

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
商業機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	工認-187 改0
提出年月日	平成30年3月5日

V-2-2-16 非常用ガス処理系配管支持架構の  
耐震性についての計算書

## 目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	解析方針	7
2.4	準拠規格・基準等	8
3.	応力解析による評価方法	9
3.1	評価対象部位及び評価方針	9
3.2	荷重及び荷重の組合せ	12
3.2.1	荷重	12
3.2.2	荷重の組合せ	16
3.3	許容限界	17
3.4	評価方法	19
3.4.1	応力評価方法	19
3.4.2	上部構造の断面評価方法	20
3.4.3	基礎の断面評価方法	22
4.	評価結果	28
4.1	上部構造の断面評価結果	28
4.2	基礎の断面評価結果	35

## 1. 概要

本添付書類は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、非常用ガス処理系配管支持架構の地震時の構造強度及び機能維持の確認について説明するものであり、その評価は、地震応答解析による評価及び応力解析による評価により行う。

非常用ガス処理系配管支持架構は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設の間接支持構造物」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」に分類される。以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

非常用ガス処理系配管支持架構の設置位置を図 2-1 に示す。

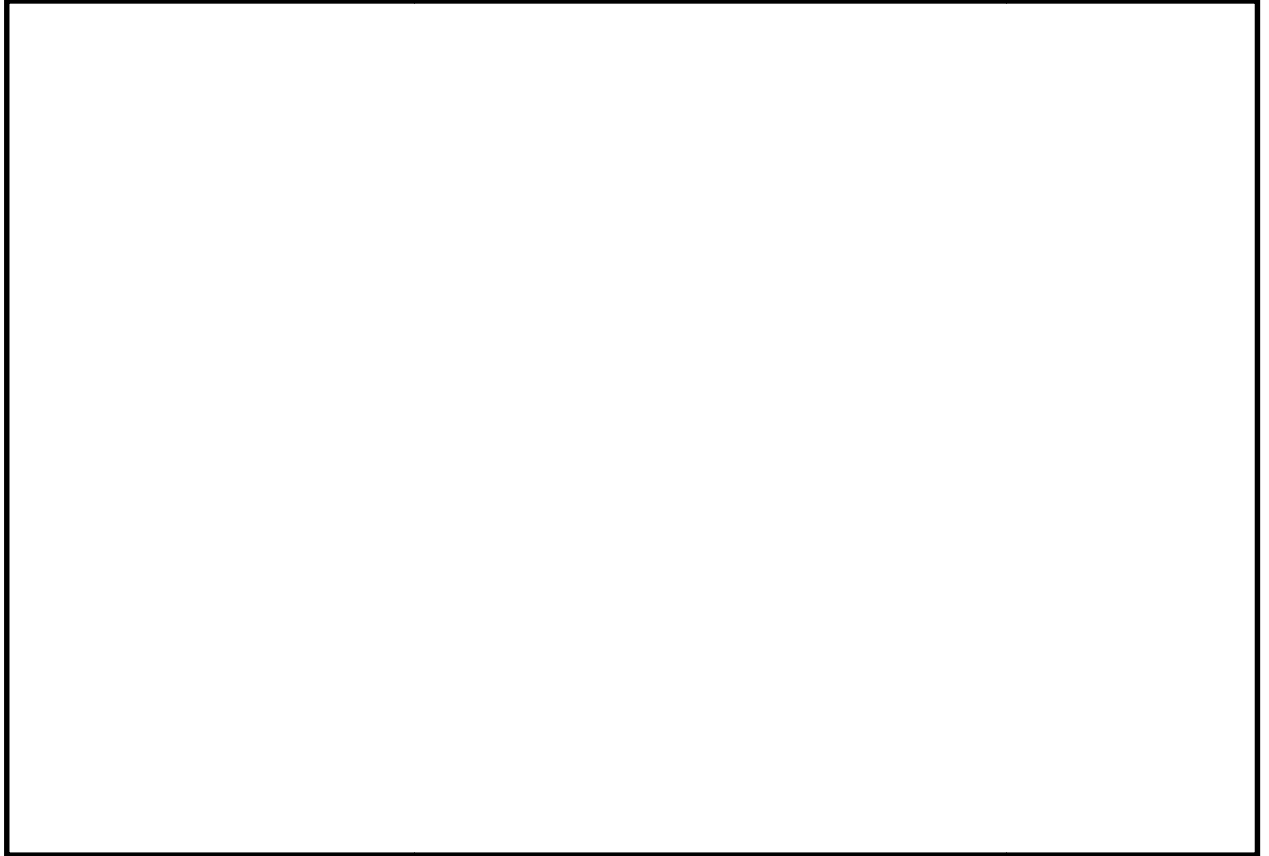


図 2-1 非常用ガス処理系配管支持架構の設置位置

## 2.2 構造概要

非常用ガス処理系配管支持架構は、非常用ガス処理系配管を原子炉建屋から主排気筒へ導くための架構であり、平面が南北方向 4.8m、東西方向 14.9m、地上高さ 12.8m の鉄骨造の架構である。

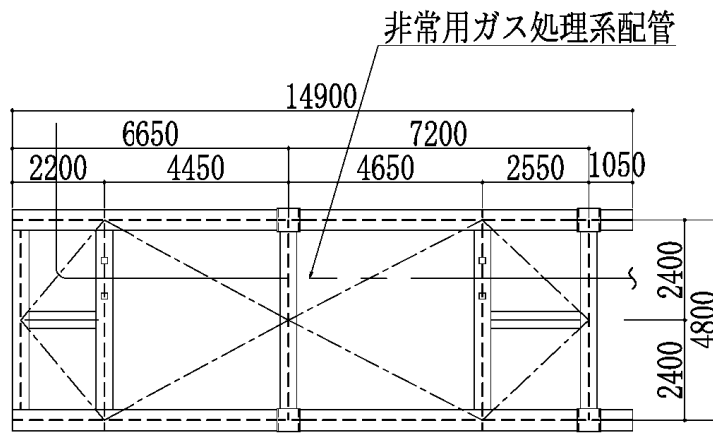
非常用ガス処理系配管支持架構の基礎は、平面が南北方向 9.6m、東西方向 9.6m、厚さ 2.5m で、鋼管杭を介して、砂質泥岩である久米層に岩着している。また、基礎スラブ外縁で囲まれた直下については、久米層まで地盤改良を実施する。

非常用ガス処理系配管支持架構概要図、基礎概要図及び軸組図を図 2-2～図 2-4 に示す。

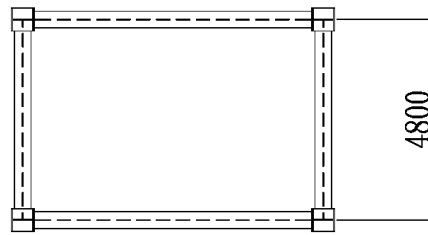
以下に、構造概要を示す。

### 構造概要

- ・ 構造形式           ブレース付のラーメン構造
- ・ 基礎               鉄筋コンクリート造

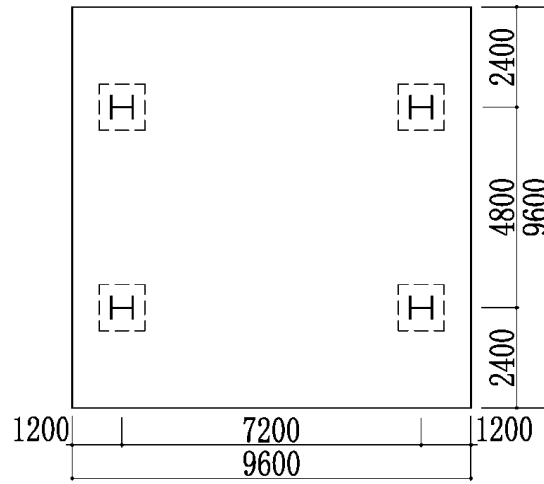


(1) EL. 20.8m

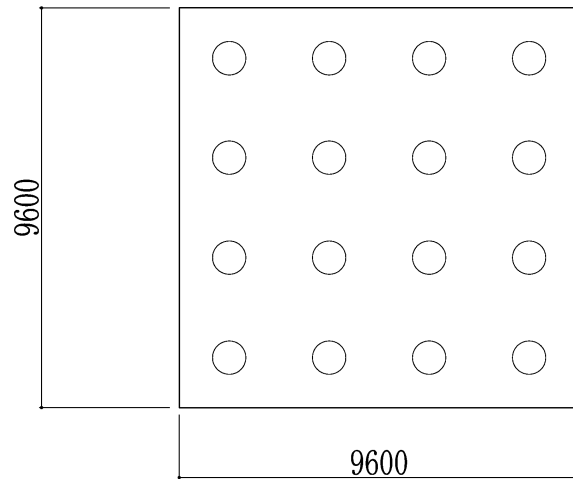


(2) EL. 14.2m

図 2-2 非常用ガス処理系配管支持架構概要図 (単位 : mm)

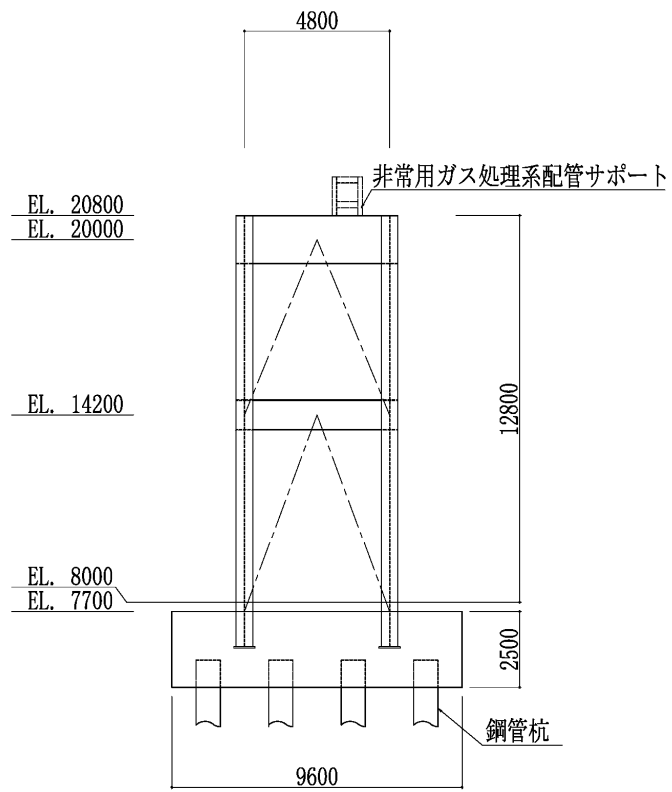


(1) EL. 7.7m

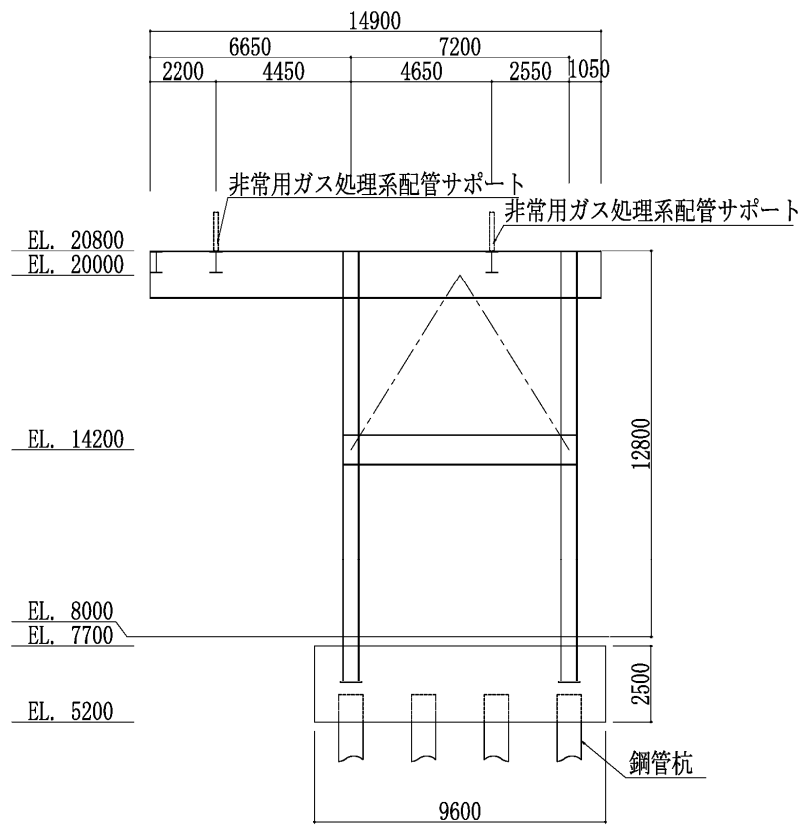


(2) EL. 5.2m

図 2-3 非常用ガス処理系配管支持架構基礎概要図 (単位 : mm)



(1) NS 方向



(2) EW 方向

図 2-4 非常用ガス処理系配管支持架構軸組図 (単位: mm)



### 2.3 解析方針

非常用ガス処理系配管支持架構は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設の間接支持構造物」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故等防止設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」に分類される。

非常用ガス処理系配管支持架構の設計基準対象施設としての評価においては、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、この評価は添付書類「V-2-2-15 非常用ガス処理系配管支持架構の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。非常用ガス処理系配管支持架構の評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、応力解析による評価においては、最大部材応力に対して各部材断面を材料強度より算出した弾性限耐力による評価を行うことで、非常用ガス処理系配管支持架構の地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。評価に当たっては、地盤物性のばらつきを考慮する。

また、重大事故等対処施設としての評価においては、 $S_s$ 地震時に対する評価を行う。ここで、非常用ガス処理系配管支持架構では、運転時、設計基準事故時及び重大事故時の状態における圧力、温度等の条件について有意な差異がないことから、重大事故等対処施設としての評価は、設計基準対象施設としての評価と同一となる。

図 2-5 に非常用ガス処理系配管支持架構の評価フローを示す。

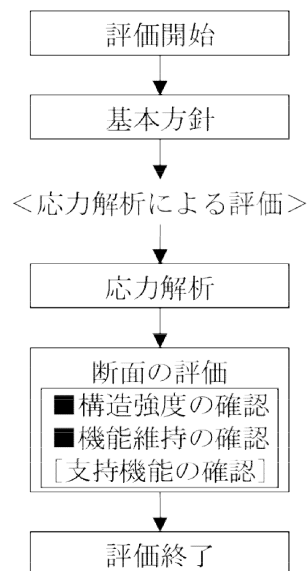


図 2-5 非常用ガス処理系配管支持架構の評価フロー

## 2.4 準拠規格・基準等

非常用ガス処理系配管支持架構の評価において、準拠する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005）
- ・ 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）
- ・ 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）
- ・ 建築基礎構造設計指針（（社）日本建築学会 2001）
- ・ 日本工業規格（J I S）
- ・ 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（原子力安全委員会）

### 3. 応力解析による評価方法

#### 3.1 評価対象部位及び評価方針

非常用ガス処理系配管支持架構の評価対象部位は、上部構造の柱、梁、水平及び鉛直ブレース及び柱脚と、基礎の基礎スラブ及び杭とし、 $S_s$ 地震時に対して以下の方針に基づき評価を行う。

$S_s$ 地震時に対して以下の方針に基づき評価を行う。評価フローを図 3-1 に示す。

$S_s$ 地震時に対する評価は、「V-2-2-15 非常用ガス処理系配管支持架構の地震応答計算書」で示した地震応答解析結果及び図 3-2 に示す 3 次元フレームモデルを用いた弾性応力解析によることとし、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が、弾性限界範囲内であることを確認する。非常用ガス処理系配管支持架構の部材リストを、表 3-1 に示す。

弾性応力解析については、解析コード「KANSAS 2 Ver. 6.01」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、付録 41「計算機プログラム（解析コード）の概要・KANSAS 2」に示す。

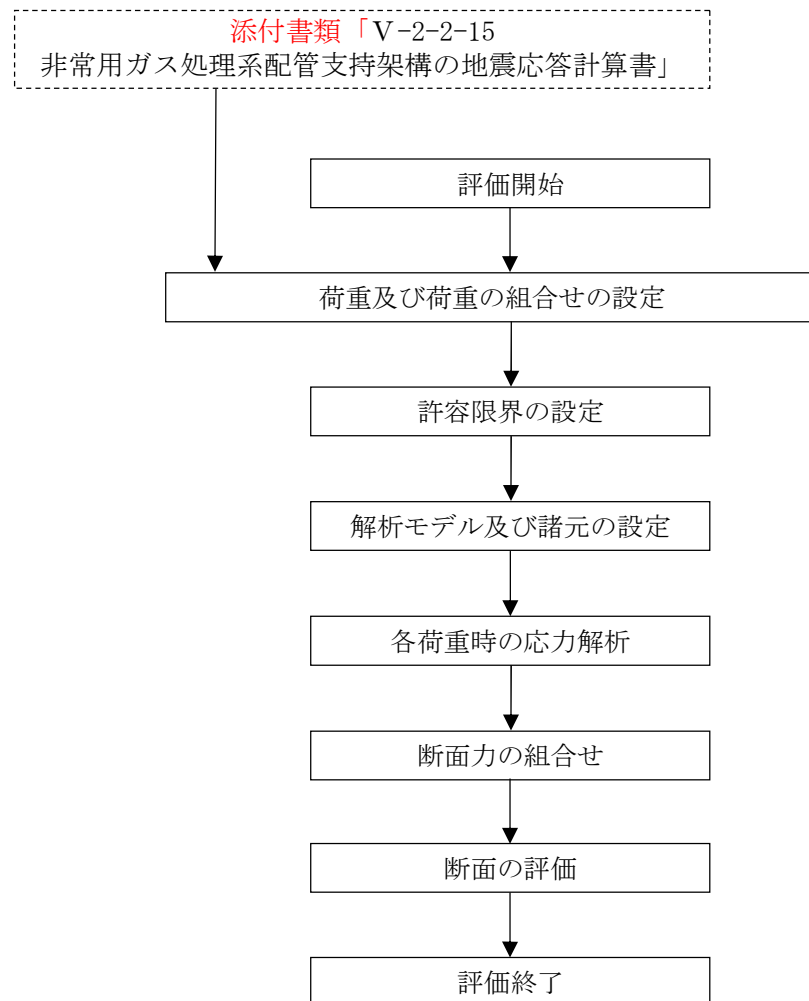


図 3-1 応力解析による評価フロー

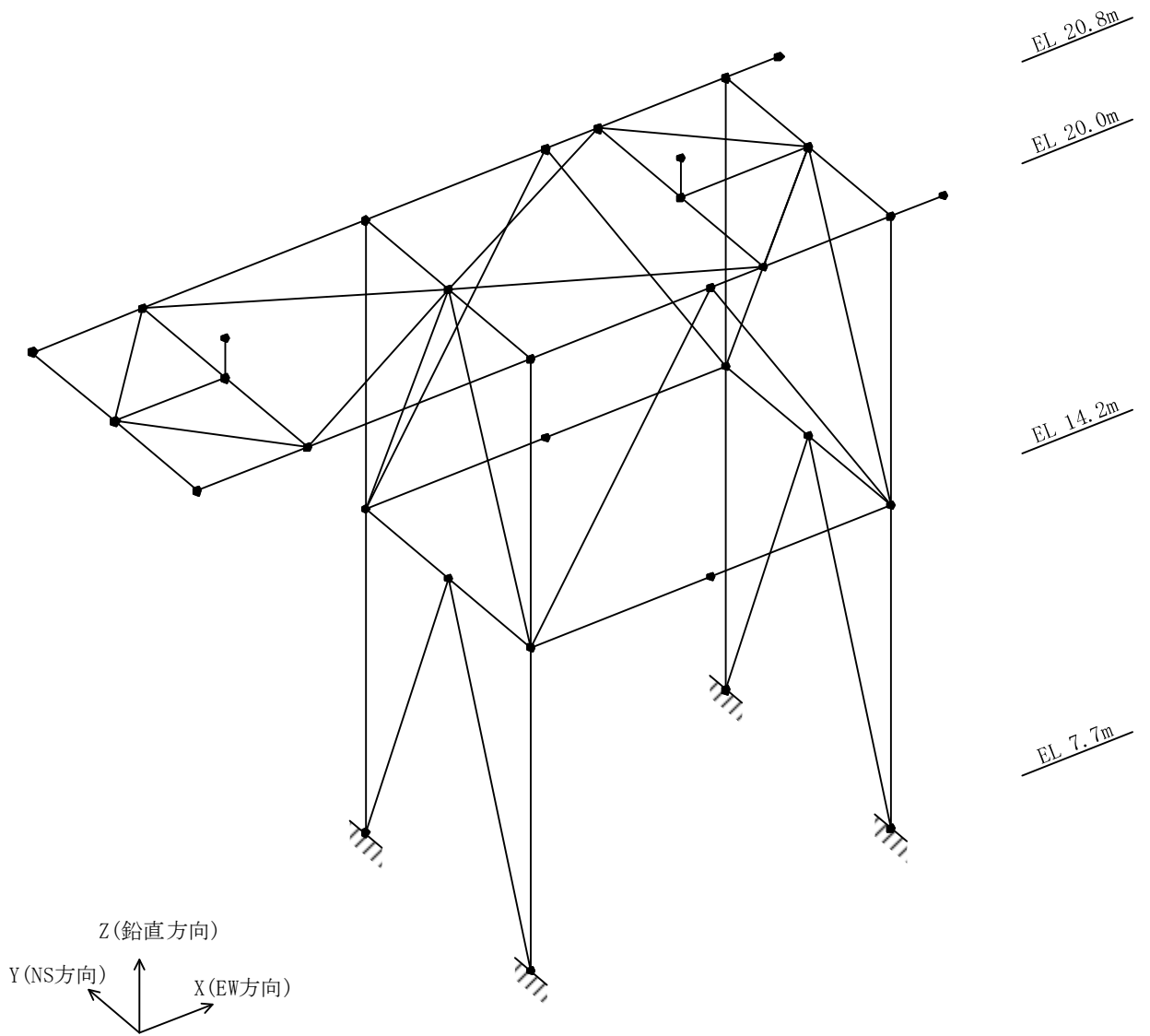


図 3-2 非常用ガス処理系配管支持架構の応力解析モデル

表 3-1 非常用ガス処理系配管支持架構の部材リスト

部位	符号	鉄骨部材
柱	${}_2C_1, {}_1C_1$	BH-550×550×22×32
梁	${}_R G_1$	BH-1600×500×19×28
	${}_R B_1$	BH-1600×400×19×28
	${}_2G_1, {}_2B_1$	BH-1000×400×16×28
	$b_1$	BH-700×400×12×19
鉛直ブレース	${}_2V_x, {}_2V_{y1}, {}_1V_{y1}$	H-300×300×10×15
	${}_2V_{y2}, {}_1V_{y2}$	BH-300×300×12×19
水平ブレース	$V_H$	H-300×300×10×15

### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### 3.2.1 荷重

##### (1) 固定荷重

自重の他に、歩廊等の付属設備の重量を考慮する。

##### (2) 積載荷重

非常用ガス処理系配管支持架構には積載物はない。また、非常用ガス処理系配管支持架構上部に作業員が常駐することもない。

よって地震荷重との組み合わせには積載荷重は考慮しない。

##### (3) 積雪荷重

非常用ガス処理系配管支持架構付帯の歩廊及び最上部の鉄骨上に、雪が積るとし、積雪荷重を考慮する。

##### (4) 風荷重

以下に示す荷重を風荷重としてNS方向及びEW方向それぞれに対して考慮する。

平12建告第1454号第三号イに規定される算出法に基づいた風方向荷重

建築基準法施行令第87条に規定される算出法に基づいた暴風によって、構造耐力上主要な部位に損傷を生じないことを確認する。

これより、非常用ガス処理系配管支持架構に作用する風方向荷重は、次式によって算定する。

$$W_{D1} = q_1 \cdot C_f \cdot A \quad (\text{N})$$

ここで、

- $W_{D1}$  : 地表面からの高さ  $Z$  における風方向荷重 (N)
- $q_1$  : 速度圧 ( $q_1 = 0.6 \cdot E \cdot V_0^2$ ) (N/m<sup>2</sup>)
- $E$  : 速度圧の高さ方向の分布を示す係数 ( $E = E_r^2 \cdot G_f$ )
- $E_r$  : 平均風速の高さ方向の分布を表す係数  
( $H > Z_b$  より  $E_r = 1.7 (H/Z_G)^\alpha$ )
- $H$  : 構造物の基準高さ ( $H = 12.8\text{m}$ )
- $Z_b, Z_G, \alpha$  : 風速の鉛直分布を定めるパラメータ (表 3-2)

表 3-2 地表面粗度区分に応じて設定される数値

地表面粗度区分	II
$Z_b$ (m)	5
$Z_G$ (m)	350
$\alpha$	0.15

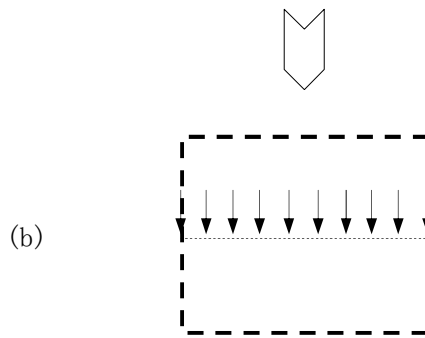
- $G_f$  : ガスト影響係数 ( $G_f = 1.0$ )
- $V_0$  : 基準風速 ( $V_0 = 30\text{m/s}$ : 茨城県東海村)
- $C_f$  : 風力係数 (表 3-3) (図 3-3)  
上部構造 (ラチス構造物の風力係数  $C_f$ )
- $Z$  : 当該部分の地盤面からの高さ (m)
- $A$  : 地表面からの高さ  $Z$  における風向に垂直な面に投影した建築物の面積 (見付面積) (m<sup>2</sup>)

表 3-3 ラチス構造物の風力係数  $C_f$

種類		$\phi$	(1)	(2)	(3)
			0.1 以下	0.1 を超え 0.6 未満	0.6
形鋼	(b)		3.6 k z	(1) と (3) とに掲げる数値を直線的に補間した数値	2.0 k z

ここで、 $\phi$  : 充実率

(風を受ける部分の最外縁に囲まれる面積に対する見付面積の割合)



注 1 : 上図はラチスばり及びラチス柱の断面を表す。

注 2 : 風圧作用面積としては、 $\Sigma$  の作用する方向から見たラチス構面の見付面積とする。

図 3-3 ラチス構造物



(5) 地震荷重

以下に示す荷重を地震荷重としてNS方向，EW方向及び鉛直方向それぞれに対して考慮する。

なお，水平地震荷重は，「V-2-2-15 非常用ガス処理系配管支持架構の地震応答計算書」にて示した地震応答解析モデルを用いたS<sub>s</sub>地震動による時刻歴地震応答解析結果（最大応答せん断力，最大応答曲げモーメント及び最大応答軸力）より設定した値による。鉛直地震荷重は，S<sub>s</sub>地震動による時刻歴地震応答解析結果の最大応答加速度より設定した値による。

### 3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せは以下の表 3-4 による。

風荷重の作用する方向は設置状況を考慮し、NS方向及びEW方向とし、応力解析モデルに静的荷重として与える。また、鉛直方向地震荷重は、応力解析モデルに静的荷重として与える。

表 3-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ	評価
S <sub>s</sub> 地震時	$G+S+K_{NS} \pm 0.4K_V+W_{NS}$	機能維持 検討
	$G+S+0.4K_{NS} \pm K_V+W_{NS}$	
	$G+S+K_{EW} \pm 0.4K_V+W_{EW}$	
	$G+S+0.4K_{EW} \pm K_V+W_{EW}$	

G : 固定荷重

S : 積雪荷重

K<sub>NS</sub> : NS方向地震荷重

K<sub>EW</sub> : EW方向地震荷重

K<sub>V</sub> : 鉛直方向地震荷重

W<sub>NS</sub> : NS方向の風荷重

W<sub>EW</sub> : EW方向の風荷重

### 3.3 許容限界

許容限界は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、表 3-5 及び表 3-6 のとおり設定する。部材断面の検討に用いる各材料の終局強度を表 3-7, 表 3-8, 表 3-9 及び表 3-10 に示す。杭の鉛直支持力及び引抜き抵抗力の許容限界については、「3.4.3 杭の断面評価方法」にて示す。

表 3-5 応力解析による評価における許容限界（設計基準対象施設としての評価）

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 (評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 $S_s$	上部構造, 基礎, 杭	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	終局耐力
支持機能	機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 $S_s$	上部構造, 基礎, 杭	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	終局耐力

表 3-6 応力解析による評価における許容限界（重大事故等対処施設としての評価）

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 (評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 $S_s$	上部構造, 基礎, 杭	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	終局耐力
支持機能	機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 $S_s$	上部構造, 基礎, 杭	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	終局耐力

表 3-7 鋼材の材料強度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

使用材料	基準強度 F	終局強度
SN490B, SM490B	325	357.5

注記： 終局強度は基準強度 F を 1.1 倍する。

表 3-8 コンクリートの材料強度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

設計基準強度 F <sub>c</sub>	終局強度	
	圧縮	せん断
30	25.5	1.18

注記： 終局時の圧縮強度は 0.85 F<sub>c</sub> を示す。

表 3-9 鉄筋の材料強度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

鉄筋の種類	終局強度	
	引張及び圧縮	せん断補強
SD345	379.5	379.5

注記： 終局強度は基準強度 F を 1.1 倍する。

表 3-10 鋼管杭の材料強度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

使用材料	基準強度 F	終局強度
SKK490	325	357.5

注記： 終局強度は基準強度 F を 1.1 倍する。

### 3.4 評価方法

#### 3.4.1 応力評価方法

非常用ガス処理系配管支持架構について、水平方向については $S_s$ 地震力に対して3次元FEMモデルを用いた弾性応答解析の結果により算出された応力を用いて、固定荷重、積雪荷重及び鉛直方向の地震荷重に対しては弾性応力解析の結果より算出された応力を用いて断面算定を実施する。

### 3.4.2 上部構造の断面評価方法

非常用ガス処理系配管支持架構の上部構造の断面評価に用いる応力は、3次元FEMモデルを用いた地震応答解析及び応力解析により得られた各荷重による断面力（曲げモーメント、せん断力及び軸力）を組み合わせることにより算定する。

#### (1) 柱及び梁の断面評価方法

機能維持検討時の応力に対する断面算定は、政令第96条及び平13国交告第1024号に準拠して行う。

##### (a) フランジの評価

$$\sqrt{\left(\frac{N}{N_u} + \frac{M_X}{M_{X_u}} + \frac{M_Y}{M_{Y_u}}\right)^2 + 3 \times \left(\frac{Q_Y}{Q_{Y_u}}\right)^2} \leq 1$$

ここで、

- N : 軸力 (kN)
- M<sub>X</sub> : 強軸まわりの曲げモーメント (kNm)
- M<sub>Y</sub> : 弱軸まわりの曲げモーメント (kNm)
- Q<sub>X</sub> : ウェブのせん断力 (kN)
- Q<sub>Y</sub> : フランジのせん断力 (kN)
- N<sub>u</sub> : 終局軸力 (kN)
- M<sub>X<sub>u</sub></sub> : 強軸まわりの終局曲げモーメント (kNm)
- M<sub>Y<sub>u</sub></sub> : 弱軸まわりの終局曲げモーメント (kNm)
- Q<sub>X<sub>u</sub></sub> : ウェブの終局せん断力 (kN)
- Q<sub>Y<sub>u</sub></sub> : フランジの終局せん断力 (kN)

##### (b) ウェブの評価

$$\sqrt{\left(\frac{N}{N_u}\right)^2 + 3 \times \left(\frac{Q_X}{Q_{X_u}}\right)^2} \leq 1$$

ここで、

- N : 軸力 (kN)
- Q<sub>X</sub> : ウェブのせん断力 (kN)
- N<sub>u</sub> : 終局軸力 (kN)
- Q<sub>X<sub>u</sub></sub> : ウェブの終局せん断力 (kN)

(2) 水平及び鉛直ブレースの断面評価方法

引張力に対しては、部材の最大引張軸力が終局引張軸力以下であることを確認する。

$$\frac{N_t}{T_u} \leq 1$$

ここで、

$N_t$  : 引張軸力 (kN)

$T_u$  : 終局引張軸力 (kN)

圧縮力に対しては、部材の最大圧縮軸力が終局圧縮軸力以下であることを確認する。

$$\frac{N_c}{N_u} \leq 1$$

ここで、

$N_c$  : 圧縮軸力 (kN)

$N_u$  : 終局圧縮軸力 (kN)

(3) 柱脚の断面評価方法

柱脚のベースプレートに対して、最大軸方向力による応力が終局強度以下であること及びコンクリートの支圧耐力・引抜耐力以下であることを確認する。柱脚の形状を図3-4に示す。

支圧耐力及び引抜耐力は、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」の基礎スラブのパンチングシアに準じて以下の通り評価する。

$$Q_{Pu} = b_0 \cdot j \cdot f_s$$

ここで、

$b_0$  : パンチングシアに対する設計用せん断力算定断面の延べ幅

$j$  : 基礎スラブの応力中心間距離

$d$  : 基礎スラブの算定断面有効せい

$f_s$  : コンクリートの許容せん断応力度

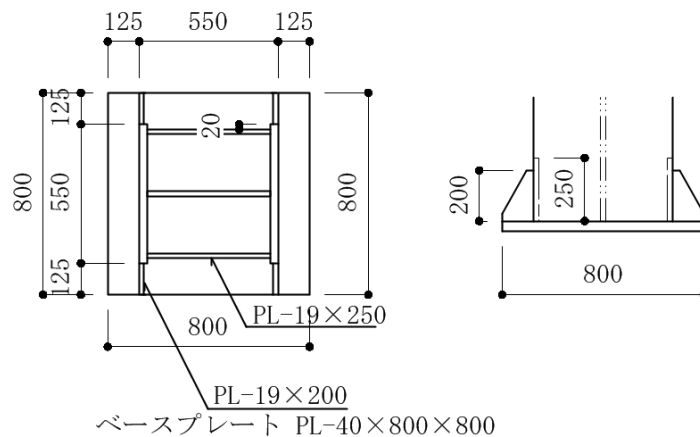


図3-4 柱脚概略図

### 3.4.3 基礎の断面評価方法

非常用ガス処理系配管支持架構の基礎（杭及び基礎スラブ）の断面評価に用いる応力は、3次元FEMモデルを用いた地震応答解析及び応力解析により得られた各荷重による地盤ばね反力（鉛直震度を含む。）、部材応力（曲げモーメント、せん断力及び軸力）及び杭頭に作用する曲げモーメントによる応力を組み合わせることにより算定する。

#### (1) 杭の評価方法

##### (a) 杭の物性値

杭の評価に当たっては、表3-11に示す物性値を考慮する。

表3-11 杭の物性値

諸元	鋼管杭
ヤング係数	$2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$
比重	7.85

##### (b) 杭一本に作用する軸力

水平地震動及び風荷重による転倒モーメントは、剛版仮定の下で、各杭の軸力として振り分ける。自重及び鉛直地震動による鉛直荷重は、杭の合計本数で除して、各杭に負担させる。得られた杭の軸力を、終局鉛直支持力及び終局引抜き抵抗力と照査する。

杭の鉛直支持力については、「建築基礎構造設計指針」に基づき、極限鉛直支持力 $R_u$ をもとに、「J E A C 4616-2009」を参考に係数1/1.2を乗じて終局鉛直支持力を定める。

以下に評価式を示す。

$$R_{u a} = 1/1.2 \cdot R_u$$

$$R_u = R_p + R_f$$

$$R_p = q_p \cdot A_p$$

$$q_p = 300 \bar{N} \quad (\text{打込み杭})$$

$$= 200 \bar{N} \quad (\text{埋込み杭})$$

$$R_f = R_{f s} + R_{f c}$$

$$R_{f s} = \tau_s \cdot L_s \cdot \phi$$

$$R_{f c} = \tau_c \cdot L_c \cdot \phi$$

ここで、

$R_{u a}$  : 終局鉛直支持力 (kN)

$R_u$  : 極限鉛直支持力 (kN)

$R_p$  : 極限先端支持力 (kN)

$R_f$  : 極限周面摩擦力 (kN)



- $q_p$  : 極限先端支持力度 (kN/m<sup>2</sup>)
- $A_p$  : 杭先端の閉塞断面積 (m<sup>2</sup>)
- $\bar{N}$  : 打込み杭の場合には、杭先端から下に 1 d, 上に 4 d 間の平均N値とし、埋込み杭の場合には杭先端から下に 1 d, 上に 1 d 間の平均N値 (d : 杭径 (m))
- $R_{fs}$  : 砂質土部分の極限周面摩擦力 (kN)
- $R_{fc}$  : 粘性土部分の極限周面摩擦力 (kN)
- $\tau_s$  : 砂質土の極限周面摩擦力度 (kN/m<sup>2</sup>)
- $L_s$  : 砂質土部分の長さ (m)
- $\tau_c$  : 粘性土の極限周面摩擦力度 (kN/m<sup>2</sup>)
- $L_c$  : 粘性土部分の長さ (m)
- $\phi$  : 杭の周長 (m)

なお、杭周辺地盤は以下のN値を有するものとして算定を行う。地盤改良される部分はN=50 とする。

- 摩擦力期待部 :  $N_2=50$        $L_2=17.9$  m      (打込み杭)
- $=19.2$  m      (埋込み杭)
- 杭先端支持部 :  $N_1=35$        $L_1=3.3$  m (4 d)      (打込み杭)
- $=2.0$  m (久米層部分)      (埋込み杭)

また、打込み杭の場合は  $\tau_s=2.0$  N, 埋込み杭の場合は  $\tau_s=2.5$  N, Nを杭周面地盤の平均N値 (上限N=50) とする。

なお、粘性土部分はない。

引抜き抵抗力については、「建築基礎構造設計指針」に基づき、最大引抜き抵抗力に対して、周辺摩擦部の抵抗力を表す部分に係数 1/1.2 を乗じた残留引抜き抵抗力を終局引抜き抵抗力として定める。以下に終局引抜き抵抗力の評価式を示す。

$${}_tR_{ua} = 1/1.2 \cdot R_f + W$$

$$R_f = (\sum \tau_{sti} L_{si} + \sum \tau_{cti} L_{ci}) \phi$$

ここで、

- $W$  : 杭の自重 (kN) (杭は全長が水中にあると仮定し、比重から 1.0 を引いた値で算出)
- ${}_tR_{ua}$  : 終局引抜き抵抗力 (kN)
- $R_f$  : 極限周面摩擦力 (kN)
- $\tau_{sti}$  : 砂質土の i 層における杭引抜き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 (kN/m<sup>2</sup>)
- $L_{si}$  : 砂質土の i 層における杭の長さ (m)
- $\tau_{cti}$  : 粘性土の i 層における杭引抜き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 (kN/m<sup>2</sup>)
- $L_{ci}$  : 粘性土の i 層における杭の長さ (m)
- $\phi$  : 杭の周長 (m)

## (c) 杭頭に作用する曲げモーメントと負担せん断力

杭応力の最大値は杭頭に生じているとし、杭断面の検定は杭頭に対して行う。

水平地盤反力係数  $k_H$  は、「建築基礎構造設計指針」の  $k_{h0}$  (基準水平地盤反力係数) を参照し、以下のように算定する。

$$k_H = k_{h0} = \alpha \cdot \xi \cdot E_0 \cdot B^{3/4}$$

$k_{h0}$  : 基準水平地盤反力係数 (kN/m<sup>3</sup>)

$\alpha$  : 評価法によって決まる定数 (m<sup>-1</sup>)。  $\alpha = 80$  とする。

$\xi$  : 群杭の影響を考慮した係数であるが保守側に  $\xi = 1.0$  とする。

$E_0$  : 変形係数 (kN/m<sup>2</sup>)。  $E_0 = 700N$ 、改良地盤を砂質土相当とみなし  $N = 50$  とする。

$B$  : 無次元化杭径 (杭径を cm で表した無次元数値)

杭頭に作用するせん断力  $H$  をもとに、杭頭に作用する曲げモーメント  $M_0$  を下式にて算定する。

$$M_0 = H / 2\beta$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_H \cdot D}{4EI}} \quad (\text{杭頭固定を仮定})$$

## (d) 杭断面の評価

杭断面については、「建築基礎構造設計指針」に基づいて、下式にて終局限界を評価する。断面検定時には腐食代を考慮する。

$$\text{終局限界曲げモーメント} : M_u = M_p \cos\left(\frac{\pi N}{2N_y}\right)$$

$$\text{終局限界せん断耐力} : Q_u = F_s A_e / 2$$

ここで、

$M_p$  : 全塑性曲げモーメント

$N_y$  : 降伏圧縮限界耐力

$F_s$  : 鋼材のせん断強度

$A_e$  : 有効せん断断面積

(2) 基礎スラブの断面評価方法

基礎スラブは、鋼管杭位置でピン支持される単位幅の梁（ $B=2.4\text{m}$ ）にモデル化し応力評価を行う。評価部位を図 3-5 に示す。

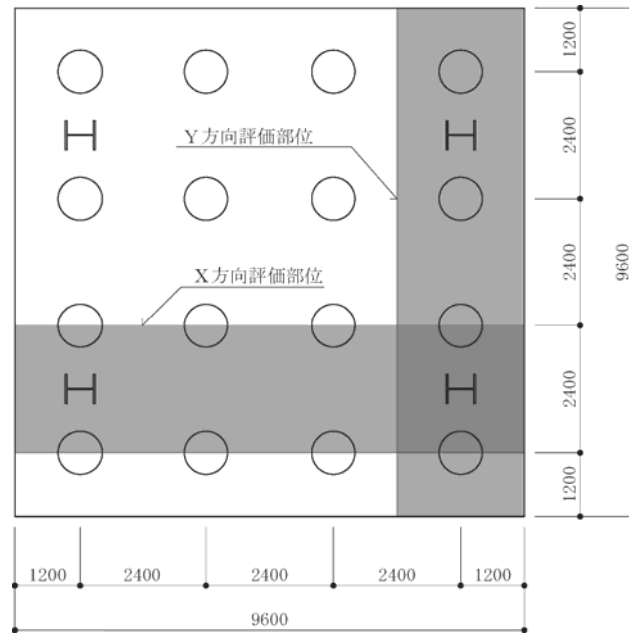


図 3-5 基礎スラブの評価部位

(a) 基礎スラブに作用する応力の評価

基礎スラブに作用する応力は、基礎自重等、上部構造の鉛直軸力及び柱脚曲げモーメント及び杭頭拘束モーメントによる応力を、安全側に絶対値の和で組合せて算定する。

イ. 基礎自重等による応力

- ・端部（片持ち梁）

$$M_{X1}=M_{Y1}=\frac{W\ell_1^2}{2}(1+\alpha)\text{ (kNm)}, \quad Q_{X1}=Q_{Y1}=W\ell_1(1+\alpha)\text{ (kN)}$$

- ・中央部（外端ピン，内端固定）

$$M_{X2}=M_{Y2}=\frac{W\ell_2^2}{8}(1+\alpha)\text{ (kNm)}, \quad Q_{X1}=Q_{Y1}=\frac{W\ell_2}{2}(1+\alpha)\text{ (kN)}$$

ここで、

W：基礎自重等

鉄筋コンクリート：24 kN/m<sup>3</sup>，厚さ 2.5 m

アスファルト：20 kN/m<sup>3</sup>，厚さ 0.4 m

B：単位幅 2.4 m

$\ell_1$ ：1.2 m

$\ell_2$ ：2.4 m

$\alpha$ ：鉛直地盤ばねから算定した基礎評価用の鉛直震度 0.66

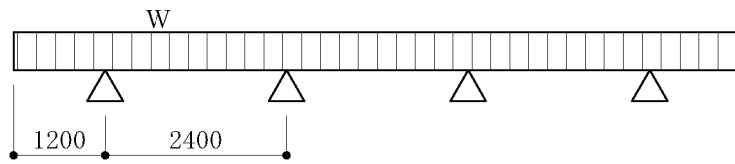


図 3-6 基礎自重等の荷重図

ロ. 上部構造の鉛直軸力による応力

上部構造の柱及び鉛直ブレースの鉛直方向の最大軸力はY方向の梁で負担するものとし、2.4 mの単純梁の中央に作用するものとする。

$$M_Y = \frac{\Sigma N \cdot \ell}{4} \quad (\text{kNm})$$

$$Q_Y = \frac{\Sigma N}{2} \quad (\text{kN})$$

ここで、

$$\Sigma N : N_c + N_b \times \frac{6.5}{\sqrt{6.5^2 + 2.4^2}} \quad (\text{kN})$$

$N_c$  : 柱の最大軸力 (kN)

$N_b$  : 鉛直ブレースの最大軸力 (kN)

ハ. 上部構造の柱脚の曲げモーメントによる応力

上部構造の柱脚曲げモーメントは、X方向、Y方向それぞれの方向の梁で負担するものとし、安全側にX方向加振時の応力状態とする (図 3-7)。

$$Q_X = \frac{M_X}{\ell} \quad (\text{kN})$$

$$Q_Y = \frac{M_Y}{\ell} \quad (\text{kN})$$

ここで、

$M_X, M_Y$  : 柱脚曲げモーメント (kNm)

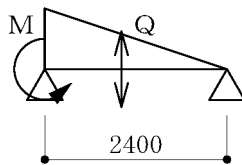


図 3-7 柱脚の曲げモーメントの評価方法

二. 杭頭拘束モーメントによる応力

杭頭拘束モーメントは、X方向、Y方向それぞれの方向の梁で負担するものとする (図3-8)。

$$Q_x = \frac{1.5 \times M_x}{\ell} \quad (\text{kN})$$

$$Q_y = \frac{1.5 \times M_y}{\ell} \quad (\text{kN})$$

ここで、

$M_x, M_y$  : 杭頭拘束モーメント (kNm)

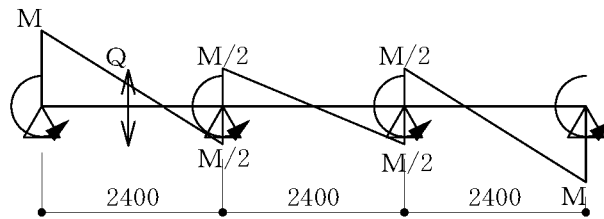


図3-8 杭頭拘束モーメントの評価方法

(b) 曲げモーメント及びせん断力に対する評価

$$\frac{M}{M_u} \leq 1$$

ここで、

$M$  : 曲げモーメント (kNm)

$M_u$  : 曲げモーメントの許容限界値  $a_t \cdot f_t \cdot 0.9 d$  (kNm)

$a_t$  : 鉄筋断面積

$f_t$  : 鉄筋の終局強度

$d$  : 基礎の有効せい

$$\frac{Q}{Q_u} \leq 1$$

ここで、

$Q$  : せん断力 (kN)

$Q_u$  : せん断力許容限界値  $b \cdot j \cdot f_s$  (kN)

$b$  : 梁幅

$j$  : 応力中心間距離,  $j = 7/8 d$

$d$  : 基礎の有効せい

$f_s$  : コンクリートの許容せん断応力度

#### 4. 評価結果

##### 4.1 上部構造の断面評価結果

##### (1) 柱・梁の評価結果

検討代表部位は、柱及び梁の全部材において許容値に対する発生応力の比が最大になる部材とし、当該部材を図4-1に示す。

評価結果を表4-1に示す。発生応力が許容値以下であることを確認した。

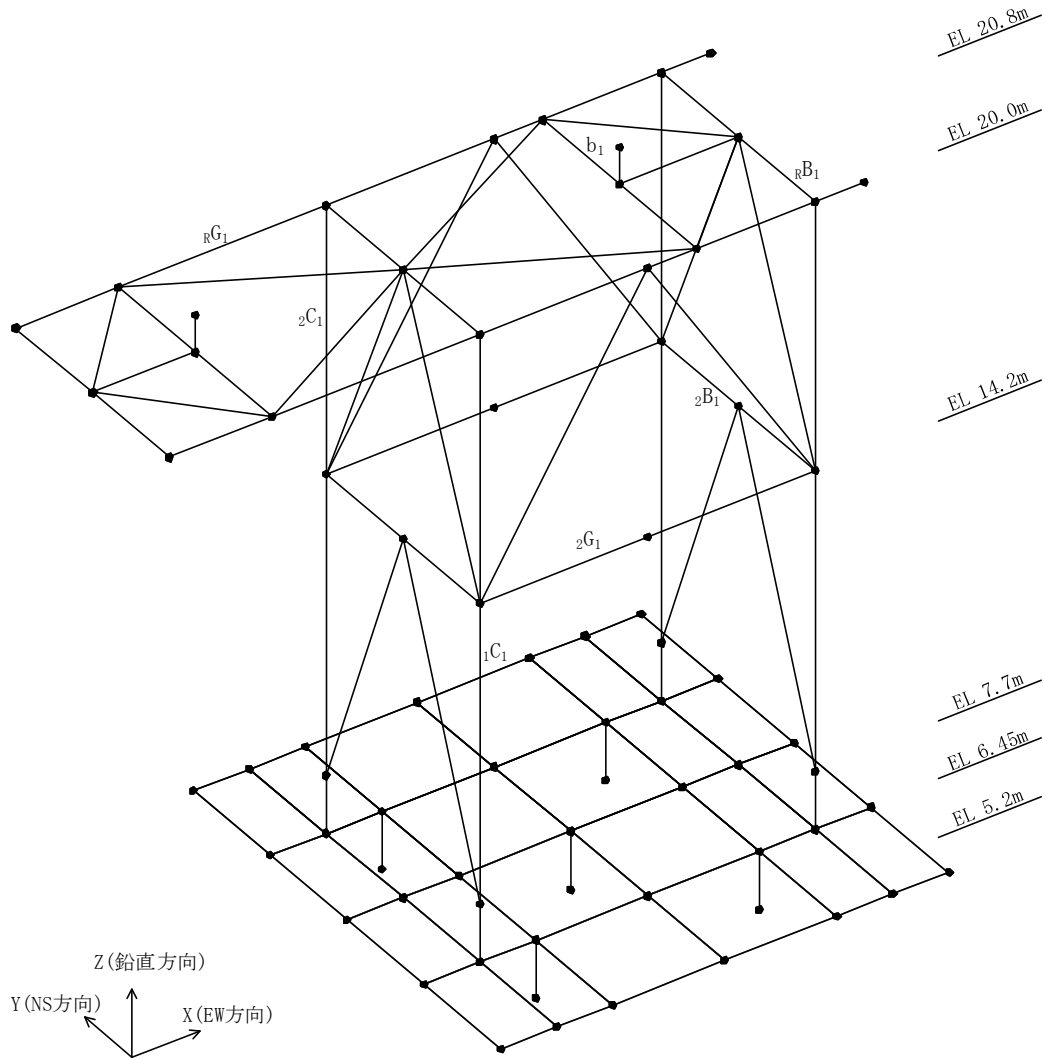


図4-1 柱及び梁の断面の検討代表部位

表 4-1 (1) 柱及び梁の断面評価結果

部材	符号	${}_2C_1$				
	断面	BH-550×550×22×32				
許容値	$N_u$ (kN)	$M_{X_u}$ (kNm)	$M_{Y_u}$ (kNm)	$Q_{X_u}$ (kN)	$Q_{Y_u}$ (kN)	
	15222	3073	1153	2206	7265	
発生応力	$N$ (kN)	$M_X$ (kNm)	$M_Y$ (kNm)	$Q_X$ (kN)	$Q_Y$ (kN)	
	541.7	136.7	80.5	28.0	27.0	
断面評価	フランジ	0.151				
	ウェブ	0.042				
判定	可					

部材	符号	${}_1C_1$				
	断面	BH-550×550×22×32				
許容値	$N_u$ (kN)	$M_{X_u}$ (kNm)	$M_{Y_u}$ (kNm)	$Q_{X_u}$ (kN)	$Q_{Y_u}$ (kN)	
	14896	3073	1153	2206	7265	
発生応力	$N$ (kN)	$M_X$ (kNm)	$M_Y$ (kNm)	$Q_X$ (kN)	$Q_Y$ (kN)	
	1125.7	1147.1	55.1	327.4	16.8	
断面評価	フランジ	0.497				
	ウェブ	0.268				
判定	可					

部材	符号	${}_R G_1$				
	断面	BH-1600×500×19×28				
許容値	$N_u$ (kN)	$M_{X_u}$ (kNm)	$M_{Y_u}$ (kNm)	$Q_{X_u}$ (kN)	$Q_{Y_u}$ (kN)	
	18691	7268	834	6054	5779	
発生応力	$N$ (kN)	$M_X$ (kNm)	$M_Y$ (kNm)	$Q_X$ (kN)	$Q_Y$ (kN)	
	251.4	1077.6	23.7	253.9	9.2	
断面評価	フランジ	0.191				
	ウェブ	0.074				
判定	可					

部材	符号	${}_R B_1$				
	断面	BH-1600×400×19×28				
許容値	$N_u$ (kN)	$M_{X_u}$ (kNm)	$M_{Y_u}$ (kNm)	$Q_{X_u}$ (kN)	$Q_{Y_u}$ (kN)	
	15386	5529	533	6054	4623	
発生応力	$N$ (kN)	$M_X$ (kNm)	$M_Y$ (kNm)	$Q_X$ (kN)	$Q_Y$ (kN)	
	69.1	98.6	5.9	52.3	4.5	
断面評価	フランジ	0.034				
	ウェブ	0.016				
判定	可					

表 4-1 (2) 柱及び梁の断面評価結果

部材	符号	${}_2G_1$				
	断面	BH-1000×400×16×28				
許容値	$N_u$ (kN)	$M_{Xu}$ (kNm)	$M_{Yu}$ (kNm)	$Q_{Xu}$ (kN)	$Q_{Yu}$ (kN)	
	9706	3014	533	3117	4623	
発生応力	N (kN)	$M_X$ (kNm)	$M_Y$ (kNm)	$Q_X$ (kN)	$Q_Y$ (kN)	
	20.4	882.3	18.1	257.8	5.5	
断面評価	フランジ	0.329				
	ウェブ	0.144				
判定		可				

部材	符号	${}_2B_1$				
	断面	BH-1000×400×16×28				
許容値	$N_u$ (kN)	$M_{Xu}$ (kNm)	$M_{Yu}$ (kNm)	$Q_{Xu}$ (kN)	$Q_{Yu}$ (kN)	
	11742	3442	533	3117	4623	
発生応力	N (kN)	$M_X$ (kNm)	$M_Y$ (kNm)	$Q_X$ (kN)	$Q_Y$ (kN)	
	243.3	186.9	26.3	101.4	13.8	
断面評価	フランジ	0.125				
	ウェブ	0.061				
判定		可				

部材	符号	$b_1$				
	断面	BH-700×400×12×19				
許容値	$N_u$ (kN)	$M_{Xu}$ (kNm)	$M_{Yu}$ (kNm)	$Q_{Xu}$ (kN)	$Q_{Yu}$ (kN)	
	8007	1800	362	1639	3137	
発生応力	N (kN)	$M_X$ (kNm)	$M_Y$ (kNm)	$Q_X$ (kN)	$Q_Y$ (kN)	
	47.7	131.1	10.8	95.0	7.1	
断面評価	フランジ	0.109				
	ウェブ	0.101				
判定		可				



(2) 鉛直及び水平ブレースの評価結果

検討代表部位は、鉛直及び水平ブレースの全部材において許容値に対する発生応力の比が最大になる部材とし、当該部材を図4-2に示す。

評価結果を表4-2に示す。発生応力が許容値以下であることを確認した。

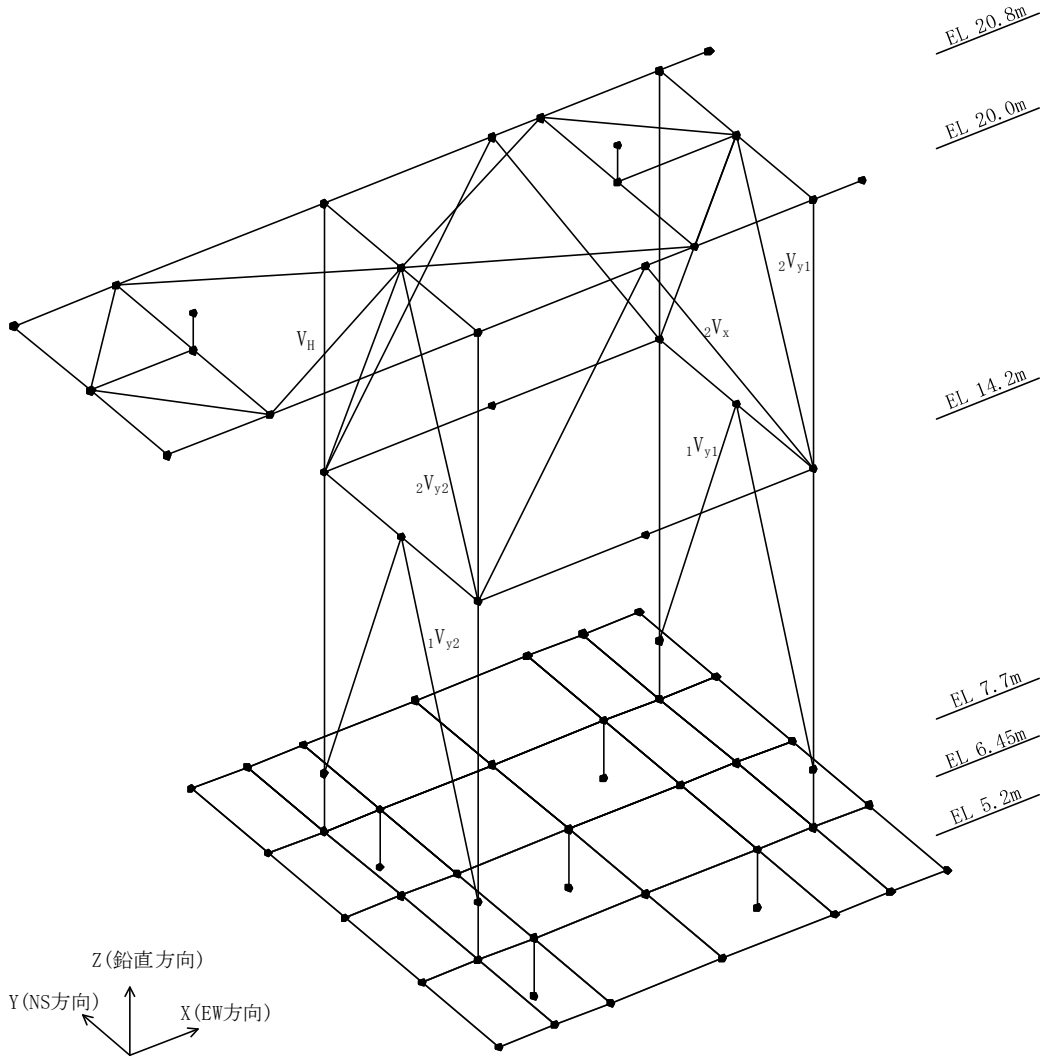


図4-2 鉛直及び水平ブレースの断面の検討代表部位

表 4-2 鉛直及び水平ブレースの断面の検討代表部位

部材	符号	${}_2V_x$
	断面	H-300×300×10×15
許容値 $N_u$ (kN)		2123
発生応力 $N$ (kN)		471.0
断面評価	$N/N_u$	0.222
判定		可

部材	符号	${}_2V_{y1}$
	断面	H-300×300×10×15
許容値 $N_u$ (kN)		2290
発生応力 $N$ (kN)		466.5
断面評価	$N/N_u$	0.204
判定		可

部材	符号	${}_1V_{y1}$
	断面	H-300×300×10×15
許容値 $N_u$ (kN)		2084
発生応力 $N$ (kN)		745.9
断面評価	$N/N_u$	0.358
判定		可

部材	符号	${}_2V_{y2}$
	断面	BH-300×300×12×19
許容値 $N_u$ (kN)		2934
発生応力 $N$ (kN)		584.6
断面評価	$N/N_u$	0.200
判定		可

部材	符号	${}_1V_{y2}$
	断面	BH-300×300×12×19
許容値 $N_u$ (kN)		2673
発生応力 $N$ (kN)		796.2
断面評価	$N/N_u$	0.298
判定		可

部材	符号	$V_H$
	断面	H-300×300×10×15
許容値 $N_u$ (kN)		2574
発生応力 $N$ (kN)		195.0
断面評価	$N/N_u$	0.076
判定		可

## (1) 柱脚の評価結果

## (a) 設計荷重

機能維持検討時に発生する部材力の各成分の最大値を用いて検討を行う。  
設計荷重は、以下に示す荷重により、柱脚の検討を行う。

$$\text{柱脚の軸力} \quad : N_c = N_t = 1193.8 \text{ kN}$$

$$\text{柱と取り合うブレースの軸力} \quad : N_b = 796.2 \text{ kN}$$

## (b) ベースプレート

ベースプレート検討用の軸力は、柱脚の軸力と柱と取り合うブレース軸力の鉛直成分より求める。

$$\Sigma N = N_c + N_b \times \frac{6.5}{\sqrt{6.5^2 + 2.4^2}} = 1193.8 + 796.2 \times \frac{6.5}{\sqrt{6.5^2 + 2.4^2}} = 1940.7 \text{ kN}$$

$$\text{圧縮応力度} : \sigma_c = \Sigma N / A = \frac{1940.7 \times 10^3}{800 \times 800} = 3.0 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{外周の曲げモーメント} : M = \frac{3.0 \times 145^2}{2} = 31538 \text{ Nmm/mm}$$

$$\text{内部の曲げモーメント} : M = \frac{3.0 \times 255^2}{12} = 16256 \text{ Nmm/mm}$$

ここで、

$$Z = \frac{1 \times 40^2}{6} = 266.7 \text{ mm}^3/\text{mm}$$

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{31538}{266.7} = 118.3 < 357.5 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

$$\text{外周のせん断力} : Q = 3.0 \times 145 = 435 \text{ N/mm}$$

$$\text{内部のせん断力} : Q = 3.0 \times 255 / 2 = 383 \text{ N/mm}$$

$$\tau_{\text{max}} = Q / A = 435 / 40 = 10.9 < 206.4 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

(c) 支圧耐力・引抜耐力

表 4-3 に支圧耐力及び引抜耐力の評価結果を示す。

表 4-3 支圧耐力及び引抜耐力の評価結果

		支圧耐力	引抜耐力
ベースプレート寸法(mm)		800×800	
d (mm)		2500-1200-250=1050	1200-250=950
j (mm)		919	831
b <sub>0</sub> (mm)		4×800+1050 π =6499	4×800+950 π =6185
f <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )		1.18	1.18
許容値	Q <sub>Pu</sub> (kN)	7047	6064
発生応力	N (kN)	1940.7	1940.7
応力/許容値		0.276	0.321
判定		可	可

#### 4.2 基礎の断面評価結果

##### (1) 杭の評価結果

上部荷重によって生じる杭応力と、許容限界値とを比較した結果を表 4-4 に示す。

評価結果に示すとおり、 $S_s$ 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。

表 4-4 杭の評価結果

		許容限界値	$S_s$ 地震時	応力/許容限界値	判定
鉛直支持力 (kN)	打込み杭	8847	1229.6	0.139	可
	埋込み杭	8506		0.145	可
引抜き抵抗力 (kN)	打込み杭	2929	258.8	0.089	可
	埋込み杭	3711		0.070	可
杭頭曲げモーメント (kNm)		3123	407.6	0.131	可
杭頭せん断力 (kN)		3607	344.8	0.096	可

##### (2) 基礎スラブの評価結果

検討応力と許容限界値を比較した結果を表 4-5 に示す。

評価結果に示すとおり、 $S_s$ 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。

表 4-5 基礎スラブの評価結果

	$S_s$ 地震時			
	X方向		Y方向	
	$M_x$ (kNm)	$Q_x$ (kN)	$M_y$ (kNm)	$Q_y$ (kN)
基礎自重による応力	195.1	325.0	195.1	325.0
鉛直軸力による応力	—	—	1164.4	970.4
柱脚曲げによる応力	1147.1	478.0	133.7	55.7
杭頭曲げによる応力	407.6	254.8	407.6	254.8
組合せ応力	1749.8	1057.8	1900.8	1605.9
許容限界値	7898	5550	7898	5550
応力/許容限界値	0.222	0.191	0.241	0.290
判定	可	可	可	可