

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-20-0700-12_改2
提出年月日	2021年10月12日

補足-700-12 重大事故等クラス2管のうち、伸縮継手の  
全伸縮量算出について

2021年10月

東北電力株式会社

## 1. 概要

重大事故等クラス2管の強度評価における伸縮継手の全伸縮量について、計算過程を以下に示す。なお、本資料では添付資料「VI-3-3-6-2-8-1-2-1 管の基本板厚計算書(非常用ガス処理系)」の伸縮継手 No. E5 を例として示す。

## 2. 全伸縮量の算出方法

### (1) 変位量

伸縮継手の全伸縮量算出条件として、添付資料「VI-3-3-6-2-8-1-2-2 管の応力計算書(非常用ガス処理系)」に示す配管系の解析により算出される変位量を表1に示す。

表1 変位量[mm]

荷重条件	軸方向 変位量 X	軸直角方向 変位量 Y	軸直角方向 変位量 Z
熱+地震	43.15	6.35	1.51

### (2) 軸方向変位量

$$X=43.15 \text{ [mm]}$$

### (3) 軸直角方向変位を軸方向変位に換算した変位量

軸直角方向に変位することにより、軸方向に伸縮が発生することから、軸直角方向変位を軸方向変位に換算する必要がある。以下の式を用いて、軸直角方向の変位量を軸方向の変位量に換算し、全伸縮量を算出する。

$$\text{換算式: } \frac{3 \cdot d_p \cdot \sqrt{Y^2 + Z^2}}{L} = \text{[mm]}$$

$$d_p \quad : \text{伸縮継手の平均直径} \quad \text{[mm]}$$

$$Y \quad : Y \text{ 方向変位量} \quad 6.35 \text{ [mm]}$$

$$Z \quad : Z \text{ 方向変位量} \quad 1.51 \text{ [mm]}$$

$$L \quad : \text{伸縮継手の全長} \quad \text{[mm]}$$

### (4) 全伸縮量

$$\text{全伸縮量: } 43.15 \text{ [mm]} + \text{[mm]} = \text{[mm]}$$

## 3. 参考資料

別紙1 全伸縮量の導出の妥当性について

別紙2 伸縮継手の全伸縮量の算出過程について

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 全伸縮量の導出の妥当性について

設計・建設規格 PPC-3416 に規定される伸縮継手の評価式において、継手部応力  $\sigma$  の計算に用いる全伸縮量  $\delta$  の明確な定義は記載されていない<sup>(\*1)</sup>。一方、同規格において PPC-3416 と同様の規定である PVE-3800 の解説(解説 PVE-3800)より、PPC-3416 は米国 Kellogg 社の図書(Design of Piping Systems のうちエキスパンションジョイントの設計より)に記載されている計算式を採用したものであることが分かる<sup>(\*2)</sup>。Kellogg の計算式において全伸縮量  $\Delta$  は下記の通り明確に定義されている<sup>(\*3)</sup>。

$\Delta$  = total movement range, extension and compression, plus equivalent axial movement

伸縮継手の疲労評価における応力計算式は“内圧による発生応力” + “伸縮継手の伸縮による発生応力”で与えられている。ここで、式(解説 PVE-19.14)の記号の説明において  $\delta$  は軸方向変位と定義されていることから<sup>(\*2)</sup>、伸縮継手の伸縮による発生応力は軸方向変位量により発生する応力として計算式が与えられていると解釈される。しかしながら、実際の伸縮継手は軸方向だけではなく軸直角方向にも変位しており、軸直角変位による曲げ応力が発生している。すなわち、軸方向変位量のみでは実際の発生応力を表すことは出来ず、軸直角変位量を軸方向に換算した等価軸方向変位量(応力の観点で換算した等価な軸方向変位量)を軸方向変位量に加算したものを全伸縮量  $\delta$  とし、応力計算をすることが妥当であると考ええる。Kellogg の計算式における全伸縮量の定義も上記と同様の考え方によるものと推定される。

以上より、Kellogg の計算式を基にした PPC-3416 の評価においても、下記で定義する全伸縮量を用いて評価を実施する事が妥当であると考ええる。

“全伸縮量”=“軸方向変位量”+“等価軸方向変位量(軸直角方向変位量の軸方向換算値)”

なお、J I S B 2 3 5 2 「ベローズ形伸縮継手」の JB. 3.5 には Kellogg の計算式を用いた評価が規定されており、JB. 3.5 の評価に使用するベローズの 1 山当たりの全動き量  $e$  (ベローズ 1 山当たりの全伸縮量に相当)は下記にて定義されている。

ベローズの 1 山当たりの全動き量： $e = \text{Max.} [ |e_e|, |e_c| ]$

伸び側 1 山当たりの動き量： $e_e = e_x + e_y + e_\theta$

縮み側 1 山当たりの動き量： $e_c = e_x - e_y - e_\theta$

全軸方向変位によるベローズの 1 山当たりの動き量： $e_x$

全軸直角方向変位によるベローズの 1 山当たりの動き量： $e_y$

全軸曲げ変位によるベローズの 1 山当たりの動き量： $e_\theta$

ここで、 $e_y$  は軸直角方向変位量を軸方向に換算した等価変位量を表す。すなわち、軸曲げ変位が生じない場合において、J I S B 2352でも“軸方向変位量” + “等価軸方向変位量(軸直角方向変位量の軸方向換算値)”を用いて評価することがわかる。

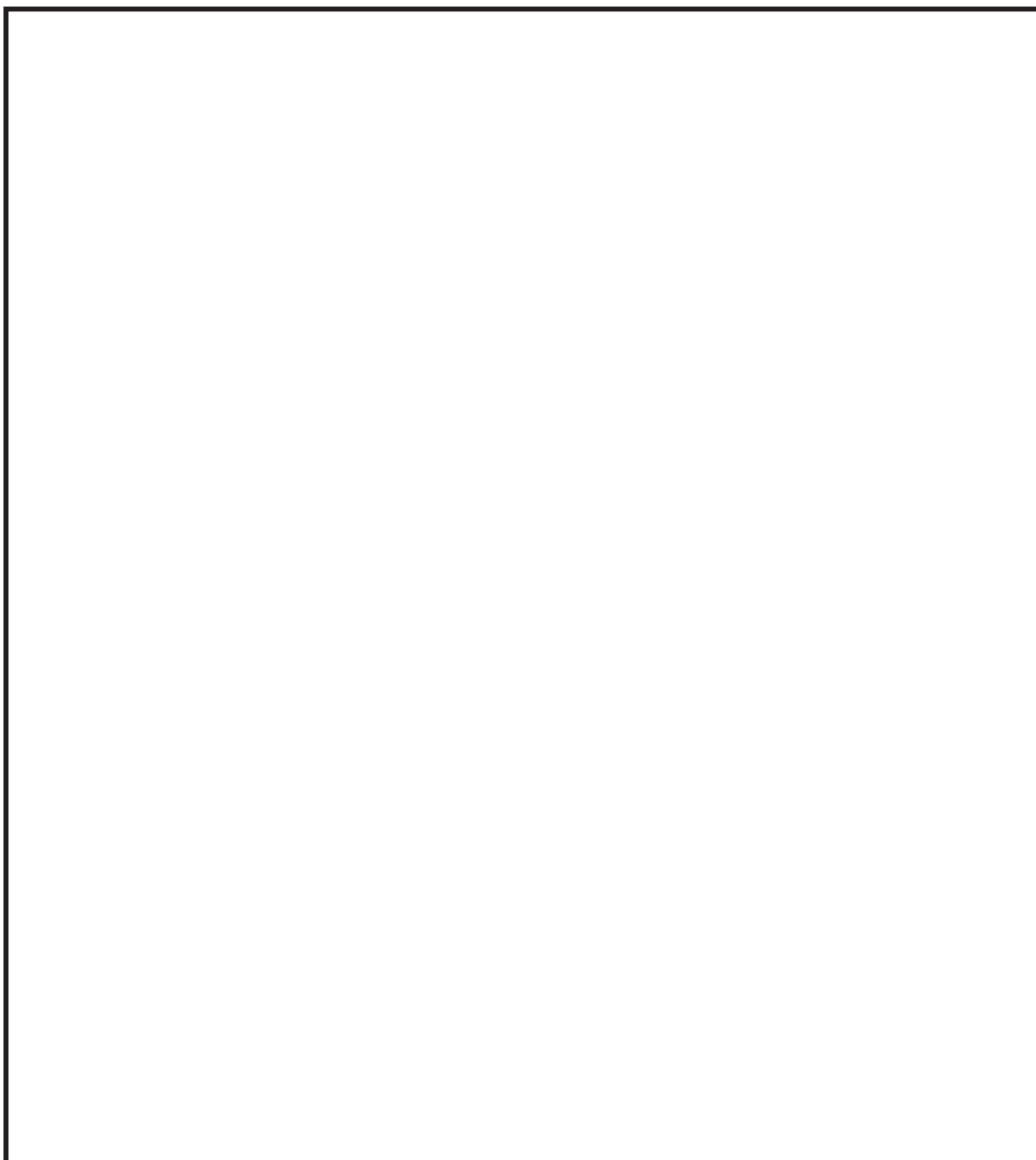
なお、等価軸方向変位量は Kellogg 及び J I S において表 1 の式で与えられている。J I S の換算式は E J M A 規格 (Standard of the Expansion Joint Manufacturers Association, Inc.) を出典としており、J I S / E J M A の換算式は分母で軸方向変位量を加味している点で Kellogg 社の換算式と相違するが、設計・建設規格 PVE-3800 において Kellogg 社の換算式を採用していること及び Kellogg 社の換算式がより保守的であることから工認計算及び設計上は Kellogg 社の換算式を採用している。これら等価軸方向変位量は、はりの軸直角方向変位による曲げ応力から換算される等価な軸方向の変位量として導出される。

表 1 等価軸方向変位量(軸直角方向変位量の軸方向変位量への換算式)

Kellogg 社の換算式	J I S / E J M A の換算式
$\Delta = 3 \cdot D \cdot h_r / L$ <p><math>\Delta</math> : 全軸直角方向変位による 軸方向変位量 (mm)</p> <p><math>D</math> : ベローズの平均径 (mm)</p> <p><math>h_r</math> : 全軸直角方向変位量 (mm)</p> <p><math>L</math> : ベローズの全長 (mm)</p>	$e_y = \frac{3 \cdot D_m \cdot y_{(n,0)}}{N \cdot (L_b + x_{(e,c)})}$ <p><math>e_y</math> : 全軸直角方向変位による ベローズの毎山動き量 (mm)</p> <p><math>D_m</math> : ベローズの平均径 (mm)</p> <p><math>y_{(n,0)}</math> : 全軸直角方向変位量 (mm)</p> <p><math>N</math> : ベローズの山数</p> <p><math>L_b</math> : ベローズ 1 つ当たりの有効長さ (mm)</p> <p><math>x_{(e,c)}</math> : 全軸方向変位量 (mm)</p>

[添付資料]

(\*1) JSME 設計・建設規格 2005/2007 年追補版 PPC-3416(抜粋)



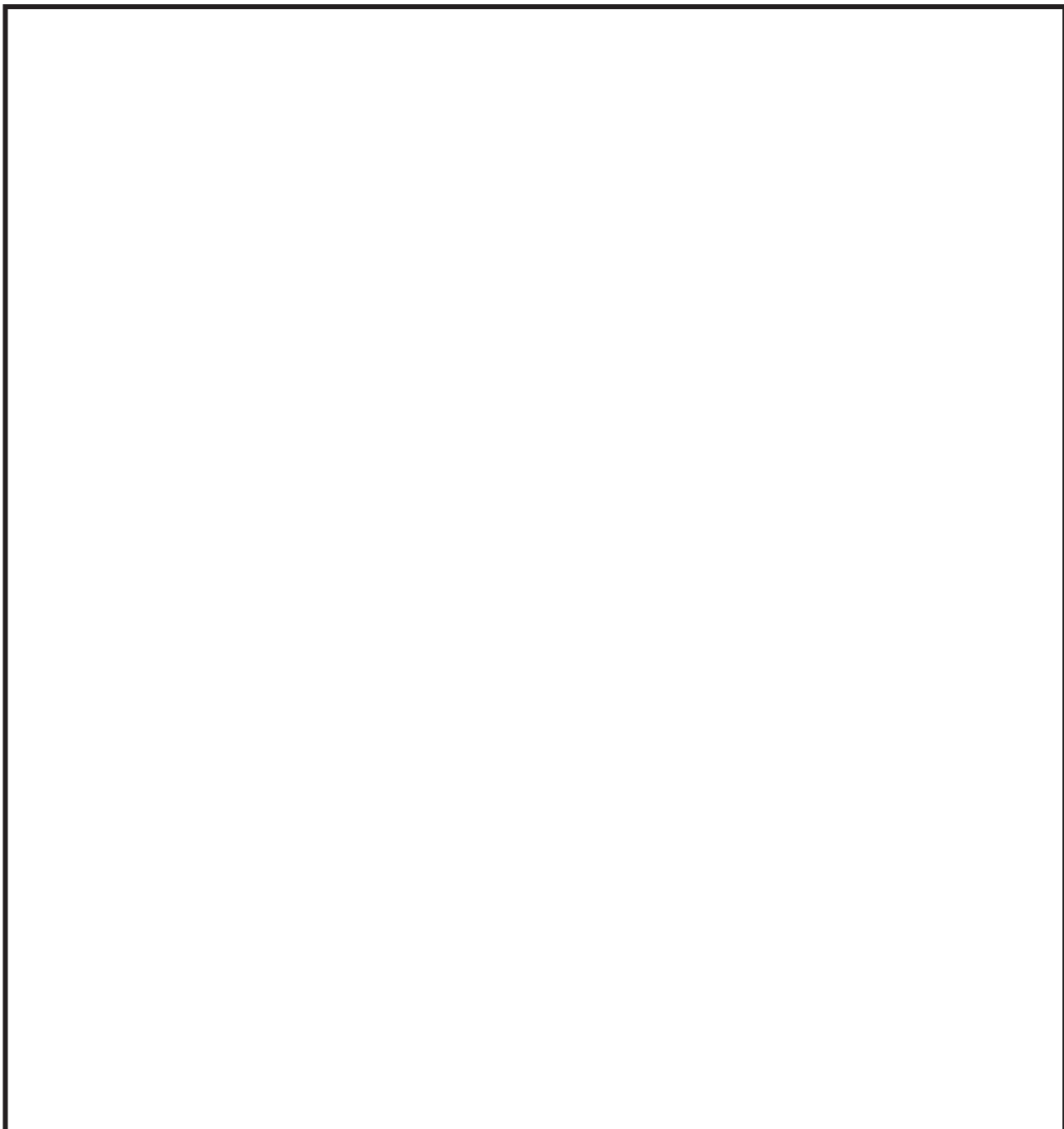
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(\*2) JSME 設計・建設規格 2005/2007 年追補版 解説 PVE-3800 (抜粋)



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(\*3) Design of Piping Systems Chapter 7(抜粋)



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 伸縮継手の全伸縮量の算出過程について

伸縮継手の評価においては、伸縮継手軸方向に作用する全伸縮量から許容繰返し回数を計算し、地震による等価繰返し回数及びサーマルサイクルにより設定する実際の繰返し回数との比較評価を実施する。全伸縮量の算出においては、次のことを考慮する。

- ・全伸縮量は伸縮継手の「軸方向変位」と「軸直角変位から生じる軸方向相当変位（等価軸方向変位量）」を足し合わせて求める。
- ・伸縮継手の軸方向変位は配管解析における変位量の X 方向成分（最大成分）とし、軸直角変位は Y 方向成分及び Z 方向成分の合成値とすることで保守的な評価とする。
- ・本評価にて考慮する地震力は基準地震動  $S_s$  評価と弾性設計用地震動  $S_d$  評価を比較し、保守的な評価となる基準地震動  $S_s$  による地震力を適用する。

一例として、伸縮継手 No. E5 における全伸縮量の算出過程を以下(1)～(4)に示す。

- (1) 伸縮継手が接続する非常用ガス処理系フィルタ装置の変位量(図 1 における No. 18 の変位量)を配管解析結果から設定する。ここで、伸縮継手は運転時の熱変位及び地震による変位を吸収することを目的としているため、通常運転時の熱変位量及び地震による変位量を使用する。熱による変位量と地震による変位量の内訳を表 1 に示す。

非常用ガス処理系フィルタ装置の X 方向変位量 :  $dX_{\text{非常用ガス処理系フィルタ装置}} = 43.15$  [mm]

非常用ガス処理系フィルタ装置の Y 方向変位量 :  $dY_{\text{非常用ガス処理系フィルタ装置}} = 6.35$  [mm]

非常用ガス処理系フィルタ装置の Z 方向変位量 :  $dZ_{\text{非常用ガス処理系フィルタ装置}} = 1.51$  [mm]

表 1 非常用ガス処理系フィルタ装置の変位量内訳 [mm]

	熱による変位量	地震による変位量	熱+地震による変位量
X 方向変位量			43.15
Y 方向変位量			6.35
Z 方向変位量			1.51

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



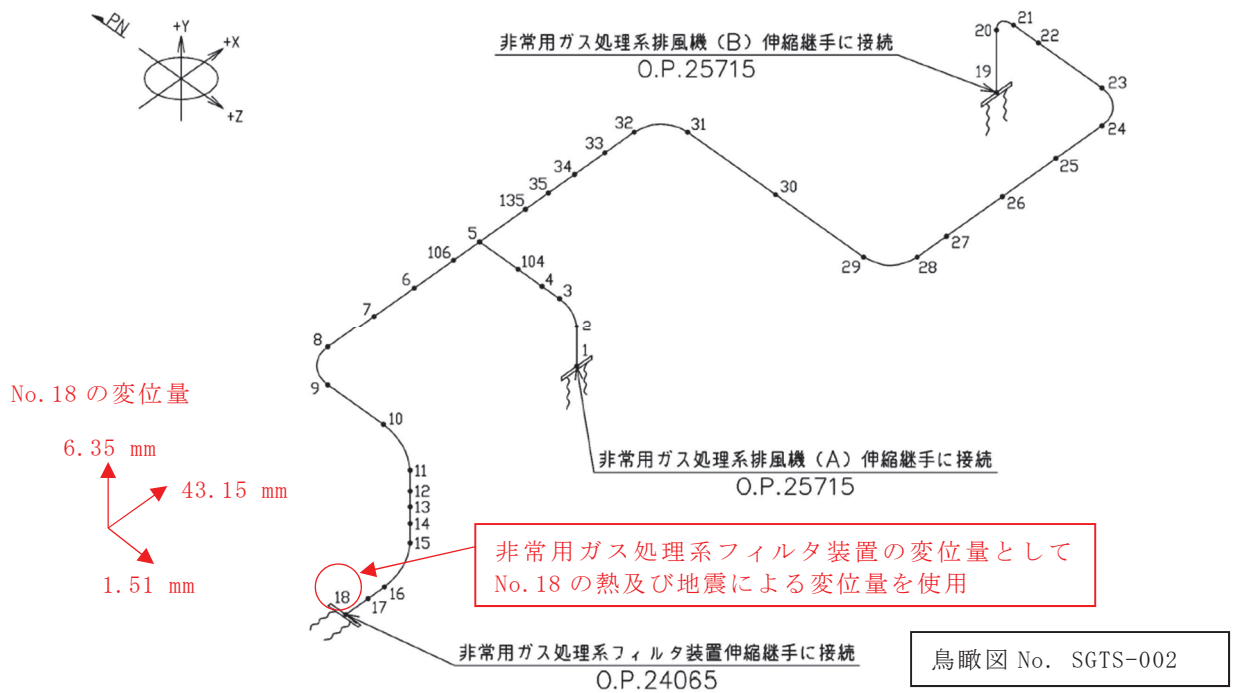


図 1 No. E5 の伸縮継手と取合う非常用ガス処理系フィルタ装置廻りの配管モデル図

- (2) 非常用ガス処理系フィルタ装置の熱変位量及び地震による変位量を伸縮継手の下流側（非常用ガス処理系フィルタ装置側）端点の変位量と見なして，伸縮継手の軸方向変位と軸直角方向変位を計算する。ここで，上流側（非常用ガス処理系主配管側）端点と下流側（非常用ガス処理系フィルタ装置側）端点の変位量で XYZ 成分の符号は概ね同じ方向であるため，全伸縮量がより大きく保守的になるよう，上流側（非常用ガス処理系主配管側）端点は固定と見なす。また，XYZ 成分のうち，絶対値が最も大きな X 方向を軸方向と見なすことで全伸縮量がより大きく保守的になるよう考慮する。

軸方向変位 :  $X = dX_{\text{非常用ガス処理系フィルタ装置}} = 43.15 \text{ [mm]}$

軸直角方向変位 (Y 方向) :  $Y = dY_{\text{非常用ガス処理系フィルタ装置}} = 6.35 \text{ [mm]}$

軸直角方向変位 (Z 方向) :  $Z = dZ_{\text{非常用ガス処理系フィルタ装置}} = 1.51 \text{ [mm]}$

- (3) 「軸方向変位量」と「等価軸方向変位量」を計算する。ここで、等価軸方向変位量は軸直角変位量を応力の観点で換算した等価な軸方向変位量を表し、Kellogg 社の換算式により求める。なお、いずれの変位量も絶対値で表し、保守的な評価とする。

$$\text{軸方向変位量} : \delta_x = |X| = 43.15 [\text{mm}]$$

$$\text{等価軸方向変位量} : \delta_{yz} = \frac{3d_p|YZ|}{L} = \frac{3 \times \boxed{\phantom{00}} \times \sqrt{6.35^2 + 1.51^2}}{\boxed{\phantom{00}}} = \boxed{\phantom{00}} [\text{mm}]$$

$$d_p : \text{伸縮継手の平均直径} [\text{mm}] \text{ (No. E5 の場合 } d_p = \boxed{\phantom{00}} [\text{mm}])$$

$$L : \text{伸縮継手の全長} [\text{mm}] \text{ (No. E5 の場合 } L = \boxed{\phantom{00}} [\text{mm}])$$

$$|YZ| : \text{全軸直角方向変位量} [\text{mm}]$$

- (4) 軸方向変位量と等価軸方向変位量の和より全伸縮量を求める。

$$\text{全伸縮量} : \delta = \delta_x + \delta_{yz} = 43.15 + \boxed{\phantom{00}} = \boxed{\phantom{00}} [\text{mm}]$$

- (5) 同一仕様の伸縮継手 ( $d_p$  と  $L$  が同じ伸縮継手) が複数ある場合は、上記と同様の方法により全伸縮量を求め、全伸縮量が最も大きなものを代表として許容繰返し回数を計算し、実際の繰返し回数との比較評価を実施する。なお、実際の繰返し回数は地震による等価繰返し回数及びサーマルサイクルから設定される合計の繰返し回数に安全余裕を考慮し決定しており、その内訳を表 2 に示す。

表 2 実際の繰返し回数の内訳

運転条件	回数
地震 (基準地震動 $S_s$ )	340
運転モード (PCV パージモード)	40
運転モード (系統試験モード)	480
タービントリップ及びその他のスクラム	180
給水ポンプ停止	10
合計	1050
安全余裕を考慮した繰返し回数	1500

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。