

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-106改1
提出年月日	平成30年2月15日

V-2-別添 3-4 可搬型重大事故等対処設備のうちボンベ設備の
耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 配置	1
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	7
2.4 評価フロー	8
2.5 非常用窒素供給系高圧窒素ポンベ, 非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ポンベ, 中央制御室待避室空気ポンベユニットおよび第二弁操作室空気ポンベユニット	9
2.6 記号の説明	10
2.7 計算精度と数値の丸め方	12
3. 評価部位	13
4. 固有周期	14
4.1 固有値解析方法	14
4.2 解析モデル及び諸元	14
4.3 固有値解析結果	17
5. 応力評価	18
5.1 応力評価方法	18
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	18
5.3 設計用地震力	24
5.4 計算方法	25
5.5 計算条件	30
5.6 応力の評価	31
6. 評価結果	32
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	32
7. 緊急時対策所加圧設備	37
7.1 適用基準	37
7.2 記号の説明	37
7.3 計算精度と数値の丸め方	38
7.4 評価部位	39
7.5 固有周期	39
7.6 構造強度評価	39
7.7 設計用地震力	40
7.8 計算方法	40

1. 概要

本資料は、資料V-2-別添 3-1「可搬型重大事故等対処設備の耐震計算方針」（以下「別添 3-1」という。）にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、可搬型重大事故等対処設備のうちポンベ設備が、地震後において、基準地震動 S_0 による地震力に対し、十分な構造強度を有するとともに、転倒しないこと及び他設備に波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。その耐震評価は、応力評価、転倒評価及び波及的影響評価により行う。

2. 基本方針

2.1 配置

ポンベ設備は、別添 3-1 の「2.1 評価対象設備」のうち構造計画に示すとおり、原子炉建屋原子炉棟、原子炉建屋付属棟及び緊急時対策所建屋に保管する。これらの保管場所を図 2-1 に示す。

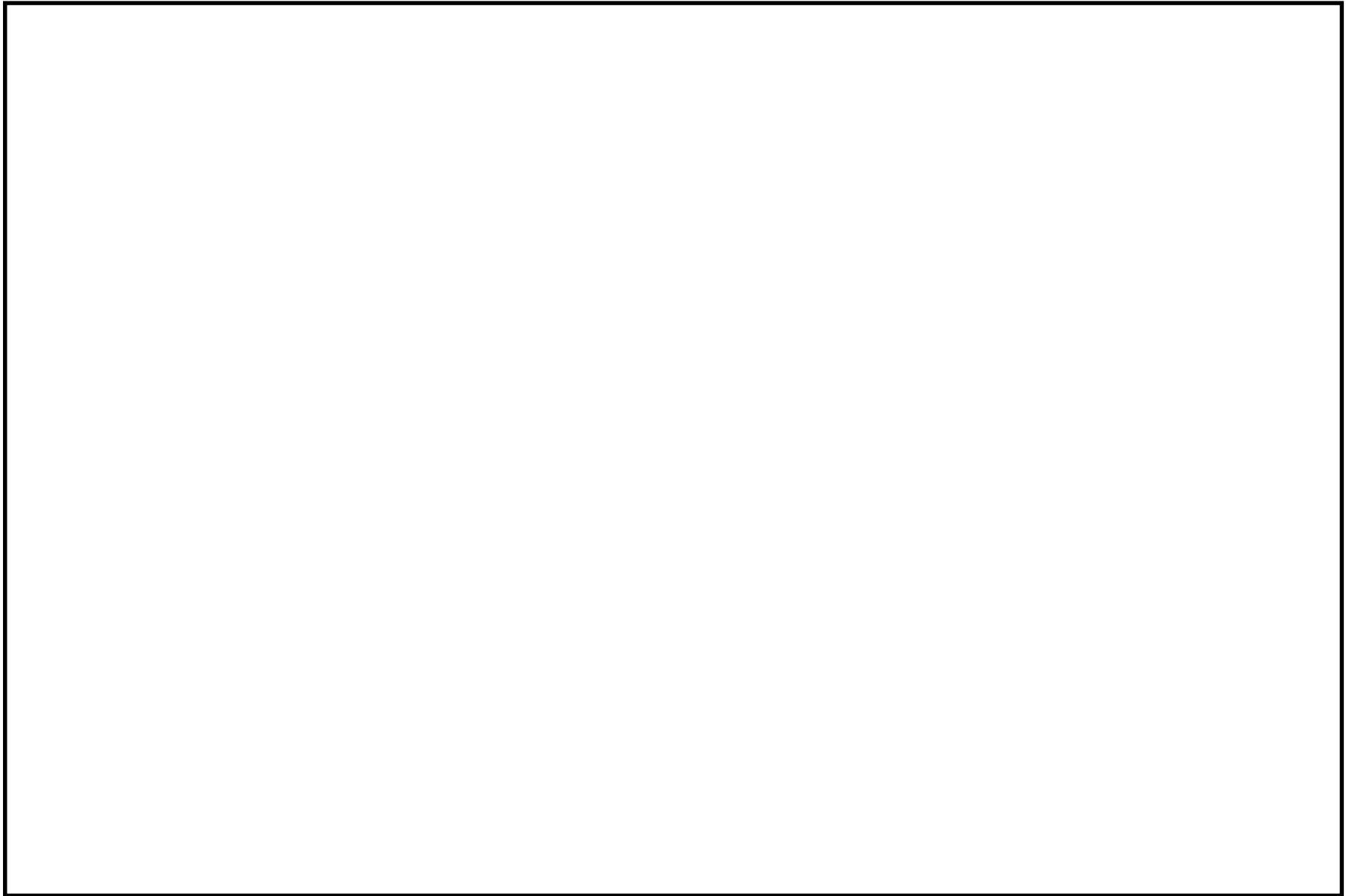


図 2-1 ポンベ設備の保管場所位置図

2.2 構造概要

ポンベ設備の構造は、別添 3-1 の「2.1 評価対象設備」に示す構造計画としており、ポンベ設備の構造計画を表 2-1 に、ポンベ設備の構造図を表 2-2 から表 2-4 に示す。

表2-1 ポンベ設備の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
非常用窒素供給系 A系高压窒素ポンベ 非常用逃がし安全弁 駆動系B系高压窒素 ポンベ 中央制御室待避室 空気ボンベユニット 第二弁操作室空気ボ ンベユニット	ポンベ設備は、ボ ンベ（窒素ポンベ及 び空気ポンベ）及び ポンベ架台等により 構成する。	ポンベは容器として十分な強度 を有する構造とし、固定ボルトに よりポンベ架台に固定し、ポンベ 架台は床のアンカープレートに溶 接し据え付ける。	表2-2
中央制御室待避室 空気ボンベユニット 第二弁操作室空気ボ ンベユニット	ポンベ設備は、空 気ポンベ及びポンベ 架台等により構成す る。	ポンベは容器として十分な強度 を有する構造とし、固定ボルトに よりポンベ架台に固定し、ポンベ 架台は壁のアンカープレートに据 え付ける。	表2-3
緊急時対策所 加圧設備	緊急時対策所加圧 設備は、空気ボンベ 及びポンベカードル フレーム等により構 成する。	ポンベは容器として十分な強度 を有する構造とし、固定ボルトに よりポンベカードルフレームに固 定し、ポンベ架台を床のアンカー プレートに溶接し据え付ける。	表2-4

表 2-2 構造計画

計画の概要		概略構造図（床固定）
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンベユニットは、床の埋込金物又は後打ちアンカープレートに溶接し固定する。</p>	<p>ポンベ</p>	

表 2-3 構造計画

計画の概要		概略構造図（壁固定）
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンベユニットは、壁に施工する後打ちアンカープレートに溶接し固定する。</p>	<p>ポンベ</p>	<p>ポンベ</p> <p>ポンベラック</p> <p>固定ボルト</p> <p>溶接部</p> <p>後打ちアンカープレート</p>

表 2-4 構造計画

計画の概要		概略構造図（緊急時対策所加圧設備）
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ボンベユニットは、床に施工する後打ちアンカープレートに溶接し固定する。</p>	<p>ボンベ</p>	

2.3 評価方針

ボンベ設備の評価方針を以下に示し、耐震評価フローを図2-2に示す。

2.3.1 応力評価

ボンベ設備は、別添3-1の「2.2.1 ボンベ設備」にて設定した応力評価の方針に従い、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなるアンカープレートの溶接部について実施する。

ボンベ設備の応力評価は、「5.6. 応力評価」に示す方法により、ボンベ設備の評価対象部位に作用する応力が許容限界を満足することを確認する。

2.3.2 転倒評価及び波及的影響評価

ボンベ設備は、別添3-1の「2.2.2 ボンベ設備」にて設定した転倒評価及び波及的影響評価の方針に従い評価を実施する。

ボンベ設備の転倒評価及び波及的影響評価は、基準地震動 S_s による地震力に対し、ボンベを収容するボンベ架台をアンカープレートに固定する溶接部が、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを、計算により確認することで、転倒しないこと及び転倒による他設備への波及的影響がないことを確認する。具体的には、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5. 応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

2.4 評価フロー

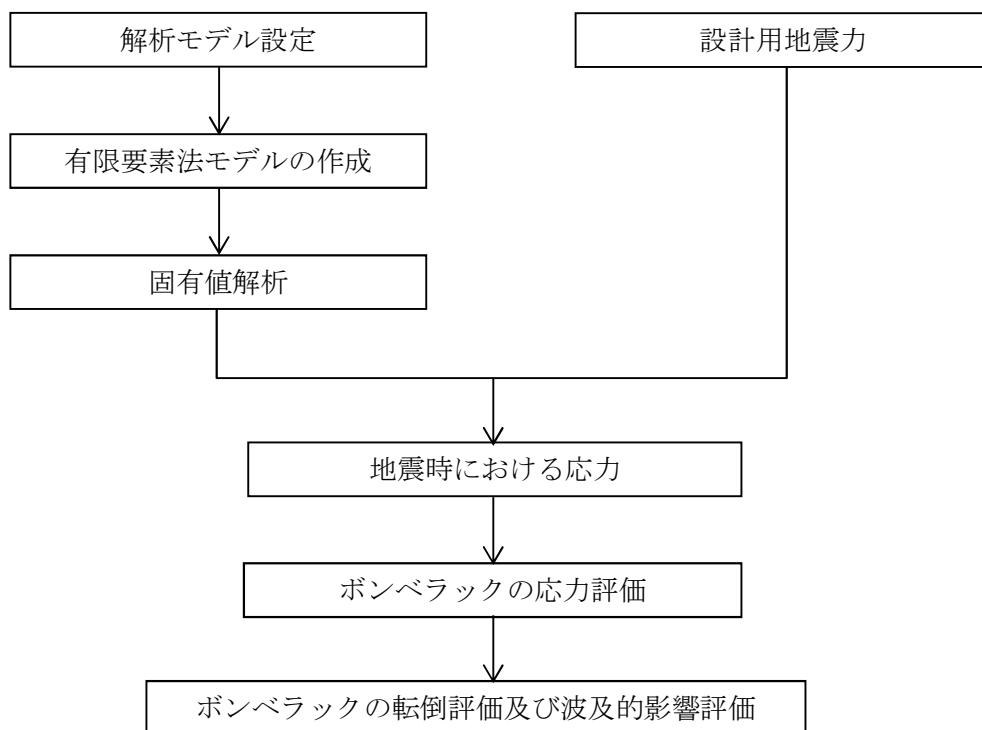


図 2-2 ボンベ設備の耐震評価フロー

2.5 非常用窒素供給系高圧窒素ポンベ，非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ポンベ，中央制御室待避室空気ポンベユニットおよび第二弁操作室空気ポンベユニット

2.5.1 適用基準

本計算書においては，原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 及び J E A G 4 6 0 1 -1987）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月及び昭和 62 年 8 月）に準拠して評価する。

2.6 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{HW}	水平方向せん断力を受ける溶接部の有効断面積（全箇所当たり）	mm^2
A_{VW}	鉛直方向せん断力を受ける溶接部の有効断面積（1箇所当たり）	mm^2
A_W	溶接部の有効断面積（1箇所当たり）（壁掛床置形）	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
F	* 設計・建設規格* SSB-3133に定める値	MPa
F_{HW}	溶接部に作用する水平方向せん断力	N
F_{VW}	溶接部に作用する鉛直方向せん断力	N
F_{W1}	取付面に対し平行方向に作用するせん断力（壁掛床置形）	N
F_{W2}	取付面に対し前後方向に作用するせん断力（水平方向転倒）（壁掛床置形）	N
F_{W3}	取付面に対し前後方向に作用するせん断力（鉛直方向転倒）（壁掛床置形）	N
F_W	取付面に対し前後方向に作用する最大せん断力（壁掛床置形）	N
f_s	せん断力を受ける溶接部の許容せん断応力	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
h	取付面から重心までの距離	mm
l_1	重心と溶接部間の水平方向距離	mm
l_2	重心と溶接部間の水平方向距離	mm
l_3	重心と下側溶接部間の距離（壁掛床置形）	mm
l_4	上側溶接部と下側溶接部中心間の距離（壁掛床置形）	mm
l_5	左側溶接部と右側溶接部中心間の距離（壁掛床置形）	mm
m	ボンベユニット質量	kg
n	溶接箇所数（壁掛床置形）	—
n_{VW}	評価上鉛直方向せん断力を受けるとして期待する溶接箇所数	—
n_{VW1}	鉛直方向地震により取付面に対し前後方向のせん断力を受けるとして期待する溶接箇所数（壁掛床置形）	—
n_{HW1}	水平方向地震により取付面に対し前後方向のせん断力を受けるとして期待する溶接箇所数（壁掛床置形）	—
S_u	設計・建設規格* 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格* 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa

記号	記号の説明	単位
τ_w	溶接部に生じる最大せん断応力	MPa
τ_{w1}	溶接部に生じる水平方向せん断応力	MPa
τ_{w2}	溶接部に生じる鉛直方向せん断応力	MPa
τ_{w3}	取付面に対し平行方向に作用するせん断応力（壁掛床置形）	MPa
τ_{w4}	取付面に対し前後方向に作用するせん断応力（壁掛床置形）	MPa

注記*：「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））J S M E S N C 1 - 2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）をいう。

2.7 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は、表2-2に示す通りとする。

表2-5 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ* ¹	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ²
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ²
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力* ³	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

ボンベ設備の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなるアンカープレートへの溶接部について実施する。ボンベ設備の耐震評価部位については、表 2-2~4 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有値解析方法

ボンベ設備の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) ボンベ設備は、「4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元シェル及びはりモデルとして考える。

4.2 解析モデル及び諸元

非常用窒素供給系高圧窒素ボンベユニットの解析モデルを図 4-1 及び図 4-2 に、機器の諸元を表 4-1 及び表 4-2 に示す。また、解析モデルの概要を以下に示す。

- (1) ボンベ設備の質量は、ボンベ及びボンベラックに密度として与える。
- (2) ボンベ設備の重心位置については、モデル形状、質量分布よりプログラムが自動計算する。
- (3) 計算機コードは、「ABAQUS」を使用し、固有値を求める。なお、評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「付録 19 計算機プログラム（解析コード）の概要・ABAQUS」に示す。
- (4) 拘束条件は、ボンベラックとアンカープレートの溶接部を完全拘束とする。

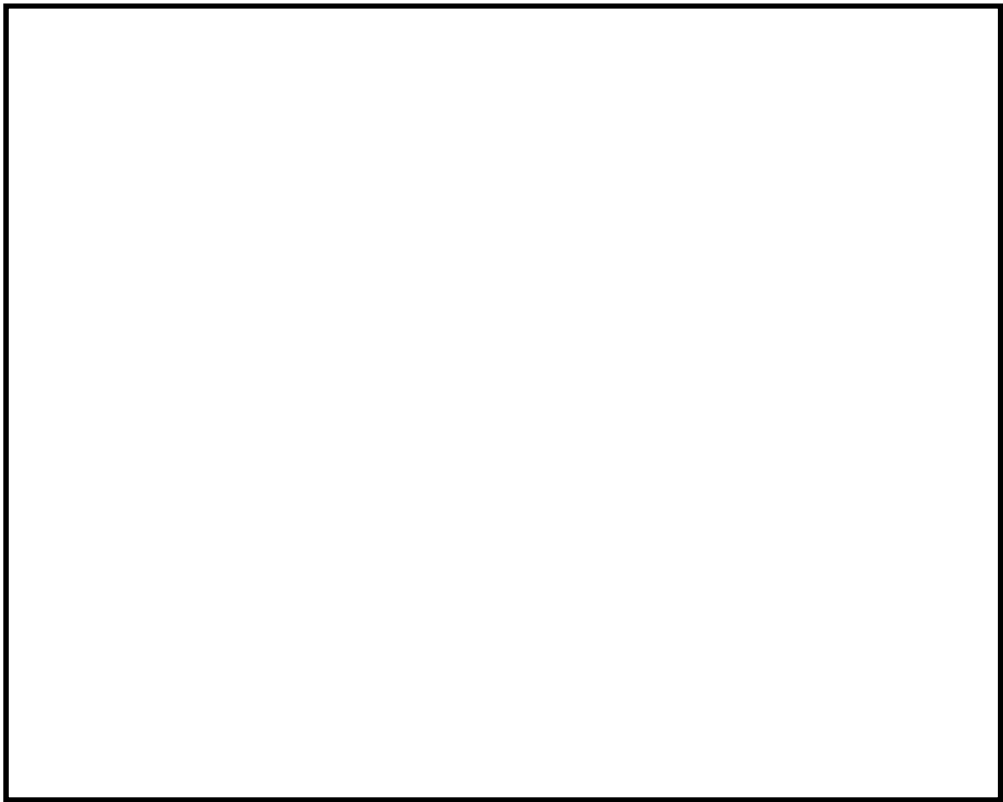


図 4-1 解析モデル (非常用窒素供給系高圧窒素ポンベユニット)

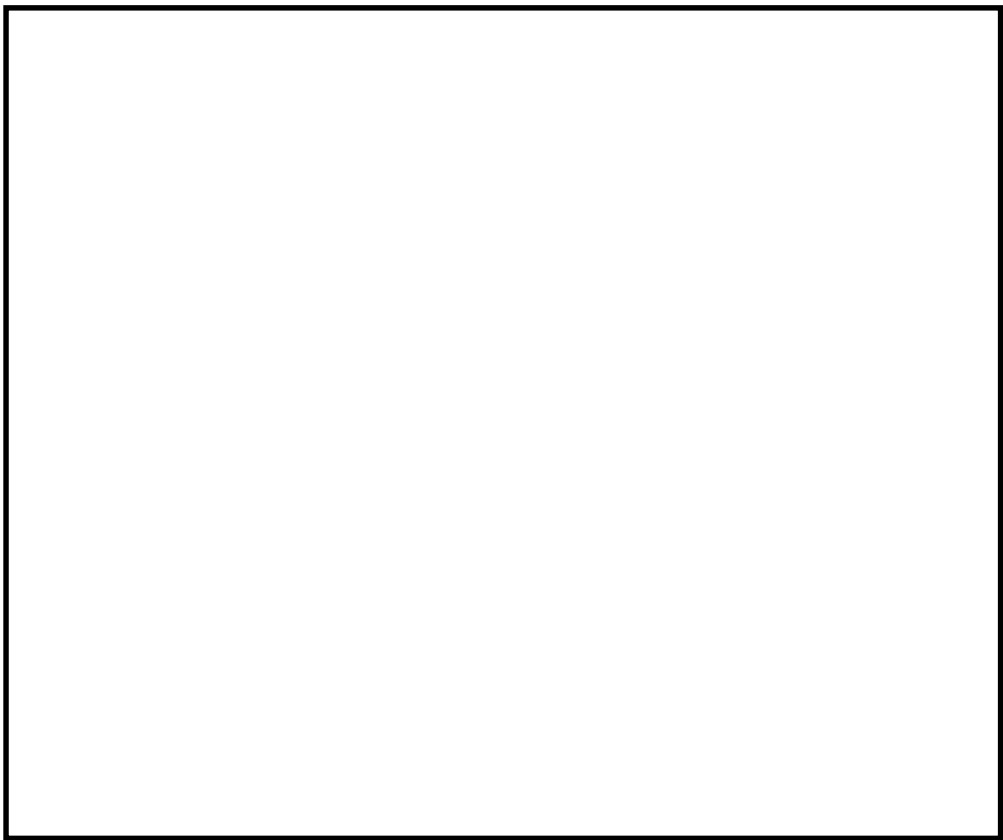


図4-2 解析モデル (非常用窒素供給系高圧窒素ポンベユニット(予備))

表4-1 機器諸元 (非常用窒素供給系高压窒素ポンベユニット)

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SS400
材質	—	—	STH12
材質	—	—	STKR
質量	m	kg	
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	
縦弾性係数	E	MPa	
縦弾性係数	E	MPa	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

表4-2 機器諸元 (非常用窒素供給系高压窒素ポンベユニット(予備))

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SS400
材質	—	—	STH12
材質	—	—	STKR
質量	m	kg	
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	
縦弾性係数	E	MPa	
縦弾性係数	E	MPa	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-3 及び表 4-4 に示す。

表 4-3 固有値解析結果(s) (非常用窒素供給系高圧窒素ポンプユニット)

モード	卓越方向	固有周期
1 次	—	0.045
2 次	—	—
3 次	—	—

表 4-4 固有値解析結果(s) (非常用窒素供給系高圧窒素ポンプユニット(予備))

モード	卓越方向	固有周期
1 次	—	0.044
2 次	—	—
3 次	—	—

5. 応力評価

5.1 応力評価方法

- (1) ボンベ設備の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) ボンベ設備は、床または壁に設置されたアンカープレートに溶接で固定する。
- (3) 地震力はボンベ設備に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ボンベ設備の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1～6 に示す。

5.2.2 許容応力

ボンベ設備の許容応力を表 5-7 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力

ボンベ設備の使用材料の許容応力を表 5-8 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	制御用 空気設備	非常用窒素供給系高圧窒素 ポンベユニット	可搬/防止	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして IV _A Sの許容限 界を用いる。)

注記 *1:「可搬/防止」は重大事故防止設備のうち可搬型のものを示す。

*2:その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3:「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	制御用 空気設備	非常用窒素供給系高圧窒素 ポンベユニット（予備）	可搬/防止	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして IV _A Sの許容限 界を用いる。)

注記 *1:「可搬/防止」は重大事故防止設備のうち可搬型のものを示す。

*2:その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3:「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 5-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線 管理施設	換気設備	中央制御室待避室 空気ポンベユニット (床置形)	可搬/緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして IV _A Sの許容限 界を用いる。)

注記*1:「可搬/緩和」は重大事故緩和設備のうち可搬型のものを示す。

*2: その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3: 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 5-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線 管理施設	換気設備	中央制御室待避室 空気ポンベユニット (壁掛床置形)	可搬/緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして IV _A Sの許容限 界を用いる。)

注記*1:「可搬/緩和」は重大事故緩和設備のうち可搬型のものを示す。

*2: その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3: 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 5-5 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線 管理施設	換気設備	第二弁操作室 空気ポンベユニット (床置形)	可搬/緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして IV _A Sの許容限 界を用いる。)

注記*1:「可搬/緩和」は重大事故緩和設備のうち可搬型のものを示す。

*2: その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3: 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 5-6 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線 管理施設	換気設備	第二弁操作室 空気ポンベユニット (壁掛床置形)	可搬/緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして IV _A Sの許容限 界を用いる。)

注記*1:「可搬/緩和」は重大事故緩和設備のうち可搬型のものを示す。

*2: その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3: 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 5-7 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2
	一次応力
	せん断
IV _A S	$1.5 \cdot f_s$ *3 *
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)	

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*3：支持構造物においてF値の算出時，S_y及びS_y（RT）をそれぞれ1.2・S_y及び1.2・S_y（RT）と読み替える。

ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については，本読み替えを行わない。

表 5-8 使用材料の許容応力（非常用窒素供給系高圧窒素ポンプユニット（重大事故等対処設備））

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		溶接部	SS400	周囲環境温度	105	219

5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-9 及び表 5-10 に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

表 5-9 設計用地震力（重大事故等対処施設）（非常用窒素供給系高压窒素ボンベユニット）

耐震重要度分類	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
-(S_s)	原子炉建屋 EL. 20.3* ¹	0.045	—	—	$C_H=1.34^{*2}$	$C_V=1.01^{*2}$

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動 S_s の震度と同等以上の設計震度

表 5-10 設計用地震力（重大事故等対処施設）（非常用窒素供給系高压窒素ボンベユニット（予備））

耐震重要度分類	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
-(S_s)	原子炉建屋 EL. 20.3* ¹	0.044	—	—	$C_H=1.34^{*2}$	$C_V=1.01^{*2}$

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動 S_s の震度と同等以上の設計震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 溶接部の応力

溶接部の応力は、地震による震度によって生じる水平方向せん断力と鉛直方向せん断力について計算する。

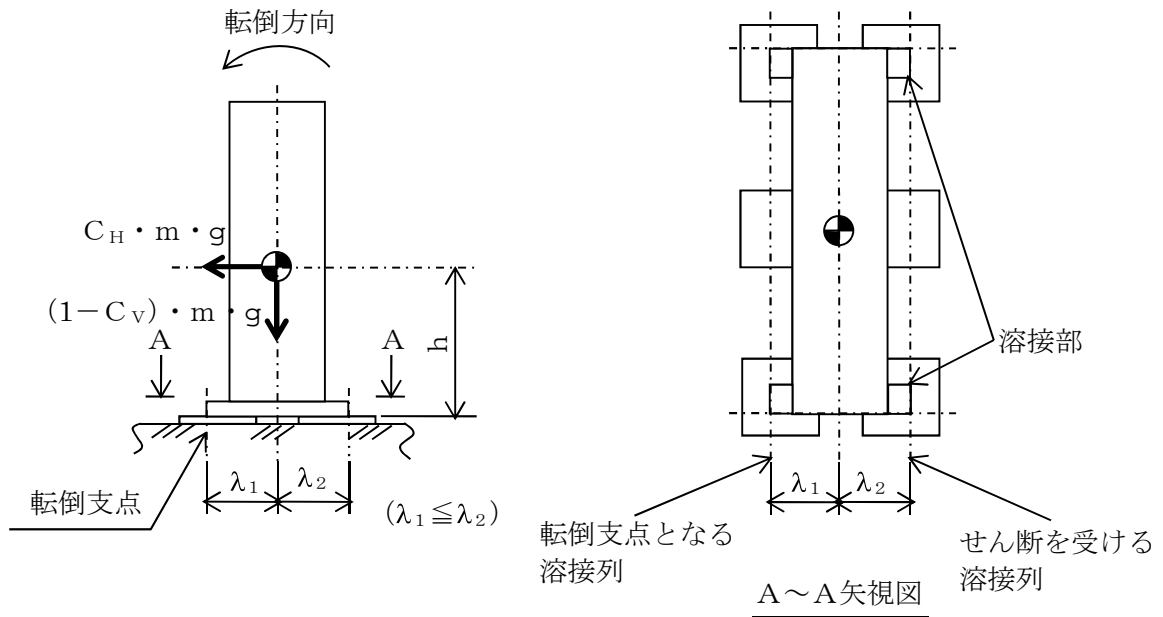


図5-1(1) 計算モデル
(短辺方向転倒-1 $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

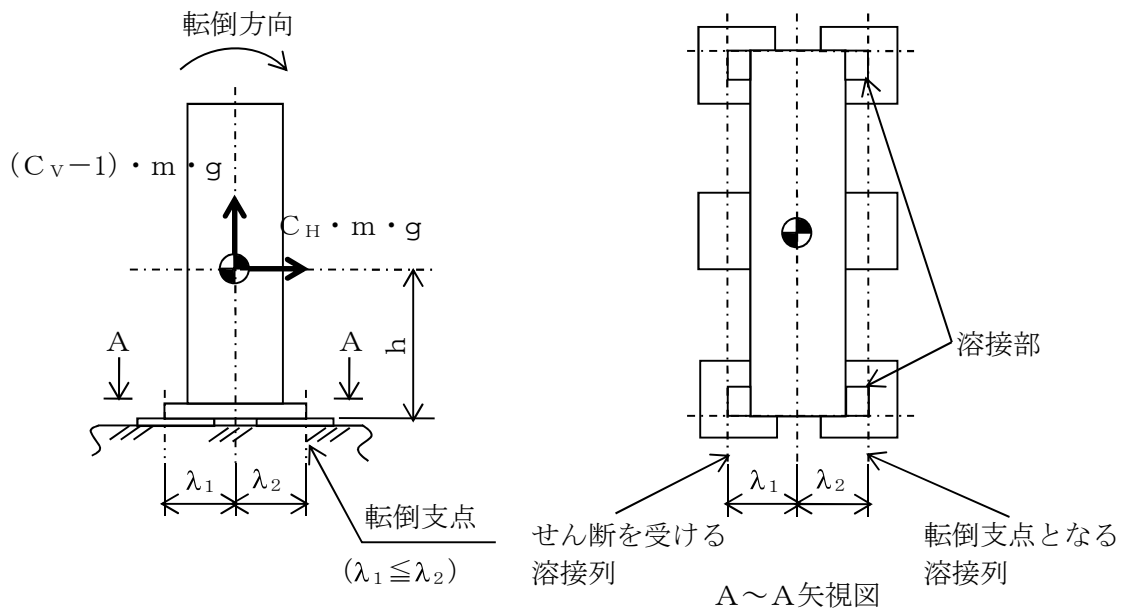


図5-1(2) 計算モデル
(短辺方向転倒-2 $(1 - C_V) < 0$ の場合)

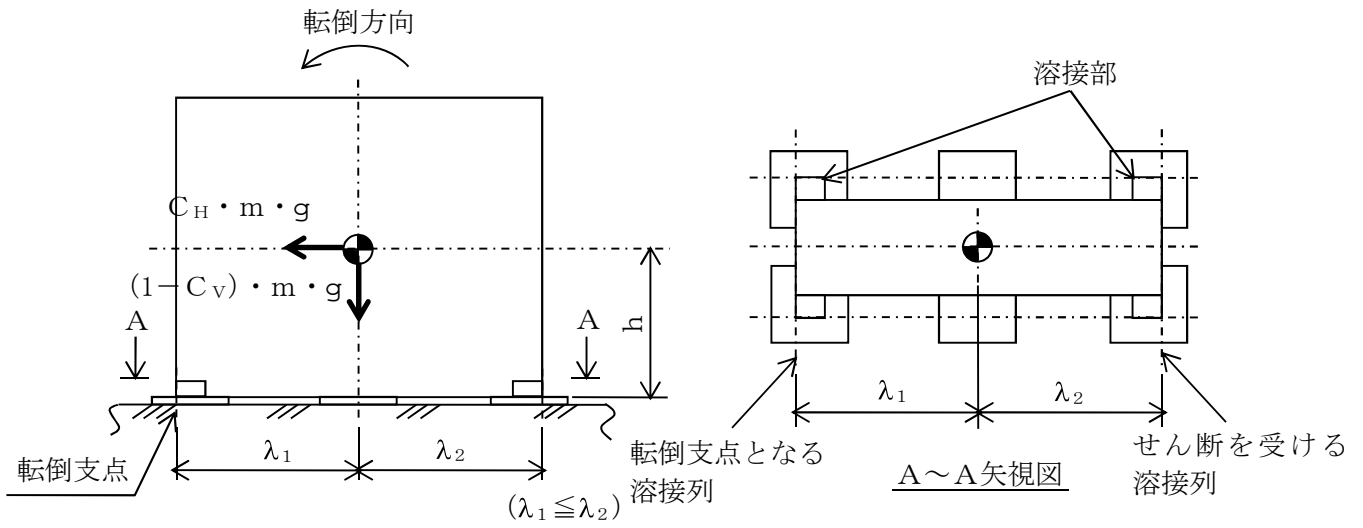


図5-2(1) 計算モデル
(長辺方向転倒-1 $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

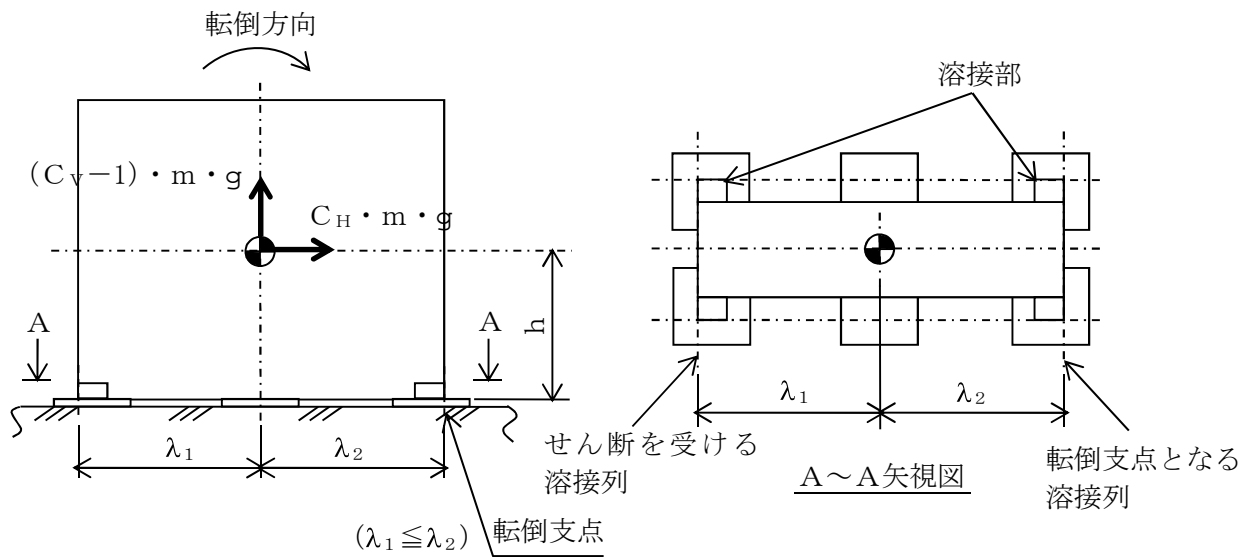


図5-2(2) 計算モデル
(長辺方向転倒-2 $(1 - C_V) < 0$ の場合)

(1) 水平方向せん断応力

溶接部に対する水平方向せん断力は全溶接部で受けるものとして計算する。

水平方向せん断力 (F_{HW})

$$F_{HW} = C_H \cdot m \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.1)$$

水平方向せん断応力 (τ_{w1})

$$\tau_{w1} = \frac{F_{HW}}{A_{HV}} \quad \dots\dots\dots (5.4.2)$$

(2) 鉛直せん断応力

溶接部に対する力は最も厳しい条件として、図5-1及び図5-2で最外列の溶接部を支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の溶接部で受けるものとして計算する。

鉛直方向せん断力 (F_{VW})

計算モデル図5-1(1)及び5-2(1)の場合のせん断力

$$F_{VW} = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \lambda_1}{n_{VW} \cdot (\lambda_1 + \lambda_2)} \quad \dots\dots\dots (5.4.3)$$

計算モデル図5-1(2)及び5-2(2)の場合のせん断力

$$F_{VW} = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \lambda_2}{n_{VW} \cdot (\lambda_1 + \lambda_2)} \quad \dots\dots\dots (5.4.4)$$

鉛直方向せん断応力 (τ_{w2})

$$\tau_{w2} = \frac{F_{W}}{A_{VW}} \quad \dots\dots\dots (5.4.5)$$

(3) 溶接部の応力

$$\tau_w = \text{Max} \{ \text{水平方向せん断応力} (\tau_{w1}), \text{鉛直方向せん断応力} (\tau_{w2}) \} \quad \dots\dots\dots (5.4.6)$$

5.4.1.2 中央制御室待避室空気ポンベユニット（壁掛床置形） 溶接部の応力

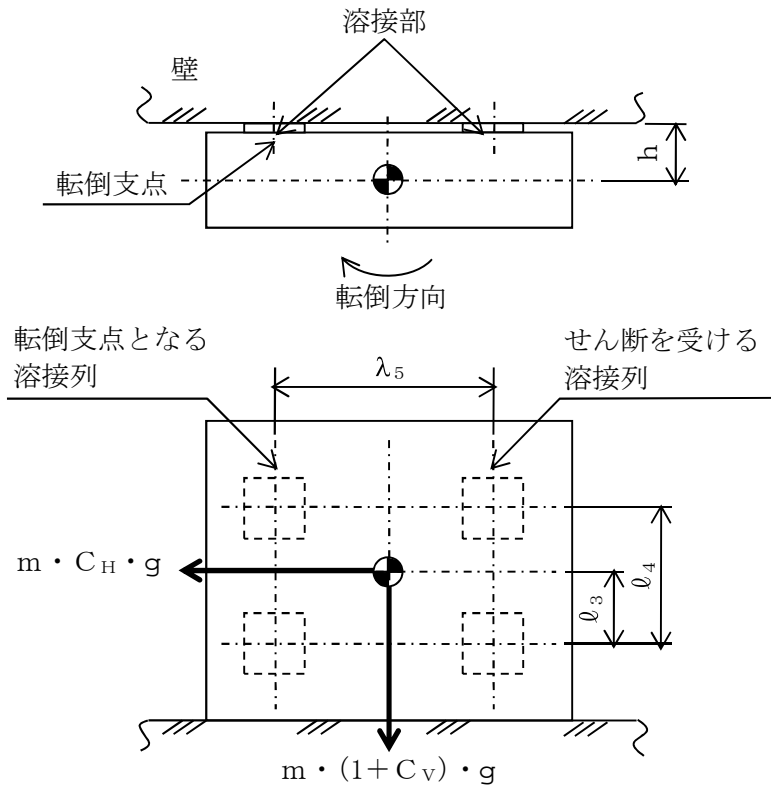


図5-3(1) 計算モデル
(壁掛床置形 水平方向転倒の場合)

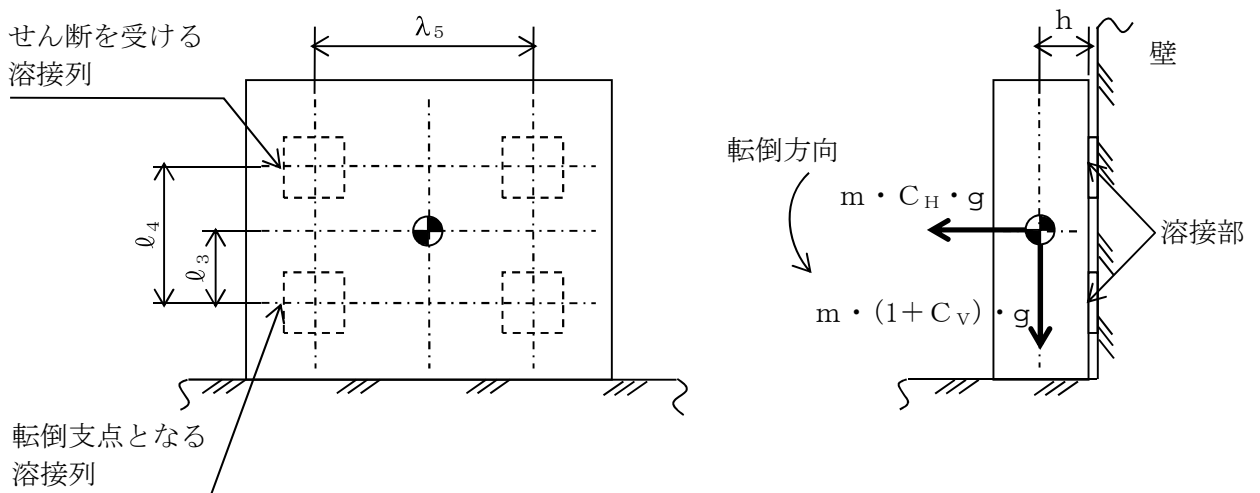


図5-3(2) 計算モデル
(壁掛床置形 鉛直方向転倒の場合)

- (1) ポンベユニット取付面に対し平行方向に作用するせん断応力
 ポンベユニット取付面に対し平行方向に作用するせん断力は全溶接部で受けるものとして計算する。

ポンベユニット取付面に対し平行方向に作用するせん断力 (F_{W1})

$$F_{W1} = \sqrt{(m \cdot C_H \cdot g)^2 + (m \cdot (1 + C_V) \cdot g)^2} \dots \dots \dots (5.4.7)$$

ポンベユニット取付面に対し平行方向に作用するせん断応力 (τ_{W3})

$$\tau_{W3} = \frac{F_{W1}}{n \cdot A_W} \dots \dots \dots (5.4.8)$$

- (2) ポンベユニット取付面に対し前後方向に作用するせん断応力
 溶接部に対する力は最も厳しい条件として、図5-3(1)及び図5-3(2)で最外列の溶接部を支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の溶接部で受けるものとして計算する。

計算モデル図5-3(1)に示す水平方向転倒の場合のせん断力 (F_{W2})

$$F_{W2} = \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h \cdot g}{n_{VW1} \cdot \lambda_a} + \frac{m \cdot C_H \cdot h \cdot g}{n_{HW1} \cdot \lambda_b} \dots \dots \dots (5.4.9)$$

計算モデル図5-3(2)に示す鉛直方向転倒の場合のせん断力 (F_{W3})

$$F_{W3} = \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h \cdot g + m \cdot C_H \cdot \lambda_b \cdot g}{n_{VW1} \cdot \lambda_a} \dots \dots \dots (5.4.10)$$

ポンベユニット取付面に対し前後方向に作用するせん断力

$$F_W = \text{Max}(F_{W2}, F_{W3}) \dots \dots \dots (5.4.11)$$

ポンベユニット取付面に対し前後方向に作用するせん断力応力 (τ_{W4})

$$\tau_{W4} = \frac{F_W}{A_W} \dots \dots \dots (5.4.12)$$

- (3) 溶接部の応力

$$\tau_w = \text{Max} \{ \text{ポンベユニット取付面に対し平行方向に作用するせん断応力 } (\tau_{W3}) \\
, \text{ ポンベユニット取付面に対し前後方向に作用するせん断力応力 } (\tau_{W4}) \} \dots \dots \dots (5.4.13)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用窒素供給系高圧窒素ポンプユニットの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 溶接部の応力評価

5.4.1項で求めた溶接部のせん断応力 τ_w は許容せん断応力 f_s 以下であること。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 * \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処施設としての評価結果

非常用窒素供給系高圧窒素ボンベユニットの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次ページ以降の表に示す。

【非常用窒素供給系高压窒素ポンベユニットの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
				水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
非常用窒素供給系高压窒素 ポンベユニット	— (S _s)	原子炉建屋 EL. 20.3*1	0.045	—	—	C _H =1.34*2	C _V =1.01*2	105

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 基準地震動 S_sの震度と同等以上の設計震度

1.2 機器要目

1.2.1 非常用窒素供給系高压窒素ポンベユニット

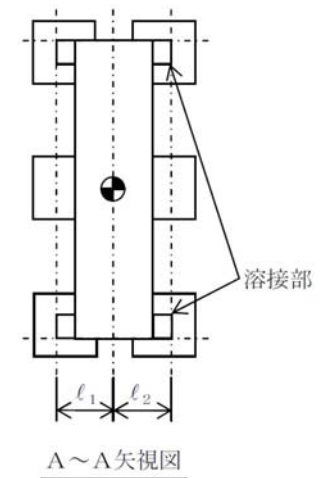
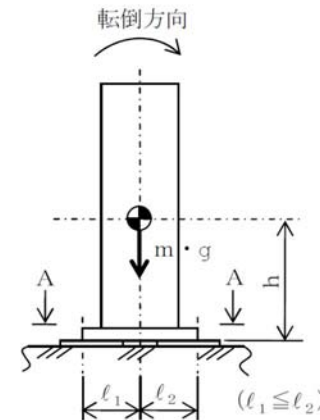
部材	m (kg)	h (mm)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	A _{VW} (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
溶接部	750	678	282	318	424.3	219	373	117

部材	n _{VW}		転倒方向	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
溶接部	—	2	—	短辺

1.3 計算数値

1.3.1 溶接部に作用する力 (単位: N)

部材	F _{VW}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
溶接部	—	5.588×10 ³



1.4 結 論

1.4.1 溶接部の応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
溶接部	SS400	せん断	—	—	$\tau_w=14$	$f_s=67$

すべて許容応力以下である。

【非常用窒素供給系高压窒素ポンベユニット(予備)の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		周囲環境温度 (°C)
				水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
非常用窒素供給系高压窒素 ポンベユニット (予備)	- (S_s)	原子炉建屋 EL. 20.3*1	0.044	—	—	$C_H=1.34^{*2}$	$C_V=1.01^{*2}$	105

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 基準地震動 S_s の震度と同等以上の設計震度

1.2 機器要目

1.2.1 非常用窒素供給系高压窒素ポンベユニット (予備)

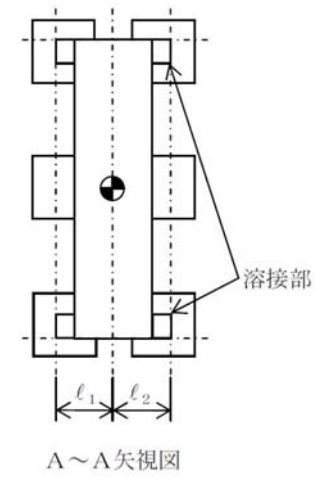
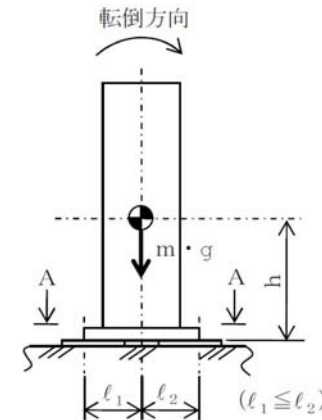
部材	m (kg)	h (mm)	ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	A_{vw} (mm ²)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
溶接部	720	674	282	318	424.3	219	373	117

部材	n_{vw}		転倒方向	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
溶接部	—	2	—	短辺

1.3 計算数値

1.3.1 溶接部に作用する力 (単位: N)

部材	F_{vw}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
溶接部	—	5.333×10^3



1.4 結 論

1.4.1 溶接部の応力

(単位 : MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
溶接部	SS400	せん断	—	—	$\tau_w=13$	$f_s=67$

すべて許容応力以下である。

7 緊急時対策所加圧設備

7.1 適用基準

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984及び J E A G 4 6 0 1-1987）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和59年9月及び昭和62年8月）に準拠して評価する。

7.2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{HW}	水平方向せん断力を受ける溶接部の有効断面積	mm^2
A_{VW}	鉛直方向せん断力を受ける溶接部の有効断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
F	* 設計・建設規格* SSB-3133に定める値	MPa
F_{HW}	溶接部に作用する水平方向せん断力	N
F_{VW}	溶接部に作用する鉛直方向せん断力	N
f_s	せん断力を受ける溶接部の許容せん断応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h	取付面から重心までの距離	mm
l_1	重心と溶接部間の水平方向距離	mm
l_2	重心と溶接部間の水平方向距離	mm
m	ボンベユニット質量	kg
n_{VW}	評価上鉛直方向せん断力を受けるとして期待する溶接箇所数	—
S_u	設計・建設規格* 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格* 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
τ_w	溶接部に生じる最大せん断応力	MPa
τ_{w1}	溶接部に生じる水平方向せん断応力	MPa
τ_{w2}	溶接部に生じる鉛直方向せん断応力	MPa

注記 * : 「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。）） J S M E S N C 1-2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）をいう。

7.3 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は、表2-2に示す通りとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ* ¹	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ²
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ²
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力* ³	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

7.4 評価部位

緊急時対策所加圧設備の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなるアンカープレートへの溶接部について実施する。緊急時対策所加圧設備の耐震評価部位については、表 2-4 の概略構造図に示す。

7.5 固有周期

7.5.1 固有値解析方法

- (1) 緊急時対策所加圧設備は、「9.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元シェル及びはりモデルとして考える。

7.5.2 解析モデル及び諸元

- (1) 緊急時対策所加圧設備の質量は、ボンベ及びボンベラックに密度として与える。
- (2) 緊急時対策所加圧設備の重心位置については、モデル形状、質量分布よりプログラムが自動計算する。
- (3) 計算機コードは、「ABAQUS」を使用し、固有値を求める。なお、評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「付録 19 計算機プログラム（解析コード）の概要・ABAQUS」に示す。
- (4) 拘束条件は、ボンベラックとアンカープレートの溶接部を完全拘束とする。

7.6 構造強度評価

7.6.1 構造強度評価方法

- (1) 緊急時対策所加圧設備の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 緊急時対策所加圧設備は、床に設置されたアンカープレートに溶接で固定する。
- (3) 地震力は緊急時対策所加圧設備に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

7.7 設計用地震力

「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

7.8 計算方法

7.8.1 応力の計算方法

溶接部の応力は、地震による震度によって生じる水平方向せん断力と鉛直方向せん断力について計算する。

(1) 水平方向せん断応力

溶接部に対する水平方向せん断力は全溶接部で受けるものとして計算する。

(2) 鉛直せん断応力

溶接部に対する力は最も厳しい条件として、表 2-4 で最外列の溶接部を支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の溶接部で受けるものとして計算する。

(3) 溶接部の応力

ボンベユニット取付面に対し平行方向に作用するせん断応力とボンベユニット取付面に対し前後方向に作用するせん断力応力の最大値を溶接部で受けるものとして計算する。