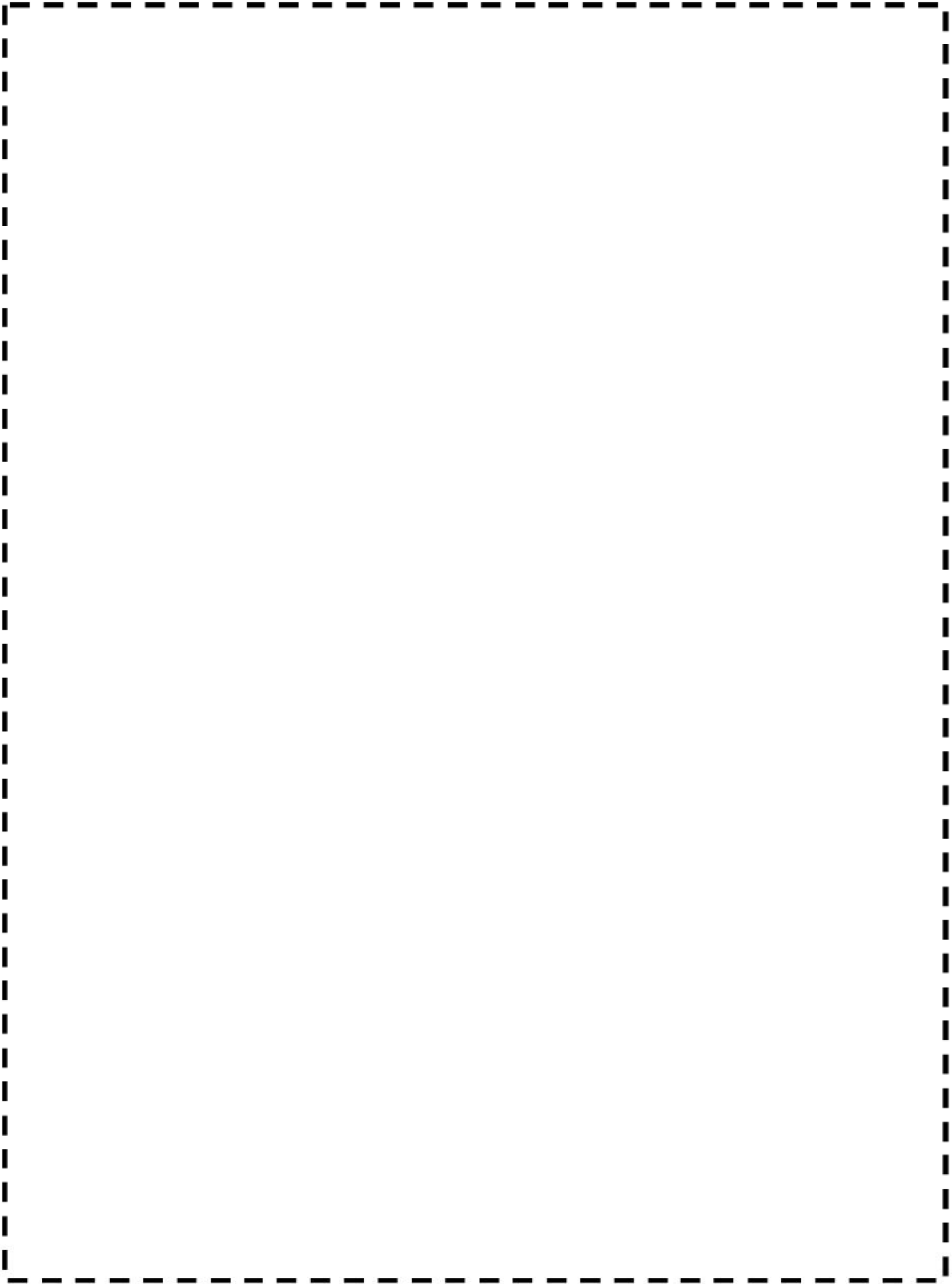


No.	高浜 1 - I A S C C - 8	事象： I A S C C																											
質 問	<p>(別冊-7-40頁) 技術評価で参照又は参考とした I A S C C 事例の概要とその分析結果を提示すること。</p>																												
回 答	<p>バッフルフォーマボルトのIASCC事例については、1988年にフランスのBugey発電所2号炉において確認されたバッフルフォーマボルト損傷事例を初め、海外の複数のプラントでIASCCによるバッフルフォーマボルト損傷事例が報告されています。</p> <p>高浜1号炉と同時期に建設された米国のW社製3ループプラントにおけるバッフルフォーマボルトの点検実績を下記に示します。</p> <table border="1" data-bbox="406 987 1311 1155"> <thead> <tr> <th></th> <th>Robinson2u</th> <th>Surry1u</th> <th>Surry2u</th> <th>Farley1u</th> <th>Farley2u</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>営業運転開始日</td> <td>1971. 3. 7</td> <td>1972. 12. 22</td> <td>1973. 5. 1</td> <td>1977. 12. 1</td> <td>1981. 7. 30</td> </tr> <tr> <td>点検時間</td> <td>31. 4EFPY</td> <td>28EFPY</td> <td>28EFPY</td> <td>16. 6EFPY</td> <td>15. 1EFPY</td> </tr> <tr> <td>損傷本数</td> <td>8本</td> <td>1本</td> <td>2本</td> <td>0本</td> <td>0本</td> </tr> </tbody> </table> <p>日本機械学会維持規格においては、バッフルフォーマボルトは縦列に2本のボルトが残存すればよく、ボルト全数 (1,088本) の約7割が損傷した場合においても炉内構造物の安全機能の確保は可能とされています。これに比べると海外事例におけるボルト損傷本数はいずれも十分少なく、炉内構造物の安全機能に影響を及ぼすものではないと考えます。</p> <p>また、バッフルフォーマボルト以外の炉内構造物の部位では、これまでに入手している国内外の情報の範囲においてはIASCCが発生した事例はありません。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>						Robinson2u	Surry1u	Surry2u	Farley1u	Farley2u	営業運転開始日	1971. 3. 7	1972. 12. 22	1973. 5. 1	1977. 12. 1	1981. 7. 30	点検時間	31. 4EFPY	28EFPY	28EFPY	16. 6EFPY	15. 1EFPY	損傷本数	8本	1本	2本	0本	0本
	Robinson2u	Surry1u	Surry2u	Farley1u	Farley2u																								
営業運転開始日	1971. 3. 7	1972. 12. 22	1973. 5. 1	1977. 12. 1	1981. 7. 30																								
点検時間	31. 4EFPY	28EFPY	28EFPY	16. 6EFPY	15. 1EFPY																								
損傷本数	8本	1本	2本	0本	0本																								

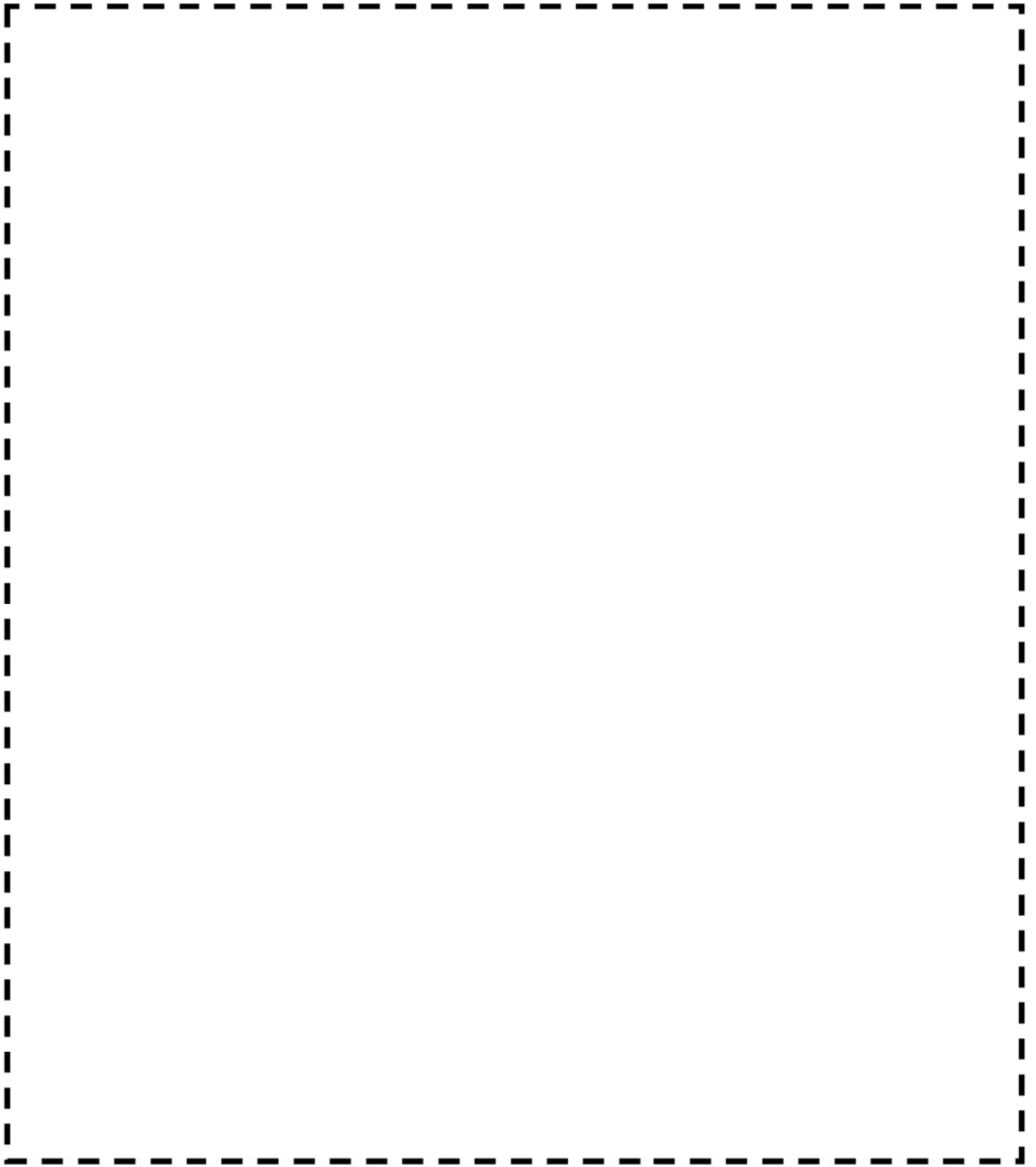
No.	高浜 1 - I A S C C - 1 1	事象： I A S C C
質 問	<p>(別冊-7-46頁) 炉心そう等の炉心支持構造物の検査（維持規格又は亀裂解釈（実用発電用原子炉及びその附属施設における破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥の解釈 平成26年8月6日 原規技発第1408063）、その他に基づく非破壊試験）の実施状況とその結果（欠陥指示の有無）を提示すること。</p>	
回 答	<p>炉心そう等の炉心支持構造物については、日本機械学会維持規格に基づき、定期的「<u> </u>」に可視範囲に対して目視検査を実施しています。点検の結果、これまで有意な異常は確認されておりません。炉心支持構造物の可視範囲の概要を添付 1 に、至近の検査記録を添付 2 に示します。</p> <p>また、炉内構造物のうち、 I A S C C に対して評価上最も厳しいバップルフォーマボルトに対して、第 1 3 回定期検査時および第 1 7 回定期検査時に超音波探傷検査を実施し、有意な欠陥のないことを確認しています（添付 3 参照）。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>	

「 」の範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



高浜1号炉 炉心支持構造部の可視範囲概要 (1/2)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



高浜1号炉 炉心支持構造部の可視範囲概要(2/2)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

関西電力株式会社 高浜発電所

第1号機 第26回

定期事業者検査要領書

設備名：原子炉本体

原子炉冷却系統設備

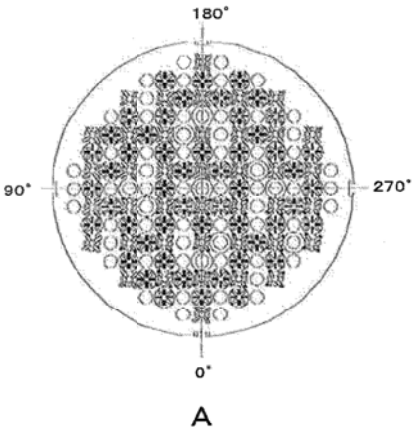
計測制御系統設備

検査名：クラス1機器供用期間中検査

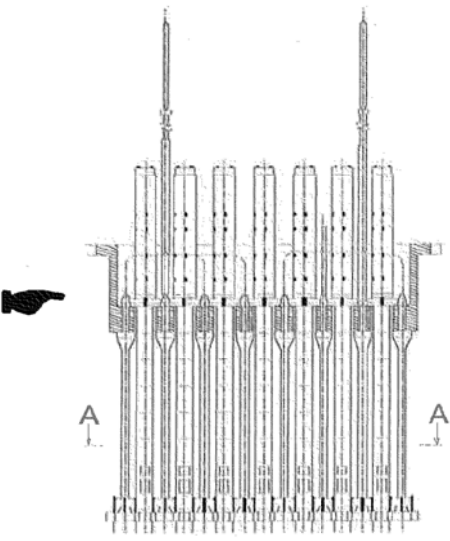
要領書番号：T1-26-101

原子炉容器検査箇所図(8/10)

項目番号	G1.70	カテゴリ	G-P-2
検査対象箇所	上部炉心支持構造物		
設備数	1箇所	検査方法	VT-3
10年間の検査範囲	可能範囲 100%	当該年検査箇所	可能範囲 100%



A



A

非破壊検査記録 (2/2)

検査年月日 平成 27 年 9 月 25 日

検査員 XXXXXXXXXX

項目番号	カテゴリ	機器名	検査の対象機器	検査箇所		
G1.70	G-P-2	原子炉容器	上部炉心支持構造物	可能範囲100%		
検査実施内容	目視検査	1. 直接目視検査(VT-) (2) 遠隔目視検査 (VT-3、水中テレビカメラ)				
	表面検査	浸透探傷検査	探傷剤	温度	浸透時間	現像時間
		超音波探傷検査	探傷器	探触子	試験片	感度
	体積検査	超音波探傷検査	サジェクション		接触媒質	
			OFF			
	検査実施結果	検査項目		結果	備考	
目視検査		良				
表面検査		浸透探傷検査				
	体積検査	超音波探傷検査				
評価						

関西電力株式会社
高浜発電所 第1号機
第21回 定期検査要領書

設備名 : 原子炉本体
原子炉冷却系統設備

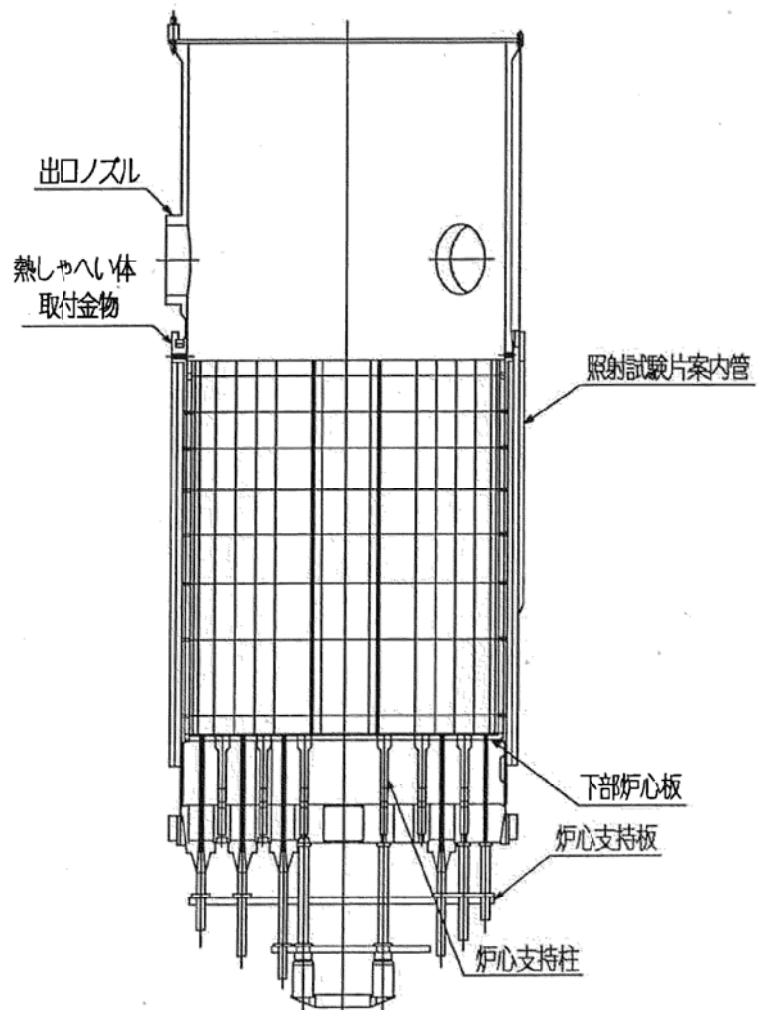
検査名 : 第1種機器供用期間中検査

要領書番号 : T1-1

平成14年10月

原子炉容器検査箇所図(16/16)

項目番号	B13.70	カテゴリ	B-N-3
検査対象箇所	下部炉心支持構造物		
全検査範囲	可能範囲100%	検査方法	VT-3
10年間の検査範囲	可能範囲100%	当該年検査箇所	可能範囲100%



非破壊検査記録(2/2)

検査年月日 平成15年7月8日

検査員

検査立会者

項目番号	カテゴリ	機器名	検査の対象機器		検査箇所	
B13.70	B-N-3	原子炉容器	下部炉心支持構造物		可能範囲100%	
検査 実施 内容	肉眼検査	1. 直接肉眼検査(VT-1) ②. 遠隔肉眼検査(VT-3、水中テレビカメラ)				
	表面検査	浸透検査	探傷剤	温度	浸透時間	現像時間
		磁粉検査	探傷器	磁粉	試験片	その他
		超音波検査	探傷器	探触子	試験片	感度
	体積検査	リジェクション	接触媒質	パルス幅		
		放射線透過検査	線源	線源寸法	線源・フィルム間距離	増感紙
			透過度計の型	透過度計の位置	材厚	はさみ金
	OFF					
	検査結果	検査項目	結果		備考	
		肉眼検査	良			
表面検査	浸透探傷検査					
	磁粉探傷検査					
体積検査	超音波探傷検査					
	放射線透過検査					
評価						

資 XXXXXXXXXX 保管										クラス															
										客	課長		係長		班長		保								
関西電力(株) 高浜発電所 1号機 第17回定検 原子炉容器 バッフルフォーマボルト点検工事																									
総括報告書																									
										技術資料: クラスB															
発行										高浜定検作業所		作成		平成 9 年 9 月 25 日											
作業所図書番号				缸		所長		副所長		QA		安全		異物		放管		総責		作責		作成			
K1-17-D403				0																					
現地		客		QA		放管		機器		燃料		計装		検査		作責								関連資料図書番号	
配布先		1		1																				1	
内容		注文主		工事番号		年月日																			
本文		一頁		関西電力(株)		H . .		部 長		課 長		係 長		担 当		作 成									
図表		一枚		高浜発電所		H . .																			
表紙共		201枚		号機																					
備考		原紙保管																							
配布先																									

バッフルフォーマボルトUT検査結果

領域No.	段No.	列No.	検査日付	結果	備考	領域No.	段No.	列No.	検査日付	結果	備考	領域No.	段No.	列No.	検査日付	結果	備考
1	1	1	9/8	良		1	4	2	9/8	良		1	7	3	9/8	良	
1	1	2	↑	↑		1	4	3	↓	↑		1	7	4	9/8	↑	
1	1	3	↓			1	4	4	9/8			1	7	8	9/13		
1	1	4	9/8			1	4	8	9/3			1	8	1	9/8		
1	1	8	9/13			1	5	1	9/8			1	8	2	↑		
1	2	1	9/8			1	5	2	↑			1	8	3	↓		
1	2	2	↑			1	5	3	↓			1	8	4	9/8		
1	2	3	↓			1	5	4	9/8			1	8	8	9/13		
1	2	4	9/8			1	5	8	9/13			2	1	1	9/6		
1	2	8	9/13			1	6	1	9/8			2	2	1	↑		
1	3	1	9/8			1	6	2	↑			2	3	1			
1	3	2	↑			1	6	3	↓			2	4	1			
1	3	3	↓			1	6	4	9/8			2	5	1			
1	3	4	9/8			1	6	8	9/13			2	6	1			
1	3	8	9/13	↓		1	7	1	9/8	↓		2	7	1	↓	↓	
1	4	1	9/8	良		1	7	2	9/8	良		2	8	1	9/6	良	

バッフルフォーマボルトUT検査結果

領域No.	段No.	列No.	検査日付	結果	備考	領域No.	段No.	列No.	検査日付	結果	備考	領域No.	段No.	列No.	検査日付	結果	備考
11	1	3	9/13	良		12	5	1	9/6	良		22	1	3	9/13	良	
11	2	3	↑	↑		12	5	8	9/13	↑		22	2	3	↑	↑	
11	3	3				12	6	1	9/6			22	3	3			
11	4	3				12	6	8	9/13			22	4	3			
11	5	3				12	7	1	9/6			22	5	3			
11	6	3				12	7	8	9/13			22	6	3	↓		
11	7	3	↓			12	8	1	9/6			22	7	3	↓		
11	8	3	9/13			12	8	8	9/13			22	8	3	9/13		
12	1	1	9/6			13	1	1	9/6			23	1	1	9/6		
12	1	8	9/13			13	2	1	↑			23	1	5	9/10		
12	2	1	9/6			13	3	1				23	1	6	↑		
12	2	8	9/13			13	4	1				23	1	7	↓		
12	3	1	9/6			13	5	1				23	1	8	9/10		
12	3	8	9/13			13	6	1				23	2	1	9/9		
12	4	1	9/6	↓		13	7	1	↓	↓		23	2	5	9/10	↓	
12	4	8	9/13	良		13	8	1	9/6	良		23	2	6	9/10	良	

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

No.	高浜 1－熱時効－ 1 rev2	事象：2相ステンレス鋼の熱時効												
質 問	<p>(別冊-共通) 高浜発電所 1 号炉劣化状況評価書におけるステンレス鋼の熱時効について、高浜発電所 1 号炉高経年化技術評価書（40 年目）[冷温停止状態が維持されることを前提とした評価]以降の最新知見等の反映により評価方法及び/又は評価結果に変更があった場合はその内容及び変更根拠を提示すること。</p>													
回 答	<p>高浜発電所 1 号炉劣化状況評価書では、高浜 1 号炉の新技術基準への適合に係る工事計画認可申請書の記載を反映して内容の修正を行っています。</p> <p>熱時効に係る評価のうち、高経年化対策上着目すべき劣化事象としている評価について、評価方法及び/又は評価結果に変更があった対象は以下に示すものとなっています。</p> <table border="1" data-bbox="408 987 1347 1368"> <thead> <tr> <th>設備</th> <th>部位</th> <th>変更内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ポンプ（1 次冷却材ポンプ）</td> <td>ケーシング</td> <td>基準地震動見直しによる評価見直し。（添付 1 参照）</td> </tr> <tr> <td>配管（1 次冷却材管）*</td> <td>母管、管台</td> <td>基準地震動見直しによる評価見直し。（添付 2 参照）</td> </tr> <tr> <td>炉内構造物</td> <td>下部炉心支持柱</td> <td>基準地震動見直しによる評価見直し。（添付 3 参照）</td> </tr> </tbody> </table> <p>*：加圧器サージ配管含む</p>		設備	部位	変更内容	ポンプ（1 次冷却材ポンプ）	ケーシング	基準地震動見直しによる評価見直し。（添付 1 参照）	配管（1 次冷却材管）*	母管、管台	基準地震動見直しによる評価見直し。（添付 2 参照）	炉内構造物	下部炉心支持柱	基準地震動見直しによる評価見直し。（添付 3 参照）
設備	部位	変更内容												
ポンプ（1 次冷却材ポンプ）	ケーシング	基準地震動見直しによる評価見直し。（添付 1 参照）												
配管（1 次冷却材管）*	母管、管台	基準地震動見直しによる評価見直し。（添付 2 参照）												
炉内構造物	下部炉心支持柱	基準地震動見直しによる評価見直し。（添付 3 参照）												

1 次冷却材ポンプケーシングの熱時効評価変更内容について

高浜 1 号炉の 1 次冷却材ポンプのケーシングの熱時効評価については、工事計画認可申請（H27.7.3申請）を踏まえて、適用する基準地震動の変更を行っております。このため評価に用いた地震時応力が変更になっており、評価の見直しを行っております。

ただし変更後も 1 次冷却材管と発生応力及びフェライト量の比較を行い、1 次冷却材ポンプの熱時効評価が 1 次冷却材管に包絡されることを確認しており、評価結果に変更はありません。

変更後の 1 次冷却材ポンプケーシングと 1 次冷却材管の発生応力とフェライト量の比較を表 1 に示します。

表 1 1 次冷却材ポンプケーシング熱時効評価結果

部位	Ss地震時応力 (MPa)	フェライト量 (%)	使用温度 (°C)
1 次冷却材 ポンプケーシング (吐出ノズル)	約 1 0 7	約 1 1	約 2 8 9
1 次冷却材管 (加圧器サージ ライン用管台)	約 2 1 5	約 1 3 . 7	約 3 2 3

応力の詳細評価について表 2 に示します。

表 2 1 次冷却材ポンプケーシングの応力値の詳細

評価部位	内圧による 応力	曲げ応力				軸力による応力				合算値 (MPa)
		自重 (MPa)	熱 (MPa)	地震 (MPa)	合計 (MPa)	自重 (MPa)	熱 (MPa)	地震 (MPa)	合計 (MPa)	
1次冷却材ポンプ ケーシング										

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

1 次冷却材配管の熱時効評価変更内容について

高浜 1 号炉の 1 次冷却材管の母管および管台の熱時効評価については、工事計画認可申請 (H27.7.3申請) を踏まえて、適用する基準地震動の変更を行っております。このため評価に用いた地震時応力が変更になっており、評価の見直しを行っております。

変更後の地震応力条件 (Ss地震動) を適用した上で、発生応力及びフェライト量の比較を行い、応力最大部位とフェライト量最大部位についてき裂安定性評価を行った結果、評価部位が不安定破壊することはなく、健全性評価上問題とならないことを確認しています。

(1) 評価対象部位の選定

表 2 に 1 次冷却材管の評価部位とフェライト量と応力 (Ss地震動による地震応力を含む) の一覧を示します。応力最大部位として加圧器サージライン用管台、フェライト量最大部位として 6B安全注入系ライン用管台を選定しました。

表 2 評価対象部位一覧

評価部位	フェライト量 [%]	使用温度 [°C]	応力 [MPa]	選定
ホットレグ直管				
SG入口50°エルボ				
SG出口40°エルボ				
クロスオーバレグ直管 (垂直管)				
クロスオーバレグ SG側90°エルボ				
クロスオーバレグ直管 (水平管)				
クロスオーバレグ RCP側90°エルボ				
コールドレグ直管				
RV入口32°エルボ				
加圧器サージライン用管台	約13.7	322.8	約215	○
12B安全注入系ライン用管台				
充てん管台				
6B安全注入系ライン用管台	約15.5	288.6	約208	○

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

応力は供用状態A, Bの内圧、自重・熱膨張荷重、地震荷重(Ss)を考慮して算出し、熱時効評価対象部位の詳細な応力値を表 3 に示す。

表 3 熱時効対象部位の応力詳細

評価部位	内圧による応力 (MPa)	曲げ応力				軸力による応力				合算値 (MPa)
		自重 (MPa)	熱 (MPa)	地震 (MPa)	合計 (MPa)	自重 (MPa)	熱 (MPa)	地震 (MPa)	合計 (MPa)	
加圧器サージライン用管台										215
6B安全注入系ライン用管台										208

(2) き裂進展力の決定

き裂安定性評価に用いる想定き裂は既評価と同じとし、表 4 に示すものとする。

表 4 き裂安定性評価用想定き裂

	き裂長さ (mm)	板厚 (mm)
加圧器サージライン用管台		
6B安全注入系ライン用管台		

評価用き裂と表 5 に示す評価条件を入力条件(Ss地震動による荷重を含む)として、FEM(有限要素法)解析により、き裂進展力 (Japp) を求める。なお、各き裂長さにおけるJappは、以下のとおり。

き裂長さ	加圧器サージライン用管台 (kJ/m ²)	6B安全注入系ライン用管台 (kJ/m ²)
1 t		
3 t		
5 t		

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

表 5 評価条件

	加圧器サージライン用管台	6B 安全注入系ライン用管台																																
形状																																		
内径 [mm]																																		
外径 [mm]																																		
き裂形状	周方向貫通き裂(き裂長さ: 1t、3t、5t の 3 種類)																																	
荷重																																		
内圧 ^(注) [MPa]																																		
軸力 [kN]	自重	熱	地震	合計	自重	熱	地震	合計																										
曲げモーメント *[kN・m]	自重	熱	地震	合計	自重	熱	地震	合計																										
	My	Mz	My	Mz	My	Mz	My	Mz																										
物性値																																		
ヤング率 [MPa]																																		
ポアソン比	ν=0.3(弾性域)、ν=0.5(塑性域)																																	
応力-ひずみ関係	<p>フェライト量が低い非時効材の応力-ひずみ線図を用いる。本評価データは電共研「1次冷却材管の時効劣化に関する研究 (STEP1)」で得られた知見を参考にしている。本電共研では2つの試験片について引っ張り試験を実施し、結果がほぼ同等であったことから1つの試験片のデータを用いて応力-ひずみ線図を導出した。Japp 値は応力-ひずみ線図の下部の面積に比例するため、強度が低い非時効材を用いることはより安全側の評価となります。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px dashed black; padding: 10px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">公称応力 [MPa]</p> <p style="text-align: center;">公称ひずみ [%]</p> <p style="text-align: center;">非時効材のフェライト量</p> </div> <div style="border: 1px dashed black; padding: 10px;"> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>ひずみ [%]</td> <td>応力 [MPa]</td> </tr> </table> </div> </div> <table border="1" style="width: 100%; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th colspan="8">化学成分%</th> <th>Cre/Nie</th> <th>フェライト量</th> </tr> <tr> <th>C</th> <th>Si</th> <th>Mn</th> <th>Cr</th> <th>Ni</th> <th>MO</th> <th>Cb(Nb)</th> <th>N</th> <th></th> <th>F%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		ひずみ [%]	応力 [MPa]	化学成分%								Cre/Nie	フェライト量	C	Si	Mn	Cr	Ni	MO	Cb(Nb)	N		F%										
ひずみ [%]	応力 [MPa]																																	
化学成分%								Cre/Nie	フェライト量																									
C	Si	Mn	Cr	Ni	MO	Cb(Nb)	N		F%																									

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

(3) 材料のき裂進展抵抗 (J_{mat})

き裂進展抵抗値 J_{mat} は、既評価と同じである。

電共研「1次冷却材管等の時効劣化に関する研究 (STEP III) (その2)」で改良された脆化予測モデル (H3Tモデル: Hyperbolic-Time, Temperature Toughness) を用いて、評価部位のフェライト量を基に決定する (算出方法はASME PVP2005-71528参照)。 J_{Ic} 、 J_6 はデータの下限值 (-2σ) を用いて算出した下記の値とした。

	加圧器サージライン用管台	6B 安全注入系ライン用管台
J_{Ic} [kJ/m ²]		
J_6 [kJ/m ²]		

電共研「1次冷却材管等の時効劣化に関する研究 (STEP III) (その2)」では最大で [] で時効させた材料データを用いて脆化予測モデルを作成しており、この条件で J_{Ic} 、 J_6 とも飽和傾向であることを確認した。

なお、 [] は [] で換算した場合、約80年運転相当の時間 (稼働率80%想定) である。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

(4) き裂安定性評価結果

変更後の地震応力条件(Ss地震動)を適用した応力状態においても、図1-1、図1-2
のとおり J_{mat} と J_{app} が J_{Ic} 以下の低いJ値で交差しており、 $J_{app} < J_{Ic}$ であることが確
認できるため、延性き裂は発生しないと判断でき、健全性が確認できたと判断する。

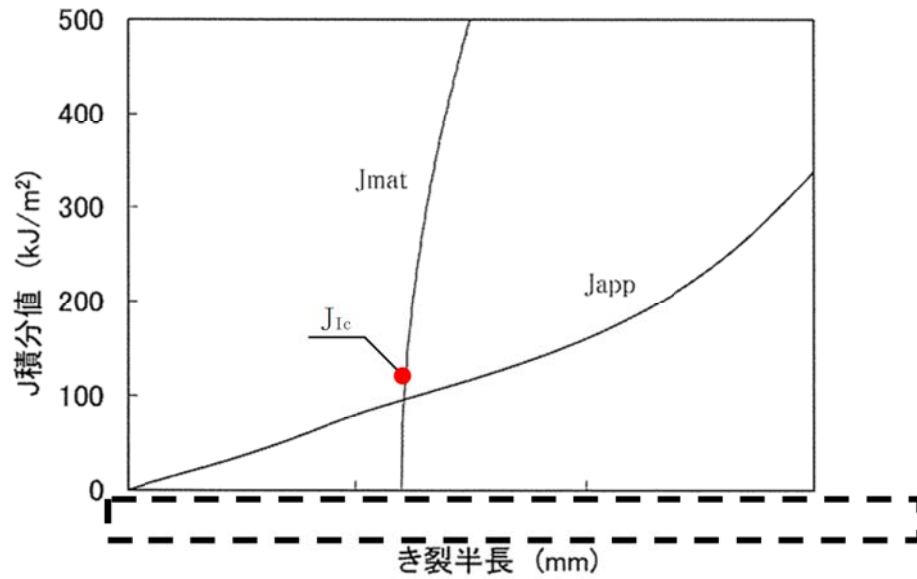


図1-1 加圧器サージライン用管台

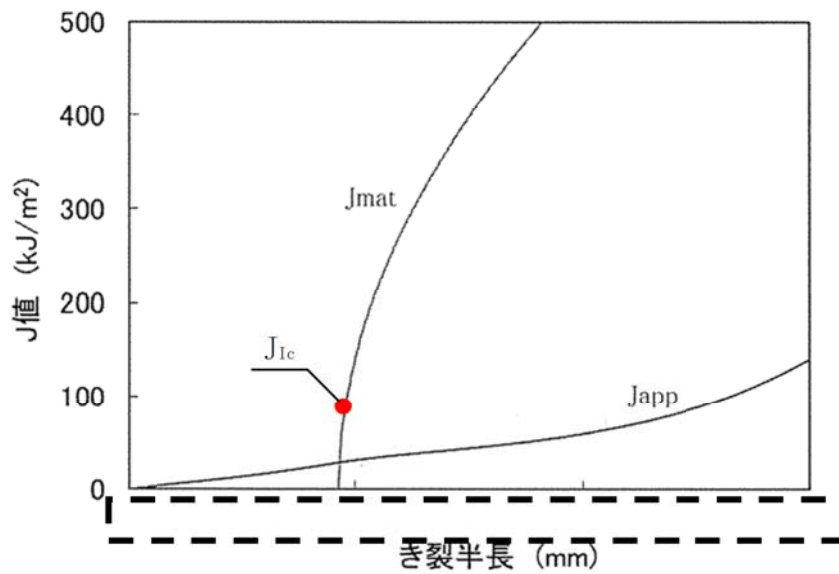


図1-2 6B安全注入系ライン用管台

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

炉内構造物の熱時効評価変更内容について

高浜 1 号炉の炉内構造物の下部炉心支持柱の熱時効評価については、工事計画認可申請 (H27.7.3申請) を踏まえて、適用する基準地震動の変更を行っております。このため評価に用いた地震時応力が変更になっており、評価の見直しを行っております。

ただし変更後も 1 次冷却材管と発生応力及びフェライト量の比較を行い、下部炉心支持柱の熱時効評価が 1 次冷却材管に包絡されることを確認しており、評価結果に変更はありません。

変更後の下部炉心支持柱と 1 次冷却材管の発生応力とフェライト量の比較を表 1 に示します。

表 1 炉内構造物 (下部炉心支持柱) 熱時効評価結果

部位	Ss地震時応力 (MPa)	フェライト量 (%)	使用温度 (°C)
下部炉心支持柱	約 1 3 3	約 1 1 . 2	約 2 8 9
1 次冷却材管 (加圧器サージライン用管台)	約 2 1 5	約 1 3 . 7	約 3 2 3

応力の詳細評価について表 2 に示します。

表 2 下部炉心支持柱の応力値の詳細

評価部位	内圧による応力	曲げ応力				軸力による応力				合算値 (MPa)
		自重 (MPa)	熱 (MPa)	地震 (MPa)	合計 (MPa)	自重 (MPa)	熱 (MPa)	地震 (MPa)	合計 (MPa)	
下部炉心支持柱										

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

No.	高浜 1－熱時効－ 9 rev3	事象：2相ステンレス鋼の熱時効
質 問	<p>(別冊-5配管-4 1 次冷却材管-15頁)</p> <p>母管の熱時効に係る健全性評価について、重大事故等時(原子炉停止機能喪失)におけるプラント条件(ピーク温度360℃、ピーク圧力18.5MPa)を考慮しても、配管は不安定破壊することはないとした考え方及び具体的根拠を提示すること。</p>	
回 答	<p>重大事故等時のプラント条件を考慮した 1 次冷却材管に係る健全性評価の具体的評価内容を添付－ 1 に示します。</p> <p>重大事故等時における健全性評価への入力条件としては、プラント条件が最も厳しくなるピーク温度360℃、ピーク圧力18.5MPaとしており、地震荷重はS s 地震動による荷重としております。当該の重大事故等時のプラント条件は高浜 1 号機 工事計画認可申請書(平成28年2月29日補正申請)に記載されております。</p> <p>なお、通常運転時の条件から温度、圧力が異なっておりますが、重大事故等時の条件においても従来評価方法が問題なく適用できると判断しており、評価結果として配管は不安定破壊することはないことを確認しております。</p> <p>添付－ 1 の評価は過去の電共研で得られたデータに基づき、き裂進展抵抗 (J_{mat}) とき裂進展力 (J_{app}) を算出していますが、材料データ採取時の試験温度と、重大事故等時のプラント条件の温度とは差があります。温度差を考慮しても健全性評価結果に影響がないことを添付－ 2 に示します。</p>	

1. 代表点の抽出

重大事故等時の健全性を確認するにあたっては、評価対象部位の中で応力が最大であり、通常運転時の評価における評価点となっている加圧器サージライン用管台を代表点とする。

なお、重大事故等時の入力条件において応力最大部位に変更がないことを確認するため、通常運転時の応力が 2 番目に高い 6B 安全注入系ライン用管台についても重大事故等時の応力を算出し、評価部位における応力の大小関係に逆転が無いことを確認している。

評価部位	フェライト量 [%]	使用温度 [°C]	通常運転時 (参考) ※	重大事故等時※
			応力 [MPa]	応力 [MPa]
加圧器サージライン用管台	約 13.7	322.8	約 215	約 232
6B 安全注入系ライン用管台	約 15.5	288.6	約 208	約 230

※小数点第1位切り上げ

2. フェライト量の算出

フェライト量は、ミルシートの化学成分から、ASTM A800に基づき算出している。

化学成分 (溶鋼分析) %								Cre/Nie (注1)	フェライト量 (注2)
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cb(Nb)	N		F%
									約 13.7

(注1) ASTM A800の7.1.2参照

(注2) ASTM A800のFig.X1.1参照

3. 評価用 Jmat の決定

き裂進展抵抗値 (Jmat 値) は、電共研で改良された脆化予測モデル (H3Tモデル: Hyperbolic-Time, Temperature Toughness) を用いて、評価部位のフェライト量を基に求める。

なお、重大事故等時の温度条件 (360°C) と [] の温度条件で採取されたデータの下限值 (H3Tモデルの下限線) には温度条件に違いがあるが、過去に実施した破壊靱性試験の結果 (添付 - 2 参照) から、[] の J 値と [] の J 値に大きな差が認められず、それぞれの J 値は H3Tモデルの下限線以上であることから、360°C の J 値を H3Tモデルの下限線として想定する現在の評価は重大事故時の条件においても適用でき、妥当であると判断している。

Jmat の J_{1c}、J₆ の値は以下のとおりである。

	J _{1c} (kJ/m ²)	J ₆ (kJ/m ²)
き裂進展抵抗 (Jmat)		

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

4. 評価部位の応力

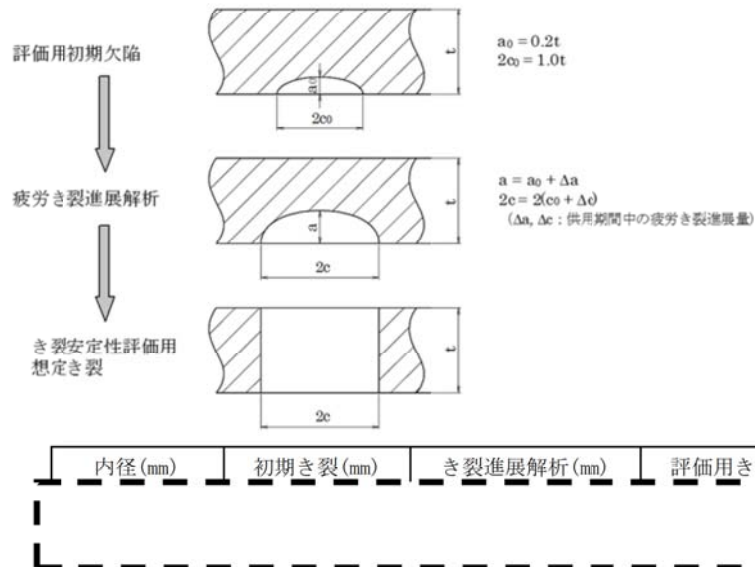
重大事故等時の内圧、自重、熱膨張及び地震荷重(Ss地震動)を考慮した応力値を示す。

評価条件	内圧による応力 (MPa)	曲げ応力				軸力による応力				合算値 (MPa) (小数点第1位切り上げ)
		自重 (%)	熱 (%)	地震 (Ss) (%)	合計 (MPa)	自重 (%)	熱 (%)	地震 (Ss) (%)	合計 (MPa)	
重大事故等時										約232
通常運転時 (参考)										約215

5. Jappの決定

(1) 評価用き裂

き裂安定性評価を保守的に行うために評価用き裂を貫通き裂とする。



(2) FEM解析

評価用き裂と表 1 に示す評価条件を入力条件として、FEM (有限要素法) 解析により、破壊力 (Japp値) を求める。

Japp の算出には、作用荷重 (Ss地震動による荷重を含む) と材料物性 (応力-歪関係) を使用する。

また、材料物性 (応力-歪関係) には、通常運転時の評価では、保守的な条件としてフェライト量が小さく、時効していない材料の応力-ひずみ関係を使用しているが、重大事故時等条件を考慮した評価においても同じものを使用している。重大事故時等条件 (360℃) を考慮した場合の応力-ひずみ関係はフェライト量、温度条件、時効劣化の有無の影響を総合すると、通常運転時の評価に使用する応力-ひずみ関係より大きくなるため、今回の評価で使用した応力-ひずみ関係は保守的な評価条件となる。

なお、各き裂長さにおけるJappは以下のとおり。

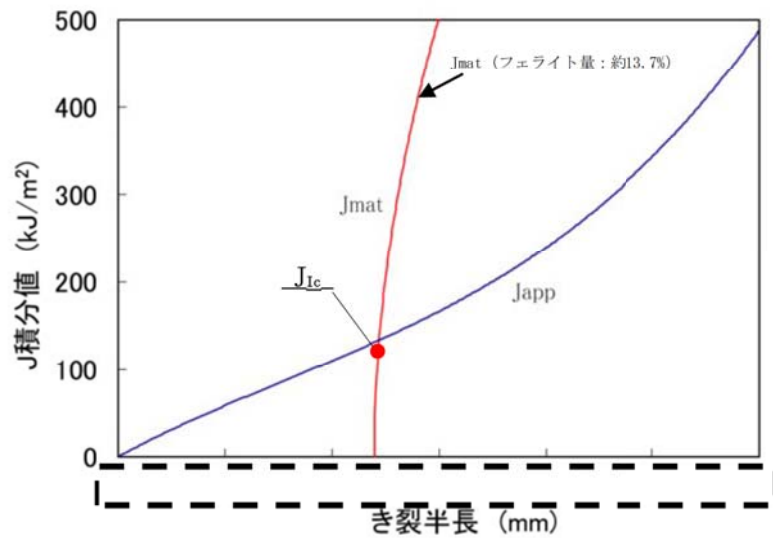
き裂長さ	1t	3t	5t
Japp (kJ/m ²)			

6. き裂安定性評価

重大事故等時の加圧器サージライン用管台におけるき裂安定性評価結果を下図に示す。

重大事故等時においても、き裂進展抵抗がき裂進展力を上回ること、およびき裂進展抵抗とき裂進展力の交点で、き裂進展抵抗の傾きがき裂進展力の傾きを上回っていることから、配管は不安定破壊することはないと判断でき、重大事故等時のプラント条件を考慮しても健全であることが判断できる。

加圧器サージライン用管台のき裂安定性評価結果



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

表1 評価条件
 加圧器サージライン用管台

内径 [mm]																																			
外径 [mm]																																			
き裂形状	周方向貫通き裂(き裂長さ: 1t, 3t, 5tの3種類)																																		
荷重																																			
内圧 [MPa]																																			
軸力 [kN]	自重		熱		地震		合計																												
曲げモーメント [kN・m]	My	Mz	My	Mz	My	Mz	My	Mz	合計																										
物性値																																			
ヤング率 [MPa]	$\nu=0.3$ (弾性域)、 $\nu=0.5$ (塑性域)																																		
ポアソン比																																			
応力-ひずみ関係	<p>フェライト量が低い非時効材の応力-ひずみ線図を用いる。本評価データは電共研「1次冷却材管の時効劣化に関する研究 (STEPI)」で得られた知見を参考にしている。本電共研では2つの試験片について引張り試験を実施し、結果がほぼ同等であったことから1つの試験片のデータを用いて応力-ひずみ線図を導出した。Japp 値は応力-ひずみ線図の下部の面積に比例するため、強度が低い非時効材を用いることはより安全側の評価となります。</p>																																		
	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px dashed black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center;">公称ひずみ [%]</p> </div> <div style="border: 1px dashed black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center;">公称応力 [MPa]</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px dashed black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center;">ひずみ [%]</p> </div> <div style="border: 1px dashed black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center;">応力 [MPa]</p> </div> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 20px;">非時効材のフェライト量</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <th colspan="6">化学成分 (詳細分析) %</th> <th colspan="2">フェライト量</th> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Si</td> <td>Mn</td> <td>Cr</td> <td>Ni</td> <td>Mo</td> <td>Cb (Nb)</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td colspan="7"></td> <td>Cre/Nie</td> <td>P%</td> </tr> </table>										化学成分 (詳細分析) %						フェライト量		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cb (Nb)	N								Cre/Nie	P%
化学成分 (詳細分析) %						フェライト量																													
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cb (Nb)	N																												
							Cre/Nie	P%																											

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

重大事故等時の条件を考慮した一次冷却材管の熱時効に対する健全性評価について

高浜1号炉の一次冷却材管（主冷却材管及び蓄圧注入系管台等）について、重大事故等時の温度、圧力条件を考慮した熱時効に対する健全性評価への影響の評価を以下に示す。

1. Jappの算出（応力-ひずみ関係）における重大事故等時条件（360℃）の考慮について

Jappの算出には、作用荷重（Ss地震動による荷重を含む）と材料物性（応力-歪関係）を使用する。そのうち、作用荷重には重大事故等時条件（360℃）を考慮している。

また、材料物性（応力-ひずみ関係）には、通常運転時 [] の評価では、保守的な条件としてフェライト量が小さく、時効していない材料の [] における応力-ひずみ関係を使用しているが、重大事故等時条件を考慮した評価においても同じものを使用している。

なお、重大事故等時条件（360℃）を考慮した場合の時効後の応力-ひずみ関係は図1に示す通り、通常運転時 [] の評価に使用する応力-ひずみ関係（非時効）より大きくなるため、今回の評価で使用した応力-ひずみ関係は保守的な評価条件となる。



図1. 通常運転時 [] の評価に使用する応力-ひずみ関係と時効した360℃における応力-ひずみ関係

また、応力-ひずみ関係は、通常運転時の評価を目的とするため、 [] におけるデータしか取得していないため、360℃における応力-ひずみ関係は次頁の方法にて予想している。

[枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません]

(1) 熱時効により強度は上昇する。電共研において時効条件（時効温度・時間）と強度上昇の関係が整理されており、時効していない材料の耐力（ σ_{y0} ）と[]にて時効した後の耐力の比を図 2 に示す。高浜 1 号炉の運転時間は約 23 万時間であり、約 23 万時間時効した材料の強度は時効前と比べて [] 上昇することがわかる。



図 2 時効時間と強度上昇の関係

（出典：電共研「1 次冷却材管等の時効劣化に関する研究（STEPⅢ）（その 2）（平成 10 年度）」）

(2) 温度上昇により強度は低下する。JSME 設計・建設規格において各温度における設計降伏点応力（ S_y ）がまとめられており、図 3 に [] における強度と各温度における強度の比を示す。360℃ における降伏点応力は [] に比べて [] 低下することがわかる。

(3) (1) 及び (2) の関係から応力-ひずみ関係は、熱時効により [] 上昇し、温度上昇により [] 低下することから、[] 上昇すると考えられる。なお、高浜 1 号炉加圧器サージライン用管台のフェライト量は約 13.7% であり、応力-ひずみ関係には依然保守性が含まれる。

表 1. 各応力-ひずみ関係の条件

条件	評価条件	実機の 重大事故等時条件	備考
熱時効の有無			
温度		360℃	
フェライト量		約 13.7%	

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



図 3. 材料強度と温度の関係

(出典：JSME S NC1 - 2005/2007「設計・建設規格」(日本機械学会))

2. Jmatの算出(破壊靱性値)における重大事故等時条件(360°C)の考慮について

Jmatについては、 の温度条件で採取されたデータの下限值(H3Tモデルの下限線)を用いて設定しているが、重大事故等時の条件(360°C)を考慮した評価において、 で求めたJmatを用いることの妥当性を確認するため、以下のとおり破壊靱性試験を行った。

(1) 供試材



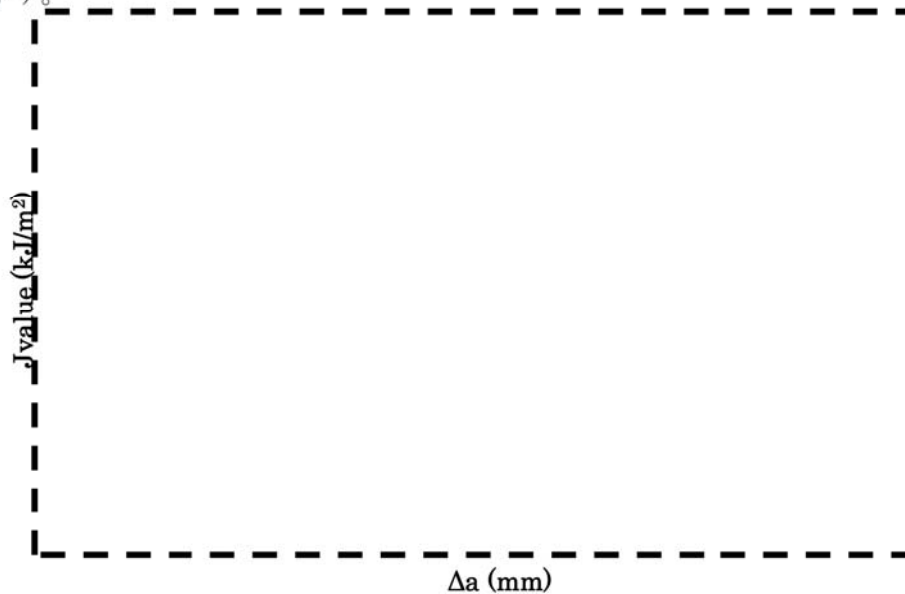
(2) 試験内容



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

(3) 試験結果

今回の試験で採取された破壊靱性試験結果のプロットと J_{Ic} 試験の結果、 J_Q 値を以下に示す。



試験温度	試験片番号	J_{Ic} 試験結果	$J_Q(J_{Ic})$

以上の結果より、 のJ値と のJ値に大きな差は認められない。また、今回取得された のJ値および のJ値はH3Tモデルの下限線以上であることから、360℃のJ値をH3Tモデルの下限線として想定する現在の評価は妥当であると判断できる。



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

No.	高浜 1－熱時効－ 1 1	分類：2相ステンレス鋼の熱時効
質 問	<p>(別冊-共通) 高経年化対策上着目すべき事象としている機器（1次冷却材管、1次冷却材ポンプのケーシング及び下部炉心支持柱）について、亀裂進展力(Japp)を含めた評価部位の選定の考え方（例えば評価部位以外で亀裂進展力が最大となる評価点がないこと、評価部位が亀裂進展力が最大となる評価点であること等）を提示すること。（通常運転時及び重大事故等時とも提示すること。）</p>	
回 答	<p>熱時効について高経年化対策上着目すべき事象としている機器・部位に対しては、フェライト量、応力条件から代表評価部位を決定して亀裂進展力と亀裂進展抵抗の比較を行っている。</p> <p>このうち、亀裂進展抵抗はH3Tモデルによってフェライト量で決定される値であることから、フェライト量で代表部位を決定している。一方亀裂進展力については応力の他、亀裂形状、材料物性等が関係するものであるが、亀裂形状は、初期欠陥を想定した上で60年の亀裂成長を考慮し更に貫通亀裂を考慮するなど十分保守性を持たせた想定を行った上で応力の観点で代表部位を決定している。</p> <p>実際には、定期的な点検によって各部位に亀裂などが無いことを確認している。</p> <p>また、亀裂安定性評価対象となった1次冷却材管に対して、多数の部位の応力評価を実施し、応力の高い部位は簡易式による亀裂進展力を算出して亀裂進展力が最大となる部位が代表部位に含まれていることを確認している。</p> <p>従って、劣化状況評価にて選定された評価部位の亀裂進展抵抗と亀裂進展力の比較にて全評価対象箇所の評価を包絡していると考えている。</p> <p>なお、重大事故等時においては通常運転時と比較して温度、圧力が上昇するため応力が増加するが、重大事故等時においても応力最大部位は同じであることを確認して、当該部位の重大事故等時の亀裂安定性評価を実施していることから、重大事故等時の健全性も確認できている。</p>	

No.	高浜1-コンクリート鉄骨-19	事象：機械振動
質 問	<p>(断続別冊-11コンクリート構造物-13頁)</p> <p>比較的大きな振動を浮ける部位として、タービン架台と非常用ディーゼル発電機基礎が機械振動の評価対象として選定されているが、選定した過程を提示すること。</p>	
回 答	<p>機械振動の評価対象は、以下の考え方に基づいて選定している。</p> <p>1. 構造的に独立した部位について 振動を受けるコンクリート部位が他部位から独立しているタービン架台を選定した。</p> <p>2. その他機器からの振動影響について その他機器からの振動を受ける部位については、機器出力が相対的に大きい非常用ディーゼル発電機（ディーゼル発電機内燃機関）および1次冷却材ポンプを選定し、それぞれについて、コンクリート部位への支持形状を確認した。 その結果、非常用ディーゼル発電機については、発生する振動を直接的にコンクリート部位が受ける構造であるが、1次冷却材ポンプについては、地震時の変位を拘束する目的で重機器サポートを設置しており、発生する振動を直接的にコンクリート部位が支持する構造ではないことから、非常用ディーゼル発電機基礎を選定した。</p> <p>なお、『日本原子力学会 原子力発電所の高経年化対策実施基準：2013 暫定版：経年劣化メカニズムまとめ表（追補4）』においても、同様の対象となっている。</p> <p>添付-1 高浜1号炉 タービン建屋断面図 添付-2 主要な機器の振動影響について 添付-3 高浜1号炉 非常用ディーゼル発電機室配置図 添付-4 高浜1号炉 1次冷却材ポンプサポート構造図 添付-5 経年劣化メカニズムまとめ表-PWR</p>	

高浜1号炉 タービン建屋断面図



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

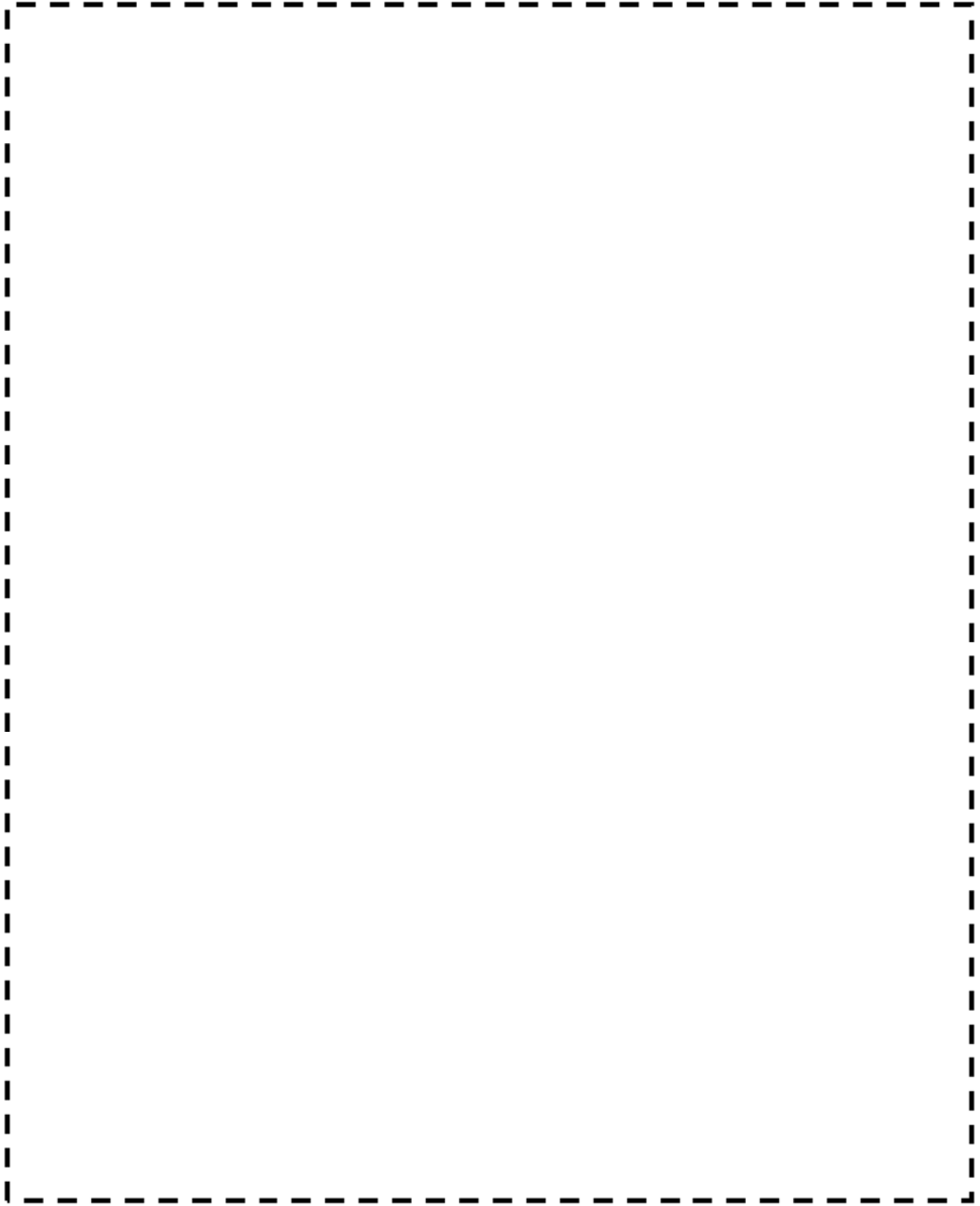
主要な機器の振動影響について

高浜 3 号炉の工事計画認可申請書に基づき主要な機器の原動機出力を振動影響の大きさとして抽出し、高浜 1 号炉においても機器のスペックに大きな相違がないことから、機器出力が相対的に大きい非常用ディーゼル発電機（ディーゼル発電機内燃機関）および 1 次冷却材ポンプを検討対象として選定した。

名称	種類	原動機出力 (kw/個)	備考
1 次冷却材ポンプ			
ディーゼル発電機内燃機関			機関出力を記載
余熱除去ポンプ			
充てん/高圧注入ポンプ			
海水ポンプ			
原子炉補助冷却水ポンプ			
タービン動補助給水ポンプ			
格納容器スプレイポンプ			

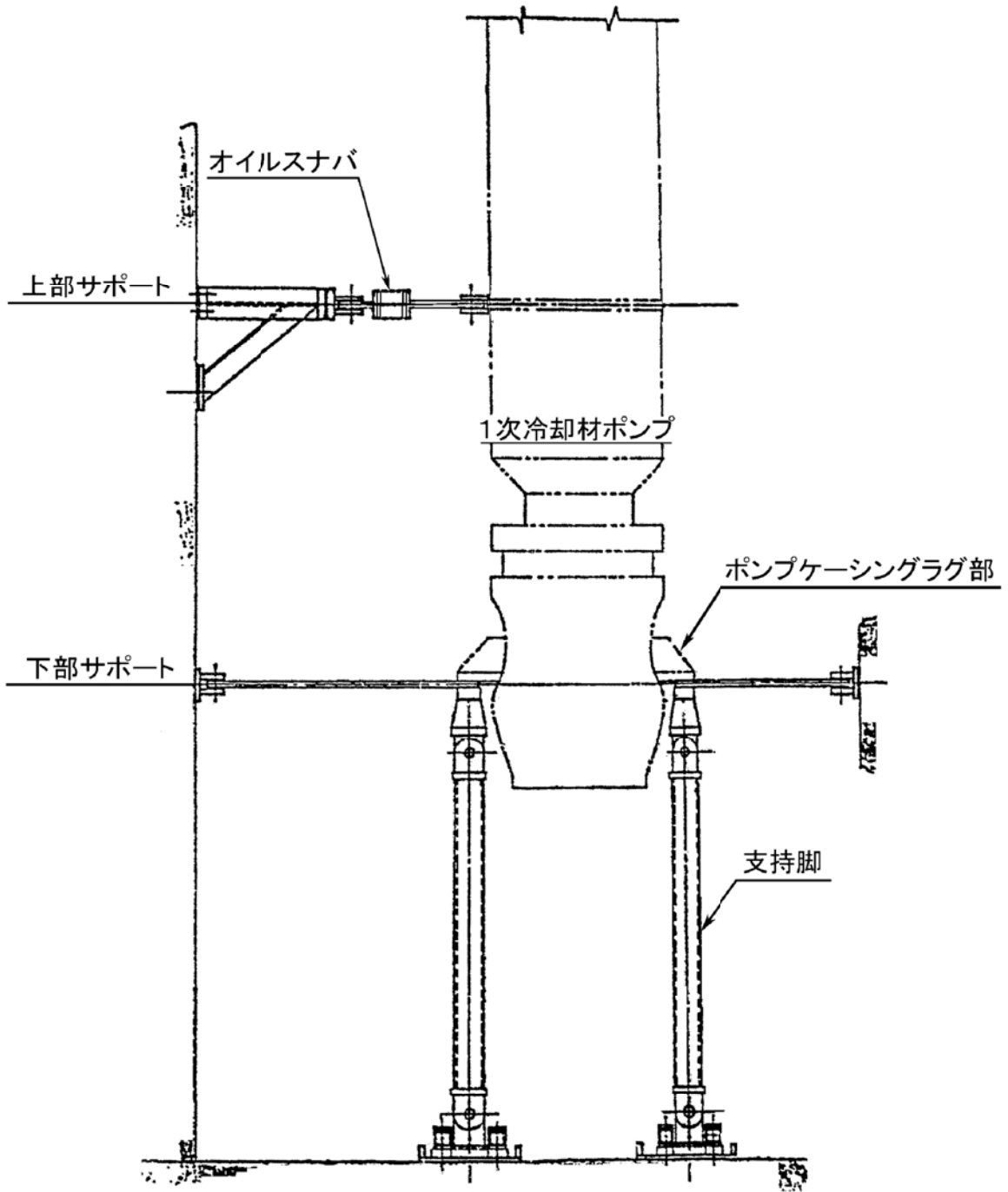
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜1号炉 非常用ディーゼル発電機室配置図

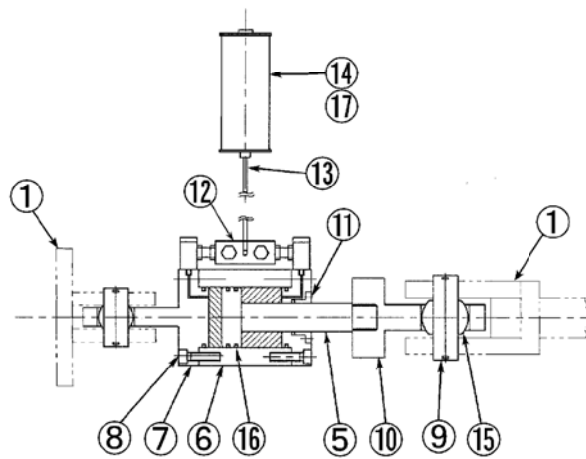
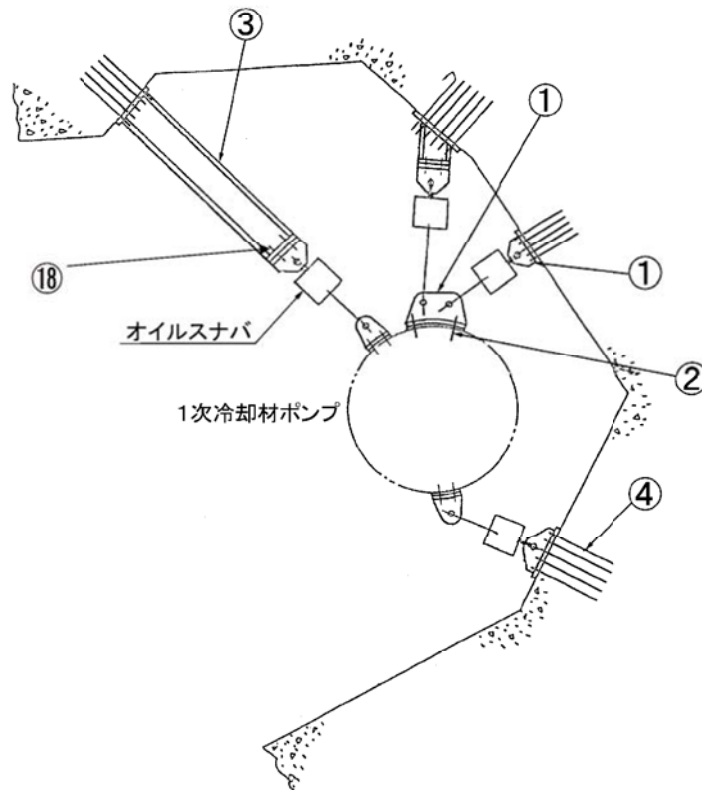


枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜1号炉 1次冷却材ポンプサポート構造図



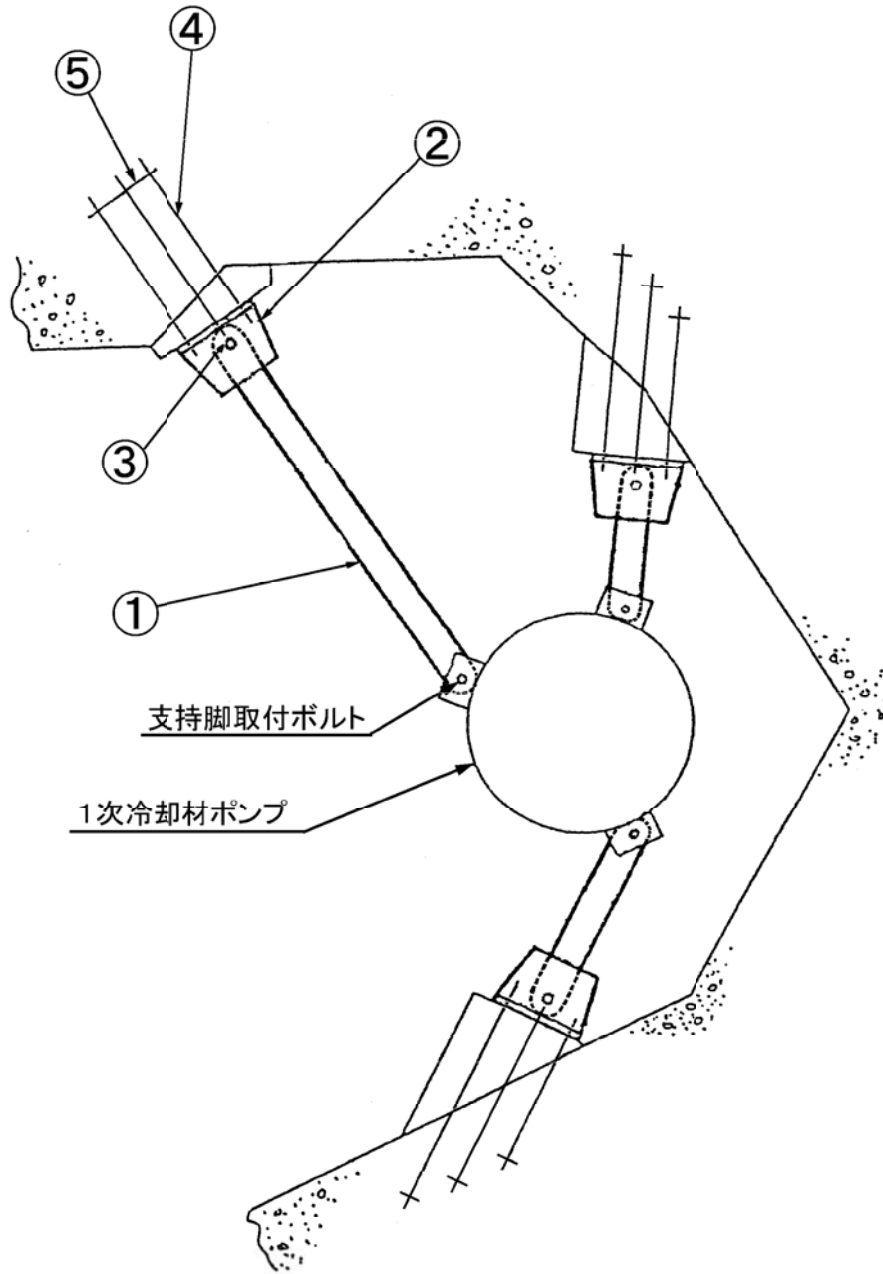
高浜 1 号炉 1 次冷却材ポンプサポート構造図



オイルスナバ

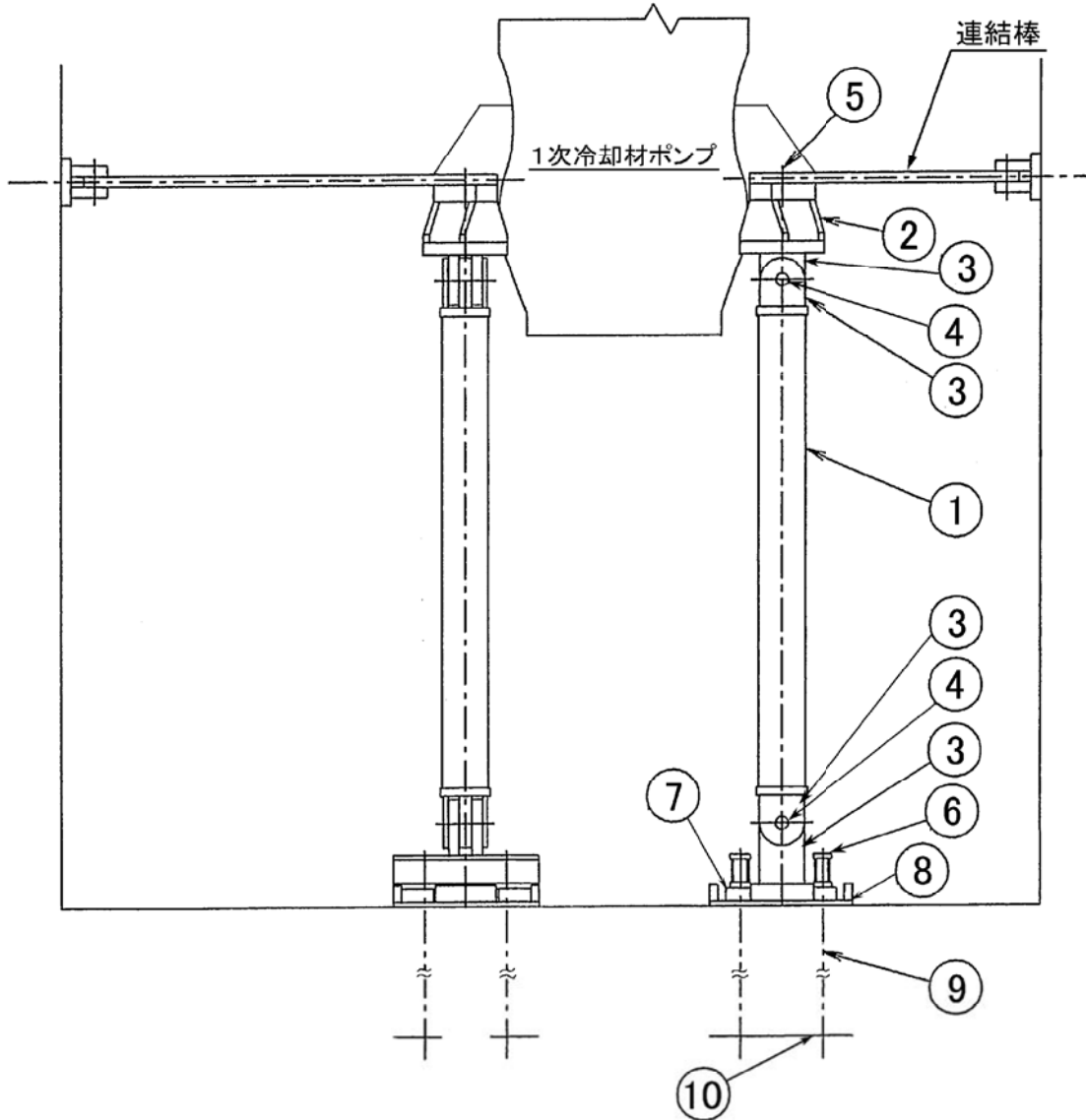
No.	部 位	No.	部 位
①	ブラケット	⑩	オイルスナバ コネクティングラグ
②	モータ側ブラケット取付ボルト	⑪	オイルスナバ プッシュ
③	サポートビーム	⑫	オイルスナバ コントロールシステム
④	基礎ボルト	⑬	オイルスナバ パイプ
⑤	オイルスナバ ピストンロッド	⑭	オイルスナバ オイルリザーバ
⑥	オイルスナバ シリンダチューブ	⑮	オイルスナバ 球面軸受 (すべり)
⑦	オイルスナバ シリンダカバー	⑯	オイルスナバ オイルシール
⑧	オイルスナバ タイボルト	⑰	オイルスナバ オイル
⑨	オイルスナバ コッターピン	⑱	取付ボルト

高浜1号炉 1次冷却材ポンプサポート構造図



No.	部 位
①	連結棒
②	ブラケット
③	ピン
④	基礎ボルト
⑤	埋込金物

高浜 1号炉 1次冷却材ポンプサポート構造図



No.	部 位
①	支 柱
②	支持脚ブラケット
③	ヒ ン ジ
④	支持脚ピン
⑤	支持脚取付ボルト
⑥	押え金物
⑦	支持脚ヒンジ側ベースプレート
⑧	ベースプレート
⑨	基礎ボルト
⑩	埋込金物

経年劣化メカニズムまとめ表-PWR

(1/1)

P11-01 コンクリート（コンクリート構造物及び鉄骨構造物）

No.	機能達成に必要な項目	部位	材料	経年劣化事象	高経年化技術評価 不要	耐震安全上の		耐震上の影響	
						静的機能	動的機能		
1	コンクリート強度の維持	外部遮へい壁、内部コンクリート、原子炉格納施設基礎、原子炉補助建屋、原子炉補助建家（主蒸気管室）、取水構造物、タービン建屋（タービン架台）、復水タンク基礎（配管基礎含む）	コンクリート	中性化による強度低下		★	/	▼	
2		外部遮へい壁、取水構造物	コンクリート	塩分浸透による強度低下		★	/	▼	
3		外部遮へい壁、内部コンクリート、原子炉格納施設基礎、原子炉補助建屋、取水構造物、タービン建屋、タービン建屋（タービン架台）、特高開閉所、脱気器基礎、非常用ディーゼル発電用燃料タンク基礎（配管基礎含む）、復水タンク基礎（配管基礎含む）	コンクリート	アルカリ骨材反応による強度低下		★	/	▼	
4		外部遮へい壁、内部コンクリート、原子炉格納施設基礎、原子炉補助建屋、取水構造物、タービン建屋（タービン架台）	コンクリート	凍結融解による強度低下		★	/	▼	
5		外部遮へい壁、内部コンクリート、原子炉格納施設基礎、原子炉補助建屋、取水構造物、タービン建屋（タービン架台）	コンクリート	化学的侵食による強度低下	①	★	/	/	
6		内部コンクリート（1次遮へい壁）	コンクリート	熱による強度低下		★	/	▼	
7		内部コンクリート（1次遮へい壁）	コンクリート	放射線照射による強度低下		★	/	▼	
8		原子炉補助建屋（非常用ディーゼル発電機基礎）、タービン建屋（タービン架台）	コンクリート	機械振動による強度低下		★	/	▼	
9		コンクリート遮へい能力の維持	内部コンクリート（1次遮へい壁）	コンクリート	熱による遮へい能力低下		★	/	▼
10		鉄骨強度の維持	原子炉補助建屋（燃料取扱建屋）、タービン建屋（鉄骨部）、特高開閉所、内部コンクリート（鉄骨部）、原子炉補助建家（燃料取扱室、中央制御室）、原子炉補助建屋（鉄骨部）、脱気器基礎（鉄骨部、配管架台）	鉄骨	腐食による強度低下		★	/	▼
11			タービン建屋（鉄骨部）、内部コンクリート（鉄骨部）、原子炉補助建屋（鉄骨部）	鉄骨	金属疲労による強度低下	①	★	/	/

No.	高浜 1-コンクリート鉄骨-20	事象：火災（耐火能力低下）
質 問	<p>（断続別冊-11コンクリート構造物-17頁） 「コンクリート構造物は、断面厚により耐火能力を確保する設計である。」とあるが、具体的に説明し、耐火能力が要求されている壁の位置と厚さを提示すること。</p>	
回 答	<p>コンクリート構造物の耐火能力は、コンクリートの断面厚により確保する設計としているが、これは、添付-1に示すとおり、コンクリート壁の厚さ（=断面厚）に応じた耐火能力が示されるためである。 なお、具体的に耐火能力が要求されている壁の位置と厚さについては、添付-2に示す。</p> <p>添付-1 高浜発電所第3号機 工事計画認可申請書 資料7 発電用原子炉の火災防護に関する説明書（抜粋） 添付-2 火災区域等の位置図</p>	

第 6-1 表 2001 年版耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説

<p>普通コンクリート壁の屋内火災耐火時間（遮熱性）の算定図</p> <p>「建設省告示第 1433 号 耐火性能検証法に関する算出方法等を定める件」講習会テキスト」に加筆</p>	
<p>解説</p>	<p>火災強度 2 時間を越えた場合、建築基準法により指定された耐火構造壁はないが、2001 年版耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説（「建設省告示第 1433 号 耐火性能検証法に関する算出方法等を定める件」講習会テキスト（国土交通省住宅局建築指導課））により、コンクリート壁の屋内火災保有耐火時間（遮熱性）の算定方法が次式のとおり示されており、これにより最小壁厚を算出することができる。</p> $t = \left(\frac{460}{\alpha} \right)^{3/2} 0.012^{CD} D^2$ <p>ここで、t：保有耐火時間 [min]，D：壁の厚さ [mm]，α：火災温度上昇係数 [460：標準加熱曲線^{※1}，CD：遮熱特性係数 [1.0：普通コンクリート]^{※2}である。</p> <p>※1 建築基準法の防火規定は 2000 年に国際的な調和を図るため、国際標準の加熱曲線 (ISO834) が導入され、火災温度係数 α は 460 とする。</p> <p>※2 普通コンクリート (1.0)、軽量コンクリート (1.2)</p> <p>上記式より、屋内火災保有耐火時間 180min (3 時間) に必要な壁厚は 123mm と算出できる。</p> <p>また、普通コンクリート壁の屋内火災保有耐火時間（遮熱性）について、上図のとおり 240min (4 時間) までの算定図が示されている。</p>

第 6-2 表 海外規定の NFPA ハンドブック
(「原子力発電所の火災防護指針 JEAG4607-2010」に加筆)

<p>耐火壁の厚さと耐火時間の関係 (米国 NFPA Handbook Twentieth Edition より)</p> <p>Reproduced with permission from NFPA's Fire Protection Handbook[®] Copyright ©2008, National Fire Protection Association</p>	<p>NORMAL AGGREGATE : 普通骨材 SLAG : スラグ骨材 EXPANDED SHALE : 膨張頁 (けつ) 岩骨材 EXPANDED SLAG : 膨張スラグ骨材</p>
<p>解説</p>	<p>コンクリート壁の耐火性を示す海外規格として、米国の NFPA ハンドブックがあり、3 時間耐火に必要な壁の厚さは約 150mm^{※1}と読み取れる。</p> <p>※1 3 時間耐火に必要なコンクリート壁の厚さとしては、「原子力発電所の火災防護指針 JEAG4607-2010」に例示された、米国 NFPA (National Fire Protection Association) ハンドブックに記載される耐火壁の厚さと耐火時間の関係より、3 時間耐火に必要な厚さが約 150mm 程度であることが読み取れる。</p>

No.	高浜1－その他の経年劣化事象－17	事象：SCC－1
質 問	<p>(別冊-2熱交換器-2蒸気発生器-13頁) 冷却材出入口管台セーフエンドの応力腐食割れについて、亀裂進展解析の結果を具体的に説明すること。</p>	
回 答	<p>「高浜1－耐震－9」の回答と同様。</p>	





No.	高浜1-耐震-17 Rev.1	事象：耐震
質問	<p>(別冊-16耐震-3.6弁-3.6.44頁)</p> <p>耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象として弁と配管の接続部における疲労割れあるいは接続配管の腐食(流れ加速型腐食)が抽出された弁について、地震時の応答加速度が機能確認済加速度を上回らないとする評価の具体的内容(評価仕様、解析モデル、入力(荷重)条件、評価結果を含む)を提示すること。</p>	
回答	<p>1. 動的機能維持評価の対象弁・経年劣化事象の選定</p> <p>弁の地震時の応答加速度が機能確認済加速度を上回らないことを確認すべき対象を以下のとおり選定した。</p> <div style="text-align: center;"> <pre> graph TD Title["①弁と配管の接続部における疲労割れ/②接続配管の腐食(流れ加速型腐食)に対する弁の動的機能維持評価"] --> Q1{"振動応答特性に影響する経年劣化事象か?"} Q1 -- No --> N1["①※1"] Q1 -- Yes --> Q2{"振動応答特性に影響が及ぶ範囲に地震時に動的機能維持(主要弁)が存在するか?"} Q2 -- No --> N2["主給水系統 低圧再熱蒸気系統 第3・4抽気体系統 補助蒸気系統 グランド蒸気系統 復水系統 トレン系統 SQ700-ダウンス系統"] Q2 -- Yes --> S1["主蒸気系統"] N1 --> E["評価対象外"] N2 --> E S1 --> B1["評価対象弁の抽出"] B1 --> B2["主蒸気逃がし弁・主蒸気安全弁 → これについて評価を実施する"] </pre> </div> <p>※1: 疲労割れが生じた場合は振動応答に影響を与える可能性があるが、疲労累積係数が1以下であることを確認しているため割れは発生せず、振動応答に影響を与える経年劣化事象ではない</p> <p>※2: 弁そのものの経年劣化事象ではないが、接続配管に流れ加速型腐食が生じた場合は、配管の振動応答特性の変化が弁の応答加速度に影響すると考えられる</p>	

図1 動的機能維持評価の対象弁・経年劣化事象の選定フロー

2. 評価結果

主蒸気逃がし弁および主蒸気安全弁に接続する主蒸気系統配管の、流れ加速型腐食に係る減肉管理部位を必要最小肉厚まで一様に減肉させたモデル（添付-1参照）を用いて、スペクトルモーダル解析を実施し、対象弁における応答加速度を算出した結果、機能確認済加速度を上回ることがないことを確認した。よって動的機能維持の観点から耐震安全性上問題ないことを確認した。

表1 主蒸気逃がし弁および主蒸気安全弁の動的機能維持評価結果

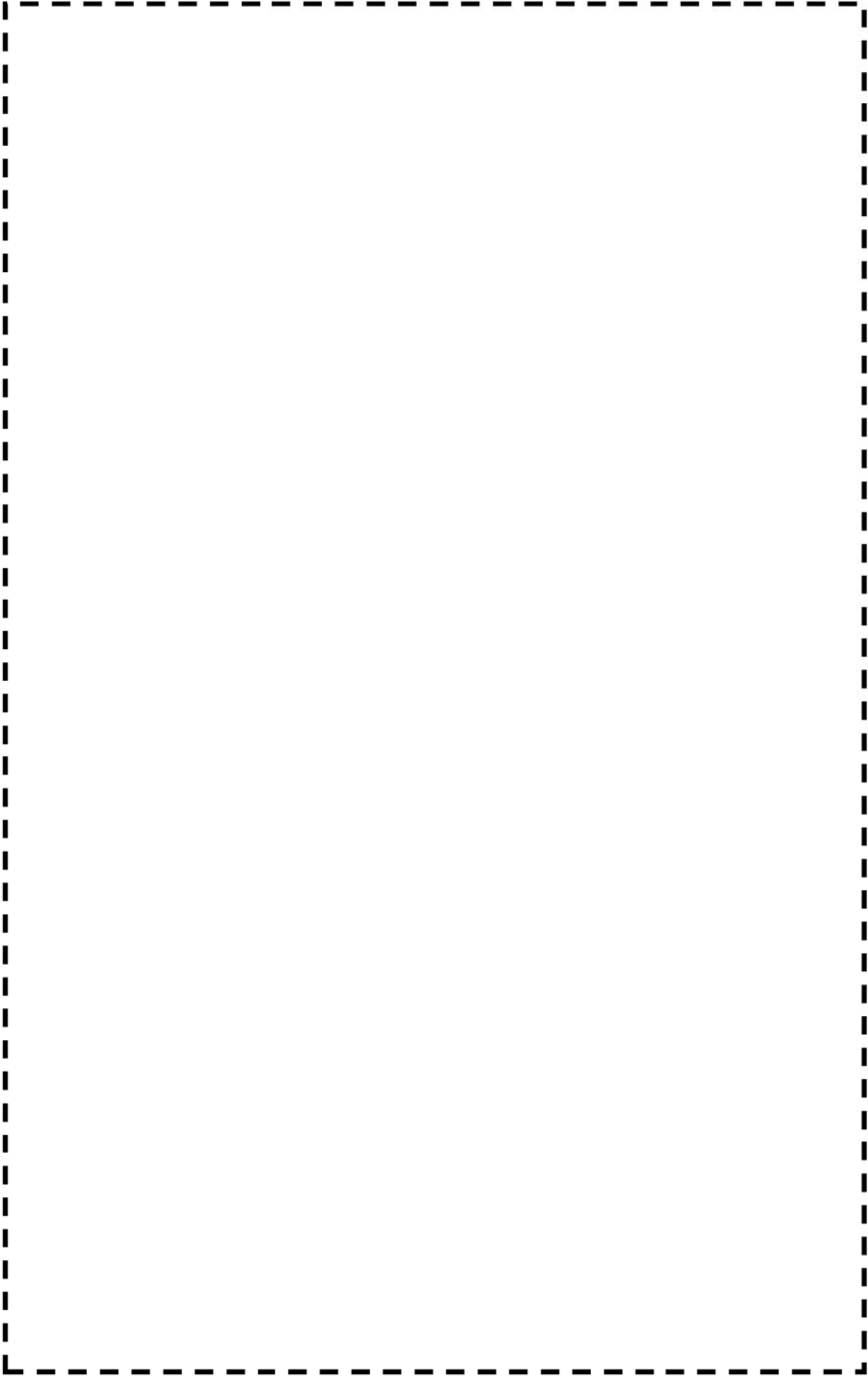
地震力		主蒸気逃がし弁		主蒸気安全弁	
		応答加速度	機能確認済 加速度	応答加速度	機能確認済 加速度
Ss	水平	 [4.2G]	6.0G	 [5.5G]	10.0G
	鉛直	 [1.5G]	6.0G	 [2.8G]	3.0G

(注) G=9.8 (m/s²)

[]内は工認での評価結果

以 上

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



高浜1号機 主蒸気系統配管(A-主蒸気配管(CV外))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜1号機 主蒸気系統配管(B-主蒸気配管(CV外))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



高浜1号機 主蒸気系統配管(C-主蒸気配管(CV外))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

No.	高浜 1 - 耐震 - 20	事象：耐震
質 問	<p>(別冊-16耐震-3.14機械設備-3.14.90頁) 表3.14.11-1の海水ポンプ、脱気器タンク、燃料取替用水タンク、復水タンクの機器基礎ボルトの腐食に対する評価の具体的内容(評価仕様、解析モデル、入力(荷重)条件、評価結果を含む)を提示すること。</p>	
回 答	<p>海水ポンプ、脱気器タンク、燃料取替用水タンクおよび復水タンクの機器基礎ボルトの腐食に対する評価の具体的内容について添付に示す。</p> <p>(1) 海水ポンプ : 添付-1 (2) 脱気器タンク : 添付-2 (3) 燃料取替用水タンク : 添付-3 (4) 復水タンク : 添付-4</p>	

(1) 海水ポンプ
 <評価仕様>

表1 据付面基礎ボルトの評価仕様

名称	単位	仕様
評価温度 (周囲温度)	℃	40
海水ポンプの質量	kg	
基礎ボルトの本数	—	
基礎ボルトのピッチ円直径	mm	
基礎ボルト呼び径	—	
基礎ボルト材質	—	
基礎ボルト 減肉量	mm	0.3 (直径0.6)

<解析モデル>

海水ポンプの解析は、多質点はりモデルによるスペクトルモーダル解析を適用する。
 解析モデルを図1に示す。

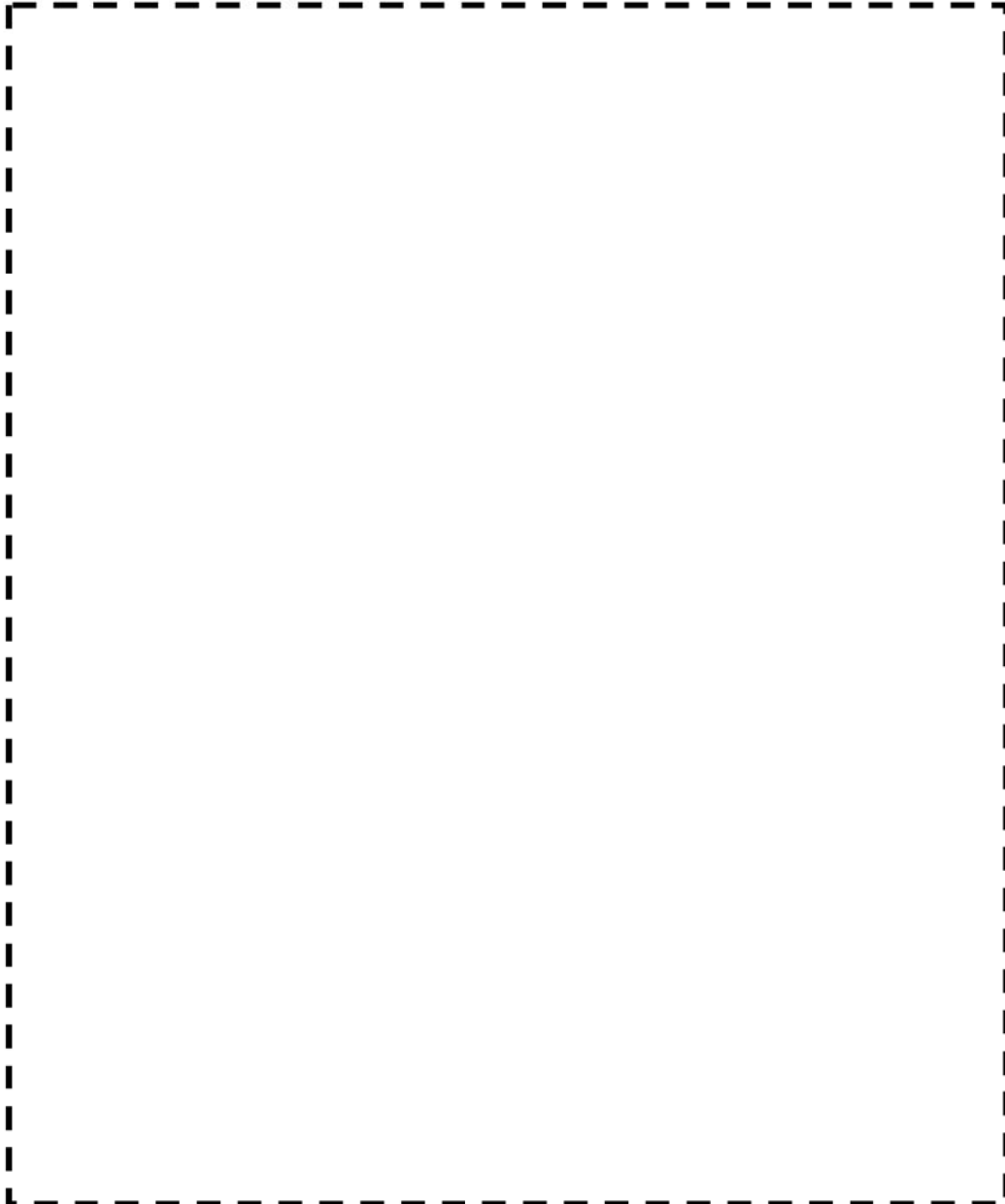


図1 解析モデル

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<入力（荷重）条件>

水平方向の床応答曲線を図2に示す。

鉛直方向は、を使用する。

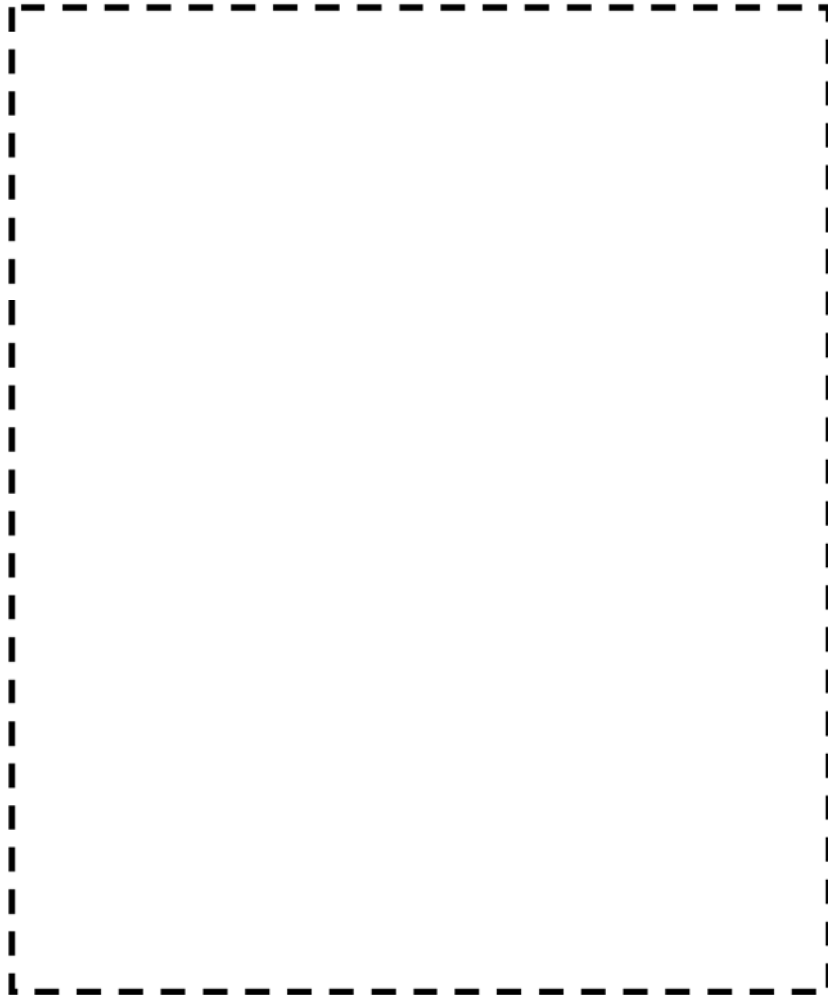


図2 水平方向の床応答曲線

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<スペクトルモーダル解析結果>

基礎部の質点26の解析結果を表2に示す。

表2 基礎部の地震荷重 (スペクトルモーダル解析結果)

荷重の分類	解析結果
曲げモーメント (N・m)	
水平力 (N)	

<評価結果>

○据付面基礎ボルトの引張応力

曲げモーメントMにより基礎に生じる引張力は、下式より求める。

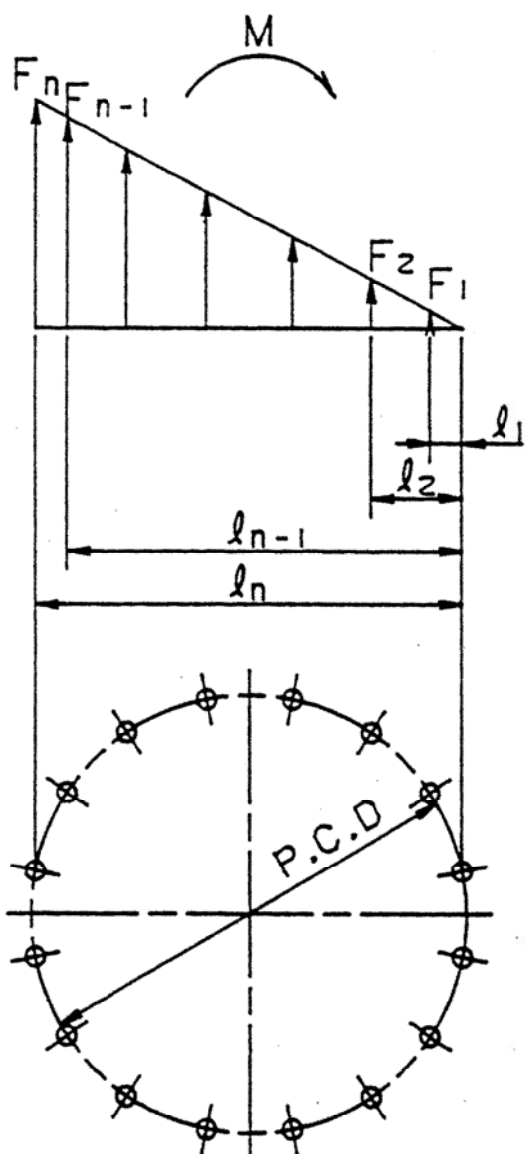


図3 ボルト配置図

$$M = M_H - (g - a_v) \times m \times r$$

M_H : 地震により生じる曲げモーメント

m : 機器の質量 (kg)

g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)

a_v : 評価用鉛直加速度 (5.296 m/s² = 0.54G)

r : (ピッチサークル半径 1500/2 mm)

$$M = 2 \sum_{i=1}^n F_i \cdot l_i$$

$$\frac{F_i}{l_i} = \text{一定}$$

ボルトに発生する最大引張力 F_n は、次式で求める。

$$F_n = \frac{M \cdot l_n}{2 \sum_{i=1}^n l_i^2}$$

この時、ボルトに発生する引張応力 σ_{bt} は

$$\sigma_{bt} = \frac{F_n}{A_b} \text{ となる。}$$

ここで

A_b = ボルトの断面積

ボルトに発生するせん断応力 τ_{bs}

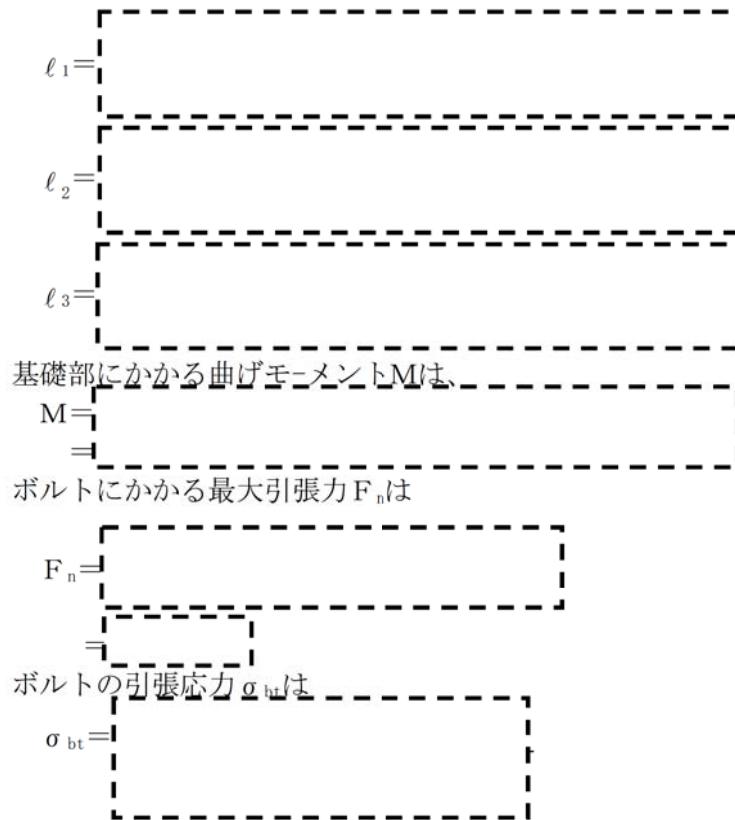
ボルトに生じるせん断力は、ボルト全数で受けるものとして次式で求める。

$$\tau_{bs} = \frac{F}{A_b \times n}$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

1) 据付面基礎ボルトの引張応力

図3において l_n は以下のように求まる。



2) 据付面基礎ボルトのせん断応力

ボルトのせん断応力 τ_{bs} は

$$\tau_{bs} = \frac{F}{A_b \times n}$$

以上で求めた据付面基礎ボルトの発生応力より、断面積比により減肉後の発生応力を求めた。評価結果を表3に示す。

表3 据付面基礎ボルトに発生する応力

応力分類	発生応力 (MPa)		許容値 (MPa)	減肉後の 応力比 (PLM)
	減肉前 (工認)	減肉後* (PLM)		
引張				0.11
せん断				0.07

* : 減肉後発生応力 = 減肉前発生応力 × { (呼び径)² / (呼び径 - 減肉量 × 2)² }

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

○許容応力の算出

評価温度40℃の基礎ボルト材質SS400の設計降伏点 S_y 及び設計引張強さ S_u は、

$$S_y = \text{---} \text{MPa}, S_u = \text{---} \text{MPa} \text{ より}$$

$$\begin{aligned} F^* &= \text{Min}(1.2S_y, 0.7S_u) \\ &= \text{Min}(1.2 \times \text{---}, 0.7 \times \text{---}) \\ &= \text{Min}(\text{---}) \\ &= \text{---} \text{MPa} \end{aligned}$$

①許容引張応力 $1.5f_t^*$

$$\begin{aligned} 1.5f_t^* &= 1.5 \times F^* / 2 \\ &= 1.5 \times \text{---} / 2 \\ &= 1.5 \times \text{---} \\ &= \text{---} \text{MPa} \end{aligned}$$

②許容せん断応力 $1.5f_s^*$

$$\begin{aligned} 1.5f_s^* &= 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3} \\ &= 1.5 \times \text{---} / 1.5\sqrt{3} \\ &= 1.5 \times \text{---} \\ &= 1.5 \times \text{---} \\ &= \text{---} \text{MPa} \end{aligned}$$

③せん断応力と引張応力の組合せ応力 $1.5f_{ts}^*$

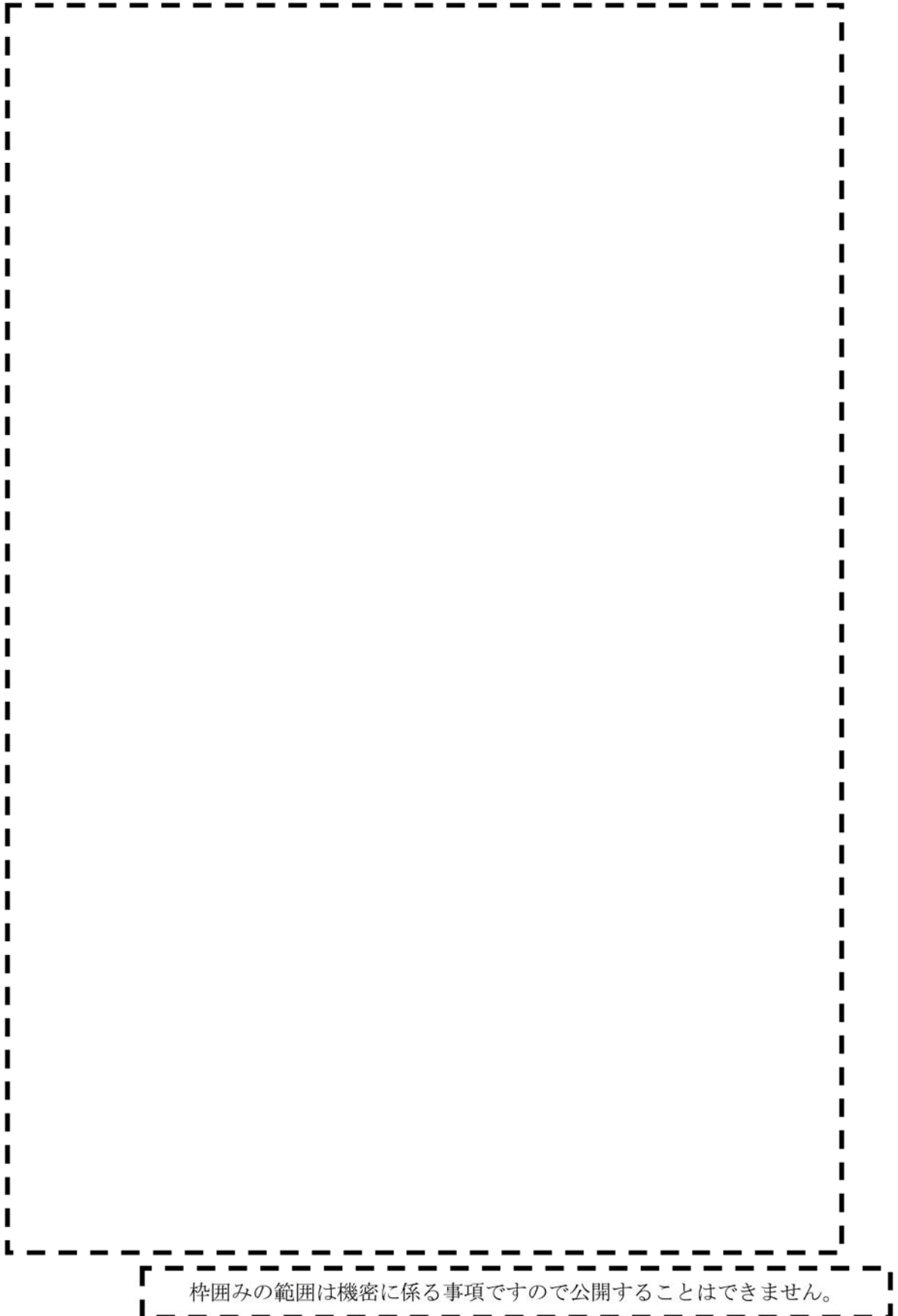
せん断応力と引張応力を同時に受けるボルトの許容引張応力 $1.5f_{ts}^*$ は、

$$\begin{aligned} 1.5f_{ts}^* &= \text{Min}(1.4f_{to}^* - 1.6\tau, f_{to}^*) \\ \text{ここで、} f_{to}^* &= 1.5f_t^* = 210 \text{MPaより} \\ 1.5f_{ts}^* &= \text{Min}(1.4 \times \text{---} - 1.6 \times \text{---}) \\ &= \text{Min}(\text{---}) \\ &= \text{---} \text{MPa} \end{aligned}$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(2) 脱気器タンク
<評価仕様およびモデル>

脱気器タンクの評価モデルを下記に示す。



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<評価結果>

基礎ボルトへの発生応力の有無について、下記のとおり評価した。

1. 転倒モーメントによる引張力についての検討

(1) 地震時転倒の可能性の検討方法

地震力による転倒モーメント $M_E = F_E \cdot H = (C_H \cdot g \cdot W) \cdot H$

機器自重による復元モーメント $M_W = g \cdot W \cdot \ell_1$

ここで、 $M_E > M_W$ であれば転倒しようとする。逆に $M_E < M_W$ であれば転倒しない。

この関係を書き直すと、 $(C_H \cdot H) / \ell_1 > 1$ であれば、転倒しようとし引張力が掛かる。

$(C_H \cdot H) / \ell_1 < 1$ であれば、転倒せず引張力は掛からない。

F_E : (水平)地震力

H : 重心高さ

C_H : 静的水平震度

g : 重力加速度


W : 機器質量


ℓ_1 : 重心と基礎ボルト間の寸法

(2) 地震時転倒の可能性の検討

$$\frac{(C_H \times H)}{\ell_1}$$

ここで、 C_H (静的水平震度) : 

H (重心高さ) : 

ℓ_1 (機器重心と基礎ボルト間の寸法) : 

$\therefore \frac{(C_H \times H)}{\ell_1} < 1$ となり、当該機器は転倒せず、引張力

は掛からない。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

2. せん断力についての検討

①地震時に滑る可能性の検討方法

地震力による滑り力 $F_E = C_H \cdot g \cdot W$

基礎ボルトの固定面の摩擦による抵抗力 $F_W = \mu \cdot g \cdot W$

ここで、 $F_E > F_W$ であれば滑る。逆に $F_E < F_W$ であれば滑らない。

この関係を書き直すと、 $C_H / \mu > 1$ であれば滑る。

$C_H / \mu < 1$ であれば滑らない。

ここで μ は、鋼-鋼間は []、鋼-コンクリート間は [] とする。

C_H : 静的水平震度

g : 重力加速度

W : 機器質量

μ : 機器と据付面に働く静止摩擦係数

②地震時に滑る可能性の検討

$$\frac{C_H}{\mu}$$

ここで、 C_H (静的水平震度) : []

μ (機器と据付面に働く静止摩擦係数) : []

合)

$\therefore \frac{C_H}{\mu} = [] < 1$ となり、当該機器は滑らず、せん断力は掛から

ない。

[] 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(1) 燃料取替用水タンク
 <評価仕様>

表1-1 評価に必要な諸元

名称	記号	単位	値	
最高使用圧力	—	—	大気圧	
最高使用温度	—	℃	95	
容器の満水時重量	m_0	kg		
容器の空質量	m_e	kg		
タンク全高	H	mm		
タンク内径	D_i	mm		
自由液面高さ	h	mm		
縦弾性係数比	s	—		
基礎ボルト本数	n	—		
基礎ボルトのピッチ円直径	D_c	mm		
ベースプレート外径	D_{b_o}	mm		
ベースプレート内径	D_{b_i}	mm		
基礎ボルト呼び径	d	—		
基礎ボルト 腐食量	—	mm		0.3 (直径0.6)
基礎ボルト材質	—	—		
評価用加速度(水平) : 図2 参照	C_H	G		
評価用加速度(鉛直)	C_V	G		
スロッシング評価用加速度 : 図2 参照	C''_{DH}	G		

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<解析モデル>

JEAG4601-1987の平底たて置円筒形容器の1質点計応答解析結果にハウスナー理論で求めたスロッシング荷重を加算して評価を行っています。

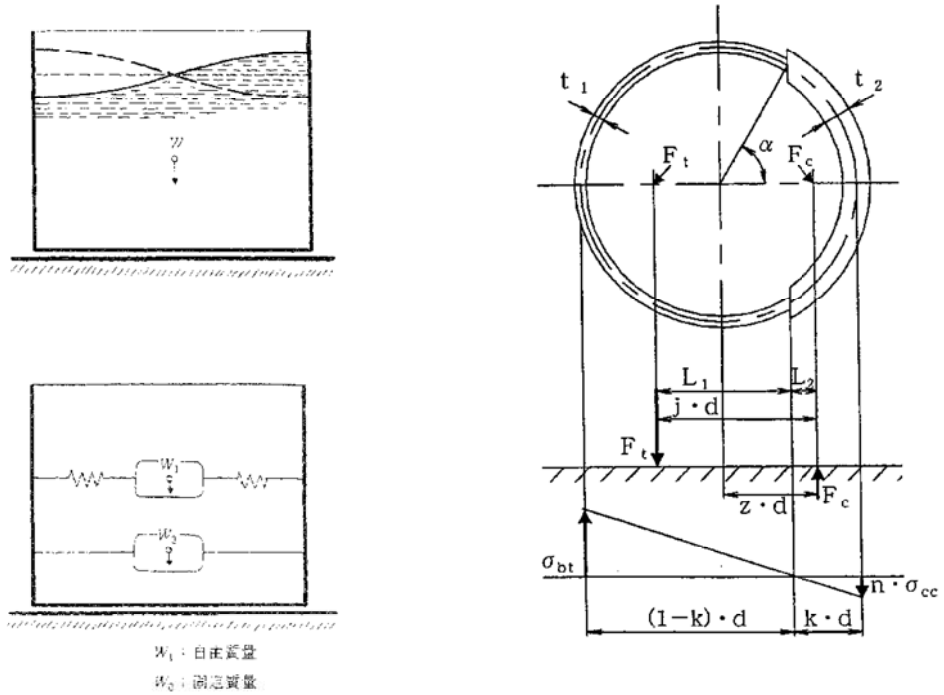


図1 解析モデル

<入力（荷重）条件>



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<評価結果>

JEAG4601-1987の平底たて置き円筒形容器の1質点系応答解析結果にハウスナー理論で求めたスロッシング荷重を加算して評価しています。

1. 地震荷重の計算

a. 全等価重量

$$R = \frac{D_i}{2} =$$

$$h' = 1.5R =$$

容器の内容水重量は、

$$W_w = m - m_e - W_s =$$

衝撃力を加味した内容水重量は、

$$W' = W_w \times \frac{h'}{h} =$$

衝撃力を加味した W' の等価重量 W_0' は、

$$W_0' = \frac{\tanh\left[\sqrt{3} \frac{R}{h'}\right]}{\sqrt{3} \frac{R}{h'}} \times W' =$$

$$h'' = h - h' =$$

$$W'' = W_w \times \frac{h''}{h} =$$

全等価重量 W_0 は、

$$W_0 = W_0' + W'' + m_e + W_s =$$

b. 地震荷重

$$F_{H0} = a_H \cdot W_0 = C_H \cdot g \cdot W_0 =$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

2. 振動力を加味した荷重の計算

a. 振動力を加味した W_w の等価重量 W_1

$$W_1 = \left(0.318 \frac{R}{h} \right) \cdot \tanh \left(1.84 \frac{h}{R} \right) \cdot W_w$$

b. スロッシングの固有周期

スロッシングによる円固有振動数 ω は、

$$\omega = \sqrt{\frac{1.84 \times 9806.65}{R} \cdot \tanh \left(1.84 \frac{h}{R} \right)}$$

スロッシングの固有周期 T' は、

$$T' = \frac{2\pi}{\omega}$$

c. 水平方向震度

スロッシングの固有周期 T' は [] ですが、床応答曲線の記載範囲外（長周期側）であるため、スロッシングの固有周期に相当する応答加速度を設定する必要があります。

実用上、応答加速度（ a ）と応答速度（ v ）の関係は、固有円振動数（ ω ）を用いて、

$$a = \omega v = (2\pi/T) v \text{ となります。ここで、} \omega = 2\pi/T \text{ (} T: \text{固有周期)}$$

図4の床応答曲線より、固有周期 1 (s)の時の応答加速度 C''_{DH} は [] であり、これに対応する応答速度 v は、

$$v = \frac{1}{2\pi} C''_{DH}$$

スロッシングの固有周期 T' まで、応答速度 v が一定であるとしたうえ、安全側にスロッシングの固有周期 T' に相当する加速度 C'_{DH} を求めると、

$$C'_{DH} = \frac{2\pi}{T'} \times v$$

$$a'_{DH} = C'_{DH} \times g =$$

d. 最大変位 A_1 及び自由振動角度 θ_h

$$A_1 = \frac{a'_{DH} \times 10^3}{\omega^2} =$$

$$\theta_h = 1.534 \frac{A_1}{R} \cdot \tanh \left(1.84 \frac{h}{R} \right) =$$

e. 振動力を加味した地震荷重

$$F_{H1} = 1.2 W_1 \cdot g \cdot \theta_h \cdot \sin \omega t$$

ここで F_{H1} の最大値は、 $\sin \omega t = 1$ のときであるので、

$$F_{H1} = 1.2 W_1 \cdot g \cdot \theta_h =$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3. 基礎ボルトの応力計算

3. 1 衝撃力を加味した地震荷重

転倒モーメント

$$M_0 = F_{H0} \cdot h_0 = \left[\right]$$

ここで、

$$h_0' = \frac{h'}{8} \left[\frac{4\sqrt{3} \frac{R}{h'}}{\tanh\left(\sqrt{3} \frac{R}{h'}\right)} - 1 \right] = \left[\right]$$

$$h_0 = \frac{W_0'(h_0' + h'') + W'' \cdot \frac{h''}{2} + m_e \cdot \frac{H}{2} + W_s \cdot H}{W_0}$$



3. 2 振動力を加味した地震荷重

転倒モーメント

$$M_1 = F_{H1} \cdot h_1 = \left[\right]$$

ここで、

$$h_1 = h \cdot \left[\frac{\cosh\left(1.84 \frac{h}{R}\right) - 2.01}{1.84 \frac{h}{R} \cdot \sinh\left(1.84 \frac{h}{R}\right)} \right] \cdot h$$



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3.3 応力の計算 (記号の定義は、JEAG4601-1987によります。)

(1) 引張応力

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 α が π と等しくなったときであり、 α を π に近づけた場合の値 $e=0.75$ 及び $z=0.25$ を F_t を求める式に代入し、得られる F_t の値によって引張力の有無を次のように判断する。

$$F_t = \frac{M - m_0(g - a_v)z \cdot D_c}{e \cdot D_c}$$



ここで、 $M = M_0 + M_1 =$
 $a_v = C_v \cdot g =$

$F_t > 0$ より、引張力が作用しているので、次の計算を行う。

転倒モーメント M が作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。

a. σ_b 及び σ_c を仮定して係数 k を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \sigma_c}}$$

b. α を求める。

$$\alpha = \cos^{-1}(1 - 2k)$$

c. 各定数 e 、 z 、 C_t 及び C_c を求める。

$$e = \frac{1}{2} \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cos^2 \alpha + \frac{1}{2}(\pi - \alpha) + \frac{3}{2} \sin \alpha \cos \alpha}{(\pi - \alpha) \cos \alpha + \sin \alpha} + \frac{\frac{1}{2} \alpha - \frac{3}{2} \sin \alpha \cos \alpha + \alpha \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cos \alpha} \right\}$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \frac{X_1}{X_2} + \frac{X_3}{X_4} \right\}$$

$X_1 =$

$X_2 =$

$X_3 =$

$X_4 =$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

$$z = \frac{1}{2} \left\{ \cos \alpha + \frac{\frac{1}{2} \alpha - \frac{3}{2} \sin \alpha \cos \alpha + \alpha \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \cos \alpha} \right\}$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \cos \left[\frac{X_5}{X_6} \right] + \frac{X_5}{X_6} \right\}$$

$$X_5 = \frac{1}{2} \left\{ \frac{2 \{ (\pi - \alpha) \cos \alpha + \sin \alpha \}}{1 + \cos \alpha} \right\}$$

$$X_6 = \sin \left[\frac{2 \{ (\pi - \alpha) \cos \alpha + \sin \alpha \}}{1 + \cos \alpha} \right]$$

$$C_t = \frac{2 \{ (\pi - \alpha) \cos \alpha + \sin \alpha \}}{1 + \cos \alpha}$$

$$C_c = \frac{2 \{ \sin \alpha - \alpha \cos \alpha \}}{1 - \cos \alpha}$$

d. 各定数を用いて F_t 及び F_c を求める。

$$F_t = \frac{M - m_0 (g - a_v) z \cdot D_c}{e \cdot D_c}$$

$$F_c = F_t + m_0 (g - a_v)$$

e. σ_b 及び σ_c を求める。

$$\sigma_b = \frac{2F_t}{t_1 D_c C_t} \quad \text{I (小数第1位以下を切り上げ)}$$

$$\sigma_c = \frac{2F_c}{(t_2 + s t_1) D_c C_c}$$

ここで、

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi D_c}$$

$$t_2 = \frac{1}{2} (D_{b0} - D_{bi}) - t_1$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

$$A_b = \frac{\pi}{4} d_z^2$$

(2) 基礎ボルトに生じるせん断応力

$$\tau_b = \frac{F_H}{A_b \cdot n}$$

$$F_H = a_H \cdot m_0 = C_H \cdot g \cdot m_0$$

(小数第1位以下を切り上げ)

4. 評価結果

以上の結果をまとめると以下の表となります。

応力	減肉前			減肉後		
	発生応力 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比	発生応力* (MPa)	許容値 (MPa)	応力比
引張			0.67			0.70
せん断			0.41			0.42

*減肉後の発生応力については、次式より求めます。

減肉前の発生応力 × $\frac{\text{基礎ボルトの減肉前の断面積}}{\text{基礎ボルトの減肉後の断面積}}$

$$= \text{減肉前の発生応力} \times \frac{\frac{\pi}{4} \times \{\quad\}^2}{\frac{\pi}{4} \times \{\quad - 0.3 \times 2\}^2}$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

○許容応力の算出

材料の各温度における設計降伏点 (Sy)、設計引張強さ (Su) のデータより、

$$1.2S_y = 1.2 \times [\text{材料許容降伏点}] \text{ (MPa)}$$

$$0.7S_u = 0.7 \times [\text{材料許容引張強さ}] \text{ (MPa)}$$

$$F = \text{Min}(1.2S_y, 0.7S_u) = \text{Min} [\text{材料許容降伏点}, \text{材料許容引張強さ}] \text{ (MPa)}$$

ここで、F：材料の許容応力を決定する場合の基準値

・引張応力の算出

$$f_t^* = F/2 = [\text{材料許容引張強さ}]/2 = [\text{材料許容引張強さ}]/2 \text{ (MPa)}$$

よって、引張許容応力は、

$$1.5f_t^* = 1.5 \times [\text{材料許容引張強さ}]/2 = [\text{材料許容引張強さ}] \text{ (MPa)}$$

・せん断応力の算出

$$f_s^* = F/1.5\sqrt{3} = [\text{材料許容引張強さ}]/1.5\sqrt{3} = [\text{材料許容引張強さ}]/1.5\sqrt{3} \text{ (MPa)}$$

よって、せん断許容応力は、

$$1.5 f_s^* = 1.5 \times [\text{材料許容引張強さ}]/1.5\sqrt{3} = [\text{材料許容引張強さ}]/\sqrt{3} \text{ (MPa)}$$

・せん断応力と引張応力の組合せ許容応力

引張許容応力について、せん断応力を組み合わせた場合の許容値を算出した。

$$S_{ss} \text{によるせん断応力 } \tau = [\text{せん断許容応力}] \text{ (MPa)}$$

$$1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6\tau = 1.4 \times [\text{材料許容引張強さ}] - 1.6 \times [\text{せん断許容応力}] \text{ (MPa)}$$

よって、組合せを考慮した引張許容応力は、

$$\text{Min}(1.5f_t^*, 1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6\tau) = \text{Min} [\text{材料許容引張強さ}, 1.4 \times [\text{材料許容引張強さ}] - 1.6 \times [\text{せん断許容応力}]] = [\text{引張許容応力}] \text{ (MPa)}$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

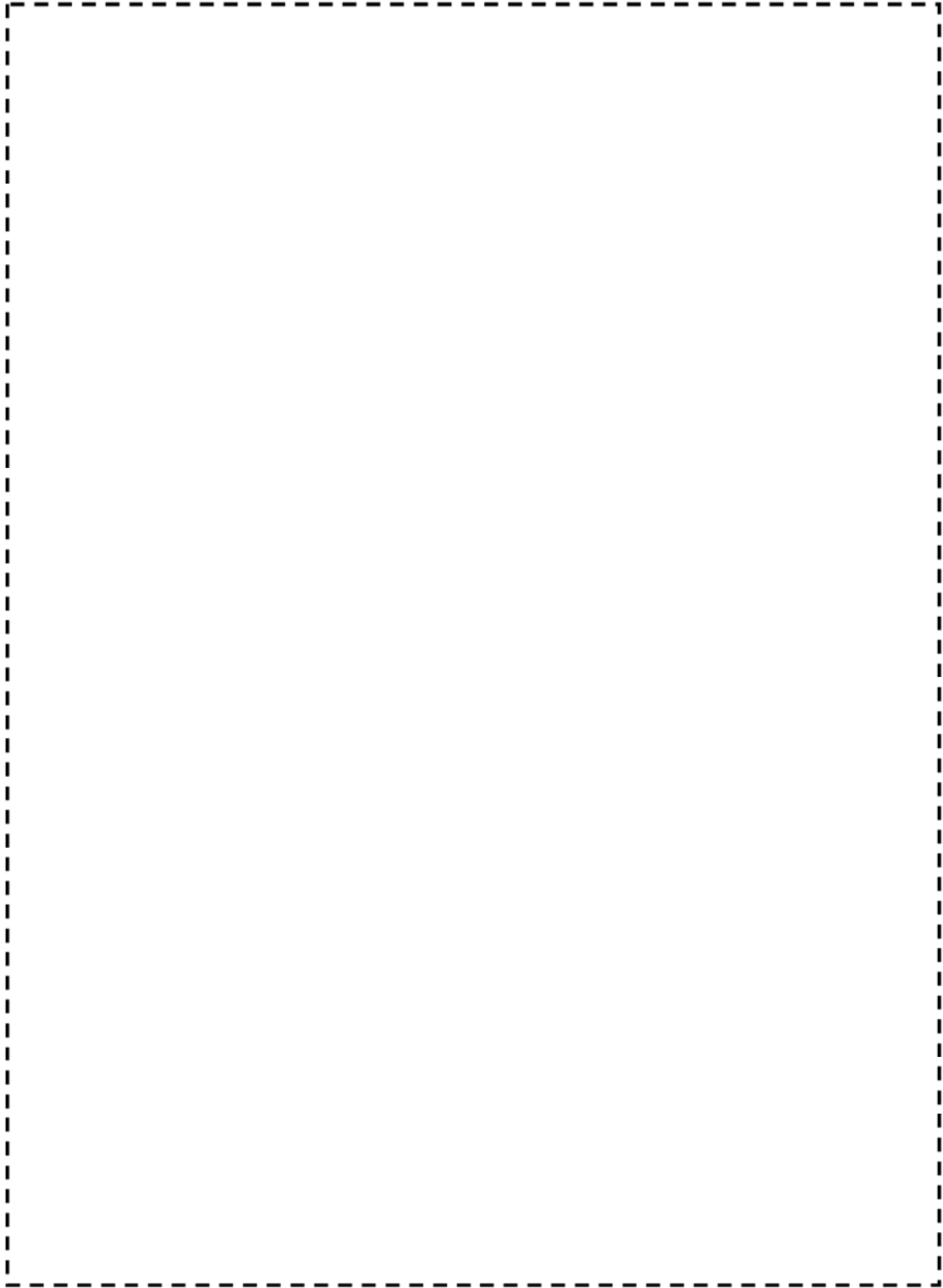


図2 燃料取替用水タンク 床応答曲線 (水平方向)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

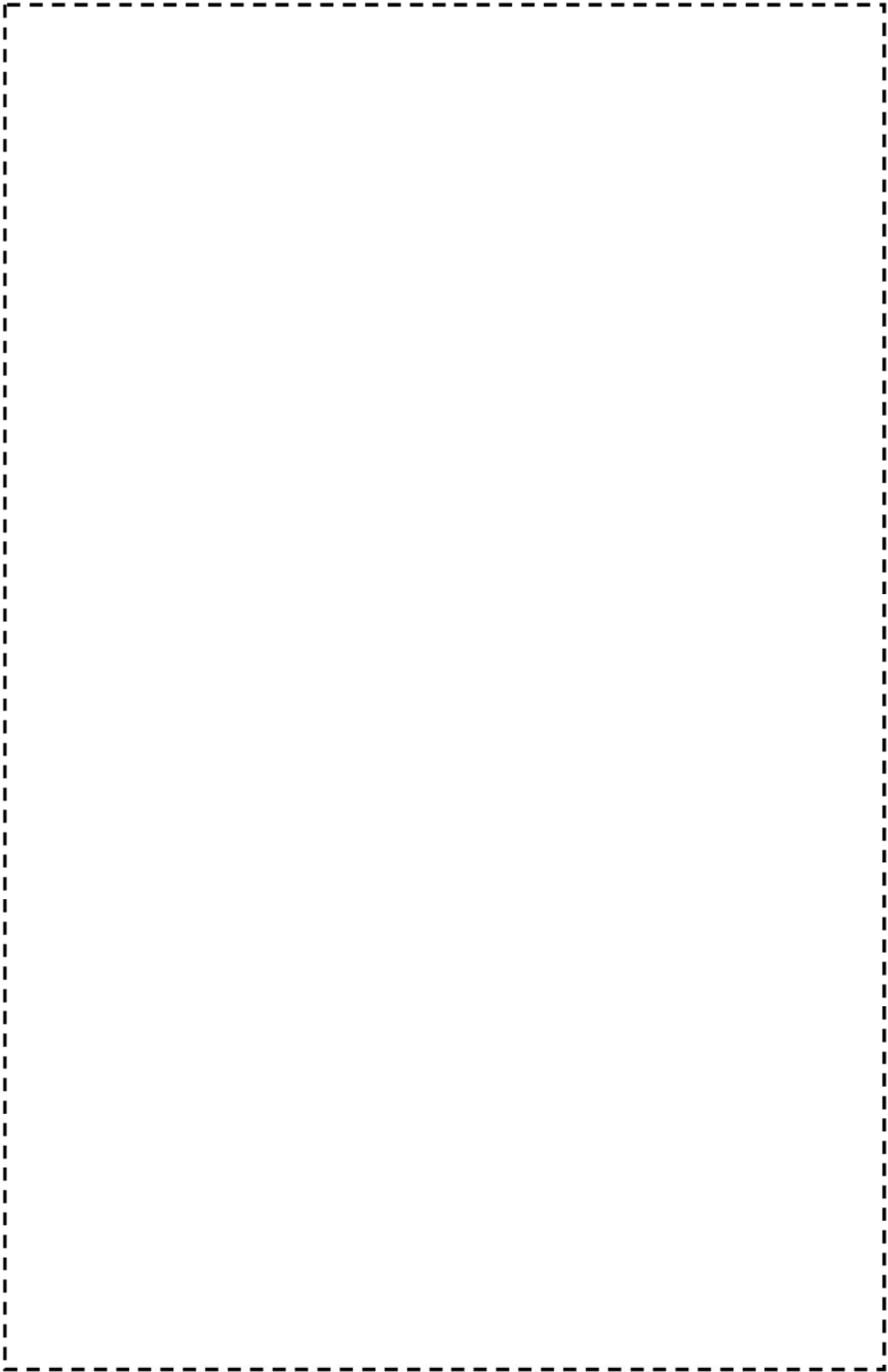


図3 燃料取替用水タンク 床応答曲線 (鉛直方向)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

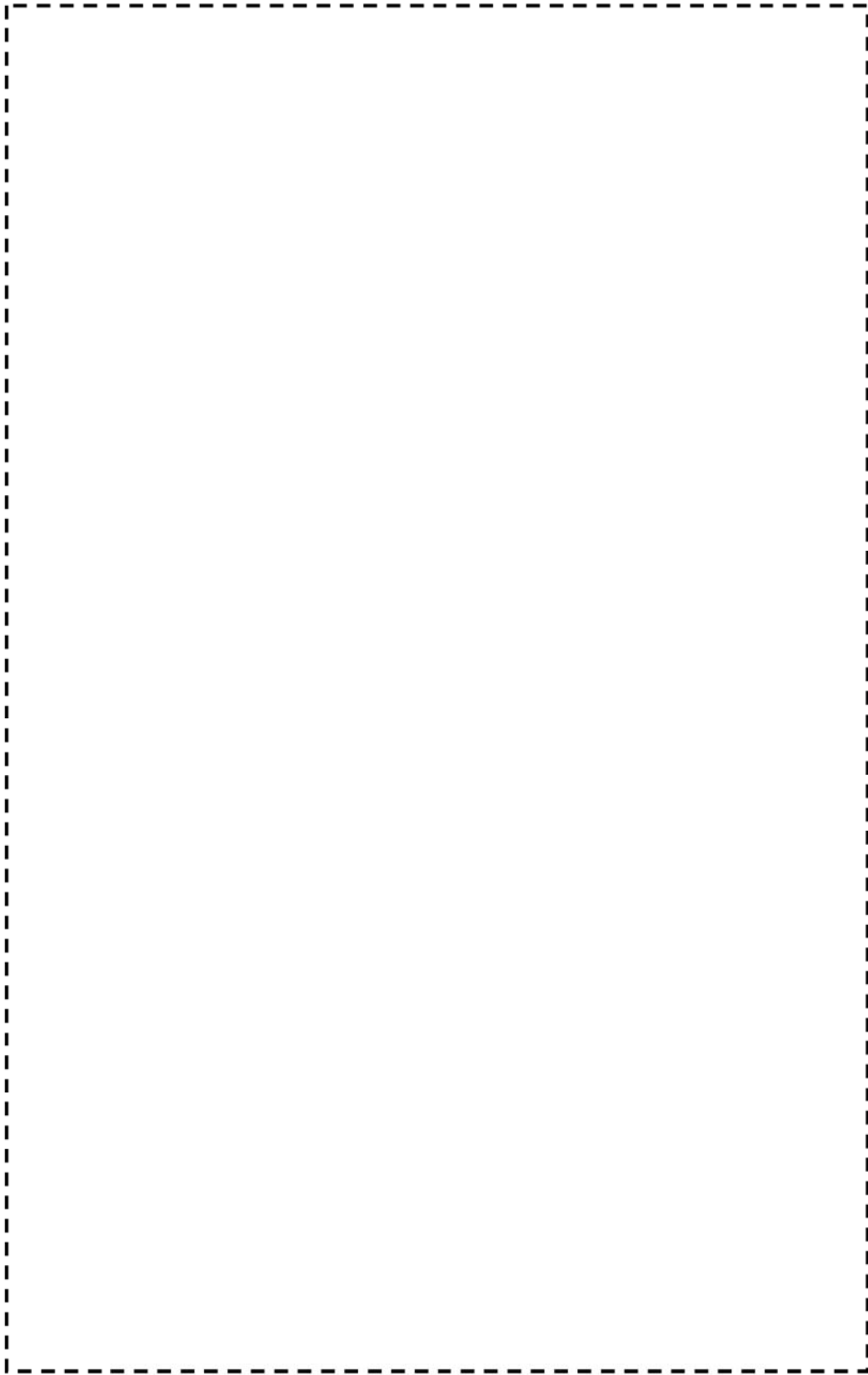
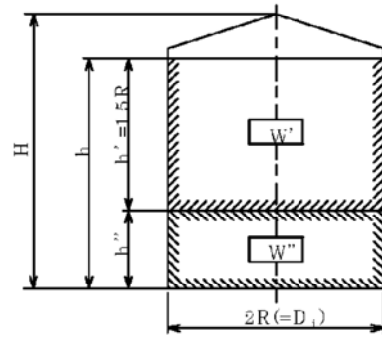


図4 燃料取替用水タンク 床応答曲線 (水平方向 減衰0.5%)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

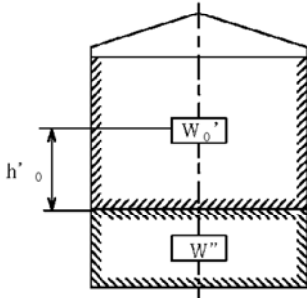
別図

燃料取替用水タンクの基礎ボルト評価に使う 質量・高さ・径の説明図



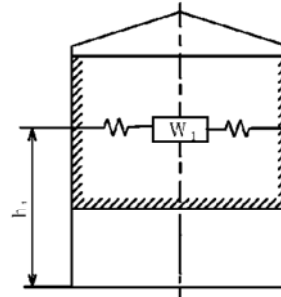
- W' : 運動流体の質量
- W'' : 拘束流体の質量
- R : タンク胴の内半径
- D_1 : タンク胴の内径
- H : タンク全高
- h : 自由液面高さ
- h' : 運動流体の深さ
- h'' : 拘束流体の深さ

衝撃力を加味した計算

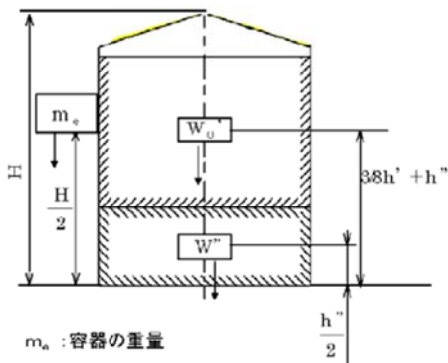


- W_0' : 衝撃力を考慮した W' の等価質量
- h_0' : W_0' の等価着力点の高さ

揺動力を加味した計算



- W_1 : 揺動力を考慮した W' の等価質量
- h_1 : W_1 の等価着力点の高さ



- m_a : 容器の重量
- W_e : 積雪重量
- W_0 : 衝撃力を考慮した全等価質量
($W_0 = W_0' + W'' + m_a + W_e$)

(1) 復水タンク
< 評価仕様 >

表1 評価に必要な諸元

名称	記号	単位	値	
最高使用圧力	—	—	大気圧	
最高使用温度	—	℃	40	
容器の満水時重量	m_0	kg		
容器の空質量	m_e	kg		
タンク全高	H	mm		
タンク内径	D_i	mm		
自由液面高さ	h	mm		
縦弾性係数比	s	—		
基礎ボルト本数	n	—		
基礎ボルトのピッチ円直径	D_c	mm		
ベースプレート外径	D_{b_o}	mm		
ベースプレート内径	D_{b_i}	mm		
基礎ボルト呼び径	d	—		
基礎ボルト 腐食量	—	mm		0.3 (直径0.6)
基礎ボルト材質	—	—		
評価用加速度(水平) : 図 2 参照	C_H	G		
評価用加速度(鉛直)	C_V	G		
スロッシング評価用加速度	C''_{DH}	G		

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<解析モデル>

JEAG4601-1987の平底たて置円筒形容器の1質点系応答解析結果にハウスナー理論で求めたスロッシング荷重を加算して評価を行っています。

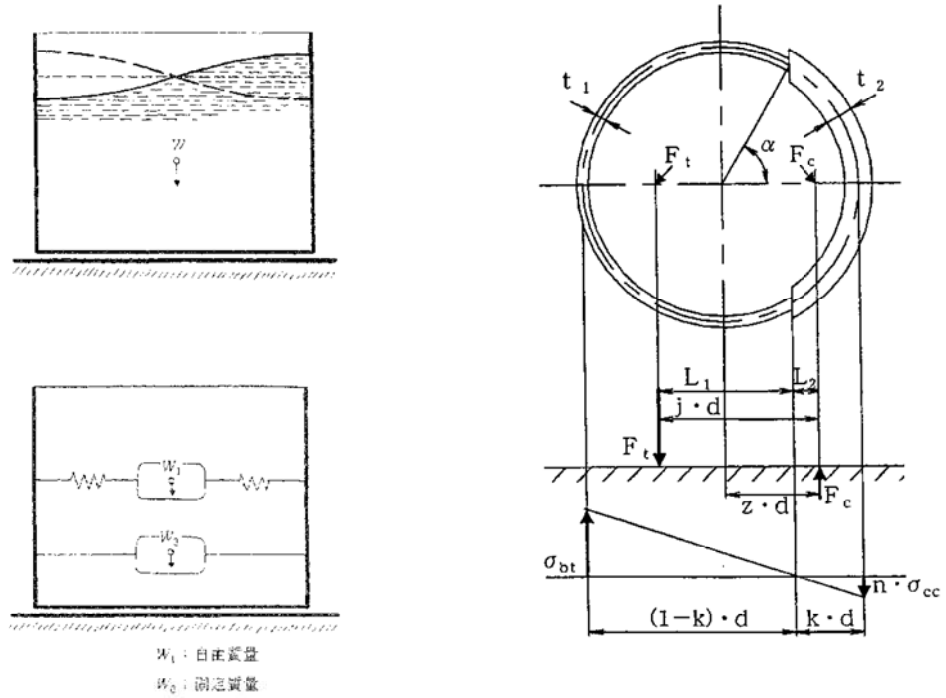


図1 解析モデル

<入力（荷重）条件>



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<評価結果>

JEAG4601-1987の平底たて置き円筒形容器の1質点系応答解析結果にハウスナー理論で求めたスロッシング荷重を加算して評価しています。

1. 地震荷重の計算

a. 全等価重量

$$R = \frac{D_i}{2} = \quad \quad \quad$$

$$h' = 1.5R = \quad \quad \quad$$

容器の内容水重量は、

$$W_w = m - m_e - W_s = \quad \quad \quad$$

衝撃力を加味した内容水重量は、

$$W' = W_w \times \frac{h'}{h} = \quad \quad \quad$$

衝撃力を加味した W' の等価重量 W_o' は、

$$W_o' = \frac{\tanh\left[\sqrt{3} \frac{R}{h'}\right]}{\sqrt{3} \frac{R}{h'}} \times W' = \quad \quad \quad$$

$$h'' = h - h' = \quad \quad \quad$$

$$W'' = W_w \times \frac{h''}{h} = \quad \quad \quad$$

全等価重量 W_o は、

$$W_o = W_o' + W'' + m_e + W_s = \quad \quad \quad$$

b. 地震荷重

$$F_{H0} = a_H \cdot W_o = C_H \cdot g \cdot W_o = \quad \quad \quad$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

2. 振動力を加味した荷重の計算

a. 振動力を加味した W_w の等価重量 W_1

$$W_1 = \left(0.318 \frac{R}{h} \right) \cdot \tanh \left(1.84 \frac{h}{R} \right) \cdot W_w$$

b. スロッシングの固有周期

スロッシングによる円固有振動数 ω は、

$$\omega = \sqrt{\frac{1.84 \times 9806.65}{R} \cdot \tanh \left(1.84 \frac{h}{R} \right)}$$

スロッシングの固有周期 T' は、

$$T' = \frac{2\pi}{\omega}$$

c. 水平方向震度

スロッシングの固有周期 T' は、 $\{ \quad \}$ ですが、床応答曲線の記載範囲外（長周期側）であるため、スロッシングの固有周期に相当する応答加速度を設定する必要があります。

実用上、応答加速度（ a ）と応答速度（ v ）の関係は、固有円振動数（ ω ）を用いて、

$$a = \omega v = (2\pi/T) v \text{ となります。ここで、} \omega = 2\pi/T \text{ (} T: \text{固有周期)}$$

図2の床応答曲線より、固有周期 $1(s)$ の時の応答加速度 C''_{DH} は $\{ \quad \}$ であり、これに対応する応答速度 v は、

$$v = \frac{1}{2\pi} C''_{DH} = \{ \quad \}$$

安全側に、スロッシングの固有周期 T' まで、応答速度 v が一定であるとし、スロッシングの固有周期 T' に相当する加速度 C'_{DH} を求めると、

$$C'_{DH} = \frac{2\pi}{T'} \times v = \{ \quad \}$$

$$a'_{DH} = C'_{DH} \times g = \{ \quad \}$$

d. 最大変位 A_1 及び自由振動角度 θ_h

$$A_1 = \frac{a'_{DH} \times 10^3}{\omega^2} = \{ \quad \}$$

$$\theta_h = \{ \quad \}$$

e. 振動力を加味した地震荷重

$$F_{H1} = 1.2W_1 \cdot g \cdot \theta_h \cdot \sin \omega t$$

ここで F_{H1} の最大値は、 $\sin \omega t = 1$ のときであるので、

$$F_{H1} = 1.2W_1 \cdot g \cdot \theta_h = \{ \quad \}$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3. 基礎ボルトの応力計算

3. 1 衝撃力を加味した地震荷重

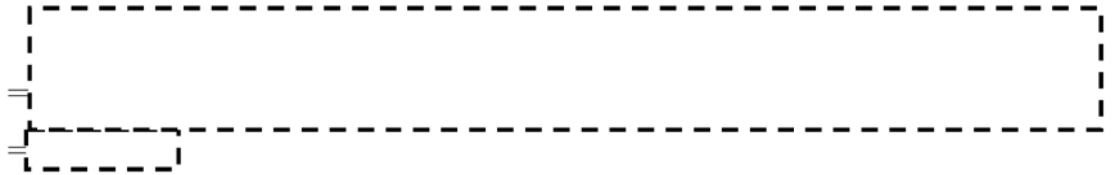
転倒モーメント

$$M_0 = F_{H0} \cdot h_0$$

ここで、

$$h_0' = \frac{h'}{8} \left[\frac{4\sqrt{3} \frac{R}{h'}}{\tanh\left(\sqrt{3} \frac{R}{h'}\right)} - 1 \right]$$

$$h_0 = \frac{W_0' (h_0' + h'') + W'' \cdot \frac{h''}{2} + m_e \cdot \frac{H}{2} + W_s \cdot H}{W_0}$$



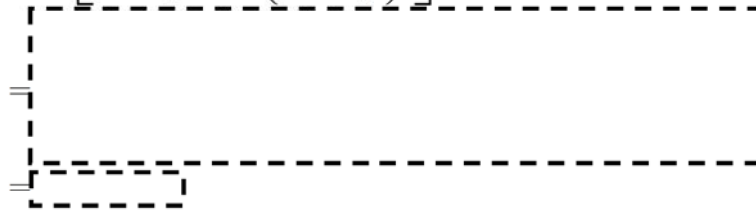
3. 2 振動力を加味した地震荷重

転倒モーメント

$$M_1 = F_{H1} \cdot h_1$$

ここで、

$$h_1 = h \cdot \left[\frac{\cosh\left(1.84 \frac{h}{R}\right) - 2.01}{1.84 \frac{h}{R} \cdot \sinh\left(1.84 \frac{h}{R}\right)} \right] \cdot h$$



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3. 3 応力の計算 (記号の定義は、JEG4601-1987によります。)

(1) 引張応力

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 α が π と等しくなったときであり、 α を π に近づけた場合の値 $e=0.75$ 及び $z=0.25$ を F_t を求める式に代入し、得られる F_t の値によって引張力の有無を次のように判断する。

$$F_t = \frac{M - m_0(g - a_v)z \cdot D_c}{e \cdot D_c}$$

$$= \frac{M - m_0(g - a_v)z \cdot D_c}{e \cdot D_c}$$

ここで、 $M = M_0 + M_1 =$

$$a_v = C_v \cdot g =$$

$F_t > 0$ より、引張力が作用しているので、次の計算を行う。

転倒モーメント M が作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。

a. σ_b 及び σ_c を仮定して係数 k を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \sigma_c}}$$

b. α を求める。

$$\alpha = \cos^{-1}(1 - 2k)$$

c. 各定数 e 、 z 、 C_t 及び C_c を求める。

$$e = \frac{1}{2} \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cos^2 \alpha + \frac{1}{2}(\pi - \alpha) + \frac{3}{2} \sin \alpha \cos \alpha}{(\pi - \alpha) \cos \alpha + \sin \alpha} + \frac{\frac{1}{2} \alpha - \frac{3}{2} \sin \alpha \cos \alpha + \alpha \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cos \alpha} \right\}$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \frac{X_1}{X_2} + \frac{X_3}{X_4} \right\}$$

$$X_1 =$$

$$X_2 =$$

$$X_3 =$$

$$X_4 =$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

$$z = \frac{1}{2} \left\{ \cos \alpha + \frac{\frac{1}{2}\alpha - \frac{3}{2}\sin \alpha \cos \alpha + \alpha \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cos \alpha} \right\}$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \cos \left[\frac{X_5}{X_6} \right] + \frac{X_5}{X_6} \right\}$$

$$X_5 = \frac{1}{2} \times \left[\dots \right]$$

$$X_6 = \left[\dots \right]$$

$$C_t = \frac{2\{(\pi - \alpha)\cos \alpha + \sin \alpha\}}{1 + \cos \alpha}$$

$$= \left[\dots \right]$$

$$C_c = \frac{2(\sin \alpha - \alpha \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha}$$

$$= \left[\dots \right]$$

d. 各定数を用いて F_t 及び F_c を求める。

$$F_t = \frac{M - m_0(g - a_v)z \cdot D_c}{e \cdot D_c}$$

$$= \left[\dots \right]$$

$$= \left[\dots \right]$$

$$F_c = F_t + m_0(g - a_v)$$

$$= \left[\dots \right]$$

e. σ_b 及び σ_c を求める。

$$\sigma_b = \frac{2F_t}{t_1 D_c C_t}$$

$$= \left[\dots \right] \text{ (小数第1位以下を切り上げ)}$$

$$\sigma_c = \frac{2F_c}{(t_2 + st_1) D_c C_c}$$

$$= \left[\dots \right]$$

$$= \left[\dots \right]$$

ここで、

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi D_c}$$

$$t_2 = \frac{1}{2}(D_{b0} - D_{bi}) - t_1$$

$$= \left[\dots \right]$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

$$A_b = \frac{\pi}{4} d_z^2$$

(2) 基礎ボルトに生じるせん断応力

$$\tau_b = \frac{F_H}{A_b \cdot n}$$

小数第1位以下を切り上げ)

$$F_H = a_H \cdot m_0 - F_\mu$$

$$= C_H \cdot g \cdot m_0 - F_\mu$$

ここで、 $F_\mu =$

4. 評価結果

以上の結果をまとめると表2となります。

表2 評価結果

応力	減肉前			減肉後		
	発生応力 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比	発生応力* (MPa)	許容値 (MPa)	応力比
引張			0.54			0.56
せん断			0.15			0.16

*減肉後の発生応力については、次式より求めます。

$$\text{減肉前の発生応力} \times \frac{\text{基礎ボルトの減肉前の断面積}}{\text{基礎ボルトの減肉後の断面積}}$$

$$= \text{減肉前の発生応力} \times \frac{\frac{\pi}{4} \times \{\dots\}}{\frac{\pi}{4} \times \{\dots - 0.3 \times 2\}^2}$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

○許容応力の算出

材料の各温度における設計降伏点 (Sy)、設計引張強さ (Su) のデータより、

$$1.2S_y = 1.2 \times \underline{\hspace{2cm}} \text{ (MPa)}$$

$$0.7S_u = 0.7 \times \underline{\hspace{2cm}} \text{ (MPa)}$$

$$F = \text{Min}(1.2S_y, 0.7S_u) = \text{Min}(\underline{\hspace{2cm}}, \underline{\hspace{2cm}}) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (MPa)}$$

ここで、F：材料の許容応力を決定する場合の基準値

・引張応力の算出

$$f_t^* = F/2 = \underline{\hspace{2cm}} / 2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (MPa)}$$

よって、引張許容応力は、

$$1.5f_t^* = 1.5 \times \underline{\hspace{2cm}} \text{ (MPa)}$$

・せん断応力の算出

$$f_s^* = F/1.5\sqrt{3} = \underline{\hspace{2cm}} / (1.5\sqrt{3}) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (MPa)}$$

よって、せん断許容応力は、

$$1.5 f_s^* = 1.5 \times \underline{\hspace{2cm}} \text{ (MPa)}$$

・せん断応力と引張応力の組合せ許容応力

引張許容応力について、せん断応力を組み合わせた場合の許容値を算出した。

$$S_s \text{ によるせん断応力 } \tau = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (MPa)}$$

$$1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6\tau = 1.4 \times \underline{\hspace{2cm}} - 1.6 \times \underline{\hspace{2cm}} \text{ (MPa)}$$

よって、組合せを考慮した引張許容応力は、

$$\text{Min}(1.5f_t^*, 1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6\tau) = \text{Min}(\underline{\hspace{2cm}}, \underline{\hspace{2cm}}) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (MPa)}$$

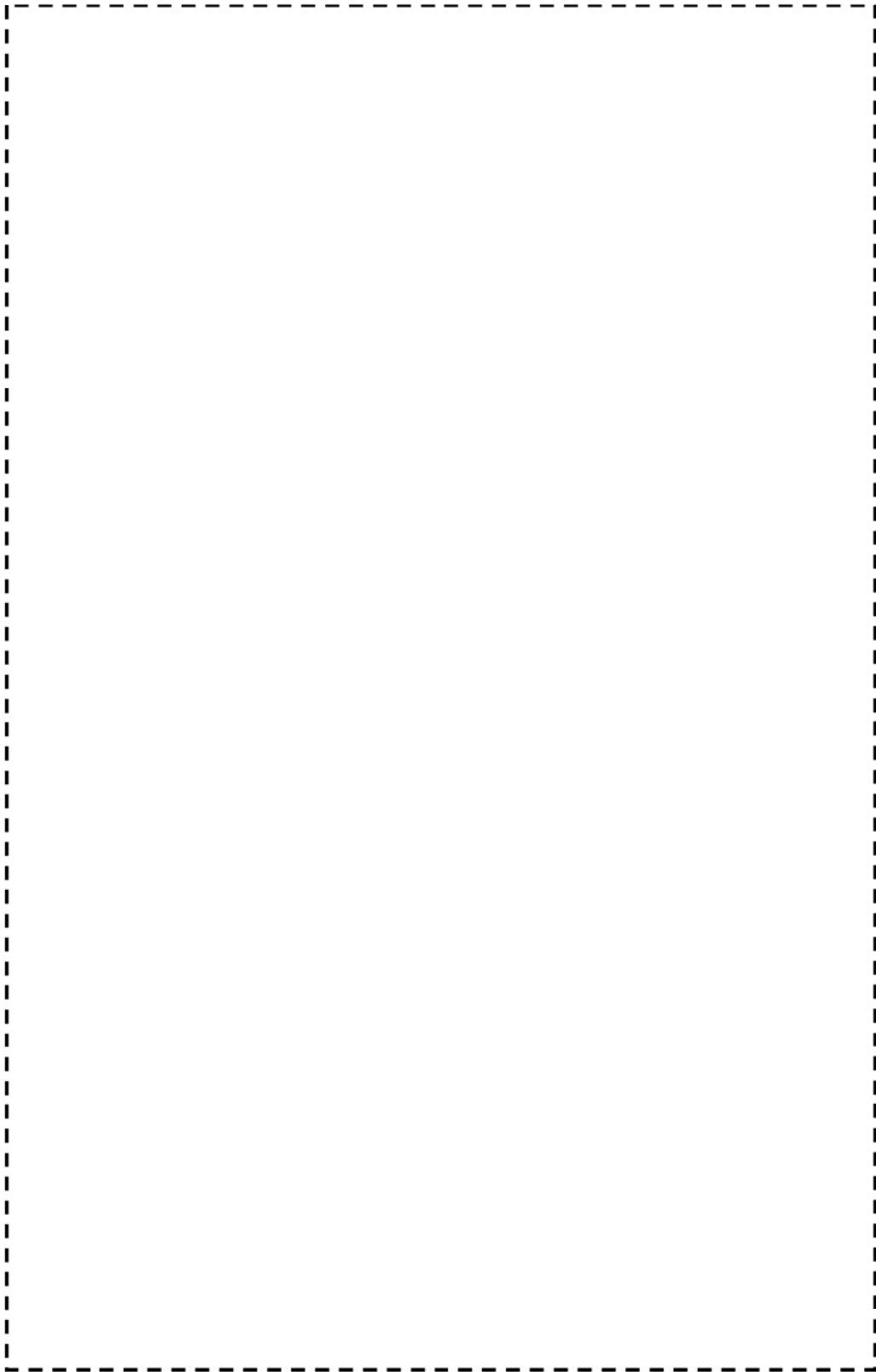


図2 復水タンク S_s 地震動 床応答曲線 (水平方向)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

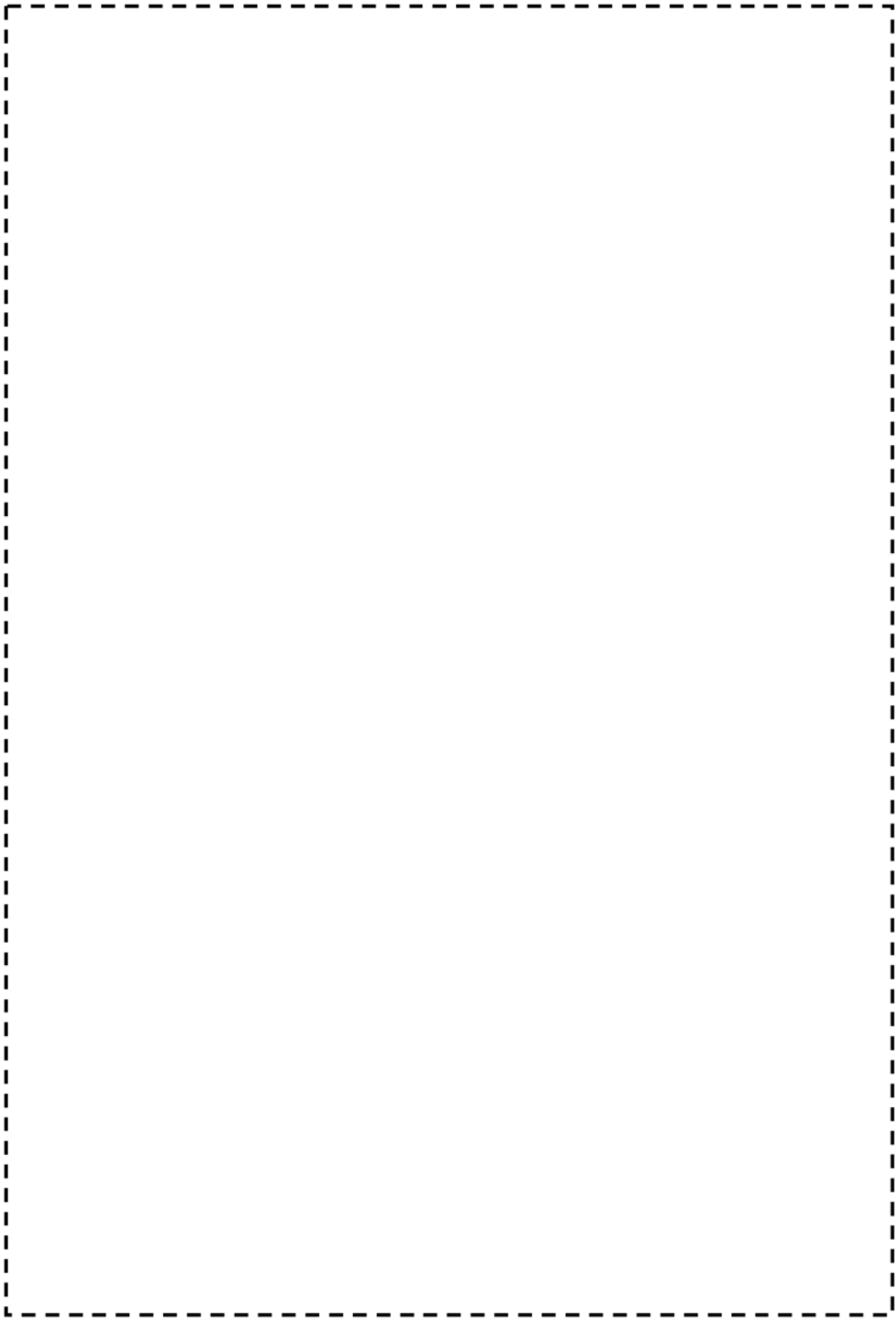


図3 復水タンク S_s 地震動 床応答曲線 (鉛直方向)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

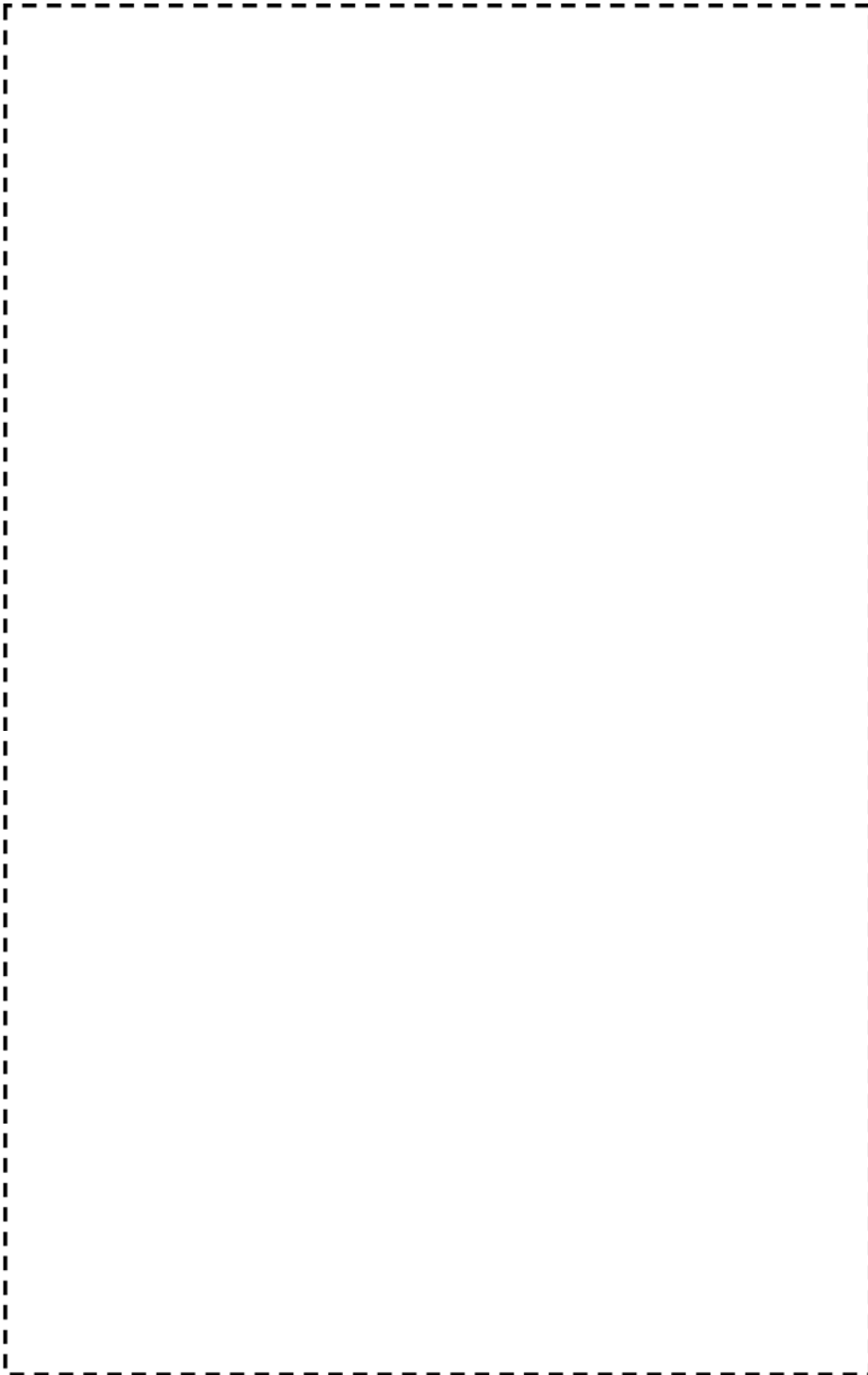
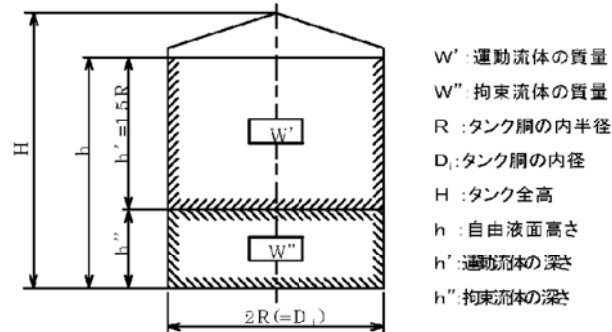


図3 復水タンク S_s地震動 床応答曲線 (水平方向 減衰0.5%)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

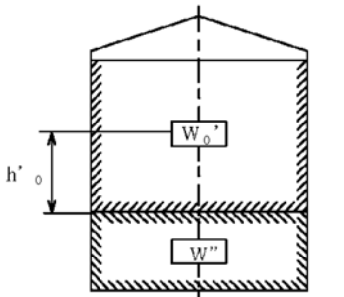
別図

復水タンクの基礎ボルト評価に用いる 質量・高さ・径の説明図



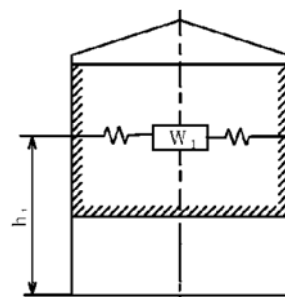
- W' : 運動流体の質量
- W'' : 拘束流体の質量
- R : タンク胴の内半径
- D₁ : タンク胴の内径
- H : タンク全高
- h : 自由液面高さ
- h' : 運動流体の深さ
- h'' : 拘束流体の深さ

衝撃力を加味した計算

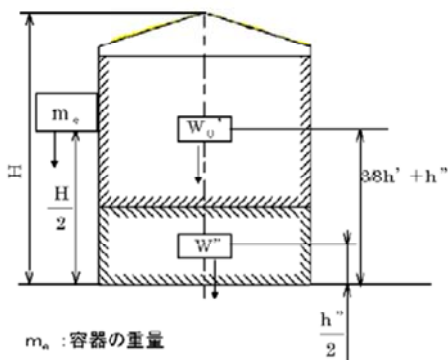


- W₀' : 衝撃力を考慮したW'の等価質量
- h'₀ : W₀'の等価着力点の高さ

揺動力を加味した計算



- W₁ : 揺動力を考慮したW'の等価質量
- h₁ : W₁の等価着力点の高さ



- m_s : 容器の重量
 - W_s : 積雪重量
 - W₀ : 衝撃力を考慮した全等価質量
- (W₀ = W₀' + W'' + m_s + W_s)

No.	高浜 1 - 40年目追加評価 - 3	事象：劣化傾向の評価											
質 問	(別冊-18 40年目追加評価-低サイクル疲労-7頁) 給水入口管台及び管板廻りについて、30年目の高経年化技術評価と劣化状況評価における疲労累積係数の相違について定量的な理由を提示すること。												
回 答	<p>蒸気発生器の給水入口管台及び管板廻りの低サイクル疲労評価について、30年目の高経年化技術評価（以下PLM30という）と劣化状況評価（以下PLM40という）における疲労累積係数の比較を表1に示す。</p> <p style="text-align: center;">表1 蒸気発生器疲労評価結果（疲労累積係数）の比較</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">部位</th> <th colspan="2">60年時点の予測値</th> </tr> <tr> <th>PLM30</th> <th>PLM40</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>給水入口管台</td> <td style="text-align: center;">0.161 (0.694)</td> <td style="text-align: center;">0.073 (0.235)</td> </tr> <tr> <td>管板廻り</td> <td style="text-align: center;">0.418 (0.119)</td> <td style="text-align: center;">0.123 (0.099)</td> </tr> </tbody> </table> <p>上段は大気中の疲労累積係数（以下Uf値） （）内は接液環境中の疲労累積係数（以下Uen値）</p> <p>PLM30とPLM40で疲労累積係数に差異が生じている主な理由は以下のとおりである。</p> <p>【給水入口管台】 PLM30とPLM40で給水管台の構造は同一であるが、PLM30では各評価点の応力を不静定解析モデルを用いて評価しており、PLM40ではFEMを用いて応力を評価している。このためPLM30とPLM40では解析方法に差があるためUf値、Uen値に差が生じたものである。</p> <p>【管板廻り】 PLM30とPLM40で管板廻りの構造は同一であるが、PLM30では各評価点の応力を不静定解析モデルを用いて評価しており、PLM40ではFEMを用いて応力を評価している。このためPLM30とPLM40では解析方法に差があるためUf値、Uen値に差が生じたものである。</p> <p>PLM40では、解析技術の向上を踏まえて、最新の設計方法と同様に精度がより高い方法を用いて評価したものであり、適切な評価結果であると考えている。</p> <p>添付1に給水管台のPLM30とPLM40の評価の違いを示す。 添付2に管板廻りのPLM30とPLM40の評価の違いを示す。</p>		部位	60年時点の予測値		PLM30	PLM40	給水入口管台	0.161 (0.694)	0.073 (0.235)	管板廻り	0.418 (0.119)	0.123 (0.099)
部位	60年時点の予測値												
	PLM30	PLM40											
給水入口管台	0.161 (0.694)	0.073 (0.235)											
管板廻り	0.418 (0.119)	0.123 (0.099)											

蒸気発生器疲労評価におけるPLM30とPLM40の違いについて（給水管台）

【大気中の疲労評価】

PLM30の給水入口管台の構造モデルを図 1、PLM40の給水入口管台の構造モデルを図 2 に示す。PLM30では構造を単純幾何形状に分割し、境界面の不静定力を算出して各形状における応力を算出し、構造不連続部は応力集中係数を掛けてピーク応力を算出している。一方でPLM40では構造をFEMでモデル化して応力解析を実施しており、直接ピーク応力を算出している。このため応力解析結果が異なっている。

表 2 にPLM30とPLM40との類似評価点におけるUf値の比較を示す。

表 2 各評価点におけるUf値の比較（給水管台）

PLM30		PLM40	
評価点	Uf	評価点	Uf
1		1	
2		2	
5		7	
6		8	
7		5	
11		9L	
		9C	
12		10L	
		10C	

赤字はUf最大となった評価点の値

Uf値で比較をすると、各評価点でばらつきはあるものの、大きな差異は生じておらず、応力解析方法の違いによるものと考えられる。

【接液環境中の疲労評価】

給水入口管台の接液環境中の評価は、PLM30, PLM40ともに熱成層を考慮している。このため熱成層を考慮する過渡（冷水注入）に対しては3次元FEMモデルで評価を行っている。ただし、他の過渡については大気中の疲労評価と同じモデルで応力解析を行っている。

このため、大気中の疲労評価と同様に応力解析方法が異なる（PLM30は不静定法、PLM40はFEM）ことから、各評価点の応力が異なり、Uen値の差異が生じるものである。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

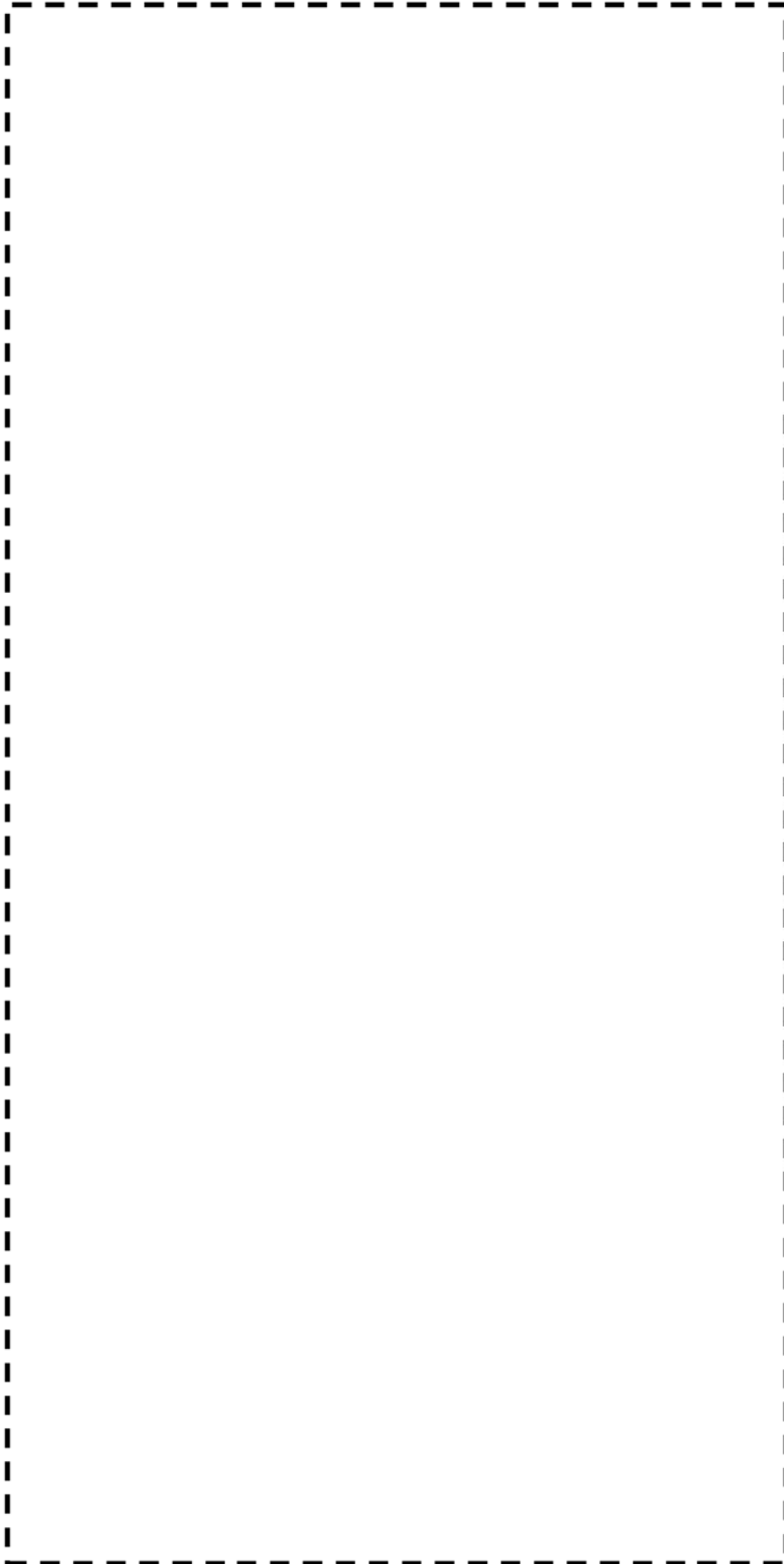


図1 PLM30における給水管台構造モデル

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

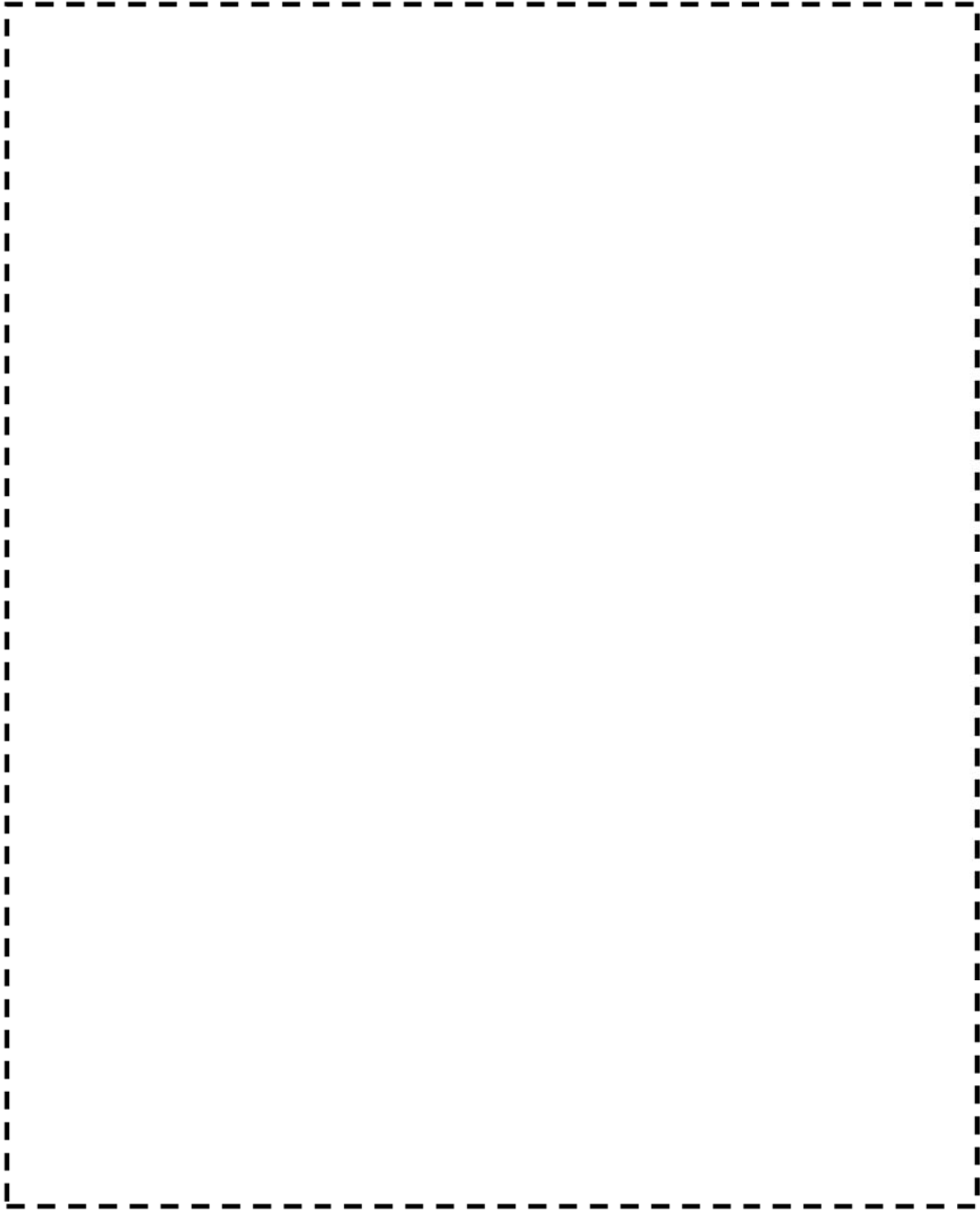


図 2 PLM40における給水管台構造モデル

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

蒸気発生器疲労評価におけるPLM30とPLM40の違いについて (管板廻り)

【大気中の疲労評価】

PLM30の給水入口管台の構造モデルを図5、PLM40の給水入口管台の構造モデルを図6に示す。PLM30では構造を単純幾何形状に分割し、境界面の不静定力を算出して各形状における応力を算出し、構造不連続部は応力集中係数を掛けてピーク応力を算出している。一方でPLM40では構造をFEMでモデル化して応力解析を実施しており、直接ピーク応力を算出している。このため応力解析結果が異なっている。

表4にPLM30とPLM40との類似評価点におけるUf値の比較を示す。

表4 各評価点におけるUf値の比較 (管板廻り)

PLM30		PLM40	
評価点	Uf	評価点	Uf
1		1	
2		2	
3		3	
4		4	
P1 R/R*=0.0		1 次側R/R*=0.0	
P1 R/R*=1.0		1 次側R/R*=1.0	
P2 R/R*=0.0		2 次側R/R*=0.0	
P2 R/R*=1.0		2 次側R/R*=1.0	

赤字はUf値が最大となった評価点のUf値

青字はUen値が最大となった評価点のUf値

Uf値で比較をすると、各評価点でばらつきはあるものの、大きな差異は生じておらず、応力解析方法の違いによるものと考えられる。

【接液環境の疲労評価】

接液環境中の評価はPLM30、PLM40ともに同一の点 (評価点1) が最大となっている。大気中の疲労累積係数と同様にモデルの違いにより応力が異なることから、Uen値もPLM40の方が少し小さい値となった。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

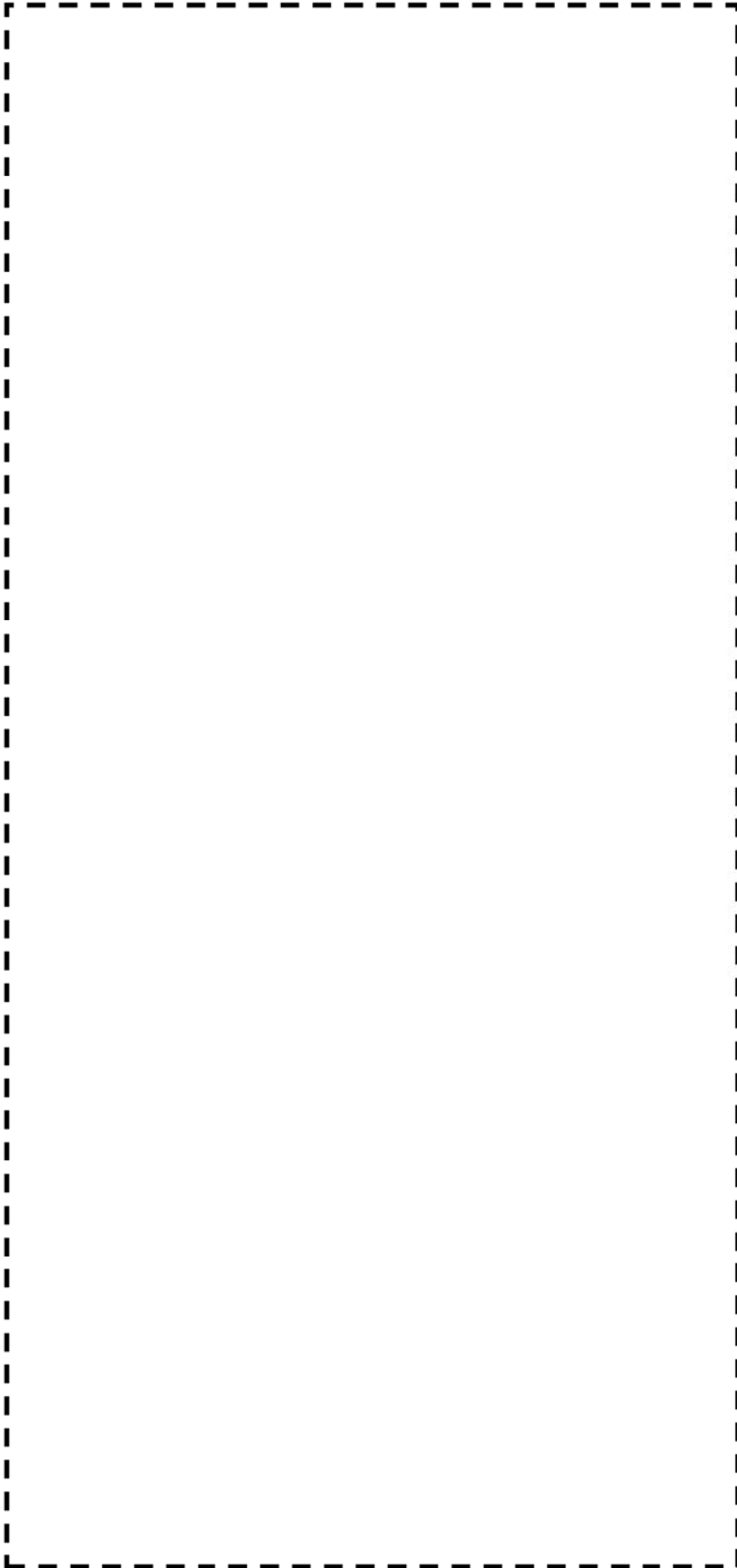


図 5 PLM40における管板廻り構造モデル

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

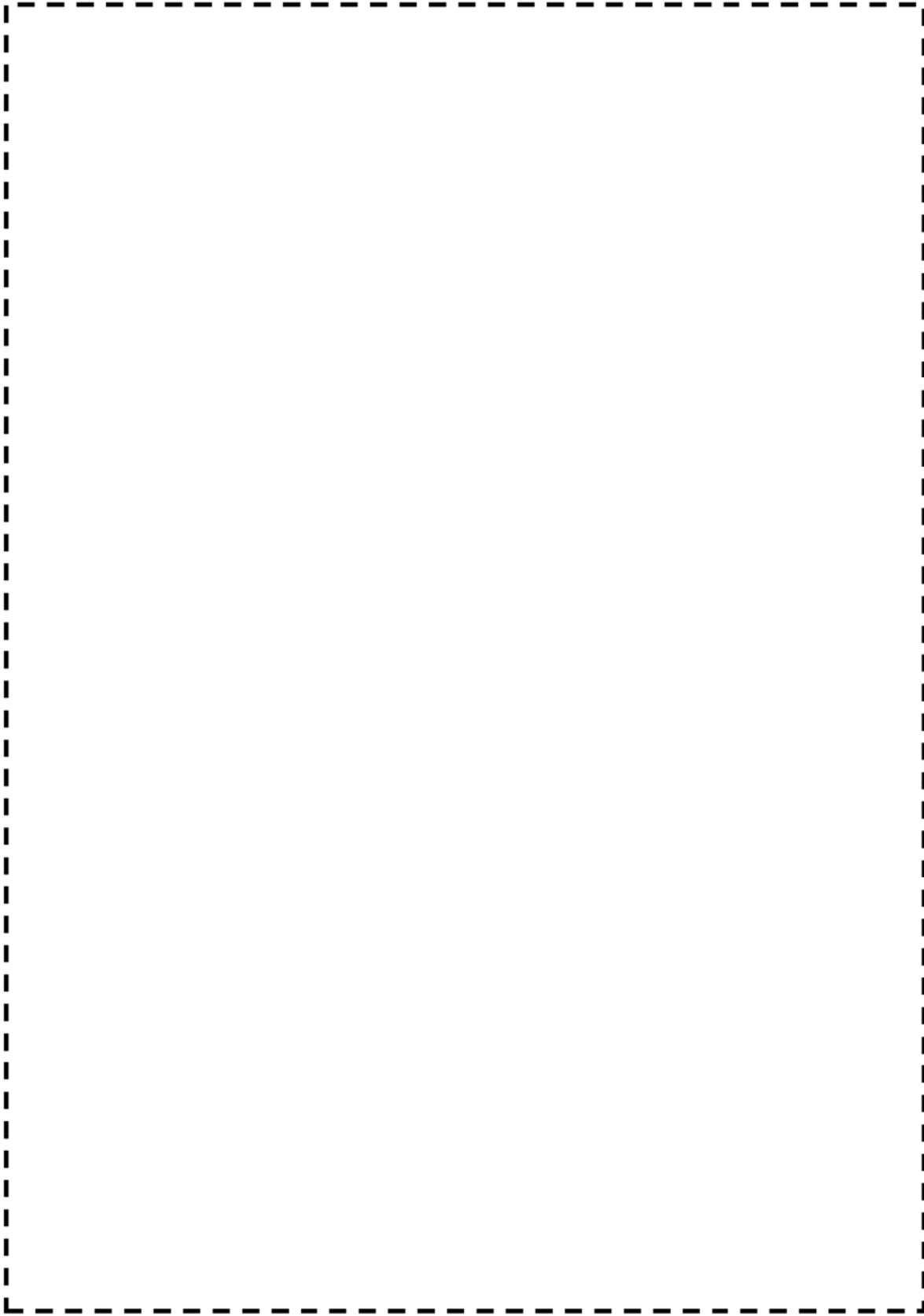


図6 PLM40における管板廻り構造モデル

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

No.	高浜 1 - 40年目追加評価 - 4 rev1	事象：劣化傾向の評価											
質 問	<p>(別冊-18 40年目追加評価-低サイクル疲労-7頁) スプレイライン用管台及びサージ用管台について、30年目の高経年化技術評価と劣化状況評価における疲労累積係数の相違について定量的な理由を提示すること。</p>												
回 答	<p>加圧器のスプレイライン用管台及びサージ用管台の低サイクル疲労評価について、30年目の高経年化技術評価（以下PLM30という）と劣化状況評価（以下PLM40という）における疲労累積係数の比較を表1に示す。</p> <p style="text-align: center;">表1 加圧器疲労評価結果（疲労累積係数）の比較</p> <table border="1" data-bbox="507 913 1249 1171"> <thead> <tr> <th rowspan="2">部位</th> <th colspan="2">60年時点の予測値</th> </tr> <tr> <th>PLM30</th> <th>PLM40</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>スプレイライン用管台</td> <td>0.015 (0.470)</td> <td>0.190 (0.019)</td> </tr> <tr> <td>サージ用管台</td> <td>0.043 (0.082)</td> <td>0.021 (0.051)</td> </tr> </tbody> </table> <p>表内の上段の数値は大気中の疲労累積係数（Uf）を示す。 () 内の数値は接液中の疲労累積係数（Uen）を示す。</p> <p>PLM30とPLM40で疲労累積係数に差異が生じている主な理由は以下のとおりである。</p> <p>【スプレイ管台（Uf値）】 加圧器スプレ管台には起動・停止時の固有の過渡として起動時の冷水注入、停止時の冷水注入を考慮しているが、想定する運転モードの違いでPLM30とPLM40では冷水注入時の温度差が異なっている。このためPLM30とPLM40では発生する応力に差があるためUf値の差が生じている。</p> <p>【スプレイ管台（Uen値）】 加圧器スプレ配管は第21回定検（H14年度）に改造を実施しており、PLM30では改造前は配管に熱成層の発生を考慮し、改造後は熱成層の発生を考慮していなかった。PLM40では改造後の配管で60年間の供用期間にわたって熱成層の発生を考慮し評価を行っている。このためPLM30とPLM40で考慮する応力、評価モデルに差があるためUen値に差が生じている。</p> <p>【サージ用管台】 加圧器サージ用管台は、第27回定検（H22年度）に改造を実施しており、PLM30とPLM40で管台の評価モデルが異なっている。このため発生する応力が異なっていることからPLM30とPLM40のUf値、Uen値に差が生じているが、大きな差はなく同等であると考えている。</p>		部位	60年時点の予測値		PLM30	PLM40	スプレイライン用管台	0.015 (0.470)	0.190 (0.019)	サージ用管台	0.043 (0.082)	0.021 (0.051)
部位	60年時点の予測値												
	PLM30	PLM40											
スプレイライン用管台	0.015 (0.470)	0.190 (0.019)											
サージ用管台	0.043 (0.082)	0.021 (0.051)											

PLM40では、最近の改造を踏まえた評価および、標準的な設計条件を適用してより保守的な評価を実施したものであり、適切な評価結果であると考えている。

添付1にスプレイライン管台の疲労評価（Uf値）の比較を示す。

添付2にスプレイライン管台の環境疲労評価（Uen値）の比較を示す。

添付3にサージ用管台の疲労評価（Uf値）、環境疲労評価（Uen値）の比較を示す。

表 2 PLM40における疲労評価結果
(Ufに対して支配的な過渡組合せ)

過渡組合せ	繰返しピーク 応力強さ (MPa)	Ke	繰返し回数	Uf

表 3 PLM30における疲労評価結果
(表2と同等の過渡組合せによるUf)

(改造前) ※

過渡組合せ	繰返しピーク 応力強さ (MPa)	Ke	繰返し回数	Uf

(改造後) ※

過渡組合せ	繰返しピーク 応力強さ (MPa)	Ke	繰返し回数	Uf

※ PLM30の評価では、第21回定検 (H14年度) 実施のスペライン改造前、改造後に分けて評価している。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

加圧器スプレイ管台の環境疲労評価 (PLM30とPLM40との比較)

加圧器スプレイ管台の環境疲労評価においては、PLM30とPLM40でUenが最大となる点は同じであり、大気中の疲労評価最大点と同等の部位の評価を実施している。

しかしながら、表 1 に示すようにUen値が大きく異なっている。

この差は繰返しピーク応力強さの違いが影響しているが、加圧器スプレイ配管の形状に差があることが原因である。

加圧器スプレイ管台の環境疲労評価では、PLM30、PLM40ともに熱成層の影響を考慮して熱成層が発生する範囲の配管を含めた 3 次元FEMモデルを使って評価を行っている。(ただしPLM30では改造後は熱成層が発生しないとしており、2次元FEMである)

加圧器スプレイ配管は第 2 1 回定検 (H14年度) に改造工事を実施しているが、PLM30では配管改造前と改造後に分けて評価を実施しており、Uen値が高いのは配管改造前の評価によるものである。

図 2 に改造前の加圧器スプレ配管 (熱成層考慮部位)、図 3 に改造後の加圧器スプレ配管 (熱成層考慮部位) の形状を示すが、改造前は熱成層を考慮する配管の水平距離が長く、加圧器管台への垂直配管の長さが短い。このため、改造前の配管では熱成層による過渡が発生した場合の熱変位に伴う加圧器管台への曲げ、捻りが比較的大きく作用することになる。改造によって熱成層を考慮する範囲の配管の水平長さが短くなり、垂直管長さが長くなったことで応力が大きく緩和されたものである。

このため、熱成層を考慮する過渡との組合せにおいてUenが低減し、合計Uenの差異につながっているものである。

表 4 PLM30における疲労評価結果
(Ufに対して支配的な過渡組合せ)

過渡組合せ	繰返しピーク 応力強さ (MPa)	Ke	繰返し 回数	Uf	Fen	Uen
(改造前)						
(改造後)						

※ 改造後は参考として改造前の支配的な過渡と同等の組合せを示す。改造前後でUf, Uenが大幅に下がったことを示すものである。

表 5 PLM40における疲労評価結果
(表 4 と同等の過渡組合せによるUen)

過渡組合せ	繰返しピーク 応力強さ (MPa)	Ke	繰返し 回数	Uf	Fen	Uen
(改造前)						
(改造後)						

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



図 2 環境疲労評価におけるPLM30の熟成層評価モデル (改造前)

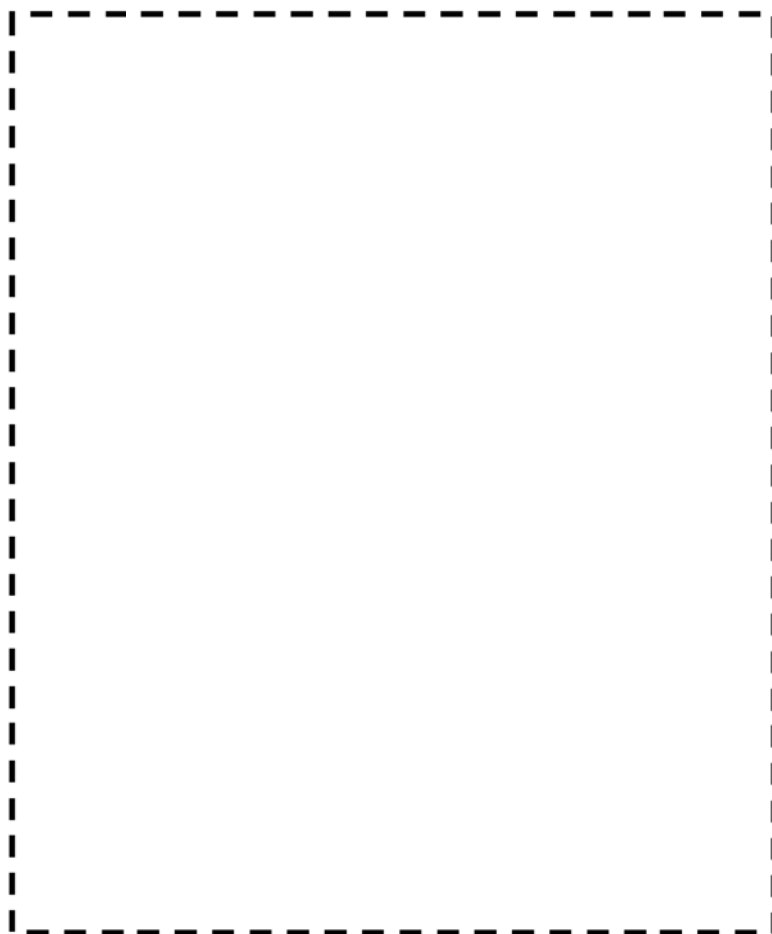


図 3 環境疲労評価におけるPLM40の熟成層評価モデル

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

加圧器サージ用管台の疲労評価、環境疲労評価 (PLM30とPLM40との比較)

PLM30とPLM40の加圧器サージ用管台の構造モデルの比較を図4に示す。加圧器サージ用管台はH22年度に行われた管台改造工事を反映してPLM30とPLM40で管台の評価モデルが異なっている。

このため各評価点の発生応力が異なってくることから、 U_f 、 U_{en} の値に違いが生じているものである。また、PLM40では評価点を増加させており、管台コーナ部付近に新たに評価点を設けたことから、大気中の疲労累積係数が最大になる点が変わっている。

PLM30とPLM40の類似評価点における U_f 値の比較を表6に示す。

各評価点で数値の違いはあるものの、 U_f 値の差は最大でも0.04程度であり、管台形状の差があることを考慮すればほぼ同等の結果であると考えられる。



図4 PLM30とPLM40の構造モデル比較 (加圧器サージ用管台)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表 6 各評価点におけるUf値の比較 (サージ管台)

PLM30		PLM40	
評価点	Uf	評価点	Uf
1		1	
2		2	
3		3	
4		4	
7		7	
8		8	
9		13	
10		14	
11		15	
12		16	
15		17	
16		18	
-		19	
17		21	
18		22	

赤太字はUf値が最大になった評価点のUf値
青太字はUen値が最大となった評価点のUf値

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

No.	高浜 1 - 40年目追加評価 - 5	事象：劣化傾向の評価								
質 問	<p>(別冊-18 40年目追加評価-低サイクル疲労-7頁) 加圧器スプレ配管について、30年目の高経年化技術評価と劣化状況評価における疲労累積係数の相違について定量的な理由を提示すること。</p>									
回 答	<p>加圧器スプレ配管について、30年目の高経年化技術評価（以下PLM30という）と劣化状況評価（以下PLM40という）における疲労累積係数の比較を表 1 に示す。</p> <p>表 1 加圧器スプレ配管疲労評価結果（疲労累積係数）の比較</p> <table border="1" data-bbox="507 884 1249 1072"> <thead> <tr> <th rowspan="2">部位</th> <th colspan="2">60年時点の予測値</th> </tr> <tr> <th>PLM30</th> <th>PLM40</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>加圧器スプレ配管</td> <td>0.006 (0.088)</td> <td>0.026 (0.404)</td> </tr> </tbody> </table> <p>表内の上段の数値は大気中の疲労累積係数 (Uf) を示す。 () 内の数値は接液中の疲労累積係数 (Uen) を示す。</p> <p>PLM30とPLM40で疲労累積係数に差異が生じている主な理由は以下のとおりである。</p> <p>【大気中の疲労累積係数】 PLM30とPLM40では評価に用いた過渡回数の考え方に差異がある。加圧器スプレ配管は第 2 1 回定検 (H14年度) に改造工事を実施している。PLM30では改造後の期間に対する過渡回数を用いて評価を実施したのに対して、PLM40では改造前の期間も含めた60年間の過渡回数を用いて評価を実施したためUf値に差が生じている。</p> <p>【接液中の疲労累積係数】 加圧器スプレ配管は、高浜 1 号炉はバイパス流量、温度計測結果等からPLM30では熱成層が発生しないものと想定して評価を実施していたが、PLM40では他プラントも含めた標準的な評価として熱成層の発生を考慮する評価に変更している。このためPLM30とPLM40で考慮する応力、評価モデルに差があるためUen値に差が生じている。</p> <p>PLM40では、保守的な設計想定による評価、標準的な設計手法導入による評価を実施したものであり、適切な評価結果であると考えている。 添付 1 にスプレ配管の疲労評価 (Uf値) の比較を示す。 添付 2 にスプレ配管の環境疲労評価 (Uen値) の比較を示す。</p>		部位	60年時点の予測値		PLM30	PLM40	加圧器スプレ配管	0.006 (0.088)	0.026 (0.404)
部位	60年時点の予測値									
	PLM30	PLM40								
加圧器スプレ配管	0.006 (0.088)	0.026 (0.404)								

加圧器スプレイ配管の疲労評価 (PLM30とPLM40との比較)

加圧器スプレイ配管の疲労評価において、PLM30とPLM40の評価モデルは図 1、図 2 のように同等あり、Uf 最大点も同等箇所となっている。

PLM30とPLM40でUfの値が大きく異なる理由は、主として過渡回数の違いが影響している。

加圧器スプレイ配管は第 2 1 回定検 (H14年度) にて評価対象部位の取替を実施していることから、PLM30では運転開始後 6 0 年時点の過渡回数として、取替後の期間に基づく推定過渡回数を設定し、疲労評価を実施している。

一方でPLM40ではH14年度の一部取替部位も含めて、運転開始後 6 0 年時点の過渡回数は建設時以降の全ての実績を含んで評価用過渡回数を設定している。

また、停止操作時には加圧器補助スプレイを操作するため、スプレイ配管は補助スプレイを固有の過渡として設定している。PLM30では運転実態からスプレイ回数を [] としていたのに対し、PLM40では標準的な設計条件に合わせてスプレイ回数を [] と設定した。

このため、表 2 のとおり評価に用いた過渡回数はPLM40が大幅に増えており、これが疲労累積係数の差の主な要因である。

表 2 加圧器スプレイ配管の疲労評価における主要過渡回数比較

	PLM30	PLM40
起動	48	99
停止	48	99
負荷上昇	416	710
停止時補助スプレイ		

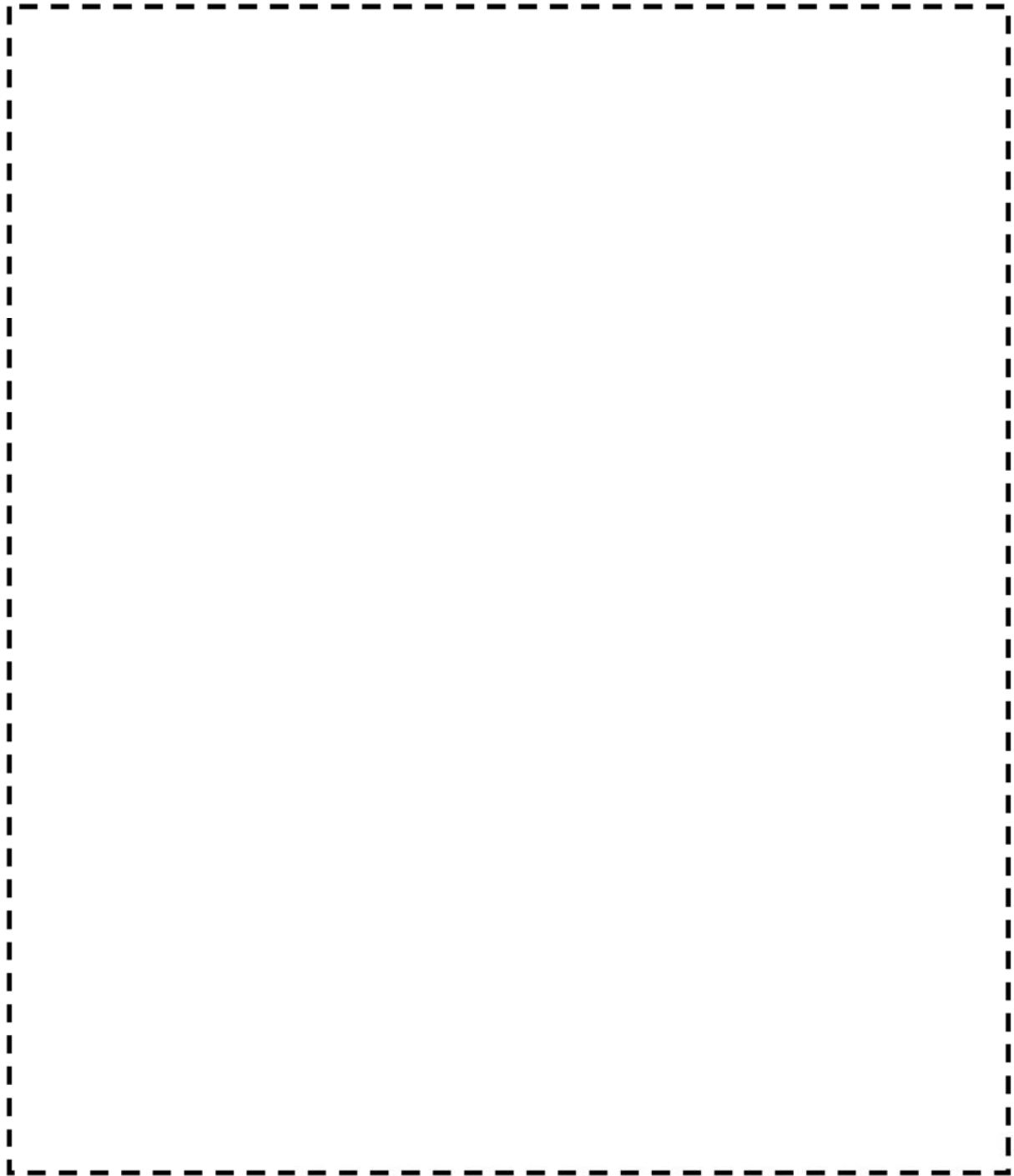


図1 加圧器スプレイ配管疲労評価モデル (PLM30)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

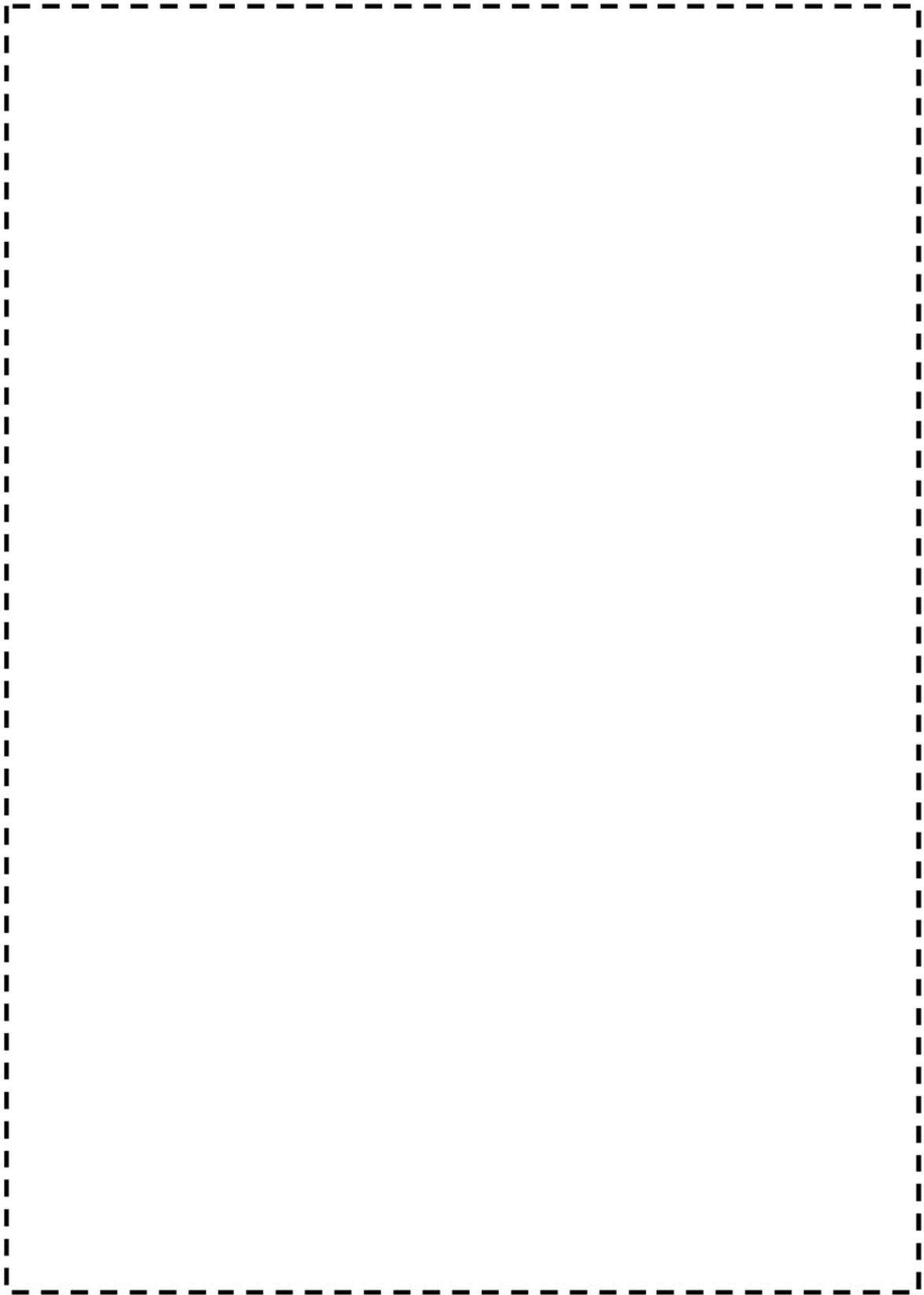


図 2 加圧器スプレイ配管疲労評価モデル (PLM40)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

加圧器スプレイ配管の環境疲労評価 (PLM30とPLM40との比較)

加圧器スプレイ管台の環境疲労評価については、PLM30ではスプレイバイパス流量の増加を考慮し、温度計測結果も踏まえて熱成層の発生を考慮しない評価をしていたが、PLM40では熱成層の発生を考慮して評価を行った。このため評価モデルが大きく異なっていること、PLM40では熱成層の発生を考慮した応力解析を行っている。このため、PLM40の方が環境を考慮した疲労累積係数 (Uen) が大きい値となっている。

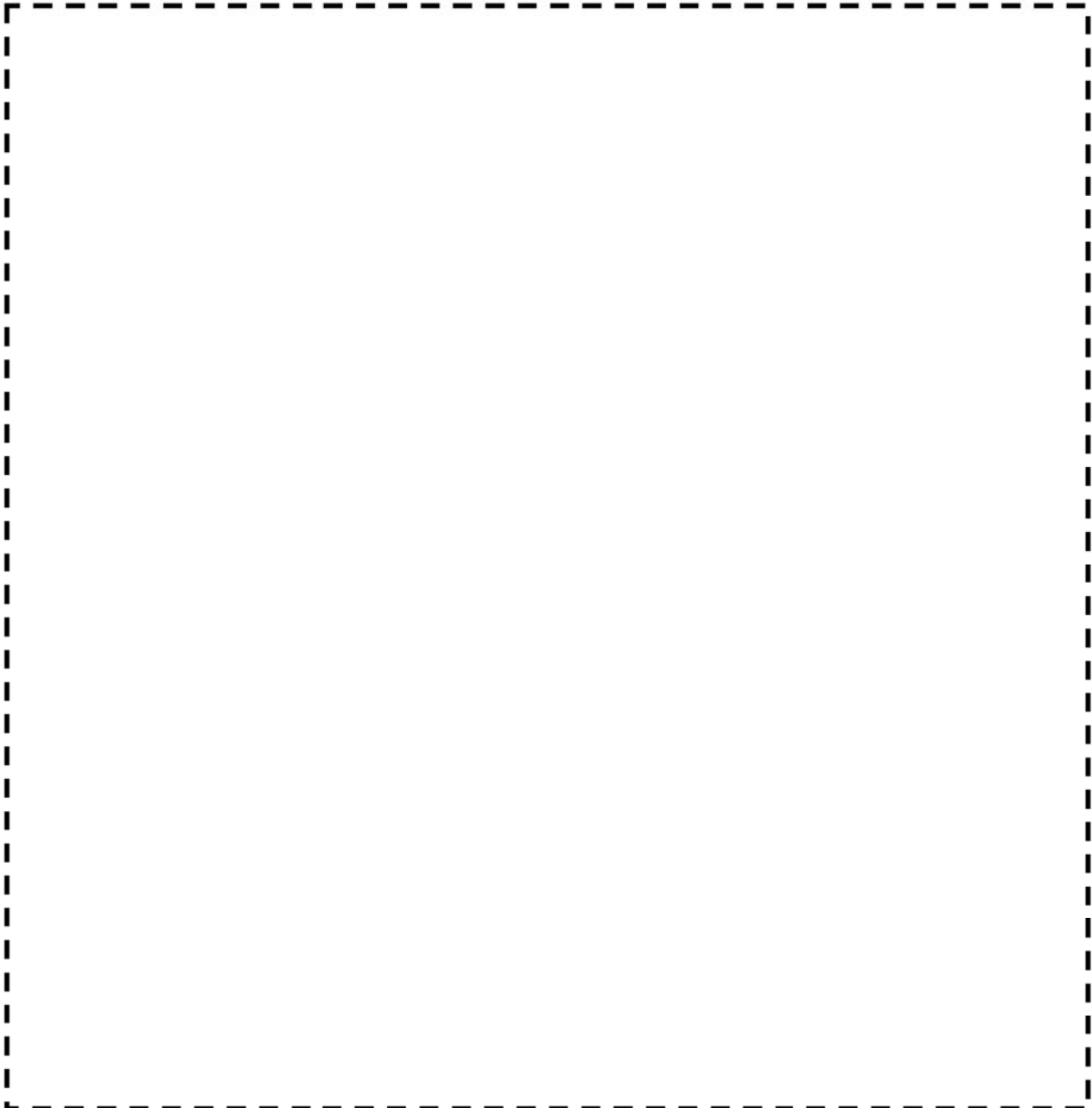


図 3 加圧器スプレイ配管疲労評価モデル (PLM40)
(PLM30の環境疲労評価モデルは疲労評価モデルと同じ)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

No.	高浜1-40年目追加評価-6	事象：劣化傾向の評価								
質 問	<p>(別冊-18 40年目追加評価-低サイクル疲労-7頁) 加圧器サージライン用配管について、30年目の高経年化技術評価と劣化状況評価における疲労累積係数の相違について定量的な理由を提示すること。</p>									
回 答	<p>加圧器サージ配管について、30年目の高経年化技術評価（以下PLM30という）と劣化状況評価（以下PLM40という）における疲労累積係数の比較を以下に示す。</p> <p style="text-align: center;">加圧器サージ配管疲労評価結果（疲労累積係数）の比較</p> <table border="1" data-bbox="504 860 1248 1048"> <thead> <tr> <th rowspan="2">部位</th> <th colspan="2">60年時点の予測値</th> </tr> <tr> <th>PLM30</th> <th>PLM40</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>加圧器サージ配管</td> <td>0.007 (0.179)</td> <td>0.012 (0.002)</td> </tr> </tbody> </table> <p>表内の上段の数値は大気中の疲労累積係数（Uf）を示す。 () 内の数値は接液中の疲労累積係数（Uen）を示す。</p> <p>PLM30とPLM40で疲労累積係数に差異が生じている主な理由は以下のとおりである。</p> <p>【大気中の疲労累積係数】 PLM30では疲労評価を「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（告示501号）」に基づいて実施したが、PLM40では「設計・建設規格（2005/2007）」に基づいて実施した。このため設計・建設規格で導入されたフレキシビリティファクター考慮の有無等によりUfの値に差が生じたものである。</p> <p>【接液中の疲労累積係数】 繰り返しピーク応力強さの算出は内圧、熱膨張、熱成層、管板方向の熱勾配を考慮しているが、PLM30では熱膨張+熱成層の項を時刻歴で算出し、その最大値と内圧、管板方向の熱勾配の最大値を絶対和して求めた。一方、PLM40では全ての項を一括して時刻歴で求めた。このため、PLM40の方がピーク応力の最大値が低下するため、Uenの値に差が生じたものである。 PLM40では新しい規格に基づく評価、解析技術の性能向上に伴う詳細な評価を実施したものであり、適切な評価結果であると考えている。</p> <p>添付1にサージ配管の疲労評価（Uf値）の比較を示す。 添付2にサージ配管の環境疲労評価（Uen値）の比較を示す。</p>		部位	60年時点の予測値		PLM30	PLM40	加圧器サージ配管	0.007 (0.179)	0.012 (0.002)
部位	60年時点の予測値									
	PLM30	PLM40								
加圧器サージ配管	0.007 (0.179)	0.012 (0.002)								

加圧器サージ配管の疲労評価 (PLM30とPLM40との比較)

加圧器サージ配管について、PLM30とPLM40の評価モデルは図 1、図 2 のようにほぼ同じである。

表 1 と表 2 を比較すると、全体的にほぼ同じであるが、PLM40で疲労累積係数が最大となる主冷却材管の管台部分 (PLM30 : 節点2000 PLM40 : 節点502) の疲労累積係数に比較的差が出ている。

一方でPLM30で疲労累積係数が最大となった点 (PLM30 : 節点130 PLM40 : 節点110) では疲労累積係数の差は小さい。この主冷却材管の管台部分の評価の差は、適用規格による違いが主な要因であると考える。PLM30では疲労評価を「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準 (告示501号)」に基づいて実施したが、PLM40では「設計・建設規格 (2005/2007)」に基づいて実施した。このため、PLM40では、1次冷却材管の管台部の剛性にフレキシビリティを考慮していることからPLM30の評価より管台部の応力が小さくなり、Uf値が増加している。

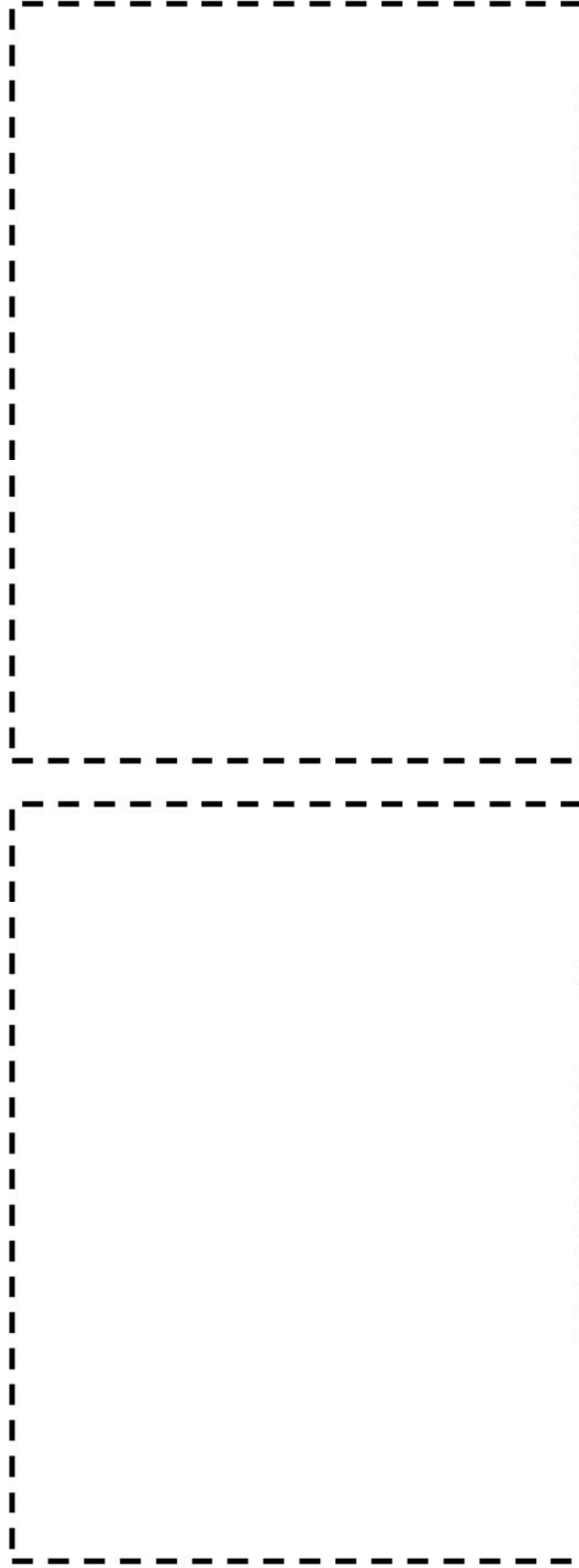


図 1 加圧器サージ配管疲労評価モデル (PLM30)

図 2 加圧器サージ配管疲労評価モデル (PLM40)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

表1 PLM30における疲労評価結果 (節点毎のUF値)

節点番号	ピーク応力 強さ(MPa)	繰返しピーク 応力強さ(MPa)	疲労累積係数
1.0			

表2 PLM40における疲労評価結果 (節点毎のUF値)

節点番号	ピーク 応力強さ (MPa)	繰返しピーク 応力強さ (MPa) (注)	疲労累積 係数	許容値
1.0				

表1の繰返しピーク応力強さの値はヤング率補正前の値、
表2の繰返しピーク応力強さの値はヤング率補正後の値である

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

加圧器サージ配管の環境疲労評価 (PLM30とPLM40との比較)

加圧器サージ配管について、PLM30とPLM40の環境疲労の評価モデルはほぼ同じである。しかしながら、図 1、図 2 に示すように Uen 最大値の評価点および、評価値に差が生じている。これは PLM30 と PLM40 では熱成層応力を考慮した環境疲労評価において、ピーク応力算出の際の応力各項目の足し合わせ方法に差があるためである (詳細を表 3 に示す)。このため PLM30 では PLM40 に比べてピーク応力が大きく設定されたものであり、ピーク応力が厳しくなる評価点も異なっている。

表 3 環境疲労評価法の比較

評価書	評価方法
PLM30	<p>(1) 各応力項の算出方法</p> $Sp = \sqrt{\text{内圧} + \text{熱膨張} + \text{熱成層} + \text{板厚方向内外面線形温度差 (線形/非線形)}}$ <p>[各応力項の算出状況]</p> <p>①内圧応力 ②熱膨張+熱成層 ③板厚方向内外面温度差 (線形/非線形)</p> <p>(2) 発生応力 応力評価式で規定する個々に算出した応力を、発生時刻に関係なく絶対和して Sp(SI)、UF を算出。</p> <p>許容繰返回数 (Na) $UF = \frac{N}{Na}$</p>
PLM40	<p>(1) 各応力項の算出方法 配管系を3次元FEMモデル化し、過渡変動を与えて時々刻々の管の温度、応力変動を直接算出し、この中で最大値を用いて応力/疲労評価を実施。</p> <p>(配管FEMモデル)</p> <p>[過渡条件]</p> <p>温度 時刻 圧力 時刻 σ 時刻 最大 σ_max 応力(歪)</p> <p>Sp = 過渡継続時間中の最大応力 (σ_max) 許容繰返回数 (Na) $UF = \frac{N}{Na}$</p>