

補足-340-19 【制御棒駆動機構の耐震評価方針について】

1. 制御棒駆動機構の耐震評価の概要

制御棒駆動機構（以下、「CRD」という）は、耐震Sクラス設備であり、機能要求としては、「クラス1の耐圧バウンダリ」と「スクラム機能」を有する。「クラス1の耐圧バウンダリ」と「スクラム機能」に対するそれぞれの耐震評価方針について、以下に整理する。

2. 「クラス1耐圧バウンダリ」に対する耐震評価

CRDは、クラス1耐圧バウンダリの機能を有するCRDハウジングに取り付けられる。CRD本体のクラス1耐圧バウンダリとしては、フランジ部がその機能を有することから、当該部に対して添付書類「V-2-6-3-1 制御棒駆動機構の耐震性についての計算書」において耐震評価を実施している。

3. 「スクラム機能」に対する耐震評価

スクラム機能要求に対する規格基準の要求としては、J E A G 4 6 0 1-1987に示されており、以下記載となっている。

「制御棒及び制御棒駆動装置については、地震時に制御棒が安全上要求される時間内に炉心内に挿入されることをもって、機能維持を確認する。」

当該記載を踏まえ、従来より、地震時に制御棒が安全上要求される時間内に挿入されることを確認することにより、CRDのスクラム機能維持を確認している。具体的には、制御棒の挿入性試験において、模擬燃料集合体を強制加振させることにより、所定の変位を与え、地震を模擬した状態で制御棒をスクラム挿入させている。添付書類「V-2-6-2-1 制御棒の耐震性についての計算書」において、挿入試験のスクラム時の制御棒挿入時間が安全上要求される規定時間3.5秒以内である燃料集合体の変位40mmを許容変位量とし、東海第二発電所の地震時における燃料集合体変位が許容変位量40mm以内であることを確認している。

また、制御棒の挿入性を確認するための試験において、燃料集合体の相対変位に着目して実施していることについては、既工認から同様である。

燃料集合体の相対変位について着目した試験を実施している理由は、燃料集合体は上端を上部格子板、下端を炉心支持板で支持されており、そのスパン長は約4mとなり柔構造であることに対して、その他の挿入経路である制御棒案内管及び制御棒駆動機構は、燃料集合体に比べて構造的に剛であり、地震により生じる変位が燃料集合体に比べて小さいため、制御棒案内管及び制御棒駆動機構における制御棒挿入時の接触による抵抗力は、燃料集合体部分と比べて小さく、地震時において制御棒の挿入経路に与える影響は軽微であるためである。

各構造物の固有周期を表1に示す。表1に示すとおり振動特性からも燃料集合体が最も固有周期が大きく、地震時に変位が生じ易い構造である。

表1 各構造物の固有周期

構造物	固有周期（秒）
燃料集合体	0.196
制御棒案内管	0.086
制御棒駆動機構 (制御棒駆動機構ハウジング)	0.05以下

4. 制御棒駆動機構を加振した試験について

制御棒駆動機構を加振して制御棒挿入性を確認した試験として、独立行政法人原子力安全基盤機構で実施された機器耐力試験^{*}（以下「機器耐力試験」という。）がある。

注記 *：原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査機器耐力その2（BWR制御棒挿入性）に係る報告書（平成18年9月）独立行政法人原子力安全基盤機構

機器耐力試験では、東海第二発電所で採用しているロッキングピストン型制御棒駆動機構でなく、高速スクラム型制御棒駆動機構を用いた試験を実施しているため、以下では参考として、制御棒が規定時間内に挿入された加速度レベルと制御棒駆動機構の応答加速度との関係を示す。

機器耐力試験では、図1に示す試験装置を用いて、試験当時のBWRプラントの基準地震動 S_2 の4倍相当の加速度を入力とした試験が実施されている。機器耐力試験では、4倍相当の加速度入力に対しても、スクラムの規定時間内に制御棒が挿入されていることが確認されている

（図2）。また、制御棒駆動機構の加速度応答のデータは図3のとおりとなっている。図3に東海第二発電所の基準地震動 S_s における制御棒駆動機構ハウジング部の加速度応答値 19.35m/s^2 を示しており、制御棒挿入性が規定時間内に収まっている加速度応答値内であることが判る。

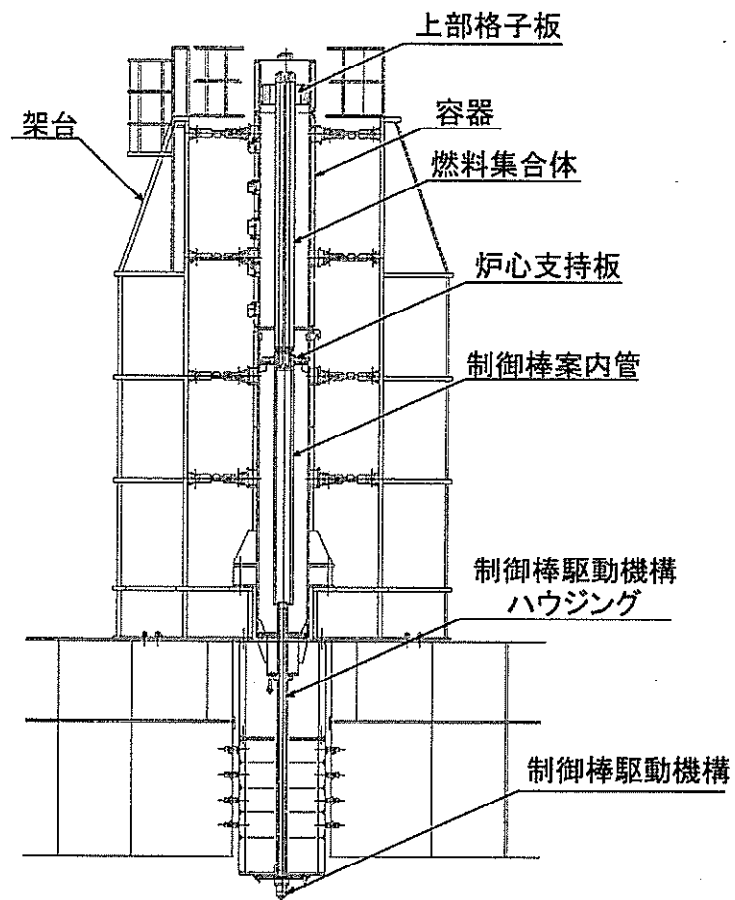


図1 J N E S 試験の実機試験体の概略構造

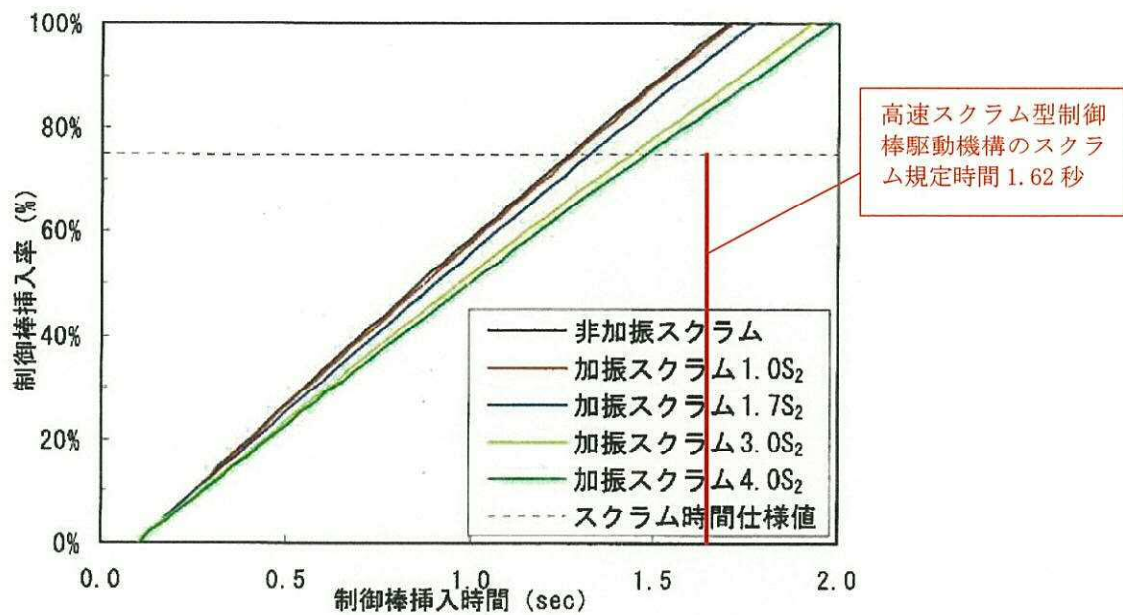


図2 各加振レベルでの制御棒挿入率－挿入時間 *

注記 * : 機器耐力試験報告書（抜粋）にスクラム規程時間を追記している

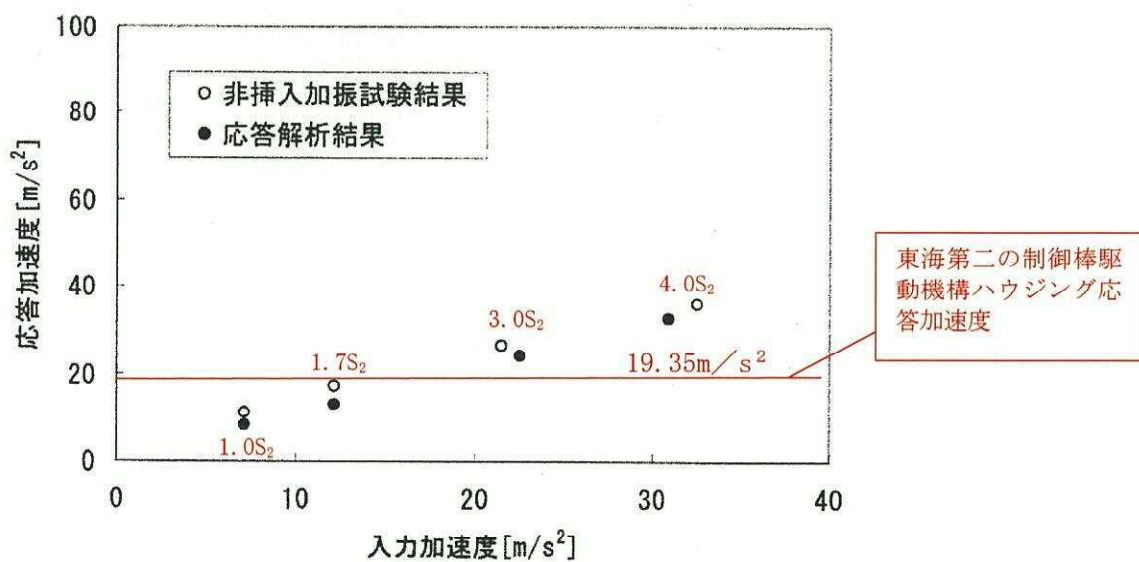


図3 入力加速度に対する制御棒駆動機構ハウジング応答加速度（応答解析） *

注記 * : 機器耐力試験報告書（抜粋）に東海第二の制御棒駆動機構ハウジング応答加速度を追記している

補足-340-20【ブローアウトパネル閉止装置の耐震性について】

目次

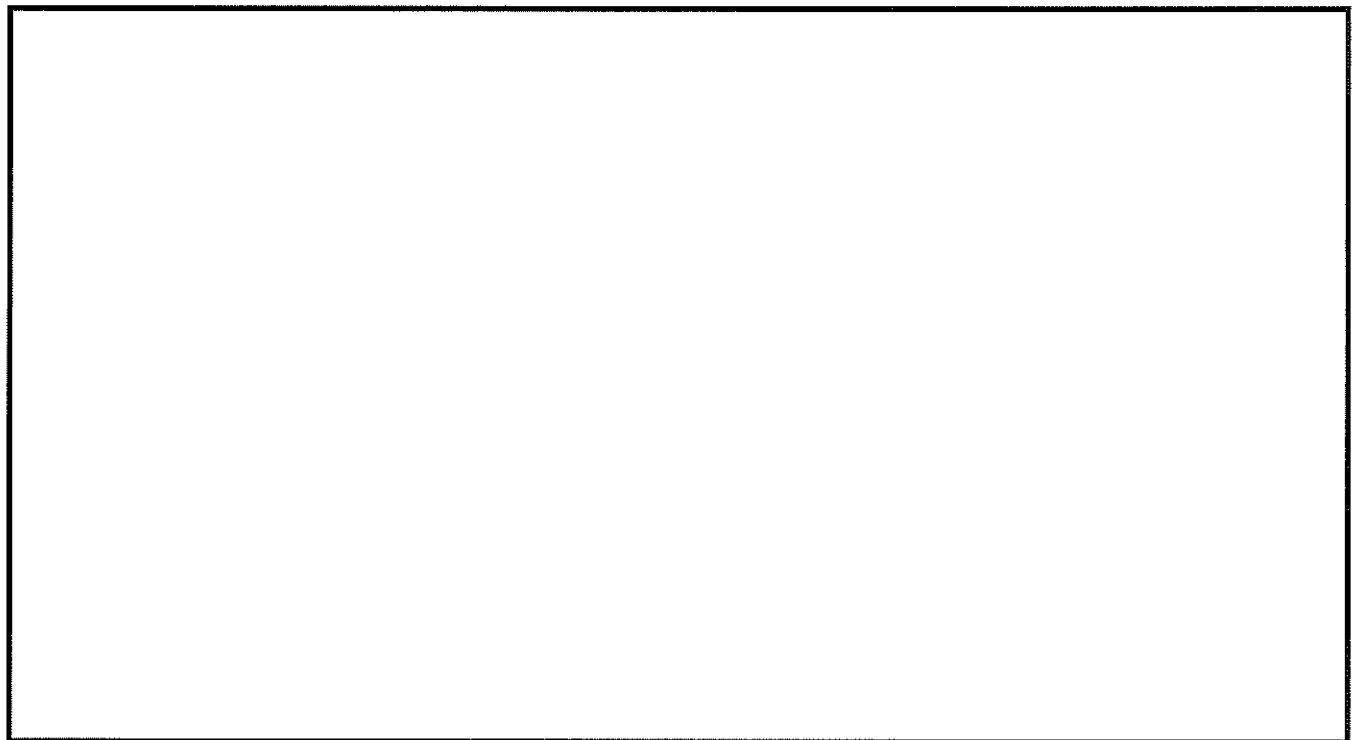
1. 概要	1
2. 閉止装置の構造	1
3. 評価部位	2
3.1 考慮する荷重	2
3.2 荷重伝達経路	2
3.2.1 地震荷重	2
3.2.2 圧力荷重及び機械的荷重	5
3.3 評価部位	6
3.3.1 扉、支持部材及び駆動部（主要部材）の考慮する荷重方向	6
3.3.2 応力評価部位	6
4. 評価条件	9
4.1 荷重の組合せ及び許容値	9
4.1.1 扉及び支持部材	9
4.1.2 駆動部	10
4.2 設計条件	11
4.2.1 温度条件	11
4.2.2 死荷重	11
4.2.3 圧力荷重	11
4.2.4 機械的荷重	11
4.2.5 地震荷重	11
4.2.6 チェーン張力	13
4.3 各評価部位の許容応力	13
5. 評価	16
5.1 閉止装置の固有周期の計算方法	16
5.1.1 計算モデル	16
5.1.2 固有周期の算出結果	17
5.2 応力計算方法	18
5.2.1 扉の応力計算	18
5.2.2 面外方向支持材の応力計算	21
5.2.3 面内方向支持材の応力計算	32
5.2.4 鉛直方向支持材の応力計算	36
5.3 評価結果	42

1. 概要

本資料は、ブローアウトパネル関連設備のうち、ブローアウトパネル閉止装置（以下「閉止装置」という。）の強度及び耐震評価手法について説明するものである。

2. 閉止装置の構造

閉止装置は、ブローアウトパネルが開放された状態で炉心損傷した場合において、扉を電動機又は手動操作により動作させ、ブローアウトパネル開口部を閉止する装置である。図 2-1 に閉止装置構造を示す。閉止装置は、閉止装置上部に取り付けられた電動機により作動する。電動機からの駆動力は減速機を介し出力軸に伝えられ、スプロケットにより扉に取り付けられたチェーンを送ることで扉を水平方向に移動させる。ブローアウトパネル開放時（扉開状態）及び閉止時（扉閉状態）には、門により扉の面内方向への移動を防止する。



- | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ①扉 <ul style="list-style-type: none">・内梁・外梁・面板 | ②扉枠 <ul style="list-style-type: none">・扉枠 | ③面外方向支持部材 <ul style="list-style-type: none">・ガイドレール・ガイドローラ・側面プッシュローラ・上下面プッシュローラ・テーパーブロック |
| ④面内方向支持部材 <ul style="list-style-type: none">・門 | ⑤鉛直方向支持部材 <ul style="list-style-type: none">・ハンガーレール・ハンガーローラ・吊具 | ⑥駆動部 <ul style="list-style-type: none">・ギアボックス・エンドボルト・チェーンガイド・チェーン・電動機 |

図 2-1 閉止装置構造

3. 評価部位

評価部位は、荷重の伝達経路を考慮して選定する。以下に考慮する荷重、荷重伝達経路及び評価部位を示す。

3.1 考慮する荷重

閉止装置は、添付書類「V-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」及び添付書類「V-1-1-6-別添4 ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に基づき、表 3-1 に示す荷重を考慮する。

表 3-1 閉止装置に考慮する荷重

状態	差圧	S ₀ 地震	台風	竜巻		津波	火山の影響	積雪
			風 (30 m/s)	風 (100 m/s)	飛来物			
開	—	○	○	—	—	—	—	—
閉	○	○	○	—	—	—	—	

3.2 荷重伝達経路

3.2.1 地震荷重

閉止装置が開及び閉それぞれの状態で、地震荷重が作用した場合の各方向の伝達経路を以下に示す。

(1) 面外方向（開及び閉状態）

地震動が作用した場合の面外方向の荷重は、ガイドローラを介してガイドレールに、またテーパブロックを介してプッシュローラに伝達される。荷重伝達経路を図 3-1 に示す。開及び閉状態ともに荷重伝達経路は以下に示すとおりである。

- 1) 面外地震動により扉に慣性力が作用する。
- 2) 扉を支持するガイドローラやテーパブロックに扉慣性力が作用する。
- 3) 扉、ガイドローラ及びテーパブロックを支持するガイドレール及びプッシュローラに扉慣性力が作用する。

以上から面外方向に対しては、扉慣性力を支持する部位のうち、ガイドレール、ガイドローラ、プッシュローラ及びテーパブロックが主要な荷重伝達経路になる。

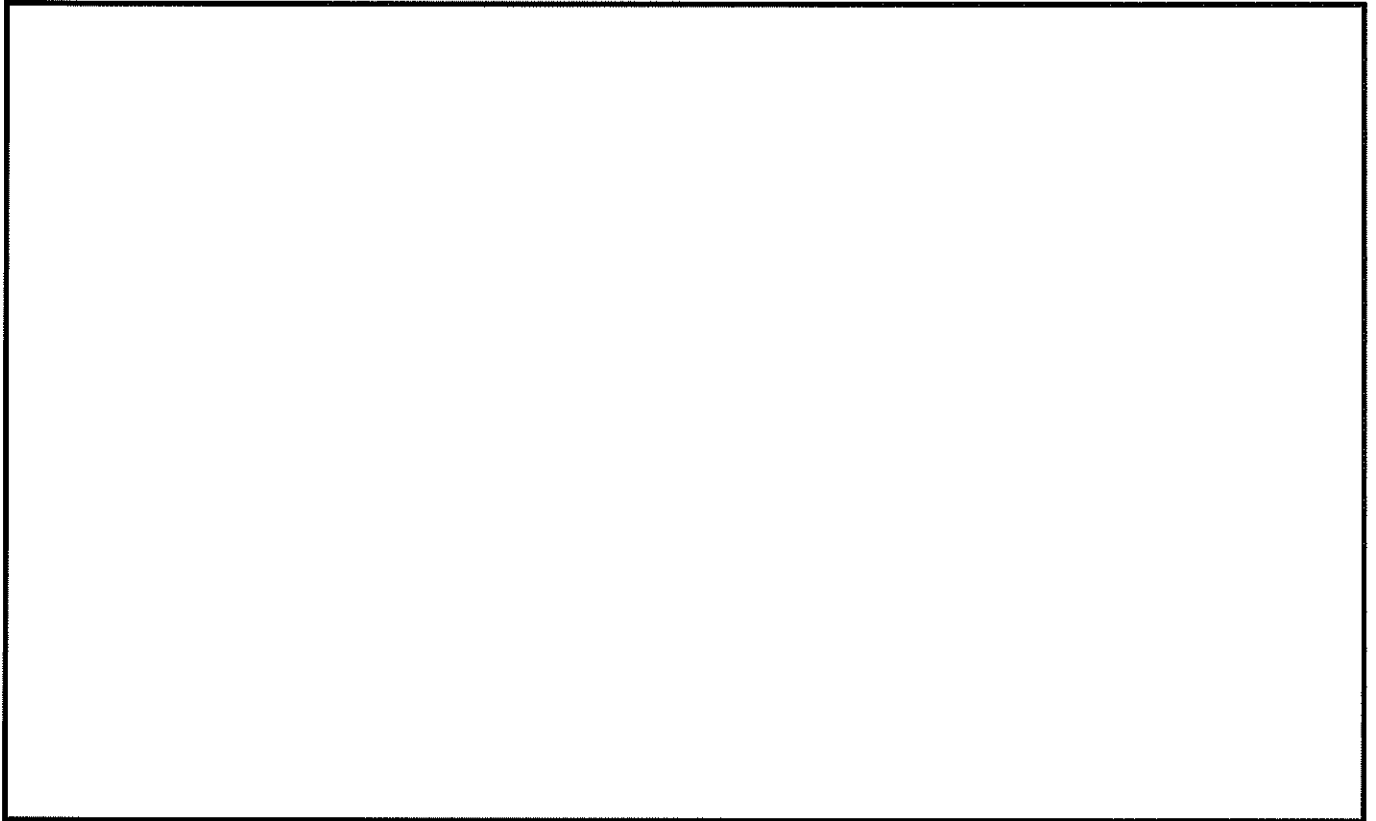


図 3-1 面外方向荷重伝達経路

(2) 面内方向（開及び閉状態）

地震動が作用した場合の面内方向の荷重は，門受板（扉側）から門ピンを介して門受板（枠側）に伝達される。荷重伝達経路を図 3-2 に示す。開及び閉状態ともに荷重伝達経路は以下に示すとおりである。

- 1) 面内地震動により扉に慣性力が作用する。
- 2) 扉を支持する門に扉慣性力が作用する。

以上から，面内方向に対しては，扉慣性力を支持する部位のうち，面内方向に扉を支持する門受板（扉側），門ピン及び門受板（枠側）が主要な荷重伝達経路となる。

また，門部には面内方向に最大で \square mm のギャップがあり，扉が移動しチェーンの伸びによる張力が駆動部に作用するため，駆動部についてはチェーン張力を用いた評価を実施する。

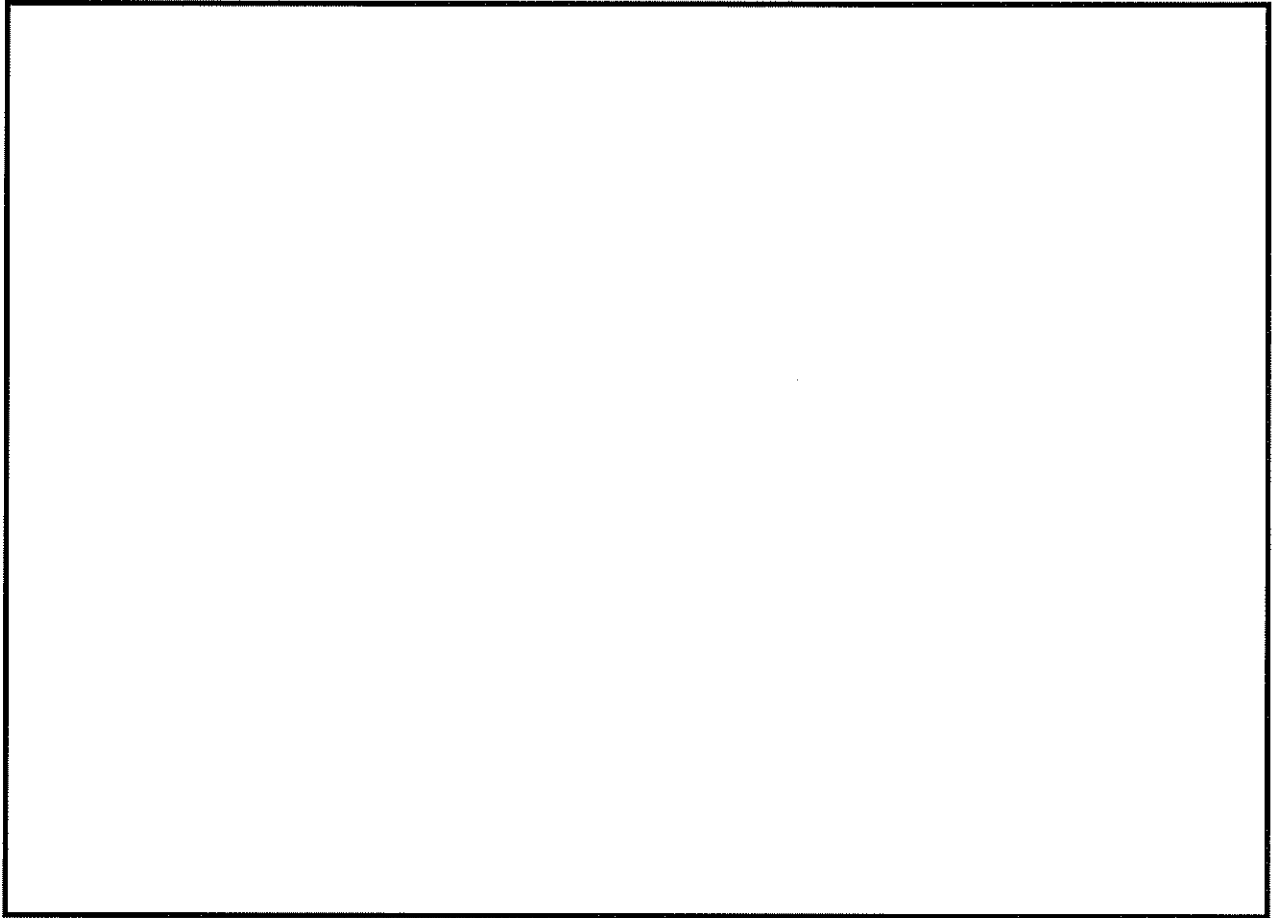


図 3-2 面内方向荷重伝達経路

(3) 鉛直方向（開及び閉状態）

地震動が作用した場合の鉛直方向の荷重は、吊具及びハンガーローラを介してハンガーレールに伝達される。ハンガーレールは剛性が高く強固な架台により原子炉建屋外壁に取り付けられている。荷重伝達経路を図 3-3 に示す。開及び閉状態ともに荷重伝達経路は以下に示すとおりである。

- 1) 鉛直地震動により扉に慣性力が作用する。
- 2) 扉を支持する吊具に扉慣性力が作用する。
- 3) 扉及び吊具を支持するハンガーレール及びハンガーローラに扉慣性力が作用する。

以上から、鉛直方向に対しては、扉慣性力を支持する部位のうち、ハンガーレール、ハンガーローラ及び吊具が主要な荷重伝達経路となる。

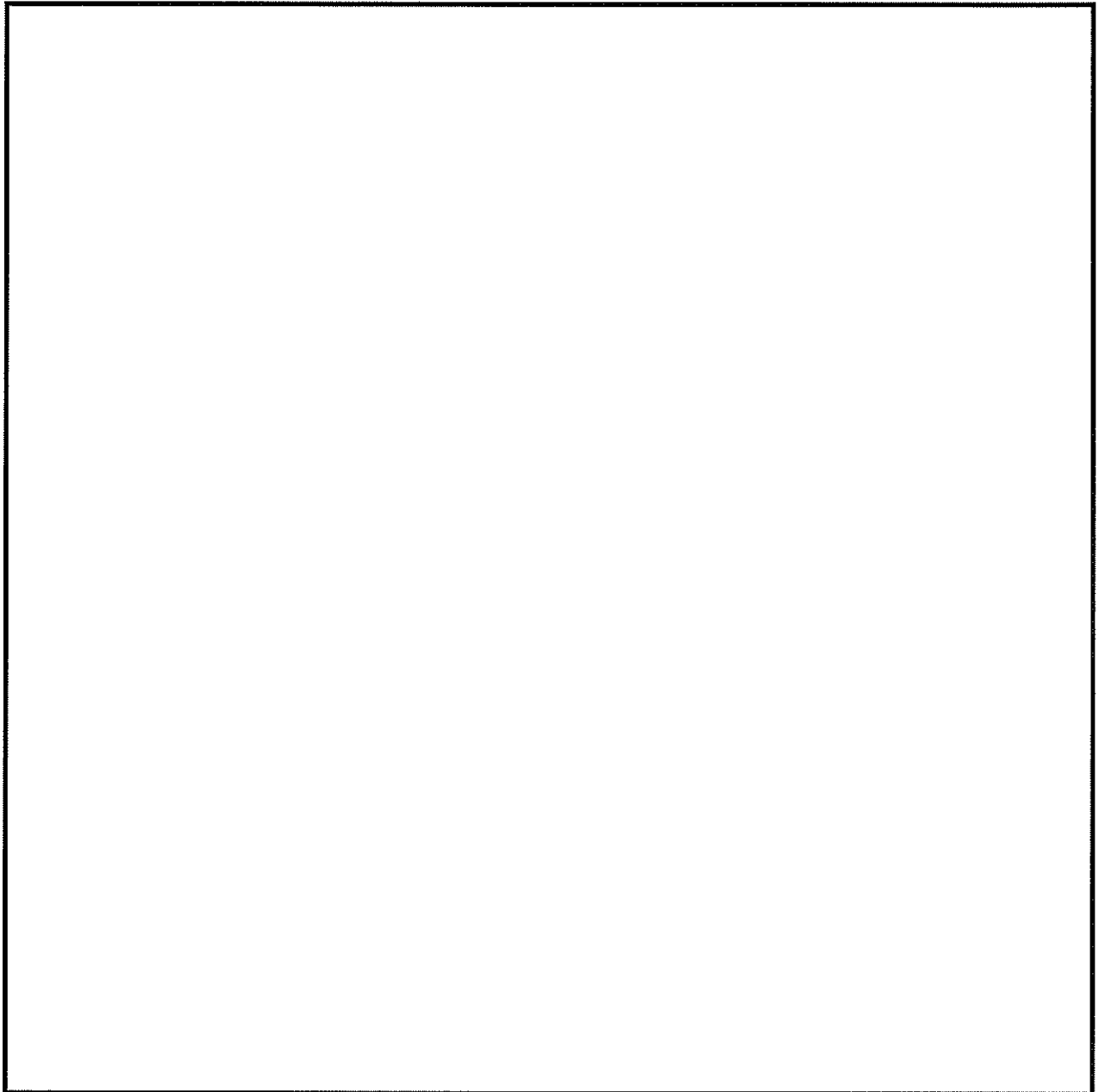


図 3-3 鉛直方向荷重伝達経路

3.2.2 圧力荷重及び機械的荷重

圧力荷重及び機械的荷重は扉面外方向に分布荷重として作用するため、地震荷重が面外方向に作用した場合と同様の荷重伝達経路である。

3.3 評価部位

3.3.1 扉，支持部材及び駆動部（主要部材）の考慮する荷重方向

3.2 項に示す地震荷重の作用方向の荷重伝達経路から，扉，扉を支持する支持部材及び駆動部の主要部材に対して，評価する状態及び強度評価で考慮する荷重方向を表 3-2 に示す。

表 3-2 扉，支持部材及び駆動部の考慮する荷重方向

No.	主要部材		状態		考慮する荷重方向		
			開	閉	面外	面内	鉛直
1	扉	梁	○	○	○	○	○
		板	○	○	○	○	○
2	支持部材	面外方向	ガイドレール	○	—	○	—
3			ガイドローラ	○	—	○	—
4			側面プッシュローラ	○	○	○	—
5			上下面プッシュローラ	—	○	○	—
6			テーパーブロック	—	○	○	—
7		面内方向	門	○	○	—	○
8			ハンガーレール	○	○	—	—
9		鉛直方向	ハンガーローラ	○	○	—	—
10			吊具	○	○	—	○
11	駆動部	面内方向	チェーン	○	○	—	○

3.3.2 応力評価部位

応力評価部位は，表 3-2 に示す主要部材のうち，構造強度評価上厳しい箇所とする。評価部位をまとめたものを表 3-3 に示す。評価部位を示した閉止装置構造の全体図を図 3-4 に示す。支持部材の評価部位は 3.2 項で記載した荷重伝達経路に基づいて選定を行う。駆動部については，加振試験で機能維持の確認を行っており，構造強度評価上厳しいチェーンの強度評価を実施する。

表 3-3 評価を実施する部位

No.	評価部位			応力評価箇所	備考*1
1	扉*2			外梁	①
				内梁	
				面板	②
2	支持部材	面外方向	ガイドレール	ガイドレール	③
3			ガイドローラ	ピン	④
4			側面プッシュローラ	ピン	⑤
				ブラケット	⑥
5			上下面プッシュローラ	ピン	⑦
6			テーパーブロック	取付ボルト	⑧
7		面内方向	門	ピン	⑨
				受板（扉側）	⑩
				受板（枠側）	⑪
8		鉛直方向	ハンガーレール	ハンガーレール	⑫
9			ハンガーローラ	ローラ軸	⑬
10			吊具	ブラケット	⑭
11	駆動部	面内方向	チェーン	チェーン	⑮

注記 *1：備考欄に記載の数値は、図 3-4 中の番号を示す。

*2：評価は外梁で代表する。

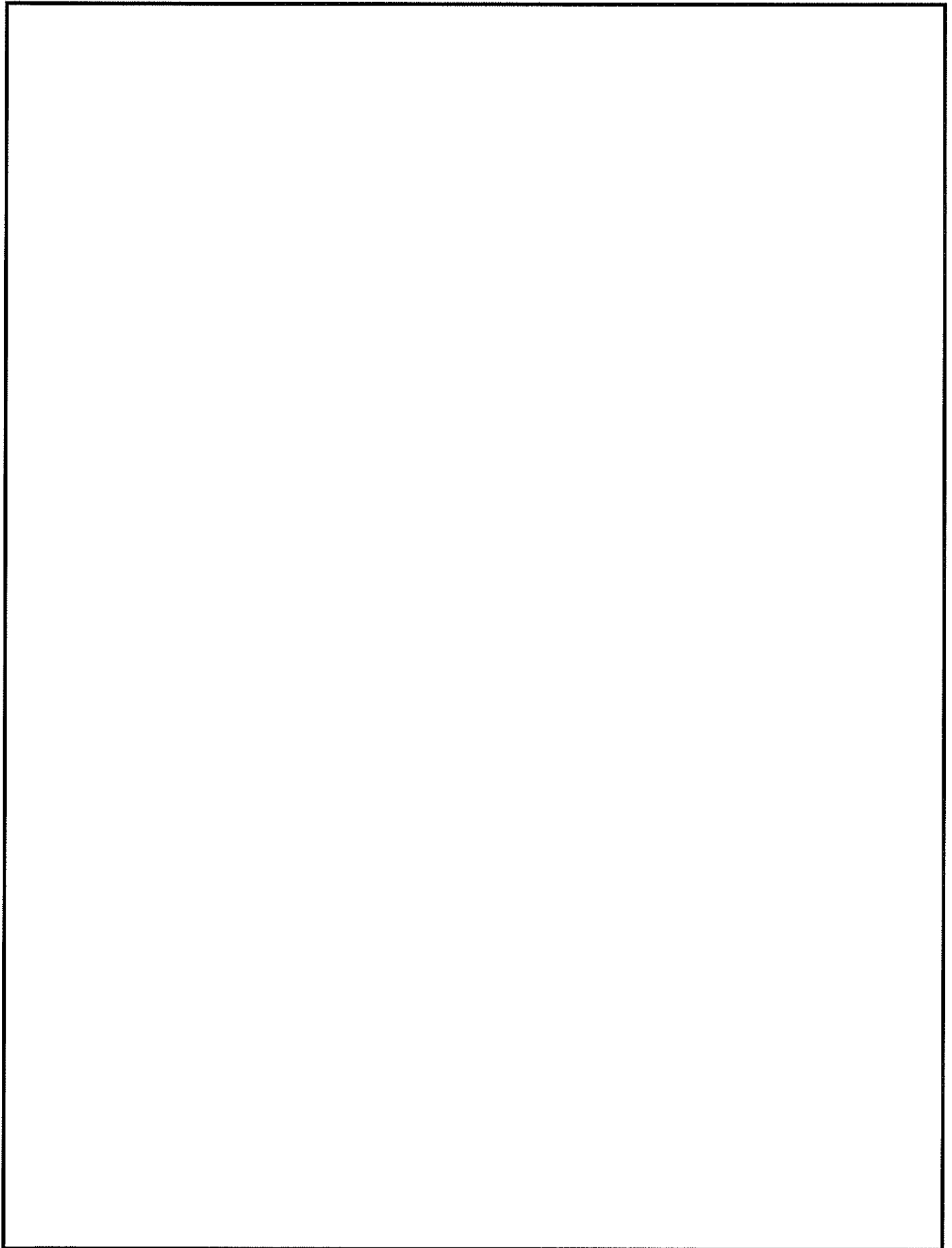


図 3-4 閉止装置構造の全体図

4. 評価条件

4.1 荷重の組合せ及び許容値

各部位の許容値の考え方を以下に示す。閉止装置に作用する荷重は、自重、地震荷重、圧力荷重及び風荷重による機械的荷重が主であることから、一次応力について評価を実施する。

4.1.1 扉及び支持部材

閉止装置のうち、扉及び支持部材は、重大事故等対処施設（耐震Ｓクラス）としてその他支持構造物の許容応力を適用する。耐震評価のための荷重の組合せ及び許容応力は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、表 4-1 に示すとおりとする。

表 4-1 閉止装置の荷重の組合せ及び許容応力（扉及び支持部材）

状態	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容応力		
			引張	せん断	組合せ
開	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅲ _A S ^{*1}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$
		Ⅳ _A S	$1.5 \cdot *f_t$	$1.5 \cdot *f_s$	$1.5 \cdot *f_t$
閉	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	Ⅲ _A S ^{*1}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$
		V _A S	$1.5 \cdot *f_t$	$1.5 \cdot *f_s$	$1.5 \cdot *f_t$

注：

D : 死荷重

P_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重（閉止装置では開状態において圧力荷重は作用しないため考慮しない。）

M_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた機械的荷重（閉止装置では風荷重を考慮する。）

S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

P_{SAD} : 重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）における運転状態等を考慮して当該設備に設計上定められた設計圧力による荷重（閉止装置では建屋内外差圧とする。）

M_{SAD} : 重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）における運転状態等を考慮して当該設備に設計上定められた機械的荷重（閉止装置では風荷重を考慮する。）

Ⅲ_AS : 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) (以下
「設計・建設規格」という。)の供用状態C相当の許容応力を基準として、
それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力
状態

Ⅳ_AS : 設計・建設規格の供用状態D相当の許容応力を基準として、それに地震に
より生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態

V_AS : 運転状態V相当の応力評価を行う許容応力状態を基本として、それに地震
により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態

f_t : 許容応力状態Ⅲ_ASでの許容引張応力

f_s : 許容応力状態Ⅲ_ASでの許容せん断応力

* f_t : 許容応力状態Ⅳ_AS及びV_ASでの許容引張応力

* f_s : 許容応力状態Ⅳ_AS及びV_ASでの許容せん断応力

注記 *1: 基準地震動 S_s により定まる地震力が作用した後においても、扉固定の機
能を維持する設計(塑性変形により門の挿入性を阻害しない設計)とする
ことから、門の評価では許容応力状態をⅢ_ASとする。

4.1.2 駆動部

チェーンについては、設計・建設規格 SSB-3200 の規定を準用し、チェーンの
引張試験(□本分)から得られた破断荷重の 0.6 倍を許容荷重として作用荷重と
比較し評価する。表 4-2 に駆動部の荷重の組合せ及び許容荷重を示す。

表 4-2 閉止装置の荷重の組合せ及び許容荷重(駆動部)

状態	荷重の組合せ	許容荷重
開	チェーン張力	チェーン: 0.6×破断荷重
閉		

4.2 設計条件

4.2.1 温度条件

評価する際の温度条件（許容値算出条件）は以下とする。

開状態：℃

閉状態：℃

4.2.2 死荷重

死荷重（D）として考慮する扉の単体質量は kg，吊具等の質量を含めた支持部材の評価に考慮する扉の質量は kg である。

4.2.3 圧力荷重

閉状態において，非常用ガス処理系による原子炉建屋内外差圧である （負圧）を圧力荷重（ P_{SAD} ）として考慮する。

4.2.4 機械的荷重

機械的荷重（ M_D 及び M_{SAD} ）として，風荷重を考慮する。風荷重は，添付書類「V-1-1-6-別添4 ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に基づき 30 m/s とする。

4.2.5 地震荷重

地震荷重（基準地震動 S_s ）は，添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」のうち「2. 機能維持の確認に用いる設計用地震力」に基づく設計用地震力により閉止装置に作用する震度を用いて算定する。地震荷重の算出の際に考慮する扉の単体質量は kg，吊具等の質量を含めた支持部材の評価に考慮する扉の質量は kg である。

(1) 固有周期

固有周期の計算結果を表 4-3 に示す。固有周期の計算方法は「5.1 閉止装置の固有周期の計算方法」に示す。

表 4-3 固有周期 (単位：s)

固有周期	面内方向	面外方向		鉛直方向
		開	閉	
	— *	— *	<input type="text"/>	— *

注記 *：加振試験にて固有周期が であることを確認したため，計算は省略する。

(2) 評価用震度

下記の評価用震度を適用する。

- ・面内方向及び鉛直方向

1.2ZPA を *した震度を評価用震度とする。

- ・面外方向

扉が閉状態の場合、面外方向にはプッシュローラにより拘束されているため、床応答スペクトル及び固有値計算結果から評価用震度を設定する。

扉が開状態の場合、面外方向に拘束されていないため、床応答スペクトル及び閉状態の固有値計算結果から得られる震度と 1.2ZPA を *した震度の大きい方を評価用震度とする。

上記により設定した評価用震度を表 4-4 に示す。

注記 * : の設定根拠については、添付「評価用震度と加振試験結果の関係について」に示す。

表 4-4 評価用震度（設計震度）

機器名称	据付場所及び 床面高さ (m)	地震動	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度*3
			面外*2	面内*3	
閉止装置	原子炉建屋 EL. 63.65*1	S _s	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：閉止装置設置位置上部の基準床レベルでの床応答スペクトル及び閉状態の固有周期から設定

*3：閉止装置設置位置上部の基準床レベルでの 1.2ZPA の の値

4.2.6 チェーン張力

評価に使用するチェーンが、門部の最大ギャップである \square mm 分伸びる場合の張力 \square kN は、図 4-1 に示すように、チェーン引張試験（チェーン端部から出力軸スプロケットまでの \square リンク分）での最大値であり、加振試験でのチェーン張力を上回るものである。ここで、 \square

\square
 \square である。

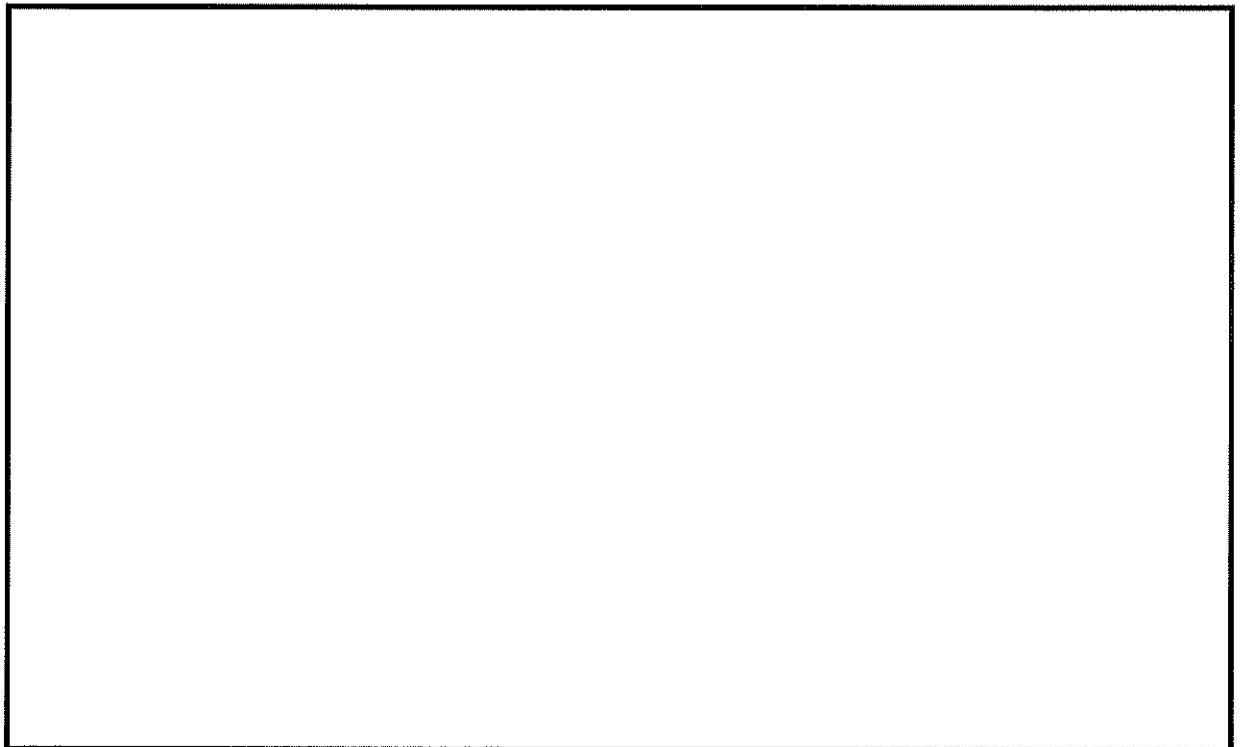


図 4-1 チェーン引張試験結果

4.3 各評価部位の許容応力

各評価部位の許容応力は、各部位の材質及び設計・建設規格 付録材料図表 Part 5 に規定される各温度の設計降伏点（ S_y ）及び設計引張強さ（ S_u ）から設定する。材質及び許容応力を表 4-5 から表 4-8 に示す。駆動部についてはチェーンの許容荷重を用いて評価する。チェーンの許容荷重を表 4-9 に示す。

表 4-5 扉の許容応力

評価部位	材質	温度 (℃)	許容 応力 状態	許容応力				
				S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	1.5*f _t (MPa)	1.5*f _s (MPa)
扉外梁			IV _A S	198	504	205	205	118
			V _A S	171	441	205	205	118

表 4-6 面外方向支持部材の許容応力

評価部位	材質	温度 (℃)	許容 応力 状態	許容応力				
				S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	1.5*f _t (MPa)	1.5*f _s (MPa)
ガイドレール			IV _A S	198	504	205	205	118
ガイドローラピン			IV _A S	198	504	205	205	118
側面プッシュローラピン			IV _A S	198	504	205	205	118
			V _A S	171	441	205	205	118
側面プッシュローラブラケット			IV _A S	198	504	205	205	118
			V _A S	171	441	205	205	118
上下面プッシュローラピン			V _A S	171	441	205	205	118
テーパーブロック 取付ボルト			V _A S	171	441	205	153	118

表 4-7 面内方向支持部材の許容応力

評価部位	材質	温度 (℃)	許容 応力 状態	許容応力				
				S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	1.5 f _t (MPa)	1.5 f _s (MPa)
門ピン	*1		III _A S	339	556	—	339	195
				316	524	—	316	182
門受板（扉側）			III _A S	198	504	205	205	118
				171	441	205	205	118
門受板（枠側）			III _A S	198	504	205	205	118
				171	441	205	205	118

注記 *1: の場合の値を適用

表 4-8 鉛直方向支持部材の許容応力












評価部位	材質	温度 (℃)	許容 応力 状態	許容応力				
				S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	1.5*f _t (MPa)	1.5*f _s (MPa)
ハンガーレール			IV _A S	198	504	205	205	118
			V _A S	171	441	205	205	118
ハンガーローラ ローラ軸			IV _A S	198	504	205	205	118
			V _A S	171	441	205	205	118
吊具ブラケット			IV _A S	198	504	205	205	118
			V _A S	171	441	205	205	118

表 4-9 駆動部の許容荷重

評価部位	温度 (℃)	許容荷重
		0.6 T _L * (kN)
チェーン		

注記 *：設計・建設規格 SSB-3200 の規定を準用し、チェーンの破断強度の 0.6 倍とする。また、チェーンと同材質である設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表 1「炭素量が 0.3%を超えるの炭素鋼」の縦弾性係数を用いて 50℃への温度補正を行う。

5. 評価

5.1 閉止装置の固有周期の計算方法

5.1.1 計算モデル

固有周期は、解析コード「MSC NASTRAN」を使用し、有限要素法（FEM）解析により図 5-1 に示す解析モデルにて算出する。固有周期は表 4-3 で記載したように閉状態に対してのみ算出する。解析モデルの概要を以下に示す。

- (1) 扉を構成する部材のうち、外梁、内梁及び補強板をはり要素で、面板をシェル要素でモデル化した有限要素法モデルによって固有周期を求める。
- (2) 拘束条件は、吊具、門及びローラ部の並進方向拘束とする。
- (3) 質量は、扉を構成する部材の質量を考慮する。
- (4) 解析に使用した機器諸元を表 5-1 に示す。

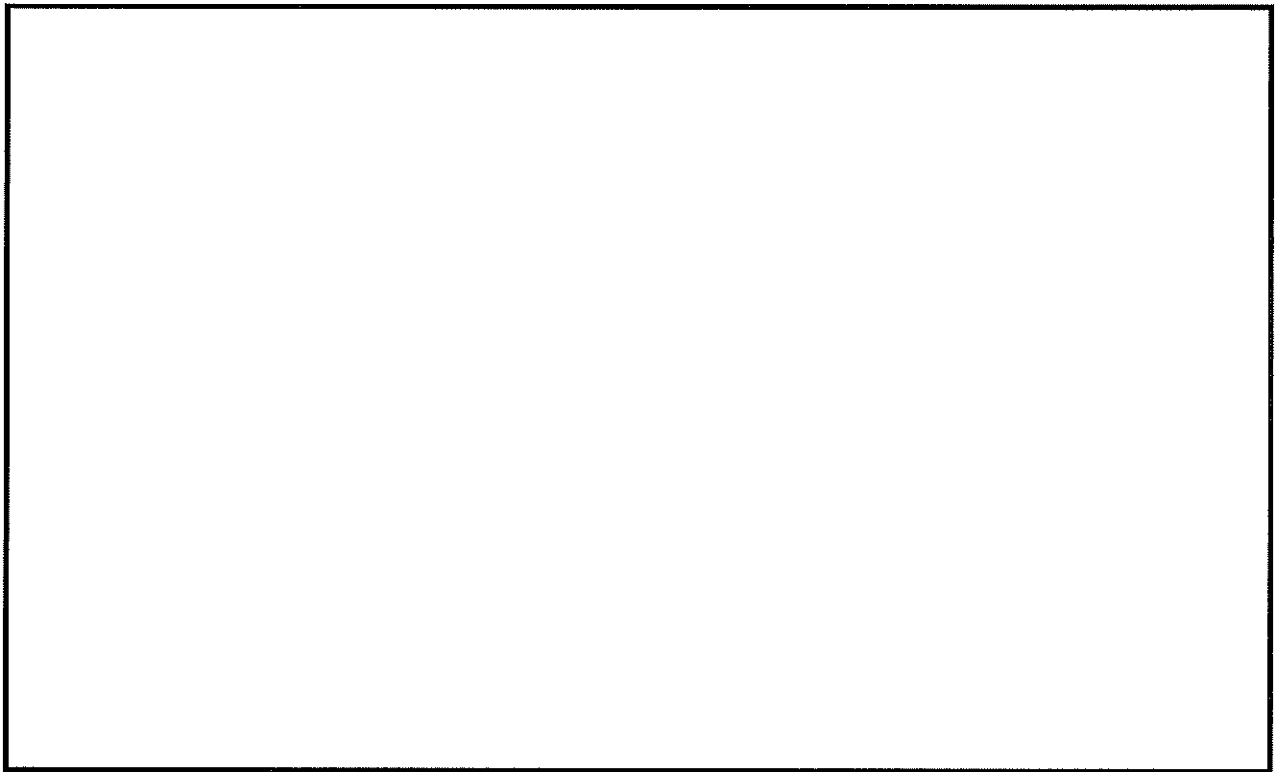


図 5-1 解析モデル

表 5-1 機器諸元

項目		記号	単位	入力値
材料		—	—	<input type="text"/>
質量*1		M	kg	<input type="text"/>
		M _d	kg	<input type="text"/>
圧力条件		—	Pa（ゲージ圧）	<input type="text"/>
機械的荷重（風荷重）		W	Pa	<input type="text"/> *2
温度条件	扉開状態	T	℃	<input type="text"/>
	扉閉状態			<input type="text"/>
縦弾性係数	扉開状態	E	MPa	<input type="text"/>
	扉閉状態			<input type="text"/>
ポアソン比		ν	—	<input type="text"/>
要素数		—	個	<input type="text"/>
節点数		—	個	<input type="text"/>

注記 *1：扉の単体質量を kg，吊具等の質量を含めた扉の質量を kg とする。

*2：風荷重は次式により求める。

$$W = q \cdot C_f \dots\dots\dots (5.1.1.1)$$

ここで，

q ：平均速度圧（Pa）

C_f：ピーク風力係数（—）

5.1.2 固有周期の算出結果

加振試験により求めた扉開状態の固有周期を表 5-2 に示す。また扉閉状態での固有値解析結果を表 5-3，振動モード図（1 次モードのみ）を図 5-2 に示す。

表 5-2 扉開状態の固有周期

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1 次	<input type="text"/>	—

表 5-3 扉閉状態の固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数		
			面外	面内	鉛直
1 次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2 次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	—

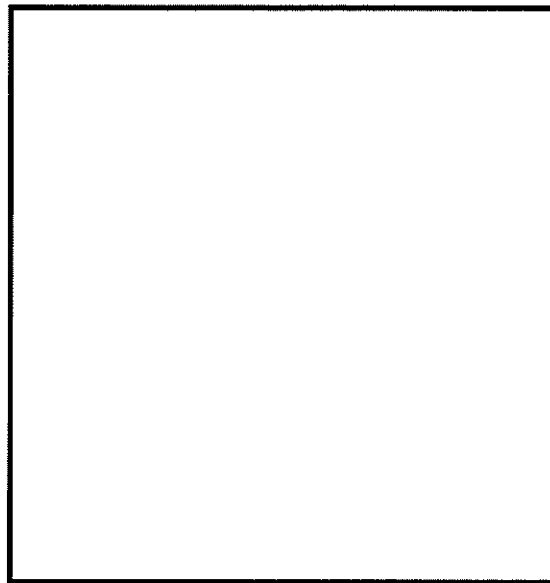


図 5-2 振動モード図（1 次）

5.2 応力計算方法

3.3 項で述べた評価部位に対し、それぞれ有限要素法等により、開状態と閉状態それぞれの荷重条件における応力を算出する。ここで、後述する応力計算の詳細においては、開状態と閉状態で条件が同じものについては統一することとし、開状態もしくは閉状態のみで用いる条件については、その旨を述べることとする。

5.2.1 扉の応力計算

(1) 梁に作用する荷重

図 5-1 に示す扉を構成する部材を、はり及びシェル要素にてモデル化した F E Mモデルにより荷重を算出する。

- 扉は、吊具、門、ローラ等により支持される構造であるため、その構造に応じた方向の変位を拘束する。
- 地震荷重により梁に生じる荷重は、扉に対して面外方向、面内方向及び鉛直方向それぞれについて単位荷重に対して求め、強度評価において組み合わせる。各方向に単位荷重を作用させた際の変形図を図 5-3 に示す。
- 圧力荷重及び機械的荷重は、扉に対して面外方向に等分布に作用するものとし、評価は外梁 3 辺（扉開状態）及び 4 辺（扉閉状態）を面外方向に拘束し、単位圧力による荷重に対して実施する。圧力荷重及び機械的荷重による変形図

を、扉開状態を代表して図 5-3 に示す。また、強度評価において地震力と組合せる。

(2) 梁の応力計算

梁の応力は、F E M解析により算出した荷重から以下に示す式で算出する。荷重は、並進力 F_x 、 F_y 、 F_z 、モーメント力 M_x 、 M_y 、 M_z とする。

a. 応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_x = \frac{F_x}{A}, \quad \sigma_y = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_z = \frac{M_z}{Z_z} \dots\dots\dots (5.2.1.1)$$

$$\tau_x = \frac{M_x}{Z_x}, \quad \tau_y = \frac{F_y}{A}, \quad \tau_z = \frac{F_z}{A} \dots\dots\dots (5.2.1.2)$$

b. 引張応力

引張応力は次式となる。

$$\sigma_t = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \dots\dots\dots (5.2.1.3)$$

c. せん断応力

せん断応力は次式となる。

$$\tau = \left. \begin{array}{l} \sqrt{(\tau_x + \tau_y)^2 + \tau_z^2} \\ \sqrt{\tau_y^2 + (\tau_x + \tau_z)^2} \end{array} \right\} \text{大きい方} \dots\dots\dots (5.2.1.4)$$

d. 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (5.2.1.5)$$

(3) 面板の応力

面板の応力は、各荷重（地震荷重、圧力荷重及び機械的荷重）からF E M解析により算出した引張応力及びせん断応力を各々合計し、以下に示す式で組合せ応力を算出する。

a. 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \dots\dots\dots (5.2.1.6)$$

ここで、

σ_x 、 σ_y ：面板面内に生じる互いに直交する引張応力

τ_{xy} ：面板面内に生じるせん断応力

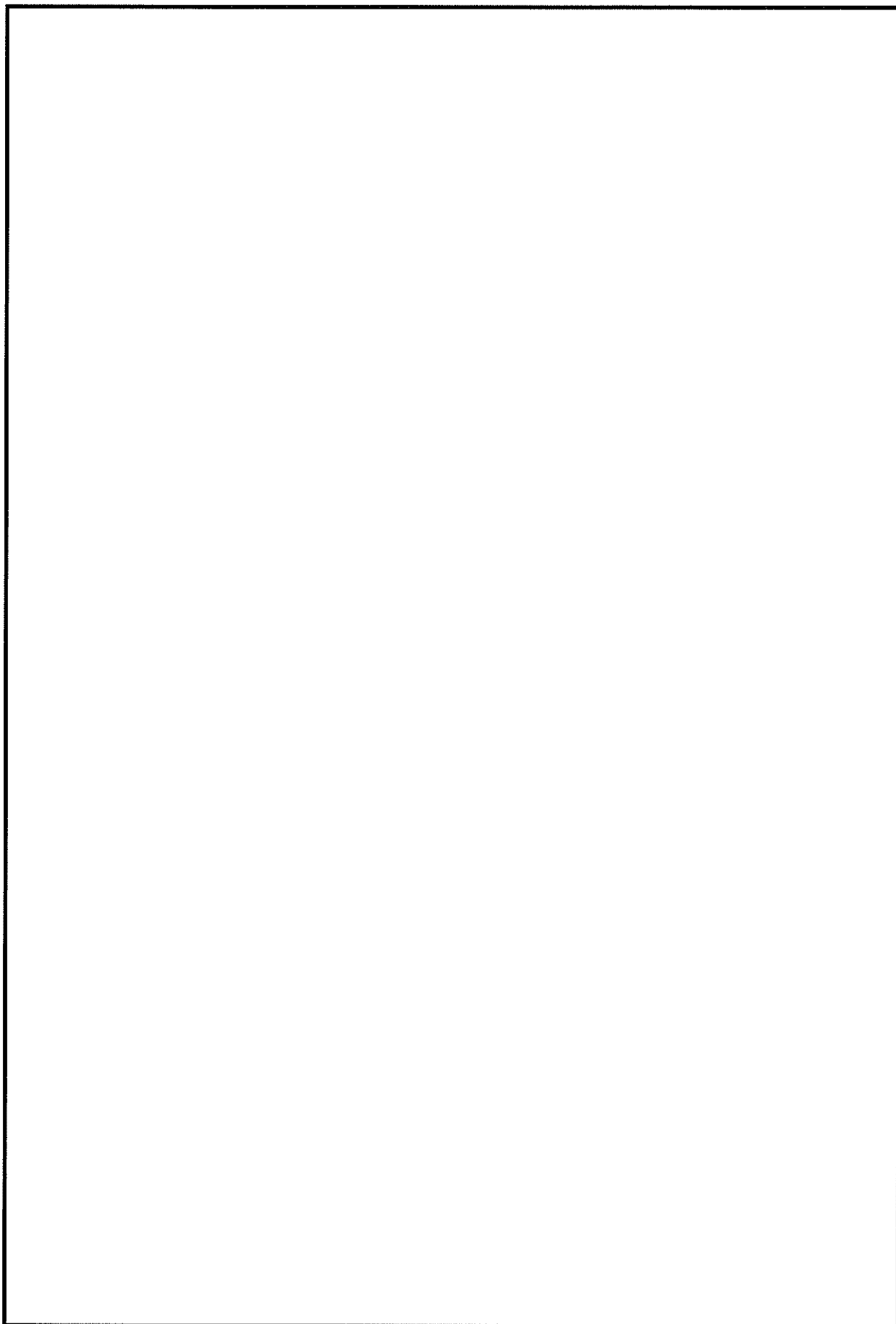


図 5-3 各荷重による変形

5.2.2 面外方向支持材の応力計算

面外方向の主要な荷重伝達経路であるガイドレール、ガイドローラ（ピン）、側面プッシュローラ（ピン、ブラケット）、上下面プッシュローラ（ピン）及びテーパーブロック（取付ボルト）について応力評価を実施する。

(1) ガイドレール（開状態のみ）

a. 計算モデル

扉の面外方向地震荷重がガイドローラを介してガイドレールに集中荷重として作用する。集中荷重の作用箇所まわりに高い応力が生じると考えられるため、以下に示す計算モデルで評価する。

ガイドレールは面外方向と比較して面内方向が十分に長いため、計算モデルは図 5-4 に示すように、“機械工学便覧 α3 材料力学 表 5・3 番号 10”の 1 辺固定・3 辺自由の式に準じた片持ち梁として計算する。ここで、荷重負荷範囲については機械工学便覧から荷重負荷位置から固定部までの距離（図 5-4 中の H_1 ）の （）とする。

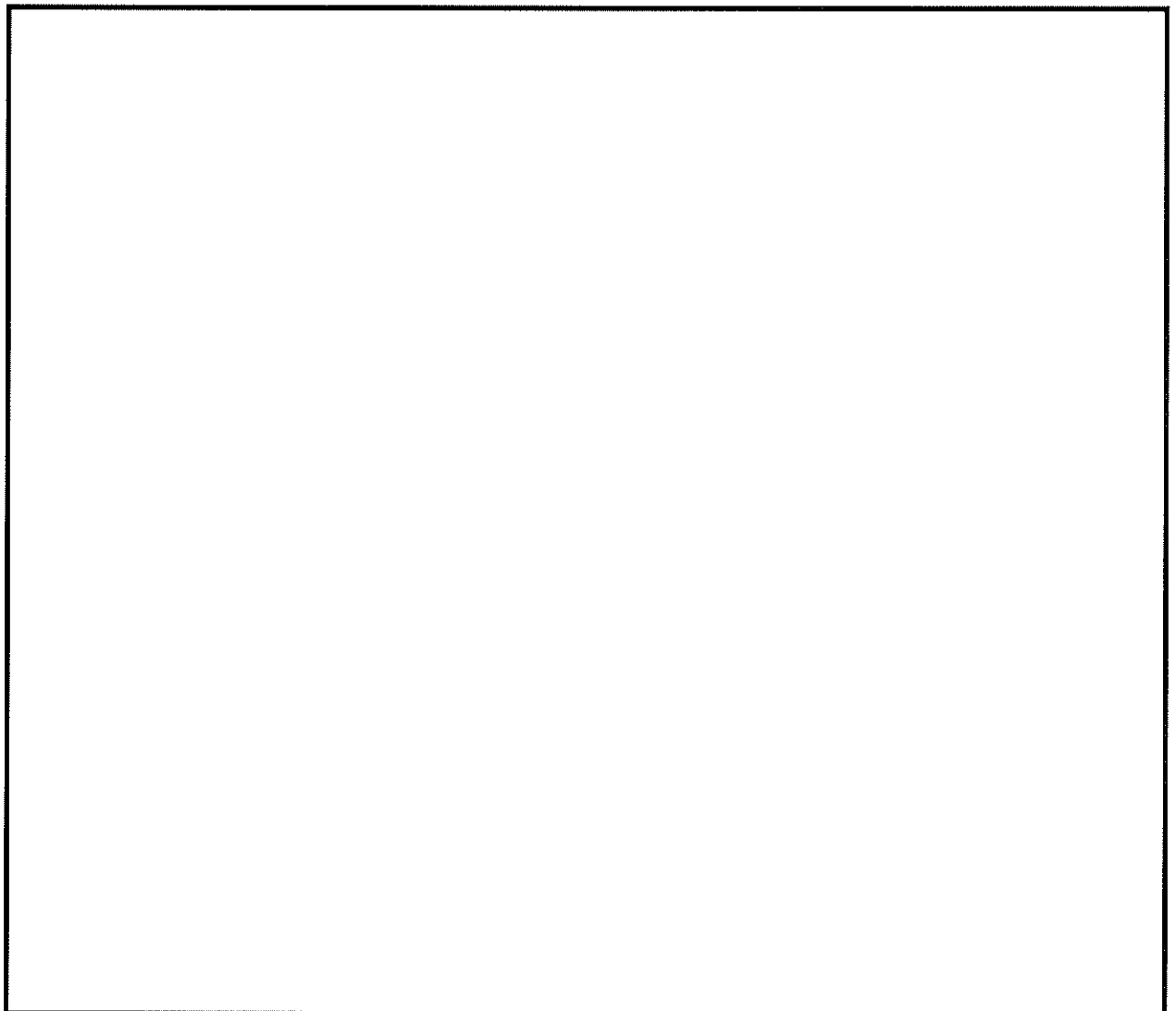


図 5-4 ガイドレール計算モデル

b. 応力計算

(a) 引張応力

イ. 面外方向設計震度による引張応力

面外方向設計震度により作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{4h} = W_{4h} \cdot H_4 \cdots \cdots \cdots (5.2.2.1)$$

ここで,

$$W_{4h} : \text{地震荷重} = M_d \cdot g \cdot C_{h1} / n_4$$

n_4 : 扉の面外方向支持点の数

M_d : 扉の質量

C_{h1} : 閉止装置の面外方向の設計震度

面外方向設計震度により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{4h} = M_{4h} / Z_4 \cdots \cdots \cdots (5.2.2.2)$$

ここで,

Z_4 : ガイドレールの断面係数

ロ. 面圧（機械的荷重）による引張応力

面圧により作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{4p} = W_{4w} \cdot H_4 \cdots \cdots \cdots (5.2.2.3)$$

ここで,

$$W_{4w} : \text{機械的荷重} = H_w \cdot A_p / n_4$$

H_w : 風圧力

A_p : 扉の受圧面積

面圧により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{4p} = M_{4p} / Z_4 \cdots \cdots \cdots (5.2.2.4)$$

ハ. ガイドレールに生じる引張応力

$$\sigma_4 = \sigma_{4h} + \sigma_{4p} \cdots \cdots \cdots (5.2.2.5)$$

(b) せん断応力

イ. 面外方向設計震度によるせん断応力

面外方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$F_{4h} = W_{4h} \cdots \cdots \cdots (5.2.2.6)$$

面外方向設計震度により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{4h} = F_{4h} / A_4 \cdots \cdots \cdots (5.2.2.7)$$

ここで,

A_4 : ガイドレールの断面積

ロ. 面圧（機械的荷重）によるせん断応力

面圧により作用するせん断力は次式により求める。

$$F_{4p} = W_4 \cdot W \cdots \cdots \cdots (5.2.2.8)$$

面圧により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{4p} = F_{4p} / A_4 \cdots \cdots \cdots (5.2.2.9)$$

ハ. ガイドレールに生じるせん断応力

$$\tau_4 = \tau_{4h} + \tau_{4p} \cdots \cdots \cdots (5.2.2.10)$$

(c) 組合せ応力

$$\sigma_{4c} = \sqrt{(\sigma_4^2 + 3 \cdot \tau_4^2)} \cdots \cdots \cdots (5.2.2.11)$$

(2) ガイドローラピン（開状態のみ）

a. 計算モデル

ガイドレールに作用する面外方向荷重の反力がガイドローラに集中荷重として作用する。計算モデルは図 5-5 に示す片持ち梁として計算する。

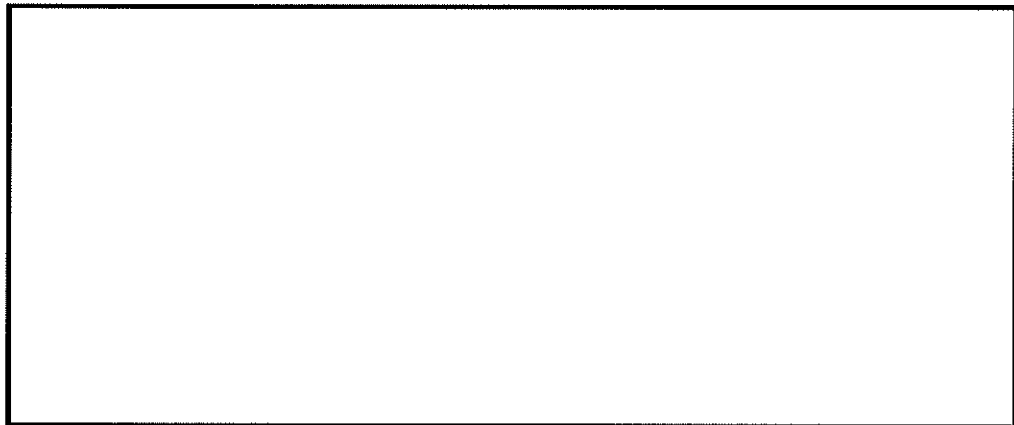


図 5-5 ガイドローラピン計算モデル

b. 応力計算

(a) 引張応力

イ. 面外方向設計震度による引張応力

面外方向設計震度により作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{5h} = W_5 \cdot H_5 \cdots \cdots \cdots (5.2.2.12)$$

ここで、

W_5 : 地震荷重 $= M_d \cdot g \cdot C_{h1} / n_5$

n_5 : 扉の面外方向支持点の数

M_d : 扉の質量

C_{h1} : 閉止装置の面外方向の設計震度

面外方向設計震度により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{5h} = M_{5h} / Z_5 \cdots \cdots \cdots (5.2.2.13)$$

ここで、

Z_5 : ガイドローラピンの断面係数

ロ. 面圧（機械的荷重）による引張応力

面圧により作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{5p} = W_{5w} \cdot H_5 \cdots \cdots \cdots (5.2.2.14)$$

ここで、

W_{5w} : 機械的荷重 $= H_w \cdot A_p / n_5$

H_w : 風圧力

A_p : 扉の受圧面積

面圧により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{5p} = M_{5p} / Z_5 \cdots \cdots \cdots (5.2.2.15)$$

ハ. ガイドローラピンに生じる引張応力

$$\sigma_5 = \sigma_{5h} + \sigma_{5p} \cdots \cdots \cdots (5.2.2.16)$$

(b) せん断応力

イ. 面外方向設計震度によるせん断応力

面外方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$F_{5h} = W_{5h} \cdots \cdots \cdots (5.2.2.17)$$

面外方向設計震度により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{5h} = F_{5h} / A_5 \cdots \cdots \cdots (5.2.2.18)$$

ここで、

A_5 : ガイドローラピンの断面積

ロ. 面圧（機械的荷重）によるせん断応力

面圧により作用するせん断力は次式により求める。

$$F_{5p} = W_{5w} \cdots \cdots \cdots (5.2.2.19)$$

面圧により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{5p} = F_{5p} / A_5 \cdots \cdots \cdots (5.2.2.20)$$

ハ. ガイドローラピンにより生じるせん断応力

$$\tau_5 = \tau_{5h} + \tau_{5p} \cdots \cdots \cdots (5.2.2.21)$$

(c) 組合せ応力

$$\sigma_{sc} = \sqrt{(\sigma_s^2 + 3 \cdot \tau_s^2)} \dots\dots\dots (5.2.2.22)$$

(3) 側面プッシュローラピン

a. 計算モデル

扉の面外方向荷重が側面プッシュローラピンに集中荷重として作用する。計算モデルは図 5-6 に示す集中荷重を受ける両端支持梁として計算する。

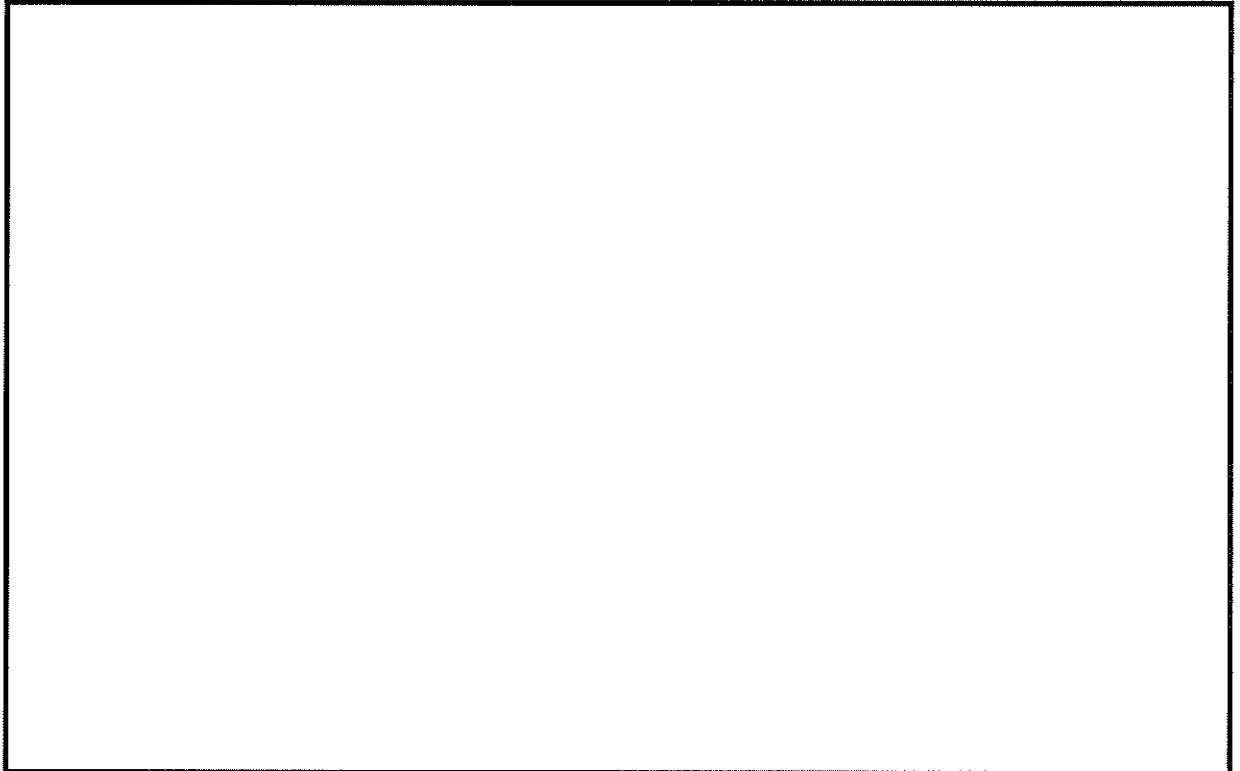


図 5-6 側面プッシュローラピン計算モデル

b. 応力計算

(a) 引張応力

イ. 面外方向設計震度による引張応力

面外方向設計震度により作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{6h} = W_{6h} \cdot H_6 / 4 \dots\dots\dots (5.2.2.23)$$

ここで,

W_{6h} : 地震荷重 $= M_d \cdot g \cdot C_{h1} / n_6$

M_d : 扉の質量

C_{h1} : 閉止装置の面外方向の設計震度

n_6 : 扉の面外方向支持点の数

面外方向設計震度により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{6h} = M_{6h} / Z_6 \dots\dots\dots (5.2.2.24)$$

ここで,

Z_6 : 側面プッシュローラピンの断面係数

- ロ. 面圧 (開状態: 機械的荷重, 閉状態: 圧力荷重及び機械的荷重) による引張応力

面圧により作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{6p} = (W_{6p} + W_{6w}) \cdot H_6 / 4 \cdots \cdots \cdots (5.2.2.25)$$

ここで,

$$W_{6p}: \text{圧力荷重} = \Delta P \cdot A_p / n_6$$

(ただし, 開状態では作用しないため, $W_{6p} = 0$)

$$W_{6w}: \text{機械的荷重} = H_w \cdot A_p / n_6$$

ΔP : 差圧

H_w : 風圧力

A_p : 扉の受圧面積

面圧により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{6p} = M_{6p} / Z_6 \cdots \cdots \cdots (5.2.2.26)$$

- ハ. 側面プッシュローラピンに生じる引張応力

$$\sigma_6 = \sigma_{6h} + \sigma_{6p} \cdots \cdots \cdots (5.2.2.27)$$

- (b) せん断応力

- イ. 面外方向設計震度によるせん断応力

面外方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$F_{6h} = W_{6h} / 2 \cdots \cdots \cdots (5.2.2.28)$$

面外方向設計震度により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{6h} = F_{6h} / A_6 \cdots \cdots \cdots (5.2.2.29)$$

ここで,

A_6 : 側面プッシュローラピンの断面積

- ロ. 面圧 (開状態: 機械的荷重, 閉状態: 圧力荷重及び機械的荷重) によるせん断応力

面圧により作用するせん断力は次式により求める。

$$F_{6p} = (W_{6p} + W_{6w}) / 2 \cdots \cdots \cdots (5.2.2.30)$$

面圧により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{6p} = F_{6p} / A_6 \cdots \cdots \cdots (5.2.2.31)$$

ハ. 側面プッシュローラピンに生じるせん断応力

$$\tau_6 = \tau_{6h} + \tau_{6p} \dots\dots\dots (5.2.2.32)$$

(c) 組合せ応力

$$\sigma_{6c} = \sqrt{(\sigma_6^2 + 3 \cdot \tau_6^2)} \dots\dots\dots (5.2.2.33)$$

(4) 側面プッシュローラブラケット

a. 計算モデル

扉の面外方向荷重がプッシュローラブラケットに曲げモーメントと引張荷重として作用する。計算モデルは図 5-7 に示す片持ち梁として計算する。

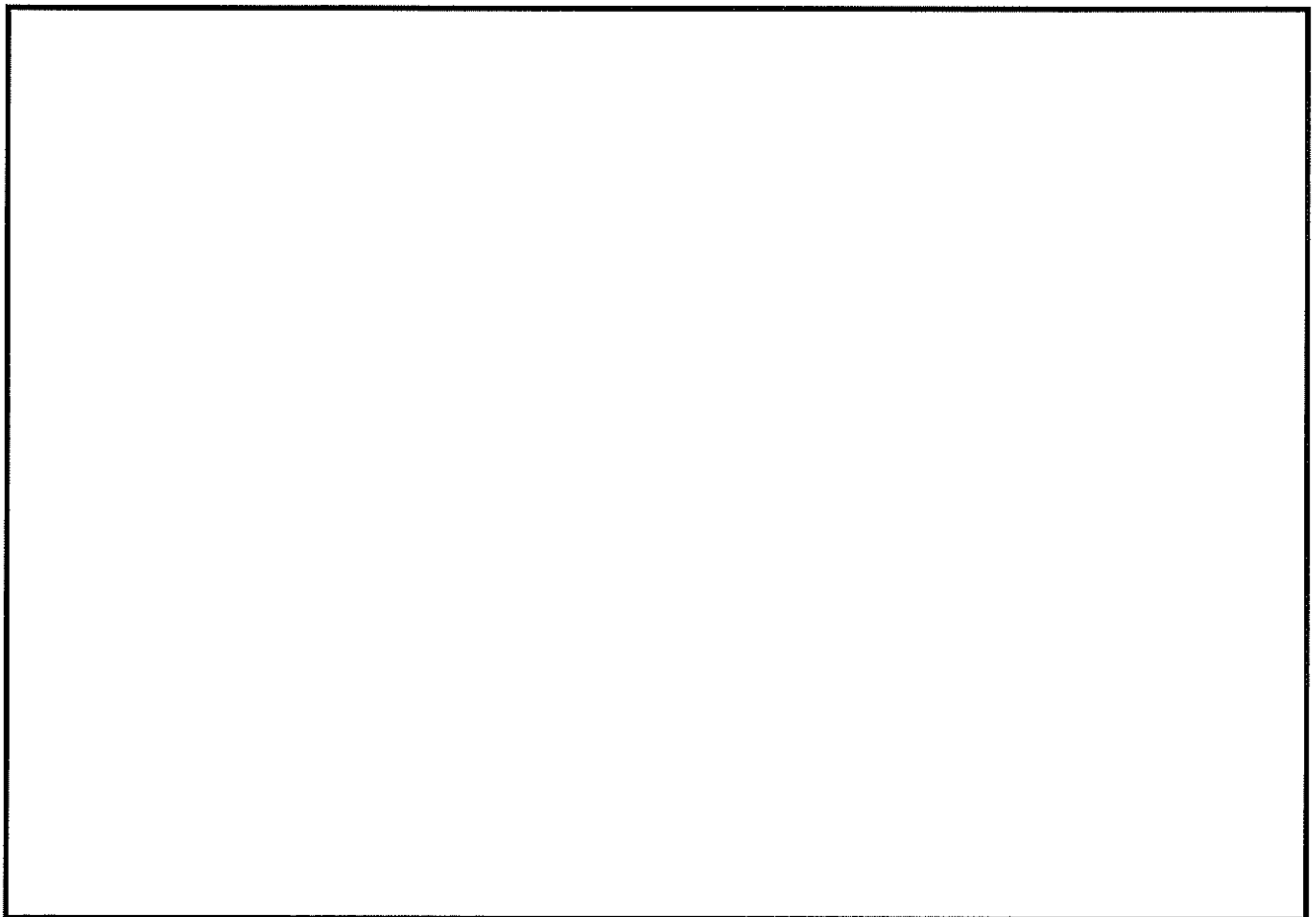


図 5-7 側面プッシュローラブラケット計算モデル

b. 応力計算

(a) 引張応力

イ. 面外方向設計震度による引張応力

面外方向設計震度により作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{7h} = W_{7h} \cdot L_7 \dots\dots\dots (5.2.2.34)$$

ここで,

W_{7h} : 地震荷重 $= M_d \cdot g \cdot C_{h1} / n_7$

M_d : 扉の質量

C_{h1} : 閉止装置の面外方向の設計震度

n_7 : 扉の面外方向支持点の数

面外方向設計震度の引張荷重により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{7ht} = W_{7h} / A_7 \cdots \cdots \cdots (5.2.2.35)$$

ここで,

A_7 : 側面プッシュローラブラケットの断面積

面外方向設計震度の曲げモーメントにより生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{7hb} = M_{7h} / Z_7 \cdots \cdots \cdots (5.2.2.36)$$

ここで,

Z_7 : 側面プッシュローラブラケットの断面係数

ロ. 面圧 (開状態 : 機械的荷重, 閉状態 : 圧力荷重及び機械的荷重) による引張応力

面圧により作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{7p} = (W_{7p} + W_{7w}) \cdot L_7 \cdots \cdots \cdots (5.2.2.37)$$

ここで,

W_{7p} : 圧力荷重 $= \Delta P \cdot A_p / n_7$

(ただし, 開状態では作用しないため, $W_{7p} = 0$)

W_{7w} : 機械的荷重 $= H_w \cdot A_p / n_7$

ΔP : 差圧

H_w : 風圧力

A_p : 扉の受圧面積

面圧の引張荷重により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{7pt} = (W_{7p} + W_{7w}) / A_7 \cdots \cdots \cdots (5.2.2.38)$$

面圧の曲げモーメントにより生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{7pb} = M_{7p} / Z_7 \cdots \cdots \cdots (5.2.2.39)$$

ハ. 側面プッシュローラブラケットに生じる引張応力

$$\sigma_7 = \sigma_{7ht} + \sigma_{7hb} + \sigma_{7pt} + \sigma_{7pb} \cdots \cdots \cdots (5.2.2.40)$$

(5) 上下面プッシュローラピン (閉状態のみ)

a. 計算モデル

図 5-8 に示す上下面プッシュローラピンに集中荷重が作用する場合に, 生じ

る引張応力及びせん断応力を計算する。計算モデルとして片持ち梁を考える。

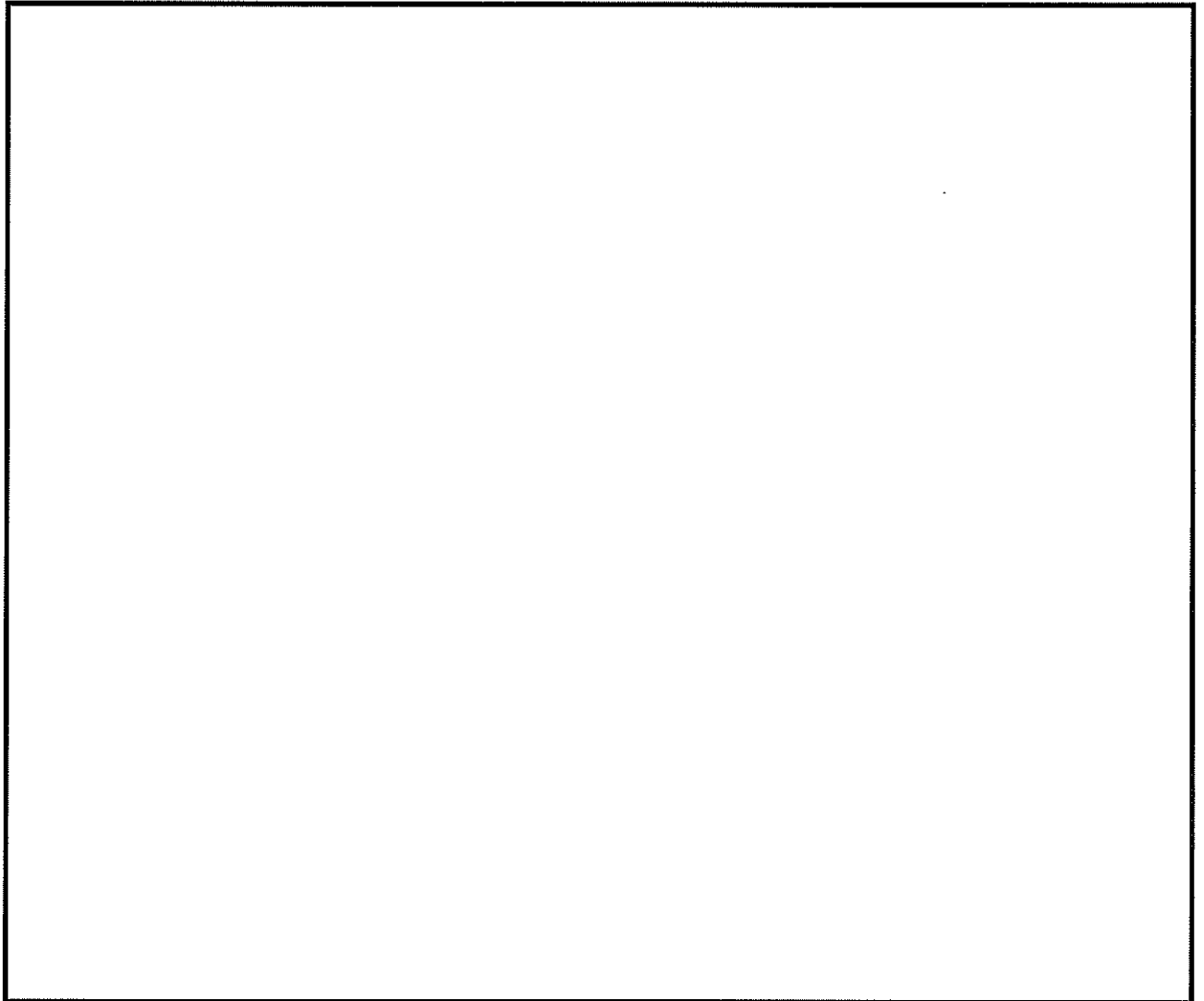


図 5-8 上下面プッシュローラピン計算モデル

b. 応力計算

(a) 引張応力

イ. 面外方向設計震度による引張応力

面外方向設計震度により作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{sh} = W_{sh} \cdot H_s \cdots \cdots (5.2.2.41)$$

ここで,

W_{sh} : 地震荷重 $= M_d \cdot g \cdot C_{h1} / n_s$

M_d : 扉の質量

C_{h1} : 閉止装置の面外方向の設計震度

n_s : 扉の面外方向支持点の数

面外方向設計震度により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{sh} = M_{sh} / Z_s \cdots \cdots (5.2.2.42)$$

ここで,

Z_s : 上下面プッシュローラピンの断面係数

ロ. 面圧 (圧力荷重及び機械的荷重) による引張応力

面圧により作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{sp} = (W_{sp} + W_{sw}) \cdot H_s \cdots \cdots \cdots (5.2.2.43)$$

ここで,

W_{sp} : 圧力荷重 $= \Delta P \cdot A_p / n_s$

W_{sw} : 機械的荷重 $= H_w \cdot A_p / n_s$

ΔP : 差圧

H_w : 風圧力

A_p : 扉の受圧面積

面圧により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{sp} = M_{sp} / Z_s \cdots \cdots \cdots (5.2.2.44)$$

ハ. 上下面プッシュローラピンに生じる引張応力

$$\sigma_s = \sigma_{sh} + \sigma_{sp} \cdots \cdots \cdots (5.2.2.45)$$

(b) せん断応力

イ. 面外方向設計震度によるせん断応力

面外方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$F_{sh} = W_{sh} \cdots \cdots \cdots (5.2.2.46)$$

面外方向設計震度により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{sh} = F_{sh} / A_s \cdots \cdots \cdots (5.2.2.47)$$

ここで,

A_s : 上下面プッシュローラピンの断面積

ロ. 面圧 (圧力荷重及び機械的荷重) によるせん断応力

面圧により作用するせん断力は次式により求める。

$$F_{sp} = W_{sp} + W_{sw} \cdots \cdots \cdots (5.2.2.48)$$

面圧により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{sp} = F_{sp} / A_s \cdots \cdots \cdots (5.2.2.49)$$

ハ. 上下面プッシュローラピンに生じるせん断応力

$$\tau_s = \tau_{sh} + \tau_{sp} \cdots \cdots \cdots (5.2.2.50)$$

(c) 組合せ応力

$$\sigma_{sc} = \sqrt{(\sigma_s^2 + 3 \cdot \tau_s^2)} \dots\dots\dots (5.2.2.51)$$

(6) テープブロック取付ボルト（閉状態のみ）

a. 計算モデル

扉の面外方向荷重の反力がテープブロック取付ボルトに作用する。図 5-9 に示すボルトの断面に生じるせん断応力を計算する。

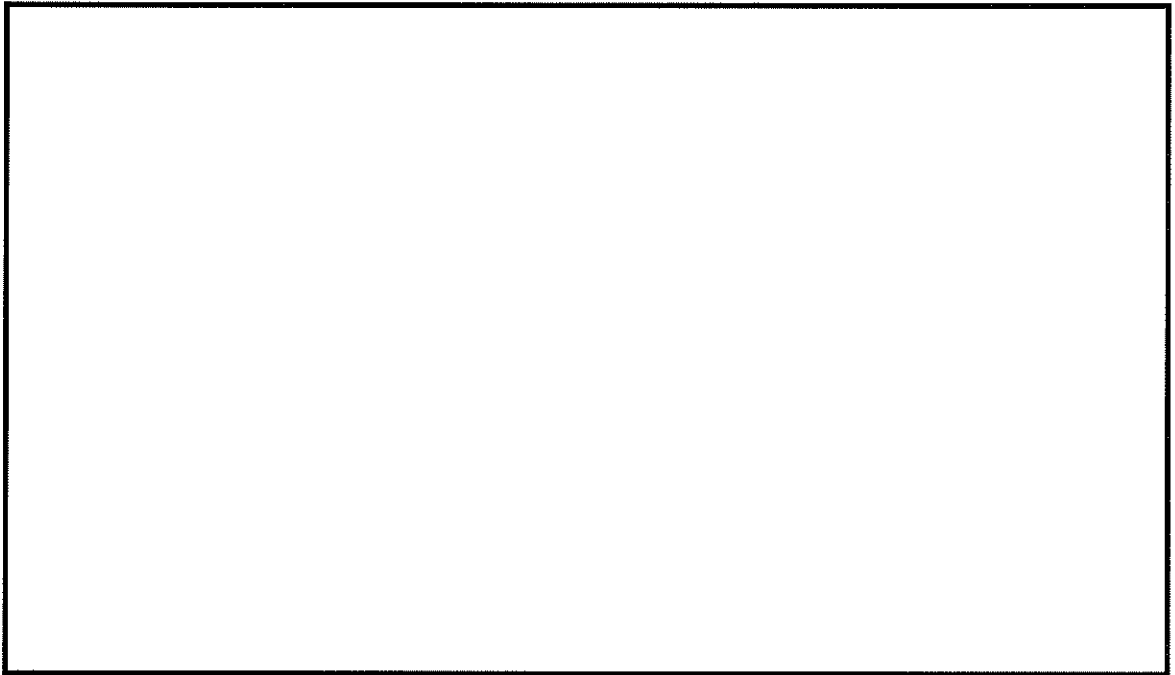


図 5-9 テープブロック取付ボルト計算モデル

b. 応力計算

(a) せん断応力

イ. 面外方向設計震度によるせん断応力

面外方向設計震度により作用するせん断力は次式により求められる。

$$F_{gh} = W_{gh} \dots\dots\dots (5.2.2.52)$$

ここで、

$$W_{gh} : \text{地震荷重} = M_d \cdot g \cdot C_{hl} / (n_{ga} \cdot n_{gb})$$

M_d : 扉の質量

C_{hl} : 閉止装置の面外方向の設計震度

n_{ga} : 扉の面外方向支持点の数

n_{gb} : テープブロック取付ボルトの数

面外方向設計震度により生じるせん断応力は次式により求まる。

$$\tau_{gh} = F_{gh} / A_g \dots\dots\dots (5.2.2.53)$$

ここで、

A_g : テーパーブロック取付ボルトの断面積

- ロ. 面圧（圧力荷重及び機械的荷重）によるせん断応力
面圧により作用するせん断力は次式により求める。

$$F_{gp} = W_{gp} + W_{gw} \dots\dots\dots (5.2.2.54)$$

ここで,

$$W_{gp} : \text{圧力荷重} = \Delta P \cdot A_p / (n_{ga} \cdot n_{gb})$$

$$W_{gw} : \text{機械的荷重} = H_w \cdot A_p / (n_{ga} \cdot n_{gb})$$

ΔP : 差圧

H_w : 風圧力

A_p : 受圧面積

面圧により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{gp} = F_{gp} / A_g \dots\dots\dots (5.2.2.55)$$

- ハ. テーパーブロック取付ボルトに生じるせん断応力

$$\tau_g = \tau_{gh} + \tau_{gp} \dots\dots\dots (5.2.2.56)$$

5.2.3 面内方向支持材の応力計算

面内方向の主要な荷重伝達経路である門ピン、門受板（扉側）、門受板（枠側）について応力評価を実施する。

(1) 門ピン

a. 計算モデル

門ピンに作用する荷重によるせん断力及び曲げモーメントを算出し、門ピンに生じる応力を計算する。ここで、門ピンは中央部 1 箇所荷重を受けるとして評価する。計算モデルは図 5-10 に示すとおり、門ピンに 1 点集中荷重が作用する両端支持梁として計算する。

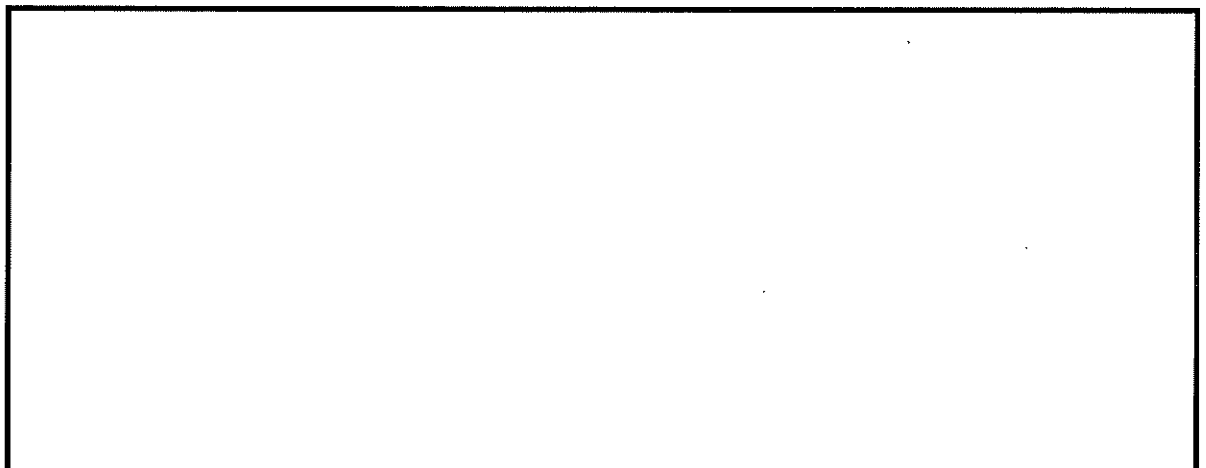


図 5-10 門ピン計算モデル

b. 応力計算

(a) 引張応力

イ. 面内方向設計震度による引張応力

面内方向設計震度により作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{10} = W_{10} \cdot L_{10} / 4 \cdots \cdots \cdots (5.2.3.1)$$

ここで,

$$W_{10} : \text{荷重} = M_d \cdot C_{h2} \cdot g / n_{10}$$

M_d : 扉の質量

C_{h2} : 閉止装置の面内方向の設計震度

n_{10} : 扉の面内方向支持点の数

面内方向設計震度により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{10} = M_{10} / Z_{10} \cdots \cdots \cdots (5.2.3.2)$$

ここで,

Z_{10} : 門ピンの断面係数

(b) せん断応力

イ. 面内方向設計震度によるせん断応力

面内方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$F_{10} = W_{10} / 2 \cdots \cdots \cdots (5.2.3.3)$$

面内方向設計震度により生じるせん断応力は次式より求める。

$$\tau_{10} = F_{10} / A_{10} \cdots \cdots \cdots (5.2.3.4)$$

ここで,

A_{10} : 門ピンの断面積

(c) 組合せ応力

$$\sigma_{10c} = \sqrt{(\sigma_{10})^2 + 3 \cdot (\tau_{10})^2} \cdots \cdots \cdots (5.2.3.5)$$

(2) 門受板 (扉側)

a. 計算モデル

扉の面内方向地震荷重の反力が門受板 (扉側) に集中荷重として作用する。
応力計算は図 5-11 に示す A～A 断面に生じる引張応力と B～B 断面に生じるせん断応力を計算する。

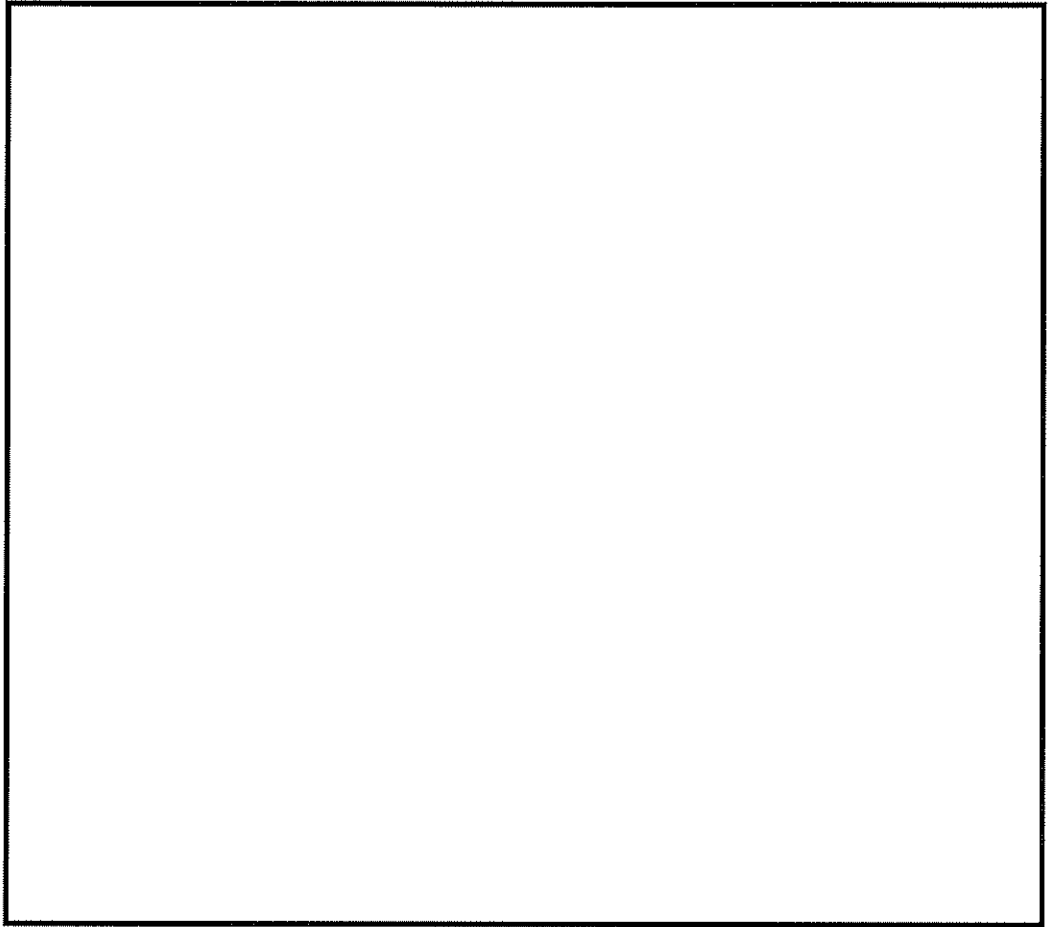


図 5-11 門受板（扉側）計算モデル

b. 応力計算

(a) 引張応力

イ. 面内方向設計震度による引張応力

面内方向設計震度により面内方向に引張荷重が作用しており，次式により求める。

$$W_{11} = M_d \cdot C_{h2} \cdot g / n_{11} \cdots \cdots (5.2.3.6)$$

ここで，

M_d ：扉の質量

C_{h2} ：閉止装置の面内方向の設計震度

n_{11} ：扉の面内方向支持点の数

面内方向設計震度により A～A 断面に生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{11} = W_{11} / A_{11A} \cdots \cdots (5.2.3.7)$$

ここで，

A_{11A} ：A～A 断面の断面積

(b) せん断応力

イ. 面内方向設計震度によるせん断応力

面内方向設計震度により B～B 断面に作用するせん断力は次式により求める。

$$F_{11} = W_{11} \dots\dots\dots (5.2.3.8)$$

面内方向設計震度により B～B 断面に生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{11} = F_{11}/A_{11B} \dots\dots\dots (5.2.3.9)$$

ここで,

A_{11B} : B～B 断面の断面積

(3) 門受板（枠側）

a. 計算モデル

扉の面内方向地震荷重の反力が, 門受板（枠側）に集中荷重として作用する。応力計算は図 5-12 に示す A～A 断面に生じる引張応力と B～B 断面に生じるせん断応力を計算する。

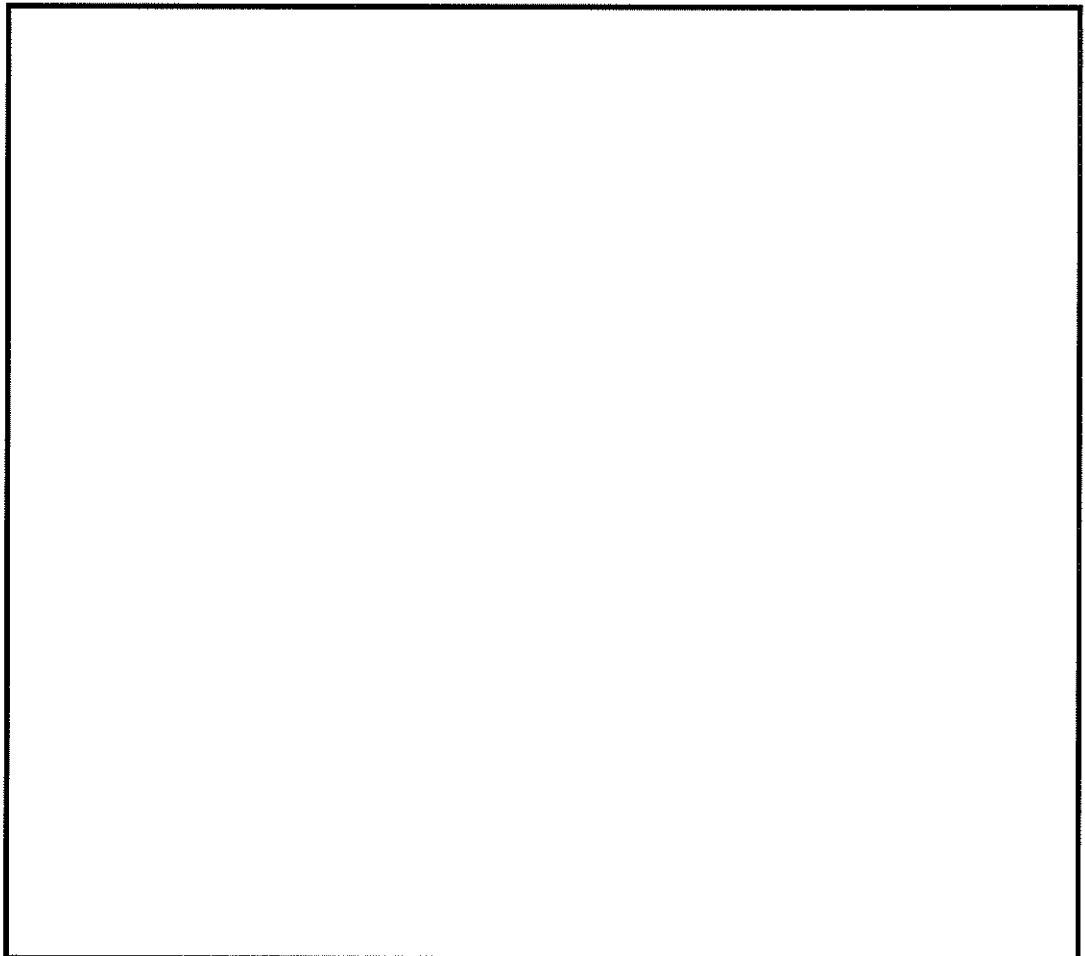


図 5-12 門受板（枠側）計算モデル

b. 応力計算

(a) 引張応力

イ. 面内方向設計震度による引張応力

面内方向設計震度により A～A 断面に作用する引張力は次式により求める。

$$W_{12} = M_d \cdot C_{h2} \cdot g / (n_{12a} \cdot n_{12b}) \quad \dots\dots\dots (5.2.3.10)$$

ここで,

M_d : 扉の質量

C_{h2} : 閉止装置の面内方向の設計震度

n_{12a} : 扉の面内方向支持点の数

n_{12b} : 門受板（枠側）1 体当たりの支持点の数

面内方向設計震度により A～A 断面に生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{12} = W_{12} / A_{12A} \quad \dots\dots\dots (5.2.3.11)$$

ここで,

A_{12A} : A～A 断面の断面積

(b) せん断応力

イ. 面内方向設計震度によるせん断応力

面内方向設計震度により B～B 断面に作用するせん断力は次式により求める。

$$F_{12} = W_{12} \quad \dots\dots\dots (5.2.3.12)$$

面内方向設計震度により B～B 断面に生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{12} = F_{12} / A_{12B} \quad \dots\dots\dots (5.2.3.13)$$

ここで,

A_{12B} : B～B 断面の断面積

5.2.4 鉛直方向支持材の応力計算

鉛直方向の主要な荷重伝達経路であるハンガーレール, ハンガーローラ, 吊具について応力評価を実施する。

(1) ハンガーレール

a. 計算モデル

図 3-4 に示すように, 吊具 個あたりに 個のハンガーローラが付いており, 図 5-13 に示すように吊具は 箇所設置しているためにハンガーレールは合計 個のハンガーローラと接触している。扉の鉛直方向荷重はハンガーローラを通

じてハンガーレールに集中荷重として作用し，集中荷重の作用箇所まわりに高い応力が発生すると考えられるため，以下の計算モデルで評価する。

ハンガーレールは面内方向に十分長いため，計算モデルは図 5-13 に示すように，“機械工学便覧 α3 材料力学 表 5・3 番号 10”の 1 辺固定・3 辺自由の式に準じた片持ち梁として計算する。ここで，荷重負荷範囲については機械工学便覧から荷重負荷位置から付根までの距離の とすることとした。

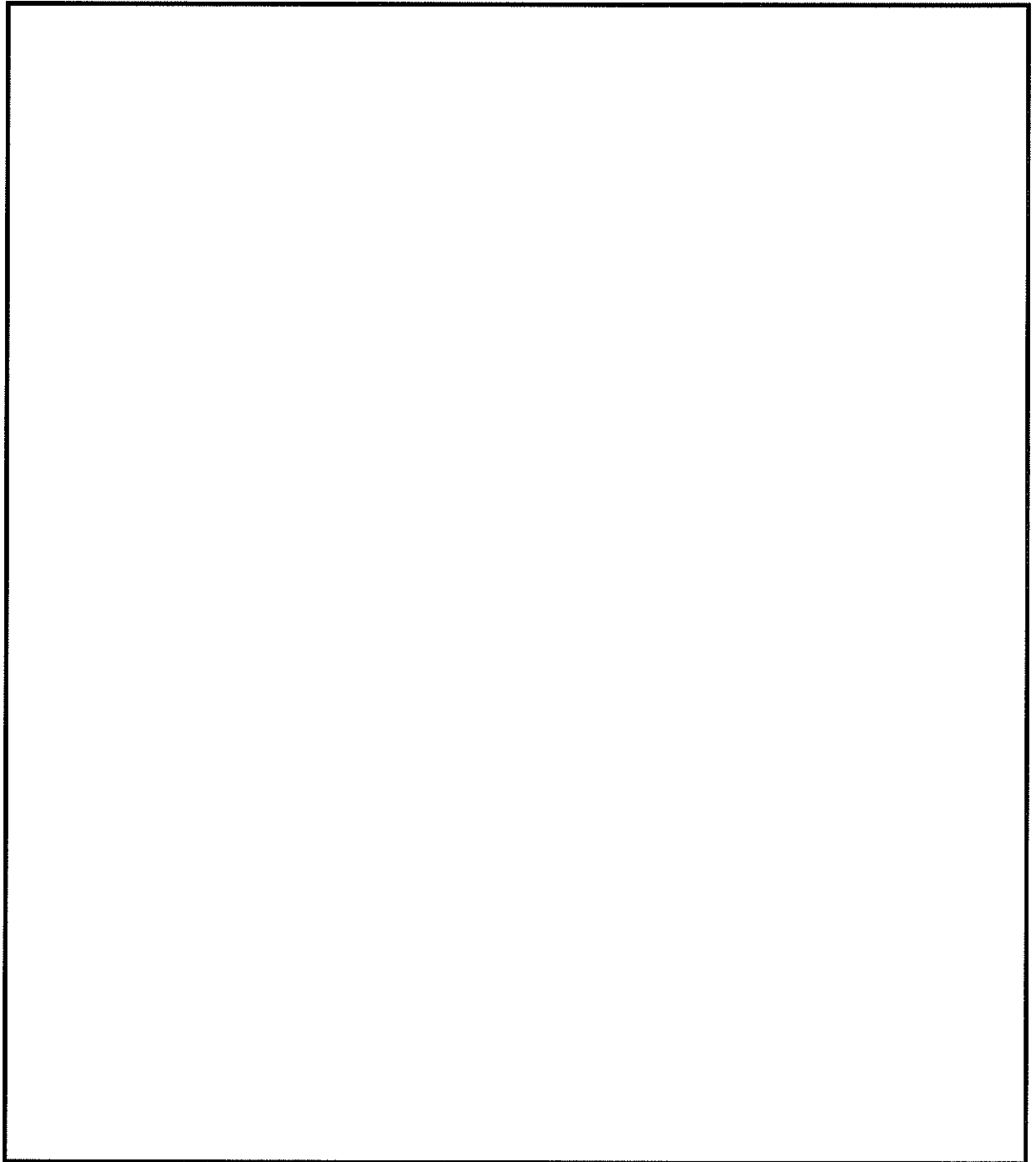


図 5-13 ハンガーレール計算モデル

b. 応力計算

(a) 引張応力

イ. 自重及び鉛直方向設計震度による引張応力

ハンガーレールの引張応力は自重及び鉛直方向設計震度により生じる。

自重及び鉛直方向設計震度により作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{13} = W_{13} \cdot L_{13} \cdots \cdots (5.2.4.1)$$

ここで,

W_{13} : 荷重 $= M_d \cdot g \cdot (1 + C_v) / n_{13}$

n_{13} : 扉の鉛直方向支持点の数

M_d : 扉の質量

C_v : 閉止装置の鉛直方向の設計震度

自重及び鉛直方向設計震度により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{13} = M_{13} / Z_{13} \cdots \cdots (5.2.4.2)$$

ここで,

Z_{13} : 荷重負荷範囲の断面係数

(b) せん断応力

イ. 自重及び鉛直方向設計震度によるせん断応力

自重及び鉛直方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$F_{13} = W_{13} \cdots \cdots (5.2.4.3)$$

自重及び鉛直方向設計震度により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{13} = F_{13} / A_{13} \cdots \cdots (5.2.4.4)$$

ここで,

A_{13} : 荷重負荷範囲の断面積

(c) 組合せ応力

$$\sigma_{13c} = \sqrt{(\sigma_{13})^2 + 3 \cdot (\tau_{13})^2} \cdots \cdots (5.2.4.5)$$

(2) ハンガーローラローラ軸

a. 計算モデル

図 5-14 に示すようにハンガーローラは□箇所ではハンガーレールと接触して、ハンガーレールから反力を受ける。計算モデルはハンガーローラローラ軸について、ホルダーとの取り付け箇所を固定端とみなして、図 5-14 に示す片持ち梁として計算する。

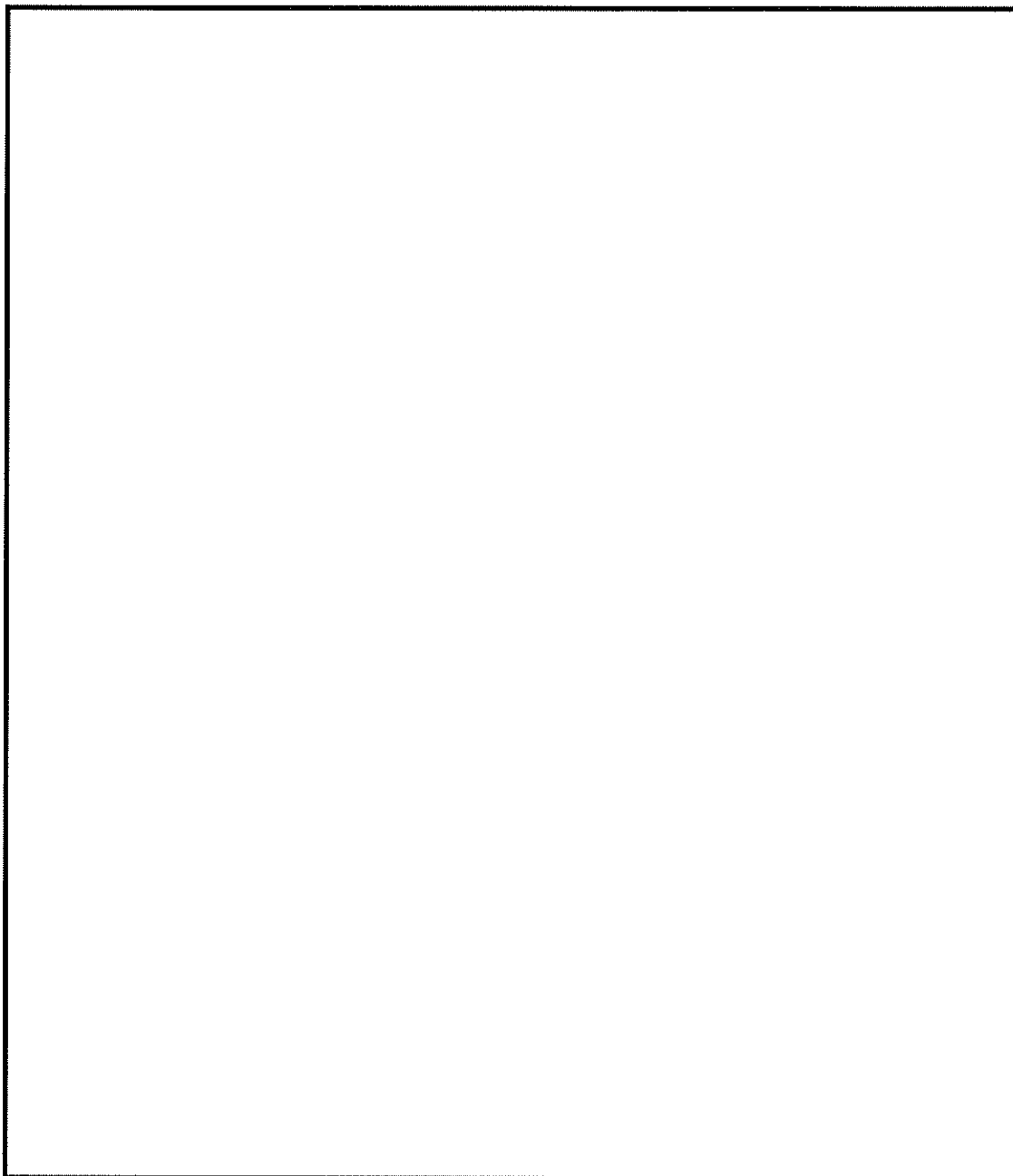


図 5-14 ハンガーローラローラ軸計算モデル

b. 応力計算

(a) 引張応力

イ. 自重及び鉛直方向設計震度による引張応力

ハンガーローラローラ軸には自重及び鉛直方向設計震度により引張応力が生じる。

自重及び鉛直方向設計震度により作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{14} = W_{14} \cdot L_{14} \cdots \cdots (5.2.4.6)$$

ここで,

W_{14} : 荷重 $= M_d \cdot g \cdot (1 + C_v) / n_{14}$

n_{14} : 扉の鉛直方向支持点の数

M_d : 扉の質量

C_v : 閉止装置の鉛直方向の設計震度

自重及び鉛直方向設計震度により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{14} = M_{14} / Z_{14} \cdots \cdots \cdots (5.2.4.7)$$

ここで,

Z_{14} : ハンガーローラローラ軸固定端の断面係数

(b) せん断応力

イ. 自重及び鉛直方向設計震度によるせん断応力

ハンガーローラローラ軸には自重及び鉛直方向設計震度によりせん断応力が生じる。

自重及び鉛直方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$F_{14} = W_{14} \cdots \cdots \cdots (5.2.4.8)$$

自重及び鉛直方向設計震度により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{14} = F_{14} / A_{14} \cdots \cdots \cdots (5.2.4.9)$$

ここで,


A_{14} : ハンガーローラローラ軸固定端の断面積

(c) 組合せ応力

$$\sigma_{14c} = \sqrt{(\sigma_{14})^2 + 3 \cdot (\tau_{14})^2} \cdots \cdots \cdots (5.2.4.10)$$

(3) 吊具ブラケット

a. 計算モデル

吊具の概形を図 5-15 に示す。吊具は扉に  箇所取り付けられている。吊具は複数の部品から構成されているが、評価上最も厳しくなると考えられる上部の吊具ブラケットを評価モデルに選定する。引張応力の評価断面を A～A 断面、せん断応力の評価断面を B～B 断面として、各応力を計算する。

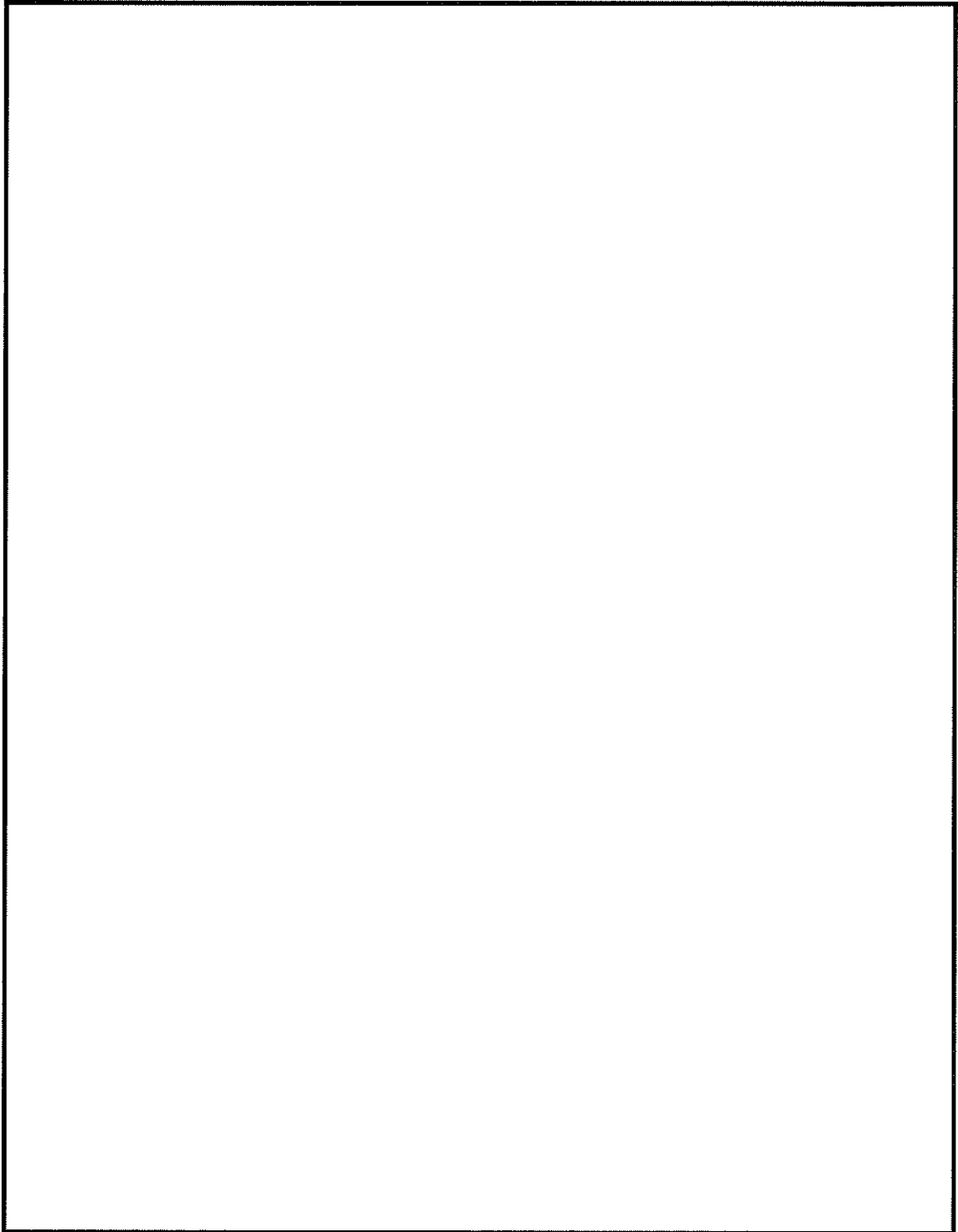


図 5-15 吊具ブラケット計算モデル

b. 応力計算

(a) 引張応力

イ. 自重及び鉛直方向設計震度による引張応力

自重及び鉛直方向設計震度により鉛直方向荷重が作用しており，次式により求める。

$$W_{15} = M_d \cdot g \cdot (1 + C_V) / (n_{15a} \cdot n_{15b}) \cdots \cdots (5.2.4.11)$$

ここで,

n_{15a} : 扉の鉛直方向支持点の数

n_{15b} : 吊具ブラケット 1 体当たりの支持点の数

M_d : 扉の質量

C_v : 閉止装置の鉛直方向の設計震度

自重及び鉛直方向設計震度により A～A 断面に生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{15} = W_{15} / A_{15A} \cdots \cdots \cdots (5.2.4.12)$$

ここで,

A_{15A} : A～A 断面の断面積

(b) せん断応力

イ. 自重及び鉛直方向設計震度によるせん断応力

自重及び鉛直方向設計震度により B～B 断面に作用するせん断力は次式により求める。

$$F_{15} = W_{15} \cdots \cdots \cdots (5.2.4.13)$$

自重及び鉛直方向設計震度により B～B 断面に生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{15} = F_{15} / A_{15B} \cdots \cdots \cdots (5.2.4.14)$$

ここで,

A_{15B} : B～B 断面の断面積

5.3 評価結果

閉止装置の強度評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 扉及び支持部材に対する評価

扉及び支持部材に対する扉開状態での基準地震動 S_s による応力評価結果を表 5-4 に、扉閉状態での弾性設計用地震動 S_d による応力評価結果を表 5-5 に示す。また、支持部材のうち、扉固定の機能を維持する設計（塑性変形により門の挿入性を阻害しない設計）としている門ピン、門受板（扉側）及び門受板（枠側）に対する扉閉状態での基準地震動 S_s による応力評価結果を表 5-6 に示す。

(2) 駆動部に対する評価

駆動部に対する評価結果を表 5-7 に示す。

工認計算書においては、扉、各方向の支持部材及び駆動部の代表部位（評価上最も厳しい部位）についての評価結果を記載する。

表 5-4 扉及び支持部材応力評価結果（開状態 基準地震動 S_s）

評価対象設備	評価部位	応力分類	応力値 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度*
閉止装置	扉	外梁	引張り応力	120	205
			せん断応力	5	118
			組合せ応力	120	205
		内梁	引張り応力	52	205
			せん断応力	19	118
			組合せ応力	61	205
		面板	引張り応力	77	205
			せん断応力	11	118
			組合せ応力	90	205
	支持部材	ガイドレール	引張り応力	157	205
			せん断応力	5	118
			組合せ応力	158	205
		ガイドローラピン	引張り応力	127	205
			せん断応力	12	118
			組合せ応力	129	205
		側面プッシュローラピン	引張り応力	91	205
			せん断応力	14	118
			組合せ応力	94	205
		側面プッシュローラブラケット	引張り応力	43	205
			引張り応力	82	339
			せん断応力	9	195
		門ピン	組合せ応力	84	339
			引張り応力	9	205
			せん断応力	10	118
	面内方向	門受板（扉側）	引張り応力	6	205
			せん断応力	9	118
		門受板（枠側）	引張り応力	103	205
			せん断応力	5	118
		ハンガーレール	組合せ応力	103	205
			引張り応力	41	205
	鉛直方向	ハンガーローラ	せん断応力	9	118
			組合せ応力	43	205
		吊具	引張り応力	19	205
			せん断応力	19	118

注記 *：裕度＝(許容応力)/(応力値)

表 5-5 扉及び支持部材応力評価結果（閉状態 弾性設計用地震動 S_d）

評価対象設備	評価部位		応力分類	応力値 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度*
閉止装置	扉	外梁	引張応力	56	205	3.66
			せん断応力	3	118	39.33
			組合せ応力	57	205	3.60
		内梁	引張応力	36	205	5.69
			せん断応力	14	118	8.43
			組合せ応力	43	205	4.77
		面板	引張応力	63	205	3.25
			せん断応力	9	118	13.11
			組合せ応力	73	205	2.81
	支持部材	鉛直方向	引張応力	67	205	3.05
			せん断応力	4	118	29.5
			組合せ応力	68	205	3.01
		ハンガーローラ	引張応力	27	205	7.59
			せん断応力	6	118	19.67
			組合せ応力	28	205	7.32
		吊具ブラケット	引張応力	12	205	17.08
			せん断応力	12	118	9.83
			引張応力	68	205	3.01
		側面ブッシュローラピン	せん断応力	10	118	11.80
			組合せ応力	70	205	2.93
			引張応力	32	205	6.41
	面外方向	上下面ブッシュローラピン	引張応力	90	205	2.28
			せん断応力	12	118	9.83
			組合せ応力	92	205	2.23
		テーパーブロック	せん断応力	63	118	1.87
			引張応力	50	316	6.32
			せん断応力	5	182	36.40
		門ピン	組合せ応力	51	316	6.20
			引張応力	5	205	41.00
			せん断応力	6	118	19.67
	面内方向	門受板（枠側）	引張応力	4	205	51.25
			せん断応力	5	118	23.60

注記 *：裕度＝(許容応力)/(応力値)

表 5-6 扉及び支持部材応力評価結果（閉状態 基準地震動 S_s ）

評価対象設備	評価部位		応力分類	応力値 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度*
閉止装置	支持部材	面内方向	門ピン	引張り応力	316	3.85
				せん断応力	182	20.22
				組合せ応力	316	3.76
			門受板（扉側）	引張り応力	205	22.78
				せん断応力	118	11.80
			門受板（枠側）	引張り応力	205	34.17
				せん断応力	118	13.11

注記 *：裕度＝（許容応力）/（応力値）

表 5-7 駆動部評価結果

評価対象設備	評価部位		荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	裕度*
閉止装置	駆動部	チェーン	<input type="text"/>	<input type="text"/>	1.00

注記 * : 裕度 = (許容荷重) / (荷重)

評価用震度と加振試験結果の関係について

1. 概要

本資料は、ブローアウトパネル閉止装置（以下「閉止装置」という。）の加振試験の結果のうち、ひずみデータからの荷重及び震度の算出並びに架台の応答増幅の影響を除いた、閉止装置に基準地震動 S_e が作用した場合の扉の震度（支持部材を変形させる震度）の算出について示すものである。

2. 加振試験において確認された扉の加速度

閉止装置の加振試験において、扉の中央部で確認された加速度の最大値を表 2-1 に示す。加振試験における扉の加速度については、扉の支持構造（いわゆる“ガタ”）に起因する短時間のピークが生じることとなり、閉止装置の扉中央部の加速度においてもピークの加速度が確認されている。

扉と振動台の面内方向加速度の計測結果及び周波数分析結果の例を図 2-1 から図 2-5 に、扉の面外方向加速度の計測結果を図 2-6 に示す。

表 2-1 扉中央部の加速度（最大値） (×9.8 m/s²)

		扉閉		扉開		
		1 回目 (7/25)	2 回目 (7/31)	1 回目 (7/24)	2 回目 (7/26)	3 回目 (7/31)
扉の加速度	面内方向					
	面外方向					
	鉛直方向					

注記 * : 加速度センサ故障のため、加速度データが取得できなかった。

注 : 扉の加速度は小数点以下第 3 位を切上げ。

このピークの加速度を用いて支持部材を変形させるための荷重を求めることは、過度の保守性を有することになることから、支持部材等の構造強度評価のために支持部材そのものの変形量であるひずみを測定している。

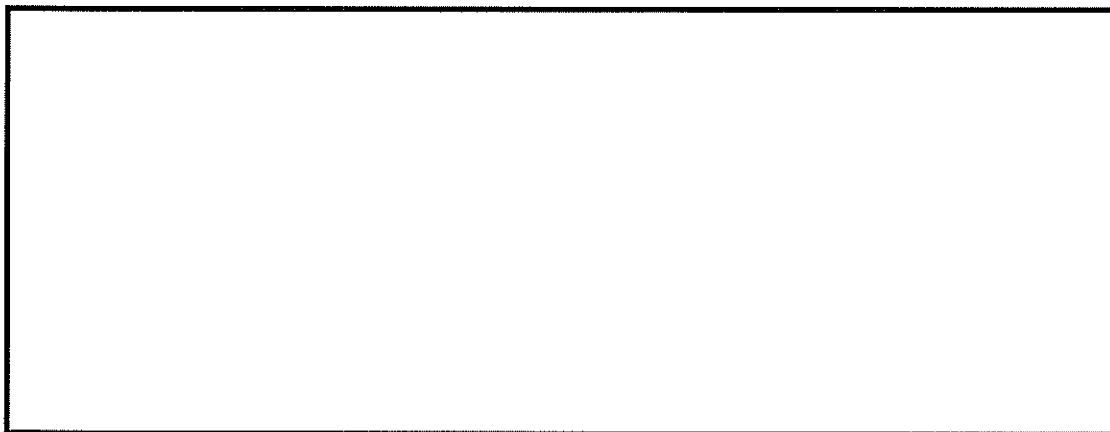


図 2-1 扉の加速度波形の例（扉閉 2 回目（7/31）の試験における面内方向加速度の計測結果）

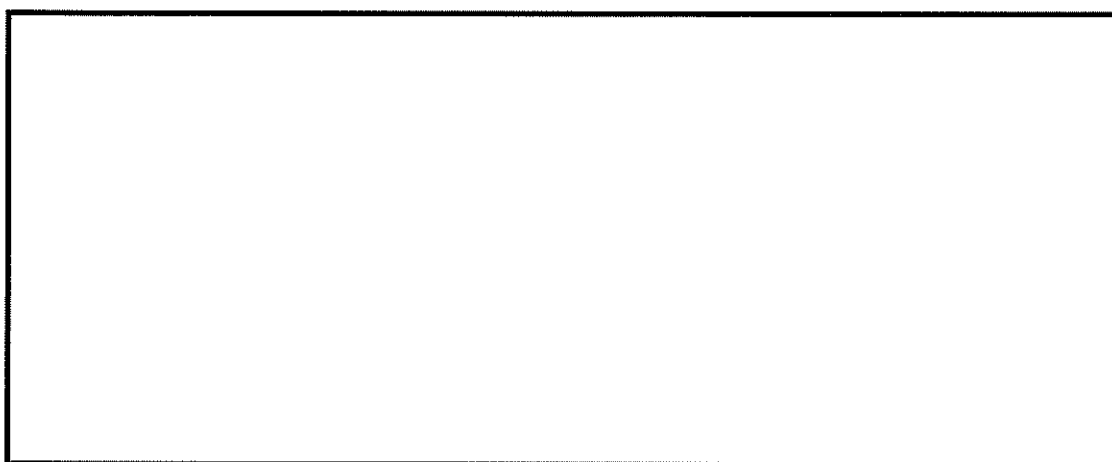


図 2-2 扉閉 2 回目（7/31）の試験における面内方向加速度の計測結果（時間軸拡大図）

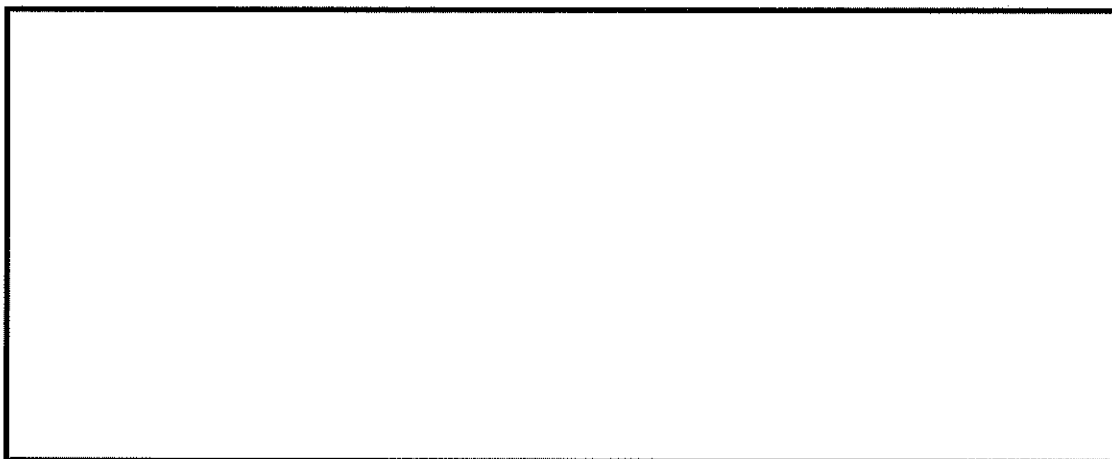


図 2-3 扉閉 2 回目（7/31）の試験における振動台の加速度の計測結果

注：扉閉 2 回目（7/31）の試験における面内方向加速度の最大値近傍の 57 秒～62 秒の時間軸を拡大した時間軸拡大図より、扉の面内方向の加速度は、“ガタ”のない振動台の加速度の波形と比べ、短時間のピークが確認できる。

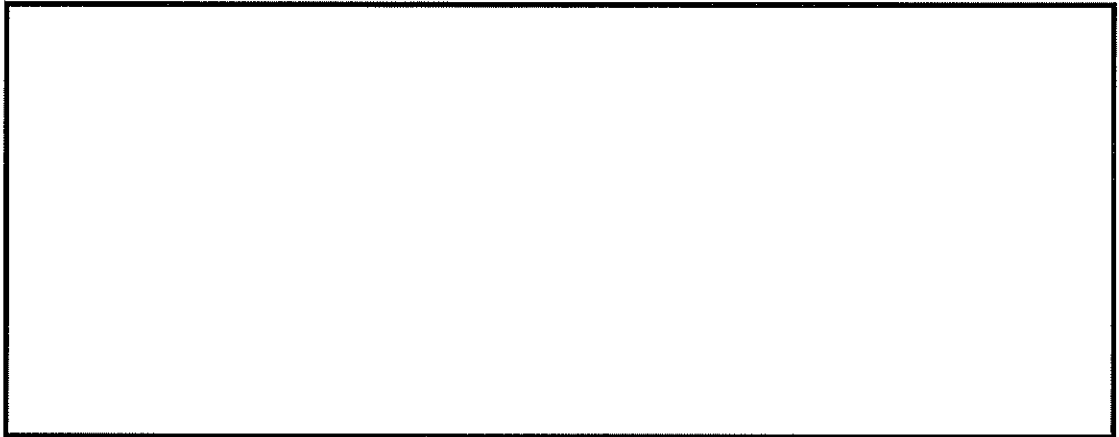


図 2-4 扉閉 2 回目（7/31）の試験における面内方向加速度の周波数分析結果

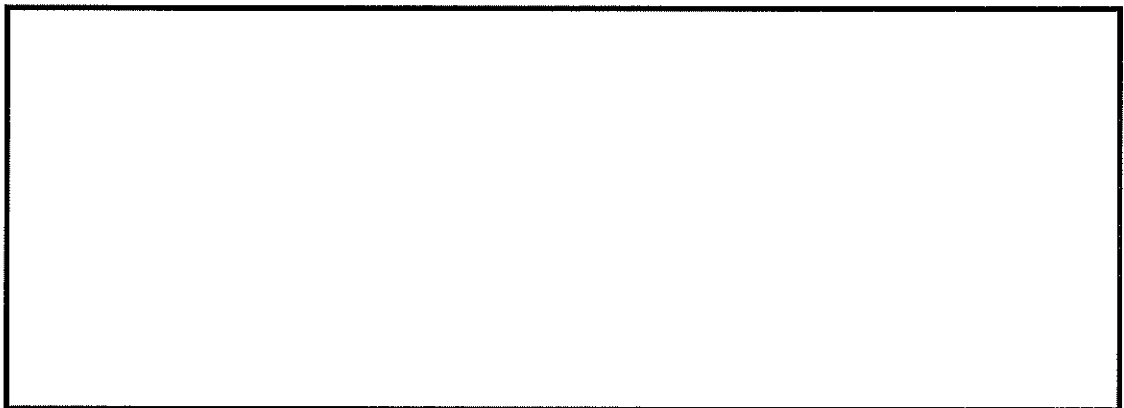


図 2-5 扉閉 2 回目（7/31）の試験における振動台の加速度の周波数分析結果

注：扉閉 2 回目（7/31）の試験における面内方向加速度の周波数分析結果（フーリエスペクトル）は、“ガタ”のない振動台の加速度の周波数分析結果と比較して、20 Hz 以上の周波数成分が大きくなっており、短時間に大きなピークを持つ高周波数の加速度成分が含まれていたことが確認できる。

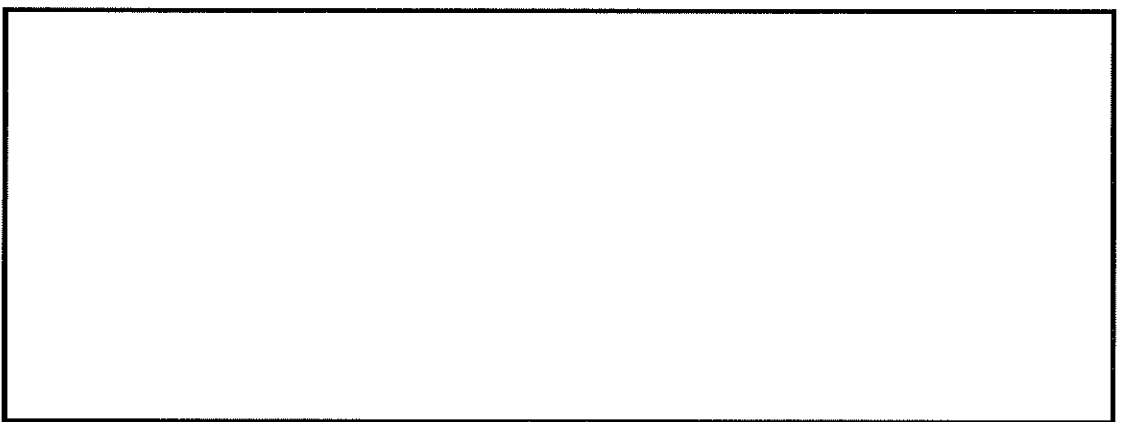


図 2-6 扉の加速度波形の例（扉開 1 回目（7/24）の試験における面外方向加速度の計測結果）

3. ひずみゲージ設置位置

扉の慣性力を算出するためのひずみゲージは、面内、面外及び鉛直方向について、扉全体の荷重伝達経路となる支持部材に設置する。また、チェーンの張力を算出するためのひずみゲージは、チェーン両端の支持部材に設置する。各ひずみゲージの設置位置について以下に示す。

(1) 面内方向

荷重伝達経路は、門□箇所である（開側及び閉側各□箇所）。

開状態及び閉状態の門各□箇所の荷重を測定するため、開側の門ブラケット□箇所及び閉側の門ブラケット□箇所にひずみゲージを設置する。

荷重伝達経路： 門□箇所	ひずみゲージ設置位置： 開側門□箇所 閉側門□箇所
<div></div>	

(2) 面外方向

荷重伝達経路は、プッシュローラ及びガイドローラ計 箇所である（開側及び閉側各 箇所）。

ひずみゲージは開側側面プッシュローラブラケット 箇所及び閉側側面プッシュローラブラケット 箇所に設置する。扉慣性力の伝達は、荷重伝達経路 箇所のうち 箇所で代表されるものとする。

荷重伝達経路： プッシュローラ及びガイドローラ計 <input type="text"/> 箇所	ひずみゲージ設置位置： 開側側面プッシュローラブラケット <input type="text"/> 箇所 閉側側面プッシュローラブラケット <input type="text"/> 箇所
<div></div>	

(3) 鉛直方向

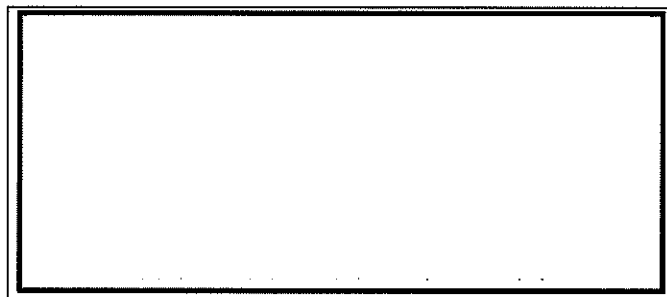
荷重伝達経路は、吊具 箇所である（開閉共通）。

吊具 箇所の荷重を測定するため、吊具のハンガーローラ 箇所にひずみゲージを設置する。

荷重伝達経路： 吊具 <input type="text"/> 箇所	ひずみゲージ設置位置： 吊具 <input type="text"/> 箇所
<div></div>	

(4) チェーン張力

チェーンの張力を測定するため、チェーン両端のエンドボルト□箇所（開閉共通）にひずみゲージを設置する。



4. ひずみデータからの荷重算出

加振による扉からの荷重によって支持部材に発生する変形は、扉と支持部材が接触している時間により変化し、接触時間が長いほど支持部材の変形量が大きくなるため、加振中の扉と支持部材の接触や反発時の挙動によって支持部材に作用する荷重が異なると考えられる。また、加振試験では、試験体を設置している架台の応答増幅の影響により、架台の下部に対して上部の加速度が増加している。

このため、支持部材等の構造強度評価については、加振試験時に測定した支持部材そのものの変形量であるひずみデータを用いて荷重を算出するとともに、架台の応答増幅の影響を除いた相当震度（扉の慣性力）を求める。その手順を以下に示す。また、加振試験で得られたひずみからの震度算出フローを図 4-1 に示す。

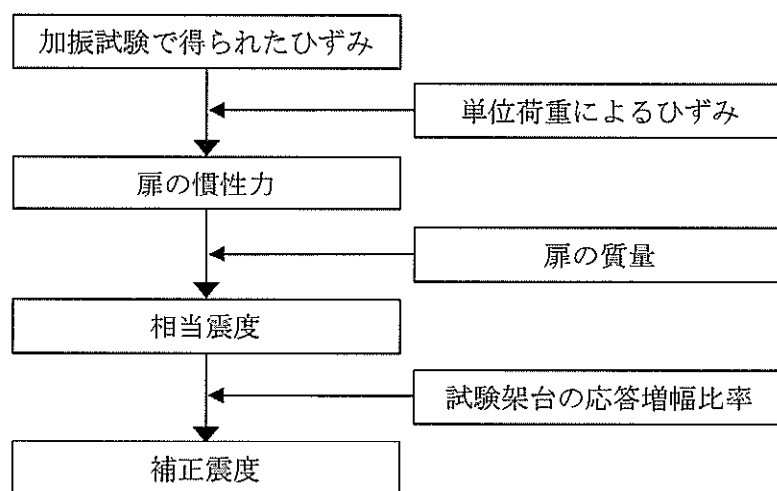


図 4-1 ひずみからの震度算出フロー

(1) 複数支持部のひずみ最大値 (ε_{max})

複数の支持部材で荷重を受ける場合、各支持部材に発生する荷重の合計が全体の荷重になる。このため、ひずみデータを時間ごとに合計し、計測した部材全体で発生したひずみデータを作成する。作成したひずみデータから最大値を抽出し、計測点数で除して支持部材 1 箇所当たりに換算したひずみ最大値 (ε_{max}) を表 4-1 に示す。

また、加振試験で得られた各部材のひずみの測定結果を別紙 1 に示す。

表 4-1 加振試験で得られた各部材 1 箇所当たりのひずみ最大値 (ε_{max})

部材	ひずみ (μ ε)					備考
	扉閉		扉開			
	1 回目 (7/25)	2 回目 (7/31)	1 回目 (7/24)	2 回目 (7/26)	3 回目 (7/31)	
門ブラケット						面内方向
プッシュローラ						面外方向
ハンガーローラ						鉛直方向
エンドボルト						チェーン用

(2) 単位荷重によるひずみ (ε_0)

各支持部材に単位荷重 (1 kN) が作用したときのひずみを表 4-2 に示す。

プッシュローラ、ハンガーローラ及びエンドボルトについては、梁モデルによりひずみを算出した。ひずみの算出方法を別紙 2 に示す。

門ブラケットについては、断面内の応力分布が複雑であるため、加振試験と同じ位置にひずみゲージを設置した門ブラケットの引張 (圧縮) 試験によりひずみを求めた。試験の概要及び結果を別紙 3 に示す。

表 4-2 単位荷重 (1 kN) による各支持部材の発生ひずみ (ε_0)

部材	単位荷重によるひずみ ($\mu\varepsilon$)
門ブラケット	
プッシュローラ	
ハンガーローラ	
エンドボルト	

(3) 扉の相当震度

荷重は、各方向における支持点で均等に発生したとし、以下の式により扉の震度（及びチェーン張力）を求める。

$$W = \varepsilon_{\max} / \varepsilon_0 \times n \cdots \cdots (4.1)$$

ここで、

- W : 扉の慣性力（及びチェーン張力）(kN)
 ε_{\max} : 支持部材 1 箇所当たりの発生ひずみ ($\mu\varepsilon$)
 ε_0 : 単位荷重による発生ひずみ ($\mu\varepsilon$)
 n : 各方向の支持点数

さらに、以下の式により扉の慣性力を震度に換算する。算出結果を表 4-3 に示す。

$$\alpha = W / (M \times g) = \varepsilon_{\max} / \varepsilon_0 \times n / (M \times g) \cdots \cdots (4.2)$$

ここで、

- α : 相当震度 (G)
 M : 扉の質量= (kg)
 g : 重力加速度=9.80665 (m/s²)

表 4-3 扉の相当震度（最大値）及びチェーン張力

		扉閉		扉開		
		1 回目 (7/25)	2 回目 (7/31)	1 回目 (7/24)	2 回目 (7/26)	3 回目 (7/31)
扉の相当震度	面内方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	面外方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	鉛直方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
チェーン張力 (kN)		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注 : 扉の加速度は小数点以下第 3 位を切上げ。チェーン張力は小数点以下第 2 位を切上げ。

(4) 架台の応答増幅の影響を除いた補正震度

加振試験では試験体を設置している架台の応答増幅の影響により、架台の下部に対して上部の加速度が増加している。試験体は、この増加した加速度で加振されているため、その影響を除いた補正震度を求める。なお、架台加速度は面内及び面外方向は振動台加速度と架台上部加速度の平均値を用い、鉛直方向は扉が上部で支持されていることから、架台上部加速度を用いた。算出結果を表 4-4 に示す。

$$\alpha' = a_0 / a_1 \times \alpha \dots\dots\dots (4.3)$$

ここで、

- α' : 補正震度 (G)
 a_0 : 入力加速度 (m/s²)
 a_1 : 架台加速度 (m/s²)
 (a_0 / a_1 の比率は別紙 4 による)

表 4-4 架台の応答増幅を除いた扉の補正震度 (最大値)

		扉閉		扉開		
		1 回目 (7/25)	2 回目 (7/31)	1 回目 (7/24)	2 回目 (7/26)	3 回目 (7/31)
扉の補正震度	面内方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	面外方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	鉛直方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注 : 小数点以下第 3 位を切上げ

5. 結果

加振試験時においては、架台による応答増幅が確認された。このため、測定した架台の加速度と支持部材のひずみデータを用いて、原子炉建屋外壁に取り付けた閉止装置に基準地震動 S_s による地震動が作用した場合の扉に作用する補正震度を求めた結果、扉の震度は最大で である。扉の補正震度は、いずれの方向においても基準地震動 S_s の 倍以内であり、閉止装置の耐震計算に用いる基準地震動 S_s における評価用震度を超えていない。扉の補正震度及び基準地震動 S_s の震度との比較を表 5-1 に、補正震度と評価用震度 (基準地震動 S_s) との比較を表 5-2 に示す。

表 5-1 補正震度と基準地震動 S_a の震度との比較

部位		基準地震動 S_a *1 (A)	補正震度 (B)	(B) / (A)
扉	面内方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	面外方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	鉛直方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記 *1: 基準地震動 S_a の震度は

表 5-2 補正震度と評価用震度（基準地震動 S_a ）との比較

部位		補正震度	評価用震度 (基準地震動 S_a)	備考
扉	面内方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>	評価用震度は、1.2ZPA の <input type="text"/> の値
	面外方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>	評価用震度は、基準地震動 S_a に基づく設備評価用床応答曲線（減衰定数 <input type="text"/> %）より得られる値*2
	鉛直方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>	評価用震度は、1.2ZPA の <input type="text"/> の値

注記 *2: 加振試験結果から得られる減衰定数を用いた場合の震度との比較を別紙 5 に示す。

また、前記のとおり、架台による応答増幅が確認されていたものの、加振試験時に測定したエンドボルトのひずみデータを用いてチェーン張力を求めた結果、チェーン張力は、約 kN であり、基準地震動 S_a による地震動が作用した場合の扉の慣性力によるチェーン張力の最大値（チェーン mm 変形時に作用する張力）を超えていない。チェーン張力と mm 変形時のチェーン張力との比較を表 5-3 に示す。

表 5-3 加振試験において確認されたチェーン張力と mm 変形時のチェーン張力との比較

部位	チェーン張力 (N)	<input type="text"/> mm 変形時のチェーン張力 (N)
チェーン	<input type="text"/>	<input type="text"/>

6. 別紙

- 別紙 1 加振試験で得られた各部材のひずみ
- 別紙 2 各支持部材に単位荷重（1 kN）が作用したときのひずみ
- 別紙 3 門ブラケットに単位荷重（1 kN）が作用したときのひずみ
- 別紙 4 架台の応答増幅の影響低減
- 別紙 5 加振試験結果から得られる減衰定数及び震度について

加振試験で得られた各部材のひずみ

本資料は、平成 30 年 7 月に実施した閉止装置加振試験のうち、扉閉 2 回分及び扉開 3 回分の計 5 ケースにおけるひずみデータを示すものである。

対象部材は、エンドボルト、プッシュローラ、ハンガーローラ及び門ブラケットであり、各試験ケースのひずみ波形データの最大値を表 1 に示す。なお、プッシュローラ及びハンガーローラは、試験ケースにより測定点数が異なるため、それぞれ測定した支持部材数を示す。

表 1 加振試験で得られた各部材のひずみ最大値

部材	ひずみ (μ ε)					備考
	扉閉		扉開			
	1 回目 (7/25)	2 回目 (7/31)	1 回目 (7/24)	2 回目 (7/26)	3 回目 (7/31)	
門ブラケット	<div><div></div><div>(体分)</div></div>	<div><div></div><div>(体分)</div></div>	<div><div></div><div>(体分)</div></div>	<div><div></div><div>(体分)</div></div>	<div><div></div><div>(体分)</div></div>	面内方向
プッシュローラ	<div><div></div><div>(体分)</div></div>	<div><div></div><div>(体分)</div></div>	<div><div></div><div>(体分)</div></div>	<div><div></div><div>(体分)</div></div>	<div><div></div><div>(体分)</div></div>	面外方向
ハンガーローラ	<div><div></div><div>(体分)</div></div>	<div><div></div><div>(体分)</div></div>	<div><div></div><div>(体分)</div></div>	<div><div></div><div>(体分)</div></div>	<div><div></div><div>(体分)</div></div>	鉛直方向
エンドボルト	<div><div></div><div>(体分)</div></div>	<div><div></div><div>(体分)</div></div>	<div><div></div><div>(体分)</div></div>	<div><div></div><div>(体分)</div></div>	<div><div></div><div>(体分)</div></div>	チェーン用

各支持部材に単位荷重（1 kN）が作用したときのひずみ

本資料は、単位荷重（1 kN）作用時の各支持部材（プッシュローラ、ハンガーローラ、エンドボルト）に発生するひずみを算出するものである。

1. プッシュローラ

プッシュローラ1箇所（ブラケット1個）に単位荷重1 kNが作用したときのブラケット表面に発生するひずみを算出する。



- (1) 断面特性：断面積 A (mm^2)，断面係数 Z (mm^3)

$$A = t \times B \times \square = \square \times \square \times \square = \square \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$Z = (t \times B^2 / \square) \times \square = (\square \times \square / \square) \times \square = \square \text{ (mm}^3\text{)}$$

- (2) 荷重：引張力 F_0 (kN)，曲げモーメント M_0 (kN・mm)

$$F_0 = \square \text{ (kN)}$$

$$M_0 = F_0 \times L = \square \times \square = \square \text{ (kN} \cdot \text{mm)}$$

- (3) 単位荷重によるひずみ： ϵ_0 ($\mu \epsilon$)

$$\epsilon_0 = (F_0 / A + M_0 / Z) / E \times 10^6 = (\square / \square + \square / \square) / \square \times 10^6$$

$$= \square \text{ (} \mu \epsilon \text{)} \quad (\text{有効数字4桁目を四捨五入})$$

ここで、 E ：縦弾性係数 $\square = \square$ (MPa)

2. ハンガーローラ

ハンガーローラ1箇所単位荷重1 kNが作用したときの吊具リンク表面に発生するひずみを算出する。

(1) 断面特性：断面積 A (mm^2)

$$A = L \cdot (B - D) = \boxed{} \times (\boxed{} - \boxed{}) = \boxed{} (\text{mm}^2)$$

(2) 荷重：引張力 F_0 (kN)

$$F_0 = \boxed{} (\text{kN})$$

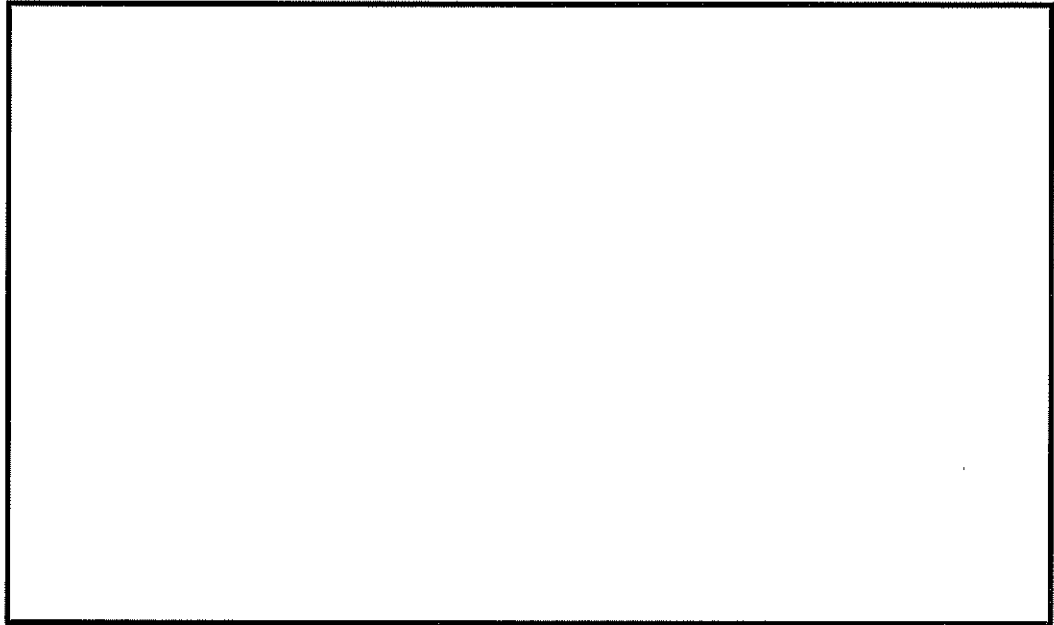
(3) 単位荷重によるひずみ： ε_0 ($\mu\varepsilon$)

$$\varepsilon_0 = F_0 / A / E \times 10^6 = \boxed{} / \boxed{} / \boxed{} \times 10^6 = \boxed{} (\mu\varepsilon) \quad (\text{有効数字4桁目を四捨五入})$$

ここで、 E ：縦弾性係数 $\boxed{} = \boxed{} (\text{MPa})$

3. エンドボルト

チェーンに単位荷重（張力）1 kNが作用したときのエンドボルト表面に発生するひずみを算出する。



- (1) 断面特性：断面積 A (mm^2)

$$A = \pi / 4 \times D^2 = \pi / 4 \times \boxed{}^2 = \boxed{} \text{ (mm}^2\text{)}$$

- (2) 荷重：引張力 F_0 (kN)

$$F_0 = \boxed{} \text{ (kN)}$$

- (3) 単位荷重によるひずみ： ε_0 ($\mu \varepsilon$)

$$\varepsilon_0 = F_0 / A / E \times 10^6 = \boxed{} / \boxed{} / \boxed{} \times 10^6$$

$$= \boxed{} \text{ (} \mu \varepsilon \text{)} \quad (\text{有効数字4桁目を四捨五入})$$

ここで、 E ：縦弾性係数 $\boxed{} = \boxed{} \text{ (MPa)}$

門ブラケットに単位荷重（1 kN）が作用したときのひずみ

本資料は、単位荷重（1 kN）作用時の門ブラケットに発生するひずみを算出するものである。ひずみは、加振試験と同じ位置にひずみゲージを設置した門ブラケットに荷重を負荷し、直接ひずみを計測することにより算出する。

1. 門ブラケット構造及び加振試験でのひずみゲージ設置位置

門ブラケット構造及び加振試験でのひずみゲージ設置位置を図1-1に示す。

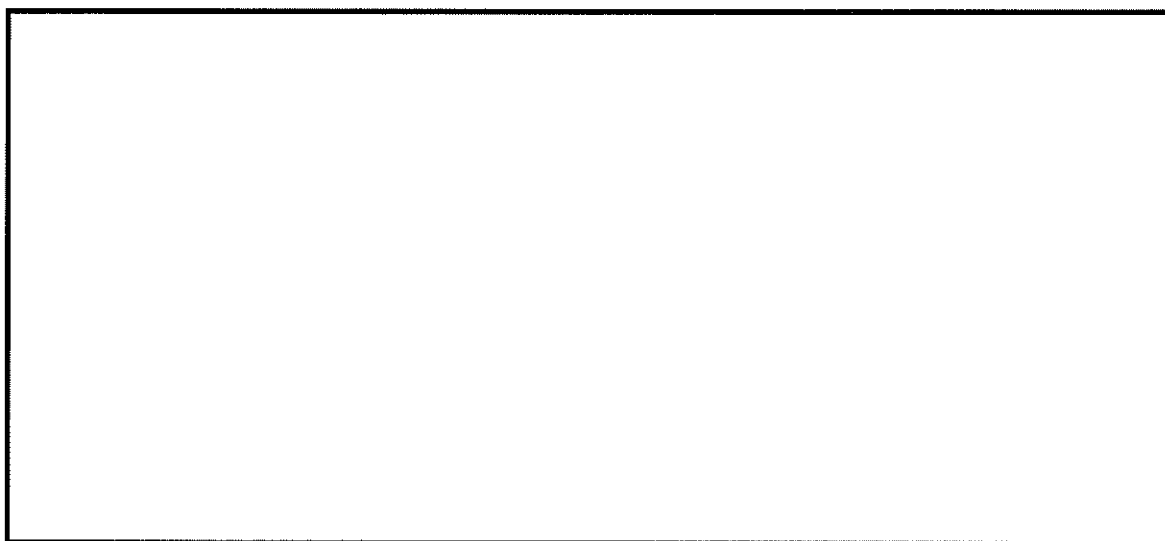


図1-1 門ブラケット構造及び加振試験でのひずみゲージ設置位置

2. ひずみ計測試験の概要

門ブラケット全[]体を対象として、門受板及び門ピンを介して疲労試験機で荷重を準静的に負荷したときのひずみを計測した。試験状況写真を図 2-1 に示す。ひずみゲージは、加振試験における門ブラケットのひずみゲージ設置位置と同じ位置に設置した。

荷重条件としては[]～[] kN（圧縮）を準静的に負荷し、これを 3 セット繰り返した。

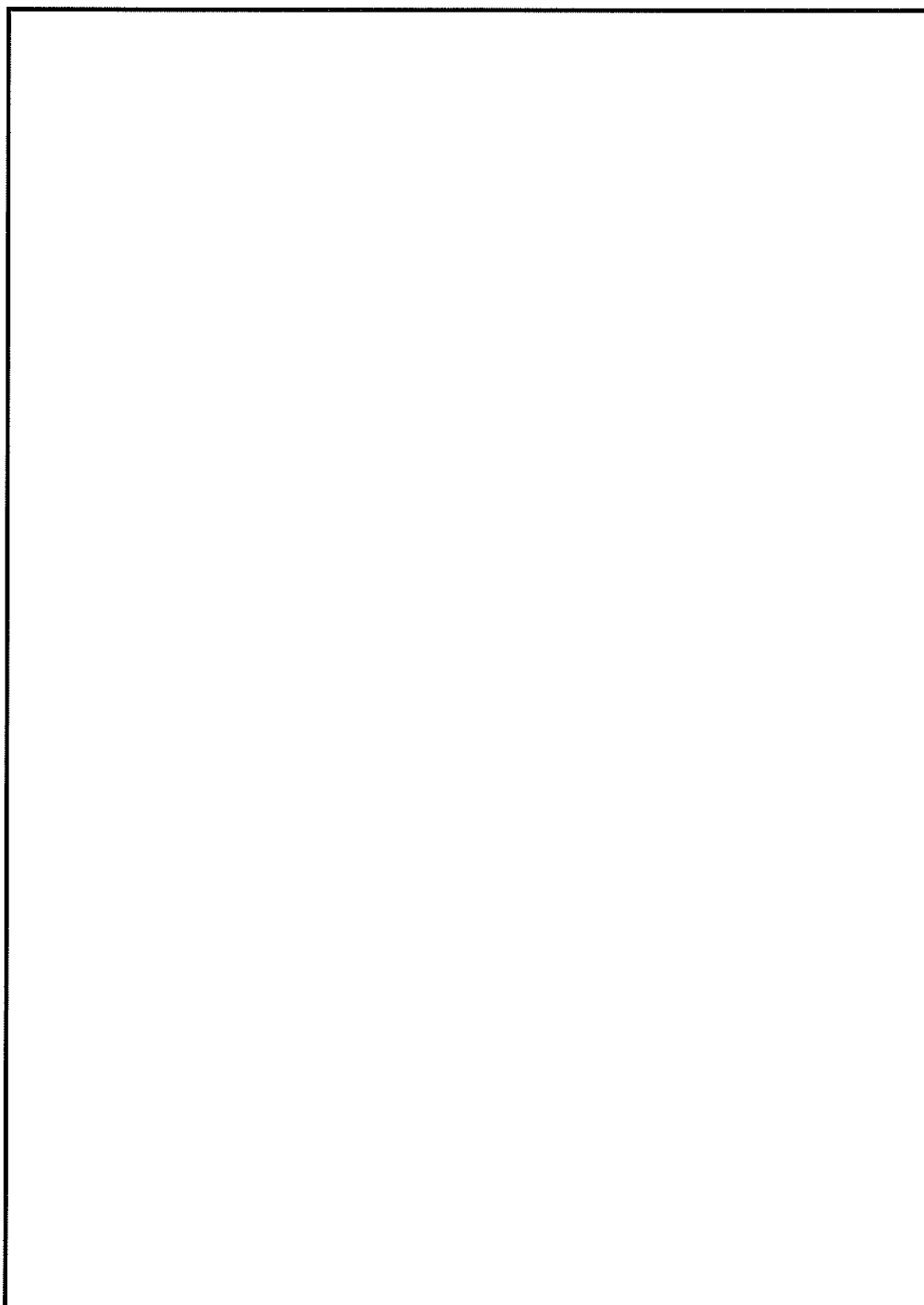


図2-1 門ブラケットのひずみ計測試験状況

3. 試験結果

試験で得られた最大荷重と最大ひずみ値（絶対値）を表3-1に示す。

表 3-1 ひずみ計測試験結果

試験体	回数	最大荷重 (kN)	最大ひずみ ($\mu\varepsilon$)
扉開上側 門ブラケット	1 回目		
	2 回目		
	3 回目		
扉開下側 門ブラケット	1 回目		
	2 回目		
	3 回目		
扉閉上側 門ブラケット	1 回目		
	2 回目		
	3 回目		
扉閉下側 門ブラケット	1 回目		
	2 回目		
	3 回目		
平均			

注：最大荷重，最大ひずみとも絶対値で表示

4. 単位荷重（1 kN）作用時のひずみ値の算出

表3-1の試験結果の平均値より，門ブラケットに単位荷重（1 kN）が作用したときのひずみ値（ ε_0 ）を以下により求める。

$$\varepsilon_0 = \text{最大ひずみ} / \text{最大荷重} = \boxed{} / \boxed{} = \boxed{} \text{ (}\mu\varepsilon\text{)} \quad (\text{有効数字4桁目を四捨五入})$$

架台の応答増幅の影響低減

本資料は、地震応答解析結果（) と加振試験結果の最大加速度の比率を算定したものである。

1. 比率の算定結果

地震応答解析結果の (EL. m と EL. m の平均) と加振試験結果（計測点 A1 と A3, または A2 と A4 の平均) の最大加速度の比率算定結果を表 1-1 に示す。

表 I-1 地震応答解析結果 と加振試験結果の比率算定結果 (面外, 面内方向: EL. m 平均値, 鉛直向: EL. m)

方向	<div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><div><div></div></div></div></div><div><div><div><div></div></div><</div></div></div></div>
----	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

注記 *1: 面外及び面内方向は, 扉設置位置の上下にある質点の地震応答解析結果を使い, 内挿で求めた EL. m と EL. m の震度の平均値を記載。鉛直方向は, 扉上端位置 (EL. m) の上下にある質点の地震応答解析結果を使い, 内挿で求めた EL. m の震度を記載。
加振試験条件に合わせ, とする。

内挿計算の桁処理は, 小数点 3 桁目を切り上げし, その後, 平均値を算出。

*2: 扉閉の場合には計測点 A1 及び A3, 扉開の場合には計測点 A2 及び A4 の加速度計測結果を示す。小数点以下第 3 位を切り上げ。

*3: X 及び Y 方向については, 扉に対する上部及び下部からの加速度入力力の寄与が同じと考え, 上部と下部 (A1 と A3, または A2 と A4) の平均値を比率算定に使用。Z 方向については, 扉が吊るされている上部からの加速度入力力が支配的と考え, 上部 (A3 または A4) の値を比率算定に使用。

*4: 小数点以下第 4 位を四捨五入

加振試験結果から得られる減衰定数及び震度について

1. 概要

本資料は、加振試験結果から得られる減衰定数を用いた場合の震度を算出し、添付書類「V-2-9-5-2-4 ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書」において用いる水平方向設計震度との比較を行うものである。

2. 加振試験結果から得られる減衰定数及び震度

扉閉条件における面外方向の加振試験結果から得られる伝達関数と、固有振動数、減衰定数の仮定により得られる伝達関数との比較から減衰定数を求める曲線適合により減衰定数を算出した結果、 %であった。(図 2-2 参照)

減衰定数を %とした場合の原子炉建屋 (EL. m) の水平方向の床応答スペクトルは図 2-1 に示すとおりであり、扉の固有周期 秒(工認計算条件)における震度は となる。

工認計算条件の減衰定数 %における水平方向設計震度は であることから、加振試験結果から得られる減衰定数 %における水平方向震度との比率は約 ($=\frac{\text{}}{\text{}}$) となる。

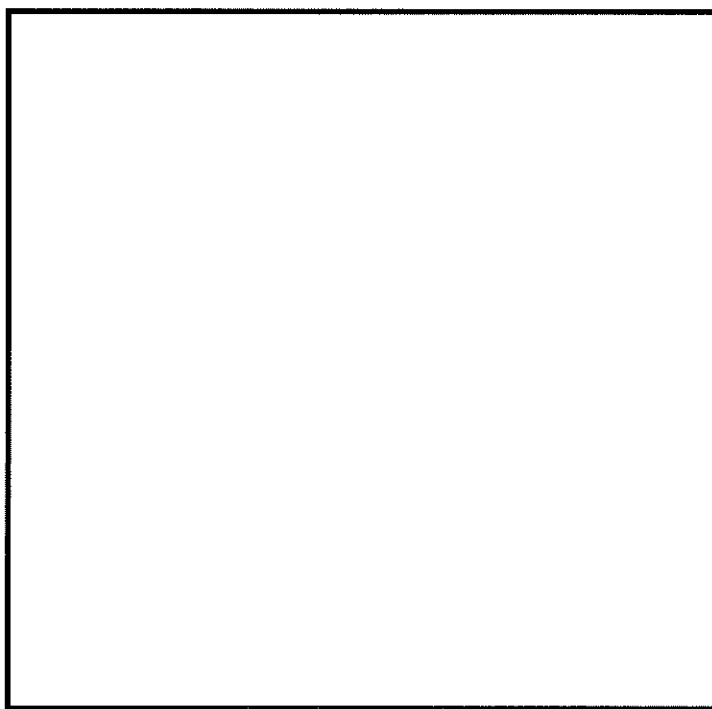


図 2-1 原子炉建屋 (EL. m) の水平方向の床応答スペクトル

加振試験結果（伝達関数の評価）

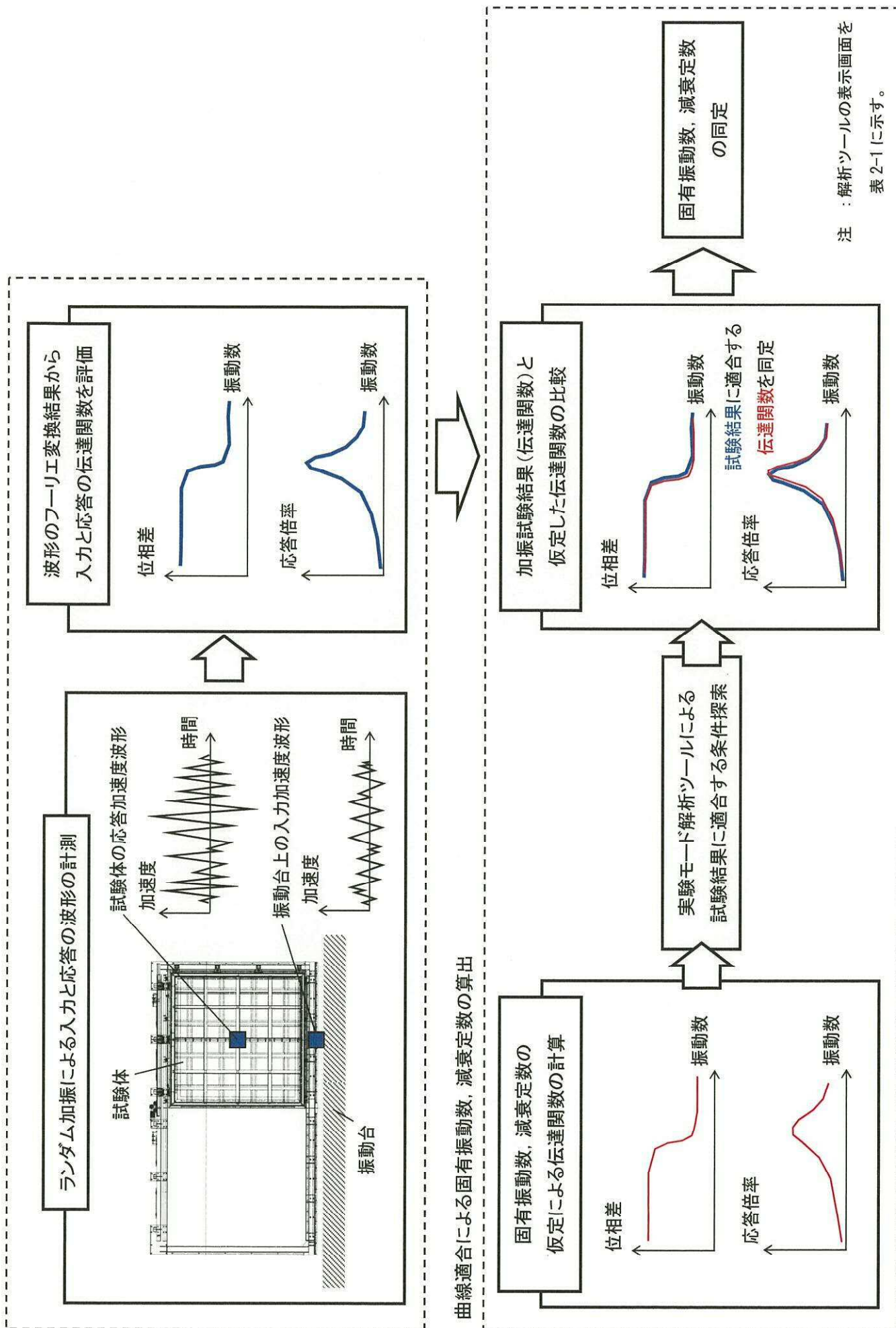
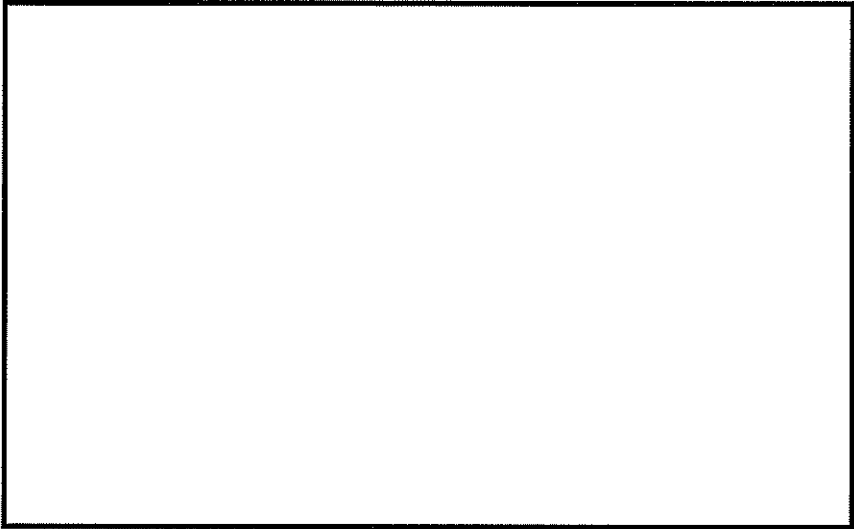
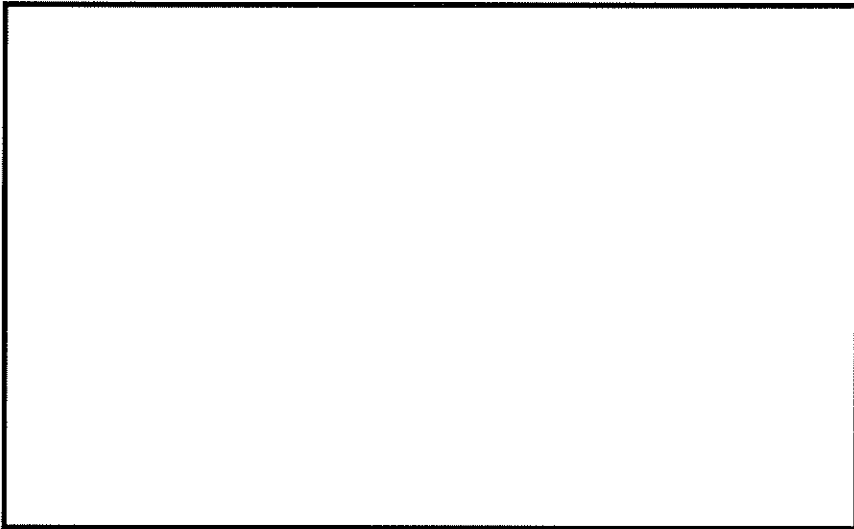
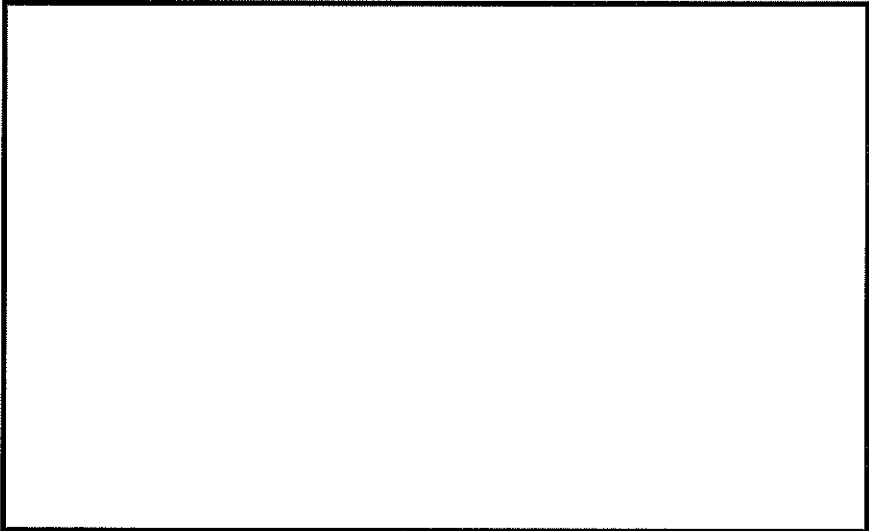


図 2-2 曲線適合による減衰定数算出の流れ

表 2-1 減衰定数の算定過程（解析ツールの表示画面）

	解析ツールの表示画面	
起 動 時 の 画 面		
伝 達 関 数 の 読 み 込 み 時 の 画 面		
曲 線 適 合 , 減 衰 定 数 算 出 時 の 画 面		

ブローアウトパネル閉止装置の応力計算

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-1-1-6-別添4 ブローアウトパネル関連設備の設計方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、ブローアウトパネル閉止装置（以下「閉止装置」という。）が十分な構造強度を有していることを説明するものである。その構造強度評価は応力評価により行う。

閉止装置は、重大事故等対処設備において、常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

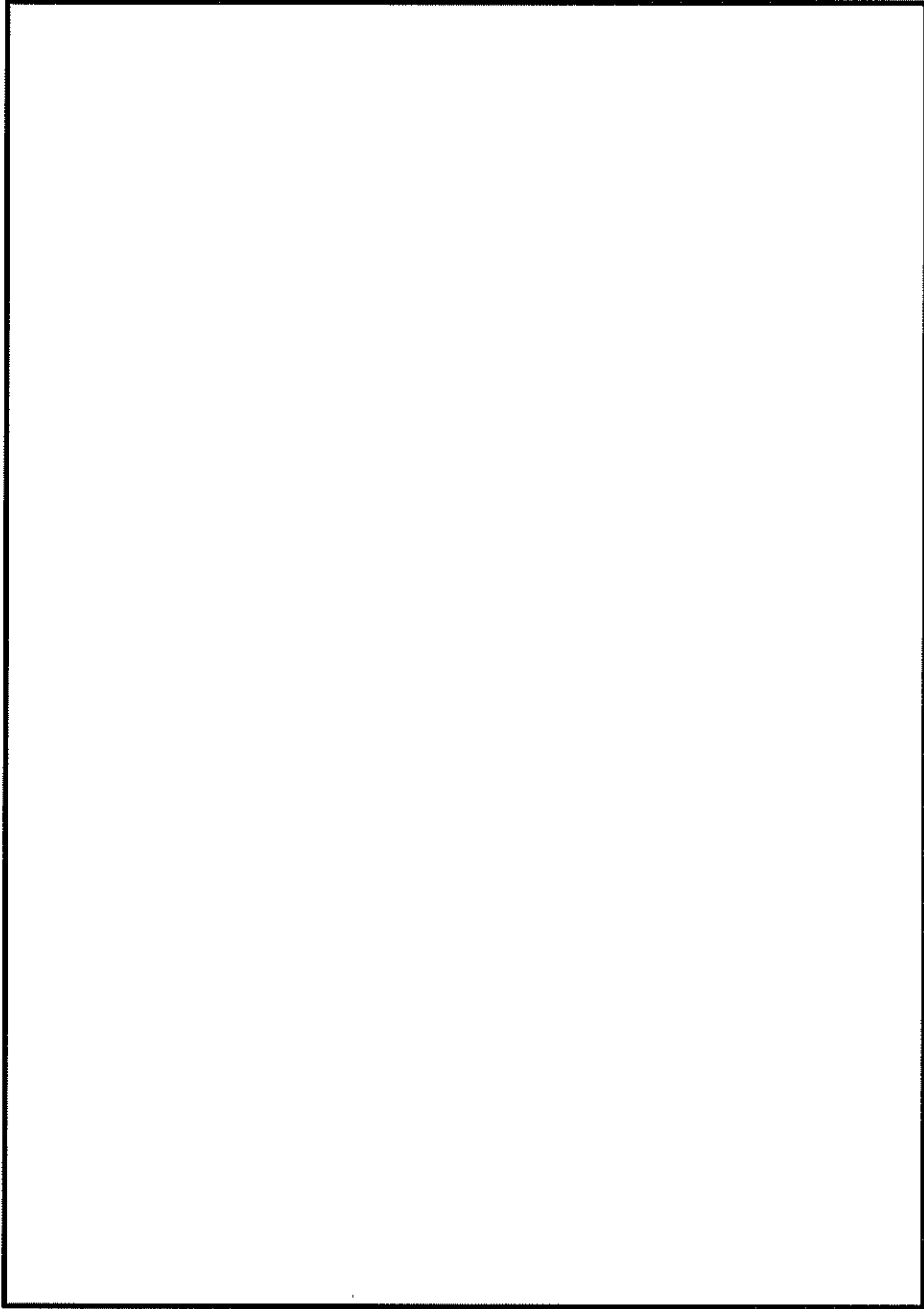
構造計画を表2-1に示す。閉止装置は、下記より構成される。

- (1) 扉
 - ・ 外梁
 - ・ 内梁
 - ・ 面板
- (2) 扉枠
- (3) 面外方向支持部材
 - ・ ガイドレール
 - ・ ガイドローラ
 - ・ 側面プッシュローラ
 - ・ 上下面プッシュローラ
 - ・ テーパーブロック
- (4) 面内方向支持部材
 - ・ 門
- (5) 鉛直方向支持部材
 - ・ ハンガーレール
 - ・ ハンガーローラ
 - ・ 吊具
- (6) 駆動部
 - ・ ギアボックス
 - ・ エンドボルト
 - ・ チェーンガイド
 - ・ チェーン
 - ・ 電動機

閉止装置は、上記に示す扉、扉枠、面外方向支持部材、面内方向支持部材、鉛直方向支持部材及び駆動部から構成される。扉は、鉛直方向支持部材であるハンガーローラ及び吊具によりハンガーレールに吊り下げられており、閉止装置上部に取り付けた電動機の回転を、ギアボックスを介して扉に取り付けられたチェーンの水平方向動作に変換することにより扉を開閉する構造である。また、扉閉状態の気密性については、扉又は扉枠に設置したテーパブロック、側面プッシュローラ及び上下面プッシュローラにより、扉を扉枠のシール材料に押し付けることにより確保する構造である。

閉止装置に作用する力のうち、面外方向に対しては、側面プッシュローラ、上下面プッシュローラ、ガイドローラ及びガイドレール等により扉を扉枠に押し付けることにより、拘束した状態で支持する構造である。面内方向に対しては門により、鉛直方向に対しては、ハンガーローラ、吊具及びハンガーレールにより支持する構造である。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>扉枠は、据付ボルトにより原子炉建屋原子炉棟の壁に固定される。扉は吊具を介して扉枠に支持される。</p>	<p>閉止装置は、扉、扉枠（扉を移動させるためのレールを含む）、ローラ、扉を駆動する電動機（チェーンを含む）及び門から構成される。</p>	

2.2 評価方針

閉止装置の応力評価は、「V-1-1-6-別添4 ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に基づき、「2.1 構造計画」にて示す閉止装置の部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において応力が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」にて示す方法により確認することで実施する。評価結果を「5. 評価結果」に示す。

閉止装置の構造強度評価フローを図2-1に示す。

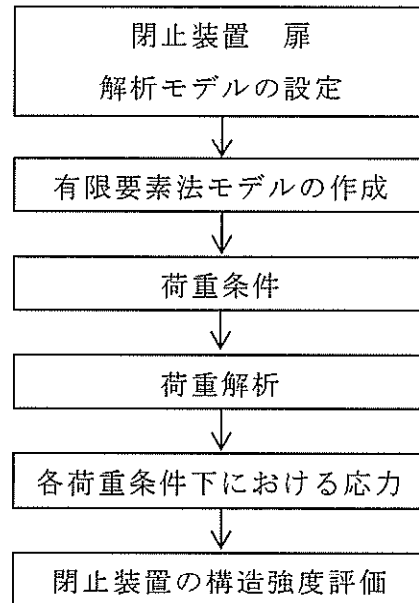


図 2-1 閉止装置の構造強度評価フロー

2.3 適用基準

適用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 (日本電気協会)
- (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 (日本電気協会)
- (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 (日本電気協会)
- (4) 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。)) J S M E S N C 1-2005/2007 (日本機械学会) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_o	扉外梁の断面積	mm^2
E	扉の縦弾性係数	MPa
C_f	ピーク風力係数	—
F	設計・建設規格 SSB-3121.1に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3に定める値	MPa
F_{xo}	扉外梁に作用する軸力	N
F_{yo}	扉外梁に作用するせん断力（y 方向）	N
F_{zo}	扉外梁に作用するせん断力（z 方向）	N
f_s	許容せん断応力（ f_s を1.5倍した値）	MPa
f_t	許容引張応力（ f_t を1.5倍した値）	MPa
M	扉の質量	kg
M_{xo}	扉外梁に作用するねじりモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{yo}	扉外梁に作用する y 軸周り曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{zo}	扉外梁に作用する z 軸周り曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
q	平均速度圧	Pa
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
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40℃における値	MPa
T	温度条件	℃
W	風圧力	Pa
Z_{xo}	扉外梁のねじり断面係数	mm^3
Z_{yo}	扉外梁の y 軸周り断面係数	mm^3
Z_{zo}	扉外梁の z 軸周り断面係数	mm^3
ν	ポアソン比	—
σ_{co}	扉外梁に生じる組合せ応力	MPa
σ_{to}	扉外梁に生じる引張応力	MPa
σ_{xo}	扉外梁に生じる引張応力（x 方向）	MPa
σ_{yo}	扉外梁に生じる引張応力（y 方向）	MPa
σ_{zo}	扉外梁に生じる引張応力（z 方向）	MPa

記号	記号の説明	単位
τ_o	扉外梁に生じるせん断応力	MPa
τ_{xo}	扉外梁に生じるせん断応力（x 方向）	MPa
τ_{yo}	扉外梁に生じるせん断応力（y 方向）	MPa
τ_{zo}	扉外梁に生じるせん断応力（z 方向）	MPa

注：記号右端添字に $_o$ が付くものは、扉外梁評価用を代表で示したものであり、扉内梁評価用については $_i$ に置き換えるものとする。また、記号の説明欄に記載している扉外梁を、扉内梁評価用については扉内梁に置き換えるものとする。

2.5 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に示すとおりとする。

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
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
	上記以外の長さ	mm	—	—	整数位*1
断面積		mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
断面二次モーメント		mm ⁴	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
断面係数		mm ³	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
等分布荷重		N/mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント		N・mm	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，整数値までの値とする。

3. 評価部位

閉止装置の構造強度評価は、主要構造物である扉について実施する。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

扉の解析モデルを図4-1に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器諸元を表4-1に示す。

- (1) 扉を構成する部材をはり及びシェル要素にてモデル化した有限要素法モデルを適用する。
- (2) 扉は吊具、門、ローラ等により支持される構造であるため、その構造に応じた方向の変位を拘束するものとする。
- (3) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、荷重を求める。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要・MSC NASTRAN」に示す。
- (4) 圧力及び風圧力は、扉に対して面外方向に等分布に作用するものとし、外梁3辺（扉開状態）又は4辺（扉閉状態）を図4-1における面外方向に拘束するものとする。
- (5) 質量は、扉を構成する部材の質量を考慮する。
- (6) 構造強度計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

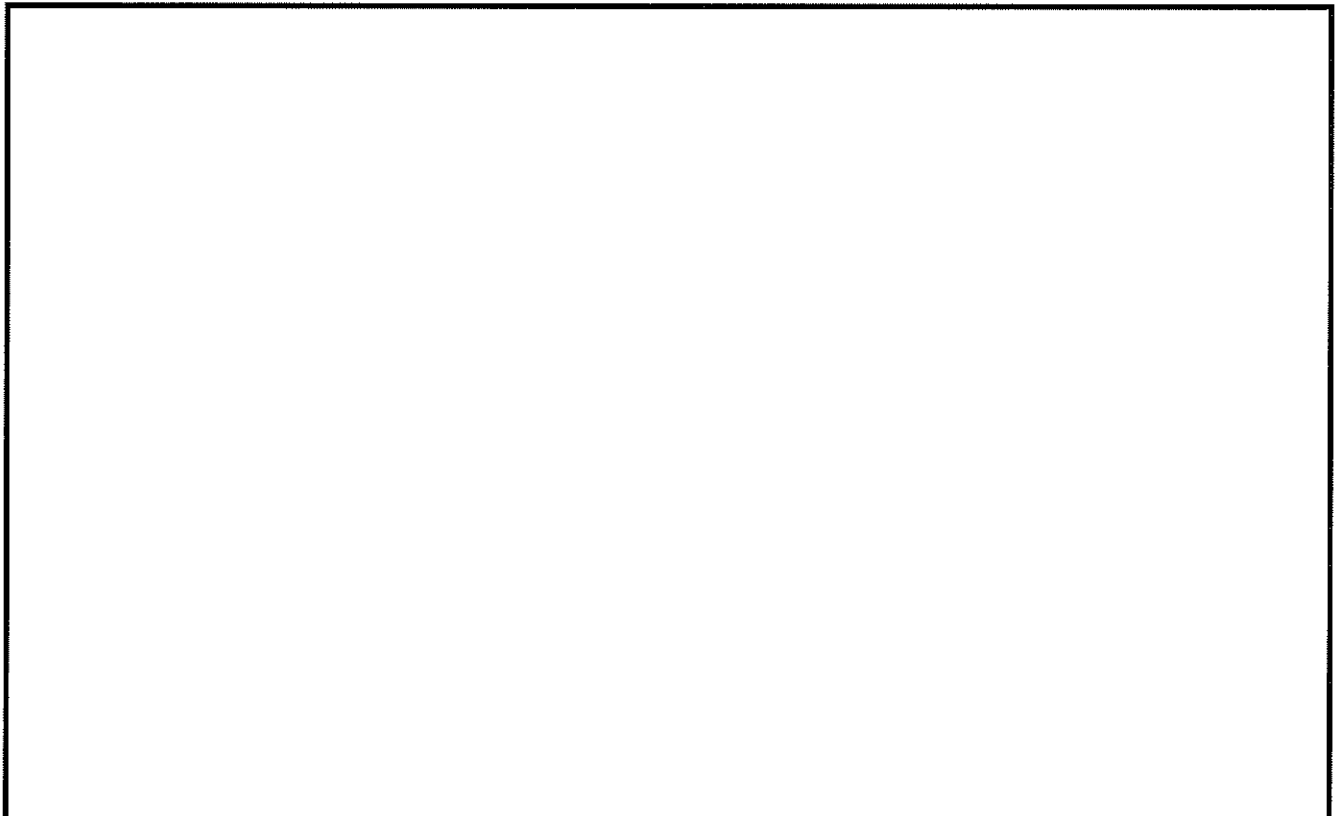


図 4-1 解析モデル

表 4-1 機器諸元

項目		記号	単位	入力値
材質		—	—	<input type="text"/>
質量		M	kg	<input type="text"/>
圧力条件	扉開状態	—	—	—
	扉閉状態	—	Pa (ゲージ圧)	<input type="text"/>
風圧力		W	Pa	<input type="text"/>
温度条件	扉開状態	T	℃	<input type="text"/>
	扉閉状態			<input type="text"/>
縦弾性係数	扉開状態	E	MPa	<input type="text"/>
	扉閉状態			<input type="text"/>
ポアソン比		ν	—	<input type="text"/>
要素数		—	個	<input type="text"/>
節点数		—	個	<input type="text"/>

注記 * : 風圧力は次式により求める。

$$W = q \cdot C_f \dots\dots\dots (4.1.1)$$

ここで,

q : 平均速度圧 (Pa)

C_f : ピーク風力係数 (—)

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

閉止装置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4-2に示す。

4.2.2 許容応力

閉止装置の許容応力を表4-3に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

閉止装置の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-4に示す。

表 4-2 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*2	許容応力状態
原子炉格納施設	閉止装置	常設／緩和	—*3	D + P + M	I_A 及び Π_A
				D + P _{SAD} + M _{SAD}	V_A (V_A としてIV _A の許容限界を用いる。)

注記 *1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：記号の説明については、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づく。

*3：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。

表 4-3 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*		
	一次応力		
	引張り	せん断	組合せ
I_A 及び Π_A	f_t	f_s	f_t
V_A (V_A としてIV _A の許容限界を用いる。)	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$

注記 *：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。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度 (扉開状態)	<input type="checkbox"/>			
扉	<input type="checkbox"/>	周囲環境温度 (扉閉状態)	<input type="checkbox"/>	198	504	205
		周囲環境温度 (扉閉状態)	<input type="checkbox"/>	171	441	205

4.3 計算方法

4.3.1 扉開状態の応力計算方法

扉外梁に加わる荷重を図4-1の解析モデルにより解析コード「MSC NASTRAN」を用いて求め、応力を図4-2を用いて計算する。負担力は、並進力 F_{x0} , F_{y0} , F_{z0} , モーメント力 M_{x0} , M_{y0} , M_{z0} とする。

(1) 応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_{x0} = \frac{F_{x0}}{A_0}, \quad \sigma_{y0} = \frac{M_{y0}}{Z_{y0}}, \quad \sigma_{z0} = \frac{M_{z0}}{Z_{z0}} \quad \dots\dots\dots (4.3.1.1)$$

$$\tau_{x0} = \frac{M_{x0}}{Z_{x0}}, \quad \tau_{y0} = \frac{F_{y0}}{A_0}, \quad \tau_{z0} = \frac{F_{z0}}{A_0} \quad \dots\dots\dots (4.3.1.2)$$

(2) 引張応力

引張応力は次式となる。

$$\sigma_{t0} = \sigma_{x0} + \sigma_{y0} + \sigma_{z0} \quad \dots\dots\dots (4.3.1.3)$$

(3) せん断応力

せん断応力は次式となる。

$$\tau_0 = \left. \begin{array}{l} \sqrt{(\tau_{x0} + \tau_{y0})^2 + \tau_{z0}^2} \\ \sqrt{\tau_{y0}^2 + (\tau_{x0} + \tau_{z0})^2} \end{array} \right\} \text{大きい方} \quad \dots\dots\dots (4.3.1.4)$$

(4) 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c0} = \sqrt{\sigma_{t0}^2 + 3 \cdot \tau_0^2} \quad \dots\dots\dots (4.3.1.5)$$

4.3.2 扉閉状態の応力計算方法

扉内梁に加わる荷重を図4-1の解析モデルにより解析コード「MSC NASTRAN」を用いて求め、応力を図4-2を用いて計算する。負担力は、並進力 F_{xi} , F_{yi} , F_{zi} , モーメント力 M_{xi} , M_{yi} , M_{zi} とする。

(1) 応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_{xi} = \frac{F_{xi}}{A_i}, \quad \sigma_{yi} = \frac{M_{yi}}{Z_{yi}}, \quad \sigma_{zi} = \frac{M_{zi}}{Z_{zi}} \quad \dots\dots\dots (4.3.2.1)$$

$$\tau_{xi} = \frac{M_{xi}}{Z_{xi}}, \quad \tau_{yi} = \frac{F_{yi}}{A_i}, \quad \tau_{zi} = \frac{F_{zi}}{A_i} \quad \dots\dots\dots (4.3.2.2)$$

(2) 引張応力

引張応力は次式となる。

$$\sigma_{ti} = \sigma_{xi} + \sigma_{yi} + \sigma_{zi} \quad \dots\dots\dots (4.3.2.3)$$

(3) せん断応力

せん断応力は次式となる。

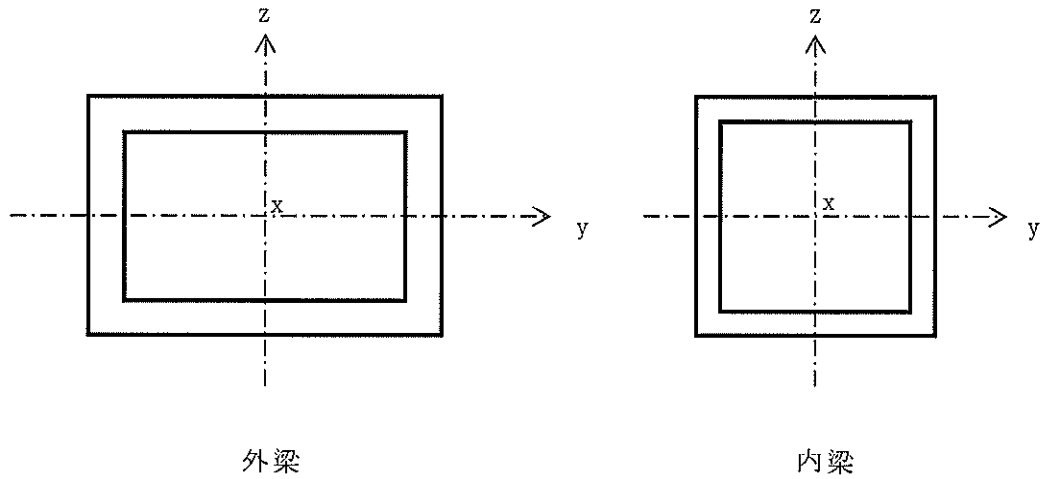
$$\tau_i = \left. \begin{array}{l} \sqrt{(\tau_{xi} + \tau_{yi})^2 + \tau_{zi}^2} \\ \sqrt{\tau_{yi}^2 + (\tau_{xi} + \tau_{zi})^2} \end{array} \right\} \text{大きい方} \quad \dots\dots\dots (4.3.2.4)$$

(4) 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{ci} = \sqrt{\sigma_{ti}^2 + 3 \cdot \tau_i^2} \quad \dots\dots\dots (4.3.2.5)$$

扉開状態における最大応力発生部位を図4-1の (a) , 扉閉状態における最大応力発生部位を図4-1の (b) に示す。



注 : x , y , z は要素に与えられた座標軸で、 x 軸は常に要素の長手方向にとる。

図 4-2 扉の部材断面

4.4 計算条件

強度計算に用いる自重（扉）、圧力及び風圧力は、本計算書の【閉止装置の構造強度計算結果】の計算条件及び機器要目に示す。

4.5 応力の評価

4.3節で求めた扉の各応力が各許容応力以下であること。

ただし、各許容応力は表4-5による。

表 4-5 扉の許容応力

	許容応力状態Ⅰ _A 及びⅡ _A における評価の場合	許容応力状態Ⅴ _A における評価の場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F_{\psi}}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}}$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容組合せ応力 f_t	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F_{\psi}}{1.5} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

閉止装置の重大事故時の状態を考慮した場合の構造強度評価結果を示す。発生値は許容限界を満足しており、十分な構造強度を有していることを確認した。構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【閉止装置の構造強度についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 機器要目

M (kg)	扉開状態					扉閉状態		
	A _o (mm ²)	Z _{x o} (mm ³)	Z _{y o} (mm ³)	Z _{z o} (mm ³)	A _i (mm ²)	Z _{x i} (mm ³)	Z _{y i} (mm ³)	Z _{z i} (mm ³)

注 : x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

S _y (MPa)		S _u (MPa)		S _y (R.T) (MPa)		F (MPa)	F [*] (MPa)
扉開状態	扉閉状態	扉開状態	扉閉状態	扉開状態	扉閉状態	扉開状態	扉閉状態
198	171	504	441	205	205	205	205


1.2 計算数値

部 材	扉に作用する力						扉に作用するモーメント					
	扉開状態			扉閉状態			扉開状態			扉閉状態		
	F_{x0} (N)	F_{y0} (N)	F_{z0} (N)	F_{xi} (N)	F_{yi} (N)	F_{zi} (N)	M_{x0} (N・mm)	M_{y0} (N・mm)	M_{z0} (N・mm)	M_{xi} (N・mm)	M_{yi} (N・mm)	M_{zi} (N・mm)
扉	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注 : x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3 結論

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	扉開状態		扉閉状態	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
扉		引張り	$\sigma_{t o} = 36$	$f_t = 136$	$\sigma_{t i} = 22$	$f_t = 205$
		せん断	$\tau_o = 2$	$f_s = 78$	$\tau_i = 2$	$f_s = 118$
		組合せ	$\sigma_{c o} = 37$	$f_t = 136$	$\sigma_{c i} = 23$	$f_t = 205$

すべて許容応力以下である。

補足-340-21 【原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設の耐震性についての計算書に関する補足説明資料】

原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設の耐震計算における代表性について

1. 概要

「V-2-11-2-18 原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設の耐震性についての計算書」においては、代表としてフレームの組合せ応力が最も大きい原子炉建屋原子炉棟6階西側の原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設（以下「BOP竜巻対策施設」という。）を選定して計算結果を記載している。本資料においては、代表以外のBOP竜巻対策施設の耐震計算結果について説明する。

2. BOP竜巻対策施設の配置

BOP竜巻対策施設は、原子炉建屋原子炉棟5階外壁面に2箇所、6階外壁面に8箇所設置しており、アンカーボルトにより原子炉建屋原子炉棟外壁面に固定されている。

BOP竜巻対策施設の配置を図2-1に示す。

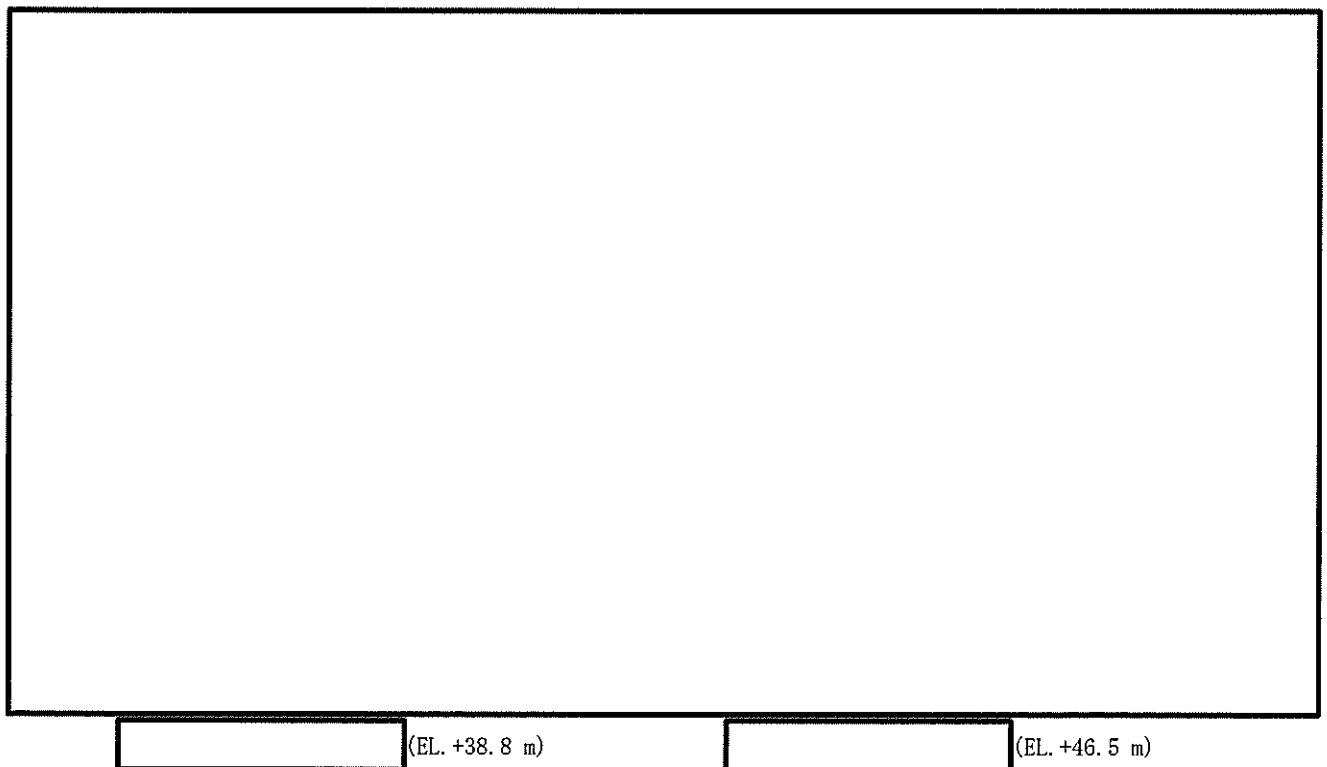


図 2-1 BOP竜巻対策施設配置（建屋平面図）

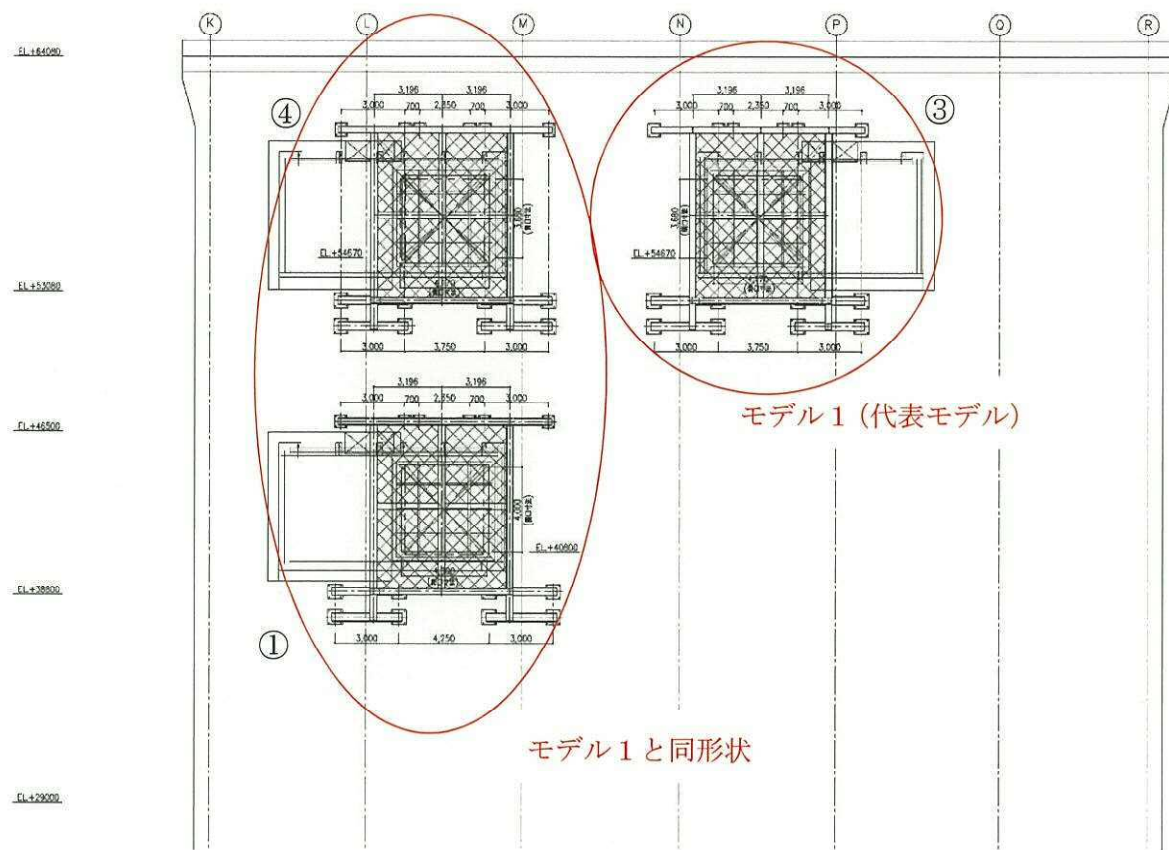


図 2-2 BOP竜巻対策施設配置 (西側)

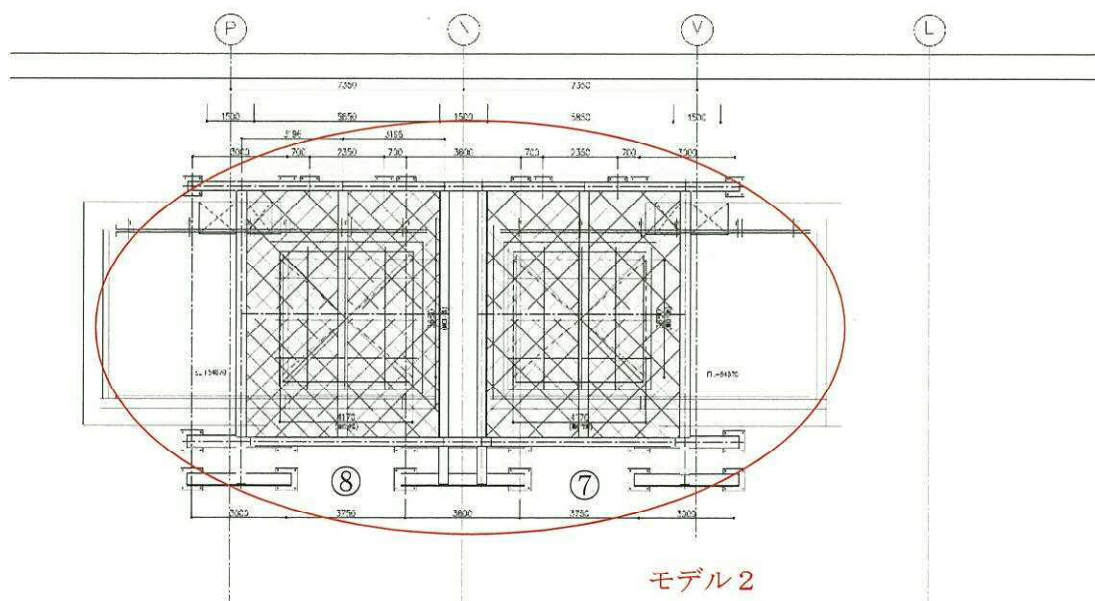


図 2-3 BOP竜巻対策施設配置 (東側)

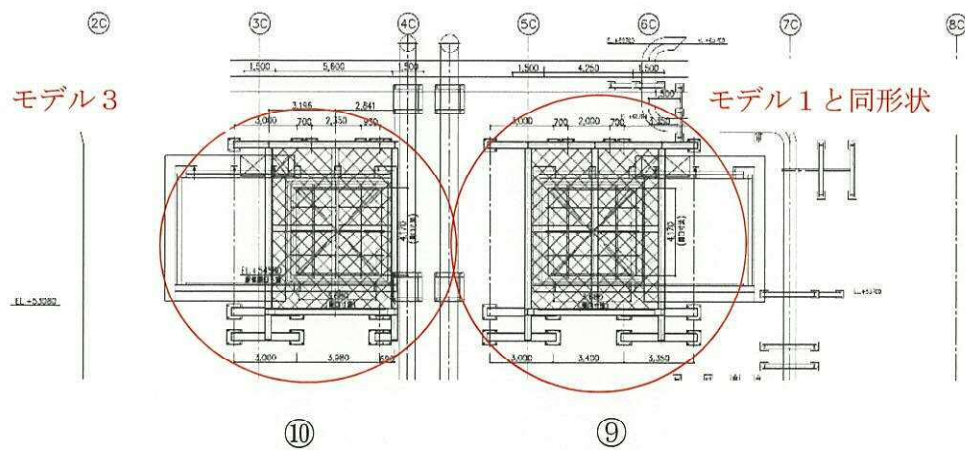


図 2-4 BOP 竜巻対策施設配置 (南側)

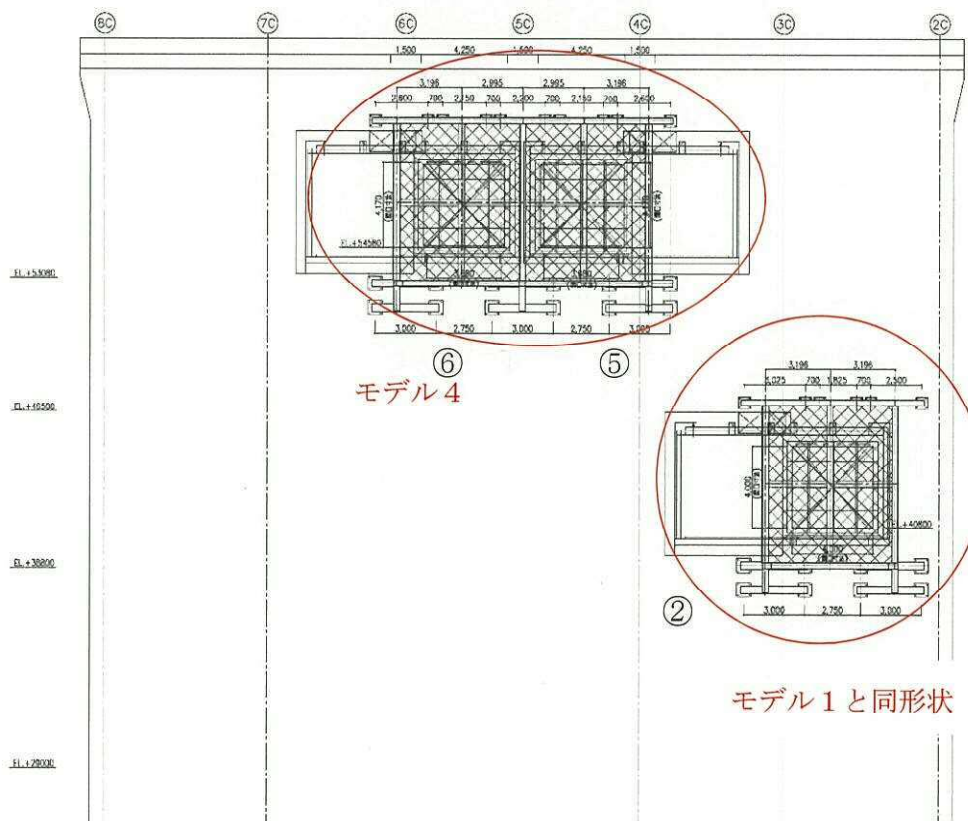


図 2-5 BOP 竜巻対策施設配置 (北側)

3. 解析モデル

BOP竜巻対策施設の解析モデルは形状、部材数をもとに図3-1～図3-4に示す4つのモデルに分類して評価を行う。なお、モデル1については西側③、④を基本として、一部干渉物を避けるため西側①、南側⑨、北側②については寸法に若干の差異があるが、形状、部材数は同じであり結果に大きな差異は生じないと考えられることから、西側③について評価を行う。

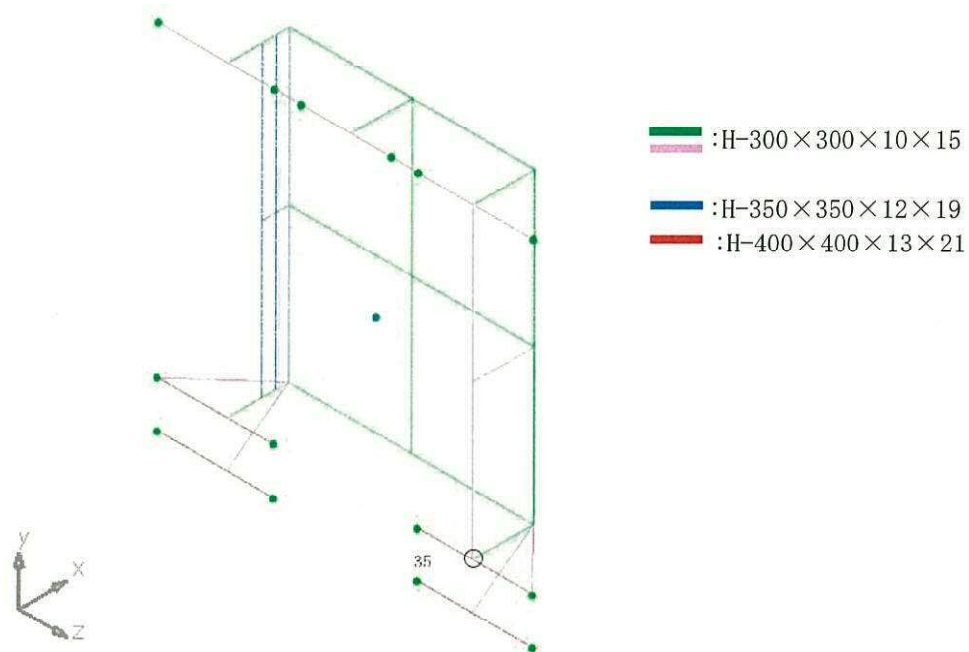


図 3-1 モデル1（代表モデル）

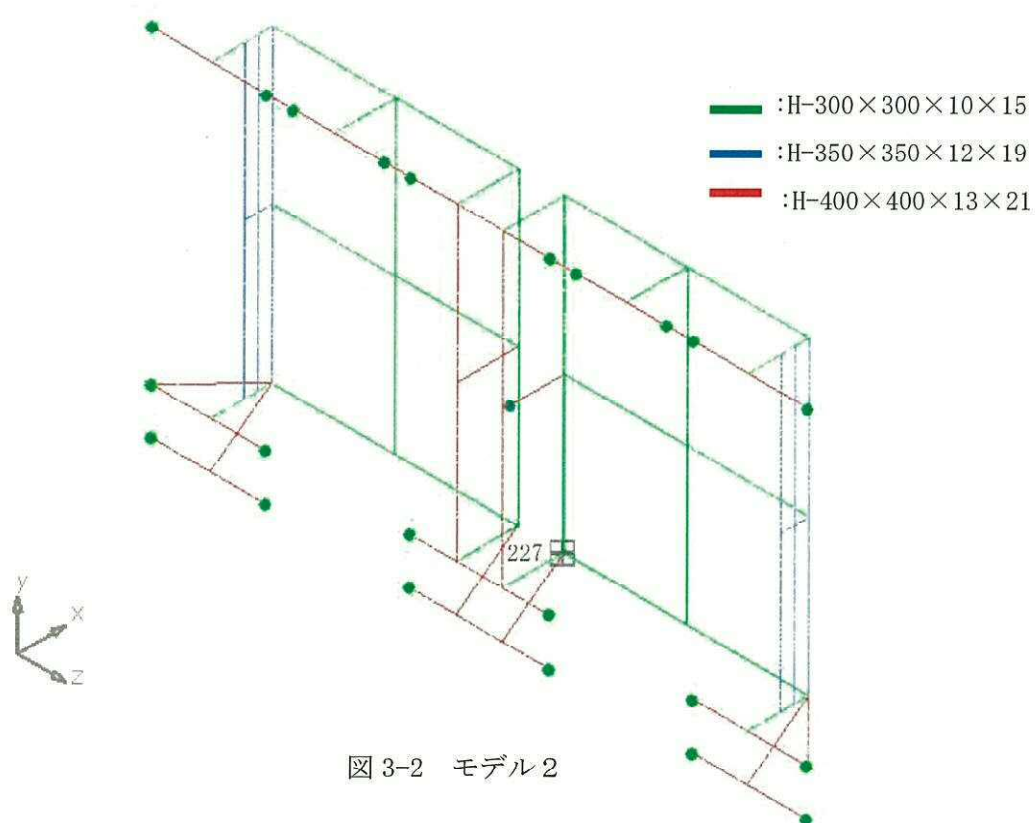


図 3-2 モデル2

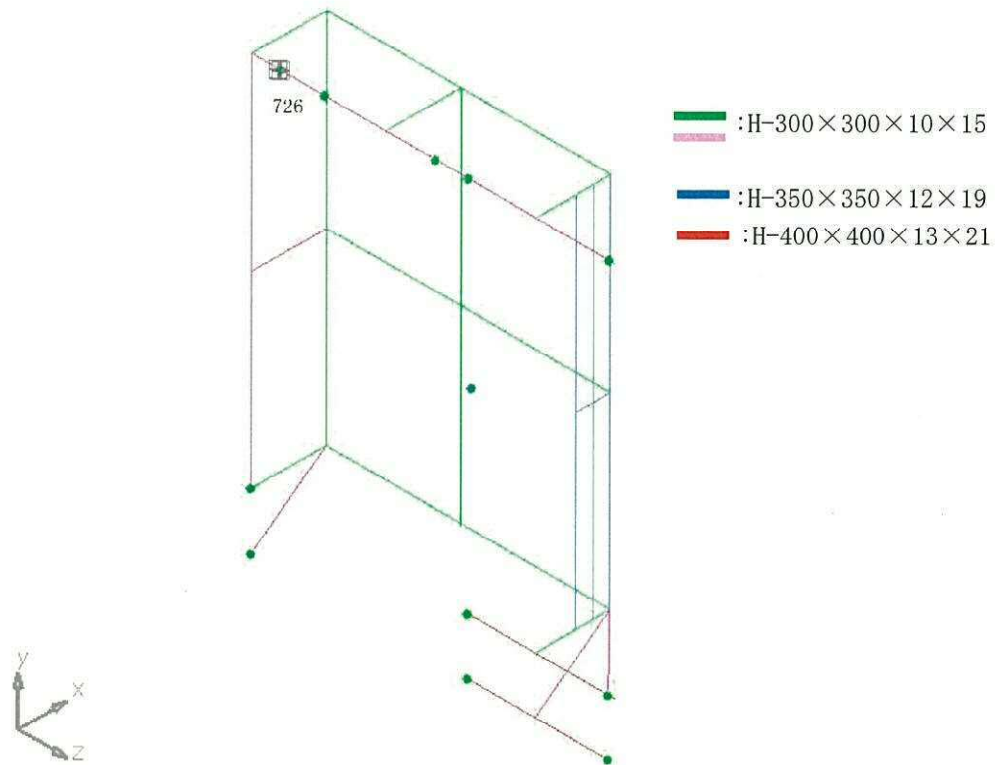


図 3-3 モデル 3

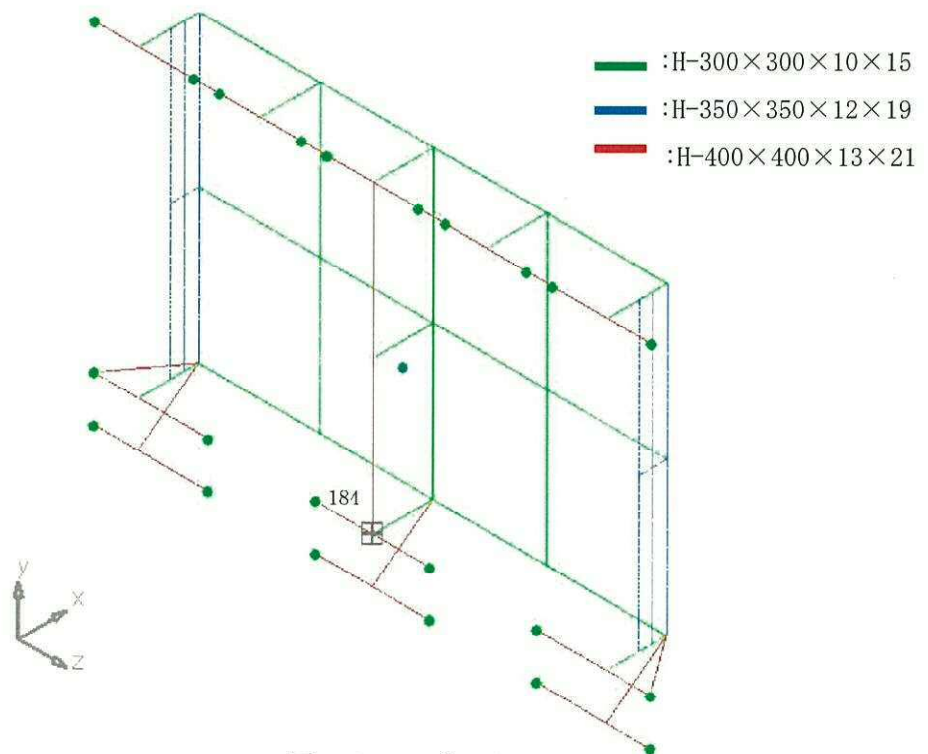


図 3-4 モデル 4

4. 計算結果

計算結果を表4-1に示す。

表4-1 BOP竜巻対策施設耐震計算結果

モデル	接点 番号	項目	応力分類	応力値* (MPa)	許容応力 (MPa)
モデル1 (代表モデル)	35	フレーム	組合せ（軸力+せん断）	228	325
モデル2	227	フレーム	組合せ（軸力+せん断）	150	325
モデル3	726	フレーム	組合せ（軸力+せん断）	156	325
モデル4	184	フレーム	組合せ（軸力+せん断）	176	325

注記 *：各部位に発生する組合せ応力が最大となる箇所の値を示す。

補足-340-22【使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震性についての計算書の概要】

目次

1. 概 要	1
2. 使用済燃料乾式貯蔵容器について	1
3. 構造・評価方法概要	1
3.1 キャスク容器	2
3.2 バスケット	3
3.3 トラニオン	4
3.4 支持構造物	5
3.5 二次蓋	6
添付-1 東海第二発電所 使用済燃料乾式貯蔵容器アルミニウム合金製バスケット材の 強度及び破壊靱性・耐衝撃特性に係る性能評価について	7
添付-2 V-2-4-2-3-3-2 バスケットの耐震性についての計算書（タイプⅢ）概要説明	29

1. 概 要

本資料は、添付書類「V-2-4-2-3 使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震性についての計算書」について、使用済燃料乾式貯蔵容器の構造、評価方法の概要を説明するものである。

2. 使用済燃料乾式貯蔵容器について

使用済燃料の貯蔵容量の増加を図るため、全炉心燃料（764 体）の約 190%相当分（1 基（61 体）当たり約 8%×24 基）の貯蔵能力を持つ使用済燃料乾式貯蔵設備を設置する計画である（平成 09・09・18 資第 5 号 平成 11 年 3 月 10 日）。

使用済燃料乾式貯蔵設備設置工事として、第一期工事から第五期工事にかけて使用済燃料乾式貯蔵容器 23 基の工事計画認可を受けている。これら工事において設置する使用済燃料乾式貯蔵容器は、以下の 3 タイプがある。

タイプⅠ 多層型（第一期，第二期，第五期工事）

タイプⅡ 鍛造型（第三期工事）

タイプⅢ 鍛造型（第四期工事）

3. 構造・評価方法概要

使用済燃料乾式貯蔵容器の構造、評価方法の概要を以下に示す。今回工認では、「技術基準規則」に適合する設計のために新たに考慮する基準地震動 S_b 及び弾性設計用地震動 S_d の地震力に対する使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震性評価の見直しを行ったものであり、評価方法は規格基準に基づく適用実績のある既工認と同様の手法である。

3.1 キヤスク容器

主要構造	タイプ I		タイプ II		タイプ III	
	部材	材料	部材	材料	部材	材料
評価方法	内胴	SUS304	胴	GLF1	胴	(同左)
	上部フランジ	SUSF304				
	底板、底部プラグ	SUSF304	底板 (胴と一体構造)	GLF1	底板	(同左)
	一次蓋	SUSF304	一次蓋	GLF1	一次蓋	GLF1 相当材
	一次蓋締付けボルト	SNB23-3	一次蓋締付けボルト	(同左)	一次蓋締付けボルト	(同左)
	中間胴	SUS304				
	バルブカバー	SUS304	バルブカバー	(同左)	バルブカバー	SUSF304
	バルブカバー締付けボルト	SUS304	バルブカバー締付けボルト	(同左)	バルブカバー締付けボルト	(同左)
	バルブカバー締付けボルト	SNB23-3				
	【適用基準】					
評価方法	・設計・建設規格		(同左)		(同左)	
	・ J E A G 4601		(同左)		(同左)	
	【評価方法】					
	・キヤスク容器 (中間胴除く) は、クラス 1 容器に準じて設計		・クラス 1 容器に準じて設計		(同左)	
	・中間胴は、クラス 1 支持構造物に準じて設計※1					
	【耐震クラス】					
	・ S クラス		(同左)		(同左)	
	・貯蔵状態において S_d^* 、 S_s 地震動が作用する場合の評価を実施※2		(同左)		・貯蔵状態において S_d^* 、 S_s 地震動が作用する場合の評価を実施	
	【応力評価手法】					
	・ F E M 解析による応力評価		(同左)		(同左)	
注記	・ 1/2 対称三次元固体要素モデル (ABAQUS)		・ 軸対称モデル、1/2 対称三次元固体要素モデル (ABAQUS)		・ 1/2 対称三次元固体要素モデル (ABAQUS)	
	・ 脚部の外周下端を支点とした容器の転倒を対角のトラニオンにより支える事象を評価		(同左)		(同左)	
	【繰返し荷重の評価】					
	・ 地震力による応力の全振幅は、設計疲労線図 (S _N スチール) の疲労限以下であるため、疲労評価不要		・ 「PVB-3140 疲労評価不要の条件」に適合するため、疲労評価不要		(同左)	

注記 ※1：タイプ I 中間胴は、密封容器 (内胴、上部フランジ、底板、一次蓋) を支持、補強する構造物であり、耐圧機能はない。

※2： S_d^* の評価については、 S_s と組合せ、Ⅲ_A S の評価を実施する。

3.2 バスケット

主要構造	タイプⅠ		タイプⅡ		タイプⅢ	
	部材	材料	部材	材料	部材	材料
	チャンネル サポータブロック 補強板 仕切板 底板 サポータガイド	A5052TD-H34 ^{※1} A5083FH-O ^{※1} A5083P-O ^{※1} A5083P-O ^{※1} A5083FH-O ^{※1} SUS304	バスケットプレート サポータシリンダ	B-SUS SUS304	杵板 燃料支持板 拘束リング 拘束リングボルト 杵板固定ボルト	SUS304, B-SUS SUS304 SUS304 SUS630 SUS630
評価方法	【適用基準】 ・設計・建設規格 ・J E A G 4601		(同左) (同左)		(同左) (同左)	
	【評価方法】 ・炉心支持構造物に準じて設計		(同左)		(同左)	
	【耐震クラス】 ・Sクラス ・貯蔵状態において S_d^* , S_s 地震動が作用する場合の評価を実施 ^{※2}		(同左) (同左)		(同左)	・貯蔵状態において S_d^* , S_s 地震動が作用する場合の評価を実施
	【応力評価手法】 ・F E M解析による応力評価 ・二次元平面固体要素モデル (ABAQUS) ・燃料等の慣性力によるバスケット各部材の発生応力の評価 ・サポータブロックからサポータガイドへ作用する荷重によるサポータガイドの応力評価		<ul style="list-style-type: none"> ・応力計算式による応力評価 ・一次膜、支圧：燃料等の慣性力（燃料体数最大の列）によるバスケットプレート端部（評価点①）の圧縮応力、支圧応力を評価 ・一次膜＋曲げ、せん断：バスケットプレートの1スパンに対し、両端固定のはりによる曲げ応力、せん断応力を評価（評価点②） ・軸圧縮応力：サポータシリンダの慣性力により下端に作用する圧縮応力の評価 		(同左)	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料等の慣性力による各部材の発生応力の評価^{※3}

注記 ※1：本材料に対する強度及び破壊靱性・耐衝撃特性に係る性能評価については、原子力規制委員会（平成28年第36回）へ報告済。（添付-1 参照）

※2： S_d^* の評価については、 S_s と組合せ、ⅢA Sの評価を実施する。

※3：添付-2 に S_d^* の評価例を示す。

3.3 トラニオン

主要構造	タイプⅠ		タイプⅡ		タイプⅢ	
	部材	材料	部材	材料	部材	材料
	トラニオン	SUS630	トラニオン トラニオンボルト	(同左) SNB23-3	トラニオン トラニオンボルト	(同左) (同左)
評価方法	【適用基準】 ・設計・建設規格 ・J E A G 4601		(同左) (同左)		(同左) (同左)	
	【評価方法】 ・クラスⅠ支持構造物に準じて設計		(同左)		(同左)	
	【耐震クラス】 ・Sクラス ・貯蔵状態において S_d^* 、 S_s 地震動が作用する場合の評価を実施※1		(同左) (同左)		(同左) ・貯蔵状態において S_d^* 、 S_s 地震動が作用する場合の評価を実施	
	【応力評価手法】 ・応力計算式による応力評価 ・脚部の外周下端を支点とした容器の転倒を対角のトラニオンにより支える事象を想定し、トラニオンに発生するせん断、曲げ、支圧応力を評価		(同左) (同左)		(同左) (同左)	
			・トラニオンに曲げが作用する場合のトラニオンボルトの引張応力を評価（J E A G 4601-1987 第6章 6.3.3 スカート支持縦置き円筒容器における基礎ボルトの引張応力評価と同様）		・トラニオンに曲げが作用する場合のトラニオンボルトの引張応力を評価	

注記 ※1： S_d^* の評価については、 S_s と組合せ、Ⅲ_A S の評価を実施する。

3.4 支持構造物

主要構造	タイプⅠ		タイプⅡ		タイプⅢ	
	部材	材料	部材	材料	部材	材料
評価方法	支持台座 トラニオン固定金具 容器押え金具 トラニオン固定ボルト リブ アンカーボルト	SFVC2B SNB23-3 SNB23-3 SNB23-3 SM490B SCM435	支持台座 トラニオン固定金具 容器押えボルト トラニオン固定ボルト リブ アンカーボルト	(同左) SUS630 (同左) (同左) SM520C (同左)	支持台座 トラニオン固定金具 容器押え金具 トラニオン固定ボルト リブ アンカーボルト	SF490A SNB24-1 SNB23-1 SNB23-1 SM490B (同左)
	【適用基準】 ・設計・建設規格 ・J E A G 4601		(同左) (同左)		(同左) (同左)	
	【評価方法】 ・クラスⅠ支持構造物に準じて設計		(同左)		(同左)	
	【耐震クラス】 ・Sクラス ・貯蔵状態において S_d^* 、 S_s 地震動が作用する場合の評価を実施※1		(同左) (同左)		(同左) ・貯蔵状態において S_d^* 、 S_s 地震動が作用する場合の評価を実施	
	【応力評価手法】 ・応力計算式による応力評価 ・脚部の外周下端を支点とした容器の転倒を対角のトラニオンにより支える事象を想定し、支持構造物の各部材に発生する応力を評価		(同左) (同左)		(同左) (同左)	

注記 ※1: S_d^* の評価については、 S_s と組合せ、Ⅲ_A Sの評価を実施する。

3.5 二次蓋

主要構造	タイプⅠ		タイプⅡ		タイプⅢ	
	部材	材料	部材	材料	部材	材料
評価方法	二次蓋	SUS304	二次蓋	GLF1	二次蓋	SM400A
	二次蓋締付けボルト	SNB23-3	二次蓋締付けボルト	(同左)	二次蓋締付けボルト	(同左)
	【適用基準】					
	・設計・建設規格 ・J E A G4601		(同左) (同左)		(同左) (同左)	
	【評価方法】					
	・クラス3 容器に従って設計		(同左)		(同左)	
	【耐震クラス】					
	・S クラス ・貯蔵状態において S_d^* 、 S_s 地震動が作用する場合の評価を実施※1		(同左) (同左)		(同左) ・貯蔵状態において S_d^* 、 S_s 地震動が作用する場合の評価を実施	
	【応力評価手法】					
	・FEM解析による応力評価 ・三次元固体要素モデル (ABAQUS)		(同左) (同左)		・応力計算式による応力評価 ・二次蓋を円板、周辺単純支持、等分布荷重の条件で評価	

注記 ※1: S_d^* の評価については、 S_s と組合せ、Ⅲ_A S の評価を実施する。

東海第二発電所

使用済燃料乾式貯蔵容器アルミニウム合金製
バスケット材の強度及び破壊靱性・耐衝撃特性
に係る性能評価について

平成 28 年 1 月

日本原子力発電株式会社

【目 次】

1. 概 要	1
2. 工事計画認可申請書	1
3. 乾式貯蔵容器について	1
4. 事例規格の廃止の理由について	2
5. これまでの許容値の設定等の考え方	3
6. 日本機械学会の指摘に対する考察	3
7. 健全性評価の方法	4
8. 健全性評価結果	5
9. 添付資料	5

は、商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

1. 概 要

本書は、平成 27 年 12 月 16 日付原規規発第 1512167 号で発出された「金属キャスクバスケット用アルミニウム合金に係る事例規格の廃止に伴う対応について（指示）」（原子力規制委員会 NRA-Cd-15-006）に従い、東海第二発電所の使用済燃料乾式貯蔵設備に貯蔵中の日立造船製乾式貯蔵容器のバスケット材について、強度及び破壊靱性・耐衝撃特性に係る性能について評価を実施し健全性を確認するとともに、新たに安全を確保するための対策を講じることは不要であることを確認したものである。

2. 工事計画認可申請書

東海第二発電所の日立造船製乾式貯蔵容器のバスケット材には、廃止された事例規格に規定されていたアルミニウム合金 A5083FH-O を使用しているが、平成 11 年 9 月 2 日付平成 11・06・25 資第 1 号及び平成 14 年 5 月 1 日付平成 14・04・17 原第 1 号にて認可を受けた東海第二発電所乾式貯蔵設備工事計画認可申請書（以下「工事計画認可申請書」という。）では当該事例規格を引用しておらず、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」第 3 条に基づく発電用原子力設備技術基準特殊設計施設認可（以下「特認」という。）を受けているものである。

3. 乾式貯蔵容器について

（1）乾式貯蔵容器

東海第二発電所乾式貯蔵容器（日立造船製）の仕様を表 1 に、構造図を図 1 に示す。

表 1 東海第二発電所乾式貯蔵容器（日立造船製）仕様

項目	仕様
収納体数	
全長	
内胴	
中間胴	
一次蓋・二次蓋・底板	
中性子遮へい体	
ガンマ線遮へい体	
バスケット	

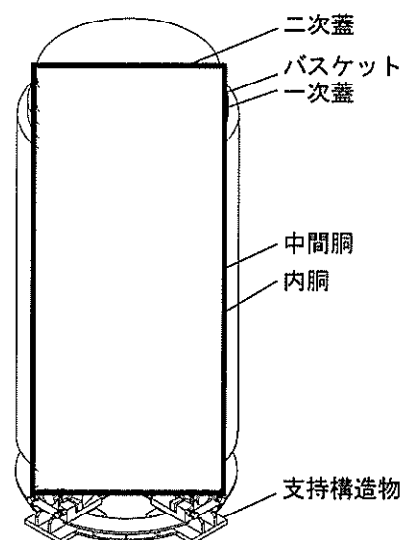


図 1 東海第二発電所乾式貯蔵容器（日立造船製）構造図

(2) 東海第二発電所での乾式貯蔵容器の使用状況

平成 27 年 12 月末現在，東海第二発電所では 15 基の乾式貯蔵容器が使用されているが，設置の時期が異なっている。表 2 に東海第二発電所での乾式貯蔵容器の使用状況を示す。

表 2 東海第二発電所 乾式貯蔵容器使用状況

	第 1 期工事	第 2 期工事
基数	7 基	8 基
発送前検査日	平成 13 年 12 月 11 日, 20 日 平成 14 年 1 月 16 日, 25 日, 3 月 4 日, 11 日 平成 15 年 3 月 18 日	平成 16 年 10 月 6 日, 12 日, 19 日 平成 18 年 3 月 13 日, 21 日, 28 日 平成 20 年 12 月 26 日 平成 21 年 1 月 19 日

(3) 乾式貯蔵容器のバスケット材の強化メカニズムについて

一般にアルミニウム合金はアルミニウムに様々な金属元素を添加することで強度を向上させているが，一般的な強化機構である固溶強化，析出強化，粒子分散強化，加工硬化，結晶粒微細化強化（添付資料 1）のうち，非熱処理系（焼き鈍し材）の A5083FH-O は Mg の固溶強化が主な強化機構となっている。

4. 事例規格の廃止の理由について

一般社団法人日本機械学会は廃止の理由について，事例規格について強度及び破壊靱性・耐衝撃特性に係る性能が必ずしも十分な保守性を担保できていないこと，また金属キャスクバスケット用アルミニウム合金の設計手法や同事例規格の制定方法等を規定した金属キャスク構造規格 2007 年版添付 3-3 等も，鉄鋼材料とアルミニウム合金の相違点に対する配慮やアルミニウム合金を高温で使用する場合の問題点に対する考慮等が十分ではないためとしている。

具体的な懸念事項は，廃止された事例規格に共通のものや個別事例規格毎のものがあるが，東海第二発電所の乾式貯蔵容器に用いられている A5083FH-O に係る事項は以下のとおりとなる。

また，表 3 に A5083FH-O の化学成分を示す。

(1) 強度について

材料の主な強化メカニズムは Mg による固溶強化であり，長期貯蔵中に過飽和 Mg が析出し強度が低下することが考えられるが，Mg が過飽和の状態では材料試験を行ったことにより強度は高めの結果（非保守的）となっている。

(2) 破壊靱性・耐衝撃特性について

Mg 過飽和が多く残っていると推定される現状でも破壊靱性値は著しく低下しており，過飽和 Mg の析出が進むと，それに伴いさらに破壊靱性値が低下するので実用困難である。また，弾塑

性破壊靱性値（ J_{IC} ）計測結果も不足している。

また、アルミニウム合金はシャルピー試験による吸収エネルギーが鉄鋼よりも小さく、エネルギー吸収能力が鉄鋼より低い。

表 3 A5083FH-O 化学成分

合金 番号	化学成分（％）										
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	その他		Al
									個々	合計	
A5083	0.40	0.40	0.10	0.40	4.0～	0.05～	0.25	0.15	0.05	0.15	残部
FH-O	以下	以下	以下	～1.0	4.9	0.25	以下	以下	以下	以下	

5. これまでの許容値の設定等の考え方

乾式貯蔵容器の第 1 期工事及び第 2 期工事の工事計画認可申請では特認を受けている。材料強度については通産省告示第 501 号と平仄を合わせているため、過時効については考慮されたものとなっていない。また破壊靱性評価については、アルミニウム合金は面心立方格子構造であり低温になっても脆性破壊が生じない材料であるため、要求されていない。

以下に、乾式貯蔵容器のバスケット材として使用しているアルミニウム合金 A5083FH-O における設定等の考え方を示す。

（1） S_y , S_u 値の設定について

各温度で引張試験を行い、全温度全データの 1 % 確率値により S_y , S_u 値を設定している。このとき、過時効については考慮されていない。

（2） S_m 値の設定について

アルミニウム合金製バスケット材は、貯蔵初期はアルミニウム合金材料のクリープ特性が無視できない温度領域に入る可能性があるため、アルミニウム合金に関してはクリープ特性を考慮した設計応力強さを設定する必要があることから、クリープ特性を考慮して求められる許容引張応力（ S 値）を設計応力強さ（ S_m 値）として設定している。

（3）破壊靱性

アルミニウム合金は面心立方格子構造であり低温になっても脆性破壊が生じない材料であるため、破壊靱性試験は不要であったことから評価は行われていない。

6. 日本機械学会の指摘に対する考察

A5083FH-O は Mg 固溶強化がその強化メカニズムであるが、過剰 Mg の析出が不十分な過飽和状態での強度によって S_y , S_u 値が設定されており、長期貯蔵中に固溶していた過剰 Mg が析出して強

度が低下することが懸念されている。特に低温域での強度を大幅に引き下げる必要があるとの判断である。少なくとも、その温度の Mg 固溶限での強度（Mg 固溶強化）となるものと考えられている。高温で 60 年に及ぶ長期間加熱されるということがアルミニウム合金において他に実績がない使用環境であることに鑑み、許容値の設定にあつてはその強化メカニズムを十分考慮しておく必要があったものとする。

また破壊靱性においては、アルミニウム合金は面心立方金属であるため、体心立方金属に見られるようなへき開破壊及び温度変化に伴う脆性－延性遷移現象はなく、延性破壊であることが文献等で明らかことから、脆性材料の評価の 1 つである応力拡大係数 (K_{IC}) を用いた評価ではなく、弾塑性破壊靱性値 (J_{IC}) を用いた評価が適切と考える。

なお、東海第二発電所の乾式貯蔵容器は構内貯蔵専用のキャスクであり、設計上、長期貯蔵（設計評価期間 40 年）後の輸送は想定していない。

7. 健全性評価の方法

前述のとおり、東海第二発電所の日立造船製乾式貯蔵容器は、廃止された事例規格に規定されていたアルミニウム合金 A5083FH-O 材を使用しているため、健全性の再確認を実施した。

（1）強度について

A5083FH-O 材の強化メカニズムは Mg による固溶強化であるが、当該事例規格廃止の原因とされた強度低下については、強化機構に寄与する添加元素が入っていない純アルミである A1000 系よりも強度が下がることは考えられない。したがって保守的に A1000 系の物性値を用いて長期健全性の評価を行った。表 4 に A1100-O 及び A5083 FH-O の許容値を示す。また、A1100-O の文献に基づく S_y 値及び S_u 値の設定方法を添付資料 2 に示す。

表 4 最高使用温度 210℃における各許容応力 [MPa]

材料	S_y	S_u	S_m
A1100-O	16※1	33※1	10※2
A5083FH-O	100	169	13

※1 : J. Gilbert Kaufman : "PROPERTIES OF ALUMINUM ALLOYS, Tensile, Creep and Fatigue Data at High and Low Temperatures", The Aluminum Association and ASM INTERNATIONAL (1999)

※2 : ※1 の文献データを用いて一般社団法人 日本機械学会 発電用原子力設備規格 材料規格 (2012 年版) 添付 1 の付録 3 に基づき設定

（2）破壊靱性・耐衝撃特性について

破壊靱性評価については、過時効熱処理を施した A5083FH-O に対する破壊靱性試験結果を元に設定した不安定破壊防止のための判定基準 J による評価を実施した。

また、耐衝撃特性（過大変形防止）については、設計事象において大きな衝撃荷重が発生する

ことはなく、純アルミによる評価でもバスケットにかかる応力は弾性範囲内であることから評価は不要である。

8. 健全性評価結果

(1) 強度について

東海第二発電所の工事計画認可申請書のバスケット応力計算結果を添付資料 3 に示す。東海第二発電所の使用済燃料乾式貯蔵設備に貯蔵中の日立造船製乾式貯蔵容器アルミニウム合金製バスケット材について強度に係る性能は、純アルミであっても許容応力が計算値を上回り、強度に問題がないことを確認した。また、バスケットに係る応力はいずれも弾性範囲内であることも確認した。

(2) 破壊靱性について

東海第二発電所の使用済燃料乾式貯蔵設備に貯蔵中の日立造船製使用済燃料乾式貯蔵容器アルミニウム合金製バスケット材の破壊靱性評価を添付資料 4 に示す。東海第二発電所の使用済燃料乾式貯蔵設備に貯蔵中の日立造船製乾式貯蔵容器について破壊靱性に係る性能を評価した結果、バスケットに欠陥を想定し乾式貯蔵容器にかかる最大荷重を用いて算出した J 積分値は不安定破壊防止のための判定基準 J と比較して十分に小さく、バスケットが破壊されないことを確認した。

以上から、東海第二発電所の使用済燃料貯蔵設備に貯蔵中の日立造船製乾式貯蔵容器に、安全を確保するための新たな対策は不要であることを確認した。

9. 添付資料

- ・添付資料 1 バスケット材料としてのアルミニウム合金の強化メカニズム
- ・添付資料 2 A1100-O の文献に基づく S_y 値及び S_u 値の設定方法
- ・添付資料 3 日立造船製使用済燃料乾式貯蔵容器 バスケット応力計算結果
- ・添付資料 4 日立造船製使用済燃料乾式貯蔵容器アルミニウム合金製バスケット材の破壊靱性評価

以 上

バスケット材としてのアルミニウム合金の強化メカニズム

強化機構	主な因子物質	初期材	貯蔵末期
固溶強化	Mg	○ アルミ母相中に固溶している量は、固溶強化に寄与する。時効処理により、Mg の大半は、微細析出物 (Mg_2Si 等) として析出しており、初期材の強化機構として寄与は小さい。	○ 貯蔵期間 60 年後のバスケット温度は $100^{\circ}C$ 程度まで低下するが、この状態でアルミ母相中に固溶している量は、固溶強化に寄与する。
析出強化	Mg_2Si, Al_2CuMg	○ 時効処理により、微細析出物が生成し、初期材の強化機構に寄与する。	× 貯蔵期間中に微細析出物が粗大化する。粗大化した析出物は粒子分散強化としての強度への寄与はあるが、60 年後の強化機構として時効硬化は期待できない。
粒子分散強化	Al_6Mn	○ 材料製造時に微量の Mn 系分散粒子が生成し、初期材の強化機構に寄与する。	○ Mn 系分散粒子は熱安定性が高く、貯蔵期間中にその強化寄与の程度は変化しない。微量含まれる Mn 系分散粒子は、60 年後の強化機構として寄与する。
加工硬化	転位拘束	○ 引張矯正による加工硬化が初期材の強化機構に寄与する。	× 貯蔵期間中に加工硬化が回復するため、60 年後の強化機構としては期待できない。
結晶粒微細化	添加元素、転位等による組織微細化等	○ 製造時の結晶粒微細化により、初期材の強化機構に寄与する。	× 結晶粒の再結晶により、60 年後の強化機構としては期待できない。

A1100-O の文献に基づく Sy 値及び Su 値の設定

1. Sy 値の設定

1.1 A1100-O の耐力

A1100-O の設計降伏点 (Sy 値) を設定するには, 参考文献^[1]に記載の耐力を用いる。当該文献においては, 時効時間 0.5~10,000 時間までの耐力が記載されている。このデータを表 1 にまとめる。また, 当該データを図 1 にグラフ化して示す。表 1 及び図 1 では, 時効時間 0.5~10,000 時間の範囲で耐力に変化は見られない。このため, これ以上時効時間を増加させても耐力に変化が表れることは考え難い。したがって本資料では, 表 1 の値を用い発電用原子力設備規格 材料規格 (2012 年版) 添付 1 の付録 1 に基づき算出した表 5 の値をキャスク設計評価期間 (40 年) 後の耐力として Sy 値の評価に適用することとした。

表 1 A1100-O の耐力 (MPa)

時効時間 (h)	温 度 (°C)								
	25	100	150	177	205	230	260	315	370
—	34	—	—	—	—	—	—	—	—
0.5	—	32	29	26	24	21	18	14	11
10	—	32	29	26	24	21	18	14	11
100	—	32	29	26	24	21	18	14	11
1,000	—	32	29	26	24	21	18	14	11
10,000	—	32	29	26	24	21	18	14	11

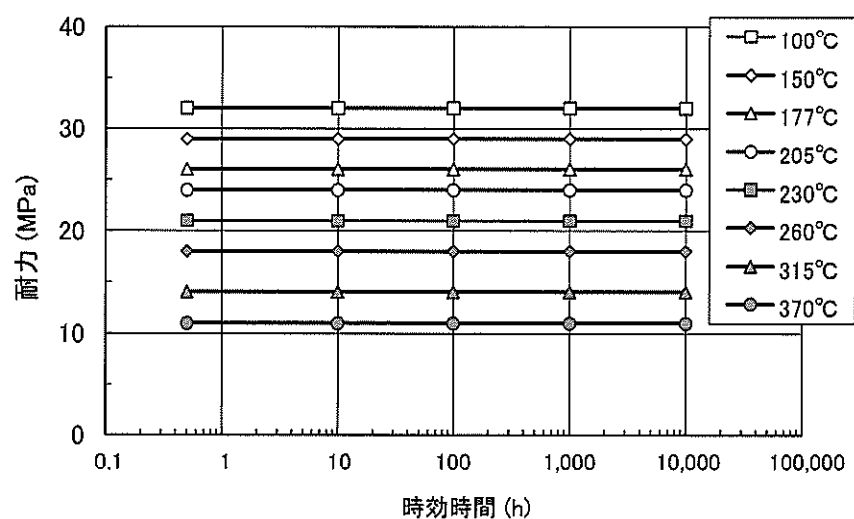


図 1 A1100-O の耐力 (MPa)

1.2 設計降伏点 (Sy 値) の計算

発電用原子力設備規格 材料規格 (2012 年版) 添付 1 の付録 1 に基づき、設計降伏点 (Sy 値) を設定する。

- ① 各温度における耐力を表 2 にまとめる (常温 (25℃) における耐力は時効無し材料の値)。

表 2 各温度における耐力 (MPa)

	温 度 (°C)								
	25	100	150	177	205	230	260	315	370
耐力	34	32	29	26	24	21	18	14	11

- ② 各温度における耐力を常温 (25℃) における耐力で規格化する。この結果を表 3 にまとめる。

表 3 各温度における Ry (—)

	温 度 (°C)								
	25	100	150	177	205	230	260	315	370
Ry	1	0.94118	0.85294	0.76471	0.70588	0.61765	0.52941	0.41176	0.32353

- ③ ②で得られた Ry に対し、多項式近似を行う (図 2)。ここでは、三次式で近似した。

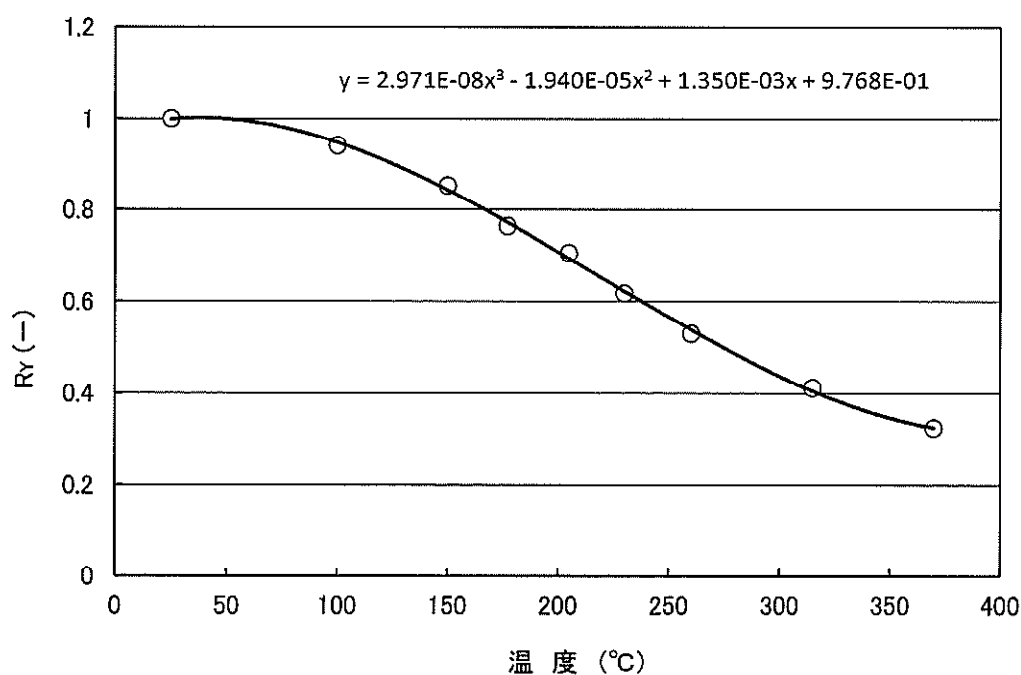


図 2 Ry のトレンド曲線

- ④ 25～300℃における Ry を，③で得られたトレンド曲線により算出する（表 4）。

表 4 25～300℃における Ry

温度 (℃)	Ry (－)	
	計算値	設定値
25	0.998889	1
50	0.999514	0.9995
100	0.947510	0.9475
150	0.843071	0.8431
200	0.708480	0.7085
250	0.566019	0.5660
300	0.437970	0.4380

- ⑤ 25～300℃の各温度における Sy は，Ry（設定値）と常温（25℃）の規格値の積により求められる。
その結果を表 5 にまとめる。なお，常温（25℃）の Sy の規格値は，A1100P-O の耐力 25MPa（JIS H 4000）とした。

表 5 25～300℃における Sy

温度 (℃)	Sy 値 (MPa)	
	計算値	設定値
25	25.00	25
50	24.99	24
100	23.69	23
150	21.08	21
200	17.71	17
250	14.15	14
300	10.95	10

〔注記〕 最高使用温度 210℃における Sy 値について

表 5 の 200℃及び 250℃の Sy 値の設定値より，比例補間により求める。

$$Sy(210℃) = \frac{14 - 17}{250 - 200} \times (210 - 200) + 17 = 16.4 \rightarrow 16 \text{ (MPa)}$$

2. Su 値の設定

2.1 A1100-O の引張強さ

A1100-O の設計引張強さ (Su 値) を設定するには、参考文献に記載の引張強さを用いる。当該文献においては、時効時間 0.5～10,000 時間までの引張強さが記載されている。このデータを表 6 にまとめる。また、当該データをグラフ化して図 3 に示す。表 6 及び図 3 では、時効時間 0.5～10,000 時間の範囲で引張強さに変化は見られない。このため、これ以上時効時間を増加させても引張強さに変化が表れることは考え難い。したがって本資料では、表 6 の値を用い発電用原子力設備規格 材料規格 (2012 年版) 添付 1 の付録 2 に基づき算出した表 10 の値をキャスク設計評価期間 (40 年) 後の引張強さとして Su 値の評価に適用することとした。

表 6 A1100-O の引張強さ (MPa)

時効時間 (h)	温 度 (°C)								
	25	100	150	177	205	230	260	315	370
—	90	—	—	—	—	—	—	—	—
0.5	—	75	59	52	41	34	28	20	14
10	—	75	59	52	41	34	28	20	14
100	—	75	59	52	41	34	28	20	14
1,000	—	75	59	52	41	34	28	20	14
10,000	—	75	59	52	41	34	28	20	14

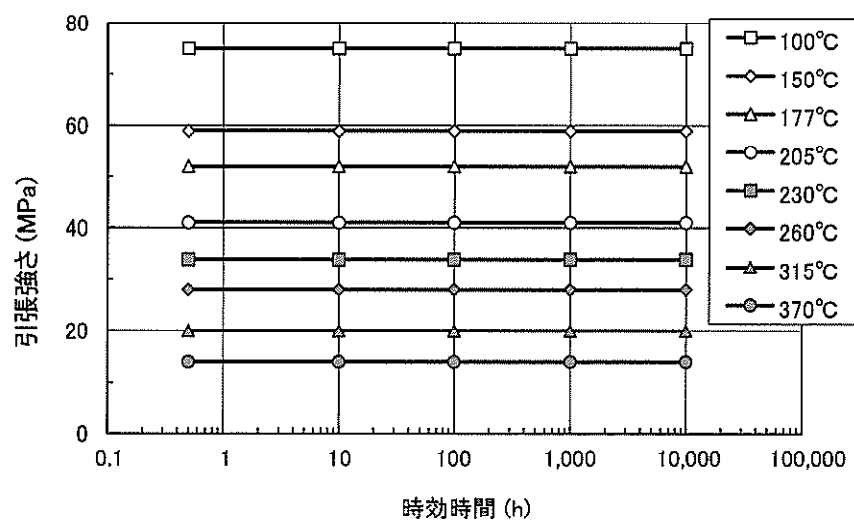


図 3 A1100-O の引張強さ (MPa)

2.2 設計引張り強さ (Su 値) の計算

発電用原子力設備規格 材料規格 (2012 年版) 添付 1 の付録 2 に基づき、設計引張り強さ (Su 値) を設定する。

- ① 各温度における引張り強さを表 7 にまとめる (常温 (25℃) における引張り強さは時効無し材料の値)。

表 7 各温度における引張り強さ (MPa)

	温 度 (°C)								
	25	100	150	177	205	230	260	315	370
引張り強さ	90	75	59	52	41	34	28	20	14

- ② 各温度における引張り強さを常温 (25℃) における引張り強さで規格化する。この結果を表 8 にまとめる。

表 8 各温度における R_T (—)

	温 度 (°C)								
	25	100	150	177	205	230	260	315	370
R_T	1	0.83333	0.65556	0.57778	0.45556	0.37778	0.31111	0.22222	0.15556

- ③ ②で得られた R_T に対し、多項式近似を行う (図 4)。ここでは、三次式で近似した。

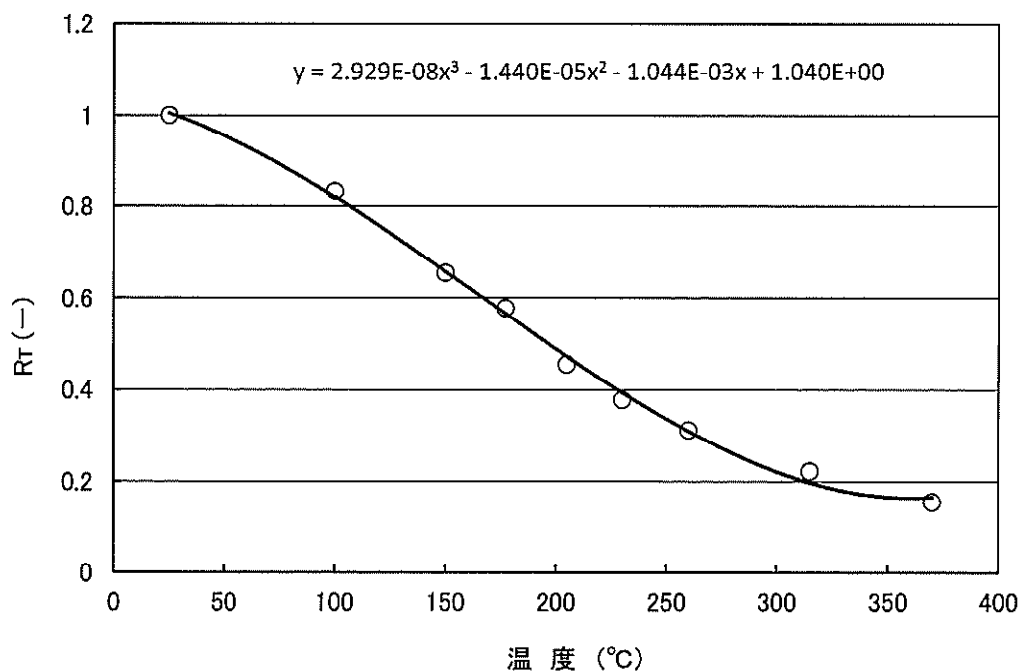


図 4 R_T のトレンド曲線

- ④ 25～300℃における R_T を，③で得られたトレンド曲線により算出する（表 9）。

表 9 25～300℃における R_T

温度 (℃)	R_T (—)	
	計算値	設定値
25	1.005358	1
50	0.955461	0.9555
100	0.820890	0.8209
150	0.658254	0.6583
200	0.489520	0.4895
250	0.336656	0.3367
300	0.221630	0.2216

- ⑤ 25～300℃の各温度における S_u 値は， R_T （設定値）と常温（25℃）の規格値の積により求められる。その結果を表 10 にまとめる。なお，常温（25℃）の S_u 値の規格値は，A1100P-O の引張強さ 75MPa（JIS H 4000）とした。

表 10 25～300℃における S_u 値

温度 (℃)	S_u 値 (MPa)	
	計算値	設定値
25	75.00	75
50	71.66	71
100	61.57	61
150	49.37	49
200	36.71	36
250	25.25	25
300	16.62	16

〔注記〕 最高使用温度 210℃における S_u 値について

表 10 の 200℃及び 250℃の S_u 値の設定値より，比例補間により求める。

$$S_u(210^\circ\text{C}) = \frac{25 - 36}{250 - 200} \times (210 - 200) + 36 = 33.8 \rightarrow 33 \text{ (MPa)}$$

3. 設計応力強さ（Sm 値）の設定

発電用原子力設備規格 材料規格（2012 年版）添付 1 の付録 3 に基づき，表 11 に示すとおり設計応力強さ（Sm 値）を設定する。

表 11 A1100-O の Sm 値の設定（MPa）

	温度（℃）						
	25	50	100	150	200	250	300
ST	75						
SY	25						
RT	1	0.9555	0.8209	0.6583	0.4895	0.3367	0.2216
RY	1	0.9995	0.9475	0.8431	0.7085	0.5660	0.4380
1/3×ST	25	25	25	25	25	25	25
(1.1)/3×ST×RT	27.50	26.28	22.57	18.10	13.46	9.26	6.09
2/3×SY	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67
2/3×SY×RY	16.67	16.66	15.79	14.05	11.81	9.43	7.30
最小値	16.67	16.66	15.79	14.05	11.81	9.26	6.09
Sm	16	16	15	14	11	9.2	6.0

注 1) ST, SY は JIS H4000 に記載の A1100-O の引張強さ，耐力。

注 2) RT, RY は Su 値，Sy 値の設定から引用。

注 3) 最高使用温度 210℃における Sm 値は，表 11 の 200℃及び 250℃の Sm 値の設定値より，比例補間により求める。

$$Sm(210^{\circ}C) = \frac{9.2 - 11}{250 - 200} \times (210 - 200) + 11 = 10.64 \rightarrow 10 \text{ (MPa)}$$

参考文献

- [1] J. Gilbert Kaufman : "PROPERTIES OF ALUMINUM ALLOYS, Tensile, Creep and Fatigue Data at High and Low Temperatures", The Aluminum Association and ASM INTERNATIONAL (1999)

以 上

表 4-1 日立造船製使用済燃料乾式貯蔵容器 バスケットの応力計算結果
(設計時, 設計事象 I 及び設計事象 II) (1/2)

(単位 : MPa)

部 位	応力の種類	設計時		運搬時		支持構造物への衝突		許容応力	A1100 許容 応力
		評価点(面)	計算値	評価点(面)	計算値	評価点(面)	計算値		
チ ャ ン ネ ル	P_m								→ 10
	P_m+P_b								→ 15
	P_m+P_b+Q								→ 30
	σ_s								
	σ_p								
	σ_b								→ 9.1
補 強 板 ①	P_m								→ 10
	P_m+P_b								→ 15
	P_m+P_b+Q								→ 30
	σ_s								
	σ_p								
	σ_b								
補 強 板 ②	P_m								→ 10
	P_m+P_b								→ 15
	P_m+P_b+Q								→ 30
	σ_s								
	σ_p								
	σ_b								
仕 切 板	P_m								→ 10
	P_m+P_b								→ 15
	P_m+P_b+Q								→ 30
	σ_s								
	σ_p								
	σ_b								→ 9.1
サ ポ ー ト ブ ロ ッ ク	P_m								→ 10
	P_m+P_b								→ 15
	P_m+P_b+Q								→ 30
	σ_s								
	σ_p								→ 16
	σ_b								

表 4-1 日立造船製使用済燃料乾式貯蔵容器 バスケットの応力計算結果

(設計時, 設計事象 I 及び設計事象 II) (2/2)

(単位: MPa)

部 位	応力の種類	設計時		運搬時		支持構造物 への衝突		許容応力
		評価点(面)	計算値	評価点(面)	計算値	評価点(面)	計算値	
サ ポ ー ト ガ イ ド	P_m							
	P_m+P_b							
	P_m+P_b+Q							
	σ_s							
	σ_p							
	σ_b							
サ ポ ー ト ガ イ ド 溶 接 部	P_m							
	P_m+P_b							
	P_m+P_b+Q							
	σ_s							
	σ_p							
	σ_b							
底 板	P_m							
	P_m+P_b							
	P_m+P_b+Q							
	σ_s							
	σ_p							
	σ_b							

A1100
許容
応力

→ 16

表 4-2 日立造船製使用済燃料乾式貯蔵容器 バスケットの応力計算結果

(貯蔵時： S_1 *地震力が作用する場合)

(単位：MPa)

部位	応力の種類	評価点 (面)	計算値	許容応力	A1100 許容応力
チャンネル	P_m				→ 15
	P_m+P_b				→ 22
	σ_s				
	σ_p				
	σ_b				→ 9.1
補強板①	P_m				→ 15
	P_m+P_b				→ 22
	σ_s				
	σ_p				
	σ_b				
補強板②	P_m				→ 15
	P_m+P_b				→ 22
	σ_s				
	σ_p				
	σ_b				
仕切板	P_m				→ 15
	P_m+P_b				→ 22
	σ_s				
	σ_p				
	σ_b				→ 9.1
サポートブロック	P_m				→ 15
	P_m+P_b				→ 22
	σ_s				
	σ_p				→ 24
	σ_b				
サポートガイド	P_m				
	P_m+P_b				
	σ_s				
	σ_p				
	σ_b				
サポートガイド 溶接部	P_m				
	P_m+P_b				
	σ_s				
	σ_p				
	σ_b				
底 板	P_m				
	P_m+P_b				
	σ_s				
	σ_p				→ 24
	σ_b				

表 4-3 日立造船製使用済燃料乾式貯蔵容器 バスケットの応力計算結果
(貯蔵時：S₂地震力が作用する場合)

(単位：MPa)

部位	応力の種類	評価点 (面)	計算値	許
				9.1
補強板①	P_m			→ 22
	P_m+P_b			→ 33
	σ_s			
	σ_p			
	σ_b			
補強板②	P_m			→ 22
	P_m+P_b			→ 33
	σ_s			
	σ_p			
	σ_b			
仕切板	P_m			→ 22
	P_m+P_b			→ 33
	σ_s			
	σ_p			
	σ_b			→ 9.1
サポートブロック	P_m			→ 22
	P_m+P_b			→ 33
	σ_s			
	σ_p			→ 32
	σ_b			
サポートガイド	P_m			
	P_m+P_b			
	σ_s			
	σ_p			
	σ_b			
サポートガイド 溶 接 部	P_m			
	P_m+P_b			
	σ_s			
	σ_p			
	σ_b			
底 板	P_m			
	P_m+P_b			
	σ_s			
	σ_p			
	σ_b			→ 32

日立造船製使用済燃料乾式貯蔵容器 アルミニウム合金製バスケット材の破壊靱性評価

1. 評価方法

(1) 前提条件

破壊靱性評価の前提条件を表 1 に示す。

表 1 評価条件

項目	具体的条件	備考
バスケットの材料	A5083FH-O	応力が最大となる部位 (補強板) を選定
バスケットの板厚	20mm	
時効条件	初期材 (O 材) 200℃×1,000h 熱処理 200℃×3,000h 熱処理 200℃×5,000h 熱処理	
荷重条件	乾式運搬時の評価値	最大荷重条件
仮想欠陥寸法	格子中央にバスケット長手方向 全長に亘ってき裂を仮定	図 1 参照

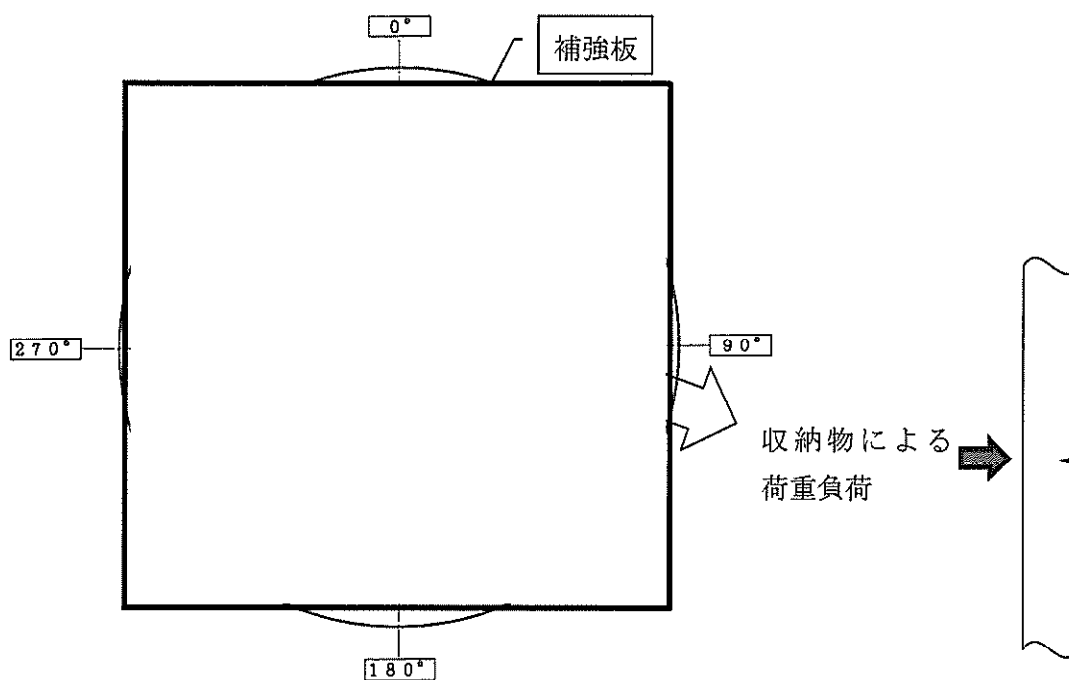
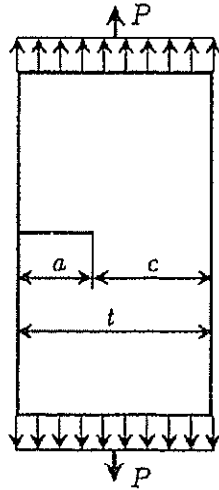


図 1 想定する欠陥のイメージ

(2) 評価方法

J 積分値は、平板に長い片側き裂がある場合に適用する Kumar らの引張荷重による J 積分値の解を用いて求めた。



$$J = \frac{K(a_e)^2}{E'} + \alpha \sigma_0 \epsilon_0 c (a/t) H_1 (P/P_0)^{n+1}$$

$$a_e = a + \Phi \gamma_y$$

$$\gamma_y = \frac{1}{\beta \pi} \left(\frac{n-1}{n+1} \right) \left(\frac{K}{\sigma_0} \right)^2$$

$$\Phi = \frac{1}{1 + (P/P_2)^2}$$

$$\beta = 2 \text{ (平面応力状態での値)}$$

$$P_0 = 1.072 \eta c \sigma_0 \text{ (平面応力状態での値)}$$

$$\eta = [1 + (a/c)^2]^{1/2} - a/c$$

小林英男，構造健全性評価ハンドブック（共立出版）より転載

一方，上記と比較する A5083FH-O の破壊靱性値については，ASTM E1820 に基づいて初期材及び熱処理材の破壊靱性試験（CTOD 試験）を実施し，得られた荷重－荷重線変位曲線（図 2）から最大荷重到達時の J 値の塑性成分（ J_{pl} ）を求め，その結果から貯蔵中の温度による靱性の低下を考慮して，近似曲線により J 値の飽和値を推定した。試験結果及び近似曲線を図 3 に示す。なお，不安定破壊を防止するための判定基準 J は，試験結果にバラツキがあるため，この J 値の飽和値に対して，供用状態 A 及び B に対する応力評価と同じ安全率 3 を考慮して設定した。

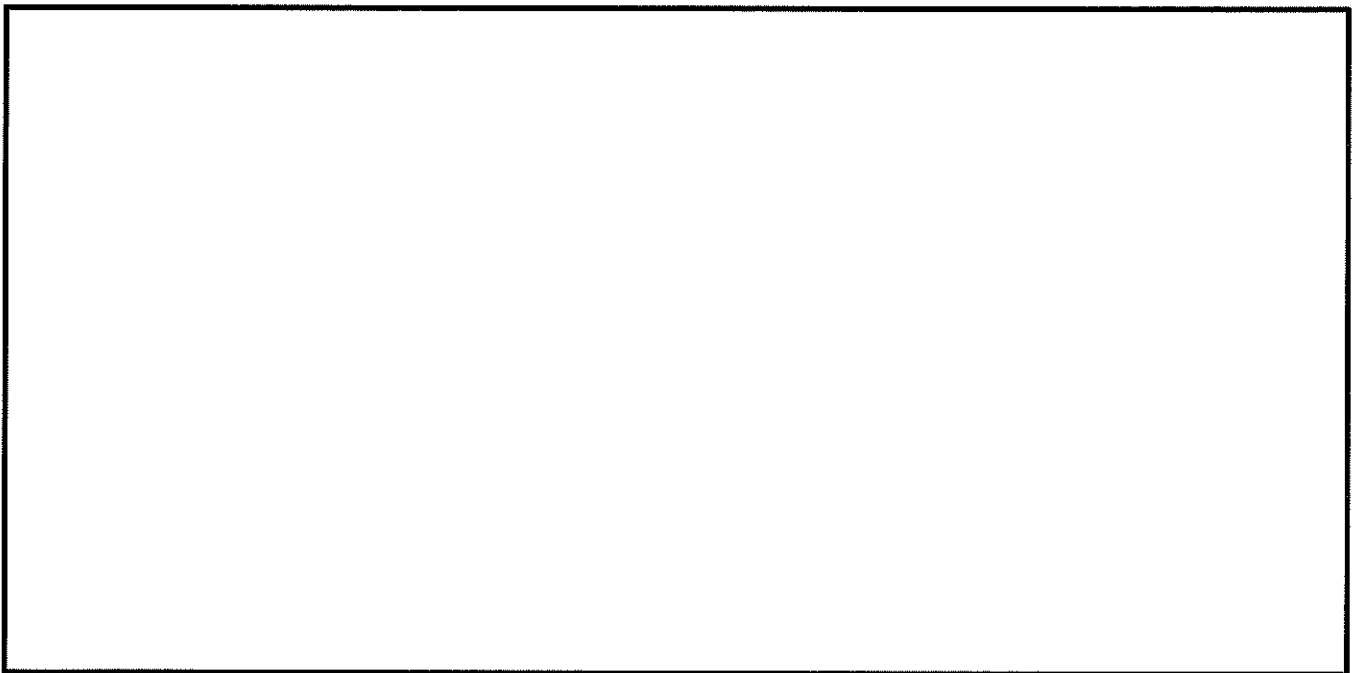


図 2 破壊靱性試験（CTOD 試験）より得られた荷重－荷重線変位の関係

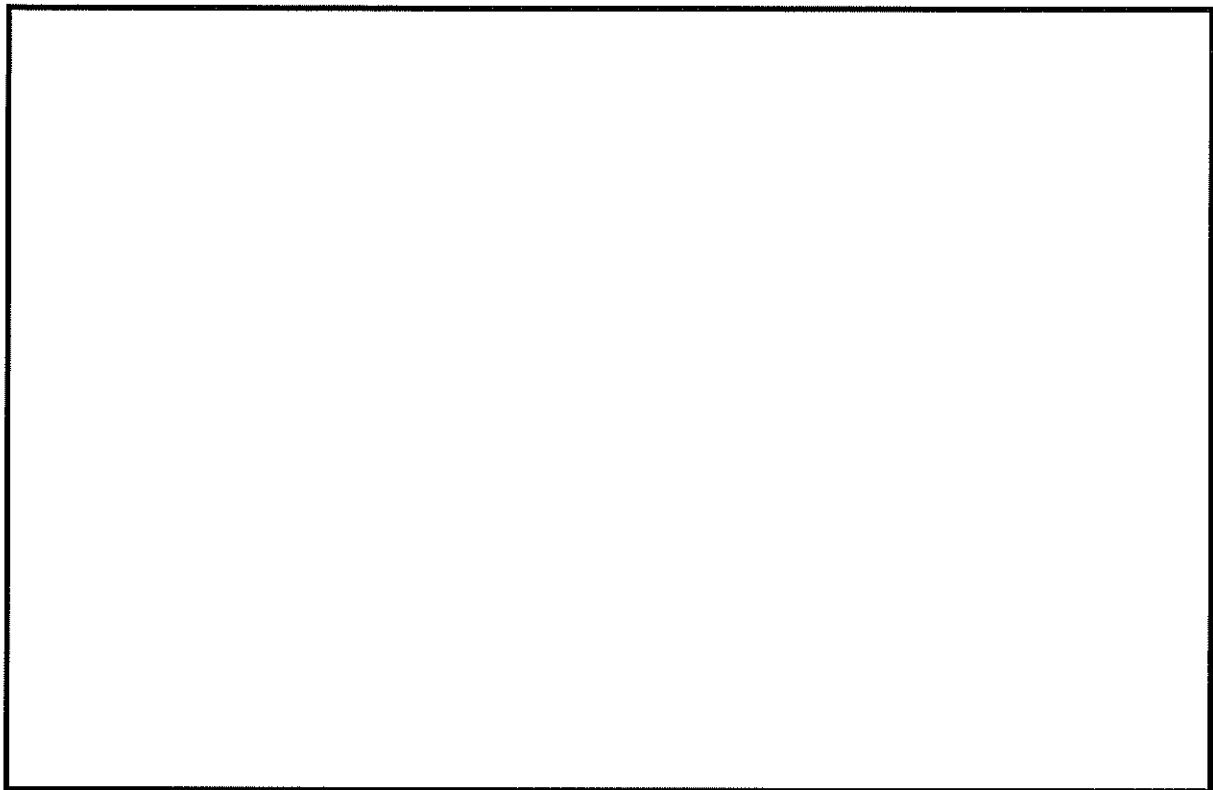


図 3 破壊靱性試験結果の最大荷重到達時の J 値の塑性成分 (J_{pl}) の飽和値

2. 評価結果

き裂深さを板厚の 1/4 とした場合の J 積分値と、破壊靱性試験の結果から設定した不安定破壊を防止するための判定基準 J を表 2 に示す。

板厚の 1/4 のき裂を仮定しても、J 積分値は、不安定破壊を防止するための判定基準 J と比較して十分に小さく、不安定破壊しない結果となった。

表 2 不安定破壊の判定

評価事象	J 積分値 ^{注 2)} (N/mm)	判定基準 J (N/mm)	不安定破壊の防止 (J 積分値 < J)
設計条件 ^{注 1)}			○

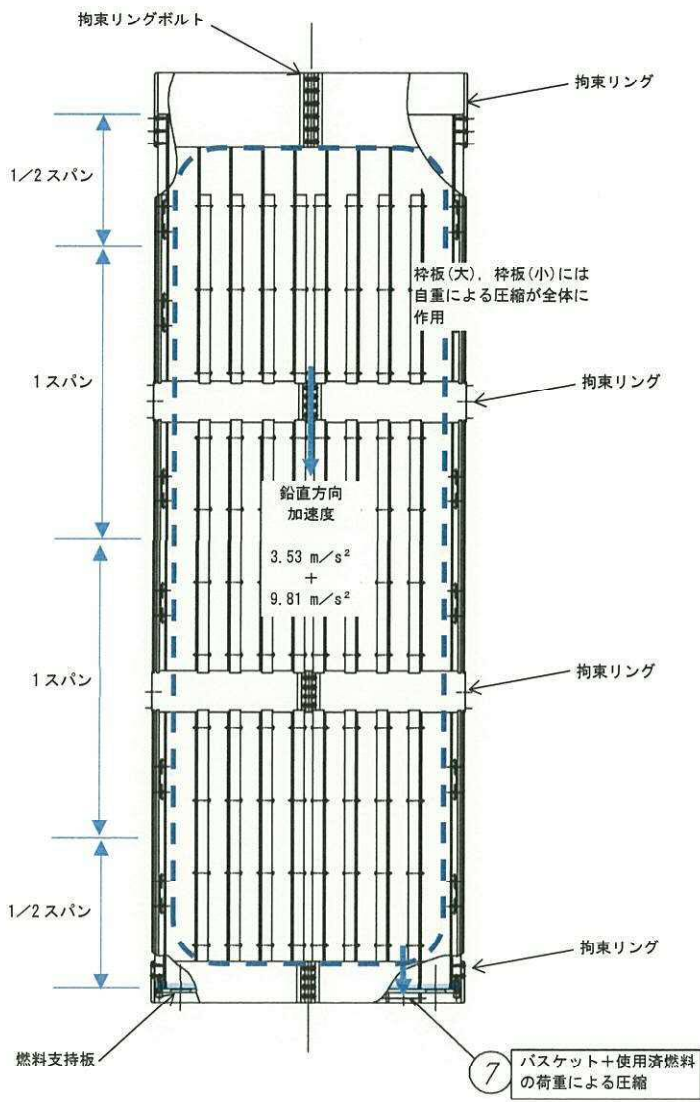
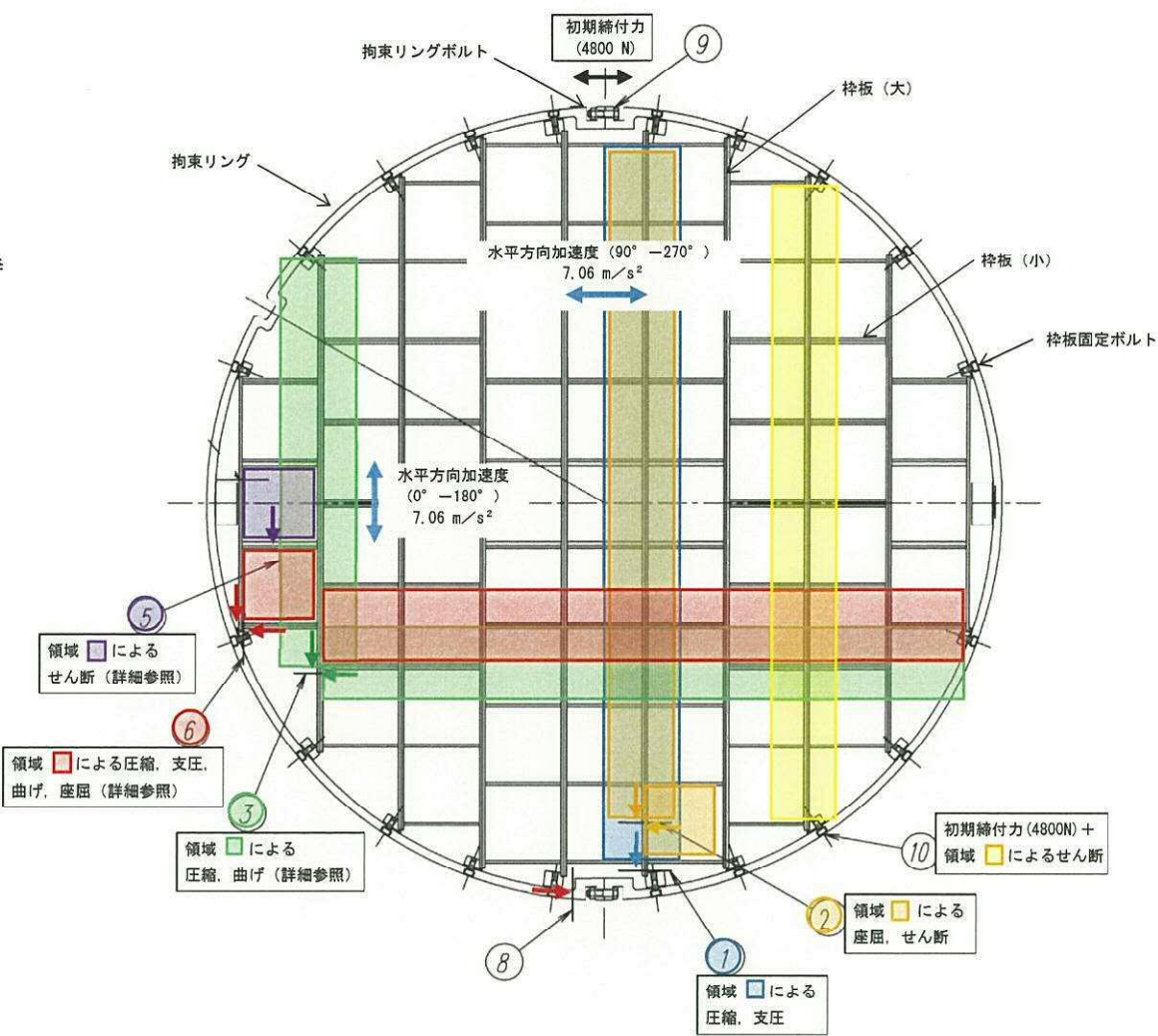
注1) 荷重条件は、事業所内運搬と同じ運搬時荷重（ただし、熱荷重なし）

注2) き裂深さ 5mm（板厚の 1/4 に相当）のき裂を想定

以 上

貯蔵時（ S_d *地震力が作用する場合）

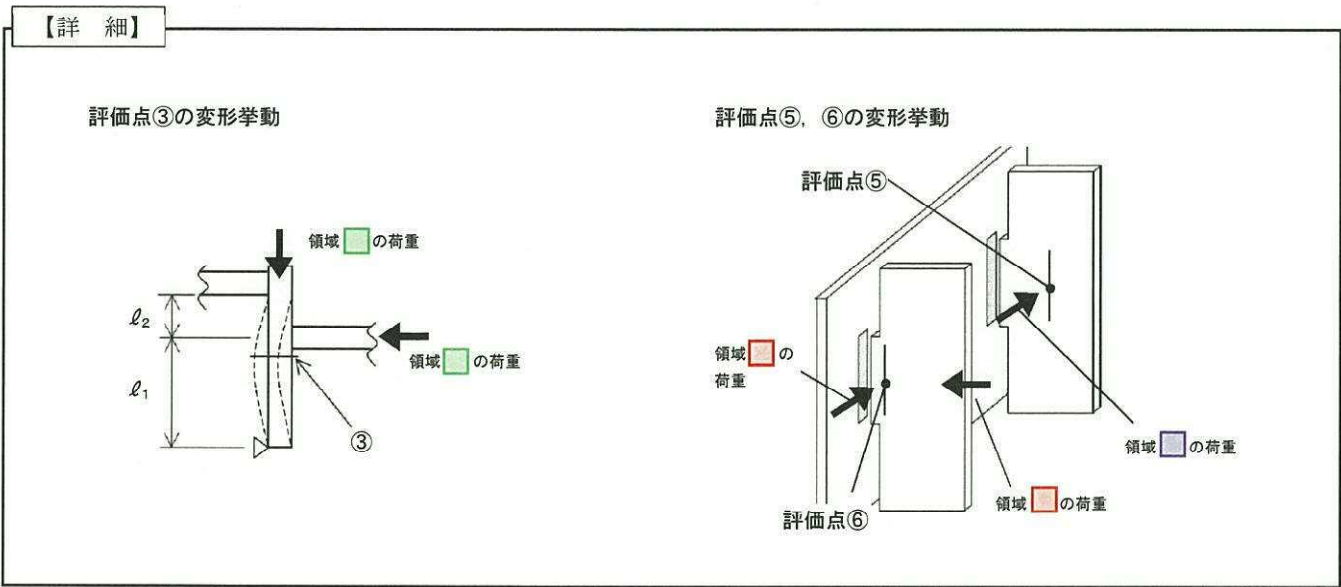
- (1) 荷重条件
ボルト初期締付力 + S_d *地震力 + 自重
- (2) 計算方法
 - ・ 容器姿勢は、縦状態を考慮
 - ・ 拘束リングは、1 スパン分の使用済燃料とバスケットの質量を支持する。
 - ・ 桎板の荷重の作用領域は拘束リングとの接触部分のみ



貯蔵時の発生荷重における最大応力の発生部位及び応力種類

部 位		発生荷重			
		ボルト 初期締付力	下方向加速度 (鉛直方向)	水方向加速度 (0° -180° 方向)	水方向加速度 (90° -270° 方向)
桎板 (大)	①	—	圧縮応力	圧縮応力	—
	②	—	—	支圧応力	—
	③	—	圧縮応力	圧縮応力	曲げ応力
桎板 (小)	⑤	—	—	純せん断応力	—
	⑥	—	圧縮応力	曲げ応力	圧縮応力
	⑦	—	—	—	支圧応力
燃料支持板	⑧	—	圧縮応力	—	—
拘束リング	⑨	—	—	圧縮応力	—
拘束リングボルト	⑩	引張応力	—	—	—
桎板固定ボルト	⑪	引張応力	—	せん断応力	—

注) 圧縮応力、曲げ応力は $P_m + P_b + Q$ が最大となる部位を示す



補足-340-23 【ペDESTAL排水系の付属設備のうち導入管カバーへの
水の付加荷重について】

1. 概要

本補足説明書は、添付書類「V-2-9-4-3-5-2 付属設備の耐震性の計算書」第3章 導入管カバーの耐震計算書の死荷重として考慮している水の付加質量について示す。

2. 一般事項

2.1 適用基準

鋼構造設計規準（2005 改訂）（日本建築学会）

2.2 評価部位

導入管カバーの評価部位は、添付書類「V-2-9-4-3-5-2 付属設備の耐震性の計算書」第3章 導入管カバーの耐震計算書「3. 評価部位」に記載のとおり鋼材と溶接部である。

3. 水の付加質量を考慮した構造強度評価

3.1 荷重の組合せ及び許容応力

添付書類「V-2-9-4-3-5-2 付属設備の耐震性の計算書」第3章 導入管カバーの耐震計算書「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」に記載のとおり荷重の組合せを表 3-1 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ

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*	荷重の種類
原子炉格納施設	—	導入管カバー	常設／緩和	—	D + S _s	短期荷重

注記 *： D：死荷重（鋼材重量＋プレート重量＋水の付加重量）

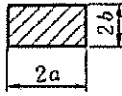

S_s：基準地震動 S_sにより定まる地震力

3.2 水の付加質量

導入管カバーは、床上 1m の範囲が水没する条件であることから、水の付加質量を考慮する。

水の付加質量は、鋼材の断面形状より求める。付加質量の算出方法は、機械工学便覧 基礎編 α2 より抜粋の表 3-2 に、水の付加質量を表 3-3 に示す

表 3-2 柱状物体の単位長さ当たりの付加質量

断面形状	付加質量
長方形 	 $\pi K_1 \rho a^2$

b/a	0	0.1	0.2	0.5	1	2	5	10
K_1	1.00	1.14	1.21	1.36	1.51	1.70	1.98	2.23

a : 鋼材の長辺の長さ

b : 鋼材の短辺の長さ

$K_1 = b/a$

ρ : 水の密度 998.2kg/m³

表 3-3 水の付加質量

水平方向		鉛直方向	
鋼材長辺方向の 付加質量 (kg)	鋼材短辺方向の 付加質量 (kg)	鋼材長辺方向の 付加質量 (kg)	鋼材短辺方向の 付加質量 (kg)
463	295	58	38

3.3 計算方法

添付書類「V-2-9-4-3-5-2 付属設備の耐震性の計算書」第3章 導入管カバーの耐震計算書「4.6 計算方法」に記載のとおり計算機プログラムは「NSAFE」を使用し固有周期及び応力を求める。

設計用地震力を用いた静的地震解析にて発生応力を算出し、耐震評価を行う。

その他計算条件及び応力評価についても添付書類「V-2-9-4-3-5-2 付属設備の耐震性の計算書」第3章 導入管カバーの耐震計算書に記載の値にて評価を行う。

4. 評価結果

添付書類「V-2-9-4-3-5-2 付属設備の耐震性の計算書」第3章 導入管カバーの耐震計算書「5.1 評価結果」に記載のとおり水の付加質量を考慮した応力評価結果を表4-1に示す。

表 4-1 導入管カバー応力評価結果

名称	評価点	材料	発生応力 (MPa)			評価結果		
			引張 σ_t (MPa)	せん断 σ_s (MPa)	曲げ σ_b (MPa)	応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
導入管カバー	32	SUS304	0	6	75	組合せ	76	117

組合せ応力計算方法

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + \sigma_s^2}$$

すべて許容応力以下である。

補足-340-24【E C C S ストレーナ評価条件等の整理について】

1. 概要

非常用炉心冷却系ストレーナ（以下「ECCSストレーナ」という。）に対して、SA条件、内規および圧損試験による条件を加味した評価を実施することについて、以下評価条件等の整理を行った。

ECCSストレーナ既工認：既工認におけるECCSストレーナの申請状況

国内法規関係 時系列：評価に関する法規関係の整理

技術基準：技術基準規則上の扱いの整理

工認の整理：評価条件、荷重の整理

異物の整理：異物について、内規の要求、圧損試験の条件を加味して整理

2. ECCSストレーナ関連の既提出工事認可申請について

ECCSストレーナ関連の既提出工事認可申請について以下に示す。

- ① 平成20年2月29日 発室発第567号 申請
- ② 平成20年3月24日 発室発第623号 一部補正
- ③ 平成20年4月7日 平成20・02・29原院第41号 認可

3. ECCSストレーナに関わる内規の時系列について

ECCSストレーナに関わる内規の時系列を以下に示す。

- ① 平成17年10月25日 平成17・10・13原院第4号 「沸騰水型原子力発電設備における非常用炉心冷却設備及び格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価及び構造強度評価について（内規）」
- ② 平成20年2月27日 平成20・02・12原院第5号 「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」※平成20年3月1日施行

4. 技術基準規則との整合性について

技術基準規則における、ECCSストレーナの評価に対する関連項目を以下に示す。

技術基準	評価に対する関連項目
5条・50条（地震による損傷の防止）	DB：地震荷重 S_d 、 S_s で評価する必要がある SA：地震荷重 S_s で評価する必要がある
17条（材料及び構造）	3.②の内規に適合することが解釈（17条4）に記載されている。
55条（材料及び構造）	解釈17条10から施設時の規定によることとされているが、他クラス機器と同様、異物評価として保守的な規定である3.②の内規の考え方を適用する。

5. 工事認可申請書の整理

評価	対象ストレーナ	評価条件	
		既工認	補正工認
強度・耐震 (異物あり)	RHR, LPCS, HPCS (※1)	3. ①で評価	3. ②で評価
強度・耐震 (異物なし)	RCIC (※2)	—	3. ②で評価

注記 ※1：異物を考慮するECCSストレーナでは、RHRストレーナを代表として評価し、RHRストレーナと同形状のLPCS、HPCSについてはRHRの評価に包絡されるものとする。

※2：RCICについては、SA時のシーケンス上、LOCA時の機能要求がないことから、異物を考慮しない評価とする。

6. ECCSストレーナの評価に用いる荷重について

表 6-1 にECCSストレーナの評価に必要な荷重を示す。本申請におけるECCSストレーナの評価には、同一の荷重の組合せである場合には、より大きな荷重の組合せを代表で評価条件として用いる。このため、表 6-1 のSA-3～6 とDB-3～6 の荷重の大小関係、SA-8 とSA-11 の大小関係を表 6-2 に示す。

表 6-1 ECCS ストレート評価用荷重の整理

分類	荷重 組合せ	荷重 No.	運転状態	死荷重	異物 荷重	差圧	通常 運転 温度	SRV 荷重		LOCA 荷重			地震荷重		供用状態	包絡性
								運転時	中小破断 時	ブローアウト 時	蒸気凝縮 (CO)	チャージン (CH)	Sd 荷重	Ss 荷重		
強度 計算書 記載 項目	D B A (内規に記載の組合せ)	DB-1	運転状態 I	○			○								A	—
		DB-2	運転状態 II	○			○	○							B	—
		DB-3	運転状態 IV (L)	○	○	○									A	—
		DB-4	運転状態 IV (S)	○	○	○					○				D	—
		DB-5	運転状態 IV (S)	○	○	○			○*			○*			D	—
		DB-6	運転状態 IV (S)	○	○	○				○					D	—
	S A	SA-3	運転状態 V (L)	○	○	○									D*	≤ DB-3
		SA-4	運転状態 V (S)	○	○	○					○				D*	≤ DB-4
		SA-5	運転状態 V (S)	○	○	○			○*			○*			D*	≤ DB-5
		SA-6	運転状態 V (S)	○	○	○				○					D*	≤ DB-6
耐震 計算書 記載 項目	D B A (内規に記載の組合せ)	DB-7	運転状態 I	○									○		III _A S	—
		DB-8	運転状態 I	○										○	IV _A S	—
		DB-9	運転状態 II	○				○							III _A S	—
		DB-10	運転状態 II	○				○						○	IV _A S	—
	S A	DB-11	運転状態 IV (L)	○	○	○									III _A S	—
		SA-11	運転状態 V (L)	○	○	○							○		IV _A S*	≤ SA-8
		SA-8	運転状態 V (L, L)	○	○	○								○	IV _A S*	—

注記 *1：本プラントは Mark-II プラントのため、内規記載の通り SRV と CH は組合せない。

*2：供用状態 E として、D の許容限界を用いる。

*3：許容応力状態 V_{AS} として、IV_{AS} の許容限界を用いる。

表 6-2 荷重の大小関係の整理

No.	荷重の種類		説明
1	異物荷重*1 DB時 \geq SA時		ストレーナの圧損試験結果から DB時 \geq SA時 ※ DB時圧損：0.246 m ※ SA時圧損：0.05 m
2	差圧 DB時 \geq SA時		ストレーナの圧損試験結果から DB時 \geq SA時
3	SRV荷重	中小破断時 DB時=SA時	DB, SA時ともに逃がし安全弁作動時に サブプレッション・プール内に設置される構 造物に考慮すべき荷重であり DB時荷重=SA時荷重
4	LOCA荷重	プールスウェル DB時=SA時	DB, SA時ともにLOCA時に発生する プールスウェルの際にサブプレッション・プ ール内に設置される構造物に考慮すべき 荷重であり DB時荷重=SA時荷重
5		蒸気凝縮 (CO) DB時=SA時	DB, SA時ともにLOCA時に発生する 蒸気凝縮の際にサブプレッション・プール内 に設置される構造物に考慮すべき荷重で あり DB時荷重=SA時荷重
6		チャギング (CH) DB時=SA時	DB, SA時ともにLOCA時に発生する チャギングの際にサブプレッション・プール 内に設置される構造物に考慮すべき荷重 であり DB時荷重=SA時荷重
7	地震荷重	S _s 荷重 \geq S _d 荷重 (or 静的荷重)	S _d 荷重はS _s 荷重の1/2程度であり, S _s 荷重 \geq S _d 荷重 (or 静的荷重)

注記 *1：①H20 年内規⇒非DBA仕様塗装異物の追加（その他異物については、考慮せず）

②SA異物⇒耐DBA仕様塗装異物の追加（DBでも考慮しているが、SAで更に異物
量を追加。追加量の検討が必要）

なお、評価における異物の考慮については7. 異物量の整理にて詳細を記載する。

7. 異物量の整理

内規に基づくストレナ評価に必要な異物量については (1) 破損保温材, (2) 破損保温材以外に考慮する異物 が定義されており, 以下にその整理を行う。

(1) 破損保温材の異物量

破損保温材について, 以下の内規に基づき異物量を算出している。

[H20 年内規 記載]

保温材の破損量 (破損影響範囲半径を加味した破損量) に別表第 2 に示す割合 (移行割合) を乗じた量が, E C C S 水源への移行量として評価されていること。

表 1 破損保温材の E C C S 水源への移行割合と異物量^{*1}

	保温材種類	既工認 (H17 年内規)	圧損試験 (D B 時)	圧損試験 (S A 時)
①	カプセル保温 (金属反射型)	50 % 【128.26 m ² 】 (47.22 m ²) ^{*2}	50 % 【500.0 m ² 】 (184.1 m ²) ^{*2}	50 % 【500.0 m ² 】
②	カプセル保温 (繊維質)	15 % 【0.0135 m ³ 】	15 % 【0 m ³ 】	15 % 【0 m ³ 】
③	一般保温 (ケイ酸カルシウム)	10 % 【0 m ³ 】	10 % 【0 m ³ 】	10 % 【0 m ³ 】
④	一般保温 (繊維質)	【1.763 m ³ 】 62.87 kg (23.15 kg) ^{*2}	【0 m ³ 】 3.54 kg ^{*3}	【0 m ³ 】 0.354 kg ^{*4}

注記 *1: 破損量は N P S H 評価の説明書に記載されている値で移行割合を乗じた後の値を示す。(ストレナ 1 個分)

*2: () 内数値は, R H R 系での値を示す。

*3: 内規に基づき堆積厚さ 3 mm 相当を考慮している。

*4: 実機 D / W 内では繊維質保温材撤廃しているため, 圧損評価条件としては繊維質ゼロとしている。

(2) 破損保温材以外に考慮する異物

破損保温材以外に考慮する異物を、以下内規に基づき表 2 のとおり整理した。

[H20 年内規 記載]

存在する異物の量については、原則として、発電設備毎の状況調査に基づき保守的な量としていること。ただし、異物管理及び原子炉起動の際の格納容器内清掃・点検を実施している場合に限り、別表第 3 に示す異物の種類に応じ、当該異物の欄に示す量とすることができるとする。

表 2 破損保温材以外に考慮する異物*1

	異物の種類		既工認 (H17 年内規)	圧損試験 (D B 時)	圧損試験 (S A 時)
⑤	耐 D B A 塗装 (ジェット破損)		19.5 kg (7.18 kg) *2	19.5 kg (7.18 kg) *2	19.5 kg
⑥	非 D B A 塗装		—	175 kg (64.43 kg) *2	175 kg
⑦	堆 積 異 物	スラッジ	44.5 kg (16.39 kg) *2	44.5 kg (16.39 kg) *2	44.5 kg
⑧		錆片	11.5 kg (4.24 kg) *2	11.5 kg (4.24 kg) *2	11.5 kg
⑨		塵土	34 kg (12.52 kg) *2	34 kg (12.52 kg) *2	34 kg
⑩	その他異物		—	0.0275 m ² *3	0.0275 m ² *3
⑪	耐 D B A 塗装 (S A 追加) *4		—	—	1750 kg
⑫	化学影響生成異物		—	—	3100 kg

注記 *1：ストレーナ 1 個分の値を示す。

*2：() 内数値は、RHR 系での値を示す。

*3：ストレーナ表面積からステッカー類の総表面積の 75%分を差し引いて考慮しているため、試験には投入していない。

*4：重大事故時等時において原子炉格納容器内温度が上昇することから、塗装片の追加発生を考慮

(3) 東海第二発電所における工事計画申請で考慮する異物の整理

表1及び表2より、DB/SA評価の異物で考慮すべき対象を次のとおり整理する。

① カプセル保温（金属反射型）：(DB/SA)

DB/SAの評価で考慮が必要。DB時の圧損試験では、評価式により試験投入不要としているが、異物荷重としては考慮すべきであるため、DB時でも考慮する。

② カプセル保温（繊維質）：否

繊維質保温材撤廃しているため、DB/SA共に考慮不要。

③ 一般保温（ケイ酸カルシウム）：否

保温材としてケイ酸カルシウムを使用していないため、DB/SA共に考慮不要。

④ 一般保温（繊維質）：(DBのみ)

DBでは内規に従い薄膜効果を模擬して3mm相当の考慮が必要。

SAでは内規に規定がなく繊維質撤廃しているため、実力評価することで考慮不要。

⑤ 耐DBA塗装（ジェット破損）：(DB/SA)

DB/SAの評価で考慮が必要であるため、内規記載の値を用いる。

⑥ 非DBA塗装：(DB/SA)

DB/SAの評価で考慮が必要であり、格納容器内の事故時環境に直接晒される全量として、現場調査の確認結果による値を用いる。

⑦ スラッジ：(DB/SA)

⑧ 錆片：(DB/SA)

⑨ 塵土：(DB/SA)

堆積異物

DB/SAの評価で考慮が必要であるため、内規記載の値を用いる。

⑩ その他異物：否

圧損試験では内規に従い、その他異物としてステッカー類の面積0.0275 m²の75%を考慮して基準面積を設定しているが、考慮したとしても他の異物量と比べ十分小さい荷重であることが明らかであることから、DB/SA共に考慮不要。

- | | |
|------------------------------|------------|
| ⑪ 耐DBA塗装（SA追加）：（SAのみ考慮だが含めず） | SA時に考慮する異物 |
| ⑫ 化学影響生成異物：（SAのみ考慮だが含めず） | |

SA時に考慮すべき異物であるが、この異物を考慮した圧損試験の結果、DB条件で得られた圧損より小さい値であることが確認できた。このことから、ストレーナに付加される異物の量はDB条件での値に包絡できると考えられるため、評価には含めず

(4) 評価で考慮する異物のまとめ

(1)～(3)から、本工事計画申請の評価で考慮する異物については表3のとおりとする。

表3 本工事計画申請において考慮する異物の整理*1

	異物の種類		評価で考慮する異物量	備考
①	カプセル保温 (金属反射型)		500.0 m ²	移行割合と破損影響範囲
②	カプセル保温 (繊維質)		—	繊維撤廃
③	一般保温 (ケイ酸カルシウム)		—	使用せず
④	一般保温 (繊維質)		SA：— DB：3.54 kg	DB時は3 mm程度の薄膜を考慮
⑤	耐DBA塗装 (ジェット破損)		19.5 kg	内規記載値
⑥	非DBA塗装		175 kg	確認結果
⑦	堆積異物	スラッジ	44.5 kg	内規記載値
⑧		錆片	11.5 kg	内規記載値
⑨		塵土	34 kg	内規記載値
⑩	その他異物		—	含めず (十分小さい)
⑪	耐DBA塗装 (SA追加)		—*2	含めず (圧損試験結果より)
⑫	化学影響生成異物		—*2	含めず (圧損試験結果より)

注記 *1：ストレーナ1個分の値を示す。

注記 *2：SA時に考慮すべき異物であるが、圧損試験結果から評価には含めないものとする。

補足-340-25 【原子炉格納容器の耐震計算書に係る補足説明
資料】

まえがき

本補足説明資料は、添付書類「V-2 耐震性に関する説明書」における原子炉圧力容器付属構造物、原子炉格納容器及び圧力低減設備その他の安全設備のうち、以下の耐震計算書を対象として補足説明するものである。

【添付書類】

V-2-3-4-2 原子炉圧力容器付属構造物の耐震性についての計算書

V-2-3-4-2-1 原子炉圧力容器スタビライザの耐震性についての計算書

V-2-3-4-2-2 原子炉格納容器スタビライザの耐震性についての計算書

V-2-3-4-2-3 制御棒駆動機構ハウジング支持金具の耐震性についての計算書

V-2-9-2 原子炉格納容器の耐震性についての計算書

V-2-9-2-1 原子炉格納容器の耐震性についての計算書

V-2-9-2-3 上部シアラグ及びスタビライザの耐震性についての計算書

V-2-9-2-4 下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの耐震性についての計算書

V-2-9-2-5 原子炉格納容器胴アンカ部の耐震性についての計算書

V-2-9-2-6 機器搬入用ハッチの耐震性についての計算書

V-2-9-2-7 所員用エアロックの耐震性についての計算書

V-2-9-2-8 サプレッション・チェンバアクセスハッチの耐震性についての計算書

V-2-9-2-9 原子炉格納容器配管貫通部の耐震性についての計算書

V-2-9-2-10 電気配線貫通部の耐震性についての計算書

V-2-9-2-11 サプレッション・チェンバ底部ライナ部の耐震性についての計算書

V-2-9-4 圧力低減設備その他の安全設備の耐震性についての計算書

V-2-9-4-1 ダイヤフラム・フロアの耐震性についての計算書

V-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書

目次

補足-340-25 原子炉格納容器の耐震計算書に係る補足説明資料

- 1 原子炉格納容器の耐震性についての計算書に係る補足説明資料
 - 1-1 応力評価点 P6 の座屈評価について
 - 1-2 原子炉格納容器の地震時のスロッシングに対する考え方について
 - 1-3 板厚（半径）方向の応力を考慮しない理由について
- 2 原子炉格納容器胴アンカ部の耐震性についての計算書に係る補足説明資料
 - 2-1 応力計算における評価部位と荷重方向について
 - 2-2 コンクリートのせん断評価の考え方について
- 3 原子炉格納容器配管貫通部の耐震性についての計算書に係る補足説明資料
 - 3-1 配管貫通部の代表性について
- 4 ダイアフラム・フロアの耐震性についての計算書に係る補足説明資料
 - 4-1 ダイアフラム・フロア 設計震度の考え方について

1 原子炉格納容器の耐震性についての計算書に係る補足説明資料

1-1 応力評価点 P6 の座屈評価について

1. 概要

添付書類「V-2-9-2-1 原子炉格納容器の耐震性についての計算書」に記載の座屈評価は、J E A G 4 6 0 1・補-1984に基づき評価を実施している。座屈評価において、応力評価点 P6 の重大事故等対処設備としての評価結果が厳しくなっているが、この原因は入力荷重である軸圧縮荷重の設定方法に起因している。

本図書では、応力評価点 P6 の軸圧縮荷重の設定方法を示す。

2. 応力評価点 P6 の軸圧縮荷重について

応力評価点 P6 の座屈評価に用いる軸圧縮荷重を以下に示す。

- ・設計基準対象施設としての評価荷重 (S_s) : 軸圧縮荷重 $P = \boxed{} \text{ N}$
- ・重大事故等対処設備としての評価荷重 (S_s) : 軸圧縮荷重 $P = \boxed{} \text{ N}$

サプレッション・プールの設計基準対象施設として考慮する水位 (DB 水位) と重大事故等対処設備として考慮する水位 (SA 水位) 並びに応力評価点の関係を図 1 に示す。

サプレッション・プール水の質量は、本来底部コンクリートマット (底部ライナー部) に作用するものではあるが、DB 水位及び SA 水位における水質量が、保守的に底部ライナー部に接続される応力評価点 P6 に軸圧縮荷重として作用するものとしている。

従って、応力評価点 P6 の座屈評価では、考慮する水位の高い重大事故等対処設備としての評価結果が厳しくなる。なお、応力評価点 P5 については、応力評価点 P6 のように接続する水平部がないことから、鉛直方向の水質量を受け持つことはなく、水質量による軸圧縮荷重は考慮していない。

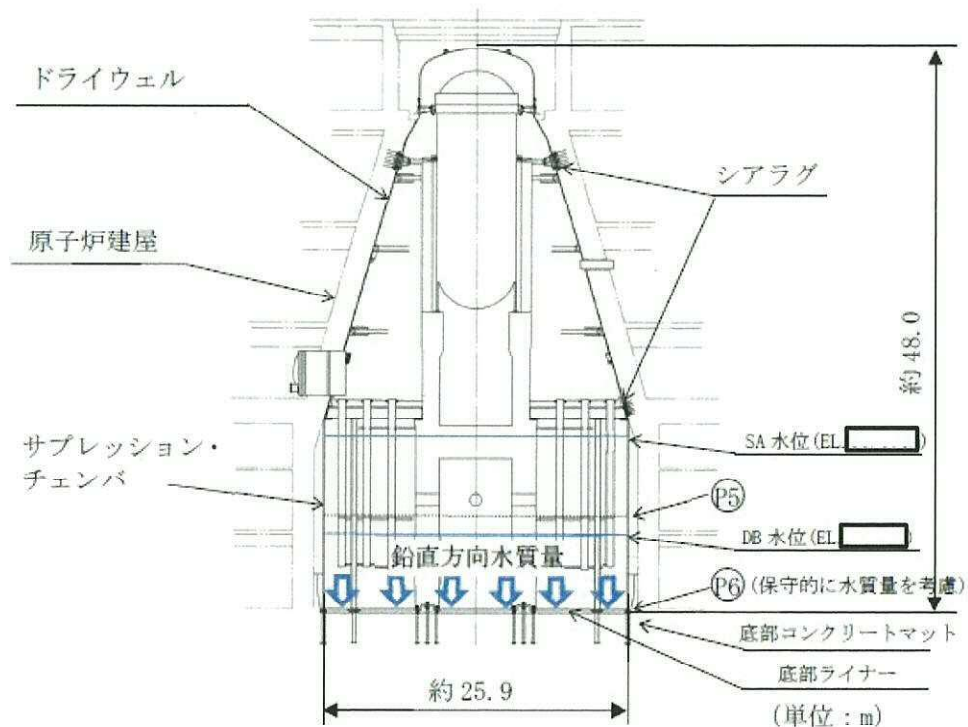


図1 サプレッション・プール水位と応力評価点の関係

3. 参考図書

V-2-9-2-1 原子炉格納容器の耐震性についての計算書

1-2 原子炉格納容器の地震時のスロッシングに対する考え方について

1. 概要

MARK-II型原子炉格納容器はサブプレッション・チェンバに原子炉圧力容器等の冷却に必要な水（以下「プール水」という。）を保有している特徴から、地震時にプール水によるスロッシングが生じる。このため、スロッシングによる影響評価は既往の試験*で検討がなされており、解析上の考慮は必要がないとされている。しかしながら、基準地震動の違い等を考慮し、東海第二の原子炉格納容器に対するスロッシングによる影響を確認する。

これらを踏まえ、今回の工事計画における耐震評価方法の考え方を以下に示す。

注記 *：原子力発電施設信頼性実証試験の現状（（財）原子力発電技術機構）

2. MARK-II型原子炉格納容器のスロッシングの影響評価

原子炉格納容器の耐震評価は、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）に基づき、地盤、原子炉建屋及び原子炉圧力容器を連成したモデルで評価しており、サブプレッション・チェンバのプール水質量の全てを剛体とみなし、全ての質量を固定質量とみなし、耐震評価を実施している。一方、スロッシングを考慮した評価をする場合は、図1で示すように揺動しない部分は固定質量として負荷するが、揺動する部分は自由質量となる。

上記で示すように評価方法に相違があるものの、既往の試験でスロッシングの影響を検討しており、以下のことが確認されている。図2に既往の試験で用いた試験体を示す。

- ・縮尺したMARK-II型原子炉格納容器を用いてスロッシングの影響の確認し、スロッシングにより発生する応力は、水による慣性力の 程度のオーダーであることを確認
- ・スロッシングの固有振動数は1次～3次で Hz～ Hz であり、原子炉格納容器の固有振動数 Hz～ Hz であり、共振しない

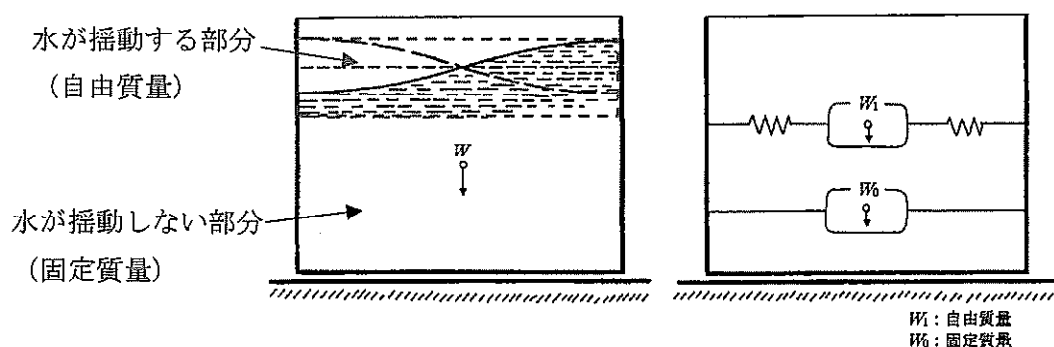


図1 スロッシングの解析モデル*

注記 *：原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）

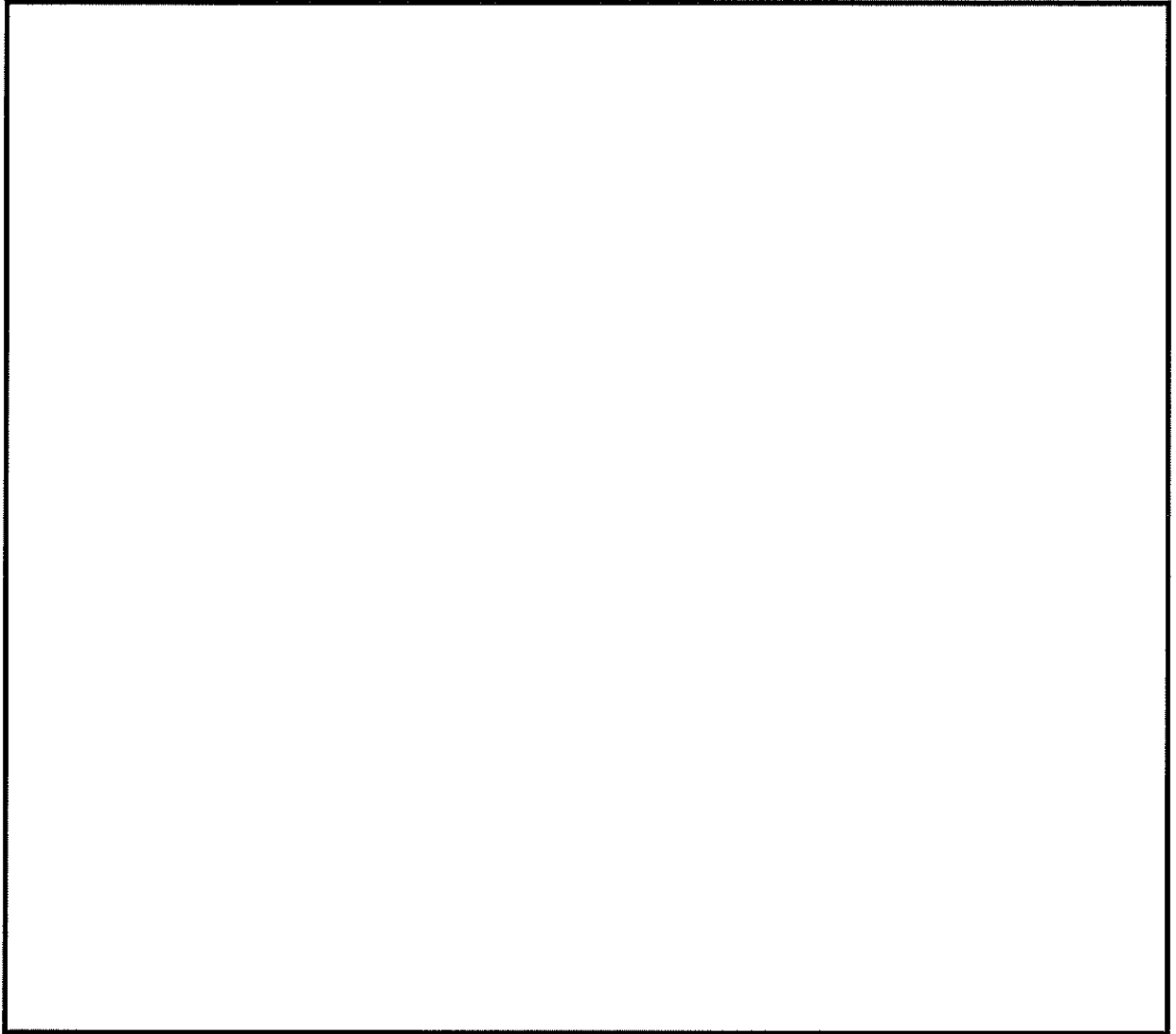


図 2 既往の試験概要及び結果

3. 東海第二の原子炉格納容器に対するスロッシング評価

既往の試験において、スロッシングの影響が小さいことを確認したが、東海第二の原子炉格納容器に生じる基準地震動 S_0 と地震が異なることから、その影響について確認する。

3.1 固有振動数の影響

既往の文献（多重円筒型分割タンクの耐震設計（吉田ら，甲陽建設工業（株）））に基づき、固有振動数を算出し、東海第二の原子炉格納容器の固有振動数を比較した結果、表 1 に示す。表 1 で示すように東海第二の原子炉格納容器についても既往の試験と同様に共振しないことを確認した。

表 1 東海第二における固有振動数

	スロッシングの固有振動数	原子炉格納容器の固有振動数
固有振動数 (Hz) (H. W. L 時 (水位 7.08 m))		

3.2 スロッシングによる設備の影響について

既往の文献に基づき、原子炉格納容器、内部構造物であるベント管及び原子炉本体の基礎に生じる荷重を算出し、スロッシングによる設備への影響を確認する。

スロッシングによる設備への影響は、3.1項で示したように固有周期が長い領域で共振する。一方、原子炉格納容器は、固有周期が短いため、図1で示すようにスロッシングの固有周期と共振せず、固有周期が短い地震動のとき、耐震評価として厳しくなる。このため、図3で示すように固有周期が長い基準地震動は S_{s-14} のとき、スロッシングによる設備への影響が大きくなり、固有周期が短い基準地震動は S_{s-31} のとき、原子炉格納容器への影響が大きくなる。

また、基準地震動 S_{s-14} と基準地震動 S_{s-31} は重畳して生じないことから、設備への影響の検討は、基準地震動 S_{s-14} と基準地震動 S_{s-31} を区別して、実施する。

さらに、現状の耐震評価ではプール水を100%固定質量で評価しているため、合わせて現状の耐震評価の考え方の妥当性を確認する。現状の耐震評価の考え方の妥当性は、プール水を100%固定質量とするときの影響（以下「100%固定質量による影響」という。）とプール水を固定質量+自由質量とするときの影響（以下「スロッシングによる影響(固定質量+自由質量)」という。）と比較し、プール水を100%固定質量とするときの影響の方が大きいことを確認する。このことにより、現状の耐震評価の方が保守的であることを確認する。

上記の考えに基づき、スロッシングによる影響評価を実施した結果を表2に示す。

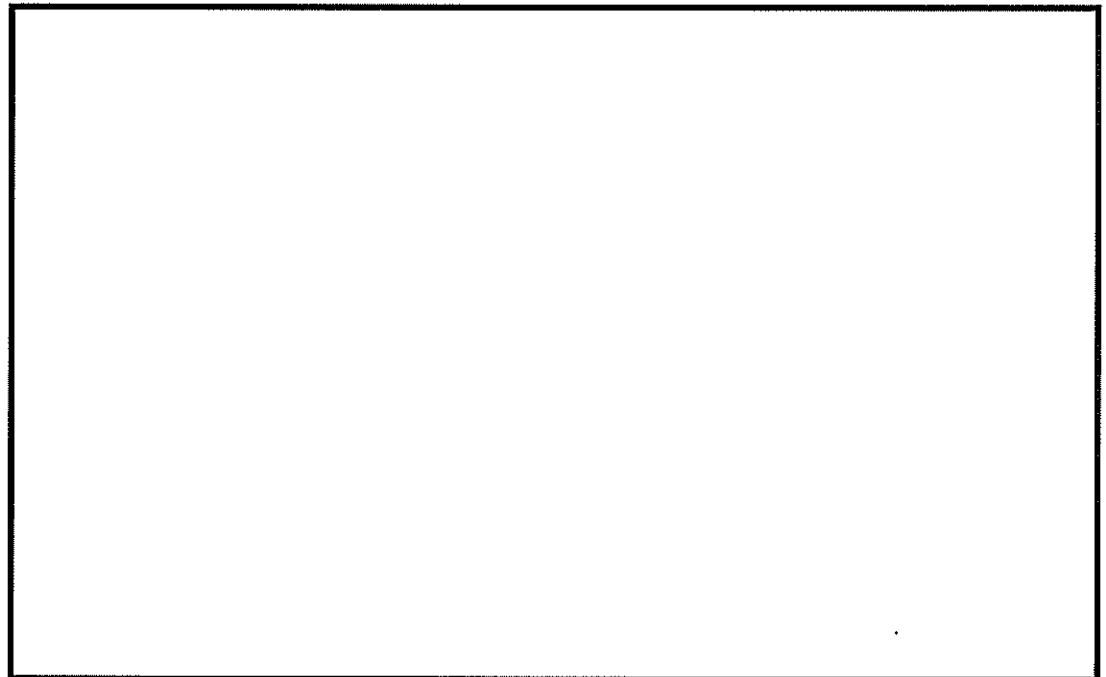


図3 東海第二の設計用床応答スペクトル

表2 スロッシングによる影響評価

対象設備	スロッシングによる モーメント*1 (kN・m)		100 %固定質量 によるモーメント*2 (kN・m)	地震による モーメント*2 (kN・m)	
	S _s -31	S _s -8 波*3	S _s -8 波*4	S _s -8 波*4	S _s -14
原子炉格納容器					
ベント管*5					
原子炉本体の基礎					

注記 *1：固定質量＋自由質量の評価結果

*2：モーメントの数値はプール水を全て固定質量とした場合の結果である。

*3：モーメントに寄与する基準地震動はS_s-14と同じ。S_s-8波とは基準地震動S_sとして選定している8つの波を包絡するものとする。

*4：モーメントに寄与する基準地震動はS_s-31と同じ。S_s-8波とは基準地震動S_sとして選定している8つの波を包絡するものとする。

*5：ベント管については床応答スペクトル解析を行っており応答する地震波の特定が出来ないため、基準地震動S_s-8波包絡条件の結果を示す。

*6：底部転倒モーメントを含めた場合、S_s-31は kN・m、S_s-8波は kN・mとなる。

*7：水質量のみを考慮したはり質点モデルから算出

表2で示すように固有周期が短い基準地震動S_s-31は、原子炉格納容器に対する荷重(①)が大きくなるものの、スロッシングによる影響(②)は既往の試験と同様に非常に小さく、耐震評価結果に対して影響を与えない。また、固有周期が長い基準地震動S_s-14においては、スロッシングによる荷重(③)が大きくなるものの、原子炉格納容器に対しての応答が小さくなるため(④)、原子炉格納容器の健全性に影響を与えないことを確認した。

また、現状の耐震評価の妥当性を確認するため、100 %固定質量による影響(⑤)とスロッシングによる影響(固定質量＋自由質量)(③)を比較し、100 %固定質量による影響の方が大きいことを確認した(③<⑤)。これにより、現状の耐震評価で用いているプール水を100 %固定質量とみなして評価する方法は妥当であるといえる。なお、100 %固定質量による影響(⑤)の荷重の算出は、スロッシングによる荷重の算出と同様にするため、水質量が付加される部位までの質点のはり質点モデルで評価した。質点には100 %固定の水質量を与え、図3で示す原子炉格納容器の固有周期における最大加速度を入力して算出した。

ベント管及び原子炉本体の基礎については、地震による荷重のピークが短期であり、スロッシングによる荷重のピークを重畳しないことから、耐震評価した地震によるモーメントを超えることはないと考えられる。さらに、原子炉本体の基礎は基準地震動S_s-31が発生した際(⑦)、スロッシングによる最大のモーメント(⑥)が重畳したとしても、その寄与は %であり、耐震評価で算出されている結果(200.4 MPa)に対して影響を与えない。

3.3 スロッシングによる凝縮性能への影響

スロッシング時の波高によって、事故時の蒸気等を凝縮する内部構造物が露出し、凝縮性能に影響を及ぼす可能性があることから、その影響を検討する。地震時の波高を表3に示すとともに波高に伴う原子炉格納容器内の影響を図4に示す。

表3 地震の波高

	S _s -31	基準地震動 S _s -8 波包絡条件
波高 (m)		

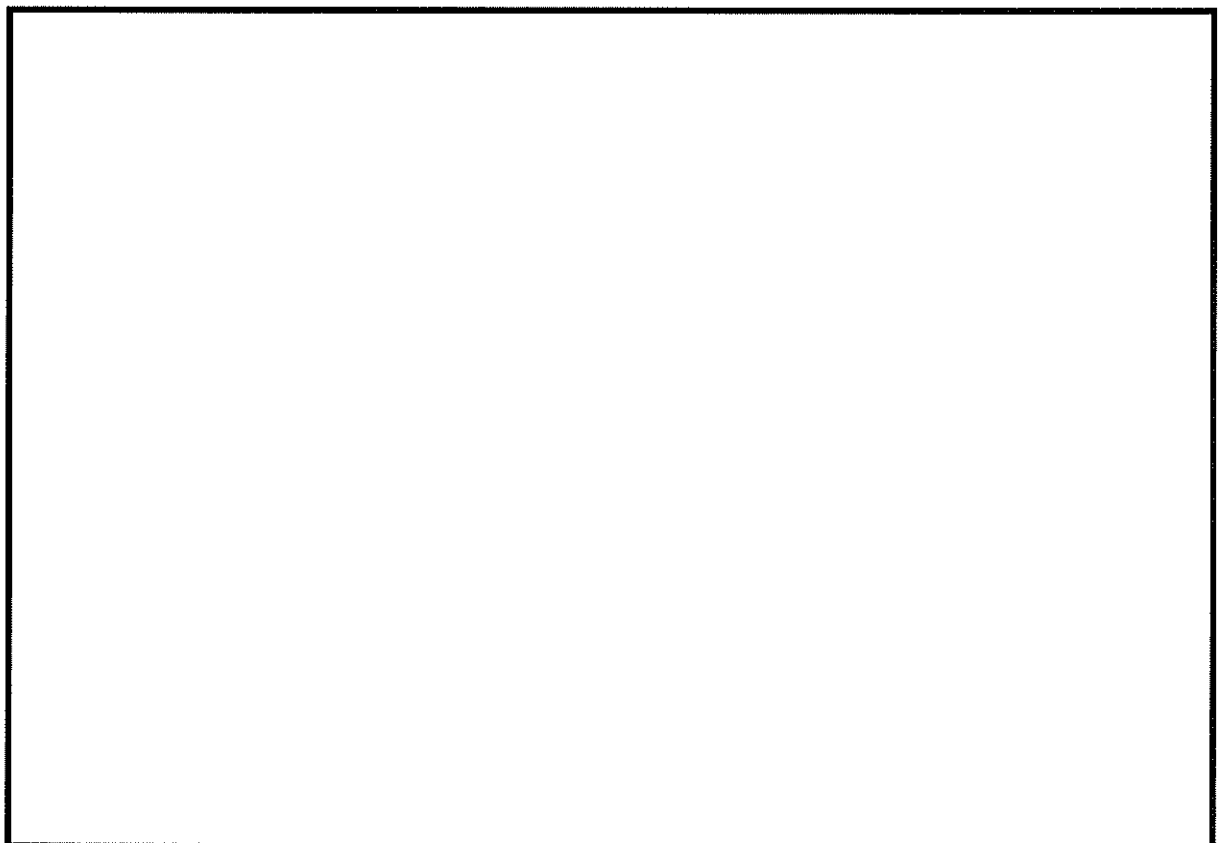


図4 スロッシングによる波高の影響

原子炉冷却材喪失事故時においては、原子炉冷却材圧力バウンダリから放出される蒸気がベント管を通じてプール水により凝縮されるが、原子炉圧力容器については、基準地震動 S_s に耐える設計であることから、地震と原子炉冷却材喪失事故は重畳することがなく、原子炉格納容器の健全性は確保される。なお、荷重の組合せにおいてもこのような考慮はしていない。このため、図4で示すようにスロッシングによって、ベント管の下端が露出しても凝縮性能に影響はない。

また、地震によって、原子炉スクラムした場合、原子炉冷却材圧力バウンダリが高圧となり、逃がし安全弁の一部が作動することが考えられる。図4で示すようにクエンチャは露出しないものの、スロッシングにより最低水位となると、クエンチャの近傍付近まで水位は低下する。水位が低い時は凝縮性能が低下するものの、水位の変動によって、水位が高くなれば凝縮性能

は高くなると考えられ、結果として、スロッシングのサプレッション・チェンバ全体の凝縮性能としては、平均化され、通常水位のときの凝縮性能と相違がないと考えられる。

4. まとめ

MARK-II型原子炉格納容器はサプレッション・チェンバにプール水を保有するという特徴を踏まえ、スロッシングによる影響を確認した。この結果、原子炉格納容器に対するスロッシングによる影響は、基準地震動 S_s の固有周期の長い波及び短い波それぞれを評価し、原子炉格納容器の健全性に影響を及ぼさないことを確認した。また、100 %固定質量と固定質量+自由質量それぞれの荷重を比較し、100 %固定質量の方が大きくなることを確認した。

上記のことから、今回の工事計画で実施したサプレッション・チェンバのプール水質量の全てを剛体とみなして、評価する方法は妥当である。

1-3 板厚（半径）方向の応力を考慮しなくてよい理由について

1. 概要

本資料は、添付書類「V-2-9-2-1 原子炉格納容器の耐震性についての計算書」の補足説明資料として原子炉格納容器の円錐胴及び円筒胴等について、板厚（半径）方向応力についての影響についてまとめ、板厚（半径）方向の応力について、考慮しなくてよい理由について整理したものである。

2. 評価方法

原子炉格納容器の内圧による発生応力が最も大きい円筒胴で、原子炉格納容器内圧 $P = 0.310 \text{ MPa}$ 、原子炉格納容器の円筒部の直径 $D = \square \text{ mm}$ 、板厚 $t = \square \text{ mm}$ の部分を例とし、板厚（半径）方向応力の考慮の有無による影響を確認する。

3. 評価結果

周方向応力の算出

$$\sigma_t = \sigma_1 = P \cdot D / (2 \cdot t) = 0.310 \times \square / (2 \times \square) = 105.678 \text{ MPa}$$

軸方向応力の算出

$$\sigma_l = \sigma_2 = P \cdot D / (4 \cdot t) = 0.310 \times \square / (4 \times \square) = 52.839 \text{ MPa}$$

半径方向応力（内面と外面の平均）の算出

$$\sigma_r = \sigma_3 = (-P + 0) / 2 = -P / 2 = -0.310 / 2 = -0.155 \text{ MPa}$$

板厚（半径）方向の応力 σ_3 を考慮に入れた応力強さ S

$$\begin{aligned} S &= \max |(\sigma_1 - \sigma_2), (\sigma_2 - \sigma_3), (\sigma_3 - \sigma_1)| \\ &= \max |(105.678 - 52.839), (52.839 - (-0.155)), (-0.155 - 105.678)| \\ &= \max |52.839, 52.994, 105.833| \\ &= 105.833 \Rightarrow 106 \text{ MPa} \end{aligned}$$

板厚（半径）方向の応力 σ_3 を 0 とした場合の応力強さを S'

$$\begin{aligned} S' &= \max |\sigma_1, \sigma_2| \\ &= \max |105.678, 52.839| \\ &= 105.678 \Rightarrow 106 \text{ MPa} \end{aligned}$$

上述の通り、 $S = S'$ となり、板厚（半径）方向の応力の考慮の有無による結果への影響は軽微であり、本工認の添付書類では、原子炉格納容器の板厚（半径）方向応力について評価を省略する。よって、板厚（半径）方向の応力は考慮しなくても問題はない。

以 上

2 原子炉格納容器胴アンカ部の耐震性についての計算書
に係る補足説明資料

2-1 応力計算における評価部位と荷重方向について

1. 概要

本書は、添付書類「V-2-9-2-5 原子炉格納容器胴アンカ部の耐震性についての計算書」に記載の応力評価における評価部位と荷重方向を図示する。

2. 評価部位と荷重方向について

図 2-1 に胴アンカ部を構成する部材を示す。また、2.2 及び 2.3 に応力評価種類毎の評価部位（評価断面等）と荷重方向を示す。

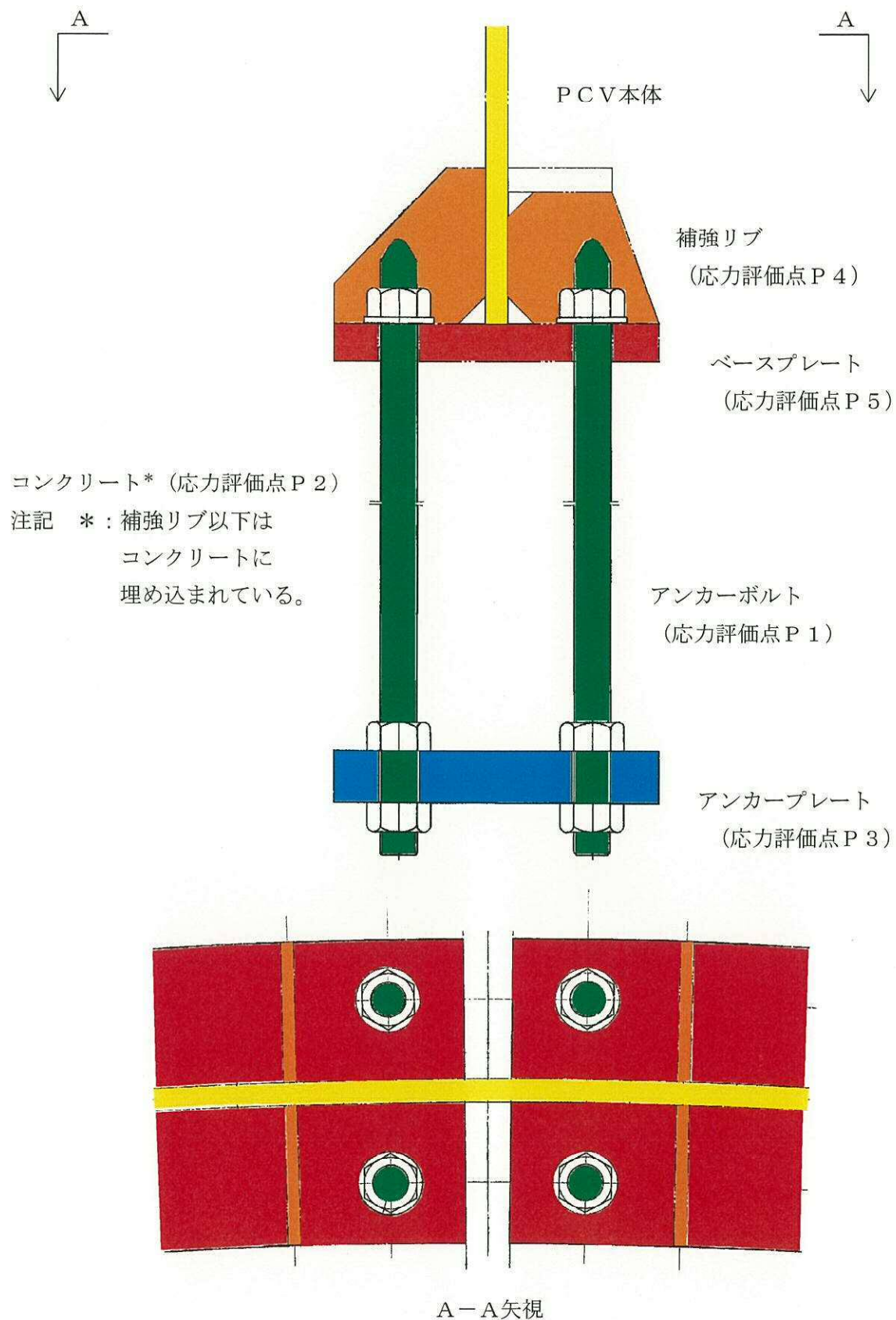


図 2-1. 胴アンカ部を構成する部材

2.1 アンカーボルト及びコンクリート（応力評価点 P 1 及び応力評価点 P 2）

評価方法については、J E A G 4 6 0 1 - 1 9 8 7 のスカート支持たて置円筒容器のボルトの計算と同様であるため、説明を割愛する。

2.2 コンクリート及びアンカープレート（応力評価点 P 2 及び応力評価点 P 3）

(1) アンカープレートと接するコンクリートの圧縮応力

アンカープレートと接するコンクリートの圧縮応力評価面と荷重方向を図 2-2 に示す。

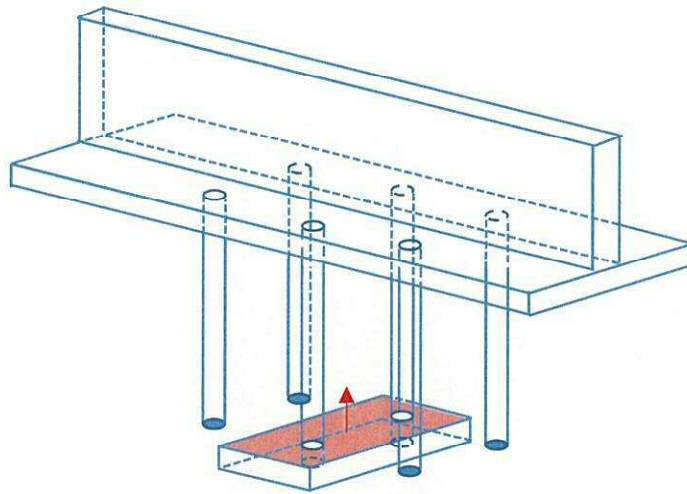


図 2-2 アンカープレートと接するコンクリートの圧縮応力（応力評価点 P 2）

(2) アンカープレートの曲げ応力

アンカープレートに生じる曲げ応力の荷重方向を図 2-3 に示す。

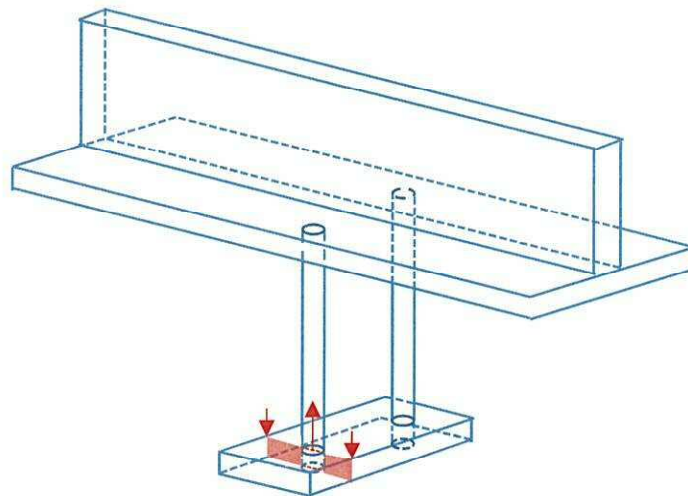


図 2-3 アンカープレートの曲げ応力（応力評価点 P 3）

(3) アンカープレートによるコンクリートのせん断応力

アンカープレートによるコンクリートのせん断応力評価面と荷重方法を図 2-4 に示す。

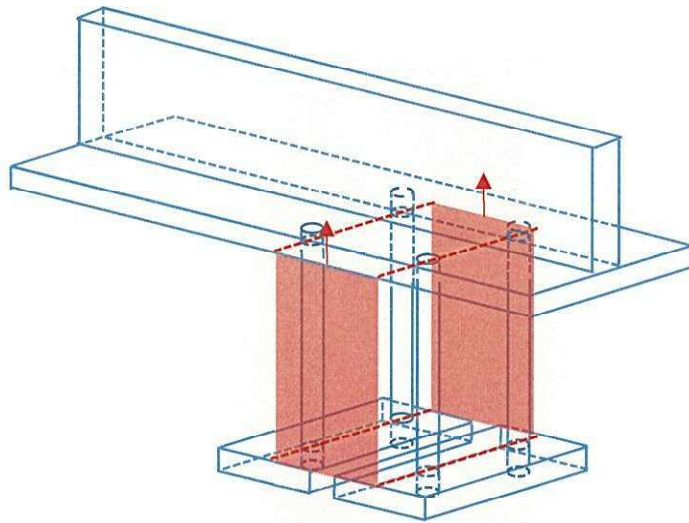


図 2-4 アンカープレートによるコンクリートのせん断応力（応力評価点 P 2）

2.3 補強リブ及びベースプレート（応力評価点 P 4 及び P 5）

(1) サプレッション・チェンバ本体及び補強リブの溶接部の応力

サプレッション・チェンバ本体及び補強リブの溶接部の引張り，せん断応力評価面と荷重方向を図 2-5 に示す。

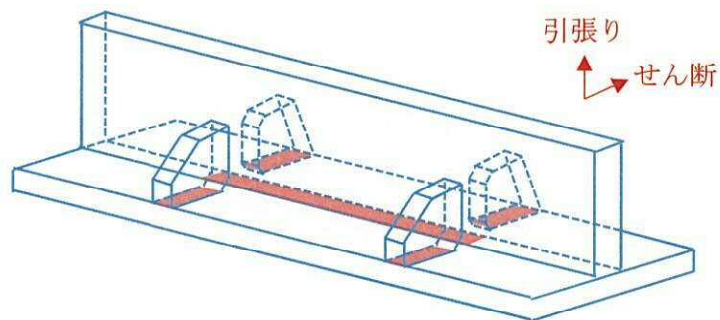


図 2-5 サプレッション・チェンバ本体及び補強リブの溶接部の応力（応力評価点 P 4 及び P 5）

(2) 補強リブ及びサプレッション・チェンバ本体の圧縮応力

補強リブ及びサプレッション・チェンバ本体の圧縮応力における評価面と荷重方向を図 2-6 に示す。

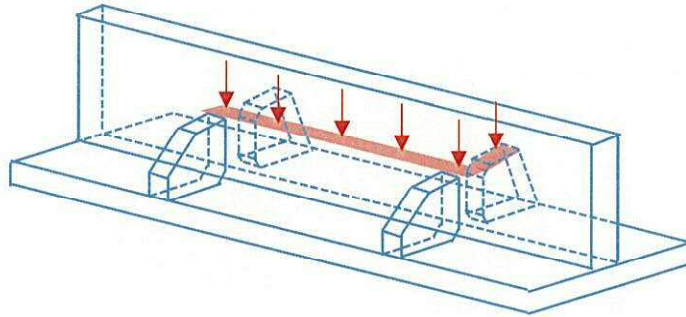


図 2-6 補強リブ及びサプレッション・チェンバ本体の圧縮応力（応力評価点 P 4）

(3) ベースプレートの曲げ応力

ベースプレートの曲げ応力の評価モデルと、拘束条件、荷重方向を図 2-7 に示す。

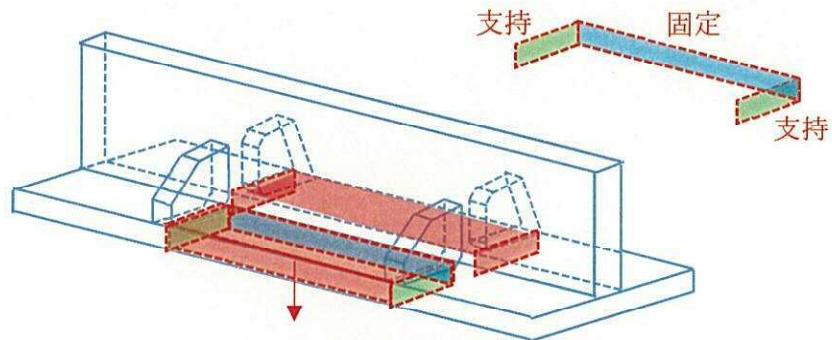


図 2-7 ベースプレートの曲げ応力（応力評価点 P 5）

2-2 コンクリートのせん断評価の考え方について

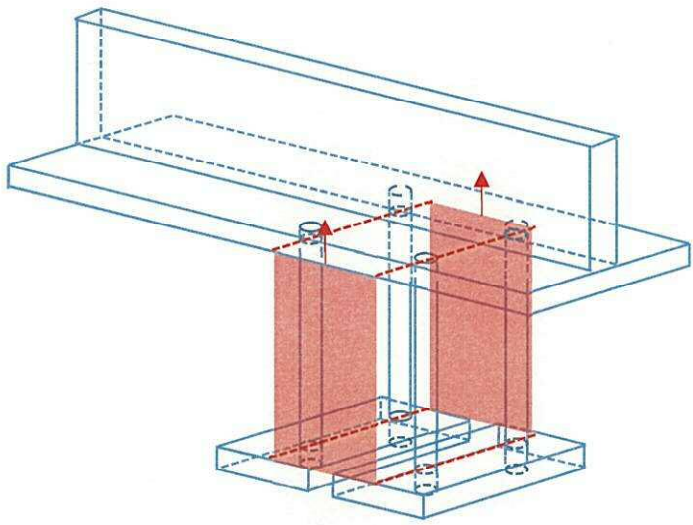
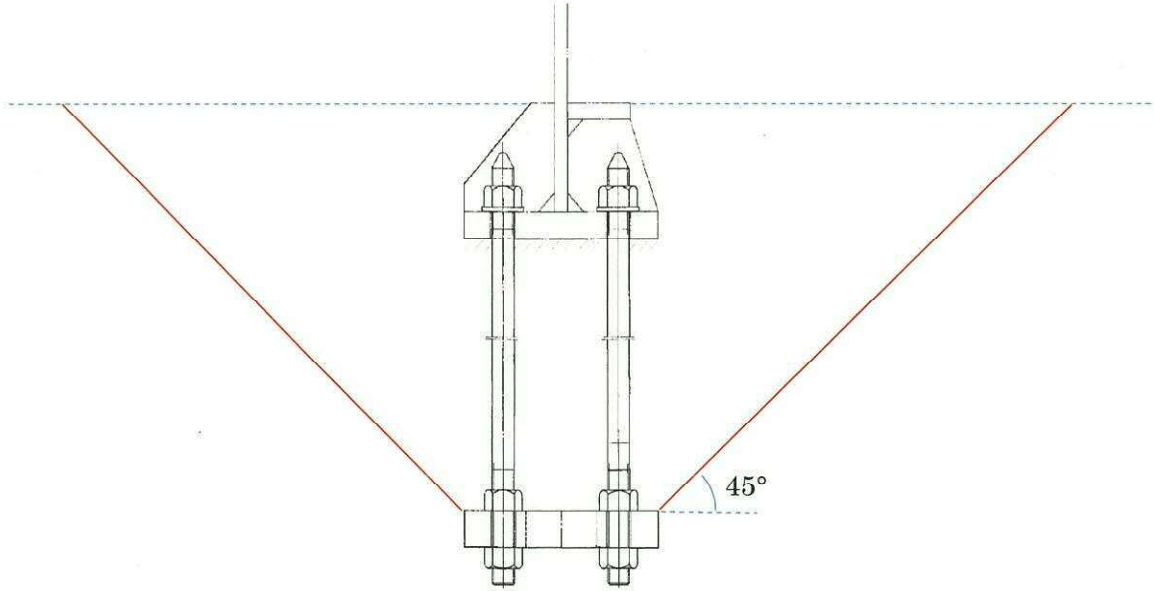
1. 概要

添付書類「V-2-9-2-5 原子炉格納容器胴アンカ部の耐震性についての計算書」に記載のコンクリート部のせん断評価については、J E A G 4 6 0 1 -1987 と同様のアンカプレートの投影断面を考慮した手法を用いている。一方で、J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版ではコーン状破壊を考慮した評価手法となっている。このため、本書では、J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版の手法での評価結果を示す。

2. J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版の手法を用いた評価結果について

表 2-1 に J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版の手法を用いたコンクリート部の評価結果を示す。J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版の評価手法を用いても許容荷重を満足することを確認した。

表 2-1 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版の手法を用いたコンクリート部の評価結果

	耐震性についての計算書に記載の方法	J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版の方法
式	<div>$\tau_c = \frac{2 \cdot w_t \cdot A_{B2}}{(l_{BPO} + l_{BPI}) \cdot l_4}$<p>$w_t$: アンカボルト最大引張応力 (MPa) τ_c : アンカプレートによるコンクリートのせん断力 (N/mm²) A_{B2} : ボルトの谷径有効断面積 (mm²) l_{BPO} : 外側ボルト間の距離 (mm) l_{BPI} : 内側ボルト間の距離 (mm) l_4 : ベースプレートとアンカプレート間の距離 (mm)</p></div>	<div>$p \leq \text{MIN}(p_{a1}, p_{a2})$$p_{a1} = 0.31 \cdot K_1 \cdot A_c \sqrt{F_c}$$p_{a2} = K_2 \cdot \alpha_c \cdot A_0 \cdot F_c$<p>$p$: 基礎ボルト 1 本当たりの引張荷重 (N) p_a : 基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容引張荷重 (N) p_{a1} : コンクリート躯体がコーン状破壊する場合の基礎ボルト 1 本当たりの許容引張荷重 (N) p_{a2} : 基礎ボルト頭部に接するコンクリート部が支圧破壊する場合の基礎ボルト 1 本当たりの許容引張荷重 (N) K_1 : コーン状破壊する場合の引張耐力の低減係数 (Ⅲ_AS=0.45, Ⅳ_AS=0.6) K_2 : 支圧破壊する場合の引張耐力の低減係数 (Ⅲ_AS=2/3, Ⅳ_AS=0.75) F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²) A_c : コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積 (mm²) α_c : 支圧面積と有効投影面積から定まる定数, $=\sqrt{A_c/A_0}$かつ 10 以下 A_0 : 支圧面積 (mm²)</p></div>
せん断面		
許容値	せん断応力 $f_s = 1.0 \text{ N/mm}^2$ (基準強度 $F_c = 22.0 \text{ N/mm}^2$ から JEAG-補-1984 に基いた許容応力算出式で算出)	Ⅲ _A S $0.31 \cdot K_1 \cdot A_c \cdot \sqrt{F_c} = 1.100 \times 10^6 \text{ N}$ ($0.31 \cdot K_1 \cdot \sqrt{F_c} = 0.31 \times 0.45 \times \sqrt{22.0} = 0.65 \text{ N/mm}^2$) Ⅳ _A S $0.31 \cdot K_1 \cdot A_c \cdot \sqrt{F_c} = 1.466 \times 10^6 \text{ N}$ ($0.31 \cdot K_1 \cdot \sqrt{F_c} = 0.31 \times 0.65 \times \sqrt{22.0} = 0.87 \text{ N/mm}^2$)
結果	Ⅲ _A S (D+P+M+S _d *) 発生値/許容値=0.2/1.0 (N/mm ²) 比 0.2 Ⅳ _A S (D+P _L +M _L +S _d *) 発生値/許容値=0.6/1.0 (N/mm ²) 比 0.6 Ⅳ _A S (D+P+M+S _s) 発生値/許容値=0.3/1.0 (N/mm ²) 比 0.3 Ⅴ _A S (D+P _{SAL} +M _{SAL} +S _d *) 発生値/許容値=0.7/1.0 (N/mm ²) 比 0.7 Ⅴ _A S (D+P _{SALL} +M _{SALL} +S _s) 発生値/許容値=0.7/1.0 (N/mm ²) 比 0.7	Ⅲ _A S (D+P+M+S _d *) 発生引張荷重/許容引張荷重=2.317×10 ⁵ /1.100×10 ⁶ 比 0.21 Ⅳ _A S (D+P _L +M _L +S _d *) 発生引張荷重/許容引張荷重=1.131×10 ⁶ /1.466×10 ⁶ 比 0.77 Ⅳ _A S (D+P+M+S _s) 発生引張荷重/許容引張荷重=5.537×10 ⁶ /1.466×10 ⁶ 比 0.38 Ⅴ _A S (D+P _{SAL} +M _{SAL} +S _d *) 発生引張荷重/許容引張荷重=1.429×10 ⁶ /1.466×10 ⁶ 比 0.97 Ⅴ _A S (D+P _{SALL} +M _{SALL} +S _s) 発生引張荷重/許容引張荷重=1.284×10 ⁶ /1.466×10 ⁶ 比 0.88

3 原子炉格納容器配管貫通部の耐震性についての計算書に係る

補足説明資料

3-1 配管貫通部の代表性について

1. 諸言

本資料は添付書類「V-2-9-2-9 原子炉格納容器配管貫通部の耐震性についての計算書」において、評価結果を記載している代表貫通部の選定方法についてまとめたものである。

2. 選定方針

配管貫通部の耐震評価における評価部位は、端板、ベローズ（伸縮式配管貫通部のみ）、原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部、及び補強板取付部がある。端板に関しては、従来、格納容器胴とスリーブとの取付部、又は補強板取付部の評価に包絡されるものと整理しており評価を省略している。そのため耐震計算書に記載する代表貫通部の選定に当たっては、端板以外の評価部位に対する代表貫通部を選定する。代表貫通部の評価結果のうち、裕度（許容値／発生値）が最も厳しい評価結果を耐震計算書に記載している。

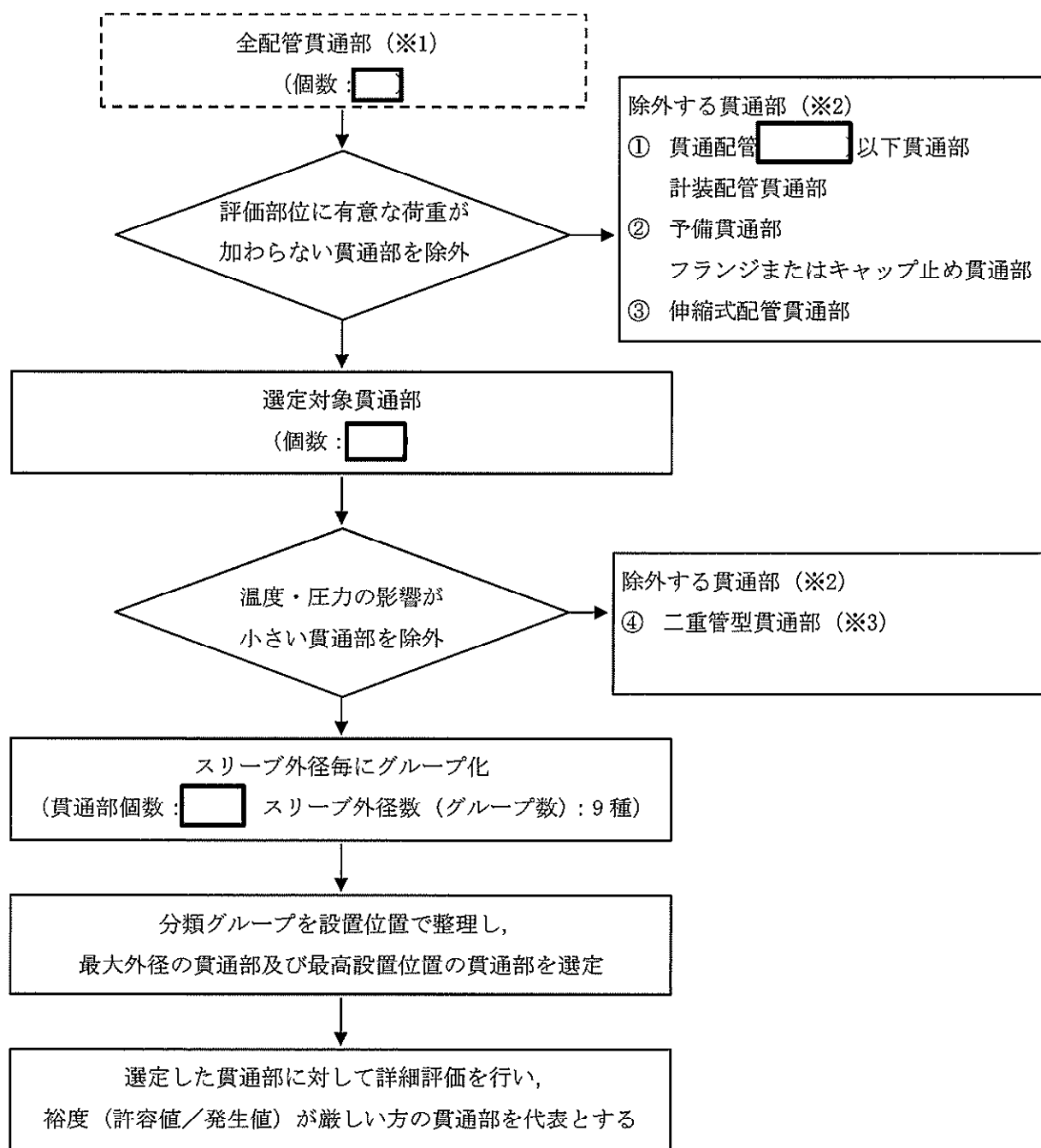
3. 代表貫通部の選定

まず、全ての配管貫通部 [] 個) から、構造や設置位置等の観点から有意な荷重が加わらないと考えられる貫通部を代表選定対象から除外する（除外理由は 4. 項参照）。残った貫通部 [] 個) に対して、系統の設計条件（温度・圧力条件）の影響が小さいと考えられる貫通部を除外する。なお、系統の温度・圧力の大きい一次系の貫通部は全てベローズ付貫通部であり、系統の設計条件（温度・圧力）は貫通部の設計条件に直接反映されない。

残った貫通部 [] 個) をスリーブ外径毎に 9 のグループ（スリーブ外径：[] mm, [] mm, [] mm, [] mm, [] mm, [] mm, [] mm, [] mm, [] mm）に分類する。9 グループに対して、最大外径であるグループを選定し、貫通部設置位置の最も高い貫通部を選定する [] 。また、代表選定対象において最高設置位置の貫通部を選定する [] 。設置位置で整理する理由は、貫通部の設置位置が高いほど地震力に対して大きな加速度が生じるためである。

選定した貫通部に対して詳細評価（一次応力評価）を行い、裕度（許容値／発生値）が最も厳しい貫通部を代表貫通部とする。

具体的な選定フローを図 1 に示す。また、代表貫通部の諸元を表 1、評価結果を表 2 に示す。



※1: 機器搬入口及びエアロック除く ※2: 除外理由は4項参照 ※3: 同径に直結型がある場合

図1 代表貫通部選定フロー

表 1 代表貫通部諸元

貫通部 番号	配管名称	スリーブ主要寸法 (mm)			材料	設置 位置 EL (m)	選定理由
		外径	長さ	厚さ			
<input type="text"/>	高压炉心スブ レイ系ポンプ 吸込	<input type="text"/>	—*	<input type="text"/>	GSTPL 相当 <input type="text"/>	<input type="text"/>	最大外径
<input type="text"/>	不活性ガス系	<input type="text"/>	—*	<input type="text"/>	GSTPL 相当 <input type="text"/>	<input type="text"/>	最高設置 位置

注記 *：直結型の貫通部であるため、スリーブ長さは定義されない。

表 2 代表貫通部の評価結果

貫通部 番号	評価部位	応力分類	発生値	許容値	裕度	備考*			
			MPa	MPa					
<div></div>	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部	膜応力＋曲げ応力				①			
	補強板取付部	膜応力＋曲げ応力				②			
<div></div>	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部	膜応力＋曲げ応力							②
	補強板取付部	膜応力＋曲げ応力							②

注記 *：① $D+P_{SA(LL)}+M_{SA(LL)}+S_s$ / ② $D+P_{SA(L)}+M_{SA(L)}+S_d$ における結果を示す。

4. 除外する貫通部及び部位の除外理由

代表選定対象から除外する貫通部の除外理由を下記に示す。

① 貫通配管 [] 以下の貫通部、計装配管貫通部

小口径配管からの荷重は大口径配管の荷重と比較して相対的に小さくなる。また、計装配管は大口径の貫通部であっても小口径の配管の集合であり、相対変位により発生する貫通部への荷重は有意でないと考えられる。

② 予備貫通部及びフランジまたはキャップ止め貫通部

予備貫通部、フランジ又はキャップ止め貫通部については接続配管がないこと、及び重量物を取り付く構造でないことから、貫通部に有意な配管反力が生じないため評価対象外とする。

③ 伸縮式配管貫通部

ベローズにより、系統の設計条件（温度・圧力）による変位、建屋間相対変位及び地震による変位が吸収されるため、配管から作用する荷重は固定式に比べ小さくなる。今回の評価においては、評価結果が最も厳しい部位となったスリーブ取付部を代表として、耐震計算書に記載することとしており、伸縮式配管貫通部のベローズについては、別手法にて健全性の確認を行った（評価結果については、添付書類「V-3-9-1-4-2 原子炉格納容器貫通部ベローズの強度計算書」参照）。

④ 二重管型貫通部（同径に直結型がある場合）

二重管型貫通部については、スリーブ外径が等しい直結型貫通部に比べ配管内の流体による温度・圧力の影響が小さくなるため同径に直結型貫通部がある場合は評価対象外とする。

5. 耐震計算書に記載する評価結果について

表2の結果から、[] を評価貫通部に選定する。なお、[] と同一口径の貫通部として [] [] があり、これらの設置位置は [] と比較して標高が若干低いものの、[] とほぼ同一の標高である。このため、これらの貫通部の中から既工認で評価している貫通部 [] を代表貫通部に追加で選定する。

以上の選定結果に基づき、貫通部番号 [] の貫通部スリーブ取付部の評価結果を添付書類「V-2-9-2-9 原子炉格納容器配管貫通部の耐震性についての計算書」に記載している。なお、配管貫通部の設計手法及び抽出した貫通部のうち代表貫通部以外の健全性について、添付書類に補足を示す。

6. 添付書類

(1) 配管貫通部の設計手法について

(2) 配管貫通部の耐震評価における代表貫通部以外の健全性について

配管貫通部の設計手法について

1. 概要

本資料は、資料「配管貫通部の代表性について」の補足として、配管貫通部の設計手法についてまとめるとともに、代表貫通部の選定における接続配管の反力の扱いを示すものである。

2. 配管貫通部の評価手法

原子炉格納容器の配管貫通部の設計においては、J E A G 4 6 0 1－1987 6.6.2 項(3)に記載のある貫通部の強度評価の考え方にに基づき、許容荷重設定法(図-1 参照)を用いて配管貫通部の設計荷重を許容荷重領域として定め、この領域内に配管の地震荷重が収まるように配管のルート及びサポート設計を行う手法を従来から採用している。

これは、原子炉格納容器の設計時点で、多数ある接続配管のルート及びサポートの詳細設計が完了しておらず、個々の配管の地震応答解析結果を揃えることが出来ないこと、また、それらすべてを配管貫通部の入力地震荷重として考慮するのが現実的に困難なためである。

建設時工認における配管貫通部の耐震評価では、口径や設置位置等の観点から配管系の反力により評価上厳しくなると予想される貫通部を代表に選出し、優先的に当該貫通部に接続される配管の詳細設計（サポート設計含む）及び耐震解析を行った上で、得られた配管の地震荷重に基づく貫通部の評価結果を代表的に記載するものとしている。

その他の配管貫通部については、前述した許容荷重設定法に基づき、配管側の地震荷重が許容荷重領域内に収まるよう設計を行うことで、貫通部側の健全性を確保している。なお、設計段階で配管側の地震荷重が許容荷重領域に収まりきらないことが確認される場合は、配管ルートまたはサポートの再設計を行うか、貫通部側の詳細評価を追加で行うことで健全性を確保している。

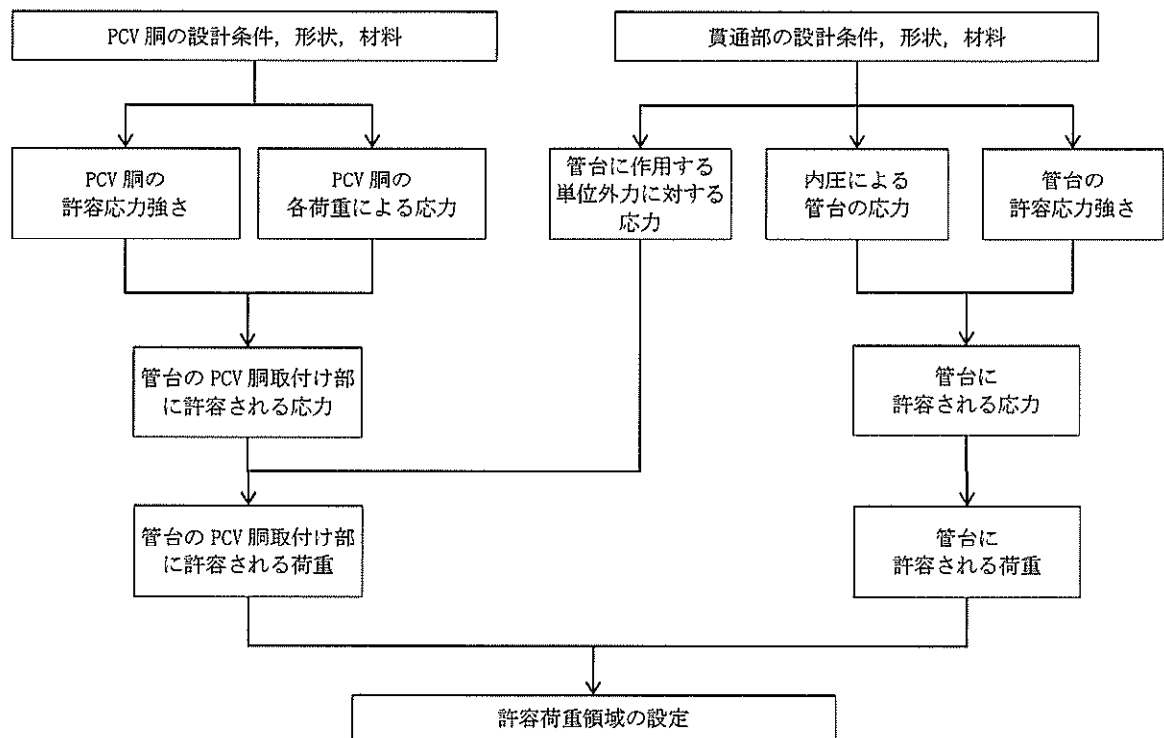
3. 補正工認の評価手法

建設時と同様に代表貫通部の選定を行い、工認の耐震計算書を作成した。

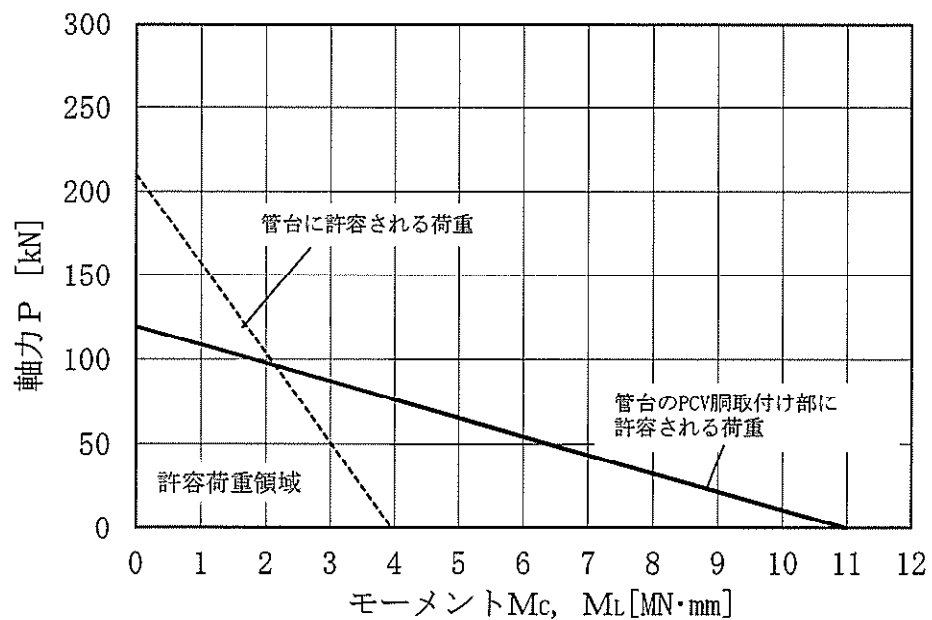
また、その他の貫通部については、前述の許容荷重設定法（必要に応じて貫通部側の追加の詳細評価を実施）により健全性を確認している。

4. 補正工認の代表貫通部の選定における接続配管の反力の扱い

以上の背景から、本補正工認の配管貫通部の代表選定においては、代表選出段階で接続配管の反力が全て揃わないため、反力の値を検討項目としていない。そのため、接続配管の反力が大きくなる傾向にある口径及び設置高さを検討項目としている。



(a) 許容荷重設定フロー



(b) 許容荷重領域の例

図-1 許容荷重設定法

配管貫通部の耐震評価における代表貫通部以外の健全性について

1. 概要

本資料は、配管貫通部の耐震評価において、代表貫通部以外の貫通部の健全性について説明するものである。

2. 許容荷重領域による評価

代表貫通部以外の貫通部の健全性の確認として、各貫通部の許容荷重領域を算出し、各貫通部の配管反力が許容荷重領域内となっていることを確認する。

配管貫通部の許容荷重領域は、系統配管から貫通部に加わる配管反力の許容領域であり、貫通部軸方向 P、貫通部軸直角鉛直方向M_L及び貫通部軸直角水平方向M_Cの荷重について、以下の式（1）の考え方に基づき算出される。

配管反力による応力 ≤ 許容値－原子炉格納容器に作用する荷重による応力・・・（1）

許容荷重領域で確認する対象貫通部及び評価結果を表 1，図 1 ～ 図 26 に示す。

なお、各貫通部の仕様については別表「配管貫通部一覧」に示す。

表 1 対象貫通部（その 1）

貫通部番号	許容荷重領域評価	
	一次応力	一次＋二次応力
	○	×
	○	×
	○	×
	○	×
	○	×
	○	×
	○	×
	○	×
	○	×
	○	×
	○	×
	○	×
	○	×
	○	×
	○	×

表 1 対象貫通部（その 2）

貫通部番号	許容荷重領域評価	
	一次応力	一次＋二次応力
	○	○
	○	○
	○	○
	○	×
	○	×
	○	○
	○	○
	○	○
	○	○
	○	○
	○	○
	○	×
	○	○

3. 詳細評価

代表貫通部及び 2 項の許容荷重領域による評価において領域外となった貫通部においては、別途詳細評価（応力評価及び簡易弾塑性解析）を実施し、健全性を確認する。詳細評価による確認結果を表 2 に示す。また、簡易弾塑性解析による確認結果を表 3 に示す。

表 2 詳細評価による確認結果

貫通部番号	評価部位	応力分類	IV _A S		判定	備考
			発生値	許容値		
			MPa	MPa		
			348	393	○	代表貫通部
			346	393	○	代表貫通部
			554	393	×	代表貫通部（候補）
			378	393	○	
			356	393	○	
			350	393	○	
			420	393	×	
			388	393	○	
			278	393	○	
			586	393	×	
			546	393	×	
			712	393	×	
			494	393	×	
			300	393	○	
			504	393	×	
			320	393	○	
			320	393	○	
			326	393	○	
			212	393	○	

原子炉格納容器胴と
補強版との結合部

一次＋二次応力強さ

表 3 許容応力状態Ⅳ A S に対する疲労評価結果 (D + P + M + S_s)

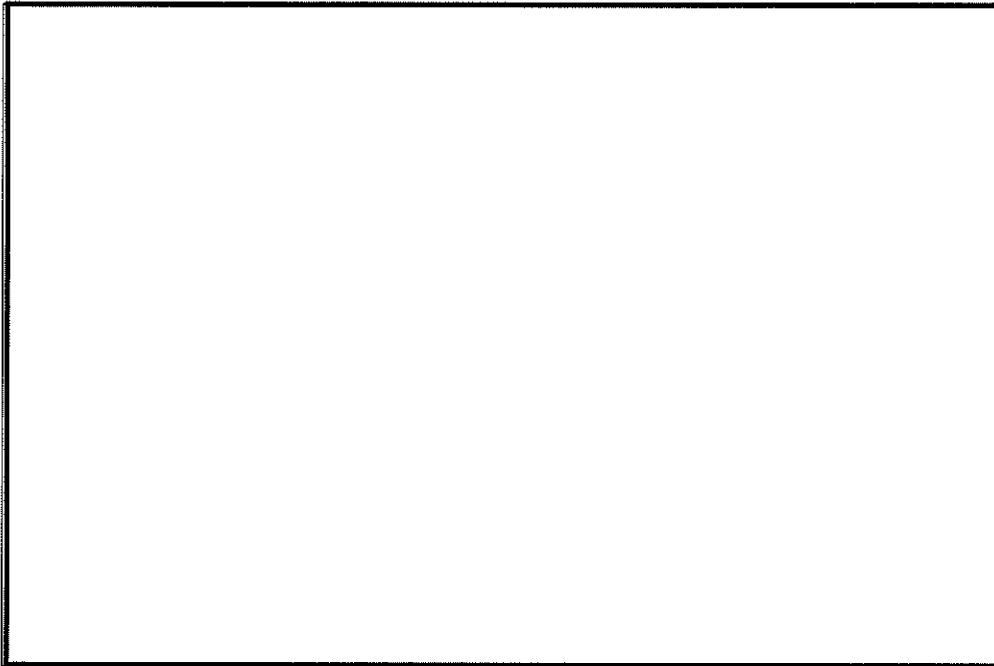
貫通部番号	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _e (MPa)	S _e ' (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a	備考
	554							0.211	代表貫通部 (候補)
	420							0.033	
	586							0.286	
	546							0.170	
	712							0.552	
	494							0.094	
	504							0.104	

- K_e : 弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数
S_p : 地震荷重のみにおける一次＋二次＋ピーク応力の応力差範囲
S_e : 繰返しピーク応力強さ
S_e' : 補正繰返しピーク応力強さ*
N_a : 許容繰り返し回数
N_c : 等価繰り返し回数
E_o : 縦弾性係数
E : 運転温度の縦弾性係数

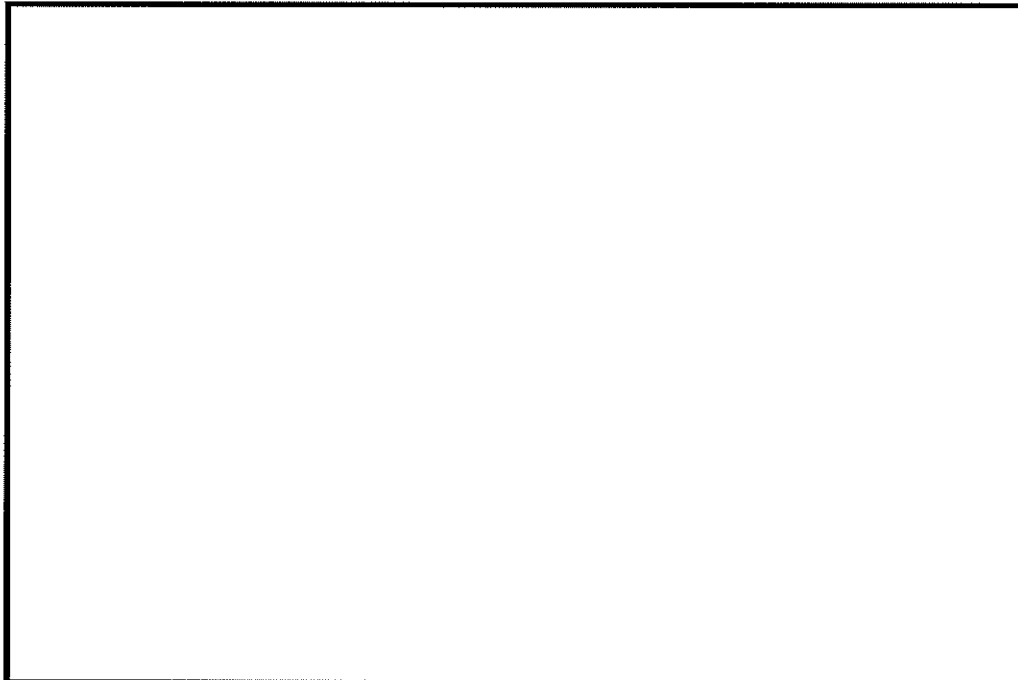
注記 * : S_eに (E_o/E) を乗じた値である
E_o = MPa E = MPa

4. 結論

2 項の許容荷重領域による評価及び 3 項の詳細評価により，代表貫通部同様に代表貫通部以外の貫通部について耐震性を有することを確認した。

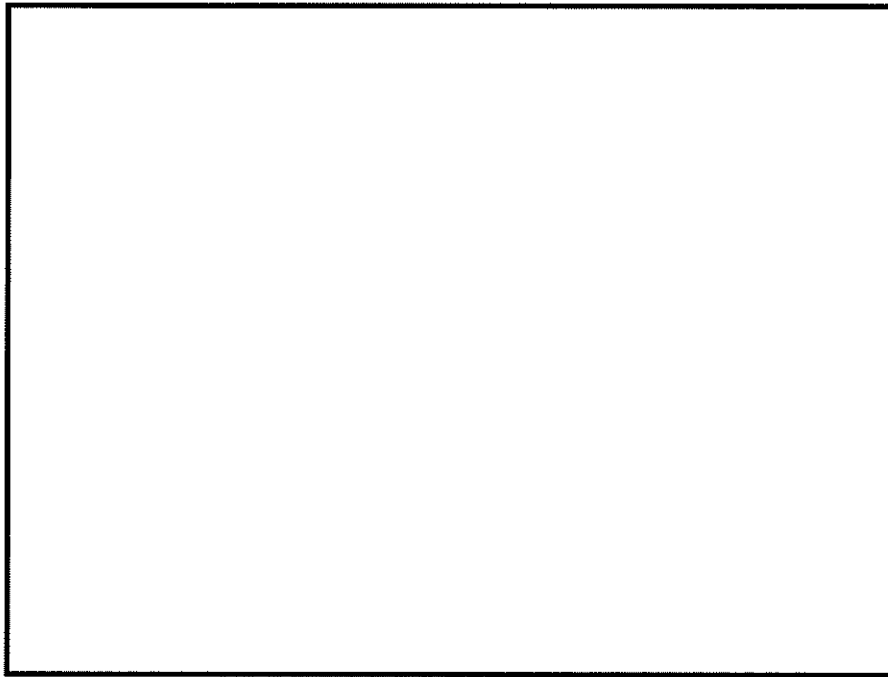


上図：一次応力に対する許容荷重領域

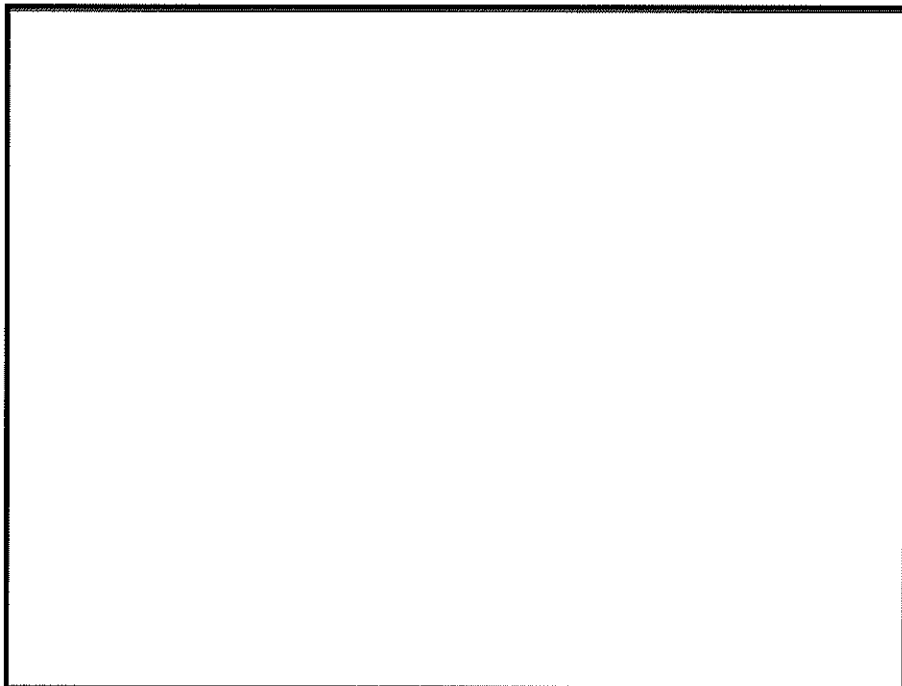


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 1 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No （その 1：縦軸 P－横軸 M_c ）

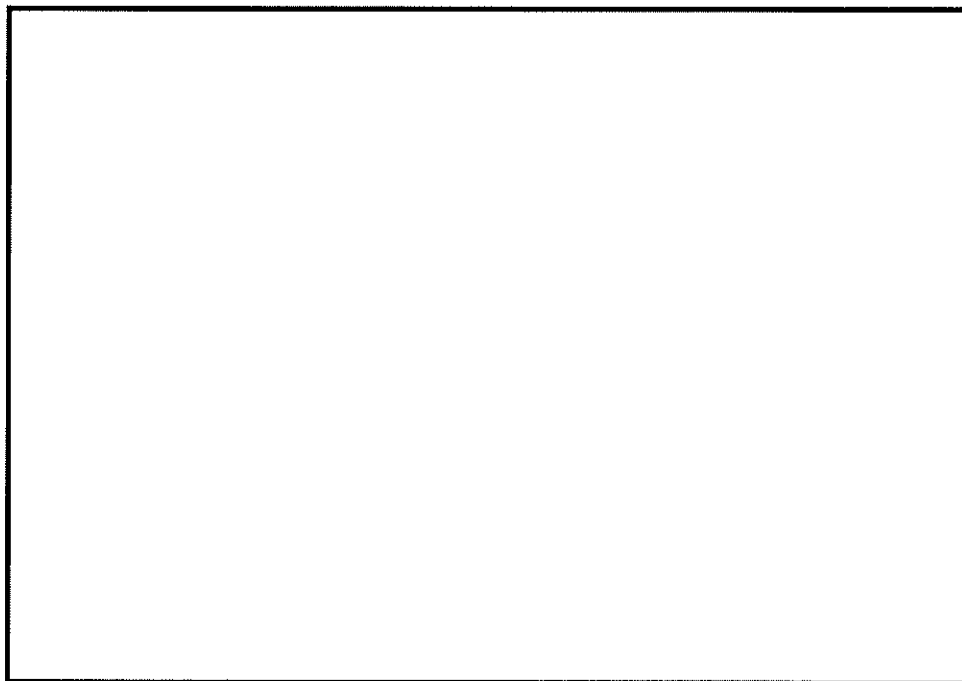


上図：一次応力に対する許容荷重領域

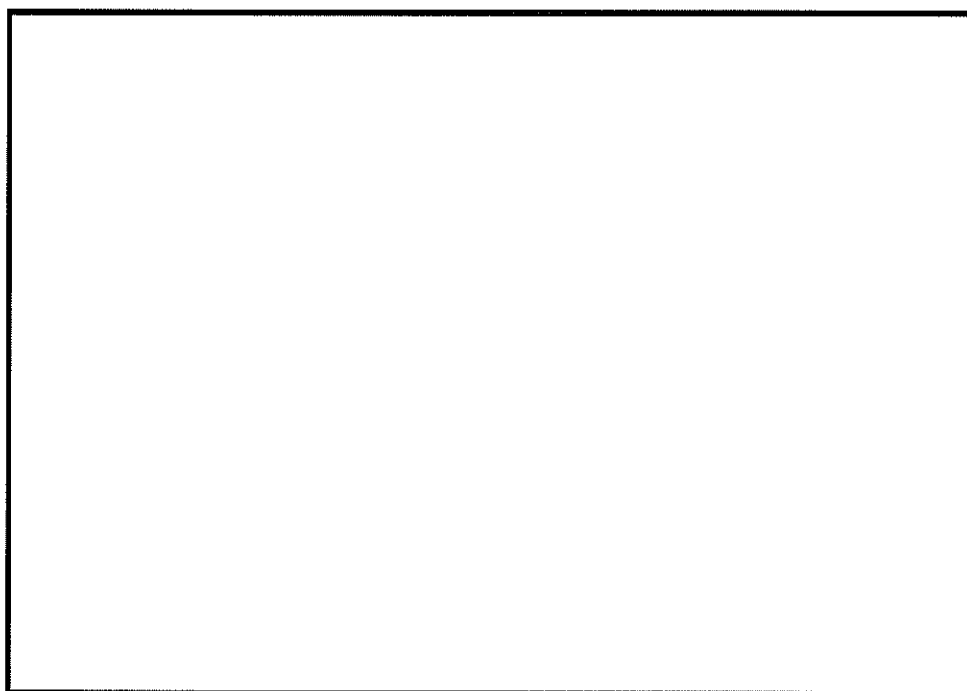


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 1 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No （その 2：縦軸 P－横軸 M_L ）

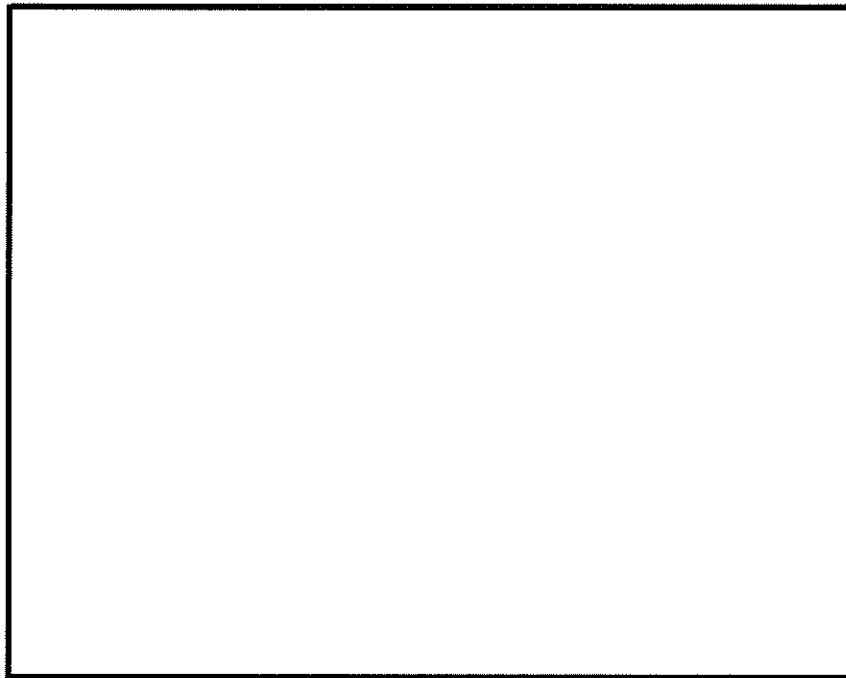


上図：一次応力に対する許容荷重領域

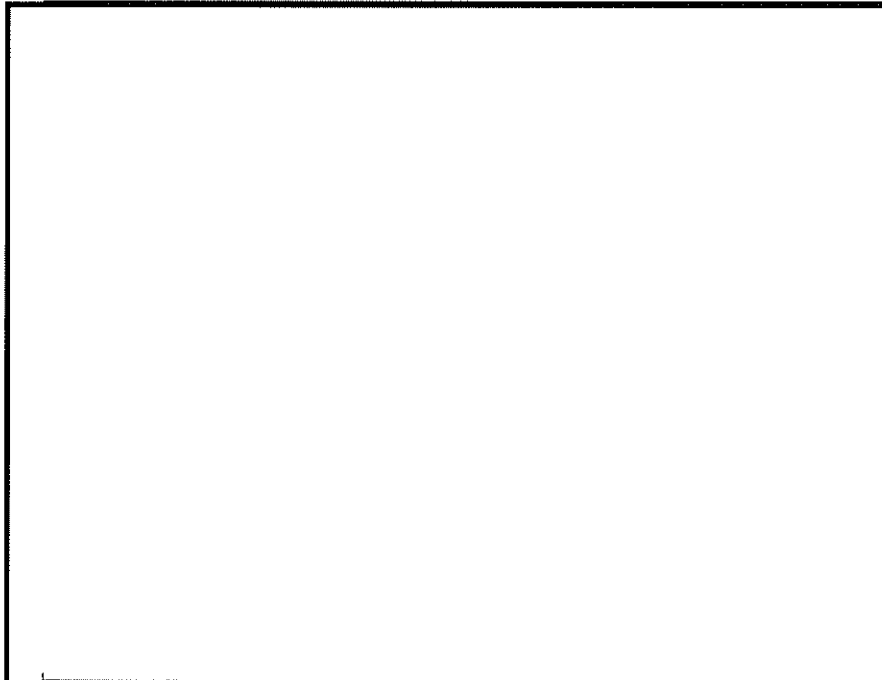


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 2 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その 1：縦軸 P－横軸 M_c ）

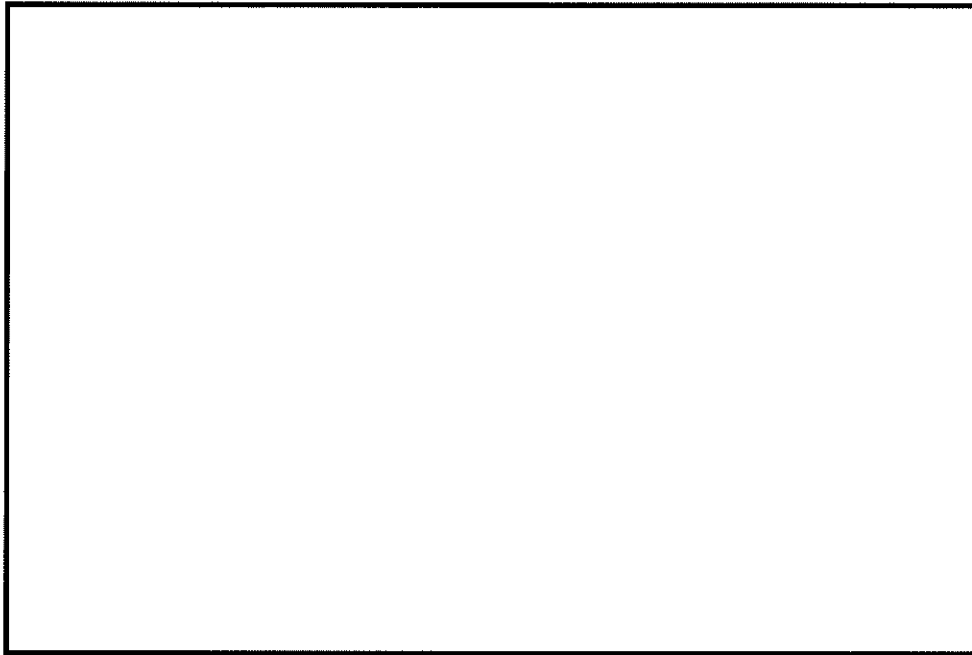


上図：一次応力に対する許容荷重領域

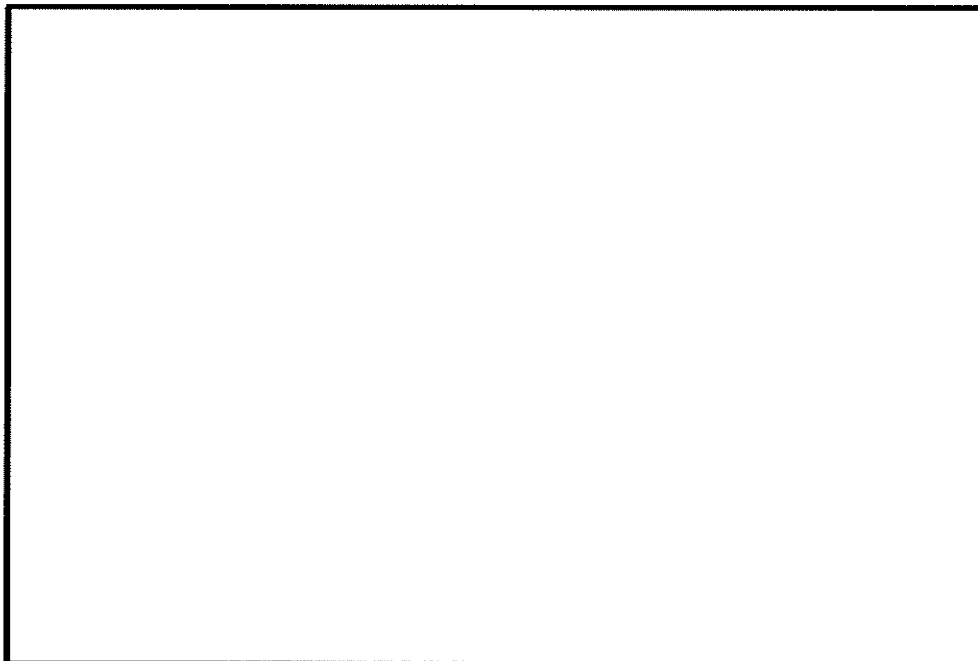


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 2 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No （その 2：縦軸 P－横軸 M_L ）

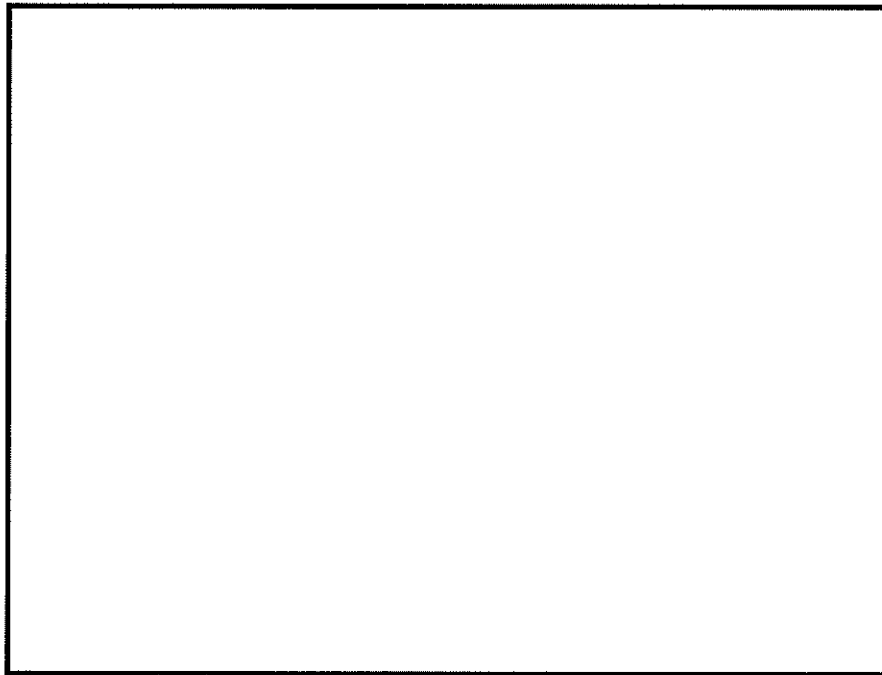


上図：一次応力に対する許容荷重領域

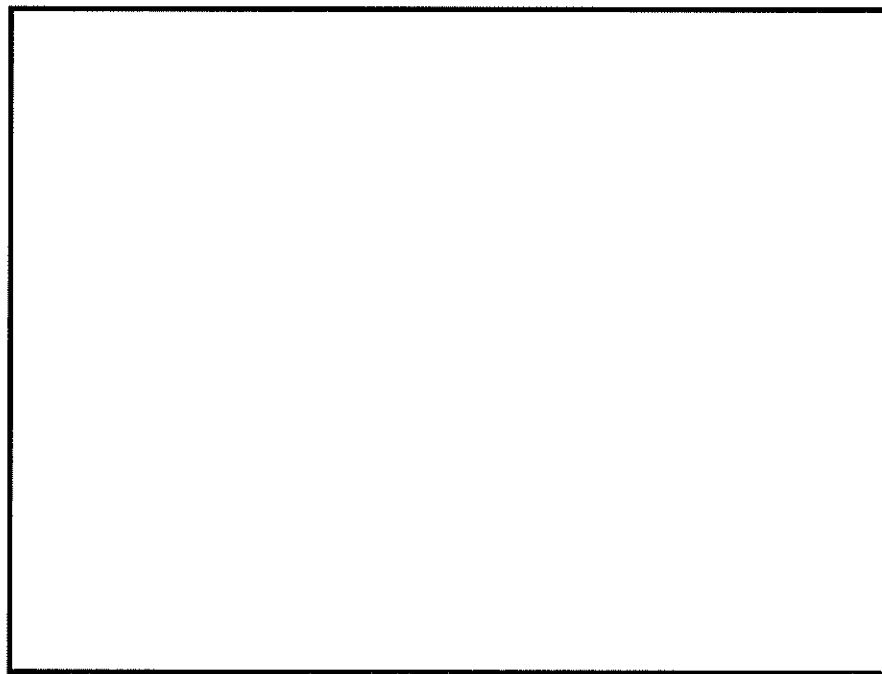


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図3 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その1：縦軸P－横軸 M_c ）

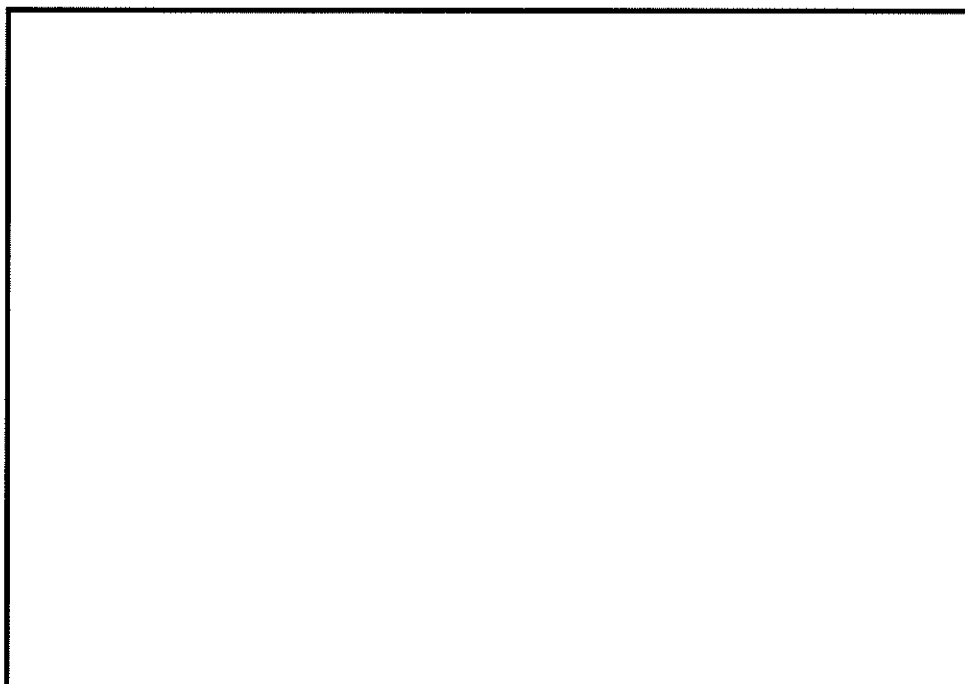


上図：一次応力に対する許容荷重領域

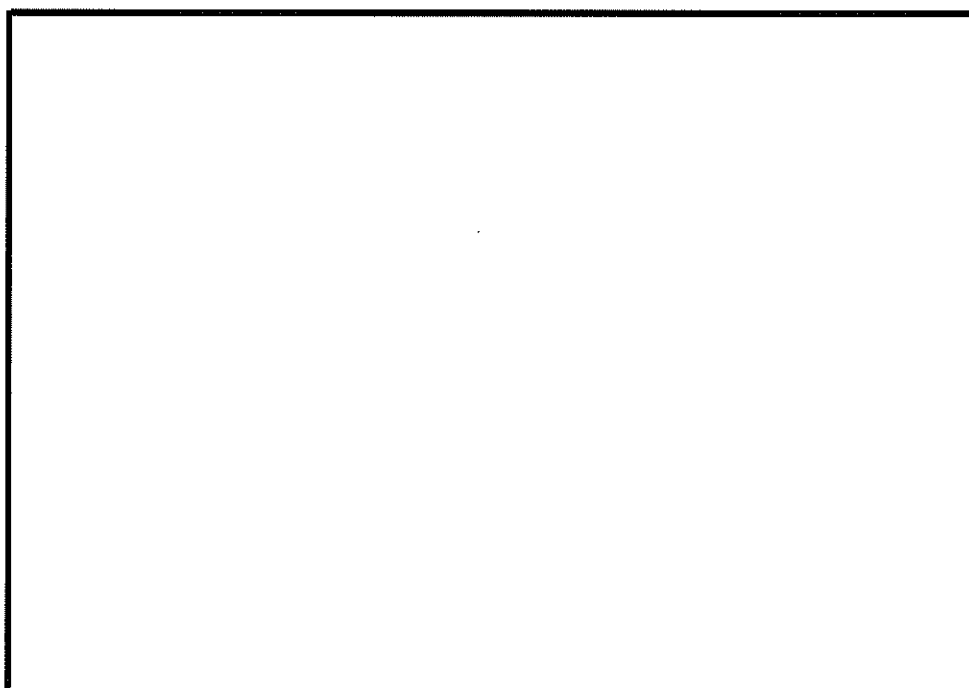


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図3 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No （その2：縦軸P－横軸 M_L ）

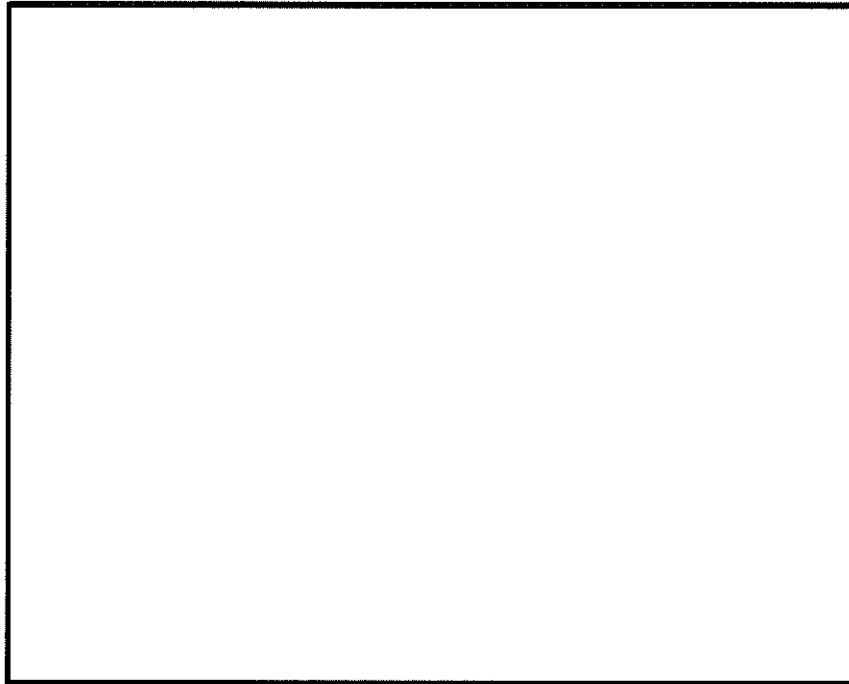


上図：一次応力に対する許容荷重領域

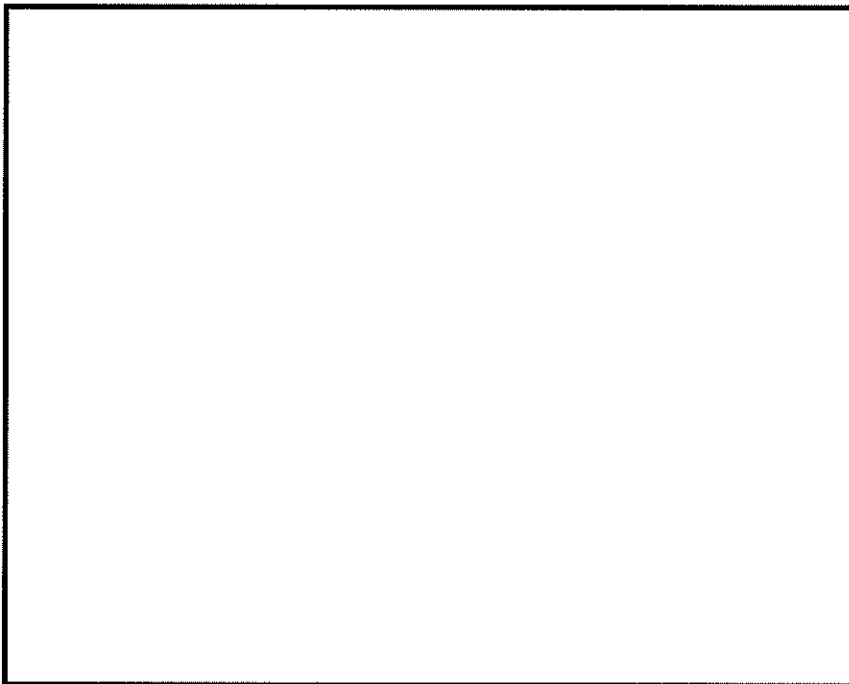


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 4 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No （その 1：縦軸 P－横軸 M_c ）

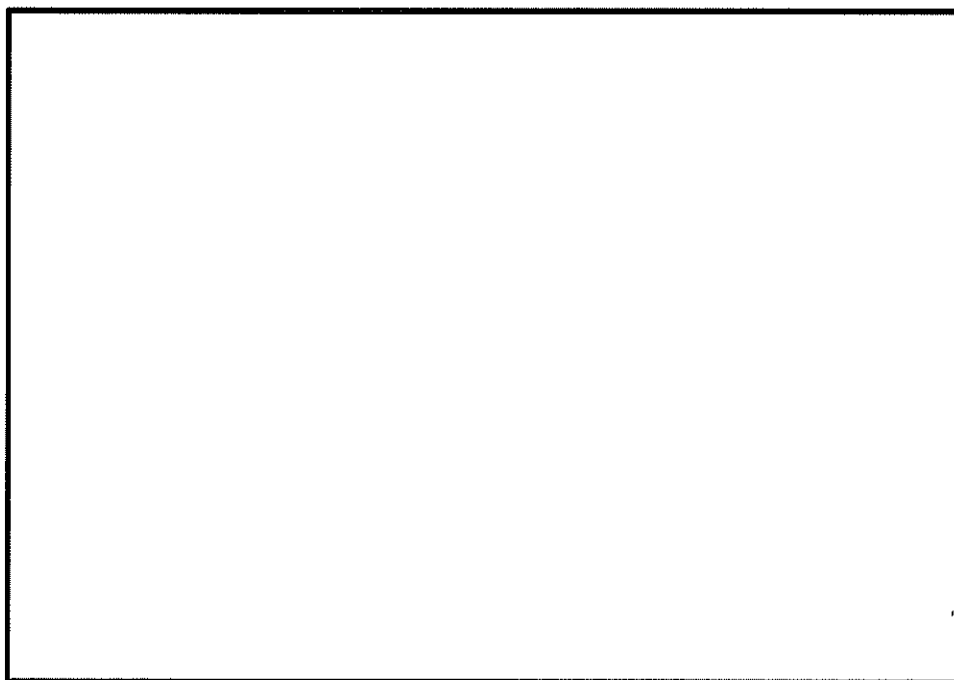


上図：一次応力に対する許容荷重領域

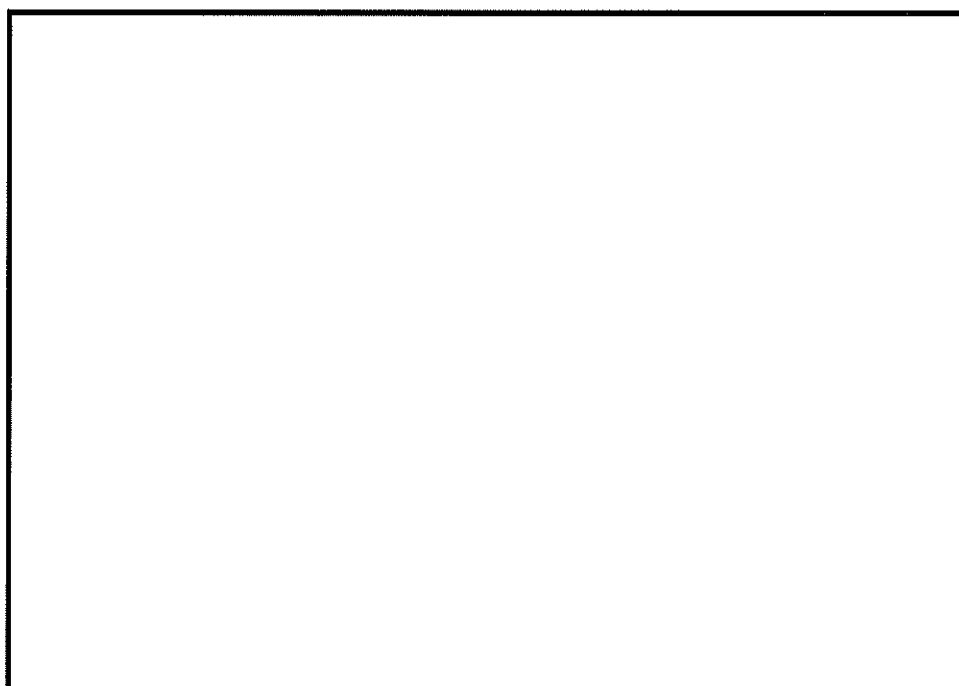


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 4 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その 2：縦軸 P－横軸 M_L ）

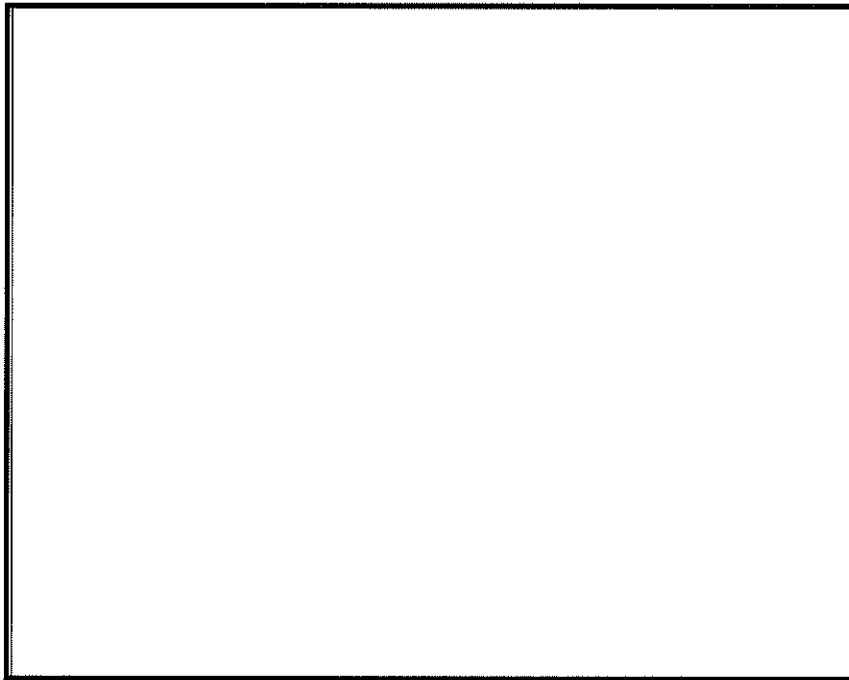


上図：一次応力に対する許容荷重領域

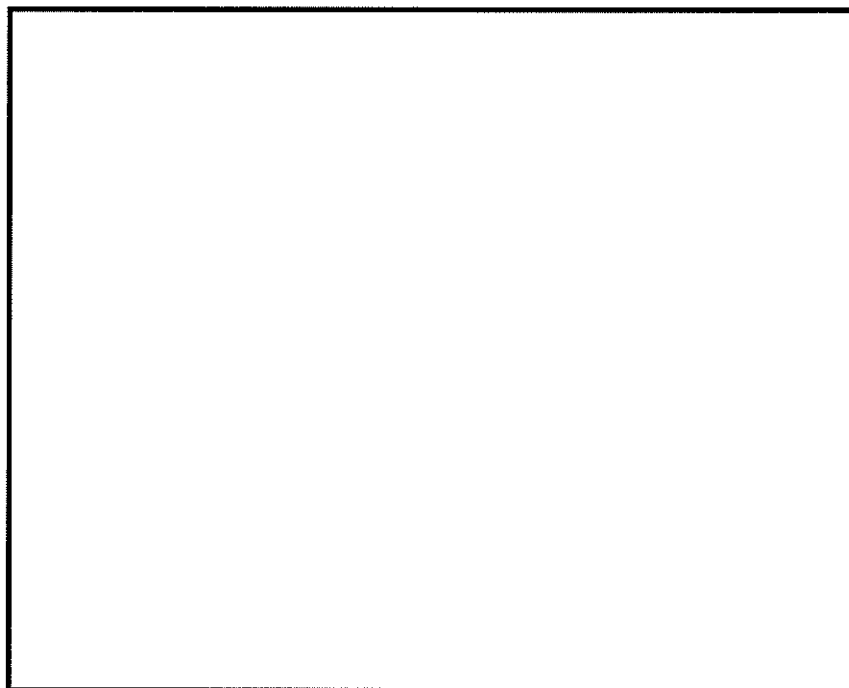


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図5 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その1：縦軸P－横軸 M_c ）

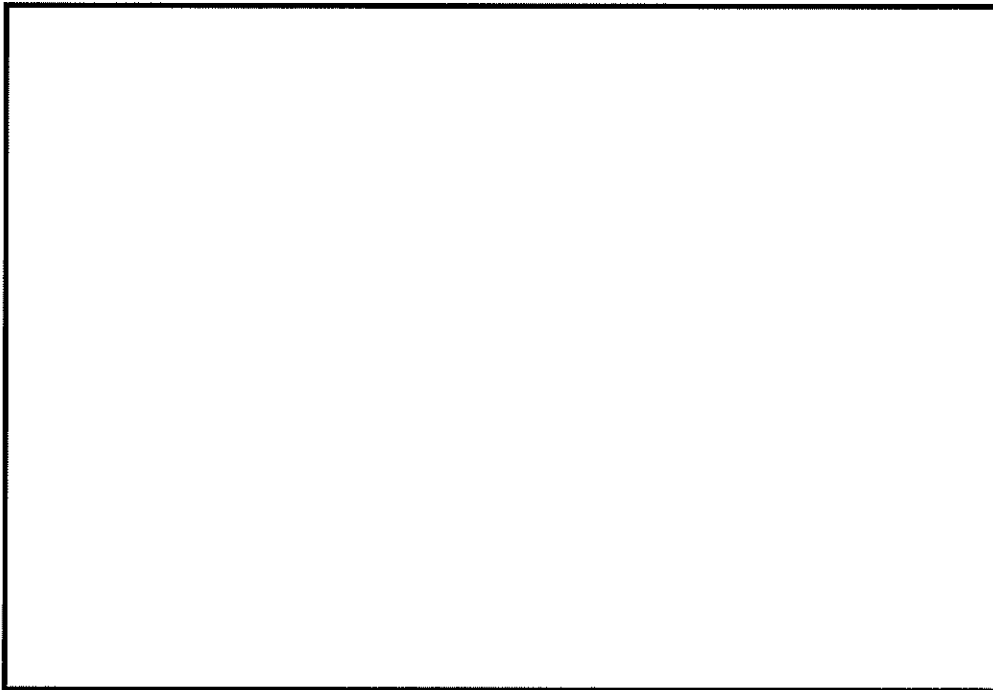


上図：一次応力に対する許容荷重領域

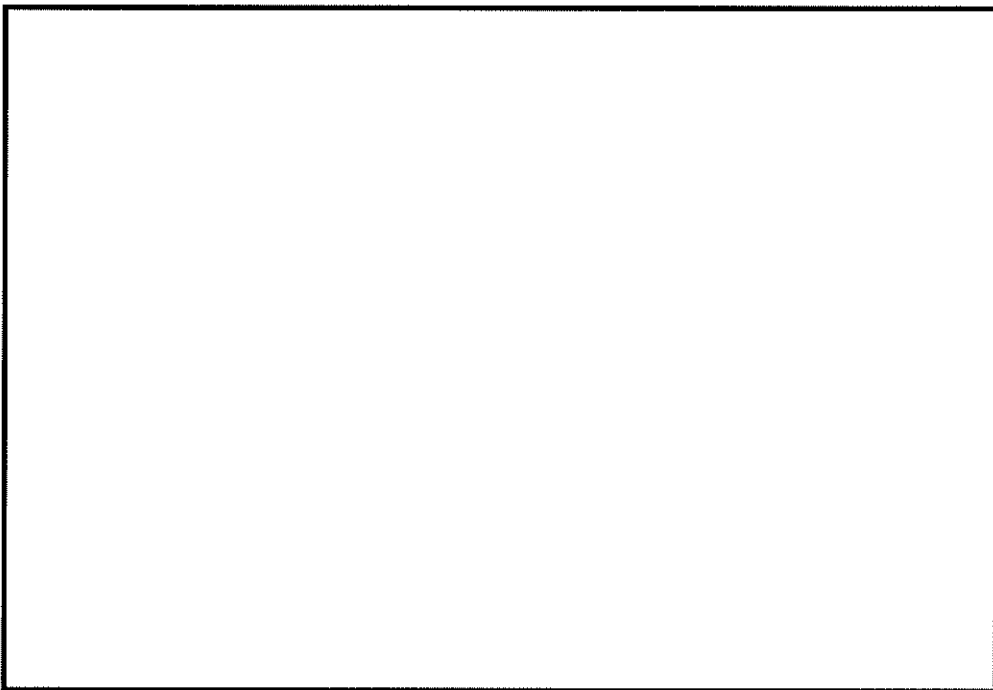


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図5 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その2：縦軸P－横軸 M_L ）

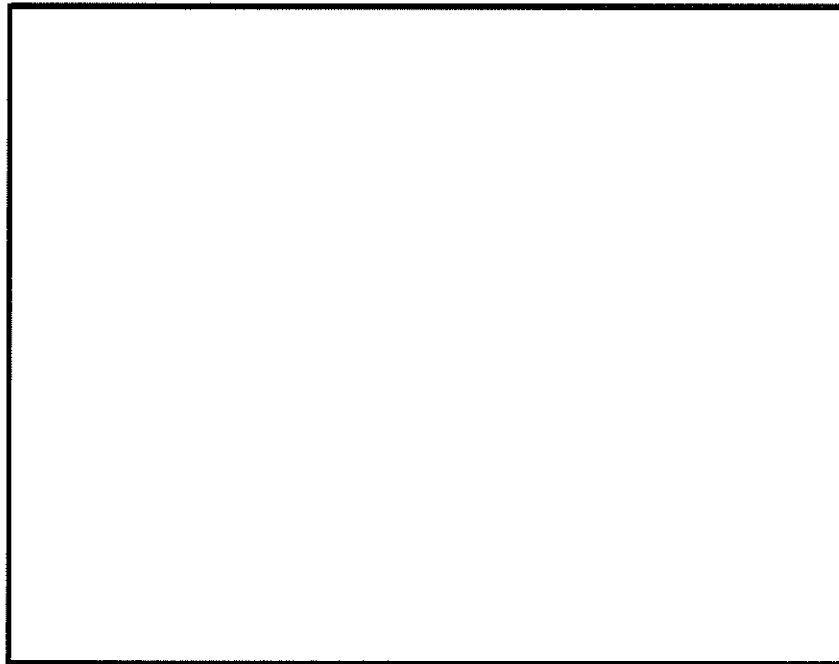


上図：一次応力に対する許容荷重領域

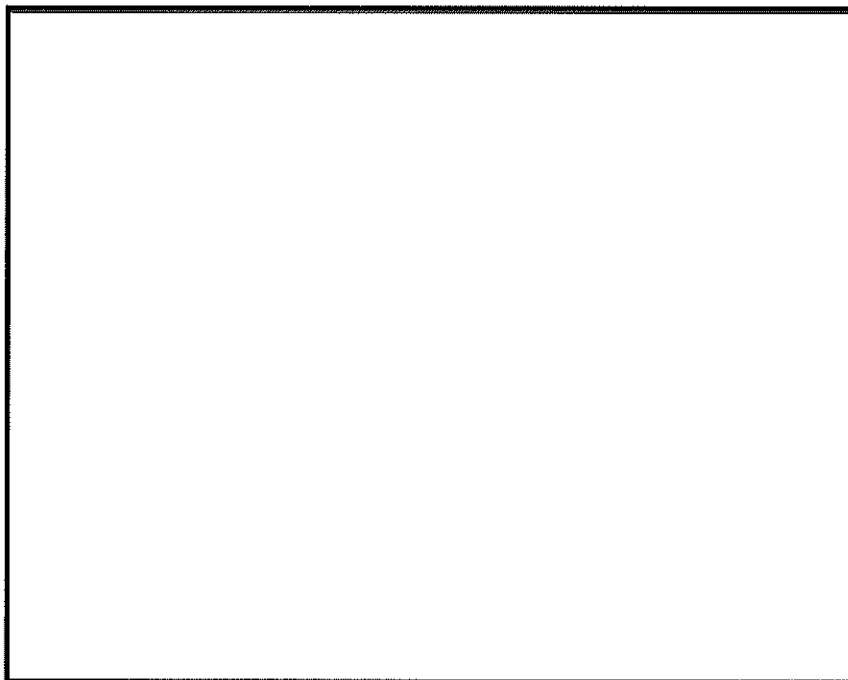


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 6 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No （その 1：縦軸 P－横軸 M_c ）

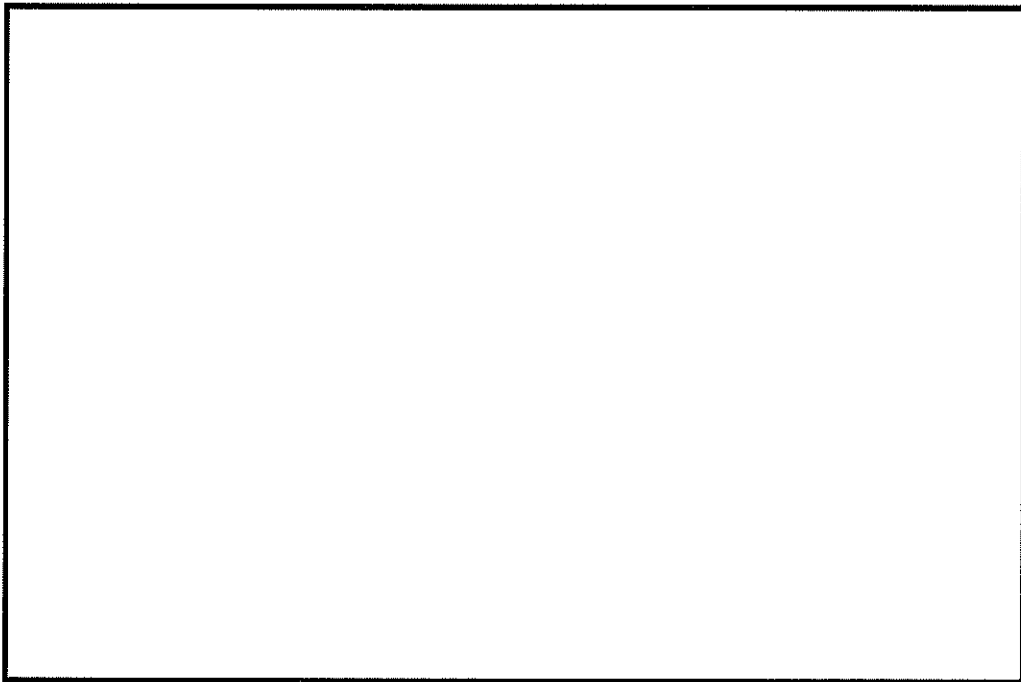


上図：一次応力に対する許容荷重領域

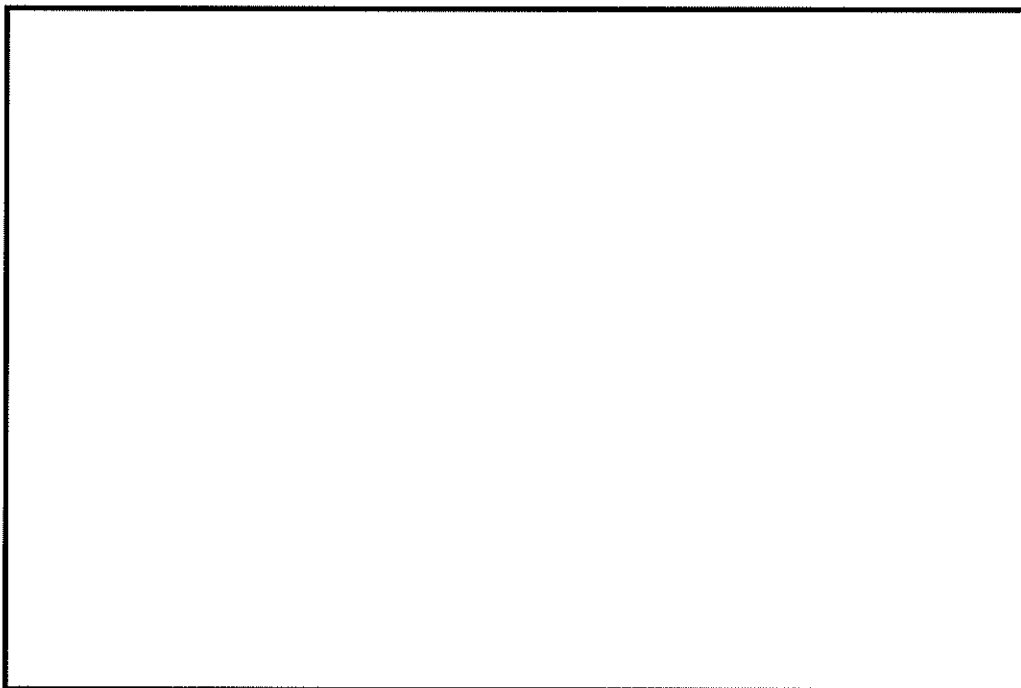


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 6 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その 2：縦軸 P－横軸 M_L ）

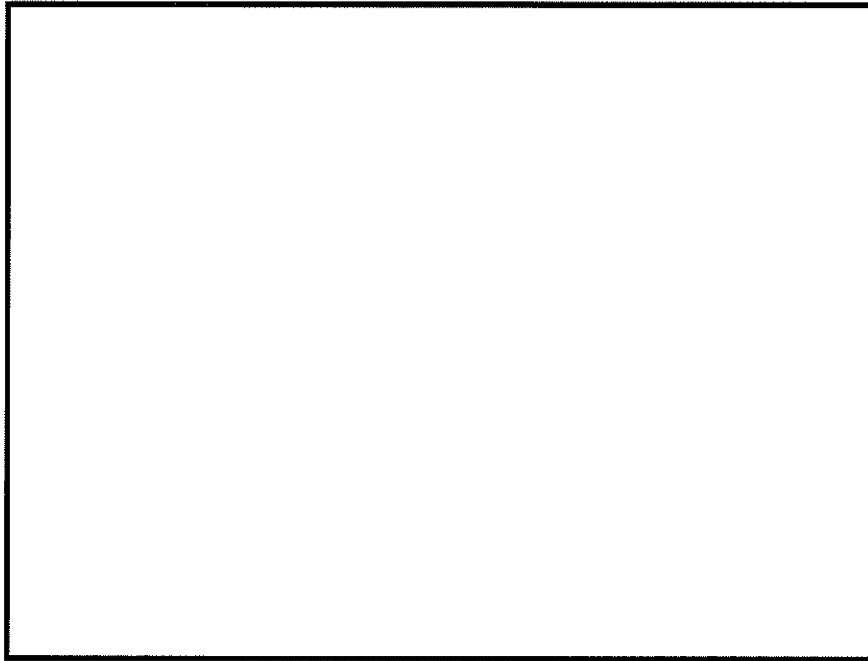


上図：一次応力に対する許容荷重領域

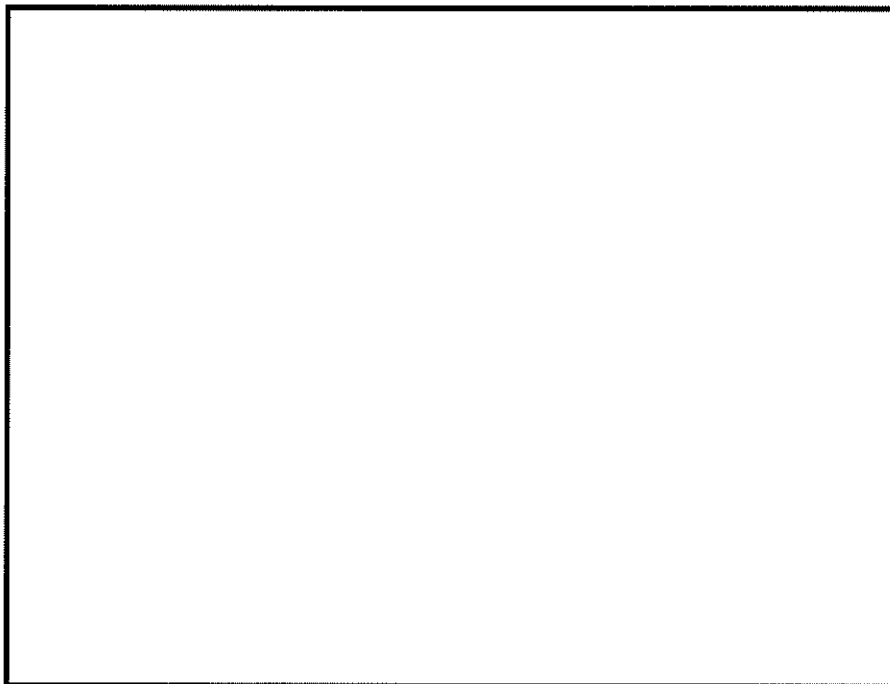


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 7 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その 1：縦軸 P－横軸 M_C ）

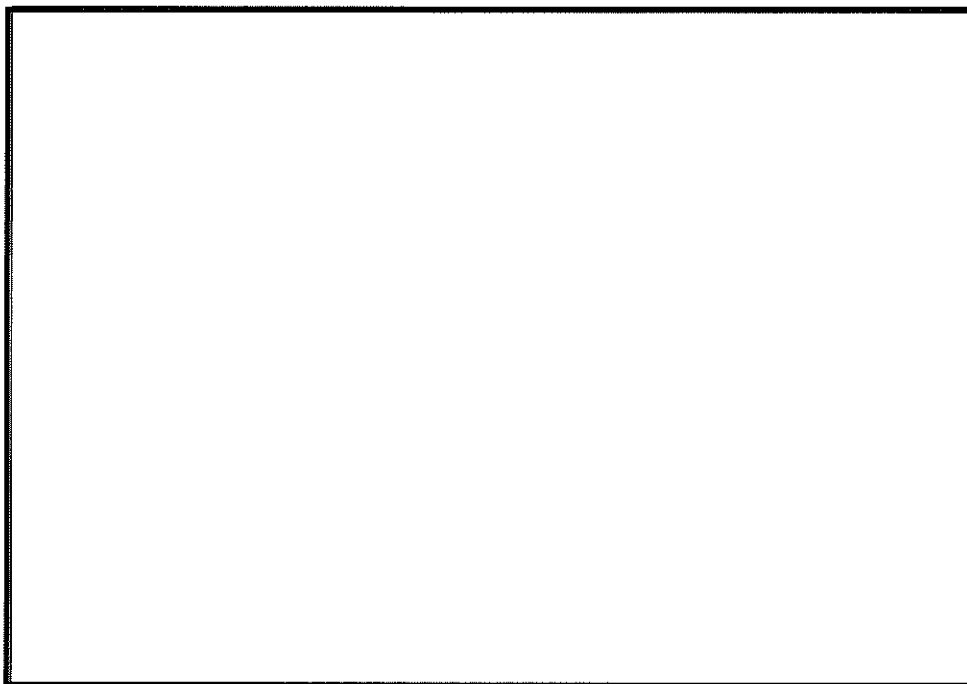


上図：一次応力に対する許容荷重領域

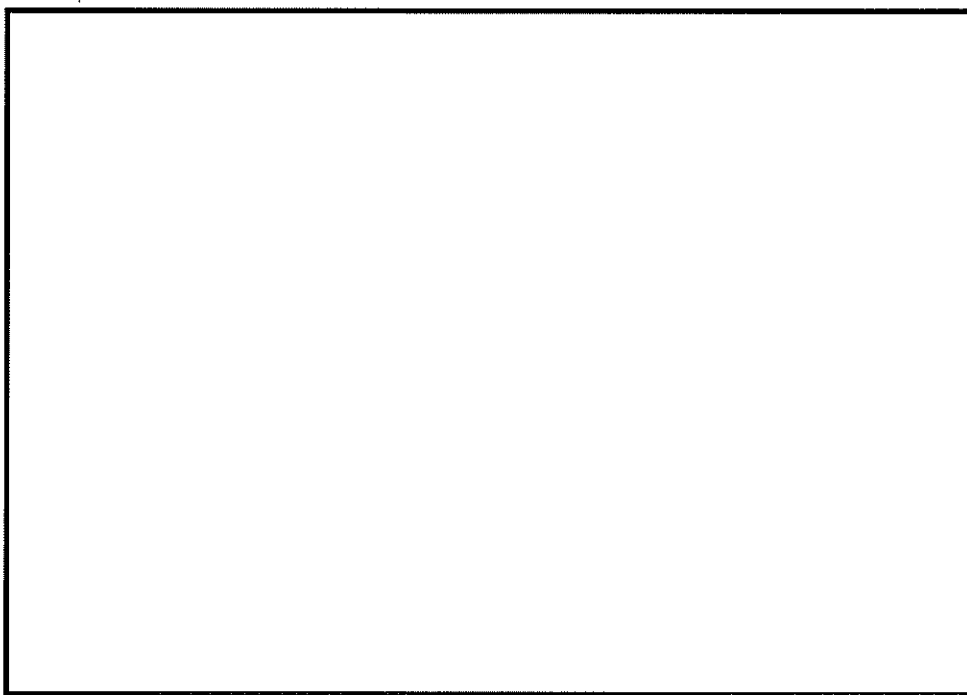


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 7 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その 2：縦軸 P－横軸 M_L ）

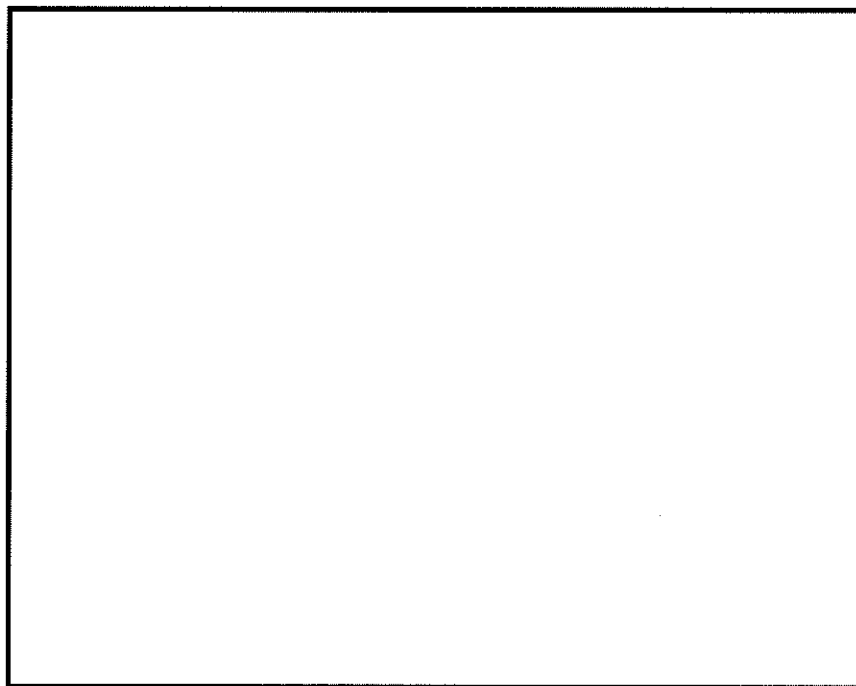


上図：一次応力に対する許容荷重領域

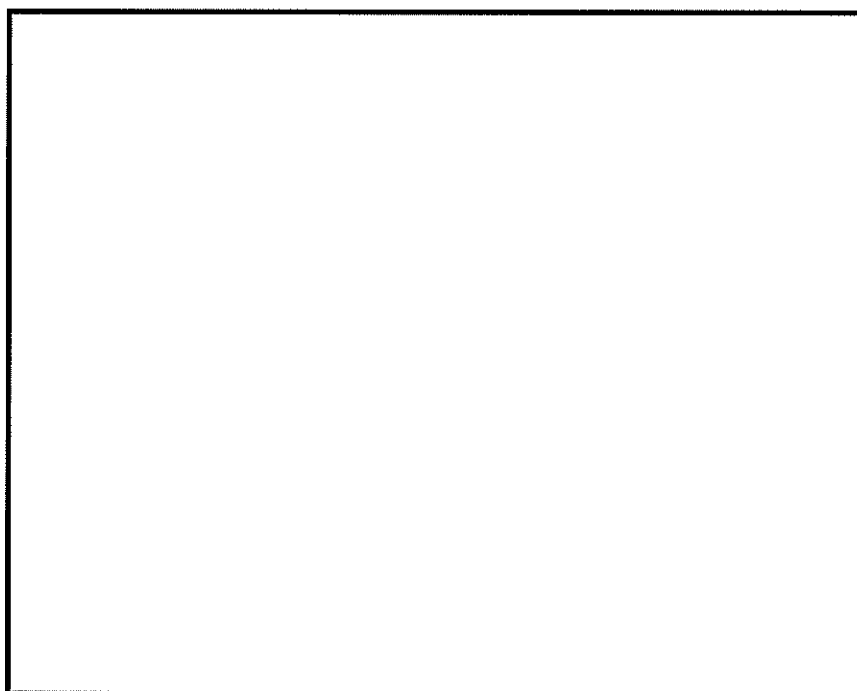


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 8 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その 1：縦軸 P－横軸 M_C ）

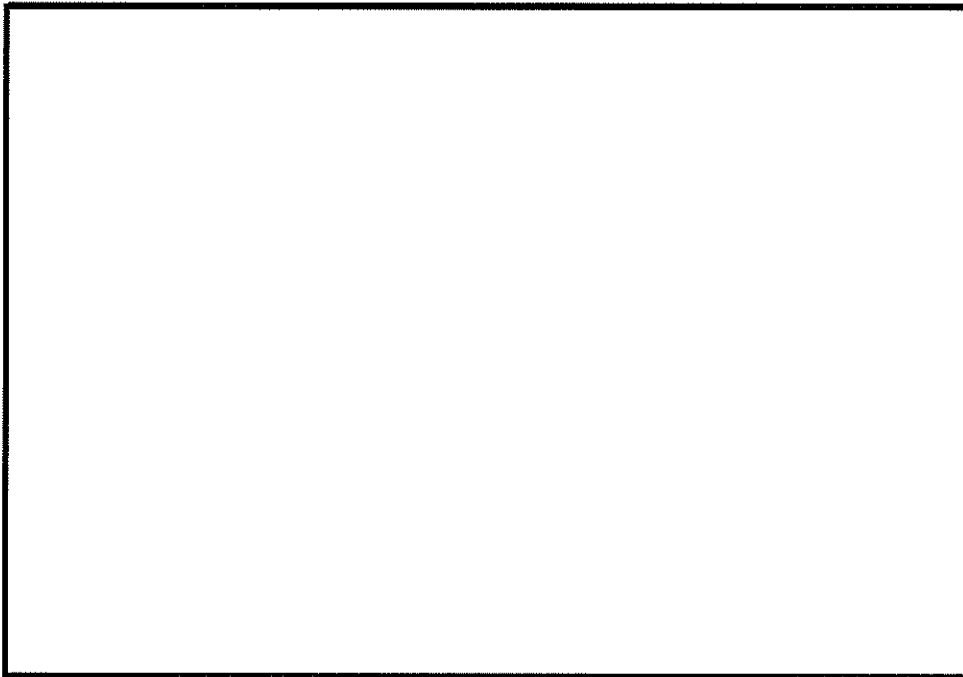


上図：一次応力に対する許容荷重領域

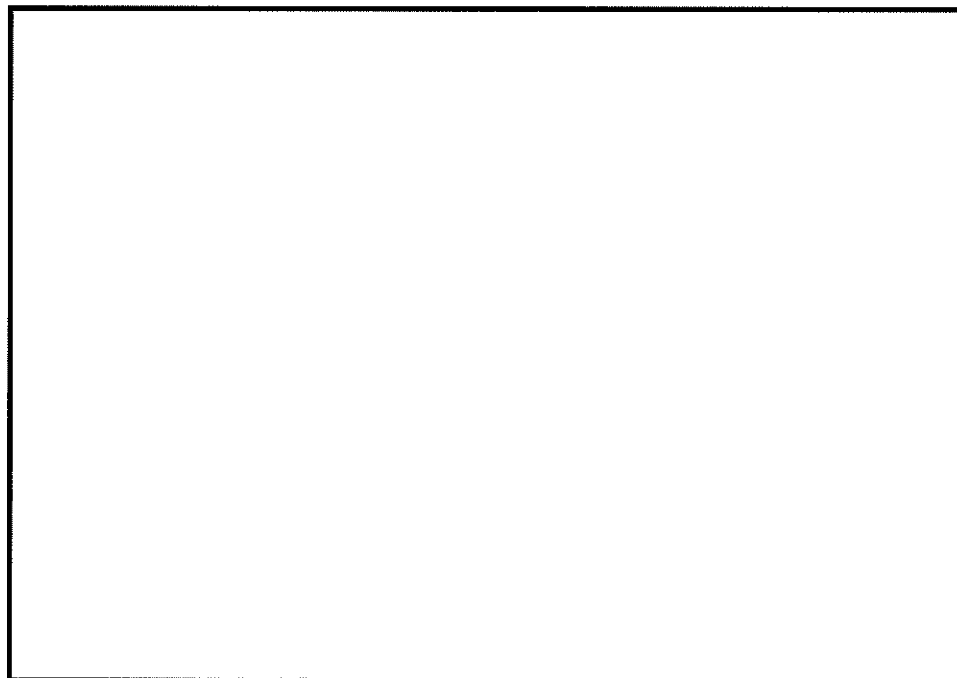


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 8 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その 2：縦軸 P－横軸 M_L ）

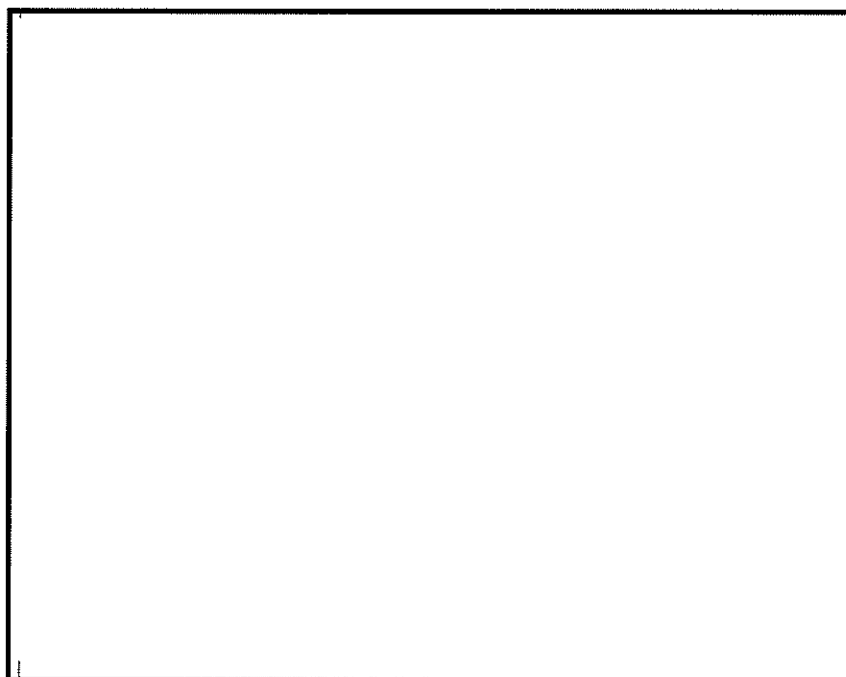


上図：一次応力に対する許容荷重領域

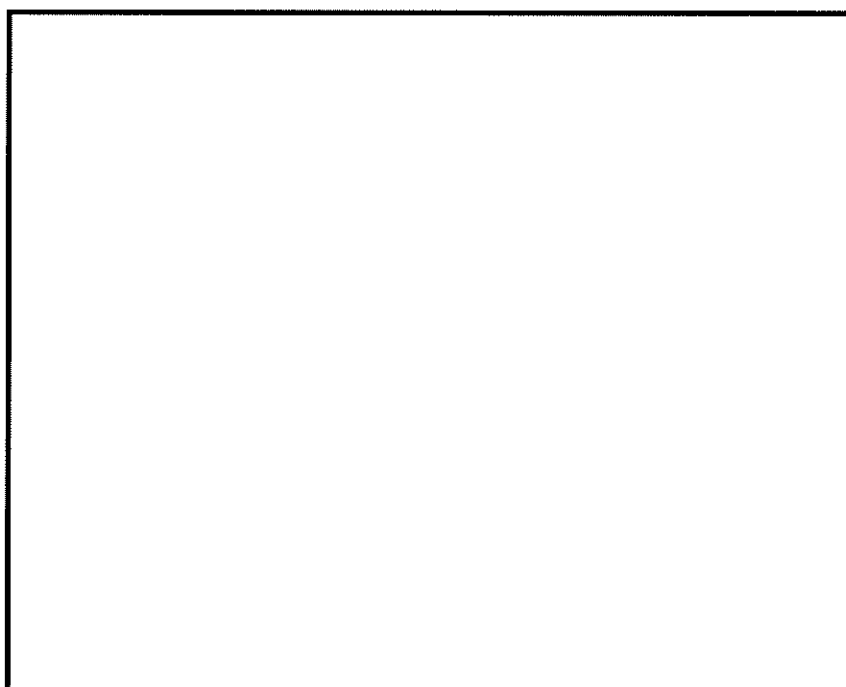


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図9 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その1：縦軸P－横軸 M_c ）

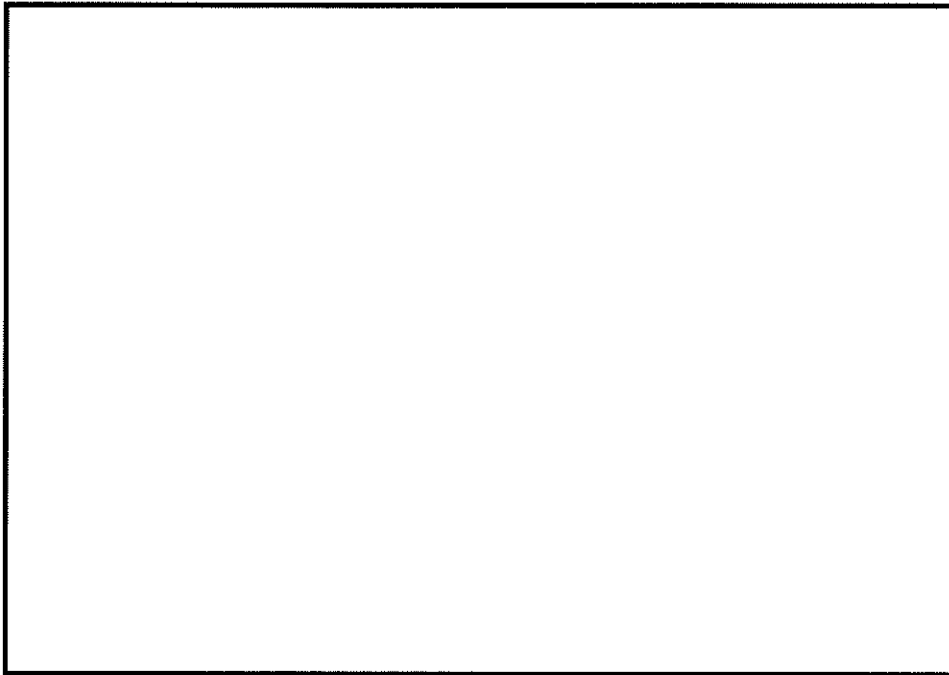


上図：一次応力に対する許容荷重領域

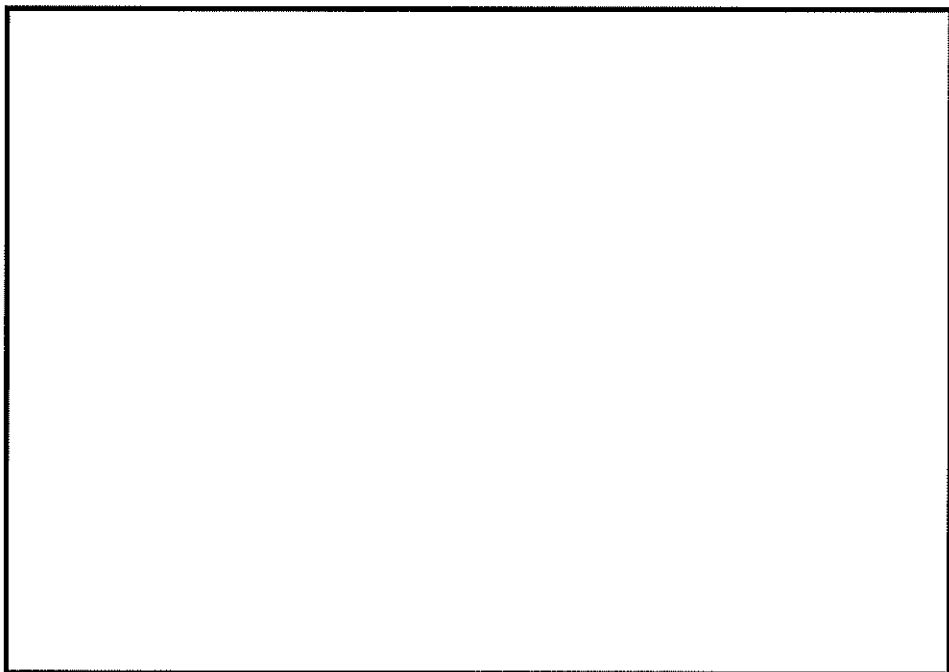


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 9 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No （その 2：縦軸 P－横軸 M_L ）

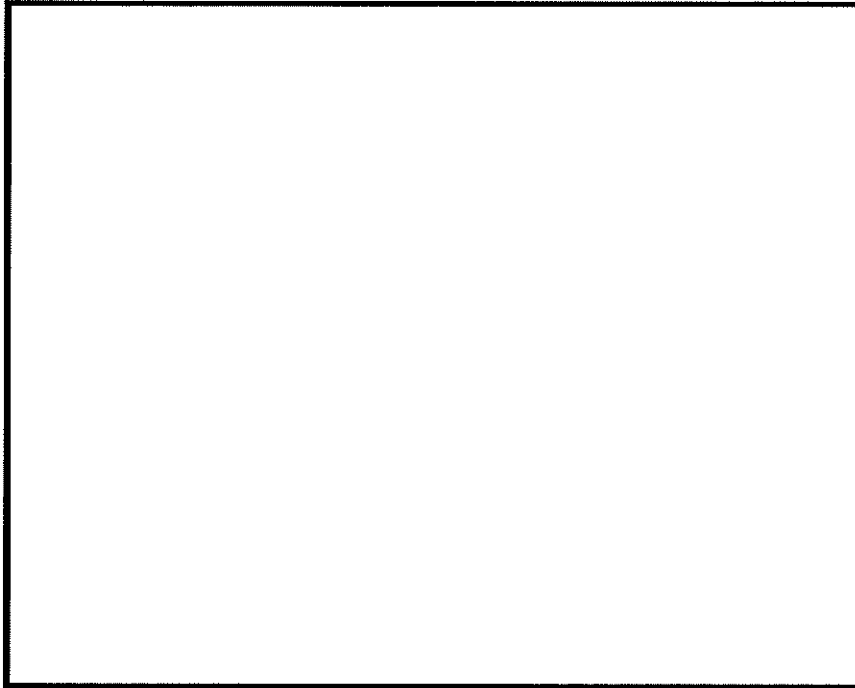


上図：一次応力に対する許容荷重領域

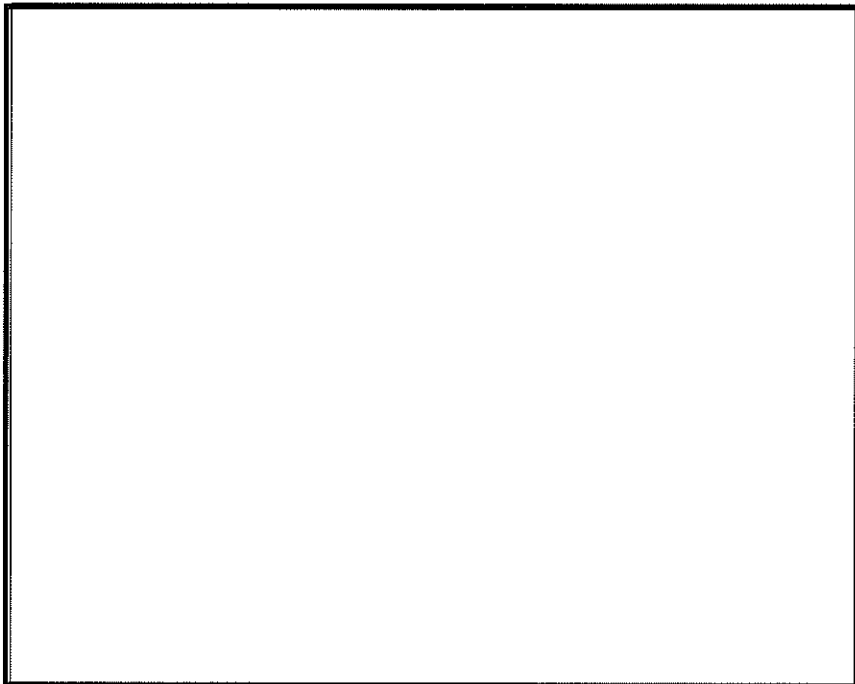


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 10 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その 1：縦軸 P－横軸 M_C ）

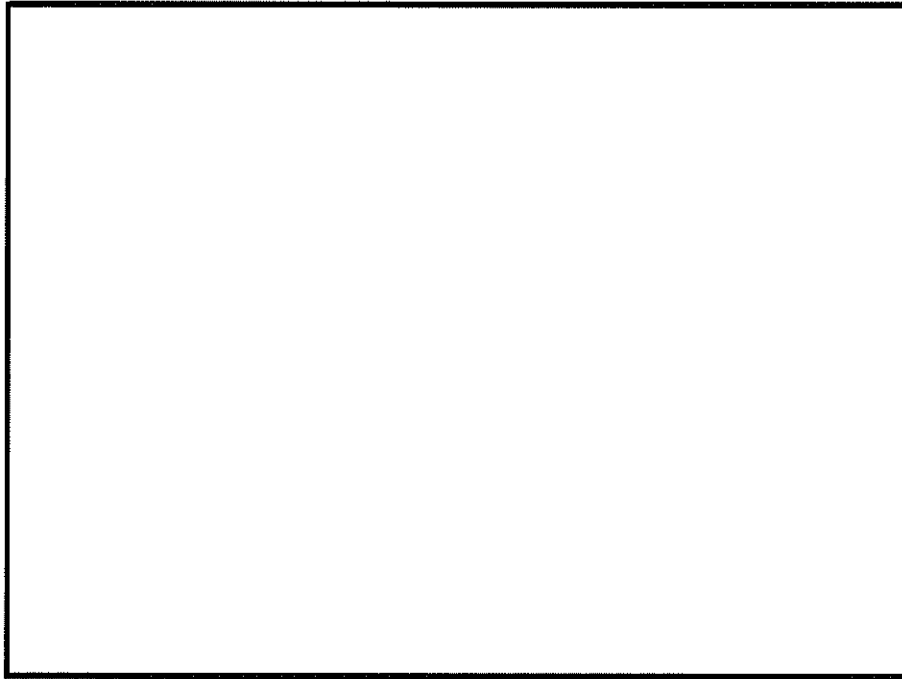


上図：一次応力に対する許容荷重領域

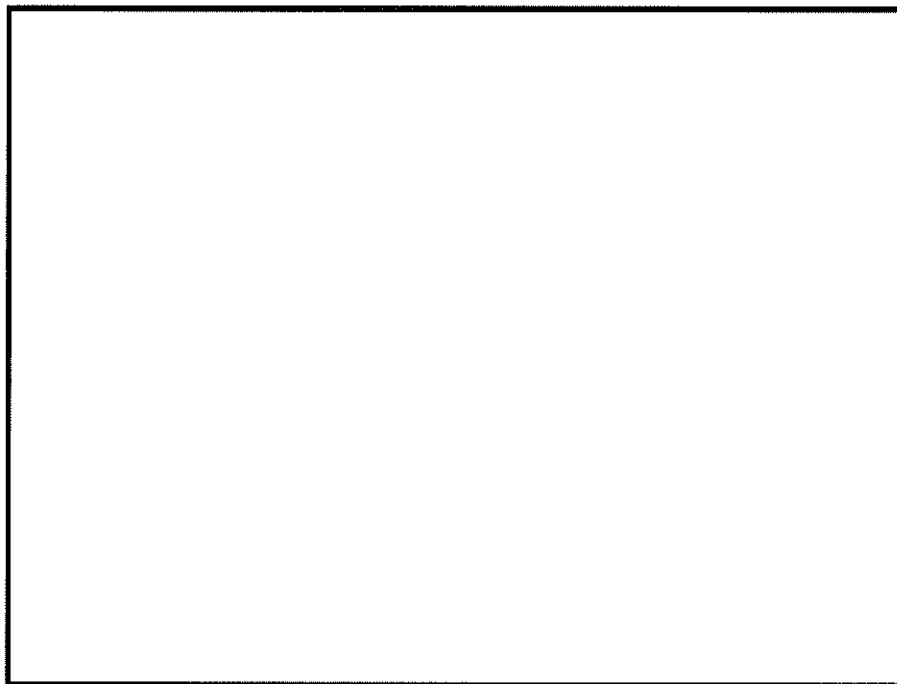


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 10 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No （その 2：縦軸 P－横軸 M_L ）

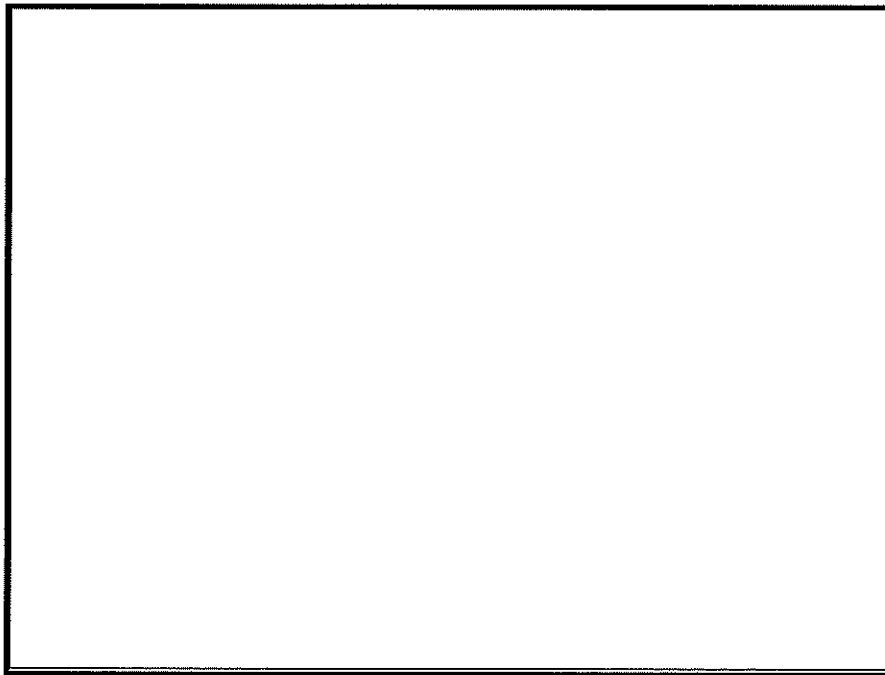


上図：一次応力に対する許容荷重領域

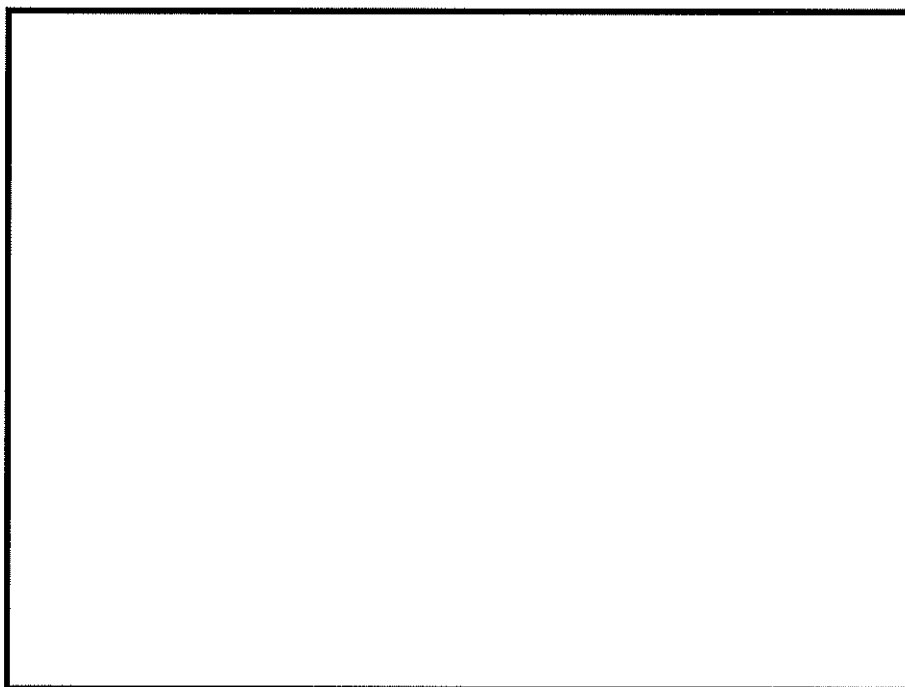


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 11 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No （その 1：縦軸 P－横軸 M_C ）

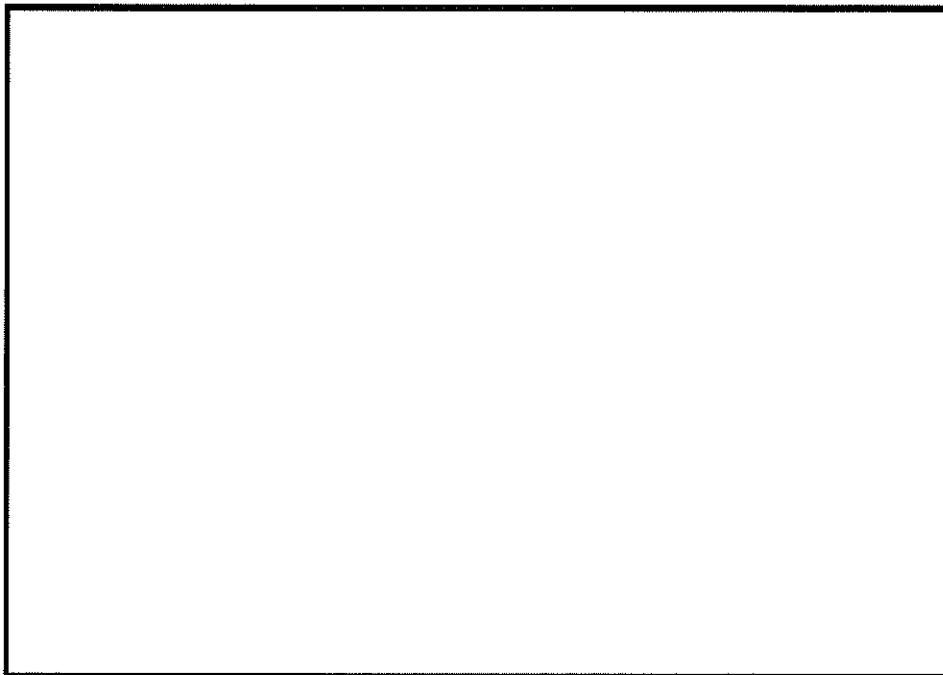


上図：一次応力に対する許容荷重領域

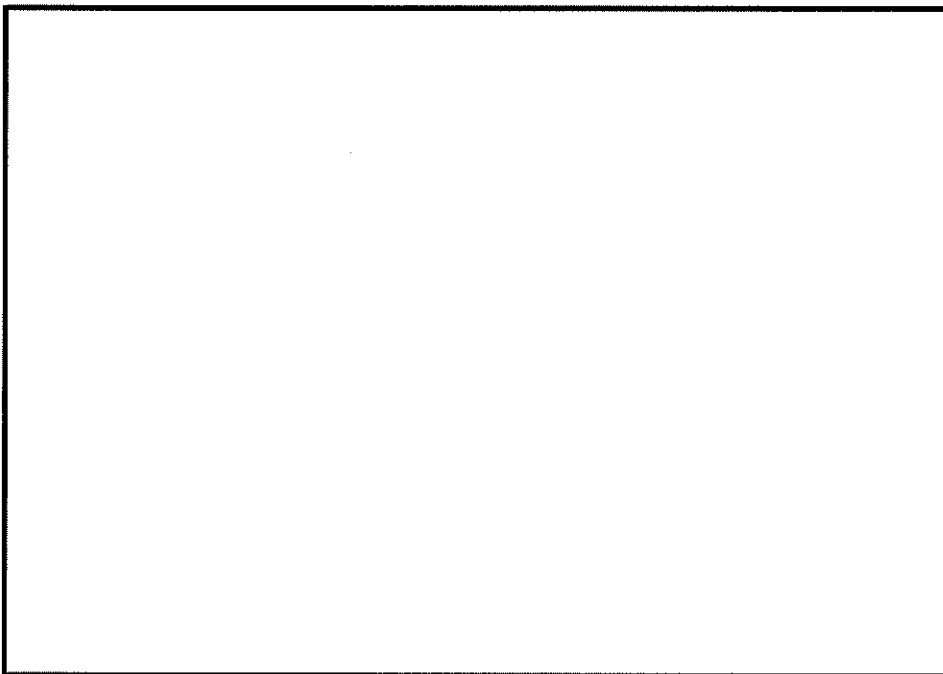


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 11 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No （その 2：縦軸 P－横軸 M_L ）

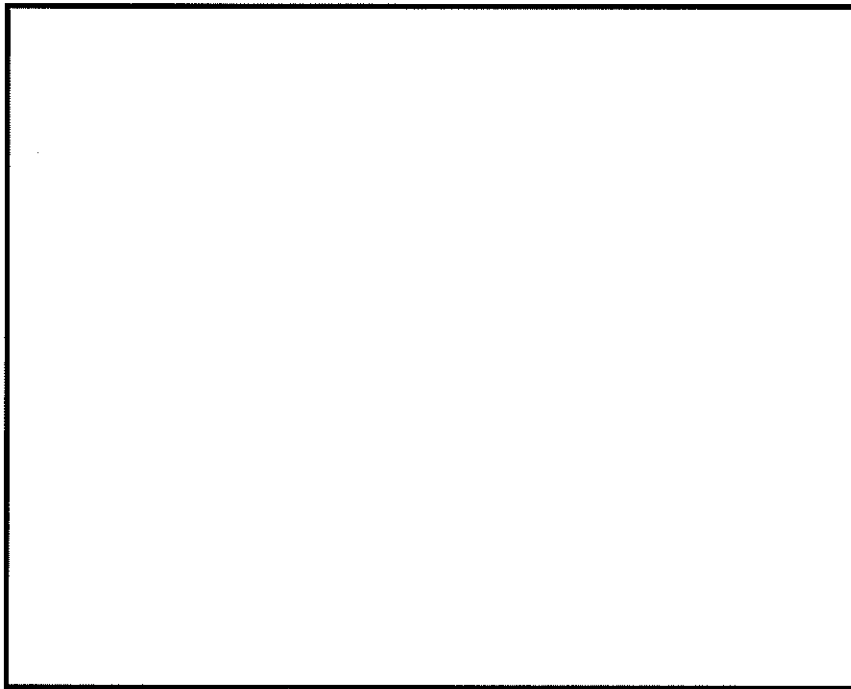


上図：一次応力に対する許容荷重領域

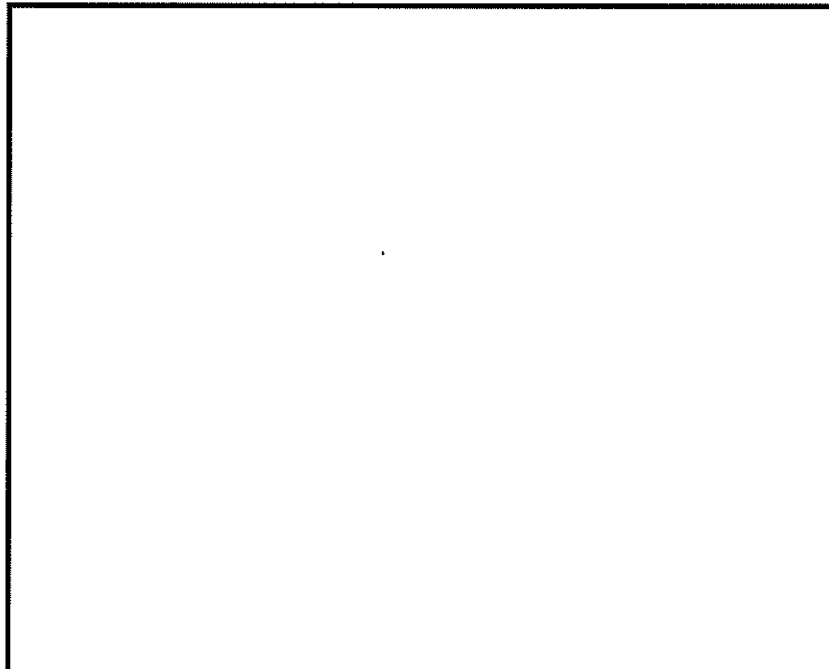


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 12 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その 1：縦軸 P－横軸 M_C ）

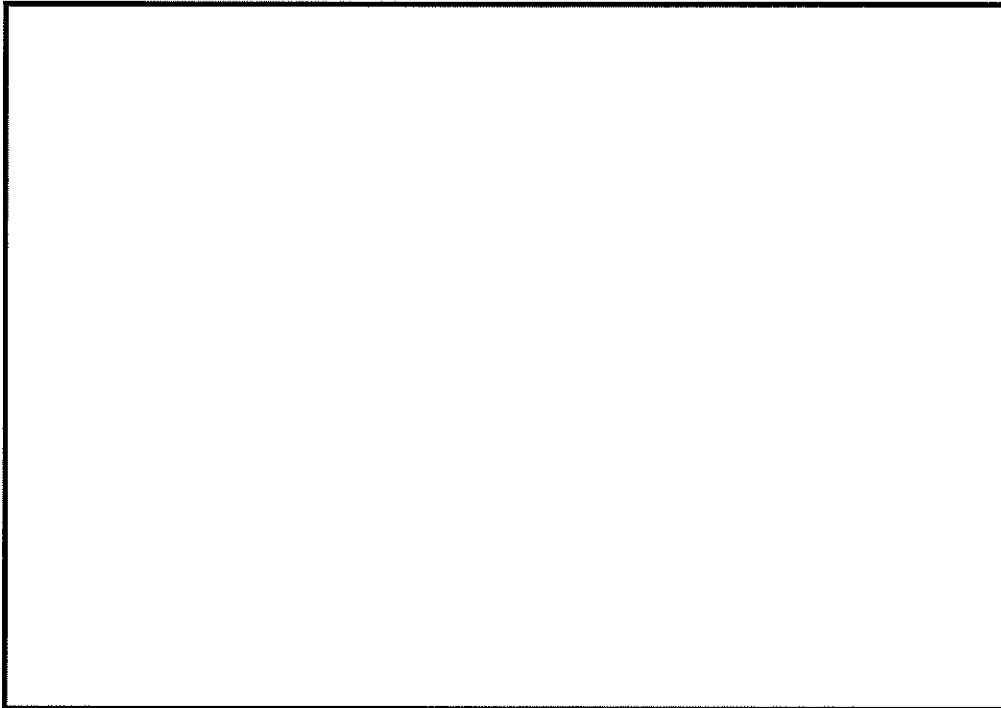


上図：一次応力に対する許容荷重領域



下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 12 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No （その 2：縦軸 P－横軸 M_L ）

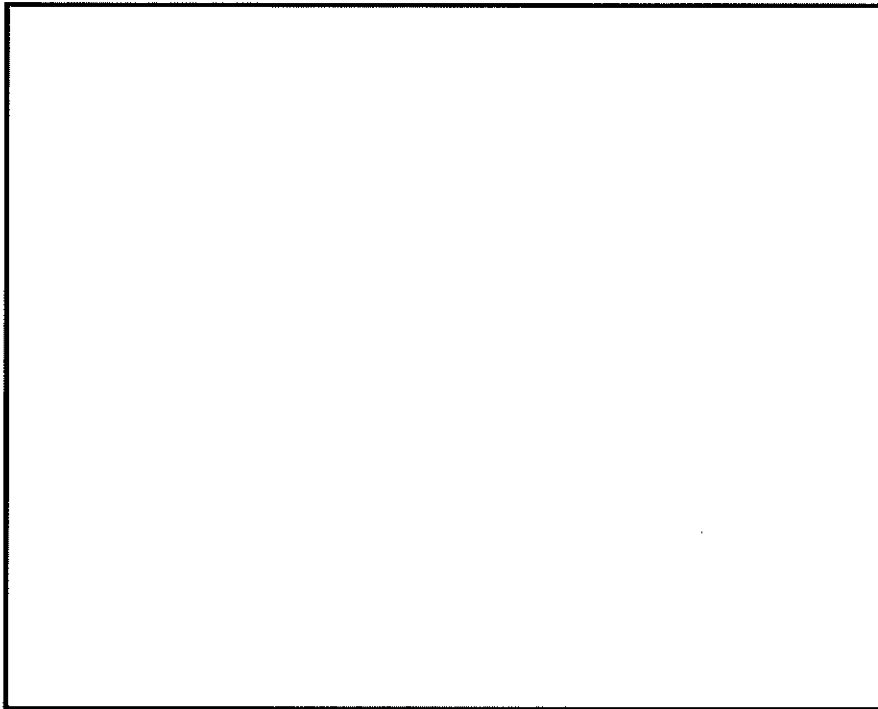


上図：一次応力に対する許容荷重領域

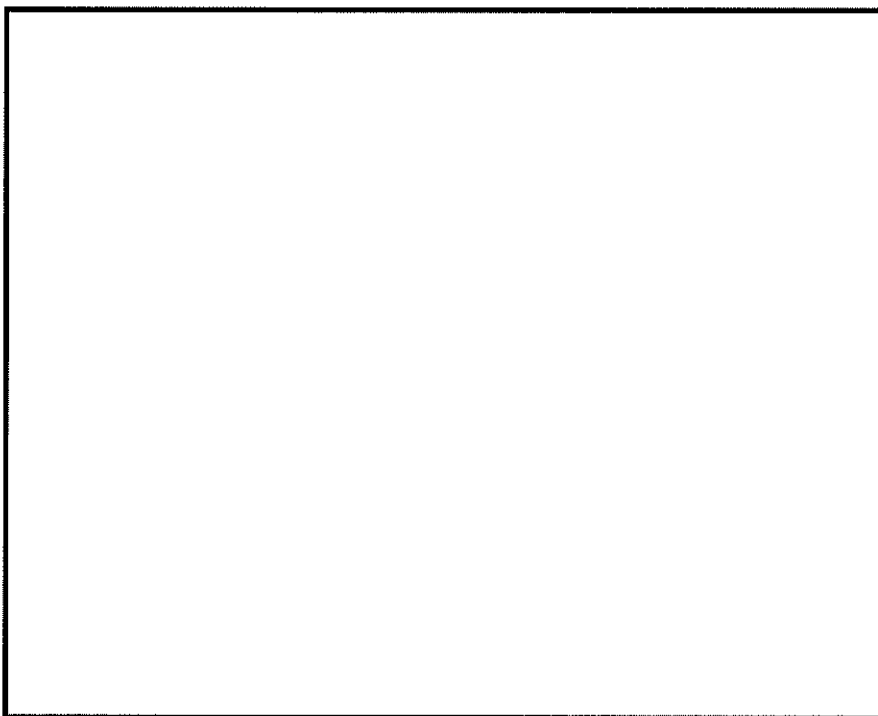


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 13 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No （その 1：縦軸 P －横軸 M_C ）

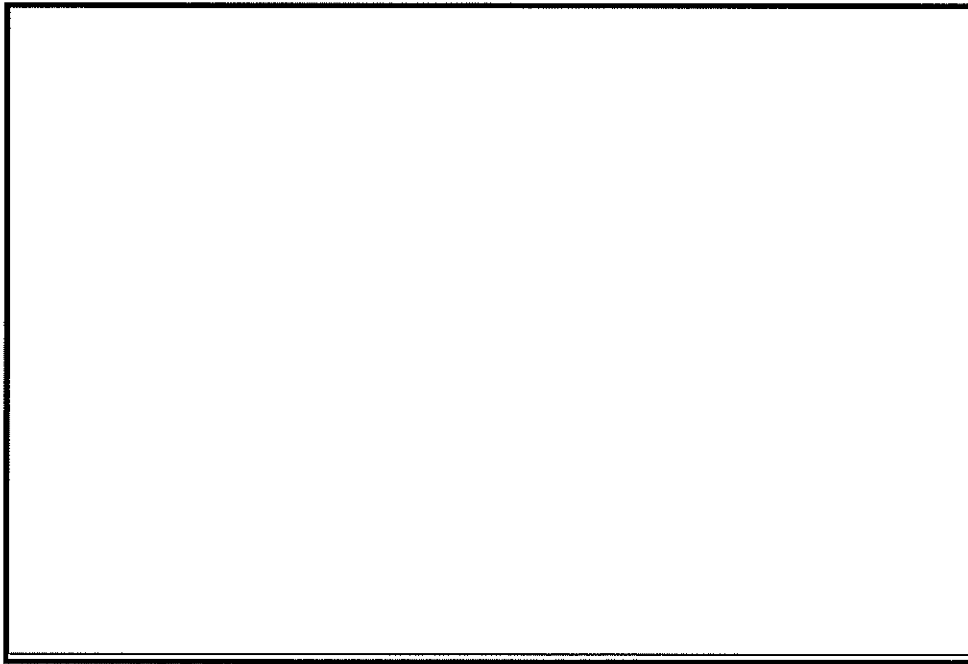


上図：一次応力に対する許容荷重領域

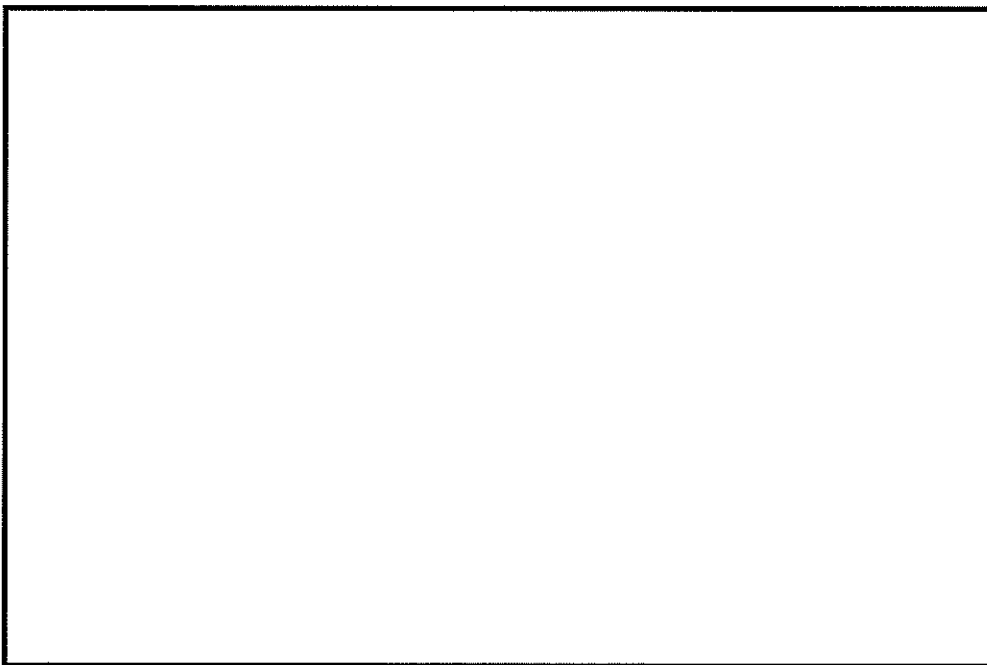


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 13 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その 2：縦軸 P－横軸 M_L ）

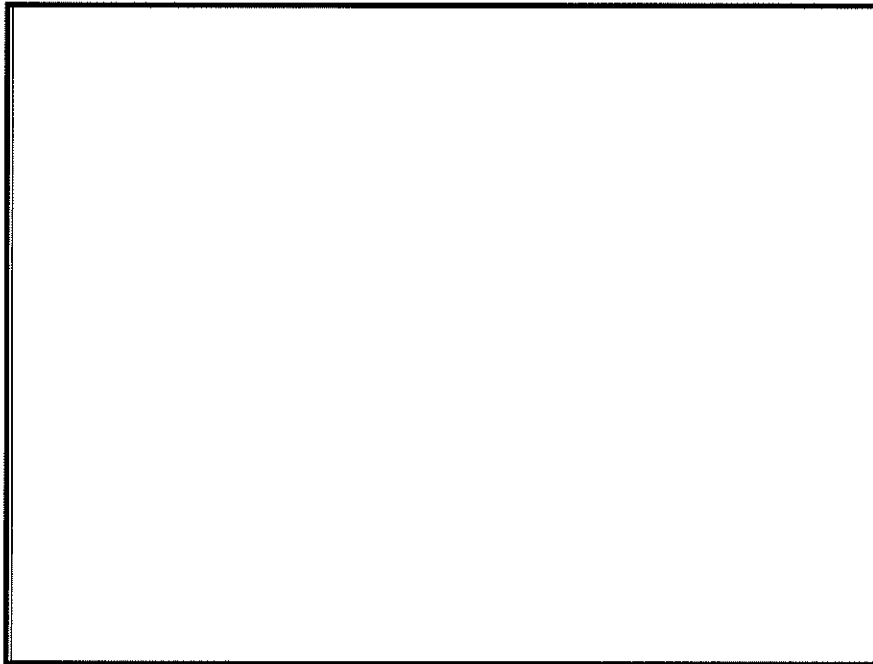


上図：一次応力に対する許容荷重領域

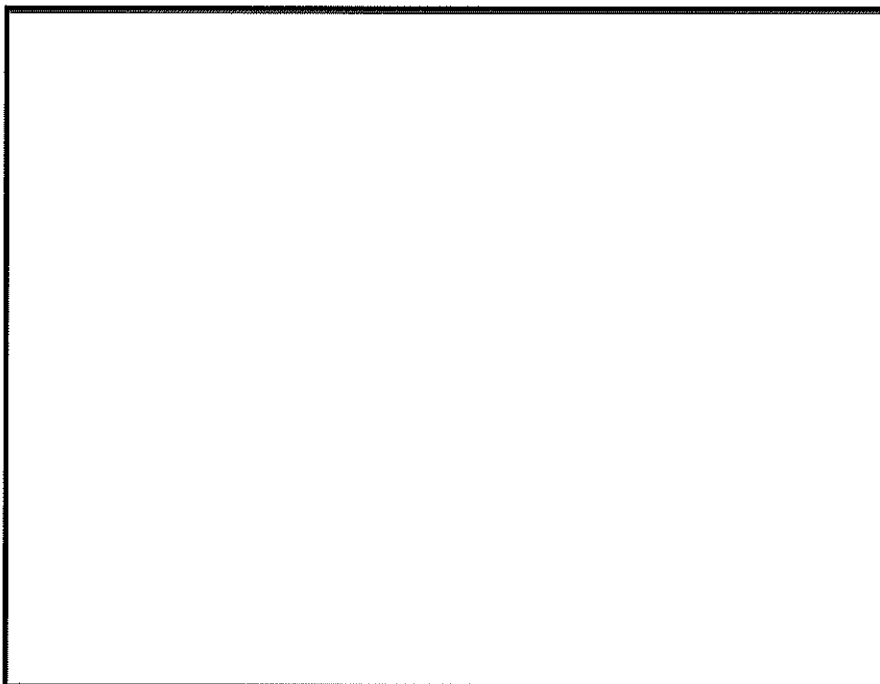


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 14 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No （その 1：縦軸 P －横軸 M_C ）

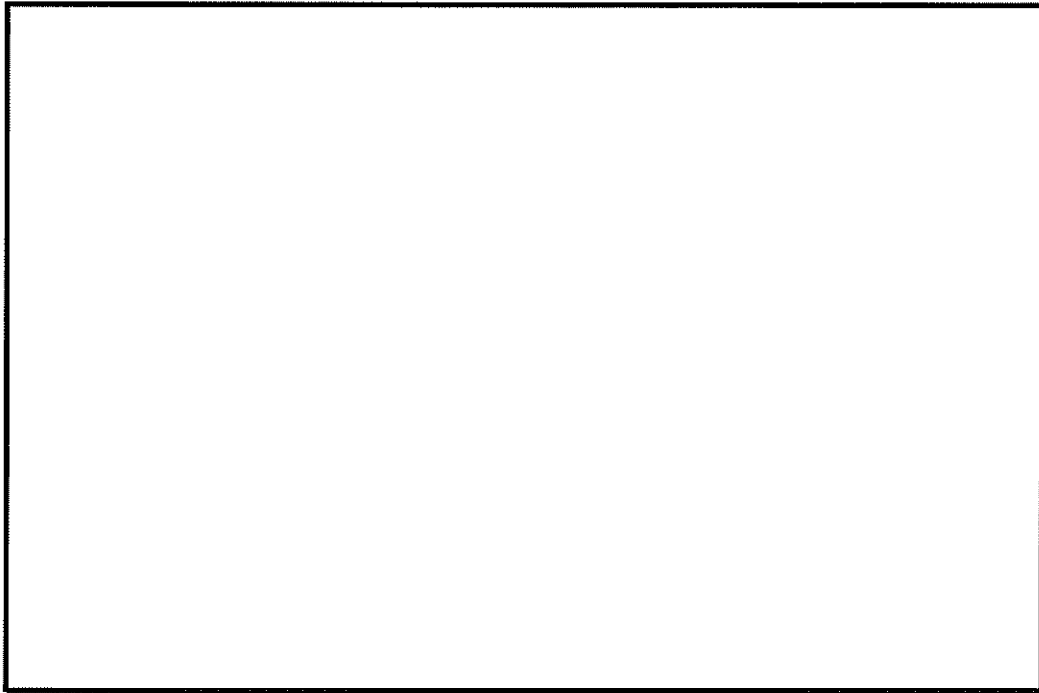


上図：一次応力に対する許容荷重領域

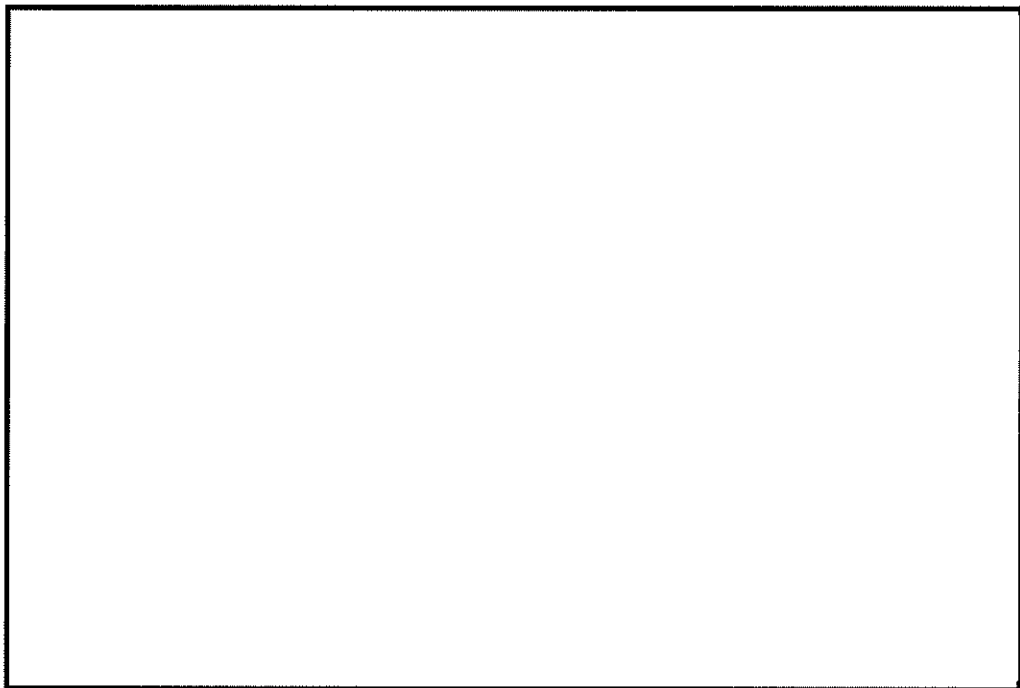


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 14 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その 2：縦軸 P－横軸 M_L ）

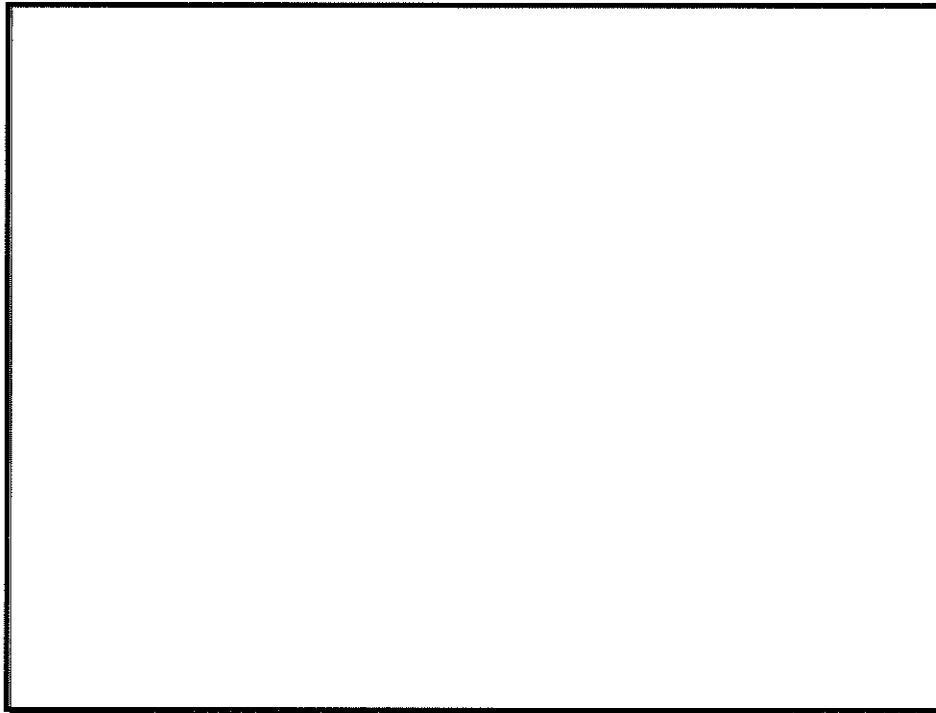


上図：一次応力に対する許容荷重領域

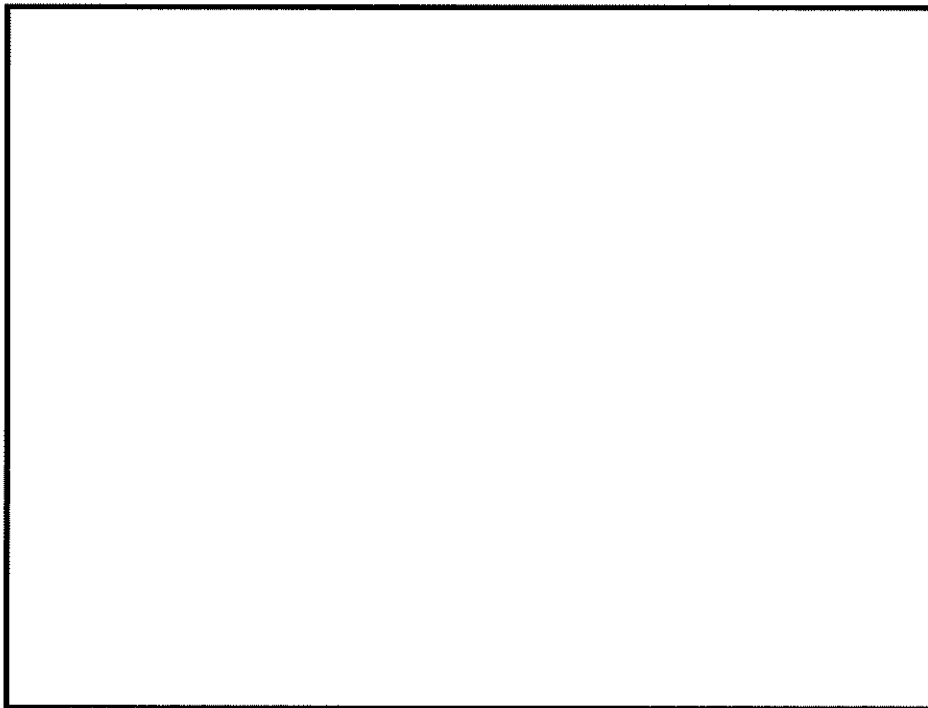


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 15 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No （その 1：縦軸 P－横軸 M_C ）

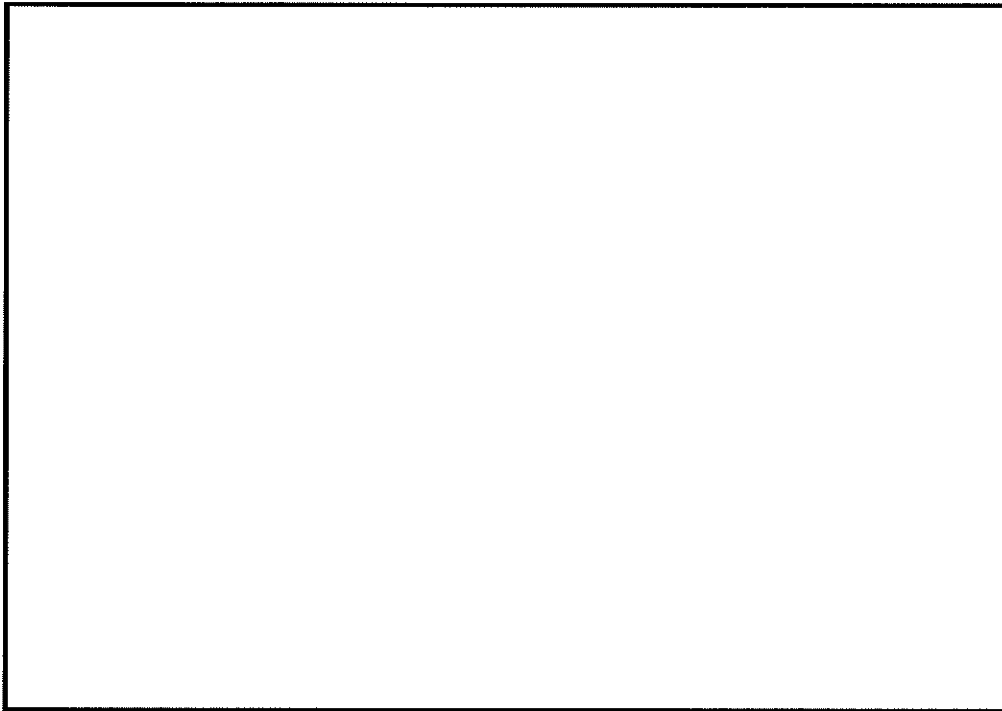


上図：一次応力に対する許容荷重領域

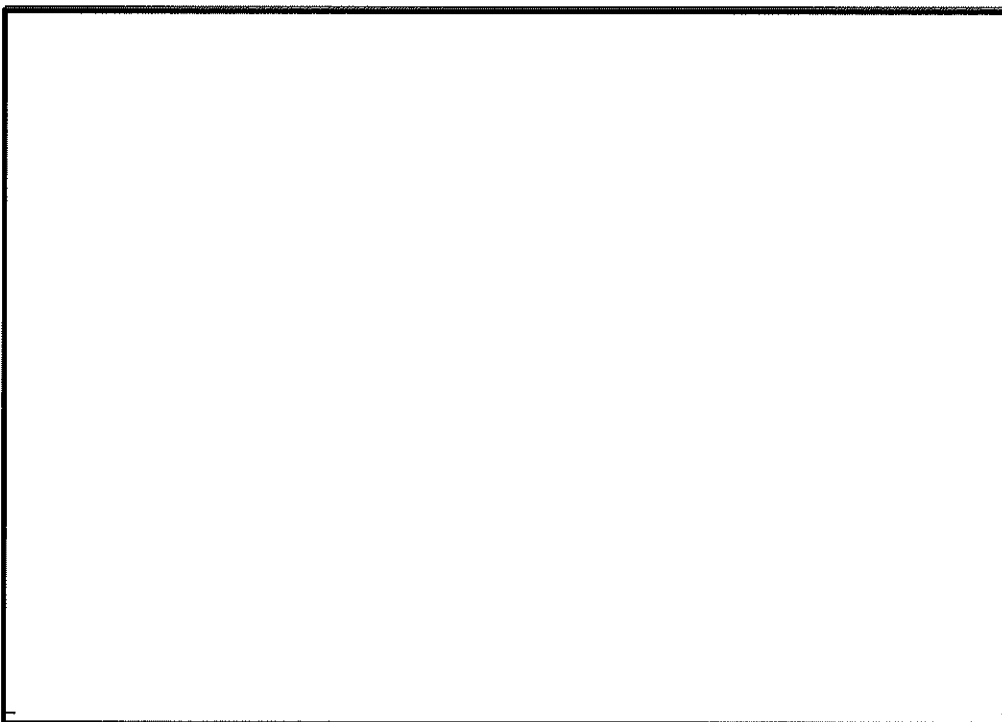


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 15 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No （その 2：縦軸 P －横軸 M_L ）

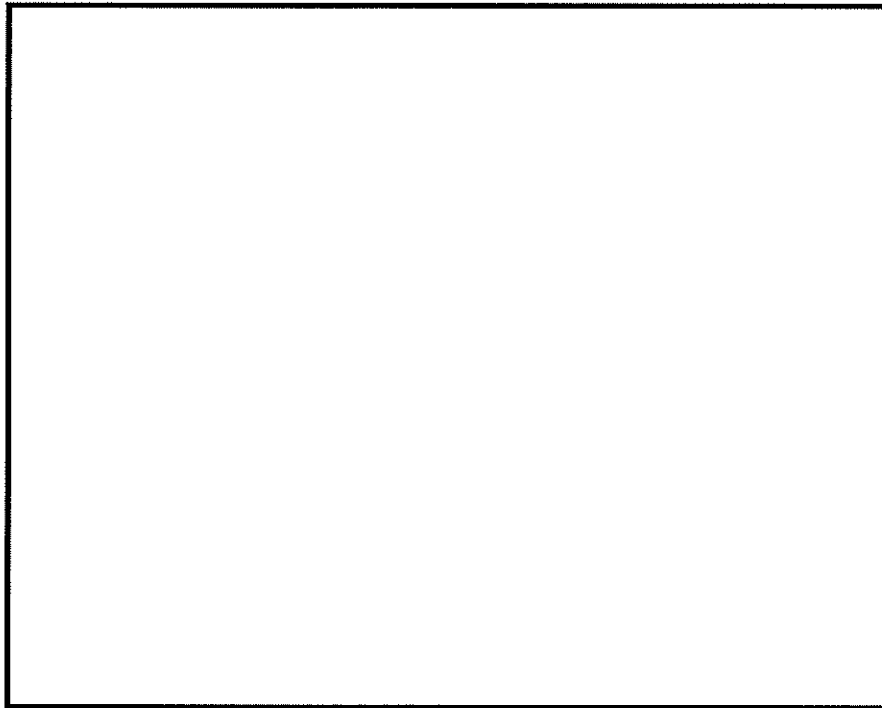


上図：一次応力に対する許容荷重領域

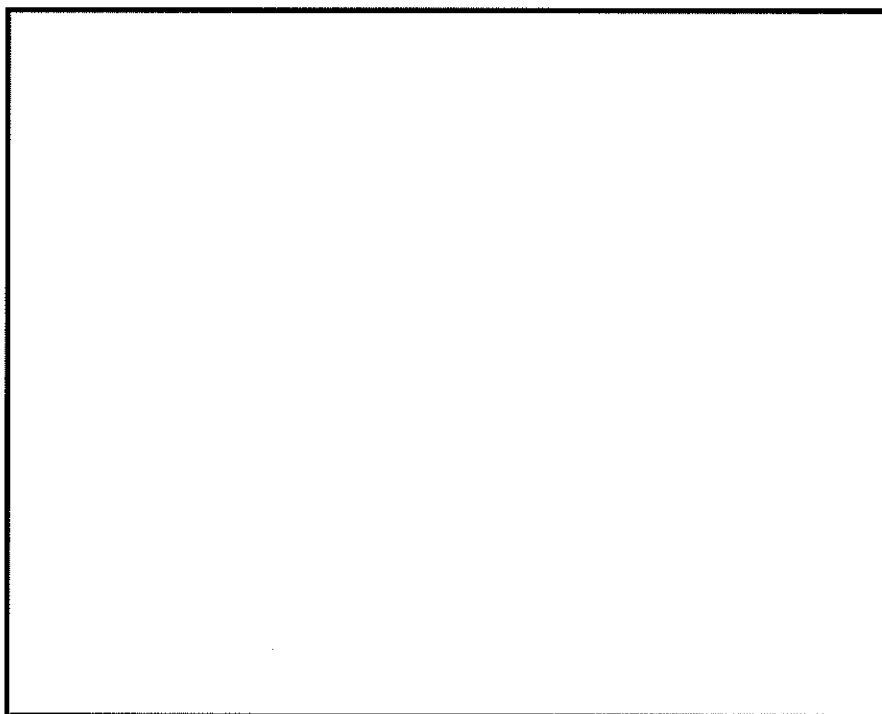


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 16 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その 1：縦軸 P－横軸 M_c ）

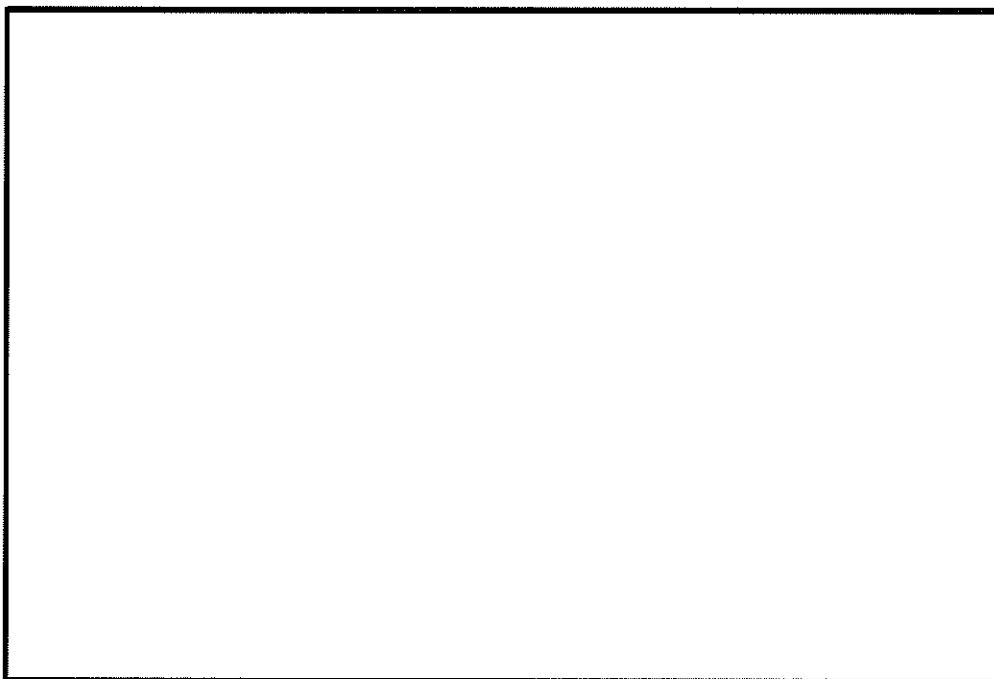


上図：一次応力に対する許容荷重領域

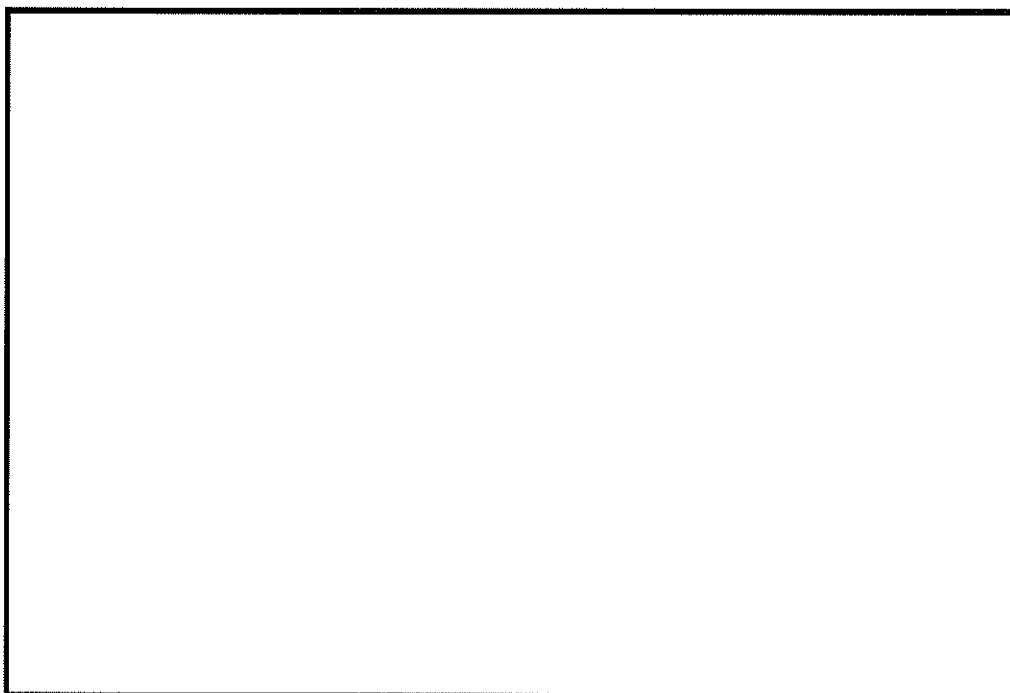


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 16 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その 2：縦軸 P －横軸 M_L ）

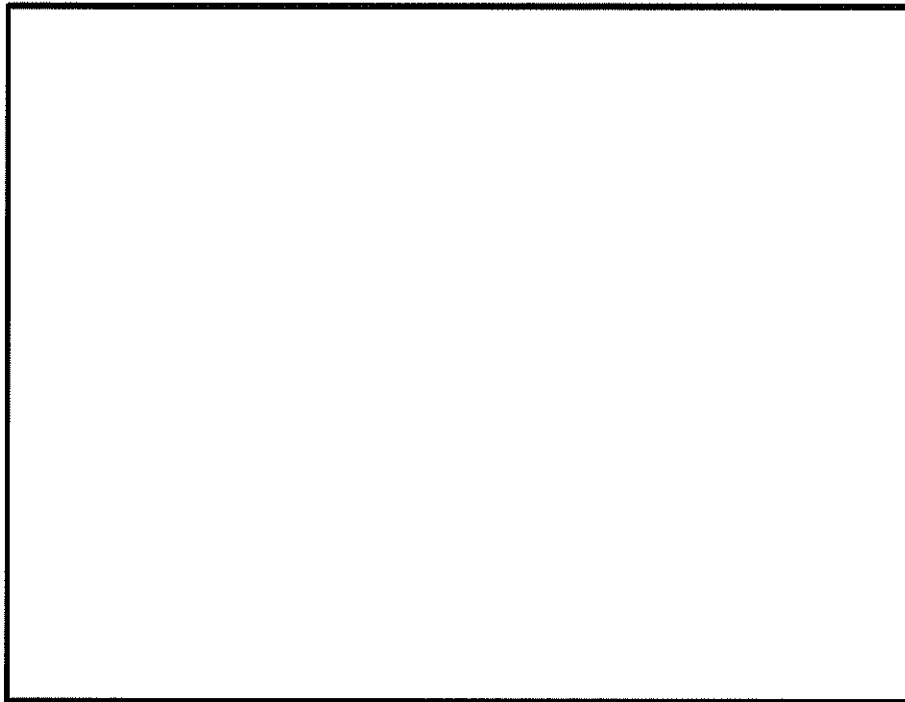


上図：一次応力に対する許容荷重領域

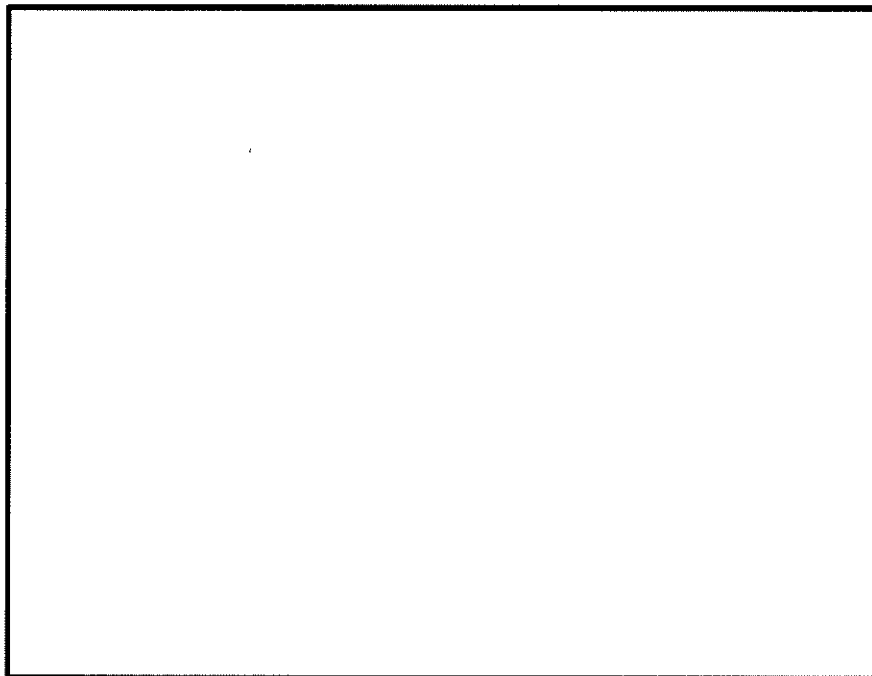


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 17 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No （その 1：縦軸 P－横軸 M_c ）

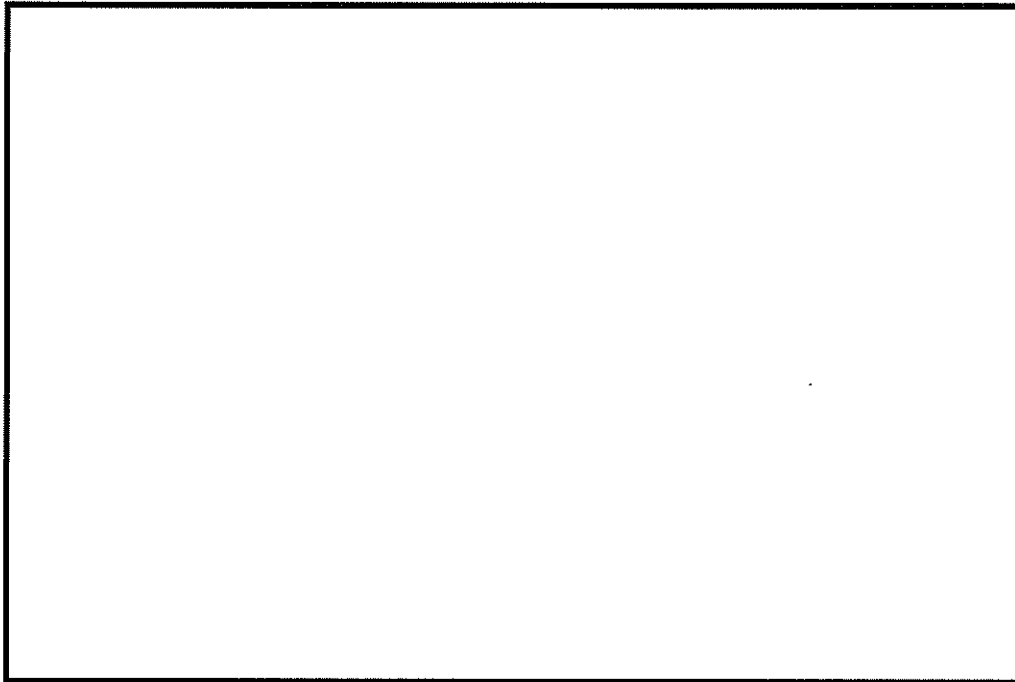


上図：一次応力に対する許容荷重領域

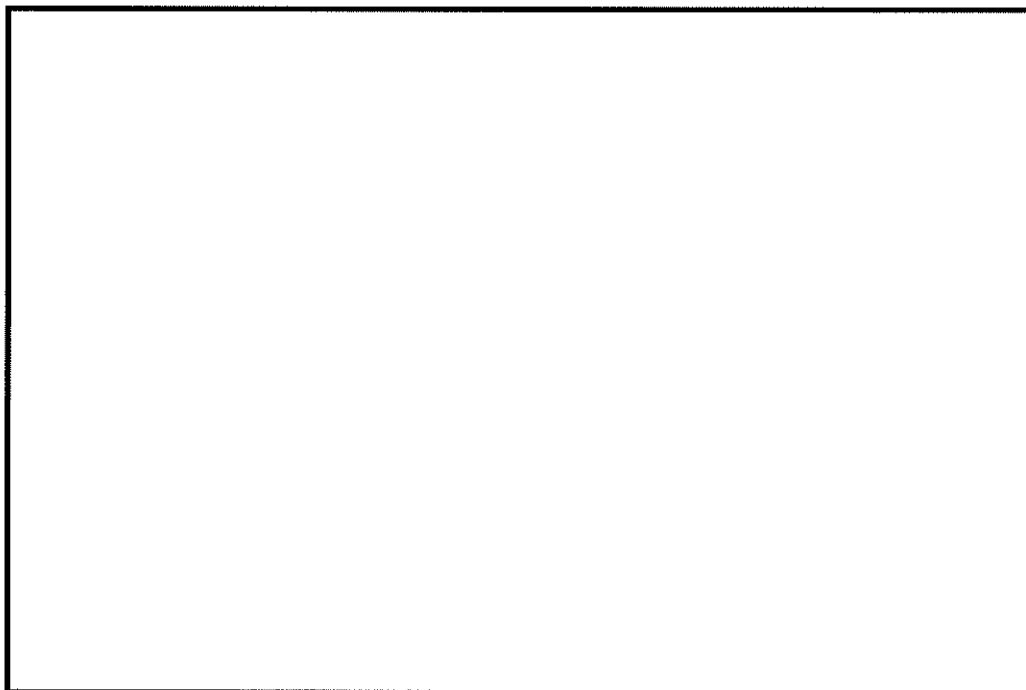


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 17 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その 2：縦軸 P－横軸 M_L ）

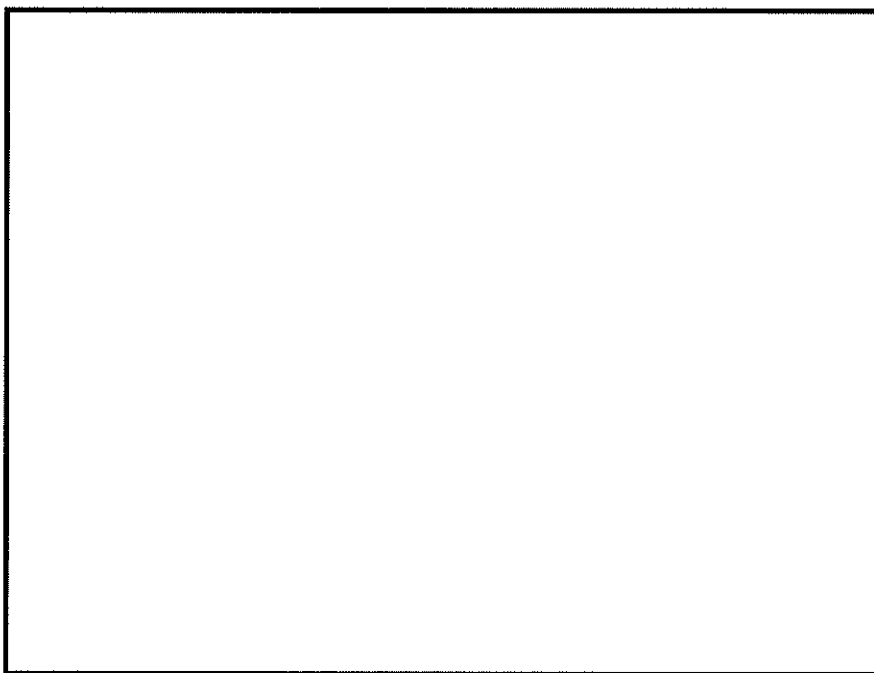


上図：一次応力に対する許容荷重領域

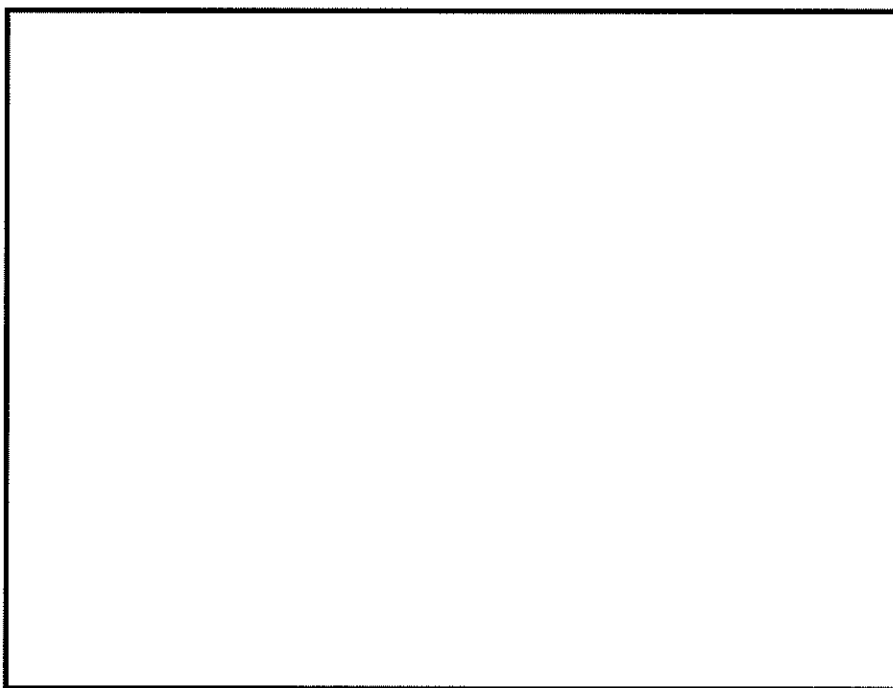


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 18 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その 1：縦軸 P －横軸 M_C ）

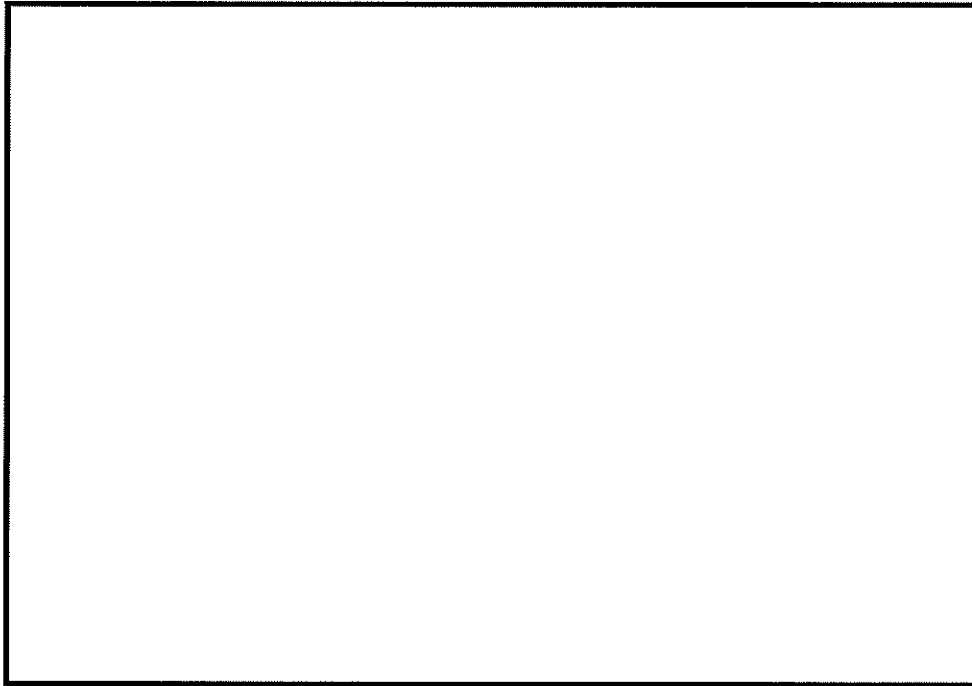


上図：一次応力に対する許容荷重領域

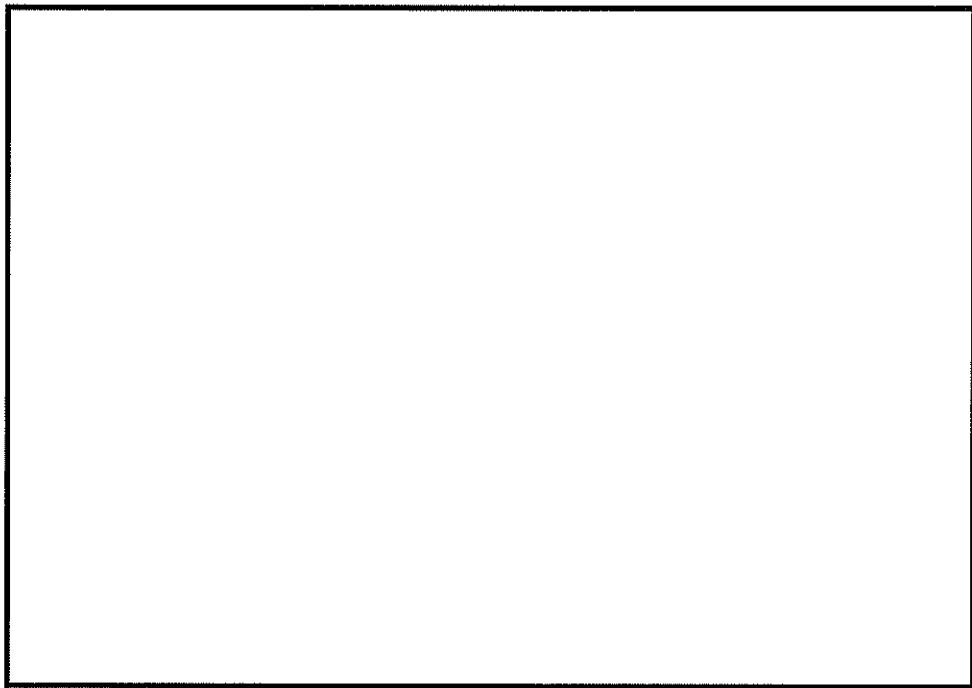


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 18 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その 2：縦軸 P－横軸 M_L ）

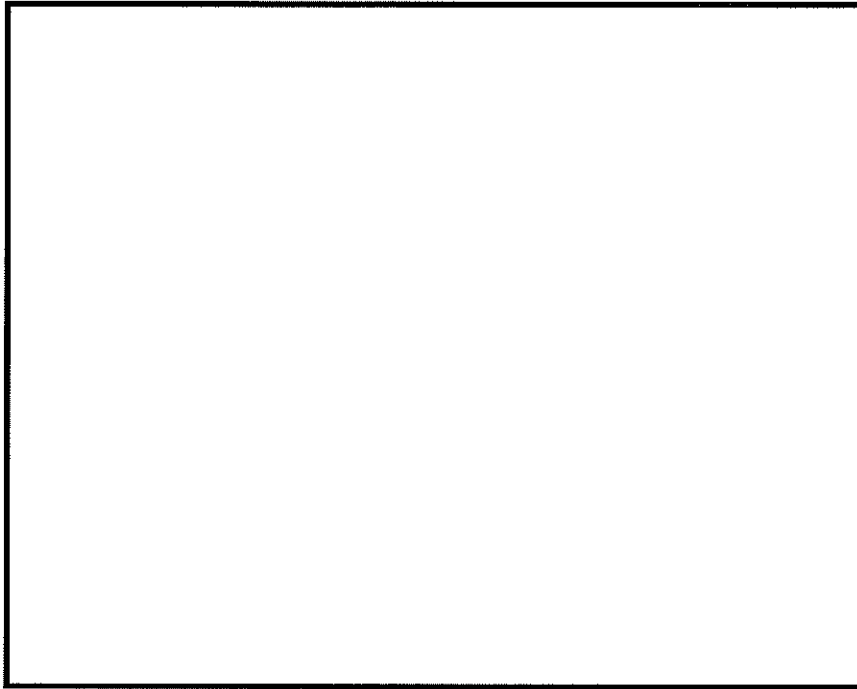


上図：一次応力に対する許容荷重領域

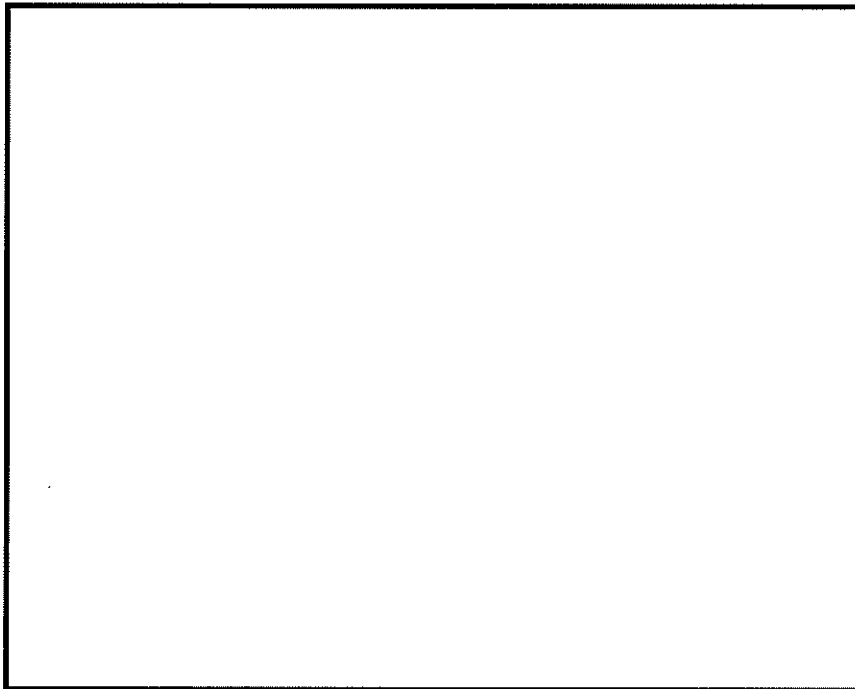


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 19 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その 1：縦軸 P－横軸 M_C ）

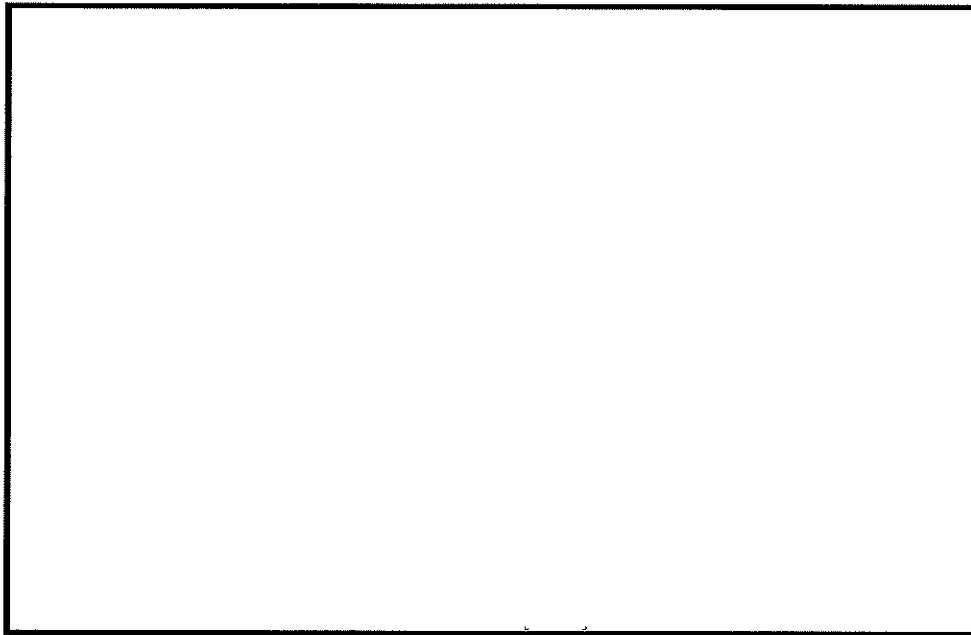


上図：一次応力に対する許容荷重領域

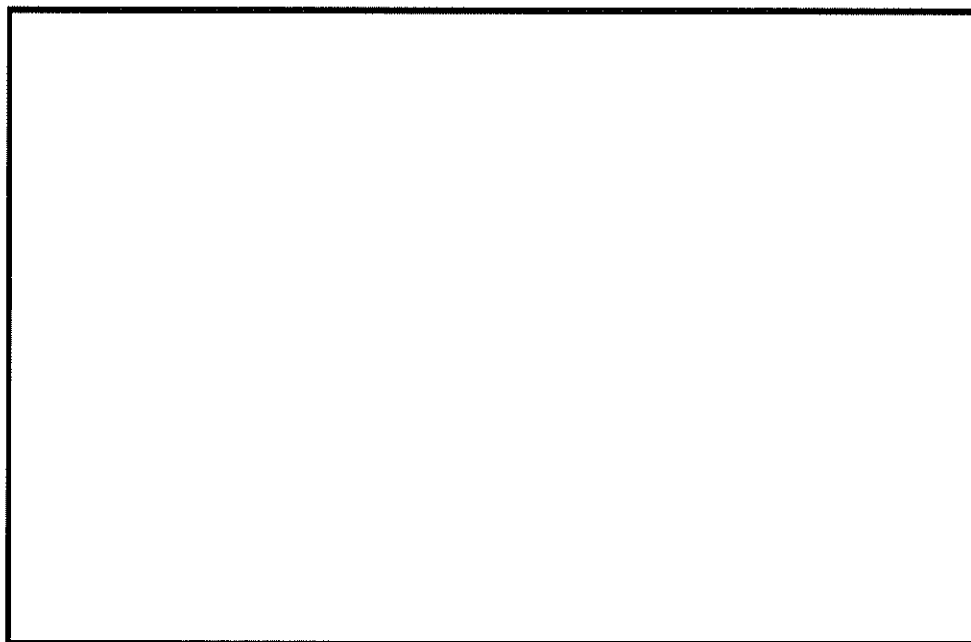


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 19 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No （その 2：縦軸 P－横軸 M_L ）

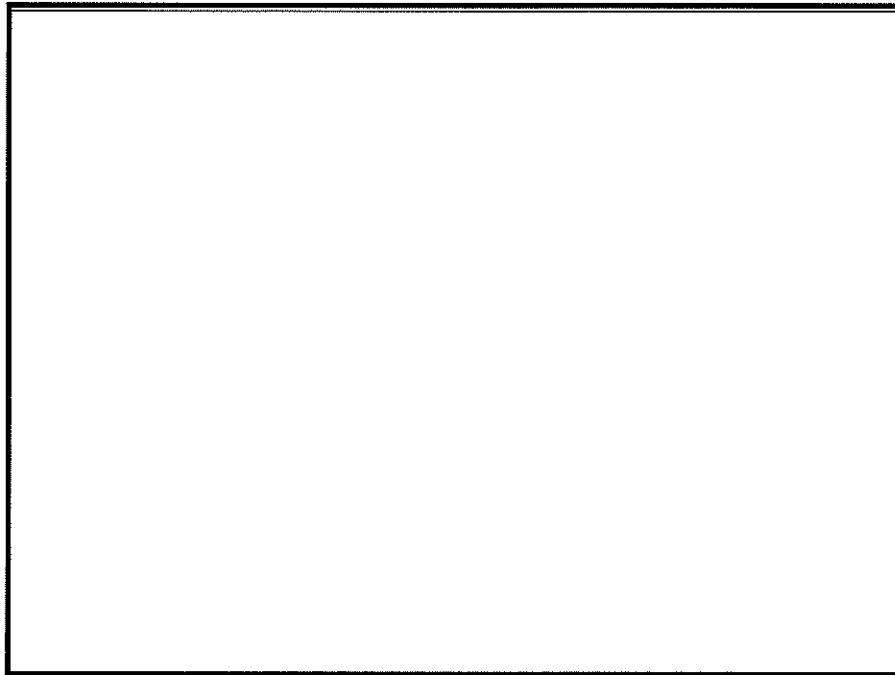


上図：一次応力に対する許容荷重領域

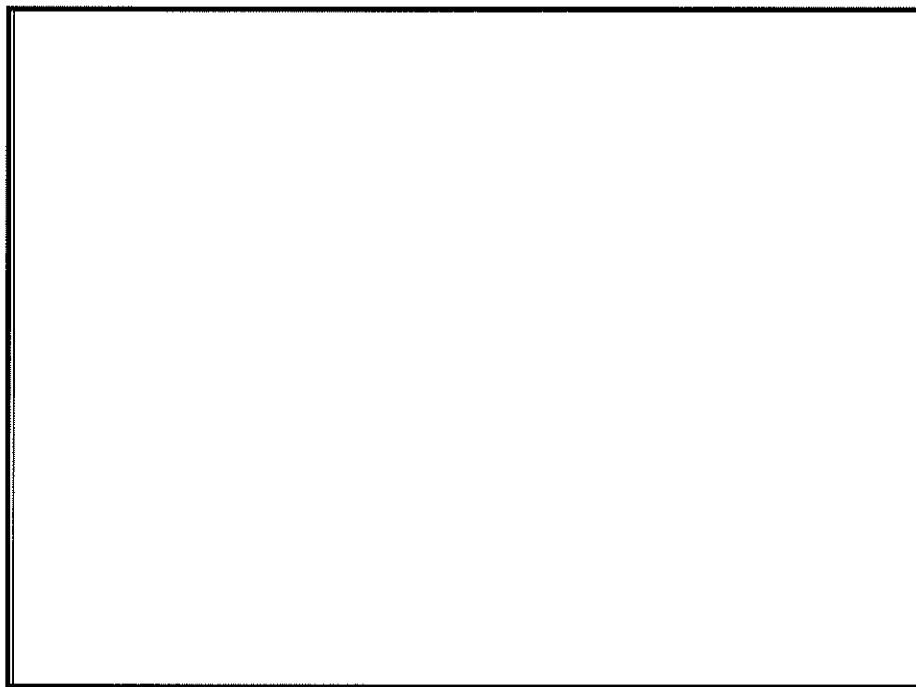


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 20 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その 1：縦軸 P－横軸 M_C ）

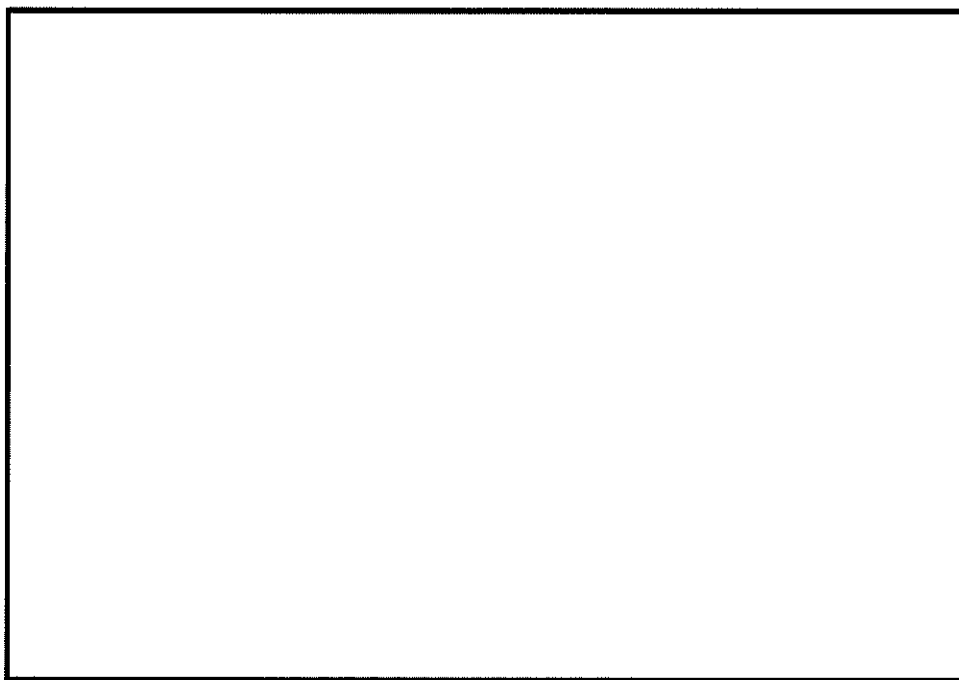


上図：一次応力に対する許容荷重領域



下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 20 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No （その 2：縦軸 P－横軸 M_L ）

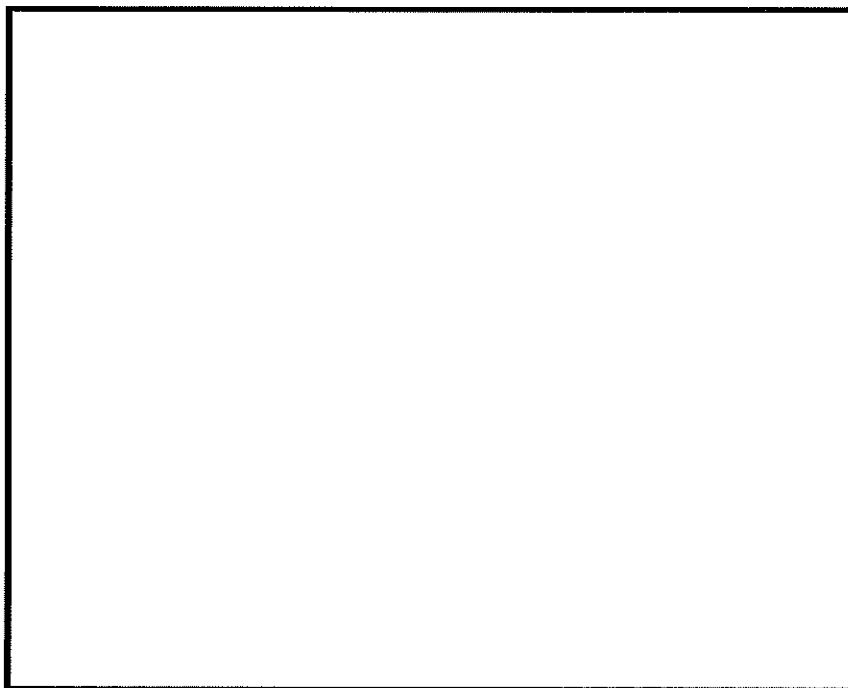


上図：一次応力に対する許容荷重領域

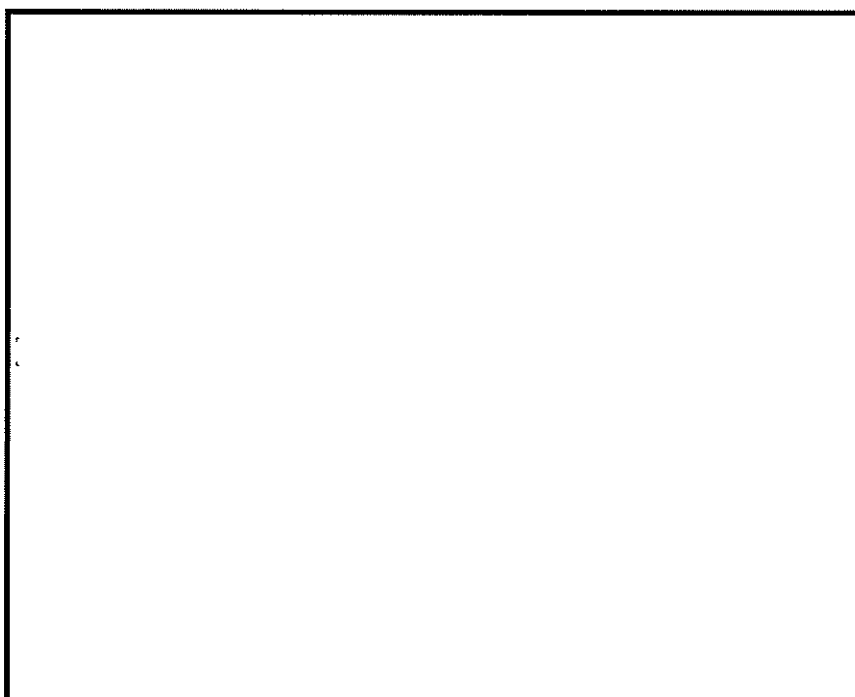


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 21 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その 1：縦軸 P－横軸 M_c ）

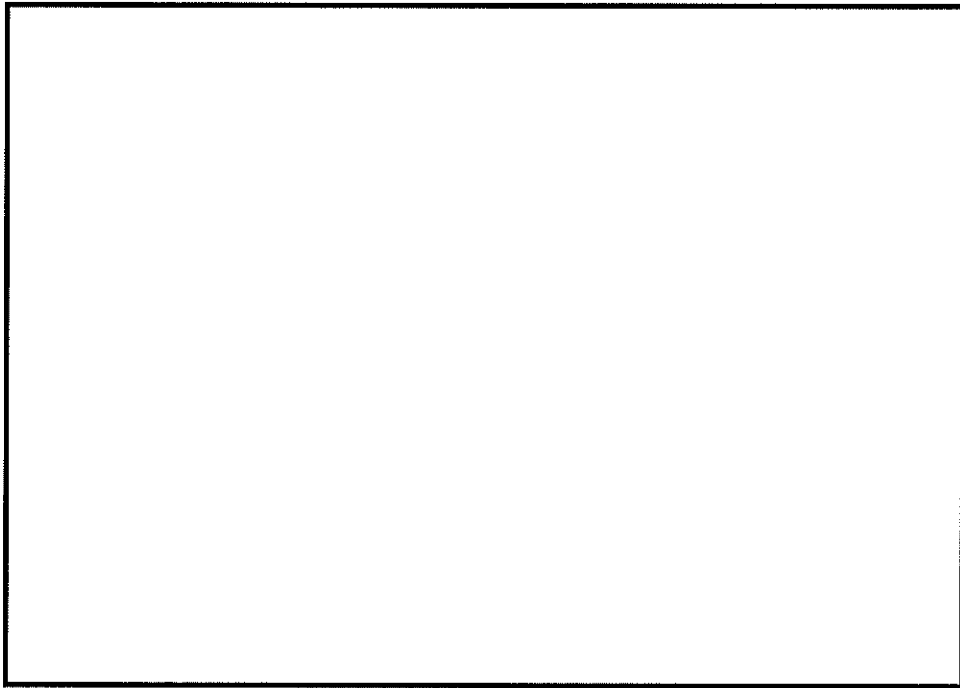


上図：一次応力に対する許容荷重領域

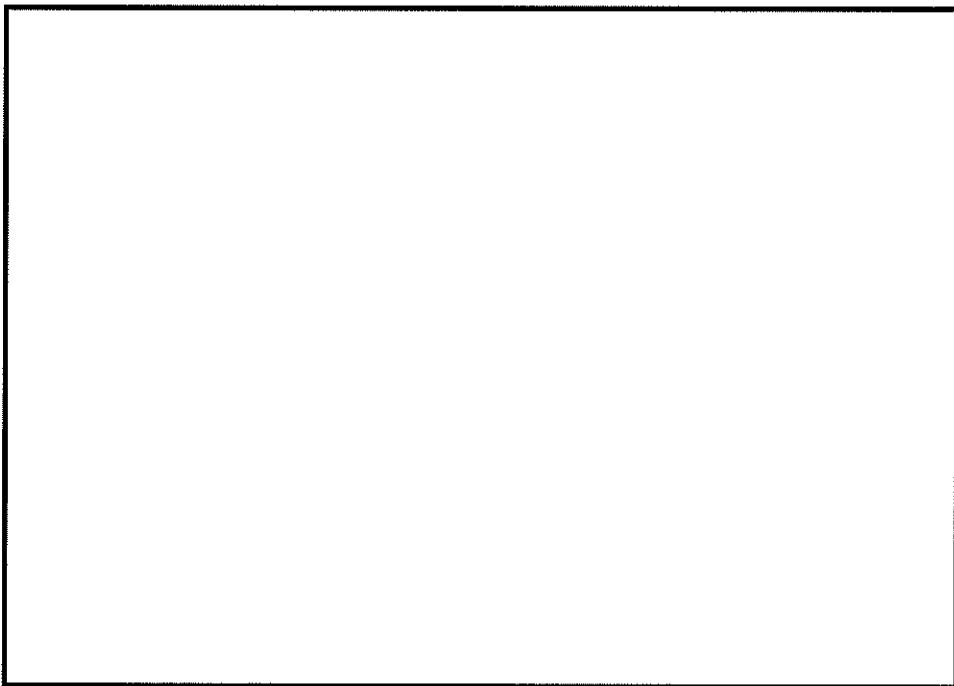


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 21 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その 2：縦軸 P－横軸 M_L ）

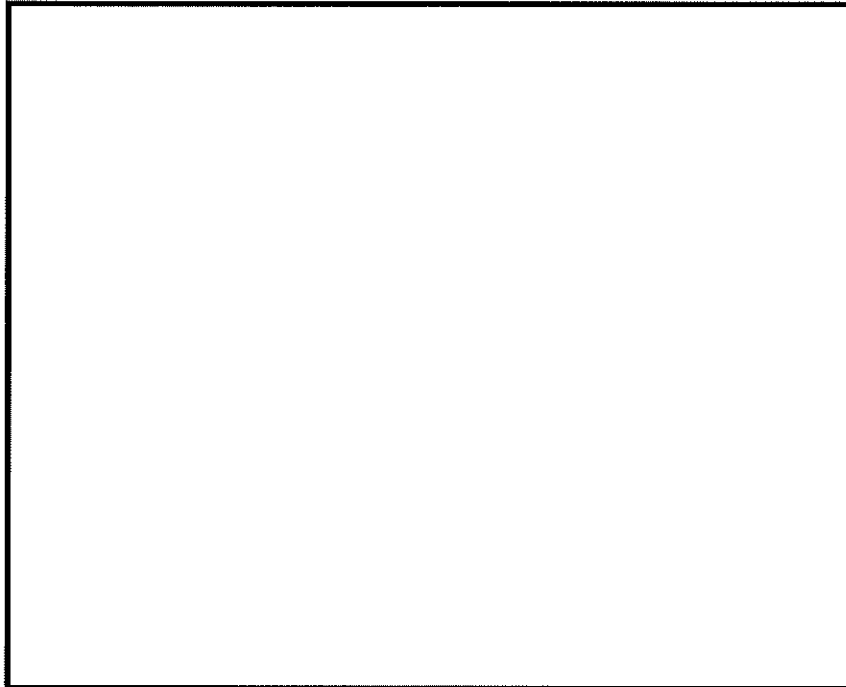


上図：一次応力に対する許容荷重領域

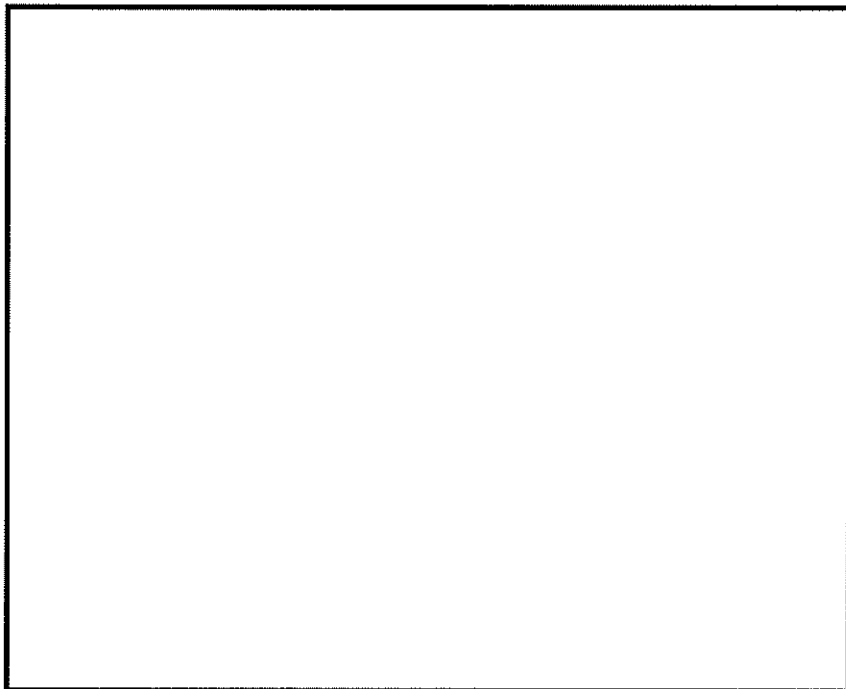


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 22 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No （その 1：縦軸 P－横軸 M_c ）

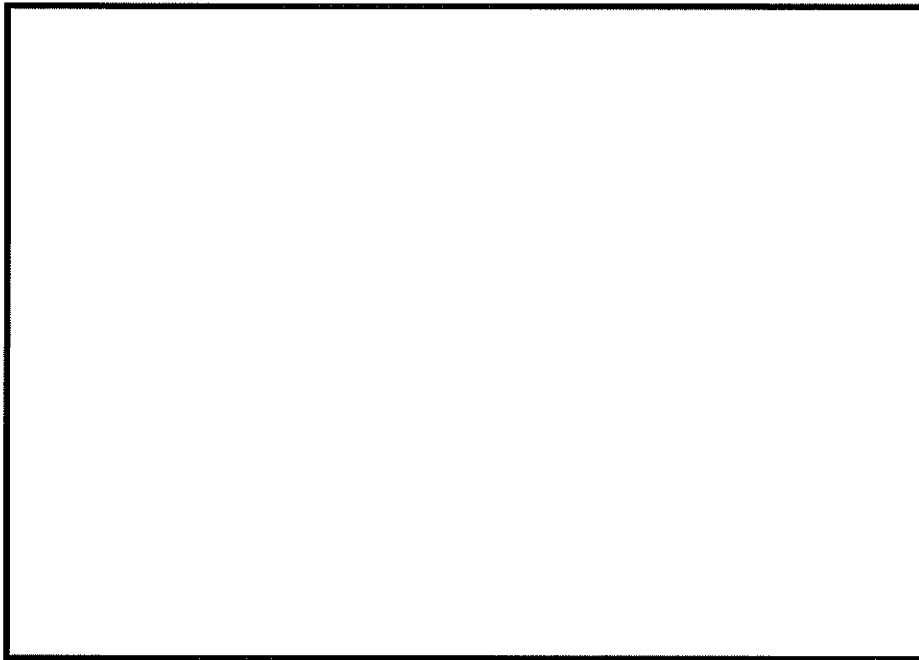


上図：一次応力に対する許容荷重領域

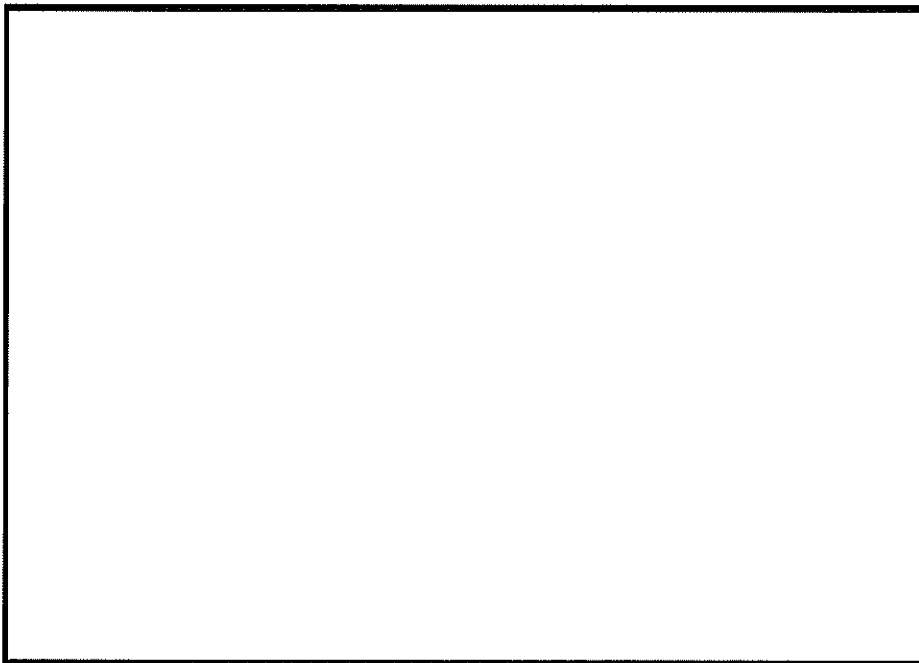


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 22 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No （その 2：縦軸 P－横軸 M_L ）

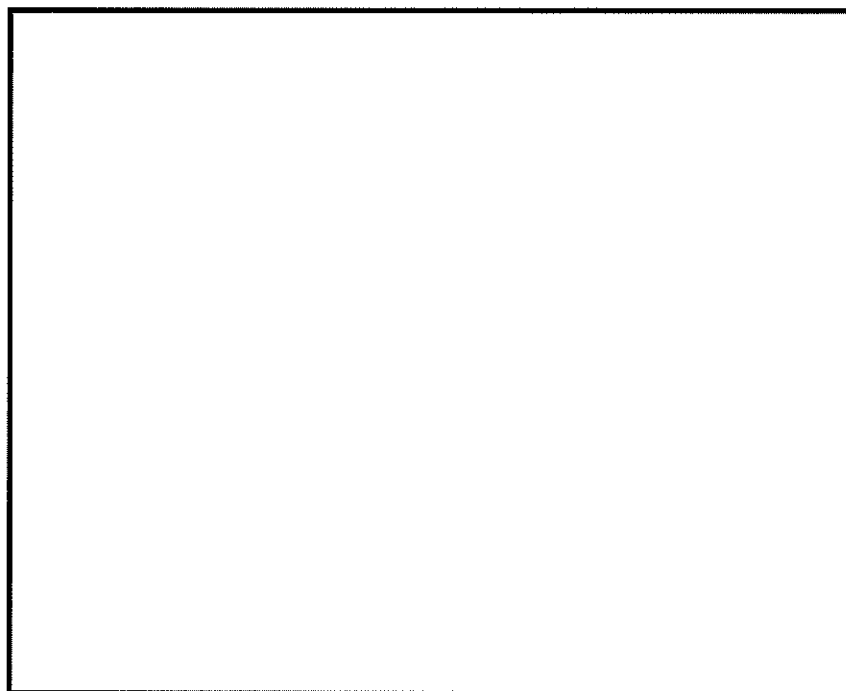


上図：一次応力に対する許容荷重領域

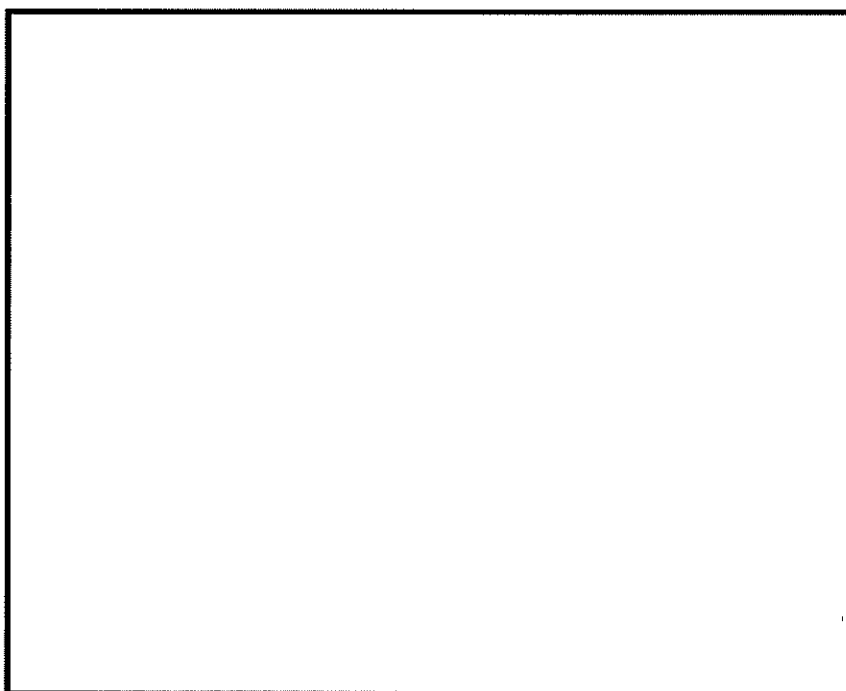


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 23 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No （その 1：縦軸 P－横軸 M_c ）

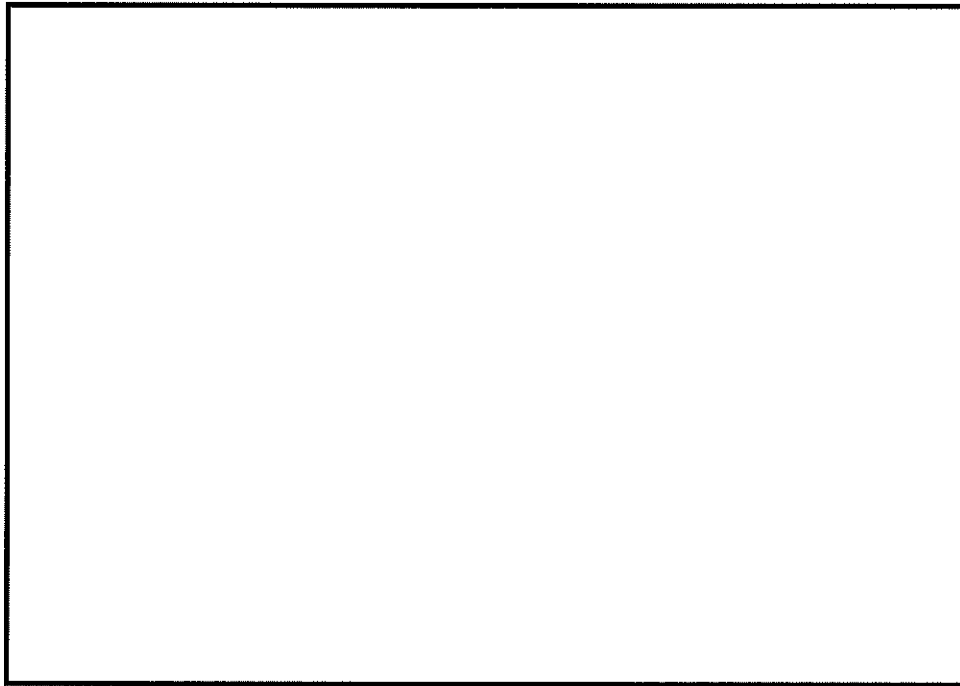


上図：一次応力に対する許容荷重領域

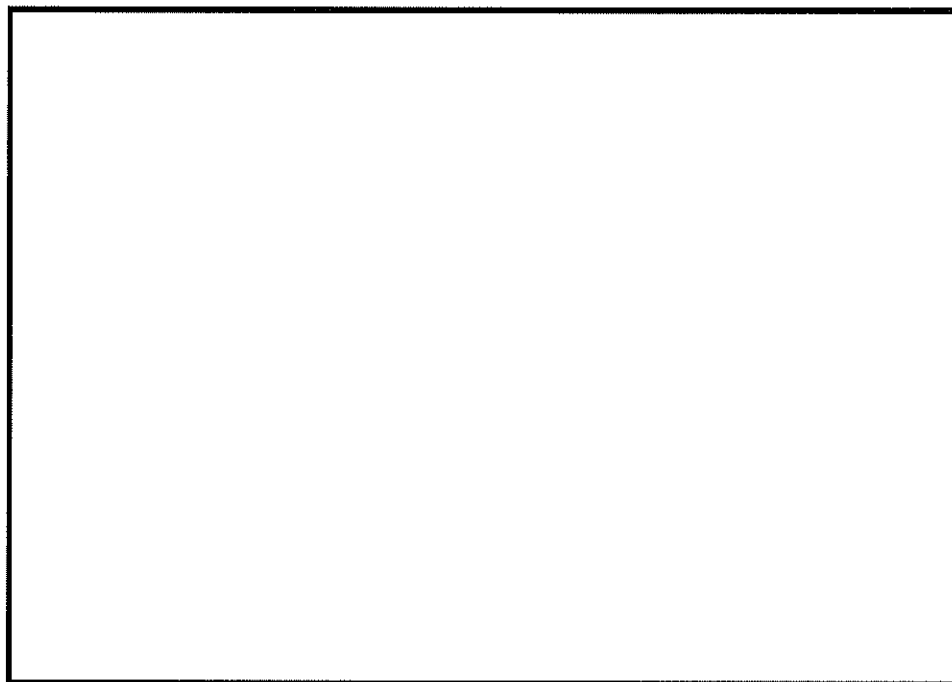


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 23 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その 2：縦軸 P－横軸 M_L ）

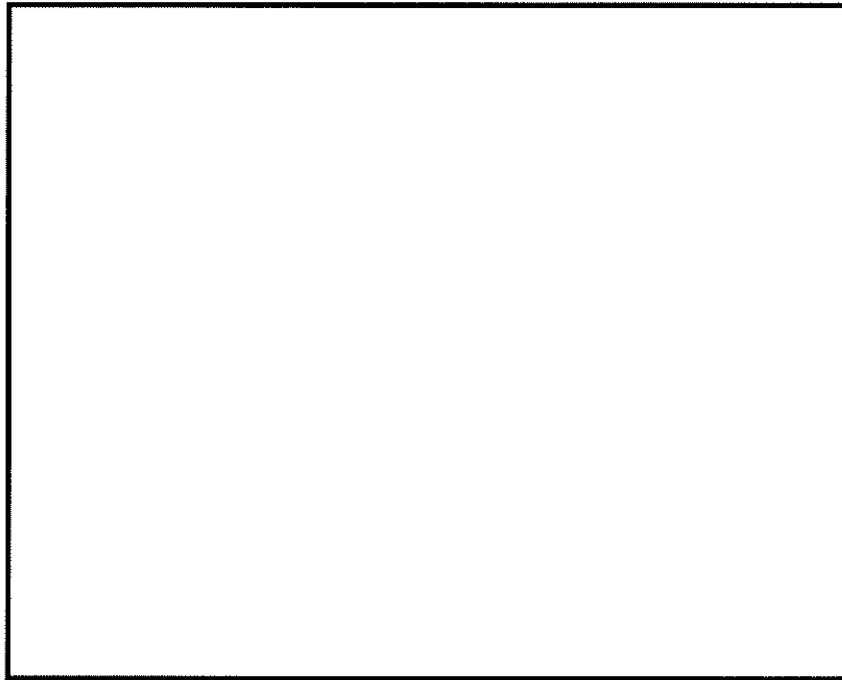


上図：一次応力に対する許容荷重領域

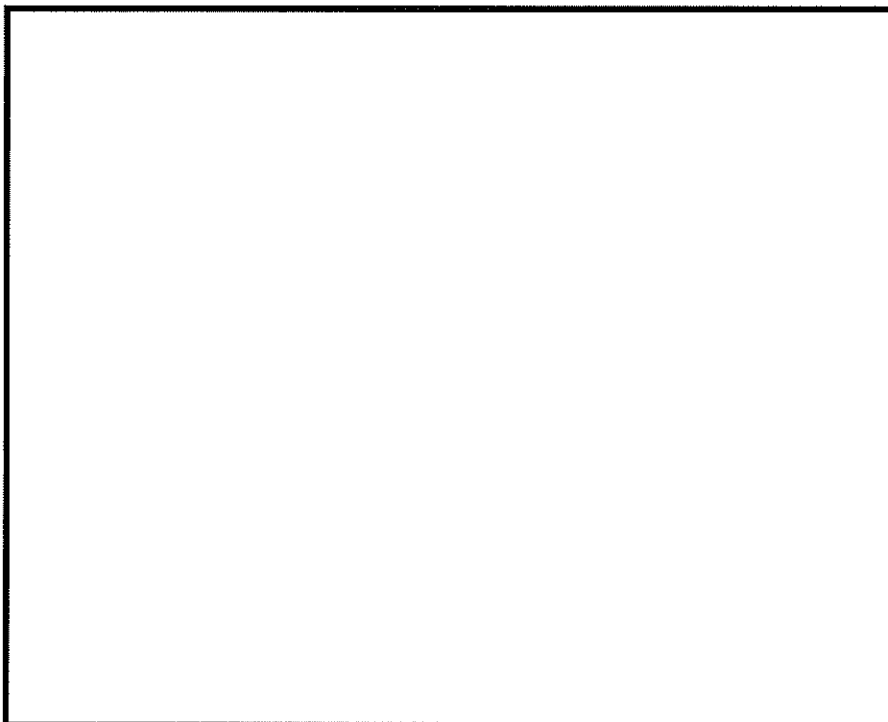


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 24 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その 1：縦軸 P－横軸 M_C ）

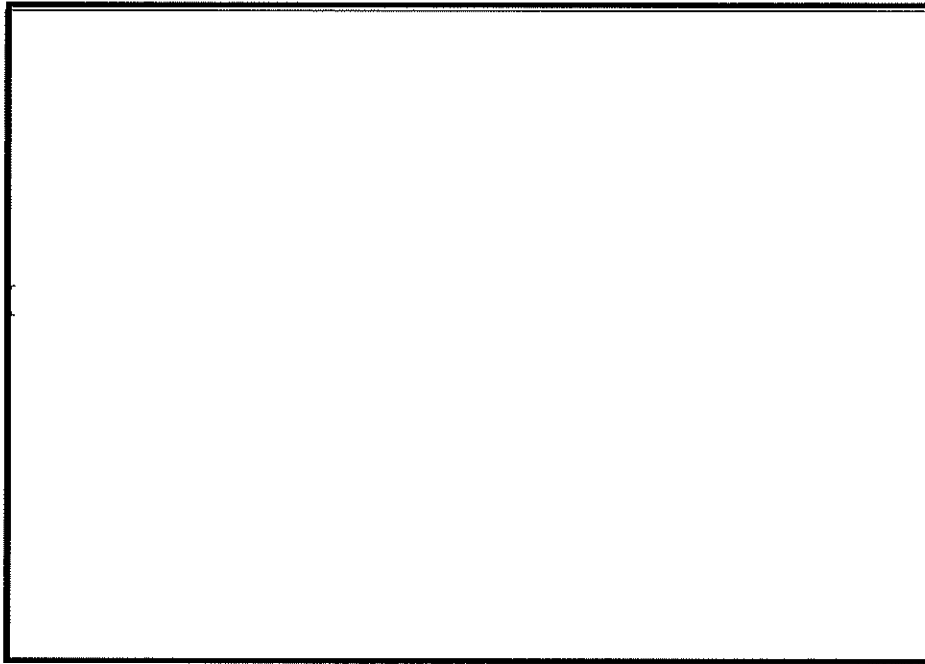


上図：一次応力に対する許容荷重領域

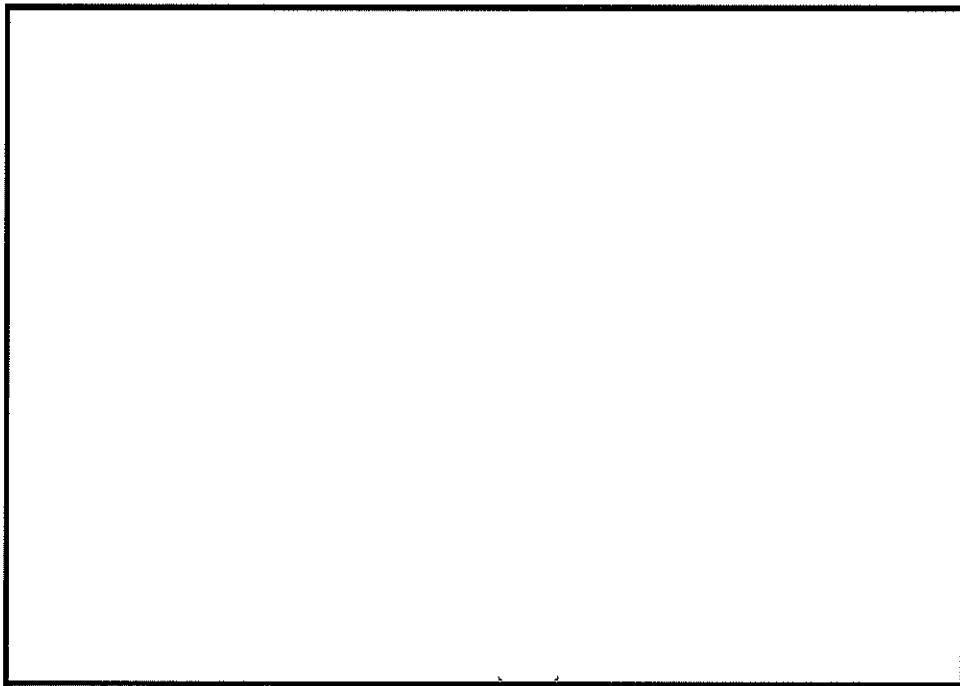


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 24 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No （その 2：縦軸 P－横軸 M_L ）

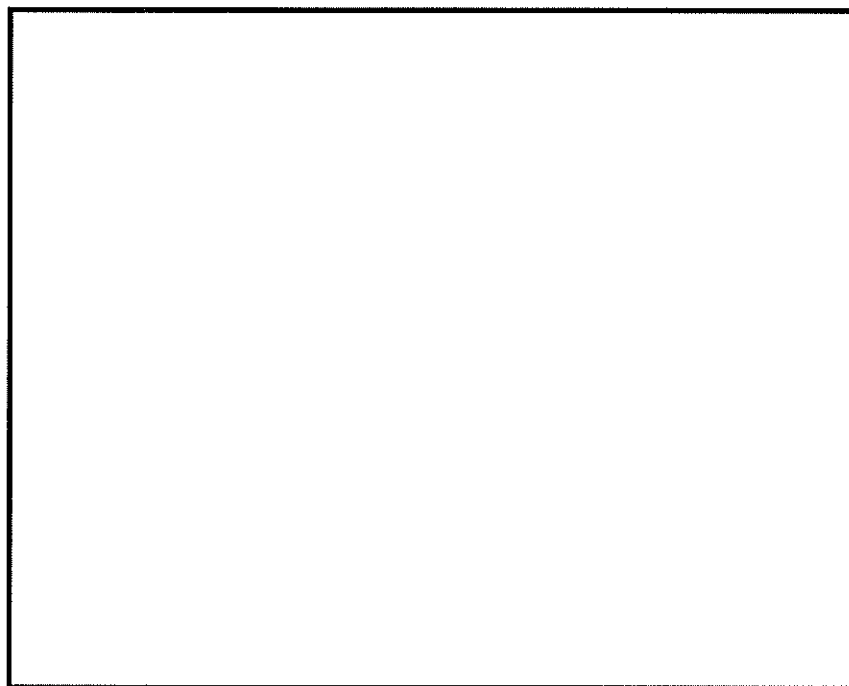


上図：一次応力に対する許容荷重領域

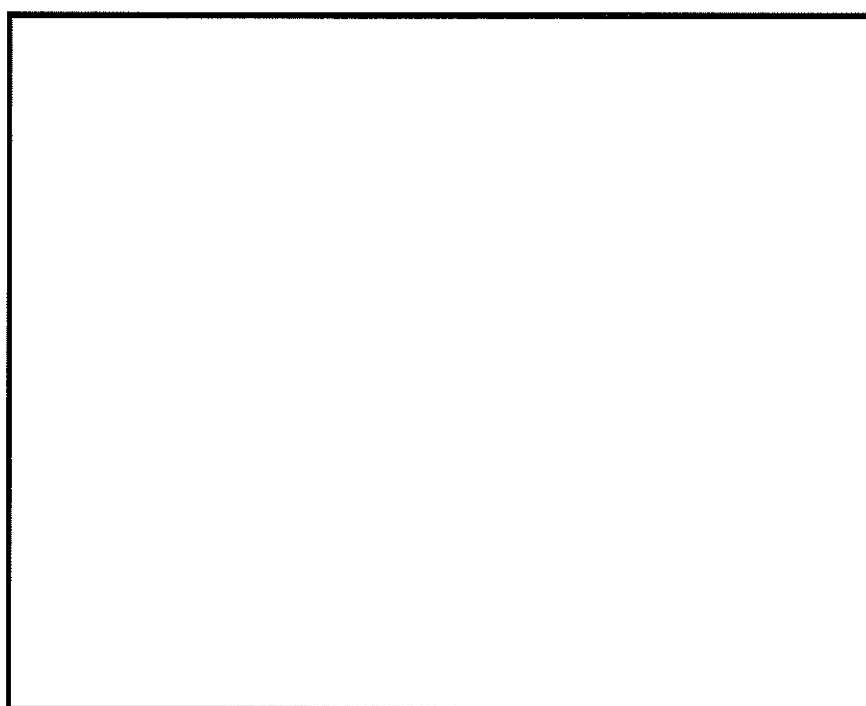


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 25 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. （その 1：縦軸 P－横軸 M_c ）

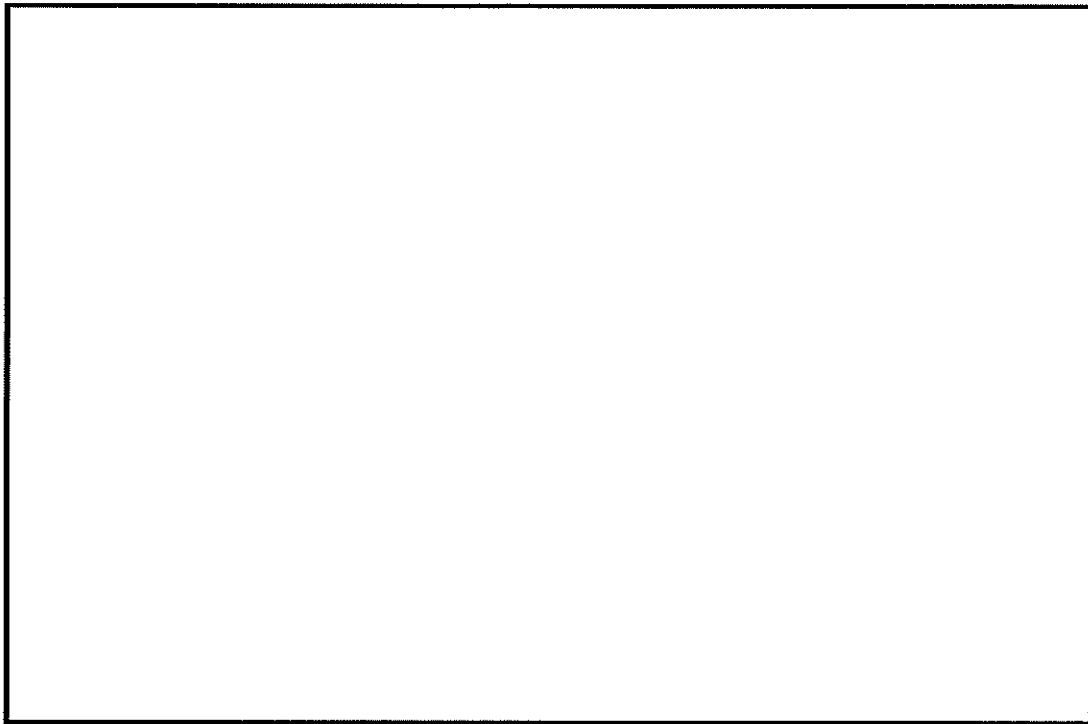


上図：一次応力に対する許容荷重領域

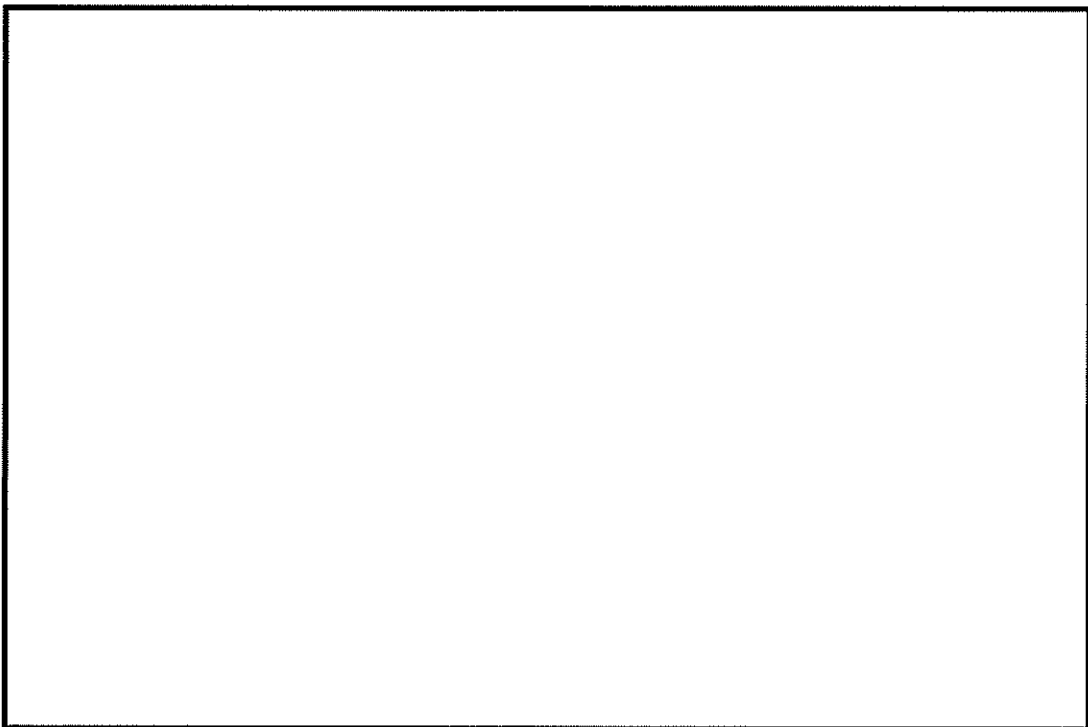


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 25 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No （その 2：縦軸 P －横軸 M_L ）



上図：一次応力に対する許容荷重領域

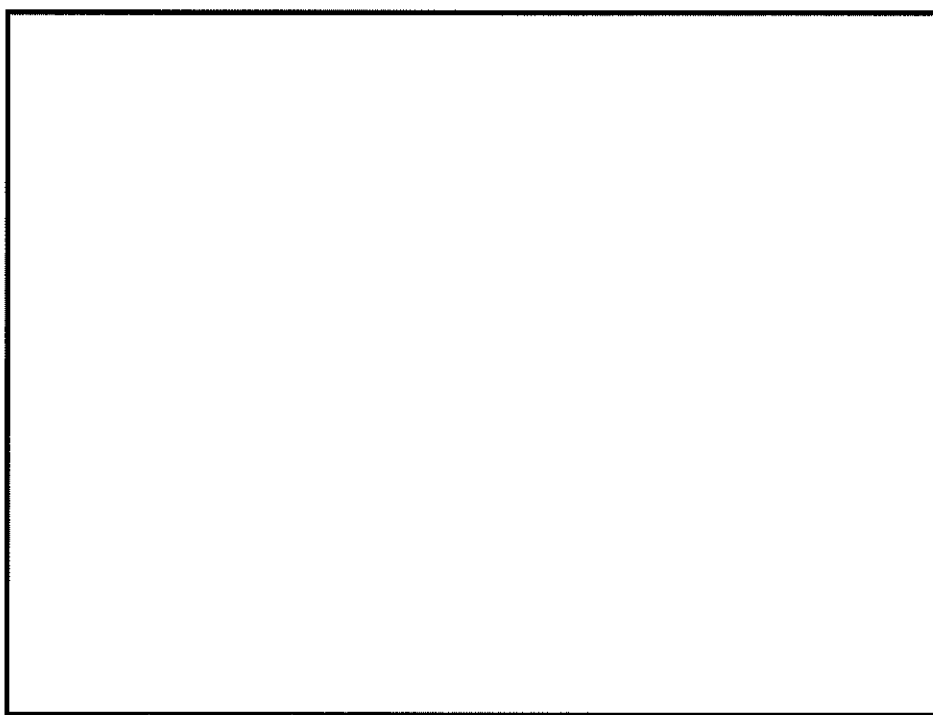


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 26 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. ）（その 1：縦軸 P－横軸 M_c ）



上図：一次応力に対する許容荷重領域



下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 26 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No （その 2：縦軸 P－横軸 M_L ）

別表 配管貫通部一覧

貫通部番号	外径 (mm)	板厚 (mm)	設置高さ EL. (mm)	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	タイプ	用途
							高圧炉心スプレイ系ポンプ吸込
							残留熱除去系ポンプB吸込
							低圧炉心スプレイ系ポンプ吸込
							残留熱除去系ポンプA吸込
							残留熱除去系ポンプC吸込
							不活性ガス系ドライウエル排気
							不活性ガス系ドライウエル給気
							不活性ガス系サブプレッション・チェンバ排気
							不活性ガス系サブプレッション・チェンバ給気
							残留熱除去系A系格納容器スプレイ冷却系(D/W)
							残留熱除去系B系格納容器スプレイ冷却系(D/W)
							残留熱除去系A系サブプレッション・プール冷却系
							残留熱除去系B, C系 サブプレッション・プール冷却系
							原子炉隔離時冷却系タービン排気
							高圧炉心スプレイ系テストライン
							低圧炉心スプレイ系テストライン
							不活性ガス系(窒素ガス供給) 及び燃料プール冷却浄化系
							ほう酸水注入系
							可燃性ガス濃度制御系A系(ユニット上流側)
							原子炉補機冷却系(行き)
							原子炉補機冷却系(戻り)
							原子炉隔離時冷却系ポンプ吸込
							残留熱除去系A, B系 格納容器スプレイ冷却系(S/C)
							主蒸気隔離弁漏えい抑制系A, B系排気
							格納容器ドレン系(床ドレン)
							格納容器ドレン系(機器ドレン)
							予備*

注記

外径, 板厚, 最高使用圧力, 最高使用温度はスリーブの値を示す。

* 評価は現在の系統である格納容器ドレン系(オイルドレン)として実施したが

当該系統は今後廃止され配管は閉止し貫通部は予備となることから配管反力は生じない。

4 ダイアフラム・フロアの耐震性についての計算書
に係る補足説明資料

4-1 ダイアフラム・フロア 設計震度の考え方について

1. 概要

本資料は、ダイヤフラム・フロアの耐震評価における、鉛直方向設計震度の考え方及び水平地震力と鉛直地震力による荷重の組合せの考え方について説明するものである。

2. 設計震度の考え方

ダイヤフラム・フロアの耐震評価においては、動的鉛直震度に対しては 1.2ZPA を適用し、静的鉛直震度については $1.0C_v$ を適用している。

なお、本来であればダイヤフラム・フロアは 1.0ZPA で評価する建物・構築物扱いであるため、機器・配管系の評価震度である 1.2ZPA の適用は不要であるが、ダイヤフラム・フロアは、機器・配管の支持構造物であることから、動的影響に対する安全裕度を考慮して動的地震力に対しては保守的に 1.2ZPA を適用している。一方、静的荷重の評価に関しては、設置場所の動的影響がないことから、従来より一律に「 $1.0C_v$ 」を使用していることに従った結果である。

3. 水平地震力と鉛直地震力による荷重の組合せの考え方

ダイヤフラム・フロアの鉛直方向設計震度を整理したものを表 1 に、水平方向地震荷重を整理したものを表 2 に示す。

ダイヤフラム・フロアの評価においては、動的地震力における水平地震力と鉛直地震力による荷重の組合せ法として、水平：鉛直＝1：0.4 の場合（ダイヤフラム・フロアにとって支配的な組合せ）における組合せ係数法の考え方を適用している。

なお、静的地震力における組合せは、水平地震力による荷重と鉛直地震力による荷重を絶対値和することが基本であるが、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度については、 $1.2ZPA \times 0.4$ を適用した震度と静的震度の大きい方を評価震度として設定し、水平方向地震荷重についても弾性設計用地震動 S_d による地震荷重と静的地震力による地震荷重の大きい方を評価地震力に設定することにより、保守的に動的地震力及び静的地震力の両方の組合せを包絡した評価としている。

表 1 鉛直方向設計震度

耐震条件	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s
地震波	1.2ZPA	静的震度	1.2ZPA
	0.57 (0.23 ^{*1})	0.24	1.08 (0.44 ^{*1})
評価震度	0.24 ^{*2}		0.44

注記 *1 : 組合せ係数法として, 1.2ZPA \times 0.4 を適用した震度

*2 : 1.2ZPA \times 0.4 を適用した震度と静的震度の大きい方を用いる

表 2 水平方向地震荷重

(単位 : kN)

耐震条件	弾性設計用地震動 S_d 又は静的地震力		基準地震動 S_s
地震波	弾性設計用 地震動 S_d	静的地震力	基準地震動 S_s
	11400	11100	18600
評価地震力	11400		18600

以上

補足-340-26 【盤及び計装ラックの固有周期について】

目次

1. 概要	1
2. 構造が同様な設備について	1

1. 概要

本資料は、盤及び計装ラックの耐震計算書に記載した固有周期について補足するものである。

盤及び計装ラックの固有周期は、添付書類「V-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」及び添付書類「V-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載された以下を適用している。

「盤（計装ラック）の固有周期は、振動試験（加振試験又は打振試験）にて求める。なお、振動試験により固有周期が求められていない盤（計装ラック）については、構造が同様な盤（計装ラック）に対する振動試験の結果算定された固有周期を使用する。」

このうち、構造が同様な設備に対する打振試験の結果算定された固有周期を使用して剛としている耐震計算書について主体構造別に分類し、構造が同様な設備について説明する。

2. 構造が同様な設備について

(1) 主体構造別の分類について

構造が同様な設備に対する打振試験の結果算定された固有周期を使用している設備の耐震計算書について、主体構造別に分類すると、表1のとおり分類される。

表1 構造が同様な設備の固有周期を使用している耐震計算書の分類

設備	主体構造
盤 (蓄電池含む)	直立形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤)
	壁掛形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた壁掛形の盤)
	ベンチ形 (鋼材及び鋼板を組み合わせたベンチ形の操作卓)
	直立形 (鋼製架台に固定された制御弁式据置鉛蓄電池)
計装ラック	検出器 * 検出器は、計装ラックに取付けられた取付板に固定

(2) 構造が同様な設備の類似性について

本資料において構造が同様な設備として打振試験の結果を示している設備は、すべてSクラス設備として固有周期0.05秒以下（以下、「剛構造」という。）を満足できるよう、過去の実績も踏まえ以下を考慮した設計・製作を実施し、製作後の打振試験において固有周期が0.05秒以下（剛構造）であることを確認している。

①溶接点数の増加

②補強部材の増強

③厚いフレーム材の使用

構造が同様な設備に対する打振試験の結果算定された固有周期を使用している盤（蓄電池含む）及び計装ラックは、主体構造の分類ごとにこれら剛構造での設計・製作実績のある設備のうち、概略寸法が近い設備と類似した設計とすることにより、剛構造で製作することが可能である。

なお、これら構造が同様な設備に対する打振試験の結果算定された固有周期を使用して剛構造としている盤（蓄電池含む）及び計装ラックについては、製作後に打振試験を行い、剛構造で製作されていることを確認する。

構造が同様な設備に対する打振試験の結果算定された固有周期を使用している盤（蓄電池含む）及び計装ラックと構造が同様な設備の比較表を表 2-1～表 2-5 に整理する。また、構造が同様な設備の打振試験内容・結果について表 3-1～表 3-16 に示す。

(3) 直立形設備の鉛直方向の固有周期について

直立形の設備は鉛直方向に剛構造であることから、鉛直方向については過去の打振試験においても基本的に試験を実施していない。そのため、直立型設備については、同じ直立形の盤で参考として鉛直方向の固有周期を打振試験にて採取しているパワーセンタを、一律鉛直方向の固有周期に対して構造が同様な設備とする。

表 2-1 構造が同様な設備の打振結果から剛としている盤（直立形）の比較表（1/8）

設備名 (耐震計算番号)	設備の概略仕様	構造が同様な設備				備考
		水平方向		鉛直方向		
		設備名	概略仕様	類似性	設備名 【打振試験結果】	
非常用ディーゼル発電機制御盤 (V-2-10-1-2-6)	たて：約 1600mm 横：約 1000mm 高さ：約 2300mm 重量：□	—	—	—	設備 は船直方向に 剛構造である ことから、直 立形の盤であ るパワーセン タを構造が同 様な設備とす る。 たて：約 1940mm 横：約 8770mm 高さ：約 2360mm 重量 □	水平方向は当該 盤の打振試験に よる
非常用ディーゼル発電機自動電圧 調整器盤 (V-2-10-1-2-6)	たて：約 1900mm 横：約 1200mm 高さ：約 2300mm 重量：□	—	—	—		水平方向は当該 盤の打振試験に よる
非常用ディーゼル発電機シリコン 整流器盤 (V-2-10-1-2-6)	たて：約 1900mm 横：約 1000mm 高さ：約 2300mm 重量：□	—	—	—		水平方向は当該 盤の打振試験に よる
非常用ディーゼル発電機シリコン 整流器用変圧器盤 (V-2-10-1-2-6)	たて：約 1900mm 横：約 1200mm 高さ：約 2300mm 重量：□	—	—	—		水平方向は当該 盤の打振試験に よる
非常用ディーゼル発電機交流リア クトル盤 (V-2-10-1-2-6)	たて：約 1900mm 横：約 1000mm 高さ：約 2300mm 重量：□	—	—	—		水平方向は当該 盤の打振試験に よる
非常用ディーゼル発電機可飽和変 流器盤 (V-2-10-1-2-6)	たて：約 1900mm 横：約 3200mm 高さ：約 2300mm 重量：□	—	—	—		水平方向は当該 盤の打振試験に よる
非常用ディーゼル発電機中性点接 地変圧器盤 (V-2-10-1-2-6)	たて：約 1900mm 横：約 1200mm 高さ：約 2300mm 重量：□	—	—	—		水平方向は当該 盤の打振試験に よる
高圧炉心スブレイ系ディーゼル発 電機制御盤 (V-2-10-1-3-5)	たて：約 1600mm 横：約 1000mm 高さ：約 2300mm 重量：□	—	—	—		水平方向は当該 盤の打振試験に よる
高圧炉心スブレイ系ディーゼル発 電機自動電圧調整器盤 (V-2-10-1-3-5)	たて：約 1900mm 横：約 1200mm 高さ：約 2300mm 重量：□	—	—	—		水平方向は当該 盤の打振試験に よる

表 2-1 構造が同様な設備の打振結果から剛としている盤（直立形）の比較表（2/8）

構造が同様な設備							
設備名 (耐震計算番号)	設備の概略仕様	水平方向			鉛直方向		備考
		設備名 【打振試験結果】	概略仕様	類似性	設備名 【打振試験結果】	概略仕様	
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機シリコン整流器盤 (V-2-10-1-3-5)	たて：約 1900mm 横：約 1000mm 高さ：約 2300mm 重量： <div></div>	—	—	—	—	—	水平方向は当該盤の打振試験による
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機シリコン整流器用変圧器盤 (V-2-10-1-3-5)	たて：約 1900mm 横：約 1200mm 高さ：約 2300mm 重量： <div></div>	—	—	—	—	—	水平方向は当該盤の打振試験による
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機交流リアクトル盤 (V-2-10-1-3-5)	たて：約 1900mm 横：約 1000mm 高さ：約 2300mm 重量： <div></div>	—	—	—	—	—	水平方向は当該盤の打振試験による
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機可飽和変流器盤 (V-2-10-1-3-5)	たて：約 1900mm 横：約 3500mm 高さ：約 2300mm 重量： <div></div>	非常用ディーゼル発電機過飽和変流器盤 【表 3-1】	たて：約 1900mm 横：約 3200mm 高さ：約 2300mm 重量： <div></div>	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤	パワーセンタ 【表 3-2】	たて：約 1940mm 横：約 8770mm 高さ：約 2360mm 重量： <div></div>	直立形の設備は鉛直方向に剛構造であることから、直立形の盤であるパワーセンタを構造が同様な設備とする。
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機中性点接地変圧器盤 (V-2-10-1-3-5)	たて：約 1900mm 横：約 1200mm 高さ：約 2300mm 重量： <div></div>	—	—	—	—	—	水平方向は当該盤の打振試験による
非常用無停電電源装置 (V-2-10-1-6-1)	たて：約 1300mm 横：約 3200mm 高さ：約 2300mm 重量： <div></div>	無停電電源装置 【表 3-3】	たて：約 1300mm 横：約 3000mm 高さ：約 1850mm 重量： <div></div>	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤	—	—	—
緊急用無停電電源装置 (V-2-10-1-6-2)	たて：約 1300mm 横：約 3200mm 高さ：約 2300mm 重量： <div></div>	無停電電源装置 【表 3-3】	たて：約 1300mm 横：約 3000mm 高さ：約 1850mm 重量： <div></div>	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤	—	—	—

表 2-1 構造が同様な設備の打振結果から剛としている盤（直立形）の比較表（3/8）

構造が同様な設備							備考
設備名 (耐震計算番号)	設備の概略仕様	水平方向		類似性	鉛直方向		
		設備名 【打振試験結果】	概略仕様		設備名 【打振試験結果】	概略仕様	
モータコントロールセンタ 2C-3 (V-2-10-1-7-3)	たて：約 900mm 横：約 7380mm 高さ：約 2300mm 重量： <div></div>	モータコントロール センタ 2C-8 【表 3-4】	たて：約 900mm 横：約 5580mm 高さ：約 2300mm 重量： <div></div>	S クラス設備とし て設計し、概略寸 法が類似した直立 形の盤	たて：約 1940mm 横：約 8770mm 高さ：約 2360mm 重量 <div></div>	直立形の設備 は鉛直方向に 剛構造である ことから、直 立形の盤であ るパワーセン タを構造が同 様な設備とす る。	—
モータコントロールセンタ 2C-4(1) (V-2-10-1-7-3)	たて：約 900mm 横：約 3780mm 高さ：約 2300mm 重量： <div></div>	モータコントロール センタ 2C-8 【表 3-4】	たて：約 900mm 横：約 5580mm 高さ：約 2300mm 重量： <div></div>	S クラス設備とし て設計し、概略寸 法が類似した直立 形の盤			—
モータコントロールセンタ 2C-4(2) (V-2-10-1-7-3)	たて：約 900mm 横：約 1860mm 高さ：約 2300mm 重量： <div></div>	—	—	—			水平方向は当該 盤の打振試験に よる
モータコントロールセンタ 2C-5, 2D-5 (V-2-10-1-7-3)	たて：約 900mm 横：約 4980mm 高さ：約 2300mm 重量： <div></div>	モータコントロール センタ 2C-8 【表 3-4】	たて：約 900mm 横：約 5580mm 高さ：約 2300mm 重量： <div></div>	S クラス設備とし て設計し、概略寸 法が類似した直立 形の盤			—
モータコントロールセンタ 2C-6, 2D-6 (V-2-10-1-7-3)	たて：約 700mm 横：約 3910mm 高さ：約 2300mm 重量： <div></div>	モータコントロール センタ 2C-8 【表 3-4】	たて：約 900mm 横：約 5580mm 高さ：約 2300mm 重量： <div></div>	S クラス設備とし て設計し、概略寸 法が類似した直立 形の盤			—
モータコントロールセンタ 2C-7, 2D-7 (V-2-10-1-7-3)	たて：約 900mm 横：約 4990mm 高さ：約 2300mm 重量： <div></div>	—	—	—			水平方向は当該 盤の打振試験に よる
モータコントロールセンタ 2C-8, 2D-8 (V-2-10-1-7-3)	たて：約 900mm 横：約 5580mm 高さ：約 2300mm 重量： <div></div>	—	—	—			水平方向は当該 盤の打振試験に よる
モータコントロールセンタ 2C-9, 2D-9 (V-2-10-1-7-3)	たて：約 900mm 横：約 4380mm 高さ：約 2300mm 重量： <div></div>	—	—	—			水平方向は当該 盤の打振試験に よる

表 2-1 構造が同様な設備の打振結果から剛としている盤（直立形）の比較表（4/8）

設備名 (耐震計算番号)	設備の概略仕様	構造が同様な設備				備考
		水平方向		鉛直方向		
		設備名 【打振試験結果】	概略仕様	類似性	設備名 【打振試験結果】	
モータコントロールセンタ 2D-3 (V-2-10-1-7-3)	たて：約 900mm 横：約 4380mm 高さ：約 2300mm 重量：□	モータコントロールセンタ 2C-8 【表 3-4】	たて：約 900mm 横：約 5580mm 高さ：約 2300mm 重量：□	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤	設備 は鉛直方向に剛構造であることから、直立形の盤であるパワーセンタを構造が同様な設備とする。 たて：約 1940mm 横：約 8770mm 高さ：約 2360mm 重量：□	水平方向は当該盤の打振試験による
モータコントロールセンタ 2D-4(1) (V-2-10-1-7-3)	たて：約 900mm 横：約 3780mm 高さ：約 2300mm 重量：□	モータコントロールセンタ 2C-8 【表 3-4】	たて：約 900mm 横：約 5580mm 高さ：約 2300mm 重量：□	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤		水平方向は当該盤の打振試験による
モータコントロールセンタ 2D-4(2) (V-2-10-1-7-3)	たて：約 900mm 横：約 1860mm 高さ：約 2300mm 重量：□	モータコントロールセンタ 2C-8 【表 3-4】	たて：約 900mm 横：約 5580mm 高さ：約 2300mm 重量：□	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤		水平方向は当該盤の打振試験による
モータコントロールセンタ HPCS(1) (V-2-10-1-7-3)	たて：約 590mm 横：約 3060mm 高さ：約 2300mm 重量：□	直流 125V モータコントロールセンタ 2A-2 【表 3-5】	たて：約 560mm 横：約 4430mm 高さ：約 2300mm 重量：□	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤		—
モータコントロールセンタ HPCS(2) (V-2-10-1-7-3)	たて：約 590mm 横：約 3830mm 高さ：約 2300mm 重量：□	直流 125V モータコントロールセンタ 2A-2 【表 3-5】	たて：約 560mm 横：約 4430mm 高さ：約 2300mm 重量：□	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤		水平方向は当該盤の打振試験による
緊急用断路器 (V-2-10-1-7-5)	たて：約 1600mm 横：約 3800mm 高さ：約 2300mm 重量：□	動力変圧器盤 【表 3-6】	たて：約 2000mm 横：約 3500mm 高さ：約 2400mm 重量：□	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤		—
緊急用メタルクラッド開閉装置 (V-2-10-1-7-6)	たて：約 2740mm 横：約 5100mm 高さ：約 2300mm 重量：□	メタルクラッド開閉装置 HPCS 【表 3-7】	たて：約 2700mm 横：約 7100mm 高さ：約 2600mm 重量：□	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤		—
緊急用パワーセンタ (V-2-10-1-7-8)	たて：約 2140mm 横：約 7200mm 高さ：約 2300mm 重量：□	パワーセンタ 【表 3-2】	たて：約 1940mm 横：約 8770mm 高さ：約 2360mm 重量：□	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤		水平方向は当該盤の打振試験による

表 2-1 構造が同様な設備の打振結果から剛としている盤（直立形）の比較表（5/8）

設備名 (耐震計算番号)	設備の概略仕様	構造が同様な設備				備考
		水平方向		鉛直方向		
		設備名 【打振試験結果】	概略仕様	類似性	設備名 【打振試験結果】	
緊急用モータコントロールセンタ (V-2-10-1-7-9)	たて：約 700mm 横：約 6310mm 高さ：約 2300mm 重量： <div></div>	モータコントロールセンタ 2C-8 【表 3-4】	たて：約 560mm 横：約 4430mm 高さ：約 2300mm 重量： <div></div>	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤	類似性 <	

表 2-1 構造が同様な設備の打振結果から剛としている盤（直立形）の比較表（6/8）

設備名 (耐震計算書番号)	設備の概略仕様	構造が同様な設備				備考
		水平方向		鉛直方向		
		設備名 【打振試験結果】	概略仕様	類似性	設備名 【打振試験結果】	
緊急時対策用動力変圧器 (V-2-10-1-7-19)	たて：約 1900mm 横：約 3100mm 高さ：約 2300mm 重量：□	動力変圧器盤 【表 3-6】	たて：約 2000mm 横：約 3500mm 高さ：約 2400mm 重量：□	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤	設備名 パワーセンタ 【表 3-2】 たて：約 1940mm 横：約 8770mm 高さ：約 2360mm 重量：□ 直立形の設備は鉛直方向に剛構造であることから、直立形の盤であるパワーセンタを構造が同様な設備とする。	—
緊急時対策用パワーセンタ (V-2-10-1-7-20)	たて：約 1800mm 横：約 2130mm 高さ：約 2300mm 重量：□	非常用ディーゼル発電機過飽和変流器盤 【表 3-1】	たて：約 1900mm 横：約 3200mm 高さ：約 2300mm 重量：□	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤		—
緊急時対策用モータコントロールセンタ (480V, 210V) (V-2-10-1-7-21)	たて：約 550mm 横：約 700mm 高さ：約 2300mm 重量：□	RCIC 補機起動盤 【表 3-9】	たて：約 700mm 横：約 1400mm 高さ：約 2300mm 重量：□	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤		—
緊急時対策用モータコントロールセンタ (変圧器盤) (V-2-10-1-7-21)	たて：約 1000mm 横：約 1000mm 高さ：約 2300mm 重量：□	RCIC 補機起動盤 【表 3-9】	たて：約 700mm 横：約 1400mm 高さ：約 2300mm 重量：□	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤		—
緊急時対策用 100V 分電盤 1, 2-1 (V-2-10-1-7-22)	たて：約 1000mm 横：約 1200mm 高さ：約 2400mm 重量：□	非常用ディーゼル発電機自動電圧調整器盤 【表 3-8】	たて：約 1900mm 横：約 1200mm 高さ：約 2300mm 重量：□	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤		—
緊急時対策用直流 125V 主母線盤 (V-2-10-1-7-23)	たて：約 1800mm 横：約 830mm 高さ：約 2300mm 重量：□	非常用ディーゼル発電機自動電圧調整器盤 【表 3-8】	たて：約 1900mm 横：約 1200mm 高さ：約 2300mm 重量：□	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤		—
緊急時対策用直流 125V 分電盤 (V-2-10-1-7-24)	たて：約 550mm 横：約 1400mm 高さ：約 2400mm 重量：□	RCIC 補機起動盤 【表 3-9】	たて：約 700mm 横：約 1400mm 高さ：約 2300mm 重量：□	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤		—
緊急時対策用災害対策本部操作盤 (V-2-10-1-7-25)	たて：約 1500mm 横：約 1500mm 高さ：約 2300mm 重量：□	非常用ディーゼル発電機自動電圧調整器盤 【表 3-8】	たて：約 1900mm 横：約 1200mm 高さ：約 2300mm 重量：□	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤		—

表 2-1 構造が同様な設備の打振結果から剛としている盤（直立形）の比較表（7/8）

設備名 (耐震計算書番号)	設備の概略仕様	構造が同様な設備				備考
		水平方向		鉛直方向		
		設備名 【打振試験結果】	概略仕様	類似性	設備名 【打振試験結果】	
緊急時対策所用非常用換気空調設備 操作盤(操作盤) (V-2-10-1-7-26)	たて：約 1000mm 横：約 1000mm 高さ：約 2300mm 重量：[]	非常用ディーゼル発電機自動電圧調整器盤 【表 3-8】	たて：約 1900mm 横：約 1200mm 高さ：約 2300mm 重量：[]	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤	設備名 パワーセンタ 【表 3-2】 たて：約 1940mm 横：約 8770mm 高さ：約 2360mm 重量 []	直立形の設備は鉛直方向に剛構造であることから、直立形の盤であるパワーセンタを構造が同様な設備とする。
緊急時対策所用非常用換気空調設備 補助盤(補機補助盤) (V-2-10-1-7-26)	たて：約 1000mm 横：約 1000mm 高さ：約 2300mm 重量：[]	RCIC 補機起動盤 【表 3-9】	たて：約 700mm 横：約 1400mm 高さ：約 2300mm 重量：[]	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤		
可搬型代替低圧電源車接続盤 (V-2-10-1-7-27)	たて：約 1800mm 横：約 1000mm 高さ：約 2300mm 重量：[]	非常用ディーゼル発電機自動電圧調整器盤 【表 3-8】	たて：約 1900mm 横：約 1200mm 高さ：約 2300mm 重量：[]	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤		
可搬型代替直流電源設備用電源切換盤 (V-2-10-1-7-28)	たて：約 800mm 横：約 1610mm 高さ：約 2000mm 重量：[]	非常用ディーゼル発電機自動電圧調整器盤 【表 3-8】	たて：約 1900mm 横：約 1200mm 高さ：約 2300mm 重量：[]	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤		
可搬型整流器用変圧器 (V-2-10-1-7-29)	たて：約 1800mm 横：約 1800mm 高さ：約 2300mm 重量：[]	緊急用蓄電池充電器 【表 3-10】	たて：約 1500mm 横：約 1600mm 高さ：約 2300mm 重量：[]	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤		
直流 125V 主母線盤 2A(1), 2B(1) (V-2-10-1-7-30)	たて：約 1600mm 横：約 800mm 高さ：約 2300mm 重量：[]	非常用ディーゼル発電機自動電圧調整器盤 【表 3-8】	たて：約 1900mm 横：約 1200mm 高さ：約 2300mm 重量：[]	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤		
直流 125V 主母線盤 2A(2) (V-2-10-1-7-30)	たて：約 1600mm 横：約 2800mm 高さ：約 2300mm 重量：[]	非常用ディーゼル発電機過飽和変流器盤 【表 3-1】	たて：約 1900mm 横：約 3200mm 高さ：約 2300mm 重量：[]	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤		
直流 125V 主母線盤 2B(2) (V-2-10-1-7-30)	たて：約 1600mm 横：約 2600mm 高さ：約 2300mm 重量：[]	非常用ディーゼル発電機過飽和変流器盤 【表 3-1】	たて：約 1900mm 横：約 3200mm 高さ：約 2300mm 重量：[]	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した直立形の盤		

表 2-1 構造が同様な設備の打振結果から剛としている盤（直立形）の比較表（8/8）

設備名 (耐震計算番号)	設備の概略仕様	構造が同様な設備					備考
		水平方向		鉛直方向			
		設備名 【打振試験結果】	概略仕様	類似性	設備名 【打振試験結果】	概略仕様	
直流 125V モーターコントロールセ ンタ 2A-1 (V-2-10-1-7-31)	たて：約 560mm 横：約 6830mm 高さ：約 2300mm 重量： <input type="text"/>	直流 125V モーター コントロールセ ンタ 2A-2 【表 3-5】	たて：約 560mm 横：約 4430mm 高さ：約 2300mm 重量： <input type="text"/>	S クラス設備とし て設計し、概略寸 法が類似した直立 形の盤	パワーセンター 【表 3-2】 たて：約 1940mm 横：約 8770mm 高さ：約 2360mm 重量： <input type="text"/>	直立形の設備 は鉛直方向に 剛構造である ことから、直 立形の盤であ るパワーセン タを構造が同 様な設備とす る。	—
直流 125V モーターコントロールセ ンタ 2A-2 (V-2-10-1-7-31)	たて：約 560mm 横：約 4430mm 高さ：約 2300mm 重量： <input type="text"/>	—	—	水平方向は当該 盤の打振試験に よる			
直流 125V 主母線盤 HPCS (V-2-10-1-7-33)	たて：約 1600mm 横：約 1500mm 高さ：約 2300mm 重量： <input type="text"/>	非常用ディーゼ ル発電機自動電 圧調整器盤 【表 3-8】	たて：約 1900mm 横：約 1200mm 高さ：約 2300mm 重量： <input type="text"/>	S クラス設備とし て設計し、概略寸 法が類似した直立 形の盤			
計測制御設備の盤（格納容器零 気監視系操作盤） (V-2-6-7-1)	たて：約 910mm 横：約 760mm 高さ：約 2290mm 重量： <input type="text"/>	RCIC 補機起動盤 【表 3-9】	たて：約 700mm 横：約 1400mm 高さ：約 2300mm 重量： <input type="text"/>	S クラス設備とし て設計し、概略寸 法が類似した直立 形の盤			
LAN収容架（SA） (V-2-6-7-7)	たて：約 1000mm 横：約 1000mm 高さ：約 1900mm 重量： <input type="text"/>	RCIC 補機起動盤 【表 3-9】	たて：約 700mm 横：約 1400mm 高さ：約 2300mm 重量： <input type="text"/>	S クラス設備とし て設計し、概略寸 法が類似した直立 形の盤			
再循環系ポンプ遮断器 (V-2-6-7-8)	たて：約 2740 mm 横：約 2000 mm 高さ：約 2300 mm 重量： <input type="text"/>	動力変圧器盤 【表 3-6】	たて：約 2000mm 横：約 3500mm 高さ：約 2400mm 重量： <input type="text"/>	S クラス設備とし て設計し、概略寸 法が類似した直立 形の盤		—	
再循環系ポンプ/低速度用電源装置 遮断器 (V-2-6-7-9)	たて：約 2540 mm 横：約 1000 mm 高さ：約 2300 mm 重量： <input type="text"/>	緊急用蓄電池充 電器 【表 3-10】	たて：約 1500mm 横：約 1600mm 高さ：約 2300mm 重量： <input type="text"/>	S クラス設備とし て設計し、概略寸 法が類似した直立 形の盤		—	

表 2-2 構造が同様な設備の打振結果から剛としている盤（壁掛形）の比較表

設備名 (耐震計算番号)	設備の概略仕様	構造が同様な設備			備考
		水平方向、鉛直方向			
		設備名 【打振試験結果】	概略仕様	類似性	
緊急用無停電計装電源切替盤 緊急用直流計装電源切替盤 (V-2-10-1-7-11)	たて：約 500mm 横：約 800mm 高さ：約 1500mm 重量： <div></div>	直流分電盤 【表 3-11】	たて：約 330mm 横：約 1150mm 高さ：約 1800mm 重量： <div></div>	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した壁掛形の盤	—
緊急用無停電計装分電盤 (V-2-10-1-7-12)	たて：約 500mm 横：約 1200mm 高さ：約 1500mm 重量： <div></div>	直流分電盤 【表 3-11】	たて：約 330mm 横：約 1150mm 高さ：約 1800mm 重量： <div></div>	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した壁掛形の盤	—
緊急用直流 125V 計装分電盤 (V-2-10-1-7-16)	たて：約 500mm 横：約 2400mm 高さ：約 2300mm 重量： <div></div>	直流分電盤 【表 3-11】	たて：約 330mm 横：約 1150mm 高さ：約 1800mm 重量： <div></div>	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した壁掛形の盤	—
緊急時対策所用 100V 分電盤 2-2 (V-2-10-1-7-22)	たて：約 350mm 横：約 900mm 高さ：約 1800mm 重量： <div></div>	直流分電盤 【表 3-11】	たて：約 330mm 横：約 1150mm 高さ：約 1800mm 重量： <div></div>	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した壁掛形の盤	—
非常用無停電計装分電盤 (V-2-10-1-7-32)	たて：約 500mm 横：約 1200mm 高さ：約 1500mm 重量： <div></div>	直流分電盤 【表 3-11】	たて：約 330mm 横：約 1150mm 高さ：約 1800mm 重量： <div></div>	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した壁掛形の盤	—
直流±24V 中性子モニタ用分電盤 (V-2-10-1-7-34)	たて：約 300mm 横：約 800mm 高さ：約 1200mm 重量： <div></div>	計測装置収納盤 【表 3-12】	たて：約 410mm 横：約 760mm 高さ：約 920mm 重量： <div></div>	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した壁掛形の盤	—

表 2-3 構造が同様な設備の打振結果から剛としている盤（ベンチ形）の比較表

設備名 (耐震計算番号)	設備の概略仕様	構造が同様な設備			備考
		水平方向，鉛直方向			
		設備名 【打振試験結果】	概略仕様	類似性	
緊急時対策用非常用換気空調設備 操作盤(オペレーターコントロール 机) (V-2-10-1-7-26)	たて：約 1000mm 横：約 2000mm 高さ：約 1400mm 重量： <div></div>	原子炉補機操作盤 【表 3-13】	たて：約 1530mm 横：約 2820mm 高さ：約 2290mm 重量： <div></div>	S クラス設備として設計し，概略寸 法が類似したベンチ形の盤	—

表 2-4 構造が同様な設備の打振結果から剛としている蓄電池の比較表 (1/2)








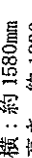
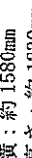



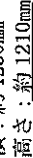

設備名 (耐震計算番号)	設備の概略仕様	構造が同様な設備				備考
		水平方向		鉛直方向		
		設備名 【打振試験結果】	概略仕様	類似性	設備名 【打振試験結果】	
125V 系蓄電池 A 系/B 系(4 個並び 2 段 1 列) (V-2-10-1-6-3)	たて：約 960mm 横：約 1580mm 高さ：約 1230mm 重量： 	125V 蓄電池 (4 個並び 2 段 1 列) 【表 3-14】	たて：約 960mm 横：約 1580mm 高さ：約 1230mm 重量： 	S クラス設備とし て設計し、概略寸 法が類似した蓄電 池架台		—
125V 系蓄電池 A 系/B 系(3 個並び 2 段 1 列) (V-2-10-1-6-3)	たて：約 960mm 横：約 1240mm 高さ：約 1230mm 重量： 	125V 蓄電池 (2, 3 個並び 2 段 1 列) 【表 3-15】	たて：約 960mm 横：約 1240mm 高さ：約 1230mm 重量： 	—		—
125V 系蓄電池 HPCS 系(8 個並び 2 段 2 列) (V-2-10-1-6-4)	たて：約 750mm 横：約 1560mm 高さ：約 1220mm 重量： 	—	—	—		水平方向は当該 盤の打振試験に よる
125V 系蓄電池 HPCS 系(6, 7 個並び 2 段 2 列) (V-2-10-1-6-4)	たて：約 750mm 横：約 1390mm 高さ：約 1220mm 重量： 	—	—	—		水平方向は当該 盤の打振試験に よる
中性子モニター用蓄電池 (V-2-10-1-6-5)	たて：約 610mm 横：約 1460mm 高さ：約 540mm 重量： 	—	—	—	パワーステン 【表 3-2】	水平方向は当該 盤の打振試験に よる
緊急用 125V 系蓄電池(4 個並び 2 段 1 列) (V-2-10-1-6-6)	たて：約 960mm 横：約 1580mm 高さ：約 1230mm 重量： 	125V 蓄電池 (4 個並び 2 段 1 列) 【表 3-14】	たて：約 960mm 横：約 1580mm 高さ：約 1230mm 重量： 	S クラス設備とし て設計し、概略寸 法が類似した蓄電 池架台	たて：約 1940mm 横：約 8770mm 高さ：約 2360mm 重量 	直立形の設備 は鉛直方向に 剛構造である ことから、直 立形の盤であ るパワーステ ンを構造が同 様な設備とす る。
緊急用 125V 系蓄電池(3 個並び 2 段 1 列) (V-2-10-1-6-6)	たて：約 960mm 横：約 1240mm 高さ：約 1230mm 重量： 	125V 蓄電池 (2, 3 個並び 2 段 1 列) 【表 3-15】	たて：約 960mm 横：約 1240mm 高さ：約 1230mm 重量： 	S クラス設備とし て設計し、概略寸 法が類似した蓄電 池架台		—
緊急時対策所用 125V 系蓄電池(6 個並び 2 段 1 列) (V-2-10-1-6-7)	たて：約 860mm 横：約 1250mm 高さ：約 1210mm 重量： 	125V 蓄電池 (2, 3 個並び 2 段 1 列) 【表 3-15】	たて：約 960mm 横：約 1240mm 高さ：約 1230mm 重量： 	S クラス設備とし て設計し、概略寸 法が類似した蓄電 池架台		—

表 2-4 構造が同様な設備の打振結果から剛としている蓄電池の比較表 (2/2)

設備名 (耐震計算書番号)	設備の概略仕様	構造が同様な設備						備考
		水平方向			鉛直方向			
		設備名 【打振試験結果】	概略仕様	類似性	設備名 【打振試験結果】	概略仕様	類似性	
125V 系蓄電池 A 系/B 系 (4 個並び 2 段 1 列) (V-2-10-1-6-3)	たて：約 960mm 横：約 1580mm 高さ：約 1230mm 重量： <div></div>	125V 蓄電池 (4 個並び 2 段 1 列) 【表 3-14】	たて：約 960mm 横：約 1580mm 高さ：約 1230mm 重量： <div></div>	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した蓄電池架台	パワーセンタ 【表 3-2】	たて：約 1940mm 横：約 8770mm 高さ：約 2360mm 重量： <div></div>	直立形の設備は鉛直方向に剛構造であることから、直立形の盤であるパワーセンタを構造が同様な設備とする。	—

表 2-5 構造が同様な設備の打振結果から剛としている計装ラックの比較表 (1/2)

設備名 (耐震計算番号)	設備の概略仕様	構造が同様な設備					備考
		水平方向		鉛直方向			
		設備名 【打振試験結果】	概略仕様	類似性	設備名 【打振試験結果】	概略仕様	
格納容器内水素濃度 (V-2-6-5-30)	たて：約 600mm 横：約 3150mm 高さ：約 2100mm 重量： <div></div>	—	—	—			水平方向は当該 盤の打振試験に よる
原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出 力 (V-2-6-7-22)	たて：約 762mm 横：約 1829mm 高さ：約 2134mm 重量： <div></div>			—			—
高圧炉心スプレレイ系ポンプ吐出 力 (V-2-6-7-23)	たて：約 762mm 横：約 1219mm 高さ：約 2134mm 重量： <div></div>						—
高圧炉心スプレレイ系系統流量 (V-2-6-5-15)	たて：約 762mm 横：約 1219mm 高さ：約 2134mm 重量： <div></div>						—
低圧炉心スプレレイ系ポンプ吐出 力 (V-2-6-7-24)	たて：約 762mm 横：約 1219mm 高さ：約 2134mm 重量： <div></div>	原子炉水位（燃料域）（計装ラック） 【表 3-16】	たて：約 762mm 横：約 1829mm 高さ：約 2134mm 重量： <div></div>	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した計装ラック	原子炉水位（燃料域）（計装ラック） 【表 3-16】	たて：約 762mm 横：約 1829mm 高さ：約 2134mm 重量： <div></div>	S クラス設備として設計した計装ラック
低圧炉心スプレレイ系系統流量 (V-2-6-5-16)	たて：約 762mm 横：約 1219mm 高さ：約 2134mm 重量： <div></div>						—
残留熱除去系ポンプ吐出圧力 (V-2-6-7-25)	たて：約 762mm 横：約 1219mm 高さ：約 2134mm 重量： <div></div>						—
残留熱除去系系統流量 (V-2-6-5-17)	たて：約 762mm 横：約 1219mm 高さ：約 2134mm 重量： <div></div>						—

表 2-5 構造が同様な設備の打振結果から剛としている計装ラックの比較表 (2/2)

設備名 (耐震計算番号)	設備の概略仕様	構造が同様な設備						備考
		水平方向			鉛直方向			
		設備名 【打振試験結果】	概略仕様	類似性	設備名 【打振試験結果】	概略仕様	類似性	
主蒸気流量 (V-2-6-5-3)	たて：約 762mm 横：約 1219mm 高さ：約 2134mm 重量：□	原子炉水位（燃料域）（計装ラック） 【表 3-16】	たて：約 762mm 横：約 1829mm 高さ：約 2134mm 重量：□	S クラス設備として設計し、概略寸法が類似した計装ラック	原子炉水位（燃料域）（計装ラック） 【表 3-16】	たて：約 762mm 横：約 1829mm 高さ：約 2134mm 重量：□	S クラス設備として設計した計装ラック	—
常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力 (V-2-6-7-19)	たて：約 762mm 横：約 1829mm 高さ：約 2134mm 重量：□	—	—	—	原子炉水位（燃料域）（計装ラック） 【表 3-16】	たて：約 762mm 横：約 1829mm 高さ：約 2134mm 重量：□	S クラス設備として設計した計装ラック	—
格納容器内水素濃度 (V-2-6-5-30)	たて：約 600mm 横：約 3150mm 高さ：約 2100mm 重量：□	—	—	—	—	—	—	水平方向は当該壁の打振試験による

表 3-1 非常用ディーゼル発電機可飽和変流器盤(直立形の盤)の打振試験内容・結果

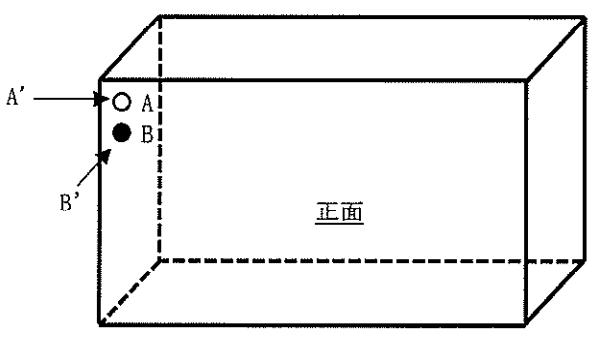
設備の概略仕様	試験内容	試験結果
たて：約 1900mm 横：約 3200mm 高さ：約 2300mm 重量： <input type="text"/>	測定点 A, B 打振方向 A', B' 裏面 正面 	A 点： <input type="text"/> Hz B 点： <input type="text"/> Hz

表 3-2 パワーセンタ(直立形の盤)の打振試験内容・結果

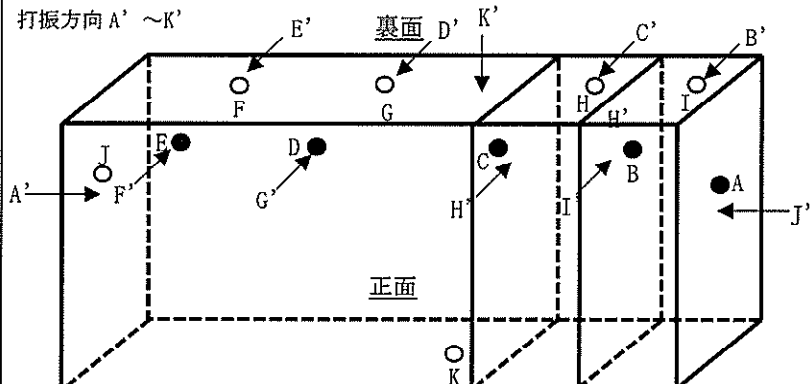
設備の概略仕様	試験内容	試験結果
たて：約 1940mm 横：約 8770mm 高さ：約 2360mm 重量： <input type="text"/>	測定点 A~K 打振方向 A' ~K' 裏面 正面 	A 点： <input type="text"/> Hz B 点： <input type="text"/> Hz C 点： <input type="text"/> Hz D 点： <input type="text"/> Hz E 点： <input type="text"/> Hz F 点： <input type="text"/> Hz G 点： <input type="text"/> Hz H 点： <input type="text"/> Hz I 点： <input type="text"/> Hz J 点： <input type="text"/> Hz K 点： <input type="text"/> Hz

表 3-3 無停電電源装置(直立形の盤)の打振試験内容・結果

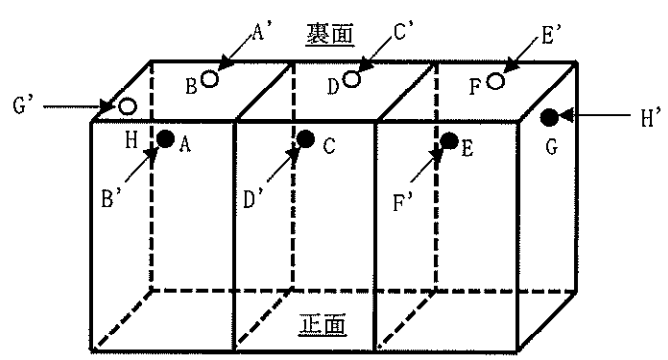
設備の概略仕様	試験内容	試験結果
たて：約 1300mm 横：約 3000mm 高さ：約 1850mm 重量： <input type="text"/>	測定点 A~H 打振方向 A' ~H' 裏面 正面 	A 点： <input type="text"/> Hz B 点： <input type="text"/> Hz C 点： <input type="text"/> Hz D 点： <input type="text"/> Hz E 点： <input type="text"/> Hz F 点： <input type="text"/> Hz G 点： <input type="text"/> Hz H 点： <input type="text"/> Hz

表 3-4 モータコントロールセンタ 2C-8(直立形の盤)の打振試験内容・結果

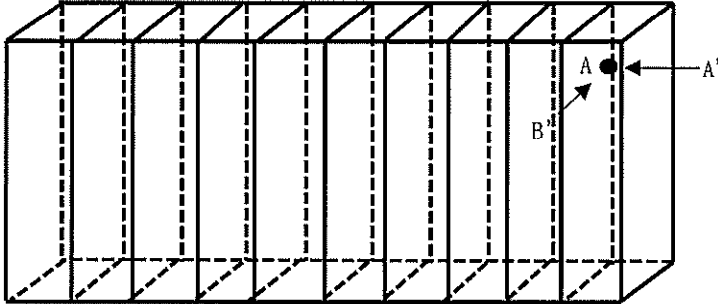
設備の概略仕様	試験内容	試験結果
たて：約 900mm 横：約 5580mm 高さ：約 2300mm 重量： <input type="text"/>	測定点 A 打振方向 A' , B' 	A 点： <input type="text"/> Hz (左右) A 点： <input type="text"/> Hz (前後)

表 3-5 直流 125V モータコントロールセンタ 2A-2(直立形の盤)の打振試験内容・結果

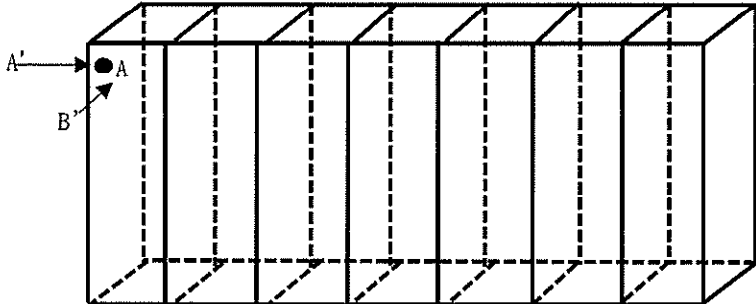
設備の概略仕様	試験内容	試験結果
たて：約 560mm 横：約 4430mm 高さ：約 2300mm 重量： <input type="text"/>	測定点 A 打振方向 A' , B' 	A 点： <input type="text"/> Hz (左右) A 点： <input type="text"/> Hz (前後)

表 3-6 動力変圧器盤(直立形の盤)の打振試験内容・結果

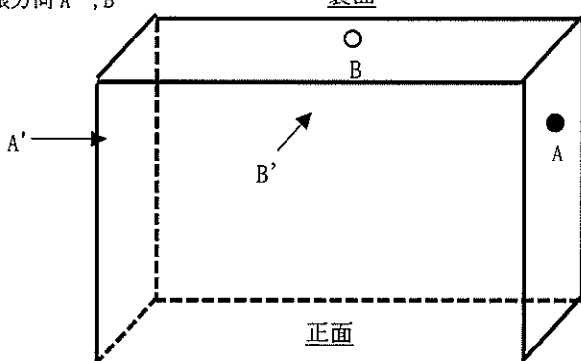
設備の概略仕様	試験内容	試験結果
たて：約 2000mm 横：約 3500mm 高さ：約 2400mm 重量： <input type="text"/>	測定点 A, B 打振方向 A' , B' 	A 点： <input type="text"/> Hz B 点： <input type="text"/> Hz

表 3-7 メタルクラッド開閉装置 HPCS (直立形の盤) の打振試験内容・結果

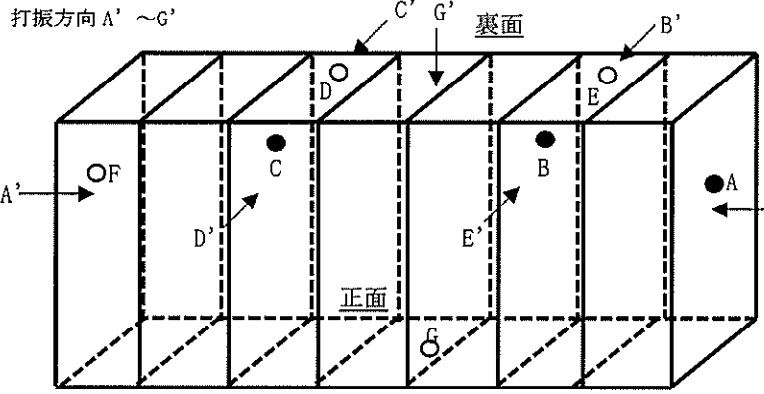
設備の概略仕様	試験内容	試験結果
たて：約 2700mm 横：約 7100mm 高さ：約 2600mm 重量： <input type="text"/>	測定点 A～G 打振方向 A' ～G' 	A 点： <input type="text"/> Hz B 点： <input type="text"/> Hz C 点： <input type="text"/> Hz D 点： <input type="text"/> Hz E 点： <input type="text"/> Hz F 点： <input type="text"/> Hz G 点： <input type="text"/> Hz

表 3-8 非常用ディーゼル発電機自動電圧調整器盤 (直立形の盤) の打振試験内容・結果

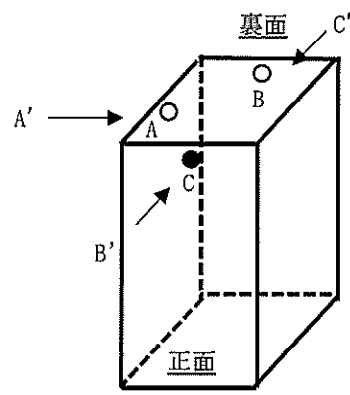
設備の概略仕様	試験内容	試験結果
たて：約 1900mm 横：約 1200mm 高さ：約 2300mm 重量： <input type="text"/>	測定点 A～C 打振方向 A' ～C' 	A 点： <input type="text"/> Hz B 点： <input type="text"/> Hz C 点： <input type="text"/> Hz

表 3-9 RCIC 補機起動盤 (直立形の盤) の打振試験内容・結果

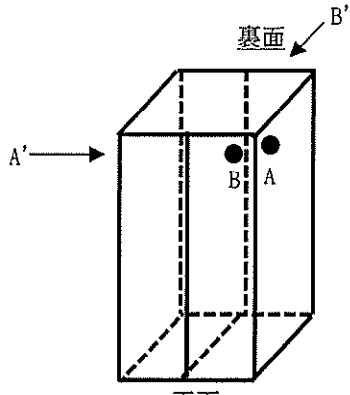
設備の概略仕様	試験内容	試験結果
たて：約 700mm 横：約 1400mm 高さ：約 2300mm 重量： <input type="text"/>	測定点 A, B 打振方向 A', B' 	A 点： <input type="text"/> Hz B 点： <input type="text"/> Hz

表 3-10 緊急用蓄電池充電器(直立形の盤)の打振試験内容・結果

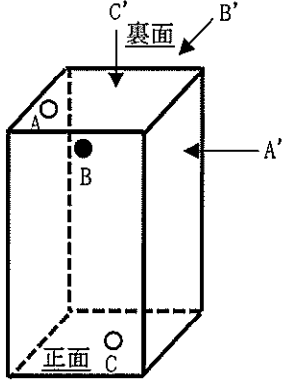
設備の概略仕様	試験内容	試験結果
たて：約 1500mm 横：約 1600mm 高さ：約 2300mm 重量： <input type="text"/>	測定点 A～C 打振方向 A' ～C' 	A 点： <input type="text"/> Hz B 点： <input type="text"/> Hz C 点： <input type="text"/> Hz

表 3-11 直流分電盤(壁掛形の盤)の打振試験内容・結果

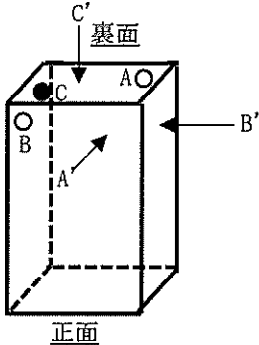
設備の概略仕様	試験内容	試験結果
たて：約 330mm 横：約 1150mm 高さ：約 1800mm 重量： <input type="text"/>	測定点 A～C 打振方向 A' ～C' 	A 点： <input type="text"/> Hz B 点： <input type="text"/> Hz C 点： <input type="text"/> Hz

表 3-12 計測装置収納盤(壁掛形の盤)の打振試験内容・結果

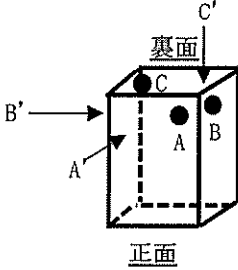
設備の概略仕様	試験内容	試験結果
たて：約 410mm 横：約 760mm 高さ：約 920mm 重量： <input type="text"/>	測定点 A～C 打振方向 A' ～C' 	A 点： <input type="text"/> Hz B 点： <input type="text"/> Hz C 点： <input type="text"/> Hz

表 3-13 原子炉補機操作盤(ベンチ形の盤)の打振試験内容・結果

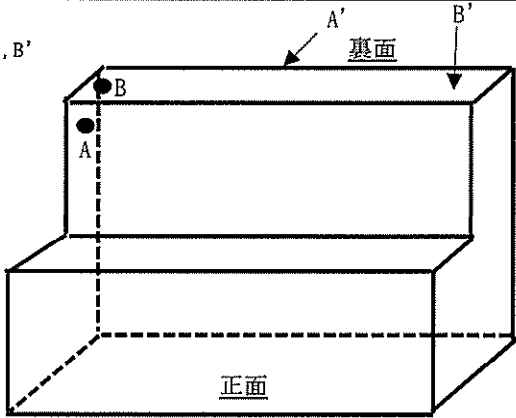
設備の概略仕様	試験内容	試験結果
たて：約 1630mm 横：約 2820mm 高さ：約 2290mm 重量： <input type="text"/>	測定点 A, B 打振方向 A', B' 	A 点： <input type="text"/> Hz B 点： <input type="text"/> Hz

表 3-14 125V 蓄電池(4 個並び 2 段 1 列)の打振試験内容・結果

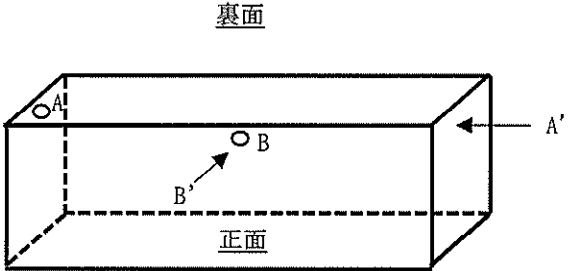
設備の概略仕様	試験内容	試験結果
たて：約 960mm 横：約 1580mm 高さ：約 1230mm 重量： <input type="text"/>	測定点 A, B 打振方向 A', B' 	A 点： <input type="text"/> Hz B 点： <input type="text"/> Hz

表 3-15 125V 蓄電池(2, 3 個並び 2 段 2 列)の打振試験内容・結果

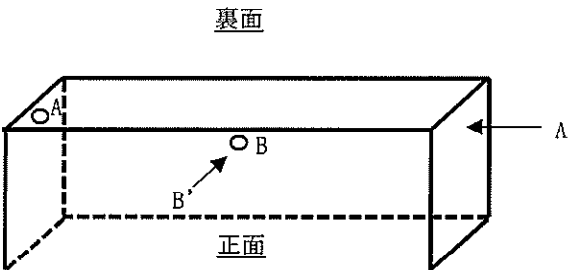
設備の概略仕様	試験内容	試験結果
たて：約 960mm 横：約 1240mm 高さ：約 1230mm 重量： <input type="text"/>	測定点 A, B 打振方向 A', B' 	A 点： <input type="text"/> Hz B 点： <input type="text"/> Hz

表 3-16 原子炉水位（燃料域）（計装ラック）の打振試験内容・結果

設備の概略仕様	試験内容	試験結果
たて：約 762mm 横：約 1829mm 高さ：約 2134mm 重量： <input type="text"/>	測定点 A～B 打撃点 A' ～B' <div data-bbox="469 405 1075 898" data-label="Image"> </div>	A 点： <input type="text"/> Hz B 点： <input type="text"/> Hz C 点： <input type="text"/> Hz

補足-340-27【緊急時対策所用発電機制御盤の耐震性についての
計算書の概要】

目次

1. 概要	1
2. 緊急時対策所用発電機保護継電装置盤の構造	1
3. 緊急時対策所用発電機保護継電装置盤の振動モード図について	3

1. 概要

本資料は、添付書類「V-2-10-1-5-6 緊急時対策所用発電機制御盤の耐震性についての計算書」に記載した緊急時対策所用発電機保護継電装置盤について補足するものである。

緊急時対策所用発電機保護継電装置盤の構造及び振動モード図について説明する。

2. 緊急時対策所用発電機保護継電装置盤の構造

(1) 盤の板厚について

盤の板厚は表 1 のとおり。概略構造図を図 1 に示す。

表 1 盤の板厚

部位	①天板	②正面扉	③側板	④床板	⑤チャンネルベース
板厚					

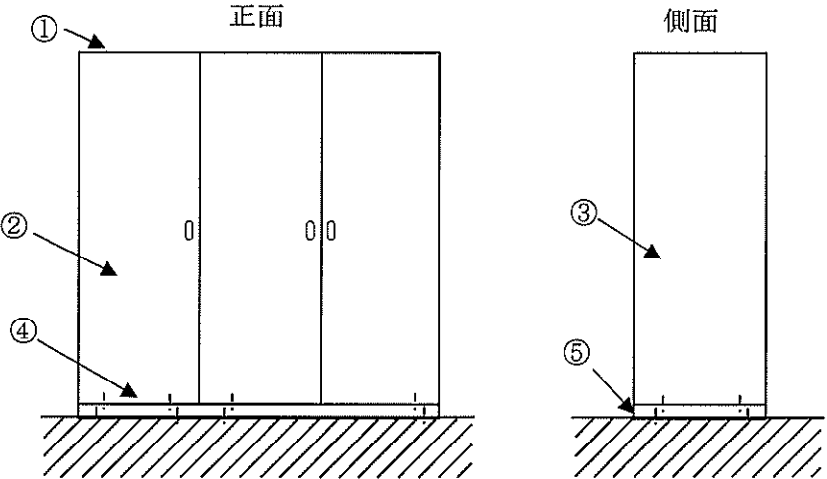


図 1 概略構造図

(2) チャンネルベースの構造及び固定方法

チャンネルベースの構造図は図 2 のとおり。ボルトの固定方法は図 3 及び図 4 に示す。

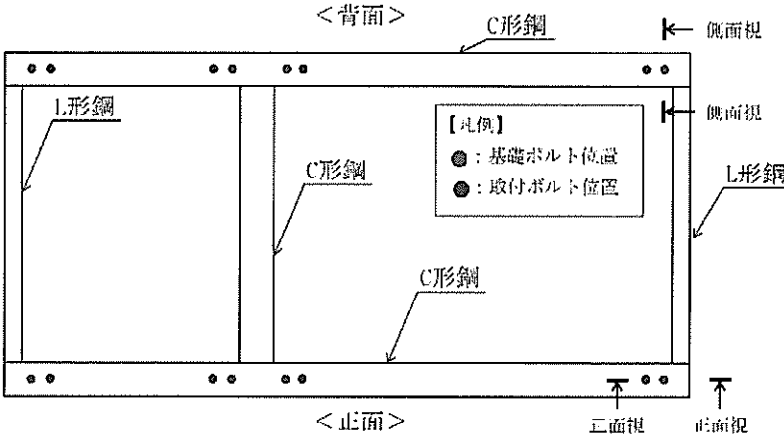


図 2 チャンネルベース構造図

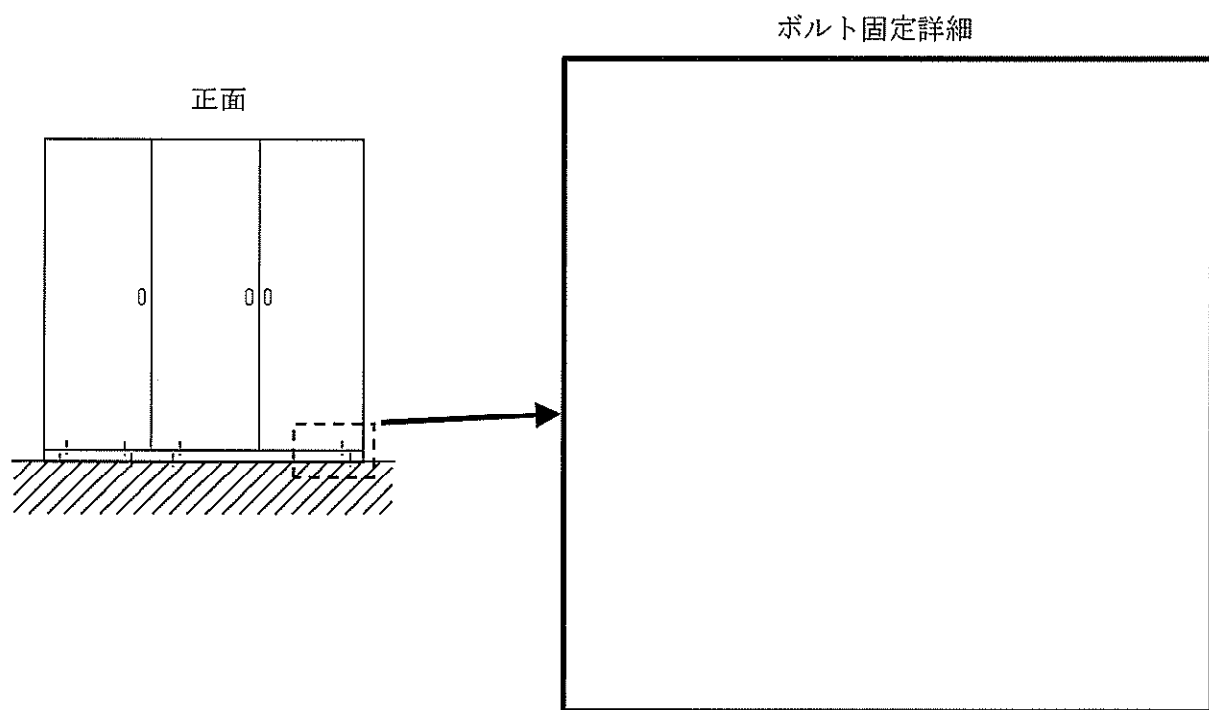


図3 ボルト固定図（正面視）

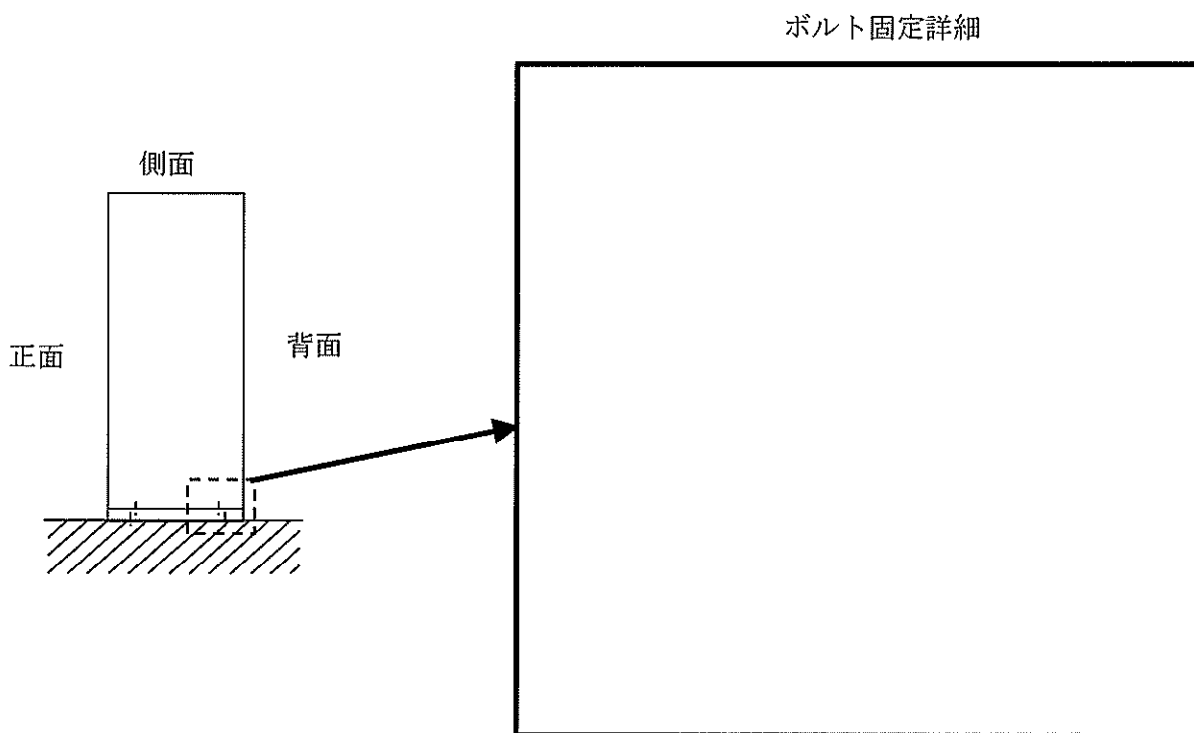


図4 ボルト固定図（側面視）

3. 緊急時対策所用発電機保護継電装置盤の振動モード図について

振動モード図について，図 5～図 8 に説明を示す。説明は代表として 1 次モード図にて行う。なお，振動モード図は当該次数に対して固有値解析にて得られる仮想的な変形のモードを視覚的かつ強調して表現したものであり，地震時の実際の変位量及び強度等を示すものではない。

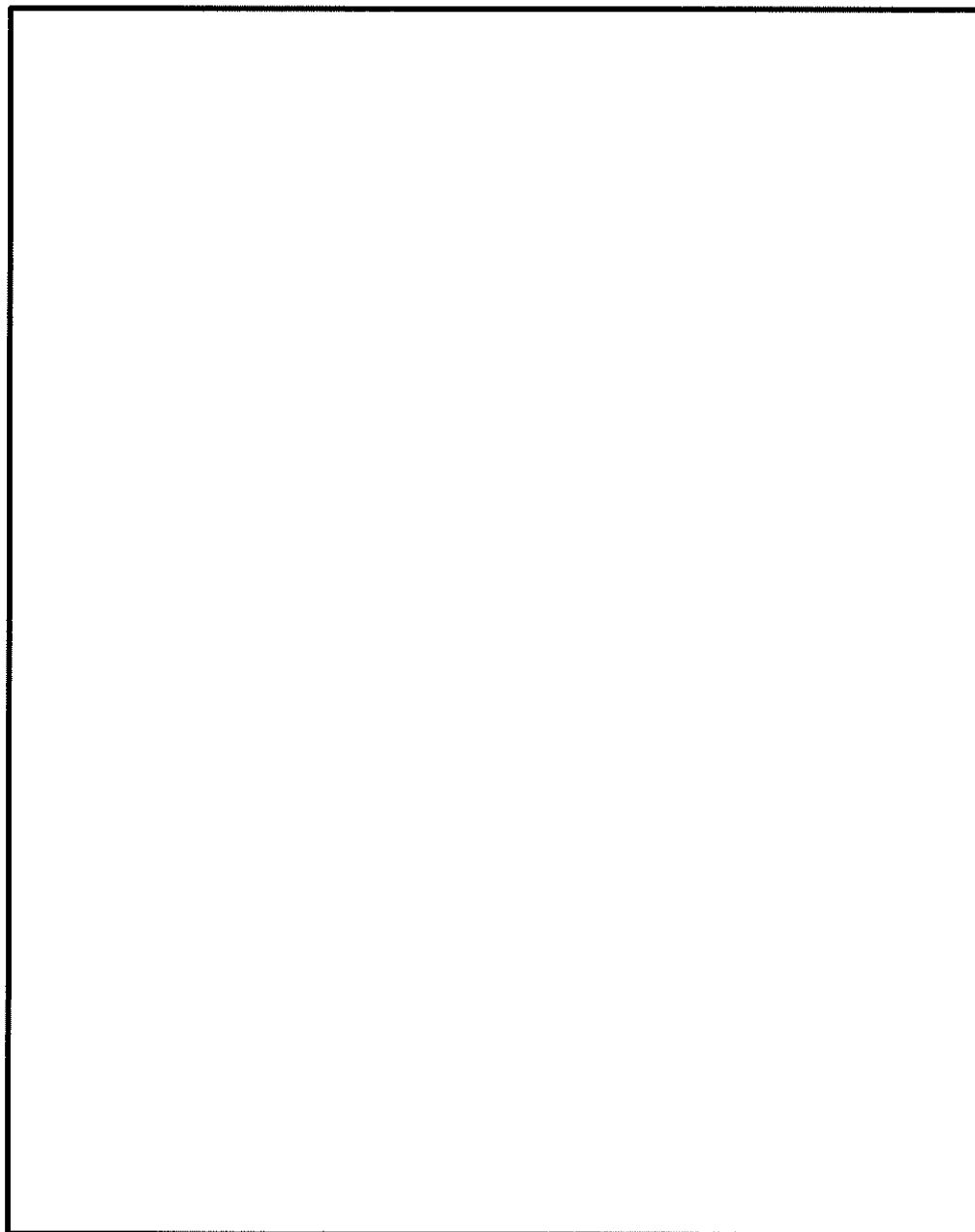



図 5 振動モード（1 次モード 水平方向 

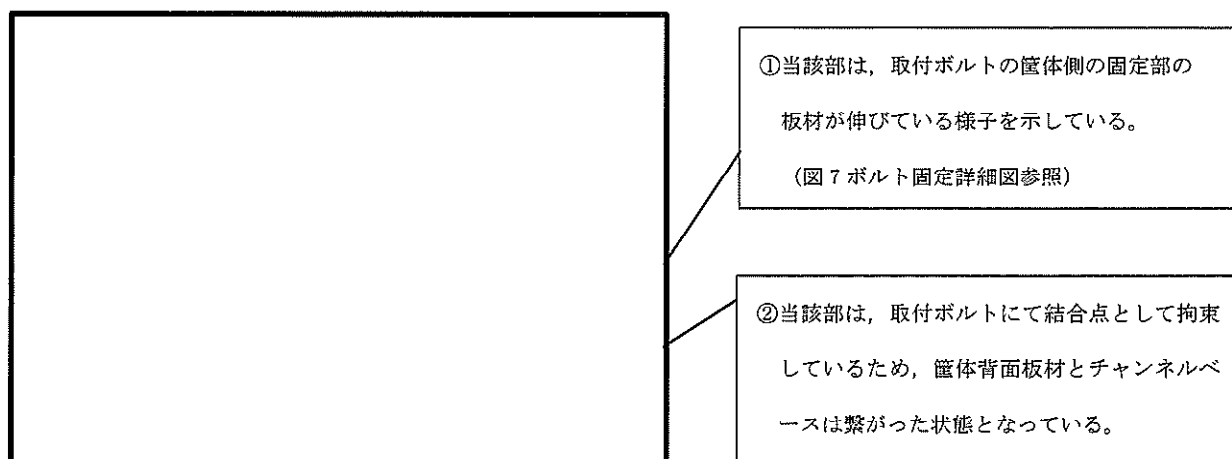


図 6 振動モード図(側面図)

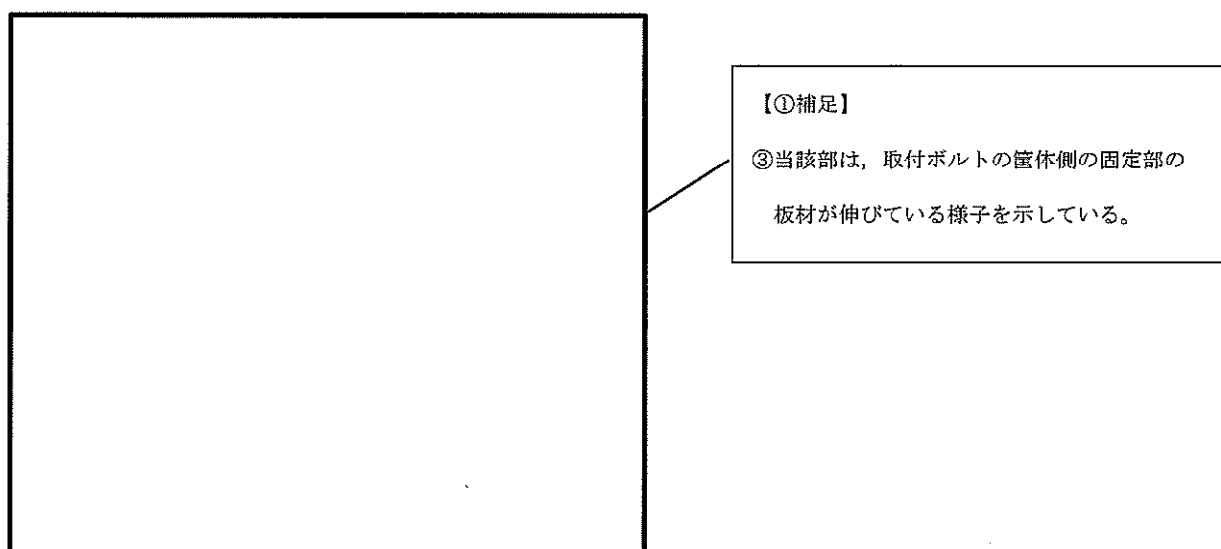


図 7 ボルト固定詳細図(側面視)

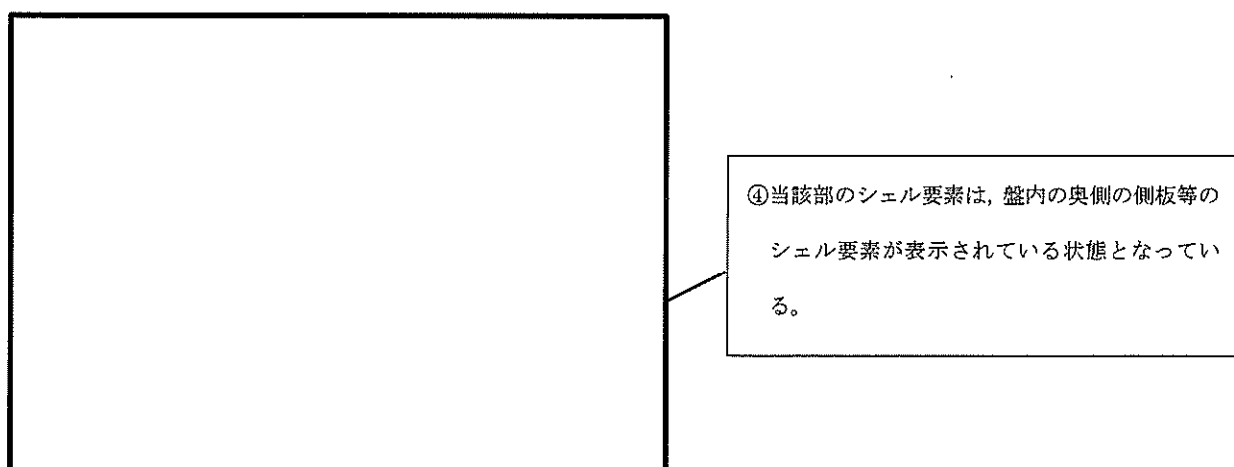


図 8 振動モード図(側面図)