

第 4. 1-3 図 断面の評価部位の選定に関するケースの杭モーメント図 (ケース 1-2)

4.2 支持力及び引抜力に対する評価結果

各評価項目の検定比一覧を第 4.2-1 表に，断面力ごとの検定比が最大となる要素及び断面の評価結果を第 4.2-1 図に，断面の評価部位の選定に関するケースの軸力図を第 4.2-2 図に示す。

なお，周面摩擦力を考慮せずとも先端支持力のみで杭の圧縮軸力を十分負担可能であることを確認した。

第4.2-1表 各評価項目の検定比一覧

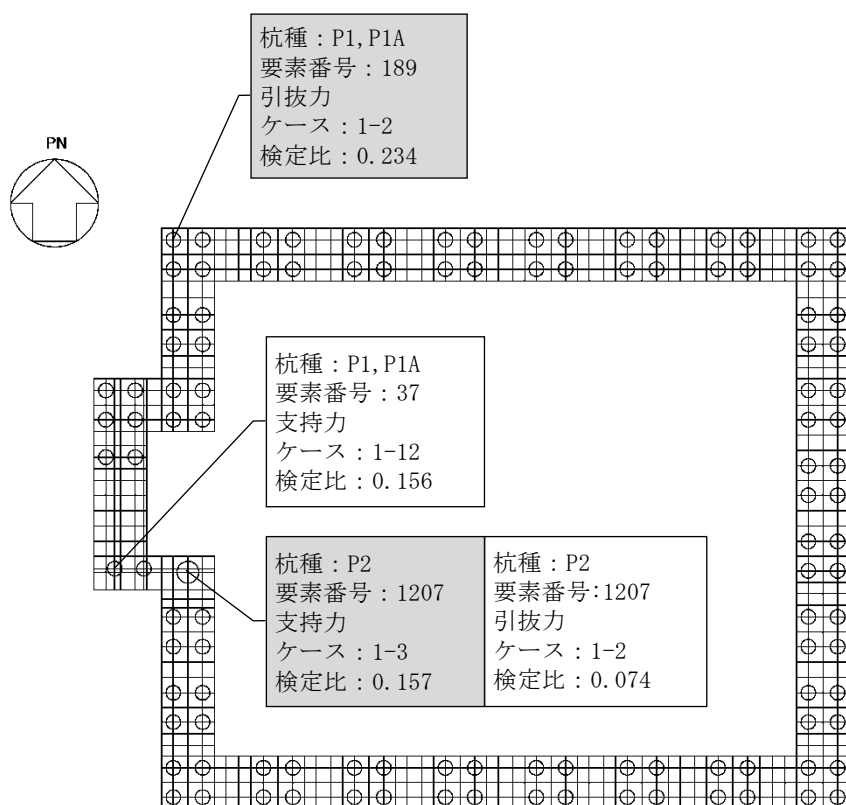
項目	杭種	応力の組合せ結果			許容限界 (kN)			検定比*3	判定
		節点 番号*1	ケース*1	軸力*2 (kN)	先端 支持力	周面 摩擦力	先端 +周面		
支持力	P1, P1A	37	1-12	1959	3927	8708	12635	0.156 (0.499)	OK
	P2	1207	1-3	3422	8836	13063	21898	0.157 (0.388)	OK
引拔力	P1, P1A	189	1-2	-1173	—	5022	5022	0.234	OK
	P2	1207	1-2	-561	—	7672	7672	0.074	OK

注記 *1：基礎梁の応力解析における節点番号及びケースを示す。

*2：軸力は正が圧縮，負が引張とする。

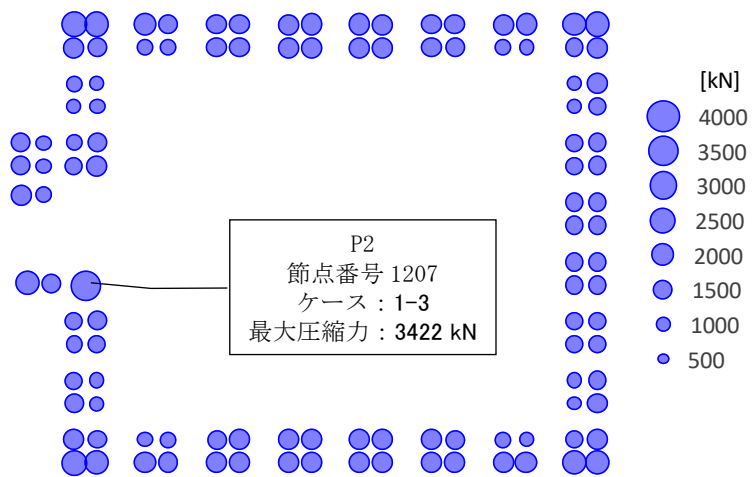
*3：括弧内の検定比は軸力/先端支持力の値であり，周面摩擦力を無視した時の評価結果である。

注：■は，杭種ごとに検定比が最大となる要素を示す。

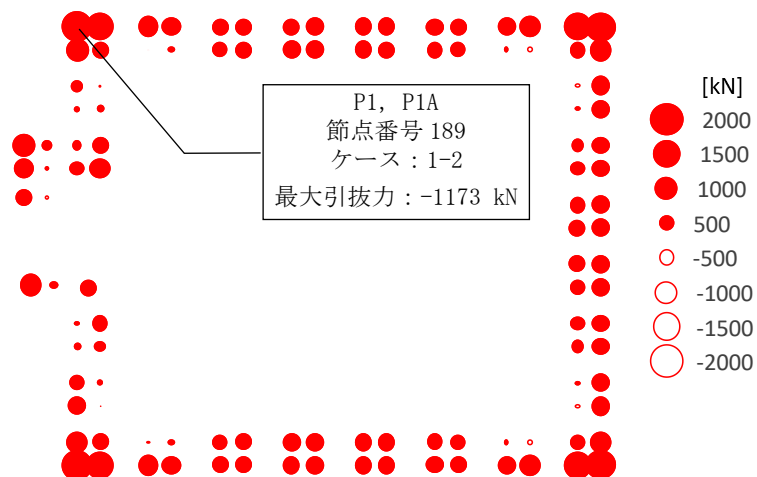


注：■は，検定比が最大となる要素を示す。

第4.2-1図 断面力ごとの検定比が最大となる要素及び断面の評価結果



(a) 最大圧縮



(b) 最大引抜力分布
(負は圧縮)

第 4. 2-2 図 断面の評価部位の選定に関するケースの軸力図

5. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価

「資料2 飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）の耐震性についての計算書」（以下、「耐震計算書」という。）における杭の耐震評価について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を確認する。

5.1 評価方針

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価として、杭の応力解析による評価について、許容限界を超えないことを確認する。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重の組合せは、「耐震計算書」の「4.2 荷重及び荷重の組合せ」に示す内容と同一である。荷重の組合せを第5.2-1表に示す。荷重の詳細は、「耐震計算書」に示す固定荷重(D)、積雪荷重(Ls)、地震荷重(Ss)及び風荷重(W_L)と同一である。

第5.2-1表 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S s 地震時	$D+0.35Ls+Ss+W_L$

D : 固定荷重

Ls : 積雪荷重

Ss : 地震荷重

W_L : 風荷重

5.3 許容限界

許容限界は、「耐震計算書」の「4.3 許容限界」に示す内容と同一である。

5.4 評価方法

杭の評価は、「耐震計算書」の「4.4.3 杭の評価方法」における「(1) 応力解析」及び「(2) 応力計算」により算定した応力と基礎梁から作用する荷重による応力を組み合わせて実施する。

「(1) 応力解析」及び「(2) 応力計算」により算定した地震荷重による応力（せん断力及び曲げモーメント）については、NS方向とEW方向の応力に組合せ係数1.0:0.4を考慮した上で二乗和平方根により算出する。

「(2) 応力計算」により算定した風荷重による応力（せん断力及び曲げモーメント）については、そのまま用いる。

基礎梁から作用する荷重による応力（せん断力及び軸力）については、「別添6 基礎梁の耐震評価について」の「5. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価」における応力解析結果を用いる。

断面及び支持力に対する評価方法は、「耐震計算書」の「(4) 断面の評価方法」及び「(5) 支持力及び引抜力に対する評価方法」に示す内容と同一である。

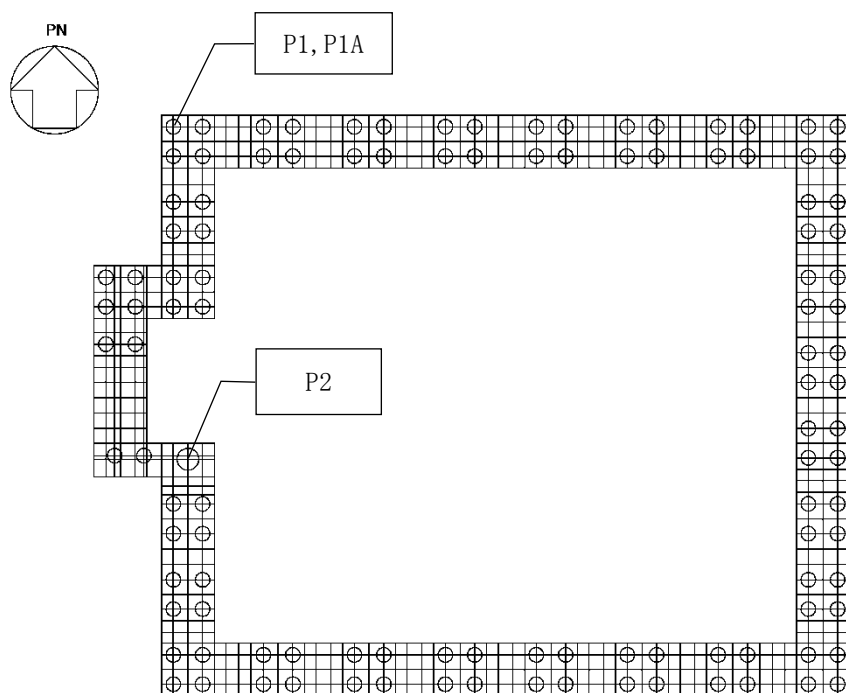
5.5 評価結果

「5.4 評価方法」に基づいた評価結果を以下に示す。

(1) 断面の評価結果

断面の評価結果を記載する杭は、杭種ごとに、許容限界に対する曲げモーメント並びにせん断力の割合が最も大きい杭に対して示す。当該の杭の位置を第5.5-1図に、評価結果を第5.5-1表及び第5.5-2図に示す。

曲げモーメント及びせん断力が、それぞれの許容限界を超えないことを確認した。



第5.5-1図 評価結果を記載する杭の位置

第5.5-1表 断面の評価結果

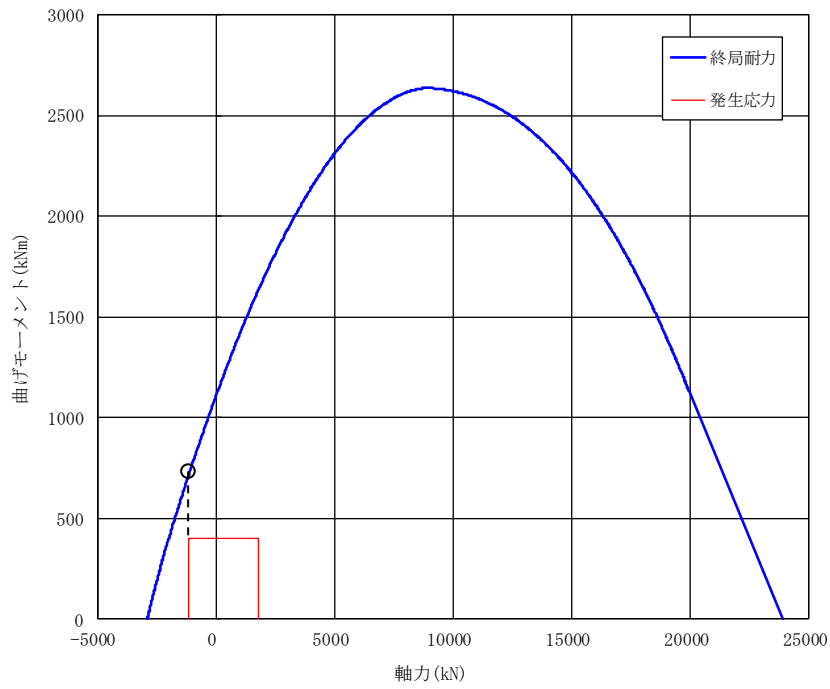
(a) 軸力及び曲げモーメントに対する評価

杭種	応力の組合せ結果		許容限界 (kN・m)	検定比	判定
	ケース*	曲げモーメント (kN・m)			
P1, P1A	1-2	430	577	0.746	OK
P2	1-6	1660	3316	0.501	OK

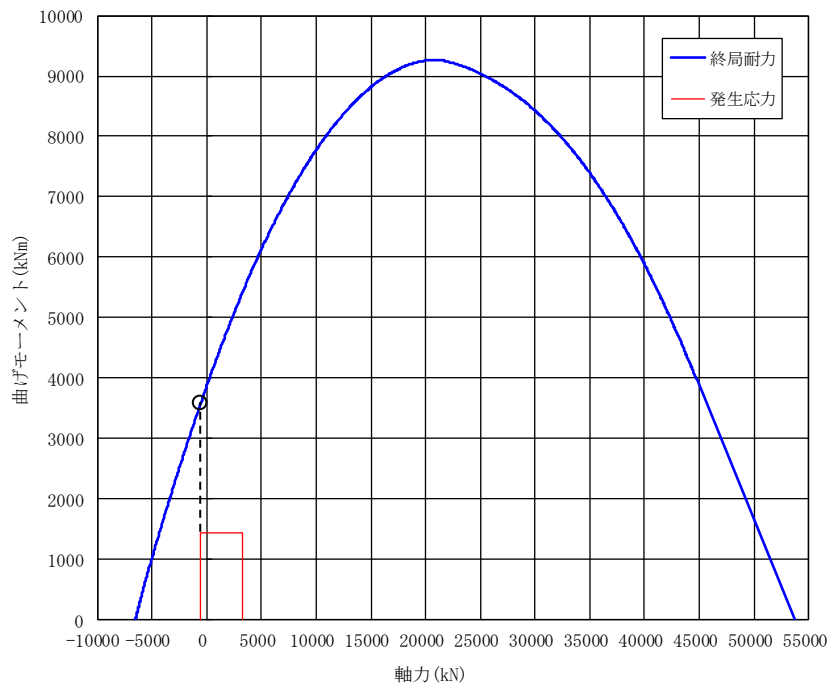
(b) せん断力に対する評価

杭種	応力の組合せ結果		許容限界 (kN)	検定比	判定
	ケース*	せん断力 (kN)			
P1, P1A	1-2	580	1809	0.321	OK
P2	1-6	1870	4523	0.414	OK

注記 * : 基礎梁の応力解析におけるケースを示す。



(a) P1, P1A



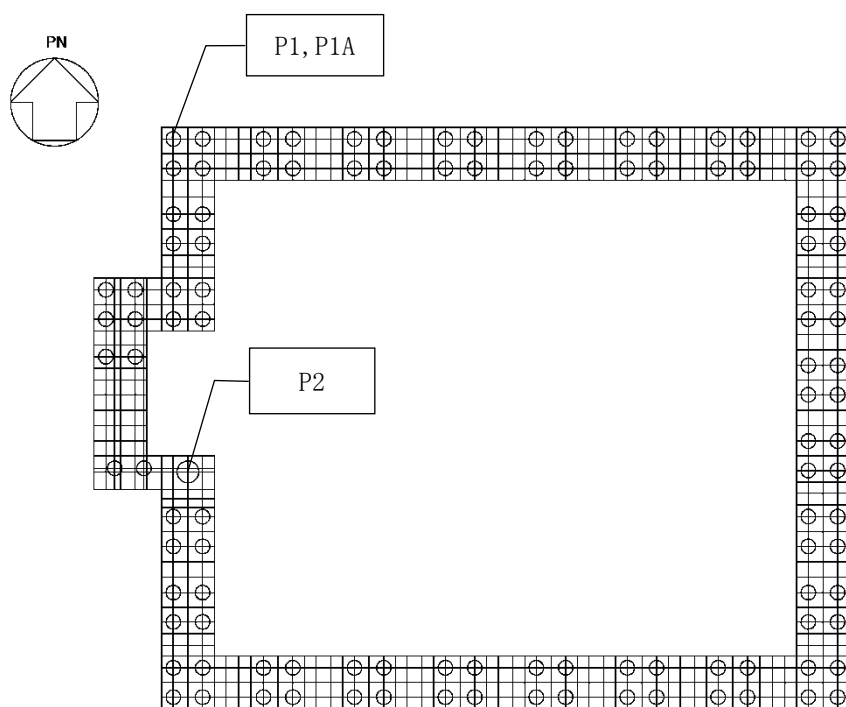
(b) P2

第5.5-2図 杭の軸力及び曲げモーメントに対する評価結果

(2) 支持力及び引抜力に対する評価結果

支持力及び引抜力に対する評価結果を記載する杭は，杭種ごとに，許容限界に対する軸力の割合が最も大きい杭に対して示す。当該の杭の位置を第5.5-3図に，評価結果を第5.5-2に示す。

支持力及び引抜力が，それぞれの許容限界を超えないことを確認した。



第5.5-3図 評価結果を記載する杭の位置

第5.5-2表 支持力及び引抜力に対する評価結果

項目	杭種	応力の組合せ結果		許容限界 (kN)	検定比	判定
		ケース*1	軸力*2 (kN)			
支持力	P1, P1A	1-7	2305	12635	0.183	OK
	P2	1-3	3926	21898	0.180	OK
引抜力	P1, P1A	1-2	-1525	5022	0.304	OK
	P2	1-6	-1064	7672	0.139	OK

注記 *1：基礎梁の応力解析におけるケースを示す。

*2：軸力は正が圧縮，負が引張を示す。

6. まとめ

基礎梁について、2章において設計の考え方について、3章において荷重の入力方法について、4章において断面の評価部位の選定について、5章において水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響について補足した。

参考資料 1

検証用モデルとの比較

目 次

1. 比較条件	1
2. 比較結果	2
2.1 曲げモーメント	2
2.2 せん断力	4
2.3 軸力	5

杭の応力評価結果の妥当性を、杭をモデル化した検証用モデル（別添1参照）における杭の発生応力と比較することで確認する。

1. 比較条件

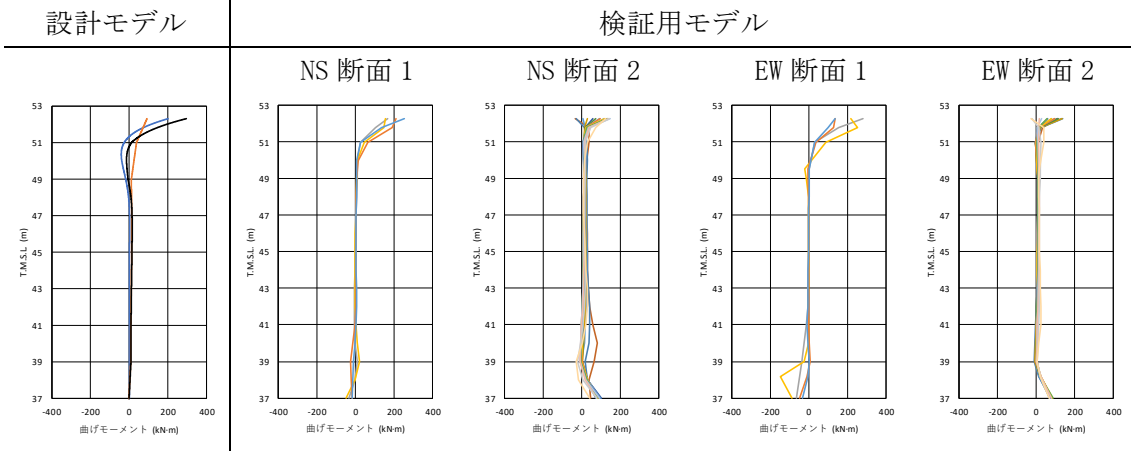
比較対象は検証用モデルでモデル化されたP1杭とし、解析ケースは、杭頭曲げモーメントに対しては設計モデルで最大値が発生した+ σ 地盤におけるSs-C1地震動及び標準地盤におけるSs-A地震動、せん断力及び軸力に対しては、支持架構の層せん断力が大きくなる- σ 地盤におけるSs-C1地震動及び- σ 地盤におけるSs-A地震動とする。なお、いずれも液状化時を対象とする。また、検証用モデルには風荷重が考慮されていない。風荷重に対する杭1本あたりの負担せん断力は40kN程度、それに伴う杭頭曲げモーメントは25kN・m程度となる。

2. 比較結果

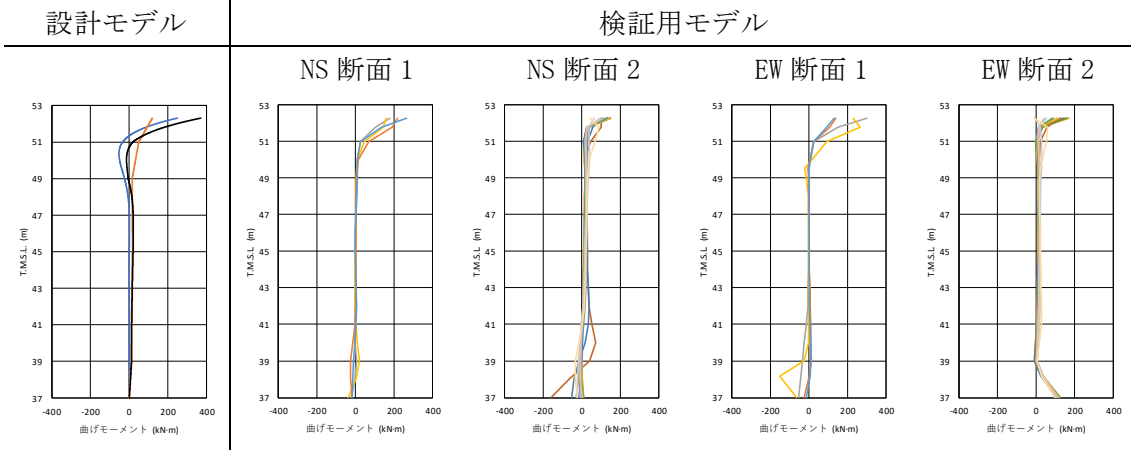
2.1 曲げモーメント

検証用モデルにおいて、最大応力が発生した時点の各杭の曲げモーメント図を第2.1-1図に示す。図中、設計モデルは、地盤変位による曲げモーメントを橙線、上部慣性力による曲げモーメントを青線、その和を黒線で示してある。検証用モデルにおいては、断面2よりも断面1の杭頭曲げモーメントが大きくなる傾向があり、最大300kN・m程度となっており、風荷重を考慮しても、設計モデルの地盤変位+上部慣性力による曲げモーメントより小さいことが確認できる。また、杭先端の改良地盤と支持地盤の境界付近においても比較的大きな曲げモーメントが発生しているが、杭頭曲げモーメントに比べると小さくなっている。なお、この傾向が、非液状化時（全応力解析）でも同様であることを別途確認している。

設計モデルを用いた評価において、杭先端付近で曲げモーメントが小さいのは、地盤変形による応力を杭先端をピンとして算出しているためである。杭は全長にわたり同一配筋であり、設計は杭頭付近の最大応力で評価しているため、杭先端付近の検証モデルとの応力の相違は問題ない。



(a) Ss-A

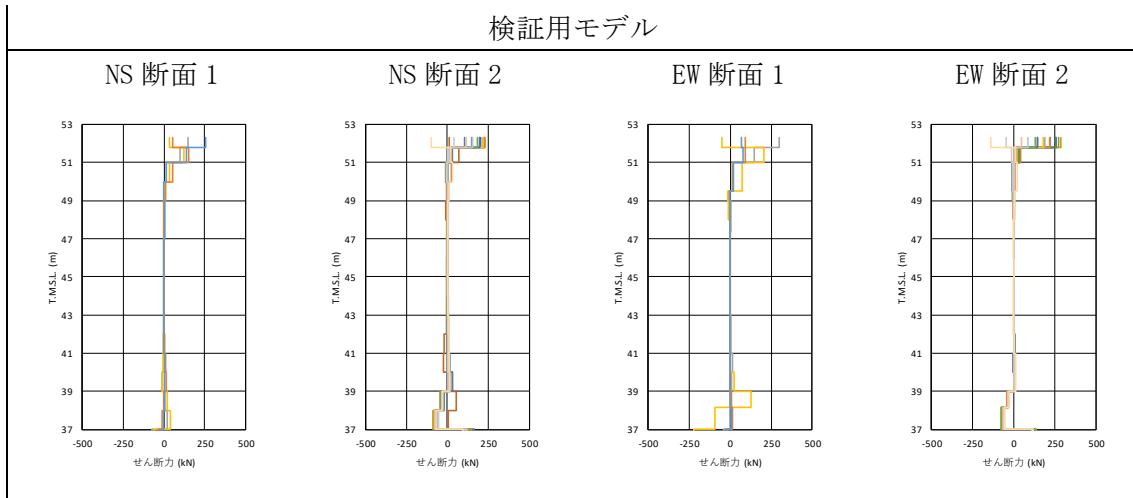
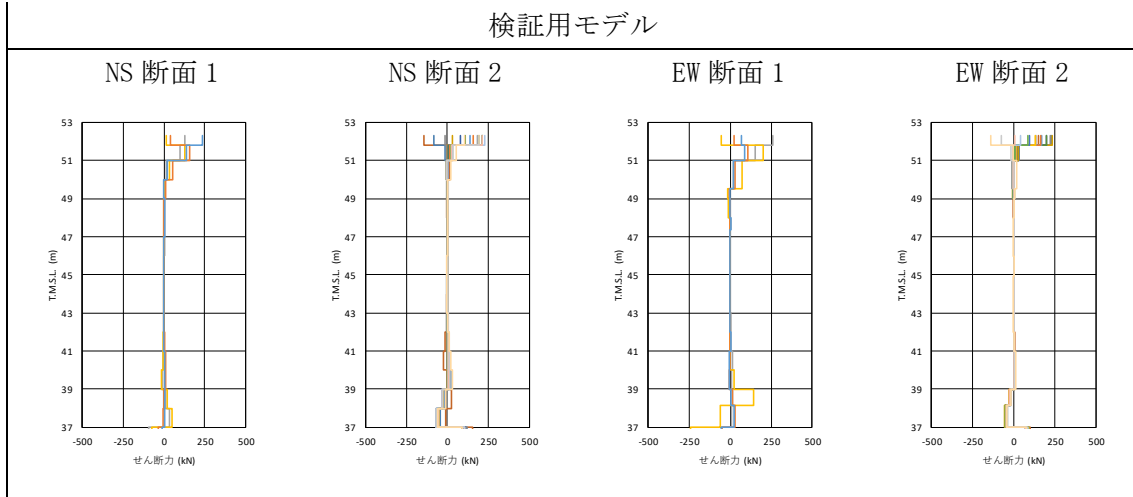


(b) Ss-C1

第 2.1-1 図 杭の曲げモーメント図 (最大値発生時)

2.2 せん断力

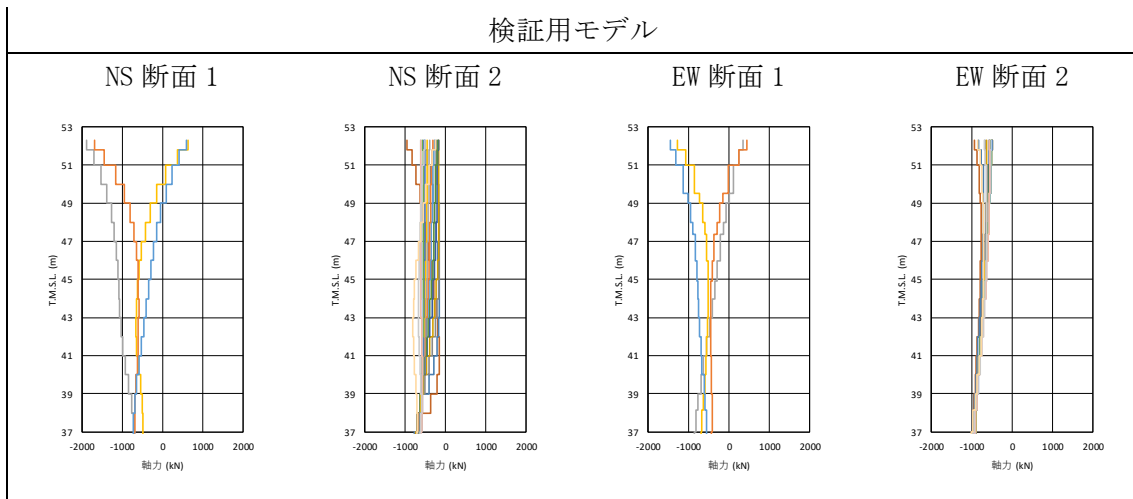
検証用モデルの最大せん断力図を第2.2-1図に示す。検証用モデルでは最大300kN程度となり、風荷重を考慮しても、設計モデルにおけるせん断力の方が大きい。



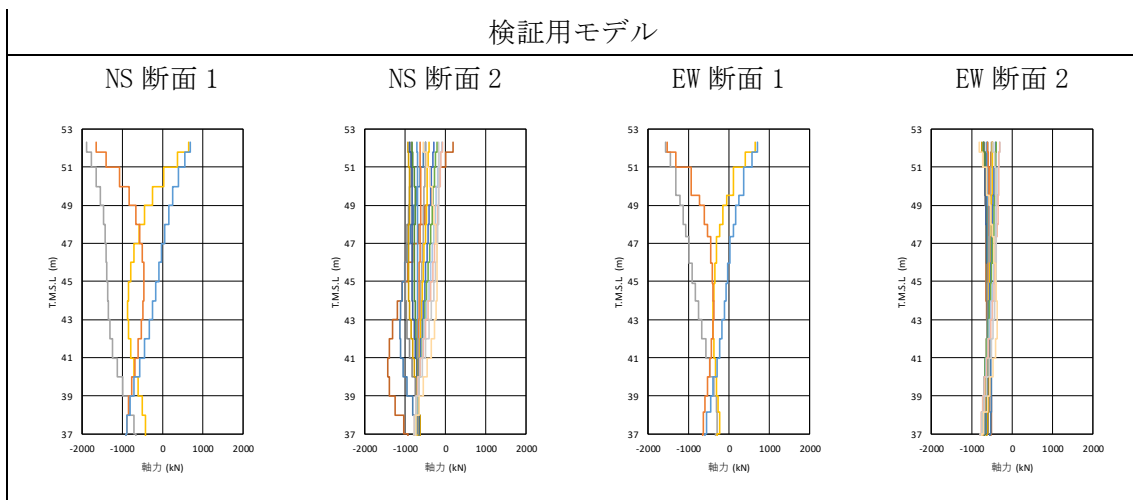
第2.2-1図 杭の最大せん断力図（最大値発生時）

2.3 軸力

検証用モデルの軸力図を圧縮最大時と引張最大時に分けて第2.3-1図及び第2.3-2図に示す。引張が正、圧縮が負を表している。断面2に比べると断面1は軸力変動が大きい。断面1は2つの基礎に分かれており、各基礎に2本ずつ、計4本の杭がモデル化されている。各基礎に属する2本の杭の応力状態は、圧縮と引張で逆転しており、間隔2mで配置された杭2本の軸力が偶力として支持架構の回転を支持している様子が表れている。圧縮力は最大1900kN程度、引張力は最大720kN程度となっており、設計モデルによる軸力と同程度となっている。ただし、本来は外力と平行方向の外周構面の荷重負担が大きく、中央である断面1の荷重負担は小さくなる。検証用モデルの支持架構のモデル化においては、このような荷重負担割合を考慮していないため、断面1には実際より大きな荷重が作用している。



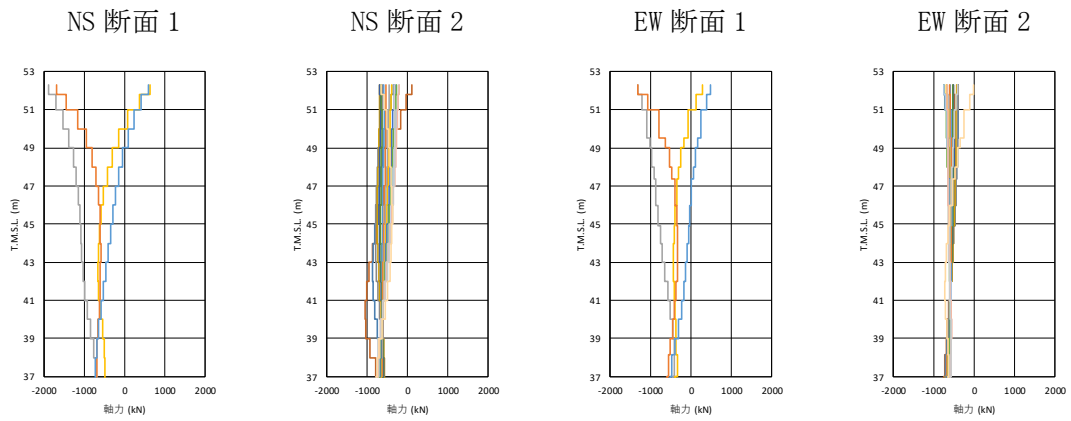
(a) Ss-A



(b) Ss-C1

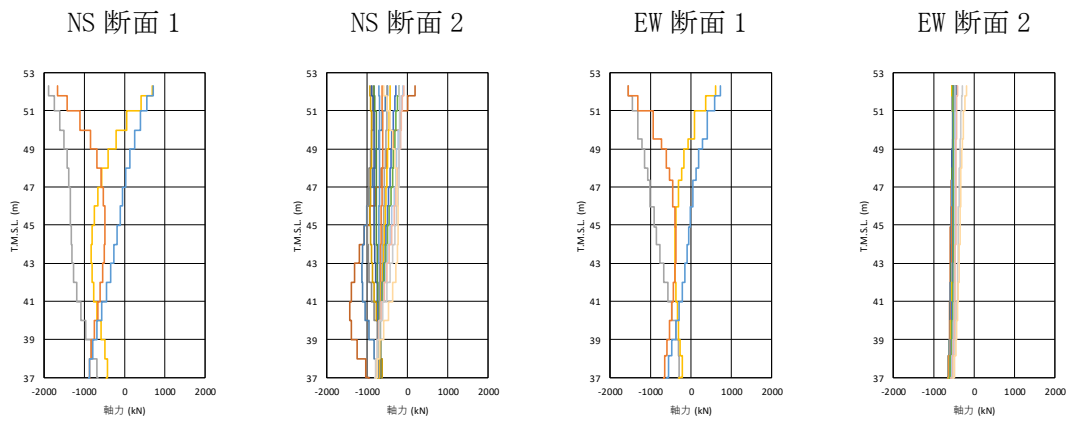
第 2.3-2 図 杭の最小軸力図（圧縮側最大値発生時）

検証用モデル



(a) Ss-A

検証用モデル

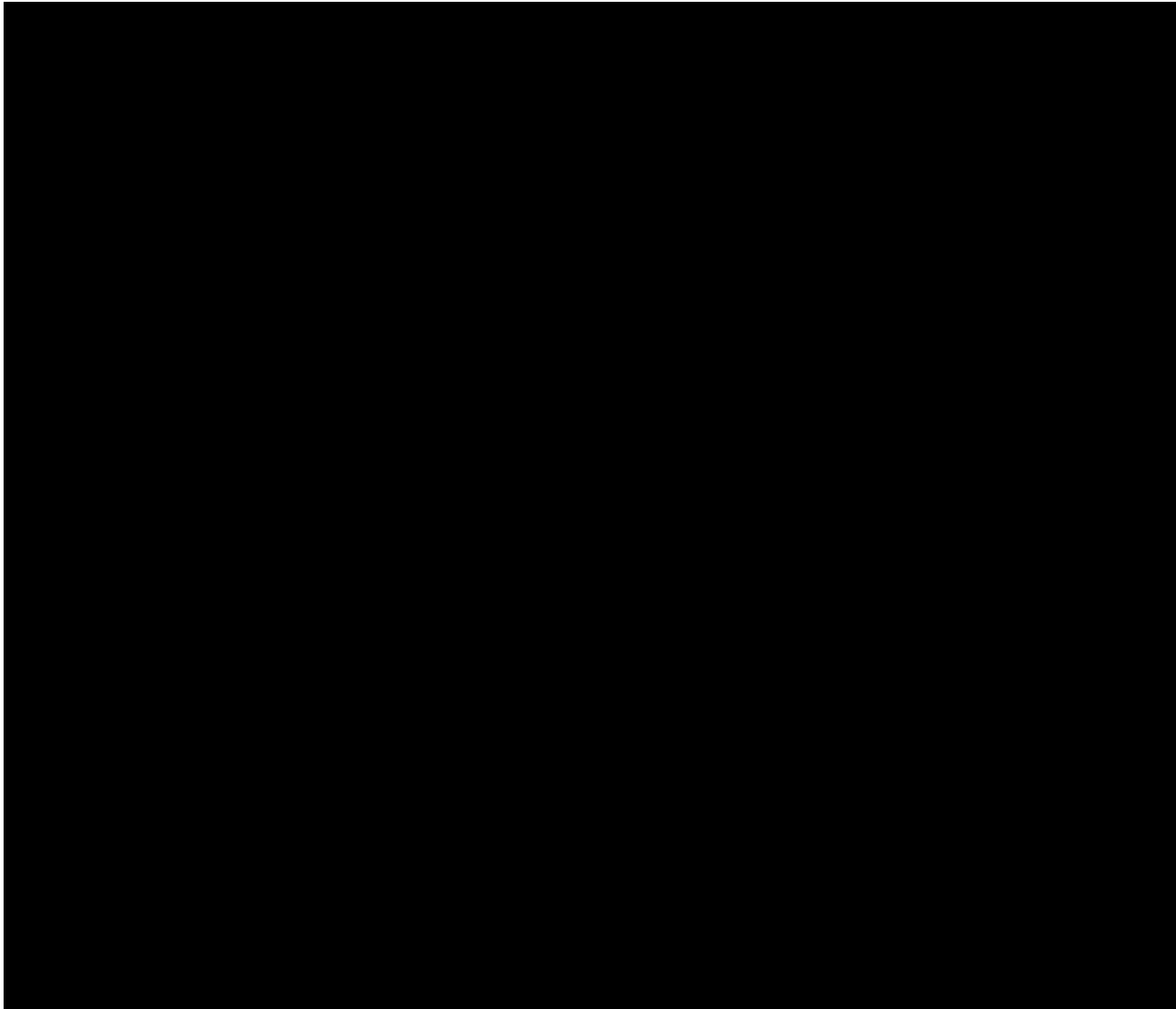


(b) Ss-C1

第 3.2-9 図 杭の最大軸力図 (引張側最大値発生時)

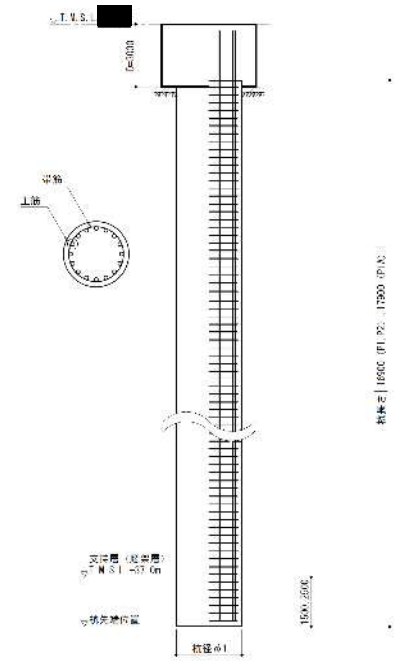
参考資料 2

杭の図面集



コンクリート F427 鉄筋 S345

記号	符号	数値 (φ)	寸法	規格
○	R1, R1A	1000	3-025	D15-4150
⊗	R2	1500	10-025	D15-4150



特記なき限り、数値はmmとする。

別添 8

組合せ係数法の適用性について

目 次

1. 概要.....	1
2. 検討内容.....	2
2.1 検討方針.....	2
2.2 検討方法.....	3
2.3 地震波の選定.....	5
3. 検討結果.....	8
4. まとめ.....	11

参考資料 時刻歴軸応力度の算定

1. 概要

本資料は、以下に示す資料における組合せ係数法の適用性について補足説明するものである。

「資料2 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の耐震性についての計算書」

2. 検討内容

2.1 検討方針

飛来物防護ネット架構の耐震評価における組合せ係数法の適用性の検討にあたっては、水平及び鉛直方向のそれぞれの最大値をもとに組合せ係数法を適用した評価値(以下、「組合せ係数法による評価値」という。)と水平及び鉛直方向の地震応答の時刻歴を時々刻々組み合わせて算定した時刻歴の最大値をもとにした評価値(以下、「時刻歴和による評価値」という。)の比較を実施する。

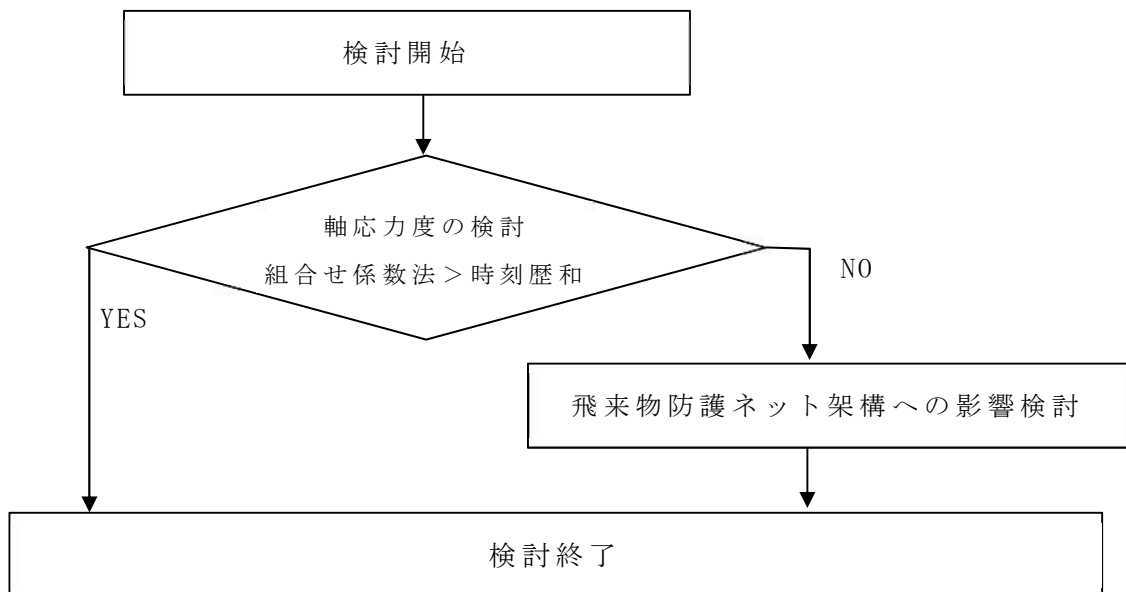
検討は、飛来物防護ネットの耐震評価に合わせて基準地震動 S_s に対して実施する。

検討は以下の2段階にて行う。

耐震評価における地震荷重の入力という観点で、基準地震動 S_s を包絡し組合せ係数法を適用して算出した最大軸応力度が時刻歴和による軸応力度と同等又は保守的であることを確認する。

基準地震動 S_s を包絡した評価値が保守的ではない場合は、時刻歴和による最大軸応力度が飛来物防護ネット架構へ及ぼす影響を検討する。

組合せ係数法の適用性検討フローを第2.1-1図に示す。



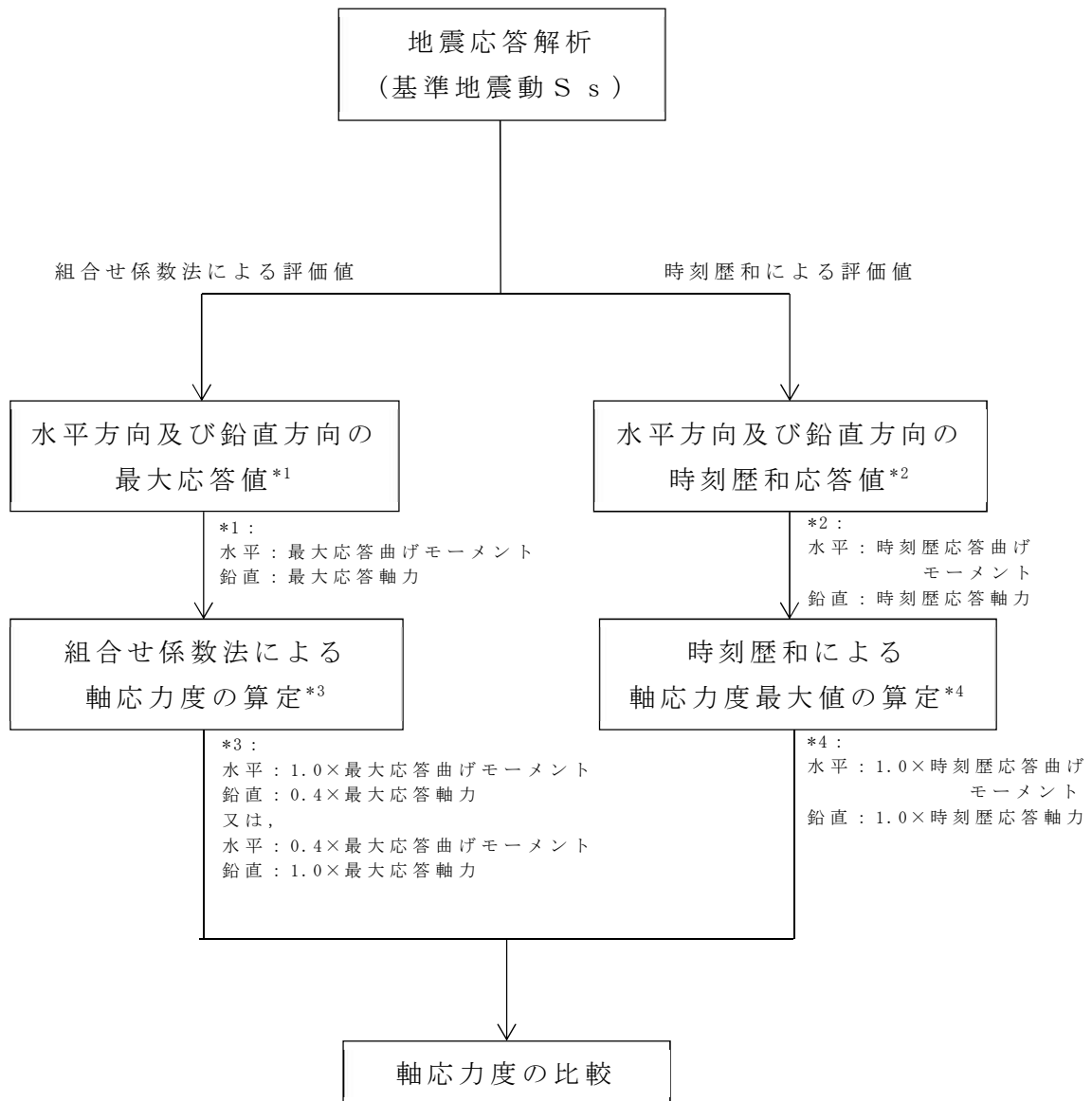
第 2.1-1 図 組合せ係数法の適用性検討フロー

2.2 検討方法

「組合せ係数法による評価値」は、地震応答解析による水平方向の最大応答曲げモーメントにより生じる軸応力度及び鉛直方向の最大応答軸応力度に 0.4(組合せ係数)を乗じた軸応力度、又は水平方向の最大応答曲げモーメントにより生じる軸応力度に 0.4(組合せ係数)を乗じた軸応力度及び鉛直方向の最大応答軸応力度から算定する。

これに対して、「時刻歴和による評価値」は、選定した地震波を用い、地震応答解析による水平方向の時刻歴応答曲げモーメントによる軸応力度と鉛直方向の時刻歴応答軸応力度の時刻歴和による応答軸応力度を算定し、その最大値を用いる。

第 2.2-1 図に軸応力度の比較フローを示す。



第 2.2-1 図 軸応力度の比較フロー

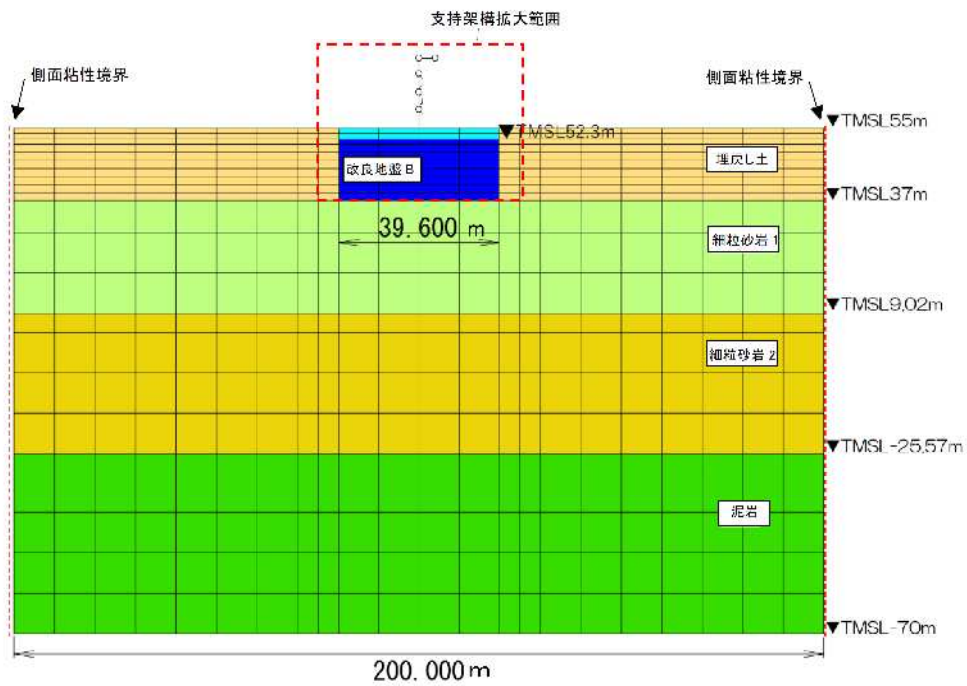
2.3 地震波の選定

耐震評価において、基準地震動 S_s に対する地震荷重として、 S_s-C1 による地震荷重、その他の地震による地震荷重 (S_s-C1 以外包絡) の 2 種類を設定している。このため、この 2 種類の地震荷重にそれぞれ対応する地震波として、 S_s-C1 地震波と S_s-C1 を除く地震波の 2 種類に分類して組合せ係数法の適用性を検討する。

検討する地震波と比較に用いる応答値を表 2.3-1 に示す。また、飛来物防護ネット架構の地震応答解析モデルを第 2.3-1 図及び第 2.3-2 図に示す。

第 2.3-1 表 検討する地震波と比較に用いる応答値

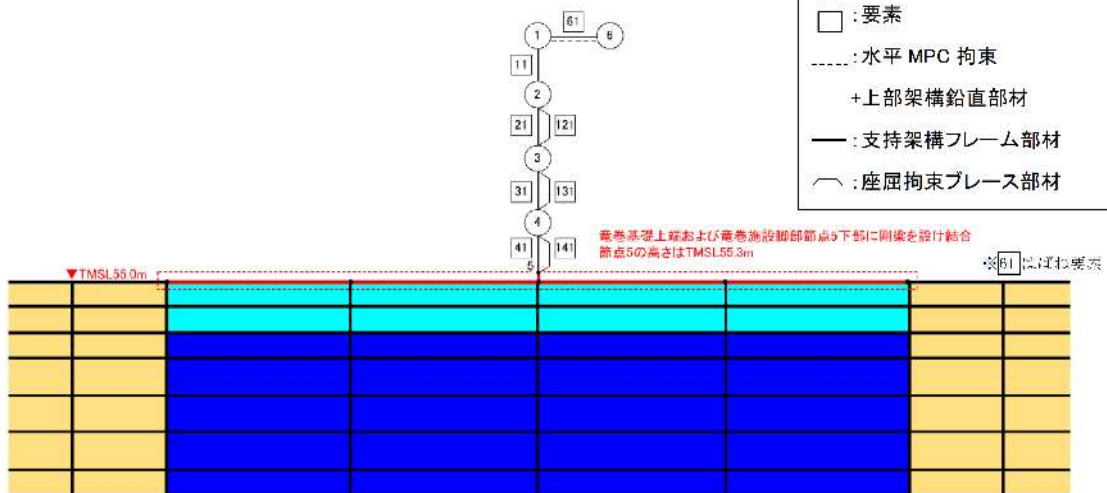
地震波	組合せ係数法	時刻歴和
S_s-C1 地震波	S_s-C1 地震波による 水平方向及び鉛直方向の 最大応答値	S_s-C1 地震波による 水平方向及び鉛直方向の 時刻歴和応答値
S_s-C1 を 除く地震波	S_s-C1 を除く全地震波によ る水平方向及び鉛直方向の 最大応答値	S_s-C1 を除く各地震波による 水平方向及び鉛直方向の 時刻歴和応答値



(全体)

凡例

- : 質点
- : 要素
- : 水平 MPC 拘束
- + : 上部架構鉛直部材
- : 支持架構フレーム部材
- ∩ : 座屈拘束ブレース部材



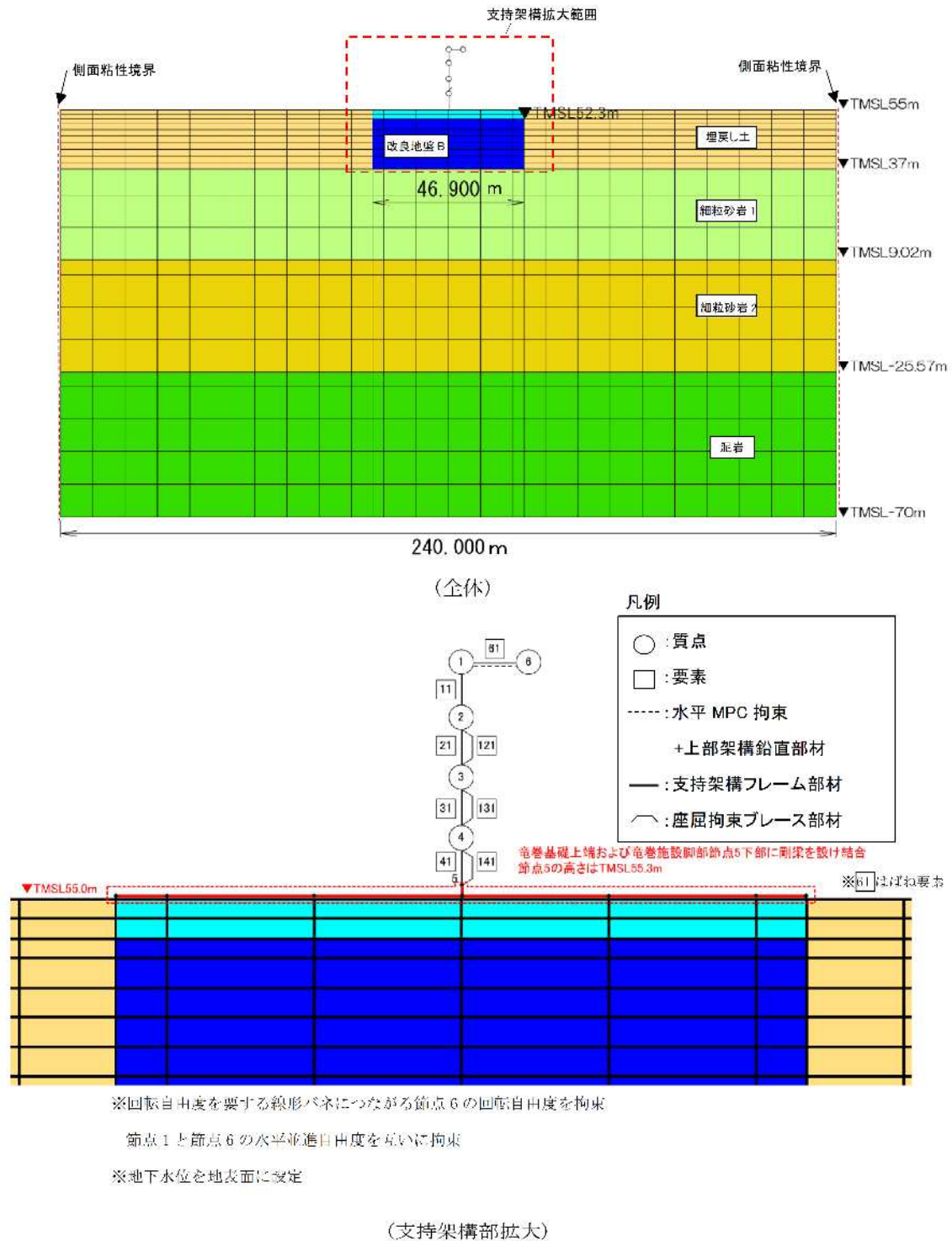
※回転自由度を要する線形バネにつながる節点6の回転自由度を拘束

節点1と節点6の水平並進自由度を互いに拘束

※地下水位を地表面に設定

(支持架構部拡大)

第 2.3-1 図 地震応答解析モデル (NS 断面)



第 2.3-2 図 地震応答解析モデル (EW 断面)

3. 検討結果

組合せ係数法による最大軸応力度(①), 時刻歴軸応力度の最大値(②)及び軸応力度の最大値の比(①/②)を確認した軸応力度の比較結果を第 3-1 表及び第 3-2 表に示す。参考として時刻歴軸応力度の最大値の算定詳細を, 参考資料「時刻歴軸応力度の算定」に示す。

Ss-C1 地震波及び Ss-C1 を除く地震波ともに, 軸応力度の最大値の比(①/②)が 1.0 を下回らないことから, 組合せ係数法の方が保守的な値となっていることを確認した。

第 3-1 表 軸応力度の比較結果 (NS 方向)

(a) S_s-C1 地震波

部材 番号	① 組合せ係数法による 最大軸応力度 (kN/m ²)	② 時刻歴軸応力度の 最大値 (kN/m ²)	軸応力度の 最大値の比* ⁴ (① / ②)
41, 141	43546* ¹	42912	1.01

(b) S_s-C1 を除く地震波

部材 番号	① 組合せ係数法による 最大軸応力度 (kN/m ²)	② 時刻歴軸応力度の 最大値 (kN/m ²)	軸応力度の 最大値の比* ⁴ (① / ②)
41, 141	41187* ²	40704* ³	1.01

注記 *1: 水平方向に 1.0×最大応答曲げモーメント, 鉛直方向に 0.4×最大応答軸力を考慮したケース。

*2: 水平方向に 1.0×最大応答曲げモーメント (S_s-A), 鉛直方向に 0.4×最大応答軸力 (S_s-B3) を考慮したケース。

*3: S_s-C1 を除く地震波のうち, 最大値が生じる S_s-A の値。

*4: 小数第 3 位を保守的観点から切捨てとする。

第 3-2 表 軸応力度の比較結果 (EW 方向)

(a) S_s-C1 地震波

部材 番号	① 組合せ係数法による 最大軸応力度 (kN/m ²)	② 時刻歴軸応力度の 最大値 (kN/m ²)	軸応力度の 最大値の比 ^{*4} (① / ②)
41, 141	35948 ^{*1}	35345	1.01

(b) S_s-C1 を除く地震波

部材 番号	① 組合せ係数法による 最大軸応力度 (kN/m ²)	② 時刻歴軸応力度の 最大値 (kN/m ²)	軸応力度の 最大値の比 ^{*4} (① / ②)
41, 141	35627 ^{*2}	35184 ^{*3}	1.01

注記 *1: 水平方向に 1.0×最大応答曲げモーメント, 鉛直方向に 0.4×最大応答軸力を考慮したケース。

*2: 水平方向に 1.0×最大応答曲げモーメント (S_s-A), 鉛直方向に 0.4×最大応答軸力 (S_s-B3) を考慮したケース。

*3: S_s-C1 を除く基準地震動のうち, 最大値が生じる S_s-B5 のケース。

*4: 小数第 3 位を保守的観点から切捨てとする。

4. まとめ

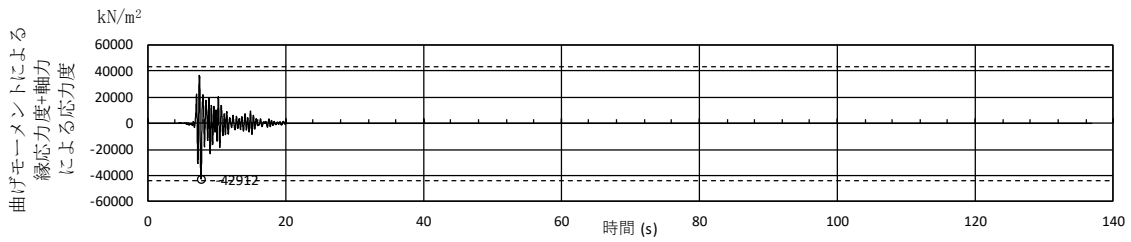
飛来物防護ネット架構の耐震評価について、「組合せ係数法による評価値」と「時刻歴和による評価値」を比較した。

比較した結果、「組合せ係数法による評価値」が保守的となっていることを確認した。

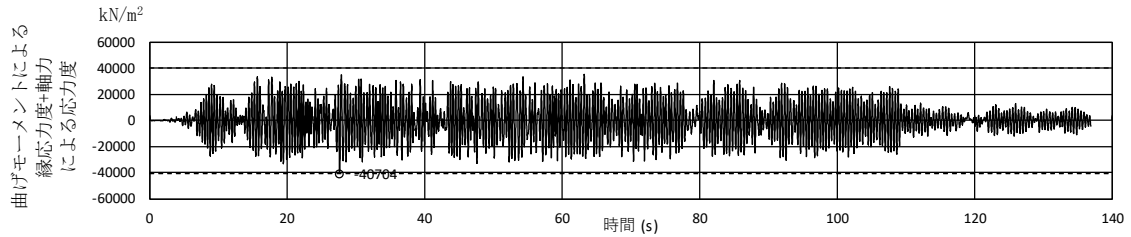
以上より、飛来物防護ネット架構の耐震評価において、組合せ係数法を適用した評価が妥当であることを確認した。

参考資料 時刻歴軸応力度の算定

時刻歴応答解析結果から算定した時刻歴軸応力度の算定結果を第1図、第2図に示す。ここで、算定結果は、曲げモーメントによる軸応力度に、軸力による応力度を、正負を考慮して組み合わせた結果のうち、最大値が発生したケースを示している。



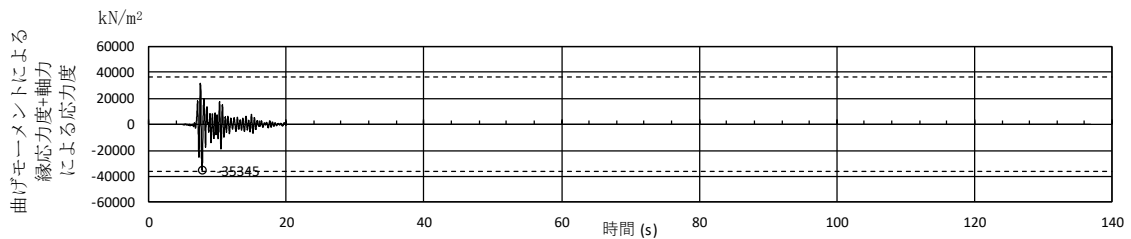
(a) Ss-C1 地震波



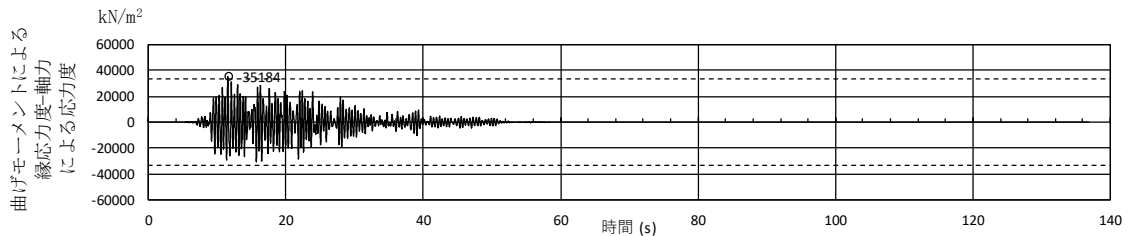
(b) Ss-C1 を除く地震波 (最大値となる Ss-A)

【参考】 ----- : 組合せ係数法による最大軸応力度

第 1 図 時刻歴軸応力度の算定結果 (NS 方向, 部材番号 41, 141)



(a) Ss-C1 地震波



(b) Ss-C1 を除く地震波 (最大値となる Ss-B5)

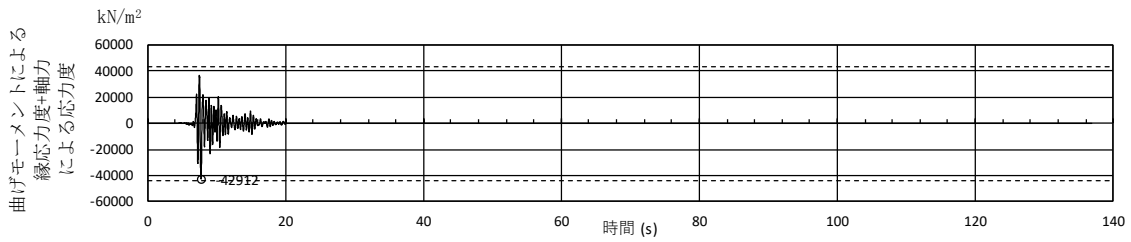
【参考】 ----- : 組合せ係数法による最大軸応力度

第 2 図 時刻歴軸応力度の算定結果 (EW 方向, 部材番号 41, 141)

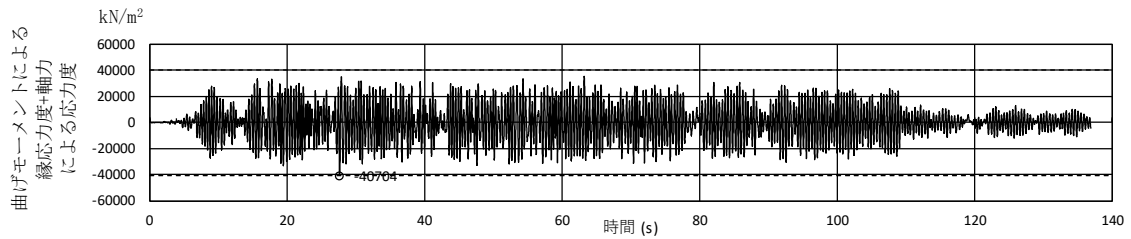
参考資料

時刻歴軸応力度の算定

時刻歴応答解析結果から算定した時刻歴軸応力度の算定結果を第1図，第2図に示す。ここで，算定結果は，曲げモーメントによる軸応力度に，軸力による応力度を，正負を考慮して組み合わせた結果のうち，最大値が発生したケースを示している。



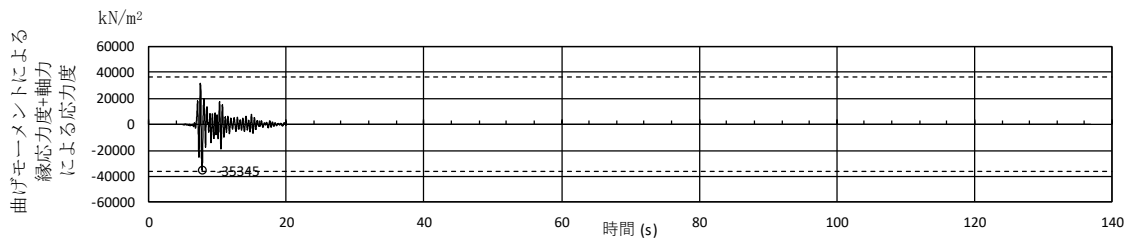
(a) Ss-C1 地震波



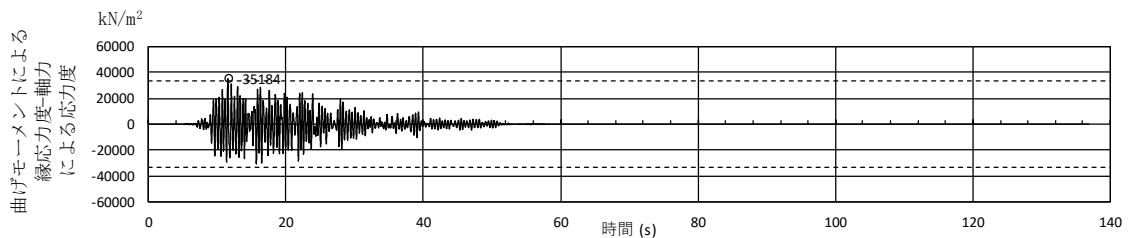
(b) Ss-C1 を除く地震波 (最大値となる Ss-A)

【参考】 ----- : 組合せ係数法による最大軸応力度

第 1 図 時刻歴軸応力度の算定結果 (NS 方向, 部材番号 41, 141)



(a) Ss-C1 地震波



(b) Ss-C1 を除く地震波 (最大値となる Ss-B5)

【参考】 ----- : 組合せ係数法による最大軸応力度

第 2 図 時刻歴軸応力度の算定結果 (EW 方向, 部材番号 41, 141)

別添 9

液状化の影響確認について
(地盤剛性低下，沈下，転倒及び滑動)

目 次

1. 概要	1
2. 液状化の影響因子.....	2
3. 液状化の影響確認.....	4
3.1 転倒に対する評価.....	4
3.2 滑動に対する評価.....	6
3.3 浮上りに対する評価.....	7
4. まとめ	8

参考資料 1 最大応答加速度および最大応答せん断ひずみの分布

参考資料 2 周辺地盤（埋戻し土）の沈下に対する影響確認

1. 概要

本資料は、以下に示す資料における地盤の液状化に伴う波及的影響について補足説明するものである。

「資料2 飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B）の耐震性についての計算書」

本資料では、地盤の液状化に伴い、基礎岩盤と改良地盤との境界部における転倒、滑動等を評価し波及的影響とならないことを確認する。

2. 液状化の影響因子

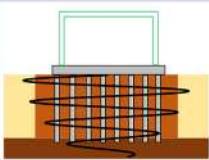
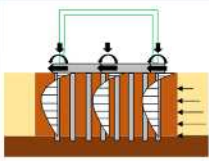
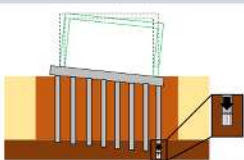
液状化時の被害事例から抽出した影響因子に対して、飛来物防護ネット架構への影響が発生する機構を整理し、影響の有無を確認する。液状化の影響因子に対する評価は第 2-1 表に示す 6 項目を対象とする。

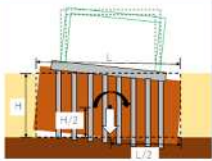
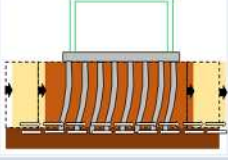
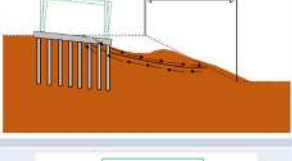
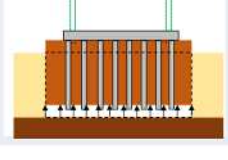
第 2-1 表の①地盤剛性低下について、支持架構の耐震性に影響がないことを有効応力解析を用いた耐震評価により確認している。②沈下のうち杭の支持性能について、影響がないことを杭の最大軸力と地盤の支持力の比較により確認している。また、⑤側方流動については、施設が設置される場所は高低差がある台地の法肩から 100m 以上離れており側方流動に対する影響はないことから評価は不要である。

このため、ここでは、③転倒、④滑動及び⑥浮上りについて確認する。

注：①～④は有効応力解析から求まる作用力が生じた際の損傷状態を状態別に個別に示している。

第 2-1 表 液状化の影響因子

影響因子	損傷状態	イメージ図	確認方法
①地盤剛性低下	上部応答が増大する		有効応力解析から求まる「ネット架構の脚部における応答」に対してネット架構が冷却塔への波及的影響（架構の崩壊・架構の衝突・部材の落下）が生じないことを確認する。上部架構（各種部材を含む）の応力度（軸力+曲げ）及び冷却塔との相対変位を評価指標とする。 なお、上部架構、基礎梁、杭については、耐震計算書で耐震性に影響がないことを確認している。
	杭に大きな応力が生じ、支持性能を失う		有効応力解析から求まる「杭に作用する荷重」と、上部構造の3次元フレームモデルから求まる「上部構造から作用する荷重」を考慮し、発生する応力が、杭の許容限界を下回っていることをもって、地盤剛性低下により基礎の支持性能が喪失しないことを確認する。杭の耐力（軸力+曲げ）を評価指標とする。 なお、杭の支持力に対する評価については、耐震計算書で支持性能に影響がないことを確認している。
②沈下	杭の先端の支持地盤の支持性能を失う		有効応力解析から求まる「杭の鉛直力」が、鷹架層の極限支持力を下回っていることをもって、沈下により基礎の支持性能が喪失しないことを確認する。杭の鉛直力を評価指標とする。

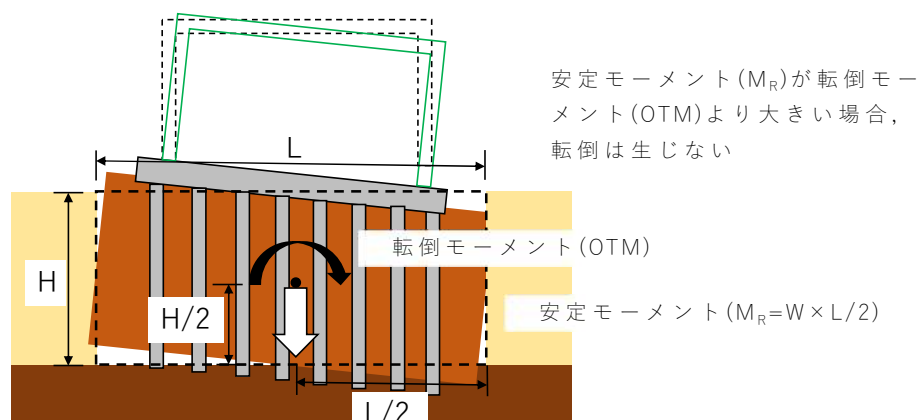
影響因子	損傷状態	イメージ図	確認方法
③転倒	杭基礎全体の過大な変形により支持性能を失う		有効応力解析から求まる「側方土圧と施設全体に作用する慣性力」により発生する「転倒モーメント」が、改良地盤の重心位置に作用する自重から求められる安定モーメントを下回っていることをもって、転倒により基礎の支持性能が喪失しないことを確認する。転倒モーメントを評価指標とする。
④滑動	杭基礎全体の過大な変形により、支持性能を失う		有効応力解析から求まる「支持岩盤と改良地盤の接合面でのせん断力」が、杭のせん断抵抗力と接合面でのせん断抵抗力（JEG4601-1987による）の両抵抗力の合計を下回っていることをもって、滑動により基礎の支持性能が喪失しないことを確認する。接合面でのせん断力を評価指標とする。
⑤側方流動	周辺地盤状況が側方に流動し、杭基礎全体の過大な変形により、支持性能を失う		施設が設置される場所は高低差がある台地の法肩から100m以上離れていること（道路橋示方書）から側方流動は生じないと評価し、基礎の支持性能が喪失しないことを確認している。
⑥浮上り	杭基礎全体の過大な変形により支持性能を失う		施設の下方に液状化対象層がないことから液状化に伴う浮上りは生じないと評価し、基礎の支持性能が喪失しないことを確認している。

3. 液状化の影響確認

3.1 転倒に対する評価

側方土圧と施設全体に作用する慣性力により発生する転倒モーメント (OTM) が安定モーメント (M_R) を下回ることを、転倒モーメント最大時において改良地盤下端で引張力が発生しないことを Ss-C1 を用いて確認する。

有効応力解析及び全応力解析結果のうち、改良地盤の最下層の要素の垂直応力を用いて転倒に対する検討を行う。解析結果の垂直応力には、慣性力により発生する転倒モーメント (OTM) と、自重による安定モーメント (M_R) の両者の影響が含まれている。従って、改良地盤の最下層の要素の垂直応力を用いて算出した両端部における回転モーメントの差分 ($OTM - M_R$) が負となることで、転倒が生じないことを確認する。転倒に対する評価イメージを第 3-1 図に示す。第 3-1 表より、転倒モーメントと安定モーメントの差が負であり、転倒が生じないことを確認した。

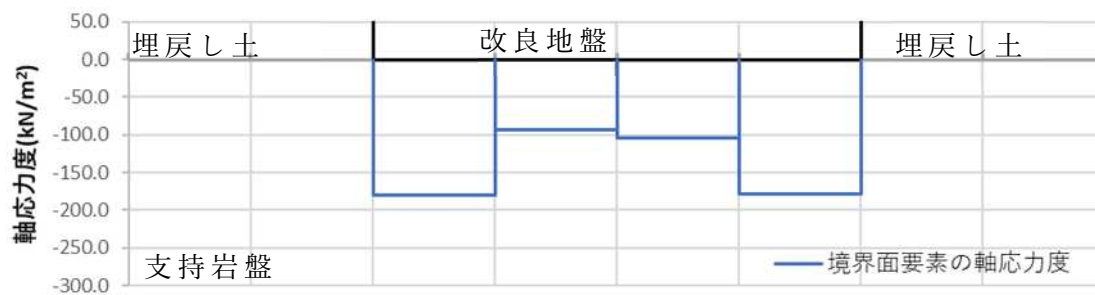


第 3-1 図 転倒に対する評価のイメージ

第 3-1 表 転倒に対する評価

方向	差分 ($OTM - M_R$) ($kN \cdot m/m$)	評価	地震動
NS 方向	-129935	0 未満	Ss-C1
EW 方向	-178220	0 未満	Ss-C1

転倒モーメントが最大時の改良地盤下端(支持地盤と改良地盤の境界面要素)での軸応力度を第 3-2 図に示す。全ての境界面要素で引張力は発生しておらず(第 3-3 図参照), 転倒は生じないことを確認した。



※引張が正, 圧縮が負とする。

第 3-1 図 転倒モーメント最大時の改良地盤下端での軸応力度分布

3.2 滑動に対する評価

有効応力解析及び全応力解析より求まる支持地盤と改良地盤の境界面でのせん断力が、境界面でのせん断抵抗力を下回ることで滑動が生じないことをSs-C1を用いて確認する。

第 3-2 表に滑動に対する評価結果を示す。改良地盤下端(支持地盤と改良地盤の境界面要素)の平均せん断応力度の最大値が、支持地盤のせん断抵抗力を下回ることを確認した。なお、杭体が発生せん断力に対して健全であることを別添 6 にて別途確認しているため、実際にはせん断抵抗力に杭体のせん断抵抗力も加算して考慮することができるが、ここでは保守性は考慮していない。

支持地盤と改良地盤の境界面におけるせん断応力度は、滑動に対する評価が最も厳しくなる Ss-C1 での液状化時(有効応力解析結果)と非液状化時(全応力解析結果)を比較すると、液状化による周辺地盤からの滑動への影響は比較的軽微であることを確認した。

第 3-2 表 滑動に対する評価(Ss-C1)

方向	せん断応力度 (kN/m ²)	せん断抵抗力 ^{*1} (kN/m ²)	評価	地震動
NS	338(320)	935	0.362	Ss-C1
EW	309(298)	935	0.331	Ss-C1

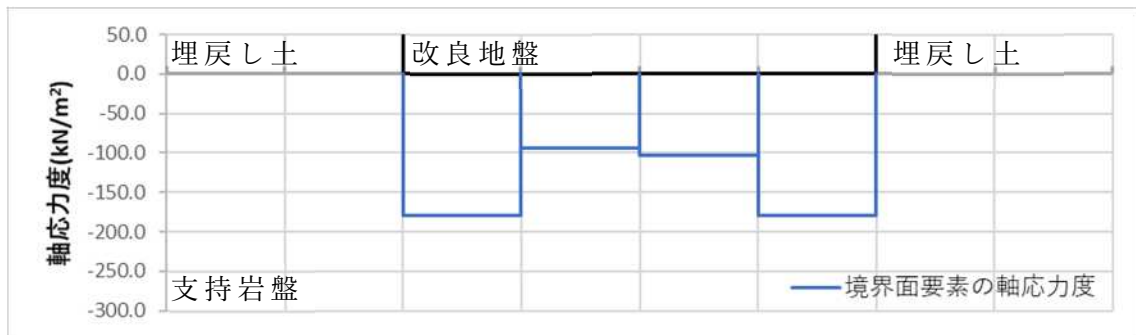
注：括弧以外は有効応力解析結果を示し、括弧内は全応力解析結果を示す。

*1：垂直応力度に地震応答解析結果を考慮

3.3 浮上りに対する評価

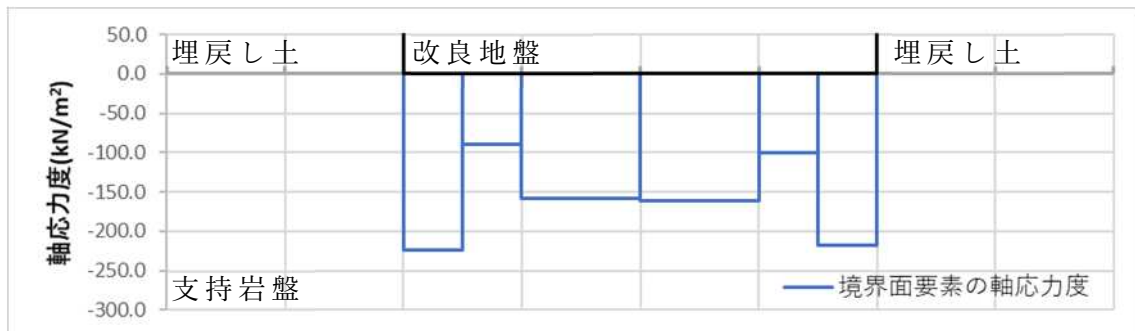
施設の下方に液状化対象層がないことから浮上りに対する影響はないため、評価は不要である。しかしながら、有効応力解析の結果からも浮上りが生じないことを確認した。

第 3-2 図及び第 3-3 図に改良地盤下端(支持地盤と改良地盤の境界面要素)の全地震波で最大となる軸応力度分布を示す。ここで、軸力は引張を正としているため、図より改良地盤下端において引張力は生じていないことを確認している。また、基礎梁と改良地盤の境界に対しては、浮上りに対して杭の引張力で抵抗するため、浮上りは生じないと評価した。



注：引張が正，圧縮が負とする。

第 3-2 図 改良地盤下端の全地震波における最大軸応力度分布(NS 方向)



注：引張が正，圧縮が負とする。

第 3-3 図 改良地盤下端の全地震波における最大軸応力度分布(EW 方向)

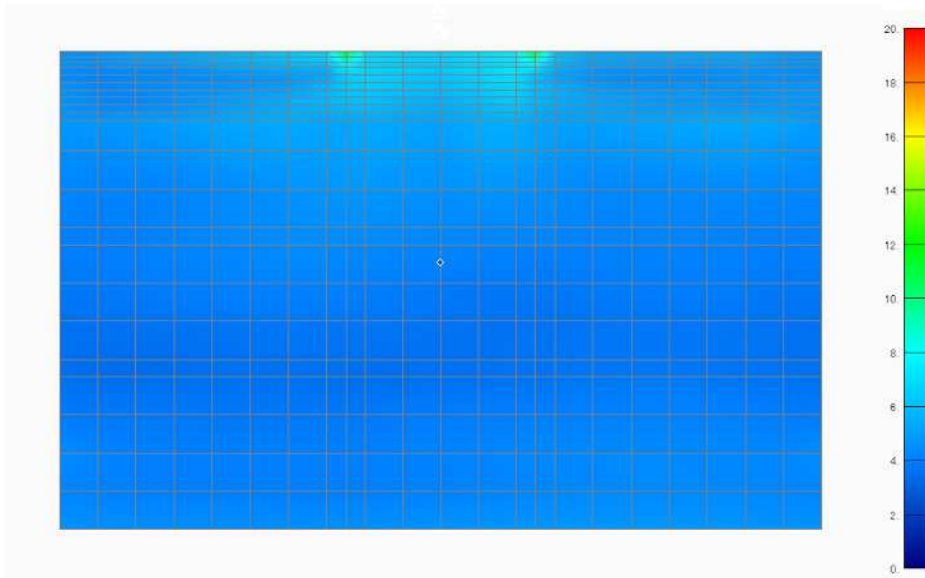
4. まとめ

液状化時の被害事例から抽出した影響因子に対して、飛来物防護ネット架構への影響の有無を確認した結果、冷却塔へ与える波及的影響はないことを確認した。

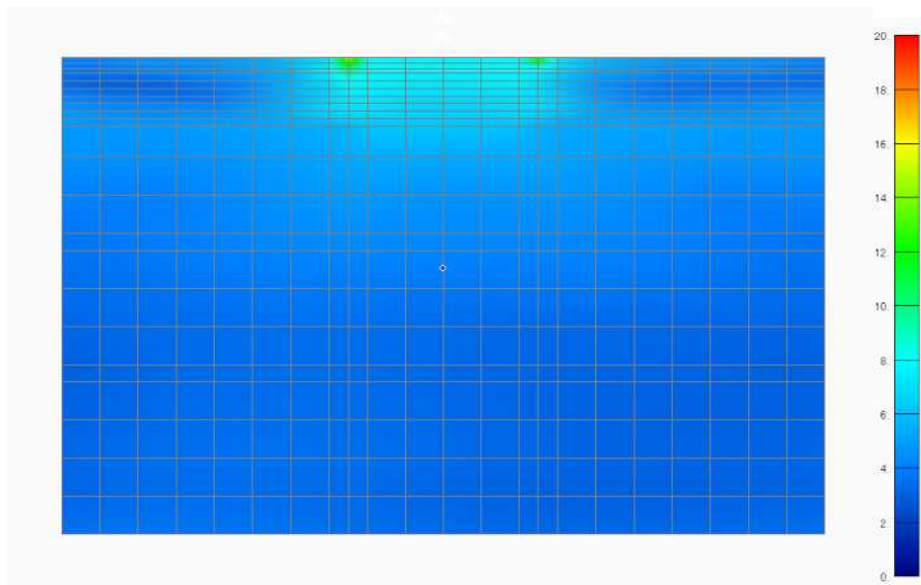
参考資料 1

地盤の最大応答加速度および
最大応答せん断ひずみの分布

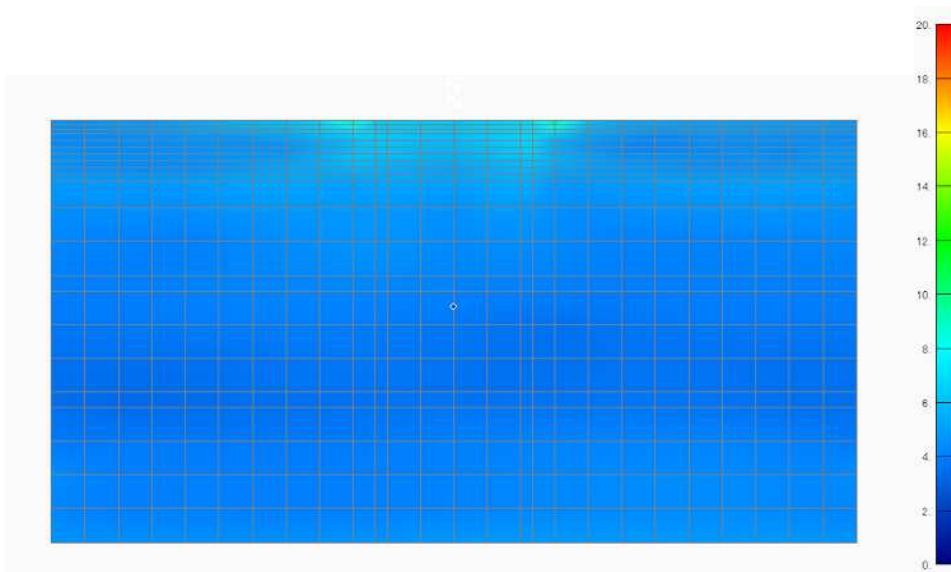
全応力解析結果のうち，地盤の最大応答加速度，最大応答せん断ひずみ分布及び過剰間隙水圧分布を第 1-1 図～第 1-10 図に示す。なお，解析結果は代表として Ss-A 及び Ss-C1 を示す。



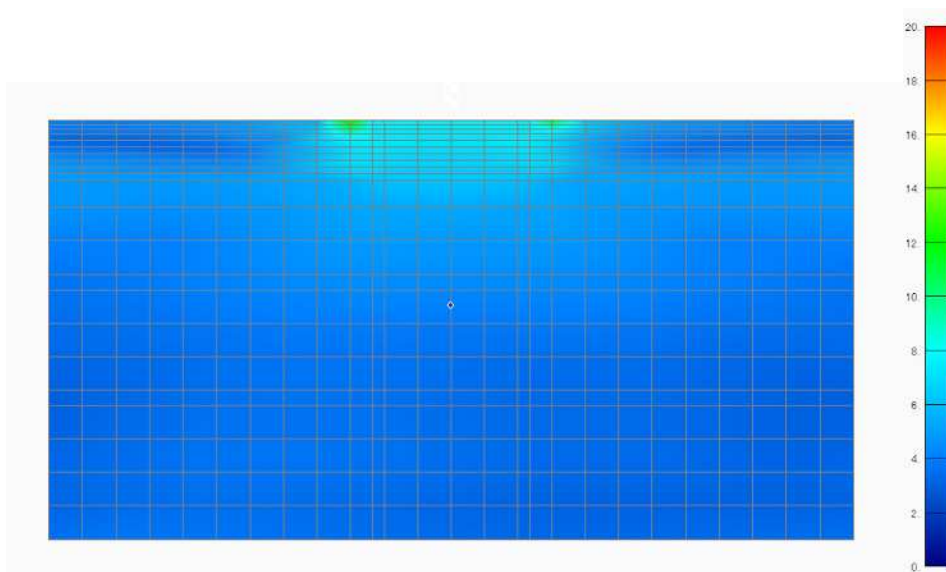
第 1-1 図 地盤の最大応答加速度分布 (単位 m/s^2)
(NS 断面, Ss-A, 全応力解析)



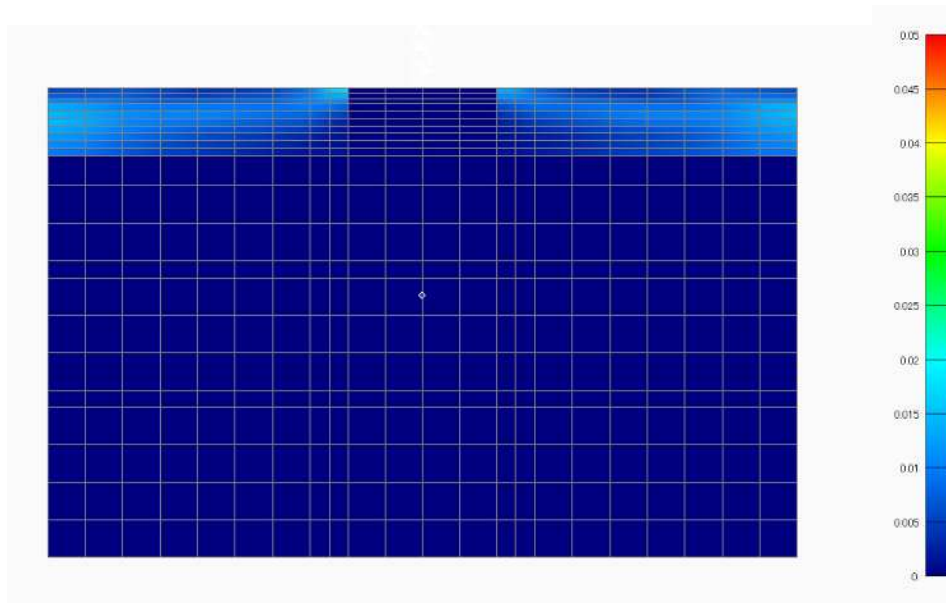
第 1-2 図 地盤の最大応答加速度分布 (単位 m/s^2)
(NS 断面, Ss-C1, 全応力解析)



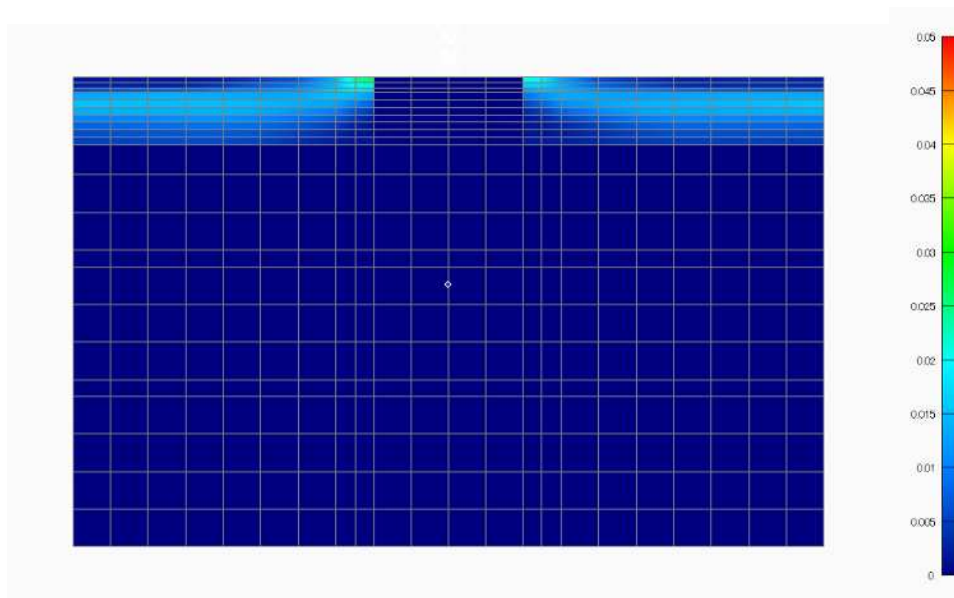
第 1-3 図 地盤の最大応答加速度分布 (単位 m/s^2)
(EW 断面, S_S-A, 全応力解析)



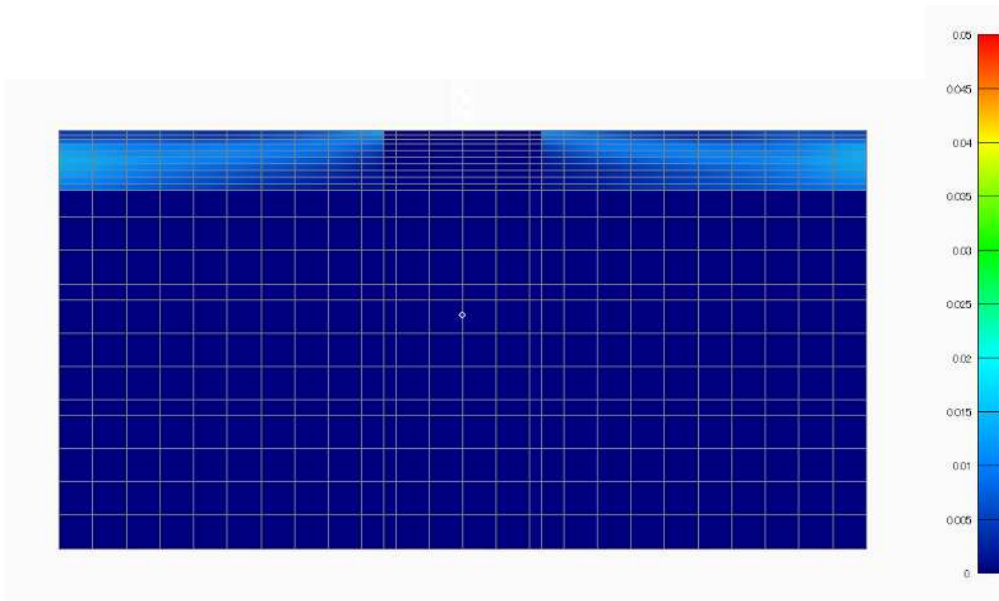
第 1-4 図 地盤の最大応答加速度分布 (単位 m/s^2)
(EW 断面, S_S-C1, 全応力解析)



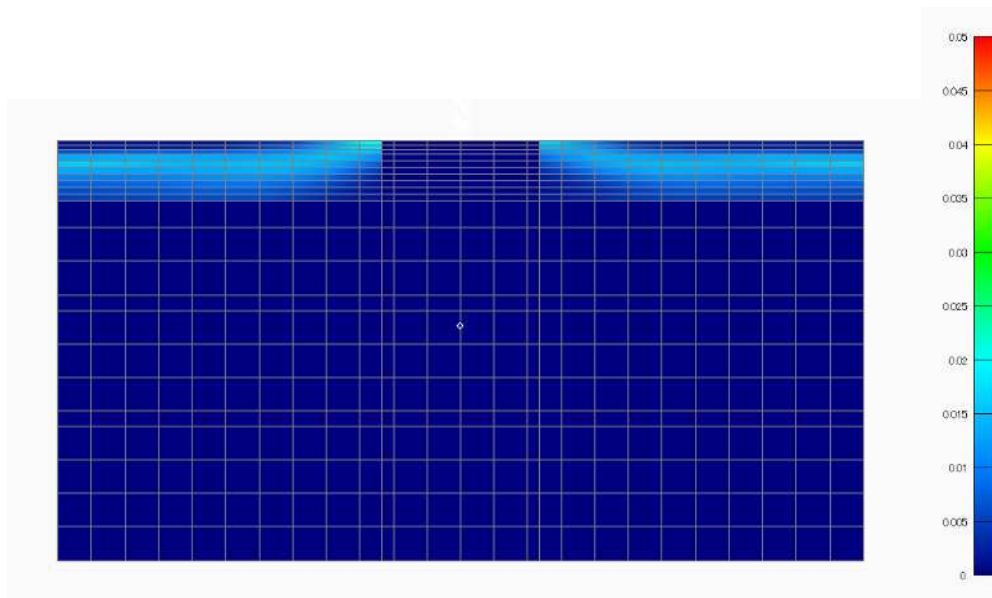
第 1-5 図 地盤の最大せん断ひずみ分布
(NS 断面, S_s-A, 全応力解析)



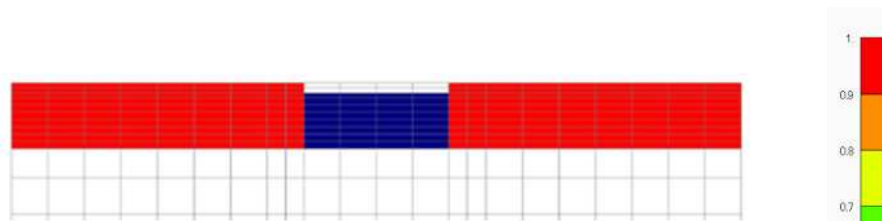
第 1-6 図 地盤の最大せん断ひずみ分布
(NS 断面, S_s-C1, 全応力解析)



第 1-7 図 地盤の最大せん断ひずみ分布
(EW 断面, S_s-A, 全応力解析)

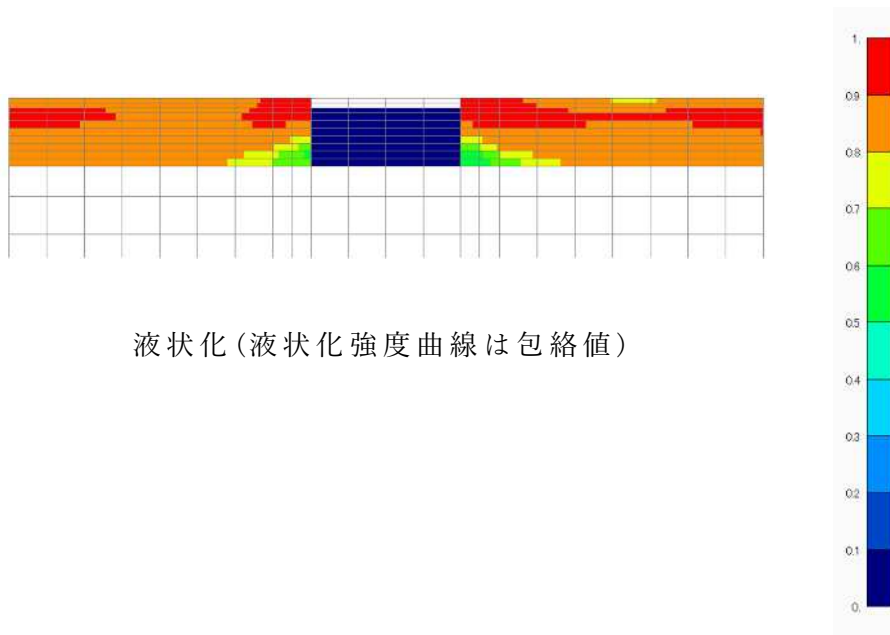


第 1-8 図 地盤の最大せん断ひずみ分布
(EW 断面, S_s-C1, 全応力解析)



液状化(液状化強度曲線は包絡値)

第 1-9 図 最終時刻の過剰間隙水圧比分布 (EW 断面, S_s-A)



液状化(液状化強度曲線は包絡値)

第 1-10 図 最終時刻 (20 秒加振後) の過剰間隙水圧比分布 (EW 断面, S_s-C1)

参考資料 2

周辺地盤（埋戻し土）の沈下に対する影響確認

周辺地盤である埋戻し土の沈下量について検討した。沈下量の評価においては、下式を用いる。

$$D'_{(Z)} = d_{r(Z)} + d_{epw(Z)}$$

ここに、 $D'_{(Z)}$ ：沈下量

$d_{r(Z)}$ ：地震応答解析の最終時刻の鉛直変位

$d_{epw(Z)}$ ：過剰間隙水圧の消散に伴う沈下量

$$d_{epw(Z)} = \varepsilon_V \cdot \Delta H$$

ここに、 ε_V ：体積ひずみ

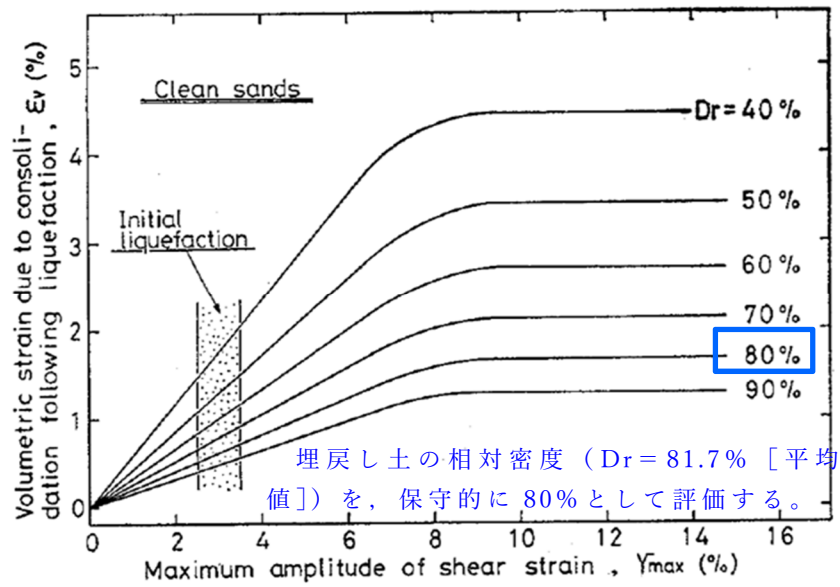
ΔH ：埋戻し土層厚(本検討では 18m)

有効応力解析に用いる解析コード FLIP(マルチスプリングモデル)では、地震後の過剰間隙水圧消散に伴う沈下量は考慮されない。このため、埋戻し土の沈下量の評価としては、FLIP による地震応答解析の最終時刻の鉛直変位 $d_{r(Z)}$ に、過剰間隙水圧の消散に伴う沈下量 $d_{epw(Z)}$ を考慮して評価した。なお、過剰間隙水圧の消散に伴う沈下量 $d_{epw(Z)}$ は、FLIP における地震応答解析の最大せん断ひずみ γ_{max} に基づいて、体積ひずみ ε_V を求めることで評価した。また、本評価に用いる埋戻し土の相対密度 D_r においては、平均値 81.7%を保守的に 80%として評価した。

評価にあたっては、設計モデル(NS 方向)を用いて S_s-A 及び S_s-C1 における地震応答解析を実施した。第 1-2 図に鉛直変位分布、第 1-3 図に最大せん断ひずみ分布、及び第 1-1 表に埋戻し土の沈下量示す。S_s-A 及び S_s-C1 において最大沈下量となる地点の評価結果を、評価点 B 及び C に示す。また、評価点 B 及び C を除き、比較的せん断ひずみが大きい解析断面端部の評価結果を、評価点 A 及び D に示す。沈下量は、S_s-A 加振時において 150~200mm 程度、S_s-C1 加振時においては 100mm 程度であった。S_s-A 加振時は、S_s-C1 加振時に比べて地震の継続時間が長いため、せん断ひずみが増大し、過剰間隙水圧の消散に伴う沈下量が大きくなる結果となった。

なお、飛来物防護ネット架構を支持する杭は、周囲を地盤改良しており、当該沈下に伴う杭へのネガティブフリクション*などの影響はない。

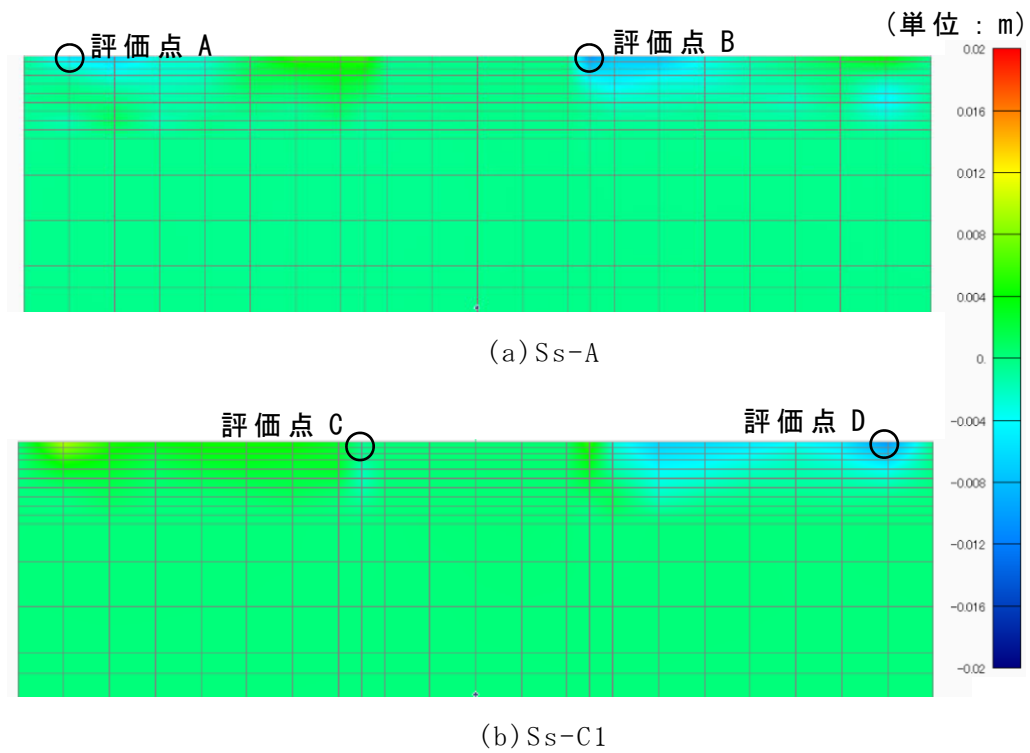
注記 *：液状化等により杭の周囲の地盤が沈下することにより、杭に下向きに作用する摩擦力。



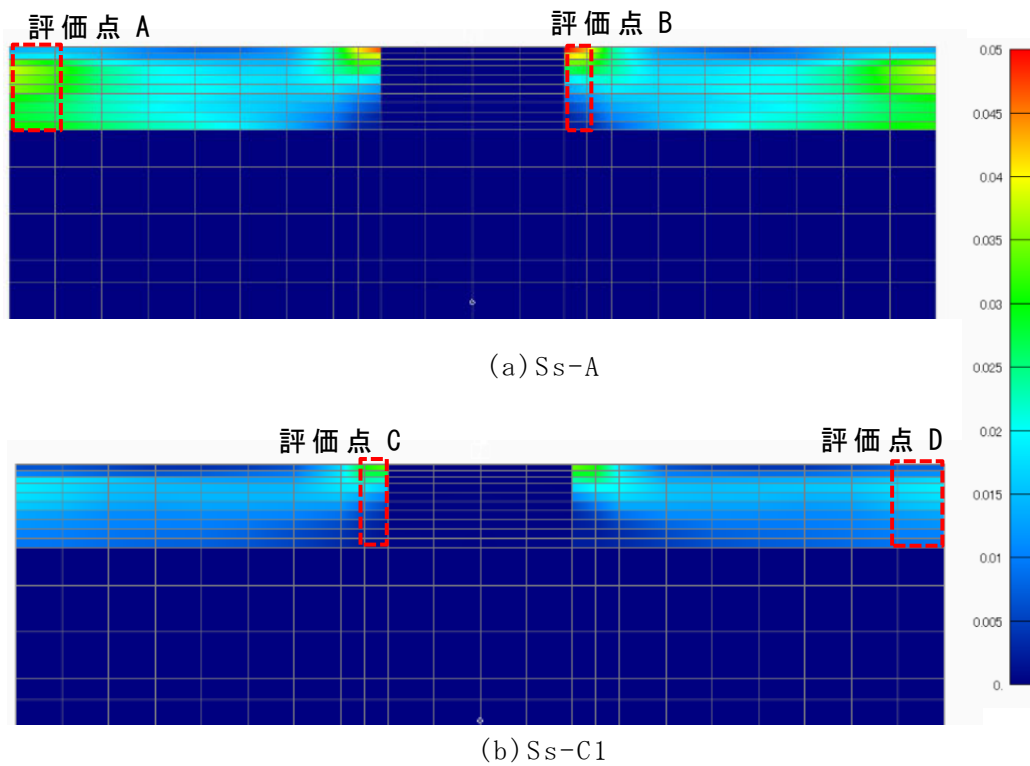
第 1-1 図 液状化時のせん断ひずみと体積ひずみとの関係
(参考文献¹⁾ 参照)

【参考文献】

- 1) : Ishihara, K. and Yoshimine, M. : Evaluation of Settlements in Sand Deposits Following Liquefaction During Earthquakes, Soil and Foundations, Vol.32, No.1, pp.173-188,1992



第 1-2 図 地震応答解析の最終時刻の鉛直変位分布
(負の値が沈下量を表す)



第 1-3 図 地震応答解析の最大せん断ひずみ分布
第 1-1 表 埋戻し土の沈下量

評価点	地震応答解析の最終時刻の鉛直変位 $d_{r(z)}$ (mm)	過剰間隙水圧の消散に伴う沈下量			沈下量 $D'_{(z)}$ (mm)
		γ_{max}^{*1} (%)	ϵ_v^{*2} (%)	$d_{epw(z)}$ (mm)	
A	5	3.8	0.8	144	149
B	10	5.0	1.1	198	208
C	1	3.4	0.7	126	127
D	11	1.9	0.4	72	83
参考 ^{*3}	-	-	1.7	306	306

注記 * 1 : FLIP における最大せん断ひずみ

* 2 : 最大せん断ひずみより求めた体積ひずみ(第 1-1 図に基づく)

* 3 : 相対密度 80%における最大体積ひずみ(1.7%)より算出した沈下量(想定される最大沈下量)

別添 10

防護板及び防護ネットにおける耐震性の
影響確認について

目 次

1.	概要	1
2.	影響確認方針	1
3.	対象部位	2
4.	耐震性の影響確認	3
4.1	考慮する荷重	3
4.1.1	固定荷重(D)	3
4.1.2	積雪荷重(L _S)	3
4.1.3	地震荷重(S _S)	3
4.1.4	風荷重(W _L)	3
4.2	荷重の組合せ	4
4.3	確認方法	10
5.	確認結果	11
6.	まとめ	13

1. 概要

本資料は、以下に示す資料において評価対象外としている防護ネット及び防護板における耐震性の影響確認について補足説明するものである。

「資料2 飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）の耐震性についての計算書」

2. 確認方針

防護ネット及び防護板は、取付ボルト及び押さえボルト（以下、取付ボルト等という。）にて取付けられている。

その取付ボルト等の設計については、竜巻飛来物により作用する衝突荷重を基に設計している。

本資料では、 S_s 地震時に取付ボルト等の破断により冷却塔へ波及的影響を防止するために耐震性の影響確認として、取付ボルト等へ S_s 地震時に作用する荷重が、竜巻飛来物により作用する衝突荷重を基に設計された許容荷重と比較し耐震性に与える影響が小さいことを確認する。

3. 対象部位

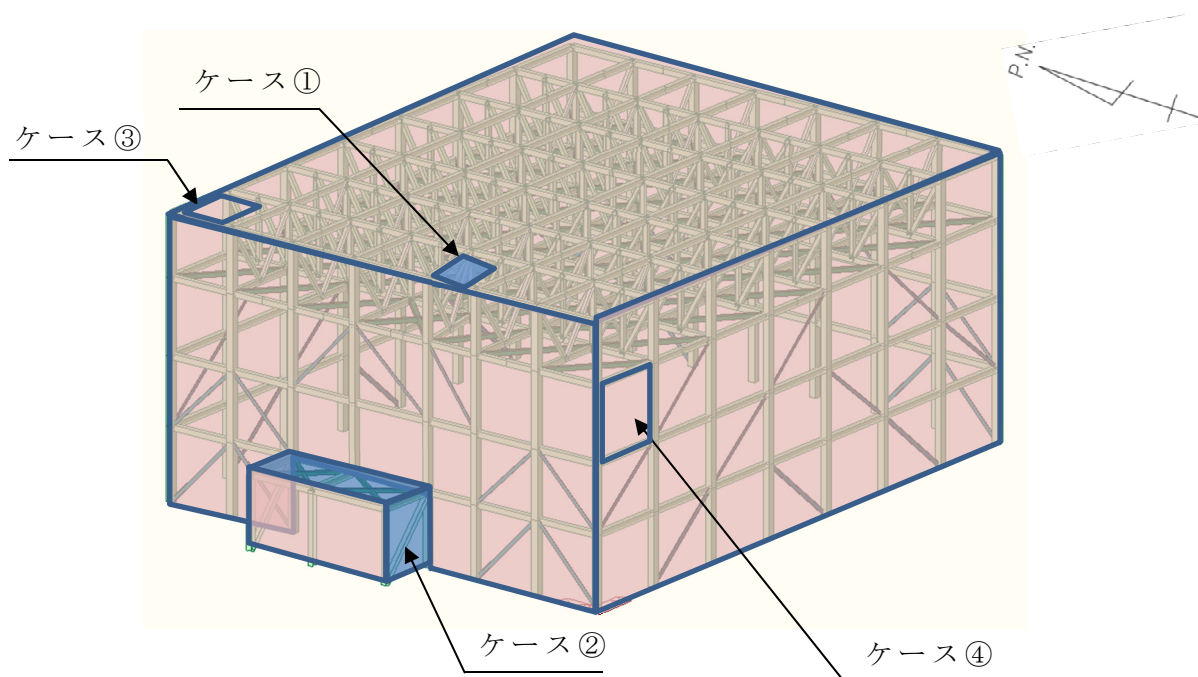
防護ネット及び防護板は、支持架構の屋根(水平設置)及び側面(鉛直設置)に設置され、更に設置位置によりサイズが異なることから、基準地震動 S_s 発生時(以下、「 S_s 地震時」という。)に作用する荷重が異なることから、第3-1図、第3-1表に示す4ケースを対象に比較を行った。

なお、防護板及び防護ネットのサイズが大きい方が、重量が増加するため、 S_s 地震時に作用する荷重が大きくなる。このことから、最大サイズの部位を対象とし確認を行う。

取付ボルト及び押さえボルトの健全性が確認できれば、防護板及び防護ネットは波及的影響を及ぼさないため、対象部位は防護ネット及び防護板を支持架構に取り付けるための取付ボルト及び押さえボルトとする。

第3-1表 耐震影響確認対象部位

	防護板	防護ネット
屋根(水平設置)	ケース①	ケース③
側面(鉛直設置)	ケース②	ケース④



第3-1図 耐震影響確認対象部位

4. 耐震性の影響確認

4.1 考慮する荷重

飛来物防護ネット架構は屋外に設置される設備であるため、以下のとおり地震荷重，固定荷重，積雪荷重及び風荷重を考慮する。

$$D + 0.35L_s + S_s + W_L$$

D：固定荷重

L_s：積雪荷重

S_s：地震荷重

W_L：風荷重

4.1.1 固定荷重(D)

固定荷重は，持続的に生じる荷重である自重(支持架構(耐火被覆重量含む)，防護ネット，防護板，取付金物等)とする。

4.1.2 積雪荷重(L_s)

積雪荷重は，「六ヶ所村統計書」における観測記録上の極値 190cm に，建築基準法施行令第八十六条に基づいた建築基準法の多雪区域における積雪の単位荷重と，地震荷重の組み合わせを適用して，平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した荷重とする。

4.1.3 地震荷重(S_s)

地震荷重は，設計モデルを用いた地震応答解析にて得られた支持架構の応答加速度を用いて手計算にて算出する。なお，地盤物性基本ケースだけでなく，地盤物性のばらつきを考慮したケース(±σ)も考慮した最大値で評価を行う。

4.1.4 風荷重(W_L)

風荷重は，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，六ヶ所村の基準風速である 34m/s とする。また，防護ネット部分は充実率を考慮した風荷重とする。

4.2 荷重の組合せ

4.1.1 項の考慮する荷重のうち，水平方向設置の防護ネット（ケース①）及び防護板（ケース③）については，固定荷重，地震荷重に加え，鉛直方向に作用する積雪荷重を考慮する必要がある。

一方，鉛直設置の防護ネット（ケース②）と防護板（ケース④）については，固定荷重，地震荷重に加え，水平方向に作用する風荷重を考慮する必要がある。

以上より，防護板及び防護ネットは，設置方向により考慮する荷重が異なるため，ケース毎に考慮する荷重を整理した。

各ケースにおける荷重の組合せを第 4.2-1 表及びを第 4.2-1 図に示す。

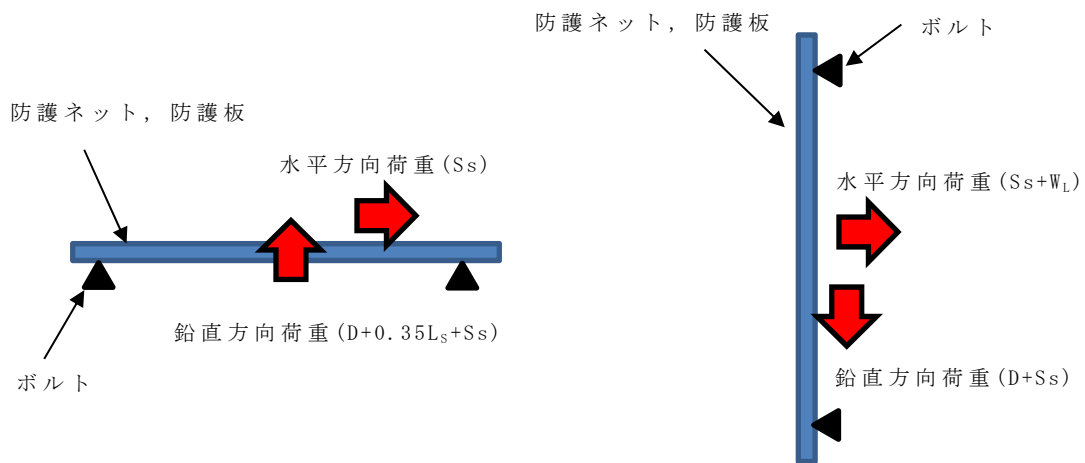
また，各ケースの取付ボルト等へ作用する荷重図を第 4.2-2 図～第 4.2-5 図に示す。

第 4.2-1 表 各ケースにおける荷重の組合せ

ケース	設置方向	荷重方向	荷重の組合せ*1			
			固定荷重 (D)	積雪荷重 (L _s)	地震荷重 (S _s)	風荷重 (W _L)
①, ③	水平	水平	—	—	○	—*2
		鉛直	○	○	○	—
②, ④	鉛直	水平	—	—	○	○
		鉛直	○	—*2	○	—*2

注記 *1：○考慮する，—考慮しない

*2：受圧面積が微小のため考慮しない

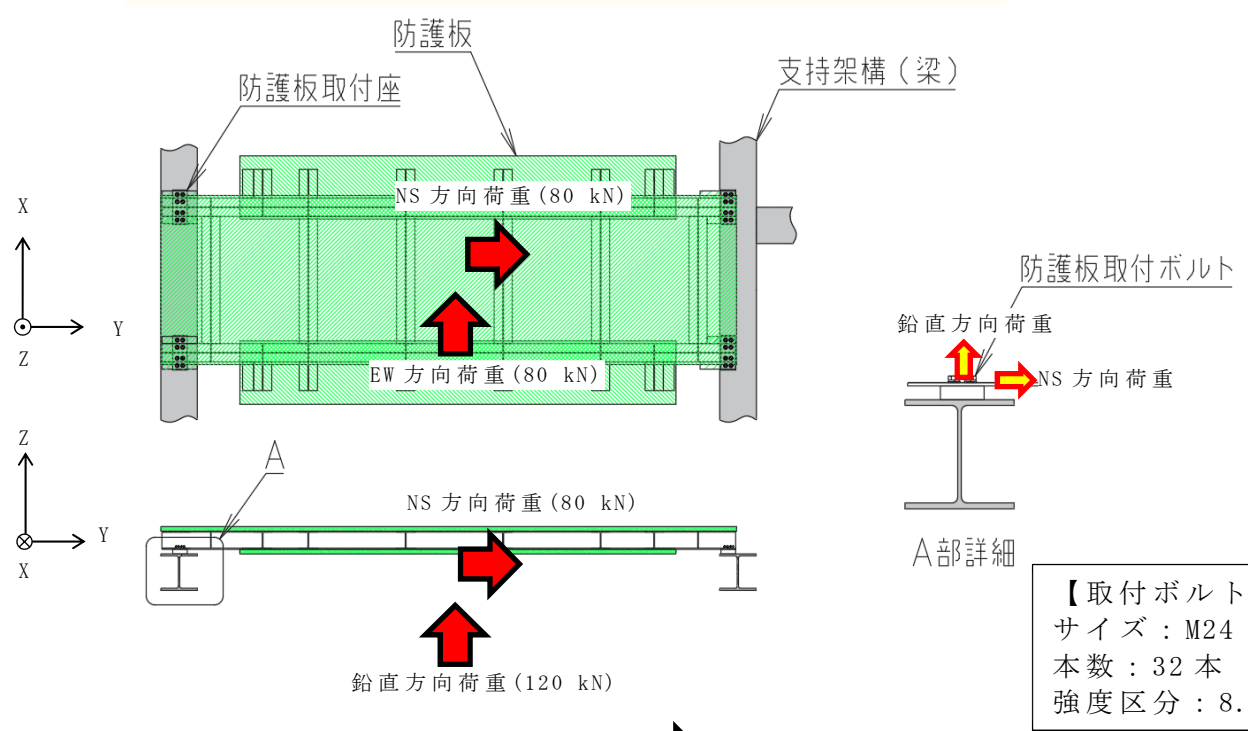
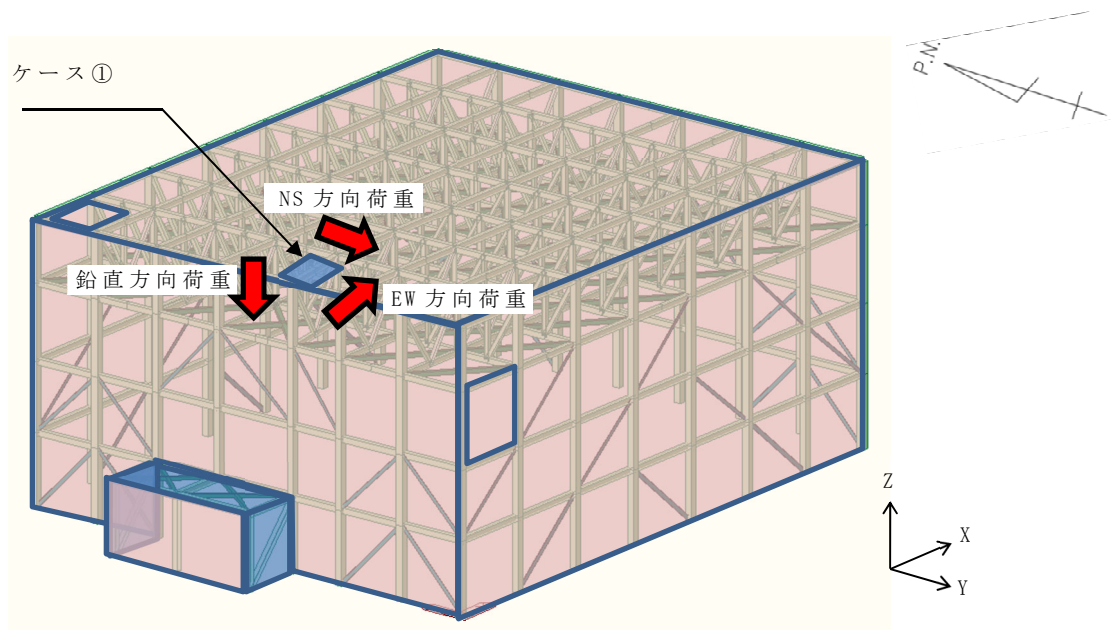




ケース①, ③ (水平方向設置) *³

ケース②, ④ (鉛直方向設置)

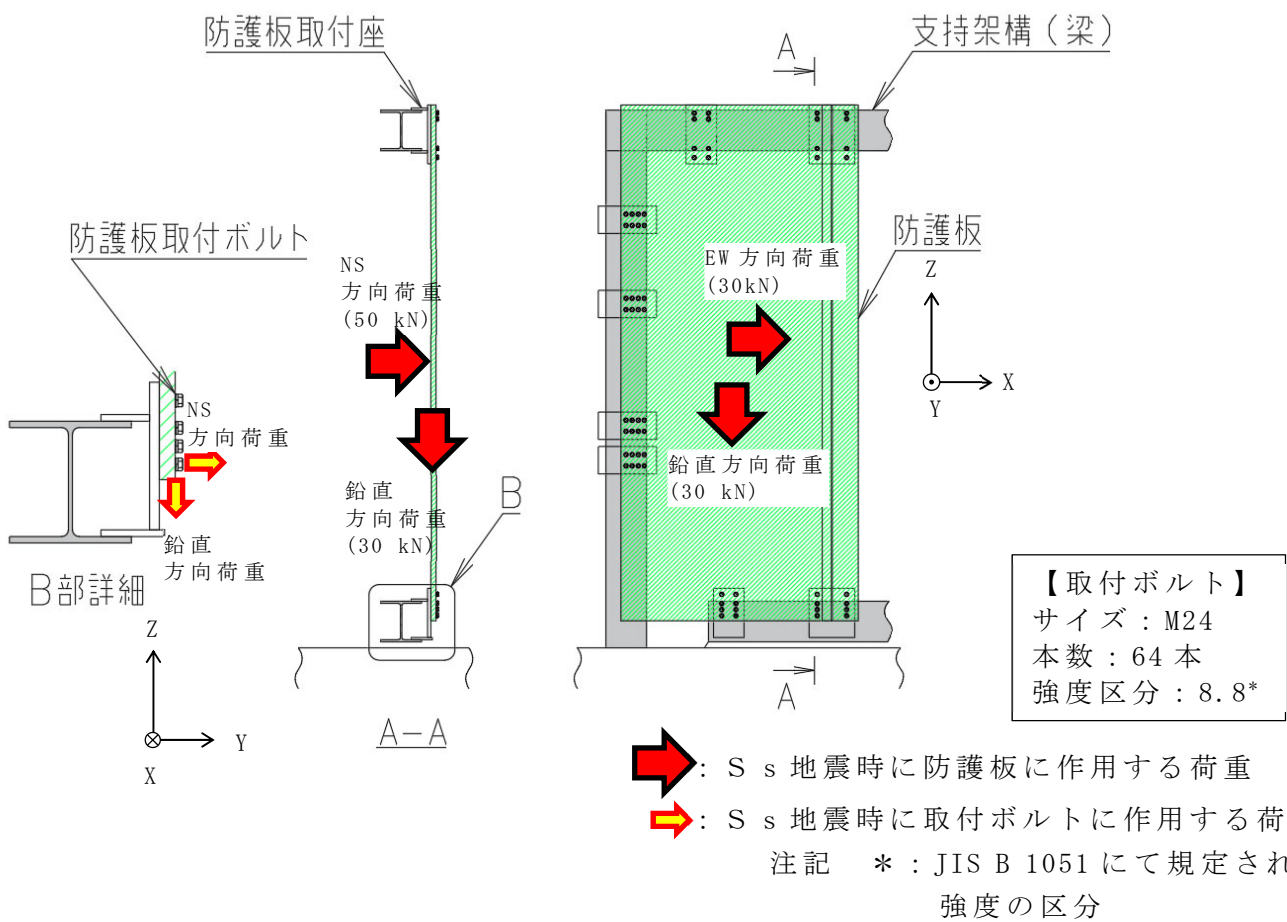
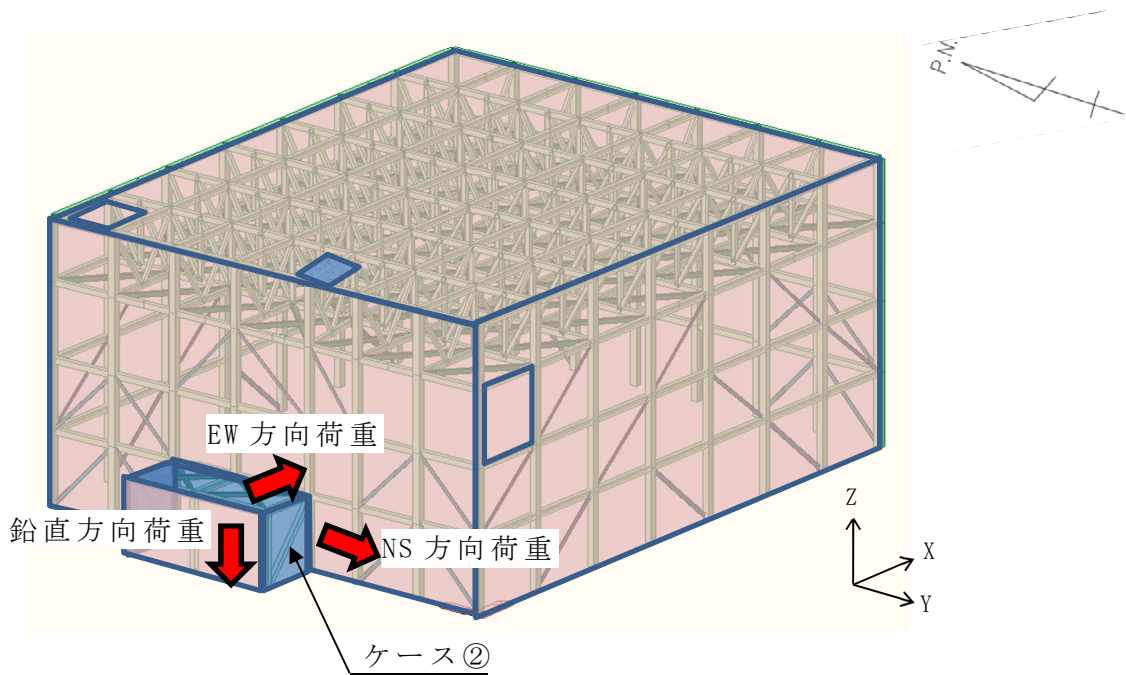
注 *³: 取付ボルト等の設置構造上, 保守的になるよう固定荷重, 積雪荷重を上向きとして評価する。

第 4.2-1 図 各ケースにおける荷重の組合せ図

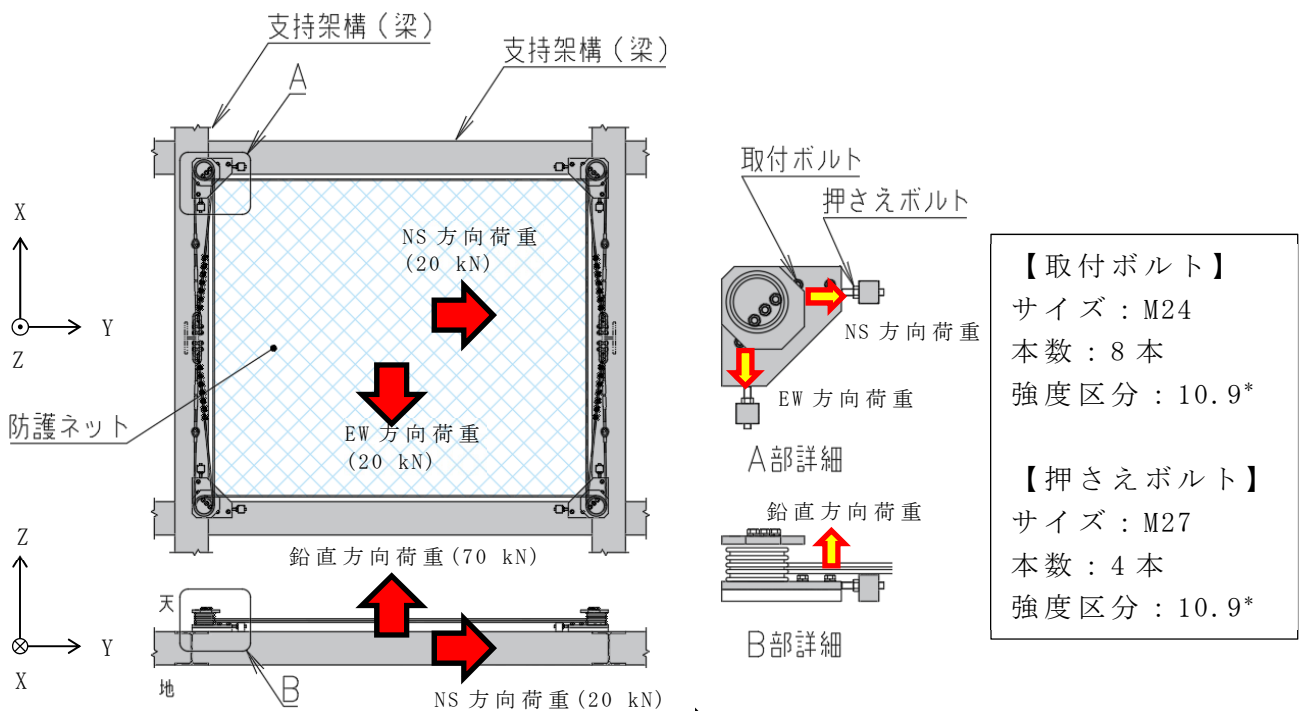
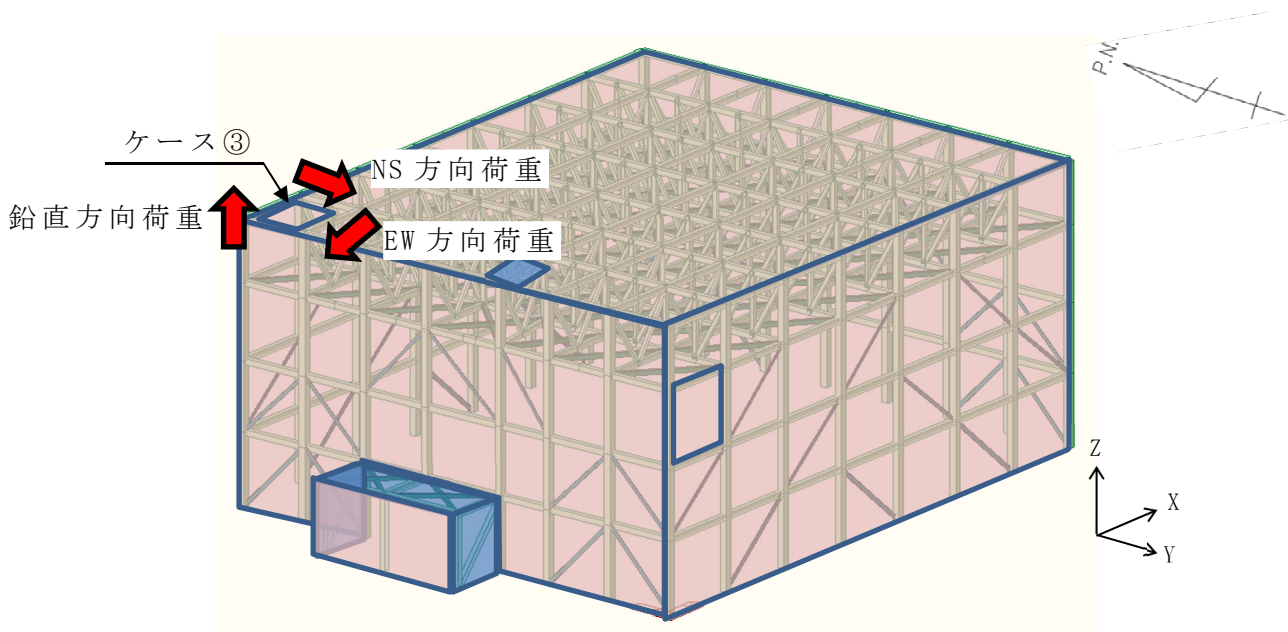


 : S s 地震時に防護板に作用する荷重
 : S s 地震時に取付ボルトに作用する荷重
 注記 * : JIS B 1051 にて規定された強度の区分

第 4.2-2 図 ケース①の荷重作用図



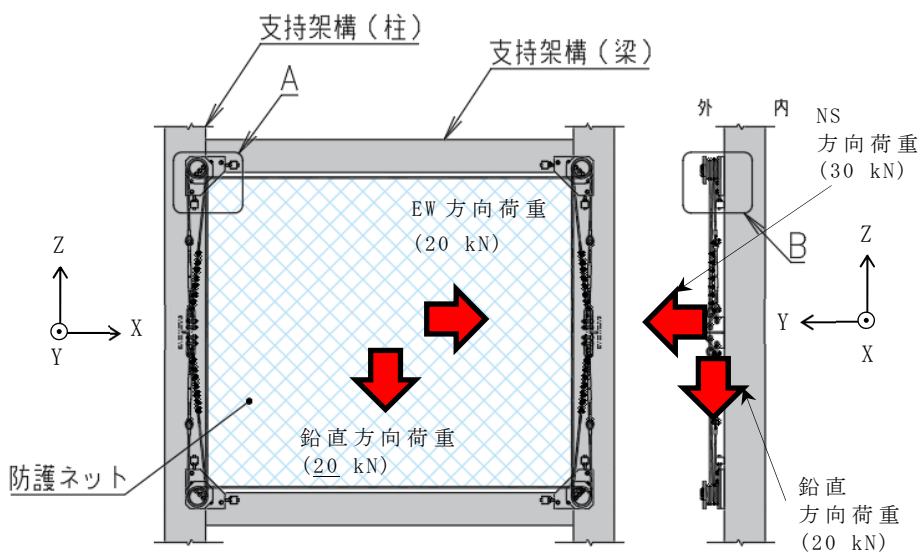
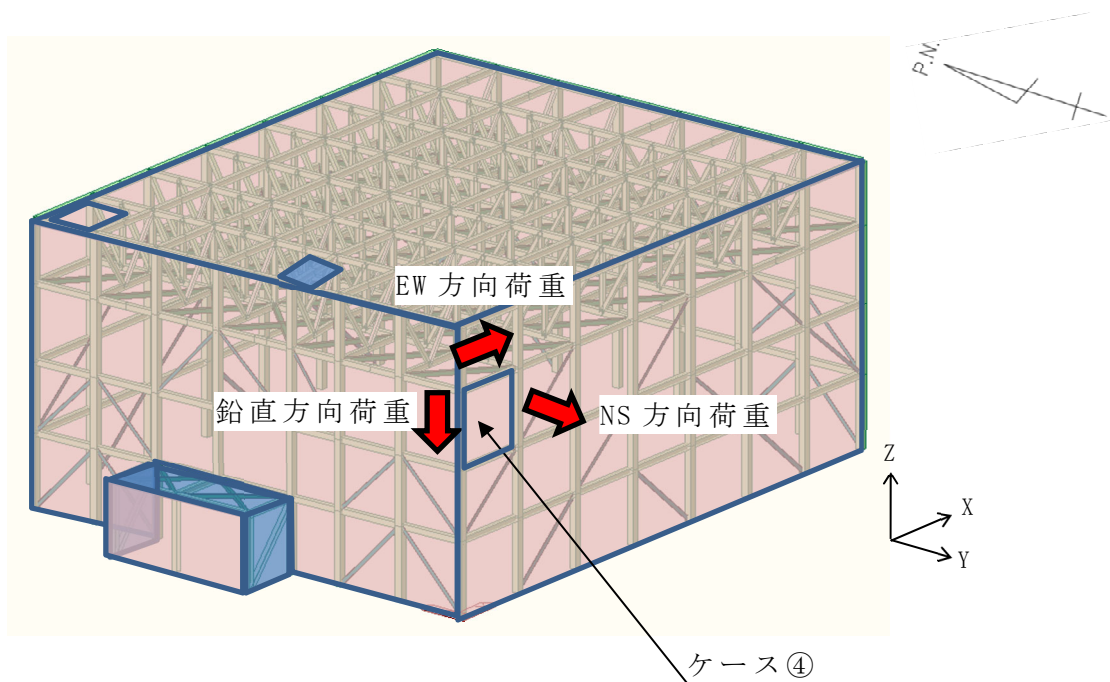
第 4.2-3 図 ケース②の荷重作用図



➡ : S s 地震時に防護板に作用する荷重
 ➡ : S s 地震時に取付ボルトに作用する荷重

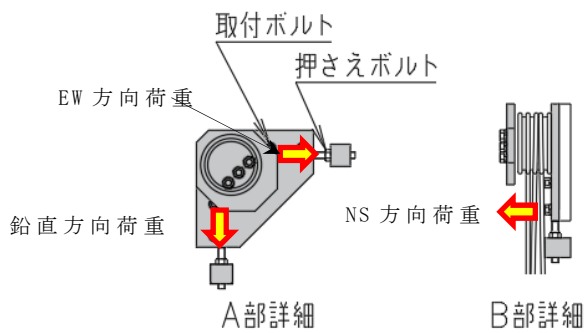
注記 * : JIS B 1051にて規定された強度の区分

第 4.2-4 図 ケース③の荷重作用図



【取付ボルト】
 サイズ：M24
 本数：8本
 強度区分：10.9*

【押さえボルト】
 サイズ：M27
 本数：4本
 強度区分：10.9*



➡ : S s 地震時に防護板に作用する荷重

➡ : S s 地震時に取付ボルトに作用する荷重

注記 * : JIS B 1051にて規定された強度の区分

第 4.2-5 図 ケース④の荷重作用図

4.3 確認方法

4.2項に示す荷重を取付ボルト等が均等に負担すると仮定して，耐震性の影響確認を行う。

ただし，防護ネットにおいては，ネットが剛体でないため4箇所の固定部で負担しない恐れがあることから，2箇所の固定部で負担すると仮定し算出し，竜巻飛来物により作用する衝突荷重を基に設計された許容荷重に比べ耐震性が与える影響が小さいことを確認する。

5. 確認結果

「4.3 確認方法」に基づいた評価結果を第 5-1 表に示す。

S s 地震時に取付ボルト等へ作用する最大検定比は 0.0352 であり，竜巻飛来物により作用する衝突荷重を基に設計された許容荷重に比べて耐震性が与える影響は小さいことを確認した。

第 5-1 表 取付ボルト及び押さえボルトに作用する荷重の比較結果

	荷重方向	ボルト種類	荷重	S _s 地震時* ¹ (kN)	許容荷重* ² (kN)	検定比	判定
ケース ①	水平(NS)	取付ボルト	せん断	3	118	0.0254	OK
	水平(EW)	取付ボルト	せん断	3	118	0.0254	OK
	鉛直	取付ボルト	引張	4	205	0.0195	OK
ケース ②	水平(NS)	取付ボルト	引張	1	205	0.0049	OK
	水平(EW)	取付ボルト	せん断	1	118	0.0085	OK
	鉛直	取付ボルト	せん断	1	118	0.0085	OK
ケース ③	水平(NS)	押さえボルト	圧縮	5	334	0.0150	OK
	水平(EW)	押さえボルト	圧縮	5	334	0.0150	OK
	鉛直	取付ボルト	引張	9	256	0.0352	OK
ケース ④	水平(NS)	取付ボルト	引張	4	256	0.0156	OK
	水平(EW)	押さえボルト	圧縮	5	334	0.0150	OK
	鉛直	押さえボルト	圧縮	5	334	0.0150	OK

■は、検定比が最大となるケースを示す。

注記 *1:ボルト 1 本あたりに作用する荷重

*2:竜巻飛来物により作用する衝突荷重を基に設計された許容荷重

6. まとめ

取付ボルト等について，第 2 章において影響確認方針について，第 3 章において対象部位について，第 4 章において耐震性の影響確認について，第 5 章において確認結果について補足した。

S s 地震時に耐震性へ与える影響は小さいことから評価対象外とすることを確認した。