

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8
提出年月日	平成30年8月22日

V-2-11-2-10 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	8
2.4	適用基準	9
2.5	記号の説明	9
2.6	計算精度と数値の丸め方	11
3.	評価部位	11
4.	地震応答解析及び構造強度評価	16
4.1	地震応答界解析及び構造強度評価方法	16
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	16
4.3	解析モデル及び諸元	19
4.4	固有周期	32
4.5	設計用地震力	43
4.6	計算方法	45
4.7	計算条件	46
4.8	応力の評価	46
5.	評価結果	48
5.1	DB条件に対する評価結果	48
5.2	SA条件に対する評価結果	55

1. 概要

本計算書は、添付書類「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。なお、竜巻防護対策施設の間接支持構造物である、海水ポンプエリアの既設取水構造物の耐震評価は添付書類「V-2-2-7 取水構造物の耐震性についての計算書」に示す。

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、図 2-1 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。

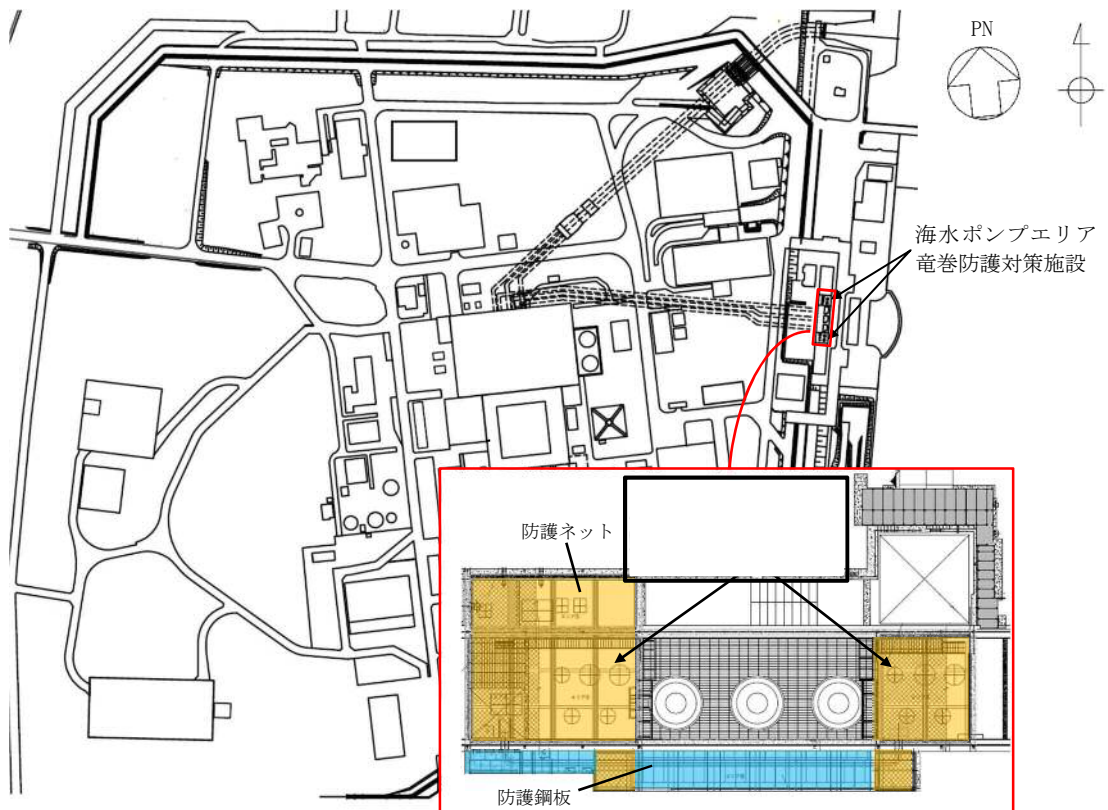


図 2-1 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設と
残留熱除去系海水系ストレーナ等の位置関係図

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表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画(1/6)

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、ネット用架構を介して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、ネット用架構を介して取水構造物上に設けたRC造躯体に伝達する構造とする。</p>	<div style="text-align: center;"> <p>ネット用架構</p> <p>ゴシック斜体は、ネット用架構の種別を示す。</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> <p>RC造躯体</p> <p>ゴシック斜体は、RC造躯体の種別を示す。</p> </div>

表 2-1 構造計画(2/6)

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、ネット用架 構を介して飛来物防護ネ 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、ネ ット用架構を介して 取水構造物上に設け たR C造躯体に伝達 する構造とする。</p>	

表 2-1 構造計画(3/6)


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、ネット用架 構を介して飛来物防護ネ 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、ネ ット用架構を介して 取水構造物上に設け たR C造躯体に伝達 する構造とする。</p>	

表 2-1 構造計画(4/6)

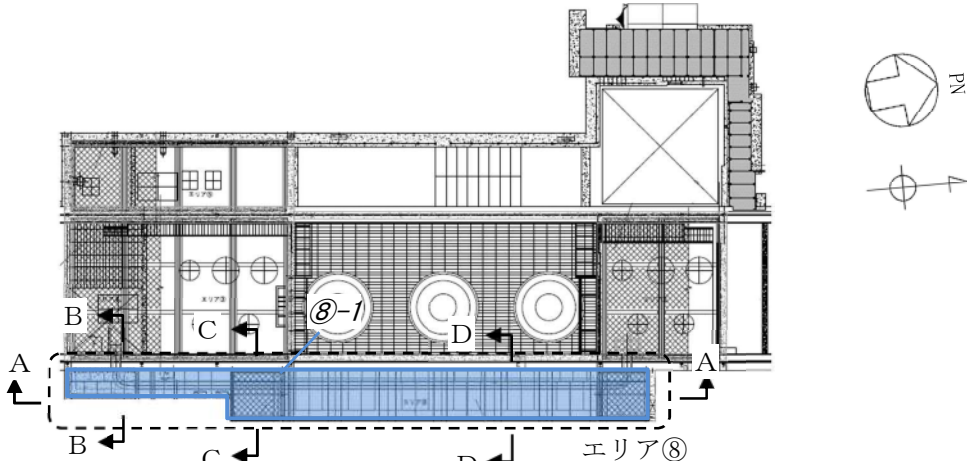
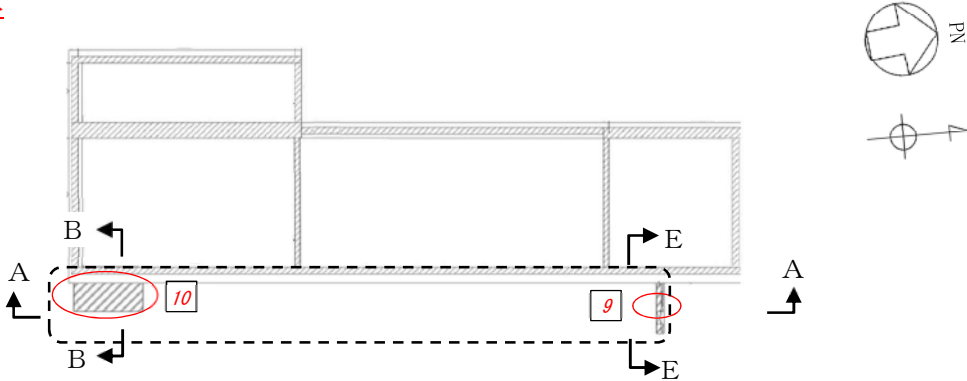
計画の概要		概略構造図
主体構造	基礎・支持構造	
<p>【エリア⑧】 取水構造物上に設けた鉄骨架構に、飛来物防護ネット及び防護鋼板を設置。</p>	<p>飛来物防護ネット及び防護鋼板に作用する荷重は、鉄骨架構を介してRC造の取水構造物躯体に伝達する構造とする。</p>	<p>鉄骨架構</p>  <p>ゴシック斜体は、鉄骨架構の種別を示す。</p> <p>RC造躯体</p>  <p>ゴシック斜体は、RC造躯体の種別を示す。</p>

表 2-1 構造計画 (5/6)

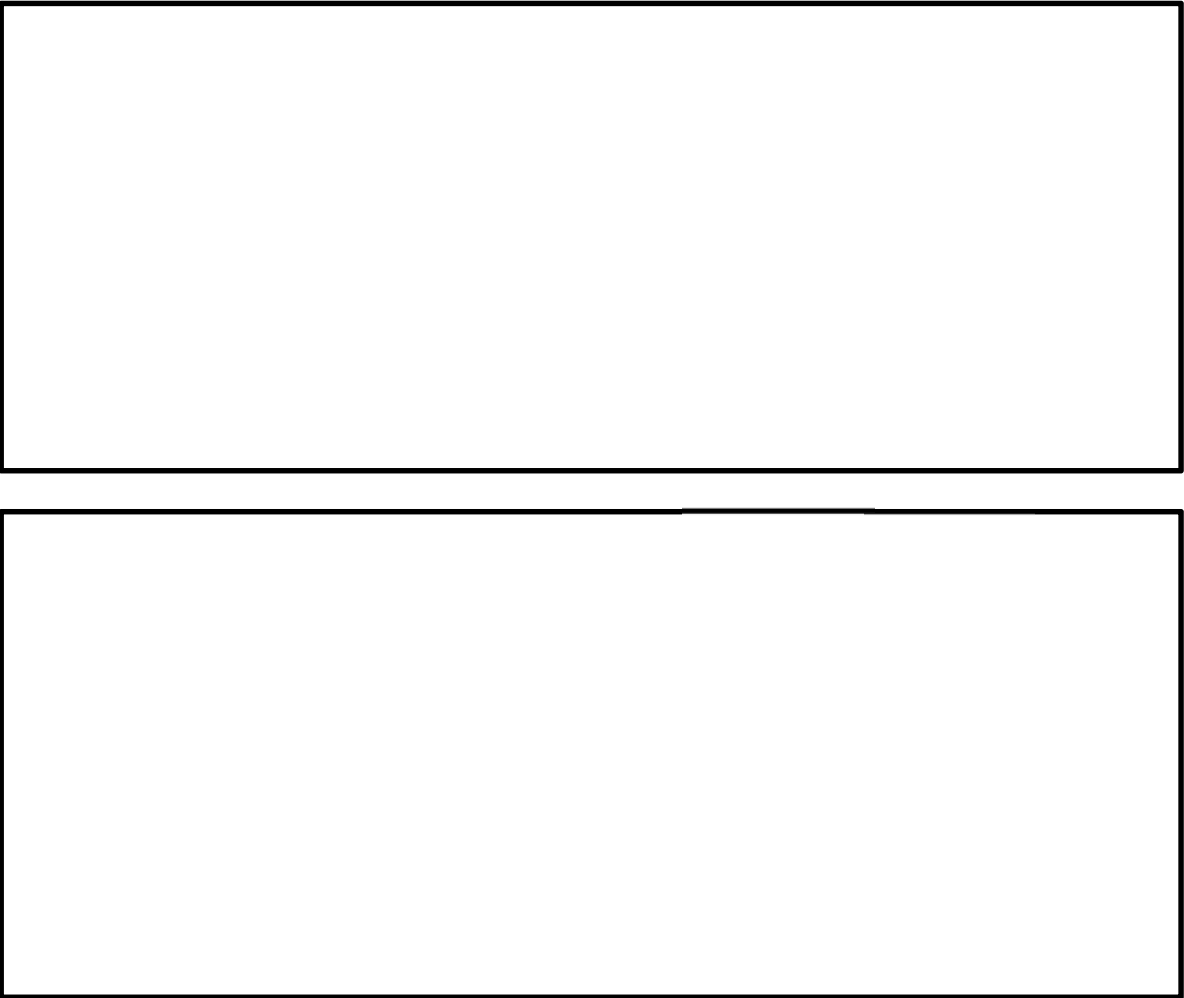
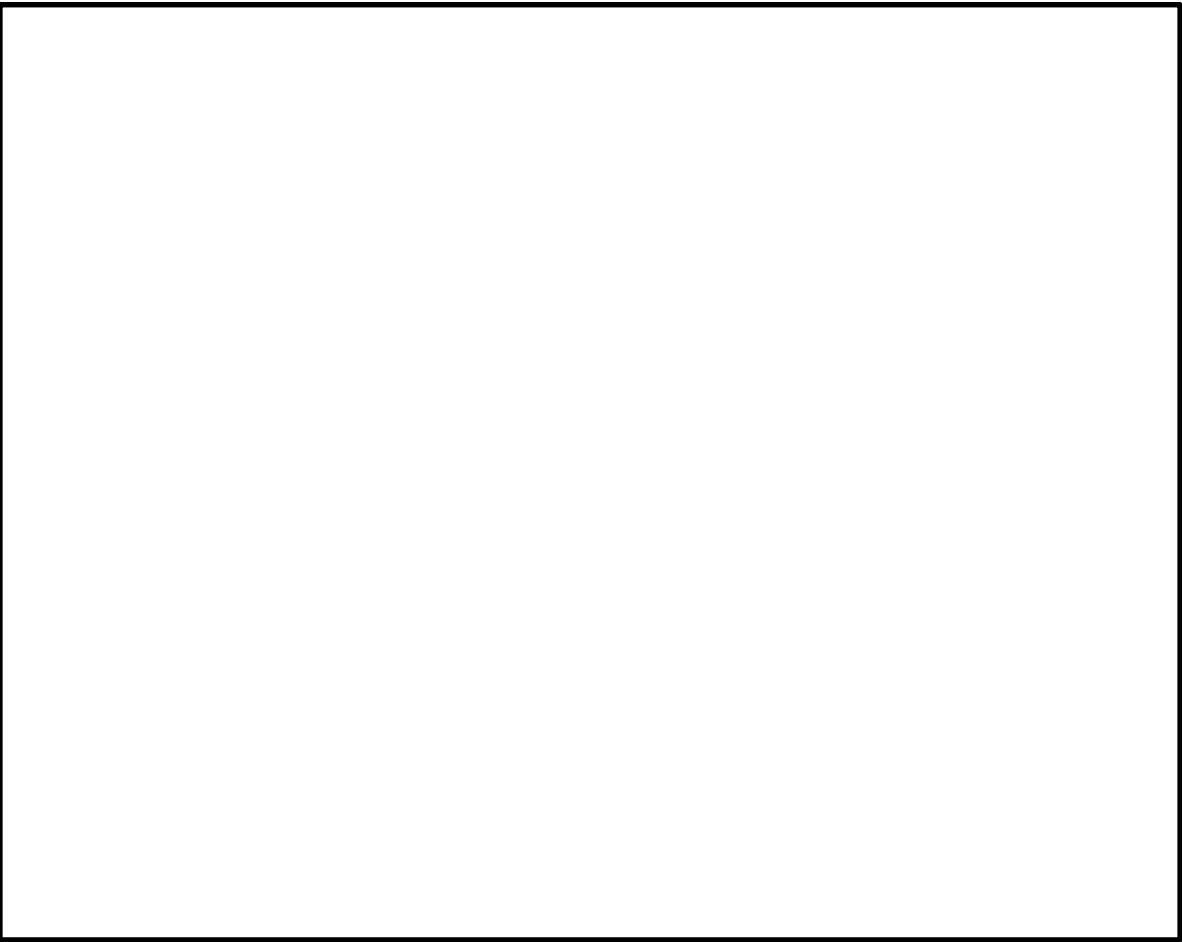
計画の概要		概略構造図
主体構造	基礎・支持構造	
<p>【エリア⑧】 取水構造物上に設けた鉄骨架構に，飛来物防護ネット及び防護鋼板を設置。</p>	<p>飛来物防護ネット及び防護鋼板に作用する荷重は，鉄骨架構を介してRC造の取水構造物躯体に伝達する構造とする。</p>	

表 2-1 構造計画(6/6)

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>	

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、添付書類「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 構造計画」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. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期及び荷重に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」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。

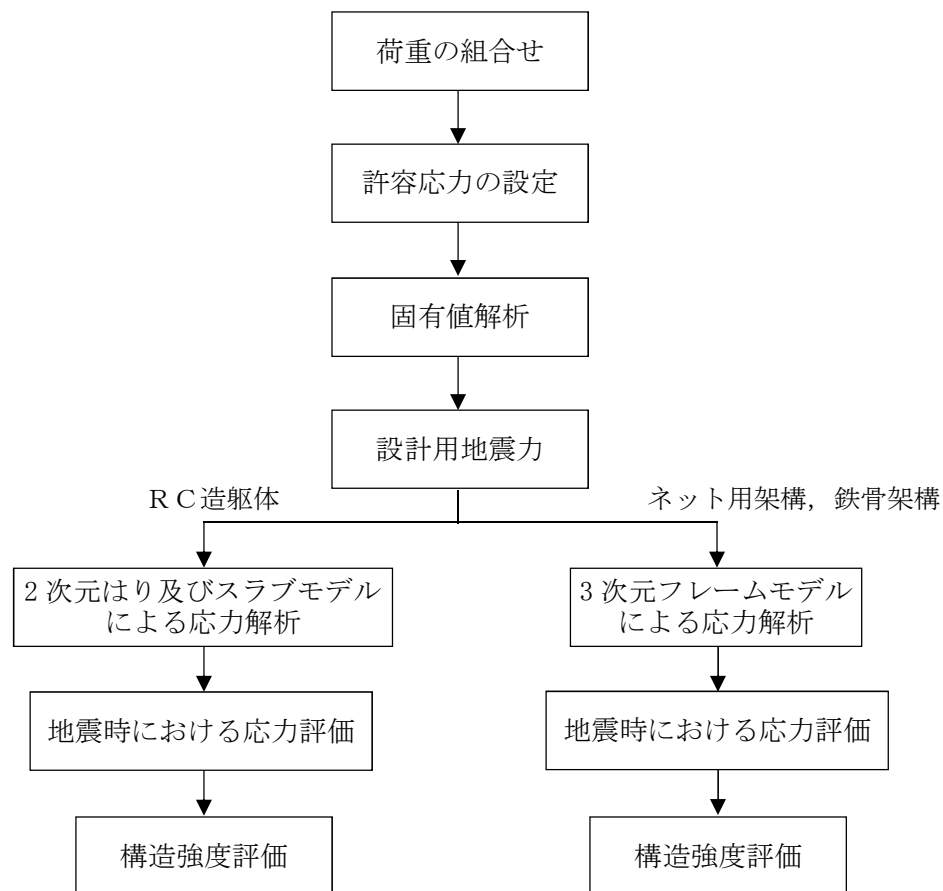


図 2-1 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の耐震評価フロー

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 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) (以下「J E A G」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。)) 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 (以下「コンクリート標準示方書」という。)
- (6) 日本工業規格 (J I S)
- (7) 各種合成構造設計指針・同解説 (日本建築学会)

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	架構の断面積	mm ²
A _b	ボルトの呼び径断面の断面積	mm ²
A _{s y}	せん断断面積(Y軸)	mm ²
A _{s z}	せん断断面積(Z軸)	mm ²
A _w	斜め引張鉄筋断面積	mm ²
b _w	有効幅	mm
E	縦弾性係数	MPa
d	有効高さ	mm
F	JSME S NC1-2005/2007 SSB-3121.1に規定される値	MPa
F _c	コンクリート圧縮強度	N/mm ²
F _x	引張力(X軸)	N
F _y	せん断力(Y軸)	N
F _z	せん断力(Z軸)	N
f _b	許容曲げ応力 (JSME S NC1-2005/2007 SSB-3120 に規定される値)	MPa
f _c	許容圧縮応力 (JSME S NC1-2005/2007 SSB-3120 に規定される値)	MPa
f _s	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)	MPa
f _t	許容引張応力 (JSME S NC1-2005/2007 SSB-3120 又は SSB-3130 に規定される値)	MPa
l _x	スラブ高さ	m
M	曲げモーメント	N・mm
M _y	曲げモーメント(Y軸回り)	N・mm

記号	記号の説明	単位
M_z	曲げモーメント(Z軸回り)	N・mm
N_c	軸力(圧縮)	N
N_t	軸力(引張)	N
Q	せん断力	N
Q_y	せん断力(Y軸)	N
Q_z	せん断力(Z軸)	N
s	斜め引張鉄筋間隔	mm
S_y	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)	MPa
S_u	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)	MPa
T	温度条件 (雰囲気温度)	°C
p_{a1}	接着系アンカーボルト1本あたりの許容応力	N
p_{a3}	接着系アンカーボルトの降伏により決まる場合のアンカーボルト1本あたりの許容引張力	N
V_a	斜め引張鉄筋を考慮する場合の許容応力	N
V_{ca}	コンクリートの許容せん断力	N
V_{SA}	斜め引張鉄筋の許容せん断力	N
w	等分布荷重	N/m ²
Z_y	断面係数(Y軸回り)	mm ³
Z_z	断面係数(Z軸回り)	mm ³
α	3辺固定スラブモデルにおける曲げモーメント係数	—
β	3辺固定スラブモデルにおけるせん断力係数	—
σ_{SA2}	鉄筋の許容引張応力	MPa
ν	ポアソン比	—
λ	圧縮材の有効細長比	—
Λ	圧縮材の限界細長比	—
τ	ボルトに発生するせん断応力	MPa
τ_{a1}	斜め引張鉄筋を考慮しない場合の許容せん断応力	MPa

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保することを基本とする。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 を基本とする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
質量	kg	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

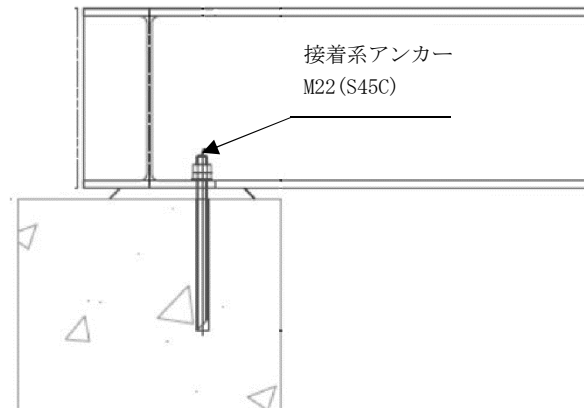
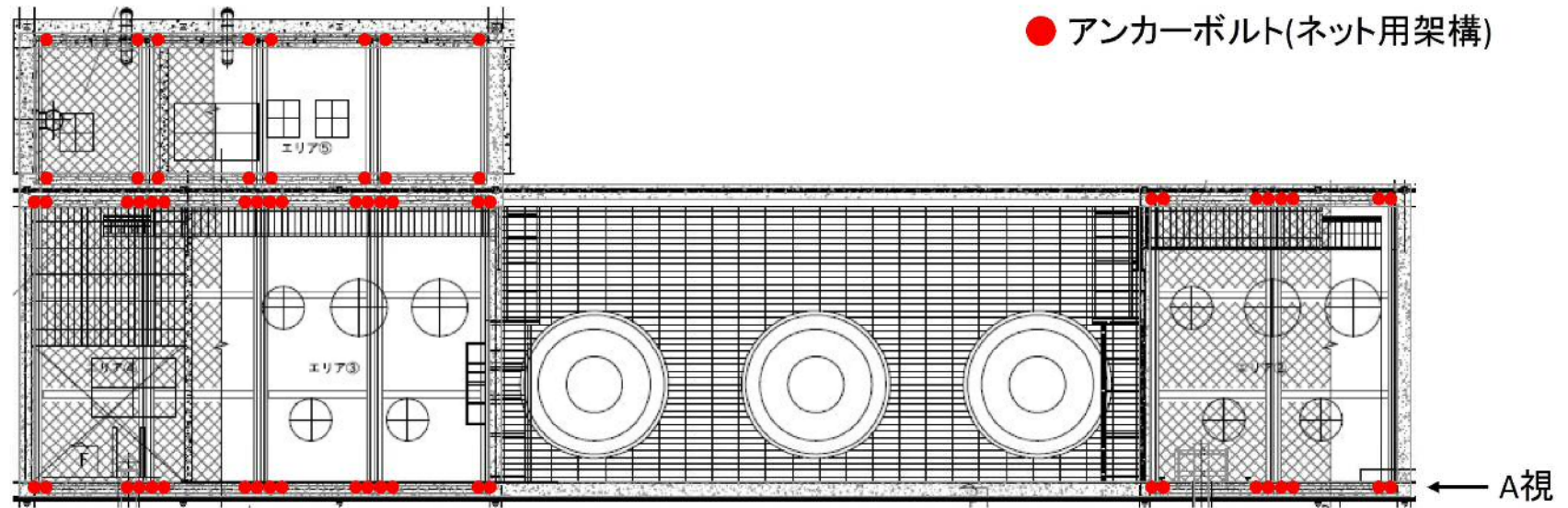
注記 *：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

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及びネット用架構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、ネット用架構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（アンカー含む）、ネット用架構及びRC造躯体とネット用架構の取付アンカーボルトを選定して実施する。エリア⑧については、RC造躯体（アンカー含む）、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。海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の概略構造は表 2-1 に示す。

アンカーボルト配置図、RC造躯体アンカー配置図及び防護ネット取付ボルト及び防護鋼板取付ボルト配置図を図 3-1～図 3-3 に示す。



(A視詳細図)

図 3-1 アンカーボルト配置図 (1/2) (エリア②～⑤)

● アンカーボルト(鉄骨架構)

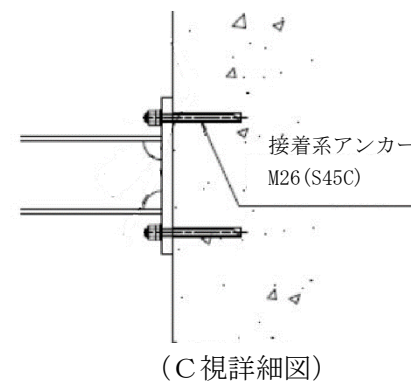
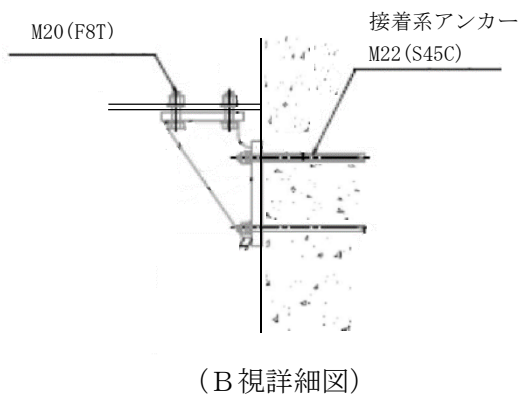
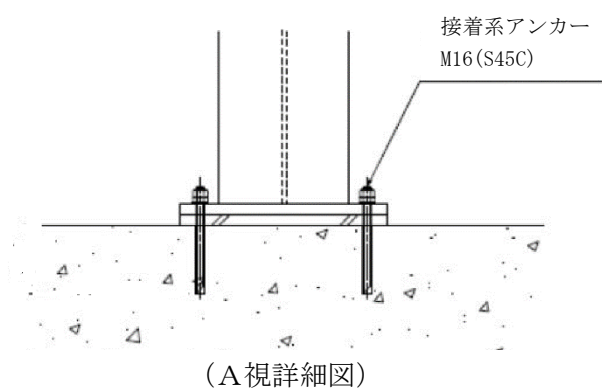
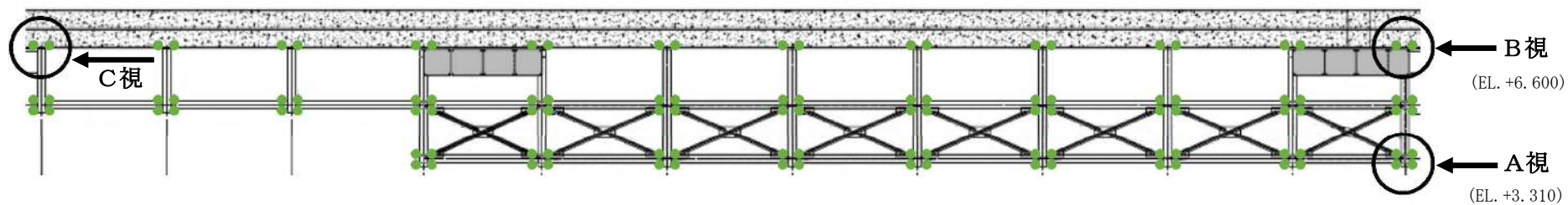


図 3-1 アンカーボルト配置図 (2/2) (エリア⑧)

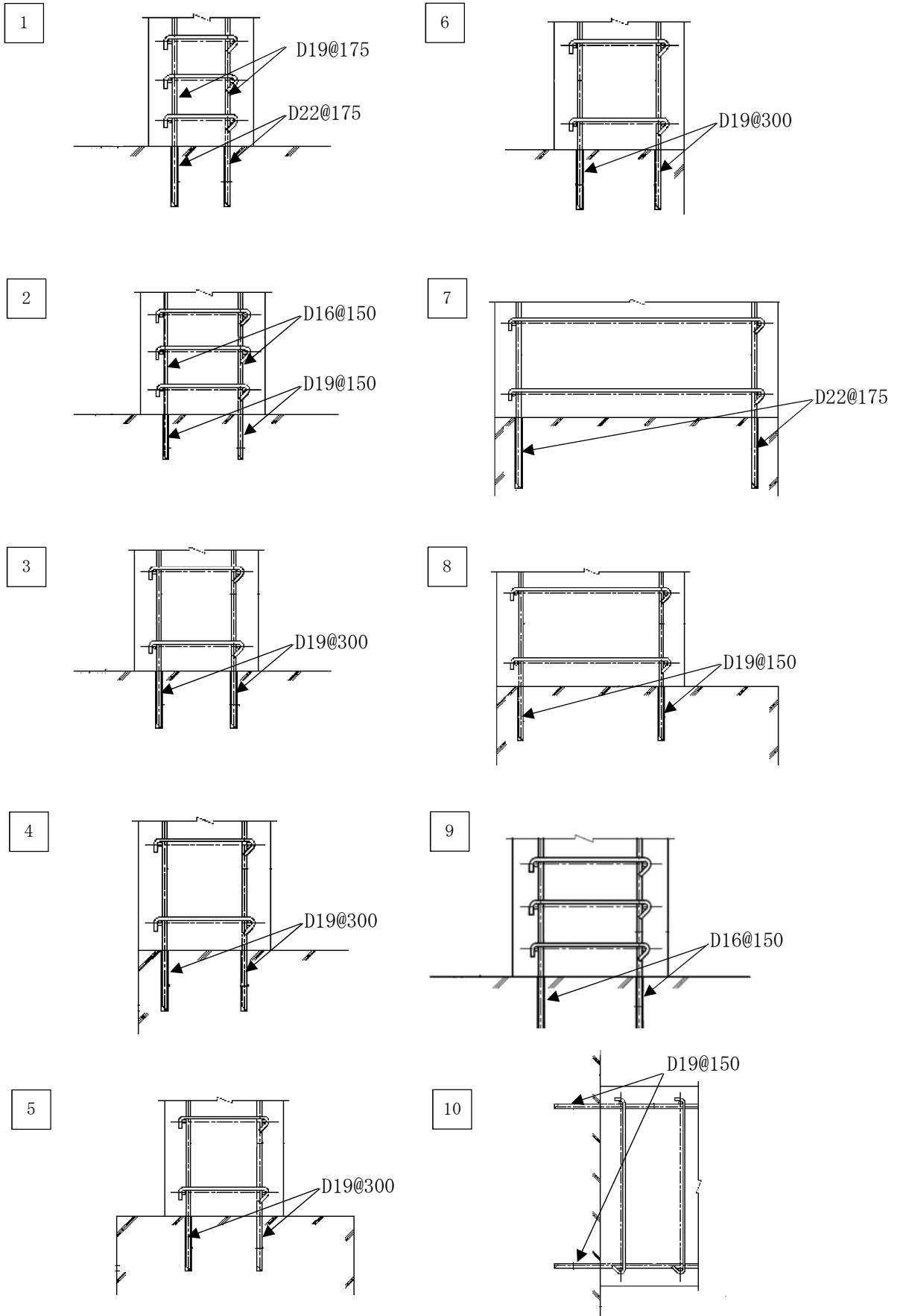


図 3-2 アンカー配置図

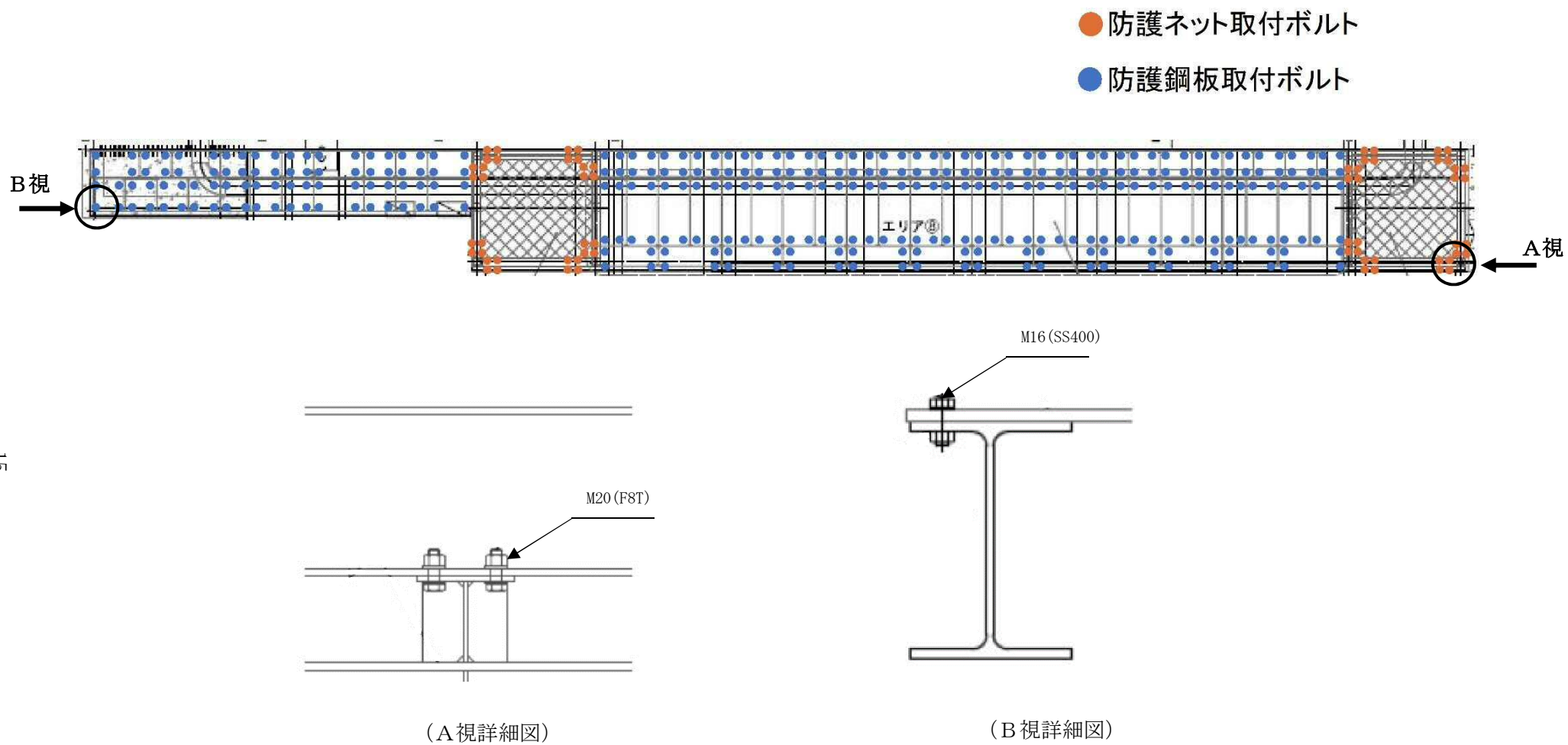


図 3-3 防護ネット取付ボルト及び防護鋼板取付ボルト配置図

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答界解析及び構造強度評価方法

- (1) 地震応答解析は4.3.1項に示す解析モデルを用いて固有値解析を実施し、4.5項に従い設計地震力を設定後、4.3.2項に示す解析モデルを用いて応力解析を実施する。応力の算出方法は4.6項によるものとし、算出した応力を用いて4.8項に従い応力評価を実施するものとする。
- (2) 地震力は、評価部位に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、強度評価において組合せるものとする。
- (3) 積雪による荷重は、評価対象部位に対して鉛直方向に作用するものとする。
- (4) 風荷重は、評価対象部位に対して水平方向に作用するものとする。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

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

(1) 荷重

a. 死荷重

防護ネット及び架構の自重を考慮する。

b. 地震荷重

基準地震動 S_s に基づく地震荷重を考慮する。

c. 風荷重

風速は、建築基準法施行令に基づく平成12年建設省告示第1454号に定められた東海村の基準風速である30 m/sとする。

風荷重は、道路橋示方書・同解説より次式にて算出する。

$$P_k = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U_w^2 \cdot C_d \cdot G$$

ここで

P_k : 風荷重

ρ : 空気密度

U_w : 風速

C_d : 抗力係数

G : ガスト係数

d. 積雪荷重

フレーム及び鋼板に雪が積もるとし、積雪荷重を考慮する。なお、積雪深は、茨城県建築基準法等施行細則（昭和45年3月9日茨城県規則第9号）による東海村の垂直積雪量30 cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数を考慮する。

(2) 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4-1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4-2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。なお、荷重の組合せは、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づく。

表 4-1 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	—	$D + S_s + P_k + P_s$	<ul style="list-style-type: none"> Ⅲ_AS (鋼構造部) *1 短期許容応力 (RC造部) *2

D : 死荷重
 S_s : 地震荷重
 P_k : 風荷重
 P_s : 積雪荷重

注記 *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 4-16 による。

表 4-2 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	—	—	$D + S_s + P_k + P_s$	<ul style="list-style-type: none"> Ⅲ_AS (鋼構造部) *1 短期許容応力 (RC造部) *2

D : 死荷重
 S_s : 地震荷重
 P_k : 風荷重
 P_s : 積雪荷重

注記 *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 4-16 による。

4.2.2 許容応力

(1) ネット用架構, 鉄骨架構及びボルトの許容応力

海水ポンプエリア竜巻防護対策施設のネット用架構, 鉄骨架構及びボルト(アンカーボルト, 防護ネット取付ボルト, 防護鋼板取付ボルト)の許容応力の考え方を表4-3に示す。

表4-3 ネット用架構, 鉄骨架構及びボルトの許容応力 (DB条件及びSA条件)

許容応力 状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)				許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力					
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 f_t$	$1.5 f_s$	$1.5 f_c$	$1.5 f_b$	$1.5 f_t$	$1.5 f_s$

注記 *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。

*2: 当該応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

(2) R C造躯体及びアンカーの許容応力

R C造躯体の許容応力は、「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, R Cの許容応力に対して 1.5 倍の割増を考慮した短期許容応力とする。

アンカーの許容応力は、「各種合成構造設計指針・同解説 (日本建築学会) 」に基づき, 算出したものを許容応力とする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

(1) ネット用架構, 鉄骨架構及びボルトの使用材料の許容応力評価条件

海水ポンプエリア竜巻防護対策施設のネット用架構, 鉄骨架構及びボルト (アンカーボルト, 防護ネット取付ボルト, 防護鋼板取付ボルト) の使用材料の許容応力評価条件を表 4-4 に示す。

表 4-4 鋼構造部の使用材料の許容応力評価条件 (DB 条件及びSA 条件)

評価部材	材料 (寸法:mm)	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)
ネット用架構 鉄骨架構	SS400 (t ≤ 16)	周囲環境温度	40	245	400
	SM400 (t ≤ 16)			245	400
	SM570 (t ≤ 16)			460	570
アンカー ボルト	S45C (焼入焼戻材)			490	690
防護ネット 取付ボルト	F8T			640*	800*
防護鋼板 取付ボルト	SS400 (t ≤ 16)			245	400

注記 * : JIS B1186 に定める耐力及び引張強さの最低値

(2) R C造躯体及びアンカーの使用材料の許容応力評価条件

海水ポンプエリア竜巻防護対策施設のR C造躯体及びアンカーの使用材料の許容応力評価条件を表 4-5 に示す。

表 4-5 R C造躯体及びアンカーの許容応力評価条件 (DB 条件及びSA 条件)

評価部材	許容応力評価条件
コンクリート	設計基準強度 24 N/mm ²
鉄筋	SD345
アンカー	SD345

4.3 解析モデル及び諸元

4.3.1 固有値解析モデル

エリア②～⑤及びエリア⑧のRC造躯体について、図4-1に示すモデルにより固有値解析を実施する。

エリア②～⑤のネット用架構及びエリア⑧の鉄骨架構については、図4-2に示すように、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。

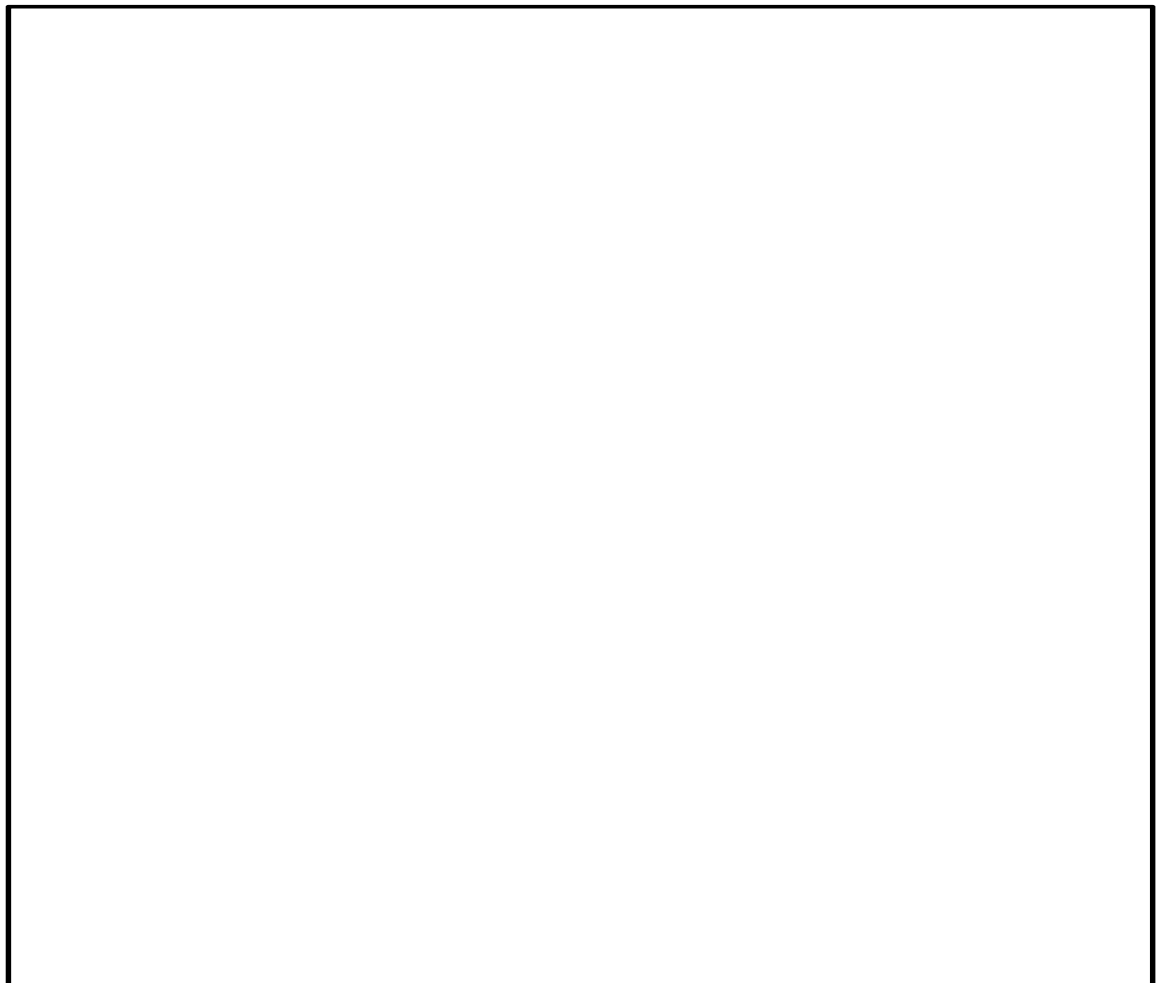
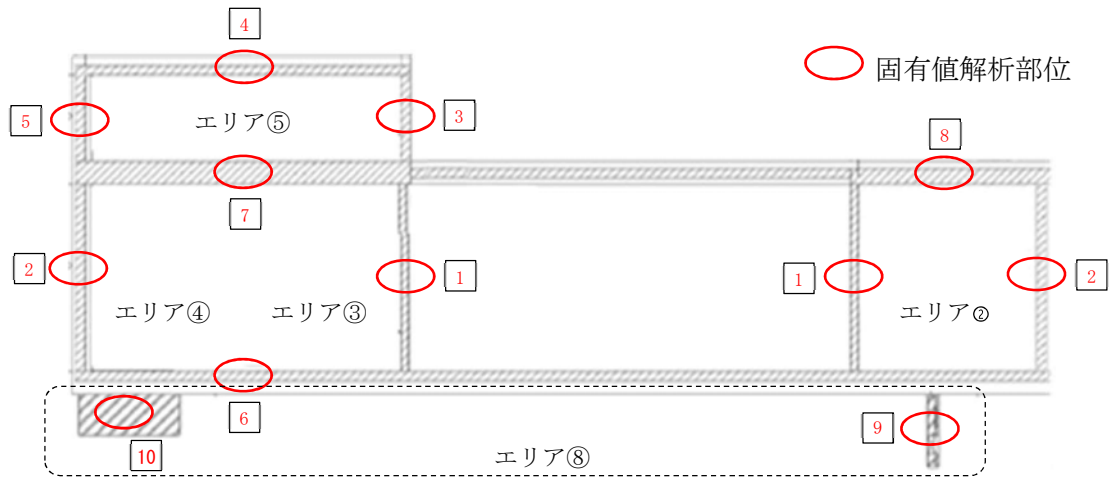


図4-1 RC造躯体の固有値解析モデル(1/3)

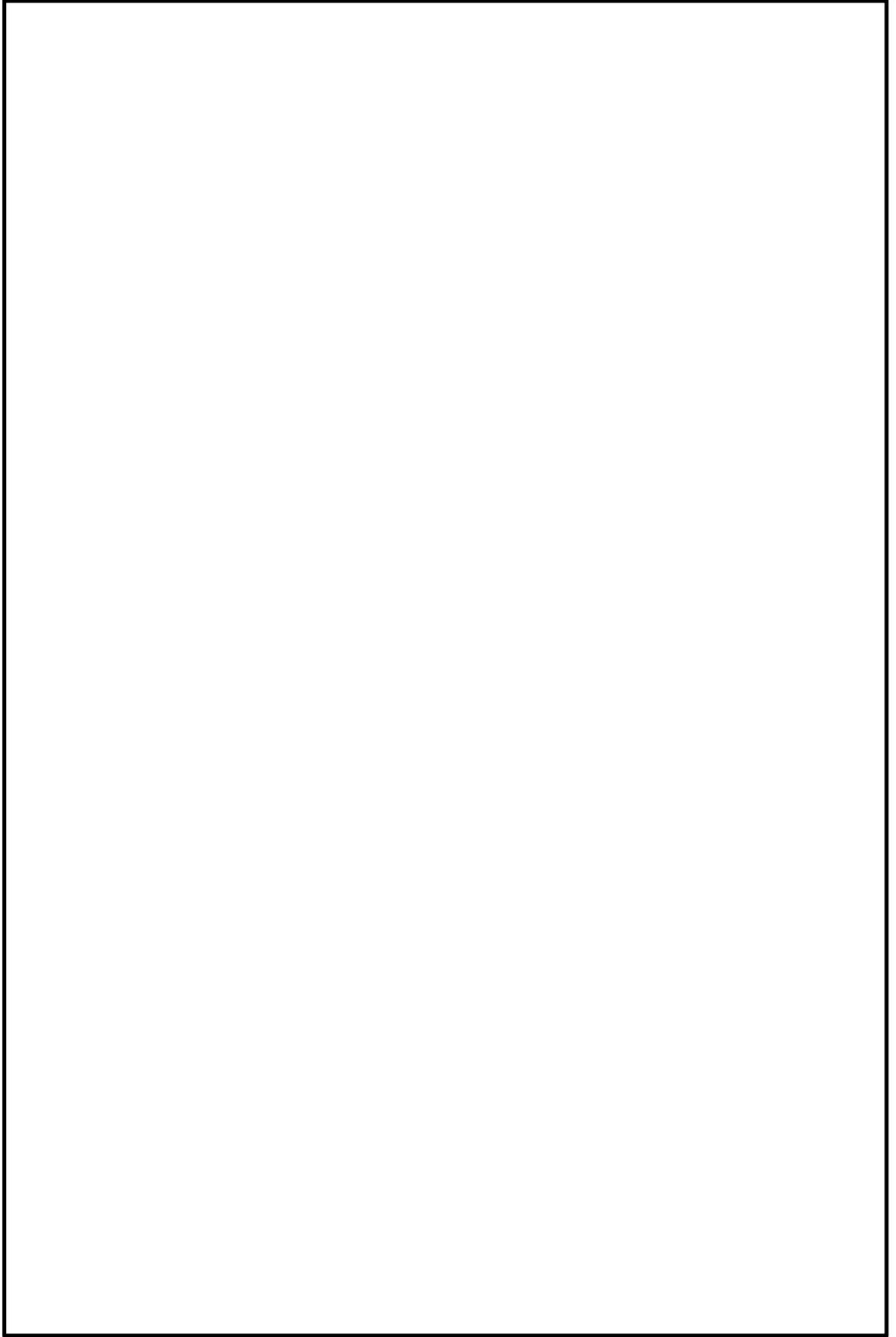


図4-1 RC造躯体の固有値解析モデル(2/3)

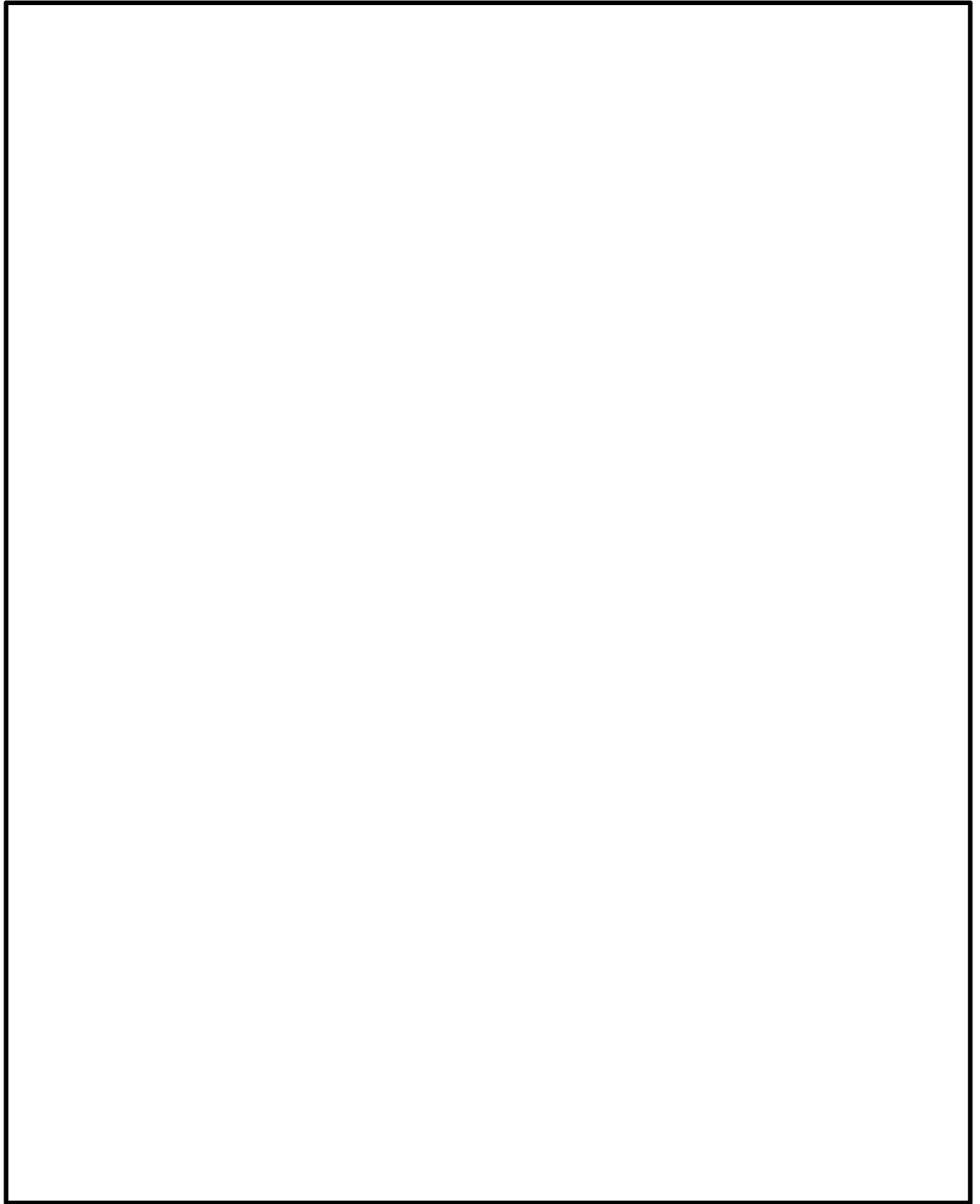
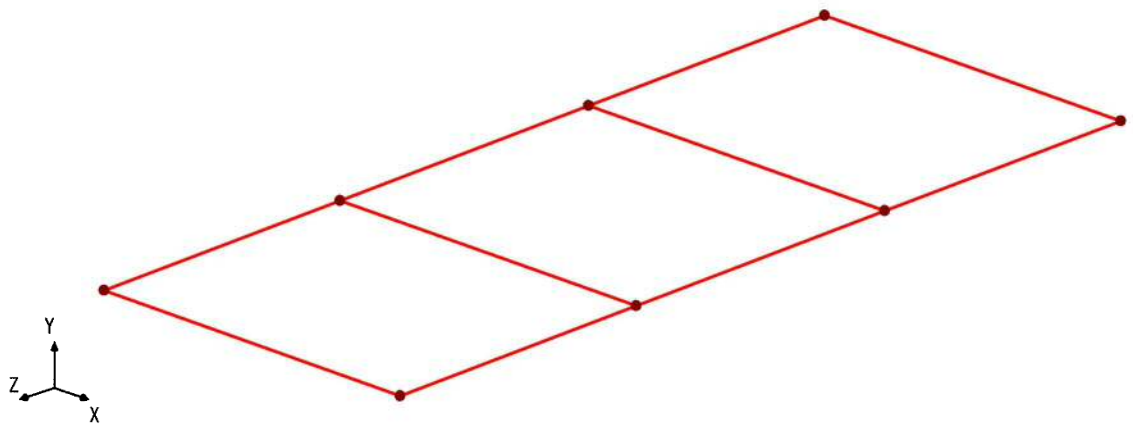
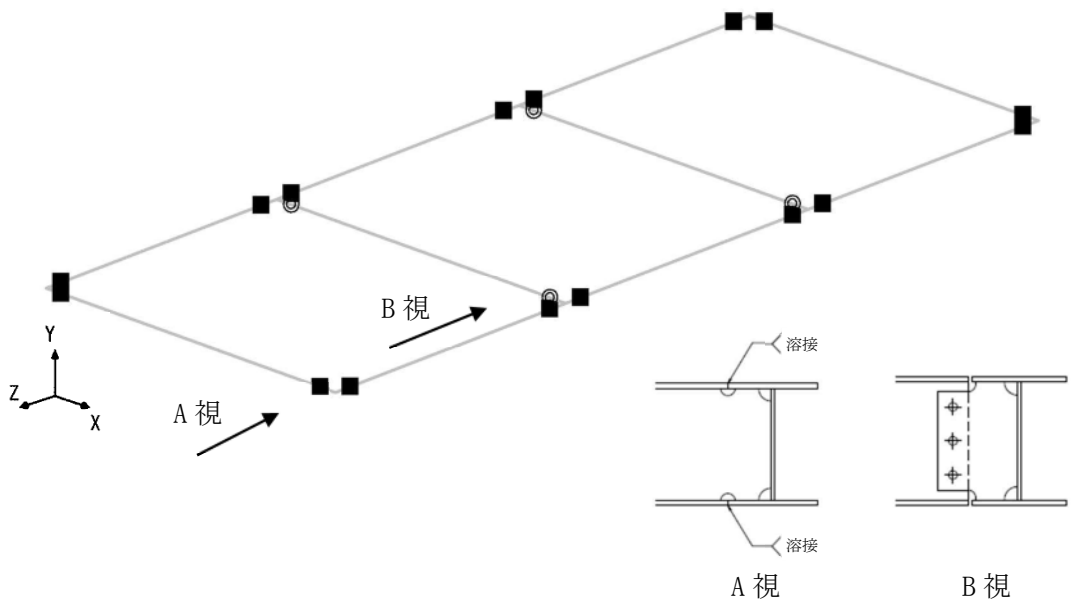


図4-1 RC造躯体の固有値解析モデル(3/3)



対象部材	材質	断面形状
	SM570	BH-340x250x9x16

(a-1) エリア②～④ 部材材質，断面形状



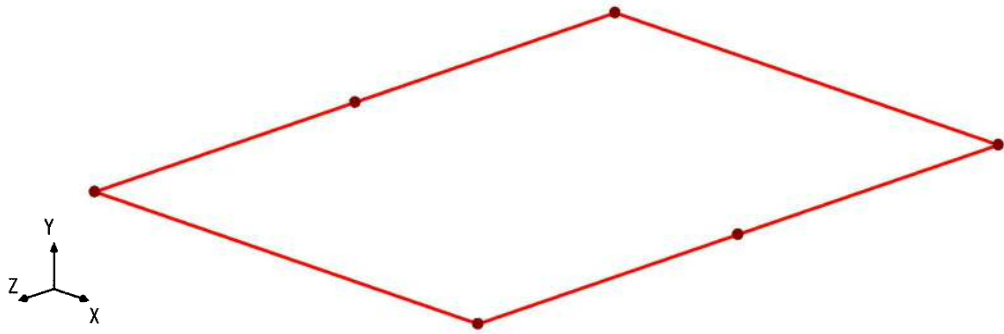
記号	x	y	z
■	剛結	剛結	剛結
◎	剛結	ピン	ピン

*1 : x, y, zは要素座標系で、xは部材軸方向となる

*2 : H鋼のフランジとウェブの両方を溶接で接合している箇所は剛結とし、H鋼のウェブをボルトにて接合している箇所はピンとする。

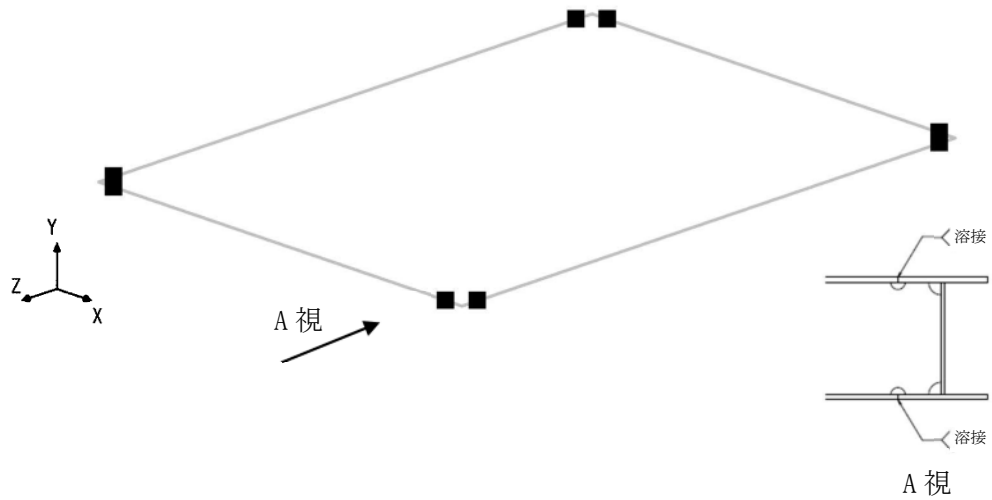
(a-2) エリア②～④ 境界条件

図4-2 固有値解析モデル（ネット用架構及び鉄骨架構）（1/5）



対象部材	材質	断面形状
■	SM570	BH-340x250x9x16

(b-1) エリア⑤ 部材材質，断面形状



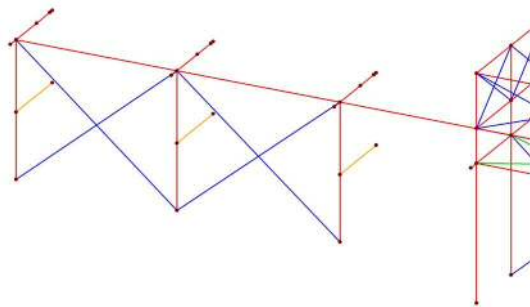
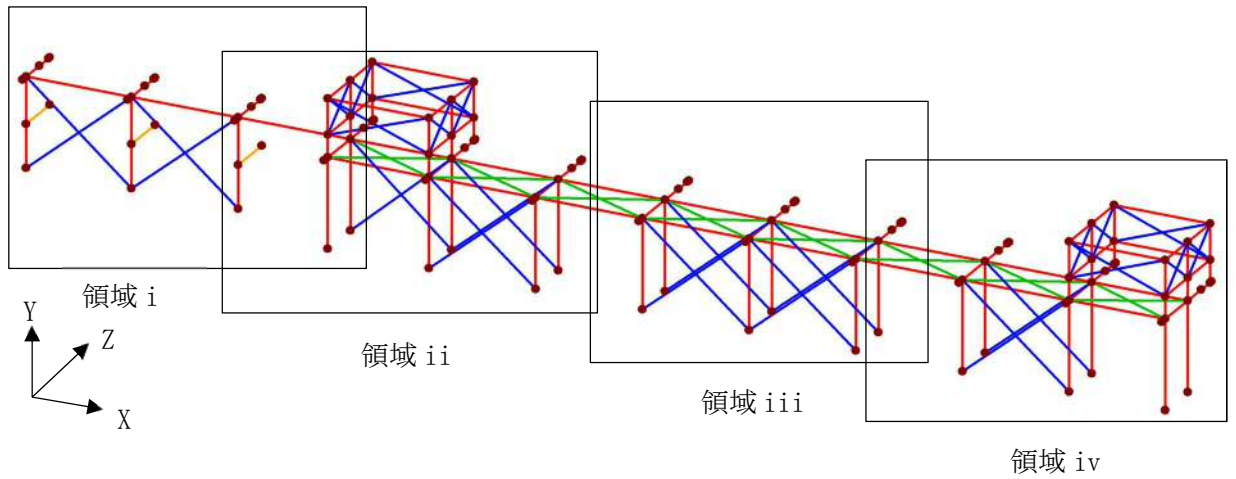
記号	x	y	z
■	剛結	剛結	剛結

*1 : x, y, zは要素座標系で、xは部材軸方向となる

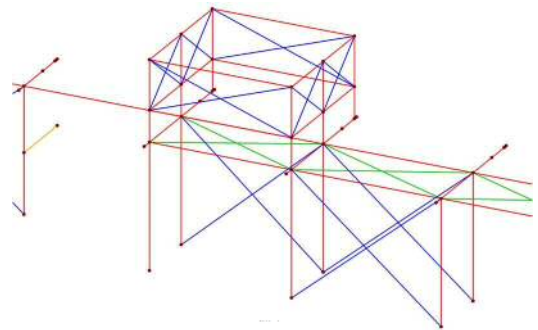
*2:H鋼のフランジとウェブの両方を溶接で接合している箇所は剛結とする。

(b-2) エリア⑤ 境界条件

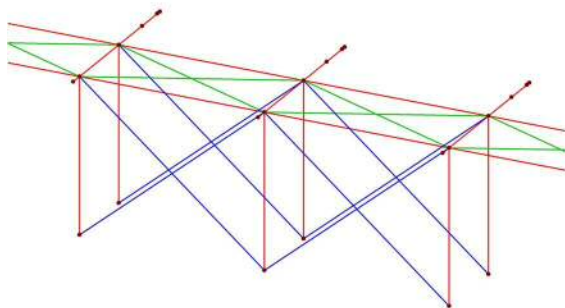
図4-2 固有値解析モデル（ネット用架構及び鉄骨架構）（2/5）



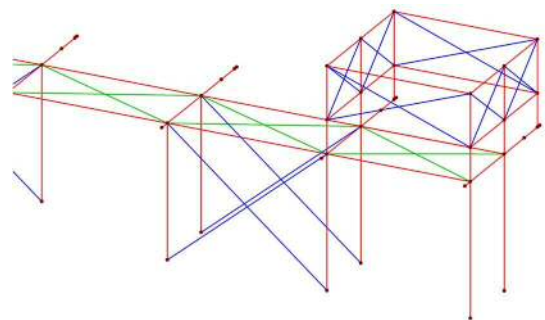
領域 i 拡大図



領域 ii 拡大図



領域 iii 拡大図

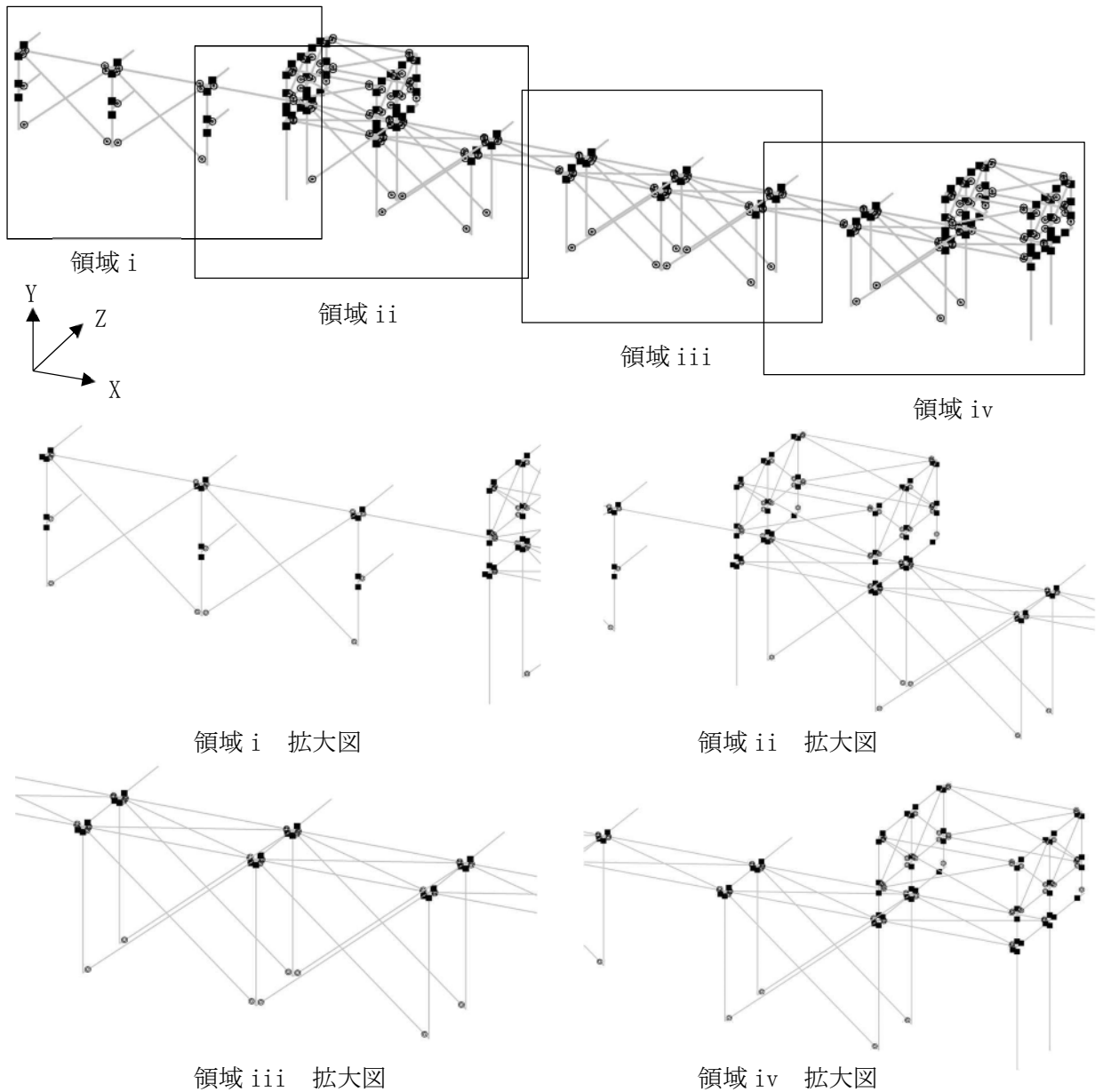


領域 iv 拡大図

対象部材	材質	断面形状
	SM400	H-250x250x9x14
	SM400	H-150x150x7x10
	SS400	L-100x100x10
	SS400	L-150x150x12

(c-1) エリア⑧ 部材材質, 断面形状

図4-2 固有値解析モデル (ネット用架構及び鉄骨架構) (3/5)



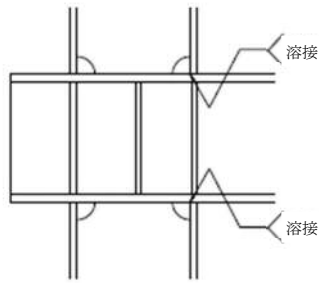
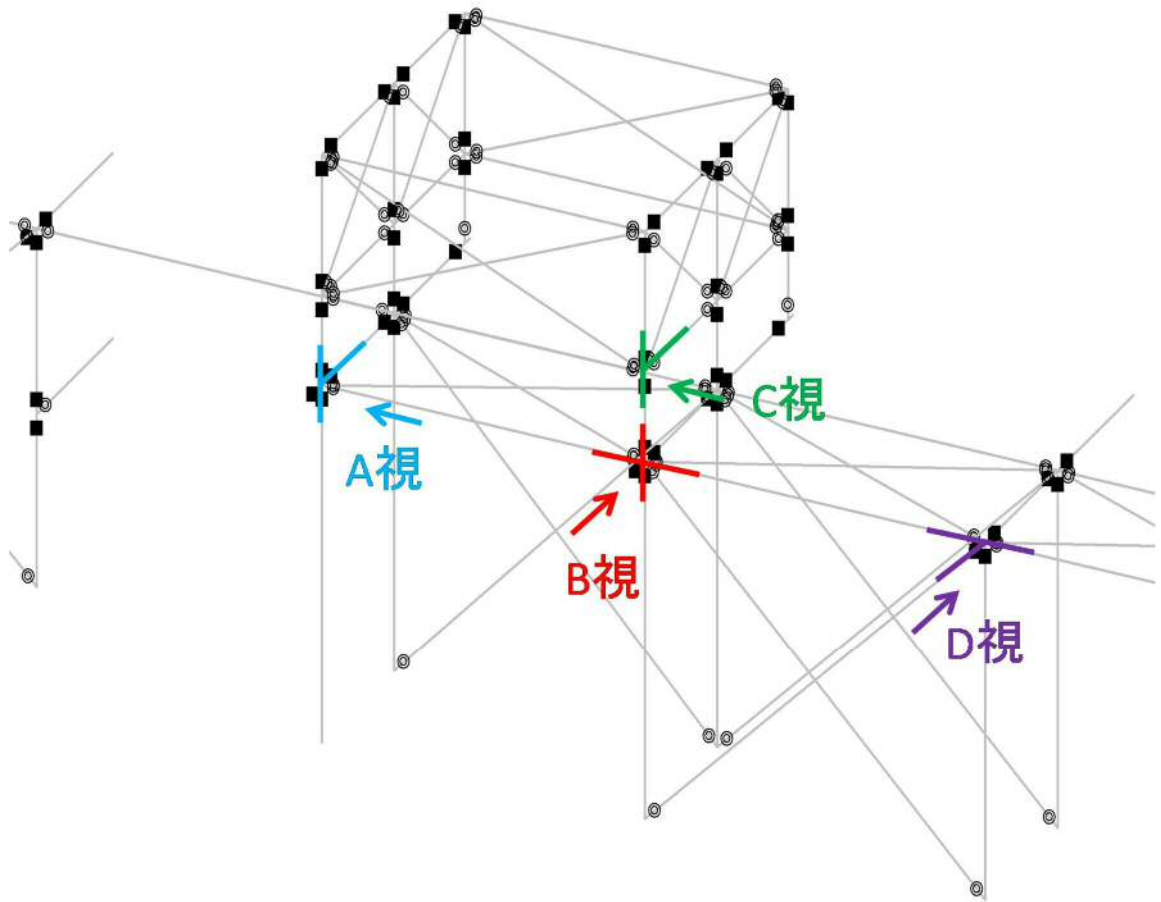
記号	x	y	z
■	剛結	剛結	剛結
◎	剛結	ピン	ピン

*1 : x, y, zは要素座標系で、xは部材軸方向となる

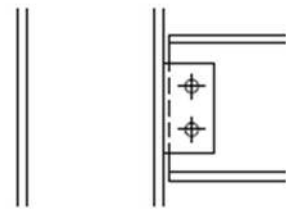
*2 : H鋼のフランジとウェブの両方を溶接で接合している箇所は剛結とし、H鋼のウェブをボルトにて接合している箇所及びブレースをボルト接合している箇所はピンとする。

(c-2) エリア⑧ 境界条件(1/2)

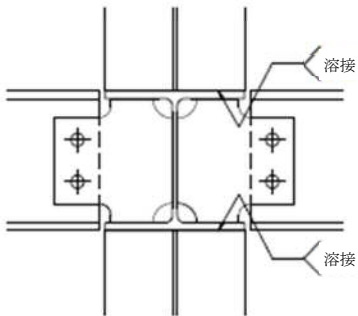
図4-2 固有値解析モデル（ネット用架構及び鉄骨架構）(4/5)



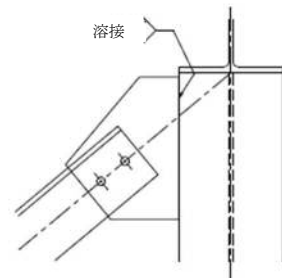
A 視



C 視



B 視



D 視

(c-2) エリア⑧ 境界条件 (2/2)

図4-2 固有値解析モデル (ネット用架構及び鉄骨架構) (5/5)

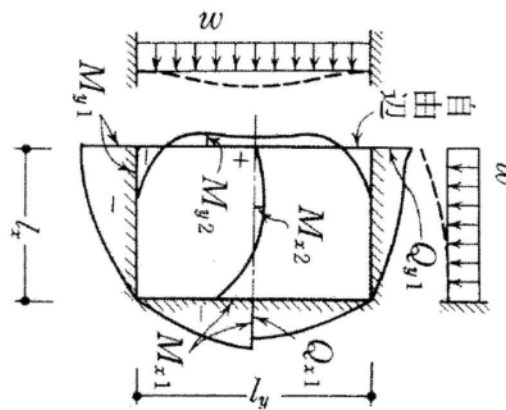
4.3.2 強度評価モデル

海水ポンプエリア竜巻防護対策施設のエリア②～⑤及びエリア⑧のRC造躯体における強度評価モデルを図4-3に示す。エリア②～⑤の版状の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②～⑤のネット用架構及びエリア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4-6及び表4-7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」に基づき、以下の計算モデルと式を用いて求める。



$$M = \alpha \cdot w \cdot l_x^2$$

$$Q = \beta \cdot w \cdot l_x$$

エリア②～⑤のネット用架構の計算には解析コード「Engineer's Studio」を使用し、エリア⑧の鉄骨架構の計算には解析コード「MSC NASTRAN」を使用して、上記の3次元フレームモデルを用いて、断面力を求める。使用する解析コードは、固有値解析の結果を踏まえ、モード合成の必要がない構造に対しては「Engineer's Studio」を使用し、モード合成が必要な構造に対してはスペクトルモーダル解析に対応している「MSC NASTRAN」を使用する。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-39 計算機プログラム（解析コード）の概要 Engineer's Studio」及び添付書類「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要 MSC NASTRAN」に示す。

(1) エリア②南側壁, エリア③北側壁 (1)



(2) エリア②北側壁, エリア④南側壁 (2)

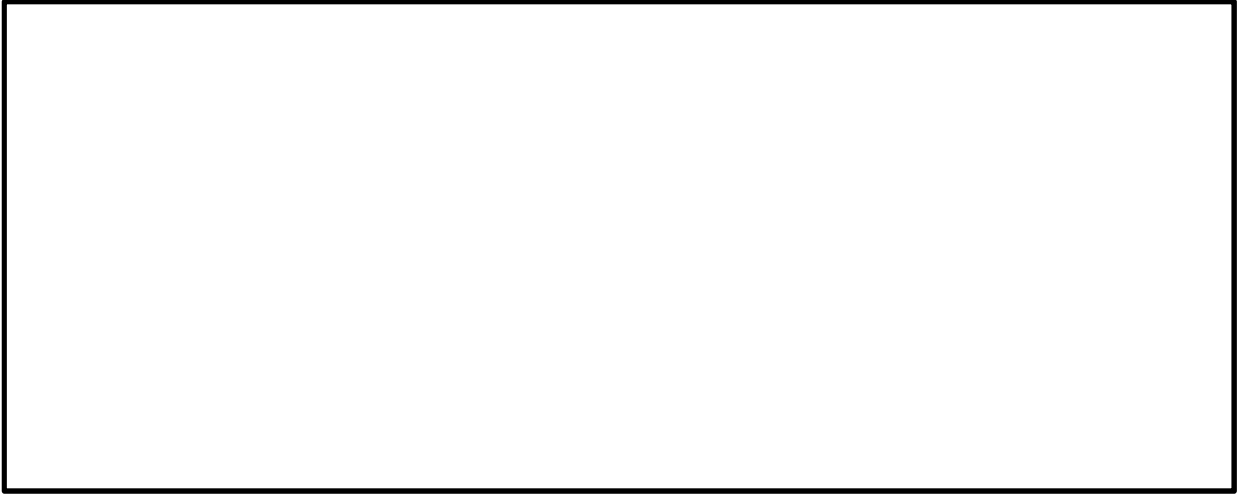
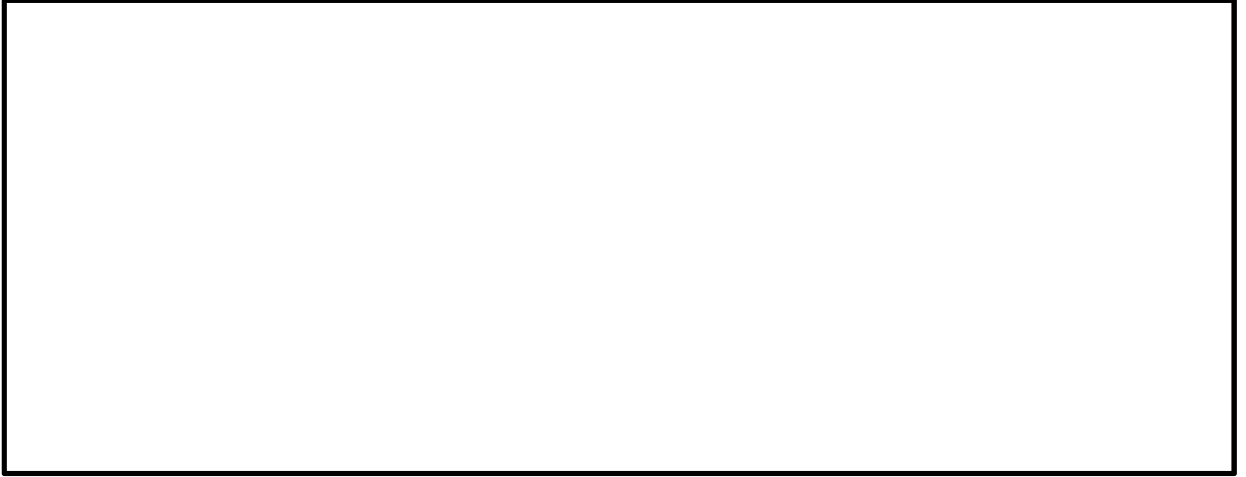
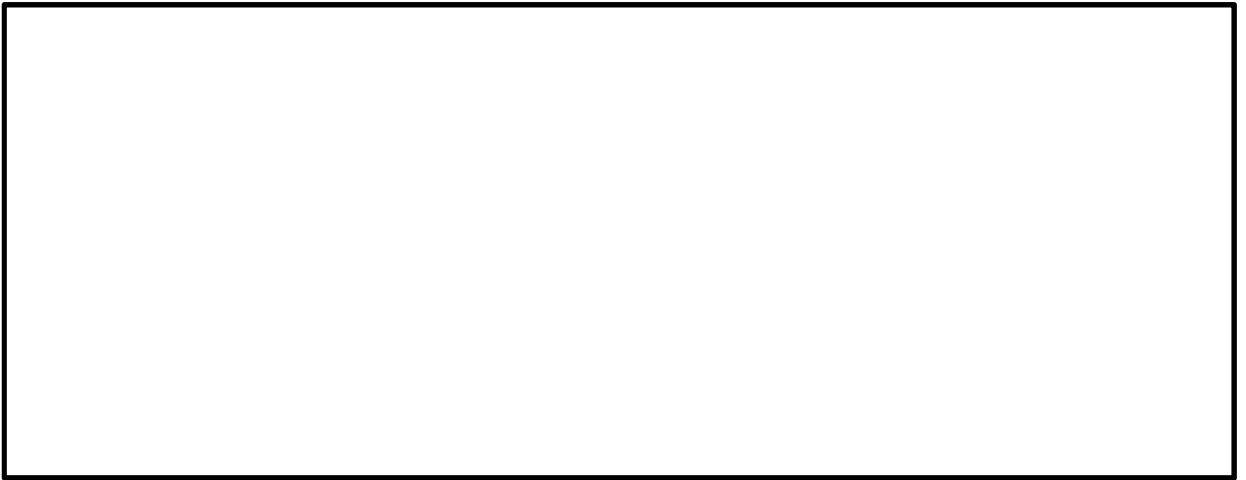


図 4-3 R C造躯体強度評価モデル (エリア②～⑤及びエリア⑧) (1/4)

(3) エリア⑤北側壁 (3)



(4) エリア⑤西側壁 (4)

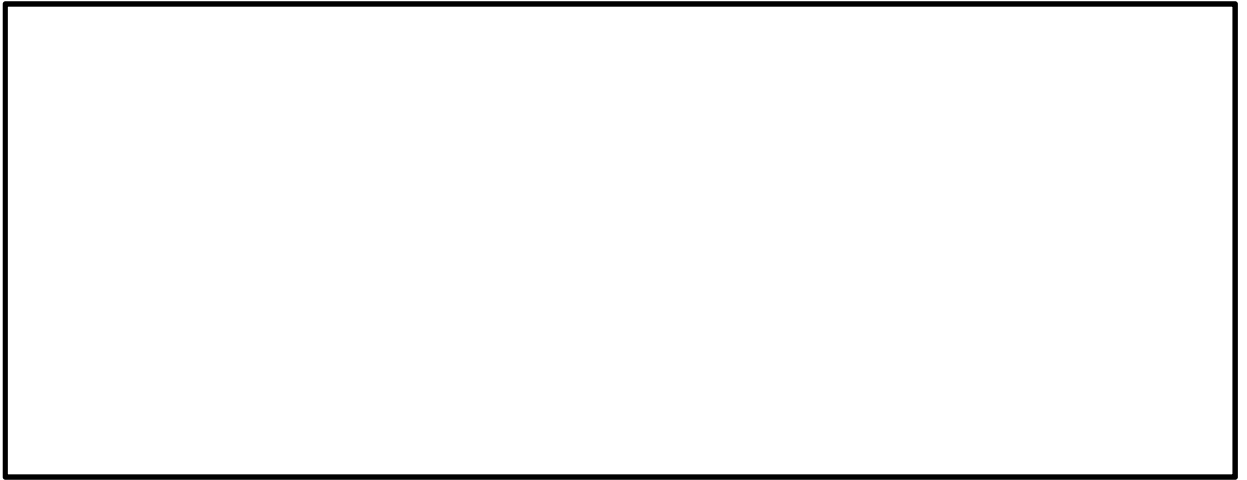


(5) エリア⑤南側壁 (5)



図 4-3 R C造躯体強度評価モデル (エリア②～⑤及びエリア⑧) (2/4)

(6) 東側クレーン走行路嵩上げ壁 (6)



(7) 西側クレーン走行路嵩上げ壁 (エリア③④) (7)

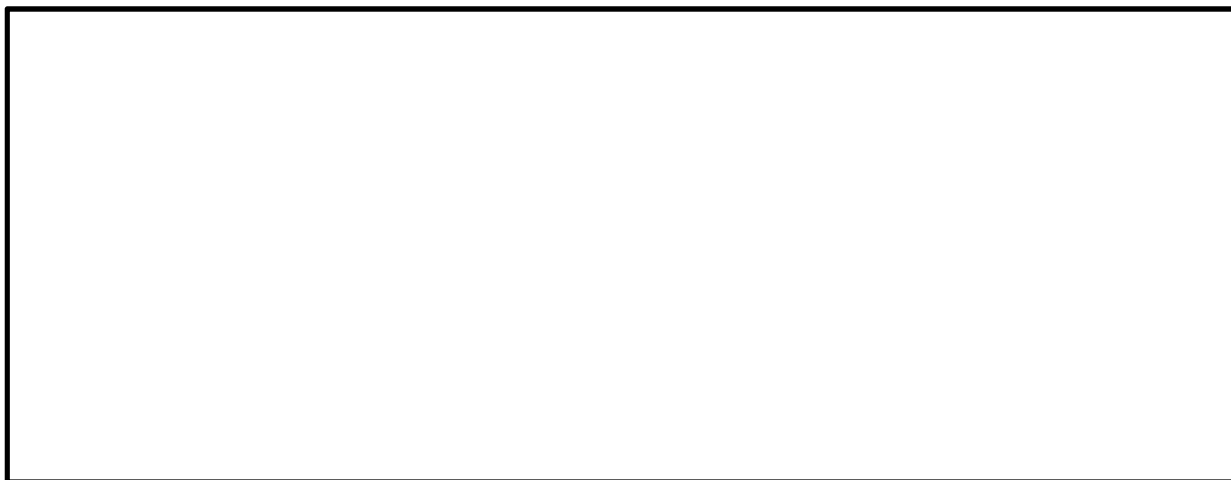


(8) 西側クレーン走行路嵩上げ壁 (エリア②) (8)



図 4-3 R C造躯体強度評価モデル (エリア②～⑤及びエリア⑧) (3/4)

(9) エリア⑧北側壁 (9)



(10) エリア⑧南側基礎 (10)



図 4-3 RC造躯体強度評価モデル (エリア②～⑤及びエリア⑧) (4/4)

表4-6 施設諸元 (ネット用架構及び鉄骨架構)

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SS400, SM400, SM570
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

表4-7 施設諸元 (R C造躯体)

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

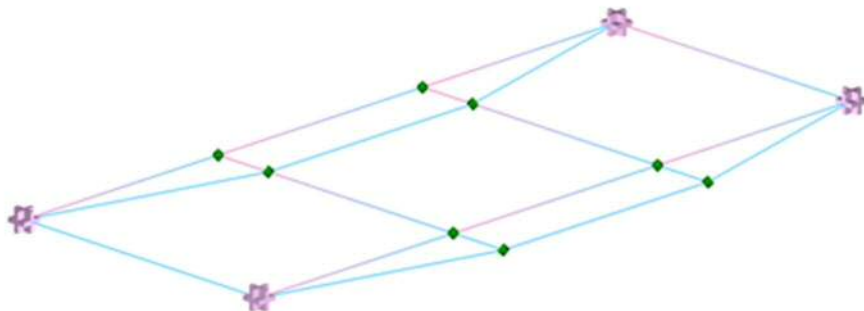
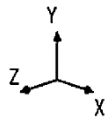
4.4 固有周期

ネット用架構及び鉄骨架構の固有値解析結果を表4-8に、R C造躯体の固有値解析の結果を表4-9に示す。振動モードをそれぞれ図4-4及び図4-5に示す。

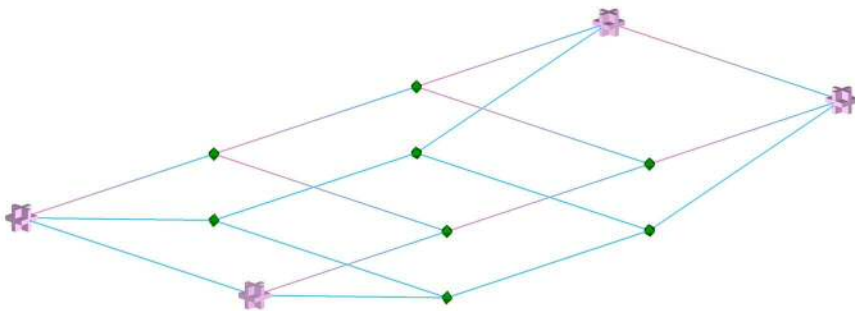
表4-8 固有値解析結果（ネット用架構及び鉄骨架構）

部位	モード	卓越方向	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	刺激係数		
					X方向 (NS)	Y方向 (UD)	Z方向 (EW)
②-1	1	X	4.280	0.234	2.61	0	0
	2	Y	5.620	0.178	0	-2.61	0
	3	-	5.620	0.178	0	0	0
	4	-	10.585	0.094	0	0	0
	7	Z	65.527	0.015	0	0	2.79
③④-1	1	X	4.466	0.224	-2.52	0	0
	2	Y	5.804	0.172	0	2.52	0
	3	-	5.804	0.172	0	0	0
	4	-	10.987	0.091	0	0	0
	7	Z	67.676	0.015	0	0	-2.71
③④-2	1	X	4.530	0.221	-2.50	0	0
	2	Y	5.869	0.170	0	2.5	0
	3	-	5.870	0.170	0	0	0
	4	-	11.126	0.090	0	0	0
	7	Z	68.440	0.015	0	0	2.68
⑤-1	1	-	13.206	0.076	0	0	0
	2	X	15.786	0.063	-1.52	0	0
	3	Y	24.320	0.041	0	1.52	0
	6	Z	253.911	0.004	0	0	-1.29
⑤-2	1	-	13.573	0.074	0	0	0
	2	X	16.220	0.062	1.48	0	0
	3	Y	24.879	0.040	0	-1.48	0
	6	Z	259.749	0.004	0	0	-1.42
⑧-1	1	-	9.454	0.106	3.17	0	0
	2	-	9.702	0.103	2.81	0	0
	3	-	12.241	0.082	0	0	0
	4	-	12.582	0.079	0	0	0
	5	-	16.846	0.059	0.50	0	-0.01
	6	-	17.304	0.058	-0.51	0.02	-0.01
	9	Z	26.235	0.038	-0.15	-0.05	3.29
	13	X	31.310	0.032	-5.97	0.08	0.09
	29	Y	60.651	0.017	0.07	-4.55	0.12

X (南北) 方向卓越
 ・ 1 次 (0.234 sec)



Y (鉛直) 方向卓越
 ・ 2 次 (0.178 sec)



Z (東西) 方向卓越
 ・ 7 次 (0.015 sec)

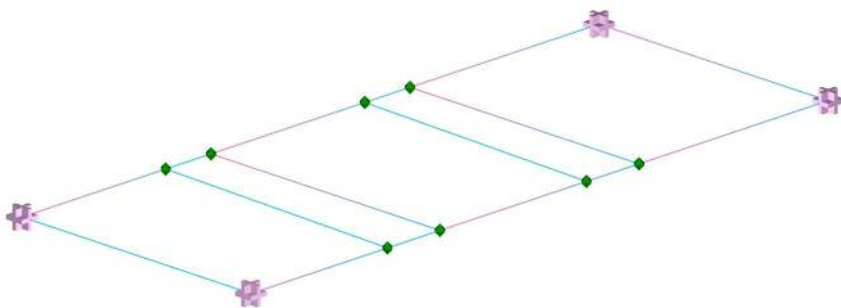
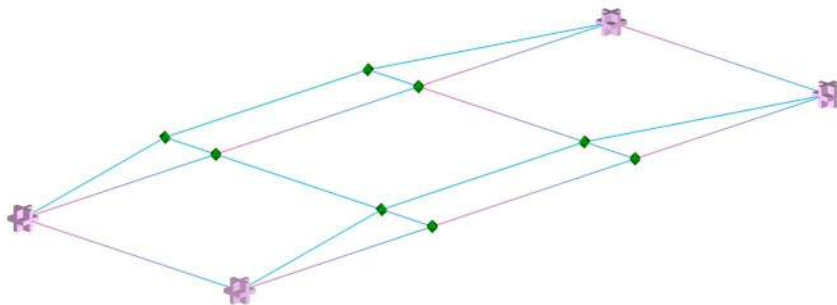
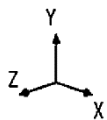
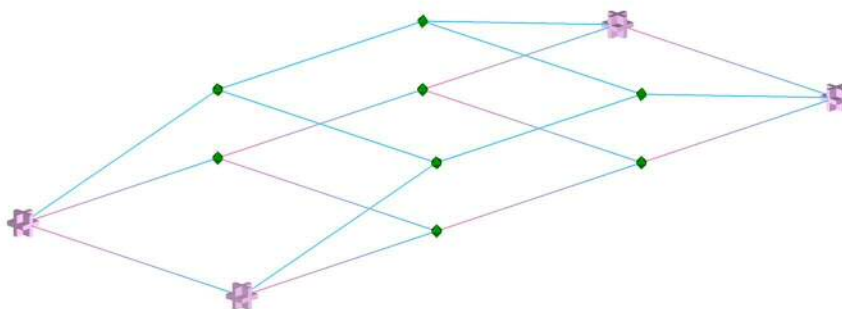


図4-4 振動モード図 (ネット架構及び鉄骨架構) (1/6) (②-1)

X (南北) 方向卓越
 ・ 1 次 (0.224 sec)



Y (鉛直) 方向卓越
 ・ 2 次 (0.172 sec)



Z (東西) 方向卓越
 ・ 7 次 (0.015 sec)

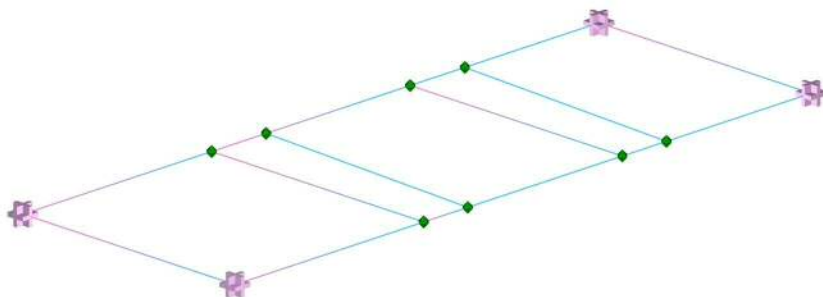
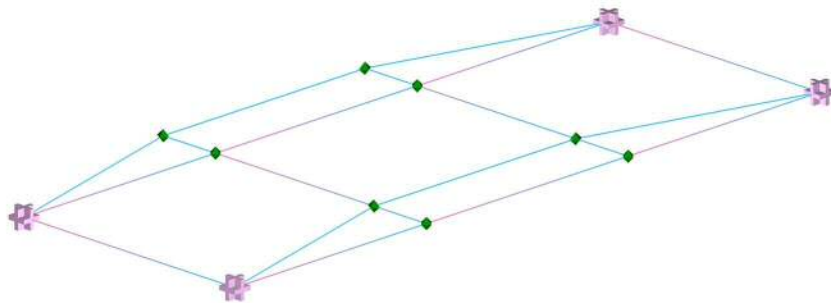
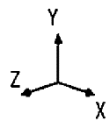
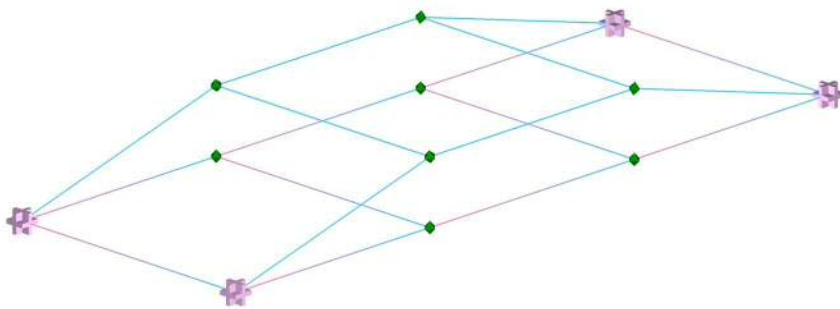


図4-4 振動モード図 (ネット架構及び鉄骨架構) (2/6) (③④-1)

X (南北) 方向卓越
 ・ 1 次 (0.221 sec)



Y (鉛直) 方向卓越
 ・ 2 次 (0.170 sec)



Z (東西) 方向卓越
 ・ 7 次 (0.015 sec)

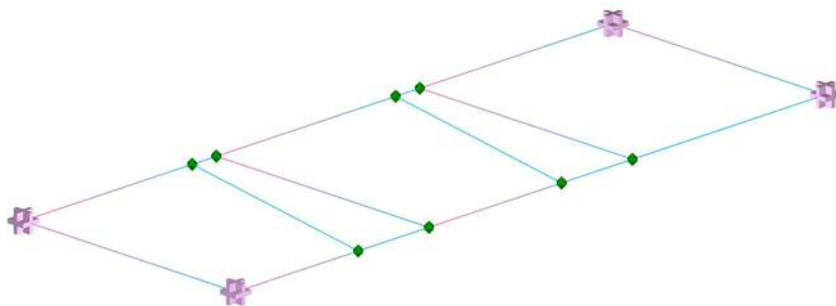
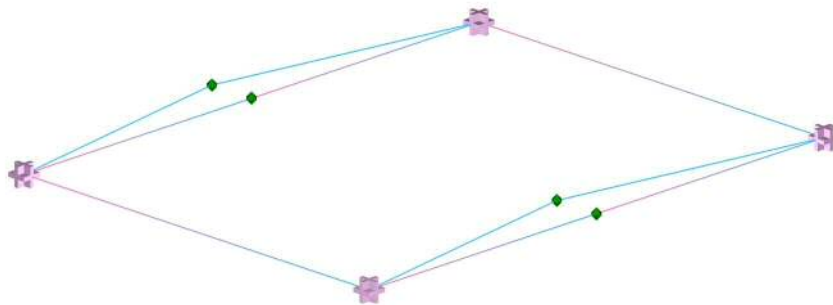
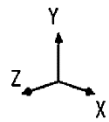
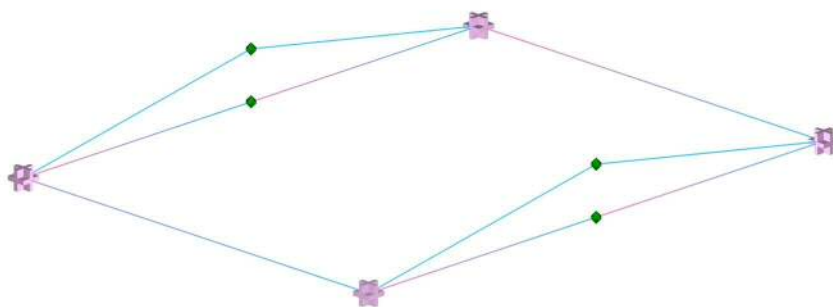


図4-4 振動モード図 (ネット架構及び鉄骨架構) (3/6) (③④-2)

X (南北) 方向卓越
 ・ 2 次 (0.063 sec)



Y (鉛直) 方向卓越
 ・ 3 次 (0.041 sec)



Z (東西) 方向卓越
 ・ 6 次 (0.004 sec)

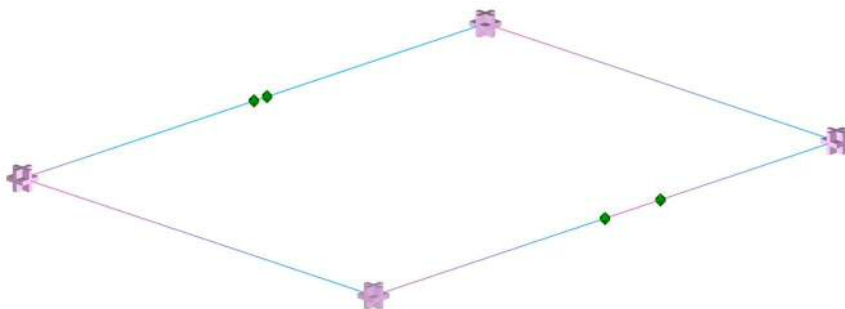
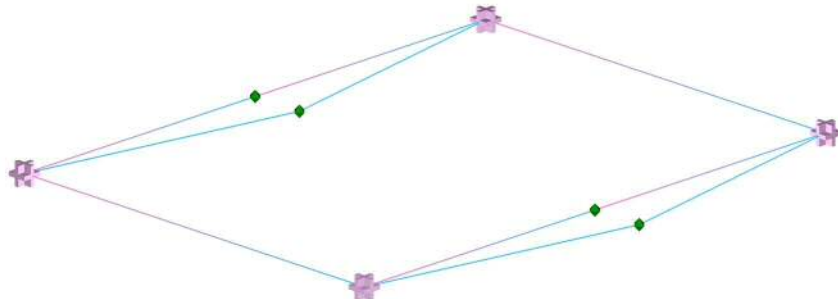
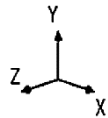
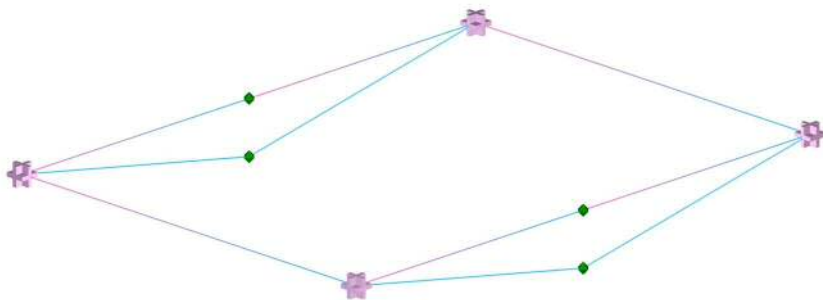


図4-4 振動モード図 (ネット架構及び鉄骨架構) (4/6) (⑤-1)

X (南北) 方向卓越
 ・ 2 次 (0.062 sec)



Y (鉛直) 方向卓越
 ・ 3 次 (0.040 sec)



Z (東西) 方向卓越
 ・ 6 次 (0.004 sec)

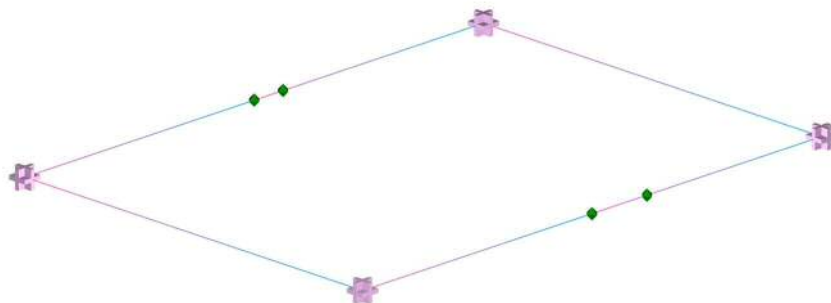
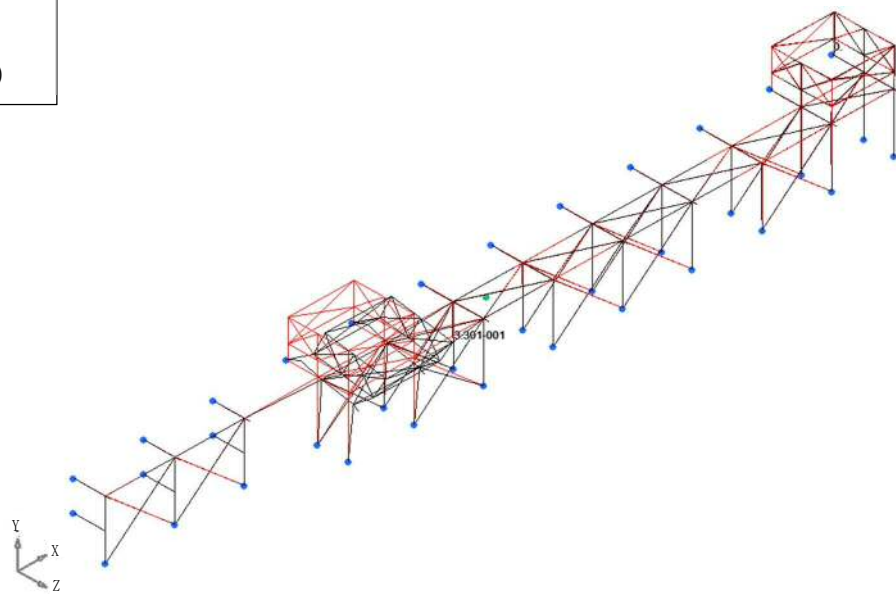
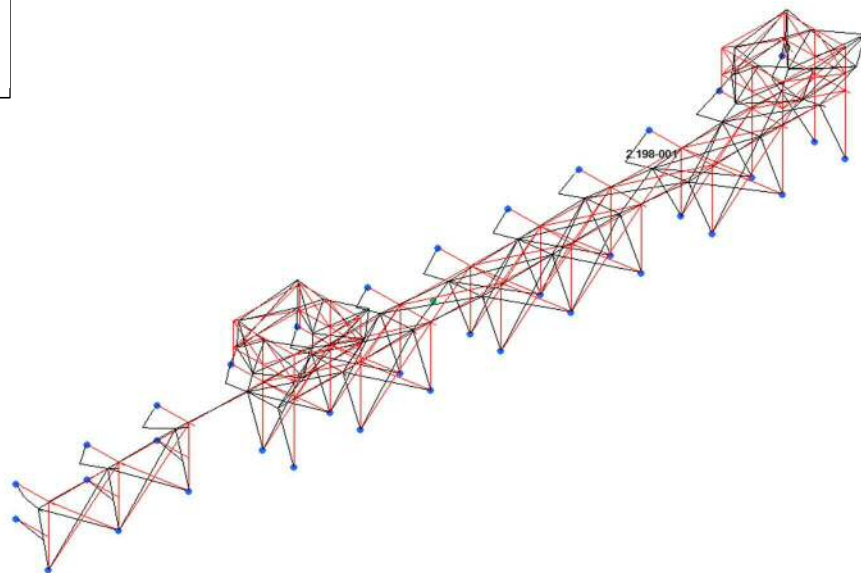


図4-4 振動モード図 (ネット架構及び鉄骨架構) (5/6) (⑤-2)

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 (0.017 sec)

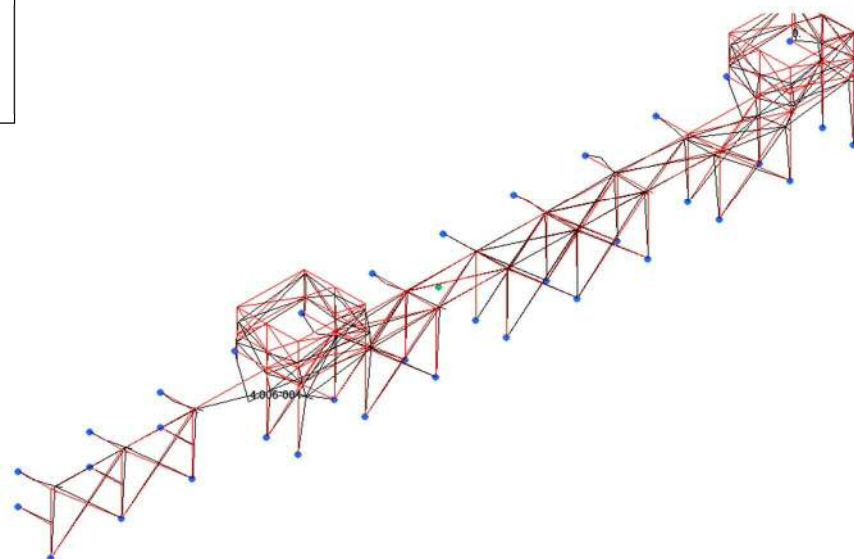


図4-4 振動モード図 (ネット架構及び鉄骨架構) (6/6) (⑧-1)

表4-9 固有値解析結果 (RC造躯体)

部位	モード	卓越方向	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	刺激係数
1	1	面外方向	14.449	0.069	5.24
2	1	面外方向	20.115	0.050	5.23
3	1	面外方向	63.176	0.016	-3.27
4	1	面外方向	15.551	0.064	10.05
5	1	面外方向	76.240	0.013	1.87
6	1	面外方向	20.836	0.048	9.74
7	1	面外方向	18.076	0.055	12.71
8	1	面外方向	36.184	0.028	7.88
9	1	面外方向	35.367	0.028	2.07
10	1	面外方向	67.467	0.015	-3.56

* : 2次モード以上については、面外方向及び面内方向の全てにおいて20Hz以上となる。

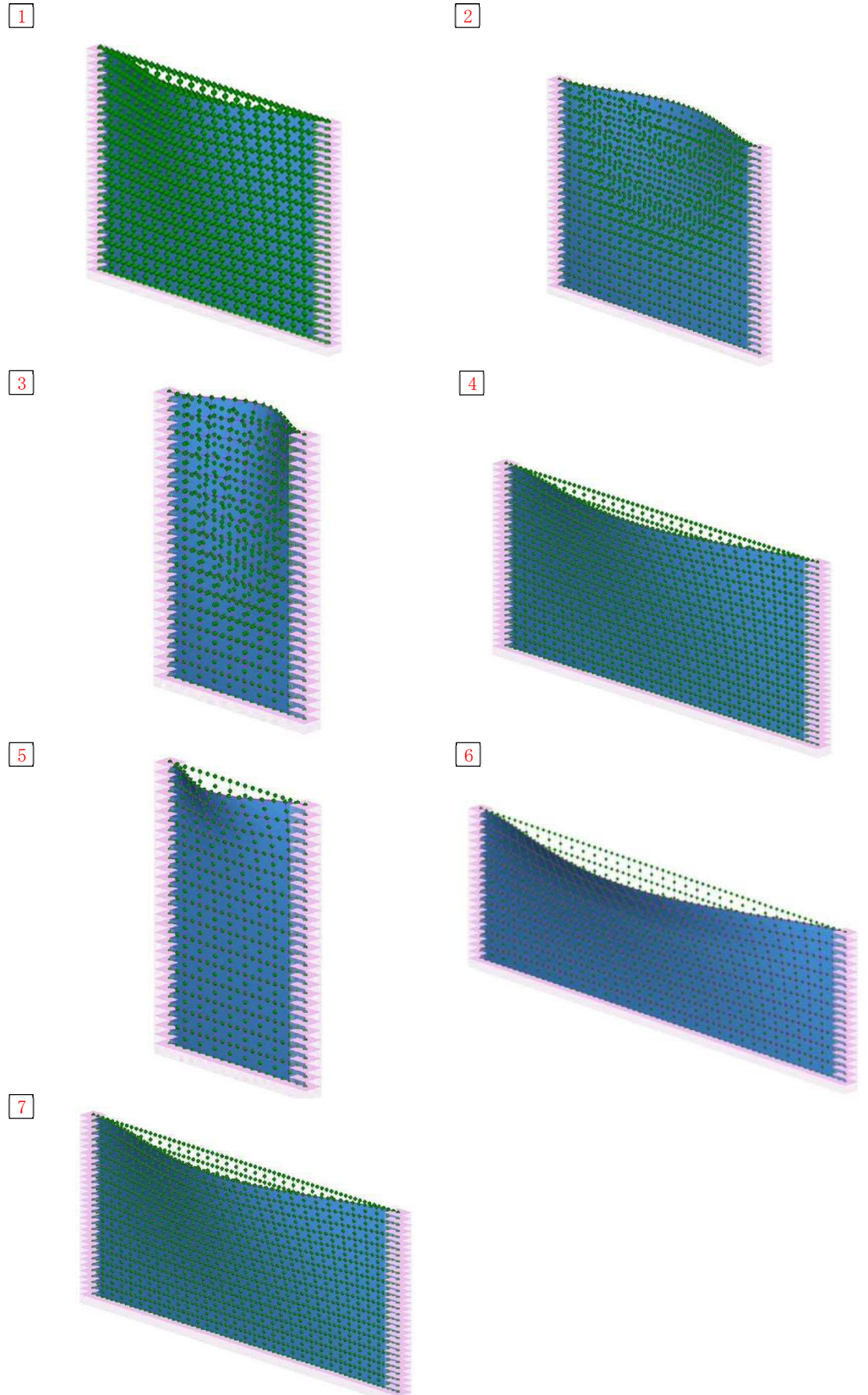


図4-5 振動モード図 (RC造躯体) (1/2)

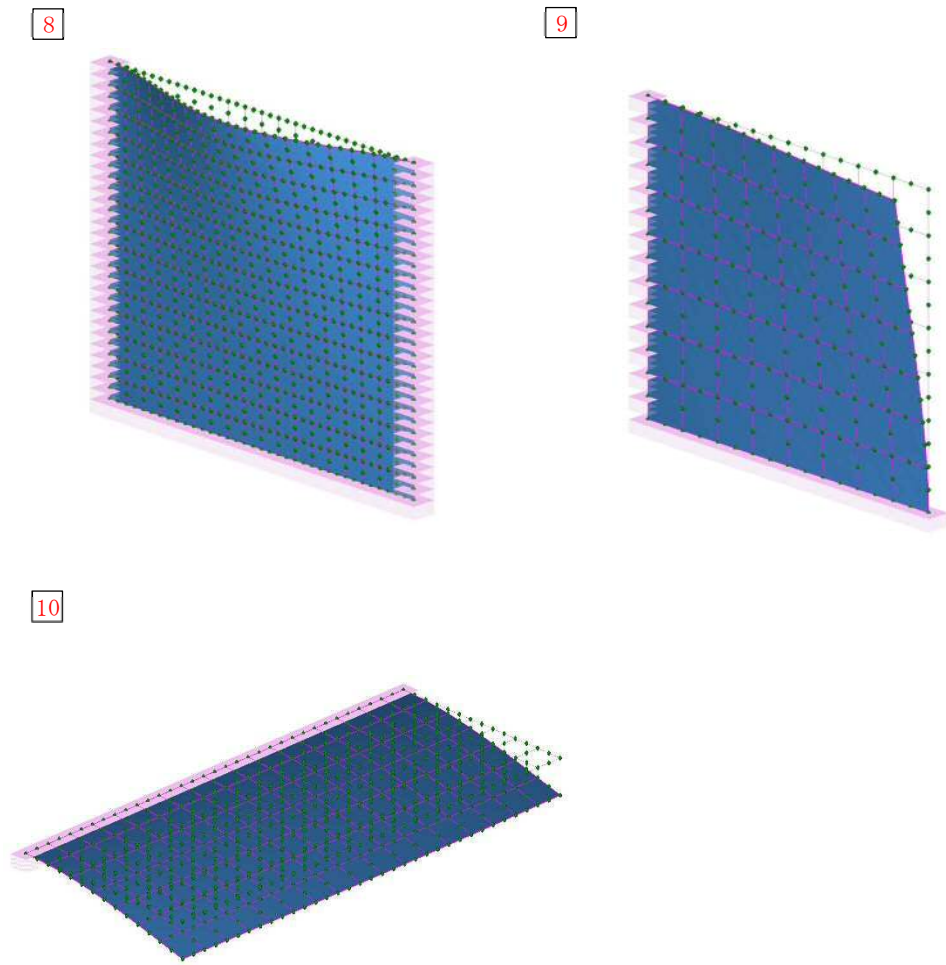


図4-5 振動モード図 (RC造躯体) (2/2)

4.5 設計用地震力

適用する応答曲線は、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また、ネット用架構及び鉄骨架構の減衰定数は、添付書類「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造躯体については、道路橋示方書を踏まえ、5%を用いる。評価に用いる設計用地震力を、表4-10及び表4-11に示す。

表4-10 設計用地震力(ネット用架構及び鉄骨架構)

部位	据付場所 及び 床面高さ(m)	固有周期(s)		基準地震動 S _s		減衰定数(%)	
		水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平	鉛直
②-1	取水構造物 (ポンプピット) 上 増打壁天端 E.L. 約+8.1	0.234	0.178	*1	*1	1	1
③④-1		0.224	0.172	*1	*1	1	1
③④-2		0.221	0.170	*1	*1	1	1
⑤-1		0.063	0.041	*1	1.04	1	1
⑤-2		0.062	0.040	*1	1.04	1	1
⑧-1	取水構造物 (ポンプピット) 天端 E.L. +6.600 及び 取水構造物 (取水路) 天端 E.L. +3.310	0.106	0.017	*1	1.04	1	1

注記 *1: 基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

表4-11 設計用地震力(RC造躯体)

部位	据付場所 及び 床面高さ(m)	固有周期(s)		基準地震動 S_s		減衰定数(%)	
		水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平	鉛直
1	取水構造物 (ポンプピット) 天端 E. L. +6.600	0.069	≤0.05	*	1.04	5	5
2		0.050	≤0.05	1.11	1.04	5	5
3		0.016	≤0.05	1.11	1.04	5	5
4		0.064	≤0.05	*	0.84	5	5
5		0.013	≤0.05	1.11	1.04	5	5
6	取水構造物 (取水路) 天端 E. L. +3.310	0.048	≤0.05	0.98	0.84	5	5
7	取水構造物 (ポンプピット) 天端*2 E. L. +6.600	0.055	≤0.05	*	0.84	5	5
8		0.028	≤0.05	0.98	0.84	5	5
9		0.028	≤0.05	1.11	1.04	5	5
10	取水構造物 (取水路) 天端 E. L. +3.310	≤0.05	0.015	1.11	1.04	5	5

注記 *1: 基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

*2: 9 はポンプピット(～+EL. 6.600)と結合しているため(表2-1参照), +EL. 6.600
の応答を用いる。

4.6 計算方法

4.6.1 ネット用架構及び鉄骨架構の応力評価

ネット用架構及び鉄骨架構の応力計算式を表4-12に示す。

表4-12 ネット用架構及び鉄骨架構の応力計算式

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	$\frac{Q_y}{A_{sy}}$, $\frac{Q_z}{A_{sz}}$
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、 σ_c を σ_t とする。		

4.6.2 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	$\frac{F_x}{A_b}$
せん断応力 τ	MPa	$\frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{A_b}$
組合せ応力	MPa	$\frac{F_x}{A_b}$

4.6.3 RC部の応力評価

RC部（躯体及び基礎）の応力計算方法を表4-14に示す。

表4-14 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 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	

4.7 計算条件

応力解析において、自重、積雪、風及び地震による荷重は、4.2.1項及び4.5項に基づく。

4.8 応力の評価

4.8.1 鋼構造部の応力評価

4.6.2項及び4.6.3項で求めた鋼構造部の応力が表4-15に示す許容応力以下であること。

表4-15 鋼構造部の許容応力(D B条件及びS A条件)

	ボルト以外	ボルト*1, *2
許容引張応力 $1.5f_t$	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $1.5f_s$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 $1.5f_c$	$\begin{cases} 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2 \\ 0.277 \cdot F \cdot \left(\frac{\Lambda}{\lambda}\right)^2 \end{cases} \cdot \frac{F}{v} \cdot 1.5 \quad (\lambda \leq \Lambda)$	—
許容曲げ応力 $1.5f_b$	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	—

ここで、

F : $\text{Min}\{S_v, 0.7S_u\}$

v : 以下の計算式により算出した値

$$v = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$$

注記 *1: 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。

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

*2: 材質 F8T のボルトについては、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。

4.8.2 RC部の応力評価

4.6.1項で求めたRC部の応力が、表 4-16 に示す許容応力以下であること。

表 4-16 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 ²)
コンクリート	設計基準強度 24 N/mm ²	許容曲げ圧縮応力 σ_{ca}	$1.5\sigma_{ca}$
		許容せん断応力 τ_{a1}	$1.5\tau_{a1}^{*1}$
鉄筋	SD345	許容曲げ引張応力 σ_{SA2} (軸方向鉄筋)	$1.5\sigma_{SA2}$
		許容曲げ引張応力 σ_{SA2} (せん断補強筋)	$1.5\sigma_{SA2}$
アンカー	SD345	許容引張耐力	$\text{Min}(p_{a1}, p_{a3})^{*2}$

注記 *1: 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) を許容応力とする。

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

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

$$V_{SA} = A_w \cdot \sigma_{SA2} \cdot j \cdot d / s$$

ここで、

$$j : 1/1.15$$

*2: 単位は N

5. 評価結果

5.1 DB条件に対する評価結果

海水ポンプエリア防護壁のDB条件に対する耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，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した。なお，最大応力発生位置を図5-1に示す。

表5-1 海水ポンプエリア防護壁の発生応力評価結果（DB条件：ネット用架構及び鉄骨架構）

評価部位		発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	備考	
②-1 ③④-1 ③④-2	ネット用架構	曲げ	348	460	
		せん断	67	265	
	アンカー ボルト	引張	174	367	
		せん断	133	282	
	組合せ	174	301		
⑤-1 ⑤-2	ネット用架構	曲げ	22	460	
		せん断	9	265	
	アンカー ボルト	引張	2	367	
		せん断	65	282	
	組合せ	2	367		
⑧-1	鉄骨架構	曲げ+せん断	0.65	1	単位なし
		引張	2	245	
		曲げ	154	245	
		せん断	6	141	
	アンカー ボルト	引張	140	367	
		せん断	27	282	
		組合せ	140	367	

表5-2 海水ポンプエリア防護壁の発生応力評価結果（DB条件：ボルト）

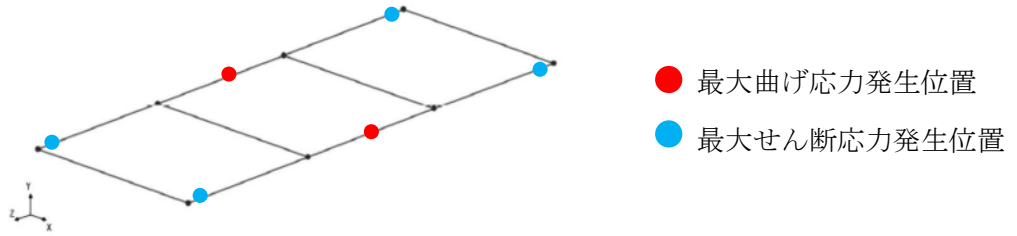
評価部位		発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	備考
防護ネット 取付ボルト	引張	4	250	
	せん断	7	120	
	組合せ	4	250	
防護鋼板 取付ボルト	引張	7	183	
	せん断	7	141	
	組合せ	7	183	

表 5-3 海水ポンプエリア防護壁の発生応力評価結果(1/2) (DB条件: RC造躯体)

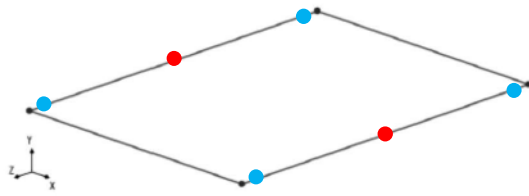
評価部位		発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	備考
1	エリア②南側壁, エリア③北側壁	圧縮 (コンクリート)	9.0	13.5
		引張 (鉄筋)	272	294
		せん断(コンクリート)	0.29	0.67
		アンカー	80.2 kN	83.8 kN
2	エリア④南側壁 (エリア②北側壁)	圧縮 (コンクリート)	5.1	13.5
		引張 (鉄筋)	212	294
		せん断(コンクリート)	0.2	0.67
		アンカー	43.0 kN	58.4 kN
3	エリア⑤北側壁	圧縮 (コンクリート)	1.5	13.5
		引張 (鉄筋)	74	294
		せん断(コンクリート)	0.09	0.67
		アンカー	21.3 kN	61.2 kN
4	エリア⑤西側壁	圧縮 (コンクリート)	1.7	13.5
		引張 (鉄筋)	83	294
		せん断(コンクリート)	0.08	0.67
		アンカー	23.8 kN	57.5 kN
5	エリア⑤南側壁	圧縮 (コンクリート)	1.1	13.5
		引張 (鉄筋)	52	294
		せん断(コンクリート)	0.07	0.67
		アンカー	14.9 kN	64.7 kN
6	東側クレーン走行路 嵩上げ壁	圧縮 (コンクリート)	2.5	13.5
		引張 (鉄筋)	167	294
		せん断(コンクリート)	0.1	0.67
		アンカー	47.9 kN	57.5 kN
7	西側クレーン走行路 嵩上げ壁(エリア③ ④)	圧縮 (コンクリート)	0.4	13.5
		引張 (鉄筋)	46	294
		せん断(コンクリート)	0.06	0.67
		アンカー	17.9 kN	80.3 kN

表5-3 海水ポンプエリア防護壁の発生応力評価結果(2/2) (DB条件: RC造躯体)

評価部位		発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	備考
8	西側クレーン走行路 嵩上げ壁(エリア②)	圧縮(コンクリート)	0.8	13.5
		引張(鉄筋)	62	294
		せん断(コンクリート)	0.08	0.67
		アンカー	17.8 kN	59.6 kN
9	エリア⑧北側壁	圧縮(コンクリート)	3.8	13.5
		引張(鉄筋)	169	294
		せん断(コンクリート)	0.13	0.67
		アンカー	33.6 kN	42.0 kN
10	エリア⑧南側基礎	圧縮(コンクリート)	2.0	13.5
		引張(鉄筋)	113	294
		せん断(コンクリート)	0.17	0.67
		アンカー	32.4 kN	58.4 kN



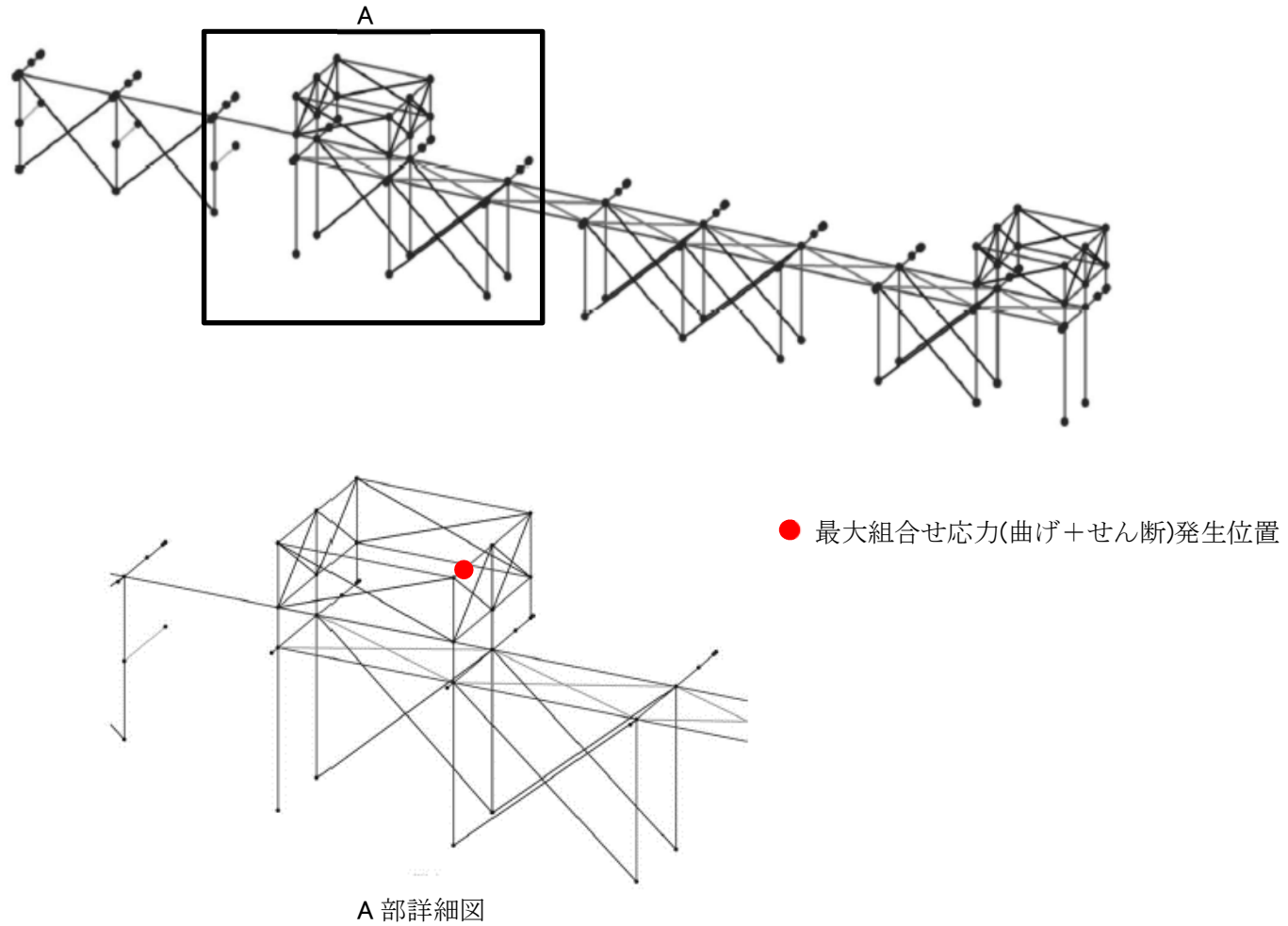
②-1, ③④-1, ③④-2



⑤-1, ⑤-2

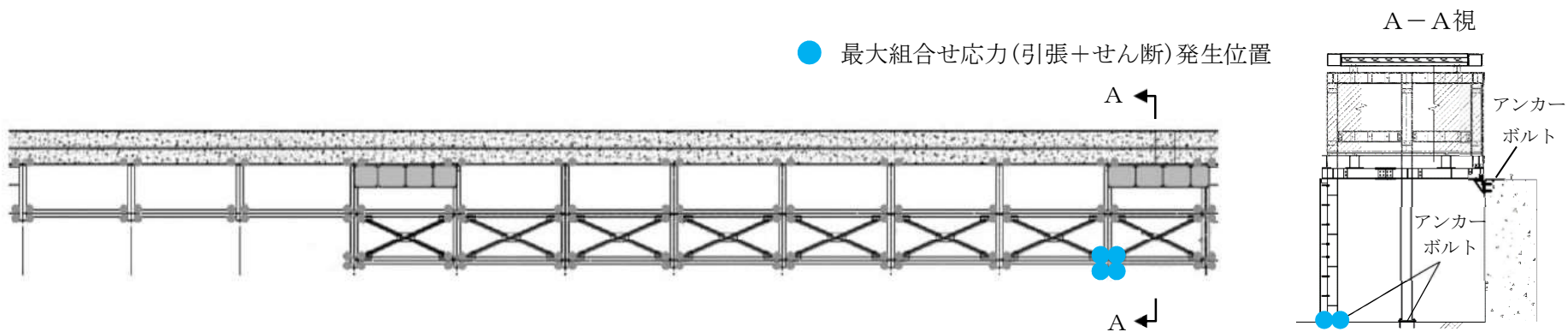
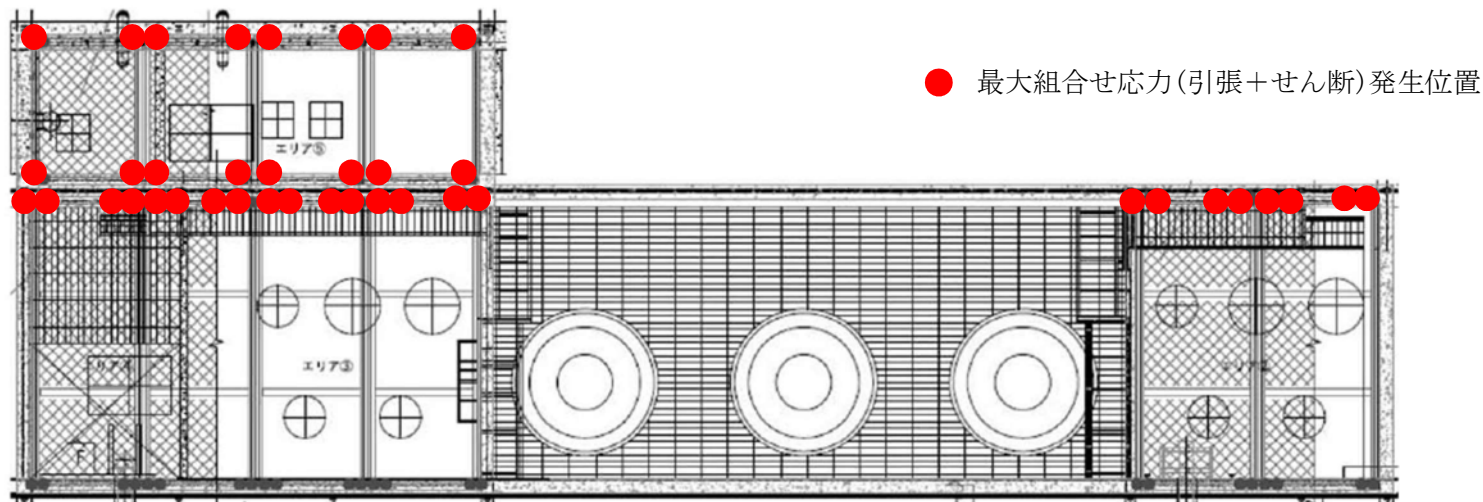
(a) ネット用架構における最大発生位置(エリア②～⑤)

図5-1 最大応力発生位置 (1/5)



(b) 鉄骨架構における最大応力発生位置(エリア⑧)

図5-1 最大応力発生位置 (2/5)

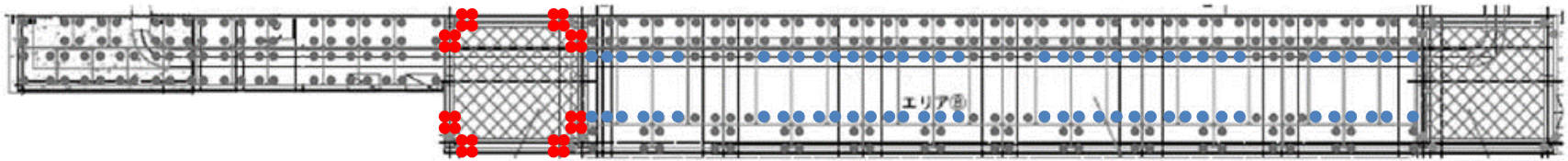


(c) ネット用架構及び鉄骨架構のアンカーボルトにおける最大応力発生位置(エリア②～⑤及びエリア⑧)

図5-1 最大応力発生位置 (3/5)

● 防護ネット取付ボルト最大組合せ応力(引張+せん断)発生位置

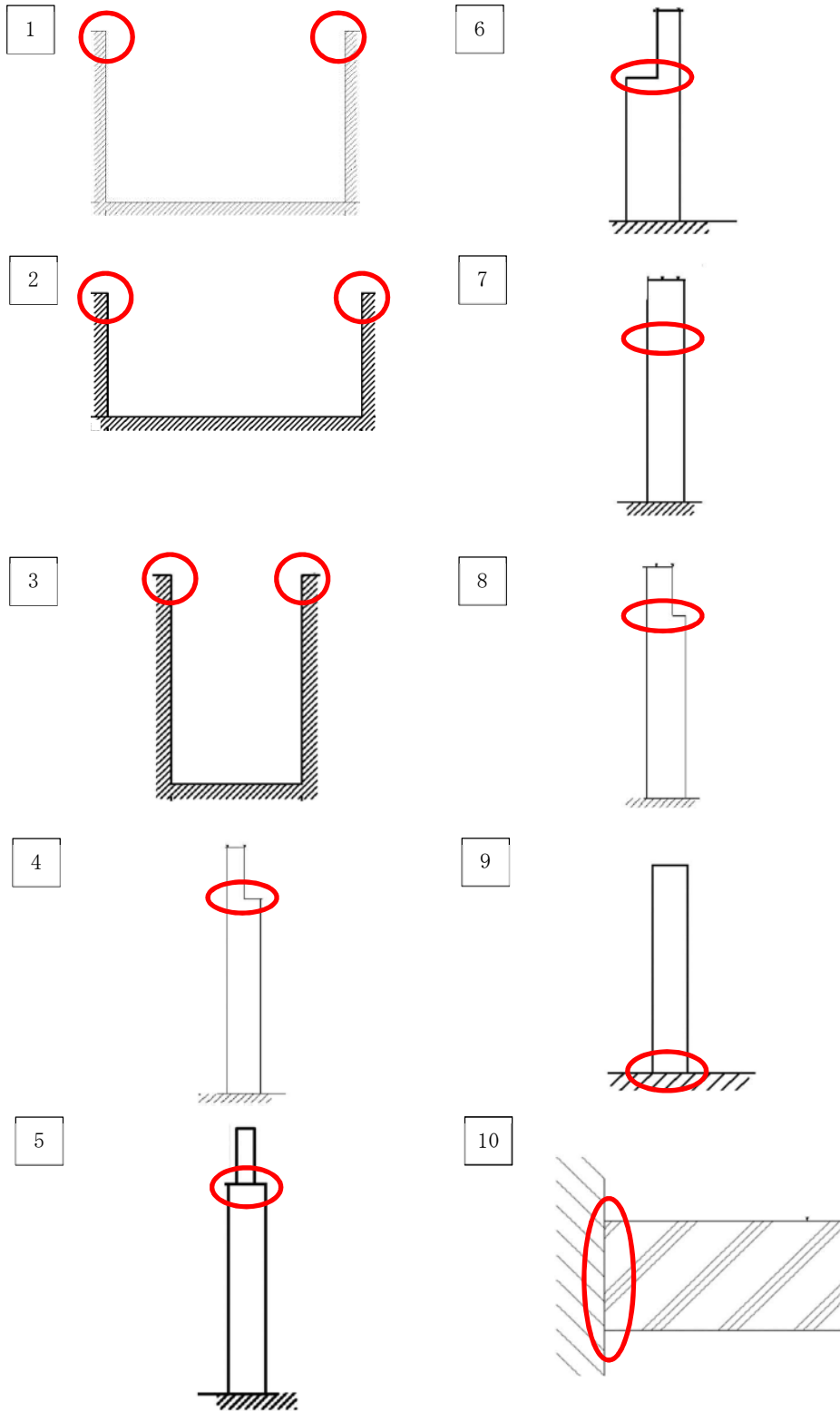
● 防護鋼板取付ボルト最大組合せ応力(引張+せん断)発生位置



(d) 防護ネット及び防護鋼板取付ボルトにおける最大応力発生位置(エリア⑧)

図5-1 最大応力発生位置 (4/5)

○ 最大荷重発生点(コンクリート, 鉄筋, アンカーは全て同一箇所が発生)



(d) RC 造躯体における最大応力発生位置

図 5-1 最大応力発生位置 (5/5)

- 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。