

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1
提出年月日	平成30年6月6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応力	10
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	10
4.2.2	許容限界	11
4.2.3	使用材料の許容限界	11
4.3	設計用地震力	12
4.4	解析モデル及び諸元	15
4.4.1	固有値解析モデル	15
4.4.2	強度評価モデル	16
4.5	固有周期	20
4.6	計算方法	25
5.	評価結果	27
5.1	DB 条件に対する評価結果	27
5.2	SA 条件に対する評価結果	27

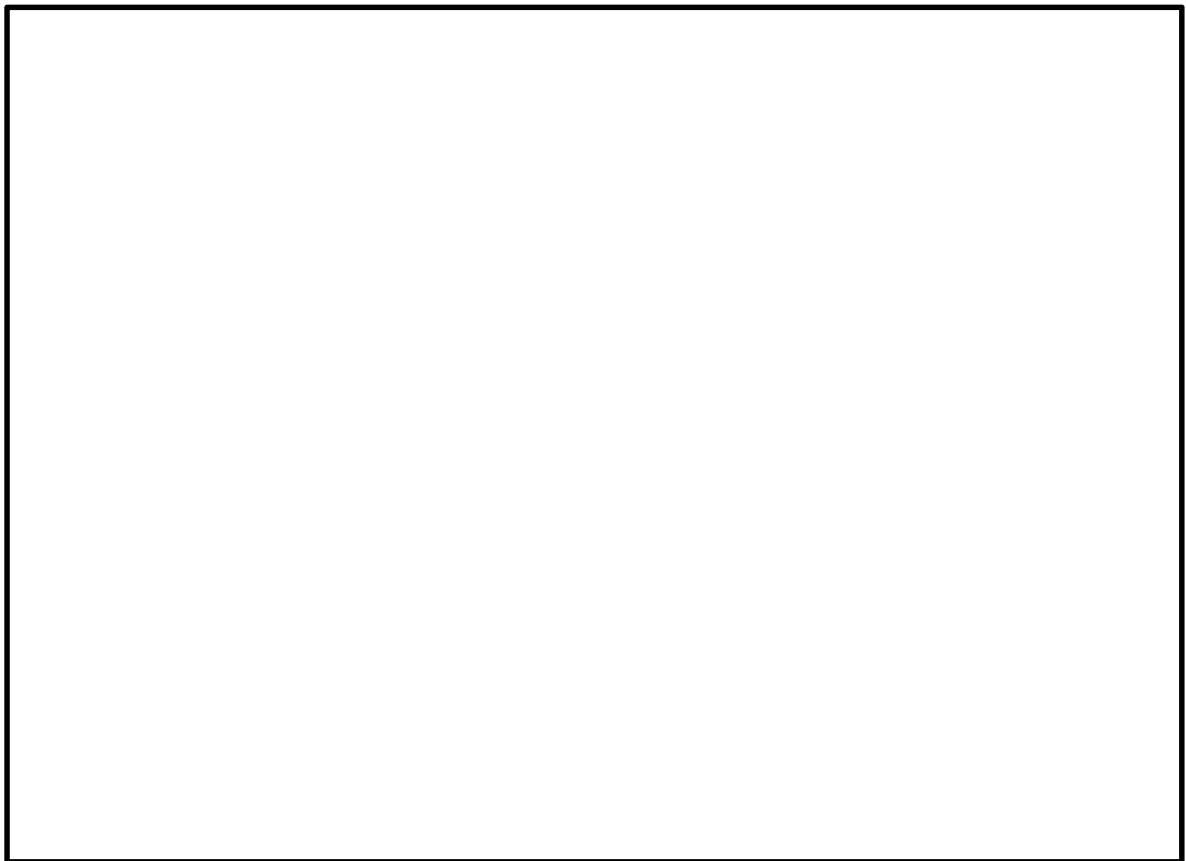
## 1. 概要

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。

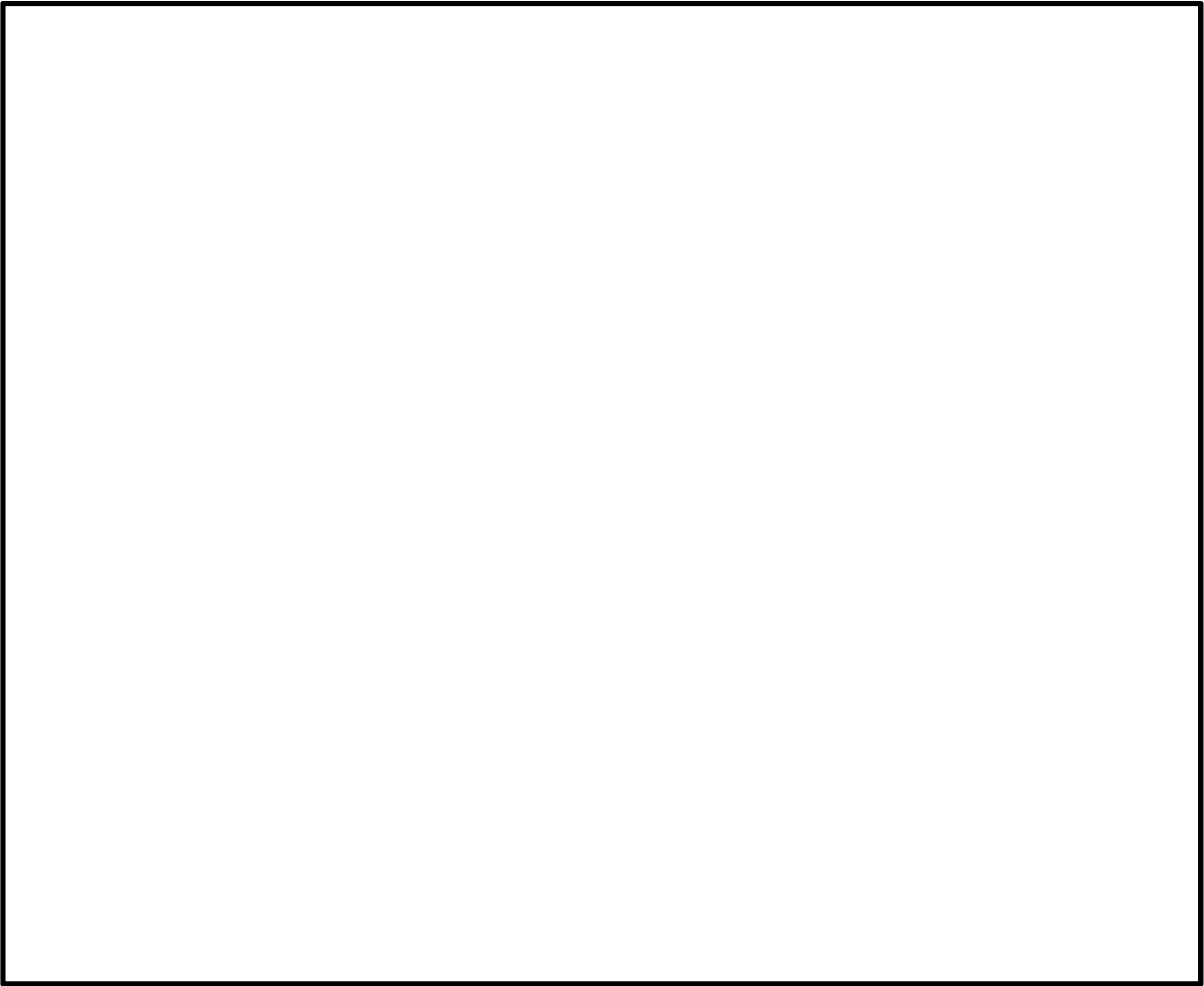


第 2-1 図 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設と残留熱除去系海水系ポンプ，  
残留熱除去系海水系ストレーナ等の位置関係図

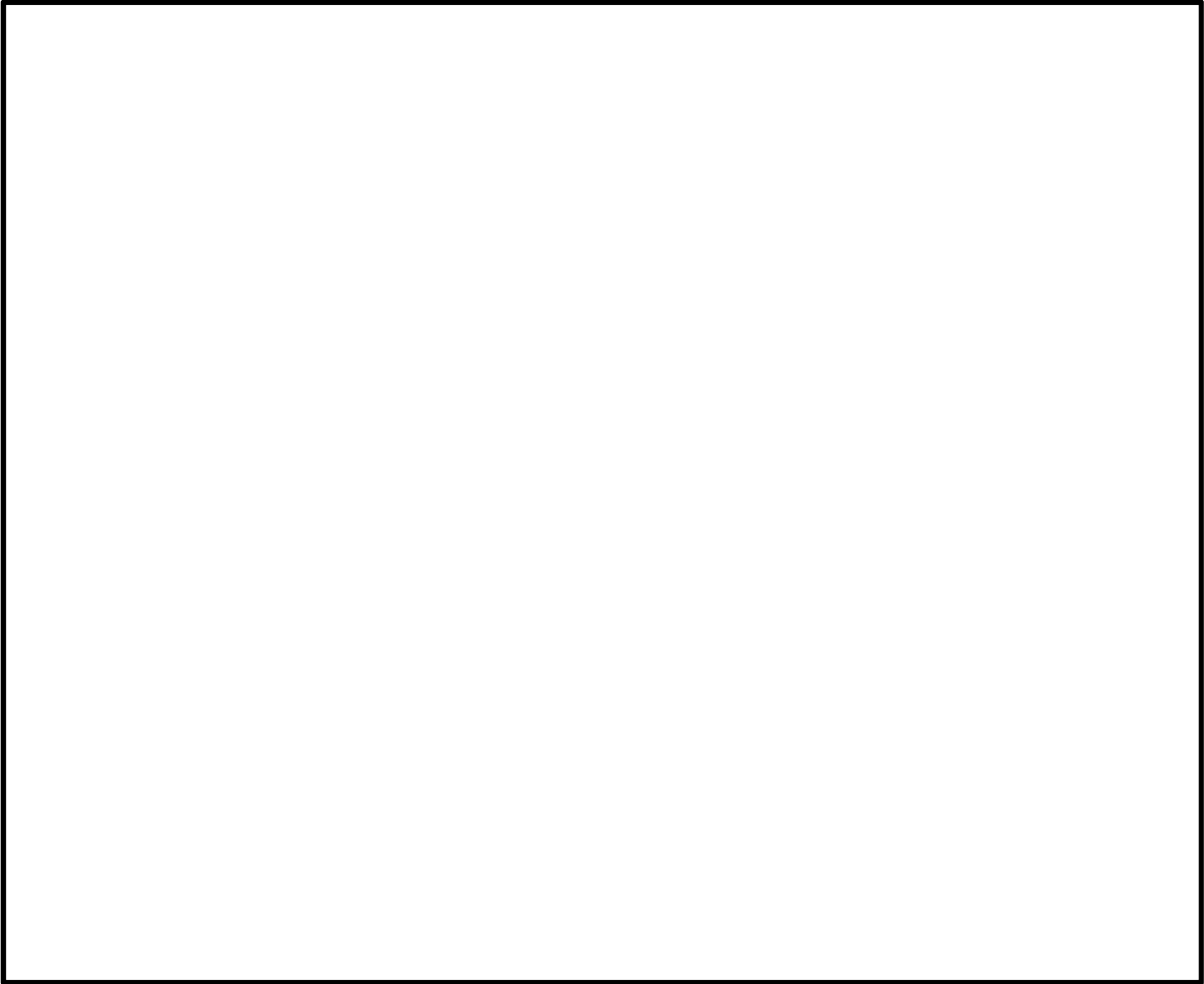
### 2.2 構造計画

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①～⑤】 取水構造物上に設けた鉄筋コンクリート造躯体に、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、鉄筋コンクリート造の取水構造物躯体に伝達する構造とする。</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①～⑤】 取水構造物上に設けた鉄筋コンクリート造躯体に、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、鉄筋コンクリート造の取水構造物躯体に伝達する構造とする。</p>	

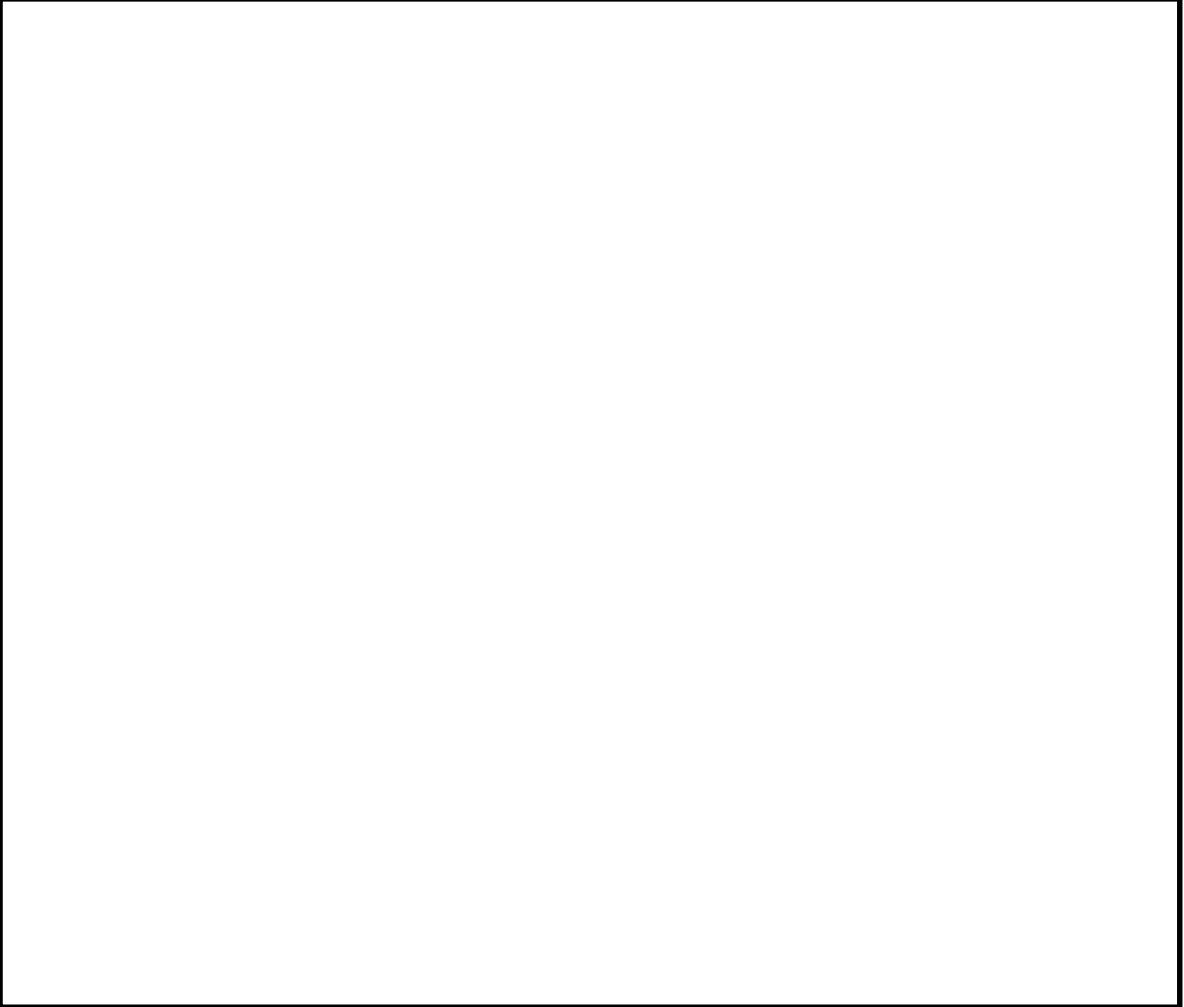
第 2-1 表 構造計画 (3/5)

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、鉄骨架構を介して鉄筋コンクリート造の取水構造物躯体に伝達する構造とする。</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<b>架構</b>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<b>架構</b>を介して鉄筋コンクリート造の取水構造物躯体に伝達する構造とする。</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、鉄骨架構を介して鉄筋コンクリート造の取水構造物躯体に伝達する構造とする。</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関する参考資料 12. 竜巻等防護設備による地震時反力を考慮した取水構造物部材の耐震評価」に示す。）

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。

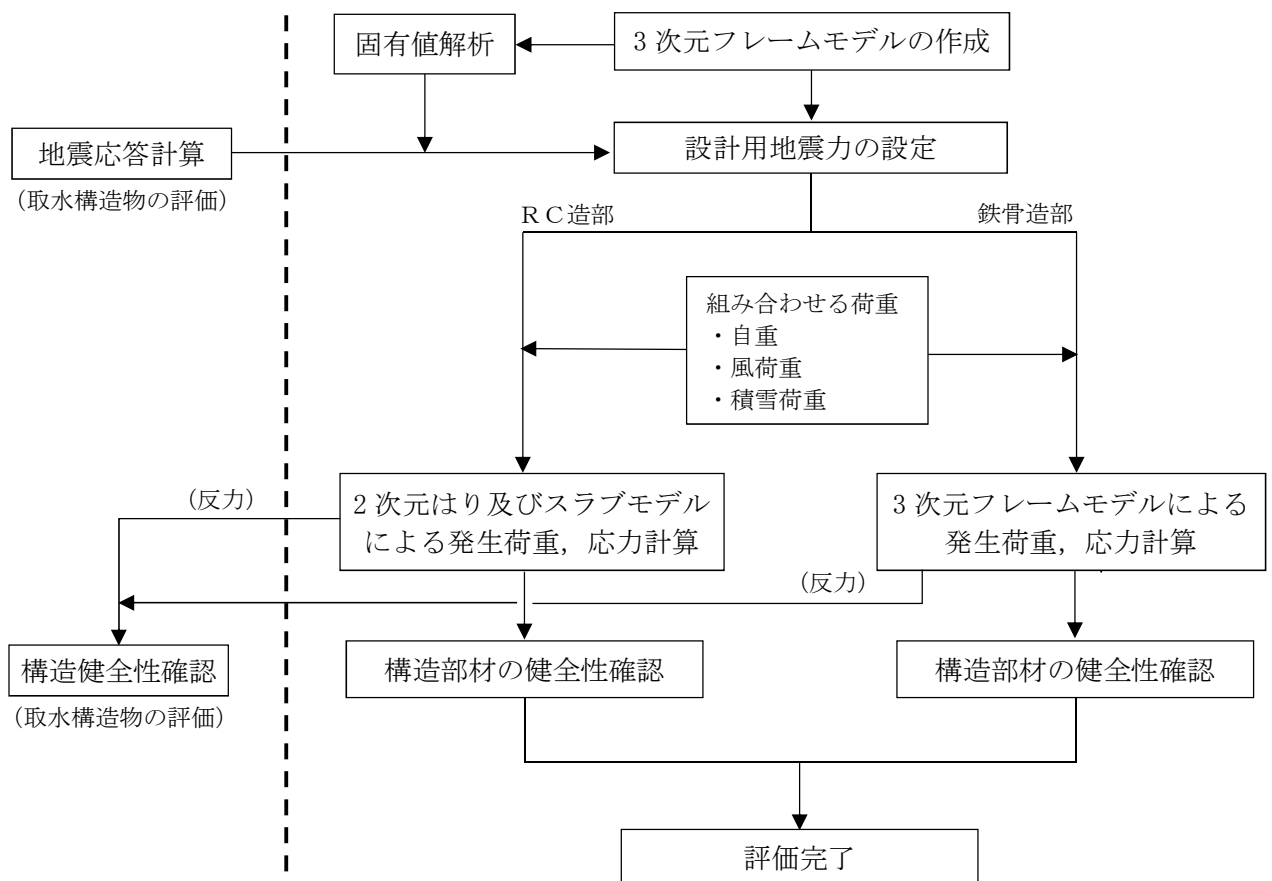


図 2-1 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の耐震評価フロー

## 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 J E A G 4 6 0 1・補-1984, J E A G 4 6 0 1-1987 及び J E A G 4 6 0 1-1991 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)
- (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。)) J S M E S N C 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

### 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①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①からエリア⑤についてはRC造躯体及び防護ネット取付架構並びに防護ネット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、防護ネット及び防護鋼板取付ボルトを示す。

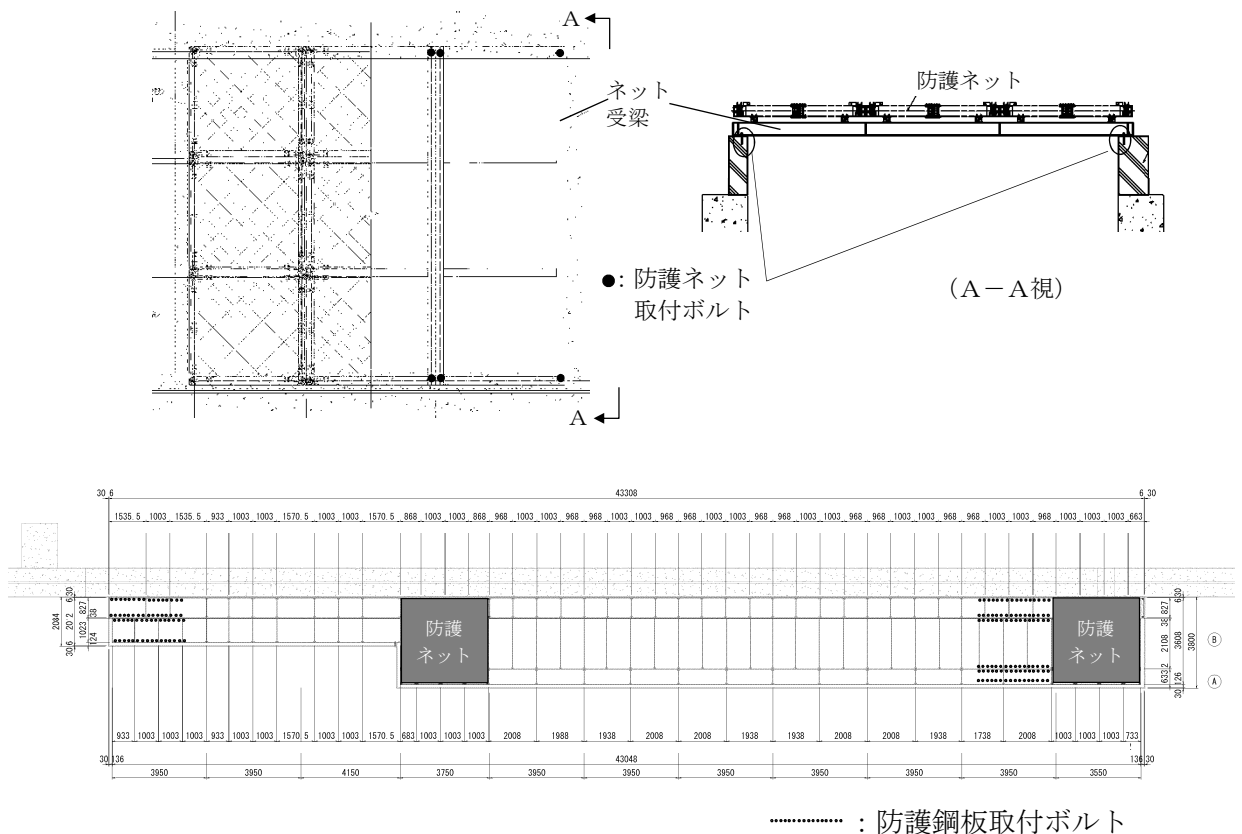


図3-1 防護ネット及び防護鋼板取付ボルト

#### 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
鉄筋コンクリート	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応力

###### 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。

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>• <b>III<sub>A</sub>S</b>（鋼構造部）*</li> <li>• 短期許容応力度（RC造部）</li> </ul>

\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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>• <b>III<sub>A</sub>S</b>（鋼構造部）*</li> <li>• 短期許容応力度（RC造部）</li> </ul>

\*：その他の支持構造物荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

#### 4.2.2 許容限界

海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の許容限界の考え方を表4-4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

#### 4.2.3 使用材料の許容限界

海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の許容限界を表4-5に示す。

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			
					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	(注 1)	(注 2)
	SM400 (t ≤ 16)		245	400	245	141		
アンカー ボルト	S45C		345	570	258	199		
防護ネット 取付ボルト	S45C		345	570	258	199	—	—
	F8T		追而				—	—
防護鋼板 取付ボルト	SS400 (t ≤ 16)	245	400	183	141	—	—	

注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。

注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)

Su : 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)

鉄筋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, 鉄筋コンクリートの許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

表 4-6 鉄筋コンクリートの許容応力 (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，取水構造物の床応答曲線を用いる。

また，減衰定数は「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」を踏まえ設定する。

設計用地震力について，表4-7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）

評価部位	据付場所及び 床面高さ (m)	設計用床応答曲線			備考
		建屋及び 高さ	方向	減衰 定数	
エリア① ～ エリア⑤	取水構造物上 E. L. +6.3	取水構造物 E. L. +6.3	水平	1 %	図4-1における節点番号37001及び37095を包絡させる 水平方向は， $S_{s1} \sim 8$ のX,Y方向それぞれの包絡曲線を，鉛直方向は $S_{s1} \sim 8$ の包絡曲線を用いる。
			鉛直	1 %	
エリア⑧	取水構造物上 E. L. +3.0	取水構造物 E. L. +3.0	水平	1 %	図4-1における節点番号37235及び37247を包絡させる。 水平方向は， $S_{s1} \sim 8$ のX,Y方向それぞれの包絡曲線を，鉛直方向は $S_{s1} \sim 8$ の包絡曲線を用いる。
			鉛直	1 %	

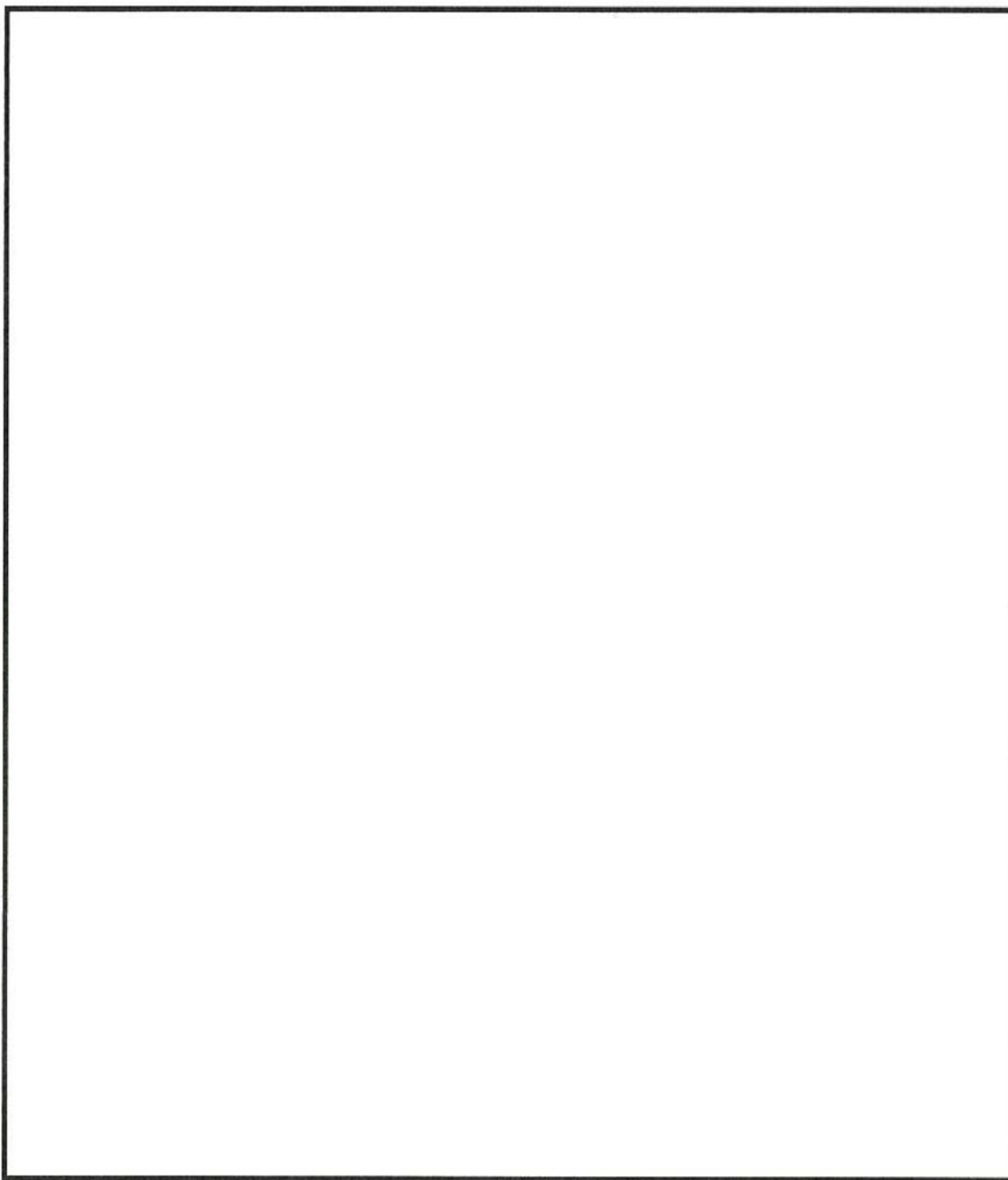


図4-1 評価用地震動の抽出位置



#### 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①～⑤のRC造部分については，剛体と考えられるため固有値解析は実施しない。

エリア①～⑤及びエリア⑧の鉄骨架構については，図4-2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。

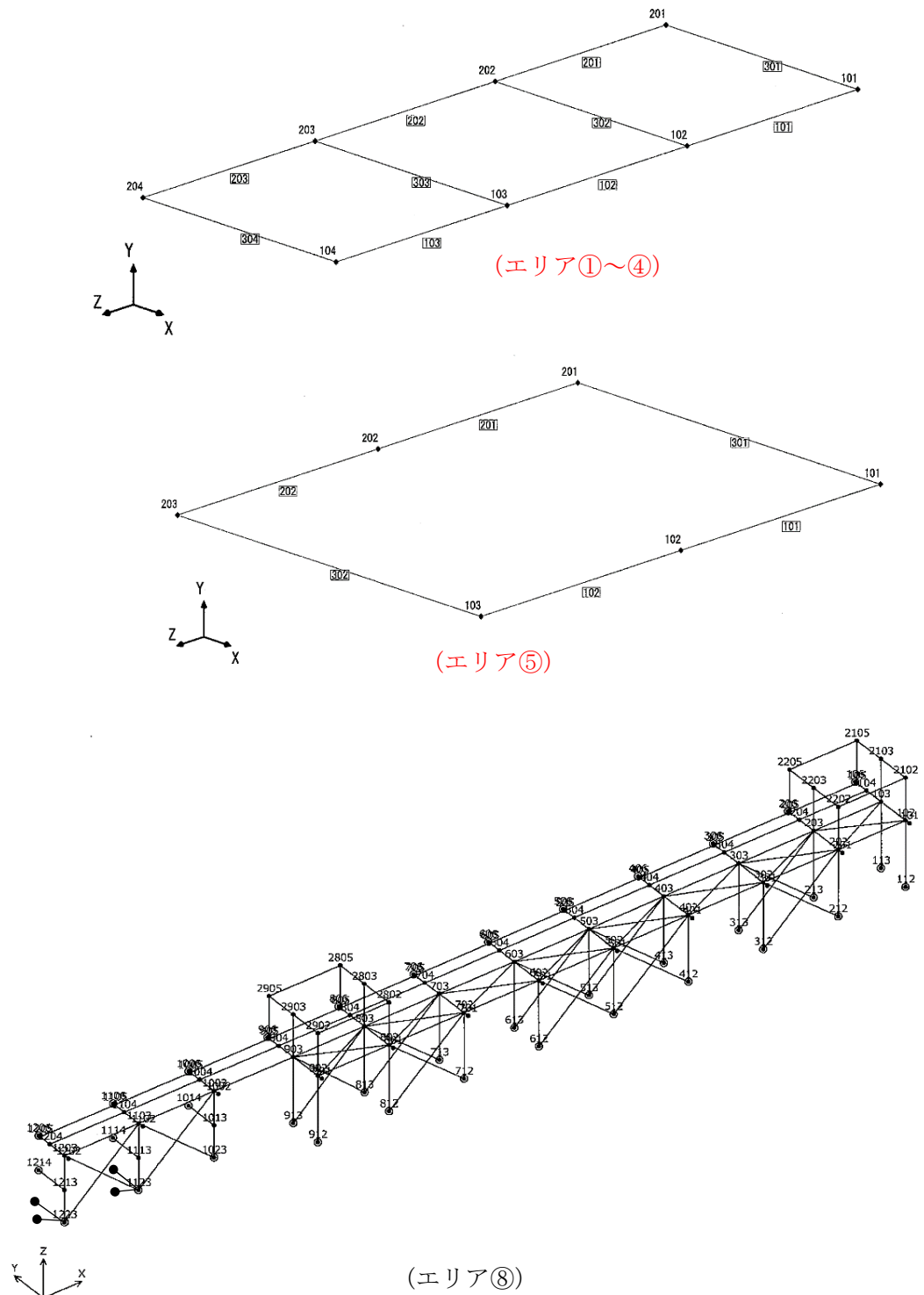


図4-2 固有値解析モデル

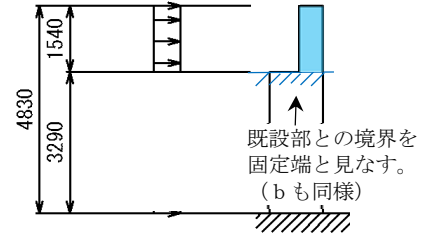
#### 4.4.2 強度評価モデル

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4-3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。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

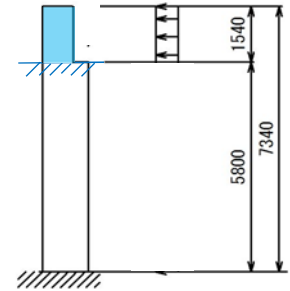
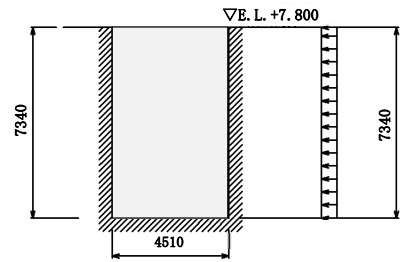


図4-3 強度評価モデル (エリア①～⑤) (1/4)

c. エリア⑤北側壁



d. エリア①北側壁

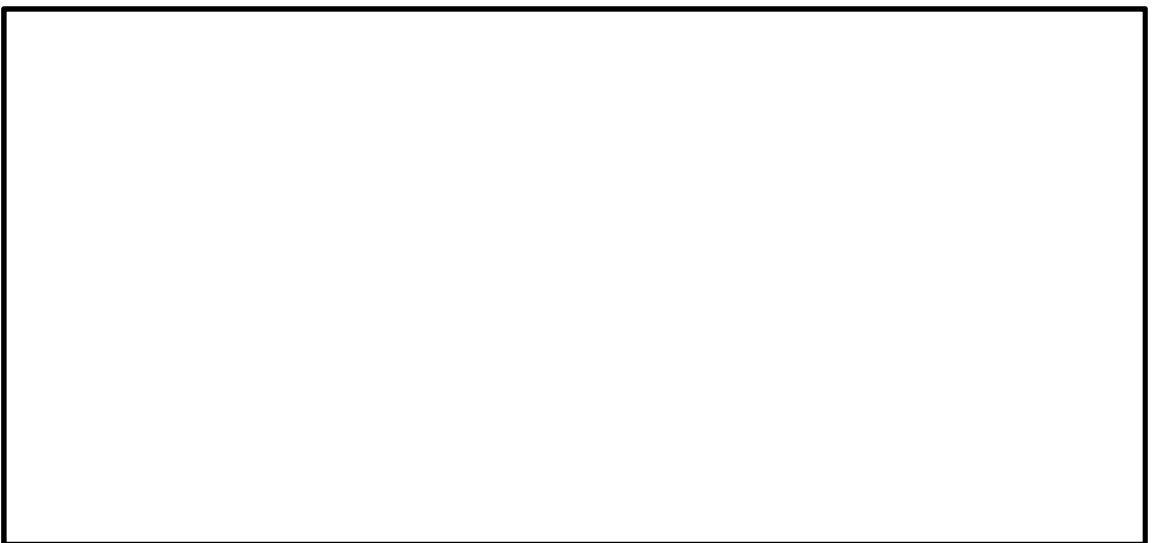
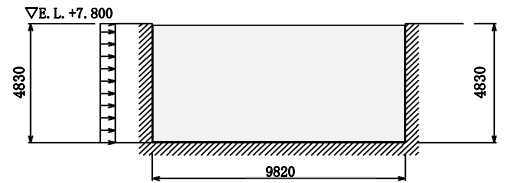
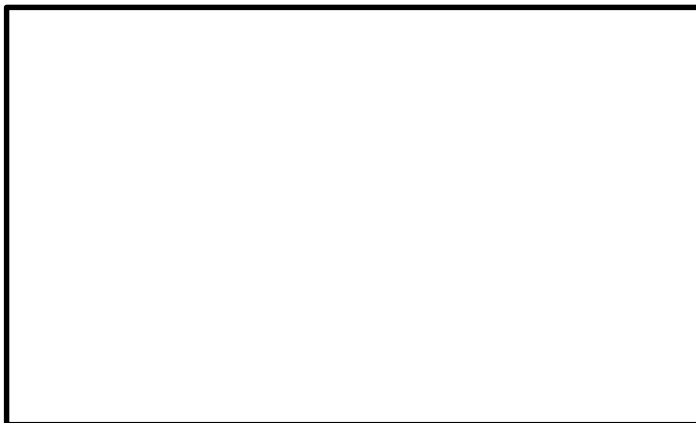
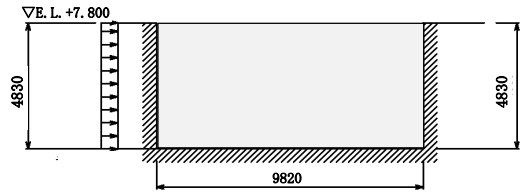


図4-3 強度評価モデル (エリア①～⑤) (2/4)

e. エリア④南側壁



f. エリア②南側壁、エリア③北側壁

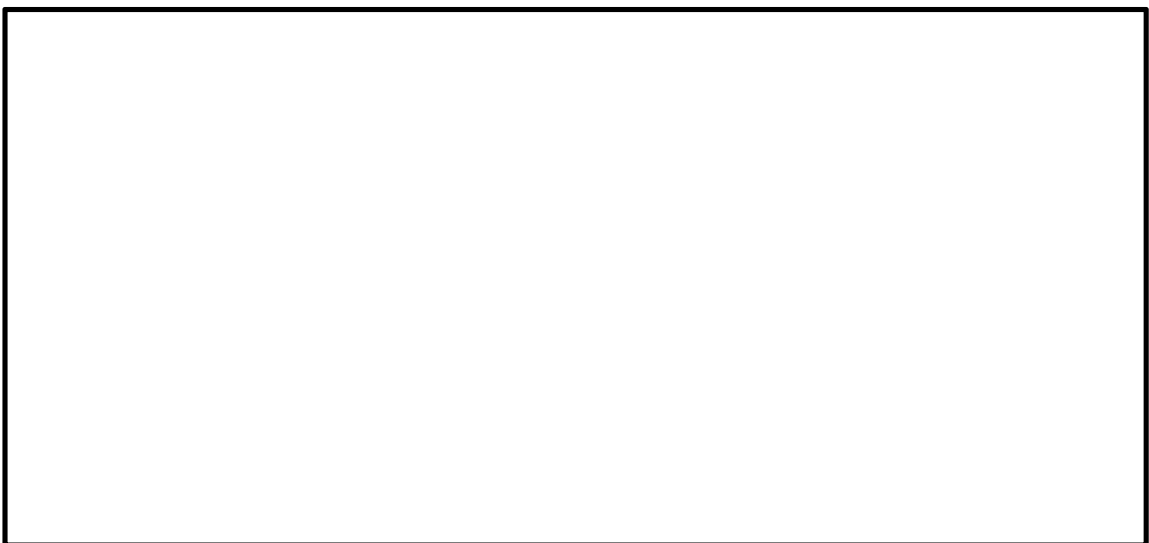
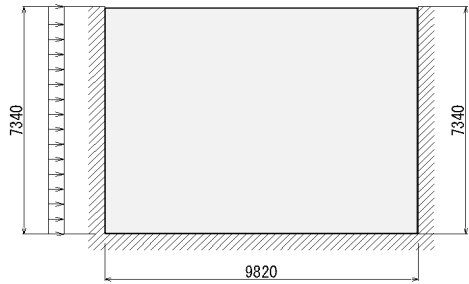


図4-3 強度評価モデル (エリア①～⑤) (3/4)

表4-9 施設諸元（鉄筋コンクリート）

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

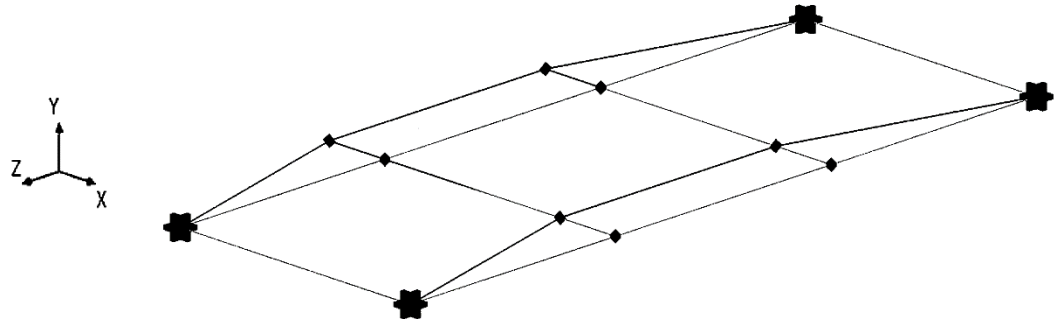
#### 4.5 固有周期

固有値解析の結果を表4-10に、振動モードを図4-4に示す。

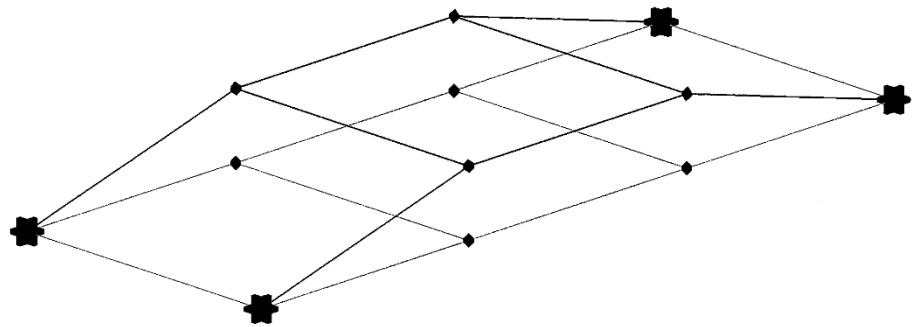
表4-10 固有振動数

部位	振動 次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数			卓越 方向
			X方向 (NS)	Y方向 (UD)	Z方向 (EW)	
エリア ①～④	1	3.739	-2.394	0	0	X
	2	4.810	0	2.394	0	Y
	7	103.296	0	0	2.302	Z
エリア⑤	2	13.040	-1.456	0	0	X
	3	19.910	0	1.456	0	Y
	5	197.296	0	0	1.456	Z
エリア⑦	1	11.056	-0.097	-0.022	-2.796	Z
	4	20.941	-3.410	-0.047	-0.653	X
	6	27.734	0.025	-2.055	0.006	Y
エリア⑧	7	13.260	0.016	-0.046	-3.115	Z
	13	30.292	-6.753	0.097	0.017	X
	26	63.089	0.002	-3.403	-0.083	Y

X (南北) 方向卓越  
・ 1 次 (0.267 sec)



Y (鉛直) 方向卓越  
・ 2 次 (0.048 sec)



Z (東西) 方向卓越  
・ 7 次 (0.01sec)

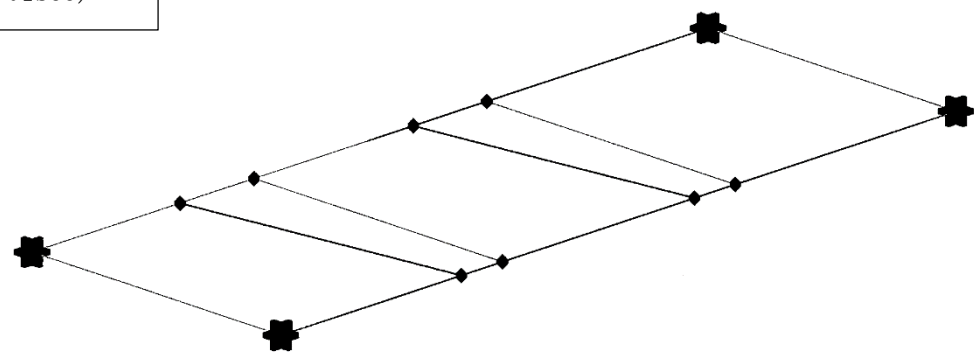
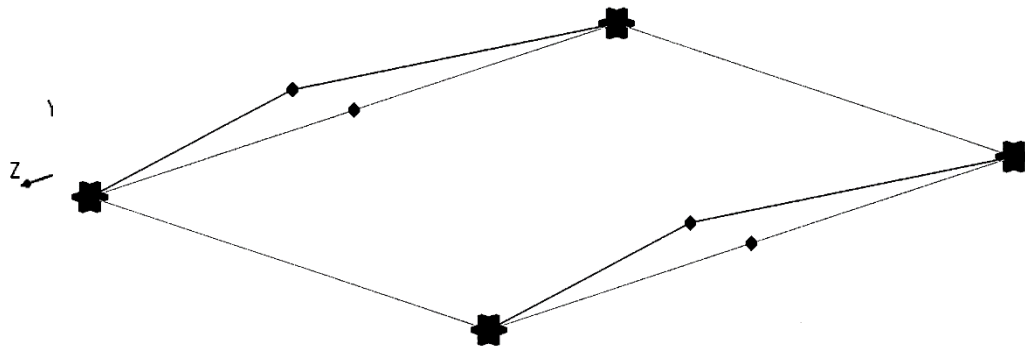
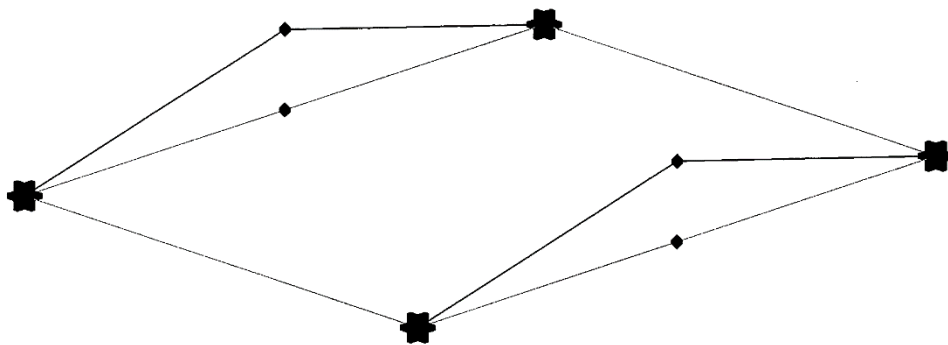


図4-4 振動モード図 (1/4) (エリア①～④)

X (南北) 方向卓越  
・ 2次 (0.077 sec)



Y (鉛直) 方向卓越  
・ 3次 (0.050 sec)



Z (東西) 方向卓越  
・ 5次 (0.005sec)

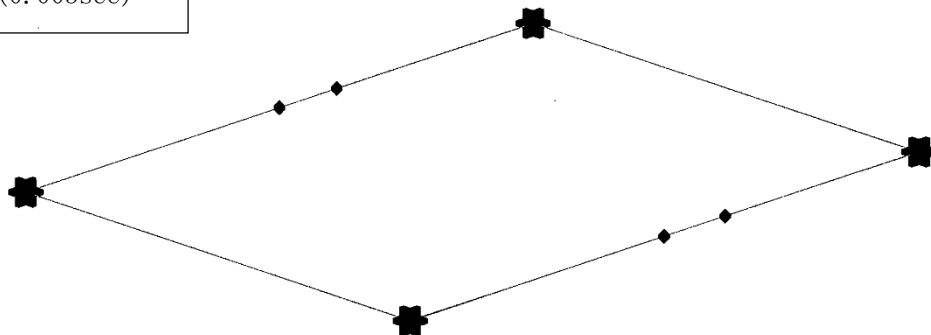


図4-4 振動モード図 (2/4) (エリア⑤)



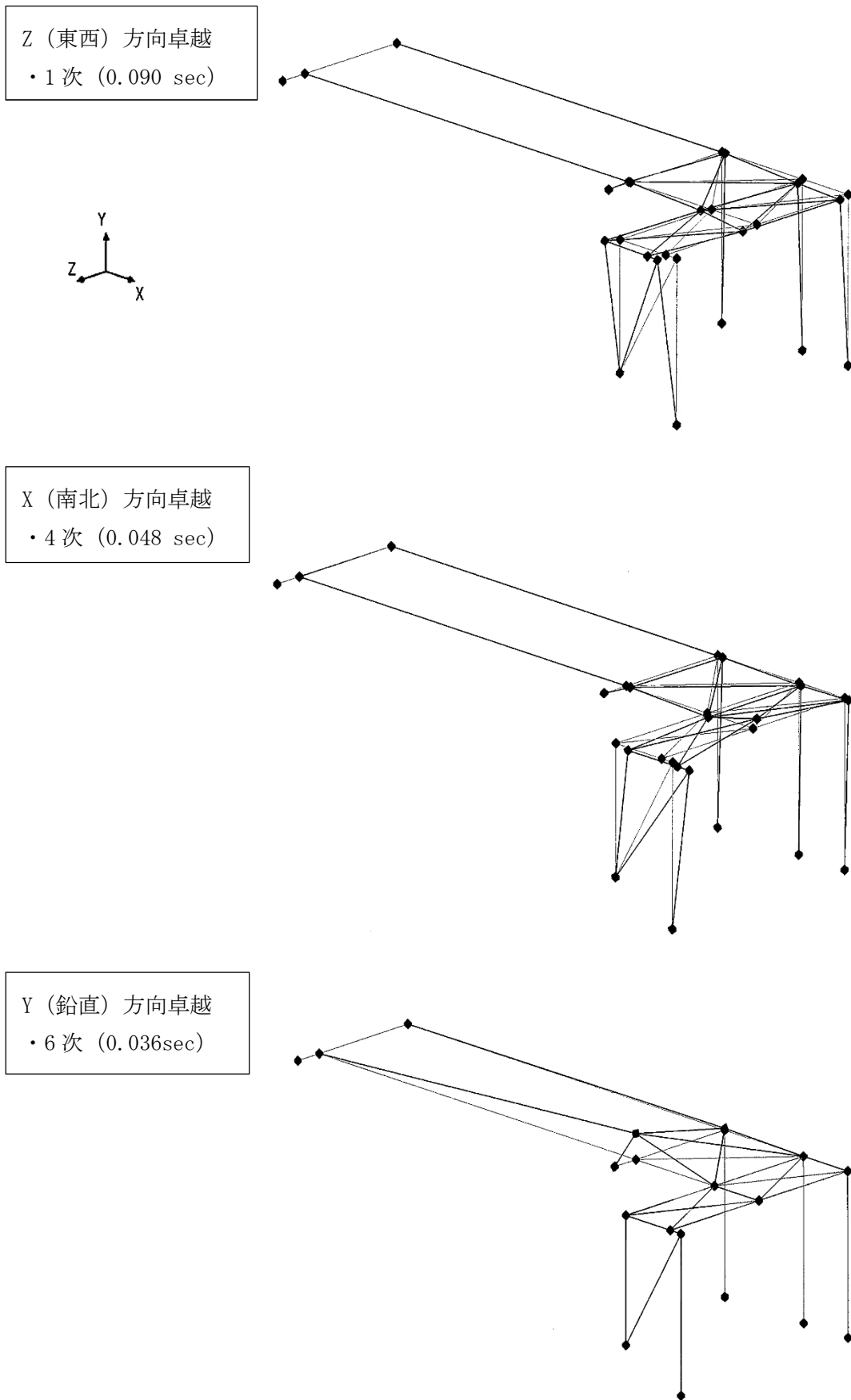
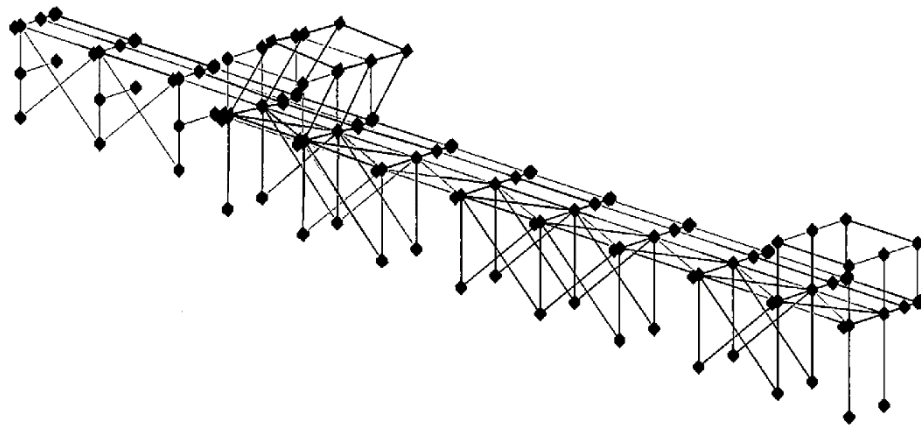
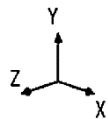
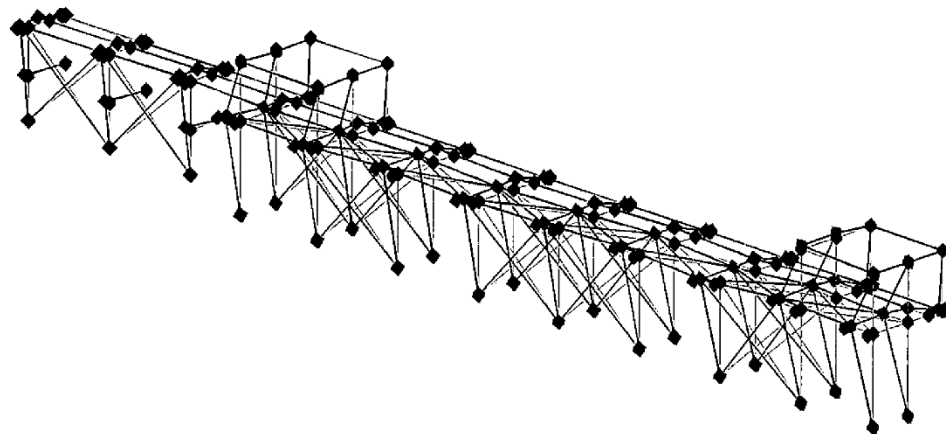


図4-4 振動モード図 (3/4) (エリア⑦)

Z (東西) 方向卓越  
・ 7 次 (0.075 sec)



X (南北) 方向卓越  
・ 13 次 (0.033 sec)



Y (鉛直) 方向卓越  
・ 26 次 (0.016sec)

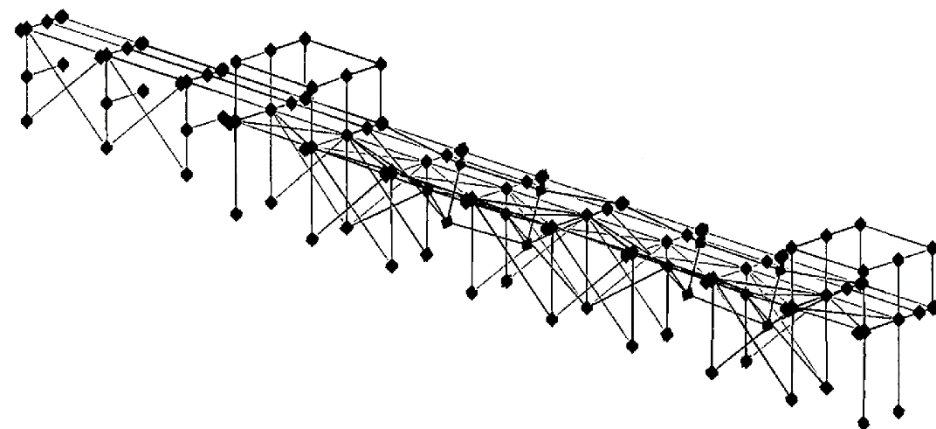


図4-4 振動モード図 (4/4) (エリア⑧)

#### 4.6 計算方法

##### 4.6.2 鉄筋コンクリート部の応力評価

鉄筋コンクリート部（躯体及び基礎）の応力計算方法を表4-11に示す。

表4-11 鉄筋コンクリート部（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	

##### 4.6.2 架構の応力評価

架構の応力計算式を表4-12に示す。

表4-12 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	$\max \left( \frac{\sigma_c + \sigma_{bx} + \sigma_{by}}{1.5f_c^*} + \frac{\sigma_{bx} + \sigma_{by} - \sigma_c}{1.5f_t^*} \right)$
	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)

#### 4.6.3 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4-13に示す。

表4-13 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	せん断+引張	—	$\frac{F_x}{A_b}$

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

追而

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。