

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震建物 23 R0
提出年月日	令和3年6月16日

設工認に係る補足説明資料

耐震計算書に関する

竜巻防護対策設備の耐震性評価についての補足説明資料

## 目 次

1. 概要	1
2. 設計方針	1
3. 考慮すべき荷重及び荷重の組合せの設定	1
3.1 耐震評価において考慮すべき荷重	1
3.2 荷重の組合せ	3
4. 地震応答解析	3
5. 許容限界の設定	3
6. まとめ	4
・別紙1 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネットの耐震性評価について	
・別紙2 安全冷却水A冷却塔 飛来物防護ネットの耐震性評価について	
・別紙3 第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔Aの飛来物防護ネットの耐震性評価について	
・別紙4 第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔Bの飛来物防護ネットの耐震性評価について	
・別紙5 使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用 安全冷却水系冷却塔Aの飛来物防護ネットの耐震性評価について	
・別紙6 使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用 安全冷却水系冷却塔Bの飛来物防護ネットの耐震性評価について	
・別紙7 主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクトの飛来物防護板（主排気筒周り）の耐震性評価について	
・別紙8 主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクトの飛来物防護板（精製建屋屋外）の耐震性評価について	
・別紙9 排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクトの飛来物防護板（分離建屋屋外）の耐震性評価について	
・別紙10 主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクトの飛来物防護板（高レベル廃液ガラス固化建屋屋外）の耐震性評価について	

■：商業機密の観点から公開できない箇所

## 1. 概要

本資料は、再処理施設の設計基準対象施設に対する耐震計算書のうち、竜巻防護対策設備の耐震性について補足説明をするものである。

また、本資料は第1回申請（令和2年12月24日申請）のうち、以下に示す添付書類の補足説明に該当するものである。

- ・再処理施設 添付書類「IV-2-1-4-2 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性についての計算書」

## 2. 設計方針

竜巻防護対策設備は、竜巻により生じる飛来物が竜巻防護対象施設に衝突することを防止する機能を有しており、防護ネットを主体とする設備又は防護板を主体とする設備の2種類がある。竜巻防護対策設備は、主要構造部材である支持架構に防護ネットまたは防護板が設置されている構造となっている。各竜巻防護対策設備（以下、各設備という。）の構造概要については別紙にて示す。

竜巻防護対策設備の耐震設計に当たっては、添付書類「IV-2-1-4-1 波及的影響を及ぼす恐れのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、上位クラス施設である竜巻防護対象施設へ波及的影響を与えない設計方針とし、同書「3.1.4 建屋外における下位クラス施設の損傷、転倒及び落下の観点」より、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う損傷により、竜巻防護対象施設に衝突して波及的影響を及ぼすおそれが否定できないため、竜巻防護対策設備の主要構造部材の評価を実施する。

竜巻防護対策設備の耐震設計においては、竜巻防護対象設備への波及的影響評価の観点から、設計上の評価部位を選定する。各設備における評価部位の選定結果は別紙にて示す。

## 3. 考慮すべき荷重及び荷重の組合せの設定

### 3.1 耐震評価において考慮すべき荷重

添付書類「IV-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、以下のとおり考慮すべき荷重を設定する。

#### a. 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（耐火被覆重量を含む）防護ネット、防護板、取付金物等）とする。

#### b. 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、地震荷重の組合せを適用して、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。積雪荷重の設定範囲は、各設備の投影面積に基づき設定する。

#### c. 地震荷重 ( $S_s$ )

地震荷重は、基準地震動  $S_s$  または  $1.2S_s$  による地震荷重とし、添付書類「IV 1-1 耐震設計の基本方針」の「4. 設計用地震力」に基づき動的地震力を算定する。

各設備における地震荷重の算定方法の詳細については、別紙にて示す。

d. 風荷重 (WL)

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  $34\text{m/s}$  とする。風荷重の算定にあたっては、以下の式に基づき設定する。風力係数等の施設の形状により異なる値及び受圧範囲については、各設備にて設定する。

$$W_w = q \cdot C_f \cdot A$$

ここで、

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_0^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G_f$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H/Z_G)^\alpha \quad \dots (H > Z_b \text{ より})$$

(記号の説明)

$W_w$  : 短期風荷重 (N)

$q$  : 速度圧 ( $\text{N/m}^2$ )

$C_f$  : 風力係数

$A$  : 受圧面積

$E'$  : 速度圧の高さ方向の分布を示す係数 (平 12 建告第 1454 号による)

$E_r$  : 平均風速の高さ方向の分布係数

$G_f$  : ガスト影響係数 ( $G_f = 1$ )

$V_0$  : その地方における基準風速 (平 12 建告第 1454 号により,  $34 [\text{m/s}]$ )

$H$  : 建築物の高さと軒の高さとの平均 (m)

$Z_b$  : 地表面粗度区分に応じたパラメータ ( $Z_b = 5 [\text{m}]$ )

$Z_G$  : 地表面粗度区分に応じたパラメータ ( $Z_G = 350 [\text{m}]$ )

$\alpha$  : 地表面粗度区分に応じたパラメータ ( $\alpha = 0.15$ )

### 3.2 荷重の組合せ

竜巻防護対策設備の荷重の組み合わせにおける設計方針は、添付書類「IV-2-1-4-1 波及的影響を及ぼす恐れのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、耐震設計上考慮すべき荷重について策定する。竜巻防護対策設備は屋外に設置される施設であるため、以下のとおり地震荷重に積雪荷重および風荷重を組み合わせる。

$$D + 0.35L_s + S_s + WL$$

D：固定荷重

L<sub>s</sub>：積雪荷重

S<sub>s</sub>：地震荷重

WL：風荷重

### 4. 地震応答解析

竜巻防護設備の動的解析に当たっては、添付書類「IV-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、施設の剛性、形状、構造特性、振動特性、減衰特性を十分に考慮し、適切なモデルに置換した解析モデルを設定する。

竜巻防護対策設備の地震応答解析モデルは、地盤及び構造物の地震時における挙動の程度に応じて、その相互作用の影響を考慮する。動的解析法は JEAG4601 に基づき実施することを基本とし、時刻歴応答解析法又は応答スペクトルモーダル解析法を用いることとする。

各設備における地震応答解析の詳細については、別紙にて示す。

### 5. 許容限界の設定

許容限界は、添付資料「IV-2-1-4-1 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」のに基づき、終局耐力を許容限界とする。終局耐力としては、「建築基準法 政令第96条」及び「平成13年国土交通告示第1024号」に準拠し、設定した値を用いる。

6. まとめ

竜巻防護対策設備の耐震評価方針について、第6-1表にまとめを示す。

第6-1表 竜巻防護対策設備の耐震評価方針

分類	設計対象 竜巻防護対策設備	竜巻防護対象施設	耐震評価部位	設計用地震動	荷重の種類及び 荷重の組合せ	許容限界設定の考え方
竜巻 防護 対策 設備	安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット	安全冷却水B冷却塔	支持架構	$S_s$	$D + L_s + S_s + WL$	「建築基準法 政令第96条」及び「平 13国交告第1024号」に準拠した値を 適用する。
	他の竜巻防護対策設備については、後次回申請にて示す。					

記号の説明

- D : 固定荷重
- $L_s$  : 積雪荷重
- $S_s$  : 基準地震動 $S_s$ による地震力
- WL : 風荷重

# 別紙

## 設工認に係る補足説明資料【竜巻防護対策設備の直下地盤モデルを用いた影響評価について】

資料No.	名称	提出日	Rev	備考
別紙-1	安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネットの直下地盤の影響を考慮した耐震性に関する影響検討結果	6/16	0	
別紙-2	安全冷却水A冷却塔 飛来物防護ネットの直下地盤の影響を考慮した耐震性に関する影響検討結果			
別紙-3	第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔Aの飛来物防護ネットの直下地盤の影響を考慮した耐震性に関する影響検討結果			
別紙-4	第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔Bの飛来物防護ネットの直下地盤の影響を考慮した耐震性に関する影響検討結果			
別紙-5	使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用 安全冷却水系冷却塔Aの飛来物防護ネットの直下地盤の影響を考慮した耐震性に関する影響検討結果			
別紙-6	使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用 安全冷却水系冷却塔Bの飛来物防護ネットの直下地盤の影響を考慮した耐震性に関する影響検討結果			
別紙-7	主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクトの飛来物防護板（主排気筒周り）の直下地盤の影響を考慮した耐震性に関する影響検討結果			
別紙-8	排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクトの飛来物防護板（分離建屋屋外）の直下地盤の影響を考慮した耐震性に関する影響検討結果			
別紙-9	主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクトの飛来物防護板（精製建屋屋外）の直下地盤の影響を考慮した耐震性に関する影響検討結果			
別紙-10	主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクトの飛来物防護板（高レベル廃液ガラス固化建屋屋外）の直下地盤の影響を考慮した耐震性に関する影響検討結果			



令和3年6月16日 R0

## 別紙1

安全冷却水B冷却塔飛来物防護ネットの耐震性評価について

## 目 次

1. 概要	1
2. 構造概要及び評価フロー	1
2.1 構造概要	1
2.2 評価フロー	2
3. 評価対象部位の選定	3
4. 自然現象の荷重及び荷重の組合せの設定	6
4.1 荷重の組合せにおける設計方針	6
4.2 積雪荷重の算定	6
5. 入力地震動	7
6. 地震荷重の算定	8
6.1 地震応答解析モデル	8
6.2 地震荷重	12
7. 応力解析における評価モデルの設定	14
8. 許容限界の設定	15
9. 評価結果	16
10. 座屈拘束ブレースについて (参考)	17
10.1 座屈拘束ブレースの概要と特徴	17
10.2 座屈拘束ブレースの仕様	18
10.3 座屈拘束ブレースの設置状況	20
10.4 座屈拘束ブレースの採用の経緯	21
別添 1 飛来物防護ネットの基礎評価について	
別添 2 防護板及び防護ネットに作用する荷重について	
別添 3 改良地盤物性値について	

## 1. 概要

本資料は、以下の資料を補足説明するものである。

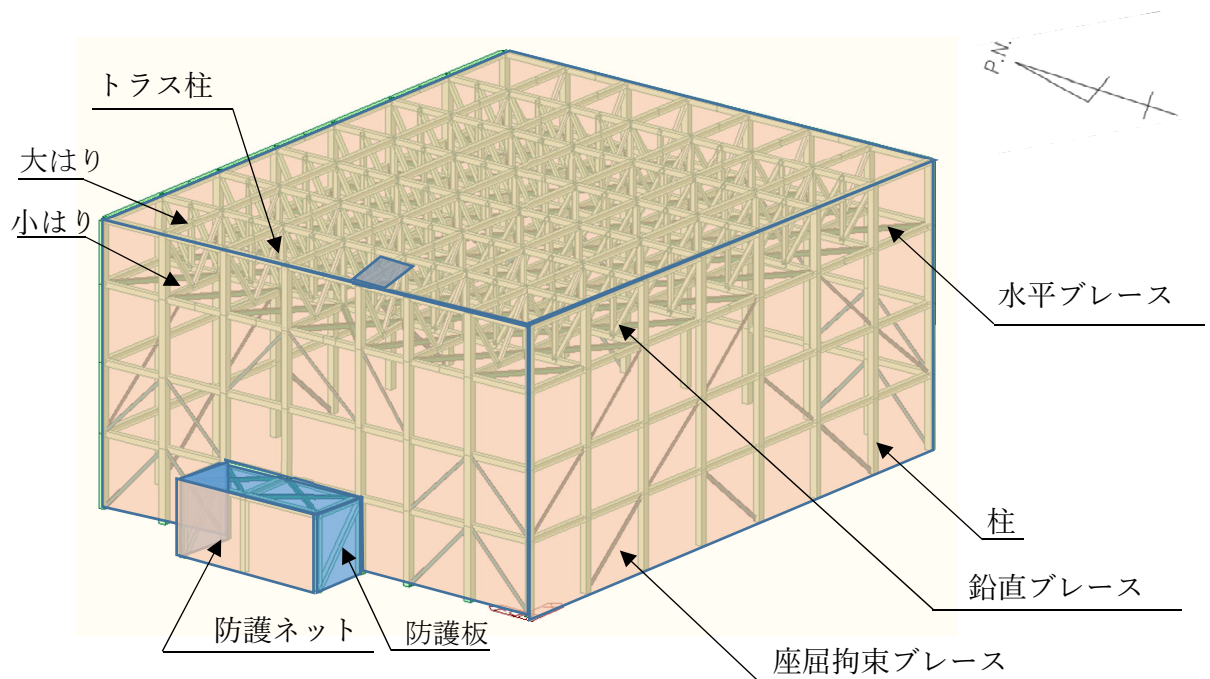
- ・再処理施設 添付書類「IV-2-1-4-2-1 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネットの計算書」

## 2. 構造概要及び評価フロー

### 2.1 構造概要

安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット（以下、「飛来物防護ネット」という。）は、竜巻により生じる飛来物が安全冷却水B冷却塔に衝突することを防止する機能を有しており防護ネット、防護板及びそれらを支持する支持架構で構成される。

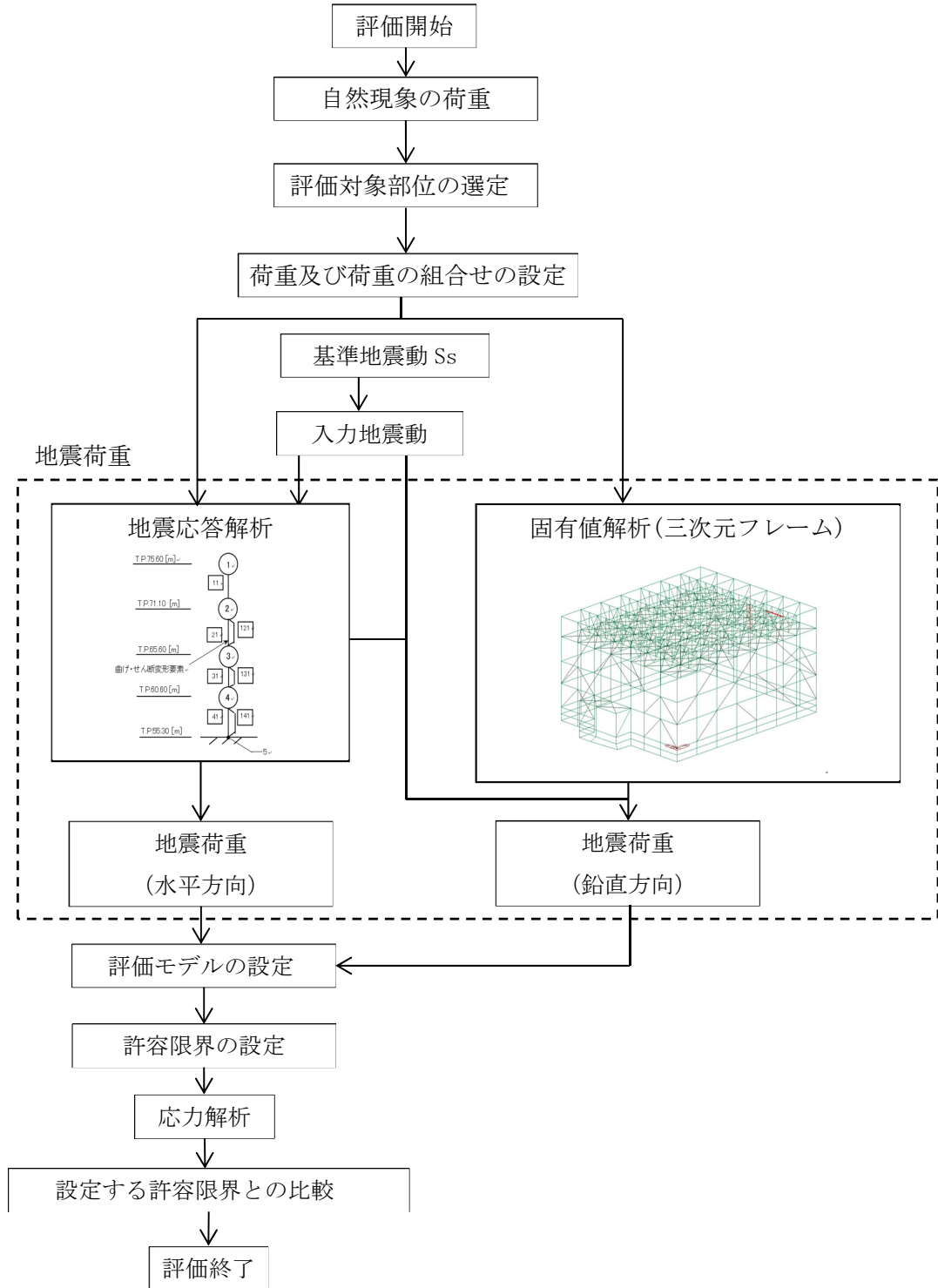
飛来物防護ネットの概要図を第2-1図に示す。



第2-1図 飛来物防護ネット 概要図

## 2.2 評価フロー

飛来物防護ネットの耐震評価フローを第2-2図に示す。



第2-2図 飛来物防護ネットの耐震評価フロー

### 3. 評価対象部位の選定

飛来物防護ネットの上部構造（支持架構，防護ネット，防護板）について，評価対象部位を以下のとおり選定する。基礎評価については，別添1にて評価結果を示す。

#### （1）評価部位の選定理由

飛来物防護ネットの耐震評価における評価部位について，以下のとおり整理する。

#### a. 支持架構

支持架構は，柱，はり（大はり，小はり），トラス柱，鉛直ブレース，水平ブレース，座屈拘束ブレースにより構成される。支持架構は，Ss 地震時に安全冷却水B冷却塔へ波及的影響を防止する観点から，支持機能を担保する必要があるため，評価対象部位とする。ただし，座屈拘束ブレースについては，設計上塑性変形を許容する設計であり，十分に変形能力を有することからあることから，評価対象外とする。座屈拘束ブレースの詳細については，「10. 座屈拘束ブレースについて」にて説明する。

#### b. 防護ネット及び防護板

防護ネット及び防護板は，支持架構に支持されているが，耐震評価において作用する荷重は，竜巻による飛来物衝突荷重に包絡されるため，評価対象外とする。

荷重の包絡性については，別添2にて詳細を説明する。

#### c. まとめ

飛来物防護ネット 評価対象部位の選定結果を第3-1表に示す。

第3-1表 飛来物防護ネット 評価対象部位の選定結果

機器	部位	評価対象	評価対象部位選定理由
支持架構	柱	○	安全冷却水B冷却塔への波及的影響を防止するため、評価対象とする。
	はり（大はり，小はり）		
	トラス柱		
	鉛直ブレース		
	水平ブレース		
	座屈拘束ブレース	—	設計上塑性変形を許容する設計であり，十分な変形能力を有することから，評価対象外とする。
防護ネット	—	—	支持架構が健全であれば安全冷却水B冷却塔への波及的影響はないため，対象外とする。また，耐震評価において作用する荷重は，飛来物衝突荷重に包絡されるため，評価対象外とする。
防護板	—	—	

<凡例>○：評価対象部位，—：評価対象外部位

(2) 評価対象部位の主な構成部材及び応力の種類

飛来物防護ネットの耐震評価における評価部位の主な構成部材及び考慮する応力の種類について第3-2表に示す。

第3-2表 評価対象部位の主な構成部材及び考慮する応力の種類

評価対象	部位	主な構成部材		応力の種類
		材質	寸法	
支持架構	柱	G385B	□500×500×32	引張 圧縮 せん断 曲げ 組合せ (引張+曲げ) 組合せ (圧縮+曲げ)
		BCP325	□500×500×28	
		SN490B	H400×400×13×21	
	はり (大はり)	SN490B	H428×407×20×35	
		SN490B	H414×405×18×28	
		SN490B	H400×400×13×21	
	はり (小はり)	SN490B	H400×400×13×21	
		SN490B	H390×300×10×16	
	トラス柱	SN490B	H400×400×13×21	
		SN490B	H390×300×10×16	
		SN490B	H300×300×10×15	
	鉛直ブレース	SN490B	H350×350×12×19	
		SN490B	H300×300×10×15	
		SN490B	H250×250×9×14	
		SN490B	H200×200×8×12	
	水平ブレース	SN490B	H300×300×10×15	
SN490B		H250×250×9×14		

#### 4. 考慮すべき荷重及び荷重の組み合わせの設定

##### 4.1 耐震評価において考慮すべき荷重

添付書類「IV-2-1-4-1 波及的影響を及ぼす恐れのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、以下のとおり考慮すべき荷重を設定する。

###### a. 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（耐火被覆重量を含む）、防護ネット、防護板、取付金物等）とする。

###### b. 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、地震荷重の組合せを適用して、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。

###### c. 地震荷重 ( $S_s$ )

地震荷重は、基準地震動  $S_s$  による地震荷重とする。地震荷重の算定方法については「6. 地震荷重の算定」にて説明する。

###### d. 風荷重 (WL)

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  $34\text{m/s}$  とする。飛来物防護ネットの風荷重の算定における風力係数の選定及び受圧範囲については、補足説明資料「外竜巻 08：竜巻への配慮が必要な施設の強度計算書に関する風力係数について」と同様の考え方により設定する。

##### 4.2 荷重の組み合わせ

飛来物防護ネットは屋外に設置される機器であるため、以下のとおり地震荷重に積雪荷重および風荷重を組み合わせる。

$$D + 0.35L_s + S_s + WL$$

G : 固定荷重

$L_s$  : 積雪荷重

$S_s$  : 地震荷重

WL : 風荷重



## 5. 入力地震動

入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動から、一次元波動論により以下のよう求める。

本敷地の解放基盤表面は、T. M. S. L. -70.0 [m]に想定されていることから、解放基盤位置(T. M. S. L. -70.0 [m])に基準地震動を入力して求めた基礎下端位置(T. M. S. L. 52.3 [m])における応答波を地震応答解析モデルへの入力地震動とする。基礎下端から解放基盤までの改良地盤及び支持層(中央地盤)の地盤物性値を第5-1表に示す。なお、標高 37.0m ~ -70.0m の物性値については、補足説明資料「耐震建物 08 地盤の支持性能に係る基本方針に関する地震応答解析における地盤モデル及び物性値の設定について」の「第4.1-5表」にて示した物性値を用いる。また、標高 52.3m ~ 37.0m については、改良地盤の物性値を示すが、物性値の設定については別添3に示す。

第5-1表 地盤物性値(改良地盤・岩盤 基本ケース)

標高 T. M. S. L [m]	単位体積 重量 $\gamma_t$ [kN/m <sup>3</sup> ]	S波速度 $V_{S0}$ [m/s]	P波速度 $V_{P0}$ [m/s]	減衰 定数 h [%]
52.3				3.0
37.0	16.7	910	1,960	
22.0	18.2	760	1,910	
4.0	18.2	800	1,950	
解放基盤表面	17.8	820	1,950	
▼-70.0	17.0	820	1,950	

## 6. 地震荷重の算定

### 6.1 地震応答解析モデル

#### (1) 水平応答解析

飛来物防護ネットの水平方向の地震荷重の算出に用いる地震応答解析モデル及び手法を第6-1表に示し、解析モデル図を第6-1図に示す。

飛来物防護ネットは、堅固な地盤に支持されており、地盤と比べて質量や剛性が小さく、地盤との相互作用の影響が小さいため、基礎固定とする。地上部架構は座屈拘束ブレースとそれ以外のラーメン構造フレーム（以下、フレーム）を並列に配置したモデルとする。また、フレーム部分は弾性とし、座屈拘束ブレース部分はバイリニア型の履歴特性を定義する。各質点は曲げ・せん断変形要素で連結する。下図で示す要素 11, 21, 31, 41 はフレーム部分、要素 121, 131, 141 は座屈拘束ブレース部分を示す。

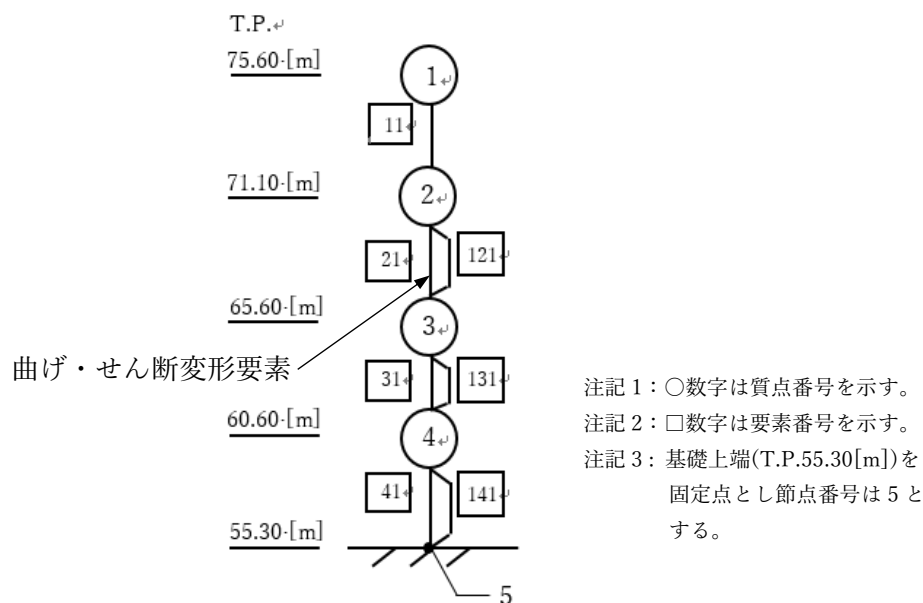
解析モデルの諸元は、添付資料「IV-2-1-4-2-1 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネットの計算書」の「第3.5-1表, 第3.5-2表, 第3.5-3表, 第3.5-4表」に示した。

第6-1表 飛来物防護ネットの地震応答解析モデル及び手法

項目	内容	詳細	備考
飛来物防護ネットの地震応答解析モデル	モデル	質点系モデル	
	材料物性	・縦弾性係数：205000MPa ・ポアソン比：0.3	(1)
	減衰定数	2%	(2)
	解析コード	TDAPⅢ	

(1) 鋼構造設計規準に基づき設定

(2) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987 ((社) 日本電気協会) の記載に基づき設定



第6-1図 飛来物防護ネットの地震応答解析モデル

(2) 鉛直応答解析 (固有値解析)

飛来物防護ネットの鉛直方向の固有値解析に用いる三次元フレームモデル及び手法を第6-2表に示し、解析モデル図を第6-2図に示す。

飛来物防護ネットの支持架構は、トラス屋根部分が長さ 43.3m、幅 36.0m と大きいので、トラス屋根の上下挙動が卓越するモードが鉛直地震荷重として大きく影響する。しかし、水平応答解析モデルは、このトラス屋根を剛体としてモデル化するため、トラス屋根の上下挙動が考慮されない。このため、鉛直地震荷重の算定においてはこの挙動を考慮するため、三次元フレームモデルによる固有値と入力地震動の応答スペクトルから、応力解析モデルに入力する鉛直地震荷重を設定する。

飛来物防護ネットの固有値解析結果を第6-3表に示す。固有値解析結果から、飛来物防護ネットのトラス部分の鉛直方向に卓越する固有周期は 0.244 秒とした。

第6-2表 飛来物防護ネットの固有値解析に用いる三次元フレームモデル及び手法

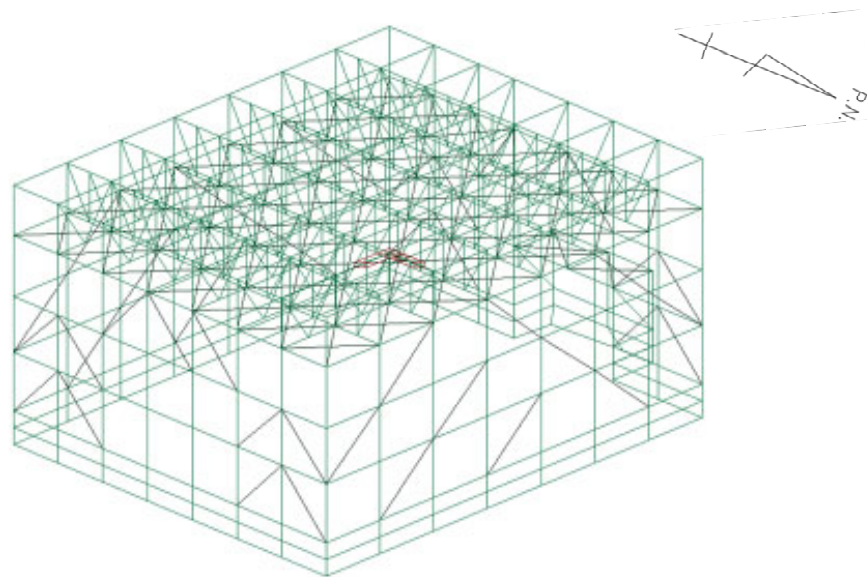
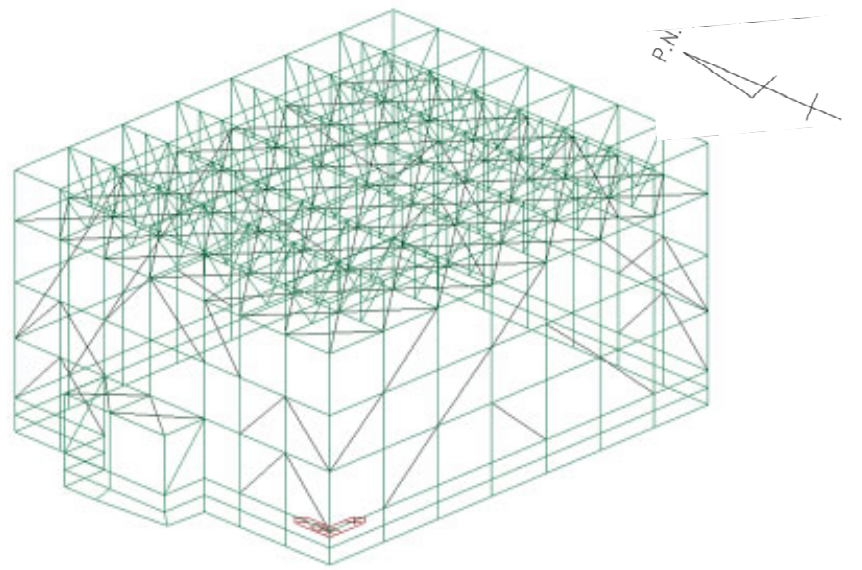
項目	内容	詳細	備考
飛来物防護ネットの固有値解析モデル	モデル	三次元フレームモデル	
	材料物性	・縦弾性係数：205000MPa ・ポアソン比：0.3	(1)
	減衰定数	2%	(2)
	解析コード	midas iGen	

(1) 鋼構造設計規準に基づき設定

(2) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987 ((社) 日本電気協会) の記載に基づき設定

第6-3表 飛来物防護ネットの固有値解析結果

UD方向			
次数	固有周期 [s]	固有振動数 [Hz]	刺激係数
1	0.463	2.16	0.028
2	0.458	2.18	-0.017
3	0.314	3.19	-0.025
4	0.256	3.90	0.432
5	0.244	4.09	19.423
6	0.194	5.15	-3.434
7	0.192	5.21	1.038
8	0.189	5.30	0.884
178	0.050	19.99	-1.426
179	0.050	20.06	-0.778



第6-2図 飛来物防護ネットの三次元フレームモデル

## 6.2 地震荷重

### (1) 水平地震荷重

地震応答解析結果における各層の最大応答せん断力は、フレーム部分と座屈拘束ブレース部分が同時刻に負担するせん断力を足し合わせたものである。

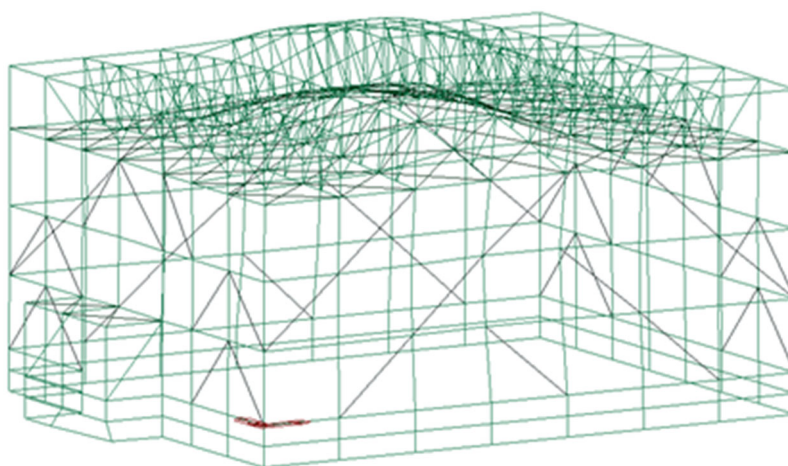
添付書類「IV-2-1-4-2-1 安全冷却水B冷却塔飛来物防護ネットの計算書」に示す地震応答解析結果より、各層において最大応答せん断力が発生している地震動は  $S_s-C1(H)$  となるため、水平方向の設計用地震力には  $S_s-C1(H)$  の最大応答せん断力を用いる。

### (2) 鉛直地震荷重

鉛直方向の設計用地震力には、水平地震荷重にて選定した  $S_s-C1$  を用いる。

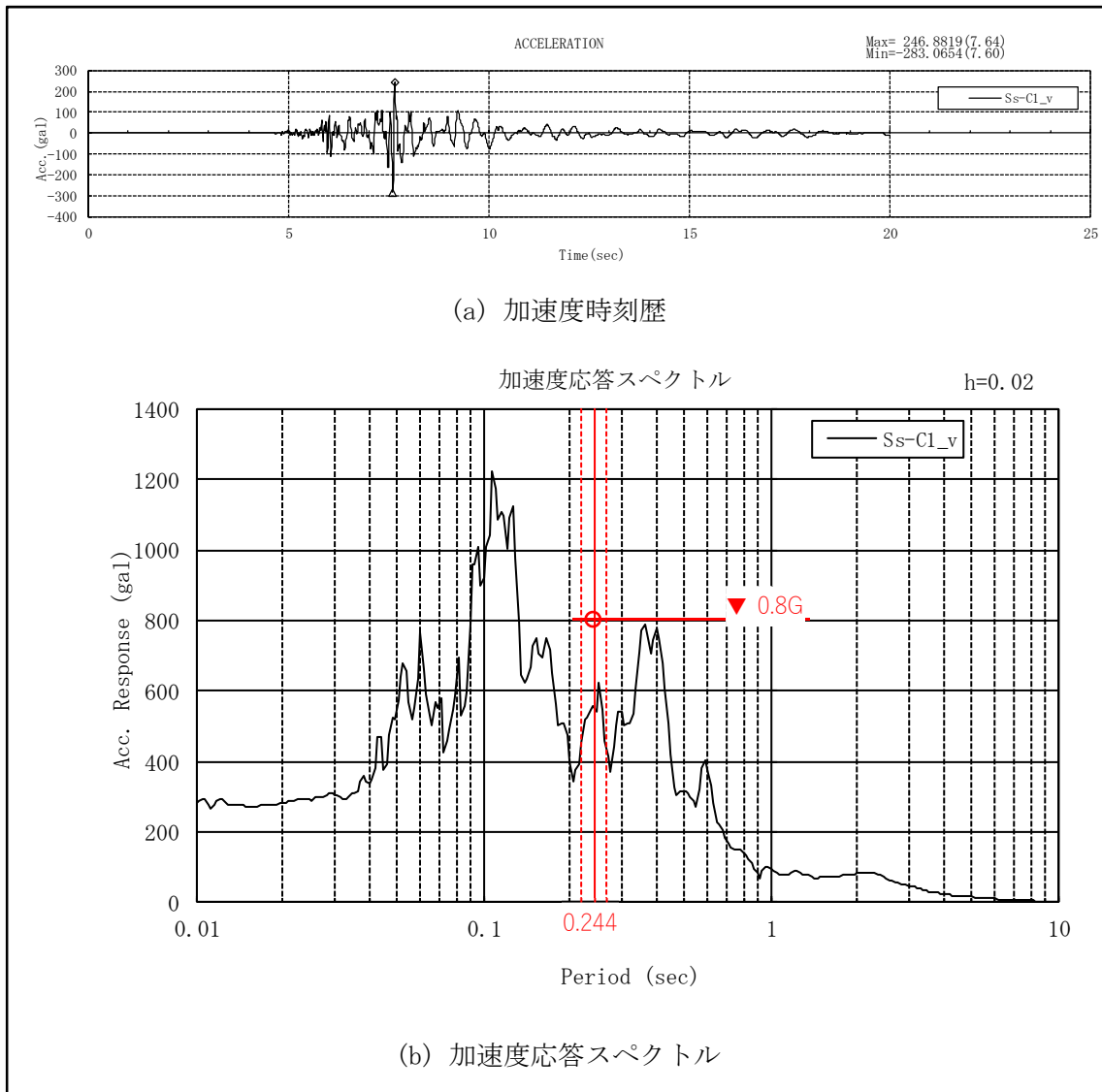
なお、その他の基準地震動  $S_s$  に対する応力評価結果が、 $S_s-C1$  による評価結果を上回らないことを確認している。

三次元フレームモデルにおける、トラス屋根の上下動が卓越モードを第6-3図に示す。このモードの固有周期  $0.244 [s]$  から  $S_s-C1(V)$  における鉛直地震荷重(震度)を  $0.8 [G]$  に設定する。 $S_s-C1(v)$  の加速度時刻歴及び加速度応答スペクトルを第6-4図に示す。



固有周期:  $0.244 [s]$

第6-3図 三次元フレームモデルにおけるトラス屋根の上下動卓越モード



第6-4図 Ss-C1 (v) の加速度時刻歴及び加速度応答スペクトル

### (3) 地震荷重の組合せ

水平地震荷重及び鉛直地震荷重の組み合わせについては、組み合わせ係数法を適用する。

組み合わせ係数法の適用性についての説明は、補足説明資料「耐震建物 28 竜巻防護対策設備の組み合わせ係数法の適用について」にて説明する。

## 7. 応力解析における評価モデルの設定

飛来物防護ネット応力解析に用いる三次元フレームモデル及び手法を第7-1表に示す。

なお、応力解析モデルは、4.1項(2)で示した三次元フレームモデルと同様の解析モデルを用いる。

第7-1表 飛来物防護ネットの応力解析モデル及び手法

項目	内容	詳細	備考
解析手法		地震荷重及びその他考慮すべき荷重を三次元フレームモデルに入力し、応力解析を実施	—
解析コード		midas iGen	—
モデル	材料物性	・縦弾性係数：205000MPa ・ポアソン比：0.3	鋼構造設計 規準に基づ き設定
	要素種別	はり要素	—
	境界条件	基礎下端	—
荷重の組合せ		D + 0.35Ls + Ss + W D：固定荷重 Ls：積雪荷重 Ss：地震荷重 W：風荷重	4.2 参照
荷重の 設定	固定荷重	支持架構（耐火被覆重量を含む）、防護ネット、防護板、 取付金物等	4.1 参照
	積雪荷重	飛来物防護ネット上部の積雪荷重を考慮する。 なお、係数は0.35とする。	4.1 参照
	地震荷重	(1) 水平地震荷重 質点系モデルによる地震応答解析により得られた水平方向の応 答せん断力を入力する。 (2) 鉛直地震荷重 鉛直応答スペクトルと固有値より得られた鉛直震度を三次元フ レームモデルに入力する。	6.2 参照
	風荷重	風荷重を節点荷重として入力	4.1 参照
評価方法		地震荷重及びその他考慮すべき荷重による発生応力が部材の許 容応力（基準強度を1.1倍した値）を超えないことを確認。	8. 参照



## 8. 許容限界の設定

許容限界は、添付資料「IV-2-1-4-1 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「3.5 許容限界」に基づき、終局耐力を許容限界とする。

終局耐力としては、「平成12年国土交通告示 第2464号告示 第3」の規定を準用して、短期許容応力度における基準強度を1.1倍した値を適用する。

許容応力度は、「建築基準法告示」及び「鋼構造設計規準」(1973改定)(日本建築学会)に基づくものとし、応力度比は1.0以下とする。

使用材料の許容限界を第8-1表に示す。

第8-1表 各使用材料の許容限界

使用材料	基準強度 (MPa)	許容限界
SN490B	325	短期許容応力度において基準強度を1.1倍した値
BCP325		
G385	325 <sup>(注)</sup>	

注：G385の基準強度は385MPaであるが、保守的に325MPaとして評価を行う。

## 9. 評価結果

飛来物防護ネットの基準地震動  $S_s$  による検討を実施し、評価が成立することを確認した。評価結果は添付書類「IV-2-1-4-2-1 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネットの計算書」に示す。

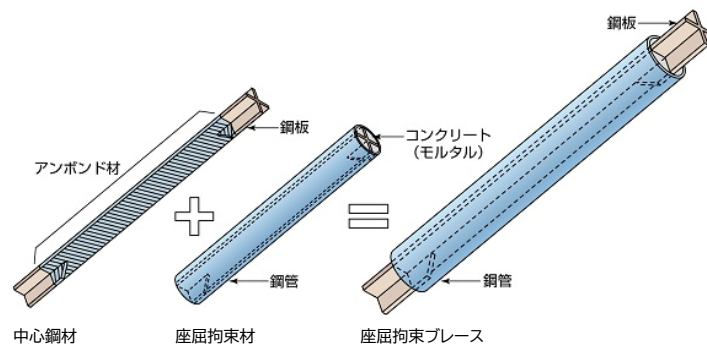
従って、基準地震動  $S_s$  により、飛来物防護ネットが安全冷却水B冷却塔に波及的影響を与えないことを確認した。

## 10. 座屈拘束ブレースについて

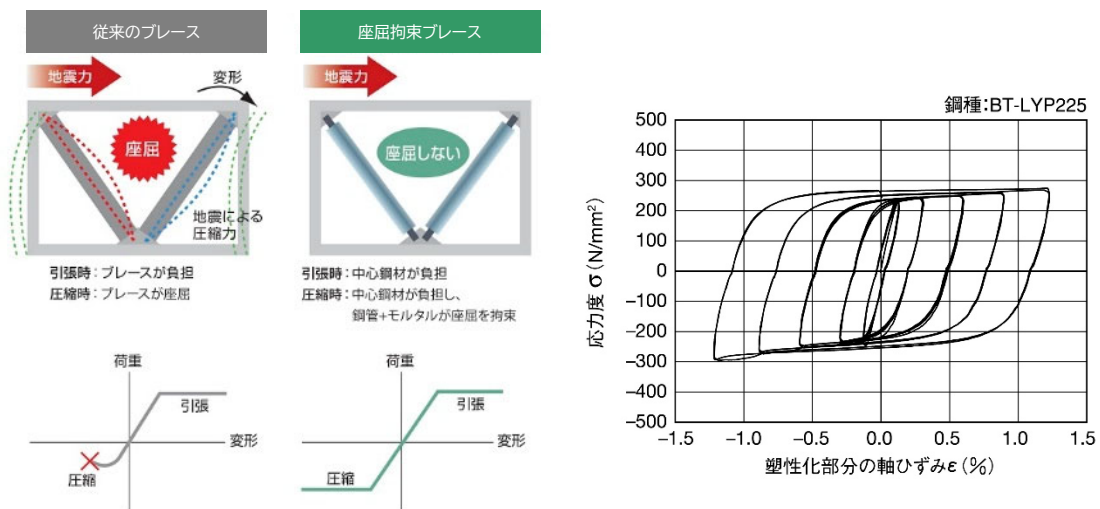
### 10.1 座屈拘束ブレースの概要と特徴

座屈拘束ブレースは、ブレース材として働く中心鋼材を鋼管とコンクリート（モルタル）で拘束し、座屈させずに安定的に塑性化するようにしたブレースである。中心鋼材とコンクリートの間には特殊な緩衝材（アンボンド材）を用いることにより、座屈拘束材（鋼管とコンクリート）には軸力が加わらない機構になっている。この組合せにより、引張・圧縮ともに同性状の安定した履歴特性を持つ制振ダンパー・耐震部材として使用できる。

座屈拘束ブレースは、一般的な炭素鋼鋼材及びモルタルから構成されており、支持架構の他部材と同様、定期的な点検及び補修を行う方針である。座屈拘束ブレースの構成を第10-1図に示し、座屈拘束ブレースの性能を第10-2図に示す。



第10-1図 座屈拘束ブレースの構成



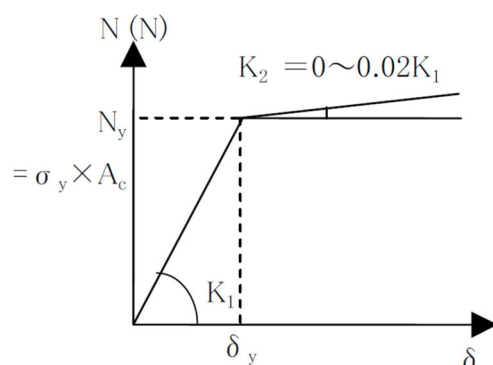
第10-2図 座屈拘束ブレースの性能

## 10.2 座屈拘束ブレースの仕様

座屈拘束ブレースは中心鋼材の種類によって、耐震タイプと制振タイプに分類されており、本設備においては中心鋼材に低降伏点鋼 (LYP225) を使用した制振タイプを用いる。

座屈拘束ブレースの解析モデルは、圧縮・引張とも同性状のバイリニアモデルとし、第 10-3 図に示す。

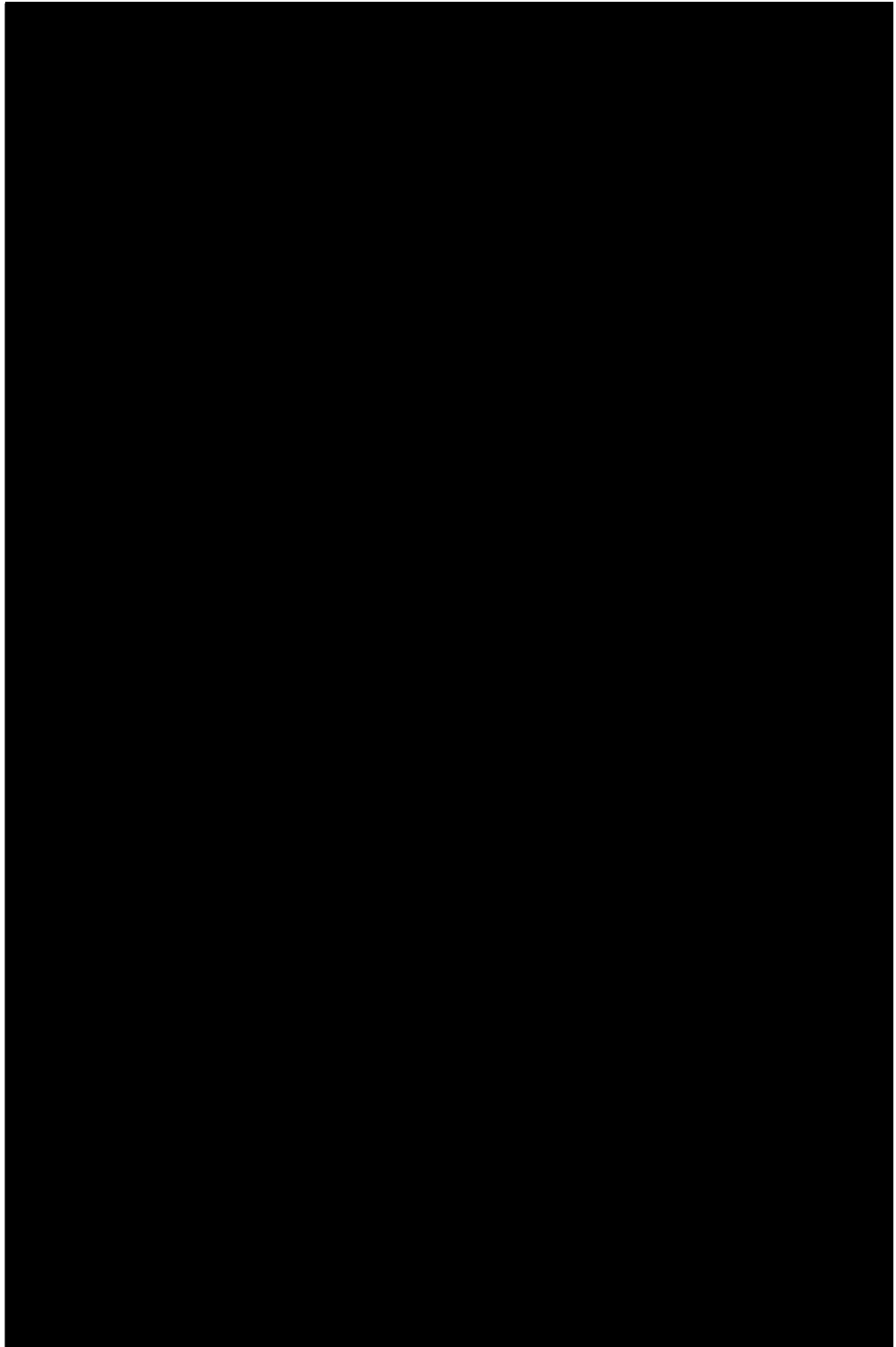
また、座屈拘束ブレースについては、日本建築センターに一般評定の申込みを行い、審議を受けた結果、妥当なものと評定されている。評定書の件名は「制振用アンボンドブレース」(BCJ 評定-ST0126-05) であり、この評定書からエネルギー吸収部材として一般評定で認められている。当図を、第 10-4 図に示す。



バイリニア型モデル

- $\delta_y$ : 座屈拘束ブレースの降伏変位
- $K_1$ : 座屈拘束ブレースの弾性剛性,  $=E \cdot AC/L$
- $K_2$ : 座屈拘束ブレースの二次剛性,  $=0 \sim 0.02K_1$
- $E$ : 弾性係数
- $\sigma_y$ : 降伏管理幅の中間値,  $=225\text{N/mm}^2$  (BT-LYP225 の場合)
- $A_c$ : 座屈拘束ブレース芯材の断面積
- $L$ : 柱・はり芯々間長さ

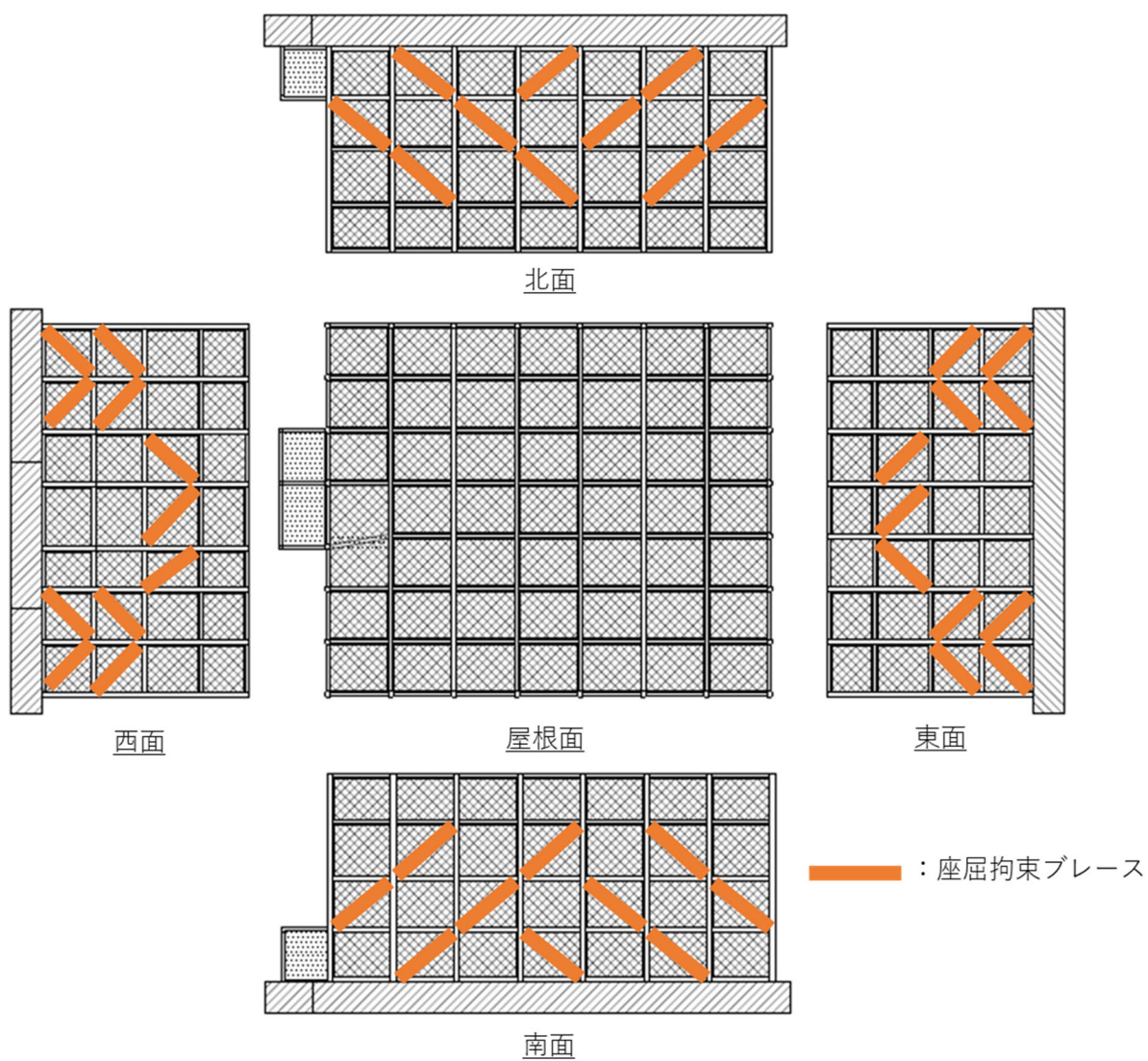
第 10-3 図 座屈拘束ブレースの復元力モデル



第 10-4 図 評定書

### 10.3 座屈拘束ブレースの設置状況

支持架構に設置する座屈拘束ブレースの状況を第 10-5 図に示す。



第 10-5 図 座屈拘束ブレースの設置状況

#### 10.4 座屈拘束ブレース採用の経緯

支持架構の発生応力が過大にならないようにする目的で、制振効果のある座屈拘束ブレースを採用した。

座屈拘束ブレースの設計にあたっては、風荷重や小地震に対して弾性範囲内で機能し、 $S_s$ ,  $S_d$  地震動等の大地震時においては、座屈拘束ブレースの中心鋼材が塑性化して、変形を増大させつつ効果的にエネルギーを吸収する設計としている。

別添 1

安全冷却水 B 冷却塔飛来物防護ネットの耐震性評価について

基礎の耐震計算書



## 目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格・基準等	6
3. 評価方法	7
3.1 評価対象部位及び評価方針	7
3.2 荷重及び荷重の組合せ	9
3.2.1 荷重	9
3.2.2 荷重の組合せ	10
3.3 許容限界	11
3.4 評価方法	12
3.4.1 基礎の評価法	12
3.4.2 杭の評価法	15
4. 評価結果	20
4.1 基礎の評価結果	20
4.2 杭の評価結果	22
4.3 支持力等の評価結果	24
5. その他の評価	25
5.1 液状化対象層を無いものと仮定した評価	25
5.2 液状化対象層を液体と仮定した評価	27

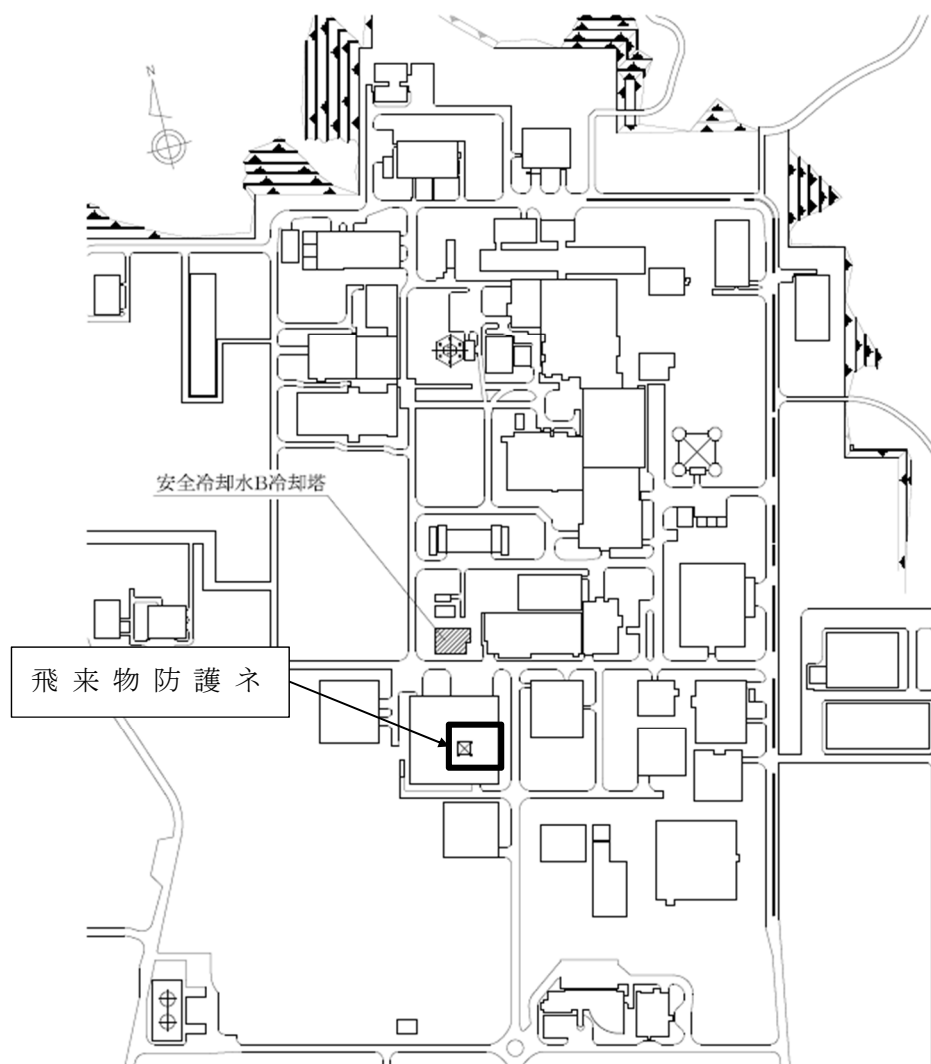
## 1. 概要

本資料は、安全冷却水B冷却塔飛来物防護ネット基礎（以下、「飛来物防護ネット基礎」という。）の機能維持の確認について説明するものである。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

飛来物防護ネット基礎の設置位置を第2-1図に示す。



第2-1図 飛来物防護ネット基礎の設置位置

## 2.2 構造概要

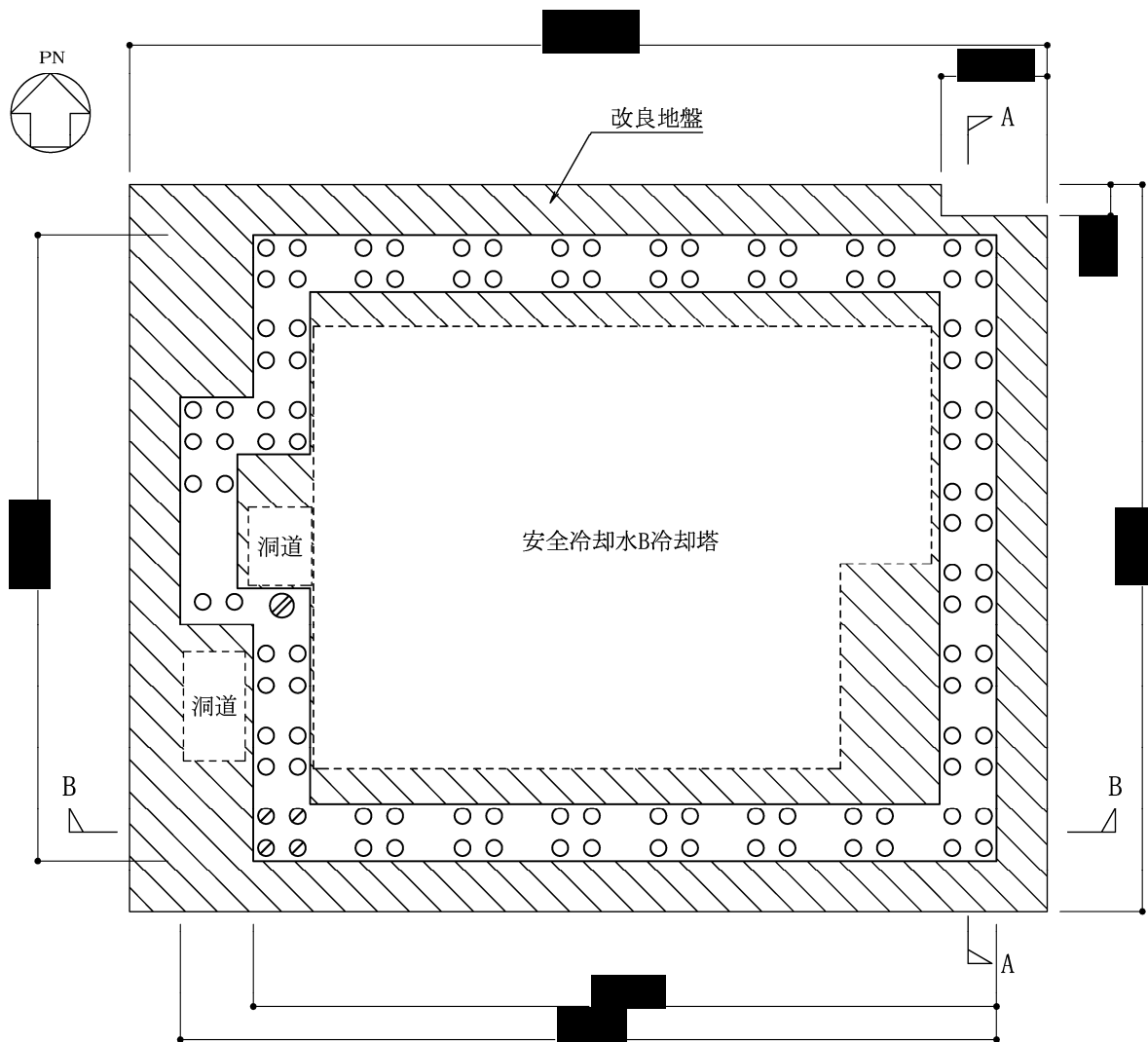
飛来物防護ネットは、安全冷却水B冷却塔を竜巻による飛来物から防護するために防護ネット、防護板で覆うものであり、防護ネット、防護板とそれを支える支持架構（以下、「上部構造」という。）によって構成される。飛来物防護ネット基礎は、上部構造を支持するための構築物である。

飛来物防護ネット基礎の構造は、平面規模は ■■■m(NS) × ■■■m(EW)の鉄筋コンクリート造であり、場所打ちコンクリート杭で杭直径1.0m×112本及び杭直径1.5m×1本の全113本にて支持され、杭長16.8m～17.8mの杭は、支持岩盤である鷹架層に打ち込まれる。また、杭周辺の表層地盤は、基礎下位置から支持岩盤までの範囲が地盤改良される。

飛来物防護ネット基礎の平面図を第2-2図に、断面図を第2-3図に、杭リストを第2-1表に示す。

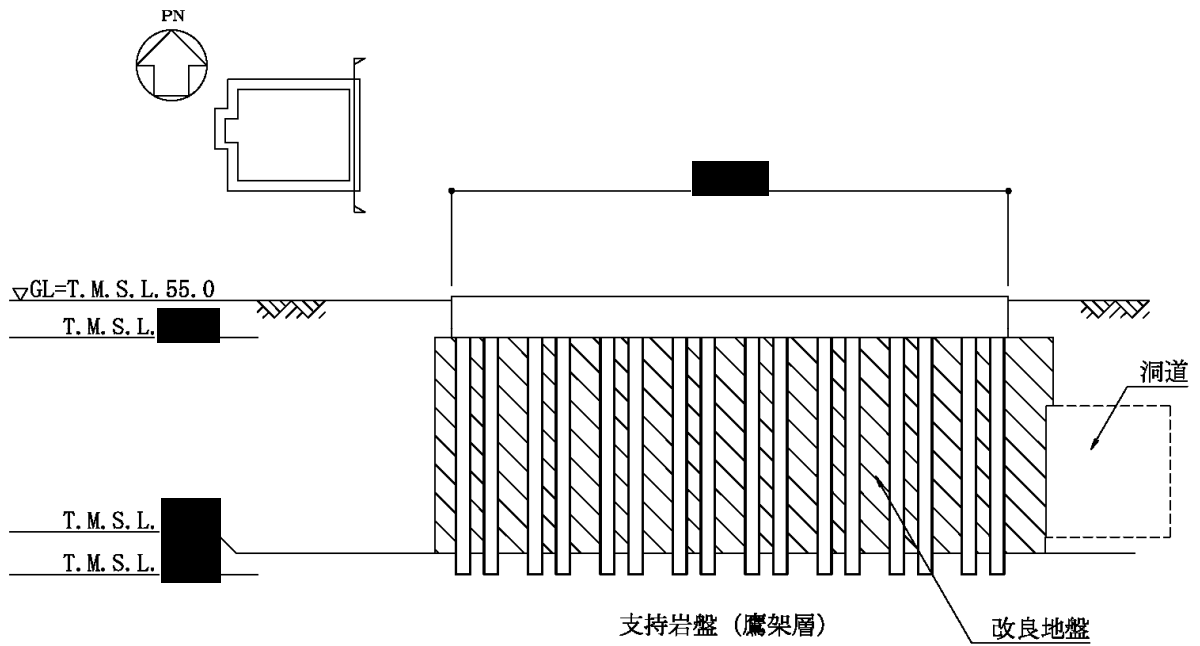
第2-1表 杭リスト

記号	符号	杭径 (mm)	杭長	本数
○	P1	φ 1000	16.8m	108
⊗	P1A	φ 1000	17.8m	4
⊙	P2	φ 1500	16.8m	1
合計				113

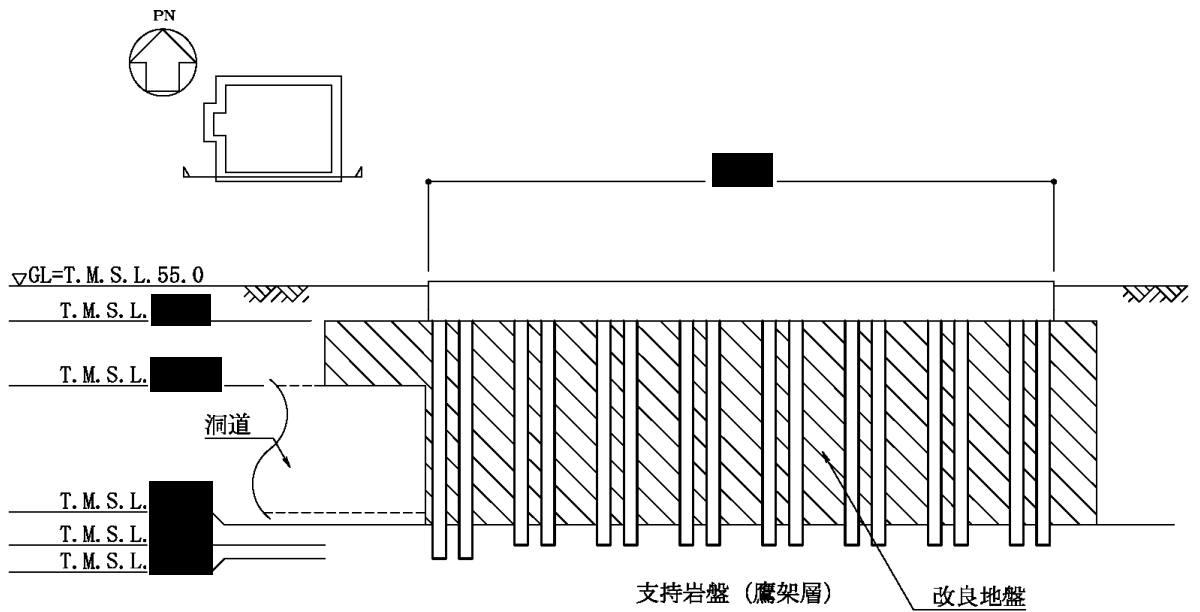


注記：構築物寸法は、基礎外縁押えとする。

第2-2図 基礎・杭配置図 (単位：m)



A-A 断面图 (NS 方向)



B-B 断面图 (EW 方向)

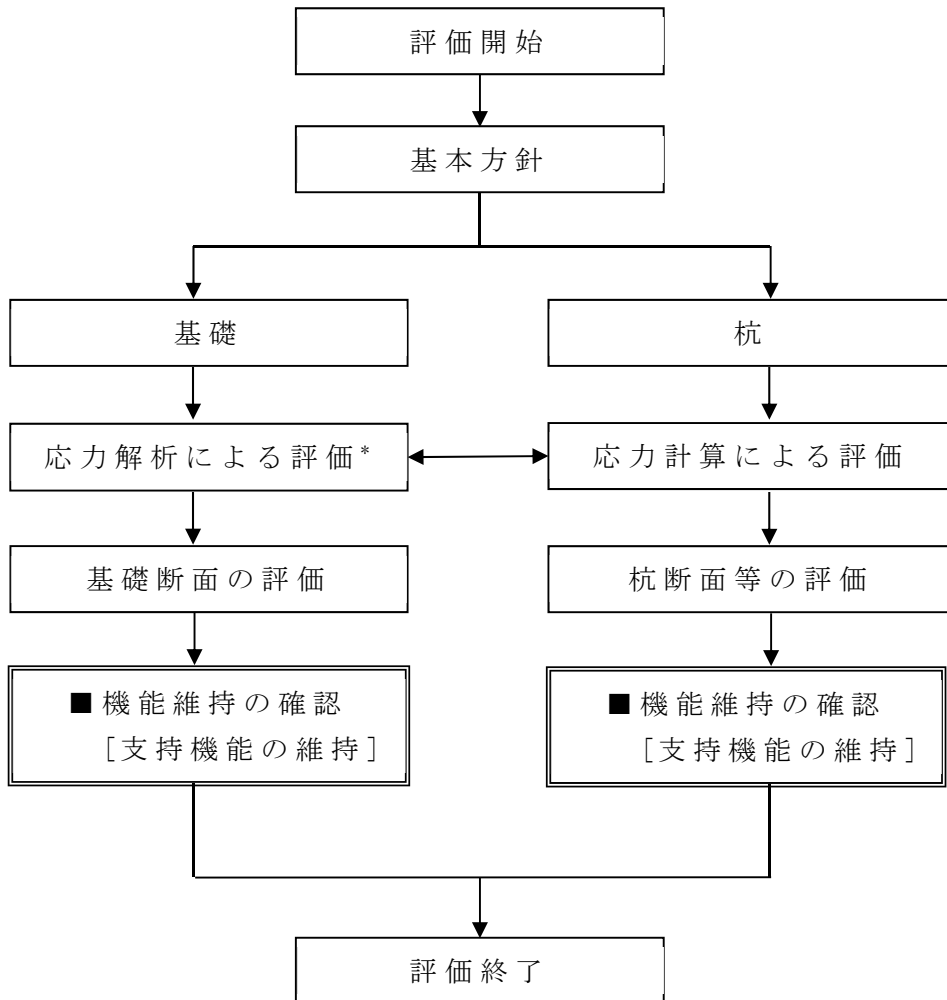
第 2-3 图 躯体形状图 (单位: m)

### 2.3 評価方針

飛来物防護ネット基礎の評価においては、基準地震動  $S_s$  による地震力に対する評価（以下、「 $S_s$  地震時に対する評価」という。）を行うこととし、その評価は添付書類「IV-2-1-4-2-1 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネットの計算書」の結果を踏まえたものとする。

飛来物防護ネット基礎の評価は、応力解析により断面等の評価を行うことで、飛来物防護ネット基礎の構造強度及び機能維持の確認を行う。評価にあたっては地盤物性のばらつきを考慮する。

飛来物防護ネット基礎の評価フローを第2-4図に示す。



\*: 添付書類「IV-2-1-4-2-1 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネットの計算書」の結果を踏まえて行う。

第2-4図 飛来物防護ネット基礎の評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

飛来物防護ネット基礎の評価において、適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令・同告示
- ・ 日本工業規格
- ・ 建築基礎構造設計指針（(社)日本建築学会、2001）（以下、「基礎指針」という。）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法-（(社)日本建築学会、1999）（以下、「RC規準」という。）
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（(社)日本建築学会、2005）（以下、「RC-N規準」という。）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（(社)日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力度編 JEAG4601・補-1984（(社)日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版（(社)日本電気協会）（以下、「JEAG4601」と記載しているものは上記3指針を指す。）

### 3. 評価方法

#### 3.1 評価対象部位及び評価方針

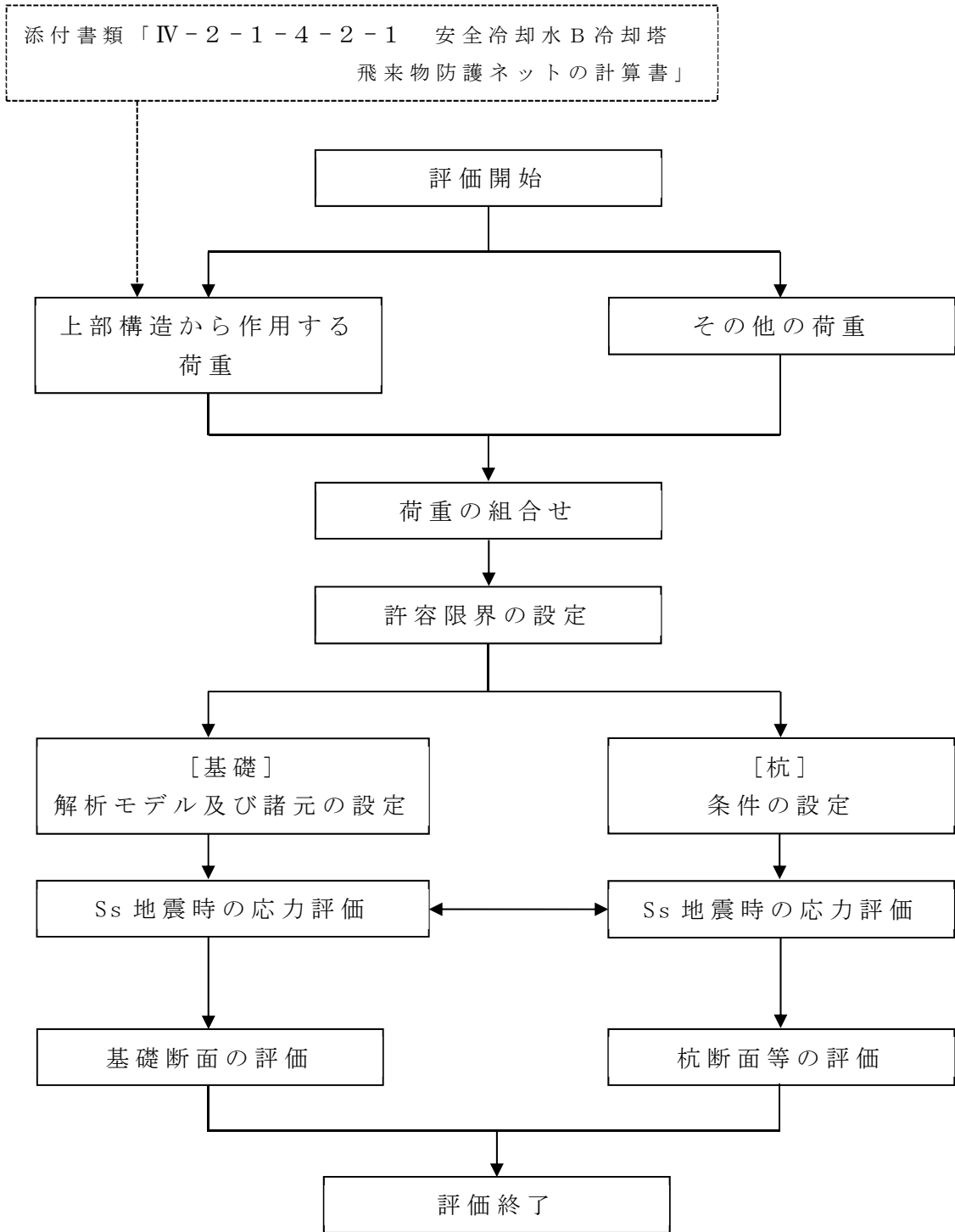
飛来物防護ネット基礎の応力解析による評価部位は基礎及び杭とする。Ss地震時に対して以下の方針に基づき評価を行う。評価フローを第3-1図に示す。

Ss地震時の評価は、添付書類「IV-2-1-4-2-1 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネットの計算書」より得られる上部構造から基礎へ作用する荷重を用いて、基礎に作用する荷重を適切に組合せ評価する。また、地震荷重の設定においては、地盤物性のばらつきを考慮する。

基礎の応力解析による評価は、有限要素法モデル（以下、「FEMモデル」という。）を用いた弾性応力解析により行うこととし、断面に生じる応力を算定し、発生する応力が、「RC-N規準」に基づく許容限界を超えないことを確認する。

杭の応力計算による評価は、上記FEMモデルの応力解析結果を用いて行うこととし、上部構造からの荷重を各杭に分配し、断面に作用する応力及び発生する支持力、引拔力が、「基礎指針」に基づく許容限界を超えないことを確認する。





第3-1図 応力解析による基礎評価フロー

### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

#### 3.2.1 荷重

##### (1) 基礎に考慮する荷重

飛来物防護ネット基礎の評価において考慮する荷重を第3-1表に示す。

第3-1表 基礎に考慮する荷重

荷重名称	内容
固定荷重(DL)	構造物の自重
積雪荷重(SL)	積雪量 190cm 地震荷重と組み合わせる場合は0.35の係数を乗じた値とする。
地震荷重(K)	地盤物性のばらつきを考慮した地震荷重 ・上部構造から作用する地震荷重(上部構造の柱脚応力) ・基礎に作用する地震荷重(地震時慣性力)
風荷重(WL)	建築基準法施行令第87条の規定による風荷重 ・上部構造から作用する風荷重(上部構造の柱脚応力)

##### (2) 杭に考慮する荷重

杭の評価には基礎の応力解析結果を用いることとし、基礎底面に発生するせん断力を全杭で負担し、杭頭位置での鉛直支点反力を杭の鉛直軸力として考慮する。杭に考慮する荷重を第3-2表及び第3-3表に示す。

第3-2表 杭に考慮する荷重(水平)

せん断力	NS方向	EW方向
基礎底面(kN)	33660	31890
P1、P1A(kN/本)	293	277
P2(kN/本)	941	891

第3-3表 杭に考慮する荷重(鉛直)

軸力	上方向(引張)	下方向(圧縮)
P1、P1A(kN/本)	1005	2017
P2(kN/本)	992	4313

### 3.2.2 荷重の組合せ

飛来物防護ネット基礎の評価において考慮する荷重の組合せを第3-4表に示す。地震荷重は組合せ係数法により水平地震荷重 ( $K_H$ ) 及び鉛直地震荷重 ( $K_V$ ) を考慮する。

第3-4表 荷重の組合せ

組合せ係数法	荷重の組合せ
水平1.0、鉛直0.4	$DL + SL \pm 1.0K_H \pm 0.4K_V \pm WL$
水平0.4、鉛直1.0	$DL + SL \pm 0.4K_H \pm 1.0K_V \pm WL$

### 3.3 許容限界

飛来物防護ネット基礎の許容限界は、第3-5表のとおり設定する。

コンクリートの圧縮強度を第3-6表に、鉄筋の降伏強度を第3-7表に示す。杭の鉛直支持力及び引抜抵抗力の許容限界については、「3.4.2 杭の評価法」にて示す。

第3-5表 応力解析評価における基礎の許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界
支持機能	上部構造を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 $S_s$	基礎	部材に生じる応力が支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく終局強度
			杭		「基礎指針」に基づく終局強度
			地盤	杭に発生する支持力及び引抜力が許容限界を超えないことを確認	

第3-6表 コンクリートの圧縮強度

部位	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
基礎 ( $F_c=24$ N/mm <sup>2</sup> )	24.0
杭 ( $F_c=27$ N/mm <sup>2</sup> )	27.0

第3-7表 鉄筋の降伏強度

鉄筋種類	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )
SD345	345

注記：材料強度は降伏強度を1.1倍して算出する。

### 3.4 評価方法

#### 3.4.1 基礎の評価法

##### (1) 応力解析

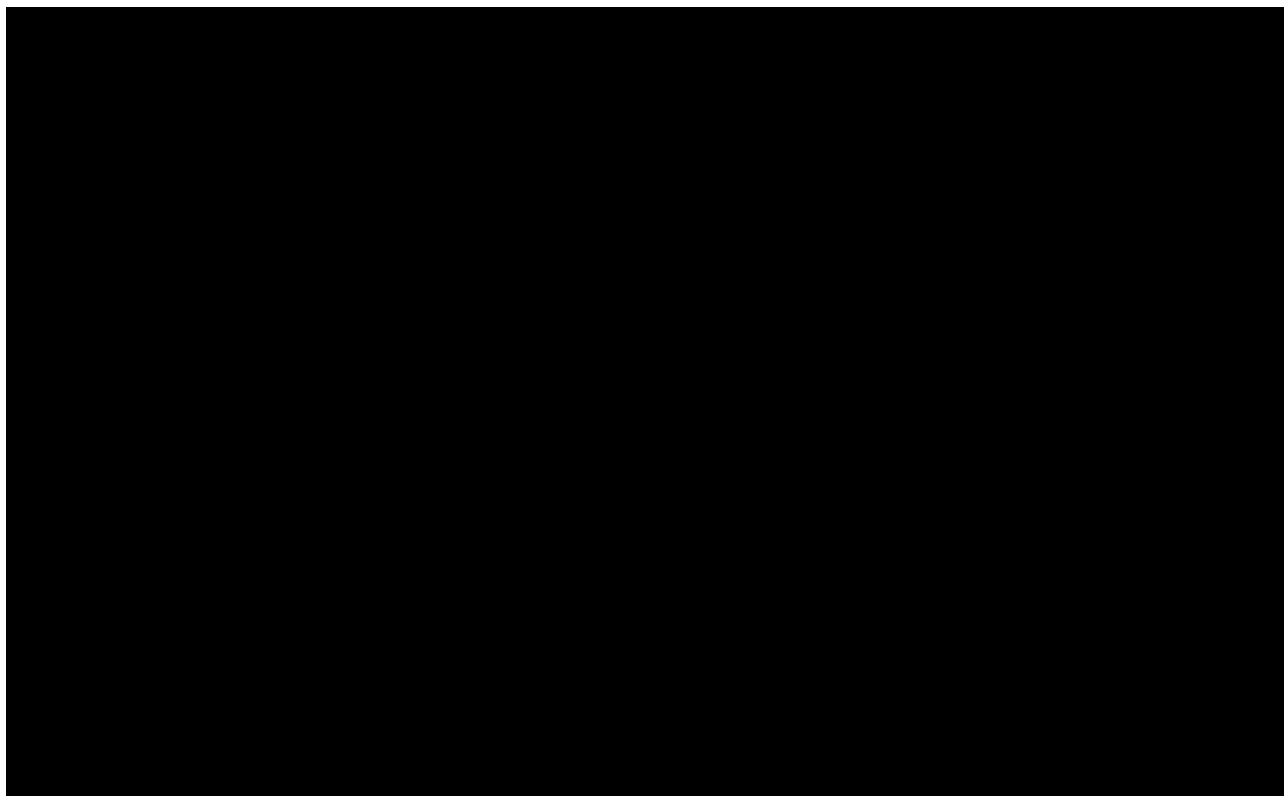
基礎の応力解析は、FEMモデルを用いた弾性応力解析を実施する。解析には、解析コード「midas iGen(ver.845)」を用いる。

基礎のモデル化においては、シェル要素にてモデル化し、鉄筋コンクリートとして、第3-8表に示す物性値を与える。また、場所打ちコンクリート杭は各杭位置でピン支持の境界条件を与える。解析モデルを第3-2図に示す。

この解析モデルに対し、先に定めた荷重に対する応力解析を行う。

第3-8表表 コンクリートの物性値

設計基準強度 Fc (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 Ec (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 ν
24	2.27×10 <sup>4</sup>	0.2



第3-2図 解析モデル (単位: mm)

(3) 基礎断面の評価方法

a. 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

各断面は，軸力及び曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート造の長方形仮想柱として算定する。断面の評価は，「RC-N規準」に基づき，評価対象部位に生じる曲げモーメントが許容限界を超えないことを下式で確認する。なお，許容限界は柱の終局強度の精算式による。

$$M \leq M_u$$

$$M_u = 0.8a_t\sigma_y D + 0.4ND \quad (N_{\min} \leq N \leq 0)$$

$$M_u = 0.8a_t\sigma_y D + 0.5ND \left(1 - \frac{N}{bDF_c}\right) \quad (0 \leq N \leq 0.4bDF_c)$$

$$M_u = (0.8a_t\sigma_y D + 0.12bD^2F_c) \left(\frac{N_{\max} - N}{N_{\max} - 0.4bDF_c}\right) \quad (0.4bDF_c \leq N \leq N_{\max})$$

ここで、

- $M$  : 曲げモーメント
- $M_u$  : 許容限界（曲げ終局強度）
- $N_{\min}$  : 中心引張時終局強度
- $N_{\max}$  : 中心圧縮時終局強度
- $N$  : 軸力
- $a_t$  : 引張主筋断面積
- $b$  : 断面幅
- $D$  : 断面せい
- $\sigma_y$  : 鉄筋の引張に対する材料強度
- $F_c$  : コンクリート圧縮強度

b. 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断力が許容限界を超えないことを下式で確認する。

$$Q \leq Q_u$$

$$Q_u = \left\{ \frac{0.068 p_t^{0.23} (F_c + 18)}{M/(Qd) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_w \sigma_{wy}} + 0.1 \sigma_0 \right\} bj$$

ここで

- $Q$  : 発生面外せん断力  
 $Q_u$  : 許容限界（面外せん断終局強度）  
 $p_t$  : 引張鉄筋比（%）  
 $F_c$  : コンクリートの圧縮強度  
 $M/Q$  : 強度算定断面における曲げモーメントMと面外せん断力Qの比  
 $d$  : 有効せい  
 $p_w$  : 面外せん断補強筋比  
 $\sigma_{wy}$  : 面外せん断補強筋の降伏強度  
 $\sigma_0$  : 平均軸方向応力度  
 $b$  : 部材幅  
 $j$  : 応力中心間距離

### 3.4.2 杭の評価法

#### (1) 応力計算

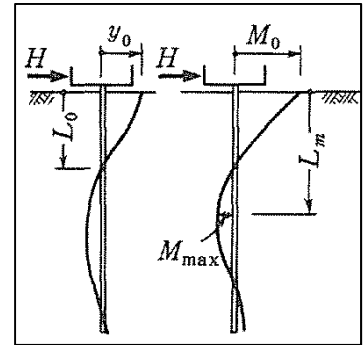
杭応力は、各杭に発生する支持力、引抜き及び杭頭せん断力を FEM モデルの支点反力に基づき計算する。また、「基礎指針」に基づき、杭頭曲げモーメント  $M_0$  を下式により評価する。杭の評価にあたっては、第 3-9 表に示す物性値を考慮する。

$$M_0 = \frac{H}{2\beta}$$

$$\beta = \left( \frac{k_h \cdot B}{4EI} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$k_h = 3.16 \cdot k_{h0}$$

$$k_{h0} = \alpha \cdot \xi \cdot E_0 \cdot \bar{B}^{\frac{3}{4}}$$



ここで、

$H$  : 杭頭せん断力 (kN)。FEMモデルの支点反力に基づく。

$\beta$  : 杭の特性係数 ( $m^{-1}$ )

$k_h$  : 水平地盤反力係数 ( $kN/m^3$ )

$B$  : 杭径 (m)

$E$  : 杭のコンクリートのヤング係数 ( $kN/m^2$ )

$I$  : 杭の断面2次モーメント ( $m^4$ )

$k_{h0}$  : 基準水平地盤反力係数 ( $kN/m^3$ )

$\alpha$  : 評価法によって決まる定数 ( $m^{-1}$ )。  $\alpha = 80$  とする。

$\xi$  : 群杭の影響を考慮した係数。最小の杭間距離から算定する。

$E_0$  : 変形係数 ( $kN/m^2$ )。改良地盤の一軸試験の結果から算定する。

$\bar{B}$  : 無次元化杭径 (杭径を cm で表した無次元数値)

第 3-9 表 杭の物性値

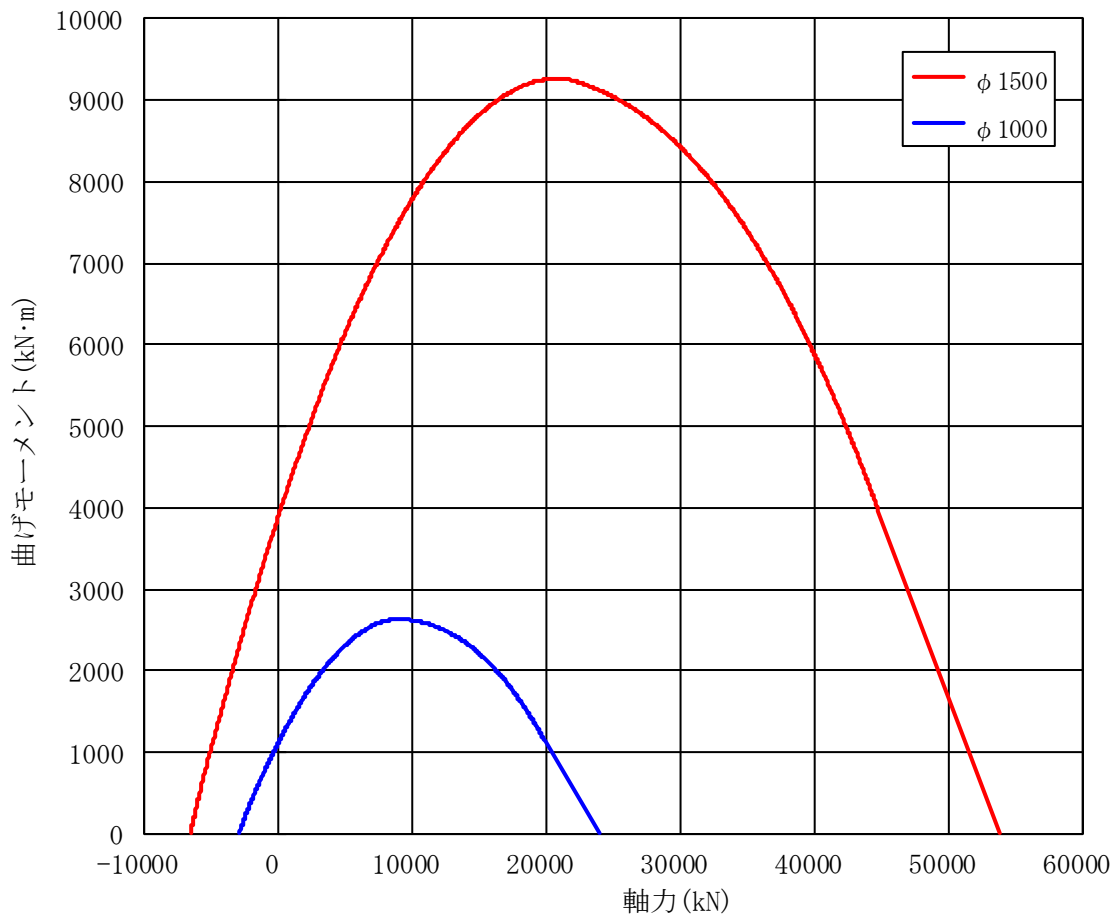
諸元	P1、P1A	P2
設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	27	27
比重 (N/mm <sup>3</sup> )	23	23
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	23600	23600
杭径 (mm)	1000	1500



(2) 杭断面の評価方法

a. 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

軸力及び曲げモーメントに対する評価は、「基礎指針」に基づき、杭に生じる軸力及び曲げモーメントが第3-3図に示す許容限界（Nu-Mu関係）を超えないことを確認する。



第3-3図 許容限界（Nu-Mu関係）

(3) せん断力に対する評価

せん断力に対する評価は、「基礎指針」に基づき、杭に生じるせん断力が下式による許容限界を超えないことを確認する。

$$Q \leq Q_u$$

$$Q_u = \left\{ \frac{0.092 k_u k_p (17.7 + F_c)}{M/(QD) + 0.12} + 0.846 \sqrt{p_w \sigma_{wy}} + 0.1 \sigma_0 \right\} bj$$

$$k_p = 0.82 \cdot p_t^{0.23} \quad , \quad k_u = 0.72$$

ここで、

- $Q$  : せん断力
- $Q_u$  : 許容限界 (面外せん断終局強度)
- $k_u$ 、  
 $k_p$  : 補正係数
- $p_t$  : 引張鉄筋比 (%)
- $F_c$  : コンクリートの圧縮強度
- $M/Q$  : 強度算定断面におけるモーメント  $M$  とせん断力  $Q$  の比
- $D$  : 杭径
- $p_w$  : せん断補強筋比
- $\sigma_{wy}$  : せん断補強筋の降伏強度
- $\sigma_0$  : 平均軸方向応力度
- $b$  : 等価正方形断面の幅
- $j$  : 等価正方形断面の応力中心間距離

(4) 支持力及び引抜力に対する評価

支持力及び引抜力に対する評価は、「基礎指針」に基づき、杭に生じる最大軸力及び最小軸力が許容限界を超えないことを確認する。

a. 支持力に対する評価

$$N_{\max} \leq R_u$$

$$R_u = R_p + R_f$$

$$R_p = q_p \cdot A_p$$

$$q_p = 100\bar{N}$$

$$R_f = R_{fs} + R_{fc}$$

$$R_{fs} = \tau_s \cdot L_s \cdot \phi$$

$$\tau_s = 3.3 \cdot N$$

$$R_{fc} = \tau_c \cdot L_c \cdot \phi$$

$$\tau_c = c_u$$

ここで、

- $N_{\max}$  : 最大軸力
- $R_u$  : 許容限界（極限鉛直支持力）
- $R_p$  : 極限先端支持力
- $R_f$  : 極限周面摩擦力
- $q_p$  : 極限先端支持力度
- $A_p$  : 杭先端の閉塞断面積
- $\bar{N}$  : 杭先端の平均N値
- $R_{fs}$  : 砂質土部分の極限周面摩擦力
- $R_{fc}$  : 粘性土部分の極限周面摩擦力
- $\tau_s$  : 砂質土の極限周面摩擦力度
- $N$  : 杭周面のN値
- $L_s$  : 砂質土部分の長さ
- $\tau_c$  : 粘性土の極限周面摩擦力度
- $c_u$  : 土の非排水せん断強さ
- $L_c$  : 粘性土部分の長さ
- $\phi$  : 杭の周長

b. 引抜力に対する評価

$$N_{\min} \leq R_{TR}$$

$$R_{TR} = (1/1.2)(\sum \tau_{sti} L_{si} + \sum \tau_{cti} L_{ci})\phi + W$$

ここで、

$N_{\min}$  : 最小軸力

$R_{TR}$  : 許容限界（残留引抜抵抗力）

$\tau_{sti}$  : 砂質土の i 層における杭引抜時の最大周面摩擦力度  
で、

押込み時の極限周面摩擦力度の 2/3 とする。

$\tau_{cti}$  : 粘性土の i 層における杭引抜時の最大周面摩擦力度  
で、

押込み時の極限周面摩擦力度と同一とする。

$L_{si}$  : 砂質土の i 層における杭の長さ

$L_{ci}$  : 粘性土の i 層における杭の長さ

$\phi$  : 杭の周長

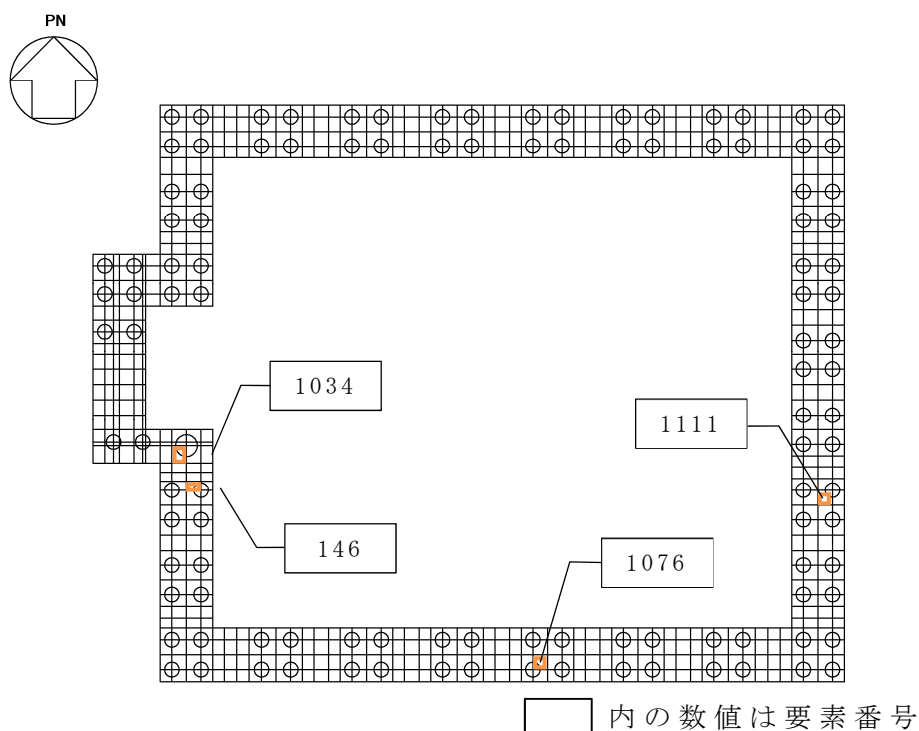
$W$  : 杭の自重で、浮力を考慮する。

#### 4. 評価結果

##### 4.1 基礎の評価結果

S<sub>s</sub>地震時の最大検定値発生位置を第4-1図に、基礎応力と許容限界値を比較した評価結果を第4-1表に示す。

評価結果に示すとおり、S<sub>s</sub>地震時には許容限界値を超えず、支持機能が維持されることを確認した。



第4-1図 最大検定値発生位置（基礎応力）

第4-1表 基礎の評価結果（最大検定値）

(a) 軸力及び曲げモーメントに対する評価

方向	解析結果		許容限界 値 (kN・m/m)	検定比	判定
	要素番号	発生曲げモーメント (kN・m/m)			
NS	1034	1265	4909	0.258	OK
EW	146	317	1692	0.188	OK

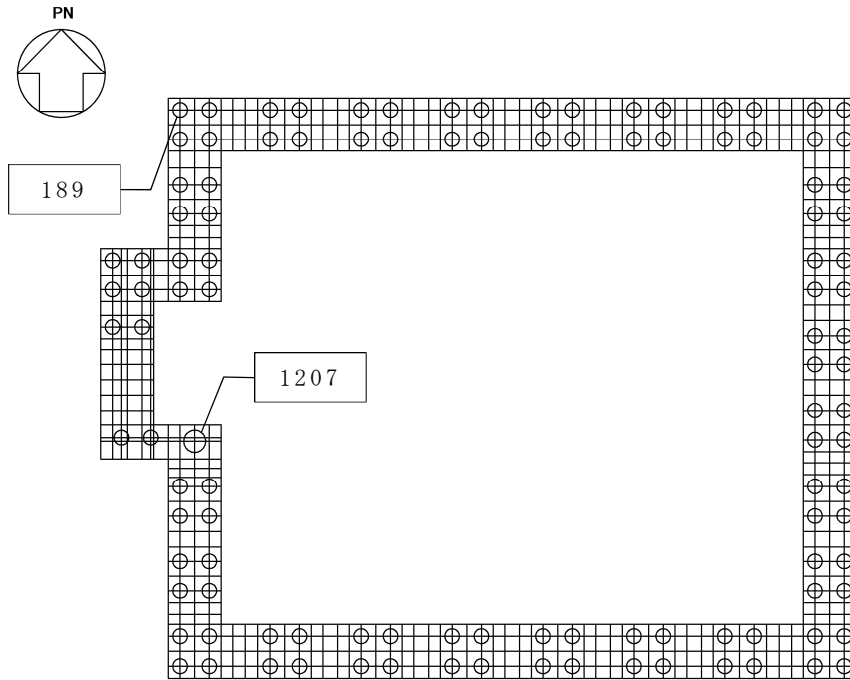
(b) 面外せん断力に対する評価

方向	解析結果		許容限界 値 (kN/m)	検定比	判定
	要素番号	発生面外せん断力 (kN/m)			
NS	1076	995	3143	0.317	OK
EW	1111	886	3141	0.282	OK

#### 4.2 杭の評価結果

Ss地震時の最大検定値発生位置を第4-2図に、杭応力と許容限界値を比較した評価結果を第4-2表及び第4-3図に示す。

評価結果に示すとおり、Ss地震時には許容限界値を超えず、支持機能が維持されることを確認した。



内の数値は節点番号

第4-2図 最大検定値発生位置（杭応力）

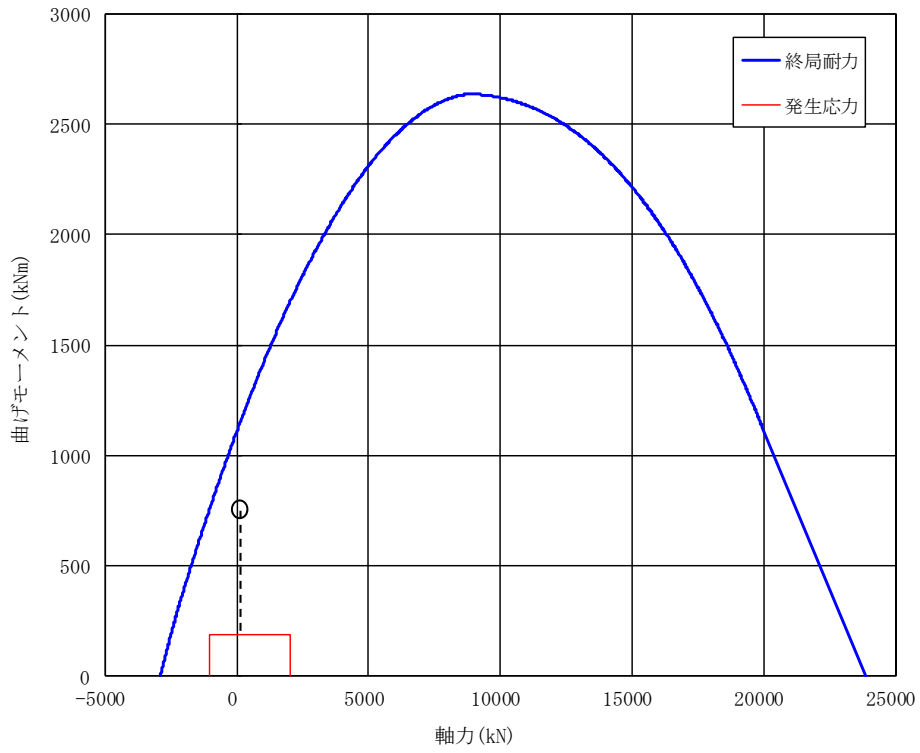
第4-2表 基礎の評価結果（最大検定値）

(a) 軸力及び曲げモーメントに対する評価

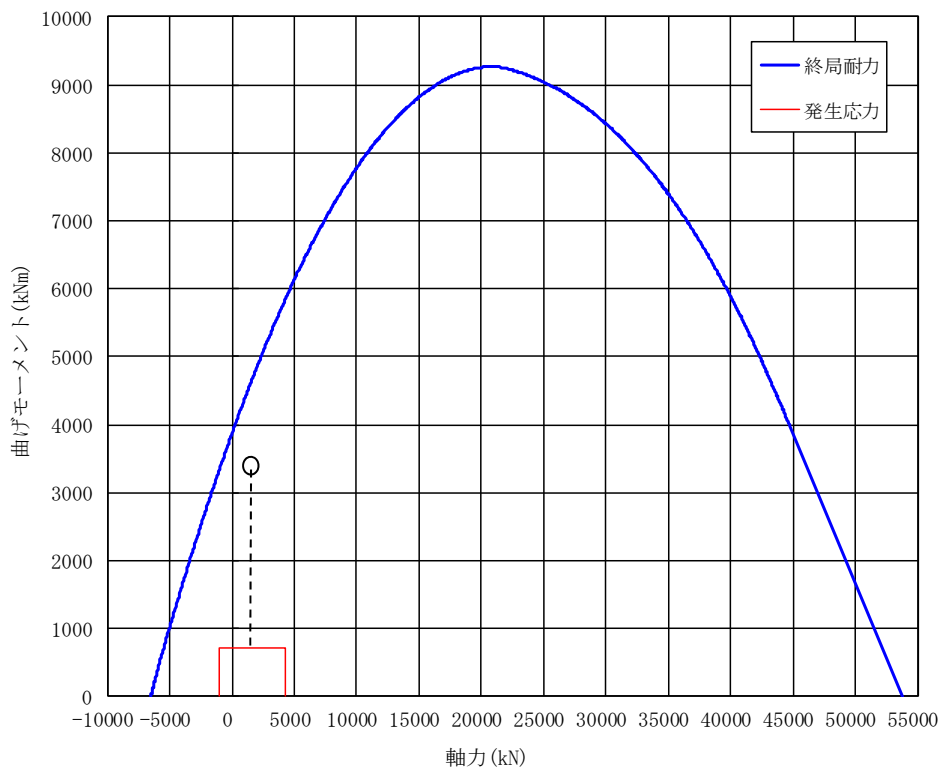
杭種	解析結果		許容限界値 (kN・m/m)	検定比	判定
	要素番号	発生曲げモーメント (kN・m/m)			
P1, P1A	189	189	712	0.265	OK
P2	1207	707	3306	0.214	OK

(b) せん断力に対する評価

杭種	解析結果		許容限界値 (kN/m)	検定比	判定
	要素番号	発生せん断力 (kN/m)			
P1, P1A	189	293	2024	0.145	OK
P2	1207	941	5065	0.186	OK



( P1, P1A )



( P2 )

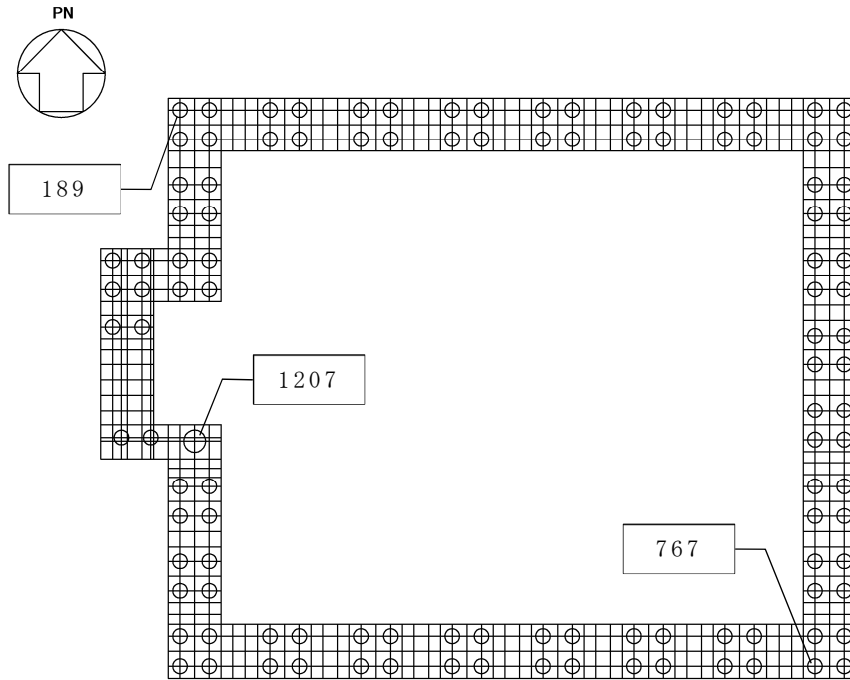
第 4 - 3 図 杭体の軸力及び曲げモーメントに対する評価結果



#### 4.3 支持力等の評価結果

Ss地震時の最大検定値発生位置を第4-4図に、支持力及び引抜力と許容限界値を比較した評価結果を第4-3表に示す。

評価結果に示すとおり、Ss地震時には許容限界値を超えず、支持機能が維持されることを確認した。



内の数値は節点番号

第4-4図 最大検定値発生位置（支持力及び引抜力）

第4-3表 支持力及び引抜力の評価結果（最大検定値）

項目	解析結果			許容値 (kN)	検定比	判定
	杭種	節点番号	軸力 (kN)			
支持力	P1, P1A	767	2017	9409	0.215	OK
	P2	1207	4313	17058	0.253	OK
引抜力	P1, P1A	189	-1156	4609	0.251	OK
	P2	1207	-1143	7052	0.163	OK

\* 軸力は正が圧縮，負が引張とする。

## 5. その他の評価

杭の構造評価は、杭の周辺地盤の健全性を確保している前提で実施するため、周辺地盤の健全性評価を液状化対象層による影響を考慮して実施する。杭先端は支持地盤である鷹架層であり、周面は地盤改良体である。

### 5.1 液状化対象層を無いものと仮定した評価

#### (1) 目的

地盤改良範囲は、杭基礎の基礎外縁を包絡する範囲について実施する。地盤改良体範囲は、地盤改良体の縁と杭の最短距離が 2.0m となる。地盤改良体の外側の液状化対象層が無いものと仮定し、杭から地盤改良体に作用する設計用水平力が地盤改良体の健全性に影響を与えないことを確認し、地盤改良範囲（幅）の設定が妥当であることを確認する。

#### (2) 検討内容

上部構造物から杭に係る設計用水平力と基礎指針に基づく地盤改良体の塑性水平地盤反力を比較し、設計用水平力が塑性水平地盤反力に収まることを評価する。

##### a. 杭の諸元及び設計用水平力

杭径： $B = 1.0\text{m}$

地盤改良体の縁までの最短距離： $R = 2.0\text{m}$

設計用水平力： $F = 293\text{kN}$

##### b. 地盤改良体の塑性水平地盤反力

地盤改良体のせん断強度（粘着強度） $C_u$

$q_u = 3.1[\text{N}/\text{mm}^2]$ （改良地盤調査結果の最小値）

$C_u = 0.5 \times q_u = 1.55[\text{N}/\text{mm}^2] = 1550[\text{kN}/\text{m}^2]$

塑性水平地盤反力  $P_y$

$P_{y \text{ 上部}} = 2C_u B = 2 \times 1550 \times 1.0 = 3100[\text{kN}/\text{m}]$

$P_{y \text{ 下部}} = \lambda C_u B = 6 \times 1550 \times 1.0 = 9300[\text{kN}/\text{m}]$ （ $\lambda = 3 \times R/B = 3 \times 2.0/1.0 = 6$ ）

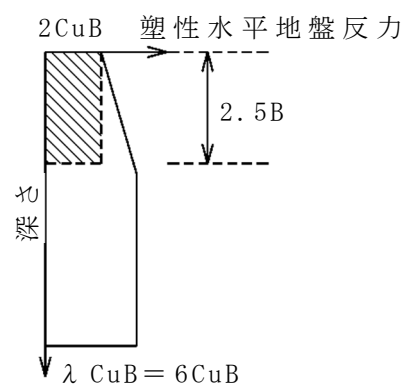
深さ方向に対して  $P_y$  に増分はなく、 $2.5B$  までの深さまで一定値で杭に作用する水平力を負担すると仮定すると、

$F_y = P_y \cdot 2.5B = 3100 \times 2.5 \times 1.0 = 7750[\text{kN}]$

(3) 検討結果

上記を基に評価した結果，設計用水平力  $F$  が地盤改良範囲を考慮した塑性水平地盤反力  $F_y$  内に収まることにより，地盤改良範囲（幅）の設定が妥当であることを確認した。

$$F/F_y = 293/7750 = 0.04 \quad \text{OK}$$



## 5.2 液状化対象層を液体と仮定した評価

### (1) 目的

安全冷却水系冷却塔 B の飛来物防護ネットの地盤改良体の外側には未改良の原地盤が存在し、液状化の懸念があることから、この液状化対象層が液状化した場合においても、地盤改良体の健全性が確保されることを確認する。

### (2) 検討内容

液状化対象層が液状化した場合に地盤改良体に作用する側方の土水圧を設定し、地盤改良体のせん断に対する健全性（地盤改良体内部の杭の健全性）が確保されることを確認する。

#### a. 液状化対象層による土水圧 $F_a$

地盤改良体の液状化対象層からの土水圧は、地盤改良体の幅（長手方向） $B_a = 57.9\text{m}$ 、岩盤から地表面までの高さ  $H_a = 18.5\text{m}$  の領域を考慮する。

液状化対象層がすべて液体となったと仮定し、埋戻土の比重を用いてウェスタガードの補正式により動水圧を算定する。動水圧は、岩表面から地表面まで、一律最大値が作用する仮定として土水圧を算定する。

ウェスタガードの補正式による動水圧

$$P = \beta \cdot 7/8 \cdot \gamma \cdot b \cdot k_h \cdot \sqrt{H_a \cdot z}$$
$$= 1.00 \times 7/8 \times 18.3 \times 0.6 \times \sqrt{(18.5 \times 18.5)} = 178 \rightarrow$$

$180\text{kN/m}^2$

$$F_a = 180 \times B_a \times H_a = 180 \times 57.9 \times 18.5 = 193000 \text{ kN}$$

ここで、各値は、

- P : 動水圧
- $\gamma$  : 埋戻土の単位体積重量 ( $18.3\text{kN/m}^3$ )
- $H_a$  : 埋戻土の高さ ( $18.5\text{m}$ )
- $Z_a$  : 該当部の深さ ( $H_a$  と同じとする)
- $B_a'$  : 動水圧分布を想定する幅 ( $\infty$ )
- $\beta$  : 幅と水深による係数 ( $B'/H=\infty$  の場合)
- $K_h$  : 水平震度 ( $0.6 \text{ G}$ )

b. 地震時慣性力  $F_b$

地盤改良体・冷却塔用 MMR を合算した慣性力とする。地盤改良体の平均単位体積重量は  $16.7 \text{ kN/m}^3$  であるが、慣性力算定用の単位体積重量 ( $\gamma_a$ ) は、保守的に MMR の数値  $24 \text{ kN/m}^3$  を採用する。また、SHAKE による地盤の応答解析結果を基に地震時の加速度 ( $k_h$ ) を  $0.6G$  とする。これより、地震時慣性力  $F_b$  は、以下のとおりとなる。

$$F_b = k_h \times W_b = 0.6 \times 1.01 \times 10^6 = 606000 \text{ kN}$$

ここで、総重量  $W_b$  は、

$$\begin{aligned} W_b &= \gamma_a \times B_b \times D_b \times H_b \\ &= 24 \times 57.9 \times 46.0 \times 15.8 = 1.01 \times 10^6 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. 上部建築物による水平荷重  $F_c$

上部構造物の地震応答解析結果から、基礎を含む上部構造物が、地盤改良体に及ぼす水平荷重  $F_c$  (風荷重込み) は以下の通り。

$$F_c = 89871 \text{ kN}$$

d. 地盤改良体の大きさとせん断強度 (粘着強度)  $C_u$

評価対象とする地盤改良体の粘着強度  $C_u$  は、地盤改良体の試験結果による一軸圧縮強度  $q_u$  より計算する。

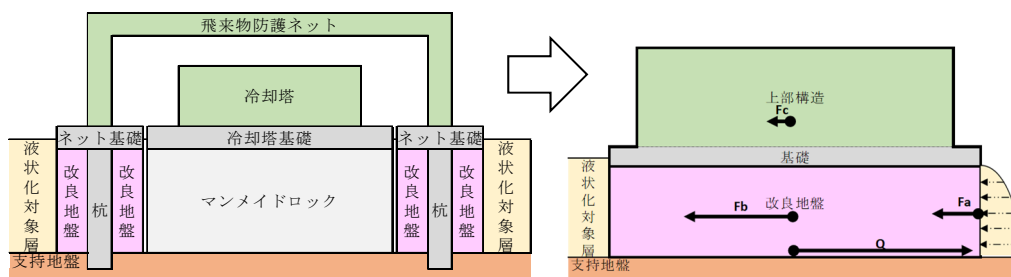
$$q_u = 3.1 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$C_u = 0.5 \times q_u = 0.5 \times 3.1 = 1.55 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

e. 地盤改良体に作用するせん断応力度  $\tau$

以下の荷重を考慮すると、地盤改良体に作用する水平力  $F$  は以下のとおりとなる。

$$F = F_a + F_b + F_c = 214230 + 606000 + 89871 = 910101 \text{ kN}$$



(3) 検討結果

地盤改良体底部での単位面積当たりのせん断応力度  $\tau$  と地盤改良体の粘着力  $C_u$  を比較すると、以下のとおりとなる。

$$\tau / C_u = 0.336 / 1.55 = 0.22 \quad \text{OK}$$

以上より、液状化対象層の液状化を考慮した動水圧等を考慮した場合でも、地盤改良体の健全性は確保される。このため、地盤改良体内部の杭の健全性は確保されるものと判断できる。

## 別添 2

防護板及び防護ネットに作用する荷重について

## 目次

1. 概要	1
2. 評価対象部位	1
3. 荷重比較結果	2
4. 考察及びまとめ	2



## 1. 概要

飛来物防護ネットにおいては、竜巻による飛来物衝突時に防護板の及び防護ネットに作用する荷重の方が、Ss 地震時に作用する荷重よりも大きいことから、耐震評価部位の対象外としている。

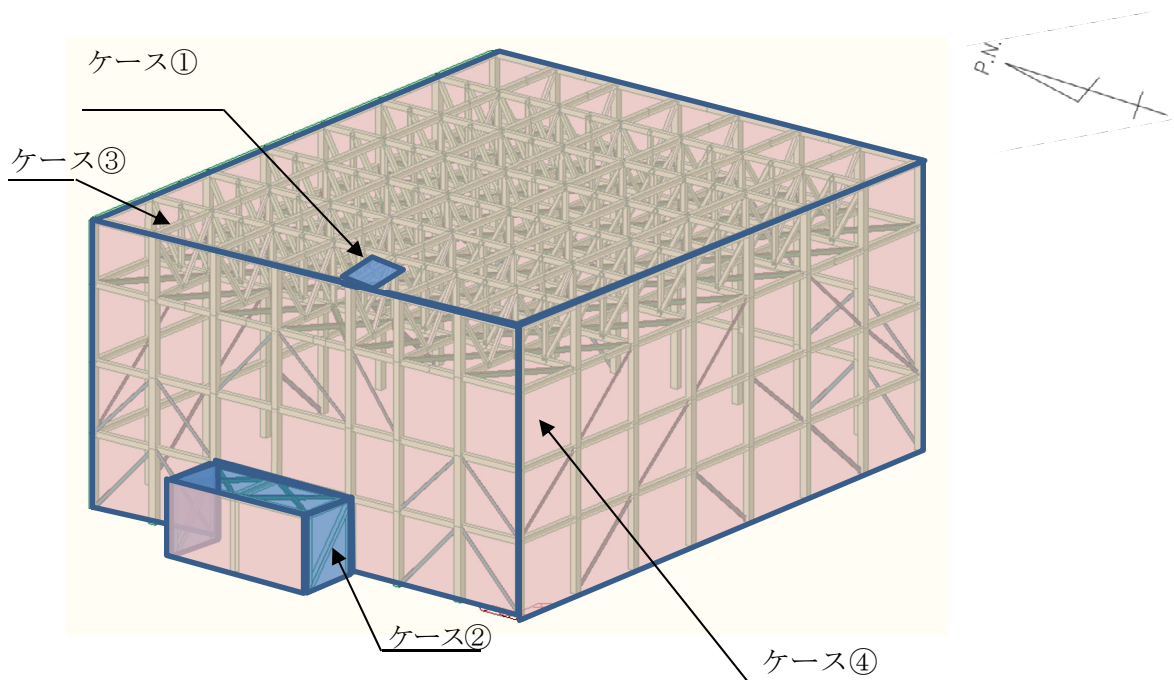
本書は、Ss 地震時に作用する荷重と飛来物衝突時に作用する荷重の比較結果を示し、荷重の包絡性について補足説明するものである。

## 2. 評価対象部位

飛来物防護ネットの天面（水平設置）及び側面（鉛直設置）に設置される防護板、防護ネットで Ss 地震時に作用する荷重及び飛来物の衝突速度が異なることから、第 2-1 表に示す 4 ケースを対象に比較を行った。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、Ss 地震時に作用する荷重が大きくなることから、サイズが最大の部位を対象とする。

第 2-1 表 評価対象部位

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



第 2-1 図 評価対象部

### 3. 荷重比較結果

荷重比較結果を第3-1表に示す。各ケースにおいてSs地震時に作用する荷重が、飛来物衝突時に作用する荷重に包絡されることを確認した。

第3-1表 荷重の比較結果

	Ss地震時に作用する荷重	飛来物衝突時に作用する荷重
ケース①	固定荷重+Ss地震荷重+積雪荷重 140 kN	固定荷重+衝突荷重+積雪荷重 1300 kN
ケース②	Ss地震荷重+風荷重 150 kN	衝突荷重+風荷重 1800 kN
ケース③	固定荷重+Ss地震荷重 +風荷重 <sup>(注1)</sup> +積雪荷重 180 kN	固定荷重+衝突荷重 +風荷重 <sup>(注1)</sup> +積雪荷重 230 kN
ケース④	固定荷重 <sup>(注2)</sup> +Ss地震荷重 +風荷重 150 kN	固定荷重 <sup>(注2)</sup> +衝突荷重 +風荷重 418 kN

注1：天面の防護ネットの強度評価において、保守的に風荷重も考慮していることから、それに合わせて評価する。

注2：側面の防護ネットの強度評価において、保守的に固定荷重も考慮していることから、それに合わせて評価する。

### 4. 考察及びまとめ

3. に示した荷重の比較結果より、飛来物防護ネットの防護板及び防護ネットについて、Ss地震時に作用する荷重が、飛来物衝突時に作用する荷重に包絡されることを確認した。

従って、防護板及び防護ネットについては、竜巻飛来物による衝突荷重に対する健全性を確認済みであることから、飛来物防護ネットの耐震評価における評価対象部位から対象外とすることで問題ない。

### 別添 3

安全冷却水 B 冷却塔飛来物防護ネットの耐震性評価について

改良地盤物性値について

## 目 次

	ページ
1. 概要 .....	1
2. 仕様 .....	2
3. 物性値の設定 .....	4
3.1 調査概要 .....	4
3.2 結果 .....	5

1. 概要

入力地震動の算定に用いる地盤物性値を第1-1表に示す。

本資料では、このうち、T.M.S.L. 37.0~52.3mに設定した改良地盤の仕様及び地盤物性値の設定について説明する。

第1-1表 地盤物性値 (改良地盤・岩盤)

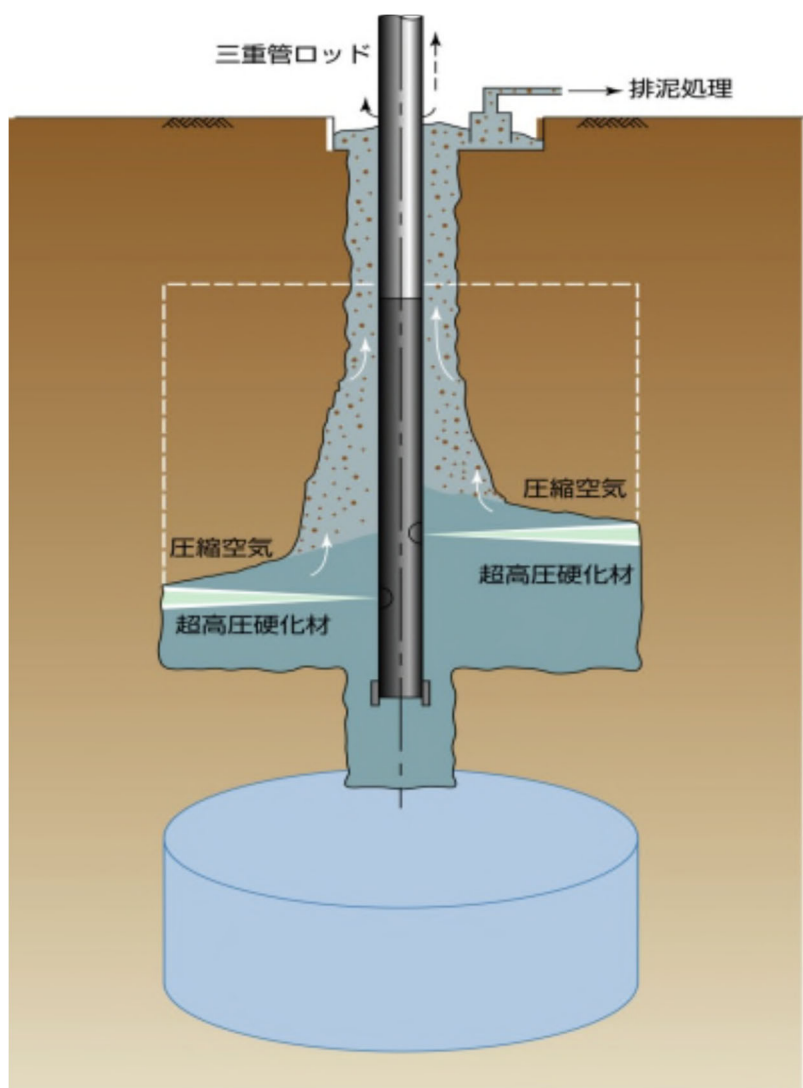
標高 [m]	単位体積重 $\gamma_t$ [kN/m <sup>3</sup> ]	ポアソン比 $\nu_d$	S波速度 $V_{S0}$ [m/s]	P波速度 $V_{P0}$ [m/s]	せん断 弾性係数 G ( $\times 10^3$ ) [N/m <sup>2</sup> ]	減衰 定数 h [%]
T.M.S.L.						3.0
52.3	16.7	0.363	910	1,960	1,410	
37.0	18.2	0.406	760	1,910	1,075	
22.0	18.2	0.399	800	1,950	1,192	
4.0	17.8	0.393	820	1,950	1,225	
解放基盤表面 ▼-70.0	17.0	0.393	820	1,950	1,164	

## 2. 仕様

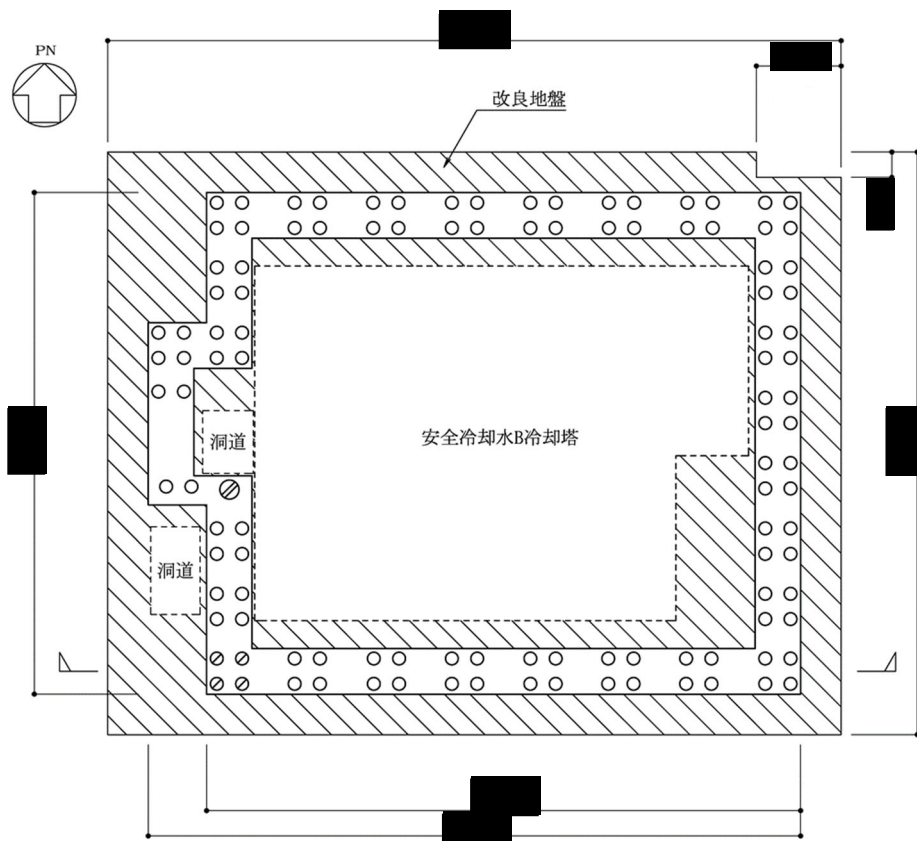
改良地盤は、①地盤変形抑制による杭の健全性確保、②上部構造物の応答低減、③表層地盤の液状化防護を目的として実施した。

地盤改良工法は、高圧噴射攪拌工法（セメント改良）とし、超高压硬化剤と圧縮空気を地中に噴射しつつロッドを回転させ、地盤を切削・攪拌しながら引き上げるにより円柱状の改良体を造成する。改良概要図を第2-1図に示す。

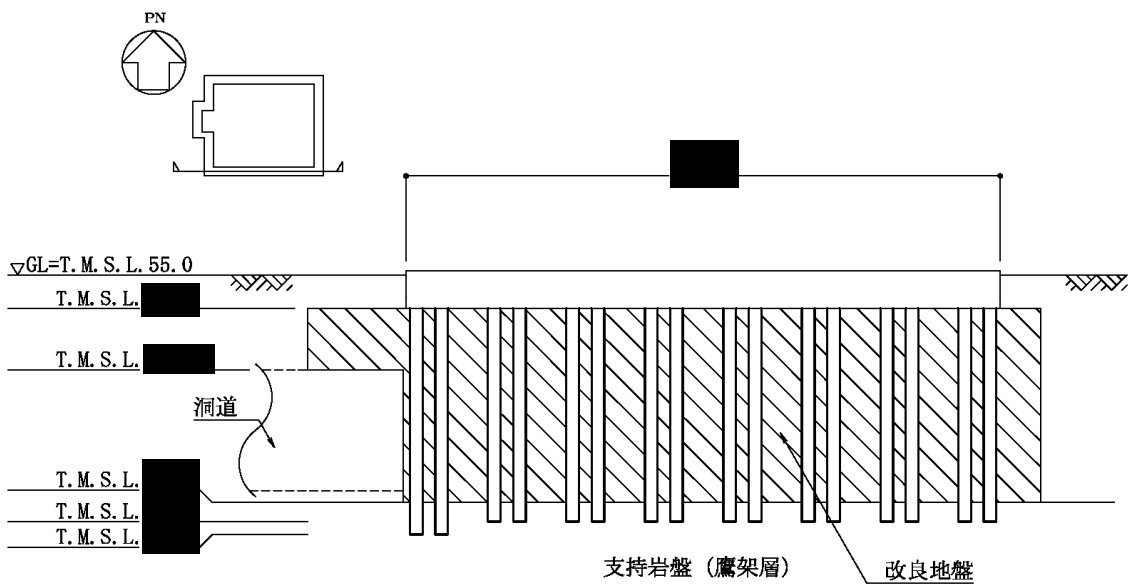
地盤改良範囲は、周辺に配置される既設構造との干渉状況を考慮して、基礎直下を包含した平面に対して、基礎下位置から支持岩盤までの深さを改良範囲とする。地盤改良範囲を第2-2図に示す。



第2-1図 改良概要図



(平面図)



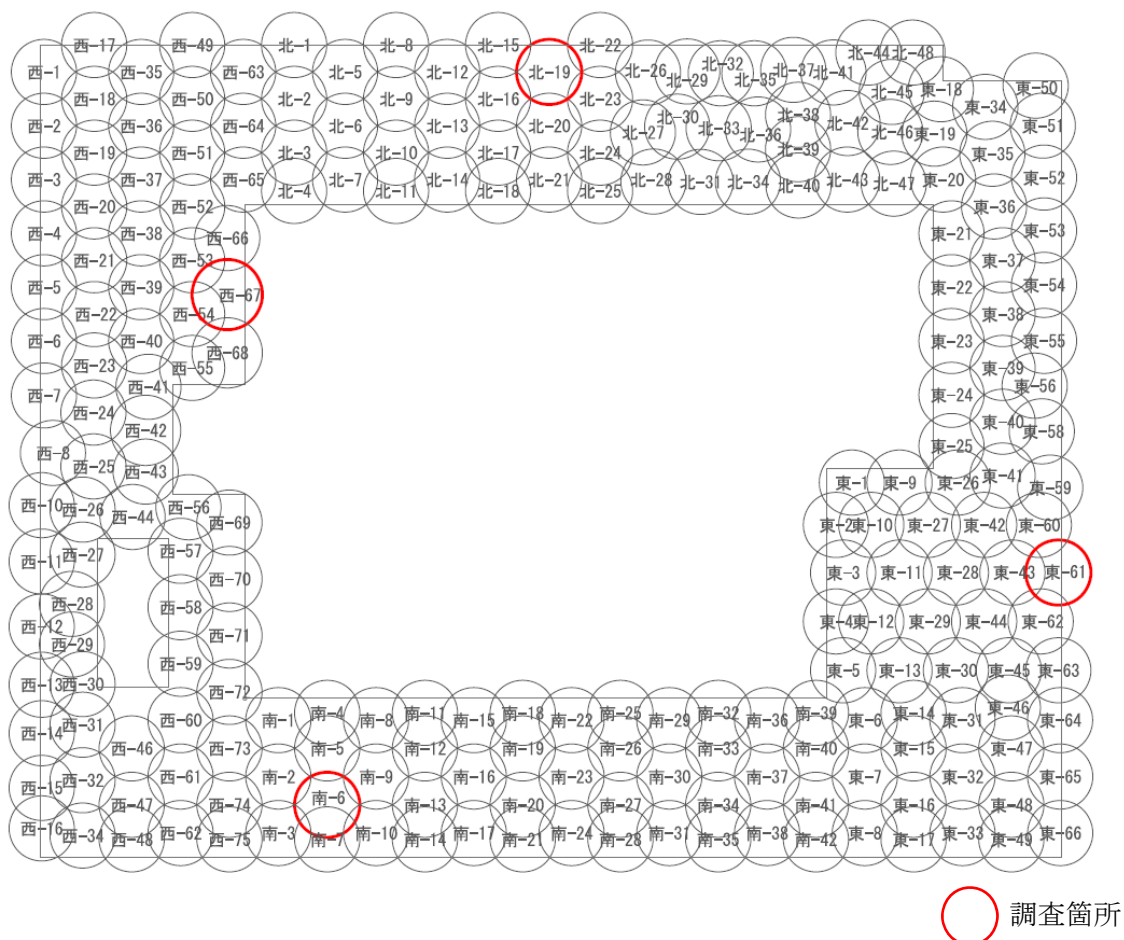
(断面図)

第2-2図 地盤改良範囲

### 3. 物性値の設定

#### 3.1 調査概要

改良地盤は、円柱状改良体 227 本で構成される。諸基準・指針に示される必要調査箇所数を満たしバランスを配慮して決定した物性調査位置を第 3-1 図に示す。諸基準・指針に示される必要調査箇所数を第 3-1 表に示す。



第 3-1 図調査位置

第 3-1 表 必要調査箇所数

適用基準	施工数量	必要調査箇所数 (A)	調査箇所数 (B)	判定 (A) < (B)
建築センター指針*1 陸上工事マニュアル*2	227 本	3 箇所	4 箇所	○

\* 1 100 改良コラムに 1 箇所以上かつ 1 検査対象群に 1 箇所以上

\* 2 改良体 500 本未満は 3 本, 500 本以上は 250 本増えるごとに 1 本追加する。試験は 1 本の改良体について, 上中下それぞれ 1 回, 計 3 回とする。



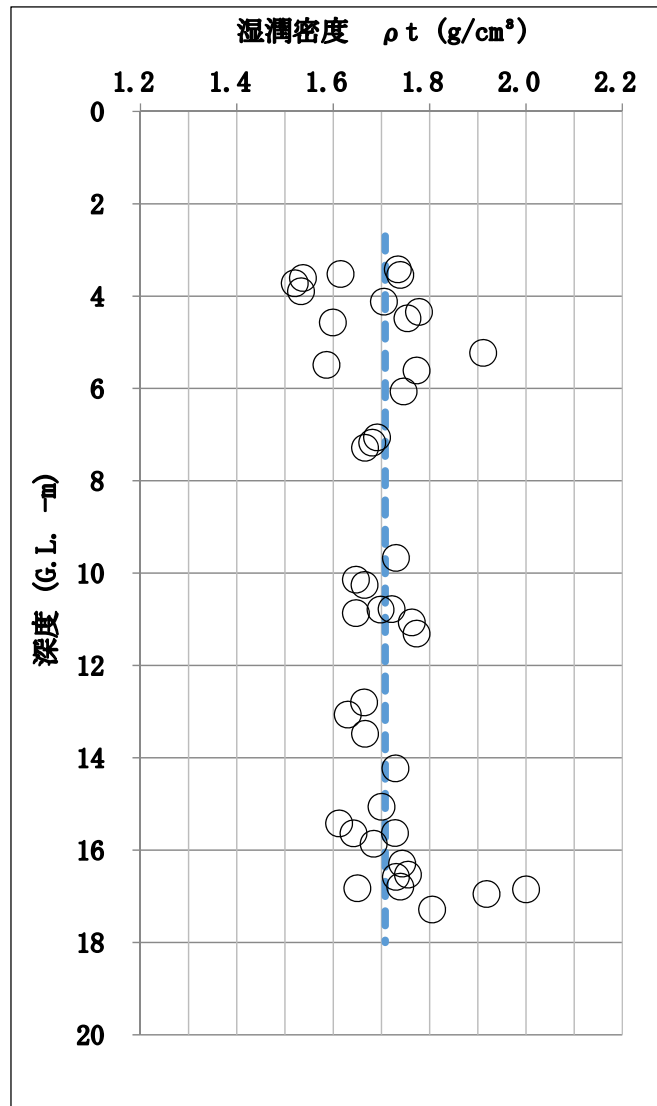
### 3.2 結果

#### (1) 湿潤密度試験 ( $\rho_t$ )

湿潤密度試験は、「JIS A 1225 土の湿潤密度試験方法」に基づきボーリングにより供試体を採取して試験を実施した。

試験により得られた湿潤密度  $\rho_t$  の試験結果を第 3-2 図に示す。

湿潤密度は、1.520~2.000 [g/cm<sup>3</sup>] であり、平均値は 1.705g/cm<sup>3</sup> (16.7[kN/m<sup>3</sup>]) である。



第 3-2 図 湿潤密度  $\rho_t$  試験結果

(2) 超音波速度試験 ( $V_S$ ,  $V_P$ )

超音波速度試験は、「JGS 2110 パルス透過法による岩石の超音波速度測定」に基づき改良地盤のボーリング孔に対してPS 検層を実施した。

PS 検層より得られたS 波速度  $V_S$ , P 波速度  $V_P$  を第3-2表に示す。

S 波速度  $V_S$  は, 800~1170 [m/s]であり, 平均値は910 [m/s]である。

P 波速度  $V_P$  は, 1800~2330 [m/s]であり, 平均値は1960 [m/s]である。

第3-2表 PS 検層結果

改良体名	北-19	西-67	南-6	東-61	平均	標準偏差 $\sigma$
S 波速度 $V_S$ [m/s]	800	1170	800	870	910	180
P 波速度 $V_P$ [m/s]	1780	2330	1800	1920	1960	260

(3) せん断弾性係数  $G_0$ , ポアソン比  $\nu_d$

せん断弾性係数  $G_0$  及びポアソン比  $\nu_d$  は, (1)および(2)の結果を基に①及び②の関係式を用いて設定した。

$$\nu_d = \frac{(V_P/V_S)^2 - 2}{2\{(V_P/V_S)^2 - 1\}} \quad \dots \textcircled{1}$$

$$G_0 = \rho V_S^2 \quad \dots \textcircled{2}$$

せん断弾性係数  $G_0$  は, 1410 [kN/m<sup>2</sup>]である。

ポアソン比  $\nu_d$  は, 0.363 である。

(4) ひずみ依存特性

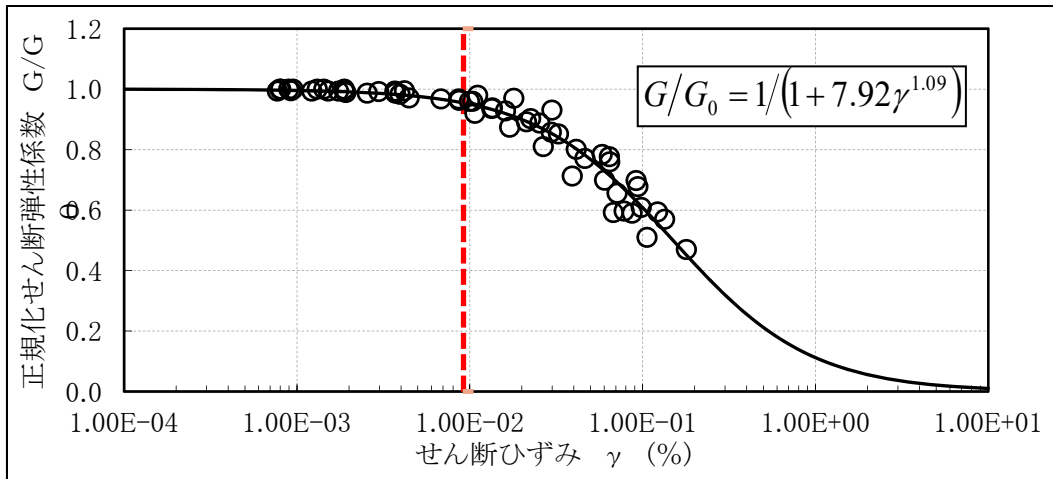
ひずみ依存特性 ( $G/G_0$ - $\gamma$  曲線,  $h$ - $\gamma$  曲線) は, 「JGS 0542 地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸圧縮試験方法」に基づき三軸圧縮試験を行った結果を基に設定した。具体的には, 繰返し三軸圧縮試験により得られた種々のひずみ  $\gamma$  での  $G$  及び  $h$  に対して, 最小二乗法を用いて①, ②式の係数 ( $a$ ~ $e$ ) を定めた。

$$G/G_0 = 1/(1 + a \cdot \gamma^b) \quad \dots \textcircled{1}$$

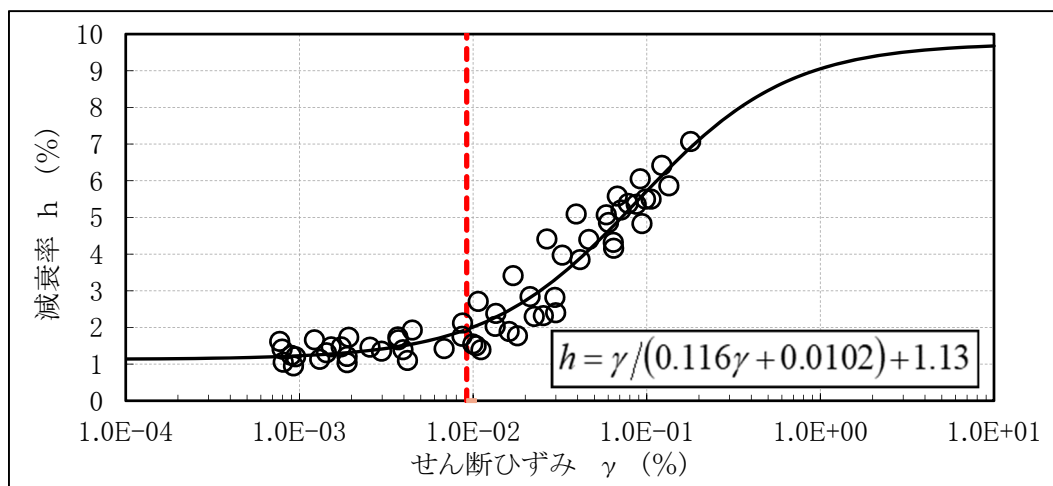
$$h = \gamma/(c \cdot \gamma + d) + e \quad \dots \textcircled{2}$$

上記の方法にて設定したひずみ依存特性の結果を第3-3図に示す。

基準地震動  $S_s$  により発生する最大せん断ひずみ  $\gamma$  ( $\gamma=0.0092$ ) での改良地盤の剛性低下程度は5%程度であり, 鷹架層と同様にひずみ依存の影響が小さいものと判断し, 入力地震動算定においてはひずみ依存特性は考慮不要とした。



(a) 剛性低下率



(b) 減衰定数

第3-3図 ひずみ依存特性