

大飯発電所 4 号炉 審査資料	
資料番号	KON4-PLM30-耐震 改 1
提出年月日	令和 4 年 4 月 18 日

大飯発電所 4 号炉 高経年化技術評価
(耐震安全性評価)

補足説明資料

令和 4 年 4 月 18 日
関西電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る
事項ですので公開することはできません。

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
3. 評価対象と評価手法	4
3.1 評価対象	4
3.1.1 耐震安全性評価対象機器	4
3.1.2 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出	4
3.2 評価手法	7
3.2.1 主な適用規格	7
3.2.2 耐震安全性評価の評価手法	8
3.3 評価用地震力	12
3.4 評価用地震動	13
3.5 代表の選定	17
4. 代表の耐震安全性評価	19
4.1 耐震安全性評価	19
4.1.1 低サイクル疲労	19
4.1.2 高サイクル熱疲労	20
4.1.3 中性子照射脆化	20
4.1.4 熱時効	20
4.1.5 中性子照射による靱性低下	21
4.1.6 中性子および γ 線照射脆化	21
4.1.7 摩耗	22
4.1.8 流れ加速型腐食	23
4.1.9 全面腐食	24
4.1.10 動的機能維持に係る耐震安全性評価	25
4.1.11 制御棒挿入性に係る耐震安全性評価	26
4.1.12 照射誘起型応力腐食割れ	26
4.2 現状保全	27
4.3 総合評価	27
5. まとめ	28
5.1 審査ガイド適合性	28
5.2 長期施設管理方針として策定する事項	32

別紙 1.	建設後の耐震補強の実績について	1-1
別紙 2.	耐震安全性評価に用いる現行の JEAG4601 以外の値を適用したケースについて	2-1
別紙 3.	機器・配管に係る、比率で示された耐震安全性評価結果 (疲労累積係数を除く)について	3-1
別紙 4.	余熱除去冷却器出口配管貫通部の端板他の疲労割れに対する耐震安全性評価について	4-1
別紙 5.	アンカーサポート取付部(余熱除去系統配管)の疲労割れに対する耐震安全性評価について	5-1
別紙 6.	余熱除去系統配管の高サイクル熱疲労割れに対する耐震安全性評価について	6-1
別紙 7.	原子炉容器の中性子照射脆化に対する耐震安全性評価について	7-1
別紙 8.	炉心そうの中性子照射による靱性低下に対する耐震安全性評価について	8-1
別紙 9.	原子炉容器サポート(サポートブラケット(サポートリブ))の中性子およびγ線照射脆化に対する耐震安全性評価について	9-1
別紙 10.	蒸気発生器支持脚(ヒンジ摺動部)の摩耗に対する耐震安全性評価について	10-1
別紙 11.	主蒸気系統配管他の内面からの腐食(流れ加速型腐食)に対する耐震安全性評価について	11-1
別紙 12.	原子炉補機冷却水冷却器伝熱管の内面腐食(流れ加速型腐食)に対する耐震安全性評価について	12-1
別紙 13.	機器付基礎ボルトの腐食を考慮した耐震安全性評価について	13-1
別紙 14.	主蒸気逃がし弁他に接続する配管の流れ加速型腐食に対する動的機能維持評価について	14-1
別紙 15.	制御棒クラスタ被覆管および案内管の摩耗に対する制御棒挿入性評価について	15-1
別紙 16.	新規制基準適合に係る工事計画認可等における審査内容の反映について	16-1
別紙 17.	各設備の耐震安全性評価に用いた地震力について	17-1
別紙 18.	大飯 3 号炉の高経年化技術評価との相違点について	18-1

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」第82条第1項の規定に基づき実施した高経年化技術評価のうち、耐震安全性評価の評価結果について、補足説明するものである。

なお、高経年化対策に関する各機器・構造物の技術評価（以下「技術評価」という。）については高経年化技術評価書に取りまとめている。

高経年化技術評価における耐震安全性評価とは、耐震安全性に影響する可能性がある経年劣化事象について、評価対象機器の経年劣化を加味して耐震重要度分類に応じた地震力を用いた評価を行い、評価対象機器の機能維持に対する経年劣化事象の影響を評価することをいう。

2. 基本方針

各機器・構造物の材質、環境条件等を考慮し、発生し得る経年劣化事象に対して「技術評価」を行った結果、保全対策を講じることによっても管理ができないという経年劣化事象は抽出されていない。

したがって、耐震性を考慮した場合にも、耐震性に影響を与える経年劣化事象を保全対策により適切に管理することで、耐震安全性の確保が可能であると考えられる。

しかしながら、高経年プラントの耐震性については、上記経年劣化事象の管理の観点からも、技術的評価を実施して安全性を確認しておく必要があると考えられることから、高経年化技術評価において耐震安全性の評価を実施するものである。

耐震安全性評価の基本方針は、評価対象機器について発生し得る経年劣化事象に対して実施した「技術評価」に耐震性を考慮した技術的評価を実施して、運転開始後60年時点までの期間において「実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド」および「実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド」に定める要求事項に適合することを確認することである。耐震安全性評価についての要求事項を表1に整理する。

表 1 (1/2) 耐震安全性評価についての要求事項

ガイド	要求事項
<p>実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド</p>	<p>3. 高経年化技術評価等の審査の視点・着眼点</p> <p>(1) 高経年化技術評価の審査</p> <p>⑥ 動的機器（部位）の抽出</p> <p>動的機器（部位）を評価対象外としている場合、発電用原子炉設置者の施設管理活動において、材料等の経年劣化の影響から生じる性能低下の状況が的確に把握され、高経年化技術評価の開始時期以降もこれらが適切に行われることを保証しているかを、施設管理要領等の文書及び施設管理実績等により審査する。</p> <p>⑱-1 耐震安全性評価の対象となる経年劣化事象の抽出</p> <p>経年劣化の進展評価結果に基づき、耐震安全性評価の対象となる経年劣化事象を抽出していることを審査する。</p> <p>⑲-1 耐震安全上着目すべき経年劣化事象の抽出</p> <p>耐震安全上着目すべき経年劣化事象を抽出していることを審査する。</p> <p>⑳-1 耐震安全性の評価</p> <p>実施ガイド3.1⑤に規定する期間の満了日までの期間について、経年劣化事象の発生又は進展に伴う機器・構造物の耐震安全性を評価しているかを審査する。</p> <p>㉑-1 耐震安全上の現状保全の評価</p> <p>耐震安全性に対する現状の保全策の妥当性を評価しているかを審査する。</p> <p>㉒-1 耐震安全上の追加保全策の策定</p> <p>想定した経年劣化事象に対し、耐震安全性が確保されない場合に、現状保全に追加する必要がある新たな保全策を適切に策定しているかを審査する。</p> <p>(2) 長期施設管理方針の審査</p> <p>① 長期施設管理方針の策定</p> <p>すべての追加保全策について長期保守管理方針として策定されているかを審査する。</p>

表 1 (2/2) 耐震安全性評価についての要求事項

ガイド	要求事項
<p>実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド</p>	<p>3.1 高経年化技術評価の実施及び見直し</p> <p>⑥耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象については、経年劣化を加味した機器・構造物の耐震安全性評価を行い、必要に応じ追加保全策を抽出すること。</p> <p>実用炉規則第82条第1項から第3項までの規定による高経年化技術評価に係る耐震安全性評価は、規制基準（当該評価を行う時点後の直近の運転開始以後30年、40年又は50年を経過する日において適用されているものに限る。）の要求を満たすことが確認された確定した基準地震動及び弾性設計用地震動を用いた評価を行うこと。当該高経年化技術評価後に、当該評価に用いた基準地震動及び弾性設計用地震動が見直された場合には、高経年化技術評価を速やかに見直すこと。</p> <p>⑥を行うに当たっては、PLM 基準 2008 版の 6.3.4 耐震安全性評価を用いることができる。</p> <p>3.2 長期施設管理方針の策定及び変更</p> <p>長期施設管理方針の策定及び変更に当たっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>① 高経年化技術評価の結果抽出された全ての追加保全策（発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提として抽出されたもの及び冷温停止状態が維持されることを前提として抽出されたものの全て。）について、発電用原子炉ごとに、施設管理の項目及び当該項目ごとの実施時期を規定した長期施設管理方針を策定すること。</p> <p>なお、高経年化技術評価の結果抽出された追加保全策について、発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提とした評価から抽出されたものと冷温停止状態が維持されることを前提とした評価から抽出されたもの間で、その対象の経年劣化事象及び機器・構造物の部位が重複するものについては、双方の追加保全策を踏まえた保守的な長期施設管理方針を策定すること。</p>

3. 評価対象と評価手法

3.1 評価対象

3.1.1 耐震安全性評価対象機器

評価対象機器は、「技術評価」における評価対象機器と同じとする。

上記の評価対象機器のうち、以下の機器を耐震安全性評価における評価対象機器とする。

- ・各高経年化技術評価書で行った機器のグループ化における「同一グループ内での代表機器」
- ・「同一グループ内での代表機器」より耐震重要度が上位の機器

耐震安全性評価の各経年劣化事象における評価対象機器は表2に示す機器とし、「4.代表の耐震安全性評価」にて評価を実施する。

なお、評価対象機器に対して建設後に実施した耐震補強の実績については別紙1に示す。

3.1.2 耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象の抽出

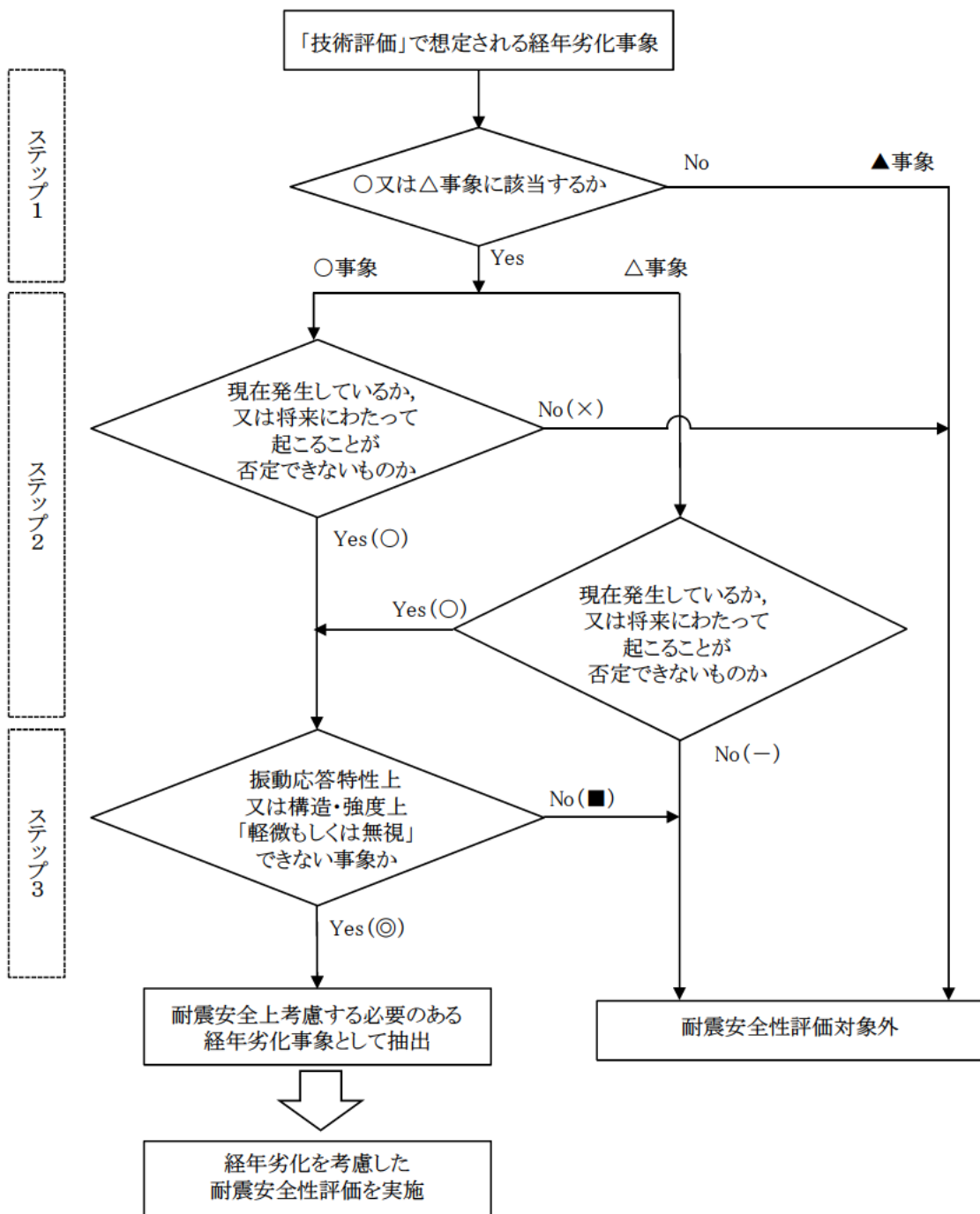
3.1.1項にて抽出された耐震安全性評価対象機器において、各高経年化技術評価書で評価対象機器・部位ごとに想定される経年劣化については、以下のとおり分類される。

- (1) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（○事象）
- (2) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象
（日常劣化管理事象）（△事象）
- (3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象
（日常劣化管理事象以外）（▲事象）

このうち、耐震安全性評価対象機器として、(1)および(2)のうち「現在発生しているか、または将来にわたって起こることが否定できないもの」でかつ「振動応答特性上、または構造・強度上「軽微もしくは無視」できる事象ではない経年劣化事象」について、耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象として抽出し、経年劣化を考慮した耐震安全性評価を実施する。

耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象の抽出フローを図1に示す。

浸水防護施設についても、表2に示す機器・構造物のうちコンクリート構造物および鉄骨構造物、計測制御設備に分類されており、それぞれの機器に対して耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象を抽出する。



【凡例】

- ：評価対象として抽出
- ：評価対象から除外
- ×：現在発生しておらず、今後も発生の可能性がないもの、又は小さいものとして評価対象から除外
- ：振動応答特性上、又は構造・強度上「軽微若しくは無視」できる事象として評価対象から除外
- ◎：耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象として抽出
- △：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）
- ▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

Yes/No()内の記号は耐震評価の分類を示す。

図1 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出フロー

表2 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象一覧

機器・ 構造物	耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象											
	疲労割れ		中性子照射脆化	照射誘起型応力腐食割れ	熟時効	中性子照射による靱性低下	中性子およびγ線照射脆化	応力腐食割れ	摩耗	腐食		コンクリートの強度・遮蔽能力 低下、テンションの緊張力低下
	低サイクル疲労	高サイクル熟疲労								流れ加速型腐食	全面腐食	
ポンプ	◎	—	—	—	◎	—	—	—	—	—	—	—
熱交換器	◎	—	—	—	—	—	—	—	—	◎	—	—
ポンプ用 モータ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
容器	◎	—	◎、×*1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
配管	◎	◎	—	—	◎	—	—	—	—	◎	—	—
弁	◎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
炉内構造物	◎	—	—	×	—	◎	—	—	◎	—	—	—
ケーブル	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
電気設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
タービン 設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	◎	—	—
コンクリート 構造物および 鉄骨構造物	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	×*2
計測制御 設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
空調設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	◎	◎	—
機械設備	◎	—	—	—	—	—	◎	—	◎	—	◎	—
電源設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	◎	—	—

*1：関連温度上昇が◎、上部棚吸収エネルギーの低下が×

*2：運転開始後60年時点のコンクリートの予測中性子照射量が、強度低下がみられはじめるとされる ($1 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$) を超える範囲のコンクリート強度を全く期待せず「原子炉容器支持構造物コンクリートの圧縮強度」「原子炉容器サポート支持構造物基礎ボルトの引張耐力」「内部コンクリート（1次遮蔽壁含む）の最大せん断ひずみ」を評価し、いずれも影響がないとの結果が得られている（補足説明資料（コンクリート構造物および鉄骨構造物）別紙8参照）。以上より「×」とした。

【凡例】

◎：「現在発生しているか、または将来にわたって起こることが否定できないもの」かつ「振動応答特性上または構造・強度上「軽微もしくは無視」できない事象」

×：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象であるが、現在発生しておらず、今後も発生の可能性がないもの、または小さいもの

—：耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象に該当するものがない

3.2 評価手法

3.2.1 主な適用規格

耐震安全性評価に用いた規格を以下に示す。

- ・日本機械学会「設計・建設規格 2005年版（2007年追補版を含む） JSME S NC1-2005(2007)」（以下、「設計・建設規格」という。）
- ・日本機械学会「維持規格 2008年版 JSME S NA1-2008」（以下、「維持規格」という。）
- ・日本電気協会「原子力発電所配管破損防護設計技術指針 JEAG4613-1998」
- ・日本電気協会「原子力発電所用機器に対する破壊靱性の確認試験方法 JEAC4206-2007」（以下、「JEAC4206」という。）
- ・日本機械学会「加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格 JSME S NG1-2006」
- ・日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601-補-1984」（以下、「JEAG4601」という。）
- ・日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」（以下、「JEAG4601」という。）
- ・日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1991 追補版」（以下、「JEAG4601」という。）
- ・日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」（以下、「JEAC4601」という。）

なお、現行のJEAG4601以外の値を適用した耐震安全性評価を実施したケースについては、別紙2に記載する。

3.2.2 耐震安全性評価の評価手法

各劣化事象に対する耐震安全性評価手法の概要を以下に示す。なお、別紙16に示す原子炉設置変更許可および新規制工事計画において適用された事項については、高経年化技術評価における耐震安全性評価にも適用する。

- (1) 低サイクル疲労（ポンプ、熱交換器、容器、配管、弁等）
運転開始後60年時点までの推定過渡回数を考慮した疲労累積係数と基準地震動 S_s および弾性設計用地震動 S_d を考慮した疲労累積係数の合計値が許容値 1 以下となることを確認する。
- (2) 高サイクル熱疲労（配管）
想定亀裂に対し、地震時の当該部位における発生応力を算出し、亀裂安定限界応力を超えないことを確認する。
- (3) 中性子照射脆化（容器）
想定欠陥に対し、当該部位における地震時の応力拡大係数を算出し、運転開始後60年時点の中性子照射を受けた材料の破壊靱性値を下回ることを確認する。
- (4) 熱時効（ポンプ、配管）
想定亀裂に対し、当該部位における地震時の亀裂進展力を算出し、熱時効を考慮した材料の亀裂進展抵抗と交差し、その交点において、亀裂進展抵抗の傾きが亀裂進展力の傾きを上回っていることを確認する。
なお、技術評価「熱時効」にて地震荷重を含んだ評価を実施している。
- (5) 中性子照射による靱性低下（炉内構造物）
想定欠陥に対し、地震時の当該部位における応力拡大係数を算出し、中性子照射を受けた材料の破壊靱性値を下回ることを確認する。
なお、技術評価「中性子照射による靱性低下」にて地震荷重を含んだ評価を実施している。
- (6) 中性子および γ 線照射脆化（機械設備）
想定欠陥に対し、地震時の当該部位における応力拡大係数を算出し、運転開始後60年時点の中性子および γ 線照射を受けた材料の破壊靱性値を超えないことを確認する。

なお、技術評価「中性子および γ 線照射脆化」にて地震荷重を含んだ評価を実施している。

(7) 摩耗（炉内構造物、機械設備）

a. 炉内構造物

シングルチューブの取替基準に相当する摩耗を考慮して、当該部位における地震時の発生応力を算出し、許容応力を超えないことを確認する。

b. 機械設備

運転開始後60年時点での摩耗量の一様減肉を仮定、または制御棒被覆管肉厚までの摩耗を想定して、当該部位における地震時の発生応力を算出し、許容応力を超えないことを確認する。

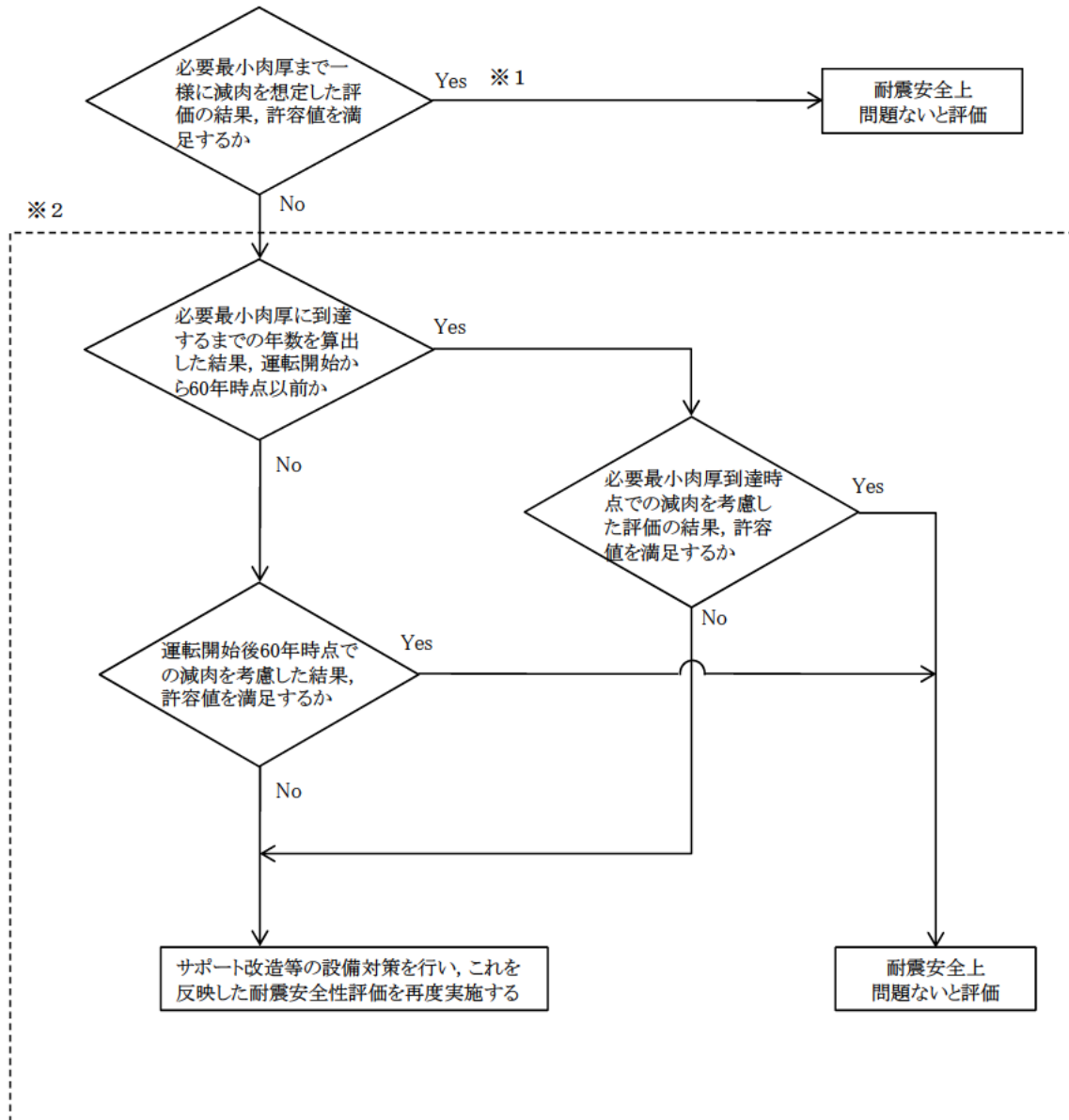
(8) 流れ加速型腐食（熱交換器、配管、タービン設備、空調設備、電源設備）

a. 熱交換器、空調設備、電源設備

伝熱管の施栓基準肉厚まで一様減肉することを考慮して、地震時の発生応力を算出し、許容応力を超えないことを確認する。

b. 配管、タービン設備

必要最小肉厚までの一様減肉を考慮して地震時の発生応力を算出し、許容値を超えないことを確認する。腐食（流れ加速型腐食）（配管）の耐震安全性評価フローを図2に示す。



※1 必要最小肉厚まで一様に減肉を想定した評価にて耐震安全上問題ないことが確認できない箇所（以下5ライン）については、サポート追設を実施して許容値を満足させた。

- 第3 抽気管
- 第7 高圧給水加熱器ドレン管（A）
- 第7 高圧給水加熱器ドレン管（B）
- 第1 段湿分離加熱器ドレン管（A2）
- 第1 段湿分離加熱器ドレン管（B2）

※2 今回の評価では、破線部のフローに基づく評価なし。

図2 腐食（流れ加速型腐食）（配管）の耐震安全性評価フロー

(9) 全面腐食（空調設備、機械設備）

運転開始後60年時点での腐食量の一様減肉を仮定し、当該部位における地震時の発生応力を算出し、許容応力を超えないことを確認する。

(10) 動的機能維持

地震時に動的機能維持が要求される耐震安全性評価対象機器（弁、ポンプ、ファン等）について、耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象を整理し、振動応答特性上または構造・強度上「軽微もしくは無視」できない事象とできる事象に分類のうえ、「軽微もしくは無視」できない事象については、評価を実施し耐震安全性評価上問題のないことを確認する。

(11) 制御棒挿入性

制御棒クラスタ案内管および被覆管に、保全活動の範囲内で発生する可能性のある摩耗による抗力の影響を考慮して、地震時の制御棒挿入時間が許容値以下であることを確認する。

3.3 評価用地震力

耐震安全性評価に用いる評価用地震力は各機器の耐震重要度に応じて表3のとおり選定する。

表3 耐震重要度に応じた耐震安全性評価に用いる評価用地震力

耐震重要度	評価用地震力
Sクラス	基準地震動 S_s^{*1} により定まる地震力
	弾性設計用地震動 S_d^{*2} により定まる地震力とSクラスの機器に適用される静的地震力の大きい方 ^{*3}
Bクラス	Bクラスの機器に適用される静的地震力 ^{*4}
Cクラス	Cクラスの機器に適用される静的地震力

*1：「実用発電用原子炉およびその附属施設の位置、構造および設備の基準に関する規則（平成25年原子力規制委員会規則第5号）」に基づき策定した、応答スペクトルに基づく地震動評価結果による基準地震動(S_{s-1})、断層モデルを用いた手法による地震動評価結果による基準地震動 ($S_{s-2} \sim S_{s-17}$) および震源を特定せず策定する基準地震動 (S_{s-18} 、 S_{s-19})。

*2：弾性設計用地震動 $S_{d-1} \sim S_{d-19}$ の応答スペクトルは、基準地震動 S_{s-1} の応答スペクトルに対して係数0.51、基準地震動 $S_{s-2} \sim S_{s-19}$ の応答スペクトルに対して係数0.5を乗じて設定している。なお、 S_{d-1} については、旧耐震指針における大飯3・4号炉の基準地震動 S_1 の応答スペクトルをおおむね下回らないよう配慮している。

*3： S_s 地震力および弾性設計用地震力による評価のうち、許容値が同じものについては厳しい方の数値で代表する。また、許容値が異なり S_s 地震力が弾性設計用地震力より大きく、 S_s 地震力による評価応力が弾性設計用地震力の許容応力を下回る場合は、弾性設計用地震力による評価を実施したものとみなす。

*4：支持構造物の振動と共振のおそれがあるものについては、弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力の $1/2$ についても考慮する。

3.4 評価用地震動

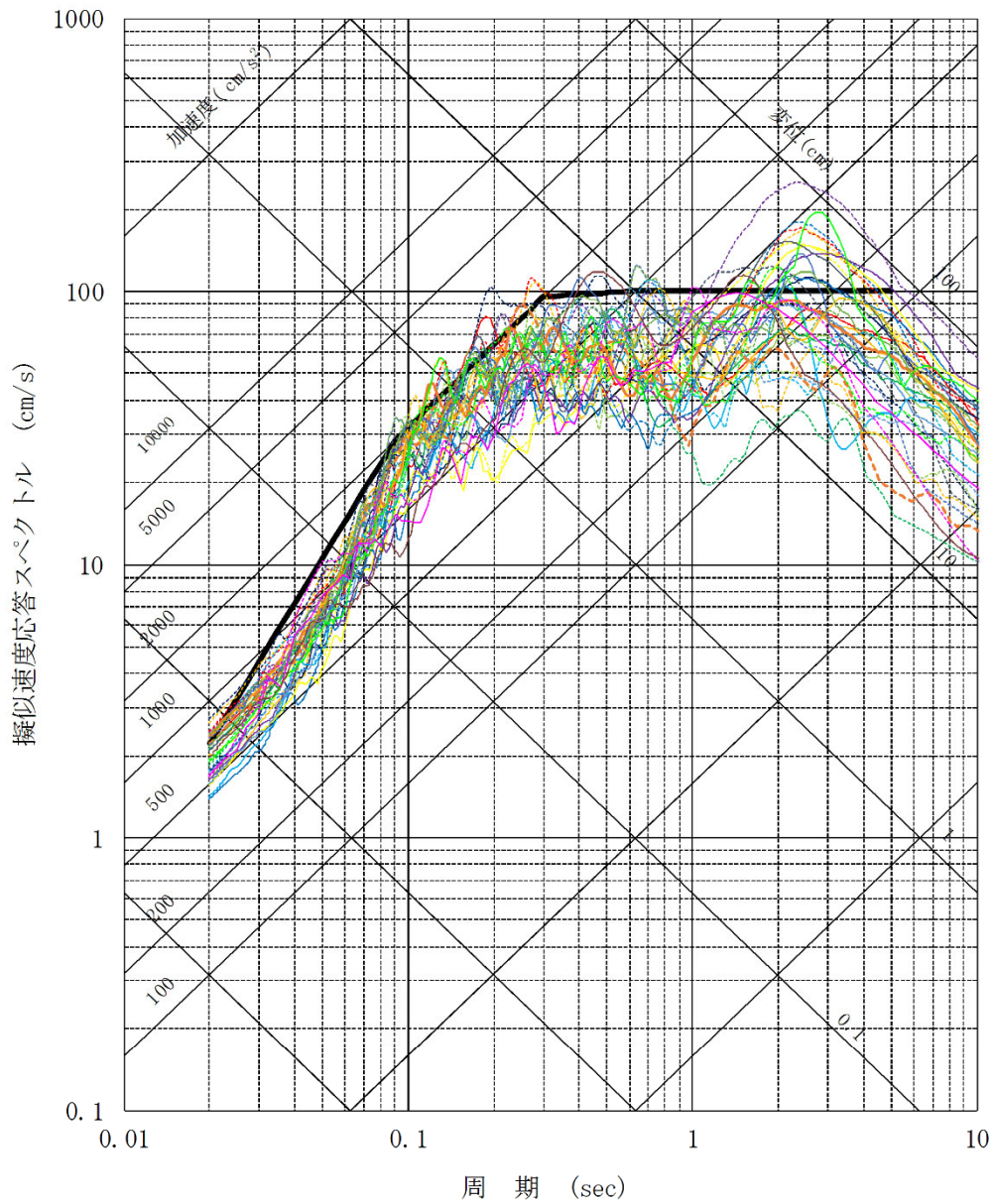
大飯4号炉の高経年化技術評価における耐震安全性評価では、原子炉設置変更許可（平成29年5月）（以下、「設置変更許可」という）にて設定されている基準地震動を用いて評価を実施する。

表4に考慮した地震と地震動の最大加速度、図3(1/3)および(2/3)に基準地震動の応答スペクトルを示す。なお、各設備の耐震安全性評価に用いた地震力について別紙17に示す。

表4 考慮した地震と地震動の最大加速度

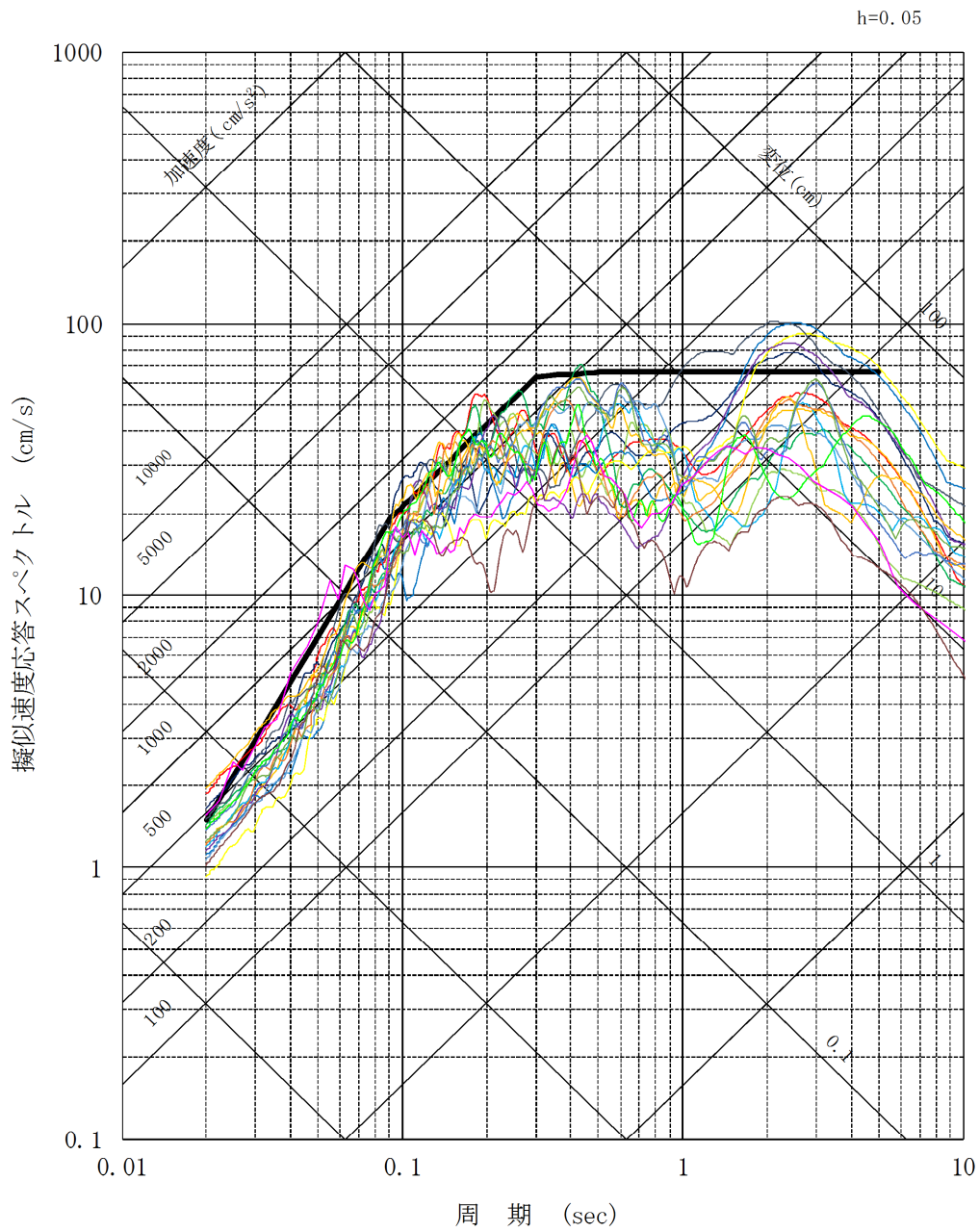
基準地震動		最大加速度	
		水平方向	鉛直方向
S _s -1	設計用模擬地震波	700 cm/s ²	468 cm/s ²
S _s -2		EW方向	776 cm/s ²
		NS方向	690 cm/s ²
S _s -3		EW方向	826 cm/s ²
		NS方向	496 cm/s ²
S _s -4		EW方向	856 cm/s ²
		NS方向	546 cm/s ²
S _s -5		EW方向	653 cm/s ²
		NS方向	511 cm/s ²
S _s -6		EW方向	578 cm/s ²
		NS方向	660 cm/s ²
S _s -7		EW方向	745 cm/s ²
		NS方向	442 cm/s ²
S _s -8		EW方向	555 cm/s ²
		NS方向	434 cm/s ²
S _s -9		EW方向	595 cm/s ²
		NS方向	489 cm/s ²
S _s -10	F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層を考慮した地震波	EW方向	762 cm/s ²
		NS方向	511 cm/s ²
S _s -11		EW方向	727 cm/s ²
		NS方向	658 cm/s ²
S _s -12		EW方向	546 cm/s ²
		NS方向	495 cm/s ²
S _s -13		EW方向	694 cm/s ²
		NS方向	744 cm/s ²
S _s -14		EW方向	630 cm/s ²
		NS方向	723 cm/s ²
S _s -15		EW方向	728 cm/s ²
		NS方向	685 cm/s ²
S _s -16		EW方向	753 cm/s ²
		NS方向	677 cm/s ²
S _s -17		EW方向	607 cm/s ²
		NS方向	594 cm/s ²
S _s -18	鳥取県西部地震・賀祥ダムの観測記録を考慮した地震波	EW方向	531 cm/s ²
		NS方向	528 cm/s ²
S _s -19	北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震波	620 cm/s ²	320 cm/s ²

h=0.05



- | | | | | | |
|----------------------|------------------|----------------------|------------------|----------------------|------------------|
| — S_S-1_H | — $S_S-2_H(NS)$ | - - - $S_S-2_H(EW)$ | — $S_S-3_H(NS)$ | — $S_S-3_H(EW)$ | — $S_S-4_H(NS)$ |
| - - - $S_S-4_H(EW)$ | — $S_S-5_H(NS)$ | - - - $S_S-5_H(EW)$ | — $S_S-6_H(NS)$ | - - - $S_S-6_H(EW)$ | — $S_S-7_H(NS)$ |
| - - - $S_S-7_H(EW)$ | — $S_S-8_H(NS)$ | - - - $S_S-8_H(EW)$ | — $S_S-9_H(NS)$ | — $S_S-9_H(EW)$ | — $S_S-10_H(NS)$ |
| - - - $S_S-10_H(EW)$ | — $S_S-11_H(NS)$ | - - - $S_S-11_H(EW)$ | — $S_S-12_H(NS)$ | - - - $S_S-12_H(EW)$ | — $S_S-13_H(NS)$ |
| - - - $S_S-13_H(EW)$ | — $S_S-14_H(NS)$ | - - - $S_S-14_H(EW)$ | — $S_S-15_H(NS)$ | - - - $S_S-15_H(EW)$ | — $S_S-16_H(NS)$ |
| - - - $S_S-16_H(EW)$ | — $S_S-17_H(NS)$ | - - - $S_S-17_H(EW)$ | — $S_S-18_H(NS)$ | - - - $S_S-18_H(EW)$ | — S_S-19_H |

図3 (1/3) 基準地震動 S_s の応答スペクトル図 (水平方向)



- | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| — S_S-1_v | — S_S-2_v | — S_S-3_v | — S_S-4_v | — S_S-5_v |
| — S_S-6_v | — S_S-7_v | — S_S-8_v | — S_S-9_v | — S_S-10_v |
| — S_S-11_v | — S_S-12_v | — S_S-13_v | — S_S-14_v | — S_S-15_v |
| — S_S-16_v | — S_S-17_v | — S_S-18_v | — S_S-19_v | |

図 3 (2/3) 基準地震動 S_s の応答スペクトル図 (鉛直方向)

また、大飯発電所の標準応答スペクトルについては、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈等の一部改正に係る対応について（指示）（2021年4月26日発信）」に基づく基準地震動の変更が不要であることを説明する文書（2021年5月12日）に示すとおり、基準地震動 $S_s - 1$ に包絡されることから、基準地震動の変更は不要と判断している。大飯発電所の標準応答スペクトルと $S_s - 1$ との比較を図3 (3/3)に示す。

— : 標準応答スペクトル — : 基準地震動 $S_s - 1$

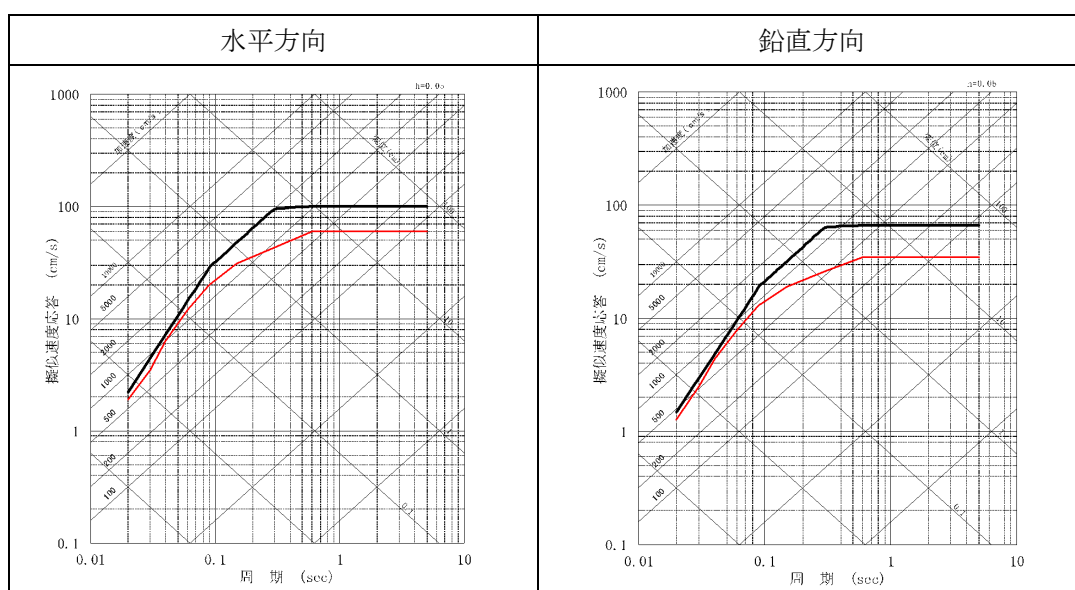


図3 (3/3) 大飯発電所 標準応答スペクトルと基準地震動 $S_s - 1$ の比較

3.5 代表の選定

耐震安全性評価においては「技術評価」における評価対象機器全てを対象として耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象を抽出し、経年劣化を考慮した耐震安全性評価を実施することにより、耐震安全性に問題ないことを確認している。

補足説明資料では、耐震安全性評価を実施する機器のうち、表5に示すとおり代表を選定し、詳細な評価内容について記載する。

なお、耐震安全性評価書において比率で示された評価結果（疲労累積係数を除く）について、各々の分子と分母の値を単位とともに記載した表を別紙3に示す。

表5 補足説明資料における代表の選定

評価項目	詳細評価内容を記載する 機器・部位	選定理由
低サイクル疲労	端板(余熱除去冷却器出口配管貫通部)	基準地震動 S_s または S_d による疲労累積係数が最も大きい機器
	アンカーサポート取付部 (余熱除去系統配管)	発生応力と許容応力の比にて評価を実施した機器
高サイクル熱疲労	ステンレス鋼配管(余熱除去系統配管)	高サイクル熱疲労を考慮した評価が必要となる機器
中性子照射脆化	原子炉容器胴部(炉心領域部)	中性子照射脆化を考慮した評価が必要となる機器
熱時効	1次冷却材管	熱時効を考慮する必要がある機器のうち、機器に作用する応力が最大の機器
中性子照射による靱性低下	炉心そう	中性子照射による靱性低下を考慮した評価が必要となる機器
中性子および γ 線照射脆化	原子炉容器サポート(サポートブラケット(サポートリブ))	中性子および γ 線照射脆化を考慮した評価が必要となる機器
摩耗	蒸気発生器サポート (支持脚(ヒンジ摺動部))	摩耗を考慮した耐震評価の結果、発生応力と許容応力の比が最も大きい機器
流れ加速型腐食	炭素鋼配管(主蒸気系統配管)	耐震重要度が高く、配管の腐食(流れ加速型腐食)による配管減肉を考慮した耐震評価の結果、発生応力と許容応力の比が最大である箇所
	原子炉補機冷却水冷却器 伝熱管	耐震重要度が高く、内部流体が海水であり、伝熱管の腐食(流れ加速型腐食)の耐震評価の結果、発生応力と許容応力の比が最も大きい機器
全面腐食	基礎ボルト	腐食(全面腐食)を考慮した評価の結果、発生応力と許容応力の比が最大である機器
動的機能維持	主蒸気逃がし弁	機器の応答加速度に影響を与える経年劣化事象である、配管の流れ加速型腐食による減肉を考慮した耐震評価対象範囲に設置される動的機能維持対象機器
制御棒挿入性	制御棒クラスタ案内管(案内板)、制御棒被覆管	制御棒挿入性を考慮した評価が必要となる機器

4. 代表の耐震安全性評価

4.1 耐震安全性評価

4.1.1 低サイクル疲労

(1) 端板（余熱除去冷却器出口配管貫通部）

端板（余熱除去冷却器出口配管貫通部）について、運転開始後60年までの推定過渡回数を考慮して算出した疲労累積係数と、基準地震動 S_s または S_d を考慮した地震時の疲労累積係数の合計が許容値 1 以下となることから、耐震安全性評価上問題ない。

評価結果を表 6 に、算出過程を別紙 4 にそれぞれ示す。

表 6 端板（余熱除去冷却器出口配管貫通部）の低サイクル疲労の耐震安全性評価結果

対象機器	運転開始後60年までの推定過渡回数を考慮して算出した疲労累積係数	地震動による疲労累積係数 (基準地震動 S_s)	合計 (許容値 1 以下)
端板 (余熱除去冷却器 出口配管貫通部)	0.001	0.462	0.463

(2) アンカーサポート取付部（余熱除去系統配管）

アンカーサポート取付部（余熱除去系統配管）について、地震時の発生応力を評価した結果、地震時の発生応力は許容応力を超えることはないことから、耐震安全性評価上問題ない。

評価結果を表 7 に、算出過程を別紙 5 にそれぞれ示す。

表 7 アンカーサポート取付部（余熱除去系統配管）の
低サイクル疲労の耐震安全性評価結果

評価対象	耐震 重要度	評価 地震力	許容 応力 状態	応力種別	応力比	発生 応力 (MPa)	許容 応力*2 (MPa)
配管とパッドの 溶接部	S	S_s^{*1}	IV_{AS}	一次応力	0.55	64	116
				一次+ 二次応力	0.53	62	116
パッドとラグの 溶接部	S	S_s^{*1}	IV_{AS}	一次応力	0.63	127	201
				一次+ 二次応力	0.69	240	349
ラグとプレート の溶接部	S	S_s^{*1}	IV_{AS}	一次応力	0.51	107	209
				一次+ 二次応力	0.59	205	349

*1: S_s 地震力が S_d 地震力および S クラスの機器に適用される静的地震力より大きく、 S_s 地震力による発生応力が S_d 地震力および S クラスの機器に適用される静的地震力の許容応力を下回るため、 S_d 地震力および静的地震力による評価を省略した。

*2: 設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 および表 9 より求まる値

4.1.2 高サイクル熱疲労

余熱除去系統配管のうち、余熱除去冷却器出口配管とバイパスラインの合流部（高低温水合流部）について、貫通亀裂を想定し地震時に発生する応力を算出した結果、亀裂安定限界応力を超えることはないことから、耐震安全性評価上問題ない。

評価結果を表8に、算出過程を別紙6に示す。

表8 余熱除去系統配管の高サイクル熱疲労割れの耐震安全性評価結果

対象機器	耐震重要度	評価地震力	許容応力状態	応力比	地震時発生応力 (MPa)	亀裂安定限界応力 (MPa)
余熱除去系統配管	S	S _s	IV _A S	0.79	222	282

4.1.3 中性子照射脆化

原子炉容器胴部について、想定欠陥にPTS事象時の荷重とS_s地震時の荷重を考慮した応力拡大係数K_Iと、原子炉容器の劣化が進展すると仮定した場合の運転開始後60年時点における破壊靱性値K_{IC}下限包絡曲線を評価した結果、K_{IC}>K_Iを満足することから、耐震安全性評価上問題ない。

算出過程を別紙7に示す。

4.1.4 熱時効

1次冷却材管について、運転開始後60年時点での疲労進展を仮定した場合の亀裂長さを貫通亀裂と仮定し、評価用荷重条件としては通常運転状態で働く荷重に加え、S_s地震発生時の荷重を考慮し配管の健全性を確認した。

具体的には、評価対象部位の熱時効後の亀裂進展抵抗（J_{mat}）と構造系に作用する応力から算出される亀裂進展力（J_{app}）を求めて比較を行った。

図4に1次冷却材管の亀裂安定性評価の例として、応力が最も大きいホットレグ直管の結果を示す。

結果は、運転期間60年での疲労亀裂を想定しても、亀裂進展力（J_{app}）と亀裂進展抵抗（J_{mat}）の交点において、J_{mat}の傾きがJ_{app}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なく、耐震安全性評価上問題ない。

なお、算出過程は、「技術評価」2相ステンレス鋼の熱時効の補足説明資料に記載のとおりである。

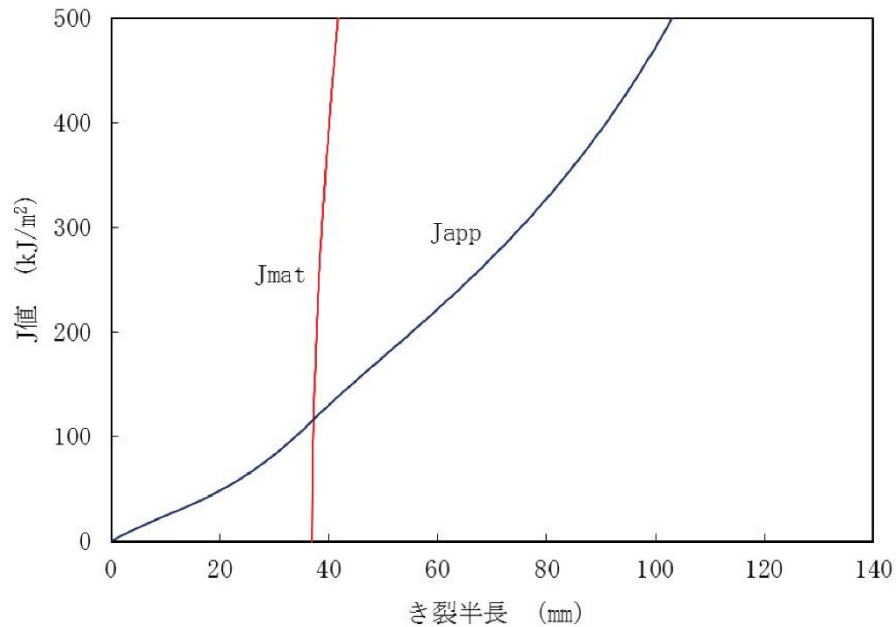


図4 1次冷却材管の亀裂安定性評価結果

4.1.5 中性子照射による靱性低下

炉心そうについて、運転開始後60年時点におけるS_s地震発生時の想定欠陥における応力拡大係数K、破壊靱性値K_{IC}を評価した結果、想定欠陥における応力拡大係数7.9MPa√mは、破壊靱性値51MPa√mを下回っており、不安定破壊は生じないことから、耐震安全性評価上問題ない。

算出過程を別紙8に示す。

4.1.6 中性子およびγ線照射脆化

原子炉容器サポート（サポートブラケット（サポートリブ））について、運転開始後60年時点におけるS_s地震発生時の想定欠陥における応力拡大係数K_I、破壊靱性値K_{IR}を評価した結果、想定欠陥の応力拡大係数は、破壊靱性値を超えることはないことから、耐震安全性評価上問題ない。

評価結果を表9に、算出過程を別紙9に示す。

表9 原子炉容器サポート（サポートブラケット（サポートリブ））の
中性子およびγ線照射脆化に対する耐震安全性評価結果

対象機器	耐震 重要度	評価 地震力	応力拡大係数 / 破壊靱性値	応力拡大 係数 (MPa√m)	破壊 靱性値 (MPa√m)
原子炉容器サポート (サポートブラケット (サポートリブ))	S	S _s *1	0.16	6.5	41.1

*1：S_s地震力による発生応力がS_d地震力およびSクラスの機器に適用される静的地震力より大きく、S_s地震力による評価応力が許容応力（破壊靱性値）を下回るため、S_d地震力および静的地震力による評価を省略した。

4.1.7 摩耗

蒸気発生器支持脚（ヒンジ摺動部）について、運転開始後60年時点での摩耗量の一樣減肉を仮定し地震時の発生応力を評価した結果、地震時の発生応力は許容応力を超えることはないことから、耐震安全性評価上問題ない。

評価結果を表10に、算出過程を別紙10に示す。

表10 蒸気発生器支持脚（ヒンジ摺動部）の摩耗の耐震安全性評価結果

評価対象	耐震 重要度	評価 地震力	許容 応力 状態	応力種別	応力比	発生 応力 (MPa)	許容 応力*2 (MPa)
蒸気発生器 (支持脚 (ヒンジ摺動 部))	S	S _s *1	IV _{AS}	一次応力	0.27	48	180
				一次+ 二次応力	0.71	301	426

*1：S_s地震力がS_d地震力およびSクラスの機器に適用される静的地震力より大きく、S_s地震力による発生応力がS_d地震力およびSクラスの機器に適用される静的地震力の許容応力を下回るため、S_d地震力および静的地震力による評価を省略した。

*2：設計・建設規格付録材料図表Part5表9より求まる値

4.1.8 流れ加速型腐食

(1) 炭素鋼配管（主蒸気系統配管）

炭素鋼配管（主蒸気系統配管）について、配管内面に必要最小肉厚の減肉を想定し地震時の発生応力を評価した結果、一次+二次応力は許容応力を超えるためJEAG4601「原子力発電所耐震設計技術指針」に従い疲労評価を行った結果、疲労累積係数は1以下であること、および地震時の発生応力は許容応力を超えることはないことから、耐震安全性評価上問題ない。

評価結果を表11に、算出過程を別紙11に示す。

表11(1/2)炭素鋼配管（主蒸気系統配管）の腐食（流れ加速型腐食）の耐震安全性評価結果

評価対象	耐震重要度	評価地震力	許容応力状態	応力種別	応力比	発生応力*1 (MPa)	許容応力*2 (MPa)
炭素鋼配管 (主蒸気系統配管)	S	S _s	IV _A S	一次応力	0.80	260	323
				一次+二次応力	1.58*3	526	333
		S _d	III _A S	一次応力	0.93	146	157
				一次+二次応力	0.72	240	333

*1：系統内の評価対象ライン中で最大の発生応力を示す

*2：設計・建設規格付録材料図表Part5表8および表9より求まる値

*3：一次+二次応力が許容応力を超えるため、表11(2/2)のとおりJEAG4601に従い疲労評価を行った

表11(2/2)炭素鋼配管（主蒸気系統配管）の腐食（流れ加速型腐食）の耐震安全性評価結果

評価対象	地震動による疲労累積係数 (許容値1以下)
炭素鋼配管 (主蒸気系統配管)	0.104

(2) 原子炉補機冷却水冷却器（伝熱管）

原子炉補機冷却水冷却器（伝熱管）について、伝熱管内面に施栓基準肉厚までの減肉を想定し地震時の発生応力を評価した結果、地震時の発生応力は許容応力を超えることはないことから、耐震安全性評価上問題ない。

評価結果を表12に、算出過程を別紙12にそれぞれ示す。

表12 原子炉補機冷却水冷却器（伝熱管）の腐食（流れ加速型腐食）の耐震安全性評価結果

評価対象	耐震重要度	評価地震力	許容応力状態	応力種別	応力比	発生応力 (MPa)	許容応力*2 (MPa)
					邪魔板 ～ 邪魔板	邪魔板 ～ 邪魔板	
原子炉補機冷却水冷却器伝熱管	S	S _s *1	IV _A S	一次応力	0.79		

*1：S_s地震力がS_d地震力およびSクラスの機器に適用される静的地震力より大きく、S_s地震力による発生応力がS_d地震力およびSクラスの機器に適用される静的地震力の許容応力を下回るため、S_d地震力および静的地震力による評価を省略した。

*2

--

4.1.9 全面腐食

機器基礎ボルト（燃料油貯蔵タンク）について、運転開始後60年時点での減肉を想定し地震時の発生応力を評価した結果、地震時の発生応力は許容応力を超えることはないことから、耐震安全性評価上問題ない。

評価結果を表13に、算出過程を別紙13にそれぞれ示す。

表13 機器基礎ボルト（燃料油貯蔵タンク）の腐食（全面腐食）に対する耐震安全性評価結果

評価対象	耐震重要度	評価地震力	許容応力状態	応力種別	応力比	発生応力 (MPa)	許容応力*2 (MPa)
燃料油貯蔵タンク	S	S _s *1	IV _A S	引張	0.76	146	193
				せん断	0.26	39	148

*1：S_s地震力がS_d地震力およびSクラスの機器に適用される静的地震力より大きく、S_s地震力による発生応力がS_d地震力およびSクラスの機器に適用される静的地震力の許容応力を下回るため、S_d地震力および静的地震力による評価を省略した。

*2：設計・建設規格付録材料図表 Part5 表8および表9より求まる値

4.1.10 動的機能維持に係る耐震安全性評価

主蒸気逃がし弁について、接続する配管の流れ加速型腐食による振動応答特性への影響を考慮し、JEAG4601に基づきスペクトルモーダル解析から算出される弁駆動部の応答加速度、または設置床の最大応答加速度を1.2倍した値

(1.2ZPA) のいずれか大きい方を動的機能維持評価に用いる加速度値として評価した結果、地震時の応答加速度が機能確認済加速度以下等であることから、弁の動的機能が維持される。

また、耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象に対する耐震安全性評価の実施により、機器等における動的機能維持に必要となる部位での経年劣化事象は、機器の振動応答特性への影響が「軽微もしくは無視」できる事象であることを確認した。

主蒸気逃がし弁の動的機能維持評価結果のうち機能確認済加速度および動作確認済加速度との比較結果を表14に、接続する配管に流れ加速型腐食に伴う減肉により応答加速度に影響を及ぼす可能性のある動的機能維持が要求される弁の評価結果および弁以外の動的機能維持対象機器の詳細な検討結果を別紙14に示す。

表 14 主蒸気逃がし弁の動的機能維持評価結果

耐震 重要度	地震力		振動数 (Hz)	主蒸気逃がし弁	
				応答加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
S	S s	水平	50	7.3 ^{*1, 2, 3}	6.0
		鉛直		2.3 ^{*1, 2}	6.0

*1 : A~D 主蒸気逃がし弁の最大値 (B、C 主蒸気逃がし弁の評価値) を示す

*2 : スペクトルモーダル解析における振動数確認範囲を 50Hz まで拡大した地震
応答解析により得られた値

*3 : 詳細評価により動作確認済加速度 ($11.0 \times 9.8 \text{ m/s}^2$) を満足していることを
確認済

4.1.11 制御棒挿入性に係る耐震安全性評価

制御棒挿入性に影響を与える可能性のある経年劣化事象として、制御棒クラスター案内管（案内板）の摩耗と制御棒被覆管の摩耗を想定し地震時の制御棒挿入評価を行った結果、挿入時間は規定値を下回っており耐震安全性評価上問題ない。

評価結果を表15に、算出過程を別紙15にそれぞれ示す。

表 15 制御棒挿入性に係る耐震安全性評価結果

耐震重要度	評価地震力	経年劣化を想定した地震時の挿入時間	規定値
S	S s	2.07 秒	2.2 秒

4.1.12 照射誘起型応力腐食割れ

バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れについては、「高経年化対策上着目すべき経年劣化事象であるが、現在発生しておらず、今後も発生の可能性がないもの、または小さいもの」と分類し、耐震安全性評価は不要と判断している。

4.2 現状保全

耐震安全性評価対象機器の現状保全については、「技術評価」のとおりである。

4.3 総合評価

「技術評価」の評価対象機器の耐震安全性評価については、経年劣化事象を考慮した場合においても、「実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド」および「実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド」の要求事項を満足し、耐震安全性に問題のないことを確認した。

また、耐震安全性評価対象機器の現状保全については、耐震安全上考慮する必要のある経年劣化状況を考慮した耐震評価を行い、耐震安全性に問題ないことを確認しており、各設備の現状保全は適切であることから、現状保全に追加すべき新たな保全策は抽出されなかった。

5. まとめ

5.1 審査ガイド適合性

「2. 基本方針」で示した要求事項について耐震安全性評価を行った結果、すべての要求事項を満足しており、審査ガイドに適合していることを確認した。耐震安全性評価についての要求事項との対比および評価結果の分類を表16および表17に示す。

表16（1／2） 耐震安全性評価についての要求事項との対比

ガイド	要求事項	耐震安全性評価結果
実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド	3. 高経年化技術評価等の審査の視点・着眼点 (1)高経年化技術評価の審査 ⑥動的機器（部位）の抽出 動的機器（部位）を評価対象外としている場合、発電用原子炉設置者の施設管理活動において、材料等の経年劣化の影響から生じる性能低下の状況が的確に把握され、高経年化技術評価の開始時期以降もこれらが適切に行われることを保証しているかを、施設管理要領等の文書及び施設管理実績等により審査する。	3.1.1, 3.1.2に示すとおり、耐震安全性評価を実施する機器として、動的機器（部位）を含めて評価対象としている。
	⑮-1 耐震安全性評価の対象となる経年劣化事象の抽出 経年劣化の進展評価結果に基づき、耐震安全性評価の対象となる経年劣化事象を抽出していることを審査する。	3.1.1, 3.1.2に示すとおり、耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出フローにより、耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象を抽出している。
	⑰-1 耐震安全上着目すべき経年劣化事象の抽出 耐震安全上着目すべき経年劣化事象を抽出していることを審査する。	
	⑳-1 耐震安全性の評価 実施ガイド3.1⑤に規定する期間の満了日までの期間について、経年劣化事象の発生又は進展に伴う機器・構造物の耐震安全性を評価しているかを審査する。	4.1.1～4.1.12に示すとおり、運転開始後60年時点までの経年劣化を考慮した状態における耐震安全性評価を実施している。
	㉑-1 耐震安全上の現状保全の評価 耐震安全性に対する現状の保全策の妥当性を評価しているかを審査する。	4.2, 4.3に示すとおり、耐震安全性評価を実施してガイドを満足していることから、耐震安全性に対する現状の保全策は妥当であると評価している。
	㉒-1 耐震安全上の追加保全策の策定 想定した経年劣化事象に対し、耐震安全性が確保されない場合に、現状保全に追加する必要がある新たな保全策を適切に策定しているかを審査する。	4.3に示すとおり、耐震安全評価を実施してガイドを満足していることから、現状保全に追加すべき新たな保全策はないと評価している。
	(2)長期施設管理方針の審査 ①長期施設管理方針の策定 すべての追加保全策について長期保守管理方針として策定されているかを審査する。	4.3に示すとおり、追加保全策については抽出されていないため、長期施設管理方針は高経年化対策の視点から充実すべき施設管理の項目はないと評価している。

表16 (2 / 2) 耐震安全性評価についての要求事項との対比

ガイド	要求事項	耐震安全性評価結果
実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド	3.1 高経年化技術評価の実施及び見直し ⑥耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象については、経年劣化を加味した機器・構造物の耐震安全性評価を行い、必要に応じ追加保全策を抽出すること。	4.1～4.3に示すとおり、耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象については、経年劣化を加味した機器・構造物の耐震安全性評価を行い、ガイドを満足して耐震安全上問題のないことを確認している。また、現状の保全策についても妥当であることを確認しており、追加保全策はないと評価している。
	実用炉規則第82条第1項から第3項までの規定による高経年化技術評価に係る耐震安全性評価は、規制基準（当該評価を行う時点後の直近の運転開始以後30年、40年又は50年を経過する日において適用されているものに限る。）の要求を満たすことが確認された確定した基準地震動及び弾性設計用地震動を用いた評価を行うこと。当該高経年化技術評価後に、当該評価に用いた基準地震動及び弾性設計用地震動が見直された場合には、高経年化技術評価を速やかに見直すこと。 ⑥を行うに当たっては、PLM基準2008版の6.3.4耐震安全性評価を用いることができる。	3.4に示すとおり、設置変更許可にて規制基準の要求を満足する基準地震動および弾性設計用地震動を用いて評価を実施している。
	3.2 長期施設管理方針の策定及び変更 長期施設管理方針の策定及び変更に当たっては、以下の要求事項を満たすこと。 ①高経年化技術評価の結果抽出された全ての追加保全策（発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提として抽出されたもの及び冷温停止状態が維持されることを前提として抽出されたものの全て。）について、発電用原子炉ごとに、施設管理の項目及び当該項目ごとの実施時期を規定した長期施設管理方針を策定すること。 なお、高経年化技術評価の結果抽出された追加保全策について、発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提とした評価から抽出されたものと冷温停止状態が維持されることを前提とした評価から抽出されたもの間で、その対象の経年劣化事象及び機器・構造物の部位が重複するものについては、双方の追加保全策を踏まえた保守的な長期施設管理方針を策定すること。	4.3に示すとおり、追加保全策については抽出されないため、長期施設管理方針は高経年化対策の視点から充実すべき施設管理の項目はないと評価している。

表17 耐震安全性評価についての要求事項と評価結果の分類

機器・ 構造物	耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象											動的機能維持評価	制御棒挿入性評価
	疲労割れ		中性子照射脆化	照射誘起型応力腐食割れ	熱時効	中性子照射による靱性低下	中性子およびγ線照射脆化	応力腐食割れ	摩耗	腐食			
	低サイクル疲労	高サイクル熱疲労								流れ加速型腐食	全面腐食		
ポンプ	A2	—	—	—	B2-②	—	—	—	—	—	—	C1	—
熱交換器	A2	—	—	—	—	—	—	—	—	A1	—	—	—
ポンプモータ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C1	—
容器	A2	—	B3-①	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
配管	A1*1、A2	B1-③	—	—	B2-②	—	—	—	—	A1、A2	—	—	—
弁	A2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C1、C2	—
炉内構造物	A2	—	—	—	—	B3-①	—	—	A1	—	—	C2	D
ケーブル	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
電気設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C1	—
タービン設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	A1	—	C1	—
コンクリート 構造物および 鉄骨構造物	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
計測制御設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C1	—
空調設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	A1	A1	C1	—
機械設備	A2	—	—	—	—	—	B3-①	—	A1	—	A1	C1、C2	D
電源設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	A1	—	C1	—

*1：配管サポート

凡例

○経年劣化事象を考慮した評価対象機器について地震時に発生する応力および疲労累積係数を評価した結果、耐震設計上の許容限界を下回ることを確認した事象。

[分類]

A1：応力評価により耐震設計上の許容限界を下回る評価を行った事象

A2：疲労累積係数評価により耐震設計上の許容限界を下回る評価を行った事象

○経年劣化事象を考慮した評価対象機器について地震時に発生する応力、亀裂進展力および応力拡大係数を評価した結果、想定亀裂（欠陥）に対する破壊力学評価上の許容限界を下回ることを確認した事象。

B1：応力評価により破壊力学評価上の許容限界を下回る評価を行った事象

B2：亀裂進展力評価により破壊力学評価上の許容限界を下回る評価を行った事象

B3：応力拡大係数評価により破壊力学評価上の許容限界を下回る評価を行った事象

[破壊力学評価手法の分類]

①：線形破壊力学評価法

②：弾塑性破壊力学に基づく評価

③：極限荷重評価法

○経年劣化事象を考慮した、地震時に動的機能が要求される評価対象機器の地震時の応答加速度を評価した結果、機能確認済加速度以下であることを確認した機器。

[分類]

C1：動的機能維持に必要となる部位での経年劣化事象が、機器の振動応答特性への影響が「軽微もしくは無視」できる事象であることを確認し、経年劣化事象を考慮しても、機器における地震時の応答加速度は各機器の機能確認済加速度を上回るものではないと考えられ、地震時の動的機能についても維持されると判断した機器

C2：動的機能維持に必要となる部位での経年劣化事象が、機器の振動応答特性に影響を及ぼす可能性があるが、耐震安全性評価の実施により、振動応答特性に影響を与える経年劣化事象ではないことを確認している機器

○経年劣化事象を考慮した、地震時の燃料集合体の変位を評価した結果、機能確認済相対変位以下であるかまたは、同様に制御棒挿入時間を評価した結果、安全評価上の規定時間以下であること。

[分類]

D：制御棒挿入性を評価し、安全評価上の規定時間以下であることを確認した機器

5.2 長期施設管理方針として策定する事項

耐震安全上考慮する必要がある経年劣化状況を考慮した耐震評価を行い、耐震安全性に問題ないことを確認しており、各設備の現状保全は適切であることから、現状保全に追加する必要がある新たな保全策はないと評価している。

なお、P10 ※1に示す配管（5ライン）のサポート追設工事については、既に施工済みであることから追加すべき新たな保全策には該当しない。

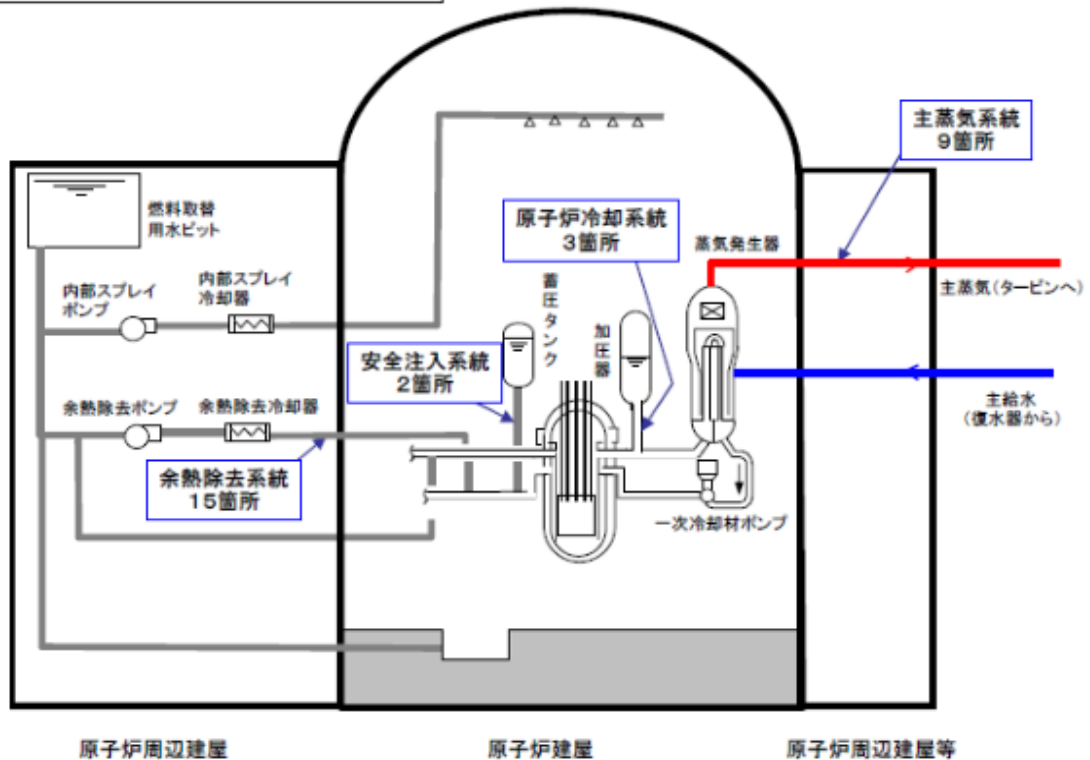
タイトル	建設後の耐震補強の実績について						
説明	<p>高経年技術評価にかかる建設後の耐震補強の実績について以下に示す。</p> <p>1. 耐震設計審査指針改訂後の耐震バックチェックに関連して実施した耐震補強（以下、「耐震 BC による耐震補強」という。）について表 1-1 に示す。</p> <p style="text-align: center;">表 1-1 耐震 BC による耐震補強の概要</p> <table border="1" data-bbox="432 674 1361 981"> <thead> <tr> <th data-bbox="432 674 659 714">種別</th> <th data-bbox="659 674 1098 714">内容</th> <th data-bbox="1098 674 1361 714">実施時期</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="432 714 659 981">配管類</td> <td data-bbox="659 714 1098 981">配管支持構造物の強化工事 （原子炉冷却系統、安全注入系統、余熱除去系統、主蒸気系統、主給水系統、格納容器スプレイ系統）</td> <td data-bbox="1098 714 1361 981"> <ul style="list-style-type: none"> ・ 第 12 回定検 (2008 年度) ・ 第 13 回定期検査 (2009～2010 年度) ・ 第 14 回定期検査 (2011～2012 年度) </td> </tr> </tbody> </table> <p>12 回～14 回定検における耐震補強工事について概要を添付-1 に示す。</p> <p>2. 新規制基準適合申請に関連した耐震補強について、添付-2 に示す。</p> <p>3. 経年劣化事象の評価に関連した耐震補強について、添付-3 に示す。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>	種別	内容	実施時期	配管類	配管支持構造物の強化工事 （原子炉冷却系統、安全注入系統、余熱除去系統、主蒸気系統、主給水系統、格納容器スプレイ系統）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 第 12 回定検 (2008 年度) ・ 第 13 回定期検査 (2009～2010 年度) ・ 第 14 回定期検査 (2011～2012 年度)
種別	内容	実施時期					
配管類	配管支持構造物の強化工事 （原子炉冷却系統、安全注入系統、余熱除去系統、主蒸気系統、主給水系統、格納容器スプレイ系統）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 第 12 回定検 (2008 年度) ・ 第 13 回定期検査 (2009～2010 年度) ・ 第 14 回定期検査 (2011～2012 年度) 					

第12回定検 耐震補強工事概要

工事概要

既設設備の耐震性を一層向上させるため、原子炉冷却系統、安全注入系統、余熱除去系統、主蒸気系統の配管支持構造物29箇所を強化した。

支持構造物を補強した系統の概要図



工事実施箇所数

配管支持構造物 29箇所
合計 29箇所

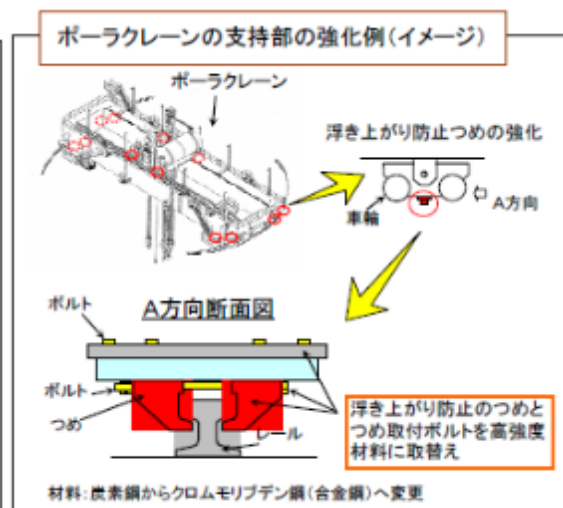
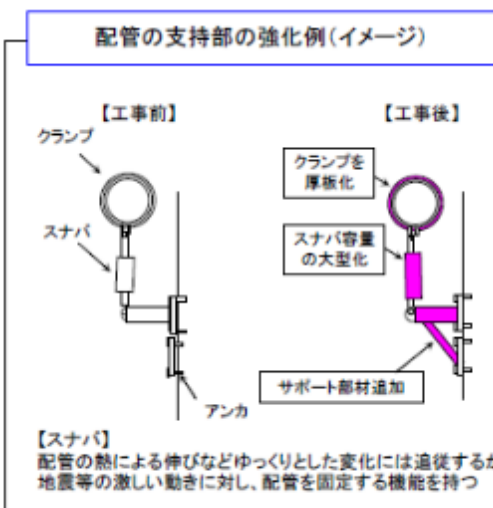
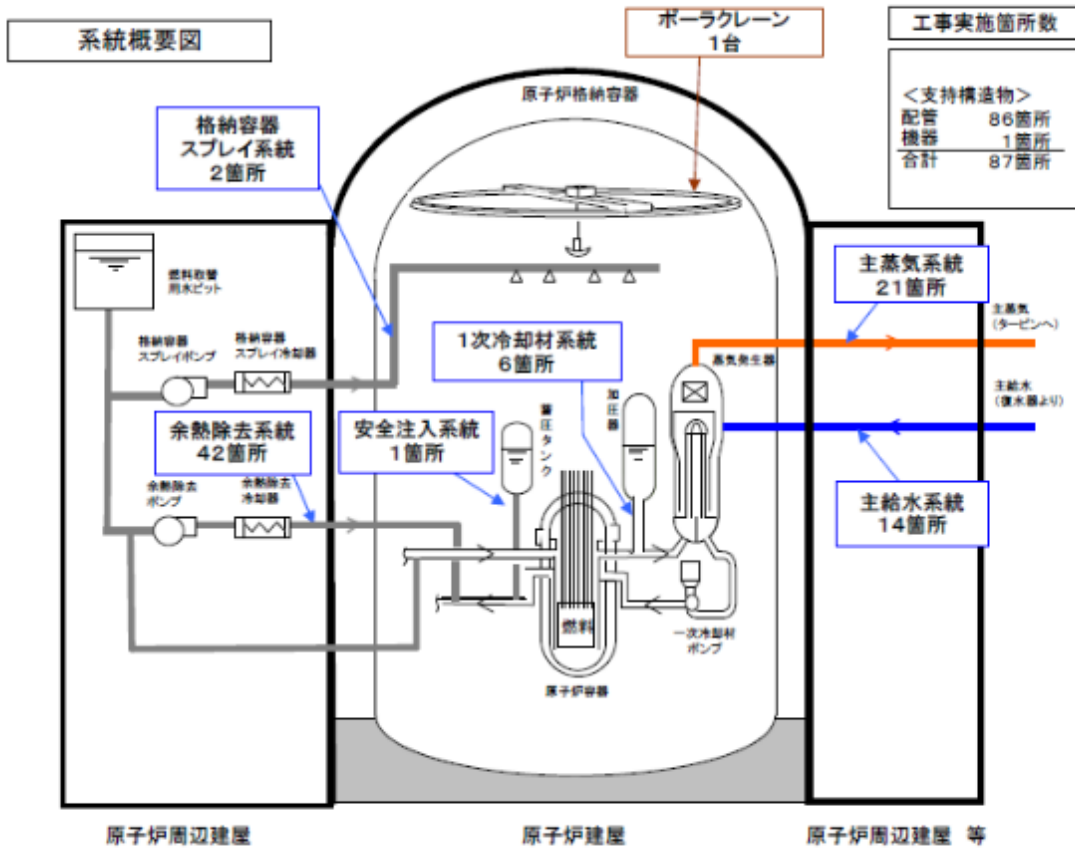
配管の支持部の強化例



第13回定検 耐震補強工事概要

工事概要

既設設備の耐震性を一層向上させるため、主蒸気系統や余熱除去系統などの配管ならびに、ポーラクレーンの支持構造物を強化した。



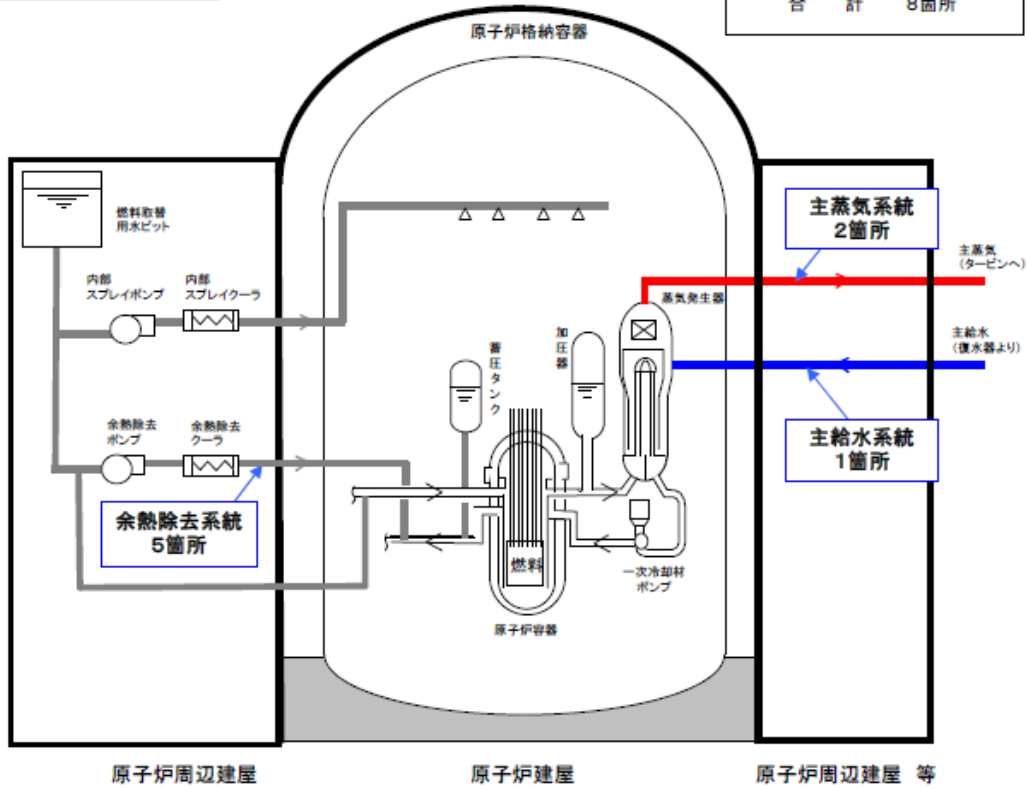
第14回定検 耐震補強工事概要

工事概要

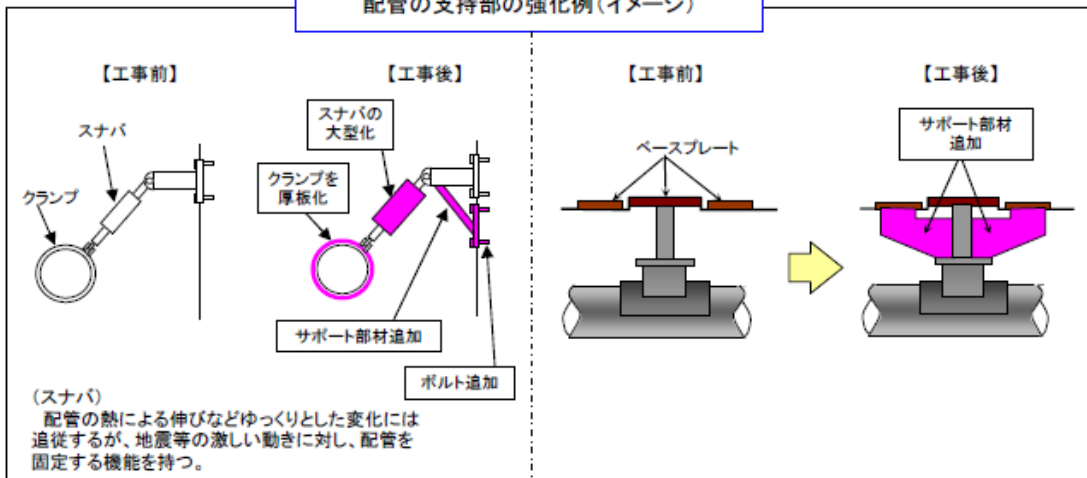
既設設備の耐震性を一層向上させるため、主蒸気系統や主給水系統および余熱除去系統の配管の支持構造物を強化した。

系統概要図

配管支持構造物 8箇所
合計 8箇所



配管の支持部の強化例(イメージ)



新規制基準適合申請に関連した耐震補強工事概要 (配管以外)

機器	工事概要
原子炉補機冷却水冷却器	<p>支持脚取付部の胴当板拡張</p> <p>可動脚基礎ボルト追設</p> <ul style="list-style-type: none"> ・補強前 <input type="text"/> ・補強後 <input type="text"/> <p>固定脚基礎ボルト一部取替</p> <ul style="list-style-type: none"> ・補強前 <input type="text"/> ・補強後 <input type="text"/>
余熱除去冷却器	<p>支持脚取付部の胴当板拡張</p> <p>固定脚基礎ボルト追設</p> <ul style="list-style-type: none"> ・補強前 <input type="text"/> ・補強後 <input type="text"/>
蒸気発生器	<p>ベースプレート t =36mm (SM490B) 拡張</p> <p>基礎ボルト追設</p> <ul style="list-style-type: none"> ・補強前 M <input type="text"/> × <input type="text"/> 本 (SNB23-3) ・補強後 M <input type="text"/> × <input type="text"/> 本 (SNB23-3) M <input type="text"/> × <input type="text"/> 本 (SNB23-3)

新規制基準適合申請に関連した耐震補強工事概要 (配管)

機器名	補強箇所	サポート種別	補強内容	
一次冷却材系統配管	加圧器サージ配管	メカニカルスナバ	全て改造	
		ロッドレストレイント	全て改造	
		ピン	全て改造	
	加圧器スプレイ配管	メカニカルスナバ		全て改造
				支持装置改造
				架構改造
		ロッドレストレイント		全て改造
				支持装置改造
				架構改造
		スプリングハンガ		全て改造
				支持装置改造
		Uボルト		架構改造
				定着部改造
		Uバンド		架構改造
			定着部改造	
	ピン		全て改造	
			支持装置改造	
	サドル		全て改造	
			架構改造	
			定着部改造	
	加圧器逃がし配管	メカニカルスナバ		全て改造
			架構改造	
ロッドレストレイント			全て改造	
			支持装置改造	
スプリングハンガ		全て改造		
		全て改造		
Bループ高温側配管	メカニカルスナバ	全て改造		
	スプリングハンガ	全て改造		
Cループ高温側配管	メカニカルスナバ	全て改造		
	スプリングハンガ	全て改造		

機器名	補強箇所	サポート種別	補強内容	
主蒸気系統配管	Aループ主蒸気配管	メカニカルスナバ	全て改造 支持装置改造	
		ロッドレストレイント	支持装置改造 架構改造	
		サドル	架構改造 定着部改造	
		ビーム	全て改造 架構改造	
		ガイド	支持装置改造 架構改造	
		Bループ主蒸気配管	メカニカルスナバ	全て改造 支持装置改造 架構改造 定着部改造
			ロッドレストレイント	全て改造 架構改造
			ピン	支持装置改造 架構改造
			ビーム	全て改造 架構改造
			サドル	架構改造 定着部改造
	ガイド		支持装置改造 架構改造	
	Cループ主蒸気配管		メカニカルスナバ	全て改造 支持装置改造
			ロッドレストレイント	全て改造 架構改造
			ピン	支持装置改造 架構改造
			ビーム	全て改造 架構改造
		サドル	架構改造 定着部改造	
		ガイド	支持装置改造 架構改造	
	Dループ主蒸気配管	メカニカルスナバ	全て改造 支持装置改造	
		ロッドレストレイント	支持装置改造 架構改造	
		ビーム	全て改造 架構改造	
		サドル	架構改造 定着部改造	
		ガイド	支持装置改造 架構改造	
		タービン動補助給水ポンプ蒸気供給配管	オイルスナバ	架構改造 定着部改造
	メカニカルスナバ		全て改造	
	ロッドレストレイント		支持装置改造	
	ピン		全て改造	
	サドル		架構改造 定着部改造	
	ラゲ		架構改造 定着部改造	

機器名	補強箇所	サポート種別	補強内容
主給水系統配管	Aループ主給水配管	オイルスナバ	架構改造 定着部改造
		メカニカルスナバ	全て改造 支持装置改造
			架構改造 定着部改造
		ガイド	支持装置改造
	Bループ主給水配管	オイルスナバ	支持装置改造
		メカニカルスナバ	支持装置改造 架構改造
			定着部改造
		ロッドレストレイント	全て改造
	ガイド	支持装置改造	
	Cループ主給水配管	オイルスナバ	支持装置改造
		メカニカルスナバ	支持装置改造 架構改造
			定着部改造
		ロッドレストレイント	全て改造
	ガイド	支持装置改造	
	Dループ主給水配管	オイルスナバ	架構改造 定着部改造
		メカニカルスナバ	全て改造 支持装置改造
架構改造			
ガイド		支持装置改造	

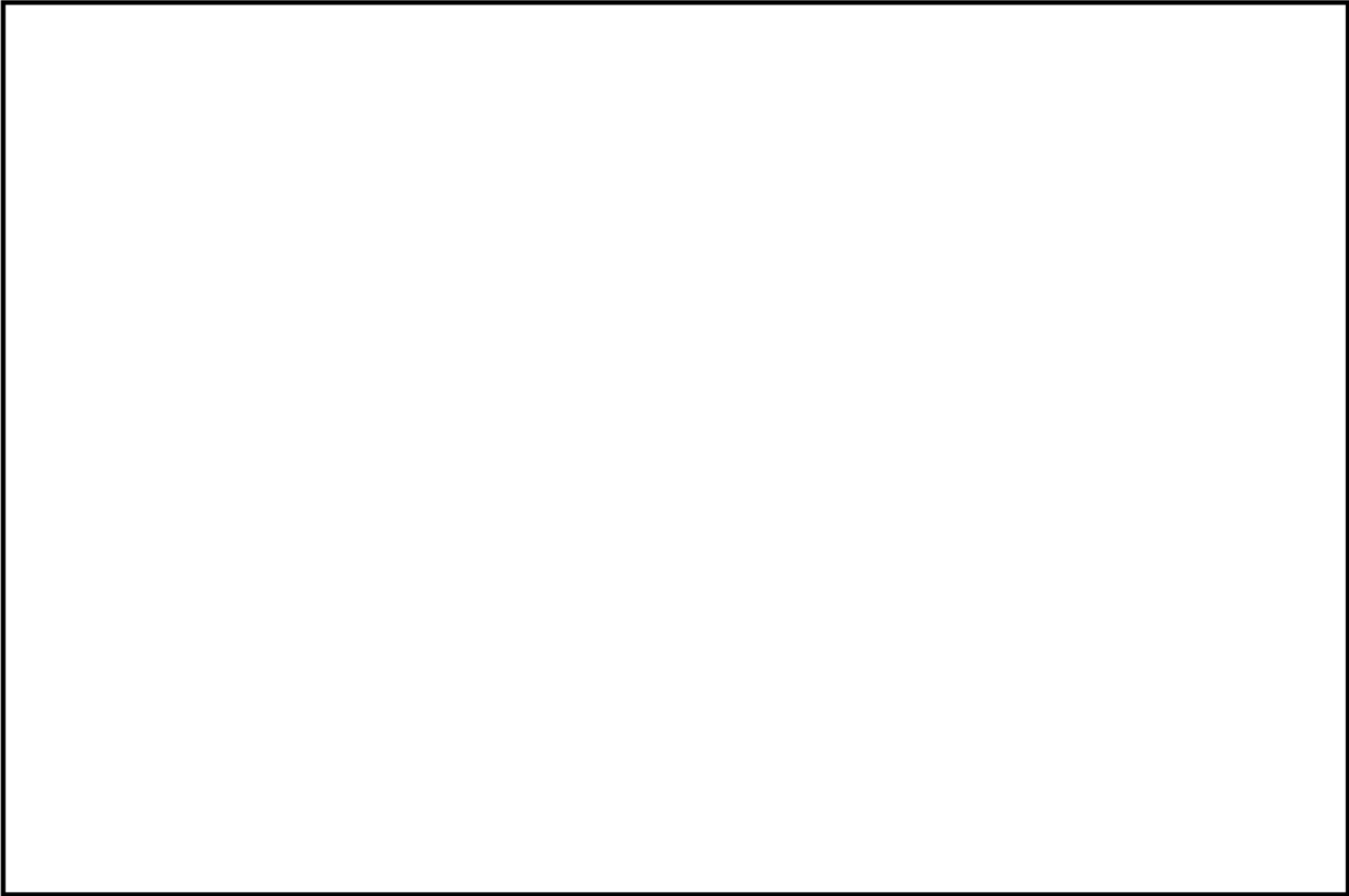
機器名	補強箇所	サポート種別	補強内容
安全注入系統配管	4 A 蓄圧タンク 出口配管	メカニカルスナバ	全て改造
			架構改造
			定着部改造
		ロッドレストレイント	全て改造
		ピン	支持装置改造
			架構改造
	サドル	架構改造	
		定着部改造	
	ガイド	支持装置改造	
	4 B 蓄圧タンク 出口配管	メカニカルスナバ	全て改造
			架構改造
		ロッドレストレイント	全て改造
		サドル	支持装置改造
	架構改造		
	4 C 蓄圧タンク 出口配管	メカニカルスナバ	全て改造
			架構改造
			定着部改造
		ロッドレストレイント	全て改造
		ピン	支持装置改造
			架構改造
	サドル	架構改造	
	定着部改造		
4 D 蓄圧タンク 出口配管	メカニカルスナバ	全て改造	
		架構改造	
		定着部改造	
	ロッドレストレイント	全て改造	
	ピン	支持装置改造	
		架構改造	
サドル	架構改造		
	定着部改造		
ガイド	全て改造		
	支持装置改造		
4 A 高压注入ポンプ 入口配管	ラゲ	支持装置改造	
		架構改造	
Bループ高温 入口配管	メカニカルスナバ	全て改造	
Cループ高温 入口配管	メカニカルスナバ	全て改造	

機器名	補強箇所	サポート種別	補強内容
余熱除去系統配管	4 A 余熱除去冷却器出口配管	メカニカルスナバ	全て改造
	4 A 余熱除去ポンプ出口配管	メカニカルスナバ	全て改造
	4 A 余熱除去ポンプ供給連絡配管	メカニカルスナバ	全て改造
		ロッドレストレイント	全て改造 架構改造
	4 B 余熱除去冷却器出口配管	メカニカルスナバ	全て改造
	4 B 余熱除去ポンプ出口配管	メカニカルスナバ	全て改造
		ロッドレストレイント	架構改造 定着部改造
	4 B 余熱除去ポンプ供給連絡配管	メカニカルスナバ	全て改造
		ロッドレストレイント	全て改造
	A, Bループ低温側入口配管	オイルスナバ	架構改造 定着部改造
		メカニカルスナバ	全て改造
		ロッドレストレイント	架構改造
		ガイド	支持装置改造
		ラゲ	架構改造 定着部改造
	Bループ高温側出口配管	メカニカルスナバ	全て改造
		ロッドレストレイント	全て改造
		ピン	全て改造
		サドル	架構改造 定着部改造
	C, Dループ低温側入口配管	オイルスナバ	架構改造 定着部改造
		メカニカルスナバ	全て改造
		ロッドレストレイント	架構改造
		ガイド	支持装置改造
		ラゲ	架構改造 定着部改造
	Cループ高温側出口配管	メカニカルスナバ	全て改造
		ロッドレストレイント	全て改造
		ピン	全て改造
		サドル	架構改造 定着部改造

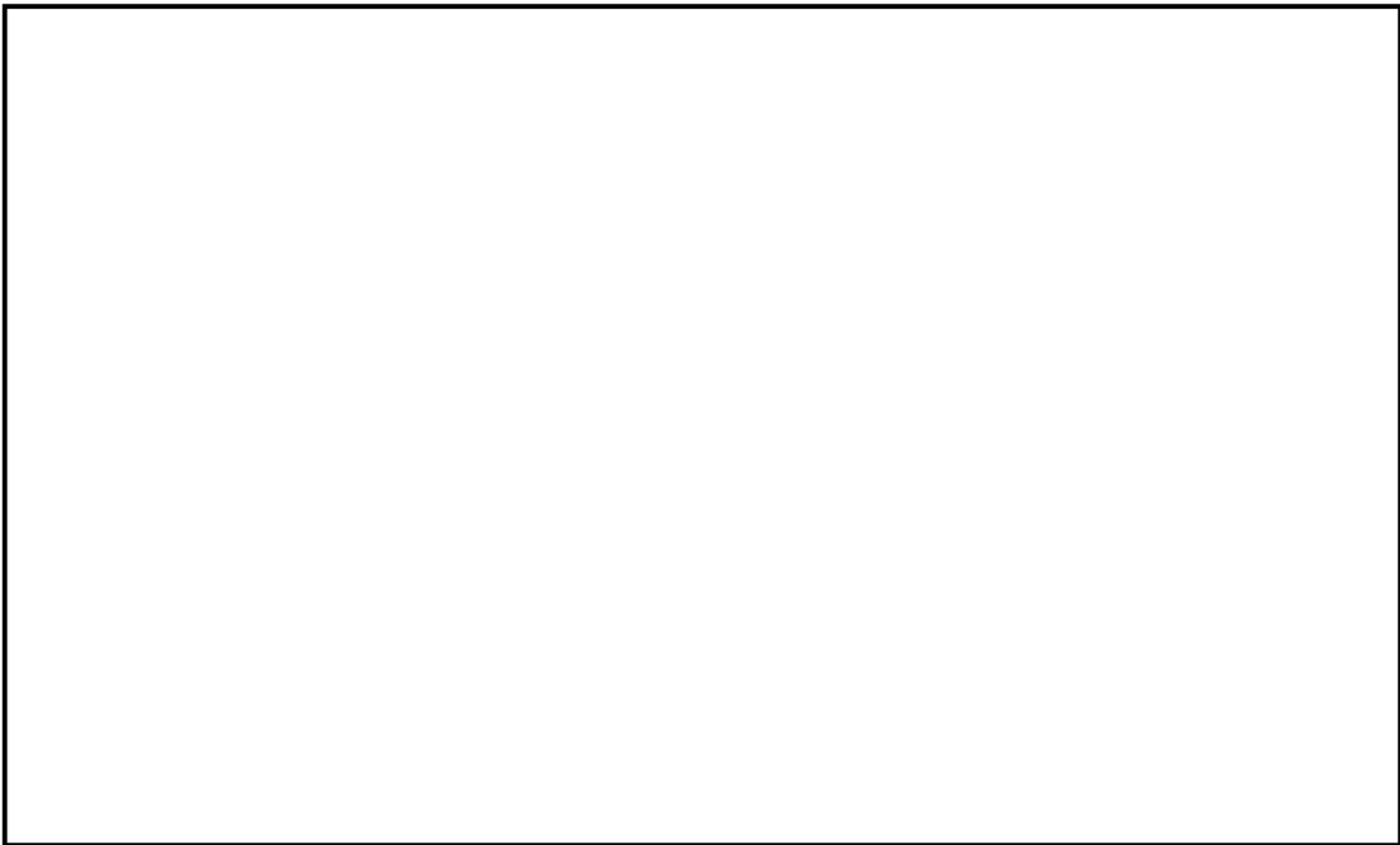
機器名	補強箇所	サポート種別	補強内容
格納容器 スプレイ系統配管	A, B, Cスプレイリング入口配管	Uボルト	全て改造
		ビーム	全て改造
		ラグ	架構改造 定着部改造
	Dスプレイリング入口配管	メカニカルスナバ	全て改造
		ロッドレストレイント	全て改造 支持装置改造
		ピン	全て改造
		Uボルト	支持装置改造 架構改造
		ビーム	全て改造
		ガイド	全て改造
			架構改造 定着部改造
		ラグ	架構改造 定着部改造
	Cスプレイヘッド配管	ロッドレストレイント	支持装置改造
			定着部改造

大飯4号機 経年劣化事象（配管の流れ加速型腐食）の評価に関連する耐震補強工事

機器名	補強箇所	サポート種別	補強内容
第3抽気系統	第3抽気管	スナバ	追設（1台）
ドレン系統	第7 高圧給水加熱器 ドレン管（A）	スナバ	追設（1台）
	第7 高圧給水加熱器 ドレン管（B）	スナバ	追設（1台）
	第1 段湿分分離加熱器 ドレン管（A 2）	スナバ	追設（1台）
	第1 段湿分分離加熱器 ドレン管（B 2）	スナバ	追設（2台）

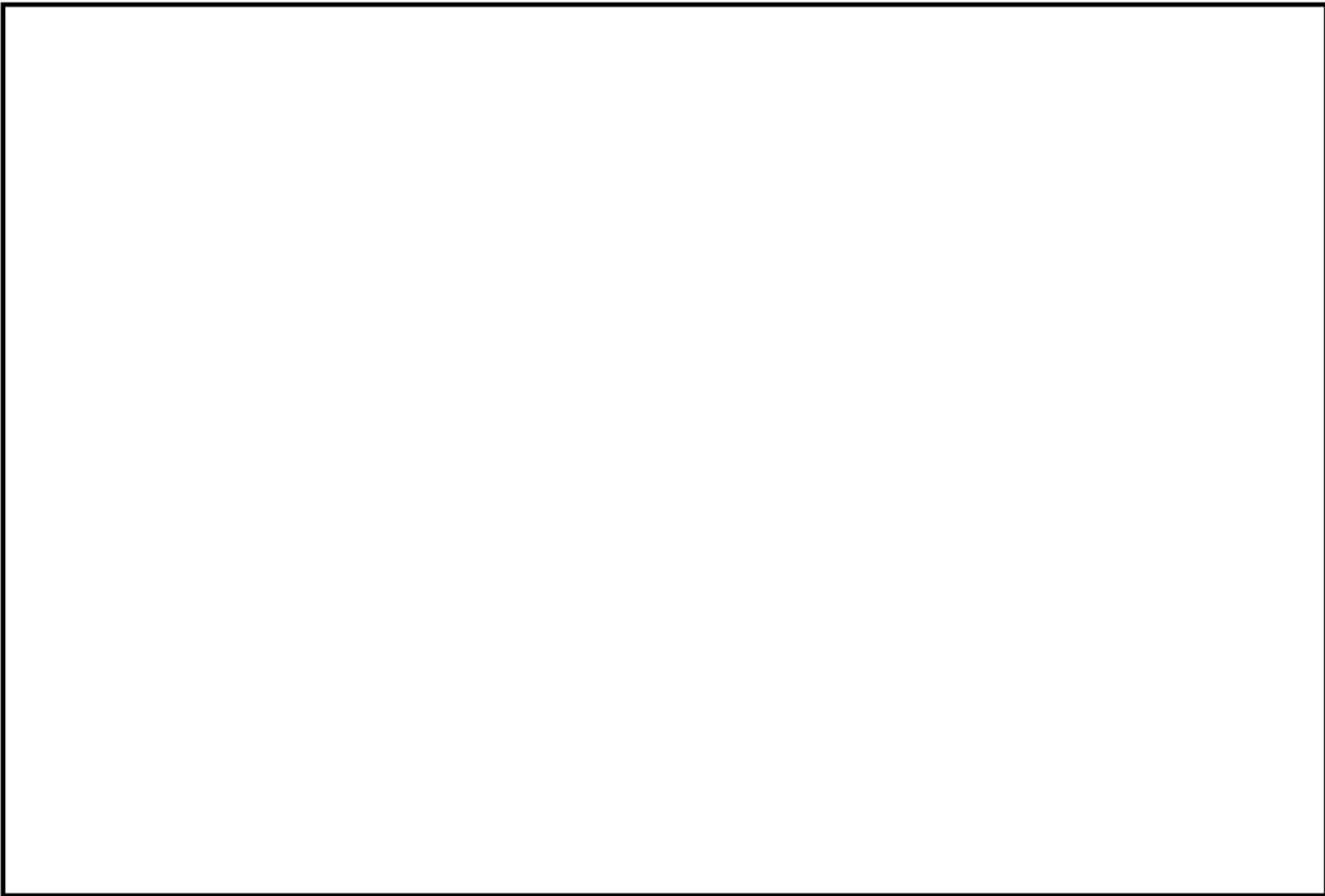


第3抽気系統 (第3抽気管)

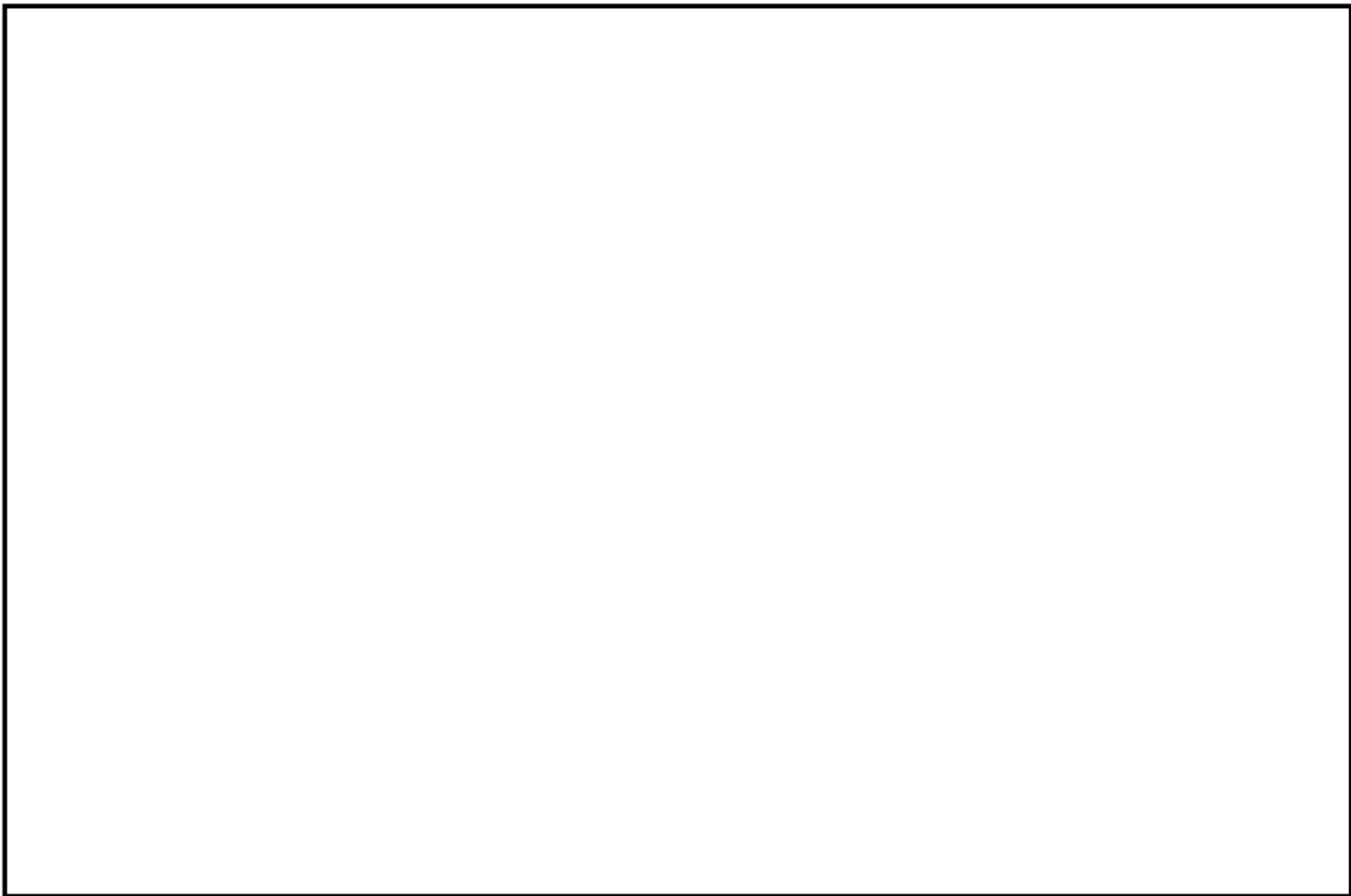


ドレン系統（第7 高圧給水加熱器ドレン管（A））

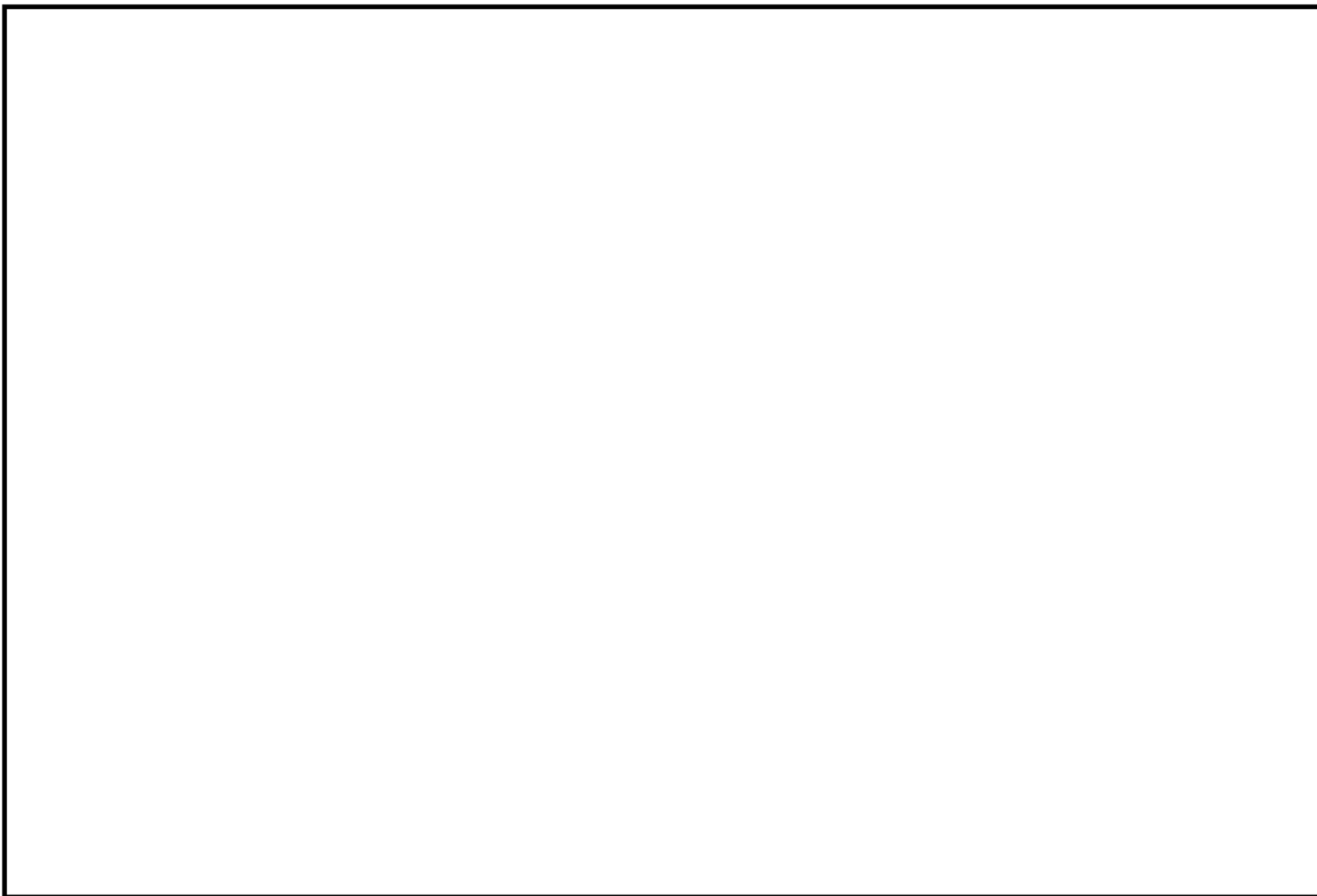
-1-15-



ドレン系統（第7 高圧給水加熱器ドレン管（B））



ドレン系統（第1段湿分分離加熱器ドレンタンクドレン管（A2））



ドレン系統（第1段湿分分離加熱器ドレンタンクドレン管（B2））

タイトル	耐震安全性評価に用いる現行の JEAG4601 以外の値を適用したケースについて												
説明	<p>以下については、現行 JEAG4601 でなく、JEAG4601-2008 に定められた設計用減衰定数を用いた評価を実施している。</p> <p>(1) 鉛直方向の設計用減衰定数 動的鉛直地震動を評価に用いる場合、鉛直方向の設計用減衰定数は JEAG4601-2008 で定められている値を使用している。</p> <p>(2) 配管設備関連の評価 動的地震動による評価においては、設計用減衰定数は JEAG4601-2008 で定められている値を使用している。 対象配管および適用した減衰定数を表 2-1 に示す。</p> <p style="text-align: center;">表 2-1 配管の動的地震動による評価に用いた減衰定数</p> <table border="1" data-bbox="504 974 1275 1270"> <thead> <tr> <th>対象配管</th> <th>減衰定数 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 次冷却系統配管</td> <td>0.5~2.5</td> </tr> <tr> <td>余熱除去系統配管</td> <td>2.0~3.0</td> </tr> <tr> <td>蒸気発生器ブローダウン系統配管</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>主蒸気系統配管</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>主給水系統配管</td> <td>2.0~3.0</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">以 上</p>	対象配管	減衰定数 (%)	1 次冷却系統配管	0.5~2.5	余熱除去系統配管	2.0~3.0	蒸気発生器ブローダウン系統配管	0.5	主蒸気系統配管	3.0	主給水系統配管	2.0~3.0
対象配管	減衰定数 (%)												
1 次冷却系統配管	0.5~2.5												
余熱除去系統配管	2.0~3.0												
蒸気発生器ブローダウン系統配管	0.5												
主蒸気系統配管	3.0												
主給水系統配管	2.0~3.0												

タイトル	機器・配管に係る、比率で示された耐震安全性評価結果（疲労累積係数を除く）について
説明	<p>機器・配管に係る、比率で示された耐震安全性評価結果（疲労累積係数を除く）について、各々の分子と分母の値を単位とともに記載した表を添付－1に示す。</p> <p>また、発生応力算出に用いた地震力の種別は以下の通りであり、耐震安全性評価結果に合わせて添付に示す。</p> <p>①耐震Sクラス</p> <ul style="list-style-type: none"> ・基準地震動 S_s^{*1} により定まる地震力 ・弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力と Sクラスの設備に適用される静的地震力の大きい方 <p>②耐震Bクラス</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ Bクラスの設備に適用される静的地震力*2 <p>③耐震Cクラス</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ Cクラスの設備に適用される静的地震力 <p>*1：「実用発電用原子炉およびその附属施設の位置、構造および設備の基準に関する規則（平成 25 年原子力規制委員会規則第 5 号）」に基づき策定した、応答スペクトルに基づく地震動評価結果による基準地震動($S_s - 1$)、断層モデルを用いた手法による地震動評価結果による基準地震動 ($S_s - 2 \sim S_s - 17$) および震源を特定せず策定する基準地震動 ($S_s - 18$、$S_s - 19$)。</p> <p>*2：支持構造物の振動と共振のおそれがあるものについては、弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力の $1/2$ についても考慮する。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>

大飯4号炉 機器・配管の耐震安全性評価結果

機種名	経年劣化事象	機器名称		耐震重要度		発生応力 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比	評価に用いた地震波 (評価手法)	備考	
				S	Ss*1						
熱交換器	伝熱管の内面腐食 (流れ加速型腐食)	原子炉補機冷却水冷却器	伝熱管	S	Ss*1			0.79	一次応力 / 許容応力	Ss (設備の固有値に基づく応答加速度の評価)	発生応力は、施栓基準肉厚より算出
	胴側耐圧構成品等の腐食 (流れ加速型腐食)	湿分分離加熱器	胴板	C	静的地震力	82	183	0.45	一次応力 / 許容応力	静的地震力	
		第1低圧給水加熱器	胴板	C	静的地震力	33	229	0.14	一次応力 / 許容応力	静的地震力	
		第2低圧給水加熱器	胴板	C	静的地震力	16	227	0.07	一次応力 / 許容応力	静的地震力	
		第3低圧給水加熱器	胴板	C	静的地震力	72	216	0.33	一次応力 / 許容応力	静的地震力	
		第4低圧給水加熱器	胴板	C	静的地震力	92	198	0.46	一次応力 / 許容応力	静的地震力	
		第5低圧給水加熱器	胴板	C	静的地震力	57	187	0.30	一次応力 / 許容応力	静的地震力	
配管	疲労割れ	配管とパッドの溶接部	S	Ss*1	64	116	0.55	一次応力 / 許容応力	Ss (スペクトルモーダル解析)		
					62	116	0.53	(一次+二次応力) / 許容応力	Ss (スペクトルモーダル解析)		
		配管サポート(余熱除去系統配管のアンカーサポート)	パッドとラグの溶接部	S	Ss*1	127	201	0.63	一次応力 / 許容応力	Ss (スペクトルモーダル解析)	
						240	349	0.69	(一次+二次応力) / 許容応力	Ss (スペクトルモーダル解析)	
		ラグとプレートとの溶接部	S	Ss*1	107	209	0.51	一次応力 / 許容応力	Ss (スペクトルモーダル解析)		
					205	349	0.59	(一次+二次応力) / 許容応力	Ss (スペクトルモーダル解析)		
	母管の高サイクル熱疲労割れ (高低温水合流部)	余熱除去系統配管	余熱除去冷却器出口配管とバイパス配管の合流部	S	Ss	222	282	0.79	地震時応力 / 亀裂安定限界応力	Ss (スペクトルモーダル解析)	
					Sd	204	282	0.72	地震時応力 / 亀裂安定限界応力	Sd (スペクトルモーダル解析)	

*1 : S s 地震力が S d 地震力および S クラスの機器に適用される静的地震力より大きく、S s 地震力による評価応力が S d 地震力および S クラスの機器に適用される静的地震力の許容応力を下回るため、S d 地震力および静的地震力による評価を省略した。

大飯4号炉 機器・配管の耐震安全性評価結果

機種名	経年劣化事象	機器名称		耐震重要度	発生応力 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比		評価に用いた地震波 (評価手法)	備考	
							一次応力／許容応力	(一次＋二次応力)／許容応力			
配管	母管の腐食(流れ加速型腐食)	主蒸気系統配管	—	S	Ss	260	323	0.80	一次応力／許容応力	Ss (時刻歴解析)	評価手法は、C/V内外の評価のうち、評価上厳しいC/V内について記載
						526	333	1.58	(一次＋二次応力)／許容応力	Ss (スペクトルモーダル解析)	評価手法は、C/V内外の評価のうち、評価上厳しいC/V外について記載
					0.104		疲労累積係数				
				Sd	146	157	0.93	一次応力／許容応力	Sd (スペクトルモーダル解析)	評価手法は、C/V内外の評価のうち、評価上厳しいC/V外について記載	
					240	333	0.72	(一次＋二次応力)／許容応力	Sd (スペクトルモーダル解析)	評価手法は、C/V内外の評価のうち、評価上厳しいC/V外について記載	
		C	静的地震力	141	158	0.89	一次応力／許容応力	静的地震力	応力解析モデルは3次元はりモデル		
		主給水系統配管	—	S	Ss	237	380	0.62	一次応力／許容応力	Ss (時刻歴解析)	評価手法は、C/V内外の評価のうち、評価上厳しいC/V内について記載
						307	458	0.67	(一次＋二次応力)／許容応力	Ss (時刻歴解析)	評価手法は、C/V内外の評価のうち、評価上厳しいC/V内について記載
					Sd	161	229	0.70	一次応力／許容応力	Sd (時刻歴解析)	評価手法は、C/V内外の評価のうち、評価上厳しいC/V内について記載
						159	458	0.35	(一次＋二次応力)／許容応力	Sd (時刻歴解析)	評価手法は、C/V内外の評価のうち、評価上厳しいC/V内について記載
	C			静的地震力	187	189	0.99	一次応力／許容応力	静的地震力	応力解析モデルは3次元はりモデル	
	第5抽気系統配管	—	C	静的地震力	170	175	0.97	一次応力／許容応力	静的地震力	応力解析モデルは3次元はりモデル	
	第4抽気系統配管	—	C	静的地震力	161	198	0.81	一次応力／許容応力	静的地震力	応力解析モデルは3次元はりモデル	
	第3抽気系統配管	—	C	静的地震力	195	216	0.90	一次応力／許容応力	静的地震力	応力解析モデルは3次元はりモデル	
	低温再熱蒸気系統配管	—	C	静的地震力	53	207	0.26	一次応力／許容応力	静的地震力	応力解析モデルは3次元はりモデル	

大飯4号炉 機器・配管の耐震安全性評価結果

機種名	経年劣化事象	機器名称		耐震重要度		発生応力 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比		評価に用いた地震波 (評価手法)	備考
				C	静的地震力			一次応力 / 許容応力	二次応力 / 許容応力		
配管	母管の腐食(流れ加速型腐食)	グラント蒸気系統配管	—	C	静的地震力	160	180	0.89	一次応力 / 許容応力	静的地震力	応力解析モデルは3次元はりモデル
		ポンプタービン駆動蒸気系統配管	—	C	静的地震力	141	158	0.89	一次応力 / 許容応力	静的地震力	応力解析モデルは3次元はりモデル
		補助蒸気系統配管	—	C	静的地震力	159	173	0.92	一次応力 / 許容応力	静的地震力	応力解析モデルは3次元はりモデル
		復水系統配管	—	C	静的地震力	104	126	0.83	一次応力 / 許容応力	静的地震力	応力解析モデルは3次元はりモデル
		ドレン系統配管	—	C	静的地震力	125	171	0.73	一次応力 / 許容応力	静的地震力	応力解析モデルは3次元はりモデル。一部 FEM でモデル化
		蒸気発生器ブローダウン系統配管	—	S	Ss	227	315	0.72	一次応力 / 許容応力	Ss (スペクトルモーダル解析)	
						439	314	1.40	(一次+二次応力) / 許容応力	Ss (スペクトルモーダル解析)	
						0.552		疲労累積係数			
Sd	150					157	0.96	一次応力 / 許容応力	Sd (スペクトルモーダル解析)		
	241	314	0.77	(一次+二次応力) / 許容応力	Sd (スペクトルモーダル解析)						
炉内構造物	摩耗	炉内構造物	炉内計装用 シンプルチューブ	S	Ss*1	11	414	0.03	一次応力 / 許容応力	Ss (スペクトルモーダル解析)	
タービン設備	腐食 (流れ加速型腐食)	高压タービン	主蒸気入口管	C	静的地震力	76	183	0.41	一次応力 / 許容応力	静的地震力	
空調設備	内面腐食 (流れ加速型腐食)	凝縮器(冷凍機)	伝熱管	C	静的地震力	32	69	0.46	一次応力 / 許容応力	静的地震力	発生応力は、施栓基準肉厚より算出
	腐食(全面腐食)	冷水系統(冷凍機)	配管	C	静的地震力	108	162	0.67	一次応力 / 許容応力	静的地震力	
		膨張タンク(冷凍機)	胴板	C	静的地震力	16	222	0.07	一次応力 / 許容応力	静的地震力	

*1 : S s 地震力が S d 地震力および S クラスの機器に適用される静的地震力より大きく、S s 地震力による評価応力が S d 地震力および S クラスの機器に適用される静的地震力の許容応力を下回るため、S d 地震力および静的地震力による評価を省略した。

大飯4号炉 機器・配管の耐震安全性評価結果

機種名	経年劣化事象	機器名称		耐震重要度		発生応力 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比		評価に用いた地震波 (評価手法)	備考
				S	Ss*1						
機械設備	中性子およびγ線照射脆化	原子炉容器サポート	サポートブラケット (サポートリブ)	S	Ss*1	6.5	41.1	0.16	応力拡大係数/破壊靱性値	Ss (時刻歴解析)	発生応力および許容値の単位は、MPa√m
	摩耗	蒸気発生器支持脚	ヒンジ摺動部	S	Ss*1	48	180	0.27	一次応力/許容応力	Ss (時刻歴解析)	
						301	426	0.71	(一次+二次応力)/許容応力	Ss (時刻歴解析)	
		1次冷却材ポンプ支持脚	ヒンジ摺動部	S	Ss*1	8	186	0.04	一次応力/許容応力	Ss (時刻歴解析)	
						90	439	0.21	(一次+二次応力)/許容応力	Ss (時刻歴解析)	
	制御用空気だめの腐食 (全面腐食)	制御用空気だめ	—	S	Ss*1	61	243	0.25	地震時応力/許容応力	Ss (設備の固有値に基づく応答加速度の評価)	
		制御用空気乾燥器吸着塔	—	S	Ss*1	32	223	0.14	地震時応力/許容応力	Ss (設備の固有値に基づく応答加速度の評価)	
	被覆管の摩耗	制御棒クラスタ	制御棒被覆管	S	Ss*1			0.70	一次応力/許容応力	Ss (時刻歴解析)	
	腐食	燃料油貯蔵タンク	基礎ボルト	S	Ss*1	146 (引張)	193 (引張)	0.76 (引張)	一次応力/許容応力	Ss (設備の固有値に基づく応答加速度の評価)	
						39 (せん断)	148 (せん断)	0.26 (せん断)			
		重油タンク	基礎ボルト	S	Ss*1	183 (引張)	451 (引張)	0.41 (引張)	一次応力/許容応力	Ss (設備の固有値に基づく応答加速度の評価)	
						65 (せん断)	346 (せん断)	0.19 (せん断)			
		主蒸気系統配管	配管用基礎ボルト	S	Ss*1	141 (引張)	166 (引張)	0.85 (引張)	一次応力/許容応力	Ss (時刻歴解析)	
						77 (せん断)	159 (せん断)	0.48 (せん断)			

*1 : S s地震力がS d地震力およびSクラスの機器に適用される静的地震力より大きく、S s地震力による評価応力がS d地震力およびSクラスの機器に適用される静的地震力の許容応力を下回るため、S d地震力および静的地震力による評価を省略した。

大飯4号炉 機器・配管の耐震安全性評価結果

機種名	経年劣化事象	機器名称		耐震重要度		発生応力 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比		評価に用いた地震波 (評価手法)	備考
				S	Ss*1						
電源設備	内面の腐食 (流れ加速型腐食)	空気冷却器 (ディーゼル機関)	伝熱管	S	Ss*1			0.20	一次応力 / 許容応力	Ss (設備の固有値に基づく応答加速度の評価)	発生応力は、施栓基準肉厚より算出
		清水冷却器	伝熱管	S	Ss*1			0.70	一次応力 / 許容応力	Ss (設備の固有値に基づく応答加速度の評価)	発生応力は、施栓基準肉厚より算出
		潤滑油冷却器	伝熱管	S	Ss*1			0.76	一次応力 / 許容応力	Ss (設備の固有値に基づく応答加速度の評価)	発生応力は、施栓基準肉厚より算出
		燃料弁冷却水冷却器	伝熱管	S	Ss*1			0.07	一次応力 / 許容応力	Ss (設備の固有値に基づく応答加速度の評価)	発生応力は、施栓基準肉厚より算出

*1 : S s 地震力が S d 地震力および S クラスの機器に適用される静的地震力より大きく、S s 地震力による評価応力が S d 地震力および S クラスの機器に適用される静的地震力の許容応力を下回るため、S d 地震力および静的地震力による評価を省略した。

タイトル 余熱除去冷却器出口配管貫通部の端板他の疲労割れに対する耐震安全性評価について

説明 1. 記号の説明
 固定式継手（1枚端板）の疲労評価に用いる記号について、表 4-1 に示す。

表 4-1 固定式継手（1枚端板）の疲労評価に用いる記号

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による二次応力
STS	MPa	一次+二次応力強さ（地震時）
P	MPa	原子炉格納容器最高使用圧力
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	地震時の外力によるX方向反力
FYS	N	地震時の外力によるY方向反力
FZS	N	地震時の外力によるZ方向反力
FOS	N	地震時の外力による鉛直方向反力 ($FOS = \sqrt{FYS^2 + FZS^2}$)
MOS	N·m	地震時の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	地震時の外力によるY軸回りの曲げモーメント
MZS	N·m	地震時の外力によるZ軸回りの曲げモーメント
β	—	集中荷重に対する円板の応力係数
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
D_1	mm	スリーブ取付端板外径
D_2	mm	スリーブ取付端板穴径
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 3. 各材料の設計疲労線図に規定する縦弾性係数
N	—	許容繰返し回数（地震時）
N_R	—	設計繰返し回数（地震時）
UF	—	疲労累積係数（地震時）

固定式継手（1枚端板）の基本寸法箇所を図 4-1 に示す。

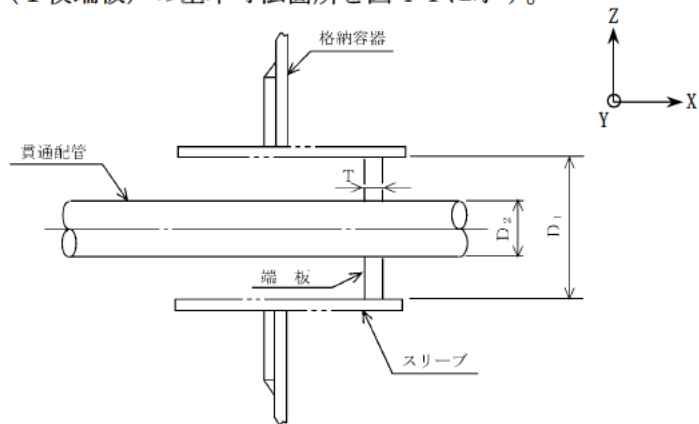


図 4-1 固定式継手（1枚端板）の基本寸法箇所

2. 評価部位

余熱除去系統配管のうちA余熱除去冷却器出口配管の固定式継手評価部位（PEN#353）は、図4-2に示す格納容器貫通配管に設置された固定式継手（1枚端板）の配管溶接部（全溶け込み溶接）とする。

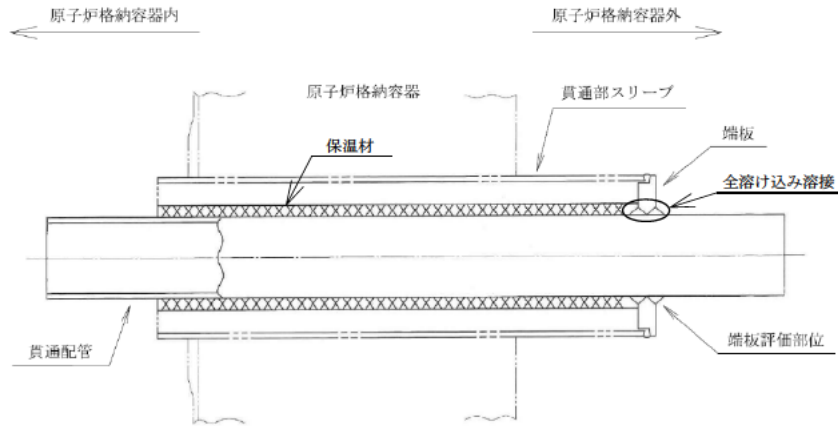


図4-2 固定式継手（1枚端板）の評価部位

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4-2に示す。

表4-2 格納容器貫通部の仕様

ペネ番号		PEN#353 (A-RHRC 出口配管)	
格納容器最高使用圧力	MPa	0.392	
格納容器最高使用温度	℃	144	
配管最高使用温度	℃	200	
配管使用温度	℃	177	
諸 元 端 板	材質	—	
	端板外径	mm	
	端板内径	mm	
	板厚	mm	
	設計疲れ線図の縦弾性係数	$\times 10^5 \text{ N/mm}^2$	1.95
	材料の最高使用温度における縦弾性係数 ^(注1)	$\times 10^5 \text{ N/mm}^2$	1.83
配 管	材質	—	
	外径	mm	
	板厚	mm	
応力集中係数 ^(注2)		—	
		2.1	

(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) JSME S NCI-2005/2007 PVB-3130 より引用

(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 4-3 に示す。
評価に用いた解析モデルを、添付-1 に示す。

表 4-3 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)					
			軸力 [kN]			モーメント [kN・m]		
			Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
PEN#353 (A-RHRC 出口 配管)	Ss	端板						
	Sd	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) 一次+二次の片振幅の値。

(注3) 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)。

評価に必要な条件を表 4-4 に示す。

表 4-4 固定式継手 (1 枚端板) の疲労評価条件

--

※ : 上段は Ss 地震時、下段は Sd 地震時の値

i. 固定式継手（1枚端板）の応力

(a) 管軸方向反力による応力（二次応力）

$$SR3S = \frac{3 \times FXS}{2 \times \pi \times T^2} \left| 1 - \frac{2 \times A^2}{A^2 - B^2} \ln \frac{A}{B} \right|$$

(b) 管軸直角方向反力による応力（一次一般膜応力）

$$SR4S = \frac{FOS}{4 \times B \times T}$$

(c) 曲げモーメントによる応力（二次応力）

$$SR5S = \frac{\beta \times MOS}{A \times T^2} \times 1,000$$

$$\beta = \frac{3A(A^2 - B^2)}{\pi B(A^2 + B^2)}$$

(d) 一次+二次応力強さ

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

ii. 固定式継手（1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

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

※一次+二次応力強さが3Sを超える場合は、JSME S NC1-2005/2007 PVB-3315 に従い Ke 係数を算出し、これに乗じて算出する。Ke 算出に必要な条件を表 4-5 に示す。

表 4-5 Ke 係数の算出条件

記号	単位	値
K	—	
A ₀	—	
B ₀	—	
q	—	
3S	MPa	
S _n [*] (=STS)	MPa	

※：上段は S_s 地震時、下段は S_d 地震時の値

(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

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

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 4-6 に示す。

表 4-6 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#353 (A-RHRC 出口配管)	Ss	端板	1071	433	200	0.462
	Sd	端板	242	230601	300	0.002

(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 4-7 に示す。

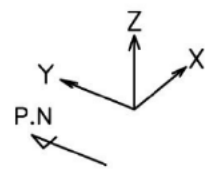
表 4-7 Ss, Sd 地震時の通常運転時UFとの組合せによる評価結果


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#353 (A-RHRC 出口配管)	Ss	端板	0.001	0.462	0.463	1.0	○
	Sd	端板	0.001	0.002	0.003	1.0	○

以上より、A余熱除去冷却器出口配管の固定式継手（1枚端板）の疲労割れに対する耐震安全性に問題はない。

主給水系統配管、加圧器サージ配管、および加圧器スプレイ配管の疲労割れ評価については、技術評価で最も厳しい箇所の耐震安全性評価を行っているが、Ss 地震時の疲労累積係数が最も厳しい箇所の評価結果について添付-2に示す。

以上



-  Anchor
-  Guide
-  Rigid
-  Snubber
-  Spring

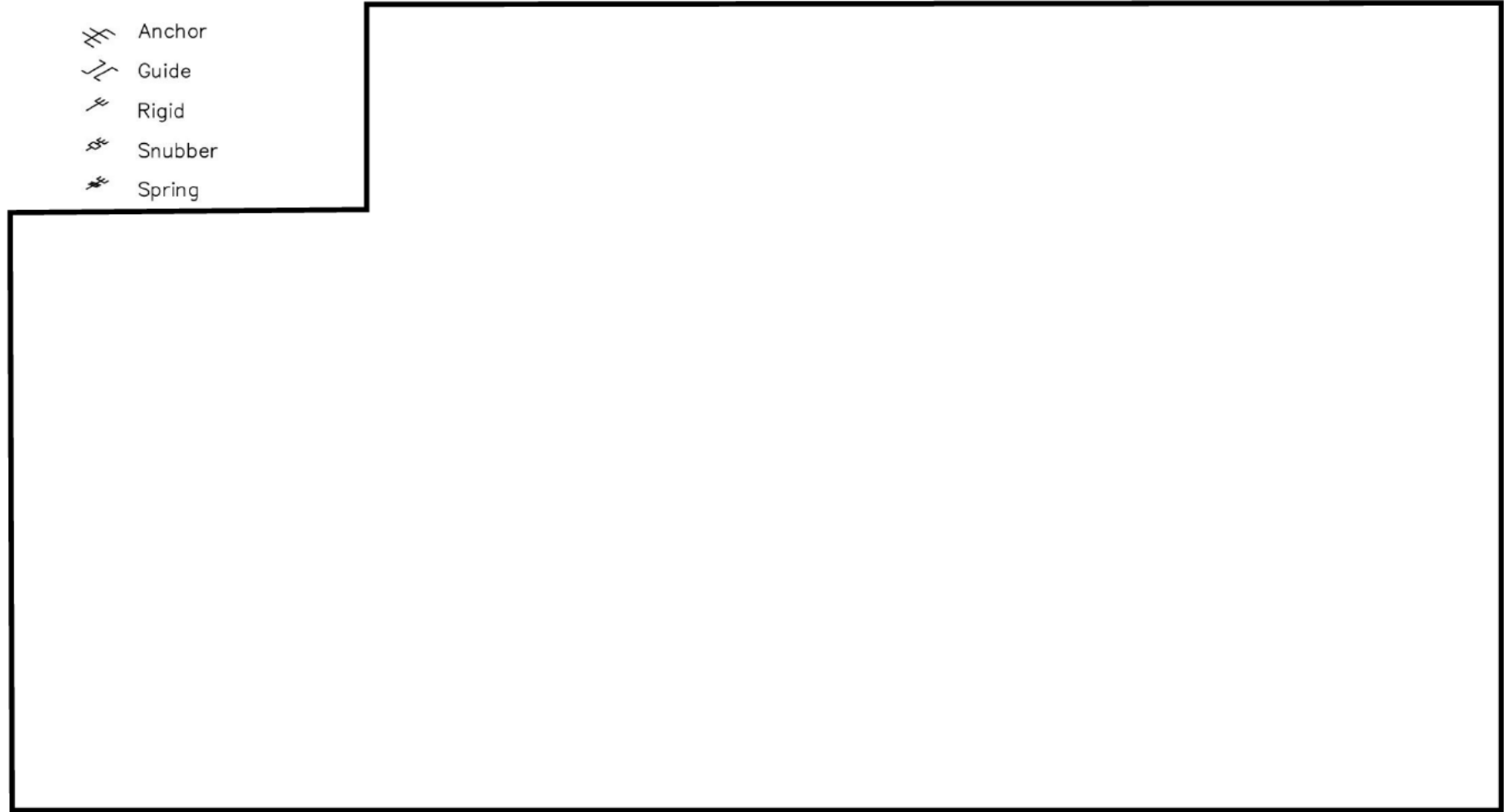


図 4-1-1(1/2) 大飯 4 号炉 蓄圧タンク注入配管および余熱除去戻り配管 (C V内) 解析モデル

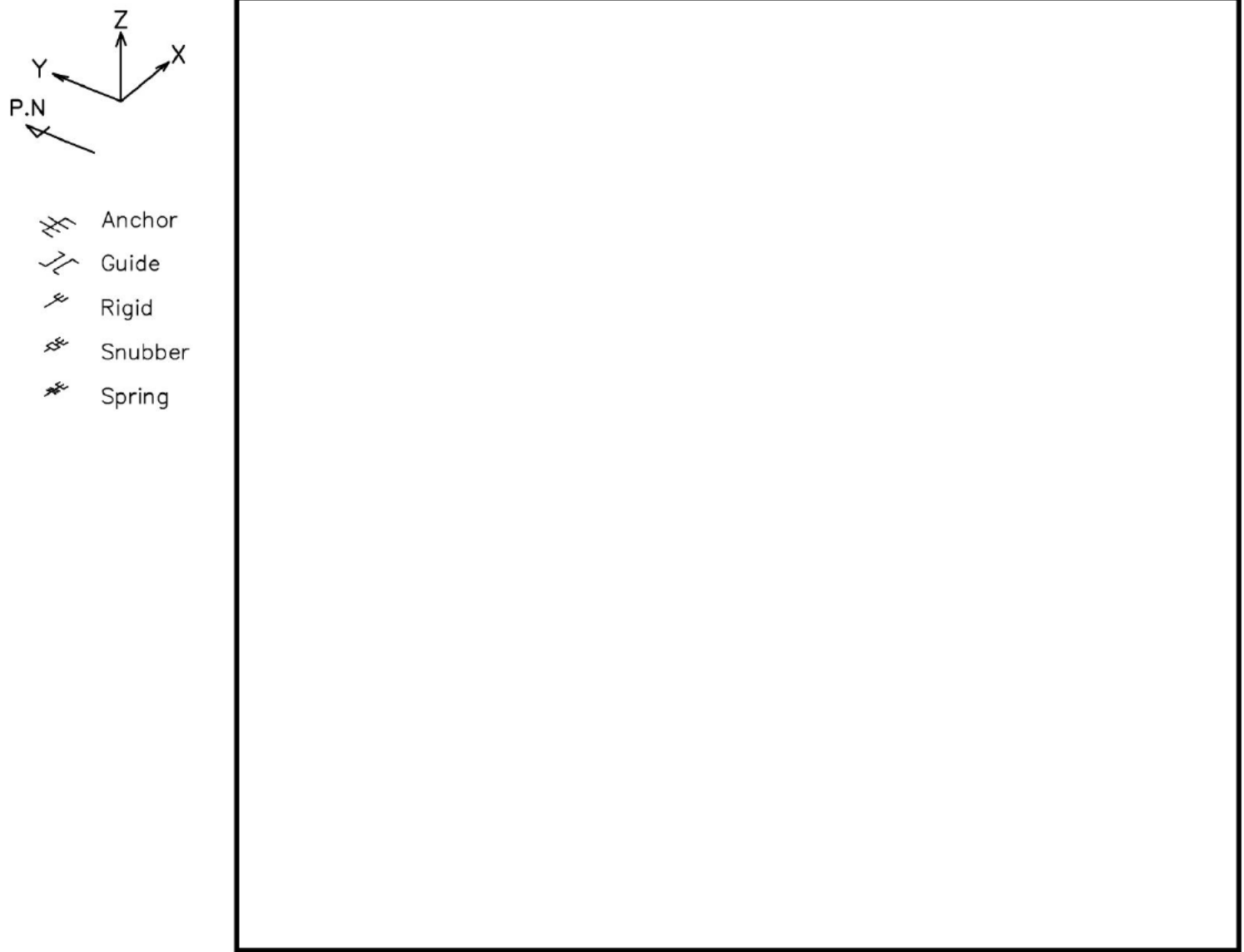


図 4-1-1(2/2) 大飯 4 号炉 蓄圧タンク注入配管および余熱除去戻り配管 (C V内) 解析モデル

-  Anchor
-  Guide
-  Rigid
-  Snubber
-  Spring

図 4-1-2 大飯 4 号炉 A-余熱除去ポンプ出口配管 (CV外) 解析モデル

主給水系統配管他 疲労割れの耐震安全性評価上最も厳しい箇所の評価について

主給水系統配管、加圧器サージ配管、および加圧器スプレイ配管の疲労割れに関して、耐震安全性評価上最も厳しい箇所（地震動 S s による疲労累積係数が最も大きい箇所）の S s 地震時の疲労割れ評価結果を表 4-2-1 に示す。

なお、通常運転時の疲労累積係数については、PLM 評価点の疲労累積係数を共通で用いて評価を行った。

表 4-2-1 地震動 S s による疲労累積係数が最も大きい箇所の評価結果

配管名称	耐震重要度		節点番号		疲労累積係数 (許容値 1 以下)		
					通常 運転時	地震時	合計
主給水系統配管 (P4/9~5/9 参照)	S	Ss	PLM 評価 節点	7521	0.010 注1	0.019	0.029
			地震 UF 最大 節点	9526		0.019 注2	
加圧器サージ配管 (P6/9 参照)	S	Ss	PLM 評価 節点	110	0.005 注1	0.001	0.006
			地震 UF 最大 節点	122		0.001 注2	
加圧器スプレイ配管 (P7/9~9/9 参照)	S	Ss	PLM 評価 節点	266	0.259 注1	0.070	0.329
			地震 UF 最大 節点	180		0.203	

注 1 : PLM 評価節点において、日本機械学会 環境疲労評価手法 (JSME S NF1-2009) に基づき環境を考慮した値

注 2 : PLM 評価節点と地震 UF 最大節点の値は同じであるが、繰返しピーク応力強さは地震 UF 最大節点の方が大きい

以上のとおり、いずれの配管系についても通常運転時および地震時の疲労累積係数の合計は 1 以下であり、耐震安全性評価上問題ない。

【工事計画認可における疲労累積係数との差異について】

「主給水系統配管」、「加圧器サージ配管」及び「加圧器スプレイ配管」のうち、新規制基準工認に疲労累積係数が示されており、比較できる配管は「加圧器スプレイ配管」のみである。表 4-2-1 に示す「加圧器スプレイ配管」の疲労累積係数のうち、同一節点で比較可能な通常運転時及び地震時の値を比較する。また「加圧器スプレイ配管」は新規制基準工認後に改造工事を行っているため改造工認の値とも比較する。高経年化技術評価は改造工事後に実施しているため、改造工認の地震時の値と処理桁数を合わせれば一致している。

表 4-2-2 加圧器スプレイ配管の疲労累積係数の比較

節点番号	種別	疲労累積係数		
		高経年化 技術評価	新規制基準 工事計画認可	改造工事 計画認可
266	通常運転時	0.259	0.31079	0.33739
	地震時	0.070	0.09346	0.06944
180	地震時	0.203	0.06329	0.20279

節点 266 において、通常運転時の疲労累積係数が改造工認の値と異なる主要因は以下のとおりである。

- ①通常運転時の疲労累積係数の算出については、過渡回数の設定が工認は設計過渡回数を用いているのに対し、高経年化技術評価では実過渡回数をベースとした運転開始後 60 年時点の予測回数を使用している。
- ②評価内容についても、工認は 3 次元はりモデルによる解析結果であるのに対し、高経年化技術評価では当該節点は熱成層の影響を考慮した環境疲労評価を FEM 解析モデルを用いて算出している。

なお、節点 266 については、高経年化技術評価書（配管）において、設計・建設規格による解析結果の疲労累積係数が 0.017 と算出されており、表 4-2-2 の通常運転時の改造工事計画認可の疲労累積係数 0.33739 と比較して小さな値となっている。

これらの値については、ともに 3 次元はりモデルにより算出されていることから、上記②は該当せず①が差異の生じる要因として考えられる。

考慮した各過渡の回数を比較した結果は表 4-2-3 のとおりであるが、総じて工事計画認可（設計）においては保守的に過渡回数を設定していることが、高経年化技術評価で疲労累積係数が小さく算出された主な要因である。

表 4-2-3 考慮した各過渡回数の比較

運転状態	過渡項目	考慮した回数	
		高経年化 技術評価	工事計画 認可
運転状態 I	起動(温度上昇率 55.6°C/h)	74	120
	停止(温度下降率 55.6°C/h)	74	120
	負荷上昇(負荷上昇率 5%/min)	927	13200
	負荷減少(負荷減少率 5%/min)	917	13200
	90%から 100%へのステップ状負荷上昇	4	2000
	100%から 90%へのステップ状負荷減少	4	2000
	100%からの大きいステップ状負荷減少	9	200
	定常負荷運転時の変動	-	3×10 ⁶
	燃料交換	70	80
	0%から 15%への負荷上昇	75	1400
	15%から 0%への負荷減少	60	1400
	1 ループ停止 / 1 ループ起動		
	I) 停止	2	80
	II) 起動	2	70
運転状態 II	負荷の喪失	7	80
	外部電源喪失	5	40
	1 次冷却材流量の部分喪失	2	80
	100%からの原子炉トリップ		
	I) 不注意な冷却を伴わないトリップ	6	230
	II) 不注意な冷却を伴うトリップ	2	160
	III) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	2	10
	1 次冷却系の異常な減圧	2	20
	制御棒クラスタの落下	3	80
	出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	2	40
	1 次冷却系停止ループの誤起動	2	10
	タービン回転試験	5	10
1 次系漏えい試験	60	50	

以上

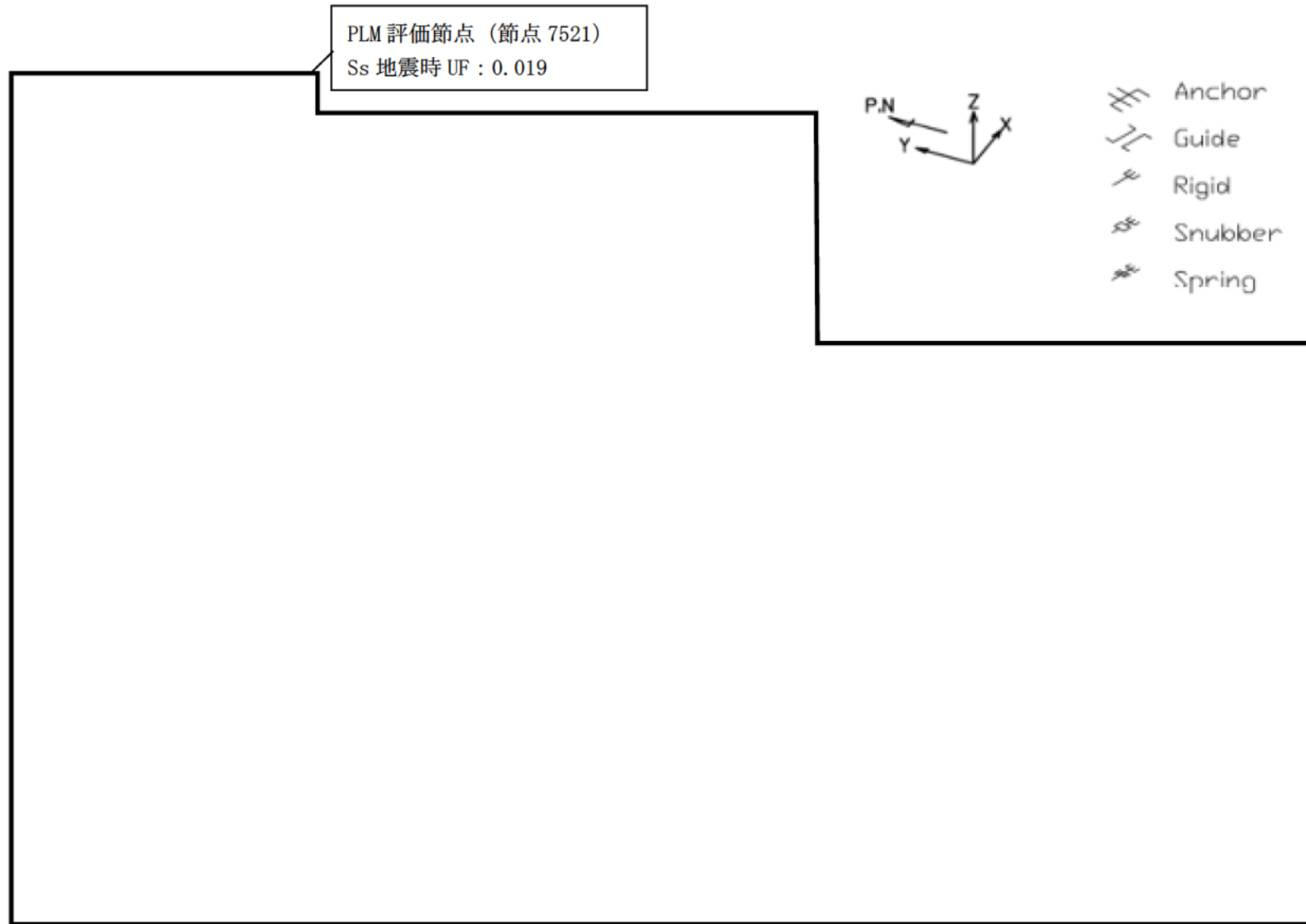


図 4-2-1 大飯 4 号炉 主給水系統配管 C-主給水配管 (CV内) 解析モデル

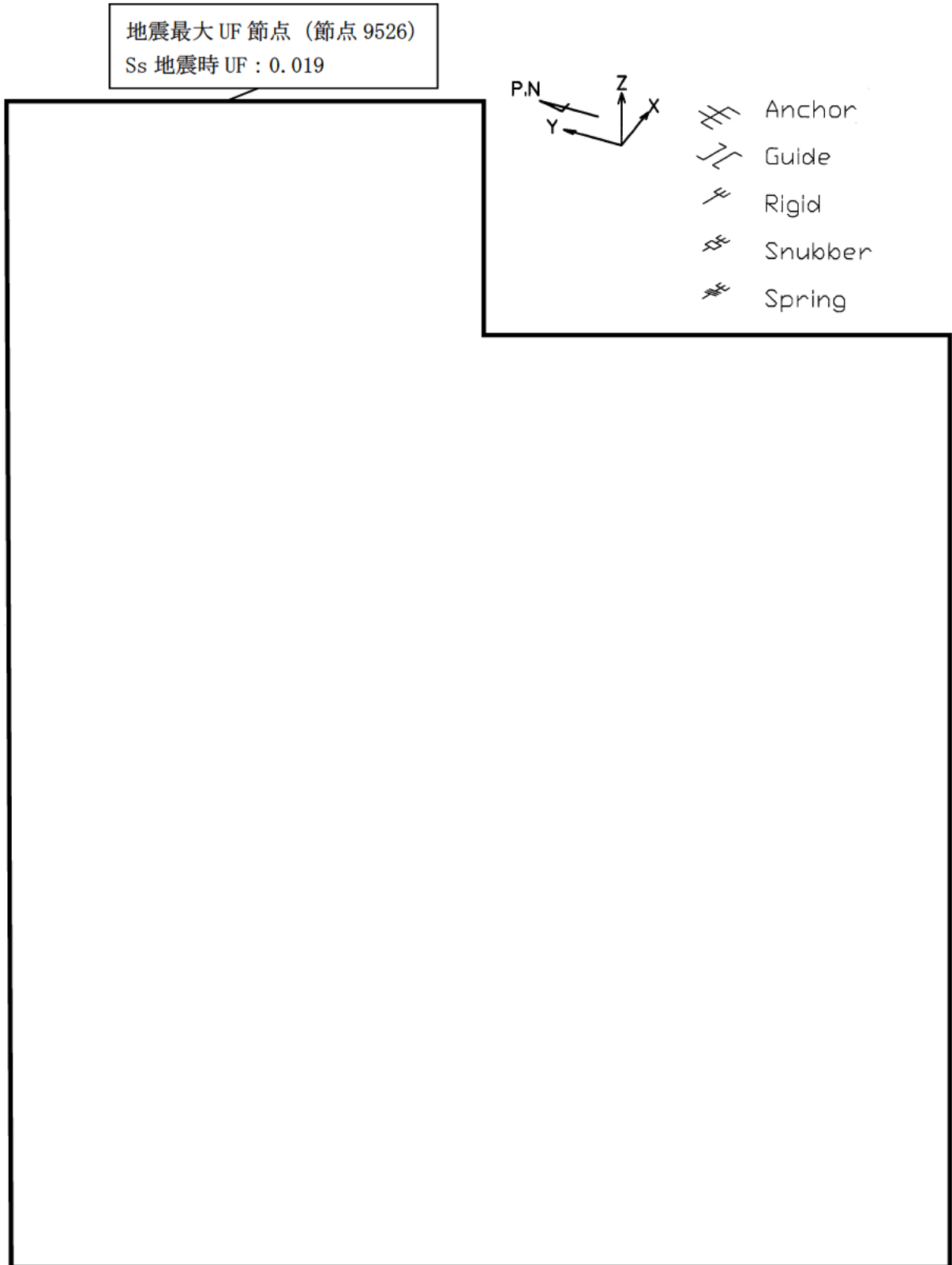


図 4-2-2 大飯 4 号炉 主給水系統配管 D-主給水配管 (CV内) 解析モデル

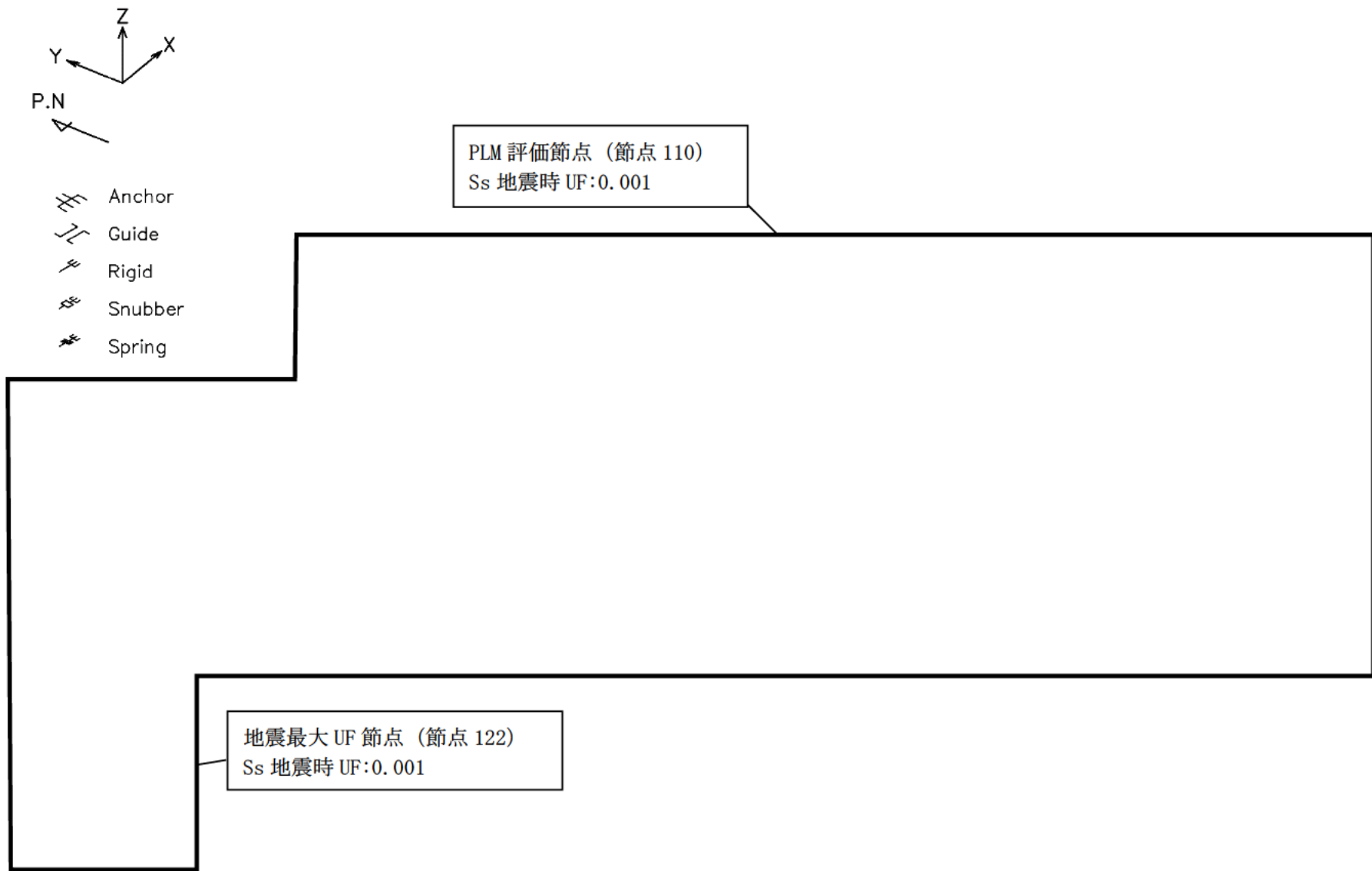


図 4-2-3 大飯 4 号炉 加圧器サージ配管 解析モデル

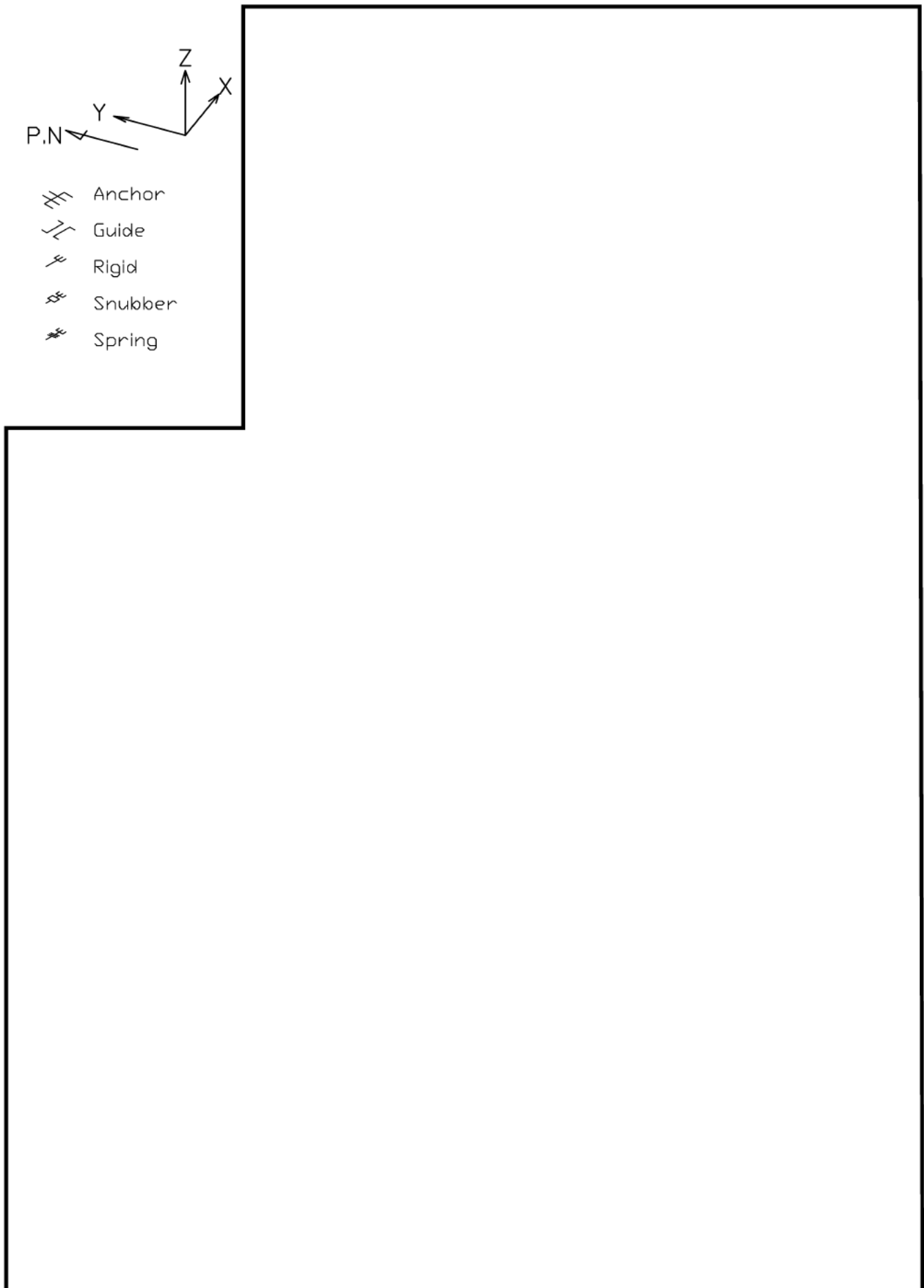


図 4-2-4(1/3) 大飯 4 号炉 加圧器スプレイ配管 解析モデル

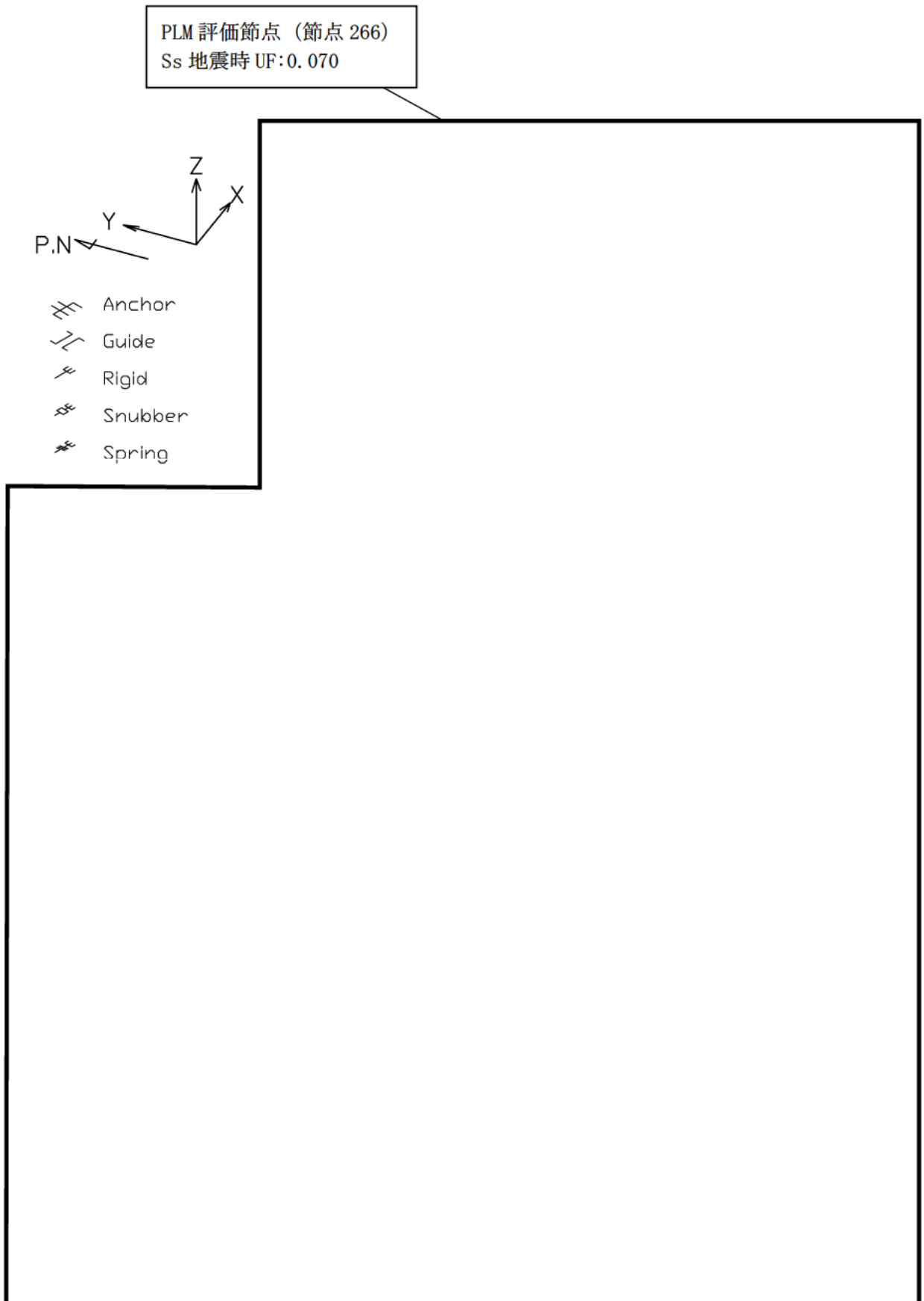


図 4-2-4(2/3) 大飯 4 号炉 加圧器スプレイ配管 解析モデル

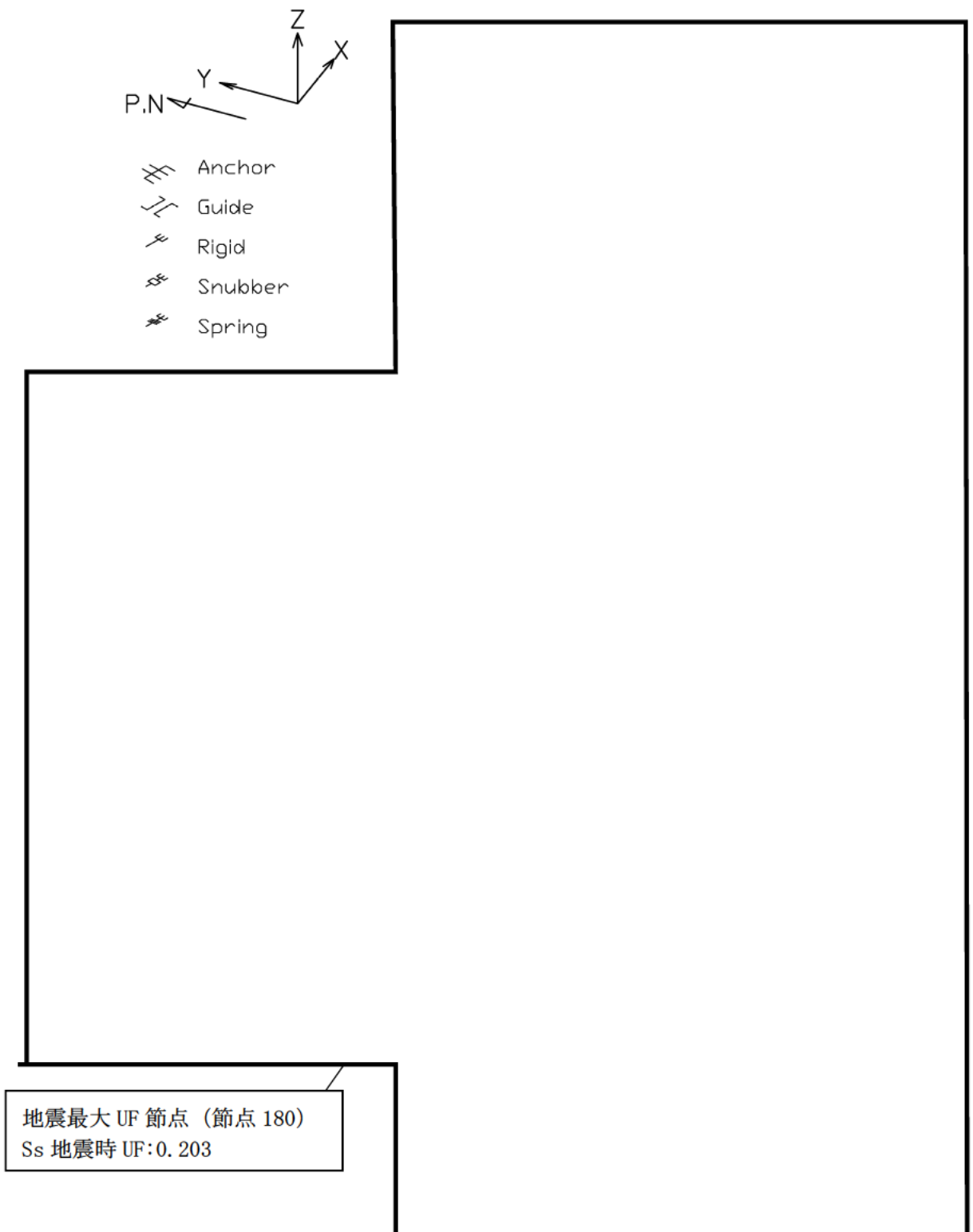


図 4-2-4(3/3) 大飯 4 号炉 加圧器スプレイ配管 解析モデル

<p>タイトル</p>	<p>アンカーサポート取付部（余熱除去系統配管）の疲労割れに対する耐震安全性評価について</p>																				
<p>説明</p>	<p>1. 評価仕様 評価に用いたデータを図5-1および表5-1に示す。</p> <div data-bbox="395 616 1292 1075"> </div> <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p> <p style="text-align: center;">図5-1 アンカーサポートの外形図</p> <p style="text-align: center;">表5-1 諸元表（1 / 2） (単位：mm)</p> <table border="1" data-bbox="502 1265 1244 1512"> <tr> <td>パッドの幅（母管外径）</td> <td>b</td> <td rowspan="5" style="background-color: #cccccc;"></td> </tr> <tr> <td>パッドの長さ</td> <td>h</td> </tr> <tr> <td>配管とパッドの溶接脚長</td> <td>T_{wp1}</td> </tr> <tr> <td>角型鋼管の大きさ</td> <td>a</td> </tr> <tr> <td>角型鋼管の厚さ</td> <td>t</td> </tr> </table> <p>※大飯3号は16.3mm。大飯3号のA系B系、大飯4号のA系B系の4系統とも配管解析モデルに差異はなく、かつ使用する床応答曲線も同じであるため、3RH-5-2A、3RH-7-2A、4RH-5-2A、4RH-7-2A、の4つのサポートの評価用入力荷重は同じとなるが、以下のとおり配管とパッドの溶接部脚長にわずかに差があるため、配管とパッドの溶接部の評価結果（各号機のA系B系で厳しい方の値）に差が生じ、その評価結果が算出された配管サポートに差がある。</p> <table border="1" data-bbox="630 1825 1189 1915"> <tr> <td>プラント</td> <td>RH-5-2A</td> <td>RH-7-2A</td> </tr> <tr> <td>大飯3号</td> <td>17mm</td> <td>16.3mm</td> </tr> <tr> <td>大飯4号</td> <td>17mm</td> <td>17mm</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;"> の値を用いた評価結果を記載している </p>	パッドの幅（母管外径）	b		パッドの長さ	h	配管とパッドの溶接脚長	T_{wp1}	角型鋼管の大きさ	a	角型鋼管の厚さ	t	プラント	RH-5-2A	RH-7-2A	大飯3号	17mm	16.3mm	大飯4号	17mm	17mm
パッドの幅（母管外径）	b																				
パッドの長さ	h																				
配管とパッドの溶接脚長	T_{wp1}																				
角型鋼管の大きさ	a																				
角型鋼管の厚さ	t																				
プラント	RH-5-2A	RH-7-2A																			
大飯3号	17mm	16.3mm																			
大飯4号	17mm	17mm																			

表5-1 諸元表 (2 / 2)

評価部位	L ^(注1) (mm)	A _w (mm ²)	Z _{wx} (mm ³)	Z _{wy} (mm ³)	Z _{wp} (mm ³)
①配管とパッドの溶接部					
②パッドとラグの溶接部					
③ラグと底板の溶接部					

L : 荷重作用点から評価部までの距離

A_w : 溶接部の断面積

Z_{wx}, Z_{wy}, Z_{wp} : 各方向の溶接部の断面係数

(注1) Lは安全側に配管中心から底板までの最長距離を一律に用いた。

2. 解析モデルおよび入力 (荷重) 条件

(1) 評価用荷重の算出

評価用荷重は、配管を3次元はりモデル化してS_s地震時のアンカーサポートに作用する配管反力をスペクトルモーダル解析にて算出している。支持点解析モデル図を添付-1に示す。

評価部位はサポートラグ (固定点) であり、隣接する解析ブロックとの境界部である。このため、両ブロックの解析結果から得られた荷重を合成^{*}し、評価用荷重としている。算出された評価用荷重を表5-2に示す。

表5-2 評価用荷重 (S_s)

方向	荷重	
	一次	一次+二次
F _x (kN)		
F _y (kN)		
F _z (kN)		
M _x (kN・m)		
M _y (kN・m)		
M _z (kN・m)		

^{*}荷重は、配管解析で求めた荷重を以下のとおり合成している。

自重 : 代数和、慣性力 : 絶対和、相対変位 : 絶対和

(代数和 : $\sum_{i=1}^N x_i$, 絶対和 : $\sum_{i=1}^N |x_i|$)

なお、慣性力は動的と静的の大きい方を評価用荷重としている。

(2) 発生応力の算出

溶接部に発生する応力は、下式で算出している。本評価式は、材料力学に基づく公式をもとにして設定したものであり、設計・建設規格や耐震設計技術指針等に規定されたものではなく、応力集中係数に係る規定はない。また、支持構造物は降伏点を許容値としており、許容値を厳しくする設計体系となっていることから、発生応力の算出において応力係数を考慮する必要はないと判断している。

$$\sigma_1 = \frac{|M_x| + |F_y| \cdot L}{Z_{wx}} + \frac{|M_y| + |F_x| \cdot L}{Z_{wy}} + \frac{|F_z|}{A_w}$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\left(\frac{F_x}{A_w}\right)^2 + \left(\frac{F_y}{A_w}\right)^2} + \frac{|M_z|}{Z_{wp}}$$

応力評価は、以下の組合せ応力を用いる。

○配管とパッドの溶接部（すみ肉溶接部）

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

○パッドとラグ、ラグと底板の溶接部（完全溶け込み溶接部）

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\sigma_2^2}$$

3. 評価結果

各部位の許容応力を表5-3に、評価結果を表5-4に示す。

表5-3 許容応力※1

部位		配管、 パッド※2	ラグ	底板
物性値	材質	SUS304TP	STKR41	SS41
	使用温度 (°C)	177	177	177
	F 値 (MPa)	201	174	190
一次応力の許容値 (MPa)	S s	116 (201)	209	228
一次+二次応力の許容値 (MPa)	S s	116 (402)	349	381

※1：許容値の算出は添付-2 参照

※2：（ ）内の値は、完全溶け込み溶接部の許容値を示す

表5-4 評価結果

配管とパッドの溶接部 (評価部位①)	一次応力 評価	発生応力	64 MPa
		許容応力	116 MPa
		応力比	0.55
	一次+二次 応力評価	発生応力	62 MPa
		許容応力	116 MPa
		応力比	0.53
パッドとラグの溶接部 (評価部位②)	一次応力 評価	発生応力	127 MPa
		許容応力※ ¹	201 MPa
		応力比	0.63
	一次+二次 応力評価	発生応力	240 MPa
		許容応力※ ¹	349 MPa
		応力比	0.69
ラグと底板の溶接部 (評価部位③)	一次応力 評価	発生応力	107 MPa
		許容応力※ ¹	209 MPa
		応力比	0.51
	一次+二次 応力評価	発生応力	205 MPa
		許容応力※ ¹	349 MPa
		応力比	0.59

※1：許容応力は、一次応力と一次+二次応力それぞれについて、各部位の発生応力と表5-3に記載する許容応力の応力比を算出し、最も大きい値（最大応力比）となるものを採用した。

(注) 設計建設規格 (SSB-3122) のとおり、配管サポートは「1次+2次応力」をシェイクダウン限界に制限することで、有意な疲労累積が発生しないよう設計していることから、1次+2次応力の評価を行っている。

なお、耐震安全性評価書（配管）の配管サポートの疲労割れ評価結果について、当社の記載方針を以下に示す。

表3.5-16 大飯4号炉 配管サポートの疲労割れに対する評価結果

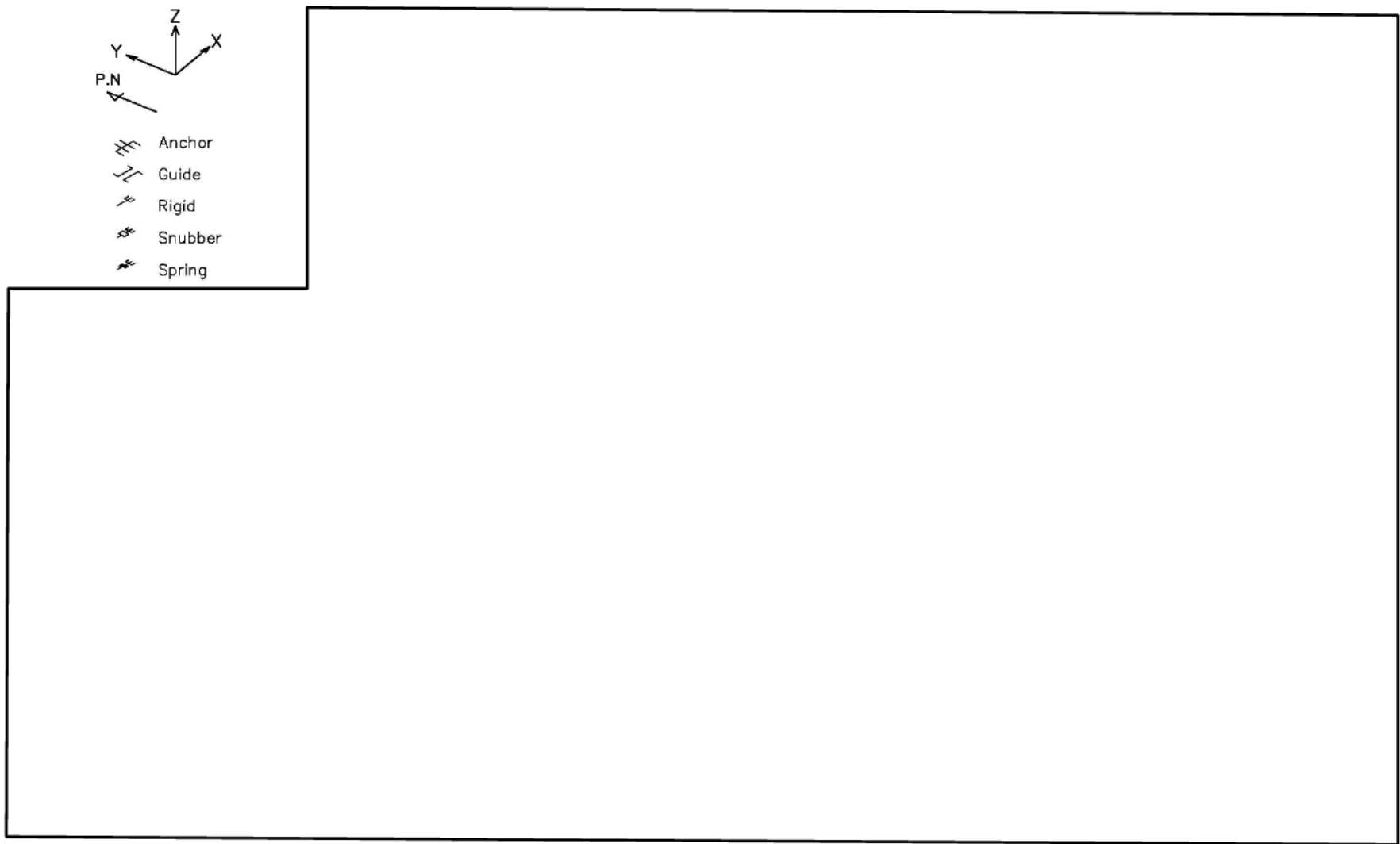
評価対象	耐震重要度		応力比 ^{*1}	
			一次	一次+二次
配管とパッドの溶接部	S	S _s ^{*2}	0.55	0.53
パッドとラグの溶接部	S	S _s ^{*2}	0.63	0.69
ラグとプレートの溶接部	S	S _s ^{*2}	0.51	0.59

*1：応力比＝地震時応力／許容応力

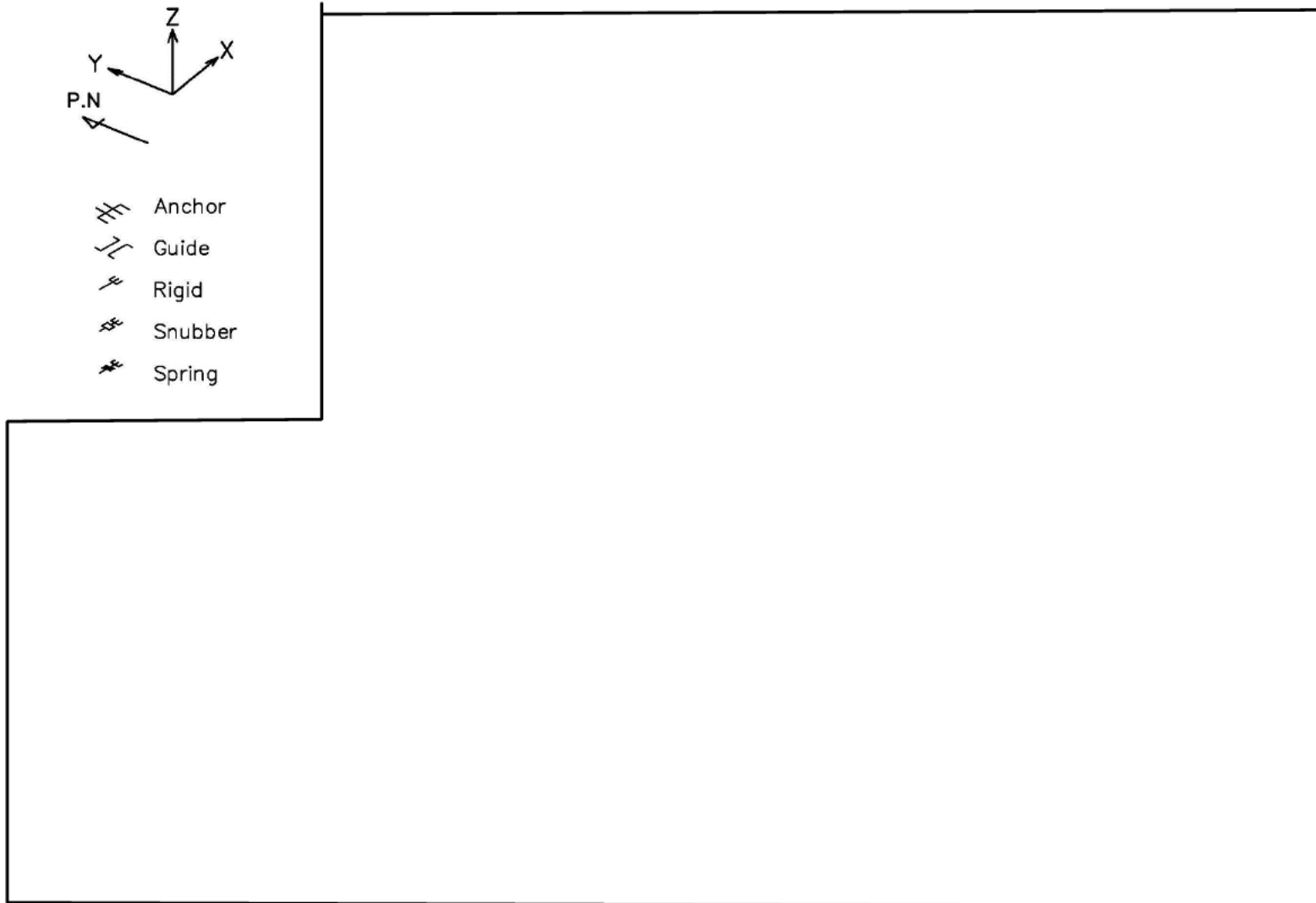
*2：S_s地震力がS_d地震力およびSクラスの機器に適用される静的地震力より大きく、S_s地震力による評価応力がS_d地震力およびSクラスの機器に適用される静的地震力の許容応力を下回るため、S_d地震力および静的地震力による評価を省略した。

(注) 設計建設規格 (SSB-3122) のとおり、配管サポートは「1次+2次応力」をシェイクダウン限界に制限することで、有意な疲労累積が発生しないよう設計していることから、1次+2次応力の評価を行っている。

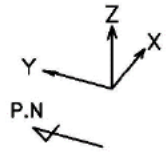
以上



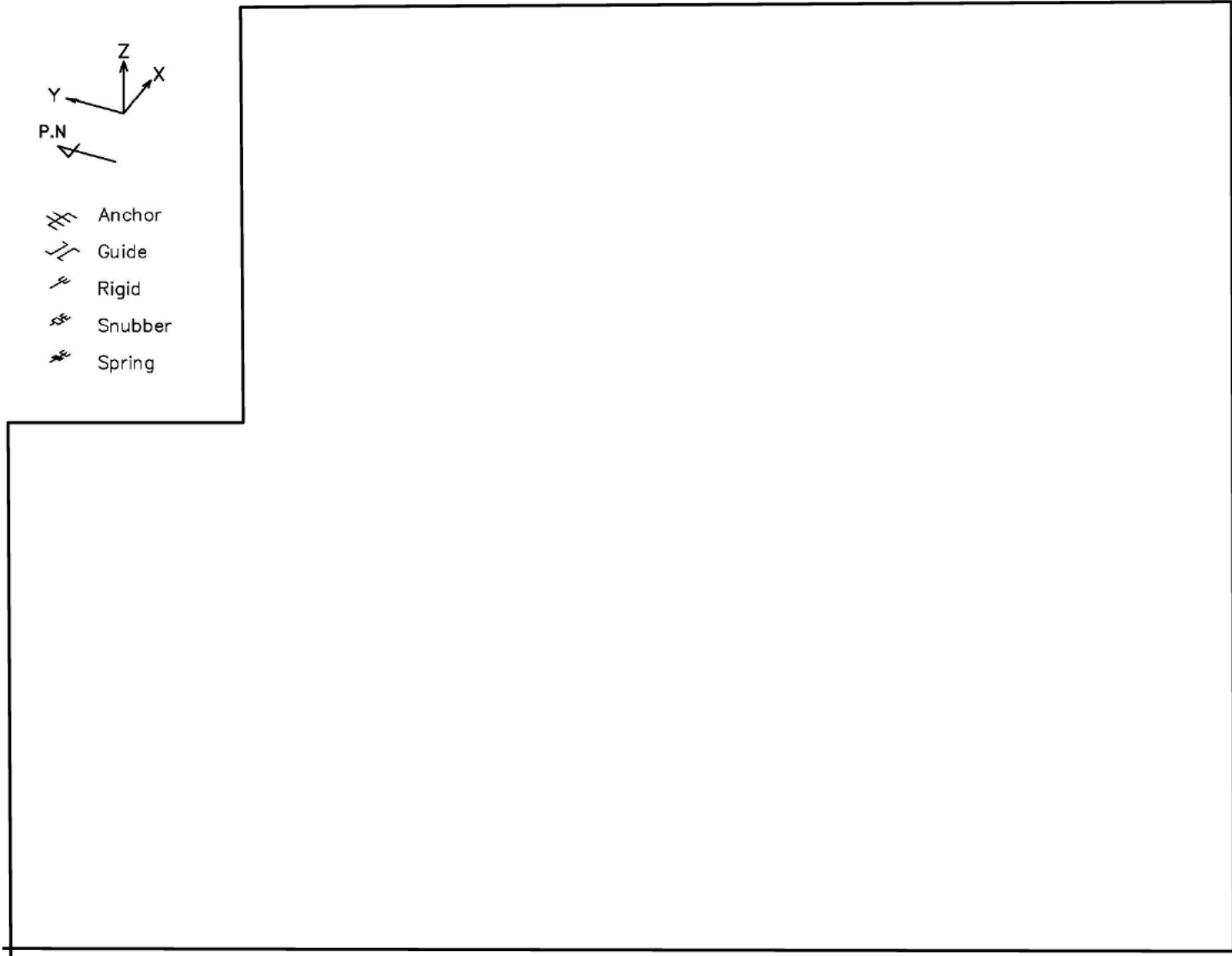
A-蓄圧タンク注入配管および余熱除去戻り配管 (CV内) 解析モデル (RH05)



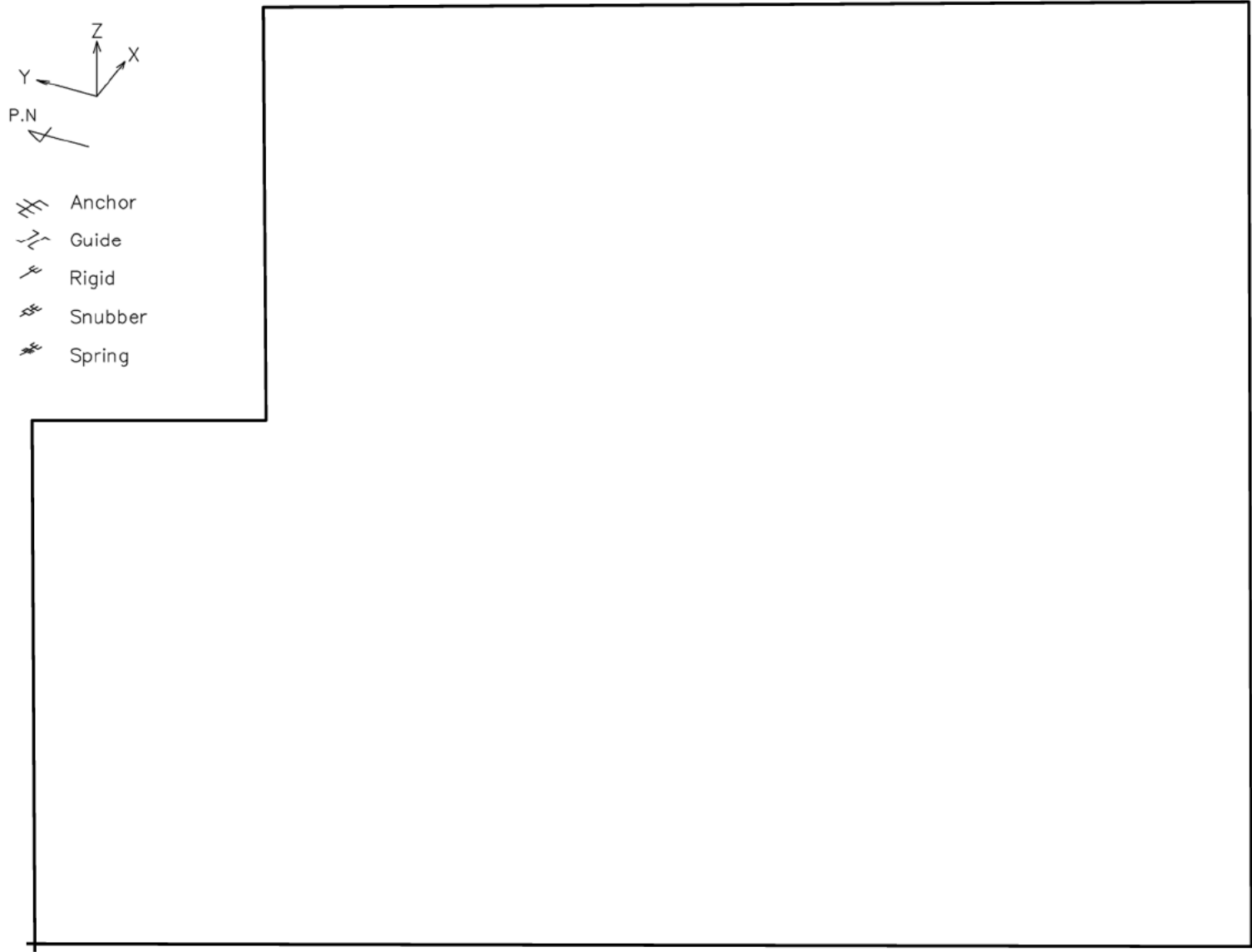
A-蓄圧タンク注入配管および余熱除去戻り配管 (CV内) 解析モデル (RH05)



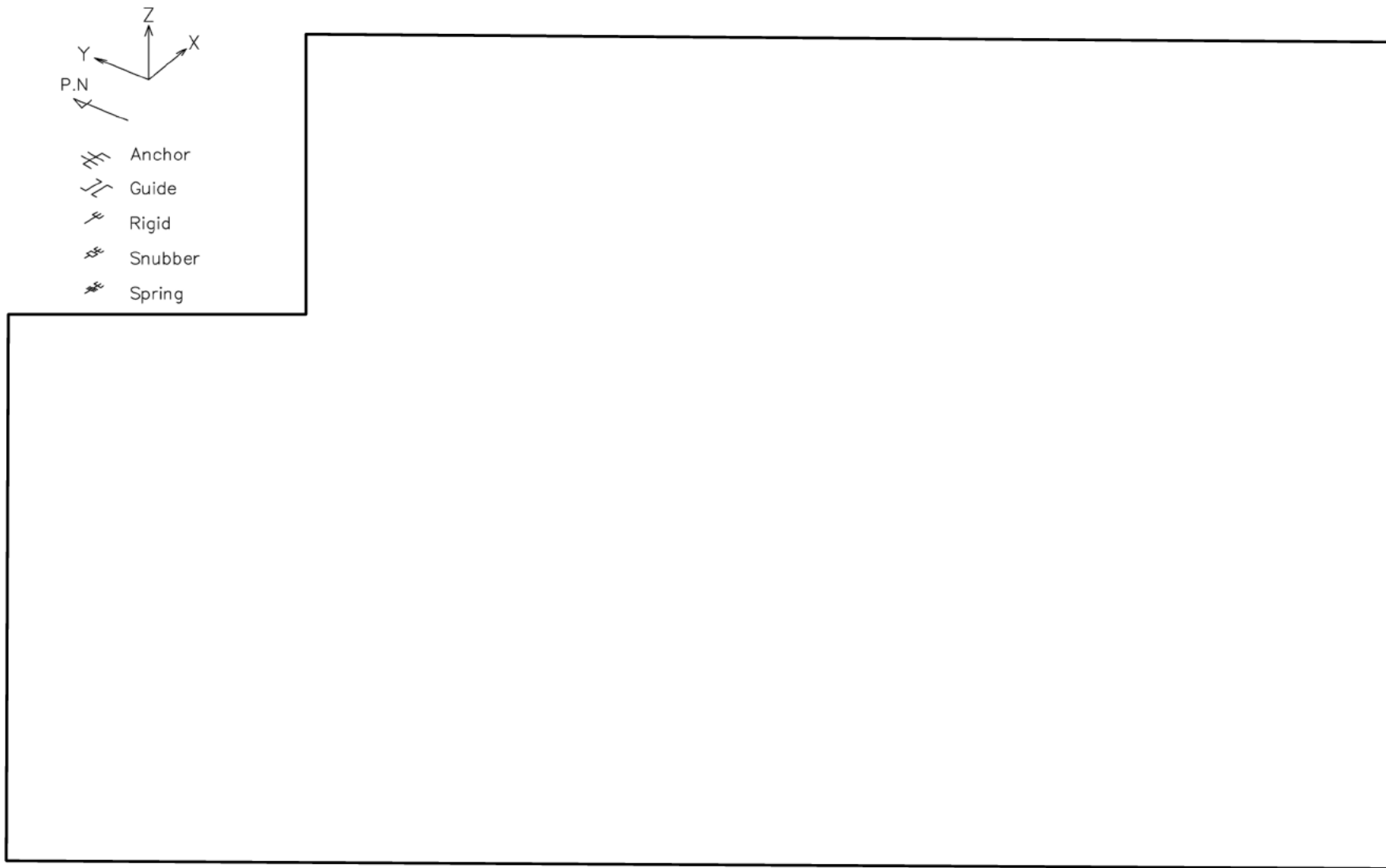
-  Anchor
-  Guide
-  Rigid
-  Snubber
-  Spring



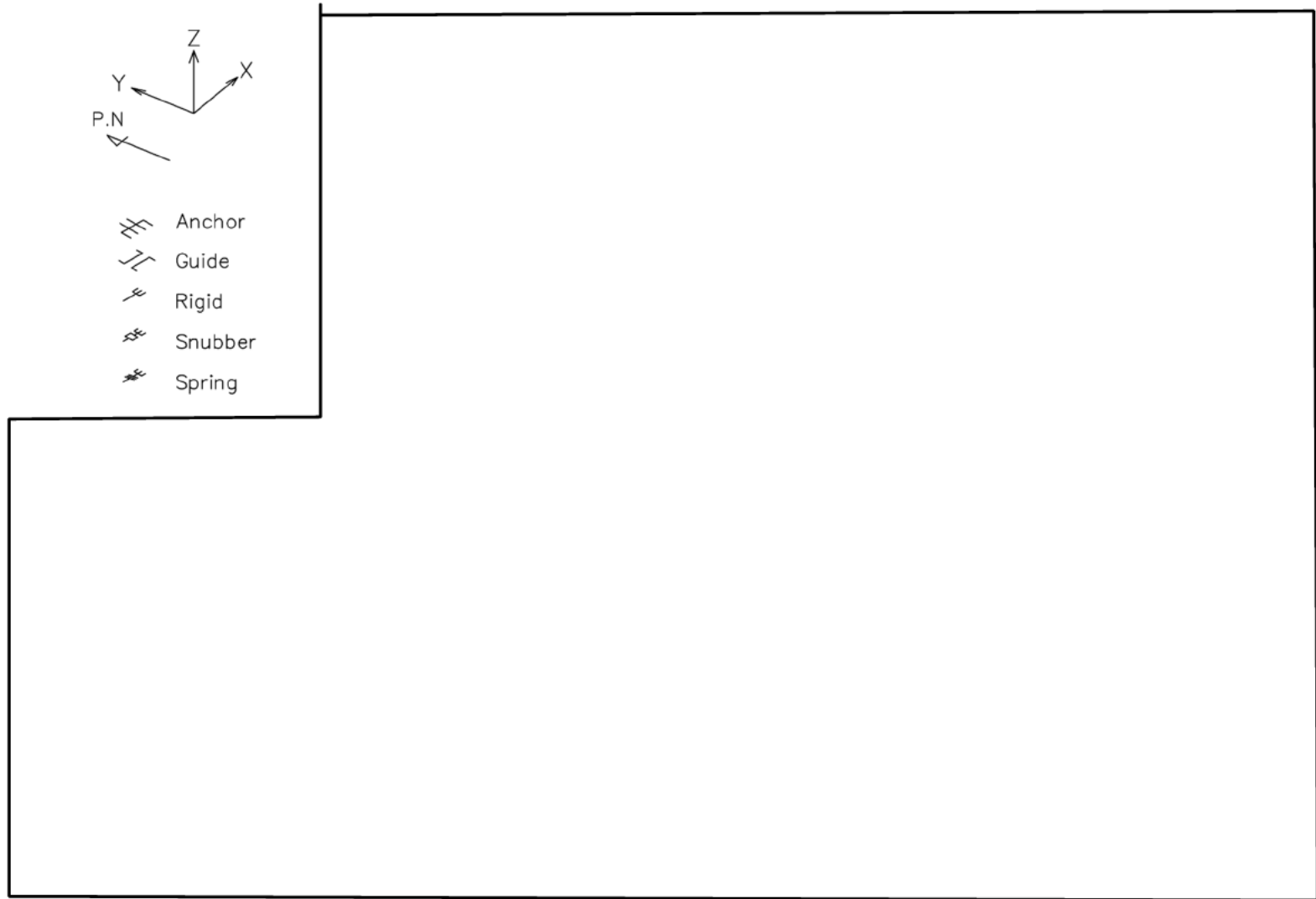
Bー蓄圧タンク注入配管および余熱除去戻り配管 (CV内) 解析モデル (S I 0 1)



C - 蓄圧タンク注入配管および余熱除去戻り配管 (CV内) 解析モデル (S I 0 2)



Dー蓄圧タンク注入配管および余熱除去戻り配管（CV内）解析モデル（RH07）



Dー蓄圧タンク注入配管および余熱除去戻り配管 (CV内) 解析モデル (RH07)

許容応力の算出

(単位：MPa)

アンカーサポート番号		4RH-5-2Aおよび4RH-7-2A			
部位		配管、パッド	ラグ	底板	
				16 < t ≤ 40	
物性値	材質 ^{※1}	SUS304TP	STKR41	SS41	
	評価温度 (°C)	177	177	177	
	①	Sy (付録図表Part5表8) (at 使用温度)	149	174	190
		Su (付録図表Part5表9) (at 使用温度)	411	373	373
	②	Sy (at 常温)	205	—	—
	③	1.35Sy	201	—	—
	④	0.7Su	287	261	261
		F=min (②, ③, ④) ^{※2}	201 (③)	—	—
		F=min (①, ④)	—	174 (①)	190 (①)
		引張許容応力 ft=F/1.5	134	116	127
		曲げ許容応力 fb=F/1.5	134	116	127
		せん断許容応力 fs=F/1.5√3	77	67	73
一次応力の許容値	引張許容応力 1.5ft	201	209	228	
	曲げ許容応力 1.5fb	201	209	228	
	せん断許容応力 1.5fs	116	121	132	
一次＋二次応力の許容値	引張許容応力 3ft	402	349	381	
	曲げ許容応力 3fb	402	349	381	
	せん断許容応力 3fs (溶け込み) [1.5fs (すみ肉)]	232 [116]	201 [100]	220 [110]	

※1：STKR41はSTKR400，SS41はSS400として評価する。

※2：使用温度が40°Cを超えるオーステナイト系ステンレス鋼および高ニッケル合金の場合はF=min (②, ③, ④)。それ以外はF=min (①, ④)

※3：S s地震の一次応力評価では、JEAG4601の支持構造物規定に従い①、②の値を「告示501号 別表第9 (設計・建設規格 付録図表Part5表8) に定める値の1.2倍の値」と読み替えて算出した値を使用する。

タイトル	余熱除去系統配管の高サイクル熱疲労割れに対する耐震安全性評価について																																																											
説明	<p>1. 評価仕様</p> <p>余熱除去系統配管の高サイクル熱疲労割れ（高低温水合流型）に対する評価は、日本電気協会「原子力発電所配管破損防護設計技術指針（JEAG4613-1998）」を準用し、1 gpmの漏えいを生じる周方向貫通亀裂を想定して、地震発生時の亀裂の安定性を評価した。具体的な亀裂安定性評価方法およびフローを添付—1に示す。</p> <p>2. 解析モデル</p> <p>発生応力の算出に用いた3次元はりモデル解析のモデル図を添付—2に示す。</p> <p>3. 入力条件</p> <p>(1) 判定応力の算出</p> <p>①判定応力の算出条件</p> <table border="1" data-bbox="448 1059 1254 1655"> <thead> <tr> <th rowspan="2">項目</th> <th rowspan="2">単位</th> <th colspan="2">評価対象配管</th> </tr> <tr> <th colspan="2">余熱除去冷却器出口配管とバイパスラインの合流部</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>配管口径</td> <td>mm</td> <td colspan="2">267.4</td> </tr> <tr> <td>配管肉厚</td> <td>mm</td> <td colspan="2">9.3</td> </tr> <tr> <td>配管材料</td> <td>—</td> <td colspan="2">SUS304TP</td> </tr> <tr> <td>最高使用温度</td> <td>℃</td> <td colspan="2">200</td> </tr> <tr> <td>最高使用圧力</td> <td>MPa</td> <td colspan="2">4.5</td> </tr> <tr> <td>縦弾性係数 ($\times 10^5$)</td> <td>MPa</td> <td colspan="2">1.83</td> </tr> <tr> <td>Sy</td> <td>MPa</td> <td colspan="2">144</td> </tr> <tr> <td>Su</td> <td>MPa</td> <td colspan="2">402</td> </tr> <tr> <td>Sm</td> <td>MPa</td> <td colspan="2">129</td> </tr> <tr> <td>σf</td> <td>MPa</td> <td colspan="2">273</td> </tr> </tbody> </table> <p>②亀裂形状および判定応力の算出</p> <table border="1" data-bbox="448 1767 1259 1930"> <thead> <tr> <th>臨界流量 Gc (gpm/mm²)</th> <th>開口面積 A (mm²)</th> <th>亀裂長さ 2c (mm)</th> <th>亀裂角度 2θ (度)</th> <th>判定応力 Pf (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.097</td> <td>10.31</td> <td>109.60</td> <td>48.7</td> <td>282</td> </tr> </tbody> </table>				項目	単位	評価対象配管		余熱除去冷却器出口配管とバイパスラインの合流部		配管口径	mm	267.4		配管肉厚	mm	9.3		配管材料	—	SUS304TP		最高使用温度	℃	200		最高使用圧力	MPa	4.5		縦弾性係数 ($\times 10^5$)	MPa	1.83		Sy	MPa	144		Su	MPa	402		Sm	MPa	129		σf	MPa	273		臨界流量 Gc (gpm/mm ²)	開口面積 A (mm ²)	亀裂長さ 2c (mm)	亀裂角度 2θ (度)	判定応力 Pf (MPa)	0.097	10.31	109.60	48.7	282
項目	単位	評価対象配管																																																										
		余熱除去冷却器出口配管とバイパスラインの合流部																																																										
配管口径	mm	267.4																																																										
配管肉厚	mm	9.3																																																										
配管材料	—	SUS304TP																																																										
最高使用温度	℃	200																																																										
最高使用圧力	MPa	4.5																																																										
縦弾性係数 ($\times 10^5$)	MPa	1.83																																																										
Sy	MPa	144																																																										
Su	MPa	402																																																										
Sm	MPa	129																																																										
σf	MPa	273																																																										
臨界流量 Gc (gpm/mm ²)	開口面積 A (mm ²)	亀裂長さ 2c (mm)	亀裂角度 2θ (度)	判定応力 Pf (MPa)																																																								
0.097	10.31	109.60	48.7	282																																																								

<判定応力の算出>

$$P_f = P_m + P_b'$$

P_m : 内圧によって発生する膜応力 (=0.5 S_m or P_r)

P_r : 設計内圧応力

P_b : 曲げ応力 (=2 σ_f (2 $\sin\beta - \sin\theta$) / π)

β : [$\pi - \theta - (P_m / \sigma_f) \pi$] / 2

σ_f : 流動応力 = ($S_y + S_u$) / 2

θ : 貫通亀裂半角度

S_y : 設計降伏点

S_u : 設計引張強さ

S_m : 設計応力強さ

(2) 発生応力の算出

3次元はりモデルにて算出した発生応力 (P_a) を表6-1に示す。

表6-1 発生応力

地震力	P_m	P_b			P_a
	内圧 (MPa)	自重 (MPa)	熱 (MPa)	地震 (MPa)	発生応力(合計) (MPa)
S_s 地震時	32.4	7.9	147.5	33.9	222
S_d 地震時	32.4	7.9	147.5	15.3	204

4. 評価結果

S_s 地震時および S_d 地震時の亀裂安定性評価結果を表6-2に示す。

余熱除去系統配管のうち、余熱除去冷却器出口配管とバイパスラインの合流部（高低温水合流部）について、高サイクル熱疲労割れを考慮しても、地震時に発生する応力は、判定応力（亀裂安定限界応力）を超えることはないことから、耐震安全性評価上問題ない。

表6-2 余熱除去系統配管の高サイクル熱疲労割れに対する耐震安全性評価結果

地震力	発生応力 P_a (MPa)	判定応力 P_f (MPa)	応力比 P_a / P_f
S_s 地震時	222	282	0.79
S_d 地震時	204	282	0.72

以上

地震時の亀裂安定性評価方法

① 漏えい量

亀裂安定性評価に用いる亀裂開口面積および判定応力を求めるにあたって、通常の点検パトロールや漏えい検知設備等で、検知可能な漏えい量として 1gpm を想定する。

② 評価部位の決定

亀裂安定性評価の対象は、流況が複雑で疲労が蓄積する可能性がある部位（複雑流況部）を耐震上厳しい部位として選定し、これらの部位について亀裂を想定した安定性評価を実施する。

③ 亀裂評価における $(G_c - D_h)$ の算出（計算例として⑥の交点での計算結果を記載）

配管の周方向にスリット状亀裂を想定して以下の要領で、最初に漏えい量 Q 、臨界流量 G_c 、負荷荷重 $0.5 S_m$ または P_r を与えて亀裂半角度 θ を求める。

- a. G_c を仮定し亀裂角度を求めるための開口面積を A_{IN} とする。
・ $A_{IN} = Q/G_c$
- b. 次式の $A_{total} > A_{IN}$ となるまで $0^\circ \rightarrow \theta$ を増加させて下式のパラメータ計算を実施し、最大の θ を亀裂半角度とする。

<開口面積>（曲げ0による開口面積としている）

$$A_{total} = A_t + A_b$$

$$A_t = \frac{\sigma_t}{E} (\pi R^2) I_t(\theta)$$

$$A_b = \frac{\sigma_b}{E} (\pi R^2) I_b(\theta)$$

なお、亀裂先端の塑性域を考慮し、亀裂の半角度は θ に代えて θ_{eff} を次式で求める。

$$\theta_{eff} = \theta + \frac{(K_t + K_b)^2}{2 \pi R \sigma_f}$$

<記号説明>

- At : 軸力が作用した時の亀裂開口面積
 Ab : 曲げモーメントが作用した時の亀裂開口面積
 σ_t : 軸力による公称応力
 σ_b : 曲げモーメントによる公称応力
 R : 配管平均半径
 E : 縦弾性係数
 $I_t(\theta)$, $I_b(\theta)$: 無次元量
 θ : 亀裂半角度
 K_t : 軸力による応力拡大係数
 K_b : 曲げモーメントによる応力拡大係数
 σ_f : 流動応力

c. 水学的直径(Dh)

亀裂長さは次式による。また、DhはAtotalを亀裂長さで除したもの。

$$2c = (D-t) \frac{\theta \pi}{180}$$

$$Dh = \frac{A_{total}}{c}$$

<記号説明>

- D : 管外径
 t : 板厚

④ Gc-Dh曲線

前項の a. から c. を、Gcを変えてパラメータ計算を繰り返すことによりGc-Dh曲線が求められる。

⑤ Henry の臨界流モデルによる $G_c - D_h$ 曲線

Henry のサブクール水モデル (図 6-1-1 参照) を用いて、配管の内外圧力差、流体性状等から、臨界流量 G_c (gpm/mm²) と水力学的直径 D_h (mm) の関係曲線を求める。

計算パラメータとしては、漏えい流体の条件 (温度、圧力、流体性状等)、外部の状態 (外圧の有無)、漏えい流路状態 (表面粗さ、流路形状) 等を考慮する。

臨界流量 G_c は下式により求める。

$$G_c^2 = \left[\frac{xv_g}{\gamma P} - (v_g - v_{\ell 0}) \frac{dx}{dP} \right]_{exit}^{-1} \quad \left(\frac{dx}{dP} \right)_{exit} = N \frac{dx_E}{dP}$$

<記号説明>

x : クオリティ (x_E : 熱平衡時のクオリティ)

v : 比容積 (m³/kg)

P : 圧力 (Pa)

γ : 断熱係数

(添字・・・g : 気相, ℓ : 液相, ℓ_0 : 入口液相条件)

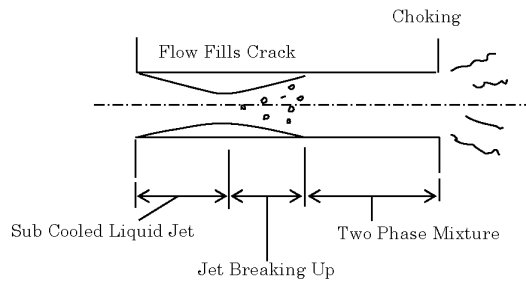


図 6-1-1 亀裂内の流れ (サブクール水)

⑥ 臨界流量 ($G_c - D_h$) の決定

上記④と⑤の $G_c - D_h$ 曲線は別々の観点から求められたものであり、図6-1-2の通り 2本の曲線が描け、交点の G_c 、 D_h は両方の条件を満足する。

この時の $G_c - D_h$ の亀裂角度、開口面積を、亀裂安定性評価に用いる判定応力の算出に使用する。

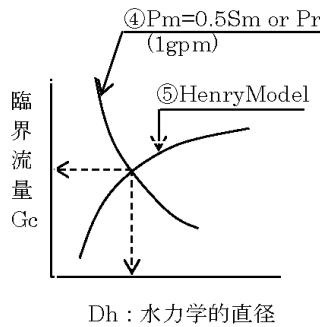


図 6-1-2 $G_c - D_h$ 曲線

⑦ 判定応力の算出（計算例として⑥の交点での計算結果を記載）

判定応力 P_f は「実断面応力基準」によって算出する。この基準は、配管周方向にスリット状開口を想定し、断面のリガメント（開口部以外）の応力が一様な流動応力 σ_f に達した時に破壊が進行すると仮定したものである。従って発生応力が流動応力以下であれば、亀裂があっても安定していると考えられる。

$$\begin{aligned} P_f &= P_m + P_b' \\ &= P_m + 2\sigma_f (2\sin\beta - \sin\theta) / \pi \end{aligned}$$

<記号説明>

P_m : 内圧によって発生する膜応力 (= $0.5S_m$ or P_r)

P_b' : 曲げ応力 (= $2\sigma_f(2\sin\beta - \sin\theta) / \pi$)

$\beta = [\pi - \theta - (P_m / \sigma_f)\pi] / 2$

σ_f : 流動応力 = $(S_y + S_u) / 2$

θ : 貫通亀裂半角度

S_y : 設計降伏点

S_u : 設計引張強さ

S_m : 設計応力強さ

⑧ 発生応力（計算例として、 S_s 地震時の計算結果を記載）

発生応力 P_a を求める時の作用荷重は日本電気協会「原子力発電所配管破損防護設計技術指針 JEAG4613-1998」より次のとおり。

- a. 考慮すべき運転状態は、I、II、IIIおよび I+S_s、S_d地震とするが、実質的には I、II+S_s、S_d地震が最も厳しいことから、I、II+S_s、S_d地震の評価を実施する。

(JEAG4613-1998は S₁、S₂で評価するが、本評価は S_s、S_d地震で評価を実施する。)

- b. 評価荷重は一次応力で実施するが、安全側に二次応力である熱膨張応力を含める。

$$P_a = P_m + P_b$$

<記号説明>

P_m : 配管の設計条件における計算値を採用（内圧応力）

P_b : 曲げ応力（自重応力+熱膨張応力+地震応力*の合計応力、ただしねじり応力は除く）

* : 地震慣性応力（片振幅）

注：発生応力は流動応力となることから応力係数は考慮しない。

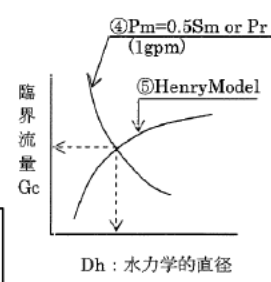
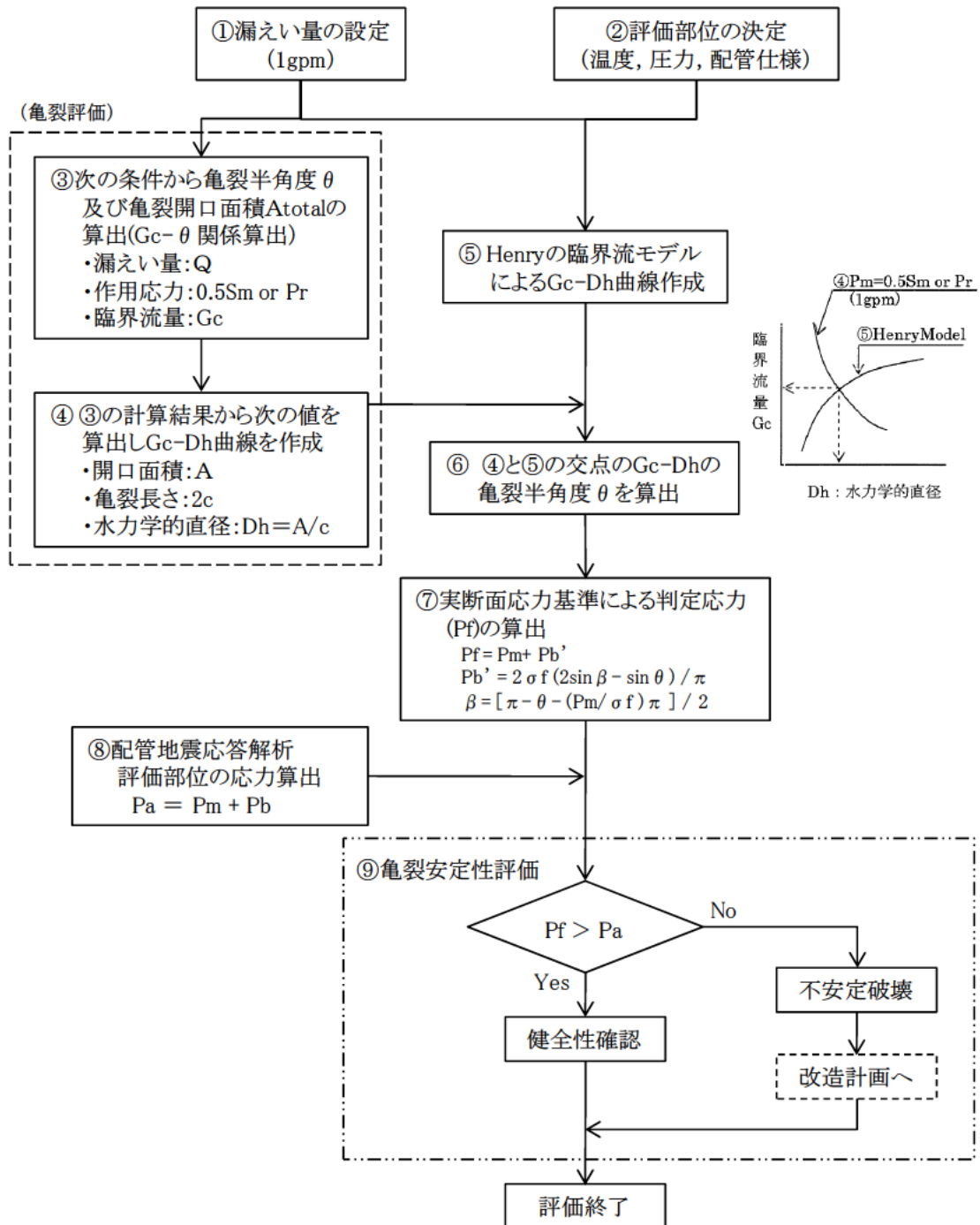
⑨ 評価

前項までの算出結果を基に以下を評価する。

$P_f > P_a$: 漏えい

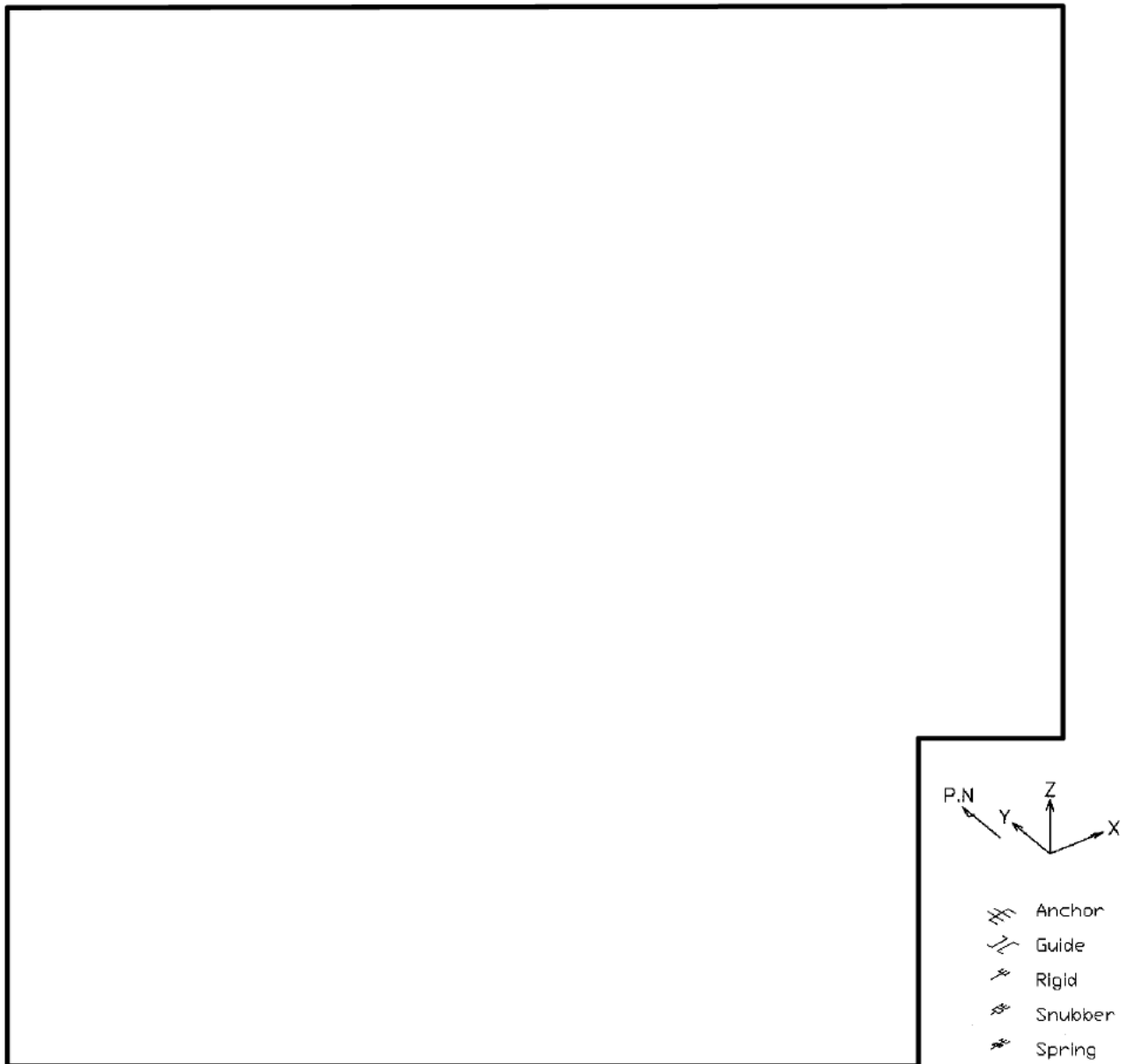
$P_f \leq P_a$: 破断

地震時の亀裂安定性評価フロー



(注記) 記号の内容は以下のとおり

- ・Gc: 臨界流モデルによる単位面積当りの漏えい量
- ・Dh: 水力学的直径
- ・Pf: 判定応力
- ・Pa: 発生応力
- ・σf: 流動応力
- ・Pr: 設計内圧応力
- ・Pm: 内圧等による膜応力
- ・Pb: 曲げ応力(発生応力)
- ・Pb': 曲げ応力(判定応力)



大飯4号炉 余熱除去系統配管の高サイクル熱疲労割れ
評価対象配管（解析モデル図）

タイトル	原子炉容器の中性子照射脆化に対する耐震安全性評価について
説明	<p>原子炉容器の中性子照射脆化に対する評価についての具体的な評価内容を以下に記す。</p> <p>1. PTS での応力評価部位と応力値</p> <p>PTS 事象の K_I 上限包絡曲線については、技術評価書「容器—原子炉容器」に示すとおり、小破断 1 次冷却材喪失事故（小破断 LOCA）、大破断 1 次冷却材喪失事故（大破断 LOCA）、主蒸気管破断事故および 2 次冷却系からの除熱機能喪失に対する K_I 曲線を上限包絡して示している。</p> <p>JEAC4206-2007「原子力発電所用機器に対する破壊靱性の確認試験方法」では、加圧熱衝撃評価を実施するにあたって深さ 10 mm の想定き裂を設定するように定められている。したがって、K_I 値は原子炉容器胴部に想定欠陥（長さ 60 mm、深さ 10 mm の半楕円表面欠陥）を仮定し評価している。なお、「技術評価」においては軸方向のき裂を想定しているが、軸方向欠陥には有意な地震荷重が作用しないと考えられることから、耐震安全性評価では保守的に周方向の欠陥を想定した。</p> <p>2. Ss 地震の応力評価部位と応力値</p> <p>Ss 地震による原子炉容器胴部に生じる曲げモーメントとして、最大となる節点（図 7-1 中⑦）の 7.74×10^{10} N・mm を使用している。この曲げモーメントを断面係数 (3.46×10^9 mm³) で除して算出した曲げ応力値 (σ_b) は 22.4 MPa となる。</p> <div data-bbox="536 1196 1203 1944" style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">図 7-1 原子炉容器 耐震解析モデル</p>

3. K_{IC} の算出式とその根拠

K_{IC} は JEAC4206-2007 の附属書 C「供用状態 C, D における加圧水型原子炉压力容器の炉心領域部に対する非延性破壊防止のための評価方法」に基づき、以下の式で計算している。(技術評価書「容器—原子炉容器」参照)

$$K_{IC} = 20.16 + 129.9 \exp\{0.0161(T - T_P)\} \text{ (MPa}\sqrt{\text{m}})$$

4. K_I 値の評価結果

PTS 事象での K_I 上限包絡曲線 (上記 1.) に、 S_s 地震で生じる K_I 値を一律でかさ上げしている。 S_s 地震の K_I 値は、原子炉容器胴部に仮定した想定欠陥 (長さ 60 mm、深さ 10 mm の半楕円表面欠陥、母材厚さ \square mm) に上記 2. の荷重が作用した場合に生じる値として、JEAC4206-2007 F-3300 ASME Sec. XI App. A の解 (作用分布応力を線形近似する場合) を用いて 6.7 MPa $\sqrt{\text{m}}$ を算出した。

PTS 事象の K_I 値は、JEAC4206-2007 で PTS 事象の K_I 値算出に引用されている C. B. Buchalet & W. H. Bamford の応力拡大係数式 (附属図 C-2000-1 および C-2000-2 の係数を使用) を用いて算出されたものだが、 S_s 地震で生じる K_I 値の算出に対しては規定がないため、JEAC4206-2007 の附属書 F「応力拡大係数」にて記載のある ASME Sec. XI App. A の解 (作用分布応力を線形近似する場合) を使用している。

応力拡大係数を計算する際のき裂寸法は、長さ 60 mm、深さ 10 mm の半楕円表面欠陥とした。

S_s 地震で生じる K_I 値 : 6.7 の算出過程は以下のとおり。

JEAC4206-2007 F-3300 ASME Sec. XI App. A の解 (作用分布応力を線形近似する場合) により、 K_I 値を算出する。想定欠陥のサイズは、

欠陥深さ	$a = 10\text{mm}$
欠陥長さ	$l = 60\text{mm}$
母材厚さ	$t = \square\text{mm}$

附属書表 F-3200-1(1/2) 最深点 A での係数 (添付-1) において、 $a/t = 0.046$ 、 $a/l = 0.167$ より、

$$M_m = G_0 = 1.0916$$

$$G_1 = 0.6772$$

よって、

$$\begin{aligned} q_y &= [(\sigma_m \cdot M_m + A_p \cdot M_m + \sigma_b \cdot M_b) / \sigma_{ys}]^2 / 6 \\ &= [(17.16 \times 1.0916 + 22.4 \times 1.0293) / 304.2]^2 / 6 = 0.00315 \end{aligned}$$

ここで $A_p = 17.16 \text{ MPa}^*$

$$M_b = G_0 - 2(a/t) \quad G_1 = 1.0293$$

$$\sigma_{ys} = 304.2 \text{ MPa}$$

($T_c = 289.2 \text{ }^\circ\text{C}$ における JSME S NC1-2005/2007 の値)

$$\sigma_m = 0$$

$$Q = 1 + 4.593(a/l)^{1.65} - q_y = 1.236$$

※：欠陥面にかかる内圧は、PTS 事象として考慮している小破断 LOCA、大破断 LOCA、主蒸気管破断事故および 2 次冷却系からの除熱機能喪失時の最高圧力を上回る、最高使用圧力 (17.16 MPa) を評価に用いている。

以上より、

$$\begin{aligned}
 K_I &= (\sqrt{1/1000}) [(\sigma_m + A_p) \cdot M_m + \sigma_b \cdot M_b] \sqrt{\pi a/Q} \\
 &= (\sqrt{1/1000}) [17.16 \times 1.0916 + 22.4 \times 1.0293] \sqrt{\pi \times 10/1.236} \\
 &= 6.7 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}
 \end{aligned}$$

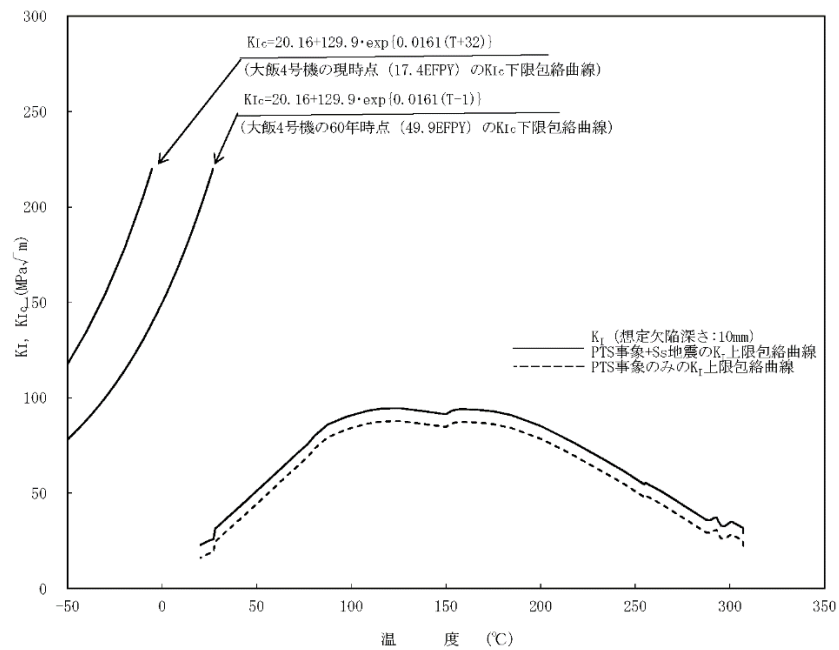


図 7-2 Ss 地震を考慮した PTS 評価結果

以上の結果より、運転開始後 60 年時点での K_{IC} 下限包絡曲線と PTS 事象に S_s 地震を考慮した K_I を比較すると、両曲線は交差することなく、 $K_{IC} > K_I$ は満足され、原子炉容器の中性子照射による関連温度上昇は、耐震安全性評価上問題ないことを確認している。

以上

附属書表 F-3200-1 (1/2) 最深点 A での係数

Uniform G_0

a / t	a / ℓ					
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.00	1.1208	1.0969	1.0856	1.0727	1.0564	1.0366
0.05	1.1461	1.1000	1.0879	1.0740	1.0575	1.0373
0.10	1.1945	1.1152	1.0947	1.0779	1.0609	1.0396
0.15	1.2670	1.1402	1.1058	1.0842	1.0664	1.0432
0.20	1.3654	1.1744	1.1210	1.0928	1.0739	1.0482
0.25	1.4929	1.2170	1.1399	1.1035	1.0832	1.0543
0.30	1.6539	1.2670	1.1621	1.1160	1.0960	1.0614
0.40	2.1068	1.3840	1.2135	1.1448	1.1190	1.0772
0.50	2.8254	1.5128	1.2693	1.1757	1.1457	1.0931
0.60	4.0420	1.6372	1.3216	1.2039	1.1699	1.1058
0.70	6.3743	1.7373	1.3610	1.2237	1.1868	1.1112
0.80	11.991	1.7899	1.3761	1.2285	1.1902	1.1045

$a/t = 0.046$
 $a/l = 0.167$
 $G_0 = 1.0916$

Linear G_1

a / t	a / ℓ					
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.00	0.7622	0.6635	0.6826	0.7019	0.7214	0.7411
0.05	0.7624	0.6651	0.6833	0.7022	0.7216	0.7413
0.10	0.7732	0.6700	0.6855	0.7031	0.7221	0.7418
0.15	0.7945	0.6780	0.6890	0.7046	0.7230	0.7426
0.20	0.8267	0.6891	0.6939	0.7067	0.7243	0.7420
0.25	0.8706	0.7029	0.7000	0.7094	0.7260	0.7451
0.30	0.9276	0.7193	0.7073	0.7126	0.7282	0.7468
0.40	1.0907	0.7584	0.7249	0.7209	0.7338	0.7511
0.50	1.3501	0.8029	0.7454	0.7314	0.7417	0.7566
0.60	1.7863	0.8488	0.7671	0.7441	0.7520	0.7631
0.70	2.6125	0.8908	0.7882	0.7588	0.7653	0.7707
0.80	4.5727	0.9288	0.8063	0.7753	0.7822	0.7792

$a/t = 0.046$
 $a/l = 0.167$
 $G_1 = 0.6772$

タイトル	炉心そうの中性子照射による靱性低下に対する耐震安全性評価について						
説明	<p>中性子照射による材料の靱性低下が想定される炉心そう溶接部に有意な欠陥が存在すると仮定し、S_s地震発生時の荷重を考慮して求めた応力拡大係数Kと、中性子照射を受けたステンレス鋼のJ_{IC}値から換算した破壊靱性値K_{IC}とを比較することにより耐震安全性評価を行っている。評価の具体的内容を以下に示す。</p> <p>1. 解析条件</p> <p>(1) 想定欠陥</p> <p>想定欠陥は設計・建設規格を準用し、表 8-1 のとおりとした。</p> <div style="text-align: center;"> <p>表 8-1 想定した亀裂形状</p> <table border="1" data-bbox="632 913 1121 1012"> <thead> <tr> <th>亀裂方向</th> <th>亀裂長さ</th> <th>亀裂深さ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>周方向</td> <td>1.5t</td> <td>1/4t</td> </tr> </tbody> </table> <p>t: 炉心そう板厚 (= <input type="text" value="57"/> mm)</p> </div> <p>亀裂の想定部位（評価部位）は、図 8-1 に示すとおり、溶接部に亀裂が想定されることから、下部炉心そう上部胴と下部胴の溶接部とした。</p> <p>なお、炉心そうの応力算出時におけるバッフル構造の変形拘束の影響については、炉心そうの板厚が約 57mm であるのに対し、炉心バッフル取付板を炉心そうに締結しているバレルフォーマボルトの径は約 13mm であることと、周方向に間隔を開けて設置されているため、十分に小さいと考えられる。</p>	亀裂方向	亀裂長さ	亀裂深さ	周方向	1.5t	1/4t
亀裂方向	亀裂長さ	亀裂深さ					
周方向	1.5t	1/4t					

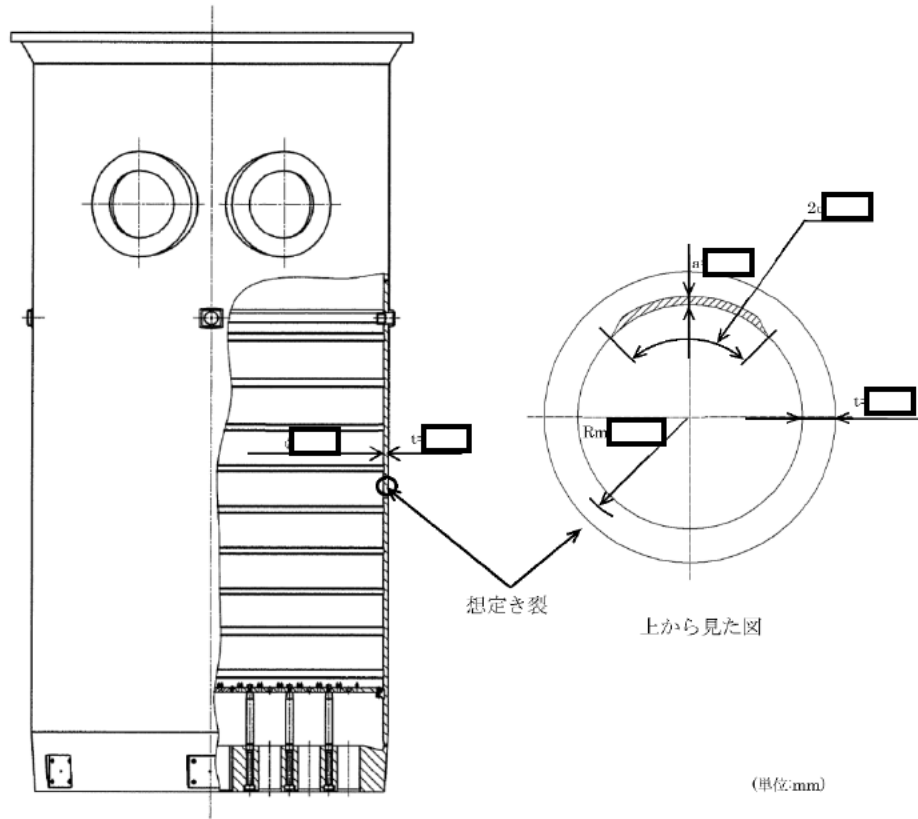


図 8-1 炉心そうにおける想定欠陥部位

(2) 応力条件

地震荷重は、水平方向地震荷重および鉛直方向地震荷重ともスペクトルモーダル解析で算出した。使用した水平方向耐震解析モデルおよび鉛直方向耐震解析モデルをそれぞれ図 8-2 および図 8-3 に示す。

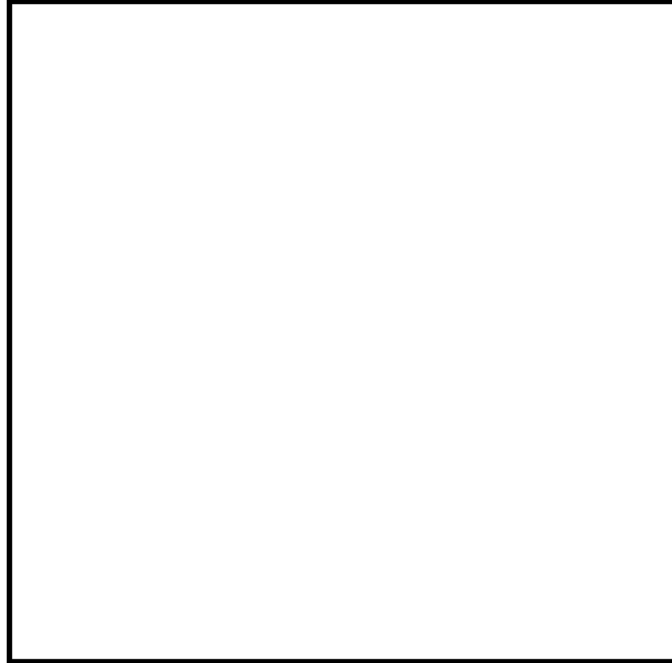


図 8-2 水平方向耐震解析モデル

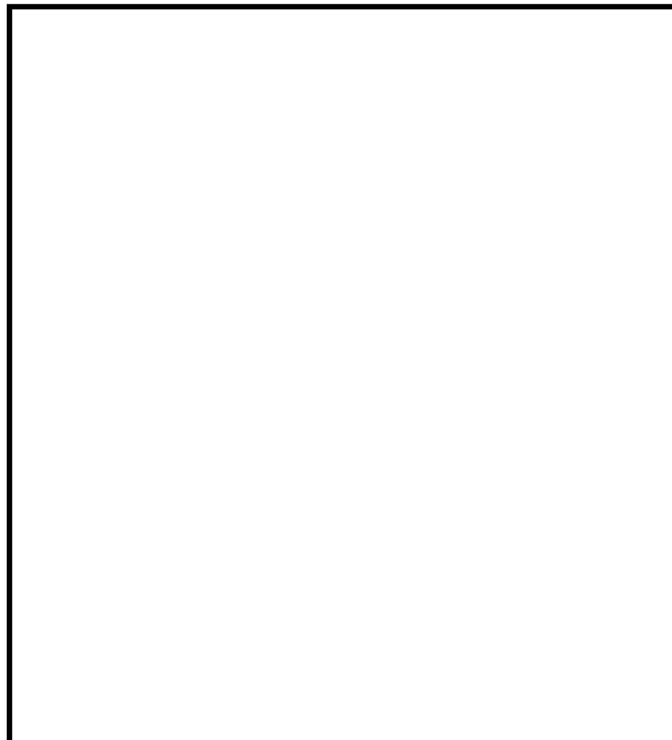


図 8-3 鉛直方向耐震解析モデル

評価位置に作用する機械荷重、熱荷重、S_s地震時の荷重による各応力の重ね合わせで評価した。評価に用いた応力条件を表 8-2 に示す。

表 8-2 応力条件 (単位: MPa)

機械荷重による応力	引張応力	7.3
	曲げ応力	0.0
熱荷重による応力	引張応力	0.0
	曲げ応力 ^{※1}	8.3
S _s 地震による応力	引張応力	22.2
合計	引張応力 σ_m	29.5
	曲げ応力 σ_b	8.3

※1: 炉心そうの内外面の温度差により生じる曲げ応力

(3) 解析モデル

炉心そうの平均半径 R_m の板厚 t に対する比「 R_m/t 」は約 と大きいことから、炉心そう胴部は亀裂付き平板で近似している。図 8-4 に平板近似モデルを示す。また、表 8-3 に平板近似した想定欠陥の寸法を示す。

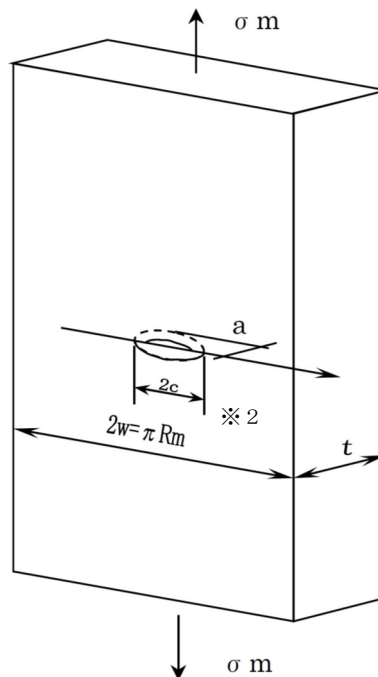


図 8-4 想定欠陥の平板近似モデル

※2 Raju-Newman の式において、板幅 w が小さいほど、平板端部の影響を受けて応力拡大係数は大きくなる。円筒形状である炉心そうを平板にて模擬するため、端部があるわけではないので、平板端部の影響を考慮する必要はないと考え、十分に大きな幅として半周分に設定している。

なお、Raju-Newman の式の適用範囲として、亀裂半長 c と板幅 w の関係が $c/w < 0.5$ ($w > 2c$) と規定されている。仮に、最も板幅が小さく、平板端部の影響を受ける $w=2c$ (mm) とした場合でも、応力拡大係数は $8.2 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ となり^(※3)、応力拡大係数に対する板幅の影響が軽微で、許容値 ($51 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$) に対して十分な裕度があることを確認している。

※3 $2w = \pi R_m$ (mm) の場合、応力拡大係数は $7.9 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$

表 8-3 想定した亀裂の寸法

	亀裂長さ $2c$	亀裂深さ a	板幅 $2w$	板厚 t
寸法 (mm)	<input type="text"/>			

2. 解析結果

(1) 中性子照射を受けたステンレス鋼の破壊靱性値 (許容値)

評価に用いるステンレス鋼の破壊靱性値 K_{IC} は、発電設備技術検査協会「平成8年度 プラント長寿命化技術開発に関する事業報告書」で得られたオーステナイト系照射ステンレス鋼の J_{IC} 試験結果を用いて、 J_{IC} 最下限値 14 kJ/m^2 から以下の換算式により算出した破壊靱性値 $K_{IC} = 51 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ とした。

$$K_{IC} = \sqrt{\frac{E}{(1-\nu^2)}} \times J_{IC}$$

E : 縦弾性係数[※] ($173,000 \text{ MPa}$ at 350°C)

ν : ポアソン比 (0.3)

J_{IC} : 破壊靱性値の下限 (14 kJ/m^2 at 350°C)

※: 中性子照射を受けるとステンレス鋼は硬化し降伏応力は大きくなる傾向があるが縦弾性係数に大きな変化はないことから、照射前の一定値を用いる。

(2) 地震時の応力拡大係数

応力拡大係数の算出は、以下のとおり、平板中の半楕円表面亀裂の応力拡大係数 K を求める Raju-Newman の式*を用いた。

*: Raju, I. S. and Newman, J. C., Jr., NASA Technical Paper 1578, 1979.

$$K=(\sigma_m+H\sigma_b)\sqrt{(\pi a/Q)}\cdot F$$

ここで、

$$Q=1+1.464(a/c)^{1.65} \quad (a/c \leq 1)$$

$$F=\{M_1+M_2(a/t)^2+M_3(a/t)^4\}(1-k^2 \cos^2 \phi)^{1/4}$$

$$M_1=1.13-0.09(a/c)$$

$$M_2=-0.54+0.89/\{0.2+(a/c)\}$$

$$M_3=0.5-1.0/\{0.65+(a/c)\}+14 \times \{1.0-(a/c)\}$$

$$g=1+\{0.1+0.35(a/t)^2\}(1-\sin \phi)^2$$

$$f_w = \left[\sec \left\{ \frac{\pi c}{2W} \sqrt{(a/t)} \right\} \right]^{1/2}$$

$$k^2=1-(a/c)^2$$

$$H=H_1+(H_2-H_1)\sin^p \phi$$

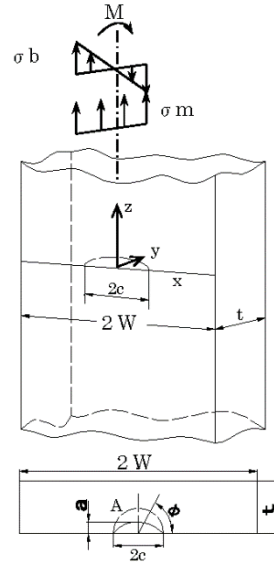
$$p=0.2+(a/c)+0.6(a/t)$$

$$H_1=1-0.34(a/t)-0.11(a/c)(a/t)$$

$$H_2=1+G_1(a/t)+G_2(a/t)^2$$

$$G_1=-1.22-0.12(a/c)$$

$$G_2=0.55-1.05(a/c)^{0.75}+0.47(a/c)^{1.5}$$



<記号説明>

Q : 表面亀裂の形状補正係数

F : 応力拡大係数の補正係数

phi : 評価点の角度 (応力拡大係数が最大となる $\frac{\pi}{2}$ (最深点) とする)

g : 解の定式化のための係数

f_w : 有限板幅に関する補正係数

H : 曲げ応力の補正係数

M_1, M_2, M_3, k, p, H_1, H_2, G_1, G_2 : 数式項の置き換え記号

sigma_m : 引張応力

sigma_b : 曲げ応力

適用範囲 : $0 < a/c \leq 1.0$, $0 \leq a/t \leq 1.0$, $c/w < 0.5$, $0 \leq \phi \leq \pi$

S_s地震時の応力拡大係数K=7.9MPa√mとなり、照射ステンレス鋼の破壊靱性値51MPa√mを下回っており、不安定破壊は生じることはなく、耐震安全性評価上問題ない。

表 8-4 評価結果

地震条件	応力拡大係数 K (MPa√m)	破壊靱性値 K _{1c} (MPa√m)
S _s	7.9	51

以上

タイトル	原子炉容器サポート（サポートブラケット（サポートリブ））の中性子およびγ線照射脆化に対する耐震安全性評価について
説明	<p>原子炉容器サポート（サポートブラケット（サポートリブ））の中性子およびγ線照射脆化に対する評価についての評価内容を以下に示す。</p> <p>1. サポートリブに発生するせん断応力値の算出 サポートリブに発生するせん断応力値σは、原子炉容器支持構造物に作用する接線方向の最大荷重Tと鉛直方向の最大荷重Nを基に算出した。（詳細は添付-1のとおり）</p> <p>せん断応力値$\sigma = 20$ MPa（S_3地震時）</p> <p>2. 想定欠陥 本評価では、評価対象であるサポートリブを、想定欠陥を含めモデル化した。（詳細は添付-2のとおり）</p> <p>3. 応力拡大係数の算出 応力拡大係数KをRaju-Newmanの算出式を用いて算出する。</p> $K = F \sigma \sqrt{\frac{\pi a / 1000}{Q}}$ $F = \left\{ M_1 + M_2 \times \left(\frac{a}{t} \right)^2 + M_3 \times \left(\frac{a}{t} \right)^4 \right\} \times g \times f_\phi \times f_w$ $Q = 1 + 1.464 \times \left(\frac{a}{c} \right)^{1.65}$ $M_1 = 1.13 - 0.09 \times \left(\frac{a}{c} \right)$ $M_2 = -0.54 + \frac{0.89}{0.2 + \frac{a}{c}}$ $M_3 = 0.5 - \frac{1}{0.65 + \frac{a}{c}} + 14 \times \left(1 - \frac{a}{c} \right)^{24}$ $f_\phi = \left\{ \left(\frac{a}{c} \right)^2 \cos^2 \phi + \sin^2 \phi \right\}^{\frac{1}{4}}$ $g = 1 + \left\{ 0.1 + 0.35 \times \left(\frac{a}{t} \right)^2 \right\} \times (1 - \sin \phi)^2$ $f_w = \left\{ \sec \left(\pi c \frac{\sqrt{\frac{a}{t}}}{2b} \right) \right\}^{\frac{1}{2}}$

<記号説明>

- a : 想定亀裂深さ (=15 (mm))
- b : 平板の幅の半長 (=1,000 (mm))
- c : 表面長さの半長 (=45 (mm))
- t : 平板の厚さ (=60 (mm))
- ϕ : 亀裂前縁の位置を示す角度 ($=\pi/2$)
- F : 応力拡大係数の補正係数 (=1.169)
- Q : 表面亀裂の形状補正係数 (=1.239)
- M_1, M_2, M_3 : 数式項の置き換え記号 ($M_1=1.1, M_2=1.129, M_3=-0.516$)
- f_ϕ : 内部亀裂を表面亀裂に変換する際の補正係数 (=1)
- g : 解の定式化のための係数 (=1)
- f_w : 有限板幅に関する補正係数 (=1)

なお、高経年化技術評価では、NUREG-1509「Radiation Effects on Reactor Pressure Vessel Supports」の評価手法に従い、応力拡大係数Kに安全率 $\sqrt{2}$ を乗じた値を評価に用いている。

$$\begin{aligned} \sqrt{2}K &= 1.169 \times 20 \times \sqrt{\frac{\pi \times \frac{15}{1000}}{1.239}} \times \sqrt{2} \\ &= 6.5 \text{ (MPa}\sqrt{\text{m}}) \end{aligned}$$

また、破壊靱性値について、本評価はせん断応力に対する評価であり、許容値としてはモードII（せん断）における破壊靱性値 $K_{II R}$ を使用することが最適であるが、試験法が確立していないこと等により値がないため、安全側と考えられるモードI（引張）での破壊靱性値 $K_{I R}$ を代用して評価している。許容値 $K_{I R}$ （=41.1MPa $\sqrt{\text{m}}$ ）の算出過程については添付-3に示す。

4. 評価結果

評価結果を表9-1に示す。応力拡大係数は破壊靱性値を超えることはないため、原子炉容器サポート（サポートブラケット（サポートリブ））の中性子および γ 線照射脆化は、耐震安全性評価上問題ない。

表9-1 原子炉容器サポート（サポートブラケット（サポートリブ））の中性子および γ 線照射脆化に対する耐震安全性評価結果

応力拡大係数 K_I ($=\sqrt{2}K$) (MPa $\sqrt{\text{m}}$)	破壊靱性値 $K_{I R}$ (MPa $\sqrt{\text{m}}$)	$K_I / K_{I R}$
6.5	41.1	0.16

以上

原子炉容器サポート（サポートブラケット（サポートリブ））に発生するせん断応力 σ の算出について

1. 原子炉容器支持構造物に作用する荷重

原子炉容器支持構造物に作用する荷重方向図を図9-1-1に、荷重を表9-1-1に示す。

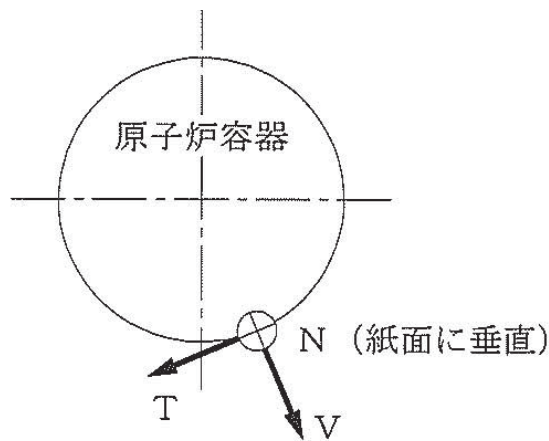


図9-1-1 荷重方向図

表9-1-1 原子炉容器支持構造物に作用する一次+二次応力評価用荷重

(単位：kN)

	接線方向荷重 T	鉛直方向荷重 N
自重	—	-1,297
熱膨張荷重	—	-1,087
地震荷重	±5,661	-3,206
最大荷重	±5,661	-5,590

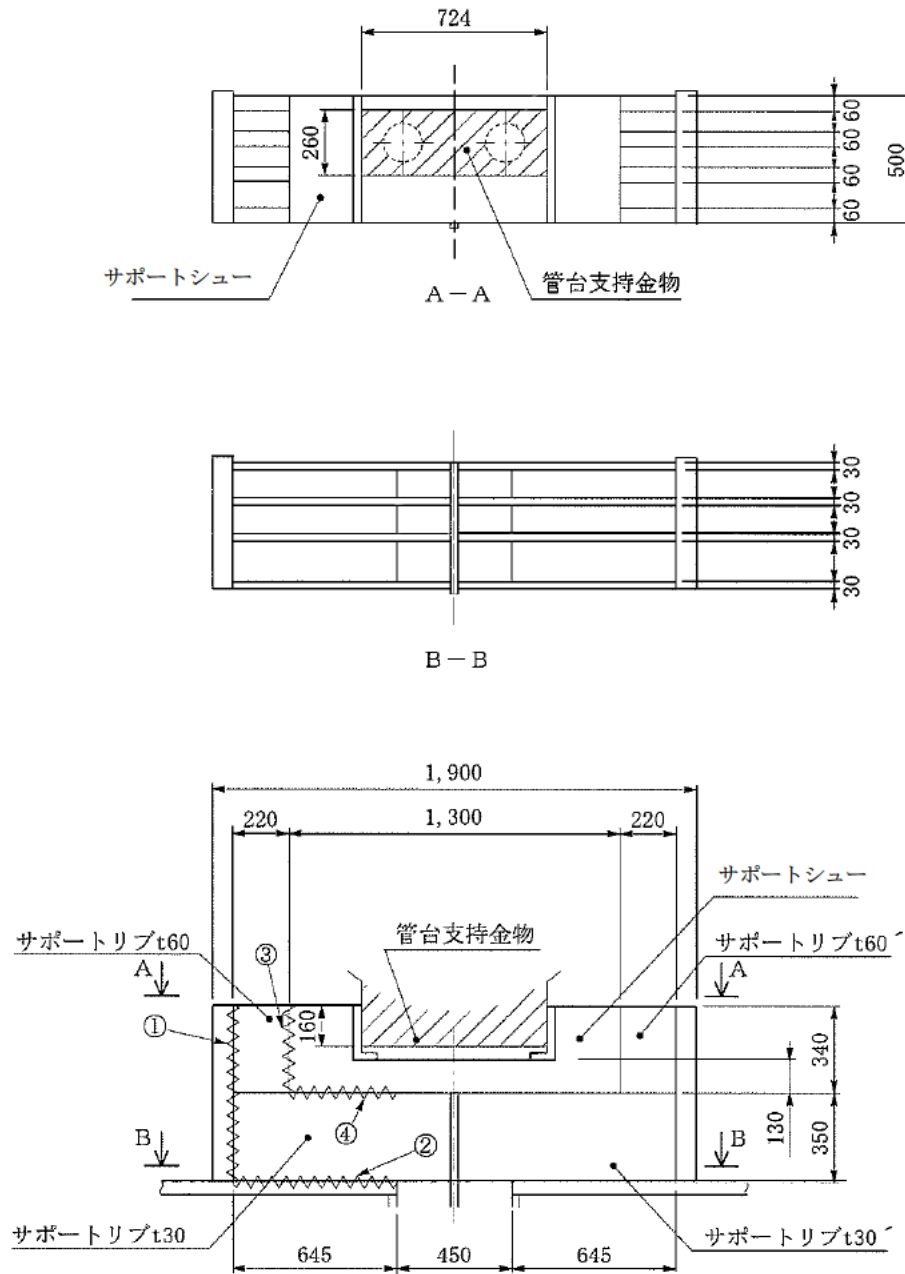
(注1) 鉛直方向荷重において負符号（-）は、鉛直下向きを示す。

(注2) Nの最大荷重は、自重と熱膨張荷重と地震荷重を加算したものである。

2. 応力の算出

2.1 原子炉容器支持構造物の応力計算

原子炉容器支持構造物の構造および評価箇所を図9-1-2に示す。評価対象とするサポートリブの①および②部におけるせん断応力を算出する。



(単位：mm)

図 9-1-2 原子炉容器支持構造物の構造および評価箇所

(1) サポートシューに作用する荷重

サポートシューには図9-1-3に示すとおり荷重が作用する。

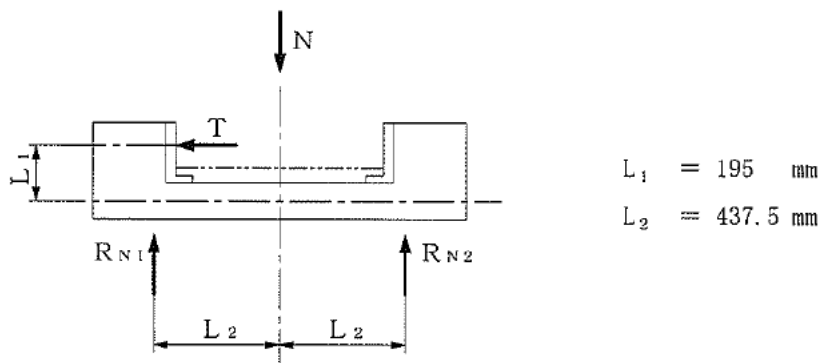


図9-1-3 サポートシューに作用する荷重

図9-1-3よりサポートリブからの反力 R_{N1} 、 R_{N2} を次式より求める。

$$R_{N1} + R_{N2} = N$$

$$R_{N1} \cdot L_2 = T \cdot L_1 + R_{N2} \cdot L_2$$

なお、 N 、 T については表9-1-1に、 L_1 、 L_2 については表9-1-2に示す。

(2) サポートリブに作用する荷重

原子炉容器支持構造物を図9-1-4のようにモデル化し、サポートリブに作用する荷重を求める。

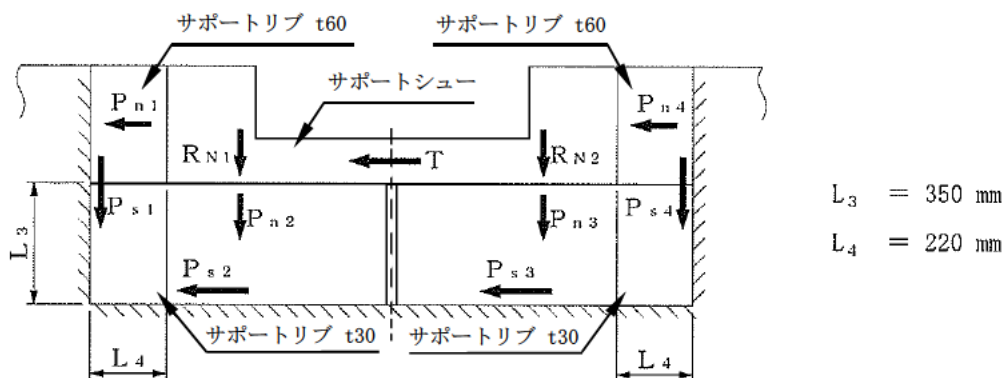


図9-1-4 サポートリブに作用する荷重

P_{n1} 、 P_{n2} 、 P_{n3} 、 P_{n4} 、 P_{s1} 、 P_{s2} 、 P_{s3} 、 P_{s4} 、はサポートシューより受ける荷重である。

ここでは、条件の厳しい $t 60$ 、 $t 30$ のサポートリブについて評価するが、サポートシューは剛体であり、サポートリブとは溶接による一体構造であることから、次式が成立する。

$$P_{n1} + P_{s2} = \frac{T}{2} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (\text{i})$$

$$P_{s1} + P_{n2} = R_{N1} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (\text{ii})$$

サポートリブ (①部) のせん断による変位

$$D_{s1} = \frac{1}{G} \times \frac{P_{s1}}{A_{s1}} \times L_4$$

サポートリブ (②部) のせん断による変位

$$D_{s2} = \frac{1}{G} \times \frac{P_{s2}}{A_{s2}} \times L_3$$

サポートリブ (③部) の圧縮による変位

$$D_{c3} = \frac{1}{E} \times \frac{P_{n1}}{A_{c3}} \times L_4$$

サポートリブ (④部) の圧縮による変位

$$D_{c4} = \frac{1}{E} \times \frac{P_{n2}}{A_{c4}} \times L_3$$

圧縮による変位とせん断による変位の連続条件から

$$\frac{1}{E} \times \frac{P_{n1}}{A_{c3}} \times L_4 = \frac{1}{G} \times \frac{P_{s2}}{A_{s2}} \times L_3 \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (\text{iii})$$

$$\frac{1}{E} \times \frac{P_{n2}}{A_{c4}} \times L_3 = \frac{1}{G} \times \frac{P_{s1}}{A_{s1}} \times L_4 \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (\text{iv})$$

(i)、(ii)、(iii) および (iv) 式より P_{s1} および P_{s2} は次式より求められる。

$$P_{n1} = \frac{\frac{T}{2}}{1 + \frac{L_4}{E \times A_{c3}} \times \frac{G \times A_{s2}}{L_3}}$$

$$P_{n2} = \frac{R_{N1}}{1 + \frac{L_3}{E \times A_{c4}} \times \frac{G \times A_{s1}}{L_4}}$$

$$P_{s1} = \frac{L_3}{E \times A_{c4}} \times \frac{G \times A_{s1}}{L_4} \times P_{n2}$$

$$P_{s2} = \frac{L_4}{E \times A_{c3}} \times \frac{G \times A_{s2}}{L_3} \times P_{n1}$$

ここで、

P_{s1} : サポートリブ (①部) に作用するせん断荷重 (kN)

P_{s2} : サポートリブ (②部) に作用するせん断荷重 (kN)

P_{n1} : サポートリブ (③部) に作用する圧縮荷重 (kN)

P_{n2} : サポートリブ (④部) に作用する圧縮荷重 (kN)

A_{s1} : 荷重 P_{s1} を受けるサポートリブ (①部) のせん断に対する断面積 (mm^2)

A_{s2} : 荷重 P_{s2} を受けるサポートリブ (②部) のせん断に対する断面積 (mm^2)

A_{c3} : 荷重 P_{n1} を受けるサポートリブ (③部) の圧縮に対する断面積 (mm^2)

A_{c4} : 荷重 P_{n2} を受けるサポートリブ (④部) の圧縮に対する断面積 (mm^2)

なお、 T については表9-1-1に、 E 、 G 、 L_3 、 L_4 、 A_{s1} 、 A_{s2} 、 A_{c3} 、 A_{c4} については表9-1-2に示す。

2.2 原子炉容器支持構造物各部の応力計算方法

2.1項で求めた荷重より、サポートリブに発生する応力を算出する。

(1) サポートリブ

a. せん断応力 (①部)

$$\tau_1 = \frac{P_{s1}}{A_{s1}}$$

b. せん断応力 (②部)

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

3. 応力の計算結果

3.1 計算条件

原子炉容器支持構造物の応力計算条件を表9-1-2に示す。

表9-1-2 原子炉容器支持構造物の応力計算条件

名 称	記号	単位	数値
荷重作用点までの距離	L_1	mm	195.00
荷重作用点までの距離	L_2	mm	437.5
部材の長さ	L_3	mm	350
部材の長さ	L_4	mm	220
サポートリブ（①部）のせん断に対する断面積	A_{s1}	mm ²	123,000
サポートリブ（②部）のせん断に対する断面積	A_{s2}	mm ²	77,400
サポートリブ（③部）の圧縮に対する断面積	A_{c3}	mm ²	81,600
サポートリブ（④部）の圧縮に対する断面積	A_{c4}	mm ²	51,000
サポートリブの縦弾性係数 ^(注1)	E	MPa	196,000
サポートリブの横弾性係数 ^(注2)	G	MPa	75,500
サポートリブの材質	—	—	SM50B

(注1) サポートリブの最高使用温度におけるJSME S NC1付録材料図表part6に規定する縦弾性係数。

(注2) サポートリブの最高使用温度におけるJSME S NC1付録材料図表part6に規定する縦弾性係数から求めた横弾性係数。

3.2 計算結果

2. 項で示した計算方法により求めた原子炉容器支持構造物の応力計算結果を、表9-1-3に示す。せん断応力が最も大きいS_s地震時のサポートリブ（①部）のせん断応力（ $\sigma = \tau_1 = 20\text{MPa}$ ）を評価に使用する。

表9-1-3 原子炉容器支持構造物の応力計算結果

(単位：MPa)

部材名	記号	地震時
		せん断
サポートリブ（①部）	τ_1	20
サポートリブ（②部）	τ_2	7

以 上

想定欠陥について

本評価では、評価対象であるサポートリブを、想定欠陥を含め図 9-2-1 のとおりモデル化し、せん断応力の生じる図 9-2-2 中①および②の位置を評価対象とした。想定欠陥のモデル図を図 9-2-1 に、評価対象箇所を図 9-2-2 にそれぞれ示す。

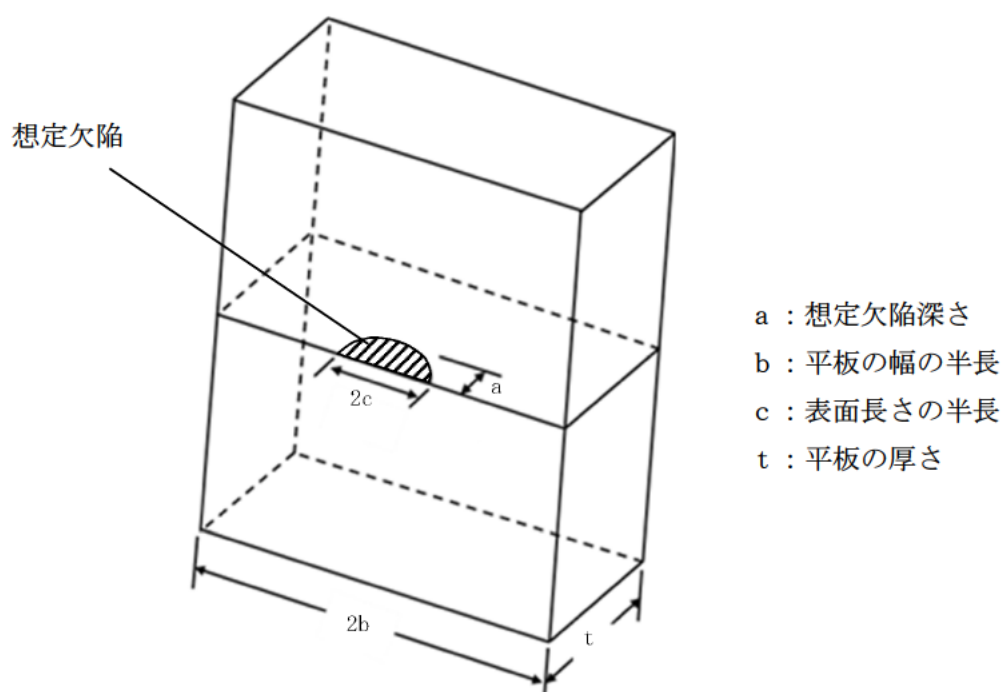


図 9-2-1 想定欠陥のモデル図

■ 評価対象

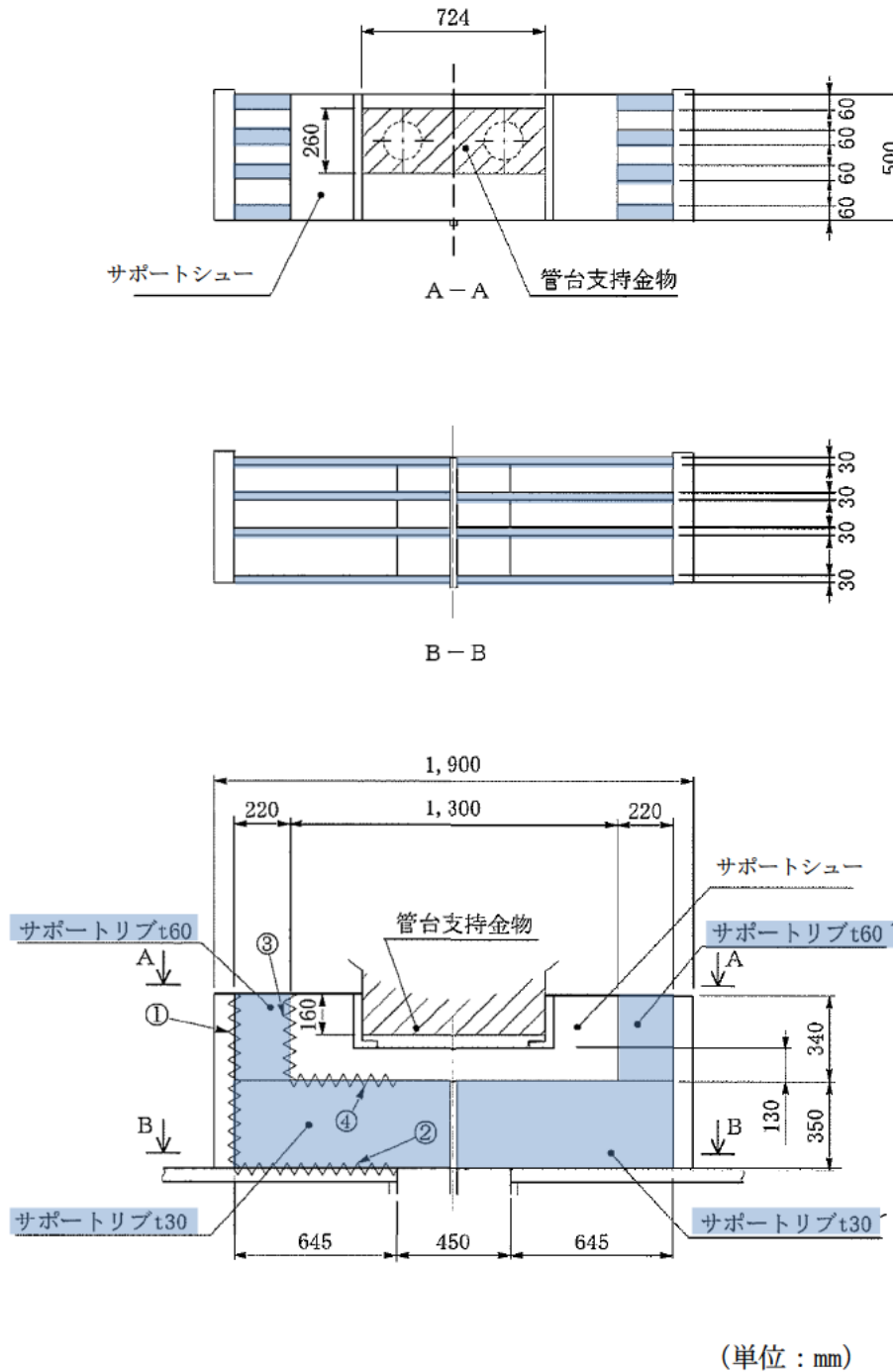


図 9-2-2 評価対象箇所

K_{IR}の算出根拠・過程について

K_{IR}については、図9-3-1に示すフローに基づき算出する。

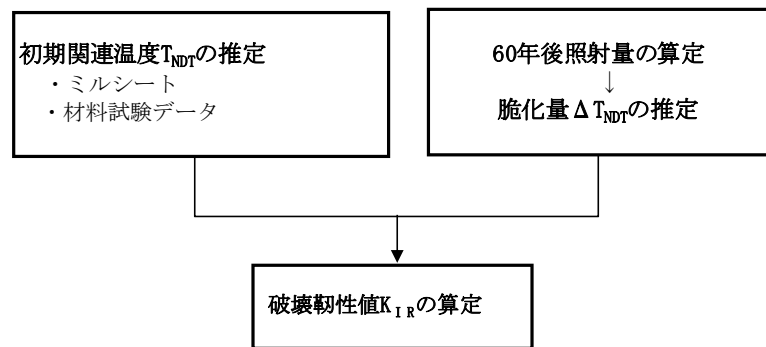


図9-3-1 K_{IR}の算定フロー

詳細については、以下のとおりである。

1. 吸収エネルギー曲線

国内PWRプラントの建設時のミルシートを基に、製作した供試材を用いた、引張試験、落重試験、シャルピー衝撃試験、破壊靱性試験結果から求めた吸収エネルギー遷移曲線を図9-3-2に示す。

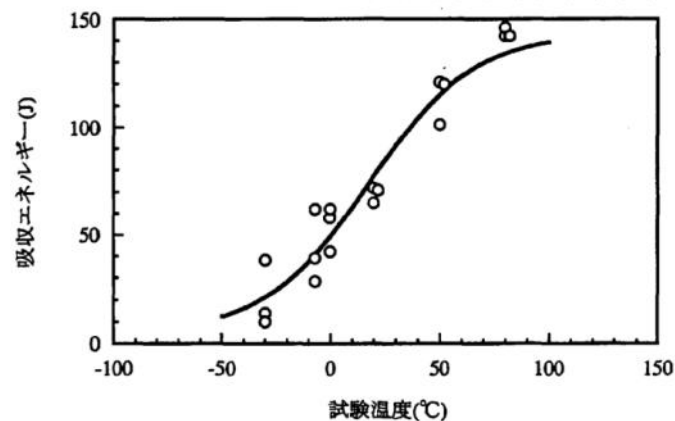


図9-3-2 リブ材(SM50B鋼)の吸収エネルギー遷移曲線

[出典：電力共同研究「原子炉容器支持構造物の照射脆化に関する研究」1999年度]

2. 初期関連温度 (T_{NDT}) の推定

図9-3-2の曲線 (以下、遷移曲線A) と、国内外データ・文献データ等の吸収エネルギー遷移曲線 (以下、遷移曲線B) を使い、「JSME 設計・建設規格 付録材料図表 Part5表3」および「JEAC4206 原子力発電所用機器に対する破壊靱性の確認試験方法」から求めた吸収エネルギー値 (リブ材: 41J) を満足するよう初期関連温度 (T_{NDT}) を算出する。算出にあたっては、ミルシートに記載される温度 T_i における吸収エネルギーと、 $C_V (T_i) A$ および $C_V (T_i) B$ と推定 $T_{NDT} A$ および推定 $T_{NDT} B$ との関係プロットし、初期関連温度 (T_{NDT}) を推定する。

【評価結果】 $-58^{\circ}C$

初期関連温度 (T_{NDT}) の推定の流れを、図9-3-3に示す。

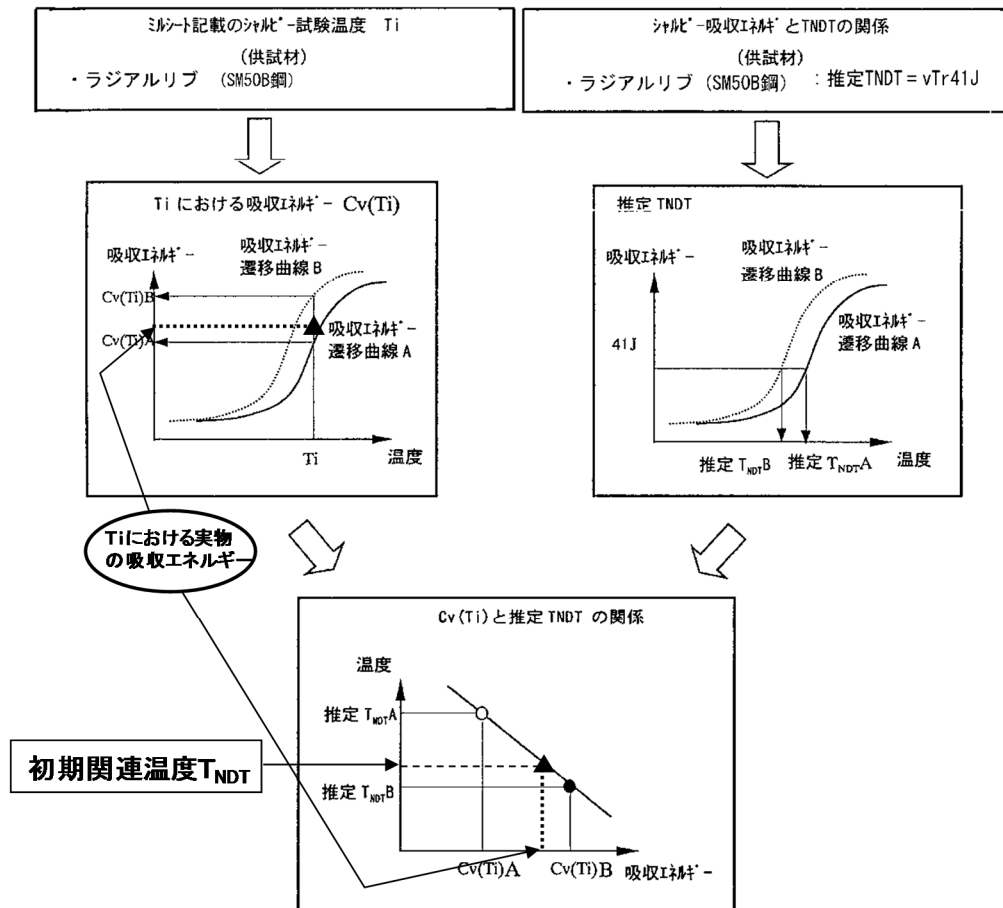


図9-3-3 シャルピー吸収エネルギー $C_V (T_i)$ と推定 T_{NDT} の関係

3. 中性子照射量の算定および脆化量 ΔT_{NDT} の推定

中性子照射量については、米国オークリッジ国立研究所で開発改良された「二次元輸送解析コード“DORT”」を用いて算定する。

【評価結果】 0.0028 dpa

この値を基に図9-3-4に示す、NUREG-1509「ORNLのHFIR炉のサーベイランスデータおよび米国 SHIPPINGPORT (Shippingport) 炉の材料試験データ等の上限を包絡する曲線」を基にした脆化予測曲線を用いてラジアルリブの脆化度(脆化量推定量(ΔT_{NDT}))を推定する。

【評価結果】 T_{NDT} : 27.0°C ΔT_{NDT} : 85.0°C

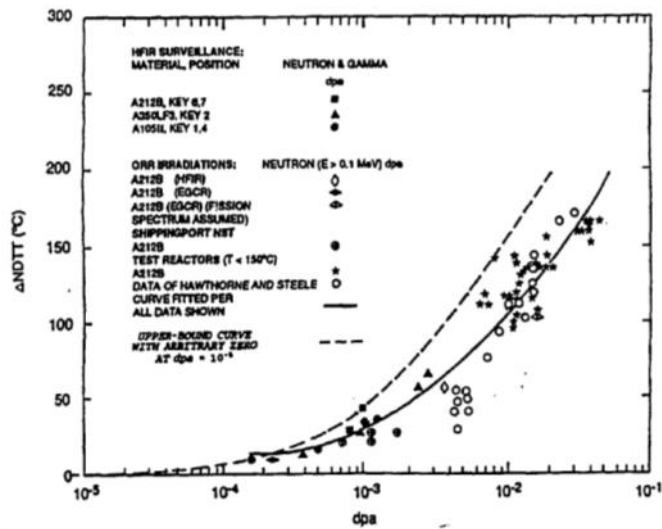


図9-3-4 R Vサポートの脆化予測曲線

[出典: NUREG-1509 “Radiation Effects on Reactor Pressure Vessel Supports” R. E. Johnson, R. E. Lipinski NRC 1996 P14]

4. 破壊靱性値 K_{IR} の推定

電力共同研究実施当時のASME Section III Appendix Gに記載されている下式により算出する。

$$K_{IR} = 29.43 + 1.344 \exp(0.0261(T - T_{NDT} + 88.9)) \quad ※1$$

K_{IR} ：破壊靱性値 (MPa \sqrt{m})

T：最低使用温度 (21℃)

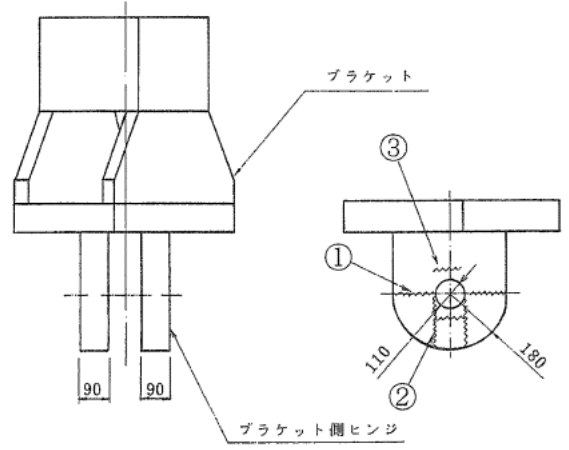
T_{NDT} ：関連温度 (℃) (初期 T_{NDT} 推定値＋脆化量推定値 (ΔT_{NDT}))

【評価結果】 K_{IR} ：41.1MPa \sqrt{m}

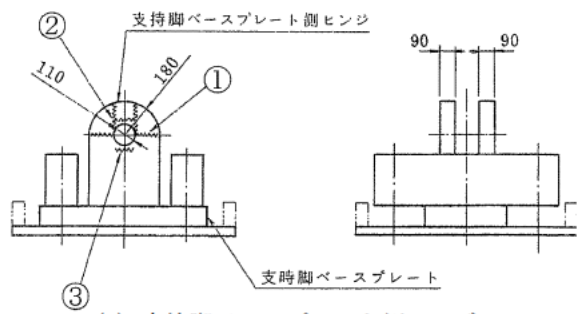
※1 K_{IR} はASME2007年版改正時に K_{IC} ($=36.5+22.783\exp(0.036(T-T_{NDT}))$)へ変更されているが、 $K_{IR} < K_{IC}$ となり K_{IR} の方が保守的であることを確認している。

以 上

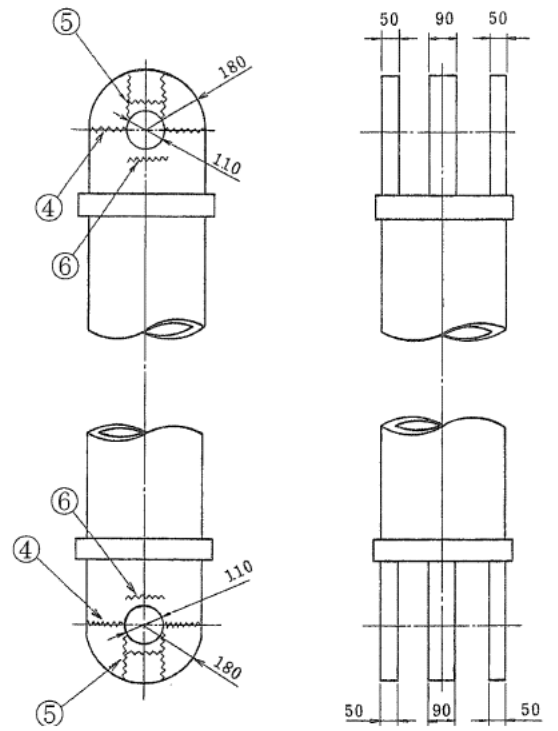
<p>タイトル</p>	<p>蒸気発生器支持脚（ヒンジ摺動部）の摩耗に対する耐震安全性評価について</p>
<p>説明</p>	<p>蒸気発生器支持脚のヒンジ摺動部の摩耗に対する評価の具体的内容について以下に示す。</p> <p>1. 評価仕様 蒸気発生器支持脚ヒンジの摩耗深さは 0.04mm とする。 （摩耗深さの算定根拠は添付－1 を参照）</p> <p>2. 評価モデル 蒸気発生器支持脚の概略図を図 10-1 に、評価象箇所を図 10-2 にそれぞれ示す。</p> <div data-bbox="574 840 1165 1400" data-label="Diagram"> </div> <div data-bbox="518 1467 1220 1915" data-label="Diagram"> </div> <p>図 10-1 蒸気発生器支持脚概略図</p>



(a) ブラケット側ヒンジ



(b) 支持脚ベースプレート側ヒンジ



(c) サポートパイプ側ヒンジ

(単位: mm)

図 10-2 評価対象箇所

3. 入力（荷重）条件

蒸気発生器支持脚に作用する一次応力および一次＋二次応力評価用荷重を以下に示す。

(1) 一次応力評価用荷重

引張荷重 N=2,934 (kN)

圧縮荷重 N=5,305 (kN)

(2) 一次＋二次応力評価用荷重

引張荷重 N=4,063 (kN)

圧縮荷重 N=5,958 (kN)

4. 許容応力

各部材の許容応力を表 10-1 に示す。

表 10-1 各部材の許容応力

機器	部位	材料	温度 (°C)	許容応力 (MPa)		
				$1.5f_t^*$	$1.5f_s^*$	$1.5f_p^*$
蒸気 発生器	ブラケット側 ヒンジ	SM490B	90	312	180	426
	支持脚 ベースプレート側 ヒンジ		50	336	193	457
	サポートパイプ側 ヒンジ		70	322	186	439

f_t^* 、 f_s^* 、 f_p^* は、供用状態IV_AS に対する許容応力算定に用いる引張、せん断、
支圧応力

5. 評価部面積

評価部面積を以下に示す。番号については図 10-2 を参照のこと。

①部 断面積

$$A_{t1} = \{180 \times 2 - (110 + 0.04 \times 2)\} \times 90 \times 2$$

$$= 44,900 \text{ (mm}^2\text{)}$$

②部 せん断に対する断面積

$$A_{s2} = \sqrt{180^2 - \left\{ \frac{(110 + 0.04 \times 2)}{2} \right\}^2} \times 2 \times 90 \times 2$$

$$= 61,600 \text{ (mm}^2\text{)}$$

③部 支圧面積

$$A_{p3} = 110 \times 90 \times 2 = 19,800 \text{ (mm}^2\text{)}$$

④部 断面積

$$\begin{aligned} A_{t4} &= \{180 \times 2 - (110 + 0.04 \times 2)\} \times (90 + 50 \times 2) \\ &= 47,400 \text{ (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

⑤部 せん断に対する断面積

$$\begin{aligned} A_{s5} &= \sqrt{180^2 - \left\{ \frac{(110 + 0.04 \times 2)}{2} \right\}^2} \times 2 \times (90 + 50 \times 2) \\ &= 65,100 \text{ (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

⑥部 支圧面積

$$A_{p6} = 110 \times (90 + 50 \times 2) = 20,900 \text{ (mm}^2\text{)}$$

6. 発生応力および応力比の算出

①部 引張応力

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

一次応力評価用荷重 $N=2,934$ (kN) より

$$\sigma_{t1} = 66 \text{ (MPa)}$$

よって応力比は $66/312=0.21$

②部 せん断応力

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

一次応力評価用荷重 $N=2,934$ (kN) より

$$\tau_2 = 48 \text{ (MPa)}$$

よって応力比は $48/180=0.27$

③部 支圧応力

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

一次応力評価用荷重 $N=5,305$ (kN) より

$$\sigma_{p3} = 268 \text{ (MPa)}$$

よって応力比は $268/426=0.63$

また、一次+二次応力評価用荷重 $N=5,958$ (kN) より

$$\sigma_{p3} = 301 \text{ (MPa)}$$

よって応力比は $301/426=0.71$

④部 引張応力

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

一次応力評価用荷重 $N=2,934$ (kN) より

$$\sigma_{t4} = 62 \text{ (MPa)}$$

よって応力比は $62/322=0.19$

⑤部 せん断応力

$$\tau_5 = \frac{N}{A_{s5}}$$

一次応力評価用荷重 $N=2,934$ (kN) より

$$\tau_5 = 46 \text{ (MPa)}$$

よって応力比は $46/186=0.25$

⑥部 支圧応力

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

一次応力評価用荷重 $N=5,305$ (kN) より

$$\sigma_{p6} = 254 \text{ (MPa)}$$

よって応力比は $254/439=0.58$

また、一次+二次応力評価用荷重 $N=5,958$ (kN) より

$$\sigma_{p6} = 286 \text{ (MPa)}$$

よって応力比は $286/439=0.65$

7. 評価結果

最大の応力比を示した部位（一次応力は②部、一次＋二次応力は③部）の評価結果を表 10-2 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 10-2 評価結果

評価対象	耐震重要度	許容応力状態	地震動	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	IV _s S	S _s	48	301	180	426	0.27	0.71

*1：応力比＝発生応力/許容応力

*2：③および⑥部（支圧応力）は摩耗による影響がないため、一次応力による評価は③部および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。

*3：一次＋二次応力による評価は③および⑥部（支圧部）のみであるため摩耗による影響はないが、応力比が最も厳しい③部を代表としている。

8. 水平 2 方向評価

水平 2 方向評価に用いる一次応力および一次＋二次応力評価用荷重を以下に示す。各評価用荷重は、「X 方向の発生荷重」と「Y 方向の発生荷重」と「Z 方向の発生荷重」を SRSS して算出している。

(1) 一次応力評価用荷重

引張荷重 N=2,988 (kN)

圧縮荷重 N=5,349 (kN)

(2) 一次＋二次応力評価用荷重

引張荷重 N=4,128 (kN)

圧縮荷重 N=6,021 (kN)

水平 2 方向を考慮後の評価結果を表 10-3 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 10-3 水平 2 方向を考慮した評価結果

評価対象	耐震 重要度	許容 応力 状態	地震動	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	IV _A S	S _s	49	305	180	426	0.27	0.72

*1：応力比＝発生応力/許容応力

*2：③および⑥部（支圧応力）は摩耗による影響がないため、一次応力による評価は③部および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。

*3：一次+二次応力による評価は③および⑥部（支圧部）のみであるため摩耗による影響はないが、応力比が最も厳しい③部を代表としている。

9. 工事計画認可申請における評価との比較について

工事計画認可申請における水平 2 方向を考慮した評価結果として、蒸気発生器支持脚の支圧応力（一次+二次応力）の発生応力および許容値の記載があるので表 10-4 で比較する。

表 10-4 蒸気発生器支持脚の支圧応力（一次+二次応力）の評価結果の比較

耐震 重要度	許容 応力 状態	地震動	水平方向 の考慮	発生応力 (MPa)		許容応力 (MPa)	
				高経年化 技術評価	工事計画 認可	高経年化 技術評価	工事計画 認可
S	IV _A S	S _s	1 方向	301	301	426	387
			2 方向	305	385	426	387

(1) 発生応力（水平 2 方向考慮）の高経年化技術評価と工事計画認可の差について

工事計画認可では、水平 2 方向を考慮した評価に用いる荷重を、保守的に「X 方向+Z 方向の発生荷重」と「Y 方向+Z 方向の発生荷重」を SRSS して算出しているが、高経年化技術評価では「X 方向の発生荷重」と「Y 方向の発生荷重」と「Z 方向の発生荷重」を SRSS して算出しているため発生応力が異なる。

(2) 許容応力の高経年化技術評価と工事計画認可の差について

工事計画認可では、SA 状態の温度 185℃を考慮して算出しているが、高経年化技術評価では、通常温度 90℃で算出しているため許容応力が異なる。

なお、SA 状態の温度を考慮した場合の、ヒンジ摺動部の摩耗に対する影響評価結果を、表 10-5（水平 1 方向考慮）および、表 10-6（水平 2 方向考慮）に示す。

表 10-5 SA 状態温度を考慮した場合のヒンジ摺動部の摩耗に対する影響評価結果
(水平 1 方向考慮)

評価対象	耐震 重要 度	許容 応力 状態	地震動	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	IV _A S	S _s	48	301	163 (180)	387 (426)	0.29 (0.27)	0.78 (0.71)
1次冷却材 ポンプ支持脚	S	IV _A S	S _s	8	90	168 (186)	396 (439)	0.05 (0.04)	0.23 (0.21)

()内数値：高経年化技術評価

*1：応力比＝発生応力/許容応力

*2：③および⑥部（支圧応力）は摩耗による影響がないため、一次応力による評価は③部および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。

*3：一次+二次応力による評価は③および⑥部（支圧部）のみであるため摩耗による影響はないが、応力比が最も厳しい③部を代表としている。

表 10-6 SA 状態温度を考慮した場合のヒンジ摺動部の摩耗に対する影響評価結果
(水平 2 方向考慮)

評価対象	耐震 重要 度	許容 応力 状態	地震動	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	IV _A S	S _s	49	305	163 (180)	387 (426)	0.30 (0.27)	0.79 (0.72)

()内数値：高経年化技術評価

*1：応力比＝発生応力/許容応力

*2：③および⑥部（支圧応力）は摩耗による影響がないため、一次応力による評価は③部および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。

*3：一次+二次応力による評価は③および⑥部（支圧部）のみであるため摩耗による影響はないが、応力比が最も厳しい③部を代表としている。

以 上

蒸気発生器支持脚（ヒンジ摺動部）の摩耗深さの算定根拠

蒸気発生器の自重を支えている支持脚のヒンジ摺動部について、運転開始後 60 年時点における推定摩耗量を評価した。

摩耗量については、現在定量的に評価する理論が確立されていないが、ここではホルム（Holm）の理論式（機械工学便覧（日本機械学会編））により、概略の摩耗量の推定を行った。

ホルムの式： $W=K \cdot S \cdot P / P_m$

W：摩耗量(m³)

K：摩耗係数(－) (7×10^{-3})

S：すべり距離(m)

P：荷重(N)

P_m：硬さ(N/m²) ($18.6 \times 10^7 \times g$ (N/m²))

g：重力加速度(m/s²) (9.80665 (m/s²))

また、摩耗深さ： $H=W/A$

H：摩耗深さ(m)

A：接触面積(m²)

なお、評価にあたっては、通常運転時における評価対象サポートに加わる荷重（約 $200 \times g$ kN）を算出した。

すべり距離（約 0.30m）については計算により求めた熱移動量を基に運転状態 I および運転状態 II の過渡条件とその回数から算出した。

摩耗係数および硬さについては J. F. Archard & W. Hirst, Proc. Roy. Soc., 236, A, (1956), 397 より使用温度での硬さの変化を考慮しても安全側の評価となるよう、実機より柔らかい材料である軟鋼－軟鋼のデータを引用した。

上記式より、運転開始後 60 年時点の推定摩耗量と、蒸気発生器支持脚の接触面積から、運転開始後 60 年時点の推定摩耗深さを求める。表 10-1-1 に各数値を示す。

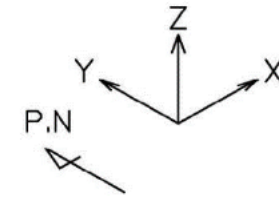
表 10-1-1 評価対象部位の各数値





部位	推定摩耗量 W ($\times 10^{-6}$ (m ³))	接触面積 A ($\times 10^{-4}$ (m ²))	運転開始後 60 年時点の 推定摩耗深さ H ($\times 10^{-3}$ (m))
蒸気発生器支持脚 (ヒンジ摺動部)	2.3	639	0.04


タイトル	主蒸気系統配管他の内面からの腐食（流れ加速型腐食）に対する耐震安全性評価について										
説明	<p>1. 評価対象ラインの抽出について</p> <p>大飯4号炉の高経年化技術評価における「母管の内面からの腐食(流れ加速型腐食)」に対する耐震安全性評価は、日本機械学会「加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格(JSME S NG1-2006)」(以下「技術規格」という。)等を反映した社内規程「2次系配管肉厚の管理指針」を基に、評価対象ラインを選定し、耐震安全性評価を実施している。</p> <p>なお、耐震重要度が高く、配管の腐食（流れ加速型腐食）による配管減肉を考慮した耐震安全性評価の結果、発生応力と許容応力の比が最大となる主蒸気系統の炭素鋼配管を代表とし、以下に評価の詳細を示す。また、主蒸気系統以外の系統の配管（主給水系統、ポンプタービン駆動蒸気系統、第3抽気系統、第4抽気系統、第5抽気系統、低温再熱蒸気系統、復水系統、ドレン系統、グラウンド蒸気系統、補助蒸気系統、蒸気発生器ブローダウン系統）の評価を添付-3、4、5に示す。</p> <p>代表とした主蒸気系統配管で実施している、水平2方向と鉛直方向の組合せによる影響評価（Ss地震）の内容を添付-6に示す。</p> <p>2. 評価仕様</p> <p>主蒸気系統配管の評価仕様を表11-1に示す。</p> <p style="text-align: center;">表11-1 評価仕様</p> <table border="1" data-bbox="448 1518 1329 1664"> <thead> <tr> <th>評価対象配管</th> <th>ライン数</th> <th>種別</th> <th>技術規格との対応※</th> <th>減肉条件</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>主蒸気系統配管</td> <td>9</td> <td>FAC</td> <td>なし (知見拡充箇所)</td> <td>必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)</td> </tr> </tbody> </table> <p>※（ ）内の記載は社内規程「2次系配管肉厚の管理指針」に基づく管理区分を示す。</p>	評価対象配管	ライン数	種別	技術規格との対応※	減肉条件	主蒸気系統配管	9	FAC	なし (知見拡充箇所)	必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)
評価対象配管	ライン数	種別	技術規格との対応※	減肉条件							
主蒸気系統配管	9	FAC	なし (知見拡充箇所)	必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)							

	<p>3. 解析モデル</p> <p>(1) 解析手法 はりモデル解析</p> <p>(2) 解析モデル図 評価対象ラインのうち、高経年化技術評価書に代表で記載した応力比の厳しい箇所を含む範囲の解析モデル図を添付－1に示す。</p> <p>4. 評価結果 評価結果を添付－2に示す。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>
--	---

注： (太線部) は減肉範囲を示す。

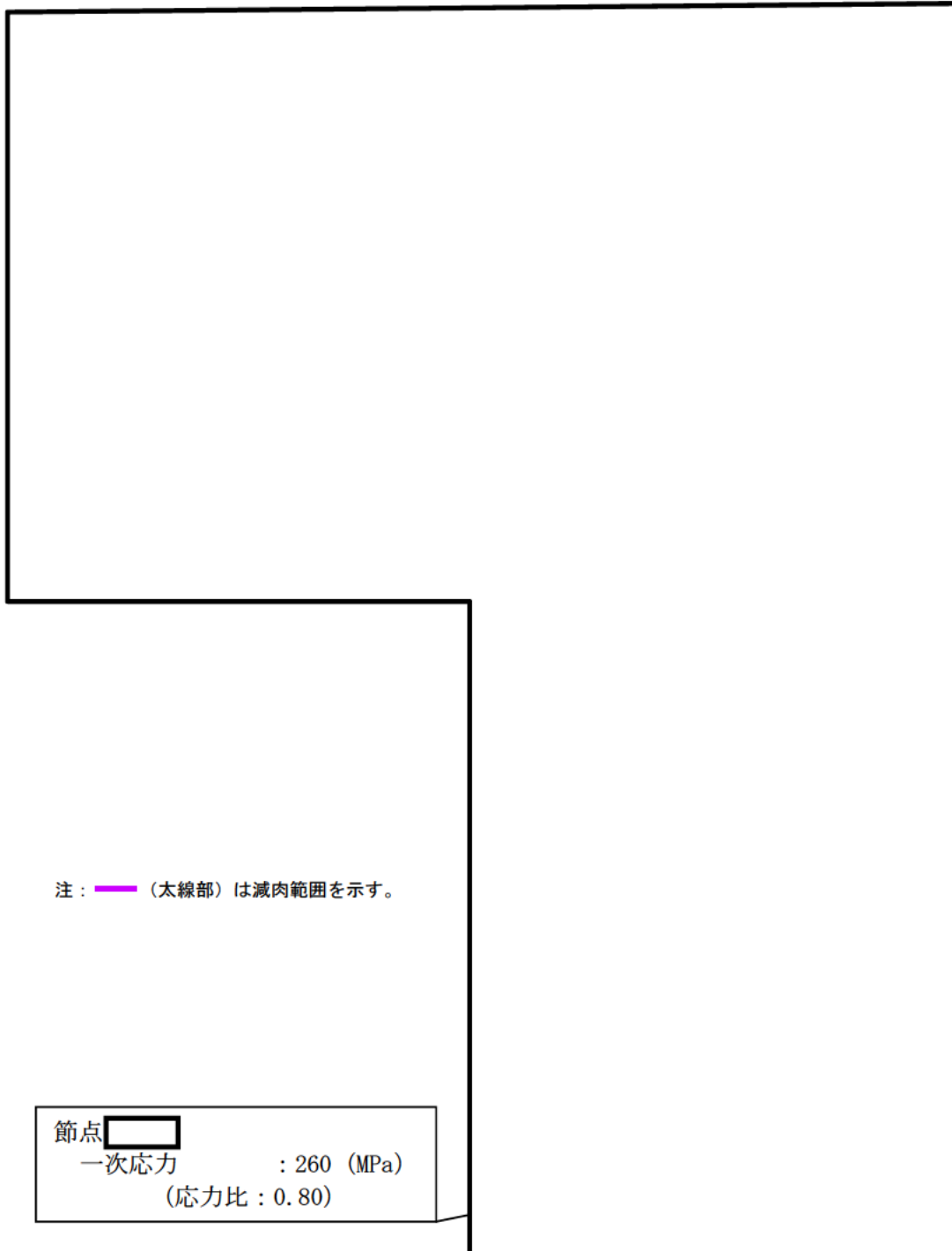


-  Anchor
-  Guide
-  Rigid
-  Snubber
-  Spring

節点 
一次+二次応力 : 526
(MPa)
(応力比 : 1.58)
疲労累積係数 : 0.104

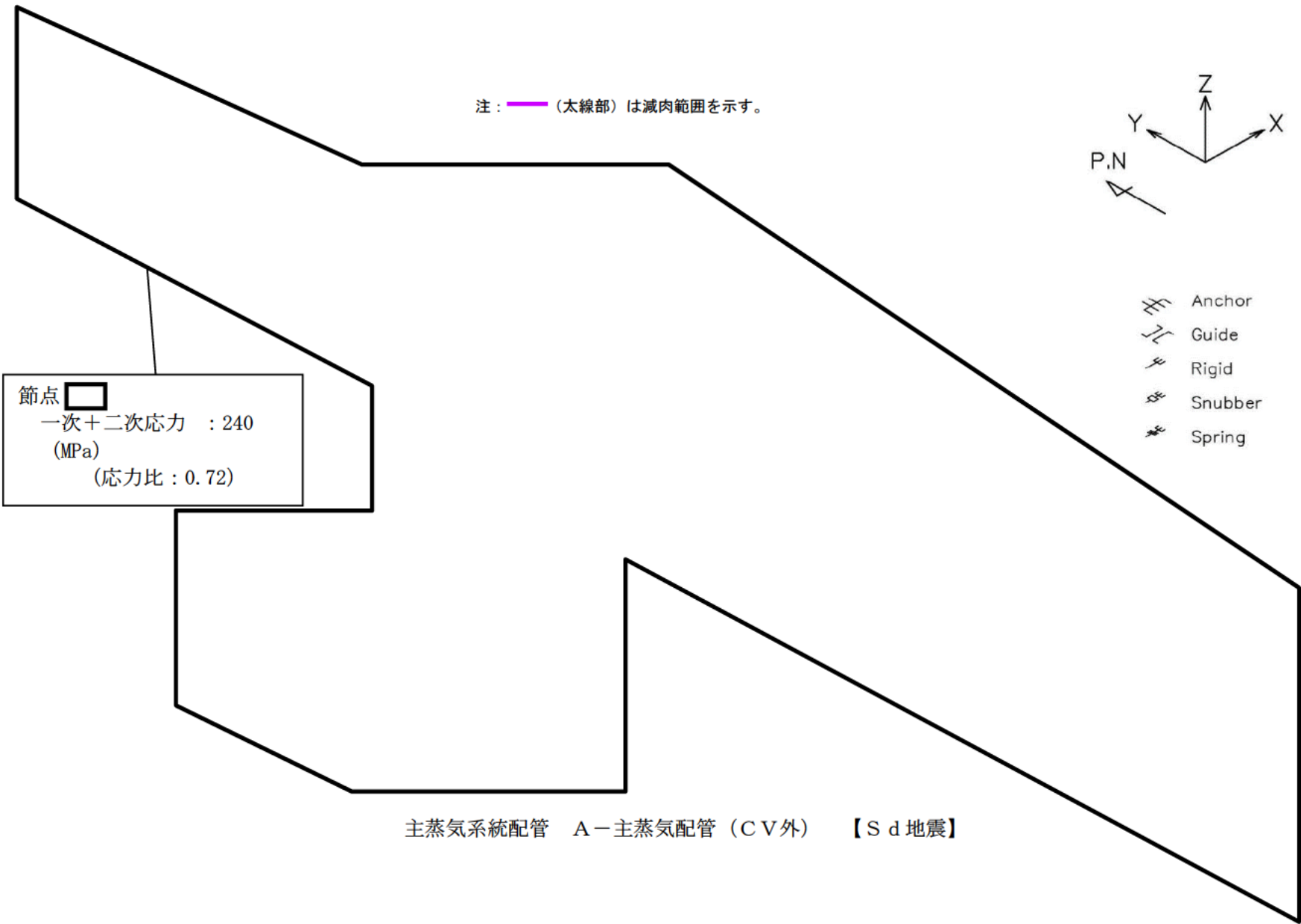
-11-3-

主蒸気系統配管 A-主蒸気配管 (CV外) 【S s 地震】

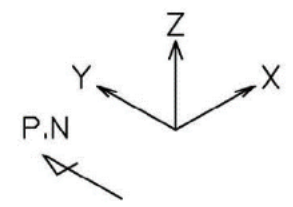




主蒸気系統配管 C-主蒸気配管 (CV内) 【S s 地震】

-11-5-



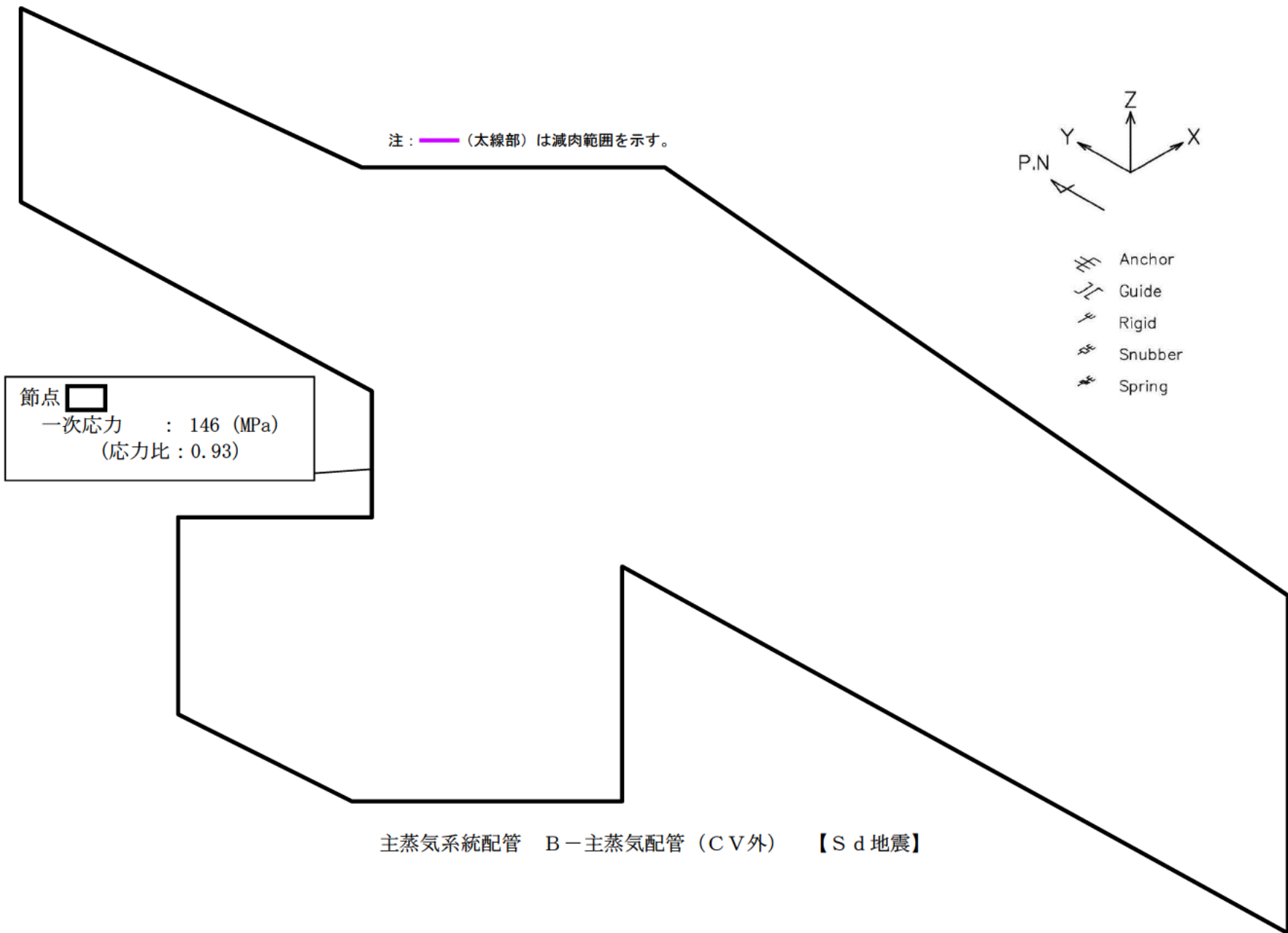
注：(太線部)は減肉範囲を示す。



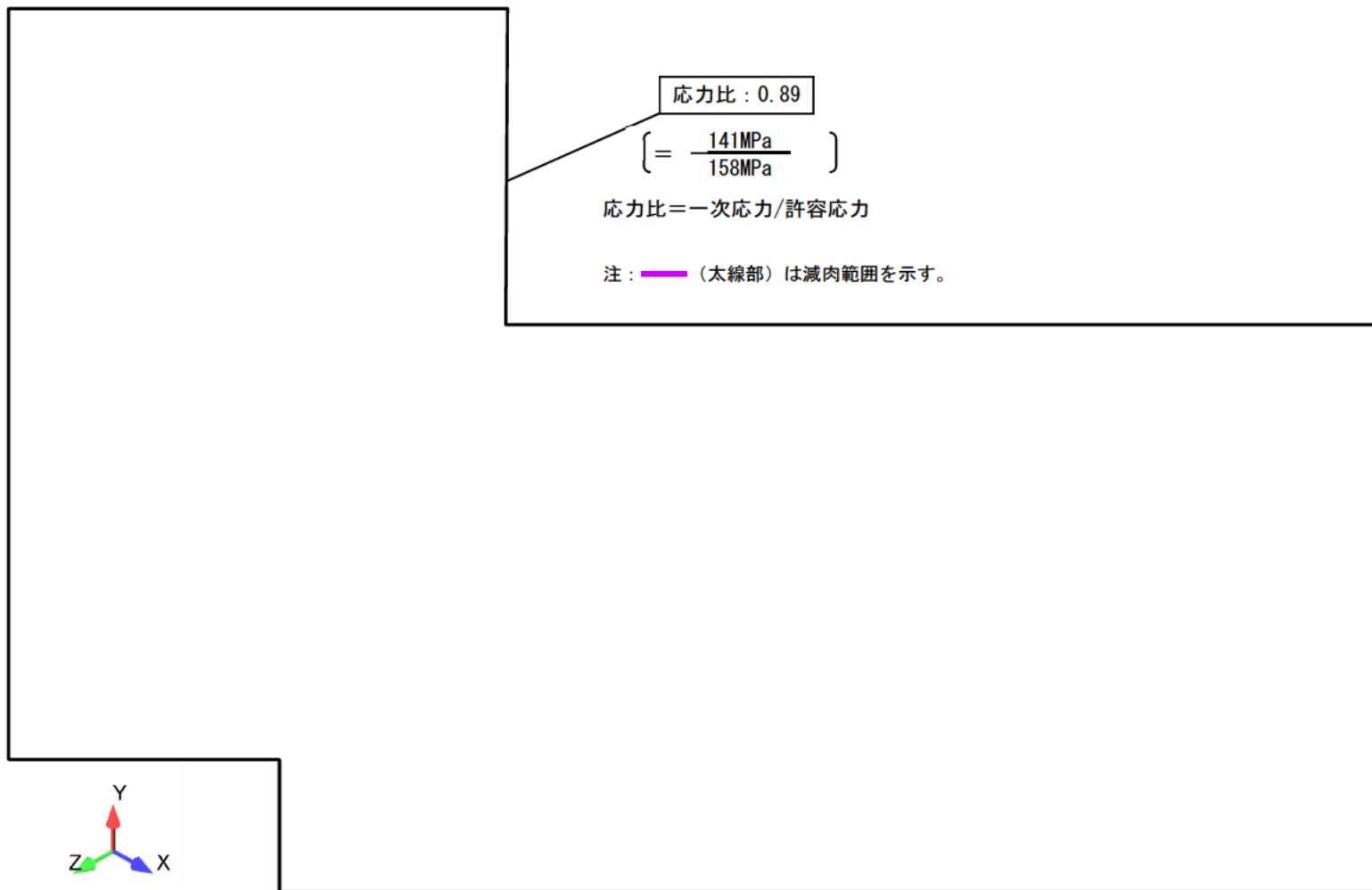
-  Anchor
-  Guide
-  Rigid
-  Snubber
-  Spring

節点 □
一次+二次応力 : 240
(MPa)
(応力比 : 0.72)

主蒸気系統配管 A-主蒸気配管 (CV外) 【S d 地震】



主蒸気系統配管 B-主蒸気配管 (CV外) 【S d地震】



主蒸気系統配管 (Cクラス) タービン動主給水ポンプ低圧駆動蒸気管

大飯4号炉 主蒸気系統配管の内面からの腐食（流れ加速型腐食）に対する
耐震安全性評価結果一覧

系統分類	配管名称	耐震 重要度		応力種別	全箇所必要最小肉厚条件モデル		
					はりモデル評価		
					発生応力/ 許容応力 ^{※1}	応力比	評価
主蒸気系統	A-主蒸気配管 (CV内)	S	Ss	一次	239/323	0.74	○
				一次+二次	330/333	0.99	○
		Sd	一次	150/166	0.90	○	
			一次+二次	154/333	0.46	○	
	B-主蒸気配管 (CV内)	S	Ss	一次	260/323	0.80	○
				一次+二次	378/333	1.14	×
				疲労累積係数:0.021		○	
		Sd	一次	146/166	0.88	○	
	一次+二次		150/333	0.45	○		
	C-主蒸気配管 (CV内)	S	Ss	一次	260/323	0.80	○
				一次+二次	378/333	1.14	×
				疲労累積係数:0.021		○	
		Sd	一次	146/166	0.88	○	
	一次+二次		150/333	0.45	○		
	D-主蒸気配管 (CV内)	S	Ss	一次	239/323	0.74	○
				一次+二次	331/333	0.99	○
		Sd	一次	150/166	0.90	○	
			一次+二次	154/333	0.46	○	
	A-主蒸気配管 ^{※2} D-主蒸気配管 (CV外)	S	Ss	一次	193/323	0.60	○
				一次+二次	526/333	1.58	×
				疲労累積係数:0.104		○	
Sd		一次	141/166	0.85	○		
	一次+二次	240/333	0.72	○			
B-主蒸気配管 ^{※2} C-主蒸気配管 (CV外)	S	Ss	一次	205/323	0.63	○	
			一次+二次	445/333	1.34	×	
			疲労累積係数:0.031		○		
	Sd	一次	146/157	0.93	○		
一次+二次		205/333	0.62	○			
第2段湿分分離加熱器加熱蒸気管(A)	C		一次	98/158	0.62	○	
第2段湿分分離加熱器加熱蒸気管(B)	C		一次	124/158	0.78	○	
タービン動主給水ポンプ低圧駆動蒸気管	C		一次	141/158	0.89	○	

※1 発生応力及び許容応力の単位はMPa

※2 A系とD系、B系とC系は、それぞれ解析条件が同じであるため評価結果は共通

評価書に記載した評価結果

主蒸気系統配管以外の内面からの腐食（流れ加速型腐食）
に対する耐震安全性評価について

1. 評価仕様

主蒸気系統配管以外の評価仕様を表11-3-1に示す。

表11-3-1 評価仕様

評価対象配管	ライン数	種別	技術規格との対応 ^{※1}	減肉条件
主給水系統配管	12	FAC	あり (主要箇所)	必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)
ポンプタービン 駆動蒸気系統配管	3	FAC	あり (主要箇所)	必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)
第3抽気系統配管	1	FAC	あり (主要箇所)	必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)
第4抽気系統配管	1	FAC	あり (主要箇所)	必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)
第5抽気系統配管	1	FAC	あり (主要箇所)	必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)
低温再熱蒸気系統 配管	1	FAC	あり (主要箇所)	必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)
復水系統配管	9	FAC	あり (主要箇所)	必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)
ドレン系統配管	36	FAC	あり (主要箇所)	必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)
グランド蒸気系統 配管	1	FAC	あり (主要箇所)	必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)
補助蒸気系統配管	6 ^{※2}	FAC	あり (主要箇所)	必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)
蒸気発生器ブロー ダウン系統配管	4	FAC	あり (主要箇所)	必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)

※1 () 内の記載は社内規程「2次系配管肉厚の管理指針」に基づく管理区分を示す。

※2 一次系補助蒸気配管は定ピッチスパンモデルによる評価を行っているため除く

2. 解析モデル

(1) 解析手法

はりモデル解析、FEM解析

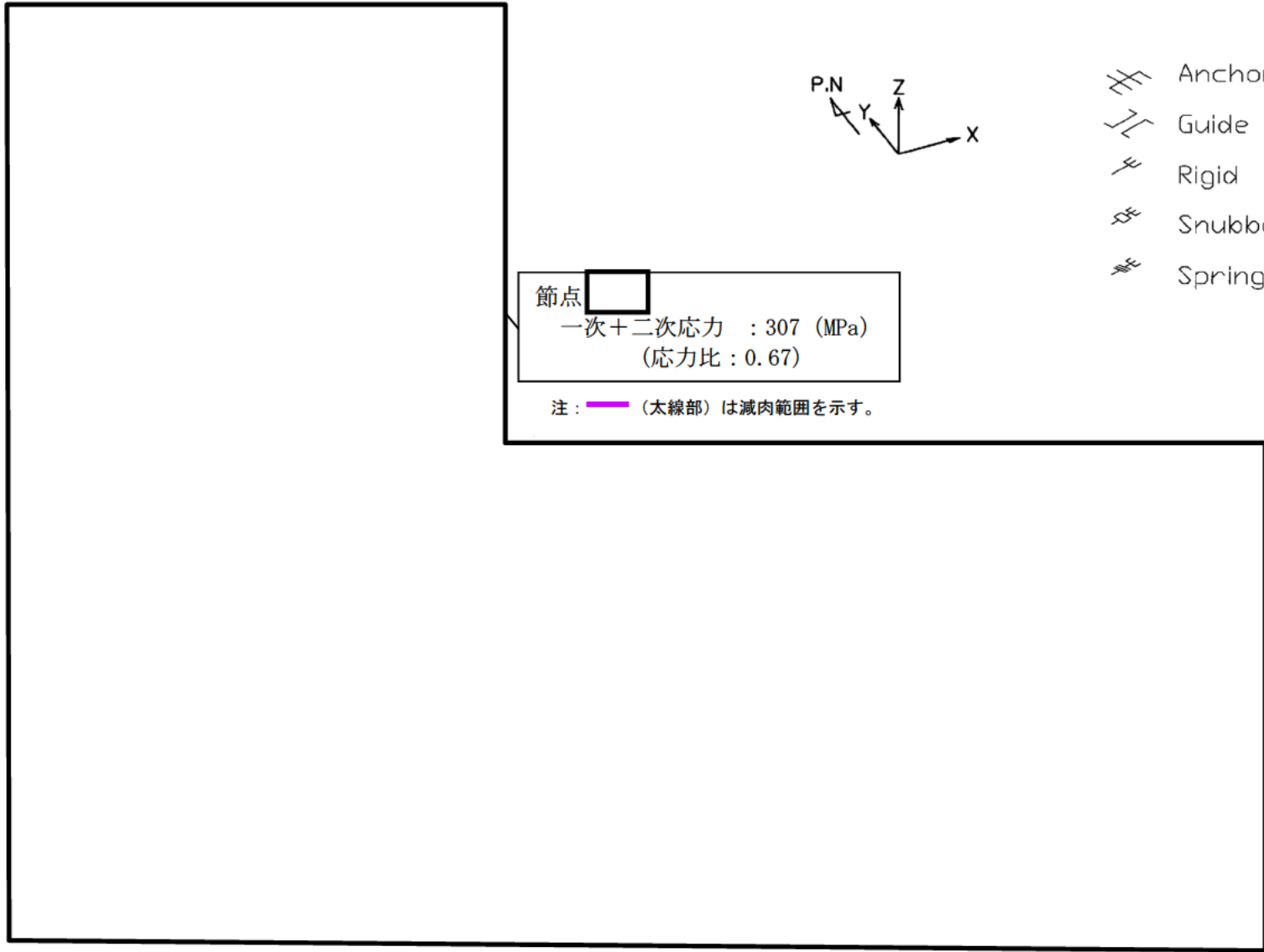
(2) 解析モデル図

評価対象ラインのうち、高経年化技術評価書に代表で記載した応力比の厳しい箇所を含む範囲の解析モデル図を3頁以降に示す。

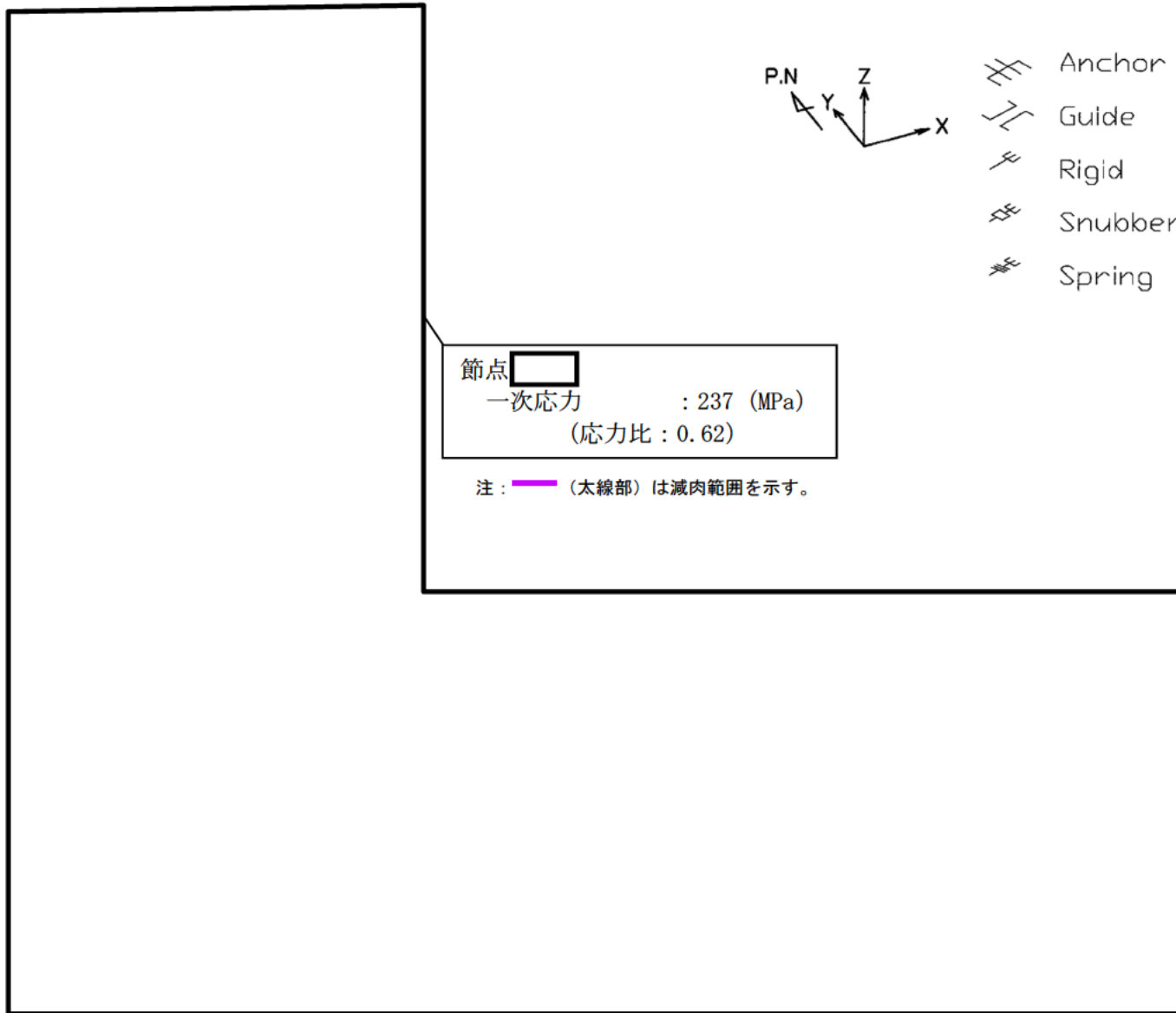
また、FEM解析を行ったラインの、ドレン系統配管の第1段湿分分離加熱器ドレンタンクドレン管（B1）および、補助蒸気系統配管のスチームコンバータ加熱蒸気管における、FEM解析について添付-4に示す。

3. 評価結果

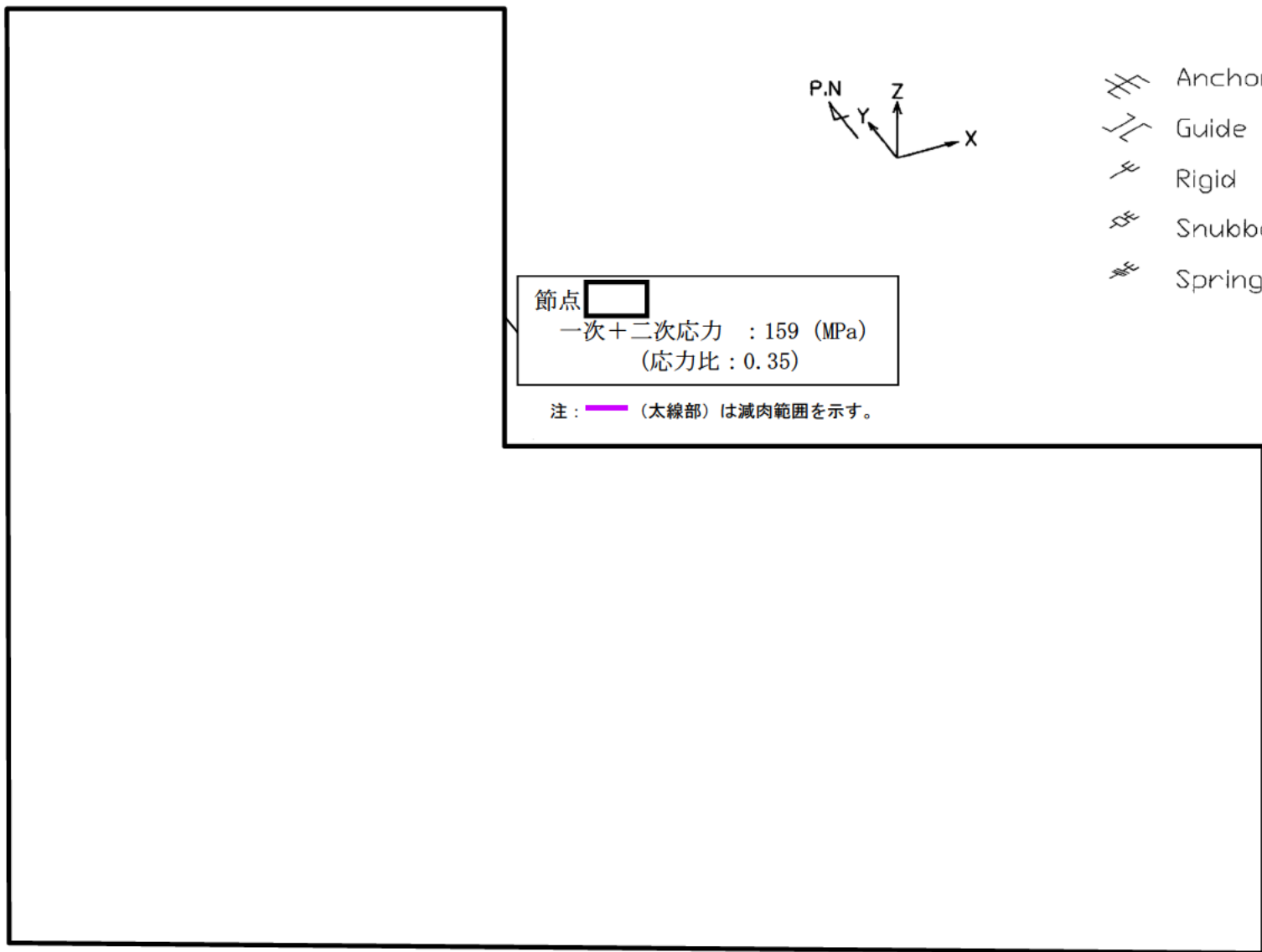
評価結果を添付－5に示す。



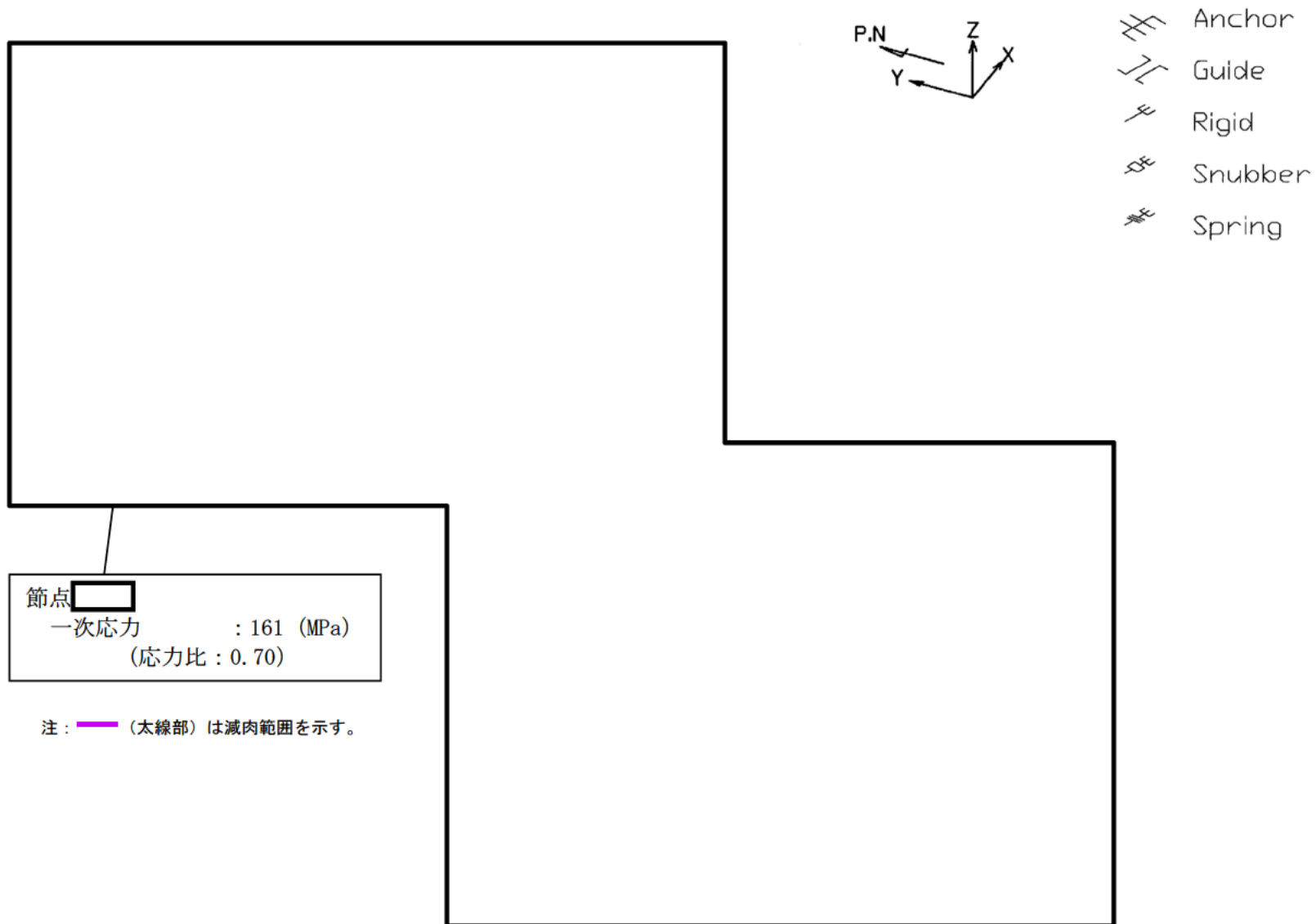
主給水系統配管 A-主給水配管 (CV内) 【S s 地震】



主給水系統配管 B-主給水配管 (CV内) 【S s 地震】




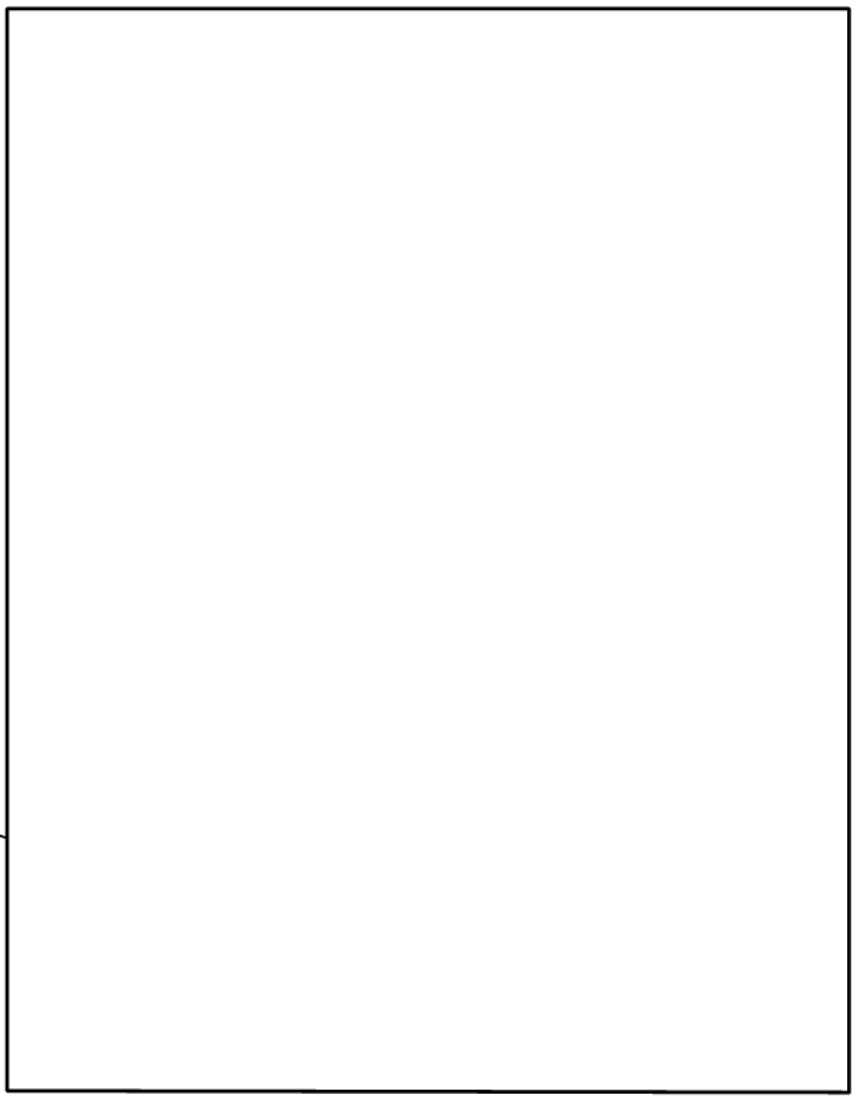

主給水系統配管 A-主給水配管 (CV内) 【S d地震】



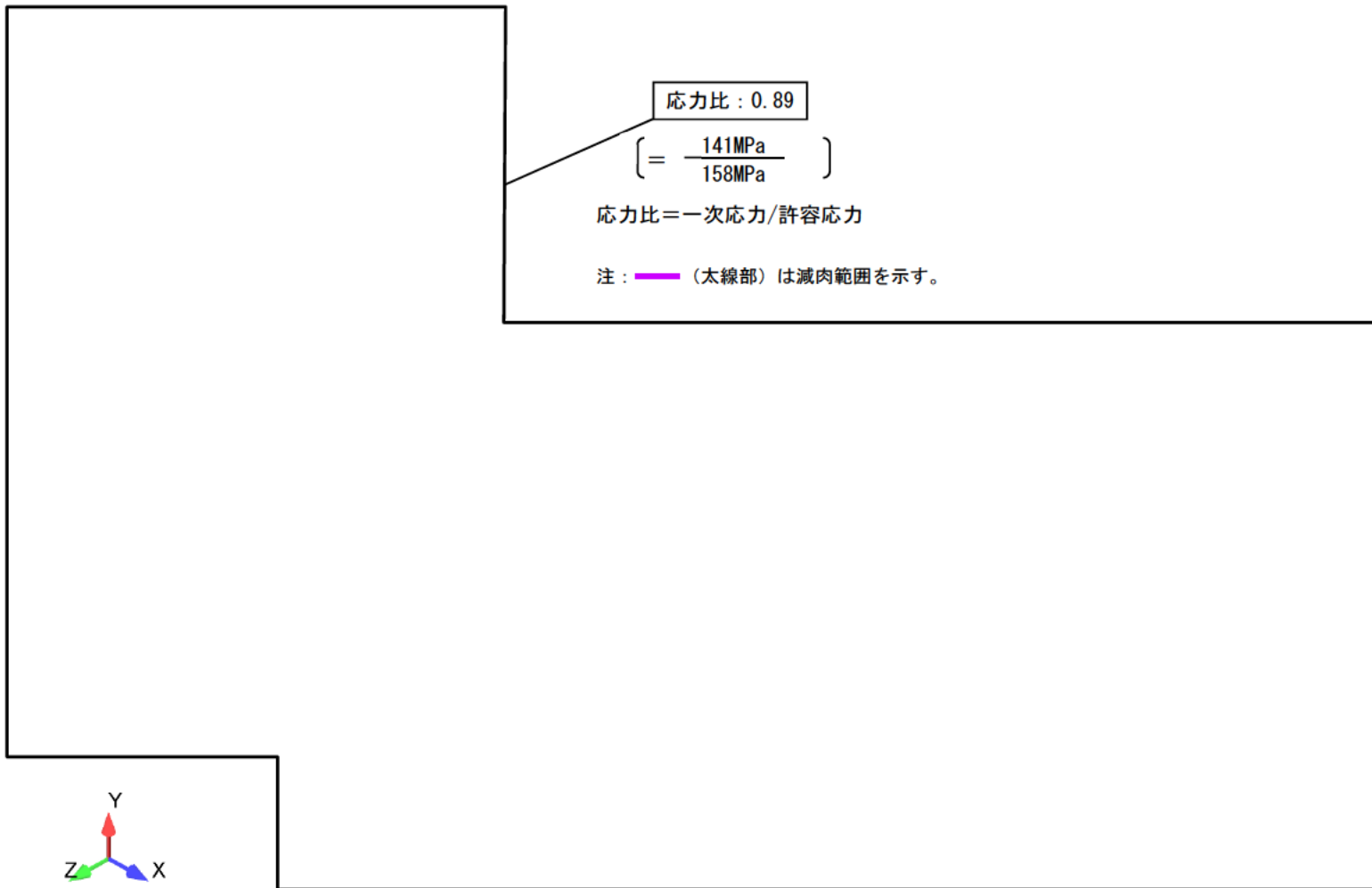
主給水系統配管 C-主給水配管 (CV内) 【S d地震】

応力比 : 0.99
 $\left(= \frac{187\text{MPa}}{189\text{MPa}} \right)$
応力比=一次応力/許容応力

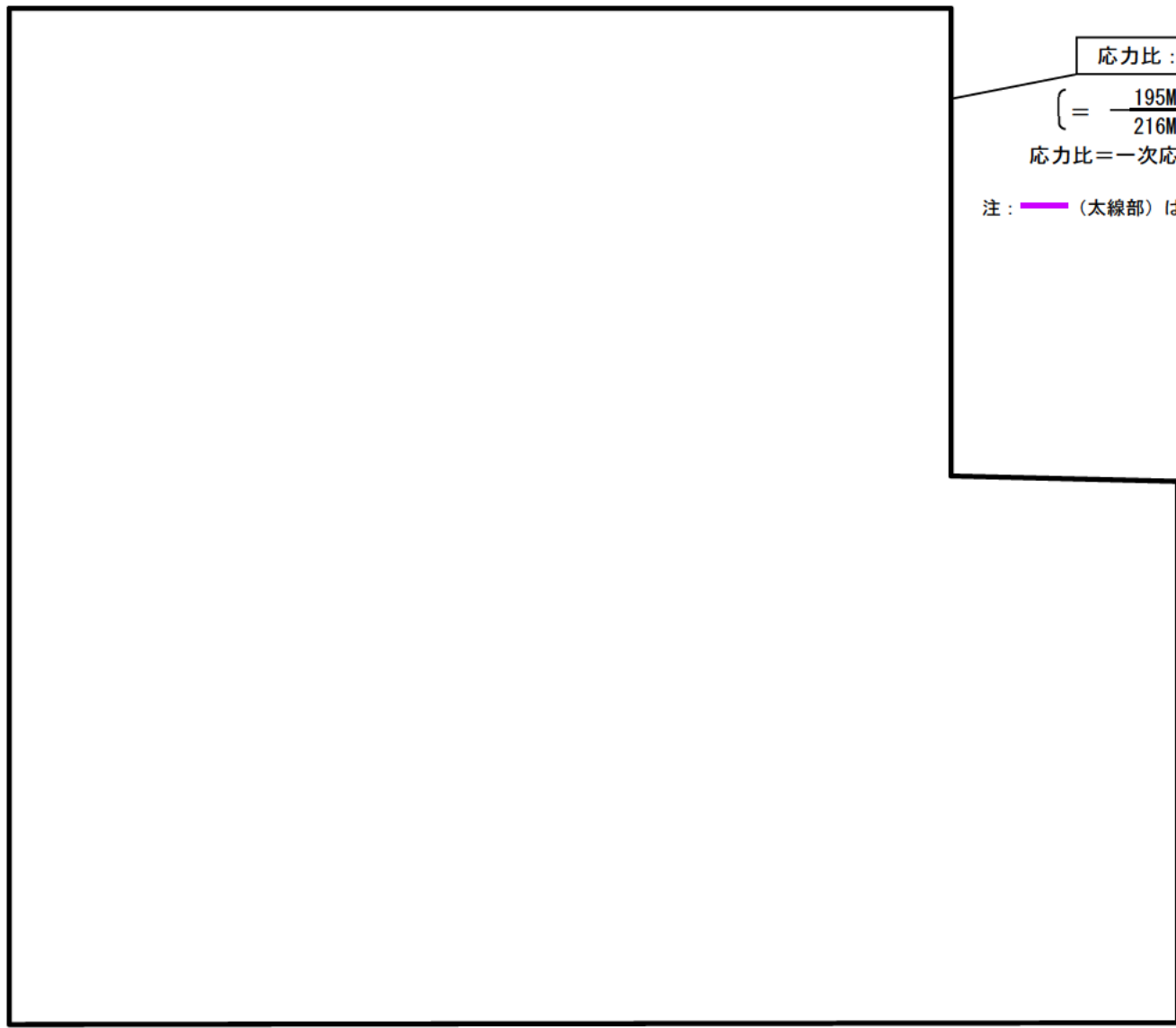
注 :  (太線部) は減肉範囲を示す。



主給水系統配管 (Cクラス) 主給水ブースタポンプ吸込管 (A)



ポンプタービン駆動蒸気系統配管 タービン動主給水ポンプ低圧駆動蒸気管



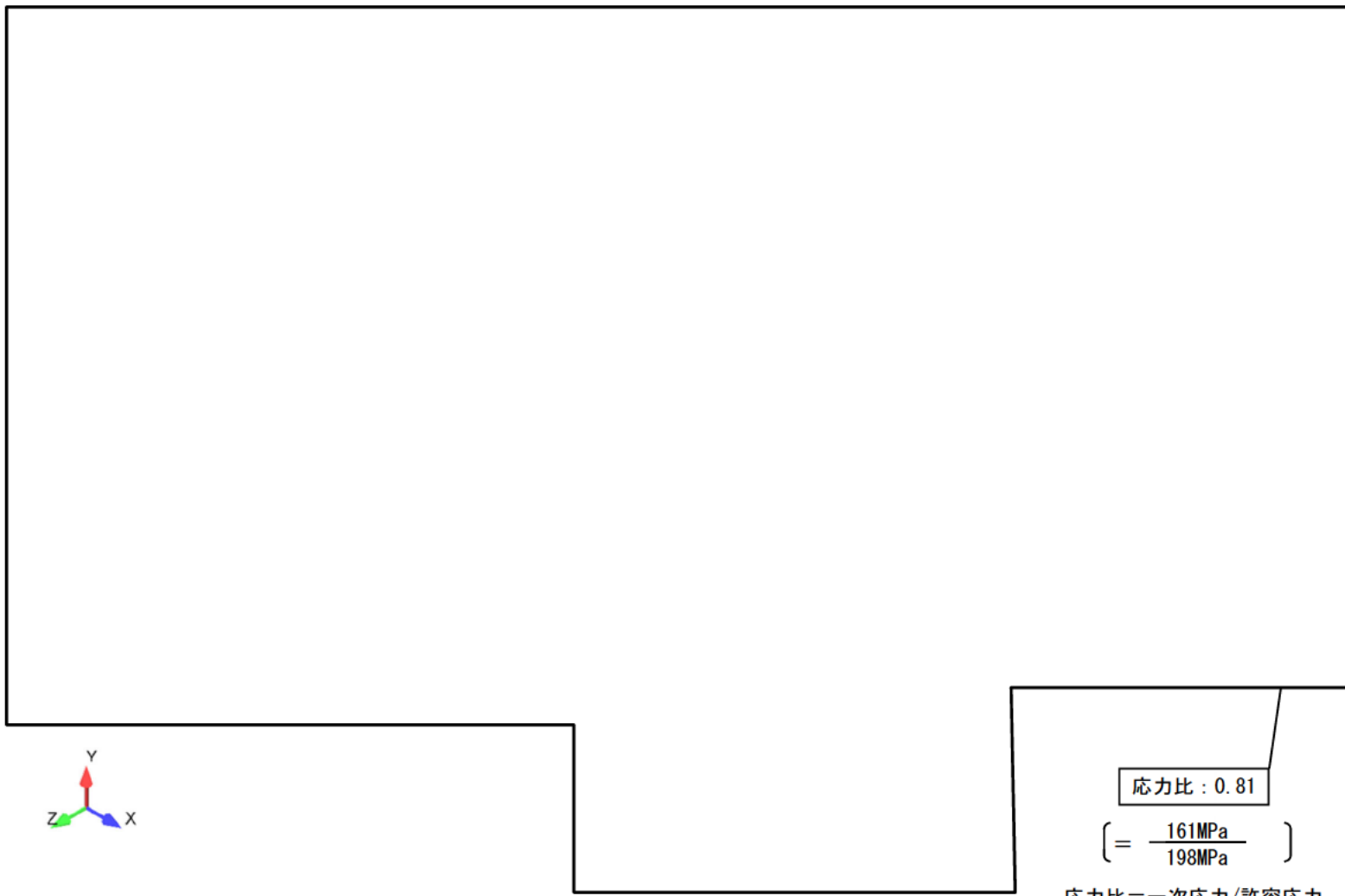
応力比 : 0.90

$$\left[= \frac{195\text{MPa}}{216\text{MPa}} \right]$$

応力比=一次応力/許容応力

注 : (太線部) は減肉範囲を示す。

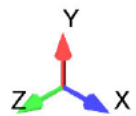
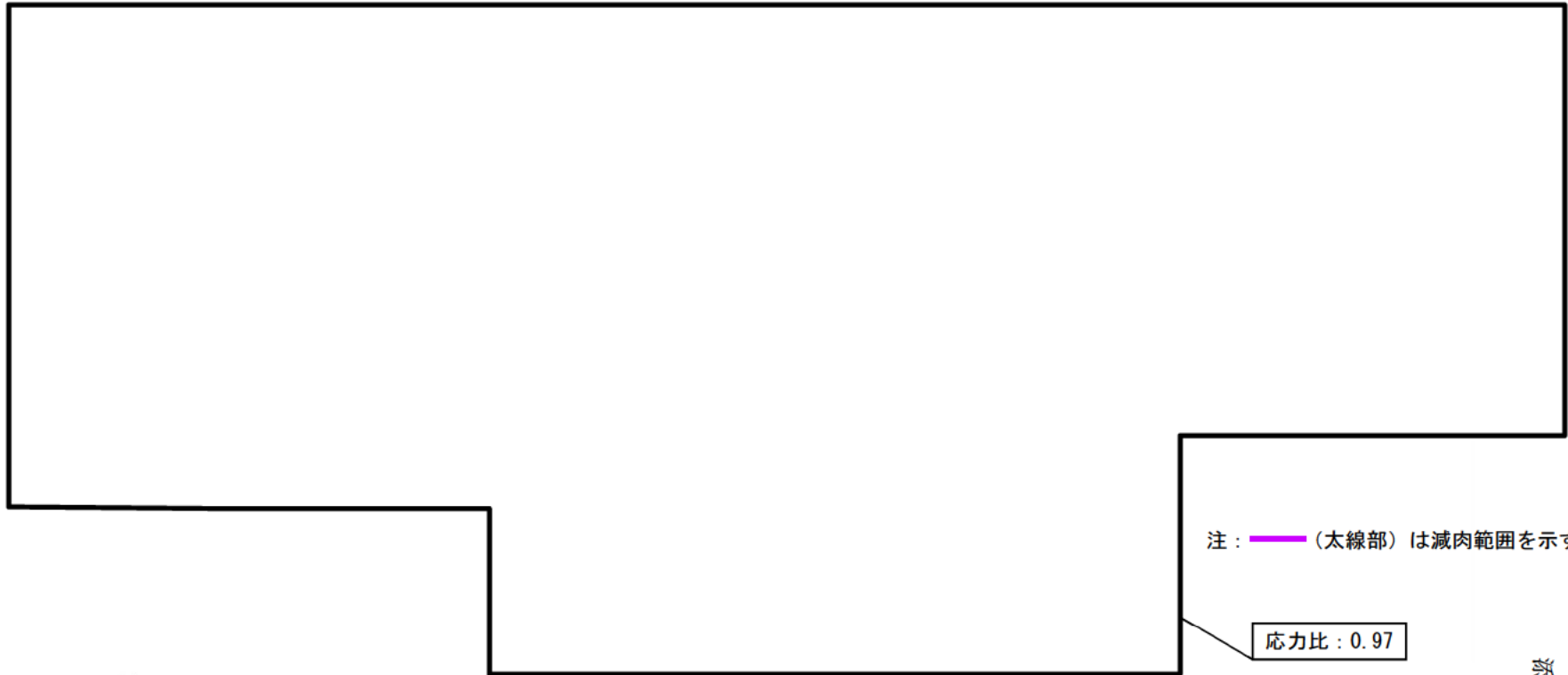
第3抽気系統配管 第3抽気管



第4抽気系統配管 第4抽気管

応力比=一次応力/許容応力

注：太線部は減肉範囲を示す。



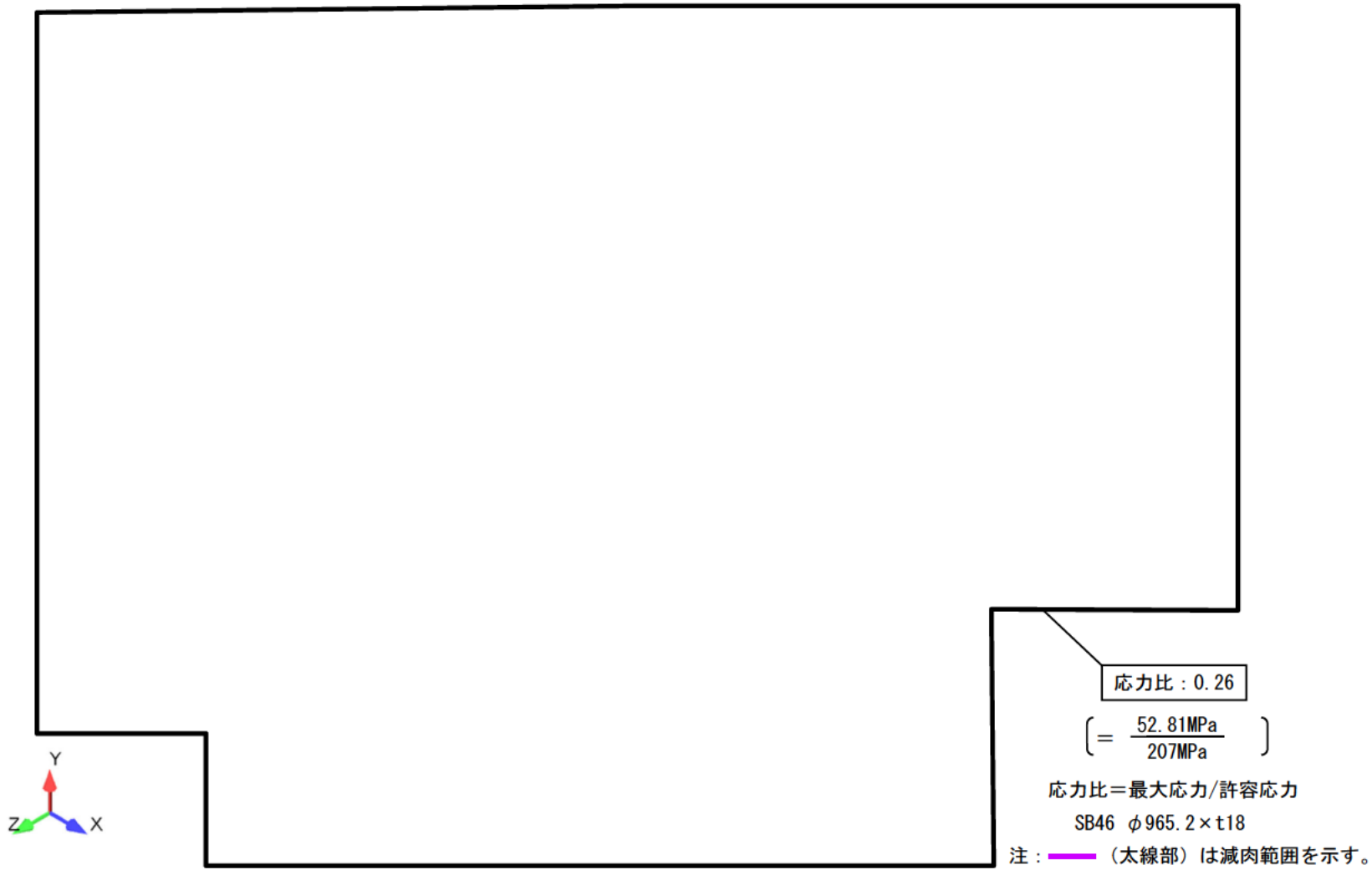
注 : (太線部) は減肉範囲を示す。

応力比 : 0.97

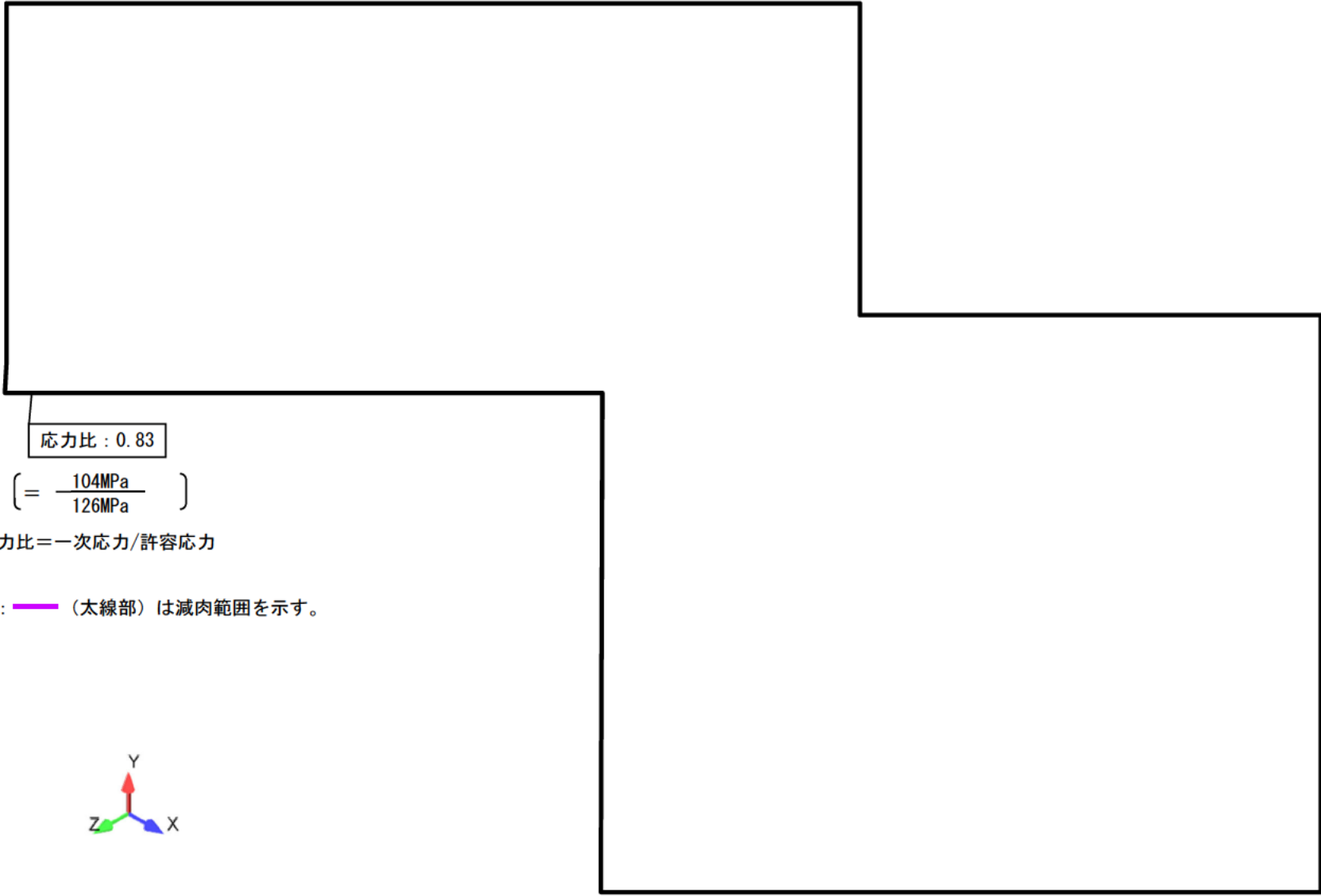
$$\left(= \frac{170\text{MPa}}{175\text{MPa}} \right)$$

応力比=一次応力/許容応力

第5抽気系統配管 第5抽気管




低温再熱蒸気系統配管 低温再熱蒸気管

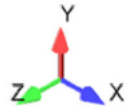


応力比 : 0.83

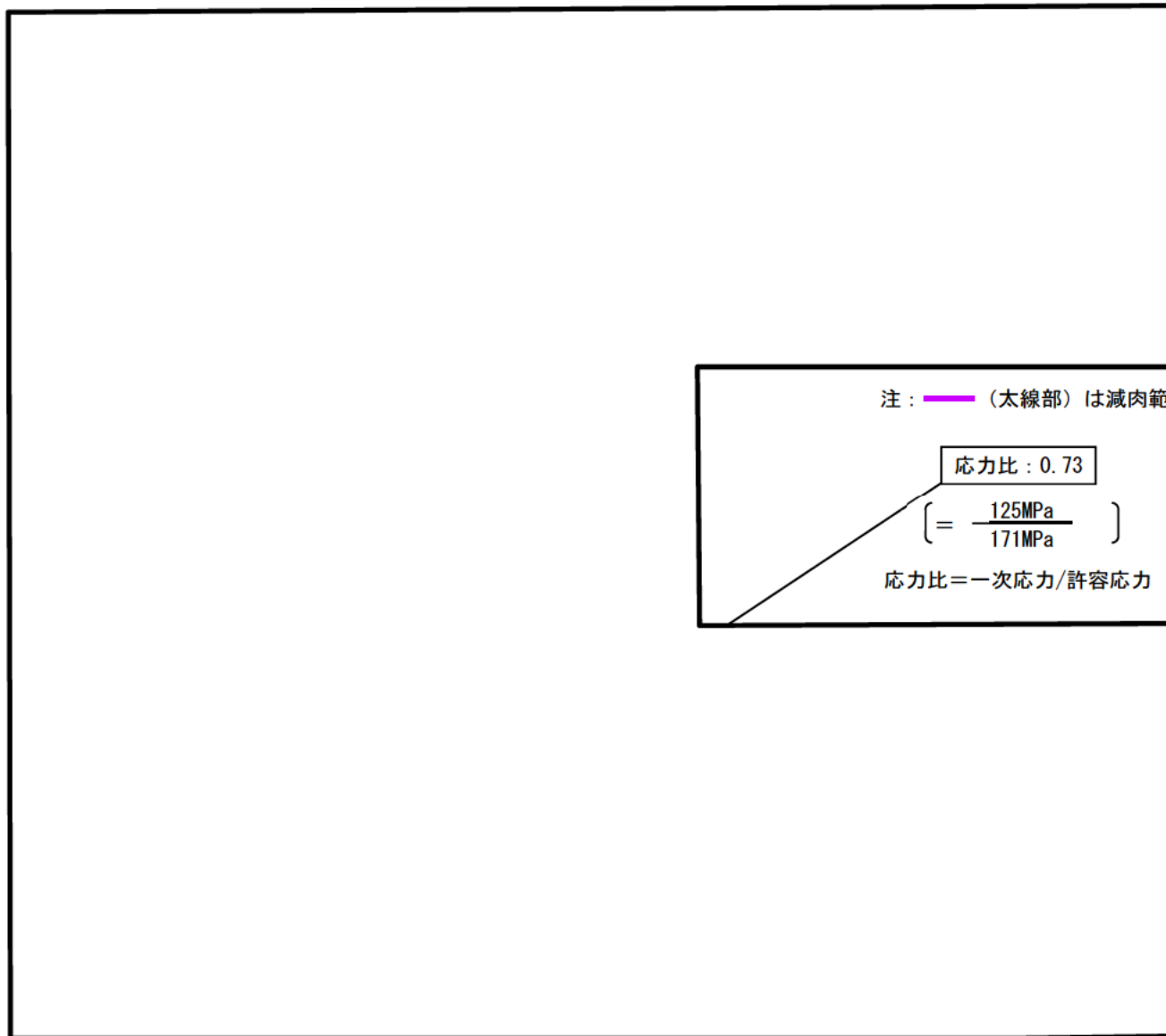
$$\left(= \frac{104\text{MPa}}{126\text{MPa}} \right)$$

応力比=一次応力/許容応力

注 :  (太線部) は減肉範囲を示す。



復水系統配管 第4 低圧給水加熱器～第5 低圧給水加熱器(A)



注：— (太線部) は減肉範囲を示す。

応力比 : 0.73

$$\left[= \frac{125\text{MPa}}{171\text{MPa}} \right]$$


応力比=一次応力/許容応力

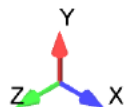
ドレン系統配管 第1段湿分分離加熱器ドレンタンクドレン管 (B1)

応力比 : 0.89

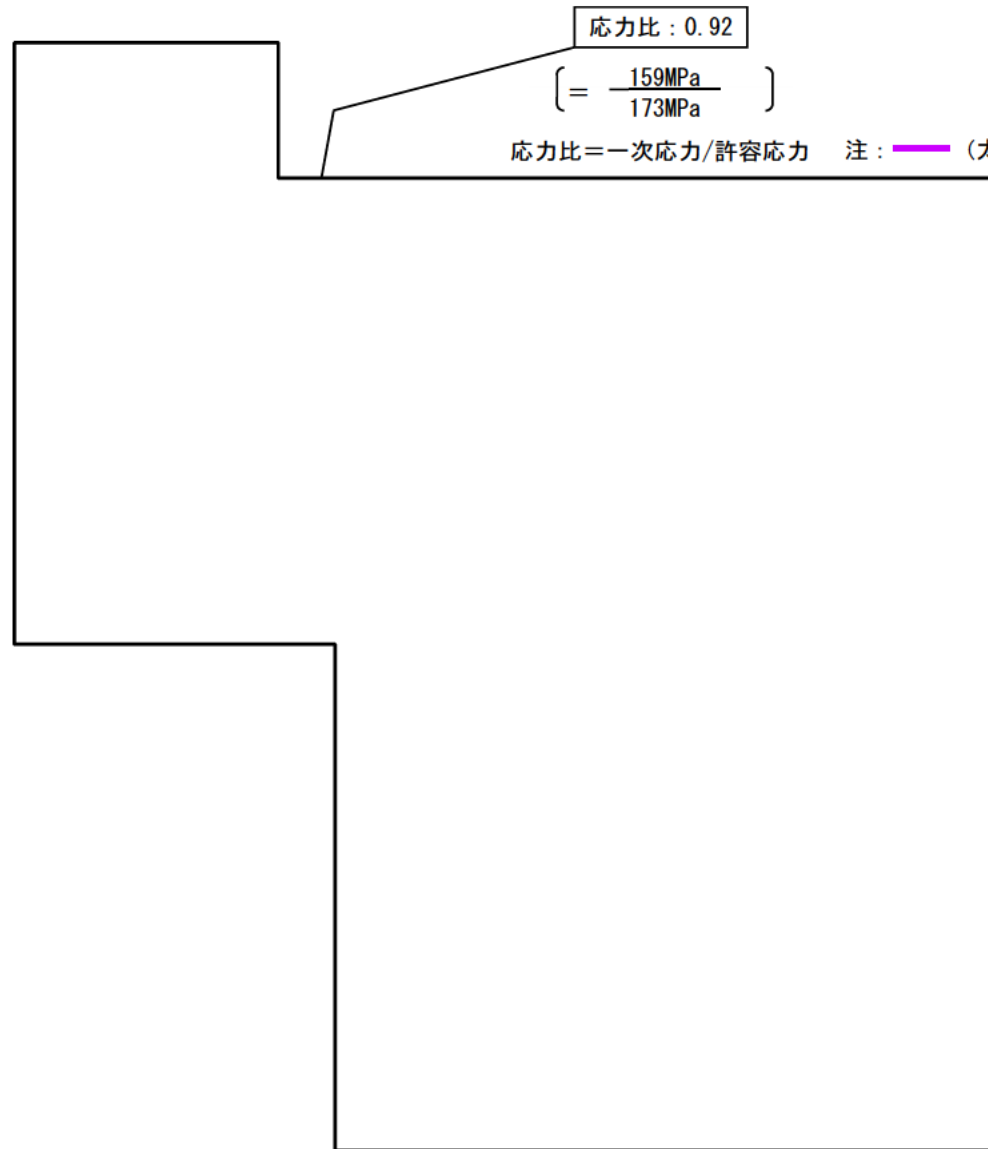
$$\left[= \frac{160\text{MPa}}{180\text{MPa}} \right]$$

応力比=一次応力/許容応力

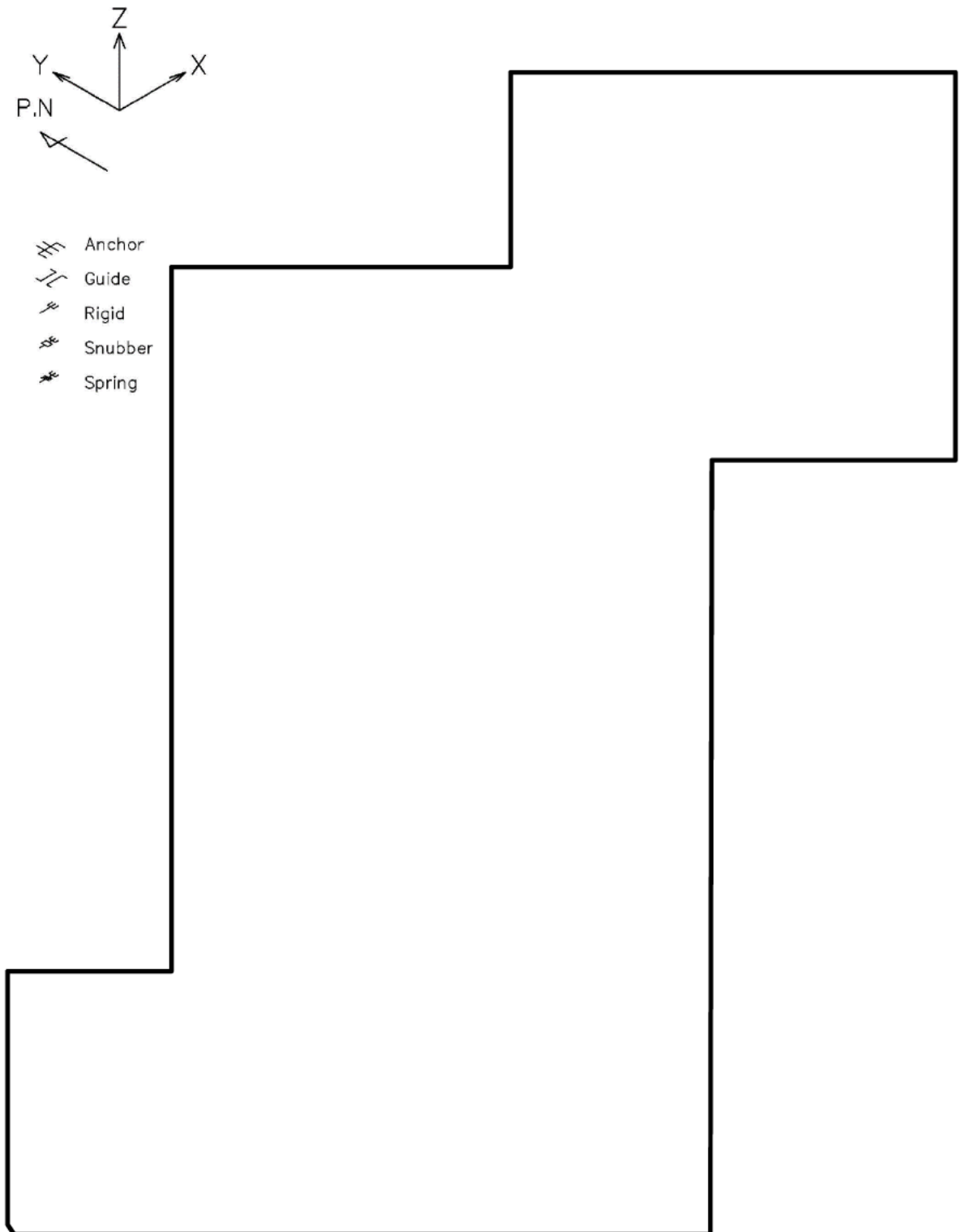
注 :  (太線部) は減肉範囲を示す。



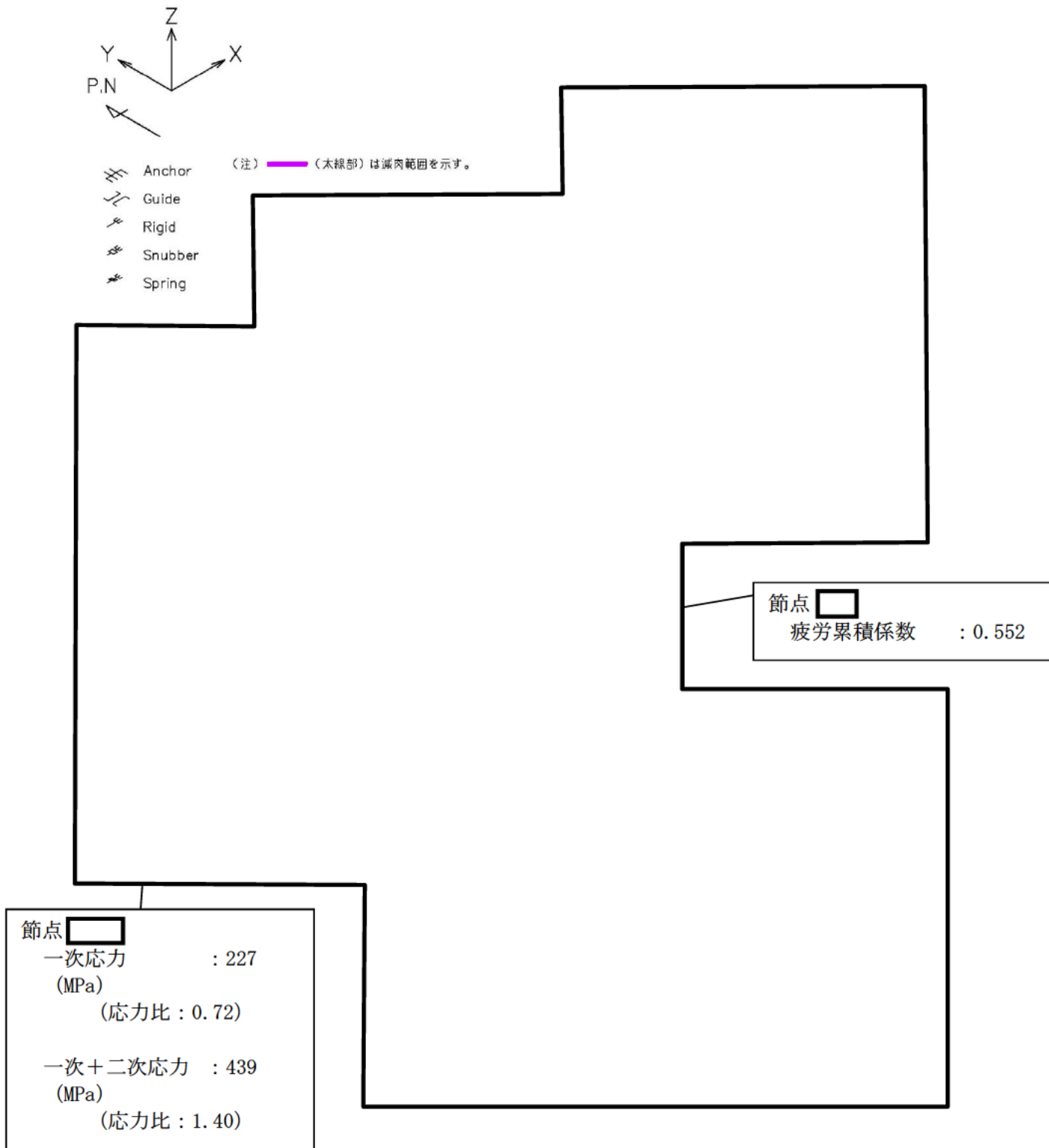
グラント蒸気系統配管 グラント蒸気管



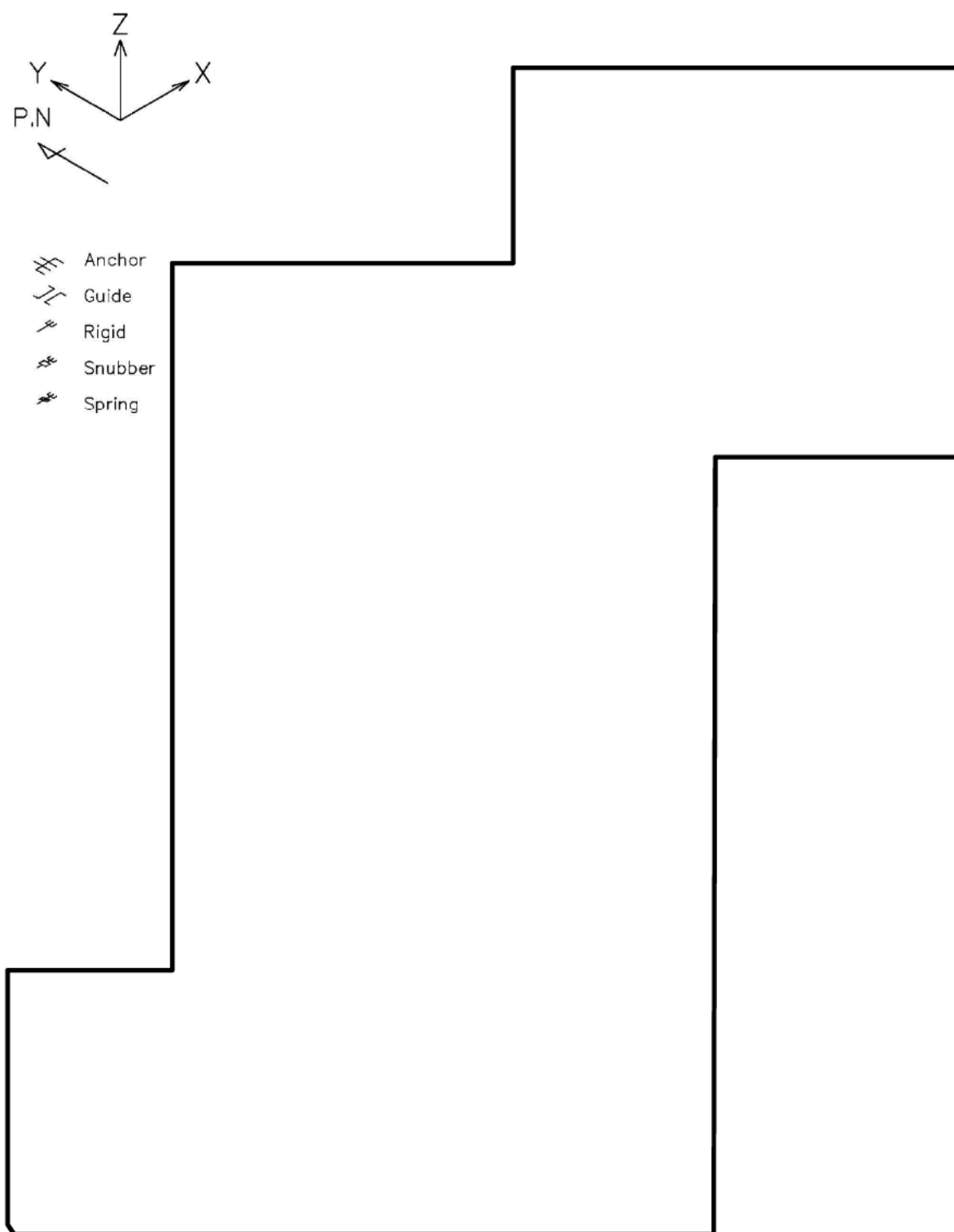
補助蒸気系統配管 スチームコンバータ加熱蒸気管



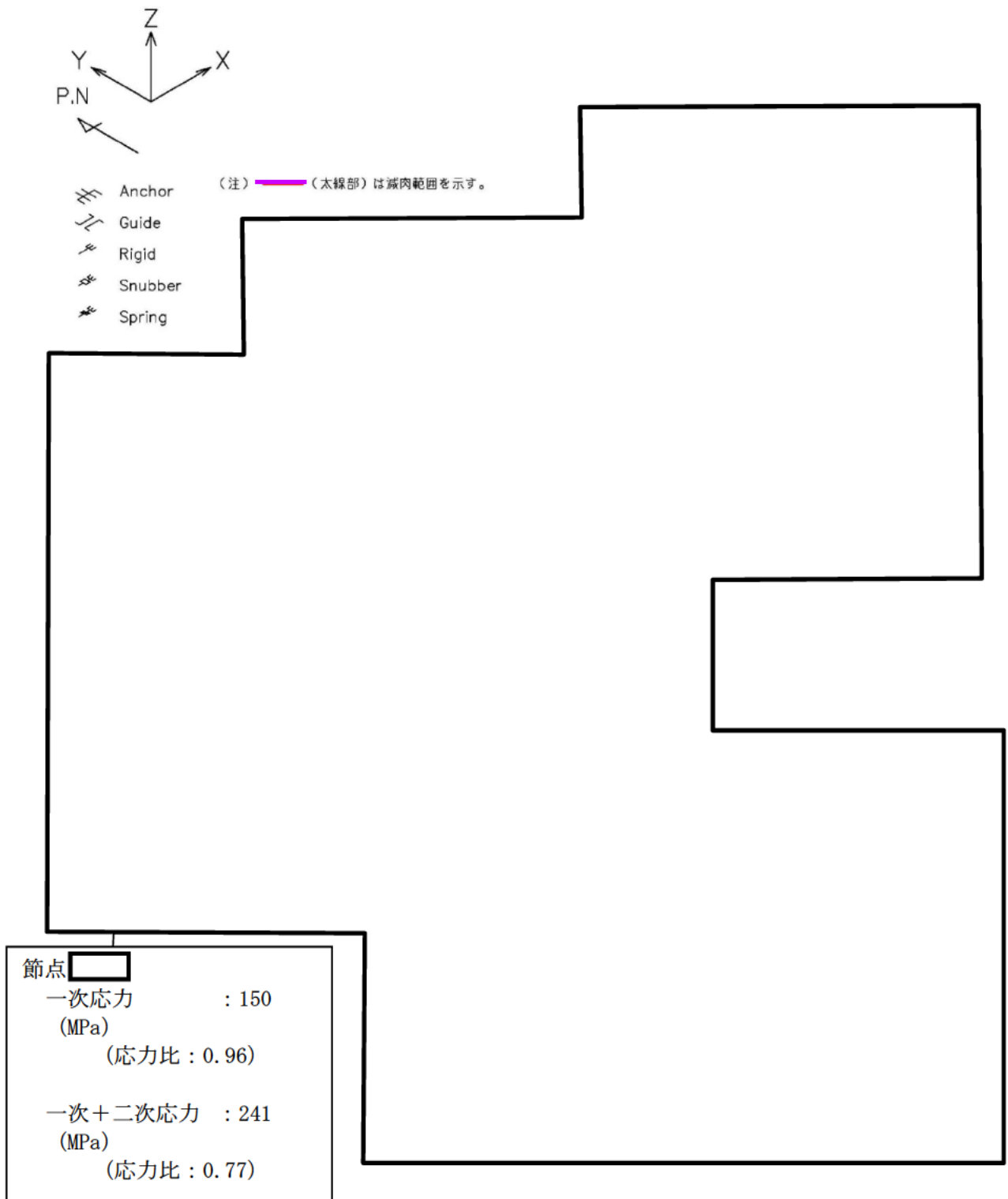
蒸気発生器ブローダウン系統配管 A-蒸気発生器ブローダウン配管
PEN#507CV外 CVBD内 【S s地震】



蒸気発生器ブローダウン系統配管 A-蒸気発生器ブローダウン配管
 PEN#507CV外 CVBD内 【S s地震】



蒸気発生器ブローダウン系統配管 A-蒸気発生器ブローダウン配管
PEN#507CV外 CVBD内 【Sd地震】



蒸気発生器ブローダウン系統配管 A-蒸気発生器ブローダウン配管
PEN#507CV外 CVBD内 【Sd地震】

ドレン系統配管および補助蒸気系統配管に対するFEM解析について

ドレン系統配管（第1段湿分分離加熱器ドレンタンクドレン管（B1））および補助蒸気系統（スチームコンバータ加熱蒸気管）のFEM解析では、一次要素のソリッドモデルにて解析を行い、ミーゼス応力を算出している。

固定端は偏平を許容しない真円固定としているが、真円固定条件が評価部（3次元梁モデル解析で応力評価上厳しい結果となった部位）に影響を与えない範囲を考慮して、評価部から2D程度（評価する配管の外径の2倍程度）の位置を固定端としている。

また、板厚方向のメッシュ数を3層としているが、これは曲げにより偏平を生じる解析においてもCクラス配管の耐震評価で対象とする一次応力を適切に評価できることを過去の解析や試解析等により確認しているため、採用したものである。

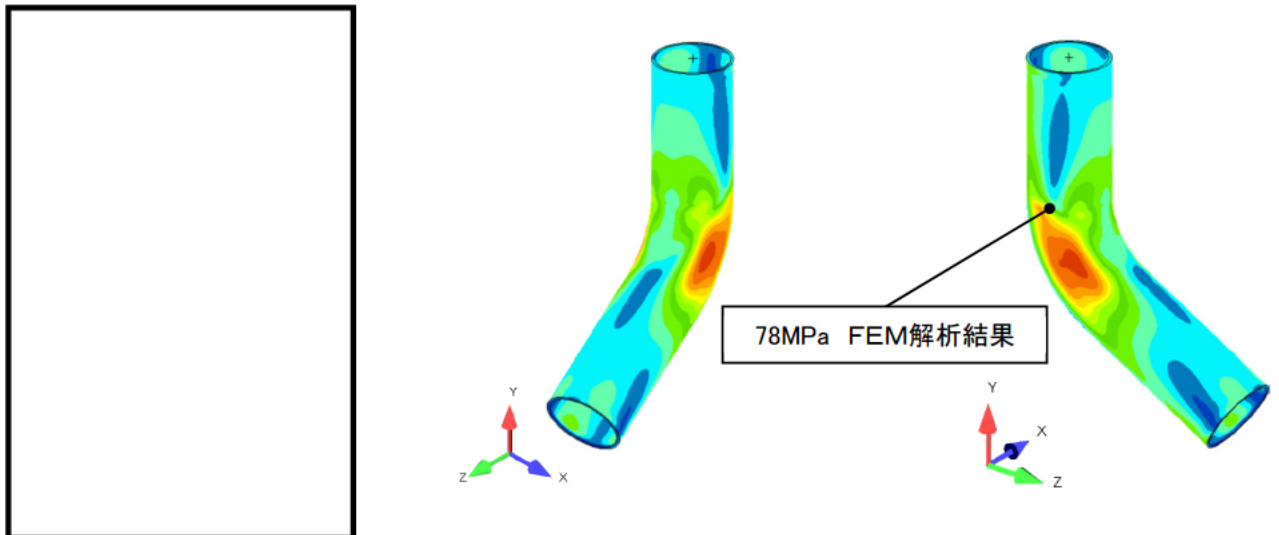
【第1段湿分分離加熱器ドレンタンクドレン管 (B1)】

【FEM入力荷重】

3次元はりモデル解析で得られたA点の荷重を、FEMモデルに入力する。

A		力(N)			モーメント(N・m)		
荷重ケース		X	Y	Z	X	Y	Z
自重		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div> <div style="margin-left: 10px;"> <p>梁モデル解析結果</p> <p>FEM入力荷重</p> </div> </div>					
地震	(+X)						
	(-X)						
自重+地震	(+X)						
	(-X)						

【FEM解析モデルおよび結果】



地震方向	発生応力(MPa)			許容応力 S_y (MPa)	応力比
	内圧	自重+地震 (FEM解析結果)	合計		
+X		47		78 (60)	125 (107)

+X方向の発生応力が大きいのでこれを評価結果とする。()内は-X方向の結果を示す。

【スチームコンバータ加熱蒸気管】

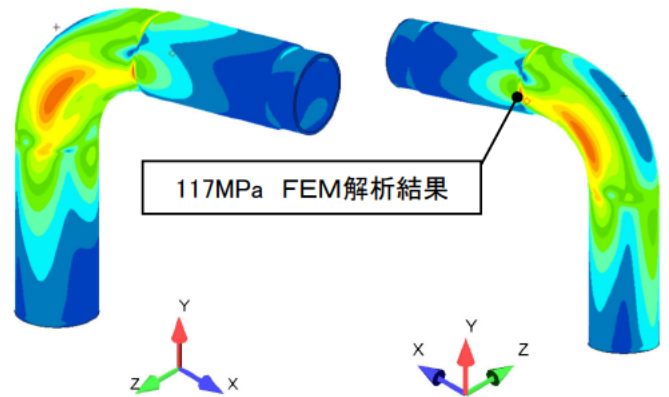
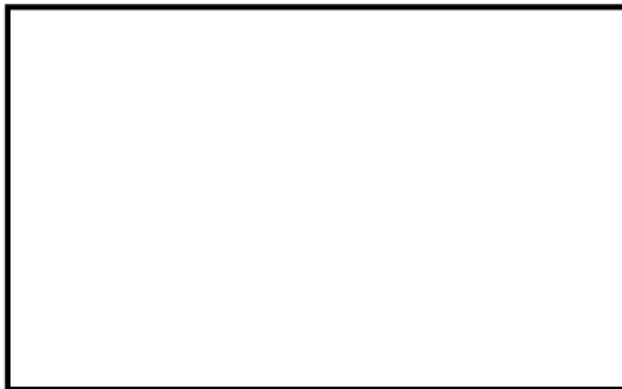
【FEM入力荷重】

3次元はリモデル解析で得られたB点の荷重を、FEMモデルに入力する。

B		力(N)			モーメント(N・m)		
荷重ケース		X	Y	Z	X	Y	Z
自重							
地震	(+X)						
	(-X)						
自重+地震	(+X)						
	(-X)						

} 梁モデル解析結果
} FEM入力荷重

【FEM解析モデルおよび結果】



地震方向	発生応力(MPa)			許容応力 S_y (MPa)	応力比
	内圧	自重+地震 (FEM解析結果)	合計		
+X		42	117 (58)	159 (100)	173

+X方向の発生応力が大きいのでこれを評価結果とする。()内は-X方向の結果を示す。

大飯4号炉 主蒸気系統配管以外の内面からの腐食（流れ加速型腐食）に対する
耐震安全性評価結果一覧

系統分類	配管名称	耐震 重要度	応力種別	全箇所必要最小肉厚条件モデル					
				はりモデル評価			FEM評価		
				発生応力/ 許容応力※1	応力比	評価	発生応力/ 許容応力※1	応力比	評価
主給水系統	A-主給水配管 (CV内)	S	Ss	一次	232/380	0.61	○		
			Sd	一次+二次	307/458	0.67	○		
		S	Ss	一次	158/229	0.69	○		
			Sd	一次+二次	159/458	0.35	○		
	B-主給水配管 (CV内)	S	Ss	一次	237/380	0.62	○		
			Sd	一次+二次	305/458	0.67	○		
		S	Ss	一次	161/229	0.70	○		
			Sd	一次+二次	154/458	0.34	○		
	C-主給水配管 (CV内)	S	Ss	一次	237/380	0.62	○		
			Sd	一次+二次	305/458	0.67	○		
		S	Ss	一次	161/229	0.70	○		
			Sd	一次+二次	154/458	0.34	○		
	D-主給水配管 (CV内)	S	Ss	一次	232/380	0.61	○		
			Sd	一次+二次	307/458	0.67	○		
		S	Ss	一次	158/229	0.69	○		
			Sd	一次+二次	159/458	0.35	○		
	A-主給水配管※2 D-主給水配管 (CV外)	S	Ss	一次	145/380	0.38	○		
			Sd	一次+二次	220/458	0.48	○		
		S	Ss	一次	145以下/229	0.63以下	○		
			Sd	一次+二次	220以下/458	0.48以下	○		
B-主給水配管※2 C-主給水配管 (CV外)	S	Ss	一次	151/380	0.40	○			
		Sd	一次+二次	226/458	0.49	○			
	S	Ss	一次	151以下/229	0.66以下	○			
		Sd	一次+二次	226以下/458	0.49以下	○			
	主給水プースタポンプ吸込管(A)	C	一次	187/189	0.99	○			
	主給水プースタポンプ吸込管(B)	C	一次	154/189	0.81	○			
	主給水プースタポンプ吐出管(A)	C	一次	51/115	0.44	○			
	主給水プースタポンプ吐出管(B)	C	一次	44/115	0.38	○			
	主給水ポンプ～ 第7高圧給水加熱器	C	一次	90/226	0.40	○			
	第7高圧給水加熱器～ 1次系取合い	C	一次	88/217	0.41	○			
ポンプタービン 駆動蒸気系統	第2段湿分分離加熱器 加熱蒸気管(A)	C	一次	98/158	0.62	○			
	タービン動主給水ポンプ 低圧駆動蒸気管	C	一次	141/158	0.89	○			
	第3抽気系統	C	一次	195/216	0.90	○			
第4抽気系統	C	一次	161/198	0.81	○				
第5抽気系統	C	一次	170/175	0.97	○				
低温再熱蒸気系統	低温再熱蒸気管	C	一次	53/207	0.26	○			
復水系統	復水プースタポンプ～ 第1低圧給水加熱器	C	一次	112/179	0.63	○			
	第1低圧給水加熱器～ 第2低圧給水加熱器(A)	C	一次	52/179	0.29	○			
	第1低圧給水加熱器～ 第2低圧給水加熱器(B)	C	一次	52/179	0.29	○			
	第1低圧給水加熱器～ 第2低圧給水加熱器(C)	C	一次	52/179	0.29	○			
	第2低圧給水加熱器～ 第3低圧給水加熱器	C	一次	121/177	0.68	○			
	第3低圧給水加熱器～ 第4低圧給水加熱器(A)	C	一次	44/132	0.33	○			
	第4低圧給水加熱器～ 第5低圧給水加熱器(A)	C	一次	104/126	0.83	○			
	第4低圧給水加熱器～ 第5低圧給水加熱器(B)	C	一次	84/126	0.67	○			
	第5低圧給水加熱器～ 脱気器	C	一次	91/148	0.61	○			

※1 発生応力及び許容応力の単位はMPa

※2 A系とD系、B系とC系は、それぞれ解析条件が同じであるため評価結果は共通

評価書に記載した評価結果

系統分類	配管名称	耐震 重要度	応力種別	全箇所必要最小肉厚条件モデル					
				はりモデル評価			FEM評価		
				発生応力/ 許容応力※	応力比	評価	発生応力/ 許容応力※	応力比	評価
ドレン系統	第7高圧給水加熱器ドレン管(A)	C	一次	148/173	0.86	○			—
	第7高圧給水加熱器ドレン管(B)	C	一次	132/173	0.76	○			—
	第5低圧給水加熱器ドレン管(A)	C	一次	40/182	0.22	○			—
	第5低圧給水加熱器ドレン管(B)	C	一次	72/182	0.40	○			—
	第4低圧給水加熱器ドレン管(A)	C	一次	72/183	0.39	○			—
	第4低圧給水加熱器ドレン管(B)	C	一次	41/183	0.22	○			—
	第3低圧給水加熱器ドレン管(A)	C	一次	23/185	0.12	○			—
	第3低圧給水加熱器ドレン管(B)	C	一次	20/185	0.11	○			—
	低圧給水加熱器ドレンポンプ 吸込管(A)	C	一次	37/185	0.20	○			—
	低圧給水加熱器ドレンポンプ 吸込管(B)	C	一次	37/185	0.20	○			—
	低圧給水加熱器ドレンポンプ 吐出管(A)	C	一次	81/169	0.48	○			—
	低圧給水加熱器ドレンポンプ 吐出管(B)	C	一次	70/185	0.38	○			—
	第1段湿水分離加熱器ドレン管 (A1)	C	一次	98/171	0.57	○			—
	第1段湿水分離加熱器ドレン管 (A2)	C	一次	74/171	0.43	○			—
	第1段湿水分離加熱器ドレン管 (B1)	C	一次	94/171	0.55	○			—
	第1段湿水分離加熱器ドレン管 (B2)	C	一次	81/171	0.47	○			—
	第1段湿水分離加熱器ドレンタンク ドレン管(A1)	C	一次	155/171	0.91	○			—
	第1段湿水分離加熱器ドレンタンク ドレン管(A2)	C	一次	131/171	0.77	○			—
	第1段湿水分離加熱器ドレンタンク ドレン管(B1)	C	一次	189/171	1.11	×	125/171	0.73	○
	第1段湿水分離加熱器ドレンタンク ドレン管(B2)	C	一次	120/171	0.70	○			—
	第2段湿水分離加熱器ドレン管 (A1)	C	一次	58/158	0.37	○			—
	第2段湿水分離加熱器ドレン管 (A2)	C	一次	66/158	0.42	○			—
	第2段湿水分離加熱器ドレン管 (B1)	C	一次	66/158	0.42	○			—
	第2段湿水分離加熱器ドレン管 (B2)	C	一次	67/158	0.42	○			—
	第2段湿水分離加熱器ドレンタンク ドレン管(A1)	C	一次	142/158	0.90	○			—
	第2段湿水分離加熱器ドレンタンク ドレン管(A2)	C	一次	119/158	0.75	○			—
	第2段湿水分離加熱器ドレンタンク ドレン管(B1)	C	一次	85/158	0.54	○			—
	第2段湿水分離加熱器ドレンタンク ドレン管(B2)	C	一次	123/158	0.78	○			—
	湿分離器ドレン管(A1)	C	一次	72/178	0.40	○			—
	湿分離器ドレン管(A2)	C	一次	50/178	0.28	○			—
	湿分離器ドレン管(B1)	C	一次	87/178	0.49	○			—
	湿分離器ドレン管(B2)	C	一次	60/178	0.34	○			—
	湿分離器ドレンポンプ吸込管(A)	C	一次	73/178	0.41	○			—
	湿分離器ドレンポンプ吸込管(B)	C	一次	65/178	0.37	○			—
	湿分離器ドレンポンプ吐出管(A)	C	一次	177/178	0.99	○			—
	湿分離器ドレンポンプ吐出管(B)	C	一次	144/178	0.81	○			—

※発生応力及び許容応力の単位はMPa

評価書に記載した評価結果

系統分類	配管名称	耐震 重要度	応力種別	全箇所必要最小肉厚条件モデル					
				はりモデル評価			FEM評価		
				発生応力/ 許容応力※1	応力比	評価	発生応力/ 許容応力※1	応力比	評価
グランド蒸気系統	グランド蒸気管	C	一次	160/180	0.89	○			
	スチームコンバータ加熱蒸気管	C	一次	183/173	1.06	×	159/173	0.92	○
補助蒸気系統	スチームコンバータドレン管1 (S/C~S/Cドレンタンク)	C	一次	33/172	0.19	○			
	スチームコンバータドレン管2 (S/Cドレンタンク~復水器)	C	一次	107/172	0.62	○			
	スチームコンバータ給水ポンプ 吸込管(A)	C	一次	4/173	0.02	○			
	スチームコンバータ給水ポンプ 吸込管(B)	C	一次	6/173	0.03	○			
	スチームコンバータ給水ポンプ 吐出管	C	一次	78/187	0.42	○			
	1次系補助蒸気配管	C	一次	115/129	0.89	○			
	蒸気発生器 ブローダウン系統	A-蒸気発生器ブローダウン配 管 PEN#507CV外 CVBD内	S	Ss	一次	227/315	0.72	○	
Ss				一次+二次	439/314	1.40	×		
Sd			Sd	一次	150/157	0.96	○		
			Sd	一次+二次	241/314	0.77	○		
A-蒸気発生器ブローダウン配 管 PEN#507CV外 CVBD外		S※2	Ss	一次	115/315	0.37	○		
			Ss	一次+二次	137/314	0.44	○		
		Sd	Sd	一次	72/132	0.55	○		
			Sd	一次+二次	69/314	0.22	○		
B-蒸気発生器ブローダウン配 管 PEN#508CV外 CVBD内		S	Ss	一次	213/315	0.68	○		
			Ss	一次+二次	418/314	1.33	×		
		Sd	Sd	一次	137/157	0.87	○		
			Sd	一次+二次	219/314	0.70	○		
B-蒸気発生器ブローダウン配 管 PEN#508CV外 CVBD外		S※2	Ss	一次	138/351	0.39	○		
			Ss	一次+二次	203/253	0.80	○		
		Sd	Sd	一次	87/132	0.66	○		
			Sd	一次+二次	102/253	0.40	○		
C-蒸気発生器ブローダウン配 管 PEN#505CV外 CVBD内		S	Ss	一次	212/315	0.67	○		
			Ss	一次+二次	417/314	1.33	×		
		Sd	Sd	一次	136/157	0.87	○		
			Sd	一次+二次	219/314	0.70	○		
C-蒸気発生器ブローダウン配 管 PEN#505CV外 CVBD外		S※2	Ss	一次	131/351	0.37	○		
			Ss	一次+二次	191/253	0.75	○		
		Sd	Sd	一次	83/132	0.63	○		
			Sd	一次+二次	95/253	0.38	○		
D-蒸気発生器ブローダウン配 管 PEN#506CV外 CVBD内	S	Ss	一次	227/315	0.72	○			
		Ss	一次+二次	439/314	1.40	×			
	Sd	Sd	一次	150/157	0.96	○			
		Sd	一次+二次	241/314	0.77	○			
D-蒸気発生器ブローダウン配 管 PEN#506CV外 CVBD外	S※2	Ss	一次	75/315	0.24	○			
		Ss	一次+二次	53/253	0.21	○			
	Sd	Sd	一次	65/132	0.49	○			
		Sd	一次+二次	27/253	0.11	○			

※1:発生応力及び許容応力の単位はMPa

※2:Cクラス範囲については、保守的にSクラスと同等の評価を行っている

評価書に記載した評価結果

主蒸気系統配管の水平2方向と鉛直方向の組合せ評価について

1. 評価方法

水平2方向と鉛直方向の組合せによる影響評価については、容易に評価が可能な順に、以下のステップで発生応力を算出し、許容値を満足することが確認できたステップにおける結果を影響確認結果とする。

ステップ1：「X方向+Z方向の発生応力」と「Y方向+Z方向の発生応力」の大きい方（水平1方向と鉛直方向の組合せ発生応力）を $\sqrt{2}$ 倍する

ステップ2：「X方向+Z方向の発生応力」と「Y方向+Z方向の発生応力」をSRSSする

ステップ3：「X方向の発生応力」と「Y方向の発生応力」と「Z方向の発生応力」をSRSSする

なお、新規制工事計画認可申請書「添付資料13 耐震性に関する説明書（P 添13-19-71）」に、従来評価データを用いた水平2方向と鉛直方向の組合せ評価方法として以下①～③の記載があるが、今回の評価においてステップ1と2については②、ステップ3については①による評価の具体的方法を、容易に評価可能な順にステップを設定したものである（主蒸気系統配管は、水平1方向と鉛直方向の地震力を組み合わせた上で従来の発生値を各方向で算出している設備に該当するため、②をベースに評価を行う）なお、主蒸気系統配管の評価については③の設備には該当せず、改めて③により水平1方向と鉛直方向の組合せ評価結果を算出しても、水平2方向と鉛直方向の組合せによる影響評価に有効に活用できないため使用しない。

- ①水平各方向及び鉛直方向の地震力をそれぞれ個別に用いて従来の発生値を算出している設備は、水平2方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせて水平2方向を考慮した発生値の算出を行う。
- ②水平1方向と鉛直方向の地震力を組み合わせた上で従来の発生値を各方向で算出している設備は、鉛直方向を含んだ水平各方向別の発生値を組み合わせることで水平2方向を考慮した発生値の算出を行う。
- ③水平各方向を包絡した床応答曲線による地震力と鉛直方向の地震力を組み合わせた上で従来の発生値を算出している設備は、鉛直方向を含んだ水平各方向同一の発生値を組み合わせることで水平2方向を考慮した発生値の算出を行う。

2. 評価結果

主蒸気系統配管において、一次応力、および一次+二次応力それぞれにおいて、地震動 S s で水平 1 方向と鉛直方向の評価結果で応力比が最大となった部位に対して評価を行った結果は下表のとおりである。

応力種別	発生応力 ^{※1}	許容応力 ^{※1}	応力比
一次	260 266 ^{※2}	323	0.80 0.82 ^{※2}
一次+二次	526 744 ^{※3}	333	1.58 2.23 ^{※3}
疲労累積 係数	0.104 0.497		

上段は、水平 1 方向と鉛直方向の組合せによる評価結果

下段は、水平 2 方向と鉛直方向の組合せによる影響評価結果

※1：発生応力及び許容応力の単位は MPa

※2：ステップ 2 で、X方向+Z方向の地震による一次応力（188.9 MPa）と
Y方向+Z方向の地震による一次応力（50.3 MPa）をSRSSし、地震を除く
一次応力（70.4MPa）を加えた結果

※3：ステップ 1 で、水平 1 方向とZ方向の組合せ発生応力を $\sqrt{2}$ 倍した結果

以上

主給水ブースターポンプ吸込管(A)および湿分分離器ドレンポンプ吐出管(A)の一次応力評価結果（応力比0.99）の裕度に関する考察

添付－ 5 に示すとおり、主給水ブースターポンプ吸込管(A)および湿分分離器ドレンポンプ吐出管(A)の一次応力評価結果の応力比が0.99であるが、許容値を超えていない（応力比 ≤ 1 ）ことから、耐震安全性に問題はないが、本評価結果のもつ裕度について考察する。

応力比は「発生応力/許容応力」で示されるが、発生応力を算出するための評価手法に裕度（保守性）をもたせることで、算出される発生応力は実際に生じる応力より安全側に大きく算出される。ここでは、評価手法のもつ保守性を具体的に示すため以下2点に着目し、それぞれどの程度の裕度を有しているかを確認する。

1. 3次元はりモデル評価で応力集中係数を乗じることによる裕度について

当該部はエルボ部であり、3次元はりモデル評価においては保守的な応力集中係数を乗じて算出しているが、応力比が0.99の当該エルボ部を、必要最小肉厚 t_{sr} まで周軸一様減肉させた状態をFEMでモデル化し、詳細評価を実施することで発生応力の精緻化を試みた。なお、FEM解析については添付－ 4 と同様の方法で実施した。

2. 減肉状態を必要最小肉厚 t_{sr} の周軸一様肉厚と想定することによる裕度について

「1.」の解析条件に加えて、当該エルボ部の肉厚は、肉厚計測結果から得られている実際の肉厚と減肉率をもとに、60年時点の肉厚を算出したところ湿分分離器ドレンポンプ吐出管(A)については t_{sr} に達しないことから、60年時点の肉厚まで周軸方向一様に減肉したと仮定したFEMモデルを作成したうえ、「1.」と同じ荷重が作用した場合の発生応力を算出した。

表11-7-1に、「3次元はりモデル評価（応力集中係数考慮、板厚： t_{sr} ）」、1. で実施した「FEMモデル評価（板厚： t_{sr} ）」、および2. で実施した「FEMモデル評価（板厚：60年時点の厚さ）」（湿分分離器ドレンポンプ吐出管(A)のみ実施）の結果を比較して示す。

本結果より、応力集中係数を乗じることによる裕度、および肉厚を t_{sr} まで減肉させることにより、それぞれ相応分の裕度を有していることが確認できた。

表11-7-1 主給水ブースターポンプ吸込管(A)および湿分分離器ドレンポンプ吐出管(A)の一次応力評価における裕度確認結果

	対象配管	発生応力 ^{※1}	許容応力 ^{※1}	応力比	裕度	各観点からの裕度
3次元はりモデル評価 【添付-7 (3/7), (4/7) 参照】 (応力集中係数考慮、板厚: $t_{sr}^{※2}$)	主給水ブースターポンプ吸込管(A)	187	189	0.99	1.01	—
	湿分分離器ドレンポンプ吐出管(A)	177	178	0.99	1.01	—
FEMモデル評価 【添付-7 (5/7), (6/7) 参照】 (板厚: $t_{sr}^{※2}$)	主給水ブースターポンプ吸込管(A)	158	189	0.84	1.20	「1.」の観点 1.19
	湿分分離器ドレンポンプ吐出管(A)	90	178	0.51	1.98	「1.」の観点 1.96
FEMモデル評価 【添付-7 (7/7) 参照】 (板厚: 60年時点の厚さ ^{※3})	主給水ブースターポンプ吸込管(A)	—	—	—	—	—
	湿分分離器ドレンポンプ吐出管(A)	59	178	0.33	3.02	「2.」の観点 1.53

※1: 発生応力及び許容応力の単位は MPa

※2: 必要最小肉厚

主給水ブースターポンプ吸込管 (A) : 6.4mm

湿分分離器ドレンポンプ吐出管 (A) : 3.8mm

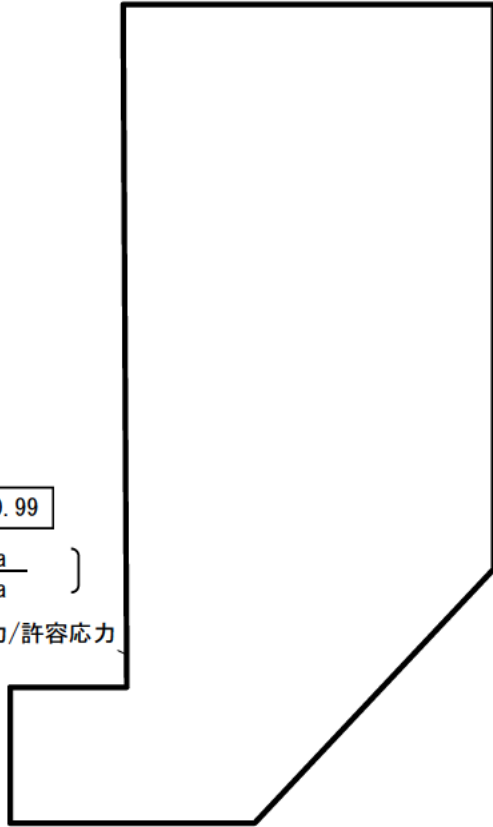
※3: 湿分分離器ドレンポンプ吐出管 (A) の60年目の想定厚さ
(下表参照)

部位	最新測定厚さ	減肉率	最新測定時～60年までの期間	稼働率	60年時点の想定厚さ
エルボ部	9.3mm	$0.029 \times 10^{-4} \text{mm/h}$	33年	90%	8.5mm
エルボ下流部	9.4mm	$0.022 \times 10^{-4} \text{mm/h}$			8.8mm

【主給水ブースターポンプ吸込管(A)】

3次元はりモデル評価

(応力集中係数考慮、板厚：tsr)



応力比 : 0.99

$$\left(= \frac{187\text{MPa}}{189\text{MPa}} \right)$$

応力比=一次応力/許容応力

応力比0.99の当該部の発生応力：187 (MPa) については、以下に示すとおり応力集中係数 i_1 が、計算機内で自重及び地震による項に乘じられ算出された値である。

1. 応力集中係数

(JEAC3706-2007「圧力配管及び弁類規程」第3章表3.5-5による)

i_1 : 当該エルボの応力集中係数

$$i_1 = \frac{0.9}{\frac{z}{h^3}}$$

h : たわみ特性

$$h = \frac{t_n R}{r^2}$$

$$\left(\begin{array}{l} t_n : \text{管の板厚 (mm)} = 6.4 \\ R : \text{エルボの曲げ半径 (mm)} = 711.2 \\ r : \text{管の平均半径 (mm)} = 352.4 \end{array} \right)$$

→ $i = 8.16$

2. 応力の算出

発生応力は、計算機内で以下の式により算出された結果である。

$$\text{発生応力} = \frac{P D_o}{4t} + \frac{0.75 i_1 (M a + M b)}{Z}$$

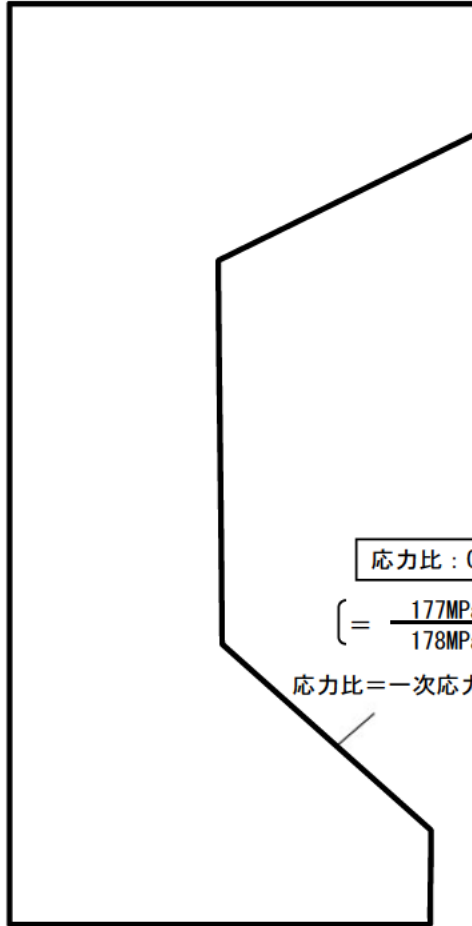
$$\left(\begin{array}{l} P : \text{内圧 (MPa)} = 1.37 \\ D_o : \text{管の外径 (mm)} = 711.2 \\ t : \text{肉厚 (mm)} = 6.4 \\ i_1 : \text{応力集中係数} = 8.16 \text{ (上記算出過程参照)} \\ M a : \text{自重による発生モーメント (N}\cdot\text{mm)} = 25108000 \\ M b : \text{地震による発生モーメント (N}\cdot\text{mm)} = 34953000 \\ Z : \text{管の断面係数 [mm}^3\text{]} = 2474637.6 \end{array} \right)$$

→187 (MPa)

【湿分分離器ドレンポンプ吐出管(A)】

3次元はりモデル評価

(応力集中係数考慮、板厚：tsr)



応力比0.99の当該部の発生応力：177 (MPa) については、以下に示すとおり応力集中係数 i_1 が、計算機内で自重及び地震による項に乘じられ算出された値である。

2. 応力集中係数

(JEAC3706-2007「圧力配管及び弁類規程」第3章表3.5-5による)

i_1 : 当該エルボの応力集中係数

$$i_1 = \frac{0.9}{\frac{z}{h^3}}$$

h : たわみ特性

$$h = \frac{t_n R}{r^2}$$

$$\left(\begin{array}{l} t_n : \text{管の板厚 (mm)} = 3.8 \\ R : \text{エルボの曲げ半径 (mm)} = 381.0 \\ r : \text{管の平均半径 (mm)} = 131.8 \end{array} \right)$$

→ $i = 4.72$

2. 応力の算出

発生応力は、計算機内で以下の式により算出された結果である。

$$\text{発生応力} = \frac{P D_o}{4t} + \frac{0.75 i_1 (M_a + M_b)}{Z}$$

$$\left(\begin{array}{l} P : \text{内圧 (MPa)} = 2.01 \\ D_o : \text{管の外径 (mm)} = 267.4 \\ t : \text{肉厚 (mm)} = 3.8 \\ i_1 : \text{応力集中係数} = 4.72 \text{ (上記算出過程参照)} \\ M_a : \text{自重による発生モーメント (N}\cdot\text{mm)} = 385000 \\ M_b : \text{地震による発生モーメント (N}\cdot\text{mm)} = 7796000 \\ Z : \text{管の断面係数 [mm}^3\text{]} = 204474.2 \end{array} \right)$$

→177 (MPa)

【主給水ブースターポンプ吸込管(A)】

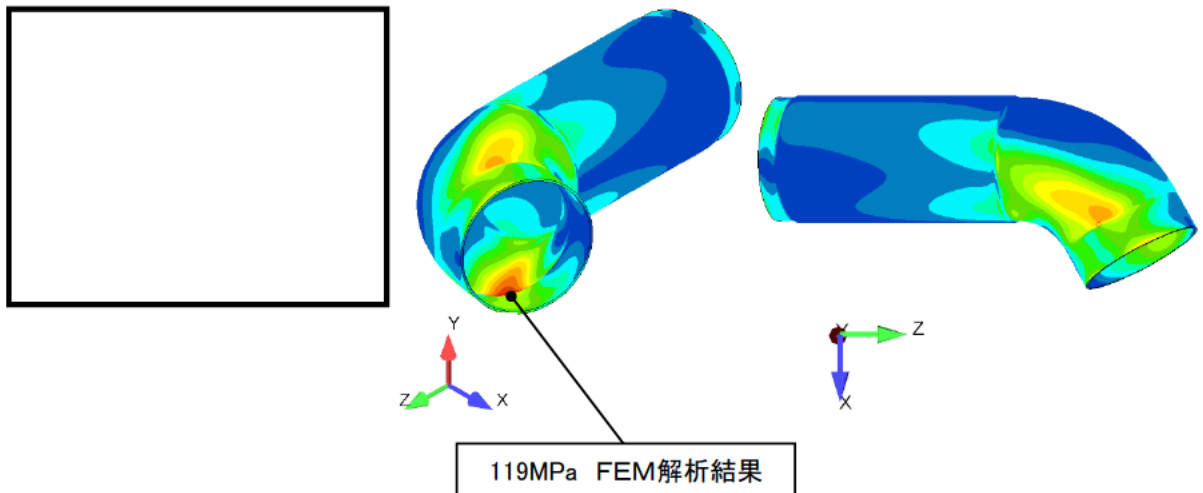
FEMモデル評価 (板厚: t_{sr})

【FEM入力荷重】

3次元はりモデル解析で得られたA点の荷重を、FEMモデルに入力する。

A		力(N)			モーメント(N・m)															
荷重ケース		X	Y	Z	X	Y	Z													
自重								}												
地震	(+Z)														}					
	(-Z)															}				
自重+地震	(+Z)																			
	(-Z)																			

【FEM解析モデルおよび結果】



地震方向	発生応力(MPa)			許容応力S _y (MPa)	応力比
	内圧	自重+地震	合計		
-Z		39		119	158
	(40)		(79)	(0.42)	

-Z方向の発生応力が大きいためこれを評価結果とする。()内は+Z方向の結果を示す。

【湿分分離器ドレンポンプ吐出管(A)】

FEMモデル評価 (板厚 : tsr)

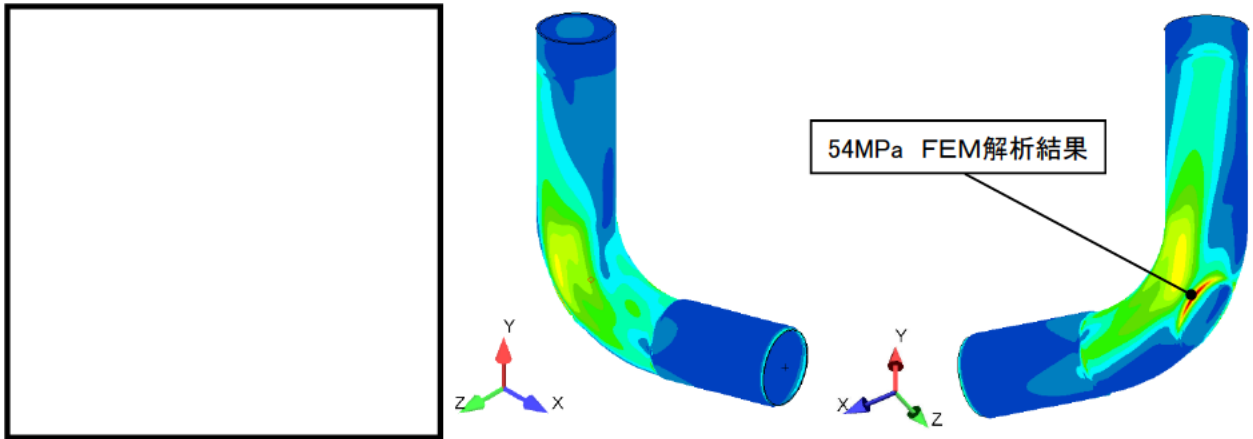
【FEM入力荷重】

3次元はりモデル解析で得られたB点の荷重を、FEMモデルに入力する。

荷重ケース		力(N)			モーメント(N・m)		
		X	Y	Z	X	Y	Z
自重							
地震	(+Z)						
	(-Z)						
自重+地震	(+Z)						
	(-Z)						

梁モデル解析結果
 FEM入力荷重

【FEM解析モデルおよび結果】



地震方向	発生応力(MPa)			許容応力Sy (MPa)	応力比
	内圧	自重+地震	合計		
-Z		36		54	90
	(53)		(89)	(0.50)	

-Z方向の発生応力が大きいためこれを評価結果とする。()内は+Z方向の結果を示す。

【湿分分離器ドレンポンプ吐出管(A)】

FEMモデル評価 (板厚: 60年時点の厚さ)

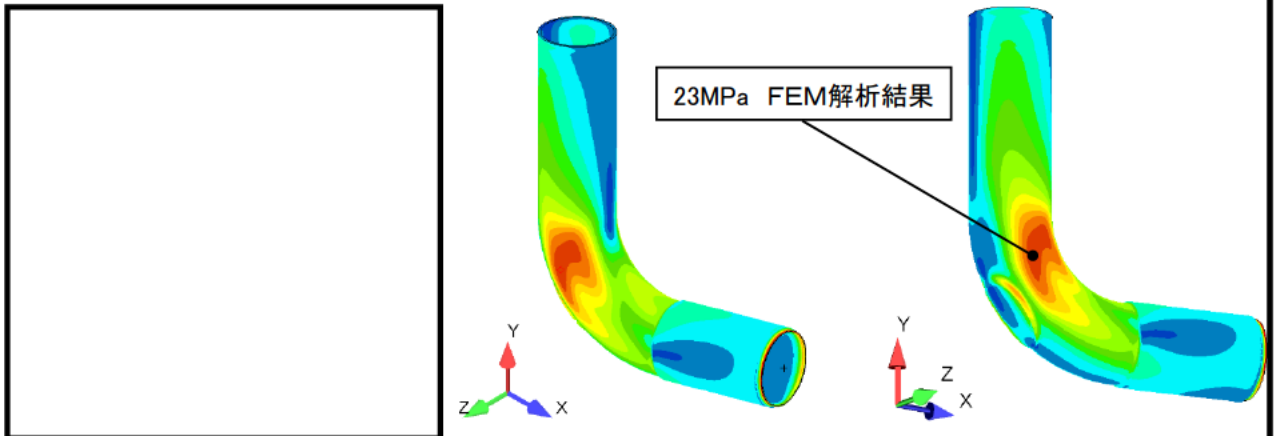
【FEM入力荷重】

3次元はりモデル解析で得られたB点の荷重を、FEMモデルに入力する。

荷重ケース		力(N)			モーメント(N・m)		
		X	Y	Z	X	Y	Z
自重							
地震	(+Z)						
	(-Z)						
自重+地震	(+Z)						
	(-Z)						

} 梁モデル解析結果
} FEM入力荷重

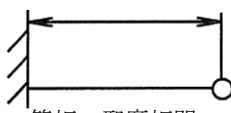
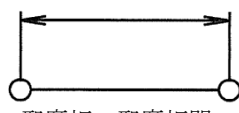
【FEM解析モデルおよび結果】



地震方向	発生応力(MPa)			許容応力 S_y (MPa)	応力比
	内圧	自重+地震 (FEM解析結果)	合計		
+Z	36*	23 (22)	59 (58)	178	0.33 (0.33)

+Z方向の発生応力が大きいためこれを評価結果とする。()内は-Z方向の結果を示す。

※内圧による発生応力は安全側に t_{SR} による応力とした

<p>タイトル</p>	<p>原子炉補機冷却水冷却器伝熱管の内面腐食（流れ加速型腐食）に対する耐震安全性評価について</p>																																						
<p>説明</p>	<p>原子炉補機冷却水冷却器伝熱管の内面腐食（流れ加速型腐食）に対する評価の具体的内容を以下に示す。</p> <p>1. 評価仕様</p> <p>評価仕様を表 12-1 に示す。</p> <p style="text-align: center;">表 12-1 評価仕様</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>単位</th> <th>記号</th> <th>数値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>最高使用圧力</td> <td>MPa</td> <td>P_m</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>最高使用温度</td> <td>℃</td> <td>—</td> <td>95</td> </tr> <tr> <td>伝熱管外径</td> <td>mm</td> <td>D_o</td> <td rowspan="5" style="border: 2px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>伝熱管厚さ</td> <td>mm</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>伝熱管減肉後厚さ^{※1}</td> <td>mm</td> <td>t'</td> </tr> <tr> <td>伝熱管評価質量</td> <td>kg/m</td> <td>m_e</td> </tr> <tr> <td>断面二次モーメント</td> <td>m^4</td> <td>I</td> </tr> <tr> <td>伝熱管材質</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>C6871T</td> </tr> <tr> <td>伝熱管支持間距離^{※2} (管板－邪魔板)</td> <td>mm</td> <td rowspan="2" style="border: 2px solid black;">L</td> <td rowspan="2" style="border: 2px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>伝熱管支持間距離^{※2} (邪魔板－邪魔板)</td> <td>mm</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1：伝熱管内面に施栓基準である mm %減肉) まで一様減肉が生じたと仮定する。</p> <p>※2：支持間距離は各々最大支持間隔を用いる。</p> <p>2. 解析モデル</p> <p>解析モデルは、減肉後の伝熱管を、支持条件に対し以下の通りモデル化している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・管板－邪魔板間：片端固定－片端支持はりモデル ・邪魔板－邪魔板間：両端支持はりモデル <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>管板－邪魔板間 (固定－支持条件)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>邪魔板－邪魔板間 (支持－支持条件)</p> </div> </div>	項目	単位	記号	数値	最高使用圧力	MPa	P_m	0.7	最高使用温度	℃	—	95	伝熱管外径	mm	D_o		伝熱管厚さ	mm	—	伝熱管減肉後厚さ ^{※1}	mm	t'	伝熱管評価質量	kg/m	m_e	断面二次モーメント	m^4	I	伝熱管材質	—	—	C6871T	伝熱管支持間距離 ^{※2} (管板－邪魔板)	mm	L		伝熱管支持間距離 ^{※2} (邪魔板－邪魔板)	mm
項目	単位	記号	数値																																				
最高使用圧力	MPa	P_m	0.7																																				
最高使用温度	℃	—	95																																				
伝熱管外径	mm	D_o																																					
伝熱管厚さ	mm	—																																					
伝熱管減肉後厚さ ^{※1}	mm	t'																																					
伝熱管評価質量	kg/m	m_e																																					
断面二次モーメント	m^4	I																																					
伝熱管材質	—	—	C6871T																																				
伝熱管支持間距離 ^{※2} (管板－邪魔板)	mm	L																																					
伝熱管支持間距離 ^{※2} (邪魔板－邪魔板)	mm																																						

3. 入力（荷重）条件

地震荷重は、原子炉補機冷却水冷却器の耐震重要度に応じたSクラス地震荷重を適用する。

入力（荷重）条件を以下に示す。

(1) 固有振動数の算出

$$f = \lambda \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m_e \cdot L^4}}$$

f：伝熱管の固有振動数（Hz）

λ：管の支持方法による係数

（管板－邪魔板：2.454、邪魔板－邪魔板：1.571）

E：管の縦弾性係数（N/m²）

（＝（MPa）＝（N/m²））

I：断面二次モーメント（m⁴）

m_e：伝熱管評価質量（kg/m）

L：支持間隔（m）

(2) モーメントの算出

① 管板－邪魔板（固定－支持条件）の場合

$$M = \frac{3WL}{16}$$

② 邪魔板－邪魔板（支持－支持条件）の場合

$$M = \frac{WL}{4}$$

W：はりの中心に作用する集中荷重（N）

M_a（自重による最大曲げモーメント）算出時

$$W = m_e \cdot L \cdot g$$

M_b（地震荷重による最大曲げモーメント）算出時

$$W = m_e \cdot L \cdot g \cdot C$$

ここで、

C=合成地震力 (G) とし、以下の式により算出する。

$$C = \sqrt{C_H^2 + C_V^2}$$

C_H : 水平地震力

C_V : 鉛直地震力

g: 重力加速度 (= 9.80665m/s²)

(3) 発生応力の算出

地震時の伝熱管に発生する応力は、以下の計算式により求める。

$$S = \frac{P_m \cdot D_o}{4t'} + \frac{0.75i_1(M_a + M_b)}{Z}$$

S : 発生応力 (MPa)

P_m : 伝熱管内の最高使用圧力 (MPa)

D_o : 伝熱管の外径 (mm)

t' : 伝熱管減肉後厚さ (mm)

i_1 : 応力係数 (=1.33)

M_a : 自重による最大曲げモーメント (N・mm)

M_b : 地震荷重による最大曲げモーメント (N・mm)

Z : 伝熱管の断面係数 (mm³)

4. 算出過程

① 管板—邪魔板の場合

$$f = \lambda \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m_e \cdot L^4}} = \boxed{} \text{ (Hz)}$$

固有周期 T は、

$$T = \frac{1}{f} = \boxed{} \text{ (s)}$$

水平方向地震力 C_H は、

$$C_H = \boxed{} \text{ (G)}$$

鉛直方向地震力 C_V は、

$$C_V = \boxed{} \text{ (G)}$$

(添付-1 参照)

自重による最大曲げモーメント M_a は、

$$W = m_e \cdot L \cdot g = \boxed{} \text{ (N)}$$

$$M_a = \frac{3WL}{16} = \boxed{} \text{ (N} \cdot \text{mm)}$$

地震荷重による最大曲げモーメント M_b は、

$$W = m_e \cdot L \cdot g \cdot C = \boxed{} \text{ (N)}$$

$$M_b = \frac{3WL}{16} = \boxed{} \text{ (N} \cdot \text{mm)}$$

$$M_a = \boxed{} \text{ (N} \cdot \text{mm)}$$

$$M_b = \boxed{} \text{ (N} \cdot \text{mm)}$$

伝熱管に発生する応力は、以下により算出される。

断面係数

$$Z = \frac{\pi}{32} \times \frac{\boxed{} - \boxed{}}{\boxed{}} = \boxed{} \text{ (mm}^3\text{)}$$

$$\text{伝熱管外径 } D_o = \boxed{} \text{ (mm)}$$

$$\text{伝熱管減肉後厚さ } t' = \boxed{} \text{ (mm)}$$

$$\text{伝熱管内径 } D_i = D_o - 2t' = \boxed{} \text{ (mm)}$$

以上より、発生応力 S は、

$$S = \frac{P_m \cdot D_o}{4t'} + \frac{0.75i_1(M_a + M_b)}{Z}$$

$$= \boxed{} \text{ (MPa)}$$

②邪魔板—邪魔板の場合

$$f = \lambda \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m_e \cdot L^4}} = \boxed{} \text{ (Hz)}$$

固有周期 T は、

$$T = \frac{1}{f} = \boxed{} \text{ (s)}$$

水平方向地震力 C_H は、

$$C_H = \boxed{} \text{ (G)}$$

鉛直方向地震力 C_V は、

$$C_V = \boxed{} \text{ (G)}$$

(添付-1 参照)

自重による最大曲げモーメント M_a は、

$$W = m_e \cdot L \cdot g = \boxed{} \text{ (N)}$$

$$M_a = \frac{WL}{4} = \boxed{} \text{ (N} \cdot \text{mm)}$$

地震荷重による最大曲げモーメント M_b は、

$$W = m_e \cdot L \cdot g \cdot C = \boxed{} \text{ (N)}$$

$$M_b = \frac{WL}{4} = \boxed{} \text{ (N} \cdot \text{mm)}$$

$$M_a = \boxed{} \text{ (N} \cdot \text{mm)}$$

$$M_b = \boxed{} \text{ (N} \cdot \text{mm)}$$

以上より、発生応力 S は、

$$S = \frac{P_m \cdot D_o}{4t'} + \frac{0.75i_1(M_a + M_b)}{Z}$$

$$= \boxed{} \text{ (MPa)}$$

以上より、発生応力の大きい邪魔板—邪魔板の場合の $\boxed{}$ (MPa) を発生応力値とした。

5. 評価結果

評価結果を表 12-2 に示す。伝熱管に減肉を考慮しても地震時の伝熱管の発生応力は許容応力を超えることはなく、耐震安全性評価上問題ない。

表 12-2 大飯 4 号炉 原子炉補機冷却水冷却器伝熱管の内面腐食（流れ加速型腐食）に対する評価結果

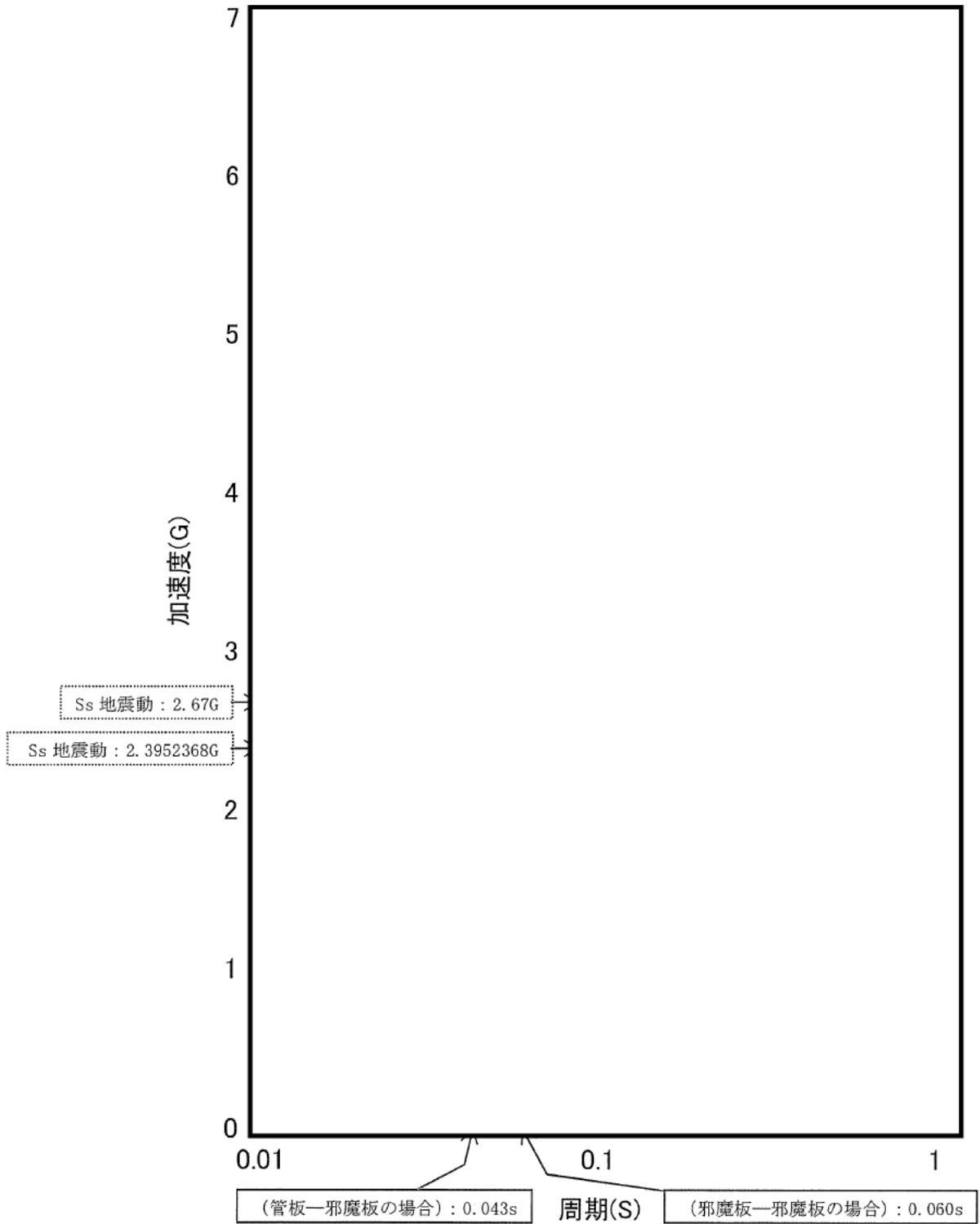
評価部位	地震時の発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比
原子炉補機冷却水冷却器伝熱管			0.79



以上

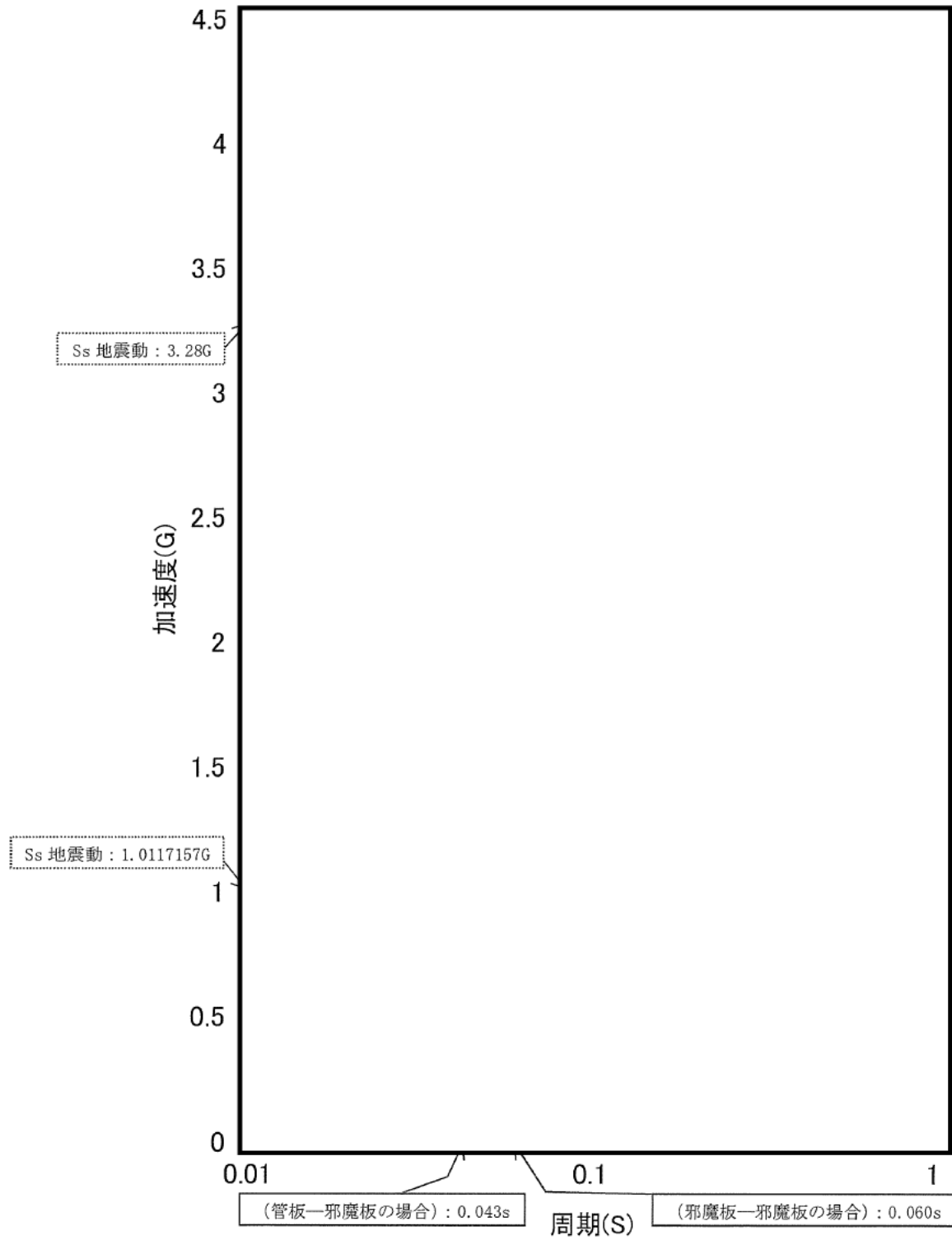
原子炉補機冷却水冷却器 (原子炉補助建屋 EL. 5.5m)

Ss地震動 水平方向床応答曲線図 (減衰1%)



原子炉補機冷却水冷却器 (原子炉補助建屋 EL. 5.5m)

Ss地震動 鉛直方向床応答曲線図 (減衰1%)



タイトル	機器付基礎ボルトの腐食を考慮した耐震安全性評価について
説明	<p>燃料油貯蔵タンク及び重油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) 燃料油貯蔵タンク : 添付-1 (2) 重油タンク : 添付-2</p> <p>新規制基準工事計画認可申請における後打ちアンカ評価設備において、メカニカルアンカ使用設備、およびケミカルアンカ使用設備について、それぞれに対し、減肉による影響を考慮した耐震評価結果例を添付-3に示す。</p> <p>主蒸気系統配管用基礎ボルトの腐食に対する評価の具体的内容、および鉛直方向と水平2方向の組合せによる影響評価結果を添付-4に示す。</p>

(1) 燃料油貯蔵タンク
 <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	—	°C	40
基礎から脚の胴つけ根部までの高さ	h_1	mm	
容器の有効運転質量	m_0	kg	
脚1本当たりの質量	m_s	kg	
脚に作用する荷重	R	N	
脚つけ根部に作用する力	R_0	N	
縦弾性係数比	s	—	
基礎ボルト本数	n	—	
引張を受ける基礎ボルト本数	n_1	—	
脚底板の長手方向幅	a	mm	
脚底板の横方向幅	b	mm	
基礎ボルト呼び径	d	—	
脚底板端面から基礎ボルト中心までの長手方向の距離	d_1	mm	
基礎ボルト腐食量	—	mm	
基礎ボルト材質	—	—	SS41 (SS400)
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	

<解析モデル>

JEAG4601-1987の横置円筒形容器の1質点系モデルを参考とし、5脚支持横置円筒形容器の重心位置に地震荷重が作用するものとして評価を行った。解析モデルを図1に示す。

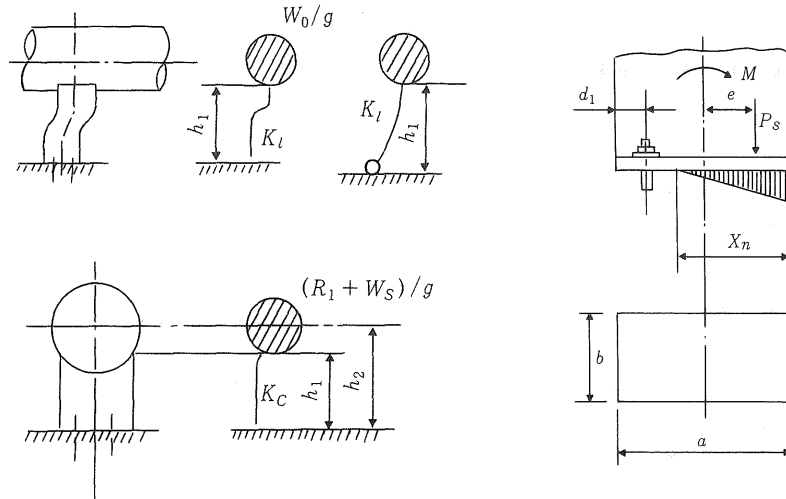


図1 解析モデル

<入力（荷重）条件>

【水平方向】

燃料油貯蔵タンク床応答曲線*（水平方向）より加速度を算出した。（図2参照）
水平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。

$$1.2ZPA : 0.93 \times 1.2 = 1.116 \text{ (G)} \quad (1G=9.80665\text{m/s}^2)$$

$$a_H = 1.116 \times 9.80665 = 10.944221 \text{ (m/s}^2)$$

$$\doteq 10.94 \text{ (m/s}^2)$$

【鉛直方向】

燃料油貯蔵タンク床応答曲線*（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。

$$1.2ZPA : 0.63 \times 1.2 = 0.756 \text{ (G)} \quad (1G=9.80665\text{m/s}^2)$$

$$a_V = 0.756 \times 9.80665 = 7.4138274 \text{ (m/s}^2)$$

$$\doteq 7.41 \text{ (m/s}^2)$$

*全波包絡FRSにより応答加速度を算出している。

2. 評価結果

以上の結果をまとめると以下の表2のとおりであり、耐震安全性評価上問題ない。

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	141	193	0.73	146	193	0.76
せん断	37	148	0.25	39	148	0.26

*減肉後の発生応力については、次式より求める。

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

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

○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 (S_y)、設計引張強さ (S_u) より、

$$1.2S_y = 1.2 \times 215 = 258 \text{ (MPa)}$$

$$0.7S_u = 0.7 \times 400 = 280 \text{ (MPa)}$$

$$F = \text{Min}(1.2S_y, 0.7S_u) = \text{Min}(258, 280) = 258 \text{ (MPa)}$$

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

$$f_t^* = F/2 = 258/2 = 129 \text{ (MPa)}$$

よって、引張許容応力は、

$$1.5f_t^* = 1.5 \times 129 = 193 \text{ (MPa)}$$

・せん断応力の算出

$$f_s^* = F/1.5\sqrt{3} = 258/1.5\sqrt{3} = 99.3 \div 99 \text{ (MPa)}$$

よって、せん断許容応力は、

$$1.5 f_s^* = 1.5 \times 99 = 148 \text{ (MPa)}$$

・せん断応力と引張応力の組合せ許容応力

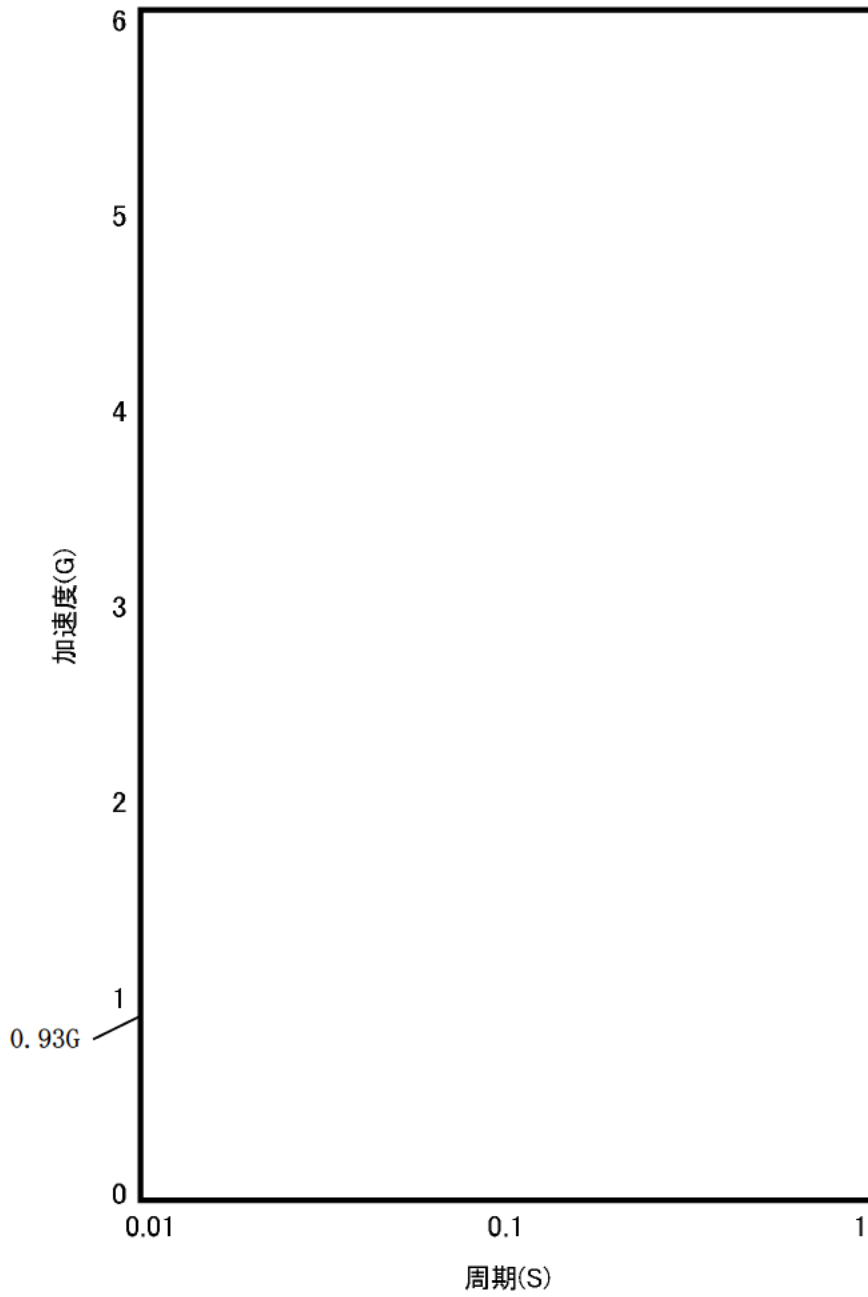
引張許容応力について、せん断応力を組み合わせた場合の許容値を算出した。

$$S_s \text{によるせん断応力 } \tau = 39 \text{ (MPa)}$$

$$1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6 \tau = 1.4 \times 193 - 1.6 \times 39 = 207 \text{ (MPa)}$$

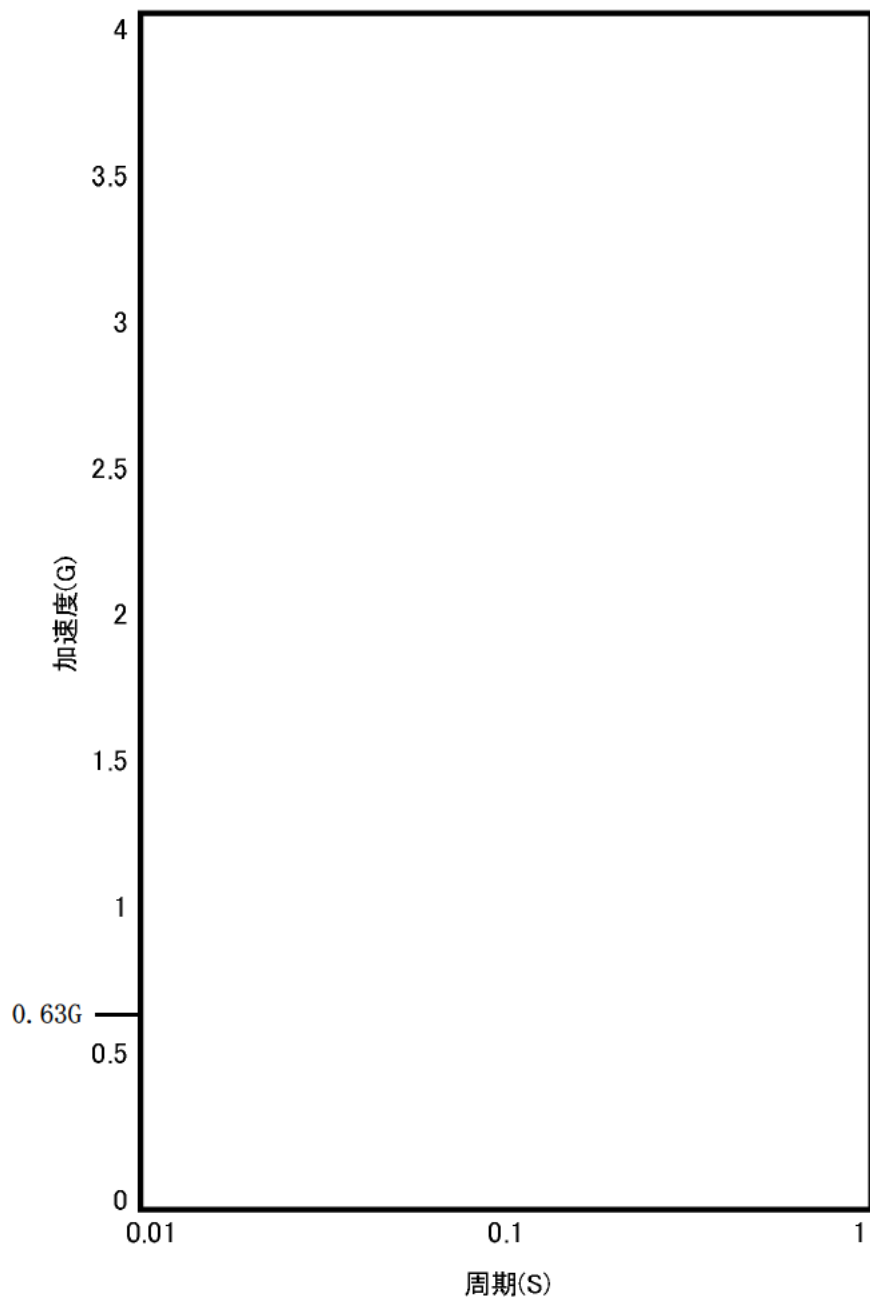
よって、組合せを考慮した引張許容応力は、

$$\text{Min}(1.5f_t^*, 1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6 \tau) = \text{Min}(193, 207) = 193 \text{ (MPa)}$$



$$1G=9.80665 \text{ m/s}^2$$

図2 燃料油貯蔵タンク 床応答曲線 (水平方向 減衰1.0%)



$$1G = 9.80665 \text{ m/s}^2$$

図3 燃料油貯蔵タンク 床応答曲線 (鉛直方向 減衰1.0%)

(2) 重油タンク
 <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
基礎から胴の中心までの高さ	h	mm	
容器の有効運転質量	m ₀	kg	
脚1本当たりの質量	m _s	kg	
脚に作用する荷重	R	N	
縦弾性係数比	s	—	
基礎ボルト本数	n	—	
引張を受ける基礎ボルト本数	n ₁	—	
脚底板の長手方向幅	a	mm	
脚底板の横方向幅	b	mm	
基礎ボルト呼び径	d	—	
脚底板端面から基礎ボルト中心までの横方向の距離	d ₁	mm	
基礎ボルト腐食量	—	mm	
基礎ボルト材質	—	—	SNB7
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	

<解析モデル>

JEAG4601-1987の横置円筒形容器の1質点系モデルに準拠し、機器の重心位置に地震荷重が作用するものとして評価を行った。解析モデルを図1に示す。

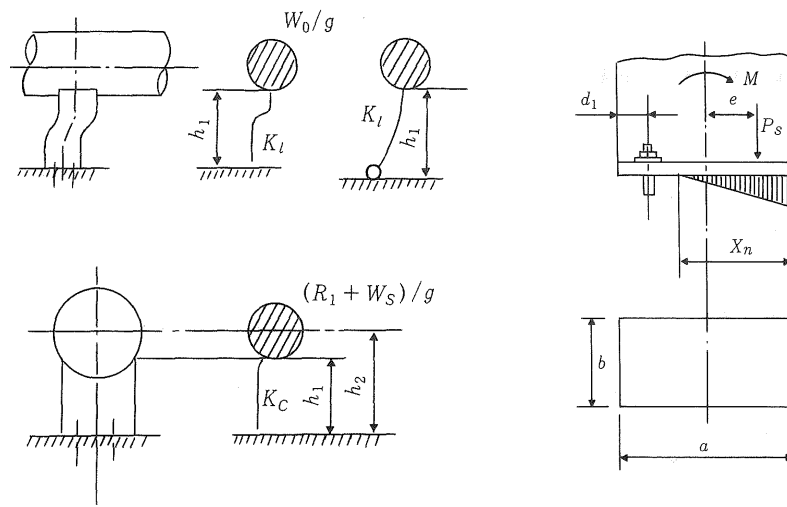


図1 解析モデル

<入力（荷重）条件>

【水平方向】

重油タンク床応答曲線※（水平方向）より加速度を算出した。（図2参照）

水平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。

$$1.2ZPA : 0.93 \times 1.2 = 1.116 \text{ (G)} \quad (1G=9.80665\text{m/s}^2)$$

$$a_H = 1.116 \times 9.80665 = 10.944221 \text{ (m/s}^2)$$

$$\doteq 10.94 \text{ (m/s}^2)$$

【鉛直方向】

重油タンク床応答曲線※（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。

$$1.2ZPA : 0.63 \times 1.2 = 0.756 \text{ (G)} \quad (1G=9.80665\text{m/s}^2)$$

$$a_V = 0.756 \times 9.80665 = 7.4138274 \text{ (m/s}^2)$$

$$\doteq 7.41 \text{ (m/s}^2)$$

※全波包絡FRSにより応答加速度を算出している。

2. 評価結果

以上の結果をまとめると以下の表2のとおりであり、耐震安全性評価上問題ない。

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	178	451	0.39	183	451	0.41
せん断	63	346	0.18	65	346	0.19

*減肉後の発生応力については、次式より求める。

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

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

○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) より、

$$1.2S_y = 1.2 \times 725 = 870 \text{ (MPa)}$$

$$0.7S_u = 0.7 \times 860 = 602 \text{ (MPa)}$$

$$F = \text{Min}(1.2S_y, 0.7S_u) = \text{Min}(870, 602) = 602 \text{ (MPa)}$$

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

$$f_t^* = F/2 = 602/2 = 301 \text{ (MPa)}$$

よって、許容引張応力は、

$$1.5f_t^* = 1.5 \times 301 = 451 \text{ (MPa)}$$

・せん断応力の算出

$$f_s^* = F/1.5\sqrt{3} = 602/1.5\sqrt{3} = 231.7 \div 231 \text{ (MPa)}$$

よって、許容せん断応力は、

$$1.5 f_s^* = 1.5 \times 231 = 346 \text{ (MPa)}$$

・せん断応力と引張応力の組合せ許容応力

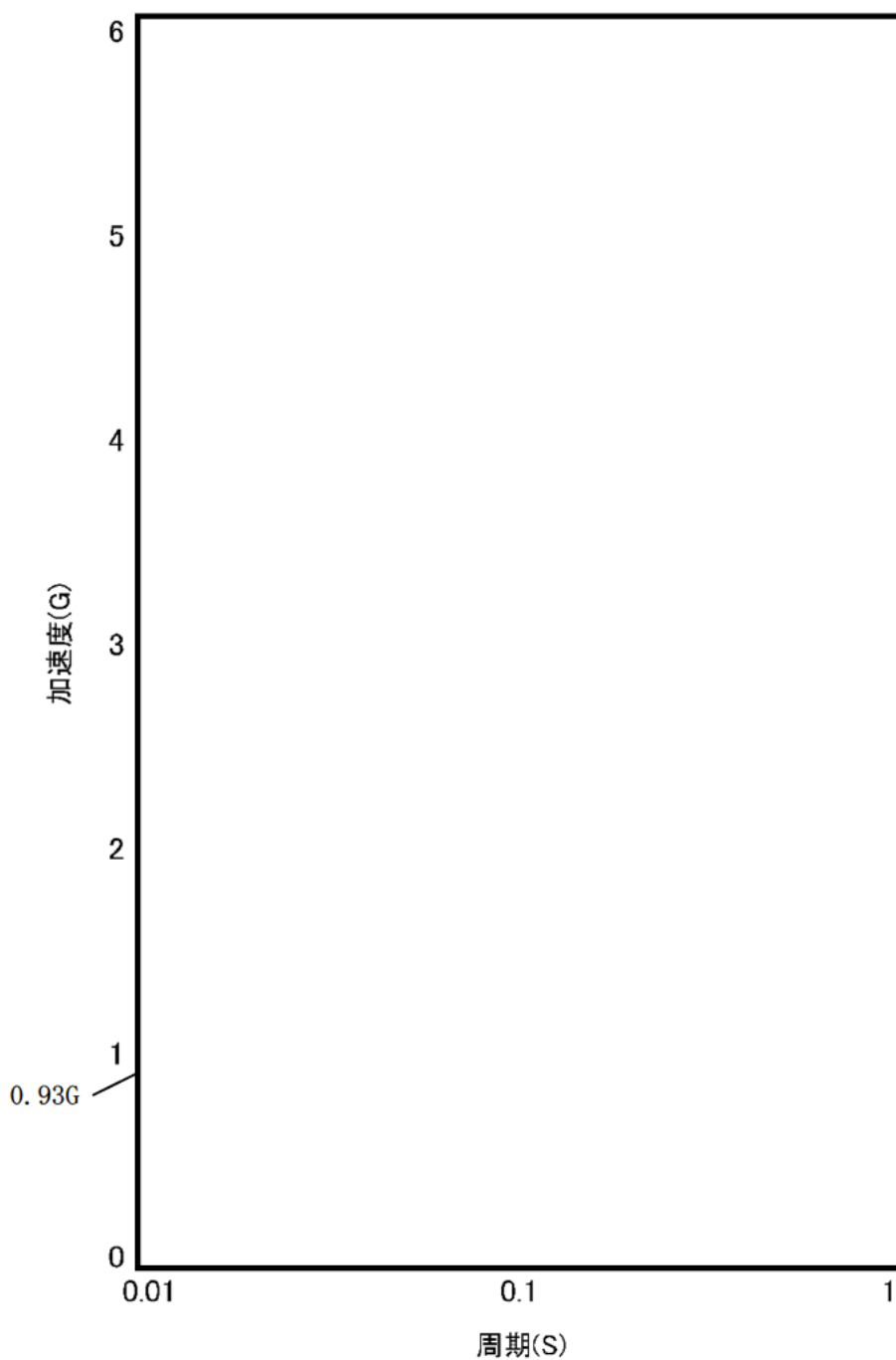
許容引張応力について、せん断応力を組み合わせた場合の許容値を算出した。

$$S_s \text{によるせん断応力 } \tau = 65 \text{ (MPa)}$$

$$1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6 \tau = 1.4 \times 451 - 1.6 \times 65 = 527 \text{ (MPa)}$$

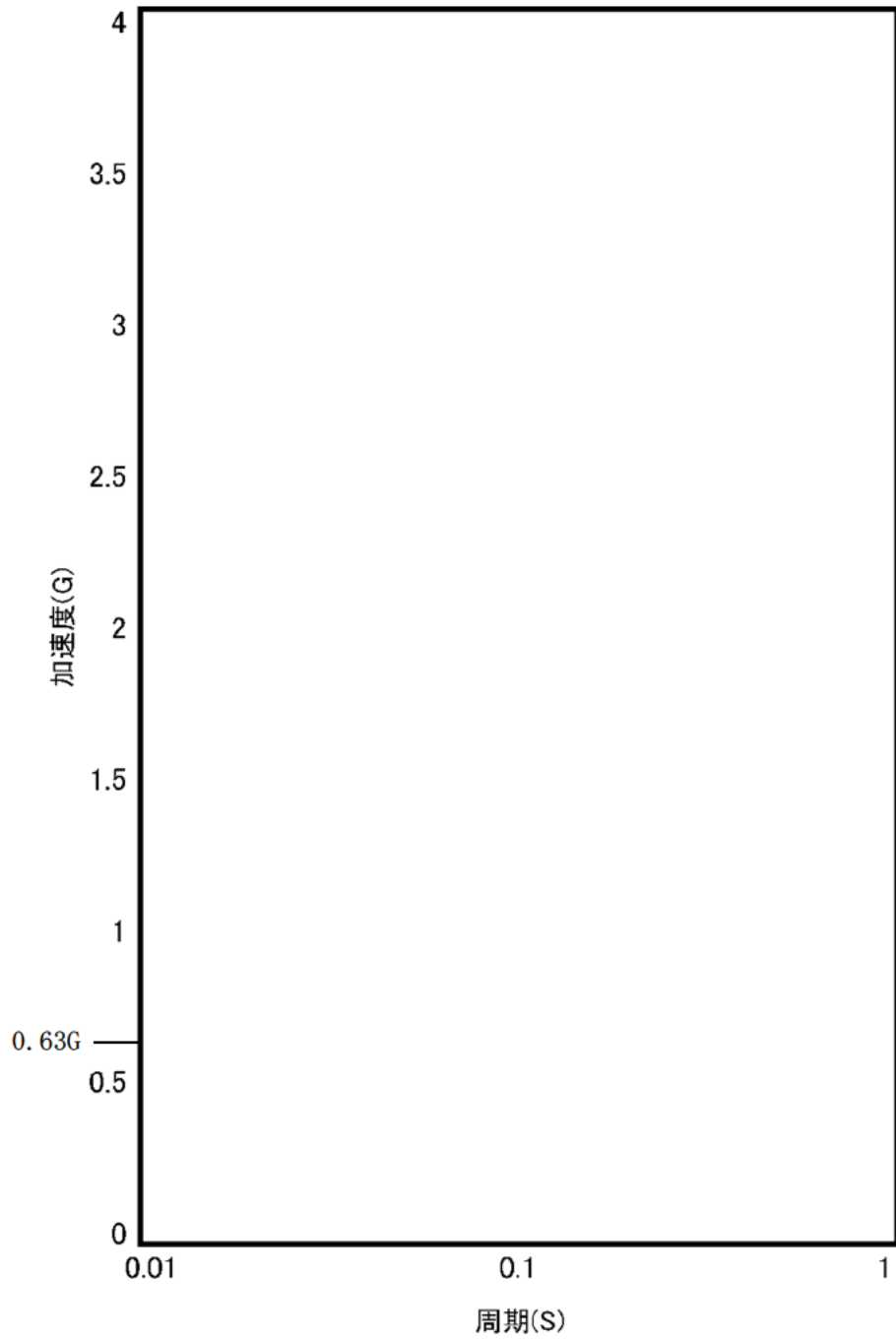
よって、組合せを考慮した許容引張応力は、

$$\text{Min}(1.5f_t^*, 1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6 \tau) = \text{Min}(451, 527) = 451 \text{ (MPa)}$$



$$1G=9.80665 \text{ m/s}^2$$

図2 重油タンク 床応答曲線 (水平方向 減衰1.0%)



$$1G=9.80665 \text{ m/s}^2$$

図3 重油タンク 床応答曲線 (鉛直方向 減衰1.0%)

後打ちアンカの腐食を考慮した耐震評価（例）について

後打ちアンカについては最大許容荷重が定められており、この値以上の荷重がボルトに作用しないよう施工している。

大飯発電所4号炉高経年化技術評価の対象設備のうち、炭素鋼の後打ちアンカを使用して設置され、新規制基準工事計画認可申請において評価された設備は、すべて屋内設備であり腐食は耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象ではないが、ここでは、半径方向に0.3mmの減肉を想定した基準地震動 S_s に対する耐震評安全性評価を実施し例示した。

結果は表1のとおりであり、応力比が1以下となることから耐震安全性評価上問題ない。

表1 後打ちアンカの腐食を考慮した耐震安全性評価結果

評価対象	型式	ボルト 呼び径	設置 個所	許容 応力 状態	減肉前 応力比	減肉後 応力比	応力 分類
原子炉下部キャビティ 水位計	メカニカル アンカ	M16	屋内	IV _A S	0.08	0.08	引張
					0.01	0.01	せん断
原子炉格納容器 水素燃焼装置	メカニカル アンカ	M12	屋内	IV _A S	0.42	0.47	引張
					0.08	0.08	せん断
静的触媒式 水素再結合装置	ケミカル アンカ	M22	屋内	IV _A S	0.22	0.24	引張
					0.09	0.10	せん断
可搬式代替電源用 接続盤（4号機）	ケミカル アンカ	M20	屋内	IV _A S	0.09	0.10	引張
					0.08	0.08	せん断
A・C計装用電源用 代替所内電気設備切替盤	ケミカル アンカ	M12	屋内	IV _A S	0.04	0.04	引張
					0.04	0.05	せん断

以上

主蒸気系統配管用基礎ボルトの耐震安全性評価について

主蒸気系統配管用基礎ボルトの耐震安全性評価の内容について以下に示す。

1. 評価対象基礎の選定

配管の基礎ボルトについては、複数のベースプレートで支持され、それぞれのベースプレートごとにボルトサイズや本数が異なることから、以下のとおりグループ化を行う。

表1 主蒸気系統配管用基礎のグループ化

グループ番号	ベースプレート台数	仕様 (サイズ×本数)
A	4	M30×12
B	6	M30×8
C	6	M30×16
D	6	M30×14
E	2	M42×8

2. グループの代表選定

主蒸気系統配管の Ss 地震動の 3次元はりモデル解析により算出される、各サポートへの作用荷重、ボルト配置間隔/本数、およびサポートアーム長から、ボルト 1 本あたりの発生荷重を算出し、各グループごとに最大値となるものをグループの代表とする。

3. 代表に対するボルトの減肉を考慮した応力算出

呼び径の直径で 0.6mm の腐食を考慮した断面積を算出し「2. グループの代表選定」で算出した荷重から、各代表のボルトに生じる引張応力およびせん断応力を算出し、許容値との比（応力比）が最大となるものを、主蒸気系統配管用基礎ボルトの耐震安全性評価結果とする。

表2 各グループ代表の減肉を考慮した基礎ボルトの評価結果

グループ番号	代表の発生応力	許容応力 ^{注1}	応力比	
A	引張	69	207	0.33
	せん断	49	159	0.31
B	引張	141	166	0.85 ^{注2}
	せん断	77	159	0.48 ^{注2}
C	引張	31	207	0.15
	せん断	13	159	0.08
D	引張	116	177	0.66
	せん断	70	159	0.44
E	引張	152	193	0.79
	せん断	26	148	0.18

注1：各許容応力は下記を用いた。

引張： $1.5ft^*(ft^*=\text{Min}(1.2Sy, 0.7Su)/2)$ と $1.4 \times 1.5ft^* - 1.6\tau$ のうち小さい方（ τ はせん断応力を示す）

せん断： $1.5fs^*(fs^*=\text{Min}(1.2Sy, 0.7Su)/1.5\sqrt{3})$

注2：評価書に記載した値

4. 評価結果

以上のとおり、Ss 地震時に主蒸気系統配管のボルトに発生する最大応力が許容値以下となることから、耐震安全性評価上問題ない。

5. グループBで応力比最大となったボルトの減肉を考慮した発生応力算出例
 グループBの、最大応力比最大となったボルトの発生応力の算出過程について、以下に示す。

表3 ボルト1本あたりにかかる発生荷重算出条件

L1 (m)	L2 (m)	n1 (本)	n2 (本)	h (m)	N ボルト 全本数

表4 配管からサポートへ作用する荷重

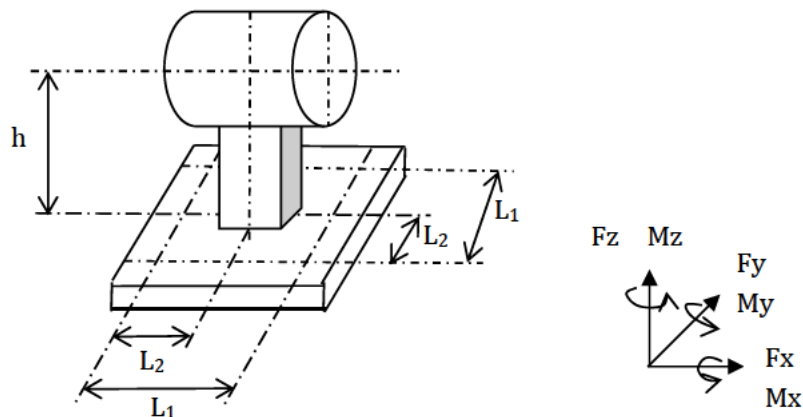
Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	Mx (kN・m)	My (kN・m)	Mz (kN・m)

ボルト1本あたりの発生荷重の算出式は以下のとおり。

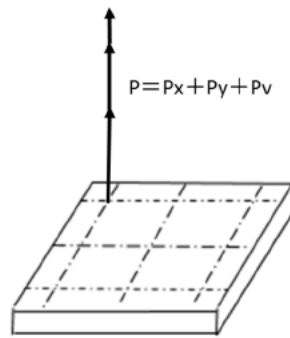
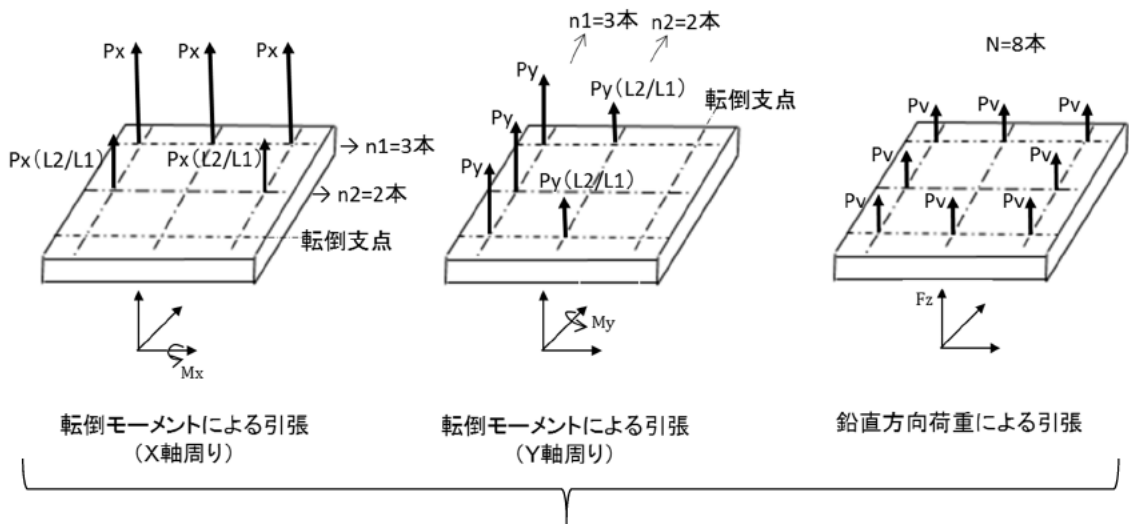
- ・耐力 :
$$MX = \frac{P_x}{L_1} (n_1 L_1^2 + n_2 L_2^2)$$

$$MY = \frac{P_y}{L_1} (n_1 L_1^2 + n_2 L_2^2)$$
- ・外力 : $MX = F_y \times h + M_x$, $MY = F_x \times h + M_y$
- ・引抜荷重 : $P_v = F_z \div N$

$$P = P_x + P_y + P_v$$
- ・せん断荷重 : $\tau = \sqrt{(F_x^2 + F_y^2)} \div N$

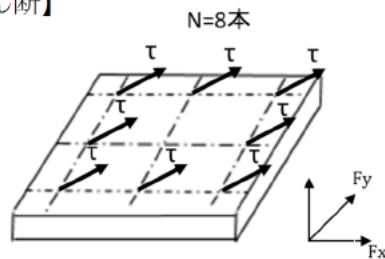


【引張】



組合せが最大値となる引張力

【せん断】



水平方向荷重による基礎ボルトのせん断

表5 ボルト1本あたりにかかる発生荷重算出結果

X方向引抜荷重	Y方向引抜荷重	Z方向引抜荷重	せん断荷重
P_x (kN/本)	P_y (kN/本)	P_v (kN/本)	τ (kN/本)

表6 ボルトに生じる発生応力算出条件

呼び径 (mm)	腐食前	30.0
	腐食後	29.4
断面積 (mm ²)	腐食前	706
	腐食後	678

ボルトの発生応力の算出式は以下のとおり

引張応力 : 引抜荷重(X方向+Y方向+Z方向) ÷ 腐食後の断面積

せん断応力 : せん断荷重 ÷ 腐食後の断面積

表7 ボルトに生じる発生応力算出結果

引張応力 (MPa)	せん断応力 (MPa)
141	77

6. 鉛直方向と水平2方向の組合せによる影響評価について

鉛直方向と水平2方向の組合せによる影響評価については、容易に評価が可能な順に、以下のステップで評価を行うこととし、許容値を満足することが確認できたステップにおける評価結果を、表8に示す。

ステップ1 : 「X方向+Z方向の発生荷重」と「Y方向+Z方向の発生荷重」の大きい方(水平1方向と鉛直方向の組合せ発生荷重)を $\sqrt{2}$ 倍した荷重を用いて発生応力を算出する。

ステップ2 : 「X方向+Z方向の荷重」と「Y方向+Z方向の荷重」をSRSSした荷重を用いて発生応力を算出する。

ステップ3 : 「X方向の荷重」と「Y方向の荷重」と「Z方向の荷重」をSRSSした荷重を用いて発生応力を算出する。

表8 各グループ代表の鉛直方向と水平2方向の組合せによる影響評価結果

グループ番号	代表の発生応力	許容応力 ^{注1}	応力比	
A	引張	98 ^{注2}	177	0.55
	せん断	70 ^{注2}	159	0.44
B	引張	152 ^{注3}	157	0.97
	せん断	83 ^{注3}	159	0.52
C	引張	44 ^{注2}	207	0.21
	せん断	19 ^{注2}	159	0.12
D	引張	145 ^{注3}	150	0.97
	せん断	87 ^{注3}	159	0.55
E	引張	154 ^{注3}	193	0.80
	せん断	26 ^{注3}	148	0.18

注1 : 各許容応力は下記を用いた。

引張 : $1.5ft * (ft * \text{Min}(1.2Sy, 0.7Su) / 2)$ と $1.4 \times 1.5ft * -1.6\tau$ のうち小さい方 (τ はせん断応力を示す)

せん断 : $1.5fs * (fs * \text{Min}(1.2Sy, 0.7Su) / 1.5\sqrt{3})$

注2 : 水平1方向と鉛直方向の組合せ発生応力(表2の結果)に $\sqrt{2}$ 倍した値を示す(ステップ1)。

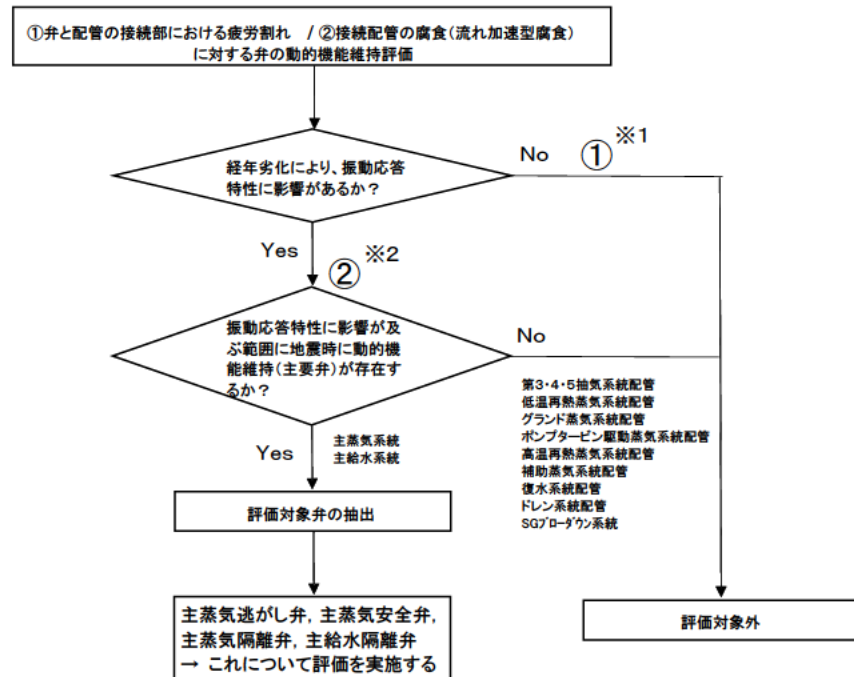
注3 : X方向+Z方向の荷重とY方向+Z方向の荷重をSRSSした荷重で算出した値を示す(ステップ2)。

以上

タイトル	主蒸気逃がし弁他に接続する配管の流れ加速型腐食に対する動的機能維持評価について
説明	<p>1. 動的機能維持評価の対象機器・経年劣化事象の抽出</p> <p>地震時に動的機能維持が要求される機器（弁、ポンプ、ファン等）については、地震時の応答加速度が機器の機能確認済加速度以下であること等により動的機能が維持されることを確認しているが、想定される経年劣化を考慮した場合にも動的機能が維持されることを確認する。</p> <p>動的機能の維持が要求される機器は、工事計画認可で対象に挙げている機器と同様である。そのうち、対象機器において想定される耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象（弁の場合は接続される配管の経年劣化を含む）を考慮した状態において動的機能維持評価を実施する必要があるかについて、以下のとおり検討した。</p> <p>a. 弁</p> <p>想定される経年劣化事象として低サイクル疲労および腐食（流れ加速型腐食）がある。低サイクル疲労については、運転開始後60年時点での推定過渡回数を考慮して算出した疲労累積係数（接液部は環境疲労を考慮した疲労累積係数）と基準地震動 S_s、または弾性設計用地震動 S_d を考慮した疲労累積係数の合計が許容値 1 を下回り、低サイクル疲労割れが発生しないことから振動応答特性への影響はなく、地震時の動的機能は維持される。</p> <p>腐食（流れ加速型腐食）については、動的機能の維持が要求される弁に接続する配管の流れ加速型腐食による振動応答特性への影響を考慮した場合、地震時の応答加速度に影響を及ぼす可能性があるため、配管減肉を考慮した耐震評価を行う際に得られる弁の地震時応答加速度が機能確認済加速度以下であること等を確認する。</p> <p>動的機能維持評価対象弁の選定フローを図14-1に示す。</p> <p>b. ポンプ、ポンプモータ、炉内構造物、電気設備、計測制御設備、電源設備</p> <p>想定される経年劣化事象については、現状の保全対策により機器等に与える影響が十分小さいことを確認した。</p> <p>炉内構造物については、制御棒クラスタ案内管の摩耗に対する制御棒挿入時間解析評価において、制御棒挿入時間が規定値を下回ることから、地震時の動的機能については維持されると判断する。</p> <p>また、耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象に対する耐震安全性評価の実施により、その他の機器等における動的機能維持に必要な部位での経年劣化事象は、機器の振動応答特性への影響が「軽微もしくは無視」できる事象であることを確認した。</p> <p>これより、経年劣化事象を考慮しても、地震時に動的機能の維持が要求される機器等における地震時の応答加速度は各機器の機能確認済加速度を上回るものでない等と考えられ、地震時の動的機能についても維持されると判断する。</p>

2. 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等を確認すべき対象を以下のとおり選定した。



※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

※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

図14-1 動的機能維持評価の対象弁・経年劣化事象の選定フロー

3. 評価結果

主蒸気逃がし弁、主蒸気安全弁、主蒸気隔離弁および主給水隔離弁に接続する主蒸気系統配管・主給水系統配管の、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、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等を確認した。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に示す。）

また、高次モード（100Hz）までの拡張の影響評価結果および水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果について、主蒸気逃がし弁を例とし、それぞれ添付-3および添付-4に示す。

表14-1 主蒸気逃がし弁他の動的機能維持評価結果

対象弁		S s	
		水平	鉛直
主蒸気逃がし弁 (PCV-3620)	応答加速度	7.3G* ¹ [7.6G]	2.3G [2.4G]
	機能確認済 加速度	6.0G	6.0G
主蒸気安全弁 (V-MS-527A* ³)	応答加速度	12.9G [10.5G]	1.8G
	機能確認済 加速度	13.0G	3.0G
主蒸気隔離弁 (V-MS-533A)	応答加速度	5.6G [5.5G]	1.7G
	機能確認済 加速度	6.0G	6.0G
主給水隔離弁 (V-FW-520A)	応答加速度	6.1G* ² [5.8G]	2.5G
	機能確認済 加速度	6.0G	6.0G

(注) 1G=9.80665 (m/s²)

「機能確認済加速度」は「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」に記載される機能維持確認済加速度

[]内は工認での評価結果 (補足説明資料含む)

*1: 詳細評価により、空気作動装置の動作確認済加速度 (11.0G) を満足していることを確認

*2: 詳細評価により、電動作動装置の動作確認済加速度 (7.3G) を満足していることを確認

(*1、*2詳細評価とは、弁ヨーク部等の構造強度の評価を実施したうえ、既往加振試験結果により得られた弁駆動装置単体の動作確認済み加速度と応答加速度を比較評価するものである。構造強度の評価結果については以下のとおり。

対象弁		発生値	許容値	
主蒸気逃がし弁 (PCV-3620)	配管反力	軸力 (×10 ⁴ N)	16	66
		曲げモーメント (×10 ⁶ N・mm)	29	44
		ねじりモーメント (×10 ⁶ N・mm)	5	87
	弁構造強度 (MPa)		145	327
主給水隔離弁 (V-FW-520A)	配管反力	軸力 (×10 ⁵ N)	13	18
		曲げモーメント (×10 ⁷ N・mm)	12	36
		ねじりモーメント (×10 ⁷ N・mm)	1	72
	弁構造強度 (MPa)		79	309

空気作動装置の動作確認済加速度 11.0Gは「(社)日本電気協会 原子力発電耐震設計専門部会」(耐専)でとりまとめた「水平・上下地震動に対する機器の機能維持評価法の検討に関する調査報告書(平成13年3月)」内で動作が確認されている加速度である。

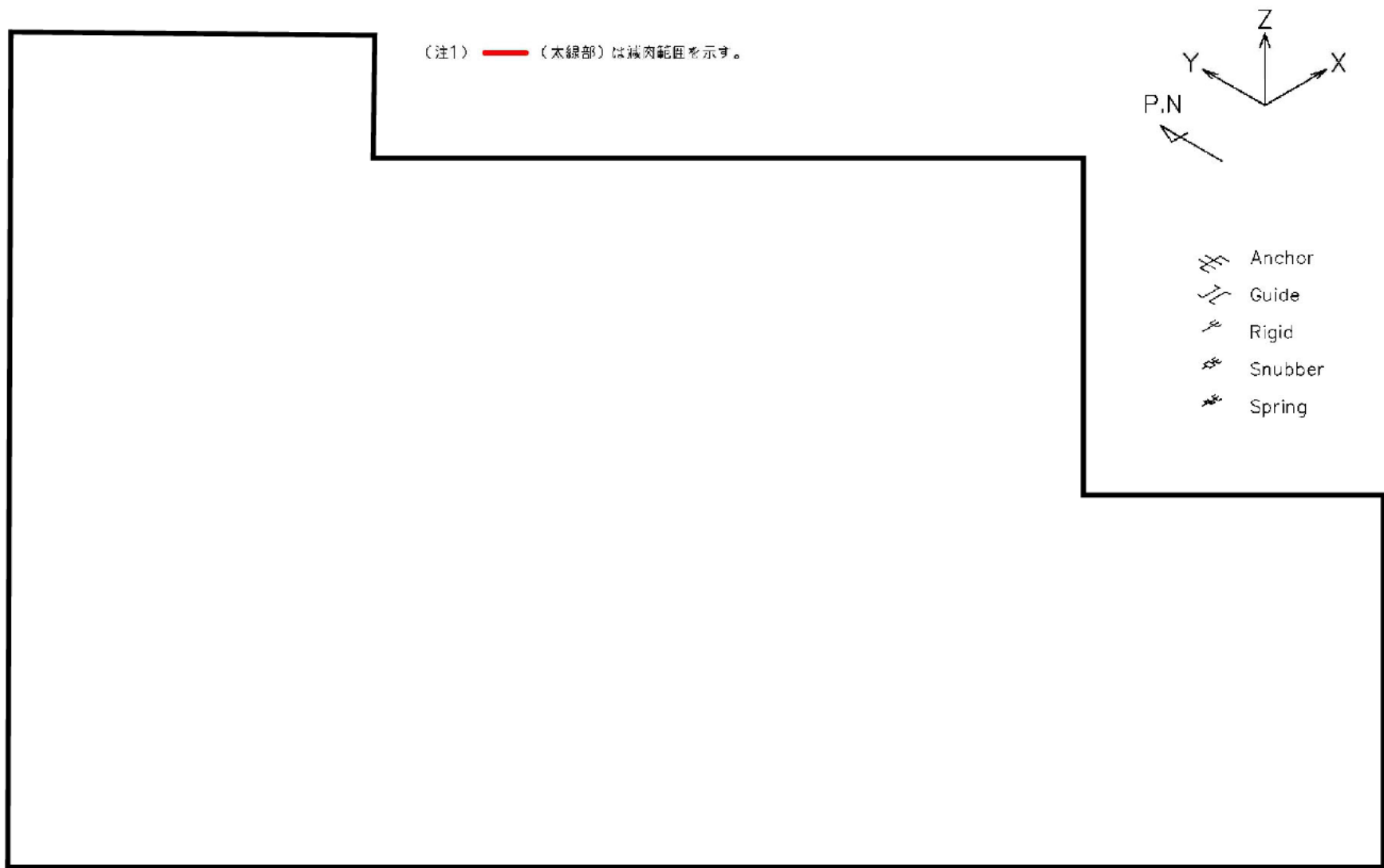
電動作動装置の動作確認済加速度 7.3Gは「(社)日本電気協会 原子力発電耐震設計特別調査委員会」(耐特委)でとりまとめた「動的機器の地震時機能維持評価に関する調査報告書(昭和62年2月)」内で動作が確認されている加速度である。

*3: 主蒸気安全弁はA B C D系に各5台(計20台)設置されているが、主蒸気系統配管に流れ加速型腐食を考慮しない場合(工事計画工認)と考慮した場合(高経年化技術評価)では、応答加速度が最大となる代表弁が異なる。

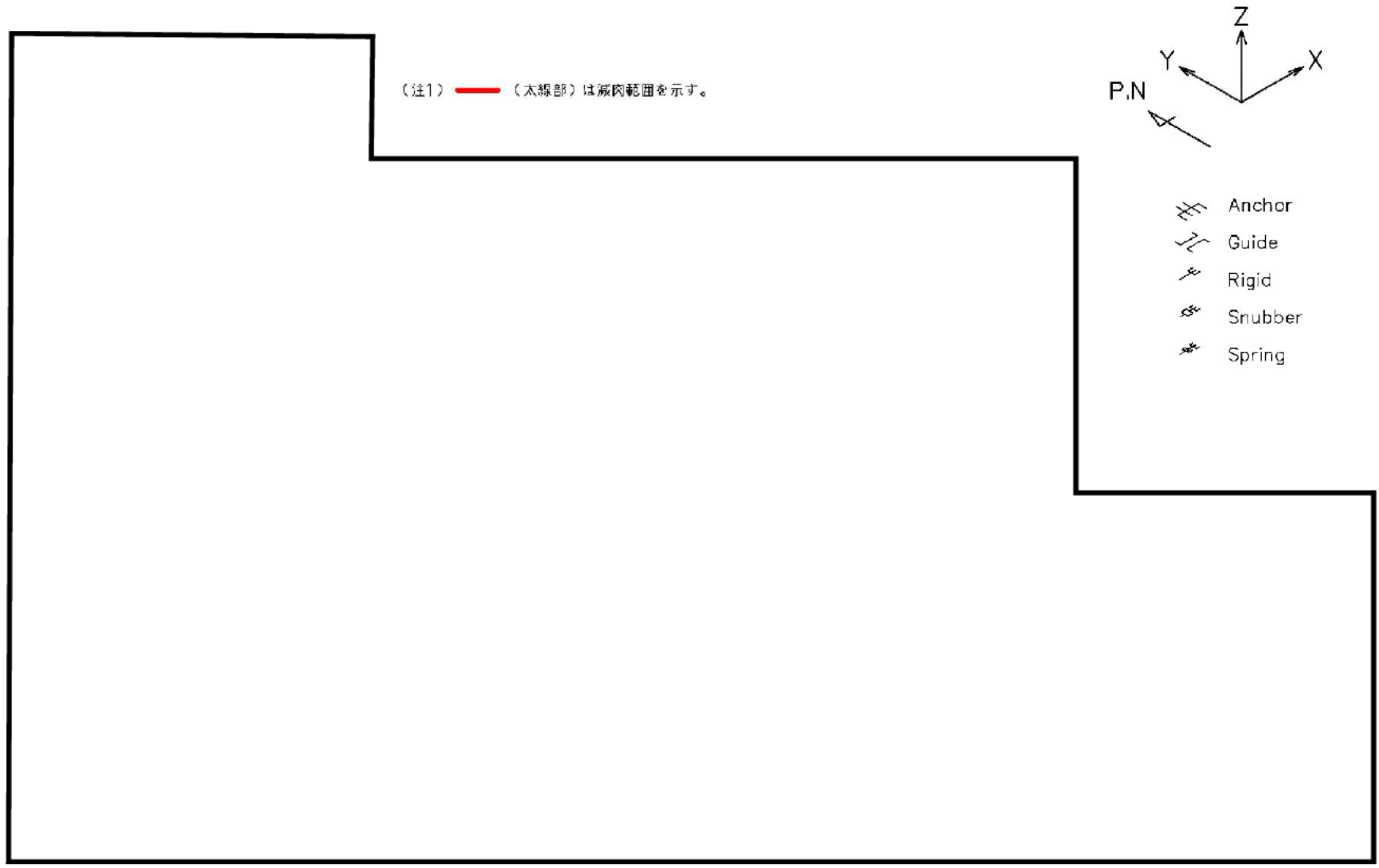
【工事計画認可代表】 V-MS-528B (減肉考慮無し: 11.6G、減肉考慮有り: 12.5G)

【高経年化技術評価代表】 V-MS-527A (減肉考慮無し: 10.5G、減肉考慮有り: 12.9G)

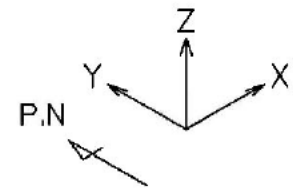
以 上




主蒸気系統配管(A-主蒸気配管 (CV外)) (解析モデル) ※D-主蒸気配管 (CV外) はミラーブロック

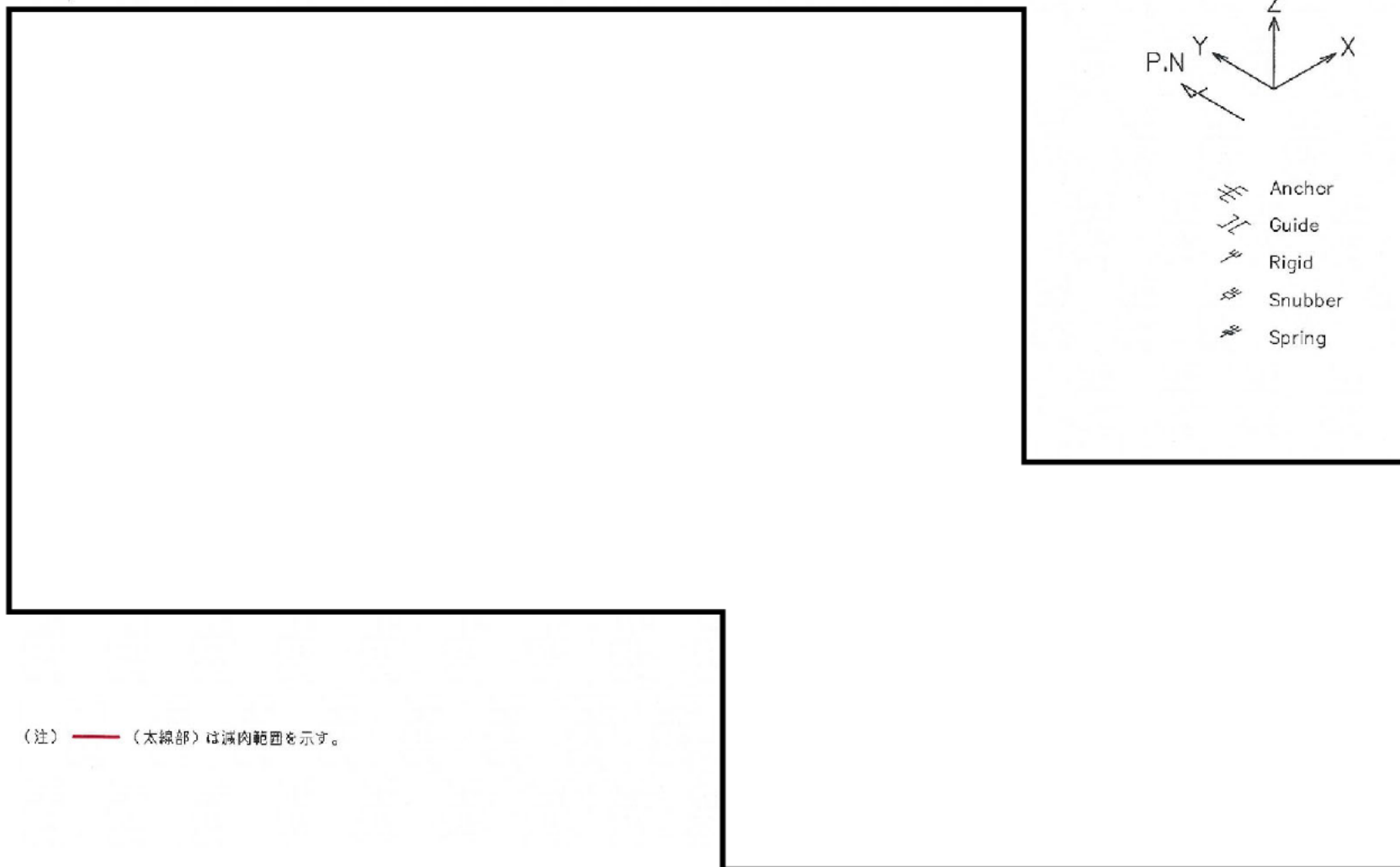


(注1) (太線部)は減肉範囲を示す。



-  Anchor
-  Guide
-  Rigid
-  Snubber
-  Spring

主蒸気系統配管(B-主蒸気配管 (CV外)) (解析モデル) ※C-主蒸気配管 (CV外) はミラーブロック



主給水系統配管(A-主給水配管 (CV外)) (解析モデル) ※D-主給水配管 (CV外) はミラーブロック

主蒸気逃がし弁(PCV-3620)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)ともに卓越モードは□次である。表1及び図1, 2に示すとおり、減肉により振動数、刺激係数及びモード形状が変動し、応答加速度は減肉なしの方が大きい結果となった。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 精緻化項目の効果

モデル	次数	固有値 (Hz)	入力加速度 (Y地震) (G)	刺激係数 (Y地震) (-)	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

注1:各モード(次数)での応答加速度

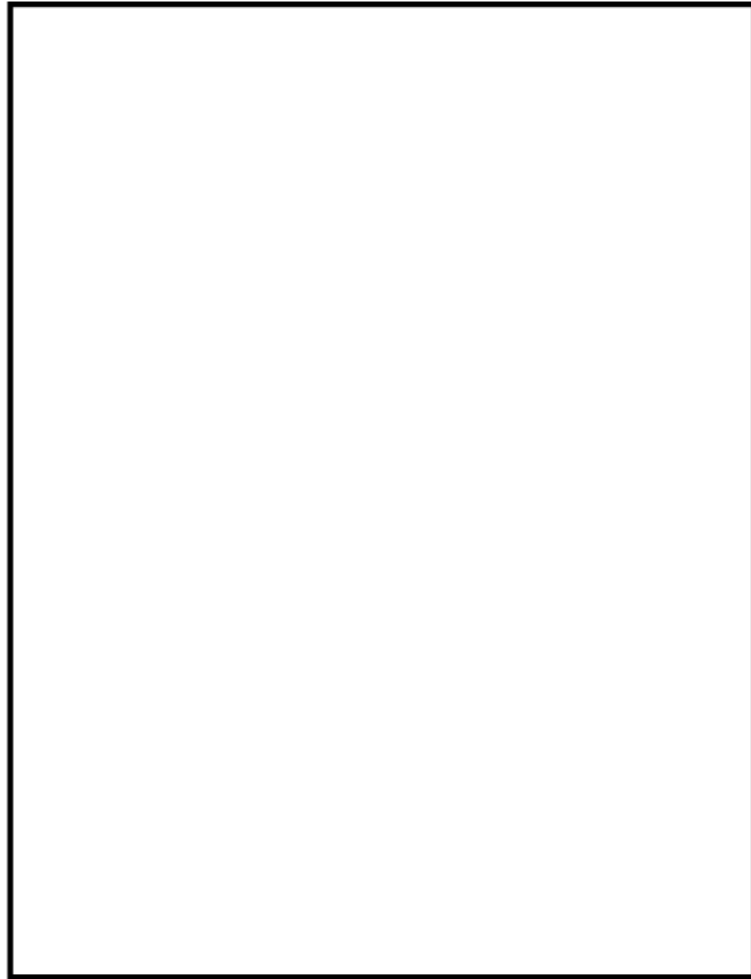


図1 減肉なし(2次モード)

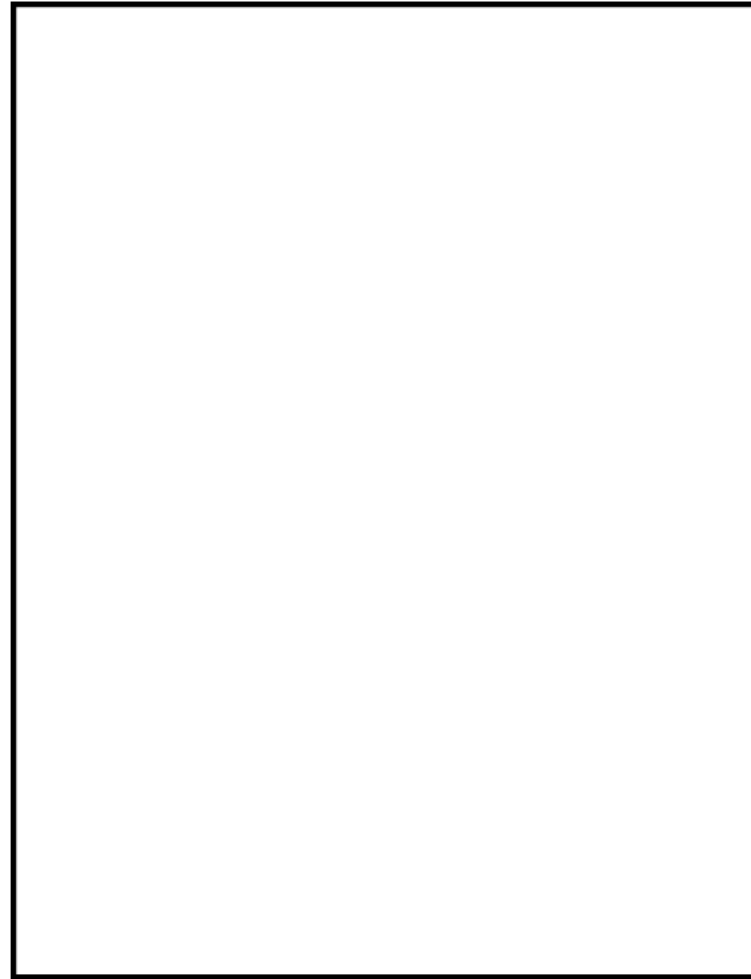


図2 減肉あり(2次モード)

主蒸気逃がし弁(PCV-3620)の卓越振動モードの比較

主蒸気逃がし弁の高次モード（100Hz）までの拡張による影響評価について

表14-1に示した動的機能維持評価結果については、50Hzまでの床応答スペクトルを用いた評価結果であるが、ここでは主蒸気逃がし弁を例とし、高次モード（100Hz）まで拡張して応答加速度を算出した評価結果を表1に示す。

なお、評価モデルおよび使用するFRSは、50Hzまでの評価と同じとした。

表1 主蒸気逃がし弁動的機能維持の高次モード拡張影響評価結果

対象弁			S _s	
			水平	鉛直
主蒸気逃がし弁 (PCV-3620)	応答 加速度	50Hzまで	7.3G [7.6G]	2.3G [2.4G]
		100Hzまで	7.5G [7.6G]	2.3G

(注) 1G=9.80665 (m/s²)

[]内は工認での評価結果（補足説明資料、審査会合資料を含む）

以上のとおり、主蒸気逃がし弁について、50Hzから高次モード（100Hz）まで拡張して応答加速度を評価した結果、加速度の増分は3%未満であり影響は軽微であることを確認した。

以上

主蒸気逃がし弁の動的機能維持の水平2方向と鉛直方向の組合せ評価について

1. 評価方法

水平2方向と鉛直方向の組合せによる影響評価については、「X方向+Z方向の応答加速度」と「Y方向+Z方向の応答加速度」をSRSSする方法で算出した。

2. 評価結果

水平2方向と鉛直方向の組合せ評価結果は下表のとおりである。なお、水平2方向考慮による、弁の鉛直方向の応答への影響は小さいため評価は実施していない。

表1 主蒸気逃がし弁の水平2方向と鉛直方向の組合せ評価結果

対象弁			S _s (水平)
主蒸気逃がし弁 (PCV-3620)	水平1方向と鉛直 方向の組合せ	応答加速度	7.3 G* ¹ [7.6G]
		機能確認済加速度	6.0 G
	水平2方向と鉛直 方向の組合せ	応答加速度	9.8 G* ¹ [10.3G]
		機能確認済加速度	6.0 G

(注) 1G=9.80665 (m/s²)

[]内は配管に減肉を想定しない場合の評価結果 (工認 補足説明資料等)

*1: 詳細評価により、空気作動装置の動作確認済加速度 (11.0G) を満足していることを確認
水平2方向と鉛直方向の組合せ詳細評価における構造強度の評価結果は以下のとおり。

対象弁		発生値	許容値	
主蒸気逃がし弁 (PCV-3620)	配管反力	軸力 (×10 ⁴ N)	17	66
		曲げモーメント (×10 ⁶ N・mm)	32	44
		ねじりモーメント (×10 ⁶ N・mm)	5	87
	弁構造強度 (MPa)		192	327

以上のとおり、主蒸気逃がし弁について、水平2方向と鉛直方向の組合せを考慮しても、地震時の動的機能に問題はない。

以上

タイトル	制御棒クラスタ被覆管および案内管の摩耗に対する制御棒挿入性評価について
説明	<p>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－1に示す。</p> <p>なお、制御棒クラスタ案内管（案内板）および被覆管の摩耗による抗力について、添付－2に示す。</p> <p>また、新規制基準適合に係る工事計画認可における審査内容の反映で、燃料集合体の照射影響を考慮した時刻歴解析手法を用いた評価を実施しており、その評価手法の概要を添付－3に示す。</p>

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. 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および24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およ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%カドミウムの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、さら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15-1-1および図15-1-2に示す。

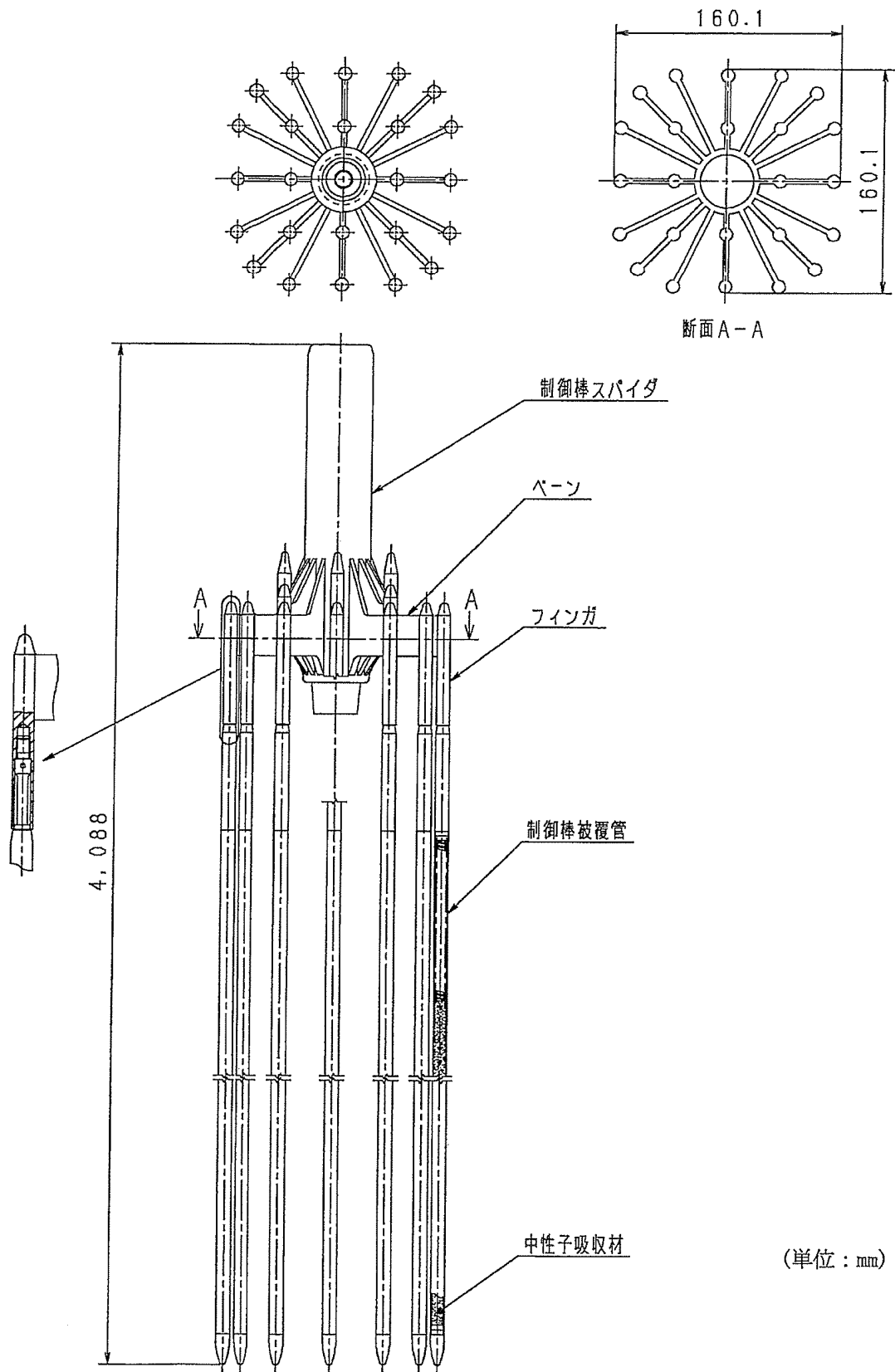


図15-1-1 17×17型制御棒クラスター構造図

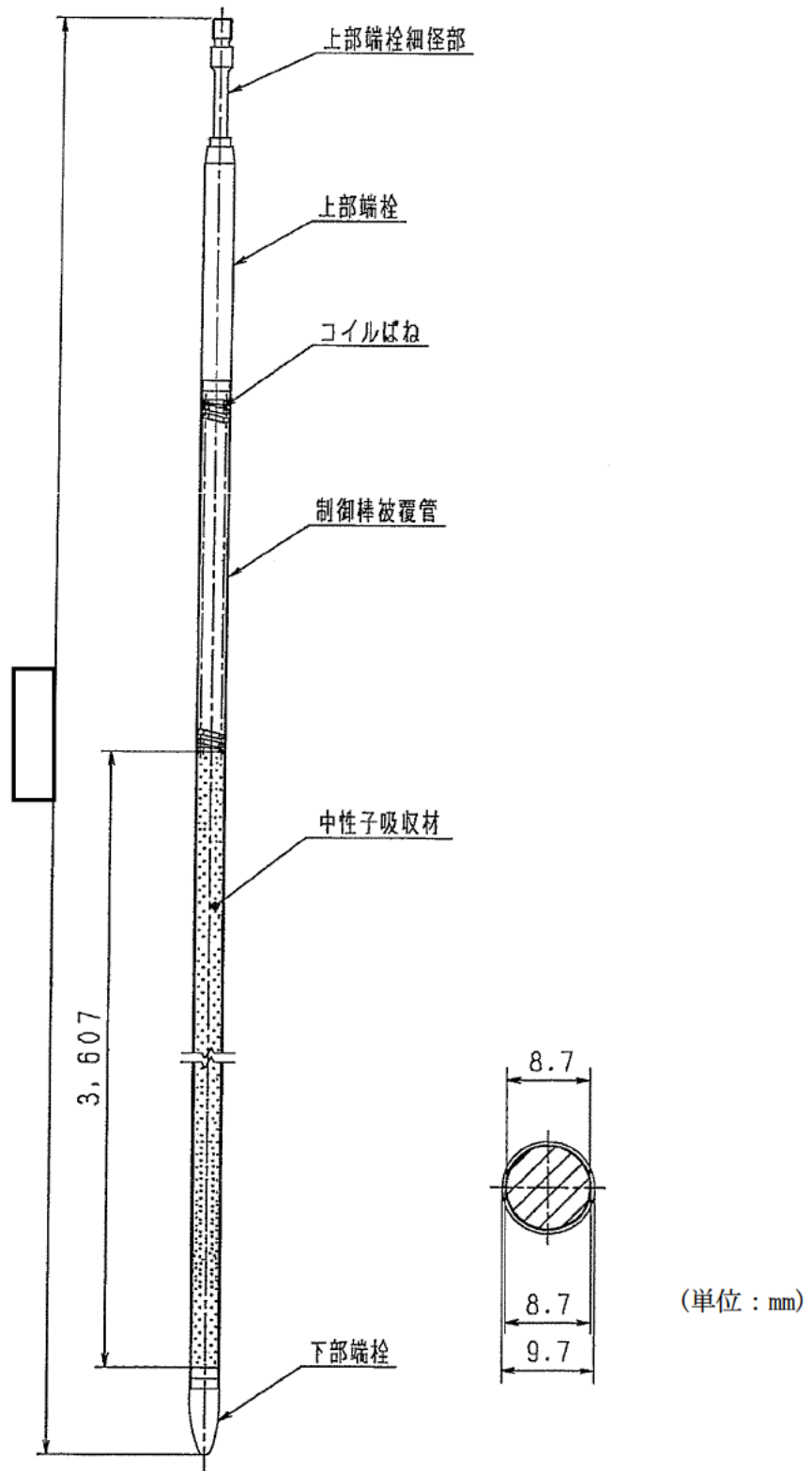


図15-1-2 17×17型制御棒構造図

2. 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、制御棒被覆管の摩耗およ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15-1-4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 _f	:	流体による抗力
F _v	:	地震外力による抗力
F _w	:	摩耗による抗力
F _m	:	メカニカル抗力
F _u	:	浮力

3. 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15-1-1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15-1-1 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
6.3	1.5	63.9

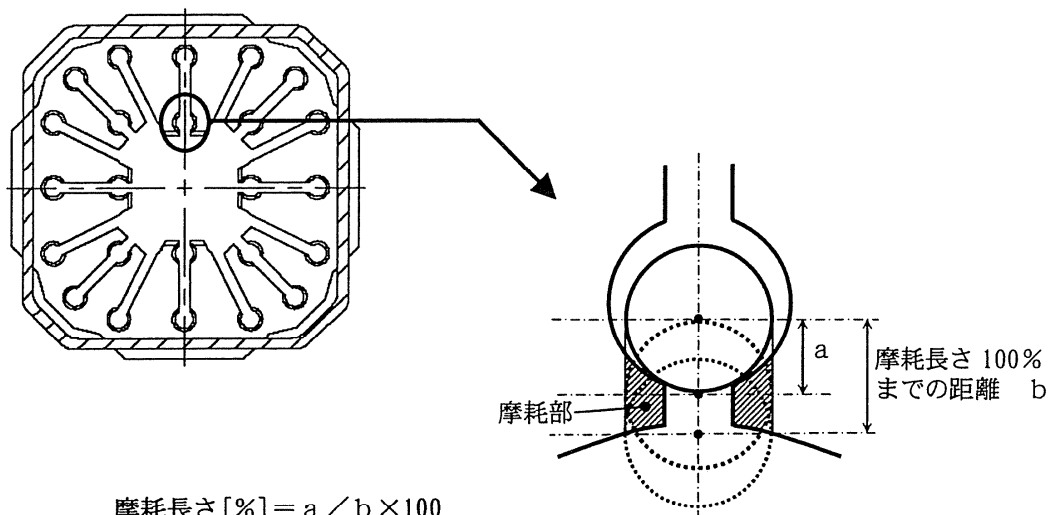
*:照射の影響を考慮

(2) 摩耗による抗力

制御棒クラスタ案内管（案内板）および被覆管の摩耗による抗力については、過去に実施したモックアップによる抗力測定試験で取得した摩耗抗力から抗力値を設定している。

摩耗量について制御棒に対しては、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15-1-3に示すような摩耗（摩耗長さ68%）を仮定している。

以上より、案内管（案内板）および被覆管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。



$$\text{摩耗長さ [\%]} = a / b \times 100$$

a : 摩耗進行距離

b : 制御棒が制御棒クラスタ案内管(案内板)
より抜け出る距離 (摩耗長さ100%)

図15-1-3 制御棒クラスタ案内管 案内板摩耗の仮定

4. 評価結果

制御棒挿入時間の評価結果を表15-1-2に示す。

表15-1-2 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	1.65	2.2
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 - 1)	2.07	

*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

5. 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15-1-3 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 制御棒案内シムブル
5.8	1.3	63.9

*:照射の影響を考慮

②評価結果

表15-1-4 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 - 1)	2.07	2.2

*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

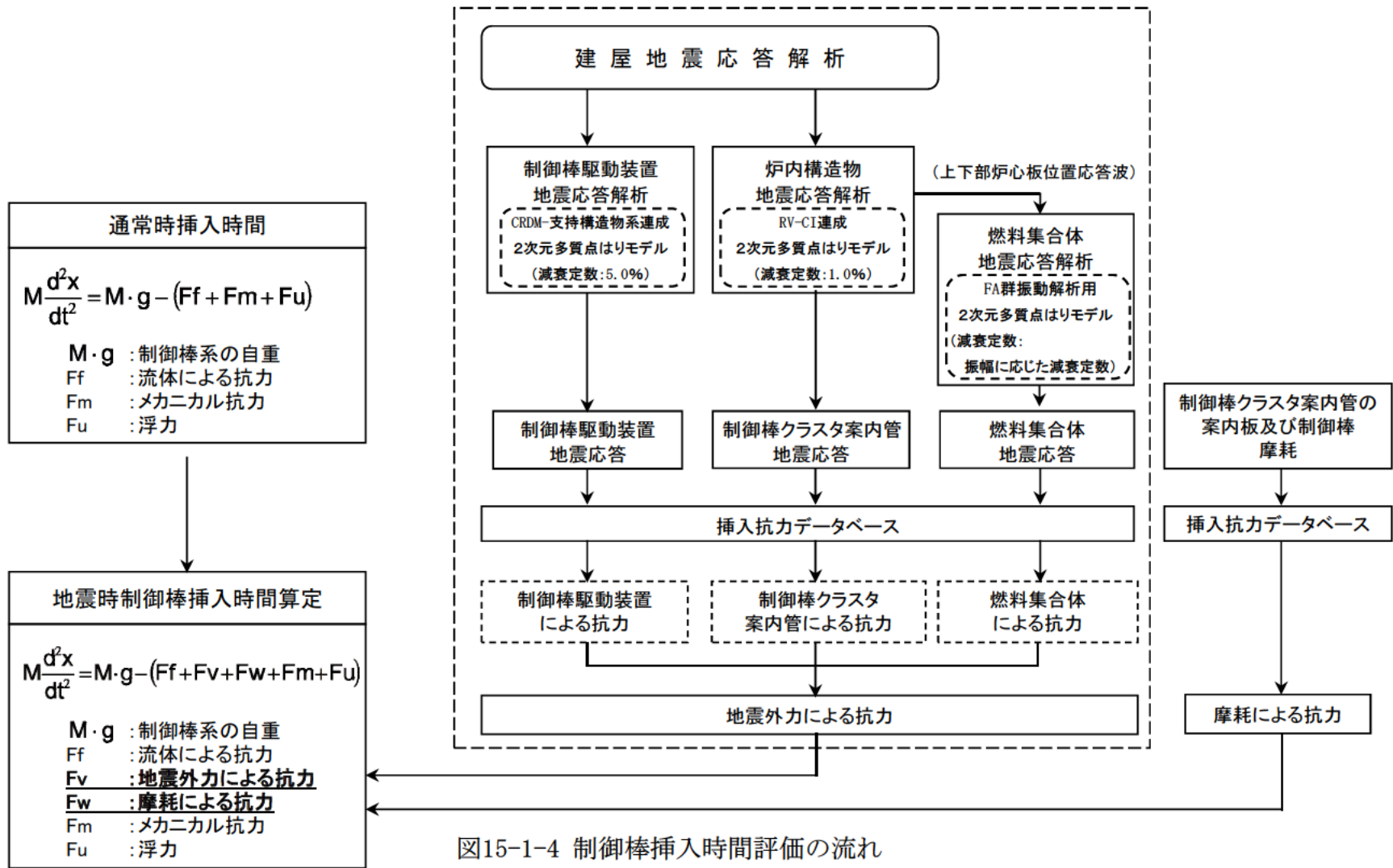


図15-1-4 制御棒挿入時間評価の流れ

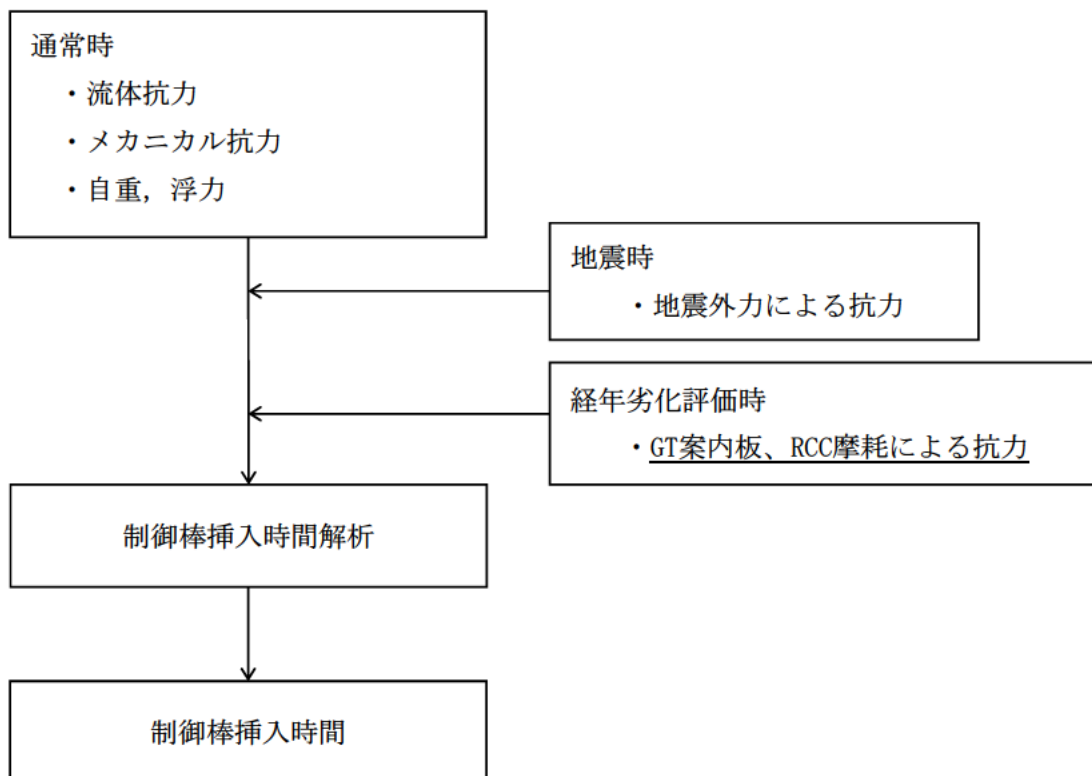
制御棒クラスタ案内管案内板および制御棒クラスタ被覆管の摩耗による抗力について

1. 制御棒挿入性評価の流れ

制御棒クラスタ案内管 (GT) 案内板および制御棒クラスタ (RCC) 摩耗時における制御棒挿入性評価の概略フローを以下に示す。

RCCの挿入経路は、制御棒駆動装置、GT、燃料集合体 (制御棒案内シムプル) で構成されている。通常時において、この各部挿入経路で受けるRCCの抗力は流体による抗力およびメカニカル抗力であり、これらにRCCの浮力や自重を考慮して挿入時間を評価する。地震時には、これに地震外力による抗力が付加される。地震外力による抗力は、地震外力によりRCCが各挿入経路機器に押付けられることで生じる摩擦力であり、地震応答計算で得られた各部の地震応答と実験で得られた各部の地震抗力との関係から求めている。

経年劣化評価時のGT案内板およびRCC摩耗を考慮した制御棒挿入性評価では、上記の流体抗力、メカニカル抗力、地震外力による抗力に加えて、GT案内板とRCCの摩耗部が接触することで生じる抗力も加味している。



2. GT案内板およびRCC摩耗による抗力の設定手順

GT案内板およびRCCの摩耗による抗力は、試験で得られたGTとRCCの摩耗抗力とRCCの摩耗分布を組み合わせ設定している。図15-2-1にGT/RCC摩耗による抗力の設定フローを示す。また、各①, ②, ③, ④の説明を以降に示す。

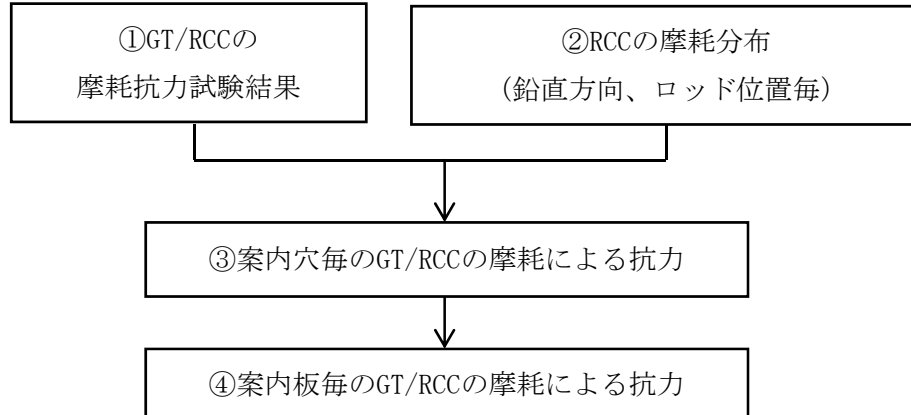


図15-2-1. GT/RCC摩耗による抗力の設定フロー

① GT/RCCの摩耗抗力試験結果

(概要)

平成7年度の電力共同研究において、GT案内板とRCCのそれぞれに摩耗を模擬したモックアップを用いて抗力測定試験を実施し、GT案内板とRCCロッドの摩耗部が接触することで生じる抗力データを取得している。図15-2-2に試験概要を示す。RCCロッド1体に流体力を模擬した水平力を与えてRCCロッドをゆっくり挿入するときの抗力を測定している。表15-2-1-1、表15-2-1-2に示すように、本試験にてGT案内板摩耗量とRCCの摩耗量の組合せに基づく抗力値を整理している。この試験結果に対し以下の条件を踏まえてGT/RCCの摩耗による抗力を設定している（表15-2-1-1、表15-2-2-1の青枠囲みの抗力値）。

(詳細条件)

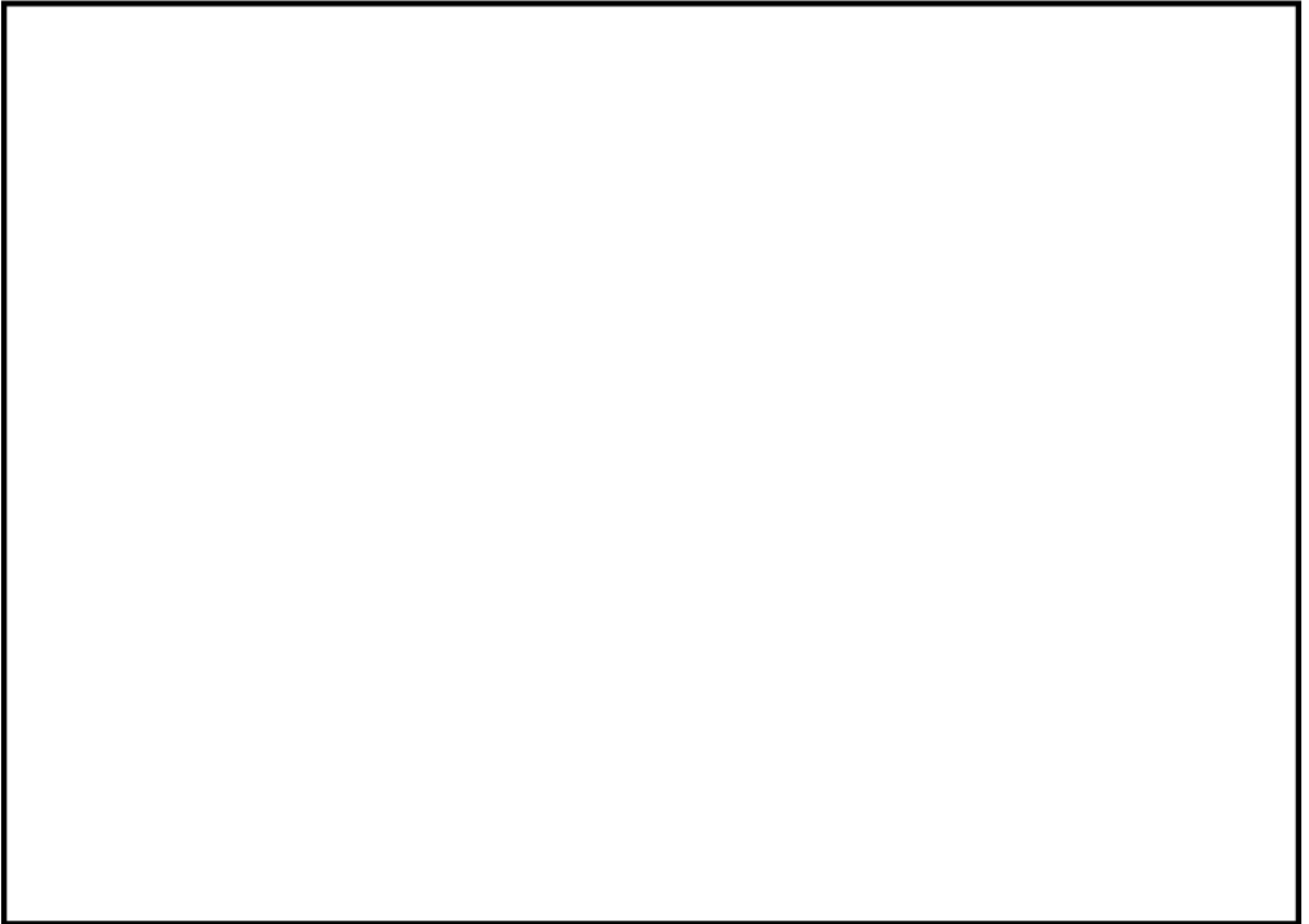


図 15-2-2 静的抗力試験概要

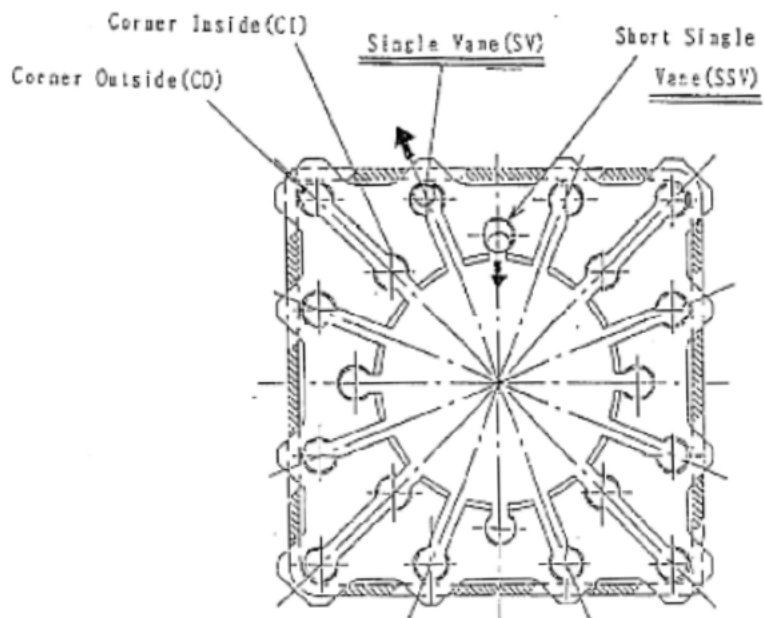


図 15-2-3 15×15GT の摩耗形態

表15-2-1-1 15×15プラント SSV側 (押付力) の静的抗力試験結果

(単位: g)

	G T 板 摩 耗 量						
	0%	チャンファー 50%	チャンファー 100%	土手の 中間	土手の 終点	中間 摩耗	最大 摩耗
R C C ロ ッ ド 摩 耗 量							

表15-2-1-2 SSV内側摩耗条件

G T 摩 耗 形 状	摩 耗 深 さ (mm)
チャンファー 0%	0
チャンファー 50%	
チャンファー 100%	
(土手の中間) チャンファー 100% ↑ 上面 50%	
(土手の終点) チャンファー 100% ↑ 上面 100%	
中間摩耗	
最大摩耗	

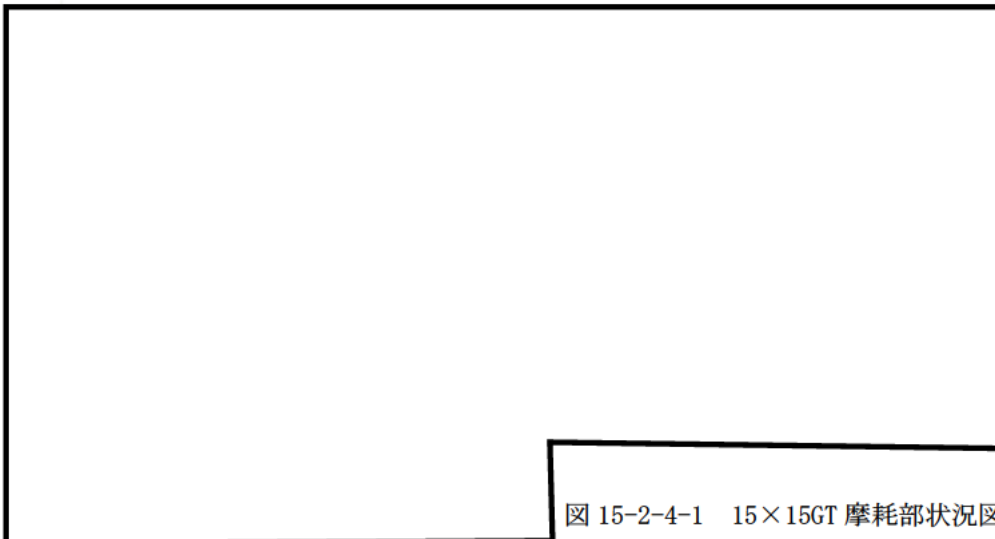
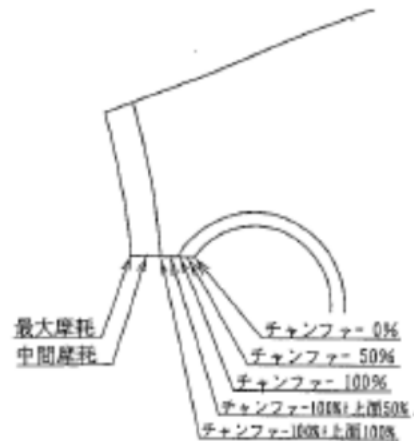


図 15-2-4-1 15×15GT 摩耗部状況図 (SSV 側)



図 15-2-4-2 RCC ロッド (15×15SSV 内側) の一般部輪切り断面図

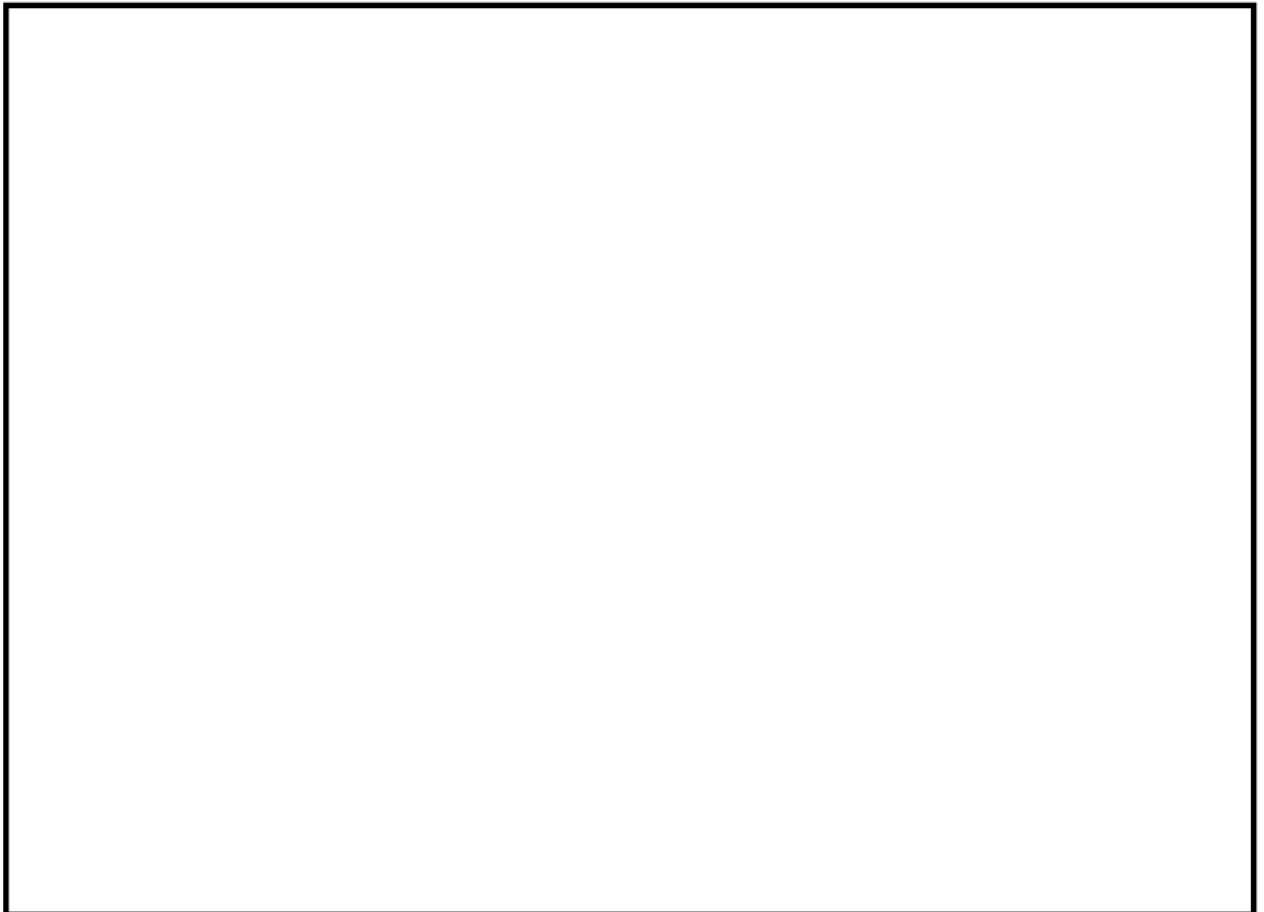


図 15-2-4-3 15×15RCC 摩耗部状況 (SSV 側)

表 15-2-2-1 15×15 プラント SV 側 (押付力) の静的抗力試験結果
(単位: g)

	G T 板 摩 耗 量				
	0%	チャンファ- 50%	チャンファ-100%	中間摩耗	最大摩耗
RCC ロッド 摩耗量					

表 15-2-2-2 15×15GT SV 背側摩耗条件

G T 摩 耗 形 状	摩 耗 深 さ (mm)
チャンファ- 0%	0
チャンファ- 50%	
チャンファ- 100%	
中間摩耗 チャンファ- 100%+0.4mm	
最大摩耗 チャンファ- 100%+0.8mm	

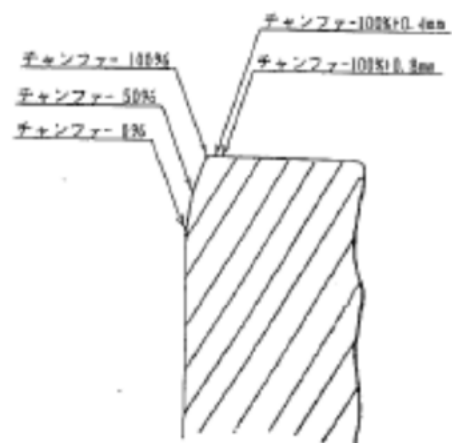


図 15-2-5-1 15×15GT 摩耗部状況図 (SV 側)



図 15-2-5-2 RCC ロッド (15×15SV 内側) の一般部輪切り断面

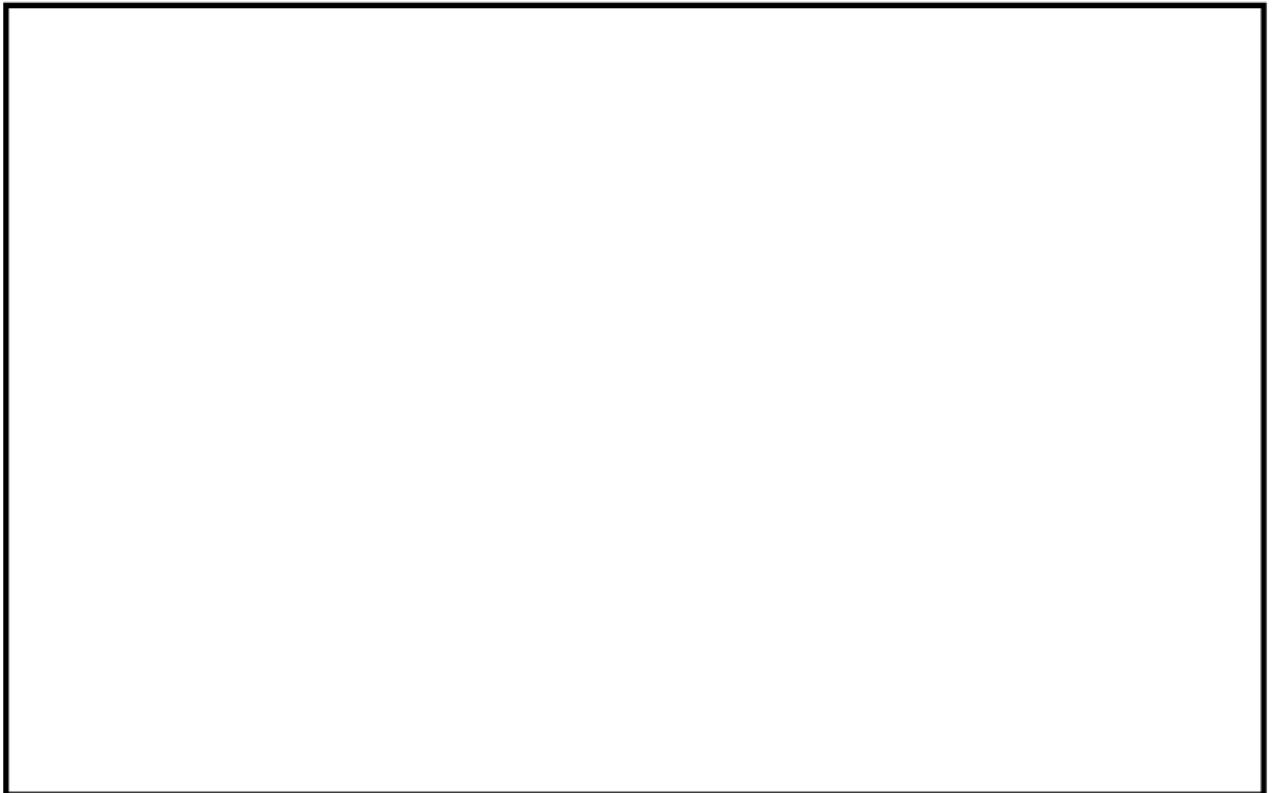


図 15-2-5-3 15×15RCC 摩耗部状況 (SV 側)

② RCCの摩耗分布

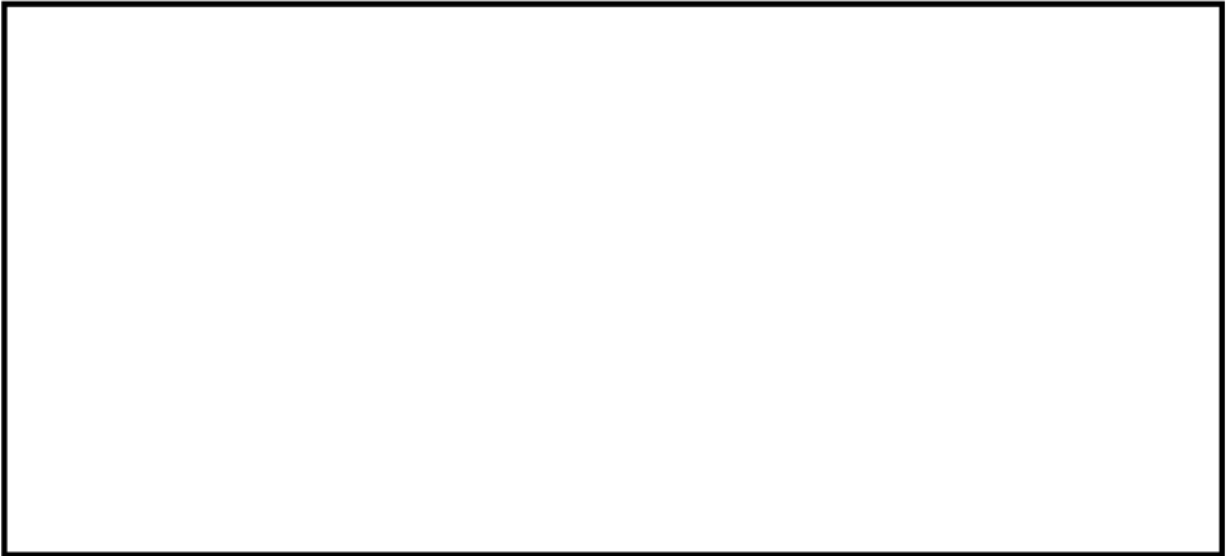


図 15-2-6 制御棒摩耗部分布過程

③ 案内穴毎のGT/RCCの摩耗による抗力



④ 案内板毎のGT/RCCの摩耗による抗力



3. GT案内板およびRCC摩耗による抗力の計算結果 (イメージ)

2. で計算した抗力の計算結果を用いて、1. の制御棒挿入時間解析を実施する上でのインプットイメージは図15-2-7のとおり。

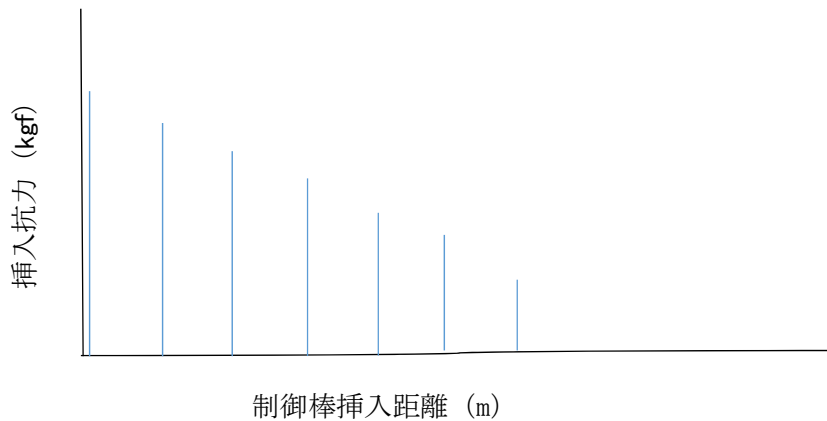
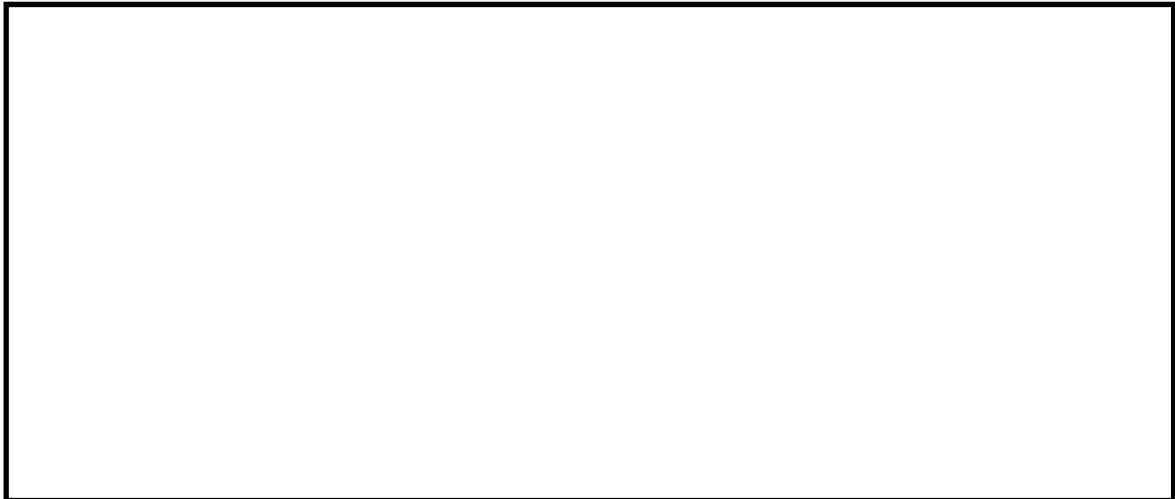


図 15-2-7 制御棒挿入時間解析へのインプットとなる
GT案内板およびRCC摩耗による抗力イメージ

4. 抗力測定試験における保守性

2. ①で実施した抗力測定試験については、以下の点から保守性を有しており、本試験結果を用いることは妥当と考えている。



なお、本試験で用いた案内板とRCCロッドのテストピースについては、実機のRCC摩耗データから摩耗形状を考慮し、実機と同等の材料を用いて実機同様の加工をしているため、保守性を阻害する要因とならないと考える。

以上

燃料集合体の照射影響を考慮した時刻歴解析手法による評価について

1. 燃料集合体の照射影響の考慮

燃料集合体は、支持格子と呼ばれる格子板ばねで保持されているが、照射によりばね力が緩和し、制御棒挿入経路である燃料集合体の振動特性が変化する。制御棒挿入性評価への考慮の方法の概要を以下に示す。

(1) 支持格子衝撃試験

ばね力を緩和させた支持格子組立体に対し、使用環境の温度条件下で衝撃試験を実施し、照射後の支持格子ばね定数および弾性限界荷重を取得する。

(2) 燃料集合体振動試験

照射を模擬した燃料集合体に対し、振動試験を行い、試験によって得られる時間と燃料集合体の変位から、燃料集合体振動振幅と、固有振動数および減衰比との関係を求め、燃料集合体の振幅依存特性を設定する。なお、照射を模擬した燃料集合体は支持格子のばね力を緩和させることにより考慮する。

2. 時刻歴解析手法

制御棒挿入性評価では、挿入経路である「制御棒駆動装置 (CRDM)」「制御棒クラスタ案内管 (GT)」「燃料集合体 (FA)」それぞれにおいて、地震応答解析を行い (FA の地震応答解析に「1. 燃料集合体の照射影響の考慮」で述べた振幅依存特性を用いる)、この地震応答解析結果に基づき設定する抗力を用いて挿入時間を求める。以下に従来手法と、今回使用した時刻歴解析手法との差異について示す。

(1) 挿入経路機器の応答算出方法の比較

従来手法は、CRDM、GT についてはスペクトルモーダル解析により、FA については、時刻歴応答解析により地震応答変位を算出する。

一方、時刻歴解析手法では、CRDM、GT、FA すべての経路で、時刻歴応答解析を実施することで地震応答変位及び加速度を算出する。

(2) 挿入時間の算出方法の比較

従来手法では、CRDM 及び GT については、地震応答解析で得られる最大応答変位を振幅とした振動が、制御棒系の落下中継続するとし、正弦波加振試験結果を基に算出される最大応答変位時の抗力が常に作用するものとして抗力を設定する。また、FA については、最大応答変位での変形状態が継続するものとし、その最大応答変位の変形状態に対する抗力が常に作用するものとして抗力を設定する。

一方、時刻歴解析手法では、CRDM、GT、FA ともに、時刻歴応答解析により応答変位及び応答加速度を求め、各機器の変位抗力試験結果及び加速度抗力試験結果を基に算出される時々刻々の抗力を求めて挿入時間を算出する。

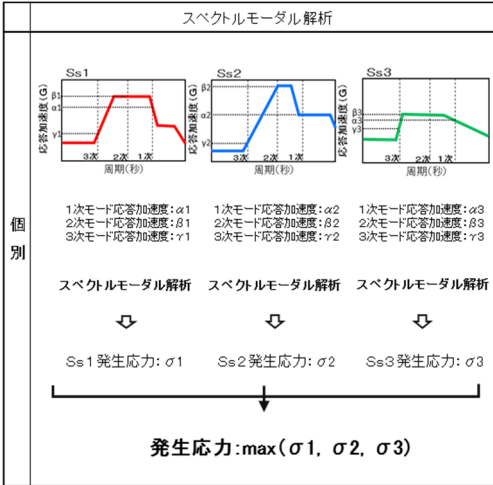
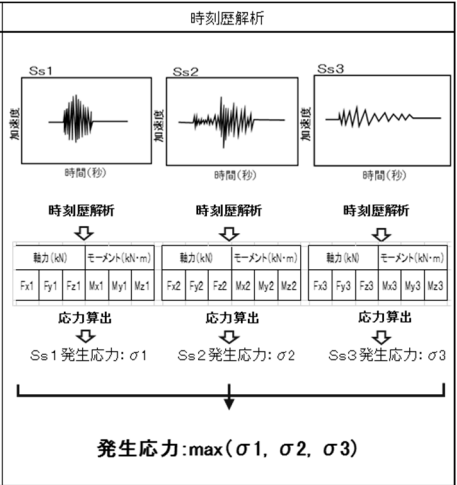
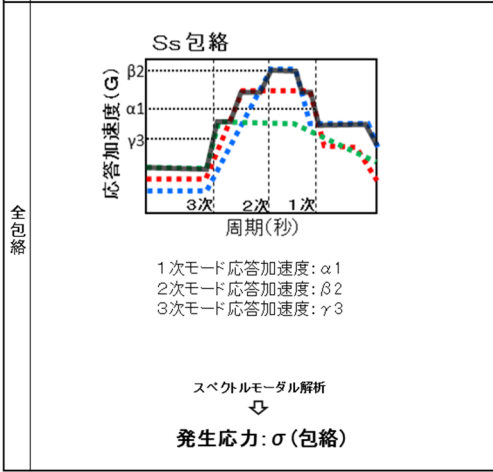
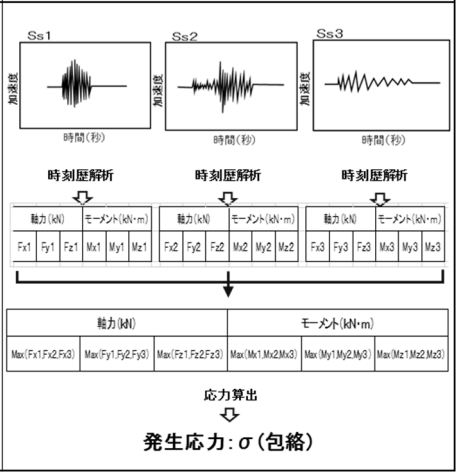
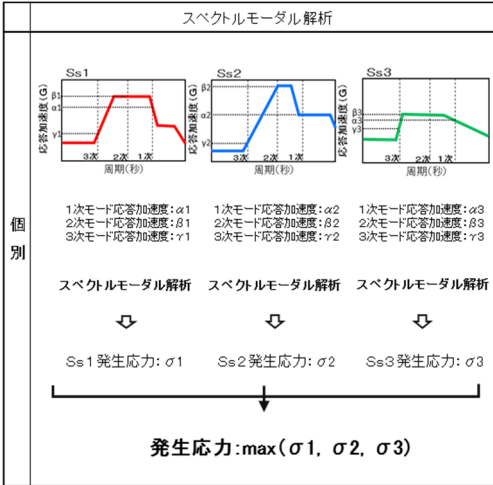
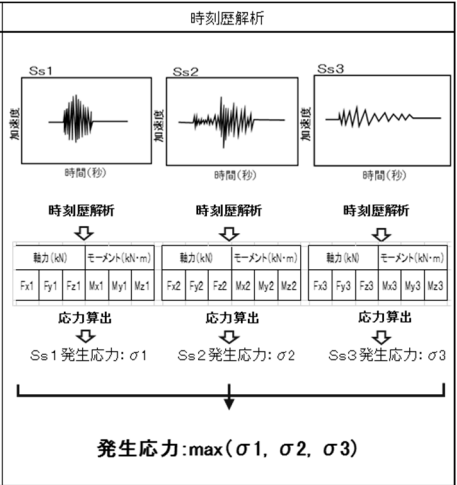
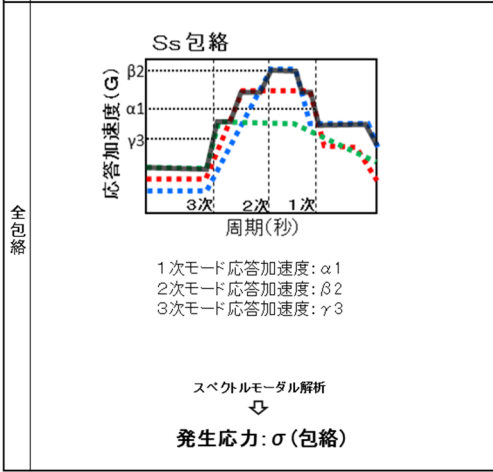
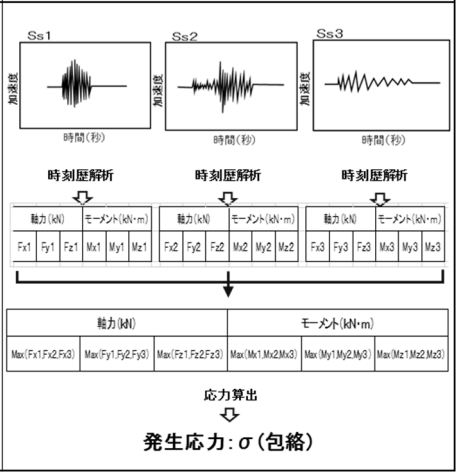
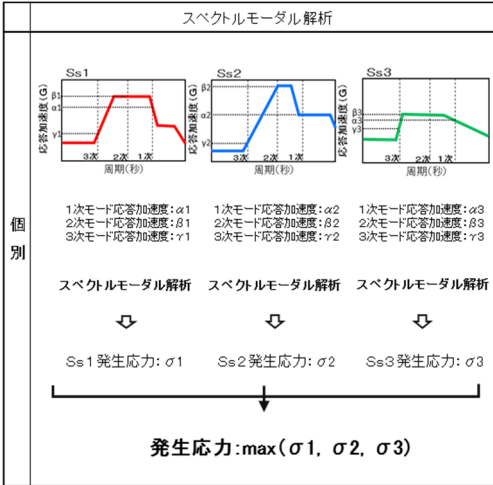
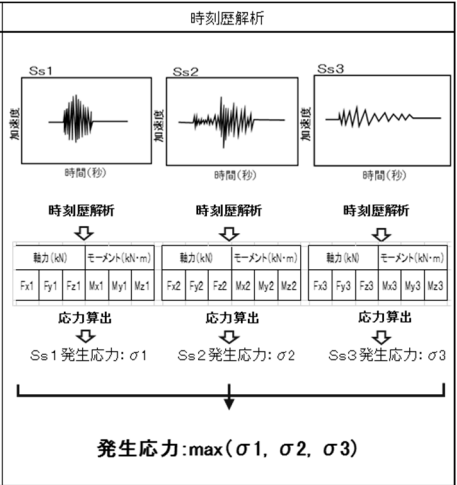
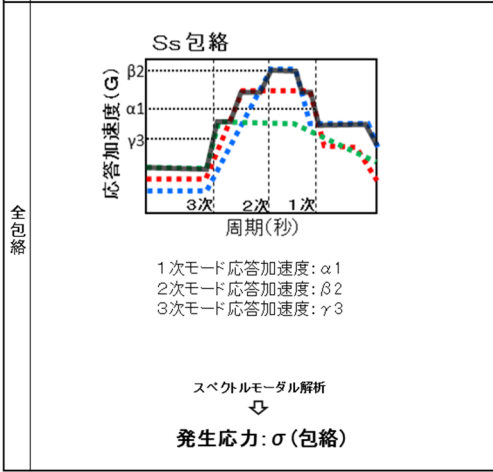
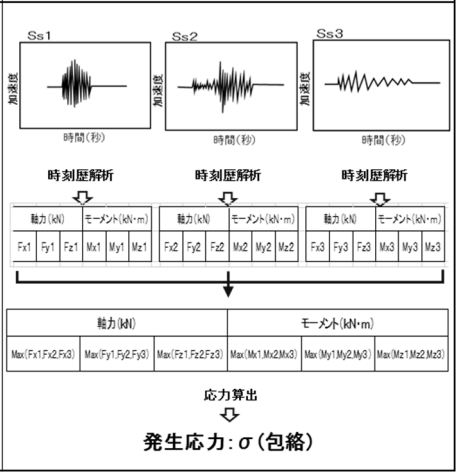
従来手法と時刻歴解析手法の比較表を表 15-3-1 に示す。

表15-3-1 制御棒挿入性評価手法の差異

		従来手法	今回の手法
応答解析	CRDM	スペクトルモーダル解析	時刻歴応答解析
	GT	スペクトルモーダル解析	時刻歴応答解析
	FA	時刻歴群振動解析	時刻歴群振動解析
挿入時間 解析の出力	CRDM	最大応答変位	時刻歴応答波 (応答変位・応答加速度)
	GT	最大応答変位	時刻歴応答波 (応答変位・応答加速度)
	FA	時刻歴解析における 最大応答変位	時刻歴応答波 (応答変位・応答加速度)
挿入抗力 の考慮	CRDM	最大応答変位に対応した 一定抗力	時刻歴応答及び制御棒挿入深 さに対応した、変位抗力及び 加速度抗力
	GT	最大応答変位に対応した 一定抗力	
	FA	最大応答変位に対応した 一定抗力(挿入深さに依存)	

以上

<p>タイトル</p>	<p>新規制基準適合に係る工事計画認可等における審査内容の反映について</p>																												
<p>説明</p>	<p>新規制基準適合性に係る、原子炉設置変更許可および工事計画認可において新たに採用され、高経年化技術評価において同様に用いた耐震安全性評価内容については、下表のとおりである。</p> <p>新規制基準適合性に係る工事計画認可において採用した手法の反映内容</p> <table border="1" data-bbox="421 577 1355 1953"> <thead> <tr> <th data-bbox="421 577 552 622">項目</th> <th data-bbox="552 577 721 622">内容</th> <th data-bbox="721 577 1355 622">評価対象</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="421 622 552 719"> 原子炉設置変更許可の反映 </td> <td data-bbox="552 622 721 719"> 基準地震動 </td> <td data-bbox="721 622 1355 719"> <ul style="list-style-type: none"> 基準地震動 $S_s - 1 \sim 19$ に対する評価を行う。 </td> <td data-bbox="1355 622 1370 719"> <ul style="list-style-type: none"> 耐震安全性評価を行った S クラス機器 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="421 719 552 1953" rowspan="6"> 工事計画認可の反映 </td> <td data-bbox="552 719 721 943"> 弁の動的機能維持評価における評価用加速度の不確かさの考慮 </td> <td data-bbox="721 719 1355 943"> <ul style="list-style-type: none"> 配管の強度評価に用いる評価用加速度と同じ、1.2ZPA（従来は1.0ZPA）とスペクトルモーダル解析による応答加速度の大きい方を評価値として扱う。 </td> <td data-bbox="1355 719 1370 943"> <ul style="list-style-type: none"> 配管の流れ加速型腐食を考慮した以下弁の動的機能維持評価 <ul style="list-style-type: none"> -主蒸気逃がし弁 -主蒸気安全弁 -主蒸気隔離弁 -主給水隔離弁 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="552 943 721 1137"> 水平 2 方向および鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価 </td> <td data-bbox="721 943 1355 1137"> <ul style="list-style-type: none"> 工事計画における水平 2 方向および鉛直方向地震力の組合せによる影響評価の評価部位に対し、耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象が想定される場合は、経年劣化事象を考慮した水平 2 方向および鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。 </td> <td data-bbox="1355 943 1370 1137"> <ul style="list-style-type: none"> 主蒸気系統配管の流れ加速型腐食 蒸気発生器支持脚の摩耗 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="552 1137 721 1406"> 制御棒挿入性評価における時刻歴解析手法の適用および燃料集合体の照射影響の考慮 </td> <td data-bbox="721 1137 1355 1406"> <ul style="list-style-type: none"> 工事計画における制御棒挿入性評価にて適用されている時刻歴解析手法について、経年劣化事象を考慮した制御棒挿入性評価に適用する。 燃料集合体の照射の影響により地震に対する応答が変化することから、経年劣化事象を考慮した制御棒挿入性評価においても、燃料集合体の照射の影響を考慮した評価を行う。 </td> <td data-bbox="1355 1137 1370 1406"> <ul style="list-style-type: none"> 制御棒クラスタ案内管案内板および制御棒クラスタ被覆管の摩耗（制御棒挿入性評価） </td> </tr> <tr> <td data-bbox="552 1406 721 1532"> その他工事計画における評価手法等の適用 </td> <td data-bbox="721 1406 1355 1532"> <ul style="list-style-type: none"> 工事計画にて適用された評価手法等（評価モデル、最新知見として得られた減衰定数等）を適切に反映した評価を行う。 </td> <td data-bbox="1355 1406 1370 1532"> <ul style="list-style-type: none"> 該当する設備 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="552 1532 721 1771"> 耐震設計上の重要度等の扱い </td> <td data-bbox="721 1532 1355 1771"> <ul style="list-style-type: none"> 常設重大事故等対処設備のうち、常設耐震重要重大事故防止設備および常設重大事故緩和設備については、基準地震動 S_s による評価を行う。 </td> <td data-bbox="1355 1532 1370 1771"> <ul style="list-style-type: none"> 該当する機器を、耐震重要度を S クラスとして扱った </td> </tr> <tr> <td data-bbox="552 1771 721 1953"> 重大事故等時の環境評価 </td> <td data-bbox="721 1771 1355 1953"> <ul style="list-style-type: none"> 工事計画を反映し、通常運転時の経年劣化事象と重大事故等時の環境を考慮した技術評価を実施している事象については、経年劣化事象を考慮した耐震安全性評価においても重大事故等時の環境を考慮した評価を行う。 </td> <td data-bbox="1355 1771 1370 1953"> <ul style="list-style-type: none"> 原子炉容器の中性子照射脆化 1 次冷却材管の熱時効 </td> </tr> </tbody> </table>			項目	内容	評価対象	原子炉設置変更許可の反映	基準地震動	<ul style="list-style-type: none"> 基準地震動 $S_s - 1 \sim 19$ に対する評価を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 耐震安全性評価を行った S クラス機器 	工事計画認可の反映	弁の動的機能維持評価における評価用加速度の不確かさの考慮	<ul style="list-style-type: none"> 配管の強度評価に用いる評価用加速度と同じ、1.2ZPA（従来は1.0ZPA）とスペクトルモーダル解析による応答加速度の大きい方を評価値として扱う。 	<ul style="list-style-type: none"> 配管の流れ加速型腐食を考慮した以下弁の動的機能維持評価 <ul style="list-style-type: none"> -主蒸気逃がし弁 -主蒸気安全弁 -主蒸気隔離弁 -主給水隔離弁 	水平 2 方向および鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価	<ul style="list-style-type: none"> 工事計画における水平 2 方向および鉛直方向地震力の組合せによる影響評価の評価部位に対し、耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象が想定される場合は、経年劣化事象を考慮した水平 2 方向および鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 主蒸気系統配管の流れ加速型腐食 蒸気発生器支持脚の摩耗 	制御棒挿入性評価における時刻歴解析手法の適用および燃料集合体の照射影響の考慮	<ul style="list-style-type: none"> 工事計画における制御棒挿入性評価にて適用されている時刻歴解析手法について、経年劣化事象を考慮した制御棒挿入性評価に適用する。 燃料集合体の照射の影響により地震に対する応答が変化することから、経年劣化事象を考慮した制御棒挿入性評価においても、燃料集合体の照射の影響を考慮した評価を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 制御棒クラスタ案内管案内板および制御棒クラスタ被覆管の摩耗（制御棒挿入性評価） 	その他工事計画における評価手法等の適用	<ul style="list-style-type: none"> 工事計画にて適用された評価手法等（評価モデル、最新知見として得られた減衰定数等）を適切に反映した評価を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 該当する設備 	耐震設計上の重要度等の扱い	<ul style="list-style-type: none"> 常設重大事故等対処設備のうち、常設耐震重要重大事故防止設備および常設重大事故緩和設備については、基準地震動 S_s による評価を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 該当する機器を、耐震重要度を S クラスとして扱った 	重大事故等時の環境評価	<ul style="list-style-type: none"> 工事計画を反映し、通常運転時の経年劣化事象と重大事故等時の環境を考慮した技術評価を実施している事象については、経年劣化事象を考慮した耐震安全性評価においても重大事故等時の環境を考慮した評価を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉容器の中性子照射脆化 1 次冷却材管の熱時効
項目	内容	評価対象																											
原子炉設置変更許可の反映	基準地震動	<ul style="list-style-type: none"> 基準地震動 $S_s - 1 \sim 19$ に対する評価を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 耐震安全性評価を行った S クラス機器 																										
工事計画認可の反映	弁の動的機能維持評価における評価用加速度の不確かさの考慮	<ul style="list-style-type: none"> 配管の強度評価に用いる評価用加速度と同じ、1.2ZPA（従来は1.0ZPA）とスペクトルモーダル解析による応答加速度の大きい方を評価値として扱う。 	<ul style="list-style-type: none"> 配管の流れ加速型腐食を考慮した以下弁の動的機能維持評価 <ul style="list-style-type: none"> -主蒸気逃がし弁 -主蒸気安全弁 -主蒸気隔離弁 -主給水隔離弁 																										
	水平 2 方向および鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価	<ul style="list-style-type: none"> 工事計画における水平 2 方向および鉛直方向地震力の組合せによる影響評価の評価部位に対し、耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象が想定される場合は、経年劣化事象を考慮した水平 2 方向および鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 主蒸気系統配管の流れ加速型腐食 蒸気発生器支持脚の摩耗 																										
	制御棒挿入性評価における時刻歴解析手法の適用および燃料集合体の照射影響の考慮	<ul style="list-style-type: none"> 工事計画における制御棒挿入性評価にて適用されている時刻歴解析手法について、経年劣化事象を考慮した制御棒挿入性評価に適用する。 燃料集合体の照射の影響により地震に対する応答が変化することから、経年劣化事象を考慮した制御棒挿入性評価においても、燃料集合体の照射の影響を考慮した評価を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 制御棒クラスタ案内管案内板および制御棒クラスタ被覆管の摩耗（制御棒挿入性評価） 																										
	その他工事計画における評価手法等の適用	<ul style="list-style-type: none"> 工事計画にて適用された評価手法等（評価モデル、最新知見として得られた減衰定数等）を適切に反映した評価を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 該当する設備 																										
	耐震設計上の重要度等の扱い	<ul style="list-style-type: none"> 常設重大事故等対処設備のうち、常設耐震重要重大事故防止設備および常設重大事故緩和設備については、基準地震動 S_s による評価を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 該当する機器を、耐震重要度を S クラスとして扱った 																										
	重大事故等時の環境評価	<ul style="list-style-type: none"> 工事計画を反映し、通常運転時の経年劣化事象と重大事故等時の環境を考慮した技術評価を実施している事象については、経年劣化事象を考慮した耐震安全性評価においても重大事故等時の環境を考慮した評価を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉容器の中性子照射脆化 1 次冷却材管の熱時効 																										

<p>タイトル</p>	<p>各設備の耐震安全性評価に用いた地震力について</p>						
<p>説明</p>	<p>各耐震安全性評価において、使用した地震力の評価条件、および応答解析手法の種別について添付-1に示す。</p> <p>なお、添付-1の「地震力の評価条件」に示す全Ss包絡/Ss個別、および「応答解析手法」に示すスペクトルモーダル解析/時刻歴解析の評価方法の差異について概要は以下のとおりである。評価の流れとしては、短時間で評価できる全Ss包絡評価を実施し、結果が厳しくなる場合にSs個別評価を行う。またスペクトルモーダル解析と時刻歴解析の使い分けについては、基本的に時刻歴解析は採用しないこととするが、大飯4号炉の新規制工事計画認可において採用された、スペクトルモーダル解析において考慮している地盤の物性や建物の剛性の不確かさに対し適切な配慮をしている建屋ループ連成解析および、従来評価手法では現実との乖離が大きく保守的な結果を与える制御棒挿入解析についてのみ、時刻歴解析を使用する。</p> <p>全Ss包絡/全Ss個別およびスペクトルモーダル解析/時刻歴解析の評価概要</p> <table border="1" data-bbox="416 1025 1369 1977"> <tr> <td data-bbox="416 1025 911 1507"> <p>個別</p>  </td> <td data-bbox="911 1025 1369 1507"> <p>時刻歴解析</p>  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="416 1507 911 1977"> <p>全包絡</p>  </td> <td colspan="2" data-bbox="911 1507 1369 1977">  </td> </tr> </table>		<p>個別</p> 	<p>時刻歴解析</p> 	<p>全包絡</p> 		
<p>個別</p> 	<p>時刻歴解析</p> 						
<p>全包絡</p> 							

耐震安全性評価に用いた地震力の評価条件および応答解析手法の種別一覧

機種名	経年劣化事象	機器名称		耐震 重要度	地震力の評価条件	応答解析手法	備考	
ポンプ	低サイクル疲労割れ	余熱除去ポンプ	ケーシング	S	全S ₀ 包絡	スペクトルモーダル解析		
		1次冷却材ポンプ	ケーシング吸込ノズル	S	全S ₀ 包絡	時刻歴解析		
			ケーシング吐出ノズル	S	全S ₀ 包絡	時刻歴解析		
			ケーシング脚部	S	全S ₀ 包絡	時刻歴解析		
	熱時効	1次冷却材ポンプ	ケーシング	S	全S ₀ 包絡	時刻歴解析		
熱交換器	低サイクル疲労割れ	再生熱交換器	管板	S	全S ₀ 包絡	各設備の固有値に基づく 応答加速度による評価		
		余熱除去冷却器	管板	S	全S ₀ 包絡	各設備の固有値に基づく 応答加速度による評価		
		蒸気発生器	管板まわり	S	全S ₀ 包絡	スペクトルモーダル解析		
			給水入口管台	S	全S ₀ 包絡	時刻歴解析		
	胴側耐圧構成品等の 腐食 (流れ加速型腐食)	湿分離加熱器	胴板	C	静的震度	—		
		第1低圧給水加熱器	胴板	C	静的震度	—		
		第2低圧給水加熱器	胴板	C	静的震度	—		
		第3低圧給水加熱器	胴板	C	静的震度	—		
		第4低圧給水加熱器	胴板	C	静的震度	—		
		第5低圧給水加熱器	胴板	C	静的震度	—		
	伝熱管内面腐食 (流れ加速型腐食)	原子炉補機冷却水冷却器	伝熱管	S	全S ₀ 包絡	各設備の固有値に基づく 応答加速度による評価		
	容器	低サイクル疲労割れ	原子炉容器	冷却材入口管台	S	全S ₀ 包絡	時刻歴解析	
				冷却材出口管台	S	全S ₀ 包絡	時刻歴解析	
蓋管台				S	全S ₀ 包絡	スペクトルモーダル解析		
空気抜管台				S	全S ₀ 包絡	スペクトルモーダル解析		
炉内計装筒				S	全S ₀ 包絡	スペクトルモーダル解析、 原子炉容器底部変位を用いた解析		
炉心支持金物				S	全S ₀ 包絡	スペクトルモーダル解析		
加圧器				スプレイライン用管台	S	全S ₀ 包絡	スペクトルモーダル解析	
		サージ用管台	S	全S ₀ 包絡	スペクトルモーダル解析			
機械ベネトレーション		余熱除去冷却器出口 配管貫通部端板	S	全S ₀ 包絡	スペクトルモーダル解析			
中性子照射による 関連温度上昇		原子炉容器	胴部(炉心領域部)	S	全S ₀ 包絡	スペクトルモーダル解析		

機種名	経年劣化事象	機器名称		耐震 重要度	地震力の評価条件	応答解析手法	備考
配管	低サイクル疲労割れ	余熱除去系統配管	A-余熱除去取水配管	S	全S _s 包絡	スペクトルモーダル解析	
		加圧器サージ配管	—	S	全S _s 包絡	スペクトルモーダル解析	
		加圧器スプレイ配管	—	S	全S _s 包絡	スペクトルモーダル解析	
		主給水系統配管	C-主給水配管(CV内)	S	全S _s 個別【S _s -12】	時刻歴解析	
				S	全S _d 個別【S _d -13】	時刻歴解析	
		1次冷却材管	ホットレグ	S	全S _s 包絡	時刻歴解析	建屋-ループ連成解析モデルの構成部位として時刻歴解析を実施
			クロスオーバーレグ	S	全S _s 包絡	時刻歴解析	建屋-ループ連成解析モデルの構成部位として時刻歴解析を実施
			コールドレグ	S	全S _s 包絡	時刻歴解析	建屋-ループ連成解析モデルの構成部位として時刻歴解析を実施
			加圧器サージ管台	S	全S _s 包絡	スペクトルモーダル解析	分岐管(加圧器サージ配管)のスペクトルモーダル解析から得られる。管台接続部の荷重を用いて評価を実施
			蓄圧タンク注入管台	S	全S _s 包絡	スペクトルモーダル解析	分岐管(蓄圧タンク注入配管)のスペクトルモーダル解析から得られる。管台接続部の荷重を用いて評価を実施
	疲労割れ	配管サポート(余熱除去系統配管のアンカーサポート)	配管とパッドの溶接部	S	全S _s 包絡	スペクトルモーダル解析	
			パッドとラグの溶接部	S	全S _s 包絡	スペクトルモーダル解析	
			ラグとプレートとの溶接部	S	全S _s 包絡	スペクトルモーダル解析	
	母管の高サイクル熱疲労割れ(高低温水合流部)	余熱除去系統配管	余熱除去冷却器出口配管とバイパス配管の合流部	S	全S _s 包絡	スペクトルモーダル解析	
	母管の腐食(流れ加速型腐食)	主蒸気系統配管	—	S	全S _s 個別(S _s -一次応力)【S _s -17】	時刻歴解析	評価手法は、C/V内外の評価のうち、評価上厳しいC/V内について記載
					全S _s 包絡(S _s -一次+二次応力)	スペクトルモーダル解析	評価手法は、C/V内外の評価のうち、評価上厳しいC/V外について記載
					全S _d 包絡(S _d -一次応力)	スペクトルモーダル解析	評価手法は、C/V内外の評価のうち、評価上厳しいC/V外について記載
					全S _d 包絡(S _d -一次+二次応力)	スペクトルモーダル解析	評価手法は、C/V内外の評価のうち、評価上厳しいC/V外について記載
					C	静的震度	—
		主給水系統配管	—	S	全S _s 個別(S _s -一次応力)【S _s -12】	時刻歴解析	評価手法は、C/V内外の評価のうち、評価上厳しいC/V内について記載
全S _s 個別(S _s -一次+二次応力)【S _s -12】					時刻歴解析	評価手法は、C/V内外の評価のうち、評価上厳しいC/V内について記載	
全S _d 個別(S _d -一次応力)【S _d -13】					時刻歴解析	評価手法は、C/V内外の評価のうち、評価上厳しいC/V内について記載	
全S _d 個別(S _d -一次+二次応力)【S _d -13】					時刻歴解析	評価手法は、C/V内外の評価のうち、評価上厳しいC/V内について記載	
C		静的震度	—				
第5抽気系統配管		—	C	静的震度	—		
第4抽気系統配管		—	C	静的震度	—		
第3抽気系統配管		—	C	静的震度	—		
低温再熱蒸気系統配管		—	C	静的震度	—		
グラント蒸気系統		—	C	静的震度	—		
ポンプタービン駆動蒸気系統配管		—	C	静的震度	—		
補助蒸気系統配管		—	C	静的震度	—		
復水系統配管		—	C	静的震度	—		
ドレン系統配管		—	C	静的震度	—		
蒸気発生器ブローダウン系統配管	—	S	全S _s 個別(S _s -一次応力)【S _s -4】	スペクトルモーダル解析			
			全S _s 個別(S _s -一次+二次応力)【S _s -1】	スペクトルモーダル解析			
			全S _d 個別(S _d -一次応力)【S _d -4】	スペクトルモーダル解析			
			全S _d 個別(S _d -一次+二次応力)【S _d -4】	スペクトルモーダル解析			
熱時効	1次冷却材管	母管	S	全S _s 包絡	時刻歴解析		

機種名	経年劣化事象	機器名称		耐震 重要度	地震力の評価条件	応答解析手法	備考
弁	低サイクル疲労割れ	仕切弁	余熱除去ポンプルーブ 高温側入口止め弁	S	全S ₀ 包絡	スペクトルモーダル解析	
		玉形弁	抽出ライン止め弁	S	全S ₀ 包絡	スペクトルモーダル解析	
		スイング逆止弁	蓄圧タンク注入ライン 第1逆止弁	S	全S ₀ 包絡	スペクトルモーダル解析	
		リフト逆止弁	加圧器補助スプレイラ イン逆止弁	S	全S ₀ 包絡	スペクトルモーダル解析	
炉内 構造物	低サイクル疲労割れ	炉心支持構造物	上部炉心支持板	S	全S ₀ 包絡	スペクトルモーダル解析	
			上部炉心支持柱	S	全S ₀ 包絡	スペクトルモーダル解析	
			下部炉心支持板	S	全S ₀ 包絡	スペクトルモーダル解析	
			下部炉心支持柱	S	全S ₀ 包絡	スペクトルモーダル解析	
	中性子照射による 脆性低下	炉心そう	—	S	全S ₀ 包絡	スペクトルモーダル解析	
	摩耗	制御棒クラスター案内 シンプルチューブ	案内板	S	S ₀ -1	CI:時刻歴解析 CRDM:時刻歴解析 FA:時刻歴解析	
タービン 設備	腐食 (流れ加速型腐食)	高圧タービン	主蒸気入口管	C	静的震度	—	
空調設備	内面腐食 (流れ加速型腐食)	凝縮器(冷凍機)	伝熱管	C	静的震度	—	
	腐食(全面腐食)	冷水系統(冷凍機)	配管	C	静的震度	—	
	腐食(全面腐食)	膨張タンク(冷凍機)	鋼板	C	静的震度	—	
機械設備	中性子およびγ線 照射脆化	原子炉容器 サポート	サポートブラケット (サポートリブ)	S	全S ₀ 包絡	時刻歴解析	
	摩耗	蒸気発生器 支持脚	ヒンジ摺動部	S	全S ₀ 包絡	時刻歴解析	
		1次冷却材ポンプ 支持脚	ヒンジ摺動部	S	全S ₀ 包絡	時刻歴解析	
	低サイクル疲労割れ	加圧器サポート	加圧器スカート溶接部	S	全S ₀ 包絡	スペクトルモーダル解析	
	腐食(全面腐食)	制御用空気だめ	—	S	全S ₀ 包絡	各設備の固有値に基づく 応答加速度による評価	
		制御用空気乾燥器 吸着塔	—	S	全S ₀ 包絡	各設備の固有値に基づく 応答加速度による評価	
	摩耗	制御棒クラスター	制御棒被覆管	S	全S ₀ 包絡	時刻歴解析	
	腐食	燃料油貯蔵タンク	基礎ボルト	S	全S ₀ 包絡	各設備の固有値に基づく 応答加速度による評価	
		重油タンク	基礎ボルト	S	全S ₀ 包絡	各設備の固有値に基づく 応答加速度による評価	
主蒸気系統配管		配管用 基礎ボルト	S	全S ₀ 包絡	CV内:時刻歴解析 CV外:スペクトルモーダル解析		
電源設備	内面の腐食 (流れ加速型腐食)	空気冷却器 (ディーゼル機関)	伝熱管	S	全S ₀ 包絡	各設備の固有値に基づく 応答加速度による評価	
		清水冷却器	伝熱管	S	全S ₀ 包絡		
		潤滑油冷却器	伝熱管	S	全S ₀ 包絡		
		燃料弁冷却水冷却器	伝熱管	S	全S ₀ 包絡		

タイトル	大飯 3 号炉の高経年化技術評価との相違点について
説明	<p>大飯 3 号炉と大飯 4 号炉の高経年化技術評価（耐震）において、差異が生じ得る理由を以下に記す。</p> <p>1. 評価対象設備の差</p> <p>① 3・4 号炉共用設備 3・4 号炉共用設備については 3 号炉側で評価を実施。</p> <p>② 設備仕様の差 設備構造の違いや材質の違いにより評価結果に差が生じ得る。</p> <p>③ 代表設備・部位の差 技術評価側の評価結果の差等により代表設備・部位に評価結果に差が生じ得る。</p> <p>2. 劣化想定レベルの差</p> <p>① 技術評価側の評価結果の差等により劣化想定レベルに差異が生じ、耐震評価結果に差が生じ得る（技術評価側の評価結果によらず、劣化状態を固定して耐震評価を行っている場合は影響しない。）</p> <p>3. 地震応答の差</p> <p>① 入力 大飯 3 号炉と 4 号炉はツインプラントで建屋モデルが同じであるため床応答曲線に差異はなく、またループ解析結果にも差異がないが、<u>サポート設置位置や機器設置位置</u>の差により入力が異なる場合は差が生じ得る。</p> <p>② 応答 設備構造の違いや材質の違いによる差、または<u>配管ルートやサポート拘束点</u>に差がある場合は応答に差が生じ得る。</p> <p>③ 評価手法 <u>ツインプラントの片号炉は通常の評価手法を用い、もう片号炉に対し詳細評価手法を用いた場合等により差が生じ得る。</u></p> <p>4. 評価結果の差 上記 1. ～ 3. の差により、耐震安全性の確認結果や高経年化への対応に差が生じるものはない。</p> <p>なお、大飯 3 号炉と大飯 4 号炉の高経年化技術評価（耐震）について、耐震安全性評価の対象（◎事象）の評価項目及び評価結果を比較した一覧表を、添付-1 に示し、差が生じる理由（結果的に差が生じていない場合も生じ得た理由を含む）を上記 1 ①～③、2 ①、3 ①～③に類し「3 号炉と 4 号炉の差異」欄に記載した。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>

機種	経年劣化事象	機器名称	耐震クラス	地震力	大飯3号			大飯4号			3号と4号の差異							
					応力比	疲労累積係数(基準:環境疲労考慮) 運転時	地震時	合計	応力比	疲労累積係数(基準:環境疲労考慮) 通常運転時		地震時	合計					
ポンプ	ポンプケーシングの疲労割れ	余熱除去ポンプ	S	S _s	-	0.176	0.000	0.176	-	0.172	0.000	0.172	2①					
				S _d	-	0.176	0.000	0.176	-	0.172	0.000	0.172						
		1次冷却材ポンプ	S	S _s	-	0.001	0.000	0.001	-	0.001	0.000	0.001		2①				
				S _d	-	0.001	0.000	0.001	-	0.001	0.000	0.001						
	熱交換器	ケーシングの熱時効	1次冷却材ポンプケーシング	S	S _s	-	0.649	0.000	0.649	-	0.646	0.000	0.646	2①				
					S _d	-	0.649	0.000	0.649	-	0.646	0.000	0.646					
			再生熱交換器	S	S _s	-	0.639	0.000	0.639	-	0.636	0.000	0.636		2①			
					S _d	-	0.639	0.000	0.639	-	0.636	0.000	0.636					
			余熱除去冷却器	S	S _s	部位	使用温度	応力	疲労累積係数(基準:環境疲労考慮) 運転時	地震時	合計	部位	使用温度		応力	疲労累積係数(基準:環境疲労考慮) 通常運転時	地震時	合計
					S _d	吐出/スル	約12.7%	約126 MPa	約13.0%	約289°C	約126 MPa	約13.0%	約289°C		約126 MPa	約13.0%	約289°C	約126 MPa
蒸気発生器	S	S _s	吐出/スル	約180 MPa	約180 MPa	約9.8%	約325°C	約180 MPa	約9.8%	約325°C	約180 MPa	約9.8%	約325°C	2①				
		S _d	ボットレグ直管	約19.9%	約180 MPa	約9.8%	約325°C	約180 MPa	約9.8%	約325°C	約180 MPa	約9.8%	約325°C					
熱交換器	管板等の疲労割れ	湿分離加熱器	C	S _s	-	0.100	0.001	0.101	-	0.103	0.001	0.104	2①					
				S _d	-	0.100	0.000	0.100	-	0.103	0.000	0.103						
		第1低圧給水加熱器	C	S _s	-	0.244	0.000	0.244	-	0.239	0.000	0.239	2①					
				S _d	-	0.244	0.000	0.244	-	0.239	0.000	0.239						
		第2低圧給水加熱器	C	S _s	-	0.173	0.025	0.198	-	0.174	0.025	0.199	2①					
				S _d	-	0.173	0.004	0.177	-	0.174	0.004	0.178						
		第3低圧給水加熱器	C	S _s	-	0.503	0.004	0.507	-	0.490	0.004	0.494	2①					
				S _d	-	0.503	0.000	0.503	-	0.490	0.000	0.490						
		第4低圧給水加熱器	C	S _s	部位	使用温度	応力	疲労累積係数(基準:環境疲労考慮) 運転時	地震時	合計	部位	使用温度	応力	疲労累積係数(基準:環境疲労考慮) 通常運転時	地震時	合計		
				S _d	静的地震力	0.45	-	-	-	-	-	0.45	-	-	-	-		
第5低圧給水加熱器	C	S _s	静的地震力	0.14	-	-	-	-	0.14	-	-	-	-					
		S _d	静的地震力	0.07	-	-	-	-	0.07	-	-	-	-					
原子炉補機冷却水冷却器	S	S _s	静的地震力	0.33	-	-	-	-	0.33	-	-	-	-					
		S _d	静的地震力	0.46	-	-	-	-	0.46	-	-	-	-					
伝熱管の内面腐食(流れ加速型腐食)	S	S _s	静的地震力	0.30	-	-	-	-	0.30	-	-	-	-					
		S _d	静的地震力	0.79	-	-	-	-	0.79	-	-	-	-					

機種	経年劣化事象	機器名称	耐震クラス	地震力	大飯3号			大飯4号			3号と4号の差異		
					応力比	疲労累積係数(本号:環境疲労考慮) 通常 運転時	地震時	合計	応力比	疲労累積係数(本号:環境疲労考慮) 通常 運転時		地震時	合計
容器	端板の疲労割れ	RHR	S	S _s	-	0.001	0.462	0.463	-	0.001	0.462	0.463	2①
					-	0.001	0.002	0.003	-	0.001	0.002	0.003	
	管台等の疲労割れ	冷却材入口管台	S	S _s	-	0.040	0.000	0.040	-	0.039	0.000	0.039	2①
					-	0.040	0.000	0.040	-	0.039	0.000	0.039	
					-	0.050	0.000	0.050	-	0.049	0.000	0.049	
					-	0.050	0.000	0.050	-	0.049	0.000	0.049	
					-	0.069	0.000	0.069	-	0.049	0.000	0.049	
					-	0.069	0.000	0.069	-	0.049	0.000	0.049	
	原子炉容器	ふた管台	S	S _s	-	0.115	0.000	0.115	-	0.114	0.000	0.114	2①
					-	0.115	0.000	0.115	-	0.114	0.000	0.114	
					-	0.017	0.020	0.037	-	0.017	0.020	0.037	
					-	0.017	0.002	0.019	-	0.017	0.002	0.019	
					-	0.235	0.001	0.236	-	0.232	0.001	0.233	
					-	0.235	0.000	0.235	-	0.232	0.000	0.232	
					-	0.005	0.000	0.005	-	0.005	0.000	0.005	
					-	0.005	0.000	0.005	-	0.005	0.000	0.005	
加圧器	スプレイライン用管台	S	S _s	-	0.060	0.001	0.061	-	0.060	0.001	0.061	2① 3②	
				-	0.060	0.000	0.060	-	0.060	0.000	0.060		
				-	0.021	0.001	0.022	-	0.021	0.001	0.022		
				-	0.021	0.000	0.021	-	0.021	0.000	0.021		
原子炉容器	胴部	S	S _s	K _L 及びK _{Uc} >K _I (地震荷重によるK _I =6.7MPa/m)	-	-	-	-	-	-	-	2①	
				K _L 及びK _{Uc} >K _I (地震荷重によるK _I =6.7MPa/m)	-	-	-	-	-	-	-		-

機種	経年劣化事象	機器名称	耐震クラス	地震力	大飯3号			大飯4号			3号と4号の差異			
					応力比	疲労累積係数(本号:環境疲労考慮) 通常 運転時	地震時	合計	応力比	疲労累積係数(本号:環境疲労考慮) 通常 運転時		地震時	合計	
配管	母管及び管台の 疲労割れ	余熱除去系統配管	S	S _s	-	0.060	0.001	0.061	-	0.060	0.001	0.061	2①	
			S _d	-	0.060	0.000	0.060	-	0.060	0.000	0.060	0.000	0.060	
		ステンレス鋼配管	S	S _s	-	0.005	0.001	0.006	-	0.005	0.001	0.006	0.006	2①
			S _d	-	0.005	0.000	0.005	-	0.005	0.000	0.005	0.000	0.005	
		加圧器スプレィ配管	S	S _s	-	0.219	0.072	0.291	-	0.219	0.072	0.291	0.329	1② 2① 3②
			S _d	-	0.219	0.001	0.220	-	0.219	0.001	0.219	0.001	0.260	
		炭素鋼配管	S	S _s	-	0.010	0.019	0.029	-	0.010	0.019	0.029	0.029	2①
			S _d	-	0.010	0.003	0.013	-	0.010	0.003	0.013	0.003	0.013	
		ホットレグ	S	S _s	-	0.010	0.001	0.011	-	0.010	0.001	0.011	0.011	2①
			S _d	-	0.010	0.000	0.010	-	0.010	0.000	0.010	0.000	0.010	
		クロスオーバーレグ	S	S _s	-	0.009	0.000	0.009	-	0.009	0.000	0.009	0.009	2①
			S _d	-	0.009	0.000	0.009	-	0.009	0.000	0.009	0.000	0.009	
		コールドレグ	S	S _s	-	0.006	0.000	0.006	-	0.006	0.000	0.006	0.006	2①
			S _d	-	0.006	0.000	0.006	-	0.006	0.000	0.006	0.000	0.006	
1次冷却材管	S	S _s	-	0.055	0.000	0.055	-	0.055	0.000	0.055	0.055	2①		
	S _d	-	0.055	0.000	0.055	-	0.055	0.000	0.055	0.000	0.055			
加圧器サージ 管台	S	S _s	-	0.036	0.001	0.037	-	0.036	0.001	0.036	0.037	2①		
	S _d	-	0.036	0.000	0.036	-	0.036	0.000	0.036	0.000	0.036			
充てん管台	S	S _s	-	0.029	0.000	0.029	-	0.029	0.000	0.029	0.029	2① 3②		
	S _d	-	0.029	0.000	0.029	-	0.029	0.000	0.029	0.000	0.029			
配管とバンドの 溶接部	S	S _s	一次 一次+二次	0.58 0.55	-	-	-	0.55 0.53	-	-	-	1②		
	S _d	-	一次 一次+二次	0.63 0.69	-	-	-	0.63 0.69	-	-	-	差異なし		
配管サポート(余熱 除去系統配管の アンカーサポート)	S	S _s	一次 一次+二次	0.51 0.59	-	-	-	0.51 0.59	-	-	-	差異なし		
	S _d	-	一次 一次+二次	0.79	-	-	-	0.79	-	-	-	差異なし		
母管の高サイクル 熱疲労割れ (高低温水合流部)	S	S _s	余熱除去系統配管 配管とバイパス配管の 合流部	0.79	-	-	-	0.79	-	-	-	差異なし		
	S _d	-	余熱除去系統配管 配管とバイパス配管の 合流部	-	-	-	-	-	-	-	-	差異なし		

機種	経年劣化事象	機器名称	耐震クラス	地震力	大飯3号			大飯4号			3号と4号の差異					
					応力比	疲労累積係数(通常運転時)	地震時	合計	応力比	疲労累積係数(通常運転時)		地震時	合計			
配管	母管の腐食(流れ加型型腐食)	主蒸気系統配管	S	S _s	0.80	-	-	-	-	0.80	-	-	-	差異なし		
				一次	1.58	-	0.104	0.104	1.58	-	0.104	0.104	0.104			
				一次+二次	0.93	-	-	-	0.93	-	-	-	-		-	
				S _d	0.72	-	-	-	0.72	-	-	-	-		-	
		主給水系統配管	C	静的地震力	S _s	0.91	-	-	-	-	0.89	-	-	-	1②	
					一次	0.82	-	-	-	0.82	-	-	-	-	差異なし	
					一次+二次	2.23	-	0.497	0.497	2.23	-	0.497	0.497	0.497	0.497	
					S _d	0.62	-	-	-	0.62	-	-	-	-	-	
		配管	母管の腐食(流れ加型型腐食)	第5抽気系統配管	C	静的地震力	0.98	-	-	-	-	0.99	-	-	-	1②
						静的地震力	0.98	-	-	-	0.97	-	-	-	-	1②
						静的地震力	0.81	-	-	-	0.81	-	-	-	-	1②
						静的地震力	0.89	-	-	-	0.90	-	-	-	-	1②
						静的地震力	0.28	-	-	-	0.26	-	-	-	-	1②
						静的地震力	0.88	-	-	-	0.89	-	-	-	-	1②
弁	弁の疲労割れ	仕切弁	S	S _s	0.77	-	-	-	0.77	-	-	-	2①			
				一次	-	-	0.000	0.125	-	-	0.127	0.000	0.127	2①		
				一次+二次	1.40	-	0.554	0.554	1.40	-	0.552	0.552	0.552	1②		
				S _d	0.96	-	-	-	0.96	-	-	-	-	3②		
弁	弁の疲労割れ	玉形弁	S	S _s	0.77	-	-	-	0.77	-	-	-	2①			
				一次	-	-	0.000	0.125	-	-	0.127	0.000	0.127	2①		
				一次+二次	1.40	-	0.554	0.554	1.40	-	0.552	0.552	0.552	1②		
				S _d	0.96	-	-	-	0.96	-	-	-	-	3②		
弁	弁の疲労割れ	スイング逆止弁	S	S _s	0.77	-	-	-	0.77	-	-	-	2①			
				一次	-	-	0.000	0.125	-	-	0.127	0.000	0.127	2①		
				一次+二次	1.40	-	0.554	0.554	1.40	-	0.552	0.552	0.552	1②		
				S _d	0.96	-	-	-	0.96	-	-	-	-	3②		
弁	弁の疲労割れ	リフト逆止弁	S	S _s	0.77	-	-	-	0.77	-	-	-	2①			
				一次	-	-	0.000	0.125	-	-	0.127	0.000	0.127	2①		
				一次+二次	1.40	-	0.554	0.554	1.40	-	0.552	0.552	0.552	1②		
				S _d	0.96	-	-	-	0.96	-	-	-	-	3②		

機種	経年劣化事象	機器名称	耐震クラス	地震力	大館3号				大館4号				3号と4号の差異	
					応力比	疲労累積係数(基準:環境疲労考慮)		応力比	疲労累積係数(基準:環境疲労考慮)					
						通常運転時	地震時		通常運転時	地震時				
炉内構造物	低サイクル疲労割れ	上部炉心支持板	S	S _s	-	0.031	0.000	-	0.030	0.000	0.030	0.030	2①	
		下部炉心支持板	S	S _d	-	0.031	0.000	-	0.030	0.000	0.030	0.030		
		上部炉心支持柱	S	S _s	-	0.001	0.001	-	0.001	0.001	0.001	0.002		
		下部炉心支持柱	S	S _d	-	0.001	0.000	-	0.001	0.000	0.001	0.001		
		炉心支持構造物	S	S _s	-	0.008	0.012	-	0.008	0.012	0.020	0.020		
		炉心支持構造物	S	S _d	-	0.008	0.001	-	0.008	0.001	0.009	0.009		
	炉内構造物	炉心そのうち中性子照射による脆性低下	炉心支持柱	S	S _s	-	0.032	0.154	-	0.032	0.154	0.186	0.186	2①
			炉心支持柱	S	S _d	-	0.032	0.015	-	0.032	0.015	0.047	0.047	
			炉心支持柱	S	S _s	$\frac{K(51MPa/\sqrt{m})}{K(79MPa/\sqrt{m})}$	-	-	-	-	-	-	-	
			炉心支持柱	S	S _d	$\frac{K(51MPa/\sqrt{m})}{K(79MPa/\sqrt{m})}$	-	-	-	-	-	-	-	
			炉心支持柱	S	S _s	$\frac{K(51MPa/\sqrt{m})}{K(79MPa/\sqrt{m})}$	-	-	-	-	-	-	-	
			炉心支持柱	S	S _d	$\frac{K(51MPa/\sqrt{m})}{K(79MPa/\sqrt{m})}$	-	-	-	-	-	-	-	
タービン設備	経年劣化事象	制御棒クラスター案内管(案内板)	S	S _s	地震時挿入時間: 2.07秒	-	-	-	-	-	-	-	差異なし	
		炉内計装用シンガルフューズ	S	S _s	地震時挿入時間: 2.07秒	0.03	-	-	0.03	-	-	-		
		高圧タービン	C	静的地震力	0.41	-	-	-	0.41	-	-	-		
		凝縮器伝熱管の内面腐食(流れ加速型腐食)	C	静的地震力	0.46	-	-	-	0.46	-	-	-		
		凝縮器(冷凍機)	C	静的地震力	0.67	-	-	-	0.35	-	-	-		
		冷水系統(冷凍機)	C	静的地震力	0.07	-	-	-	0.07	-	-	-		
	空調設備	経年劣化事象	膨張タンク(冷凍機)	C	静的地震力	0.07	-	-	-	-	-	-	-	1②
			膨張タンク(冷凍機)	C	静的地震力	0.07	-	-	-	-	-	-	-	
			膨張タンク(冷凍機)	C	静的地震力	0.07	-	-	-	-	-	-	-	
			膨張タンク(冷凍機)	C	静的地震力	0.07	-	-	-	-	-	-	-	
			膨張タンク(冷凍機)	C	静的地震力	0.07	-	-	-	-	-	-	-	
			膨張タンク(冷凍機)	C	静的地震力	0.07	-	-	-	-	-	-	-	

機種	経年劣化事象	機器名称	耐震クラス	地震力	大飯3号			大飯4号			3号と4号の差異	
					応力比	疲労累積係数(基準:環境疲労考慮)		応力比	疲労累積係数(基準:環境疲労考慮)			
						通常運転時	地震時		通常運転時	地震時		合計
機械設備	中性子及びγ線照射脆化	原子炉容器サポート	S	S _s	0.14	-	-	0.16	-	-	2①	
		サブポートブラケット(サブポートリア)	S	S _s	0.27	-	-	0.27	-	-	2①	
	摩耗	蒸気発生器支持脚	S	S _s	0.71	-	-	0.71	-	-	2①	
		蒸気発生器支持脚(水平2方向考慮)	S	S _s	0.27	-	-	0.27	-	-	2①	
		1次冷却材ポンプ支持脚	S	S _s	0.72	-	-	0.72	-	-	2①	
		ヒンジ摺動部	S	S _s	0.04	-	-	0.04	-	-	2①	
	重機器サポート	スカート・胴取付部疲労割れ	スカート・胴取付部	S	S _s	-	0.201	0.005	0.206	0.199	0.005	0.204
			ヒンジ摺動部	S	S _s	-	0.201	0.001	0.202	0.199	0.001	0.200
		制御用空気だめ	制御用空気だめ	S	S _s	0.25	-	-	0.25	-	-	1②
			制御用空気乾燥器吸着塔	S	S _s	0.17	-	-	0.17	-	-	1②
被覆管の摩耗		制御棒クラスト	S	S _s	0.70	-	-	0.70	-	-	差異なし	
		蒸発器胴板	B	1/2Sd	0.15	-	-	0.15	-	-	1①	
電源設備	ステンレス鋼使用部位の応力腐食割れ	加熱器伝熱管	B	静的地震力	0.07	-	-	0.07	-	-	1①	
		燃料油貯蔵タンク	S	S _s	0.76	-	-	0.76	-	-	差異なし	
	腐食	重油タンク	S	S _s	0.26	-	-	0.26	-	-	差異なし	
		主蒸気系統配管	S	S _s	0.41	-	-	0.41	-	-	差異なし	
		空気冷却器(ディーゼル機関)	S	S _s	0.19	-	-	0.19	-	-	1②	
		清水冷却器	S	S _s	0.85	-	-	0.85	-	-	差異なし	
	伝熱管の内面の腐食(流れ加達型腐食)	潤滑油冷却器	S	S _s	0.49	-	-	0.49	-	-	差異なし	
		燃料弁冷却水冷却器	S	S _s	0.20	-	-	0.20	-	-	差異なし	
		伝熱管	S	S _s	0.70	-	-	0.70	-	-	差異なし	
		伝熱管	S	S _s	0.76	-	-	0.76	-	-	差異なし	

加圧器スプレイ配管および蒸気発生器ブローダウン配管の
大飯3号との評価条件の差異について

加圧器スプレイ配管（低サイクル疲労）及び蒸気発生器ブローダウン配管（流れ加速型腐食）の評価条件について大飯3号との差異の詳細を以下に示す。

1. 配置設計の差

加圧器スプレイ配管および蒸気発生器ブローダウン配管とも大飯3号と4号はスライド配置であり、配管ルートや使用する床応答曲線に差異はない。

2. 評価への影響

以下の通り、サポート拘束条件の差や一部材料の違いにより、配管解析モデルに差があることから、応答に差が生じて評価値が異なっている。

(1) 加圧器スプレイ配管

加圧器スプレイ配管に設置されるサポートのうち、リジットハンガーの有無1箇所および、スナバ設置方向の差異1箇所がある（P2/3参照）。

(2) 蒸気発生器ブローダウン配管

蒸気発生器ブローダウン配管の材料に、炭素鋼からステンレス鋼への変更範囲の違いにより、一部材料に差異がある（P3/3参照）

3. 評価結果の差

上記「2. 解析モデルの差」から以下のとおり評価結果（Ss地震の例）に差が生じたものである。

表 18-2-1 大飯3号との評価結果の差異（加圧器スプレイ配管）

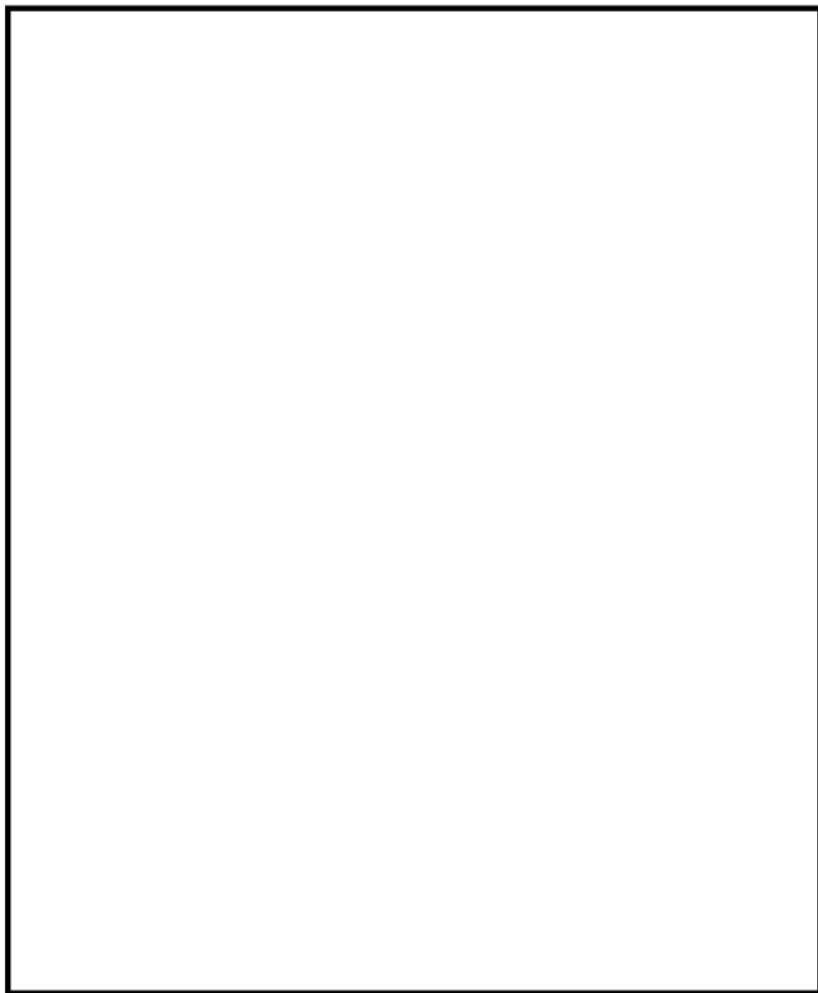
配管	経年劣化事象	大飯3号 (疲労累積係数)			大飯4号 (疲労累積係数)		
		通常 運転時	地震時	合計	通常 運転時	地震時	合計
加圧器 スプレイ配管	低サイクル 疲労	0.219	0.072	0.291	0.259	0.070	0.329

表 18-2-2 大飯3号との評価結果の差異（蒸気発生器ブローダウン配管）

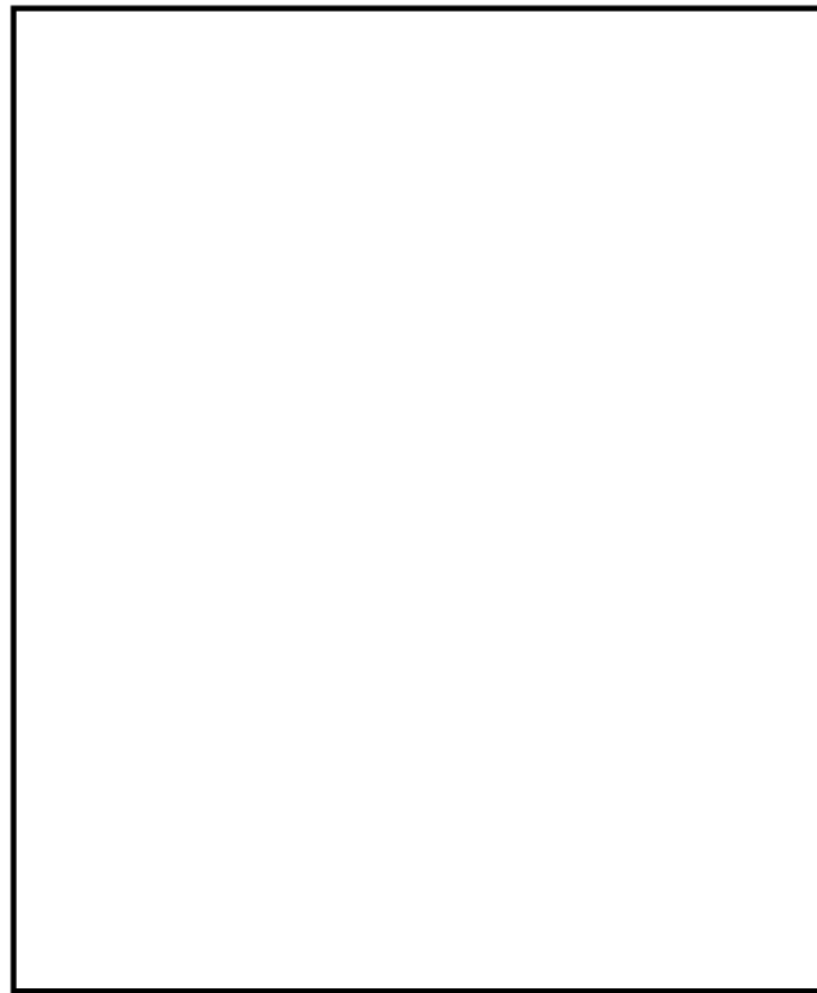
配管	経年劣化事象	大飯3号			大飯4号		
		一次	一次+ 二次	疲労累 積係数	一次	一次+ 二次	疲労累 積係数
蒸気発生器 ブローダウン配管	流れ加速型 腐食	0.72*	1.40*	0.554	0.72*	1.40*	0.552

※：応力比＝地震時応力／許容応力

以 上

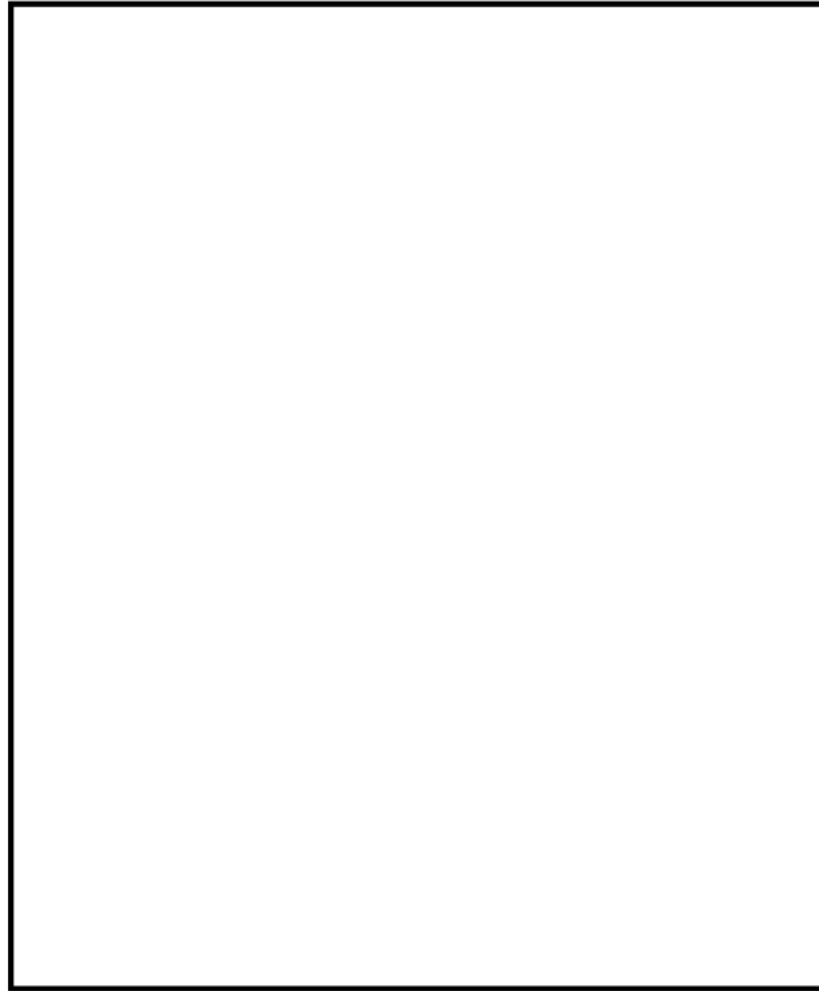


大飯3号 解析モデル

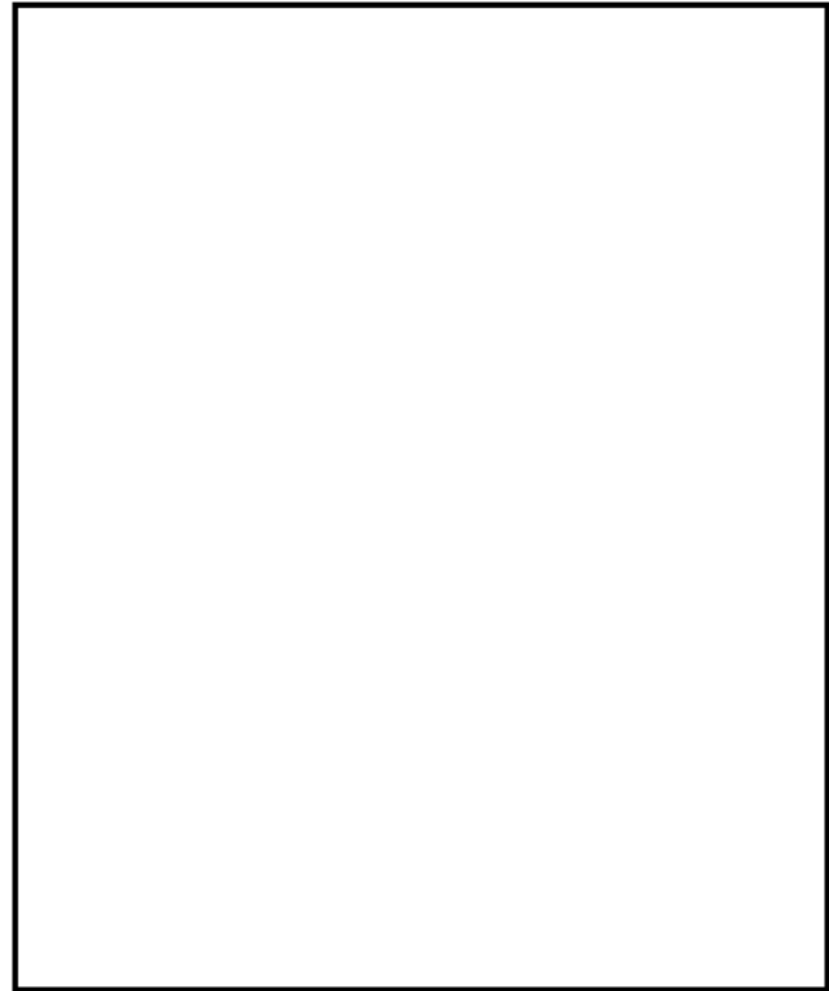


大飯4号 解析モデル

加圧器スプレイ配管における解析モデルの差異



大飯3号 解析モデル



大飯4号 解析モデル

蒸気発生器ブローダウン配管における解析モデルの差異

空調用冷凍機の冷却系統配管の評価条件の差異について

空調用冷凍機の冷却系統配管（全面腐食）の評価条件について、大飯3号との差異の詳細を以下に示す。

1. 配置設計の差

大飯3号と4号はスライド配置で基本設計されているが、当該冷凍機の冷却系統配管については、冷凍機が3号と4号の間にある制御建屋(C/B)に設置されているため、スライド配置となっていない（下図参照）。

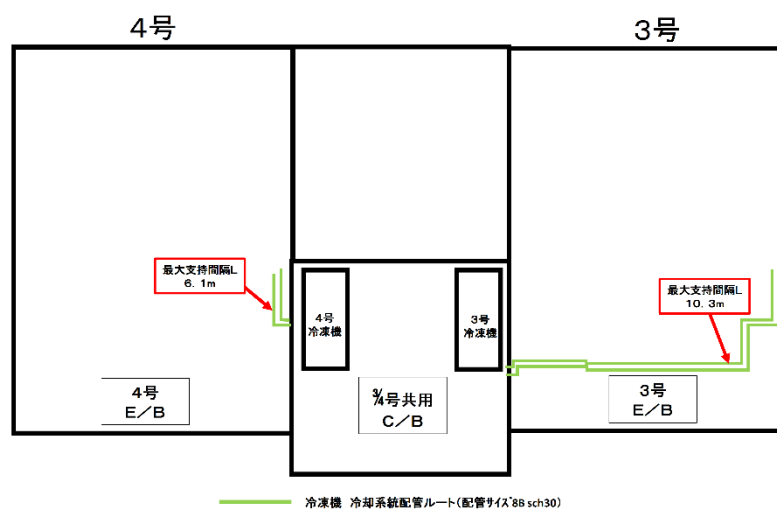


図 18-3-1 大飯3号との配管ルートの違い（配管サイズ 8B sch30 EL26.0m の例）

2. 評価への影響

本評価は、配管サイズ（口径・肉厚）毎、そのサイズの配管が通る区画毎に定めた最大支持間隔L（設計値）を用い、2スパン3点支持の等分布質量の連続梁モデル化した定ピッチスパンモデルにより実施している。

大飯4号の配管（サイズ8B sch30の例）は冷却器の配置位置の関係で、冷却水供給先機器までの配管長が3号の配管と比べて短く、3号は大きな最大支持間隔を適用するE/B建屋区画を通るが4号ではこの区画を通らないため、評価に用いる最大支持間隔Lが異なっている。

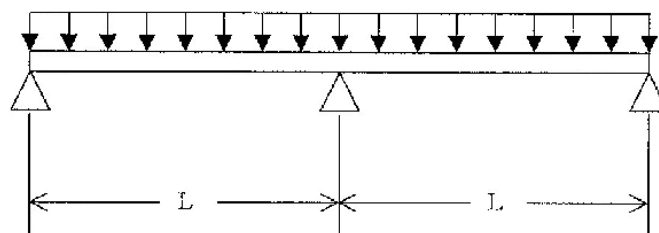


図 18-3-2 2スパン3点支持の等分布質量の連続梁モデル

3. 評価結果の差

「1. 配置設計の差」および「2. 評価への影響」は、最も大きな差が生じた8B sch30 を例とし説明したが、以下のとおり4B sch40、6B sch40も同様の理由で評価結果に差が生じたものである。なお1B sch40、2B sch40は配管が通る区画に差異がないため結果に違いはない。

表 18-3-1 大飯3号との評価結果の差異（冷凍機の冷却系統配管）

配管 サイズ	大飯3号				大飯4号			
	最大支持 間隔(m)	一次応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比	最大支持 間隔(m)	一次応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比
1B sch40	2.6	46	162	0.28	2.6	46	162	0.28
2B sch40	3.8	56	162	0.35	3.8	56	162	0.35
4B sch40	5.8	59	162	0.36	4.4	37	162	0.23
6B sch40	6.9	59	162	0.36	5.3	38	162	0.23
8B sch30	10.3	108	162	0.67	6.1	44	162	0.27

太字は、耐震安全性評価書（配管）に記載した値

以 上