

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0
提出年月日	平成30年5月28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. 基本方針	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造説明	1
2.3 評価方針	1

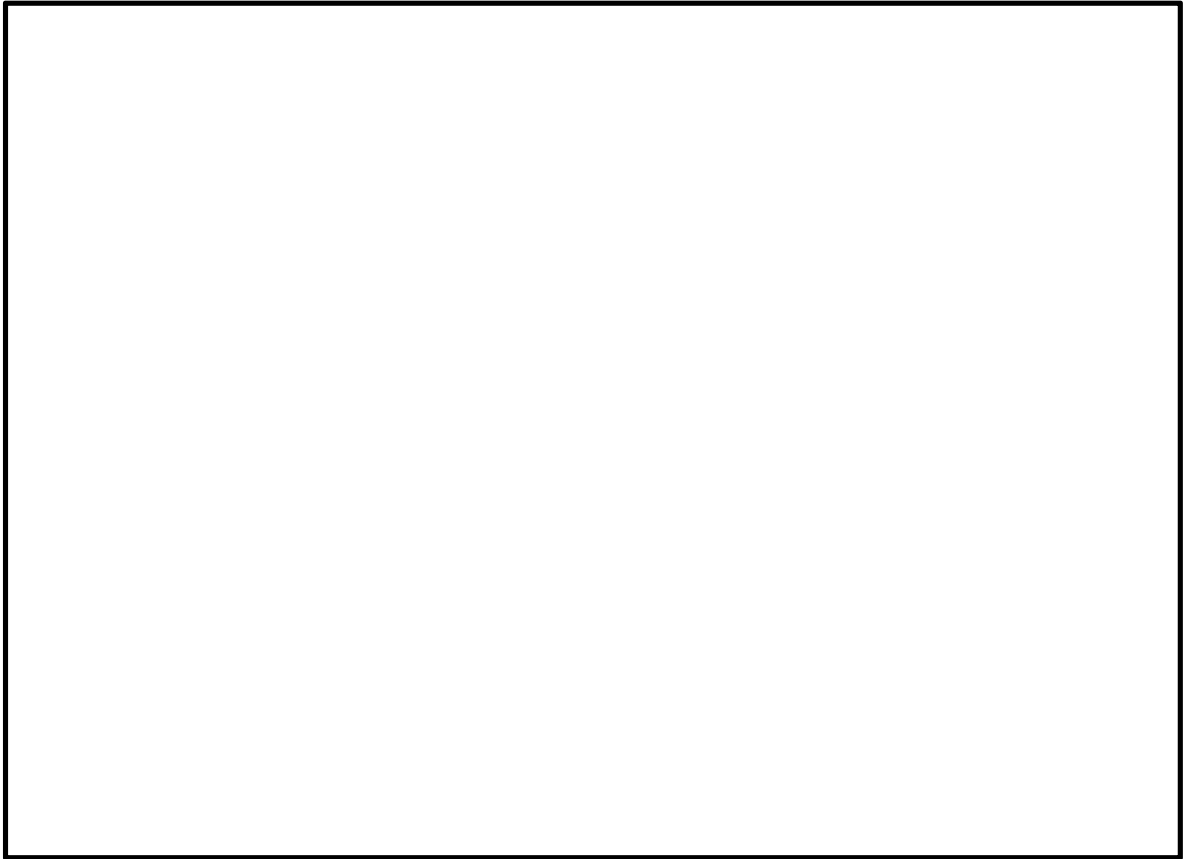
1. 概要

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。

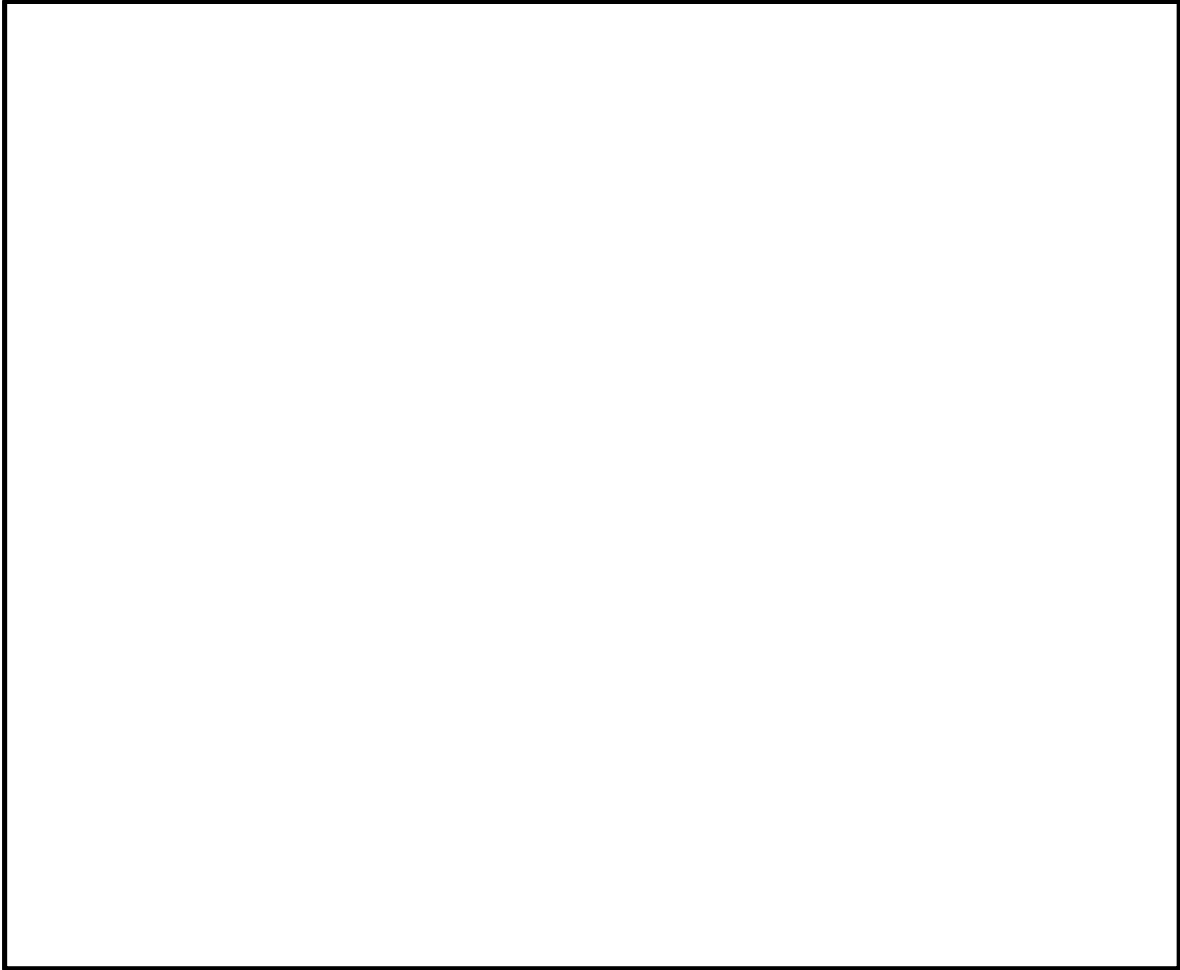


第2-1図 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設と残留熱除去系海水系ポンプ、残留熱除去系海水系ストレーナ等の位置関係図

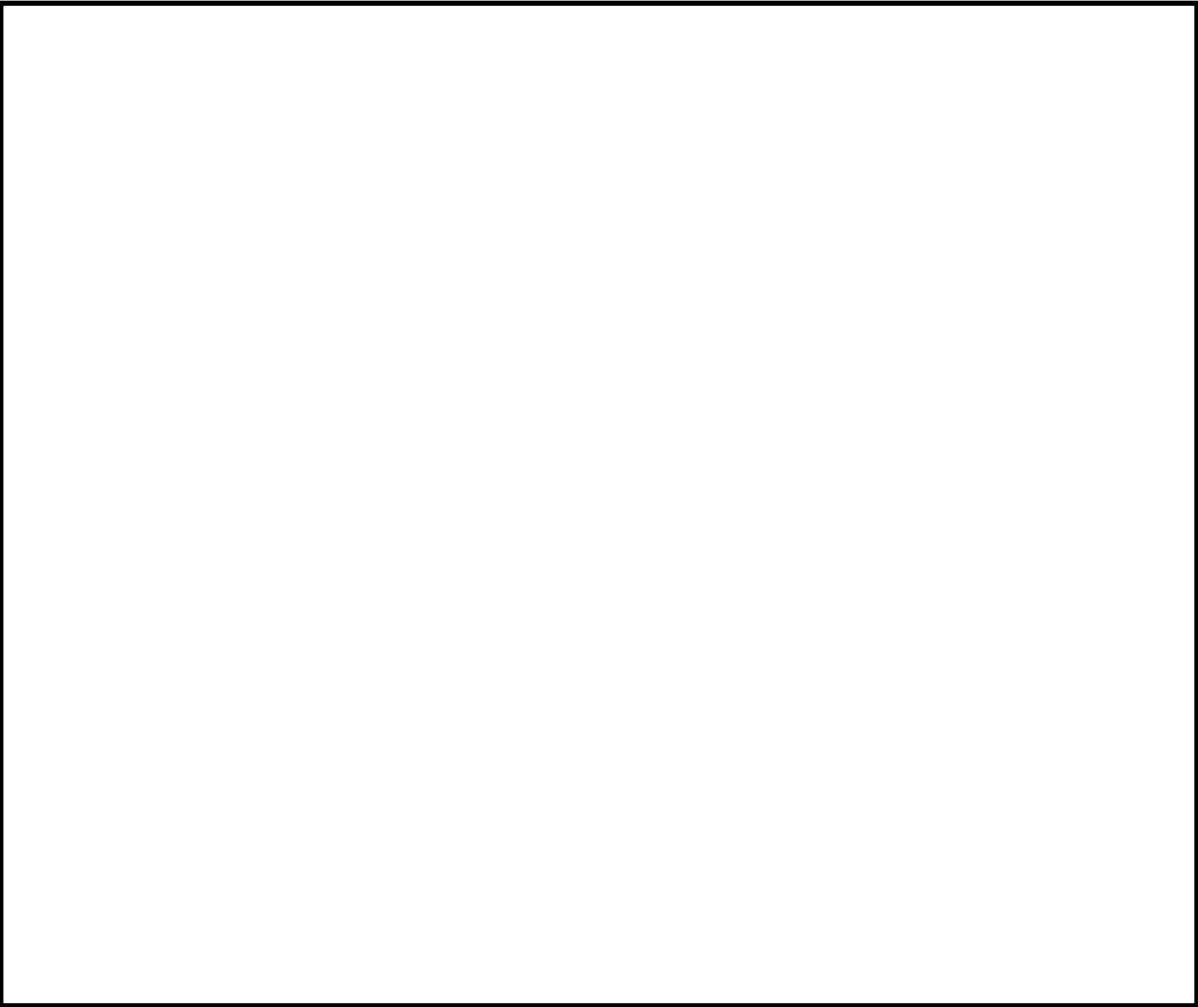
2.2 構造計画

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。

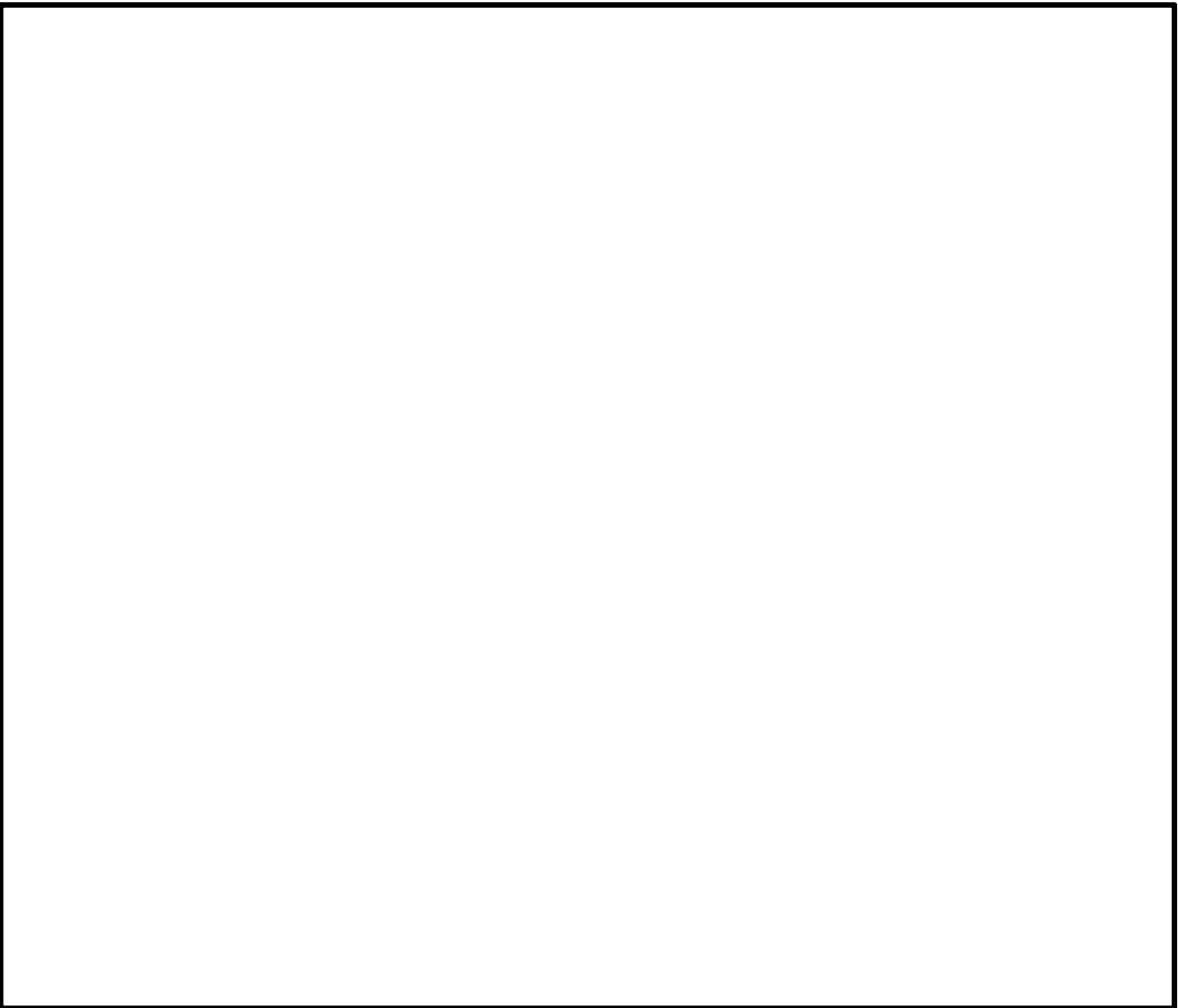
第 2-1 表 構造計画(1/3)

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(2/3)

計画の概要		概略構造図
主体構造	基礎・支持構造	
<p>【エリア⑦】 取水構造物の外縁に設けた鉄骨造躯体に、防護鋼板を設置。</p>	<p>防護鋼板に作用する荷重は、架構を介して周辺地盤及び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(3/3)

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造躯体に、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、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、2次元はりモデル等の式による評価及び3次元はりモデルによるフレーム解析を行う。

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。

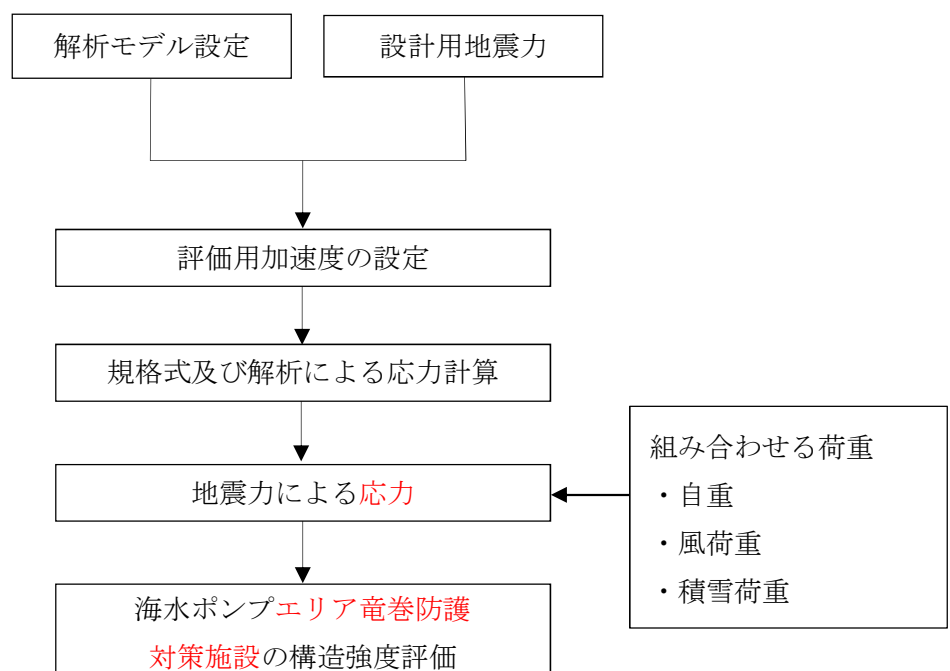


図 2-1 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の耐震評価フロー

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)
- (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) 及び 2012 年 (設計編) 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、鉄筋コンクリート造の躯体に上載された防護ネットを有する構造となっている。また、エリア⑦及びエリア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。

よって、防護ネットの落下若しくは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、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、エリア①からエリア⑤については鉄筋コンクリート造躯体並びに防護ネットと躯体の取付ボルトを選定して実施する。エリア⑦及びエリア⑧については、鉄骨架構及びアンカーボルト並びに架構と防護ネット及び防護鋼板の取付ボルト並びに地中に埋め込まれている基礎コンクリートを、評価箇所として選定する。

埋込の基礎コンクリートの配置と形状については、図 3-1 に示す。

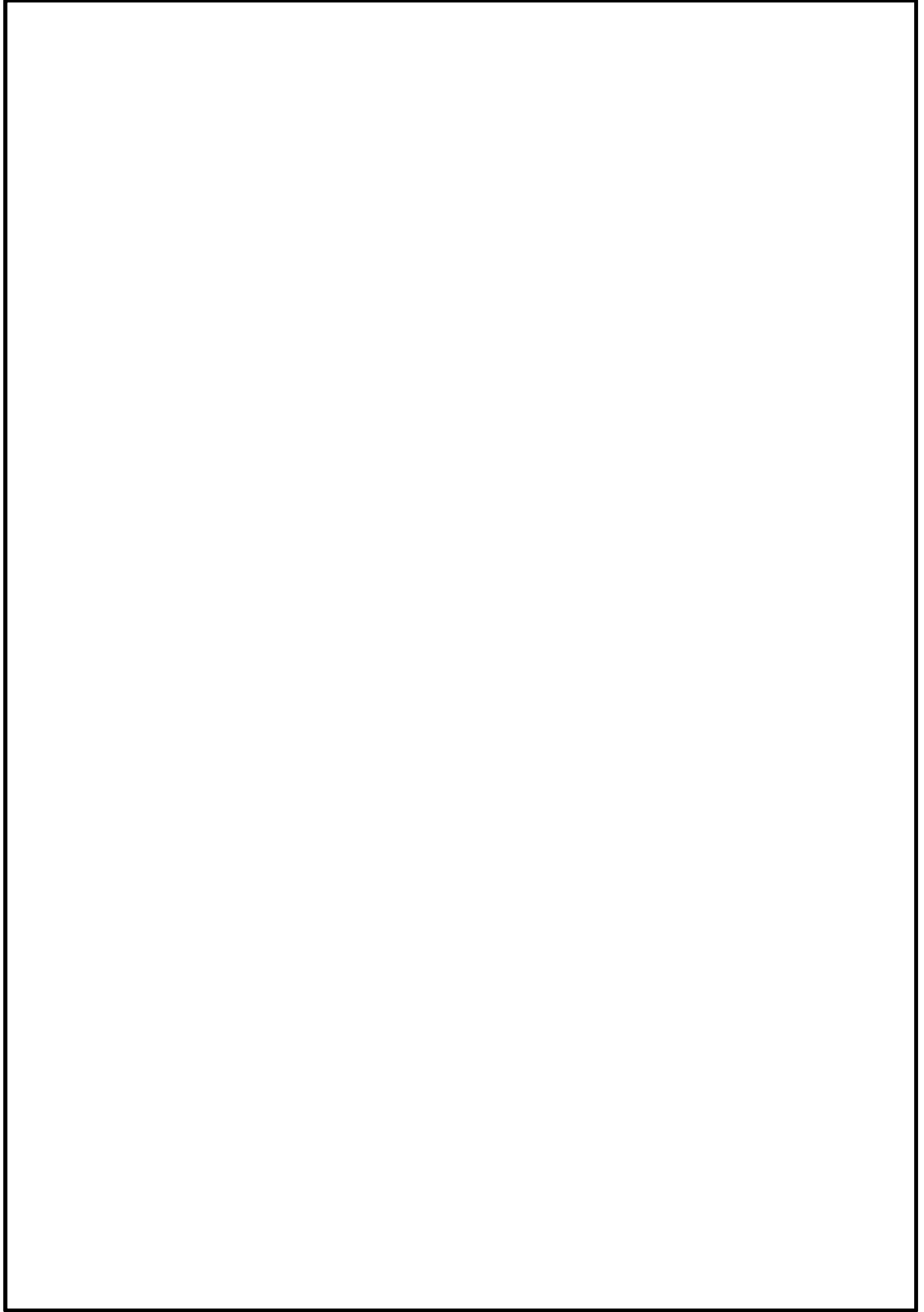


図 3-1 エリア⑦,⑧の基礎コンクリートの評価箇所 (1/2)

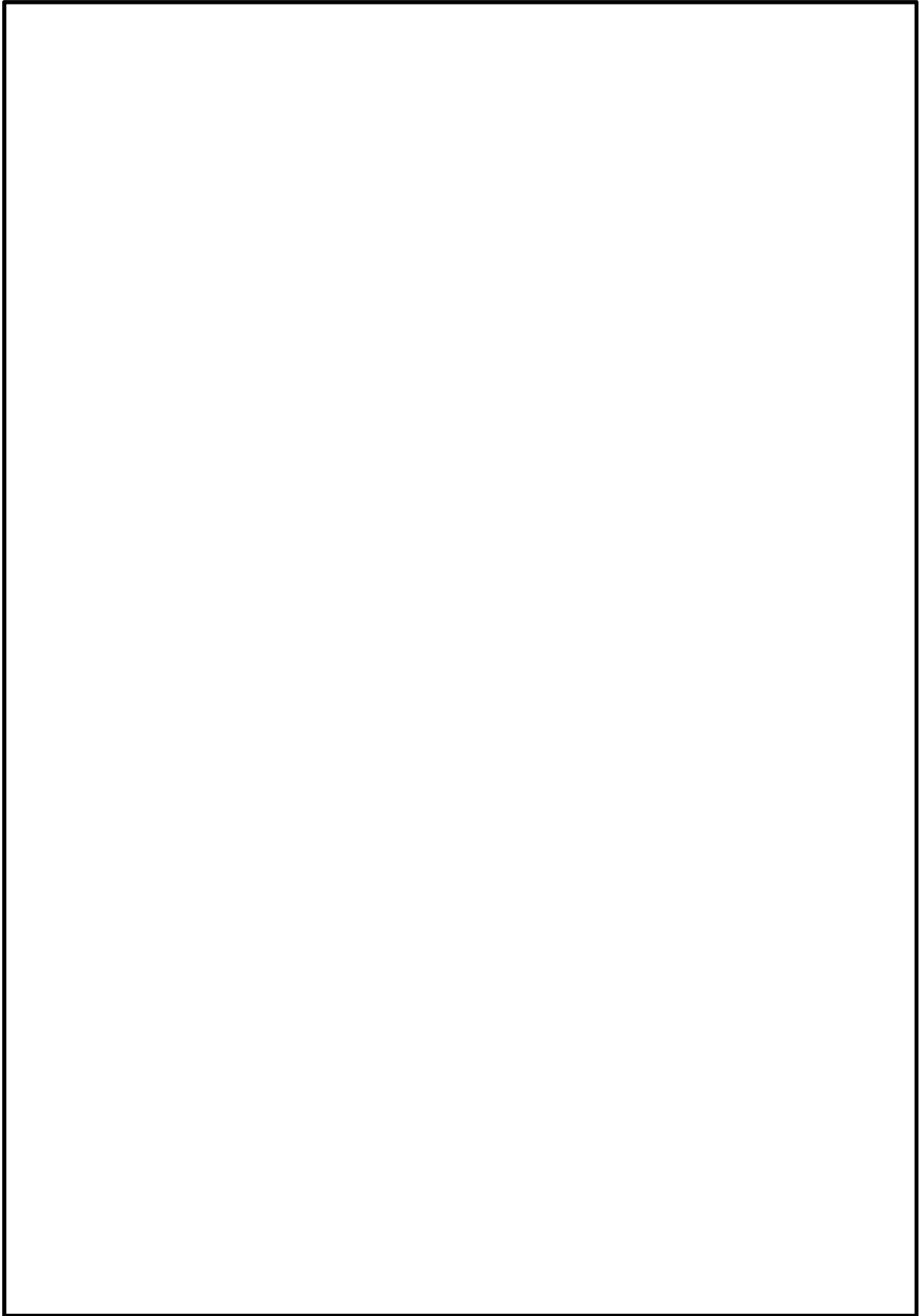


図 3-1 エリア⑦, ⑧の基礎コンクリートの評価箇所 (2/2)

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 躯体	応力（曲げ，せん断）
鉄骨架構	応力（曲げ，せん断）
基礎コンクリート	応力（曲げ，せん断） 安定性（地盤の支持力）
アンカーボルト，防護 ネット及び防護鋼板取 付ボルト	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。

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，表4-6及び表4-8に示す。

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，表4-7及び表4-9に示す。

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"> • $IV_A S$ (鋼構造部) * • 短期許容地盤反力 (基礎)

* : 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"> • $IV_A S$ (鋼構造部) * • 短期許容地盤反力 (基礎)

* : 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。

表4-4 鋼構造部の許容応力

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
IV _A S	1.5 f _t *	1.5 f _s *	1.5 f _c *	1.5 f _b *	1.5 f _t *	1.5 f _s *

*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。

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	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	許容応力			
						1.5 f _t *	1.5 f _s *	1.5 f _c *	1.5 f _b *
架構	SS400	周囲 環境 温度	40					(注 1)	(注 2)
	SM400								
	SM490								
ボルト	S45C							—	—

注1 : f_cはJSME S NC1-2005/2007 SSB-3121.1(3)の規定に基づき算出する。

注2 : f_bは JSME S NC1-2005/2007 SSB-3121.1(4)の規定に基づき算出する。

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) 」, 「道路土工 カルバート工指針 ((社) 日本道路協会 平成 21 年度版) 」に基づき, 表 4-7 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 4-7 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 ²)
コンクリート	設計基準強度 24 N/mm ² *1	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	13.5*1
		許容せん断応力度 τ_{a1}	0.675*2
鉄筋	SD345*1	許容曲げ引張応力度 σ_{sa2} (軸方向鉄筋)	294
		許容曲げ引張応力度 σ_{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

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

τ_{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

σ_{sa2} : 鉄筋の許容引張応力度

s : 斜め引張鉄筋間隔

表4-8 地盤の安定性評価の許容荷重

定義	許容限界*1
	地盤反力
道路橋示方書に おける短期許容地盤反力	$1.5 f_r$

f_r : 示方書より定まる常時許容地盤反力

表 4-9 基礎部の許容応力 (DB 条件及び SA 条件)

評価部材	地盤反力 (kN/m ²)
	$1.5 f_{bc}$
基礎地盤	450

4.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震動又は地震力については、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又は地震力として、基準地震動 S_s 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」に基づく。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。

表 4-10 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)	設計用応答			備考
		場所	方向	減衰 定数	
エリア① から 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	3 %	図4-1における節点番号37001及び37095を包絡させる
			鉛直	3 %	
エリア⑦	地表面 E. L. +3.0	地表面	水平	3 %	図4-1参照
			鉛直	3 %	
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	3 %	図4-1における節点番号37235及び37247を包絡させる
			鉛直	3 %	

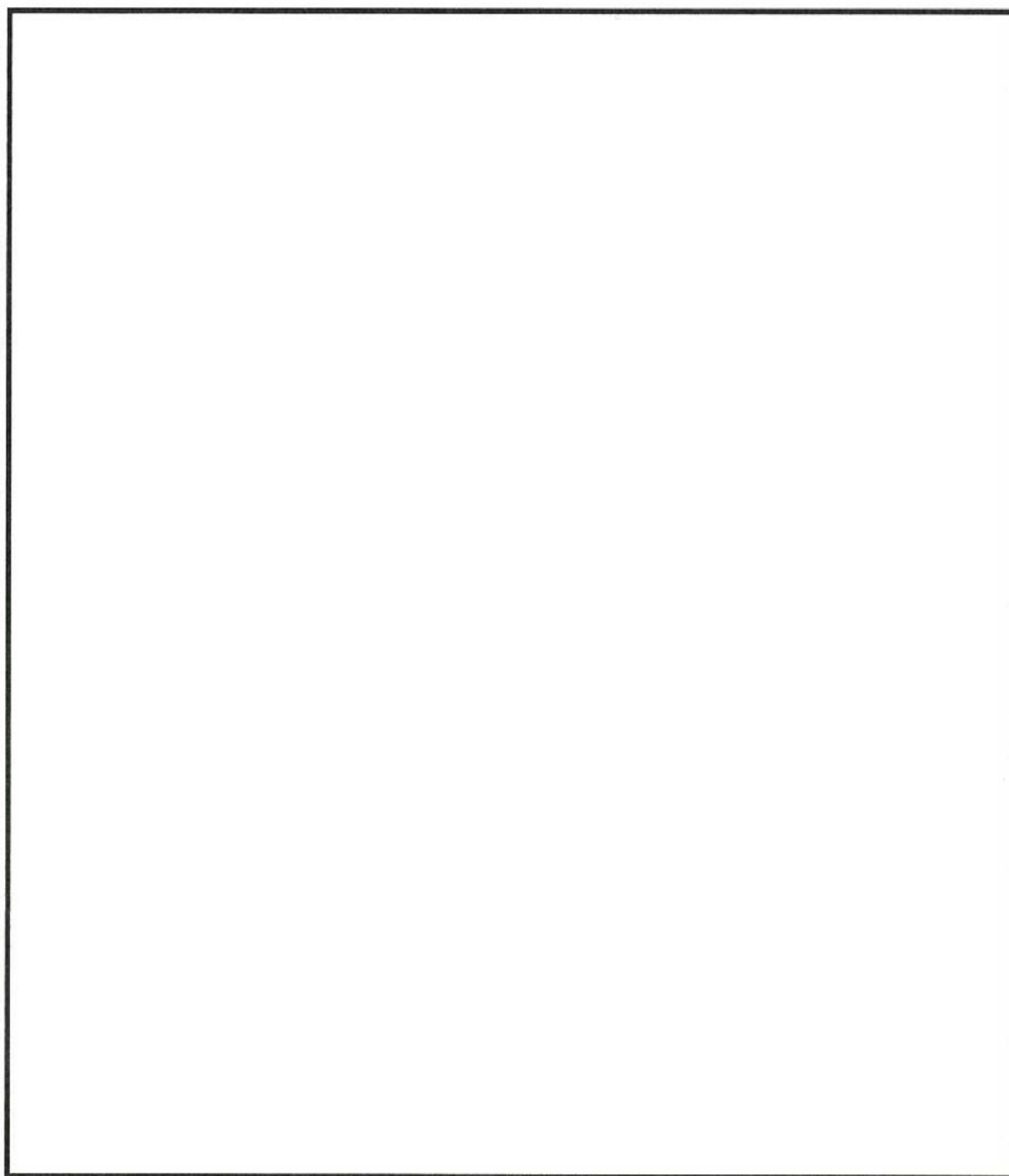


図4-1 評価用地震動の抽出位置

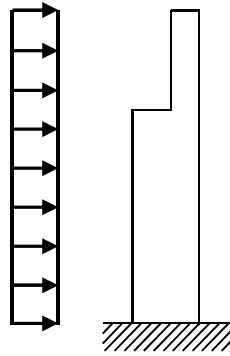
4.4 解析モデル及び諸元

海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の解析モデルは、エリア①～⑤は、図4-2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辺自由の不等分布スラブとして扱う。また、エリア⑦及びエリア⑧の鉄骨架構は、図4-1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。

解析モデルを図4-3に、施設の諸元を表4-8に示す。

スラブに作用する不等分布荷重は、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こととする。

鉄骨架構の計算には、計算機コード「Engineer's Studio」を使用し、固有値及び断面力を求める。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。



南北方向の防護壁 (エリア①～⑤)



東西方向の防護壁 (エリア①～⑤)

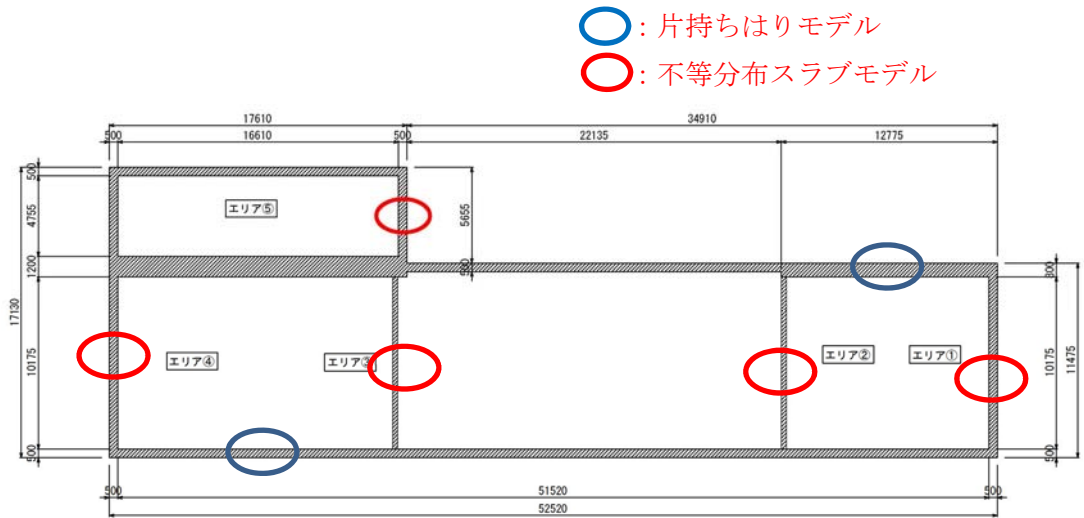
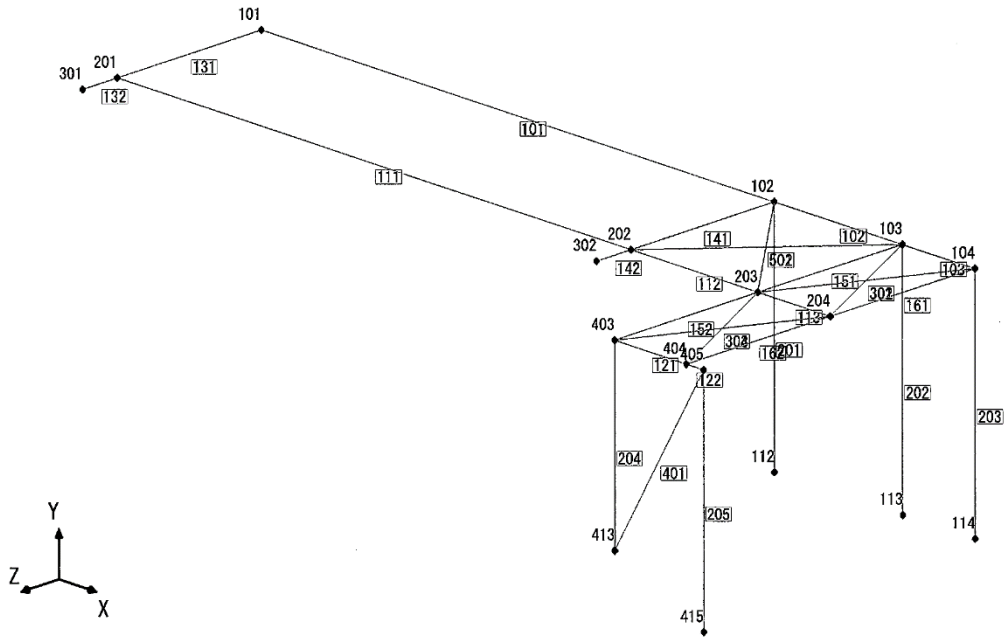
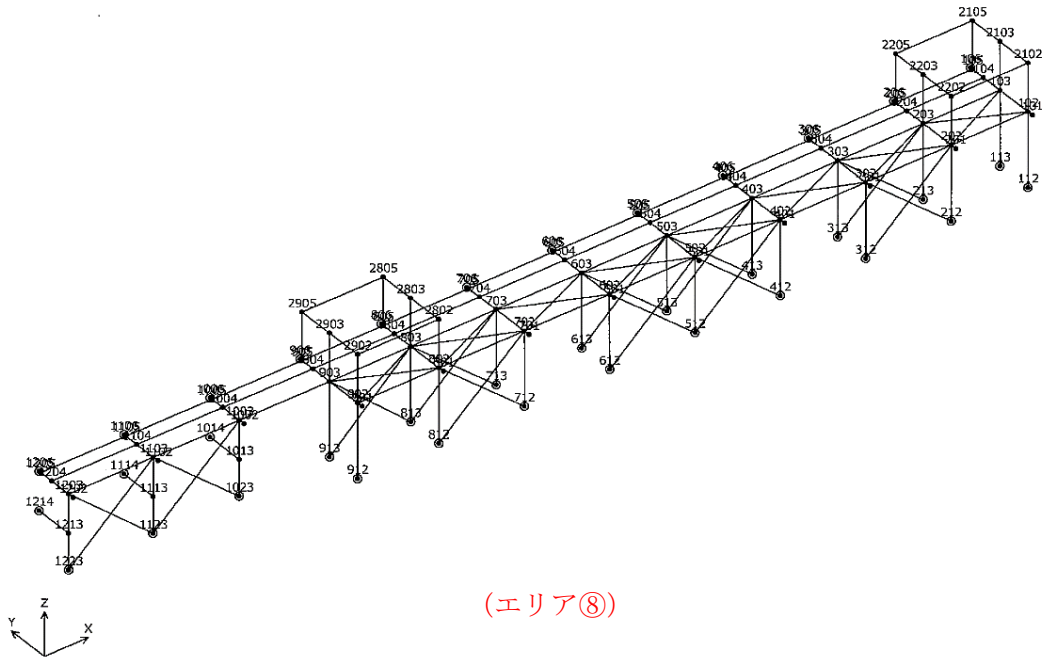


図4-2 解析モデル (エリア①～⑤の鉄筋コンクリート躯体)



(エリア⑦)



(エリア⑧)

図4-3 解析モデル (エリア⑦, ⑧の鉄骨架構)

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 _c	N/mm ²	24
鉄筋種別	—	—	SD345
縦弾性係数	E	MPa	25000
ポアソン比	ν	—	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, SM490
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	ν	—	0.3

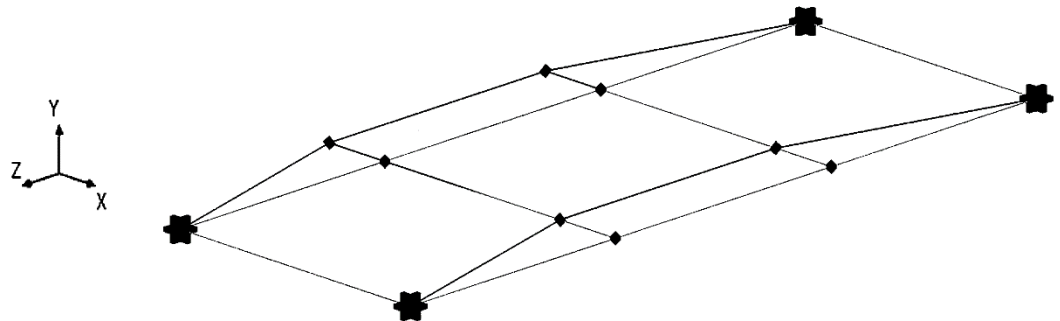
4.5 固有周期

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。

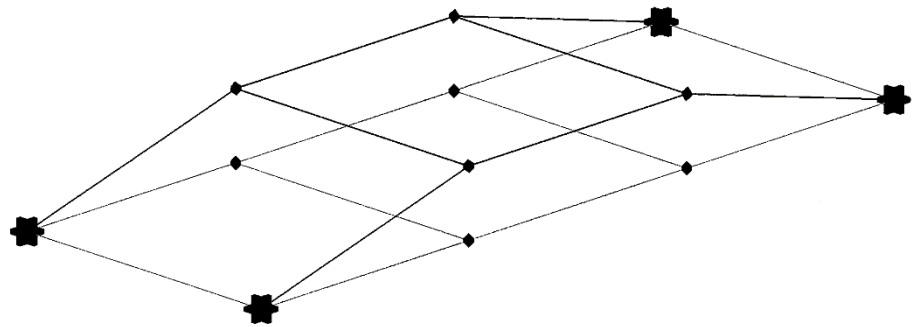
表4-10 固有振動数

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)

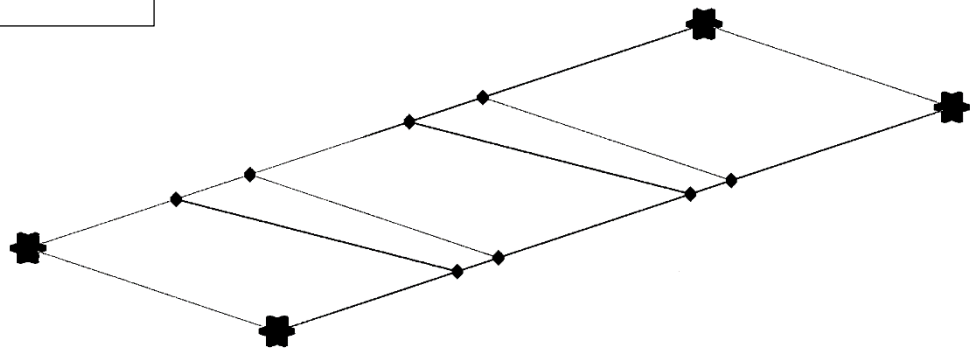
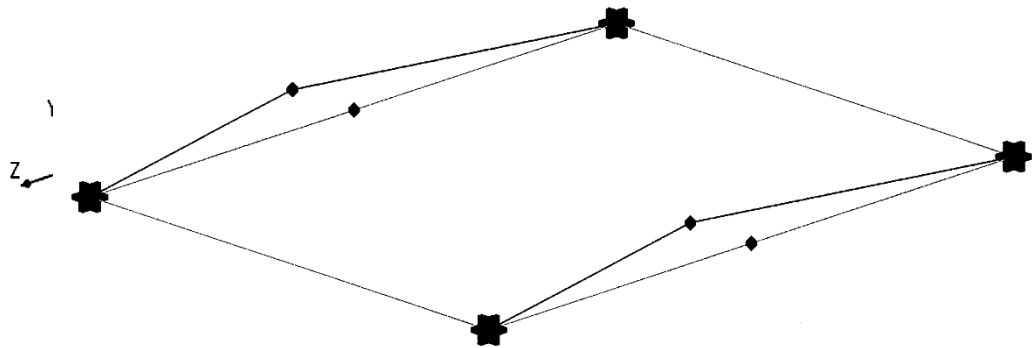
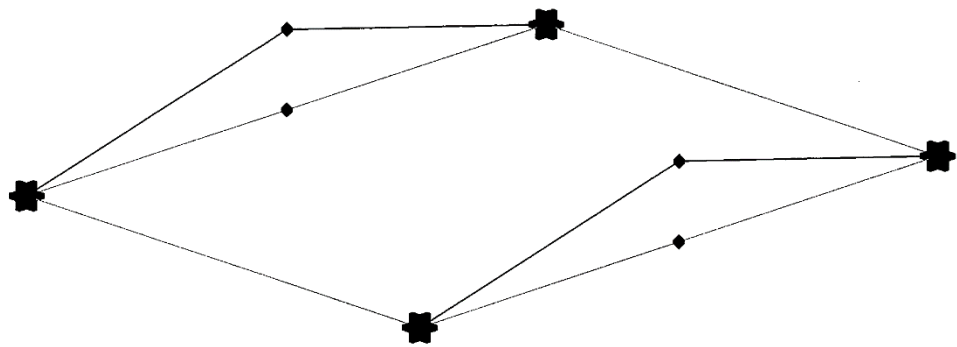


図4-4 振動モード図 (1/4) (エリア①~④)

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)

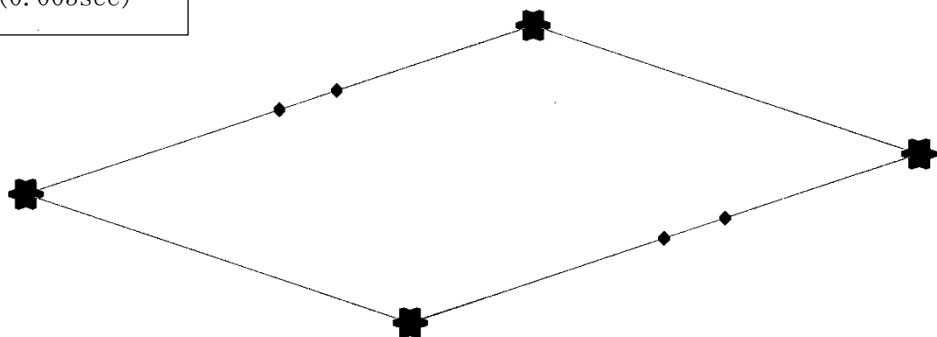
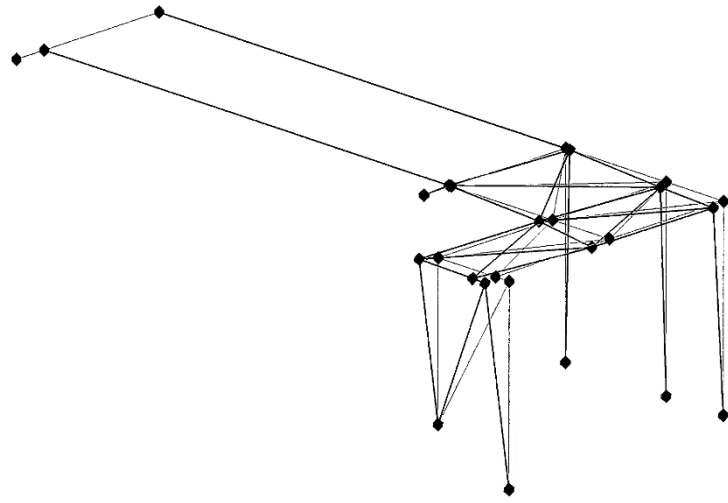
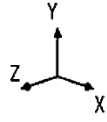
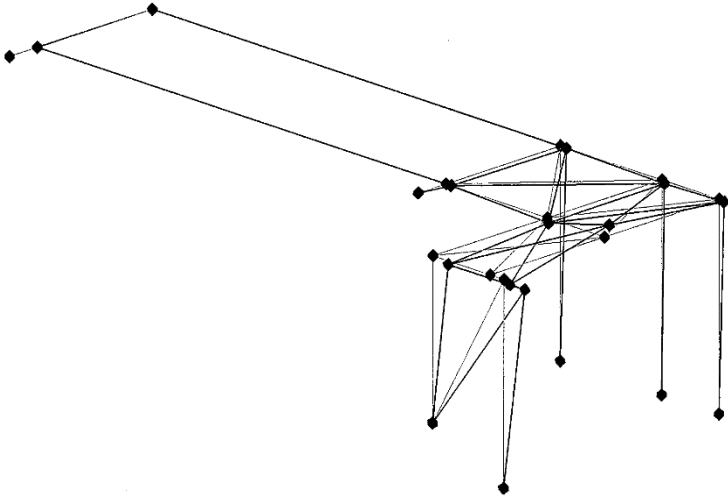


図4-4 振動モード図 (2/4) (エリア⑤)

Z (東西) 方向卓越
・ 1 次 (0.090 sec)



X (南北) 方向卓越
・ 4 次 (0.048 sec)



Y (鉛直) 方向卓越
・ 6 次 (0.036sec)

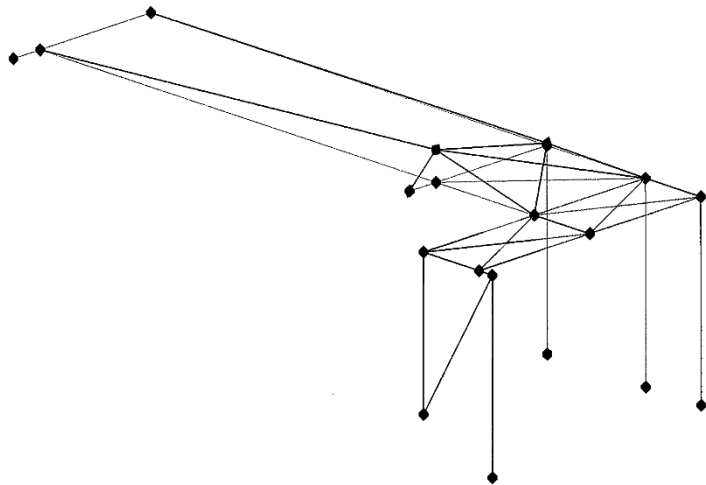
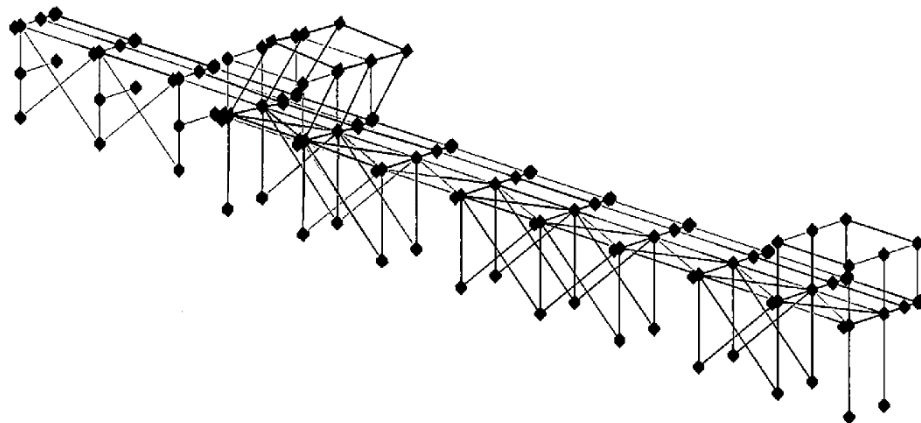
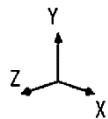
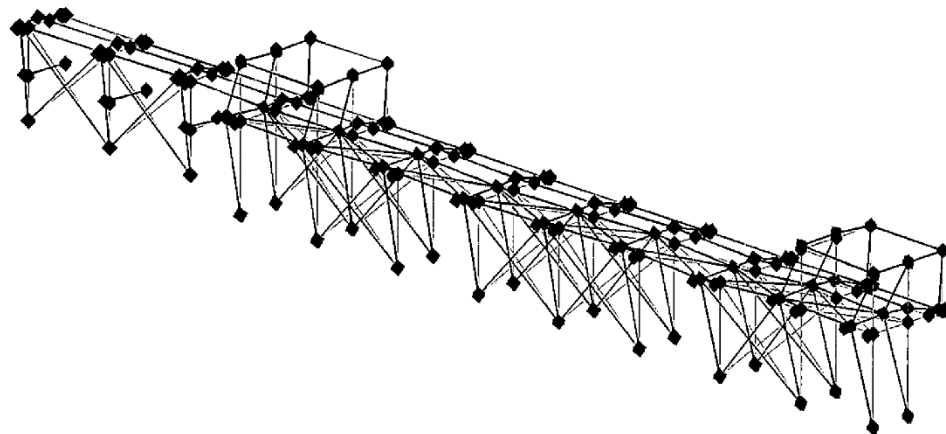


図4-4 振動モード図 (3/4) (エリア⑦)

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)

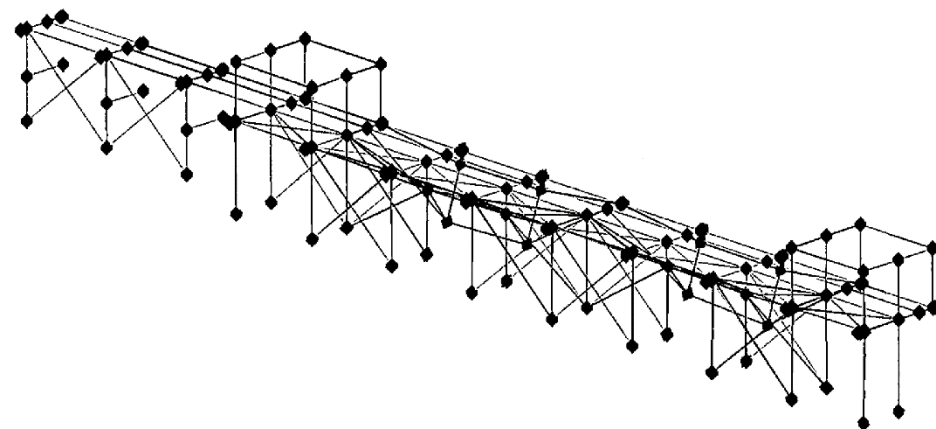


図4-4 振動モード図 (4/4) (エリア⑧)

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 σ_c	MPa	解析コード「RC断面計算」により算出
鉄筋の引張応力 σ_s	MPa	
鉄筋の圧縮応力 σ'_s	MPa	
せん断応力 τ	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 σ_t	MPa	$\frac{N_t}{A}$
圧縮応力 σ_c	MPa	$\frac{N_c}{A}$
曲げ応力 σ_b	MPa	$\frac{M_y}{Z_y}$, $\frac{M_z}{Z_z}$
せん断応力 τ	MPa	$\frac{Q_y}{A_{sz}}$, $\frac{Q_z}{A_{sz}}$
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、 σ_c を σ_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 σ_t		MPa	$\frac{F_x}{A_b}$
圧縮応力 σ_c		MPa	$\frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{A_b}$
組合せ 応力	せん断+引張	—	$\frac{F_x}{A_b}$
せん断応力 τ		MPa	$\frac{Q_y}{A_{sz}}, \frac{Q_z}{A_{sz}}$

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(mm²)

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。