

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	補足-340-11 改7
提出年月日	平成30年9月12日

工事計画に係る補足説明資料

補足-340-11 竜巻防護設備関連の耐震評価について

平成30年9月

日本原子力発電株式会社

海水ポンプエリア防護対策施設の耐震性
についての計算書に関する補足説明資料

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	10
2.5 記号の説明	10
2.6 計算精度と数値の丸め方	12
3. 評価部位	12
4. 地震応答解析及び構造強度評価	17
4.1 地震応答界解析及び構造強度評価方法	17
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	17
4.3 解析モデル及び諸元	33
4.4 固有周期	64
4.5 設計用地震力	85
4.6 計算方法	95
4.7 計算条件	96
4.8 応力の評価	96
5. 評価結果	98
5.1 DB条件に対する評価結果	98
5.2 SA条件に対する評価結果	108
別紙1 海水ポンプ室壁面への負荷質量の影響について	
別紙2 海水ポンプ室壁面の相対変位の影響について	
別紙3 RCスラブの強度計算モデルの設定について	
別紙4 海水ポンプエリア防護対策施設（エリア⑧）の固有値解析結果について	
参考1 海水ポンプエリア防護対策施設の上部に設置される構造の影響について	

1. 概要

本書は、添付書類「V-2-11-2-11 海水ポンプエリア防護対策施設の耐震性についての計算書」に関して補足説明するものであり、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。

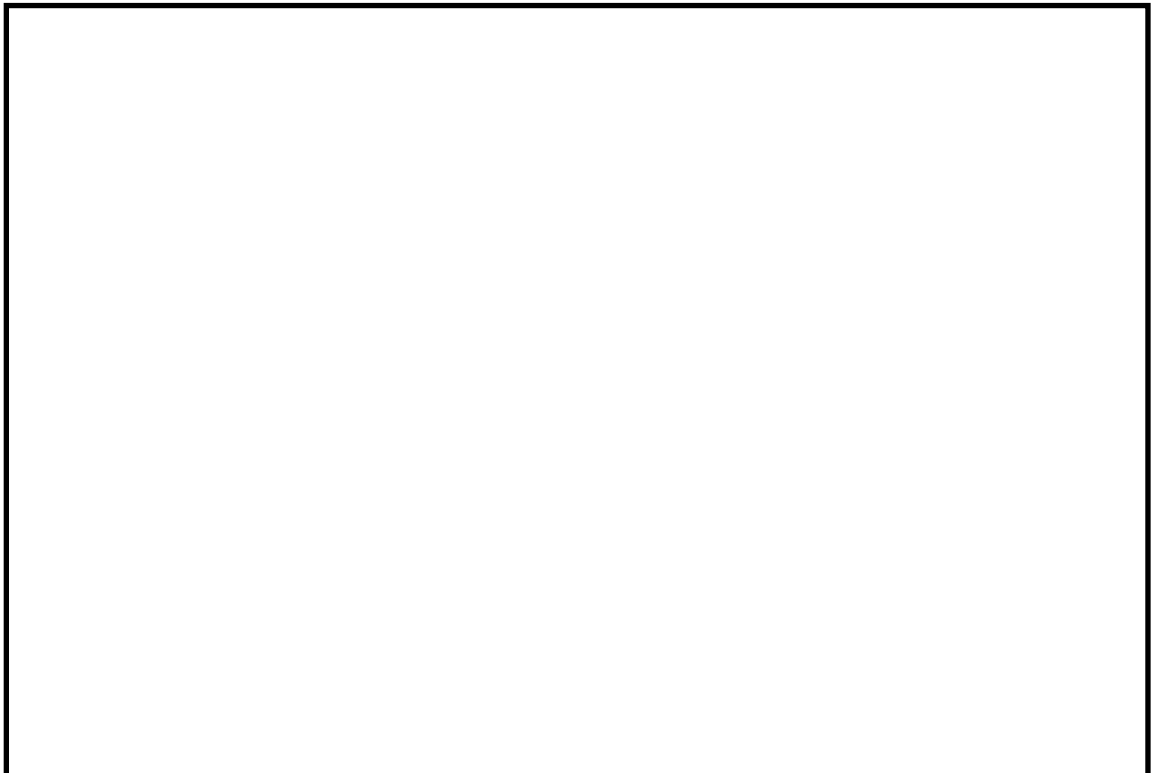


図 2-1 海水ポンプエリア防護対策施設と残留熱除去系海水系ポンプ、
残留熱除去系海水系ストレーナ等の位置関係図

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)

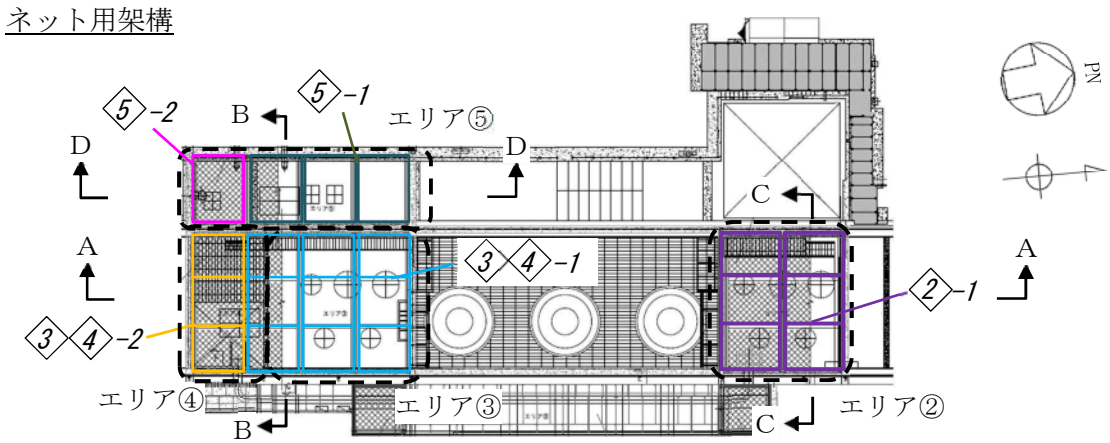
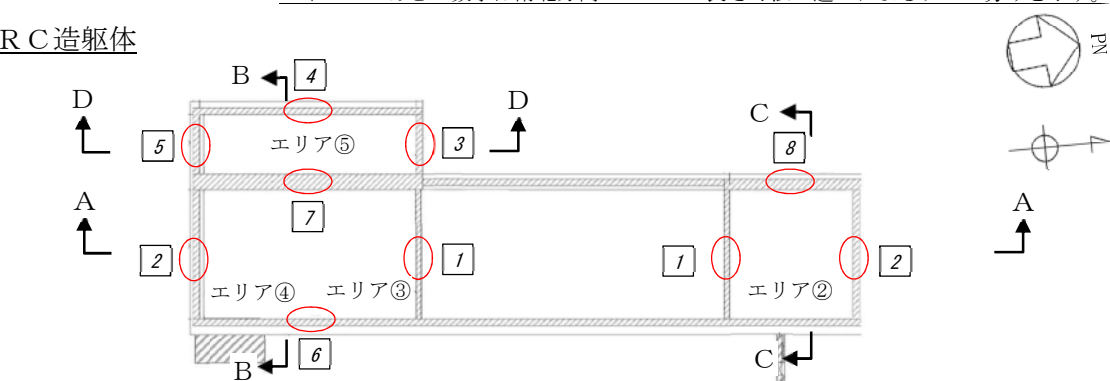
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>飛来物防護ネットに作用する荷重は、ネット用架構を介して取水構造物上に設けたRC造躯体に伝達する構造とする。</p>	<p>【エリア②～⑤】 取水構造物上に設けた鉄筋コンクリート（以下「RC」という）造躯体に、ネット用架構を介して飛来物防護ネットを上載する。</p>	<p>ネット用架構</p>  <p>平面図</p> <p>◇で囲んだゴシック斜体は、ネット用架構の種別を示す。 ハイフンのあとの数字は南北方向のフレーム長さ寸法の違いによるケース分けを示す。</p> <p>RC造躯体</p>  <p>平面図</p> <p>で囲んだゴシック斜体は、RC造躯体の種別を示す。</p>

表 2-1 構造計画 (2/6)

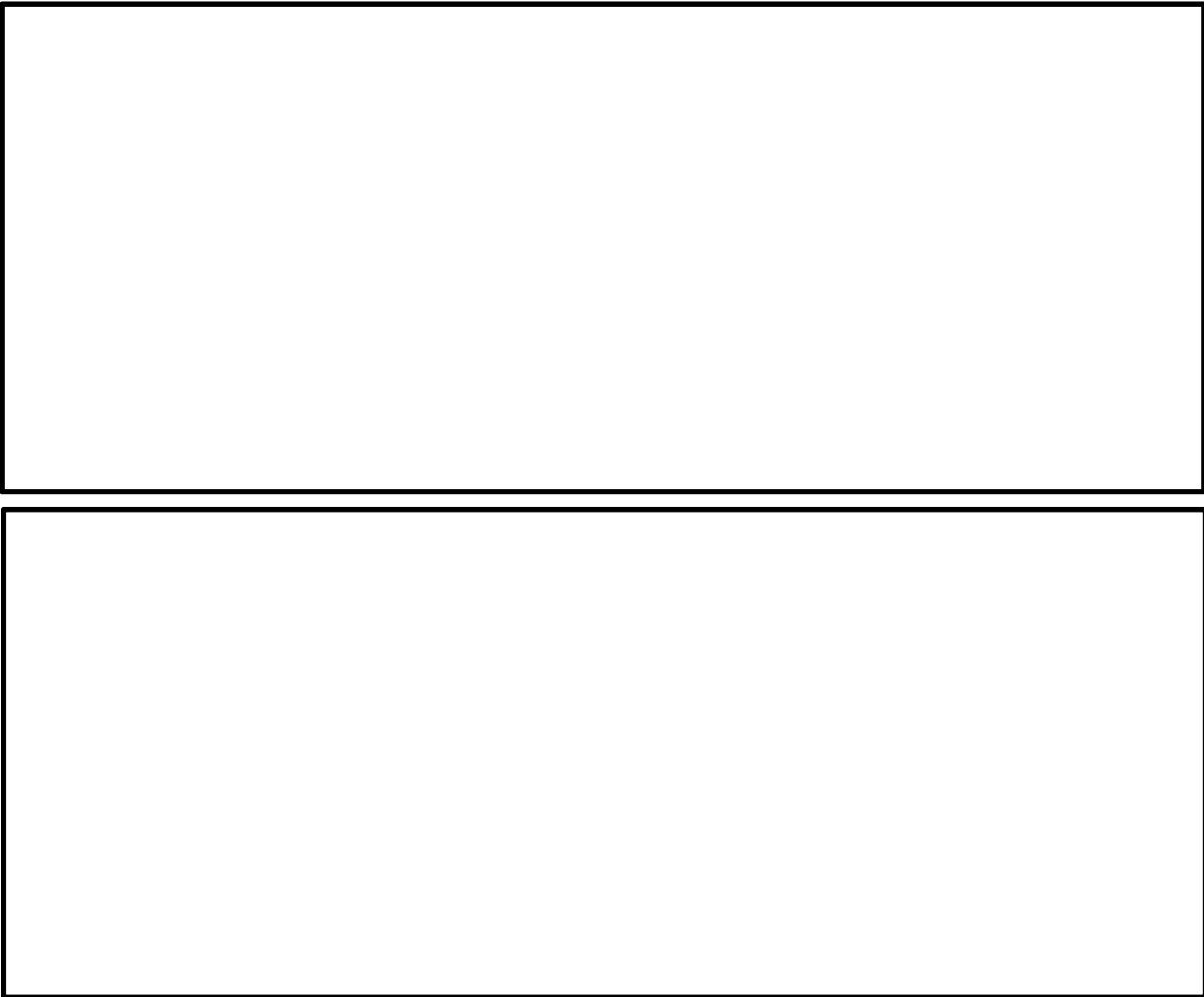
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>飛来物防護ネットに作用する荷重は、ネット用架構を介して取水構造物上に設けたRC造躯体に伝達する構造とする。</p> <p>ネット用架構は4 6 7 8のRC造躯体で支持する構造とする。</p>	<p>【エリア②～⑤】 取水構造物上に設けたRC造躯体に、ネット用架構を介して飛来物防護ネットを上載する。</p>	

表 2-1 構造計画(3/6)


計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<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>	<p>【エリア②～⑤】 取水構造物上に設けたRC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>	

表 2-1 構造計画(4/6)

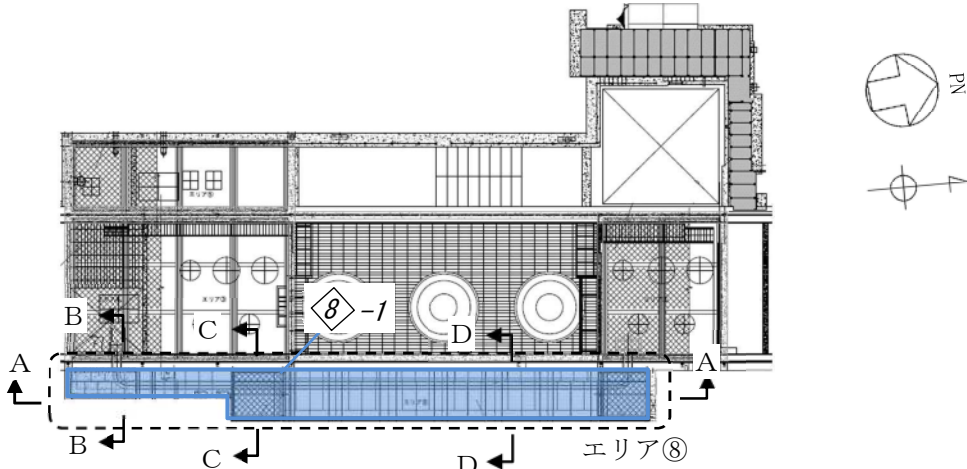
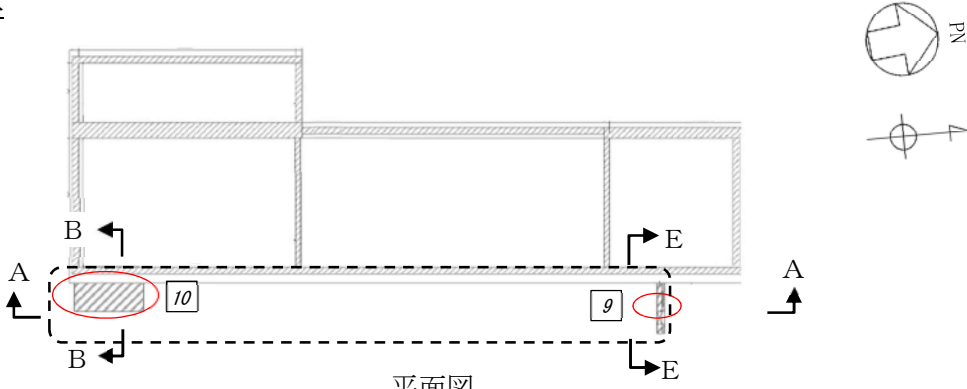
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>飛来物防護ネット及び防護鋼板に作用する荷重は、鉄骨架構を介してRC造の取水構造物躯体に伝達する構造とする。</p>	<p>【エリア⑧】 取水構造物上に設けた鉄骨架構に、飛来物防護ネット及び防護鋼板を設置する。</p>	<p><u>鉄骨架構</u></p>  <p>平面図</p> <p>◇で囲んだゴシック斜体は、鉄骨架構の種別を示す。</p> <p><u>RC造躯体</u></p>  <p>平面図</p> <p>で囲んだゴシック斜体は、RC造躯体の種別を示す。</p>

表 2-1 構造計画(5/6)

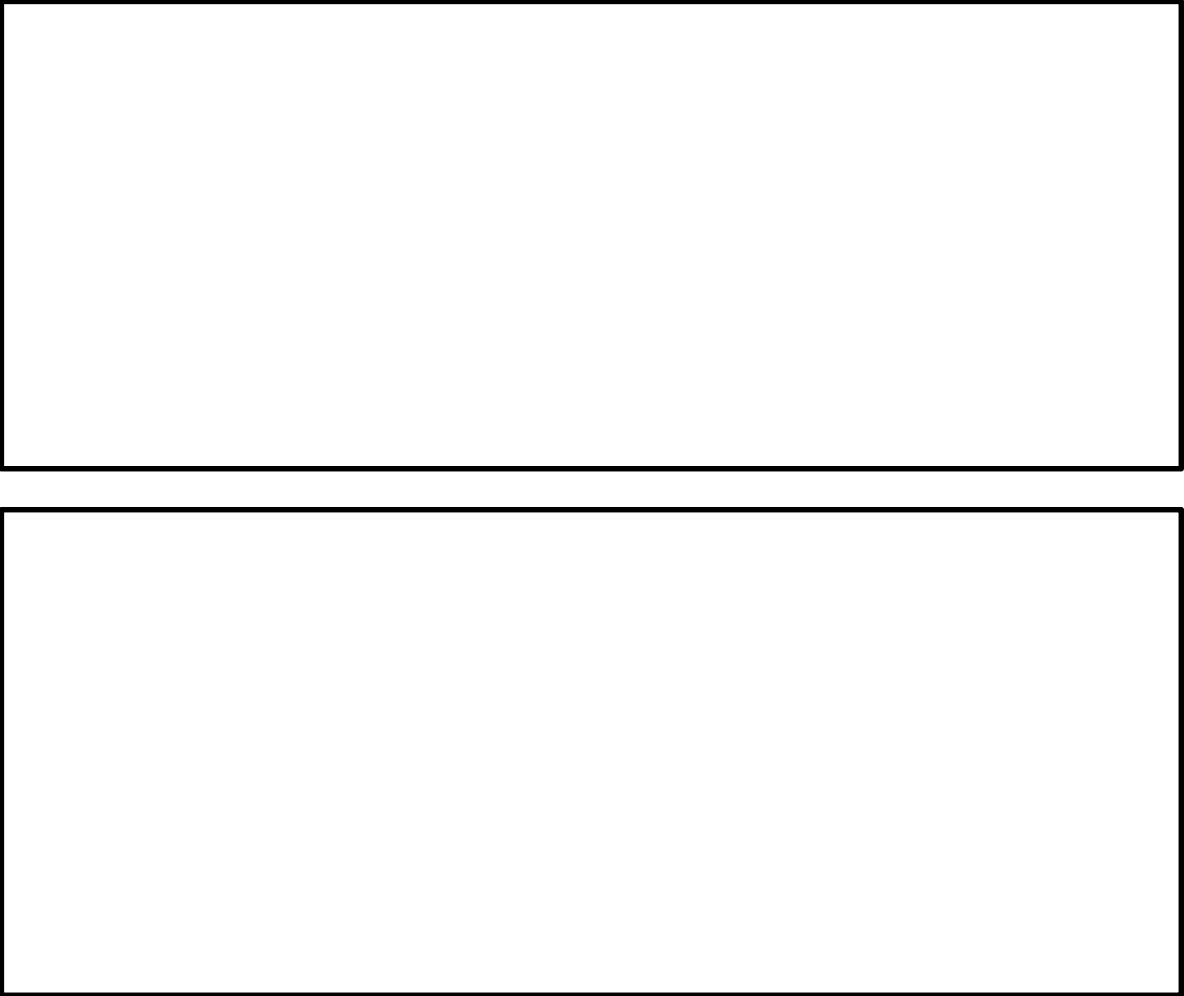
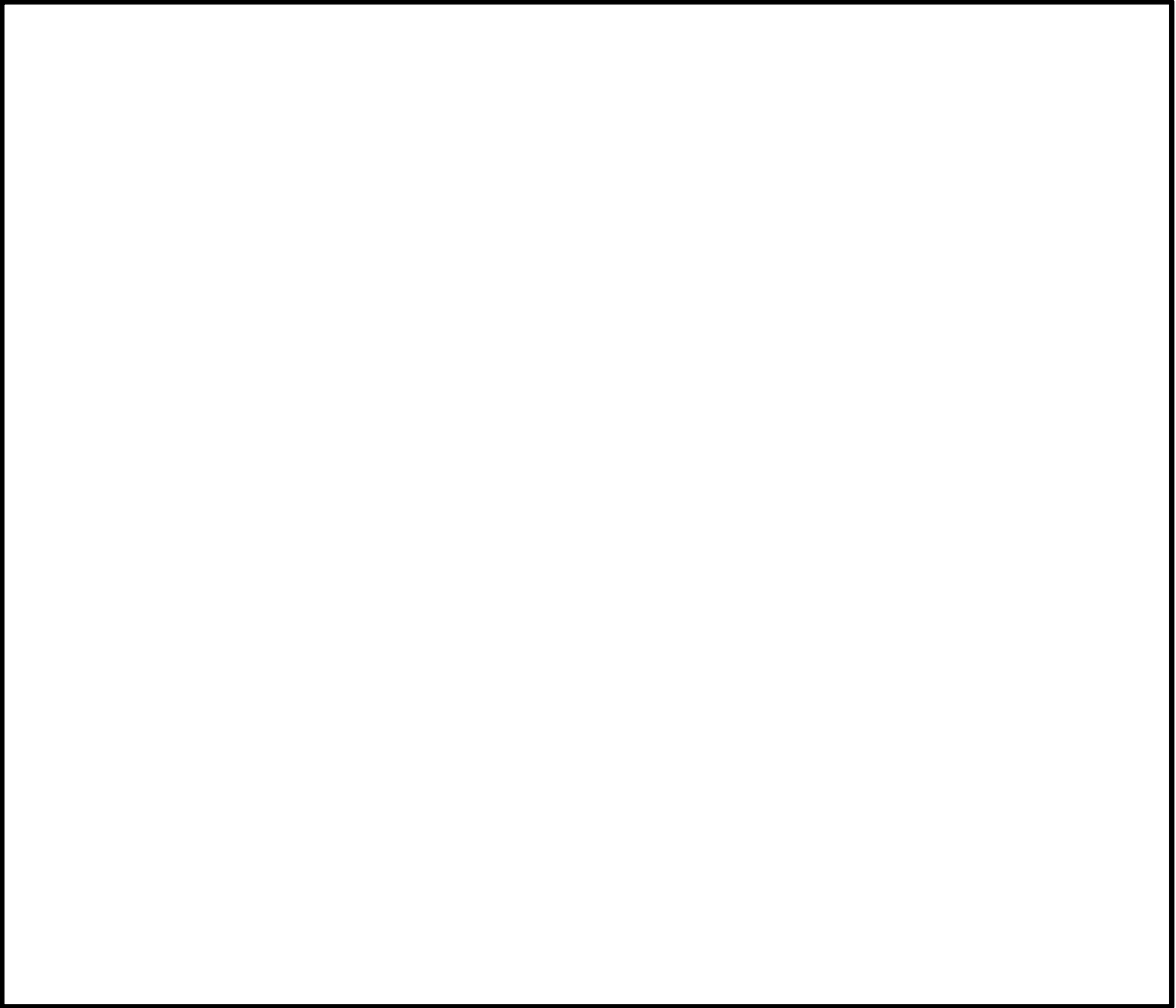
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>飛来物防護ネット及び防護鋼板に作用する荷重は、鉄骨架構を介してRC造の取水構造物躯体に伝達する構造とする。</p> <p>RC造躯体に作用する荷重を直接RC造の取水構造物へ伝達する構造とする。</p>	<p>【エリア⑧】</p> <p>取水構造物上に設けた鉄骨架構に、飛来物防護ネット及び防護鋼板を設置する。</p>	

表 2-1 構造計画(6/6)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<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>RC造躯体に作用する荷重を直接RC造の取水構造物へ伝達する構造とする。</p>	<p>【エリア⑧】</p> <p>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する。</p>	

7

2.3 評価方針

海水ポンプエリア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に基づく設計用地震力による応力及び荷重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。

海水ポンプエリア防護対策施設の構造を考慮し、RC造の部位については3次元スラブモデルにより固有値解析を実施後、2次元はりまたはスラブモデルによる応力解析を行い、鉄骨造の部位については3次元フレームモデルによる固有値解析を実施後、同モデルによる応力解析を行うことで各部材に発生する荷重及び応力が許容限界以下であることを確認する。また、海水ポンプエリア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。

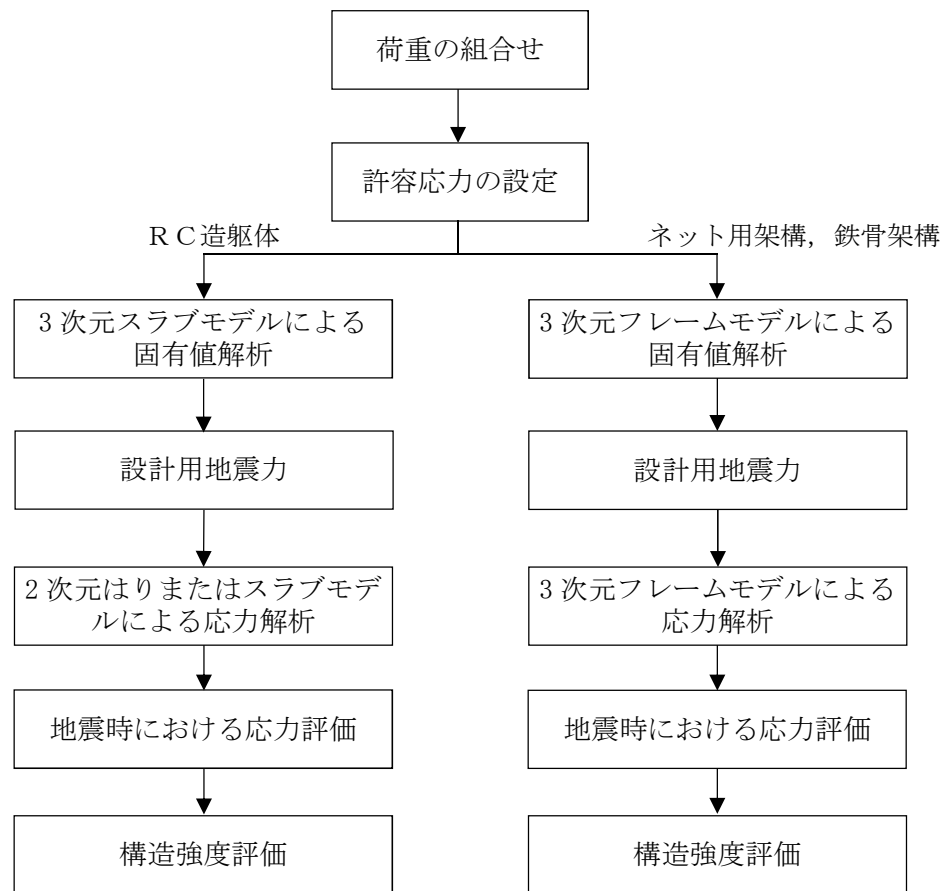


図 2-1 海水ポンプエリア防護対策施設の耐震評価フロー

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 J E A G 4 6 0 1-1987 (日本電気協会)
- (2) 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 (日本電気協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991追補版 (日本電気協会)
(以降「J E A G 4 6 0 1」と記載しているものは上記3指針を指す。)
- (4) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005年度版 (2007年追補版含む。))
J S M E S N C 1-2005/2007 (日本機械学会)
- (5) 鋼構造設計規準 許容応力度設計法 (日本建築学会 2005)
- (6) 道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 (日本道路協会 平成 14 年 3 月)
- (7) コンクリート標準示方書 (構造性能照査編) (土木学会 2002 年制定)
- (8) 日本工業規格 (J I S)
- (9) 各種合成構造設計指針・同解説 (日本建築学会 2010)
- (10) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (日本建築学会 2010)
- (11) 建築物荷重指針・同解説 (日本建築学会 2010)

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
s c a	接着系アンカーボルトの断面積	mm ²
b _w	有効幅	mm
E	縦弾性係数	MPa
d	有効高さ	mm
d _a	接着系アンカーボルトの径	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
f _t	許容引張応力 (f _t を1.5倍した値)	MPa

記号	記号の説明	単位
f_b	許容曲げ応力 (f_b を1.5倍した値)	MPa
f_s	許容せん断応力 (f_s を1.5倍した値)	MPa
f_c	許容圧縮応力 (f_c を1.5倍した値)	MPa
l_e	接着系アンカーボルトの有効埋込み長さ	mm
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
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せん断力	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	—
α_n	へりあき及びアンカーボルトのピッチによる付着強度の低減係数	—
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
$s\sigma_{pa}$	接着系アンカーボルトの引張強度	N/mm ²
ν	ポアソン比	—
λ	圧縮材の有効細長比	—

記号	記号の説明	単位
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

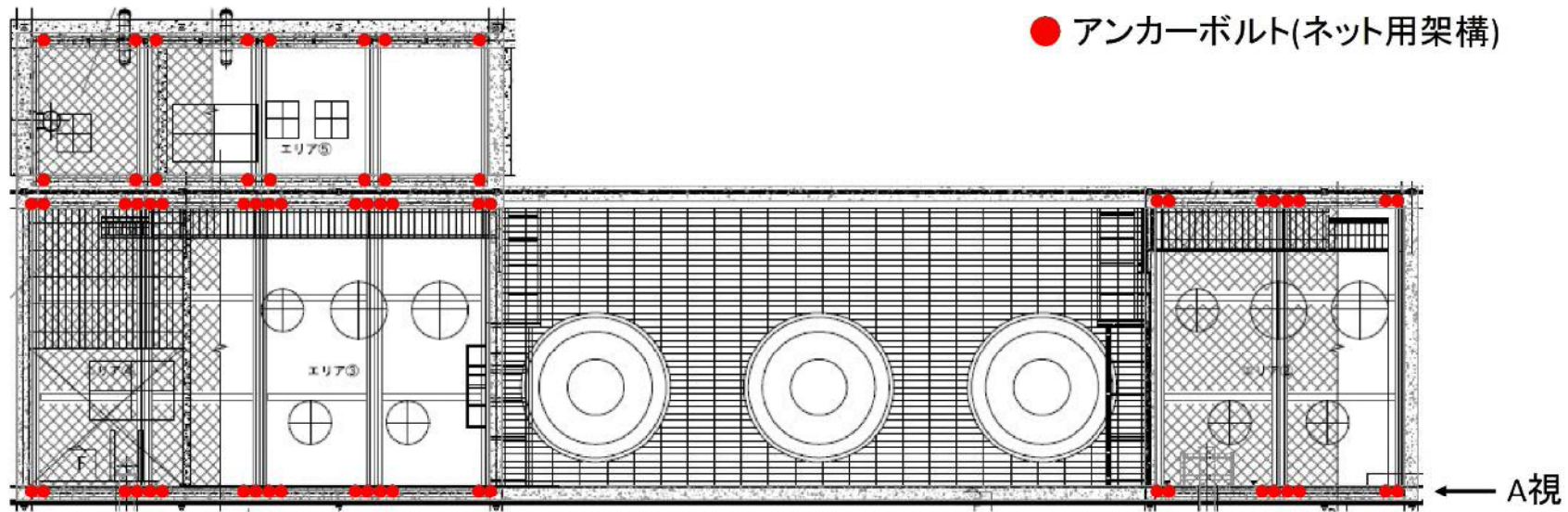
注記 *：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

3. 評価部位

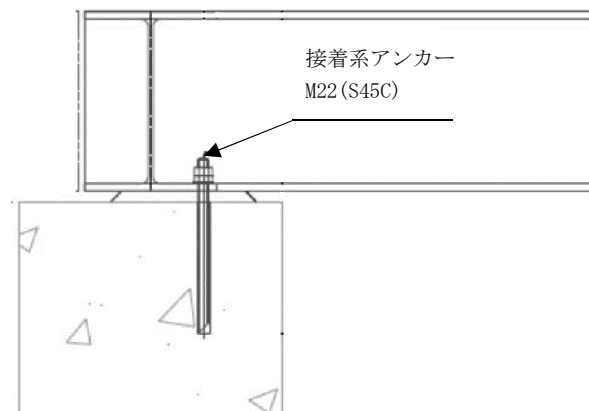
海水ポンプエリア**防護**対策施設は、エリア②からエリア⑤については、波及的影響を考慮すべき上位クラス施設の上方において、防護ネット及びネット用架構がRC造躯体に上載される構造となっている。また、エリア⑧については、鉄骨造架構が波及的影響を考慮すべき上位クラス施設を覆うように設置されているとともに、防護ネット及び防護鋼板が上載されている。

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強度評価を実施する。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し強度評価を実施する。海水ポンプエリア**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。



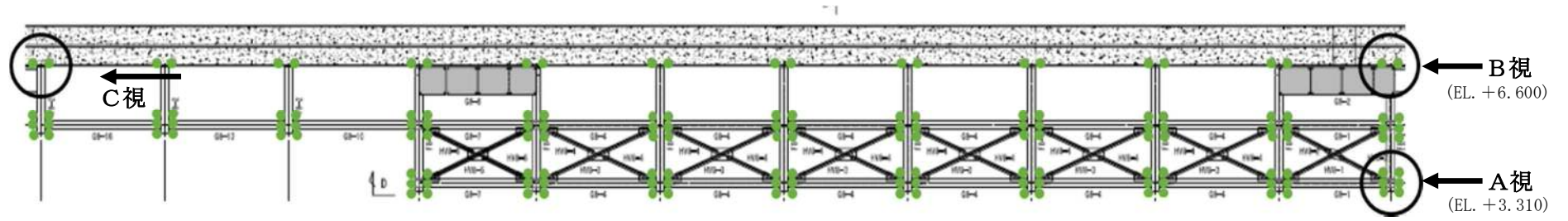
平面図



(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)



平面図

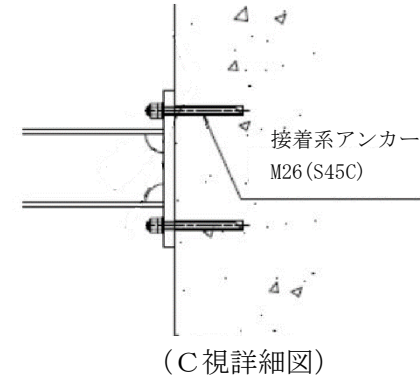
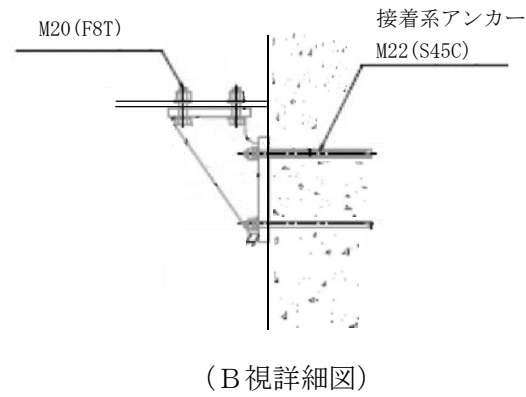
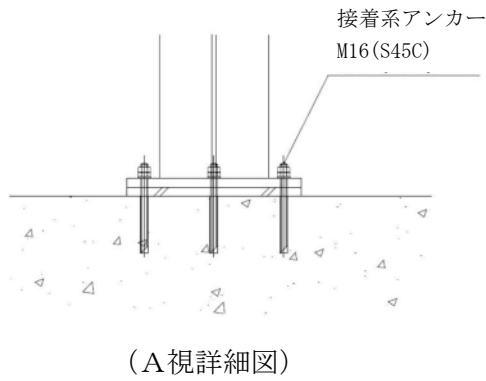


図 3-1 アンカーボルト配置図 (2/2) (エリア⑧)

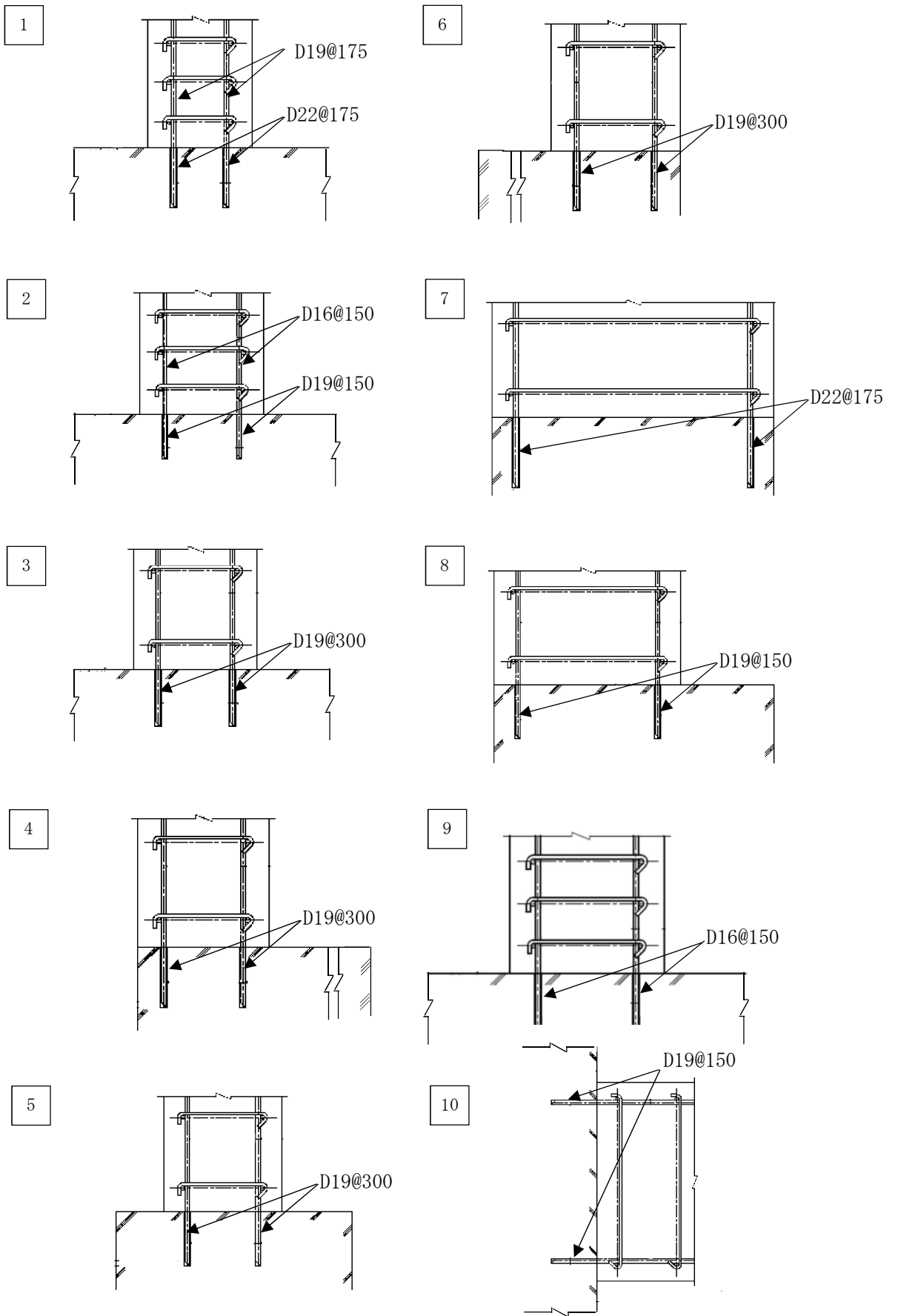


図 3-2 RC造躯体アンカー配置図

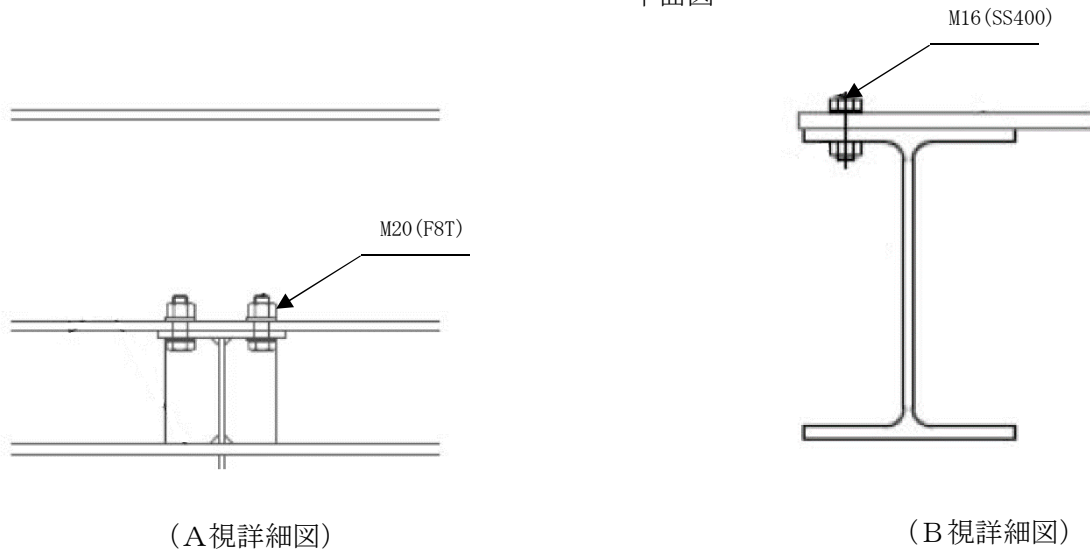
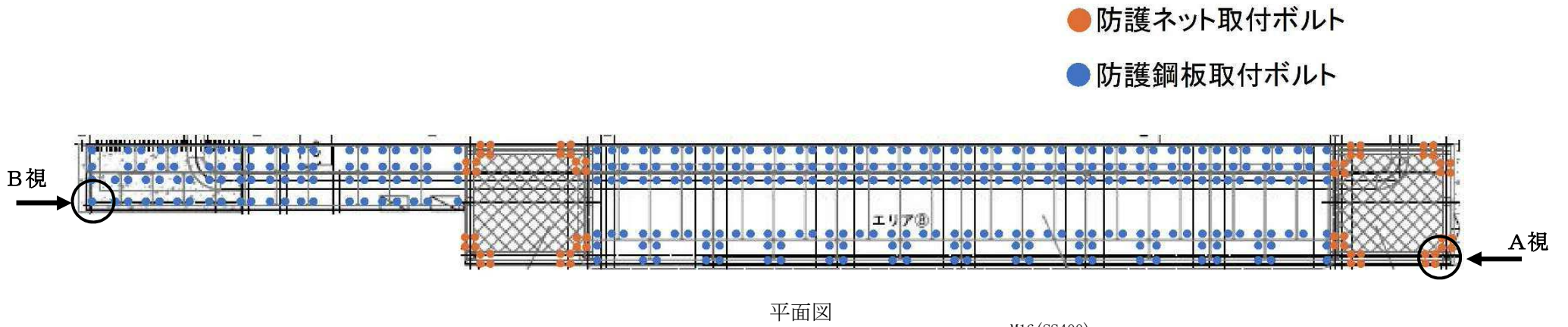


図 3-3 防護ネット取付ボルト及び防護鋼板取付ボルト配置図

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項に示す固有値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項に示す強度評価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) RC造躯体の応力解析は以下の手順で実施する。
 - a. はりモデルにより評価する部位については片持ちはりの理論式で、スラブモデルにより評価する部位については3辺固定スラブの理論モデルを用いて評価部位に加わる断面力を算出する。
 - b. a. の断面力を用いて、解析コード「RC断面計算」により応力を算出する。
- (3) ネット用架構及び鉄骨架構の応力解析は以下の手順で実施する。
 - a. ネット用架構は解析コード「Engineer's Studio」、鉄骨架構は「MSC NASTRAN」を用いて評価部位に加わる荷重及びモーメントを算出。
 - b. a. の荷重及びモーメントを用いて、4.6項の計算式で応力を算出する。
- (4) 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。
- (5) 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。
- (6) 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。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (8) 本耐震評価においては水平2方向の地震力を考慮する。水平2方向の地震力を組合せる際は、添付書類「V-2-1-8 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」に基づき、「Square-Root-of-the-Sum-of-the-Squares (以下SRS法という。)」又は「組合せ係数法」を用いるか、より簡便で保守的な手法である「絶対値の和」を用いる。

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

ネット用架構については、上載される防護ネットを上部工荷重として考慮する。鉄骨架構については、上載される防護ネット、グレーチング及び防護鋼板を上部工荷重として考慮する。また、エリア②～⑤のRC造躯体において、RC造躯体に上載される防護ネット、ネット用架構及び上載構造物の荷重はエリア②～④の東西の嵩上げ壁で受けることから、上部工荷重はRC造躯体^{4 6 7 8}にのみ付加される。RC造躯体¹⁰はエリア⑧の鉄骨架構の荷重を受けることから、この荷重を上部工荷重として考慮する。本耐震評価に適用する死荷重とその内訳を表4-1に示す。

表 4-1 適用する死荷重とその内訳

部位		荷重の内訳
ネット用架構	②	(1) 上部工荷重 竜巻防護ネット： <u>1.2 kN/m²</u>
	③④ ⑤	(2) 自重 ネット用架構（自重）： <u>1.0 kN/m²</u>
鉄骨架構	⑧	(1) 防護ネット部 (a) 上部工荷重 竜巻防護ネット： <u>1.2 kN/m²</u> グレーチング： <u>1.3 kN/m²</u> 合計： <u>2.5 kN/m²</u> (b) 鉄骨架構（自重）： <u>5.2 kN/m²</u>
		(2) ネット部以外 (a) 上部工荷重 防護鋼板： <u>1.3 kN/m²</u> (b) 自重 鉄骨架構： <u>2.5 kN/m²</u>
R C造躯体	4	(1) 上部工荷重 竜巻防護ネット： <u>1.2 kN/m²</u> ネット用架構： <u>1.0 kN/m²</u> 上載構造物： <u>0.5 kN/m²</u> 合計： <u>2.7 kN/m²</u> 嵩上げ壁 1 m あたりの上部工荷重： <u>7.9 kN/m</u>
	6	(1) 上部工荷重 竜巻防護ネット： <u>1.2 kN/m²</u> ネット用架構： <u>1.0 kN/m²</u> 上載構造物： <u>0.5 kN/m²</u> 合計： <u>2.7 kN/m²</u> 嵩上げ壁 1 m あたりの上部工荷重： <u>15.19 kN/m</u>
	7	(1) 上部工荷重 竜巻防護ネット： <u>1.2 kN/m²</u> ネット用架構： <u>1.0 kN/m²</u> 上載構造物： <u>0.5 kN/m²</u> 合計： <u>2.7 kN/m²</u> 嵩上げ壁 1 m あたりの上部工荷重： <u>23.09 kN/m</u>
	8	(1) 上部工荷重 竜巻防護ネット： <u>1.2 kN/m²</u> ネット用架構： <u>1.0 kN/m²</u> 上載構造物： <u>0.5 kN/m²</u> 合計： <u>2.7 kN/m²</u> 嵩上げ壁 1 m あたりの上部工荷重： <u>15.8 kN/m</u>
	10	(1) 上部工荷重 鉄骨架構： <u>35.3 kN</u>






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。適用する地震荷重は、4.5項による。

c. 風荷重

風荷重は、評価対象物に対して水平に作用するものとする。なお、RC造躯体 7 10 については、他のRC造躯体に囲まれていることから風荷重の影響を受けないため考慮しない。本耐震評価に適用する風荷重を表4-2に示す。

表 4-2 適用する風荷重

部位		荷重の内訳
ネット用架構	   	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（I 共通編・IV下部構造編）・同解説（平成14年3月）」より次式にて算出する。 $P_k = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U_w^2 \cdot C_d \cdot G$
鉄骨架構		ここで P_k : 風荷重 ρ : 空気密度 (=1.22 kg/m ³ *1) U_w : 風速 (=30 m/s) C_d : 抗力係数 (=1.6 *2) G : ガスト係数 (=1.9 *2)
RC造躯体	1 ~ 6 8 9	したがって、適用する風荷重は以下の通り。 $P_k = 0.5 \times 1.22 \times 30^2 \times 1.6 \times 1.9 \doteq 1.7 \text{ kN/m}^2$

注記 *1: 建築物荷重指針・同解説（2014）

*2: 道路橋示方書・同解説 I 共通編, IV下部構造編（平成14年3月）

d. 積雪荷重

積雪荷重は、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に対し、「建築物荷重指針・同解説（2014）」に基づく平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮する。また、積雪荷重は、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量1 cmごとに20 N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

積雪荷重は竜巻防護ネット、防護鋼板に堆積すると想定されるため、積雪荷重を適用する部位は防護ネット、防護鋼板が上載される箇所とする。本耐震評価に適用する積雪荷重を表4-3に示す。

表 4-3 適用する積雪荷重

部位		荷重の内訳
ネット用架構	② ③④ ⑤	<ul style="list-style-type: none"> 積雪荷重=雪の密度(20 N/cm/m²)×積雪量(30 cm)=600 N/m²=0.6 kN/m² P_s=積雪荷重(0.6 kN/m²)×ネットに対するフレームの面積比(0.3)×係数(0.35)≒<u>0.1 kN/m²</u>
鉄骨架構	⑥	<ul style="list-style-type: none"> 積雪荷重=雪の密度(20 N/cm/m²)×積雪量(30 cm)=600 N/m²=0.6 kN/m² P_s=積雪荷重(0.6 kN/m²)×係数(0.35)≒<u>0.2 kN/m²</u>
RC造躯体	4 6 7 8 10	<ul style="list-style-type: none"> 積雪荷重=雪の密度(20 N/cm/m²)×積雪量(30 cm)=600 N/m²=0.6 kN/m² P_s=積雪荷重(0.6 kN/m²)×ネットに対するフレームの面積比(0.3)×係数(0.35)≒<u>0.1 kN/m²</u>

(2) 荷重の組合せ及び許容応力状態

海水ポンプエリア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4-4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4-5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 4-4 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	耐震設計上の重要度分類	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"> ⅢAS (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: JEAG4601における、「その他の支持構造物」の許容応力
*2: 詳細は表 4-23 による。

表 4-5 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: JEAG 4601における、「その他の支持構造物」の許容応力とする。
*2: 詳細は表 4-23 による。

4.2.1.1 水平 2 方向の地震力の組合せについて

海水ポンプエリア防護対策施設の構成部材について、水平 2 方向地震力により想定される応答特性を考慮し、水平 2 方向地震力により影響を受ける可能性がある部位を抽出する。抽出された水平 2 方向地震力により影響を受ける可能性がある部位については、耐震性評価において水平 2 方向地震力の組合せを考慮することにする。評価結果を表 4-6 に示す。

表 4-6 水平 2 方向地震力の影響有無の検討 (1/5)

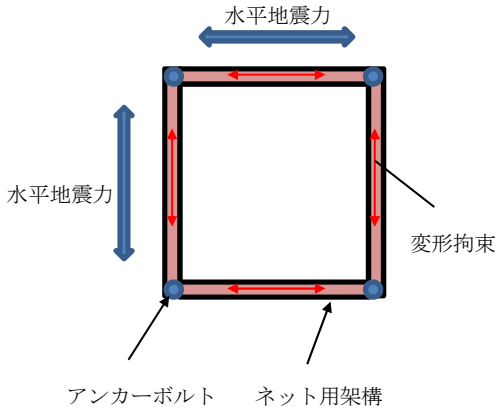
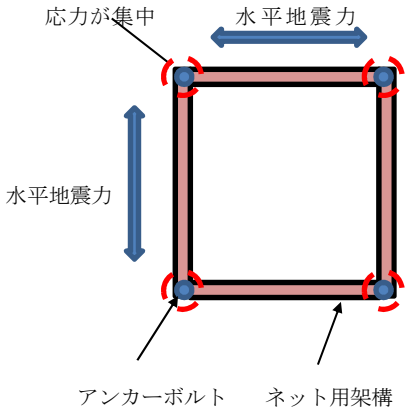
部位		想定される応答特性	影響評価	影響有無
ネット用架構	②～⑤		<p>ネット用架構はアンカーボルトにより強固に拘束されており，軸方向に対して変形しにくい構造となっているため，軸方向に対する水平地震力の影響は小さい。</p>	無
アンカーボルト (ネット用架構)	②～⑤		<p>隅部に据付けられるアンカーボルトに対し，直交する水平 2 方向の地震力により集中応力が作用する。</p>	有

表 4-6 水平 2 方向地震力の影響有無の検討 (2/5)

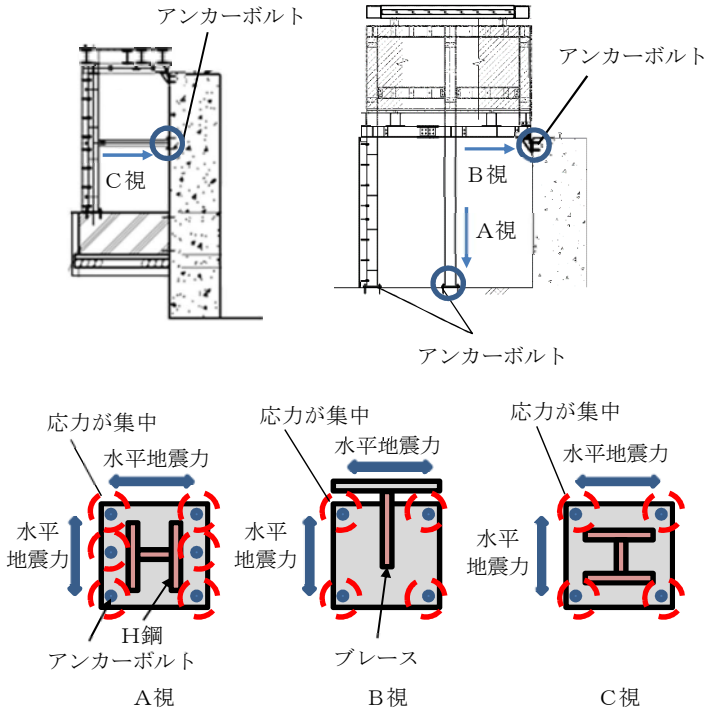
部位		想定される応答特性	影響評価	影響有無
鉄骨架構	⑧	—	鉄骨架構については、水平 2 方向の地震力により、応力が集中する箇所があると想定されるため、水平 2 方向地震力を考慮した評価を行う。	有
アンカーボルト (鉄骨架構)	⑧	 <p>アンカーボルト</p> <p>アンカーボルト</p> <p>C 視</p> <p>B 視</p> <p>A 視</p> <p>アンカーボルト</p> <p>応力が集中</p> <p>水平地震力</p> <p>応力が集中</p> <p>水平地震力</p> <p>応力が集中</p> <p>水平地震力</p> <p>水平地震力</p> <p>H 鋼</p> <p>アンカーボルト</p> <p>A 視</p> <p>ブレース</p> <p>B 視</p> <p>C 視</p>	隅部に据付けられるアンカーボルトに対し、直交する水平 2 方向の地震力により集中応力が作用する。	有

表 4-6 水平 2 方向地震力の影響有無の検討 (3/5)

部位		想定される応答特性	影響評価	影響有無
防護ネット取付 ボルト 防護鋼板取付ボ ルト	⑧	<p>防護鋼板取付用ボルト</p> <p>防護ネット取付ボルト</p> <p>応力が集中</p> <p>水平地震力</p> <p>水平地震力</p> <p>防護ネット</p> <p>防護ネット取付ボルト</p>	<p>隅部に据付けられる防護ネット取付ボルト及び防護鋼板取付ボルトに対し、直交する水平 2 方向の地震力により集中応力が作用する。</p>	有

表 4-6 水平 2 方向地震力の影響有無の検討 (4/5)

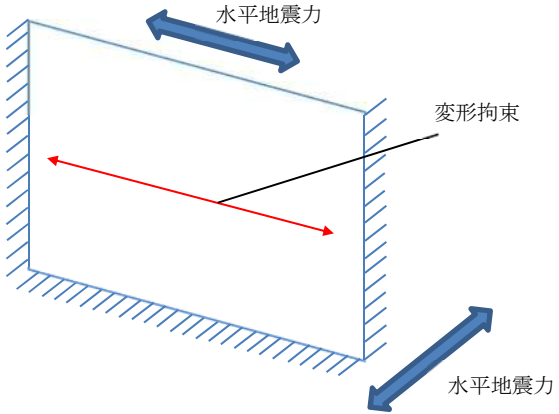
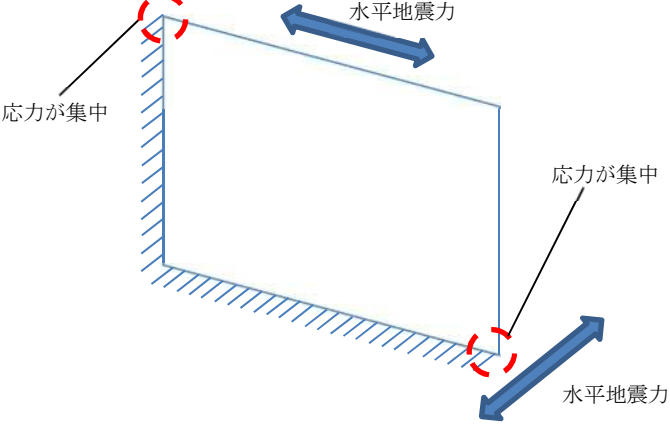
部位		想定される応答特性	影響評価	影響有無
RC造躯体	2 ~ 8	 <p>The diagram shows a rectangular RC frame with fixed supports on all four sides, indicated by hatched areas. Two blue arrows labeled '水平地震力' (horizontal seismic force) are applied to the top and bottom horizontal members. A red arrow labeled '変形拘束' (deformation constraint) points to the right vertical member, indicating that its deformation is restricted.</p>	<p>RC造躯体 2 ~ 8 は、面内方向両端を RC壁より拘束される構造となっているため、面内方向に対する水平地震力の影響は小さい。</p>	無
RC造躯体	9	 <p>The diagram shows a rectangular RC frame with fixed supports on the left and bottom. Two blue arrows labeled '水平地震力' (horizontal seismic force) are applied to the top and right vertical members. Red dashed circles at the top-left and bottom-right corners are labeled '応力が集中' (stress concentration), indicating that stress is concentrated at these points due to the perpendicular seismic forces.</p>	<p>RC造躯体 9 は、直交する水平 2 方向の地震力により集中応力が作用する箇所があると想定される。</p>	有

表 4-6 水平 2 方向地震力の影響有無の検討 (5/5)

部位		想定される応答特性	影響評価	影響有無
RC造躯体	10	<p>応力が集中</p> <p>応力が集中</p> <p>水平地震力</p> <p>水平地震力</p>	<p>RC造躯体¹⁰は、直交する水平 2 方向の地震力により集中応力が作用する箇所があると想定される。</p>	有

4.2.1.2 水平2方向の地震力の組合せ方法

4.2.1.1 項において、水平2方向の地震力の影響があると評価した部位についてはそれぞれ表4-7に示す方法により地震力を組合せるものとする。

図4-1にそれぞれの組合せ方法を適用した際の評価フローの例を示す。なお、適用する荷重は4.2.1項によるものとする。

表4-7 水平2方向の地震力の組合せ方法

部位		組合せ方法
鉄骨架構	⑧	絶対値の和
アンカーボルト	②～⑤	S R S S法
	⑧	絶対値の和
防護ネット取付ボルト 防護鋼板取付ボルト	⑧	S R S S法
R C造躯体	9 , 10	組合せ係数法

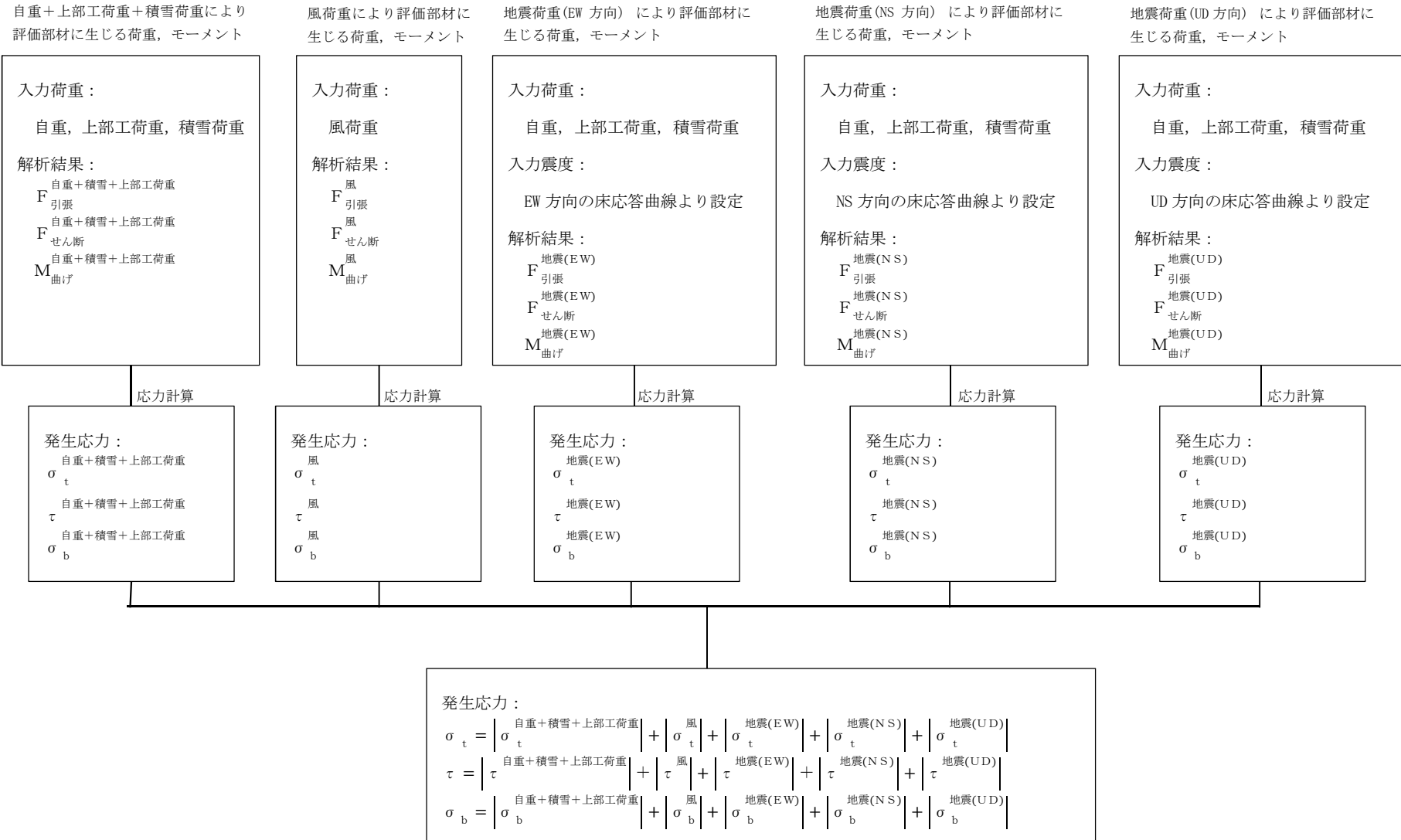


図 4-1 水平 2 方向の地震力の組合せ方法 (1/3) (絶対値の和)

自重+上部工荷重+積雪荷重により評価部材に生じる荷重, モーメント

風荷重により評価部材に生じる荷重, モーメント

地震荷重(EW方向)により評価部材に生じる荷重, モーメント

地震荷重(NS方向)により評価部材に生じる荷重, モーメント

地震荷重(UD方向)により評価部材に生じる荷重, モーメント

入力荷重：
自重, 上部工荷重, 積雪荷重

解析結果：
F_{自重+積雪+上部工荷重}
引張, 圧縮
F_{自重+積雪+上部工荷重}
せん断
M_{自重+積雪+上部工荷重}
曲げ

入力荷重：
風荷重

解析結果：
F_風
引張, 圧縮
F_風
せん断
M_風
曲げ

入力荷重：
自重, 上部工荷重, 積雪荷重

入力震度：
EW方向の床応答曲線より設定

解析結果：
F_{地震(EW)}
引張, 圧縮
F_{地震(EW)}
せん断
M_{地震(EW)}
曲げ

入力荷重：
自重, 上部工荷重, 積雪荷重

入力震度：
NS方向の床応答曲線より設定

解析結果：
F_{地震(NS)}
引張, 圧縮
F_{地震(NS)}
せん断
M_{地震(NS)}
曲げ

入力荷重：
自重, 上部工荷重, 積雪荷重

入力震度：
UD方向の床応答曲線より設定

解析結果：
F_{地震(UD)}
引張, 圧縮
F_{地震(UD)}
せん断
M_{地震(UD)}
曲げ

組合せ荷重：

$$F_{引張, 圧縮} = F_{自重+積雪+上部工荷重} + F_{風引張, 圧縮} + \sqrt{\left(F_{地震(EW)引張, 圧縮}\right)^2 + \left(F_{地震(NS)引張, 圧縮}\right)^2 + \left(F_{地震(UD)引張, 圧縮}\right)^2}$$

$$F_{せん断} = F_{自重+積雪+上部工荷重せん断} + F_{風せん断} + \sqrt{\left(F_{地震(EW)せん断}\right)^2 + \left(F_{地震(NS)せん断}\right)^2 + \left(F_{地震(UD)せん断}\right)^2}$$

$$M_{曲げ} = M_{自重+積雪+上部工荷重曲げ} + M_{風曲げ} + \sqrt{\left(M_{地震(EW)曲げ}\right)^2 + \left(M_{地震(NS)曲げ}\right)^2 + \left(M_{地震(UD)曲げ}\right)^2}$$

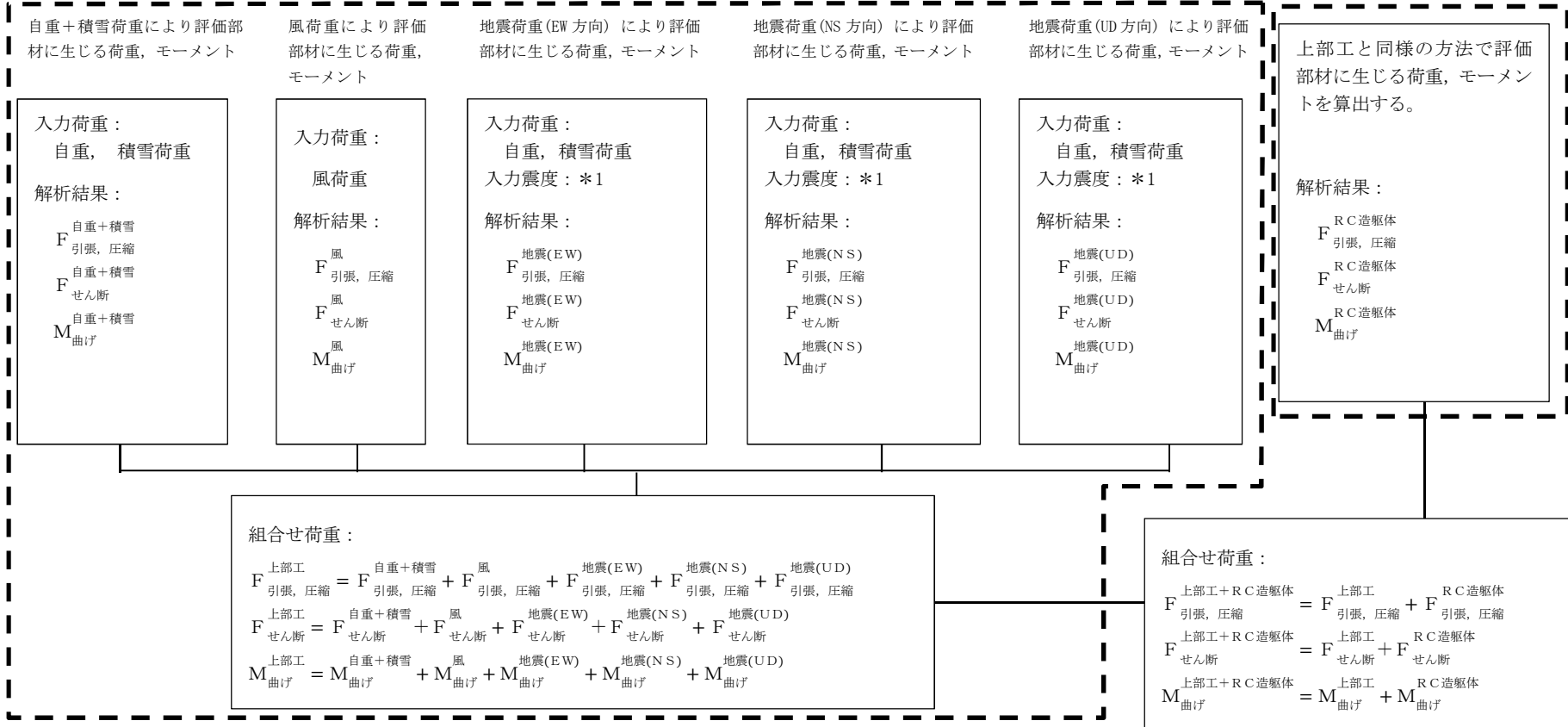
応力計算

発生応力：
σ_t
σ_c
τ

図 4-1 水平 2 方向の地震力の組合せ方法 (2/3) (S R S S 法)

上部工に生じる断面力

R C造躯体に生じる断面力



* 1 : 床応答曲線より設定した EN 方向, NS 方向及び UD 方向の震度に対し組合せ係数法に基づく以下の係数を掛けた震度を各方向の適用震度として入力する。組合せ係数法の係数の設定方法については、「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 - 2 0 0 8」に従う。

- (1) EW 方向卓越の場合
EW 方向 : 1.0, NS 方向 : 0.4, UD 方向 : 0.4
- (2) NS 方向卓越の場合
EW 方向 : 0.4, NS 方向 : 1.0, UD 方向 : 0.4
- (3) UD 方向卓越の場合
EW 方向 : 0.4, NS 方向 : 0.4, UD 方向 : 1.0

発生応力 :
 σ_t
 σ_c
 τ

図 4-1 水平 2 方向の地震力の組合せ方法(3/3) (組合せ係数法)

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4-8に示す。

表4-8 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				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) RC造躯体及びアンカーの許容応力

RC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]2002年」及び「道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 平成14年3月」に基づき，RC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) 2010」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4-9に示す。

表4-9 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
	SM570 (16 < t ≤ 40)			450	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 4-10 に示す。

表 4-10 R C造躯体及びアンカーの許容応力評価条件 (D B条件及びS A条件)

評価部材		許容応力評価条件
R C造 躯体	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4-2に示す3次元スラブモデルにより固有値解析を実施する。なお、RC造躯体の既設部と新設部（既設改造部含む）は一体として振動することから、既設部と新設部（既設改造部含む）共にモデル化して固有値解析を実施する。RC造躯体のうち、部位⑥については上部工に加え壁面に配管及び電線管が据付けられるため、これらの荷重も考慮することにする（詳細については別紙1参照）。

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4-3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。

4.3.1.1 RC造躯体の固有値解析モデル

RC造躯体の固有値解析モデルを図4-2に示す。

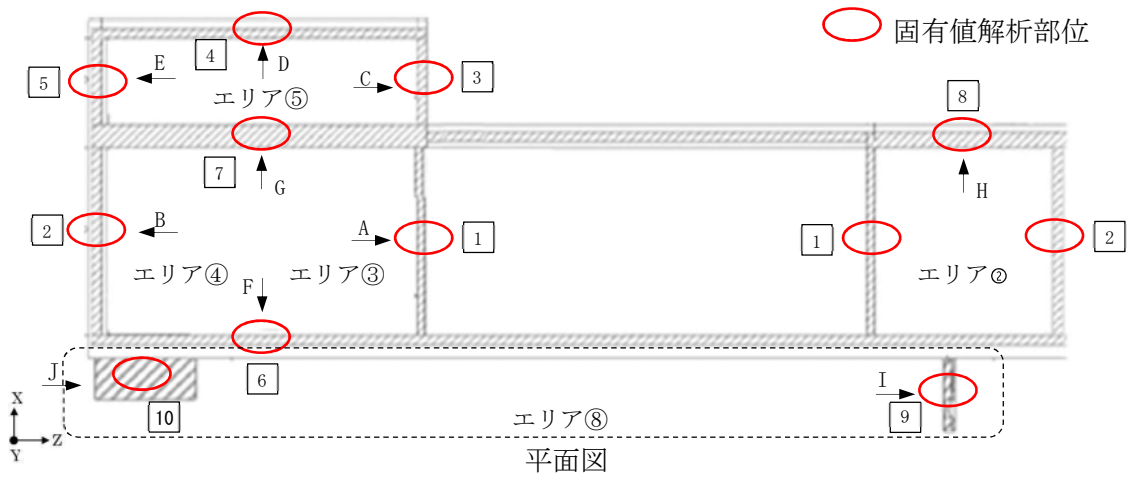


図4-2 RC造躯体の固有値解析モデル(1/3)

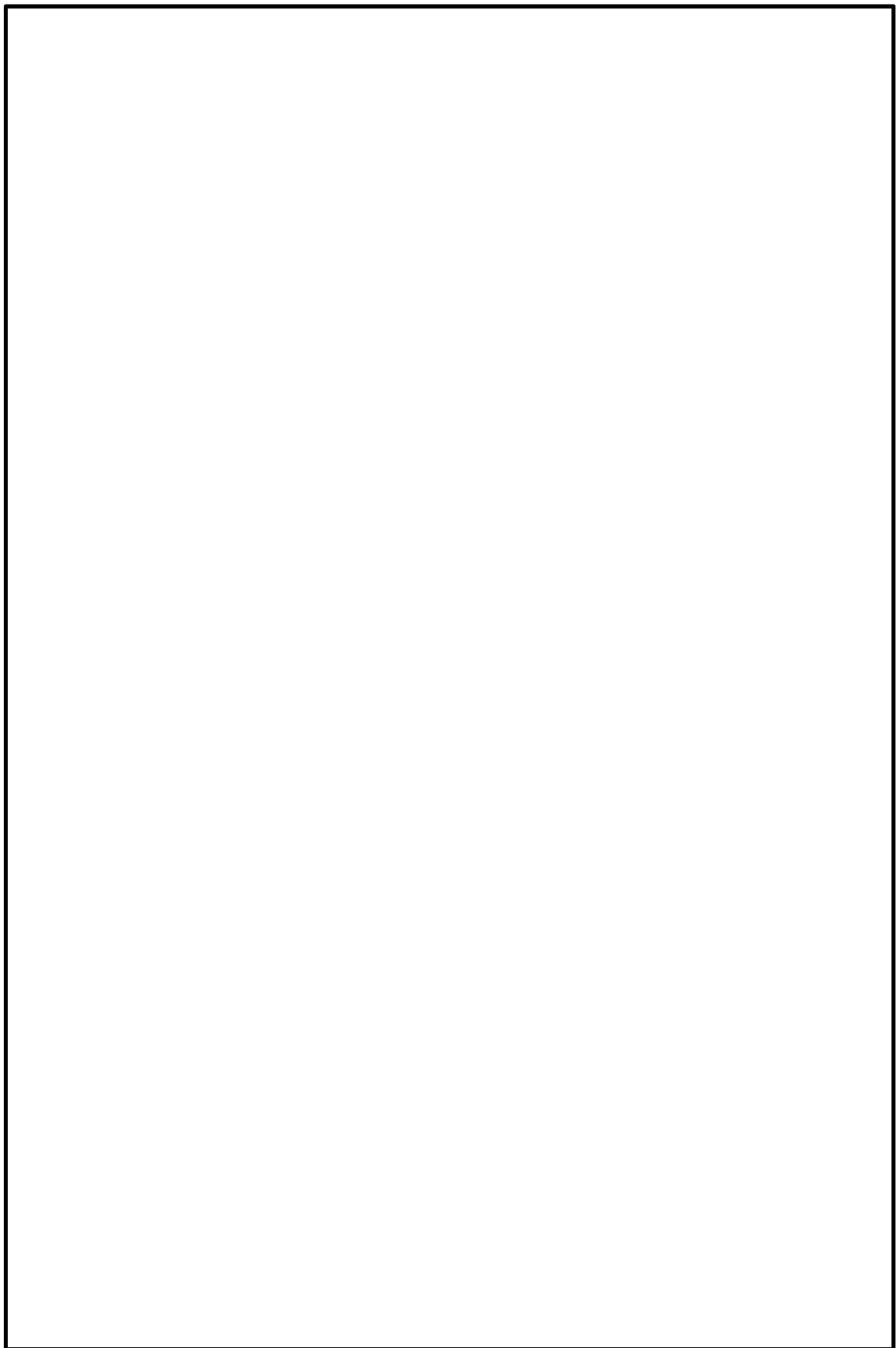


図4-2 R C造躯体の固有値解析モデル(2/3)

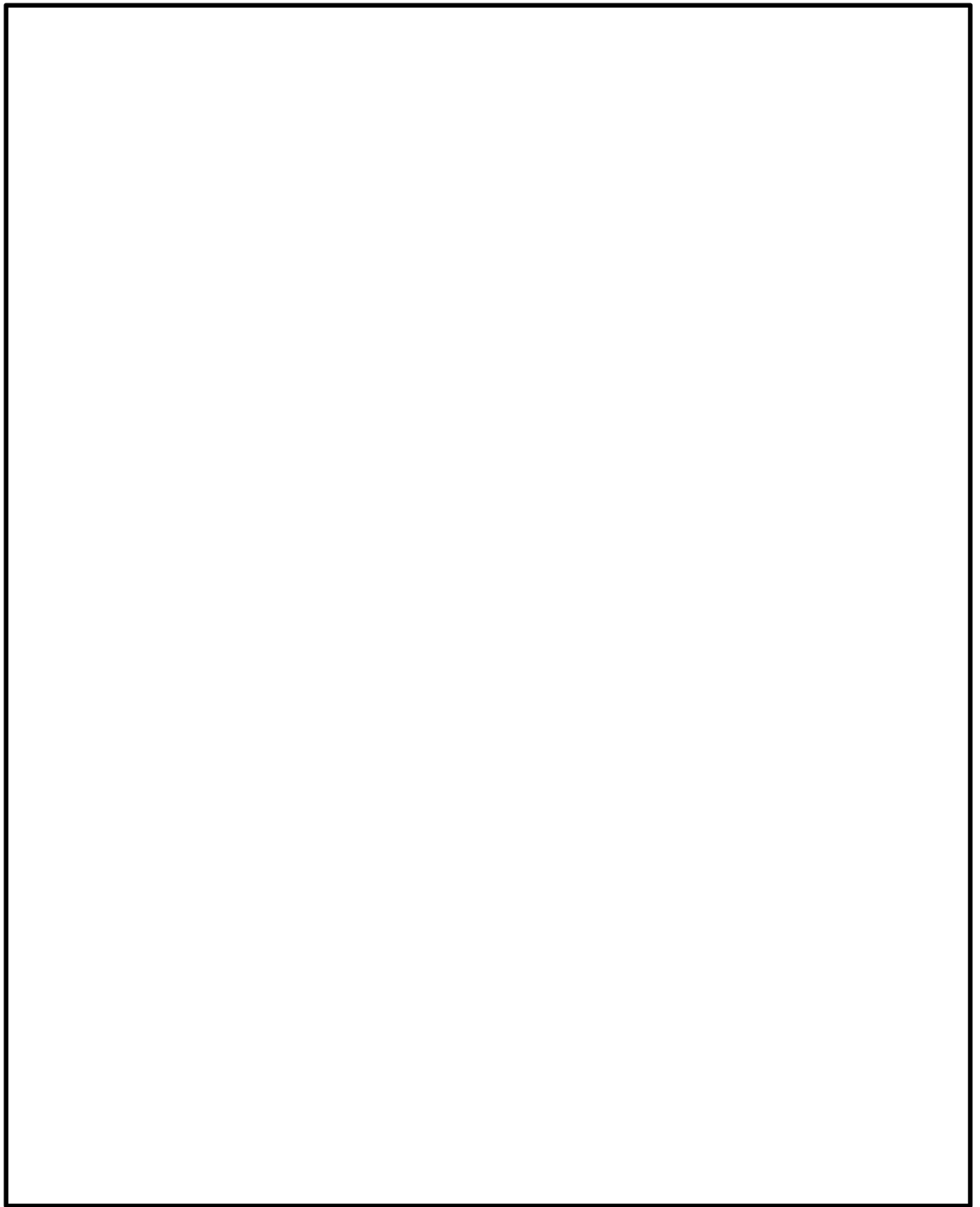
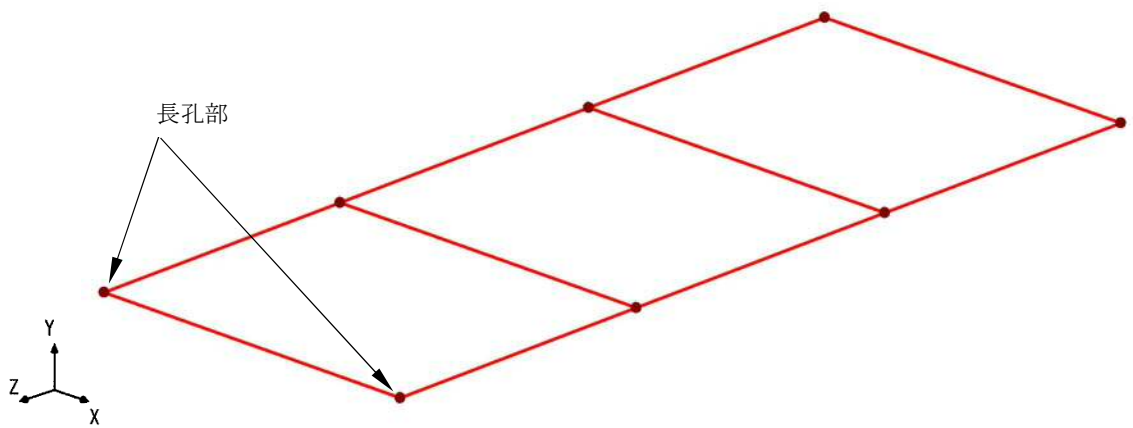


図4-2 R C造躯体の固有値解析モデル(3/3)

4.3.1.2 ネット用架構及び鉄骨架構の固有値解析モデル

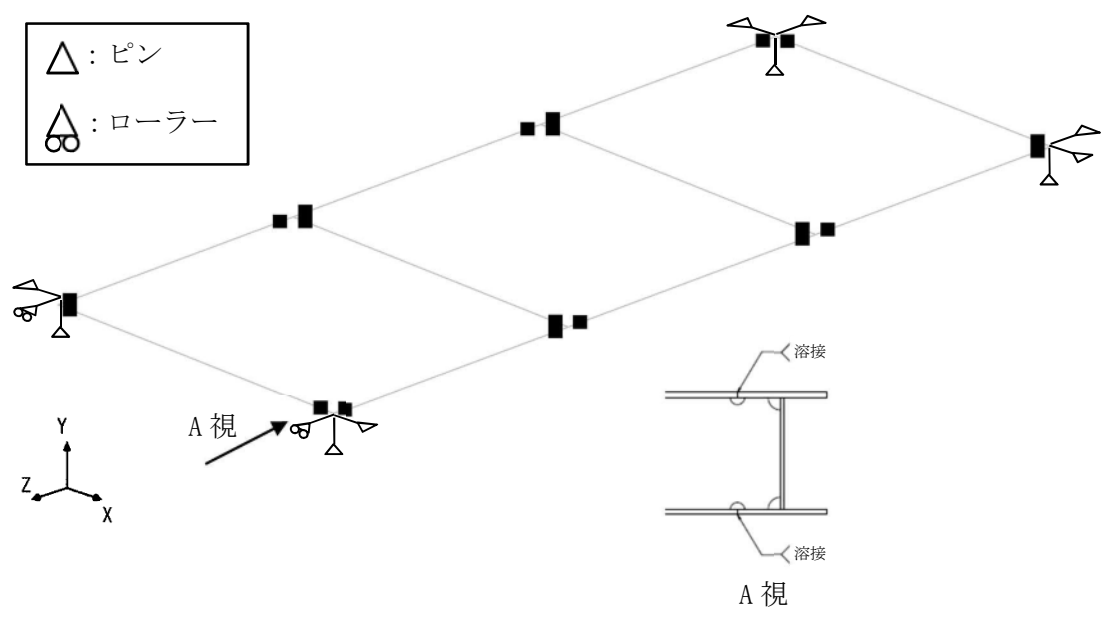
ネット用架構及び鉄骨架構は図 4-3 に示す 3 次元フレームモデルにより固有値解析を実施する。なお、解析モデルの要素境界条件及び支点境界条件は以下の方針に基づき設定する。


- (1) 要素境界条件について、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。
- (2) 要素境界条件について、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。
- (3) 支点境界条件は 3 方向についてピンとする。ただし、エリア②～④のネット用架構については、RC造躯体 6 側のアンカーボルト穴を長孔とする構造にしている(詳細については別紙 2 参照)。したがって、エリア②～④のネット用架構における東側の支点条件は、東西方向の変位を自由とする。



対象部材	材質	断面形状
	SM570	BH-340x250x9x19

(a-1) エリア②～④ 部材材質, 断面形状

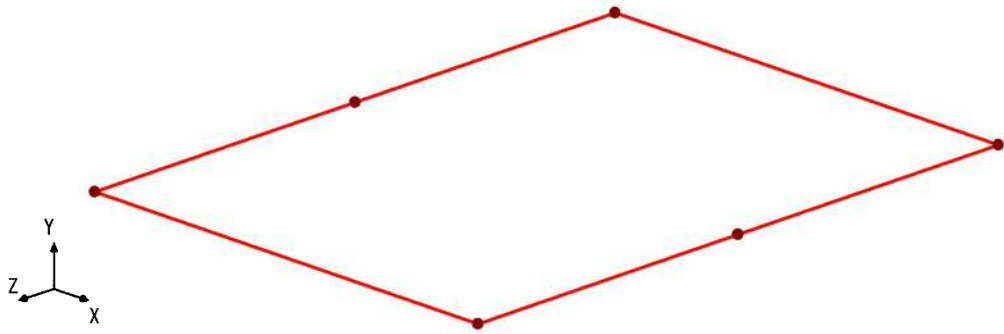



記号	x	y	z
	剛結	剛結	剛結

- *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。

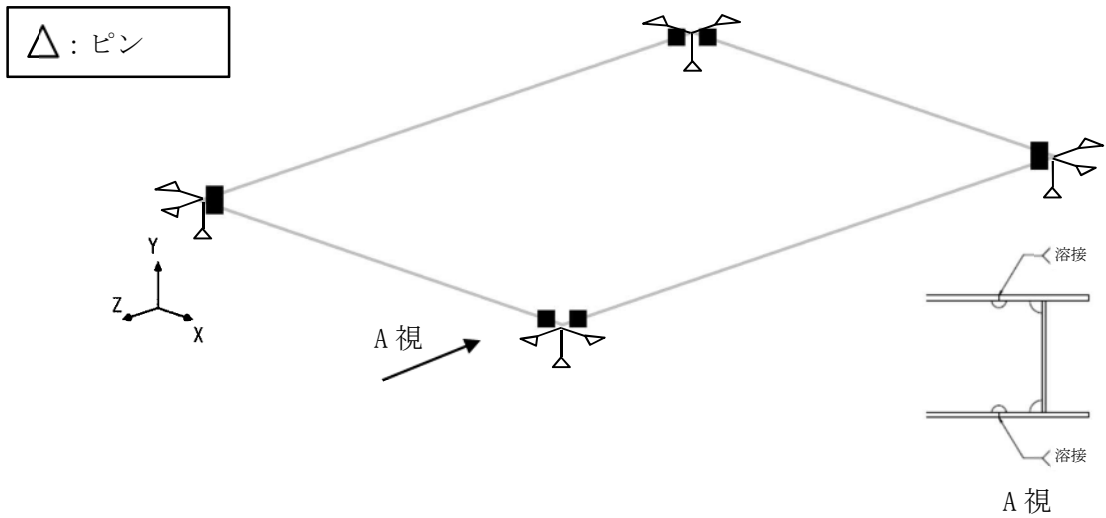
(a-2) エリア②～④ 要素境界条件及び支点境界条件


図4-3 固有値解析モデル (ネット用架構及び鉄骨架構) (1/6)



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



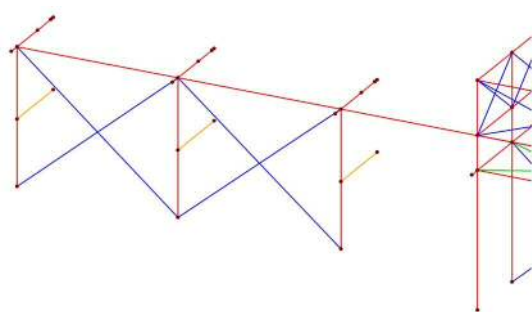
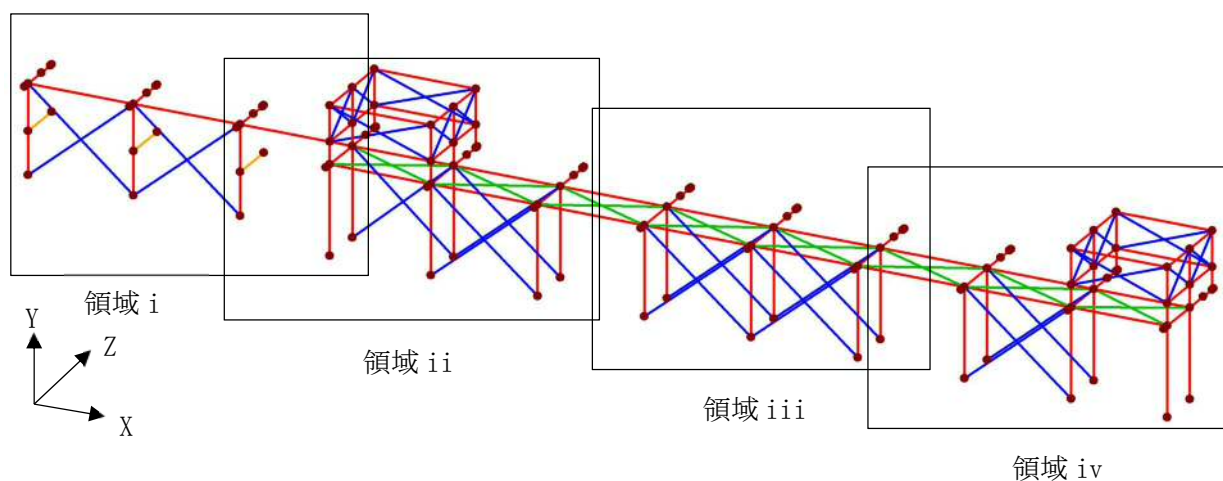
記号	x	y	z
	剛結	剛結	剛結

*1 : x, y, zは要素座標系で、xは部材軸方向となる

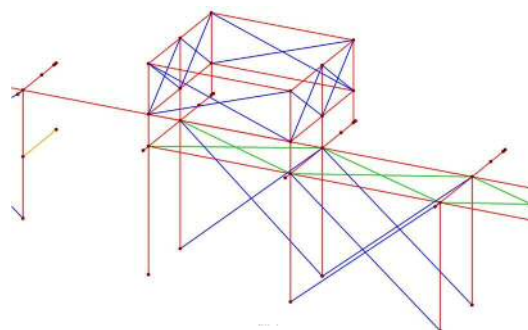
*2 : H鋼のフランジとウェブの両方を溶接で接合している箇所は剛結とする。

(b-2) エリア⑤ 要素境界条件及び支点境界条件

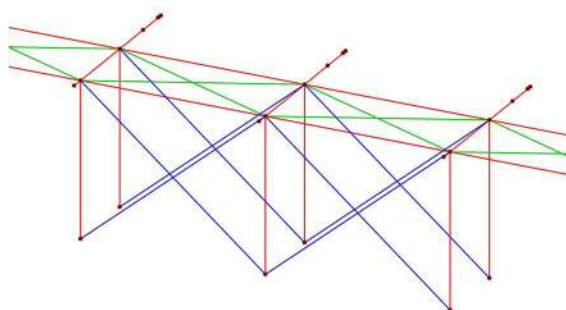
図4-3 固有値解析モデル（ネット用架構及び鉄骨架構）（2/6）



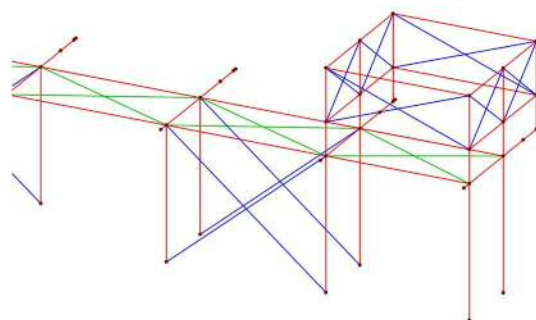
領域 i 拡大図



領域 ii 拡大図



領域 iii 拡大図

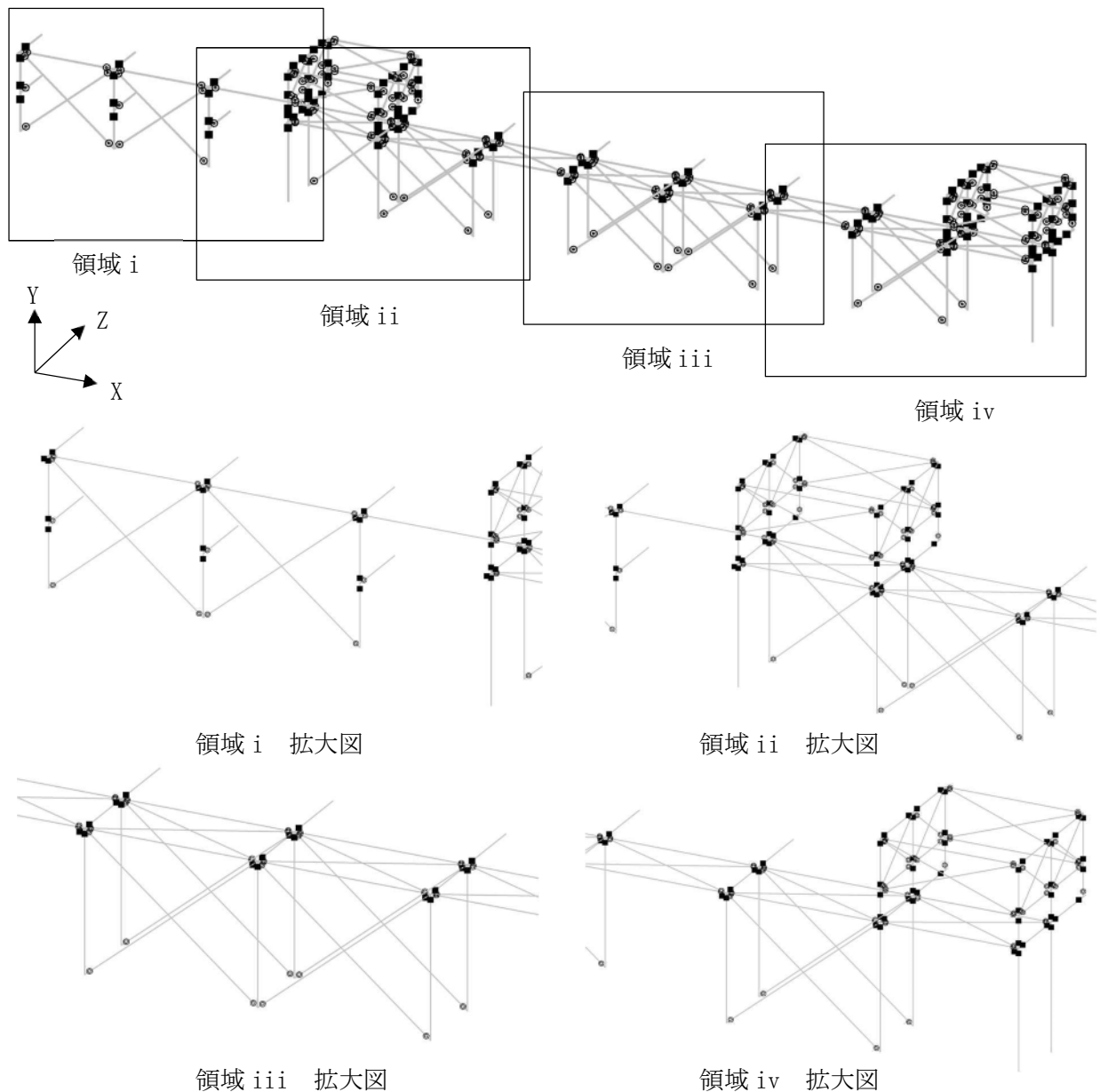


領域 iv 拡大図

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4-3 固有値解析モデル (ネット用架構及び鉄骨架構) (3/6)

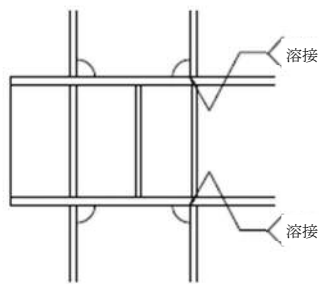
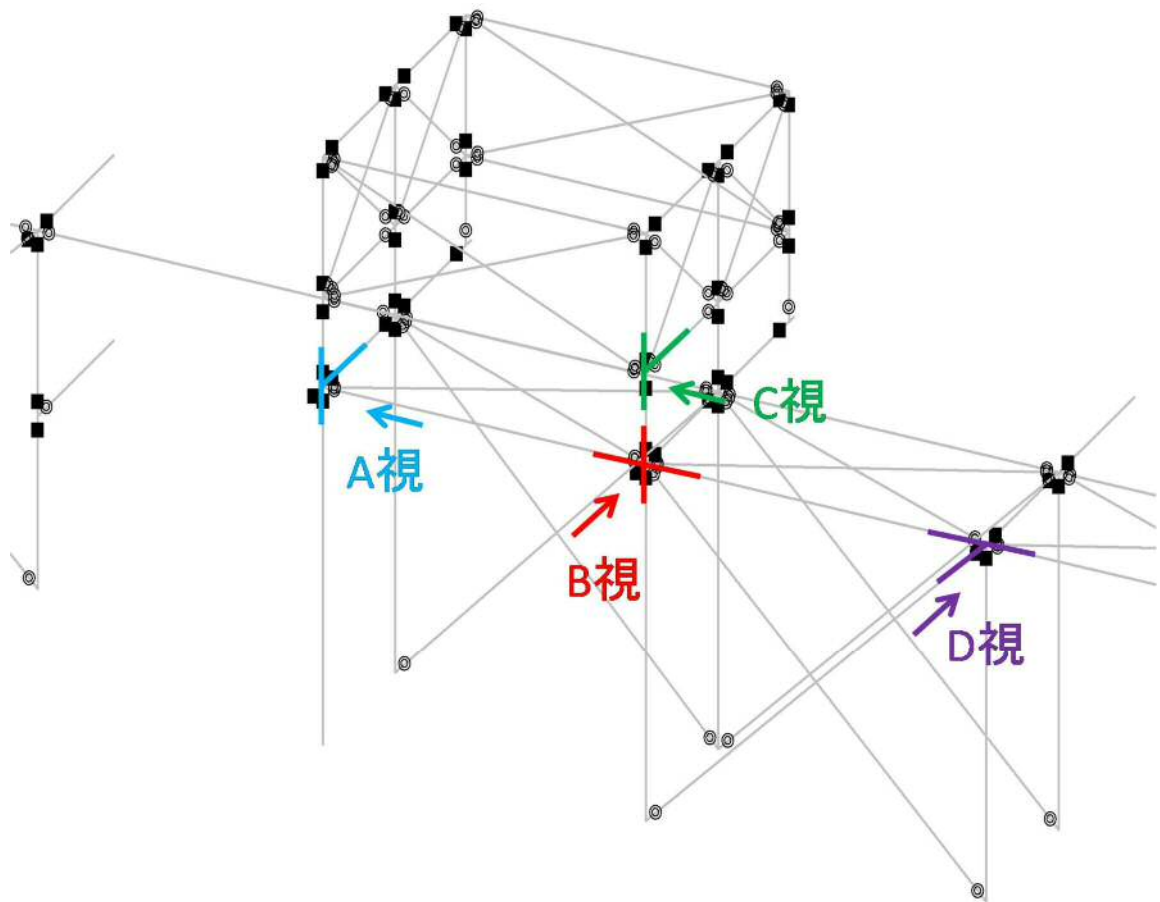


*1: x, y, zは要素座標系で、xは部材軸方向となる

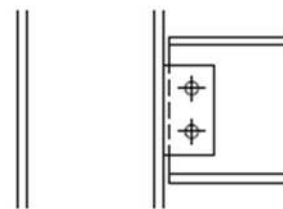
*2: H鋼のフランジとウェブの両方を溶接で接合している箇所は剛結とし、
H鋼のウェブをボルトにて接合している箇所及びブレースをボルト接合している箇所はピンとする。

(c-2) エリア⑧ 要素境界条件(1/2)

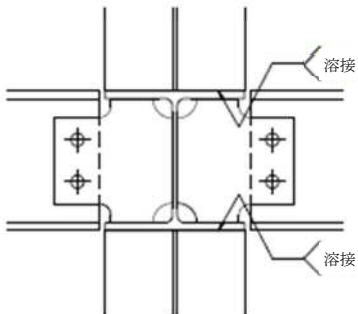
図4-3 固有値解析モデル（ネット用架構及び鉄骨架構）(4/6)



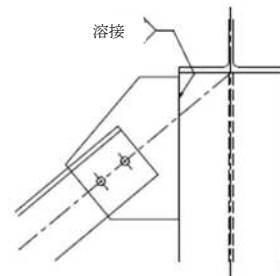
A 視



C 視



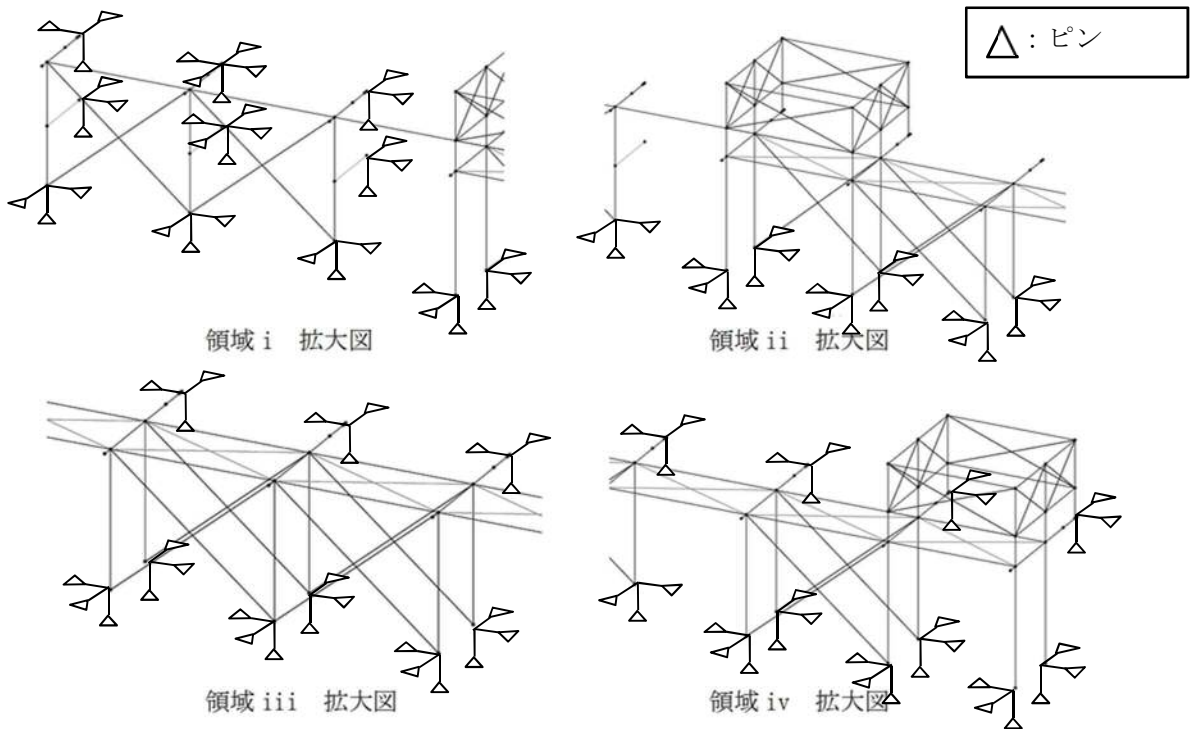
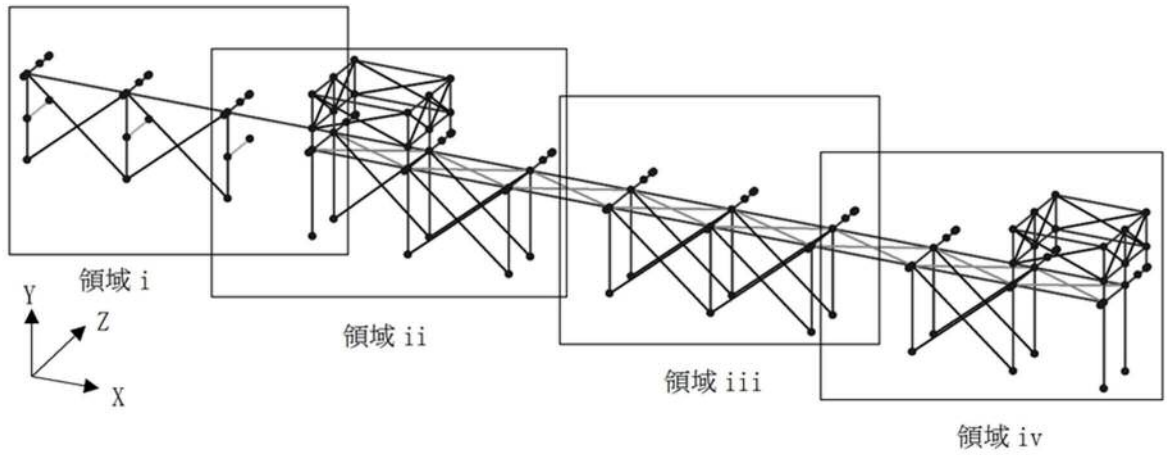
B 視



D 視

(c-2) エリア⑧ 要素境界条件(2/2)

図4-3 固有値解析モデル（ネット用架構及び鉄骨架構）(5/6)



(c-3) エリア⑧ 支点境界条件

図4-3 固有値解析モデル（ネット用架構及び鉄骨架構）（6/6）

4.3.2 強度評価モデル

海水ポンプエリア**ア**防護対策施設のRC造躯体部に用いる強度評価モデルを4.3.2.1項に、ネット用架構及び鉄骨架構に用いる強度評価モデルを4.3.2.2項に示す。

4.3.2.1 RC造躯体の強度評価モデル

4.3.2.1.1 RC造躯体の強度評価モデルの設定

海水ポンプエリア**ア**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表4-11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、「コンクリート標準示方書」に基づき、高さに対し幅が2.5倍以上の箇所を片持ちはりモデル、それ以下の部分を3辺固定スラブモデルと設定した(詳細は別紙3参照)。また、エリア⑧のRC造躯体について、片持ちはりモデルとして評価する。また、RC造躯体の構成部材の諸元を表4-12に示す。

表4-11 R C造躯体強度評価モデル (エリア②~⑤及び⑧) (1/5)

部位	配置図	はりモデルと3辺固定スラブモデルの選別	強度評価モデル
1	<p>エリア③北側壁 エリア②南側壁</p> <p>400 地震荷重 風荷重 地震荷重 風荷重 400</p> <p>7340 7340</p> <p>A</p>	<p>(改造)</p> <p>9820 7340</p> <p>Y Z → X</p> <p>(A 視)</p> <p>$l_x / l_y = 9820 / 7340 = 1.34 < 2.5$ 3 辺固定スラブモデルとする。</p>	<p>地震荷重 風荷重 評価対象</p> <p>7340 7340</p> <p>9820</p> <p>Y Z → X</p>
2	<p>エリア②北側壁 500 地震荷重 風荷重</p> <p>4830</p> <p>エリア④南側壁</p> <p>500 地震荷重 風荷重</p> <p>B</p>	<p>(改造)</p> <p>4830 7340</p> <p>9820</p> <p>Y Z → X</p> <p>(B 視)</p> <p>$l_x / l_y = 9820 / 4830 = 2.03 < 2.5$ 3 辺固定スラブモデルとする。</p>	<p>地震荷重 風荷重 評価対象</p> <p>4830 4830</p> <p>9820</p> <p>Y Z → X</p>

表4-11 R C造躯体強度評価モデル（エリア②～⑤及び⑧）（2/5）

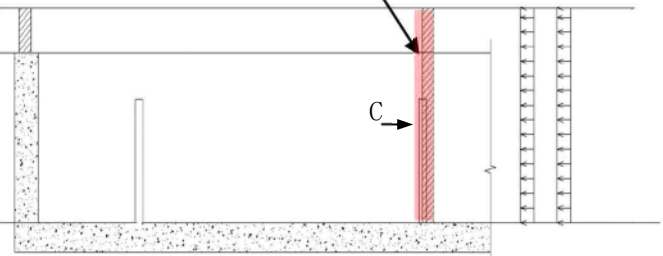
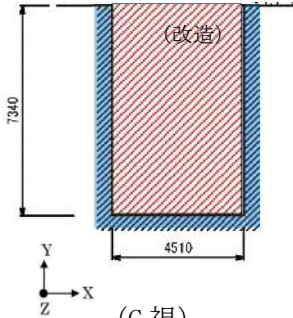
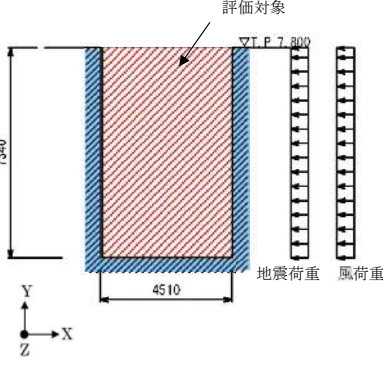
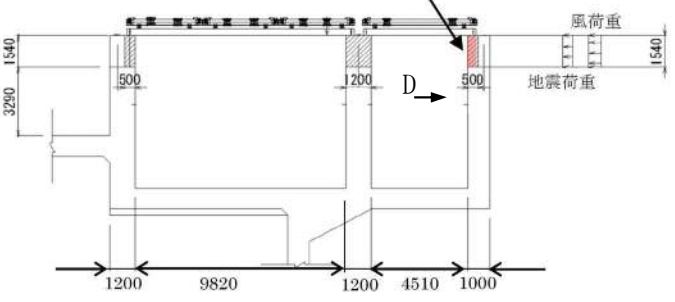
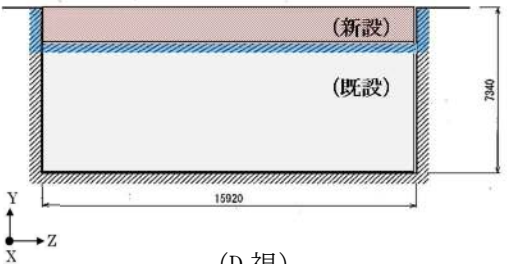
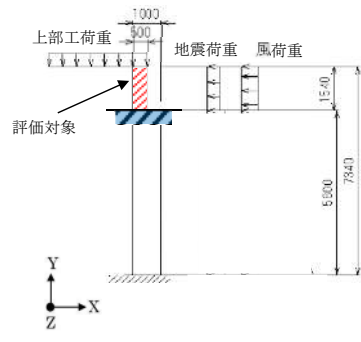
部位	配置図	はりモデルと3辺固定スラブモデルの選別	強度評価モデル
3	<p>エリア⑤北側壁</p> 	 <p>(C 視)</p> $l_x / l_y = 4510 / 7340 = 0.61 < 2.5$ <p>3 辺固定スラブモデルとする。</p>	
4	<p>エリア⑤西側壁</p> 	 <p>(D 視)</p> $l_x / l_y = 15920 / 1540 = 10.34 \geq 2.5$ <p>はりモデルとする。</p>	

表4-11 RC造躯体強度評価モデル（エリア②～⑤及び⑧）（3/5）

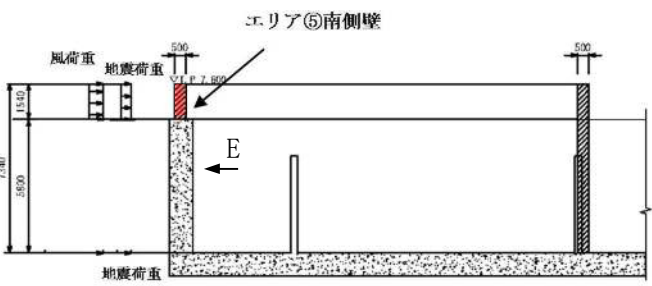
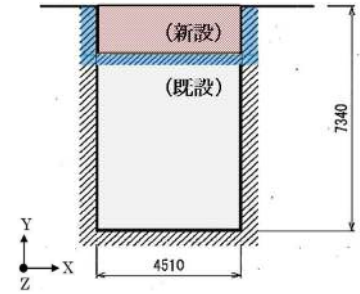
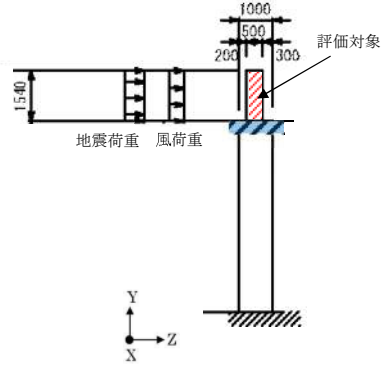
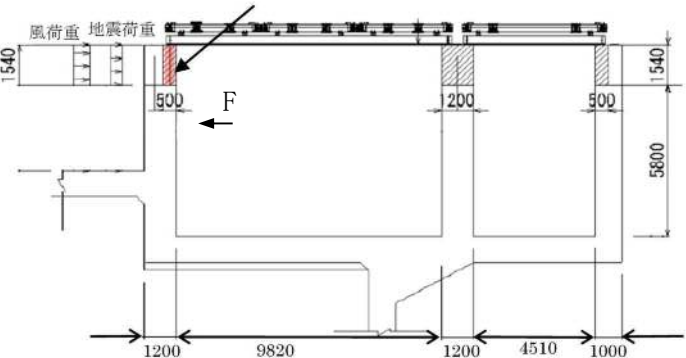
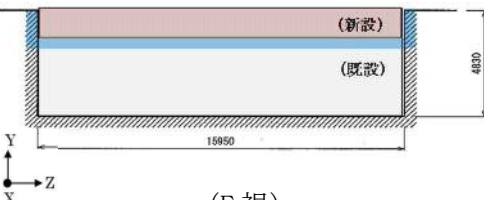
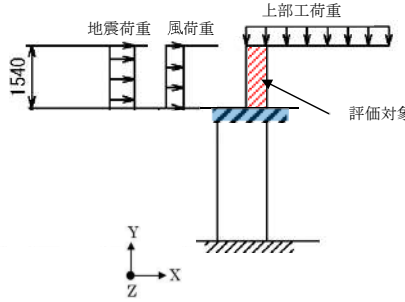
部位	配置図	はりモデルと3辺固定スラブモデルの選別	強度評価モデル
5		 <p>(E 視)</p> $l_x / l_y = 4510 / 1540 = 2.93 \geq 2.5$ <p>はりモデルとする。</p>	
6		 <p>(F 視)</p> $l_x / l_y = 15950 / 1540 = 10.36 \geq 2.5$ <p>はりモデルとする。</p>	

表4-11 R C造躯体強度評価モデル (エリア②～⑤及び⑧) (4/5)

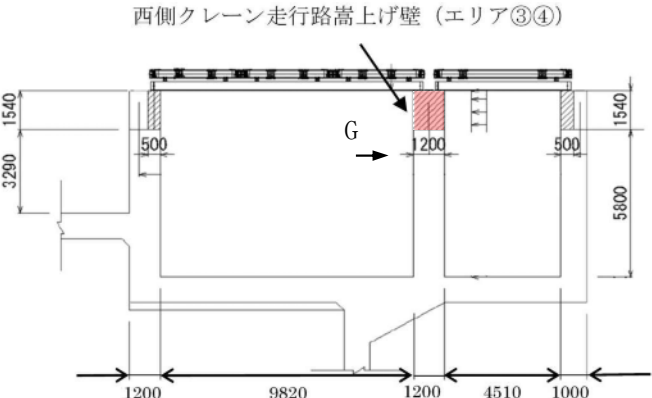
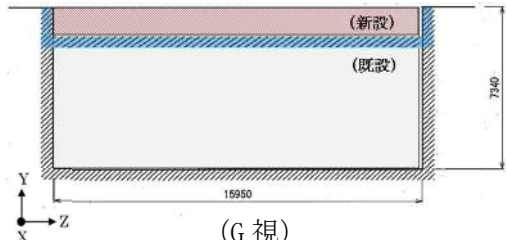
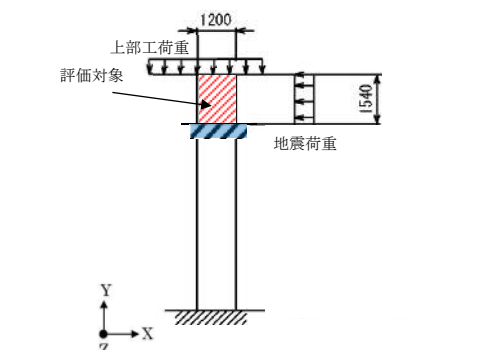

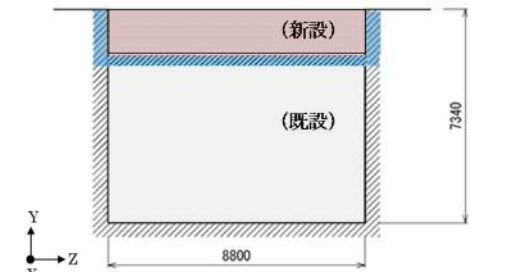
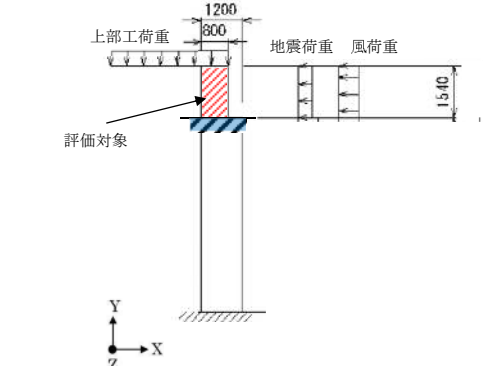
部位	配置図	はりモデルと3辺固定スラブモデルの選別	強度評価モデル
7	<p>西側クレーン走行路嵩上げ壁 (エリア③④)</p> 	 <p>(G 視)</p> $l_x / l_y = 15950 / 1540 = 10.36 \geq 2.5$ <p>はりモデルとする。</p>	
8	<p>西側クレーン走行路嵩上げ壁 (エリア②)</p> 	 <p>(H 視)</p> $l_x / l_y = 8800 / 1540 = 5.71 \geq 2.5$ <p>はりモデルとする。</p>	

表4-11 R C造躯体強度評価モデル (エリア②~⑤及び⑧) (5/5)

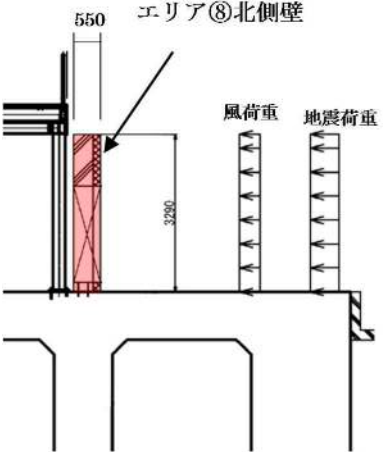
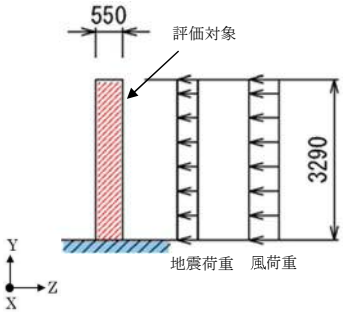
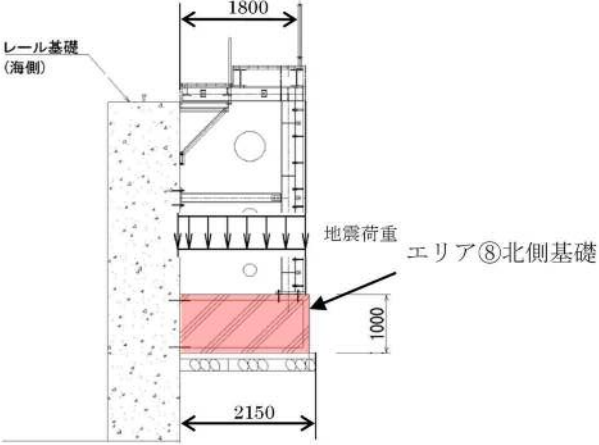
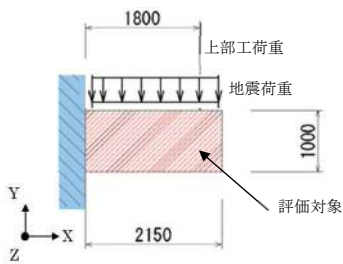
部位	配置図	はりモデルと3辺固定スラブモデルの選別	強度評価モデル
9	 <p>配置図: エリア⑧北側壁</p> <p>550</p> <p>3290</p> <p>風荷重</p> <p>地震荷重</p>	<p>2辺固定スラブ（側面1箇所及び下面1箇所固定）であり，はりモデルとして評価する。</p>	 <p>550</p> <p>3290</p> <p>評価対象</p> <p>風荷重</p> <p>地震荷重</p> <p>Y</p> <p>X</p> <p>Z</p>
10	 <p>配置図: エリア⑧北側基礎</p> <p>1800</p> <p>2150</p> <p>1000</p> <p>レール基礎 (海側)</p> <p>地震荷重</p>	<p>1辺固定スラブであり，はりモデルとして評価する。</p>	 <p>1800</p> <p>2150</p> <p>1000</p> <p>上部工荷重</p> <p>地震荷重</p> <p>評価対象</p> <p>Y</p> <p>X</p> <p>Z</p>

表4-12 施設諸元 (RC造躯体)

項目	記号	単位	入力値
コンクリート設計基準強度	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

4.3.2.1.2 RC造躯体の強度評価モデルへ入力する荷重の設定

RC造躯体の強度評価の際に考慮する荷重は以下に従い算出し、強度評価モデルに入力する。強度評価モデルに入力する荷重を表4-13に示す。

- (1)地震荷重及び風荷重により、3辺固定スラブモデルに発生する断面力(曲げモーメント及びせん断力)は、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(日本建築学会)に基づき、図4-4に示す理論モデルと式を用いて求める。なお、断面力が最大となる箇所も併せて図4-4に示す。

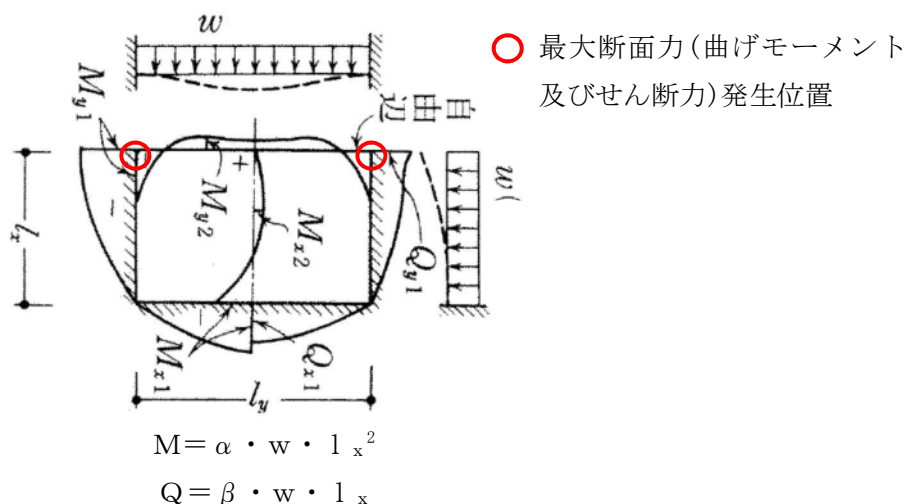


図4-4 3辺固定スラブモデルに発生する断面力の理論モデル及び算出式

- (2)地震荷重及び風荷重により、はりモデル発生する断面力(曲げモーメント及びせん断力)は、片持ちはりの理論式に基づき算出する。なお、断面力が最大となる箇所は、はりの固定端部となる。
- (3)上部工荷重を受ける部材については、上部工に生じる地震時慣性力と風荷重を算出し、RC造躯体に反力として付加する。

表 4-13 RC造躯体の強度評価モデルに入力する荷重(1/5)

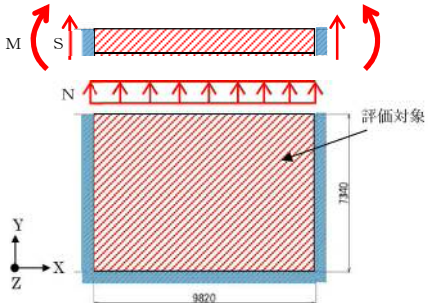
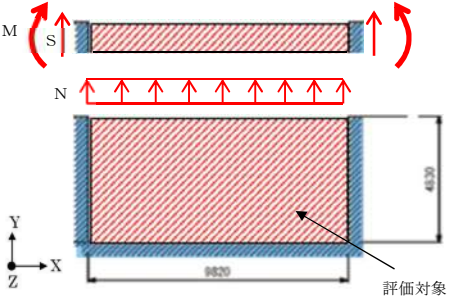
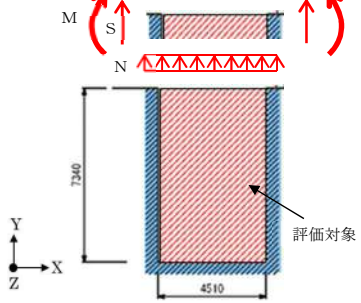
部位	入力荷重の内訳	強度評価モデル
1	<p>評価モデルに入力する荷重の内訳は以下の通り。</p> <p>【RC造躯体】</p> <p>モーメント：$M = \text{水平地震慣性力} + \text{風荷重} = -119 \text{ kN} \cdot \text{m}$</p> <p>せん断力：$S = \text{水平地震慣性力} + \text{風荷重} = 77 \text{ kN}$</p> <p>軸力：$N = \text{鉛直地震慣性力} + \text{自重} = 147 \text{ kN/m}$</p>	
2	<p>評価モデルに入力する荷重の内訳は以下の通り。</p> <p>【RC造躯体】</p> <p>モーメント：$M = \text{水平地震慣性力} + \text{風荷重} = -102 \text{ kN} \cdot \text{m}$</p> <p>せん断力：$S = \text{水平地震慣性力} + \text{風荷重} = 71 \text{ kN}$</p> <p>軸力：$N = \text{鉛直地震慣性力} + \text{自重} = 121 \text{ kN/m}$</p>	
3	<p>評価モデルに入力する荷重の内訳は以下の通り。</p> <p>【RC造躯体】</p> <p>モーメント：$M = \text{水平地震慣性力} + \text{風荷重} = -26 \text{ kN} \cdot \text{m}$</p> <p>せん断力：$S = \text{水平地震慣性力} + \text{風荷重} = 34 \text{ kN}$</p> <p>軸力：$N = \text{鉛直地震慣性力} + \text{自重} = 184 \text{ kN/m}$</p>	

表4-13 RC造躯体の強度評価モデルに入力する荷重(2/5)

部位	入力荷重の内訳	強度評価モデル
4	<p>評価モデルに入力する荷重の内訳は以下の通り。</p> <p>【RC造躯体】 モーメント：$M = \text{水平地震慣性力} + \text{風荷重} = 15 \text{ kN} \cdot \text{m}$ せん断力：$S = \text{水平地震慣性力} + \text{風荷重} = 20 \text{ kN}$ 軸力：$N = \text{鉛直地震慣性力} + \text{自重} = 34.7 \text{ kN}$</p> <p>【上部工反力】 モーメント：$M = \text{水平地震慣性力} + \text{風荷重} = 15 \text{ kN} \cdot \text{m}$ せん断力：$S = \text{水平地震慣性力} + \text{風荷重} = 9 \text{ kN}$ 軸力：$N = \text{鉛直地震慣性力} + \text{自重} + \text{積雪荷重} = 16.7 \text{ kN}$</p>	
5	<p>評価モデルに入力する荷重の内訳は以下の通り。</p> <p>【RC造躯体】 モーメント：$M = \text{水平地震慣性力} + \text{風荷重} = 18 \text{ kN} \cdot \text{m}$ せん断力：$S = \text{水平地震慣性力} + \text{風荷重} = 24 \text{ kN}$ 軸力：$N = \text{鉛直地震慣性力} + \text{自重} = 39 \text{ kN}$</p>	

表4-13 RC造躯体の強度評価モデルに入力する荷重(3/5)

部位	入力荷重の内訳	強度評価モデル
6	<p>評価モデルに入力する荷重の内訳は以下の通り。</p> <p>【RC造躯体】 モーメント：$M = \text{水平地震慣性力} + \text{風荷重} = 16 \text{ kN} \cdot \text{m}$ せん断力：$S = \text{水平地震慣性力} + \text{風荷重} = 21 \text{ kN}$ 軸力：$N = \text{鉛直地震慣性力} + \text{自重} = 35 \text{ kN}$</p> <p>【上部工反力】 モーメント：$M = \text{水平地震慣性力} + \text{風荷重} = 27 \text{ kN} \cdot \text{m}$ せん断力：$S = \text{水平地震慣性力} + \text{風荷重} = 17 \text{ kN}$ 軸力：$N = \text{鉛直地震慣性力} + \text{自重} + \text{積雪荷重} = 114 \text{ kN}$</p>	
7	<p>評価モデルに入力する荷重の内訳は以下の通り。</p> <p>【RC造躯体】 モーメント：$M = \text{水平地震慣性力} = 29.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$ せん断力：$S = \text{水平地震慣性力} = 38 \text{ kN}$ 軸力：$N = \text{鉛直地震慣性力} + \text{自重} = 83 \text{ kN}$</p> <p>【上部工反力】 モーメント：$M = \text{水平地震慣性力} = 36.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$ せん断力：$S = \text{水平地震慣性力} = 24 \text{ kN}$ 軸力：$N = \text{鉛直地震慣性力} + \text{自重} + \text{積雪荷重} = 130 \text{ kN}$</p>	

表4-13 RC造躯体の強度評価モデルに入力する荷重(4/5)

部位	入力荷重の内訳	強度評価モデル
8	<p>評価モデルに入力する荷重の内訳は以下の通り。</p> <p>【RC造躯体】 モーメント：$M = \text{水平地震慣性力} + \text{風荷重} = 25 \text{ kN} \cdot \text{m}$ せん断力：$S = \text{水平地震慣性力} + \text{風荷重} = 33 \text{ kN}$ 軸力：$N = \text{鉛直地震慣性力} + \text{自重} = 55.4 \text{ kN}$</p> <p>【上部工反力】 モーメント：$M = \text{水平地震慣性力} + \text{風荷重} = 27 \text{ kN} \cdot \text{m}$ せん断力：$S = \text{水平地震慣性力} + \text{風荷重} = 16 \text{ kN}$ 軸力：$N = \text{鉛直地震慣性力} + \text{自重} + \text{積雪荷重} = 110.3 \text{ kN}$</p>	
9	<p>評価モデルに入力する荷重の内訳は以下の通り。</p> <p>【RC造躯体】 モーメント：$M_z = \text{水平地震慣性力} + \text{風} = 341 \text{ kN} \cdot \text{m}$ モーメント：$M_x = \text{水平地震慣性力} = 109 \text{ kN} \cdot \text{m}$ せん断力：$S = \text{水平地震慣性力} + \text{風荷重} = 207 \text{ kN}$ 軸力：$N = \text{鉛直地震慣性力} + \text{自重} = 98 \text{ kN}$</p>	

表4-13 RC造躯体の強度評価モデルに入力する荷重(5/5)

部位	入力荷重の内訳	強度評価モデル
10	<p>評価モデルに入力する荷重の内訳は以下の通り。</p> <p>【RC造躯体】 モーメント：$M_z = \text{水平地震慣性力} = 130 \text{ kN} \cdot \text{m}$ モーメント：$M_y = \text{鉛直地震慣性力} + \text{自重} = 598 \text{ kN} \cdot \text{m}$ せん断力：$S = \text{鉛直地震慣性力} + \text{自重} = 557 \text{ kN}$ 軸力：$N = \text{水平地震慣性力} = 107 \text{ kN}$</p> <p>【上部工反力】 モーメント：$M_z = \text{水平地震慣性力} + \text{鉛直地震慣性力} + \text{自重} + \text{風荷重} + \text{積雪荷重} = 175 \text{ kN} \cdot \text{m}$ モーメント：$M_y = \text{水平地震慣性力} + \text{鉛直地震慣性力} + \text{自重} + \text{風荷重} + \text{積雪荷重} = 207 \text{ kN} \cdot \text{m}$ せん断力：$S = \text{水平地震慣性力} + \text{鉛直地震慣性力} + \text{自重} + \text{風荷重} + \text{積雪荷重} = 115 \text{ kN}$ 軸力：$N = \text{水平地震慣性力} + \text{鉛直地震慣性力} + \text{自重} + \text{風荷重} + \text{積雪荷重} = 9 \text{ kN}$</p>	<p>強度評価モデル</p>

4.3.2.1 ネット用架構及び鉄骨架構の強度評価モデル

ネット用架構及び鉄骨架構の強度評価に用いるモデルを以降に示す。また、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、評価部位に生じる断面力を求める。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。

4.3.2.1.1 ネット用架構及び鉄骨架構の強度評価モデルの設定

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4-3に示す、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。なお、ネット用架構及び鉄骨架構の構成部材の諸元を表4-14に示す。

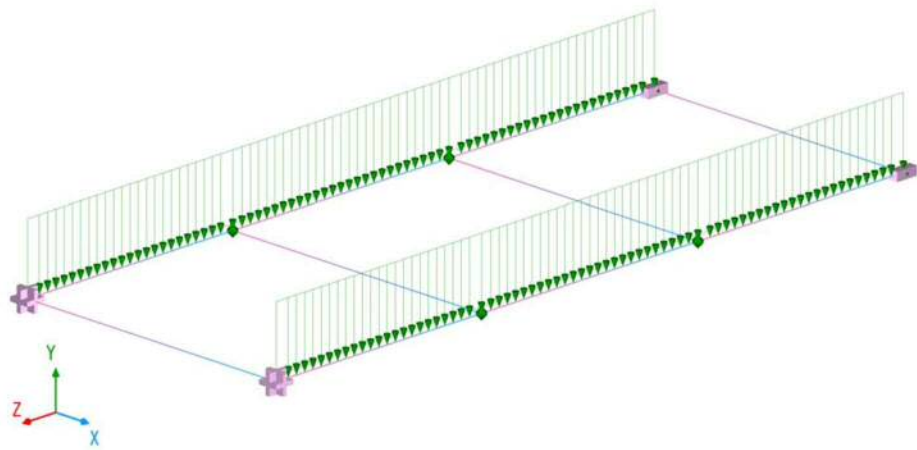
表4-14 施設諸元（ネット用架構及び鉄骨架構）

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

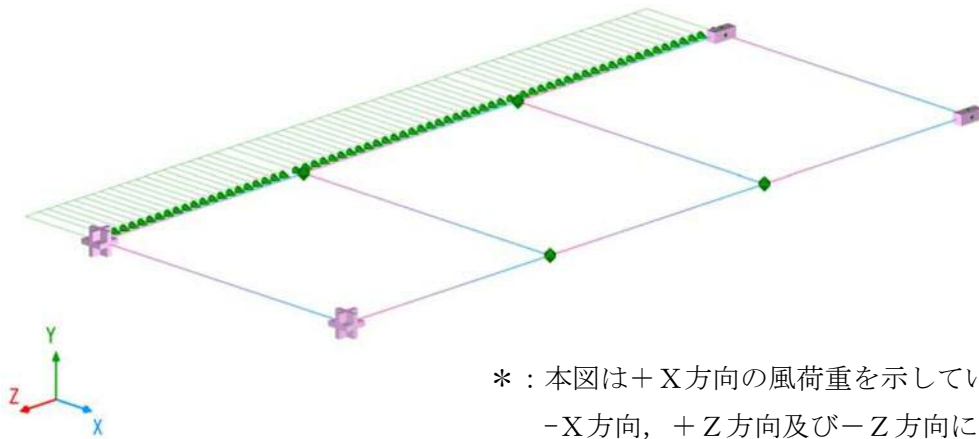
4.3.2.1.2 ネット用架構及び鉄骨架構の強度評価モデルへ入力する荷重の設定

(1) ネット用架構の強度評価モデルへ入力する荷重の設定

各部材に入力する死荷重(積雪荷重含む)、風荷重及び地震荷重の荷重図をそれぞれ図4-5に示す。なお、強度評価モデルに入力する死荷重、風荷重、積雪荷重は、4.2.1項(1)に示すとおり。

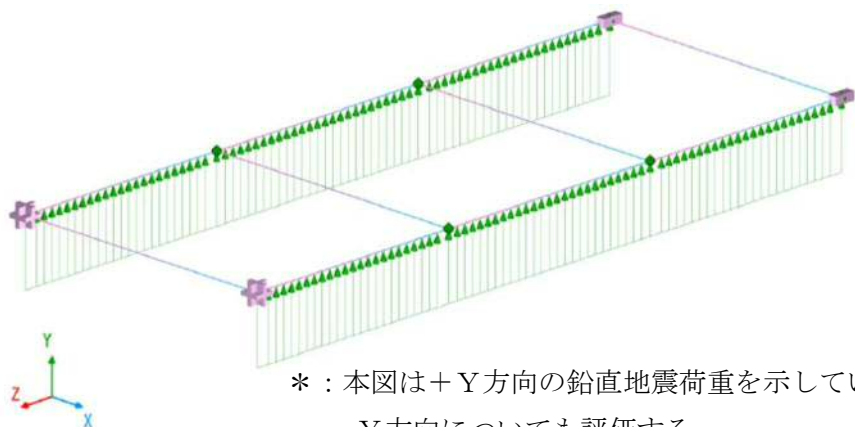


(a-1) ネット用架構 (エリア②～④) (死荷重及び積雪荷重)



* : 本図は+ X方向の風荷重を示しているが,
-X方向, + Z方向及び-Z方向についても
評価する。

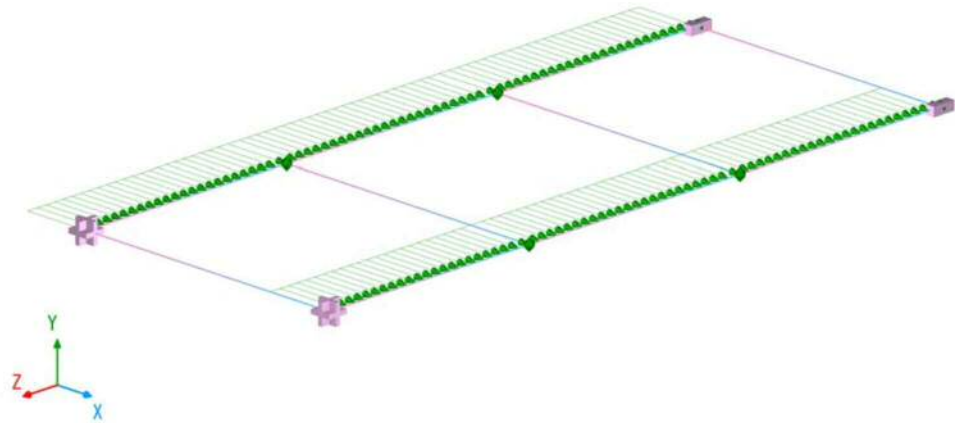
(a-2) ネット用架構 (エリア②～④) (風荷重)



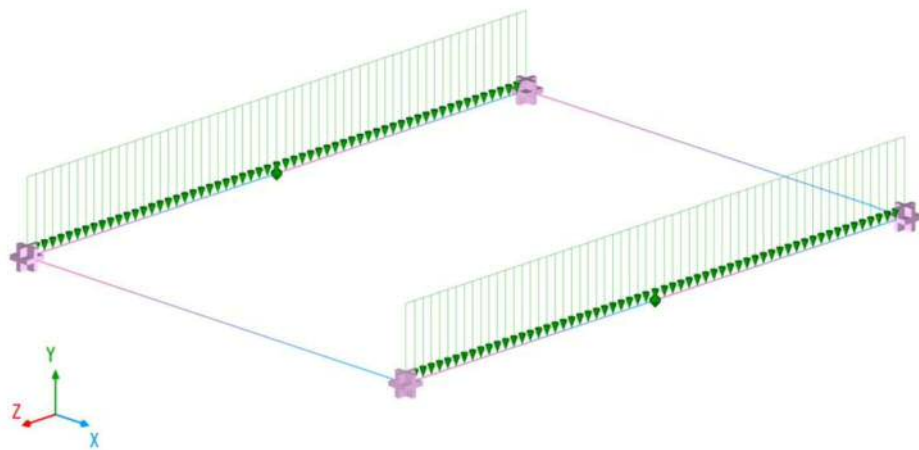
* : 本図は+ Y方向の鉛直地震荷重を示しているが,
-Y方向についても評価する。

(a-3) ネット用架構 (エリア②～④) (鉛直地震荷重)

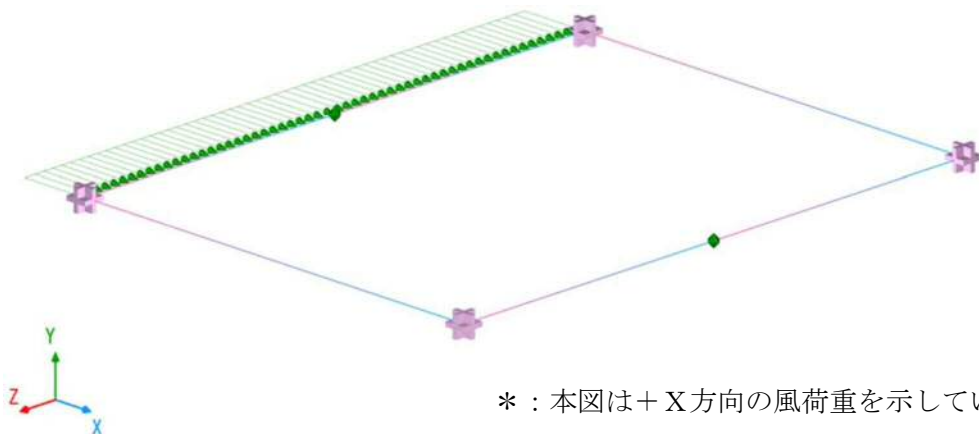
図 4-5 ネット用架構の強度評価モデルへの入力荷重(1/3)



(a-4) ネット用架構（エリア②～④）（水平地震荷重）



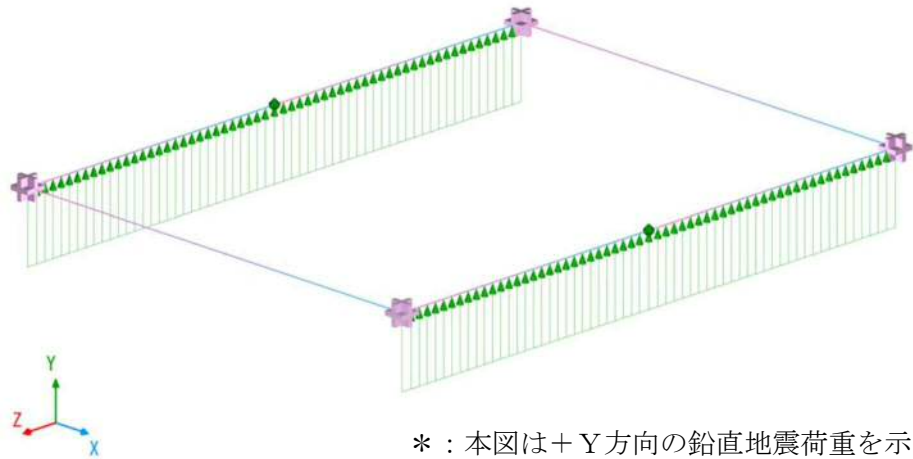
(b-1) ネット用架構（エリア⑤）（死荷重及び積雪荷重）



* : 本図は+ X方向の風荷重を示しているが、
-X方向, + Z方向及び-Z方向についても
評価する。

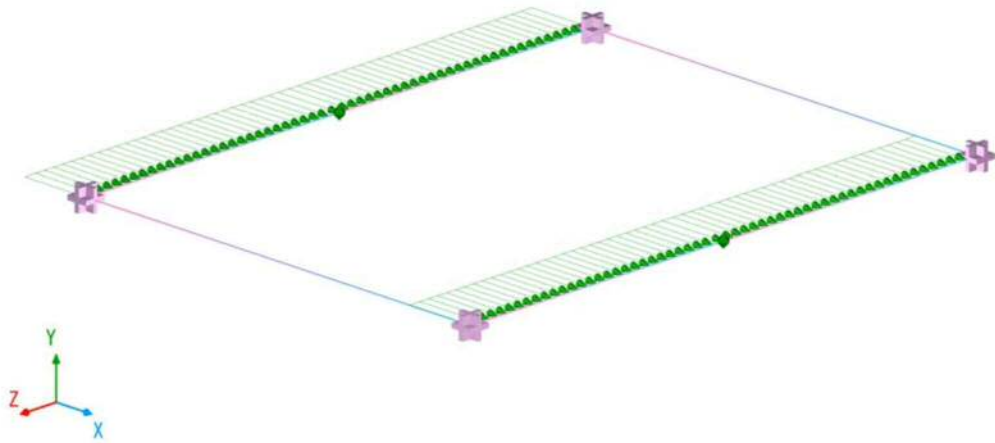
(b-2) ネット用架構（エリア⑤）（風荷重）

図 4-5 ネット用架構の強度評価モデルへの入力荷重(2/3)



* : 本図は+Y方向の鉛直地震荷重を示しているが,
-Y方向についても評価する。

(b-3) ネット用架構 (エリア⑤) (鉛直地震荷重)



(b-4) ネット用架構 (エリア⑤) (水平地震荷重)

図 4-5 ネット用架構の強度評価モデルへの入力荷重 (3/3)

(2) 鉄骨架構の強度評価モデルへ入力する荷重の設定

鉄骨架構の強度評価モデルに入力する死荷重，風荷重，積雪荷重は，4.2.1項(1)に示す単位面積当たりの荷重により，各部材に加わる荷重を算出する。算出した荷重は，その部材をに対応する強度評価モデルの節点に対して均等に振り分ける。各節点に入力する死荷重，風荷重，積雪荷重の荷重図をそれぞれ図4-6～4-10に示す。なお，風荷重は図4-8～4-10に示す3方向からそれぞれ入力して応力を算出する。算出した風荷重による応力と，その他の荷重（死荷重，風荷重，積雪荷重，地震荷重）による応力とを組合わせた際に応力比が最大となる1方向の荷重を採用する。地震荷重は，図4-11に示すように，アンカーボルト(青点)とラージマス(赤点)を剛な仮想部材(水色線)で結び，ラージマスに地震荷重を入力する。なお，4.5項に示す床応答曲線を地震荷重として入力する。

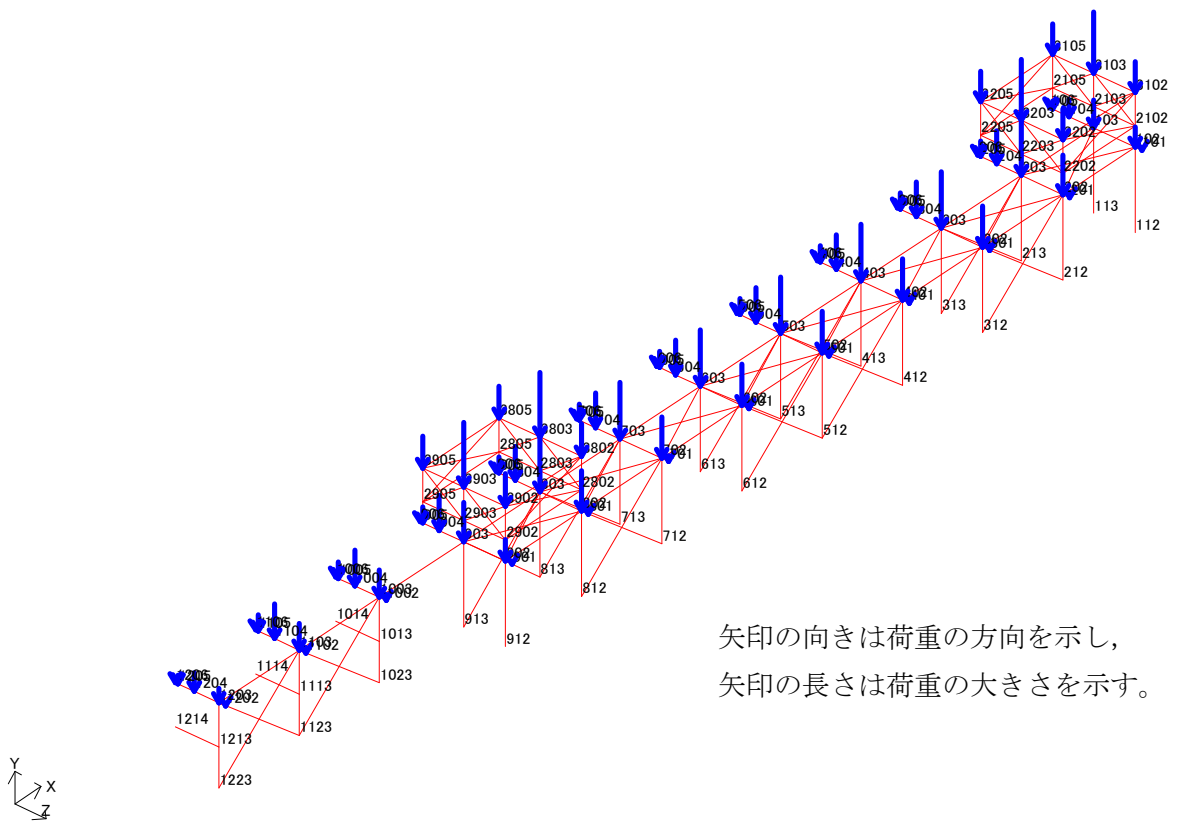


図 4-6 鉄骨架構の強度評価モデルへの入力荷重(死荷重)

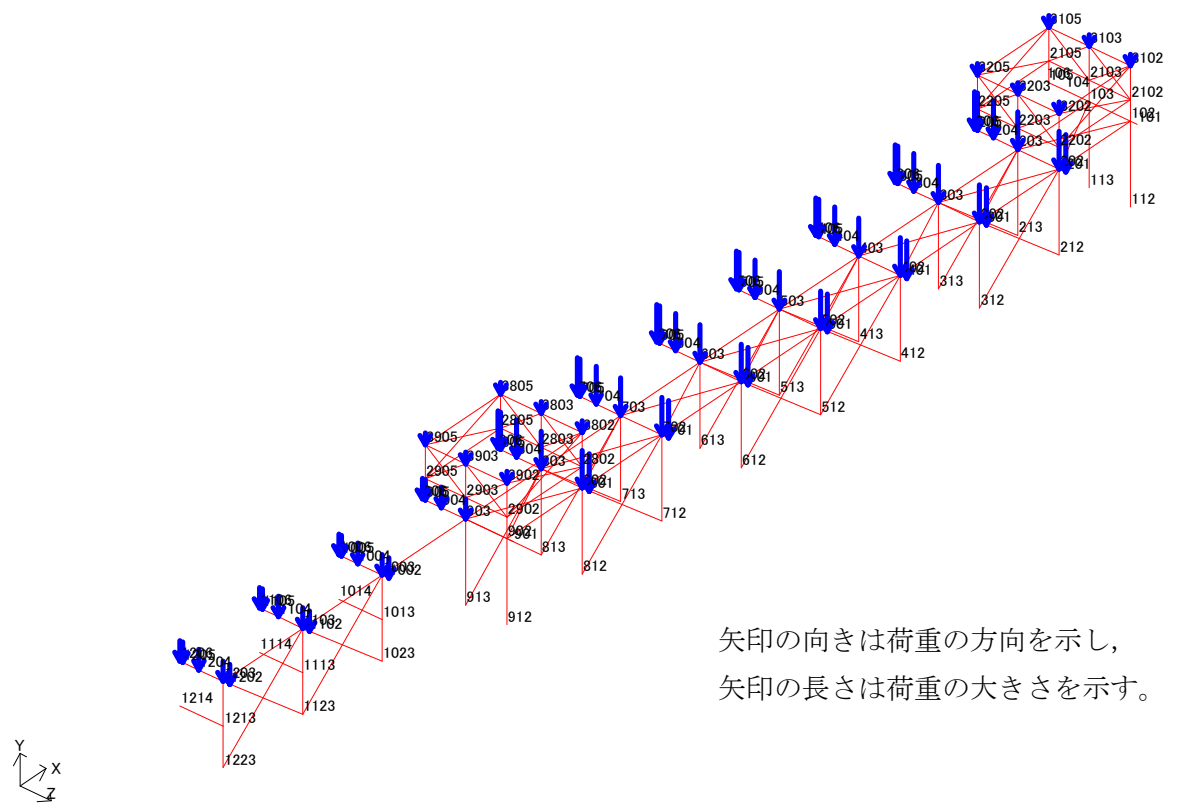


図 4-7 鉄骨架構の強度評価モデルへの入力荷重(積雪荷重)

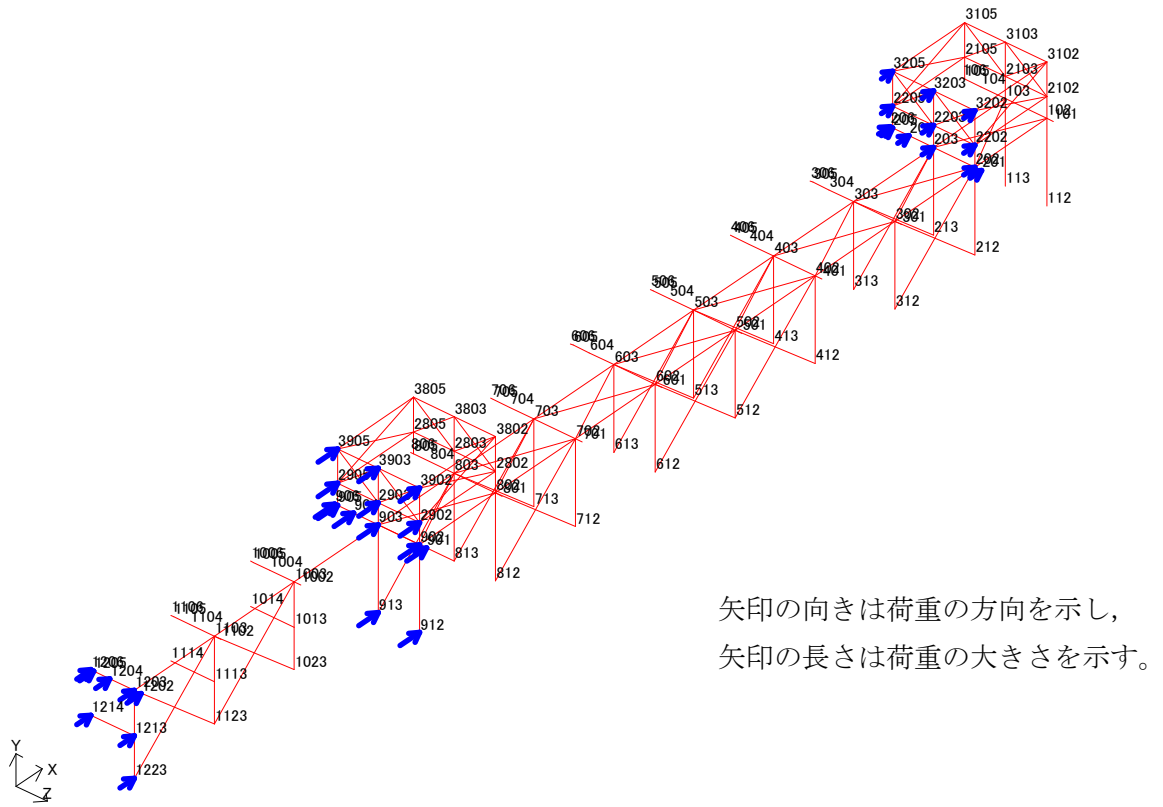


図 4-8 鉄骨架構の強度評価モデルへの入力荷重(風荷重 +X方向)

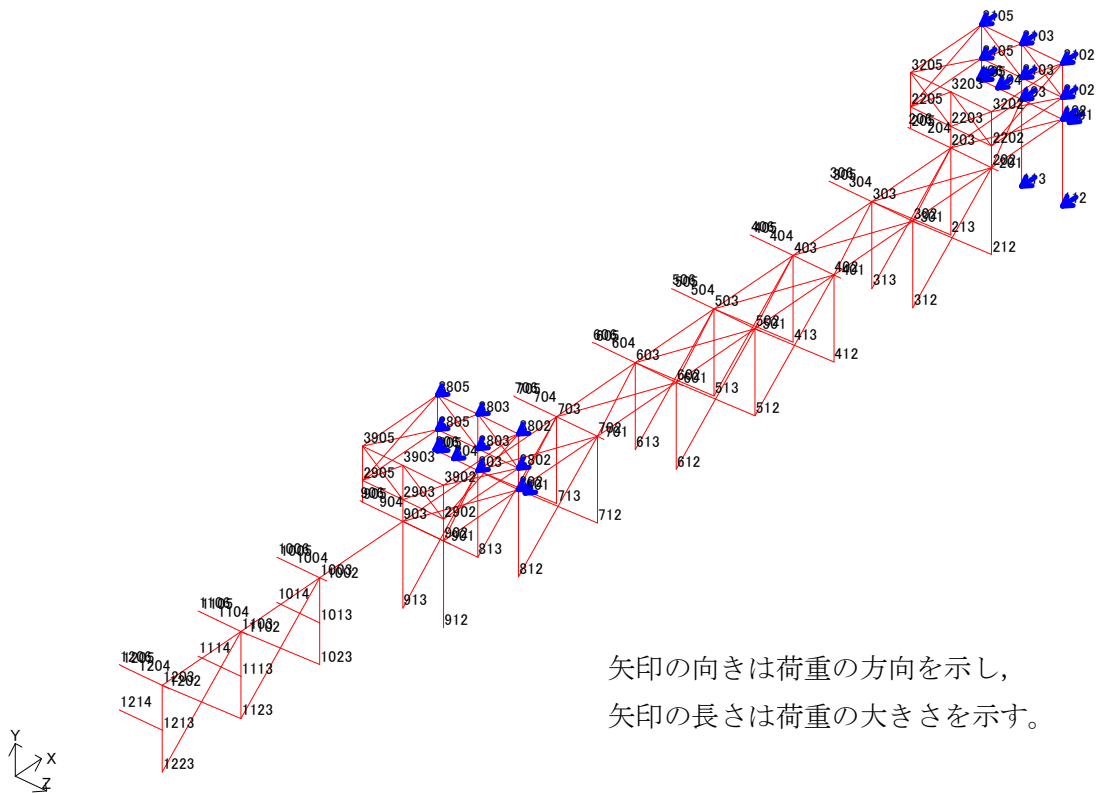


図 4-9 鉄骨架構の強度評価モデルへの入力荷重(風荷重 -X方向)

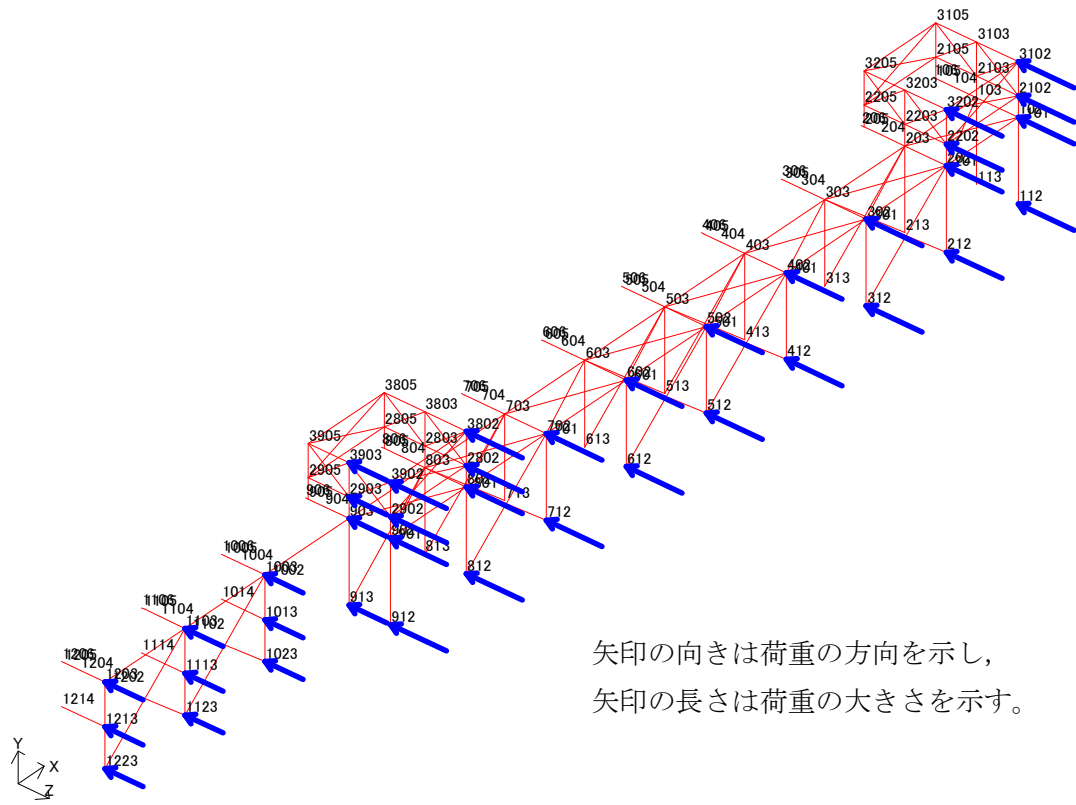


図 4-10 鉄骨架構の強度評価モデルへの入力荷重(風荷重 -Z方向)

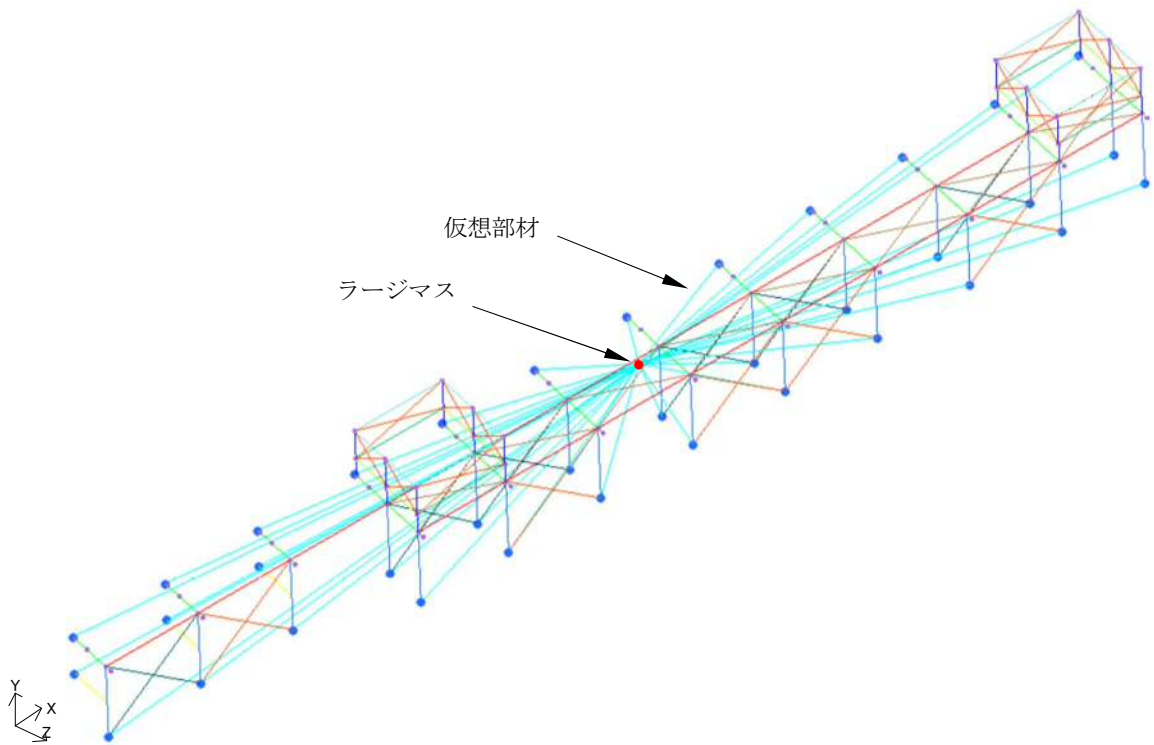


図 4-11 鉄骨架構の強度評価モデルへの入力荷重(地震荷重)

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と各方向の卓越モードに対する振動モード図をそれぞれ表4-15及び図4-12に示す。また、RC造躯体の固有値解析と面外方向の卓越モードに対する振動モード図を表4-16及び図4-13に示す。

表 4-15 ネット用架構及び鉄骨架構の固有値解析結果(ネット用架構②-1) (1/6)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数		
				X方向 (NS)	Y方向 (UD)	Z方向 (EW)
1	X	0.207	4.821	2.61	0.00	0.00
2	Y	0.202	4.949	0.00	2.61	0.00
3	-	0.202	4.949	0.00	0.00	0.00
4	-	0.099	10.114	0.00	0.00	0.00
5	-	0.054	18.649	0.00	0.00	0.00
6	-	0.054	18.649	0.00	0.00	0.00
7	Z	0.018	54.179	0.00	0.00	2.79
8	-	0.018	54.581	-0.01	0.00	0.00
9	-	0.007	135.132	0.00	0.00	0.00
10	-	0.007	135.398	0.00	0.00	0.00
11	-	0.007	147.979	0.00	0.00	-0.78
12	-	0.007	148.105	0.00	0.00	0.00
13	-	0.005	202.382	0.00	0.00	0.19
14	-	0.005	202.453	0.00	0.00	0.00

表4-15 ネット用架構及び鉄骨架構の固有値解析結果(ネット用架構③④-1) (2/6)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数		
				X方向 (NS)	Y方向 (UD)	Z方向 (EW)
1	X	0.198	5.059	-2.52	0.00	0.00
2	Y	0.196	5.111	0.00	2.52	0.00
3	-	0.196	5.111	0.00	0.00	0.00
4	-	0.095	10.503	0.00	0.00	0.00
5	-	0.052	19.261	0.00	0.00	0.00
6	-	0.052	19.261	0.00	0.00	0.00
7	Z	0.018	55.956	0.00	0.00	2.71
8	-	0.018	56.460	0.00	0.00	0.00
9	-	0.007	144.878	0.00	0.00	0.00
10	-	0.007	145.145	0.00	0.00	0.00
11	-	0.007	152.832	0.00	0.00	-0.75
12	-	0.007	152.989	0.00	0.00	0.00
13	-	0.005	209.019	0.00	0.00	-0.18
14	-	0.005	209.107	0.00	0.00	0.00

表4-15 ネット用架構及び鉄骨架構の固有値解析結果(ネット用架構③④-2) (3/6)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数		
				X方向 (NS)	Y方向 (UD)	Z方向 (EW)
1	X	0.195	5.139	-2.50	0.00	0.00
2	Y	0.193	5.169	0.00	2.50	0.00
3	-	0.193	5.169	0.00	0.00	0.00
4	-	0.094	10.638	0.00	0.00	0.00
5	-	0.051	19.479	0.00	0.00	0.00
6	-	0.051	19.479	0.00	0.00	0.00
7	Z	0.018	56.588	0.00	0.00	2.68
8	-	0.018	57.127	-0.01	0.00	0.00
9	-	0.007	148.081	0.00	0.00	0.00
10	-	0.007	148.349	0.00	0.00	0.00
11	-	0.006	154.559	0.00	0.00	-0.74
12	-	0.006	154.727	0.00	0.00	0.00
13	-	0.005	211.381	0.00	0.00	0.18
14	-	0.005	211.474	0.00	0.00	0.00

表4-15 ネット用架構及び鉄骨架構の固有値解析結果(ネット用架構⑤-1) (4/6)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数		
				X方向 (NS)	Y方向 (UD)	Z方向 (EW)
1	-	0.089	11.238	0.00	0.00	0.00
2	X	0.074	13.433	-1.52	0.00	0.00
3	Y	0.050	20.001	0.00	-1.52	0.00
4	-	0.050	20.001	0.00	0.00	0.00
5	-	0.005	197.091	0.00	0.00	-0.31
6	Z	0.005	197.091	0.00	0.00	1.48

表4-15 ネット用架構及び鉄骨架構の固有値解析結果(ネット用架構⑤-2) (5/6)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数		
				X方向 (NS)	Y方向 (UD)	Z方向 (EW)
1	-	0.087	11.550	0.00	0.00	0.00
2	X	0.072	13.802	1.48	0	0.00
3	Y	0.049	20.461	0.00	-1.48	0.00
4	-	0.049	20.461	0.00	0.00	0.00
5	Z	0.005	201.622	0.00	0.00	1.48
6	-	0.005	201.622	0.00	0.00	0.08



表4-15 ネット用架構及び鉄骨架構の固有値解析結果(ネット用架構④-1) (6/6)

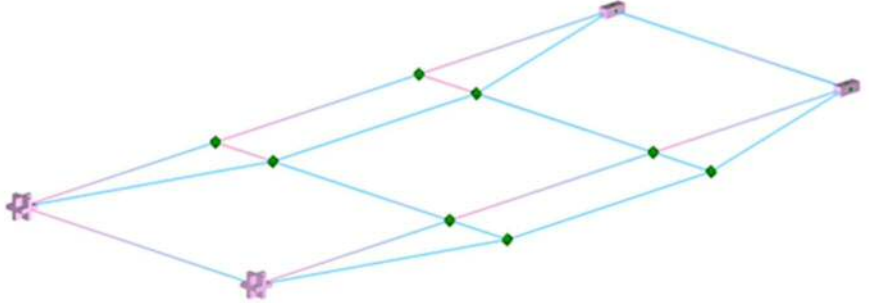
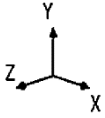
モード	卓越方向	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数		
				X 方向 (NS)	Y 方向 (UD)	Z 方向 (EW)
1	-	0.106	9.454	3.17	0	0
2	-	0.103	9.702	2.81	0	0
3	-	0.082	12.241	0	0	0
4	-	0.079	12.582	0	0	0
5	-	0.059	16.846	0.50	0	-0.01
6	-	0.058	17.304	-0.51	0.02	-0.01
7	-	0.045	22.254	-2.51	0	0.03
8	-	0.044	22.811	-1.64	0.02	-0.06
9	Z	0.038	26.235	-0.15	-0.05	3.29
10	-	0.038	26.349	-0.56	-0.03	-0.06
11	-	0.037	26.970	-0.40	0.10	-3.09
12	-	0.037	27.138	-0.54	-0.03	0.93
13	X	0.032	31.310	-5.97	0.08	0.09
14	-	0.030	33.734	-0.58	-0.07	-0.06
15	-	0.029	34.484	-0.37	-0.01	-0.01
16	-	0.027	37.567	1.13	0.16	0.13
17	-	0.025	39.701	-0.18	0	0.02
18	-	0.025	40.298	0.16	0.03	0
19	-	0.025	40.589	-0.02	-0.01	0.01
20	-	0.025	40.728	0.04	-0.02	0
21	-	0.024	40.953	0	-0.07	-0.02
22	-	0.024	41.117	-0.10	-0.01	-0.01
23	-	0.023	44.294	0.47	-0.08	-0.02
24	-	0.022	46.089	-0.75	-0.12	-0.03
25	-	0.020	49.999	0.52	0.67	0.15
26	-	0.018	56.847	-0.37	-0.84	0.01
27	-	0.017	59.493	0.06	-1.62	0.04
28	-	0.017	59.945	0.33	-1.26	0.02
29	Y	0.017	60.561	0.07	-4.55	0.12
30	-	0.016	62.385	-0.32	-0.35	0

* : 1次~30次までのモード図は別紙4参照

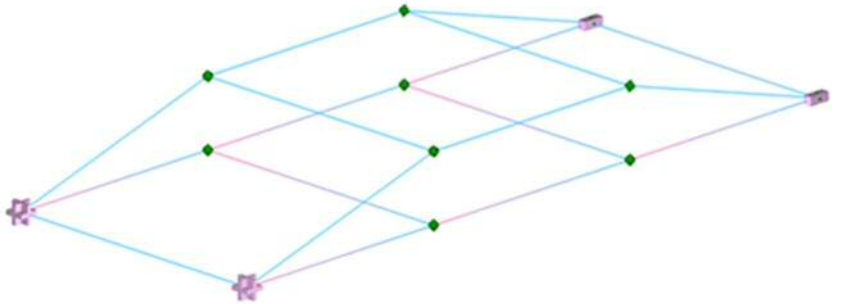
X (南北) 方向卓越
 ・ 1 次 (0.207 sec)

【凡例】

シンボル	X方向	Y方向	Z方向
	ピン	ピン	ピン
	ピン	ピン	ローラ



Y (鉛直) 方向卓越
 ・ 2 次 (0.202 sec)



Z (東西) 方向卓越
 ・ 7 次 (0.018 sec)

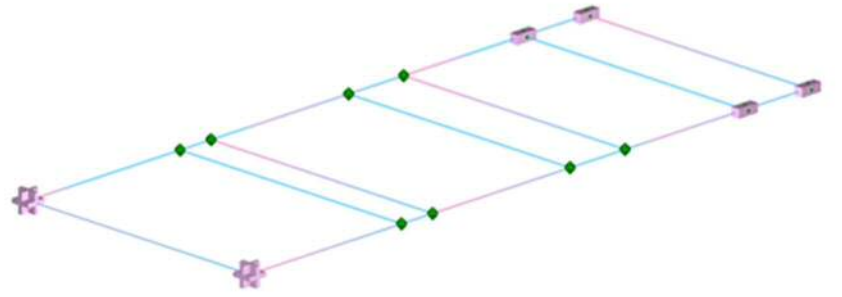
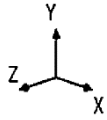


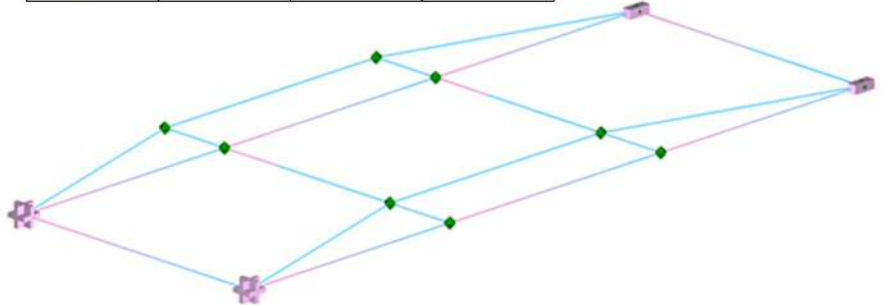
図4-12 振動モード図 (ネット架構及び鉄骨架構) (1/6) (◇-1)

X (南北) 方向卓越
 ・ 1 次 (0.198 sec)

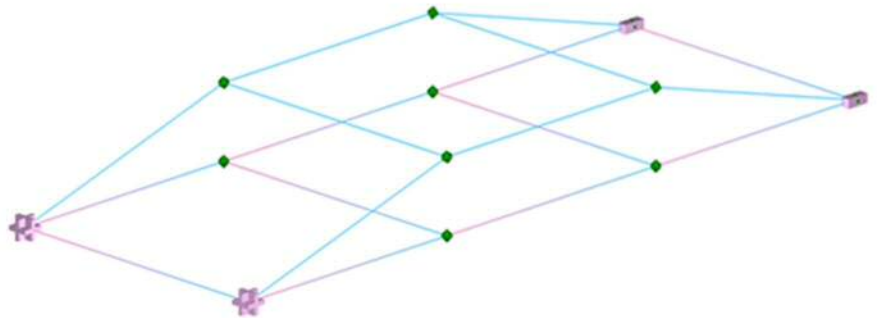


【凡例】

シンボル	X方向	Y方向	Z方向
	ピン	ピン	ピン
	ピン	ピン	ローラ



Y (鉛直) 方向卓越
 ・ 2 次 (0.196 sec)



Z (東西) 方向卓越
 ・ 7 次 (0.018 sec)

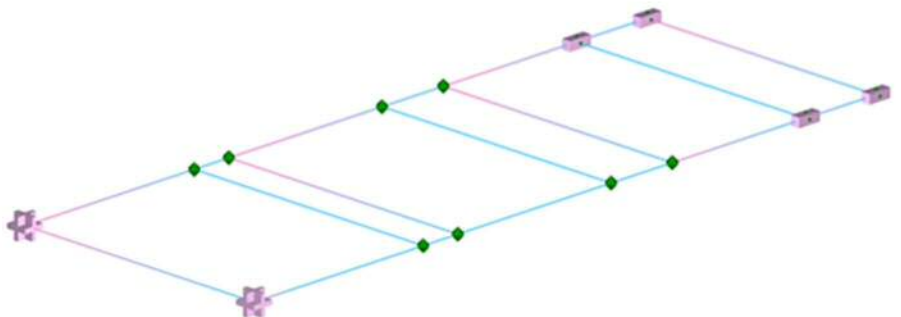
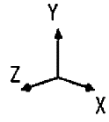


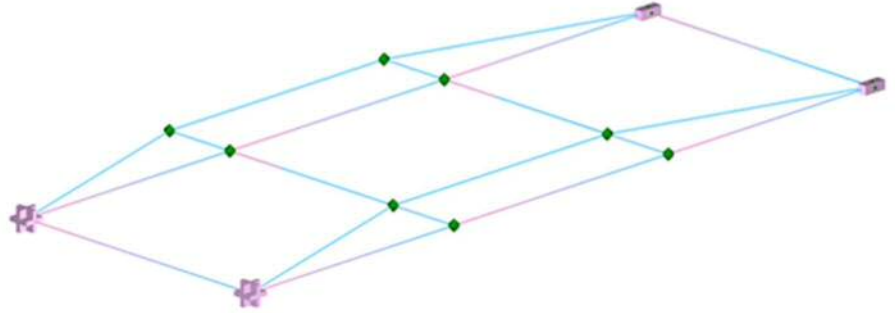
図4-12 振動モード図 (ネット架構及び鉄骨架構) (2/6) (3-4-1)

X (南北) 方向卓越
 ・ 1 次 (0.195 sec)

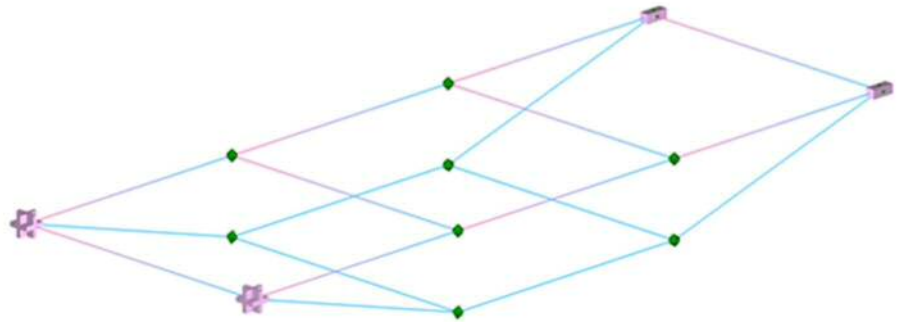


【凡例】

シンボル	X方向	Y方向	Z方向
	ピン	ピン	ピン
	ピン	ピン	ローラ



Y (鉛直) 方向卓越
 ・ 2 次 (0.193 sec)



Z (東西) 方向卓越
 ・ 7 次 (0.018 sec)

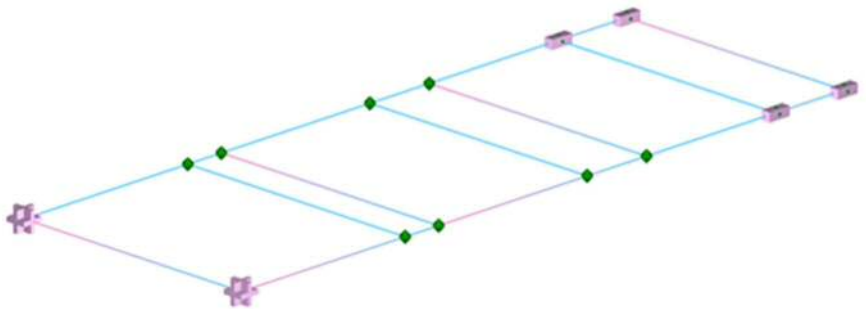


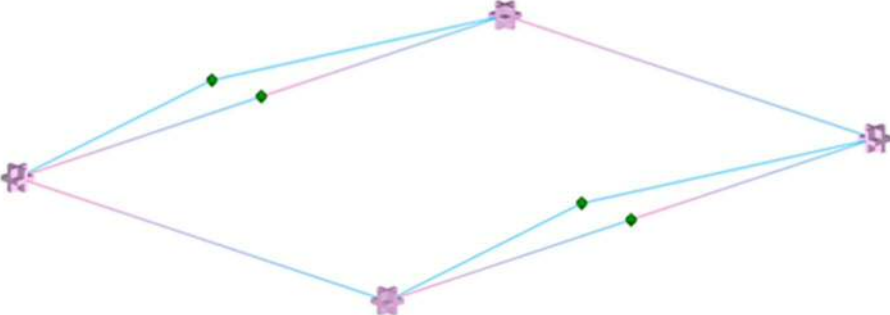
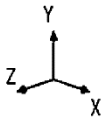


図4-12 振動モード図 (ネット架構及び鉄骨架構) (3/6) (3-4-2)

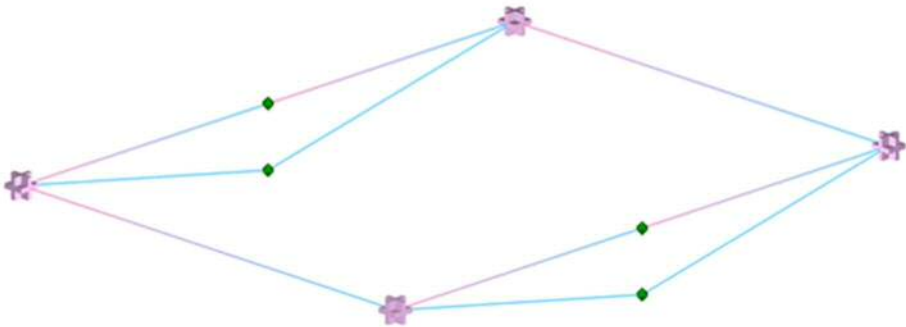
X (南北) 方向卓越
 ・ 2 次 (0.074 sec)

【凡例】

シンボル	X方向	Y方向	Z方向
	ピン	ピン	ピン
	ピン	ピン	ローラ



Y (鉛直) 方向卓越
 ・ 3 次 (0.050 sec)



Z (東西) 方向卓越
 ・ 6 次 (0.005 sec)

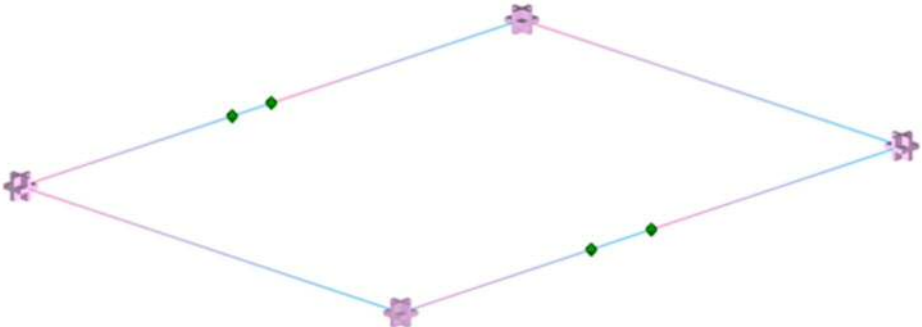
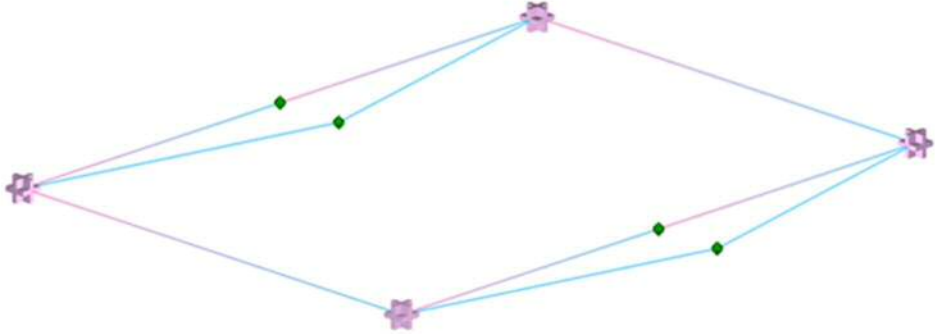
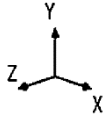


図4-12 振動モード図 (ネット架構及び鉄骨架構) (4/6) (⑤-1)

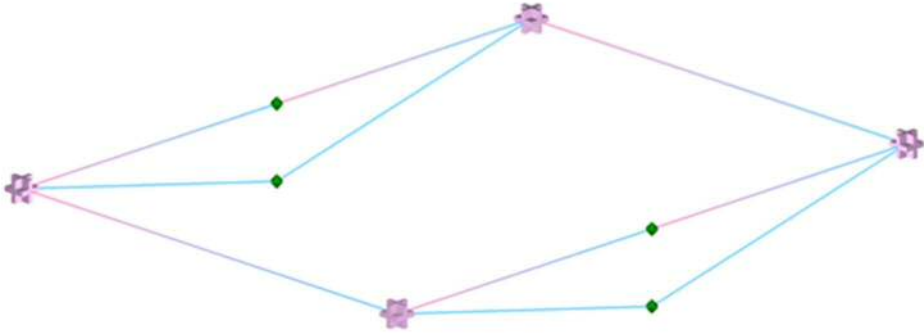
X (南北) 方向卓越
 ・ 2 次 (0.072 sec)

【凡例】

シンボル	X方向	Y方向	Z方向
	ピン	ピン	ピン
	ピン	ピン	ローラ



Y (鉛直) 方向卓越
 ・ 3 次 (0.049 sec)



Z (東西) 方向卓越
 ・ 6 次 (0.005 sec)

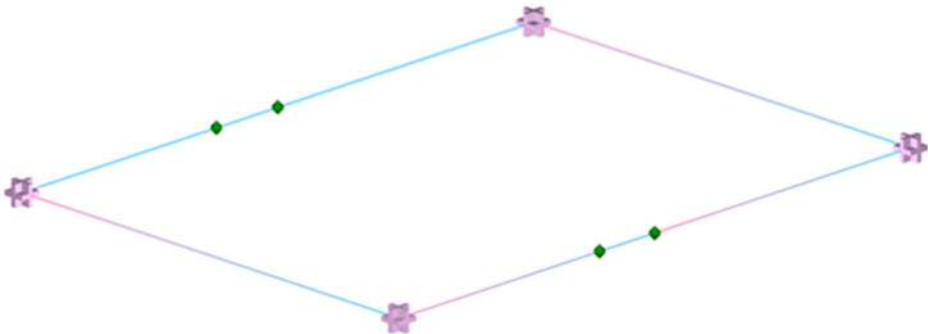
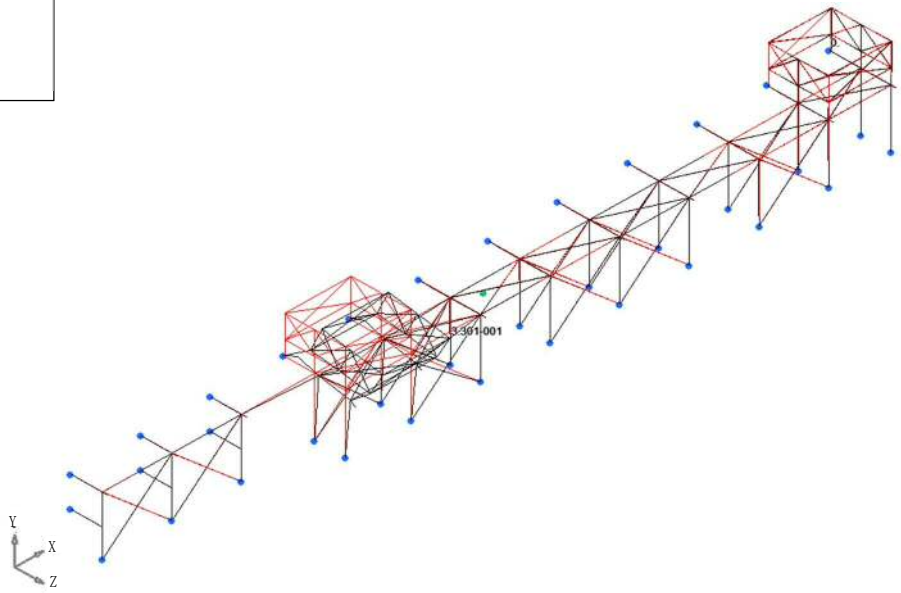
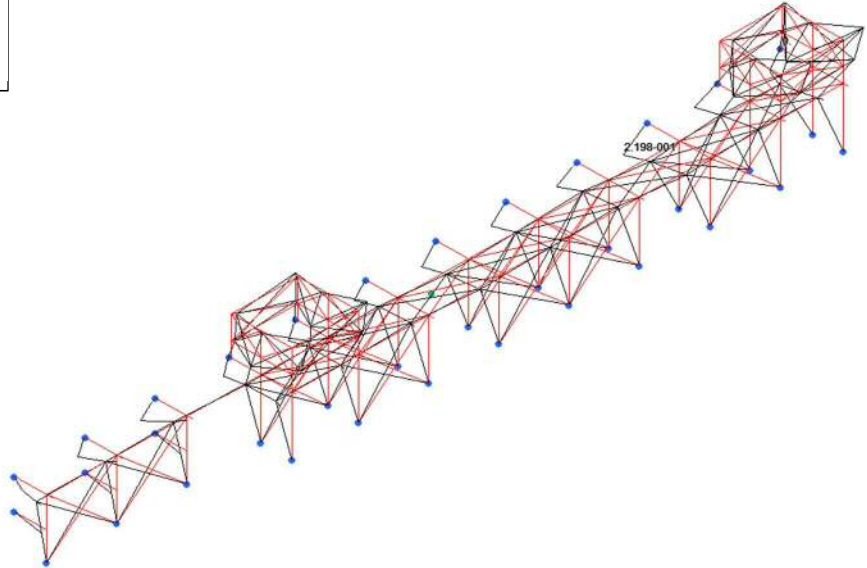


図4-12 振動モード図 (ネット架構及び鉄骨架構) (5/6) (⑤-2)

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)

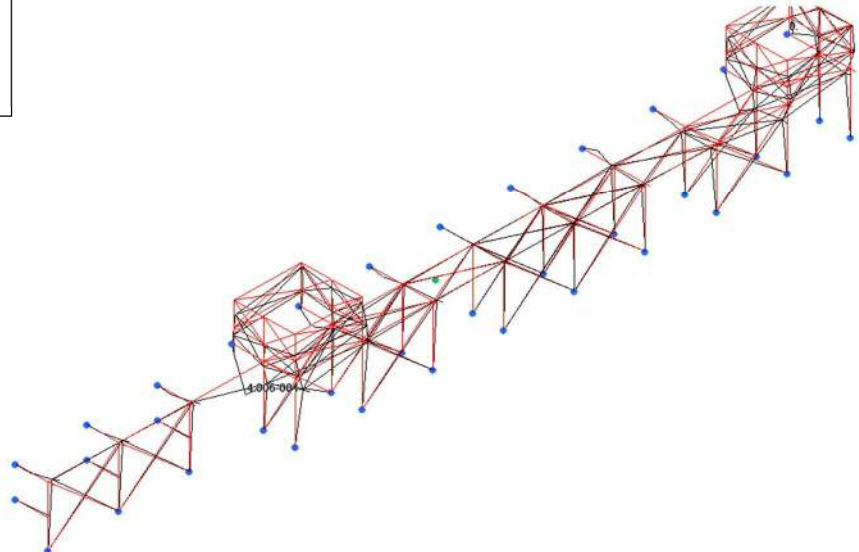


図4-12 振動モード図 (ネット架構及び鉄骨架構) (6/6) (◇-1)

表4-16 固有値解析結果（RC造躯体¹）（1/10）

次数	卓越方向	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数		
				X軸方向 (EW)	Y軸方向 (UD)	Z軸方向 (NS)
1	Z*	0.069	14.449	0.00	0.00	5.24
2	-	0.038	26.226	0.00	0.00	-2.46
3	-	0.031	31.969	0.00	0.00	0.00
4	-	0.021	41.725	0.00	0.00	0.00
5	-	0.021	47.364	0.00	0.00	-1.39
6	-	0.019	52.227	0.00	0.00	-2.14
7	-	0.017	58.249	0.00	0.00	0.00
8	-	0.017	60.013	0.00	0.00	-0.86
9	-	0.014	72.201	0.00	0.00	-0.79
10	-	0.014	73.120	0.00	0.00	0.00
11	-	0.014	73.500	0.00	0.00	-0.81
12	-	0.013	79.247	0.00	0.00	0.00
13	-	0.013	79.965	0.00	0.00	0.00
14	-	0.011	90.231	0.00	0.00	0.00
15	-	0.011	91.166	0.00	0.00	0.13
16	-	0.011	94.042	0.00	0.00	-1.33
17	-	0.010	98.652	0.00	0.00	-0.22
18	-	0.010	103.957	0.00	0.00	-0.97
19	-	0.009	105.549	0.00	0.00	0.00
20	-	0.009	105.549	0.00	0.00	0.00
21	-	0.009	108.076	0.00	0.00	-0.19
22	-	0.009	112.856	0.00	0.00	0.18
23	-	0.009	114.649	0.00	0.00	0.00
24	-	0.008	118.706	0.00	0.00	0.00
25	-	0.008	120.877	0.00	0.00	0.19
26	-	0.008	123.980	0.00	0.00	0.00
27	-	0.008	125.703	0.00	0.00	-0.69
28	-	0.008	126.463	0.00	0.00	0.00
29	-	0.008	129.912	0.00	0.00	0.00
30	-	0.007	134.909	0.00	0.00	0.84

*面外方向を示す。

表4-16 固有値解析結果（RC造躯体²）（2/10）

次数	卓越方向	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数		
				X軸方向 (EW)	Y軸方向 (UD)	Z軸方向 (NS)
1	Z*	0.050	20.115	0.00	0.00	5.23
2	-	0.025	40.770	0.00	0.00	3.77
3	-	0.024	41.461	0.00	0.00	0.00
4	-	0.017	60.239	0.00	0.00	0.00
5	-	0.015	66.238	0.00	0.00	-2.19
6	-	0.014	69.047	0.00	0.00	-2.67
7	-	0.012	82.668	0.00	0.00	1.22
8	-	0.012	86.089	0.00	0.00	0.00
9	-	0.011	91.893	0.00	0.00	0.00
10	-	0.009	105.358	0.00	0.00	1.19
11	-	0.009	105.764	0.00	0.00	0.00
12	-	0.009	107.758	0.00	0.00	1.46
13	-	0.009	116.380	0.00	0.00	0.00
14	-	0.009	117.562	0.00	0.00	1.23
15	-	0.008	128.500	0.00	0.00	0.00
16	-	0.008	129.150	0.00	0.00	0.74
17	-	0.007	134.595	0.00	0.00	-0.75
18	-	0.007	142.934	0.00	0.00	0.00
19	-	0.007	148.703	0.00	0.00	1.57
20	-	0.007	149.184	0.00	0.00	-0.36
21	-	0.007	152.399	0.00	0.00	0.00
22	Y	0.006	154.271	0.00	-7.74	0.00
23	-	0.006	154.541	0.00	0.00	0.00
24	-	0.006	157.369	0.00	0.00	0.00
25	-	0.006	166.839	0.00	0.00	-0.80
26	-	0.006	168.241	0.00	0.00	0.54
27	-	0.006	170.179	0.00	0.00	0.00
28	-	0.006	175.895	0.00	0.00	-0.80
29	-	0.006	177.139	0.00	0.00	0.01
30	X	0.006	178.905	7.69	0.00	0.00

* 面外方向を示す。

表4-16 固有値解析結果 (R C造軀体³) (3/10)

次数	卓越方向	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数		
				X軸方向 (EW)	Y軸方向 (UD)	Z軸方向 (NS)
1	Z*	0.016	63.176	0.00	0.00	-3.27
2	-	0.015	68.285	0.00	0.00	-1.92
3	-	0.012	82.776	0.00	0.00	0.87
4	-	0.009	105.941	0.00	0.00	0.72
5	-	0.008	120.583	0.00	0.00	0.00
6	-	0.008	124.322	0.00	0.00	0.00
7	-	0.008	132.997	0.00	0.00	0.00
8	-	0.007	133.997	0.00	0.00	-0.49
9	-	0.007	146.694	0.00	0.00	0.00
10	-	0.006	164.139	0.00	0.00	0.35
11	-	0.006	166.439	0.00	0.00	0.00
12	-	0.006	176.513	0.00	0.00	0.68
13	-	0.006	181.102	0.00	0.00	-1.57
14	-	0.005	185.294	0.00	0.00	-0.19
15	-	0.005	190.128	0.00	0.00	0.00
16	-	0.005	193.277	0.00	0.00	0.06
17	-	0.005	196.936	0.00	0.00	0.54
18	-	0.005	207.990	0.00	0.00	0.13
19	-	0.005	216.071	0.00	0.00	0.00
20	-	0.004	225.663	0.00	0.00	0.00
21	-	0.004	225.818	0.00	0.00	0.01
22	-	0.004	228.294	0.00	0.00	0.40
23	-	0.004	234.734	0.00	0.00	0.00
24	-	0.004	236.847	0.00	0.00	0.00
25	Y	0.004	242.549	0.00	5.03	0.00
26	-	0.004	242.785	0.00	0.00	0.00
27	-	0.004	245.316	0.00	0.00	0.00
28	-	0.004	247.270	0.00	0.00	-0.08
29	-	0.004	253.236	0.00	0.00	0.00
30	-	0.004	260.178	0.00	0.00	0.30

*面外方向を示す。

表4-16 固有値解析結果 (R C造躯体⁴) (4/10)

次数	卓越方向	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数		
				X軸方向 (EW)	Y軸方向 (UD)	Z軸方向 (NS)
1	X*	0.064	15.551	10.05	0.00	0.00
2	-	0.035	28.279	0.00	0.00	0.00
3	-	0.024	42.026	0.62	0.00	0.00
4	-	0.023	44.256	6.36	0.00	0.00
5	-	0.019	52.306	0.00	0.00	0.00
6	-	0.018	55.936	0.00	0.00	0.00
7	-	0.015	66.553	-0.97	0.00	0.00
8	-	0.014	69.325	3.21	0.00	0.00
9	-	0.013	79.067	3.94	0.00	0.00
10	-	0.012	80.093	0.00	0.00	0.00
11	-	0.011	87.149	0.00	0.00	0.00
12	-	0.011	89.145	0.00	0.00	0.00
13	-	0.011	92.943	-0.86	0.00	0.00
14	-	0.010	100.750	1.07	0.00	0.00
15	-	0.009	106.040	0.00	0.00	0.00
16	-	0.009	111.307	-2.40	0.00	0.00
17	Z	0.009	114.941	0.00	0.00	12.64
18	-	0.008	117.743	0.00	0.00	0.00
19	Y	0.008	119.307	0.00	12.52	0.00
20	-	0.008	119.520	1.00	0.00	0.00
21	-	0.008	131.192	0.00	0.00	0.00
22	-	0.007	134.922	0.00	0.00	0.00
23	-	0.007	136.756	1.36	0.00	0.00
24	-	0.007	137.881	-2.95	0.00	0.00
25	-	0.007	142.662	0.00	0.00	0.00
26	-	0.007	144.565	0.00	0.00	0.00
27	-	0.007	145.670	0.13	0.00	0.00
28	-	0.007	151.531	1.23	0.00	0.00
29	-	0.007	153.196	-1.24	0.00	0.00
30	-	0.006	157.911	0.00	0.00	0.00

*面外方向を示す。

表4-16 固有値解析結果 (R C造躯体⁵) (5/10)

次数	卓越方向	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数		
				X軸方向 (EW)	Y軸方向 (UD)	Z軸方向 (NS)
1	Z*	0.013	76.240	0.00	0.00	1.87
2	-	0.009	107.907	0.00	0.00	3.59
3	-	0.008	126.840	0.00	0.00	0.00
4	-	0.008	130.739	0.00	0.00	-3.53
5	-	0.006	170.066	0.00	0.00	0.00
6	-	0.006	170.809	0.00	0.00	-0.86
7	-	0.006	178.457	0.00	0.00	-1.01
8	-	0.005	213.970	0.00	0.00	0.72
9	-	0.005	216.056	0.00	0.00	0.89
10	-	0.005	221.032	0.00	0.00	0.00
11	-	0.004	226.144	0.00	0.00	0.00
12	-	0.004	238.916	0.00	0.00	0.00
13	Y	0.004	249.026	0.00	6.66	0.00
14	-	0.004	253.837	0.00	0.00	0.86
15	-	0.004	258.208	0.00	0.00	0.00
16	-	0.004	263.404	0.00	0.00	0.00
17	-	0.004	270.950	0.00	0.00	0.46
18	-	0.003	290.542	0.00	0.00	0.77
19	-	0.003	301.066	0.00	0.00	0.00
20	-	0.003	303.579	0.00	0.00	0.59
21	-	0.003	309.234	0.00	0.00	0.59
22	-	0.003	310.143	0.00	0.00	0.00
23	-	0.003	323.985	0.00	0.00	-2.20
24	-	0.003	328.408	0.00	0.00	0.00
25	-	0.003	330.383	0.00	0.00	-1.30
26	-	0.003	332.932	0.00	0.00	0.00
27	-	0.003	344.055	0.00	0.00	0.00
28	-	0.003	345.688	0.00	0.00	-0.77
29	-	0.003	345.893	0.00	0.00	0.00
30	-	0.003	351.112	0.00	0.00	0.00

*面外方向を示す。

表4-16 固有値解析結果 (R C造躯体⁶) (6/10)

次数	卓越方向	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数		
				X軸方向 (EW)	Y軸方向 (UD)	Z軸方向 (NS)
1	X*	0.048	20.836	9.74	0.00	0.00
2	-	0.037	27.268	0.00	0.00	0.00
3	-	0.028	35.371	-3.16	0.00	0.00
4	-	0.023	44.097	0.00	0.00	0.00
5	-	0.019	53.376	-1.49	0.00	0.00
6	-	0.016	61.632	-5.50	0.00	0.00
7	-	0.016	63.287	0.00	0.00	0.00
8	-	0.014	69.729	0.00	0.00	0.00
9	-	0.014	73.911	-1.12	0.00	0.00
10	-	0.012	83.540	2.59	0.00	0.00
11	-	0.012	85.160	0.00	0.00	0.00
12	-	0.010	96.918	-1.08	0.00	0.00
13	-	0.010	101.611	0.00	0.00	0.00
14	Z	0.009	107.420	0.00	0.00	11.76
15	-	0.009	109.152	0.00	0.00	0.00
16	-	0.008	120.174	-0.41	0.00	0.00
17	-	0.008	122.954	-1.70	0.00	0.00
18	-	0.008	130.829	0.00	-7.66	0.00
19	-	0.007	133.697	0.00	0.00	0.00
20	-	0.007	141.122	0.00	0.00	0.00
21	-	0.007	143.626	0.00	0.00	-3.91
22	-	0.007	146.594	-1.21	0.00	0.00
23	Y	0.007	147.468	0.00	10.15	0.00
24	-	0.007	148.196	-4.48	0.00	0.00
25	-	0.007	152.712	0.00	0.00	0.00
26	-	0.006	157.296	-0.48	-0.01	0.00
27	-	0.006	159.667	0.18	0.02	0.00
28	-	0.006	161.433	-1.98	0.08	-0.02
29	-	0.006	169.969	0.09	0.09	0.49
30	-	0.006	170.408	-0.21	-0.02	0.21

*面外方向を示す。

表4-16 固有値解析結果 (R C造軀体⁷⁾) (7/10)

次数	卓越方向	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数		
				X軸方向 (EW)	Y軸方向 (UD)	Z軸方向 (NS)
1	X*	0.055	18.076	12.71	0.00	0.00
2	-	0.027	37.154	0.00	0.00	0.00
3	-	0.018	54.720	-5.89	0.00	0.00
4	-	0.016	62.086	6.24	0.00	0.00
5	-	0.014	70.419	0.00	0.00	0.00
6	-	0.011	89.859	0.00	0.00	0.00
7	-	0.011	92.619	2.33	0.00	0.00
8	Y	0.010	103.742	0.00	-15.00	0.00
9	Z	0.010	105.100	0.00	0.00	14.80
10	-	0.008	118.674	-4.74	0.00	0.00
11	-	0.008	118.953	0.00	0.00	0.00
12	-	0.008	119.983	2.39	0.00	0.00
13	-	0.008	128.985	0.00	0.00	5.64
14	-	0.008	129.559	0.00	0.00	0.00
15	-	0.007	143.956	-0.07	0.00	0.00
16	-	0.007	147.992	0.00	0.00	0.00
17	-	0.007	149.586	2.57	0.00	0.00
18	-	0.006	158.283	0.00	-6.62	0.00
19	-	0.006	164.841	0.00	0.00	0.00
20	-	0.006	176.454	-2.07	0.00	0.00
21	-	0.006	180.509	0.00	0.00	0.00
22	-	0.005	186.204	0.00	0.38	0.00
23	-	0.005	188.892	-0.39	0.00	0.00
24	-	0.005	192.879	3.20	0.00	-0.02
25	-	0.005	195.088	0.01	0.00	2.22
26	-	0.005	198.934	-0.03	0.00	-0.09
27	-	0.005	204.508	-0.02	0.00	-0.06
28	-	0.005	209.808	-0.81	-0.01	-0.19
29	-	0.005	213.819	-2.07	-0.02	1.79
30	-	0.005	215.792	0.49	-0.04	-0.67

*面外方向を示す。

表4-16 固有値解析結果 (RC造躯体⁸) (8/10)

次数	卓越方向	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数		
				X軸方向 (EW)	Y軸方向 (UD)	Z軸方向 (NS)
1	X*	0.028	36.184	7.88	0.00	0.00
2	-	0.015	67.237	-5.49	0.00	0.00
3	-	0.014	72.333	0.00	0.00	0.00
4	-	0.009	108.254	3.00	0.00	0.00
5	-	0.009	109.499	0.00	0.00	0.00
6	-	0.009	115.968	-2.23	0.00	0.00
7	Y	0.007	138.286	0.00	-10.67	0.00
8	-	0.007	142.673	0.00	0.00	0.00
9	-	0.007	148.478	0.00	0.00	0.00
10	-	0.006	161.499	2.96	0.00	0.00
11	Z	0.006	168.708	0.00	0.00	9.41
12	-	0.006	176.375	-0.79	0.00	0.00
13	-	0.006	180.427	3.02	0.00	0.00
14	-	0.005	191.109	-1.51	0.00	0.00
15	-	0.005	199.649	0.00	0.00	-5.74
16	-	0.005	199.656	0.00	0.00	0.00
17	-	0.005	207.972	0.00	0.00	0.00
18	-	0.005	219.242	0.00	0.00	0.00
19	-	0.004	233.589	0.41	0.00	0.00
20	-	0.004	240.110	0.00	0.00	0.00
21	-	0.004	244.300	-0.41	0.00	0.00
22	-	0.004	249.897	-1.90	0.00	0.00
23	-	0.004	259.103	-1.99	0.10	-0.44
24	-	0.004	259.271	-0.23	0.12	3.98
25	-	0.004	259.875	-0.06	-4.25	0.09
26	-	0.004	264.786	-0.04	-0.01	0.02
27	-	0.004	274.080	0.00	0.10	0.00
28	-	0.004	277.977	0.04	-0.05	0.00
29	-	0.003	288.769	0.26	0.20	0.00
30	-	0.003	294.081	2.54	-0.13	0.03

*面外方向を示す。

表4-16 固有値解析結果 (R C造軀体⁹) (9/10)

次数	卓越方向	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数		
				X軸方向 (EW)	Y軸方向 (UD)	Z軸方向 (NS)
1	Z*	0.028	35.367	0.00	0.00	2.07
2	-	0.013	74.504	0.00	0.00	0.43
3	-	0.011	90.518	0.00	0.00	1.62
4	-	0.008	121.866	0.00	0.00	-0.07
5	-	0.007	145.306	0.00	0.00	0.61
6	-	0.006	161.241	0.00	0.00	-0.36
7	-	0.006	170.357	0.00	0.00	0.73
8	-	0.005	189.322	0.00	0.00	0.17
9	-	0.005	204.606	0.00	0.00	-0.22
10	-	0.005	212.948	0.00	0.00	0.46
11	X	0.005	220.983	-2.44	1.57	0.00
12	-	0.004	227.568	0.00	0.00	-0.34
13	-	0.004	243.624	0.00	0.00	0.31
14	-	0.004	250.934	0.00	0.00	-0.60
15	-	0.004	254.004	0.00	0.00	0.03
16	-	0.004	268.251	0.00	0.00	-0.15
17	Y	0.004	278.507	1.96	2.78	0.00
18	-	0.004	279.957	0.00	0.00	0.19
19	-	0.003	285.962	0.00	0.00	0.49
20	-	0.003	295.768	0.00	0.00	0.04
21	-	0.003	301.277	0.00	0.00	-0.06
22	-	0.003	307.763	0.00	0.00	-0.14
23	-	0.003	322.638	0.01	-0.01	0.36
24	-	0.003	327.304	0.00	0.00	0.26
25	-	0.003	333.501	0.07	-0.06	0.15
26	-	0.003	337.675	-0.08	0.08	0.14
27	-	0.003	339.845	-0.18	0.16	-0.43
28	-	0.003	343.282	0.06	-0.06	0.43
29	-	0.003	350.231	0.58	-0.52	-0.33
30	-	0.003	352.765	-0.60	0.54	0.04

*面外方向を示す。

表4-16 固有値解析結果 (R C造躯体¹⁰) (10/10)

次数	卓越方向	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数		
				X軸方向 (EW)	Y軸方向 (UD)	Z軸方向 (NS)
1	Y*	0.015	67.467	0.00	-3.56	0.00
2	-	0.012	86.022	0.00	0.00	0.00
3	-	0.008	120.744	0.00	-0.16	0.00
4	-	0.006	166.685	0.00	0.00	0.00
5	Z	0.006	178.209	0.00	0.00	4.67
6	-	0.005	216.511	0.00	0.83	0.00
7	-	0.004	228.929	0.00	0.00	0.00
8	-	0.004	230.897	0.00	2.85	0.00
9	-	0.004	267.729	0.00	0.16	0.00
10	-	0.004	268.744	0.78	0.00	0.00
11	-	0.004	270.397	0.00	0.00	0.00
12	-	0.003	315.397	0.00	-0.02	0.00
13	-	0.003	316.511	0.00	0.00	0.00
14	-	0.003	328.071	0.00	-0.09	0.00
15	X	0.003	329.294	-4.96	0.00	0.00
16	-	0.003	341.336	0.00	0.00	0.00
17	-	0.003	349.590	0.00	0.00	-1.73
18	-	0.003	367.346	0.00	0.00	0.00
19	-	0.003	377.283	0.00	0.00	0.00
20	-	0.003	393.533	0.00	0.00	0.00
21	-	0.003	399.990	0.00	0.00	1.13
22	-	0.002	400.751	0.00	0.45	0.00
23	-	0.002	401.048	0.00	-0.05	0.00
24	-	0.002	409.252	0.00	0.50	0.00
25	-	0.002	414.827	0.00	-2.03	0.00
26	-	0.002	418.117	-0.46	0.01	0.00
27	-	0.002	418.375	-0.07	0.01	0.00
28	-	0.002	428.325	0.00	-0.48	0.00
29	-	0.002	429.238	0.00	0.01	0.00
30	-	0.002	436.772	0.00	0.27	0.00

*面外方向を示す。

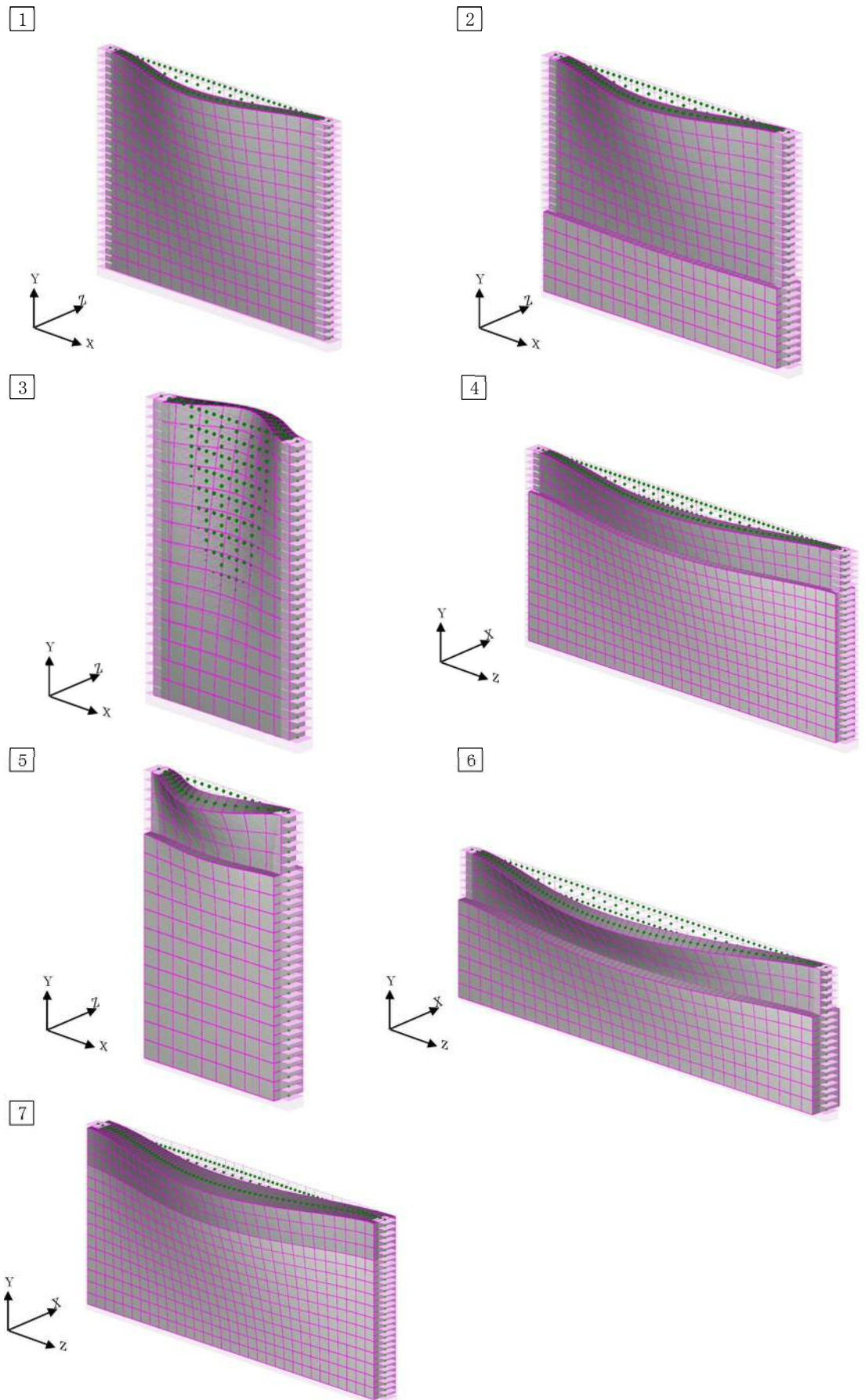


図4-13 振動モード図 (RC造躯体) (1/2)

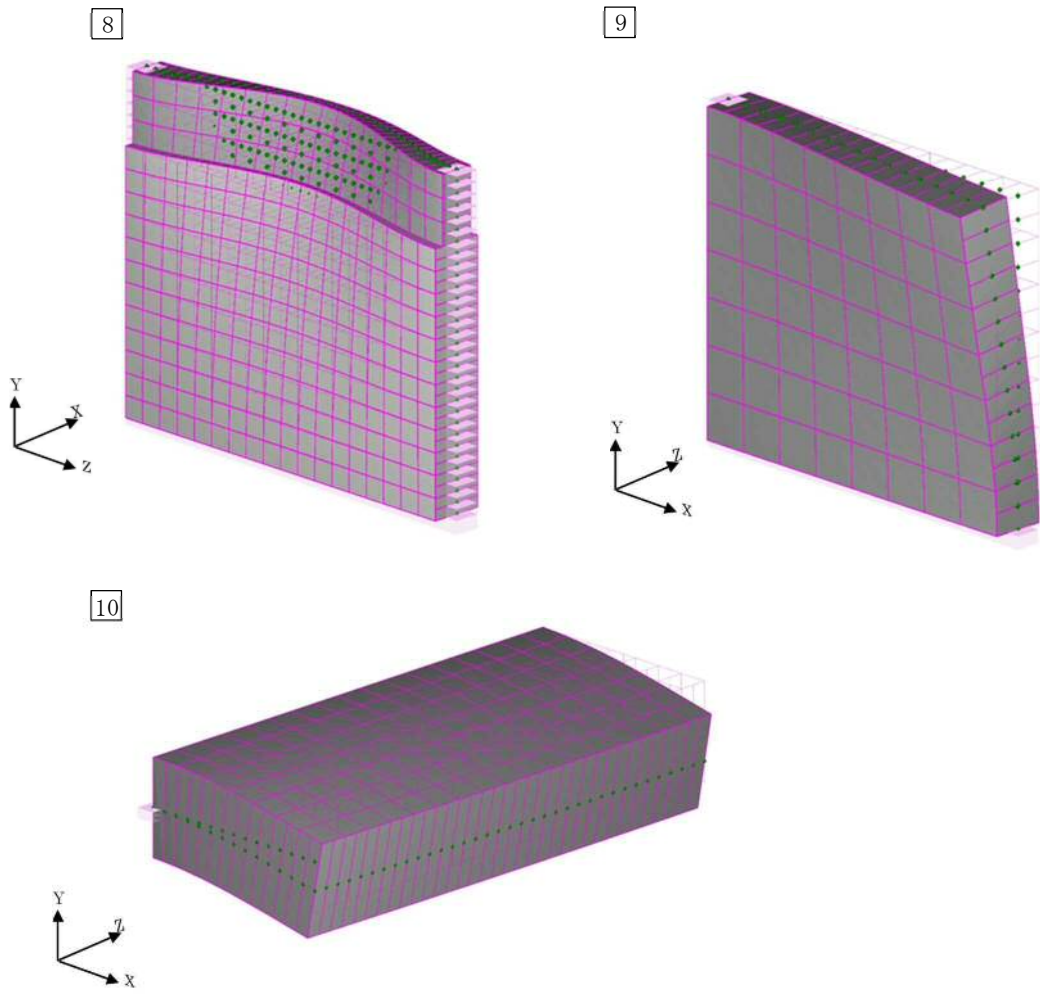


図4-13 振動モード図 (RC造躯体) (2/2)

4.5 設計用地震力

適用する床応答曲線は、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき作成した、図4-14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。また、ネット用架構及び鉄骨架構の床応答曲線を作成する際の減衰定数は、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(I共通編・IV下部構造編)・同解説 平成14年3月」を踏まえ、5 %を用いる。

評価に用いる床応答曲線を図4-15に、評価に用いる設計用地震力を表4-17及び表4-18に示す。

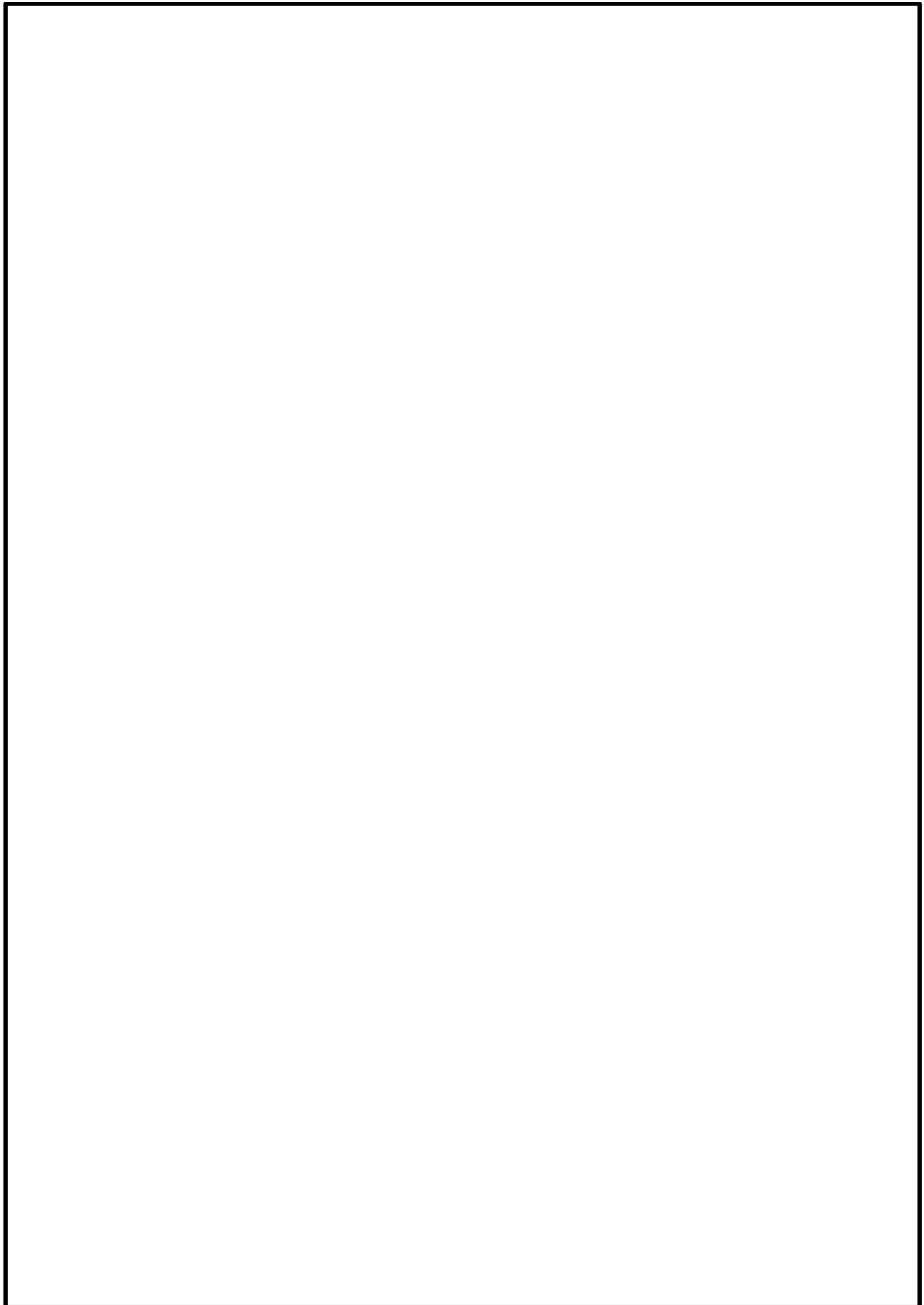


図 4-14 評価用地震動の抽出位置

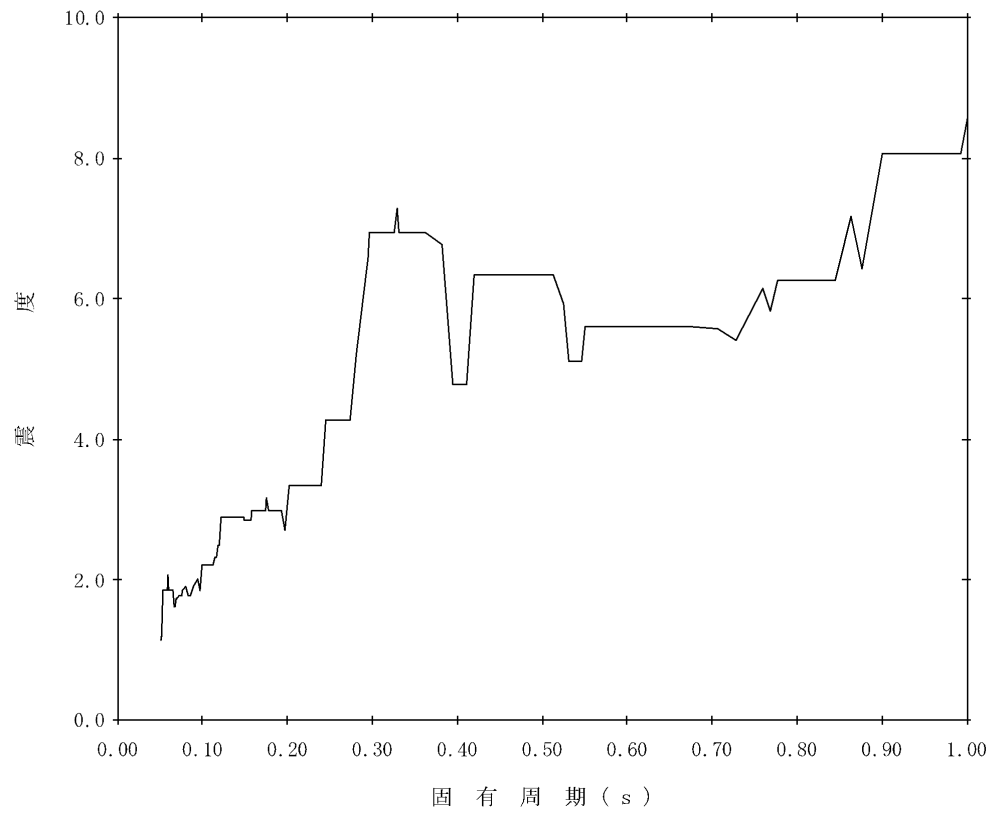


图4-15 床応答曲線(1/12) (減衰 1 % N-S方向(④-④断面) EL. 0.3 m : 水平)

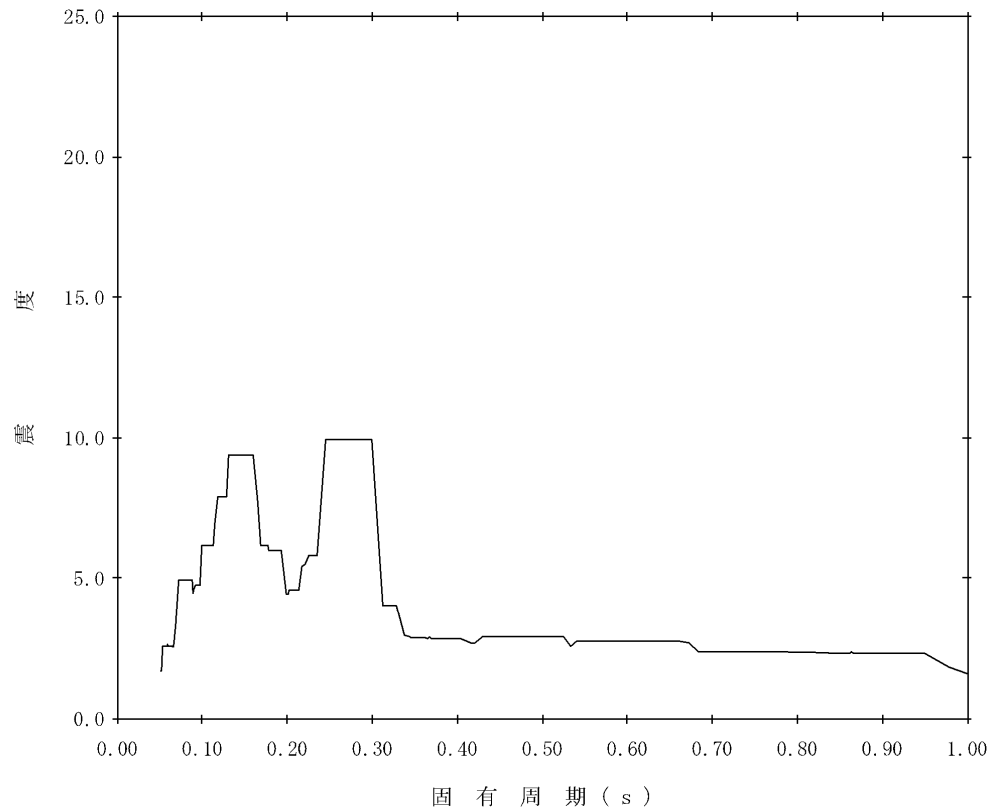


图4-15 床応答曲線(2/12) (減衰 1 % N-S方向(④-④断面) EL. 0.3 m : 鉛直)

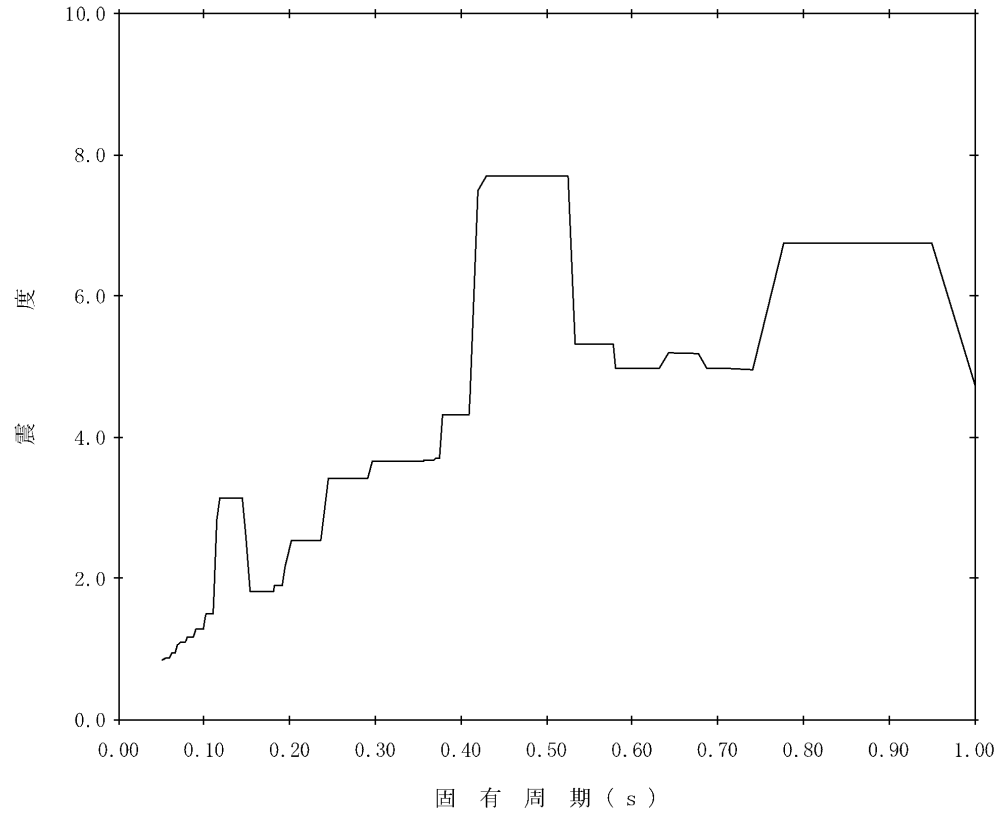


图4-15 床応答曲線(3/12) (減衰 1 % E-W方向(⑥-⑥断面) EL. 6.6 m : 水平)

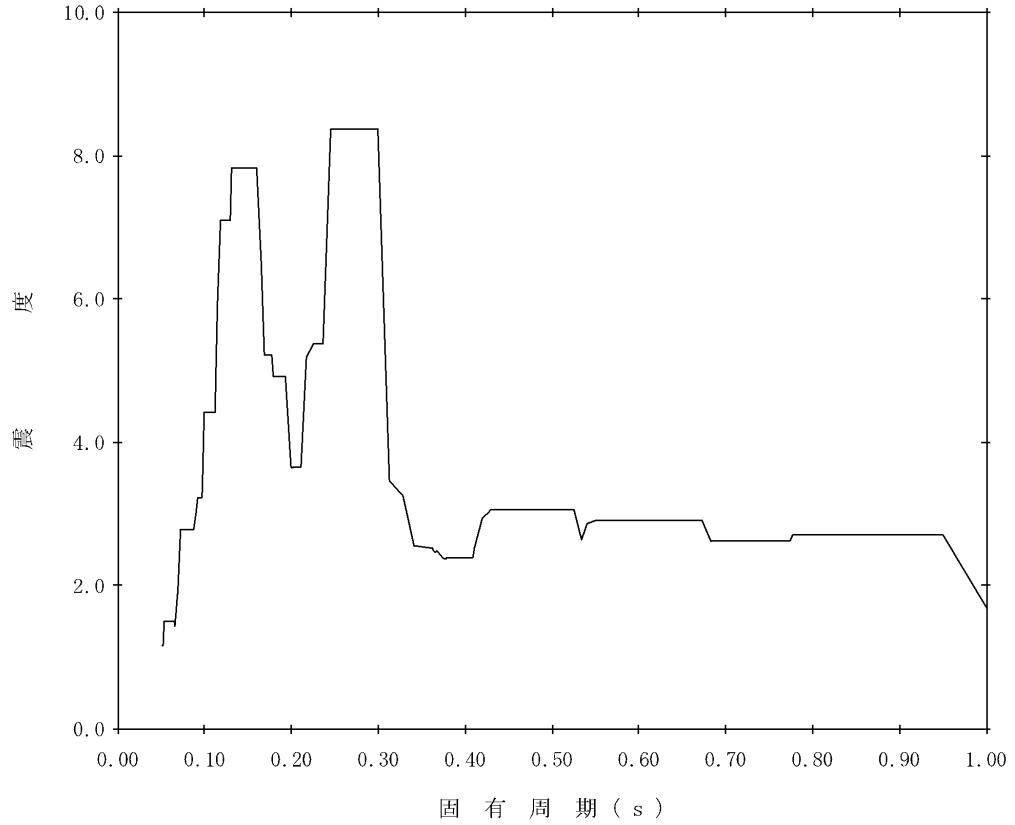


图4-15 床応答曲線(4/12) (減衰 1 % E-W方向(⑥-⑥断面) EL. 6.6 m : 鉛直)

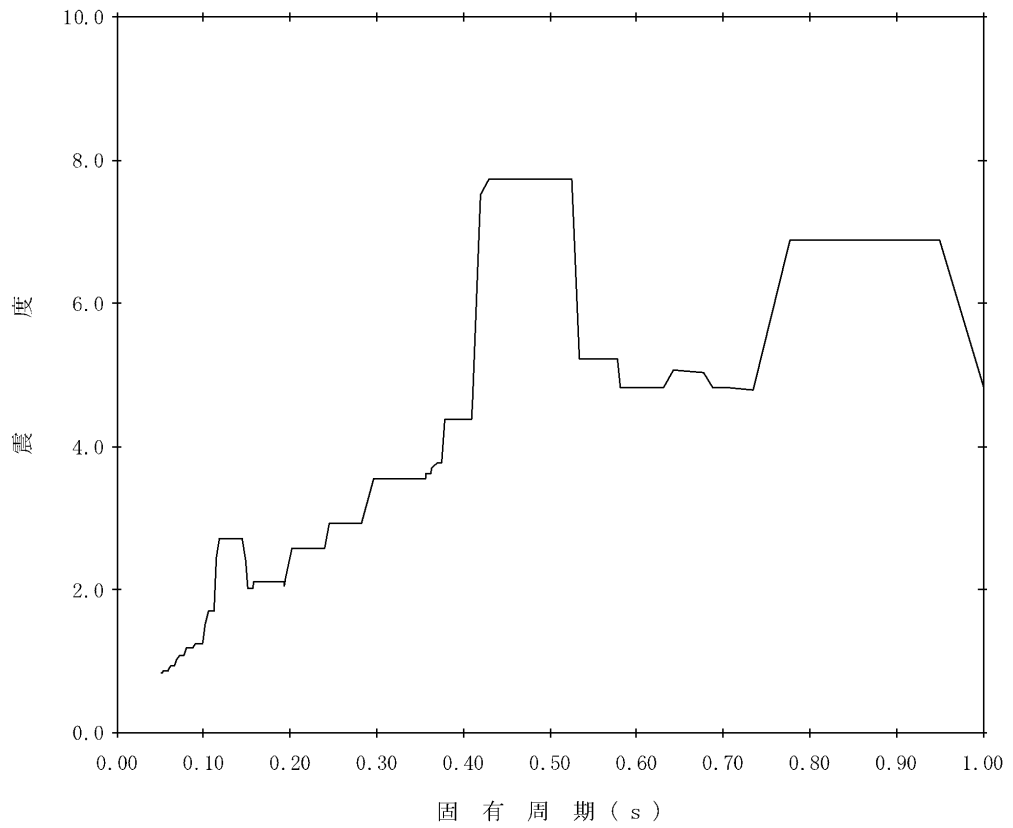


图4-15 床応答曲線(5/12) (減衰 1 % E-W方向(⑥-⑥断面) EL. 3.310 m : 水平)

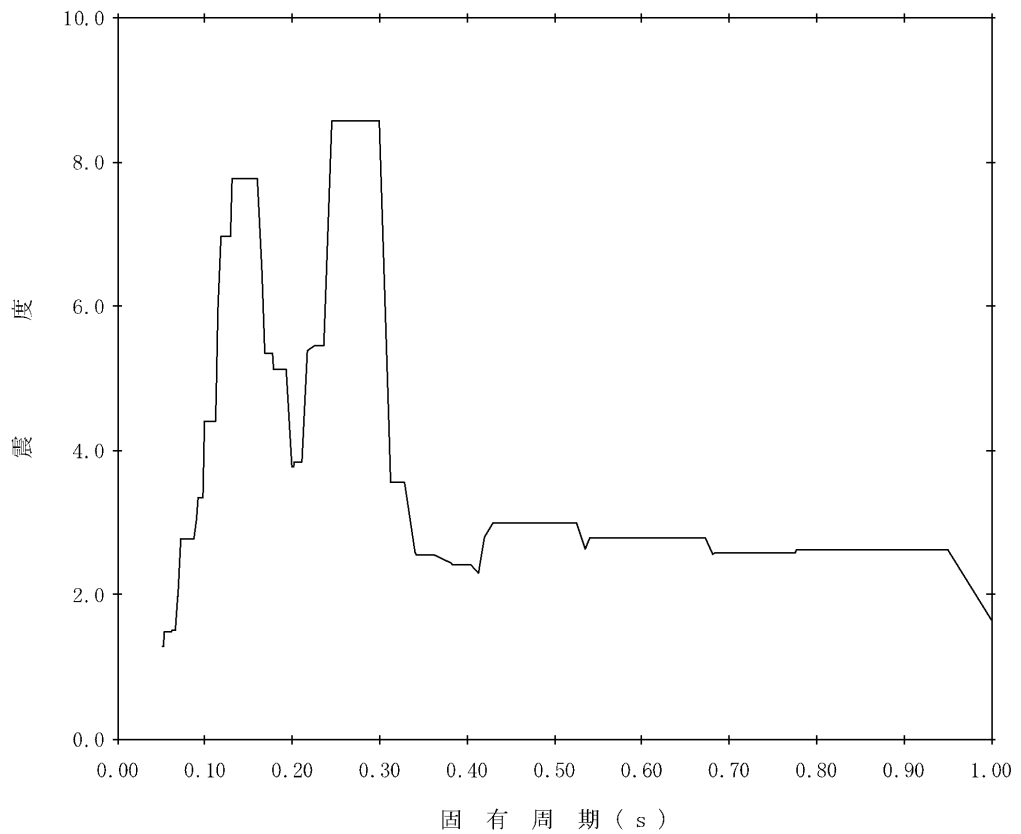


图 4-15 床応答曲線(6/12) (減衰 1 % E-W方向(⑥-⑥断面) EL. 3.310 m : 鉛直)

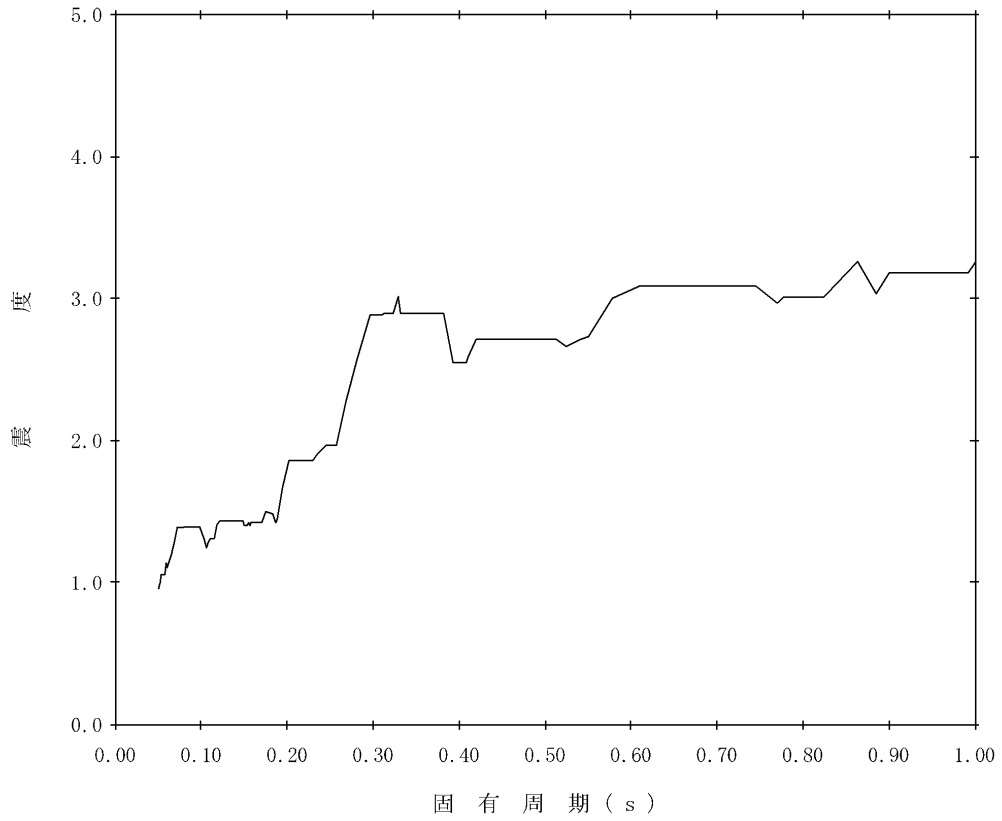


图4-15 床応答曲線(7/12) (減衰 5 % N-S方向(④-④断面) EL. 0.3 m : 水平)

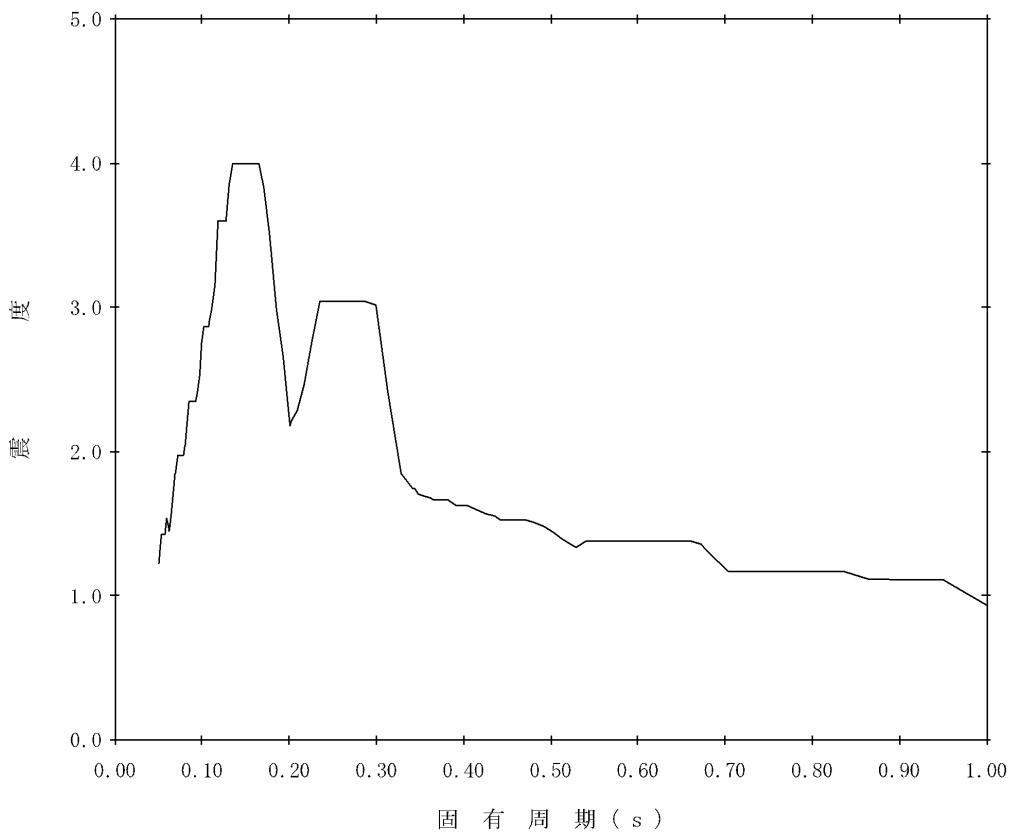


图4-15 床応答曲線(8/12) (減衰 5 % N-S方向(④-④断面) EL. 0.3 m : 鉛直)

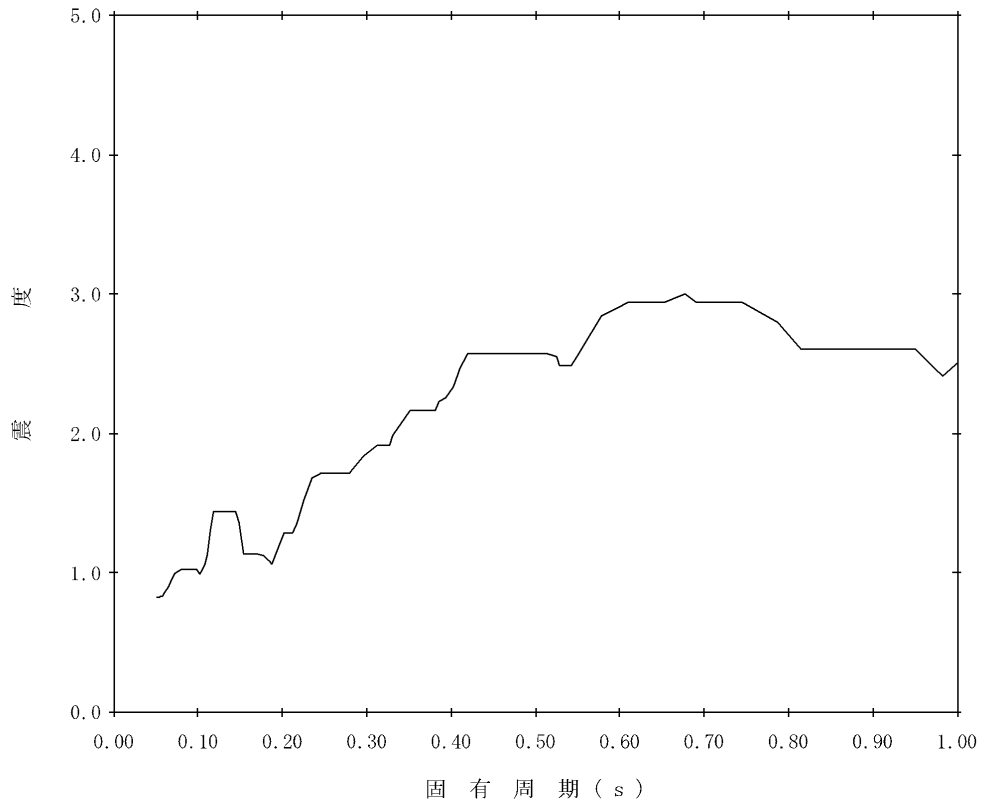


图4-15 床応答曲線(9/12) (減衰 5 % E-W方向(⑥-⑥断面) EL. 6.6 m : 水平)

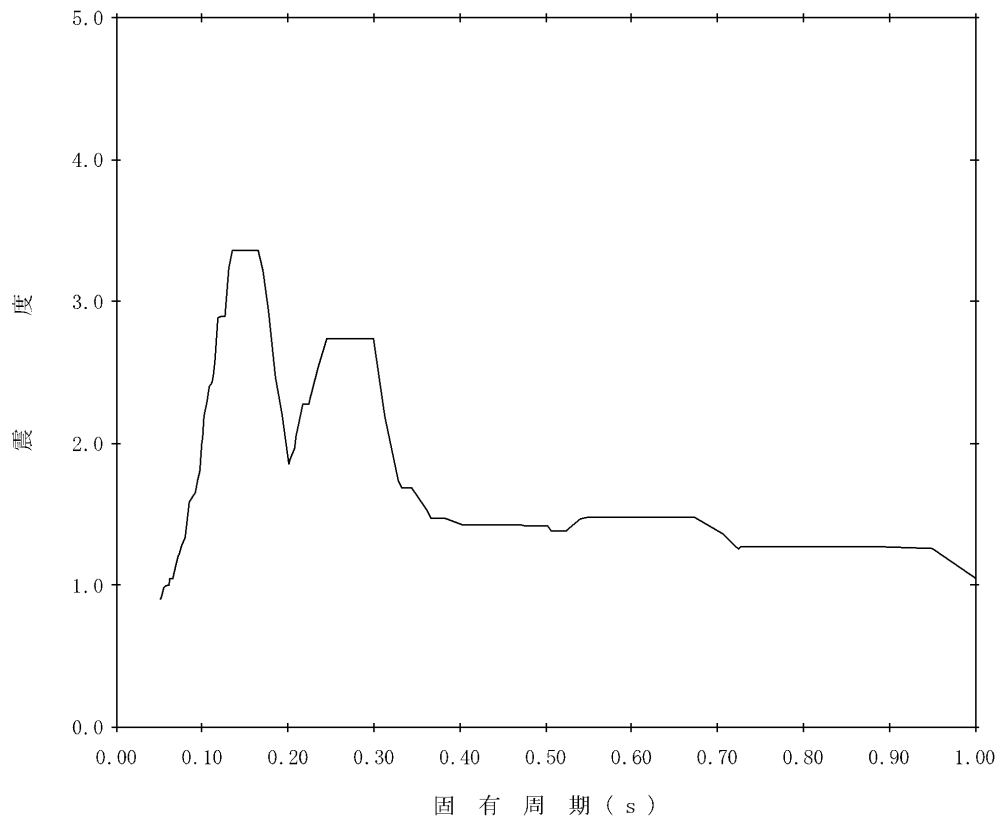


图 4-15 床応答曲線(10/12) (減衰 5 % E-W方向(⑥-⑥断面) EL. 6.6 m : 鉛直)

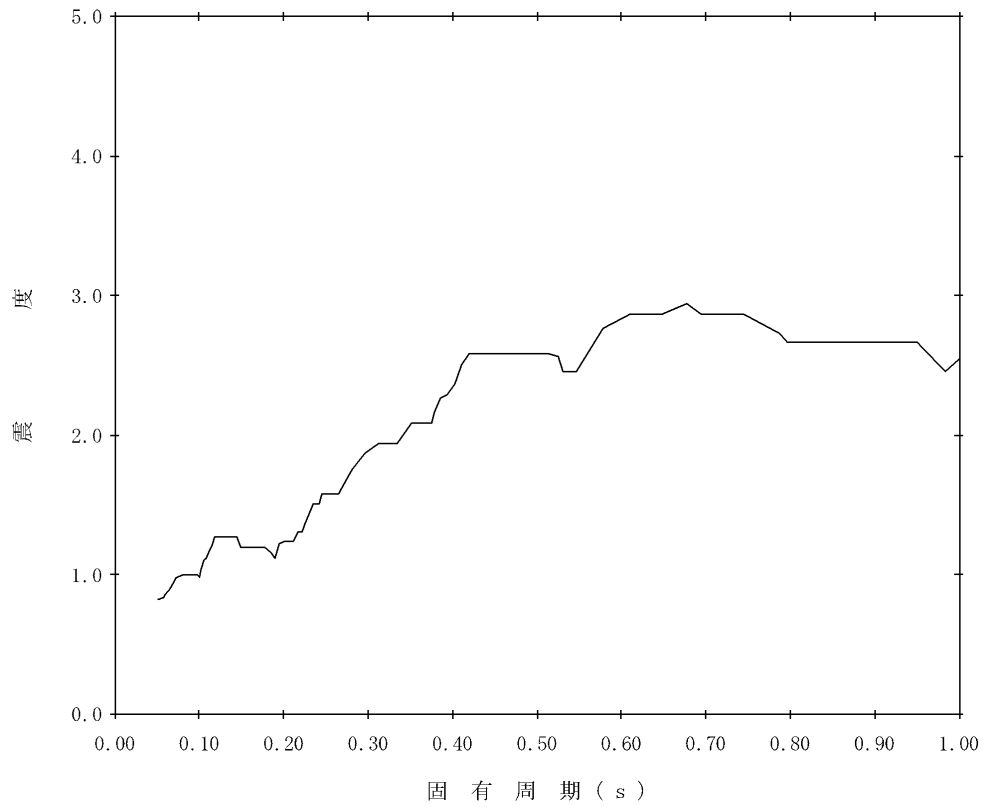


図4-15 床応答曲線(11/12) (減衰 5 % E-W方向(⑥-⑥断面) EL. 3.310 m : 水平)

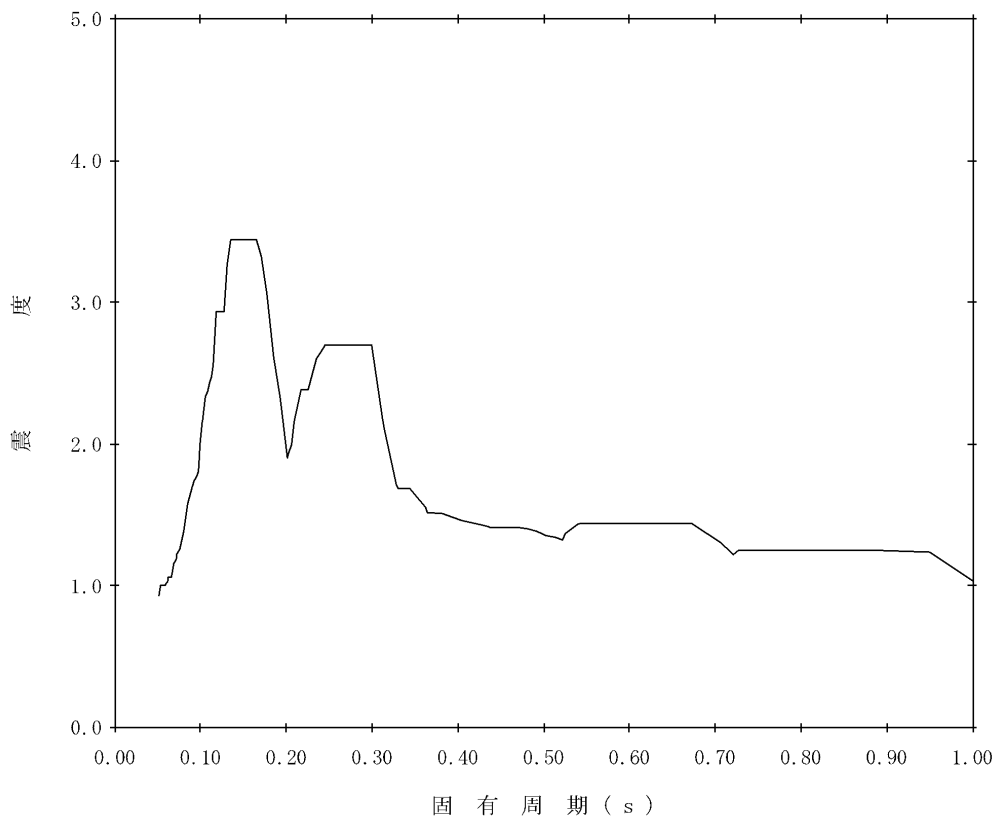


図4-15 床応答曲線(12/12) (減衰 5 % E-W方向(⑥-⑥断面) EL. 3.310 m : 鉛直)

表4-17 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(%) ^{*2}	
		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
④-1	取水構造物 (ポンプピット) 上 増打壁天端 EL. 約8.1	0.207	0.202	*1	*1	1	1
④④-1		0.198	0.196	*1	*1	1	1
④④-2		0.195	0.193	*1	*1	1	1
④-1		0.074	0.050	*1	1.04	1	1
④-2		0.072	0.049	*1	1.04	1	1
④-1	取水構造物 (ポンプピット) 天端 EL. 6.600 及び 取水構造物 (取水路) 天端 EL. 3.310	0.106	0.017	*1	*1	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を用いる。

*2: 溶接構造物に適用される減衰定数の値。

表4-18 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(%) ^{*3}	
		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 EL. 6. 600	0.069	≤0.05	*1	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	*1	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 EL. 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} EL. 6. 600	0.055	≤0.05	*1	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 EL. 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。

*3: 「道路橋示方書(I共通編・IV下部構造編)・同解説 平成14年3月」を踏まえ設定。

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4-19に示す。

表4-19 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	$\max\left(\frac{\sigma_c + \sigma_{bx} + \sigma_{by}}{1.5f_c} + \frac{\sigma_{bx} + \sigma_{by} - \sigma_c}{1.5f_t}\right)$
	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4-20に示す。

表4-20 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4-21に示す。

表4-21 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	

*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-5-43 計算機プログラム（解析コード）の概要・RC断面計算」に示す。

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4-22に示す許容応力以下であること。

表4-22 鋼構造部の許容応力(DB条件及びSA条件)

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

ここで、

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

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。

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

*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 4-23 に示す許容限界以下であること。

表 4-23 RCの許容応力 (DB条件及びSA条件)

評価項目			許容限界 (N/mm ²)
コンクリート	設計基準強度 24 N/mm ²	短期許容曲げ圧縮応力 σ_{ca}	$1.5 \sigma_{ca}$
		短期許容せん断応力 τ_{a1}	$1.5 \tau_{a1}^{*1}$
鉄筋	SD345	短期許容曲げ引張応力 σ_{SA2} (軸方向鉄筋)	$1.5 \sigma_{SA2}$
		短期許容曲げ引張応力 σ_{SA2} (せん断補強筋)	$1.5 \sigma_{SA2}$
アンカー	SD345	短期許容引張耐力	$\text{Min}(p_{a1}, p_{a3})^{*2, *3}$

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) に対し、1.5 の割増係数を考慮した短期許容せん断力を許容限界とする。

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

ここで、

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

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

ここで、

$$j : 1/1.15$$

*2: 単位は N

$$*3: p_{a1} = \phi_1 \cdot s \sigma_{pa} \cdot s_{ca}$$

$$p_{a3} = \phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_{ce}$$

ここで、 ϕ_1 、 ϕ_3 は低減係数で短期荷重であるから、

$$\phi_1 = 1.0, \phi_3 = 2/3 \text{ とし、}$$

さらに、

$$s \sigma_{pa} = s \sigma_y$$

$$l_{ce} = l_e - 2d_a$$

$$\tau_a = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \tau_{bavg}$$

$$\tau_{bavg} = 10 \sqrt{Fc/21}$$

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。発生値は許容限界以下であり，設計用地震力に対して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	ネット用架構	曲げ	364	399	
		せん断	32	230	
③④-1 ③④-2	アンカーボルト	引張	169	191*	・ 組合せ応力含む ・ 水平2方向地震力考慮
		せん断	133	223	・ 水平2方向地震力考慮
⑤-1 ⑤-2	ネット用架構	曲げ	60	399	
		せん断	6	230	
⑤-1 ⑤-2	アンカーボルト	引張	2	289*	・ 組合せ応力含む ・ 水平2方向地震力考慮
		せん断	63	223	・ 水平2方向地震力考慮
⑥-1	鉄骨架構	曲げ+せん断	0.65	1	・ 単位なし ・ 水平2方向地震力考慮
		引張	2	245	・ 水平2方向地震力考慮
		曲げ	154	245	・ 水平2方向地震力考慮
		せん断	6	141	・ 水平2方向地震力考慮
	アンカーボルト	引張	94	289*	・ 組合せ応力含む ・ 水平2方向地震力考慮
		せん断	23	223	・ 水平2方向地震力考慮

注記 * : $\text{Min}(f_t \times 1.4 - 1.6\tau, f_t)$ より算出

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）

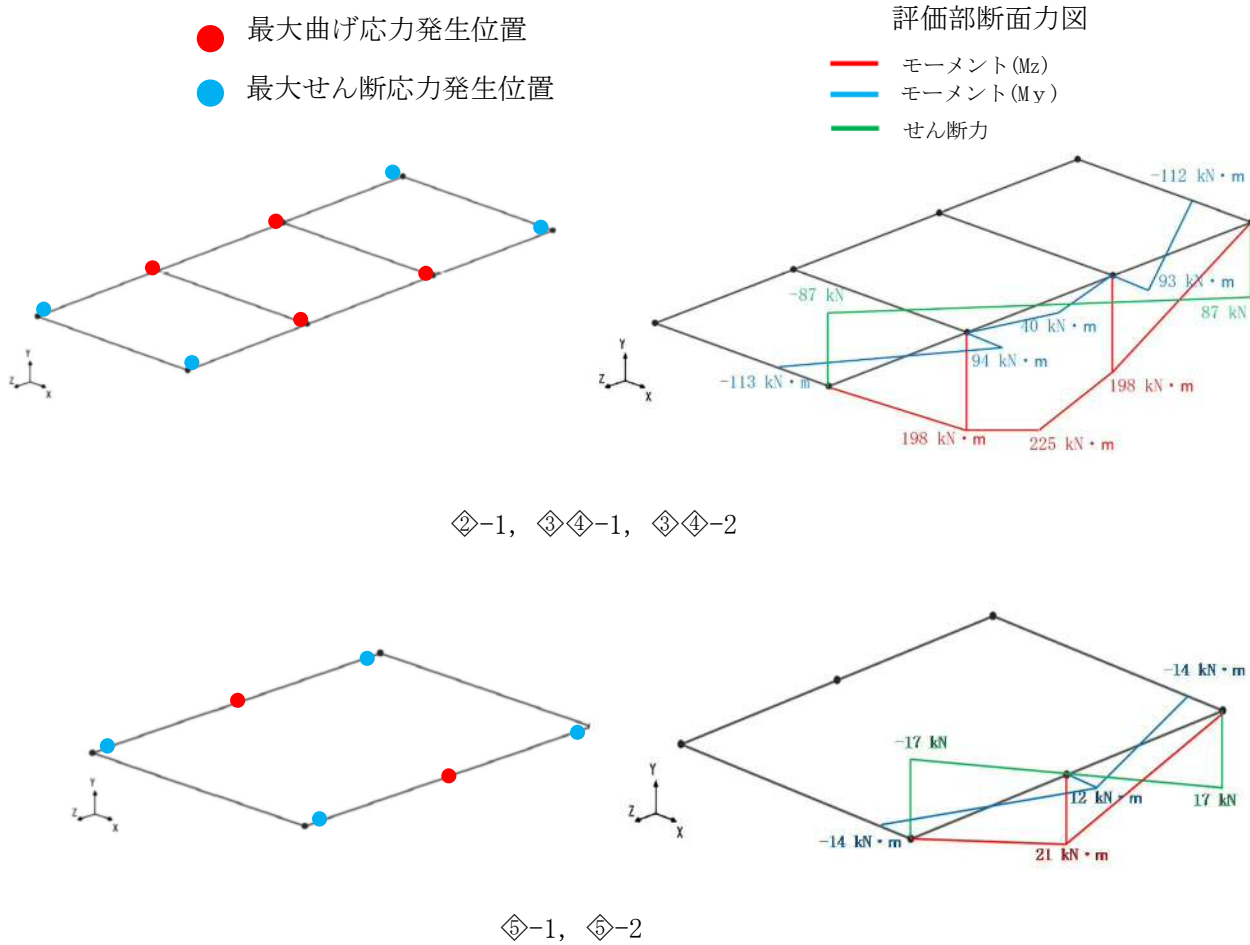
評価部位		発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	備考
防護ネット 取付ボルト	引張	4	250*	・ 組合せ応力含む ・ 水平2方向地震力考慮
	せん断	7	120	・ 水平2方向地震力考慮
防護鋼板 取付ボルト	引張	7	183*	・ 組合せ応力含む ・ 水平2方向地震力考慮
	せん断	7	141	・ 水平2方向地震力考慮

注記 * : $\text{Min}(f_t \times 1.4 - 1.6\tau, f_t)$ より算出

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

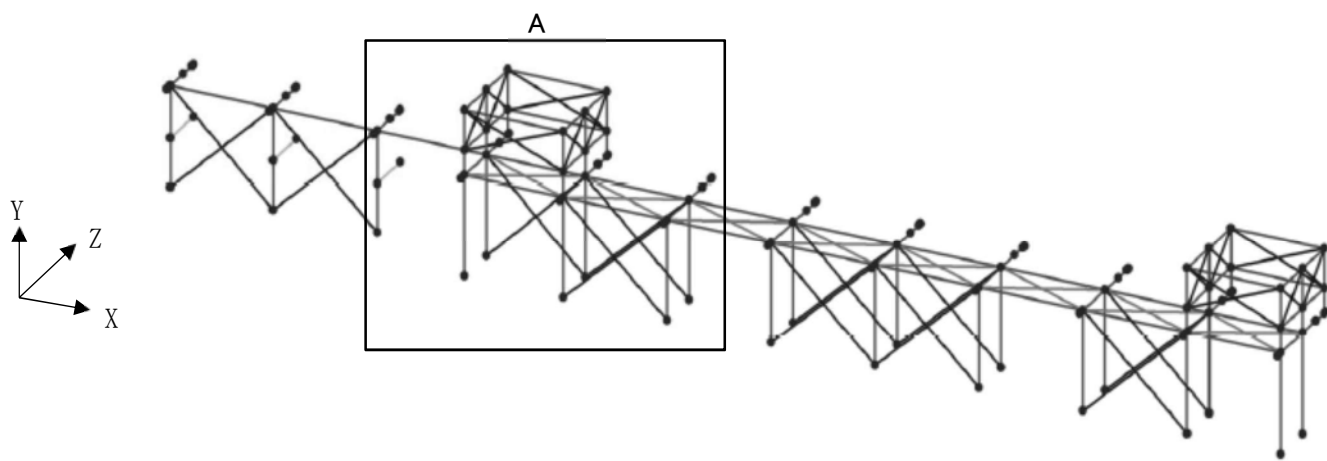
評価部位		発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	備考	
1	エリア②南側壁, エリア③北側壁	圧縮（コンクリート）	9.0	13.5	
		引張（鉄筋）	272	294	
		せん断（コンクリート）	0.29	0.67*	
		アンカー	80.2 kN	83.8 kN	
2	エリア④南側壁 (エリア②北側壁)	圧縮（コンクリート）	5.1	13.5	
		引張（鉄筋）	212	294	
		せん断（コンクリート）	0.2	0.67*	
		アンカー	43.0 kN	58.4 kN	
3	エリア⑤北側壁	圧縮（コンクリート）	1.5	13.5	
		引張（鉄筋）	74	294	
		せん断（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	エリア③④東側壁	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	エリア③④西側壁	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	
8	エリア②西側壁	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）	4.0	13.5	水平2方向 地震力考慮
		引張（鉄筋）	158	294	
		せん断（コンクリート）	0.14	0.67*	
		アンカー	31.4 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	水平2方向 地震力考慮
		引張（鉄筋）	105	294	
		せん断（コンクリート）	0.16	0.67*	
		アンカー	30.1 kN	58.4 kN	

注記 *：斜め引張鉄筋は考慮していない。



(a) ネット用架構における最大発生位置(エリア②~⑤)

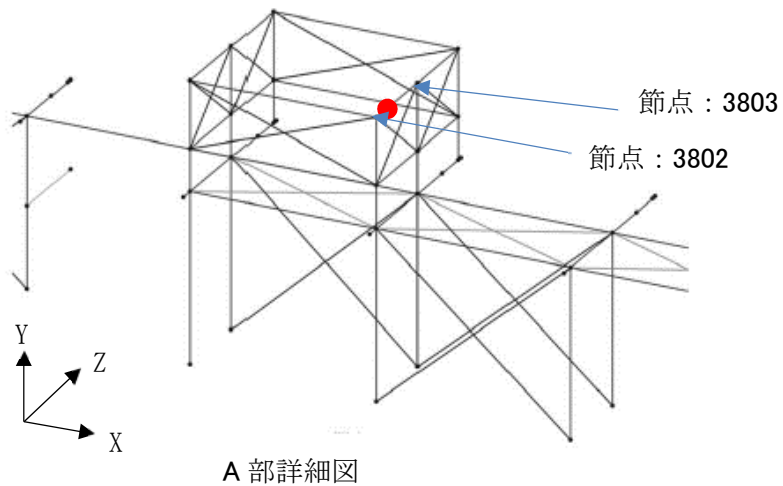
図5-1 最大応力発生位置 (1/8)



● 最大組合せ応力(曲げ+せん断)発生位置

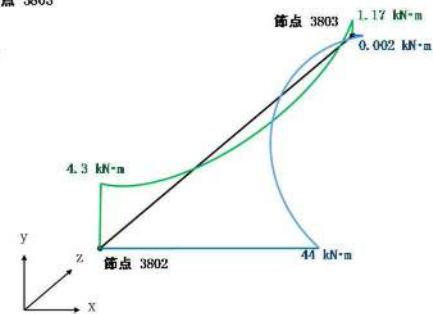
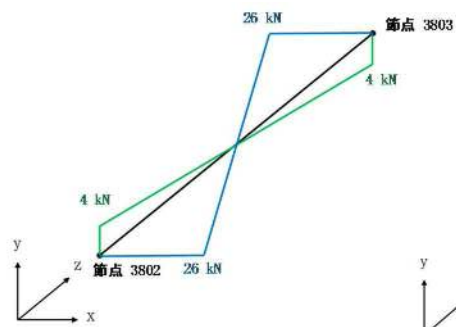
評価部断面力図 (節点 3802-3803)

101



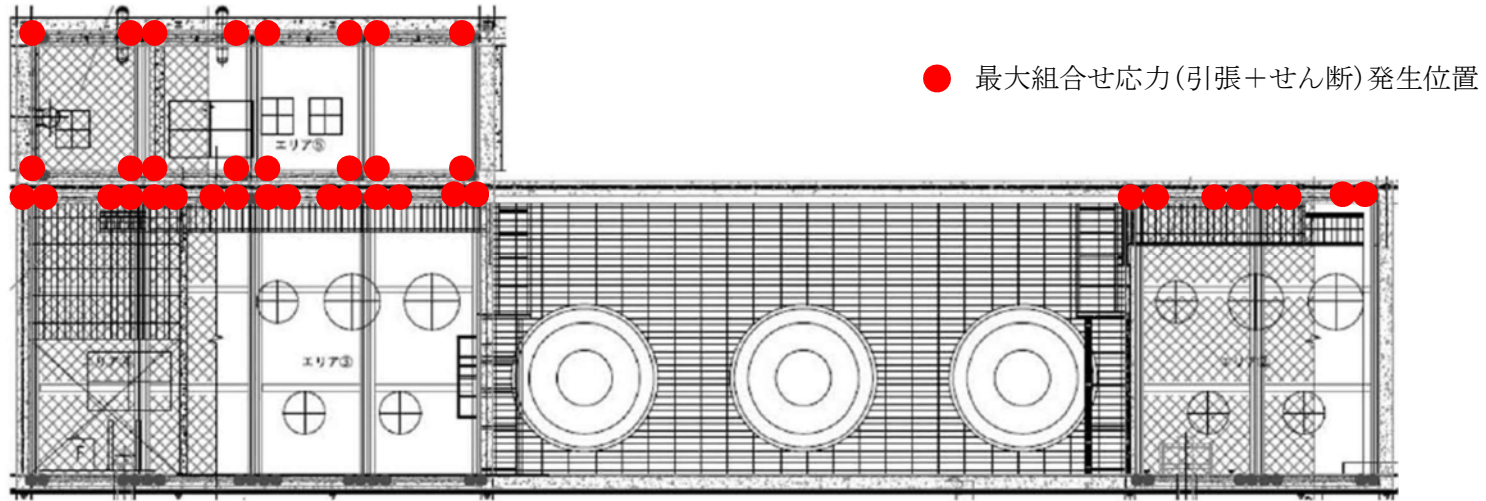
せん断力

モーメント

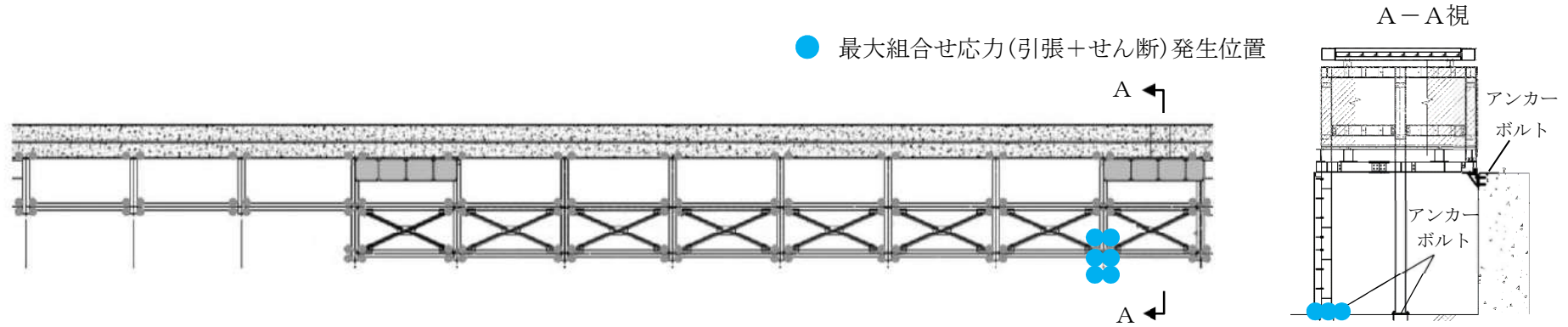


(b) 鉄骨架構における最大応力発生位置(エリア⑧)

図5-1 最大応力発生位置 (2/8)



102

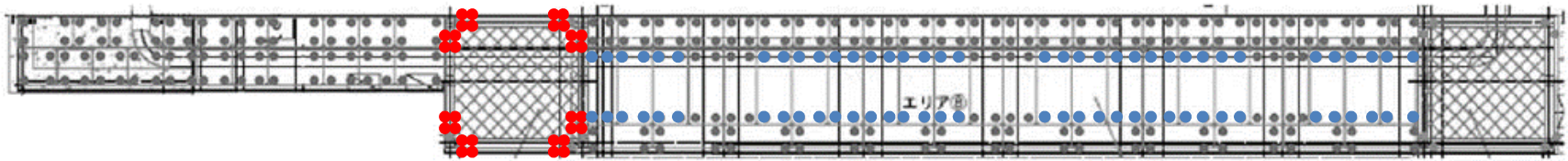


(c) ネット用架構及び鉄骨架構のアンカーボルトにおける最大応力発生位置(エリア②～⑤及びエリア⑧)

図5-1 最大応力発生位置 (3/8)

● 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 (4/8)

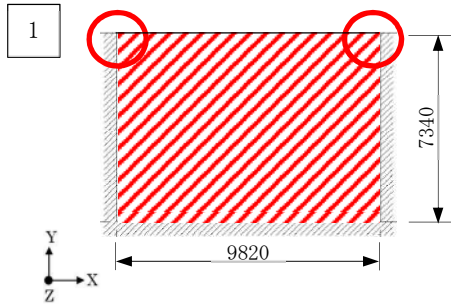
○ 最大荷重発生点(コンクリート, 鉄筋, アンカーは全て同一箇所で発生)

評価対象は新設部(既設改造部含む)とする。

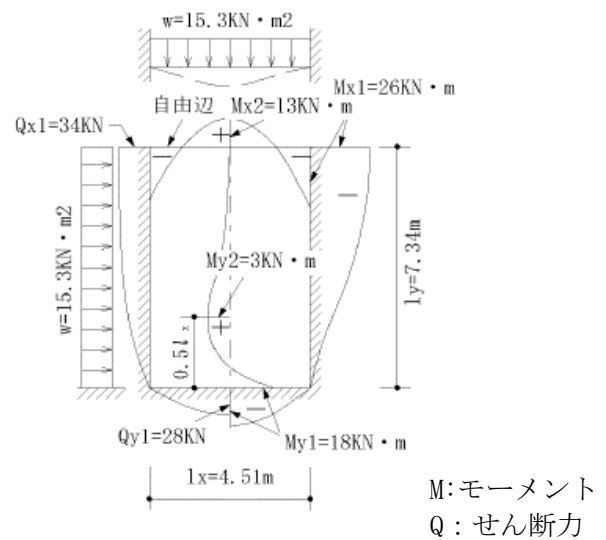
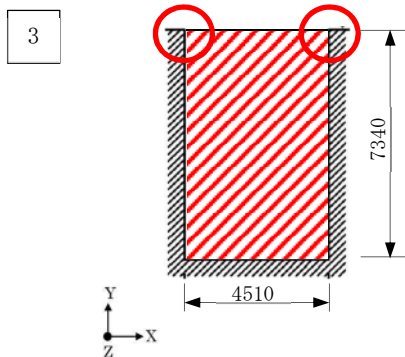
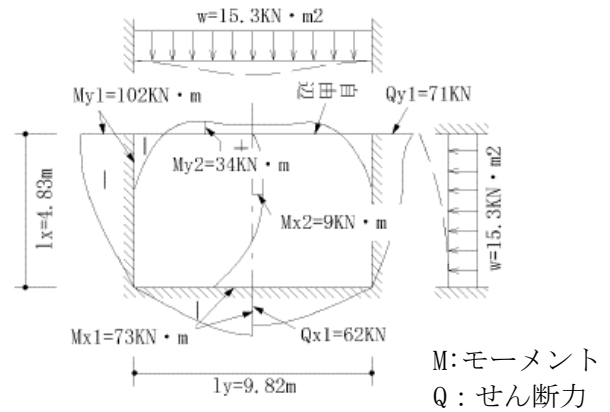
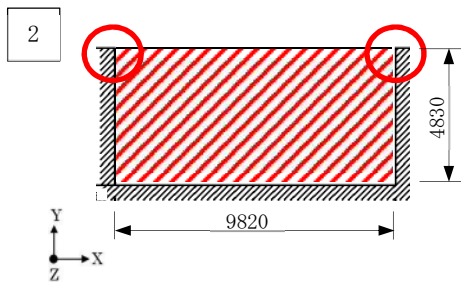
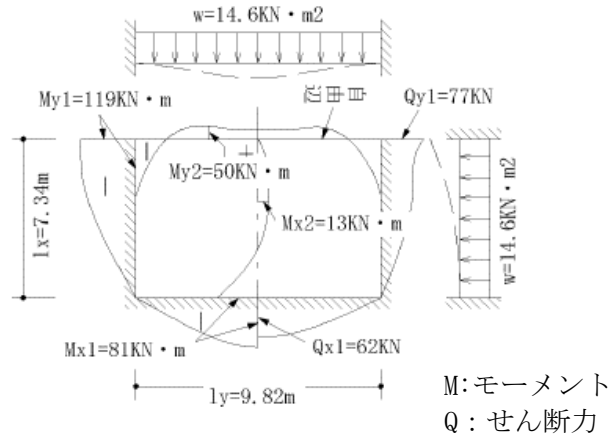
【凡例】

 : 新設部(既設改造部含む)

 : 既設部



評価部(新設, 既設改造部含む)断面力図





(e) RC 造躯体における最大応力発生位置(1/4)

図 5-1 最大応力発生位置 (5/8)

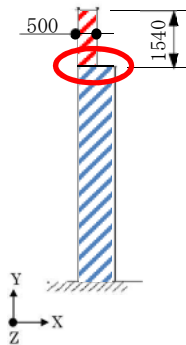
○ 最大荷重発生点(コンクリート, 鉄筋, アンカーは全て同一箇所が発生)

評価対象は新設部(既設改造部含む)とする。

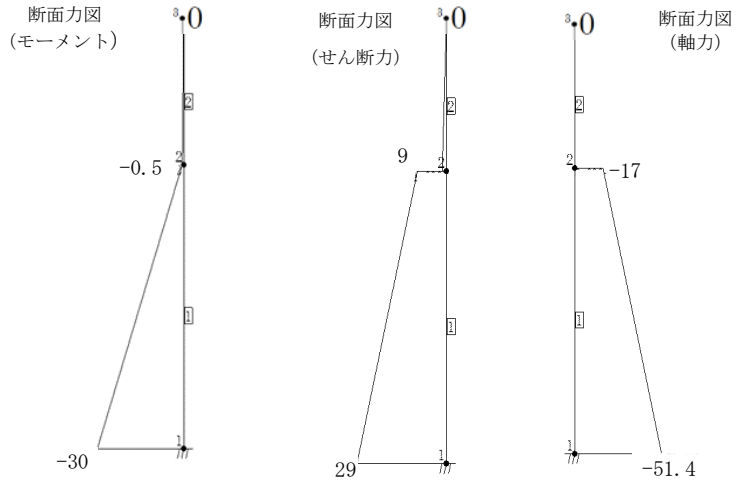
【凡例】

 : 新設部(既設改造部含む)
 : 既設部

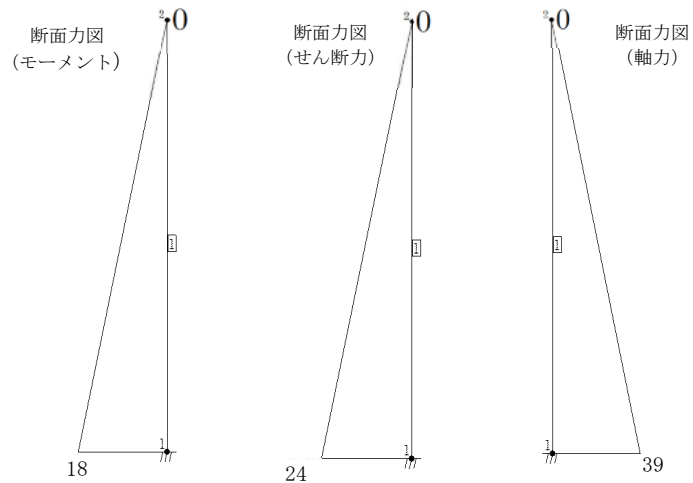
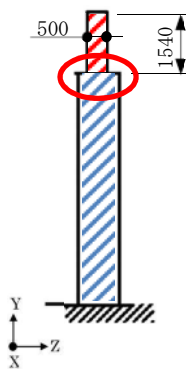
4



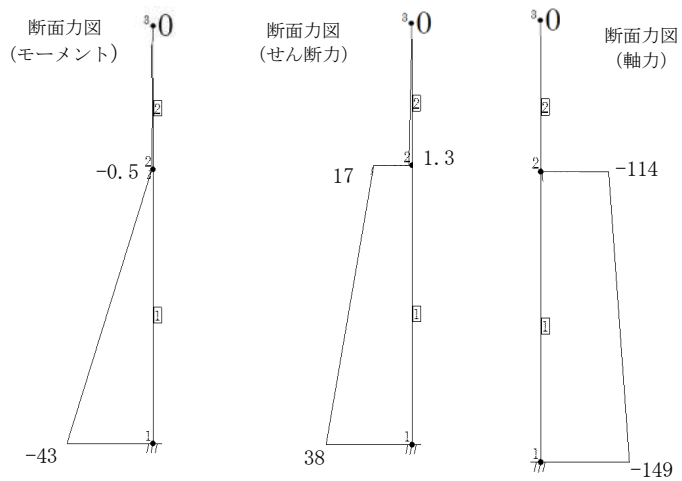
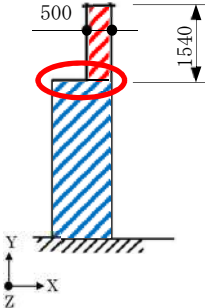
評価部(新設, 既設改造部含む) 断面力図



5



6



単位: kN



(e) RC 造躯体における最大応力発生位置(2/4)

図 5-1 最大応力発生位置 (6/8)



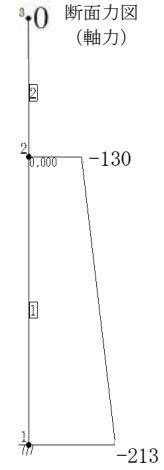
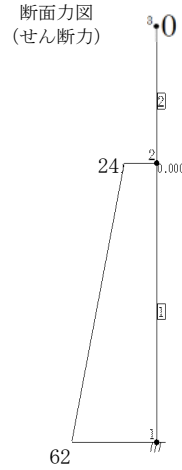
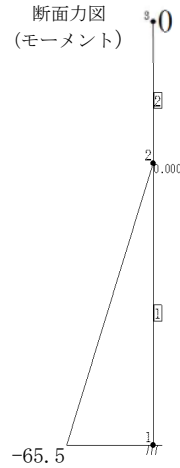
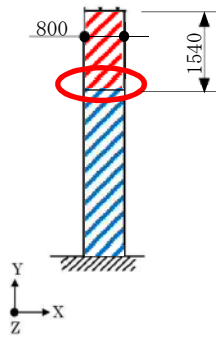
最大荷重発生点(コンクリート, 鉄筋, アンカーは全て同一箇所が発生)

評価対象は新設部(既設改造部含む)とする。

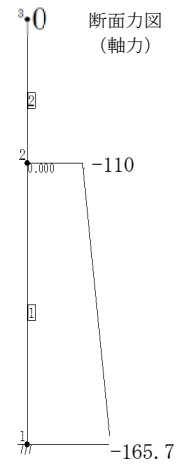
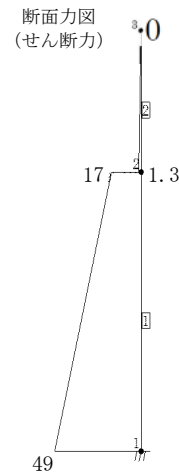
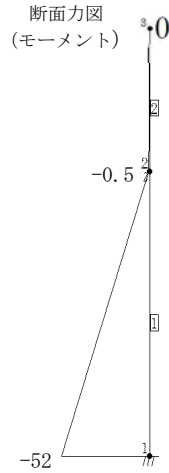
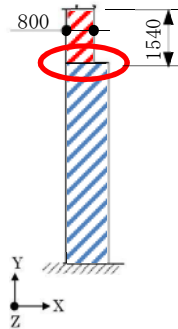
【凡例】
 : 新設部(既設改造部含む)
 : 既設部

評価部(新設, 既設改造部含む) 断面力図

7



8





単位 : kN

(e) RC 造躯体における最大応力発生位置(3/4)

図 5-1 最大応力発生位置 (7/8)

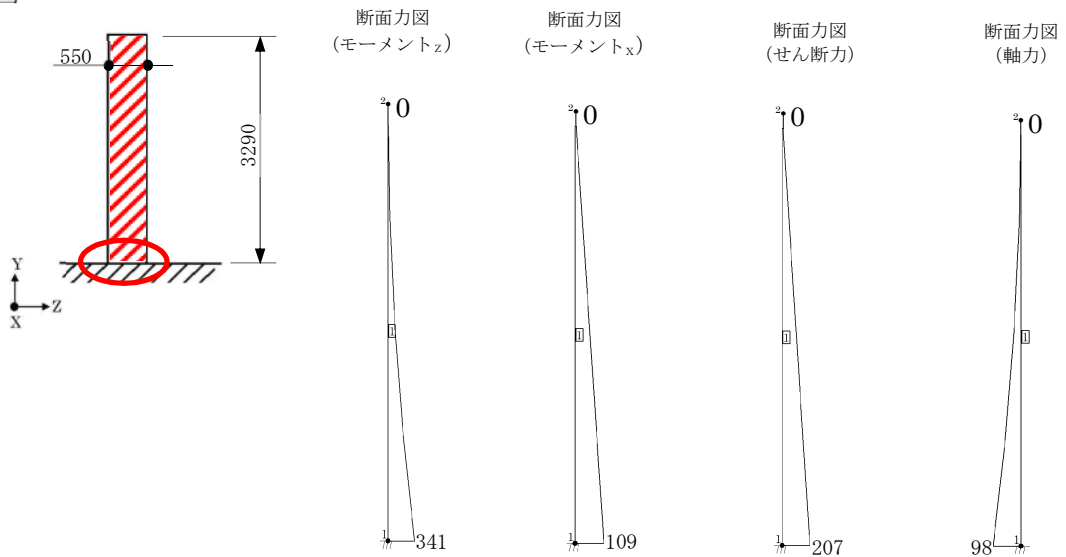
○ 最大荷重発生点(コンクリート, 鉄筋, アンカーは全て同一箇所が発生)

評価対象は新設部(既設改造部含む)とする。

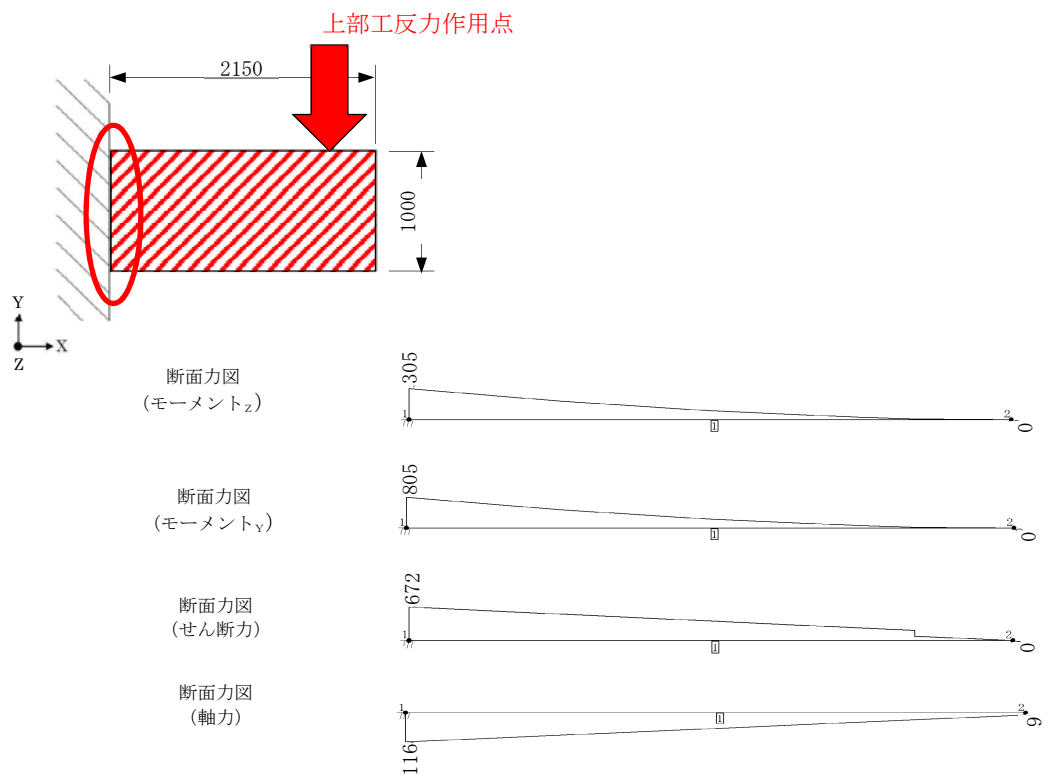
【凡例】
 : 新設部(既設改造部含む)
 : 既設部

評価部(新設, 既設改造部含む) 断面力図

9 水平2方向の地震荷重考慮



10 水平2方向の地震荷重考慮



(e) RC造躯体における最大応力発生位置(4/4)

図 5-1 最大応力発生位置 (8/8)

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。

別紙 1 海水ポンプ室壁面への付加質量の影響について

1. 概要

添付書類「V-2-11-2-11 海水ポンプエリア防護対策施設の耐震性についての計算書」における、海水ポンプエリア防護対策施設の土台となる海水ポンプ室壁面の振動特性に対し、壁に取り付けられている設備等の付加質量が与える影響を以下のとおり考慮した。

2. 壁面に取り付けられている設備等の状況

海水ポンプ室の壁面に取り付けられている設備等の状況について、現場調査を行った。壁面には配管、電線管、歩廊等が基礎を取っており、その中で、東側の南北方向壁に取り付けられている、大口径の海水系配管（残留熱除去系海水系（以下「RHRS」という。）及びディーゼル発電機用海水系配管（以下「DGSW」という。）が重量的に影響を与え得るものと考えられる。

新設予定の設備を含めた、主な設備の重量を表 2-1 に示す。また現場の状況を図 2-1 に示す。

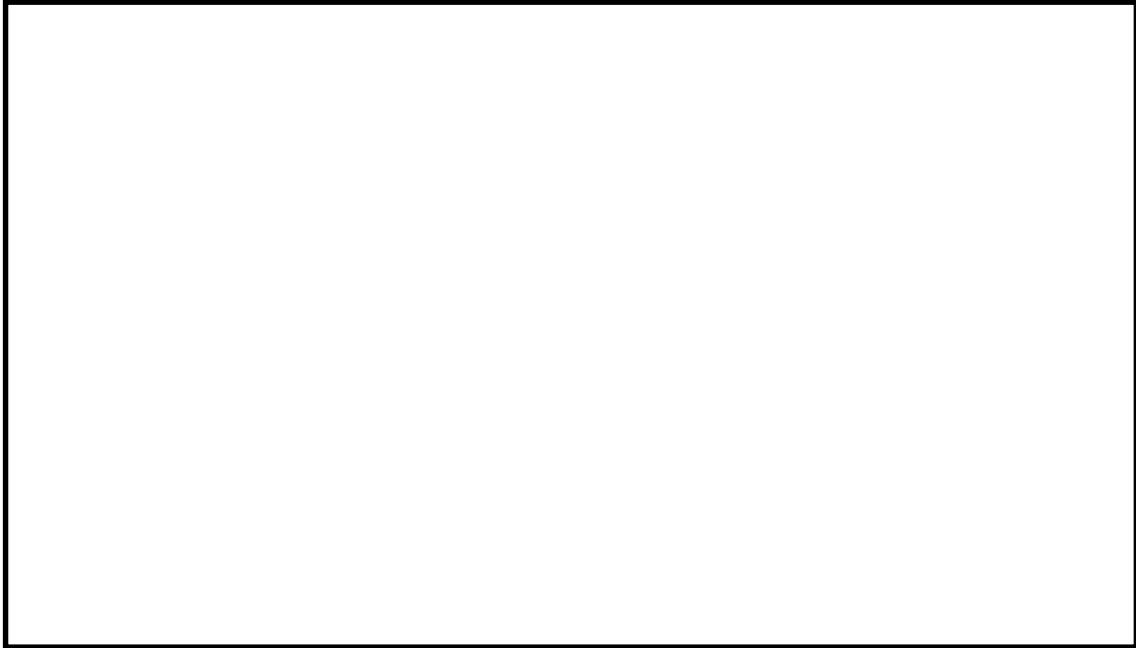


図 2-1 現場調査時に確認された主な付加質量

表 2-1 主な付加質量

設備等	付加質量 (kg/m)
海水配管 (RHRS : 径 20B) (保温, 内包水, 外壁サポート含む)	1080
エリア③④ RHRS 貫通部内壁サポート	420 ^{*1, *3}
海水配管 (DGSW : 径 10B) (保温, 内包水, 外壁サポート含む)	330
電線管 ^{*2}	340

注記 *1 : 保守的に, 壁面全体へ分布すると設定

*2 : 新設予定

*3 : RHRS 貫通部内壁サポートの集中質量は 1500 kg

3. 壁面設置設備の重量を考慮した海水ポンプ室壁面の応答特性

当該配管及び電線管が全体に渡り取り付けられている，エリア③④東側壁面（図 3-1）については，現場調査で確認した海水系配管（RHRS 及び DGSW）（保温，内包水及びサポート含む）及び新設予定の電線管の重量を付加した状態で固有値解析を実施した。付加質量を入力する高さを図 3-2 に示す。また，付加質量は分布荷重で入力した場合と，集中荷重で入力した場合の 2 通りで実施し，剛性が低くなる方を耐震評価に用いることにする。

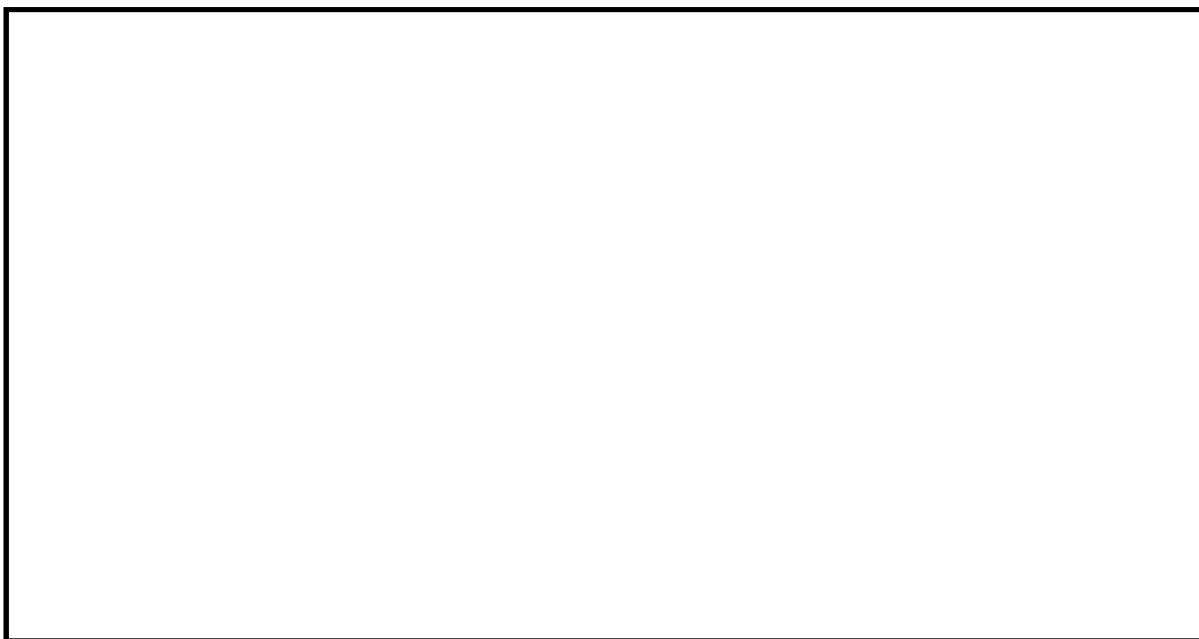


図 3-1 固有値解析対象箇所

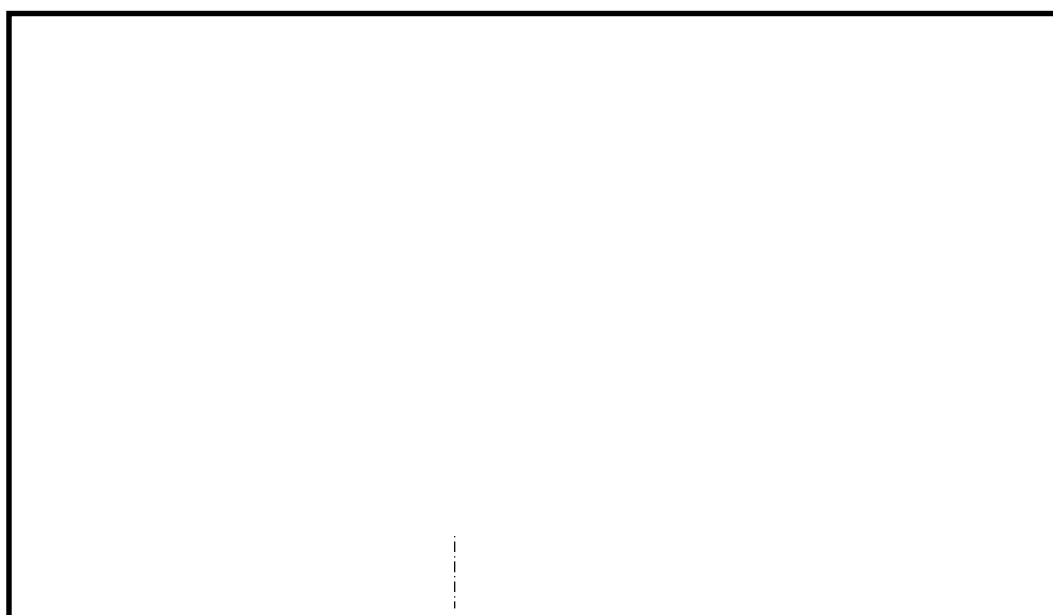


図 3-2 解析モデル（エリア③④東側壁面：図 3-1 の「⑥」）

3.1 固有値解析モデルへの分布荷重の入力状態

固有値解析モデルに入力する分布荷重の内訳とその入力状態をそれぞれ表 3-1, 図 3-3 に示す。

表 3-1 固有値解析モデルに入力する分布荷重の内訳

EL.	設備等	荷重内訳	荷重合計
6000	海水配管 (RHRS)	$1080\text{kg/m} \times 9.80665\text{m/s}^2 \times 10^{-3} = 10.6\text{kN/m}$	18.0kN/m
	電線管	$340\text{kg/m} \times 9.80665\text{m/s}^2 \times 10^{-3} = 3.3\text{kN/m}$	
	RHRS 貫通部内壁サポート	$420\text{kg/m} \times 9.80665\text{m/s}^2 \times 10^{-3} = 4.1\text{kN/m}$	
4800	海水配管 (DGSW)	$330\text{kg/m} \times 9.80665\text{m/s}^2 \times 10^{-3} = 3.2\text{kN/m}$	3.2kN/m

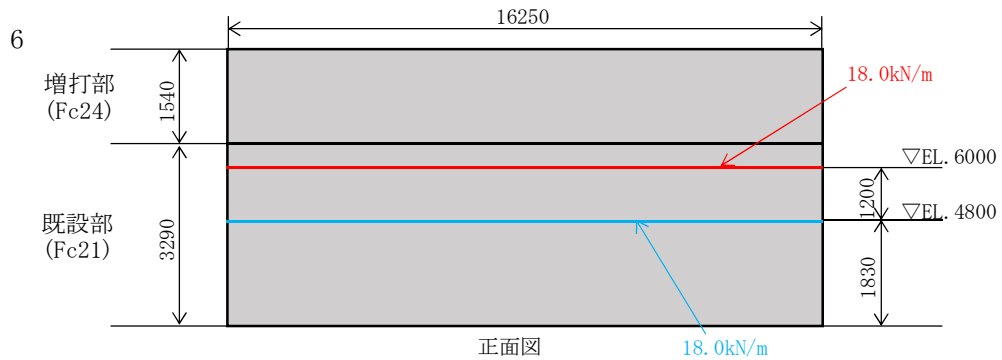


図 3-3 固有値解析モデルへの分布荷重の入力状態

3.2 固有値解析モデルへの集中荷重の入力状態

EL. 4800 及び EL. 6000 における, 固有値解析モデルへ入力する集中荷重の内訳と入力状態をそれぞれ図 3-4, 3-5 に示す。

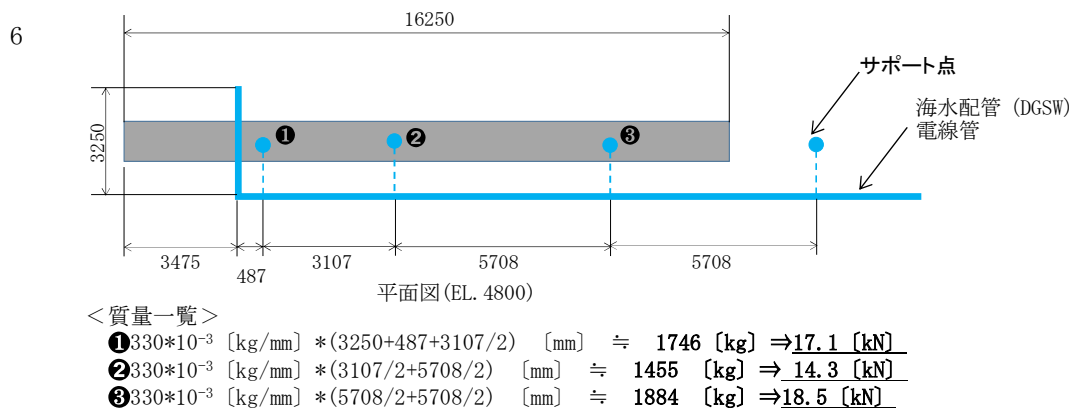
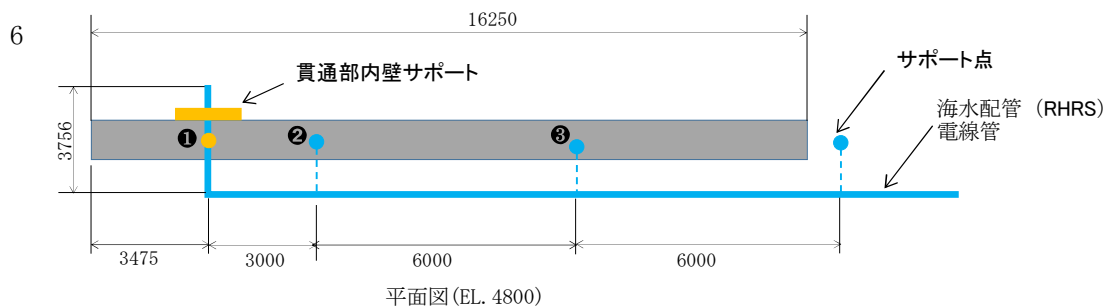


図 3-4 固有値解析モデルへ入力する集中荷重の内訳と入力状態 (EL. 4800)



< 質量一覧 >

- ① 貫通部内壁サポート質量 1500 [kg] ⇒ 14.7 [kN]
- ② $(1080+340) * 10^{-3} \text{ [kg/mm]} * (3756+3000+6000/2) \text{ [mm]} \div 13860 \text{ [kg]} \Rightarrow \underline{135.9 \text{ [kN]}}$
- ③ $(1080+340) * 10^{-3} \text{ [kg/mm]} * (6000/2+6000/2) \text{ [mm]} \div 8520 \text{ [kg]} \Rightarrow \underline{83.6 \text{ [kN]}}$

図 3-5 固有値解析モデルへ入力する集中荷重の内訳と入力状態 (EL. 6000)

3.3 固有値解析結果

部位⑥について、付加質量を分布荷重で入力した時と、集中荷重で入力した時の結果を表 3-2 に示す。表 3-2 より、付加質量を分布荷重で入力した場合の方が集中荷重で入力した場合よりも剛性が低くなっているため、耐震評価においては付加質量を分布荷重で入力した結果を用いる。

以上の結果を踏まえ、部位⑥～⑦における固有値を表 3-3 に示す。

表 3-2 付加荷重の入力方法の相違による固有値解析結果の比較(部位⑥)

部位	付加質量の考慮	分布荷重		集中荷重	
		固有周期 (1次) (s)	固有振動数 (1次) (Hz)	固有周期 (1次) (s)	固有振動数 (1次) (Hz)
6	海水配管及び電線管が全体的に分布するため、以下の付加質量を考慮 RHRS 配管 : $M_1=1080 \text{ (kg/m)}$ DGSW 配管 : $M_2=330 \text{ (kg/m)}$ 内壁サポート : $M_3=420 \text{ (kg/m)}$ 電線管 : $M_4=340 \text{ (kg/m)}$	0.048	20.836	0.042	23.654

表 3-3 部位④～⑦における固有値

部位	付加質量の考慮	固有周期 (1次) (s)	固有振動数 (1次) (Hz)
1	なし	0.069	14.449
2	なし	0.050	20.115
3	なし	0.016	63.176
4	なし	0.064	15.551
5	なし	0.013	76.240
6	海水配管及び電線管が全体的に分布するため、以下の付加質量を考慮 RHRS 配管 : $M_1=1080$ (kg/m) DGSW 配管 : $M_2=330$ (kg/m) 内壁サポート : $M_3=420$ (kg/m) 電線管 : $M_4=340$ (kg/m)	0.048	20.836
7	なし	0.055	18.076

4. 配管のモデル化におけるサポート部の扱いについて

配管のモデル化にあたり，図 4-1 及び図 4-2 に示すとおり，サポートで荷重を受けている箇所より上部の配管中心に荷重を設定しモデル化している。なお，配管中心は保守的に配管勾配の最も高い箇所に設定している。

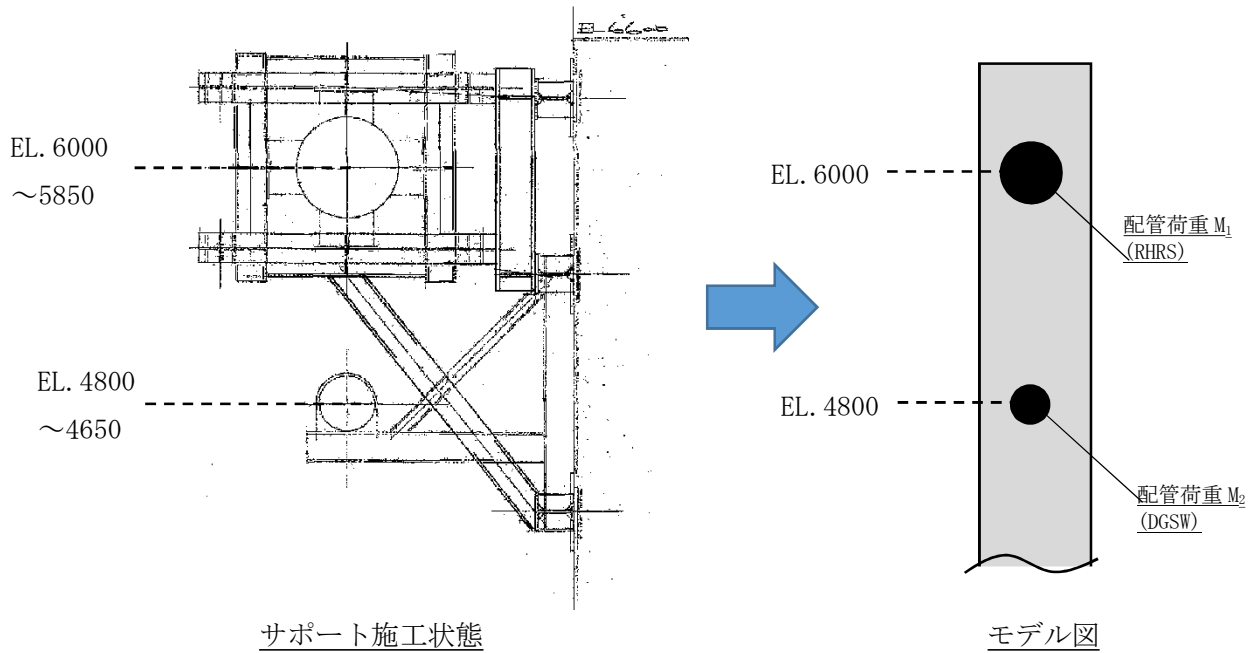


図 4-1 外壁側サポート設置状況

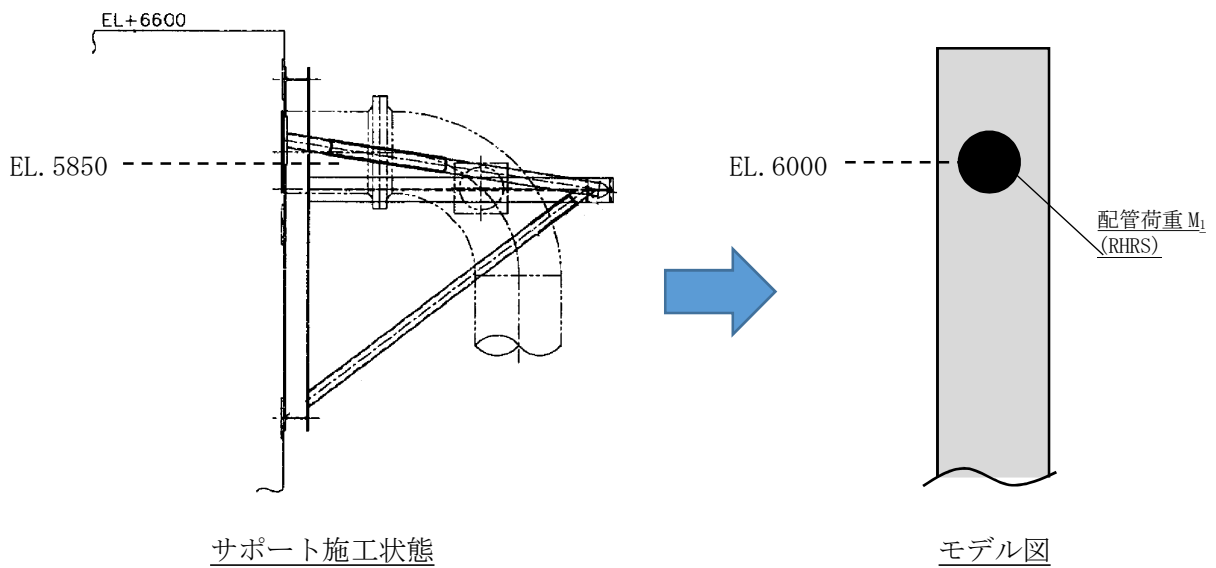


図 4-2 内壁側サポート設置状況

別紙 2 海水ポンプ室壁面の相対変位の影響について

1. 概要

添付書類「V-2-11-2-11 海水ポンプエリア防護対策施設の耐震性についての計算書」における、竜巻等防護設備を支持する海水ポンプ室壁面に発生する相対変位を確認し、竜巻防護対策施設への影響の有無を確認した。

2. 海水ポンプ室壁面の相対変位

海水ポンプ室壁面の配置を図 2-1 に示す。地震発生時に、海水ポンプ室の南北方向の壁面を構成する部材①～③が東西方向に変形することで、部材①及び②並びに部材②及び③の間にはそれぞれ相対変位が発生し、上載される竜巻防護対策施設には、相対変位による変形に応じた荷重が発生することが考えられる。

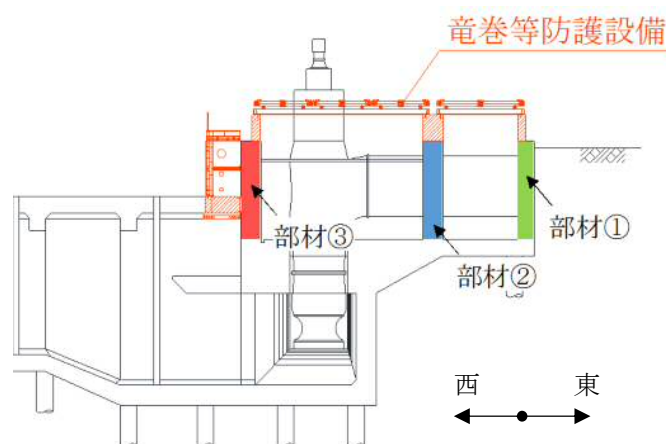


図 2-1 相対変位を考慮する海水ポンプ室壁面

部材①～③の間に生じる相対変位を表 2-1 に示す。相対変位は、既設 RC 部材天端での相対変位を解析により算出し、竜巻防護ネットが据え付けられる嵩上げ壁天端の相対変位のうち水平方向の値は、既設部天端の値に嵩上げ壁の高さを考慮した補正を実施した。

表 2-1 海水ポンプ室壁面（部材①～③）の相対変位*1

評価箇所	水平方向(m)		鉛直方向(m)	
	既設部天端	嵩上げ壁天端*2	既設部天端	嵩上げ壁天端
部材①～部材②	2.32×10^{-5}	2.94×10^{-5}	6.11×10^{-3}	
部材②～部材③	3.18×10^{-3}	4.02×10^{-3}	8.41×10^{-3}	

注記 *1：代表波として $S_s - D1$ (H+, V+) を用い、且つ地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケースにて算出。

*2：既設部高さ (5.800 m) と嵩上げ壁高さ (1.540 m) から、既設部天端の高さに「 $(5.800+1.540)/5.800$ 」を乗じて算出

3. 竜巻防護対策施設への影響

嵩上げ壁には、竜巻防護対策施設である竜巻防護ネット用架構が、部材①と②及び部材②と③をそれぞれ繋ぐ様な形で、嵩上げ壁天端にボルトで取り付けられる構造となっている。

ここで、取付部が固定されている場合には、嵩上げ壁間の相対変位によりネット用架構及びボルトの変形を生じることになるため、その影響と対応について以下のとおり整理した。

3.1 水平方向変位の影響

3.1.1 ネット用架構及び取付ボルト

ネット用架構のフレーム及び取付ボルトが固定されていると仮定した場合に、水平方向の相対変位によりフレーム及び取付ボルトに発生する荷重を図 3-1 に示す。また、このモデルで評価した、フレームに発生する軸力による応力を表 3-1 に、取付ボルトに発生するせん断応力を表 3-2 に示す。

相対変位が mm のオーダーとなる部材②～部材③の場合には、フレーム及びボルトに無視し難い応力が発生し、特にボルトについては、せん断応力を許容値以内に抑えるには、多数のボルトが必要となる。

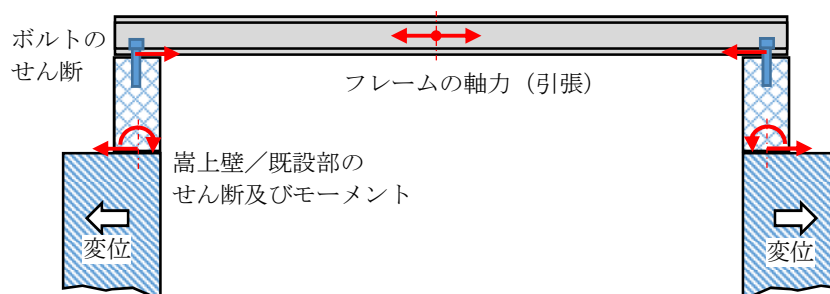


図 3-1 水平方向の相対変位により発生する荷重 (例：広がる場合)
(フレーム端部固定時)

表 3-1 フレームに発生する応力

部位	相対変位 δ (m)	支間長 L (m)	フレームの ひずみ ϵ	ヤング率 E (MPa)	発生応力 (MPa)		許容値* (MPa)	
					引張(圧縮)	引張	圧縮	
部材① ～ 部材②	2.94×10^{-5}	5.010	5.86×10^{-6}	2.05×10^5	2	460	402	
部材② ～ 部材③	4.02×10^{-3}	10.320	3.90×10^{-4}	2.05×10^5	80	460	258	

注記 * : H-340×250×9×16 (SM570 (F 値 460 MPa))

表 3-2 取付ボルトに発生する応力

部位	発生応力 (MPa)	フレーム 断面積 A_f *1 (m^2)	フレーム 軸力 F_f (MN)	ボルト 本数 n *2	ボルト1本当たりの評価			許容値*4 (MPa)
	引張 (圧縮)				せん断力 F_b (MN)	断面積*3 A_b (m^2)	せん断応力 (MPa)	
部材① ～ 部材②	1.2	0.010772	0.0129	1	0.0129	3.80×10^{-4}	34	282
部材② ～ 部材③	79.9	0.010772	0.861	2	0.431	3.80×10^{-4}	1133	282

注記 *1 : H-340×250×9×16

*2 : フレーム 1 端当たりの本数として仮定

*3 : 呼び径 M22 の軸断面積

*4 : S45C (F 値 460 MPa)

上記の評価を踏まえ、フレームの一方の端部に加工するボルト穴は、変位発生方向に長孔化する対策を施すこととしている (図 3-2)。この対策により、竜巻防護ネット用架構が海水ポンプ室壁面 (嵩上げ壁及び既設部) の変形を拘束することが無くなるため、架構及び海水ポンプ室壁面においては、壁面の水平方向相対変位に起因する応力が発生しないことになる。

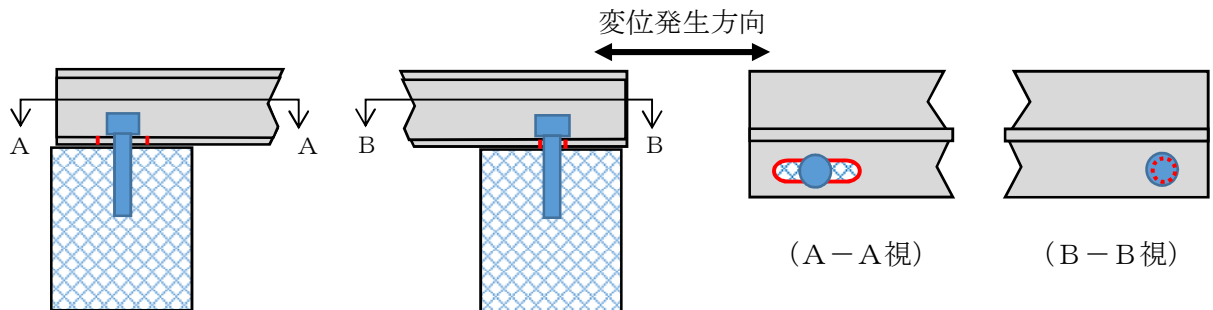


図 3-2 水平変位対策 (フレームのボルト穴長孔化)

3.1.2 海水ポンプ室壁面 (嵩上げ壁及び既設部)

上記のとおり、ボルトの影響評価結果を踏まえたフレームボルト穴を長孔化により、相対変位起因の応力は発生しなくなるため、影響は無い。

3.2 鉛直方向変位の影響

3.2.1 ネット用架構及びアンカーボルト

ネット用架構ボルト穴の長孔化を考慮した場合に、鉛直方向の相対変位によりネット用架構及びアンカーボルトに発生する荷重を図3-3に示す。また、このモデルで評価した、架構に発生する曲げ及びせん断応力を表3-3に、アンカーボルトに発生する引張及びせん断応力を表3-4に示す。

相対変位はmmのオーダーとなるが、架構及びアンカーボルトに発生する応力度は許容値に比べ小さく、鉛直方向の相対変位による影響は軽微と考えられる。

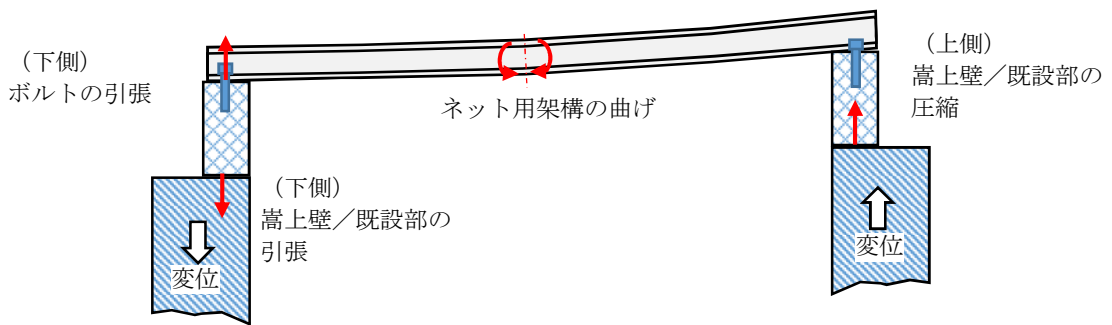


図3-3 鉛直方向の相対変位により発生する荷重（水平変位対策実施時）

表3-3 ネット用架構に発生する応力*1（鉛直変位時）

部位	相対変位 δ (m)	支間長 L (m)	断面2次 モーメント I (m ⁴)	ヤング率 E (MPa)	鉛直荷重 F _v (MN) *2	発生応力 (MPa) 【 】は許容値*3	
						曲げ	せん断
部材① ～ 部材②	6.11×10^{-3}	5.010	2.32×10^{-4}	2.05×10^5	6.93×10^{-3}	1 【460】	1 【265】
部材② ～ 部材③	8.41×10^{-3}	10.320	2.32×10^{-4}	2.05×10^5	1.09×10^{-3}	1 【460】	1 【265】

注記 *1： ネット用架構を、下図の様な片持ちはりとして評価



*2： 片持ちはりのたわみの式から、 $F = 3 \cdot E \cdot I \cdot \delta / L^3$

*3： H-340×250×9×16 (SM570 (F値 460 MPa))

表 3-4 アンカーボルトに発生する応力（鉛直変位時）

部位	鉛直荷重 F_V (MN)	ボルト本数 n^{*1}	ボルト断面積 A_b (m ²) ^{*2}	発生応力 (MPa) ^{*3}
				引張
部材① ～ 部材②	6.93×10^{-3}	1	3.80×10^{-4}	19 【345】
部材② ～ 部材③	1.09×10^{-3}	2	3.80×10^{-4}	3 【345】

注記 *1： ネット用架構 1 端当たりの本数として仮定

*2： 呼び径 M22 の軸断面積

*3： S45C (F 値 460 MPa)

3.2.2 海水ポンプ室壁面（嵩上げ壁及び既設部）

ネット用架構ボルト穴の長孔化を考慮した場合には、鉛直方向の相対変位が生じた場合に、嵩上げ壁と既設部境界に引張及び圧縮が発生する。この荷重を、単位幅の嵩上げ壁で受けた場合の評価を表 3-5 に示す。

表 3-5 嵩上げ壁と既設部の境界に発生する荷重（鉛直変位時）

部位	鉛直荷重 F_V (MN)	嵩上げ壁 体積 V (m ³)	嵩上げ壁 密度 ρ (kg/m ³)	嵩上げ壁 質量 M (kg)	嵩上げ壁に 生じる 加速度 α_1 ^{*3}	当該部の 設計震度 α_2 ^{*4}	地震力 + 変位に よる荷 重
部材① ～ 部材②	6.93×10^{-3}	0.770 ^{*1}	2400 ^{*2}	1848	0.39	0.84	1.23
部材② ～ 部材③	1.09×10^{-3}	0.770 ^{*1}	2400 ^{*2}	1848	0.06	0.84	0.90

注記 *1： 薄い方の厚さ (0.500 m) × 高さ (1.540 m) 単位幅 (1.000 m)。竜巻防護ネットは 1 辺が 2 m 超であり、負担幅として 1 m は保守側となる。

*2： 24.5 kN/m³ を保守側に丸めた値

*3： 右式にて震度に換算 $(F_V \times 10^6) / M / 9.80665$

*4： 部材①～②では壁 4，部材②～③では壁 6

ここで、相対変位により嵩上げ壁に作用する荷重は設計震度（慣性力）当該部の鉛直設計震度に対し無視出来ない値となっているため、その影響を検討した結果を表 3-6 に示す。慣性力に相対変位による荷重を加味した荷重の慣性力に対する増倍率は、慣性力のみを考慮した場合に部材に発生する応力の許容値に対する裕度に包絡されるため、相対変位による荷重を重ね合わせた場合でも、設備の健

全性に影響は無いと判断した。

表 3-6 相対変位による荷重と地震力の重ね合わせの影響評価

部位	相対変位により生じる加速度 α_1	当該部の設計震度 α_2	「慣性力+変位による荷重」と慣性力の比 R_1^{*1}	慣性力に対する発生応力の許容値に対する比 R_2^{*2}	$R_1 \times R_2^{*3}$
部材① ～ 部材②	0.39	0.84	1.47	0.29	0.43
部材② ～ 部材③	0.06	0.84	1.08	0.57	0.62

注記 *1: $(\alpha_1 + \alpha_2) / \alpha_2$

*2: 照査項目（コンクリート、鉄筋、せん断、アンカー）のうち最大の比率のもの。部材①～②では壁[4]、部材②～③では壁[6]が対象箇所

*3: 1以下であれば、慣性力に対する評価の裕度に包含されると判断

4. 長孔化したボルト穴の適用について

3.1.1項に示す通り、海水ポンプエリア壁面の相対変位によるアンカーボルトへの影響の対策として、ネット用架構ボルト穴の長孔化を行う。ネット用架構ボルト穴の長孔化に伴い、配慮する項目を以下に示す。

- (1) 「鋼構造設計基準 許容応力度設計法（日本建築学会 2005）」に従い、M22のボルトに対するボルト孔中心から縁端までの最小距離 38 mm 以上を確保する。
- (2) 最小縁端距離 38 mm の状態で、南北方向の水平地震荷重に対してネット用架構が概ね弾性領域に留まることを確認する（詳細は 4.1 項参照）。
- (3) 鉛直地震におけるせん断力に対して、アンカーボルトの構成部品である六角ナットが概ね弾性領域に留まり、ネット用架構を適切に押えることができることを確認する（詳細は 4.2 項参照）。
- (4) 東西方向の水平地震荷重が、RC造嵩上げ壁とネット用架構との間の静止摩擦力より大きいことを確認し、ネット用架構が水平方向へ移動可能であることを確認する（詳細は 4.3 項参照）。
- (5) RC造嵩上げ壁とネット用架構との間の静止摩擦力がネット用架構の強度評価に及ぼす影響を確認する（詳細は 4.4 項参照）。

4.1 ネット用架構ボルト穴の水平地震荷重に対するせん断強度

図 4-1 に示すように、ネット用架構のボルト穴には南北方向の水平地震荷重によりせん断応力が生じる。以降で発生するせん断応力が許容応力以下であることを確認する。

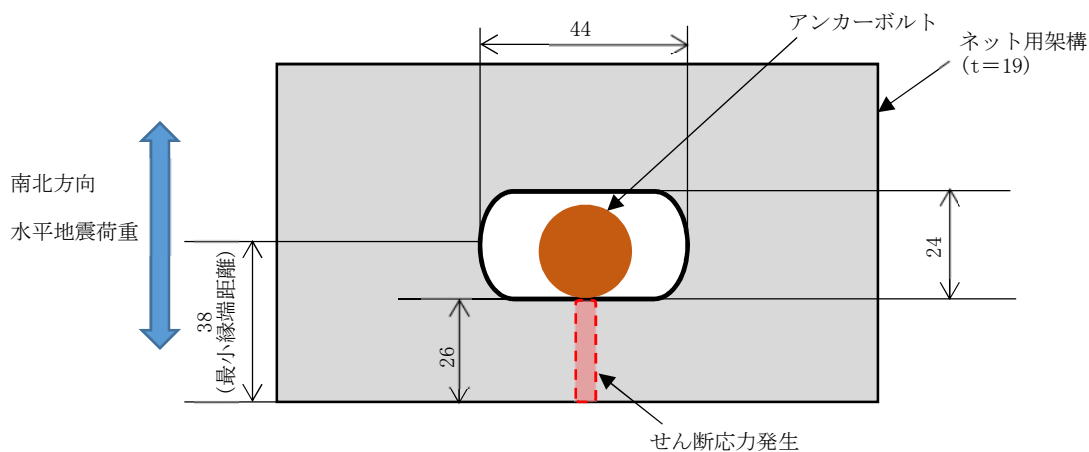


図 4-1 水平地震荷重によりネット用架構に生じるせん断応力

南北方向の水平地震荷重により、ボルト穴 1 箇所あたりに生じるせん断力は 44 kN である。したがって、ネット用架構に生じるせん断応力は以下ようになる。

$$\tau = \frac{44 \times 10^3}{26 \times 19} \approx 90 \text{ MPa}$$

以上より、ネット用架構に生じるせん断応力は許容応力 (230 MPa) を下回る。

4.2 アンカーボルトの構成部品である六角ナットにおける鉛直地震荷重に対するせん断強度

図 4-2 に示すように、アンカーボルトの構成部品である六角ナットには鉛直地震荷重によりせん断応力が生じる。以降で発生するせん断応力が許容限界以下であることを確認する。なお、実構造においては六角ナットを 2 つ重ねたダブルナットとしているが、本評価においては保守的にシングルナットとして評価する。

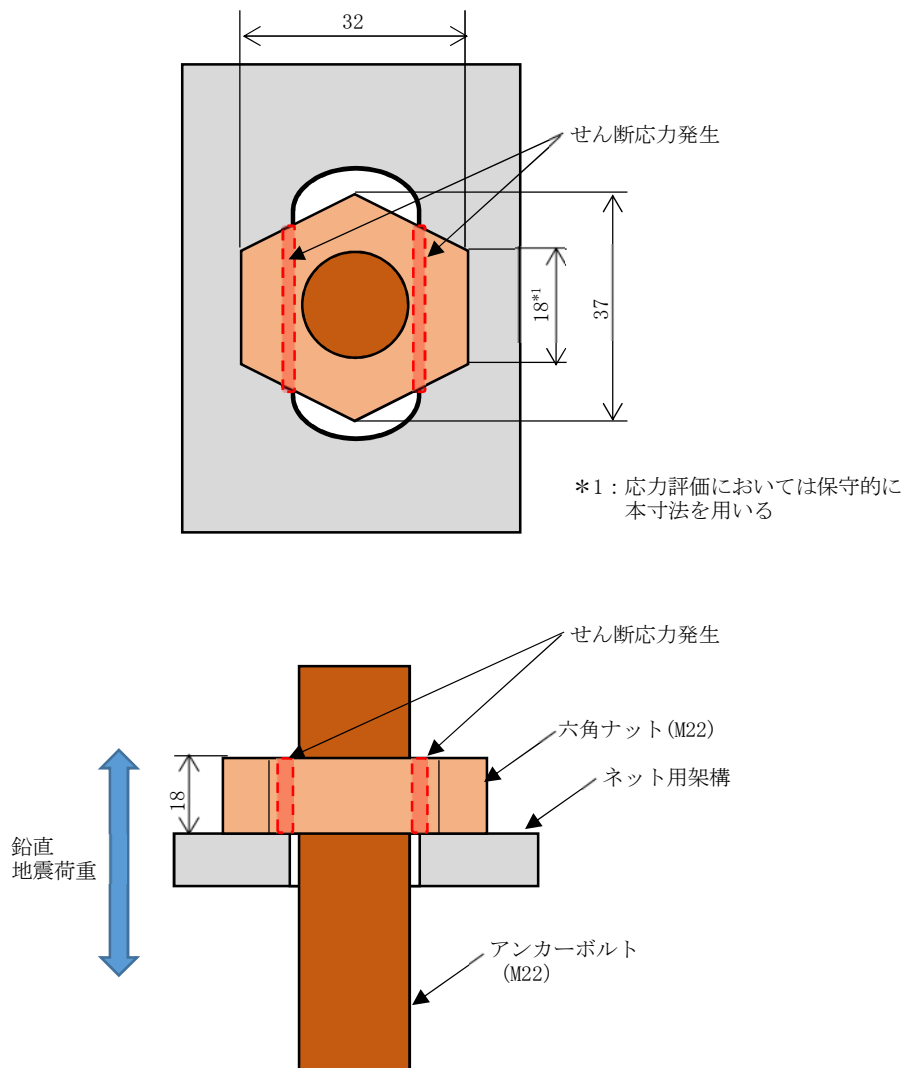


図 4-2 鉛直地震荷重により六角ナットに生じるせん断応力

鉛直地震荷重により，六角ナット 1 箇所あたりに生じるせん断力は 65 kN である。従って，六角ナットに生じるせん断応力は以下ようになる。

$$\tau = \frac{65 \times 10^3}{2 \times 18 \times 18} \approx 101 \text{ MPa}$$

以上より，六角ナットに生じるせん断応力は許容応力（278 MPa）を下回る。

4.3 ネット用架構の移動可否の確認

図 4-3 に示すように，ネット用架構が水平移動するためには静止摩擦力よりも水平地震荷重が大きくなければならない。ここでは，東西方向の水平地震荷重が，RC 造嵩上げ壁とネット用架構との間の静止摩擦力より大きいことを確認し，ネット用架構が水平方向へ移動可能であることを確認する。本評価に用いる**ネット用架構(鋼材)**と

R Cとの間の静摩擦係数は、「鋼構造設計基準 許容応力度設計法（日本建築学会 2005）」において露出柱脚部のベースプレート(鋼材)とR Cとの間の摩擦力の算出時に適用している 0.4 とする。また、アンカーボルトの構成部品である六角ボルトとネット用架構の間に約 0.1 mm のギャップを設ける構造とすることから、静止摩擦力を算出する際に適用する垂直荷重は、ネット用架構(45 kN)及び竜巻防護ネット(54 kN)による自重とする。

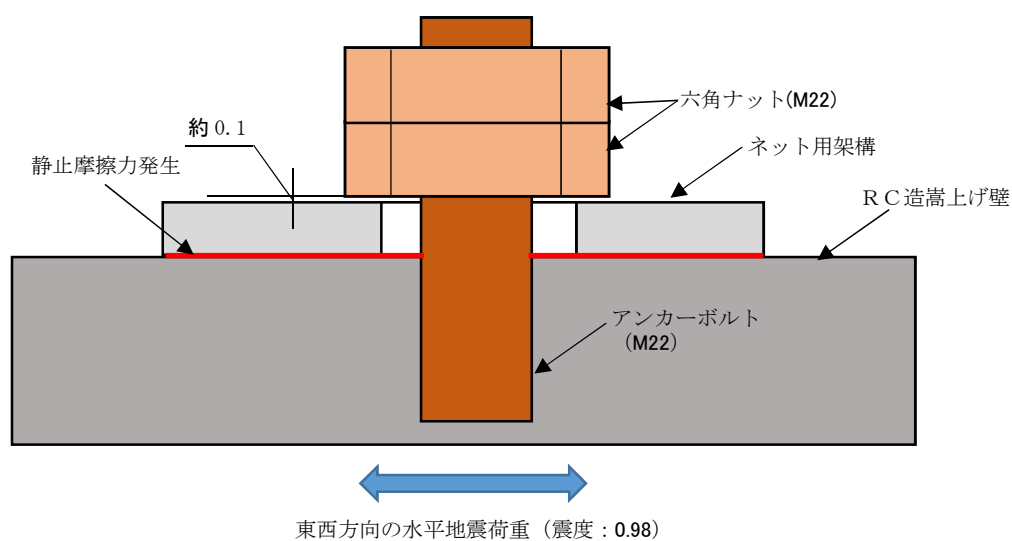


図 4-3 ネット用架構に生じる静止摩擦力及び水平地震荷重

図 2-1 に示すように、ネット用架構及び竜巻防護ネットは東西の嵩上げ壁に上載されており、自重による垂直荷重は 2 等分される。したがって、ネット用架構と R C 造嵩上げ壁との間に生じる静止摩擦力は以下の通り。

$$F_1 = 0.4 \times \frac{(45 + 54) \times 10^3}{2} \approx 19.8 \text{ kN}$$

また、ネット用架構に生じる東西方向の水平地震荷重は以下の通り。

$$F_2 = 0.98 \times (45 + 54) \times 10^3 \approx 97 \text{ kN}$$

以上より、ネット用架構に生じる東西方向の水平地震荷重が、R C 造嵩上げ壁とネット用架構との間の静止摩擦力より大きいことを確認できたため、ネット用架構は水平方向へ移動可能である。

4.4 静止摩擦力によりネット用架構に生じる引張応力の影響確認

RC造嵩上げ壁とネット用架構との間の静止摩擦力がネット用架構の強度評価に及ぼす影響を確認する。図4-4に示すように、死荷重、積雪荷重、風荷重、地震荷重によりネット用架構には曲げ応力が生じる。また、図4-5に示すように、RC造嵩上げ壁とネット用架構との間の静止摩擦力により、ネット用架構に引張力が生じる。ネット用架構に生じる静止摩擦力は4.3項に示す通り、最大で19.8 kNとなるため、ネット用架構が水平方向に移動を開始するまでに、最大で19.8 kNの引張力がネット用架構に生じる。

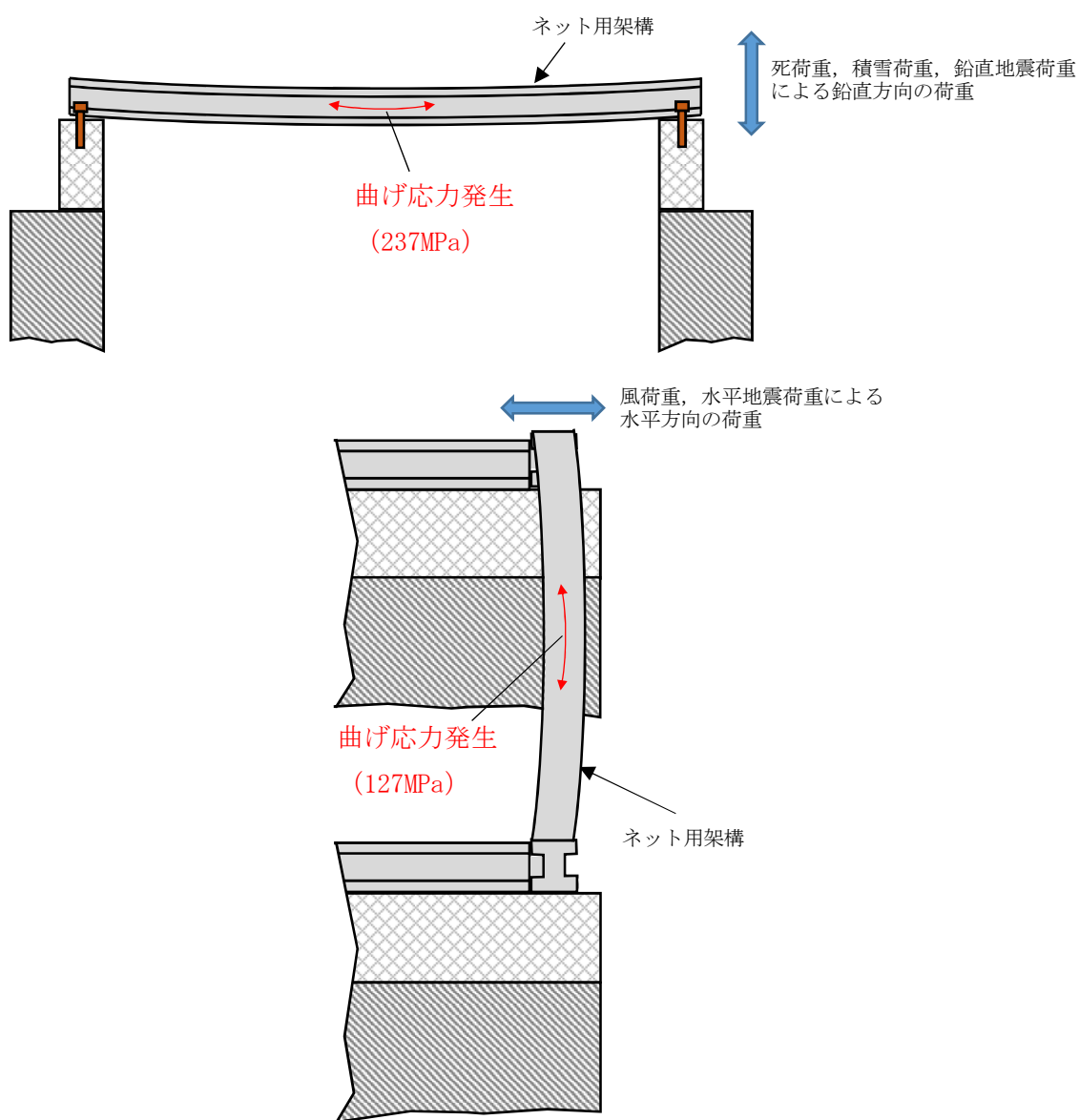


図4-4 死荷重、積雪荷重、風荷重、地震荷重によりネット用架構に生じる曲げ応力

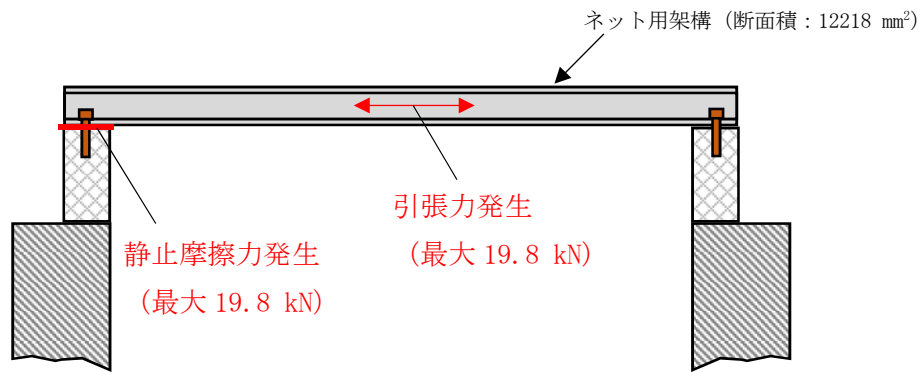


図 4-5 静止摩擦力によりネット用架構に生じる引張力

図 4-5 より，静止摩擦力によりネット用架構に生じる引張応力は以下の通り。

$$\sigma_t = \frac{19.8 \times 10^3}{12218} \approx 2 \text{ MPa}$$

以上より，静止摩擦力によりネット用架構に生じる引張応力（2 MPa）は，死荷重，積雪荷重，風荷重，地震荷重により生じる曲げ応力（図 4-4 の合計値である 364 MPa）に比べ小さく，ネット用架構の強度評価に与える影響は小さいことを確認した。

別紙3 RCスラブの強度計算モデルの設定について

1. 概要

添付書類「V-2-11-2-11 海水ポンプエリア防護対策施設の耐震性についての計算書」における、海水ポンプエリア防護対策施設のRC造スラブの強度計算モデルに関し、3辺固定版モデルと片持ちはりモデルを選択する考え方を示す。

2. モデル選択の方針

海水ポンプエリア防護対策施設の強度評価モデルは、エリア②～⑤のRC造部については、図 2-1 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 h と幅 b の比 h/b が 0.4 倍以下の箇所を図 2-2 に示すような片持ちはりモデル、それ以下の部分を図 2-3 に示すような3辺固定スラブモデルと設定した。



図 2-1 モデルの使い分け



図 2-2 片持ちはりモデルの例（東側クレーン走行路嵩上げ壁：図 1 の「a」）

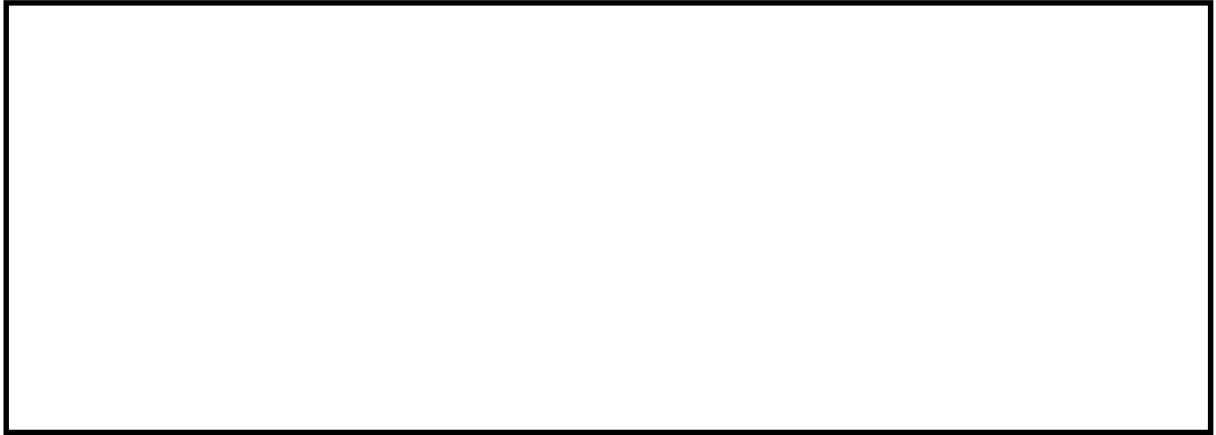


図 2-3 3 辺固定スラブモデルの例 (エリア①北側壁 : 図 1 の「b」)

3. 判断基準について

両モデルの使い分けを選択する根拠としている、スラブの高さと幅の比「0.4」については、図 3-1 に示す「コンクリート標準示方書 [設計編 : 標準] (2012 年制定)」の記載を参考に設定した。

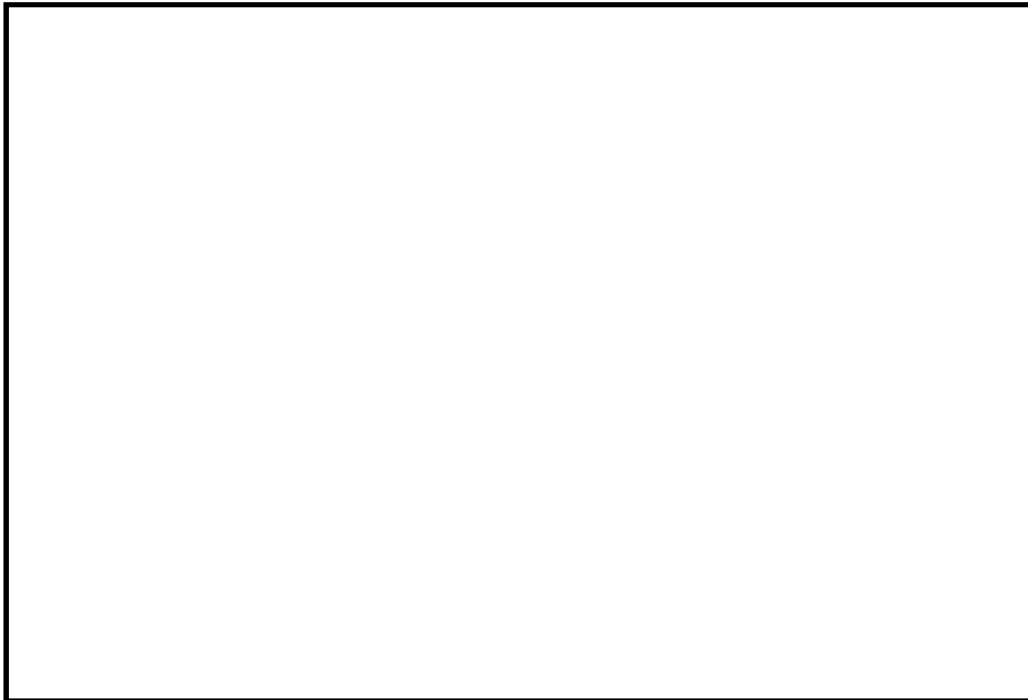


図 3-1 コンクリート標準示方書 (抜粋)

以 上

別紙 4 海水ポンプエリア防護対策施設(エリア⑧)の
固有値解析結果について

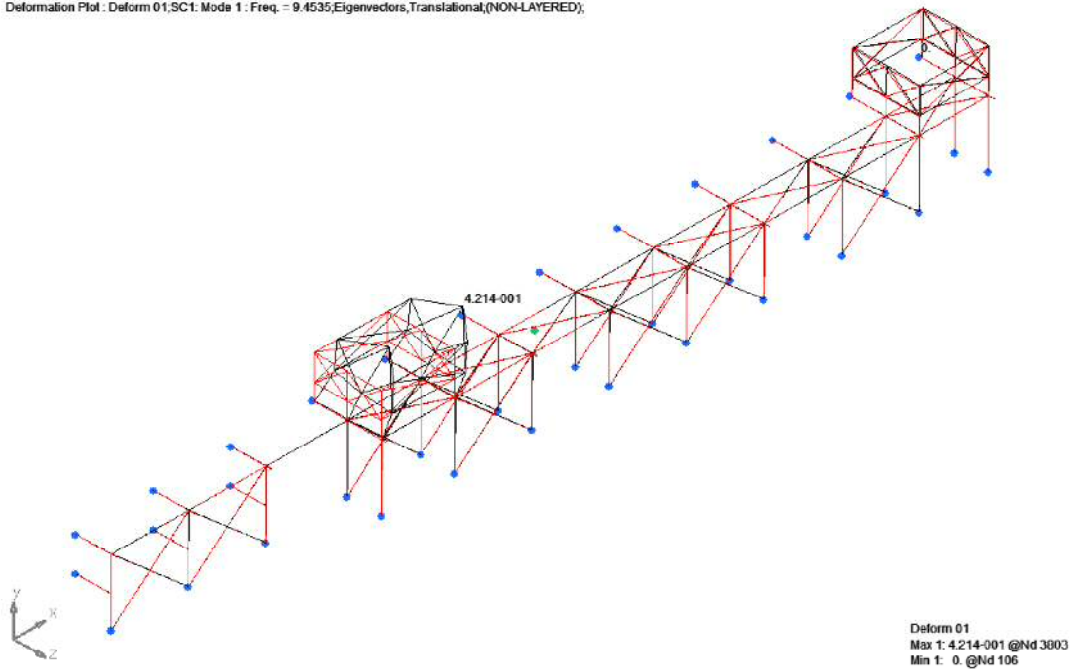
1. 概要

添付書類「V-2-11-2-11 海水ポンプエリア防護対策施設の耐震性についての計算書」に示す海水ポンプエリア防護対策施設のうち、エリア⑧の固有値解析結果について以下に示す。

モード	卓越方向	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数		
				X 方向 (NS)	Y 方向 (UD)	Z 方向 (EW)
1	-	0.106	9.454	3.17	0	0
2	-	0.103	9.702	2.81	0	0
3	-	0.082	12.241	0	0	0
4	-	0.079	12.582	0	0	0
5	-	0.059	16.846	0.50	0	-0.01
6	-	0.058	17.304	-0.51	0.02	-0.01
7	-	0.045	22.254	-2.51	0	0.03
8	-	0.044	22.811	-1.64	0.02	-0.06
9	Z	0.038	26.235	-0.15	-0.05	3.29
10	-	0.038	26.349	-0.56	-0.03	-0.06
11	-	0.037	26.970	-0.40	0.10	-3.09
12	-	0.037	27.138	-0.54	-0.03	0.93
13	X	0.032	31.310	-5.97	0.08	0.09
14	-	0.030	33.734	-0.58	-0.07	-0.06
15	-	0.029	34.484	-0.37	-0.01	-0.01
16	-	0.027	37.567	1.13	0.16	0.13
17	-	0.025	39.701	-0.18	0	0.02
18	-	0.025	40.298	0.16	0.03	0
19	-	0.025	40.589	-0.02	-0.01	0.01
20	-	0.025	40.728	0.04	-0.02	0
21	-	0.024	40.953	0	-0.07	-0.02
22	-	0.024	41.117	-0.10	-0.01	-0.01
23	-	0.023	44.294	0.47	-0.08	-0.02
24	-	0.022	46.089	-0.75	-0.12	-0.03
25	-	0.020	49.999	0.52	0.67	0.15
26	-	0.018	56.847	-0.37	-0.84	0.01
27	-	0.017	59.493	0.06	-1.62	0.04
28	-	0.017	59.945	0.33	-1.26	0.02
29	Y	0.017	60.561	0.07	-4.55	0.12
30	-	0.016	62.385	-0.32	-0.35	0

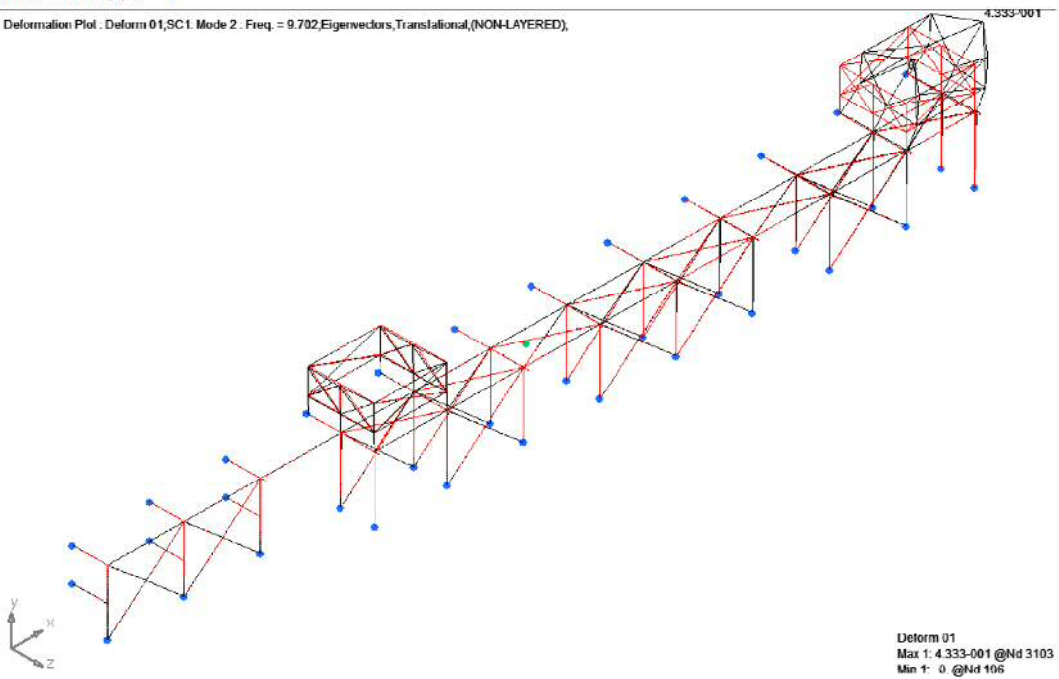
NASTRAN 1次モード

Deformation Plot : Deform 01, SC1, Mode 1 : Freq. = 9.4535, Eigenvectors, Translational, (NON-LAYERED),



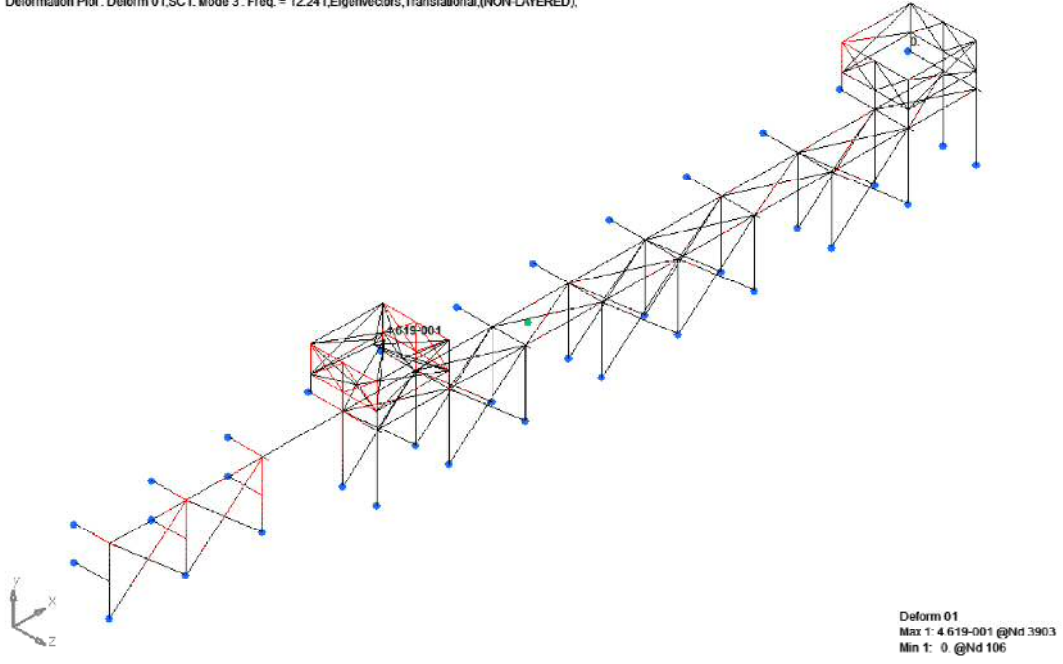
NASTRAN 2次モード

Deformation Plot : Deform 01, SC1, Mode 2 : Freq. = 9.702, Eigenvectors, Translational, (NON-LAYERED),



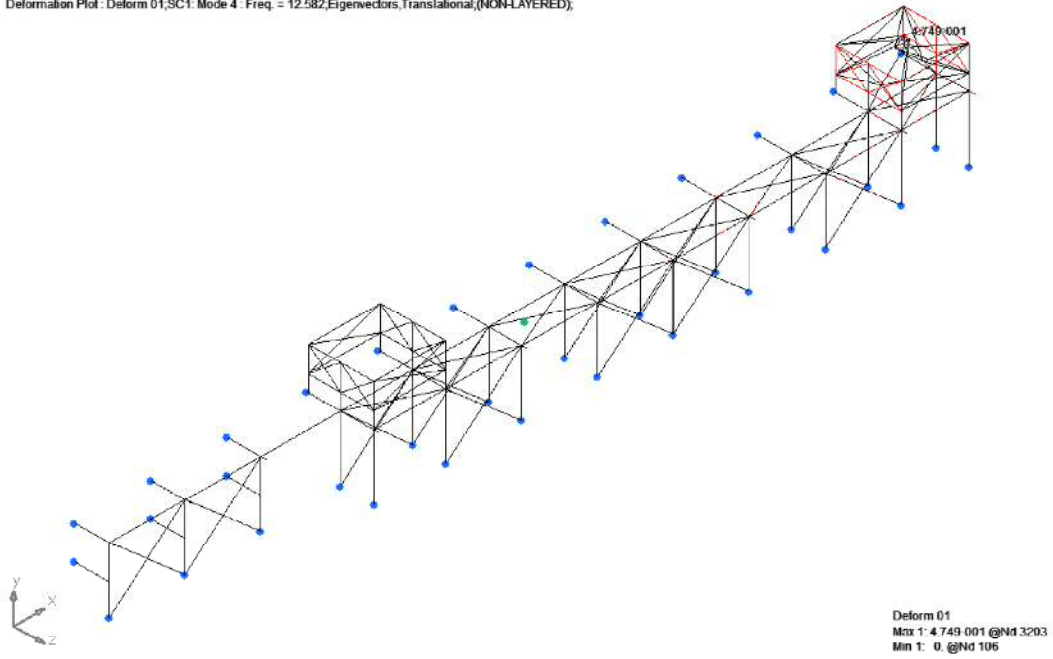
NASTRAN 3次モード

Deformation Plot : Deform 01,SC1: Mode 3 : Freq. = 12.241;Eigenvectors,Translational;(NON-LAYERED);



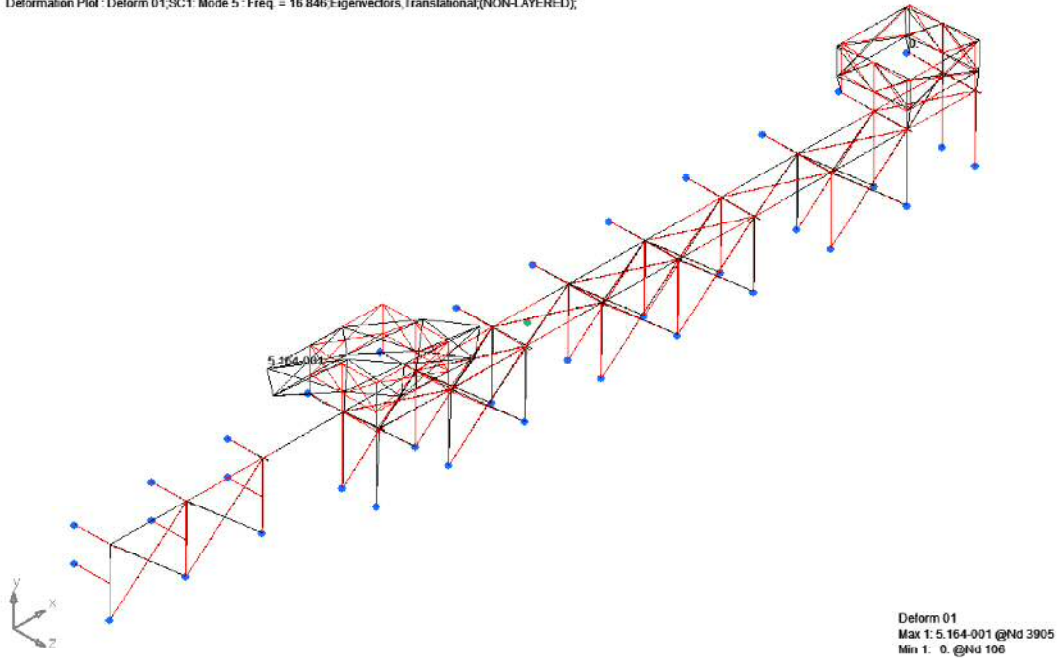
NASTRAN 4次モード

Deformation Plot : Deform 01,SC1: Mode 4 : Freq. = 12.582;Eigenvectors,Translational;(NON-LAYERED);



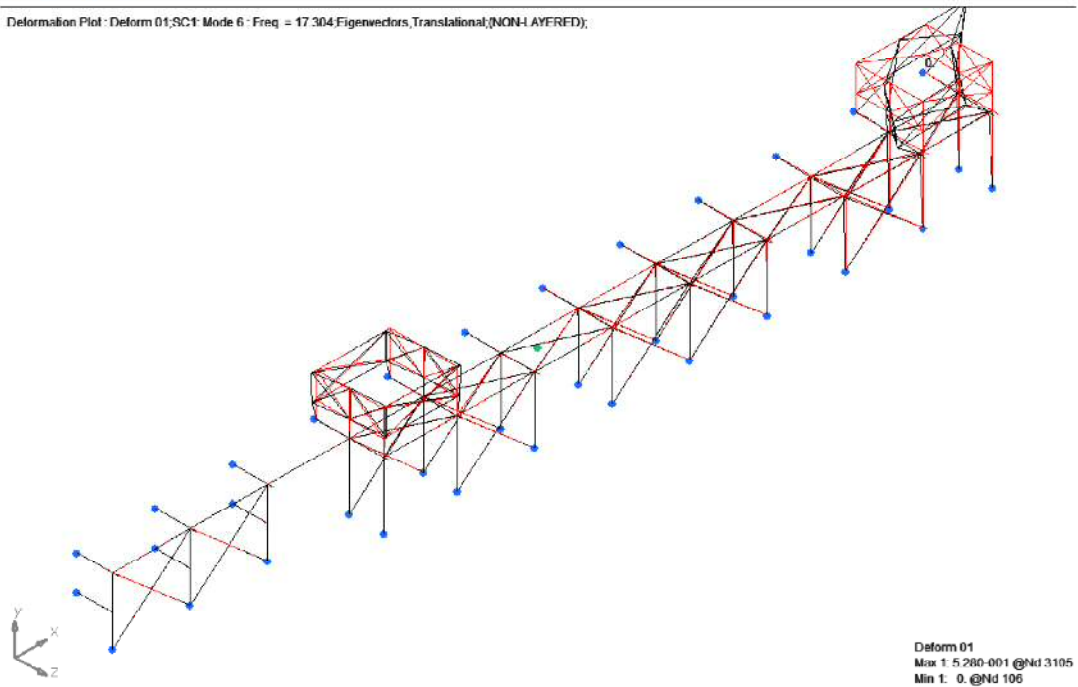
NASTRAN 5次モード

Deformation Plot : Deform 01;SC1: Mode 5 : Freq = 16.846;Eigenvectors,Translational;(NON-LAYERED);



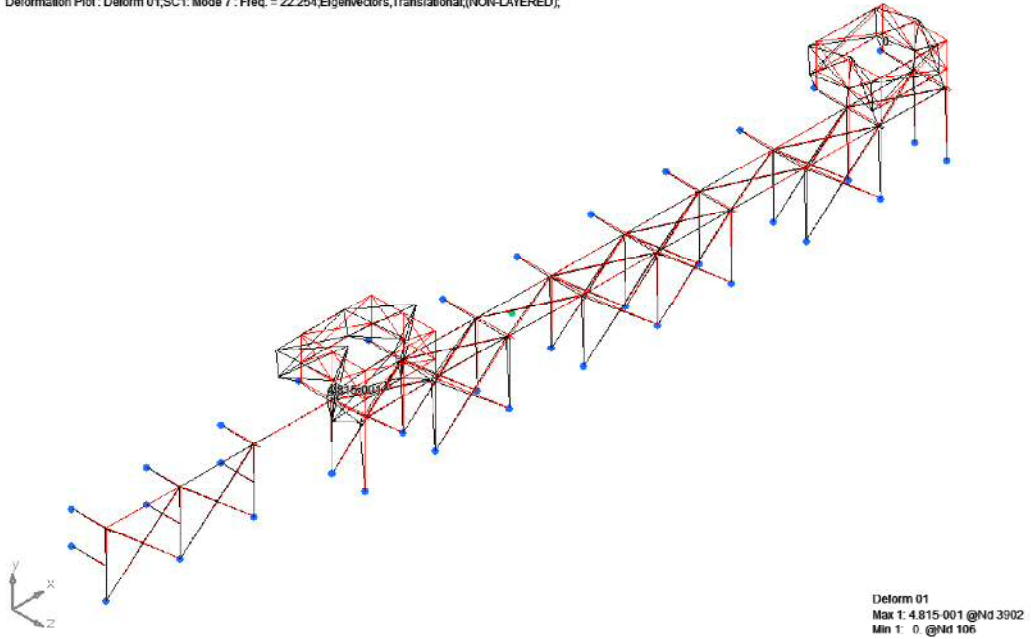
NASTRAN 6次モード

Deformation Plot : Deform 01;SC1: Mode 6 : Freq = 17.304;Eigenvectors,Translational;(NON-LAYERED);



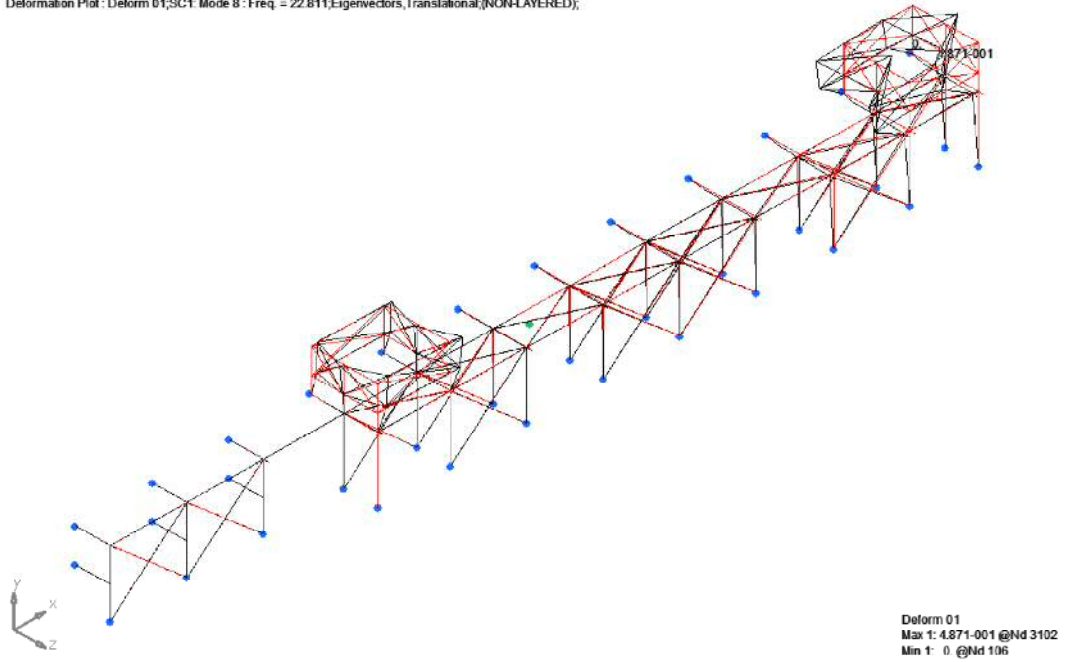
NASTRAN 7次モード

Deformation Plot : Deform 01,SC1, Mode 7 : Freq. = 22.254,Eigenvalues,Translational,(NON-LAYERED);



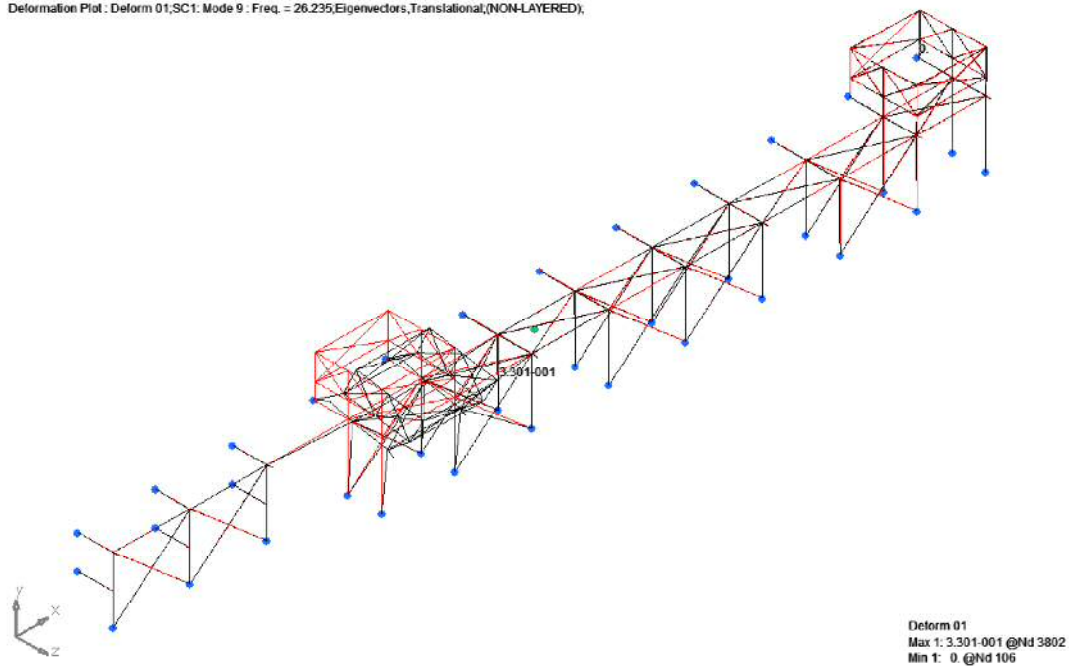
NASTRAN 8次モード

Deformation Plot : Deform 01,SC1, Mode 8 : Freq. = 22.811,Eigenvalues,Translational,(NON-LAYERED);



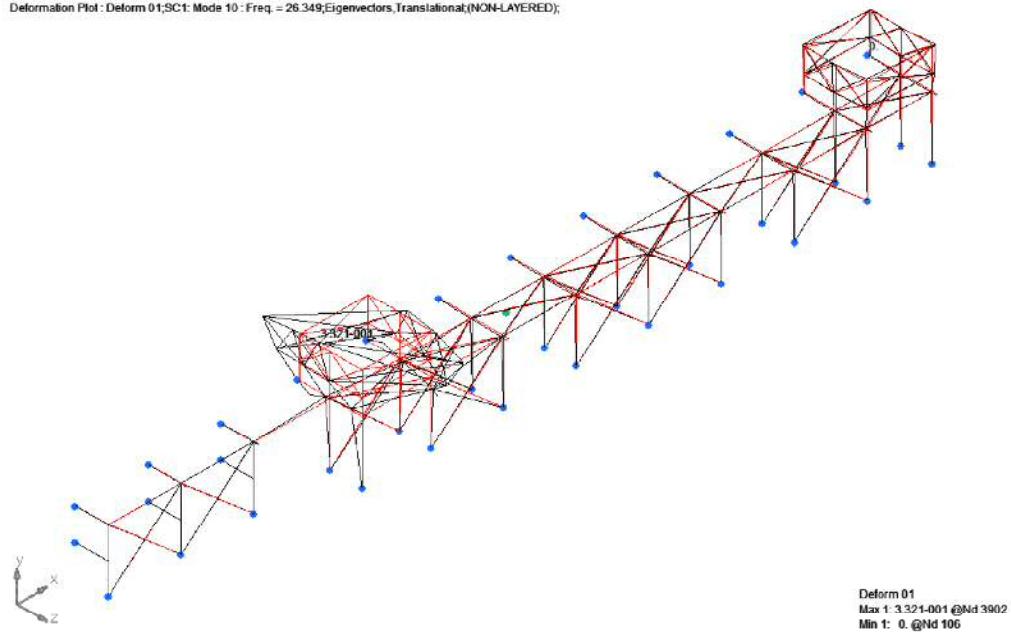
NASTRAN 9次モード

Deformation Plot : Deform 01; SC1: Mode 9 : Freq. = 26.235; Eigenvectors, Translational; (NON-LAYERED);



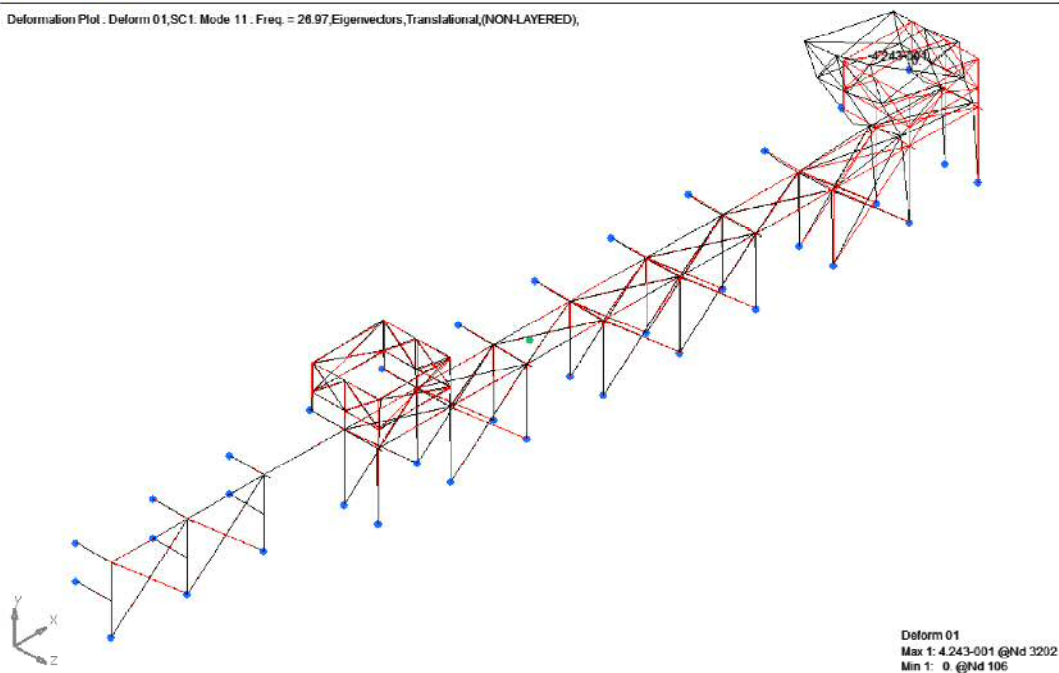
NASTRAN 10次モード

Deformation Plot : Deform 01; SC1: Mode 10 : Freq. = 26.349; Eigenvectors, Translational; (NON-LAYERED);



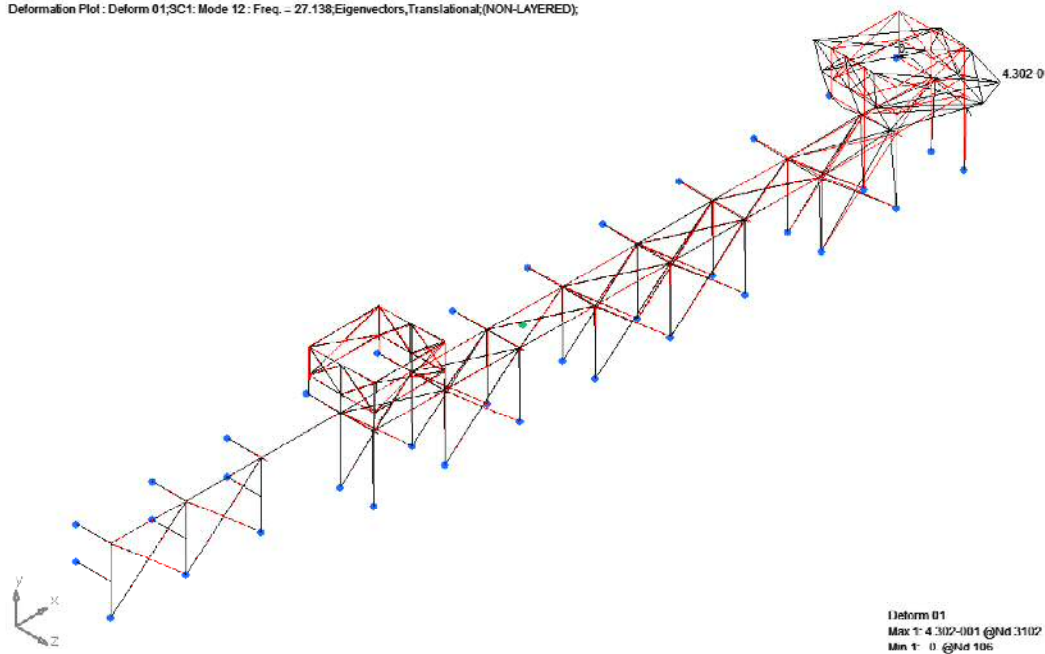
NASTRAN 11次モード

Deformation Plot : Deform 01,SC1: Mode 11 : Freq. = 26.97,Eigenvectors,Translational,(NON-LAYERED),



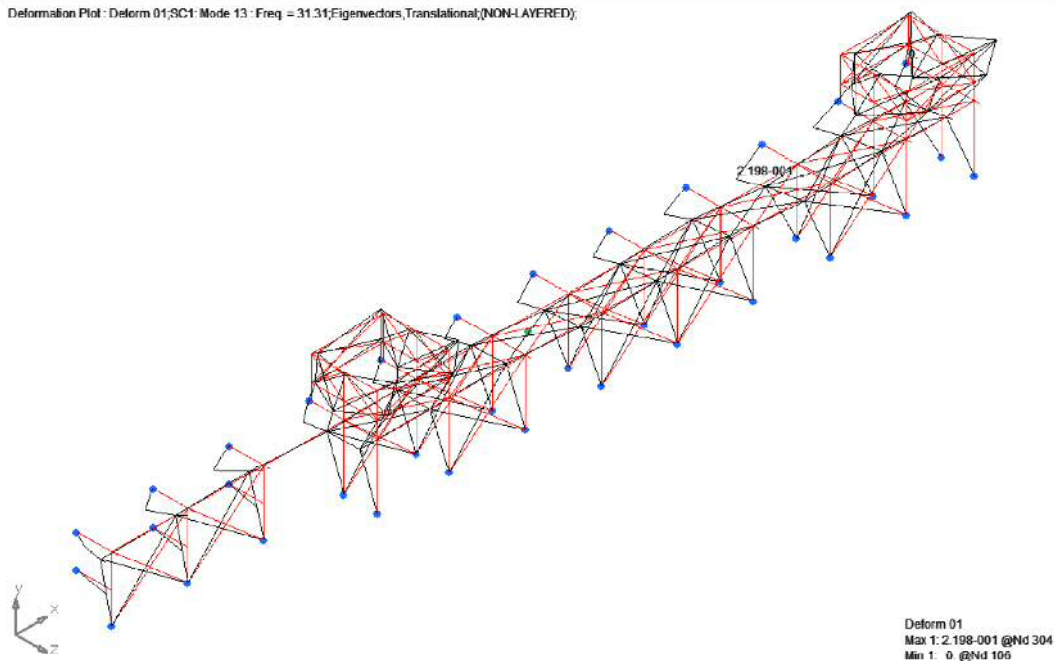
NASTRAN 12次モード

Deformation Plot : Deform 01,SC1: Mode 12 : Freq. = 27.138,Eigenvectors,Translational,(NON-LAYERED);



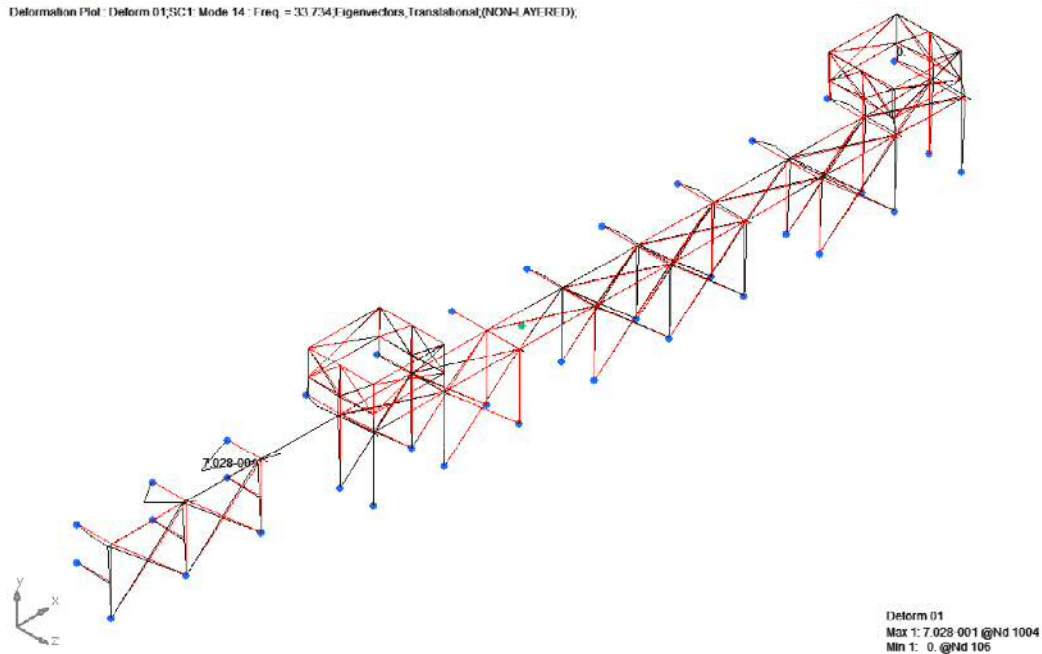
NASTRAN 13次モード

Deformation Plot : Deform 01;SC1 Mode 13 : Freq = 31.31;Eigenvectors,Translational;(NON-LAYERED);



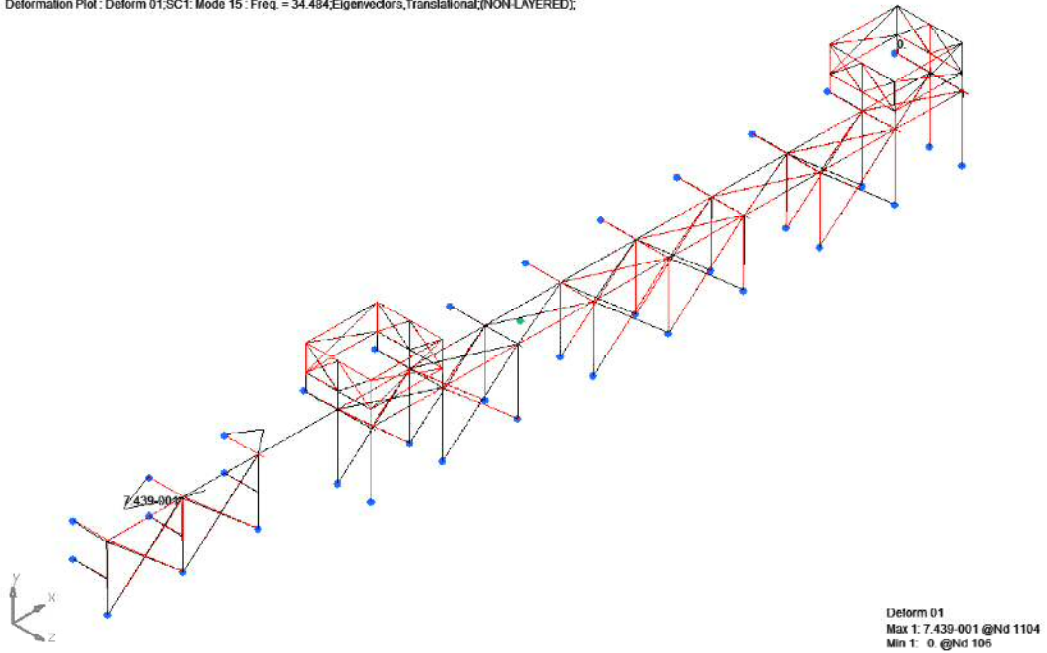
NASTRAN 14次モード

Deformation Plot : Deform 01;SC1 Mode 14 : Freq = 33.734;Eigenvectors,Translational;(NON-LAYERED);



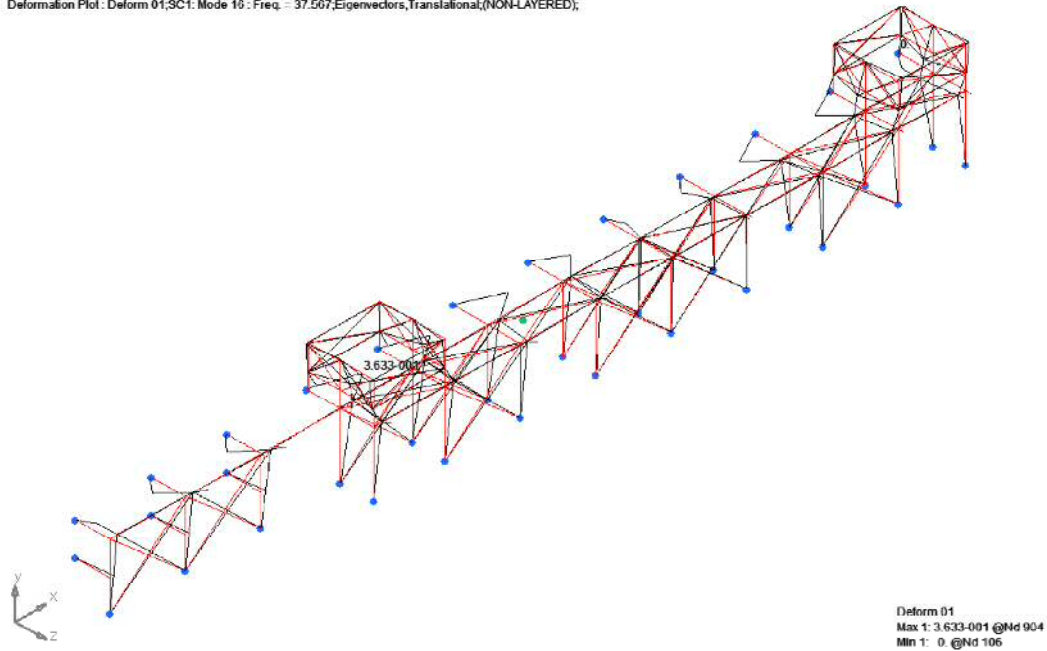
NASTRAN 15次モード

Deformation Plot : Deform 01;SC1: Mode 15 : Freq. = 34.484;Eigenvectors,Translational,(NON-LAYERED);



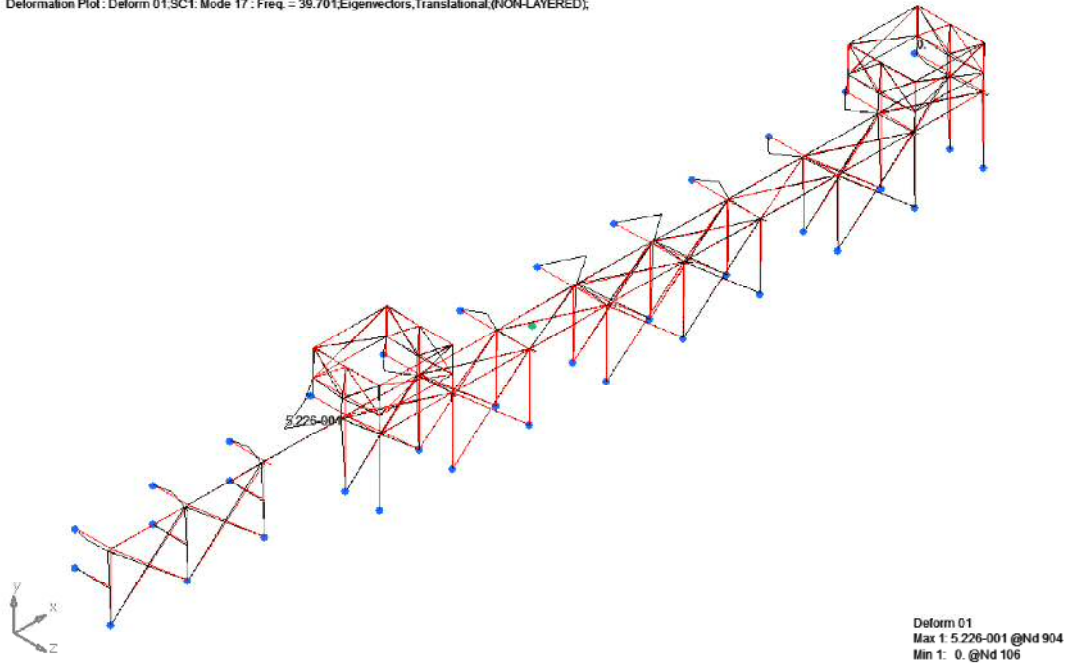
NASTRAN 16次モード

Deformation Plot : Deform 01;SC1: Mode 16 : Freq. = 37.567;Eigenvectors,Translational,(NON-LAYERED);



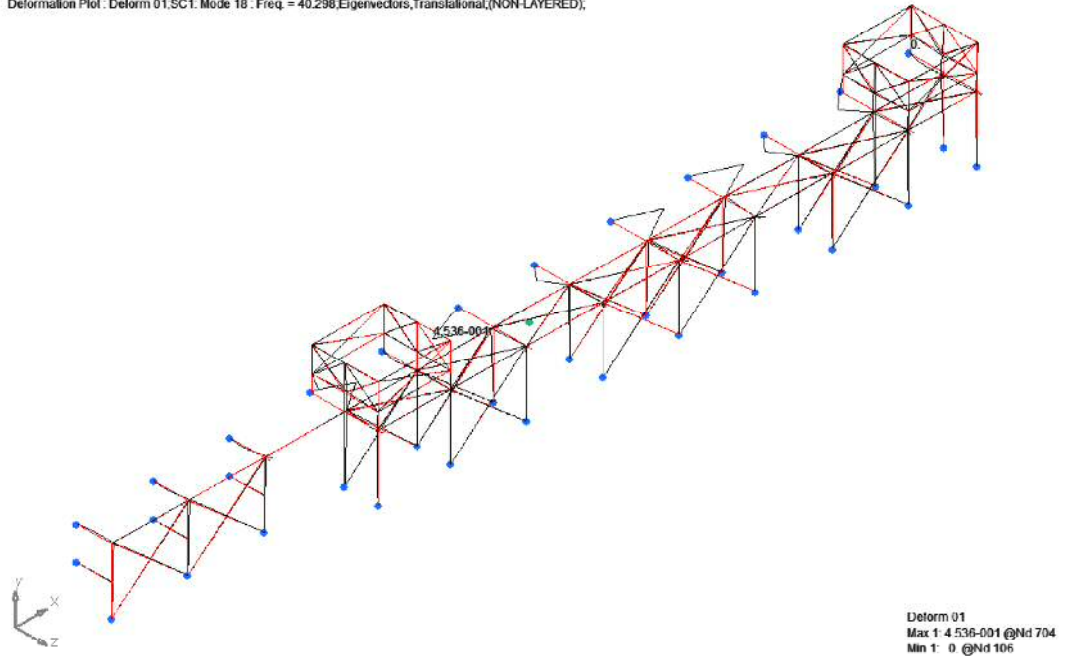
NASTRAN 17次モード

Deformation Plot : Deform 01,SC1, Mode 17 : Freq. = 39.701,Eigenvalues,Translational,(NON-LAYERED);



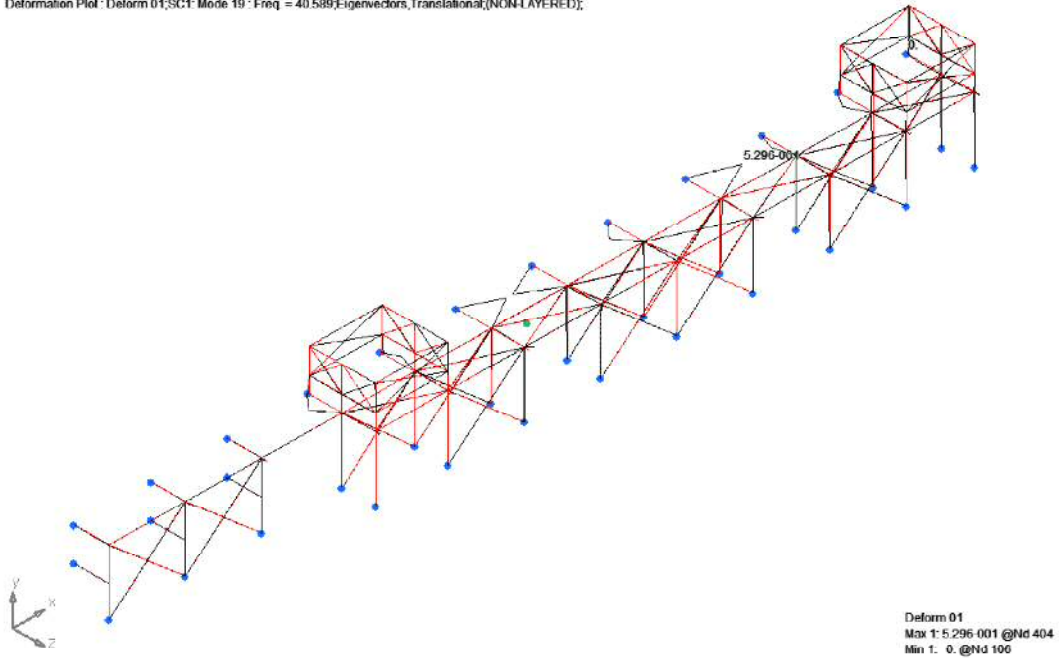
NASTRAN 18次モード

Deformation Plot : Deform 01,SC1, Mode 18 : Freq. = 40.298,Eigenvalues,Translational,(NON-LAYERED);



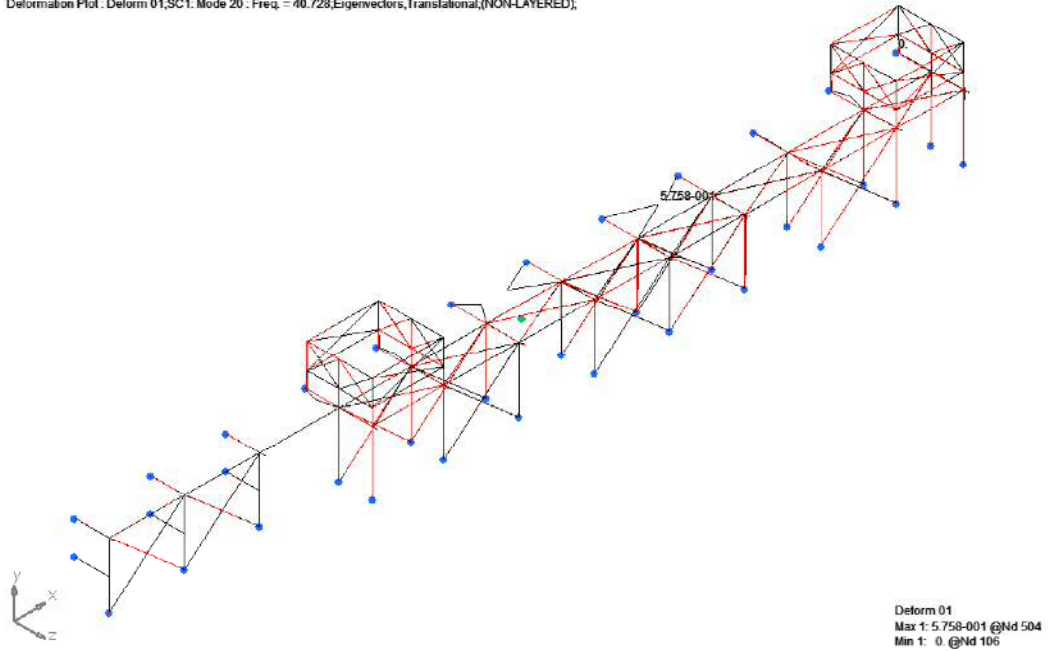
NASTRAN 19次モード

Deformation Plot : Deform 01;SC1: Mode 19 : Freq = 40.589;Eigenvectors,Translational;(NON-LAYERED);



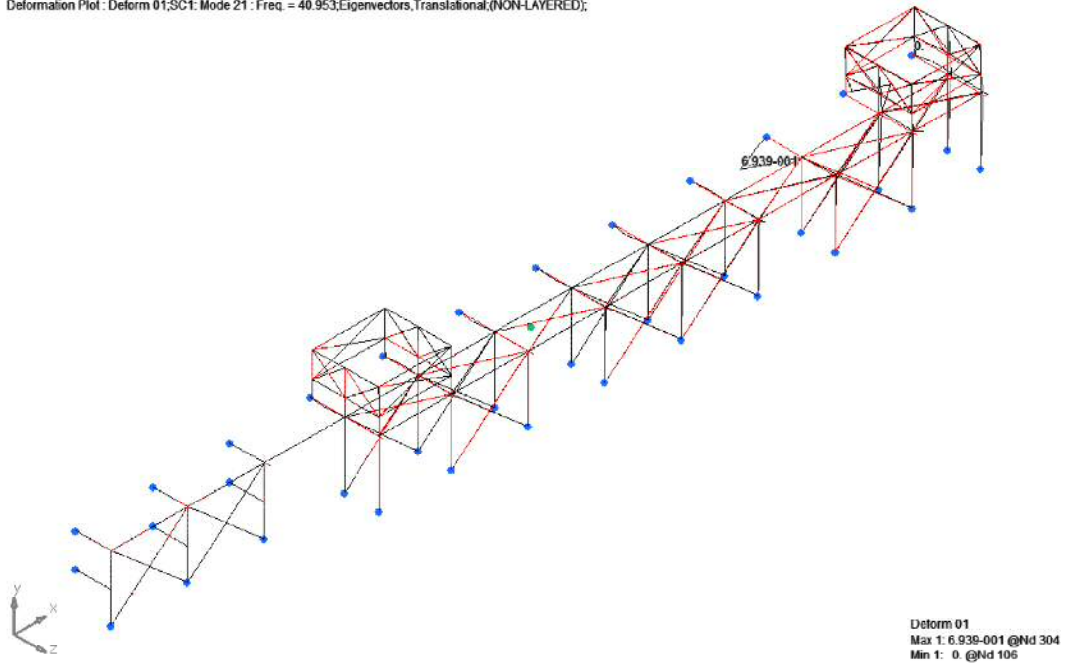
NASTRAN 20次モード

Deformation Plot : Deform 01;SC1: Mode 20 : Freq = 40.728;Eigenvectors,Translational;(NON-LAYERED);



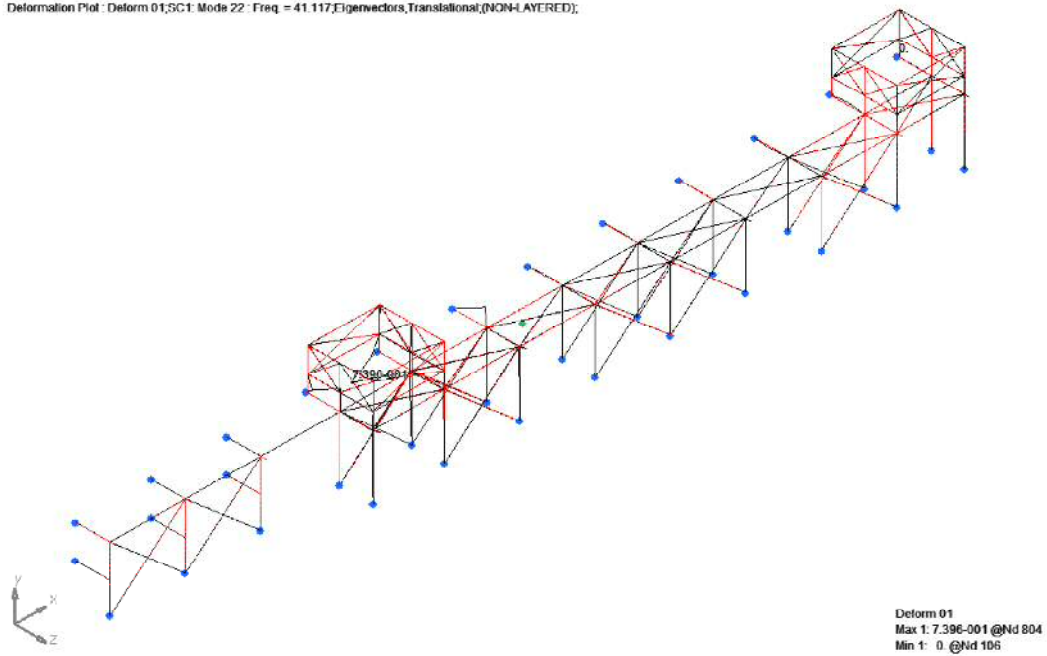
NASTRAN 21次モード

Deformation Plot : Deform 01;SC1: Mode 21 : Freq. = 40.953;Eigenvectors,Translational;(NON-LAYERED);



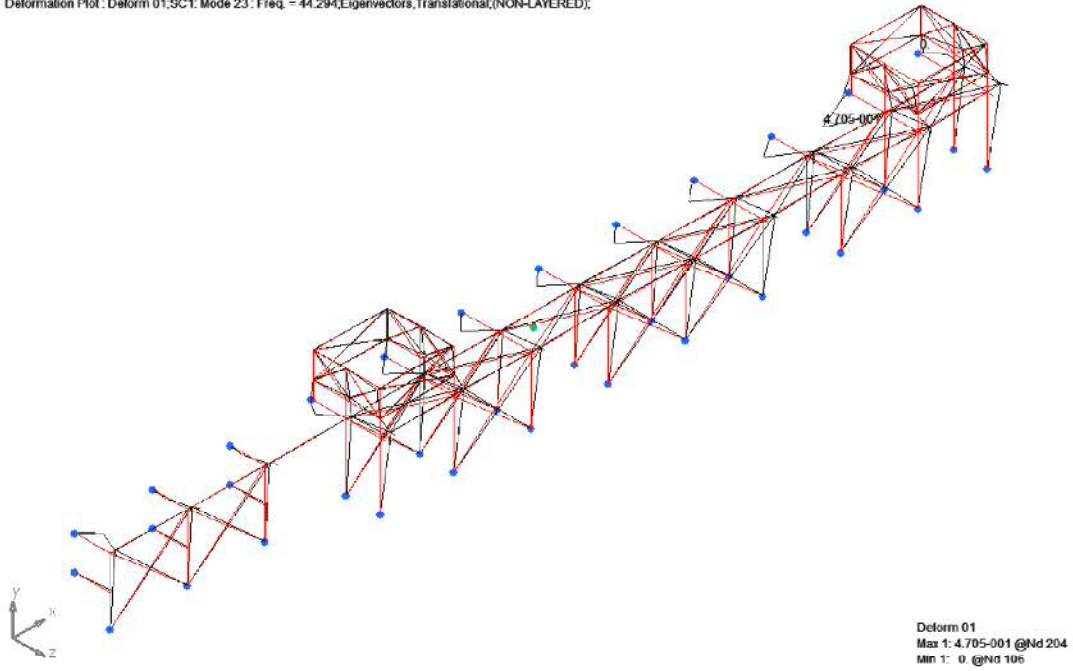
NASTRAN 22次モード

Deformation Plot : Deform 01;SC1: Mode 22 : Freq. = 41.117;Eigenvectors,Translational;(NON-LAYERED);



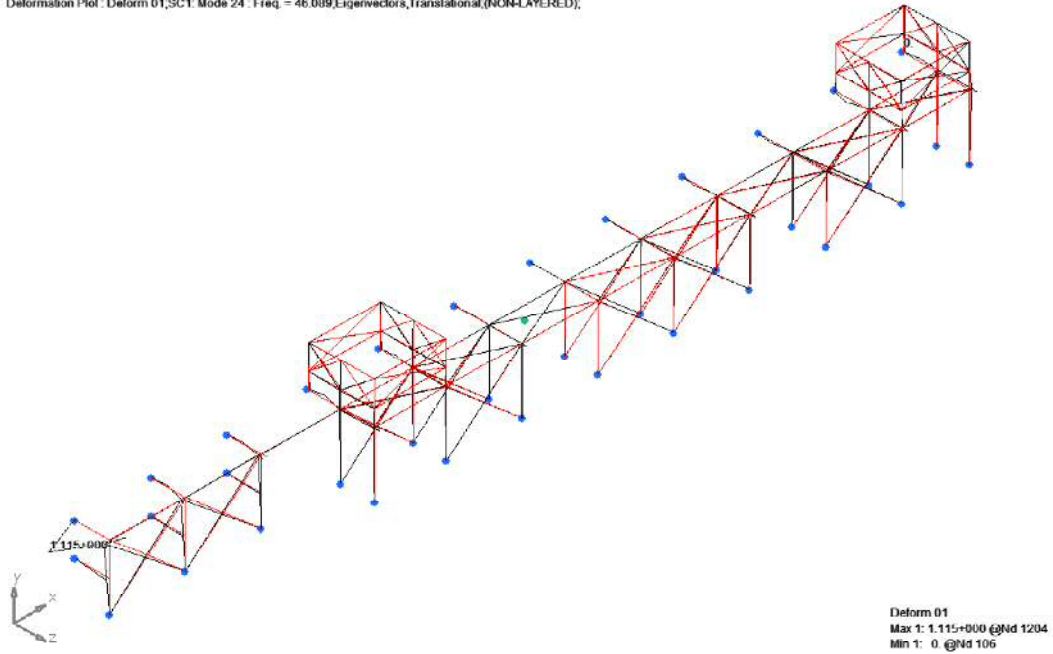
NASTRAN 23次モード

Deformation Plot : Deform 01,SC1: Mode 23 : Freq. = 44.294,Eigenvalues,Translational,(NON-LAYERED);



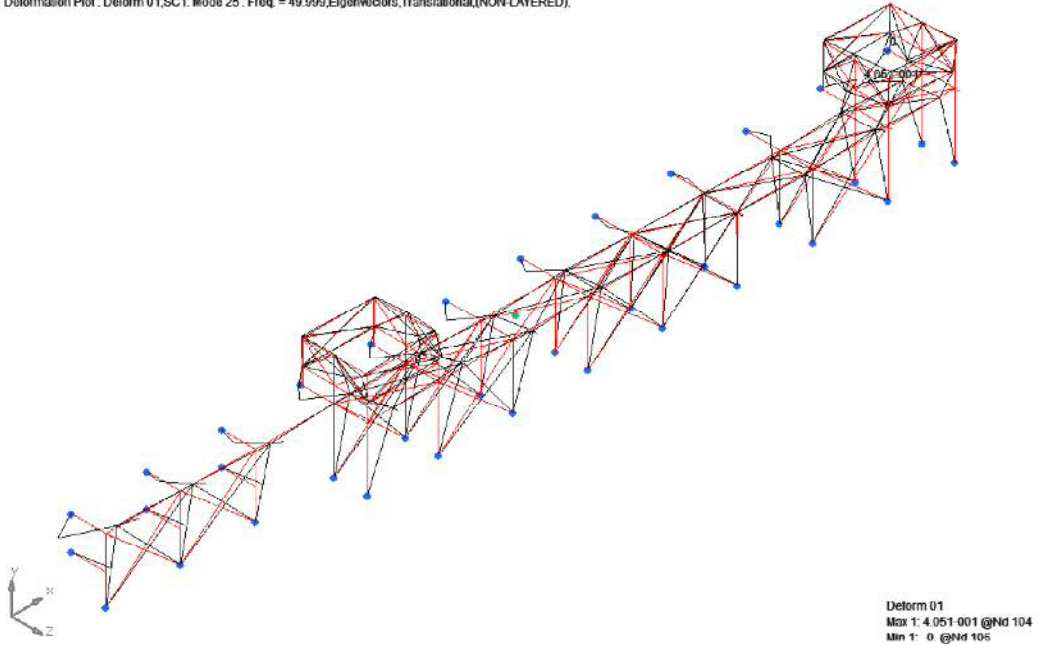
NASTRAN 24次モード

Deformation Plot : Deform 01,SC1: Mode 24 : Freq. = 46.089,Eigenvalues,Translational,(NON-LAYERED);



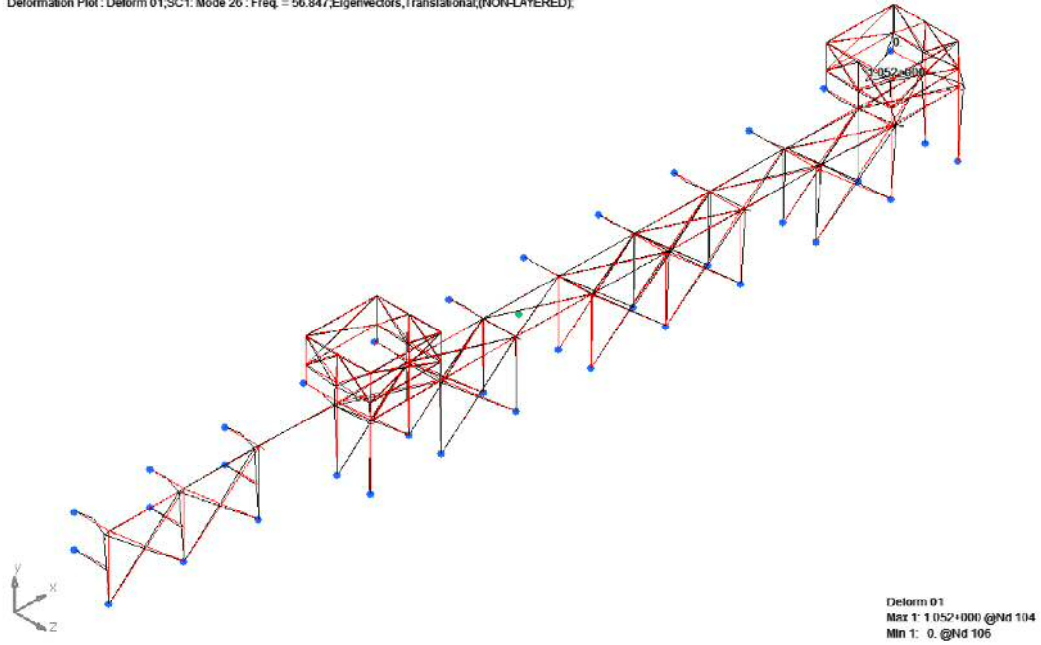
NASTRAN 25次モード

Deformation Plot : Deform 01,SC1: Mode 25 : Freq. = 49.999,Eigenvalues,Translational,(NON-LAYERED);



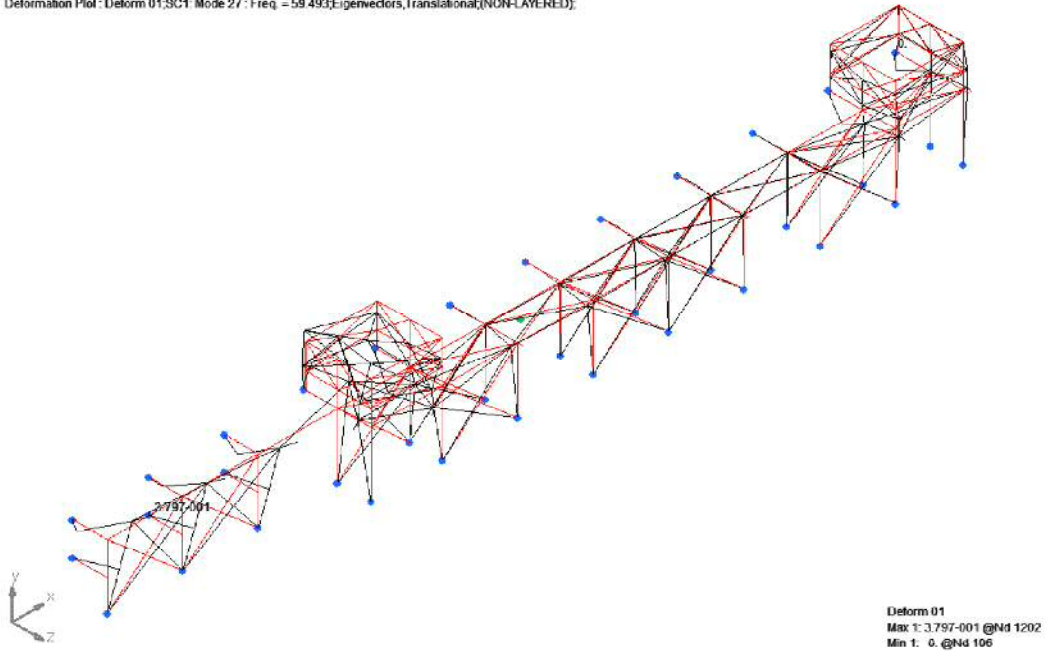
NASTRAN 26次モード

Deformation Plot : Deform 01,SC1: Mode 26 : Freq. = 56.847,Eigenvalues,Translational,(NON-LAYERED);



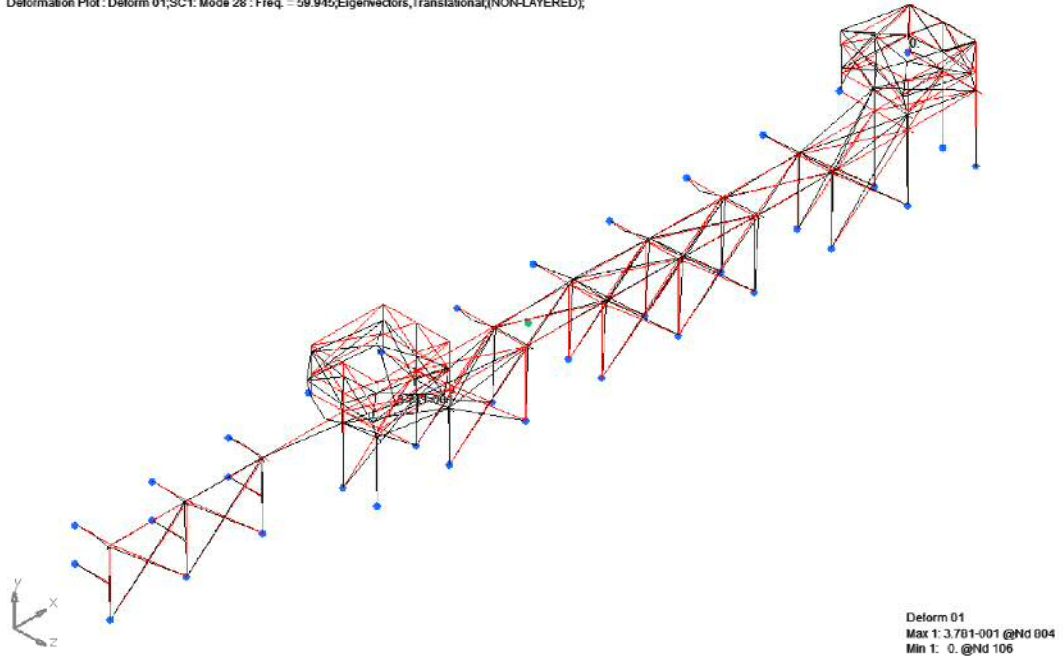
NASTRAN 27次モード

Deformation Plot : Deform 01;SC1: Mode 27 : Freq. = 59.493;Eigenvectors,Translational;(NON-LAYERED);



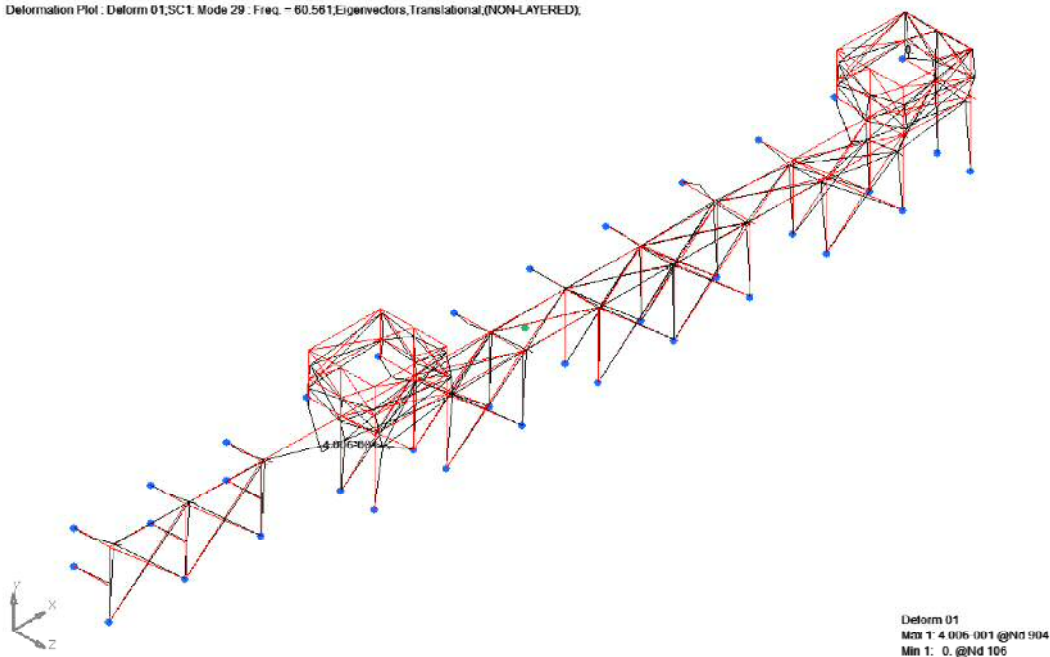
NASTRAN 28次モード

Deformation Plot : Deform 01;SC1: Mode 28 : Freq. = 59.945;Eigenvectors,Translational;(NON-LAYERED);



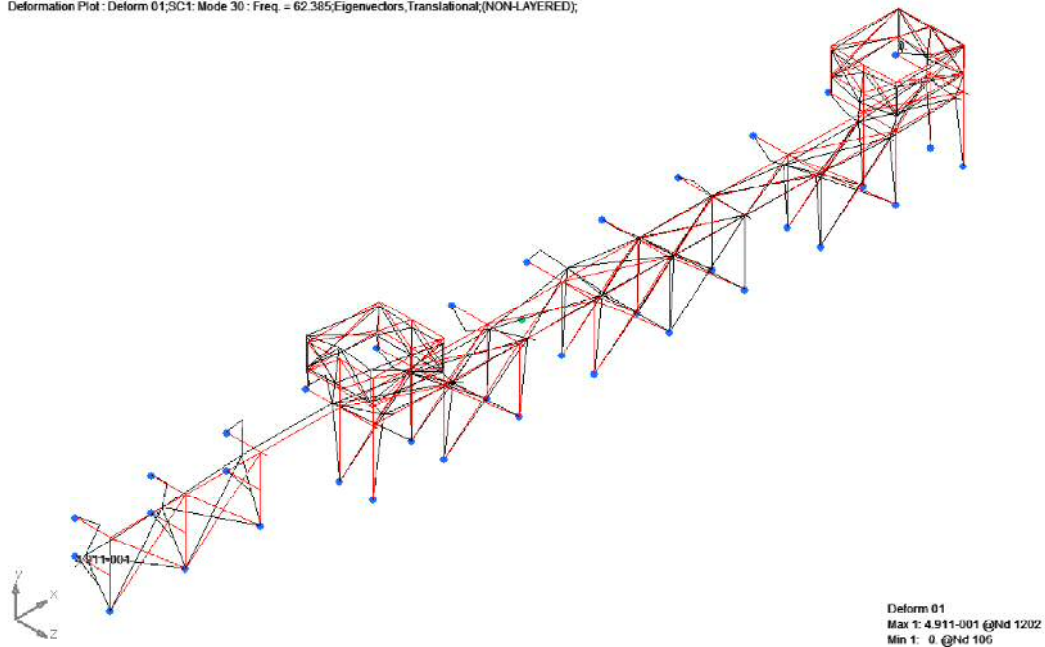
NASTRAN 29次モード

Deformation Plot : Deform 01,SC1: Mode 29 : Freq. = 60.561,Eigenvalues,Translational,(NON-LAYERED);



NASTRAN 30次モード

Deformation Plot : Deform 01,SC1: Mode 30 : Freq. = 62.385,Eigenvalues,Translational,(NON-LAYERED);



参考 1 海水ポンプエリア防護対策施設の上部に設置される
構造物の影響について

1. 概要

添付書類「V-2-11-2-11 海水ポンプエリア防護対策施設の耐震性についての計算書」において、海水ポンプエリア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している。本書は、海水ポンプエリア防護対策施設の上部に設置される構造物（以下「上載構造物」という。）が地震力により転倒した場合であっても、上載構造物の持つ運動エネルギーが設計飛来物の持つ運動エネルギーよりも小さいことを確認することで、防護対策施設に与える影響は設計飛来物に包絡されることを確認するものである。

2. 配置及び構造

海水ポンプエリア防護対策施設の上部に設置される上載構造物の配置と構造を、図 2-1 に示す。

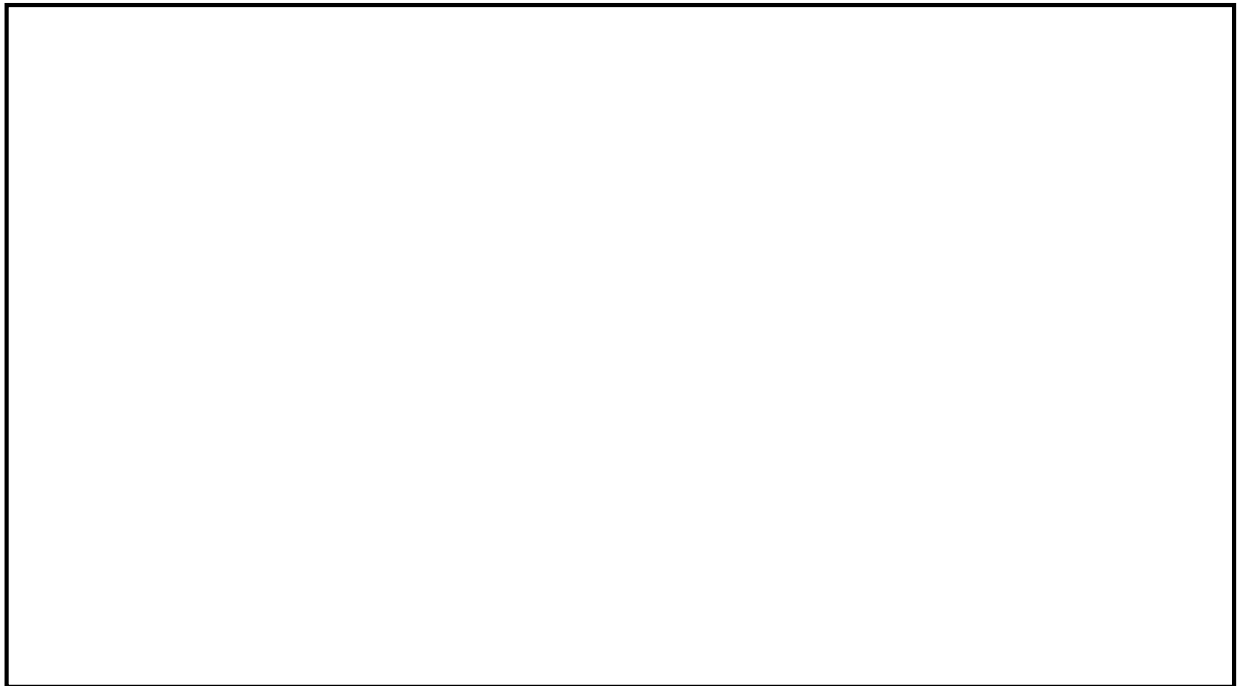


図 2-1 上載構造物の配置及び構造 (1/2)

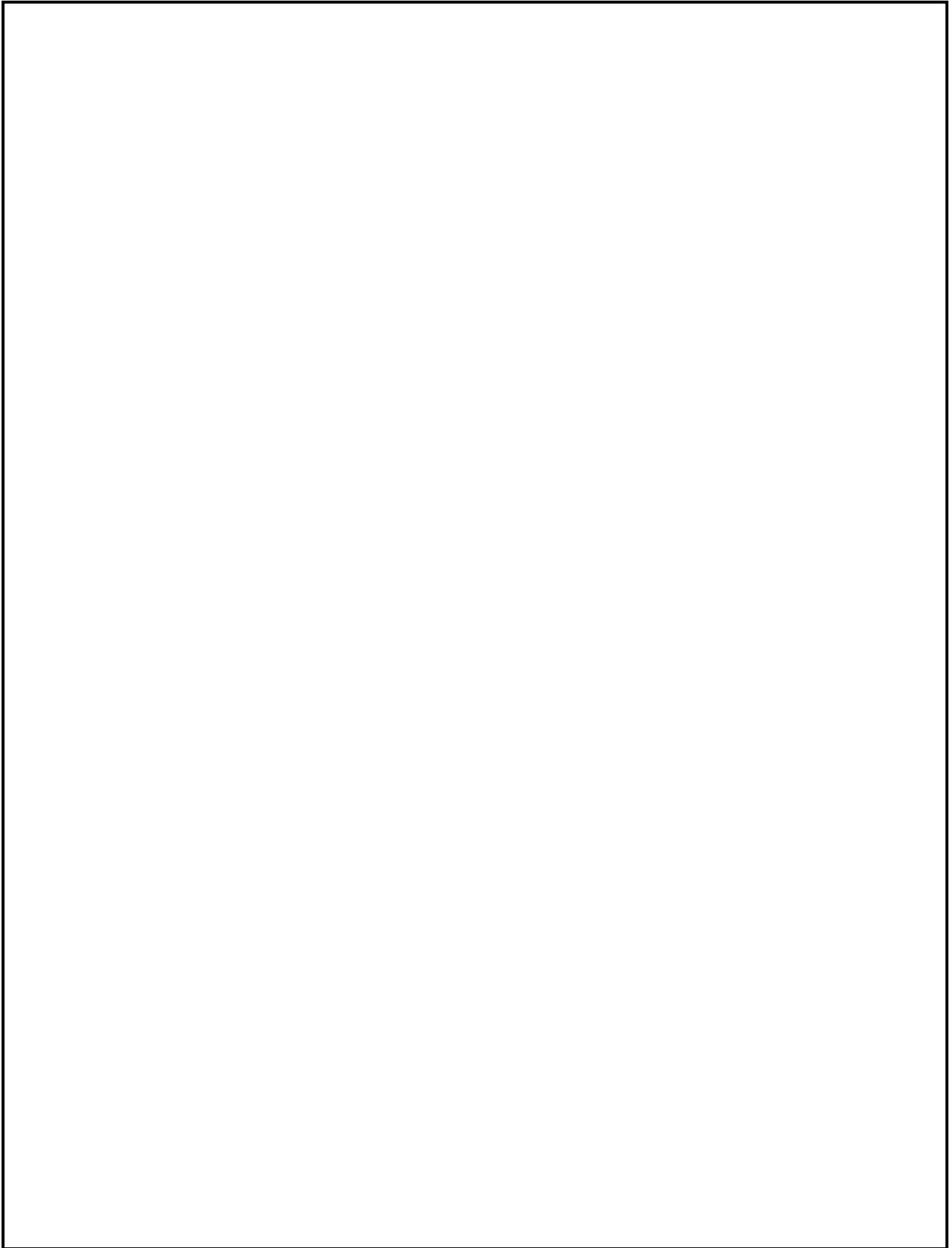


図 2-1 上載構造物の配置及び構造 (2/2)

3. 評価

3.1 評価モデル

評価は、図 3-1 及び図 3-2 に示すモデルで実施した。

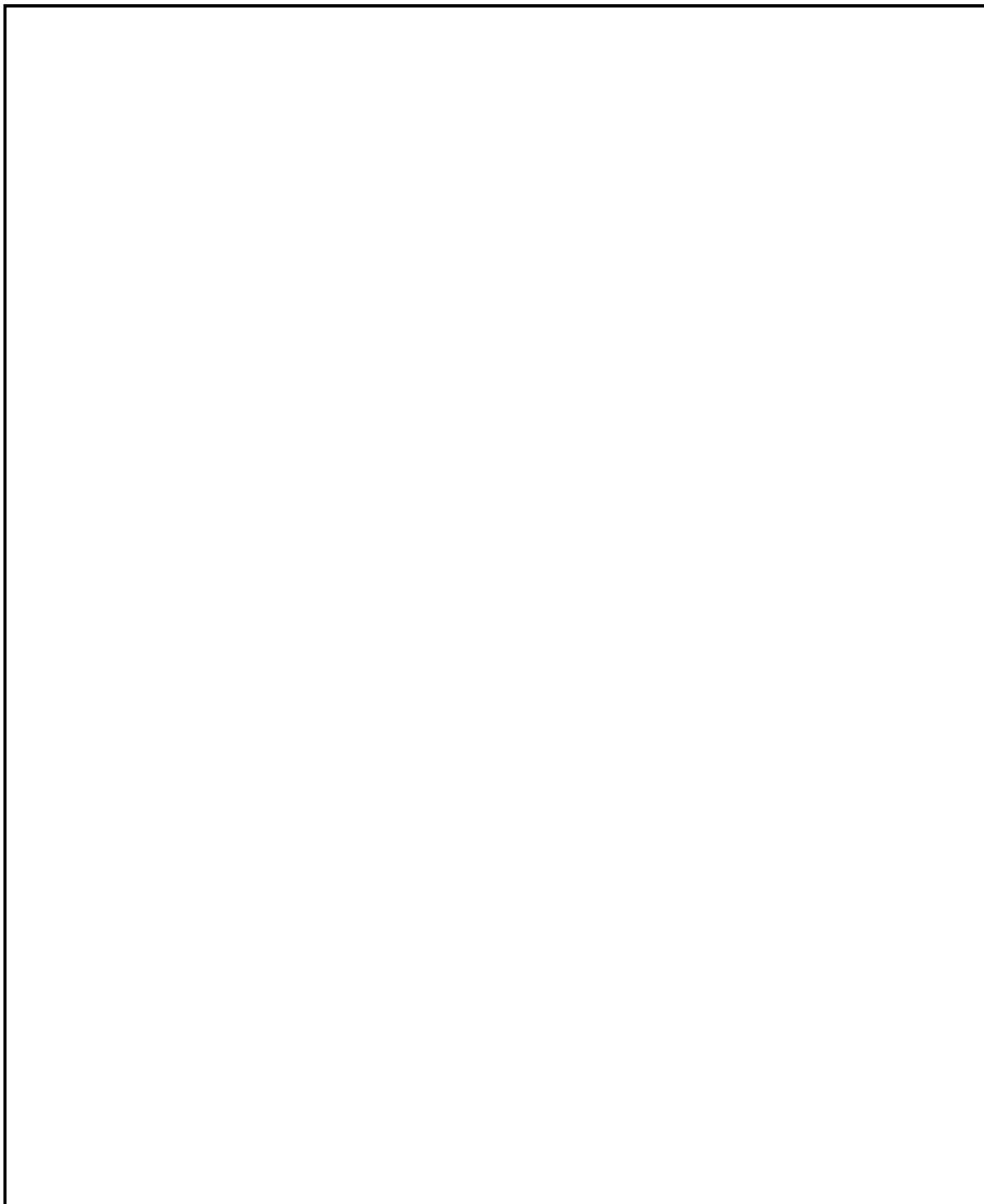


図 3-1 上載構造物の評価モデル

3.2 評価対象部材の自重

上載構造物の自重を，表 3-1 に示す。

表 3-1 上載構造物の自重

部材	自重	備考
鋼材 (上載構造物 A)	44.4kN	
鋼材 (上載構造物 B)	29.0kN	
ネット (上載構造物 A)	0.27kN	
ネット (上載構造物 B)	0.15kN	

3.3 上載構造物の運動エネルギーの算出

(1) 上載構造物 A の運動エネルギー

エネルギー保存則より，上載構造物 A が転倒前に持つ位置エネルギーと，竜巻防護対策施設衝突時に持つ運動エネルギーは同一である。したがって，上載構造物 A の運動エネルギーは以下のとおり。

$$E = mgh = \boxed{}$$

(2) 上載構造物 B の運動エネルギー

エネルギー保存則より，上載構造物 B が転倒前に持つ位置エネルギーと，竜巻防護対策施設衝突時に持つ運動エネルギーは同一である。したがって，上載構造物 B の運動エネルギーは以下のとおり。

$$E = mgh = \boxed{}$$

3.4 設計飛来物の運動エネルギー

設計飛来物の運動エネルギーは以下のとおり。

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 135 \times 34^2 = 78 \text{ kJ}$$

4. まとめ

3.3 項及び 3.4 項より，上載構造物が転倒した場合であっても，上載構造物の持つ運動エネルギーが設計飛来物のもつ運動エネルギーよりも小さいことが確認できたため，竜巻防護対策施設に与える影響は設計飛来物に包絡されるといえる。

以 上