

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-工-B-19-0212_改1
提出年月日	2021年8月6日

VI-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計算書

2021年 8月

東北電力株式会社

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 配置	1
2.2 構造計画	1
2.3 評価方針	7
2.4 適用規格・基準等	8
3. 固有値解析	9
3.1 基本方針	9
3.2 解析方法	9
3.3 解析モデル及び諸元	9
3.4 固有値解析結果	23
3.5 設計用地震力	26
4. 構造強度評価	28
4.1 基本方針	28
4.2 評価部位	28
4.3 荷重及び荷重の組合せ	29
4.4 許容限界	29
4.5 評価方法	31
5. 波及的影響評価	35
5.1 基本方針	35
6. 評価条件	36
7. 評価結果	39
7.1 構造強度評価結果	39
7.2 波及的影響評価結果	39

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-別添 3-1 可搬型重大事故等対処設備の耐震計算の方針」（以下「別添 3-1」という。）にて設定している構造強度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_s による地震力に対し、十分な構造強度を有するとともに、当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して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、固有値解析、構造強度評価及び波及的影響評価により行う。

2. 基本方針

別添 3-1「2. 耐震評価の基本方針」に示す構造計画のとおり、ポンベ設備の「2.1 配置」及び「2.2 構造計画」を示す。

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（O.P. 15.00m）、制御建屋（O.P. 1.50m, O.P. 15.00m）及び緊急時対策建屋（O.P. 57.30m）に保管する。

2.2 構造計画

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図 2-1～図 2-5 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	
高圧窒素ガス供給系 高圧窒素ガスポンベ	高圧窒素ガスポンベ及びポンベの支持構造物であるボンベラックにより構成する。	高圧窒素ガスポンベは、容器として十分な強度を有する構造とし、固定ボルトによりボンベラックに固定し、ボンベラックを躯体床及び壁に施工された埋込金物に溶接し据え付ける。	図 2-1
代替高圧窒素ガス供給系 高圧窒素ガスポンベ	高圧窒素ガスポンベ及びポンベの支持構造物であるボンベラックにより構成する。	高圧窒素ガスポンベは、容器として十分な強度を有する構造とし、固定ボルトによりボンベラックに固定し、ボンベラックを躯体床及び壁に取付ボルトで設置されたアンカープレートに溶接し据え付ける。	図 2-2 図 2-3
中央制御室待避所加圧設備 (空気ポンベ)	空気ポンベ及びポンベの支持構造物であるボンベラックにより構成する。	空気ポンベは、容器として十分な強度を有する構造とし、固定ボルトによりボンベラックに固定し、ボンベラックは取付ボルトにより躯体床に据え付ける。	図 2-4
緊急時対策所加圧設備 (空気ポンベ)	空気ポンベ及びポンベを収納するボンベカードルフレームにより構成する。	空気ポンベは、容器として十分な強度を有する構造とし、ボンベカードルフレーム内に固定し、ボンベカードルフレームは、躯体床に施工された埋込金物に溶接にて固定された支持架構に取付ボルトにより据え付ける。	図 2-5

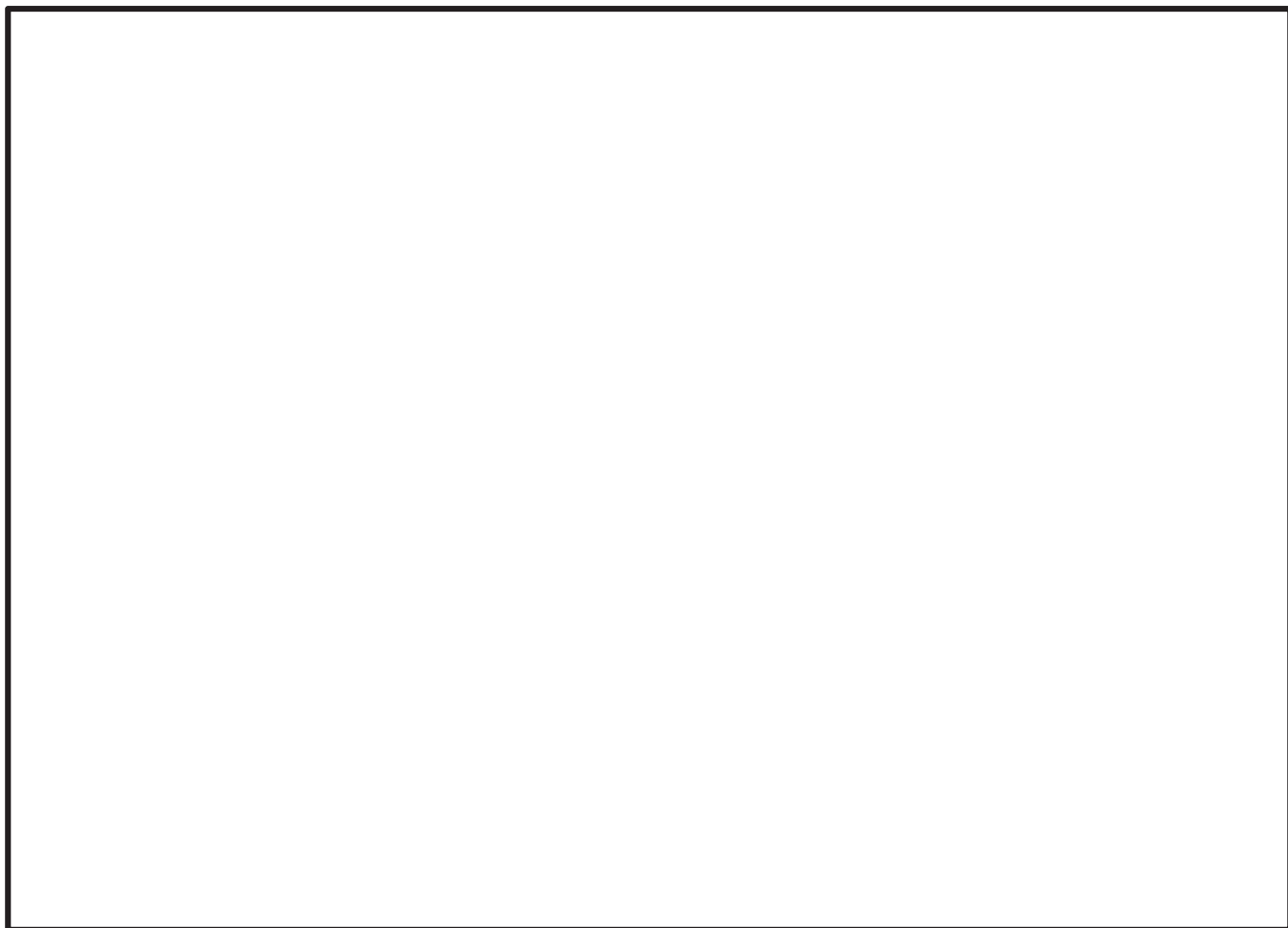


図 2-1 高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラックの構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

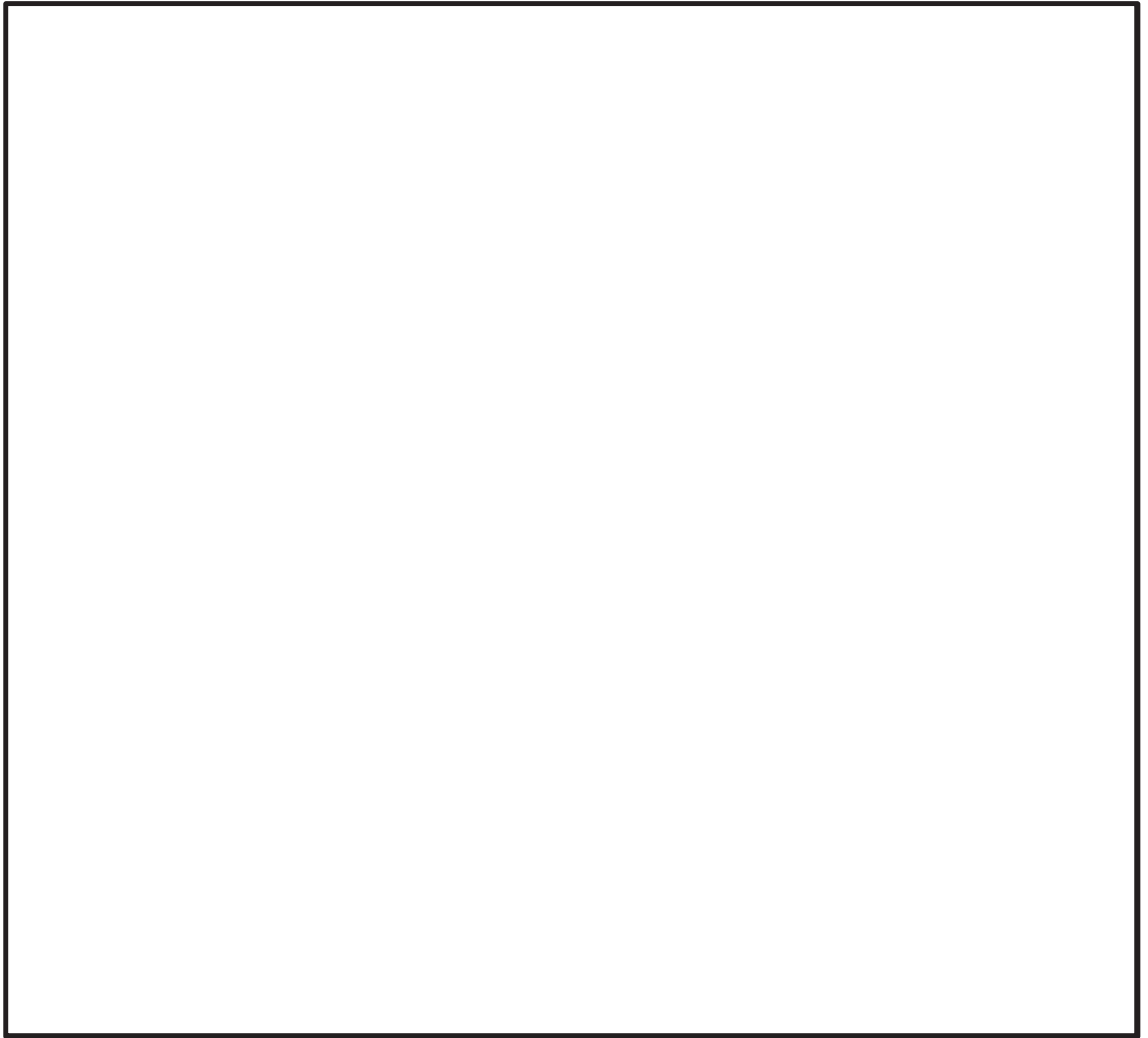


図 2-2 代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラック (A) の構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

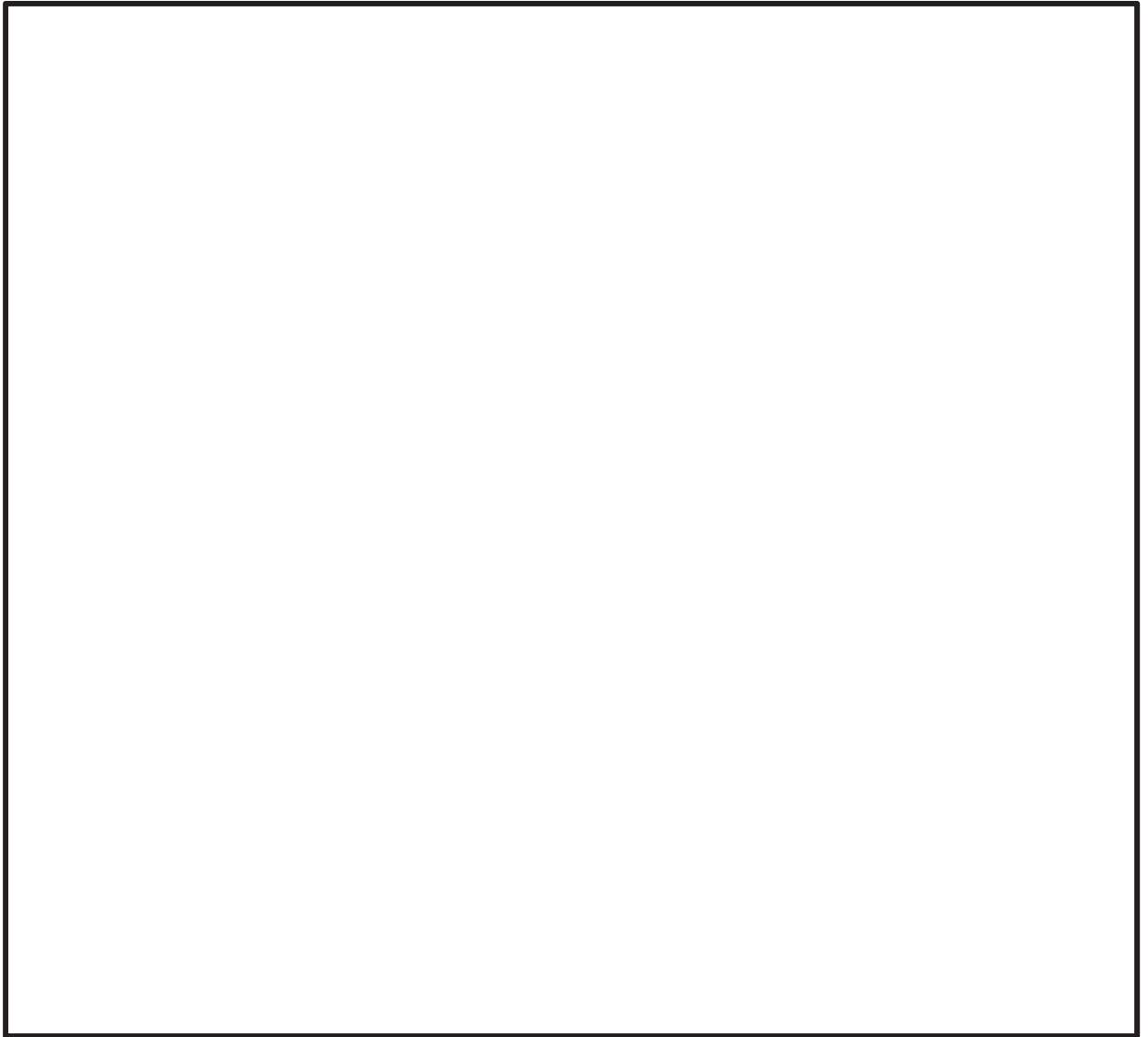


図 2-3 代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラック (B) の構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 2-4 中央制御室待避所加圧設備（空気ボンベ）ボンベラックの構造図



図 2-5 緊急時対策所加圧設備(空気ボンベ)ボンベカードルの構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 評価方針

ポンベ設備の評価方針を以下に示し、耐震評価フローを図 2-6 に示す。

(1) 構造強度評価

ポンベ設備は、別添 3-1 の「2.2(2) ポンベ設備」にて設定した構造強度評価の方針に従い構造強度評価を実施する。

ポンベ設備の構造強度評価は、「3. 固有値解析」にて得られた固有周期を用い、「4. 構造強度評価」に示す方法により、ポンベ設備の評価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。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

別添 3-1 の「2.2 評価方針」に示す評価部位のうち直接支持構造物としてのボンベラック等、溶接部及び取付ボルトの構造強度評価については、J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 に規定されているその他の支持構造物の評価に従い実施する。

(2) 波及的影響評価

ポンベ設備は、別添 3-1 の「2.2(2) ポンベ設備」にて設定した波及的影響評価の方針に従い、波及的影響評価を実施する。

ポンベ設備の波及的影響評価は、「5. 波及的影響評価」に示す方法により、基準地震動 S_s による地震力に対し、当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを、「4. 構造強度評価」により確認する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

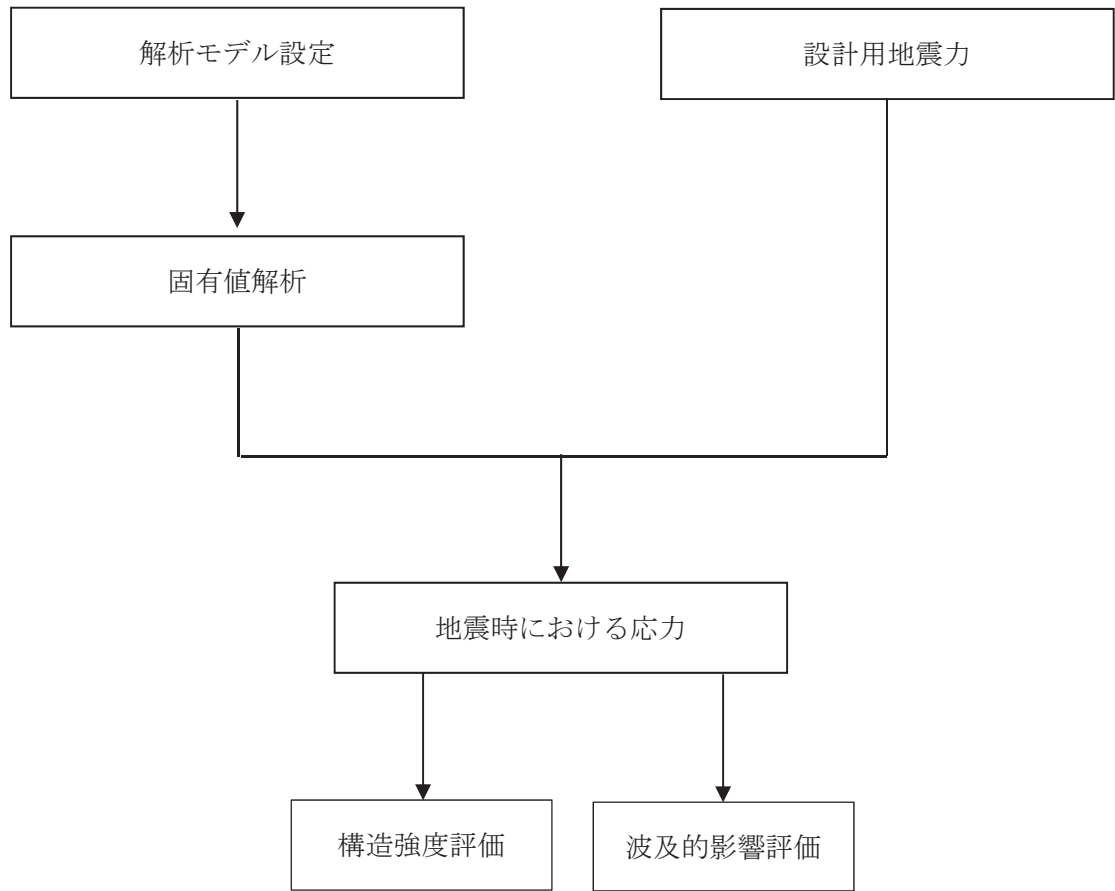


図 2-6 ポンベ設備の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987
- (2) 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
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下「設計・建設規格」という。）
- (5) 日本産業規格
- (6) 鋼構造設計規準

3. 固有値解析

3.1 基本方針

別添 3-1 の「4.2(1) 固有値解析」にて設定した基本方針に従い、固有値解析を実施する。

固有値解析は、以下の「3.2 解析方法」に示す方法により、「3.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いて、「3.4 固有値解析結果」においてボンベ設備の固有周期を求める。

3.2 解析方法

- (1) ボンベラックを構成する各部材をはり要素及びシェル要素としてモデル化した多質点モデルによる地震応答解析を実施する。
- (2) 拘束条件として、建屋躯体との取合い点を完全拘束として設定する。
- (3) ボンベラックに収納・固定されるボンベ及び配管・弁等の機器重量は、各々組込む位置に相当する各質点に付加する。
- (4) 高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベ、代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベ及び緊急時対策所加圧設備（空気ボンベ）の評価に用いる解析コードは、「NX NASTRAN」とし、中央制御室待避所加圧設備（空気ボンベ）の評価に用いる解析コードは、「MSC NASTRAN」とする。なお、評価に用いる解析コード「NX NASTRAN」及び「MSC NASTRAN」の検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

3.3 解析モデル及び諸元

- (1) 高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベ

高圧窒素ガスボンベラックの解析モデルは、ボンベラックを構成する鋼材をはり要素として、以下のとおりモデル化した多質点モデルである。

解析モデルを図 3-1、図 3-2 に、解析モデルの諸元を表 3-1 に示す。

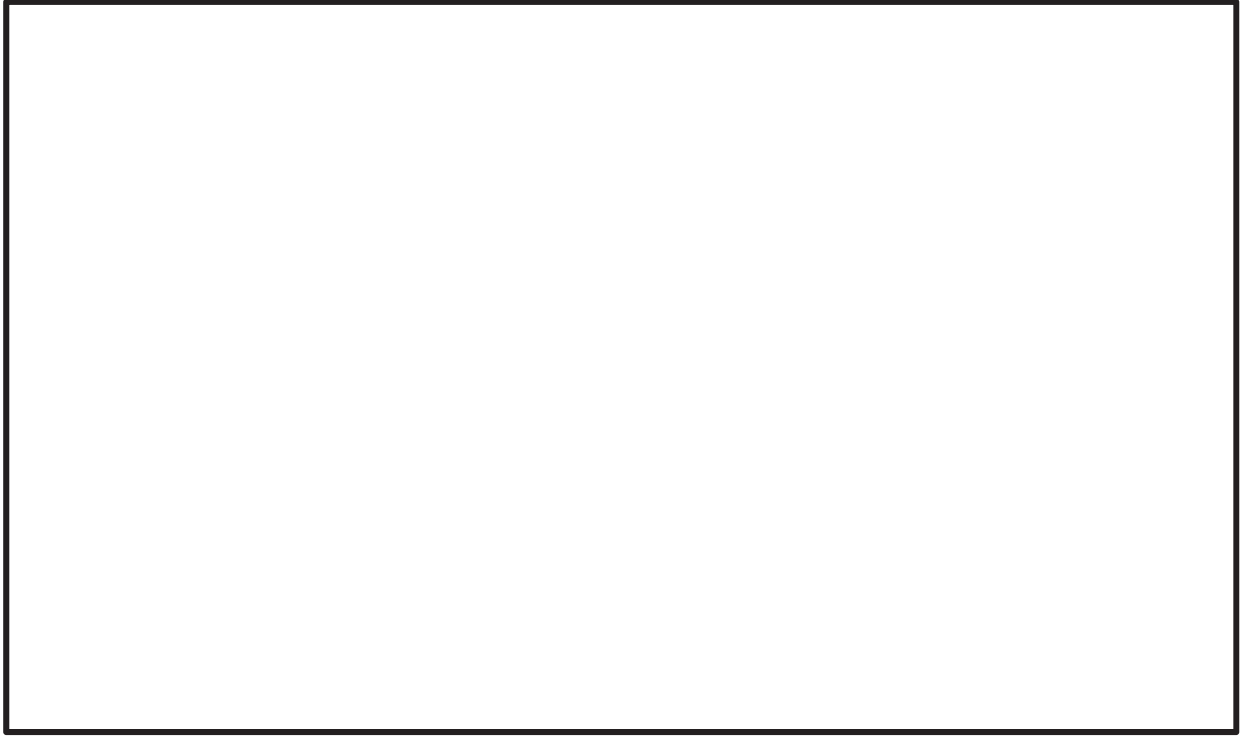


図 3-1 解析モデル(高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスポンベラック (要素番号記載))

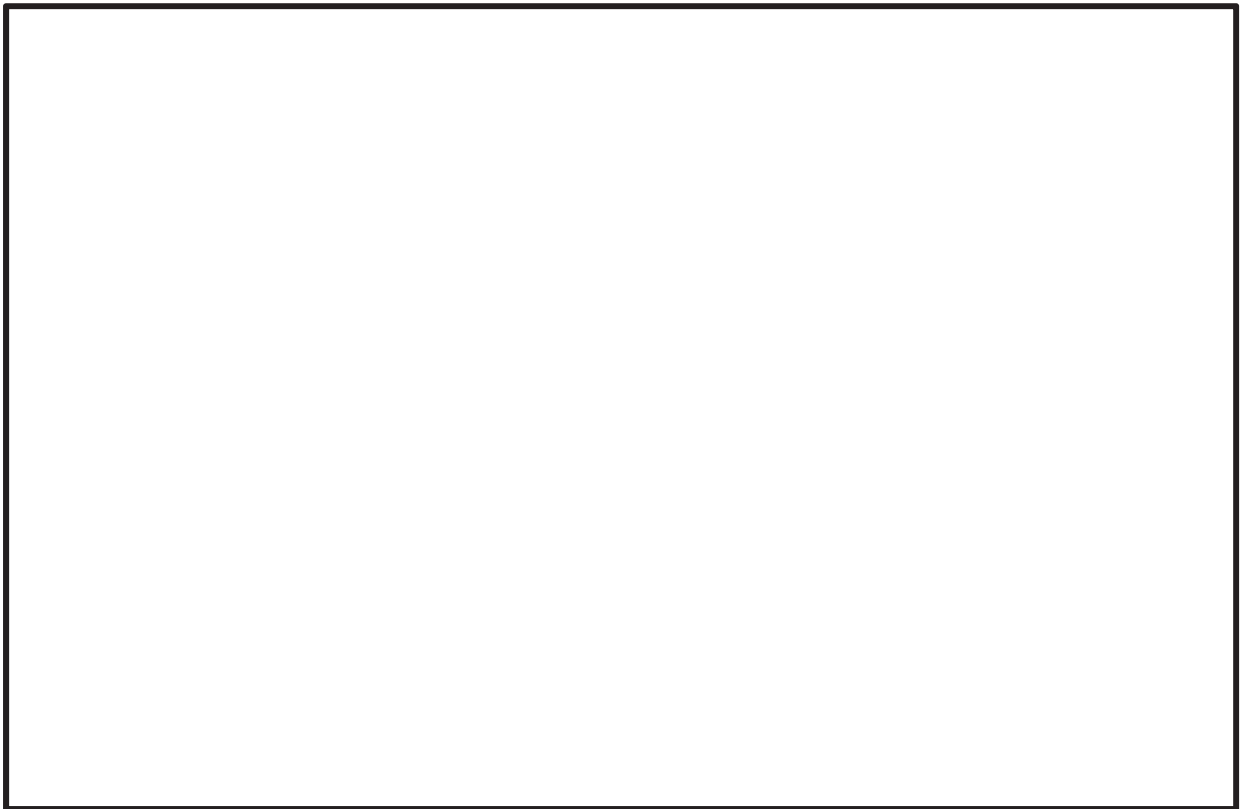


図 3-2 解析モデル(高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスポンベラック (接点番号記載))

表 3-1 解析モデルの諸元(1/2)

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SS400/STKR400
温度条件(雰囲気温度)	T	℃	50
縦弾性係数	E	MPa	2.01×10^5
ポアソン比	ν	—	0.3
質量(ポンベ)	W	kg	<input type="text"/>
質量(フレーム)	m	kg	<input type="text"/>
ポンベ数	—	本/基	8
寸法	—	—	図 2-1
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>

表 3-1 解析モデルの諸元 (2/2)

部材	番号	要素 番号	材料	諸元 (数値) (mm)	縦弾性係数 (MPa)	断面積 (mm ²)	断面二次モーメント		密度 (kg/mm ³)
							I ₁ (mm ⁴)	I ₂ (mm ⁴)	
フレーム	[Redacted]	[Redacted]	STKR400	[Redacted]	2.01 × 10 ⁵	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	7.85 × 10 ⁻⁶
			SS400		2.01 × 10 ⁵				7.85 × 10 ⁻⁶
			SS400		2.01 × 10 ⁵				7.85 × 10 ⁻⁶

(2) 代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスポンペ

代替高圧窒素ガスボンベラックの解析モデルは，ボンベラックを構成する鋼材をはり要素として，以下のとおりモデル化した多質点モデルである。

解析モデルを図 3-3～図 3-6 に，解析モデルの諸元を表 3-2 に示す。

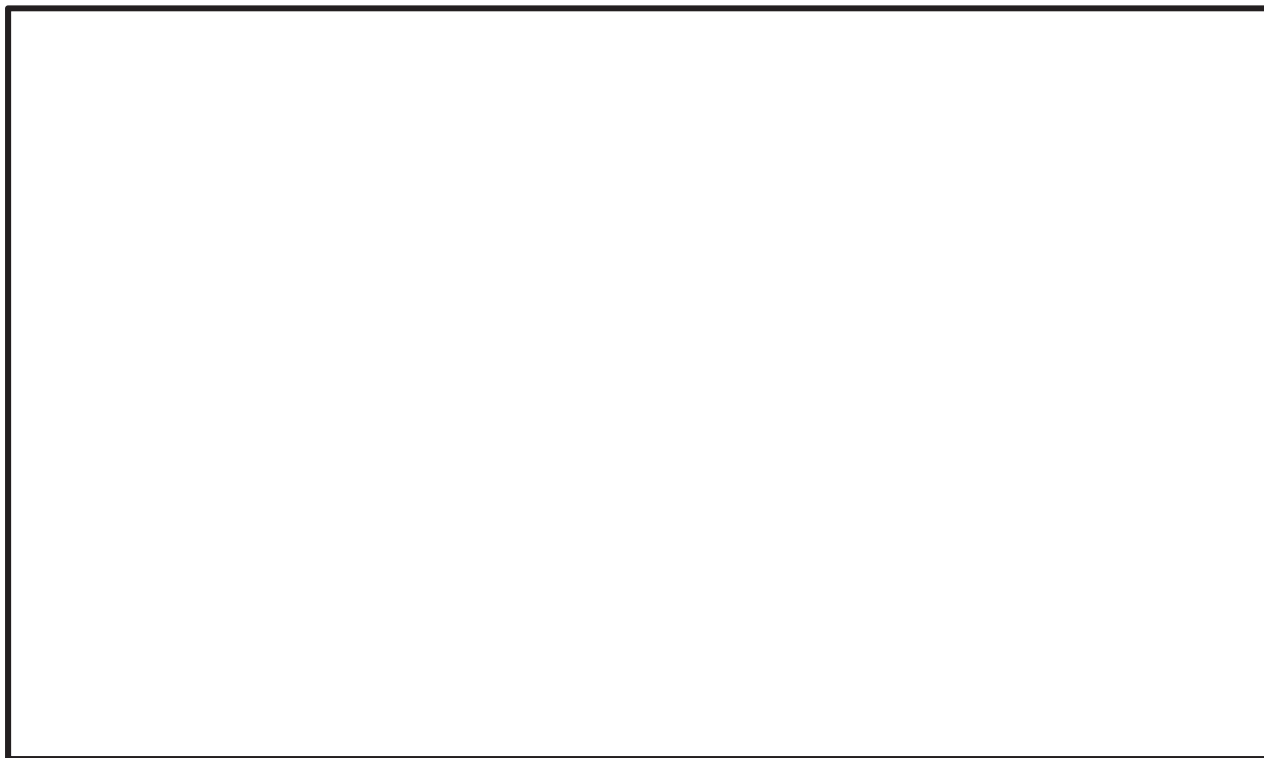


図 3-3 解析モデル
(代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラック (A) (要素番号記載))

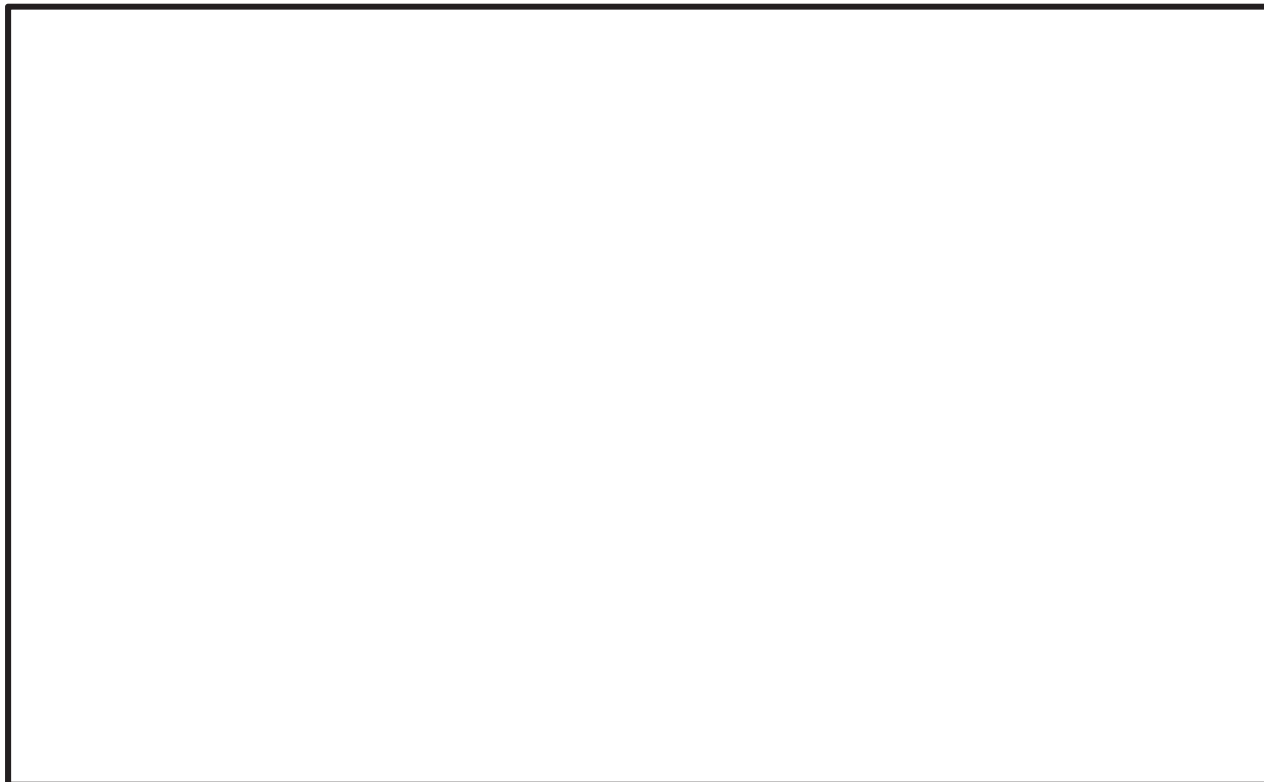


図 3-4 解析モデル
(代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラック (A) (節点番号記載))

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

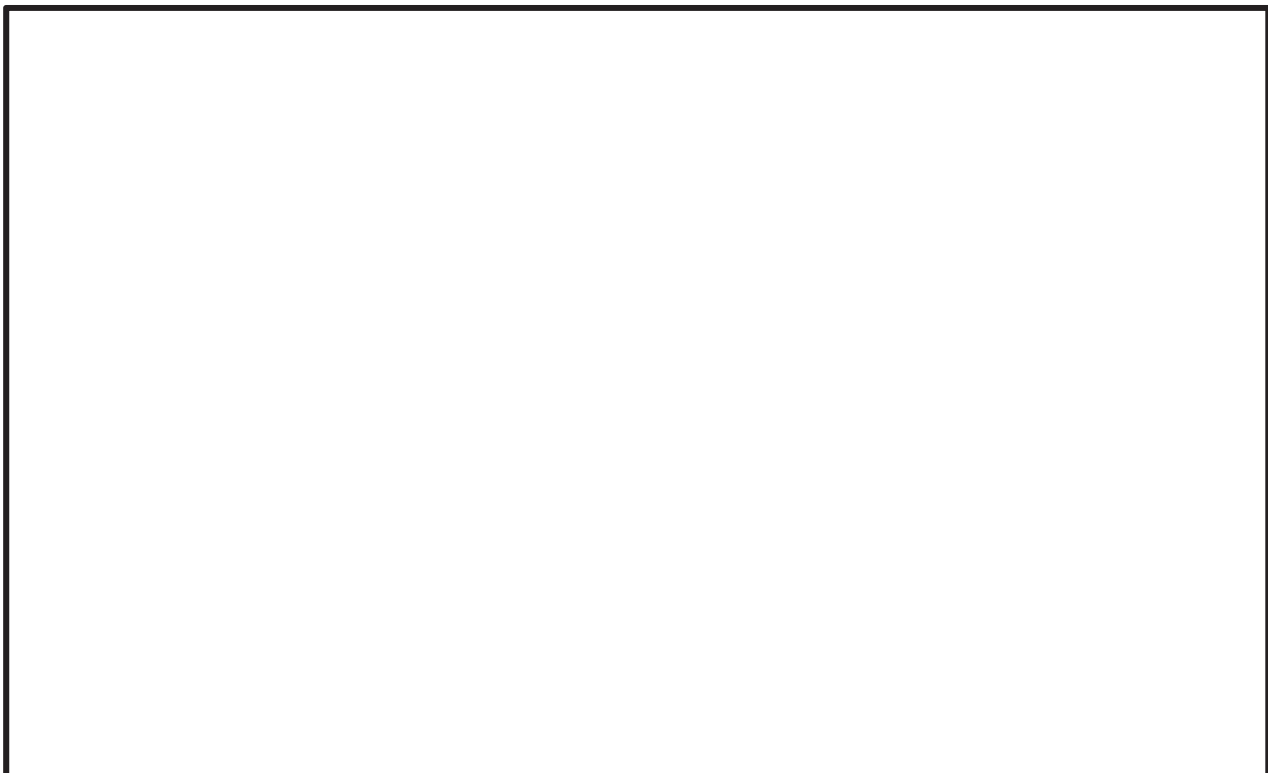


図 3-5 解析モデル

(代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラック (B) (要素番号記載))

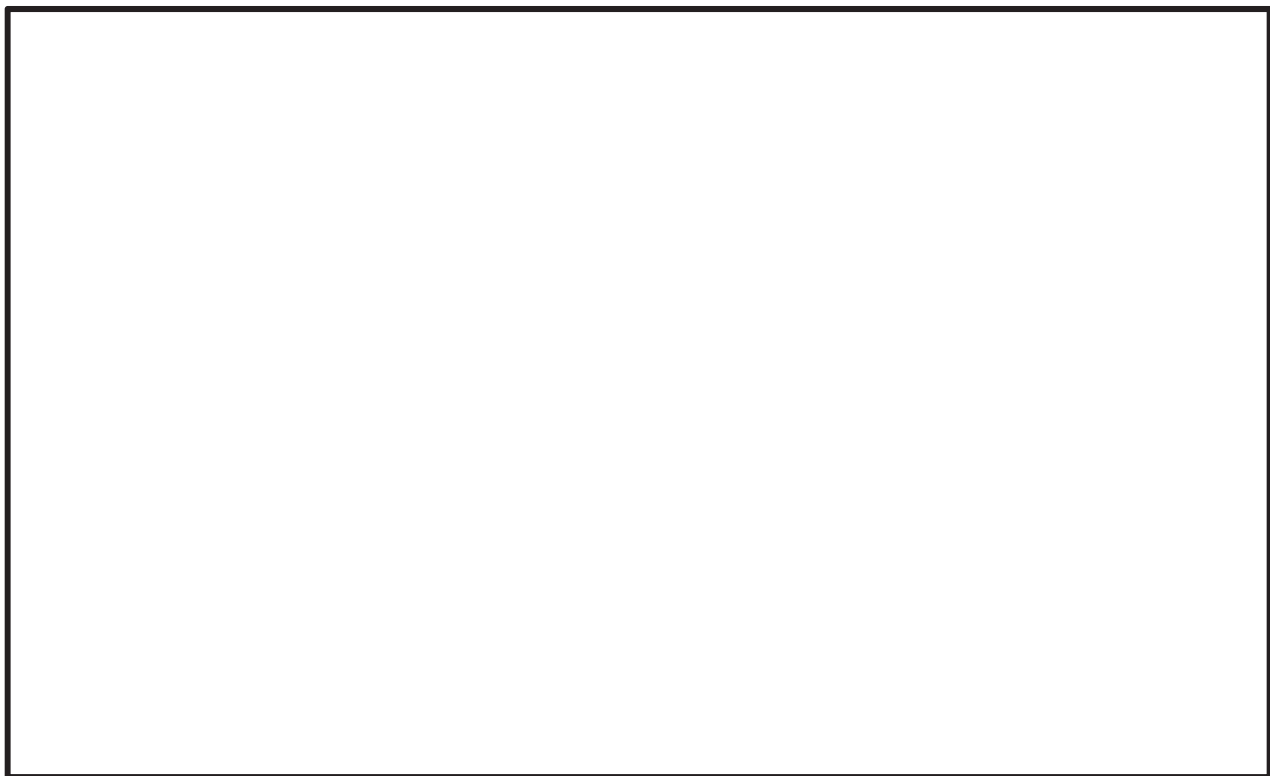


図 3-6 解析モデル

(代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラック (B) (節点番号記載))

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-2 解析モデルの諸元(1/2)

項 目	記 号	単 位	入力値
材 質	—	—	SS400／STKR400
温度条件（周囲環境温度）	T	℃	50
縦弾性係数	E	MPa	2.01×10^5
ポアソン比	ν	—	0.3
質量(ポンベ)	W	kg	<input type="text"/>
質量（フレーム）	m	kg	<input type="text"/>
ポンベ数	—	本／基	3
寸 法	—	—	図 2-2, 図 2-3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>

表 3-2 解析モデルの諸元(2/2)

部材	番号	要素番号	材料	諸元	縦弾性係数 (MPa)	断面積 (mm ²)	断面二次モーメント		密度 (kg/mm ³)
							I ₁ (mm ⁴)	I ₂ (mm ⁴)	
ボンベラック (A) フレーム			STKR400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
ボンベラック (B) フレーム			STKR400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
取付ボルト									SS400

注記 * : 要素 12, 13 については, (A)のみ評価対象となる。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 中央制御室待避所加圧設備（空気ポンベ）

中央制御室待避所加圧設備（空気ポンベ）ボンベラックの解析モデルは、ボンベラックを構成する鋼材をはり要素及びシェル要素として、以下のとおりモデル化した多質点モデルである。

解析モデルを図 3-7 に、解析モデルの諸元を表 3-3 に示す。

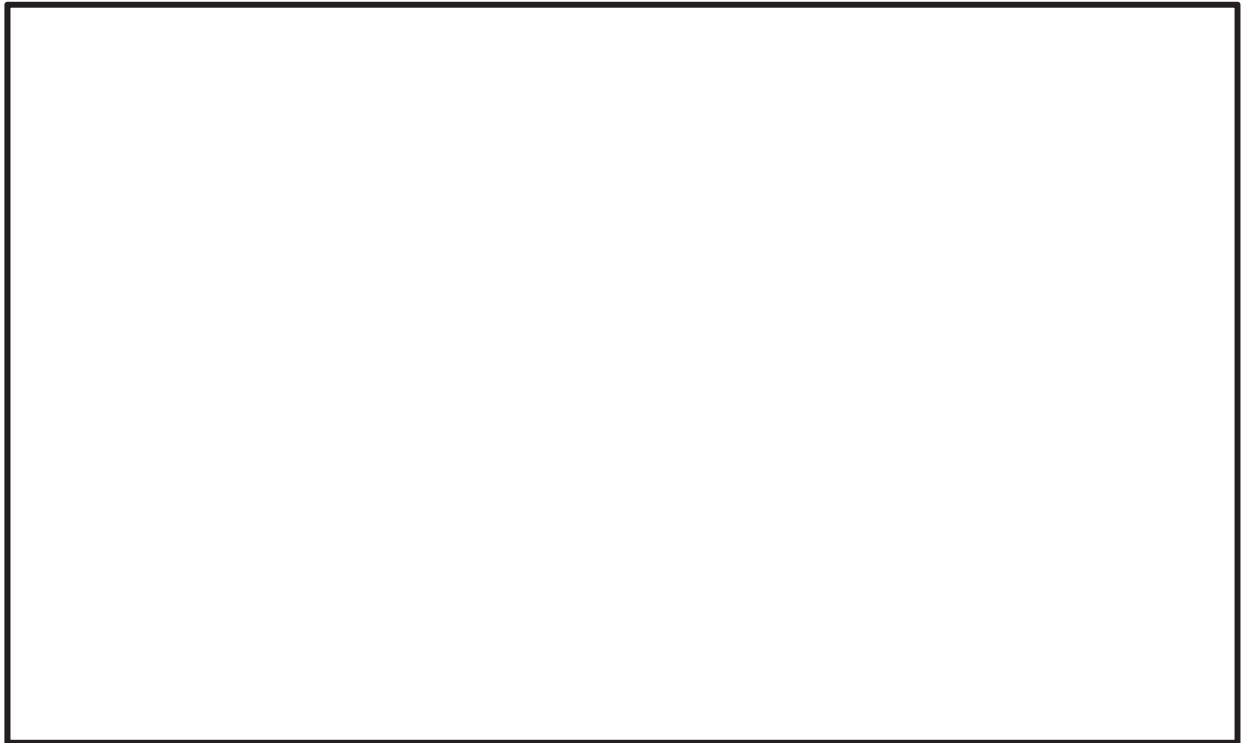


図 3-7 解析モデル（中央制御室待避所加圧設備（空気ポンベ）ボンベラック）

表 3-3 解析モデルの諸元(1/2)

項目	記号	単位	入力値
材質（ボンベラック）	—	—	SS400／STKR400
材質（ポンベ）	—	—	クロムモリブデン鋼
温度条件（雰囲気温度）	T	℃	40
縦弾性係数（ボンベラック）	E	MPa	2.02×10^5
縦弾性係数（ポンベ）	E	MPa	2.04×10^5
ポアソン比	ν	—	0.3
質量（ボンベユニット）	m	kg	<input type="text"/>
ボンベ数	—	本／基	10
寸法	—	—	図 2-4
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-3 解析モデルの諸元 (2/2)

部材	番号	要素番号	材料	諸元	縦弾性係数 (MPa)	断面積 (mm ²)	断面二次モーメント		密度 (kg/mm ³)
							I ₁ (mm ⁴)	I ₂ (mm ⁴)	
ボンベラック フレーム			STKR400		2.02×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			STKR400		2.02×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			STKR400		2.02×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			STKR400		2.02×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.02×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.02×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.02×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
ボンベ			SCM430		2.04×10 ⁵			1.177×10 ⁻⁵	
固定ボルト			SNB7		2.04×10 ⁵			7.85×10 ⁻⁶	
フレーム 接続ボルト			SCM435		—			—	
取付ボルト			SS400		—			—	

(4) 緊急時対策所加圧設備（空気ポンベ）

緊急時対策所加圧設備（空気ポンベ）ボンベカードルの解析モデルは、ボンベカードルを構成する鋼材をはり要素として、以下のとおりモデル化した多質点モデルである。

解析モデルを図 3-8 に、解析モデルの諸元を表 3-4 に示す。

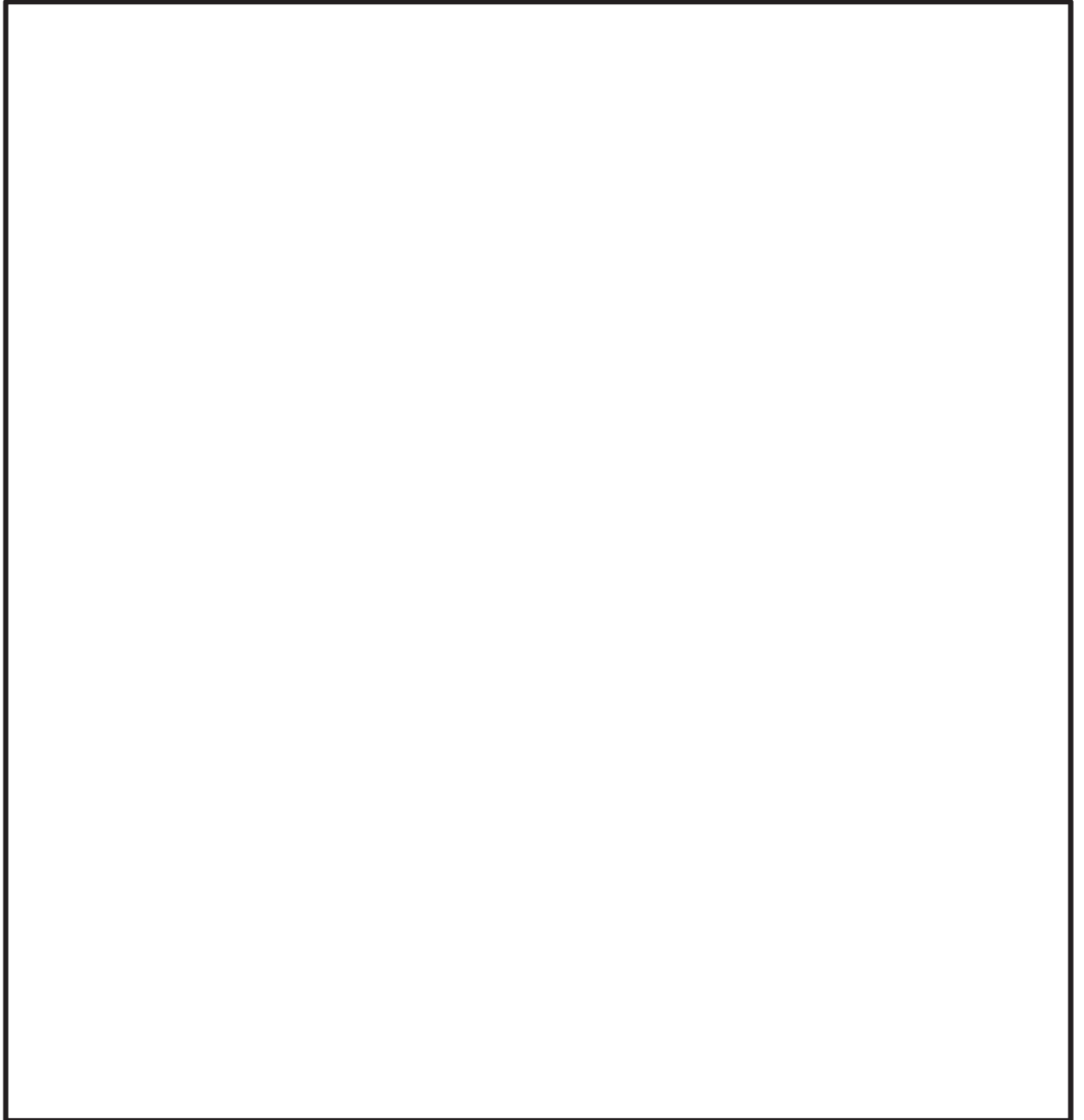


図 3-8 解析モデル（緊急時対策所加圧設備（空気ポンベ）ボンベカードル）

表 3-4 解析モデルの諸元(1/2)

項目	記号	単位	入力値
材質 (ポンベカードル)	—	—	SS400/STKR400
材質 (取付ボルト)	—	—	SNB7
質量(ポンベ)	W	kg	<input type="text"/>
質量(フレーム)	m	kg	<input type="text"/>
温度条件(雰囲気温度)	T	℃	50
縦弾性係数	E	MPa	2.01×10^5
ポアソン比	ν	—	0.3
ポンベ数	—	本/基	20
寸法	—	—	図 2-5
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>

表 3-4 解析モデルの諸元 (2/2)

部材	番号	要素番号	材料	諸元	縦弾性係数 (MPa)	断面積 (mm ²)	断面二次モーメント		密度 (kg/mm ³)
							I ₁ (mm ⁴)	I ₂ (mm ⁴)	
ボンベカードル フレーム			STKR400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			STKR400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
取付ボルト			SNB7		—			—	

3.4 固有値解析結果

ポンベ設備の固有値解析結果を表 3-5 に、1 次の振動モード図を図 3-9～図 3-13 に示す。

固有周期は、0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 3-5 固有値解析結果

設備名称	ボンベラック 支持構造	モード	卓越方向	固有周期 (s)
高圧窒素ガス供給系 高圧窒素ガスボンベラック	溶接	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
代替高圧窒素ガス供給系 高圧窒素ガスボンベラック (A)	溶接 取付ボルト			
代替高圧窒素ガス供給系 高圧窒素ガスボンベラック (B)	溶接 取付ボルト			
中央制御室待避所加圧設備 (空気ボンベ) ボンベラック	溶接 接続ボルト 取付ボルト			
緊急時対策所加圧設備 (空気ボンベ) ボンベカードル	溶接 取付ボルト			

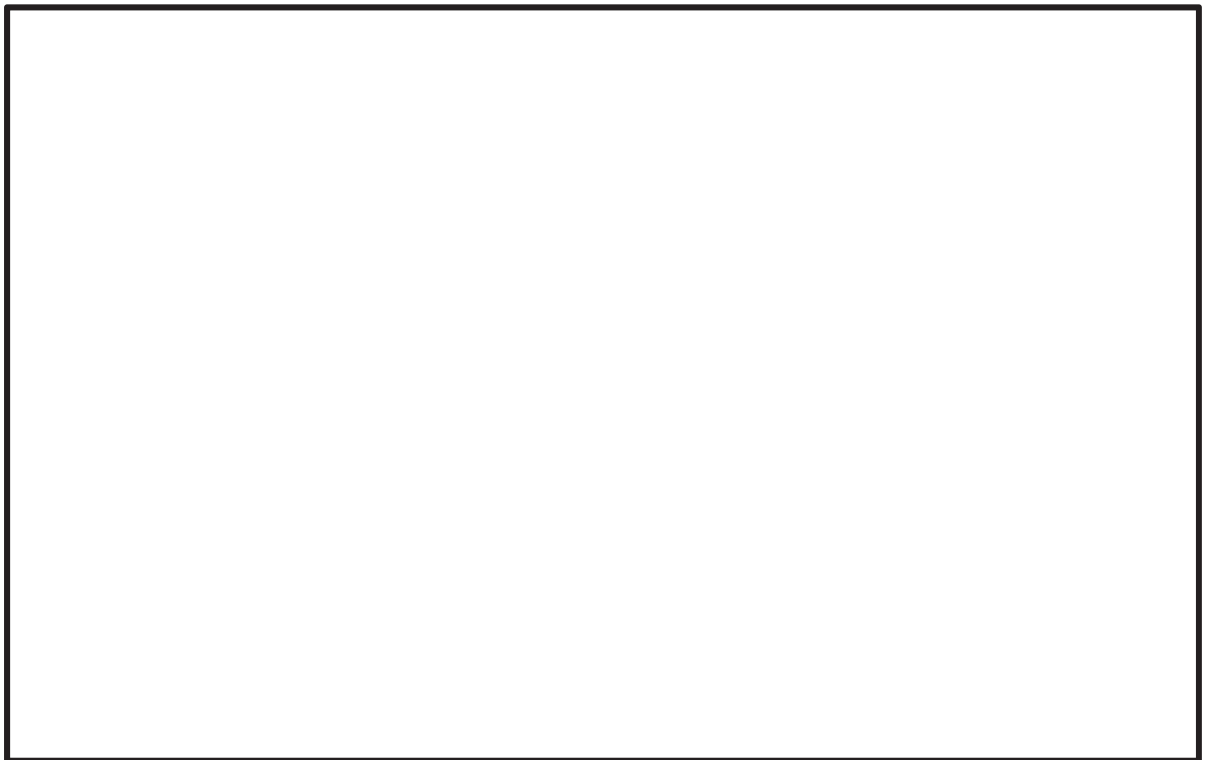


図 3-9 高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラック振動モード

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

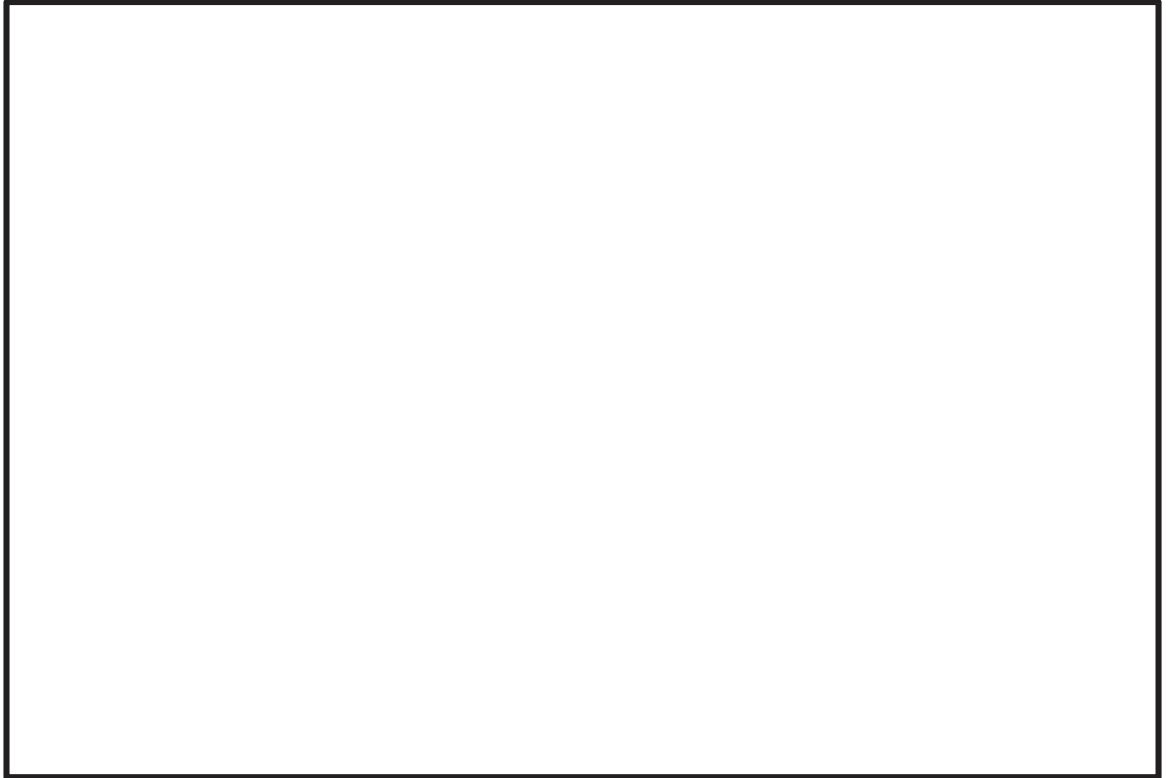


図 3-10 代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスポンペラック (A) 振動モード

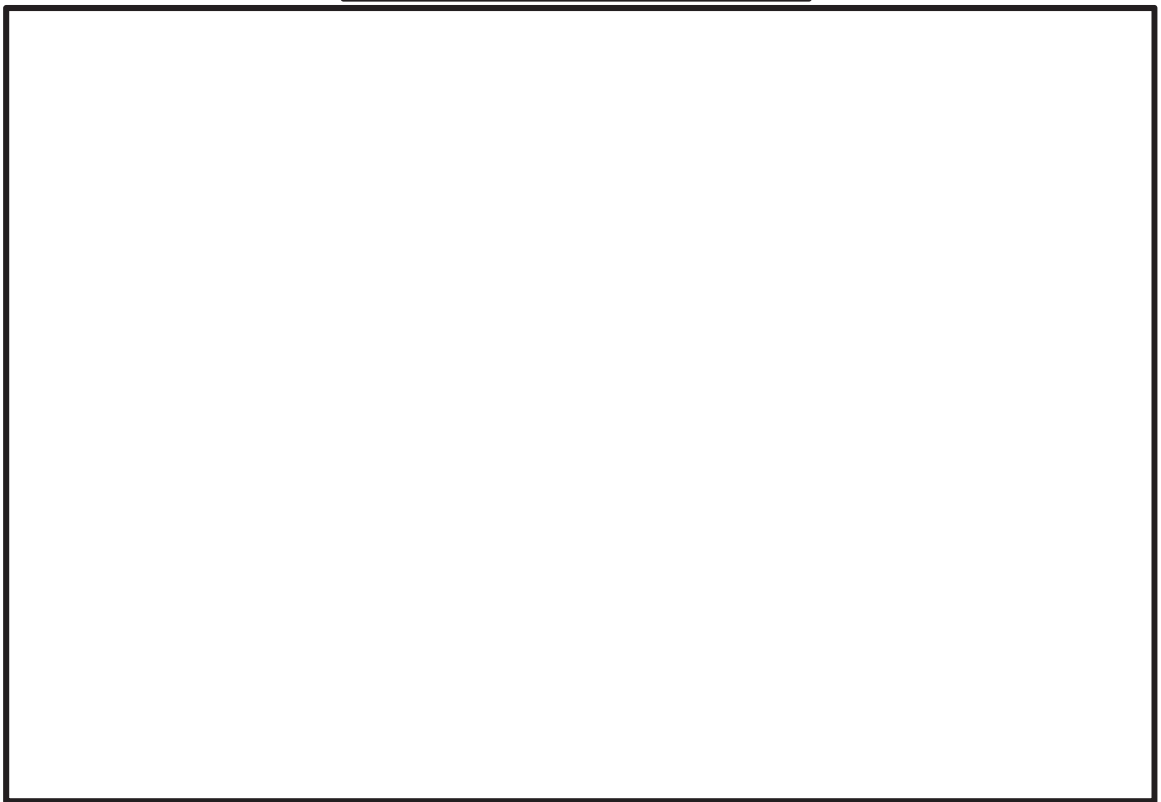


図 3-11 代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスポンペラック (B) 振動モード



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

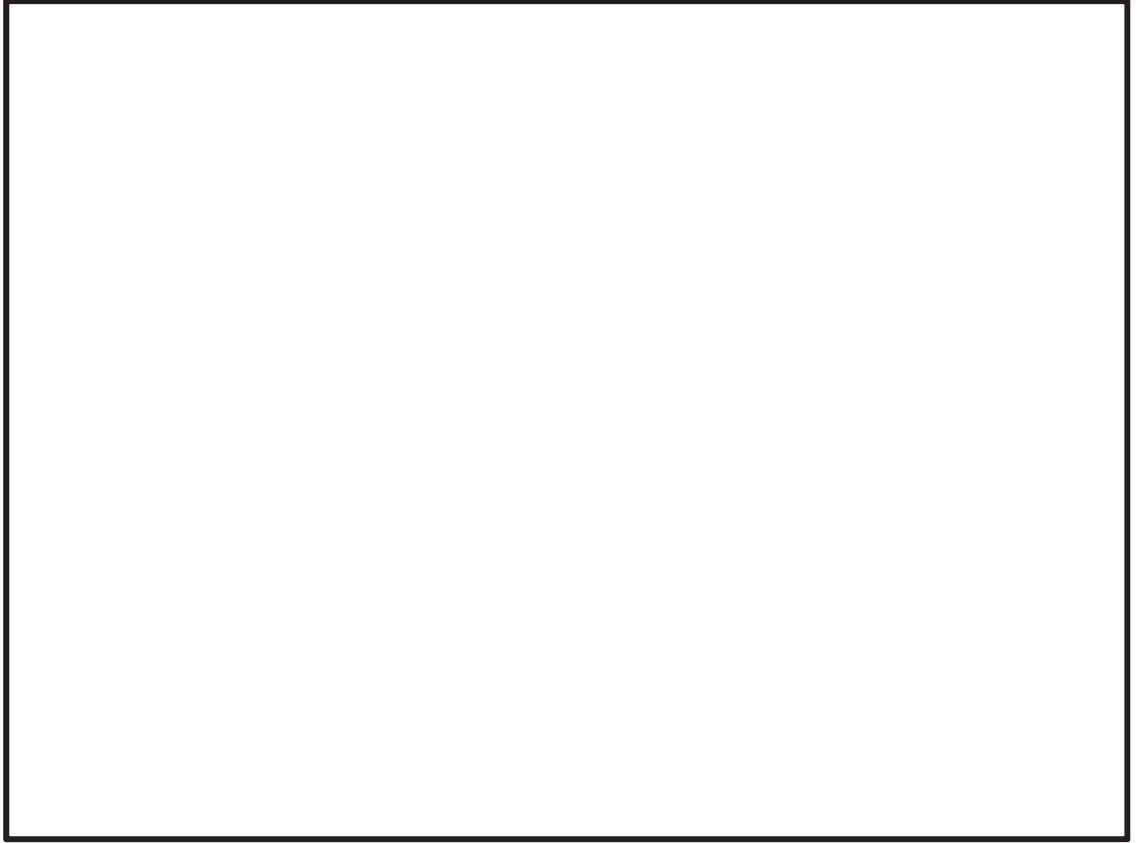


図 3-12 中央制御室待避所加圧設備（空気ボンベ）ボンベラック振動モード

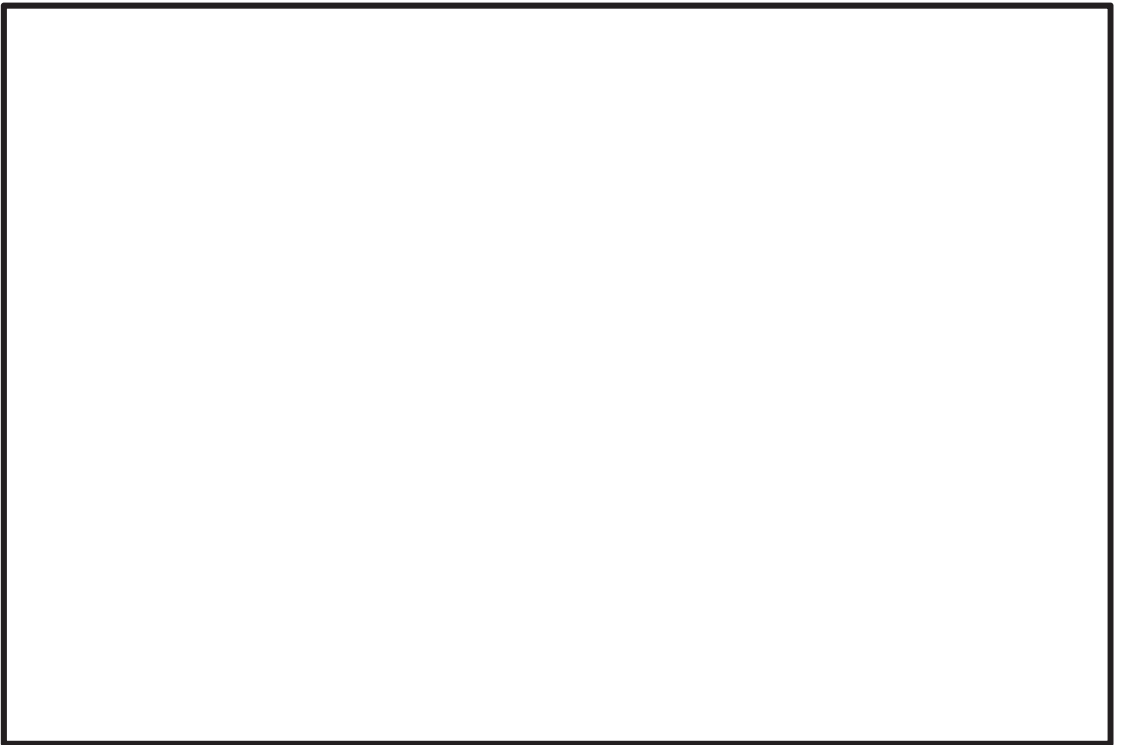


図 3-13 緊急時対策所加圧設備（空気ボンベ）ボンベカードル振動モード



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.5 設計用地震力

基準地震動 S_s による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 3-6～表 3-9 に示す。

表 3-6 設計用地震力（高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスポンペ）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)	基準地震動	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋付属棟 O. P. 15.00* (O. P. 22.50)	□	2.12	1.56

注記 *：基準床レベルを示す。

表 3-7 設計用地震力（代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスポンペ（A系，B系））

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)	基準地震動	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋付属棟 O. P. 15.00* ¹ (O. P. 22.50)	□	2.12	1.56

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：ボンベラック(A)の固有周期。

*3：ボンベラック(B)の固有周期。

表 3-8 設計用地震力（中央制御室待避所加圧設備（空気ポンペ））

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)	基準地震動	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
制御建屋 O. P. 1.50* O. P. 15.00*	□	2.25	1.39

注記 *：基準床レベルを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-9 設計用地震力（緊急時対策所加圧設備（空気ポンベ））

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)	基準地震動	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
緊急時対策建屋 O.P. 57.30*		1.21	0.87

注記 * : 基準床レベルを示す。

4. 構造強度評価

4.1 基本方針

ボンベ設備の構造強度評価は、別添 3-1 の「2.2(2) ボンベ設備」で設定した評価方針に従って、構造強度評価を実施する。

ボンベ設備の構造強度評価は、「4.2 評価部位」に示す評価部位が、「4.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せに対し、「4.4 許容限界」に示す許容限界を満足することを、「3.5 設計用地震力」に示す設計用地震力及び「4.5 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

4.2 評価部位

ボンベ設備の評価部位は、別添 3-1 の「2.2 評価方針」で設定した評価部位に従って設定する。評価部位を表 4-1 に示す。

表 4-1 ボンベ設備の評価部位

設備名称	ボンベラック 支持構造	評価部位	図
高圧窒素ガス供給系 高圧窒素ガスボンベ	溶接	フレーム	図 2-1
		フレーム取付 溶接部	
代替高圧窒素ガス供給系 高圧窒素ガスボンベ	溶接	フレーム	図 2-2 図 2-3
		フレーム取付 溶接部	
	取付ボルト	取付ボルト	
中央制御室待避所加圧設備 (空気ボンベ)	溶接 接続ボルト	フレーム	図 2-4
		フレーム取付 溶接部	
		フレーム 接続ボルト	
	取付ボルト	取付ボルト	
緊急時対策所加圧設備 (空気ボンベ)	溶接	フレーム	図 2-5
		固定端溶接部	
	取付ボルト	取付ボルト	

4.3 荷重及び荷重の組合せ

ポンベ設備の構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、別添 3-1 の「3.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定した荷重及び荷重の組合せを用いる。

ポンベ設備の構造強度評価に用いる荷重の組合せを表 4-2 に示す。

表 4-2 荷重の組合せ

設備名称	評価部位	荷重の組合せ
ポンベ設備	フレーム	D + S _s
	フレーム取付溶接部	
	フレーム接続ボルト	
	固定端溶接部	
	取付ボルト	

4.4 許容限界

ポンベ設備の許容限界は、「4.2 評価部位」にて設定した評価部位の破断延性限界を考慮し、別添 3-1 の「3.2 許容限界」で設定した許容限界に従い、許容応力状態IV_AS の許容応力とする。

評価部位の許容限界を表 4-3～表 4-5 に示す。

表 4-3 ポンベラックの許容限界

評価部位	荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界*1, *2
			一次応力
			組合せ
フレーム	D + S _s	IV _A S	1.5・f _t * [*]

注記 *1：f_t*^{*}は、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a本文中S_y及びS_y(RT)を1.2・S_y及び1.2・S_y(RT)と読み替えて算出した値(設計・建設規格 SSB-3121.3)。ただし、S_y及び0.7・S_uのいずれか小さい方の値とする。

*2：J E A G 4 6 0 1・補-1984の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。

表 4-4 フレーム取付溶接部及び固定端溶接部の許容限界

評価部位	荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界*1, *2	
			一次応力	
			せん断	
フレーム取付溶接部	D + S _s	IV _A S	1.5・f _s *	
固定端溶接部	D + S _s	IV _A S	1.5・f _s *	

注記 *1: f_s*は、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a本文中S_y及びS_y(RT)を1.2・S_y及び1.2・S_y(RT)と読み替えて算出した値(設計・建設規格 SSB-3121.3)。ただし、S_y及び0.7・S_uのいずれか小さい方の値とする。

*2: J E A G 4 6 0 1・補-1984の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。

表 4-5 フレーム接続ボルト及び取付ボルトの許容限界

評価部位	荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界*1, *2	
			一次応力	
			引張り*3	せん断*3
フレーム接続ボルト	D + S _s	IV _A S	1.5・f _t *	1.5・f _s *
取付ボルト	D + S _s	IV _A S	1.5・f _t *	1.5・f _s *

注記 *1: f_t*, f_s*は、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a本文中S_y及びS_y(RT)を1.2・S_y及び1.2・S_y(RT)と読み替えて算出した値(設計・建設規格 SSB-3133)。ただし、S_y及び0.7・S_uのいずれか小さい方の値とする。

*2: J E A G 4 6 0 1・補-1984の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。

*3: ボルトにせん断力が作用する場合、組合せ評価を実施する。その際の許容引張応力f_{t_s}は、設計・建設規格 SSB-3133に基づき、f_{t_s}=Min[1.4・f_{t_o}-1.6・τ_b, f_{t_o}]とする。ここで、f_{t_o}は1.5・f_t*とする。

なお、f_{t_s}は引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力をいい、f_{t_o}は引張力のみ受けるボルトの許容引張応力をいう。

4.5 評価方法

ポンベ設備の構造強度評価は、別添 3-1 の「4.2(2) 構造強度評価」で設定した計算式に従って、評価部位の発生応力を算出し、許容応力以下であることを確認する。

(1) 評価に使用する記号及び計算モデルの説明

構造強度評価に使用する記号を表 4-6 に、計算モデル例を図 4-1～図 4-3 に示す。

表 4-6 構造強度評価に使用する記号

記号	単位	定義
σ_a	MPa	フレーム（はり）の引張応力
σ_b	MPa	フレーム（はり）の曲げ応力
τ	MPa	フレーム（はり）のせん断応力
σ_{wa}	N	溶接部のせん断力
σ_{wb}	N・mm	溶接部の曲げモーメント
Z_w	mm ³	溶接部の断面係数
A_w	mm ²	溶接部の断面積
σ_1	MPa	主応力
σ_2	MPa	主応力
σ_3	MPa	主応力
σ_x	MPa	フレーム(シェル)の引張応力
σ_y	MPa	フレーム(シェル)の引張応力
τ_{xy}	MPa	フレーム(シェル)のせん断応力
F_{bt}	N	フレーム接続ボルト及び取付ボルトの引張力
F_{bs}	N	フレーム接続ボルト及び取付ボルトのせん断力
A_b	mm ²	フレーム接続ボルト及び取付ボルトの断面積
σ_{bt}	MPa	フレーム接続ボルト及び取付ボルトの引張応力
τ_b	MPa	フレーム接続ボルト及び取付ボルトのせん断応力

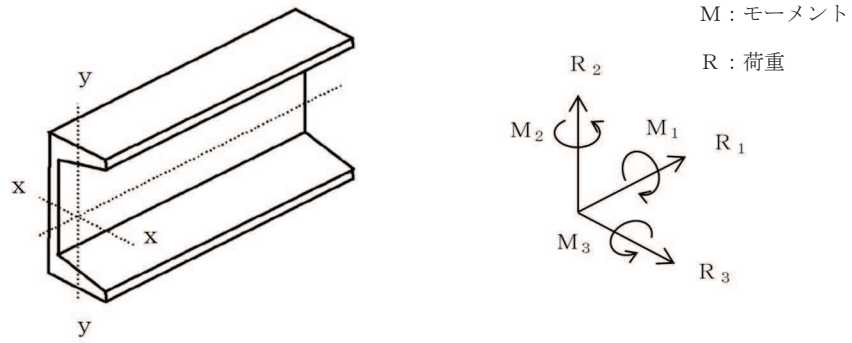


図 4-1 フレーム（はり）の計算モデル例

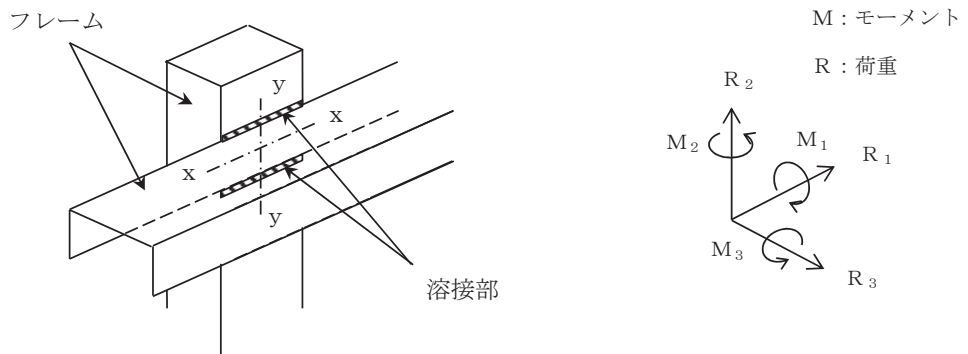


図 4-2 フレーム（はり）取付溶接部の計算モデル例

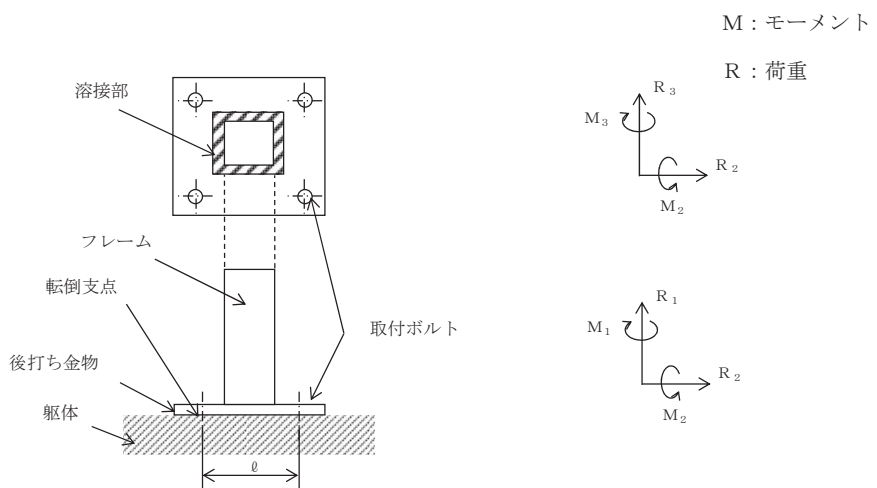


図 4-3 フレーム（はり）取付ボルトの計算モデル例

(a) 評価式

i-1. フレーム (はり)

フレームの組合せ応力を以下のとおり計算する。

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_a + \sigma_b)^2 + 3\tau^2} \dots\dots\dots (4.1)$$

i-2. フレーム (シエル)

フレーム(シエル)の組合せ応力を以下のとおり計算する。

$$\sigma = \text{MAX}(|\sigma_1 - \sigma_2|, |\sigma_2 - \sigma_3|, |\sigma_3 - \sigma_1|) \dots\dots\dots (4.2)$$

ここで,

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_2 = 0$$

$$\sigma_3 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

ii. フレーム取付溶接部及び固定端溶接部

フレーム取付溶接部及び固定端溶接部のせん断応力を以下のとおり計算する。

$$\tau_w = \frac{\sigma_{wa}}{A_w} + \frac{\sigma_{wb}}{Z_w} \dots\dots\dots (4.3)$$

iii. フレーム接続ボルト及び取付ボルト

フレーム接続ボルト及び取付ボルトの応力を以下のとおり計算する。

・引張応力

$$\sigma_{bt} = \frac{F_{bt}}{A_b} \dots\dots\dots (4.4)$$

・せん断応力

$$\tau_b = \frac{F_{bs}}{A_b} \dots\dots\dots (4.5)$$

5. 波及的影響評価

5.1 基本方針

ポンベ設備は、別添 3-1 の「2.2(2) ポンベ設備」にて設定した評価方針に従い、当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備への波及的影響を実施する。

ポンベ設備の波及的影響は、「4.2 評価部位」に示す評価部位が、「4.3 荷重および荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せに対し、「4.4 許容限界」に示す許容応力を満足することを、「3.5 設計用地震力」に示す設計用地震力及び「4.5 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

6. 評価条件

「4. 構造強度評価」及び「5. 波及的影響評価」に用いる評価条件を表 6-1 に示す。

表 6-1 使用材料の許容応力評価条件(1/2)

設備名称	ボンベラック 支持構造	評価部位	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)
高圧窒素ガス供給系高圧 窒素ガスボンベ	溶接	フレーム	SS400 (t ≤ 16mm)	周辺環境温度	50	241	394
		フレーム取付 溶接部	STKR400	周辺環境温度	50	234	394
代替高圧窒素ガス 供給系高圧窒素 ガスボンベ	溶接	フレーム	SS400 (t ≤ 16mm)	周辺環境温度	50	241	394
		フレーム取付 溶接部	STKR400	周辺環境温度	50	234	394
	取付ボルト	取付ボルト	SS400 (40mm < t ≤ 100mm)	周辺環境温度	50	211	394
中央制御室待避所 加圧設備 (空気ボンベ)	溶接 接続ボルト	フレーム	SS400 (t ≤ 16mm)	周辺環境温度	40	245	400
		フレーム取付 溶接部	SS400 (t ≤ 16mm)	周辺環境温度	40	245	400
		フレーム 接続ボルト	SCM435 (t ≤ 16mm)	周辺環境温度	40	785	930
	取付ボルト	取付ボルト	SS400 (t ≤ 16mm)	周辺環境温度	40	245	400

表 6-1 使用材料の許容応力評価条件 (2/2)

設備名称	ボンベラック 支持構造	評価部位	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)
緊急時対策所加圧設備 (空気ボンベ)	溶接	フレーム	SS400 (t ≤ 16mm)	周辺環境温度	50	241	394
		フレーム	STKR400	周辺環境温度	50	234	394
		固定端溶接部	SS400 (t ≤ 16mm)	周辺環境温度	50	241	394
	取付ボルト	取付ボルト	SNB7 (t ≤ 63mm)	周辺環境温度	50	715	838

7. 評価結果

ポンベ設備の基準地震動 S_s による地震力に対する評価結果を表 7-1 に示す。

構造強度評価及び波及的影響評価の結果、発生値は許容応力を満足しており、基準地震動 S_s による地震動に対して評価部位の健全性が維持されるとともに、当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

以上より、ポンベ設備は地震後において、基準地震動 S_s による地震力に対し、重大事故等に対処するために必要な機能を維持するとともに当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

7.1 構造強度評価結果

ポンベ設備の構造強度評価結果を表 7-1 に示す。

7.2 波及的影響評価結果

ポンベ設備の波及的影響評価結果を表 7-1 に示す。

表 7-1 構造強度評価及び波及的影響評価結果(1/2)

設備名称	ボンベラック 支持構造	評価部位	応力分類	発生値 (MPa)	許容 応力 (MPa)	評価 結果	
高圧窒素ガス供給系 高圧窒素ガスポンベ	溶接	フレーム	組合せ	72	276	○	
		フレーム 取付溶接部	せん断	31	159	○	
代替高圧窒素ガス 供給系高圧窒素 ガスポンベ	(A)	溶接	フレーム	組合せ	94	276	○
			フレーム 取付溶接部	せん断	4	159	○
		取付ボルト	取付ボルト	引張り	13	152*	○
				せん断	6	117	○
	(B)	溶接	フレーム	組合せ	94	276	○
			フレーム 取付溶接部	せん断	4	159	○
		取付ボルト	取付ボルト	引張り	14	152*	○
				せん断	1	117	○

注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

表 7-1 構造強度評価及び波及的影響評価結果(2/2)

設備名称	ボンベラック 支持構造	評価部位	応力分類	発生値 (MPa)	許容 応力 (MPa)	評価 結果
中央制御室待避所 加圧設備 (空気ボンベ)	溶接 接続ボルト	フレーム	組合せ	175	280	○
		フレーム 取付溶接部	せん断	80	161	○
		フレーム 接続ボルト	引張り	14	488*	○
			せん断	79	375	○
	取付ボルト	取付ボルト	引張り	71	168*	○
			せん断	36	129	○
緊急時対策所加圧設備 (空気ボンベ)	溶接	フレーム (SS400)	組合せ	82	276	○
		フレーム (STKR400)	組合せ	25	276	○
		固定端 溶接部	せん断	1	159	○
	取付ボルト	取付ボルト	引張り	54	440*	○
			せん断	31	338	○

注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$