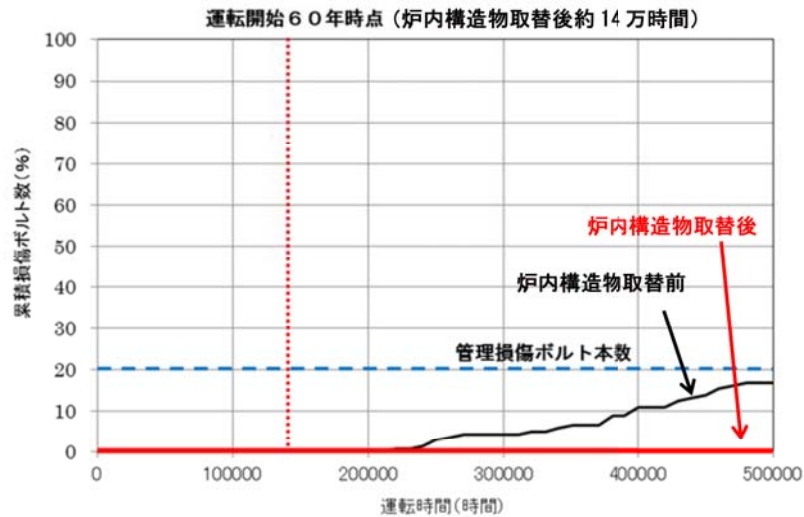


美浜3号炉-IASCC-13rev.2

タイトル	バッフルフォーマボルトの運転開始後60年時点までのボルト損傷予測について。
説明	<p>バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れ発生可能性については、「原子力安全基盤機構 照射誘起応力腐食割れ(IASCC)評価技術に関する報告書」に示された評価ガイド(案)(以下、「評価ガイド」)および「原子力安全推進協会 PWR炉内構造物点検評価ガイドライン[バッフルフォーマボルト]」の考え方にに基づき以下のとおり評価している。</p> <p>① 運転時間(照射量)によって変動するバッフルフォーマボルトの応力履歴を算出する(添付-1)</p> <p>↓</p> <p>② 評価ガイドに定められている IASCC 割れ発生しきい応力線図と①で算出したバッフルフォーマボルトの応力履歴を重ね合わせる</p> <p>↓</p> <p>③ バッフルフォーマボルトの応力履歴が IASCC 割れ発生しきい応力線図を超えた時点を照射誘起型応力腐食割れの発生時間とする</p> <p>割れ発生予測評価概念図 [出典：「照射誘起応力腐食割れ(IASCC)評価技術に関する報告書」 (独)原子力安全基盤機構]</p>

上記評価の結果、運転開始後60年時点（炉内構造物取替後約14万時間）までにバッフルフォーマボルト（全数）の応力履歴がIASCC割れ発生応力しきい線図を超えることはなく、IASCCは発生しないと評価している。



バッフルフォーマボルトの累積損傷本数の予測

<補足説明事項>

炉内構造物取替え前のバッフルフォーマボルトの損傷評価においては、ボルト首下形状を詳細に模擬したFEM解析を行い、ボルト首下部の応力を直接FEM解析で算出している。このボルト首下部応力とIASCC割れ発生応力しきい線図を比較評価した結果、14万時間程度ではボルトは損傷しない評価結果となっている。

炉内構造物取替え後のボルトは下表に示すとおり、炉内構造物取替え前に比べてボルト仕様が改良されており、ボルト首下部に生じる応力は炉内構造物取替え前に比べて小さい。

よって、炉内構造物取替え前において14万時間程度でボルト損傷が発生しないことから、ボルトの応力低減が図られた炉内構造物取替え後のボルトについても14万時間程度ではボルト損傷は発生しないと評価される。

バッフルフォーマボルト仕様

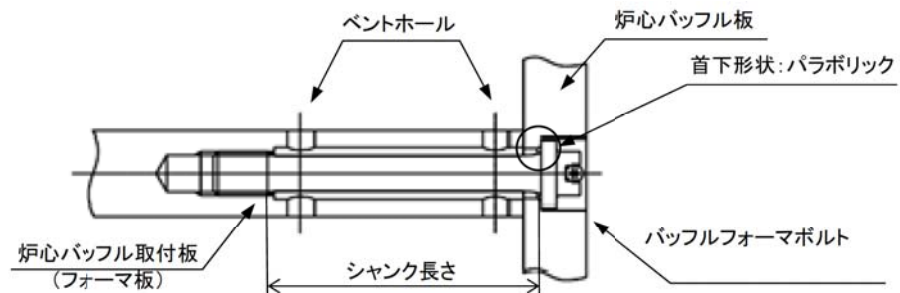
	炉内構造物取替え前	炉内構造物取替え後
ボルト材料	SUS316CW	SUS316CW
首下形状	R2	パラボリック
シャンク長さ	35mm	97mm
ボルト冷却孔	無し	有り (2個)

○管理損傷ボルト本数は、日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格に記載のとおり、許容損傷ボルトパターン（最上段および最下段のボルトのみ健全でそれ以外は損傷しているパターン）に3倍の余裕をとって設定している。美浜3号炉の許容損傷ボルトパターンは5段/7段＝71.4%であるため、これに3倍の余裕をとることで管理損傷ボルト本数は $71.4/3=23.8\%$ 、これを丸めて20%とし、ボルト全数672本の20%にあたる134本が管理損傷ボルト本数となる。

○美浜3号炉の運転開始後60年（炉内構造物取替後約14万時間）における照射量(dpa)は最大のバップルフォーマボルトで約22dpaである。

○美浜3号炉のバップルフォーマボルトの仕様を以下に示す。

- ・材料：G316CW 1
- ・首下形状（R）：パラボリック
- ・シャンク長さ：97, 83, 70mm
- ・ベントホール有（2個）



○スウェリングの評価について

今回の応力評価におけるスウェリングの影響については、米国の高速実験炉EBR-II炉心の中性子反射体要素(SUS304材)から採取したデータを基に作成したdpaレイト補正Foster-Flinn式（下式）を用いて評価している。本評価式は照射量、dpaレイト（照射速度）、温度のスウェリング量への影響を定式化したものとなっている。

スウェリングによる体積膨張率

$$S = \% \frac{\Delta V}{V_0} = A \cdot \left( \frac{\text{dpa} \times 10^7}{1.25} \right)^{-0.73} \cdot \left( \frac{\text{dpa}}{4.9} \right)^2$$

$\Delta V$ ：スウェリングによる体積膨張量

$V_0$ ：スウェリング前の体積

$\% \Delta V / V_0$ ： $\Delta V / V_0 \times 100$  [%]

$\dot{\text{dpa}}$  = dpaレイト [dpa/sec]

$A = \exp(-1.591 + 0.245T - 1.210T^2 - 1.384T^3 - 1.204T^4)$

$T = (T' [\text{°C}] - 490) / 100$        $T'$ ：評価箇所の温度[°C]

○照射下クリープの評価について

今回の応力評価における照射下クリープの影響については、国プロ「照射誘起応力腐食割れ (IASCC) 評価技術」事業において示された照射下クリープ評価式を用いた評価を行っている。

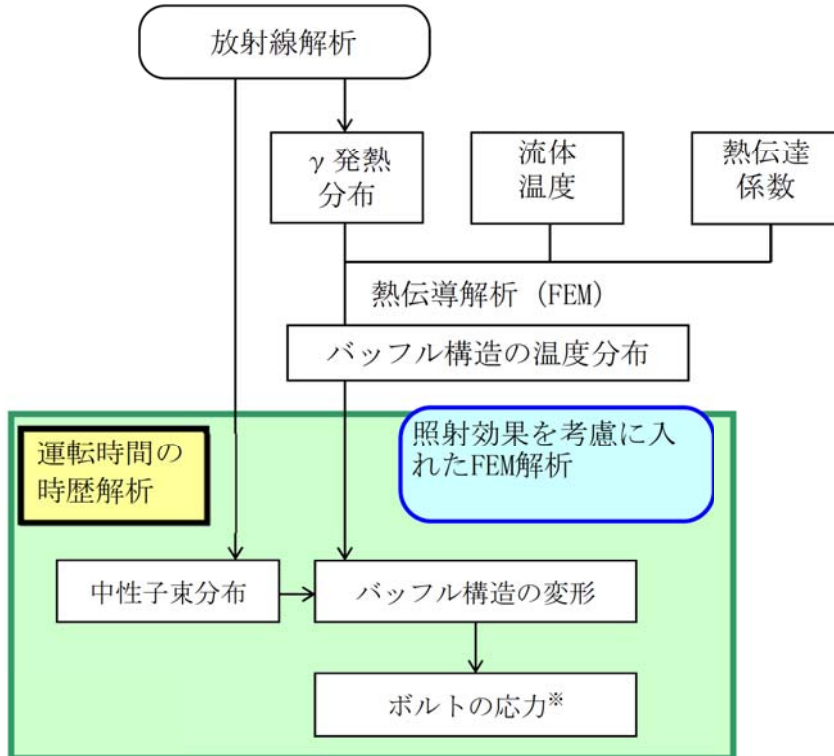
本評価式は、Halden 炉での約 1dpa までの照射下クリープデータ（遷移クリープ、定常クリープ両方のデータ）に基づき作成されたものであり、この照射量 (1dpa) は、実機 PWR と同等の照射速度、現実的な照射時間（約 2 年間）で定常クリープ領域に達するのに必要な照射量として設定されたものである。

また、加速クリープの影響については、高照射領域での照射下クリープデータがないため考慮されていないが、考慮しない方が保守的（クリープが小さい方がボルトの応力緩和が小さくなる）であることから、実機評価を行う上では問題ないと考えている。

なお、評価ガイドにおいて、照射下クリープについて本評価式を用いることとされている。

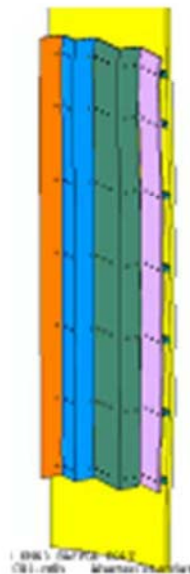
以上

バッフルフォーマボルトの応力評価手法について

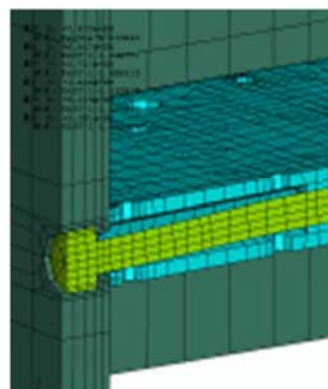


※ボルトの応力は、解析で算出したボルト首下一般部の応力に応力集中係数  $K_t$  を掛けて応力を算出している。

応力集中係数は、ボルト形状を詳細に模擬した解析モデルにおいて、ボルトに荷重を付与した際に生じるボルト一般部（シャンク部）の応力とボルト首下部の応力の比を算出し、応力集中係数としている。



《全体図》



《ボルト部拡大図》

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

美浜3号炉－熱時効－5 rev1

タイトル	母管の現状保全の具体的内容について																		
説明	<p>1次冷却材管の現状保全の方法を以下に示す。</p> <p>点検方法：超音波探傷検査（供用期間中検査） 判定基準：維持規格（JSME S NA1 2002）に基づき実施 点検結果：結果良好（添付1）</p> <p>1次冷却材管の製造時の非破壊検査内容および結果について表1に示す。</p> <p>表1 各部位の製造時非破壊検査の内容、判定基準、および結果</p> <table border="1" data-bbox="427 994 1359 1196"><thead><tr><th>部位</th><th>検査内容</th><th>判定基準</th><th>判定結果</th></tr></thead><tbody><tr><td rowspan="2">母材</td><td>放射線透過試験</td><td>告示第501号</td><td>良</td></tr><tr><td>浸透探傷試験</td><td>告示第501号</td><td>良</td></tr><tr><td rowspan="2">溶接部</td><td>放射線透過試験</td><td>省令第81号</td><td>良</td></tr><tr><td>浸透探傷試験</td><td>省令第81号</td><td>良</td></tr></tbody></table>	部位	検査内容	判定基準	判定結果	母材	放射線透過試験	告示第501号	良	浸透探傷試験	告示第501号	良	溶接部	放射線透過試験	省令第81号	良	浸透探傷試験	省令第81号	良
部位	検査内容	判定基準	判定結果																
母材	放射線透過試験	告示第501号	良																
	浸透探傷試験	告示第501号	良																
溶接部	放射線透過試験	省令第81号	良																
	浸透探傷試験	省令第81号	良																

関西電力株式会社 美浜発電所

第3号機 第25保全サイクル

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

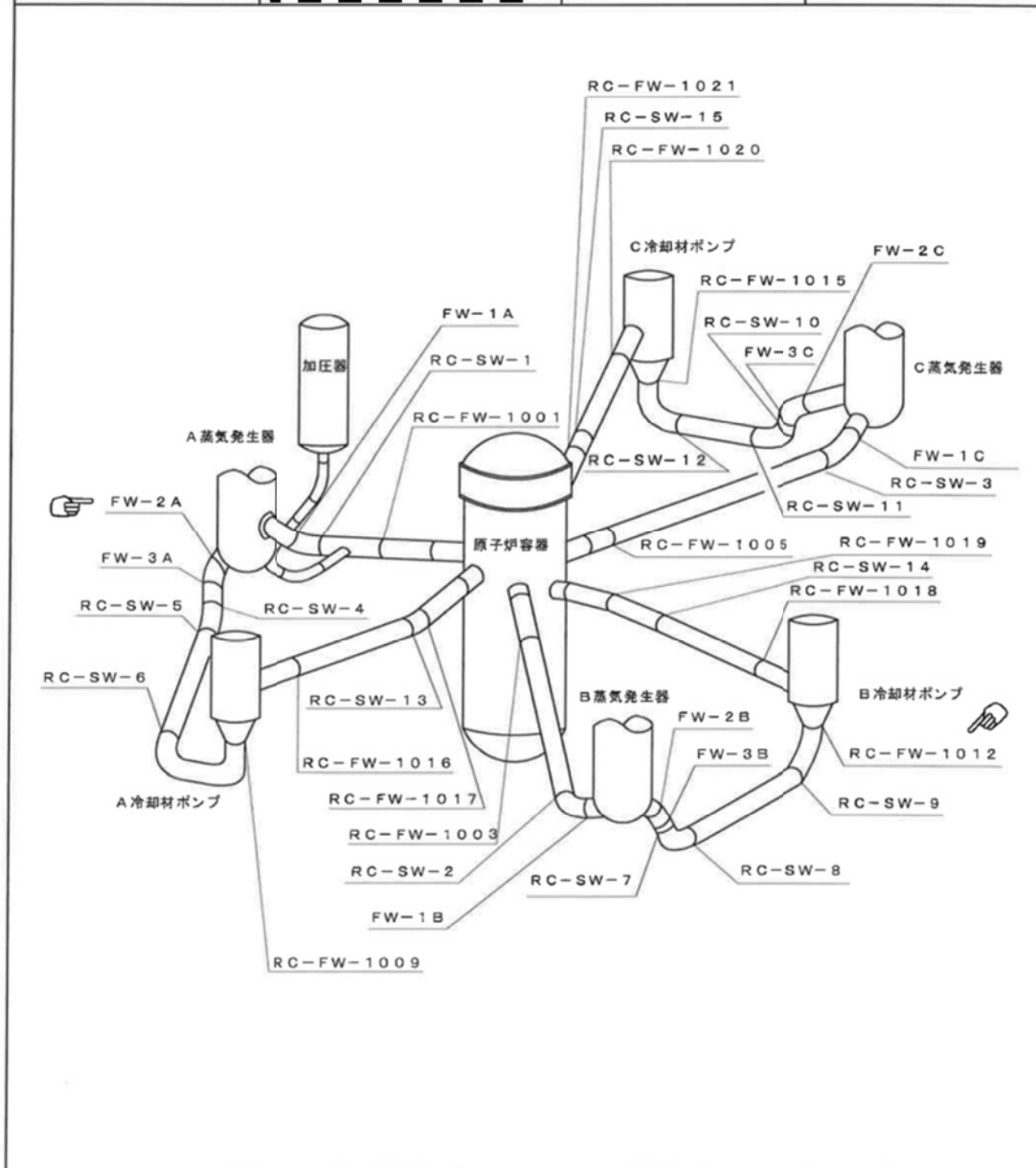
計測制御系統設備

検 査 名：クラス1機器供用期間中検査

要領書番号：M3-25-101

配管検査箇所図(2/25)

項目番号	B9.11	カテゴリ	B-J
検査対象箇所	配管の周溶接継手(呼び径 <span style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">  </span> 以上) 主冷却材管		
全検査箇所	36箇所	検査方法	UT
7年間の検査範囲	<span style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">  </span>	当年度検査箇所	2箇所



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



非破壊検査記録 ( 3 / 7 )

検査年月日 平成23年 6月 21日

検査員

項目番号	カテゴリ	機器名	検査の対象機器	検査箇所
B9.11	B-J	配管	配管の固溶接継手 (呼び径 [ ] 上) 主冷却材管	FW-2A 1箇所
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-)		
	表面検査	探傷剤	温度	浸透時間
	体積検査	探傷器	探触子	試験片
	超音波探傷検査	[ ]	[ ]	MP-3A MP-3R
		リジェクション OFF	接触媒質 ソニコート	パルス幅 —
検査実施結果	検査項目		結果	備考
	目視検査			
	表面検査	浸透探傷検査		検査員: [ ]
	体積検査	超音波探傷検査	良	検査員: [ ] UT Ⅴ <sup>+</sup> #3
<p><b>評価</b></p> <p>角度の取り方(上流側より見る)</p> <p> <small>                     起点: 上流側エルボの背を0°とした。                      基準: DAC20%を超える反射波を認めず。                      斜角45°(直角): 外表面形状のため、一部探傷不可。                      内表面近傍以外、DAC20%を超える反射波を認めず。                      上流側(セーフエンド)、内表面近傍ノイズレベル(DAC48%)を超える反射波は、                      圧状異常による金属組織エコーである。                      下流側(エルボ)、内表面近傍ノイズレベル(DAC59%)を超える反射波を認めず。                      斜角45°(平行): 外表面形状のため、探傷不可。                 </small> </p> <div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: right;">試験員: [ ] UT Ⅴ<sup>+</sup> #3</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

美浜3号炉－絶縁低下－1 rev1

タイトル	主な電気・計装設備の保全項目、判定基準及び点検頻度について。
説明	<p>主な電気・計装設備の保全項目、判定基準及び点検頻度については添付1の通り。</p> <p>なお、動作確認を行っている電気・計装設備については、絶縁抵抗測定を実施している同種機器等の結果を踏まえ、健全性を確認している。</p>

代表機器名称	部位	保全項目	判定基準	頻度	備考
海水ポンプモータ	固定子コイルおよび口出線・接続部品	絶縁抵抗測定 直流吸収試験 tan δ 試験 部分放電試験			
充てん/高圧注入ポンプモータ	同上	同上			
ほう酸ポンプモータ	固定子コイルおよび口出線	絶縁抵抗測定			
ビッグテイル型電気ペネトレーション	ポットイング材および外部リード	絶縁抵抗測定またはシステム機器の動作確認			
余熱除去ポンプ入口弁電動装置	モータの固定子コイルおよび口出線・接続部品	絶縁抵抗測定			
難燃高圧CSHVケーブル	絶縁体	絶縁抵抗測定 直流漏洩電流測定 tan δ 試験 シース絶縁抵抗測定 遮熱層抵抗測定 部分放電試験			屋外
難燃KKケーブル	絶縁体	絶縁抵抗測定またはシステム機器の動作確認			
難燃PHケーブル	絶縁体	絶縁抵抗測定			
SHVVケーブル	絶縁体	絶縁抵抗測定			
VVケーブル	絶縁体	絶縁抵抗測定			
三重同軸ケーブル	絶縁体	絶縁抵抗測定			
難燃三重同軸ケーブル-2	絶縁体	絶縁抵抗測定			
気密端子箱接続	絶縁物等	絶縁抵抗測定またはシステム機器の動作確認			
直シヨイント					
原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続					
三重同軸コネクタ接続-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。

代表機器名称	部位	保全項目	判定基準	頻度	備考
メタクラ(安全系)	ばね番勢用モータ(遮断器)	絶縁抵抗測定			
	計器用変流器	絶縁抵抗測定			
	計器用変圧器	絶縁抵抗測定			
	保護リレー	絶縁抵抗測定			
動力変圧器	コイル	絶縁抵抗測定			
パワーセンタ(安全系)	計器用変圧器	絶縁抵抗測定			
	保護リレー	絶縁抵抗測定			
非常用ディーゼル発電機制御盤	計器用変流器	絶縁抵抗測定			
	保護リレー	絶縁抵抗測定			
	励磁装置	絶縁抵抗測定			
		tan δ 試験			
		直流吸取試験			

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。

代表機器名称	部位	保全項目	判定基準	頻度	備考
補助建屋よう素除去排気ファンモータ	固定子コイルおよび口出線	絶縁抵抗測定			
制御建屋送気ファンモータ	固定子コイルおよび口出線	絶縁抵抗測定			
チラーユニット用圧縮機モータ	固定子コイルおよび口出線・接続部品	絶縁抵抗測定			
		直流吸取試験 tan δ 試験			
計器用空気圧縮装置	固定子コイルおよび口出線	部分放電試験			
	固定子コイル	絶縁抵抗測定			
燃料取換クレーン	電磁ブレーキの固定鉄心	絶縁抵抗測定			
	指速発電機	絶縁抵抗測定			
	変圧器	絶縁抵抗測定			
	固定子コイル	絶縁抵抗測定			
燃料移送装置	電磁ブレーキの固定鉄心	絶縁抵抗測定			
	変圧器	絶縁抵抗測定			
非常用ディーゼル発電機	固定子コイル(高圧)および口出線・接続部品(高圧)	絶縁抵抗測定			
		直流吸取試験			
		tan δ 試験			
		部分放電試験			
燃料弁冷却水ポンプ	回転子コイル(低圧)および口出線・接続部品(低圧)	絶縁抵抗測定			
	固定子コイルおよび口出線	絶縁抵抗測定			
安全系インバータ	変圧器	絶縁抵抗測定			

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。

美浜3号炉－絶縁低下－2 rev1

タイトル	事故時環境下で機能要求のある電気・計装設備の健全性評価を行う上で考慮した事故シナリオについて。
説明	<p>劣化状況評価において考慮している事故シナリオは、下記の通り。なお、劣化状況評価書では、設計基準事故としてCV内LOCAが、SA条件としてCV内の圧力、温度、放射線それぞれ条件の最も厳しいシナリオ（格納容器過温破損、格納容器加圧破損）が、厳しい環境条件となることから、これらを代表として記載している。</p> <p>設計基準事故シナリオ 原子炉格納容器内 ○圧力、温度及び放射線 格納容器内LOCA<sup>※1</sup> MS区画<sup>※2</sup> ○圧力及び温度 MSLB<sup>※3</sup></p> <p>重大事故等シナリオ 原子炉格納容器内 ○圧力 格納容器過温破損（全交流動力電源喪失＋補助給水失敗） ○温度 格納容器過温破損（全交流動力電源喪失＋補助給水失敗） ○放射線 格納容器過圧破損（大破断LOCA時＋ECCS<sup>※4</sup>注入失敗＋格納容器スプレイ失敗）</p> <p>使用済み燃料ピットエリア ○温度 使用済み燃料ピットにおける重大事故に至る恐れがある事故</p> <p>※1：原子炉冷却材喪失事故 ※2：主蒸気管室・主給水配管中間建屋区画および主蒸気配管ディーゼル建屋区画) ※3：主蒸気配管破断事故 ※4：非常用炉心冷却系</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>


美浜3号炉－絶縁低下－15rev1

<p>タイトル</p>	<p>ACAガイドに基づく評価における、ケーブルトレイ温度上昇の考え方について。</p>
<p>説明</p>	<p>1. 検討対象とするケーブルについて          事故時機能要求のあるケーブル（以下、「EQケーブル」という）には、電力・制御・計装の3種類の用途のケーブルがある。これらのうち、制御・計装ケーブルについては通電電流値が小さく、通電による温度上昇は極めて小さいと考えられる。          また、電力ケーブルについては、通電電流による温度上昇が想定されるが、事故時機能要求のある電力ケーブルは、電動弁の駆動モータ、加圧器後備ヒータ用があるが、運転期間の動作時間はごく僅かであり、通常運転期間中における劣化を考慮する際には影響は無視できると考えられる。          しかしながら、原子炉格納容器内の通路部の一部EQケーブルについては、ケーブルトレイ（以下、「トレイ」という）内に布設しているため、EQケーブル以外の周辺ケーブルの通電による温度影響を考慮する必要があると考える。なお、トレイは、制御用、計装用、電力用に分かれていることから、通電時の電流が大きい電力用トレイに関して、通電による温度上昇を考慮する。</p> <p>2. 温度上昇計算について          IEEEのサマーミーティングにてストーピー氏により発表された論文※によると、トレイの中に布設されている各ケーブルを一つの塊として捉えると、この中に含まれるケーブル導体、絶縁体、シースは同一の温度のものに晒されると考えられている。          上記の考え方に基づき、トレイの周囲温度と絶縁体の許容温度及びケーブルの布設形態（ケーブル占積率）から許容できる総発生熱量を求め、これから単位断面積当たりの許容熱発生強度を算出し、この値を基にサイズごとの許容電流を導き出し、実験による値と差がないことが確認されている。したがって、トレイの周囲温度とトレイの中の総発生熱量およびケーブルの布設形態から、トレイ中の最高温度（絶縁体の最高使用温度）を求めることが可能と考え、温度上昇値の計算を行った。          ※：J. Stolpe Southern Carifornia Edison Co. (1970). Ampacities for Cables in Randomly Filled Trays: IEEE 70 TP 557 - PWR</p> <p>3. 計算結果について          計算には、一般的なモデルトレイ形状、実機相当のケーブル布設本数を想定した上で、実機の通常運転時の負荷状況を想定して算出する。なお、ケーブルはランダムに布設されるものとして発熱量を算出するが、温度上昇計算には、その発熱量から余裕を加えた値を使用する。          以上を踏まえ、周辺温度を41℃、発熱量を□□[W/m]に余裕を加えた□□[W/m]として計算を行い、ケーブル表面温度は□□℃、絶縁体温度は□□℃となったことから、温度上昇値は約8℃となる。          なお寿命評価においては、さらに若干の余裕を見込み温度上昇値を12℃として計算を行っている。</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。

具体的には、(1)式より、周囲温度 $T_a$ と総発熱量 $W$ からケーブル総体の平均表面温度 $T_c$ を求め、そこから(2)式より、絶縁体温度 $T_m$ を求める。

$$W = hA_s(T_c - T_a) + \sigma A_s \varepsilon [(T_c + 273)^4 - (T_a + 273)^4] \quad \dots (1)$$


$W$  : 単位長さ当りのトレイの中での総発熱量 [watt/cm] ⇒ 


$h$  : トレイの総括対流伝熱係数 [watt/cm<sup>2</sup>・°C] ⇒ 

$T_c$  : ケーブル総体の平均表面温度 [°C] ⇒ 

$T_a$  : 周囲温度 [°C] ⇒ 41


$\sigma$  : ステファン・ボルツマン定数 [watt/cm<sup>2</sup>・K<sup>4</sup>] ⇒  $5.67 \times 10^{-12}$

$\varepsilon$  : ケーブル総体とトレイ表面の熱放射 (輻射率) ⇒ 

$A_s$  : トレイ単位長さ当たりのケーブル表面積 [cm<sup>2</sup>] ⇒ 

$$T_m = T_c + \Delta T_c \quad \dots (2)$$


$T_m$  : ケーブルの絶縁体の最高温度 [°C] ⇒ 


$\Delta T_c$  : ケーブル総体の中での温度降下 [°C] ⇒ 

なお、

$$\Delta T_c = W \rho d / 8w \quad \dots (3)$$

$\rho$  : ケーブル総体の中での熱抵抗 [°C・cm/watt] ⇒ 400

$d$  : ケーブル総体深さ [cm] ⇒ 

$w$  : ケーブル総体の幅 (トレイの幅) [cm] ⇒ 

計算には、一般的なモデルトレイ形状、実機相当のケーブル布設本数を想定し、実機の通常運転時の負荷電流が流れていると想定して算出する。



なお、発熱量の計算においては、ケーブルはランダムにトレイに布設されているものとして扱い、平均的な通電電流値を求めた上で、トレイ内の発熱量を計算する。そこから求めた発熱量  [W/m] に余裕を加えた  [W/m] を計算上のトレイ発熱量として設定している (表 1、2 参照)。

表 1. 格納容器内低圧電力トレイの発熱量





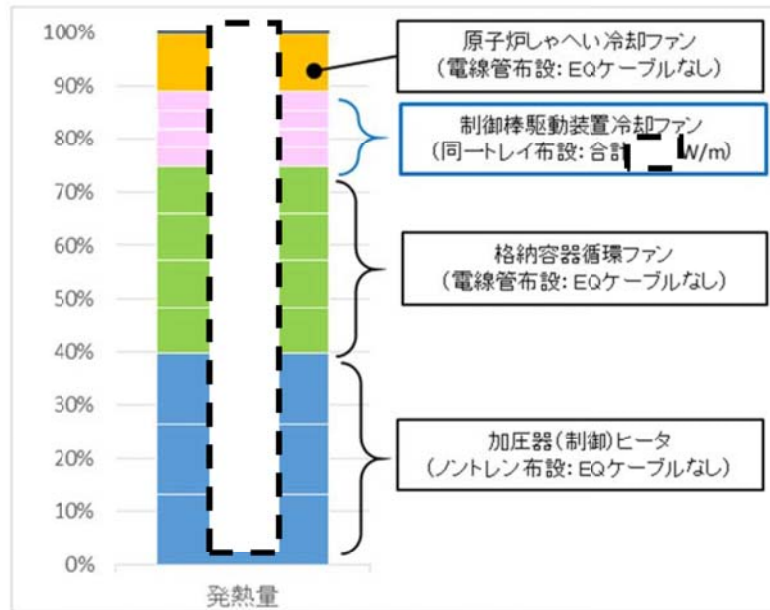
表2. 格納容器内低圧電力ケーブルの通電状態 (Aトレン)

負荷名称	通常時の負荷の運転状況				負荷電流 [A]※
	連続	切換	間欠	停止	
A加圧器ヒータ (後備)				○	-
A加圧器ヒータ (後備)				○	-
A加圧器ヒータ (後備)				○	-
加圧器ヒータ (制御)	○				175.0
加圧器ヒータ (制御)	○				175.0
加圧器ヒータ (制御)	○				175.0
A格納容器循環ファン	○				142.5
A格納容器循環ファン	○				142.5
C格納容器循環ファン	○				142.5
C格納容器循環ファン	○				142.5
格納容器内動力分電盤	○				16.4
格納容器内動力分電盤	○				16.4
格納容器ポーラクレーン				○	-
格納容器ポーラクレーン				○	-
格納容器内空調電源				○	-
格納容器内空調電源				○	-
A制御棒駆動装置冷却ファン	○				81.0
A制御棒駆動装置冷却ファン	○				81.0
C制御棒駆動装置冷却ファン	○				81.0
C制御棒駆動装置冷却ファン	○				81.0
A原子炉しゃへい冷却ファン	○				87.0
RCP OLPモータ 試験回路電源				○	-
CV小型クレーン				○	-
A RCP起動油ポンプ				○	-
C RCP起動油ポンプ				○	-
A格納容器内保修用ブースタファン				○	-
キャビティ排気ファン				○	-
A原子炉容器冷却材ドレンポンプ			○		-
炉内計装用駆動装置電源			○		-
A格納容器サンプポンプ			○		-
キャビティ送気ファン				○	-
A格納容器浄化ファン				○	-
A 余熱除去ポンプ入口弁 (A冷却材 ループ連絡第2弁)				○	-
A 余熱除去ポンプ入口弁 (A冷却材 ループ連絡第1弁)				○	-
A CRDM空調冷却水入口弁				○	-
A 格納容器循環空調冷却水入口弁				○	-
加圧器逃がし弁 (PCV-445) 入 口止弁				○	-
A 格納容器浄化ファン				○	-
B ループ高温側サンプル格納容器第 1 隔離弁				○	-
格納容器R-11/12入口隔離弁				○	-

※: プラント運転中に連続運転している機器の値を記載

#### 4. 発熱量計算の妥当性について

実際のケーブル布設状況の確認を行った結果、EQケーブルが布設されているトレイについては、下記グラフに示す通り、最大[ ] [W/m] (約5℃の温度上昇)の発熱量となることを確認した。この結果は、前ページで求めた発熱量[ ] [W/m] (約6℃の温度上昇)とほぼ同等であり、発熱量の計算結果は妥当であることを確認した。



図。CV内の発熱ケーブル

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。

美浜3号炉－耐震－6

<p>タイトル</p>	<p>工事計画認可申請の内容を踏まえ劣化状況評価の見直しがある場合の見直し前後の相違点について</p>													
<p>説明</p>	<p>工事計画認可申請の審査の内容を踏まえて、劣化状況評価における耐震安全性評価の見直しを行うものは、以下のとおり。</p> <p>1. CRDM中間耐震サポートの設計変更を反映した評価（制御棒挿入性等） 美浜3号機の新規制基準への適合に係る工事計画認可申請の審査において、CRDM中間耐震サポートの設計条件が変更になったことから評価条件を見直した再評価を行っており、経年劣化事象を考慮した耐震安全性評価においても、これに合わせた評価条件、手法として評価の見直しを行う。</p> <p>イ) 評価対象の機器・構造物と経年劣化事象の関係</p> <p>① 制御棒クラス案内管（案内板）の摩耗を考慮した制御棒挿入性評価 ② 制御棒クラス被覆管の摩耗を考慮した制御棒挿入性評価 ③ バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れを考慮した制御棒挿入性評価 ④ 原子炉容器（蓋用管台）の低サイクル疲労を考慮した影響評価</p> <p>※①、②については、案内板及び被覆管の摩耗を重量させた評価を実施</p> <p>ロ) 評価条件・手法（相違点比較） ①～③については以下の通り。</p> <table border="1" data-bbox="373 1193 1345 1928"> <thead> <tr> <th></th> <th>当初申請の評価条件 (H27.11申請)</th> <th>工認に合せた評価手法、条件反映 (H28.5補正)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>評価条件</td> <td>燃料集合体未照射条件 (照射影響の考慮無し) 旧Ss* ※取替前の炉内構造物での評価</td> <td>燃料集合体照射後条件 (照射影響の考慮有り) Ss-1(750gal)～Ss-24 ※取替後の炉内構造物での評価 CRDM中間耐震サポート追設を考慮 (タイロッド径：φ165mm)</td> </tr> <tr> <td>解析モデル</td> <td>RV-CI連成モデル FA減衰率：1%</td> <td>建屋-RCS-RV-CI連成モデル FA減衰率：10% (Ss-3)</td> </tr> <tr> <td>評価手法</td> <td>《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法</td> <td>《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法</td> </tr> </tbody> </table> <p>*耐震バックチェックで用いたSs（スペクトル波(750gal)＋断層波7波）のうち、最も厳しい断層波による評価。</p>			当初申請の評価条件 (H27.11申請)	工認に合せた評価手法、条件反映 (H28.5補正)	評価条件	燃料集合体未照射条件 (照射影響の考慮無し) 旧Ss* ※取替前の炉内構造物での評価	燃料集合体照射後条件 (照射影響の考慮有り) Ss-1(750gal)～Ss-24 ※取替後の炉内構造物での評価 CRDM中間耐震サポート追設を考慮 (タイロッド径：φ165mm)	解析モデル	RV-CI連成モデル FA減衰率：1%	建屋-RCS-RV-CI連成モデル FA減衰率：10% (Ss-3)	評価手法	《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法	《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法
	当初申請の評価条件 (H27.11申請)	工認に合せた評価手法、条件反映 (H28.5補正)												
評価条件	燃料集合体未照射条件 (照射影響の考慮無し) 旧Ss* ※取替前の炉内構造物での評価	燃料集合体照射後条件 (照射影響の考慮有り) Ss-1(750gal)～Ss-24 ※取替後の炉内構造物での評価 CRDM中間耐震サポート追設を考慮 (タイロッド径：φ165mm)												
解析モデル	RV-CI連成モデル FA減衰率：1%	建屋-RCS-RV-CI連成モデル FA減衰率：10% (Ss-3)												
評価手法	《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法	《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法												

④については以下の通り。

	反映前の評価 (H28.3補正)	工認に合せた評価手法、条件反映 (H28.5補正)
評価 条件	Ss-1(750gal)～Ss-24 CRDM中間耐震サポート追設を考慮 (タイロッド径：φ120mm)	Ss-1(750gal)～Ss-24 CRDM中間耐震サポート追設を考慮 (タイロッド径：φ165mm)

ハ) 評価結果

①～③については以下の通り。

		挿入時間*1		規定時間*2
		当初申請 (H27.11申請)	工認反映 (H28.5補正申請)	
評価 条件	評価地震動	旧Ssによる評価	Ss-1～Ss-24 (Ss-3による結果)	1.8秒
	照射条件	未照射後条件	照射後条件	
地震時挿入時間		1.65	1.42	
制御棒クラスタ案内 管(案内板)及び被 覆管の摩耗を考慮し た地震時挿入時間		1.68	1.44	
バップルフォーマボ ルトの照射誘起型応 力腐食割れを考慮し た地震時挿入時間		1.66	1.44	

\*1：各時間は落下開始から制御棒が全ストロークの85%に至るまでの時間

\*2：工事計画認可申請書 資料1-3 耐震性に関する説明書に記載の値

④については以下の通り。

原子炉容器(蓋用管台) の評価結果	疲労累積係数 (許容値1以下)		
	通常運転時	地震時	合計
反映前の評価 (H28.3補正) 【全波包絡荷重】	0.113	0.000	0.113
工認に合せた評価手法、条件反映 (H28.5補正) 【全波包絡荷重】	0.113	0.000	0.113

2. 工事計画を踏まえ、影響評価を行うもの

工事計画において、従来の設計手法における水平1方向及び鉛直方向地震力を組合せた耐震計算に対して、設備の構造特性等により水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のある部位を抽出し、影響評価を行った結果、耐震性に影響がなく従来の設計手法で対応可能であることが確認されているが、劣化状況評価の耐震安全性評価においても、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を確認した。

イ) 評価対象の機器・構造物と経年劣化事象の関係

No.	評価対象機器 (部位)	経年劣化事象
①	1次冷却材ポンプ (ケーシング脚部、支持脚)	低サイクル疲労
②	蒸気発生器 (給水入口管台)	低サイクル疲労
③	原子炉容器 (冷却材出口管台)	低サイクル疲労
④	1次冷却材管 (ホットレグ)	低サイクル疲労
⑤	炉心支持構造物 (下部炉心支持柱)	低サイクル疲労
⑥	燃料取替用水タンク (基礎ボルト)	腐食 (大気接触部)

ロ) 評価条件・手法

劣化状況評価対象設備のうち、工事計画において設備の構造特性等から水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性があり、水平2方向+鉛直方向地震力の影響評価が行われた部位であって、耐震評価に影響する劣化事象が想定される部位について、影響評価を行った。

ハ) 評価結果

- ① 1次冷却材ポンプ (ケーシング脚部、吐出ノズル) の低サイクル疲労を考慮した影響評価

ケーシング脚部の評価結果	疲労累積係数 (許容値1以下)		
	通常運転時	地震時	合計
水平1方向+鉛直方向地震動を考慮した評価結果 【全波包絡荷重】	0.176	0.001	0.177
水平2方向+鉛直方向地震動を考慮した影響評価結果 【全波包絡荷重】	0.176	0.001	0.177

吐出ノズルの評価結果	疲労累積係数 (許容値1以下)		
	通常運転時	地震時	合計
水平1方向+鉛直方向地震動を考慮した評価結果 【全波包絡荷重】	0.243	0.000	0.243
水平2方向+鉛直方向地震動を考慮した影響評価結果 【全波包絡荷重】	0.243	0.001	0.244

② 蒸気発生器（給水入口管台）の低サイクル疲労を考慮した影響評価

	疲労累積係数（許容値 1 以下）		
	通常運転時	地震時	合計
水平 1 方向＋鉛直方向地震動 を考慮した評価結果 【全波包絡荷重】	0.317	0.179	0.496
水平 2 方向＋鉛直方向地震動 を考慮した影響評価結果 【全波包絡荷重】	0.317	0.646	0.963

③ 原子炉容器（冷却材出口管台）の低サイクル疲労を考慮した影響評価

	疲労累積係数（許容値 1 以下）		
	通常運転時	地震時	合計
水平 1 方向＋鉛直方向地震動 を考慮した評価結果 【全波包絡荷重】	0.047	0.001	0.048
水平 2 方向＋鉛直方向地震動 を考慮した影響評価結果 【全波包絡荷重】	0.047	0.003	0.050

④ 1 次冷却材管（ホットレグ）の低サイクル疲労を考慮した影響評価

	疲労累積係数（許容値 1 以下）		
	通常運転時	地震時	合計
水平 1 方向＋鉛直方向地震動 を考慮した評価結果 【全波包絡荷重】	0.001	0.006	0.007
水平 2 方向＋鉛直方向地震動 を考慮した影響評価結果 【全波包絡荷重】	0.001	0.089	0.090

⑤ 炉内構造物（下部炉心支持柱）の低サイクル疲労を考慮した影響評価

	疲労累積係数（許容値 1 以下）		
	通常運転時	地震時	合計
水平 1 方向＋鉛直方向地震動 を考慮した評価結果 【全波包絡荷重】	0.001	0.001	0.002
水平 2 方向＋鉛直方向地震動 を考慮した影響評価結果 【全波包絡荷重】	0.001	0.001	0.002

⑥-1 燃料取替用水タンク（基礎ボルト）の腐食を考慮した影響評価  
【引張荷重】

	発生応力	許容応力	応力比
水平1方向+鉛直方向地震動 を考慮した評価結果 【全波包絡FRS】			0.65
水平2方向+鉛直方向地震動 を考慮した影響評価結果 【全波包絡FRS】			0.81

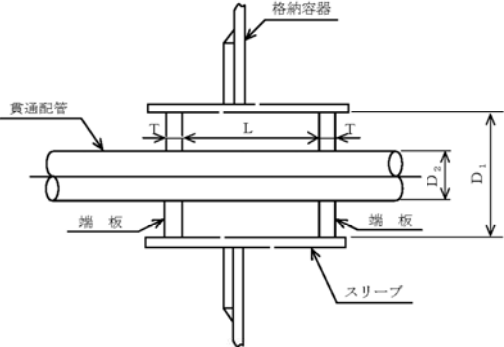
⑥-2 燃料取替用水タンク（基礎ボルト）の腐食を考慮した影響評価  
【せん断荷重】

	発生応力	許容応力	応力比
水平1方向+鉛直方向地震動 を考慮した評価結果 【全波包絡FRS】			0.36
水平2方向+鉛直方向地震動 を考慮した影響評価結果 【全波包絡FRS】			0.51

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。

美浜3号炉－耐震－1 1 rev2

<p>タイトル</p>	<p>抽出ライン系統配管の固定式継手（端板）の疲労割れ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）について。</p>																																																																		
<p>説明</p>	<p>1. 記号の説明 固定式継手（2枚端板）の疲労評価に用いる記号について、表1に示す。</p> <p>表1 固定式継手（2枚端板）の疲労評価に用いる記号</p> <table border="1" data-bbox="440 734 1342 1509"> <thead> <tr> <th>記号</th> <th>単位</th> <th>定義</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SR3S</td> <td>MPa</td> <td>地震時の管軸方向反力による二次応力</td> </tr> <tr> <td>SR4S</td> <td>MPa</td> <td>地震時の管軸直角方向反力による一次一般膜応力</td> </tr> <tr> <td>SR5S</td> <td>MPa</td> <td>地震時の曲げモーメント配管荷重（偶力）による一次一般膜応力</td> </tr> <tr> <td>STS</td> <td>MPa</td> <td>一次+二次応力強さ</td> </tr> <tr> <td>T</td> <td>mm</td> <td>端板の厚さ</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>mm</td> <td>端板外半径（<math>A = D_1/2</math>）</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>mm</td> <td>端板穴半径（<math>B = D_2/2</math>）</td> </tr> <tr> <td>FXS</td> <td>N</td> <td>地震時の設計外力によるX方向反力</td> </tr> <tr> <td>FYS</td> <td>N</td> <td>地震時の設計外力によるY方向反力</td> </tr> <tr> <td>FZS</td> <td>N</td> <td>地震時の設計外力によるZ方向反力</td> </tr> <tr> <td>FOS</td> <td>N</td> <td>地震時の設計外力による鉛直方向反力 (<math>FOS = \sqrt{FYS^2 + FZS^2}</math>)</td> </tr> <tr> <td>MOS</td> <td>N・m</td> <td>地震時の設計外力による曲げモーメント (<math>MOS = \sqrt{MYS^2 + MZS^2}</math>)</td> </tr> <tr> <td>MXS</td> <td>N・m</td> <td>地震時の設計外力によるX軸回りのねじりモーメント</td> </tr> <tr> <td>MYS</td> <td>N・m</td> <td>地震時の設計外力によるY軸回りの曲げモーメント</td> </tr> <tr> <td>MZS</td> <td>N・m</td> <td>地震時の設計外力によるZ軸回りの曲げモーメント</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>mm</td> <td>端板間の長さ</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>MPa</td> <td>最高使用温度における日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」(JSME S NC1-2005/2007、以下「設計・建設規格」という)付録材料図表Part6表1に規定する材料の縦弾性係数</td> </tr> <tr> <td>PSS</td> <td>MPa</td> <td>地震時のピーク応力強さ</td> </tr> <tr> <td>KC</td> <td>—</td> <td>応力集中係数</td> </tr> <tr> <td>E'</td> <td>MPa</td> <td>設計・建設規格 添付4-2 設計疲労線図の備考に規定する縦弾性係数</td> </tr> <tr> <td>UF</td> <td>—</td> <td>疲労累積係数</td> </tr> </tbody> </table> <p>固定式継手（2枚端板）の基本寸法箇所を図1に示す。</p>  <p>図1 固定式継手（2枚端板）の基本寸法箇所</p>	記号	単位	定義	SR3S	MPa	地震時の管軸方向反力による二次応力	SR4S	MPa	地震時の管軸直角方向反力による一次一般膜応力	SR5S	MPa	地震時の曲げモーメント配管荷重（偶力）による一次一般膜応力	STS	MPa	一次+二次応力強さ	T	mm	端板の厚さ	A	mm	端板外半径（ $A = D_1/2$ ）	B	mm	端板穴半径（ $B = D_2/2$ ）	FXS	N	地震時の設計外力によるX方向反力	FYS	N	地震時の設計外力によるY方向反力	FZS	N	地震時の設計外力によるZ方向反力	FOS	N	地震時の設計外力による鉛直方向反力 ( $FOS = \sqrt{FYS^2 + FZS^2}$ )	MOS	N・m	地震時の設計外力による曲げモーメント ( $MOS = \sqrt{MYS^2 + MZS^2}$ )	MXS	N・m	地震時の設計外力によるX軸回りのねじりモーメント	MYS	N・m	地震時の設計外力によるY軸回りの曲げモーメント	MZS	N・m	地震時の設計外力によるZ軸回りの曲げモーメント	L	mm	端板間の長さ	E	MPa	最高使用温度における日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」(JSME S NC1-2005/2007、以下「設計・建設規格」という)付録材料図表Part6表1に規定する材料の縦弾性係数	PSS	MPa	地震時のピーク応力強さ	KC	—	応力集中係数	E'	MPa	設計・建設規格 添付4-2 設計疲労線図の備考に規定する縦弾性係数	UF	—	疲労累積係数
記号	単位	定義																																																																	
SR3S	MPa	地震時の管軸方向反力による二次応力																																																																	
SR4S	MPa	地震時の管軸直角方向反力による一次一般膜応力																																																																	
SR5S	MPa	地震時の曲げモーメント配管荷重（偶力）による一次一般膜応力																																																																	
STS	MPa	一次+二次応力強さ																																																																	
T	mm	端板の厚さ																																																																	
A	mm	端板外半径（ $A = D_1/2$ ）																																																																	
B	mm	端板穴半径（ $B = D_2/2$ ）																																																																	
FXS	N	地震時の設計外力によるX方向反力																																																																	
FYS	N	地震時の設計外力によるY方向反力																																																																	
FZS	N	地震時の設計外力によるZ方向反力																																																																	
FOS	N	地震時の設計外力による鉛直方向反力 ( $FOS = \sqrt{FYS^2 + FZS^2}$ )																																																																	
MOS	N・m	地震時の設計外力による曲げモーメント ( $MOS = \sqrt{MYS^2 + MZS^2}$ )																																																																	
MXS	N・m	地震時の設計外力によるX軸回りのねじりモーメント																																																																	
MYS	N・m	地震時の設計外力によるY軸回りの曲げモーメント																																																																	
MZS	N・m	地震時の設計外力によるZ軸回りの曲げモーメント																																																																	
L	mm	端板間の長さ																																																																	
E	MPa	最高使用温度における日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」(JSME S NC1-2005/2007、以下「設計・建設規格」という)付録材料図表Part6表1に規定する材料の縦弾性係数																																																																	
PSS	MPa	地震時のピーク応力強さ																																																																	
KC	—	応力集中係数																																																																	
E'	MPa	設計・建設規格 添付4-2 設計疲労線図の備考に規定する縦弾性係数																																																																	
UF	—	疲労累積係数																																																																	



## 2. 評価部位

化学体積制御系統配管のうち抽出ライン系統配管の固定式継手評価部位 (PEN#286) は、図2に示す格納容器貫通配管に設置された固定式継手 (2枚端板) のうち、C/VバウンダリーであるC/V内側端板の配管溶接部 (全溶け込み溶接) とする。

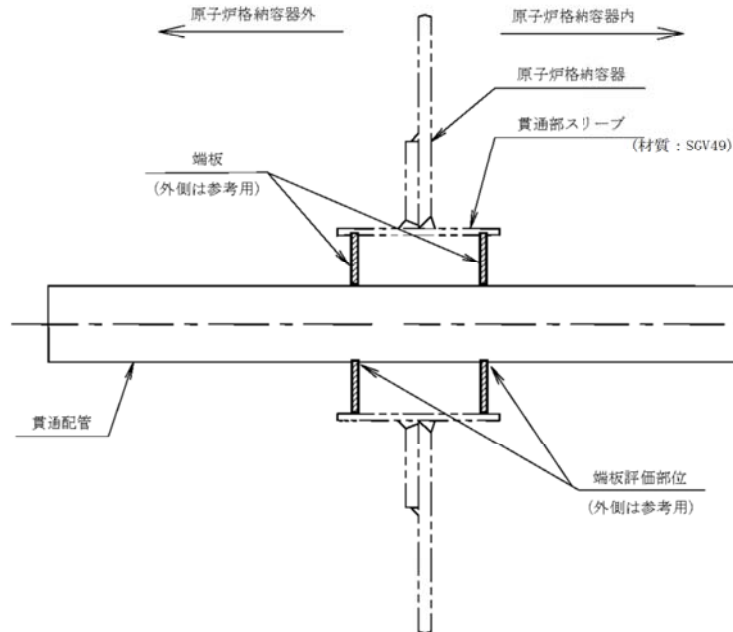


図2 固定式継手 (2枚端板) の評価部位

## 3. 評価内容

### (1) 格納容器貫通部の仕様

格納容器貫通部の仕様について表2に示す。

表2 格納容器貫通部の仕様

ペネ番号			PEN#286 (CVCS抽出配管)
諸 元 板	格納容器最高使用温度	℃	
	配管最高使用温度	℃	
	材 質	—	
	端板外径	mm	
	端板内径	mm	
	板 厚	mm	
	2枚端板間の距離	mm	
	設計疲れ線図の 縦弾性係数	$\times 10^5 \text{N/mm}^2$	
	材料の使用温度に おける縦弾性係数	$\times 10^5 \text{N/mm}^2$	
	配 管	材 質	
外 径		mm	
板 厚		mm	
応力集中係数 (注3)		—	

(注1) 物性値の算出はクラス2過渡における最高温度に基づき算出した。

(注2) 「SUS27」は、「SUS304」として評価を実施する。

(注3) JSME S NCI-2005/2007 PVB-3130より引用

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) 格納容器貫通部の評価用荷重

Ss, Sd地震時の格納容器貫通部の評価用荷重について表3に示す。

表3 格納容器貫通部の評価用荷重 (Ss, Sd地震時)

ペネ番号	地震力	評価部位	端板に作用する荷重 (注1、2、3、4、5)					
			軸力 [ N ]			モーメント [ N・m ]		
			Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
PEN#286 (CVCS抽出配管)	Ss	CV内側 端板	-	-	-	-	-	-
		CV外側 端板						
	Sd	CV内側 端板						
		CV外側 端板						

(注1) 座標系は、配管軸方向を+X、鉛直上向きを+Zとする右手直交座標系とする。

(注2) 1次+2次の片振幅の値。

(注3) 軸力はCV内側/外側端板にそれぞれ個別に作用することから、評価に必要なCV内側端板のみを記載。

(注4) 曲げモーメントは、CV外側端板からのモーメントも影響することから、内側/外側の両側からのモーメントを方向ごとに単純和した後、Y方向とZ方向をSRSSした値を評価に用いている。

(注5) 全波包絡FRSにより算出した荷重を評価に用いている。

(3) 疲れ累積係数 (UF) の算出

地震時の格納容器貫通部の評価用荷重から発生応力を算出し許容繰返し回数を求め、評価繰返し回数と許容繰返し回数の比 (疲れ累積係数) を算出する (日本機械学会 設計・建設規格 「PVE-3100」 参照)。

i. 固定式継手 (2枚端板) の応力

(a) 管軸方向反力による応力 (二次応力)

$$SR3S = \frac{3 \cdot F X S}{2 \cdot \pi \cdot T^2} \left| 1 - \frac{2 \cdot A^2}{A^2 - B^2} \ln \frac{A}{B} \right|$$

(b) 管軸直角方向反力による応力 (一次一般膜応力)

$$SR4S = \frac{F O S}{4 \cdot B \cdot T}$$

(c) 曲げモーメントによる応力 (一次一般膜応力)

$$SR5S = \frac{M O S}{4 \cdot B \cdot (L + T) \cdot T} \times 1,000$$

(d) 一次+二次応力強さ

$$STS = 2 \times (SR3S + SR4S + SR5S)$$

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

- ii. 固定式継手（2枚端板）の繰返しピーク応力強さと許容繰返し回数  
(a) ピーク応力強さ

ピーク応力強さ = 応力集中係数 × (一次 + 二次応力強さ)

$$PSS = KC \times STS$$

- (b) 繰返しピーク応力強さ

$$\text{繰返しピーク応力強さ} = \frac{1}{2} \times \text{ピーク応力強さ}$$

- (c) 許容繰返し回数

許容繰返し回数は、設計・建設規格 添付 4-2設計疲労線図より繰返しピーク応力強さを用いて求める。

なお、許容繰返し回数の算出に使用する繰返しピーク応力強さは、(b)項で求めた繰返しピーク応力強さに  $\frac{E'}{E}$  を乗じた値とする。

- (d) 疲労累積係数

$$UF = \frac{\text{評価繰返し回数}}{\text{許容繰返し回数}}$$

4. 評価結果

(1) 地震によるUF評価結果

Ss, Sd地震によるUF評価結果を、表4に示す。

表4 Ss, Sd地震によるUF評価結果

ペネ番号	地震力	評価部位	(注1) (注2)	許容 繰返し 回数	評価 繰返し 回数	UF
			繰返し ピーク応力 強さ [ MPa ]			
PEN#286 (CVCS抽出配管)	Ss	CV内側 端板	-	-	200	0.003
	Sd	CV内側 端板			300	0.001

(注1) 繰返しピーク応力強さが、ステンレス鋼の許容繰返し回数 $10^{11}$ 回における繰返しピーク応力強さ (94MPa) を下回る場合は、UF=0.000とする。

(注2) 温度補正後の値を示す。

(2) 通常運転時UFとの組合せによる評価結果

通常運転時のUFを加えた結果を表5に示す。

表5 Ss, Sd地震時の通常運転時UFとの組合せによる評価結果

ペネ番号	地震力	評価部位	通常 運転時	地震時	合計	許容値	評価
PEN#286 (CVCS抽出配管)	Ss	CV内側 端板	0.524	0.003	0.527	1.0	○
	Sd	CV内側 端板	0.524	0.001	0.525	1.0	○

以上より、抽出ライン系統配管の固定式継手（2枚端板）の疲労割れに対する耐震安全性に問題はない。

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

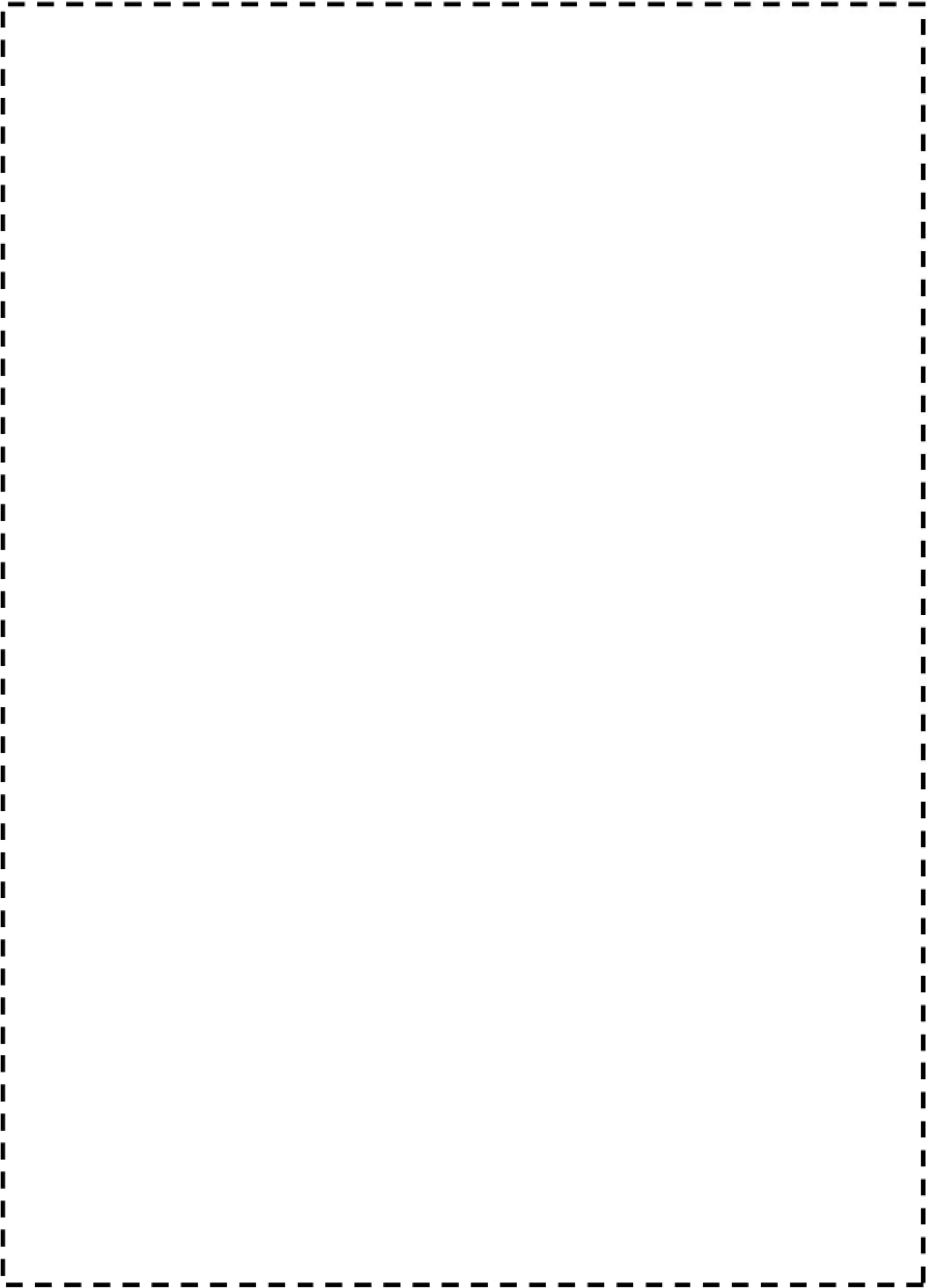


図1 美浜3号機 解析対象範囲

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

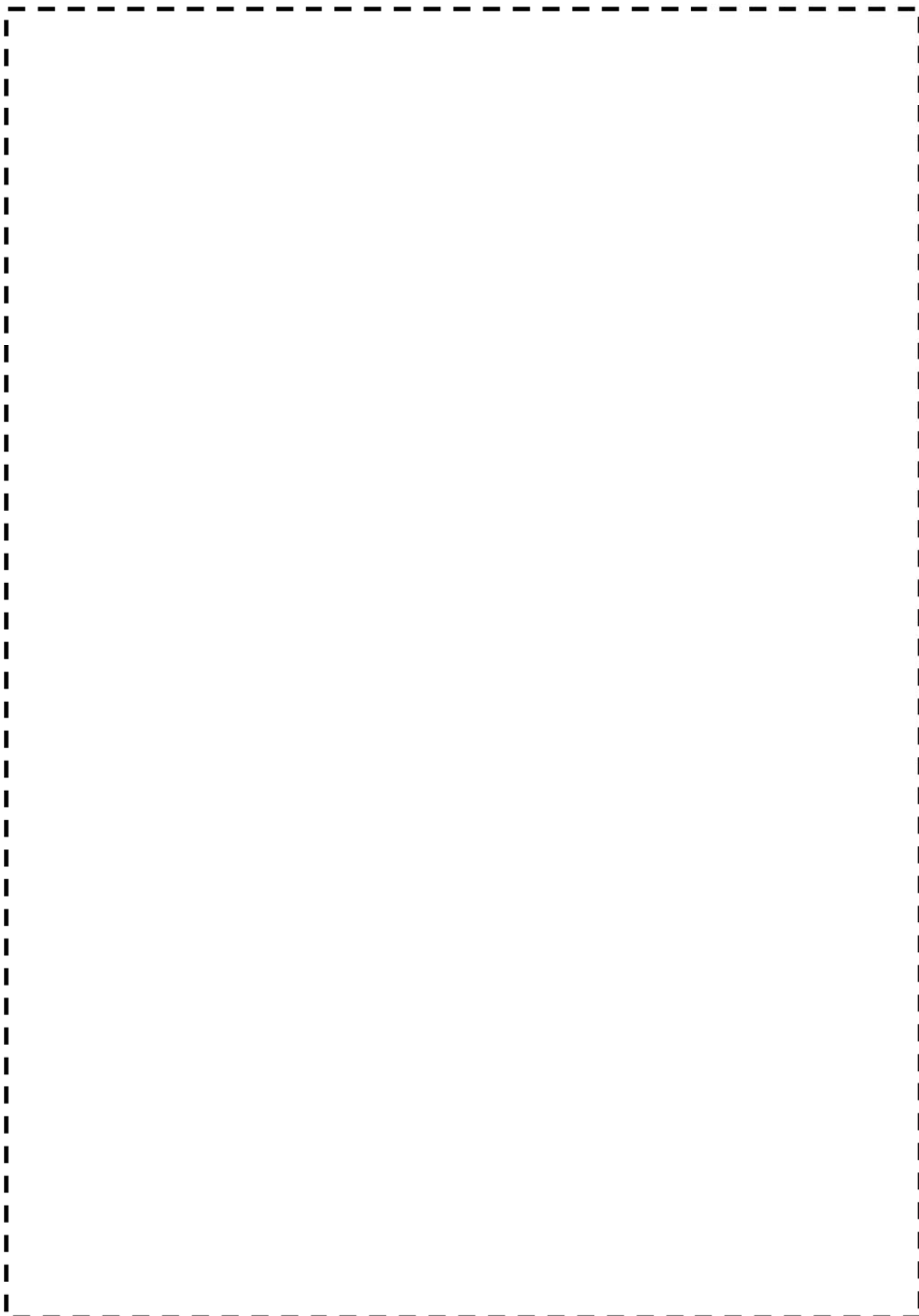


図2 美浜3号機 抽出配管 (CV内)

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

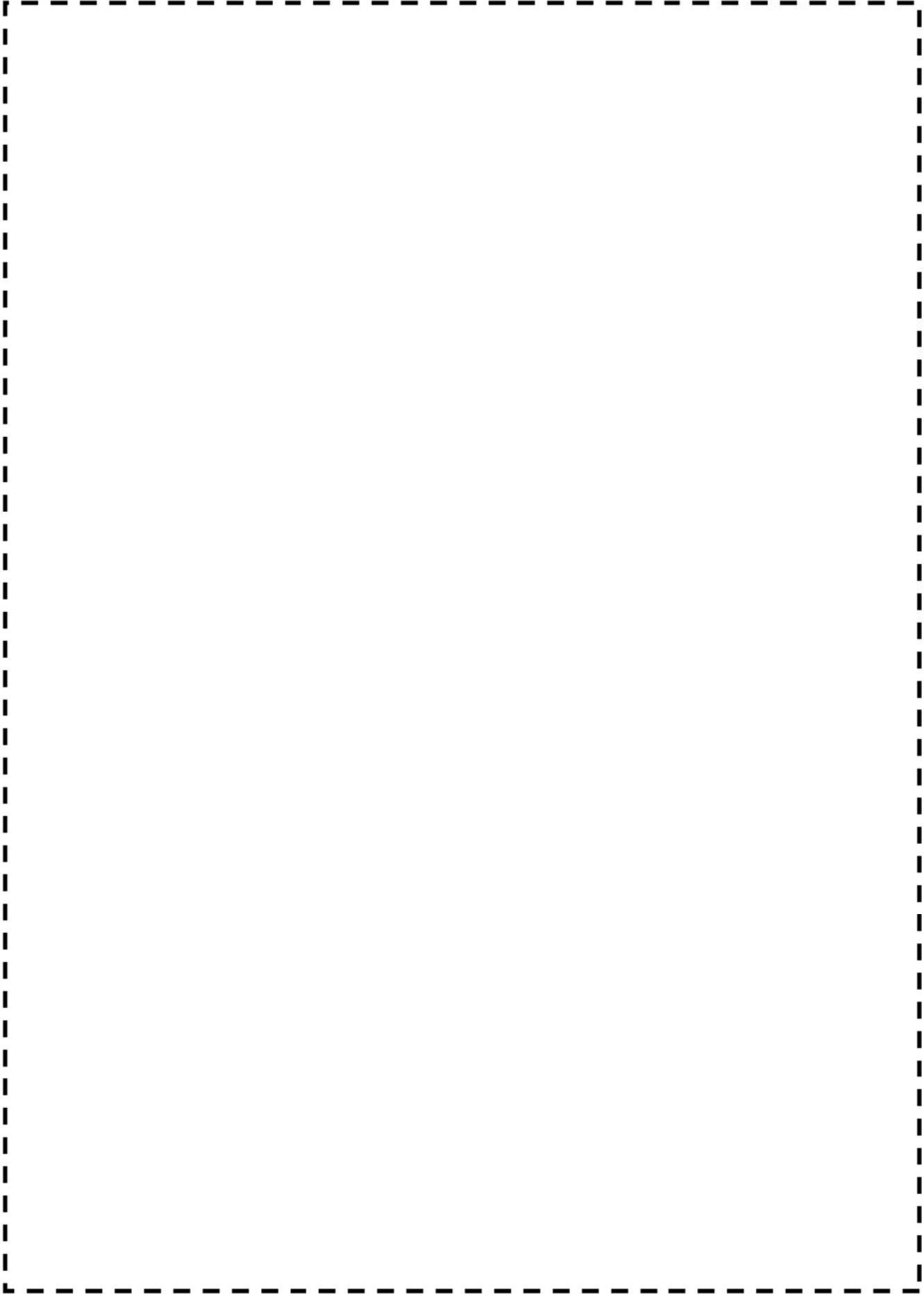
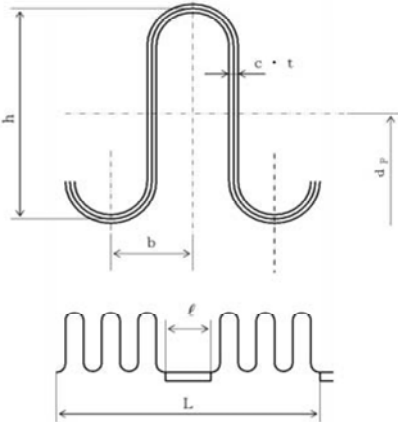


図2 美浜3号機 抽出配管 (CV外)

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

美浜3号炉—耐震—1 2 rev1

<p>タイトル</p>	<p>主蒸気系統伸縮継手及び主給水系統伸縮継手の疲労割れ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）について。</p>																																																																								
<p>回答</p>	<p>1. 記号の説明 伸縮継手の疲労評価に用いる記号について、表1に示す。</p> <p style="text-align: center;">表1 伸縮継手の疲労評価に用いる記号</p> <table border="1" data-bbox="406 571 1311 1317"> <thead> <tr> <th>記号</th> <th>単位</th> <th>定義</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>b</td> <td>mm</td> <td>継手部の波のピッチの2分の1</td> </tr> <tr> <td>c</td> <td>—</td> <td>継手部の層数</td> </tr> <tr> <td>d<sub>P</sub></td> <td>mm</td> <td>継手部の有効径（平均径）</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>MPa</td> <td>最高使用温度におけるJISME S NC1-2005/2007付録図表Part6表1に規定する材料の縦弾性係数</td> </tr> <tr> <td>e</td> <td>mm</td> <td>継手部の1山当たりの総変位量</td> </tr> <tr> <td>e<sub>x</sub></td> <td>mm</td> <td>軸方向変位による継手部の1山当たりの変位量</td> </tr> <tr> <td>e<sub>y</sub></td> <td>mm</td> <td>軸直角方向変位による継手部の1山当たりの変位量</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>mm</td> <td>継手部の波の高さ</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>mm</td> <td>継手部の有効長さ</td> </tr> <tr> <td>ℓ</td> <td>mm</td> <td>中間の管の長さ</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>—</td> <td>許容繰返し回数</td> </tr> <tr> <td>n</td> <td>—</td> <td>継手部の全山数</td> </tr> <tr> <td>P</td> <td>MPa</td> <td>最高使用圧力</td> </tr> <tr> <td>t</td> <td>mm</td> <td>継手部の板の厚さ</td> </tr> <tr> <td>U</td> <td>—</td> <td>疲れ係数</td> </tr> <tr> <td>UF</td> <td>—</td> <td>疲れ累積係数</td> </tr> <tr> <td>W<sub>N</sub></td> <td>—</td> <td>1個の継手部の山数</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>mm</td> <td>軸方向変位量（表3におけるXの2倍（両振幅））</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>mm</td> <td>軸直角方向変位量（表3におけるδy=√(y'<sup>2</sup>+z'<sup>2</sup>)の2倍（両振幅））</td> </tr> <tr> <td>δ</td> <td>mm</td> <td>全伸縮量</td> </tr> <tr> <td>σ</td> <td>MPa</td> <td>合計応力</td> </tr> <tr> <td>σ<sub>D</sub></td> <td>MPa</td> <td>全伸縮量による応力</td> </tr> <tr> <td>σ<sub>P</sub></td> <td>MPa</td> <td>最高使用圧力による応力</td> </tr> </tbody> </table> <p>伸縮継手の基本寸法箇所を図1に示す。</p>  <p style="text-align: center;">(複式(中間の管を含む))</p> <p style="text-align: center;">図1 伸縮継手の基本寸法箇所</p>	記号	単位	定義	b	mm	継手部の波のピッチの2分の1	c	—	継手部の層数	d <sub>P</sub>	mm	継手部の有効径（平均径）	E	MPa	最高使用温度におけるJISME S NC1-2005/2007付録図表Part6表1に規定する材料の縦弾性係数	e	mm	継手部の1山当たりの総変位量	e <sub>x</sub>	mm	軸方向変位による継手部の1山当たりの変位量	e <sub>y</sub>	mm	軸直角方向変位による継手部の1山当たりの変位量	h	mm	継手部の波の高さ	L	mm	継手部の有効長さ	ℓ	mm	中間の管の長さ	N	—	許容繰返し回数	n	—	継手部の全山数	P	MPa	最高使用圧力	t	mm	継手部の板の厚さ	U	—	疲れ係数	UF	—	疲れ累積係数	W <sub>N</sub>	—	1個の継手部の山数	X	mm	軸方向変位量（表3におけるXの2倍（両振幅））	Y	mm	軸直角方向変位量（表3におけるδy=√(y' <sup>2</sup> +z' <sup>2</sup> )の2倍（両振幅））	δ	mm	全伸縮量	σ	MPa	合計応力	σ <sub>D</sub>	MPa	全伸縮量による応力	σ <sub>P</sub>	MPa	最高使用圧力による応力
記号	単位	定義																																																																							
b	mm	継手部の波のピッチの2分の1																																																																							
c	—	継手部の層数																																																																							
d <sub>P</sub>	mm	継手部の有効径（平均径）																																																																							
E	MPa	最高使用温度におけるJISME S NC1-2005/2007付録図表Part6表1に規定する材料の縦弾性係数																																																																							
e	mm	継手部の1山当たりの総変位量																																																																							
e <sub>x</sub>	mm	軸方向変位による継手部の1山当たりの変位量																																																																							
e <sub>y</sub>	mm	軸直角方向変位による継手部の1山当たりの変位量																																																																							
h	mm	継手部の波の高さ																																																																							
L	mm	継手部の有効長さ																																																																							
ℓ	mm	中間の管の長さ																																																																							
N	—	許容繰返し回数																																																																							
n	—	継手部の全山数																																																																							
P	MPa	最高使用圧力																																																																							
t	mm	継手部の板の厚さ																																																																							
U	—	疲れ係数																																																																							
UF	—	疲れ累積係数																																																																							
W <sub>N</sub>	—	1個の継手部の山数																																																																							
X	mm	軸方向変位量（表3におけるXの2倍（両振幅））																																																																							
Y	mm	軸直角方向変位量（表3におけるδy=√(y' <sup>2</sup> +z' <sup>2</sup> )の2倍（両振幅））																																																																							
δ	mm	全伸縮量																																																																							
σ	MPa	合計応力																																																																							
σ <sub>D</sub>	MPa	全伸縮量による応力																																																																							
σ <sub>P</sub>	MPa	最高使用圧力による応力																																																																							



## 2. 評価部位

評価する伸縮継手は、技術評価で厳しい系統とし、主蒸気配管はCループ（改造なし）、主給水配管はCループ（改造なし）とする。図2にC-主蒸気配管、C-主給水配管の伸縮継手の模式図を示す。

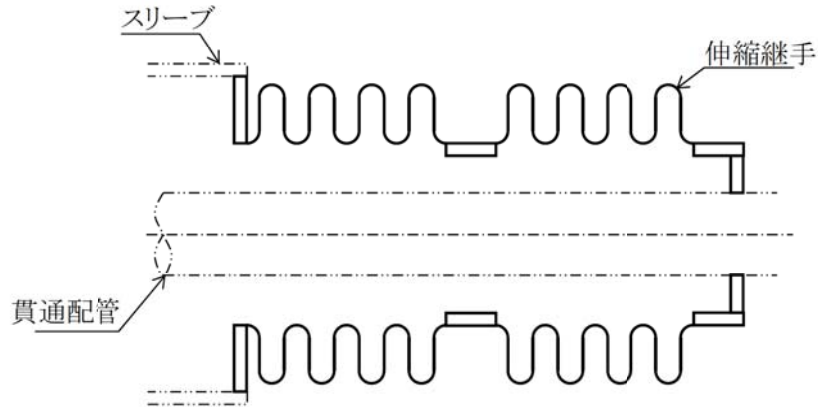


図2 C-主蒸気配管(改造なし)、C-主給水配管(改造なし)

評価部位は、図3に示す伸縮継手の頂部とする。

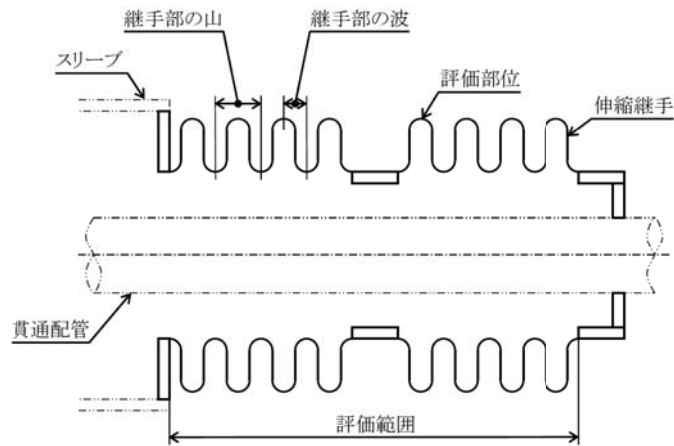


図3 伸縮継手の評価部位

## 3. 評価内容

### (1) 格納容器貫通部の仕様

各格納容器貫通部の仕様について表2に示す。

表2 格納容器貫通部の仕様

配管	原子炉格納 容器最高 使用圧力 (MPa)	最高使 用温度 (°C)	伸縮継手 有効径 (mm)	継手部の 波の高さ (mm)	継手部の 波のピッチの 2分の1 (mm)	継手部の 板の厚さ (mm)	伸縮継手 1個の 山数	継手 部の 層数	材料	ヤング率 (MPa)	型式伸縮継手の長さ (mm)		
											中心間 距離 A	中間の管 の長さ E	伸縮継手 の長さ L
主蒸気配管 格納容器 貫通部	0.261	291							SUS304	176000			
主給水配管 格納容器 貫通部	0.261	230							SUS304	180000			

(2) 地震時の伸縮継手の変位

Ss地震時及びSd地震時の伸縮継手の変位について表3に示す。なお、変位は全波包絡変位により算出する。

表3-1 伸縮継手の変位 (Ss地震時)

ライン名称	地震合計変位 (mm)			
	X	Y	Z	$\delta y = \sqrt{Y^2 + Z^2}$
主蒸気配管格納容器 貫通部	20.0	14.7	2.7	15.0
主給水配管格納容器 貫通部	26.3	13.3	3.4	13.8

表3-2 伸縮継手の変位 (Sd地震時)

ライン名称	地震合計変位 (mm)			
	X	Y	Z	$\delta y = \sqrt{Y^2 + Z^2}$
主蒸気配管格納容器 貫通部	11.9	7.2	1.5	7.4
主給水配管格納容器 貫通部	13.9	7.3	1.8	7.6

注：表3に示す座標系は、格納容器半径方向をx方向、鉛直方向をz方向とする右手直行座標系であり、表1に示すX、Yとは異なるものである。

(3) 疲れ累積係数 (UF) の算出

地震時の伸縮継手の変位から発生応力を算出し許容繰返し回数を求め、評価繰返し回数と許容繰返し回数の比 (疲れ累積係数) を算出する (日本機械学会 設計・建設規格 「PVE-3800 伸縮継手」 参照)。

a. 伸縮継手の変位

(a) 軸方向変位による継手部の1山当たりの変位量

$$e_x = \frac{X}{2W_N}$$

(b) 軸直角方向変位による継手部の1山当たりの変位量

$$e_y = \frac{3 d_p Y}{2W_N \left\{ L + \ell \left( \frac{\ell}{L} + 1 \right) \right\}}$$

(c) 継手部の1山当たりの総変位量

$$e = e_x + e_y$$

(d) 伸縮継手の全伸縮量

$$\delta = e W_N$$

b. 伸縮継手の応力と許容繰返し回数

(a) 伸縮継手の応力

全伸縮量による応力

$$\sigma_D = \frac{1.5 E t \delta}{n \sqrt{b h^3}}$$

注：ヤング率Eについては、表2における高温時の値ではなく、常温（21℃）におけるヤング率195,000(MPa)を用いる。

最高使用圧力による応力

$$\sigma_P = \frac{P h^2}{2 t^2 c}$$

発生応力

$$\sigma = \sigma_D + \sigma_P$$

(b) 許容繰返し回数

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

(c) 疲れ累積係数

$$U F = \Sigma \frac{\text{評価繰返し回数}}{\text{許容繰返し回数}}$$

4. 評価結果

(1) 地震によるUF評価結果

Ss地震によるUF評価結果を、表4に示す。

表4 Ss地震によるUF評価結果

格納容器貫通部	発生応力 [MPa]	許容繰返し 回数	評価繰返し 回数	UF
主蒸気ライン貫通部	2081	343	200	0.584
主給水ライン貫通部	1585	890	200	0.225

Sd地震によるUF評価結果を、表5に示す。

表5 Sd地震によるUF評価結果

格納容器貫通部	発生応力 [MPa]	許容繰返し 回数	評価繰返し 回数	UF
主蒸気ライン貫通部	1113	3069	300	0.098
主給水ライン貫通部	908	6272	300	0.048

(2) 通常運転時U F との組合せによる評価結果  
通常運転時のU F を加えた結果を表 6 及び表 7 に示す。

表 6 Ss地震時の通常運転時U F との組合せによる評価結果

格納容器貫通部	通常運転時	Ss地震時	合計
主蒸気ライン貫通部	0.005	0.584	0.589
主給水ライン貫通部	0.010	0.225	0.235

表 7 Sd地震時の通常運転時U F との組合せによる評価結果

格納容器貫通部	通常運転時	Sd地震時	合計
主蒸気ライン貫通部	0.005	0.098	0.103
主給水ライン貫通部	0.010	0.048	0.058

以上より、主蒸気系統伸縮継手及び主給水系統伸縮継手の疲労割れに対する耐震安全性に問題はない。

以上

美浜3号炉－耐震－1 7 rev2





<p>タイトル</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）について。</p>
<p>説明</p>	<p>1. 動的機能維持評価の対象弁・経年劣化事象の選定 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 data-bbox="469 779 1321 1429" style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center;">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</p> <pre> graph TD     Start[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] --&gt; D1{振動応答特性に影響する経年劣化事象か？}     D1 -- No ①※1 --&gt; End[評価対象外]     D1 -- Yes ②※2 --&gt; D2{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？}     D2 -- No --&gt; End     D2 -- Yes --&gt; Box1[主蒸気系統 主給水系統]     Box1 --&gt; Box2[評価対象弁の抽出]     Box2 --&gt; Box3[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> <p style="font-size: small;">                     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                      SG7ローダウン系統                 </p> </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耐震補強工事後のモデル（添付1参照）を用いて、全波包絡FRSによる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。（減肉を想定した評価によって算出された応答加速度が、工認での評価結果より小さくなった弁について、その理由を参考として添付2、3に示す。）

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 (PCV-3015)		主蒸気安全弁 (MS-525A)	
		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	 [5.4G]	6.0G	 [7.0G]	10.0G
	鉛直	 [3.1G]	6.0G	 [1.5G]	3.0G

(注) 1G=9.80665 (m/s<sup>2</sup>)  
[ ]内は工認での評価結果

なお、主蒸気逃がし弁については、工事計画において水平2方向および鉛直方向地震力の組み合わせによる影響評価の評価部位となっていることから、流れ加速型腐食に対する耐震安全性評価においても水平2方向および鉛直方向地震力の組み合わせによる影響評価を行った。結果は、以下の表となり、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2 主蒸気逃がし弁の水平2方向および鉛直方向地震力の組み合わせによる動的機能維持評価結果

地震力		主蒸気逃がし弁	
		水平応答加速度	機能確認済 加速度
Ss	水平 + 鉛直	 [7.1G]	9.5G

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。

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。

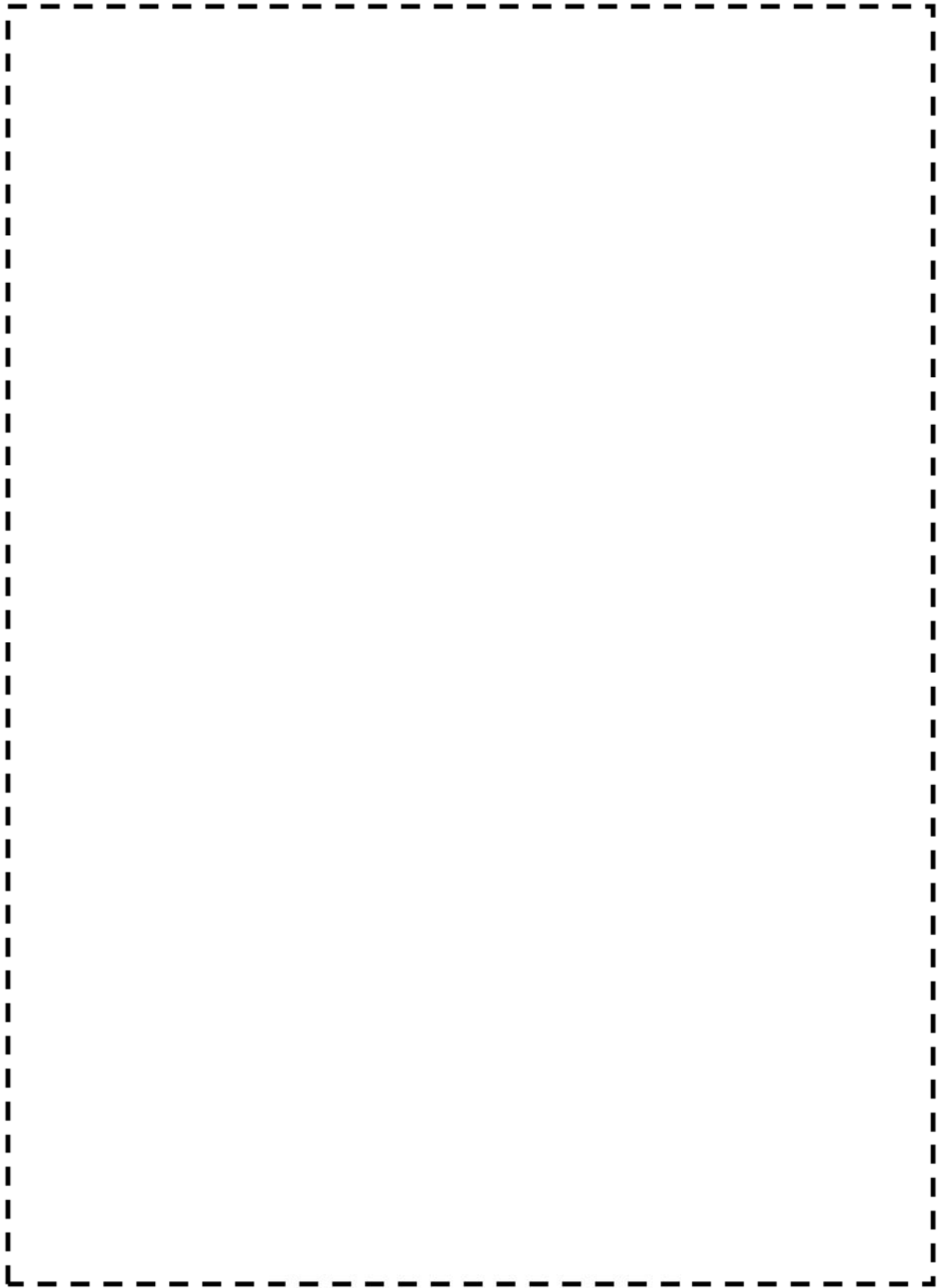
主蒸気系統配管(B-主蒸気配管 (CV外) )

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。



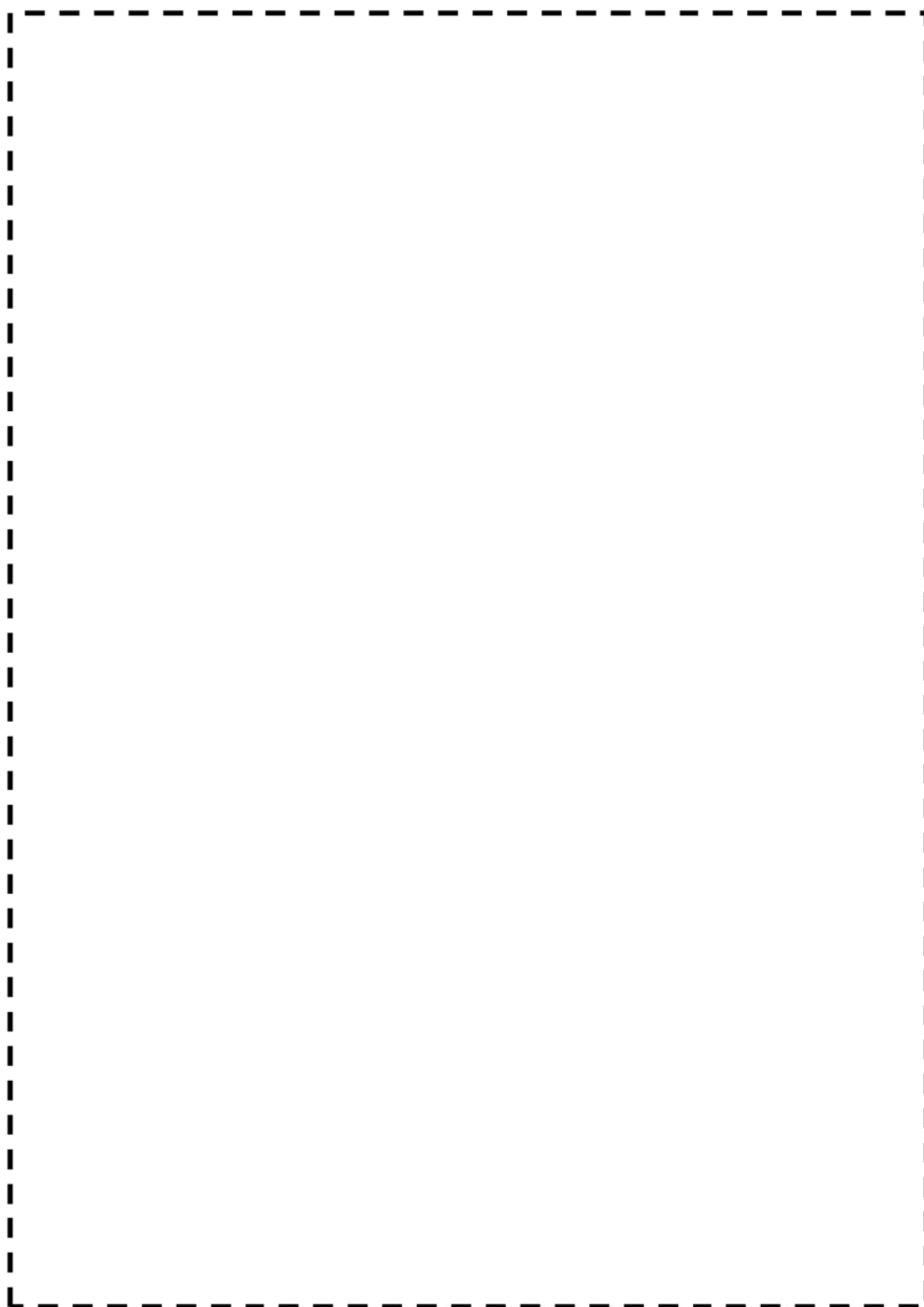
主蒸気系統配管(C-主蒸気配管(CV外))

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。



主給水系統配管(A-主給水配管 (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。



主給水系統配管(B-主給水配管 (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。

主給水系統配管 (C—主給水配管 (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。

主蒸気安全弁(MS-525A)の配管減肉を想定した応答加速度が  
工認での結果より小さくなっている理由について

- ①配管系の地震応答は多くの固有モードの組み合わせで構成されている。
- ②各振動モードについては、振動方向がある設備の静止位置から正負どちらも存在している。このため、設備の設置位置で、変位が相殺されたり、増幅されたりする。これはモード図や刺激係数の変動で示される。
- ③表3及び図1, 2に示すとおり今回の主蒸気配管系の減肉なし(工認)の弁の卓越振動モードは1次モードである。減肉あり(PLM)では、1次モードで減肉なし(工認)と概ね同じ挙動を示す振動モードが発生する。減肉あり(PLM)の方が、入力加速度が大きい、減肉により刺激係数が変動し、応答加速度が逆転する結果となった。評価値(加速度)は各モードの組み合わせで構成されているため、上記の刺激係数の変動が主な要因と想定される。

表1 加速度算出根拠

モデル	次数	固有振動数 (Hz)	入力加速度 (Y地震) (G)	刺激係数 (Y地震)	Y地震時応答加速度(弁) 注1 (G)			モード図
					X	Y	Z	
減肉なし(工認)								図1
減肉あり(PLM)								図2

1G=9.80665m/s<sup>2</sup>

注1：各モード(次数)での応答加速度

- ④なお、上記の比較は、加速度が逆転する主な要因として減肉なし(工認)の卓越モードに着目したものである。減肉あり(PLM)の1次モードは減肉なし(工認)の卓越モードに対応したものであり、減肉あり(PLM)の卓越モードは1次モードとなる。

振動数が接近したモードが複数ある場合、減肉あり/なしでの振動数の変化に伴い、刺激係数も変化する場合がある。美浜3号炉の場合、減肉により1次モードが1次モードに変化し、同時に刺激係数も変化したため、減肉あり(PLM)での卓越モードは1次モードに移行したと推測できる。以上の状況を踏まえ主要なモードを比較すると、表2のとおり、応答加速度の差は妥当な範囲となる。

表2 加速度算出根拠(主要モード)

モデル	次数	固有振動数 (Hz)	入力加速度 (Y地震) (G)	刺激係数 (Y地震)	Y地震時応答加速度(弁) 注1 (G)		
					X	Y	Z
減肉なし(工認)							
減肉あり(PLM)							

1G=9.80665m/s<sup>2</sup>

注1：各モード(次数)での応答加速度

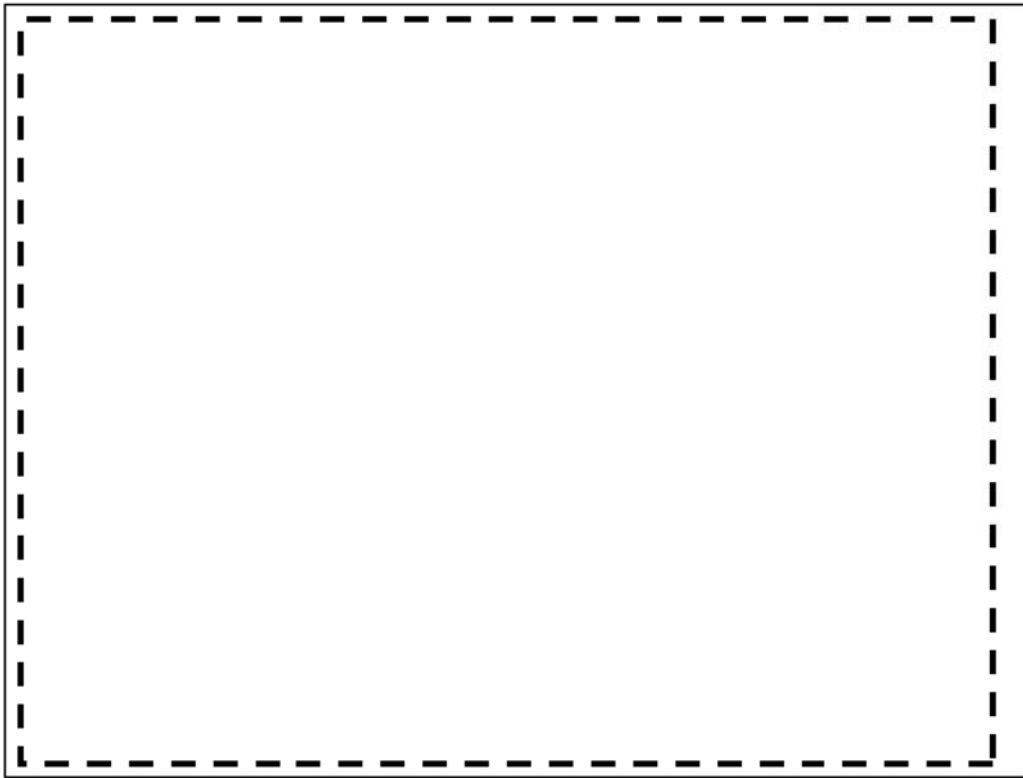


図1 減肉なし(吹モード)



図2 減肉あり(吹モード)

主蒸気安全弁 (MS-525A) の卓越振動モードの比較

主蒸気逃がし弁(PCV-3015)の配管減肉を想定した応答加速度が  
工認での結果より小さくなっている理由について


- ①配管系の地震応答は多くの固有モードの組み合わせで構成されている。
- ②各振動モードについては、振動方向がある設備の静止位置から正負どちらも存在している。このため、設備の設置位置で、変位が相殺されたり、増幅されたりする。これはモード図や刺激係数の変動で示される。
- ③本弁の評価値(加速度)は、減肉なし(工認)及び減肉あり(PLM)ともに有意なモードは、 である。表1及び図1, 2に示すとおり、入力加速度は同じであるが、減肉により刺激係数が変動し、応答加速度が逆転する結果となった。評価値(加速度)は各モードの組み合わせで構成されているため、上記の刺激係数の変動が主要な要因と想定される。

表1 加速度算出根拠

モデル	次数	固有振動数 (Hz)	入力加速度 (Y地震) (G)	刺激係数 (Y地震)	Y地震時応答加速度(弁) <sup>注1</sup> (G)			モード図
					X	Y	Z	
減肉なし(工認)								図1
減肉あり(PLM)								図2

1G=9.80665m/s<sup>2</sup>

注1：各モード(次数)での応答加速度



図1 減肉なし(主モード)



図2 減肉あり(主モード)

主蒸気逃がし弁(PCV-3015)の卓越振動モードの比較



美浜3号炉－耐震－1.8 rev1

<p>タイトル</p>	<p>バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れに対する評価の具体的内容（評価仕様、解析モデル、入力条件（変位、加速度、抗力）、評価結果を含む）について。</p>
<p>説明</p>	<p>以下のとおり、評価の具体的内容を示す。</p> <p>1. ボルト損傷本数と想定箇所</p> <p>技術評価において、原子力安全基盤機構「照射誘起応力腐食割れ（IASCC）評価技術」事業で得られた最新知見を用いて評価した結果、運転開始後60年時点でのボルトの損傷本数は管理損傷ボルト数（全体の20%）以下との結果が得られているが、本耐震安全性評価では、図1に示すとおり2～6段全てのバッフルフォーマボルト（全バッフルフォーマボルト672本のうち、480本の損傷を想定）が損傷したと仮定した。</p> <p>図1 バッフルフォーマボルト損傷想定箇所</p> <p>【評価対象部位】</p> <p>他のバッフル板で端が支持されていない②-A面、B面および③-B面のバッフル板（地震荷重を全てボルトで受けるため厳しい）のうち、幅が大きくボルト1本あたりの地震荷重が最も大きくなる「バッフル板②-B面」のボルトを評価対象とした。</p>

## 2. 解析モデル及び諸元

### (1) 地震応力

バッフルフォーマボルトが受ける地震荷重は、図1に記載のバッフル板②を  
はり要素でモデル化し、これを組込んだ炉内構造物耐震評価モデル(図2)を  
用いて、全波包絡FRSによるスペクトルモーダル法によりSs地震時の応答解  
析を実施し算出した。

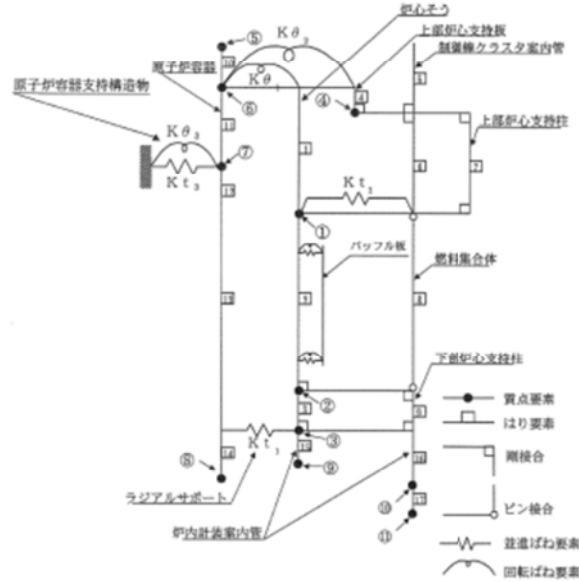
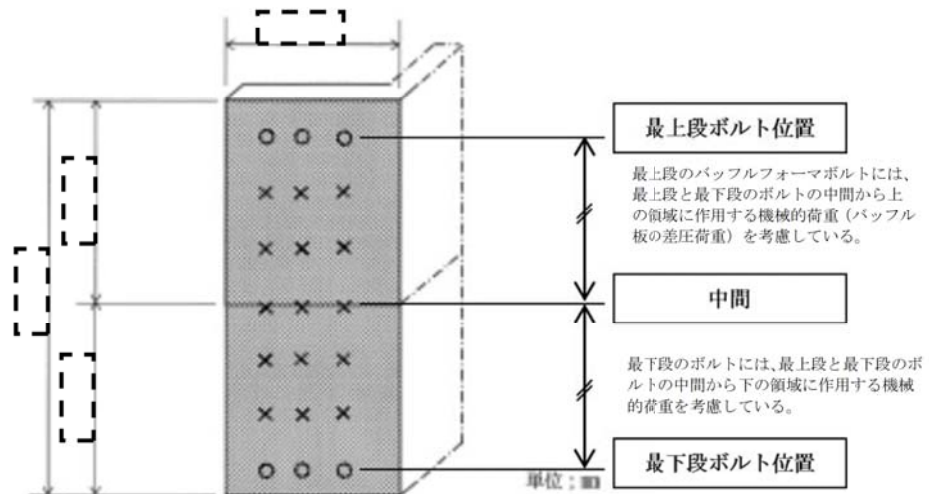


図2 炉内構造物耐震評価モデル

### (2) 機械的荷重による応力

機械的荷重として、運転時の差圧によるバッフル板荷重を考慮した。評価に  
は最大差圧 0.025 MPaを用い、最上段及び最下段のそれぞれ3本のボルトが  
受ける荷重は、図3に示す斜線部面積に作用する荷重とした。



※最上段ボルトからバッフル板上端までの距離と最下段  
ボルトからバッフル板下端までの距離が異なる

図3 バッフルフォーマボルト応力評価モデル

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。

(3) 許容応力

許容応力については、炉内構造物の許容応力の $D_s (IV_{AS})$ の規定を適用した。

表1 炉内構造物の許容応力

	一次応力強さ(一般膜応力)
$D_s (IV_{AS})$	Min(2.4Sm, 2/3Su)
材料:G316CW1 温度:332.3℃	360 MPa

3. 評価内容

(1) 地震応力

算出された、最上段及び最下段のボルト1本あたりに作用する地震荷重をもとに、地震応力を算出した。

ボルト1本に作用する地震荷重(軸力):

10147 N (最上段)

11621 N (最下段)

ボルトシャング径:

[ ] mm

ボルトの地震応力(軸方向応力):

[ ] (MPa) (最上段)

[ ] (MPa) (最下段)

(2) 機械的荷重による応力

ボルト1本に作用する差圧荷重(軸力):

[ ]  $\times 2.50 \times 10^{-2} \times 1/3 = 7335.60 \approx 7336$  (N) (最上段)

[ ]  $\times 2.50 \times 10^{-2} \times 1/3 = 7111.61 \approx 7112$  (N) (最下段)

ボルトの機械的荷重による応力(軸方向応力):

[ ] (MPa) (最上段)

[ ] (MPa) (最下段)

(3) 地震時の応力(合計)

地震時のバップルフォーマボルトの応力は以下の通り。

[ ] = 132.7  $\rightarrow$  133 (MPa) (最上段)

[ ] = 142.2  $\rightarrow$  143 (MPa) (最下段)

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. 評価結果

バッフルフォーマボルトの地震時における応力評価結果を表2に示す。発生応力は許容応力を超えることはなく、耐震安全上問題がないことを確認した。なお、発生応力は大きい方の最下段の評価結果を採用した。

表2 バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れに対する耐震安全性評価結果

評価部位	地震時の発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比
バッフルフォーマボルト (最下段)	143	360	0.40

#### 5. 制御棒挿入性評価

バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れに対する評価として実施する、制御棒挿入時間評価の内容は以下のとおり。

##### (1) 評価仕様

制御棒挿入時間評価は、制御棒クラスタが自重で落下する時に受ける各種の抗力を考慮し、下記の運動方程式を解くことで、最終的に制御棒クラスタの挿入距離と挿入時間を求めている。地震時の挿入時間の算出においては、制御棒挿入経路機器である制御棒駆動装置、制御棒クラスタ案内管、燃料集合体（制御棒案内シンプル）の地震応答に対応する制御棒挿入抗力を考慮し、挿入時間を算出している。

バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れに対する評価として実施する制御棒挿入時間評価では、燃料集合体の応答解析において、バッフルフォーマボルトの損傷を仮定した燃料集合体群振動解析モデルにより算出される応答を用いて挿入時間を算出することで、バッフルフォーマボルト損傷の影響を評価している。

なお、地震応答に対応する制御棒挿入抗力は各機器に対する静的抗力測定試験や正弦波加振下での制御棒落下試験結果を基に、機器の応答変位や応答加速度に対応する抗力データを取得している。

制御棒挿入時間解析においては、機器の時刻歴応答解析結果とこれらの抗力データから、解析の各タイムステップにおいて地震外力による抗力を求め、運動方程式に反映し、挿入時間を求めている。

添付－1に制御棒挿入時間評価の全体の流れ、制御棒挿入時間評価において考慮する各種抗力、及び制御棒挿入時間解析における抗力の取り扱いを示す。

$$M \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = M \cdot g - (F_f + F_v + F_m + F_u)$$

ここで、M : 質量  
x : 制御棒クラスタ挿入距離  
t : 制御棒クラスタ挿入時間  
g : 重力加速度  
F<sub>f</sub> : 流体による抗力  
F<sub>v</sub> : 地震外力による抗力  
F<sub>m</sub> : メカニカル抗力  
F<sub>u</sub> : 浮力

(2) 入力条件

①ボルト損傷本数と想定箇所

技術評価において、原子力安全基盤機構「照射誘起応力腐食割れ (IASCC) 評価技術」事業で得られた最新知見を用いて評価した結果、運転開始後60年時点でのボルトの損傷本数は管理損傷ボルト数(全体の20%)以下との結果が得られているが、本耐震安全性評価では、図1に示すとおり2~6段全てのバッフルフォーマボルト(全バッフルフォーマボルト672本のうち、480本の損傷を想定)が損傷したと仮定した。(「1. ボルト損傷本数と想定箇所」と同じ)

②挿入経路機器の地震応答

制御棒挿入時間評価の入力となる地震時の制御棒挿入経路機器の最大応答変位を表3に示す。これらの機器応答に対応する地震時の制御棒挿入抗力を求め、挿入時間を算出する。

表3 地震時 制御棒挿入経路機器応答

最大変位 (mm)		
制御棒 駆動装置	制御棒クラスタ 案内管	燃料集合体 (制御棒案内シングル)
5.5	0.8	60.7

(3) 評価結果

制御棒挿入時間の評価結果を表4に示す。バッフルフォーマボルトの損傷を考慮した場合も、挿入時間は規定時間を満足しており、耐震安全上問題がないことを確認した。

表4 制御棒クラスタ挿入時間計算結果

(単位: 秒)

	制御棒クラスタ挿入時間*1	規定時間*2
通常運転時	1.31	1.8
地震時 (バッフルフォーマボルトの損傷を考慮) (S s - 3)	1.44	

\*1: 各時間は落下開始から制御棒が全ストロークの85%に至るまでの時間

\*2: 工事計画認可申請書 添付13 耐震性に関する説明書に記載の値

(4) 補足 (バッフルフォーマボルト損傷を考慮しない場合)

①地震時 制御棒挿入経路機器応答

表5 地震時 制御棒挿入経路機器応答

最大変位 (mm)		
制御棒クラスタ 駆動装置	制御棒クラスタ 案内管	燃料集合体 制御棒案内シンプル
5.5	0.8	60.0

②評価結果

表6 制御棒クラスタ挿入時間計算結果

(単位：秒)

	制御棒クラスタ挿入時間*1	規定時間*2
地震時挿入時間 (S s - 3)	1.42	1.8

\*1：各時間は落下開始から制御棒が全ストロークの85%に至るまでの時間

\*2：工事計画認可申請書 添付13 耐震性に関する説明書に記載の値

以 上

## 制御棒挿入性評価について

制御棒挿入性の評価については、新規制基準への適合に係る工認側で評価手法を見直した再評価を実施したため、これに合わせた評価手法により評価の見直しを行った。

	当初申請 (H27.11申請)	工認に合せた評価手法反映 (H28.5補正)
評価条件	燃料集合体未照射条件 (照射影響の考慮無し) 旧Ss* ※取替前の炉内構造物での評価	燃料集合体照射後条件 (照射影響の考慮有り) Ss-1(750gal)～Ss-24：Ss-3 ※取替後の炉内構造物での評価
解析モデル	RV-CI連成モデル FA減衰率：1%	建屋-RCS-RV-CI連成モデル FA減衰率：10% (Ss-3)
評価手法	《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クランク案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クランク案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法	《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クランク案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クランク案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法

\*耐震バックチェックで用いたSs (スペクトル波(750gal)+断層波7波)のうち、最も厳しい断層波による評価。

制御棒挿入時間が当初申請時(平成27年11月)と補正時(平成28年5月)とでは、以下のような差異がある。

- ・炉内構造物取替(CIR)による評価モデルの変更
- ・地震動の変更(旧Ssから、Ss-1～24)
- ・建屋-RCS-RV-CI連成モデルの適用
- ・FA減衰率10%の適用
- ・燃料集合体の照射影響の考慮
- ・制御棒駆動装置(CRDM)への中間耐震サポートの追設(設計変更含む)

各項目毎の挿入時間に対する影響は以下の通りである。中間耐震サポートの追設によるCRDM 応答の低減により、全体として制御棒挿入時間が低減されているものである。

○挿入時間が大きくなる傾向にある項目：

- ・地震動の変更
- ・燃料集合体の照射影響の考慮

○挿入時間が小さくなる傾向にある項目

- ・中間耐震サポートの追設

○影響が軽微、もしくは挿入時間が大きくなる、小さくなる両方の場合がある項目

- ・FA 減衰率10%の適用
- ・CIR によるそもそものモデルの変更
- ・建屋-RCS-RV-CI 連成モデルの適用

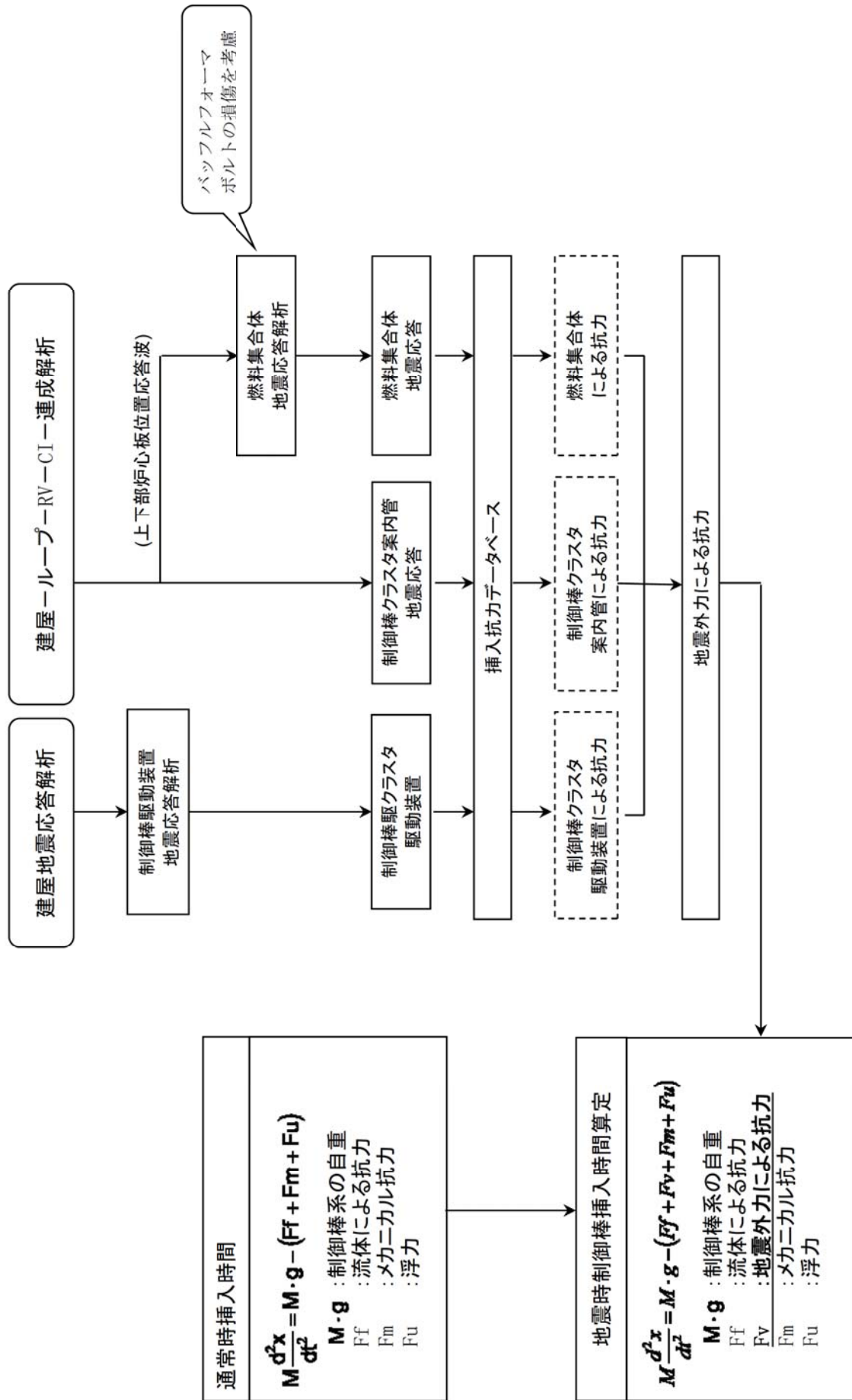


図1 制御棒挿入時間評価の流れ



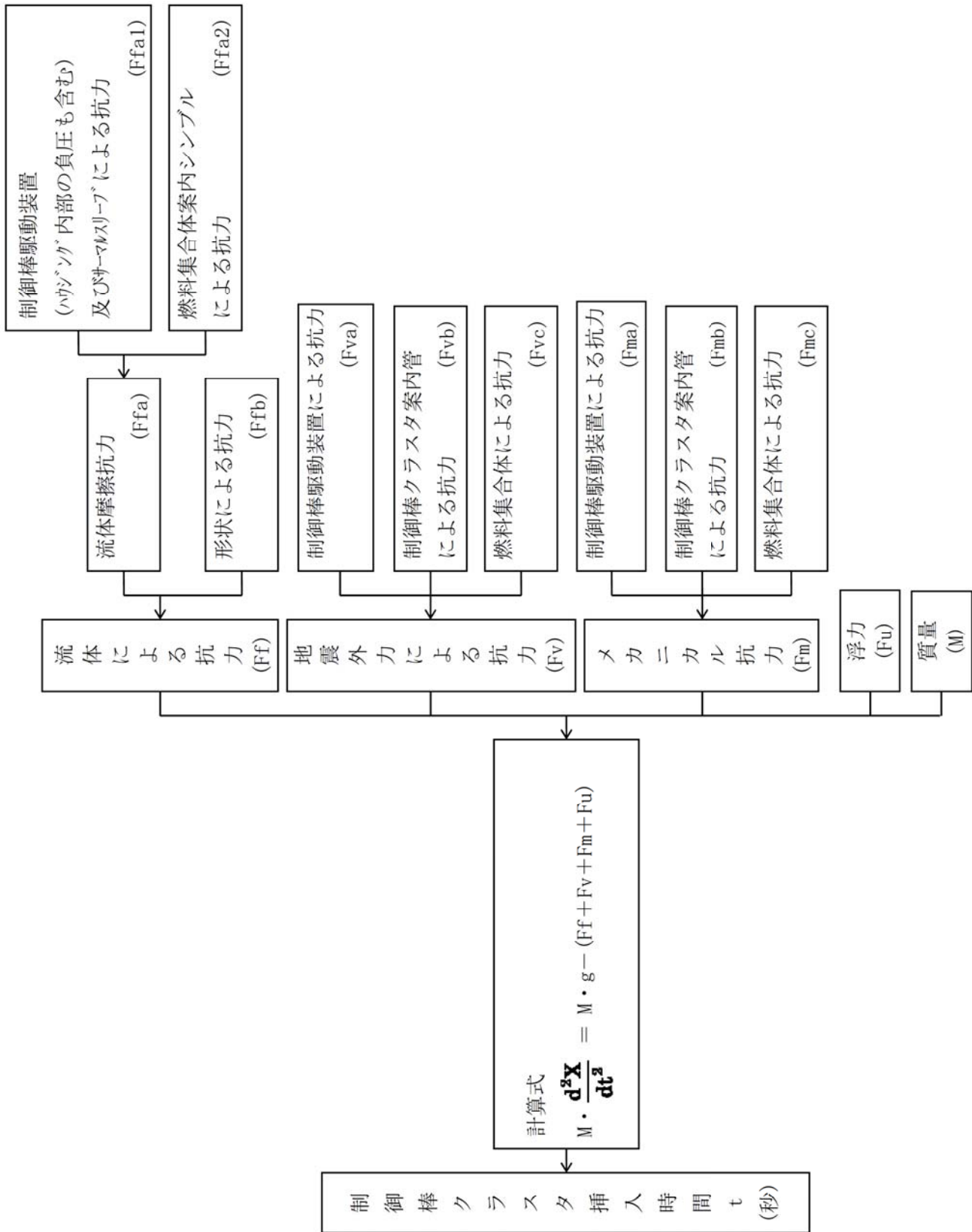
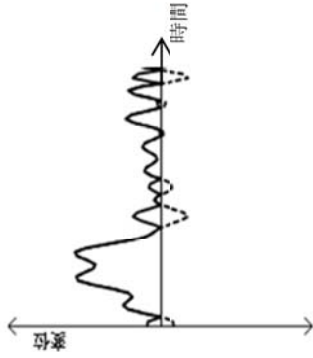


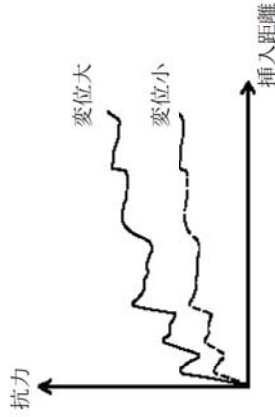
図2 制御棒挿入時間評価において考慮する各種抵抗力

時刻歴手法における地震応答及び抗力の取り扱い

- 地震応答の取り扱い  
機器の応答解析結果から時々刻々と変化する変位、加速度を用いる



- 抗力データ  
機器に対し、変位量に対応する挿入距離に対する抗力係数を設定 (下図はFA変位抗力の例)



機器の時刻歴応答 (変位、加速度) 及び抗力係数 (変位、加速度抗力係数) より、解析の各タイムステップにおいて、その時刻の応答変位、応答加速度と挿入距離に対応する抗力を算出し、運動方程式に反映する。  
※静的手法では、最大応答に対応する抗力を一定に考慮する。

入力条件

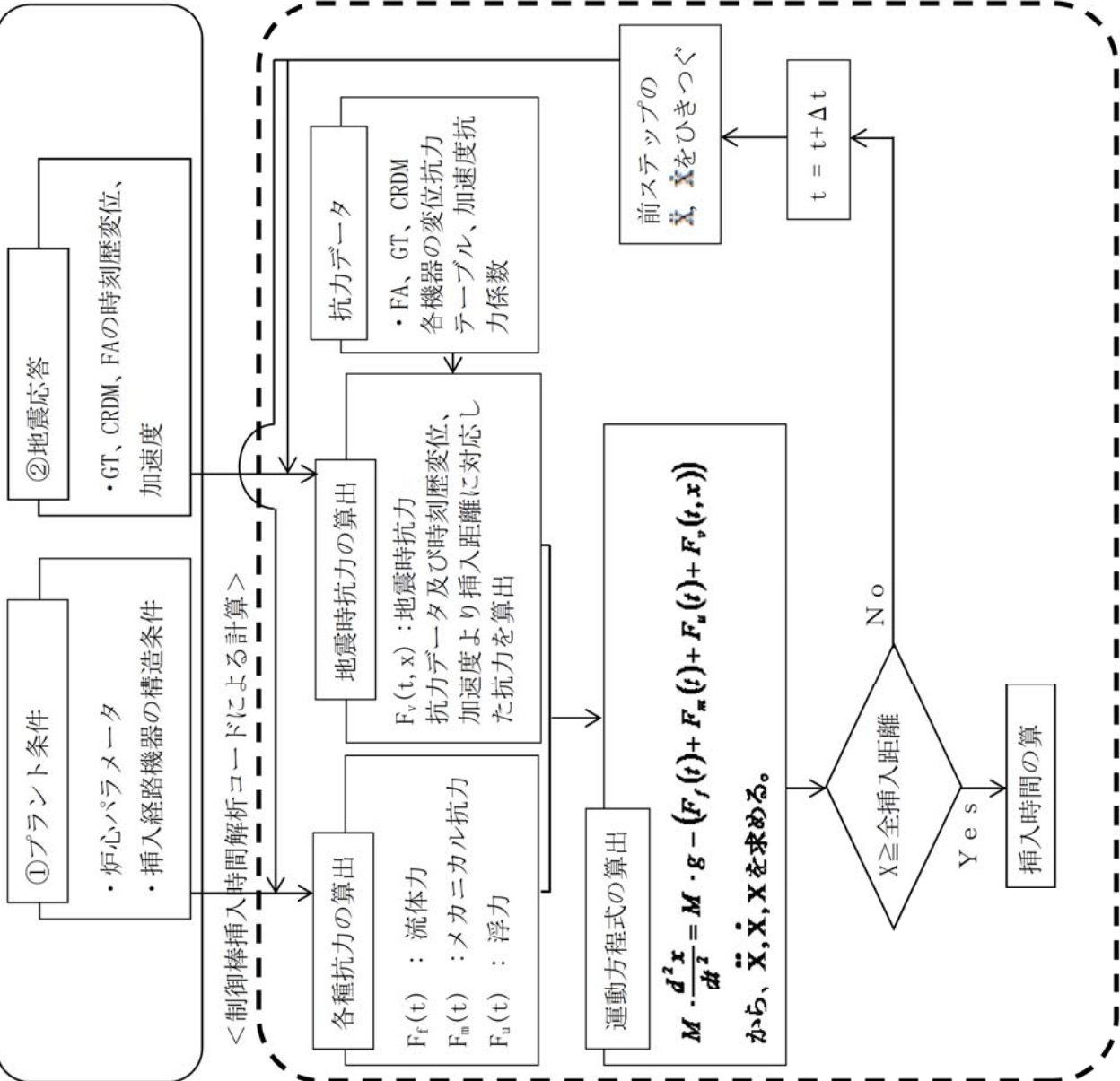


図 3 制御棒挿入時間解析における抗力の取り扱い

美浜3号炉－耐震－2 1 rev1

タイトル	制御棒被覆管の摩耗に対する評価の具体的内容（評価仕様、解析モデル、入力条件（変位、加速度、抗力）、評価結果を含む）について
説明	制御棒被覆管の摩耗に対する具体的評価内容（応力評価）について、添付1に示す。 また、制御棒被覆管の摩耗に対する具体的評価内容（挿入時間の評価）について、添付2に示す。

## 制御棒挿入性評価について

制御棒挿入性の評価については、新規制基準への適合に係る工認側で評価手法を見直した再評価を実施したため、これに合わせた評価手法により評価の見直しを行った。

	当初申請 (H27.11補正申請)	工認に合せた評価手法反映 (H28.5補正)
評価条件	燃料集合体未照射条件 (照射影響の考慮無し) 旧Ss* ※取替前の炉内構造物での評価	燃料集合体照射後条件 (照射影響の考慮有り) Ss-1(750gal)～Ss-24：Ss-3 ※取替後の炉内構造物での評価
解析モデル	RV-CI連成モデル FA減衰率：1%	建屋-RCS-RV-CI連成モデル FA減衰率：10% (Ss-3)
評価手法	《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クランク案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クランク案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法	《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クランク案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クランク案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法

\*耐震バックチェックで用いたSs (スペクトル波(750gal)+断層波7波)のうち、最も厳しい断層波による評価。

制御棒挿入時間が当初申請時(平成27年11月)と補正時(平成28年5月)とでは、以下のような差異がある。

- ・炉内構造物取替(CIR)による評価モデルの変更
- ・地震動の変更(旧Ssから、Ss-1～24)
- ・建屋-RCS-RV-CI連成モデルの適用
- ・FA減衰率10%の適用
- ・燃料集合体の照射影響の考慮
- ・制御棒駆動装置(CRDM)への中間耐震サポートの追設(設計変更含む)

各項目毎の挿入時間に対する影響は以下の通りである。中間耐震サポートの追設によるCRDM 応答の低減により、全体として制御棒挿入時間が低減されているものである。

○挿入時間が大きくなる傾向にある項目：

- ・地震動の変更
- ・燃料集合体の照射影響の考慮

○挿入時間が小さくなる傾向にある項目

- ・中間耐震サポートの追設

○影響が軽微、もしくは挿入時間が大きくなる、小さくなる両方の場合がある項目

- ・FA 減衰率10%の適用
- ・CIR によるそもそものモデルの変更
- ・建屋-RCS-RV-CI 連成モデルの適用

## 被覆管の摩耗に対する耐震安全性評価

### 1. 計算方法の概要

制御棒クラスタの被覆管に摩耗を想定した場合の耐震安全性評価については、摩耗なしの場合の計算を実施し、摩耗なしの状態が発生応力が最大となる条件に対して、膜成分は断面積の減少分を、曲げ成分は断面係数の減少を考慮し、評価を実施する。

### 2. 制御棒クラスタの構造

制御棒クラスタは、1つの制御棒スパイダ及び20本の制御棒から構成される。

制御棒スパイダは、スパイダ本体より放射状に配置したベーン及び円筒形のフィンガから構成される。

制御棒は、ねじによりフィンガと接合され、ピンにより回り止めされている。

制御棒は、中性子吸収材である80%銀、15%インジウム、5%カドミウム合金をステンレス鋼製の被覆管に挿入し、被覆管両端に端栓を溶接した密封構造となっている。

制御棒には、更にコイルばねが入れられており、中性子吸収材の軸方向の動きを制限している。

構造説明図を図2-1及び図2-2に示す。

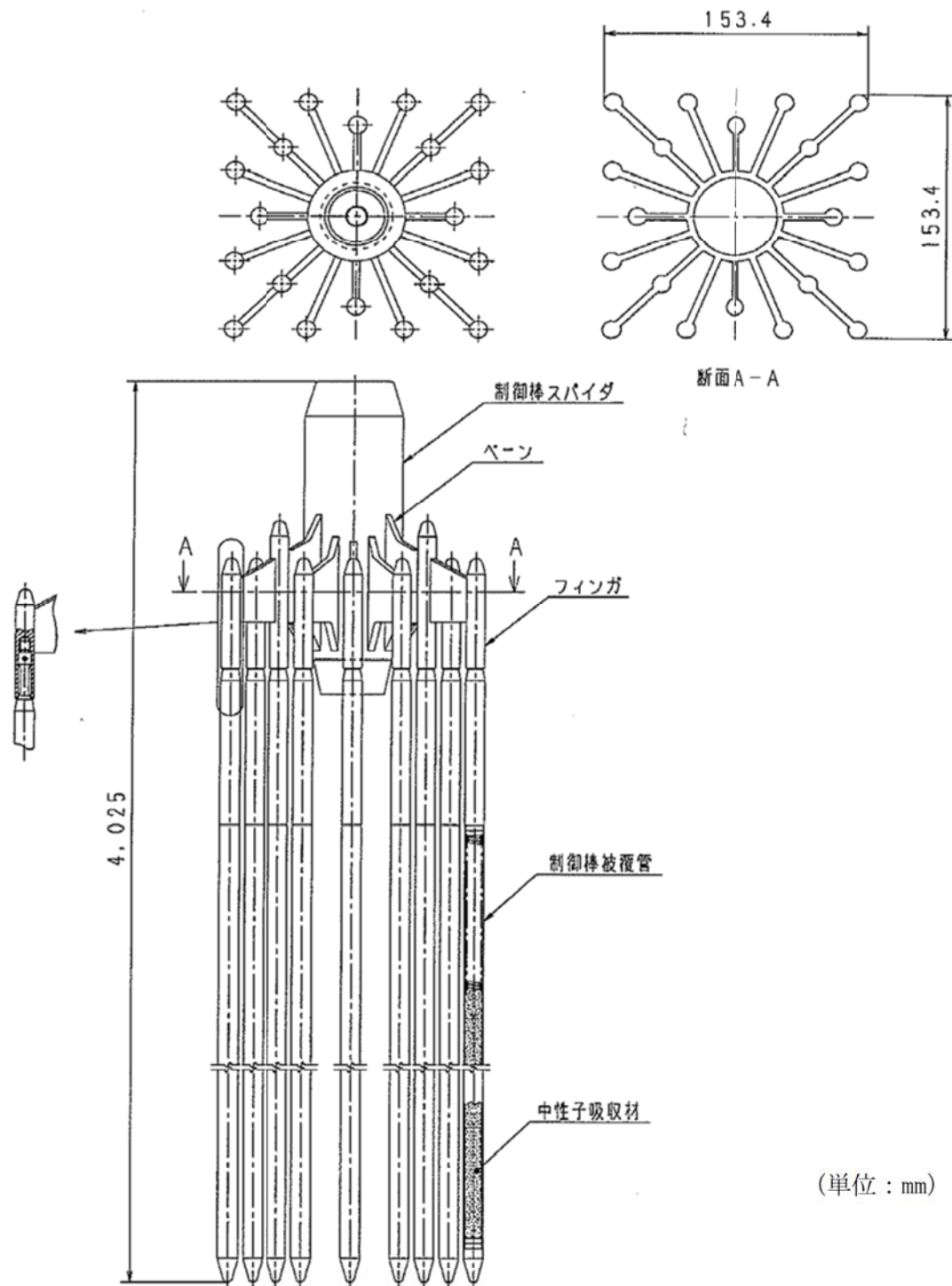


図2-1 15×15型制御棒クラスタ構造図

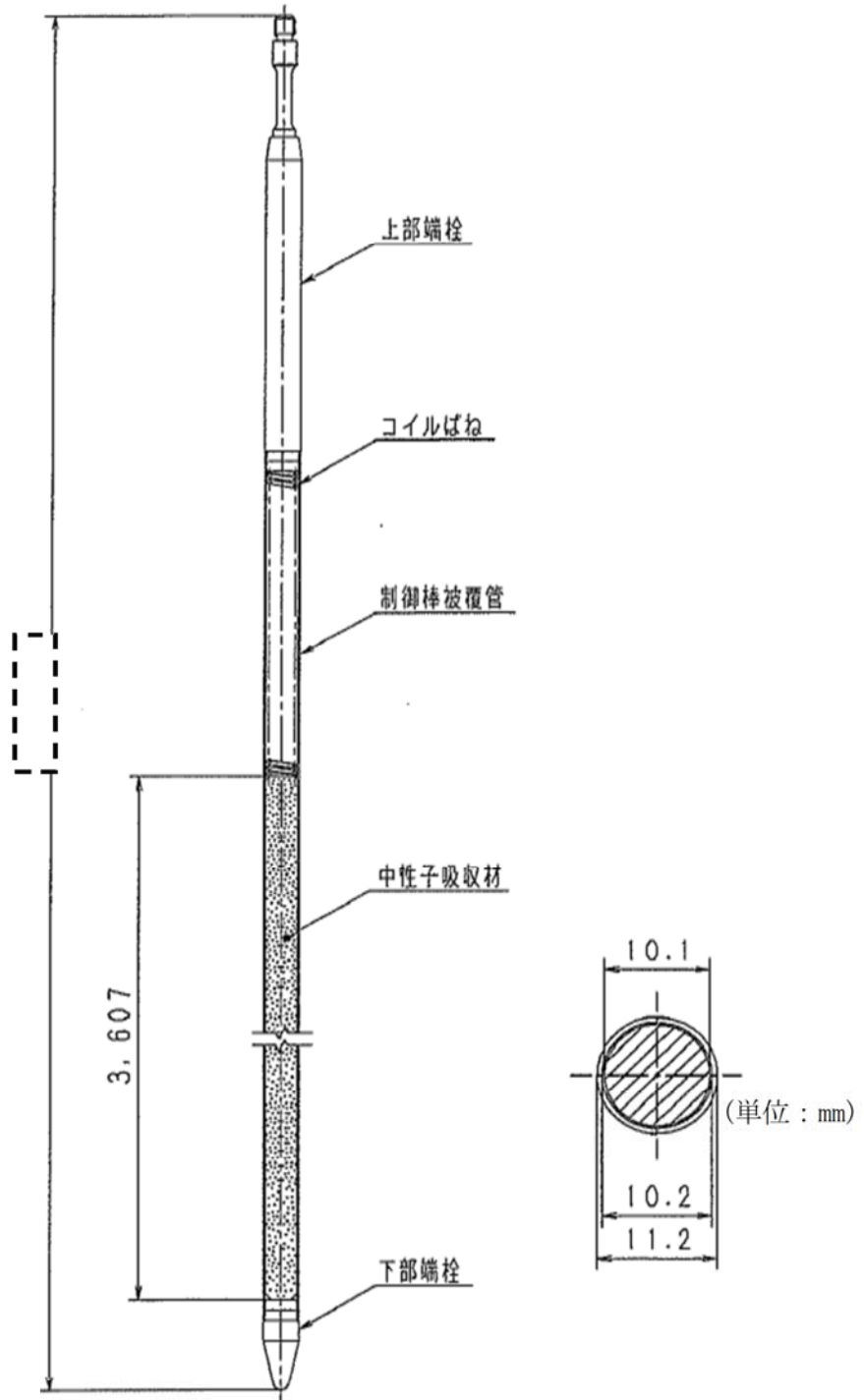


図2-2 15×15型制御棒構造図

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。

### 3. 地震時応力の算出（解析モデル及び入力条件について）

制御棒クラスタの耐震解析モデルを図3-1に、また、各挿入状態におけるこのはりモデルの支持点位置、荷重及び変位を入力する位置を図3-2に示す。入力条件として、等分布荷重（制御棒クラスタ案内管加速度）又は、強制変位（燃料集合体変位）を与えて計算により求める。

解析モデルの各はりに対する諸数値を表3-1に示す。表3-1に示す諸数値は摩耗なしの場合の数値となる。

水平方向については、制御棒クラスタの挿入位置によって地震荷重が変化するので、次の状態について、制御棒クラスタの応力計算を行う。

#### (1) 全引抜き状態

制御棒クラスタは制御棒クラスタ案内管内に位置し、ほぼ等間隔で水平方向に支持されている。したがって、制御棒クラスタ案内管の最大応答加速度を制御棒の入力加速度とする。

#### (2) 全挿入状態

全挿入状態では、制御棒クラスタは燃料集合体内に位置し、燃料集合体の振動変位に追従して変形する。したがって、全挿入状態での地震荷重は燃料集合体変位を強制変位として与える。強制変位は、第2支持格子（上部側から）の変位が最大となる際の変位とする。

#### (3) 半挿入状態

制御棒クラスタのうち、制御棒クラスタ案内管内に位置している部分については、全引抜き状態の考え方を適用し、制御棒クラスタ案内管の最大応答加速度を制御棒の入力加速度とし、また、燃料集合体内に挿入されている部分については全挿入状態の考え方を適用し、燃料集合体変位を強制変位として与える。

以上、評価の入力条件である制御棒クラスタ案内管加速度及び燃料集合体変位を表3-2に示す。



表3-1 計算モデルの各はりに対する諸元

はり 番号	部 材	縦弾性係数 E (MPa)	断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	はり長さ $\ell$ (mm)	単位長さ質量 $\rho \cdot A$ (kg/mm)	断面積 A (mm <sup>2</sup> )
1	制御棒スパイダ					
2	上部端栓細径部					
3	上部端栓					
4	制御棒プレナム部					
5	制御棒吸収材部					
6	下部端栓					

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3-2 入力条件

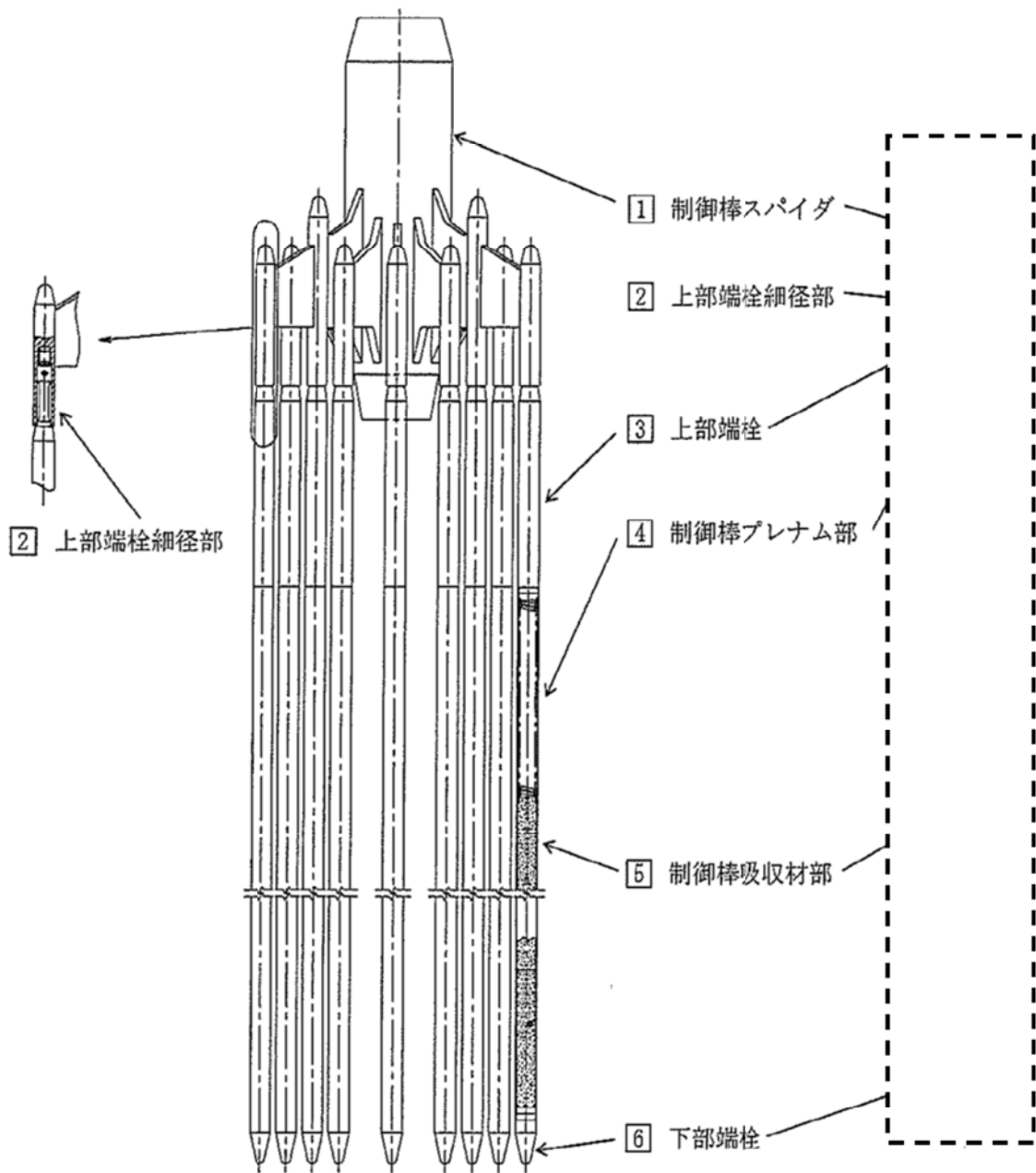
荷 重 条 件			S <sub>s</sub> 地震波
水平	全引抜き 状 態	動的加速度 (G)	
	全挿入 状 態	燃料集合体最大変位 (mm)	
	半挿入 状 態	動的加速度 (G)	
		燃料集合体最大変位 (mm)	
鉛 直	動的加速度 (G)		

※1：最大応力を示すS<sub>s</sub>包絡波による制御棒クラスタ案内管の加速度

※2：S<sub>s</sub>-3波による燃料集合体の最大変位

※3：最大応力を示すS<sub>s</sub>包絡波による制御棒駆動装置の加速度

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。



要素数 : 50  
節点数 : 51

20本の制御棒を1本の  
はりでモデル化する。

図3-1 計算モデル (はりモデル要素分割)

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。

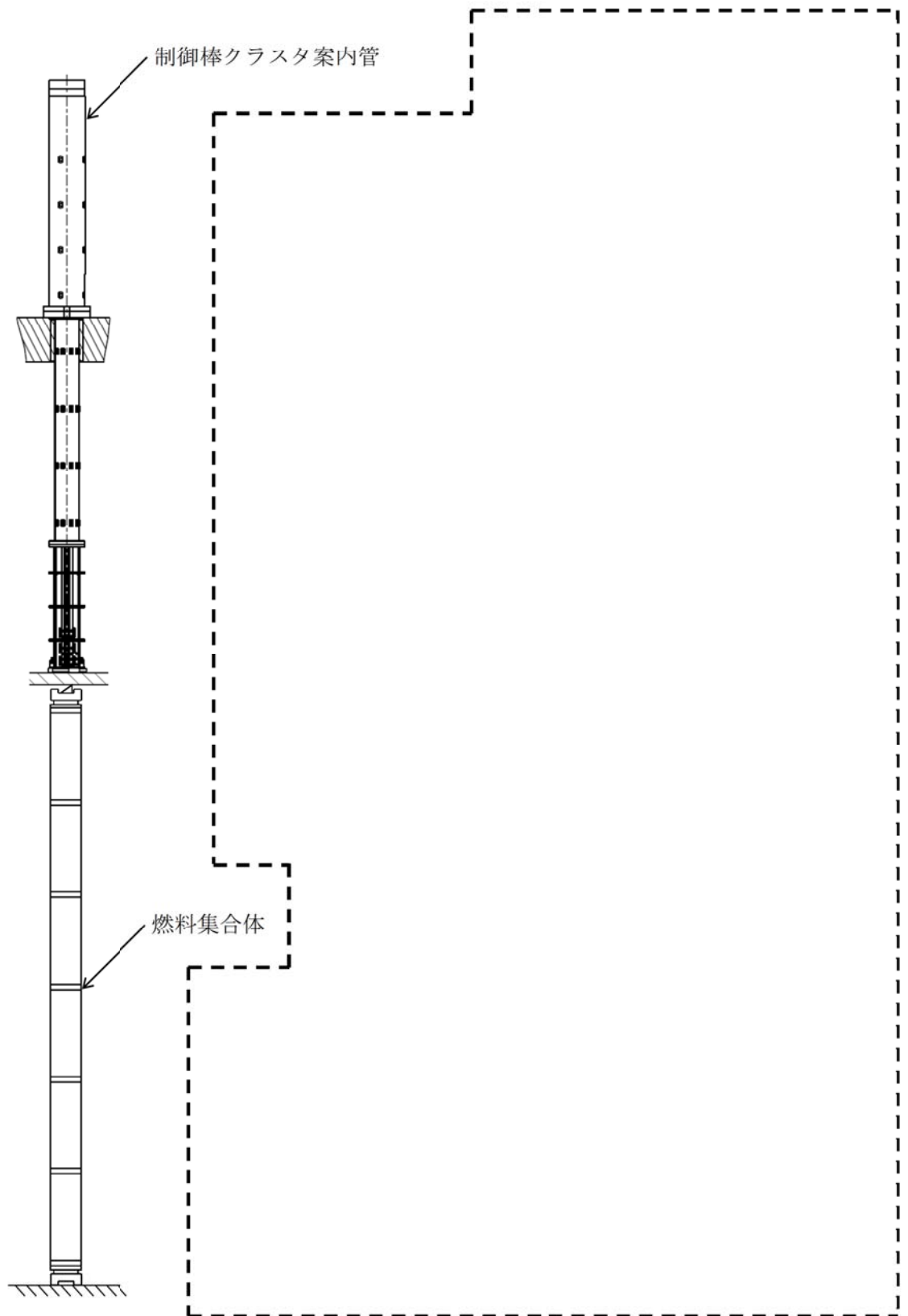


図3-2 制御棒クラスタ応力計算における外力及び支持条件

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。

## 4. 運転時応力（自重及び機械的荷重による応力）の算出について

運転時に制御棒クラスタの被覆管には、自重及び制御棒クラスタ挿入によるスクラム荷重が加わる。軸荷重及び自重による応力は下式により計算する。また、入力となる設計条件を表4-1に示す。

$$\sigma_x = \frac{N}{A}$$

ここで、

$\sigma_x$  : 軸方向応力

N : 軸 荷 重

A : 断 面 積

表4-1 設計の条件

項 目		数 値
死 荷 重	自 重 (N) (制御棒 1 本当たり)	
機 械 的 荷 重	スクラム荷重 (N) <sup>(注)</sup> (制御棒 1 本当たり)	

(注) 駆動軸質量と制御棒クラスタ質量の和に、制御棒クラスタの挿入時加速度を考慮している。

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。

## 5. 計算結果

被覆管の摩耗なしの状態での各挿入状態における運転時応力及び地震荷重による応力を表5-1に示す。

表5-1 計算結果まとめ

(単位 : MPa)

状態	運転時応力 $\sigma_x$	地震時応力 $\sigma_x$	
		膜応力	曲げ応力
全引き抜き	2.2	$\pm 3.0$	$\pm 10.6$
半挿入	2.2	$\pm 3.0$	$\pm 161.5$
全挿入	-23.0	$\pm 3.0$	$\pm 255.3$

## 6. 摩耗を考慮した計算

被覆管の摩耗なしの状態に対し、発生応力が最大となる全挿入状態において、膜成分は断面積の減少を、曲げ成分は断面係数の減少を考慮した評価を行う。

被覆管摩耗は、図6-1に示す通り貫通時の被覆管断面積の欠損割合が最も大きな摩耗形状を考慮する。

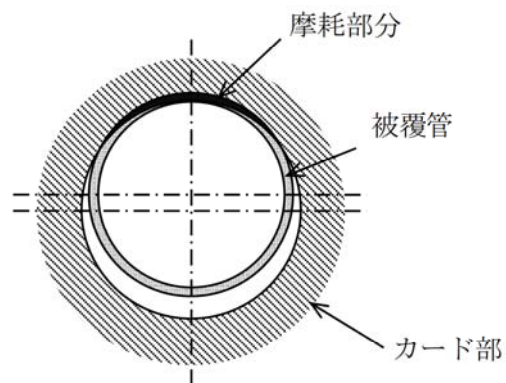


図6-1 評価で想定する被覆管の摩耗形状

被覆管摩耗なしでの地震荷重による応力計算結果（表5-1）より、地震時の膜応力及び曲げ応力は以下となる。

$$\sigma \text{ (曲げ成分)} = \pm 255.3 \text{ MPa}$$

$$\sigma \text{ (膜成分)} = \pm 3.0 \text{ MPa}$$

次に、被覆管貫通摩耗を想定した場合の地震時曲げ応力は、被覆管貫通摩耗を想定したモデルを用いた応力解析より算出する。

図6-1に示す被覆管貫通摩耗を想定した場合の解析モデルを用い、強制変位（燃料集合体変位）を与えて解析を実施し以下のとおり曲げ応力を算出した。

$$\sigma' \text{ (曲げ応力)} = \pm \text{ } \text{MPa}$$

一方、膜応力は、被覆管断面積の比から、以下のとおり求める。

$$\sigma' \text{ (膜成分)} = \sigma \text{ (膜成分)} \times (A/A')$$

ここで A : 摩耗のない被覆管の断面積 :  $\text{ } \text{mm}^2$

A' : 貫通摩耗ありの断面積 :  $\text{ } \text{mm}^2$

従って、被覆管が貫通した場合の地震時膜応力は以下のとおりとなる。

$$\sigma' \text{ (膜応力)} = \pm \text{ } \text{MPa}$$

以上より、被覆管貫通摩耗時の地震荷重による発生応力 ( $\sigma_x'$ ) は、以下のとおり求める。

$$\sigma_x' \text{ (一次膜+一次曲げ応力)} = \sigma' \text{ (曲げ応力)} + \sigma' \text{ (膜応力)}$$

従って、被覆管が貫通した場合の地震時の膜+曲げ応力は以下のとおりとなる。

$$\sigma_x' \text{ (一次膜+一次曲げ応力)} = \pm \text{ } \text{MPa}$$

運転時応力は膜応力であるので、被覆管断面積の比から以下のように求められる。

$$\sigma_x' \text{ (運転時応力)} = \sigma_x \text{ (運転時応力)} \times (A/A')$$

運転時応力は-23.0 MPaなので、

$$\sigma_x' \text{ (運転時応力)} = \pm \text{ } \text{MPa} \text{ となる。}$$

以上の評価結果から、被覆管摩耗に対する応力強さを表6-1に示す。また、評価結果のまとめを表6-2に示す。表6-2より、発生応力は許容値を満足することが確認できる。

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。

表6-1 地震時の被覆管摩耗に対する評価結果

(MPa)

運転時応力 <sup>(注1)</sup>	地震時応力 <sup>(注1)</sup>	合計応力 <sup>(注2)</sup>

(注1) 負の数値は圧縮応力、正の数値は引張応力であることを示す。

(注2) 上段が地震荷重による応力の符号を正にとり、下段が地震荷重による応力の符号を負にとったものである。

表6-2 評価結果まとめ

発生応力 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比
		0.55

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。



## 被覆管に摩耗が存在する時の制御棒挿入性評価

制御棒被覆管の摩耗に対する評価として実施する、制御棒挿入時間評価の内容は以下のとおり。

### 1. 評価仕様

制御棒挿入時間評価は、制御棒クラスタが自重で落下する時に受ける各種の抗力を考慮し、下記の運動方程式を解くことで、最終的に制御棒クラスタの挿入距離と挿入時間を求めるものである。地震時の挿入時間の算出においては、制御棒挿入経路機器である制御棒クラスタ駆動装置、制御棒クラスタ案内管、燃料集合体（制御棒案内シンプル）の地震応答に対応する制御棒挿入抗力を考慮し、挿入時間を算出する。

また、制御棒被覆管の摩耗に対する評価では、制御棒の摩耗及び制御棒クラスタ案内管案内板の摩耗を考慮した挿入抗力を地震時の制御棒挿入抗力に付加し、挿入時間を算出する。評価の全体フローを図2に示す。

$$M \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = M \cdot g - (F_f + F_v + F_w + F_m + F_u)$$

ここで、

M	:	質 量
x	:	制御棒クラスタ挿入距離
t	:	制御棒クラスタ挿入時間
g	:	重力加速度
F <sub>f</sub>	:	流体による抗力
F <sub>v</sub>	:	地震外力による抗力
F <sub>w</sub>	:	摩耗による抗力
F <sub>m</sub>	:	メカニカル抗力
F <sub>u</sub>	:	浮 力

## 2. 入力条件

## (1) 地震外力による抗力

制御棒挿入時間評価の入力となる地震時の制御棒挿入経路機器の最大応答変位を表1に示す。これらの機器応答に対応する地震時の制御棒挿入抗力を求め、挿入時間を算出する。

表1 地震時 制御棒挿入経路機器応答

最大変位 (mm)		
制御棒駆動装置	制御棒クラスタ案内管	燃料集合体 制御棒案内シンプル
5.5	0.8	60.0

## (2) 摩耗による抗力

制御棒に対しては、保守的に制御棒の被覆管の一部が100%摩耗することを仮定している。また、制御棒クラスタ案内管の案内板は図1に示す様な摩耗を仮定している。

これらの摩耗条件を組み合わせた場合に最大となる制御棒挿入抗力を、摩耗による抗力として設定している。

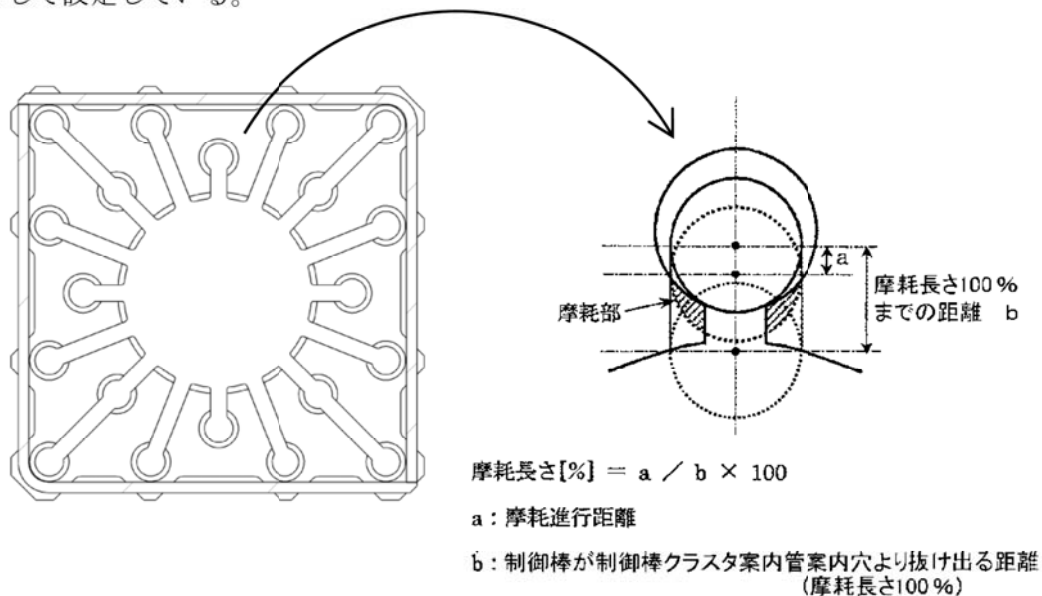


図1 制御棒クラスタ案内管 案内板摩耗の仮定

## 3. 評価結果

制御棒挿入時間の評価結果を表2に示します。

表2 制御棒クラスタ挿入時間計算結果

(単位：秒)

	制御棒クラスタ挿入時間*1	規定時間*2
通常運転時	1.31	1.8
地震時 (制御棒クラスタ案内管 案内板、制御棒被覆管 摩耗考慮) (S s - 3)	1.44	

\*1：各時間は落下開始から制御棒が全ストロークの85%に至るまでの時間

\*2：工事計画認可申請書 添付13 耐震性に関する説明書 に記載の値

## 4. 補足 (制御棒クラスタ案内管案内板、制御棒被覆管の摩耗を考慮しない場合)

## ①地震時 制御棒挿入経路機器応答

表3 地震時 制御棒挿入経路機器応答

最大変位 (mm)		
制御棒クラスタ 駆動装置	制御棒クラスタ 案内管	燃料集合体 制御棒案内シングル
5.5	0.8	60.0

## ②評価結果

表4 制御棒クラスタ挿入時間計算結果

(単位：秒)

	制御棒クラスタ挿入時間*1	規定時間*2
地震時挿入時間 (S s - 3)	1.42	1.8

\*1：各時間は落下開始から制御棒が全ストロークの85%に至るまでの時間

\*2：工事計画認可申請書 添付13 耐震性に関する説明書 に記載の値

以上

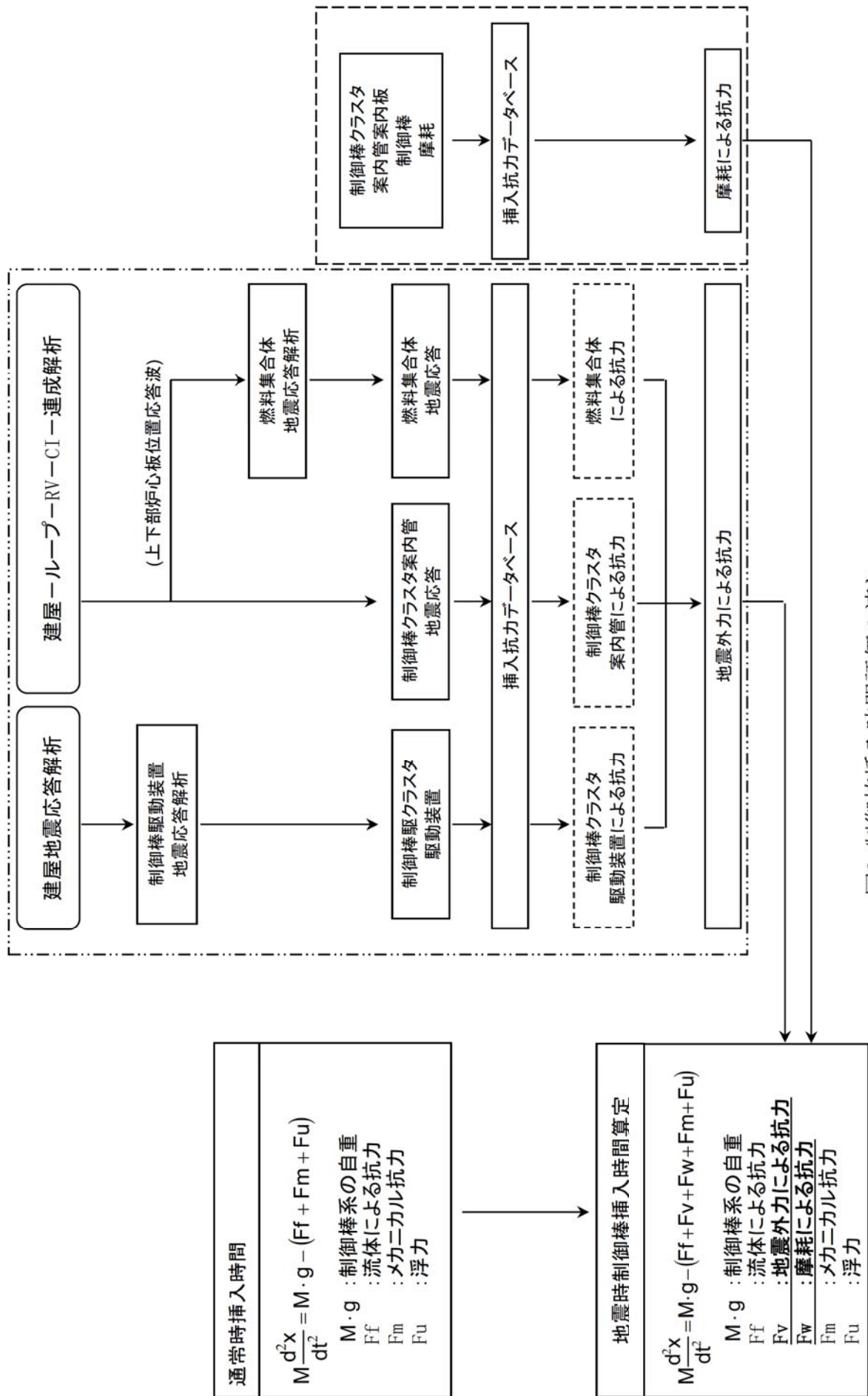


図2 制御棒挿入時間評価の流れ

美浜3号炉－耐震－2 2 rev2

タイトル	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）について
説明	燃料取替用水タンク及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。  (1) 燃料取替用水タンク : 添付1 (2) 復水タンク : 添付2

(1) 燃料取替用水タンク  
 <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	—	℃	95	
容器の満水時質量	$m_0$	kg	[Redacted]	
容器の空質量	$m_e$	kg		
積雪質量	$W_s$	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	—	—		[Redacted]
評価用加速度(水平)：図2参照	$C_H$	G		
評価用加速度(鉛直)：図3参照	$C_V$	G		
スロッシング評価用加速度：図4参照	$C''_{DH}$	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質点系応答解析結果にハウズナー理論で求めたスロッシング荷重を加算して評価を実施した。

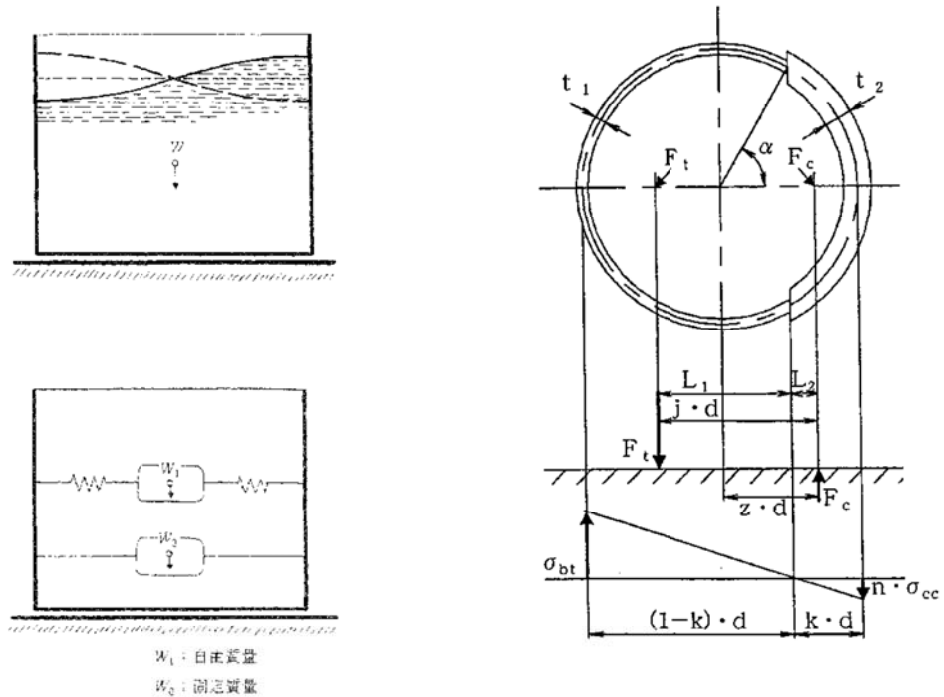


図1 解析モデル

<入力（荷重）条件>

【水平方向】

燃料取替用水タンク床応答曲線※（水平方向）より加速度を算出した。（図2参照）  
 加速度は、固有周期 [ ] (s)での値 [ ] Gを用いる。（1G=9.80665m/s<sup>2</sup>）

$$[ ] \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$\approx [ ] \text{ (m/s}^2\text{)}$$

【鉛直方向】

燃料取替用水タンク床応答曲線※（鉛直方向）より加速度を算出した。（図3参照）  
 鉛直方向は剛領域であることから、地震力として床加速度（ZPA）の1.2倍を用いる。

$$[ ] \text{ (G)} \quad (1G=9.80665\text{m/s}^2)$$

$$[ ] \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$\approx [ ] \text{ (m/s}^2\text{)}$$

※全波包絡FRSにより応答加速度を算出している。

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。

## &lt;評価結果&gt;

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る。

## 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、

$$W_w = m_0 - m_e - W_s =$$

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 $\omega$ 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、(s)は、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る。

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（ $\omega$ ）を用いて、

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

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、 $G$ 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
- $\theta_h$

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

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

- 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. 3 応力の計算 (JEAG4601-1987等による)

(1) 引張応力

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 $\alpha$ が $\pi$ と等しくなったときであり、 $\alpha$ を $\pi$ 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。

$$F_t = \frac{\sqrt{M^2 + (a_v \cdot m_0 \cdot z \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} - \frac{z \cdot m_0 \cdot g}{e}$$

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.  $\sigma_b$ 及び $\sigma_c$ を仮定して係数 $k$ を求める。

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

b.  $\alpha$ 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。

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

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

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

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

d. 各定数を用いて $F_t$ 及び $F_c$ を求める。

$$F_t = \frac{\sqrt{M^2 + (a_v \cdot m_0 \cdot z \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} - \frac{z \cdot m_0 \cdot g}{e}$$

$$F_c = \frac{\sqrt{M^2 + (a_v \cdot m_0 \cdot (z - e) \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} + \left(1 - \frac{z}{e}\right) \cdot m_0 \cdot g$$

e.  $\sigma_b$ 及び $\sigma_c$ を求める。

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

小数第1位以下を切り上げ)

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

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。

ここで、

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

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

$$A_b = \frac{\pi}{4} d_2^2 = \frac{\pi}{4} \times \{ \dots \}$$

(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、 $F_\mu = \{ \dots \} \times 10^7$

4. 評価結果

以上の結果をまとめると以下の表2の通りであり、耐震安全性評価上問題ない。

表2 評価結果 (燃料取替用水タンク)

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			0.64			0.65
せん断			0.35			0.36

\*減肉後の発生応力については、次式より求める。

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

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

なお、燃料取替用水タンクの基礎ボルトについては、工事計画において水平2方向および鉛直方向地震力の組み合わせによる影響評価の評価部位となっていることから、腐食(全面腐食)に対する耐震安全性評価においても水平2方向および鉛直方向地震力の組み合わせによる影響評価を行った。結果は以下の表3の通りであり、耐震安全性評価上問題ない。

表3 水平2方向および鉛直方向地震力の組み合わせを考慮した評価結果

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			0.78			0.81
せん断			0.50			0.51

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

材料の評価温度(40℃)における設計降伏点 (Sy)、設計引張強さ (Su) のデータより、

$$1.2S_y = 1.2 \times \text{[ ]} \text{ (MPa)}$$

$$0.7S_u = 0.7 \times \text{[ ]} \text{ (MPa)}$$

$$F = \text{Min}(1.2S_y, 0.7S_u) = \text{Min} \text{[ ]} \text{ (MPa)}$$

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

$$f_t^* = F/2 = \text{[ ]} / 2 = \text{[ ]} \text{ (MPa)}$$

よって、引張許容応力は、

$$1.5f_t^* = 1.5 \times \text{[ ]} = \text{[ ]} \text{ (MPa)}$$

## ・せん断応力の算出

$$f_s^* = F/1.5\sqrt{3} = \text{[ ]} / 1.5\sqrt{3} = \text{[ ]} \text{ (MPa)}$$

よって、せん断許容応力は、

$$1.5 f_s^* = 1.5 \times \text{[ ]} = \text{[ ]} \text{ (MPa)}$$

## ・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。

$$S_s \text{によるせん断応力 } \tau = \text{[ ]} \text{ (MPa)}$$

$$1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6 \tau = 1.4 \times \text{[ ]} - 1.6 \times \text{[ ]} \text{ (MPa)}$$

よって、組合せを考慮した引張許容応力は、

$$\text{Min}(1.5f_t^*, 1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6 \tau) = \text{Min} \text{[ ]} = \text{[ ]} \text{ (MPa)}$$

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 減衰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。

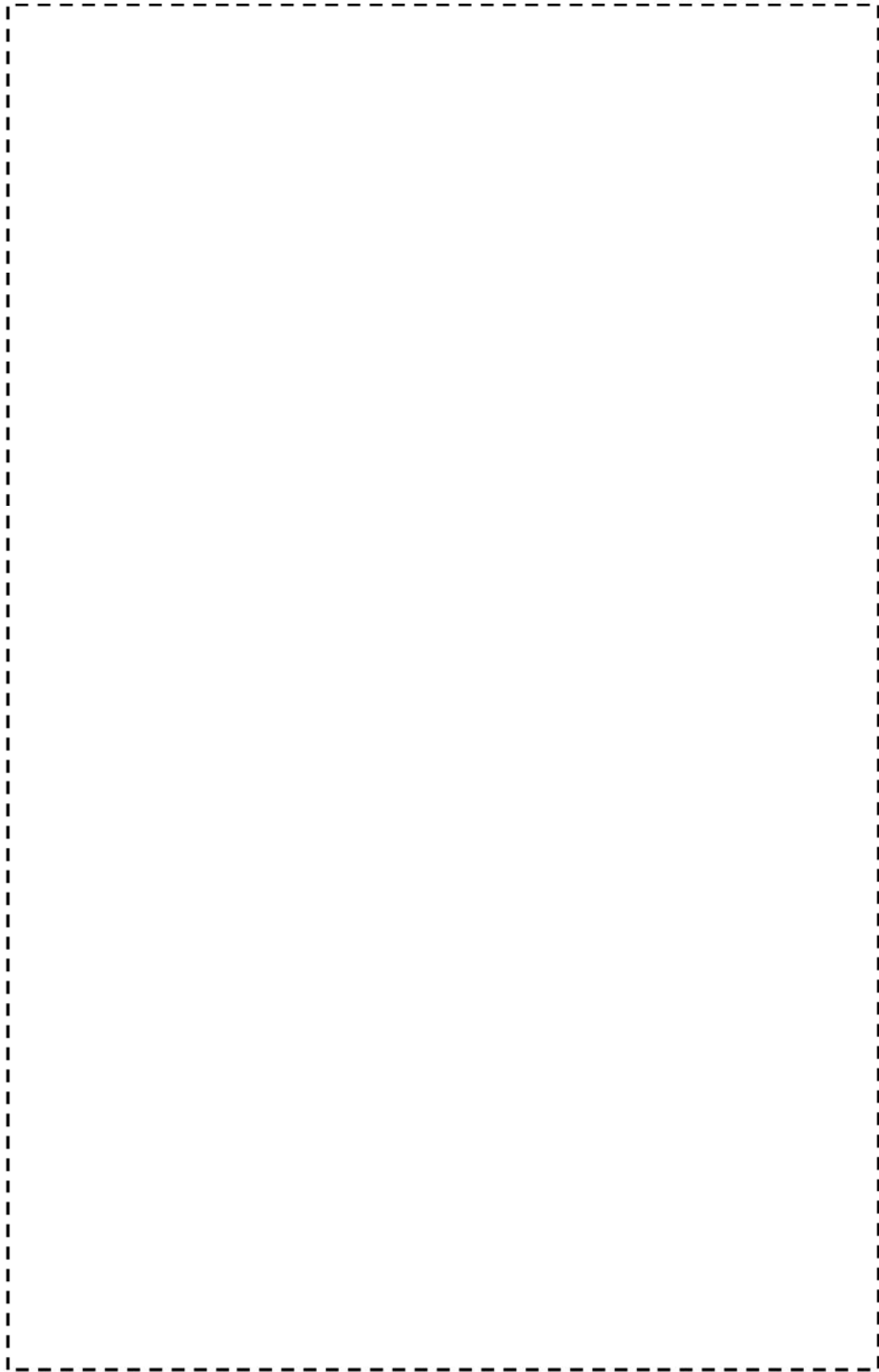


図3 燃料取替用水タンク 床応答曲線 (鉛直方向 減衰1%)

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。



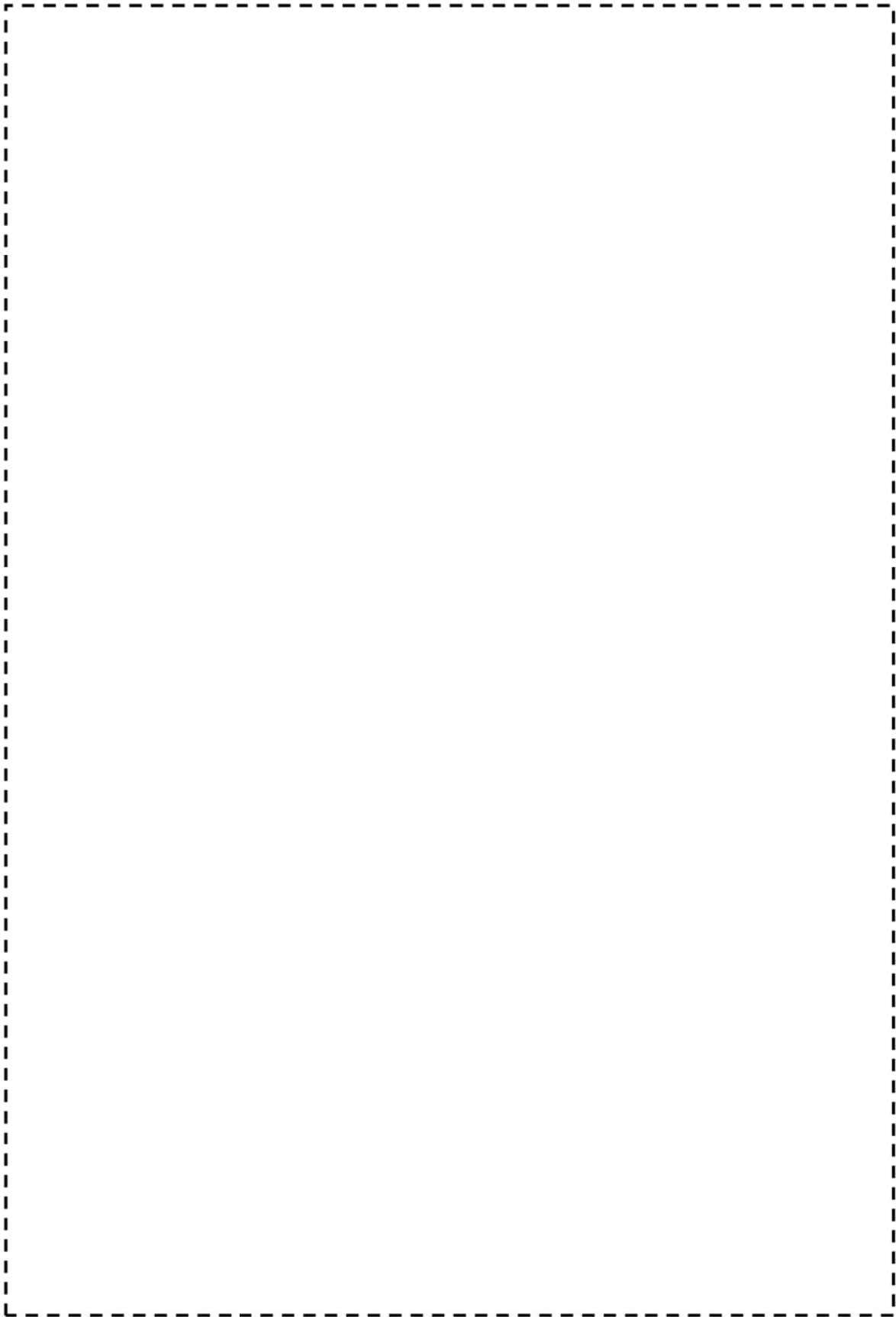
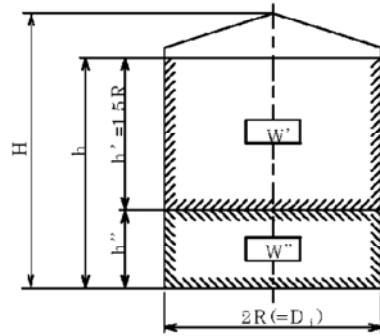


図4 燃料取替用水タンク 床応答曲線 (水平方向 減衰0.5%)

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。

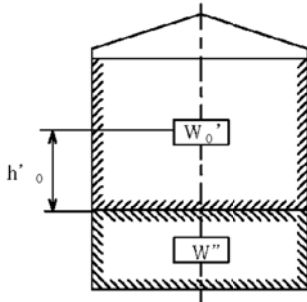
別図

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



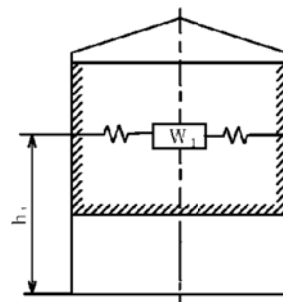
- $W'$ : 運動流体の質量
- $W''$ : 拘束流体の質量
- $R$ : タンク胴の内半径
- $D_i$ : タンク胴の内径
- $H$ : タンク全高
- $h$ : 自由液面高さ
- $h'$ : 運動流体の深さ
- $h''$ : 拘束流体の深さ

衝撃力を加味した計算

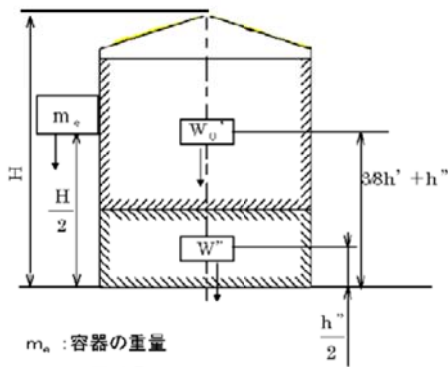


- $W_0'$ : 衝撃力を考慮した $W'$ の等価質量
- $h'_0$ :  $W_0'$ の等価着力点の高さ

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



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

(2) 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	—	℃	80
容器の満水時質量	$m_0$	kg	
容器の空質量	$m_e$	kg	
積雪質量	$W_s$	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	
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)：図3参照	$C_V$	G	
スロッシング評価用加速度：図4参照	$C''_{DH}$	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質点系応答解析結果にハウズナー理論で求めたスロッシング荷重を加算して評価を実施した。

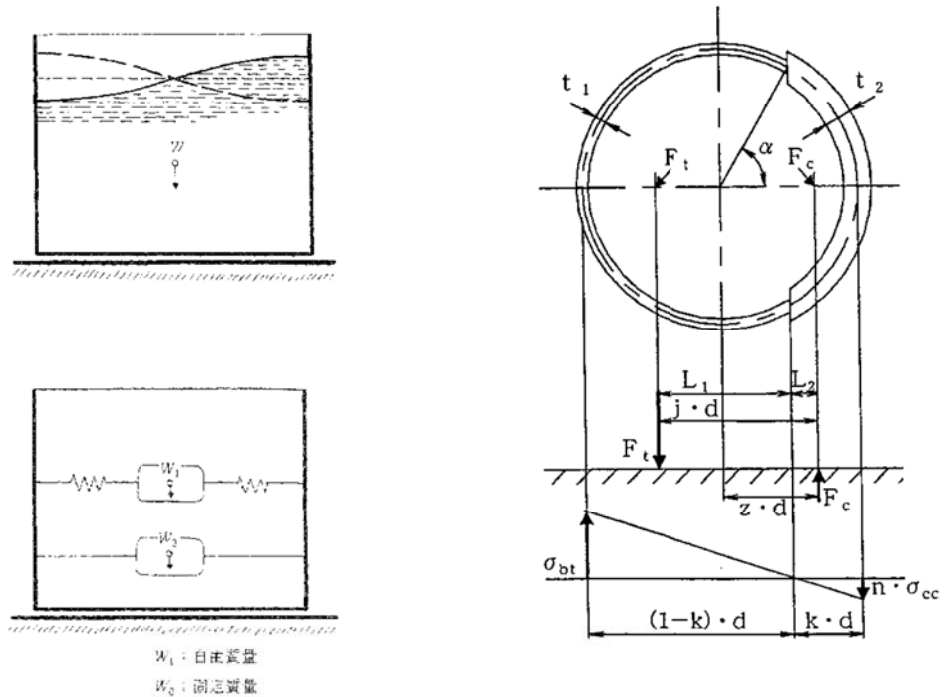


図1 解析モデル

<入力（荷重）条件>

【水平方向】

復水タンク床応答曲線※（水平方向）より加速度を算出した。（図2参照）  
 加速度は、固有周期  $T$  (s)での値  $G$ を用いる。（ $1G=9.80665\text{m/s}^2$ ）  
 $\frac{1}{T}$  (m/s<sup>2</sup>)

【鉛直方向】

復水タンク床応答曲線※（鉛直方向）より加速度を算出した。（図3参照）  
 鉛直方向は剛領域であることから、地震力として床加速度（ZPA）の1.2倍を用いる。  
 $1.2G$  (G) （ $1G=9.80665\text{m/s}^2$ ）  
 $\frac{1.2}{T}$  (m/s<sup>2</sup>)

※全波包絡FRSにより応答加速度を算出している。

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。

## &lt;評価結果&gt;

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る。

## 1. 地震荷重の計算

## a. 全等価重量

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

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

容器の内容水重量は、

$$W_w = m_0 - m_e - W_s = \quad$$

衝撃力を加味した内容水重量は、

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

衝撃力を加味した $W'$ の等価重量 $W_0'$ は、

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

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

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

全等価重量 $W_0$ は、

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

## b. 地震荷重

$$F_{H0} = a_H \cdot W_0 = C_H \cdot g \cdot W_0 = \quad \times 10^7$$

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。

## 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 $\omega$ 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 [ ] (s) は、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る。

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（ $\omega$ ）を用いて、

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

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 [ ]  $g$  であり、これに対応する応答速度 $v$ は、

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

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、

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

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

- d. 最大変位
- $A_1$
- 及び自由振動角度
- $\theta_h$

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

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

- 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

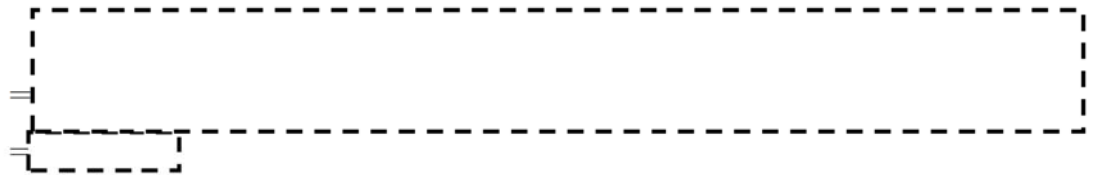
転倒モーメント

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

ここで、

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

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



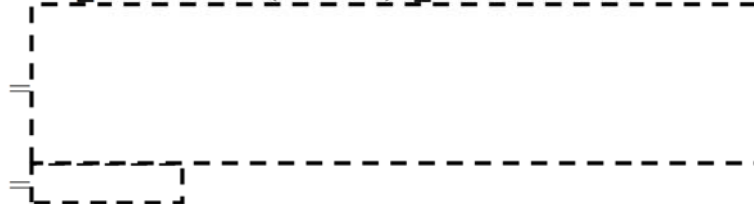
## 3. 2 振動力を加味した地震荷重

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 (JEAG4601-1987等による)

(1) 引張応力

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 $\alpha$ が $\pi$ と等しくなったときであり、 $\alpha$ を $\pi$ 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。

$$F_t = \frac{\sqrt{1.59674^2 \times 10^{22} + (7.4138274 \cdot 898100 \cdot 0.25 \cdot 9430)^2}}{0.75 \cdot 9430} - \frac{0.25 \cdot 898100 \cdot 9.80665}{0.75}$$

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.  $\sigma_b$ 及び $\sigma_c$ を仮定して係数 $k$ を求める。

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

b.  $\alpha$ を求める。

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

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。



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

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

$$X_5 =$$

$$X_6 =$$

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

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

d. 各定数を用いて $F_t$ 及び $F_c$ を求める。

$$F_t = \frac{\sqrt{M^2 + (a_v \cdot m_0 \cdot z \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} - \frac{z \cdot m_0 \cdot g}{e}$$

$$F_c = \frac{\sqrt{M^2 + (a_v \cdot m_0 \cdot (z - e) \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} + \left(1 - \frac{z}{e}\right) \cdot m_0 \cdot g$$

e.  $\sigma_b$ 及び $\sigma_c$ を求める。

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

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

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。

ここで、

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

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

$$A_b = \frac{\pi}{4} d_2^2$$

(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)

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

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

×10<sup>7</sup>

ここで、 $F_\mu =$

#### 4. 評価結果

以上の結果をまとめると以下の表2の通りであり、耐震安全性評価上問題ない。

表2 評価結果 (復水タンク)

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			0.58			0.60
せん断			0.28			0.29

\*減肉後の発生応力については、次式より求める。

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

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

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

材料の評価温度(40°C)における設計降伏点 (Sy)、設計引張強さ (Su) のデータより、

$$1.2S_y = 1.2 \times \boxed{\phantom{000}} \text{ (MPa)}$$

$$0.7S_u = 0.7 \times \boxed{\phantom{000}} \text{ (MPa)}$$

$$F = \text{Min}(1.2S_y, 0.7S_u) = \text{Min} \left[ \boxed{\phantom{000}}, \boxed{\phantom{000}} \right] \text{ (MPa)}$$

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

$$f_t^* = F/2 = \boxed{\phantom{000}}/2 = \boxed{\phantom{000}} \text{ (MPa)}$$

よって、引張許容応力は、

$$1.5f_t^* = 1.5 \times \boxed{\phantom{000}} \text{ (MPa)}$$

## ・せん断応力の算出

$$f_s^* = F/1.5\sqrt{3} = \boxed{\phantom{000}}/1.5\sqrt{3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ (MPa)}$$

よって、せん断許容応力は、

$$1.5f_s^* = 1.5 \times \boxed{\phantom{000}} \text{ (MPa)}$$

## ・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。

$$S_s \text{によるせん断応力 } \tau = \boxed{\phantom{000}} \text{ (MPa)}$$

$$1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6\tau = 1.4 \times \boxed{\phantom{000}} - 1.6 \times \boxed{\phantom{000}} \text{ (MPa)}$$

よって、組合せを考慮した引張許容応力は、

$$\text{Min}(1.5f_t^*, 1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6\tau) = \text{Min} \left[ \boxed{\phantom{000}}, \boxed{\phantom{000}} \right] \text{ (MPa)}$$

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 復水タンク 床応答曲線 (水平方向 減衰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。

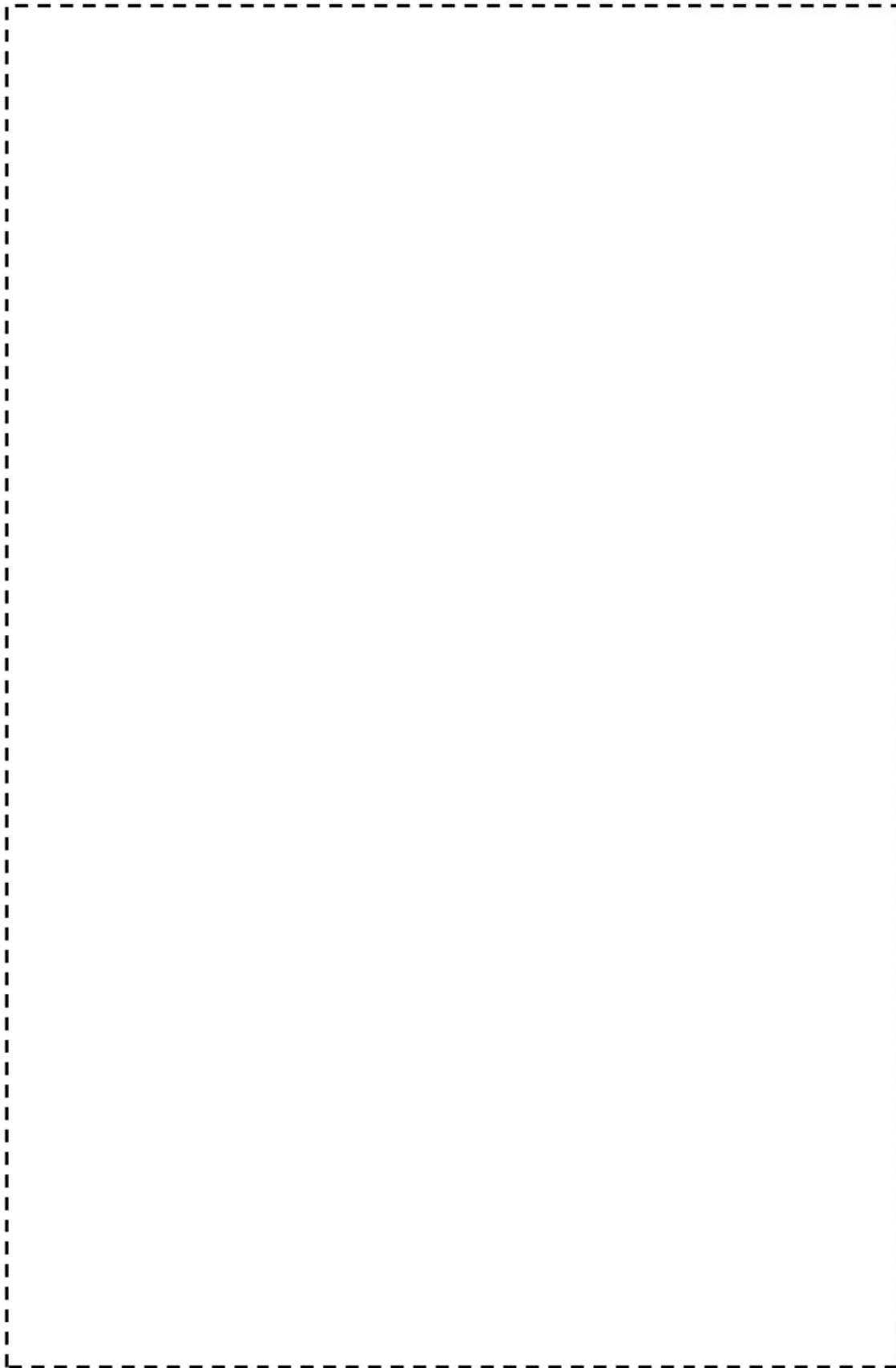


図3 復水タンク 床応答曲線（鉛直方向 減衰1%）

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。

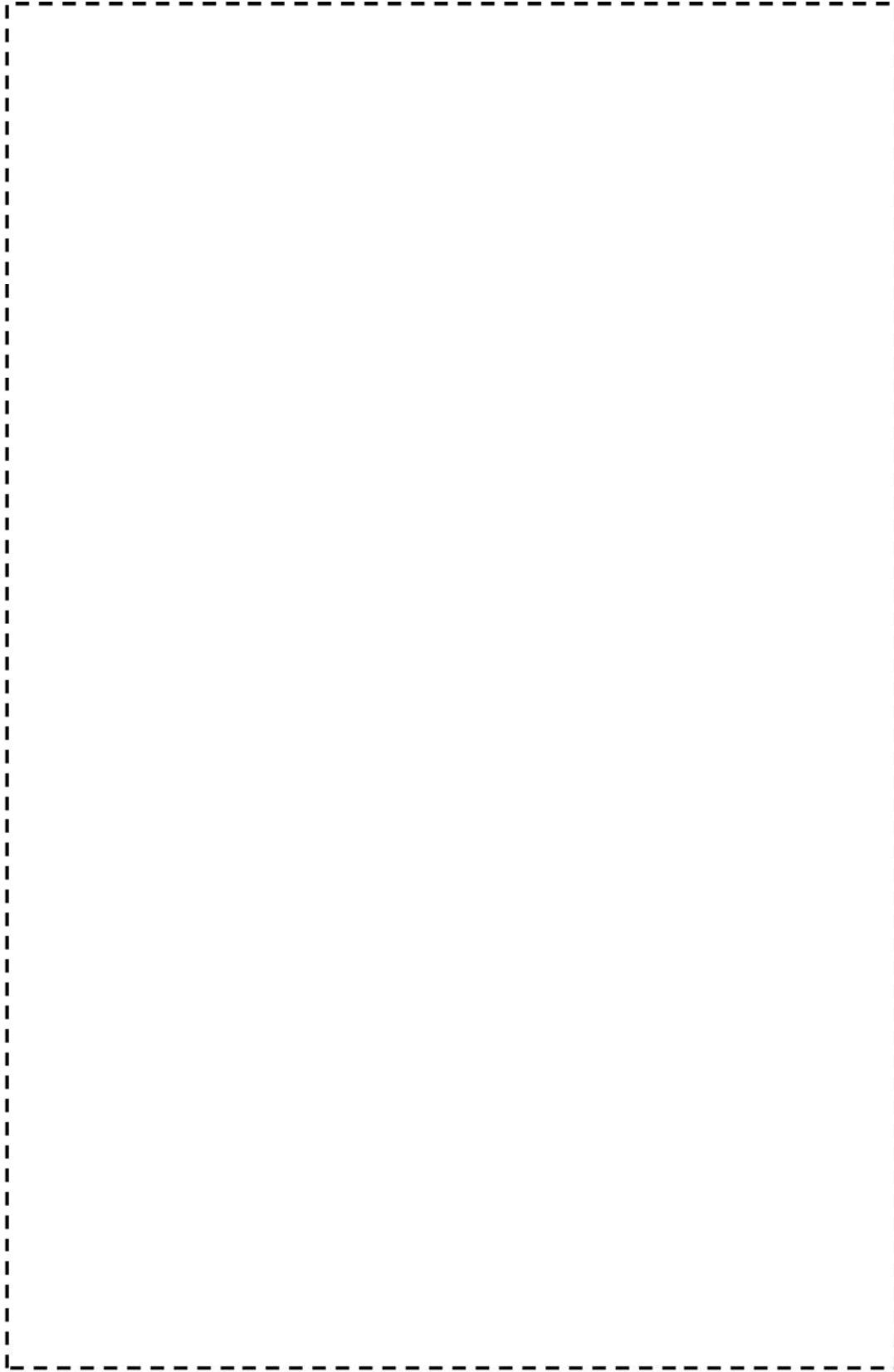
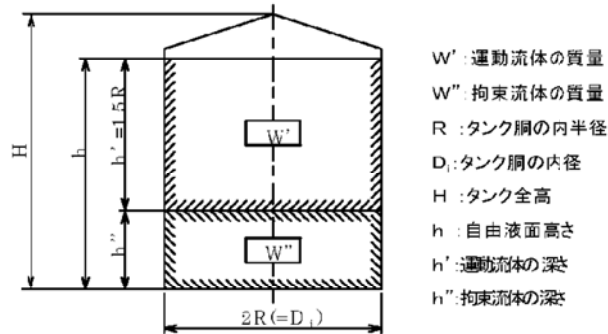


図4 復水タンク 床応答曲線 (水平方向 減衰0.5%)

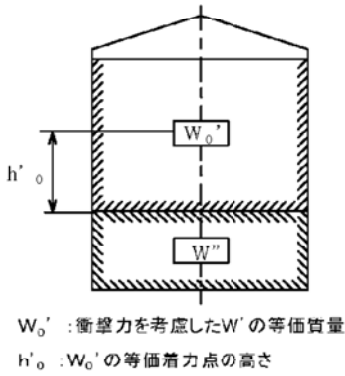
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

別図

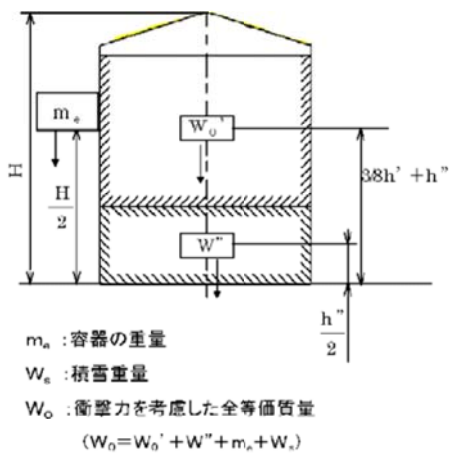
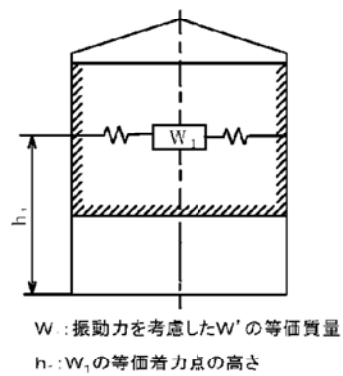
復水タンクの基礎ボルト評価に用いる 質量・高さ・径の説明図



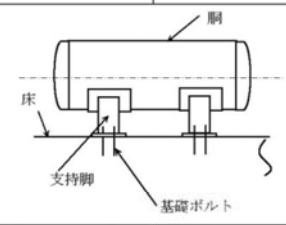
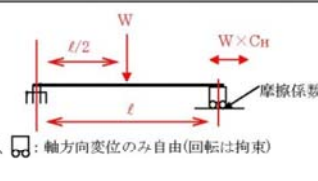
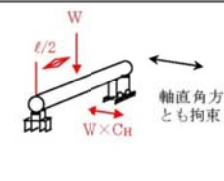
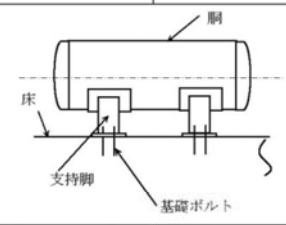
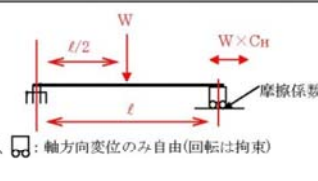
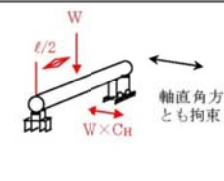
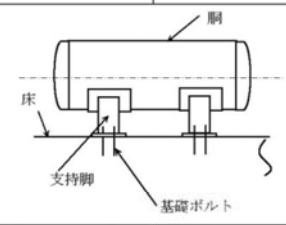
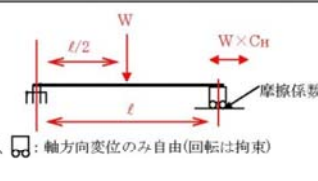
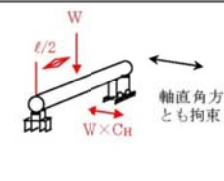
衝撃力を加味した計算



揺動力を加味した計算



美浜3号炉－耐震－2 5 rev2

<p>タイトル</p>	<p>廃液蒸発装置蒸発器胴板の応力腐食割れ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）について。</p>								
<p>説明</p>	<p>廃液蒸発装置蒸発器胴板の地震時発生応力が最も大きくなる箇所に、半周の貫通き裂を想定し、地震時の発生応力が安定限界応力を上回らないことを確認する。</p> <p>1. 評価手順</p> <p>(1) 地震力</p> <p>廃液蒸発装置は、耐震クラスBであるため、設置エリアに対応する水平静的震度 [ ] と、1/2Sdの水平動的震度 [ ] (Sd床応答曲線のピーク値の1/2：添付1参照) の大きい方を用いる。</p> <p>(2) 発生応力の算出</p> <p>下記のとおり、地震時の発生応力（地震、内圧、自重）を算出する。</p> <table border="1" data-bbox="470 1075 1300 1948"> <thead> <tr> <th colspan="2">荷重の方向</th> </tr> <tr> <th>軸方向地震時</th> <th>軸直角方向地震時</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">  </td> </tr> <tr> <td>  <p> <math>\sigma_{内圧} = \frac{p \times (d_i + 1.2t)}{4 \times t}</math>            自重による最大曲げモーメントによる応力 (両端固定支持条件)  <math>\sigma_{自重} = \frac{Ma}{Z} = \frac{8}{Z} \times \frac{1}{2} W l</math>            水平地震荷重による全断面への引張応力  <math>\sigma_{地震} = \frac{1}{4} \times \frac{\pi}{\pi} \times \frac{W \times C_H}{(d_o^2 - d_i^2)}</math> (但し、<math>C_H &lt; C</math> の場合)            発生応力：<math>\sigma_{内圧} + \sigma_{自重} + \sigma_{地震}</math> </p> </td> <td>  <p> <math>\sigma_{内圧} = \frac{p \times (d_i + 1.2t)}{4 \times t}</math>            自重による最大曲げモーメント  <math>Ma = \frac{1}{8} W l</math> (両端固定支持条件)            地震荷重による最大曲げモーメント  <math>Mb = \frac{1}{8} W l C_H</math> (両端固定支持条件)            自重と地震荷重による応力  <math>\sigma_{自重+地震} = \frac{(Ma + Mb)}{Z}</math>            発生応力：<math>\sigma_{内圧} + \sigma_{自重+地震}</math> </p> </td> </tr> </tbody> </table> <p> <math>\square</math> : 固定、<math>\square</math> : 軸方向変位のみ自由(回転は拘束)            軸直角方向は変位・回転とも拘束(完全固定支持)         </p> <p>※評価機器において、重心位置に偏りがある場合でも、材料力学の考えより重心位置をタンクの中心で評価したほうが保守的な評価となることから、評価位置を中心としている。</p>	荷重の方向		軸方向地震時	軸直角方向地震時			 <p> <math>\sigma_{内圧} = \frac{p \times (d_i + 1.2t)}{4 \times t}</math>            自重による最大曲げモーメントによる応力 (両端固定支持条件)  <math>\sigma_{自重} = \frac{Ma}{Z} = \frac{8}{Z} \times \frac{1}{2} W l</math>            水平地震荷重による全断面への引張応力  <math>\sigma_{地震} = \frac{1}{4} \times \frac{\pi}{\pi} \times \frac{W \times C_H}{(d_o^2 - d_i^2)}</math> (但し、<math>C_H &lt; C</math> の場合)            発生応力：<math>\sigma_{内圧} + \sigma_{自重} + \sigma_{地震}</math> </p>	 <p> <math>\sigma_{内圧} = \frac{p \times (d_i + 1.2t)}{4 \times t}</math>            自重による最大曲げモーメント  <math>Ma = \frac{1}{8} W l</math> (両端固定支持条件)            地震荷重による最大曲げモーメント  <math>Mb = \frac{1}{8} W l C_H</math> (両端固定支持条件)            自重と地震荷重による応力  <math>\sigma_{自重+地震} = \frac{(Ma + Mb)}{Z}</math>            発生応力：<math>\sigma_{内圧} + \sigma_{自重+地震}</math> </p>
荷重の方向									
軸方向地震時	軸直角方向地震時								
									
 <p> <math>\sigma_{内圧} = \frac{p \times (d_i + 1.2t)}{4 \times t}</math>            自重による最大曲げモーメントによる応力 (両端固定支持条件)  <math>\sigma_{自重} = \frac{Ma}{Z} = \frac{8}{Z} \times \frac{1}{2} W l</math>            水平地震荷重による全断面への引張応力  <math>\sigma_{地震} = \frac{1}{4} \times \frac{\pi}{\pi} \times \frac{W \times C_H}{(d_o^2 - d_i^2)}</math> (但し、<math>C_H &lt; C</math> の場合)            発生応力：<math>\sigma_{内圧} + \sigma_{自重} + \sigma_{地震}</math> </p>	 <p> <math>\sigma_{内圧} = \frac{p \times (d_i + 1.2t)}{4 \times t}</math>            自重による最大曲げモーメント  <math>Ma = \frac{1}{8} W l</math> (両端固定支持条件)            地震荷重による最大曲げモーメント  <math>Mb = \frac{1}{8} W l C_H</math> (両端固定支持条件)            自重と地震荷重による応力  <math>\sigma_{自重+地震} = \frac{(Ma + Mb)}{Z}</math>            発生応力：<math>\sigma_{内圧} + \sigma_{自重+地震}</math> </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。



(3)耐震安全性評価

「正味応力概念」に基づき、半周の貫通き裂を考慮した場合のき裂安定限界応力を算出<sup>※</sup>し、(2)で算出した発生応力がこれを上回らないことを確認する。なお、添付2に示すとおり蒸発器胴板の溶接線と、き裂想定部位は異なることから、Z係数を乗じた弾塑性破壊力学評価は実施していない。

※：原子力発電所配管破損防護設計技術指針（JEAG 4613-1998）に基づく評価方法を用いた。

2. 評価結果

評価結果は表1のとおりであり、応力腐食割れに対する耐震安全性に問題はない。

表1 応力腐食割れに対する耐震安全性評価結果

	想定き裂	耐震安全性評価		
	き裂角度 (°)	地震時応力 (MPa)	き裂安定 限界応力 (MPa)	応力比
軸方向地震	180			0.15
軸直角方向地震				0.17

【評価に用いたデータ一覧】

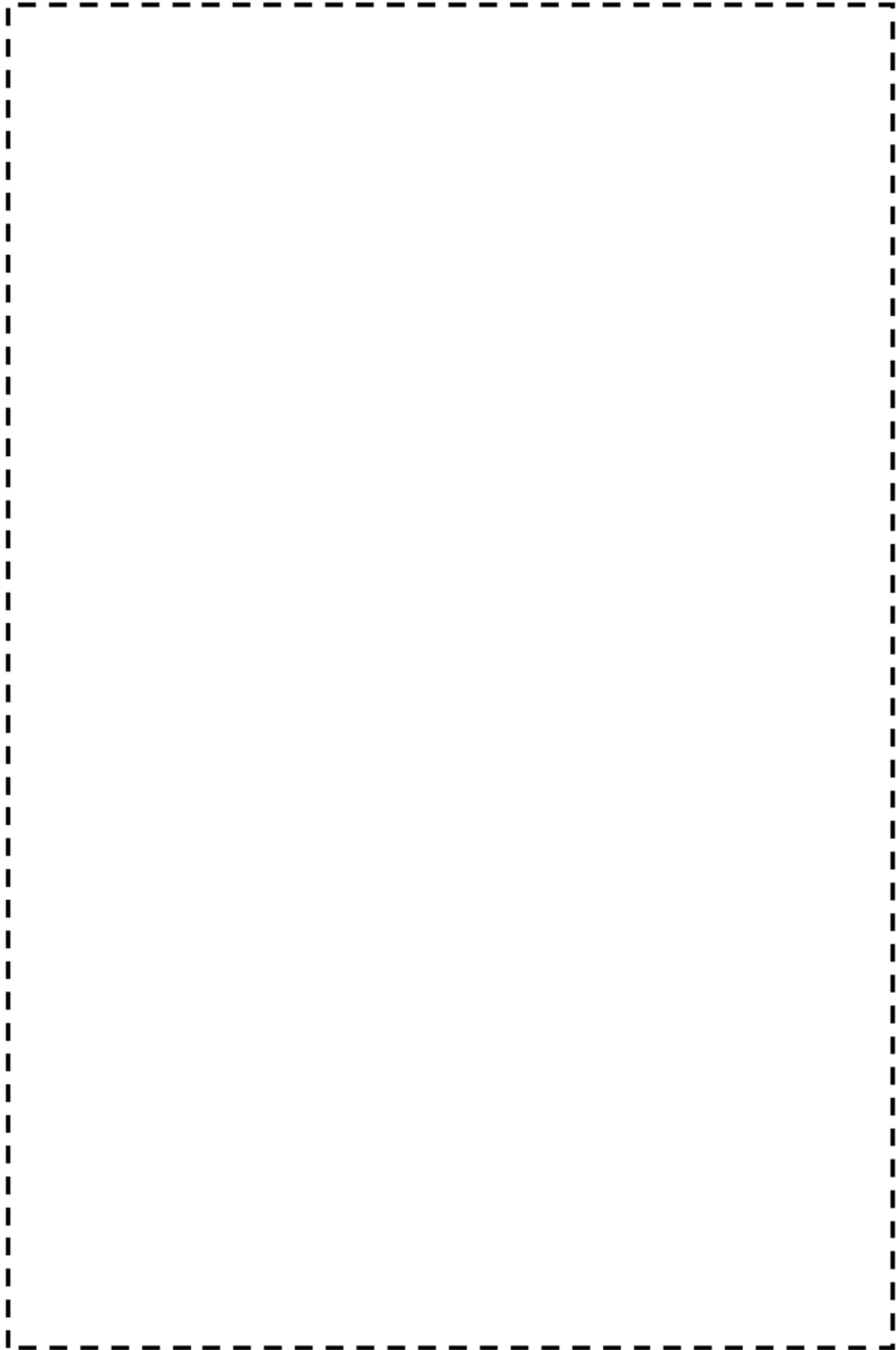
項目	単位	記号	数式	インポートデータ または結果
板厚	mm	t	蒸発器組立図より	
き裂角度	°	2θ		
胴外径	mm	D <sub>o</sub>	D <sub>o</sub> +t×2	
胴内径	mm	D <sub>i</sub>	蒸発器組立図より	
内圧	MPa	P	蒸発器組立図より(最高使用圧力:1kg/cm <sup>2</sup> )	
蒸発器重量	kg	W <sub>0</sub>	蒸発器既工認より (蒸発器+#1精留塔+#2精留塔、満水時重量)	
設計降伏点	MPa	S <sub>y</sub>	SUS316L、150°C JSME Part5 表8より	
設計引張強さ	MPa	S <sub>u</sub>	SUS316L、150°C JSME Part5 表9より	
設計地震力	-	C <sub>H</sub>	PLM耐震条件(動的地震力)より: 原子炉補助建屋FRS(質点番号:7)のピーク1/2の値	
外半径	mm	R <sub>o</sub>	D <sub>o</sub> /2	
内半径	mm	R <sub>i</sub>	D <sub>i</sub> /2	
平均半径	mm	R <sub>m</sub>	(外半径+内半径)/2	
支持脚中心間距離	mm	L	蒸発器組立図より	
流動応力(許容応力)	MPa	S <sub>f</sub>	(S <sub>y</sub> +S <sub>u</sub> )/2	
膜応力	MPa	P <sub>m</sub>	P×D <sub>o</sub> /(4×t)	
き裂半角度	°	β		
-	rad	α	β/180×π	
-	rad	β	((π-α)-(P <sub>m</sub> /S <sub>f</sub> )×π)/2	
破壊時曲げ応力	MPa	P <sub>b</sub> '	2×S <sub>y</sub> ×(2sinβ-sinα)/π	
安定限界応力	MPa	P <sub>f</sub>	P <sub>m</sub> +P <sub>b</sub> '	
軸方向地震時				
内圧による応力	MPa	σ <sub>内圧</sub>	P×(D <sub>o</sub> +1.2t)/(4×t)	
自重による曲げモーメントによる応力	MPa	σ <sub>自重</sub>	(W <sub>0</sub> ×9.80665×L/8)/Z	
水平地震力による応力	MPa	σ <sub>地震</sub>	(W <sub>0</sub> ×9.80665×C <sub>H</sub> /2)/(π/4×(D <sub>o</sub> <sup>2</sup> -D <sub>i</sub> <sup>2</sup> ))	
発生応力	MPa	σ <sub>軸</sub>	σ <sub>内圧</sub> +σ <sub>自重</sub> +σ <sub>地震</sub>	
軸直角方向地震時				
内圧による応力	MPa	σ <sub>内圧</sub>	P×(D <sub>o</sub> +1.2t)/(4×t)	
自重による曲げモーメント	N·mm	M <sub>自重</sub>	W <sub>0</sub> ×9.80665×L/8	
地震による曲げモーメント	N·mm	M <sub>地震</sub>	(W <sub>0</sub> ×9.80665×L/8)×C <sub>H</sub>	
自重と地震による応力	MPa	σ <sub>自重+地震</sub>	(M <sub>自重</sub> +M <sub>地震</sub> )/Z	
発生応力	MPa	σ <sub>軸直角</sub>	σ <sub>内圧</sub> +σ <sub>自重+地震</sub>	

※以下の計算により真円筒での断面係数(Z)を算出した。

断面係数	Z	mm <sup>3</sup>	π(D <sub>o</sub> <sup>3</sup> -D <sub>i</sub> <sup>3</sup> )/32D <sub>o</sub>
------	---	-----------------	---

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。

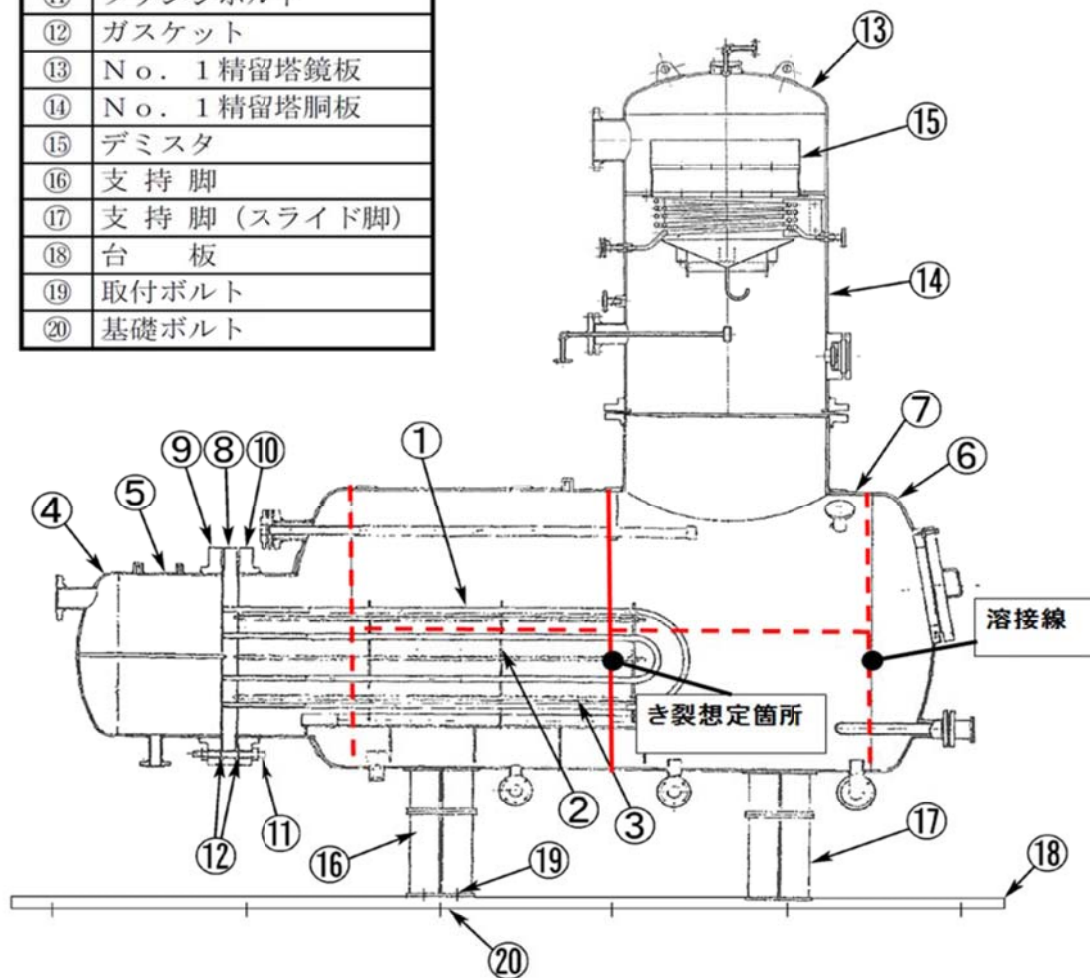


美浜3号機 AB EL.17 水平AB07 (sd波)  
水平方向 減衰1.0%

図 1 美浜 3 号機 原子炉補助建屋 床応答曲線 (全波包絡 F R S)

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.	部 位
①	伝熱管
②	邪魔板
③	支持棒
④	蒸気室鏡板
⑤	蒸気室胴板
⑥	蒸発器鏡板
⑦	蒸発器胴板
⑧	管 板
⑨	蒸気室側フランジ
⑩	蒸発器側フランジ
⑪	フランジボルト
⑫	ガスケット
⑬	N o . 1 精留塔鏡板
⑭	N o . 1 精留塔胴板
⑮	デミスタ
⑯	支持脚
⑰	支持脚 (スライド脚)
⑱	台 板
⑲	取付ボルト
⑳	基礎ボルト



※き裂の想定箇所は2本の支持脚の中間の位置と想定した。

廃液蒸発装置蒸発器胴板の溶接線とき裂想定部位との関係図



蒸気発生器支持脚のヒンジ摺動部の摩耗に対する具体的評価の内容について

<評価仕様>

蒸気発生器支持脚ヒンジの摩耗深さは0.03mmとする。

<解析モデル>

蒸気発生器支持脚の概略図及び評価対象箇所を図1、2に示します。

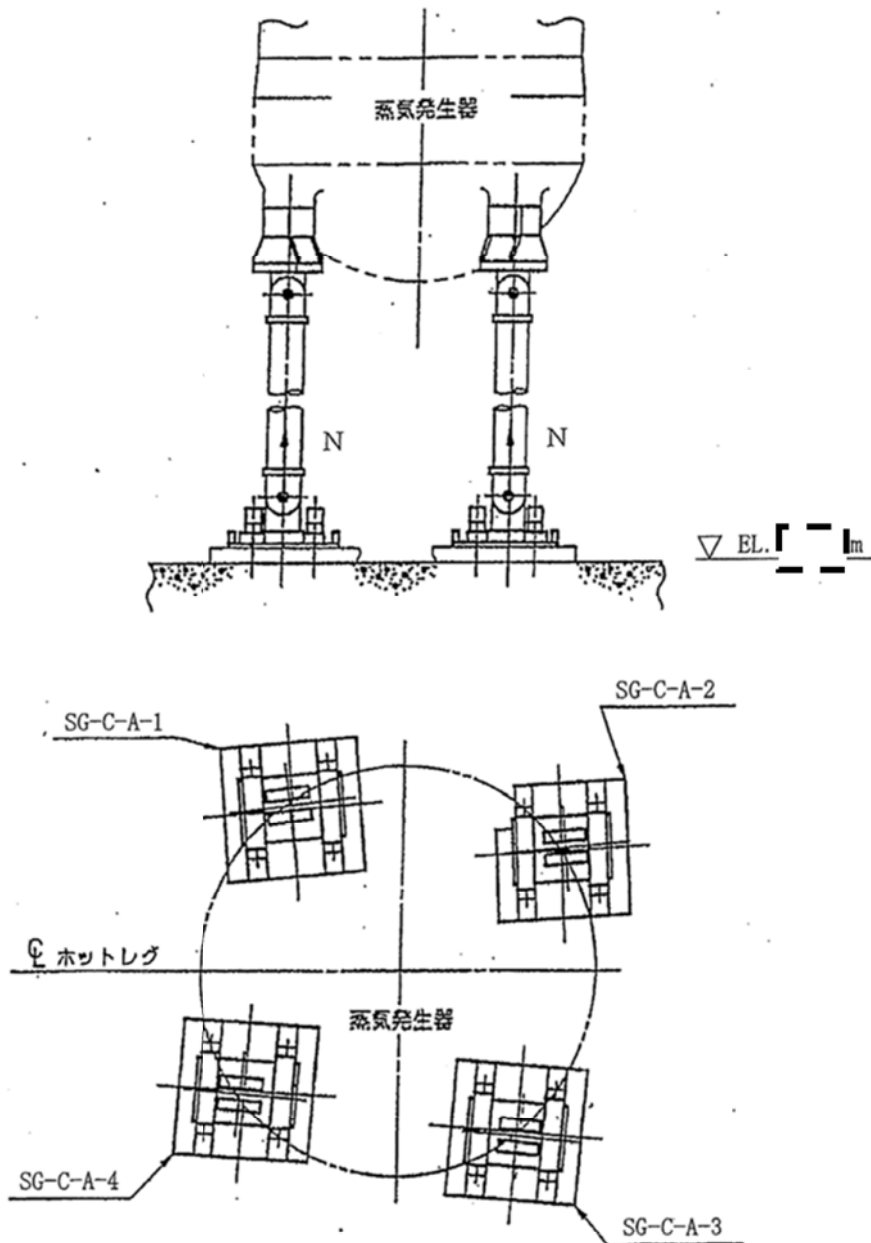


図1 蒸気発生器支持脚概略図

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

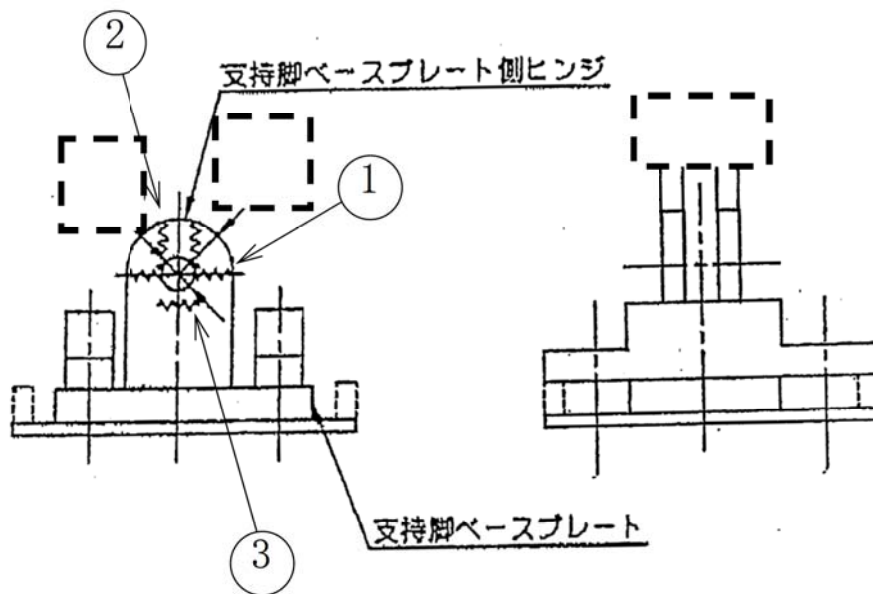
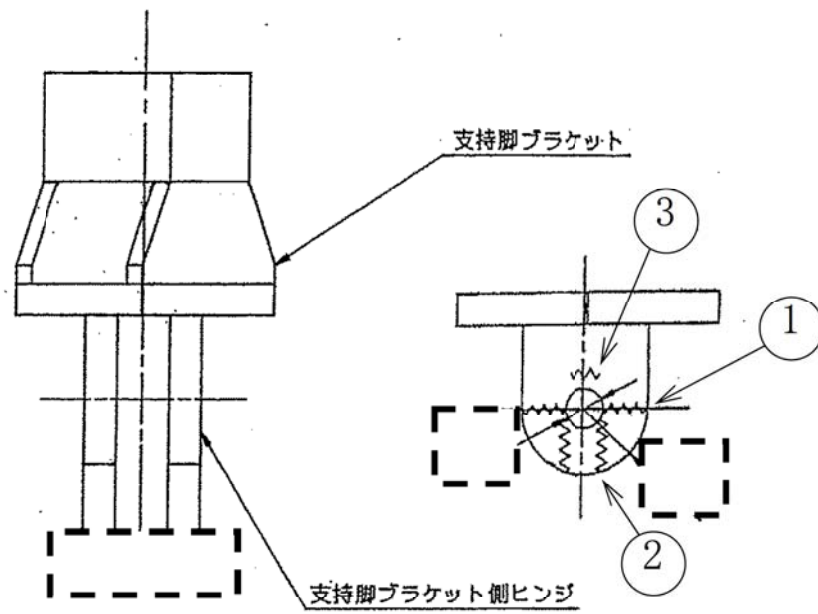


図2 評価対象箇所 (1/2)

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

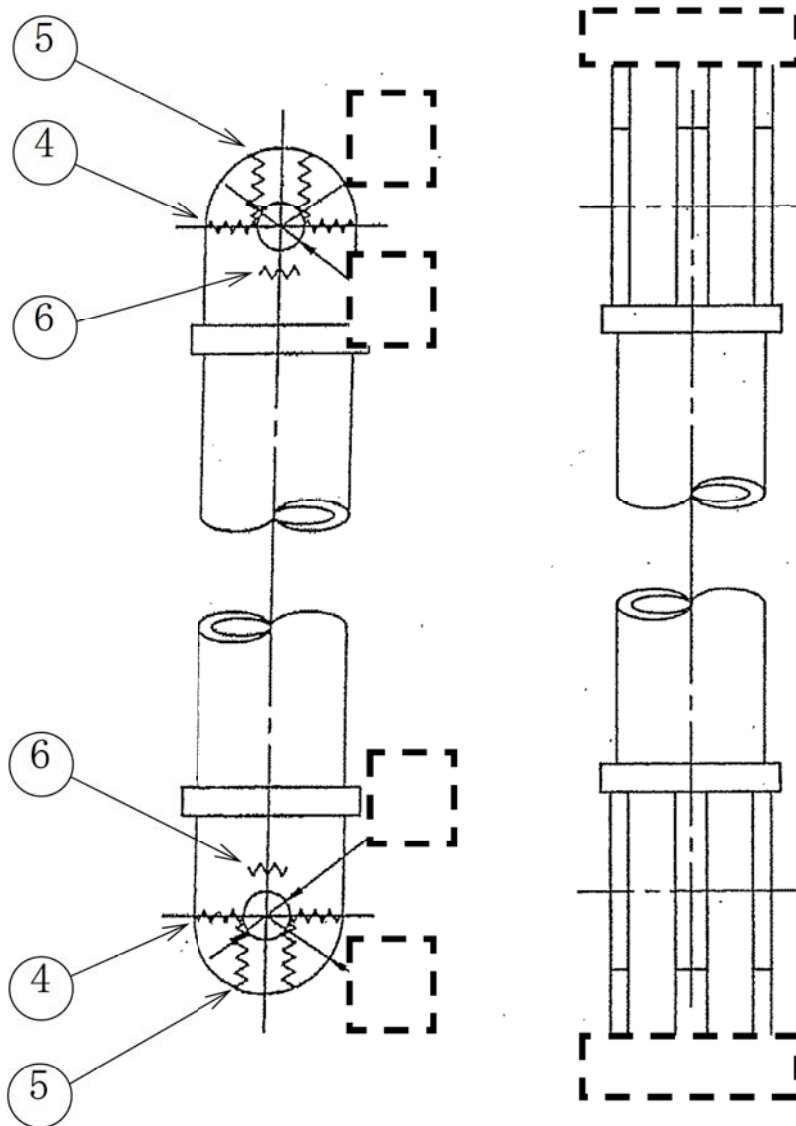


図2 評価対象箇所 (2/2)

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

<入力（荷重）条件>

蒸気発生器支持脚に作用する一次応力及び一次+二次応力評価用の最大荷重は、下記のとおり。

- (1) 一次応力評価用荷重
  - 引張荷重  $N =$  kN
  - 圧縮荷重  $N =$  kN
- (2) 一次+二次応力評価用荷重
  - 引張荷重  $N =$  kN
  - 圧縮荷重  $N =$  kN

<許容応力>

各部材の許容応力を表1に示す。

表1 各部材の許容応力

機器	部 位	材 料	温度 (°C)	許容応力(MPa)		
				1.5f <sub>t</sub> *	1.5f <sub>s</sub> *	1.5f <sub>p</sub> *
SG	支持脚ブラケット側ヒンジ					
	支持脚					
	ベースプレート側ヒンジ					
	サポートパイプ側ヒンジ					

<評価部面積>

評価部面積を以下に示す。番号については図2を参照のこと。

①部 断面積  
 $A_{t1} =$  mm<sup>2</sup>

②部 せん断に対する断面積  
 $A_{s2} =$  mm<sup>2</sup>

③部 支圧面積  
 $A_{p3} =$  mm<sup>2</sup>

④部 断面積  
 $A_{t4} =$  mm<sup>2</sup>

⑤部 せん断に対する断面積  
 $A_{s5} =$  mm<sup>2</sup>

⑥部 支圧面積  
 $A_{p6} =$  mm<sup>2</sup>

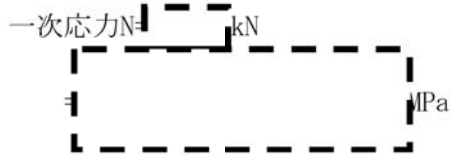
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

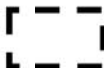


<発生応力および応力比の算出>

①部 引張応力

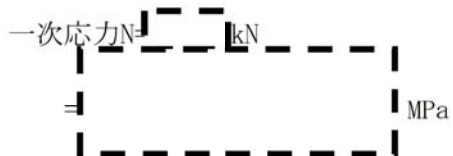
$$\sigma_{t1} = \frac{N}{A_{t1}}$$




よって応力比は  → 0.26

②部 せん断応力

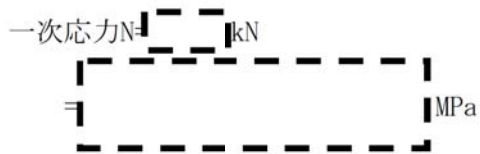
$$\tau_2 = \frac{N}{A_{s2}}$$




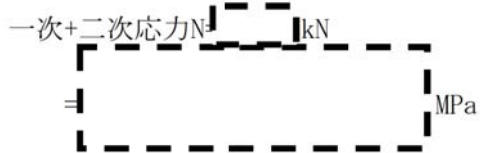
よって応力比は  → 0.33

③部 支圧応力

$$\sigma_{p3} = \frac{N}{A_{p3}}$$



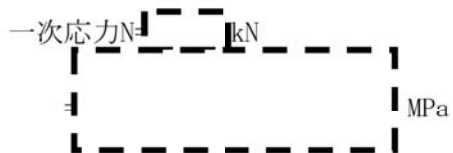
よって応力比は  → 0.70

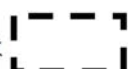


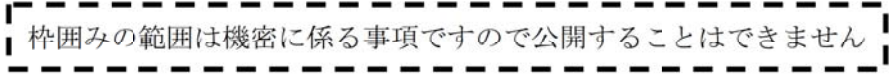
よって応力比は  → 0.77

④部 引張応力

$$\sigma_{t4} = \frac{N}{A_{t4}}$$

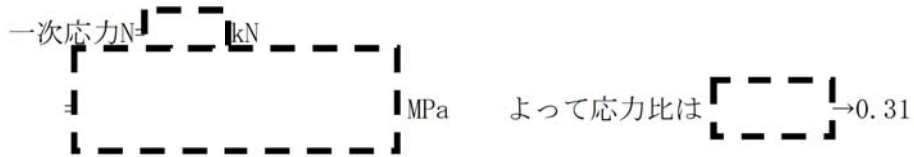


よって応力比は  → 0.24



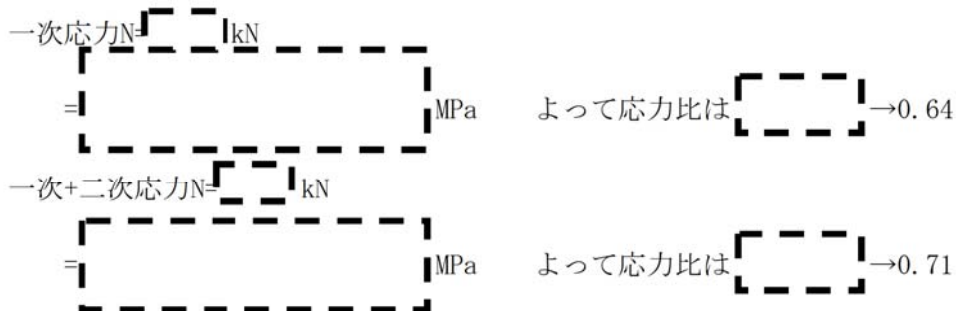
⑤部 せん断応力

$$\tau_{s5} = \frac{N}{A_{s5}}$$



⑥部 支圧応力

$$\sigma_{p6} = \frac{N}{A_{p6}}$$



<評価結果>

最大の応力比を示した部位（1次応力は②部、1次+2次応力は③部）の評価結果を表2に示す。地震時に発生する応力は許容応力を下回っていることから耐震安全性評価上問題ない。

表2 評価結果

評価対象	耐震クラス	許容応力状態	地震	発生応力 (MPa)		許容応力 (MPa)		応力比*1	
				一次*2	一次+二次*3	一次	一次+二次	一次	一次+二次
蒸気発生器 支持脚	S	Ds	Ss*4					0.33	0.77

\*1：応力比＝発生応力/許容応力

\*2：③及び⑥部（支圧応力）は摩耗による影響がないため、③部及び⑥部を除いて応力比が最も厳しい②部を代表としている。

\*3：1次+2次応力による評価は③及び⑥部（支圧部）のみであるため、応力比が最も厳しい③部を代表としている。

\*4：全波包絡荷重による評価

全波包絡荷重：25波それぞれで、荷重6成分（Fx、Fy、Fz、Mx、My、Mz）のうち評価に用いる荷重成分で（Max Fx1-24、Max Fy1-24、Max Fz1-24、Max Mx1-24、Max My1-24、Max Mz1-24）を算出し、25波包絡荷重にて評価を実施した。

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

美浜3号炉－耐震－29

タイトル	設計地震応答曲線S a とS d 及びS 1 の応答スペクトルの比較について。
説明	美浜3号機における、設計地震応答曲線S a とS d 及びS 1 の応答スペクトルの比較を添付1に示す。

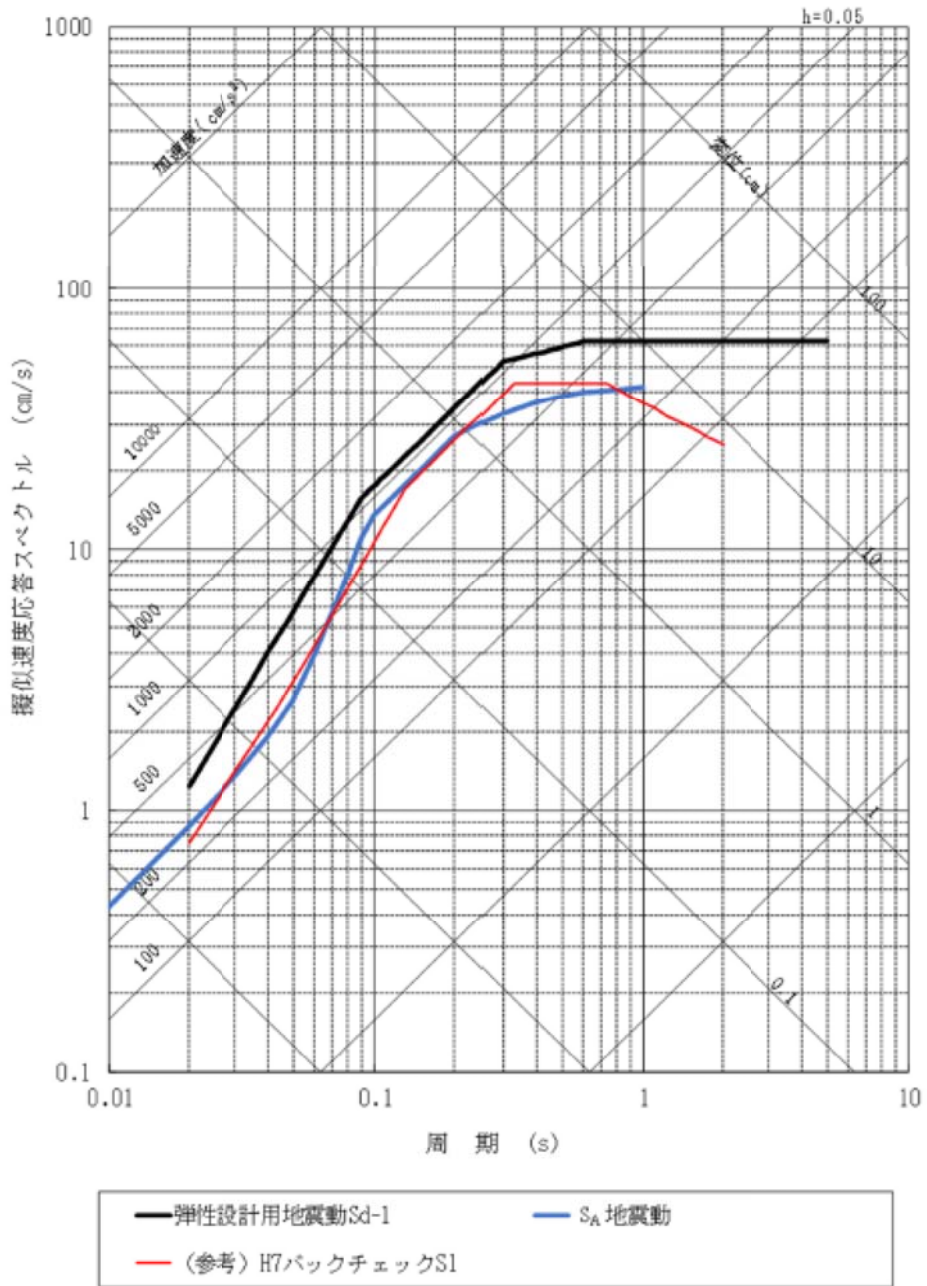


図1 弾性設計用地震動S dとS a地震動の応答スペクトルの比較

(出典：美浜3号機 設置許可申請資料 添付書類八)

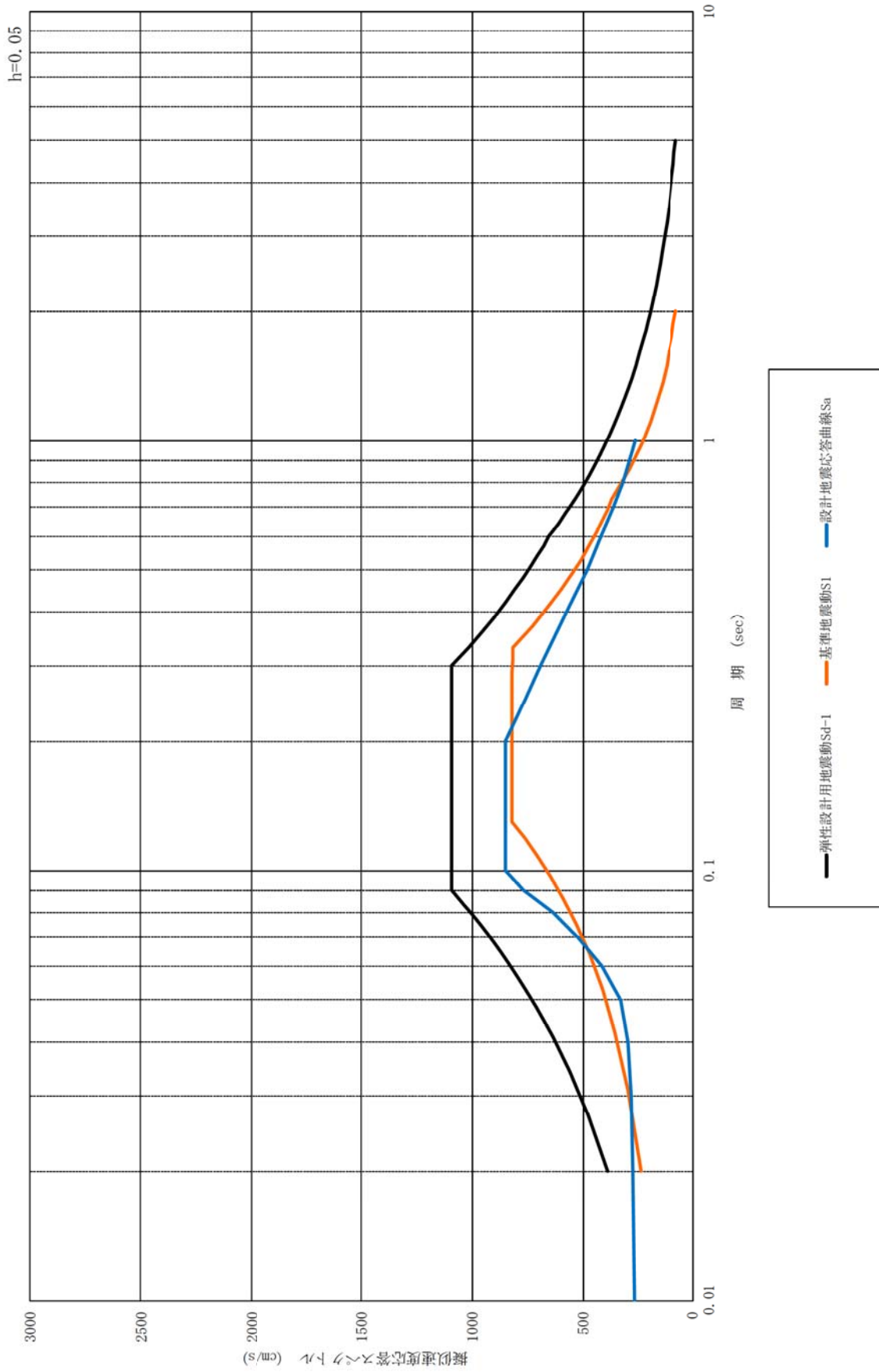


図2 弾性設計用地震動 S d と基準地震動 S 1 の比較  
 (出典：美浜 3 号機 工認ヒアリング資料)

美浜3号炉-40年目追加評価-1 rev 1

<p>タイトル</p>	<p>(①-7頁) 原子炉容器の炉内計装筒について、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評価の解析条件の違い及びそれに伴う評価結果の相違について</p>								
<p>説明</p>	<p>原子炉容器の炉内計装筒について、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 原子炉容器の炉内計装筒の疲労評価結果（疲労累積係数）の比較</p> <table border="1" data-bbox="520 663 1262 853"> <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>原子炉容器 炉内計装筒</td> <td>0.000 (0.000)</td> <td>0.140 (0.006)</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>PLM40の疲労評価においては、鏡部に対し斜めに取り付いた管台に発生する影響を考慮するため、3次元解析結果と管台が中央に位置していると仮定する2次元解析結果との比を3次元効果係数として算出し、2次元解析結果にその係数を掛け合わせて評価を実施<sup>*1</sup>することに加え、さらに、J溶接部と炉内計装筒の結合部に対して保守的に応力集中係数も考慮<sup>*2</sup>している。これらの差異がPLM30とPLM40とでUf値およびUen値に違いが生じる大きな理由である。</p> <p>※1 PLM30では溶接部近傍の応力が最大となるように、溶接結合長さが最小の中央近傍の管台を代表として評価を実施したが、PLM40ではより保守的な評価を行うために最外周の斜めに取り付く影響も加えた評価を実施している。これは高浜1号炉の炉内計装筒管台(最外周)に傷が発見され、補修工事の評価を行う際に最外周の影響を明確に考慮するために評価に取り入れたもので、以降は保守的に同様な評価を実施している。</p> <p>※2 PLM30では結合部近傍の評価点に対してFEMで直接求めたピーク応力を考慮した評価を実施したが、PLM40ではより保守的な評価を行うために疲労強度減少係数を用いた評価を実施している。これは結合部の実機の溶接部形状を厳密に決定してモデル化することが難しいため、汎用的な評価方法に改めたものである。</p> <p>1. 解析モデル 解析モデルを添付1に示す。PLM30、PLM40のいずれも2次元軸対称モデルとして解析評価を実施している。</p> <p>2. 最大評価点の選定 PLM30およびPLM40における、解析モデル上の評価結果および最大評価点の選定結果を、添付2に示す。PLM40では、前述のとおり、3次元効果係数および応力集中係数を考慮したことで繰返しピーク応力が増加した結果として、Uf値およびUen値が増加している。</p>	部位	60年時点の予測値		PLM30	PLM40	原子炉容器 炉内計装筒	0.000 (0.000)	0.140 (0.006)
部位	60年時点の予測値								
	PLM30	PLM40							
原子炉容器 炉内計装筒	0.000 (0.000)	0.140 (0.006)							

3. 疲労評価結果

PLM30およびPLM40における、疲労評価結果を添付 3 に示す。

4. 環境疲労評価結果

PLM40における、環境疲労評価結果を添付 4 に示す。なお、PLM30については、疲労評価時の一次+二次+ピーク応力の応力強さが疲労限以下であることから、環境疲労評価を実施していない。

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。

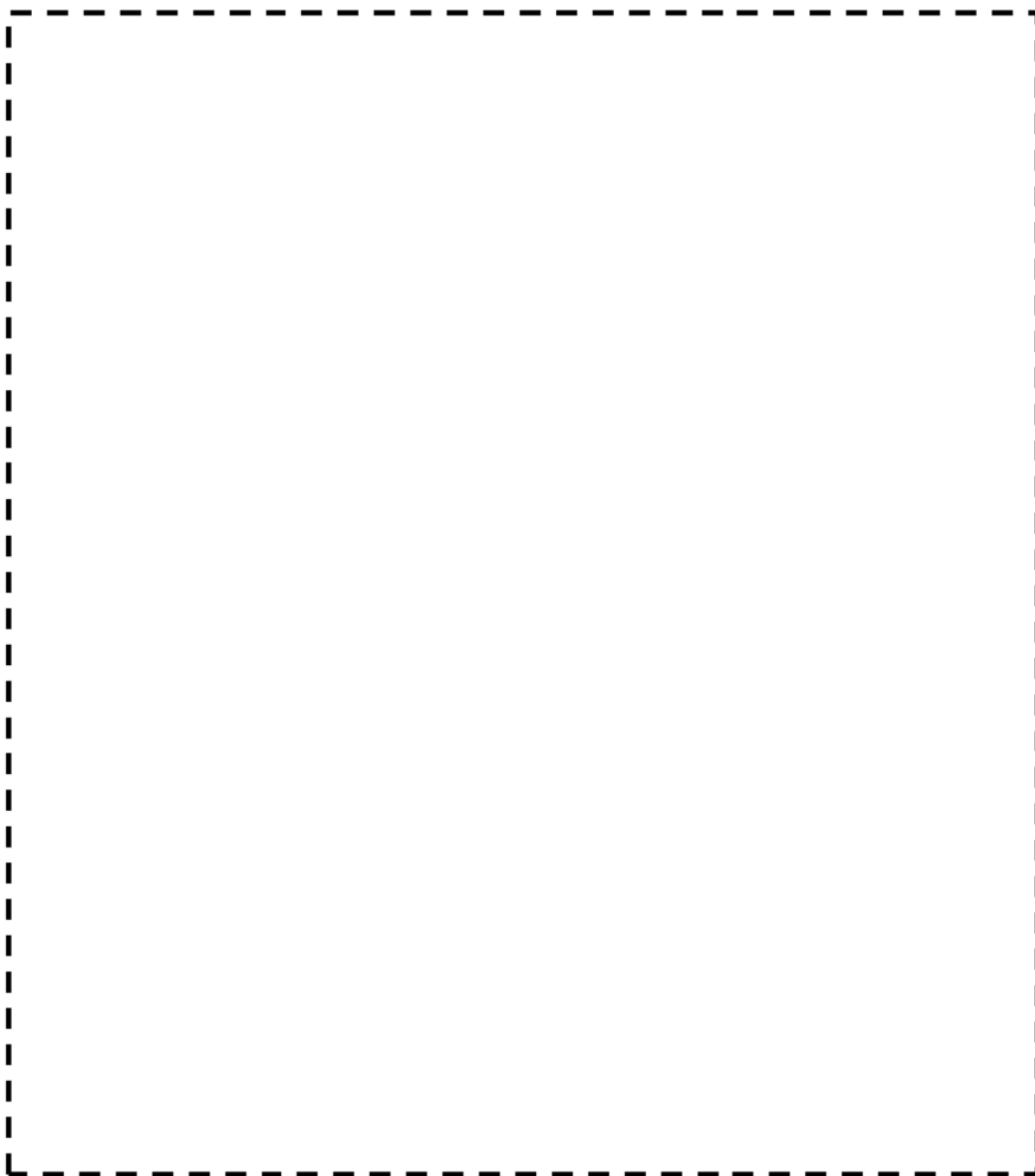


図1 原子炉容器 炉内計装筒 解析モデル (PLM40)

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



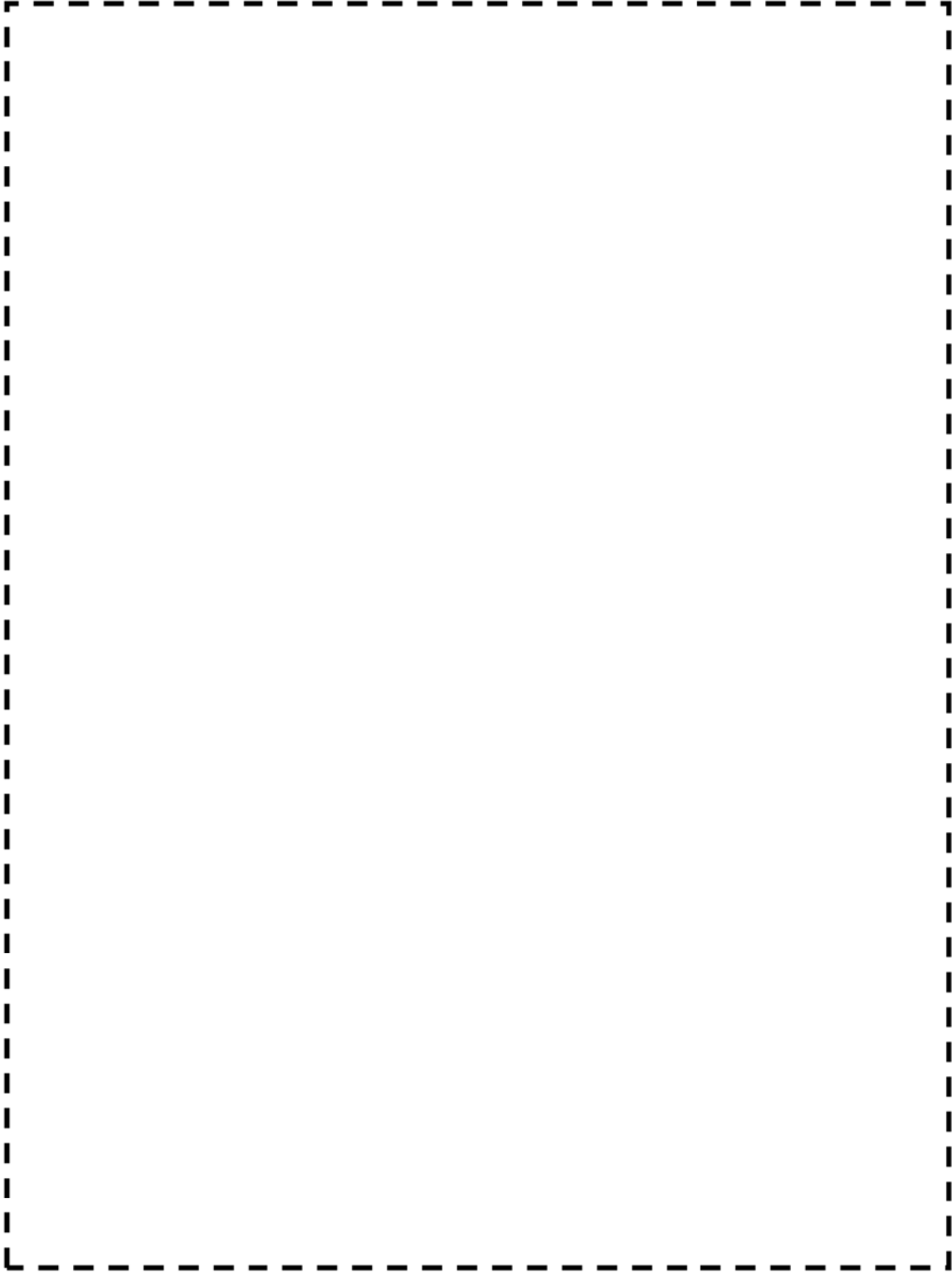


図2 原子炉容器 炉内計装筒 評価点 (PLM40 モデル図)

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

表2 原子炉容器 炉内計装筒 最大評価点

部位	評価点	接液	Uf		Uen	
			PLM30	PLM40	PLM30	PLM40
原子炉容器 炉内計装筒	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					

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3 原子炉容器 炉内計装筒 疲労評価結果 (PLM30)

LOCATION : 9 POINT : C  
( S1-S2 )

STRESS INTENSITY				NUMBER OF CYCLES		USAGE
MAXIMUM	MINIMUM	KE	ALT	N	N*	FACTOR
						TOTAL = 0.0000

→Uf:0.000

表4 原子炉容器 炉内計装筒 疲労評価結果 (PLM40)

評価点 - 10  
( S31 )

応力強さ (単位: MPa)					繰返し回数		疲労係数
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	(=N/N*)
							疲労累積係数 = 0.13906

Ke : 割増し係数  
 ALT : 繰返しピーク応力強さ  
 ALT' : ALTに(195000)/(材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値  
 N : 設計繰返し回数  
 N\* : 許容繰返し回数

→Uf:0.140

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 原子炉容器 炉内計装筒 環境疲労評価結果 (PLM40)

評価点-9

透過条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実透過 回 数 n	許容繰返し 回 数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
											合計 : 0.00530

(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$  (salt' $\leq 214.5$ ) の場合、fen=1.0

→Uen:0.006

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

美浜3号炉-40年目追加評価-5 rev2

タイトル	保全実績の評価の実施期間について また、「格納容器排気筒ダクトの損傷」事象を経年劣化事象に起因する事象ではないとした理由について
説明	<p>保全実績の評価対象期間については、劣化状況評価書の総括評価書（本冊）4.2.2 国内外の新たな運転経験および最新知見の反映と同様、2015年5月を終点とし10年間（2005年5月以降から2015年5月）としている。</p> <p>2005年8月5日に美浜3号機で発生した「格納容器排気ダクト等の損傷」については、第21回定期検査中の目視で確認した事象であり、原子力施設情報公開ライブラリーの「原因調査の概要」に記載の通り、「ファン運転による内圧変動によりダクトが振動し、溶接部に疲労限を超える応力が作用したことにより疲労き裂が発生した」と推定したものである。</p> <p>振動による高サイクル疲労については、設計上発生しないように配慮すべき事象であり、当該不具合を受けた対策は不具合発生部位を補強（再発防止対策：取付板を厚いもの（板厚2.3mm → 6.0mm）に取替える）し応力を軽減していることから、経年劣化の問題ではなく設計・施工上の問題であり時間依存性なしの事象と判断した。</p> <p>なお、当時、当該不具合を受けてダクトに取り付けられたドレン管や計器等のアクセサリ及び劣化状況評価対象（補助建屋送排気系、格納容器送排気系、アニュラス循環排気系、中央制御室非常用循環系、補助建屋よう素除去排気系、制御建屋空調系、スプレ余熱除去ポンプ室冷却空調系、充てん・高圧注入ポンプ室冷却空調系、中間建屋送排気空調系）を含むその他ダクトについても目視確認を実施し、異常がないことも確認している。</p> <p>また、現状においても、日常点検としてダクトの目視確認を実施し、異常のないことを確認している。</p>

【登録日】 2005/06/26 【更新日】 2006/03/16

基本情報

通番	3216	報告書番号	2005-関西-M013
情報区分	保全品質情報	報告書状態	最終報告
事象発生日時	2005年 08月 05日	事象発生日時(補足)	
会社名	関西電力株式会社	発電所	美浜発電所3号
件名	格納容器排気ダクト等の損傷について		
国への法令報告根拠	なし	国際原子力 事象評価尺度(INES)	評価不要

発生箇所および発生時の状況

事象発生箇所	【設備】換気空調設備 【系統】格納容器換気空調系 【機器】排気塔・煙突>煙突【部品】その他(格納容器排気ダクト等)
事象発生時の状況	美浜発電所3号機は、定期検査中、平成17年8月3日から補助建屋・格納容器空調ダクト等の点検を実施していたところ、A格納容器排気ファン出口の風量検出器取出部がダクトから外れていることを確認した。また、その他に補助建屋排気ダクト溶接部の割れなどが、放射線管理建屋内で6箇所認められた。 補助建屋排気ダクト溶接部の割れなどが認められた6箇所については、ステンレステープによる養生等、応急補修を行った。 今回、認められた損傷箇所は、いずれも放射線管理建屋内であり、施設外へ放射能の放出はなく、環境への影響はない。

原因

原因調査の概要	調査の結果、A格納容器排気系ファン出口風量検出器取出部等の溶接部の割れは、疲労割れの特徴を示していた。疲労割れに関する調査を行った結果、ファン運転による内圧変動によりダクトが振動し、溶接部に疲労限界を超える応力が作用したことにより疲労き裂が発生し、割れに至ったと推定される。
事象の原因	溶接部に疲労限界を超える応力が作用したことによる疲労
原因分類	
事象の種別	時間依存性のない事象(偶発事象を含む) 火災に該当しない事象

再発防止対策

再発防止対策	A格納容器排気系ファン出口風量検出器取出部については、ビーター管※取付板を厚いもの(板厚2.3mm → 6.0mm)に取替えるとともに、ビーター管についても、剛構造のものに取り替える。 補助建屋排気ファン出口煙感知器取付部等については、当該ダクトに補強用部材を追加することにより、ダクト面の振動等による発生応力を低減する。 ※ 圧力取り出し用配管
水平展開の検討	不要

参考資料

添付資料	状況図 M3概要図 (1,959KB)
プレスリリース	

プラント状況

発生時運転モード	その他	発生前の電気出力	0[MW]
発見の方法	作業・点検		
発電所への影響	なし		

分析用情報

外部への放射能の影響	なし		
保安規定違反	なし		
運転上の制限外への移行	なし		
自動で作動した安全系	なし	手動で作動した安全系	なし

関連情報

同発電所で発生した同様事例	
その他	