

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
営業秘密又は防護上の観点から  
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-444 改3
提出年月日	平成30年7月12日

V-2-11-2-9 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の  
耐震性についての計算書

## 目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	配置概要	1
2.2	構造計画	1
2.3	評価方針	7
2.4	適用基準	8
3.	評価部位	9
4.	構造強度評価	10
4.1	評価項目	10
4.2	荷重の組合せ及び許容限界	10
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	10
4.2.2	鋼構造部の許容限界	11
4.2.3	R C 部の許容限界	12
4.3	設計用地震力	13
4.4	解析モデル及び諸元	23
4.4.1	固有値解析モデル	23
4.4.2	強度評価モデル	24
4.5	固有値解析	28
4.6	入力地震力	37
4.7	計算方法	38
5.	評価結果	40
5.1	DB 条件に対する評価結果	40
5.2	SA 条件に対する評価結果	42

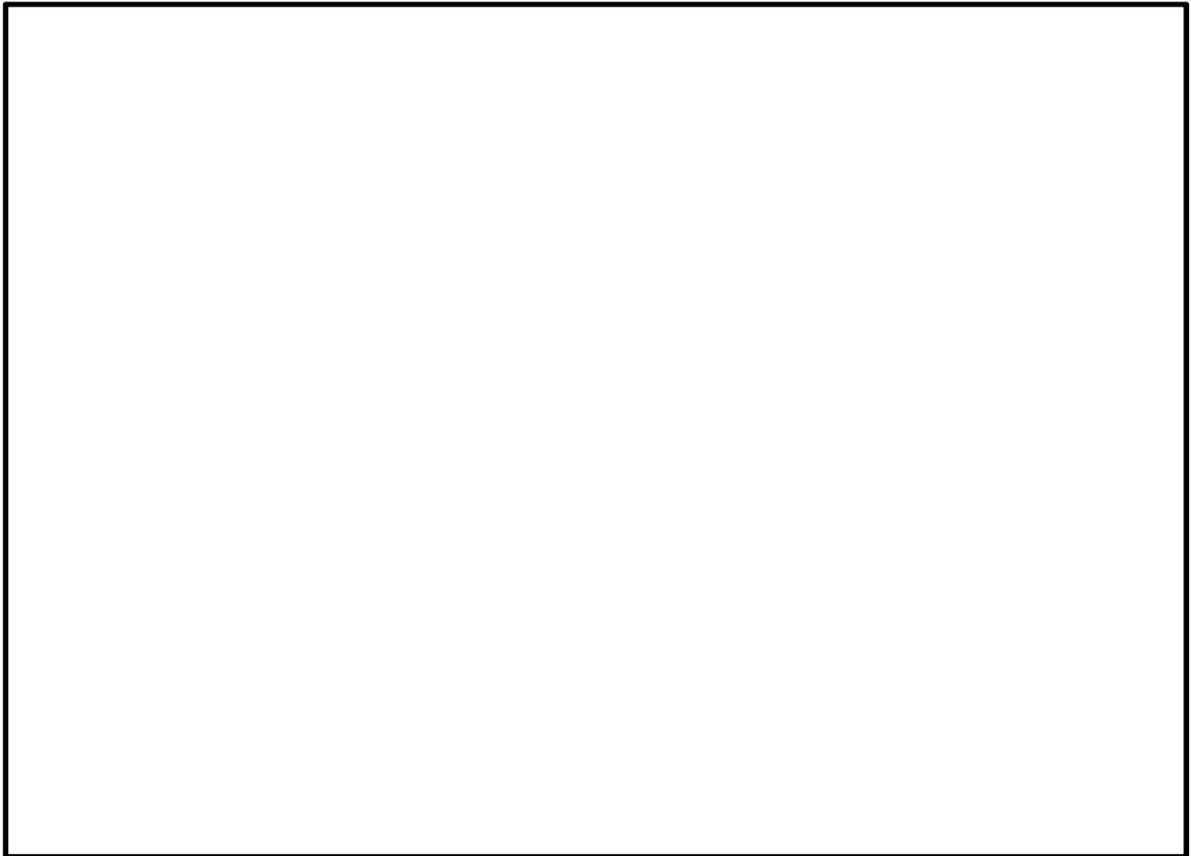
## 1. 概要

本資料は、V-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、海水ポンプエリア竜巻防護対策施設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確認することで、下部に設置された上位クラス施設である残留熱除去系海水系ポンプ，残留熱除去系海水系ストレーナ等に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

海水ポンプエリア竜巻防護対策施設は、第 2-1 図の位置関係図に示すように、上位クラス施設である残留熱除去系海水系ポンプ，残留熱除去系海水系ストレーナ等の上部に設置されており、落下時に残留熱除去系海水系ポンプ，残留熱除去系海水系ストレーナ等に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

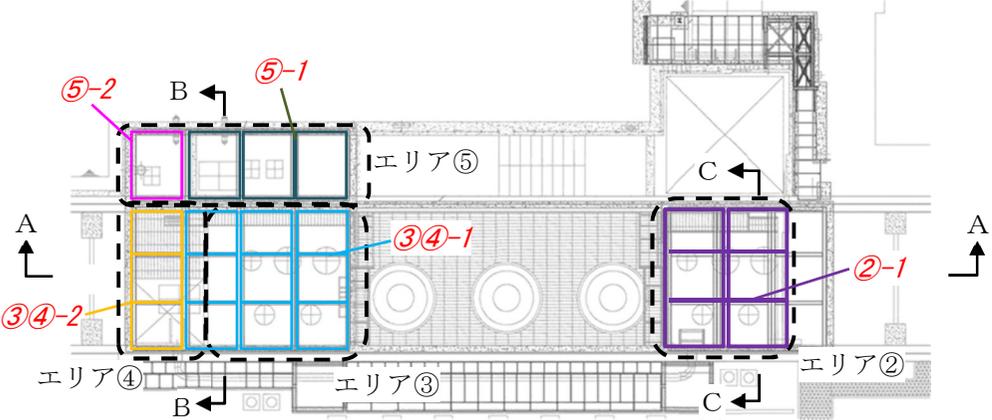


第 2-1 図 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設と残留熱除去系海水系ポンプ，  
残留熱除去系海水系ストレーナ等の位置関係図

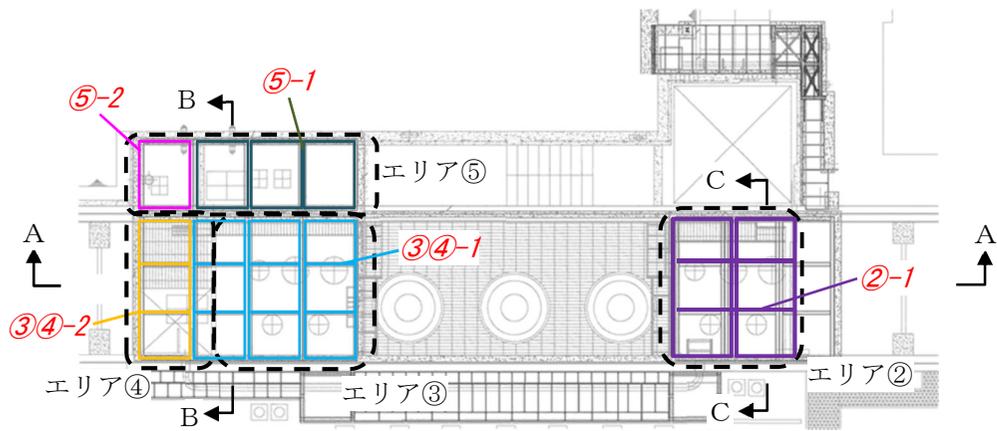
### 2.2 構造計画

海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の構造計画を第 2-1 表に示す。

第 2-1 表 構造計画(1/5)

計画の概要		概略構造図
主体構造	基礎・支持構造	
<p>【エリア②～⑤】 取水構造物上に設けた鉄筋コンクリート（以下「RC」という）造躯体に、飛来物防護ネットを上載する。</p>	<p>飛来物防護ネットに作用する荷重は、RC造の取水構造物躯体に伝達する構造とする。</p>	 <p style="color: red;">ゴシック斜体は、鉄骨架構の種別を示す。</p>

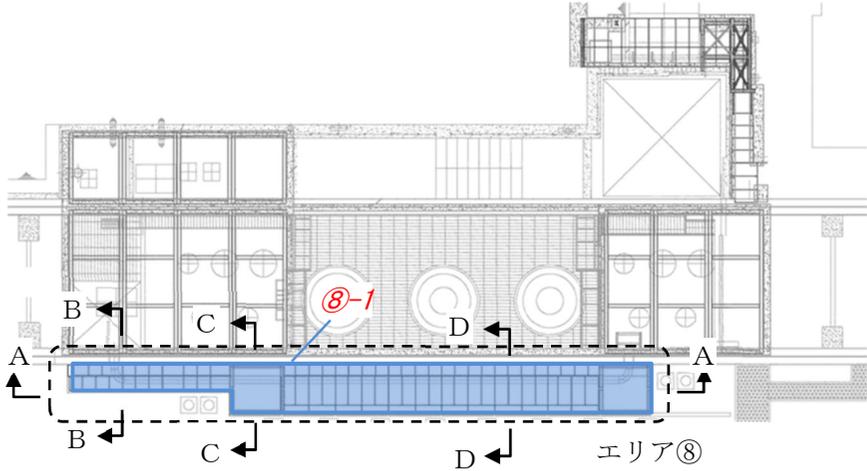
第 2-1 表 構造計画(2/5)

計画の概要		概略構造図
主体構造	基礎・支持構造	
<p>【エリア②～⑤】 取水構造物上に設けたR C造躯体に、飛来物防護 ネットを上載する。</p>	<p>飛来物防護ネットに 作用する荷重は、R C造の取水構造物軀 体に伝達する構造と する。</p>	 <p style="color: red; text-align: center;">ゴシック斜体は、鉄骨架構の種別を示す。</p>

第 2-1 表 構造計画(3/5)

計画の概要		概略構造図
主体構造	基礎・支持構造	
<p>【エリア⑧】 取水構造物上に設けた鉄骨架構に，飛来物防護ネット及び防護鋼板を設置。</p>	<p>飛来物防護ネット及び防護鋼板に作用する荷重は、鉄骨架構を介してRC造の取水構造物躯体に伝達する構造とする。</p>	<p>ゴシック斜体は、鉄骨架構の種別を示す。</p>

第 2-1 表 構造計画(4/5)

計画の概要		概略構造図
主体構造	基礎・支持構造	
<p>【エリア⑧】 取水構造物上に設けた鉄骨架構に，飛来物防護ネット及び防護鋼板を設置。</p>	<p>飛来物防護ネット及び防護鋼板に作用する荷重は、鉄骨架構を介してRC造の取水構造物躯体に伝達する構造とする。</p>	 <p style="color: red;">ゴシック斜体は、鉄骨架構の種別を示す。</p>

第 2-1 表 構造計画 (5/5)

計画の概要		概略構造図
主体構造	基礎・支持構造	
<p>【エリア⑧】 取水構造物上に設けた鉄骨架構に、飛来物防護ネット及び防護鋼板を設置。</p>	<p>飛来物防護ネット及び防護鋼板に作用する荷重は、鉄骨架構を介してRC造の取水構造物躯体に伝達する構造とする。</p>	<p>ゴシック斜体は、鉄骨架構の種別を示す。</p>

### 2.3 評価方針

海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の応力評価は、資料V-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の「3. 耐震評価方針」に従い実施する。

評価については、「2.2 構造の説明」にて示す海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の部位を踏まえ、「3. 耐震評価箇所」にて設定する箇所において応力等が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の構造を考慮し、RC造の部位については2次元はりモデルによる評価を、鉄骨造の部位については3次元フレームモデルによる解析を行う。また、海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の間接支持構造物となる取水構造物との間で、地震応答及び反力の受け渡しを考慮する。（取水構造物の評価については、取水構造物の耐震安全性評価において別途示す。）

海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の耐震評価フローを図2-1に示す。

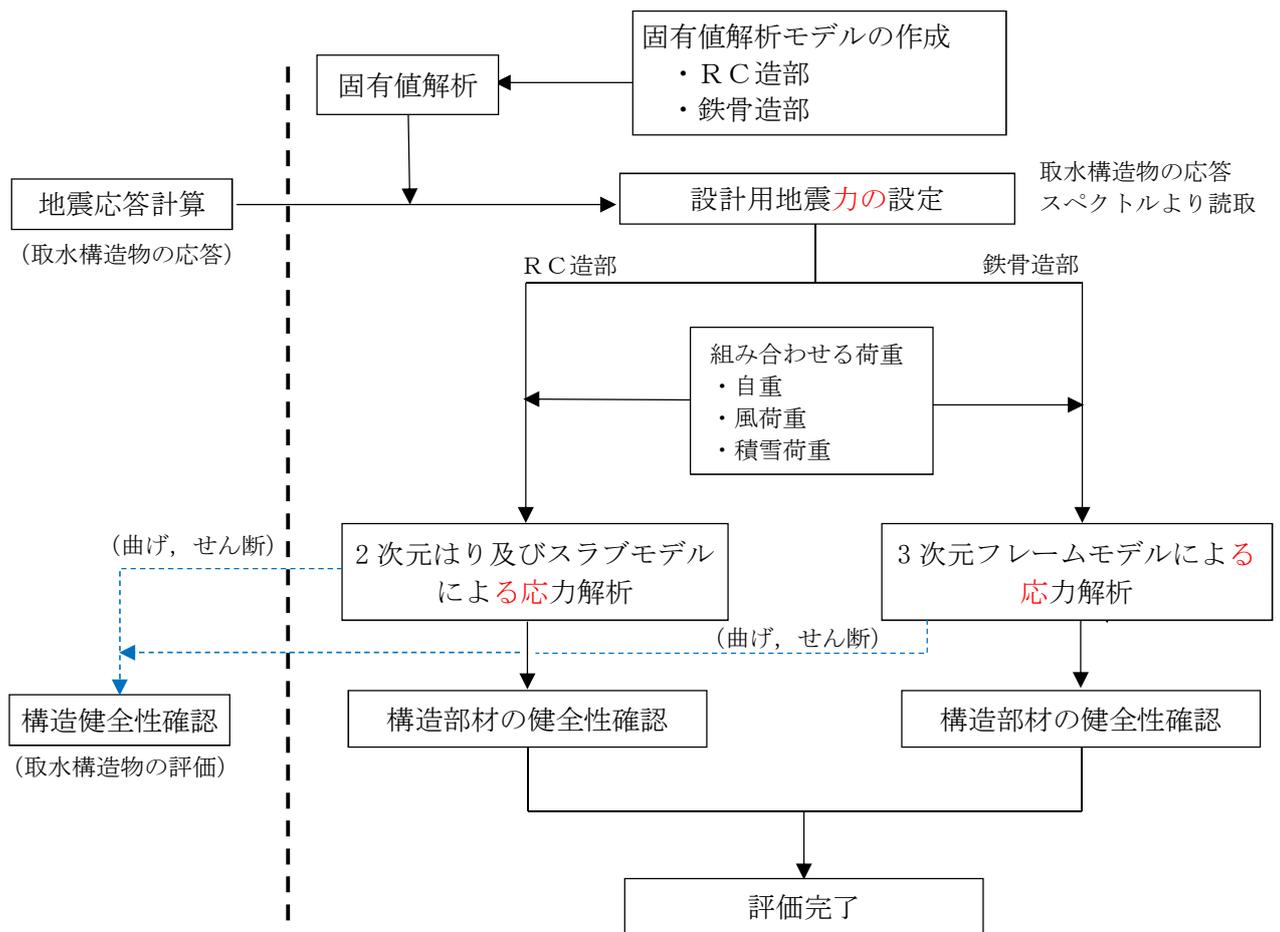


図 2-1 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の耐震評価フロー

## 2.4 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針(重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984, JEAG 4601-1987 及び JEAG 4601-1991 追補版) (日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月) (以下「JEAG」という。)
- (2) 発電用原子力設備規格 (設計・建設規格 (2005 年版 (2007 年追補版含む。)) JSME S NC 1-2005/2007) (日本機械学会 2007 年 9 月) (以下「設計・建設規格」という。)
- (3) 鋼構造設計規準 許容応力度設計法 日本建築学会
- (4) 道路橋示方書・同解説 (社)日本道路協会
- (5) コンクリート標準示方書 2002 年 (構造性能照査編) 土木学会 (以下「コンクリート標準示方書」という。)

### 3. 評価部位

海水ポンプエリア竜巻防護対策施設は、エリア②からエリア⑤については、波及的影響を考慮すべき上位クラス施設の上方に、RC造の躯体に上載された防護ネット（ネット取付用の鉄骨枠を含む）を有する構造となっている。また、エリア⑧については、鉄骨造の架構が波及的影響を考慮すべき上位クラス施設を覆うように設置されているとともに、防護ネット及び防護鋼板が上載されている。

よって、防護ネット及び防護鋼板の落下若しくはRC造躯体及び鉄骨架構の倒壊により波及的影響を及ぼさないことを確認する観点から、エリア②からエリア⑤についてはRC造躯体（既設部と増設部の境界面含む）、防護ネット取付架構及びRC造躯体と防護ネット取付架構の取付ボルトを選定して実施する。エリア⑧については、鉄骨架構及びアンカーボルト並びに防護ネット及び防護鋼板の取付ボルトを、評価箇所として選定する。

図 3-1 に、防護ネット取付架構の取付ボルト及び防護鋼板取付ボルトを示す。

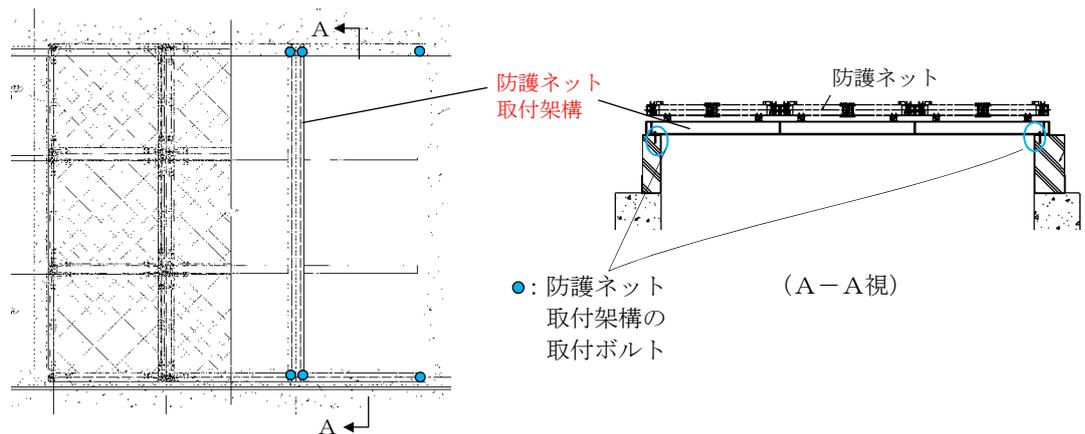


図 3-1 防護ネット取付架構取付ボルト及び防護鋼板取付ボルト

4. 構造強度評価

4.1 評価項目

各評価部位における評価項目を、以下の表4-1に示す。

表 4-1 各評価部位における評価項目

評価部位	評価項目
RC部	応力（曲げ，せん断）
鉄骨架構	応力（曲げ，せん断）
アンカーボルト，防護 ネット及び防護鋼板取 付ボルト	応力（引張，せん断，組合せ）

4.2 荷重の組合せ及び許容限界

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるもの（以下「DB条件」という。）を表4-2に，重大事故等対処設備の評価に用いるもの（以下「SA条件」という。）を表4-3に示す。なお，波及的影響防止の観点においては，許容限界として塑性変形領域を考慮することも許容されるが，構造強度に余裕を確保するため変形を概ね弾性領域に留める設計方針とし，許容限界を設定している。

また，積雪及び風荷重についても考慮する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（DB条件）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	海水ポンプエリア 竜巻飛来物 防護対策設備	C	—	$D + P_D + M_D + S_s$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ⅲ<sub>A</sub>S（鋼構造部）<sup>*1</sup></li> <li>短期許容応力（RC造部）<sup>*2</sup></li> </ul>

\*1：J E A Gにおける，「その他の支持構造物」の許容応力

\*2：詳細は表 4-6 による。

表 4-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（SA条件）

施設区分	機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	海水ポンプエリア 竜巻飛来物 防護対策設備	—	—	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ⅲ<sub>A</sub>S（鋼構造部）<sup>*1</sup></li> <li>短期許容応力（RC造部）<sup>*2</sup></li> </ul>

\*1：J E A Gにおける，「その他の支持構造物」の許容応力

\*2：詳細は表 4-6 による。

4.2.2 鋼構造部の許容限界

海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の鋼構造部の許容限界の考え方を表4-4に、使用材料の許容応力を表4-5に示す。

表4-4 鋼構造部の許容応力 (DB条件及びSA条件)

許容応力 状態	許容限界*1, (ボルト以外)				許容限界*1 (ボルト等)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
Ⅲ <sub>A</sub> S	1.5 f <sub>t</sub>	1.5 f <sub>s</sub>	1.5 f <sub>c</sub>	1.5 f <sub>b</sub>	1.5 f <sub>t</sub>	1.5 f <sub>s</sub>

\*1：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。

f<sub>t</sub>：許容引張応力

JSME S NC1-2005/2007 SSB-3120又はSSB-3130に規定される値

f<sub>s</sub>：許容せん断応力

JSME S NC1-2005/2007 SSB-3120又はSSB-3130に規定される値

f<sub>c</sub>：許容圧縮応力

JSME S NC1-2005/2007 SSB-3120に規定される値

f<sub>b</sub>：許容曲げ応力

JSME S NC1-2005/2007 SSB-3120 に規定される値

表 4-5 鋼構造部の使用材料の許容応力 (DB 条件及び SA 条件)

評価部材	材料 (寸法:mm)	温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	許容応力*4			
					1.5 f <sub>t</sub>	1.5 f <sub>s</sub>	1.5 f <sub>c</sub>	1.5 f <sub>b</sub>
架構	SS400 (t ≤ 16)	周囲 環境 温度 40	245	400	245	141	(※1)	(※2)
	SM400 (t ≤ 16)		245	400	245	141		
	SM490 (t ≤ 16)		325	490	325	187		
アンカー ボルト	S45C (焼入焼戻材)		490	690	367	278		
防護ネット 取付ボルト	S45C		345	570	258	199	—	—
	F8T		—*3	—*3	375*3	180*3	—	—
防護鋼板 取付ボルト	SS400 (t ≤ 16)		245	400	183	141	—	—

※1：f<sub>c</sub>はJSME S NC1-2005/2007 SSB-3121.1(3)の規定に基づき算出する。

※2：f<sub>b</sub>はJSME S NC1-2005/2007 SSB-3121.1(4)の規定に基づき算出する。

S<sub>y</sub>：材料の使用温度における設計降伏点

(JSME S NC1-2005/2007付録材料図表Part5表8による)

S<sub>u</sub>：材料の使用温度における設計引張強さ

(JSME S NC1-2005/2007付録材料図表Part5表9による)

※3：鋼構造設計指針における高力ボルトの許容応力度に基づき算出する。

※4：ボルトにおいて、引張とせん断の組合せ応力を考慮する時の許容限界は下式で求める。

$\text{Min}\{1.5f_t, 1.4 \times 1.5f_t - 1.6\tau\}$  ( $\tau$  : ボルトに発生するせん断応力)

#### 4.2.3 RC部の許容限界

海水ポンプエリア竜巻防護対策施設のRC部の許容限界を表4-6に示す。

RC部の許容限界は、「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ( (社) 土木学会, 2002年制定) 」及び「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, 表4-6に示す短期許容応力度とする。短期許容応力度はRCの許容応力度に対して1.5倍の割増を考慮している。

表 4-6 RCの許容応力 (DB 条件及び SA 条件)

評価項目			短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
コンクリート	設計基準強度 24 N/mm <sup>2</sup> *1	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	13.5*1
		許容せん断応力度 $\tau_{a1}$	0.675*2
鉄筋	SD345*1	許容曲げ引張応力度 $\sigma_{sa2}$ (軸方向鉄筋)	294
		許容曲げ引張応力度 $\sigma_{sa2}$ (せん断補強筋)	294

\*1 : 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)

\*2 : 斜め引張鉄筋を考慮する場合は, 「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ( (社) 土木学会 2002 年制定) 」に準拠し, 次式により求められる許容せん断力 ( $V_a$ ) を許容限界とする。

$$V_a = V_{ca} + V_{sa}$$

ここで,

$V_{ca}$  : コンクリートの許容せん断力

$$V_{ca} = 1/2 \cdot \tau_{a1} \cdot b_w \cdot j \cdot d$$

$V_{sa}$  : 斜め引張鉄筋の許容せん断力

$$V_{sa} = A_w \cdot \sigma_{sa2} \cdot j \cdot d / s$$

$\tau_{a1}$  : 斜め引張鉄筋を考慮しない場合の許容せん断応力度

$b_w$  : 有効幅

$j$  : 1/1.15

$d$  : 有効高さ

$A_w$  : 斜め引張鉄筋断面積

$\sigma_{sa2}$  : 鉄筋の許容引張応力度

$s$  : 斜め引張鉄筋間隔

#### 4.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力については、V-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「5.3 地震応答解析」に基づき、上位クラス施設の設計に適用する地震動のうち、基準地震動 $S_s$ による地震力を適用する。

基準地震動 $S_s$ による地震力は、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき作成した、図4-1に示す地点の取水構造物の床応答曲線を用いて設定する。

床応答曲線は $S_s$ 8波（計12ケース<sup>\*</sup>）分を作成した。

※：内訳は以下のとおり。

SS-D1L：4ケース(+, +, -, -)

SS-31：2ケース(+, -)

他の6波：各1ケース

また、鉄骨造部の減衰定数は、「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」第3-1表に記載の減衰定数のうち、溶接構造部の存在を考慮し、1%を用いる。また、RC部については、道路橋示方書を踏まえ、5%を用いる。

設計用地震力の選定の考え方について、表4-7に示す。また、床応答曲線について図4-2及び図4-3に示す。

表4-7 設計用地震力（設計基準対象施設及び重大事故等対処設備）（1/2：エリア②～⑤）

評価 部位	据付場所 及び 床面高さ	設計用床応答曲線			地震力の選定の考え方			
		場所	方向	減衰定数	N-S方向	E-W方向	U-D方向	
エリア②～⑤	鉄骨造部	取水構造物 (ポンプピット) 上増打壁 天端 E. L. 約+8. 1m	<N-S方向> 取水構造物 E. L. +0. 300m 図4-1の ④-④断面 <sup>※1,2</sup>	水平	1 %	図4-1の④-④断面の評価点（全9箇所）を包絡した床応答曲線に基づき、下式にて算出した加速度Aとする。 $A = \Sigma (A_i \times m_i) / \Sigma (m_i)$ $A_i : i \text{ 次の加速度}$ $m_i : i \text{ 次の有効質量比}$ 各次のA <sub>i</sub> は以下による。 ・固有振動数<20Hz：床応答曲線から読取 ・固有振動数≥20Hz：1.2×ZPA	図4-1の⑥-⑥断面の評価点（全4箇所）を包絡した包絡した床応答曲線に基づき、左欄の式により算出した加速度とする。	図4-1の④-④断面及び⑥-⑥断面の評価点（全13箇所）を包絡した包絡した床応答曲線に基づき、左欄の式により算出した加速度とする。
			<E-W方向> 取水構造物 E. L. +6. 600m 図4-1の ⑥-⑥断面 <sup>※3</sup>	鉛直	1 %			
	RC造部	取水構造物 (ポンプピット) 天端 E. L. +6. 600m	図4-1の ⑥-⑥断面 <sup>※3</sup>	水平	5 %	同上	同上	同上
				鉛直	5 %			

※1: 取水構造物の弱軸(N-S)方向断面であること、また、海水ポンプピットの壁はN-S方向にほぼ剛と考えられるため、ポンプピット天端(E. L. +6. 600m)のN-S方向の応答についてもポンプピット底面(E. L. +0. 300m)の応答を適用可能との判断に基づき選定。

※2: 増打壁天端においても、取水構造物天端(E. L. +6. 600m)の応答の増打壁(高さ1540mm)天端での増幅は無視できることを確認したため、ポンプピット天端相当の応答を適用可能と判断（評価結果は、取水構造物の耐震安全性評価において別途示す）

※3: 取水構造物のE-W方向、且つエリア⑧と取水構造物が結合するE. L. +6. 3m及びE. L. +3. 0mを含む断面として選定

表 4-7 設計用地震力（設計基準対象施設及び重大事故等対処設備）（2/2：エリア⑧）

評価 部位	据付場所 及び 床面高さ	設計用床応答曲線			地震力の選定の考え方			
		場所	方向	減衰定数	N-S方向	E-W方向	U-D方向	
エリア ⑧	鉄骨 造部	取水構造物（ポン プピット）天端 E. L. +6. 600m 及び* 取水構造物（取水 路）天端 E. L. +3. 310m	<N-S方向> 取水構造物 E. L. +0. 300m 〔 図4-1の ④-④断面**1,2 〕	水平	1 %	図4-1の④-④断面の評価点（全9箇 所）を包絡した床応答曲線に基づ き、下式にて算出した加速度Aと する。  $A = \Sigma (A_i \times m_i) / \Sigma (m_i)$ $A_i : i \text{ 次の加速度}$ $m_i : i \text{ 次の有効質量比}$ 各次の $A_i$ は以下による。 ・固有振動数 < 20Hz : 床応答曲線 から読取 ・固有振動数 $\geq$ 20Hz : $1.2 \times ZPA$	図4-1の⑥-⑥断面の 評価点（全4箇所）を 包絡した包絡した床 応答曲線に基づき、 左欄の式により算出 した加速度とする。	図4-1の④-④断面 及び⑥-⑥断面の 評価点（全13箇所） を包絡した包絡し た床応答曲線に基 づき、左欄の式に より算出した加速 度とする。
			<E-W方向> 取水構造物 E. L. +6. 600m 〔 図4-1の ⑥-⑥断面**3 〕 及び E. L. +3. 310m	鉛直	1 %			
	R C 造部	取水構造物（取水 路）天端**2 E. L. +3. 310m	〔 図4-1の ⑥-⑥断面 〕 及び E. L. +3. 310m	水平	5 %	同上	同上	同上
			〔 図4-1の ⑥-⑥断面 〕	鉛直	5 %			

※1：エリア⑧の鉄骨架構は、E. L. +3. 310m及びE. L. +6. 600mで取水構造物に取り付いており、それぞれの位置で発生する地震力を同時に受けるものとする。

※2：地中（地表付近）にてポンプピット下部と結合されているエリア⑧南側基礎についても、当該高さに最も近い取水路天端相当と見なす。

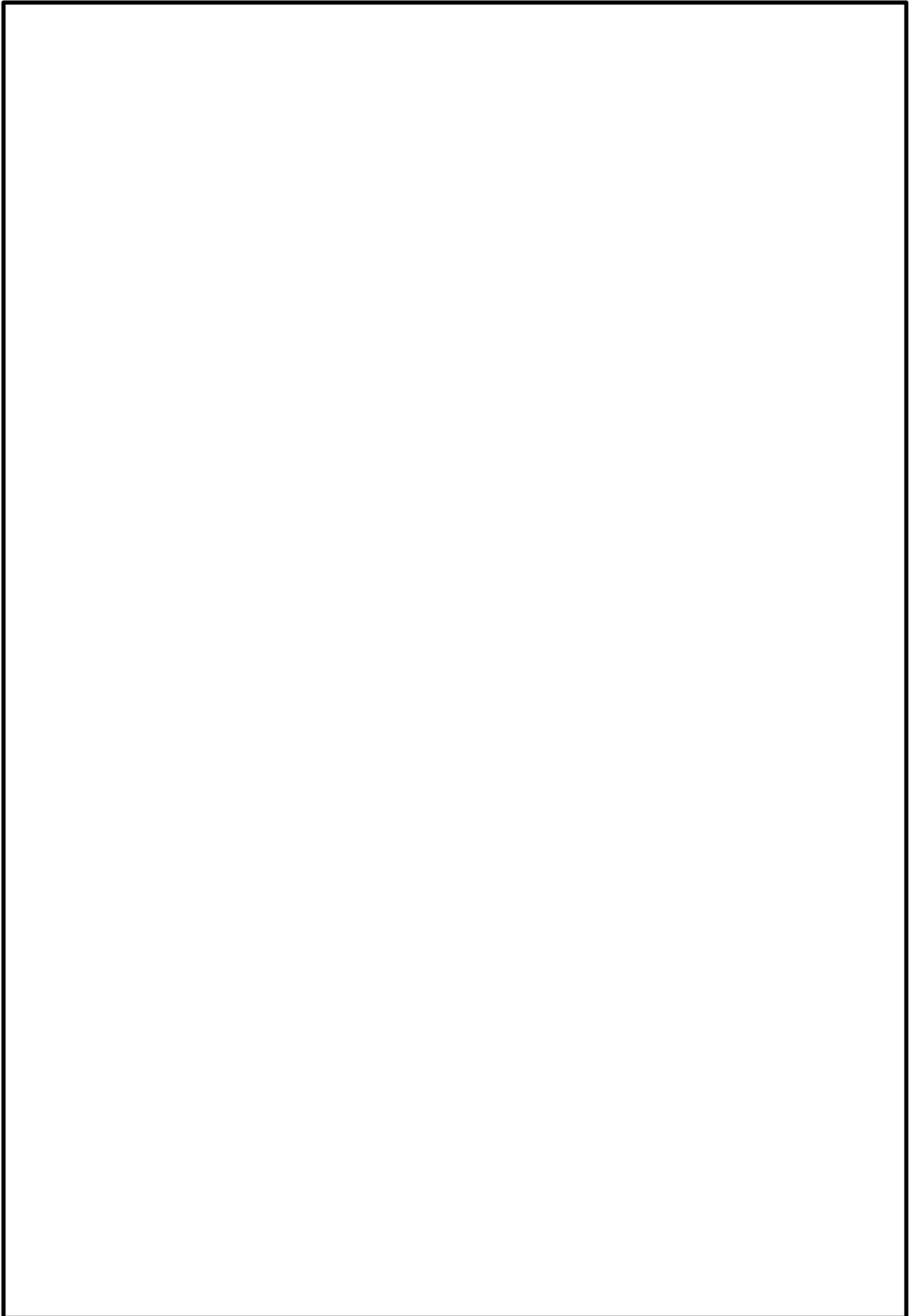


図4-1 評価用地震動の抽出位置

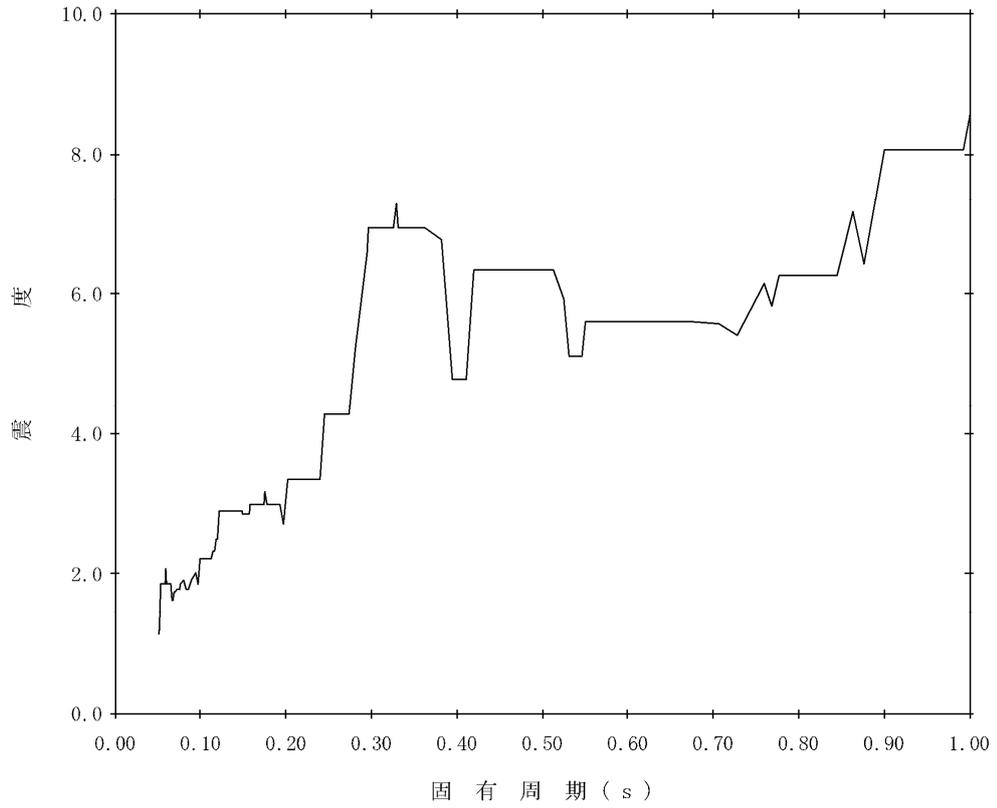


図4-2 床応答スペクトル(1/12) (減衰1% N-S方向(④-④断面) E.L. 0.3m : 水平)

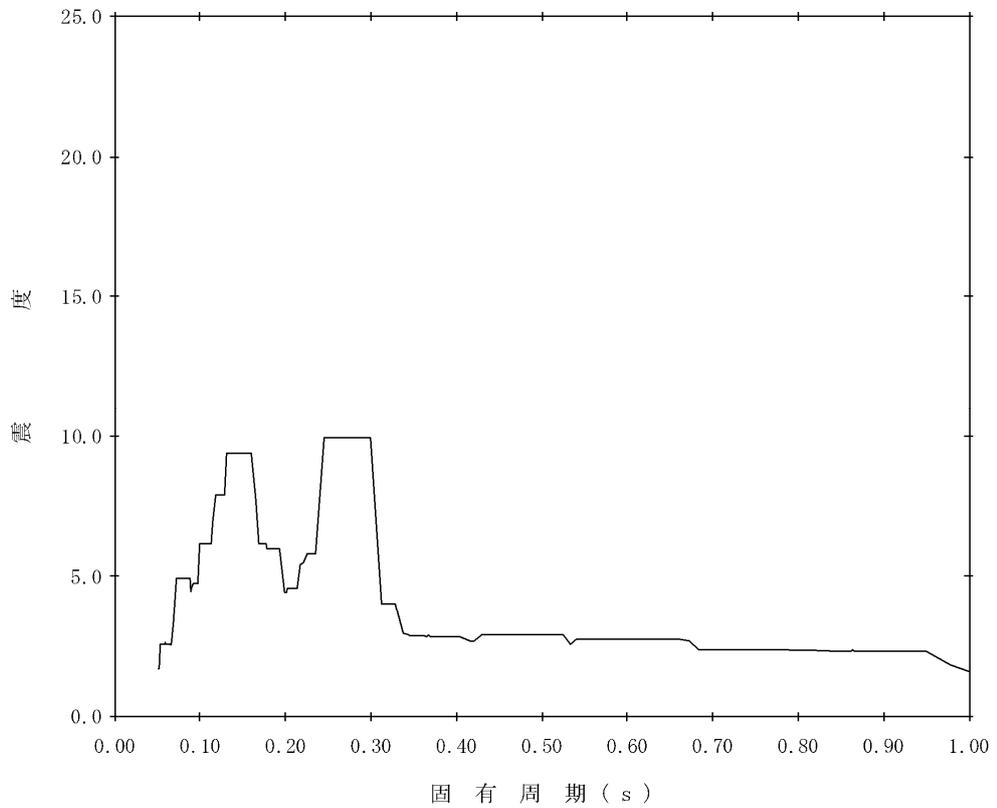


図4-2 床応答スペクトル(2/12) (減衰1% N-S方向(④-④断面) E.L. 0.3m : 鉛直)

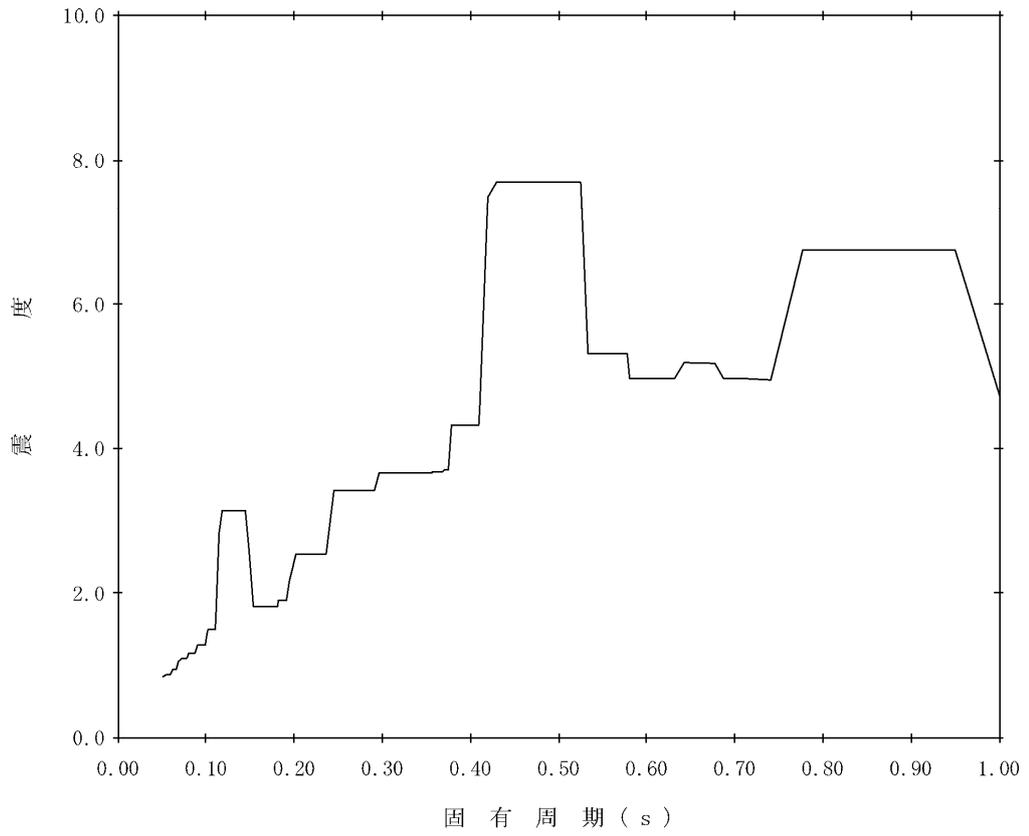


図4-2 床応答スペクトル(3/12) (減衰1% E-W方向(⑥-⑥断面) E.L. 6.6m : 水平)

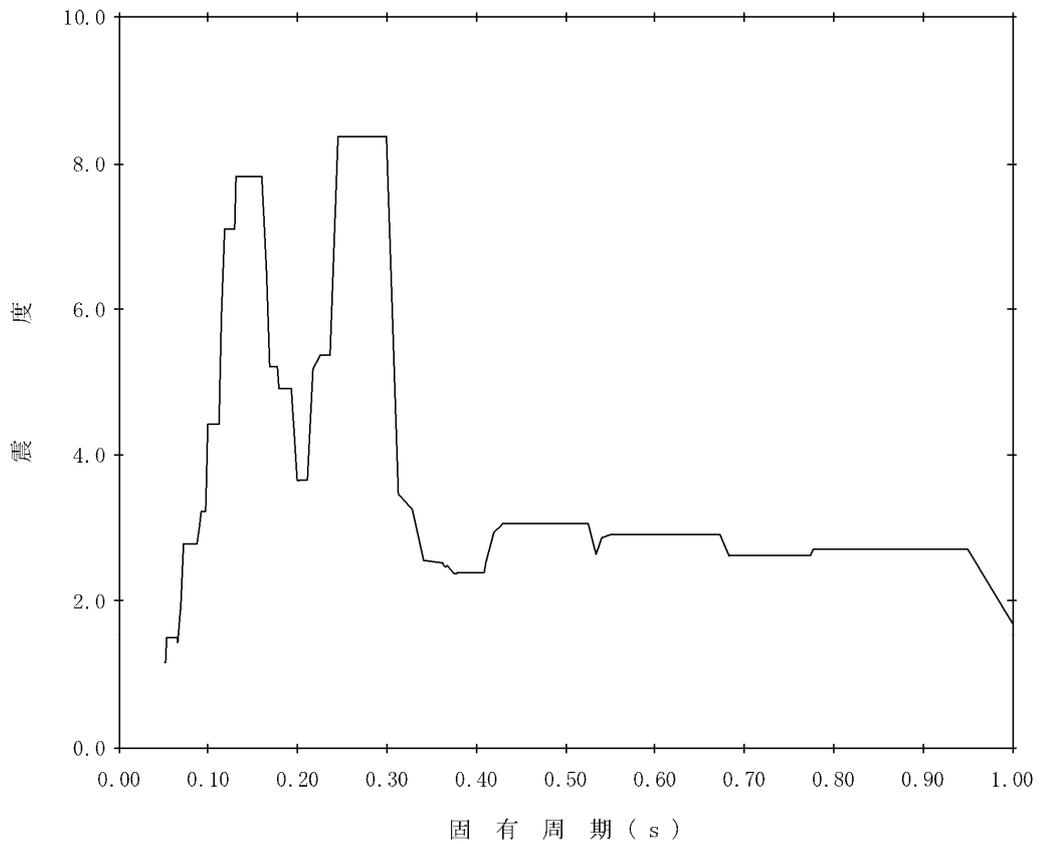


図4-2 床応答スペクトル(4/12) (減衰1% E-W方向(⑥-⑥断面) E.L. 6.6m : 鉛直)

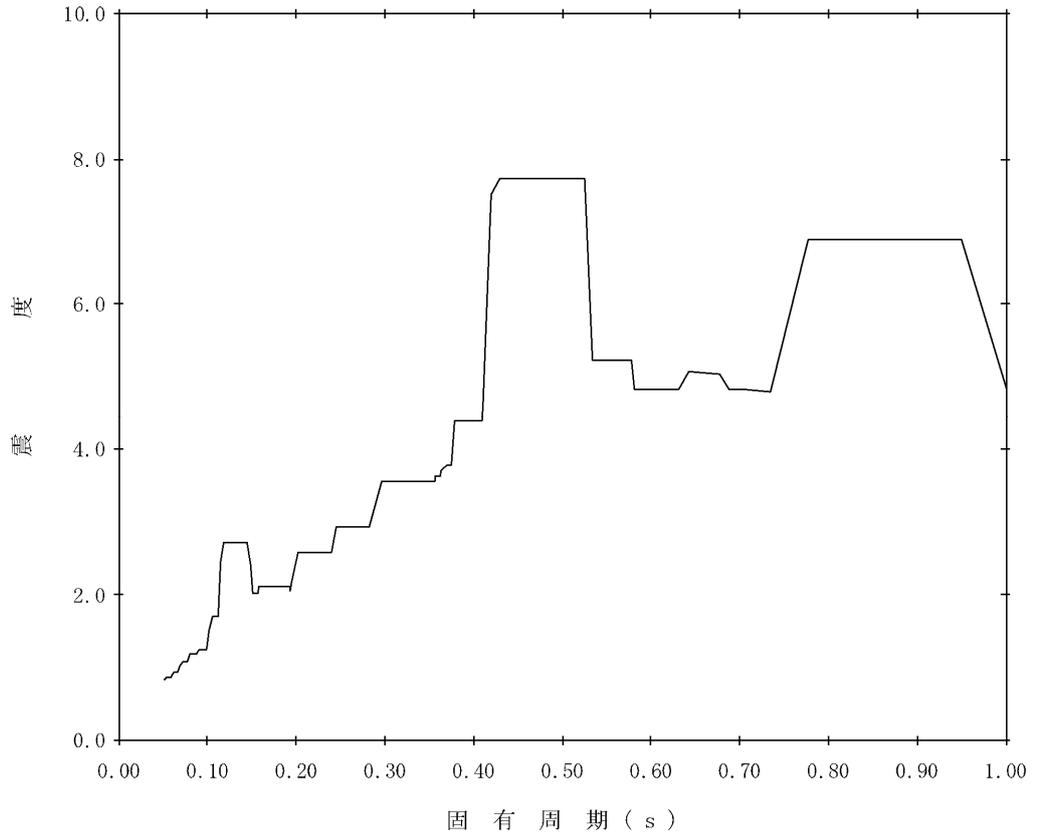


図4-3 床応答スペクトル(5/12) (減衰1% E-W方向(⑥-⑥断面) E.L. 3.310m : 水平)

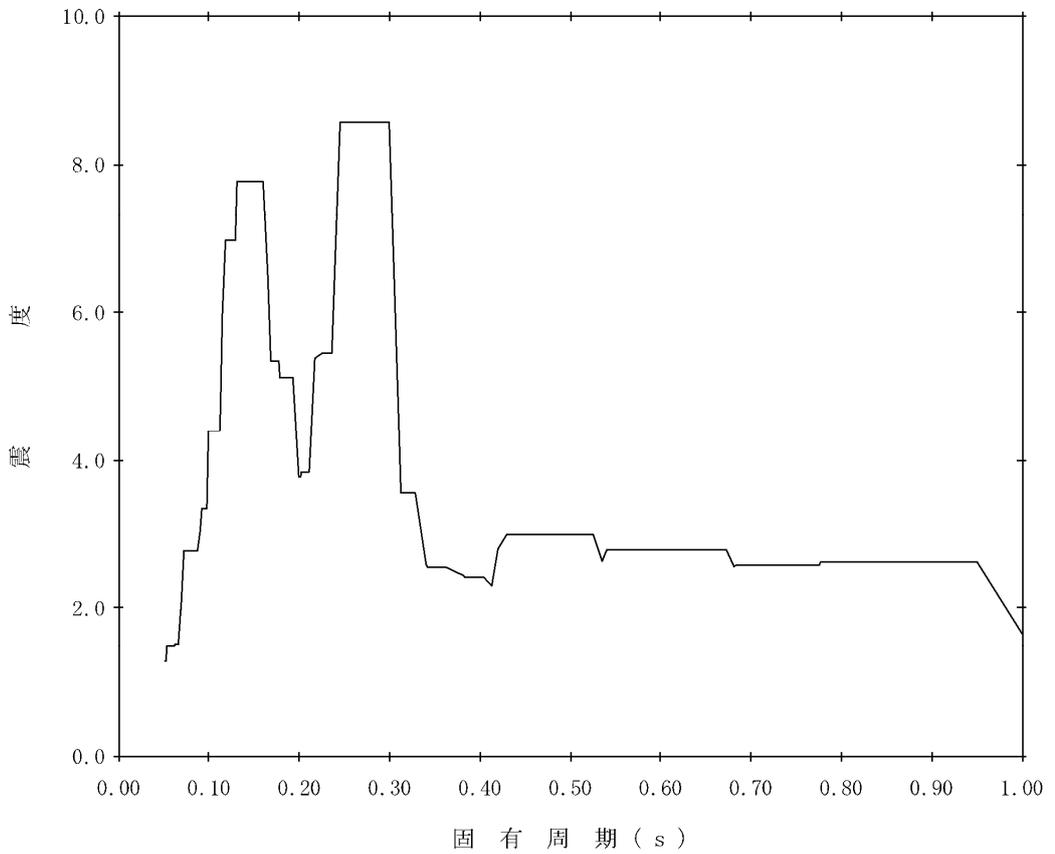


図4-2 床応答スペクトル(6/12) (減衰1% E-W方向(⑥-⑥断面) E.L. 3.310m) : 鉛直)

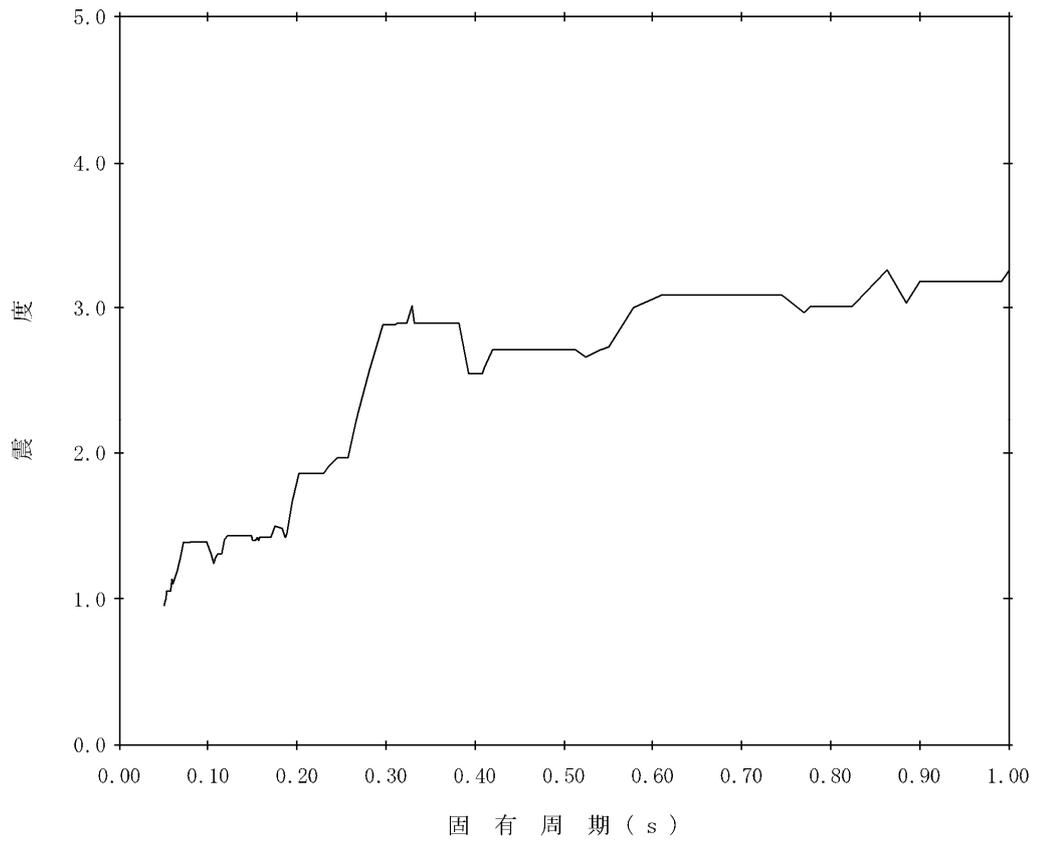


図4-2 床応答スペクトル(7/12) (減衰5% N-S方向(④-④断面) E.L. 0.3m : 水平)

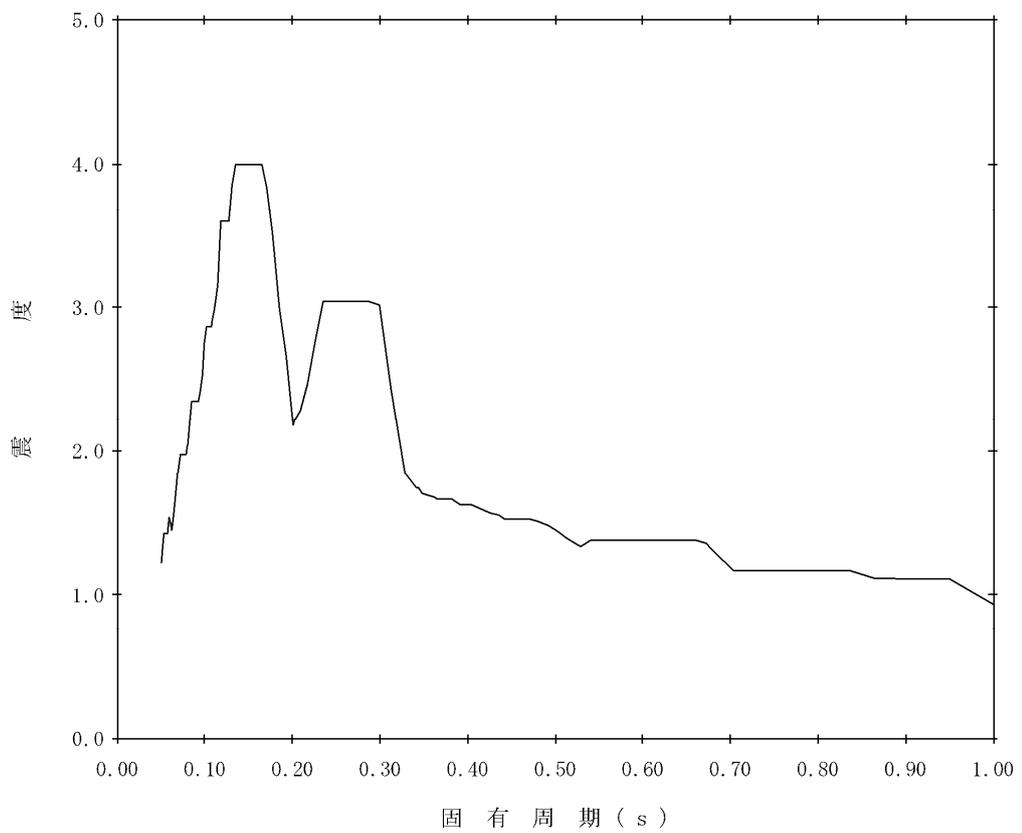


図4-2 床応答スペクトル(8/12) (減衰5% N-S方向(④-④断面) E.L. 0.3m : 鉛直)

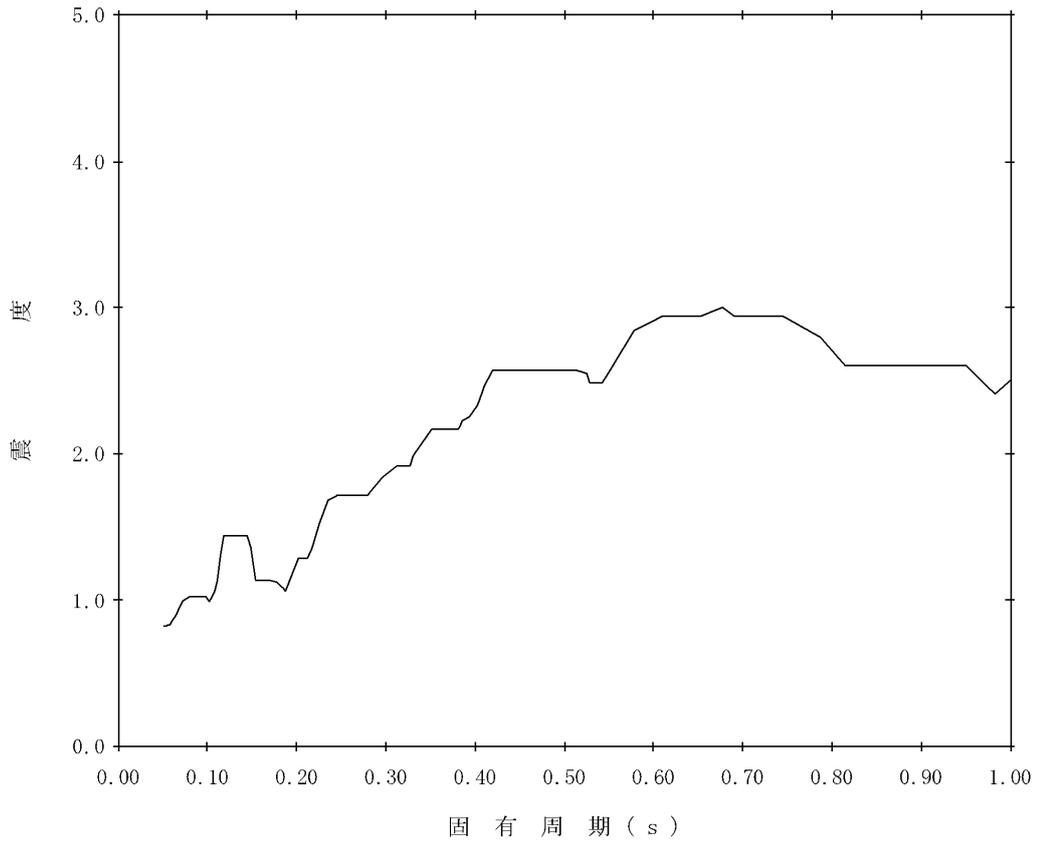


図4-2 床応答スペクトル(9/12) (減衰5% E-W方向(⑥-⑥断面) E.L. 6.6m) : 水平)

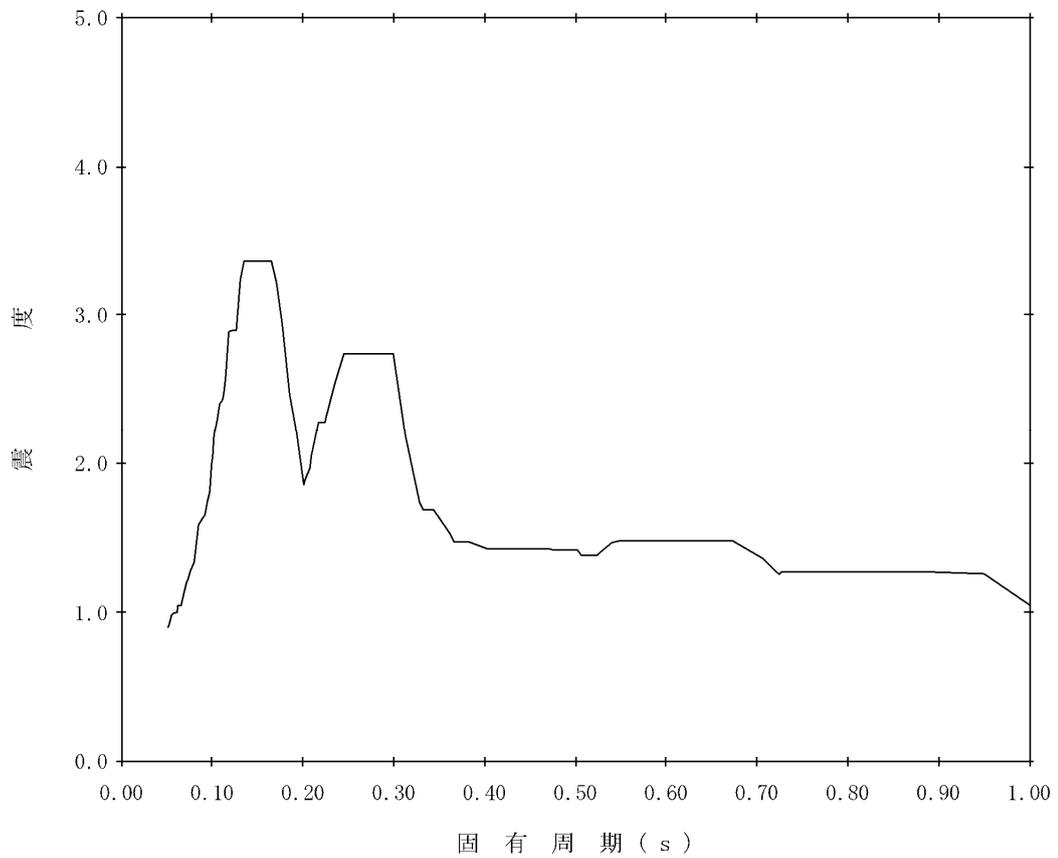


図4-2 床応答スペクトル(10/12) (減衰5% E-W方向(⑥-⑥断面) E.L. 6.6m) : 鉛直)

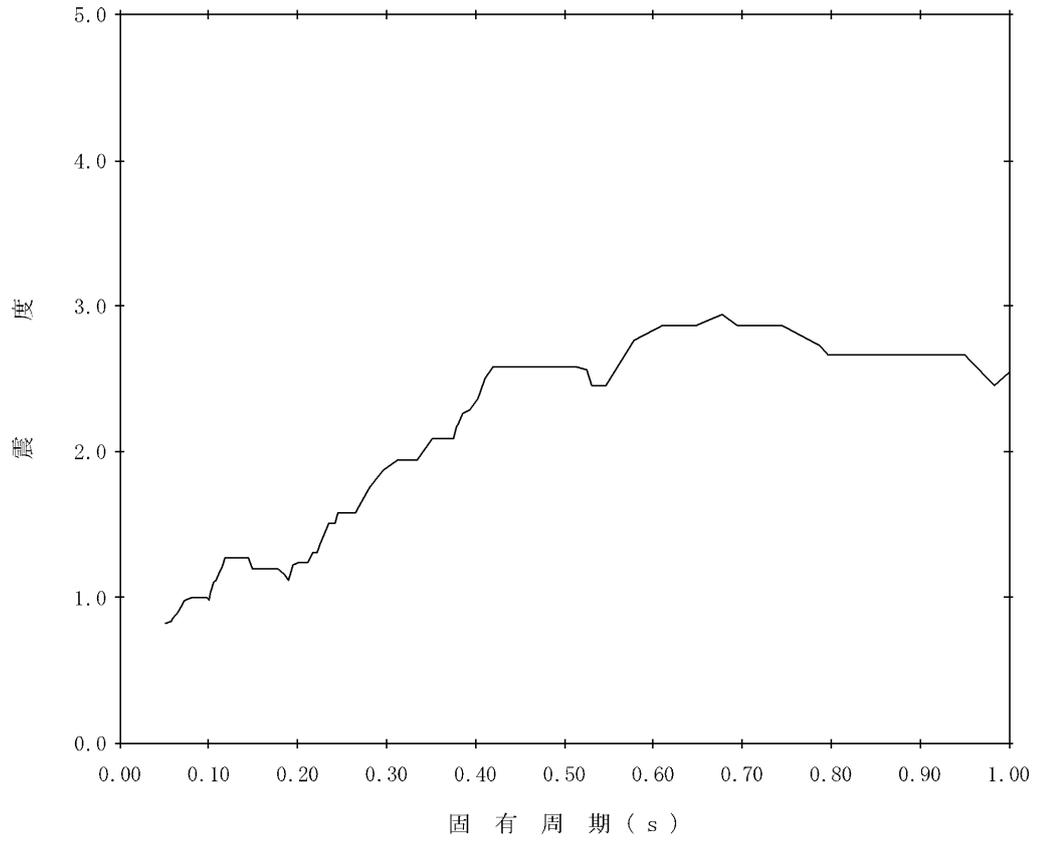


図4-2 床応答スペクトル(11/12) (減衰5% E-W方向(⑥-⑥断面) E.L. 3. 310m) : 水平

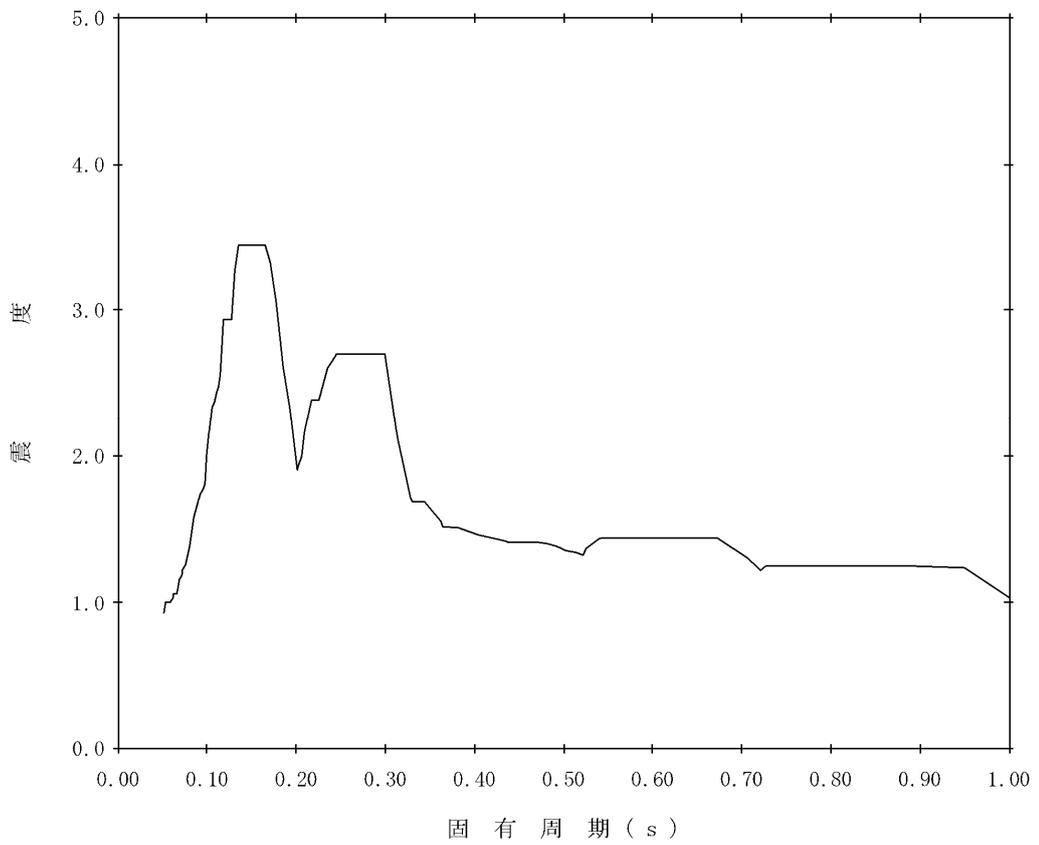


図 4-2 床応答スペクトル(12/12) (減衰 5% E-W 方向(⑥-⑥断面) E.L. 3. 310m) : 鉛直

#### 4.4 解析モデル及び諸元

##### 4.4.1 固有値解析モデル

エリア②～⑤のRC造部分について、図4-3に示すモデルにより、面外方向の振動に対する固有値解析を実施する。

エリア②～⑤及びエリア⑧の鉄骨架構については、図4-4に示す、鉄骨架構の構成部材をはり要素にてモデル化した3次元フレームモデルにより固有値解析を実施する。

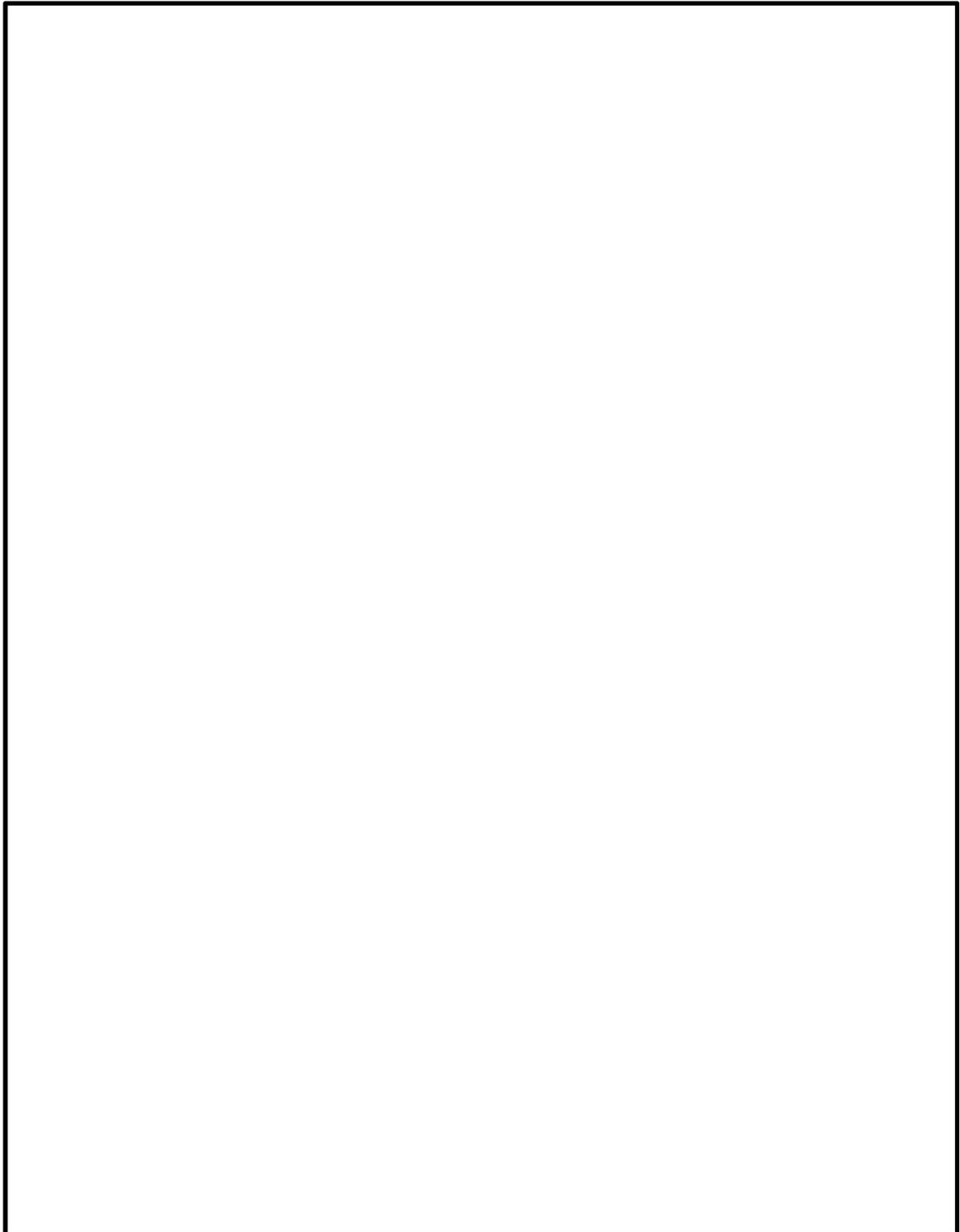


図4-3 RC造部の固有値解析モデル(1/3)

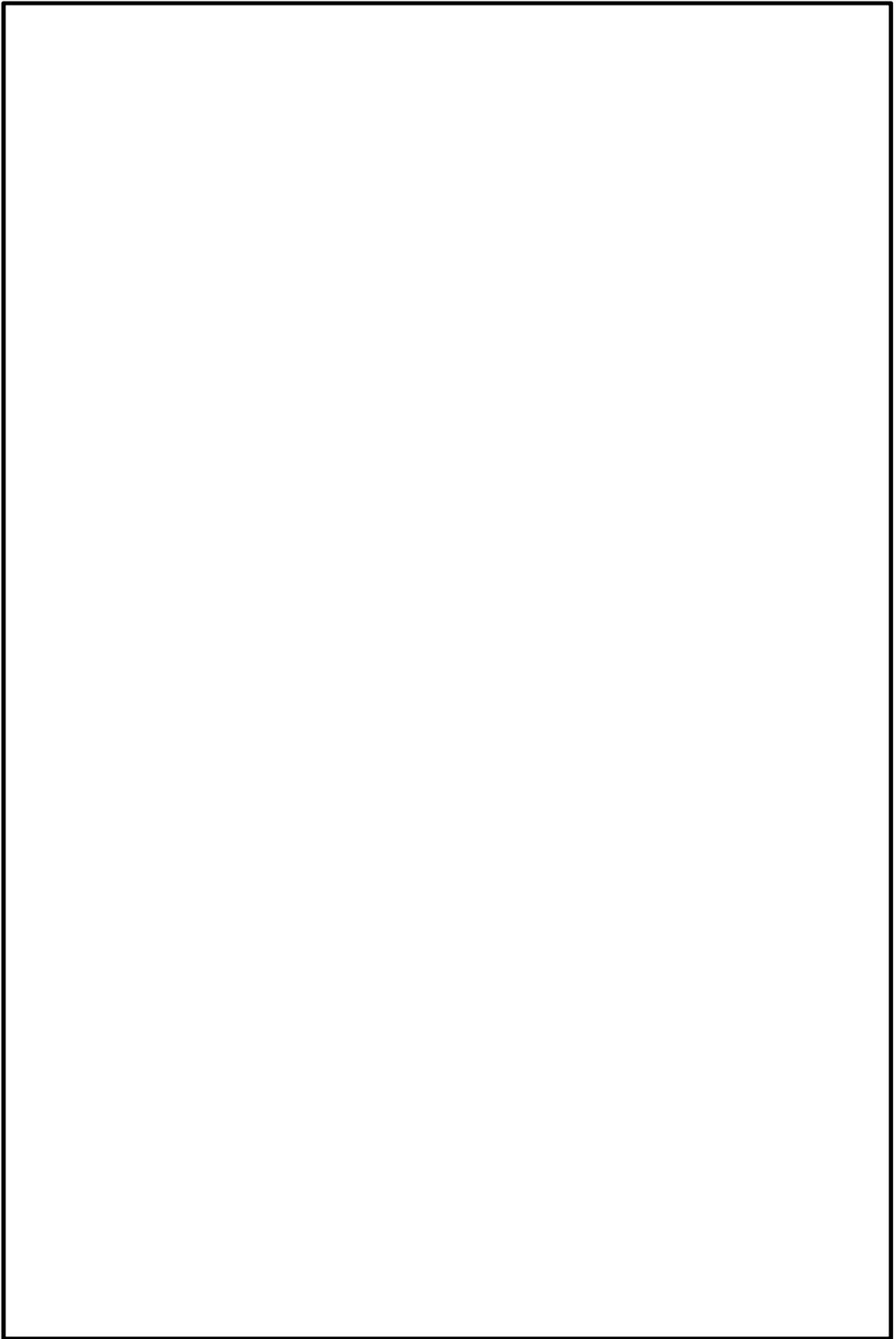


図4-3 RC造部の固有値解析モデル(2/3)

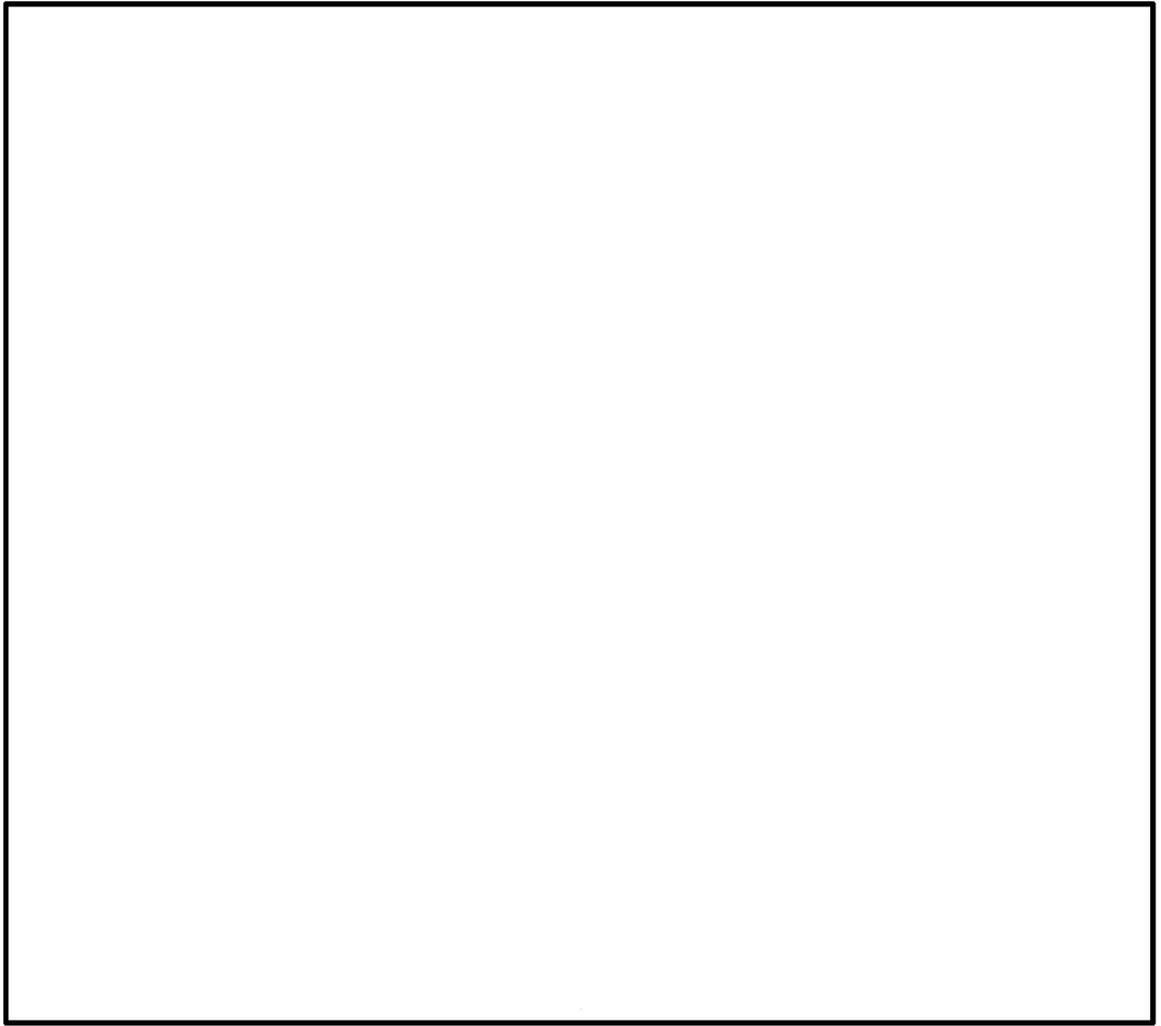


図4-3 RC造部の固有値解析モデル(3/3)

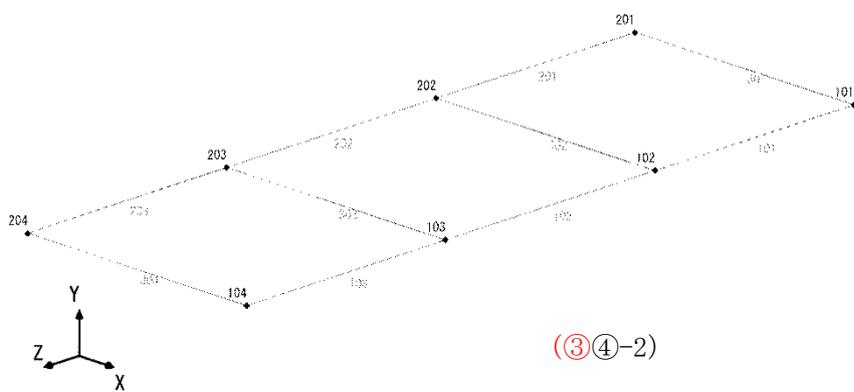
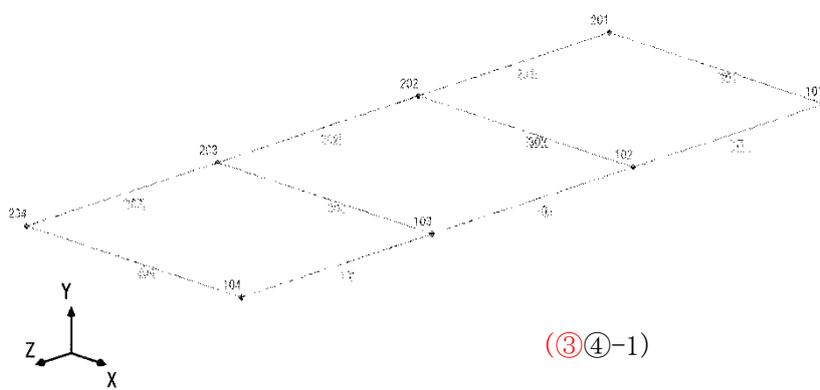
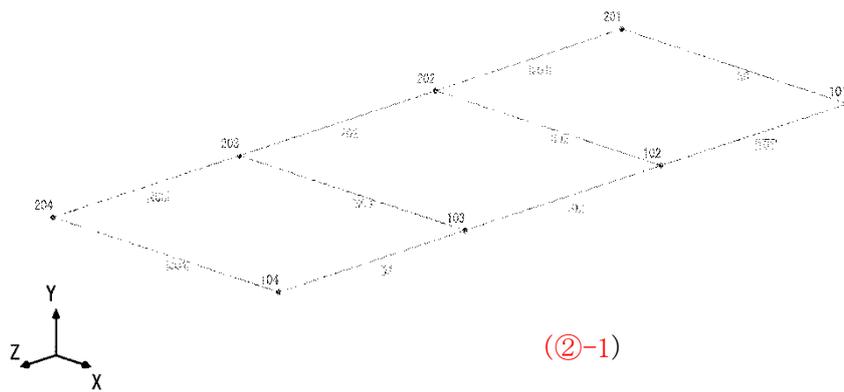


図4-4 固有値解析モデル（鉄骨造部）（1/2）

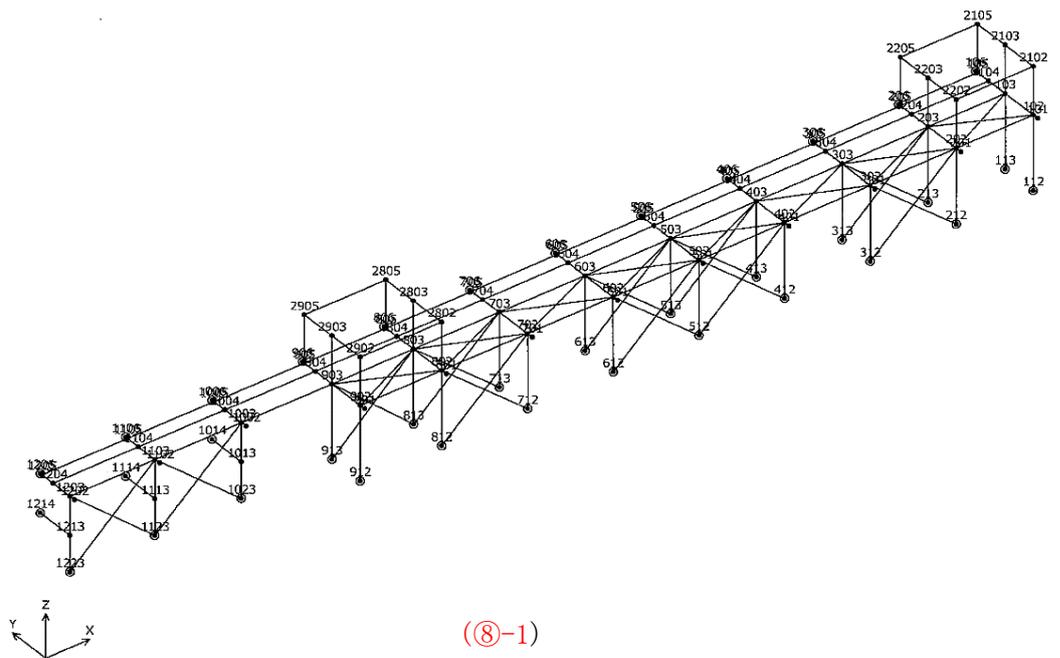
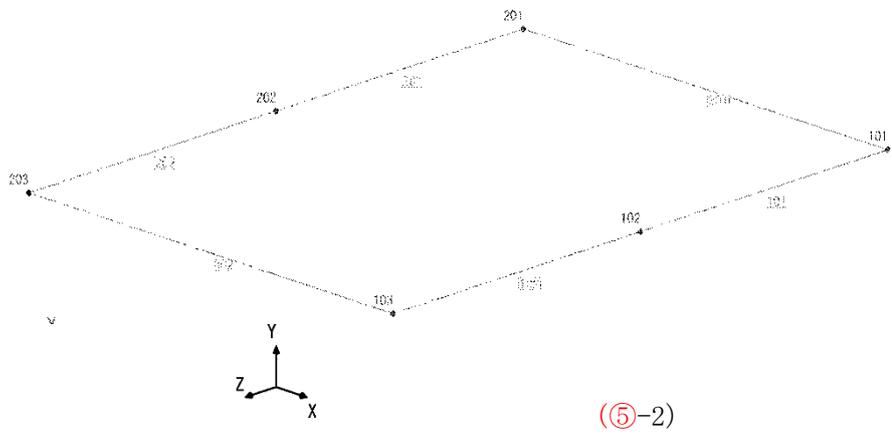
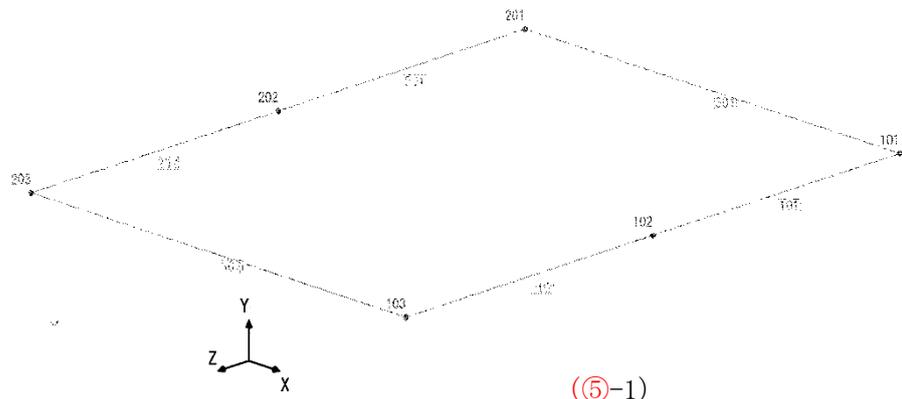


図4-4 固有値解析モデル（鉄骨造部）（2/2）

#### 4.4.2 強度評価モデル

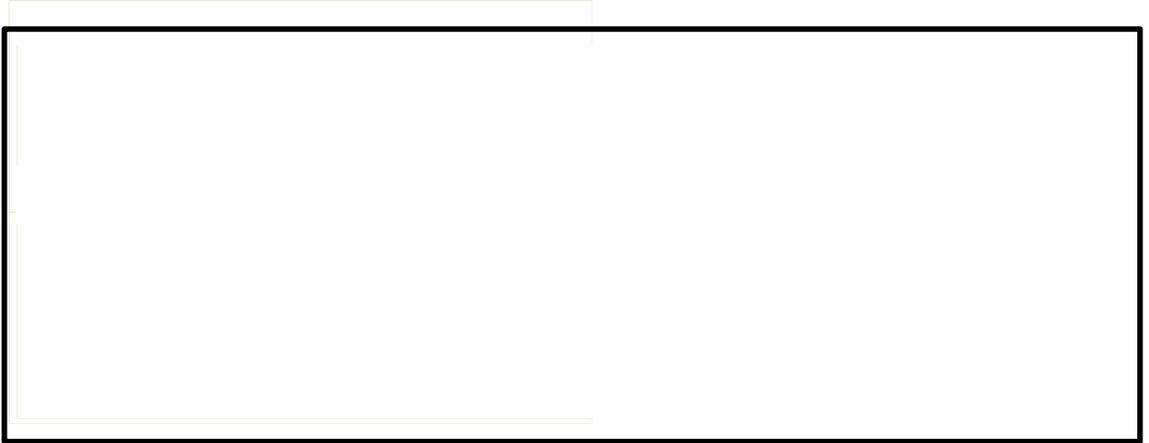
海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の強度評価モデルは、エリア①～⑤のRC造部については、図4-5に示すとおり、南北方向の壁を片持ちはりモデル、東西方向の壁を3辺固定1辺自由のスラブとして扱う。版状のRC構造部のモデル化においては、高さに対し幅が2.5倍以上の箇所をはりモデル、それ以下の部分を3辺固定スラブモデルと設定した。

また、エリア⑧の鉄骨架構は、図4-2に示すとおり、構成部材をはり要素にてモデル化した3次元フレームモデルとする。各モデルの構成部材の諸元を表4-8に示す。

3辺固定1辺自由スラブに発生する断面力（曲げモーメント及びせん断力）は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」の付図により求める。

鉄骨架構の計算には、計算機コード「Engineer's Studio」を使用し、上記の3次元フレームモデルを用いて、断面力を求める。なお、評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「V-5-39 計算機プログラム（解析コード）の概要 Engineer's Studio」に示す。

a. 東側クレーン走行路嵩上げ壁



b. 西側クレーン走行路嵩上げ壁

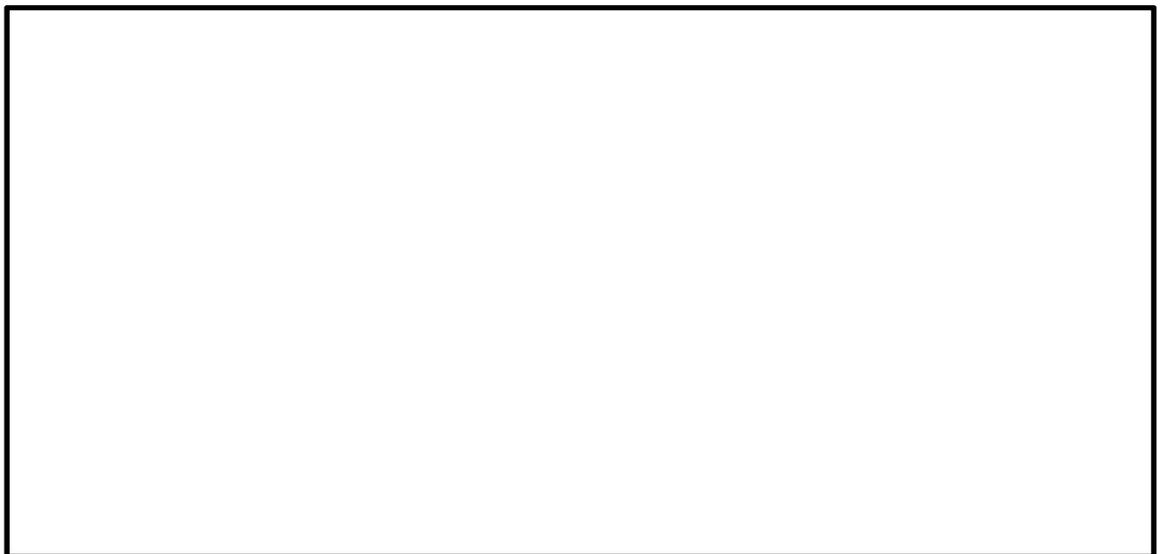


図4-5 強度評価モデル (エリア②～⑤) (1/3)

c. エリア⑤北側壁



d. エリア①北側壁



図4-5 強度評価モデル (エリア①～⑤) (2/3)

e. エリア④南側壁



f. エリア②南側壁、エリア③北側壁

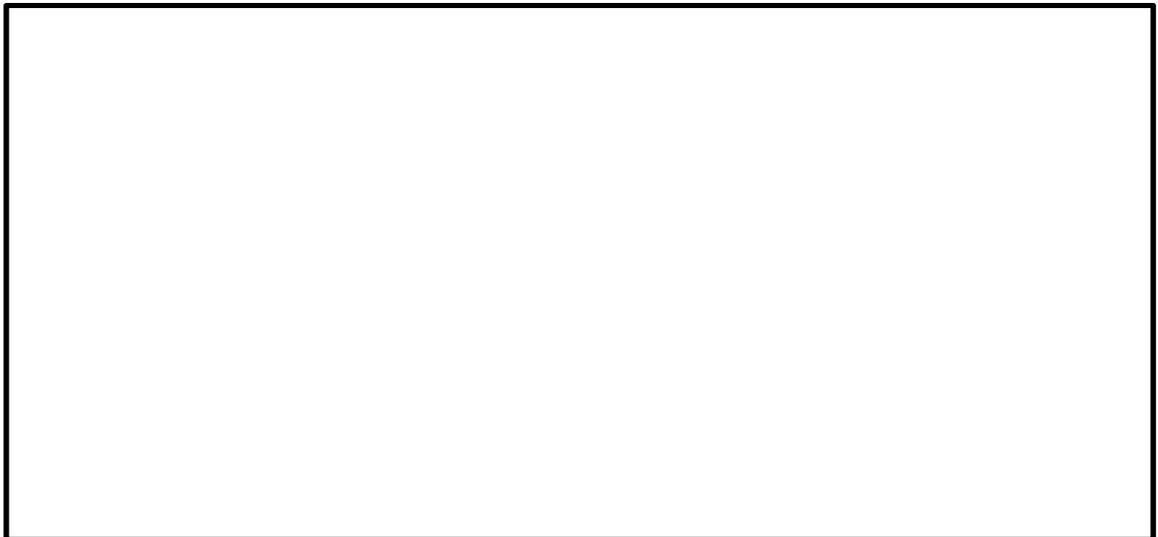
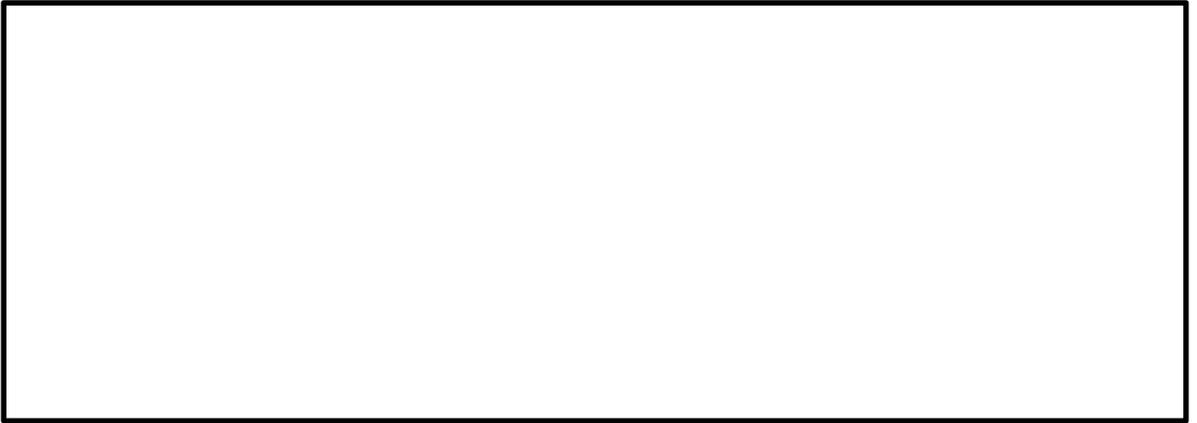


図4-5 強度評価モデル (エリア①～⑤) (3/3)

表4-9 施設諸元 (RC)

項目	記号	単位	入力値
コンクリート圧縮強度	F <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	24
鉄筋種別	—	—	SD345
縦弾性係数	E	MPa	25000
ポアソン比	$\nu$	—	0.2

表4-9 施設諸元 (鉄骨架構)

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SS400, SM400
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	40
縦弾性係数	E	MPa	205000
ポアソン比	$\nu$	—	0.3

## 4.5 固有値解析

RC造部及び鉄骨架構の固有値解析の結果をそれぞれ表4-10及び表4-11に、振動モードをそれぞれ図4-6及び図4-7に示す。

表4-10 固有値解析結果 (RC造部)

部位	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	刺激係数 (面外方向)
①	14.449	0.069	5.236
②	20.115	0.050	-5.233
③	63.176	0.016	-3.269
④	15.791	0.063	-9.862
⑤	76.240	0.013	1.868
⑥	23.292	0.043	-8.408
⑦	18.171	0.055	12.682

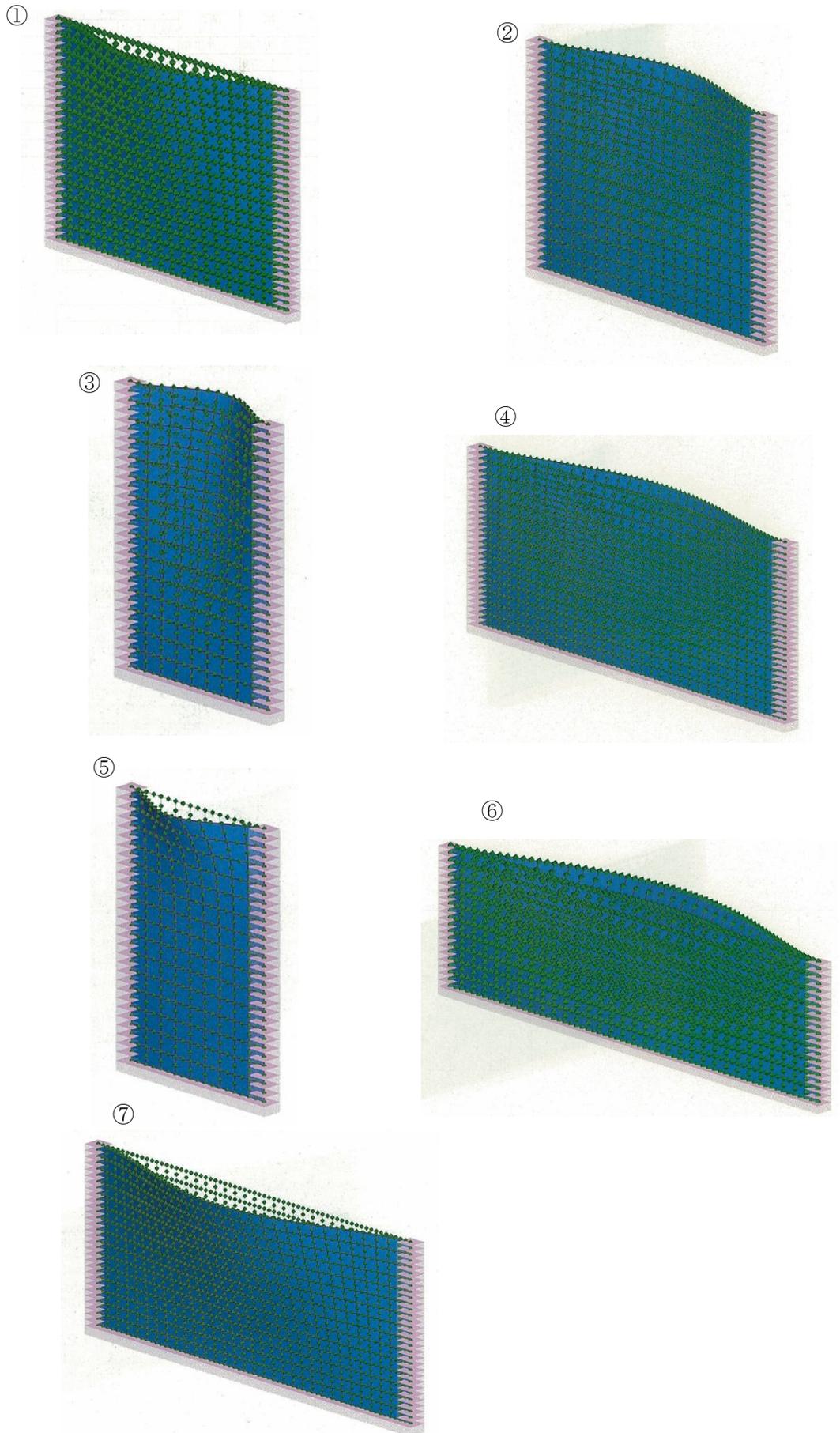
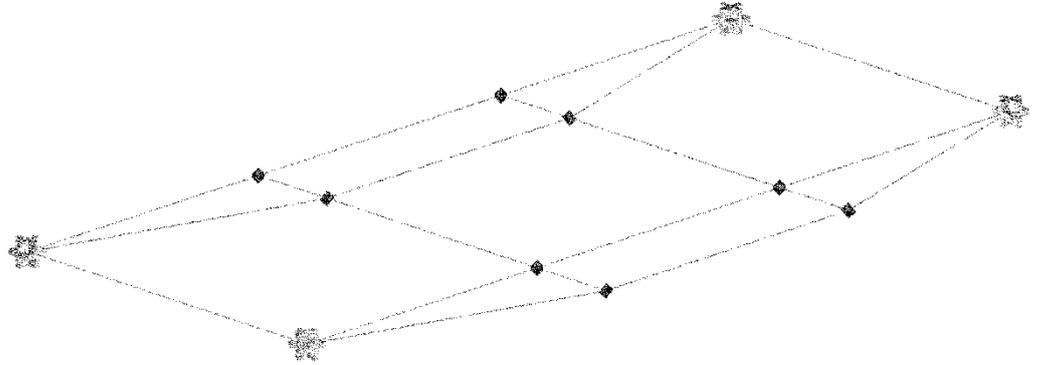
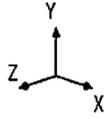


図4-6 振動モード図 (RC造部)

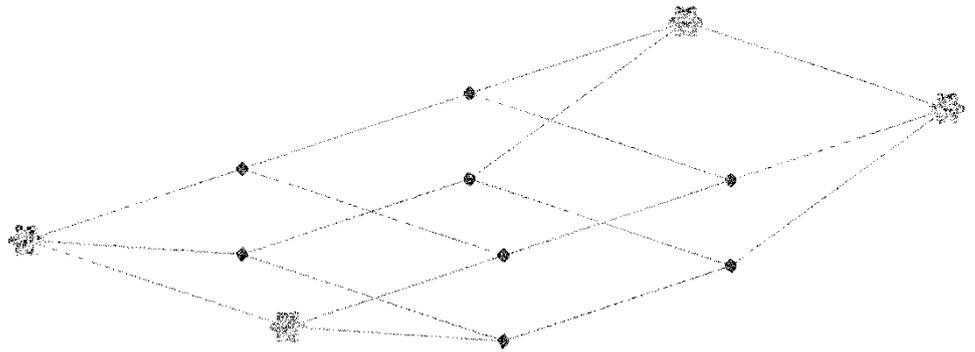
表4-11 固有値解析結果 (鉄骨造部)

部位	振動 次数	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	刺激係数			卓越 方向
				X方向 (NS)	Y方向 (UD)	Z方向 (EW)	
②-1	1	4.182	0.239	2.54	0	0	X
	2	5.595	0.179	0	-2.54	0	Y
	7	127.443	0.008	0	0	-2.45	Z
③④-1	1	4.484	0.223	2.39	0	0	X
	2	5.937	0.168	0	2.39	0	Y
	8	135.229	0.007	0	0	-2.39	Z
③④-2	1	4.432	0.226	2.43	0	0	X
	2	5.851	0.171	0	5.90	0	Y
	8	133.269	0.008	0	0	-2.30	Z
⑤-1	2	15.639	0.064	-1.46	0	0	X
	3	24.575	0.041	0	1.46	0	Y
	5	258.288	0.004	0	0	1.21	Z
⑤-2	2	15.378	0.065	-1.49	0	0	X
	3	24.059	0.042	0	-1.49	0	Y
	5	252.863	0.004	0	0	-0.03	Z
⑧-1	9	26.223	0.038	0.16	0.05	-3.29	Z
	13	31.278	0.032	6.01	-0.08	-0.09	X
	29	60.438	0.017	-0.12	4.99	-0.12	Y

X (南北) 方向卓越  
• 1次 (0.239 sec)



Y (鉛直) 方向卓越  
• 2次 (0.179 sec)



Z (東西) 方向卓越  
• 8次 (0.008sec)

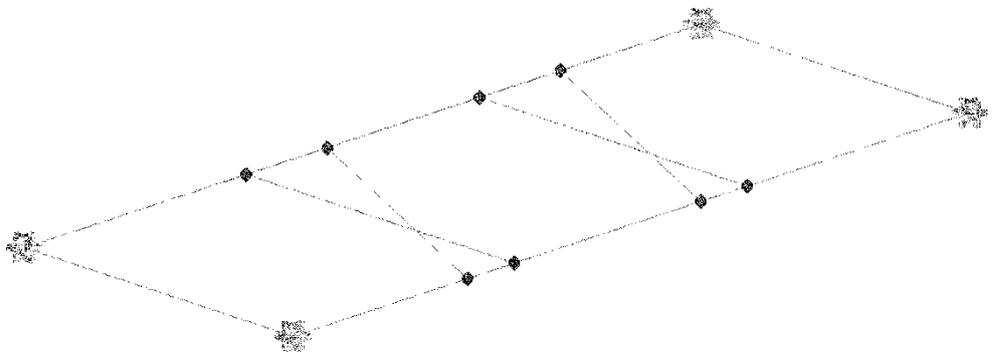
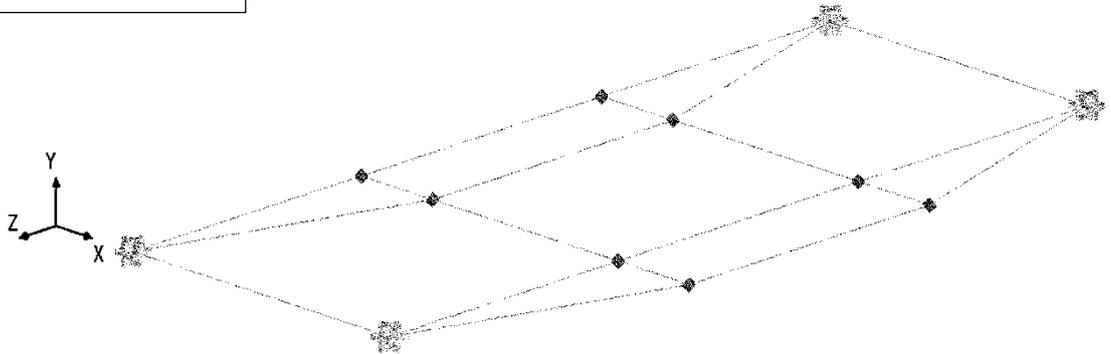
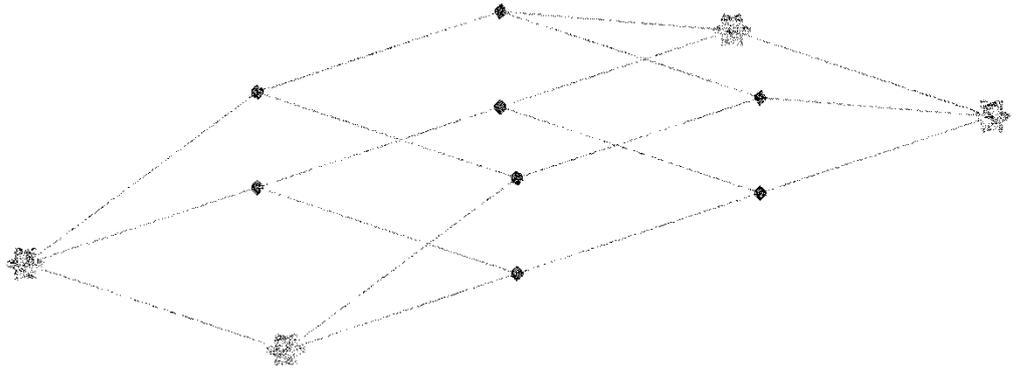


図4-7 振動モード図 (鉄骨架構) (1/6) (②-1)

X (南北) 方向卓越  
• 1次 (0.223 sec)



Y (鉛直) 方向卓越  
• 2次 (0.168 sec)



Z (東西) 方向卓越  
• 8次 (0.007sec)

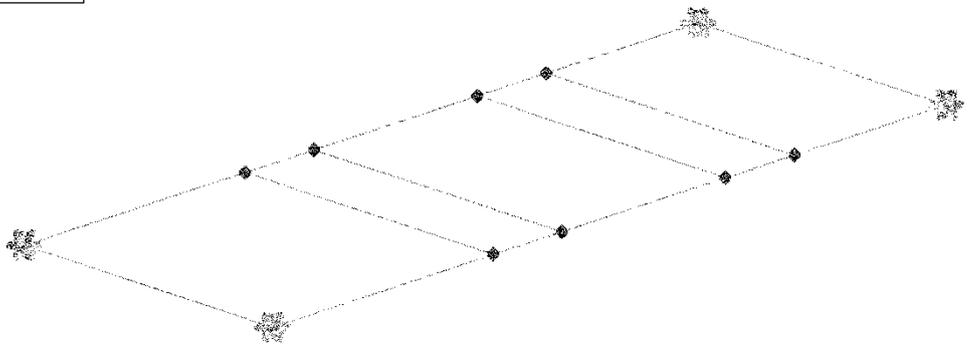
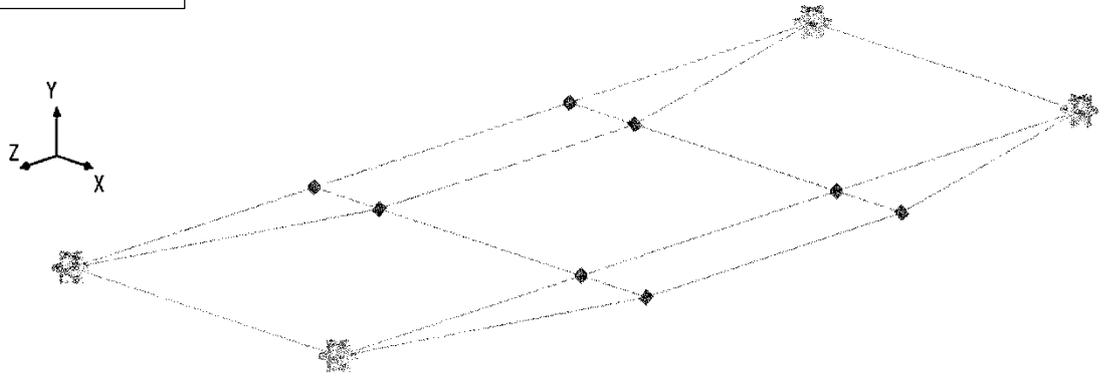
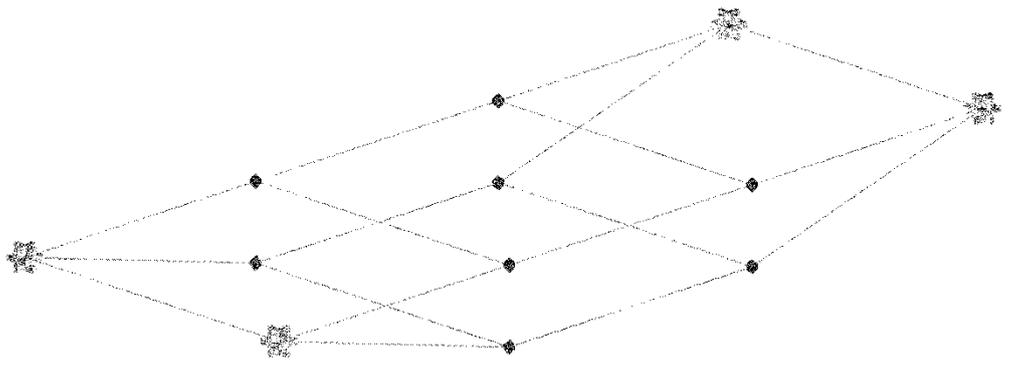


図4-7 振動モード図 (鉄骨架構) (2/6) (③④-1)

X (南北) 方向卓越  
• 1次 (0.226 sec)



Y (鉛直) 方向卓越  
• 2次 (0.171 sec)



Z (東西) 方向卓越  
• 8次 (0.008sec)

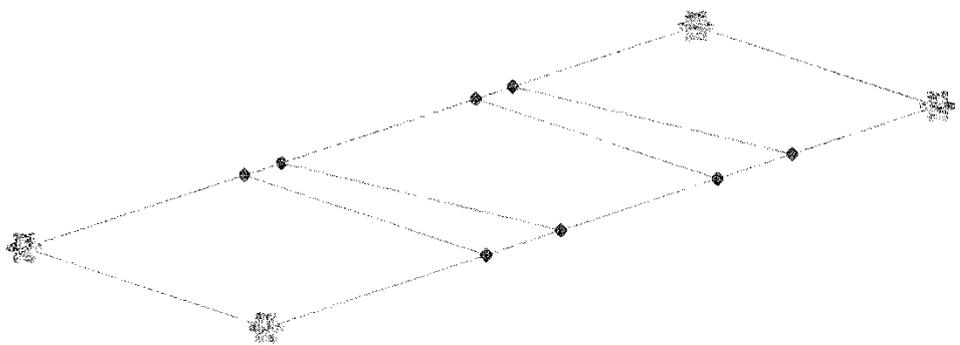
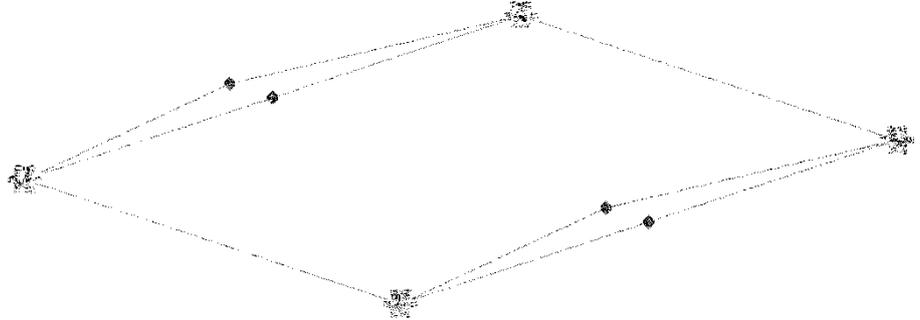
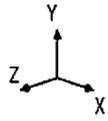
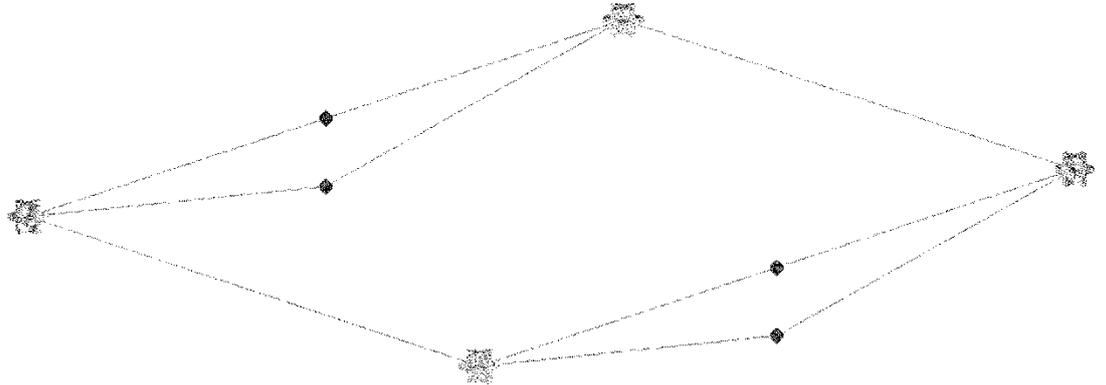


図4-7 振動モード図 (鉄骨架構) (3/6) (③④-2)

X (南北) 方向卓越  
・ 2 次 (0.064 sec)



Y (鉛直) 方向卓越  
・ 3 次 (0.041 sec)



Z (東西) 方向卓越  
・ 5 次 (0.004sec)

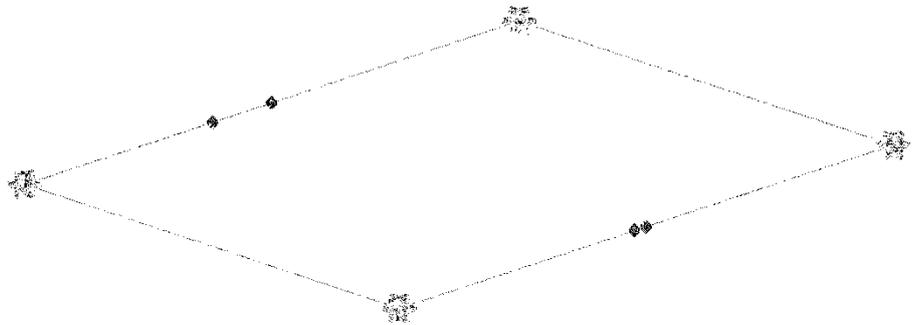
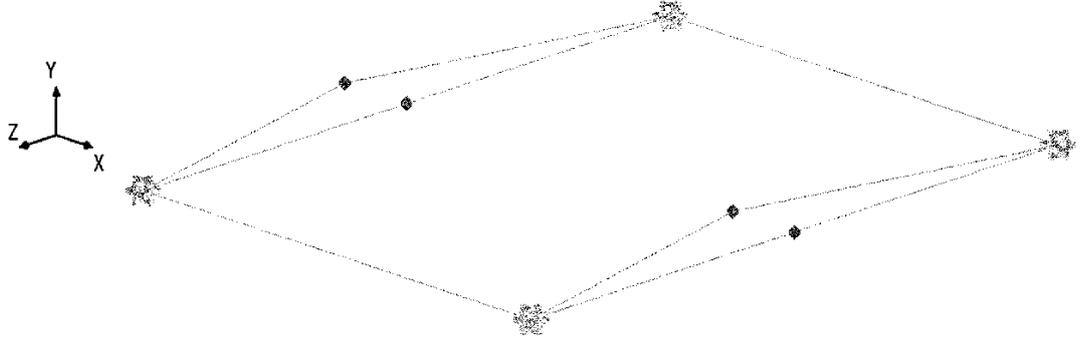
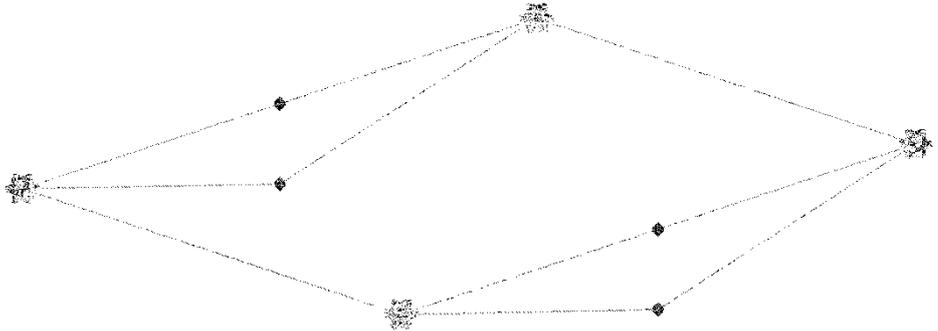


図4-7 振動モード図 (鉄骨架構) (4/6) (5-1)

X (南北) 方向卓越  
・ 2 次 (0.065 sec)



Y (鉛直) 方向卓越  
・ 3 次 (0.042 sec)



Z (東西) 方向卓越  
・ 5 次 (0.004sec)

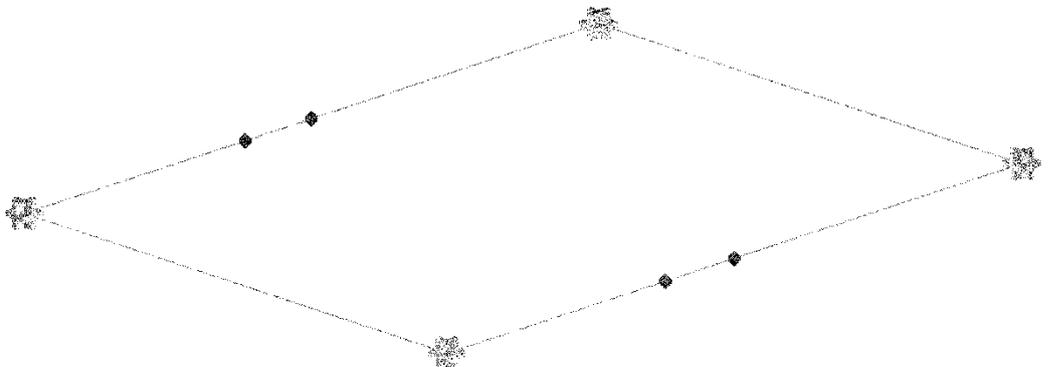
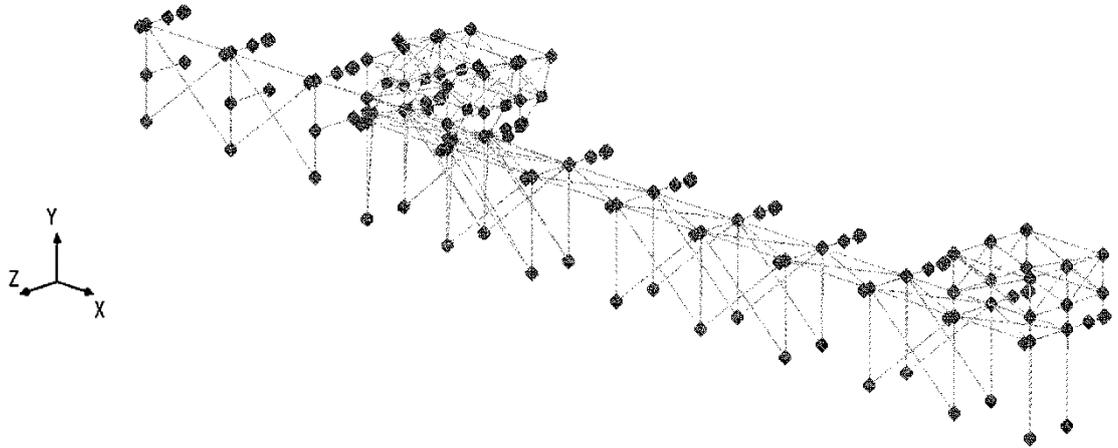
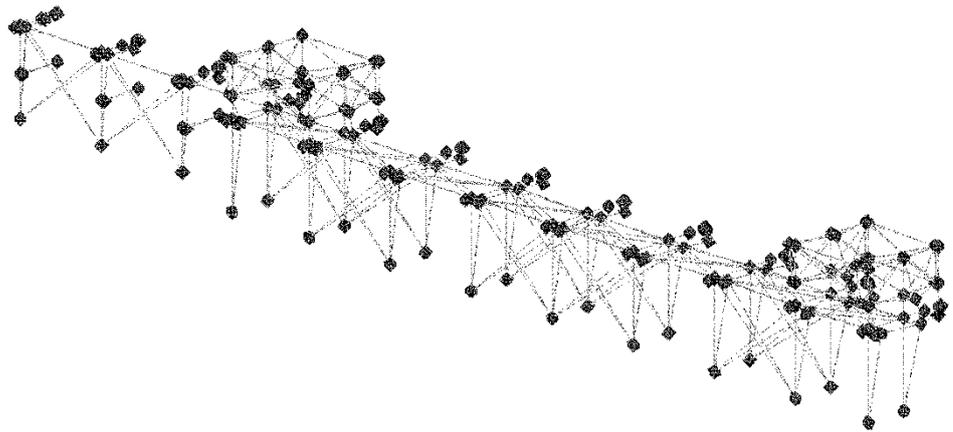


図4-7 振動モード図 (鉄骨架構) (5/6) (⑤-2)

Z (東西) 方向卓越  
・ 9 次 (0.038 sec)



X (南北) 方向卓越  
・ 13 次 (0.032 sec)



Y (鉛直) 方向卓越  
・ 29 次 (0.017sec)

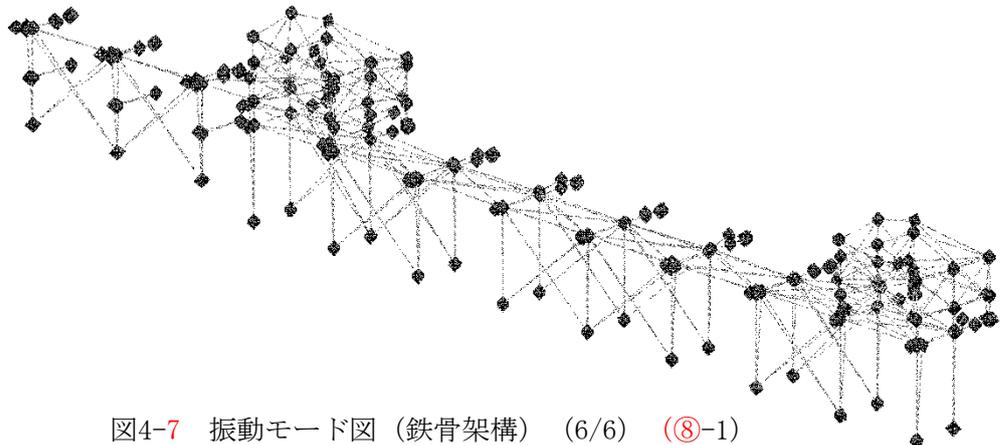


図4-7 振動モード図 (鉄骨架構) (6/6) (8-1)

#### 4.6 入力地震力

固有値解析の結果を踏まえ設定した地震力を、表 4-12 及び表 4-13 に示す。

水平及び鉛直方向の地震力は、組合せ係数法（係数 0.4）を用いて、組み合わせて入力する。

表4-12 入力地震動（RC造部）

部位	固有周期 (s)	地震力 (震度)		備考
		水平	鉛直	
①				
②		追而		
③				
④				
⑤				
⑥				
⑦				

表4-13 入力地震動（鉄骨架構）

部位	方向	固有周期 (s)		加速度 (震度)		入力値 <sup>※2</sup> (震度)	
		水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直
②-1	N-S						
	E-W						
③④-1	N-S	追而					
	E-W						
③④-2	N-S						
	E-W						
⑤-1	N-S						
	E-W						
⑤-2	N-S						
	E-W						
⑧-1	N-S						
	E-W						

※1 : 1.2 ZPA

※2 : N-S, E-W 方向の値の大きい方

#### 4.7 計算方法

##### 4.7.1 RC部の応力評価

RC部（躯体及び基礎）の応力計算方法を表4-11に示す。

表4-11 RC部（躯体及び基礎）の応力計算方法

応力の種類	単位	応力計算
コンクリート圧縮応力 $\sigma_c$	MPa	解析コード「RC断面計算」により算出
鉄筋の引張応力 $\sigma_s$	MPa	
鉄筋の圧縮応力 $\sigma'_s$	MPa	
せん断応力 $\tau$	MPa	

##### 4.7.2 架構の応力評価

架構の応力計算式を表4-14に示す。

表4-14 架構の応力計算式

応力の種類	単位	応力計算式
引張応力 $\sigma_t$	MPa	$\frac{N_t}{A}$
圧縮応力 $\sigma_c$	MPa	$\frac{N_c}{A}$
曲げ応力 $\sigma_b$	MPa	$\frac{M_y}{Z_y}$ , $\frac{M_z}{Z_z}$
せん断応力 $\tau$	MPa	$\frac{Q_y}{A_{sy}}$ , $\frac{Q_z}{A_{sz}}$
組合せ応力	圧縮+曲げ	$\max\left(\frac{\sigma_c + \sigma_{bx} + \sigma_{by}}{1.5f_c + 1.5f_b}, \frac{\sigma_{bx} + \sigma_{by} - \sigma_c}{1.5f_t}\right)$
	引張+曲げ	$\max\left(\frac{\sigma_t + \sigma_{bz} + \sigma_{by}}{1.5f_t}, \frac{\sigma_{bz} + \sigma_{by} - \sigma_t}{1.5f_b}\right)$
	曲げ+せん断	$\max\left(\frac{\sqrt{(\sigma_c + \sigma_{bz} + \sigma_{by})^2 + 3\tau_z^2}}{1.5f_t}, \frac{\sqrt{(\sigma_c + \sigma_{bz} + \sigma_{by})^2 + 3\tau_y^2}}{1.5f_t}\right)$

軸力が引張の場合は、 $\sigma_c$ を $\sigma_t$ とする。

ここで、

- A : 断面積 (mm)
- $Z_y, Z_z$  : 断面係数 (Y, Z 軸回り) (mm)
- $A_{sy}, A_{sz}$  : せん断断面積 (Y, Z) (mm)
- $N_t, N_c$  : 軸力 (引張, 圧縮) (N)

$M_y, M_z$  : 曲げモーメント (Y, Z 軸回り) (N・mm)  
 $Q_y, Q_z$  : せん断力 (Y, Z 軸) (N)

#### 4.7.3 防護ネット, 防護鋼板取付ボルト及びアンカーボルトの応力評価

防護ネット, 防護鋼板取付ボルト及びアンカーボルトの応力計算式を表4-15に示す。

表4-15 ボルトの応力計算式

応力の種類	単位	応力計算式
引張応力 $\sigma_t$	MPa	$\frac{F_x}{A_b}$
せん断応力 $\tau$	MPa	$\frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{A_b}$
組合せ応力	MPa	$\frac{F_x}{A_b}$

ここで,

$F_x, F_y, F_z$  : 引張力 (X 軸), せん断力 (Y 軸, Z 軸) (N)  
 $A_b$  : ボルトの呼び径断面の断面積 (mm<sup>2</sup>)

5. 評価結果

5.1 DB条件に対する評価結果

表5-1 海水ポンプエリア防護壁の発生応力評価結果（RC部）

評価部位		発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	備考
東側クレーン走行路 嵩上げ壁	コンクリート	追而	13.5	既設部と の境界面
	鉄筋		294	
	せん断		0.675	
西側クレーン走行路 嵩上げ壁	コンクリート		13.5	既設部と の境界面
	鉄筋		294	
	せん断		0.675	
エリア⑤北側壁	コンクリート		13.5	
	鉄筋		294	
	せん断		0.675	
エリア④南側壁 (エリア①北側壁)	コンクリート		13.5	
	鉄筋		294	
	せん断		0.675	
エリア②南側壁, エリア③北側壁	コンクリート	13.5		
	鉄筋	294		
	せん断	0.675		
エリア⑧北側壁	コンクリート	13.5		
	鉄筋	294		
	せん断	0.675		
エリア⑧南側基礎	コンクリート	13.5		
	鉄筋	294		
	せん断	0.675		

表5-2 海水ポンプエリア防護壁の発生応力評価結果（鉄骨造部）

評価部位		発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	備考
②-1	架構			
	アンカー ボルト			
③④-1	架構			
	アンカー ボルト			
③④-2	架構			
	アンカー ボルト			
⑤-1	架構			
	アンカー ボルト			
⑤-2	架構			
	アンカー ボルト			
⑧-1	架構			
	アンカー			

追而

	ボルト				

表5-2 海水ポンプエリア防護壁の発生応力評価結果（ボルト）

評価部位		発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	備考
防護ネット 取付ボルト	引張		追而	
	せん断			
	組合せ			
防護鋼板 取付ボルト	引張			
	せん断			
	組合せ			

5.2 SA 条件に対する評価結果

DB 条件に対する評価結果に同じ。