

1 次アルゴンガス系配管の一部改造に係る耐震計算書

1. 概要

本計算書は、1次アルゴンガス系配管の一部改造の耐震強度計算の結果を示すものである。

2. 準拠した規準及び規格

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（日本電気協会）
- (2) 発電用原子力設備規格 材料規格（日本機械学会）
- (3) 研究開発段階発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈

3. 設計方針

「原子力発電所耐震設計技術指針」のBクラス機器のうち、配管の耐震設計の基本手順を準用する。

本配管は、口径が小さく、使用温度が低いため、振動数基準の定ピッチスパン法を採用する。本配管の支持間隔は、振動数基準の定ピッチスパン法により求めた最大支持点間距離以内であることから、最大支持点間距離の場合における発生応力を算出し、許容応力と比較し評価する。

なお、曲がり部については、曲がり部の近傍で支持されている。弁のような集中荷重を持つ場合は、集中荷重部にできる限り近い部分で支持されている。分岐部については、分岐部にできる限り近い部分で支持されている。

また、今回の一部変更のうち、既設配管を一部切断した後取付ける閉止キャップについては、取付近傍に支持点が設けられていることから既設配管の支持点間距離より短くなり、発生応力は低減されることが明らかであり、本変更に伴う耐震強度評価上の影響はない。

4. 定ピッチスパン法

(1) 定ピッチスパン法の概要

配管系を地震による過度の振動がないようにするために、配管系の各支持区間について、あらかじめ基準振動数をベースに定められる基準支持スパン以下となるように支持する。

(2) 配管の支持

両端単純支持を仮定した場合の配管径と長さの関係を、1次固有振動数が基準振動数となるように定めて置き、実際の支持スパンは、このようにして定められた支持間隔以内となるようにする。

基準振動数は、20Hz とする。

5. 設計条件

新しく設置する配管の設計条件を以下に示す。

名称	耐震クラス	水平方向 設計震度*1 [G]	材質	流体の 種類	最高使用 圧力*2 [MPa] gage	最高使用 温度*2 [°C]
配管	B	0.389	SUS304TP	アルゴン ガス	0.15MPa	60

*1：既認可の値を使用する。「添付書類 1-2. 原子炉建物及び原子炉附属建物の静的地震力の評価に関する説明書」に示すように、「原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1991 追補版）に基づき、「原規規発第 2307265 号」をもって許可を受けた基準地震動を用いて算出した水平方向設計震度は 0.298G となる。既認可の水平方向設計震度は、当該値に対して約 30%の安全裕度を有する。ここでは、既認可の値を使用するものとし、地震時に生じる一次応力 S_0 を保守的に評価する。

*2：新しく設置する配管における最高使用圧力及び最高使用温度を用いる。

6. 耐震計算

代表的な配管として直管部の耐震計算を以下に示す。

(1) 最大支持点間距離 (L_0)

等分布荷重の作用する両端支持はりの固有振動数 f は次式で表される。

$$f = \frac{\lambda^2}{2 \cdot \pi \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{\rho \cdot A}}$$

[機械工学便覧 基礎編 $\alpha 2$ 機械力学 第 12 章 12・2 弦・棒・はりの振動]

材料の縦弾性係数 E の単位は[N]が入っており、[N]の単位には重力加速度が[m]単位で入っているため 10^3 を乗じ[mm]に換算すると次式となる。

$$f = \frac{\lambda^2}{2 \cdot \pi \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \times 10^3}{\rho \cdot A}}$$

ここで、 $\lambda = \pi$ (λ :1次振動数係数で、両端単純支持はりの場合)とする。
 最大支持点間距離、すなわち固有振動数 $f=20\text{Hz}$ の時の支持点間距離(L_0)は次式となる。

$$L_0 = \sqrt{\frac{\pi}{2 \cdot f} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \times 10^3}{w}}}$$

記号	記号の説明	単位
f	固有振動数	Hz
λ	振動数係数 ($\lambda = \pi$)	-
L	棒の全長	mm
L_0	最大支持点間距離	mm
E	材料の縦弾性係数	N/mm ²
I	断面二次モーメント	mm ⁴
ρ	単位体積当たりの質量	kg/mm ³
A	棒の断面積	mm ²
w	配管の単位当たりの質量	kg/mm

最大支持点間距離の計算に用いる値を以下に示す。

呼び径	管外径 D_0 [mm]	肉厚 t [mm]	単位長さ 当たりの質量*1 w[kg/mm]	縦弾性係数 E^{*2} [N/mm ²]	断面二次 モーメント*3 I [mm ⁴]
25A	34.0	3.4	2.60×10^{-3}	1.922×10^5	3.87×10^4

*1：配管内ガス(アルゴン 1.784kg/m³(ntp))質量含む

*2：発電用原子力設備規格 材料規格

Part3 第2章 表1 材料の各温度における縦弾性係数
 オーステナイトステンレス鋼

*3：機械工学便覧 基礎編 $\alpha 3$ 材料力学

第3章 3・2 断面二次モーメント及び断面係数

(2)地震時に生じる応力 (S_0)

最大支持点間距離(L_0)における最高使用圧力、自重及び地震加速度により生じる一次応力 S_0 は次式で与えられる。

$$S_0 = \frac{P \cdot D_0}{4 \cdot t} + \frac{0.75 \cdot i(M_a + M_b)}{Z}$$

ここで、

$$M_a = \frac{w \cdot g \cdot L_0^2}{8}$$

$$M_b = C_h \cdot \frac{w \cdot g \cdot L_0^2}{8}$$

とする。

記号	記号の説明	単位
S_0	一次応力	N/mm^2
P	最高使用圧力	MPa
D_0	管の外径	mm
t	管の厚さ	mm
i	応力係数	-
M_a	管の機械的荷重(自重その他の長期的荷重に限る)により生じるモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
M_b	管の機械的荷重(地震を含めた短期的荷重)により生じるモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
C_h	水平方向設計震度 ($C_h=0.389$)	-
Z	管の断面係数	mm^3
w	配管の単位当たりの質量	kg/mm
g	重力加速度 ($g=9.80665$)	m/s^2
L_0	最大支持点間距離	mm

地震時に生じる応力計算に用いる値を以下に示す。

呼び径	管外径 D ₀ [mm]	肉厚 t [mm]	最高使用 圧力 P[MPa]	単位長さ 当たりの質量* ¹ w[kg/mm]	断面係数* ² Z[mm ³]	応力係数* ³ i
25A	34.0	3.4	0.15	2.60×10 ⁻³	2.27×10 ³	2.1

*1：配管内ガス（アルゴン 1.784kg/m³(ntp)）質量含む

*2：機械工学便覧 基礎編 α3材料力学 第3章 表3・2

*3：研究開発段階発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈
別紙1 ナトリウム冷却型高速炉に関する構造等の技術基準
第57条第2項第三号に定める最大値

7. 計算結果

呼び径	材質	管外径 D ₀ [mm]	肉厚 t [mm]	最大支持点間距離 L ₀ [mm]	一次応力 S ₀ [N/mm ²]	許容応力* ¹ 1.2S[N/mm ²]
25A	SUS304TP	34.0	3.4	2049	13.23	164.4

*1：「原子力発電所耐震設計技術指針」2.2.3 第4種管の許容応力

S:発電用原子力設備規格 材料規格 Part3 第1章 表3 鉄鋼材料（ボルト材を除く。）
の各温度における許容引張応力

8. 評価

一部改造する1次アルゴンガス系配管は、全て上記最大支持点間距離以内の間隔で支持することから、地震時に生じる応力は上記の値を上回ることなく、許容応力に対して十分な余裕を有する。