

別冊 6

原子炉格納容器ガス管理設備に係る補足説明

I 原子炉格納容器ガス管理設備の構造強度及び耐震性について

1. 1号機

(1) 排気ファンの構造強度及び耐震性

(a) 構造強度

排気ファンについては、工場試験にて締切運転（約 6kPa）を実施し、異常がないことを確認しており、排気ファンの運転にあたり十分な構造強度を有していると評価する。

(b) 耐震性

排気ファンの耐震性評価として、「JEAG4601(1987年度)」を準用し、ファン基礎ボルトの評価を行った。なお、震度については、耐震設計審査指針上の耐震 C クラス設備に適用される静的地震力（1号機：0.21G）を採用した。基礎ボルトの許容応力については、供用状態 D における許容応力を適用し、ボルトの評価温度は 100℃とした。ボルト 1 本当りりの引張荷重及びせん断荷重を評価した結果、ボルトに生じる引張及びせん断荷重は許容荷重以下であり、ボルトの強度が確保されることを確認した（表-1 参照）。

$$\text{ボルトに作用する引張力} : F_b = \frac{W(C_H + C_P) \cdot h + M_P - W(1 - C_P) \cdot l_1}{1/2 \cdot n_f \cdot (l_1 + l_2)}$$

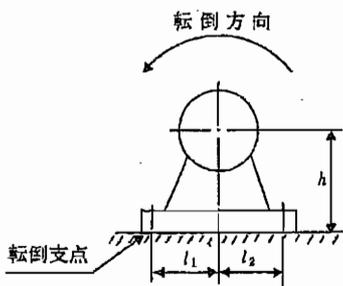
$$\text{ボルトの引張応力} : \sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

$$\text{ボルトに作用するせん断力} : Q_b = W(C_H + C_P)$$

$$\text{ボルトのせん断応力} : \tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b}$$

$$\text{ボルトの許容引張応力} : 1.5f_t^* = 1.5 \times \frac{F^*}{2}, \quad F^* = \min[1.2S_y, 0.7S_u]$$

$$\text{ボルトの許容せん断応力} : 1.5f_s^* = 1.5 \times \frac{F^*}{1.5\sqrt{3}}$$



- C_H : 水平方向設計震度 (0.21)
- C_p : ファン振動による震度 ()
- M_P : ファン回転により働くモーメント () $N \cdot mm$
- l_1 : 軸心と基礎ボルト間の距離 () mm
- l_2 : 軸心と基礎ボルト間の距離 ($l_1 \leq l_2$) () mm
- d : 基礎ボルトの呼び径 () mm
- n : 基礎ボルトの本数 ()
- n_f : 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数 ()
- h : 据付面から重心までの距離 () mm
- W : 据付面に作用する重量 () N
- A_b : 基礎ボルトの軸断面積 () mm^2
- S_y : 設計降伏応力 () MPa , ()
- S_u : 設計引張強さ () MPa , ()

表-1 排気ファンの基礎ボルトの強度評価結果

号機	系統	応力種類	耐震Cクラス設備に適用される 静的地震力による評価	
			発生荷重[MPa]	許容荷重[MPa]
1	A, B	引張	5	174
		せん断	2	133

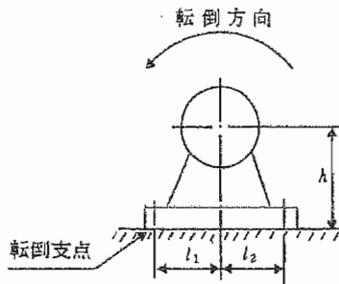
(2) フィルタユニットの構造強度及び耐震性

(a) 構造強度

フィルタユニットについては、最高使用圧力 0.35MPa に対し、工場にて 0.5MPa の耐圧試験を実施し、破損等の異常がないことを確認している。以上のことから、フィルタユニットについては、通常運転時の内圧に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

(b) 耐震性

フィルタユニットの耐震性評価として、「JEAG4601(1987年度)」を準用し、1.(1)(b)と同様の方法で基礎ボルトの評価を行った。なお、震度については、耐震設計審査指針上の耐震Cクラス設備に適用される静的地震力(1号機:0.21G)を採用した。基礎ボルトの許容応力については、供用状態Dにおける許容応力を適用し、ボルトの評価温度は100℃とした。ボルト1本当たりの引張荷重及びせん断荷重を評価した結果、ボルトに生じる引張及びせん断荷重は許容荷重以下であり、ボルトの強度が確保されることを確認した(表-2参照)。



- C_H : 水平方向設計震度 (0.21)
- C_P : ファン振動による震度 ()
- M_P : ファン回転により働くモーメント () $\text{N} \cdot \text{mm}$
- l_1 : 軸心と基礎ボルト間の距離 () mm
- l_2 : 軸心と基礎ボルト間の距離($l_1 \leq l_2$) () mm
- d : 基礎ボルトの呼び径 () mm
- n : 基礎ボルトの本数 ()
- n_f : 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数 ()
- h : 据付面から重心までの距離 () mm
- W : 据付面に作用する重量 () N
- A_b : 基礎ボルトの軸断面積 () mm^2
- S_y : 設計降伏応力 () MPa , ()
- S_u : 設計引張強さ () MPa , ()

ボルトに作用する引張力 :
$$F_b = \frac{W(C_H + C_P) \cdot h + M_P - W(1 - C_P) \cdot l_1}{1/2 \cdot n_f \cdot (l_1 + l_2)}$$

ボルトの引張応力 :
$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

ボルトに作用するせん断力 :
$$Q_b = W(C_H + C_P)$$

ボルトのせん断応力 :
$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b}$$

ボルトの許容引張応力 :
$$1.5f_t^* = 1.5 \times \frac{F^*}{2}, \quad F^* = \min[1.2S_y, 0.7S_u]$$

ボルトの許容せん断応力 :
$$1.5f_s^* = 1.5 \times \frac{F^*}{1.5\sqrt{3}}$$

表-2 フィルタユニットの基礎ボルトの強度評価結果

号機	系統	応力種類	耐震Cクラス設備に適用される 静的地震力による評価	
			発生荷重[MPa]	許容荷重[MPa]
1	A, B	引張	作用しない	174
		せん断	10	133

(3) 凝縮配管室空調機ユニットの耐震性

(a) 構造強度

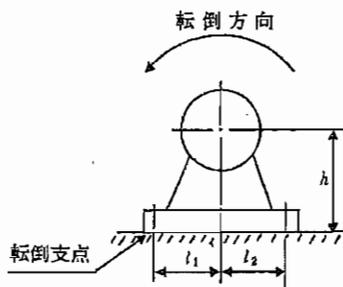
凝縮配管室空調機については、凝縮配管室内の空気を冷却するものであり原子炉格納容器から抽気したガスを通気するものではなく、一般的な汎用機器を使用している。

(b) 耐震性

凝縮配管室空調機ユニットの耐震性評価として、「JEAG4601(1987年度)」を準用し、1.(1)(b)と同様の方法で基礎ボルトの評価を行った。なお、震度については、耐震設計審査指針上の耐震Cクラス設備に適用される静的地震力(1号機:0.21G)を採用した。基礎ボルトの許容応力については、保守的に供用状態Dにおける許容応力を適用し、ボルトの評価温度は100℃とした。ボルト1本当当たりの引張荷重及びせん断荷重を評価した結果、ボルトに生じる引張及びせん断荷重は許容荷重以下であり、ボルトの強度が確保されることを確認した(表-3参照)。

表-3 凝縮配管室空調機ユニットの基礎ボルトの強度評価結果

号機	系統	応力種類	耐震Cクラス設備に適用される 静的地震力による評価	
			発生荷重[MPa]	許容荷重[MPa]
1	A, B	引張	作用しない	174
		せん断	8	133



- C_H : 水平方向設計震度 (0.21)
- C_p : ファン振動による震度 ()
- M_P : ファン回転により働くモーメント (N・mm)
- l_1 : 軸心と基礎ボルト間の距離 (mm)
- l_2 : 軸心と基礎ボルト間の距離($l_1 \leq l_2$) (mm)
- d : 基礎ボルトの呼び径 (mm)
- n : 基礎ボルトの本数 ()
- n_f : 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数 ()
- h : 据付面から重心までの距離 (mm)
- W : 据付面に作用する重量 (N)
- A_b : 基礎ボルトの軸断面積 (113mm²)
- S_y : 設計降伏応力 (MPa,)
- S_u : 設計引張強さ (MPa,)

(4) 管の構造強度及び耐震性

(a) 構造強度

配管については、「設計・建設規格(2005年版)」に基づき、クラス4配管の必要最小厚さに対して十分な厚さを有していることを確認しており、十分な構造強度を有していると評価している(表-4参照)。

表-4 配管強度確認結果

外径[mm]	型式	公称肉厚 [mm]	設計・建設規格上の 必要最小厚さ[mm]
34.0	円型	4.5	0.5
60.5	円型	5.5	0.5
89.1	円型	5.5	0.5
114.3	円型	6.0	0.5
165.2	円型	7.1	0.5

(b) 耐震性

a. 評価条件

配管は、配管軸直角2方向拘束サポートを用いた両端単純支持の配管系（両端単純支持はり構造）とする。また、配管は水平方向主体のルートを想定し、管軸方向については地震により管軸方向は動かないものとし、水平方向震度による管軸直角方向の配管応力評価を考える。水平方向震度は、0.21Gとする。

b. 評価方法

管軸直角方向の地震による応力は、下図に示す自重による応力の震度倍で表現でき(1)式で表すことができる。

$$S_s = \alpha S_w \quad (1)$$

S_s :地震による応力 [MPa]

α :水平方向震度[-]

S_w :自重による応力[MPa]

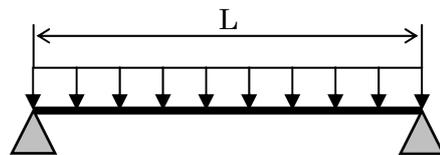
ここで、
$$S_w = \frac{wL^2}{8Z}$$

S_w :自重による応力[MPa]

L :サポート支持間隔[mm]

Z :断面係数[mm³]

w :等分布荷重[N/mm]



両端単純支持はりの等分布荷重より
求まる自重による応力

また、崩壊制限に「JEAG4601（1984年度）」を準用し、供用状態Dの場合の一次応力制限を用いるとすると、地震評価としては(2)式で表すことができる。

$$S = S_p + S_w + S_s = S_p + S_w + \alpha S_w = S_p + (1 + \alpha) S_w \leq 0.9 S_u \quad (2)$$

S_p :内圧による応力[MPa]

S_w :自重による応力[MPa]

S_s :地震による応力[MPa]

S :内圧, 自重, 地震による応力[MPa]

α :水平方向震度[-]

従って、上記(2)式を満足するように、配管サポート配置を設定することにより、配管の崩壊は抑制できる。

c. 評価結果

両端単純支持はりで自重による応力 S_w が 40 MPa 程度の配管サポート配置とした場合、発生応力は許容応力に対して十分な裕度を有すると評価した。

一例として、この時の 150A (Sch. 40) 配管のサポート間隔 L は約 9.7m となる。

Z : 断面係数 ($1.337 \times 10^5 \text{ mm}^3$)

w : 等分布荷重 (0.45 N/mm)

- ・内圧による応力 $S_p=10 \text{ MPa}$, 許容応力を STPT370 (100°C) の $0.9S_u=315 \text{ MPa}$ とし、(2)式に代入すると以下となる。

$$S = 59 \text{ MPa} \leq 0.9S_u = 315 \text{ MPa} \quad (3)$$

- ・継手がある場合には、応力係数も存在する。応力係数を 3 とし、以下となる。

$$S = S_p + (1 + \alpha) S_w \times 3 = 156 \text{ MPa} \leq 0.9S_u = 315 \text{ MPa} \quad (4)$$

2. 2 / 3号機

(1) 排気ファンユニットの構造強度及び耐震性

(a) 構造強度

排気ファンについては、系統最高使用圧力 5.2kPa に対し、工場にて 7.0kPa の気密試験を実施し、漏えい等の異常がないことを確認していることから、ファンの最高使用圧力に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

(b) 耐震性

ファンを鋼材と共にユニット化し、ユニットの支持鋼材を基礎ボルトで固定している。排気ファンユニットの耐震性の評価として JEAC4601-2008 を準用し、基礎ボルトの評価を行った。なお、震度については、耐震設計審査指針上の耐震 C クラス設備に適用される静的地震力 (2, 3号機 : 0.21G) を採用した。

評価の結果、ボルト 1 本あたりに生じる引張及びせん断荷重は許容荷重以下であり、ボルトの強度が確保されることを確認した (表-5 参照)。

表-5 排気ファンユニットの基礎ボルトの強度評価結果

号機	系統	応力種類	耐震 C クラス設備に適用される 静的地震力による評価	
			発生荷重[N]	許容荷重[N]
2	A	引張	0	2843
		せん断	327	1725
	B	引張	0	2843
		せん断	497	1725
3	A	引張	0	2843
		せん断	497	1725
	B	引張	0	2843
		せん断	327	1725

$$\text{ボルトに作用するせん断力} : Q = \frac{C_H \cdot m \cdot g}{n}$$

$$\text{ボルトに作用する引張力} : F = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - m \cdot g \cdot L_1}{n_f \cdot (L_1 + L_2)}$$

C_H : 水平方向設計震度 (0.21)

m : 機器の運転時質量

2号機(A系: [] kg、B系: [] kg), 3号機(A系: [] kg、B系: [] kg)

h : 重心高さ

2号機(A系: [] mm、B系: [] mm), 3号機(A系: [] mm、B系: [] mm)

$L1, L2$: 重心とボルト間の水平距離 ($L1 \leq L2$)

2号機(A系: $L1=[]$ mm, $L2=[]$ mm、B系: $L1=[]$ mm, $L2=[]$ mm)

3号機(A系: $L1=[]$ mm, $L2=[]$ mm、B系: $L1=[]$ mm, $L2=[]$ mm)

nf : 評価上引張力を受けるボルト本数

2号機(A系: []、B系: []), 3号機 (A系: []、B系: [])

n : 評価上せん断力を受けるボルト本数

2号機(A系: []、B系: []), 3号機 (A系: []、B系: [])

g : 重力加速度 (9.80665m/s²)

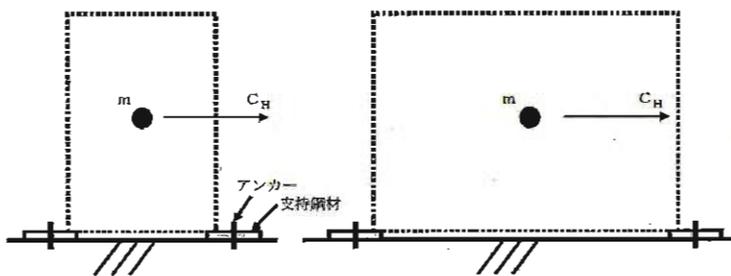


図-1 せん断評価

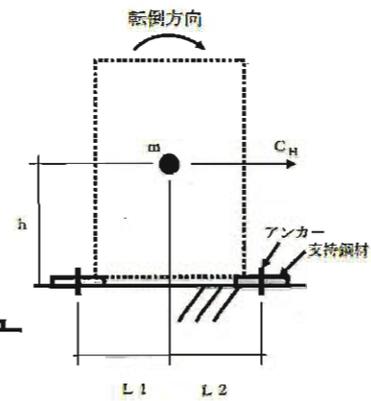
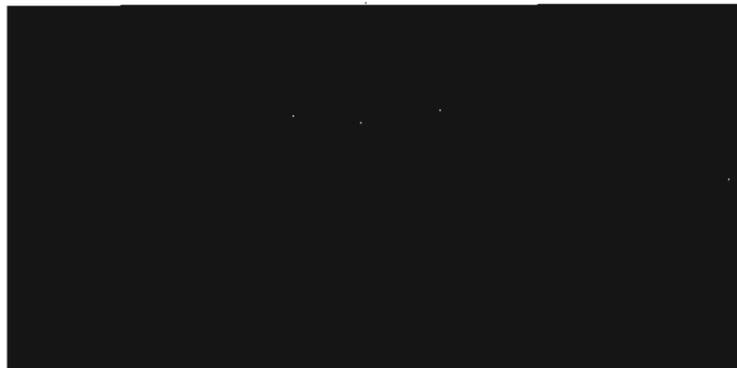


図-2 転倒評価

ここで、メカニカルアンカの許容荷重の設定については以下の通り。

- ・ 柏崎刈羽原子力発電所6号機建設時の後打ちアンカ使用基準に基づき、[]相当のメカニカルアンカの許容荷重を採用



(2) フィルタユニットの構造強度及び耐震性

(a) 構造強度

フィルタユニットについては、系統最高使用圧力 5.2kPa に対し、工場にて 7.0kPa の気密試験を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。以上のことから、フィルタユニットについては、系統の最高使用圧力に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

(b) 耐震性

フィルタを鋼材と共にユニット化し、ユニットの支持鋼材を基礎ボルトで固定している。フィルタユニットの耐震性の評価として JEAC4601-2008 を準用し、基礎ボルトの評価を行った。なお、震度については、耐震設計審査指針上の耐震 C クラス設備に適用される静的地震力 (2, 3号機 : 0.21G) を採用した。

評価の結果、ボルト 1 本あたりに生じる引張及びせん断荷重は許容荷重以下であり、ボルトの強度が確保されることを確認した (表-6 参照)。

$$\text{ボルトに作用するせん断力} : Q = \frac{C_H \cdot m \cdot g}{n}$$

$$\text{ボルトに作用する引張力} : F = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - m \cdot g \cdot L_1}{n_f \cdot (L_1 + L_2)}$$

- C_H : 水平方向設計震度 (0.21)
- m : 機器の運転時質量 (■ kg)
- h : 重心高さ (■ mm)
- L_1, L_2 : 重心とボルト間の水平距離 ($L_1 \leq L_2$) ($L_1 = \text{■ mm}$, $L_2 = \text{■ mm}$)
- n_f : 評価上引張力を受けるボルト本数 2号機 (■), 3号機 (■)
- n : 評価上せん断力を受けるボルト本数 2号機 (■), 3号機 (■)
- g : 重力加速度 (9.80665m/s²)

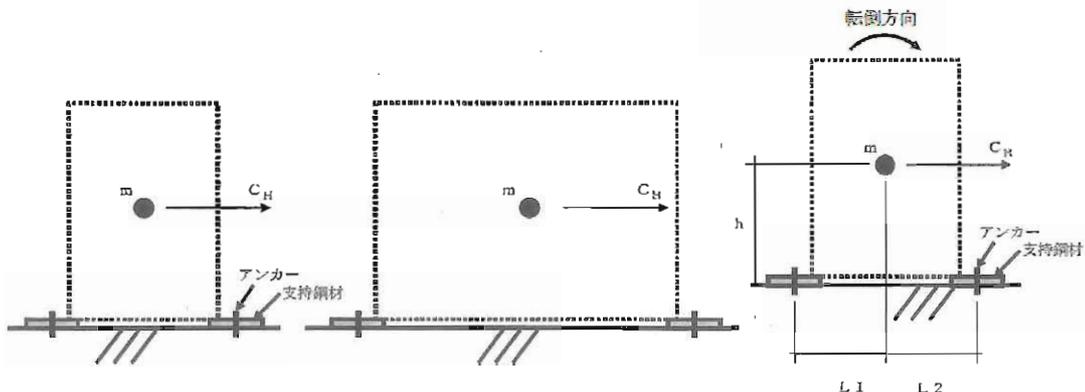


図-1 せん断評価

図-2 転倒評価

表-6 フィルタユニットの基礎ボルトの強度評価結果

号機	系統	応力種類	耐震Cクラス設備に適用される 静的地震力による評価	
			発生荷重[N]	許容荷重[N]
2	—※	引張	0	2843
		せん断	411	1725
3	—※	引張	0	2843
		せん断	411	1725

※ フィルタは2つ(2系統)で1つのユニットとなっている。

(3) 放熱器ユニットの構造強度及び耐震性

(a) 構造強度

放熱器ユニットについては、系統最高使用圧力 5.2kPa に対し、工場にて 7.0kPa の気密試験を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。以上のことから、放熱器ユニットについては、通常運転時の内圧に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

(b) 耐震性

放熱器を鋼材と共にユニット化し、ユニットの支持鋼材を基礎ボルトで固定している。放熱器ユニットの耐震性の評価として JEAC4601-2008 を準用し、基礎ボルトの評価を行った。なお、震度については、耐震設計審査指針上の耐震Cクラス設備に適用される静的地震力(2, 3号機 : 0.21G)を採用した。

評価の結果、ボルト1本当たりに生じる引張及びせん断荷重は許容荷重以下であり、ボルトの強度が確保されることを確認した(表-7 参照)。

表-7 放熱器ユニットの基礎ボルトの強度評価結果

号機	系統	応力種類	耐震Cクラス設備に適用される 静的地震力による評価	
			発生荷重[N]	許容荷重[N]
2	A	引張	0	2843
		せん断	366	1725
	B	引張	0	2843
		せん断	389	1725
3	A	引張	0	2843
		せん断	366	1725
	B	引張	0	2843
		せん断	389	1725

ボルトに作用するせん断力：
$$Q = \frac{C_H \cdot m \cdot g}{n}$$

ボルトに作用する引張力：
$$F = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - m \cdot g \cdot L_1}{n_f \cdot (L_1 + L_2)}$$

C_H ：水平方向設計震度(0.21)

m ：機器の運転時質量(A系：■■■ kg, B系：■■■ kg)

h ：重心高さ(A/B系：■■■ mm)

L_1, L_2 ：重心とボルト間の水平距離($L_1 \leq L_2$) (A/B系： $L_1 = \text{■■■ mm}, L_2 = \text{■■■ mm}$)

n_f ：評価上引張力を受けるボルト本数2号(A/B系：■■), 3号(A/B系：■■)

n ：評価上せん断力を受けるボルト本数2号(A/B系：■■), 3号(A/B系：■■)

g ：重力加速度(9.80665m/s²)

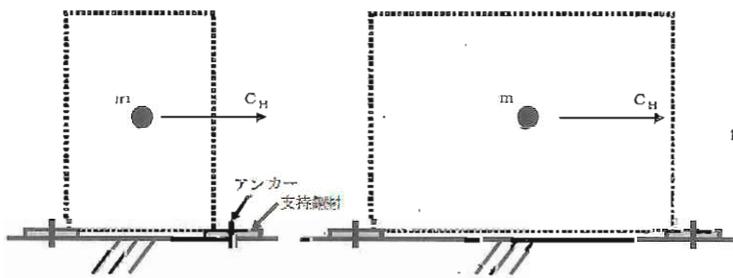


図-1 せん断評価

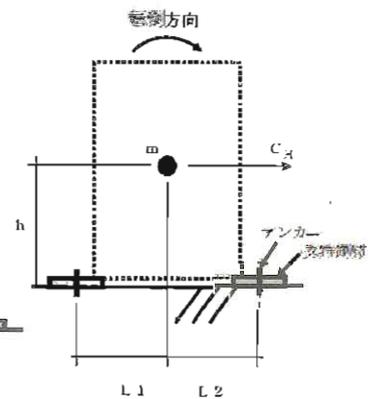


図-2 転倒評価

- (4) 管の構造強度及び耐震性
- (4) - 1 鋼管及び鋼板ダクト
 - (a) 構造強度

鋼管及び鋼板ダクトについては、「設計・建設規格(2005年版)」を準用し、クラス4配管の必要最小厚さに対して十分な厚さを有していることを確認しており、原子炉格納容器ガス管理設備における使用条件に対し、十分な構造強度を有していると判断する(表-8参照)。

表-8 配管強度確認結果

外径[mm]	形式	公称肉厚 [mm]	設計・建設規格上の 必要最小厚さ[mm]
27.2	円形	2.8	0.5
60.5	円形	3.5	0.5
60.5	円形	3.8	0.5
139.8	円形	2.0	0.5
139.8	円形	3.4	0.5
139.8	円形	5.0	0.5
216.3	円形	6.5	0.6
260.0	角形	5.0	0.8
267.4	円形	4.0	0.6
267.4	円形	6.5	0.6

- (b) 耐震性
 - a. 評価条件

配管は、配管軸直角2方向拘束サポートを用いた両端単純支持の配管系(両端単純支持はり構造)とする。また、配管は水平方向主体のルートを想定し、管軸方向については地震により管軸方向は動かないものとし、水平方向震度による管軸直角方向の配管応力評価を考える。水平方向震度は、0.21Gとする。

- b. 評価方法

管軸直角方向の地震による応力は、下図に示す自重による応力の震度倍で表現でき(1)式で表すことができる。

$$S_s = \alpha S_w \quad (1)$$

S_s :地震による応力

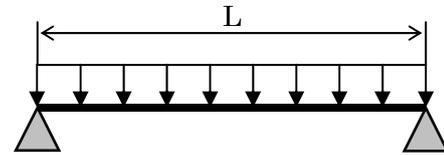
α :水平方向震度

S_w :自重による応力

ここで、

$$S_w = \frac{wgL^2}{8Z}$$

S_w : 自重による応力
 L : サポート支持間隔
 Z : 断面係数
 w : 等分布質量
 g : 重力加速度



両端単純支持はりの等分布荷重より
求まる自重による応力

また、崩壊制限に「JEAC4601-2008」を準用し、供用状態 C_s の場合の一次応力制限を用いるとすると、地震評価としては(2)式で表すことができる。

$$S = S_p + S_w + S_s = S_p + S_w + \alpha S_w = S_p + (1 + \alpha) S_w \leq S_y \quad (2)$$

S_p : 内圧による応力 S_w : 自重による応力
 S_s : 地震による応力 S : 内圧, 自重, 地震による応力
 α : 水平方向震度

従って、上記(2)式を満足するように、配管サポート配置を設定することにより、配管の崩壊は抑制できる。

c. 評価結果

両端単純支持はりで自重による応力 S_w が 24 MPa 程度の配管サポート配置とした場合、発生応力は許容応力に対して十分な裕度を有すると評価した。

- ・ 内圧による応力 $S_p=18$ MPa, 許容応力を SUS304TP(100°C)の $S_y=171$ MPa とし、(2)式に代入すると以下となる。

$$S = S_p + (1 + \alpha) S_w = 48 \text{ MPa} \leq S_y = 171 \text{ MPa} \quad (3)$$

- ・ 継手がある場合には、応力係数も存在する。応力係数を 5 とし、以下となる。

$$S = S_p + (1 + \alpha) S_w \times 5 = 164 \text{ MPa} \leq S_y = 171 \text{ MPa} \quad (4)$$

(4) - 2 ダクトホース

(a) 構造強度

ダクトホースは設計・建設規格に記載がない機器であるが、通常運転状態における漏えい確認試験を行い、有意な変形や漏えいがないことを確認していることから、必要な構造強度を有しているものと判断する。

(b) 耐震性

ダクトホースは、フレキシビリティを有しており、地震変位による有意な応力は発生しないと考えられる。

(4) - 3 フレキシブルホース

(a) 構造強度

フレキシブルホースは設計・建設規格に記載がない機器であるが、通常運転状態における漏えい確認試験を行い、有意な変形や漏えいがないことを確認していることから、必要な構造強度を有しているものと判断する。

(b) 耐震性

フレキシブルホースは、フレキシビリティを有しており、地震変位による有意な応力は発生しないと考えられる。