

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-021-02
提出年月日	2023年1月10日

VI-2-別添 6-2 漂流防止装置の耐震性についての計算書

2023年1月

中国電力株式会社

## 漂流防止装置の耐震性についての計算書

1. 漂流防止装置（係船柱）の耐震性についての計算書
2. 漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の耐震性についての計算書
3. 漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の耐震性についての計算書

1. 漂流防止装置（係船柱）の耐震性についての計算書

## 目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	構成要素の構造計画	4
2.4	評価方針	6
2.5	適用規格・基準等	7
3.	耐震評価	8
3.1	記号の定義	8
3.2	評価対象部位	10
3.3	荷重及び荷重の組合せ	11
3.3.1	荷重の設定	11
3.3.2	荷重の組合せ	11
3.4	許容限界	12
3.5	設計用地震力	14
3.6	評価方法	16
4.	評価条件	24
5.	評価結果	25

## 1. 概要

本資料は、VI-2-別添 6-1「漂流防止装置の耐震計算の方針」に設定している構造強度及び機能保持の設計方針に基づき、漂流防止装置（係船柱）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

漂流防止装置（係船柱）に要求される機能の維持を確認するに当たっては、応力評価に基づく、構造部材の健全性評価を行う。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

漂流防止装置（係船柱）及び基礎の位置を図 2-1 に示す。漂流防止装置（係船柱）の設置位置の詳細は「2.2 構造概要」で示す。

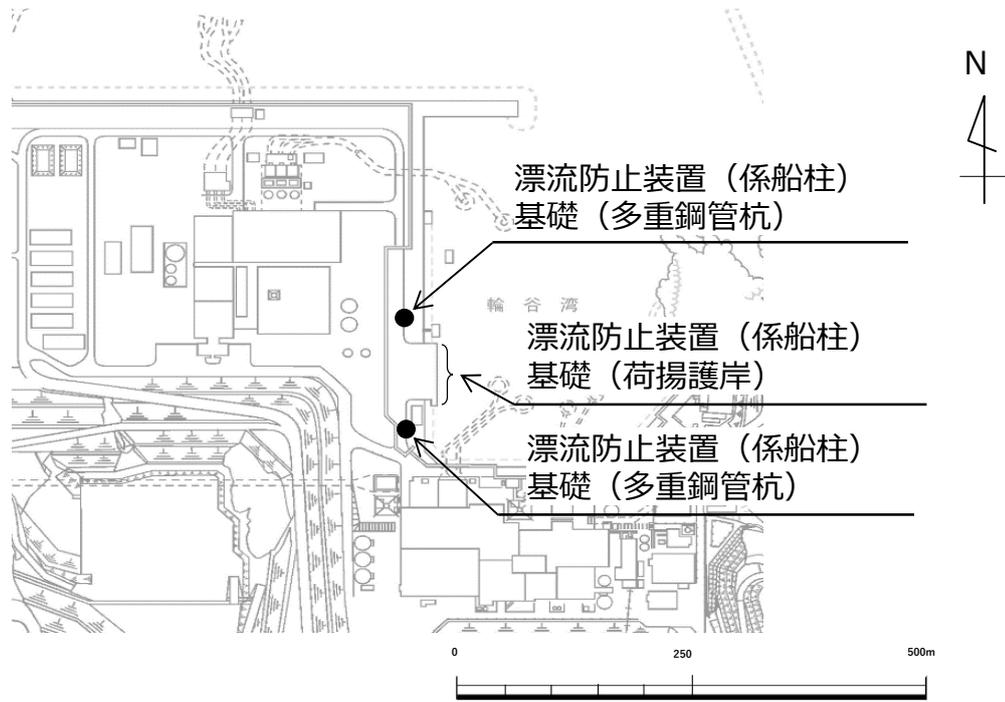


図 2-1 漂流防止装置位置図

## 2.2 構造概要

漂流防止装置は、燃料等輸送船の係留索を固定材である係船柱と接続し、係船柱と基礎をアンカーボルトで固定する構造である。漂流防止装置の概要図を図 2-2 に示す。

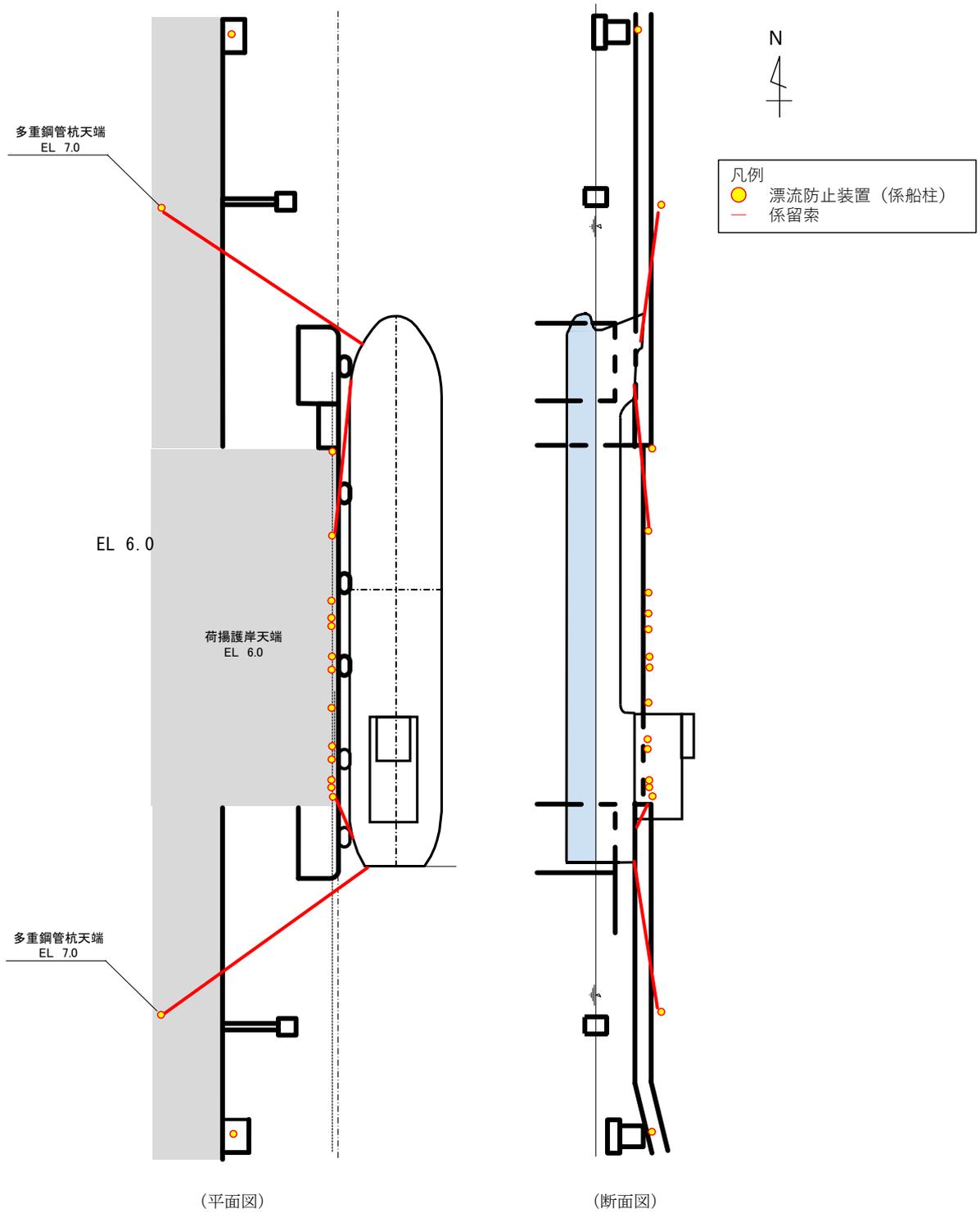


図 2-2 漂流防止装置の概要図

### 2.3 構成要素の構造計画

漂流防止装置は、係船柱，アンカーボルト及びアンカー板から構成される。

漂流防止装置の構造図を図 2-3 に示す。

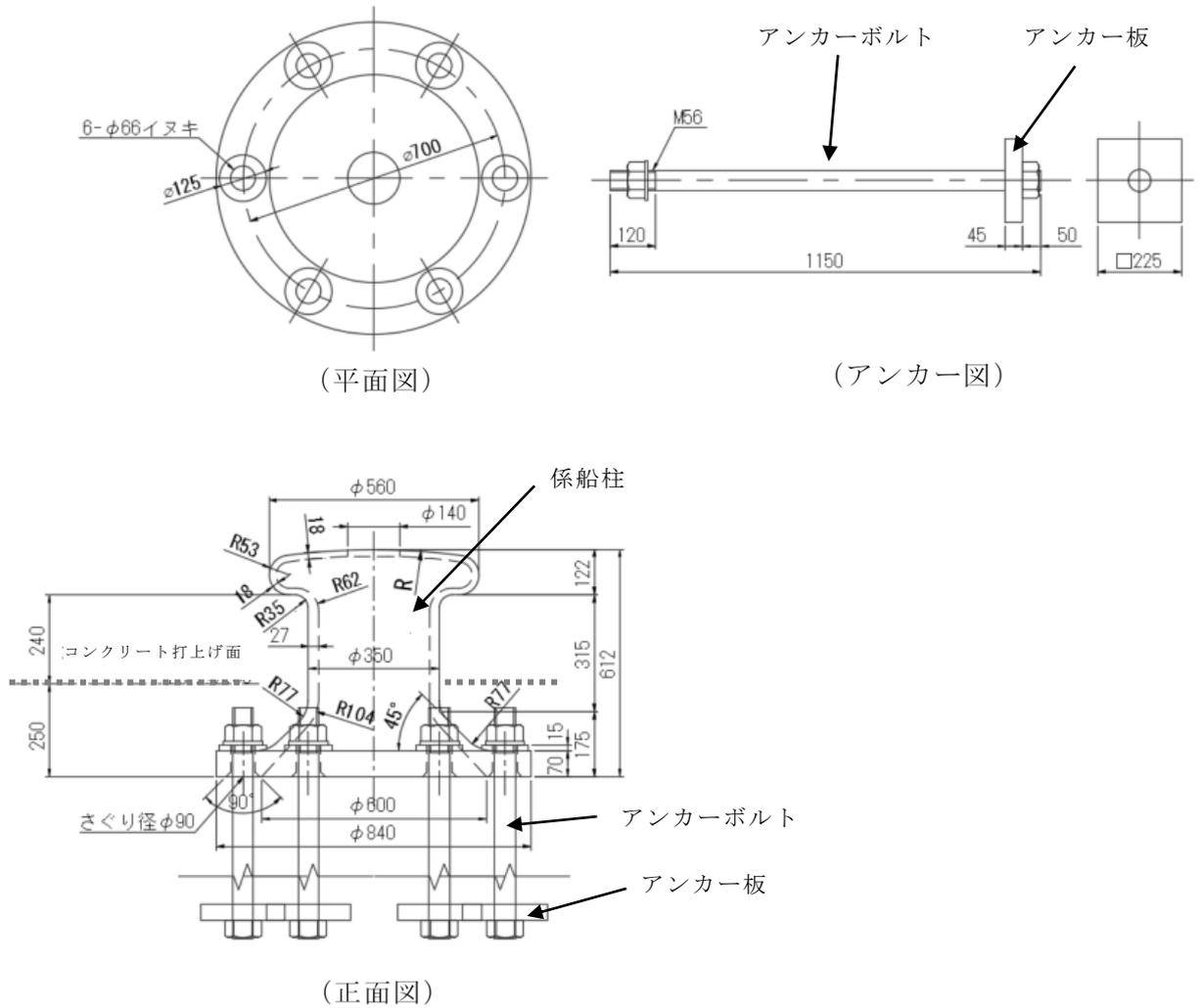
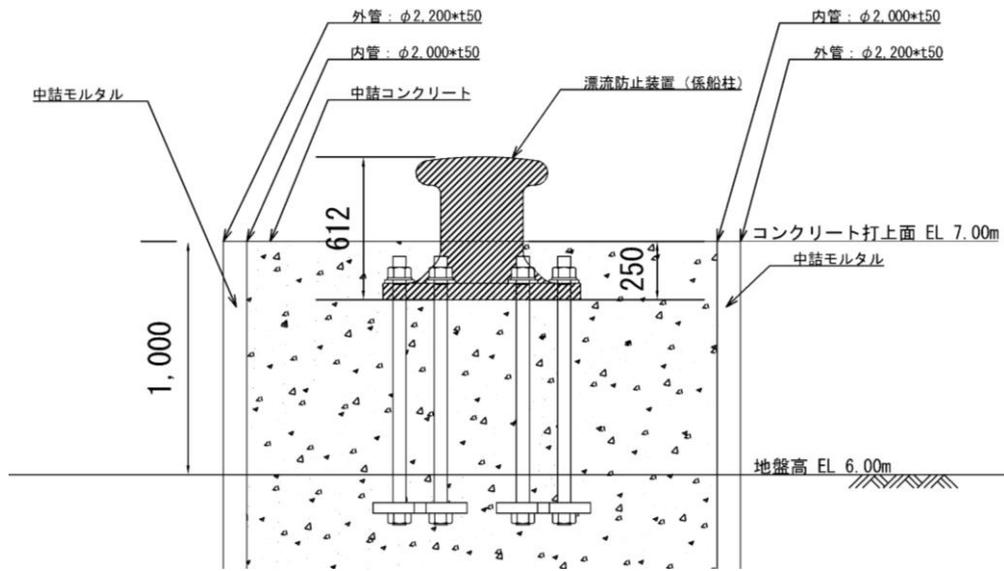
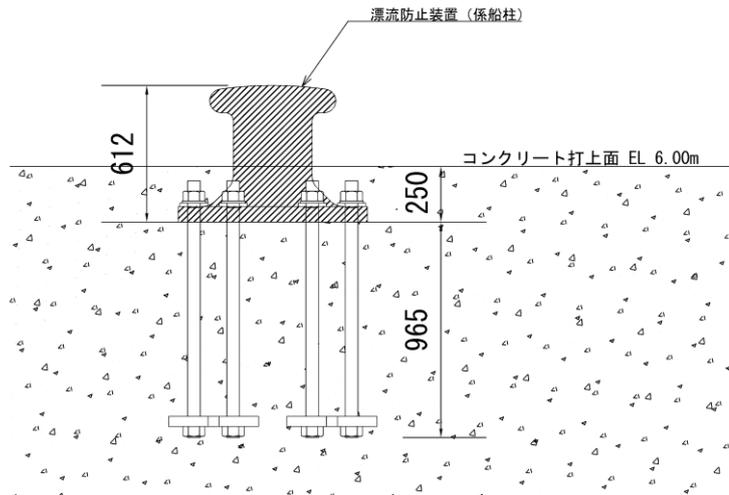


図 2-3(1) 漂流防止装置の構造図



漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）



漂流防止装置基礎（荷揚護岸）

図 2-3(2) 漂流防止装置の構造図

## 2.4 評価方針

漂流防止装置の耐震評価は、基準地震動  $S_s$  による慣性力が係留索を介して漂流防止装置に作用することにより評価対象部位に生ずる応力が「3.4 許容限界」に収まることを「3.6 評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 評価結果」にて確認する。

漂流防止装置の耐震評価フローを図 2-4 に示す。

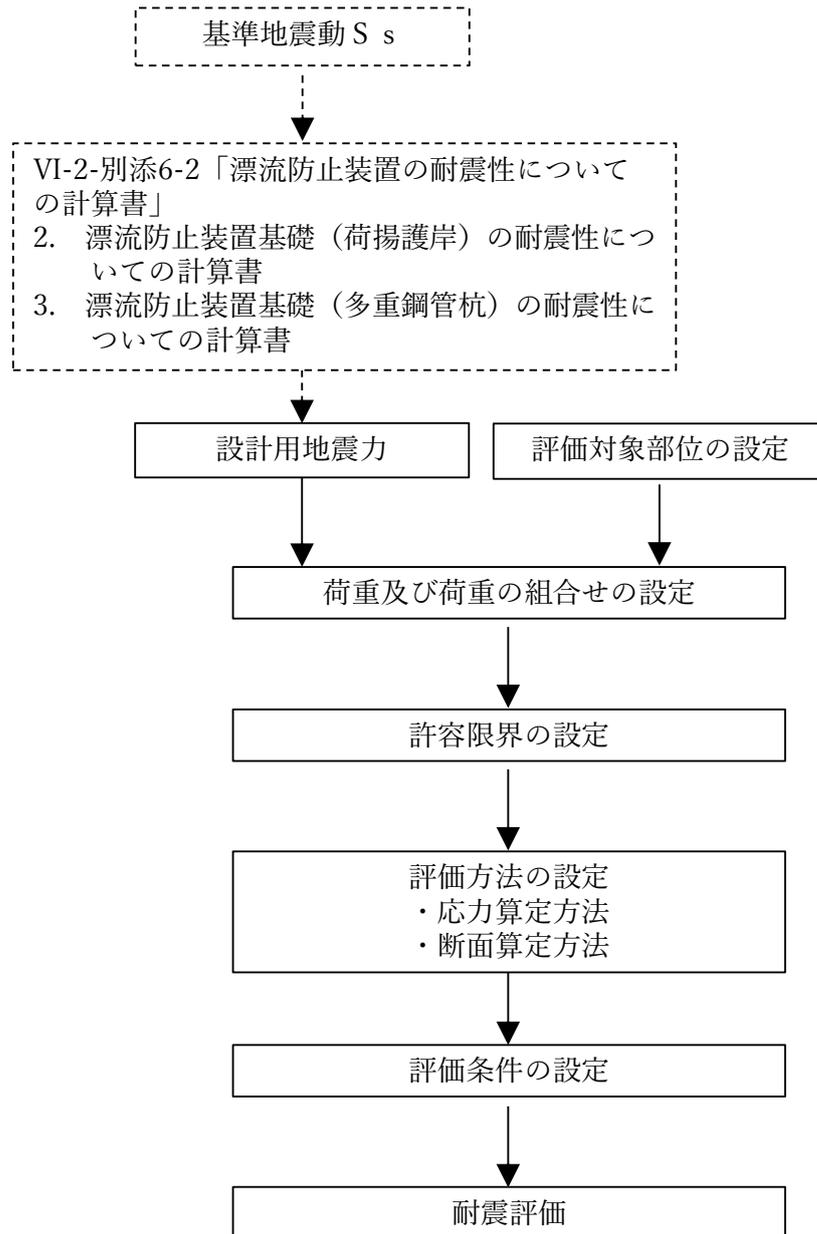


図 2-4 漂流防止装置の耐震評価フロー

## 2.5 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・港湾技研資料 NO.102 けい船柱の標準設計（案）（運輸省港湾技術研究所，1970年）
- ・鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005年改定）
- ・各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年改訂）
- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年）
- ・日本産業規格（J I S）
- ・港湾構造物標準設計（第1集）（（社）日本港湾協会，1971年）

### 3. 耐震評価

#### 3.1 記号の定義

漂流防止装置の耐震評価に用いる記号を表 3—1 に示す。

表 3—1(1) 漂流防止装置の耐震評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
$\sigma_s$	N/mm <sup>2</sup>	係船柱の胴部縁応力度
$M_{s a}$	N・mm	係船柱の胴部転倒モーメント
D	mm	係船柱の胴部径
$Z_{s a}$	mm <sup>3</sup>	係船柱の断面係数
$P_v$	N	基準地震動 $S_s$ による慣性力の鉛直成分
$A_{s a}$	mm <sup>2</sup>	係船柱の断面積
$\sigma_{c1}$	N/mm <sup>2</sup>	底板下面のコンクリートの支圧応力度
$R_1$	mm	中心軸から底板端までの距離
y	mm	中心軸と中立軸の距離
n	—	アンカーボルトとコンクリートの弾性係数比
$G_s$	mm <sup>3</sup>	引張側アンカーボルトの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント
$G_c$	mm <sup>3</sup>	圧縮側コンクリートの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント
$\sigma_{c2}$	N/mm <sup>2</sup>	底板前面のコンクリートの支圧応力度
$P_H$	N	基準地震動 $S_s$ による慣性力の水平成分
$\mu$	—	底板とコンクリートの摩擦係数
$P_{vc}$	N	コンクリートの支圧力 ( $\approx 0.7 \times P_H$ )
$H_1$	mm	底板厚さ
$\sigma_{s2}$	N/mm <sup>2</sup>	アンカーボルト 1 本に生じる引張応力度
$R_1'$	mm	中心軸からアンカーボルト位置までの距離
$\tau_s$	N/mm <sup>2</sup>	アンカーボルト 1 本に生じるせん断応力度
N	本	アンカーボルトの本数
$\phi_b$	mm	アンカーボルトの谷径
p	N/mm <sup>2</sup>	アンカーボルト 1 本に基準地震動 $S_s$ による慣性力の鉛直成分 $P_v$ が作用した時にアンカー板に働く等分布荷重
$\phi_a$	mm	アンカーボルトの呼び径
$\sigma_{st}$	N/mm <sup>2</sup>	アンカー板の応力度

表 3-1 (2) 漂流防止装置の耐震評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
b	mm	ナット二面幅
a	mm	アンカー板幅
t	mm	アンカー板厚
$\sigma_c$	N/mm <sup>2</sup>	アンカー板上面コンクリートの支圧応力度
$\tau_c$	N/mm <sup>2</sup>	アンカー板コンクリートのせん断応力度
L	mm	アンカーボルトの埋込み長さ

### 3.2 評価対象部位

漂流防止装置の評価対象部位は「2.2 構造概要」に示す構造上の特性を踏まえ選定する。

漂流防止装置に生じる基準地震動  $S_s$  による慣性力に伴う荷重は係船柱、アンカーボルト及びアンカー板を介して基礎に伝達されることから、評価対象部位を係船柱、アンカーボルト及びアンカー板とする。評価対象部位を図 3-1 に示す。

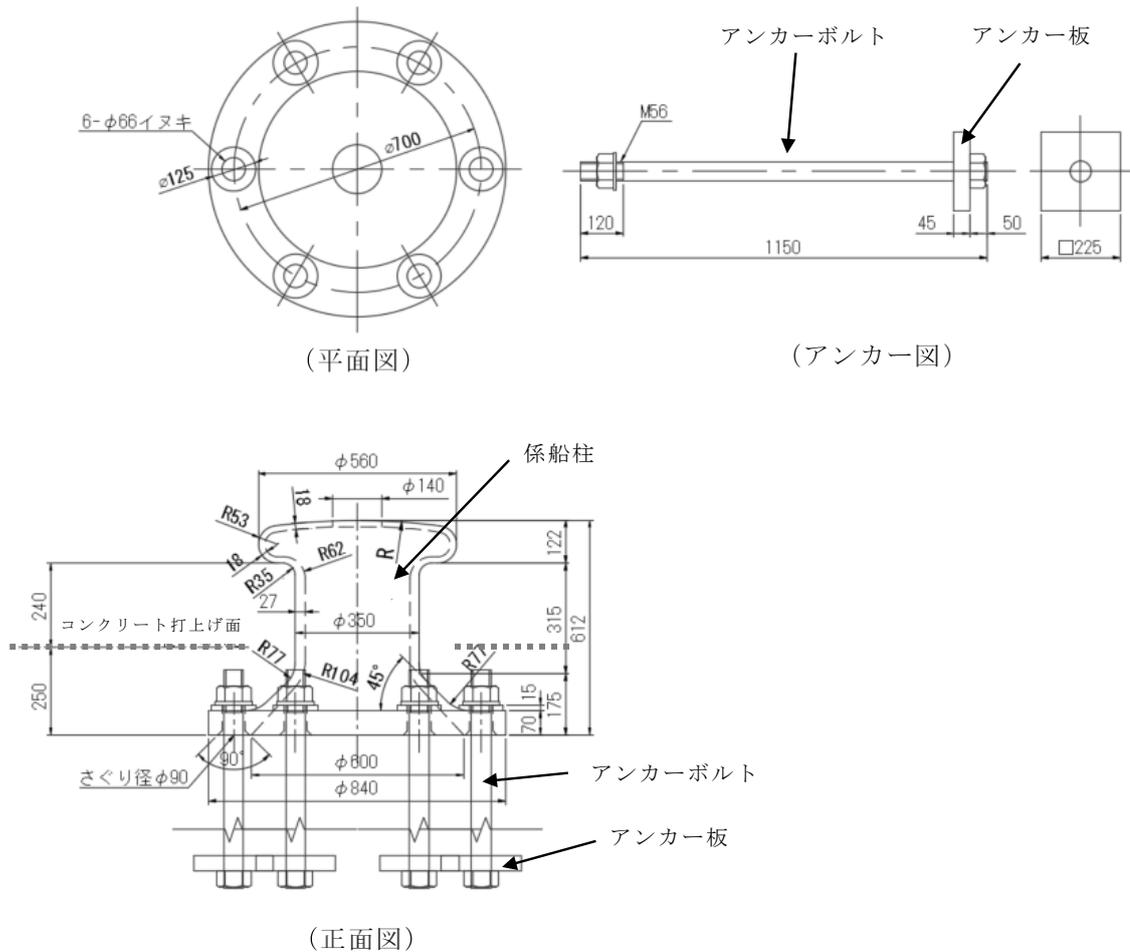


図 3-1 評価対象部位

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

#### 3.3.1 荷重の設定

耐震評価に用いる荷重を以下に示す。

##### (1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、漂流防止装置（係船柱）の自重を考慮する。

##### (2) 地震荷重 (S<sub>s</sub>)

基準地震動 S<sub>s</sub> による荷重を考慮する。「3.5 設計用地震力」で設定した設計震度を用いて次式により算出する。

$$S_s = G \cdot k$$

ここで、

S<sub>s</sub> : 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

#### 3.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-2 に示す。なお、その構造から風荷重及び積雪荷重は考慮しない。

表 3-2 荷重の組合せ

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

G : 漂流防止装置（係船柱）の固定荷重

S<sub>s</sub> : 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震荷重

### 3.4 許容限界

#### (1) 使用材料

漂流防止措置を構成する係船柱、アンカーボルト及びアンカー板の使用材料を表 3-3 に示す。

また、漂流防止装置の基礎で使用するコンクリートは設計基準強度  $24\text{N/mm}^2$  とする。

表 3-3 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
係船柱	SC450	$\phi 350$
アンカーボルト	SS400	M56×1150
アンカー板	SS400	$\square 225 \times t45$

#### (2) 許容限界

##### a. 係船柱

係船柱の許容応力度は、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，2005年改訂）」及び「JIS G 5101 炭素鋼鋳鋼品」を踏まえて表 3-4 の値とする。

表 3-4 係船柱の許容応力度

材質	許容応力度 ( $\text{N/mm}^2$ )	
	曲げ・引張	せん断
SC450	205	—

b. アンカーボルト及びアンカー板

アンカーボルト及びアンカー板の許容限界は、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年改定）」（以下「各種合成構造設計指針・同解説」という。）に基づき算定した，表3-5の値とする。

表3-5 アンカーボルト及びアンカー板の許容応力度

材質		許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	
		曲げ・引張	せん断
SS400	$t \leq 40$	234	136
	$40 < t \leq 100$	215	124

c. コンクリート

漂流防止装置（係船柱）の周囲に打設するコンクリートの許容限界は、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」（（社）土木学会，2002年）に基づき，表3-6に示す許容応力度とする。

表3-6 漂流防止装置（係船柱）の基礎の許容応力度

材質	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	
	支圧	せん断
コンクリート（設計基準強度 24N/mm <sup>2</sup> ）	17.5	0.67

### 3.5 設計用地震力

漂流防止装置（係船柱）の耐震計算に用いる設計震度は、VI-2-別添 6-2「漂流防止装置の耐震性についての計算書」の「2. 漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の耐震性についての計算書」，「3. 漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の耐震性についての計算書」に示す漂流防止装置（係船柱）設置位置の最大応答加速度に基づき設定した表 3-7 の値とする。地震応答解析に用いた断面位置の平面図及び解析モデル図を図 3-2, 3 に示す。

表 3-7 設計用地震力

地震動	設置場所及び 設置高さ (m)	地震による設計震度	
		水平方向 $k_H$	鉛直方向 $k_{UD}$
基準地震動 $S_s$	漂流防止装置基礎（荷揚護岸）：EL 6.0m 漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）：EL 7.0m	2.3	1.8

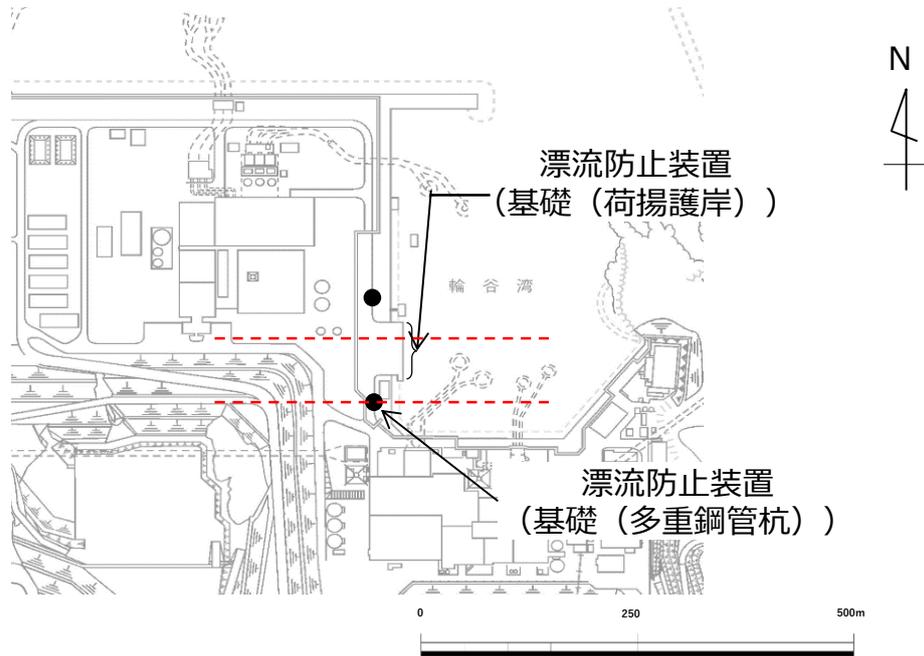


図 3-2 地震応答解析に用いた断面位置図

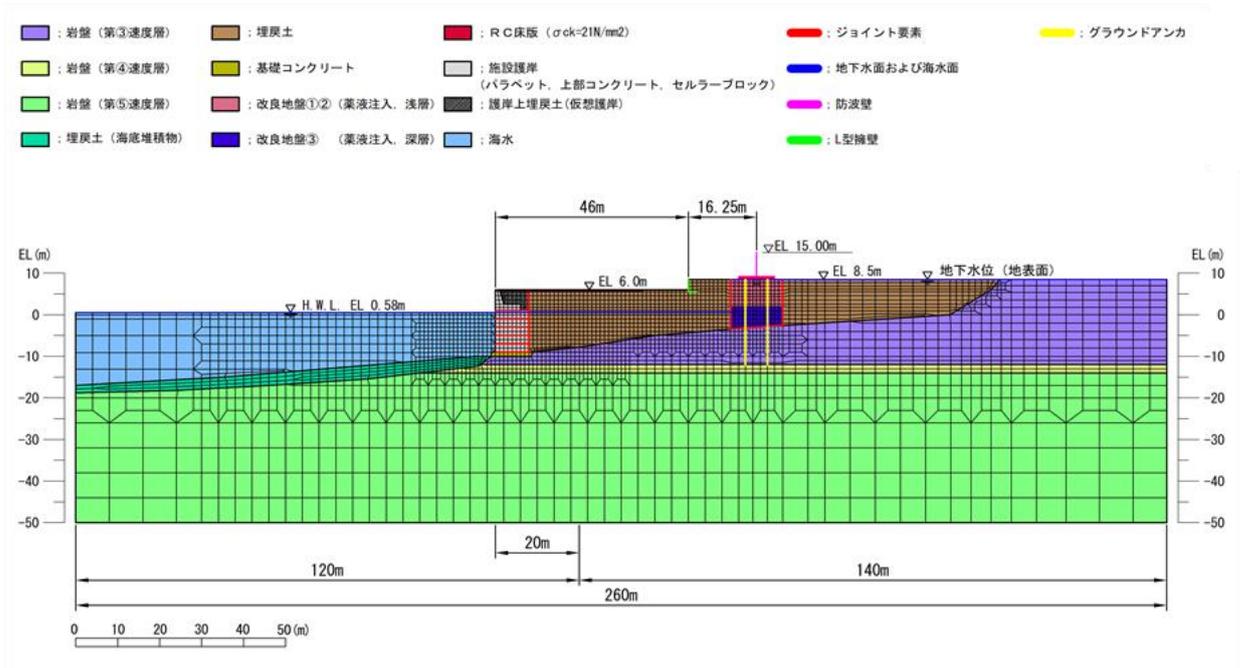


図 3-3(1) 地震応答解析モデル (漂流防止装置基礎 (荷揚護岸))

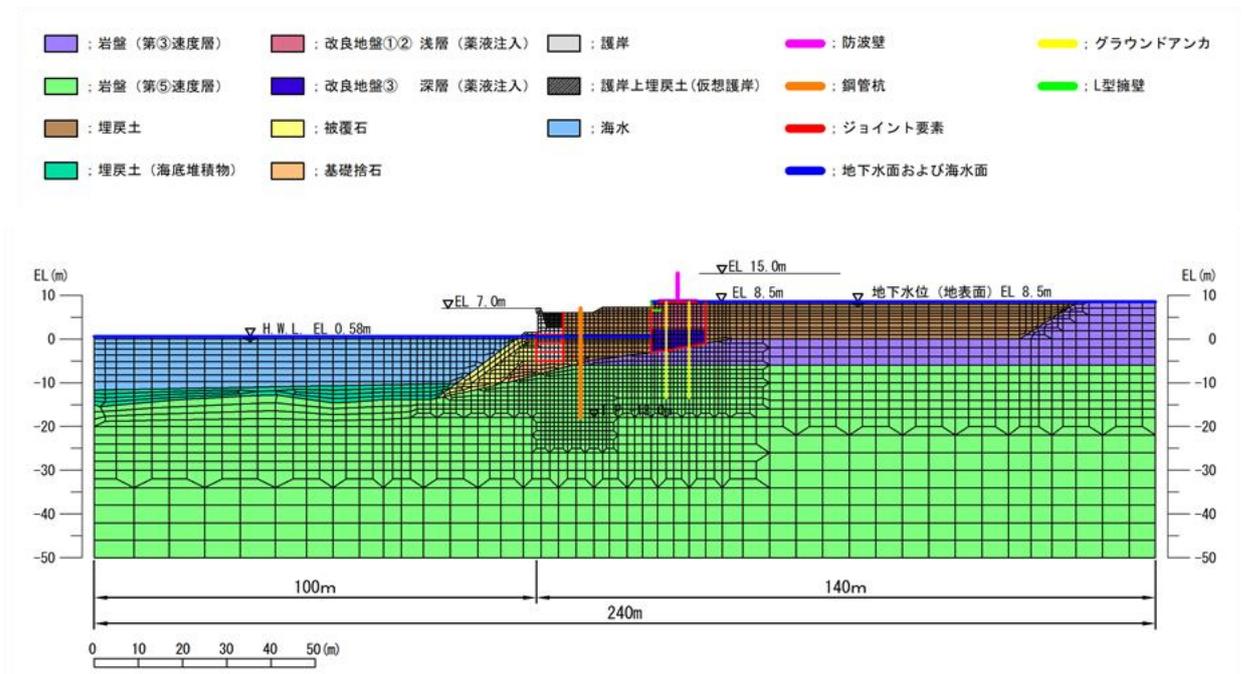


図 3-3(2) 地震応答解析モデル (漂流防止装置基礎 (多重鋼管杭))

### 3.6 評価方法

当該漂流防止装置を構成する係船柱，アンカーボルト及びアンカー板に発生する応力より算定する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

#### (1) 係船柱

係船柱の応力度の評価対象を図 3-4 に示す。

##### a. 係船柱

係船柱に生じる応力は，係船柱を片持ち梁として次式により算出し，係船柱の許容限界以下であることを確認する。なお，保守的に転倒モーメントを算出するため，慣性力の作用点は直胴部の上端とする。

$$\sigma_s = M_{s a} / Z_{s a} + P_v / A_{s a}$$

$\sigma_s$  : 係船柱の胴部縁応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M_{s a}$  : 係船柱の胴部転倒モーメント (N・mm)

$$(M_{s a} = P_H \cdot 0.9D)$$

$Z_{s a}$  : 係船柱の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$P_v$  : 基準地震動  $S_s$  による慣性力の鉛直成分 (N)

$A_{s a}$  : 係船柱の断面積 (mm<sup>2</sup>)

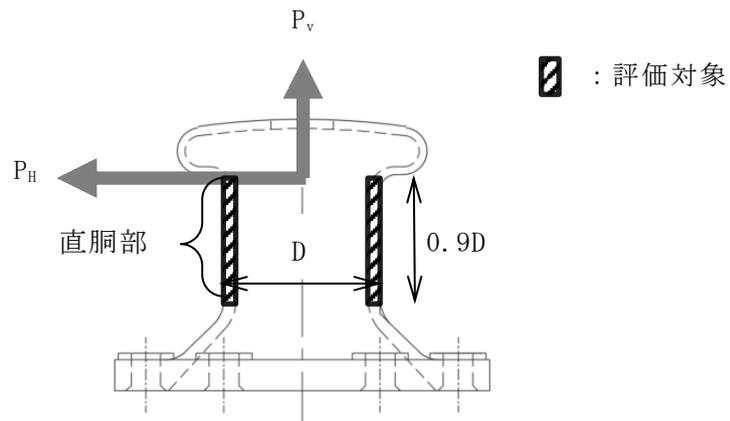


図 3-4 係船柱の応力度の評価対象

## b. 係船柱底板下面のコンクリートの支圧応力度

係船柱底板下面のコンクリートの支圧応力度については、底板下面外のコンクリートを考慮せず、コンクリートの偏心荷重を心外に受けた円形梁の計算式を準用する。係船柱に作用する転倒モーメントにより生じる底板下面のコンクリートの支圧応力度を算出し、許容限界以下であることを確認する。

係船柱底板下面のコンクリートの支圧応力度の作用箇所を図 3-5 に示す。

$$\sigma_{c1} = P_v \cdot (R_1 - y) / (n \cdot G_s - G_c)$$

$\sigma_{c1}$  : 底板下面のコンクリートの支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_v$  : 基準地震動  $S_s$  による慣性力の鉛直成分 (N)

$R_1$  : 中心軸から底板端までの距離 (mm)

$y$  : 中心軸と中立軸の距離 (mm)

$n$  : アンカーボルトとコンクリートの弾性係数比

$G_s$  : 引張側アンカーボルトの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント (mm<sup>3</sup>)

$G_c$  : 圧縮側コンクリートの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント (mm<sup>3</sup>)

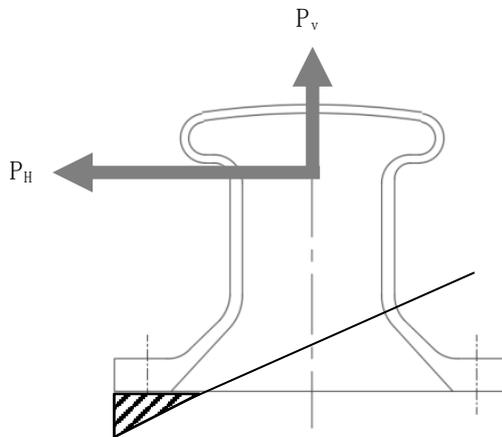


図 3-5 係船柱底板下面のコンクリートの支圧応力度の作用箇所

c. 係船柱底板前面のコンクリートの支圧応力度

係船柱底板前面のコンクリートの支圧応力度はアンカーボルトの水平力を考慮せず算出し、許容限界以下であることを確認する。

係船柱底板前面のコンクリートの支圧応力度の作用箇所を図 3-6 に示す。

$$\sigma_{c2} = (P_H - \mu \cdot P_{vc}) / (H_1 \cdot 2R_1)$$

$\sigma_{c2}$  : 底板前面のコンクリートの支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_H$  : 基準地震動  $S_s$  による慣性力の水平成分 (N)

$\mu$  : 底板とコンクリートの摩擦係数

$P_{vc}$  : コンクリートの支圧力 ( $\approx 0.7 \times P_H$ ) (N)

$H_1$  : 底板厚さ (mm)

$R_1$  : 中心軸から底板端までの距離 (mm)

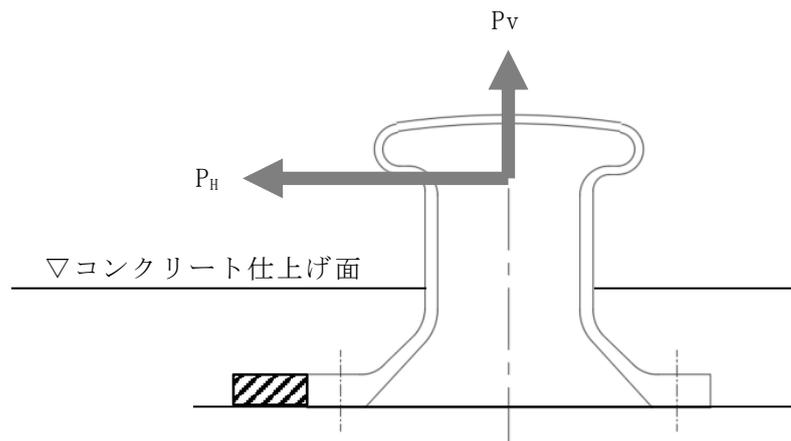


図 3-6 係船柱底板前面のコンクリートの支圧応力度の作用箇所

## (2) アンカーボルト

アンカーボルトのせん断力度の評価対象を図 3-7 に示す。

## a. アンカーボルトに生じる引張応力度

アンカーボルトの引張応力度については、底板下面外のコンクリートを考慮せず、コンクリートの偏心荷重を心外に受けた円形梁の計算式を準用する。係船柱に作用する転倒モーメントにより生じるアンカーボルトの引張応力度を算出し、許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_{s2} = P_v \cdot (R_1' + y) / (G_s - G_c / n)$$

$\sigma_{s2}$  : アンカーボルト 1 本に生じる引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_v$  : 基準地震動  $S_s$  による慣性力の鉛直成分 (N)

$R_1'$  : 中心軸からアンカーボルト位置までの距離 (mm)

$y$  : 中心軸と中立軸の距離 (mm)

$G_s$  : 引張側アンカーボルトの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント (mm<sup>3</sup>)

$G_c$  : 圧縮側コンクリートの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント (mm<sup>3</sup>)

$n$  : アンカーボルトとコンクリートの弾性係数比

## b. アンカーボルトに生じるせん断応力度

アンカーボルトのせん断応力度については、底板前面のコンクリートの支圧応力及び摩擦抵抗力を考慮せず計算し、許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau_s = (P_H / N) / (\pi / 4 \cdot \phi_b^2)$$

$\tau_s$  : アンカーボルト 1 本に生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_H$  : 基準地震動  $S_s$  による慣性力の水平成分 (N)

$N$  : アンカーボルトの本数 (本)

$\phi_b$  : アンカーボルトの谷径 (mm)

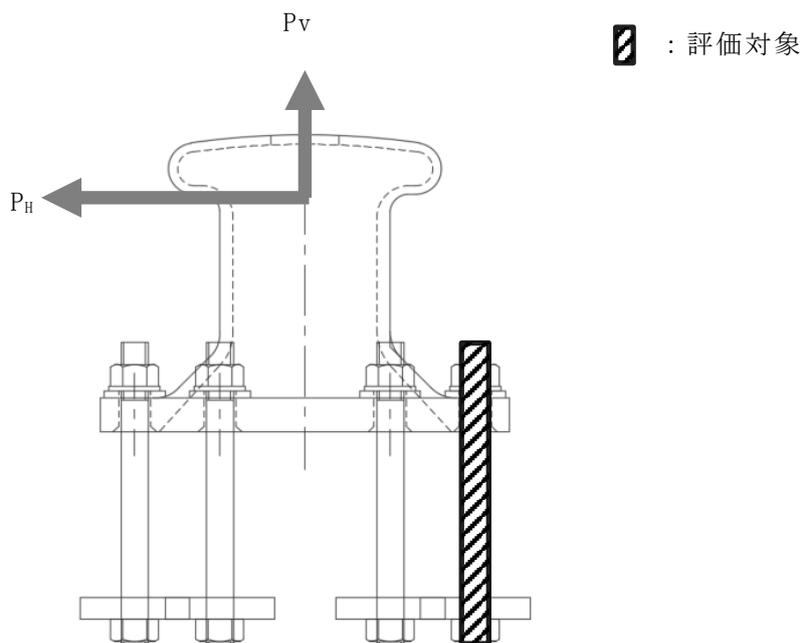


図 3-7 アンカーボルトのせん断力度の評価対象

## (3) アンカー板

## a. アンカー板の応力度

アンカー板の応力は、アンカーボルト 1 本に基準地震動  $S_s$  による慣性力の鉛直成分  $P_v$  が作用した時にアンカー板に等分布荷重  $p$  が働くとしてアンカー板の曲げモーメントを計算し、許容限界以下であることを確認する。

アンカー板の応力度の評価対象を図 3-8 に示す。

$$p = P_v / \{ \pi / 4 \cdot (4 \cdot \phi_a)^2 - (\pi / 4 \times \phi_a^2) \}$$

$p$  : 等分布荷重 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_v$  : 基準地震動  $S_s$  による慣性力の鉛直成分 (N)

$\phi_a$  : アンカーボルトの呼び径 (mm)

$$\sigma_{st} = \beta \cdot p \cdot (a / 2)^2 / t^2$$

$\sigma_{st}$  : アンカー板の応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\beta$  : 最大応力係数 (=  $b / a$ )

$b$  : ナット二面幅 (mm)

$a$  : アンカー板幅 (mm)

$t$  : アンカー板厚 (mm)

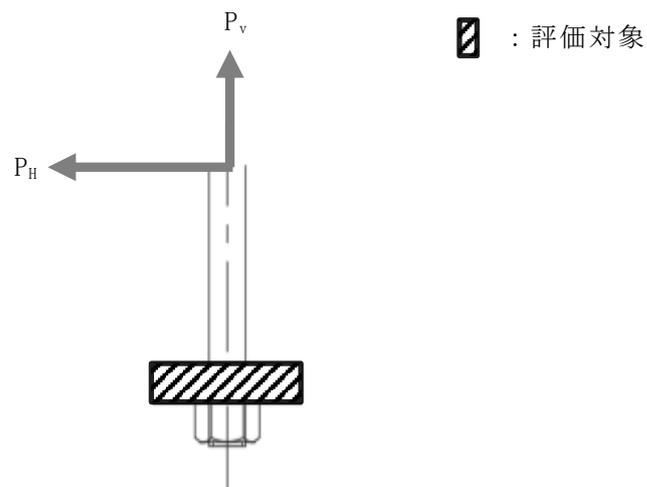


図 3-8 アンカー板の応力度の評価対象

b. アンカー板上面のコンクリートの支圧応力度

アンカーボルトの引張力によるアンカー板上面のコンクリートの支圧応力度を計算し、許容限界以下であることを確認する。

アンカー板上面のコンクリートの支圧応力度の評価対象を図 3-9 に示す。

$$\sigma_c = P_v / \{ (\pi / 4) \cdot a^2 \}$$

$\sigma_c$  : アンカー板上面コンクリートの支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_v$  : 基準地震動  $S_s$  による慣性力の鉛直成分 (N)

$a$  : アンカー板幅 (mm)

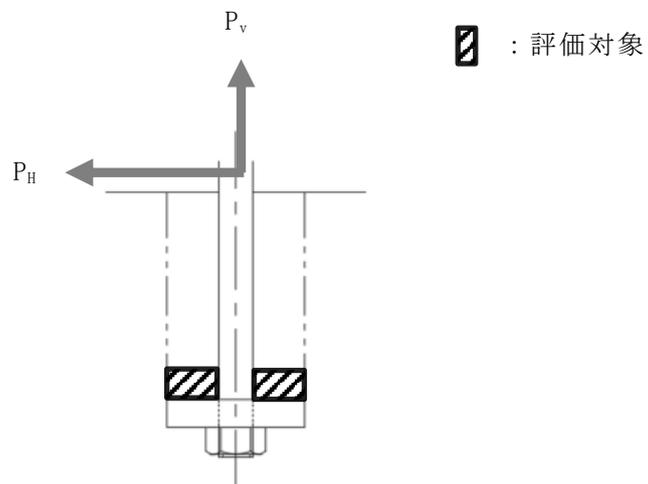


図 3-9 アンカー板上面のコンクリートの支圧応力度の評価対象

c. アンカー板上方のコンクリートのせん断応力度

アンカーボルトの引張力によるアンカー板上方のコンクリートのせん断応力度を計算し、許容限界以下であることを確認する。アンカーボルトの引張力によるアンカー板上方のコンクリートのせん断応力度の評価対象を図 3-10 に示す。

$$\tau_c = P_v / (L \cdot \pi \cdot a)$$

$\tau_c$  : アンカー板上方のコンクリートのせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_v$  : 基準地震動  $S_s$  による慣性力の鉛直成分 (N)

$L$  : アンカーボルトの埋込み長さ (mm)

$a$  : アンカー板幅 (mm)

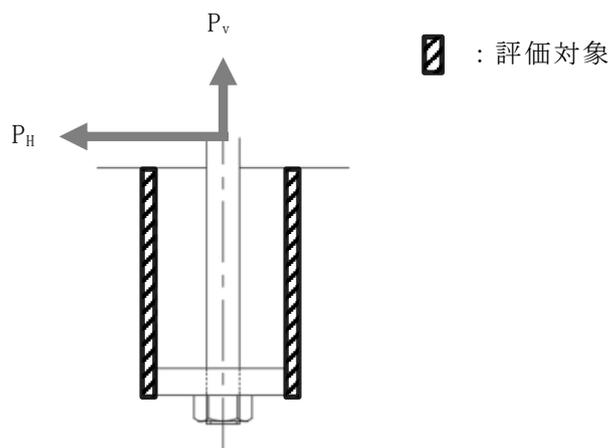


図 3-10 アンカー板上方のコンクリートのせん断応力度の評価対象

4. 評価条件

「3. 耐震評価」に用いる評価条件を表 4-1 に示す。

表 4-1 耐震評価に用いる条件

対象部位	記号	単位	定義	値
係船柱	$M_{s a}$	N・mm	係船柱の胴部転倒モーメント	2524410
	$P_v$	N	基準地震動 $S_s$ による慣性力の鉛直成分	6250
	D	mm	係船柱の胴部径	350
	$Z_{s a}$	mm <sup>3</sup>	係船柱の断面係数	2055972.3
	$A_{s a}$	mm <sup>2</sup>	係船柱の断面積	27397.8
	y	mm	中心軸と中立軸の距離	115.9
	$R_1$	mm	中心軸から底板端までの距離	420.0
	n	—	アンカーボルトとコンクリートの弾性係数比	15
	$G_c$	mm <sup>3</sup>	圧縮側コンクリートの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント	17289181.7
	$G_s$	mm <sup>3</sup>	引張側アンカーボルトの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント	2108687.8
	$P_H$	N	基準地震動 $S_s$ による慣性力の水平成分	8014
	$\mu$	—	底板とコンクリートの摩擦係数	0.3
$H_1$	mm	底板厚さ	70	
アンカーボルト	$R_1'$	mm	中心軸からアンカーボルト位置までの距離	350.0
	N	本	アンカーボルトの本数	6
	$\phi_b$	mm	アンカーボルトの谷径	50.0
	$\phi_a$	mm	アンカーボルトの呼び径	56.0
アンカー板	$\beta$	—	最大応力係数	3
	b	mm	ナット二面幅	85.0
	t	mm	アンカー板厚	45.0
	p	N/mm <sup>2</sup>	アンカーボルト 1 本に基準地震動 $S_s$ による慣性力の鉛直成分 $P_v$ が作用した時にアンカー板に働く等分布荷重	0.17
	a	mm	アンカー板幅	225.0
	L	mm	アンカーボルトの埋込み長さ	850.0

5. 評価結果

漂流防止装置の耐震評価結果を表 5-1 に示す。漂流防止装置の各部材の断面検定を行った結果、発生応力度又は荷重は許容限界以下であることから、漂流防止装置が構造健全性を有することを確認した。

表 5-1 漂流防止装置の照査結果

評価対象部位		発生値（応力度）		許容限界		照査値
係船柱	胴部縁応力度	1.46	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.008
	底版下面のコンクリートの支圧応力度	0.13	N/mm <sup>2</sup>	17.5	N/mm <sup>2</sup>	0.008
	底版前面のコンクリートの支圧応力度	0.11	N/mm <sup>2</sup>	17.5	N/mm <sup>2</sup>	0.007
アンカー ボルト	引張応力度	3.05	N/mm <sup>2</sup>	215	N/mm <sup>2</sup>	0.015
	せん断応力度	0.68	N/mm <sup>2</sup>	124	N/mm <sup>2</sup>	0.006
アンカー 板	アンカー板の 応力度	3.17	N/mm <sup>2</sup>	215	N/mm <sup>2</sup>	0.015
	コンクリートの 支圧応力度	0.16	N/mm <sup>2</sup>	17.5	N/mm <sup>2</sup>	0.010
	コンクリートの せん断応力度	0.01	N/mm <sup>2</sup>	0.67	N/mm <sup>2</sup>	0.015

2. 漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の耐震性についての計算書

## 目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用規格・基準等	6
3.	耐震評価	7
3.1	評価対象断面	7
3.2	解析方法	8
3.2.1	施設	8
3.2.2	減衰係数	8
3.2.3	解析ケース	9
3.3	荷重及び荷重の組合せ	11
3.3.1	耐震評価上考慮する状態	11
3.3.2	荷重	11
3.3.3	荷重の組合せ	12
3.4	入力地震動	13
3.5	解析モデル及び諸元	26
3.5.1	解析モデル	26
3.5.2	使用材料及び材料の物性値	28
3.5.3	地盤及び改良地盤の物性値	28
3.5.4	地下水位	29
3.6	評価対象部位	29
3.7	許容限界	29
3.8	評価方法	29
4.	耐震評価結果	30

## 1. 概要

本資料は、VI-2-別添 6-1「漂流防止装置の耐震計算の方針」に設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、漂流防止装置（係船柱）を設置する漂流防止装置基礎（荷揚護岸）が基準地震動  $S_s$  に対して十分な構造強度を有していることを確認するものである。

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）に要求される機能の維持を確認するに当たっては、地震応答解析に基づく施設の変形性評価を行う。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の位置を図 2-1 に示す。

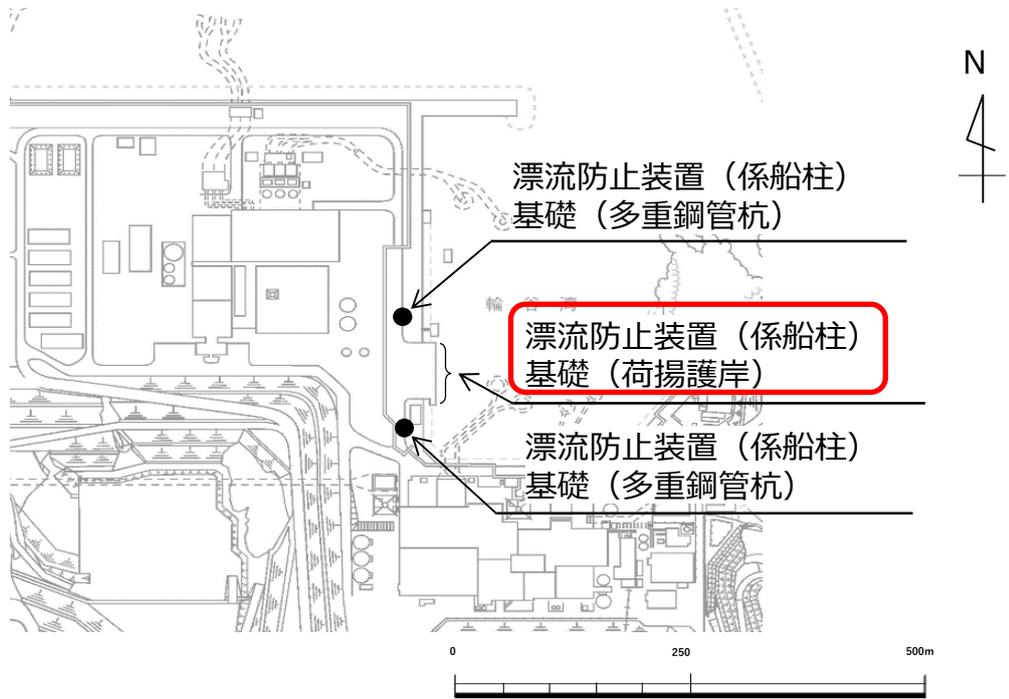


図 2-1 漂流防止装置基礎（荷揚護岸）位置

## 2.2 構造概要

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の構造図を図 2-2 に示す。

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）は岩盤上に設置され、基礎コンクリート、セルラーブロック及び上部工からなる。

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）は、上部に漂流防止装置（係船柱）を設置する。

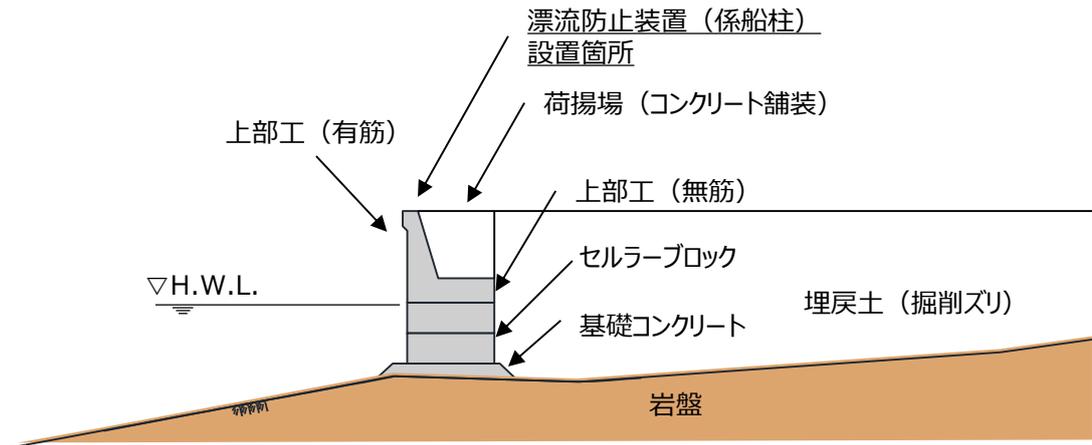


図 2-2 漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の構造図

### 2.3 評価方針

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）は、漂流防止装置（係船柱）を支持する。

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の役割を表 2-1 に示す。

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の耐震評価として、地震応答解析の結果に基づき、表 2-2 に示すとおり、施設の変形性能評価を行い、構造強度を有することを確認する。

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の耐震評価フローを図 2-3 に示す。

表 2-1 漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の役割

名称	地震時の役割	津波時の役割
漂流防止装置基礎（荷揚護岸）	・漂流防止装置基礎として係留機能を喪失するような変形を抑止する。	・漂流防止装置基礎として係船柱を支持する。

表 2-2 漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	施設の変形性能	漂流防止装置基礎（荷揚護岸）	漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の残留水平変形量が許容限界を超えないことを確認	許容残留変形量

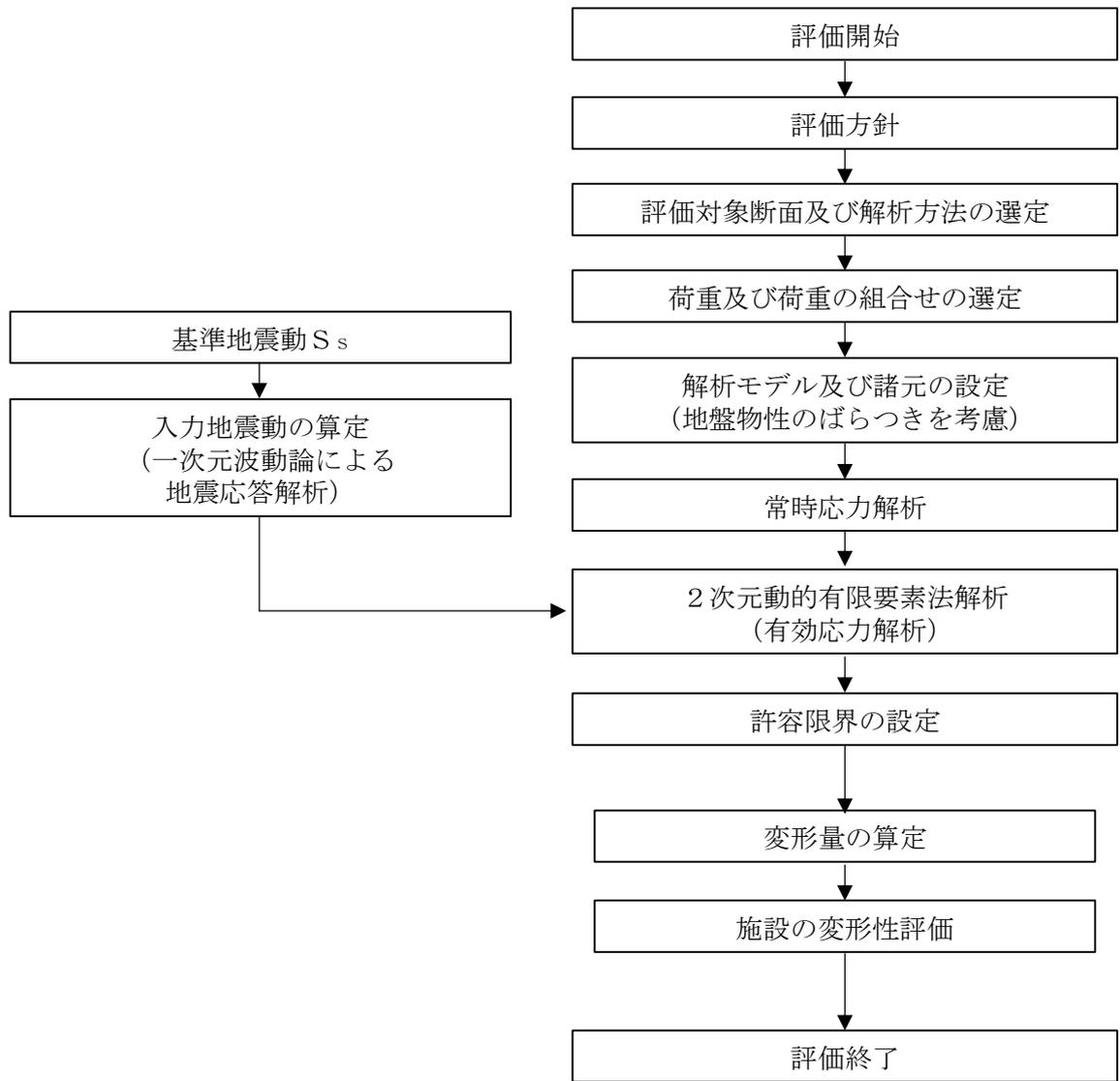


図 2-3 漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の耐震評価フロー

#### 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002年制定）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会，平成19年7月）

### 3. 耐震評価

#### 3.1 評価対象断面

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の評価対象断面は、漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の構造上の特徴や周辺地盤状況を踏まえて設定する。図3-1に漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の評価対象断面位置図を、図3-2に⑥-⑥断面の横断図を示す。

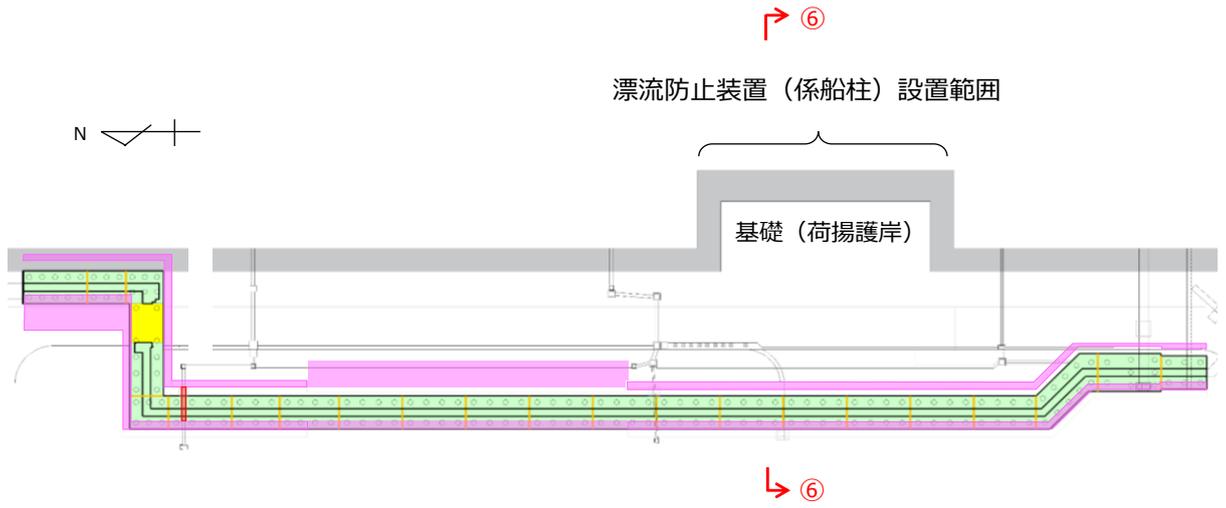


図3-1 漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の評価対象断面位置図

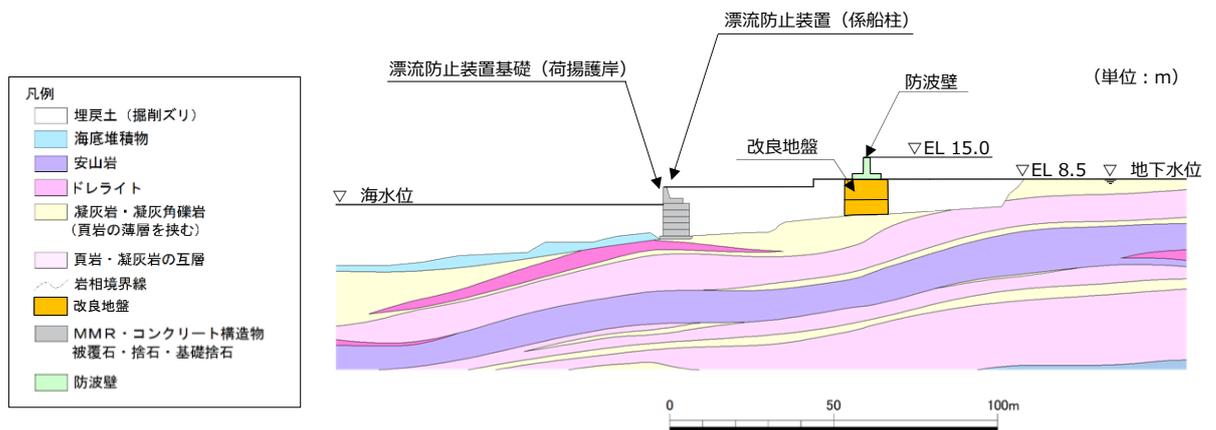


図3-2 ⑥-⑥断面横断図

### 3.2 解析方法

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法を用いて、基準地震動 $S_s$ に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析により行うこととする。地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮するため、解析方法は有効応力解析とする。

構造部材については、線形はり要素及び平面ひずみ要素でモデル化する。また、地盤については地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようモデル化する。

地震応答解析については、解析コード「FLIP」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

#### 3.2.1 施設

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）は、平面ひずみ要素としてモデル化する。

#### 3.2.2 減衰係数

Rayleigh 減衰を考慮することとし、剛性比例型減衰を設定する。

### 3.2.3 解析ケース

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の地震時の応答は周辺地盤との相互作用によることから、地盤物性のばらつきの影響を考慮する。地盤物性のばらつきについては、表 3-1 に示す解析ケースにおいて考慮する。

図 3-2 に示すとおり、動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が、地震時に漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の応答に与える影響が大きいと考えられる。このうち、広範囲に分布しており、応答に与える影響が大きいと考えられる埋戻土の物性（初期せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

耐震評価における解析ケースを表 3-2 に示す。耐震評価においては、全ての評価対象断面及び基準地震動  $S_s$  に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。全ての基準地震動  $S_s$  に対して実施したケース①の解析において、各照査値が最も厳しい地震動を用いて、解析ケース②及び③を実施する。

表 3-1 有効応力解析における解析ケース

解析ケース	地盤物性	
	埋戻土 ( $G_0$ : 初期せん断弾性係数)	岩盤 ( $G_d$ : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	平均値	平均値
ケース②	平均値 + $1\sigma$	平均値
ケース③	平均値 - $1\sigma$	平均値

表 3-2 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③
		基本 ケース	地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した 解析ケース	地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した 解析ケース
地盤物性		平均値	平均値 + 1σ	平均値 - 1σ
地震動 (位相)	S <sub>s</sub> -D	++*	○	基準地震動 S <sub>s</sub> (6波) に位相反転を考慮した地震動 (6波) を加えた全 12 波に対し、ケース① (基本ケース) を実施し、残留変形量の照査値が 0.5 を超える照査項目に対して、最も厳しい (許容限界に対する裕度が最も小さい) 地震動を用いてケース②及び③を実施する。 すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②及び③を実施する。
		-+*	○	
		+ - *	○	
		--*	○	
	S <sub>s</sub> -F 1	++*	○	
	S <sub>s</sub> -F 2	++*	○	
	S <sub>s</sub> -N 1	++*	○	
		-+*	○	
	S <sub>s</sub> -N 2 (NS)	++*	○	
		-+*	○	
S <sub>s</sub> -N 2 (EW)	++*	○		
	-+*	○		

注記\* : 地震動の位相について、(++) の左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せを以下に示す。

#### 3.3.1 耐震評価上考慮する状態

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

##### (1) 運転時の状態

発電用原子炉が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

##### (2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

##### (3) 設計用自然条件

積雪荷重を考慮する。

##### (4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

#### 3.3.2 荷重

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

##### (1) 固定荷重（G）

固定荷重として、漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の自重を考慮する。

##### (2) 地震荷重（ $S_s$ ）

基準地震動 $S_s$ の荷重を考慮する。

##### (3) 積雪荷重（ $P_s$ ）

積雪荷重として、発電所最寄りの気象官署である松江地方気象台（松江市）での観測記録（1941～2018年）より、観測史上1位の月最深積雪100cm（1971年2月4日）に平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮した35.0cmとする。積雪荷重については、松江市建築基準法施工細則により、積雪量1cmごとに $20\text{N/m}^2$ の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

### 3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

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

G : 固定荷重

S<sub>s</sub> : 地震時荷重

P<sub>s</sub> : 積雪荷重

### 3.4 入力地震動

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動  $S_s$  を、一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図 3-3 に入力地震動算定の概念図を、図 3-4～図 3-15 に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示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

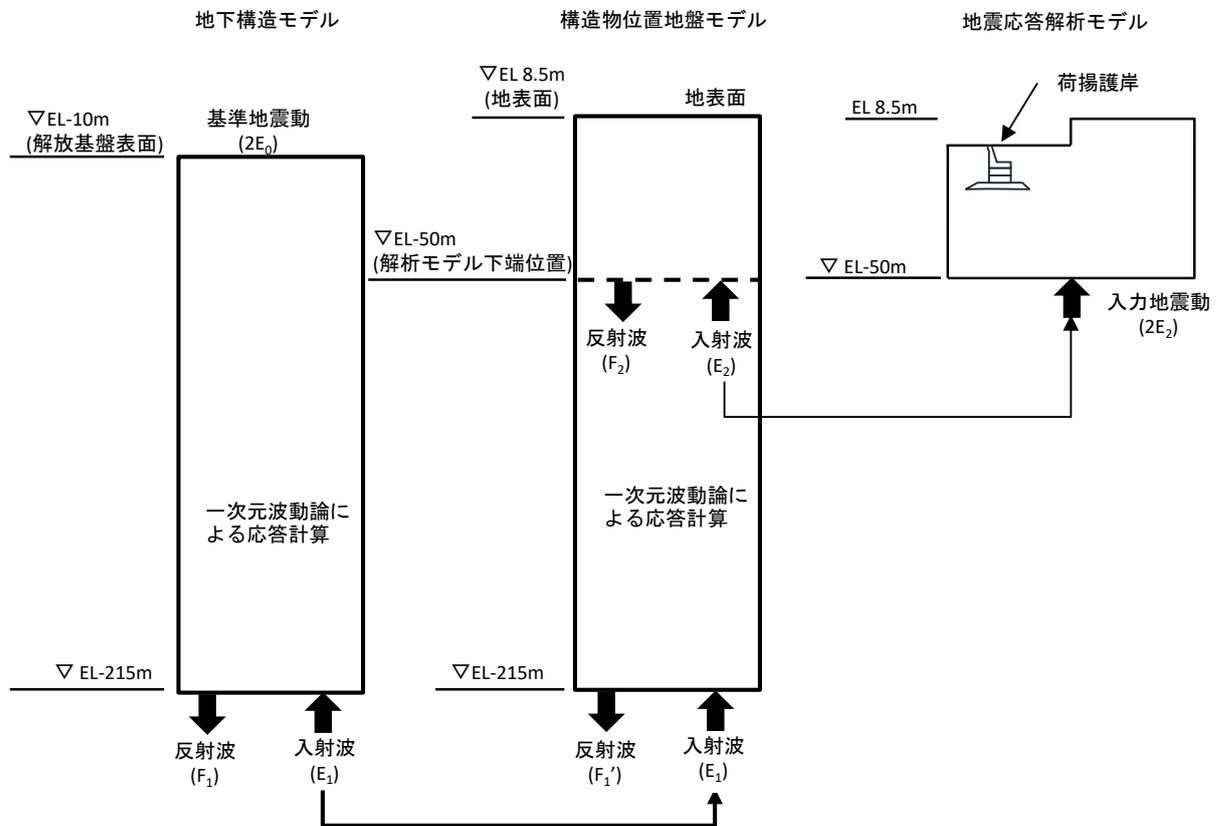
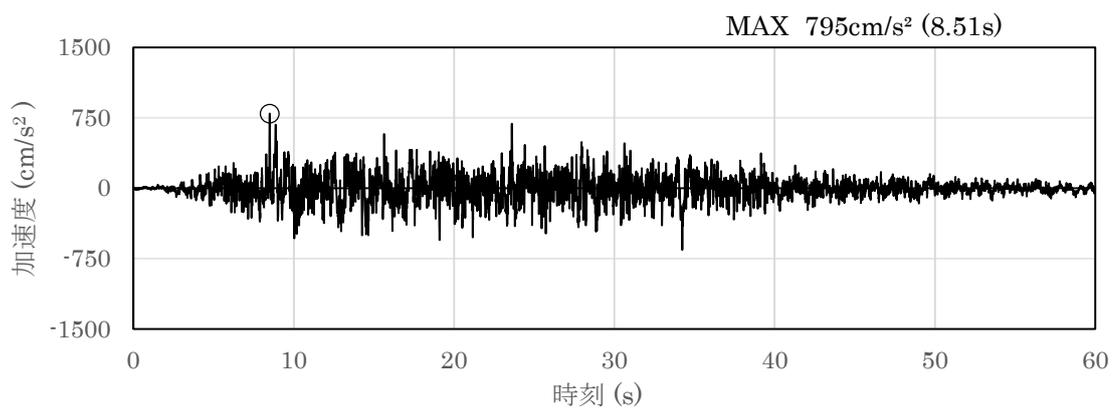
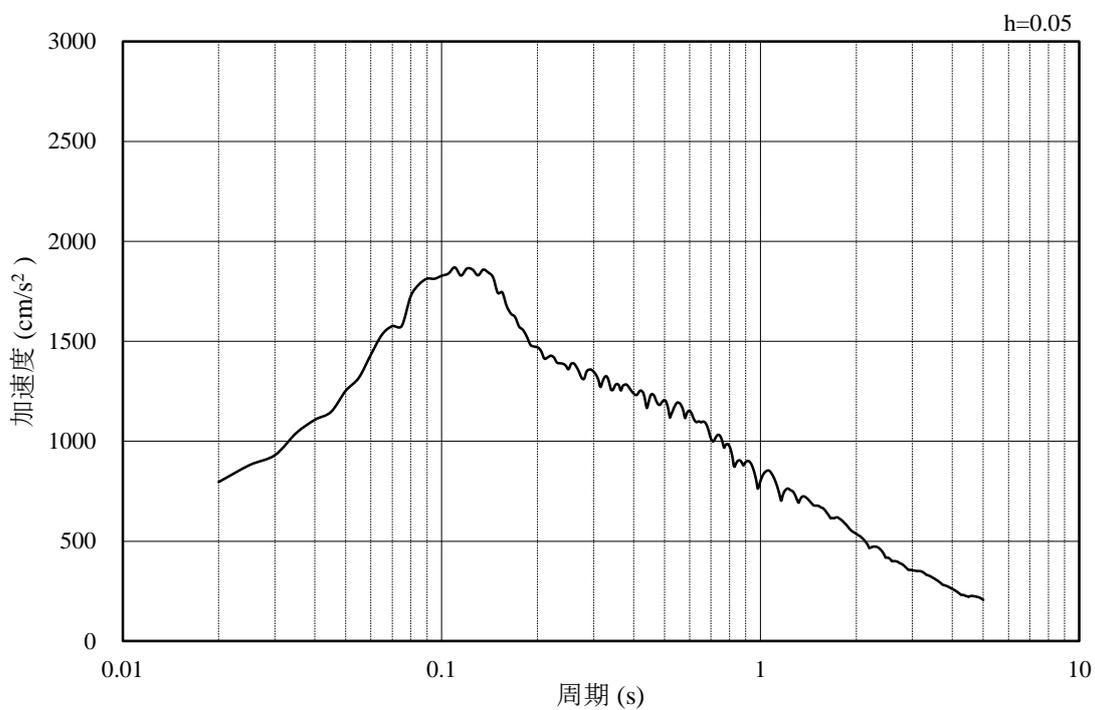


図 3-3 入力地震動算定の概念図

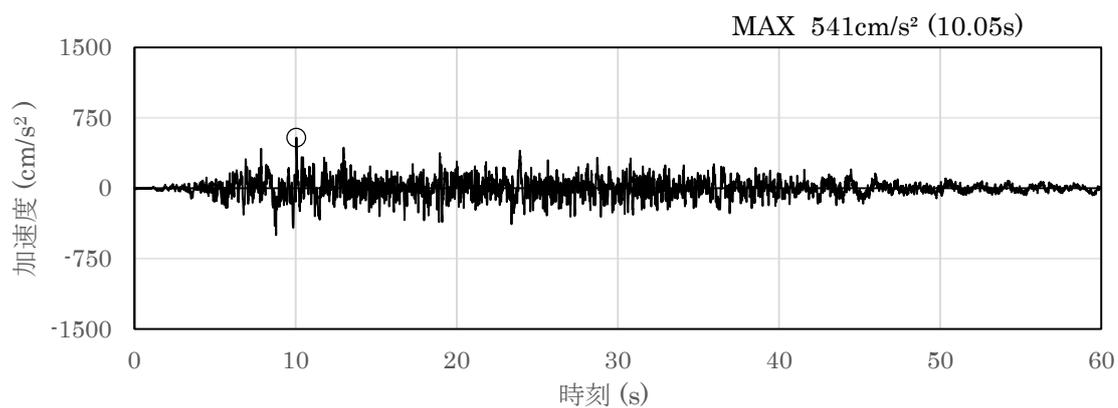


(a) 加速度時刻歴波形

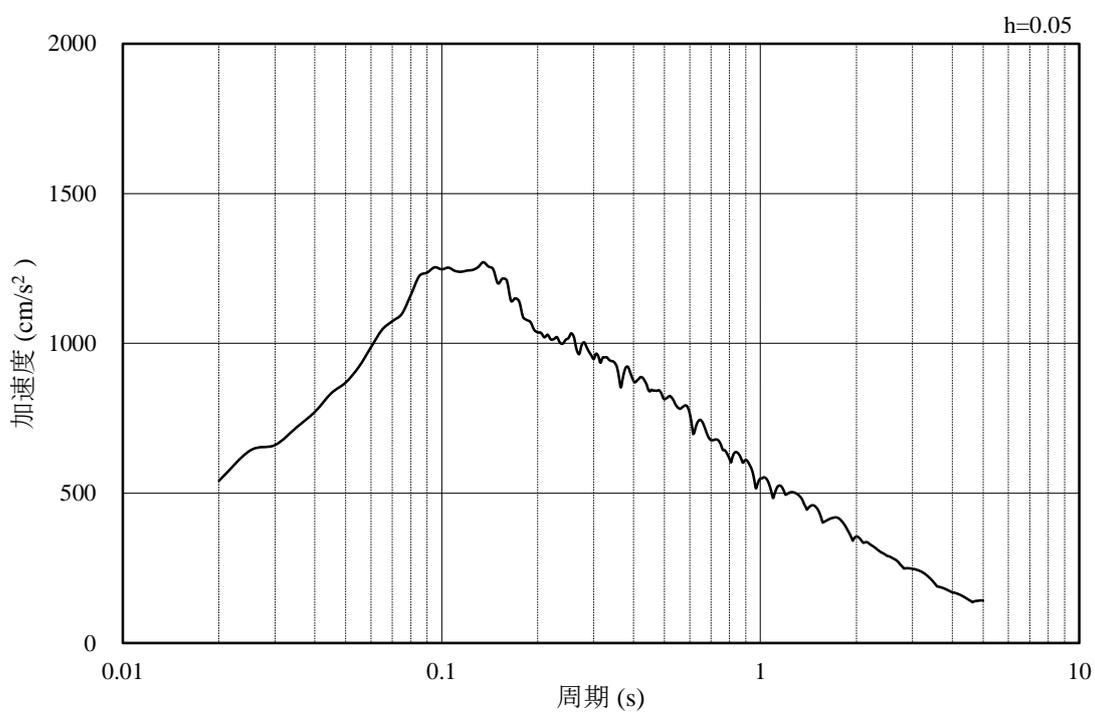


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 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  
(水平成分 : S s - D)

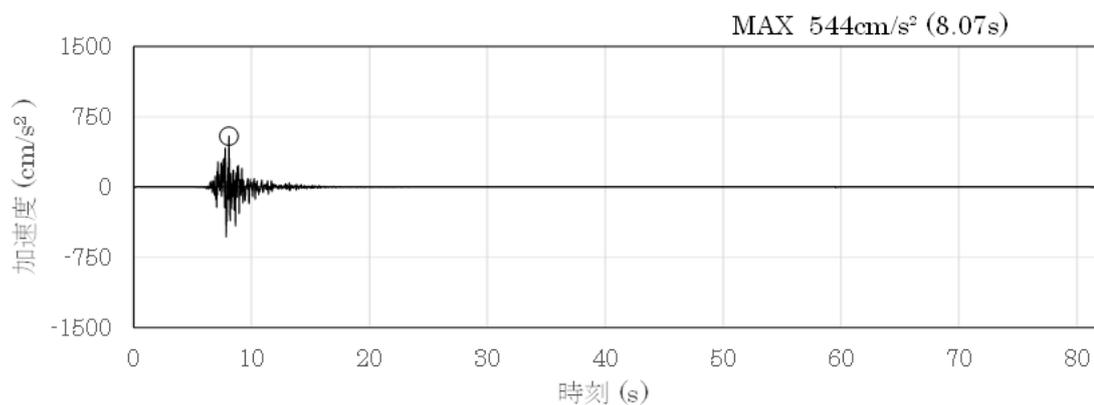


(a) 加速度時刻歴波形

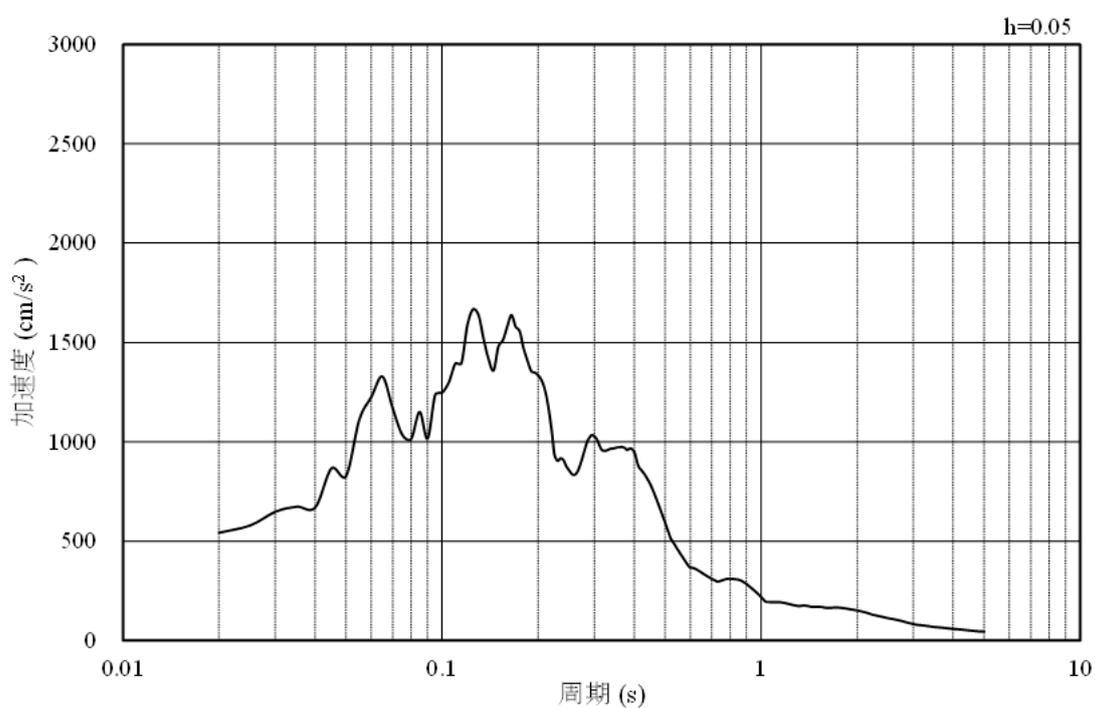


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5 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  
(鉛直成分：S s - D)

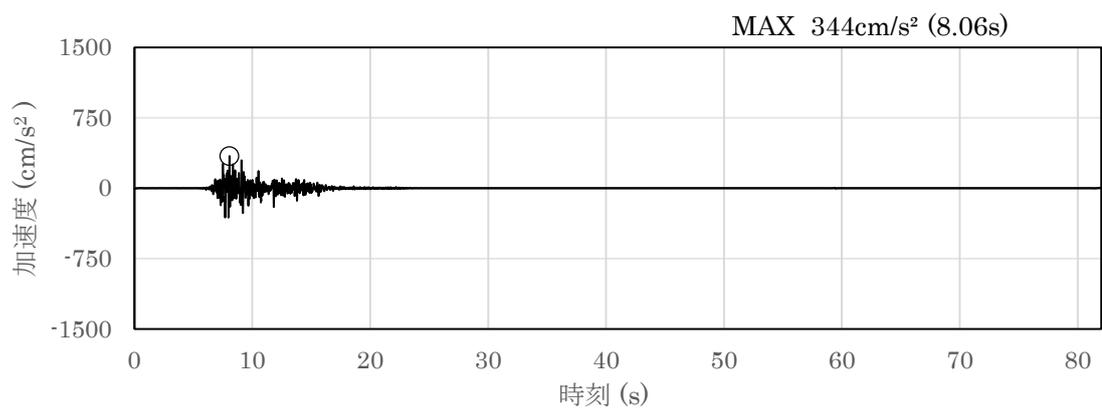


(a) 加速度時刻歴波形

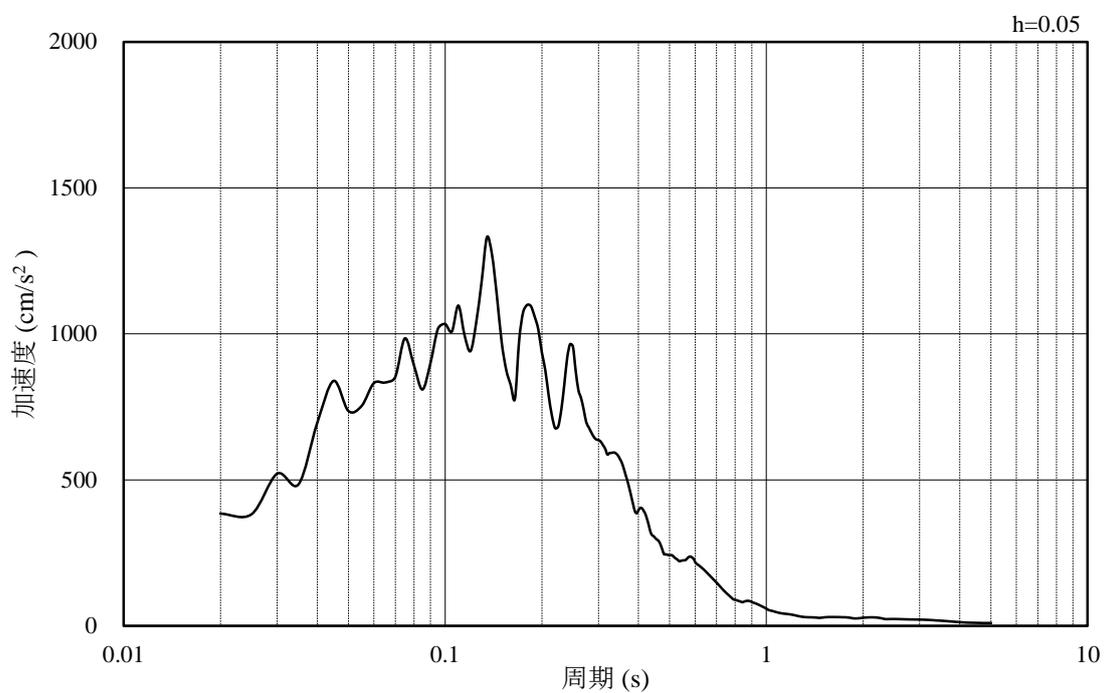


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 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  
(水平成分 : S s - F 1)

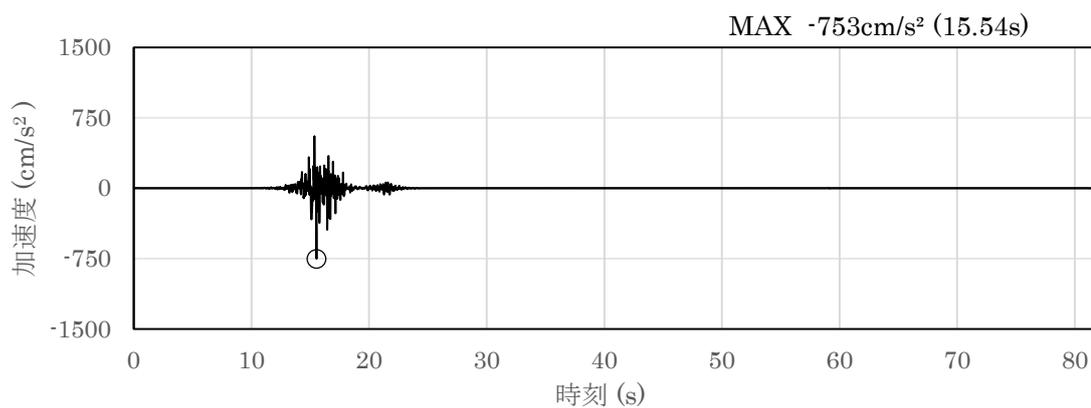


(a) 加速度時刻歴波形

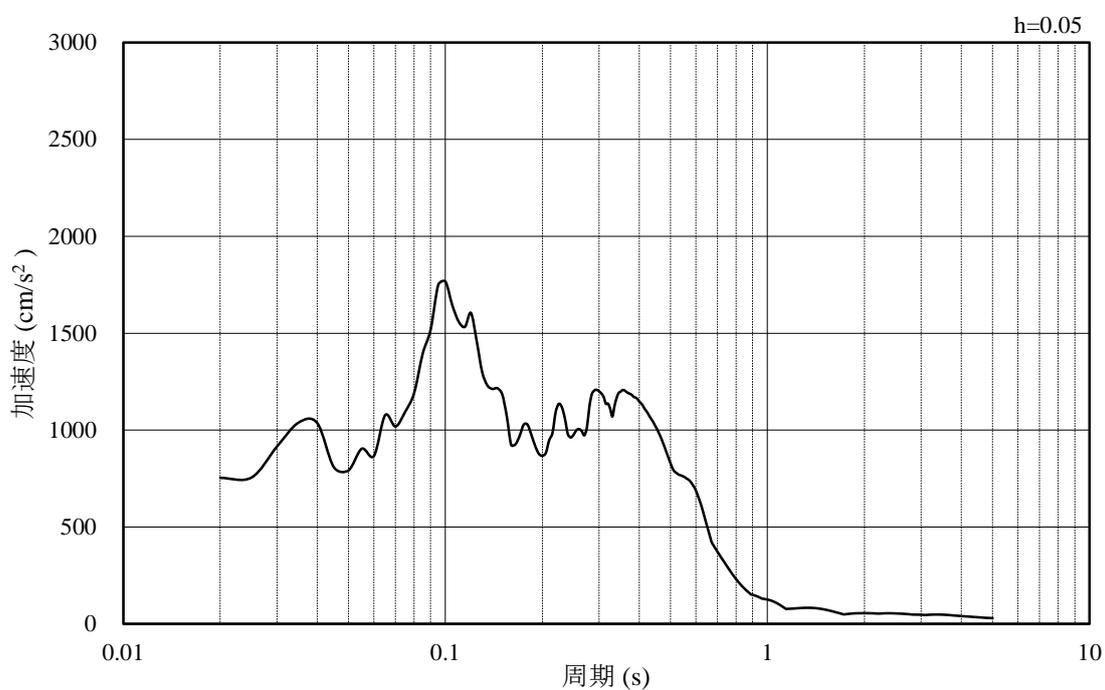


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 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  
(鉛直成分：S s - F 1)

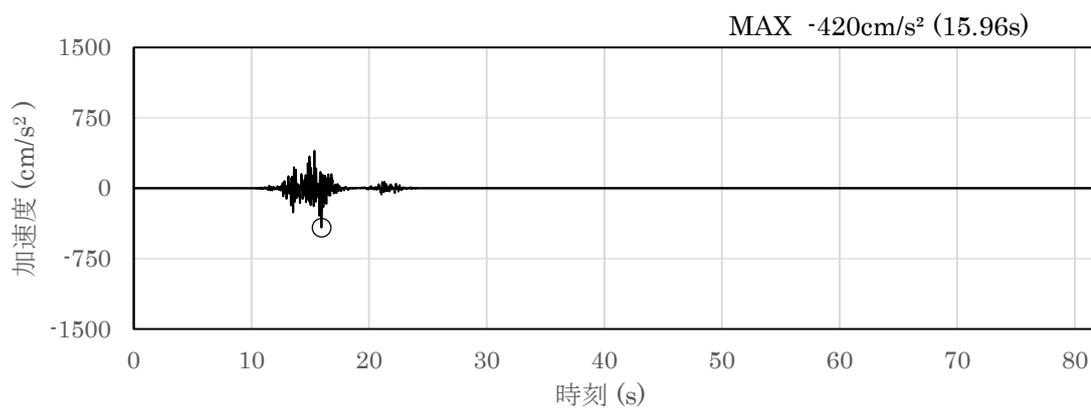


(a) 加速度時刻歴波形

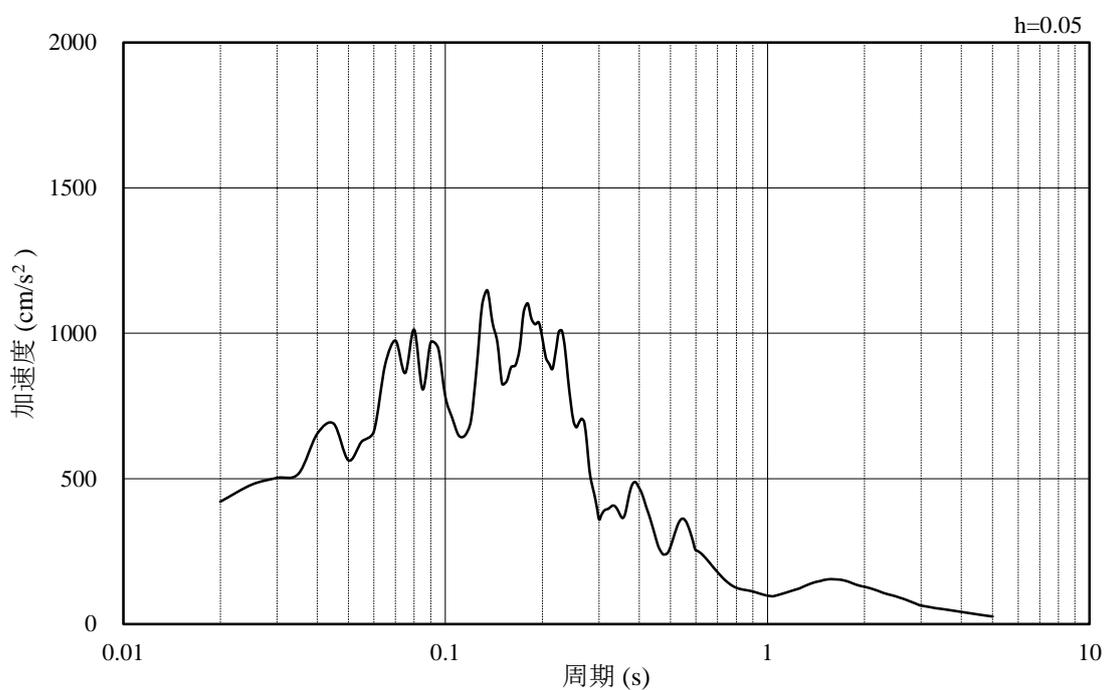


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-8 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  
(水平成分：S s - F 2)

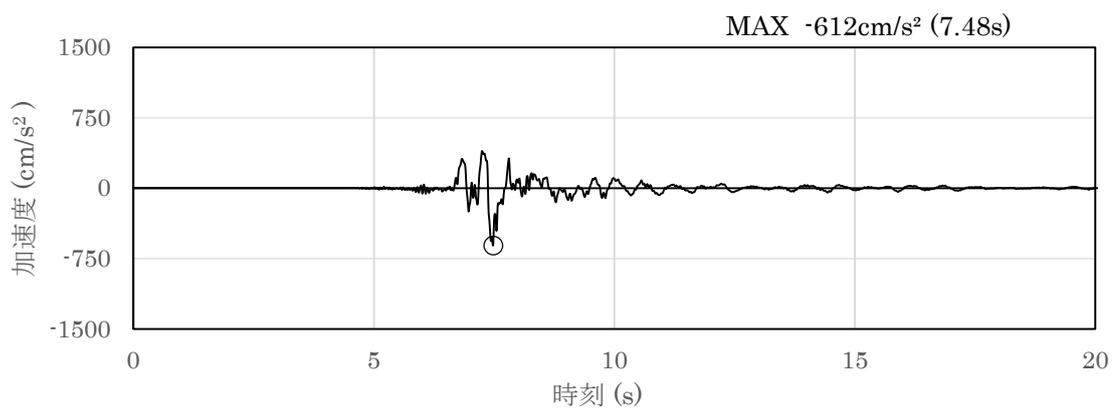


(a) 加速度時刻歴波形

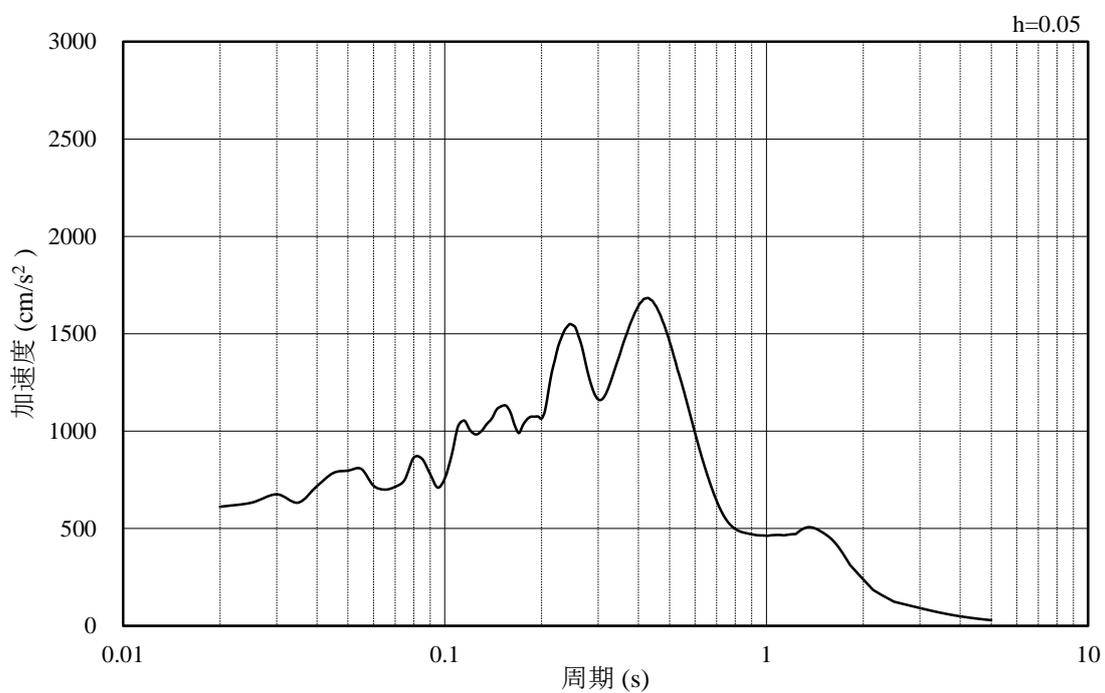


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9 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  
(鉛直成分：S s - F 2)

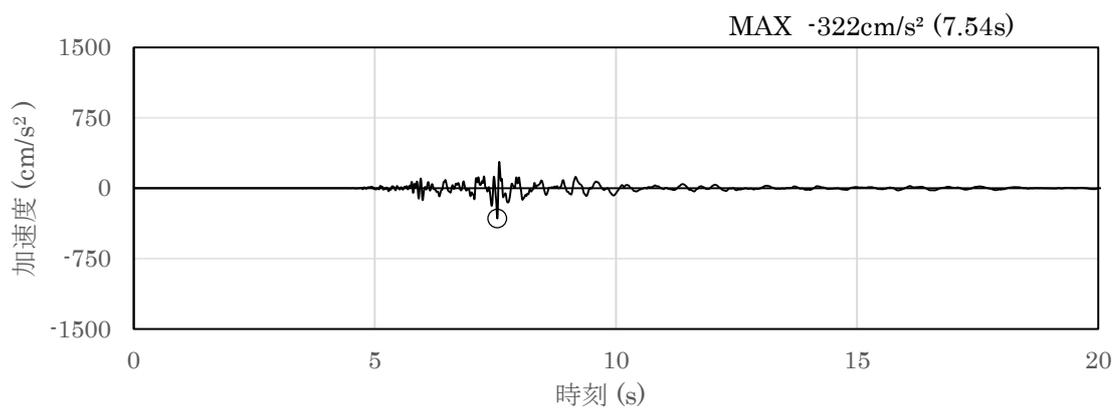


(a) 加速度時刻歴波形

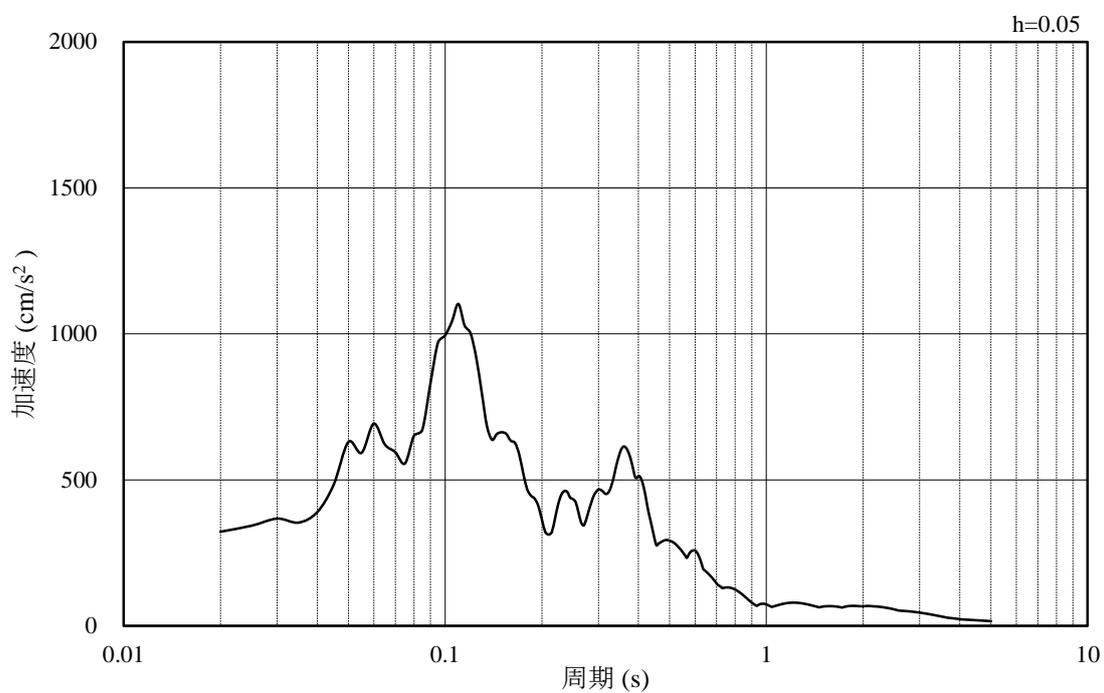


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10 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  
(水平成分：S s - N 1)

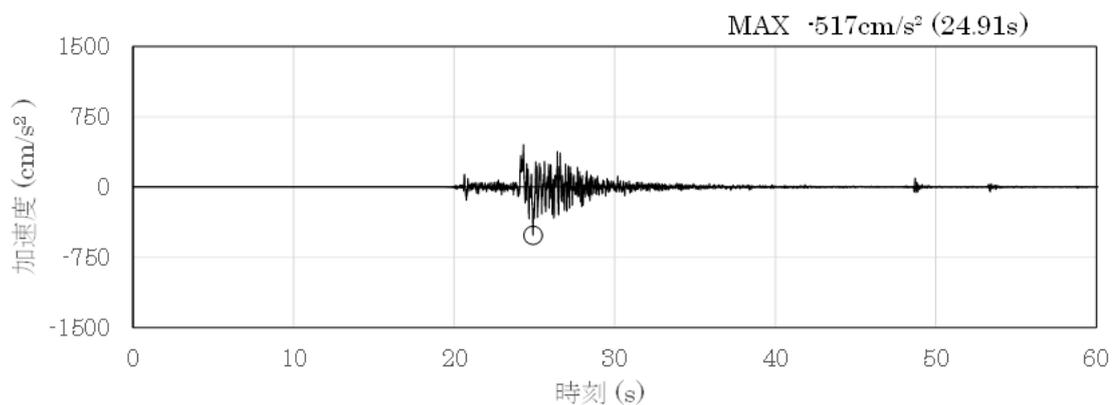


(a) 加速度時刻歴波形

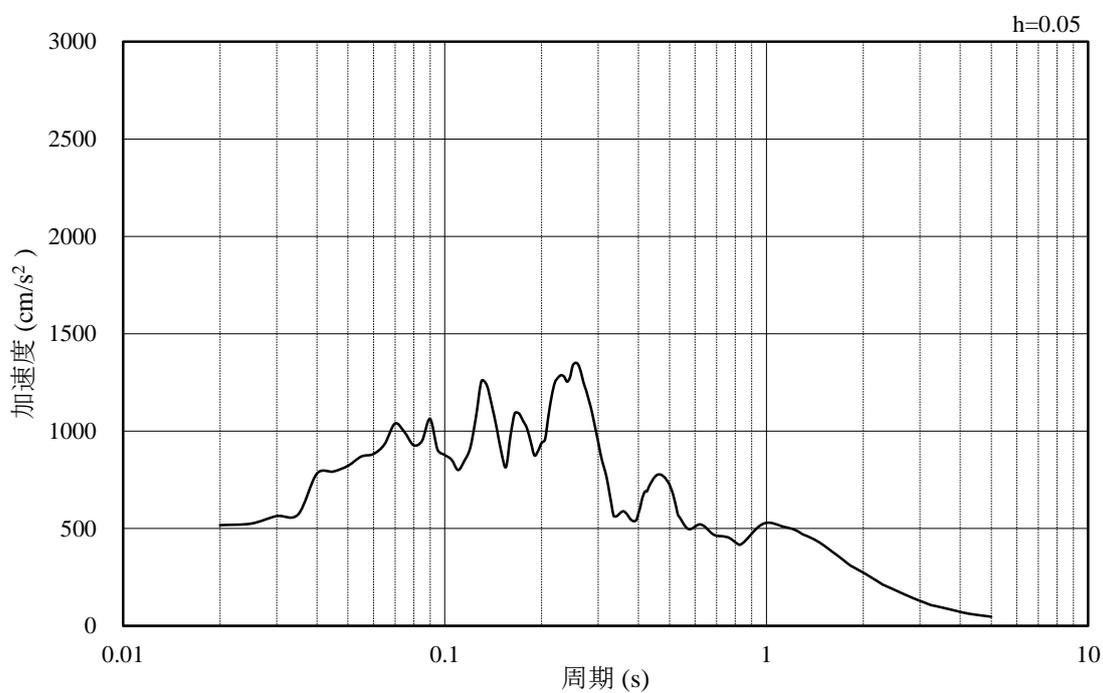


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-11 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  
(鉛直成分：S s - N 1)

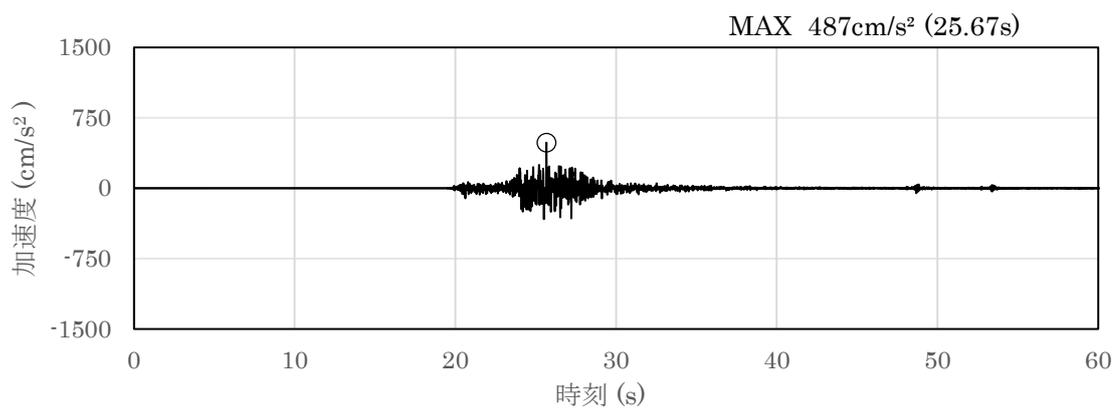


(a) 加速度時刻歴波形

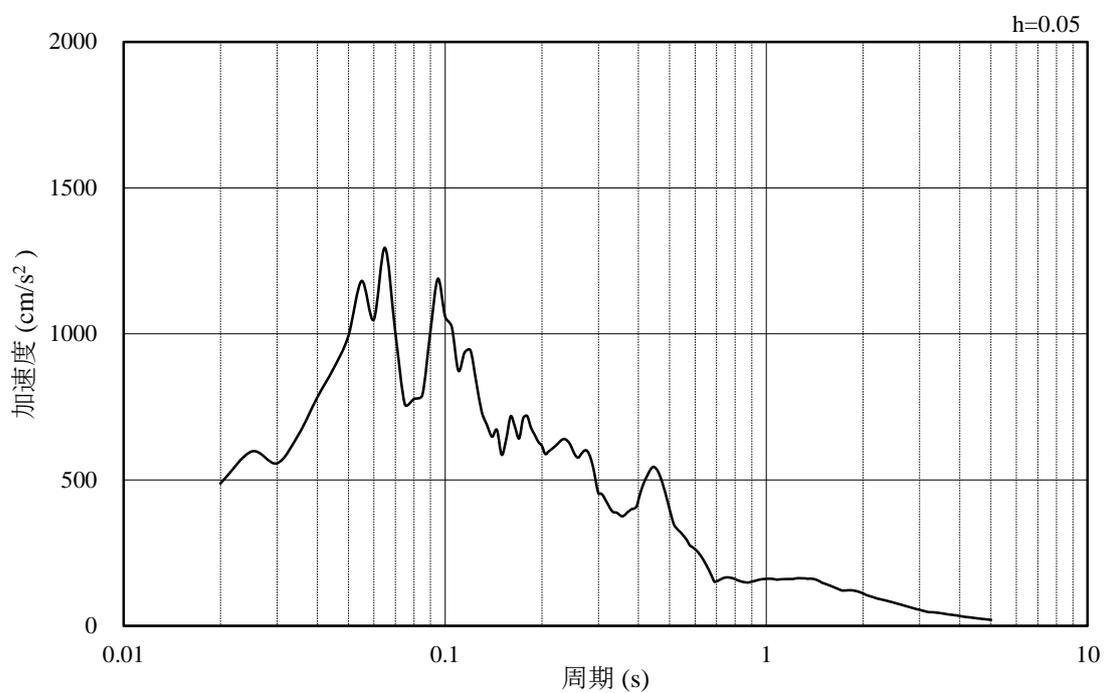


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-12 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  
(水平成分：S s - N 2 (N S))

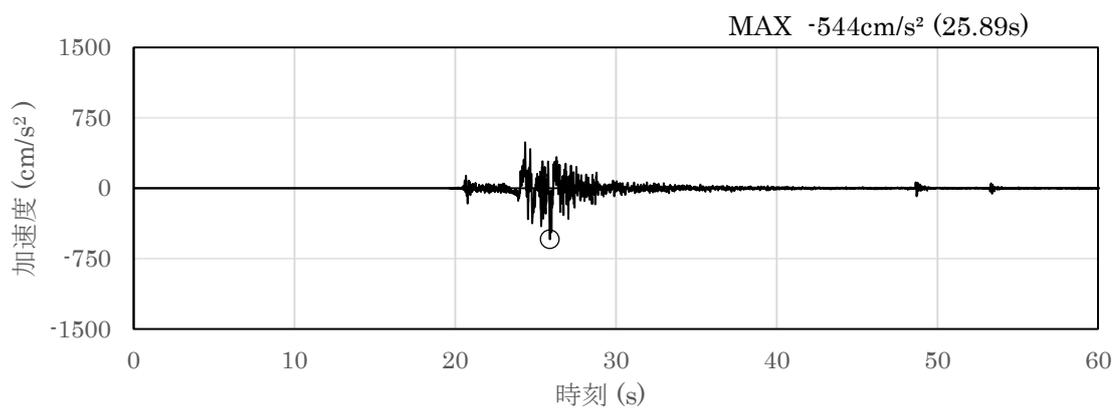


(a) 加速度時刻歴波形

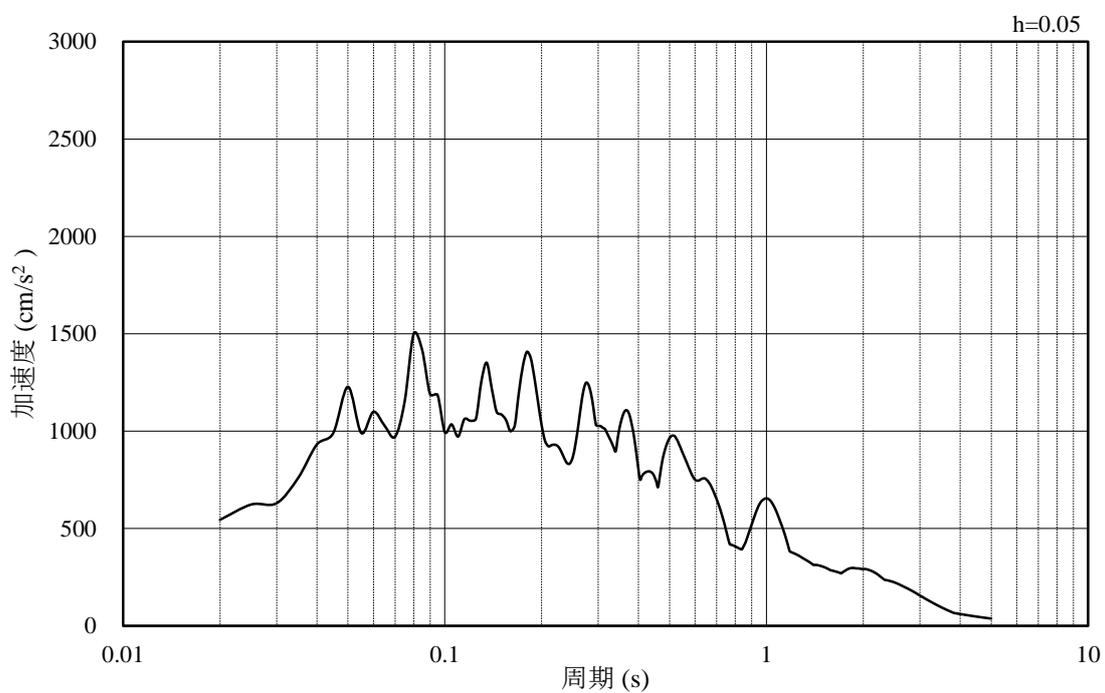


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 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  
(鉛直成分：S s - N 2 (N S))

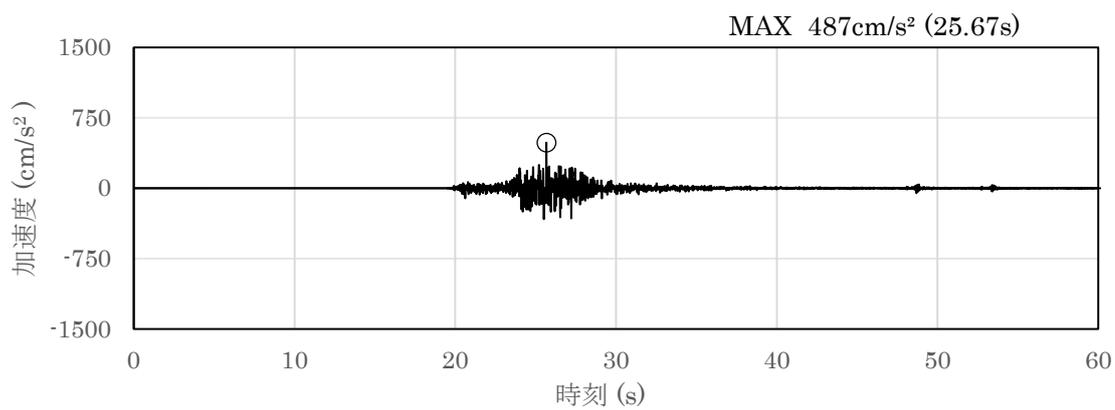


(a) 加速度時刻歴波形

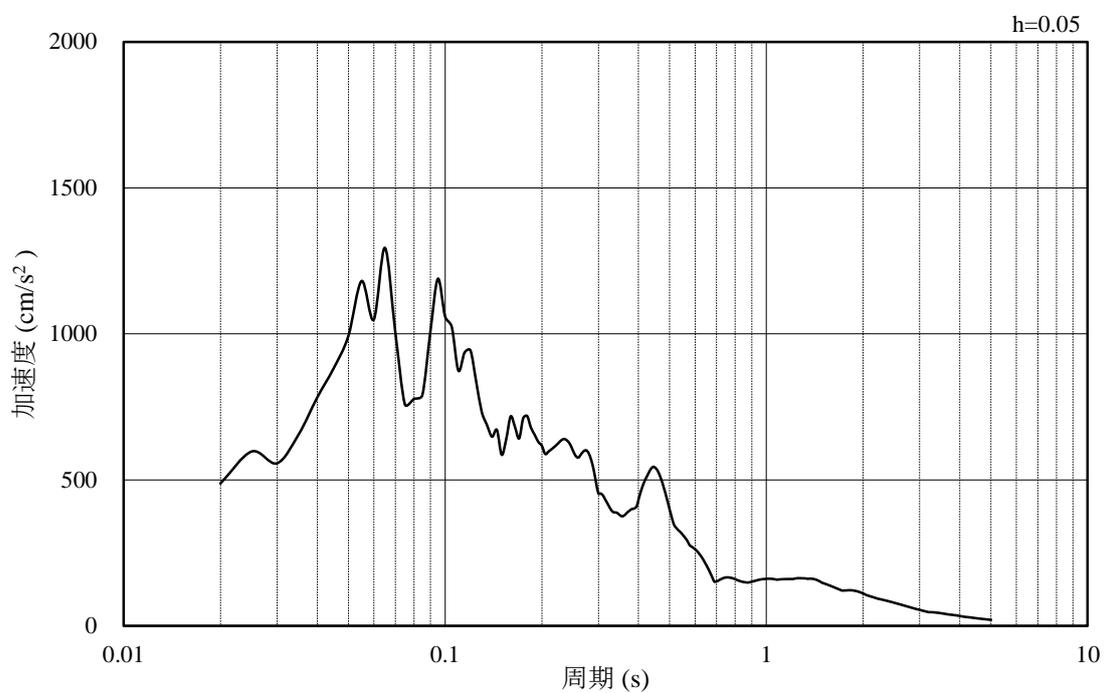


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 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  
(水平成分 : S s - N 2 ( E W ))



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 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  
(鉛直成分：S<sub>s</sub>-N<sub>2</sub>(EW))

### 3.5 解析モデル及び諸元

使用材料，材料の物性値及び地下水位については，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」で設定したものをを用いる。解析モデル及び地盤の物性値について以下に示す。

#### 3.5.1 解析モデル

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の地震応答解析モデルを図 3-16 に示す。

##### (1) 解析領域

地震応答解析モデルは，境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう，十分広い領域とする。

##### (2) 境界条件

地震応答解析時の境界条件については，有限要素解析における半無限地盤を模擬するため，粘性境界を設ける。

##### (3) 構造物のモデル化

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）はコンクリート造であり，平面ひずみ要素でモデル化する。漂流防止装置（係船柱）は，基礎に比較し十分に重量が小さいことから考慮しない。

##### (4) 地盤のモデル化

地盤は，マルチスプリング要素および間隙水要素にてモデル化し，地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

##### (5) ジョイント要素の設定

地震時の「荷揚護岸と埋戻土」及び「荷揚護岸の構造間」の接合面における剥離及びすべりを考慮するため，これらの接合面にジョイント要素を設定する。

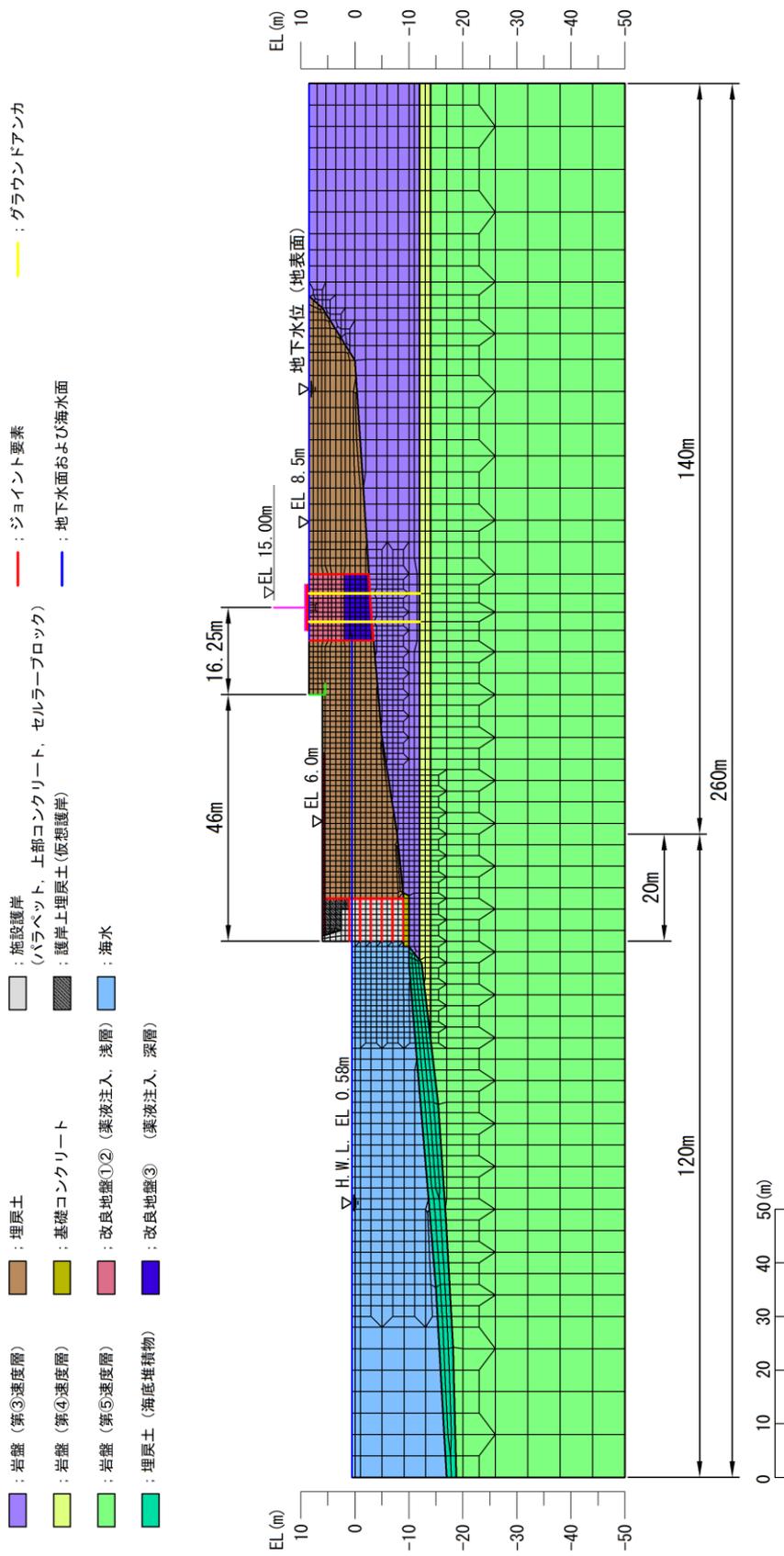


図 3-16 地震応答解析モデル

### 3.5.2 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる使用材料を表 3-4 に、材料の物性値を表 3-4 及び表 3-5 に示す。

表 3-4 使用材料

材料	部位		諸元
コンクリート	パラペット（有筋）		設計基準強度 20.6N/mm <sup>2</sup>
	上部コンクリート（無筋）		設計基準強度 14.7N/mm <sup>2</sup>
	セルラー ブロック	気中	設計基準強度 20.6N/mm <sup>2</sup>
		水中	設計基準強度 20.6N/mm <sup>2</sup>
	基礎コンクリート		設計基準強度 14.7N/mm <sup>2</sup>

表 3-5 材料の物性値

材料	部位	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )		ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	ポアソン 比
		飽和, 湿潤	水中		
コンクリート	パラペット（有筋）	24.0	-	23.3	0.2
	上部コンクリート （無筋）	22.6	-	20.4	0.2
	セルラーブロック （コンクリート詰）	23.0	12.9	23.3	0.2
	基礎コンクリート	22.6	12.5	20.4	0.2

### 3.5.3 地盤及び改良地盤の物性値

地盤の物性値は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

### 3.5.4 地下水位

設計用地下水位は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計用地下水位を表 3-6 に示す。

表 3-6 設計用地下水位

施設名称	設計用地下水位
漂流防止装置基礎（荷揚護岸）	防波壁より陸側：EL 8.5m* 防波壁より海側：EL 0.58m

注記\*：地表面が EL 8.5m よりも低い地点については、地下水位を地表面とする。

### 3.6 評価対象部位

評価対象部位は、漂流防止装置基礎（荷揚護岸）とする。

### 3.7 許容限界

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の許容限界は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会，平成 19 年 7 月）」の耐震強化岸壁に求められる耐震性能（0.3～1m）を許容残留変形量とし、1m と設定する。表 3-7 に漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の許容限界を示す。

表 3-7 漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の許容限界

断面	許容残留変形量 (m)
⑥—⑥断面	1.0

### 3.8 評価方法

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の耐震評価では、地震応答解析に基づいて算定した残留変形量が「3.7 許容限界」で設定した許容限界を満足することを確認する。

#### 4. 耐震評価結果

基準地震動  $S_s$  から得られる漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の残留変形量について照査を行った。漂流防止装置基礎（荷揚護岸）天端の残留変形量に対する照査値を表4-1に示す。

この結果から、漂流防止装置基礎（荷揚護岸）天端の残留変形量が許容限界以下であることを確認した。

表 4-1 漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の変形量評価結果

地震動	解析ケース	残留変形量 $\delta$ (m)	許容 残留変形量 $\delta_a$ (m)	照査値 $\delta / \delta_a$
$S_s - D$ (---)	③	0.04	1.0	0.04

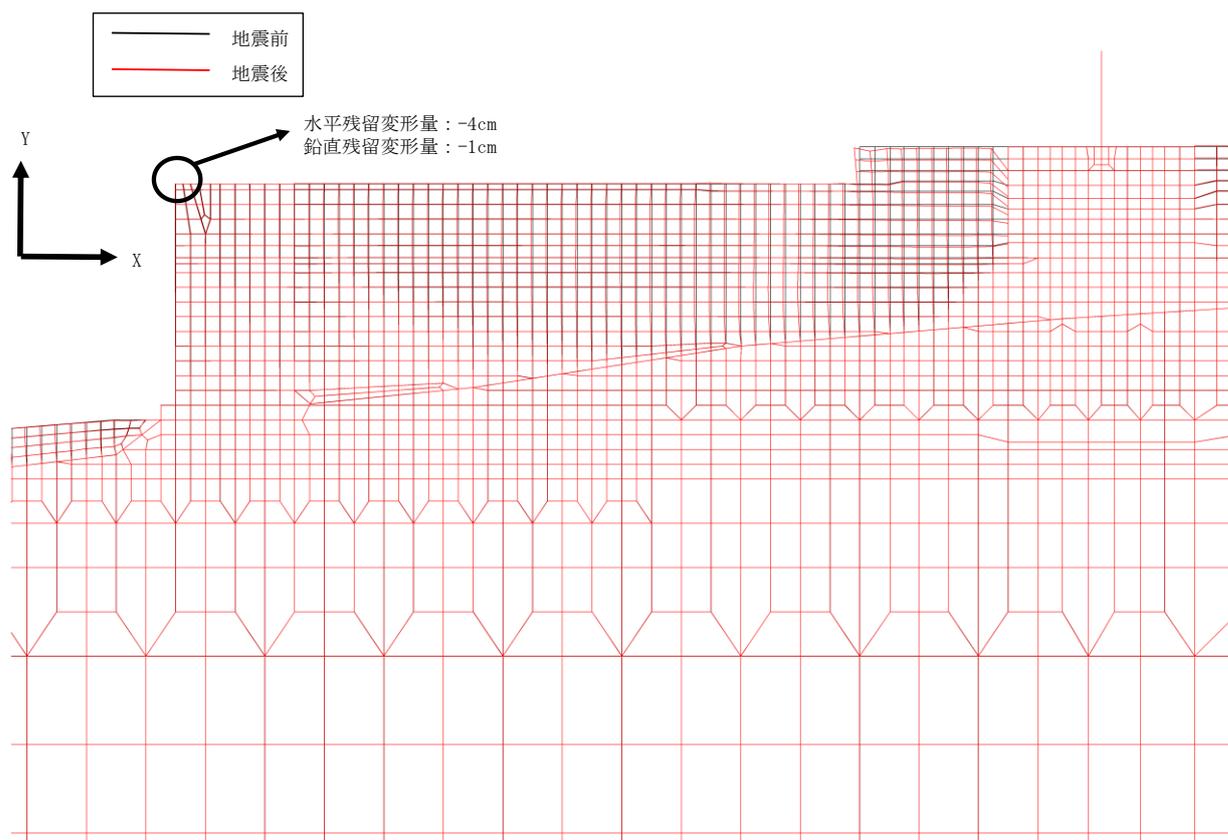


図 4-1 残留変形量図 ( $S_s - D$  (---), 解析ケース: ③地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値  $-1\sigma$ ))

3. 漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の耐震性についての計算書

## 目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	5
2.4	適用規格・基準等	7
3.	耐震評価	8
3.1	評価対象断面	8
3.2	解析方法	10
3.2.1	施設	10
3.2.2	減衰係数	10
3.2.3	解析ケース	11
3.3	荷重及び荷重の組合せ	13
3.3.1	耐震評価上考慮する状態	13
3.3.2	荷重	13
3.3.3	荷重の組合せ	14
3.4	入力地震動	15
3.5	解析モデル及び諸元	28
3.5.1	解析モデル	28
3.5.2	使用材料及び材料の物性値	30
3.5.3	地盤及び改良地盤の物性値	30
3.5.4	地下水位	30
3.6	評価対象部位	31
3.6.1	施設の健全性評価	31
3.6.2	基礎地盤の支持性能評価	31
3.7	許容限界	32
3.7.1	多重鋼管杭（曲げ・軸力，せん断力）	32
3.7.2	基礎地盤	32
3.8	評価方法	32
4.	耐震評価結果	33
4.1	曲げ・軸力照査	33
4.2	せん断力照査	34
4.3	基礎地盤	35

## 1. 概要

本資料は、VI-2-別添 6-1「漂流防止装置の耐震計算の方針」に設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）が基準地震動  $S_s$  に対して十分な構造強度を有していることを確認するものである。

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）に要求される機能の維持を確認するに当たっては、地震応答解析に基づく施設の変形性能評価を行う。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の位置を図 2-1 に示す。

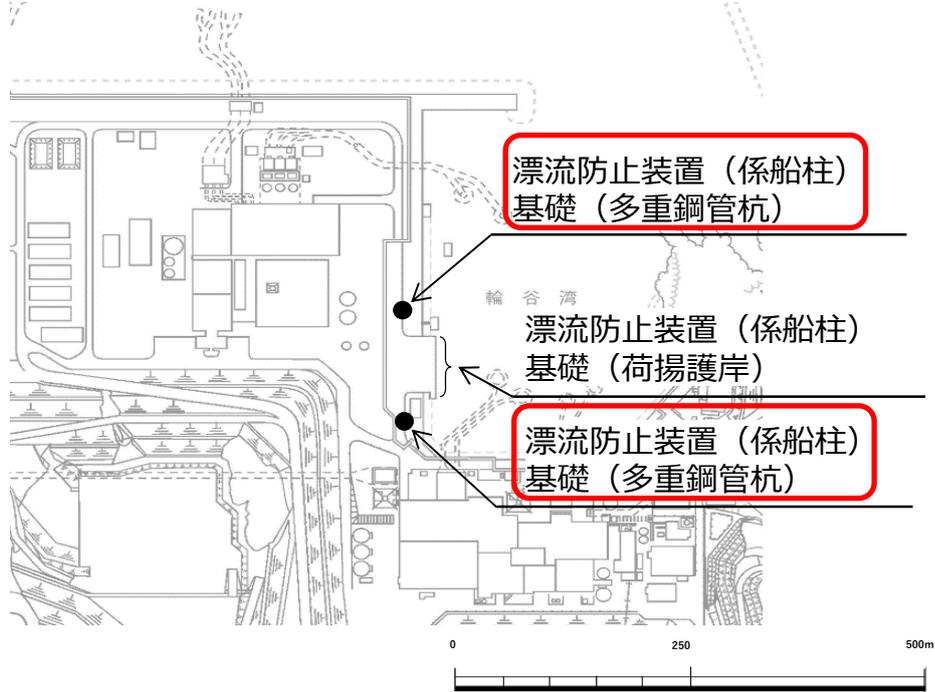
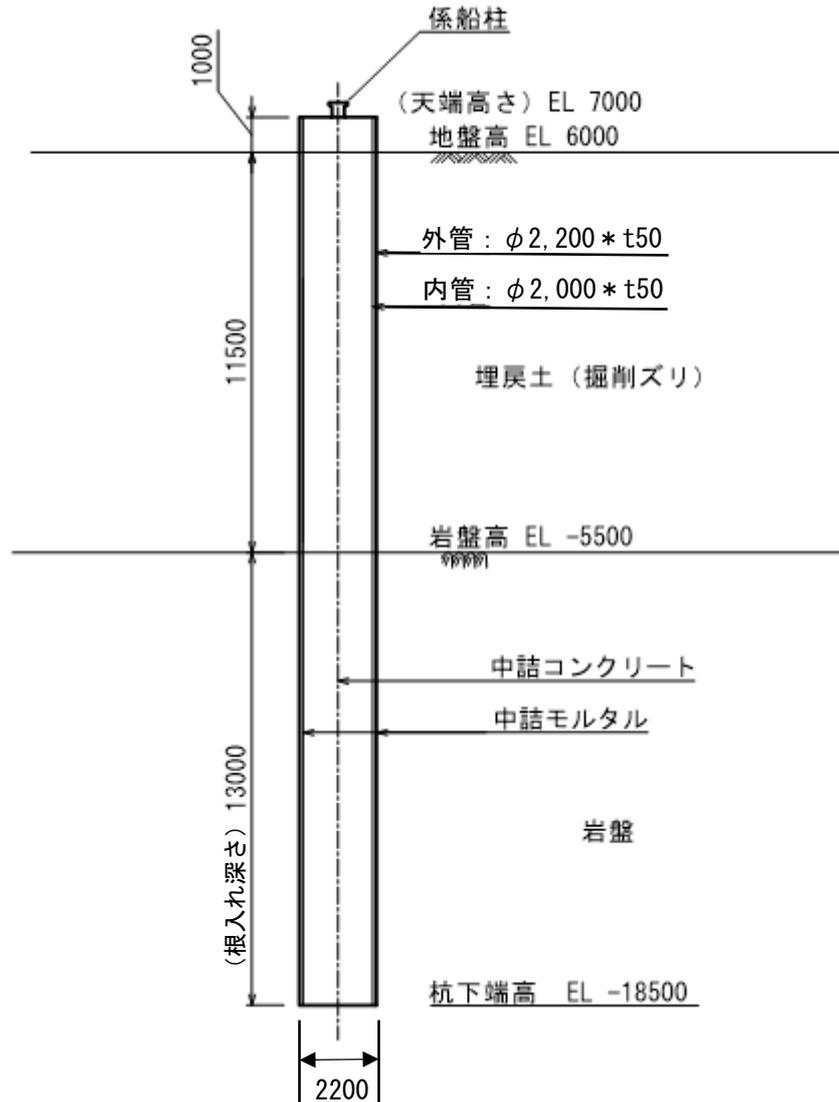


図 2-1 漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）位置図

## 2.2 構造概要

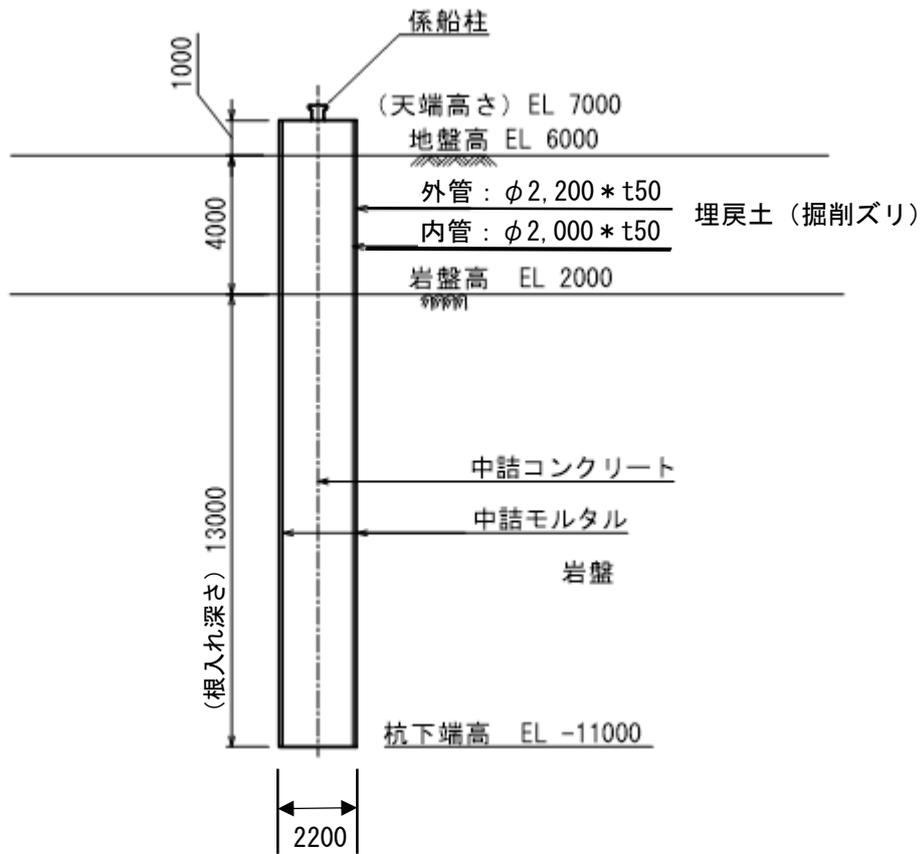
漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の構造図を図 2-2 及び図 2-3 に、漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）への漂流防止装置（係船柱）の設置時の概要を図 2-4 に示す。

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）は、鋼管を多重化して鋼管内をコンクリート及びモルタルで充填した多重鋼管構造とする。鋼管杭は岩盤に支持させる構造（根入れ深さ：13.0m）とし、上部に漂流防止装置として係船柱を設置する。



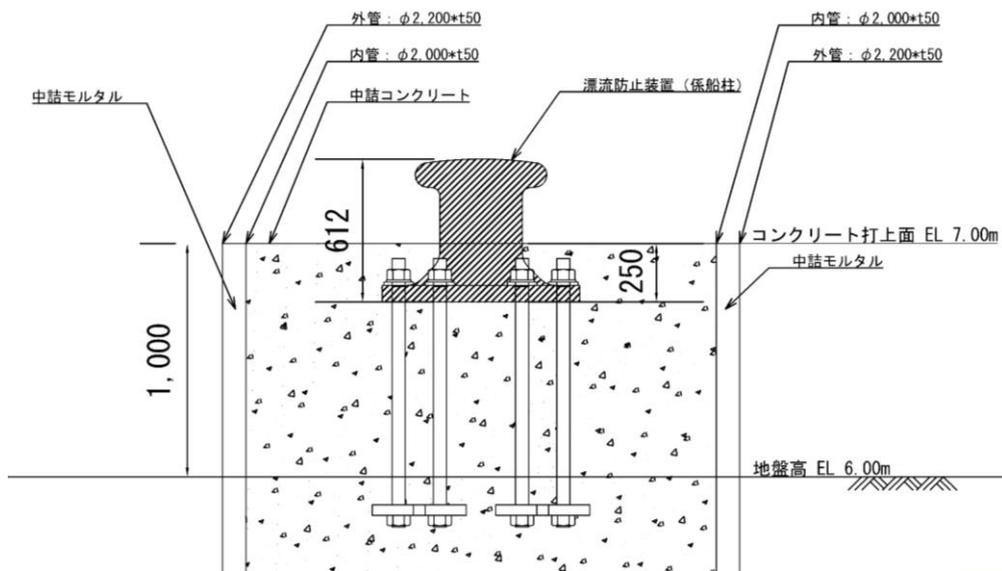
(単位：mm)

図 2-2 漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の構造図（南側）



(単位：mm)

図 2-3 漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の構造図（北側）



(単位：mm)

図 2-4 漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）への漂流防止装置（係船柱）設置図

### 2.3 評価方針

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）は、漂流防止装置（係船柱）を支持する。

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の各部位の役割を表 2-1 に示す。

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の耐震評価として、地震応答解析の結果に基づき、表 2-2 に示すとおり、施設の変形性能評価及び基礎地盤の支持性能評価を行い、構造強度を有することを確認する。なお、施設の変形性能評価にあたっては、保守的に施設がおおむね弾性状態に留まることを確認する。

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の耐震評価フローを図 2-5 に示す。

表 2-1 漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の部位の役割

部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
漂流防止装置基礎 （多重鋼管杭）	・漂流防止装置基礎として係留機能を喪失するような変形を抑止する。	・漂流防止装置基礎として係船柱を支持する。
岩盤	・多重鋼管杭を鉛直支持する。	・多重鋼管杭を鉛直支持する。

表 2-2 漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	施設の変形性能	漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）	発生する応力（曲げ，軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	降伏モーメント（曲げ）及びせん断応力度（せん断）
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力度

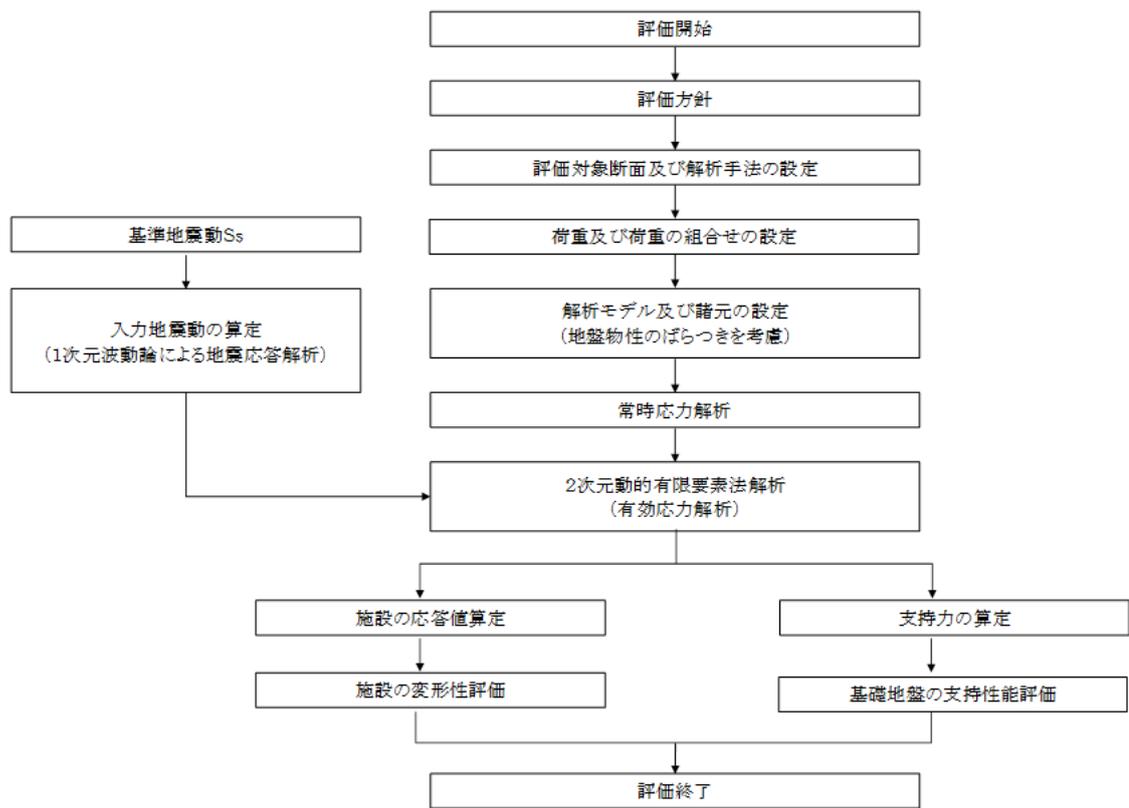


図 2-5 漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の耐震評価フロー

#### 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会 平成 14 年 3 月）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）

### 3. 耐震評価

#### 3.1 評価対象断面

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の評価対象断面は、漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の構造上の特徴や周辺地盤状況を踏まえて設定する。漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の評価対象断面位置図を図 3-1 に、各横断面を図 3-2 及び図 3-3 に示す。以下の理由から、①-①断面を評価対象断面として選定する。

- ・②-②断面，①-①断面の多重鋼管杭及び係船柱において，岩盤の根入れ深さ等構造上の差異はない。
- ・①-①断面は②-②断面と比べ岩盤深さが深いため，土圧が大きくなると考えられることから，評価対象断面として選定した。

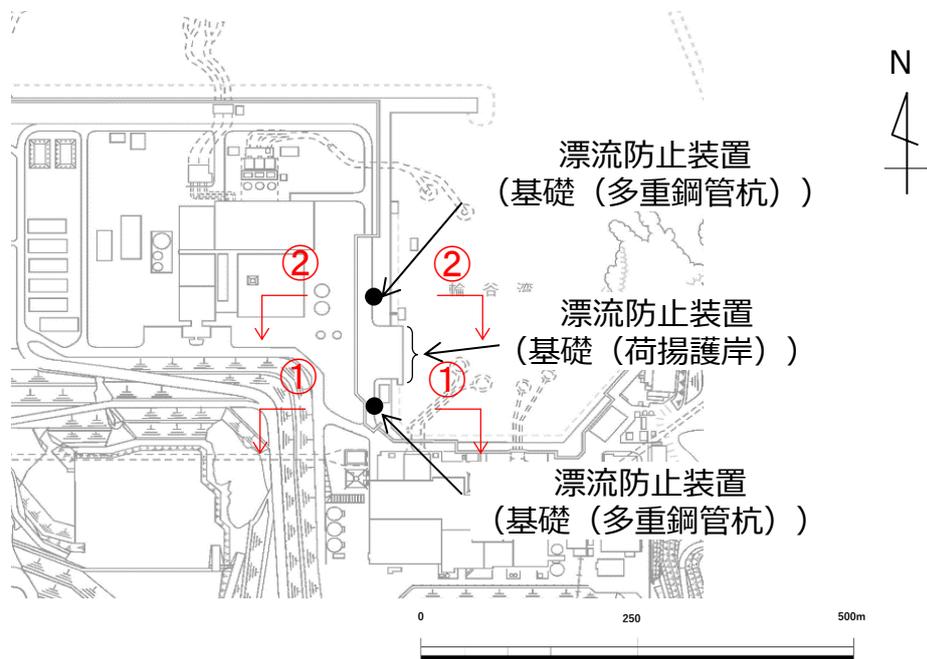


図 3-1 漂流防止装置の基礎（多重鋼管杭）の評価対象断面位置図

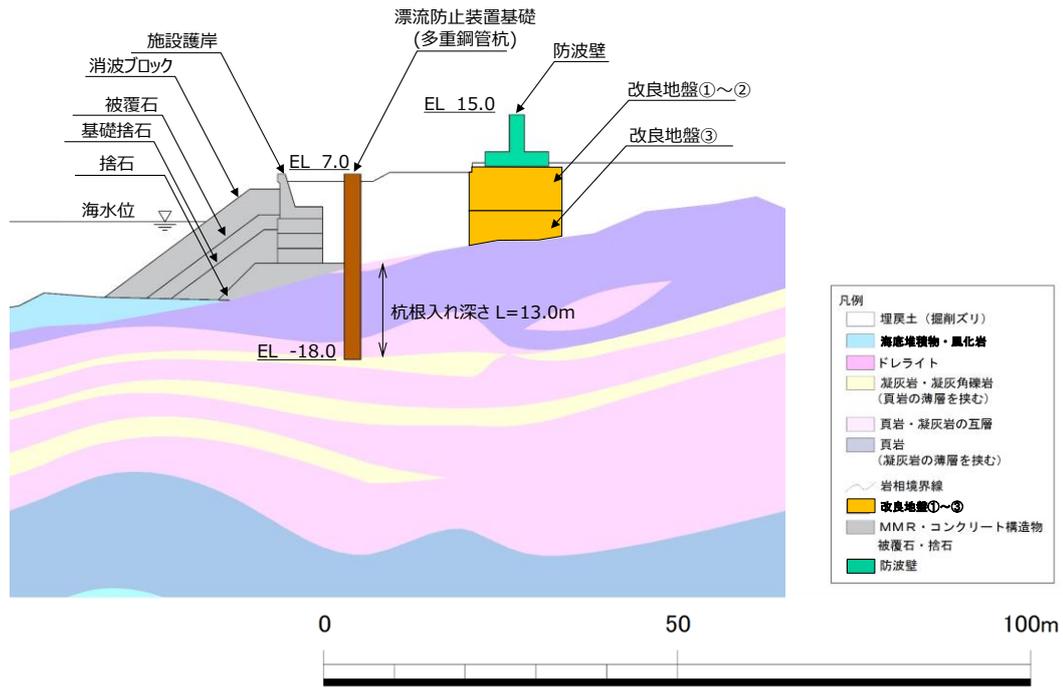


図 3-2 漂流防止装置の基礎 (多重鋼管杭) の横断図 (①-①断面)

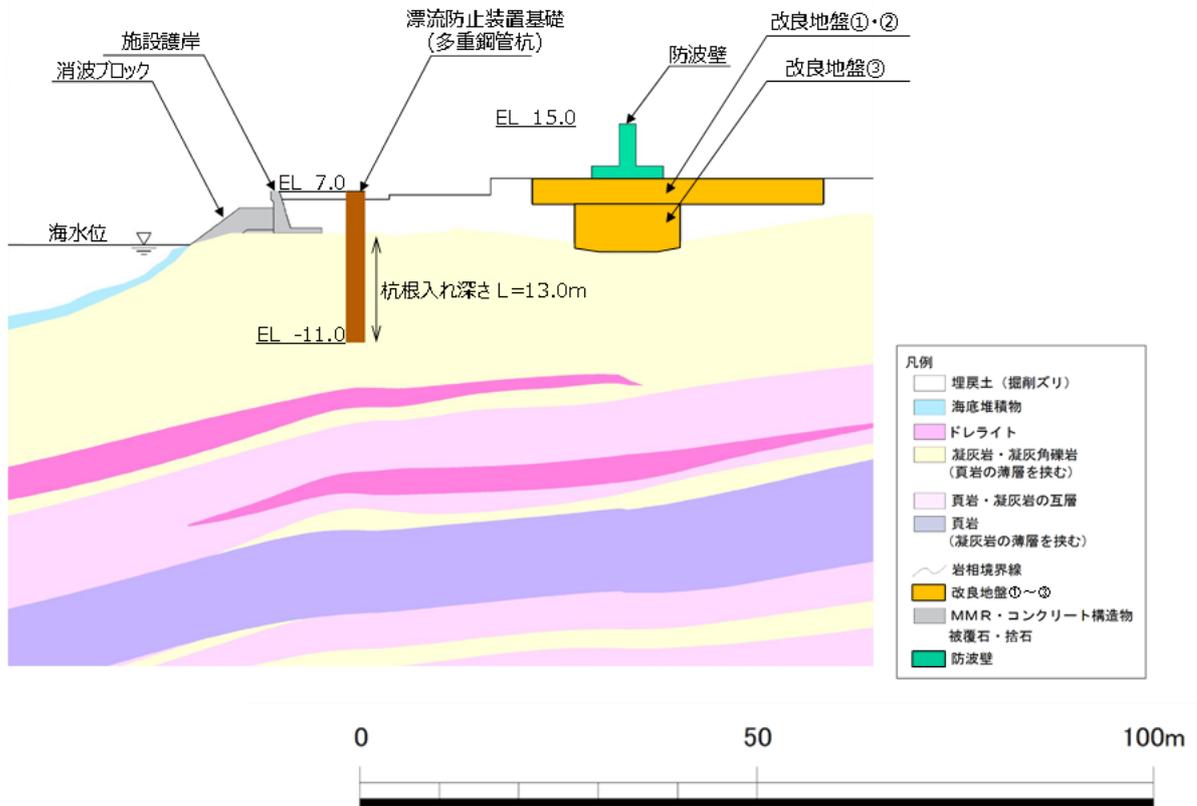


図 3-3 漂流防止装置の基礎 (多重鋼管杭) の横断図 (②-②断面)

### 3.2 解析方法

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法を用いて、基準地震動  $S_s$  に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析により行うこととする。地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮するため、解析方法は有効応力解析とする。

構造部材については、線形はり要素及び平面ひずみ要素でモデル化する。また、地盤については地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようモデル化する。

地震応答解析については、解析コード「FLIP」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

#### 3.2.1 施設

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）は、線形はり要素としてモデル化する。

#### 3.2.2 減衰係数

Rayleigh 減衰を考慮することとし、剛性比例型減衰を設定する。

### 3.2.3 解析ケース

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の地震時の応答は周辺地盤との相互作用によることから、地盤物性のばらつきの影響を考慮する。地盤物性のばらつきについては、表 3-1 に示す解析ケースにおいて考慮する。

図 3-2 に示すとおり、動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が、地震時に漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の応答に与える影響が大きいと考えられる。このうち、広範囲に分布しており、応答に与える影響が大きいと考えられる埋戻土の物性（初期せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

耐震評価における解析ケースを表 3-2 に示す。耐震評価においては、全ての基準地震動  $S_s$  に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。全ての基準地震動  $S_s$  に対して実施したケース①の解析において、各照査値が最も厳しい地震動を用い、解析ケース②及び③を実施する。

表 3-1 有効応力解析における解析ケース

解析ケース	地盤物性	
	埋戻土 ( $G_o$ : 初期せん断弾性係数)	岩盤 ( $G_d$ : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	平均値	平均値
ケース②	平均値 + $1\sigma$	平均値
ケース③	平均値 - $1\sigma$	平均値

表 3-2 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1σ)を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1σ)を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値+1σ	平均値-1σ
地震動 (位相)	S <sub>s</sub> -D	++*	○	基準地震動 S <sub>s</sub> (6波) に位相反転を考慮した地震動 (6波) を加えた全 12 波に対し、ケース① (基本ケース) を実施し、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の各照査項目ごとに照査値が 0.5 を超える照査項目に対して、最も厳しい (許容限界に対する裕度が最も小さい) 地震動を用いてケース②及び③を実施する。全ての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②及び③を実施する。
		-+*	○	
		+ - *	○	
		--*	○	
	S <sub>s</sub> -F 1	++*	○	
	S <sub>s</sub> -F 2	++*	○	
	S <sub>s</sub> -N 1	++*	○	
		-+*	○	
	S <sub>s</sub> -N 2 (NS)	++*	○	
		-+*	○	
	S <sub>s</sub> -N 2 (EW)	++*	○	
		-+*	○	

注記\* : 地震動の位相について、(++) の左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せを以下に示す。

#### 3.3.1 耐震評価上考慮する状態

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

##### (1) 運転時の状態

発電用原子炉が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

##### (2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

##### (3) 設計用自然条件

積雪荷重を考慮する。

##### (4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

#### 3.3.2 荷重

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

##### (1) 固定荷重（G）

固定荷重として、躯体の自重を考慮する。

##### (2) 地震荷重（S<sub>s</sub>）

基準地震動 S<sub>s</sub> の荷重を考慮する。

##### (3) 積雪荷重（P<sub>s</sub>）

積雪荷重として、発電所最寄りの気象官署である松江地方気象台（松江市）での観測記録（1941～2018年）より、観測史上1位の月最深積雪100cm（1971年2月4日）に平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮した35.0cmとする。積雪荷重については、松江市建築基準法施工細則により、積雪量1cmごとに20N/m<sup>2</sup>の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

### 3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

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

G : 固定荷重

S<sub>s</sub> : 地震時荷重

P<sub>s</sub> : 積雪荷重

### 3.4 入力地震動

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動  $S_s$  を、一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図 3-4 に入力地震動算定の概念図を、図 3-5～図 3-16 に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示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

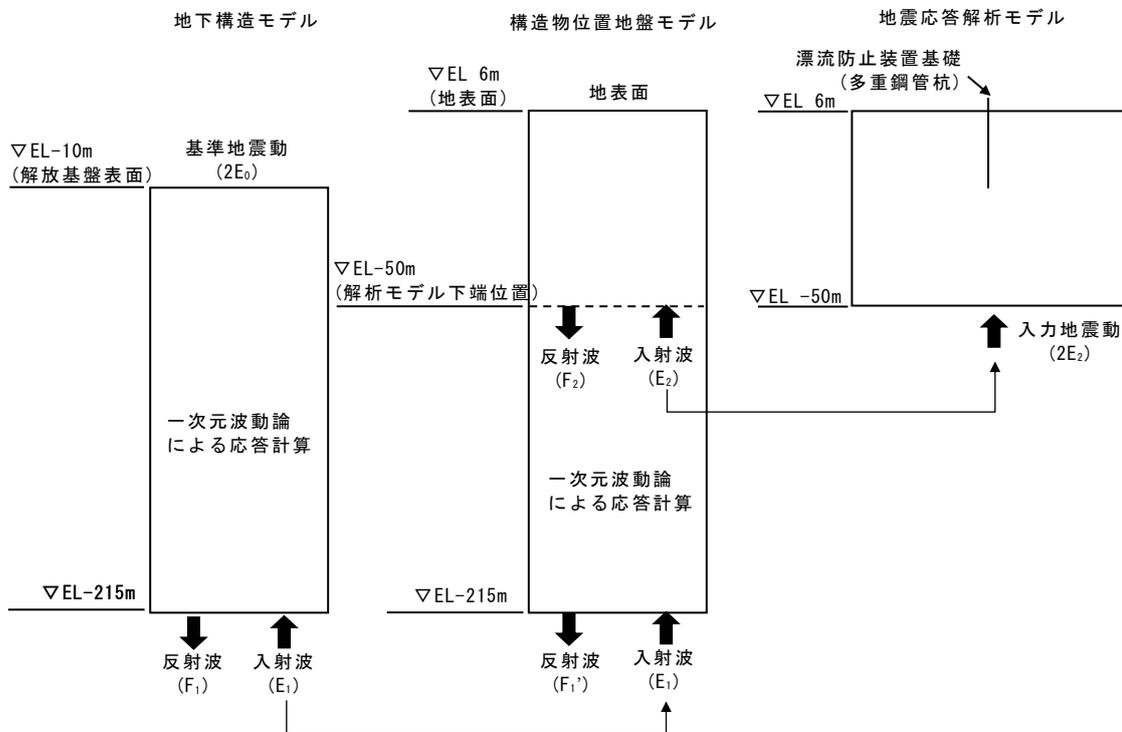
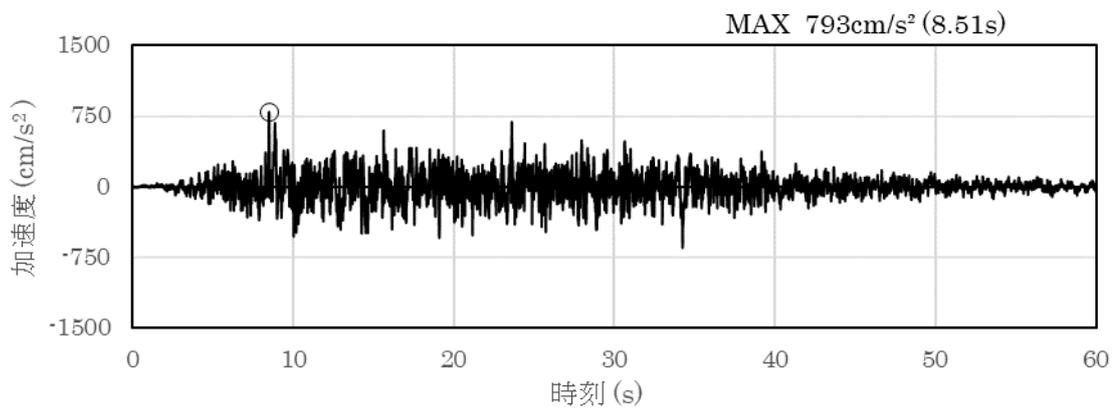
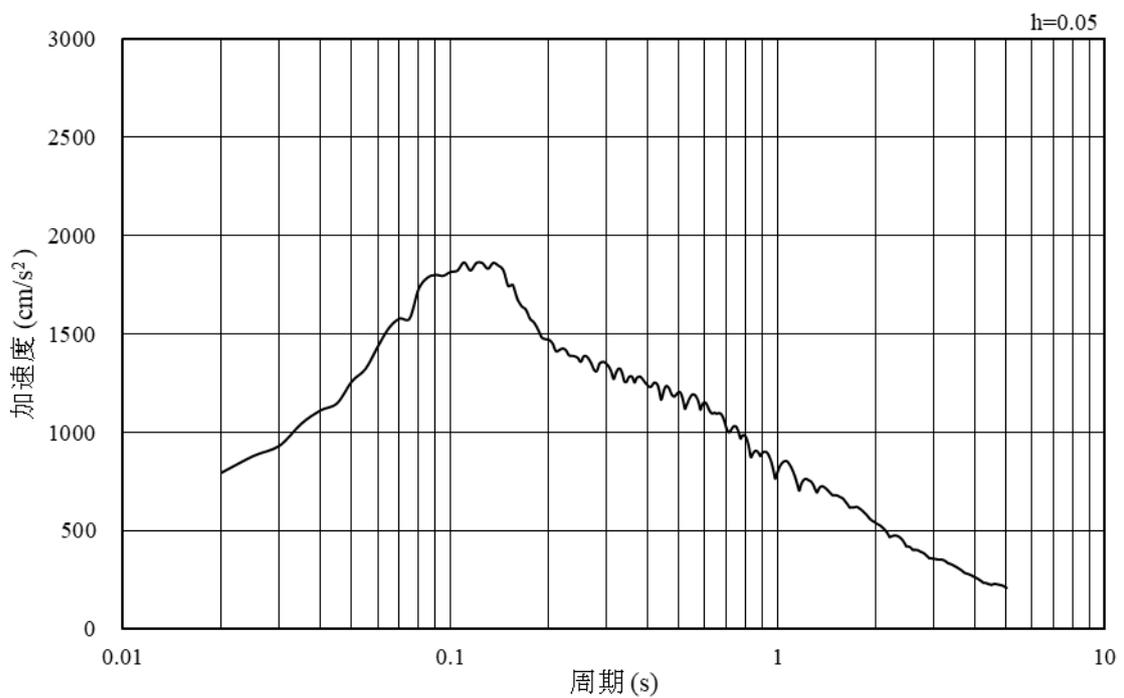


図 3-4 入力地震動算定の概念図

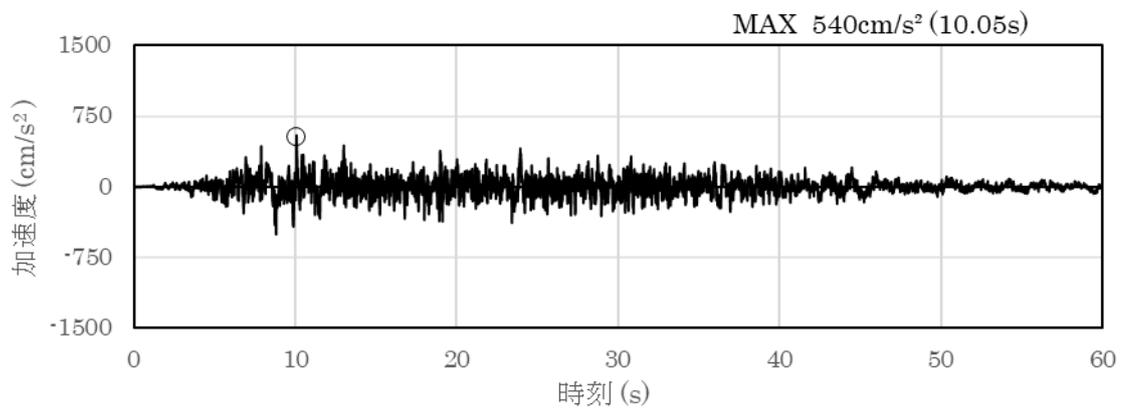


(a) 加速度時刻歴波形

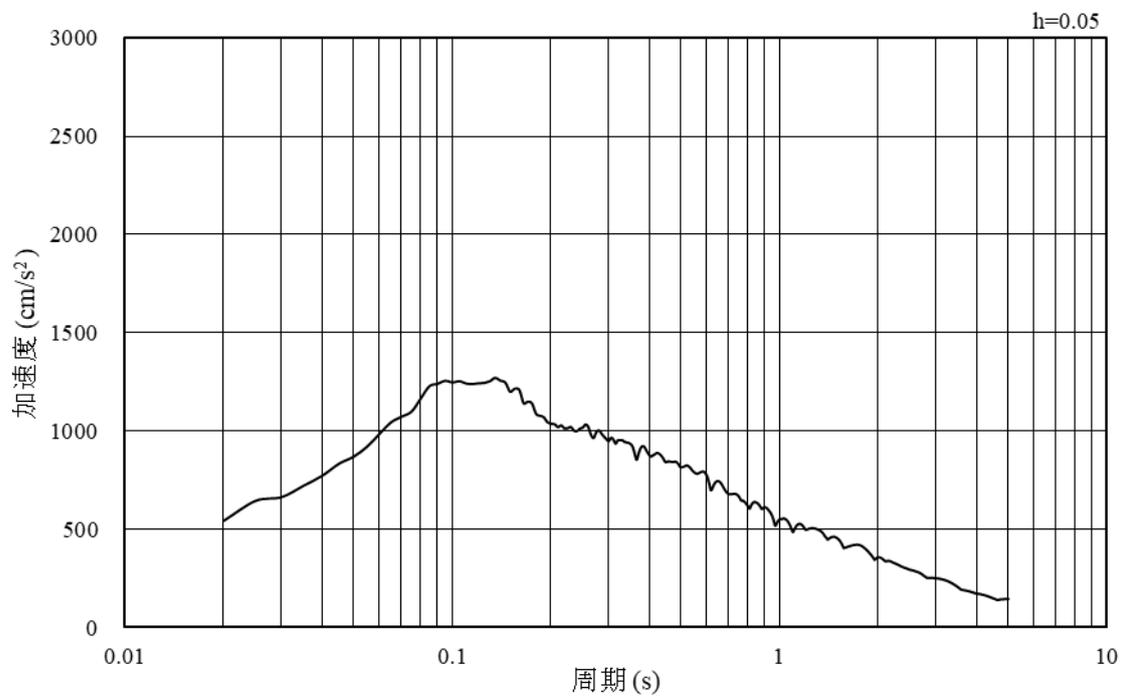


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5 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  
(水平成分 : S s - D)

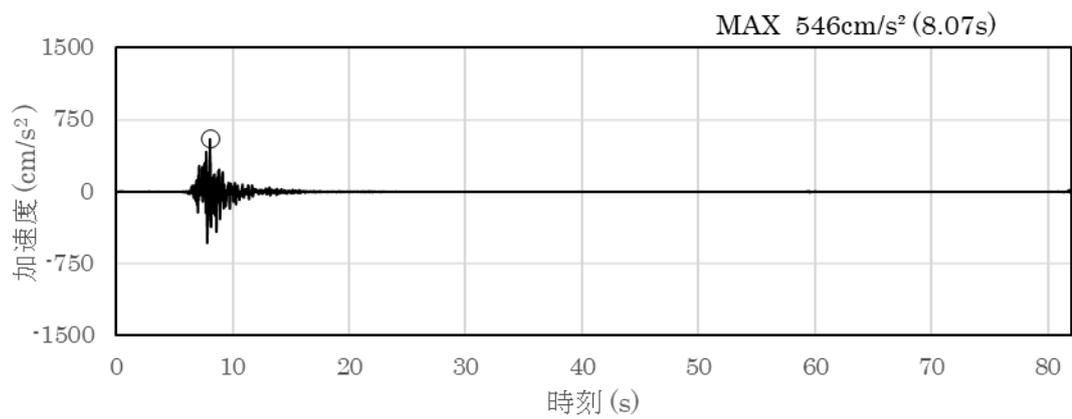


(a) 加速度時刻歴波形

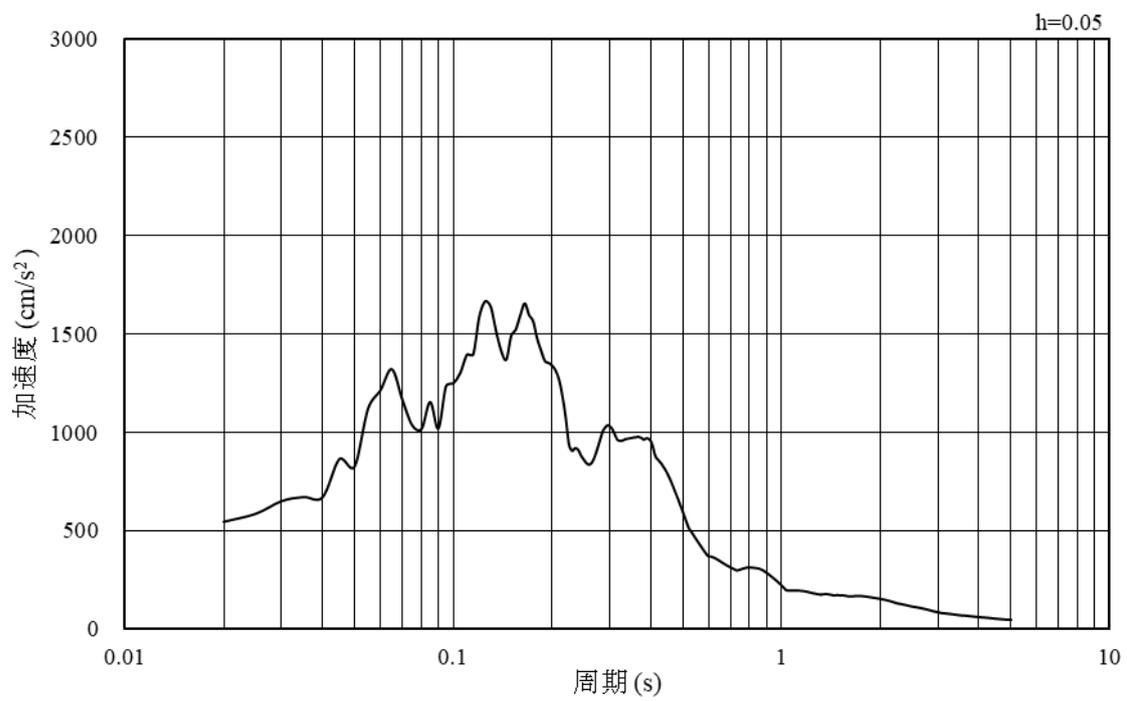


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 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  
(鉛直成分：S s - D)

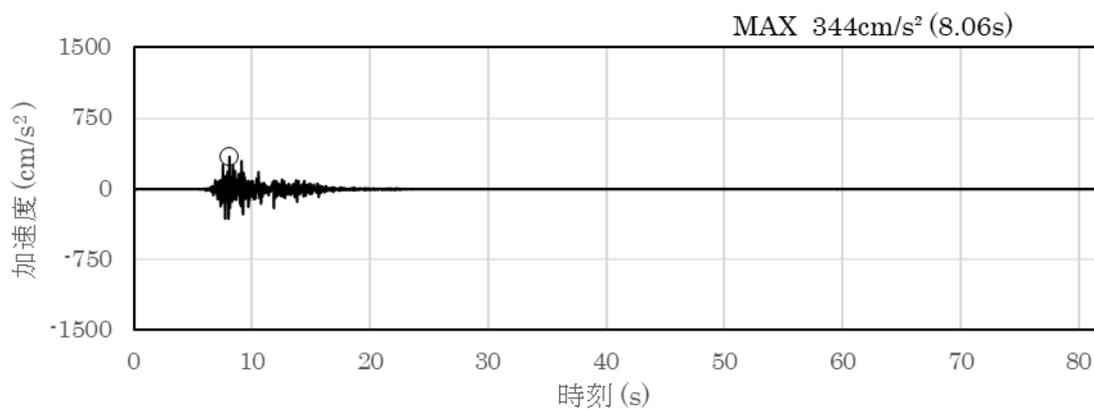


(a) 加速度時刻歴波形

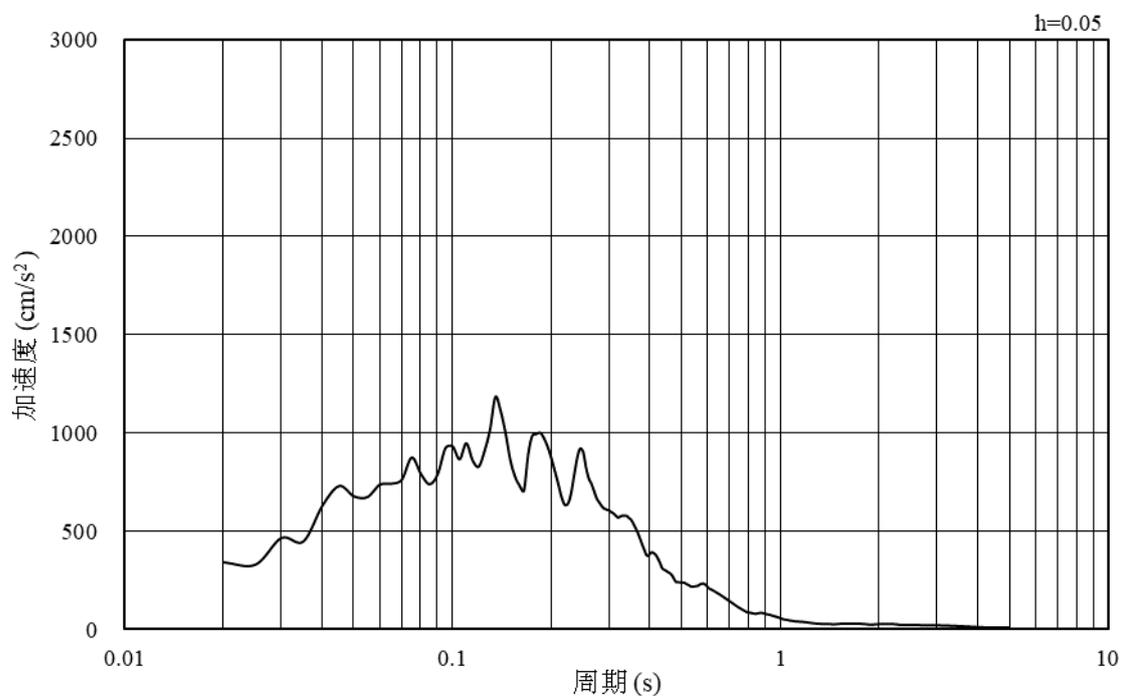


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 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  
(水平成分 : S s - F 1)

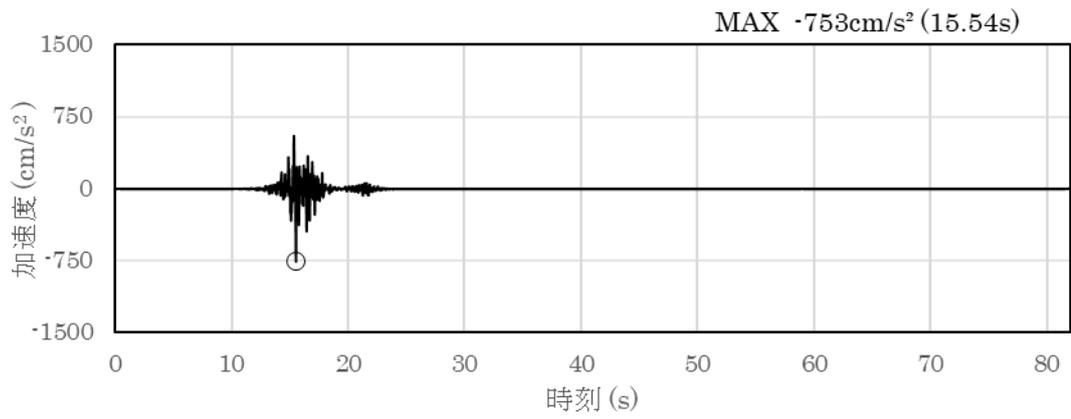


(a) 加速度時刻歴波形

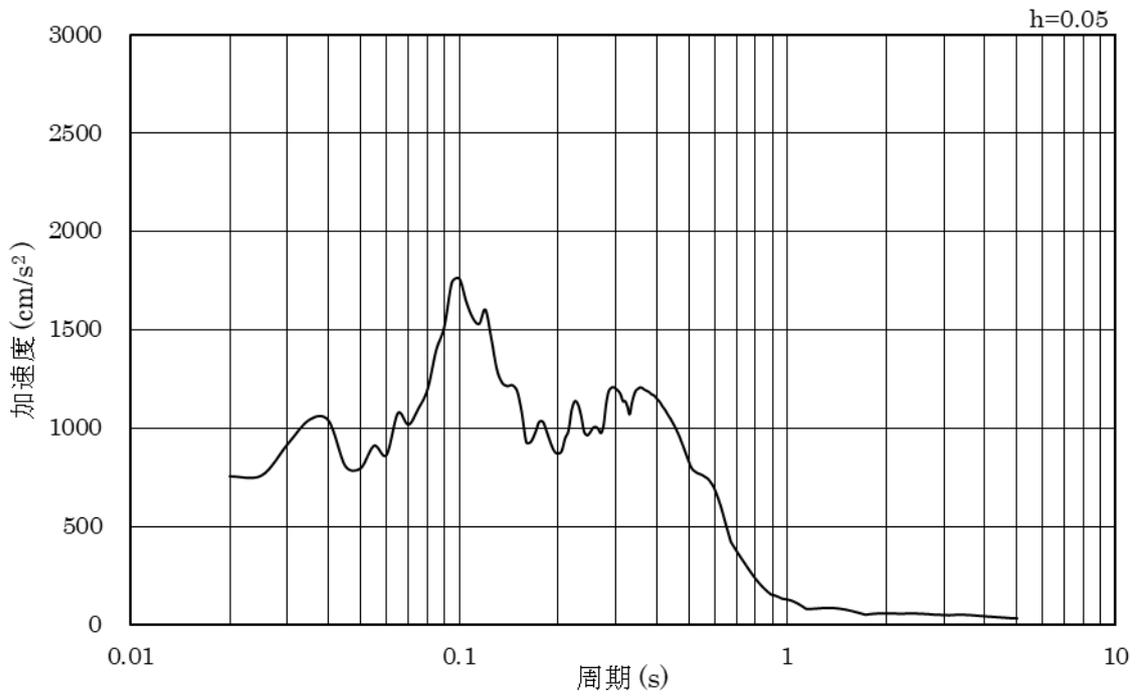


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-8 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  
(鉛直成分：S s - F 1)

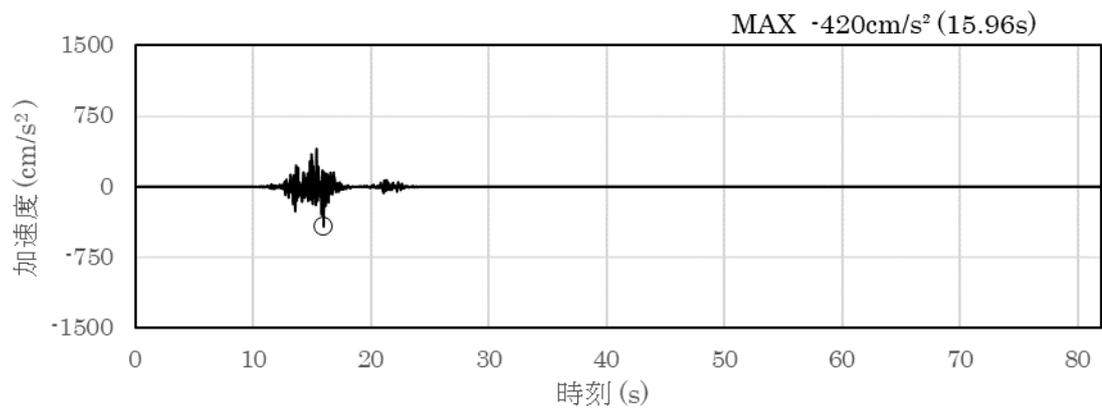


(a) 加速度時刻歴波形

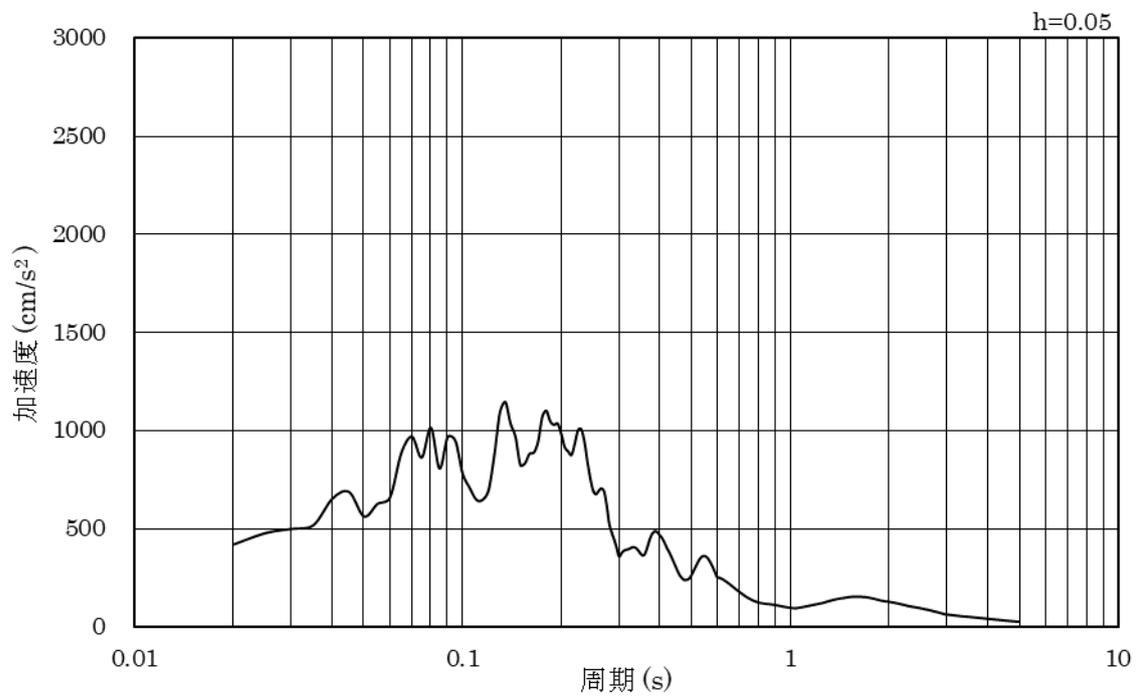


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9 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  
(水平成分：S s - F 2)

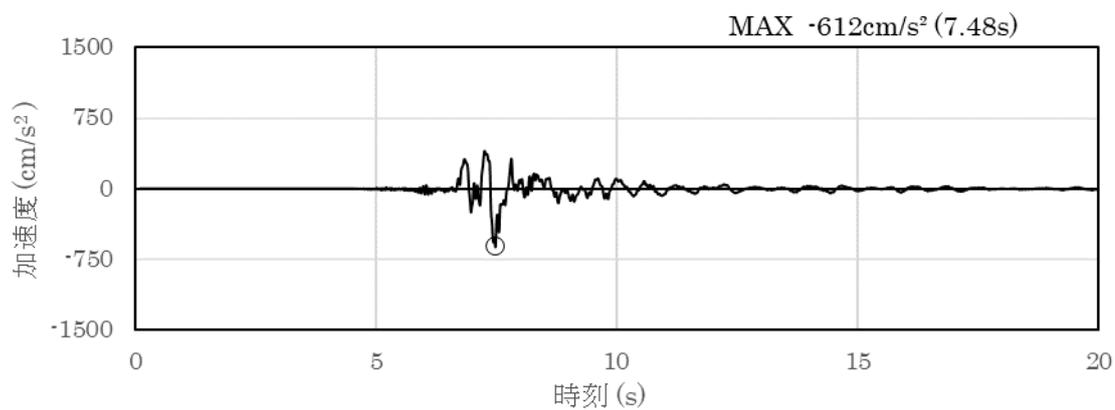


(a) 加速度時刻歴波形

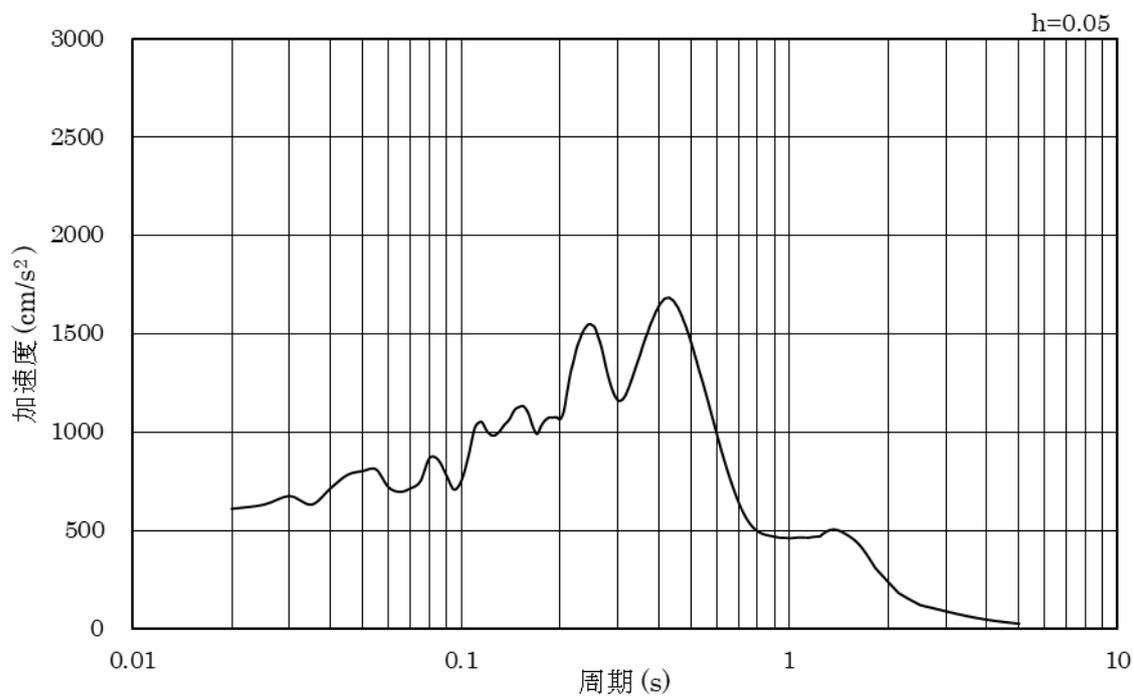


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10 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  
(鉛直成分：S s - F 2)

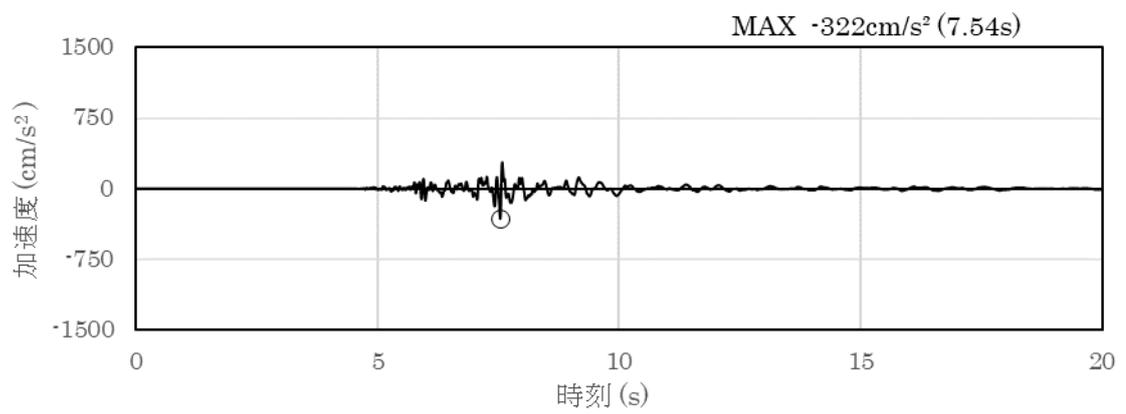


(a) 加速度時刻歴波形

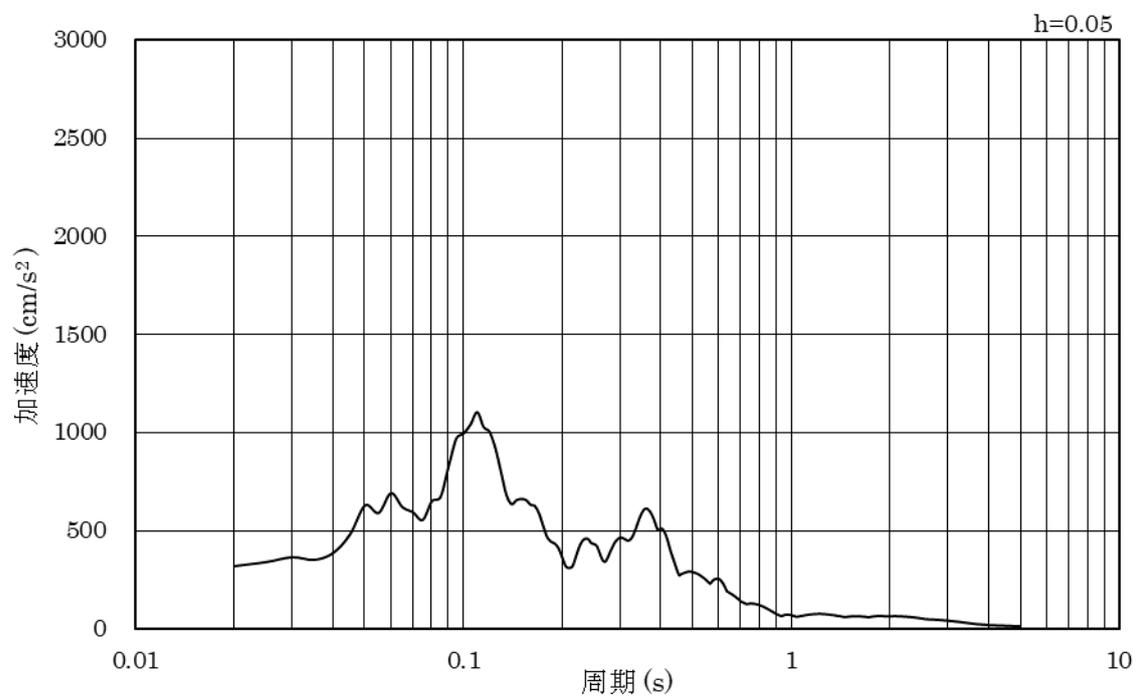


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-11 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  
(水平成分 : S s - N 1)

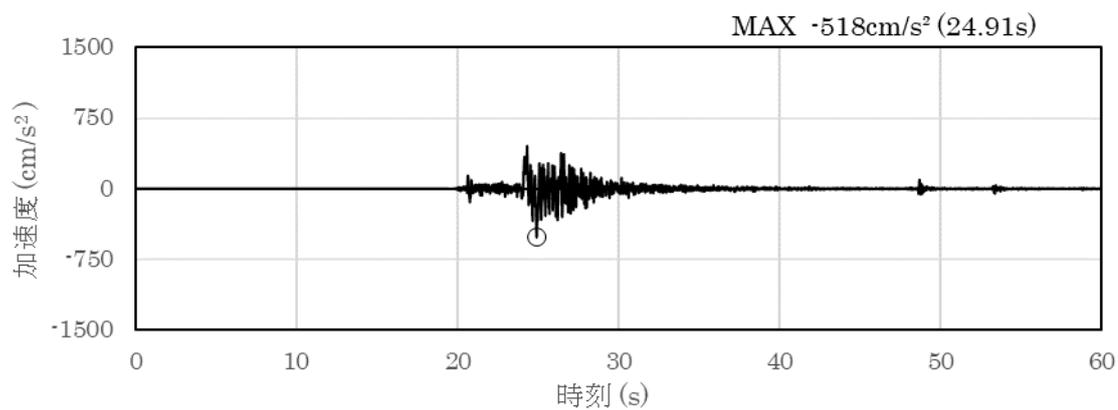


(a) 加速度時刻歴波形

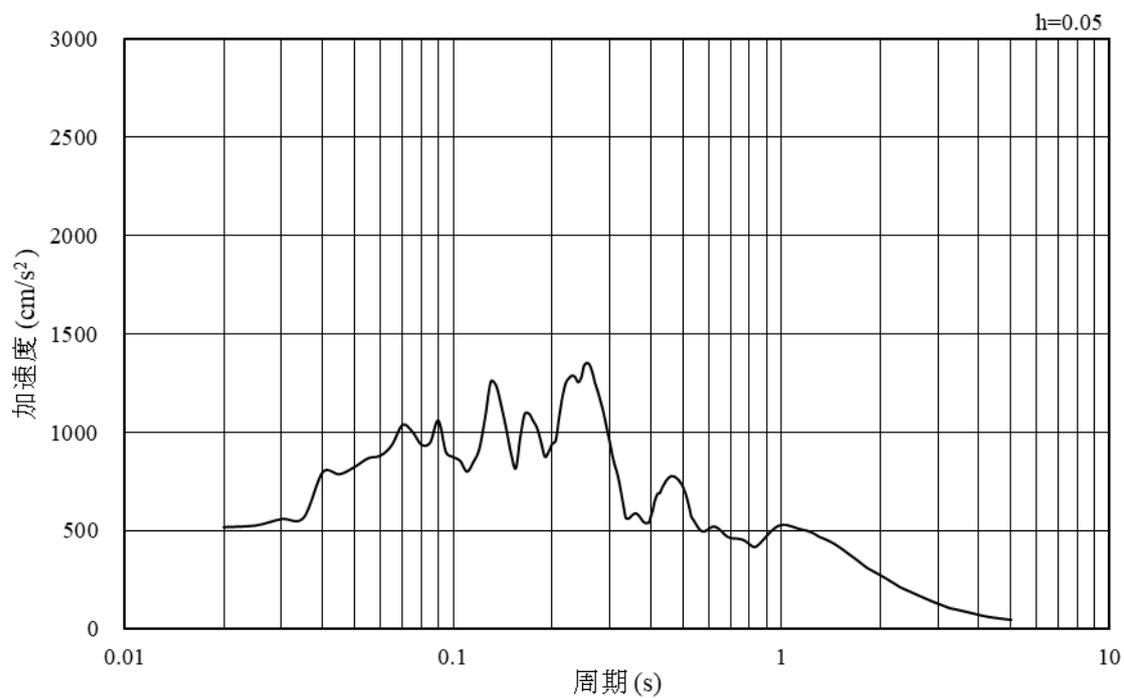


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-12 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  
(鉛直成分：S s - N 1)

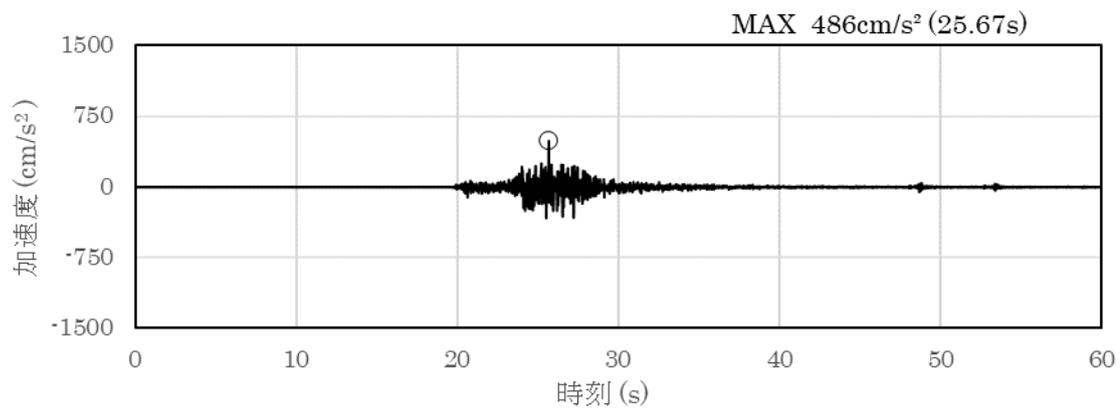


(a) 加速度時刻歴波形

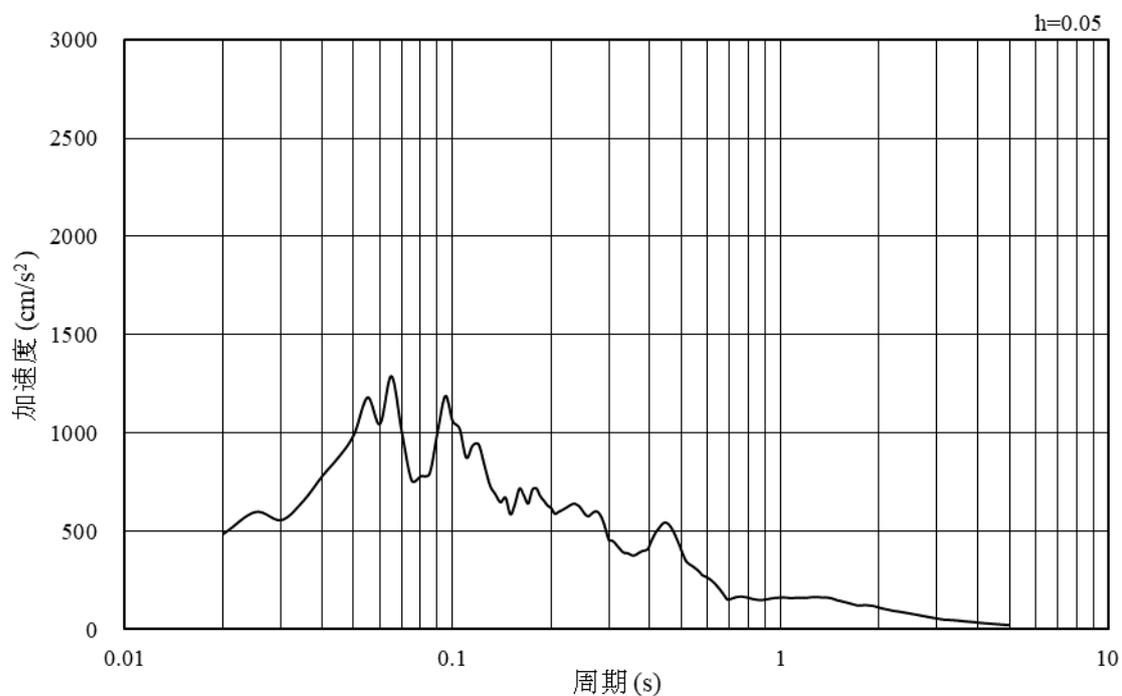


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 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  
(水平成分 : S s - N 2 ( N S ))

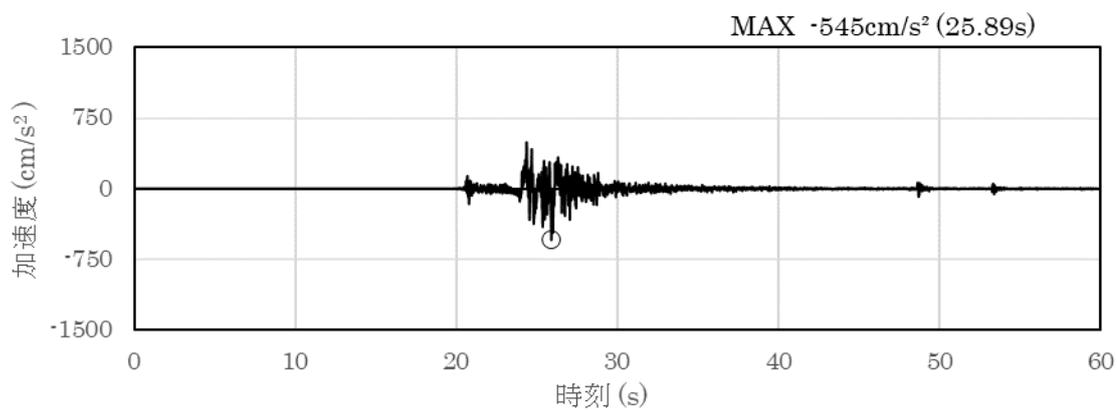


(a) 加速度時刻歴波形

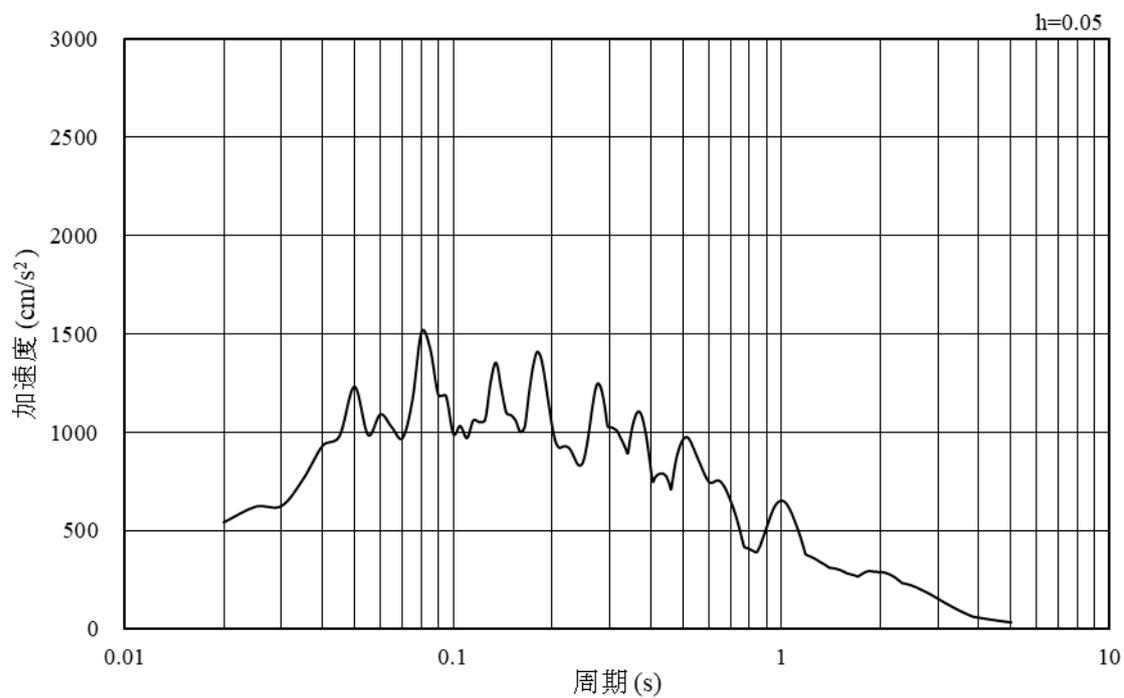


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 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  
(鉛直成分 : S s - N 2 ( N S ) )

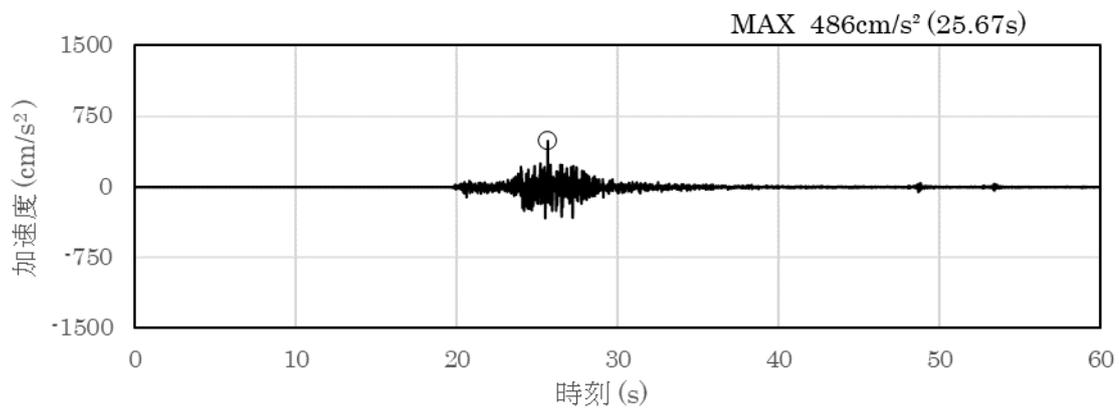


(a) 加速度時刻歴波形

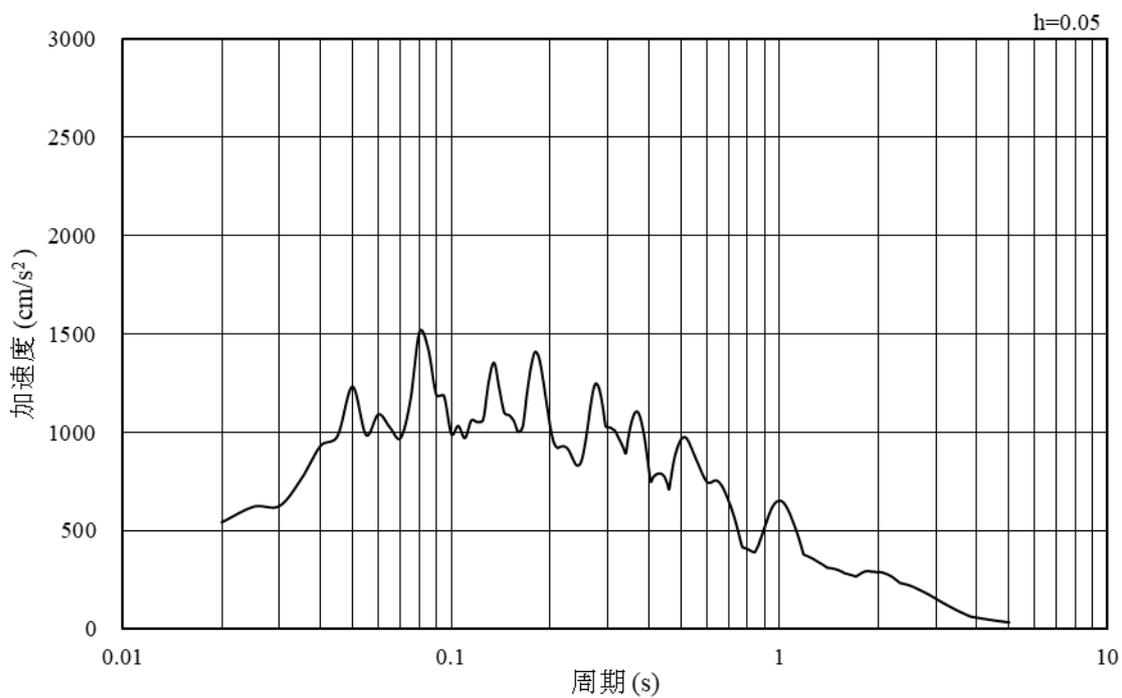


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 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  
(水平成分 : S s - N 2 (E W))



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 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  
(鉛直成分：S s - N 2 (E W))

### 3.5 解析モデル及び諸元

使用材料，材料の物性値及び地下水位については，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」で設定したものをを用いる。解析モデル及び地盤の物性値について以下に示す。

#### 3.5.1 解析モデル

評価対象断面（①－①断面）の地震応答解析モデルを図 3-17 に示す。

##### (1) 解析領域

地震応答解析モデルは，境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう，十分広い領域とする。

##### (2) 境界条件

地震応答解析時の境界条件については，有限要素解析における半無限地盤を模擬するため，粘性境界を設ける。

##### (3) 構造物のモデル化

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）は，線形はり要素でモデル化する。漂流防止装置（係船柱）は，付加重量として考慮する。

##### (4) 地盤のモデル化

地盤は，マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し，地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

##### (5) ジョイント要素の設定

地震時の「荷揚護岸と埋戻土」及び「荷揚護岸の構造間」の接合面における剥離及びすべりを考慮するため，これらの接合面にジョイント要素を設定する。

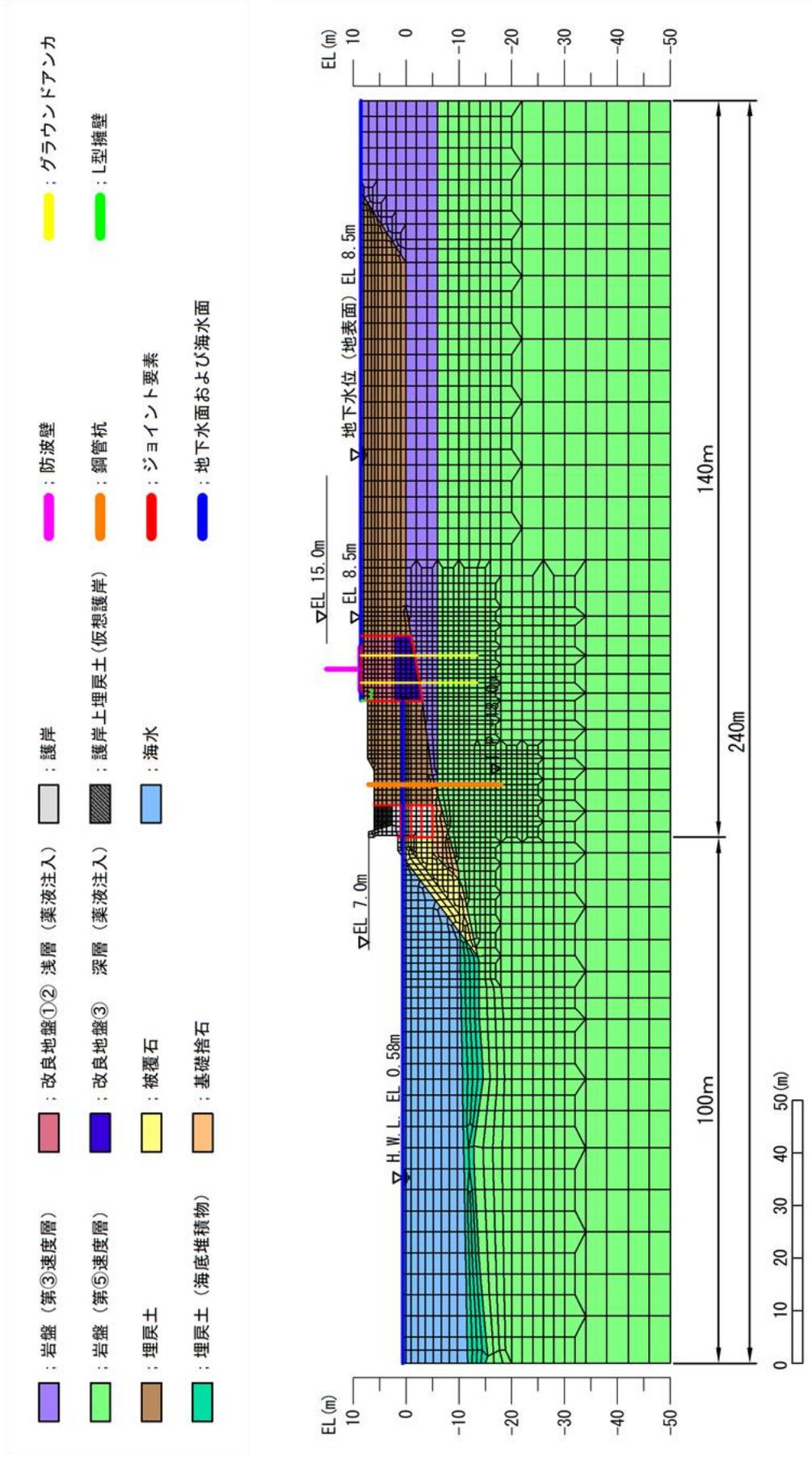


図 3-17 地震応答解析モデル (①-①断面)

### 3.5.2 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる材料定数は、適用基準類を基に設定する。使用材料を表 3-4 に、材料の物性値を表 3-4 及び表 3-5 に示す。

表 3-4 使用材料

材料		諸元
多重鋼管杭	鋼管杭 (SM570)	外管：φ 2200 * t50, 内管：φ 2000 * t50, L=25.0m 中詰コンクリート

表 3-5 材料の物性値

材料		単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
多重鋼管杭	鋼管杭 (SM570)	77.0*	2.0×10 <sup>5</sup> *	0.3*

注記\*：道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）

### 3.5.3 地盤及び改良地盤の物性値

地盤の物性値は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

### 3.5.4 地下水位

設計用地下水位は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計用地下水位を表 3-6 に示す。

表 3-6 設計用地下水位

施設名称	設計用地下水位
漂流防止装置基礎 (多重鋼管杭)	防波壁より陸側：EL 8.5m* 防波壁より海側：EL 0.58m

注記\*：地表面が EL 8.5m よりも低い地点については、地下水位を地表面とする。

### 3.6 評価対象部位

評価対象部位は、構造上の特徴を踏まえ設定する。

#### 3.6.1 施設の健全性評価

施設の健全性評価に係る評価対象部位は、多重鋼管杭とする。

#### 3.6.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は、多重鋼管杭を支持する多重鋼管杭直下の基礎地盤とする。

### 3.7 許容限界

#### 3.7.1 多重鋼管杭（曲げ・軸力，せん断力）

鋼管杭の許容限界は、「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，降伏基準点より算定される降伏モーメント及び短期許容せん断応力度とする。表 3-7 に鋼管杭の許容限界を示す。

表 3-7 鋼管杭の許容限界

断面	鋼種	降伏曲げモーメント (kN・m)	短期許容せん断 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
①—①断面	SM570	134667	210

#### 3.7.2 基礎地盤

基礎地盤に発生する軸力に対する許容限界は，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき設定する。基礎地盤の許容限界を表 3-8 に示す。

表 3-8 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤		許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
極限支持力度	岩盤	C <sub>H</sub> 級	9.8
		C <sub>M</sub> 級	

### 3.8 評価方法

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の耐震評価では，地震応答解析に基づいて算定した発生応力が「3.7 許容限界」で設定した許容限界を満足することを確認する。

4. 耐震評価結果

4.1 曲げ・軸力照査

多重鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 4-1 に、曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表 4-1 に示す。

この結果から、多重鋼管杭の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

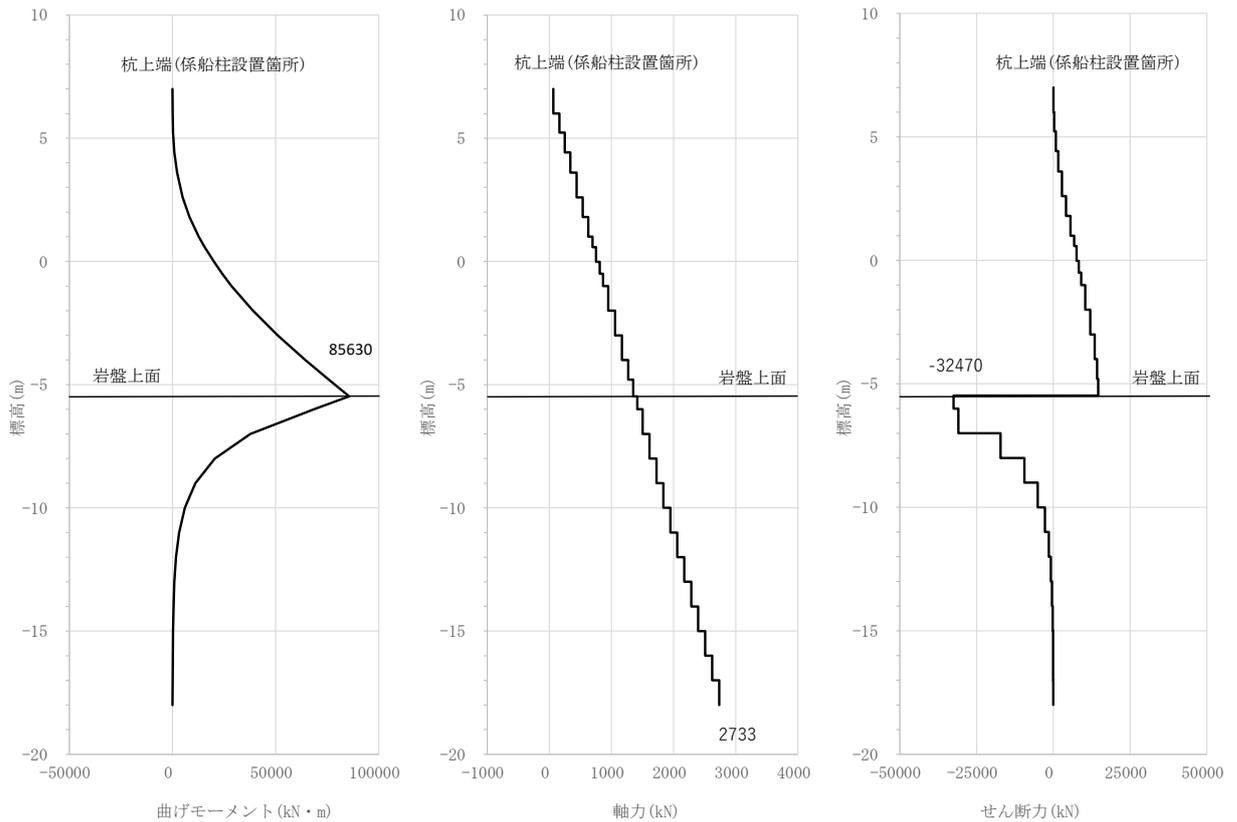


図 4-1 多重鋼管杭の曲げ・軸力系に対する照査における  
最大照査値の評価時刻での断面力

(①-①断面,  $S_s - N_1 (-+)$ ,  $t=7.68s$ )

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1 $\sigma$ )

表 4-1 多重鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値  
(①-①断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力		降伏曲げ モーメント $M_y$ (kN・m)	照査値 $M/M_y$
		曲げ モーメント $M$ (kN・m)	軸力 $N$ (kN)		
$S_s - N_1 (-+)$	②	85630	2733	134667	0.64

#### 4.2 せん断力照査

多重鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図4-2に、せん断破壊に対する照査値を表4-2に示す。

この結果から、多重鋼管杭の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

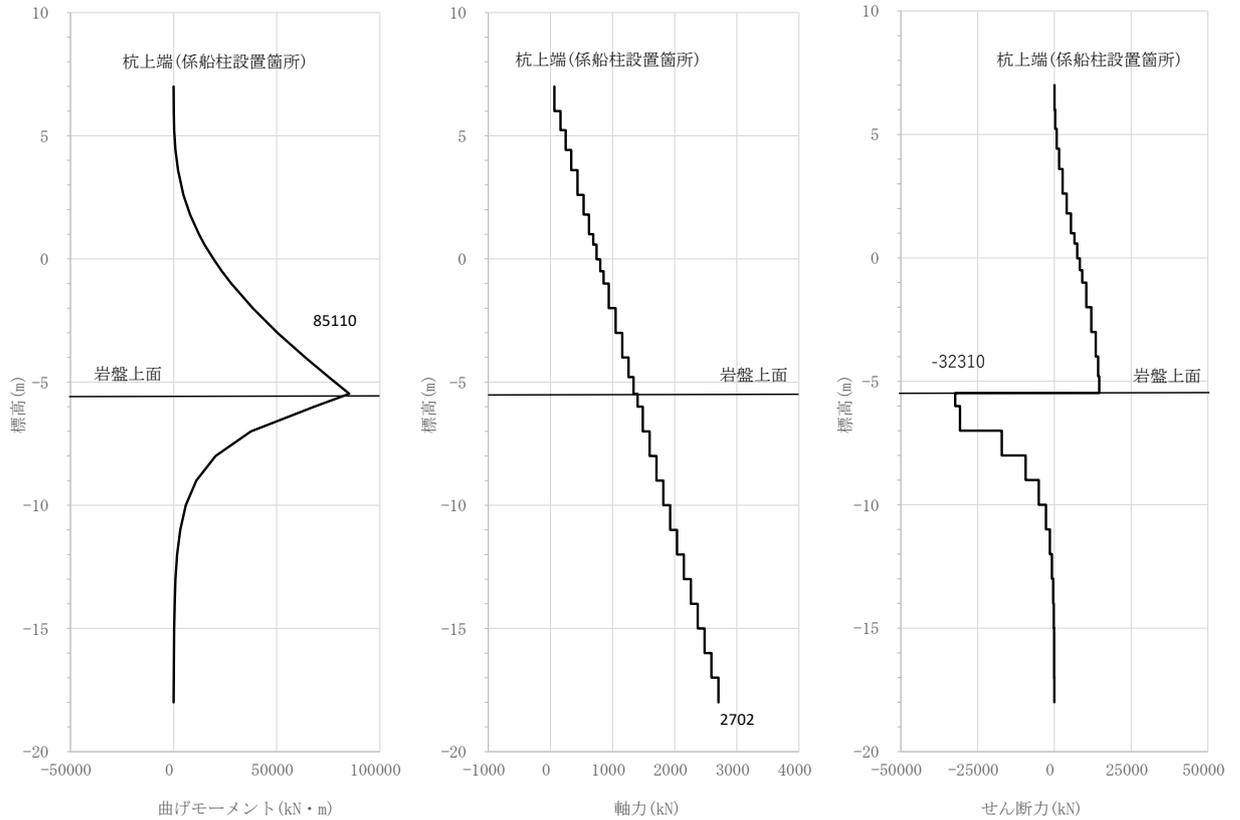


図4-2 多重鋼管杭のせん断破壊に対する照査における  
最大照査値の評価時刻での断面力

(①-①断面, S<sub>s</sub>-N1 (-+), t=7.69s)

解析ケース①：地盤物性のばらつきを考慮しない解析ケース (平均値)

表4-2 多重鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値 (①-①断面)

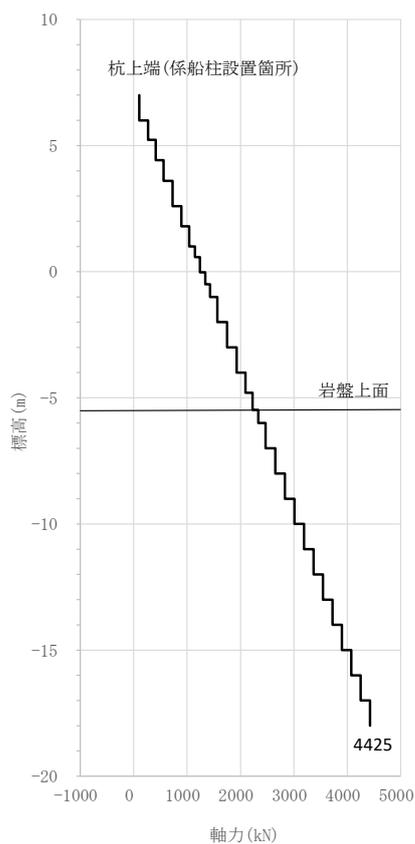
地震動	解析 ケース	発生断面力		せん断 応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$
		せん断力 (kN)				
S <sub>s</sub> -N1 (-+)	①	32310		51	210	0.25

## 4.3 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価結果を表 4-3 に、支持地盤の軸力分布図を図 4-3 に示す。  
この結果から、多重鋼管杭直下の基礎地盤に生じる軸力が極限支持力以下であることを確認した。

表 4-3 基礎地盤の支持性能評価結果 (①-①断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力	軸応力度 P (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力度 P <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 P / P <sub>u</sub>
		杭先端軸力 (kN)			
S <sub>s</sub> -D (++)	①	4425	1.2	9.8	0.12



35

図 4-3 支持地盤の軸力分布図 (①-①断面)

(S<sub>s</sub>-D (++) )

解析ケース①：地盤物性のばらつきを考慮しない解析ケース (平均値)