{a2})$$

$$p_{a1} = \phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{pa} \cdot s_{ca}$$

$$p_{a2} = \phi_2 \cdot \alpha_c \cdot c \cdot \sigma_t \cdot A_c$$

ここで、

$p_{a1}$  : ボルトの降伏により決まる許容引張荷重 (N)

$p_{a2}$  : コンクリートのコーン状破壊により決まる許容引張荷重 (N)

$\alpha_c$  : 施工のバラツキを考慮した低減係数で、 $\alpha_c = 0.75$ とする。

$\phi_1, \phi_2$  : 低減係数であり、以下の表に従う。

	$\phi_1$	$\phi_2$
短期荷重用	1.0	2/3

$s \cdot \sigma_{pa}$  : ボルトの引張強度で、 $s \cdot \sigma_{pa} = s \cdot \sigma_y$ とする。 (N/mm<sup>2</sup>)

$s \cdot \sigma_y$  : ボルトの降伏点強度であり、 $s \cdot \sigma_y = S_y$ とする。 (N/mm<sup>2</sup>)

$s_{ca}$  : ボルト各部の最小断面積 (mm<sup>2</sup>) 又はこれに接合される鋼材の断面積で危険断面における値

$c \cdot \sigma_t$  : コーン状破壊に対するコンクリートの割裂強度で  
 $c \cdot \sigma_t = 0.31 \sqrt{F_c}$ とする。 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_c$  : コーン状破壊面の有効水平投影面積で、  
 $A_c = \pi \cdot l_{ce} (l_{ce} + D)$ とする。 (mm<sup>2</sup>)

$D$  : アンカーボルト本体の直径 (mm)

$l$  : アンカーボルトの埋込み深さで、母材表面から拡張部先端までの距離 (mm)

$l_{ce}$  : 強度算定用埋込み深さで  $l_{ce} = \begin{cases} l, & l < 4D \\ 4D, & l \geq 4D \end{cases}$  (mm)

(ii) せん断力を受ける場合

荷重の算定で得られた基礎ボルトのせん断荷重は以下に示す許容荷重 $q_a$ 以下となるようにする。

$$q_a = \min(q_{a1}, q_{a2}, q_{a3})$$

$$q_{a1} = \phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{qa} \cdot s_{ca}$$

$$q_{a2} = \phi_2 \cdot \alpha_c \cdot c \cdot \sigma_{qa} \cdot s_{ca}$$

$$q_{a3} = \phi_2 \cdot \alpha_c \cdot c \cdot \sigma_t \cdot A_{qc}$$

ここで、

$q_{a1}$  : ボルトのせん断強度により決まる許容せん断荷重 (N)

$q_{a2}$  : コンクリートの支圧強度により決まる許容せん断荷重 (N)

$q_{a3}$  : コンクリートのコーン状破壊により決まる許容せん断荷重 (N)

$s \cdot \sigma_{qa}$  : ボルトのせん断強度で、 $s \cdot \sigma_{qa} = 0.7 s \cdot \sigma_y$ とする。(N/mm<sup>2</sup>)

$s_{ca}$  : ボルトのコンクリート表面における断面積 (mm<sup>2</sup>)

$c \cdot \sigma_{qa}$  : コンクリートの支圧強度で

$$c \cdot \sigma_{qa} = 0.5 \sqrt{F_c \cdot E_c} \text{ とする。 (N/mm}^2\text{)}$$

$E_c$  : コンクリートのヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_{qc}$  : せん断荷重方向の側面におけるコーン状破壊面の有効投影面積で、 $A_{qc} = 0.5 \pi c^2$ とする。(mm<sup>2</sup>)

$c$  : へりあき寸法 (mm)

(iii) 組合せ

基礎ボルトが引張荷重 $p$ 及びせん断荷重 $q$ の組合せ荷重を受ける場合、以下となるようにする。

$$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leq 1$$

ii. ケミカルアンカー

「各種合成構造設計指針・同解説 第4編 各種アンカーボルト設計指針・解説 4.5 接着系アンカーボルトの設計」に基づき設計する。

(i) 引張力を受ける場合

荷重の算定で得られた基礎ボルトの引張荷重は以下に示す許容荷重 $p_a$ 以下となるようにする。

$$p_a = \min(p_{a1}, p_{a3})$$

$$p_{a1} = \phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{pa} \cdot s_{ca}$$

$$p_{a3} = \phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot \ell_{ce}$$

ここで、

$p_{a1}$  : ボルトの降伏により決まる許容引張荷重 (N)

$p_{a3}$  : ボルトの付着力により決まる許容引張荷重 (N)

$\phi_1, \phi_3$  : 低減係数であり、以下の表に従う。

	$\phi_1$	$\phi_2$	$\phi_3$
短期荷重用	1.0	2/3	2/3

$s \cdot \sigma_{pa}$  : ボルトの引張強度で、 $s \cdot \sigma_{pa} = s \cdot \sigma_y$ とする。

ただし、ボルトの降伏を保証する場合の上限引張力を算定するときは、 $s \cdot \sigma_{pa} = \alpha_{yu} \cdot s \cdot \sigma_y$ とする。(N/mm<sup>2</sup>)

$s \cdot \sigma_y$  : ボルトの降伏点強度であり、 $s \cdot \sigma_y = S_y$ とする。(N/mm<sup>2</sup>)

$\alpha_{yu}$  : ボルトの材料強度のばらつきを考慮した降伏点強度に対する割増係数であり、1.25以上を用いる。

$s_{ca}$  : ボルトの断面積で、軸部断面積とねじ部断面積の小さい方の値 (mm<sup>2</sup>)

$d_a$  : ボルトの径 (mm)

$\ell_{ce}$  : ボルトの強度算定用埋込み深さで $\ell_{ce} = \ell_e - 2d_a$ とする。(mm)

$\ell_e$  : ボルトの有効埋込み深さ (mm)

$\tau_a$  : ボルトの付着強度で $\tau_a = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \tau_{bavg}$ とする。(N/mm<sup>2</sup>)

ここで、

$\alpha_n$  : へりあき及びボルトピッチによる付着強度の低減係

数で $\alpha_n = 0.5 \left( \frac{c_n}{\ell_e} \right) + 0.5$ とする。(n=1, 2, 3)ただし、

$(c_n/\ell_e) \geq 1.0$ の場合は $(c_n/\ell_e) = 1.0$ 、 $\ell_e \geq 10d_a$ の場合は $\ell_e = 10d_a$ とする。

$c_n$  : へりあき寸法又はボルトピッチaの1/2で、最も小さくなる寸法3面までを考慮する。

$\tau_{bavg}$  : ボルトの基本平均付着強度であり、接着剤及び充填方式により以下の表に従う。

	カプセル方式		注入方式
	有機系	無機系	有機系
普通コンクリート	$10\sqrt{F_c/21}$	$5\sqrt{F_c/21}$	$7\sqrt{F_c/21}$

$F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

(ii) せん断力を受ける場合

荷重の算定で得られた基礎ボルトのせん断荷重は以下に示す許容荷重 $q_a$ 以下となるようにする。

$$q_a = \min(q_{a1}, q_{a2}, q_{a3})$$

$$q_{a1} = \phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{qa} \cdot s c a$$

$$q_{a2} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_{qa} \cdot s c a$$

$$q_{a3} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_t \cdot A_{qc}$$

ここで、

$q_{a1}$  : ボルトのせん断強度により決まる許容せん断荷重 (N)

$q_{a2}$  : コンクリートの支圧強度により決まる許容せん断荷重 (N)

$q_{a3}$  : コンクリートのコーン状破壊により決まる許容せん断荷重 (N)

$\phi_2$  : 低減係数であり、(i)において示す表に従う。

$s \sigma_{qa}$  : ボルトのせん断強度で、 $s \sigma_{qa} = 0.7 s \sigma_y$ とする。(N/mm<sup>2</sup>)

$c \sigma_{qa}$  : コンクリートの支圧強度で  $c \sigma_{qa} = 0.5 \sqrt{F_c \cdot E_c}$ とする。  
(N/mm<sup>2</sup>)

$c \sigma_t$  : コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度で  
 $c \sigma_t = 0.31 \sqrt{F_c}$ とする。(N/mm<sup>2</sup>)

$E_c$  : コンクリートのヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_{qc}$  : せん断荷重方向の側面におけるコーン状破壊面の有効投影面積で、 $A_{qc} = 0.5 \pi c^2$ とする。(mm<sup>2</sup>)

$c$  : へりあき寸法 (mm)

また、ボルトの有効埋込み長さ $l_e$ が以下となるようにする。

$$l_e \geq \frac{s \sigma_{pa} \cdot d_a}{4 \tau_a}$$

(iii) 組合せ

基礎ボルトが引張荷重 $p$ 及びせん断荷重 $q$ の組合せ荷重を受ける場合、以下となるようにする。

$$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leq 1$$

(d) Cクラスの機器・配管系

イ. クラス3配管

耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状 態	許 容 限 界	
			一次一般膜応力	一次応力
C	$D+P_D+M_D+S_C$	$C_A S$	$S_y$ と $0.6S_u$ の小さい方 <sup>(注)</sup> 。 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及 び高ニッケル合金については上記値と 1.2Sとの大きい方。	$S_y$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及 び高ニッケル合金については上記値と 1.2Sとの大きい方。

(注) 軸力による全断面平均応力については本欄の0.8倍の値とする。

ロ. その他の支持構造物

耐震 クラス	荷重の 組合せ	許容 応力 状態	許 容 限 界 <sup>(注1)</sup> <sup>(注2)</sup> ( ボ ル ト 等 以 外 )										<sup>(注2)</sup> <sup>(注6)</sup> 許容限界 (ボルト等)		形式試験に よる場合
			一 次 応 力					一次+二次応力					一次応力		
			引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈	引張	せん断	
C	D+P <sub>D</sub> +M <sub>D</sub> +S <sub>C</sub>	C <sub>AS</sub>	1.5f <sub>t</sub>	1.5f <sub>s</sub>	1.5f <sub>c</sub>	1.5f <sub>b</sub>	1.5f <sub>p</sub>	3f <sub>t</sub>	<sup>(注3)</sup> 3f <sub>s</sub>	<sup>(注4)</sup> 3f <sub>b</sub>	<sup>(注5)</sup> 1.5f <sub>p</sub>	<sup>(注4)</sup> <sup>(注5)</sup> 1.5f <sub>b</sub> 、 1.5f <sub>s</sub> 又は 1.5f <sub>c</sub>	1.5f <sub>t</sub>	1.5f <sub>s</sub>	$T_L \times \frac{1}{2} \times \frac{S_{yd}}{S_{yt}}$

(注1) 「鋼構造設計規準 SI単位版」(2002年日本建築学会)等の幅厚比の制限を満足させる。

(注2) 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

(注3) すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して1.5f<sub>s</sub>とする。

(注4) JSME S NC1-2012 SSB-3121.1(4)により求めたf<sub>b</sub>とする。

(注5) 自重、熱膨張等により常時作用する荷重に、地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

(注6) コンクリートに埋込まれるアンカーボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであつて、トルク管理、材料の照合等を行わないものについては、材料の品質、据付状態等のゆらぎ等を考慮して、許容応力を一次引張応力に対してはf<sub>t</sub>、一次せん断応力に対してはf<sub>s</sub>として応力評価を行う。

ハ. 埋込金物

許容応力状態 $C_A S$ は、(a) ホ. の許容応力状態 $III_A S$ を準用する。

ただし、許容応力状態 $C_A S$ でのコンクリート許容圧縮応力度の値は $1/2F_c$ とする。



(3) 地盤

(設計基準対象施設)

	荷重の組合せ	許容支持力度 (kN/m <sup>2</sup> )
Sクラス	G+P+K <sub>S</sub>	極限支持力度に対して妥当な安全余裕を持たせる。
Cクラス	G+P+K <sub>C</sub>	短期許容支持力度とする。

[記号の説明]

G：固定荷重

P：積載荷重

K<sub>S</sub>：基準地震動S<sub>s</sub>による地震力

K<sub>C</sub>：耐震Cクラスの施設に適用される静的地震力

第3-2表 地震力と風荷重及び積雪荷重の組合せ

(1) 考慮する荷重の組合せ

(○：考慮する荷重を示す。)

	施設の配置	荷重	
		風荷重 ( $P_k$ )	積雪荷重 ( $P_s$ )
建物・構築物	屋内	—	—
	屋外	○ (注1)	○ (注2)
機器・配管系	屋内	—	—
	屋外	○ (注1)	○ (注2)

(注1) 屋外に設置されている施設のうち、コンクリート構造物などの自重が大きい施設を除く。

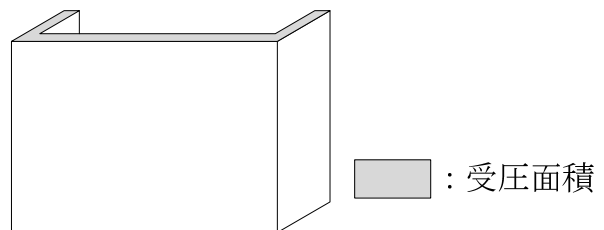
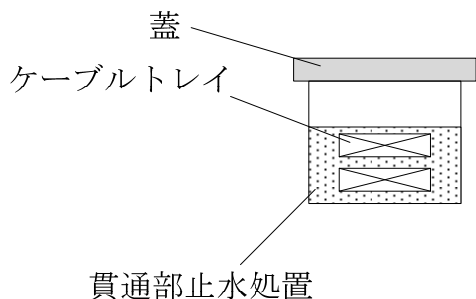
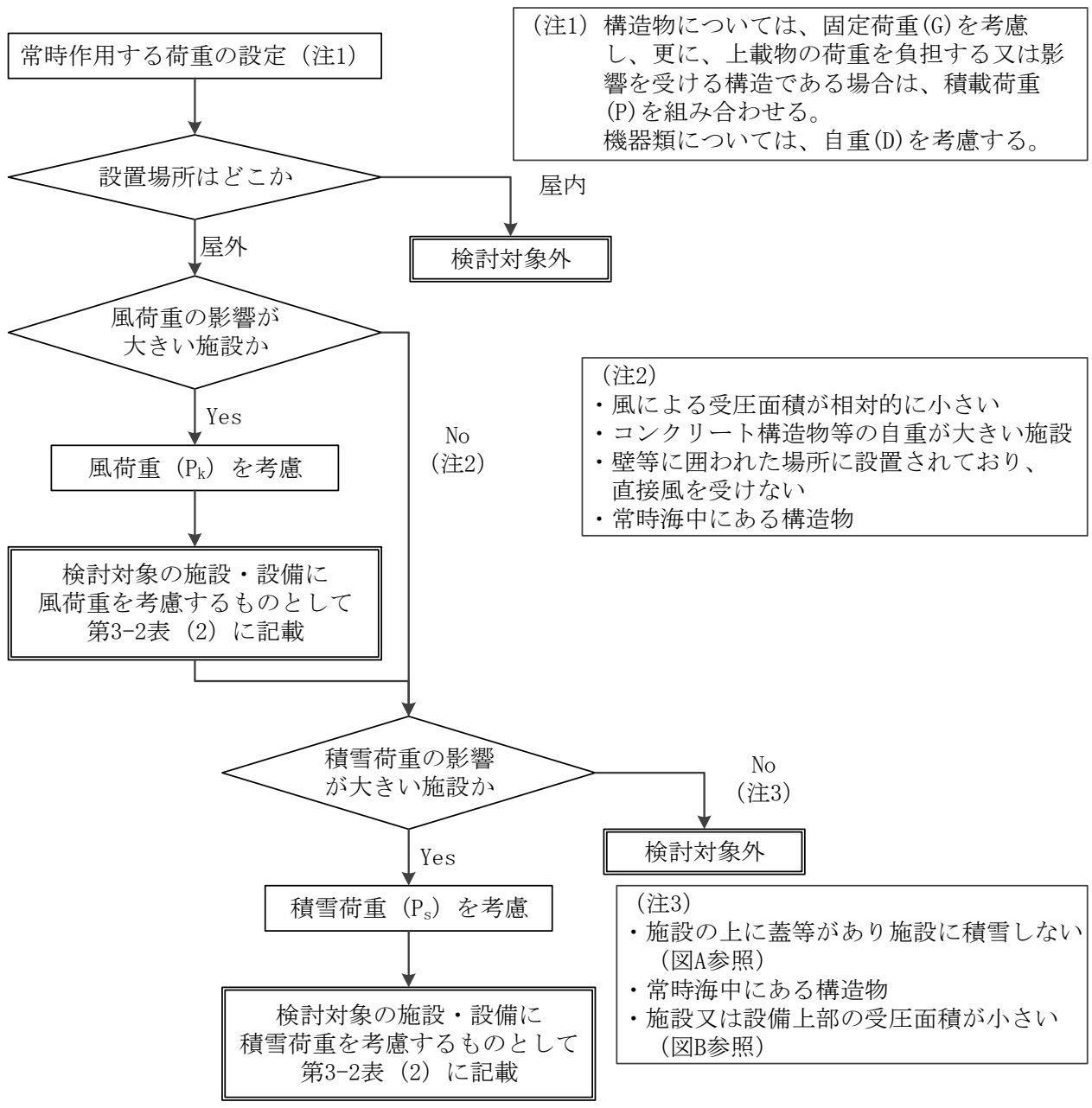
(注2) 積雪による受圧面積が小さい施設、又は埋設構造物など常時の荷重に対して積雪荷重の割合が無視できる施設を除く。

(2) 検討対象の施設・設備

	施設・設備	
	風荷重 (注1)	積雪荷重 (注1)
建物・構築物	—	使用済燃料乾式貯蔵建屋 (注2)
機器・配管系	—	—

(注1) 荷重については、資料2-1「発電用原子炉施設の自然現象等への配慮に関する説明書」の「4. 組合せ」のとおり、風荷重については風速34m/s、積雪荷重については積雪高さ20cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し、適切に算出する。

(注2) 積雪荷重が積載荷重に包絡されることから、地震荷重及び積載荷重の組合せを考慮する。



図A：蓋等により積雪しない場合の例

図B：上部の受圧面積が小さい場合の例

第3-1図 耐震計算における風荷重及び積雪荷重の設定フロー

### 3.2 変位、変形の制限

発電用原子炉施設として設置される建物・構築物、機器・配管系の設計に当たっては、剛構造とすることを原則としており、地震時にこれらに生じる応力を許容応力値以内に抑えることにより、変位、変形に対しては特に制限を設けなくても機能は十分維持されると考えられる。

しかしながら、地震により生起される変位、変形に対し設計上の注意を要する部分については以下のような配慮を行い、設備の機能維持が十分果たされる設計とする。

#### (1) 建屋間相対変位に対する配慮

異なった建屋間を渡る配管等の設計においては、十分安全側に算定された建屋間相対変位に対し、配管ルート、支持方法又は伸縮継手の採用などでこれを吸収できるよう配慮する。

#### 4. 機能維持

##### 4.1 使用済燃料乾式貯蔵容器の有する4つの安全機能（臨界防止機能、遮蔽機能、除熱機能及び閉じ込め機能）の維持

使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプ1）及び使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプ2）は、資料9-1「耐震設計の基本方針」のうち「5.2(1) 使用済燃料乾式貯蔵容器の有する4つの安全機能（臨界防止機能、遮蔽機能、除熱機能及び閉じ込め機能）維持」の考え方にに基づき、地震時及び地震後において、公衆への放射線による影響を防止する必要がある。

このため、使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプ1）及び使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプ2）は、基準地震動に対して、「3.1 構造強度上の制限」による構造強度を確保し、密封境界部については、おおむね弾性状態に留まること、密封境界部以外の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有する設計とする。

更に、バスケットについては、臨界防止上有意な変形を起こさないこと、及び伝熱フィンについては、除熱機能に影響するような変形を起こさない設計とする。

以上をもって、4つの安全機能（臨界防止機能、遮蔽機能、除熱機能及び閉じ込め機能）を維持する設計とする。

##### 4.2 遮蔽性の維持

遮蔽性の維持が要求される施設は、資料9-1「耐震設計の基本方針」のうち「5.2(2) 遮蔽性の維持」の考え方にに基づき、地震時及び地震後において、放射線業務従事者の放射線障害防止、発電所周辺の空間線量率の低減、居住性の確保及び放射線障害から公衆を守る必要がある。このため、鉄筋コンクリート造として設計することを基本とし、遮蔽性の維持が要求される生体遮蔽装置については、設計基準対象施設の耐震重要度分類に応じた地震動に対して、「3.1 構造強度上の制限」による構造強度を確保し、遮蔽体の形状及び厚さを確保することで、地震後における残留ひずみを小さくし、ひび割れがほぼ閉鎖し、貫通するひび割れが直線的に残留しないこととすることで、遮蔽性を維持する設計とする。

##### 4.3 支持機能の維持

機器・配管系等の設備を支持する機能の維持が要求される施設は、資料9-1「耐震設計の基本方針」のうち「5.2(3) 支持機能の維持」の考え方にに基づき、地震時及び地震後において、耐震重要度分類に応じた地震動に対して、以下に示すとおり、支持機能を維持する設計とする。

(1) 建物・構築物の支持機能の維持

建物・構築物の支持機能の維持については、地震動に対して、被支持設備の機能を維持できる構造強度を確保する設計とする。

具体的には使用済燃料乾式貯蔵容器等の支持機能の維持が要求される建物・構築物が鉄筋コンクリート造の場合は、基準地震動 $S_s$ に対して、耐震壁の最大せん断ひずみが「3.1 構造強度上の制限」による許容限界を超えない設計とすること、又は基礎を構成する部材に生じる応力が「3.1 構造強度上の制限」による許容限界を超えない設計とすることで、使用済燃料乾式貯蔵容器等の支持機能が維持できる設計とする。

耐震壁以外の建物・構築物の部位に関しても、耐震壁がせん断ひずみの許容限界を満足している場合は、耐震壁の変形に追従する建物・構築物の部位の健全性も確保されており、支持機能を確保していると考えられることができる。

また、各建屋間に生じる地震時相対変位について、各建屋が相互に干渉しないよう適切な間隔を設けると同時に、各建屋に渡る設備からの反力に対しても十分な構造強度を確保する設計とする。

## ダクティリティに関する設計方針

設計及び工事計画認可申請 資料9-10

伊 方 発 電 所 第 3 号 機

## 目 次

	頁
1. 概 要 .....	資9-10-1
2. 構造計画 .....	資9-10-2
2.1 建物・構築物 .....	資9-10-2
2.2 機器・配管系 .....	資9-10-2
3. 材料の選択 .....	資9-10-3
3.1 建物・構築物 .....	資9-10-3
3.2 機器・配管系 .....	資9-10-3
4. 耐力・強度等に対する制限 .....	資9-10-4
4.1 建物・構築物 .....	資9-10-4
4.2 機器・配管系 .....	資9-10-4
5. 品質管理上の配慮 .....	資9-10-5
5.1 建物・構築物 .....	資9-10-5
5.2 機器・配管系 .....	資9-10-5



## 1. 概 要

発電所の各施設は、安全性及び信頼性の見地から、通常運転時荷重に対してのみならず地震時荷重等の短時間に作用する荷重に対しても耐えられるよう設計する必要がある。

これらの設計荷重は、強度設計の立場から、安全側の値として定められているが、重要施設の構造安全性を一層高めるためには、その構造体のダクティリティ<sup>※</sup>を高めるように設計することが重要である。

本資料は、資料9-1「耐震設計の基本方針」のうち「8. ダクティリティに関する考慮」に基づき、各施設のダクティリティを維持するために必要と考えられる構造計画、材料の選択、耐力・強度等に対する制限及び品質管理上の配慮を各項目別に説明するものである。なお、構造特性等の違いから、施設を建物・構造物及び機器・配管系に分けて示す。

※ 地震時を含めた荷重に対して、施設に生じる応力値等が、ある値を超えた際に直ちに損傷に至らないこと、又は直ちに損傷に至らない能力・特性。

## 2. 構造計画

### 2.1 建物・構築物

使用済燃料乾式貯蔵建屋の構造形式は、地震時において効果的に水平力を分担させる意図から、計画的に配置した耐震壁を主要な耐震要素とする鉄筋コンクリート構造である。

また、基礎は、堅硬な岩盤に直接設置し、上部構造物の荷重を支持地盤に伝達させるために十分な剛性を持たせる。

### 2.2 機器・配管系

機器・配管系の構造計画は、平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-10「ダクティリティに関する設計方針」の「2.1 機器・配管系」によるものとする。

### 3. 材料の選択

建物・構築物及び機器・配管系の材料について、ダクティリティを維持するために必要と考えられる方針を示す。

#### 3.1 建物・構築物

建物・構築物に使用される材料は、平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-10「ダクティリティに関する設計方針」の「3.1 建物・構築物」によるものとする。

#### 3.2 機器・配管系

機器・配管系に使用される構造材料は、安全運転の見地から信頼性の高いものが必要である。

したがって、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012年版）＜第Ⅰ編 軽水炉規格＞JSME S NC1-2012」（日本機械学会）（以下「JSME S NC1-2012」という。）や「発電用原子力設備規格 材料規格（2012年版）＜第Ⅰ編 軽水炉規格＞JSME S NJ1-2012」（日本機械学会）（以下「JSME S NJ1-2012」という。）等に表示されるもの及び化学プラント、火力プラントや国内外の原子力プラントにおいて十分な使用実績があり、かつ、その材料特性が十分把握されているものを使用する。なお「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（昭和55年通商産業省告示第501号、最終改正平成15年7月29日経済産業省告示第277号）に関する内容については、JSME S NC1-2012及びJSME S NJ1-2012に従うものとする。

機器・配管系に使用される材料は、原則として基準・規格に示される炭素鋼、低合金鋼（この2つを総称して、「フェライト鋼」という。）、オーステナイト系ステンレス鋼及び非鉄金属を用いる。このうちフェライト鋼については、使用条件に対して脆性破壊防止の観点から延性を確保できるよう必要な確認を行う。

特に考慮すべき事項を以下に示す。

- (1) 均質な組成と機械的性質を持ち、強度上有意な影響を及ぼす可能性のある欠陥がない材料を使用する。
- (2) 使用温度及び供用期間中に対し、著しい材料強度特性、破壊靱性の劣化が生じにくい材料を使用する。
- (3) 中性子照射による脆化を考慮して材料を選択する。また原子炉容器内には監視試験片を配置し、材料の機械的性質の変化を監視する。
- (4) 素材として優れた特性を有するとともに、溶接施工、成形加工においてもその優れた特性を持つ材料を使用する。
- (5) 溶接材料は、溶接継手部が母材と同等の性能が得られるよう選定する。
- (6) 1次冷却材等に対する耐食性の良い材料を使用する。

#### 4. 耐力・強度等に対する制限

建物・構築物及び機器・配管系の強度設計に関しては、通常時の荷重に対してのみならず、地震時荷重等のように短時間に作用する荷重に対して十分な耐力・強度及びダクティリティを有するように考慮する。

以下にその内容を示す。

##### 4.1 建物・構築物

建物・構築物の強度設計に関する基準、規格等は、平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-10「ダクティリティに関する設計方針」の「4.1 建物・構築物」によるものとする。

##### 4.2 機器・配管系

機器・配管系の構造強度及び設計においてはJSME S NJ1-2012を適用するとともにASME「Boiler and Pressure Vessel Code」等を準用する。

以下、機器・配管系のダクティリティを維持するために必要な破壊防止の基本的考え方を示す。

- (1) 脆性破壊が生じないように、十分な靱性を有する材料を選定する。また、使用材料がJSME S NJ1-2012の破壊靱性試験に対する要求に適合していることを確認する。
- (2) 延性破壊又は疲労破壊が生じないように資料9-9「機能維持の基本方針」に基づき応力制限を行うとともに、必要に応じて疲労解析を行う。
- (3) 座屈現象が生じないように、発生荷重を許容座屈荷重以下に制限する。
- (4) クリープに関しては、使用温度において供用期間中に支障が生じないように材料を選定する。
- (5) 応力腐食割れが生じないように、水質管理、材料選定及び残留応力の低減等の配慮を行う。

## 5. 品質管理上の配慮

建物・構築物及び機器・配管系のダクティリティを維持するためには前項で示したように構造計画上の配慮、材料の選択及び耐力・強度等に対する制限に留意するとともに、設計及び工事に係る品質管理の方法等に関する説明書に基づき品質管理を十分に行う。

以下に建物・構築物及び機器・配管系について、計画、設計した耐力・強度等が得られるように、品質管理上特に留意すべき事項を示す。

### 5.1 建物・構築物

建物・構築物に対する品質管理は、平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-10「ダクティリティに関する設計方針」の「5.1 建物・構築物」によるものとする。

### 5.2 機器・配管系

機器・配管系に対する品質管理は、JSME S NJ1-2012及びASME「Boiler and Pressure Vessel Code」等に準拠するが、ダクティリティを保証する意味で特に留意する項目を次に示す。

#### (1) 材料管理

素材、溶接材料について設計仕様書等に示すものが使用されていることを確認する。

#### (2) 強度管理

素材、溶接部の試験片による強度、 $RT_{NDT}$ 等の試験、耐圧、漏えい及び振動試験によって確認する。

#### (3) 製作・据付管理

設計仕様書・設計図書等に示すとおり製作、据付けが行われていることを確認する。

#### (4) 保守・点検

据付け後も供用期間中検査等必要な管理を行う。

## 機器・配管の耐震支持方針

設計及び工事計画認可申請 資料9-11

伊方発電所第3号機

## 目 次

	頁
1. 概要 .....	資9-11-1
2. 機器の支持構造物 .....	資9-11-1
3. 配管の支持構造物 .....	資9-11-1
4. その他特に考慮すべき事項 .....	資9-11-1

## 1. 概要

機器・配管の耐震設計を行う場合、基本設計条件（耐震重要度、設計温度・圧力、動的・静的機器等）、プラントサイト固有の環境条件（地震、風、雪、気温等）、形状、設置場所等を考慮して各々に適した支持条件（拘束方向、支持反力、相対変位等）を決め、支持構造物を選定する必要がある。また、現地施工性や機器等の運転操作・保守点検の際に支障とならないこと等についても配慮し設計する。

本資料は、資料9-1「耐震設計の基本方針」のうち「9. 機器・配管系の支持方針」に基づき、各々の機器・配管の支持方法及び支持構造物の耐震設計方針を説明するものである。

## 2. 機器の支持構造物

平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-11「機器・配管の耐震支持方針」の「2. 機器の支持構造物」によるものとする。

## 3. 配管の支持構造物

平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-11「機器・配管の耐震支持方針」の「4. 配管の支持構造物」によるものとする。

## 4. その他特に考慮すべき事項

平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-11「機器・配管の耐震支持方針」の「5. その他特に考慮すべき事項」によるものとする。



# 使用済燃料乾式貯蔵容器を設置する施設の耐震計算書

設計及び工事計画認可申請 資料9-12

伊 方 発 電 所 第 3 号 機

# 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析

設計及び工事計画認可申請 資料9-12-1

伊方発電所第3号機

## 目 次

	頁
1. 概要 .....	資9-12-1-1
2. 基本方針 .....	資9-12-1-2
2.1 位置 .....	資9-12-1-2
2.2 構造概要 .....	資9-12-1-3
2.3 解析方針 .....	資9-12-1-10
2.4 適用規格 .....	資9-12-1-12
3. 解析方法 .....	資9-12-1-13
3.1 地震応答解析モデル .....	資9-12-1-13
3.2 入力地震動 .....	資9-12-1-22
3.3 解析方法 .....	資9-12-1-52
3.4 解析条件 .....	資9-12-1-52
4. 解析結果 .....	資9-12-1-62
4.1 動的解析 .....	資9-12-1-62

※本資料における  については商業機密又は防護上の機密を含むため公開  
できません。

## 1. 概要

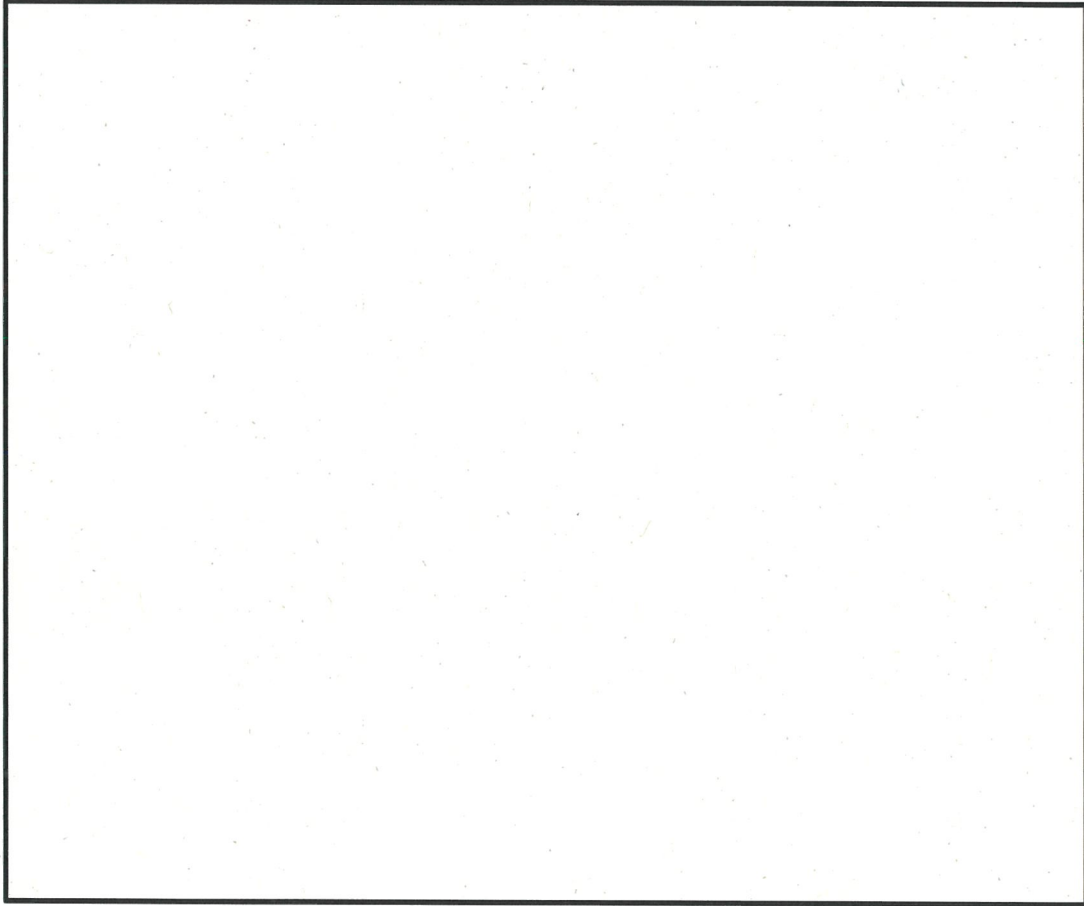
本資料は、資料9-6「地震応答解析の基本方針」に基づく使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析について説明するものである。

地震応答解析により算出した各種応答値は、資料9-9「機能維持の基本方針」に示す建物・構築物及び機器・配管系の設計用地震力として用いる。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

使用済燃料乾式貯蔵建屋の設置位置を第2-1図に示す。



第2-1図 使用済燃料乾式貯蔵建屋の設置位置図

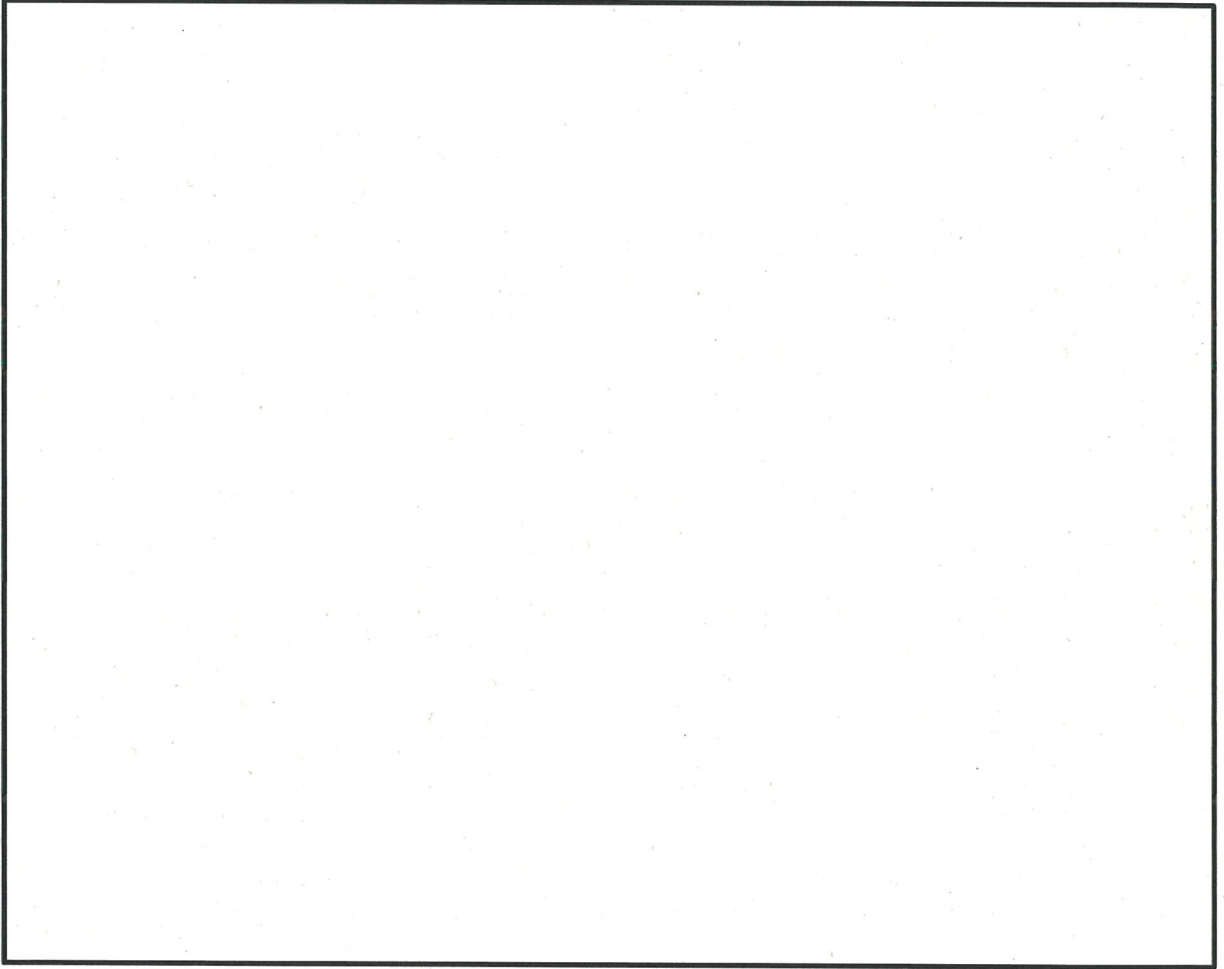
## 2.2 構造概要

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、使用済燃料乾式貯蔵容器（以下「乾式キャスク」という。）を45基収納することができる鉄筋コンクリート造の構造物であり、使用済燃料乾式貯蔵建屋貯蔵エリア（以下「貯蔵エリア」という。）、使用済燃料乾式貯蔵建屋取扱エリア（以下「取扱エリア」という。）などから構成される。

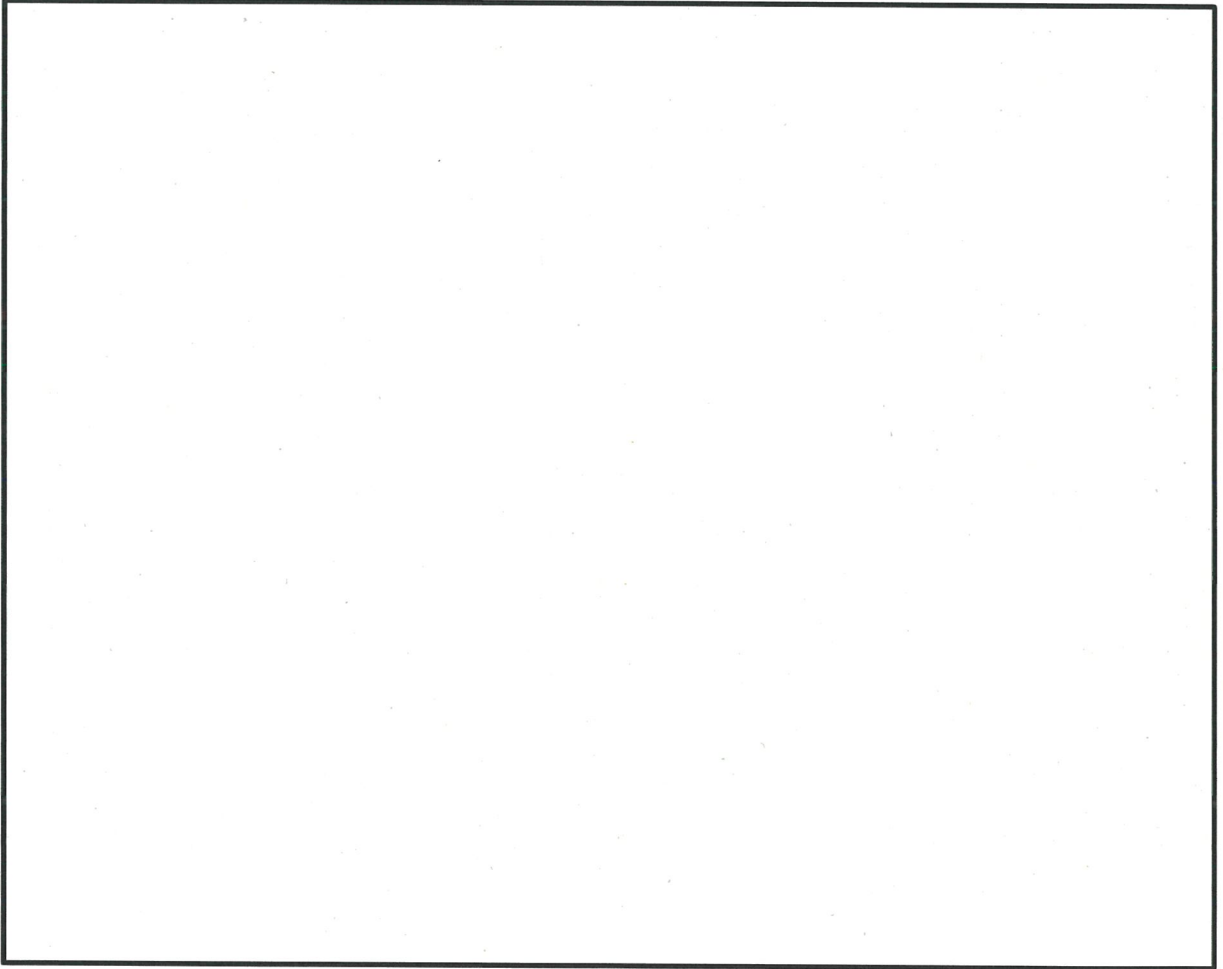
主要構造は、鉄筋コンクリート造の耐震壁を主体としており、貯蔵エリアの耐震壁には冷却空気取入れのための開口がある。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、基礎を介して直接岩盤に支持される。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図、概略断面図を第2-2図～第2-3図に示す。

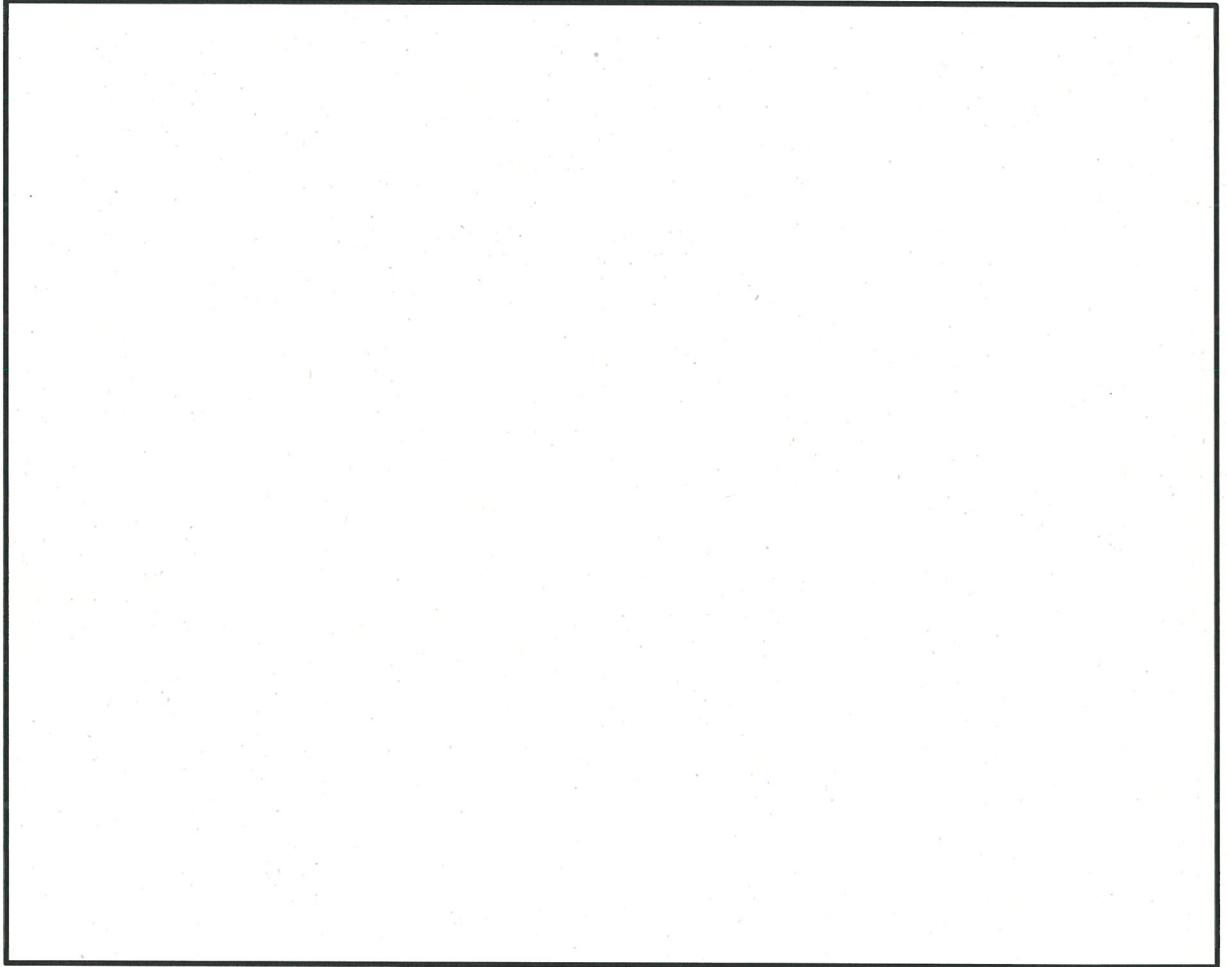


第2-2図 (1/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図 

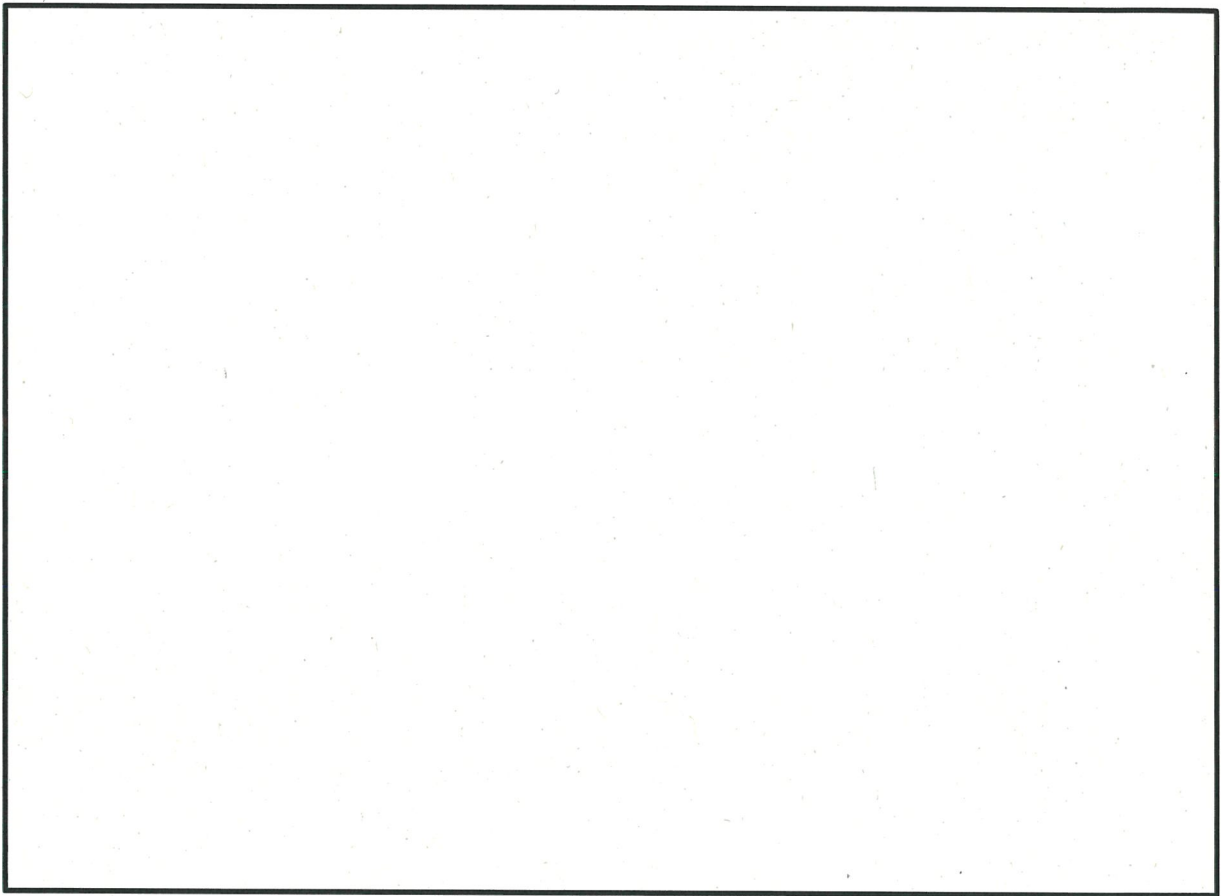


第2-2図 (2/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図 

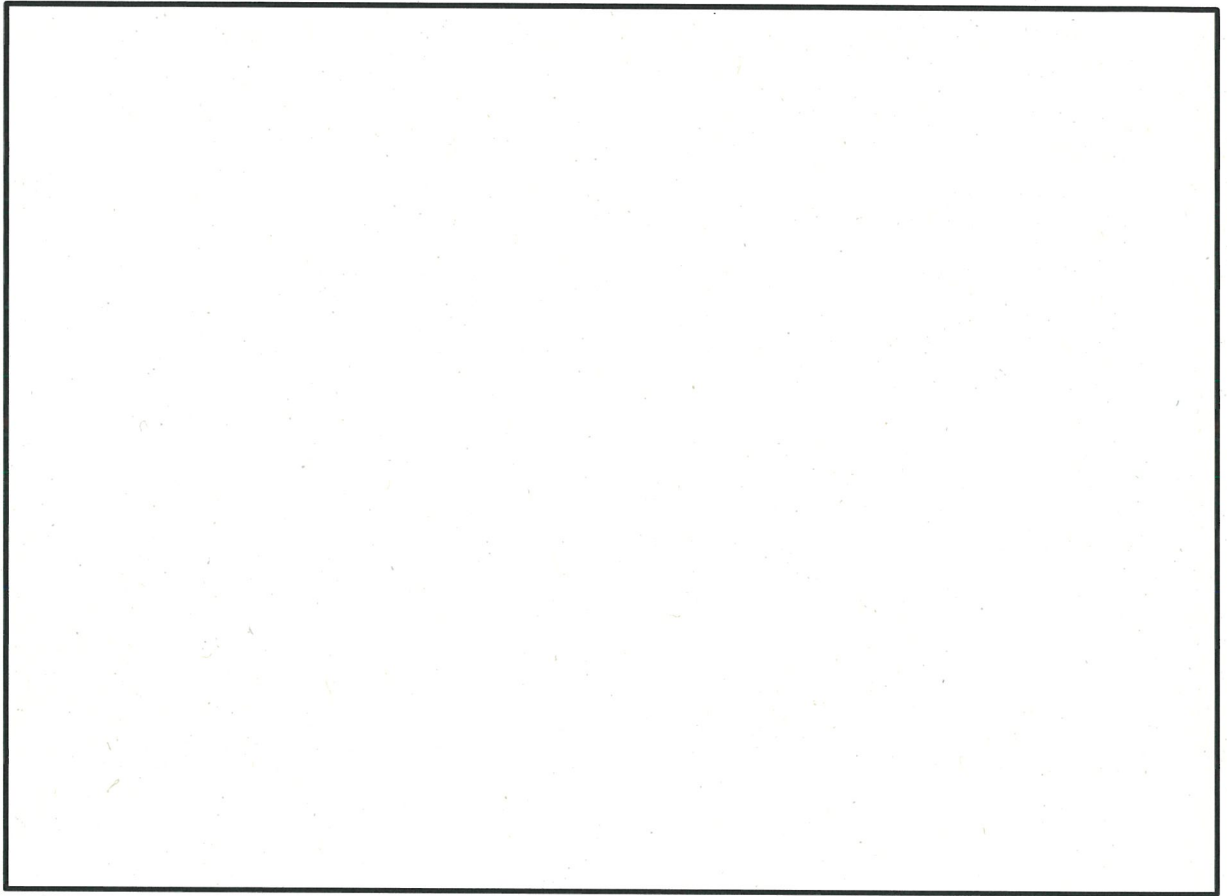




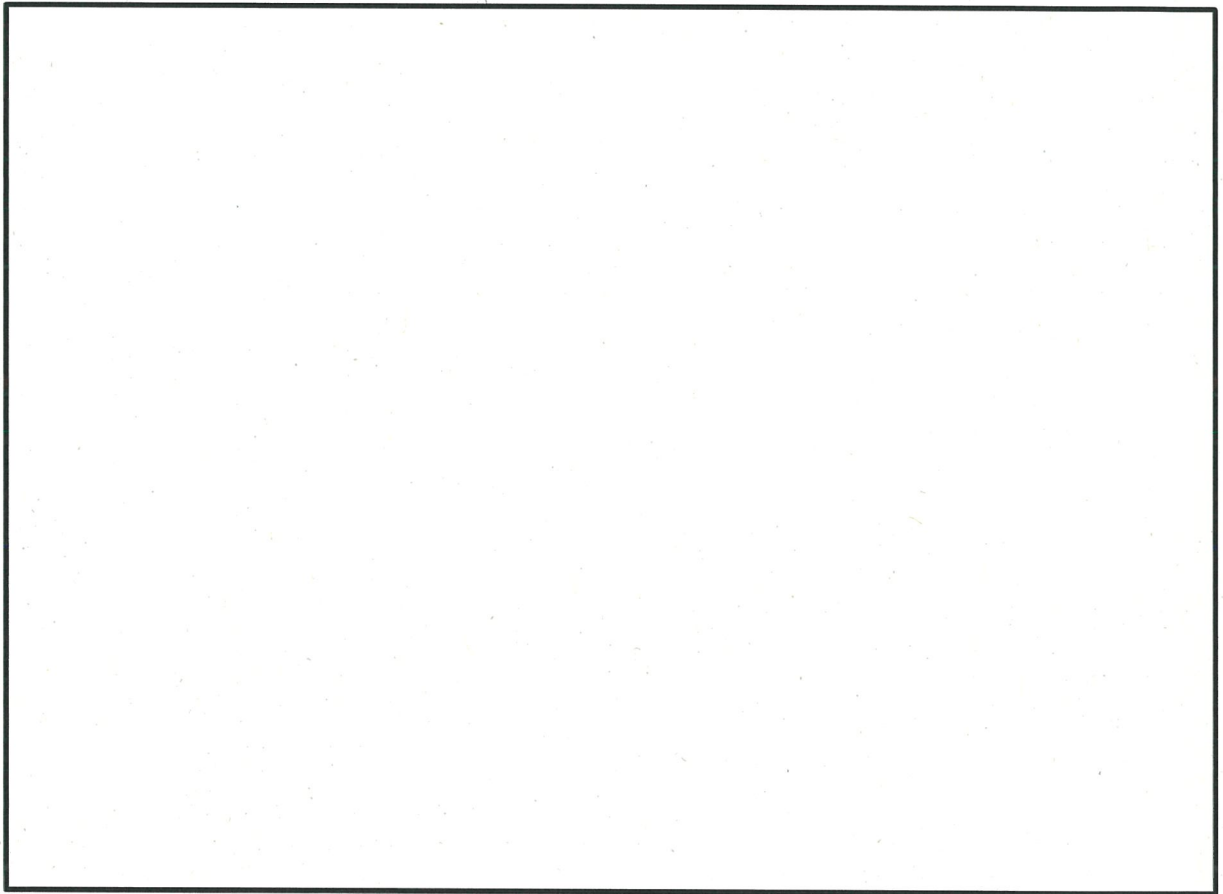
第2-2図 (3/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図 



第2-3図 (1/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (A-A断面)



第2-3図 (2/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (B-B断面)



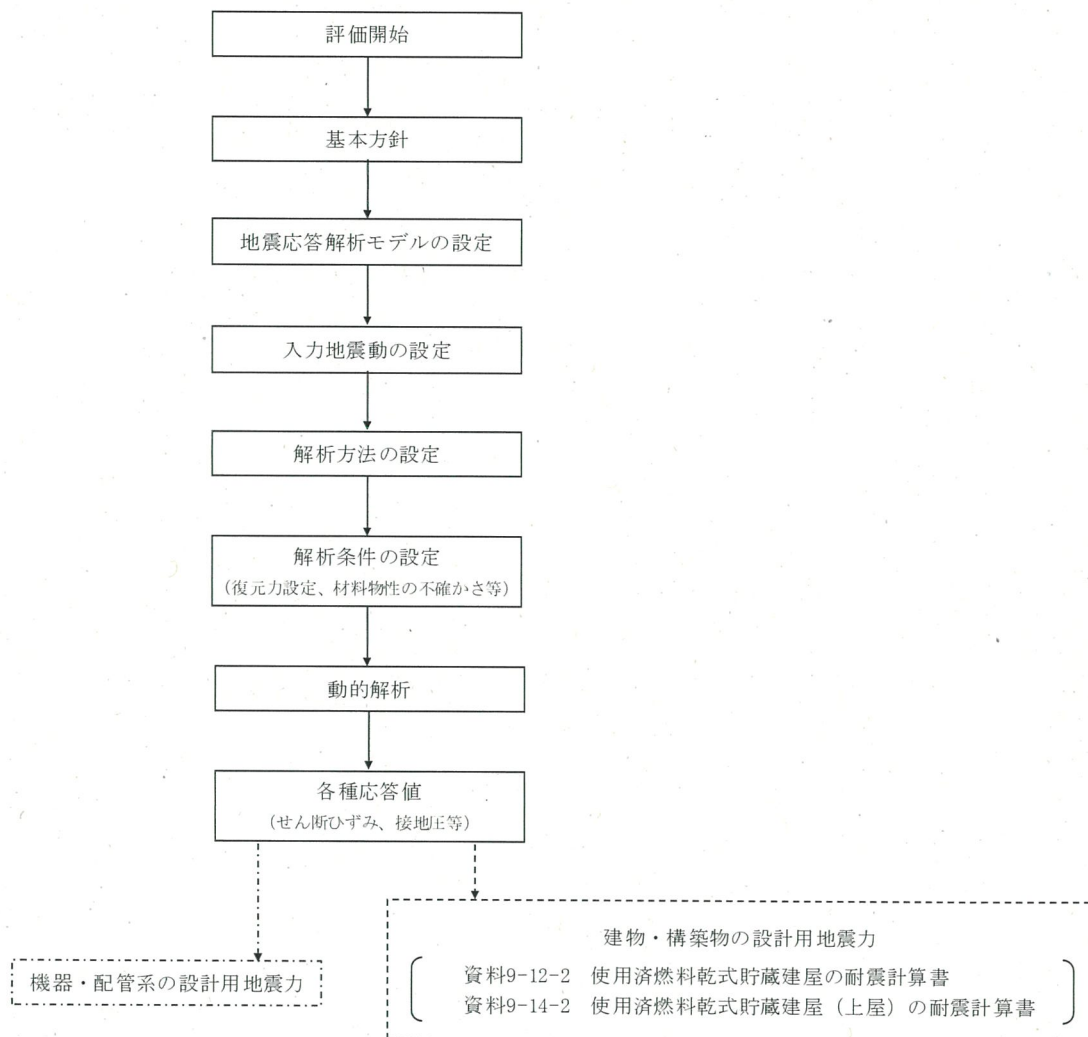
第2-3図 (3/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (C-C断面)

### 2.3 解析方針

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析は、資料9-6「地震応答解析の基本方針」に基づいて行う。

第2-4図に使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析フローを示す。

地震応答解析は、「3.1 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及び「3.2 入力地震動」において設定した入力地震動を用いて実施することとし、「3.3 解析方法」及び「3.4 解析条件」に基づき、「4.1 動的解析」において、材料物性の不確かさ及び鉄筋コンクリート部の減衰定数の設定に起因する不確かさ（以下「材料物性の不確かさ等」という。）を考慮し、せん断ひずみ、接地圧等を含む各種応答値を算出する。



第 2-4 図 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析フロー

## 2.4 適用規格

使用済燃料乾式貯蔵建屋の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。

- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1987 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1991追補版 ((社) 日本電気協会) (以下「JEAG4601-1991」という。)
- ・ 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-許容応力度設計法- ((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)

### 3. 解析方法

#### 3.1 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、資料9-6「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についてそれぞれ設定する。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第3-1表に示す。

第3-1表 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 (%)
・使用済燃料乾 式貯蔵建屋	コンクリート： Fc=30 (N/mm <sup>2</sup> ) 鉄筋：SD345 SD390	2.44×10 <sup>4</sup>	1.02×10 <sup>4</sup>	5



### 3.1.1 水平方向

#### (1) 解析モデル

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て基礎底面に地盤の水平及び回転ばねを設けた多質点系の曲げせん断棒モデルとする。また、各質点には回転慣性を考慮する。

水平方向の地震応答解析モデルを第3-1図に、解析モデルの諸元を第3-2表に示す。

#### (2) 地盤ばね

基礎底面の地盤ばね（水平ばね及び回転ばね）は、JEAG4601-1991に基づき、基礎底面の2層地盤に対して成層補正により算出した地盤定数を用いて、弾性波動論（振動アドミッタンス理論）により得られる動的地盤ばねを近似して設定する。地盤定数を第3-3表に、地盤ばね定数及び減衰係数を第3-4表に示す。

基礎底面の地盤ばねの算出には、解析コード「VA」を用いる。解析コードの検証及び妥当性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。

#### (3) 復元力特性

##### a. 上部構造物

上部構造物には、復元力特性を設定する。耐震壁の復元力特性については「3.4.1 耐震壁の復元力特性」に示す。

##### b. 地盤ばね

地盤の回転ばねには、基礎浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。地盤の回転ばねの復元力特性については「3.4.2 地盤の回転ばねの復元力特性」に示す。

#### (4) 入力地震動

「3.2 入力地震動」において設定した入力地震動を、建屋基礎底に入力する。

### 3.1.2 鉛直方向

#### (1) 解析モデル

鉛直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て基礎底面に地盤の鉛直ばねを設けた多質点系の軸棒モデルとする。

鉛直方向の地震応答解析モデルを第3-2図、解析モデルの諸元を第3-5表に示す。

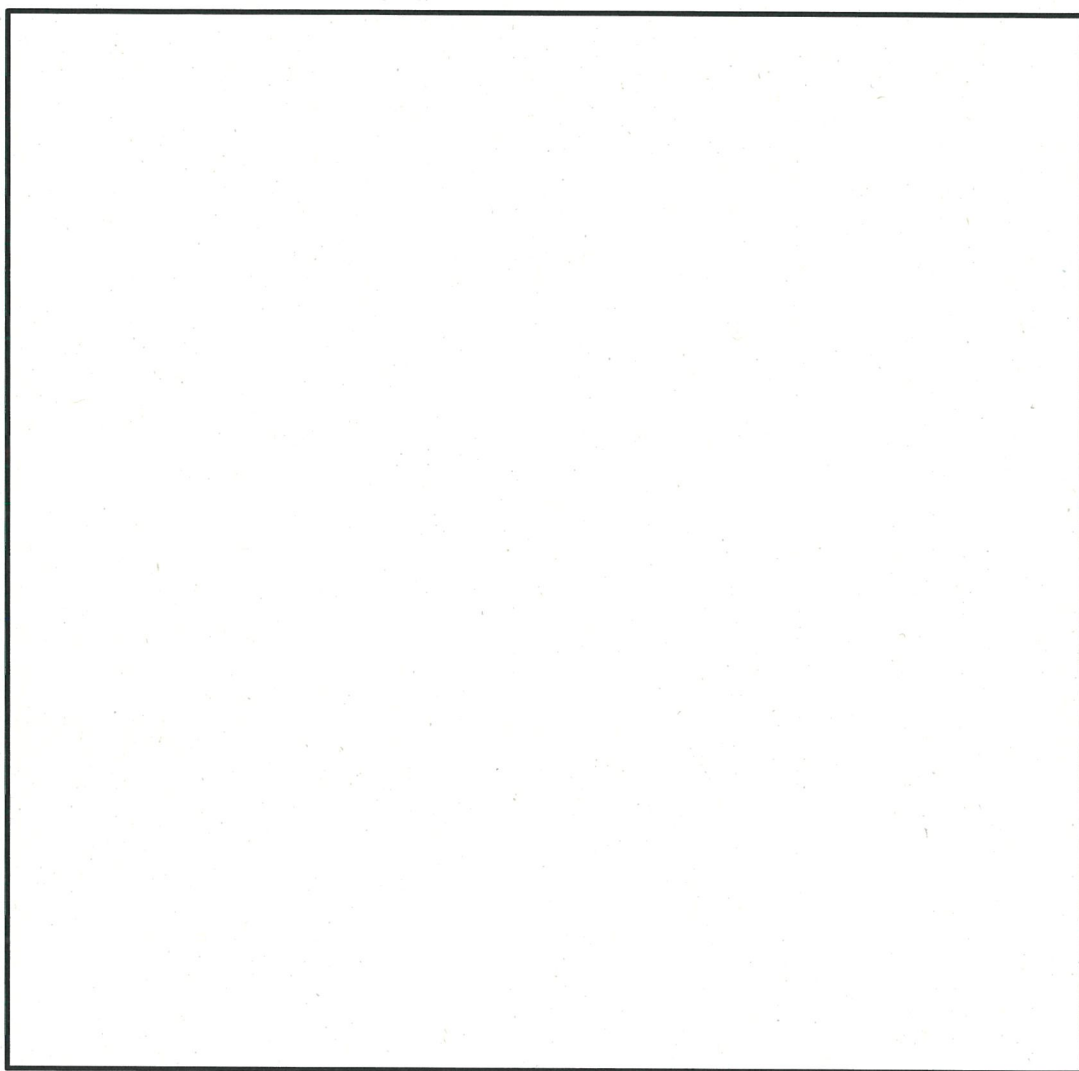
#### (2) 地盤ばね

基礎底面の地盤ばね（鉛直ばね）は、JEAG4601-1991に基づき、基礎底面の2層地盤に対して成層補正により算出した地盤定数を用いて、弾性波動論（振動アドミッタンス理論）により得られる動的地盤ばねを近似して設定する。地盤ばね定数及び減衰係数を第3-6表に示す。

基礎底面の地盤ばねの算出には、解析コード「VA」を用いる。解析コードの検証及び妥当性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。

#### (3) 入力地震動

「3.2 入力地震動」において設定した入力地震動を、建屋基礎底面に入力する。



第 3-1 図 地震応答解析モデル (水平方向)

第3-2表 (1/2) 地震応答解析モデル諸元 (水平方向)

部位	質点 番号	質点位置 EL (m)	重量 (kN)	回転慣性 ( $\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$ )	
				EW方向	NS方向
上部 構造物	1		41,600	61.1	121
	2		36,500	53.6	106
	3		86,400	128	251
	4		49,900	73.4	145
	5		69,400	103	202
基礎	7		444,000	1,100	1,300
総重量			727,800		

第3-2表 (2/2) 地震応答解析モデル諸元 (水平方向)

部位	部材 番号	せん断断面積 ( $\text{m}^2$ )		断面2次モーメント ( $\text{m}^4$ )	
		EW方向	NS方向	EW方向	NS方向
上部 構造物	1	196	156	27,661	52,242
	2	209	175	28,495	58,663
	3	295	287	54,416	100,141
	4	282	283	53,646	99,222
	5	274	275	56,375	94,075

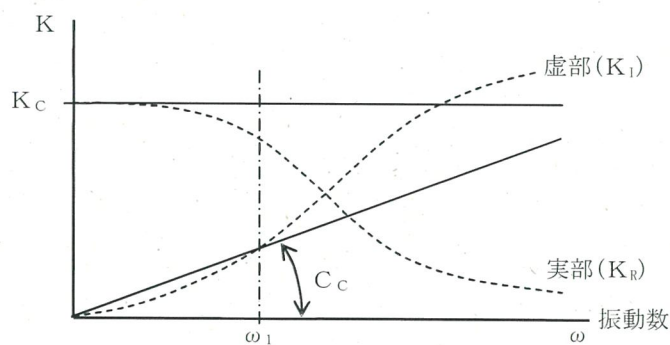
第3-3表 地盤定数（基礎底面の地盤ばね）

地層 EL (m)	地盤のせん断波速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比
	1,700	29.4	0.34
	2,700	29.4	0.34

第3-4表 地盤ばね定数及び減衰係数（水平方向）

			EW方向	NS方向
基礎底面 水平ばね	$K_S$	ばね定数 (kN/m)	$2.19 \times 10^9$	$2.17 \times 10^9$
		減衰係数 (kN·s/m)	$1.79 \times 10^7$	$1.75 \times 10^7$
基礎底面 回転ばね	$K_R$	ばね定数 (kN·m/rad)	$1.99 \times 10^{12}$	$2.25 \times 10^{12}$
		減衰係数 (kN·m·s/rad)	$3.79 \times 10^9$	$4.75 \times 10^9$

地盤ばね

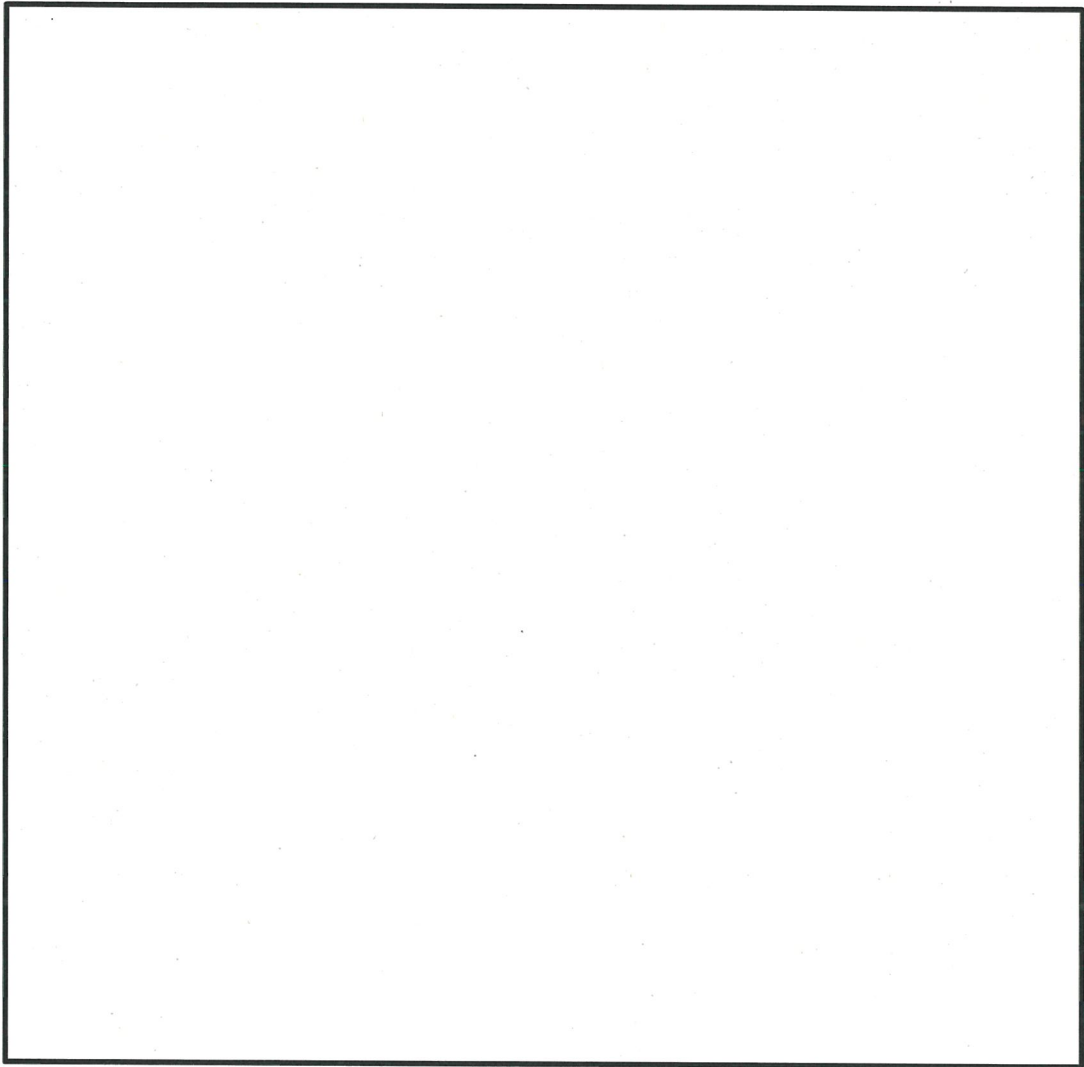


$\omega_1$ : 建屋-地盤連成モデルの1次固有振動数

$K_c$ : 振動数  $\omega = 0$  における地盤ばね実部の値

$C_c$ : 減衰係数 ( $= K_i(\omega_1) / \omega_1$ )

地盤ばねの近似の概念



第 3-2 図 地震応答解析モデル (鉛直方向)



第3-5表 地震応答解析モデル諸元 (鉛直方向)

部位	質点 番号	質点位置 EL (m)	重量 (kN)	部材 番号	断面積 (m <sup>2</sup> )
上部 構造物	1		41,600	1	316
	2		36,500	2	348
	3		86,400	3	522
	4		49,900	4	491
	5		69,400	5	484
基礎	7		444,000		
総重量			727,800		

第3-6表 地盤ばね定数及び減衰係数 (鉛直方向)

			鉛直方向
基礎底面 鉛直ばね	K <sub>v</sub>	ばね定数 (kN/m)	3.55 × 10 <sup>9</sup>
		減衰係数 (kN・s/m)	3.79 × 10 <sup>7</sup>



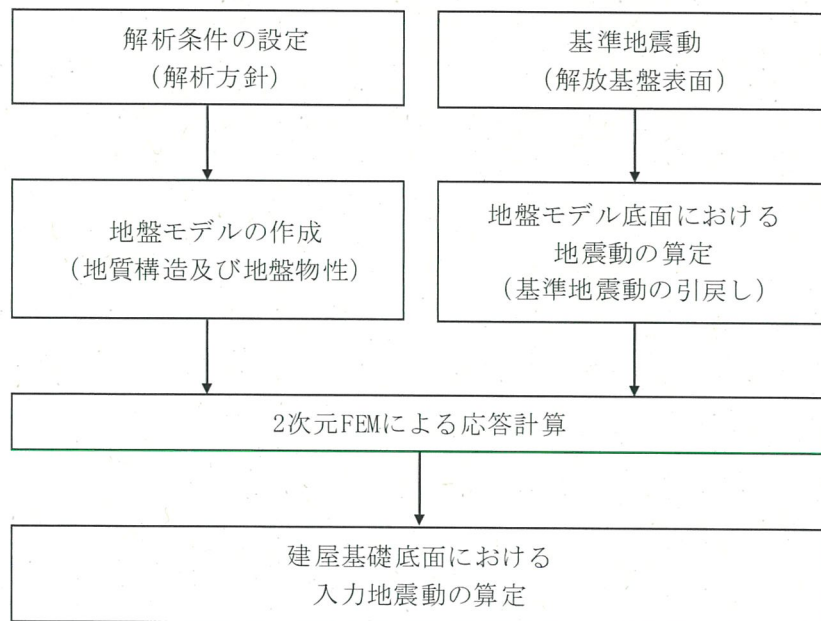
## 3.2 入力地震動

### 3.2.1 入力地震動の算定方法

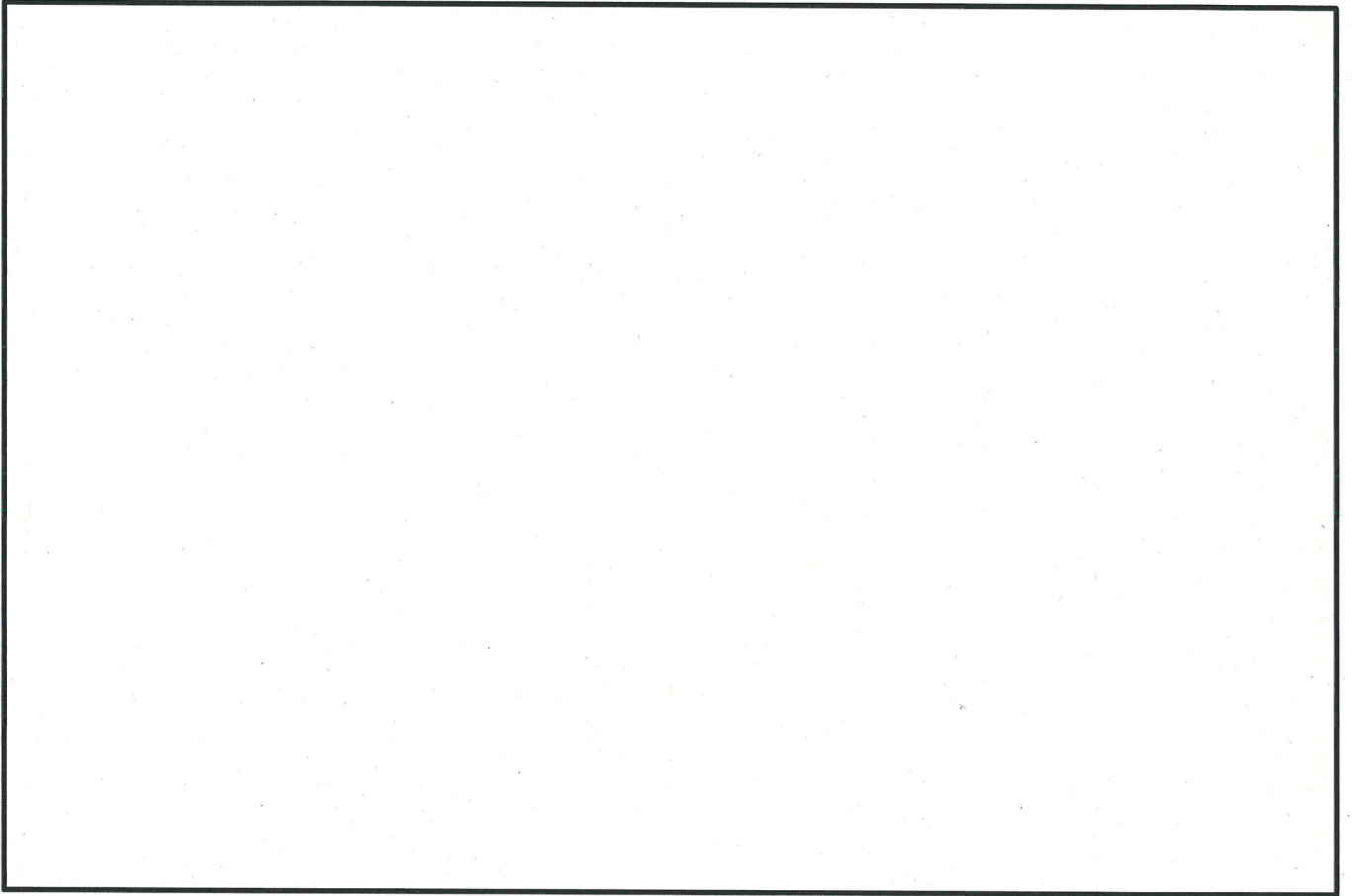
入力地震動は、資料9-6「地震応答解析の基本方針」の入力地震動の設定方針に基づき設定する。

入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 $S_s$ を、1次元波動論により地盤の解析モデル底面位置まで引戻し、2次元FEM解析により建屋基礎底面位置において算定した地震動とする。地盤モデルの要素分割は、解析用岩盤分類に基づき設定し、解析に使用する地盤物性は資料9-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき設定する。1次元波動論及び2次元FEM解析においては、それぞれ解析コード「LIQUEUR」及び「Super FLUSH」を用いる。解析コードの検証及び妥当性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。

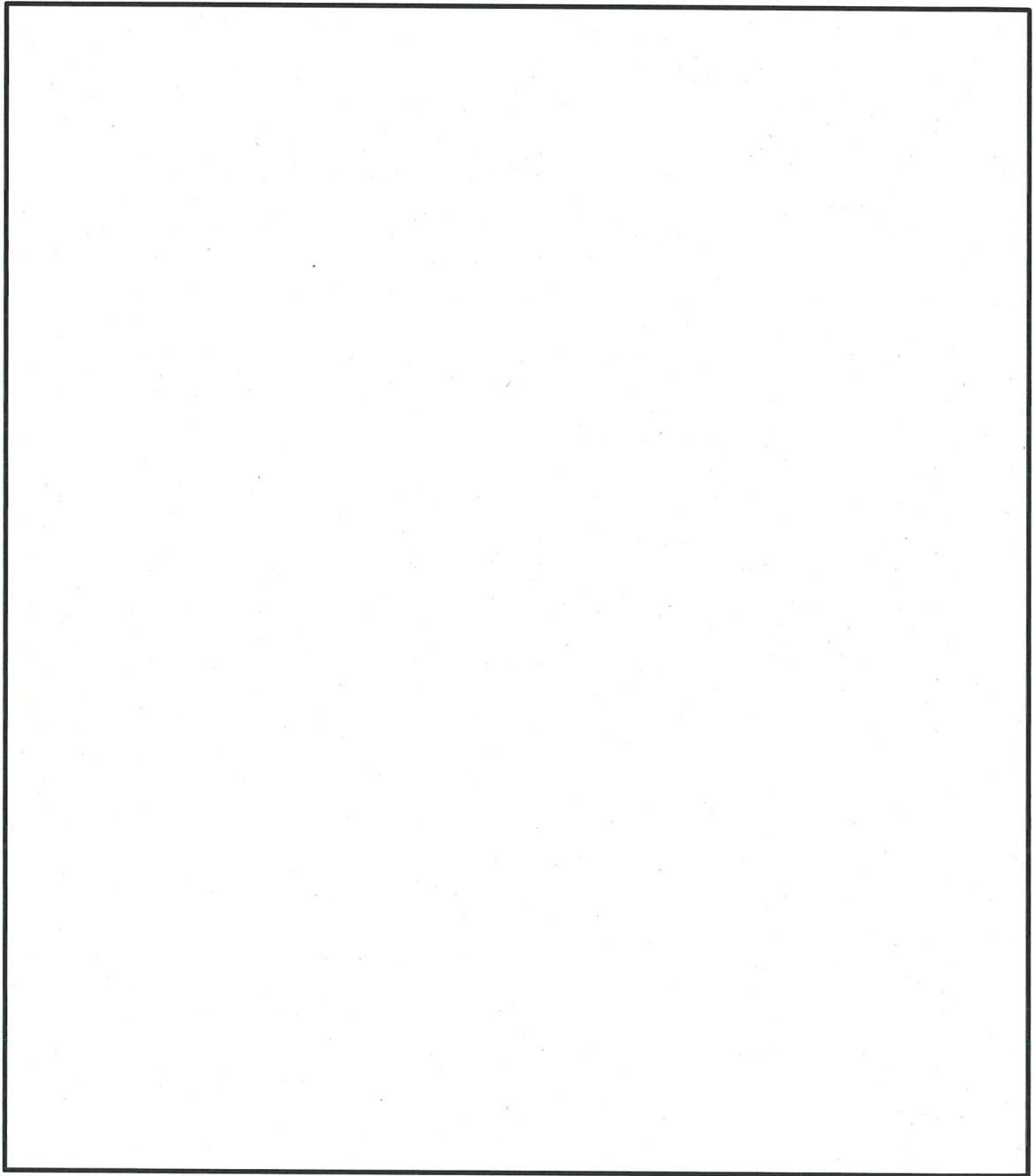
入力地震動の算定フローを第3-3図に、入力地震動算定の考え方を第3-4図に、2次元FEM解析用地盤モデルを第3-5図及び第3-6図に示す。



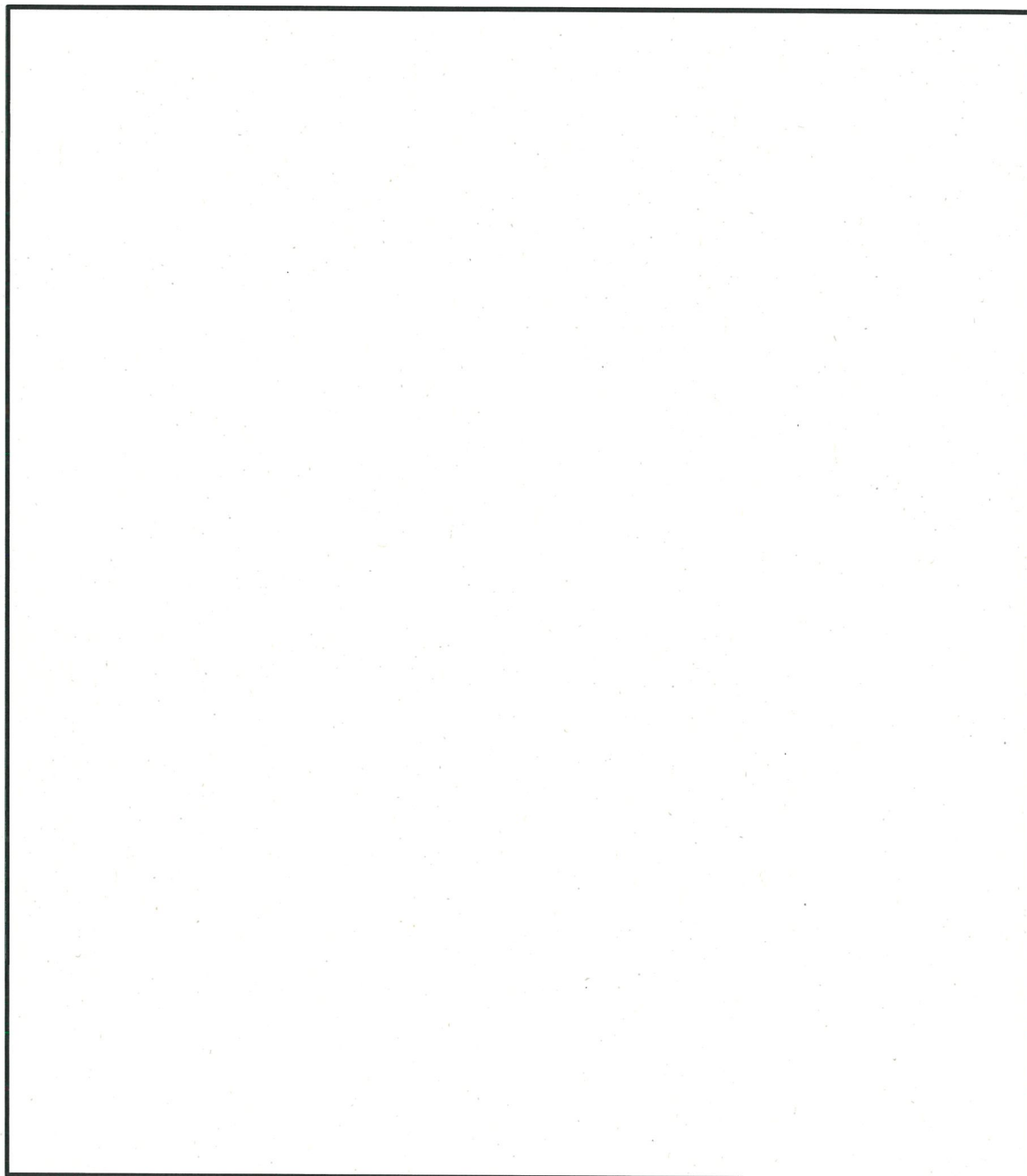
第3-3図 入力地震動の算定フロー



第 3-4 図 入力地震動算定の考え方



第 3-5 図 2次元 FEM 解析用地盤モデル (EW 断面)

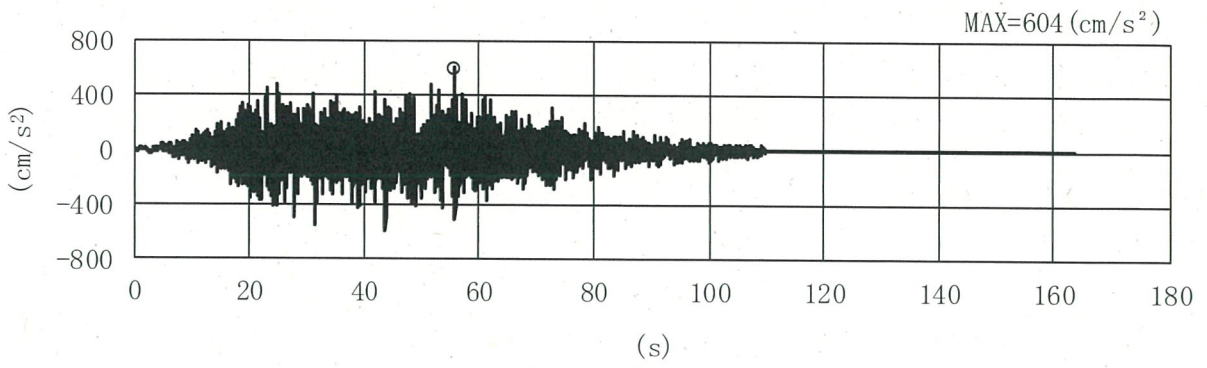


第 3-6 図 2次元 FEM 解析用地盤モデル (NS 断面)

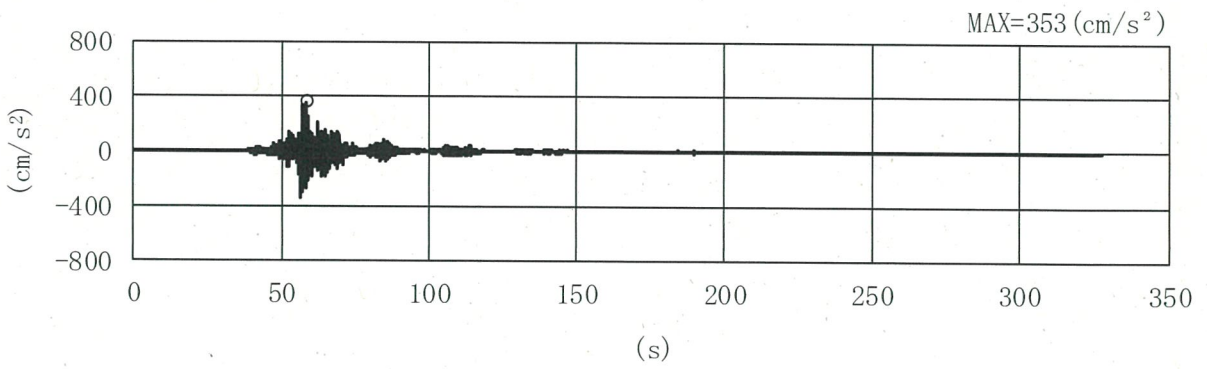
### 3.2.2 入力地震動

使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎底面位置  における入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを第3-7図～第3-14図に示す。

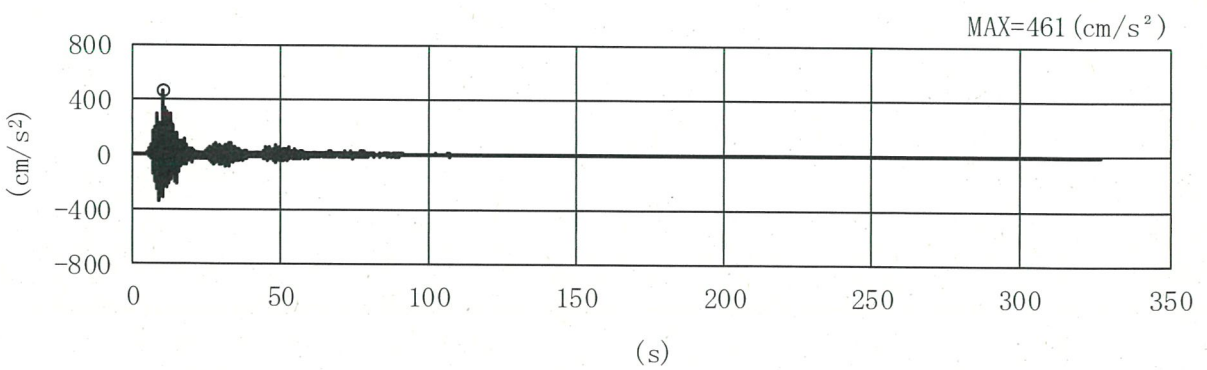
なお、基準地震動 $S_s$ のうち、 $S_s-1$ 、 $S_s-3$ については、入力地震動算定時の位相反転を考慮したケースを $S_s-1'$ 、 $S_s-3'$ として示す。



(a) Ss-1

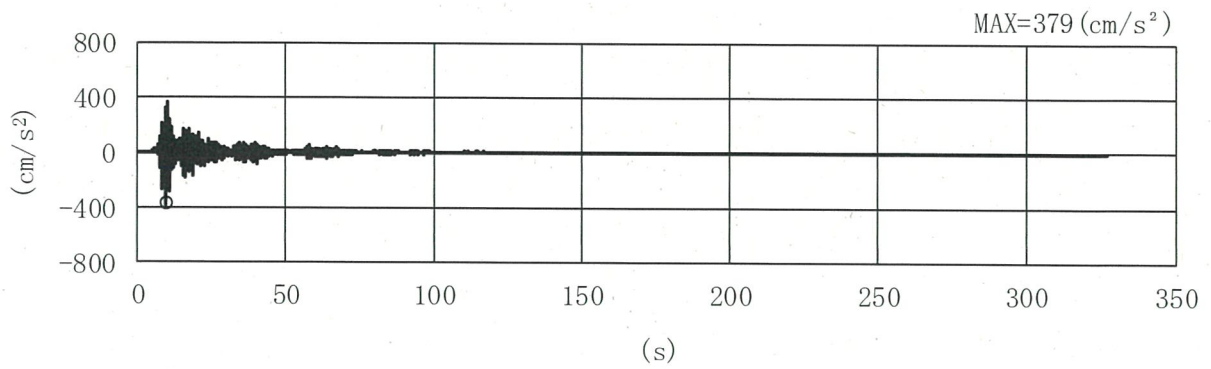


(b) Ss-2-1

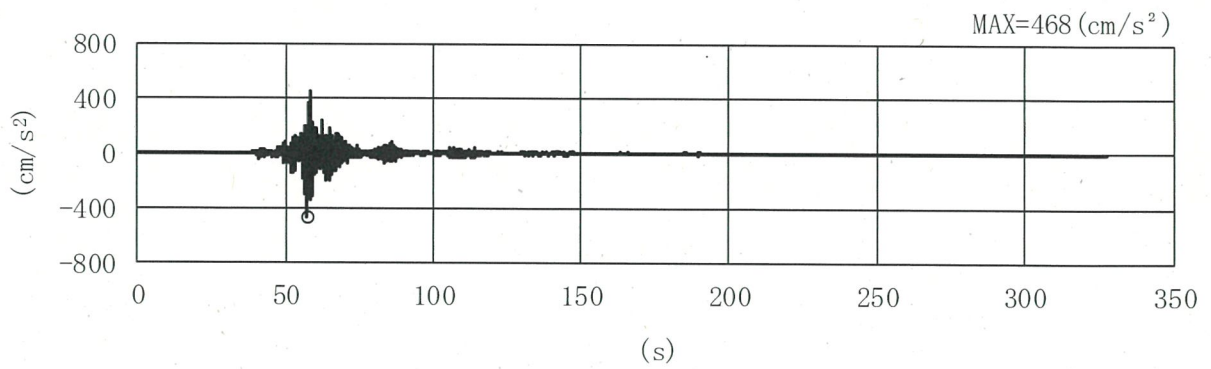


(c) Ss-2-2

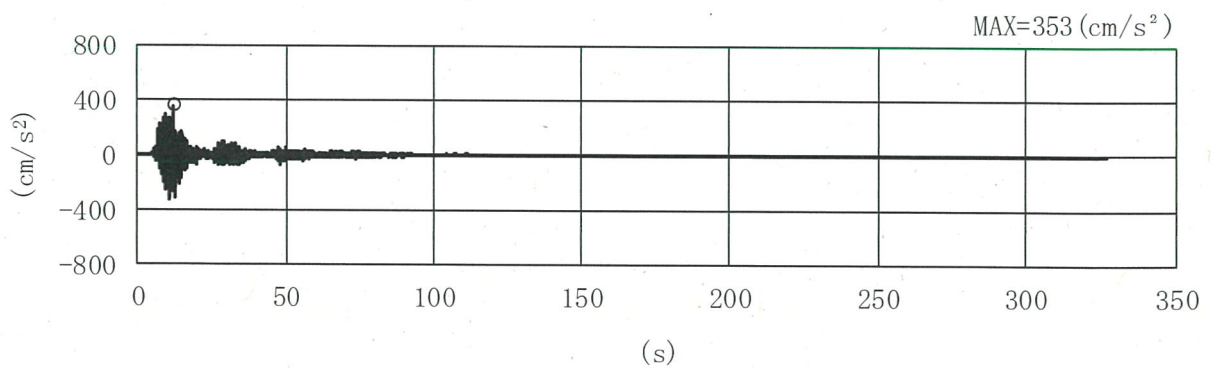
第 3-7 图 (1/6) 加速度時刻歴波形 (EW 方向 : Ss)



(d) Ss-2-3



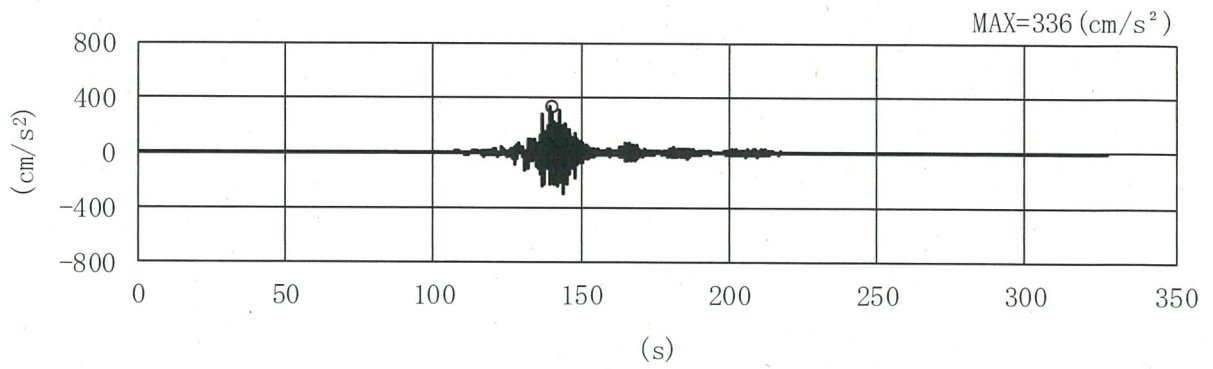
(e) Ss-2-4



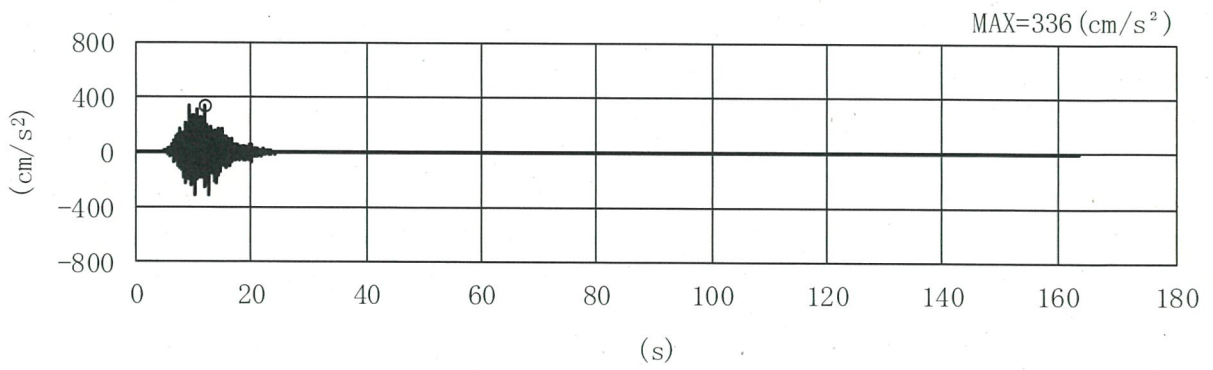
(f) Ss-2-5

第 3-7 図 (2/6) 加速度時刻歴波形 (EW 方向 : Ss)

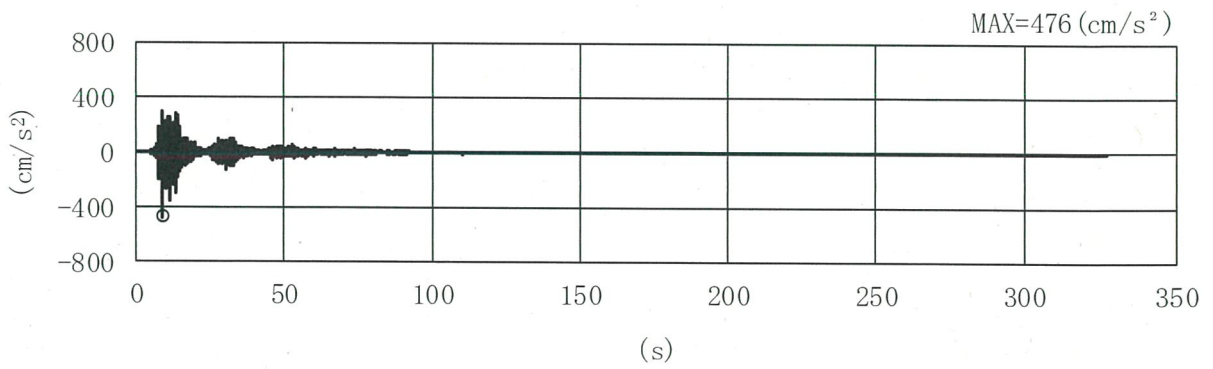




(g) Ss-2-6

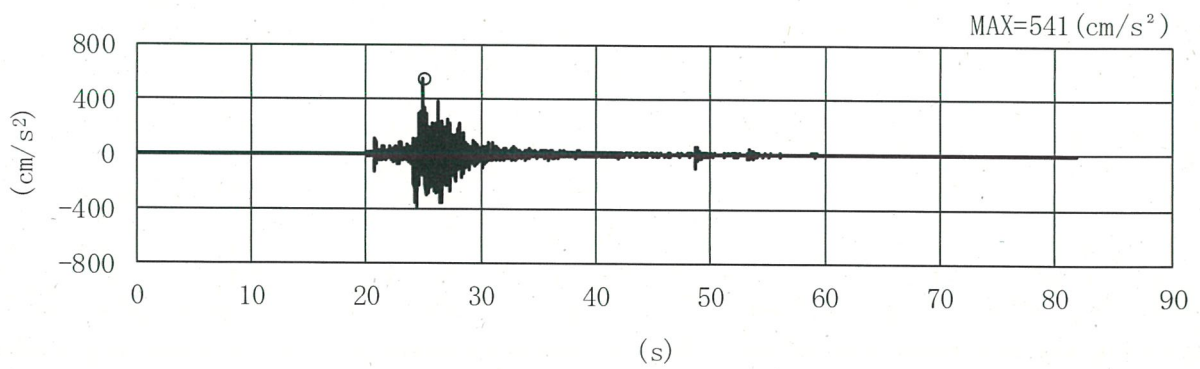
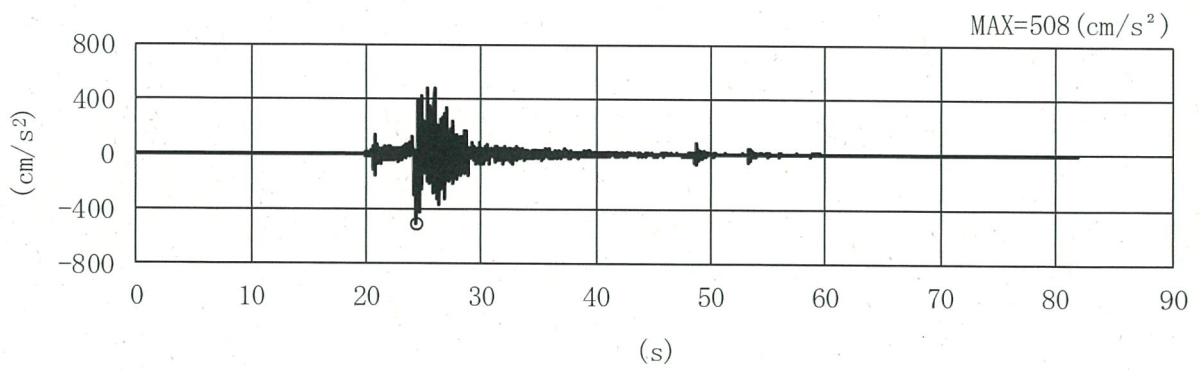
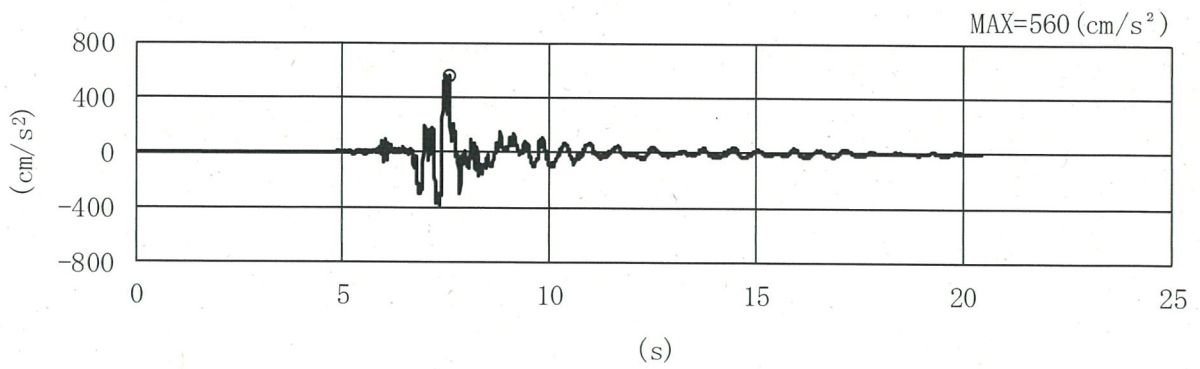


(h) Ss-2-7

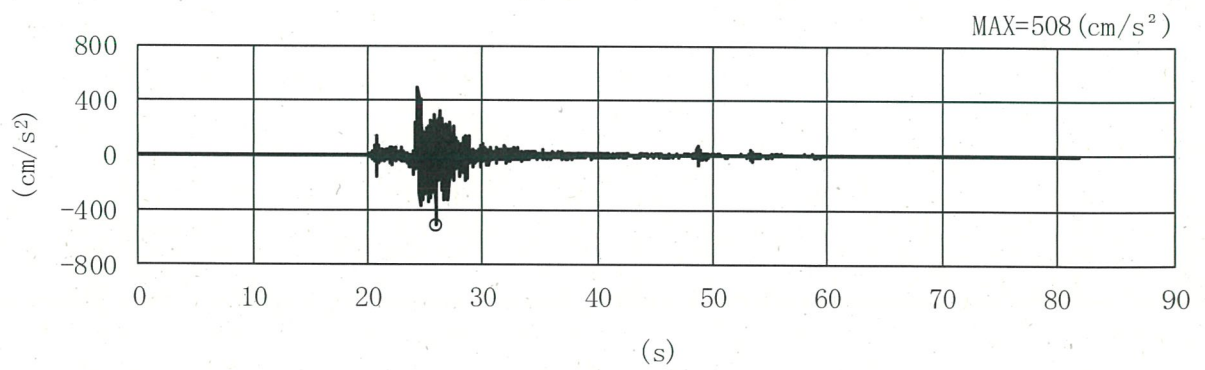
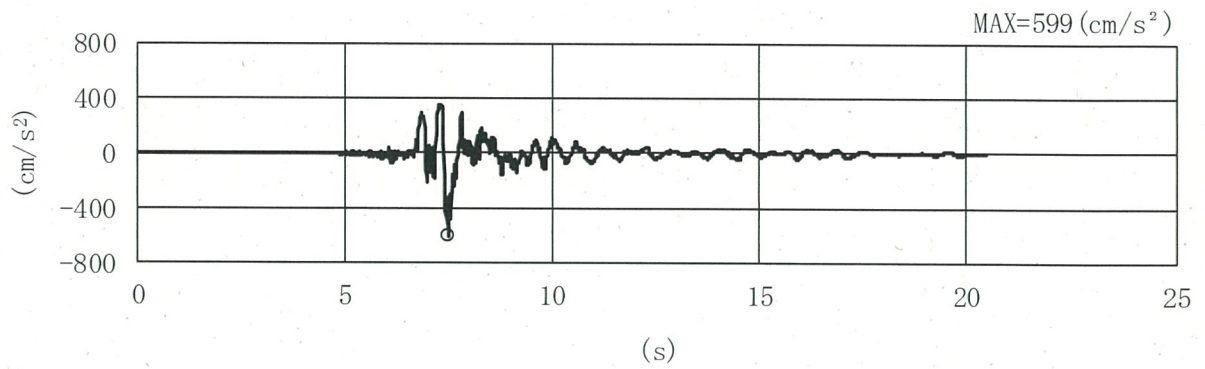
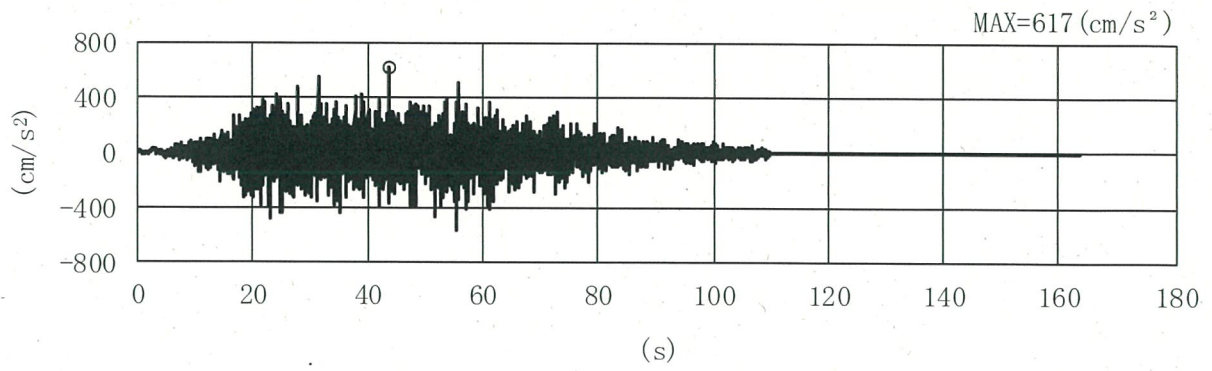


(i) Ss-2-8

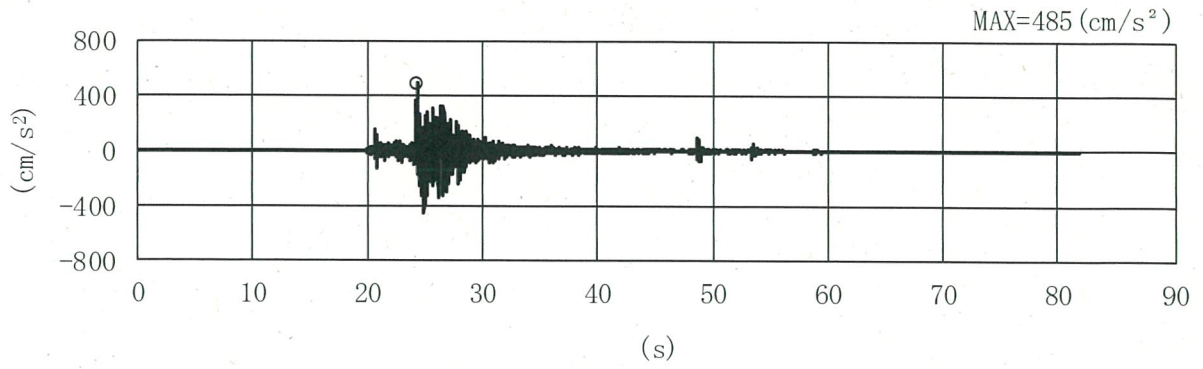
第 3-7 図 (3/6) 加速度時刻歴波形 (EW 方向 : Ss)



第 3-7 図 (4/6) 加速度時刻歴波形 (EW 方向 : Ss)

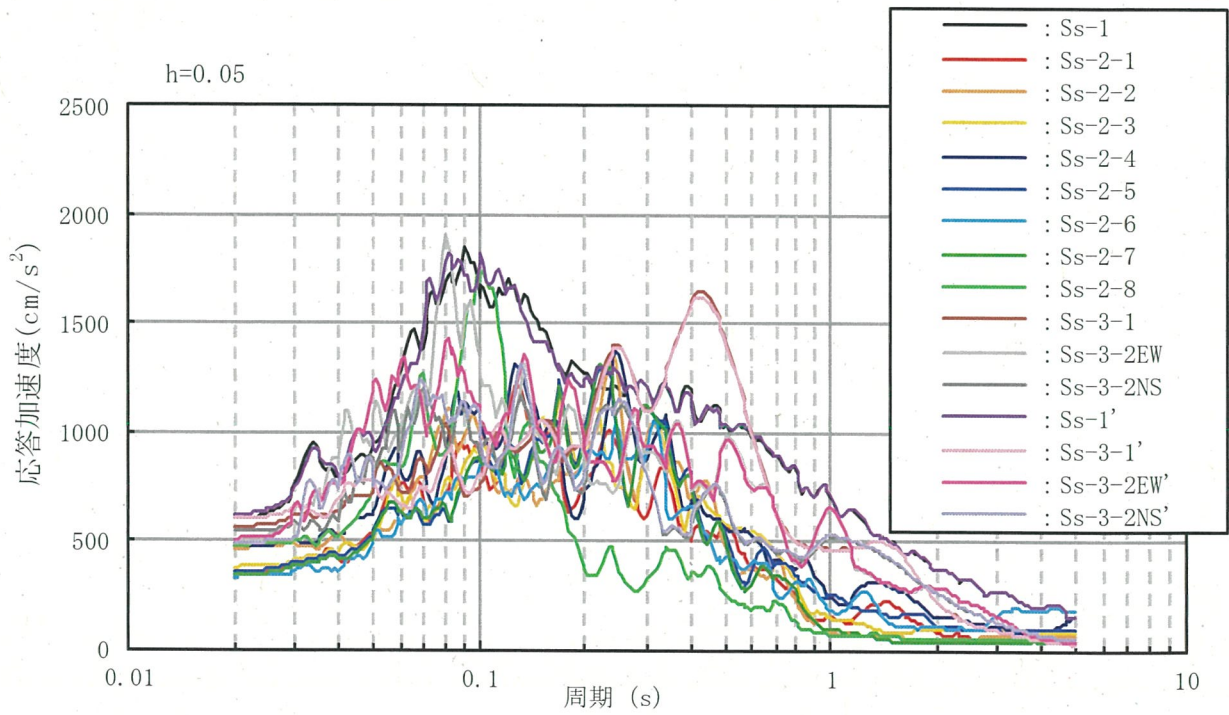


第 3-7 图 (5/6) 加速度時刻歴波形 (EW 方向 : Ss)

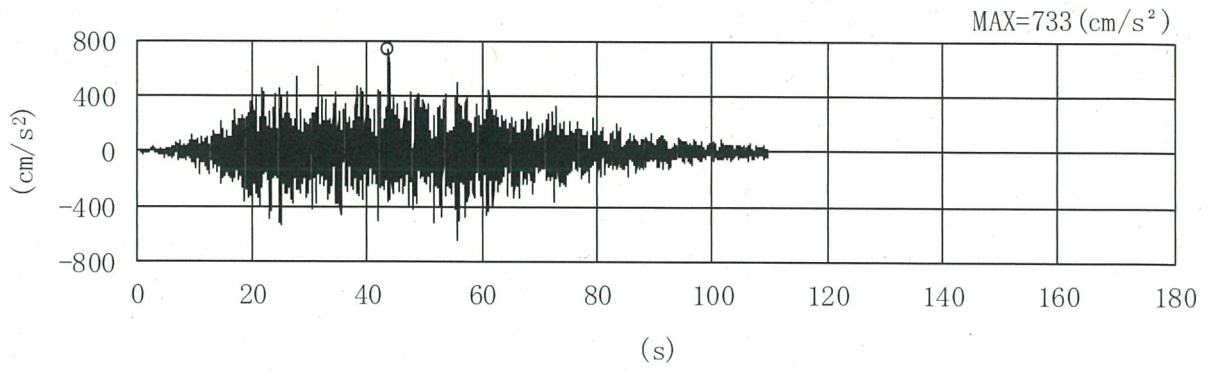


(p) Ss-3-2NS'

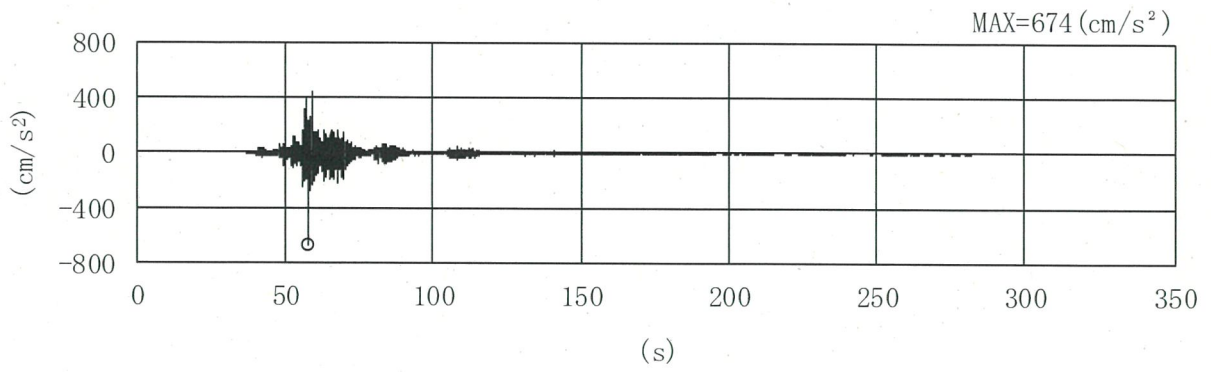
第 3-7 図 (6/6) 加速度時刻歴波形 (EW 方向 : Ss)



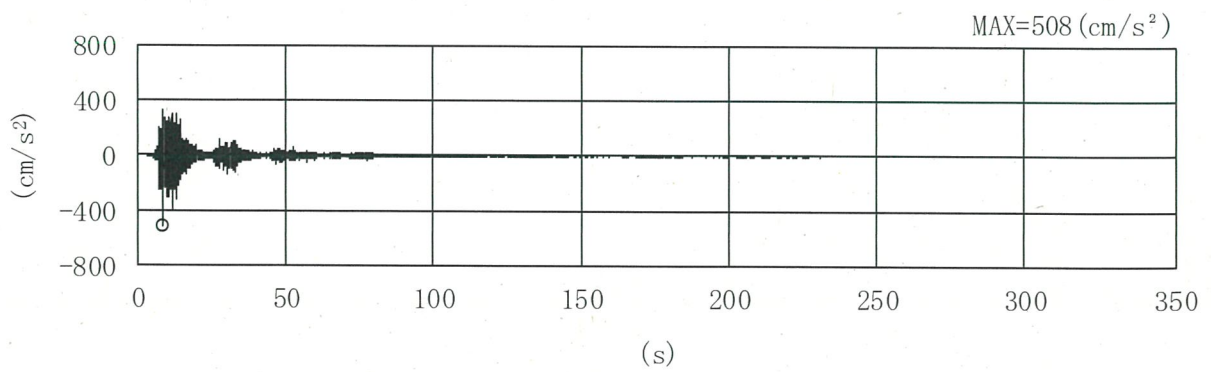
第 3-8 図 加速度応答スペクトル (EW 方向 : Ss)



(a) Ss-1



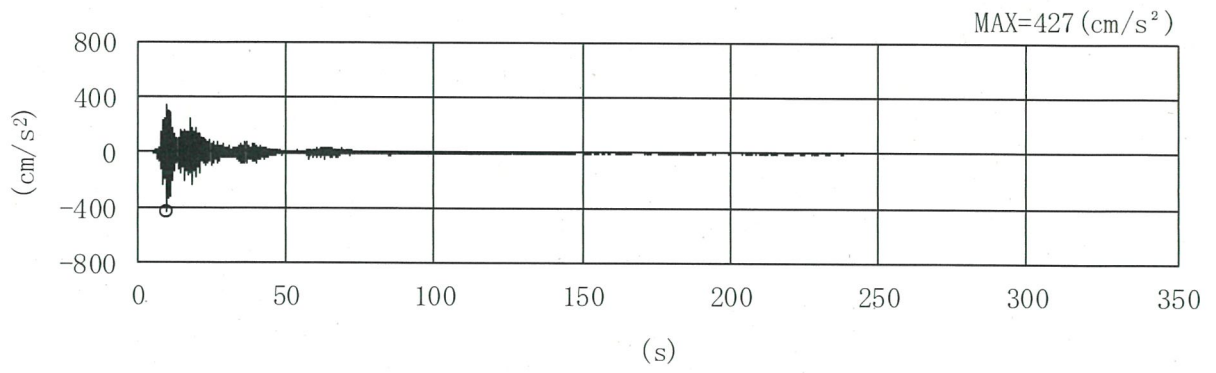
(b) Ss-2-1



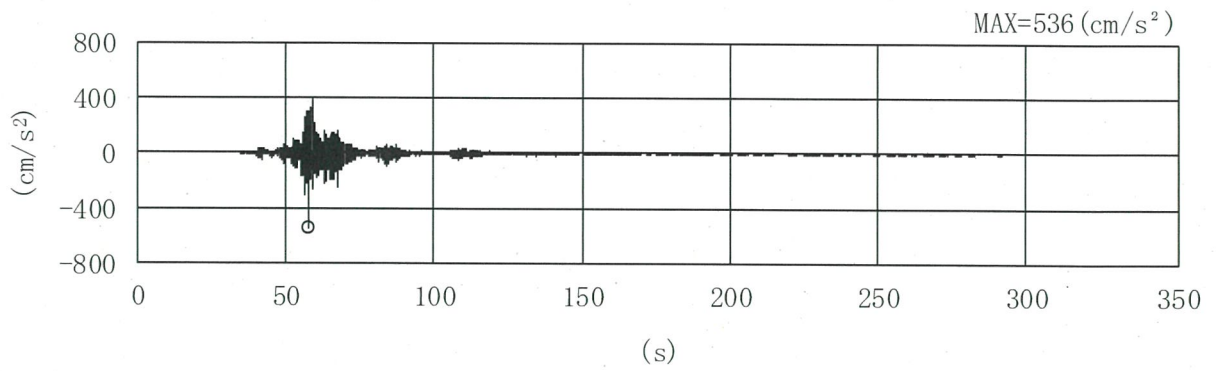
(c) Ss-2-2

第 3-9 图 (1/6) 加速度時刻歴波形 (NS 方向 : Ss)

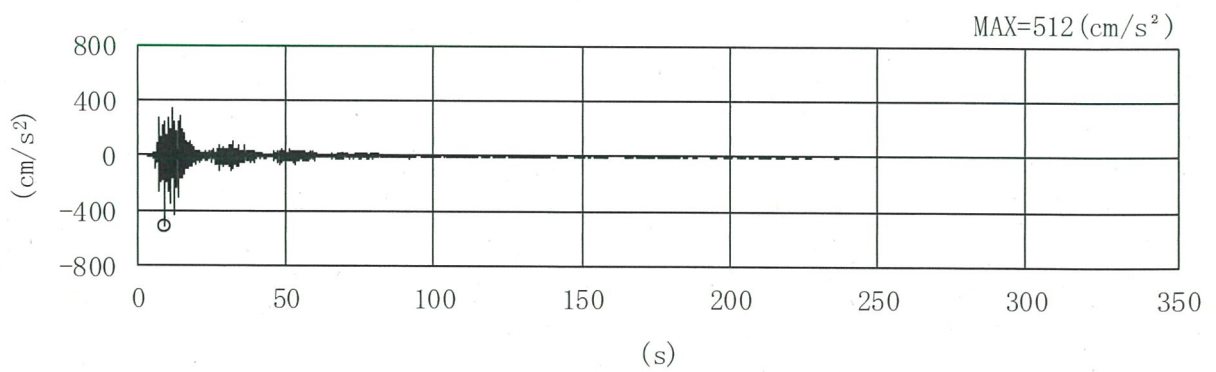




(d) Ss-2-3

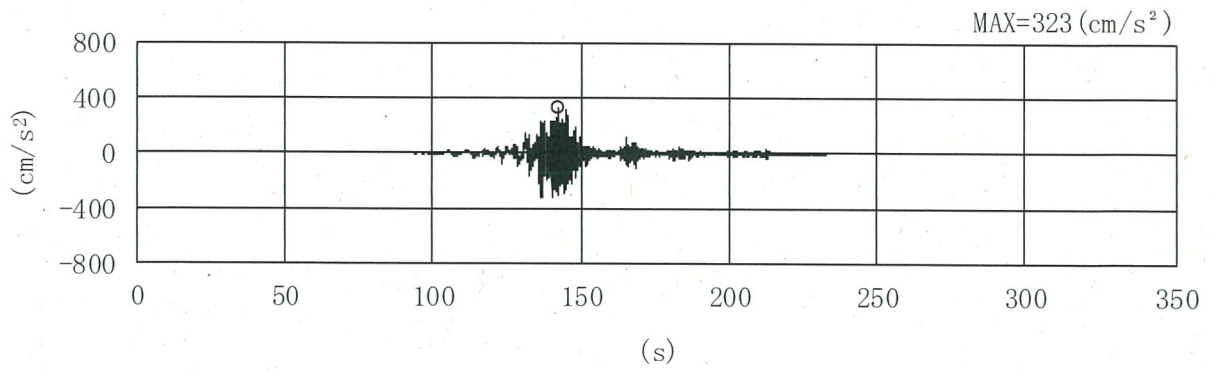


(e) Ss-2-4

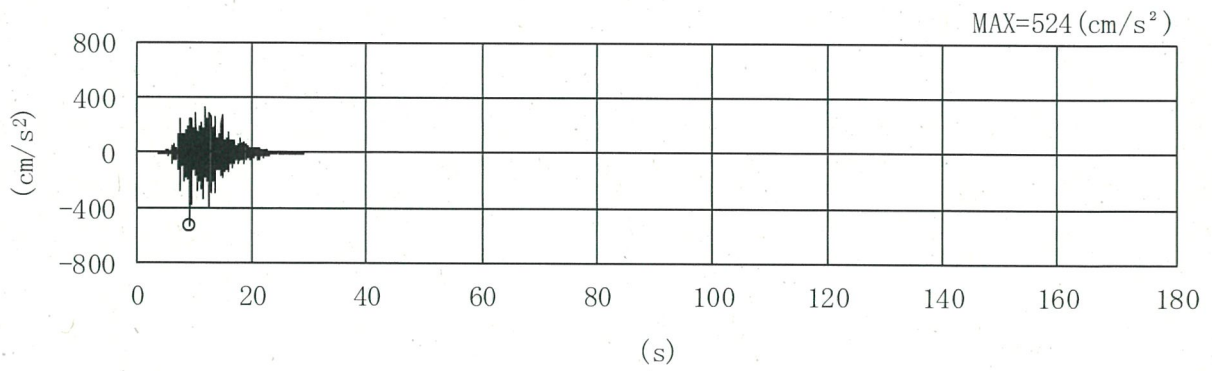


(f) Ss-2-5

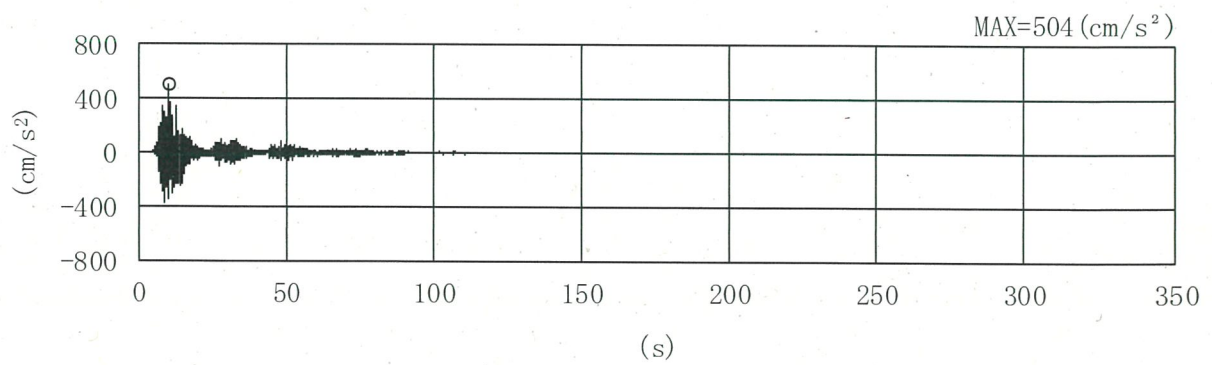
第 3-9 图 (2/6) 加速度時刻歴波形 (NS 方向 : Ss)



(g) Ss-2-6

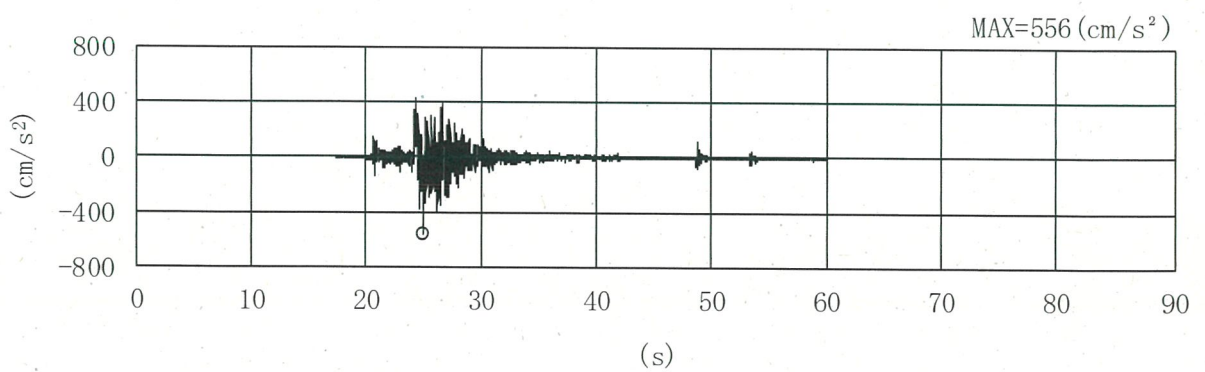
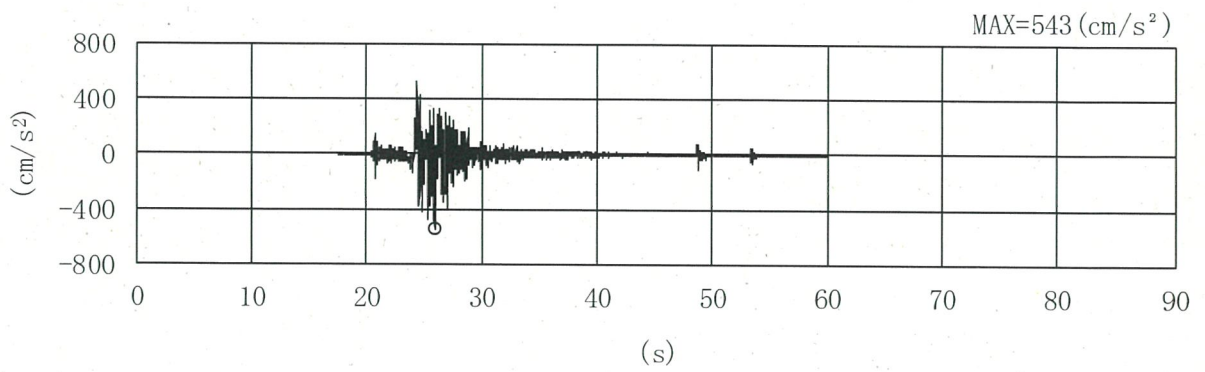
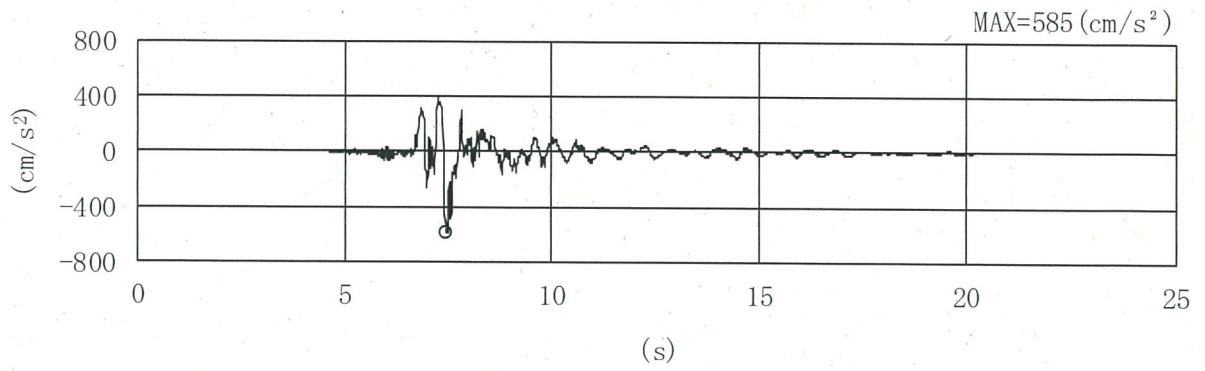


(h) Ss-2-7



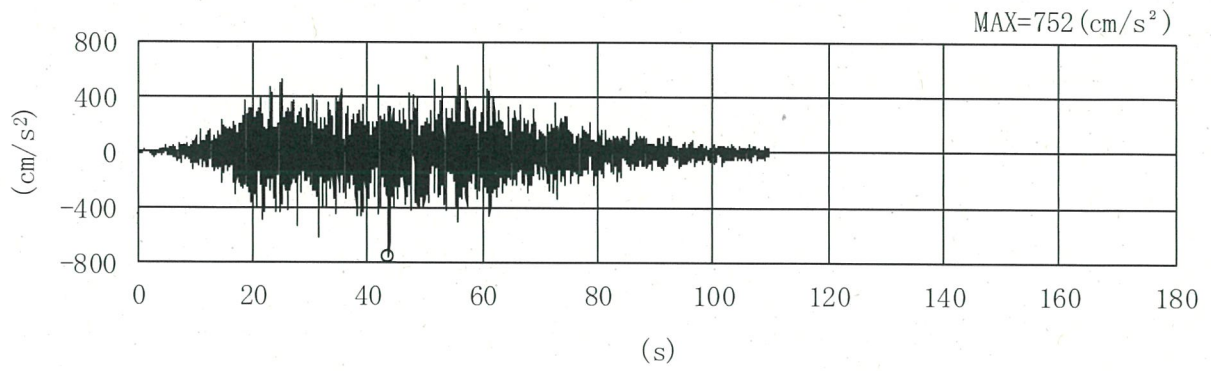
(i) Ss-2-8

第 3-9 图 (3/6) 加速度時刻歴波形 (NS 方向 : Ss)

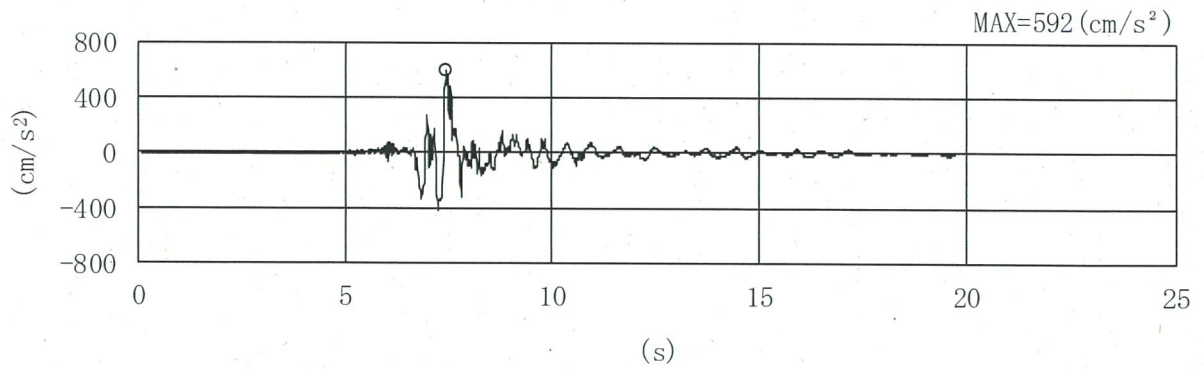


第 3-9 图 (4/6) 加速度時刻歴波形 (NS 方向 : S<sub>S</sub>)

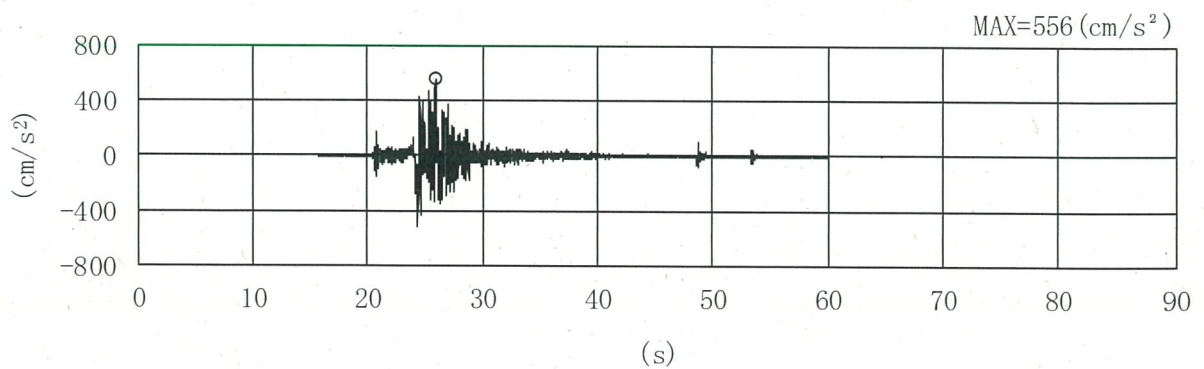




(m) Ss-1'

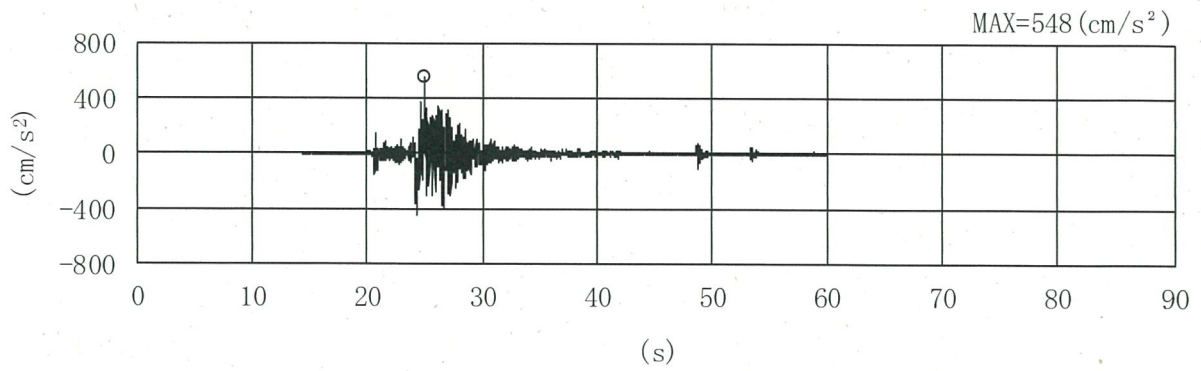


(n) Ss-3-1'



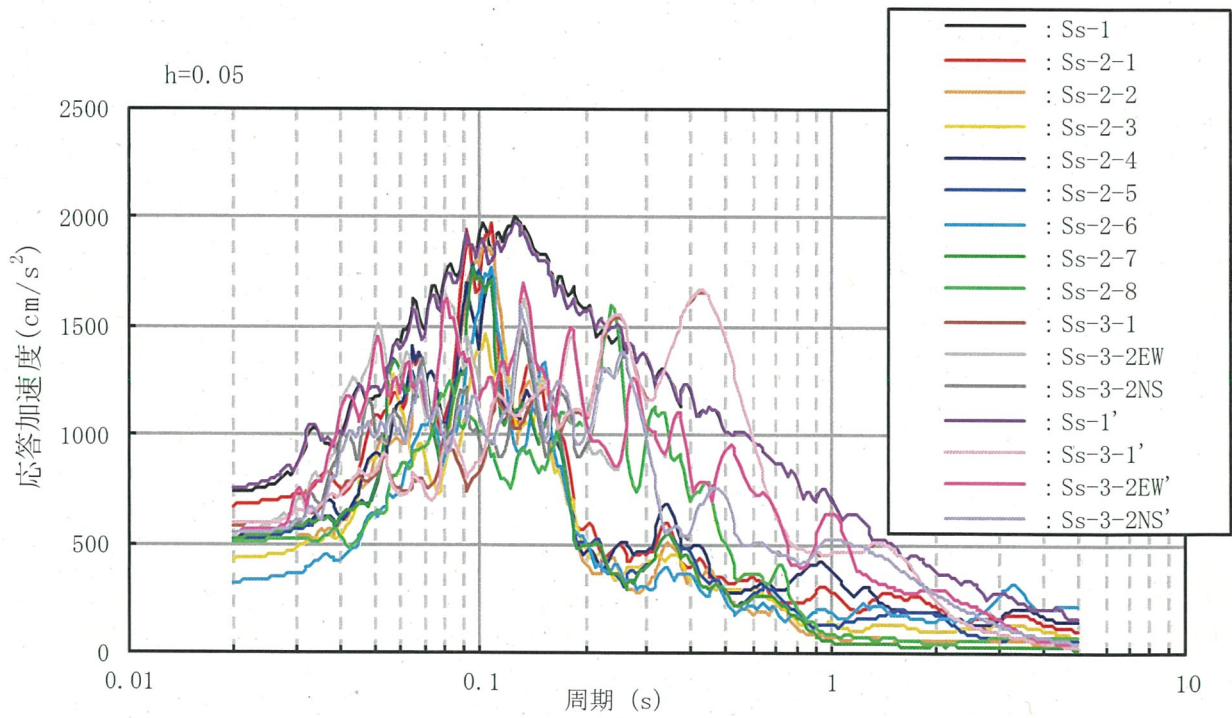
(o) Ss-3-2EW'

第 3-9 图 (5/6) 加速度時刻歴波形 (NS 方向 : Ss)

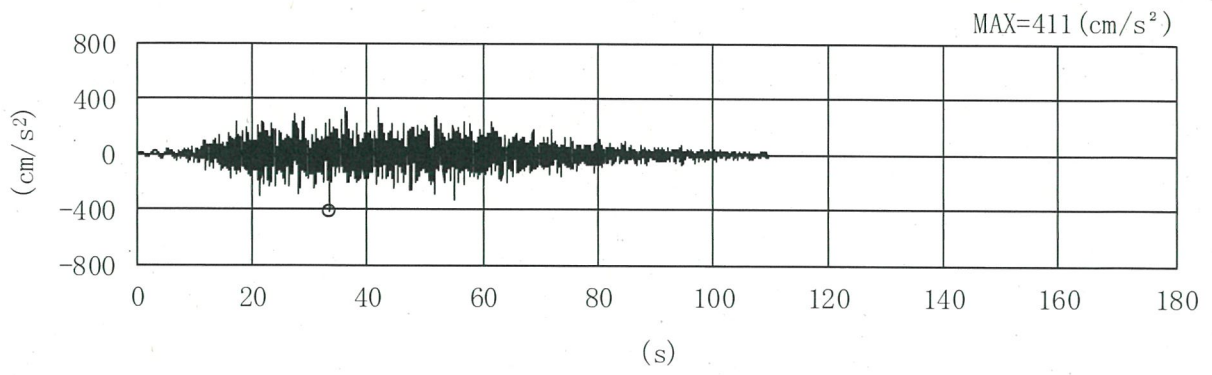


(p) Ss-3-2NS'

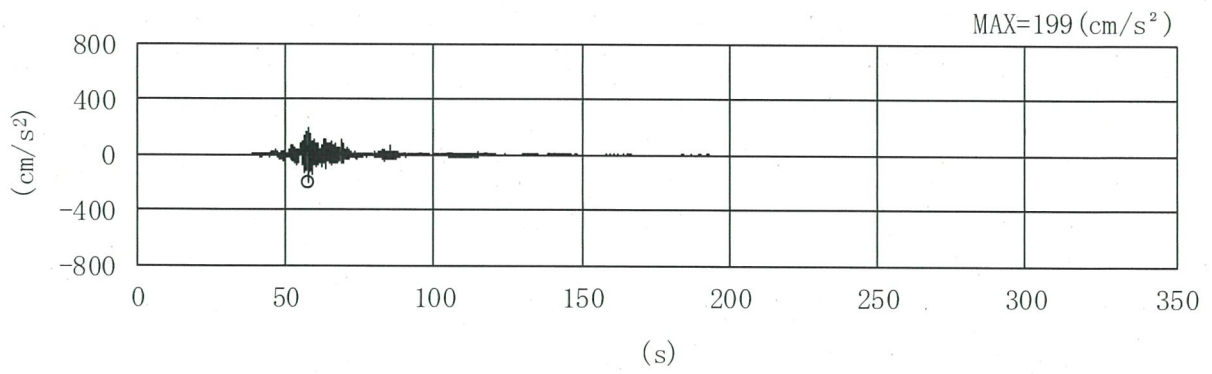
第 3-9 図 (6/6) 加速度時刻歴波形 (NS 方向 : Ss)



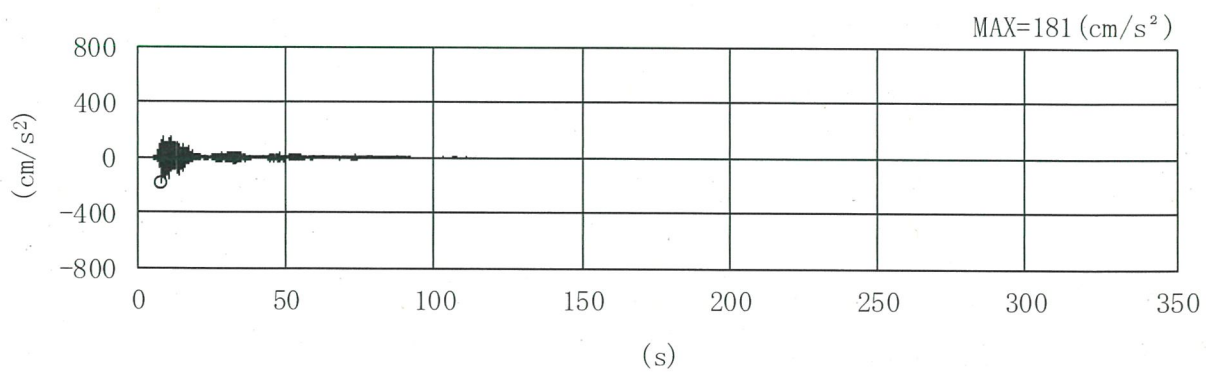
第 3-10 図 加速度応答スペクトル (NS 方向 : Ss)



(a) Ss-1

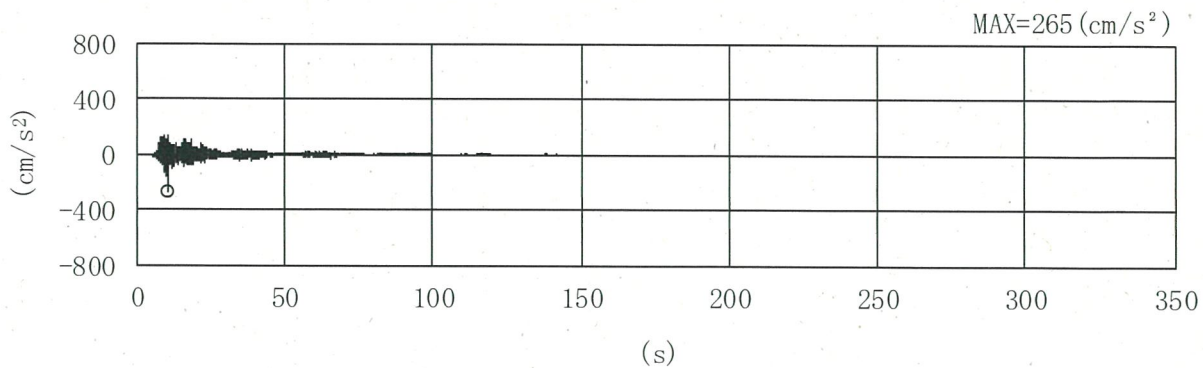


(b) Ss-2-1

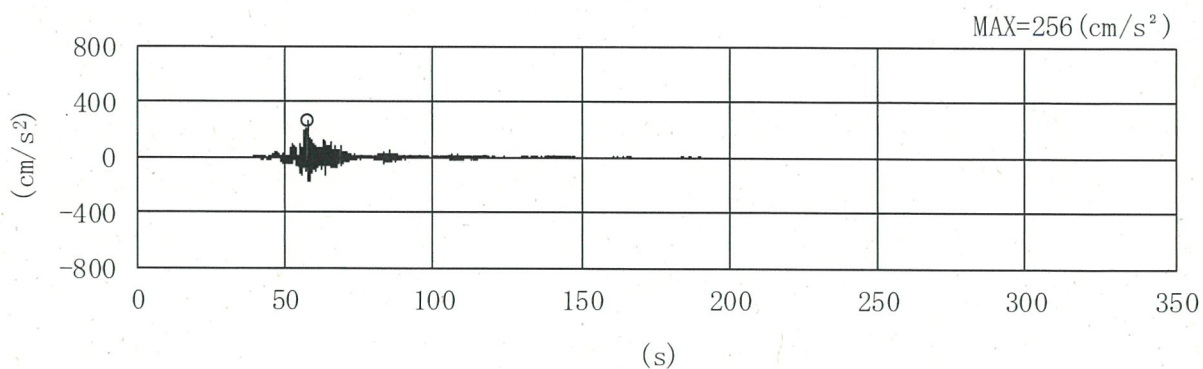


(c) Ss-2-2

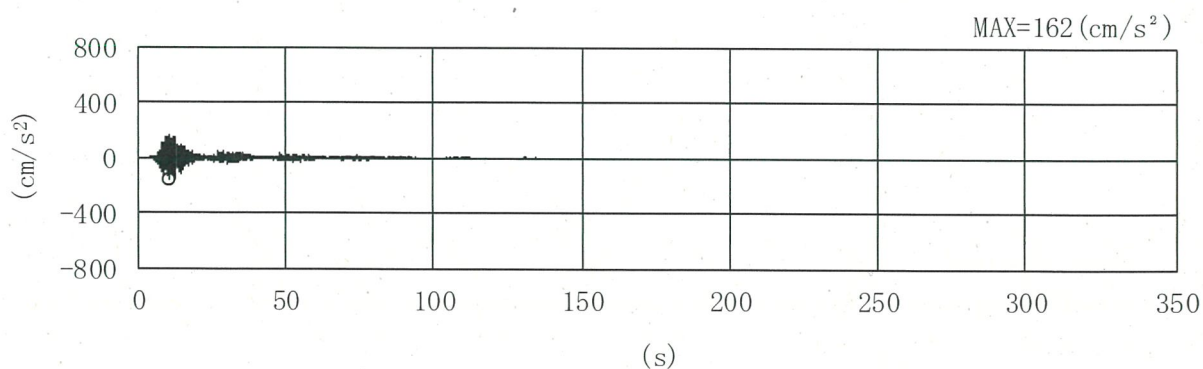
第3-11図 (1/6) 加速度時刻歴波形 (鉛直方向 (EW断面) : Ss)



(d) Ss-2-3

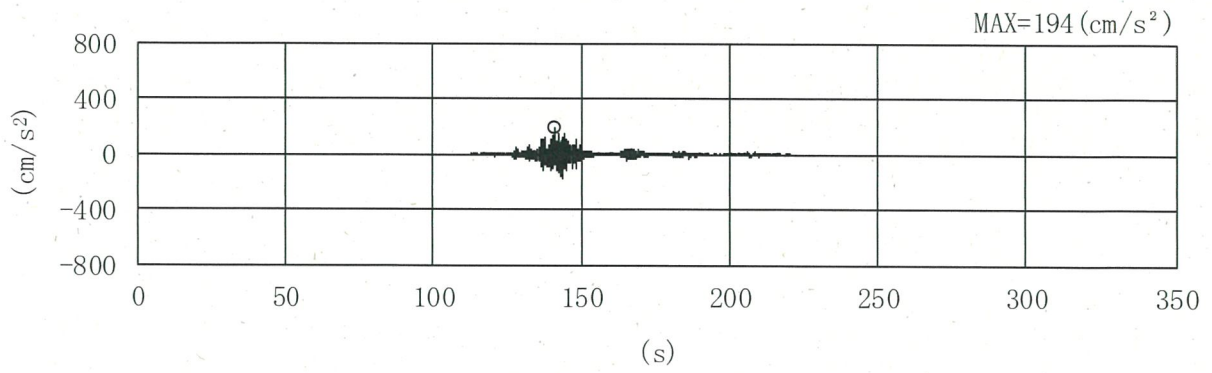


(e) Ss-2-4

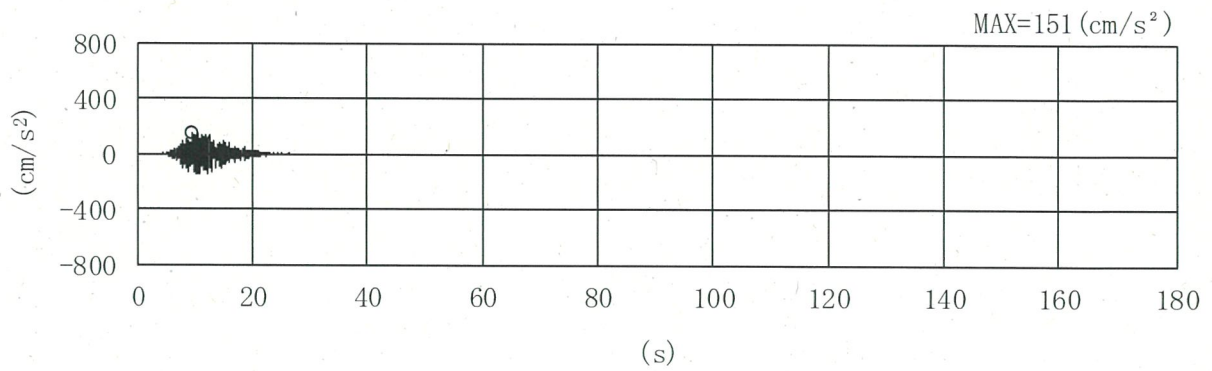


(f) Ss-2-5

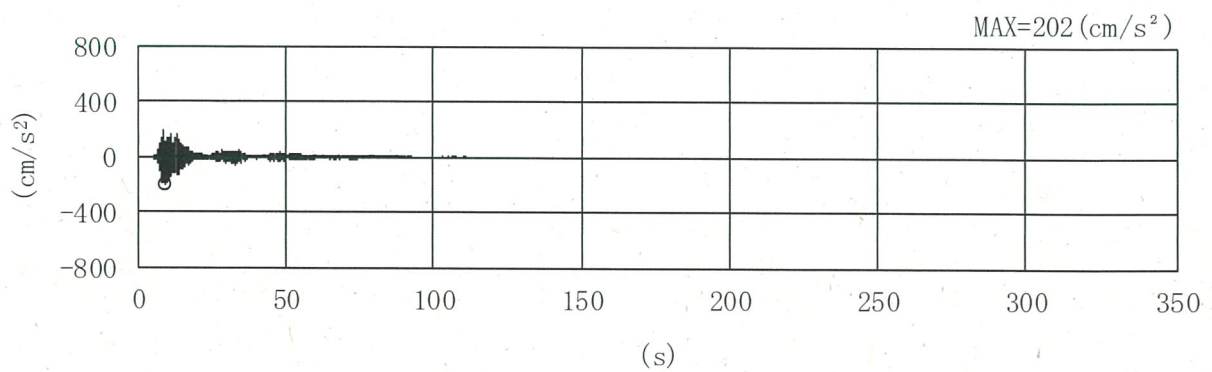
第3-11 図 (2/6) 加速度時刻歴波形 (鉛直方向 (EW 断面) : Ss)



(g) Ss-2-6



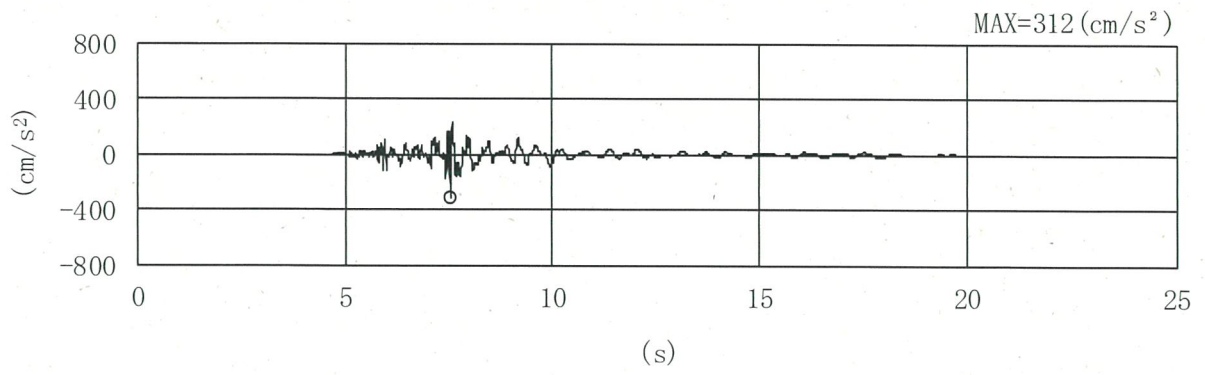
(h) Ss-2-7



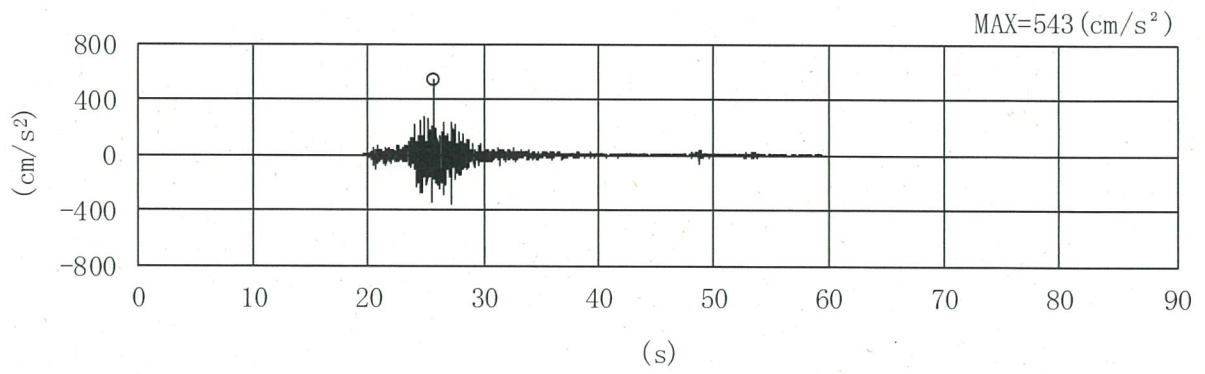
(i) Ss-2-8

第3-11図 (3/6) 加速度時刻歴波形 (鉛直方向 (EW断面) : Ss)

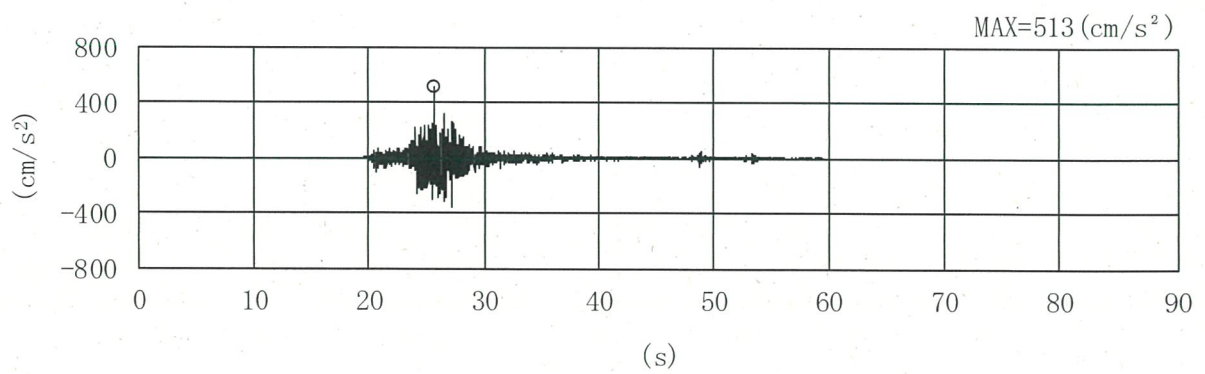




(j) Ss-3-1

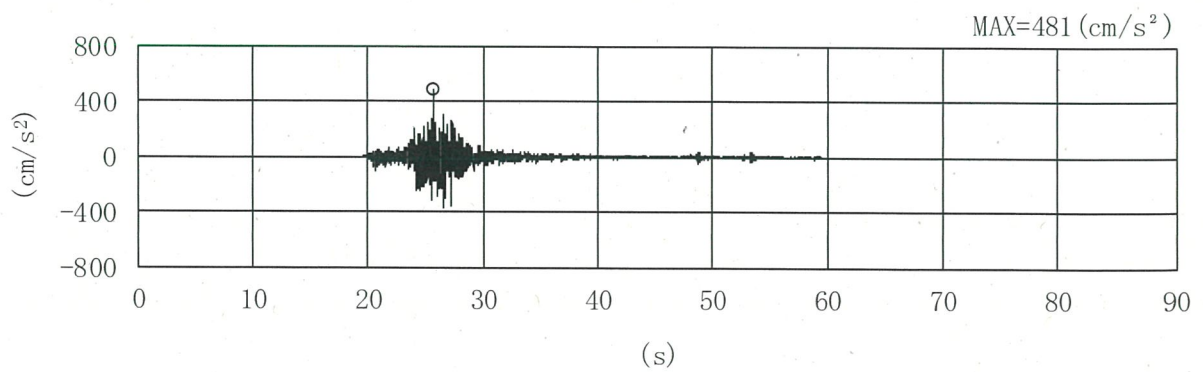
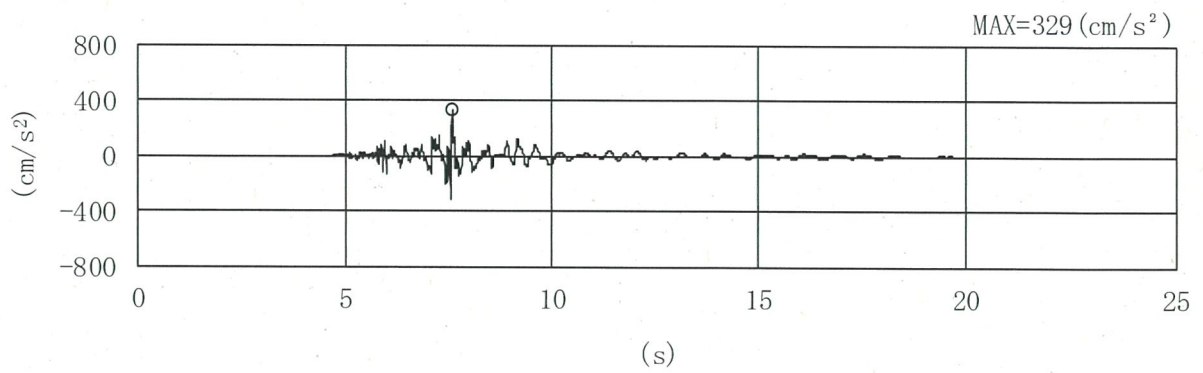
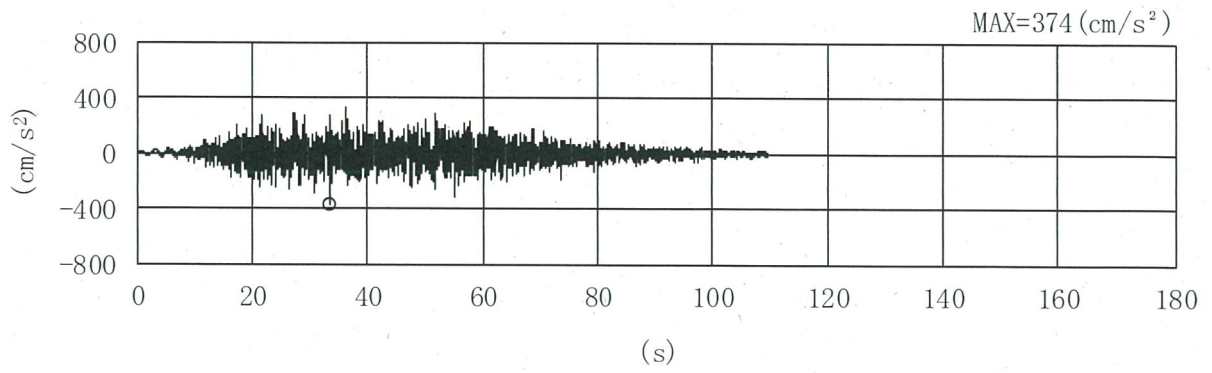


(k) Ss-3-2EW

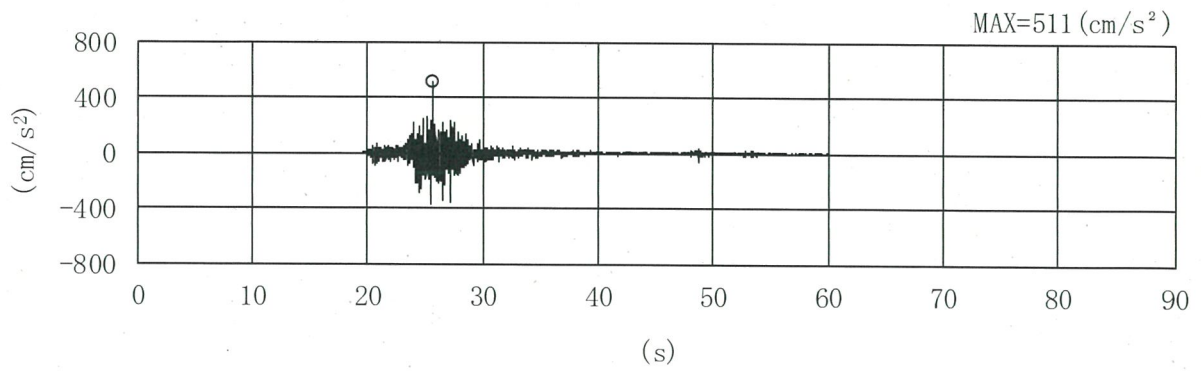


(l) Ss-3-2NS

第 3-11 図 (4/6) 加速度時刻歴波形 (鉛直方向 (EW 断面) : Ss)

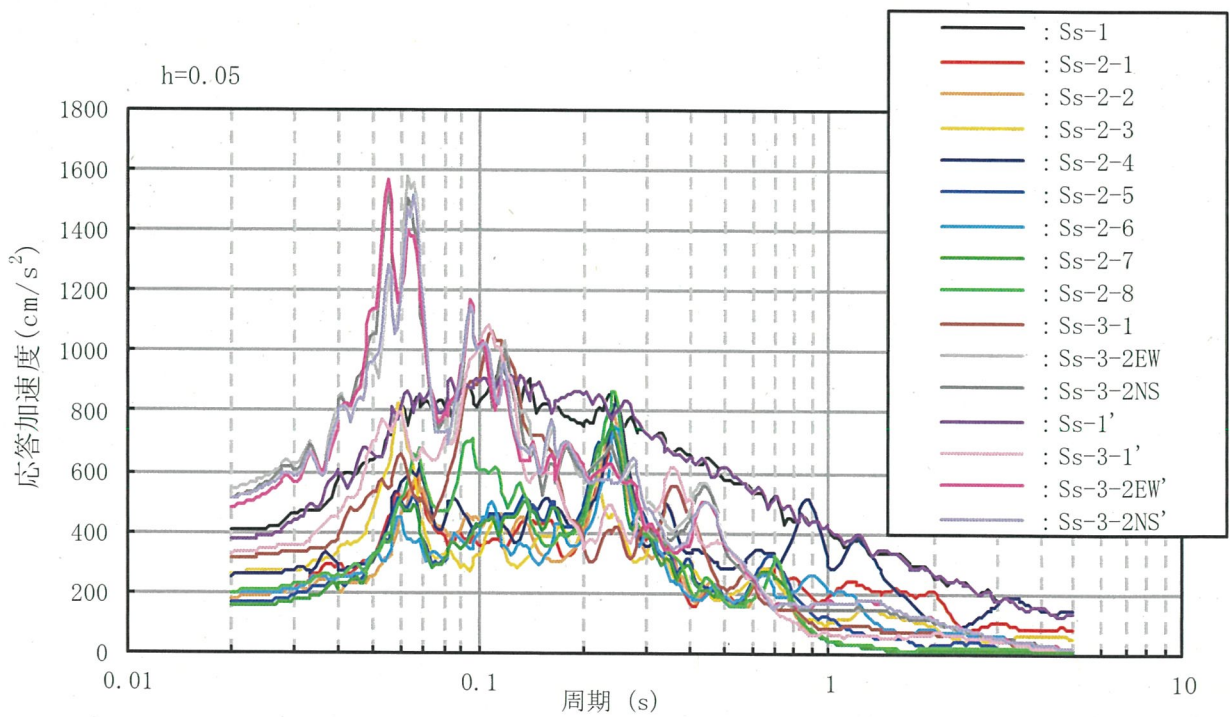


第3-11 図 (5/6) 加速度時刻歴波形 (鉛直方向 (EW 断面) : Ss)



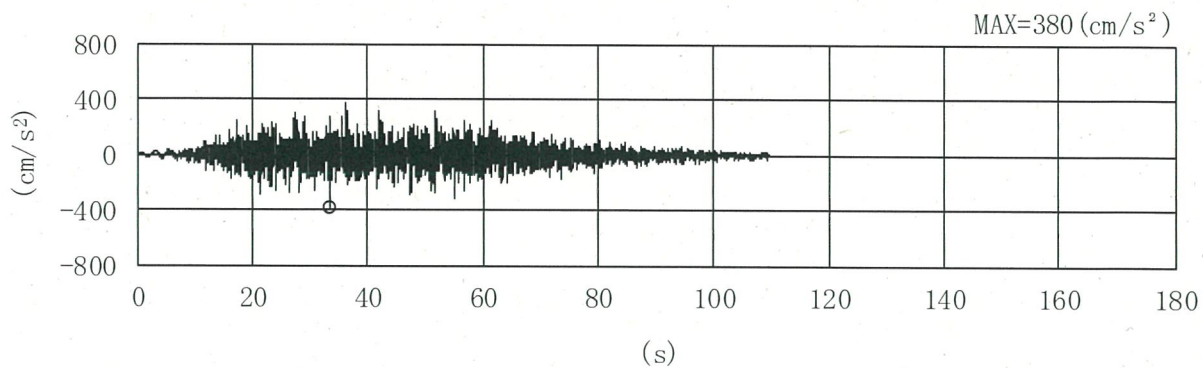
(p) S<sub>s</sub>-3-2NS'

第 3-11 図 (6/6) 加速度時刻歴波形 (鉛直方向 (EW 断面) : S<sub>s</sub>)

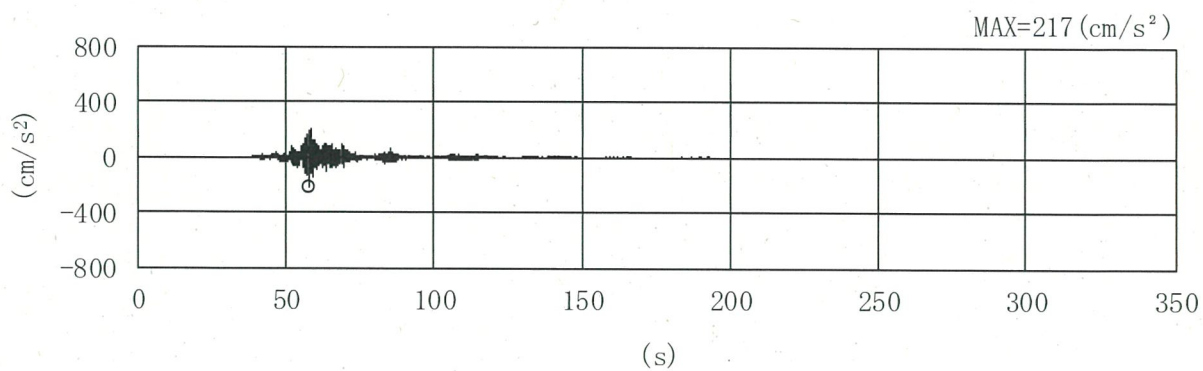


第 3-12 図 加速度応答スペクトル (鉛直方向 (EW 断面) : S<sub>s</sub>)

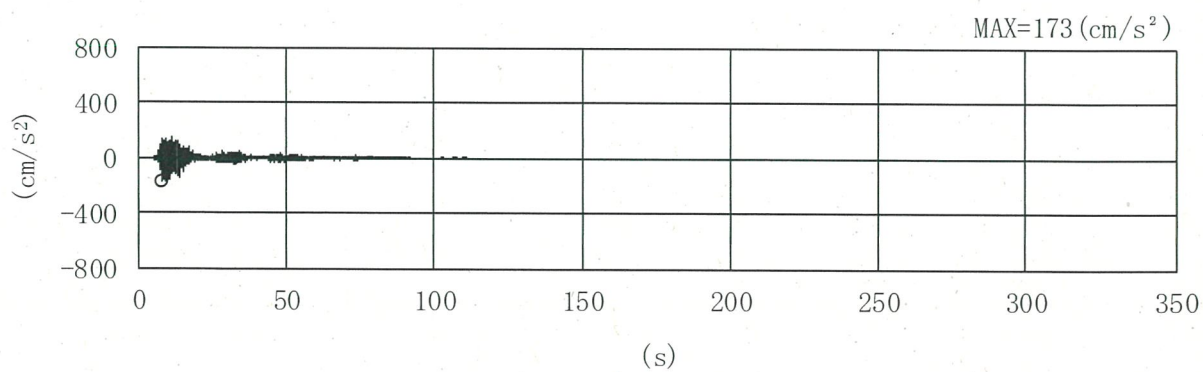




(a) Ss-1

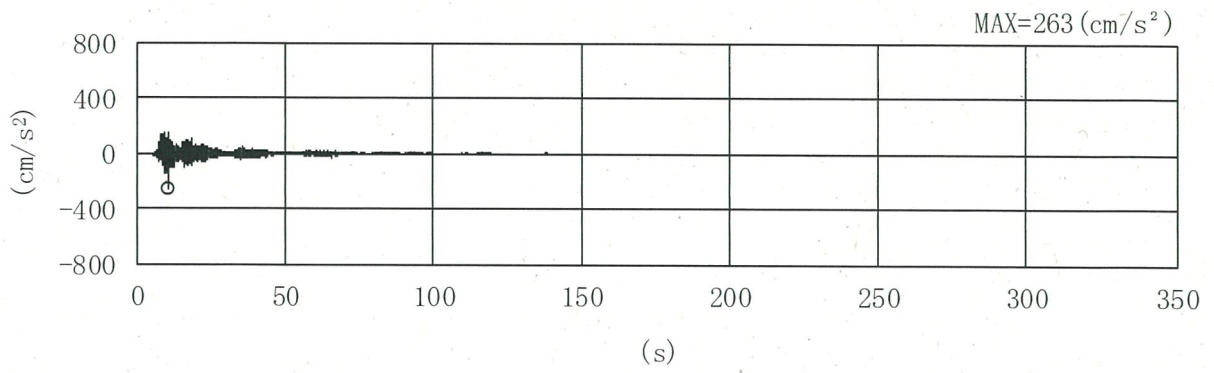


(b) Ss-2-1

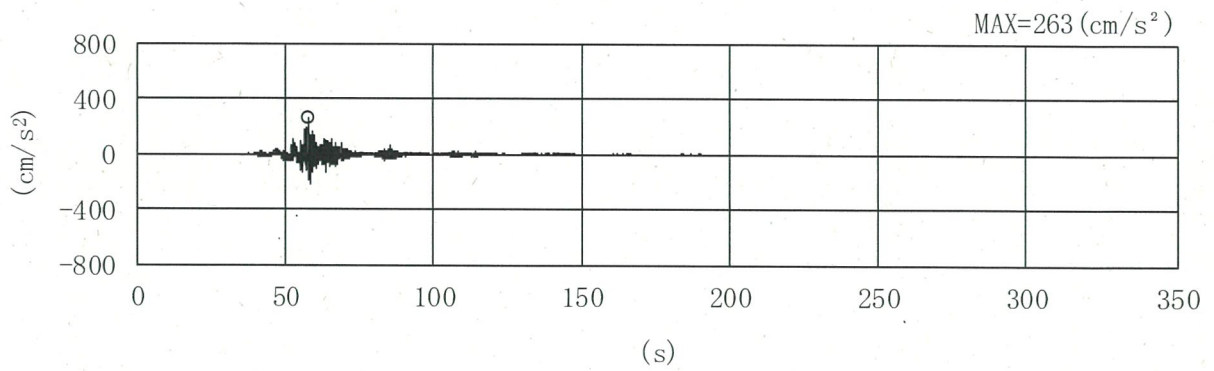


(c) Ss-2-2

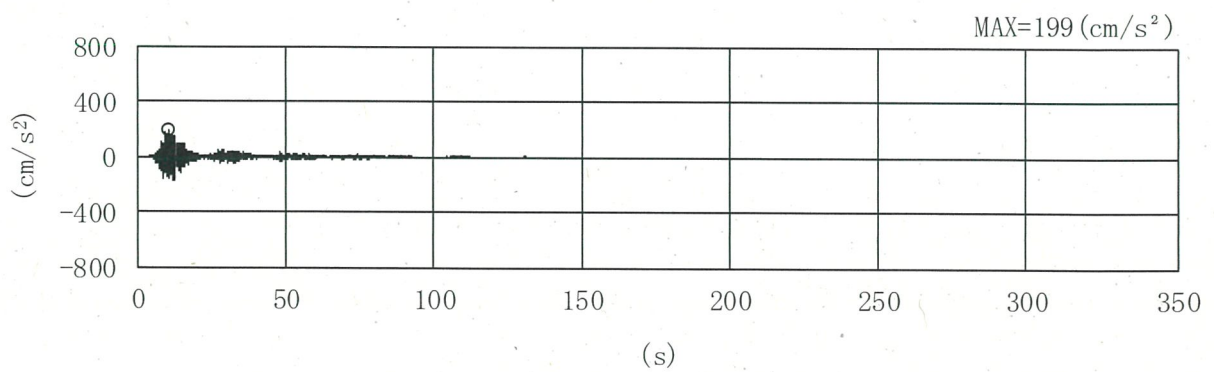
第 3-13 図 (1/6) 加速度時刻歴波形 (鉛直方向 (NS 断面) : Ss)



(d) Ss-2-3

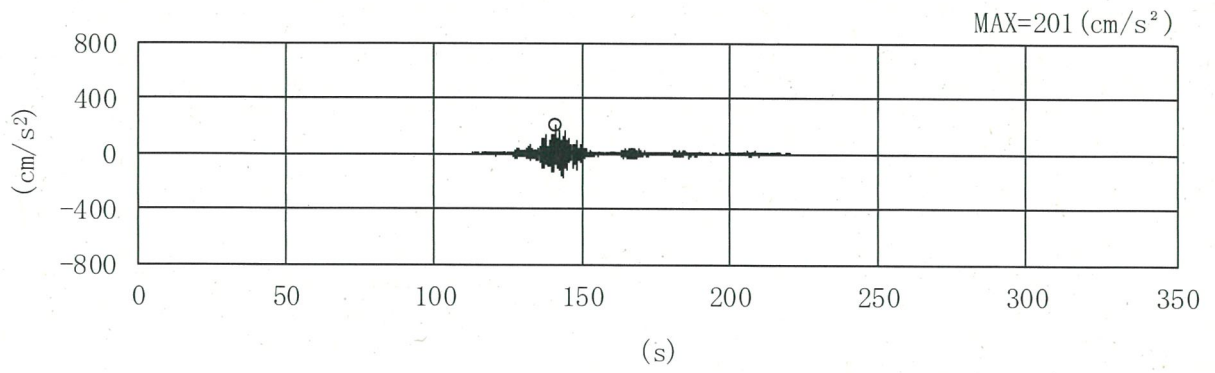


(e) Ss-2-4

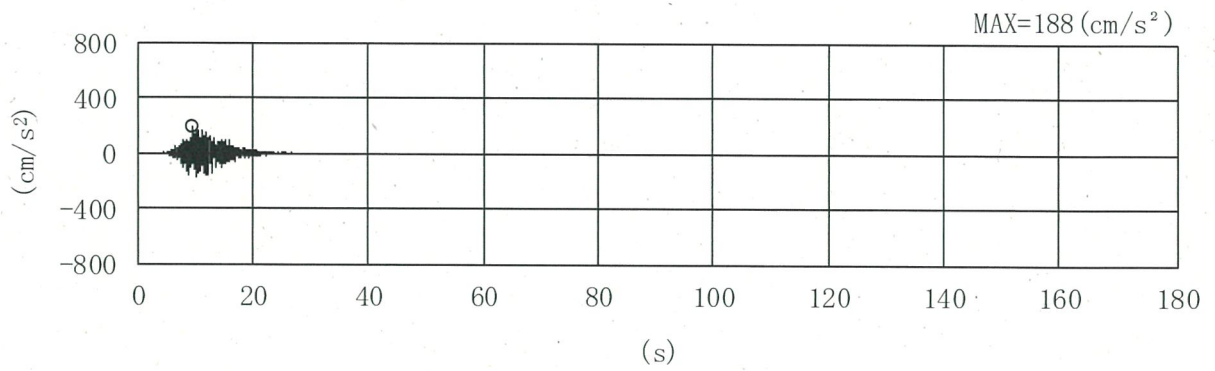


(f) Ss-2-5

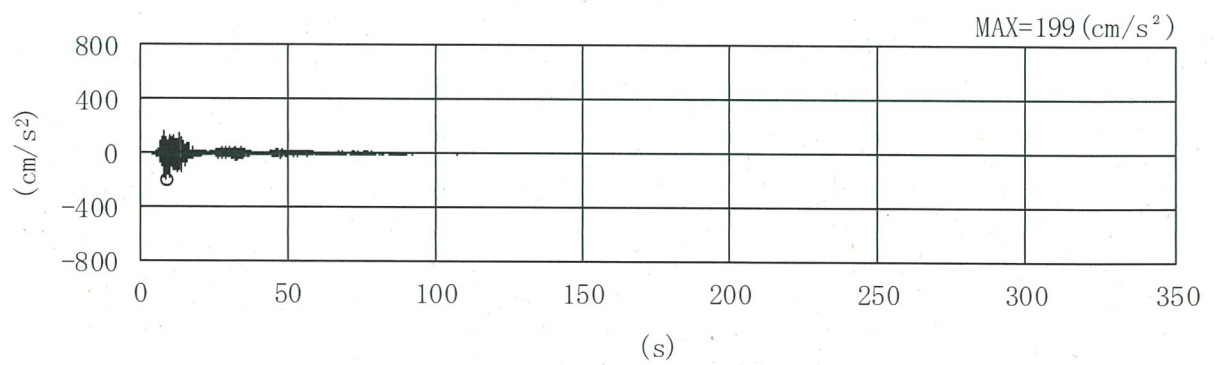
第3-13図 (2/6) 加速度時刻歴波形 (鉛直方向 (NS断面) : Ss)



(g) Ss-2-6

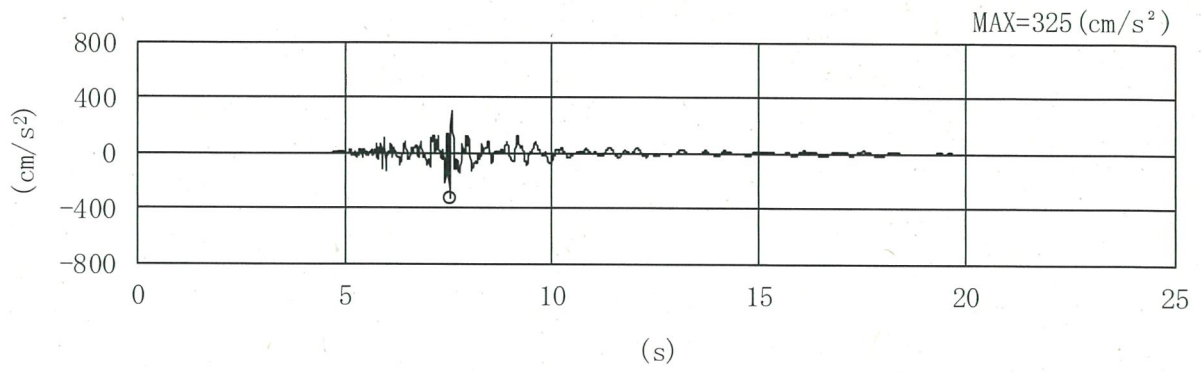


(h) Ss-2-7

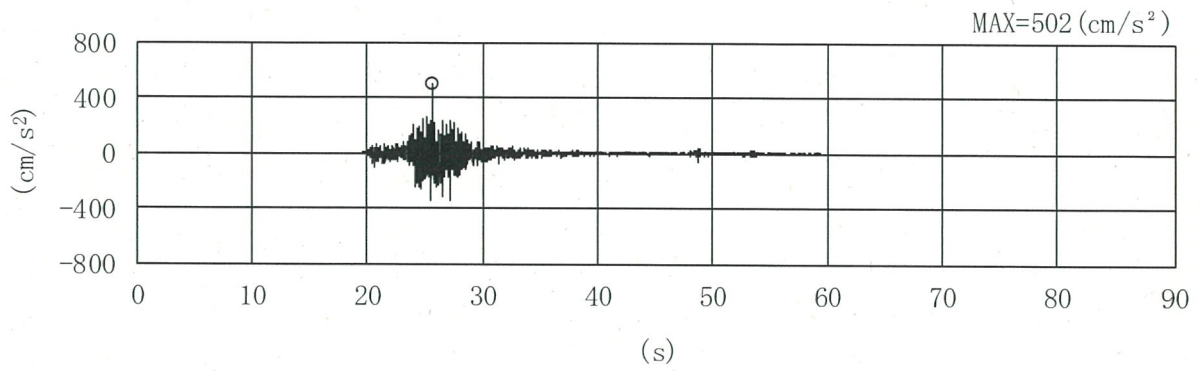


(i) Ss-2-8

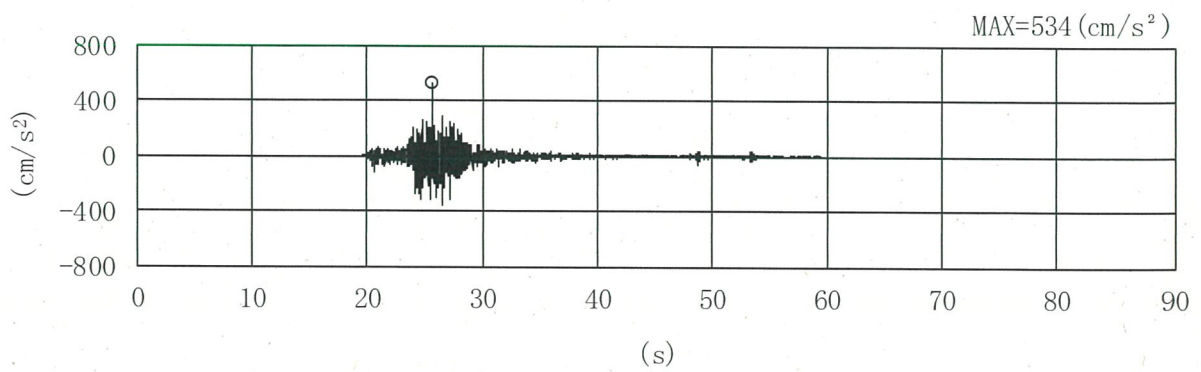
第 3-13 図 (3/6) 加速度時刻歴波形 (鉛直方向 (NS 断面) : Ss)



(j) Ss-3-1

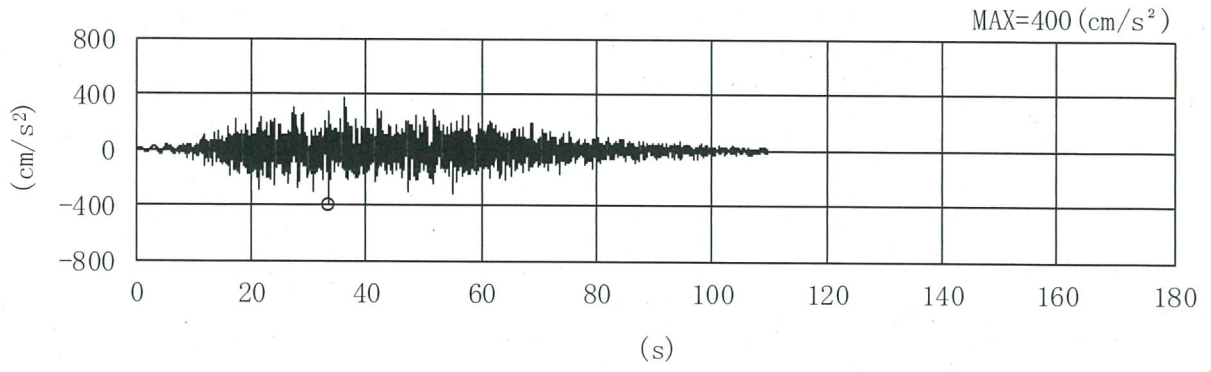


(k) Ss-3-2EW

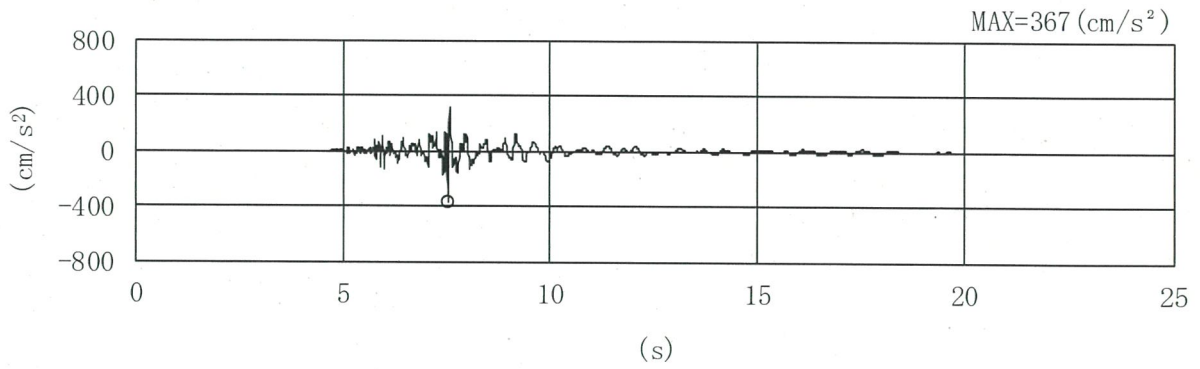


(l) Ss-3-2NS

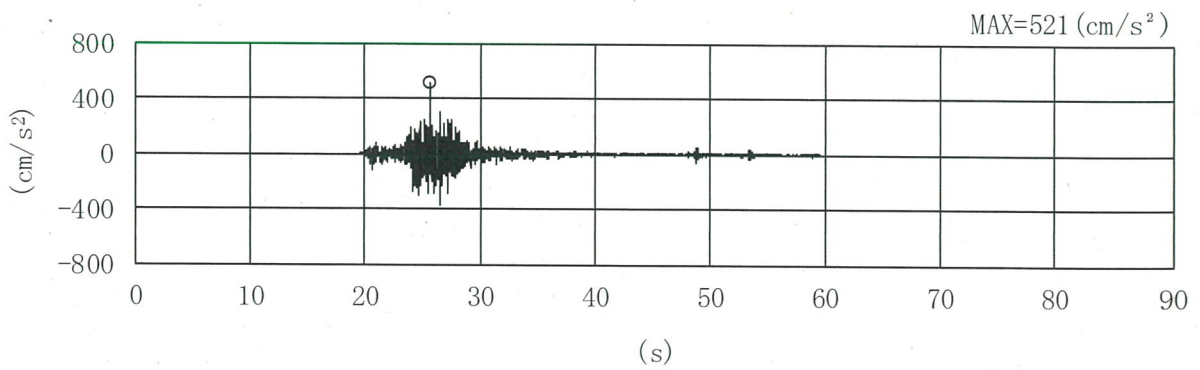
第3-13 図 (4/6) 加速度時刻歴波形 (鉛直方向 (NS 断面) : Ss)



(m) Ss-1'



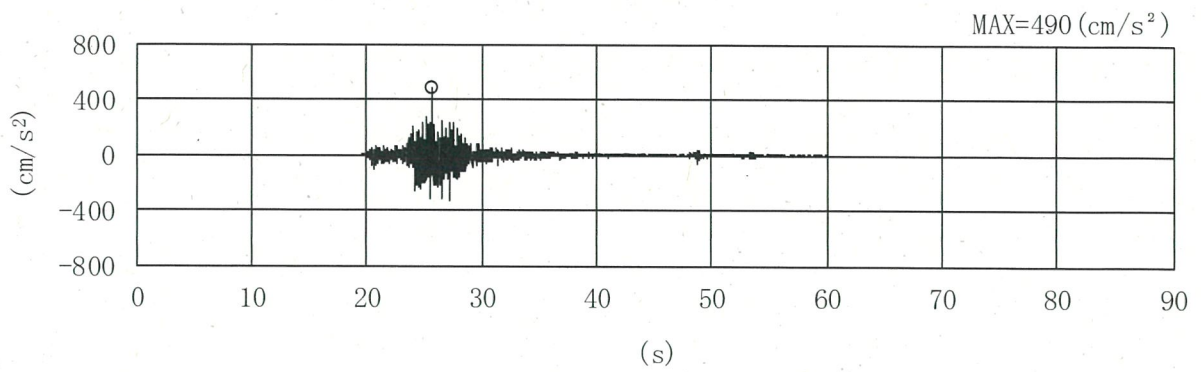
(n) Ss-3-1'



(o) Ss-3-2EW'

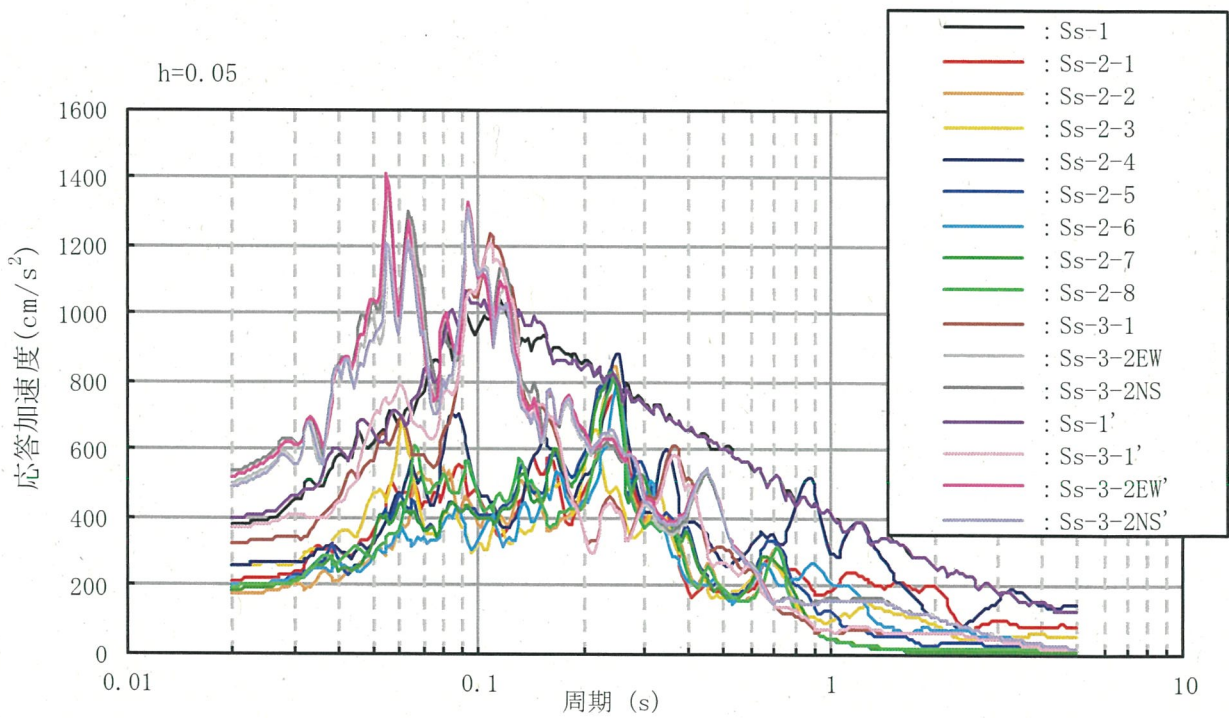
第3-13 図 (5/6) 加速度時刻歴波形 (鉛直方向 (NS 断面) : Ss)





(p) Ss-3-2NS'

第 3-13 図 (6/6) 加速度時刻歴波形 (鉛直方向 (NS 断面) : Ss)



第 3-14 図 加速度応答スペクトル (鉛直方向 (NS 断面) : Ss)

### 3.3 解析方法

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析には、解析コード「TDAPⅢ」を用いる。解析コードの検証及び妥当性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。

#### 3.3.1 動的解析

建物・構築物の動的解析は、資料9-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、時刻歴応答解析法により実施する。

### 3.4 解析条件

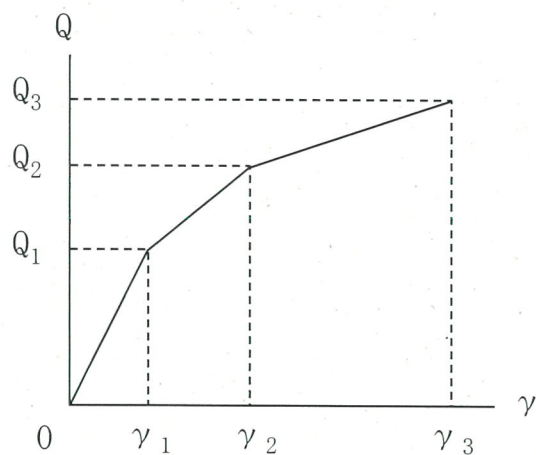
地震応答解析においては、耐震壁の復元力特性、地盤の回転ばねの復元力特性及び材料物性の不確かさ等を考慮する。

耐震壁の曲げスケルトンカーブの設定には、解析コード「nini」を用いる。解析コードの検証及び妥当性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。

### 3.4.1 耐震壁の復元力特性

#### (1) せん断力-せん断ひずみ関係 ( $Q-\gamma$ 関係)

耐震壁のせん断力-せん断ひずみ関係 ( $Q-\gamma$  関係) は、JEAG4601-1991に基づき、トリリニア型スケルトンカーブとする。せん断力-せん断ひずみ関係を第3-15図に示す。



$Q_1$  : 第1折点のせん断力

$Q_2$  : 第2折点のせん断力

$Q_3$  : 終局点のせん断力

$\gamma_1$  : 第1折点のせん断ひずみ

$\gamma_2$  : 第2折点のせん断ひずみ

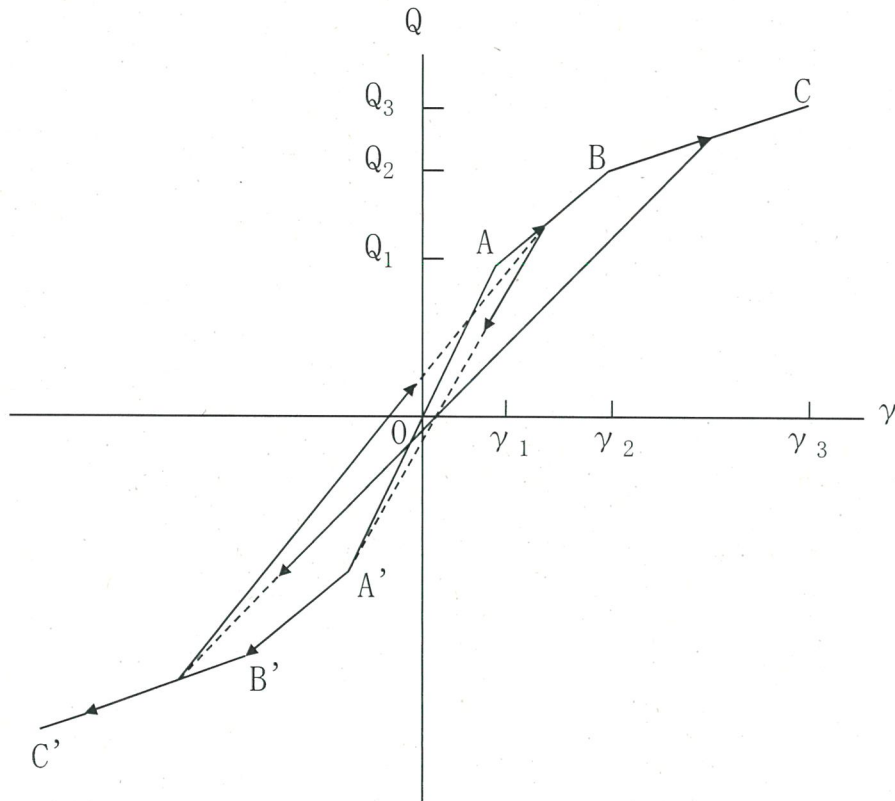
$\gamma_3$  : 終局点のせん断ひずみ ( $4.0 \times 10^{-3}$ )

第3-15図 せん断力-せん断ひずみ関係



(2) せん断力-せん断ひずみ関係の履歴特性

せん断力-せん断ひずみ関係の履歴特性は、JEAG4601-1991に基づき、最大点指向型モデルとする。せん断力-せん断ひずみ関係の履歴特性を第3-16図に示す。

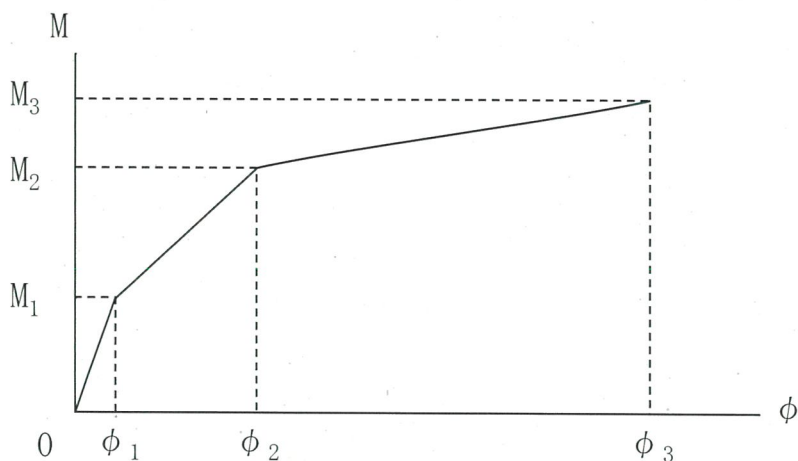


- a. 0-A 間：弾性範囲
- b. A-B 間：負側スケルトンの経験した最大点に向う。ただし、負側最大点が第1折点を越えていないときは第1折点に向う。
- c. B-C 間：負側最大点指向
- d. 安定ループは面積を持たない。

第 3-16 図 せん断力-せん断ひずみ関係の履歴特性

(3) 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、JEAG4601-1991に基づき、トリリニア型スケルトンカーブとする。曲げモーメントー曲率関係を第3-17図に示す。

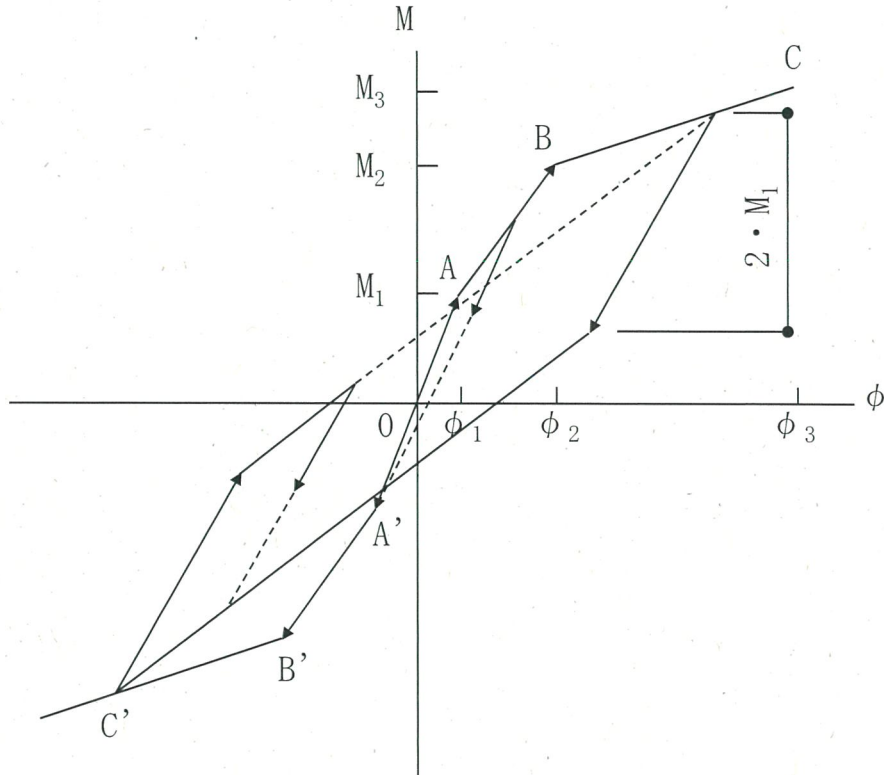


- $M_1$  : 第1折点の曲げモーメント
- $M_2$  : 第2折点の曲げモーメント
- $M_3$  : 終局点の曲げモーメント
- $\phi_1$  : 第1折点の曲率
- $\phi_2$  : 第2折点の曲率
- $\phi_3$  : 終局点の曲率

第3-17図 曲げモーメントー曲率関係

(4) 曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

曲げモーメントー曲率関係の履歴特性は、JEAG4601-1991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。曲げモーメントー曲率関係の履歴特性を第3-18図に示す。



- a. 0-A 間：弾性範囲
- b. A-B 間：負側スケルトンの経験した最大点に向う。ただし、負側最大点が第1折点を越えていないときは第1折点に向う。
- c. B-C 間：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  $2M_1$  を減じた点とする。ただし、負側最大点が第2折点を越えていないときは負側第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。

第3-18図 曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

(5) スケルトンカーブの諸数値

使用済燃料乾式貯蔵建屋の各耐震壁について算出したせん断及び曲げスケルトンカーブの諸数値を第3-7表及び第3-8表に示す。

第3-7表 (1/2) せん断スケルトンカーブ (Q- $\gamma$  関係) (EW方向)

部材 番号	第1折点		第2折点		終局点	
	Q <sub>1</sub> (kN)	$\gamma_1$	Q <sub>2</sub> (kN)	$\gamma_2$	Q <sub>3</sub> (kN)	$\gamma_3$
1	$3.50 \times 10^5$	$1.75 \times 10^{-4}$	$4.73 \times 10^5$	$5.24 \times 10^{-4}$	$9.59 \times 10^5$	$4.00 \times 10^{-3}$
2	$3.82 \times 10^5$	$1.79 \times 10^{-4}$	$5.16 \times 10^5$	$5.36 \times 10^{-4}$	$1.03 \times 10^6$	$4.00 \times 10^{-3}$
3	$5.51 \times 10^5$	$1.83 \times 10^{-4}$	$7.44 \times 10^5$	$5.49 \times 10^{-4}$	$1.47 \times 10^6$	$4.00 \times 10^{-3}$
4	$5.44 \times 10^5$	$1.88 \times 10^{-4}$	$7.34 \times 10^5$	$5.65 \times 10^{-4}$	$1.42 \times 10^6$	$4.00 \times 10^{-3}$
5	$5.45 \times 10^5$	$1.95 \times 10^{-4}$	$7.36 \times 10^5$	$5.84 \times 10^{-4}$	$1.39 \times 10^6$	$4.00 \times 10^{-3}$

第3-7表 (2/2) せん断スケルトンカーブ (Q- $\gamma$  関係) (NS方向)

部材 番号	第1折点		第2折点		終局点	
	Q <sub>1</sub> (kN)	$\gamma_1$	Q <sub>2</sub> (kN)	$\gamma_2$	Q <sub>3</sub> (kN)	$\gamma_3$
1	$2.78 \times 10^5$	$1.75 \times 10^{-4}$	$3.75 \times 10^5$	$5.24 \times 10^{-4}$	$7.80 \times 10^5$	$4.00 \times 10^{-3}$
2	$3.20 \times 10^5$	$1.79 \times 10^{-4}$	$4.32 \times 10^5$	$5.36 \times 10^{-4}$	$8.86 \times 10^5$	$4.00 \times 10^{-3}$
3	$5.36 \times 10^5$	$1.83 \times 10^{-4}$	$7.24 \times 10^5$	$5.49 \times 10^{-4}$	$1.41 \times 10^6$	$4.00 \times 10^{-3}$
4	$5.44 \times 10^5$	$1.88 \times 10^{-4}$	$7.35 \times 10^5$	$5.65 \times 10^{-4}$	$1.40 \times 10^6$	$4.00 \times 10^{-3}$
5	$5.48 \times 10^5$	$1.95 \times 10^{-4}$	$7.40 \times 10^5$	$5.84 \times 10^{-4}$	$1.38 \times 10^6$	$4.00 \times 10^{-3}$



第3-8表 (1/2) 曲げスケルトンカーブ (M-φ関係) (EW方向)

部材 番号	第1折点		第2折点		終局点	
	M <sub>1</sub> (kN・m)	φ <sub>1</sub> (1/m)	M <sub>2</sub> (kN・m)	φ <sub>2</sub> (1/m)	M <sub>3</sub> (kN・m)	φ <sub>3</sub> (1/m)
1	$2.76 \times 10^6$	$4.08 \times 10^{-6}$	$8.29 \times 10^6$	$5.72 \times 10^{-5}$	$1.59 \times 10^7$	$8.85 \times 10^{-4}$
2	$2.97 \times 10^6$	$4.27 \times 10^{-6}$	$9.06 \times 10^6$	$5.82 \times 10^{-5}$	$1.73 \times 10^7$	$7.65 \times 10^{-4}$
3	$5.92 \times 10^6$	$4.46 \times 10^{-6}$	$1.58 \times 10^7$	$5.65 \times 10^{-5}$	$2.71 \times 10^7$	$1.11 \times 10^{-3}$
4	$6.14 \times 10^6$	$4.69 \times 10^{-6}$	$1.61 \times 10^7$	$5.70 \times 10^{-5}$	$2.74 \times 10^7$	$1.07 \times 10^{-3}$
5	$6.16 \times 10^6$	$4.48 \times 10^{-6}$	$1.56 \times 10^7$	$5.32 \times 10^{-5}$	$2.66 \times 10^7$	$1.06 \times 10^{-3}$

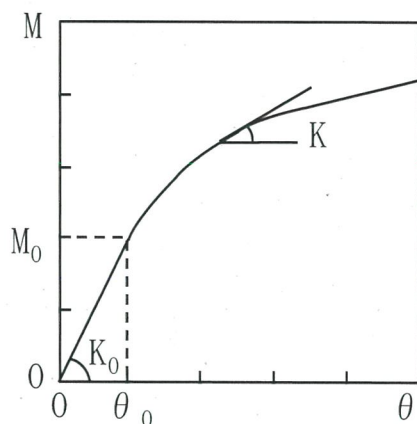
第3-8表 (2/2) 曲げスケルトンカーブ (M-φ関係) (NS方向)

部材 番号	第1折点		第2折点		終局点	
	M <sub>1</sub> (kN・m)	φ <sub>1</sub> (1/m)	M <sub>2</sub> (kN・m)	φ <sub>2</sub> (1/m)	M <sub>3</sub> (kN・m)	φ <sub>3</sub> (1/m)
1	$3.26 \times 10^6$	$2.56 \times 10^{-6}$	$9.40 \times 10^6$	$3.81 \times 10^{-5}$	$1.79 \times 10^7$	$7.62 \times 10^{-4}$
2	$3.82 \times 10^6$	$2.67 \times 10^{-6}$	$1.09 \times 10^7$	$3.83 \times 10^{-5}$	$2.04 \times 10^7$	$7.67 \times 10^{-4}$
3	$7.64 \times 10^6$	$3.13 \times 10^{-6}$	$2.03 \times 10^7$	$4.07 \times 10^{-5}$	$3.60 \times 10^7$	$6.53 \times 10^{-4}$
4	$7.95 \times 10^6$	$3.29 \times 10^{-6}$	$2.09 \times 10^7$	$4.10 \times 10^{-5}$	$3.65 \times 10^7$	$6.32 \times 10^{-4}$
5	$7.89 \times 10^6$	$3.44 \times 10^{-6}$	$2.07 \times 10^7$	$4.12 \times 10^{-5}$	$3.61 \times 10^7$	$6.16 \times 10^{-4}$

### 3.4.2 地盤の回転ばねの復元力特性

地盤の回転ばねに関するモーメントー回転角の関係は、JEAG4601-1991に基づき、浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。回転ばねの曲げモーメントと回転角の関係を第3-19図に示す。

地盤の回転ばねの浮上り非線形は、基礎の形状に応じ、基礎に作用する鉛直力、転倒モーメント及び地反力のつり合いにより評価する。



- $M$  : 転倒モーメント
- $M_0$  : 浮上り限界転倒モーメント
- $\theta$  : 回転角
- $\theta_0$  : 浮上り限界回転角
- $K_0$  : 基礎底面の回転ばね定数 (浮上り前)
- $K$  : 基礎底面の回転ばね定数 (浮上り後)

第3-19図 回転ばねの曲げモーメントと回転角の関係

### 3.4.3 材料物性の不確かさ等

「4.1 動的解析」における地震応答解析では、「3.1 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等を考慮する。

材料物性の不確かさのうち、地盤物性の不確かさは、基礎底面の地盤ばねの算定に用いた地盤のせん断波速度を基本ケースとし、同一岩盤等級における地盤のせん断波速度の変動係数（標準偏差／平均値）である0.08を変動の比率として考慮する。なお、建物・構築物の耐震評価において、建屋物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から、保守的に考慮しない。

鉄筋コンクリート部の減衰定数は、5%を基本ケースとするが、耐震性向上の観点から3%とした場合についても考慮する。

材料物性の不確かさ等を考慮した地震応答解析ケースを第3-9表に示す。

第3-9表 材料物性の不確かさ等を考慮した地震応答解析ケース

ケース名	地盤のせん断波速度 $V_s$ ※ (m/s)		鉄筋コンクリート部の 減衰定数 h (%)
基本	1,700	2,700	5
$V_s+1\sigma$	1,836 (1.08)	2,916 (1.08)	5
$V_s-1\sigma$	1,564 (0.92)	2,484 (0.92)	5
減衰 3%	1,700	2,700	3

※：基礎底面の地盤ばねの算定に用いた地盤のせん断波速度。

( )内は基本ケースに対する比率。



#### 4. 解析結果

##### 4.1 動的解析

基本ケースの解析結果を示す。地盤物性の不確かさ等を考慮した解析結果より算出した建物・構築物の動的地震力については、各耐震計算書に示す。

##### 4.1.1 固有値解析結果

地震応答解析モデルの固有値解析結果（固有周期及び固有振動数）を第4-1表～第4-3表、刺激関数図を第4-1図～第4-3図に示す。

##### 4.1.2 地震応答解析結果

###### (1) 基準地震動Ss

基準地震動Ssによる最大応答値を第4-4図～第4-17図に示す。また、基準地震動Ssに対する最大応答値を第4-18図～第4-21図の耐震壁のスケルトンカーブ上にプロットして示す。

浮上りの検討を第4-4表、最大接地圧を第4-5表に示す。

第4-1表 固有値解析結果 (EW方向)

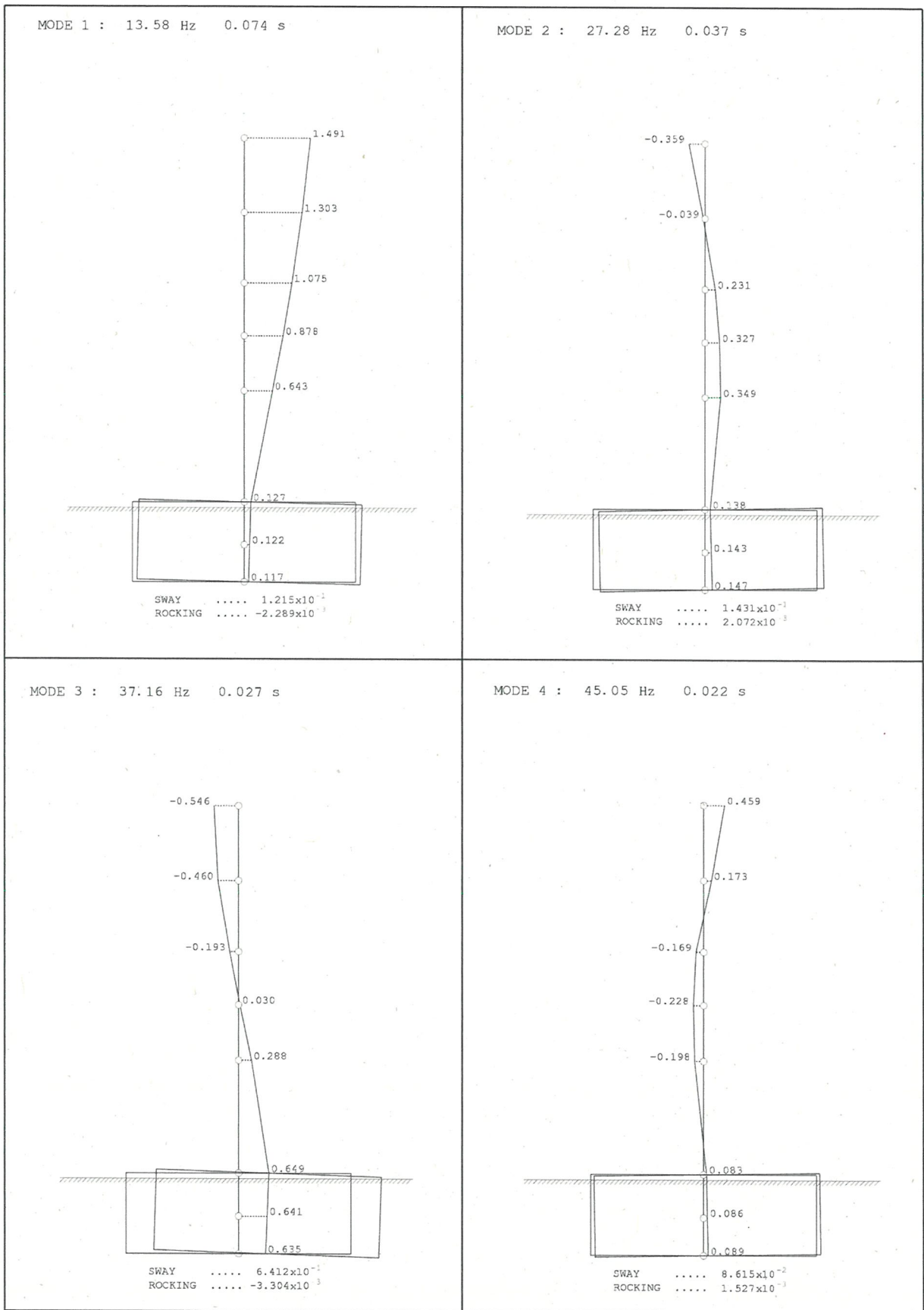
次数	固有周期(s)	固有振動数(Hz)	刺激係数 <sup>※</sup>	卓越モード
1	0.074	13.58	1.49	地盤連成
2	0.037	27.28	-0.36	—
3	0.027	37.16	0.65	—
4	0.022	45.05	0.46	—

第4-2表 固有値解析結果 (NS方向)

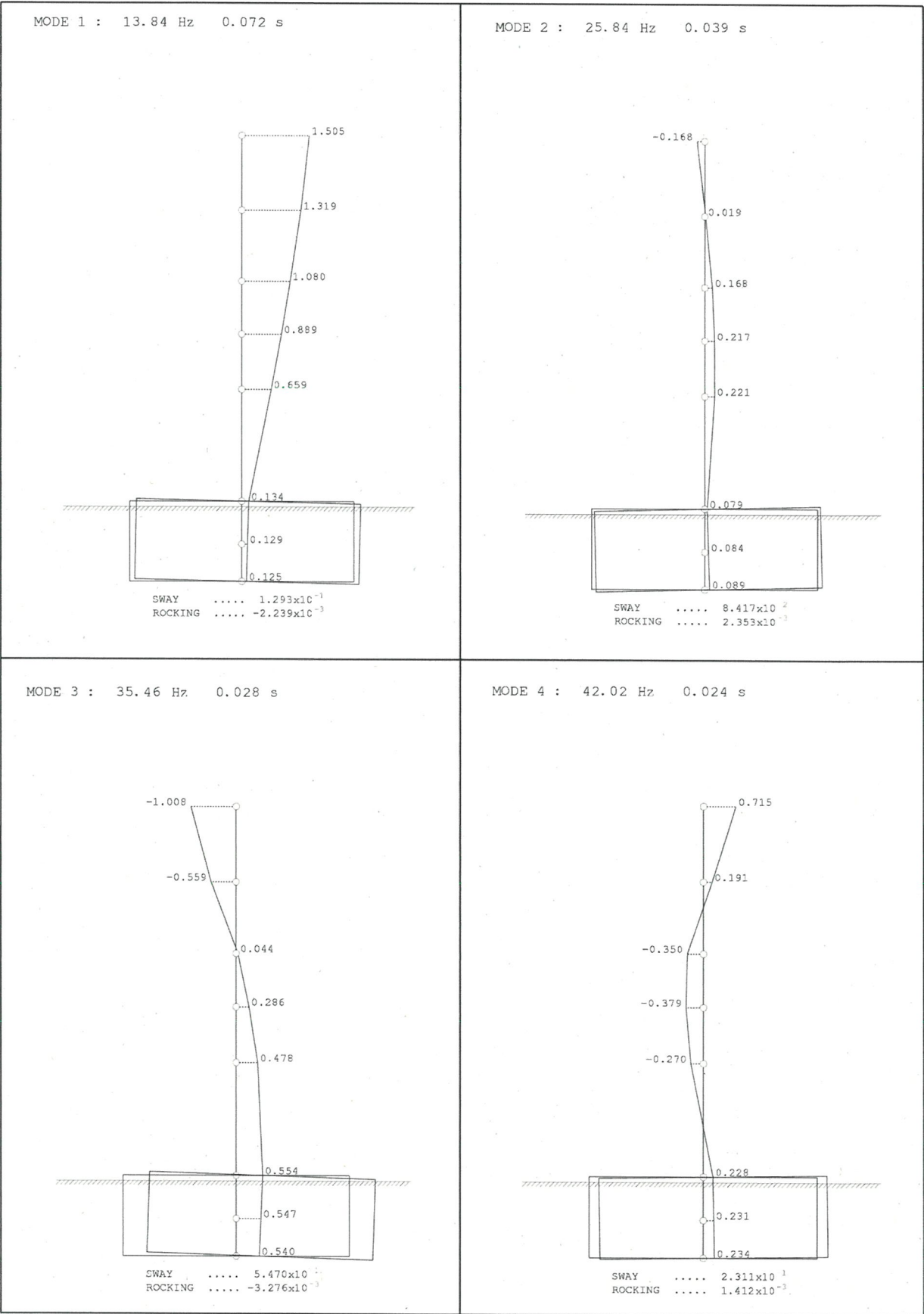
次数	固有周期(s)	固有振動数(Hz)	刺激係数 <sup>※</sup>	卓越モード
1	0.072	13.84	1.51	地盤連成
2	0.039	25.84	0.22	—
3	0.028	35.46	-1.01	—
4	0.024	42.02	0.72	—

第4-3表 固有値解析結果 (鉛直方向)

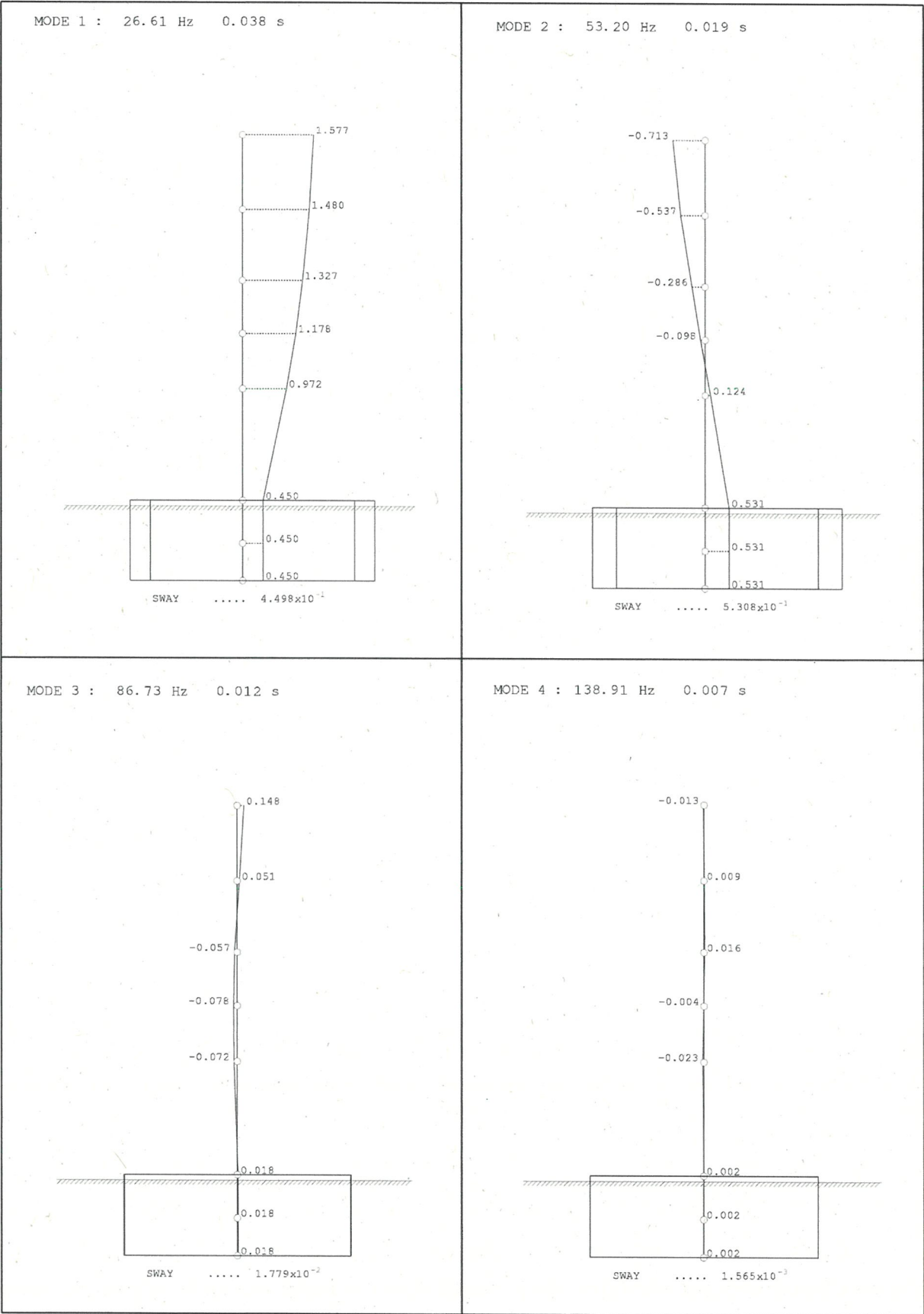
次数	固有周期(s)	固有振動数(Hz)	刺激係数 <sup>※</sup>	卓越モード
1	0.038	26.61	1.58	地盤連成
2	0.019	53.20	-0.71	—
3	0.012	86.73	0.15	—
4	0.007	138.91	-0.02	—



第4-1図 刺激関数図 EW方向

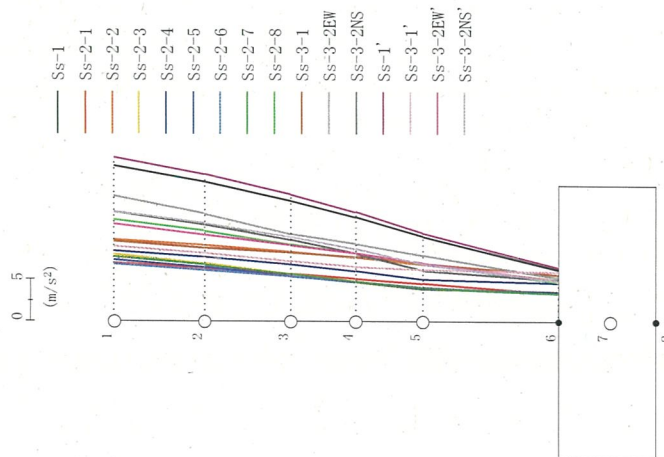


第 4-2 図 刺激関数図 NS 方向



第 4-3 図 刺激関数図 鉛直方向

	Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
	18.72	7.04	9.82	8.08	8.52	7.44	6.90	7.77	12.25	9.67	15.08	13.18	19.72	11.74	13.22
	16.78	6.46	9.17	6.99	7.80	6.56	6.17	6.87	10.93	8.86	12.96	11.65	17.69	10.43	11.85
	14.50	5.76	8.39	5.74	6.92	5.49	5.45	5.78	9.31	8.31	10.55	9.80	15.27	9.19	10.20
	12.54	5.18	7.71	4.75	6.12	4.78	4.88	4.85	8.24	7.78	9.38	8.19	13.16	8.24	8.75
	10.21	4.63	6.87	3.91	5.14	3.96	4.16	4.07	6.95	7.05	7.99	6.21	10.65	7.09	6.97
	6.26	3.46	5.03	3.73	4.71	3.62	3.46	3.46	4.77	5.69	5.30	5.08	6.54	4.99	4.99

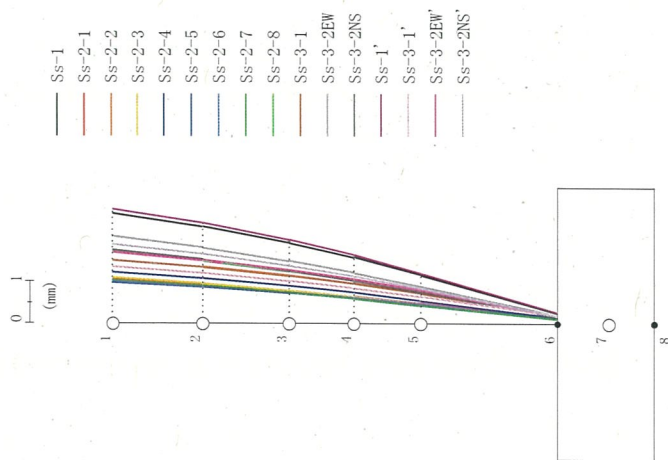


第4-4 図 Ss 基本ケース EW 方向 最大応答加速度



(mm)

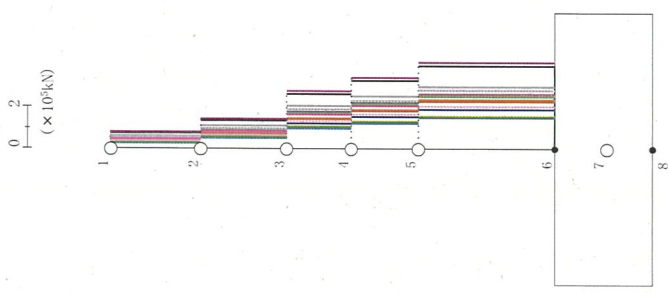
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
2.651	1.071	1.532	1.105	1.234	0.996	1.023	1.044	1.725	1.529	2.103	1.769	2.758	1.718	1.897
2.332	0.918	1.367	0.965	1.092	0.883	0.908	0.915	1.516	1.363	1.833	1.550	2.424	1.526	1.671
1.910	0.797	1.161	0.795	0.916	0.743	0.766	0.756	1.261	1.156	1.509	1.281	2.015	1.287	1.393
1.596	0.663	0.973	0.650	0.758	0.618	0.638	0.618	1.042	0.970	1.231	1.046	1.655	1.072	1.148
1.176	0.498	0.737	0.475	0.563	0.462	0.479	0.450	0.779	0.739	0.909	0.767	1.216	0.806	0.849
0.275	0.131	0.200	0.124	0.165	0.120	0.122	0.126	0.190	0.205	0.218	0.172	0.285	0.190	0.199



第4-5図 Ss 基本ケース EW 方向 最大応答変位

	Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
	0.78	0.30	0.41	0.34	0.35	0.31	0.29	0.32	0.51	0.42	0.65	0.55	0.38	0.48	0.56
	1.40	0.54	0.75	0.60	0.64	0.54	0.53	0.57	0.91	0.75	1.14	0.97	0.69	0.86	1.00
	2.65	1.04	1.48	1.11	1.24	1.01	1.00	1.07	1.71	1.46	2.08	1.82	1.33	1.68	1.90
	3.28	1.30	1.87	1.35	1.54	1.24	1.25	1.31	2.11	1.83	2.53	2.22	1.66	2.10	2.35
	3.99	1.60	2.35	1.61	1.90	1.51	1.55	1.57	2.56	2.30	3.01	2.66	2.04	2.61	2.84

- Ss-1
- Ss-2-1
- Ss-2-2
- Ss-2-3
- Ss-2-4
- Ss-2-5
- Ss-2-6
- Ss-2-7
- Ss-2-8
- Ss-3-1
- Ss-3-2EW
- Ss-3-2NS
- Ss-1'
- Ss-3-1'
- Ss-3-2EW'
- Ss-3-2NS'

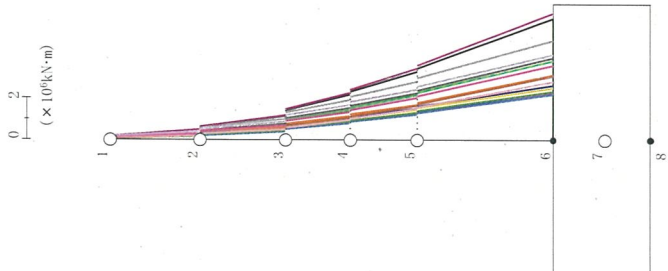


第4-6図 Ss 基本ケース EW 方向 最大応答せん断力



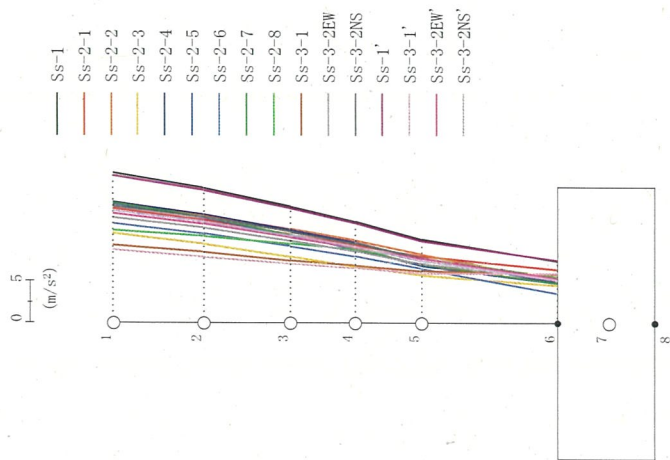
	Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
	0.18	0.08	0.10	0.09	0.10	0.08	0.07	0.08	0.12	0.09	0.19	0.16	0.18	0.16	0.18
	0.49	0.20	0.26	0.22	0.24	0.20	0.18	0.20	0.32	0.23	0.45	0.35	0.50	0.31	0.40
	0.63	0.27	0.35	0.30	0.32	0.26	0.23	0.26	0.42	0.27	0.60	0.47	0.65	0.43	0.54
	1.16	0.46	0.61	0.52	0.56	0.45	0.43	0.47	0.77	0.56	1.03	0.82	1.21	0.71	0.90
	1.45	0.60	0.78	0.67	0.73	0.59	0.51	0.59	0.97	0.67	1.34	1.05	1.50	0.92	1.20
	2.20	0.85	1.15	0.99	1.05	0.86	0.82	0.90	1.45	1.08	1.94	1.54	2.29	1.36	1.68
	2.34	0.92	1.23	1.06	1.13	0.92	0.87	0.96	1.55	1.13	2.09	1.66	2.43	1.45	1.83
	3.31	1.25	1.71	1.46	1.53	1.29	1.24	1.34	2.18	1.68	2.84	2.28	3.45	2.04	2.43
	3.46	1.33	1.79	1.54	1.63	1.35	1.30	1.41	2.28	1.74	3.01	2.41	3.60	2.13	2.59
	5.86	2.26	3.13	2.51	2.64	2.24	2.20	2.35	3.82	3.09	4.81	3.98	6.11	3.61	4.13

- Ss-1
- Ss-2-1
- Ss-2-2
- Ss-2-3
- Ss-2-4
- Ss-2-5
- Ss-2-6
- Ss-2-7
- Ss-2-8
- Ss-3-1
- Ss-3-2EW
- Ss-3-2NS
- Ss-3-1'
- Ss-3-2EW'
- Ss-3-2NS'



第4-7 図 Ss 基本ケース EW 方向 最大応答曲げモーメント

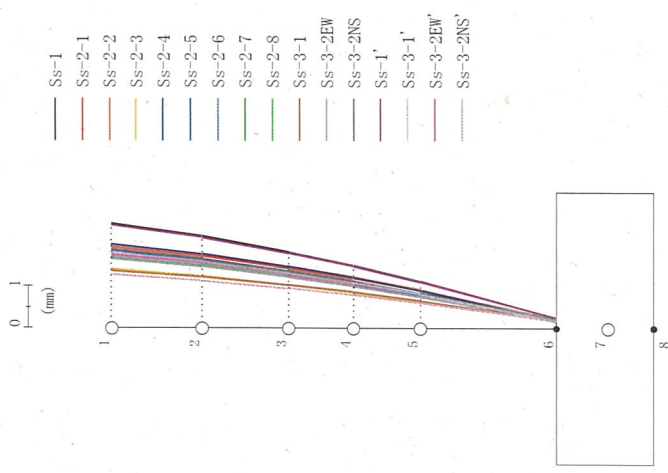
	Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
	18.02	13.72	14.28	10.79	14.57	14.37	12.00	14.46	11.17	9.35	12.70	13.99	17.71	13.19	13.47
	16.21	12.35	12.96	9.54	13.09	12.65	10.79	12.75	10.48	8.55	11.48	12.68	15.98	11.93	12.18
	14.02	10.66	11.31	7.99	11.23	10.53	9.27	10.63	9.58	7.54	9.91	11.00	13.81	10.31	10.55
	12.23	9.41	9.97	6.79	9.72	8.89	8.07	9.00	8.80	6.98	8.66	9.57	12.03	9.09	9.16
	10.06	8.07	8.32	5.81	7.89	6.96	6.62	7.07	7.82	6.32	7.13	7.83	9.89	7.79	7.50
	7.47	6.44	5.25	4.62	4.97	4.88	3.65	4.84	5.56	5.93	5.36	5.31	7.62	5.37	5.19



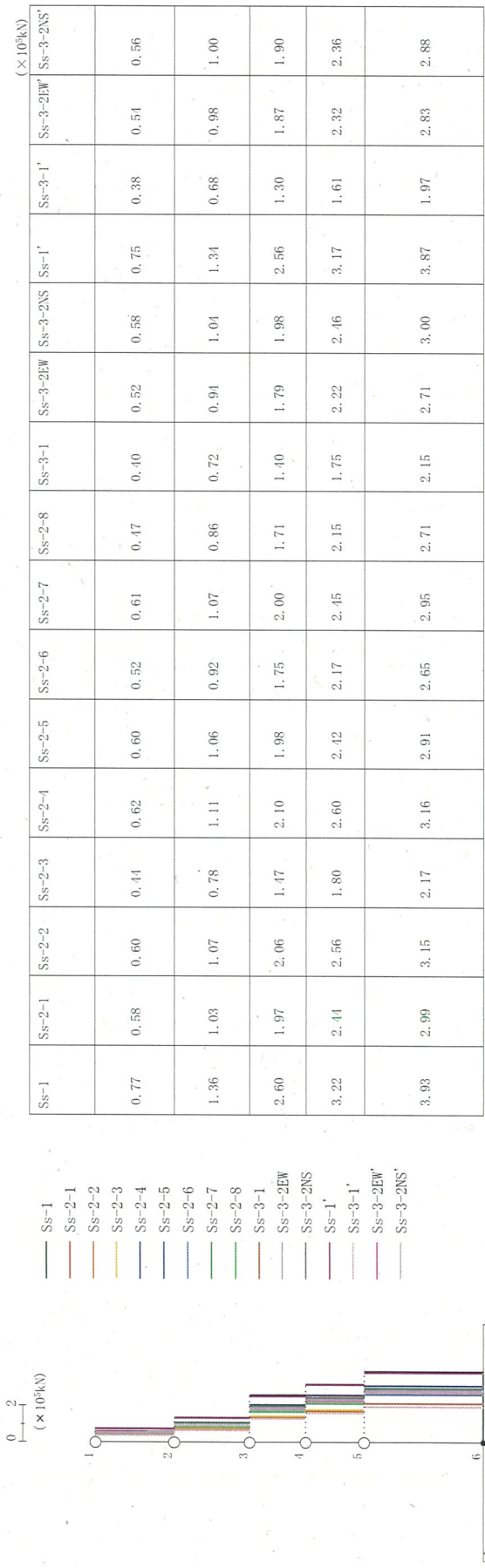
第4-8 図 Ss 基本ケース NS 方向 最大応答加速度

(mm)

Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
2.512	1.946	2.012	1.429	2.032	1.872	1.723	1.900	1.706	1.392	1.678	1.891	2.475	1.763	1.821
2.218	1.727	1.785	1.257	1.793	1.639	1.523	1.664	1.528	1.243	1.488	1.670	2.185	1.564	1.606
1.838	1.441	1.489	1.037	1.483	1.340	1.265	1.362	1.292	1.046	1.236	1.381	1.808	1.301	1.328
1.525	1.206	1.243	0.859	1.230	1.099	1.054	1.119	1.090	0.881	1.027	1.144	1.500	1.085	1.099
1.140	0.916	0.939	0.643	0.919	0.808	0.794	0.824	0.837	0.675	0.767	0.855	1.121	0.827	0.825
0.263	0.230	0.217	0.172	0.200	0.179	0.185	0.182	0.223	0.205	0.196	0.209	0.259	0.203	0.201



第4-9図 Ss 基本ケース NS 方向 最大応答変位



第 4-10 図 Ss 基本ケース NS 方向 最大応せん断力

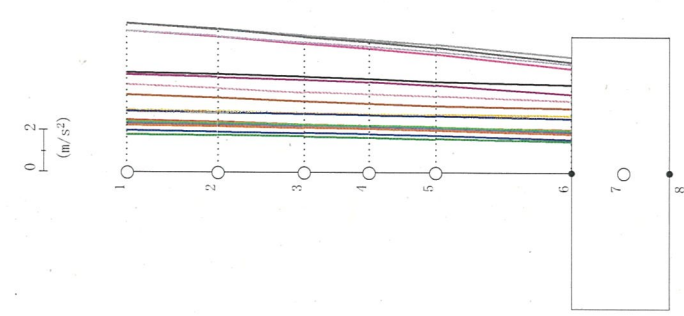
(× 10<sup>6</sup>kN·m)

Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
0.24	0.20	0.15	0.14	0.20	0.21	0.15	0.21	0.14	0.13	0.27	0.26	0.24	0.28	0.26
0.52	0.40	0.38	0.32	0.43	0.45	0.35	0.45	0.29	0.22	0.38	0.40	0.52	0.40	0.39
0.70	0.56	0.50	0.43	0.58	0.62	0.48	0.62	0.41	0.32	0.60	0.62	0.71	0.63	0.58
1.22	0.89	0.90	0.73	1.00	1.02	0.83	1.03	0.66	0.55	0.86	0.92	1.22	0.91	0.90
1.59	1.23	1.14	0.97	1.31	1.37	1.08	1.38	0.90	0.69	1.21	1.27	1.60	1.28	1.20
2.33	1.70	1.73	1.39	1.91	1.93	1.58	1.95	1.28	1.05	1.63	1.76	2.32	1.72	1.73
2.51	1.85	1.85	1.52	2.07	2.11	1.71	2.13	1.38	1.11	1.78	1.90	2.51	1.89	1.87
3.47	2.55	2.61	2.05	2.84	2.83	2.36	2.85	1.98	1.63	2.38	2.63	3.45	2.49	2.57
3.68	2.70	2.76	2.19	3.02	3.03	2.50	3.05	2.07	1.70	2.55	2.79	3.67	2.68	2.73
6.04	4.49	4.64	3.49	4.92	4.78	4.09	4.82	3.69	2.99	4.02	4.59	5.99	4.15	4.46

第4-11 図 Ss 基本ケース NS 方向 最大応答曲げモーメント

(m/s <sup>2</sup> )														
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
4.80	2.52	2.29	3.04	2.93	2.03	2.37	1.85	2.46	3.72	7.14	7.16	4.69	6.81	6.79
4.72	2.43	2.24	2.95	2.88	1.98	2.33	1.82	2.38	3.59	6.90	6.88	4.58	6.51	6.56
4.62	2.32	2.16	2.85	2.82	1.93	2.27	1.76	2.32	3.42	6.60	6.52	4.46	6.19	6.27
4.52	2.26	2.11	2.82	2.78	1.88	2.22	1.71	2.27	3.31	6.40	6.29	4.35	5.97	6.07
4.38	2.18	2.04	2.80	2.73	1.81	2.15	1.65	2.22	3.20	6.15	6.01	4.19	5.68	5.83
4.24	2.08	1.86	2.76	2.60	1.64	1.98	1.52	2.07	3.10	5.56	5.33	3.76	5.00	5.24

- Ss-1
- Ss-2-1
- Ss-2-2
- Ss-2-3
- Ss-2-4
- Ss-2-5
- Ss-2-6
- Ss-2-7
- Ss-2-8
- Ss-3-1
- Ss-3-2EW'
- Ss-3-2NS'
- Ss-1'
- Ss-3-1'
- Ss-3-2EW'
- Ss-3-2NS'

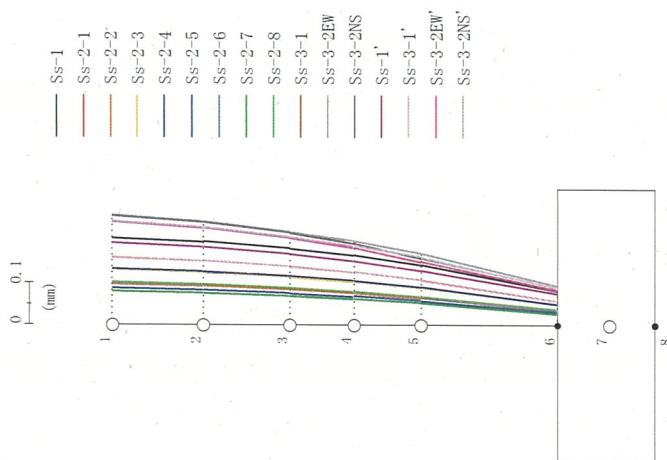


第 4-12 図 Ss 基本ケース 鉛直方向 (EW 断面) 最大応答加速度



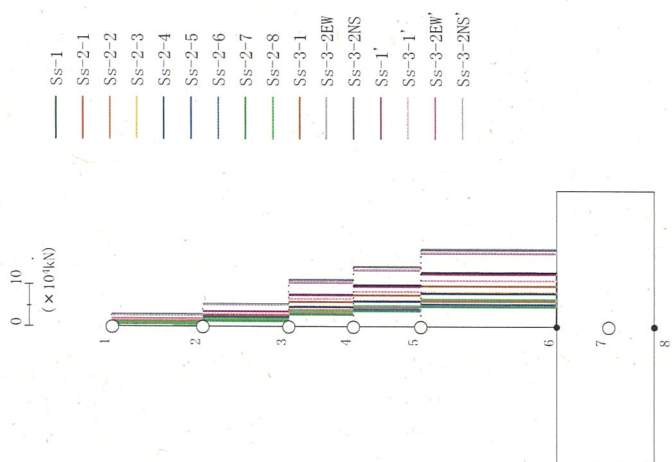
(mm)

Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
0.210	0.104	0.099	0.133	0.135	0.089	0.103	0.081	0.105	0.162	0.264	0.262	0.197	0.248	0.250
0.200	0.098	0.091	0.127	0.129	0.084	0.098	0.077	0.099	0.154	0.248	0.247	0.187	0.233	0.235
0.185	0.090	0.086	0.116	0.118	0.077	0.090	0.071	0.091	0.141	0.224	0.222	0.171	0.210	0.212
0.168	0.082	0.078	0.105	0.108	0.070	0.081	0.064	0.082	0.128	0.203	0.197	0.151	0.186	0.191
0.145	0.069	0.066	0.089	0.092	0.059	0.069	0.054	0.070	0.109	0.174	0.161	0.131	0.152	0.164
0.083	0.038	0.035	0.051	0.051	0.032	0.038	0.029	0.039	0.058	0.096	0.090	0.076	0.084	0.091



第 4-13 図 Ss 基本ケース 鉛直方向 (EW 断面) 最大応変位

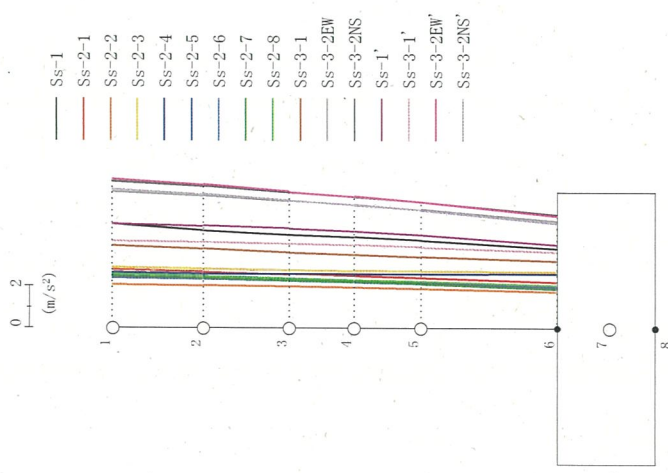
	Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'	( $\times 10^4$ kN)
	2.02	1.07	0.97	1.29	1.25	0.86	1.01	0.78	1.04	1.59	3.00	3.01	1.77	2.87	2.85	
	3.77	1.97	1.80	2.39	2.32	1.60	1.87	1.46	1.93	2.93	5.54	5.55	3.27	5.28	5.27	
	7.80	4.01	3.70	4.91	4.80	3.28	3.86	3.01	3.94	5.97	11.28	11.24	6.65	10.68	10.73	
	10.09	5.15	4.77	6.34	6.21	4.23	4.99	3.88	5.09	7.66	14.50	14.41	8.55	13.69	13.78	
	13.16	6.69	6.22	8.32	8.14	5.51	6.51	5.04	6.65	9.92	18.81	18.63	11.13	17.67	17.86	



第 4-14 図 Ss 基本ケース 鉛直方向 (EW 断面) 最大応答軸力

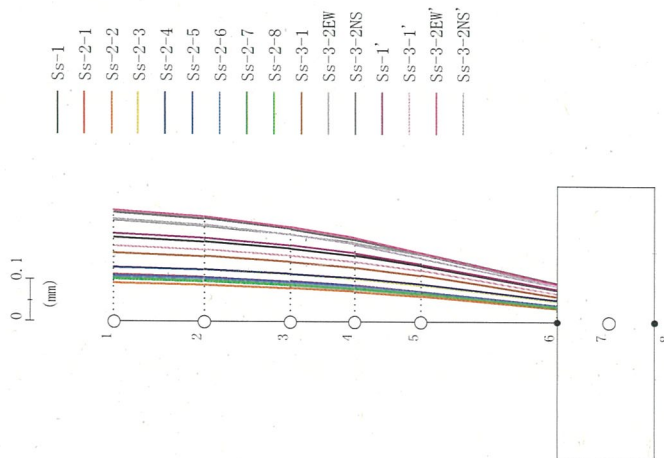


	Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'	(m/s <sup>2</sup> )
	5.01	2.80	2.11	2.93	2.68	2.58	2.41	2.52	2.60	3.97	6.58	7.07	5.02	7.17	6.68	
	4.69	2.71	2.06	2.87	2.62	2.50	2.35	2.42	2.51	3.81	6.37	6.82	4.92	6.90	6.44	
	4.49	2.60	2.01	2.80	2.62	2.40	2.28	2.30	2.41	3.62	6.10	6.52	4.79	6.55	6.14	
	4.38	2.53	1.97	2.76	2.62	2.33	2.23	2.23	2.35	3.53	5.93	6.32	4.67	6.34	5.94	
	4.22	2.44	1.91	2.75	2.63	2.24	2.17	2.14	2.28	3.43	5.70	6.08	4.49	6.06	5.68	
	3.85	2.23	1.77	2.73	2.64	2.01	1.99	1.91	2.10	3.24	5.14	5.48	4.01	5.41	5.06	



第 4-15 図 Ss 基本ケース 鉛直方向 (NS 断面) 最大応答加速度

	Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
	0.203	0.114	0.093	0.131	0.131	0.112	0.109	0.105	0.103	0.166	0.243	0.263	0.183	0.268	0.248
	0.192	0.108	0.089	0.125	0.125	0.106	0.101	0.100	0.098	0.158	0.229	0.248	0.174	0.253	0.253
	0.176	0.098	0.081	0.115	0.116	0.097	0.095	0.091	0.089	0.145	0.209	0.224	0.183	0.228	0.210
	0.159	0.088	0.074	0.104	0.106	0.088	0.086	0.082	0.080	0.131	0.190	0.199	0.165	0.202	0.186
	0.135	0.074	0.063	0.089	0.092	0.075	0.074	0.069	0.068	0.112	0.163	0.167	0.139	0.167	0.154
	0.078	0.042	0.034	0.051	0.053	0.039	0.040	0.035	0.038	0.061	0.089	0.094	0.080	0.092	0.088

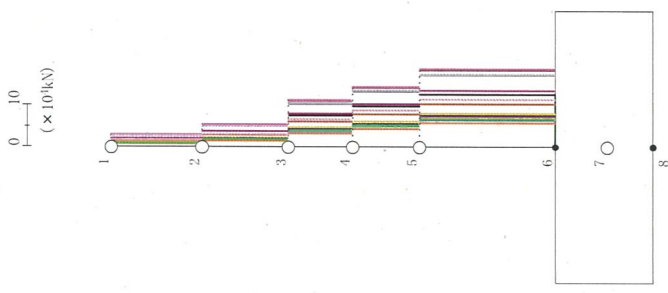


第4-16図 Ss 基本ケース 鉛直方向 (NS 断面) 最大応答変位

(×10kN)

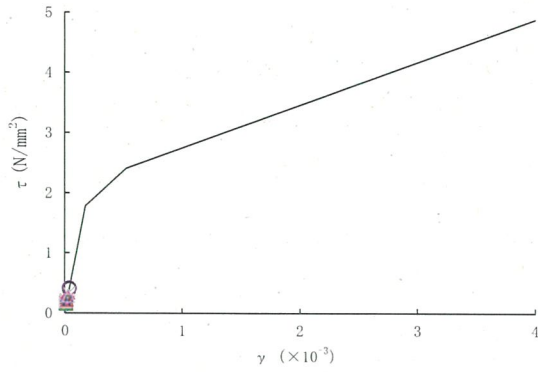
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
2.12	1.18	0.89	1.24	1.13	1.10	1.03	1.07	1.10	1.67	2.76	2.97	1.76	3.02	2.81
3.85	2.19	1.66	2.31	2.08	2.04	1.91	1.98	2.03	3.09	5.11	5.48	3.27	5.57	5.19
7.62	4.47	3.42	4.77	4.39	4.16	3.92	4.02	4.15	6.26	10.42	11.16	6.81	11.29	10.54
9.81	5.75	4.42	6.17	5.72	5.35	5.06	5.16	5.35	8.01	13.40	14.35	8.83	14.49	13.54
12.81	7.48	5.77	8.12	7.58	6.94	6.60	6.68	6.96	10.45	17.39	18.60	11.57	18.75	17.52

- Ss-1
- Ss-2-1
- Ss-2-2
- Ss-2-3
- Ss-2-4
- Ss-2-5
- Ss-2-6
- Ss-2-7
- Ss-2-8
- Ss-3-1
- Ss-3-2EW
- Ss-3-2NS
- Ss-3-1'
- Ss-3-2EW'
- Ss-3-2NS'

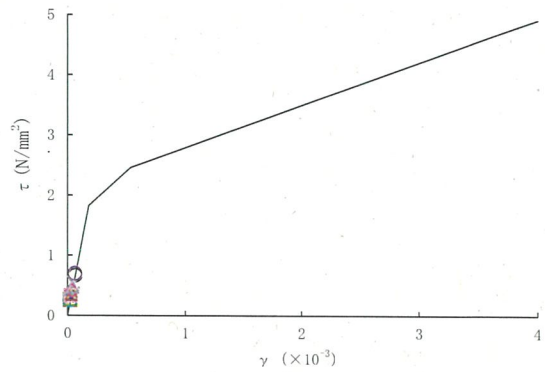


第 4-17 図 Ss 基本ケース 鉛直方向 (NS 断面) 最大応答軸力

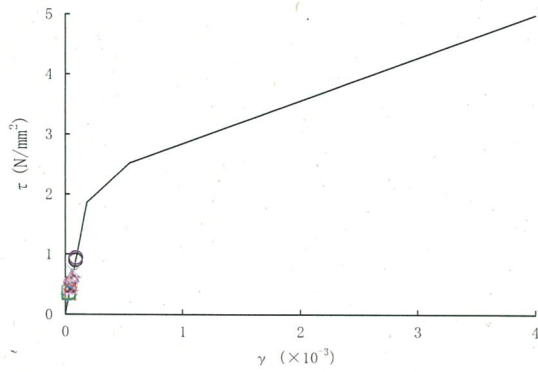
○ : Ss-1	□ : Ss-2-1	◇ : Ss-2-2	△ : Ss-2-3	× : Ss-2-4	+ : Ss-2-5
○ : Ss-2-6	□ : Ss-2-7	◇ : Ss-2-8	△ : Ss-3-1	× : Ss-3-2EW	+ : Ss-3-2NS
○ : Ss-1'	□ : Ss-3-1'	◇ : Ss-3-2EW'	△ : Ss-3-2NS'		



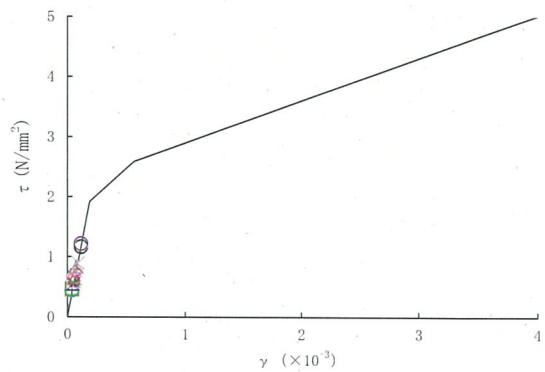
1部材



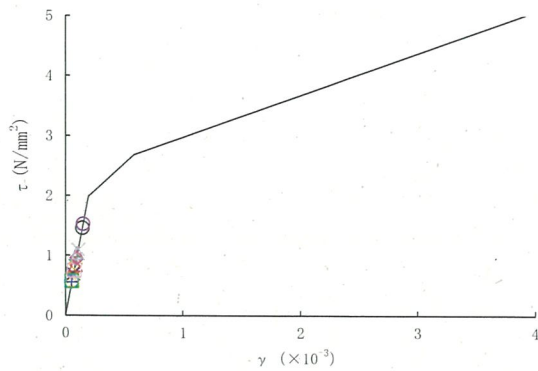
2部材



3部材

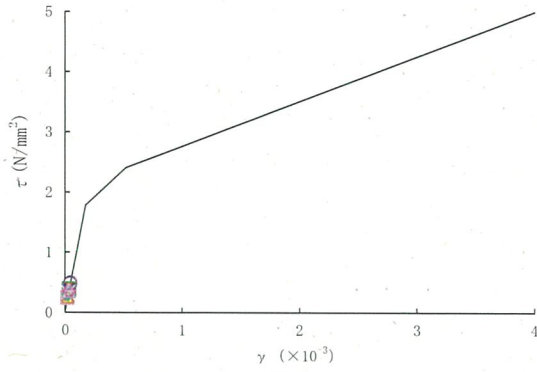


4部材

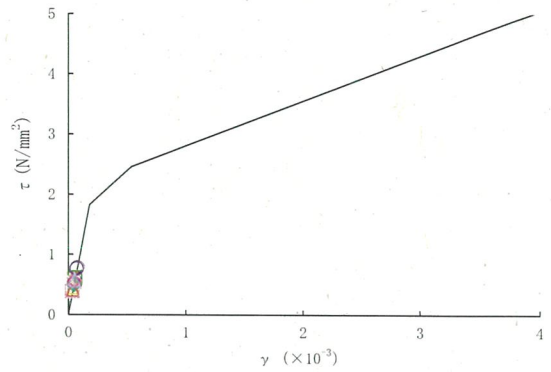


5部材

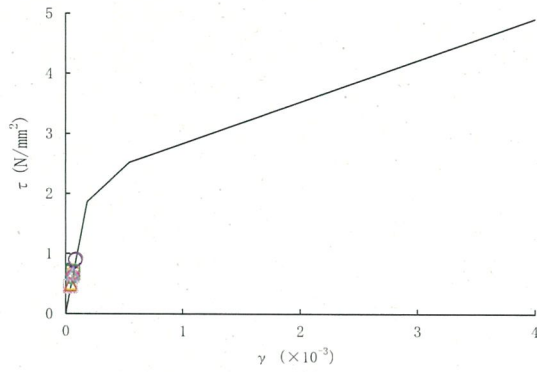
第 4-18 図 セン断スケルトンカーブ上の最大応答値  
(Ss 基本ケース EW 方向)



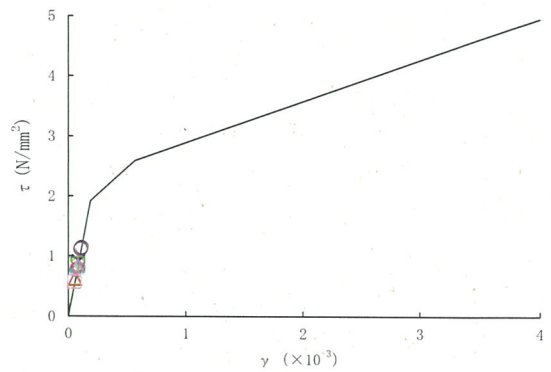
1部材



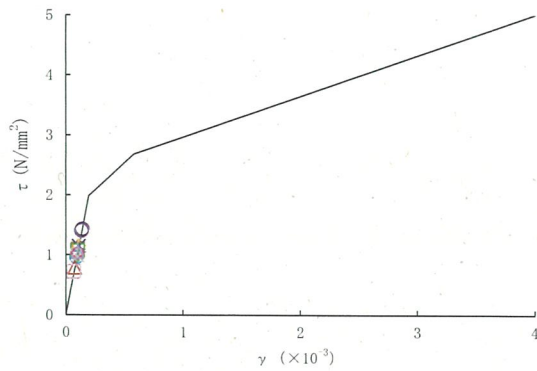
2部材



3部材



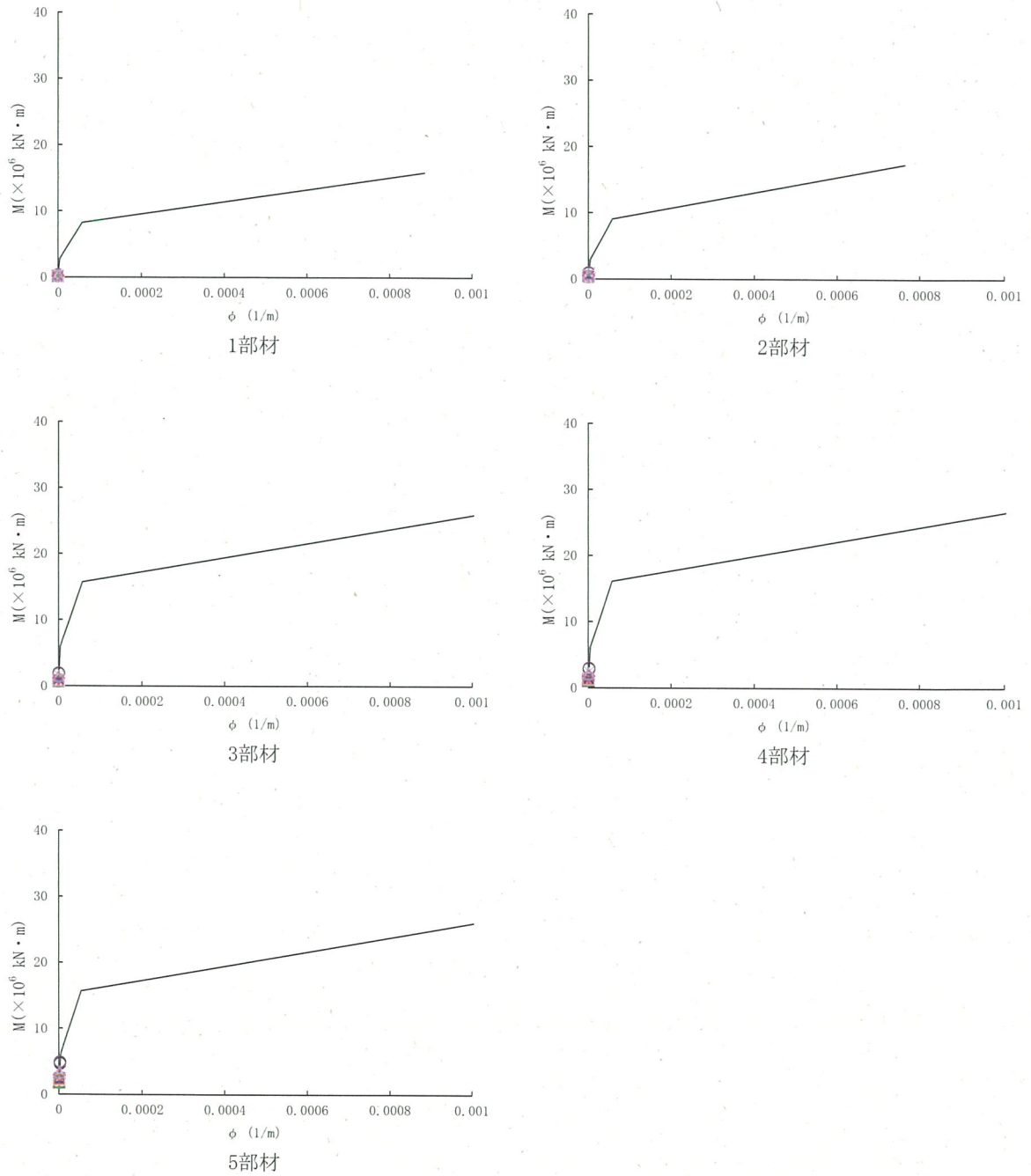
4部材



5部材

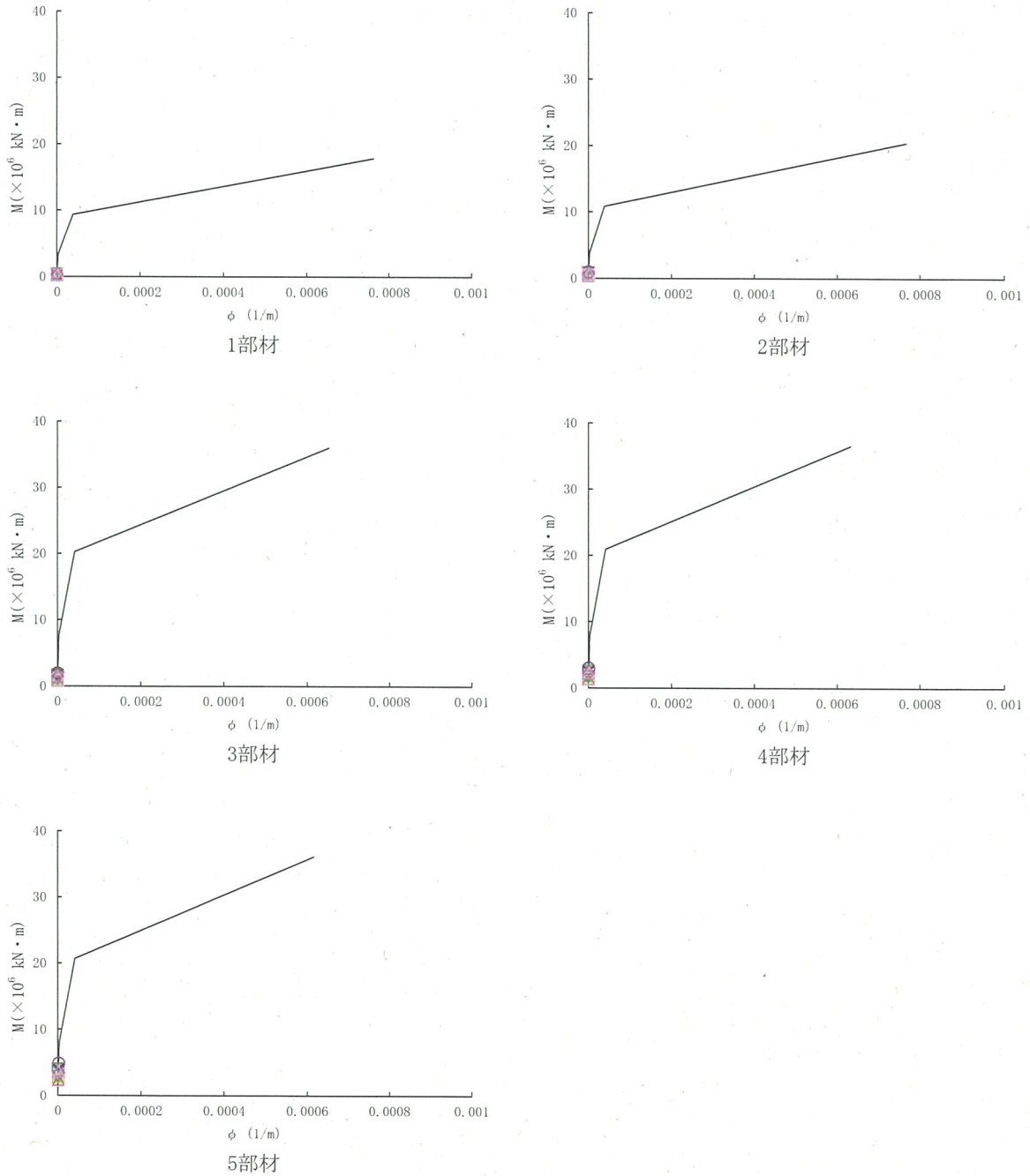
第 4-19 図 セン断スケルトンカーブ上の最大応答値  
(Ss 基本ケース NS 方向)

○ : Ss-1	□ : Ss-2-1	◇ : Ss-2-2	△ : Ss-2-3	× : Ss-2-4	⊕ : Ss-2-5
○ : Ss-2-6	□ : Ss-2-7	◇ : Ss-2-8	△ : Ss-3-1	× : Ss-3-2EW	⊕ : Ss-3-2NS
○ : Ss-1'	□ : Ss-3-1'	◇ : Ss-3-2EW'	△ : Ss-3-2NS'		



第 4-20 図 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値  
(Ss 基本ケース EW 方向)

○ : Ss-1	□ : Ss-2-1	◇ : Ss-2-2	△ : Ss-2-3	× : Ss-2-4	+
○ : Ss-2-6	□ : Ss-2-7	◇ : Ss-2-8	△ : Ss-3-1	× : Ss-3-2EW	+
○ : Ss-1'	□ : Ss-3-1'	◇ : Ss-3-2EW'	△ : Ss-3-2NS'		



第 4-21 図 曲げスkeletonカーブ上の最大応答値  
(Ss 基本ケース NS 方向)



第4-4表 (1/2) 浮上り検討 Ss 基本ケース EW方向

地震動		浮上り 限界転倒 モーメント ( $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	最大転倒 モーメント ( $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	接地率 (%)
Ss	Ss-1	655.02	792.75	89.48
	Ss-2-1		331.18	100.00
	Ss-2-2		455.92	100.00
	Ss-2-3		334.18	100.00
	Ss-2-4		376.08	100.00
	Ss-2-5		299.93	100.00
	Ss-2-6		315.69	100.00
	Ss-2-7		310.02	100.00
	Ss-2-8		534.17	100.00
	Ss-3-1		457.21	100.00
	Ss-3-2EW		658.29	99.75
	Ss-3-2NS		523.82	100.00
	Ss-1'		821.11	87.32
	Ss-3-1'		399.89	100.00
	Ss-3-2EW'		539.88	100.00
	Ss-3-2NS'		575.77	100.00



第4-4表 (2/2) 浮上り検討 Ss 基本ケース NS方向

地震動		浮上り 限界転倒 モーメント ( $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	最大転倒 モーメント ( $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	接地率 (%)
Ss	Ss-1	715.67	838.90	91.39
	Ss-2-1		601.22	100.00
	Ss-2-2		629.19	100.00
	Ss-2-3		497.92	100.00
	Ss-2-4		679.44	100.00
	Ss-2-5		617.16	100.00
	Ss-2-6		580.57	100.00
	Ss-2-7		629.00	100.00
	Ss-2-8		541.52	100.00
	Ss-3-1		432.90	100.00
	Ss-3-2EW		563.70	100.00
	Ss-3-2NS		634.55	100.00
	Ss-1'		828.48	92.11
	Ss-3-1'		407.14	100.00
	Ss-3-2EW'		580.83	100.00
	Ss-3-2NS'		613.86	100.00

第4-5表 (1/2) 最大接地圧 Ss 基本ケース

地震動	方向		最大接地圧* (kN/m <sup>2</sup> )
Ss-1	EW	鉛直上向き	492
		鉛直下向き	542
	NS	鉛直上向き	479
		鉛直下向き	531
Ss-2-1	EW	鉛直上向き	327
		鉛直下向き	361
	NS	鉛直上向き	402
		鉛直下向き	439
Ss-2-2	EW	鉛直上向き	372
		鉛直下向き	403
	NS	鉛直上向き	414
		鉛直下向き	444
Ss-2-3	EW	鉛直上向き	322
		鉛直下向き	368
	NS	鉛直上向き	365
		鉛直下向き	410
Ss-2-4	EW	鉛直上向き	337
		鉛直下向き	382
	NS	鉛直上向き	422
		鉛直下向き	469
Ss-2-5	EW	鉛直上向き	319
		鉛直下向き	347
	NS	鉛直上向き	408
		鉛直下向き	443
Ss-2-6	EW	鉛直上向き	322
		鉛直下向き	356
	NS	鉛直上向き	396
		鉛直下向き	432
Ss-2-7	EW	鉛直上向き	324
		鉛直下向き	349
	NS	鉛直上向き	414
		鉛直下向き	445

※：最大接地圧は、組合せ係数法（組合せ係数0.4）により算定した最大値を示す

第 4-5 表 (2/2) 最大接地圧 Ss 基本ケース

地震動	方向		最大接地圧* (kN/m <sup>2</sup> )
Ss-2-8	EW	鉛直上向き	397
		鉛直下向き	432
	NS	鉛直上向き	385
		鉛直下向き	418
Ss-3-1	EW	鉛直上向き	362
		鉛直下向き	414
	NS	鉛直上向き	339
		鉛直下向き	394
Ss-3-2EW	EW	鉛直上向き	421
		鉛直下向き	501
	NS	鉛直上向き	369
		鉛直下向き	448
Ss-3-2NS	EW	鉛直上向き	371
		鉛直下向き	451
	NS	鉛直上向き	390
		鉛直下向き	473
Ss-1'	EW	鉛直上向き	509
		鉛直下向き	550
	NS	鉛直上向き	474
		鉛直下向き	529
Ss-3-1'	EW	鉛直上向き	342
		鉛直下向き	394
	NS	鉛直上向き	328
		鉛直下向き	389
Ss-3-2EW'	EW	鉛直上向き	379
		鉛直下向き	454
	NS	鉛直上向き	373
		鉛直下向き	455
Ss-3-2NS'	EW	鉛直上向き	389
		鉛直下向き	470
	NS	鉛直上向き	385
		鉛直下向き	463

※：最大接地圧は、組合せ係数法（組合せ係数0.4）により算定した最大値を示す

# 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算書

設計及び工事計画認可申請 資料9-12-2

伊方発電所第3号機

## 目 次

	頁
1. 概要 .....	資9-12-2-1
2. 基本方針 .....	資9-12-2-2
2.1 位置 .....	資9-12-2-2
2.2 構造概要 .....	資9-12-2-3
2.3 評価方針 .....	資9-12-2-10
2.4 適用規格 .....	資9-12-2-13
3. 地震応答解析による評価方法 .....	資9-12-2-14
4. 応力解析による評価方法 .....	資9-12-2-16
4.1 評価対象部位及び評価方針 .....	資9-12-2-16
4.2 荷重及び荷重の組合せ .....	資9-12-2-18
4.3 許容限界 .....	資9-12-2-22
4.4 解析モデル及び諸元 .....	資9-12-2-24
4.5 評価方法 .....	資9-12-2-29
5. 評価結果 .....	資9-12-2-40
5.1 地震応答解析による評価結果 .....	資9-12-2-40
5.2 応力解析による評価結果 .....	資9-12-2-41

※本資料における  については商業機密又は防護上の機密を含むため公開  
できません。

## 1. 概要

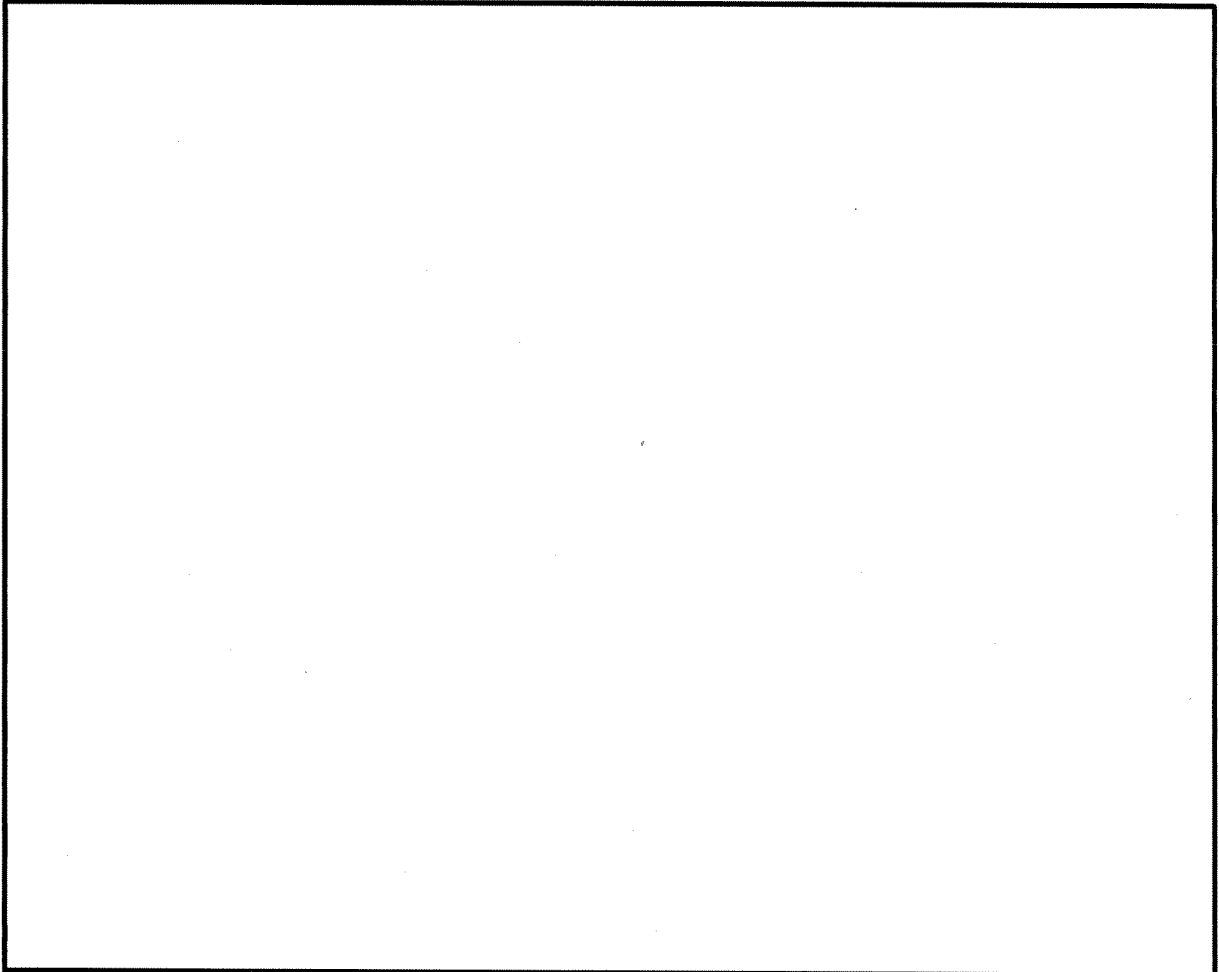
本資料は、資料9-9「機能維持の基本方針」に基づき、使用済燃料乾式貯蔵建屋の構造強度及び機能維持の確認について説明するものであり、その評価は、地震応答解析による評価及び応力解析による評価により行う。

使用済燃料乾式貯蔵建屋のうち基礎は、設計基準対象施設において「Sクラス施設の間接支持構造物」に分類される。以下、分類に応じた耐震評価を示す。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

使用済燃料乾式貯蔵建屋の設置位置を第2-1図に示す。



第2-1図 使用済燃料乾式貯蔵建屋の設置位置図

## 2.2 構造概要

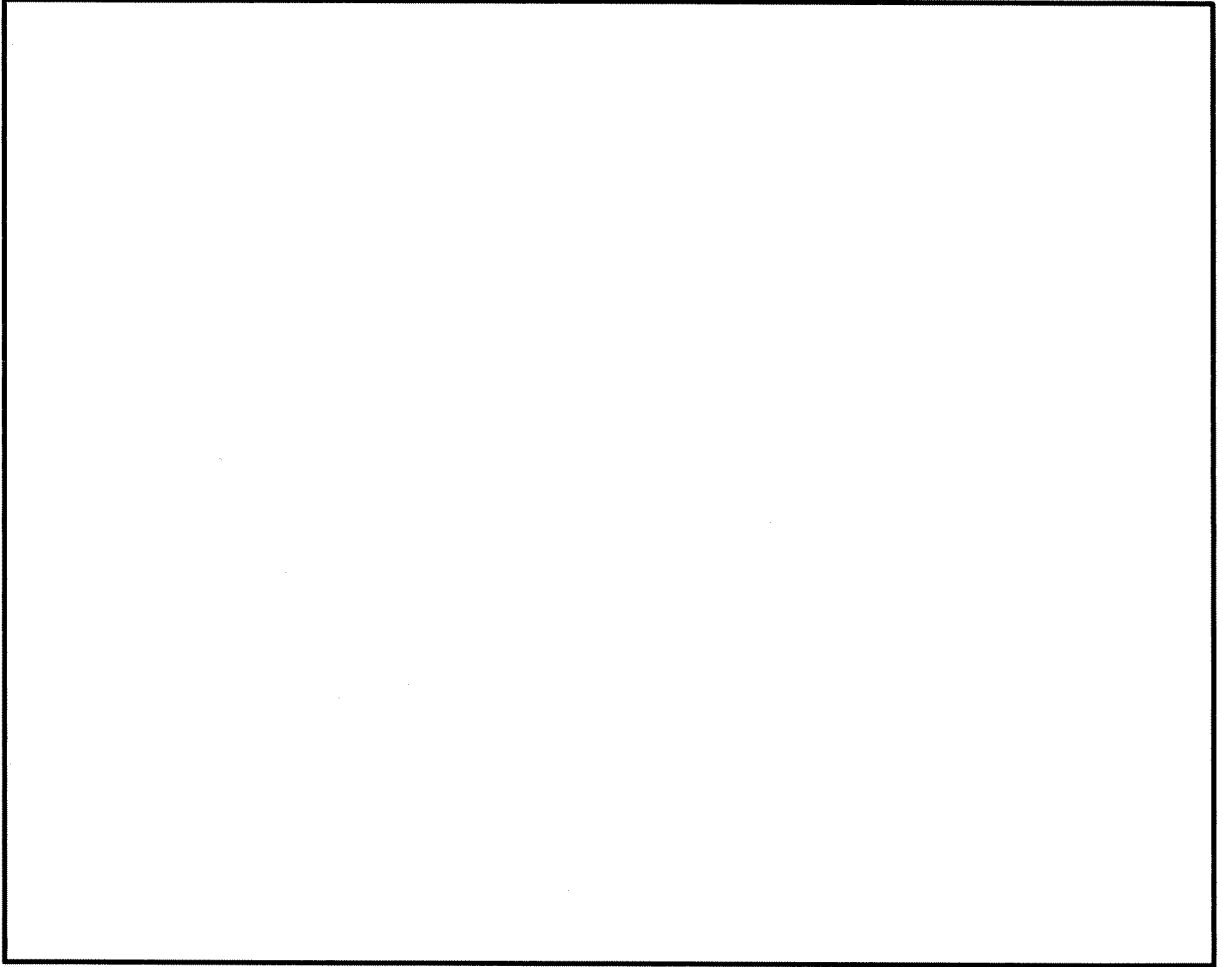
使用済燃料乾式貯蔵建屋は、使用済燃料乾式貯蔵容器（以下「乾式キャスク」という。）を45基収容することができる鉄筋コンクリート造の構造物であり、使用済燃料乾式貯蔵建屋貯蔵エリア（以下「貯蔵エリア」という。）、使用済燃料乾式貯蔵建屋取扱エリア（以下「取扱エリア」という。）などから構成される。


主要構造は、鉄筋コンクリート造の耐震壁を主体としており、貯蔵エリアの耐震壁には冷却空気取入れのための開口がある。

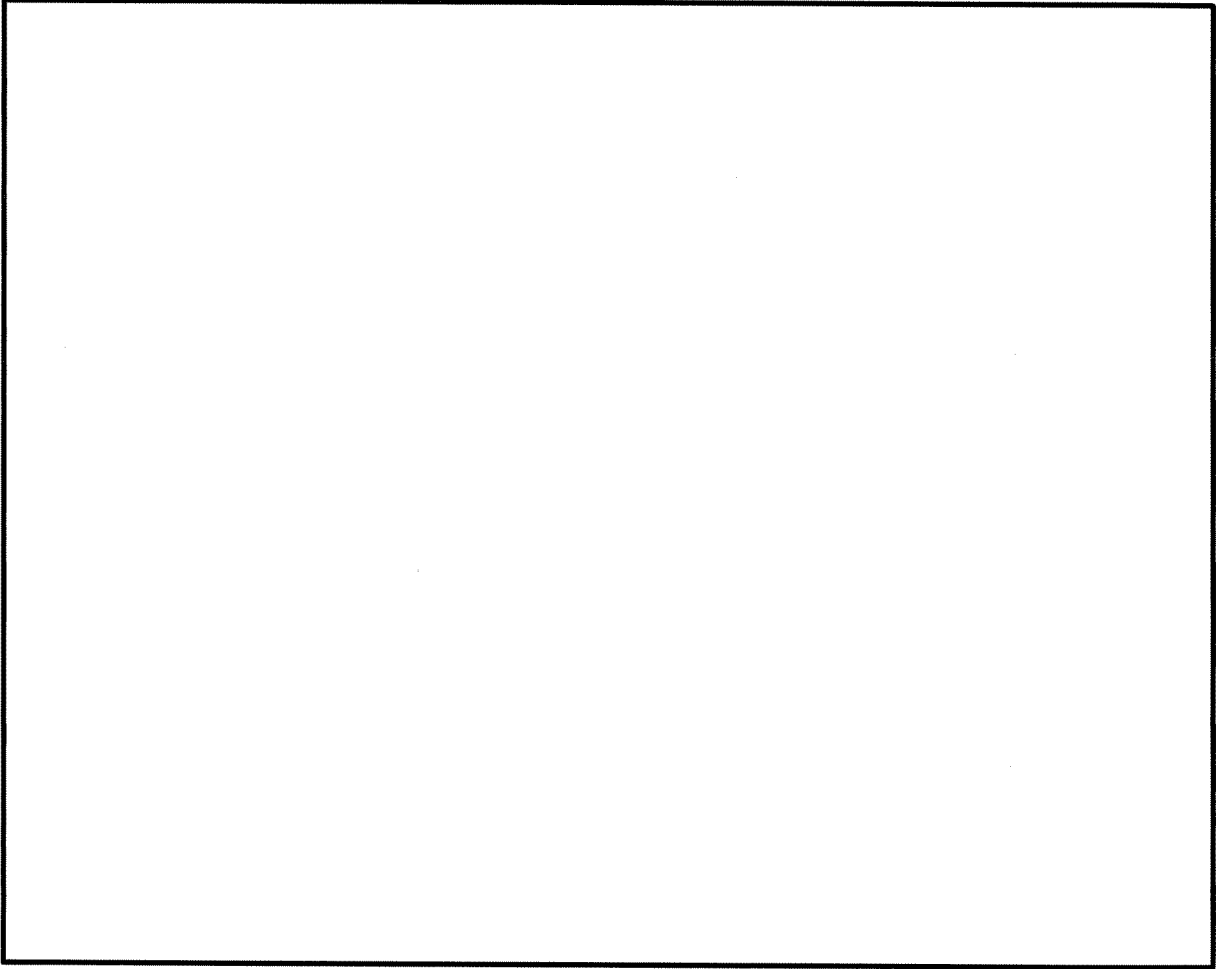
使用済燃料乾式貯蔵建屋は、基礎を介して直接岩盤に支持される。


使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図、概略断面図を第2-2図～第2-3図に示す。

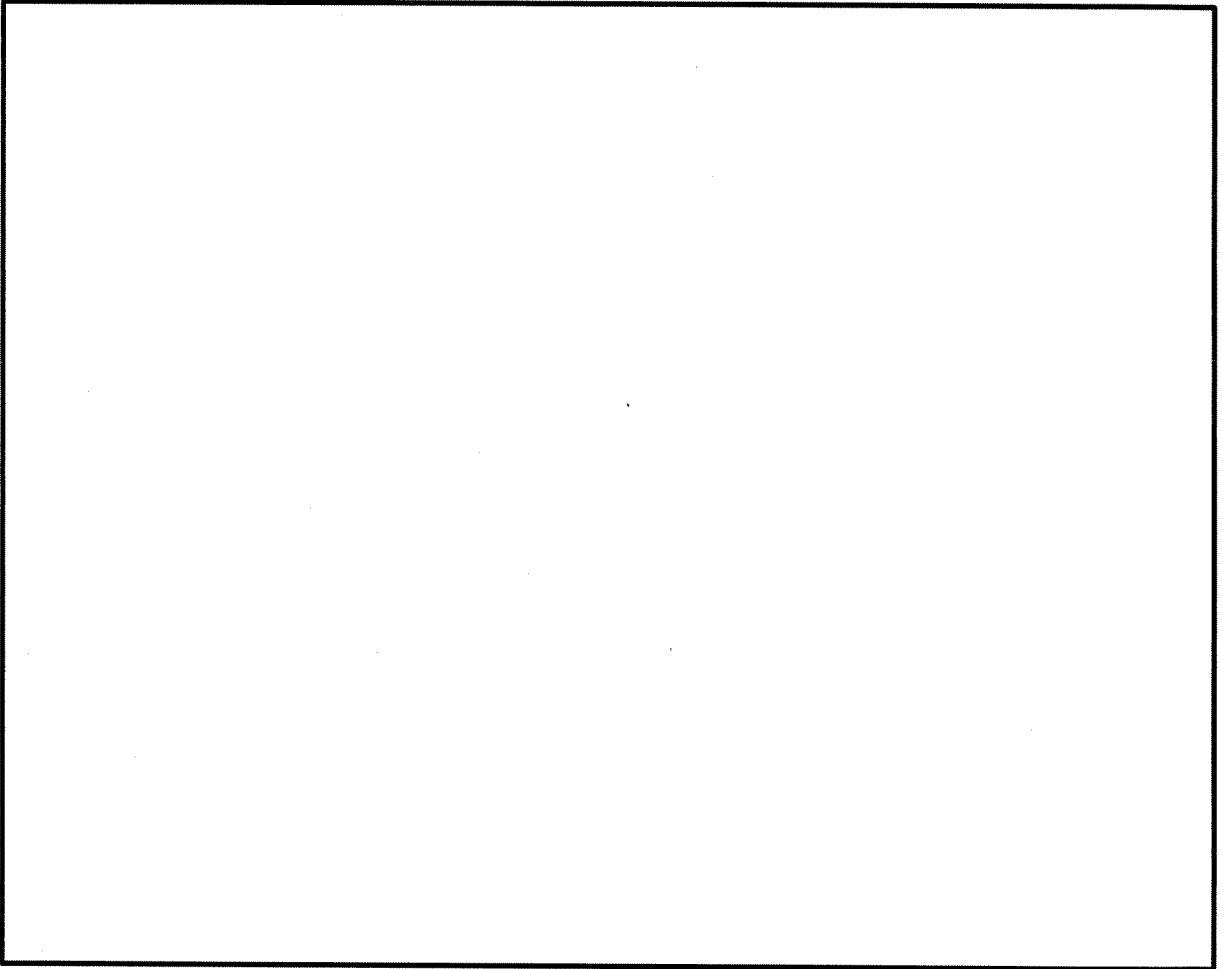





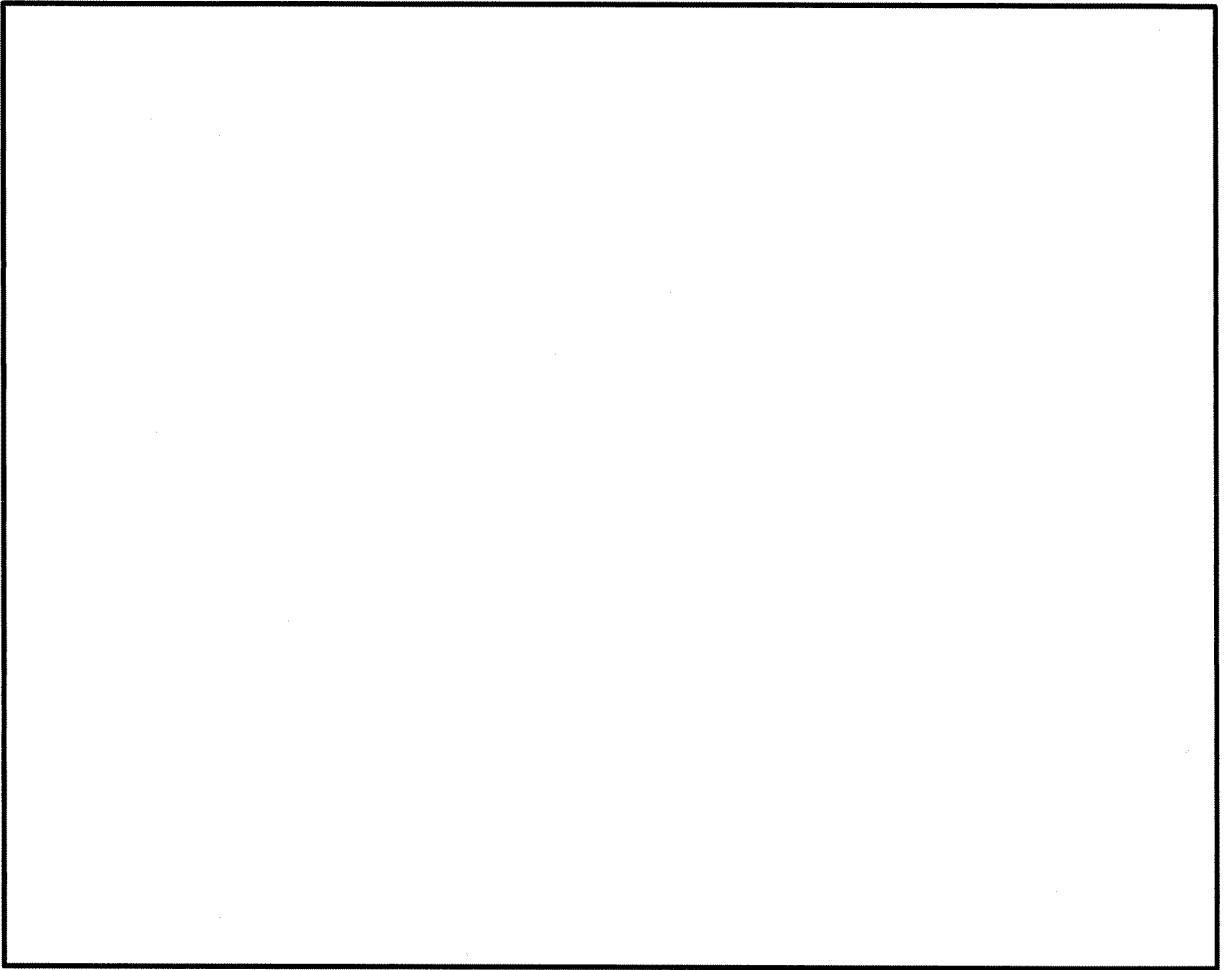
第2-2図 (1/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図 



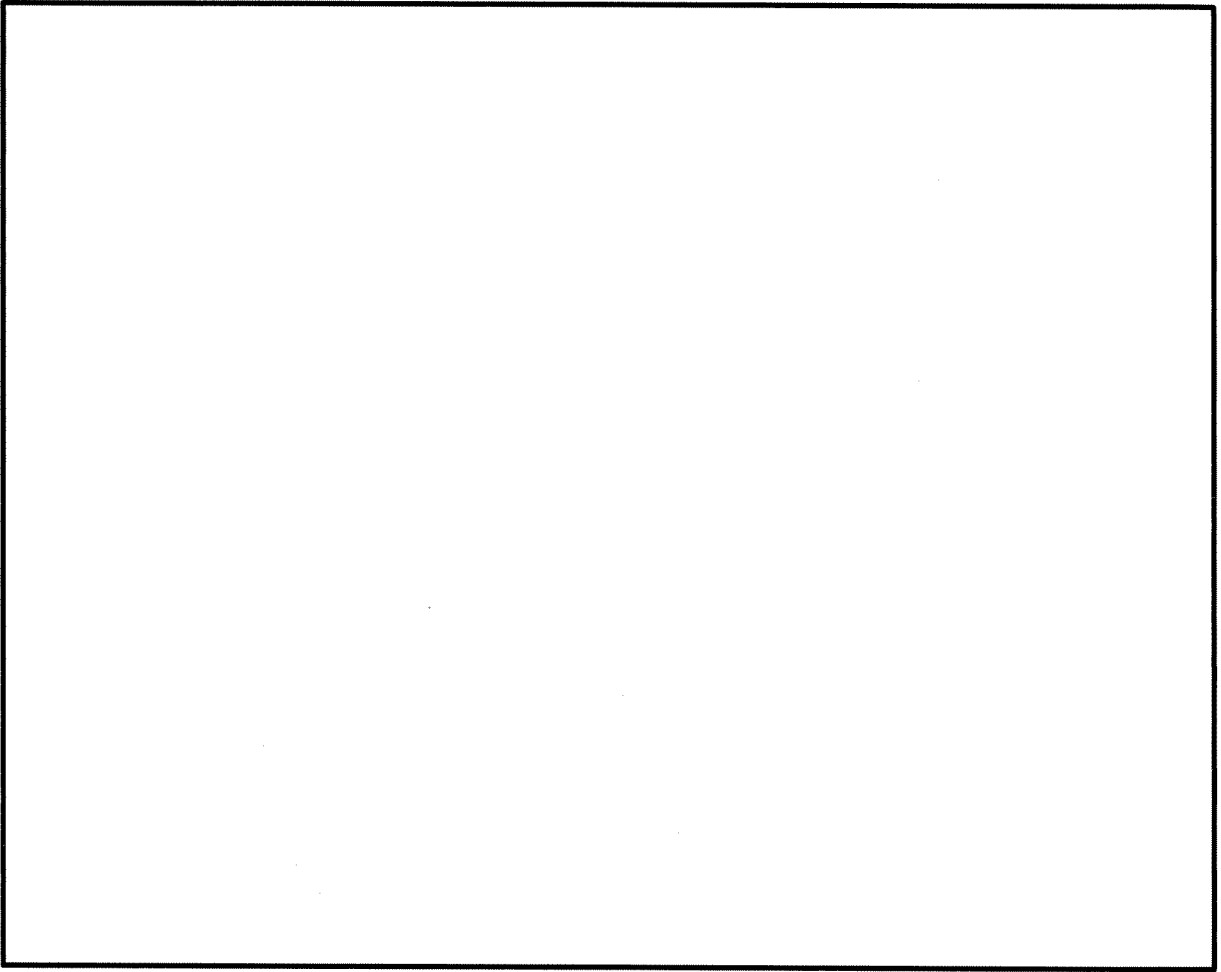
第2-2図 (2/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図 



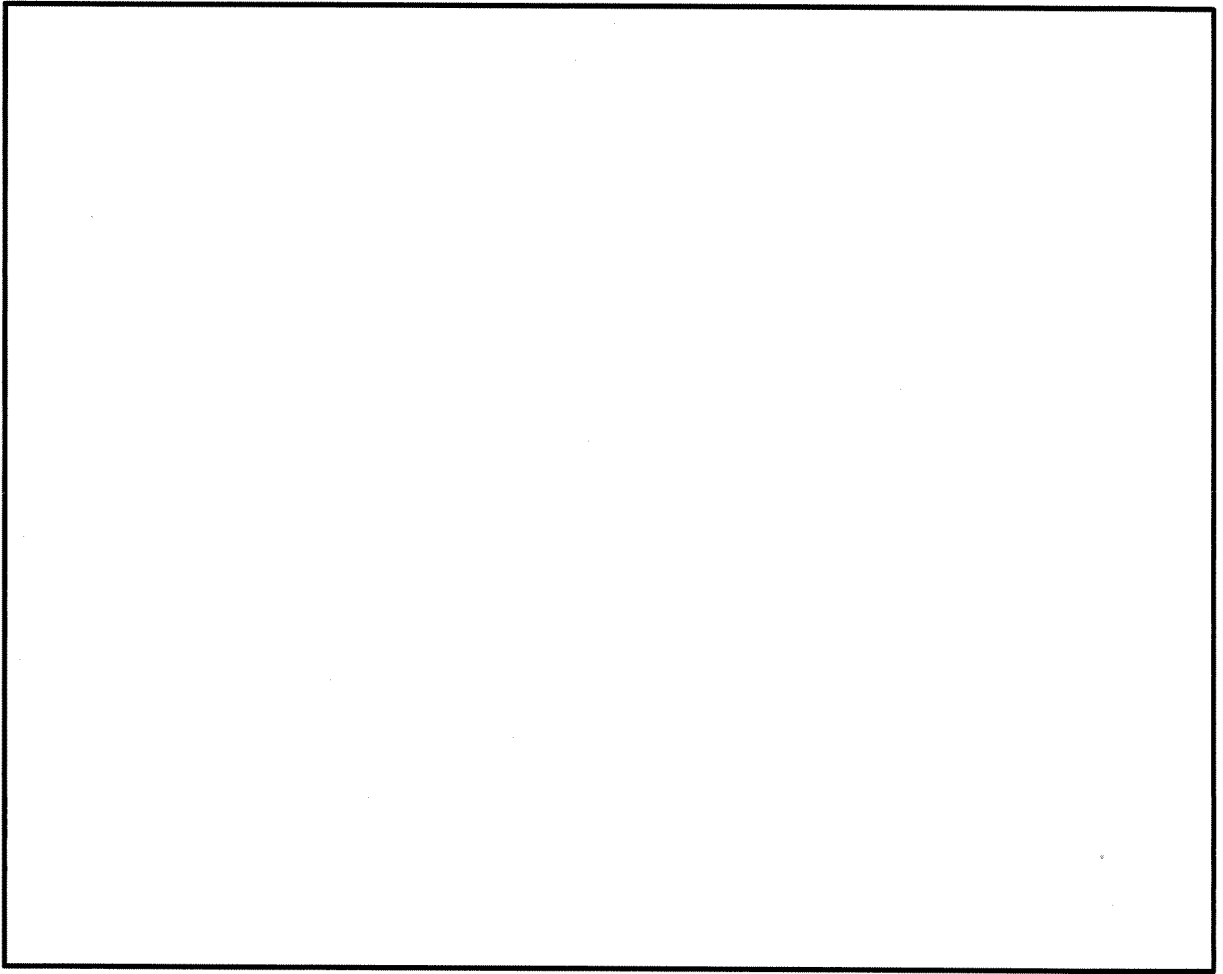
第2-2図 (3/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図 



第2-3図 (1/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (A-A断面)



第2-3図 (2/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (B-B断面)



第2-3図 (3/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (C-C断面)

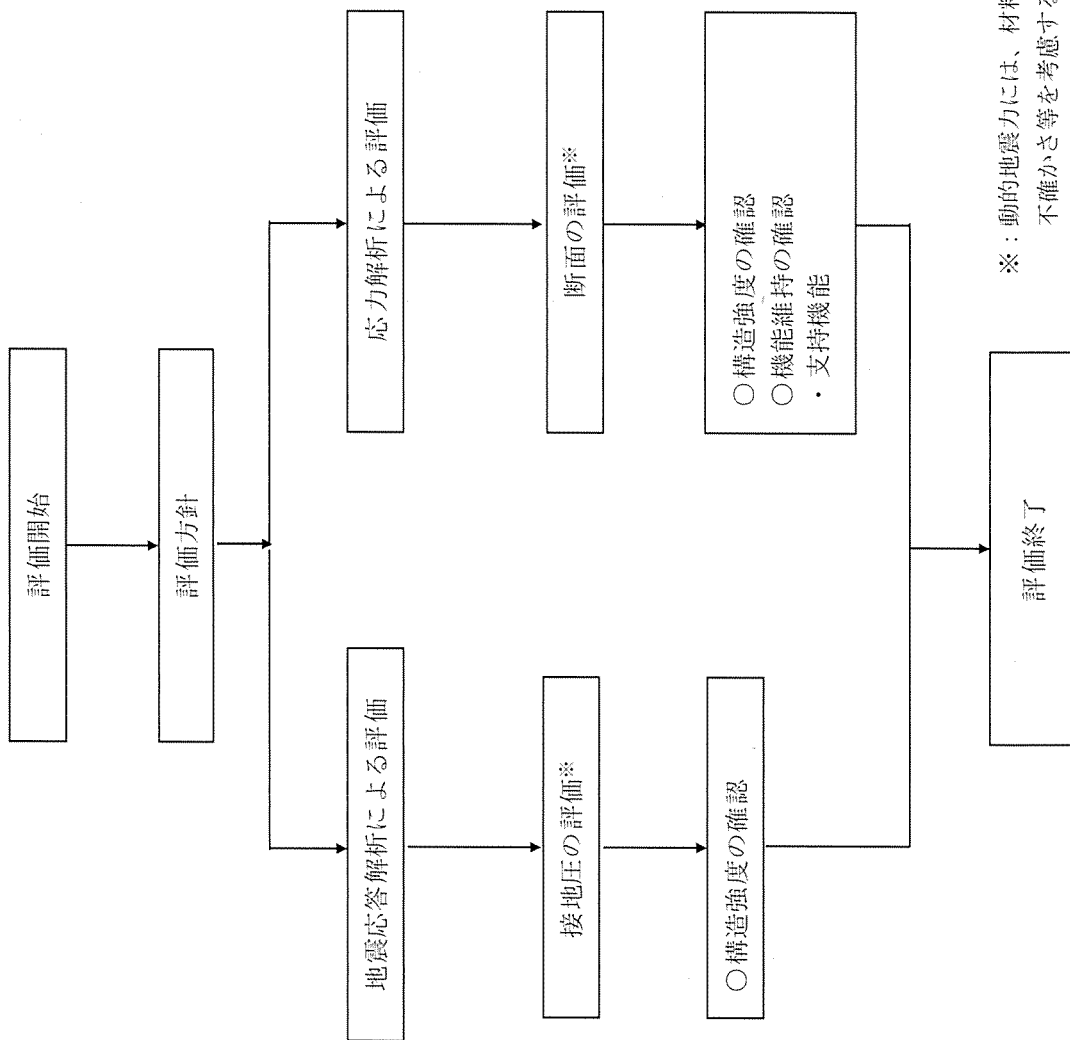
### 2.3 評価方針

使用済燃料乾式貯蔵建屋のうち基礎は、設計基準対象施設において「Sクラス施設の間接支持構造物」に分類される。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価においては、基準地震動 $S_s$ による地震力が作用する状態（以下「 $S_s$ 地震時」という。）に対する評価を行う。なお、常時荷重が作用する状態（以下「常時」という。）に対する評価についても併せて示す。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価では、資料9-9「機能維持の基本方針」に基づき、地震応答解析による評価においては接地圧の評価を、応力解析による評価においては断面の評価を行うことで、使用済燃料乾式貯蔵建屋の構造強度及び機能維持の確認を行う。評価に用いる動的地震力には、資料9-12-1「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」による材料物性の不確かさ等を考慮する。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価フローを第2-4図に、動的地震力に考慮する材料物性の不確かさ等を考慮した地震応答解析ケースを第2-1表に示す。



第2-4図 使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価フロー



第2-1表 材料物性の不確かさ等を考慮した地震応答解析ケース

ケース名	地盤のせん断波速度 $V_s$ * (m/s)		鉄筋コンクリート部の 減衰定数h (%)
基本	1,700	2,700	5
$V_s+1\sigma$	1,836 (1.08)	2,916 (1.08)	5
$V_s-1\sigma$	1,564 (0.92)	2,484 (0.92)	5
減衰3%	1,700	2,700	3

※：資料9-12-1「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」において、基礎底面の地盤ばねの算定に用いた地盤のせん断波速度。

( ) 内は基本ケースに対する比率。

## 2.4 適用規格

使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価において、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JEAG4601-1987 ((社) 日本電気協会) (以下「JEAG4601-1987」という。)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1991追補版 ((社) 日本電気協会) (以下「JEAG4601-1991」という。)
- ・ 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-許容応力度設計法- ((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。)
- ・ 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書 (国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所) (以下「技術基準解説書」という。)

### 3. 地震応答解析による評価方法

地震応答解析による評価において、使用済燃料乾式貯蔵建屋の構造強度については、資料9-12-1「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」による結果に基づき、最大接地圧が許容限界を超えないことを有することを確認する。

地震応答解析による評価における使用済燃料乾式貯蔵建屋の許容限界は、資料9-9「機能維持の基本方針」に基づき、第3-1表のとおり設定する。

第3-1表 地震応答解析による評価における許容限界

要求機能	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(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 Ss	基礎地盤	最大接地圧が地盤の支持力度を超えないことを確認	極限支持力度 <sup>※</sup>
		(常時に対する検討)	基礎地盤	最大接地圧が地盤の支持力度を超えないことを確認	長期許容支持力度 <sup>※</sup>

※：資料9-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき設定。

#### 4. 応力解析による評価方法

##### 4.1 評価対象部位及び評価方針

使用済燃料乾式貯蔵建屋の応力解析による評価における評価対象部位は、基礎とし、以下の方針に基づき評価を行う。

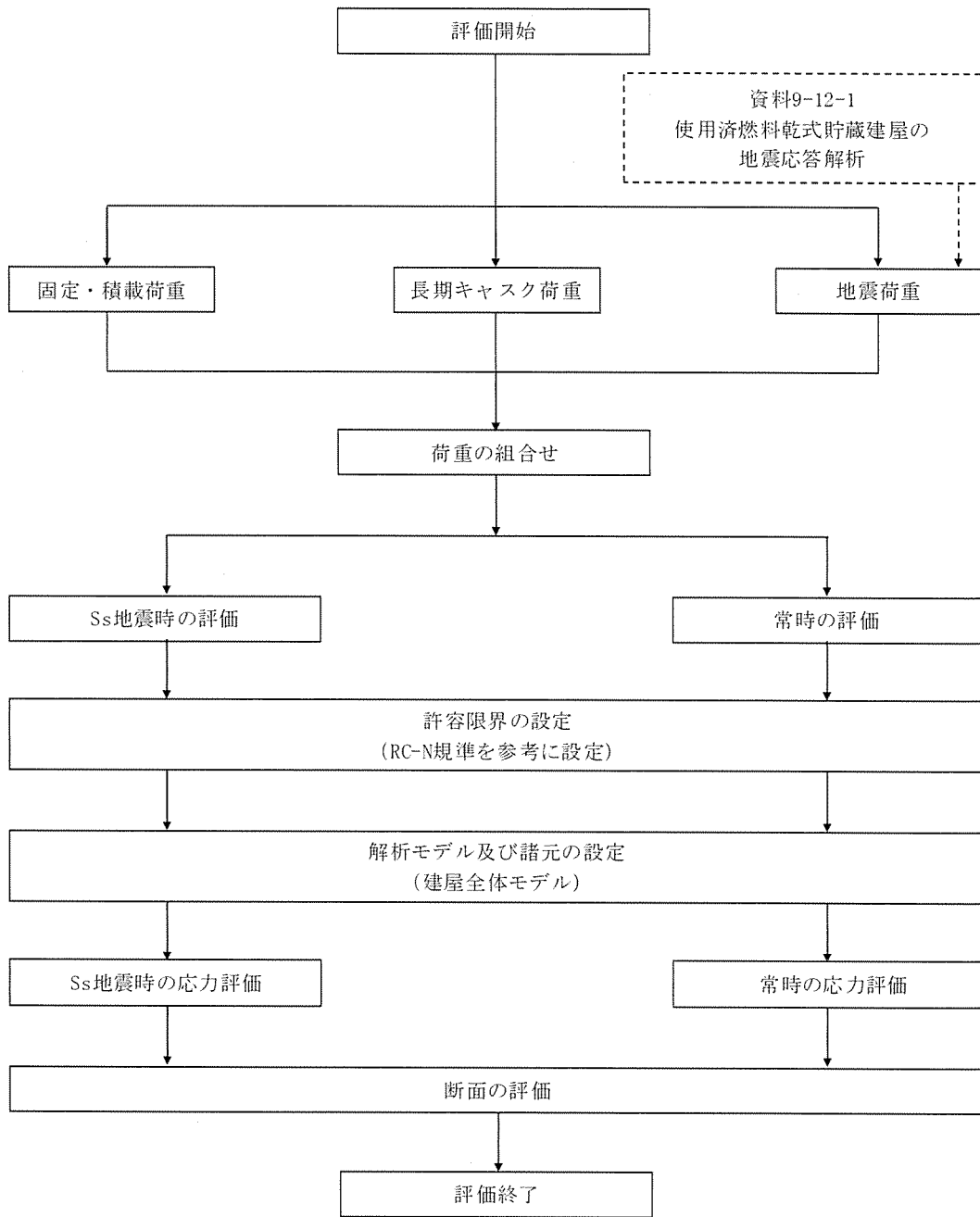
###### (1) Ss地震時に対する評価

Ss地震時に対する評価は、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析によることとし、地震荷重と地震荷重以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が、RC-N規準を参考に設定した許容限界を超えないことを確認する。

###### (2) 常時に対する評価

常時に対する評価は、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析によることとし、地震荷重以外の常時作用する荷重の組合せの結果、発生する応力が、RC-N規準を参考に設定した許容限界を超えないことを確認する。

3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析は、資料9-12-1「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」による結果を用いて、荷重の組合せを行う。応力解析による評価フローを第4-1図に示す。



第4-1図 応力解析による評価フロー

#### 4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、資料9-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。なお、使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価において、積雪荷重は積載荷重に包絡されることから、地震荷重及び積載荷重の組合せで考慮される。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋が鉄筋コンクリート構造物であり自重の大きな施設であることから、風荷重の影響は小さいと判断し、地震荷重及び風荷重の組合せは考慮しない。

##### 4.2.1 荷重

###### (1) 固定荷重(G)及び積載荷重(P)

固定荷重及び積載荷重を第4-1表及び第4-2表に示す。

第4-1表 (1/3) 固定荷重 (床、屋根及び壁)

部位	固定荷重 (kN/m <sup>2</sup> )	備考
床 (貯蔵エリア)	24.00t + 1.2	t : 部材厚さ (m)
屋根 (貯蔵エリア)	24.00t + 3.0	
壁	24.00t	

第4-1表 (2/3) 固定荷重 (基礎)

部位	固定荷重 (kN/m <sup>2</sup> )	備考
基礎(貯蔵エリア)	24.00t + 7.2	t : 部材厚さ (m)

第4-1表 (3/3) 固定荷重 (クレーン自重)

部位	固定荷重
クレーン自重(kN)	1,883

第4-2表 積載荷重 (床及び屋根)

部位	積載荷重 (kN/m <sup>2</sup> )
床	機器 + 配管サポート + 1.2
屋根	機器 + 配管サポート + 3.0
基礎張出部	5.4

(2) 長期キャスク荷重 ( $C_0$ )

長期キャスク荷重を第4-3表に示す。

第4-3表 長期キャスク荷重

部位	長期キャスク荷重 (kN/基)
乾式キャスク : 45基	1,177
乾式キャスク架台 : 45基	197



(3) 地震荷重(Ks)

地震荷重は、水平地震力、鉛直地震力及び乾式キャスクからの反力（以下「キャスク反力」という。）、により構成される。

a. Ss地震荷重(Ks)

Ss地震荷重のうち水平地震力及び鉛直地震力は、地震応答解析結果における動的地震力より設定する。

水平地震荷重（水平地震力によるキャスク反力を含む）と鉛直地震荷重（鉛直地震力によるキャスク反力を含む）の組合せは、組合せ係数法を用いて次のとおりとする。

① $1.0 \times$ 水平地震荷重 $+0.4 \times$ 鉛直地震荷重

② $0.4 \times$ 水平地震荷重 $+1.0 \times$ 鉛直地震荷重

#### 4.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを第4-4表に示す。

第4-4表 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
Ss地震時	$GP + C_0 + K_s$
常時	$GP + C_0$

GP : 固定・積載荷重

$C_0$  : 長期キャスク荷重

$K_s$  : Ss地震荷重

#### 4.3 許容限界

応力解析による評価における使用済燃料乾式貯蔵建屋の許容限界は、資料9-9「機能維持の基本方針」に基づき、第4-5表のとおり設定する。

また、RC-N規準に基づくコンクリート及び鉄筋の許容応力度を第4-6表及び第4-7表に示す。

第4-5表 応力解析による評価における許容限界

要求機能	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(評価基準値)
—	構造強度を有すること	(常時に対する検討)	基礎	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 規準における長期許容応力度
支持機能*	機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 S <sub>s</sub>	基礎	部材に生じる応力が支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	終局耐力

※：「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響」の確認が含まれる。

第4-6表 コンクリートの許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

設計基準強度F <sub>c</sub>	長期		短期	
	圧縮	せん断	圧縮	せん断
30	10.0	0.790	20.0	1.18

第4-7表 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

鉄筋種類	長期		短期	
	引張及び圧縮	せん断補強	引張及び圧縮	せん断補強
SD345	195	195	345	345
SD390	195	195	390	390

#### 4.4 解析モデル及び諸元

##### 4.4.1 モデル化の基本方針

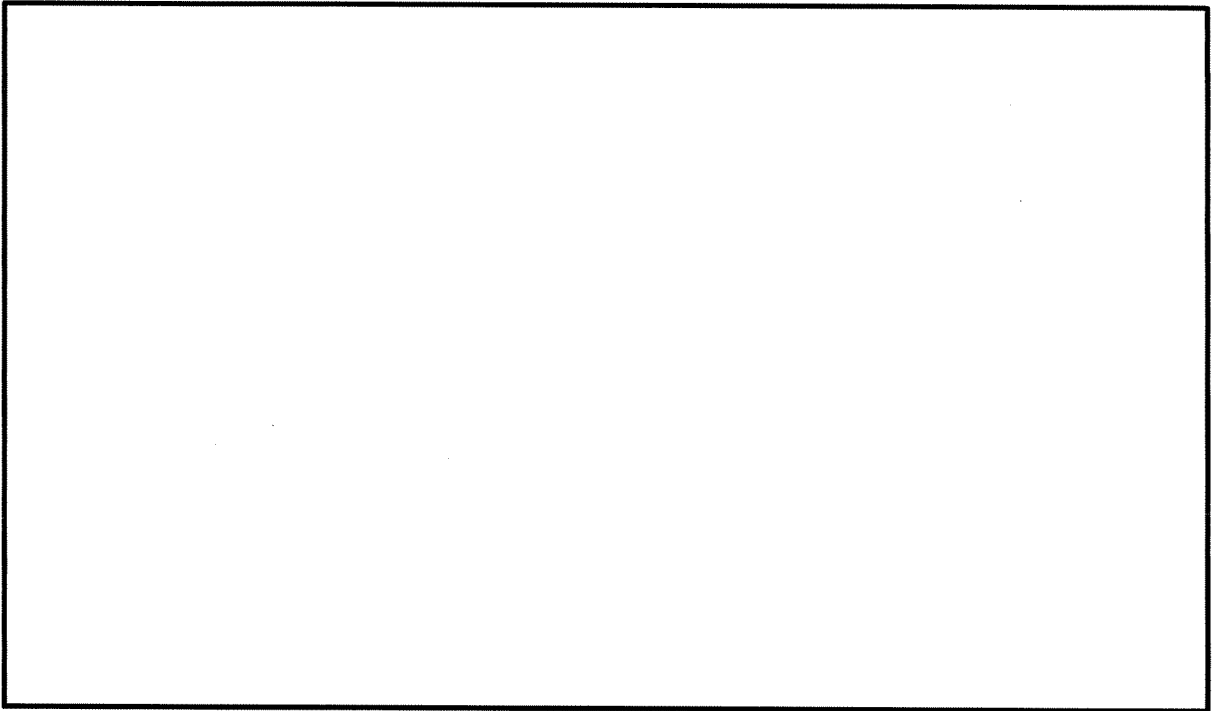
###### (1) 基本方針

応力解析は、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析とする。解析モデルは、使用済燃料乾式貯蔵建屋の上部構造物と基礎を含めた建屋全体モデルとする。解析モデルを第4-2図及び第4-3図に示す。モデルの節点数は13245、要素数は17454である。

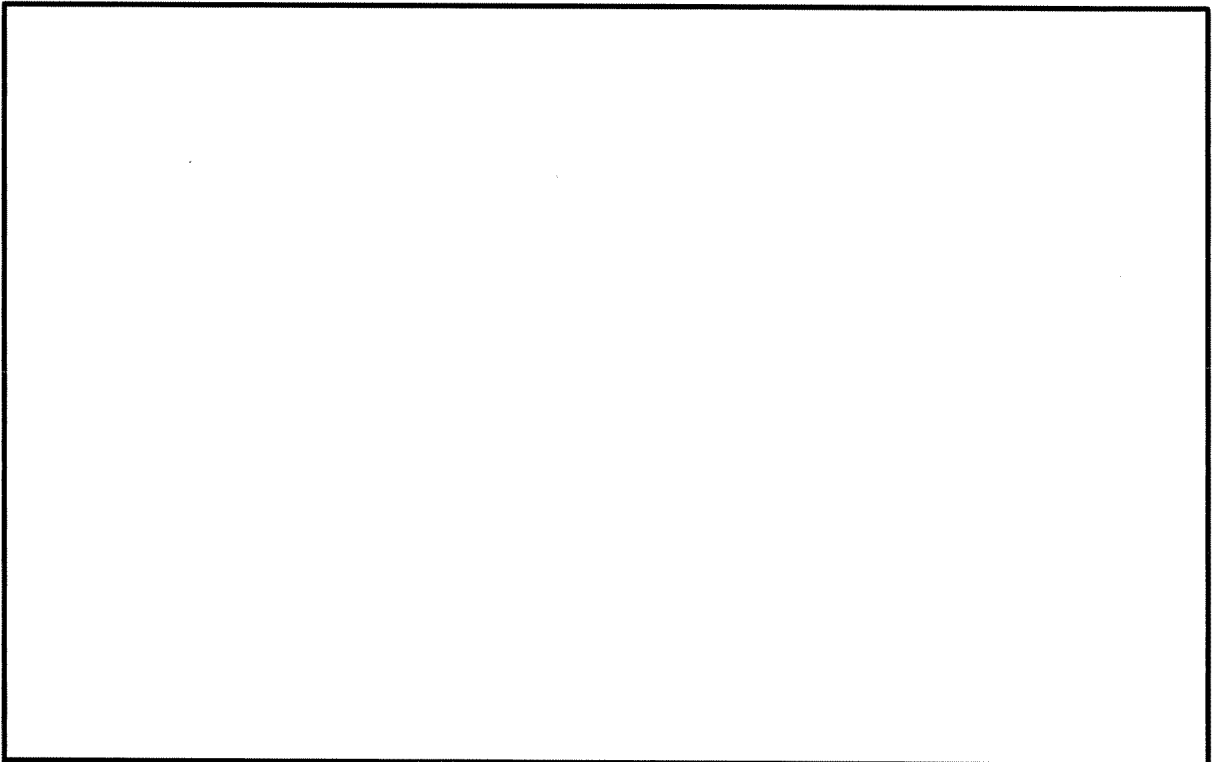
応力解析には、解析コード「NX NASTRAN」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

###### (2) 使用要素

解析モデルに使用するFEM要素は、屋根、床、壁及び基礎について面材として扱いシェル要素、はりについてははり要素とする。



第4-2図 建屋全体モデル



第4-3図 建屋全体モデル（基礎）の鳥瞰図

(3) 境界条件

応力の算定に用いる基礎底面地盤の鉛直及び水平ばねは、以下の方法で求まる地盤反力係数に各ばねの水平投影面積による支配面積を乗じて設定する。また、浮上りを生じている部分の基礎下端の地盤反力はないものとして解析を行う。

a. Ss地震時

鉛直方向地盤反力係数  $k_v = {}_D K_R / J$  (kN/m<sup>3</sup>)

水平方向地盤反力係数  $k_s = {}_D K_S / A$  (kN/m<sup>3</sup>)

ここで、

${}_D K_R$ 、 ${}_D K_S$  : JEAG4601-1991に基づき、振動アドミッタンス理論により、地盤の動的物性値を用いて評価した回転ばね定数及び水平ばね定数

J : 基礎底面の断面2次モーメント (m<sup>4</sup>)

A : 基礎底面の面積 (m<sup>2</sup>)

${}_D K_R$ 、 ${}_D K_S$ の値は、資料9-12-1「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」において設定している値を用いる。地盤ばね定数の算出に用いる地盤の動的物性値を第4-8表に、算出した基礎底面の地盤ばね定数を第4-9表に示す。

第4-8表 地盤の動的物性値 (Ss地震時)

地層 EL (m)	地盤のせん断波速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比
	1,700	29.4	0.34
	2,700	29.4	0.34

第4-9表 地盤ばね定数 (Ss地震時)

水平ばね	${}_D K_S$	ばね定数 (kN/m)	
		EW 方向	NS 方向
		$2.19 \times 10^9$	$2.17 \times 10^9$
回転ばね	${}_D K_R$	ばね定数 (kN・m/rad)	
		EW 方向	NS 方向
		$1.99 \times 10^{12}$	$2.25 \times 10^{12}$

b. 常時

鉛直方向地盤反力係数  $k_v = sK_z/A$  (kN/m<sup>3</sup>)

水平方向地盤反力係数  $k_s = sK_s/A$  (kN/m<sup>3</sup>)

ここで、

$sK_z$ 、 $sK_s$  : JEAG4601-1991に基づき、振動アドミッタンス理論により、地盤の静的物性値を用いて評価した鉛直ばね定数及び水平ばね定数

A : 基礎底面の面積 (m<sup>2</sup>)

$sK_z$ 、 $sK_s$ の算出に用いる地盤の静的物性値は、資料9-3「地盤の支持性能に係る基本方針」において設定している値を用いる。地盤ばね定数の算出に用いる地盤の静的物性値を第4-10表に、算出した基礎底面の地盤ばね定数を第4-11表に示す。

第 4-10 表 地盤の静的物性値 (常時)

地層 EL (m)	地盤の静弾性係数 (kN/m <sup>2</sup> )	単位体積 重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比
	3.63 × 10 <sup>6</sup>	29.4	0.29

第 4-11 表 地盤ばね定数 (常時)

水平ばね	$sK_s$	ばね定数 (kN/m)	
		EW 方向	NS 方向
		2.01 × 10 <sup>8</sup>	1.99 × 10 <sup>8</sup>
鉛直ばね	$sK_z$	ばね定数 (kN/m)	
		2.41 × 10 <sup>8</sup>	



#### 4.4.2 解析諸元

基礎について、RC-N規準に基づくコンクリート及び鉄筋の物性値を第4-12表に示す。

第4-12表 (1/2) コンクリートの物性値

設計基準強度 Fc (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$
30	$2.44 \times 10^4$	0.2

第4-12表 (2/2) 鉄筋の物性値

鉄筋種類	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )
SD345 SD390	$2.05 \times 10^5$

## 4.5 評価方法

### 4.5.1 応力解析方法

基礎について、Ss地震時及び常時に対して3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析を行う。

#### (1) 荷重ケース

Ss地震時及び常時の応力は、組合せるべき荷重を全て同時に作用させて応力解析を行う。

単独荷重の記号を以下に示す。

GP	: 固定・積載荷重
$C_0$	: 長期キャスク荷重
$K_{SWE}^{**}$	: Ss地震時 W→E方向 地震力
$K_{SSN}^{**}$	: Ss地震時 S→N方向 地震力
$K_{SDU(EW)}^{**}$	: Ss地震時 鉛直方向 地震力 (EW断面)
$K_{SDU(NS)}^{**}$	: Ss地震時 鉛直方向 地震力 (NS断面)
$C_{SWE}^{**}$	: Ss地震時 W→E方向 地震時荷重によるキャスク反力
$C_{SSN}^{**}$	: Ss地震時 S→N方向 地震時荷重によるキャスク反力
$C_{SDU}^{**}$	: Ss地震時 鉛直方向 地震時荷重によるキャスク反力

※: 加力方向により絶対値の差異はないため、計算上の座標軸を基本として、W→E方向、S→N方向及び鉛直上向きを「+」、E→W方向、N→S方向及び鉛直下向きを「-」とする。

#### (2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを第4-13表に示す。

第4-13表 (1/2) 荷重の組合せケース (Ss地震時)

組合せ 係数	加力方向		ケース No.	荷重の組合せケース
	水平	鉛直		
水平1.0 鉛直0.4	W→E	下	1	$GP+C_0+1.0K_{SWE}+1.0C_{SWE}-0.4K_{SDU(EW)}-0.4C_{SDU}$
	E→W		2	$GP+C_0-1.0K_{SWE}-1.0C_{SWE}-0.4K_{SDU(EW)}-0.4C_{SDU}$
	W→E	上	3	$GP+C_0+1.0K_{SWE}+1.0C_{SWE}+0.4K_{SDU(EW)}+0.4C_{SDU}$
	E→W		4	$GP+C_0-1.0K_{SWE}-1.0C_{SWE}+0.4K_{SDU(EW)}+0.4C_{SDU}$
	S→N	下	5	$GP+C_0+1.0K_{SSN}+1.0C_{SSN}-0.4K_{SDU(NS)}-0.4C_{SDU}$
	N→S		6	$GP+C_0-1.0K_{SSN}-1.0C_{SSN}-0.4K_{SDU(NS)}-0.4C_{SDU}$
	S→N	上	7	$GP+C_0+1.0K_{SSN}+1.0C_{SSN}+0.4K_{SDU(NS)}+0.4C_{SDU}$
	N→S		8	$GP+C_0-1.0K_{SSN}-1.0C_{SSN}+0.4K_{SDU(NS)}+0.4C_{SDU}$
水平0.4 鉛直1.0	W→E	下	9	$GP+C_0+0.4K_{SWE}+0.4C_{SWE}-1.0K_{SDU(EW)}-1.0C_{SDU}$
	E→W		10	$GP+C_0-0.4K_{SWE}-0.4C_{SWE}-1.0K_{SDU(EW)}-1.0C_{SDU}$
	W→E	上	11	$GP+C_0+0.4K_{SWE}+0.4C_{SWE}+1.0K_{SDU(EW)}+1.0C_{SDU}$
	E→W		12	$GP+C_0-0.4K_{SWE}-0.4C_{SWE}+1.0K_{SDU(EW)}+1.0C_{SDU}$
	S→N	下	13	$GP+C_0+0.4K_{SSN}+0.4C_{SSN}-1.0K_{SDU(NS)}-1.0C_{SDU}$
	N→S		14	$GP+C_0-0.4K_{SSN}-0.4C_{SSN}-1.0K_{SDU(NS)}-1.0C_{SDU}$
	S→N	上	15	$GP+C_0+0.4K_{SSN}+0.4C_{SSN}+1.0K_{SDU(NS)}+1.0C_{SDU}$
	N→S		16	$GP+C_0-0.4K_{SSN}-0.4C_{SSN}+1.0K_{SDU(NS)}+1.0C_{SDU}$

第4-13表 (2/2) 荷重の組合せケース (常時)

ケース No.	荷重の組合せケース
17	$GP+C_0$

### (3) 荷重の入力方法

#### a. 固定・積載荷重

固定荷重は、3次元FEMモデルの各要素に、材料の単位体積重量に基づく重量を与える。また、積載荷重は、3次元FEMモデルの各層の床に対する分布荷重として入力する。

#### b. 長期キャスク荷重

第4-3表に示す長期キャスク荷重を乾式キャスクが設置される位置に節点力として入力する。乾式キャスクが設置される位置を第4-4図に示す。

#### c. 地震荷重

##### (a) Ss地震時

##### イ. 水平及び鉛直地震力

水平地震力は、地震応答解析結果における動的地震力のうち、各部材のせん断力及び曲げモーメントをそれぞれ包絡し設定する。せん断力は水平力に置換し応力解析モデルの各節点における支配領域に応じた節点力として入力し、曲げモーメントは鉛直力に置換し各節点における支配領域に応じた節点力として入力する。

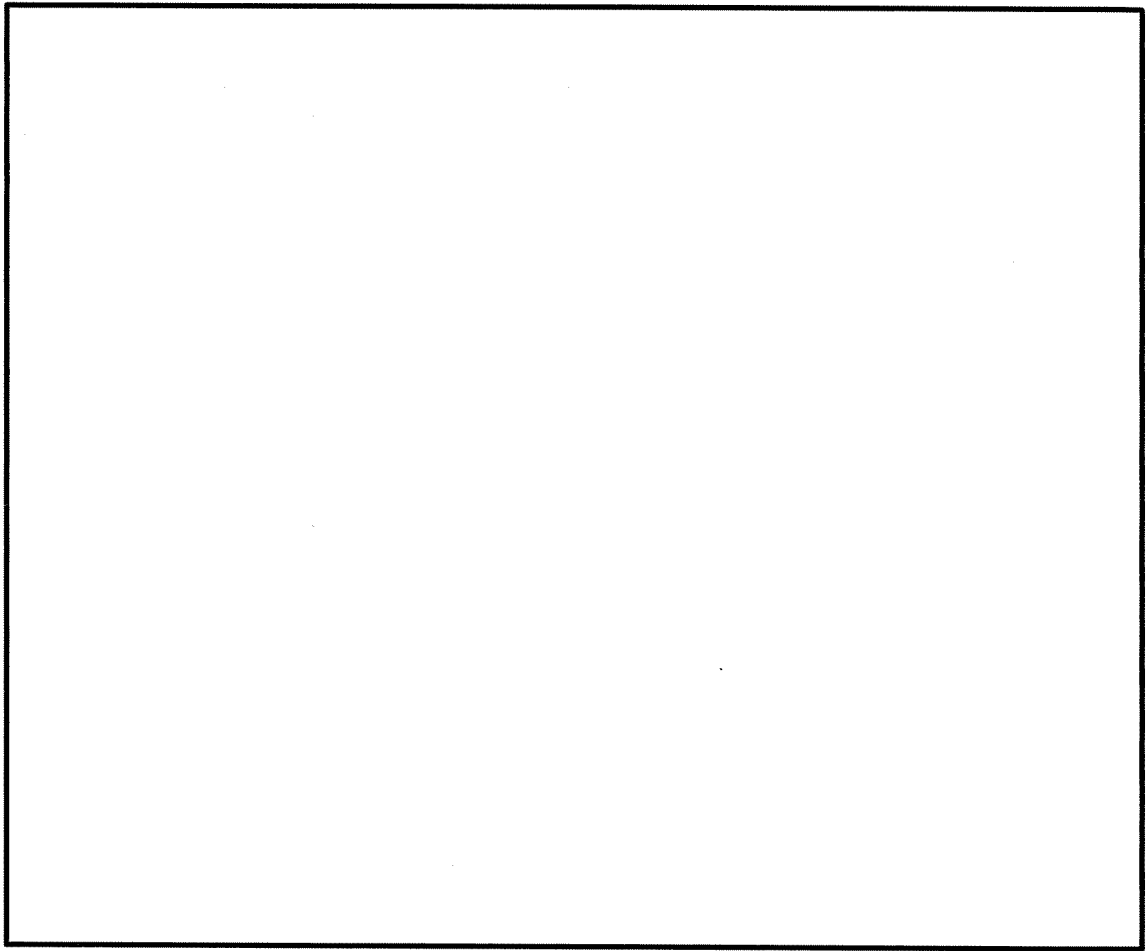
鉛直地震力は、地震応答解析結果における動的地震力のうち、各部材の軸力を包絡し設定する。軸力は鉛直力に置換し応力解析モデルの各節点における支配領域に応じた節点力として入力する。

なお、節点力は地震応答解析モデルの各質点位置に対応した各節点に入力する。また、水平及び鉛直地震力は、第2-1表に示す材料物性の不確かさ等を考慮した各ケースにおけるSs-1、Ss-2及びSs-3の最大値を包絡して用いる。

Ss地震時において応力解析モデルに入力する地震力を第4-14表～第4-16表に示す。

##### ロ. キャスク反力

キャスク反力は、キャスクが設置される位置に節点力として入力する。なお、キャスク反力は、水平方向は拡幅した設計用床応答曲線、鉛直方向は設計用の最大床加速度を1.2倍した値に基づき算定していることから、基本ケースの値を用いる。キャスク反力を第4-17表に示す。



第4-4図 キャスク設置位置

第4-14表 (1/2) 水平地震力 せん断力 EW方向 (Ss地震時)

( $\times 10^3$ kN)

部位	部材 番号	EL. (m)	最大応答せん断力				設計用 地震力
			基本*	$V_{s+1\sigma}$ *	$V_{s-1\sigma}$ *	減衰3%*	
上部 構造物	1		82.0	83.5	79.8	93.3	93.3
	2		146.5	149.2	142.6	166.1	166.1
	3		278.2	283.3	270.9	313.4	313.5
	4		343.9	350.0	334.9	385.7	385.7
	5		417.9	424.9	407.4	465.4	465.4
基礎底面	7		652.0	657.9	641.4	705.3	705.3

※ : Ss-1、Ss-2及びSs-3の最大値。

第4-14表 (2/2) 水平地震力 せん断力 NS方向 (Ss地震時)

( $\times 10^3$ kN)

部位	部材 番号	EL. (m)	最大応答せん断力				設計用 地震力
			基本*	$V_{s+1\sigma}$ *	$V_{s-1\sigma}$ *	減衰3%*	
上部 構造物	1		76.7	78.8	75.8	84.9	84.9
	2		136.4	140.0	135.9	152.0	152.1
	3		259.9	260.8	258.8	289.1	289.2
	4		322.1	320.3	320.8	357.7	357.8
	5		393.1	390.7	391.7	435.4	435.4
基礎底面	7		623.0	617.9	623.4	674.0	674.1

※ : Ss-1、Ss-2及びSs-3の最大値。

第4-15表 (1/2) 水平地震力 曲げモーメント EW方向 (Ss地震時)

( $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

部位	部材 番号	EL. (m)	最大応答曲げモーメント				
			基本※	$V_{s+1\sigma}$ ※	$V_{s-1\sigma}$ ※	減衰3%※	設計用 地震力
上部 構造物	1U		18.6	18.6	18.5	22.1	22.1
	1D		50.4	51.2	49.2	59.4	59.4
	2U		64.9	65.8	63.3	77.1	77.1
	2D		120.6	122.5	117.5	140.2	140.2
	3U		149.9	151.6	146.6	174.6	174.7
	3D		228.9	232.1	223.6	263.7	263.7
	4U		243.3	246.5	238.0	280.3	280.3
	4D		345.1	350.1	337.2	394.5	394.5
	5U		360.4	365.4	352.6	411.7	411.8
	5D		611.1	620.3	597.1	690.9	691.0
基礎底面	—		851.5	865.8	832.9	953.7	953.8

(注) 部材番号におけるUは部材上端位置、Dは下端位置を示す。

※ : Ss-1、Ss-2及びSs-3の最大値。

第4-15表 (2/2) 水平地震力 曲げモーメント NS方向 (Ss地震時)

( $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

部位	部材 番号	EL. (m)	最大応答曲げモーメント				
			基本※	$V_{s+1\sigma}$ ※	$V_{s-1\sigma}$ ※	減衰3%※	設計用 地震力
上部 構造物	1U		28.4	29.0	27.4	33.4	33.4
	1D		52.3	51.5	52.7	57.1	57.2
	2U		70.6	69.1	71.6	76.3	76.4
	2D		121.9	121.0	122.8	133.2	133.2
	3U		159.6	156.3	161.8	171.6	171.6
	3D		232.7	230.0	235.1	252.6	252.7
	4U		251.5	248.0	254.8	272.5	272.6
	4D		346.8	342.6	349.7	377.5	377.5
	5U		367.8	362.9	371.7	400.2	400.2
	5D		603.6	596.0	606.7	661.4	661.5
基礎底面	—		850.7	840.5	854.0	943.5	943.5

(注) 部材番号におけるUは部材上端位置、Dは下端位置を示す。

※ : Ss-1、Ss-2及びSs-3の最大値。



第4-16表 (1/2) 鉛直地震力 軸力 EW断面 (Ss地震時)

( $\times 10^3$ kN)

部位	部材 番号	EL. (m)	最大応答軸力				
			基本※	$V_{s+1\sigma}$ ※	$V_{s-1\sigma}$ ※	減衰3%※	設計用 地震力
上部 構造物	1		30.1	30.1	30.1	30.6	30.6
	2		55.5	55.4	55.5	56.2	56.3
	3		112.8	112.8	112.8	114.0	114.1
	4		145.0	145.0	145.0	146.4	146.5
	5		188.1	188.1	188.0	189.7	189.7
基礎底面	7		437.2	437.5	436.6	440.2	440.2

※ : Ss-1、Ss-2及びSs-3の最大値。

第4-16表 (2/2) 鉛直地震力 軸力 NS断面 (Ss地震時)

( $\times 10^3$ kN)

部位	部材 番号	EL. (m)	最大応答軸力				
			基本※	$V_{s+1\sigma}$ ※	$V_{s-1\sigma}$ ※	減衰3%※	設計用 地震力
上部 構造物	1		30.2	30.1	30.2	30.6	30.6
	2		55.7	55.6	55.7	56.3	56.3
	3		112.9	112.7	113.1	113.8	113.9
	4		144.9	144.7	145.1	146.0	146.0
	5		187.5	187.2	187.6	188.7	188.7
基礎底面	7		431.7	431.7	431.4	434.2	434.2

※ : Ss-1、Ss-2及びSs-3の最大値。

第4-17表 キャスク反力 (Ss地震時)

	キャスク反力 (Ss地震時) (kN/基)
$C_{SWE}$	3900
$C_{SSN}$	3900
$C_{SDU}$	1000

#### 4.5.2 断面の評価方法

断面の評価には、解析コード「DANSANPRO」を用いる。解析コードの検証及び妥当性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。

##### (1) 軸力、曲げモーメント及び面内せん断力

Ss地震時及び常時に対する評価において、RC-N規準に基づき、評価対象部位に生じる軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による必要鉄筋量が、配筋量を超えないことを確認する。

この際、軸力及び曲げモーメントによる必要鉄筋量 ( $a_t$ ) は、軸力及び曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート造長方形仮想柱（コンクリートに対する鉄筋のヤング係数比は13とする）として算出する。また、面内せん断力による必要鉄筋量 ( $a_s$ ) は、評価対象部位に生じる面内せん断力が、コンクリートの許容せん断力以上となる場合において、生じる面内せん断力を鉄筋で全て負担するものとして算出する。なお、Ss地震時における軸力及び曲げモーメントに対する必要鉄筋量は、「技術基準解説書」に基づき、鉄筋の引張強度を1.1倍として算定する。

$$\frac{a_t + a_s/2}{a} \leq 1$$

ここで、

$a_t$  : 軸力及び曲げモーメントによる必要鉄筋量 ( $\text{mm}^2$ )

$a_s$  : 面内せん断力による必要鉄筋量 ( $\text{mm}^2$ )

$$a_s = \frac{Q}{f_t}$$

$Q$  : 面内せん断力 (N)

$f_t$  : 鉄筋のせん断補強用許容引張応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

$a$  : 片側配筋量 ( $\text{mm}^2$ )

(2) 面外せん断力

Ss地震時及び常時に対する評価において、RC-N規準に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断力が、許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$\frac{Q}{Q_A} \leq 1$$

ここで、

Q : 面外せん断力 (N)

Q<sub>A</sub> : 許容面外せん断力 (N)

$$Q_A = b j \alpha f_s$$

b : 断面の幅 (mm)

j : 応力中心間距離 (= (7/8) d) (mm)

d : 有効せい (mm)

α : せん断スパン比による割増係数

なお、引張軸応力度が2N/mm<sup>2</sup>を超える場合は考慮しない (α = 1とする)

$$\alpha = \frac{4}{\frac{M}{Qd} + 1} \quad \text{かつ} \quad 1 \leq \alpha \leq 2$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

f<sub>s</sub> : コンクリートの許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

ただし、Ss地震時において、せん断補強筋を考慮する場合の許容せん断力Q<sub>A</sub>は次式により算出する。

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

f<sub>t</sub> : せん断補強筋のせん断補強用許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

p<sub>w</sub> : せん断補強筋比

## 5. 評価結果

### 5.1 地震応答解析による評価結果

#### 5.1.1 接地圧の評価結果

「3. 地震応答解析による評価方法」に基づく基準地震動 $S_s$ 及び常時に対する最大接地圧を第5-1表及び第5-2表に示す。

#### (1) $S_s$ 地震時に対する評価

$S_s$ 地震時の最大接地圧が地盤の極限支持力度（7,840kN/m<sup>2</sup>以上）を超えないことを確認する。

第5-2表より、 $S_s$ 地震時の最大接地圧が594kN/m<sup>2</sup>であることから、 $S_s$ 地震時の最大接地圧が地盤の極限支持力度を超えないことを確認した。

#### (2) 常時に対する評価

常時の最大接地圧が地盤の長期許容支持力度（4,600kN/m<sup>2</sup>）を超えないことを確認する。

第5-3表より、常時の最大接地圧が229kN/m<sup>2</sup>であることから、常時の最大接地圧が地盤の長期許容支持力度を超えないことを確認した。

第5-1表 最大接地圧（ $S_s$ 地震時）

方向	最大接地圧					極限支持力度
	基本※	$V_{s+1\sigma}$ ※	$V_{s-1\sigma}$ ※	減衰3%※	設計用接地圧	
EW	550	556	557	594	594	7,840以上
NS	531	531	527	564	564	

※： $S_s$ -1、 $S_s$ -2及び $S_s$ -3の最大値。

第5-2表 最大接地圧（常時）

最大接地圧※	長期許容支持力度
229	4,600

※：建屋重量と基礎底面の面積より算出

## 5.2 応力解析による評価結果

「4.5.2 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果は、基礎について、評価項目・方向ごとに、配筋量に対する必要鉄筋量の比率又は許容値に対する発生値の比率が最大となる要素を選定し示す。

断面の評価における各要素の配筋について、分類領域ごとの配筋一覧を第5-3表に、配筋の分類領域図を第5-1図に示す。また、断面の評価における応力の方向を第5-2図に示す。

### (1) Ss地震時に対する評価

Ss地震時に対する評価結果を第5-4表に、評価結果の位置を第5-3図に示す。

Ss地震時において、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による必要鉄筋量が配筋量を超えないこと並びに面外せん断力が許容値を超えないことを確認した。

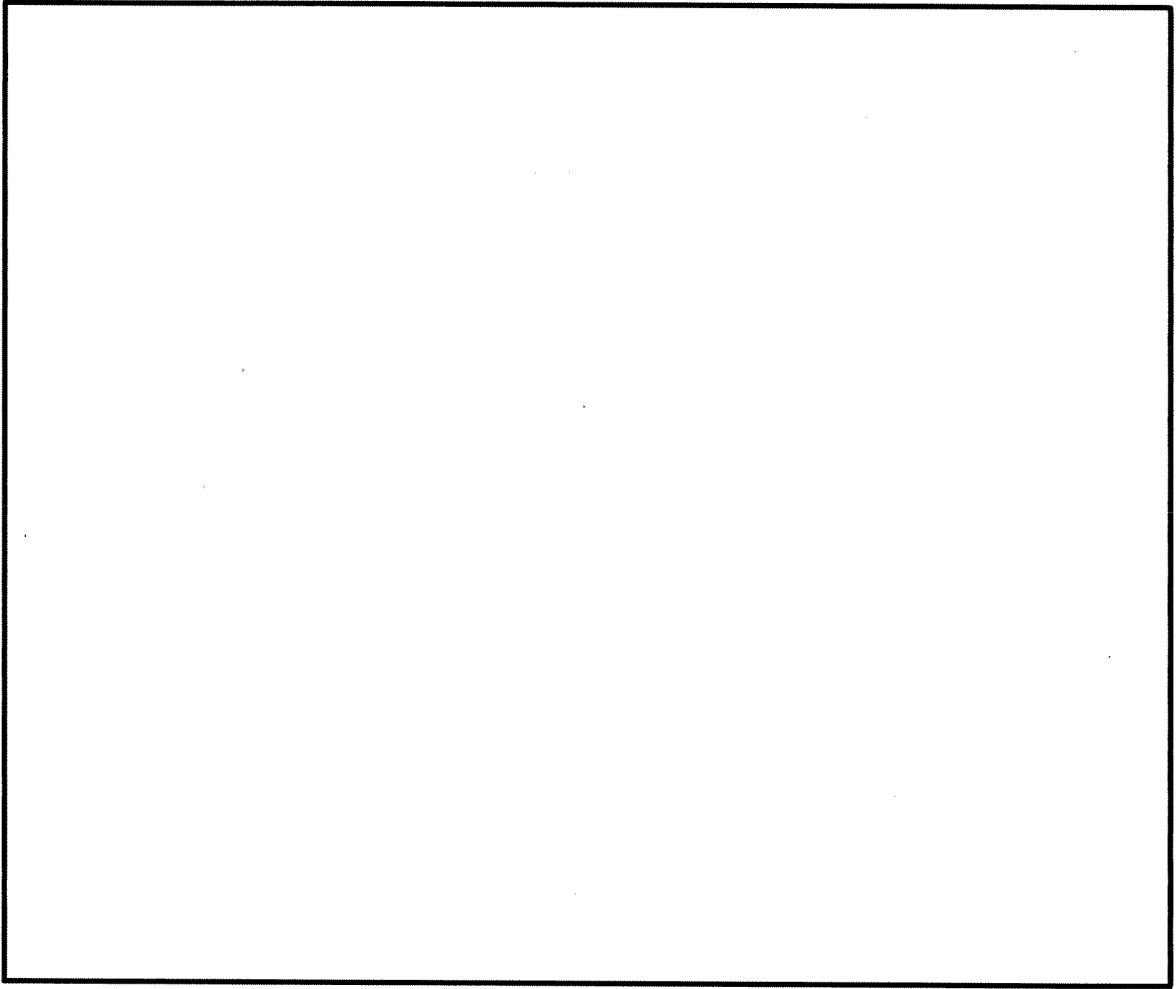
### (2) 常時に対する評価


常時に対する評価結果を第5-5表に、評価結果の位置を第5-4図に示す。

常時において、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による必要鉄筋量が配筋量を超えないこと並びに面外せん断力が許容値を超えないことを確認した。

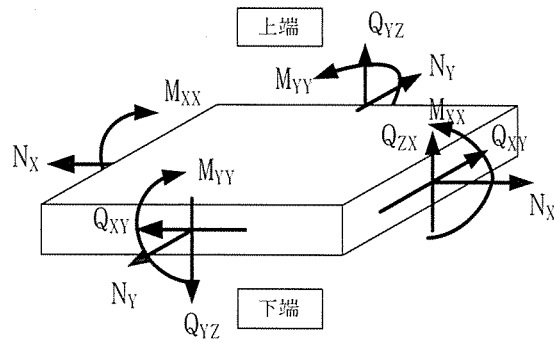
第5-3表 分類領域ごとの配筋一覧（基礎）

部 位	領域	厚さ (mm)	主筋 (SD390)		鉄筋量 (mm <sup>2</sup> /m)	面外せん断補強筋 (SD345)
			位置	方向		
基礎						



第5-1図 配筋の分類領域図 





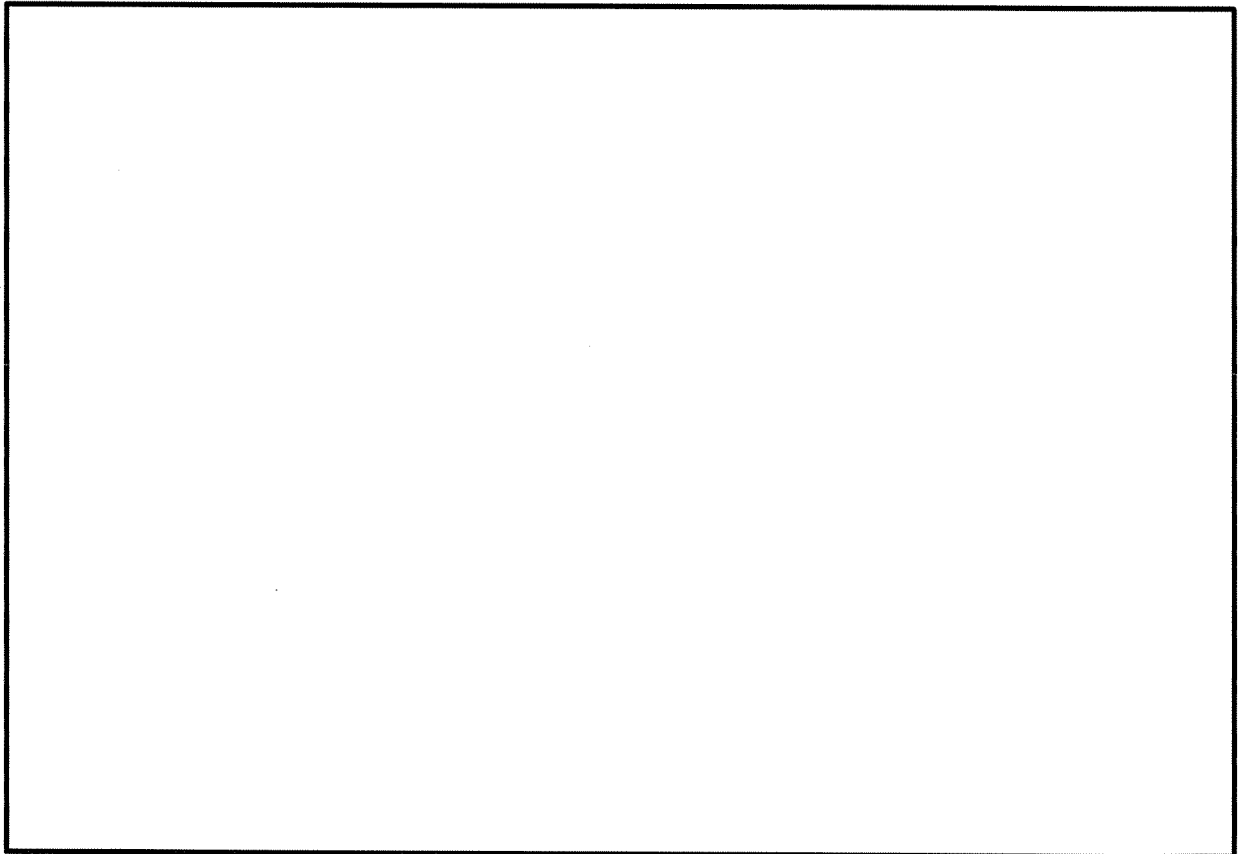
[記号の説明]

軸力	: $N_x, N_y$
曲げモーメント	: $M_{xx}, M_{yy}$
面内せん断力	: $Q_{xy}$
面外せん断力	: $Q_{zx}, Q_{yz}$

第5-2図 応力の方向

第5-4表 評価結果 Ss地震時（基礎）

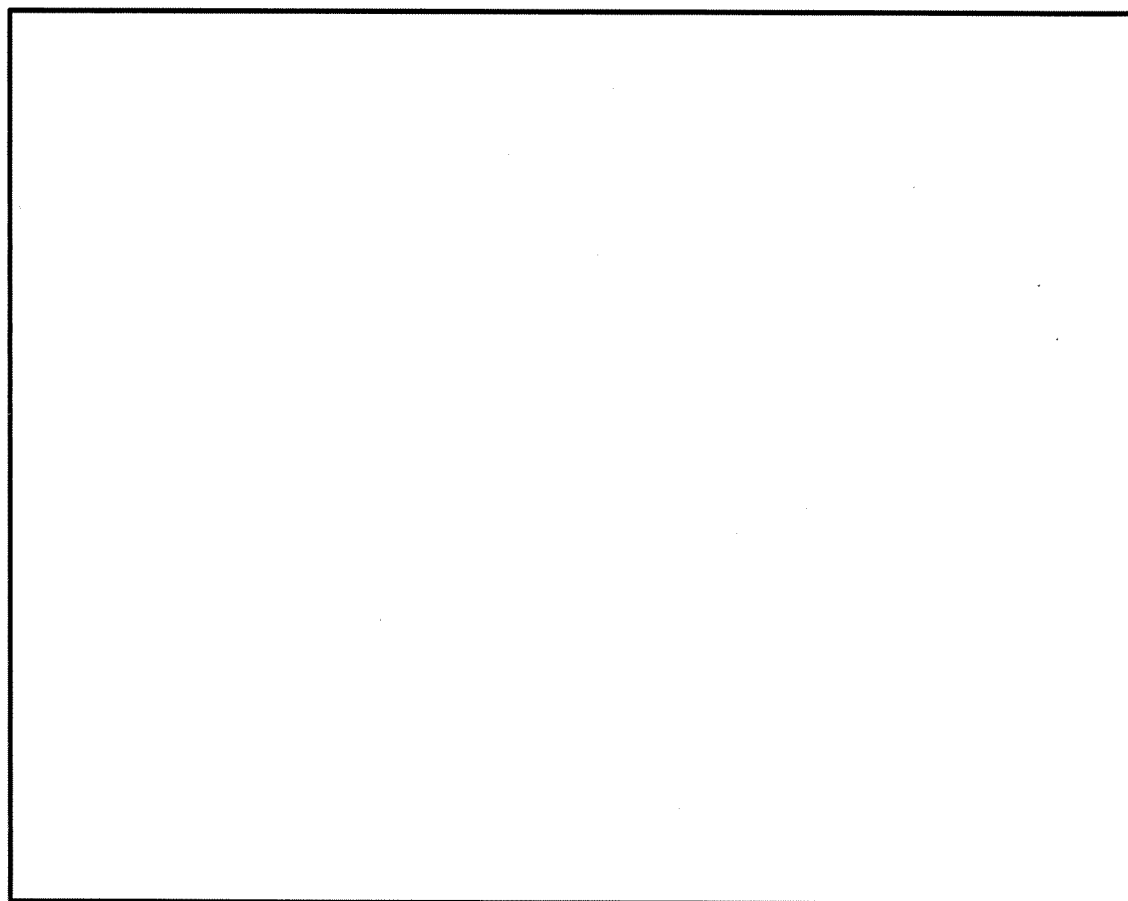
	評価項目	方向	要素番号	荷重の組合せケース	①解析結果	②許容値	①/②	判定
軸力 + 曲げ モーメント + 面内せん断力	鉄筋量 (mm <sup>2</sup> /m)	EW	3232643	8			0.61	可
		NS	3230602	8			0.60	可
面外 せん断力	面外せん断力 (×10 <sup>3</sup> kN/m)	EW	3234801	4			0.68	可
		NS	3234332	7			0.64	可



第5-3図 評価結果の位置（Ss地震時 基礎）

第5-5表 評価結果 常時（基礎）

	評価項目	方向	要素番号	荷重の組合せケース	① 解析結果	② 許容値	①/②	判定
軸力 + 曲げ モーメント + 面内せん断力	鉄筋量 (mm <sup>2</sup> /m)	EW	3234607	17			0.73	可
		NS	3232106	17			0.57	可
面外 せん断力	面外せん断力 (×10 <sup>3</sup> kN/m)	EW	3230301	17			0.25	可
		NS	3230702	17			0.19	可



第5-4図 評価結果の位置（常時 基礎）

# 申請設備の耐震計算書

設計及び工事計画認可申請 資料9-13

伊方発電所第3号機

# 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震計算書

設計及び工事計画認可申請 資料9-13-1

伊 方 発 電 所 第 3 号 機

使用済燃料乾式貯蔵容器の  
耐震計算書

設計及び工事計画認可申請 資料9-13-1-1

伊方発電所第3号機

使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震計算書は以下の資料より構成されている。

- 資料9-13-1-1-1 使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプ1）の耐震計算書
- 資料9-13-1-1-2 使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプ2）の耐震計算書