

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密あるいは防護上の観点
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1
提出年月日	平成30年8月1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8月

日本原子力発電株式会社

補足説明資料目次

1. 海水ポンプエリア竜巻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
2. RCスラブの強度計算モデルの設定について
3. 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設(エリア⑧)における最大応力比発生箇所について
4. 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設(エリア⑧)の固有値解析結果について
5. フレームモデルの固有値解析モデルの境界条件について
6. 海水ポンプ室壁面への付加質量の影響について
7. 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の耐震性評価に適用する床応答曲線について
8. 考慮する荷重について

1. 海水ポンプエリア竜巻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

V-2-11-2-9「海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の耐震性についての計算書」において、海水ポンプエリア竜巻防護対策施設が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している。本書は、海水ポンプエリア竜巻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、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

海水ポンプエリア竜巻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。

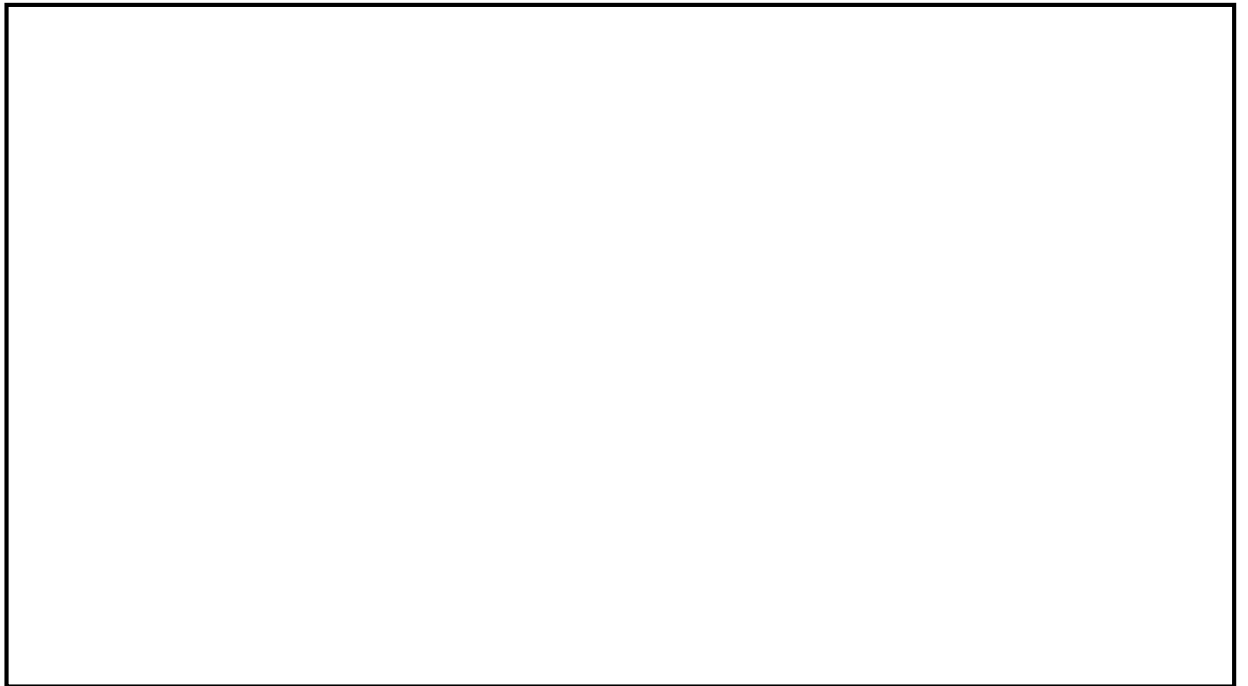


図 2-1 上載構造物の配置及び構造 (1/2)

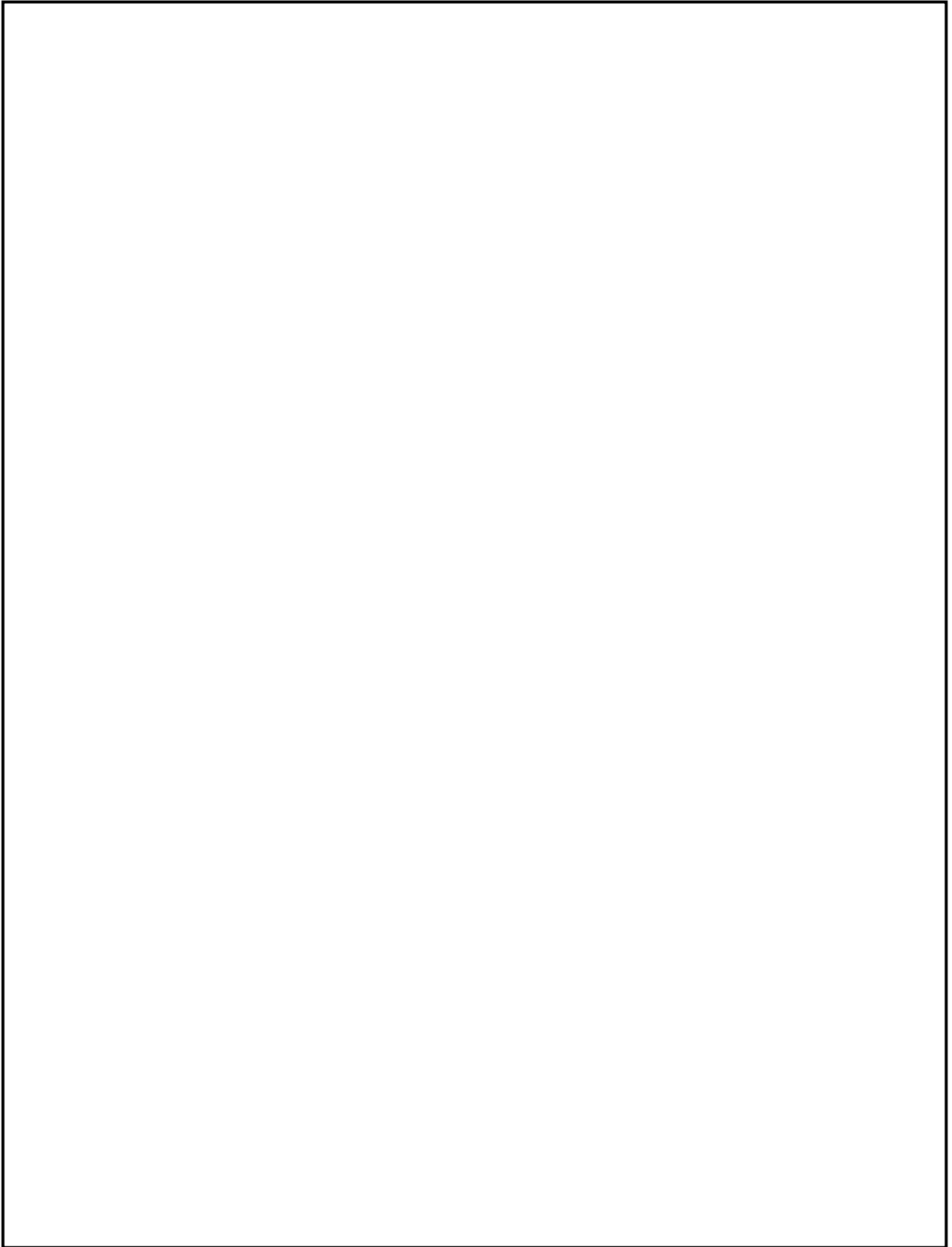


図 2-1 上載構造物の配置及び構造 (2/2)

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。

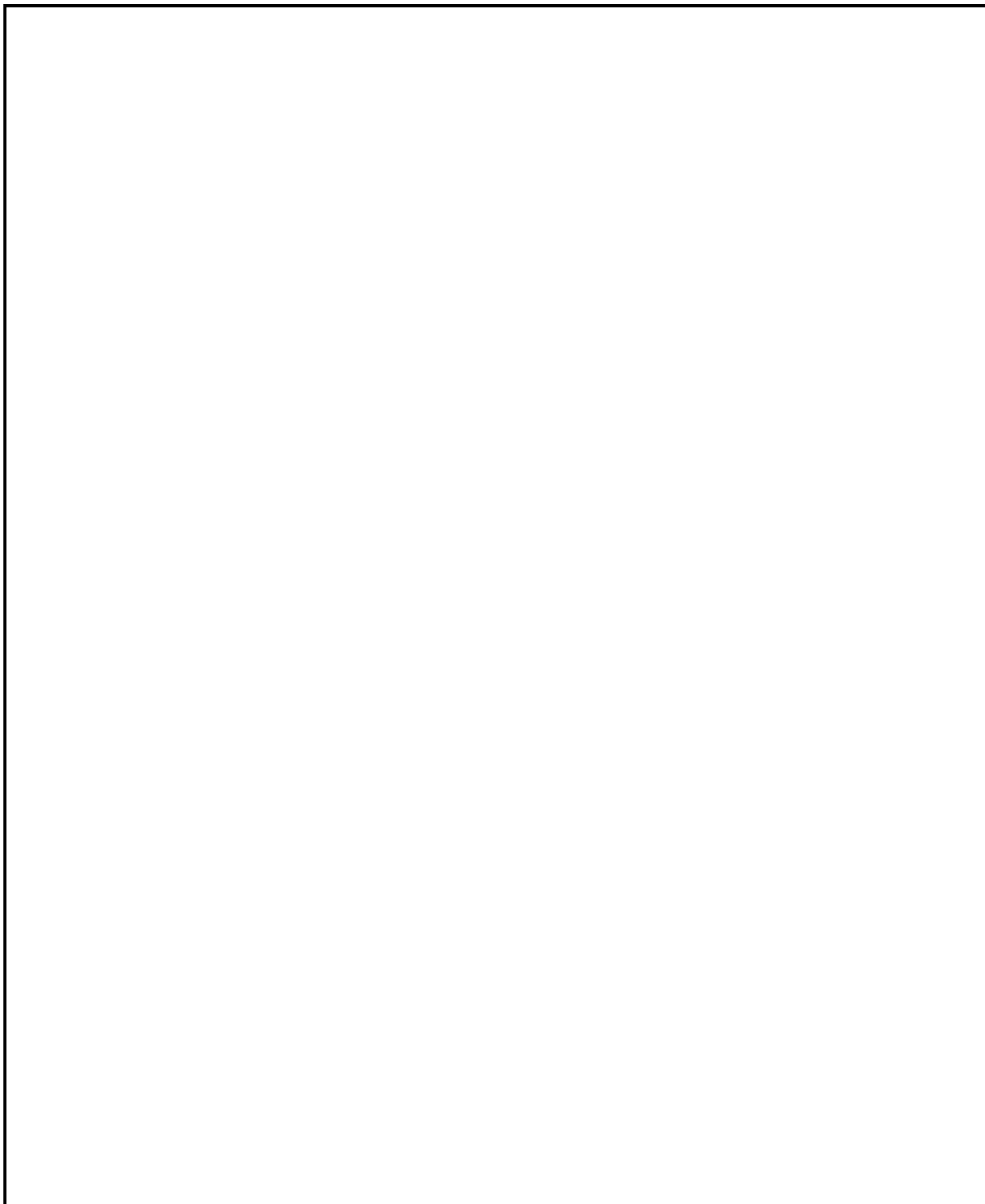


図 3-1 上載構造物の評価モデル

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)	32.4kN	
ネット (上載構造物 A)	0.27kN	
ネット (上載構造物 B)	0.19kN	

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。

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

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

2. RCスラブの強度計算モデルの設定について

1. 概要

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

海水ポンプエリア竜巻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。

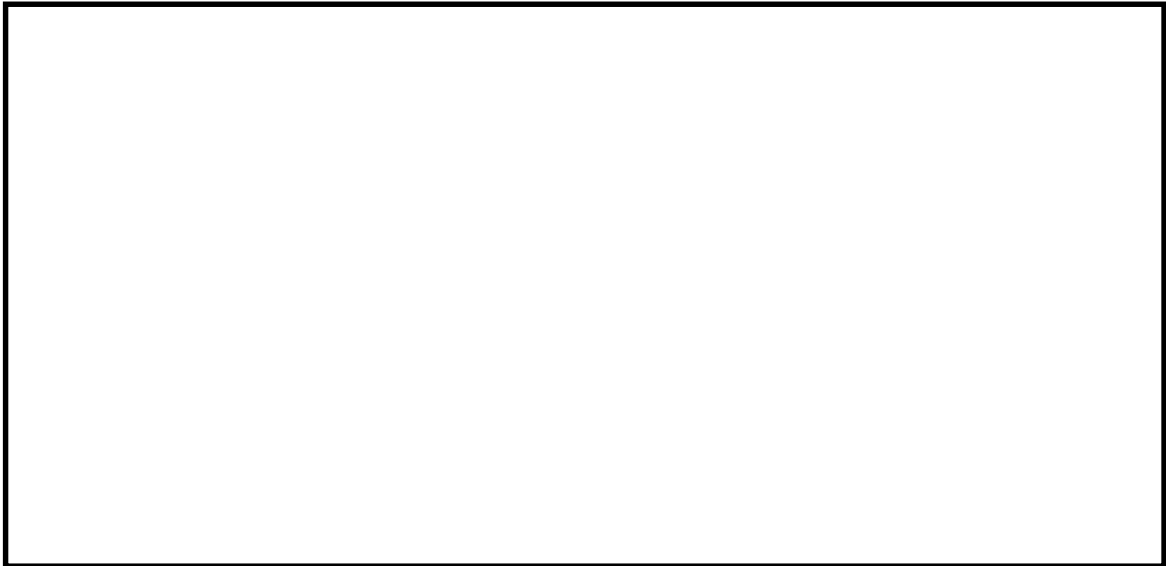


図 2-1 モデルの使い分け

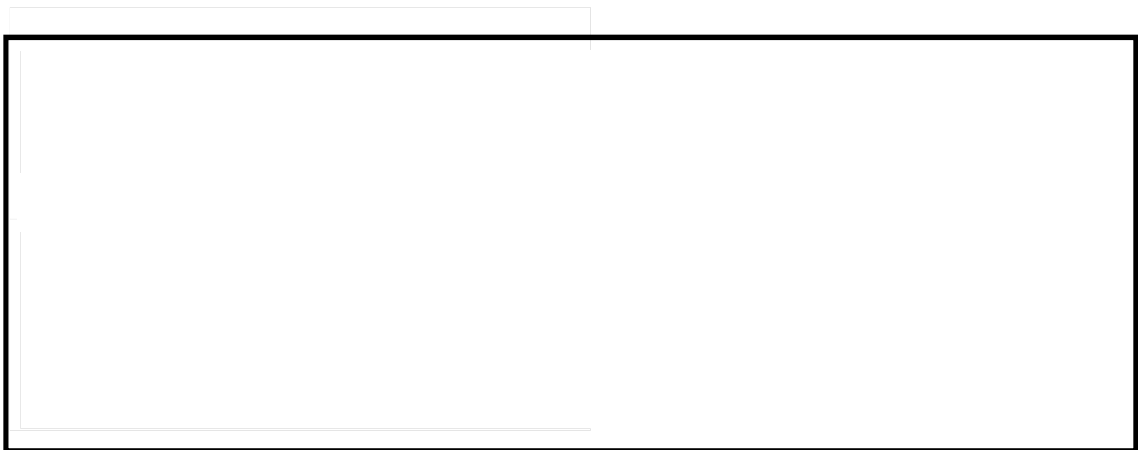


図 2-2 片持ちはりモデルの例（東側クレーン走行路嵩上げ壁：図 1 の「a」）



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。

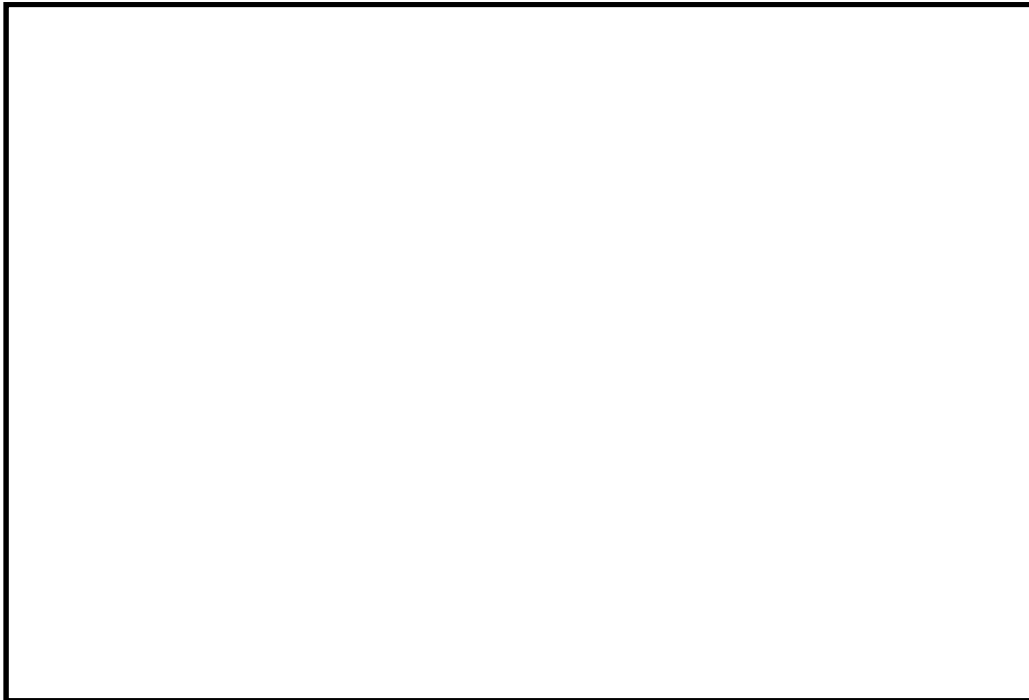


図 3-1 コンクリート標準示方書 (抜粋)

以 上

3. 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設(エリア⑧)における
最大応力比発生箇所について

1. 概要

「V-2-11-2-9 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の耐震性についての計算書」に示す海水ポンプエリア竜巻防護対策施設（エリア⑧）において、最大応力比となる箇所を明確にする。

2. 最大応力比となる箇所

海水ポンプエリア竜巻防護対策施設（エリア⑧）において、自重、積雪、風、地震による荷重を受けた際に、最大応力比となる箇所及びその応力評価結果をそれぞれ図2-1及び表2-1に示す。

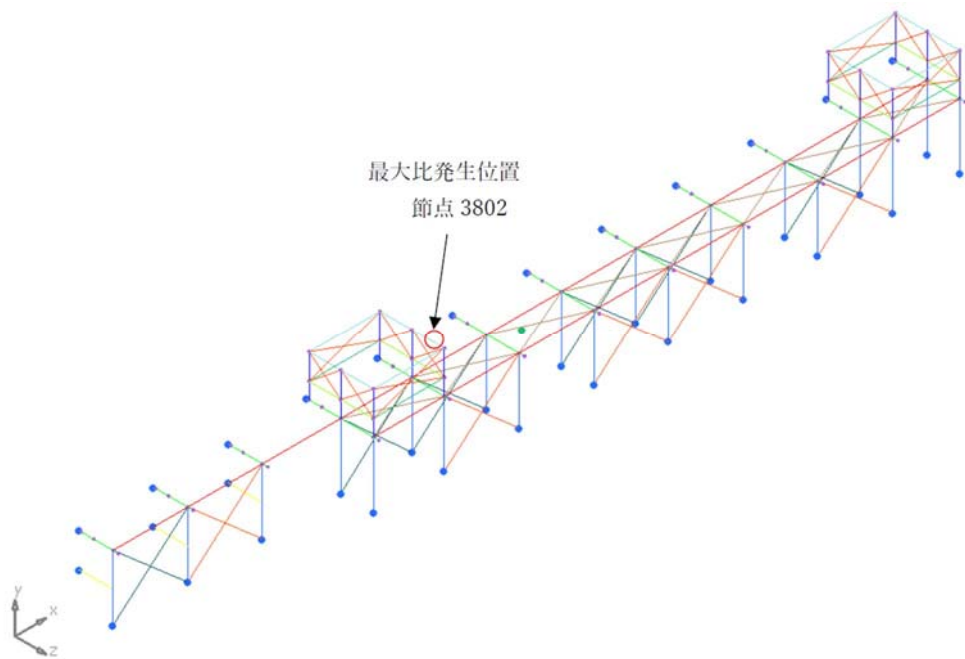


図 2-1 最大応力比発生箇所

表 2-1 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設（エリア⑧）における評価結果

節点	発生応力(組合せ) (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比
3802	154	235	0.66

以 上

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

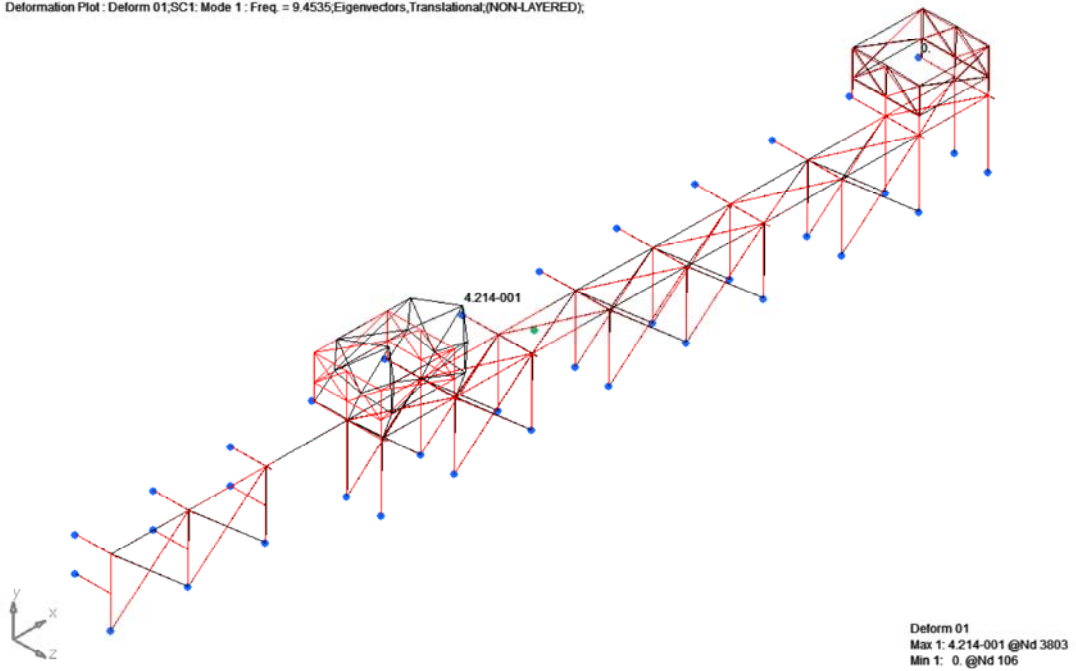
1. 概要

「V-2-11-2-9 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の耐震性についての計算書」に示す海水ポンプエリア竜巻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	固有周波数 (Hz)
1	9.454
2	9.702
3	12.241
4	12.582
5	16.846
6	17.304
7	22.254
8	22.811
9	26.235
10	26.349
11	26.970
12	27.138
13	31.310
14	33.734
15	34.484
16	37.567
17	39.701
18	40.298
19	40.589
20	40.728
21	40.953
22	41.117
23	44.294
24	46.089
25	49.999
26	56.847
27	59.493
28	59.945
29	60.561
30	62.385

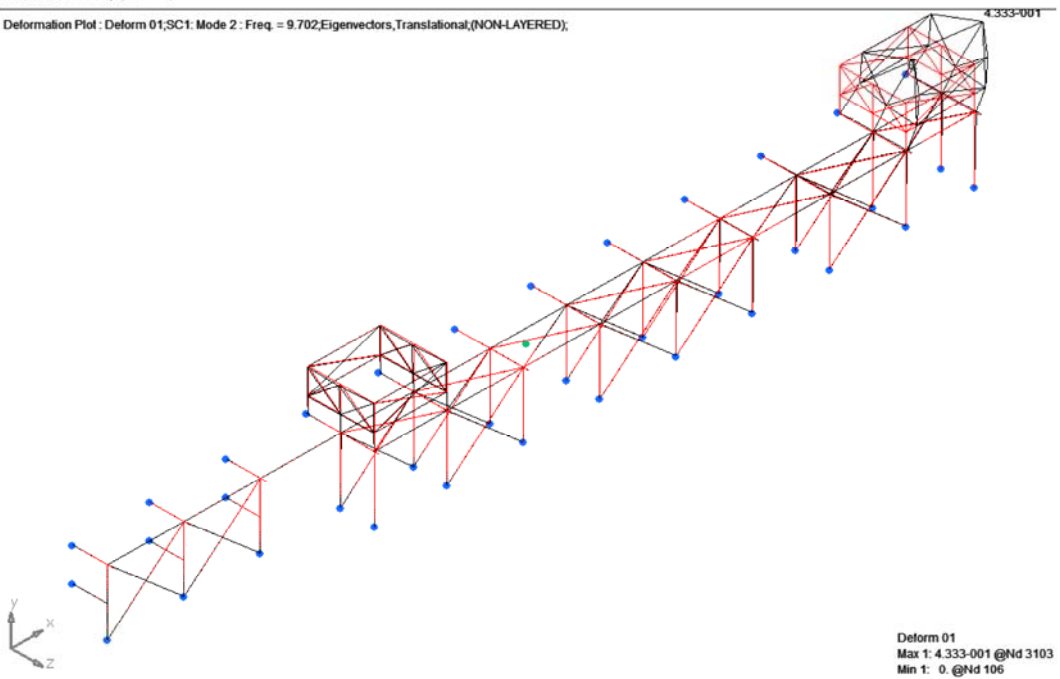
NASTRAN 1次モード

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



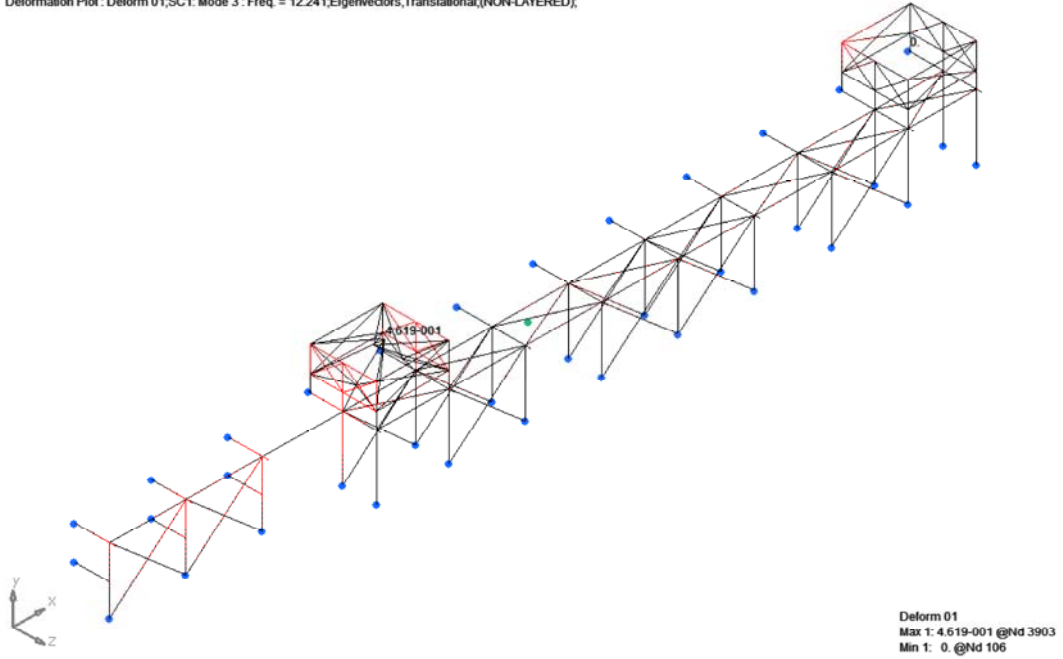
NASTRAN 2次モード

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



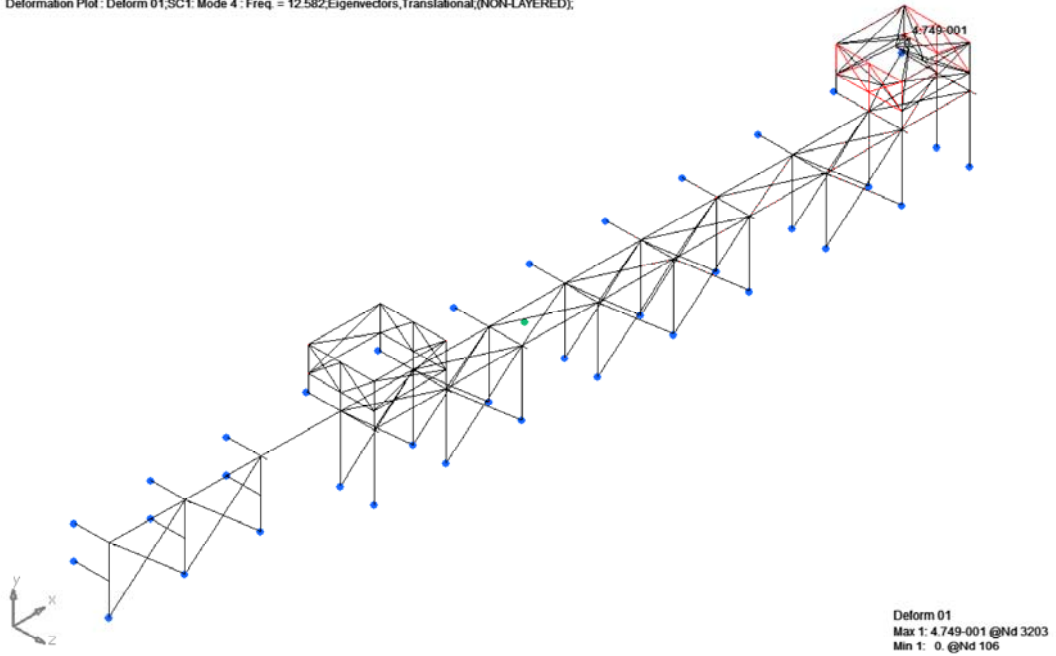
NASTRAN 3次モード

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



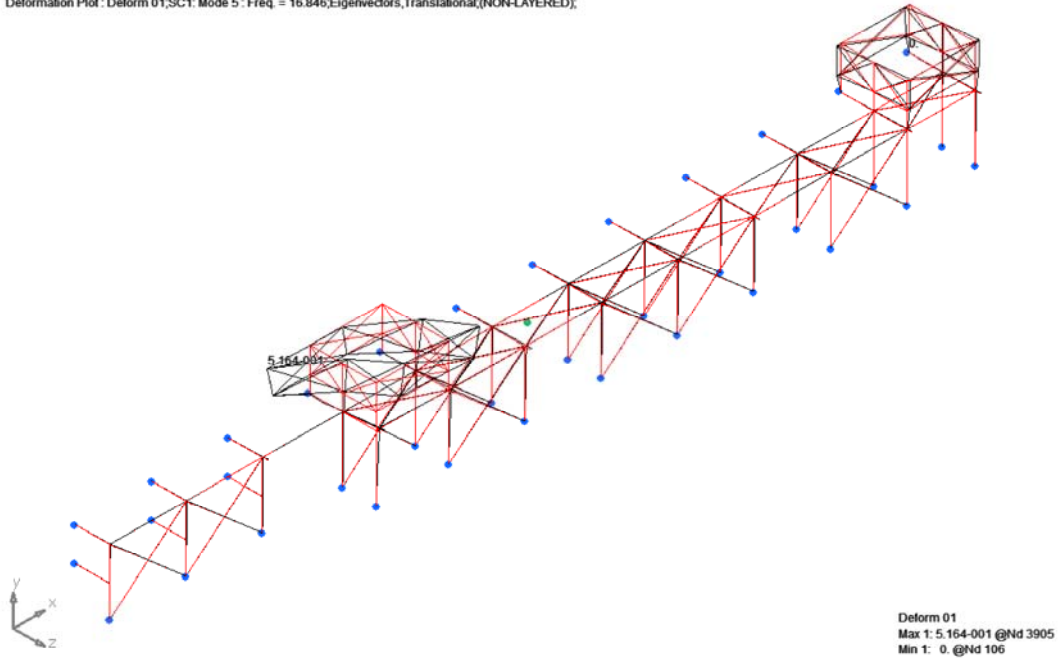
NASTRAN 4次モード

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



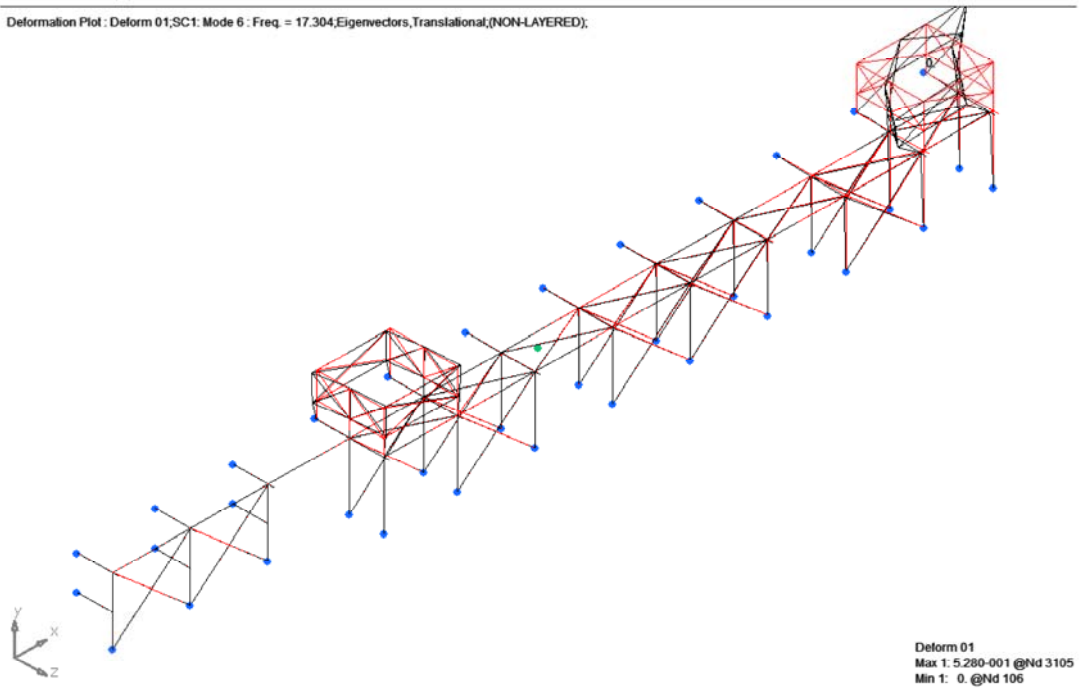
NASTRAN 5次モード

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



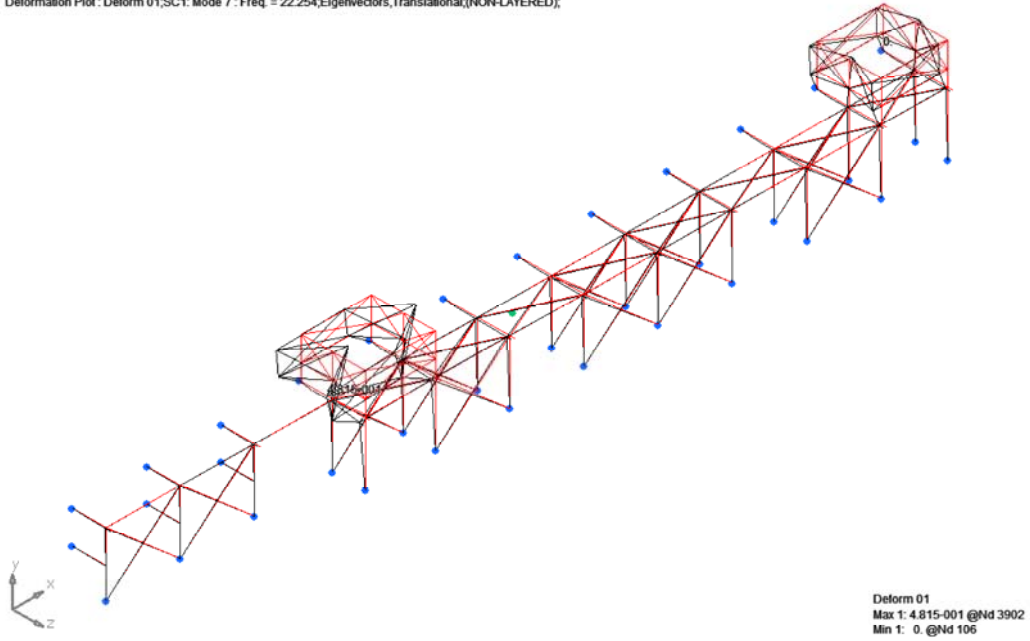
NASTRAN 6次モード

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



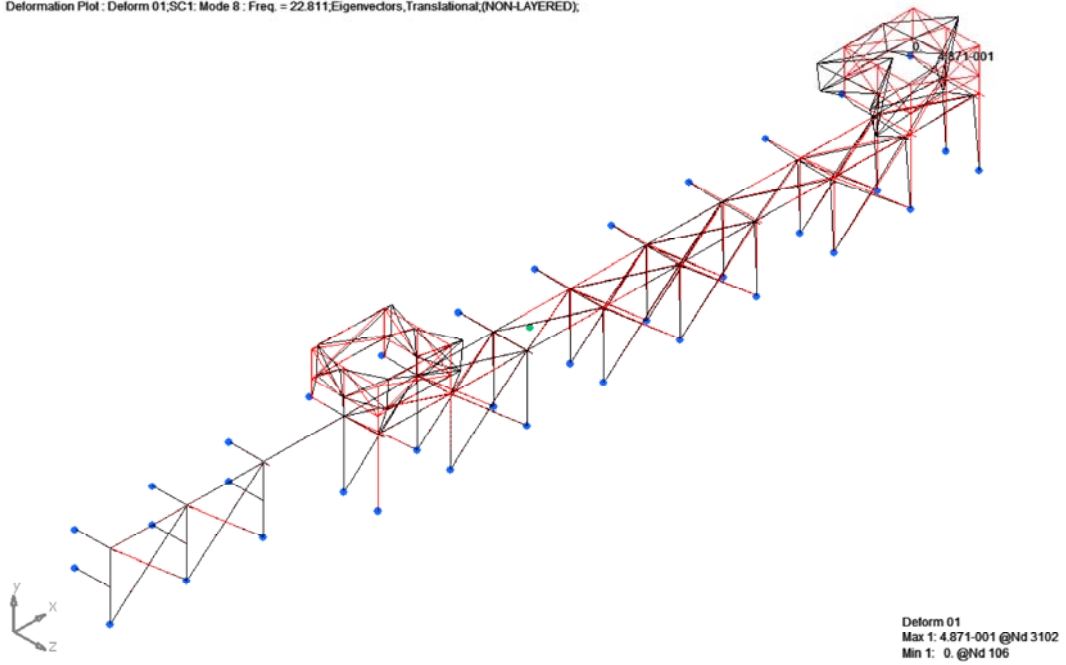
NASTRAN 7次モード

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



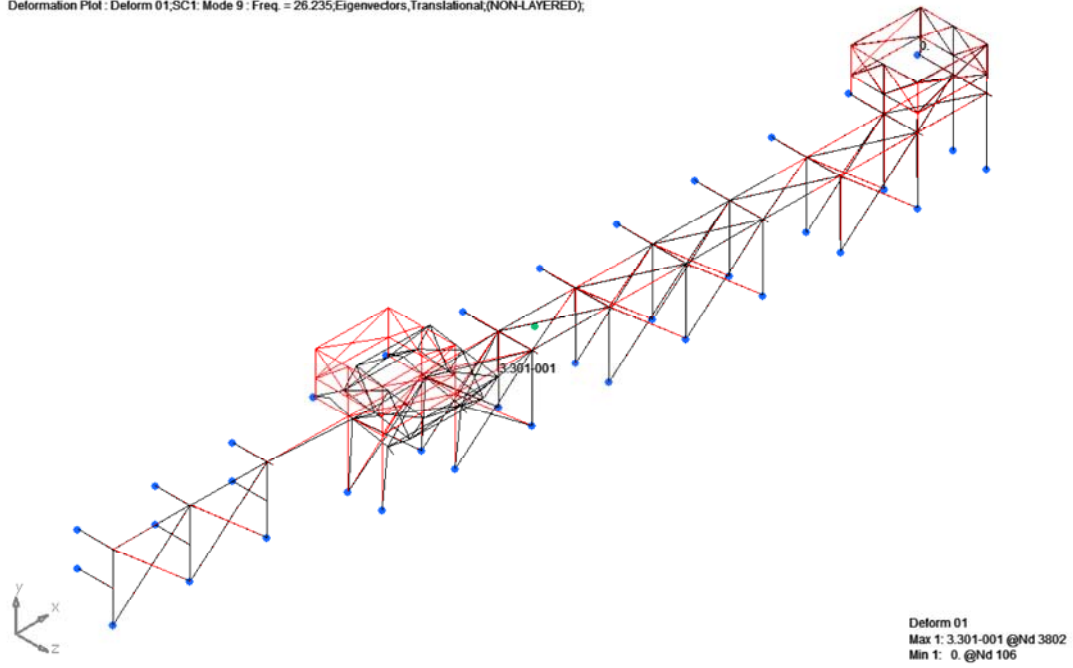
NASTRAN 8次モード

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



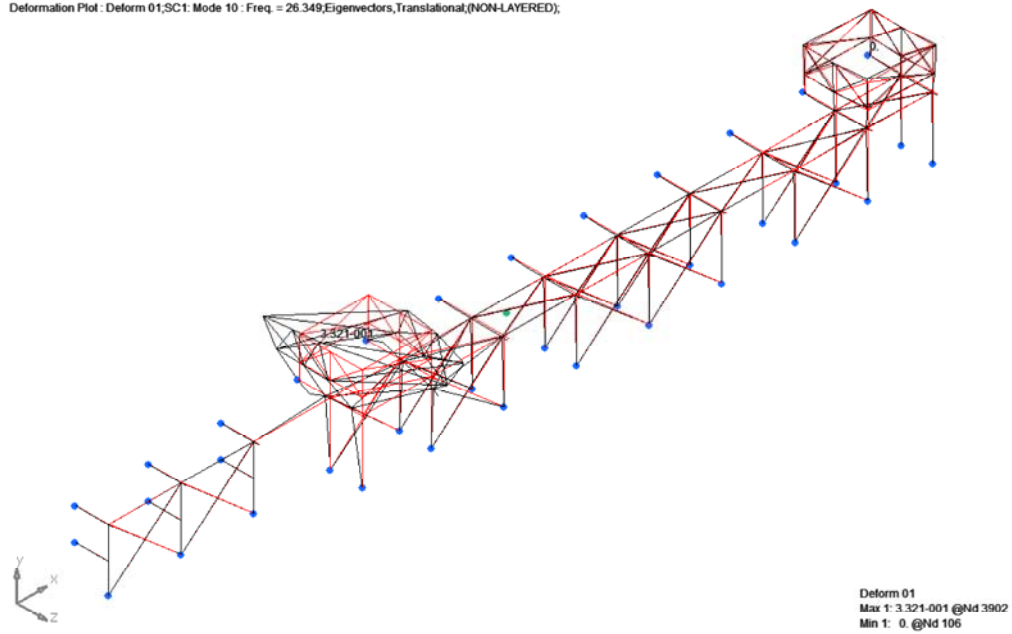
NASTRAN 9次モード

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



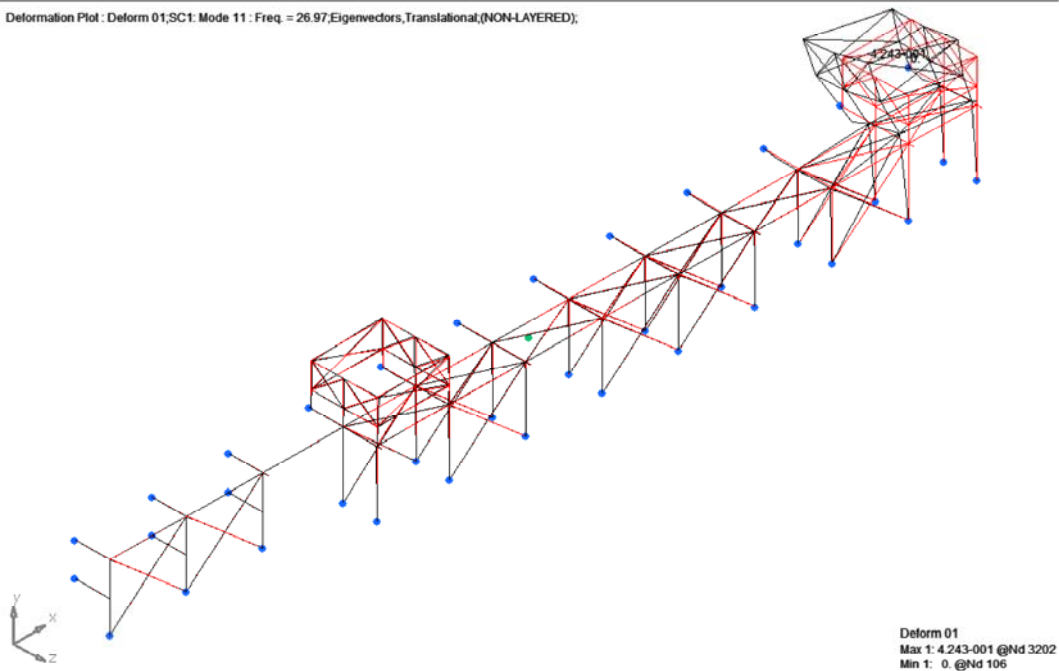
NASTRAN 10次モード

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



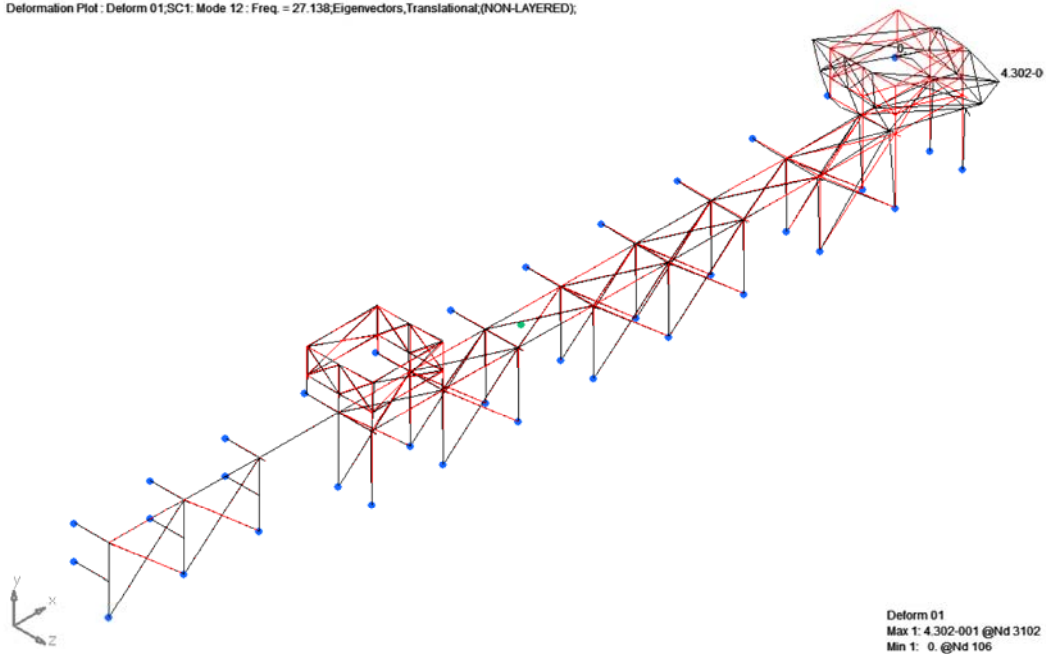
NASTRAN 11次モード

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



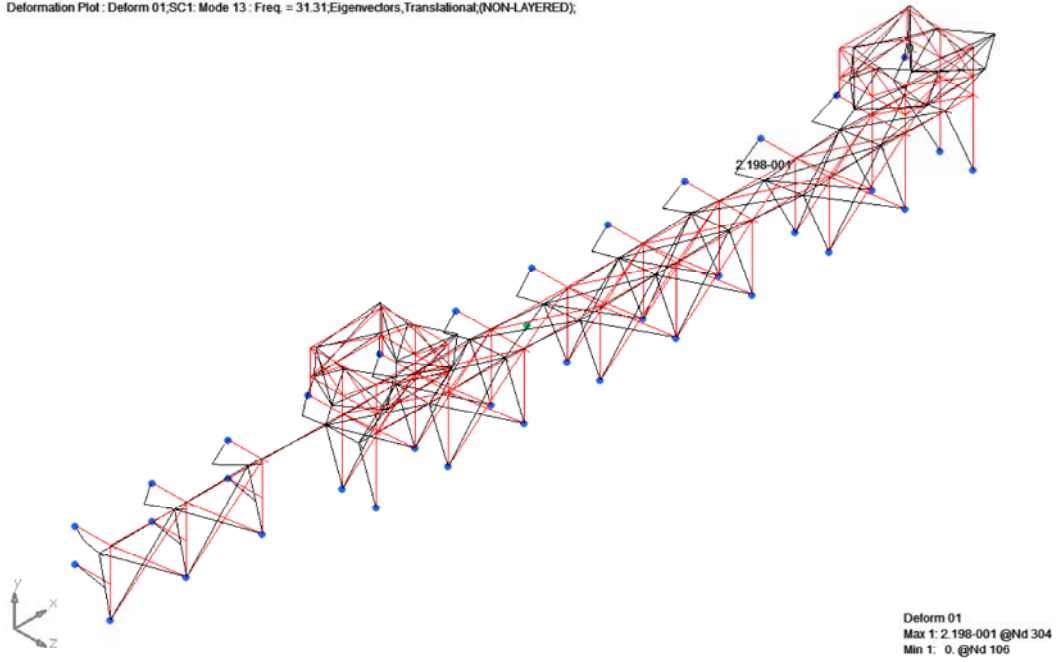
NASTRAN 12次モード

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



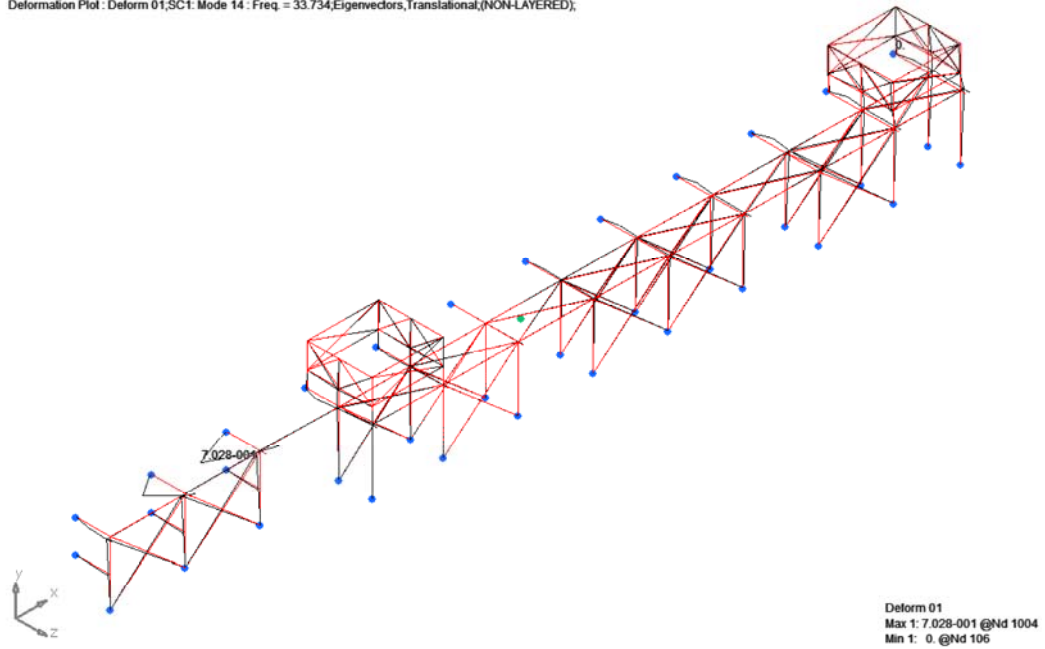
NASTRAN 13次モード

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



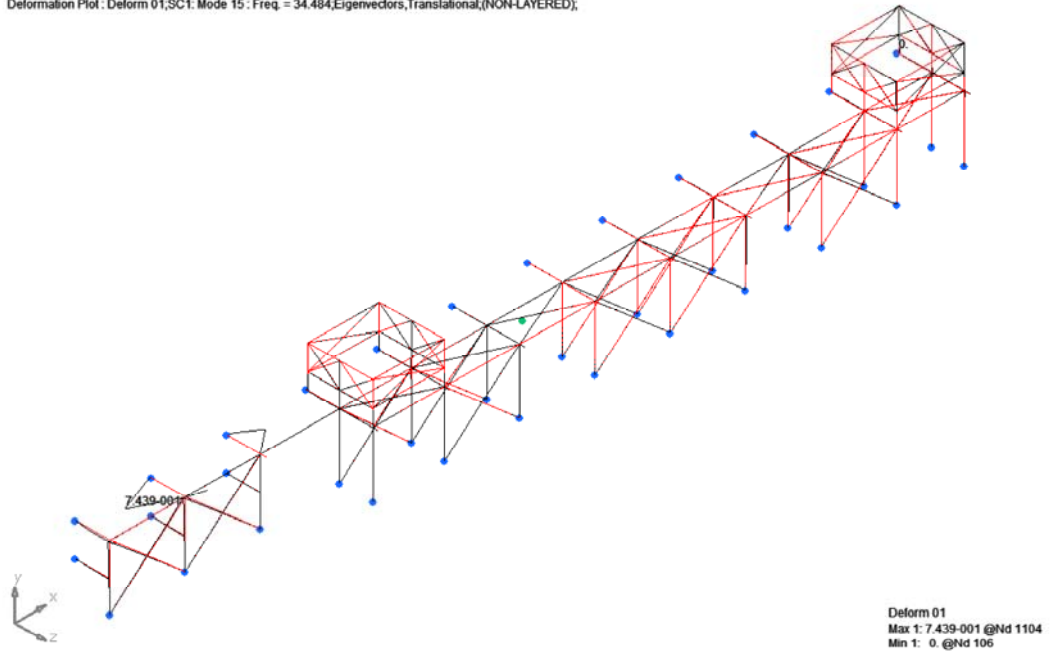
NASTRAN 14次モード

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



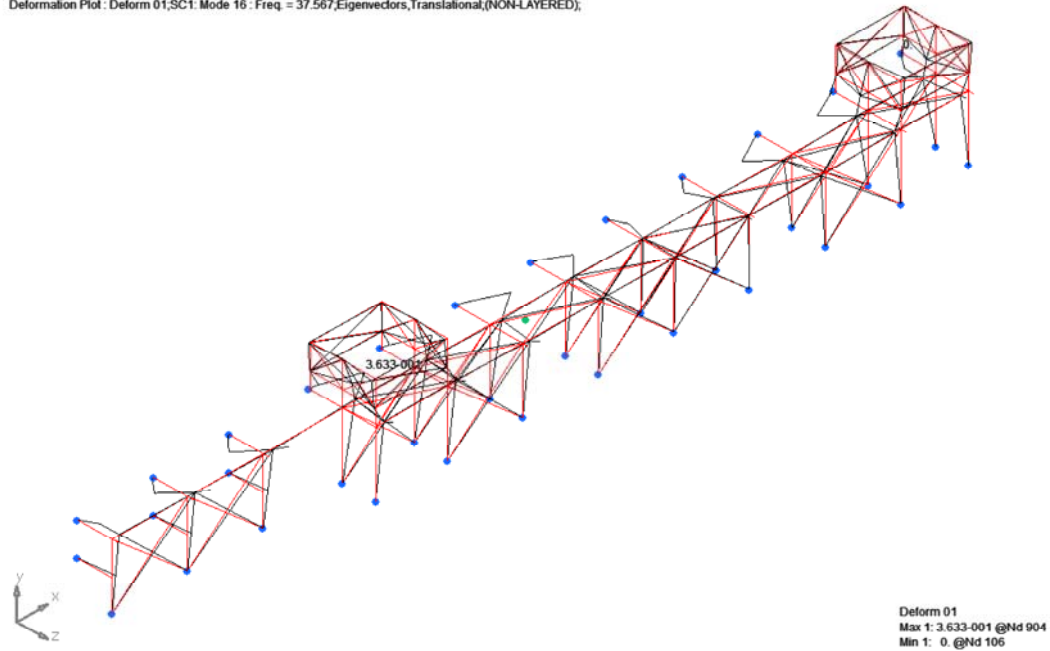
NASTRAN 15次モード

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



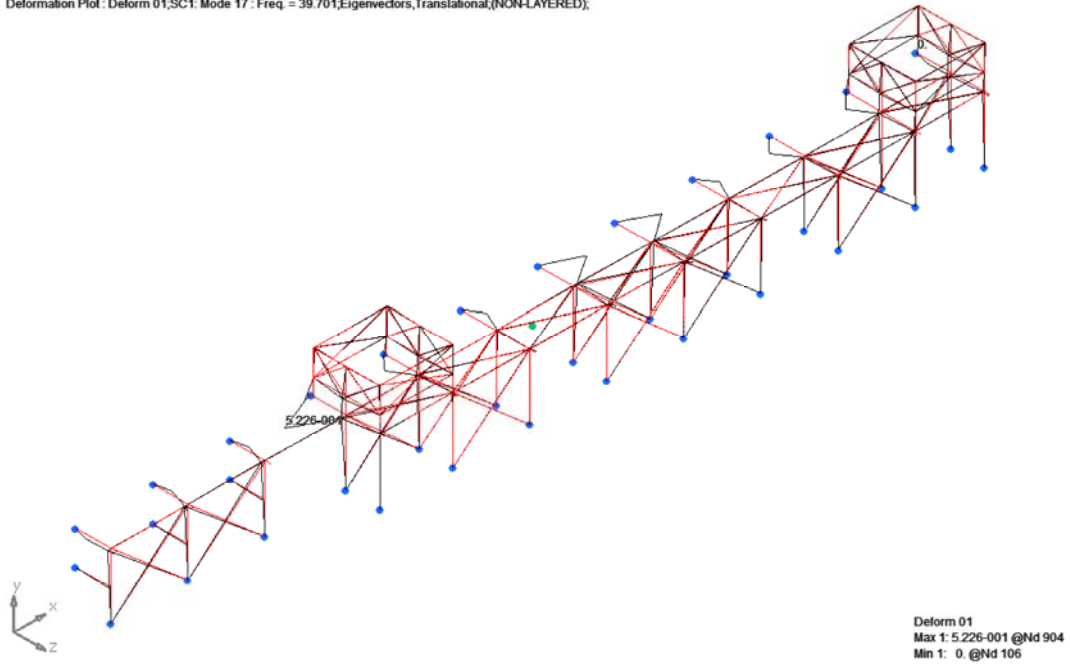
NASTRAN 16次モード

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



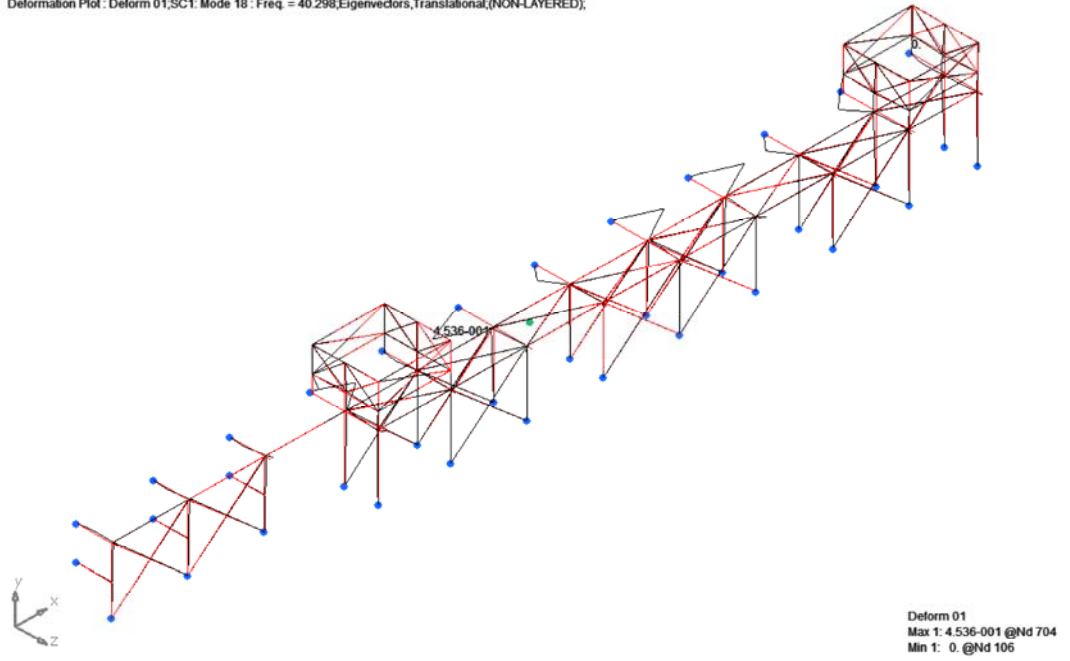
NASTRAN 17次モード

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



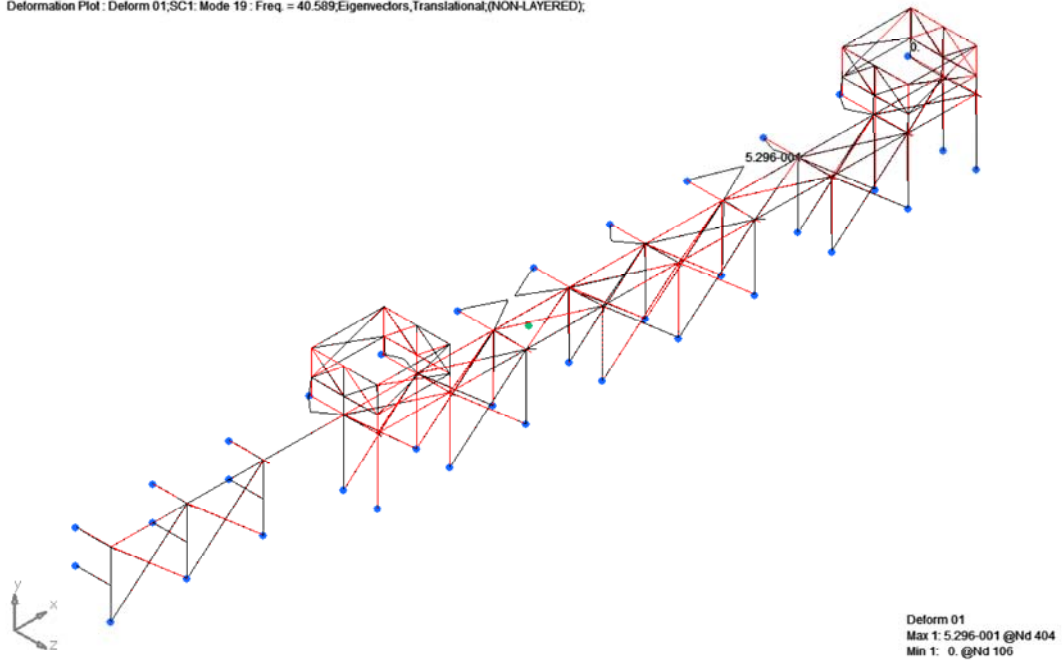
NASTRAN 18次モード

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



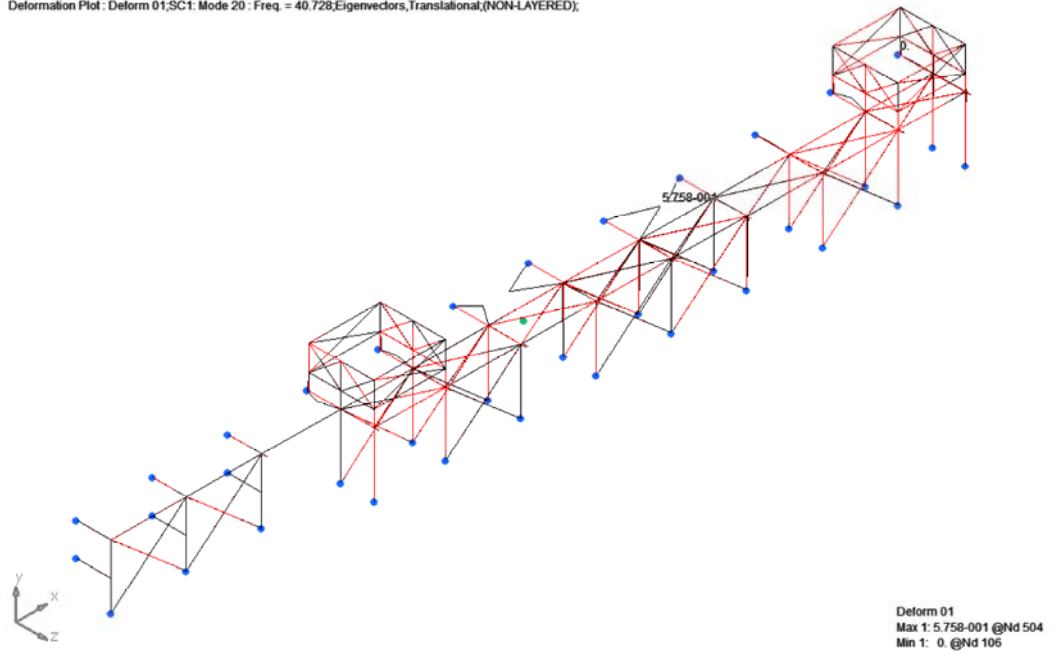
NASTRAN 19次モード

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



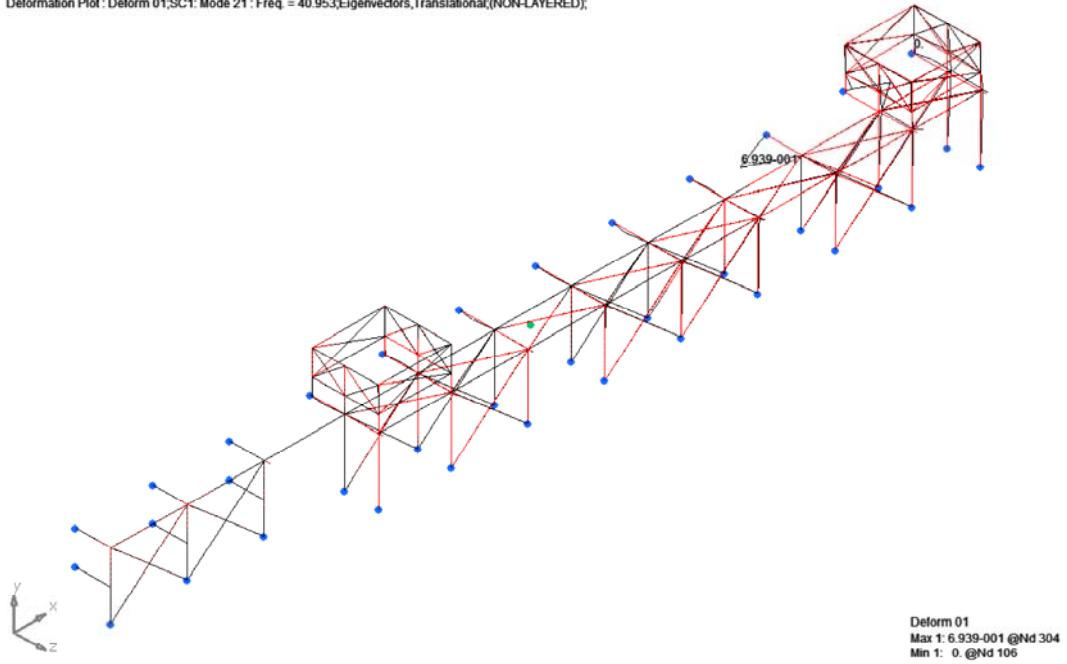
NASTRAN 20次モード

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



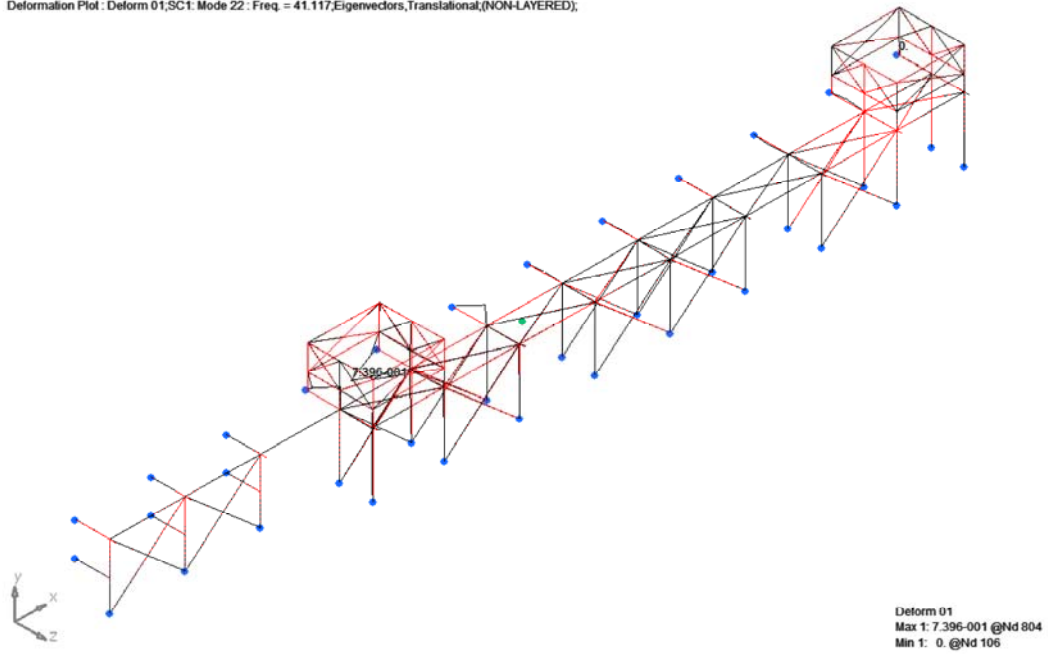
NASTRAN 21次モード

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



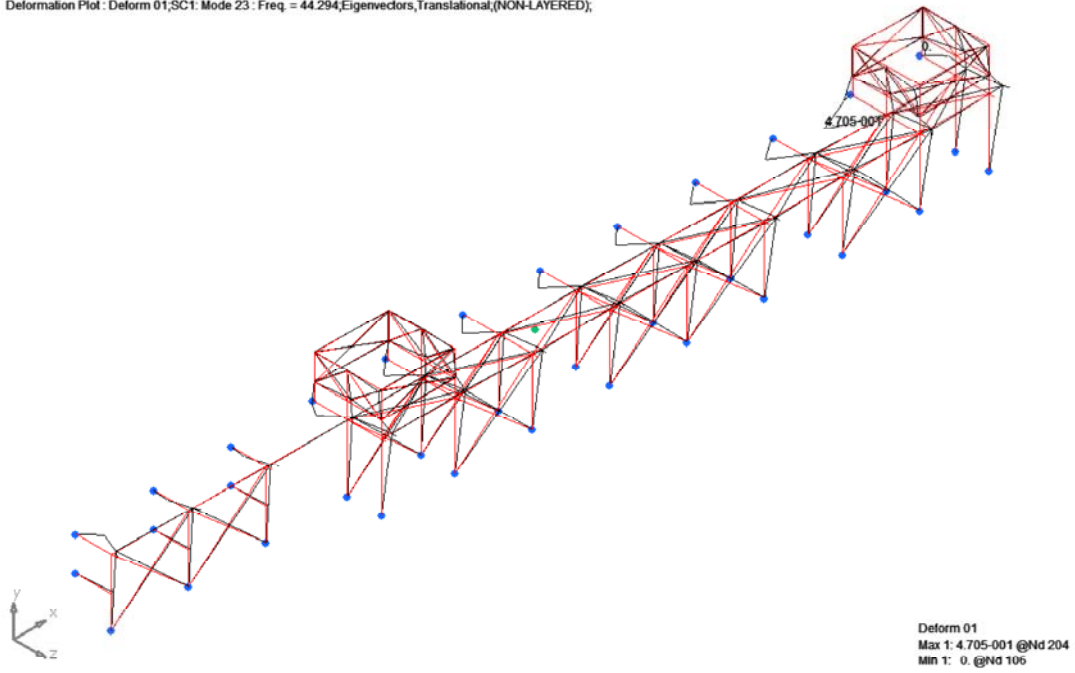
NASTRAN 22次モード

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



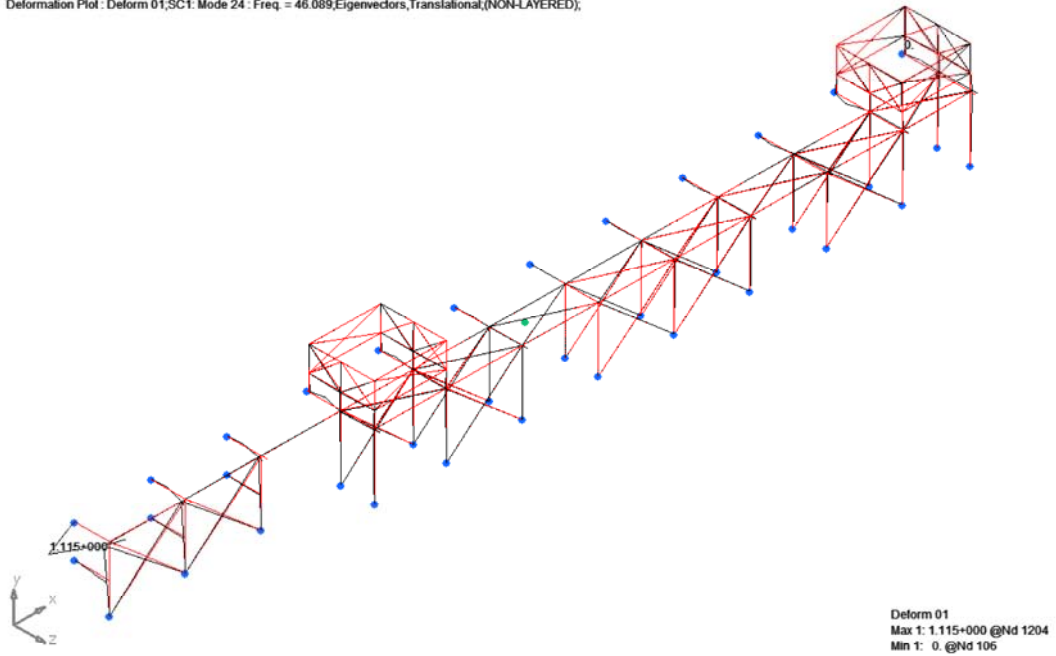
NASTRAN 23次モード

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



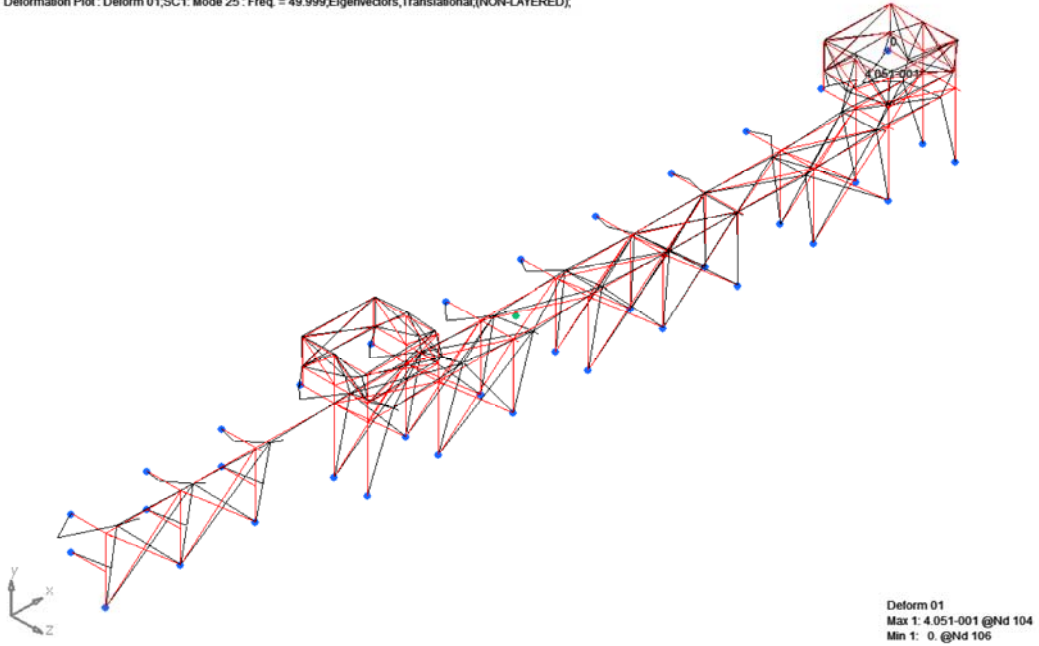
NASTRAN 24次モード

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



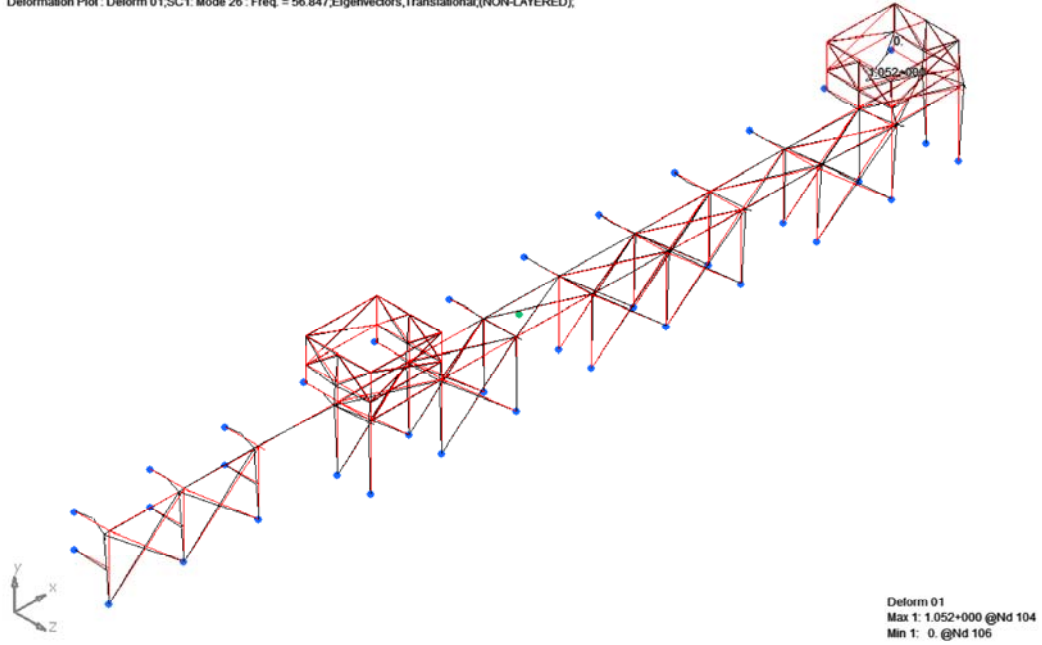
NASTRAN 25次モード

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



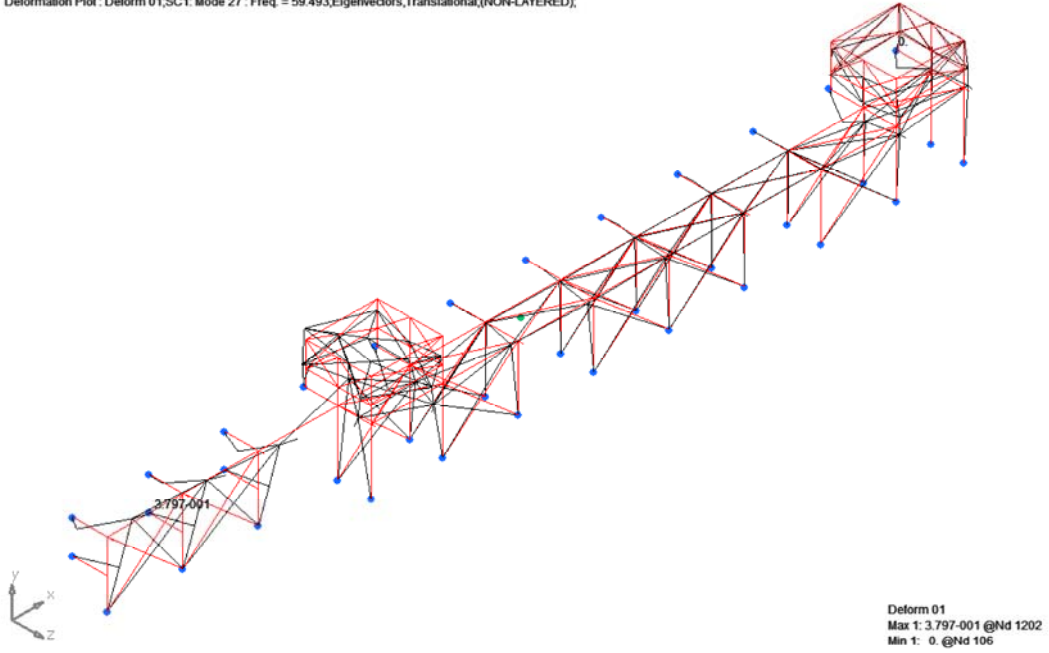
NASTRAN 26次モード

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



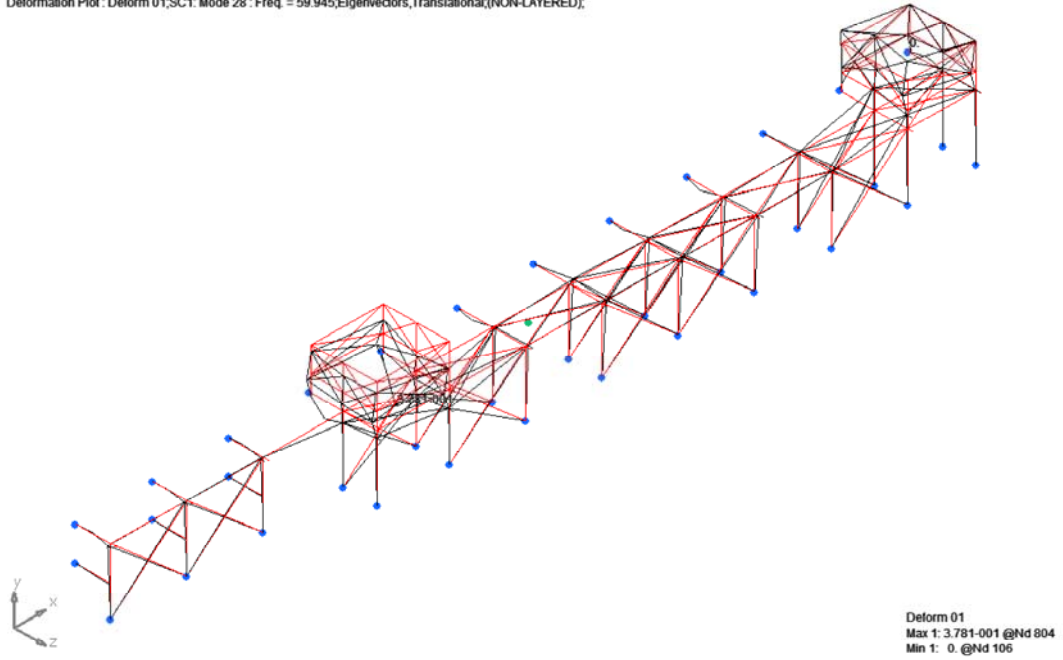
NASTRAN 27次モード

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



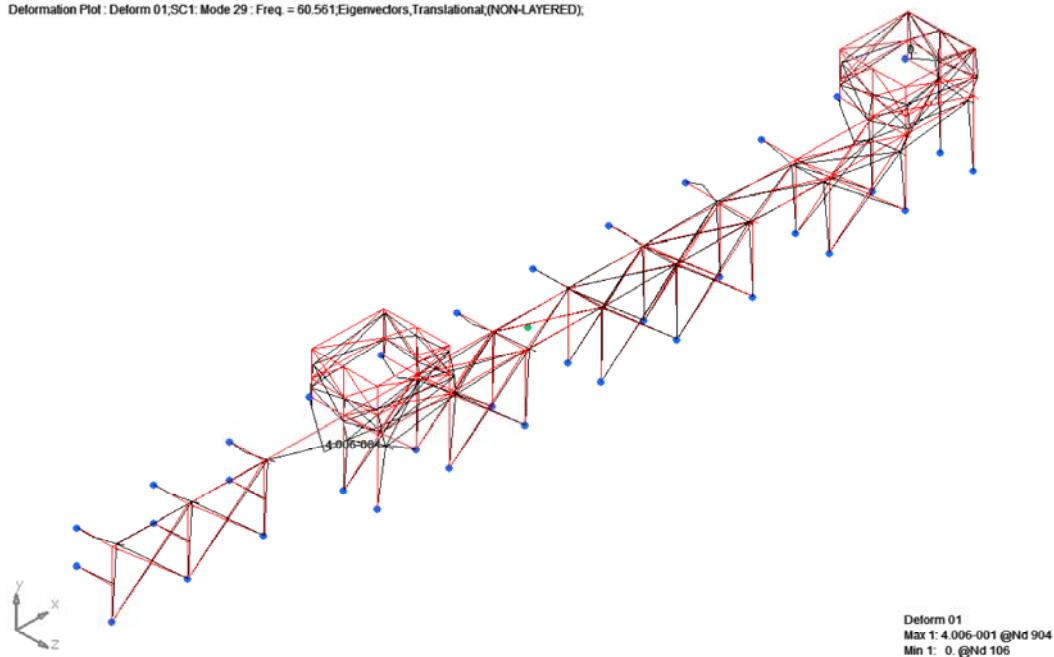
NASTRAN 28次モード

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



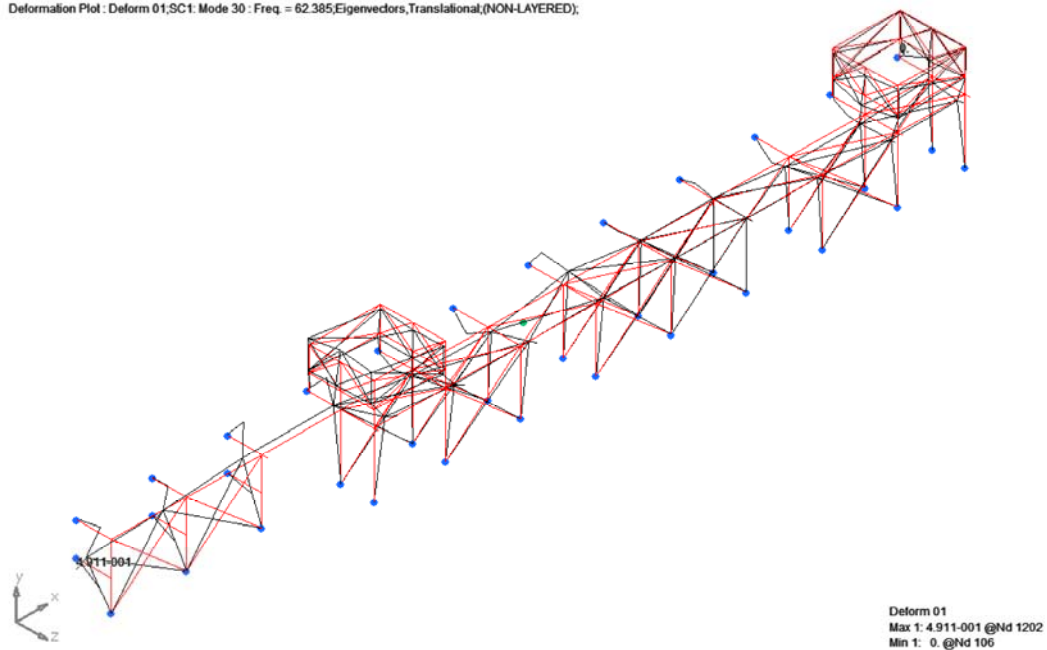
NASTRAN 29次モード

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



NASTRAN 30次モード

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



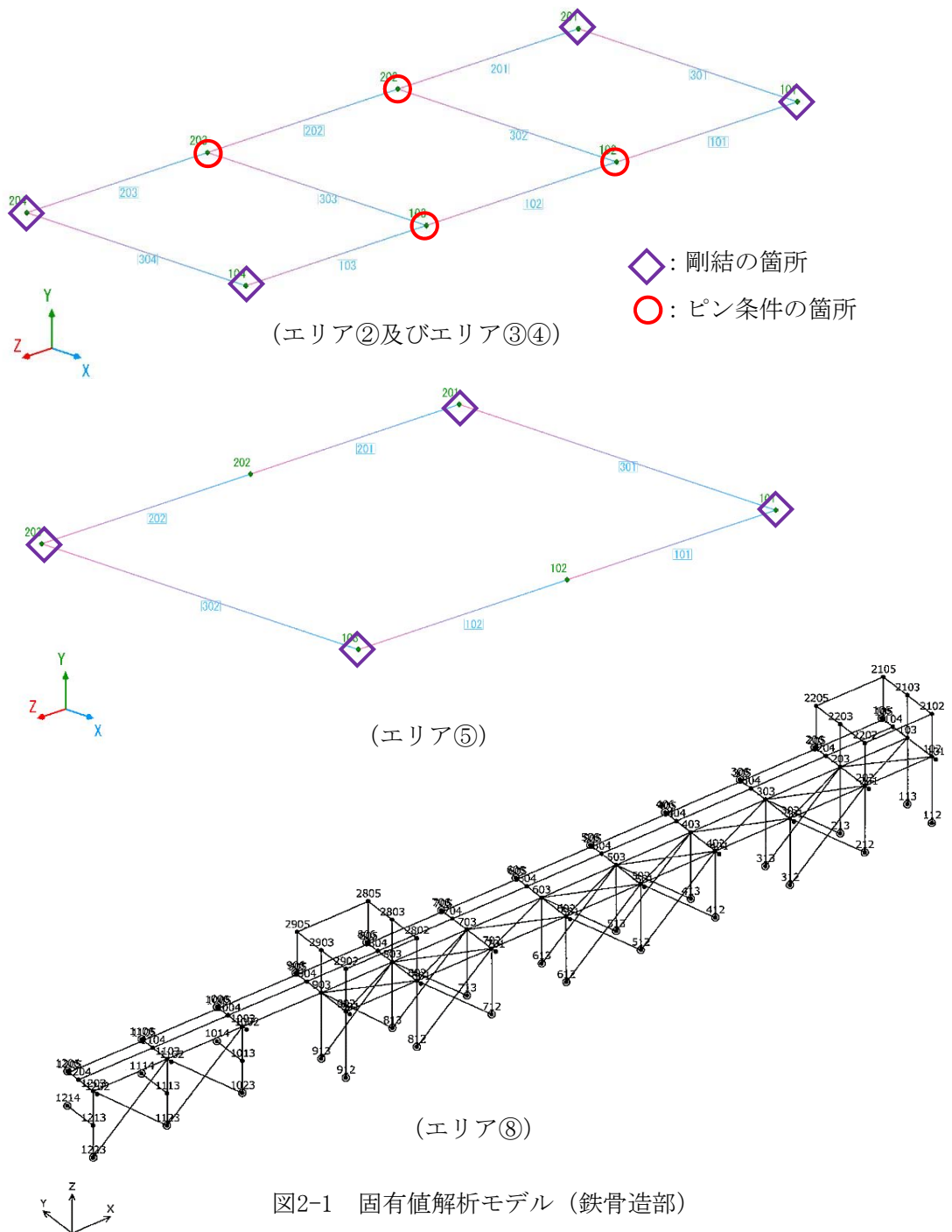
5. フレームモデルの固有値解析モデルの境界条件について

1. 概要

V-2-11-2-9「海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の耐震性についての計算書」における、海水ポンプエリア竜巻防護対策施設のフレームモデルに関し、その境界条件の設定の考え方を説明する。

2. フレームモデルの基本的形状

解析に用いるフレームモデルの形状を図 2-1 に示す。エリア②～④は四角形のフレームの内部に2本のはりが渡されている形状，エリア⑤は四角形，エリア⑧は多数の柱材で構成される形状となっている。



3. 境界条件について

3.1 エリア②～④及び⑤

比較的形状が単純な，エリア②～⑤の境界条件について示す。

- エリア②～④のフレームモデルにおいては，外周を構成する 4 本の部材は全て端部で剛結とし，内部の 2 本のはりについては，x 方向には剛結となるが，y 及び z 方向にはピンとなっている。

ピンとなっている位置は，図 1 に示す。

- エリア⑤のフレームモデルにおいては，外周を構成する 4 本の部材が全て端部で剛結となっている。

3.2 エリア⑧

エリア⑧のフレームモデルにおいても，各部材の端部は剛結若しくはピン構造となっている。これらの使い分けの考え方を以下に示す。

- 柱材と Y 方向に配置された梁材は全て剛結とし，ラーメン架構を形成する。
※ただし，二層部*山側の柱下端のみピンとする
- X 方向に配置された梁材は，架構同士のつなぎ材として，x 方向は剛結，y 及び z 方向はピン
*：防護ネットが設置されて，二層構造になっている部分
- 水平及び鉛直の斜材はブレースであるため，x 方向は剛結，y および z 方向はピン

以 上

6. 海水ポンプ室壁面への付加質量の影響について

1. 概要

V-2-11-2-9「海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の耐震性についての計算書」における、海水ポンプエリア竜巻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。

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。

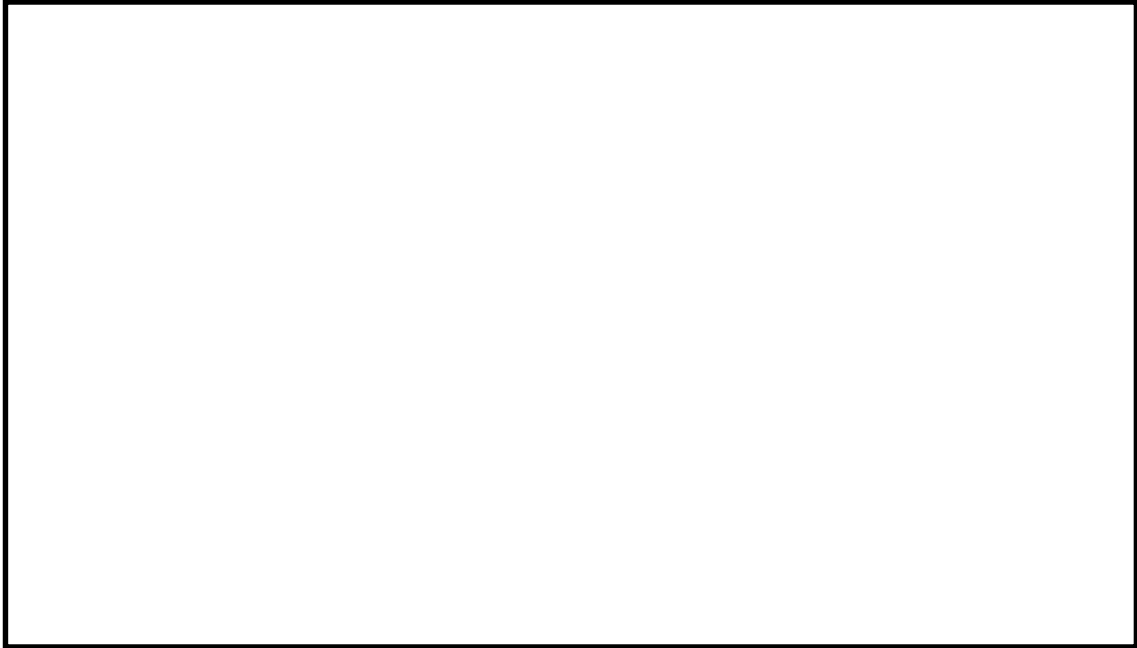


図 2-1 現場調査時に確認された主な付加質量

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*
海水配管 (DGSW : 径 10B) (保温, 内包水, 外壁サポート含む)	330

注記 * : 保守的に, 壁面全体へ分布すると設定

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) の重量を付加したモデル (図 3-2) において固有値解析を実施した。

その他の部位の結果と合わせ, 各部位の固有振動数を表 3-1 に示す。

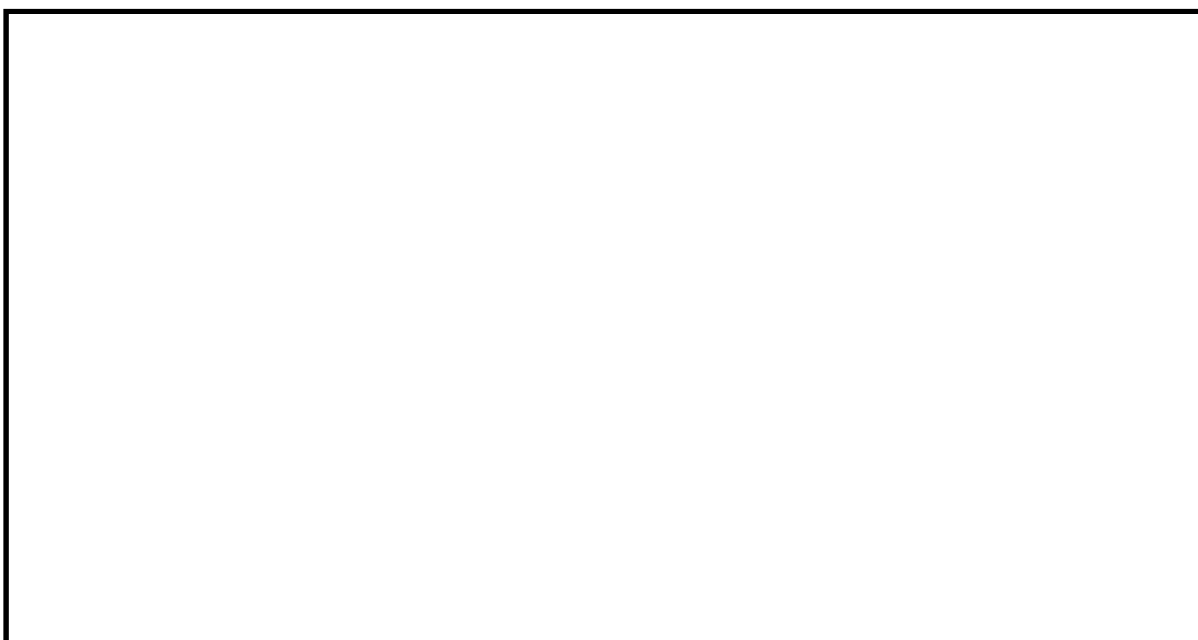


図 3-1 固有値解析対象箇所

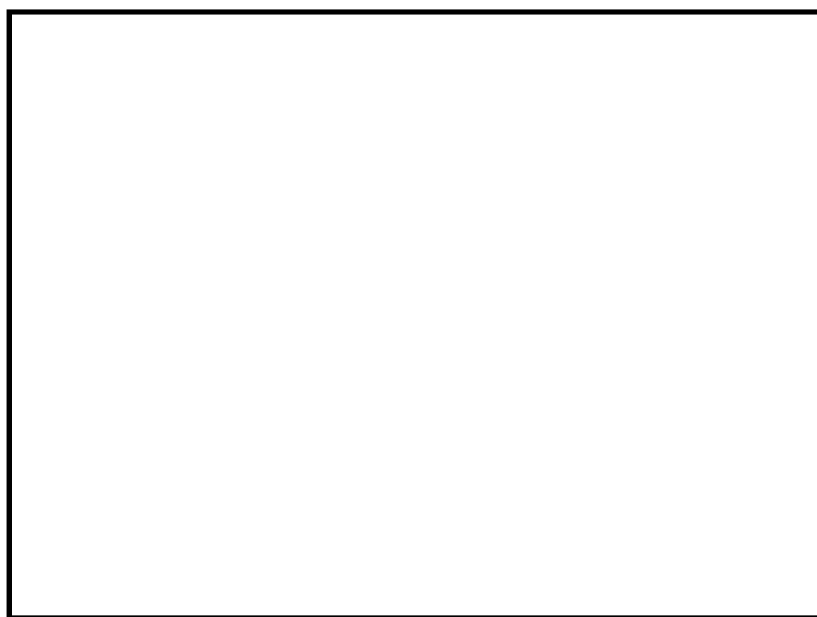


図 3-2 解析モデル (エリア③④東側壁面 : 図 3-1 の「⑥」)

表 3-1 固有値解析結果

部位	付加質量の考慮	固有振動数 (1次)
①	なし	14.449
②	なし	20.115
③	<u>なし</u>	63.176
④	なし	15.551
⑤	なし	76.240
⑥	海水配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：M1=1080 (kg/m) DGSW 配管：M2=330 (kg/m) 内壁サポート：M3=420 (kg/m)	21.399
⑦	なし	18.076

7. 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の耐震性評価
に適用する床応答曲線について

1. 概要

「V-2-11-2-9 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の耐震性についての計算書」で実施する、海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の耐震性評価に適用する床応答曲線を明確にする。

2. 適用する床応答曲線

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

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

海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の耐震性評価に適用する床応答曲線を図2-2に示す。

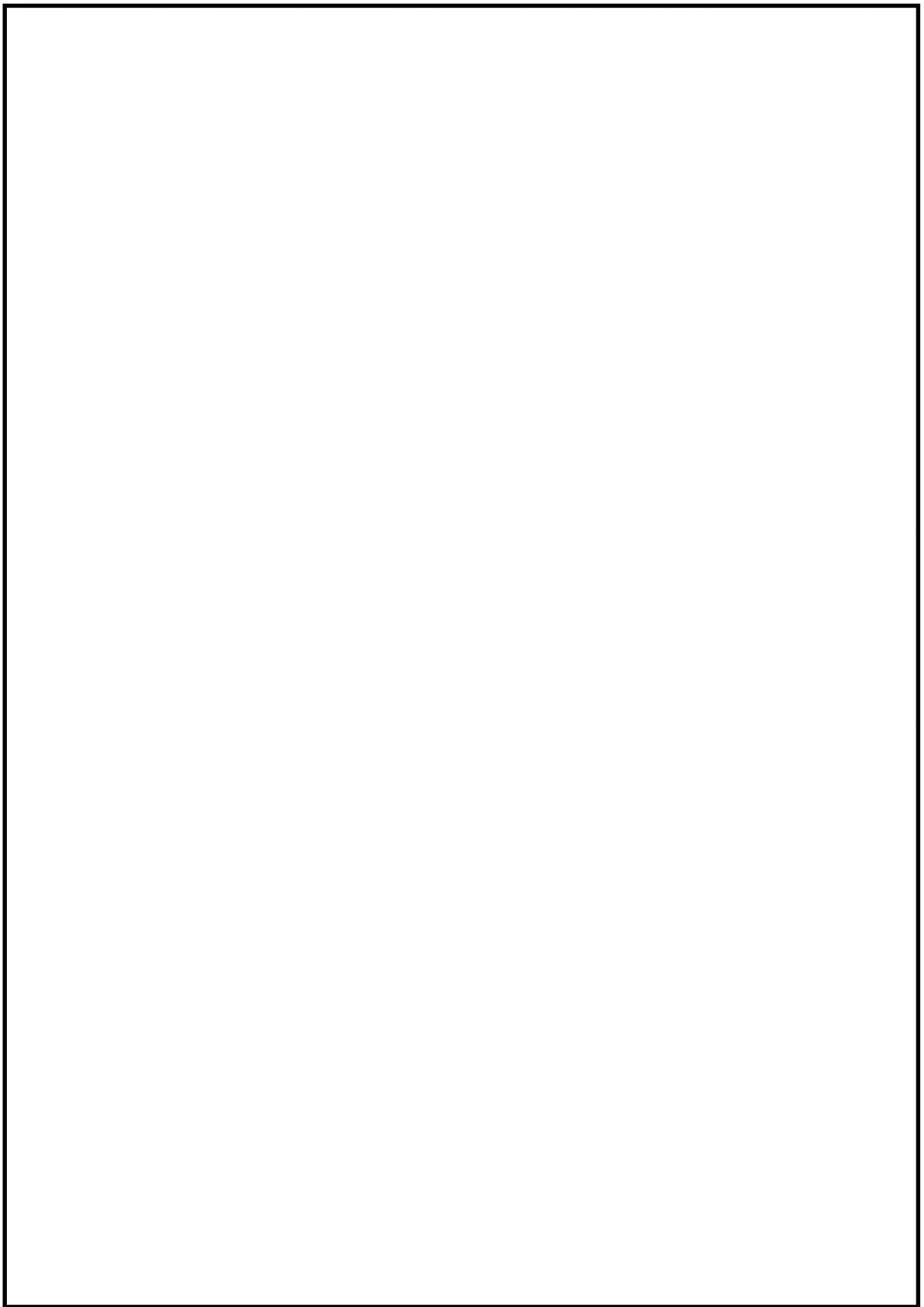


図2-1 評価用地震動の抽出位置

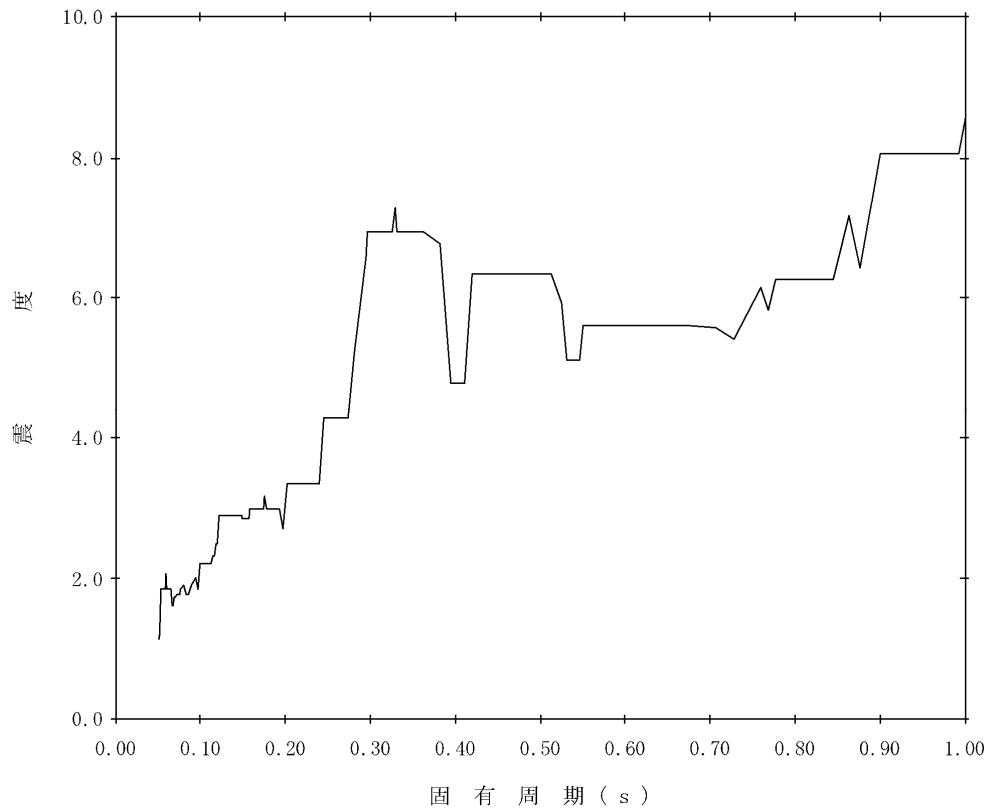


図2-2 床応答曲線(1/12) (減衰1% N-S方向(④-④断面) E.L.0.3m : 水平)

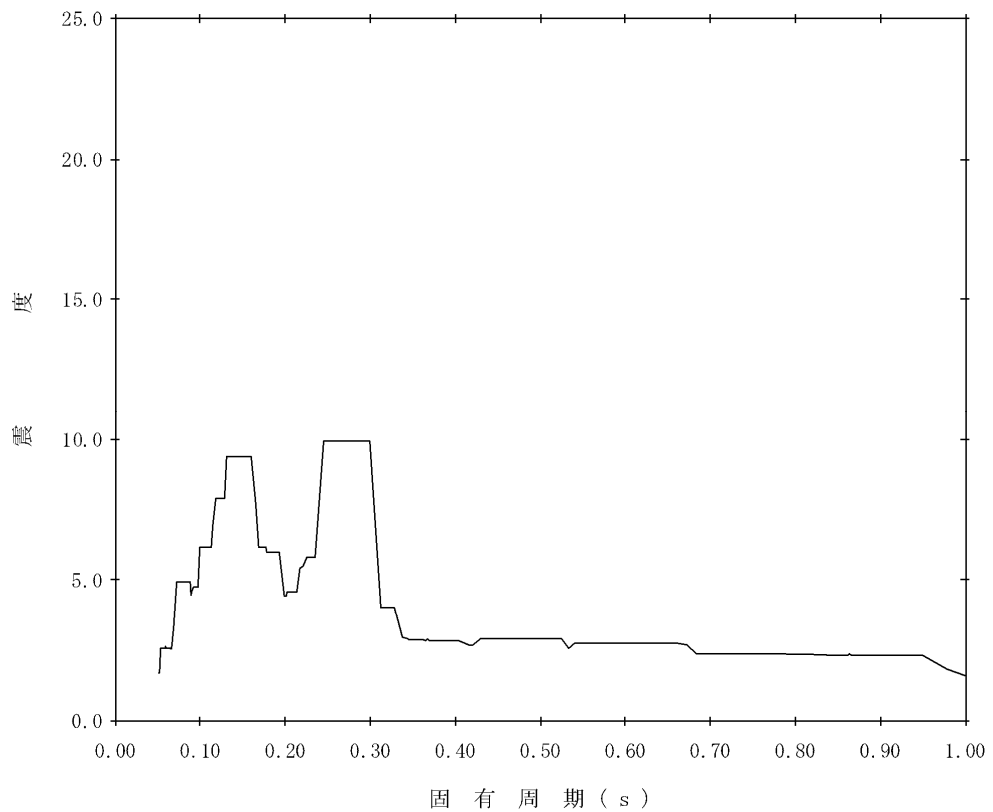


図2-2 床応答曲線(2/12) (減衰1% N-S方向(④-④断面) E.L.0.3m : 鉛直)

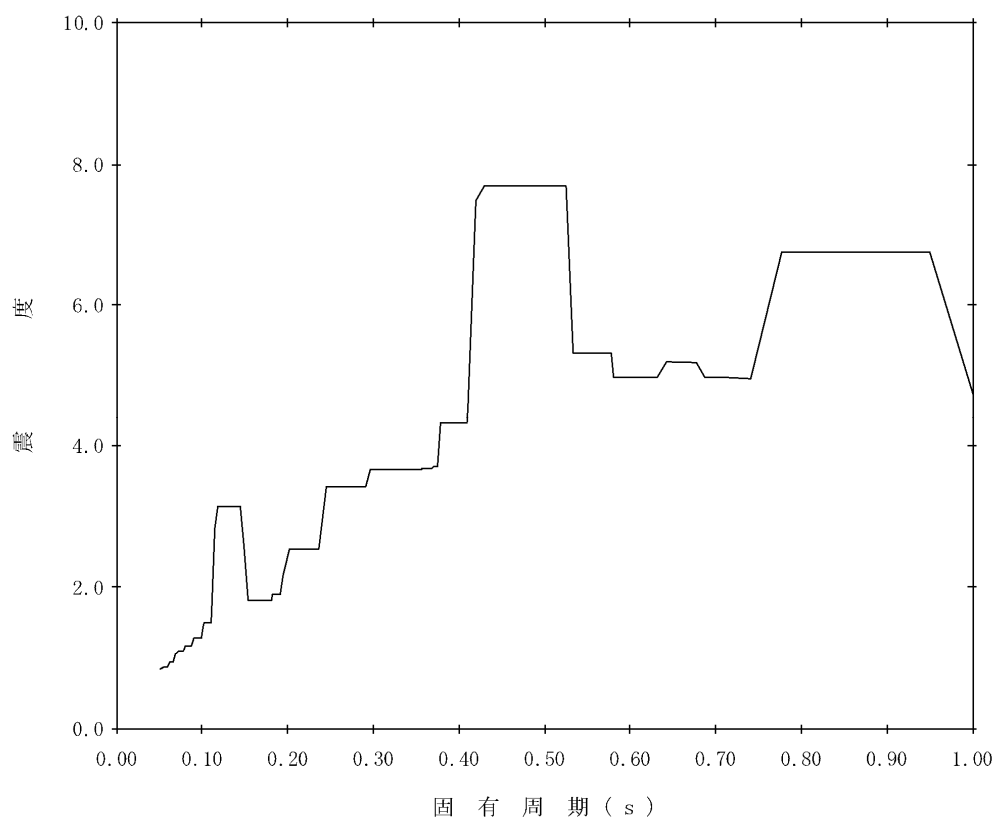


図2-2 床応答曲線(3/12) (減衰1% E-W方向(⑥-⑥断面) E.L.6.6m : 水平)

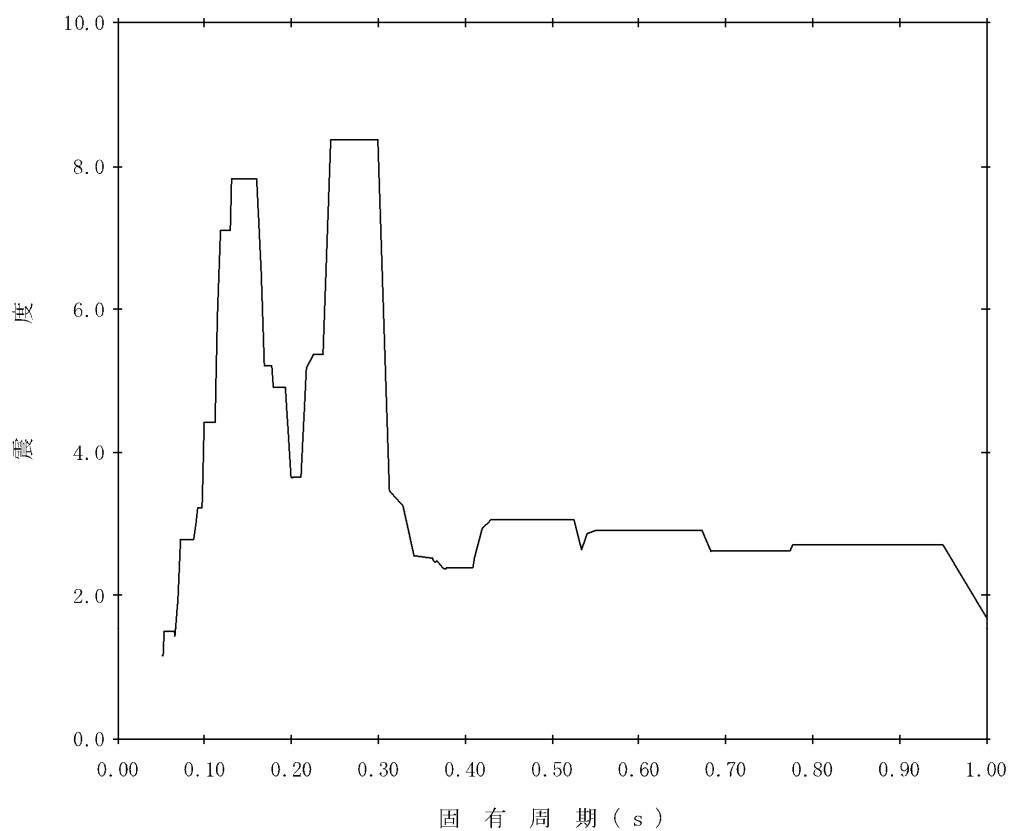


図2-2 床応答曲線(4/12) (減衰1% E-W方向(⑥-⑥断面) E.L.6.6m : 鉛直)

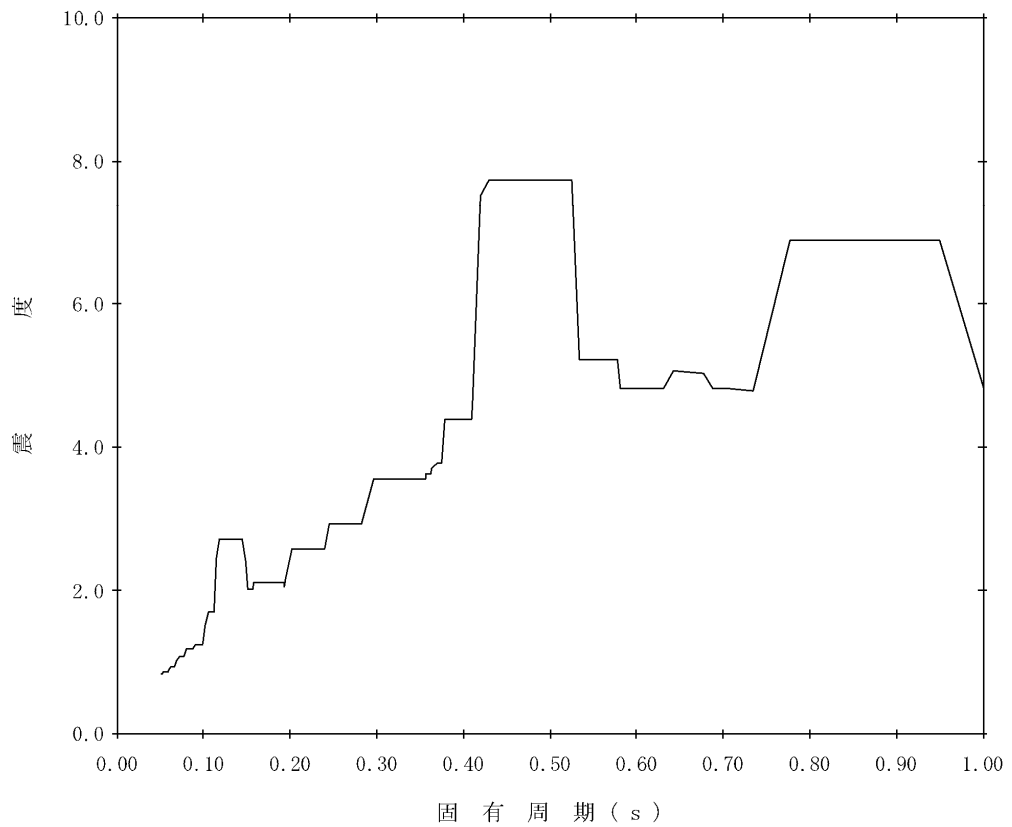


图2-2 床応答曲線(5/12) (減衰1% E-W方向(⑥-⑥断面) E.L.3.310m : 水平)

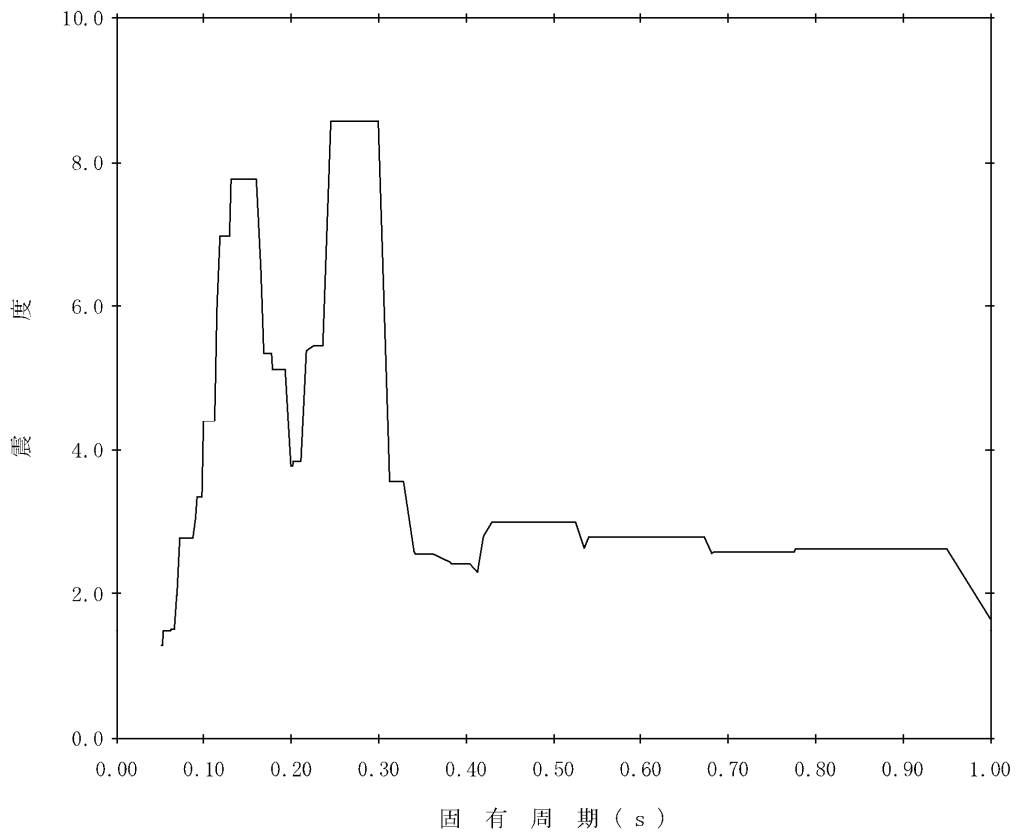


图 2-2 床応答曲線(6/12) (減衰1% E-W方向(⑥-⑥断面) E.L.3.310m) : 鉛直)

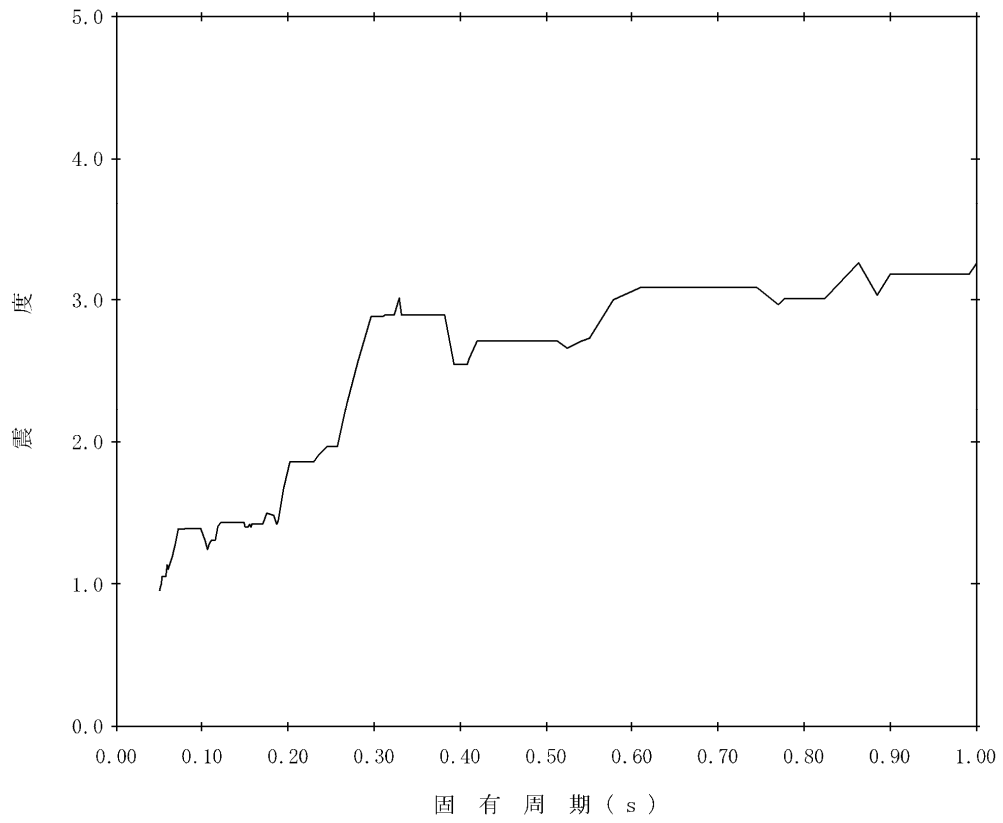


図2-2 床応答曲線(7/12) (減衰5% N-S方向(④-④断面) E.L.0.3m : 水平)

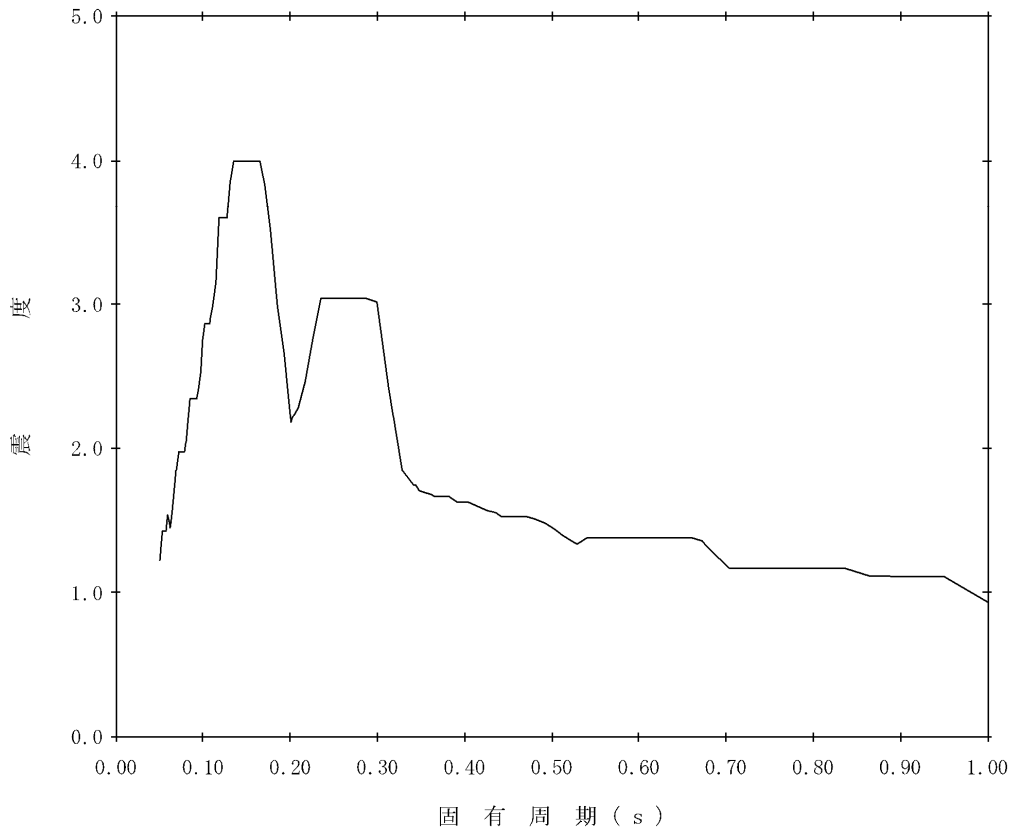


図2-2 床応答曲線(8/12) (減衰5% N-S方向(④-④断面) E.L.0.3m : 鉛直)

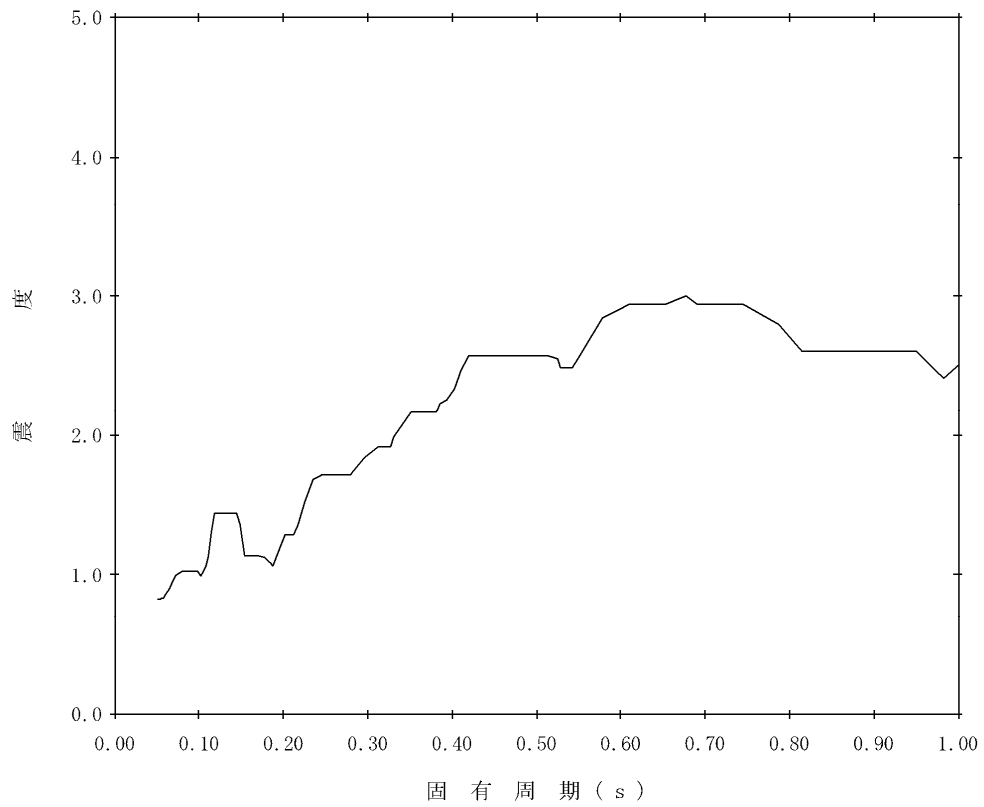


図2-2 床応答曲線(9/12) (減衰5% E-W方向(⑥-⑥断面) E.L.6.6m) : 水平

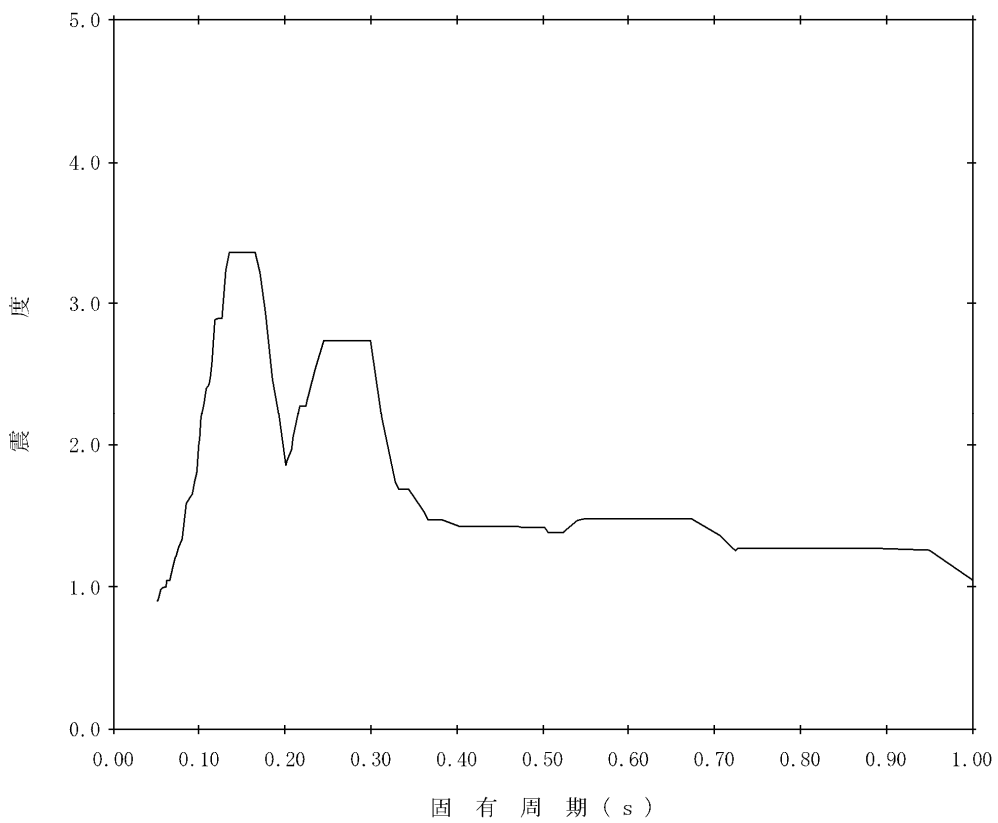


図 2-2 床応答曲線(10/12) (減衰 5% E-W 方向(⑥-⑥断面) E.L.6.6m) : 鉛直

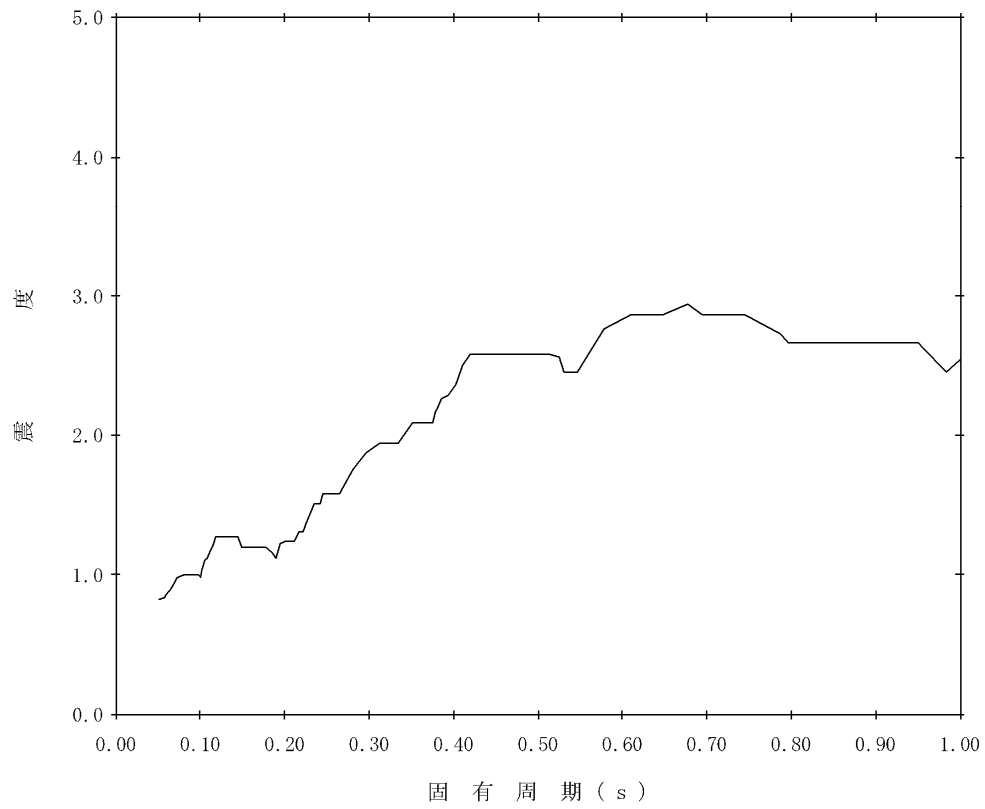


図2-2 床応答曲線(11/12) (減衰5% E-W方向(㉔-㉔断面) E.L.3.310m) : 水平)

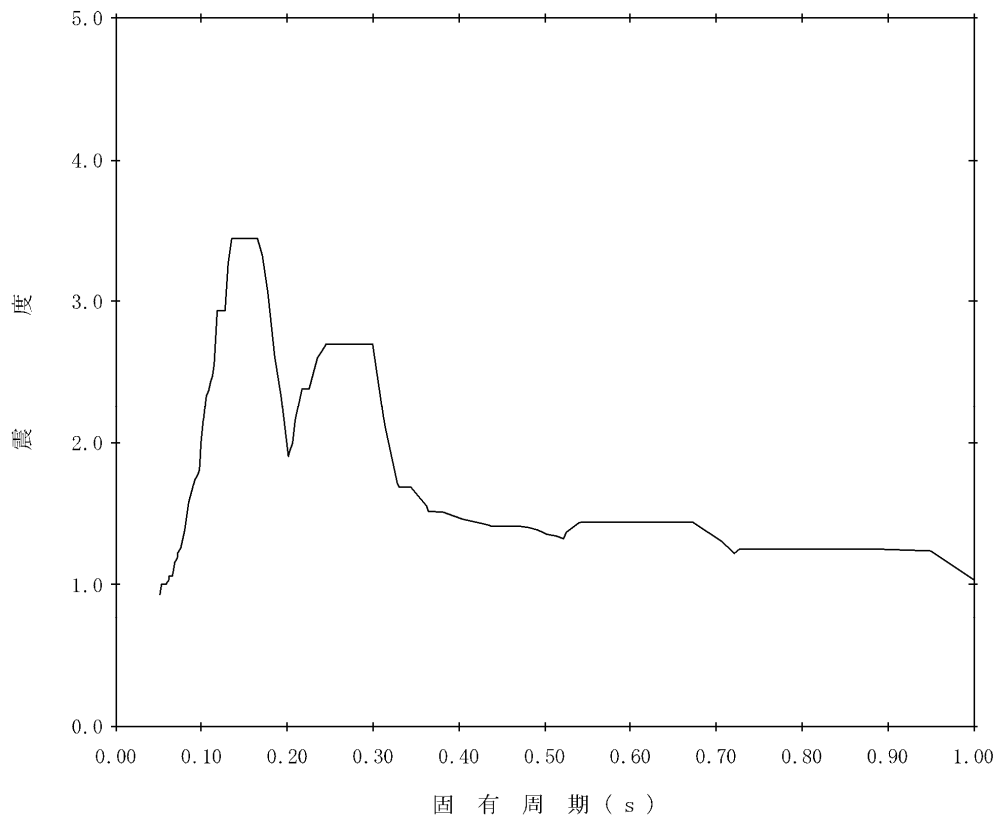


図2-2 床応答曲線(12/12) (減衰5% E-W方向(㉔-㉔断面) E.L.3.310m) : 鉛直)

8. 考慮する荷重について

1. 概要

「V-2-11-2-9 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の耐震性についての計算書」において考慮する荷重について説明する。

2. 考慮する荷重

海水ポンプエリア竜巻飛来物防護対策設備の荷重の組合せは「 $D + P_D (P_{SAD}) + M_D (M_{SAD}) + S_s$ 」としており、表 2-1 に荷重の内訳を示す。

表 2-1 荷重の内訳

記号	記号の説明	内訳
D	死荷重	(エリア①～⑤) ・自重 : 2.1 kN/m ² ・積雪荷重 : 0.07 kN/m ² (エリア⑧ : 防護ネット部) ・自重 : 7.7 kN/m ² ・積雪荷重 : 0.21 kN/m ² (エリア⑧ : 防護ネット部以外) ・自重 : 3.8 kN/m ² ・積雪荷重 : 0.21 kN/m ²
P _D	地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重	対象なし
P _{SAD}	重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）における運転状態等を考慮して当該設備に設計上定められた設計圧力による荷重	対象なし
M _D	地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた機械的荷重	対象なし
M _{SAD}	重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）における運転状態等を考慮して当該設備に設計上定められた機械的荷重	対象なし
S _s	基準地震動 S _s により定まる地震力	基準地震動 S _s により定まる地震力