

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-028-10-65 改3
提出年月日	2020年9月3日

格納容器圧力逃がし装置主配管の地震相対変位に対する考慮について

2020年9月

東京電力ホールディングス株式会社

格納容器圧力逃がし装置主配管の地震相対変位に対する考慮について

1. はじめに

格納容器圧力逃がし装置のうち、原子炉建屋とフィルタベント遮蔽壁間に敷設されているベント配管（フィルタ装置入口側、フィルタ装置出口側）及び排水配管については、建屋間の相対変位を吸収する目的で一般産業品として使用実績のある3連ペローズタイプの伸縮継手を設置している。

本資料では、格納容器圧力逃がし装置に使用する伸縮継手が地震相対変位を吸収可能であることを説明するものである。伸縮継手の設置箇所を図1-1に示す。

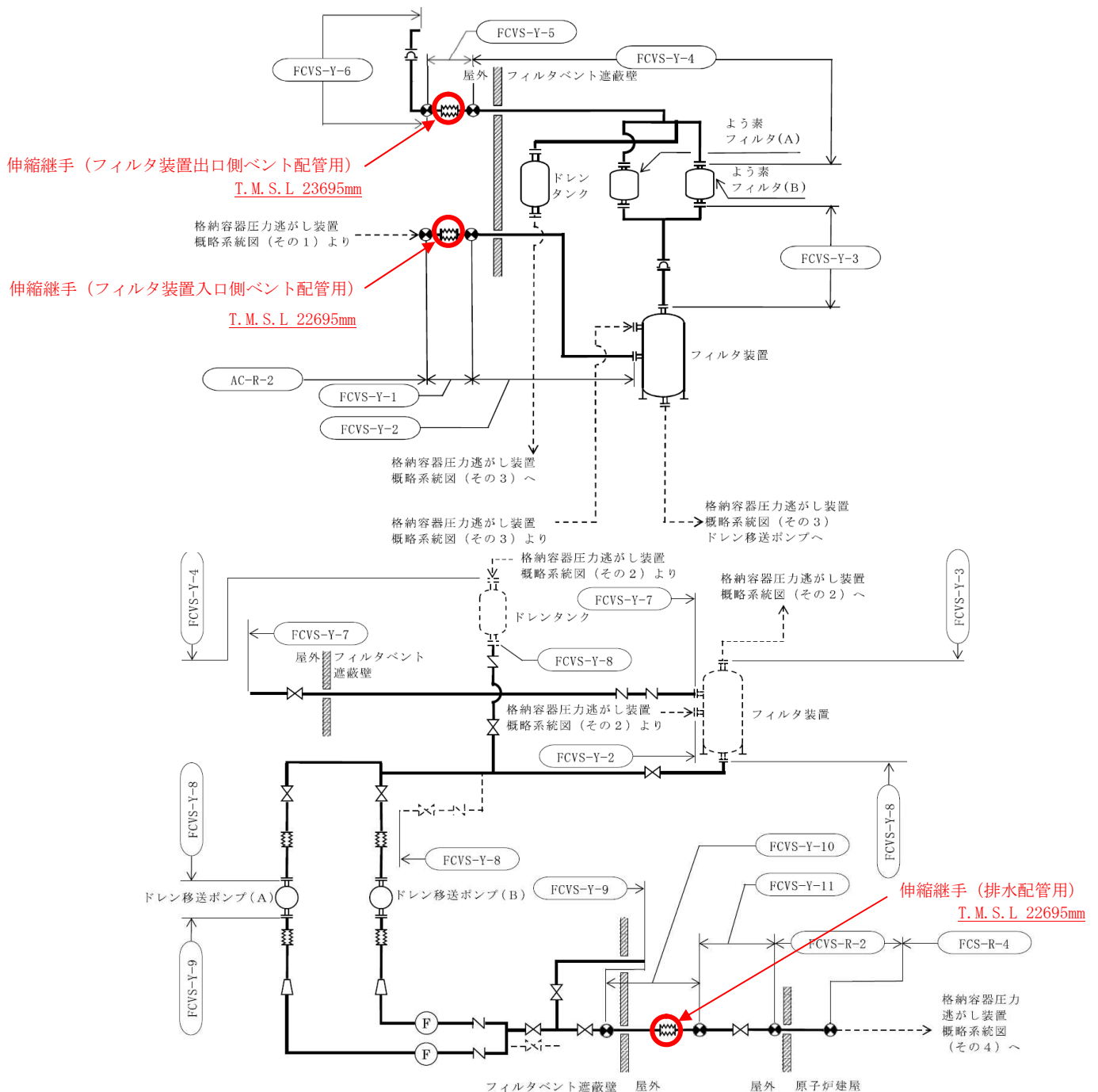


図1-1 格納容器圧力逃がし装置概略系統図（抜粋）

2. 伸縮継手の構造

伸縮継手（3連ベローズ）の構造図と各方向の伸縮量を図 2-1、ジンバルベローズ及びアキシャルベローズの構造、動作イメージを図 2-2、図 2-3 に示す。

格納容器圧力逃がし装置で使用する伸縮継手は、軸方向及び軸直角方向の地震相対変位を吸収する必要があり、これを1個の伸縮継手で実現可能な3連ベローズを採用することにより、地震相対変位を吸収するものである。3連ベローズは3個のベローズをもち、両端のジンバルベローズで軸直角方向の変位を吸収し、中央のアキシャルベローズで軸方向の変位を吸収することにより、多平面の変位を吸収できる構造となっている。

なお、伸縮継手（フィルタ装置出口側ベント配管用）の設置位置（T.M.S.L. 23695mm）における原子炉建屋の基準地震動 S_s による最大応答変位（NS 方向：51.8mm）と、液状化を考慮した場合のフィルタベント遮蔽壁の基準地震動 S_s による最大応答変位（EW 方向：108.0mm）を保守的に絶対値和した場合の相対変位は 159.8mm となるが、格納容器圧力逃がし装置の伸縮継手は、軸方向及び軸直角方向に ± 300 mm 変位可能な設計であることから、基準地震動 S_s による相対変位を十分に吸収可能である。

各建屋の基準地震動 S_s による最大応答変位を表 2-1 に示す。

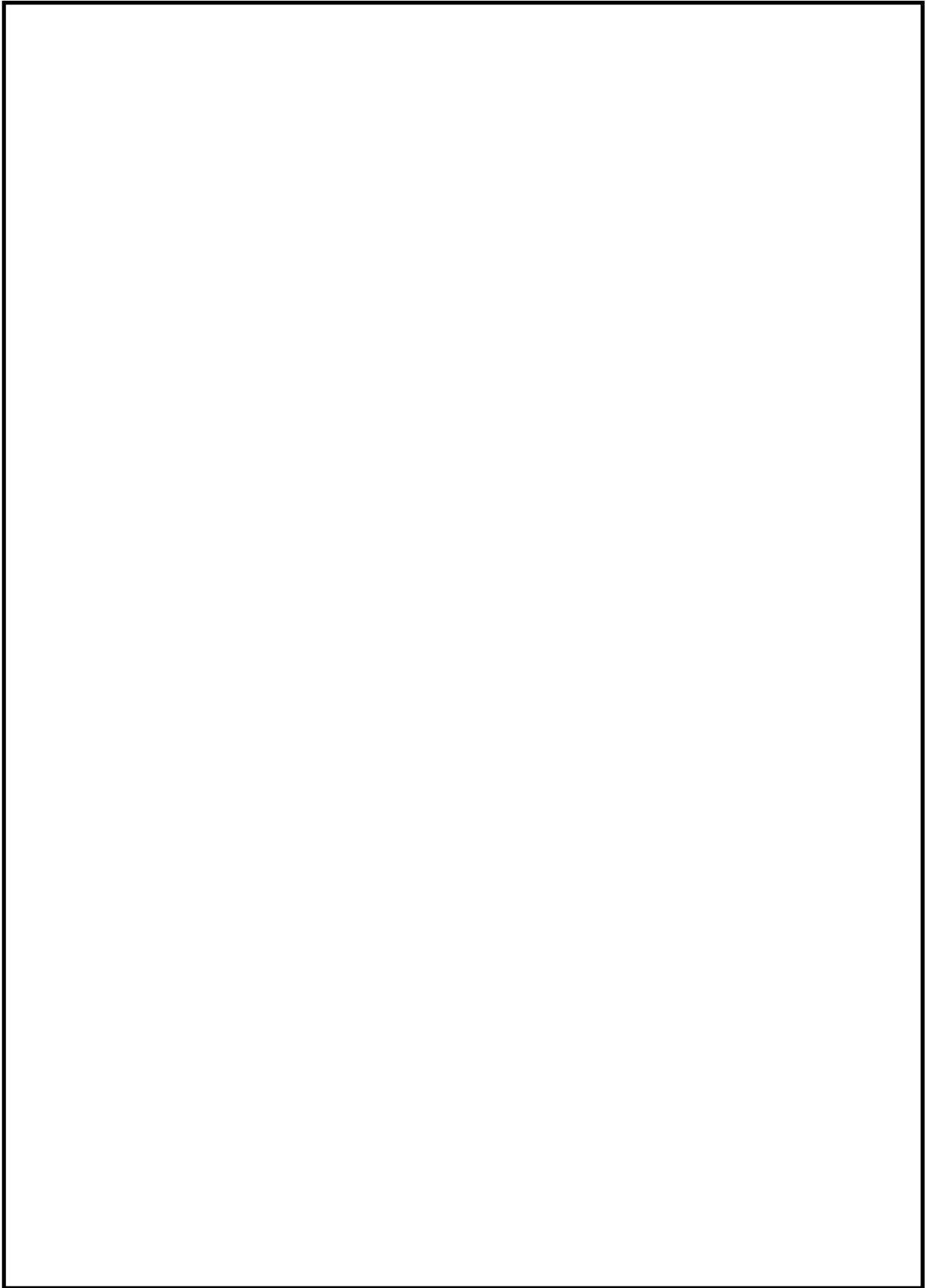


図 2-1 伸縮継手 (3 連ベローズ) 構造図

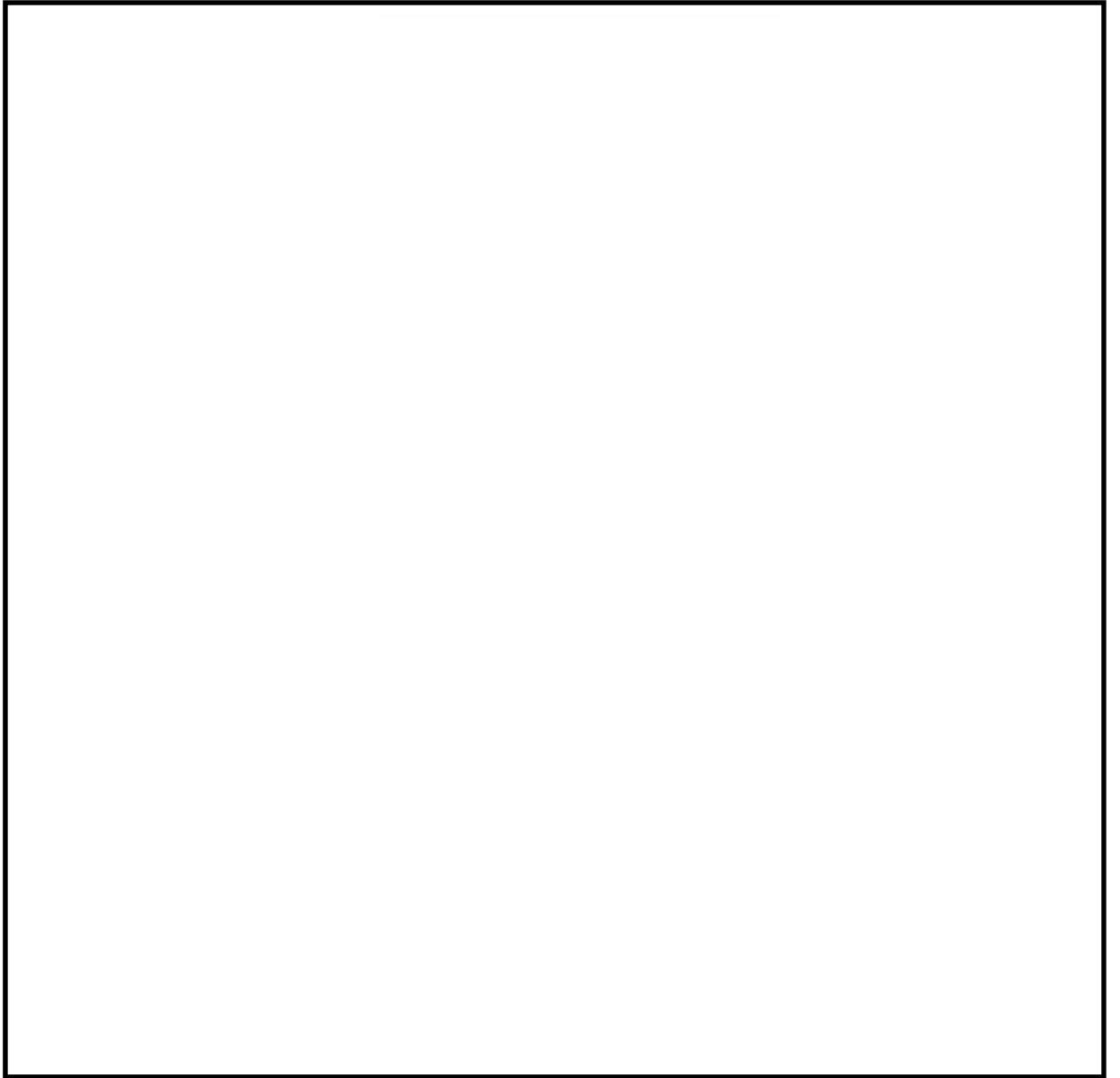


図 2-2 ジンバルベローズ（単式）の構造，動作イメージ

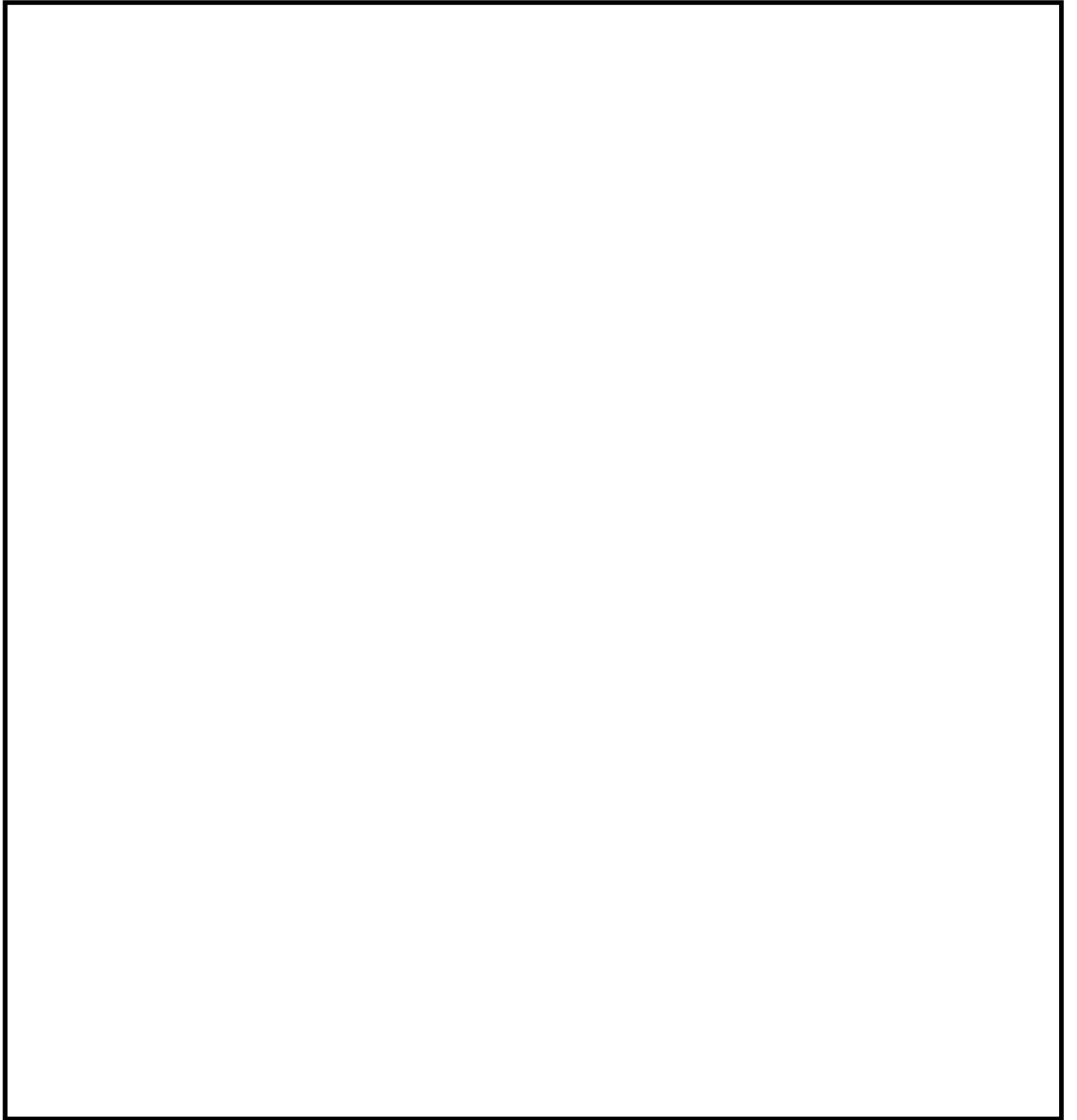


図 2-3 アキシャルベローズの構造, 動作イメージ

表 2-1 基準地震動 S_s による最大応答変位

(a) 原子炉建屋

T. M. S. L. [mm]	最大応答変位 [mm]	
	NS 方向	EW 方向
49700	79.2 ^{*1}	73.6 ^{*2}
38200	67.3 ^{*1}	61.9 ^{*2}
31700	60.4 ^{*1}	55.3 ^{*2}
23695	51.8 ^{*3}	46.8 ^{*3}
23500	51.5 ^{*1}	46.5 ^{*2}
18100	44.7 ^{*1}	40.4 ^{*2}
12300	37.3 ^{*1}	34.2 ^{*2}
4800	27.4 ^{*1}	25.2 ^{*2}
-1700	18.3 ^{*1}	18.0 ^{*2}
-8200	11.8 ^{*1}	11.7 ^{*2}

注記*1：原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料 別紙3 地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討 表3-2 最大応答変位一覧表（基準地震動 S_s, NS 方向）(1/4) より引用した値。

注記*2：原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料 別紙3 地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討 表3-6 最大応答変位一覧表（基準地震動 S_s, EW 方向）(1/4) より引用した値。

注記*3：T. M. S. L. 31700mm と T. M. S. L. 23500mm の最大応答変位から高さ方向で線形補間して算出した値。

(b) フィルタベント遮蔽壁（液状化を考慮した場合）

T. M. S. L. [mm]	最大応答変位 [mm]	
	NS 方向	EW 方向
26300	103 ^{*4}	111 ^{*5}
23695	101 ^{*6}	108 ^{*6}
12000	88.5 ^{*4}	94.8 ^{*5}

注記*4：格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書に関する補足説明資料 別紙4 地盤の液状化を考慮した地震応答解析結果 図4-23 最大応答変位（基準地震動 S_s, NS 方向）より引用した値。

注記*5：格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書に関する補足説明資料 別紙4 地盤の液状化を考慮した地震応答解析結果 図4-27 最大応答変位（基準地震動 S_s, EW 方向）より引用した値。

注記*6：T. M. S. L. 26300mm と T. M. S. L. 12000mm の最大応答変位から高さ方向で線形補間して算出した値。

3. 地震相対変位についての評価

地震相対変位による疲労評価結果を表 3-1 に示す。なお、評価方法は設計・建設規格 PPC-3416 を準用した。

評価の結果、実際の繰返し回数 (N_r) と許容繰返し回数 (N) の比 ($U = N_r / N$) は 1 以下であり、伸縮継手の強度は十分であることを確認した。

なお、伸縮継手の地震慣性力による影響は、配管側については V-2-9-4-7-1-2 「管の耐震性についての計算書」において、解析モデルに伸縮継手の質量を付加質量として考慮した上で評価しており、十分な構造強度を有していることを確認している。また、伸縮継手側については地震慣性力によるベローズの伸縮量は地震相対変位に比べて微小であることから、地震慣性力を考慮しても伸縮継手の疲労評価に影響はないと考える。

表 3-1 伸縮継手の疲労評価結果

伸縮継手	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用温度 (°C)	材料	縦弾性係数 E (MPa)	t (mm)	全伸縮量 δ (mm)	b (mm)	h (mm)	n	c	算式	継手部応力 σ (MPa)	N $\times 10^3$	$N_r \times 10^3$	U
フィルタ装置 入口側ベント 配管用	0.62	200	SUS316	183000	2.00	3.66 ^{*1}	25.00	50.00	8	1	B	158	2843.5	0.2	0.0001
	0.62	200	SUS316	183000	1.20	170.60 ^{*2}	25.00	55.00	30	2	B	933	5.7	0.2	0.0352
フィルタ装置 出口側ベント 配管用	0.25	200	SUS316	183000	2.00	4.39 ^{*1}	25.00	50.00	8	1	B	177	1910.9	0.2	0.0001
	0.25	200	SUS316	183000	1.20	170.60 ^{*2}	25.00	55.00	30	2	B	925	5.9	0.2	0.0342
排水配管用	1.00	150	SUS316L	186000	0.60	1.99 ^{*1}	8.50	18.00	10	2	B	165	2443.2	0.2	0.0001
	1.00	150	SUS316L	186000	0.60	170.60 ^{*2}	8.50	18.00	132	3	B	982	4.8	0.2	0.0421

注記*1： 地震相対変位（水平方向：170.6mm、鉛直方向：26.4mm）*3によりジンバルベローズに生じる最大変位。

*2： 地震相対変位（水平方向：170.6mm）*3によりアキシャルベローズに生じる最大変位。

*3： V-2-9-4-7-1-2 「管の耐震性についての計算書」の構造強度評価に使用している地震相対変位。

評価： $U \leq 1$ 、よって十分である。

V-3-2-9 重大事故等クラス 2 管の強度計算方法 (抜粋)

2.8 伸縮継手の強度計算

伸縮継手の強度計算は、設計・建設規格 PPC-3416を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
b	b	継手部の波のピッチの 2 分の 1	mm
c	c	継手部の層数	—
E	E	材料の縦弾性係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表 1 による。	MPa
h	h	継手部の波の高さ	mm
N	N	許容繰返し回数	—
	N_r	実際の繰返し回数	—
n	n	継手部の波数の 2 倍の値	—
t	t	継手部の板の厚さ	mm
	U	実際の繰返し回数 (N_r) / 許容繰返し回数 (N)	—
δ	δ	全伸縮量	mm
σ	σ	継手部応力	MPa
	算 式		—
	A	調整リング無しの場合	
	B	調整リング付きの場合	

(2) 継手部の形状

継手部の形状を図2-16に示す。

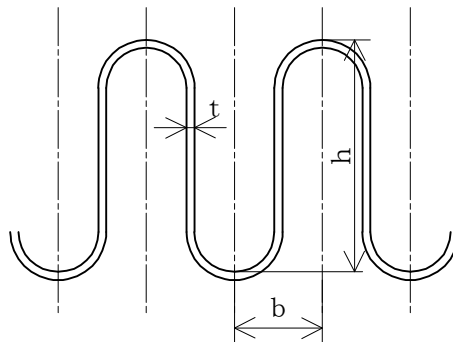


図 2-16 継手部の形状

(3) 算式

伸縮継手の許容繰返し回数は

$$N = \left(\frac{11031}{\sigma} \right)^{3.5}$$

ただし、材料がステンレス鋼及び高ニッケル合金のものに限る。

a. 調整リングが付いていない場合の継手部応力

$$\sigma = \frac{1.5 \cdot E \cdot t \cdot \delta}{n \cdot \sqrt{b \cdot h^3}} + \frac{P \cdot h^2}{2 \cdot t^2 \cdot c} \dots\dots\dots(A)$$

b. 調整リングが付いている場合の継手部応力

$$\sigma = \frac{1.5 \cdot E \cdot t \cdot \delta}{n \cdot \sqrt{b \cdot h^3}} + \frac{P \cdot h}{t \cdot c} \dots\dots\dots(B)$$

(4) 評価

実際の繰返し回数 (N_r) と許容繰返し回数 (N) の比 ($U = N_r / N$) が $U \leq 1$ であれば、伸縮継手の強度は十分である。

実際の繰返し回数が2種類以上の場合は、実際の繰返し回数と許容繰返し回数の比を加えた値 ($U = \sum_i (N_{r i} / N_i)$) が $U \leq 1$ であれば、伸縮継手の強度は十分である。

地震相対変位の全伸縮量算出方法

ジンバルベローズの全伸縮量は、ジンバルベローズに生じる角度 θ が最大となる図 1 の方向に地震相対変位（水平方向：170.6mm，鉛直方向：26.4mm）が加わる場合を考慮して算出している。

なお、ジンバルベローズは伸縮継手の両端に設置されているが、各ジンバルベローズに生じる角度 θ は同じであるため、全伸縮量 $r\theta$ は同一となる。

アキシャルベローズの全伸縮量は、軸方向に地震相対変位（水平方向：170.6mm）が加わる場合を考慮して算出している。

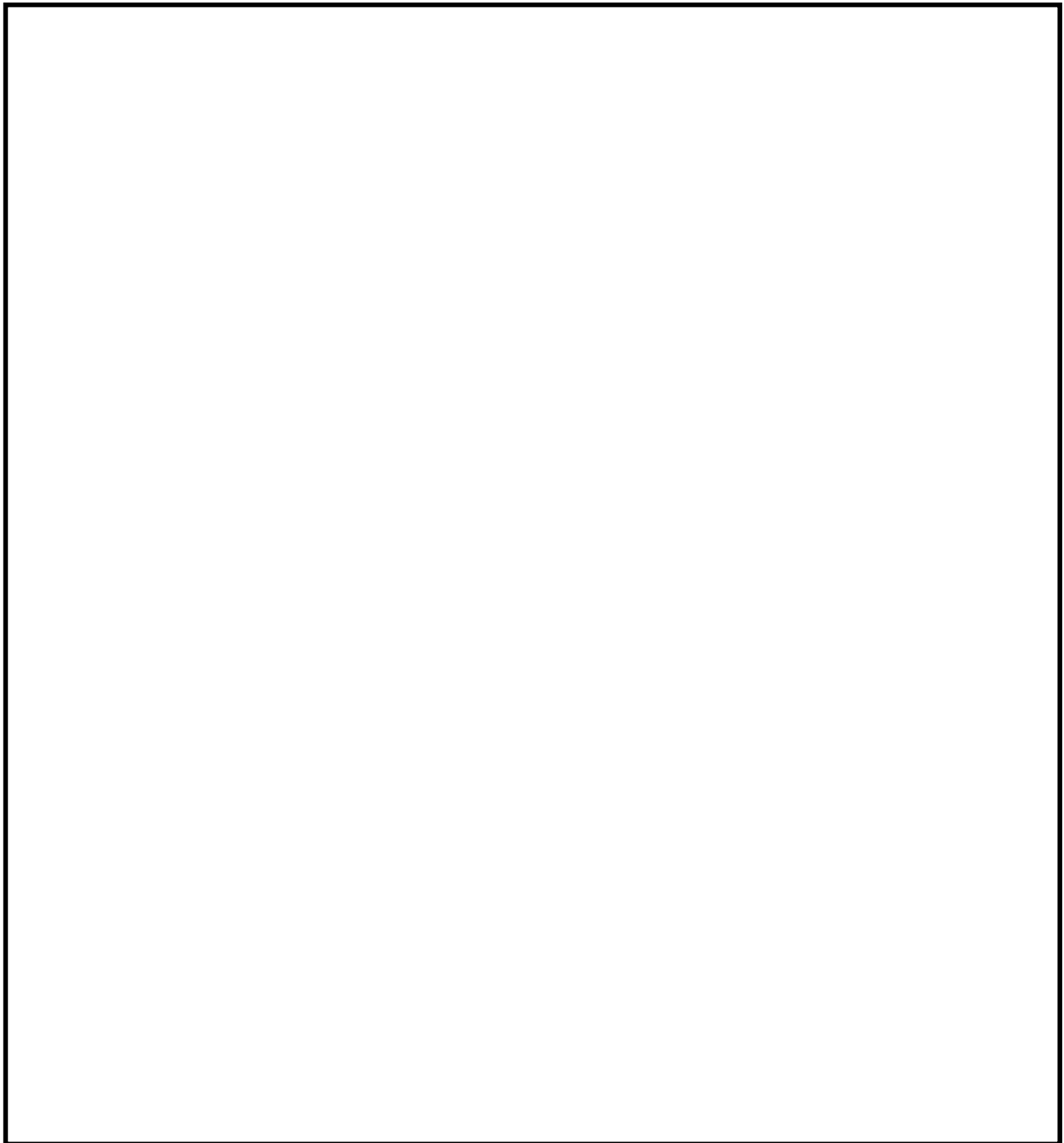


図 1 ジンバルベローズの全伸縮量の算出イメージ