

島根原子力発電所 2 号炉 審査資料	
資料番号	PLM-09 改 08
提出年月日	2023 年 10 月 4 日

島根原子力発電所 2 号炉高経年化技術評価
(耐震安全性評価)

補足説明資料

2023 年 10 月 4 日

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
3. 評価対象と評価手法	4
(1) 評価対象	4
①耐震安全性評価対象機器	4
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
(2) 評価手法	8
①主な適用規格	8
②耐震安全性評価の評価手法	8
③工事計画認可補正申請で用いた耐震評価手法等の反映について	10
(3) 評価用地震力	11
(4) 評価用地震動	11
(5) 代表の選定	15
4. 代表の耐震安全性評価	17
(1) 耐震安全性評価	17
①低サイクル疲労	17
②中性子照射脆化	17
③照射誘起型応力腐食割れ	17
④熱時効	17
⑤摩耗	18
⑥腐食（流れ加速型腐食）	18
⑦腐食（全面腐食）	20
⑧動的機能維持に係る耐震安全性評価	22
⑨制御棒挿入性評価	23
⑩浸水防護施設の耐震安全性評価	27
(2) 現状保全	27
(3) 総合評価	27
5. まとめ	27
(1) 審査ガイド適合性	27
(2) 施設管理に関する方針として策定する事項	32
添付 炉内構造物の点検記録	33

- 別紙 1. 建設後の耐震補強について
- 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
- 別紙 3. 新規制基準適合性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
- 別紙 4. 低サイクル疲労を考慮した耐震安全性評価について
- 別紙 5. 中性子照射脆化を考慮した耐震安全性評価について
- 別紙 6. 流れ加速型腐食を考慮した耐震安全性評価について
- 別紙 7. 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
- 別紙 8. 後打ちアンカの耐震安全性評価について
- 別紙 9. 動的機能維持評価について
- 別紙 10. 機器・配管系の耐震安全性評価に用いた地震力について
- 別紙 11. これまでに発生した地震が与える影響について
- 別紙 12. 炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）に対する耐震安全性評価について
- 別紙 13. 炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）に対する耐震安全性評価に係る耐震管理厚さについて
- 別紙 14. 疲労割れに対する評価の具体的内容について
- 別紙 15. 機器付基礎ボルトの腐食に対する評価の具体的内容について
- 別紙 16. 初回申請および補正申請の発生応力および許容応力の比較について

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・構造物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・構造物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。耐震安全性を評価するにあたっての要求事項を表 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

が 付	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が 付</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>実施が 付 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、長期施設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

が 付	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が 付</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と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

(1) 評価対象

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内容については別紙 1 に示す。

②耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象の抽出

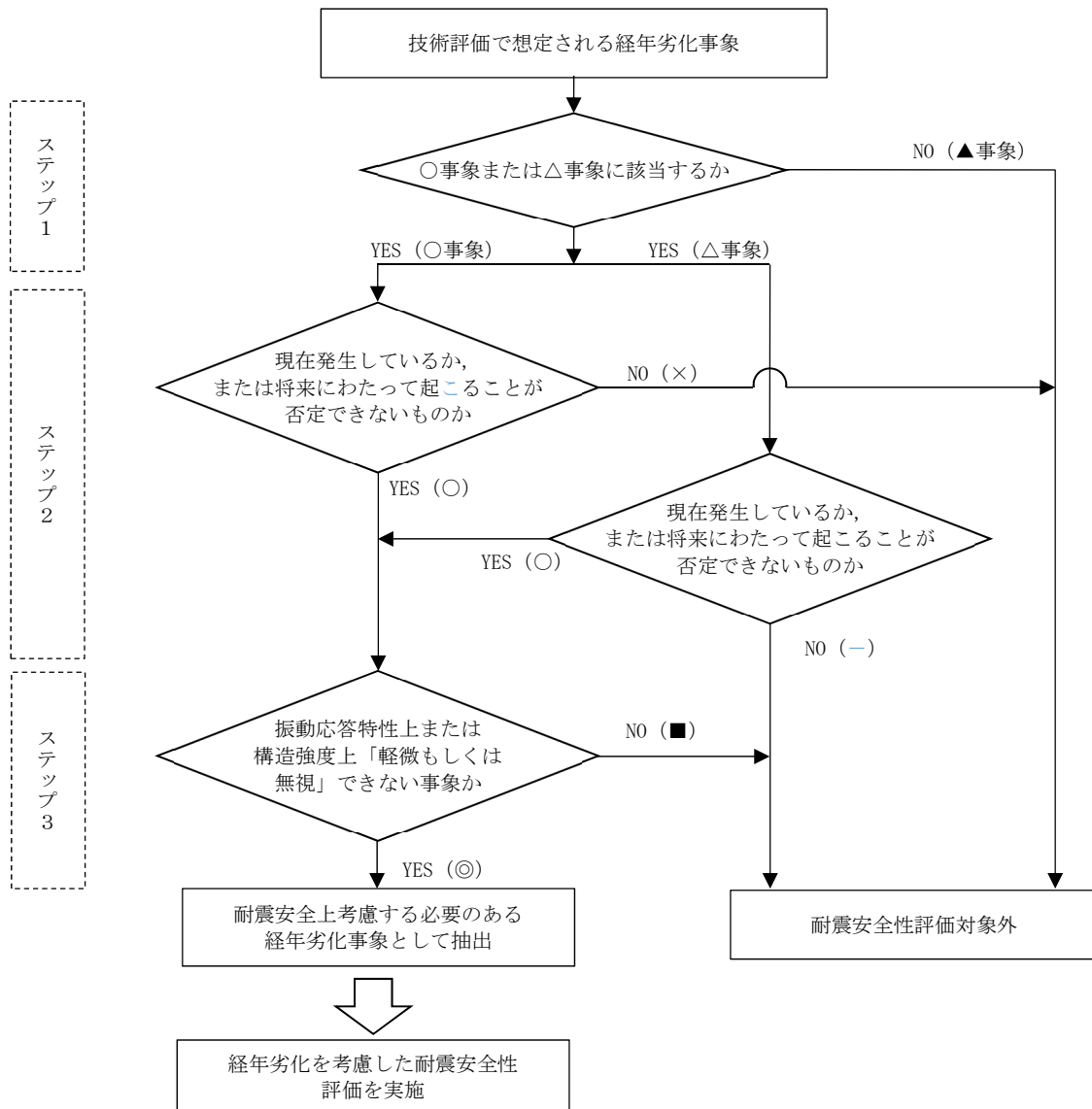
①にて抽出された耐震安全性評価対象機器において、各高経年化技術評価書で評価対象機器・部位ごとに想定される経年劣化事象については、以下のとおり分類される。

- a. 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（○事象）
- b. 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）
- c. 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、a. および b. 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・構造物のうち配管、弁、コンクリート構造物および鉄骨構造物ならびに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。



YES/NO () 内の記号は以下凡例による。

【凡例】

- ：評価対象として抽出
- －：評価対象から除外
- ×：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して評価対象から除外
- ：振動応答特性上または構造強度上「軽微もしくは無視」できる事象として評価対象から除外
- ◎：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
- 事象：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象
- △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）
- ▲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）

図1 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

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							
	低サイクル 疲労	中性子 照射脆化	照射誘起型 応力腐食 割れ ^{*1}	熱時効	摩耗	腐食		コンクリートの 強度・遮へい 能力低下
						流れ加速 型腐食	全面腐食	
ポンプ	◎	—	—	◎	—	—	◎ ^{*2}	—
熱交換器	—	—	—	—	◎ ^{*3}	◎	◎ ^{*2}	—
ポンプモータ	—	—	—	—	—	—	—	—
容器	◎	◎	—	—	—	—	◎ ^{*2}	—
配管	◎	—	—	—	—	◎	◎ ^{*2}	—
弁	◎	—	—	◎	—	—	—	—
炉内構造物	◎	—	× ^{*4}	—	—	—	—	—
ケーブル	—	—	—	—	—	—	◎ ^{*2}	—
タービン設備	—	—	—	—	—	—	◎ ^{*2}	—
コンクリートおよび 鉄骨構造物	—	—	—	—	—	—	—	×
計測制御設備	—	—	—	—	—	—	◎ ^{*2}	—
空調設備	—	—	—	—	—	—	◎ ^{*2}	—
機械設備	—	—	—	—	—	—	◎ ^{*2}	—
電源設備	—	—	—	—	—	—	◎ ^{*2}	—

*1：中性子照射による靱性低下を含む

*2：基礎ボルト

*3：排ガス予熱器の管支持板に流れ加速型腐食による減肉を考慮した場合に発生する，管支持板と伝熱管外面の摩耗による減肉を考慮

*4：照射誘起型応力割れについて初回申請時は耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象としていたが，照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性はないと評価を見直したことに伴い，耐震安全性評価についても「◎」から「×」に変更（技術評価の変更内容については，第15回審査会合（2018年12月19日）にて説明済）。

【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
- ：日常劣化管理事象のうち，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

高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（○事象）のうち、図1の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て、耐震安全上考慮不要となる経年劣化事象は以下のとおり。

(a) 技術評価の結果、現在発生しておらず、今後も発生の可能性がない事象、または小さい事象

a. 炉内構造物の照射誘起型応力腐食割れ（中性子照射による靱性低下を含む）

炉心支持板、燃料支持金具および制御棒案内管は、しきい照射量を超えないことから、照射誘起型応力腐食割れの可能性はない。

上部格子板のグリッドプレートは、しきい照射量を超えるものの、溶接部はなく、運転中の差圧、熱、自重等に起因する引張応力成分が低いことから、照射誘起型応力腐食割れの可能性はない。

炉心シュラウド溶接継手（熱影響部含む）は、しきい照射量を超える範囲について内外面にウォータージェットピーニング施工による残留応力の改善を行っていることから、照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性はない。

炉心シュラウド中間胴の母材部は、しきい照射量を超える範囲についても、溶接による引張残留応力はなく、運転中の差圧、熱、自重等に起因する引張応力成分が低いことから、照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性はない。

中性子照射による靱性低下については、靱性低下が進行した場合であっても、欠陥が存在しなければ不安定破壊は生じず、維持規格に基づき計画的に水中カメラによる目視点検（MVT-1 または VT-3）を行い欠陥のないことを確認しているため耐震性への影響はない。炉内構造物の点検記録について添付に示す。

b. コンクリート構造物の熱、放射線照射、中性化、塩分浸透および機械振動による強度低下ならびに熱による遮へい能力低下

いずれの事象も高経年化技術評価における評価結果から「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」であり、耐震性への影響はない。

(b) 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

a. 制御棒の照射誘起型応力腐食割れ

鉛直荷重については、スクラム荷重は地震荷重に比べ非常に大きく、地震荷重が制御棒に与える影響は極めて小さい。水平荷重については、制御棒上下に取り付けたローラが燃料集合体チャンネルボックスにあたりながら、燃料集合体の動きに呼応して挿入されることから、地震の影響は小さく、制御棒自体の健全性に影響を与えるものではない。

b. 絶縁特性低下、特性変化および導通不良

発生する部位に依らず機器の振動応答特性または構造・強度上「軽微もしくは無視」できる。

c. シール材等の劣化（気密性低下）

シール材等は構造強度部材ではないことから、耐震性への影響はない。

(2) 評価手法

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「発電用原子力設備規格 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「発電用原子力設備規格 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」(以下、「JEAG4613-1998」という。)
- ・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 JEAC4206-2007」(以下、「JEAC4206」という。)
- ・日本機械学会「発電用原子力設備規格 沸騰水型原子力発電所 配管減肉管理に関する技術規格 JSME S NH1-2006」(以下、「配管減肉管理規格」という。)
- ・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追補版 JEAG4601-1991」(以下、「JEAG4601」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。

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 3 に示す新規制基準適合に係る工事計画認可等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。

(a) 低サイクル疲労 (ポンプ, 容器, 配管, 弁, 炉内構造物)

運転開始後 60 年時点までの推定過渡回数を考慮した疲れ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 を考慮した疲れ累積係数の合計値が許容値 1 を下回ることを確認する。

(b) 中性子照射脆化 (容器)

運転開始後 60 年時点での K_{IC} 下限包絡曲線と基準地震動 S_s の荷重を考慮した K_I 曲線を算出し、 K_{IC} 下限包絡曲線と K_I 曲線を比較した結果が $K_{IC} > K_I$ となり、許容限界を下回ることを確認する。

(c) 熱時効 (ポンプ, 弁)

き裂を想定し、評価対象部位の地震時のき裂進展力が運転開始後 60 年時点の熱時効を考慮した材料のき裂進展抵抗を下回ることを確認する。

なお、高経年化技術評価「2 相ステンレス鋼の熱時効」にて地震荷重を含んだ評価を実施している。

(d) 摩耗（熱交換器）

流れ加速型腐食によって管支持板（伝熱管との支持部）に減肉が発生した場合に、流体振動による伝熱管の摩耗（管外面の減肉）が進行するため、伝熱管外面の減肉を考慮した地震時の発生応力を算出し、許容応力を下回ることを確認する。

(e) 腐食（流れ加速型腐食）（配管，熱交換器）

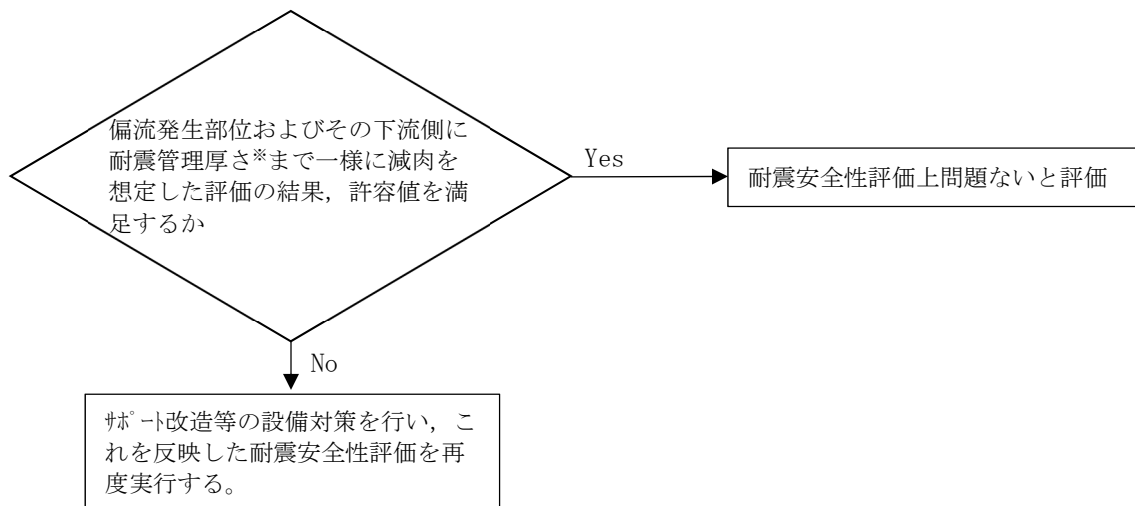
a. 熱交換器

流れ加速型腐食による胴内面の減肉，伝熱管内面の減肉および管支持板の減肉を考慮して地震時の発生応力を算出し，許容応力を下回ることを確認する。

b. 配管

保全活動の範囲内で発生する可能性のある減肉を考慮して地震時の発生応力，または疲れ累積係数を算出し，許容値 1 を下回ることを確認する。

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。



※ 減肉を考慮した 40 年目の想定厚さと公称肉厚の 80%を比較し，いずれか小さい値を耐震管理厚さとして設定

図 2 腐食（流れ加速型腐食）（配管）の耐震安全性評価フロー

(f) 腐食（全面腐食）（基礎ボルト）

運転開始後 60 年時点の腐食減肉を仮定して地震時の発生応力を算出し、許容応力を下回ることを確認する。

(g) 動的機能維持評価（ポンプ、ポンプモータ、弁、タービン設備、空調設備、機械設備）

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について、耐震安全上考慮する必要の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」できる事象か確認し、「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。

(h) 制御棒挿入性評価（制御棒、炉内構造物、燃料集合体）

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を抽出して影響評価を行い、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ことを確認する。

③工事計画認可補正申請で用いた耐震評価手法等の反映について

現状の設備状態に基づき耐震安全性評価を行うことを基本とするが、工事計画認可補正申請（2021年10月1日、2021年12月22日、2022年3月28日、2022年5月25日、2022年7月28日、2022年10月31日、2022年12月23日および2023年6月22日の計8回）（以下、「工認補正」という。）に係る設備については、工認補正どおりに工事が実施されることを前提とした耐震安全性評価を行い、2023年7月20日に工認補正申請書の第8回補正までの内容を反映した高経年化技術評価の補正を実施しており、2023年7月21日の第9回工認補正申請書には高経年化技術評価に影響を与える補正内容がないことを確認している。また、工事計画認可については、2023年8月30日に認可を受けている。

なお、本補足説明資料には、工認補正後に生じた変更点（モデルの変更等）を一部反映している。工事計画認可等における審査内容の反映事項については別紙3に示す。

また、工認補正にて適用されている地震動、評価手法等（評価方法、評価モデル等）を適切に反映した評価を実施する。

(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

耐震重要度等	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 (以下, 「 S_s 地震力」という。)
	弾性設計用地震動 S_d^{*2} により定まる地震力と S クラス設備に適用される静的地震力のいずれか大きい方
常設重大事故等 対処設備	S_s 地震力
B クラス	B クラスの機器に適用される静的地震力 ^{*3*4}
C クラス	C クラスの機器に適用される静的地震力 ^{*4}

- *1 「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 (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 -D), 断層モデルを用いた手法に基づく地震動評価結果による基準地震動 (S_s -F1, F2), 観測記録に基づく地震動評価 (S_s -N1, N2)
- *2 弾性設計用地震動 S_d は, 基準地震動 S_s との応答スペクトルの比率が目安として 0.5 を下回らないよう基準地震動 S_s に係数 0.5 を乗じて設定している。さらに, 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針 (昭和 56 年 7 月 20 日原子力安全委員会決定, 平成 13 年 3 月 29 日一部改訂)」における基準地震動 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た地震動も弾性設計用地震動 S_d として設定している。
- *3 支持構造物の振動と共振のおそれのあるものについては, 弾性設計用地震動 S_d による地震力の 1/2 についても考慮する。
- *4 S クラス設備または常設重大事故等対処設備へ波及的影響を及ぼす可能性のある B クラス設備および C クラス設備並びに溢水源としない B, C クラス設備の設計用地震力は S_s 地震力を適用する。

(4) 評価用地震動

①基準地震動

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 (2021 年 9 月 15 日) (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 S_s を用いて評価を実施する。表 4 に考慮した地震と基準地震動の最大加速度, 図 3 に基準地震動の応答スペクトルを示す。

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 (cm/s ²)	
		水平方向	鉛直方向
Ss-D	「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」による基準地震動 [応答スペクトル手法による基準地震動]	820	547
Ss-F1	「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」による基準地震動 [断層モデル手法による基準地震動（宍道断層による地震の短周期の地震動レベルの不確かさ（1.5 倍）破壊開始点 5）]	549 (NS) 560 (EW)	337
Ss-F2	「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」による基準地震動 [断層モデル手法による基準地震動（宍道断層による地震の短周期の地震動レベルの不確かさ（1.5 倍）破壊開始点 6）]	522 (NS) 777 (EW)	426
Ss-N1	「震源を特定せず策定する地震動」による基準地震動 [2004 年北海道留萌支庁南部地震（K-NET 港町）の検討結果に保守性を考慮した地震動]	620	320
Ss-N2	「震源を特定せず策定する地震動」による基準地震動 [2000 年鳥取県西部地震の賀祥ダム（監査廊）の観測記録]	528 (NS) 531 (EW)	485

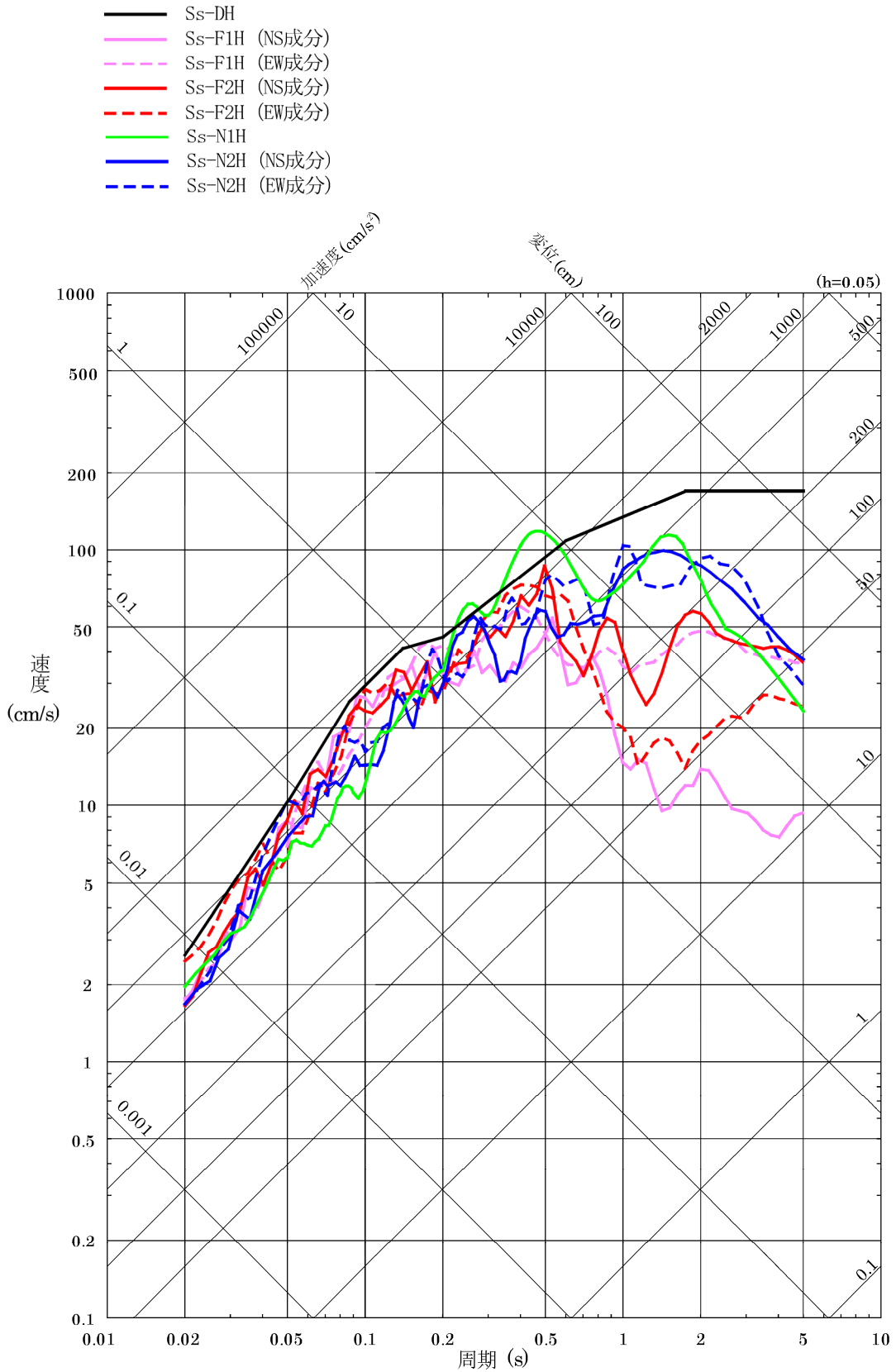


図 3(1/2) 基準地震動の応答スペクトル (水平方向)

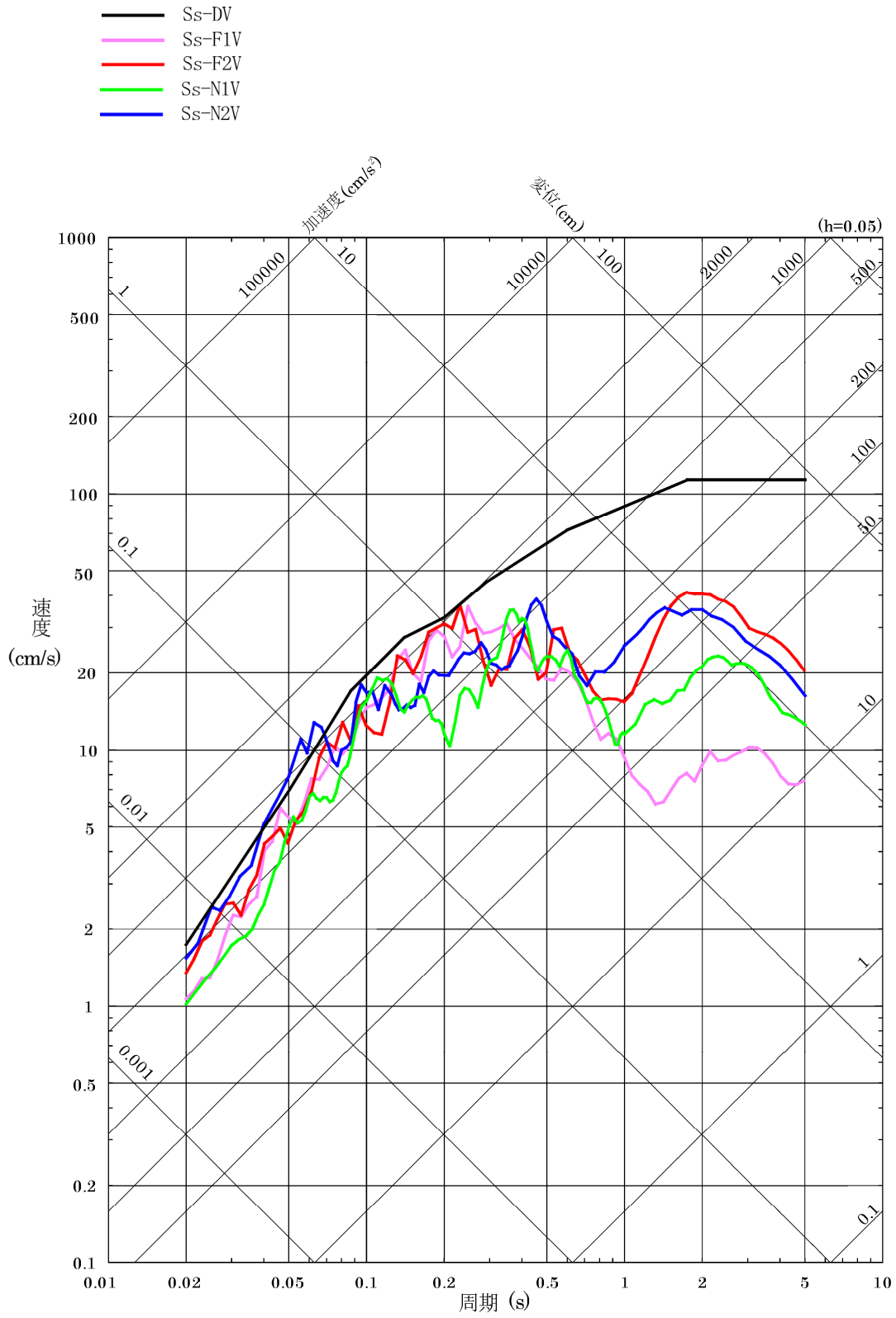


図 3(2/2) 基準地震動の応答スペクトル (鉛直方向)

②耐震条件

耐震条件に関しては、設置変更許可を受けた基準地震動 S_s および弾性設計用地震動 S_d を基に設定した、工認と同様の耐震条件である設計用条件 I / II*又はそれを上回る設計用条件を適用する。

※：工認図書「VI-2-1-7 設計用床応答スペクトルの作成方針」で設定している条件であり、材料物性の不確かさを考慮して設定した設計用震度および設計用床応答スペクトルを設計用条件 I、設計用条件 I に対して余裕のある条件（概ね設計用条件 I に 1.5 を乗じた条件）を設計用条件 II という。設計用条件 I / II の設定方法を別紙 10 に示す。

耐震条件以外の評価条件（温度条件、圧力条件、機械荷重、重心位置等）に関しては、基礎ボルト等の減肉量を考慮した寸法を除き、すべて工認と同様の条件とする。

③耐震評価手法

固有値解析、地震応答解析、構造強度評価および動的機能維持評価の手法に関しては、工認と同様の手法を用いる。また、設計用地震力、荷重の組合せ、許容限界および設計用減衰定数に関しても、すべて工認と同様の条件とする。

(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、耐震安全上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。

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	原子炉圧力容器給水ノズル	プラントの安全上の重要性を考慮し、原子炉冷却材圧力バウダリの機能を有する機器のうち、疲れ累積係数が最大である部位
中性子照射脆化	原子炉圧力容器円筒胴	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	原子炉再循環ポンプ（ケーシング）	熱時効を考慮する必要がある機器のうち、フェーズ1量が最大の機器かつ機器に作用する応力が最大の機器
摩耗	排ガス予熱器	管支持板の腐食（流れ加速型腐食）の発生による管支持板と伝熱管外面の摩耗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である機器
腐食（流れ加速型腐食）	原子炉ベントリ系配管	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である箇所および疲れ累積係数が最大である箇所
	原子炉補機冷却系熱交換器	Sグラスかつ伝熱管の腐食（流れ加速型腐食）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である機器
	排ガス予熱器	・管支持板の腐食（流れ加速型腐食）の発生による管支持板と伝熱管外面の摩耗を考慮した耐震安全性評価が必要となる機器 ・管支持板の腐食（流れ加速型腐食）の発生による伝熱管の支持機能の喪失を考慮した耐震安全性評価が必要となる機器
	原子炉浄化系再生熱交換器 排ガス予熱器	胴の腐食（流れ加速型腐食）を考慮した耐震安全性評価が必要となる機器
腐食（全面腐食）	1. 機器付基礎ボルト ・残留熱除去系熱交換器	・過去において耐震補強実績がありかつ今回の評価において補強を前提とした評価を行った機器 ・発生応力と許容応力の比が最大である機器 ・発生応力が最大である機器
	2. 後打ちケカルアカ、メニカルアカボルト	発電所構内で使用されている後打ちケカルアカ、メニカルアカボルトを抽出
動的機能維持	蒸気内側隔離弁	機器の応答加速度に影響を与える経年劣化事象である、配管の腐食（流れ加速型腐食）による減肉を考慮した耐震安全性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、炉内構造物、燃料集合体	技術評価書に記載される各評価対象機器の「機能達成に必要な項目」において、制御棒の挿入にかかる項目（原子炉の緊急停止）、燃料集合体の支持等挿入経路に影響を与える項目（炉心の支持）および制御棒挿入経路にある機器

4. 代表の耐震安全性評価

(1) 耐震安全性評価

①低サイクル疲労

原子炉圧力容器給水ノズルにおける運転開始後 60 年までの推定過渡回数を考慮した疲れ累積係数と、基準地震動 S_s または弾性設計用地震動 S_d による疲れ累積係数の合計値が許容値 1 を下回ることから、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 原子炉圧力容器給水ノズルの低サイクル疲労の耐震安全性評価結果

評価対象	運転実績回数 ^{*1} に基づく疲れ累積係数	地震動による疲れ累積係数 ^{*2}	合計 (許容値：1 を下回る)
原子炉圧力容器 給水ノズル	0.411	0.001	0.412

*1：過渡実績を踏まえ、運転開始後 60 年時点での推定過渡回数を保守的に想定（2015 年 7 月までの実績回数に基づく運転開始後 60 年時点での推定過渡回数を算出し、プラント運転中に発生していない過渡事象を保守的に 1 回発生するものとして加算）した疲れ累積係数

*2：基準地震動 S_s および弾性設計用地震動 S_d のうちいずれか大きい評価結果を示す。また、地震等価繰返し回数は工認補正における条件と同様、 S_s については 150 回、 S_d については 300 回にて評価した

②中性子照射脆化

原子炉圧力容器円筒胴について運転開始後 60 年時点において、地震時に発生する応力拡大係数 K_I を評価した結果、破壊力学上の許容限界である K_{IC} を下回ることから、耐震安全性評価上問題ない。

評価結果および詳細な算出過程を別紙 5 に示す。

③照射誘起型応力腐食割れ

炉内構造物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無いもの、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熱時効

熱時効の耐震安全性評価では、技術評価の評価手法と同様に、代表評価対象部位を原子炉再循環ポンプのケーシングとし、脆化予測モデル (H3T モデル: Hyperbolic Time Temperature Toughness) を用いて決定した運転開始後 60 年時点の熱時効を考慮した材料のき裂進展抵抗 (J_{mat}) と、き裂安定性評価用想定き裂と構造系に与えられた応力（運転状態の荷重条件に基準地震動 S_s による荷重を考慮）から算出されるき裂進展力 (J_{app}) を「DUCTILE FRACTURE HANDBOOK」EPRI NP-6301-D (1989) の volime1 1 章 2 項 2. 1~2. 3 節の J 積分の解析解に基づき算出し比較した結果、き裂進展抵抗 (J_{mat}) がき裂進展力 (J_{app}) と交差し、き裂進展力 (J_{app}) がき

裂進展抵抗 (J_{mat}) を下回ることから、原子炉再循環ポンプのケーシングは不安定破壊することなく、耐震安全性評価上問題ない。

図 4 に原子炉再循環ポンプのケーシングのき裂安定性評価結果を示す。

なお、詳細な算出過程は、熱時効の高経年化技術評価の補足説明資料に記載のとおりである。

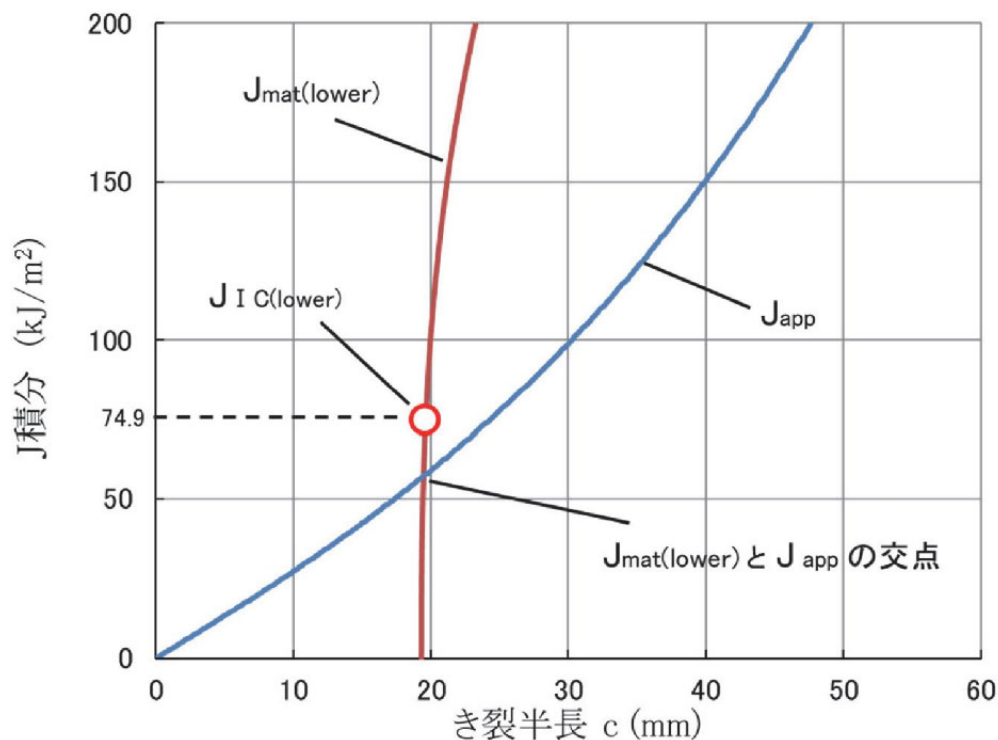


図 4 原子炉再循環ポンプのケーシングのき裂安定性評価結果

⑤ 摩耗

排ガス予熱器の伝熱管の摩耗を想定した耐震安全性評価結果については、腐食および摩耗を考慮した評価として、⑥ 腐食（流れ加速型腐食）項に示す。

⑥ 腐食（流れ加速型腐食）

(a) 配管の腐食（流れ加速型腐食）

炭素鋼配管（原子炉ベントドレン系配管）の腐食（流れ加速型腐食）を想定した耐震安全性評価結果を表 7 に示す。

減肉を考慮した 40 年目の想定厚さと公称肉厚の 80% を比較し、いずれか小さい値を耐震管理厚さとした評価において、地震時の発生応力または疲れ累積係数は許容値を下回ることから、耐震安全性評価上問題ない。

詳細な算出過程を別紙 6 に示す。

また、評価対象機器の建設後の耐震補強の概要を別紙 1 に示す。

表7 原子炉ベントドレン系配管の腐食（流れ加速型腐食）の耐震安全性評価結果

評価対象	区分	耐震重要度	評価地震力	許容応力状態	応力種別	発生応力*1, 2 (MPa)	許容応力*3 (MPa)
原子炉ベントドレン系配管	クラス1	S	Ss	IV _A S	一次応力	166	364
					一次+二次応力	868 (疲れ累積係数： 0.868*4, *5)	366 (疲れ累積係数許容値： 1を下回る)
			Sd	III _A S	一次応力	107	274
					一次+二次応力	487 (疲れ累積係数： 0.171*4, *5)	366 (疲れ累積係数許容値： 1を下回る)

- *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：耐震管理厚さ（減肉を考慮した40年目の想定厚さと公称肉厚の80%を比較し、いずれか小さい値）を用いた値
- *3：設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1または表8, 表9より求まる値
- *4：基準地震動 Ss および弾性設計用地震動 Sd による等価繰返し回数は、一律に設定する等価繰返し回数（Ss：150回，Sd：300回）を用いた
- *5：JEAG4601に基づき，地震動による疲れ累積係数に通常運転時の疲れ累積係数を加えて評価する

(b) 熱交換器（伝熱管）の腐食（流れ加速型腐食）

原子炉補機冷却系熱交換器の伝熱管の腐食（流れ加速型腐食）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，地震時の発生応力が許容応力を下回ることから，耐震安全性評価上問題ない。

また，排ガス予熱器の管支持板の腐食（流れ加速型腐食）による管支持板と伝熱管との摩耗について，伝熱管の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，地震時の発生応力が許容応力を下回ることから，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にそれぞれ示す。

表8 原子炉補機冷却系熱交換器（伝熱管）および排ガス予熱器（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	区分	耐震重要度	評価地震力	許容応力状態	応力種別	発生応力(MPa)		許容応力*1
						管板～管支持板	管支持板～管支持板	
原子炉補機冷却系熱交換器伝熱管	クラス3	S, 重*3	Ss	IV _A S	一次応力	44	54	337
			Sd	III _A S		32	38	337
排ガス予熱器伝熱管	—*2	B	1.8Ci	B _A S	一次応力	38	38	139

- *1：設計・建設規格 JSME S NC1-2005 付録材料図表 Part5 表6, 表8および表9より求まる値
- *2：設計・建設規格にて定められる区分としては基準外であるが，耐震評価上クラス3として扱った
- *3：耐震重要度とは別に常設重大事故等対処設備の区分に応じた耐震設計が求められていることを示す

(c) 熱交換器（管支持板）の腐食（流れ加速型腐食）

排ガス予熱器の管支持板の腐食（流れ加速型腐食）による管支持板 1 箇所の伝熱管支持機能喪失を想定した伝熱管の耐震安全性評価において、地震時の発生応力が許容応力を下回ることから、耐震安全性評価上問題ない。

評価結果を表 9 に、詳細な算出過程を別紙 6 にそれぞれ示す。

表 9 排ガス予熱器の管支持板の腐食（流れ加速型腐食）を想定した伝熱管の耐震安全性評価結果

評価対象	区分	耐震重要度	評価地震力	許容応力状態	応力種別	発生応力 (MPa)		許容応力*1 (MPa)
						管板～管支持板	管支持板～管支持板	
排ガス予熱器伝熱管	—*2	B	1.8Ci	B _A S	一次応力	19	19	139

*1：許容値は設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 および表 9 より求まる値

*2：設計・建設規格にて定められる区分としては基準外であるが、耐震評価上クラス 3 として扱った

(d) 熱交換器の胴の腐食（流れ加速型腐食）

原子炉浄化系再生熱交換器および排ガス予熱器の胴の腐食（流れ加速型腐食）による胴の 60 年分の腐食量を想定した耐震安全性評価において、地震時の発生応力が許容応力を下回ることから、耐震安全性評価上問題ない。

評価結果を表 10 に、詳細な算出過程を別紙 6 にそれぞれ示す。

表 10 原子炉浄化系再生熱交換器（胴）および排ガス予熱器（胴）の腐食（流れ加速型腐食）の耐震安全性評価結果

評価対象	区分	耐震重要度	評価地震力	許容応力状態	応力種別	発生応力 (MPa)	許容応力*1 (MPa)
原子炉浄化系再生熱交換器胴	クラス 3	B	1.8Ci	B _A S	一次一般膜応力	126	198
					一次応力	183	198
排ガス予熱器胴	—*2	B	1.8Ci	B _A S	一次一般膜応力	34	198
					一次応力	63	198

*1：許容値は設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 および表 9 より求まる値

*2：設計・建設規格にて定められる区分としては基準外であるが、耐震評価上クラス 3 として扱った

⑦腐食（全面腐食）

(a) 機器付基礎ボルトの腐食（全面腐食）

残留熱除去系熱交換器の機器付基礎ボルトについて、基礎ボルトの腐食量調査結果から運転開始後 60 年時点で全周に 0.3 mm の腐食による減肉を想定した耐震安全性評価を行い、

表 11 に示すとおり運転開始後 60 年時点の腐食を想定した場合においても、地震時の発生応力が許容応力を下回ることから、耐震安全性評価上問題ない。

基礎ボルト概要図を図 5 に、詳細な算出過程を別紙 7 に示す。

また、評価対象機器の建設後の耐震補強の概要を別紙 1 に示す。

表 11 機器付基礎ボルトの腐食の耐震安全性評価結果

評価対象	耐震重要度	周囲環境温度 (°C)	地震の種類	応力分類	算出応力 (MPa)	許容応力*1 (MPa)
残留熱除去系 熱交換器 機器付基礎ボルト	S, 重*2	DB 条件 : 66	Sd または 静的震度	引張	232	455
				せん断	発生せず	350
			Ss	引張	436	455
				せん断	発生せず	350
		SA 条件 : 140	Ss	引張	436	444
				せん断	発生せず	341

*1 : 許容値は設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 および表 9 より求まる値

*2 : 耐震重要度とは別に常設重大事故等対処設備の区分に応じた耐震設計が求められていることを示す

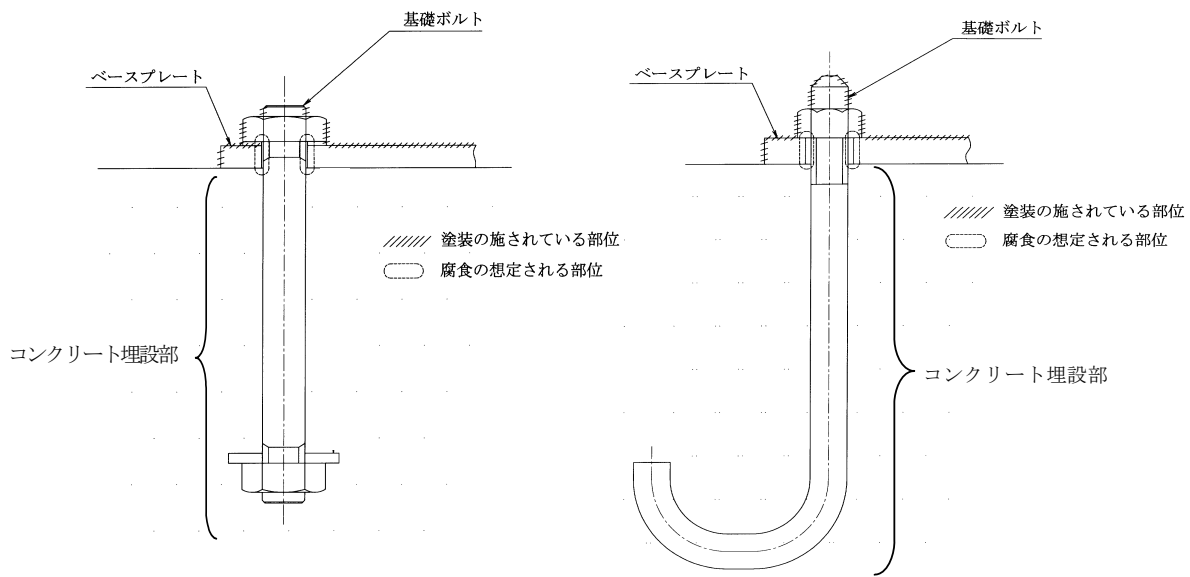


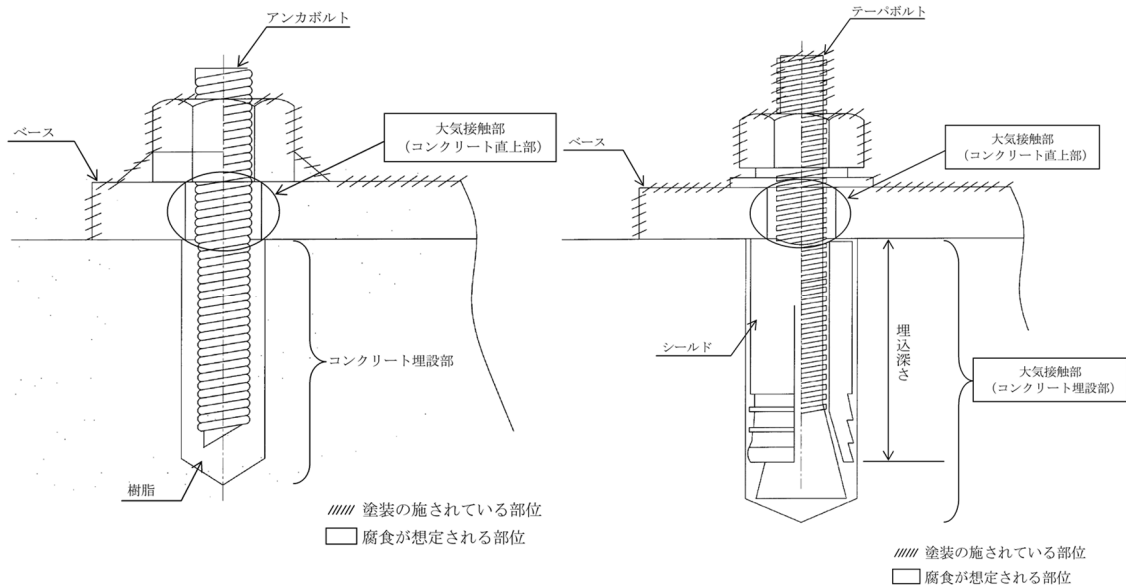
図 5 基礎ボルト概要図

(b) 後打ちアンカの腐食（全面腐食）

後打ちアンカについては、メーカーの後打ちアンカ使用基準に基づき設計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。

後打ちアンカの腐食を考慮した耐震安全性評価にあたっては、機器付基礎ボルトの腐食を考慮した耐震安全性評価と同様、コンクリート直上部の全周に運転開始後 60 年時点での腐食量 (0.3 mm) を仮定し、保守的に設計許容荷重が作用した場合の応力を評価した結果、地震時の発生応力は許容応力を下回ることから耐震安全性評価上問題ない。

後打ちアンカの概要図を図 6 に、詳細な算出過程を別紙 8 に示す。



<後打ちケミカルアンカ>

<メカニカルアンカボルト>

図6 後打ちアンカ概要図

⑧動的機能維持に係る耐震安全性評価

蒸気内側隔離弁について、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、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。

蒸気内側隔離弁への動的機能維持評価結果を表12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9に示す。

表12 蒸気内側隔離弁の動的機能維持評価結果

地震力		蒸気内側隔離弁	
		機能維持評価用加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
Ss	水平	3.2*	6.0
	鉛直	3.8*	6.0

*：減肉考慮前後で機能維持評価用加速度の値に差異なし

⑨制御棒挿入性評価

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の抽出および制御棒挿入性への影響評価を行った結果、制御棒挿入性に影響を与える経年劣化事象はなく、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ことを確認した。

具体的には、工事計画認可申請「VI-2-6-2-1 制御棒の耐震性についての計算書」において基準地震動 S_s における燃料集合体の相対変位が、機能確認済相対変位以内であることを確認した。評価結果を表 13 に、影響評価検討結果一覧を表 14 に示す。

表 13 制御棒挿入性に係る耐震安全性評価結果

燃料集合体相対変位	機能確認済相対変位
35.0mm	約 40mm

表 14 (1/3) 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および制御棒挿入性への影響評価

評価対象機器	経年劣化事象	制御棒挿入性への影響評価	制御棒挿入性に対する影響有無
制御棒	制御材被覆管 (ボロン・カーバイド粉末型制御棒のみ), シース, タイロッド, ピンの照射誘起型応力腐食割れ	運用基準に従い, 計画的に制御棒の取替を実施するとともに, 粒界型応力腐食割れにより制御棒の制御能力および動作性に問題が生じていないことを, 定期事業者検査毎にそれぞれ停止余裕検査および制御棒駆動機構の機能確認により確認しているため, 制御棒の挿入性に与える影響はない。	無
	制御材被覆管 (ボロン・カーバイド粉末型制御棒のみ), シース, タイロッド, ソケットの粒界型応力腐食割れ	運用基準に従い, 計画的に制御棒の取替を実施するとともに, 粒界型応力腐食割れにより制御棒の制御能力および動作性に問題が生じていないことを, 定期事業者検査毎にそれぞれ停止余裕検査および制御棒駆動機構の機能確認により確認しているため, 制御棒の挿入性に与える影響はない。	無
	ローおよびピンの摩耗	耐摩耗性に優れた材料を使用していること, 制御棒外観点検および制御棒駆動機構の機能確認を行い, 健全性を確認しており, これまで有意な摩耗および動作上の問題は認められていないことから制御棒の挿入性に与える影響はない。	無

表 14 (2/3) 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および制御棒挿入性への影響評価

評価対象機器	経年劣化事象	制御棒挿入性への影響評価	制御棒挿入性に対する影響有無
炉内構造物	炉心シュラウド、上部格子板、炉心支持板、周辺燃料支持金具および制御棒案内管の照射誘起型応力腐食割れ	<p>炉心支持板、燃料支持金具および制御棒案内管は、しきい照射量を超えないことから、照射誘起型応力腐食割れの可能性はない。</p> <p>上部格子板のグリッドプレートは、しきい照射量を超えるものの、溶接部はなく、運転中の差圧、熱、自重等に起因する引張応力成分が低いことから、照射誘起型応力腐食割れの可能性はない。</p> <p>炉心シュラウド溶接継手（熱影響部含む）は、しきい照射量を超える範囲について内外面にウォータージェットピーニング施工による残留応力の改善を行っていることから、照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性はない。</p> <p>炉心シュラウド中間胴の母材部は、しきい照射量を超える範囲についても、溶接による引張残留応力はなく、運転中の差圧、熱、自重等に起因する引張応力成分が低いことから、照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性はない。</p> <p>したがって、炉心支持機能に与える影響はない。</p>	無
	炉心シュラウド、シュラウドサポート、上部格子板、炉心支持板、周辺燃料支持金具、制御棒案内管の粒界型応力腐食割れ	維持規格等に基づき計画的に水中カメラによる目視点検を実施しており、健全性を確認していることから炉心支持機能に与える影響はない。	無

表 14 (3/3) 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および制御棒挿入性への影響評価

評価対象機器	経年劣化事象	制御棒挿入性への影響評価	制御棒挿入性に対する影響有無
炉内構造物	制御棒案内管の高サイクル疲労割れ	設計段階で高サイクル疲労割れが発生しないよう考慮されていること、計画的に水中カメラによる目視点検を実施しており、健全性を確認していることから炉心支持機能に与える影響はない。	無
	中央燃料支持金具、制御棒案内管の熱時効	計画的に水中カメラによる目視点検を実施しており、これまで有意な欠陥は認められておらず、不安定破壊を引き起こすき裂の原因となる経年劣化事象は想定されていないため、炉心支持機能に与える影響はない。	無
燃料集合体	—※	燃料集合体は計画的に取替を行っており、経年劣化事象は進展しないため、制御棒挿入性に影響を与えない。	無

※：定期取替品

⑩浸水防護施設の耐震安全性評価

浸水防護施設については、耐震安全上考慮すべき経年劣化事象として機器付基礎ボルトおよび後打ちケミカルアンカの腐食（全面腐食）が抽出されているが、腐食による減肉を考慮した場合においても耐震安全性評価上問題ないことを確認した。

なお、技術評価における浸水防護施設の抽出において、他の機器と同様のプロセスで抽出し評価を実施している。

(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。

(3) 総合評価

運転開始後 60 年間の供用を想定した各高経年化技術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事象を考慮した耐震安全性評価を行い、耐震安全性評価に問題が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と評価しているが、肉厚測定による実測データに基づき耐震安全性評価を実施した炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）については、今後の実測データを反映した耐震安全性評価を実施する。また、設備対策を行った場合は、その内容も反映した耐震安全性評価を実施する。

5. まとめ

(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、全ての要求を満足しており、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 15 および表 16 に示す。

表 15 (1/2) 耐震安全性評価についての要求事項との対比

が 伊	要求事項	耐震安全性評価
実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査が 伊	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) 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。
	⑱-1 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, 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700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。
	⑲-1 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 実施が 伊 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) 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), (3) に示すとおり、想定される経年劣化事象を考慮した耐震安全性評価を実施し、審査が 伊 の要求事項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の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、耐震安全性評価において審査が 伊 の要求事項を満足しているものの、肉厚測定による実測データに基づき耐震安全性評価を実施した炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）については、今後の実測データを反映した耐震安全性評価を実施すること、および設備対策を行った場合は、その内容も反映した耐震安全性評価を実施することを、長期施設管理方針として策定する。
	(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施設管理方針として策定されているかを審査する。	

表 15 (2/2) 耐震安全性評価についての要求事項との対比

が 什	要求事項	耐震安全性評価
実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施が 什	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) ～ (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、ガイドの要求事項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、肉厚測定による実測データに基づき耐震安全性評価を実施した炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）については、今後の実測データを反映した耐震安全性評価を実施すること、および設備対策を行った場合は、その内容も反映した耐震安全性評価を実施することを、長期施設管理方針として策定する。
	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. (3) 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ことが確認された基準地震動 S_s および弾性設計用地震動 S_d 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、肉厚測定による実測データに基づき耐震安全性評価を実施した炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）については、今後の実測データを反映した耐震安全性評価を実施すること、および設備対策を行った場合は、その内容も反映した耐震安全性評価を実施することを、長期施設管理方針として策定する。

表 16 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
	低サイクル 疲労	中性子 照射脆化	照射誘起型 応力腐食割れ	熱時効	摩耗	腐食		コンクリートの 強度・遮へい 能力低下		
						流れ加速型腐食	全面腐食			
ポンプ	A2	—	—	B2-②	—	—	A1*1	—	C1	—
熱交換器	—	—	—	—	A1*2	A1	A1*1	—	—	—
ポンプモータ	—	—	—	—	—	—	—	—	C1	—
容器	A2	B3-①	—	—	—	—	A1*1	—	—	—
配管	A2	—	—	—	—	A1, A2	A1*1	—	—	—
弁	A2	—	—	B2-②	—	—	—	—	C1, C2	—
炉内構造物	A2	—	—	—	—	—	—	—	—	D
ケーブル	—	—	—	—	—	—	A1*1	—	—	—
タービン設備	—	—	—	—	—	—	A1*1	—	C1	—
コンクリート構造物およ び鉄骨構造物	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
計測制御設備	—	—	—	—	—	—	A1*1	—	C1*3	—
空調設備	—	—	—	—	—	—	A1*1	—	C1	—
機械設備	—	—	—	—	—	—	A1*1	—	C1	D
電源設備	—	—	—	—	—	—	A1*1	—	C1*3	—

*1：基礎ボルト

*2：排ガス予熱器の管支持板への流れ加速型腐食による減肉とあわせて評価

*3：電氣的機能維持評価を実施

審査基準の要求事項*1

○経年劣化事象を考慮した機器・構造物について地震時に発生する応力及び疲れ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。

[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：疲れ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機器・構造物について地震時に発生する応力、亀裂進展力及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。

[分類]

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：き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：弾塑性破壊力学評価法

③：2倍勾配法

④：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機器・構造物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。

[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」できる事象であり、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

C2：動的機能維持に必要となる部位での経年劣化事象（接続機器の経年劣化事象を含む）が機器の振動応答特性に影響を及ぼす可能性があり、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

○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：制御棒挿入性に影響を与える可能性のある経年劣化事象がなく、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ことを確認した機器

*1：直接の要求事項ではないが、「実用発電用原子炉の運転の期間の延長の審査基準」に記載された要求事項のうち、30年目高経年化技術評価において同様の評価を実施している項目について、評価に用いた手法等に基づき分類

(2) 施設管理に関する方針として策定する事項

肉厚測定による実測データに基づき耐震安全性評価を実施した炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）については、今後の実測データを反映した耐震安全性評価を実施すること、および設備対策を行った場合は、その内容も反映した耐震安全性評価を実施する必要があることから、長期施設管理方針を表 17 のとおり定め、島根原子力発電所原子炉施設保安規定に記載し、確実に実施していく。


表 17 島根原子力発電所 2 号炉 長期施設管理方針（抜粋）

機器名	長期施設管理方針	実施時期
配管（炭素鋼配管）	肉厚測定による実測データに基づき耐震安全性評価を実施した炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）については、今後の実測データを反映した耐震安全性評価を実施する。 また、設備対策を行った場合は、その内容も反映した耐震安全性評価を実施する。	中長期 [※]


※：2019年2月10日から10年間

添付

炉内構造物の点検記録

検査実施 責任者	結果
	合格
H29.9.25	

非破壊検査記録

検査年月日：平成 29 年 9 月 25 日
 検査担当者：

目視検査（MVT-1）

項目番号	カテゴリ番号	検査対象	検査箇所
G3.10	I J G-B-2	シュラウド 周方向溶接継手 (シュラウドサポート リング無し)	H4 (内面) (12 回定期検査時にシュラ ウドのひび割れの切除を 行った箇所を含む)
検査項目	判定基準		結果
目視検査 (MVT-1)	炉内構造物の表面について摩耗、き裂、 腐食、浸食等の異常がないこと。		良
			備考

目視検査記録（MVT-1（VTR 用））				
発電所名	島根原子力発電所 第2号機			確認日 平成29年9月25日
				会社名 中国電力㈱
検査名	炉内構造物検査			検査担当者 [Redacted]
				検査日 平成29年9月25日
項目番号	G3.10	カテゴリ 番号	I J G - B - 2	会社名 [Redacted]
系統	炉内構造物	検査箇所	H4(内面) (12回定期検査時にシュラウドのひび割れの切除を行った箇所を含む)	協力会社検査員 [Redacted]
検査対象	シュラウドサポート周方向溶接継手			
検査方法	項目	内容		確認結果※
	観察前	1mil (0.025mm) ワイヤが識別可能であることを VTR により確認する。		<input checked="" type="checkbox"/>
	観察	遠隔目視検査により、検査対象表面の摩耗、き裂、腐食、浸食等の異常の有無を確認する。		結果は下記に記載
	観察後	1mil (0.025mm) ワイヤが識別可能であることを VTR により確認する。		<input checked="" type="checkbox"/>
検査結果	検査	確認項目	結果	
	MVT-1	機器表面	<input type="checkbox"/> 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無	
	・結果記載方法 確認項目について、異常が無ければ、「無」の□にレを記入する。 確認項目について、異常があれば、「有」の□にレを記入し、任意の様式により詳細結果を添付する。 ・干渉物等により点検が不可能な箇所がある場合は、任意の様式により点検不可範囲を添付する。			
備考) ※確認結果凡例 レ:異常なし				

点検記録シート

記録No.: PC-9(110/115)

記録名称	炉内構造物点検記録	立会年月日	2017年 7月 3日
発電所名	中国電力株式会社 島根原子力発電所 2号機	立会者	

1. 点検対象箇所

No.	点検対象箇所	点検数量	点検方法	点検日	結果	検査員	備考
1	上部格子板 LPRM差込部	4セル 26-03, 30-11 22-19, 26-27	MVT-1	2017.6.27	良		

2. 判定基準

VT-3:炉内構造物について過度の変形・心合せ不良・傾き, 部品の破損および脱落の異常のないこと。

MVT-1:炉内構造物の表面について, 摩耗, き裂, 腐食, 浸食等の異常のないこと。

3. 判定

合格

備考	承認	審査	作成
	2017.6.27	2017.6.27	2017.6.27

点検記録シート

記録No.: PC-9(112/115)

記録名称	炉内構造物点検記録	立会年月日	2017年7月3日
発電所名	中国電力株式会社 島根原子力発電所 2号機	立会者	

1. 点検対象箇所

No.	点検対象箇所	点検数量	点検方法	点検日	結果	検査員	備考
1	炉心支持板 ホールドダウンボルト	32箇所 HB-1~32	VT-3	2017.6.27	OK		

2. 判定基準

VT-3:炉内構造物について過度の変形・心合せ不良・傾き、部品の破損および脱落の異常のないこと。

MVT-1:炉内構造物の表面について、摩耗、き裂、腐食、浸食等の異常のないこと。

3. 判定


合格

備考

承認 審査 作成

2017.6.27 / 2017.6.27 / 2017.6.27

添付-1-1

検査実施 責任者	結果
	合格
H29. 4. 11	

非破壊検査記録

検査年月日：平成 29 年 4 月 11 日


検査担当者：

目視検査 (VT-3)


項目番号	カテゴリ番号	検査対象	検査箇所
G 1. 3 0	G-B-2	中央燃料支持金具	1 個 (座標 : 26-03)
検査項目	判定基準	結果	備考
目視検査 (VT-3)	炉内構造物について過度の変形，心合せ不良，傾き，部品の破損および脱落の異常がないこと。	良	

目視検査記録 (VT-3 (VTR 用))					
発電所名	島根原子力発電所 第2号機			確認日	平成29年4月11日
				会社名	中国電力(株)
検査名	炉内構造物検査			検査担当者	
				確認日	平成29年4月11日
項目番号	G1.30	カテゴリ番号	G-B-2	会社名	
系統	炉内構造物	検査箇所	1個 (座標:26-03)	協力会社検査員	
検査対象	中央燃料支持金具				
検査方法	項目	内容		確認結果※	備考
	観察前	18%中性灰色カード上の幅 0.8mmの黒線が識別可能であることをVTRにより確認する。		<input checked="" type="checkbox"/>	
	観察	異常の有無をVTRにより確認する。		結果は下記に記載	
	観察後	18%中性灰色カード上の幅 0.8mmの黒線が識別可能であることをVTRにより確認する。		<input checked="" type="checkbox"/>	
検査結果	検査	確認項目	結果		備考
	VT-3	変形	<input type="checkbox"/> 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無		
		心合せ不良	<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無		
		傾き	<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無		
		部品の破損	<input type="checkbox"/> 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無		
		脱落	<input type="checkbox"/> 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無		
・結果記載方法 確認項目について、異常が無ければ、「無」の□にレを記入する。 確認項目について、異常が有れば、「有」の□にレを記入し、任意の様式により詳細結果を添付する。 ・検査結果凡例: <input checked="" type="checkbox"/> 検査項目に該当しない項目 ・干渉物等により点検が不可能な箇所がある場合は、任意の様式により点検不可範囲を添付する。					
備考) ※確認結果凡例 レ:異常なし					

添付-1-1

検査実施 責任者	結果
	合格
H29.4.11	


非破壊検査記録

検査年月日：平成 29年 4月 11日
 検査担当者：


目視検査 (VT-3)

項目番号	カテゴリ番号	検査対象	検査箇所
G1.30	G-B-2	周辺燃料支持金具	1個 (座標：37-04)
検査項目	判定基準	結果	備考
目視検査 (VT-3)	炉内構造物について過度の変形，心合せ不良，傾き，部品の破損および脱落の異常がないこと。	良	

目視検査記録 (VT-3 (VTR 用))					
発電所名	島根原子力発電所 第2号機			確認日	平成29年 2 月 11日
				会社名	中国電力㈱
検査名	炉内構造物検査			検査担当者	
				確認日	平成29年 4 月 11日
項目番号	G1.30	カテゴリ番号	G-B-2	会社名	
系統	炉内構造物	検査箇所	1個 (座標:37-04)	協力会社検査員	
検査対象	周辺燃料支持金具				
検査方法	項目	内容		確認結果※	備考
	観察前	18%中性灰色カード上の幅 0.8mmの黒線が識別可能であることをVTRにより確認する。		<input checked="" type="checkbox"/>	
	観察	異常の有無をVTRにより確認する。		結果は下記に記載	
	観察後	18%中性灰色カード上の幅 0.8mmの黒線が識別可能であることをVTRにより確認する。		<input checked="" type="checkbox"/>	
検査結果	検査	確認項目	結果		備考
	VT-3	変形	<input type="checkbox"/> 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無		
		心合せ不良	<input type="checkbox"/> 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無		
		傾き	<input type="checkbox"/> 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無		
		部品の破損	<input type="checkbox"/> 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無		
		脱落	<input type="checkbox"/> 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無		
<p>・結果記載方法 確認項目について、異常が無ければ、「無」の□にレを記入する。 確認項目について、異常が有れば、「有」の□にレを記入し、任意の様式により詳細結果を添付する。</p> <p>・検査結果凡例: <input checked="" type="checkbox"/> 検査項目に該当しない項目</p> <p>・干渉物等により点検が不可能な箇所がある場合は、任意の様式により点検不可範囲を添付する。</p>					
備考) ※確認結果凡例 レ: 異常なし					

検査実施 責任者	結果
 H29. 4. 19	合格

非破壊検査記録

検査年月日：平成 29 年 4 月 19 日
 検査担当者：

目視検査 (VT-3)

項目番号	カテゴリ番号	検査対象	検査箇所
G 1. 3 0	G-B-2	制御棒案内管	1 個 (座標：26-03)
検査項目	判定基準	結果	備考
目視検査 (VT-3)	炉内構造物について過度の変形，心合せ不良，傾き，部品の破損および脱落の異常がないこと。	良	

目視検査記録 (VT-3 (VTR 用))					
発電所名	島根原子力発電所 第2号機			確認日	平成29年4月19日
				会社名	中国電力㈱
検査名	炉内構造物検査			検査担当者	
				確認日	平成29年4月19日
項目番号	G1.30	カテゴリ番号	G-B-2	会社名	
系統	炉内構造物	検査箇所	1個 (座標:26-03)	協力会社検査員	
検査対象	制御棒案内管				
検査方法	項目	内容		確認結果※	備考
	観察前	18%中性灰色カード上の幅 0.8mmの黒線が識別可能であることをVTRにより確認する。		<input checked="" type="checkbox"/>	
	観察	異常の有無をVTRにより確認する。		結果は下記に記載	
	観察後	18%中性灰色カード上の幅 0.8mmの黒線が識別可能であることをVTRにより確認する。		<input checked="" type="checkbox"/>	
検査結果	検査	確認項目	結果		備考
	VT-3	変形	<input type="checkbox"/> 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無		
		心合せ不良	<input type="checkbox"/> 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無		
		傾き	<input type="checkbox"/> 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無		
		部品の破損	<input type="checkbox"/> 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無		
		脱落	<input type="checkbox"/> 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無		
<p>・結果記載方法 確認項目について、異常が無ければ、「無」の□にレを記入する。 確認項目について、異常があれば、「有」の□にレを記入し、任意の様式により詳細結果を添付する。</p> <p>・検査結果凡例: <input checked="" type="checkbox"/> 検査項目に該当しない項目</p> <p>・干渉物等により点検が不可能な箇所がある場合は、任意の様式により点検不可範囲を添付する。</p>					
備考) ※確認結果凡例 レ: 異常なし					

建設後の耐震補強について

島根原子力発電所 2 号炉における高経年化技術評価に係る耐震補強実績の例として、**建設工認**からの構造変更として耐震補強を実施している高経年化技術評価対象設備について、該当設備および構造変更の概要を表 1 に示す。

なお、**下表に示す建設工認から構造変更実績のある設備（機器・配管）は、全て工認の審査結果（耐震条件の見直し等）を踏まえて耐震補強等が必要になった設備であり、高経年化技術評価において耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象を考慮した耐震安全性評価を実施し、高経年化技術評価を起因に建設工認から構造変更が必要となった設備はない。また、建設工認からの構造変更がない設備についても同様に、高経年化技術評価を起因に構造変更が必要となった設備はない。**

表 1 **建設工認**からの構造変更実績のある設備（PLM 関係）一覧表*

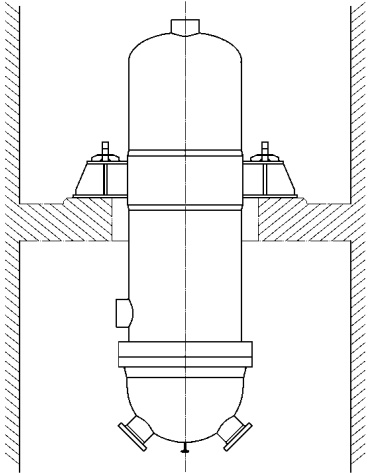
設備名称	構造変更の概要	備考
残留熱除去系熱交換器	<ul style="list-style-type: none"> ・ラック周辺に支持構造物を追設 ・下部ポートを追設 	添付図 1
燃料プール冷却系熱交換器	<ul style="list-style-type: none"> ・胴の脚付け根部の当板を拡張 	添付図 2
原子炉補機冷却系熱交換器	<ul style="list-style-type: none"> ・胴の脚付け根部の当板を拡張 ・脚底板の周囲に耐震補強ポートを追設 	添付図 3
高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器	<ul style="list-style-type: none"> ・胴の脚付け根部の当板を拡張 	添付図 4
非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料タンク	<ul style="list-style-type: none"> ・胴の脚付け根部の当板を拡張 	添付図 5
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料タンク	<ul style="list-style-type: none"> ・胴の脚付け根部の当板を拡張 	添付図 6
原子炉浄化系補助熱交換器	<ul style="list-style-type: none"> ・胴の脚付け根部の当板を拡張 ・脚へのポート追設 	添付図 7
配管系	<ul style="list-style-type: none"> ・ポートの補強，追設等 	添付図 8 添付図 9

*：工事計画認可申請（補正）に係る審査資料「補足-027-10-25 機器・配管系の設備の既工認からの構造変更について」より抜粋

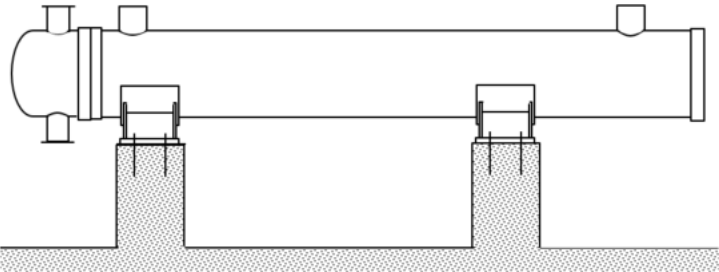
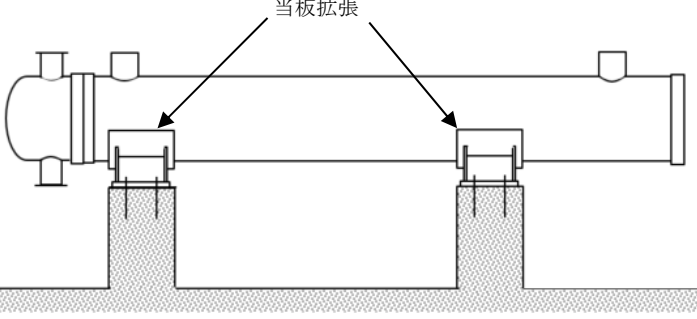
構造変更した設備の変更の概要について添付ー 1（添付図 1～添付図 9）に示す。

構造変更した設備の変更の概要

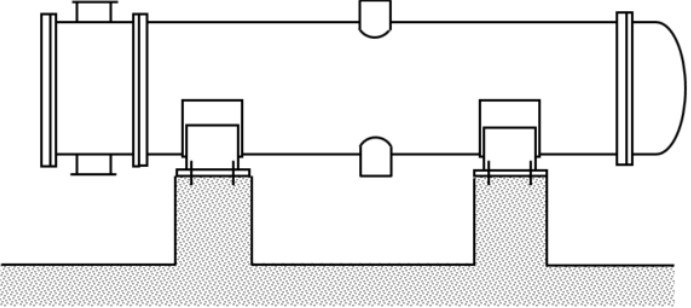
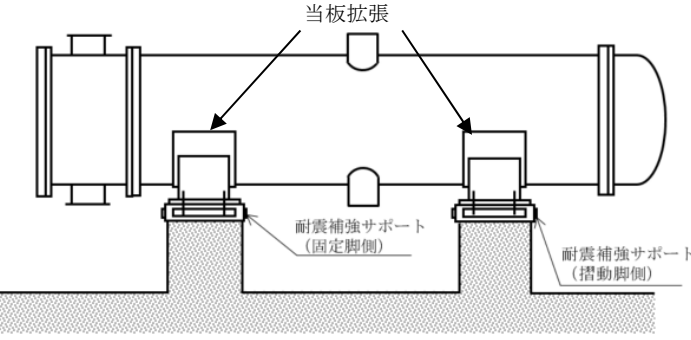
添付図 1. 残留熱除去系熱交換器

変更前	変更後	備考
		<p>耐震補強を目的とし, 以下の構造変更を実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ラグ周辺に耐震補強サポートを追設 (剛性向上およびラグの回転拘束) ・下部サポートを追設 (水平方向の変位拘束)

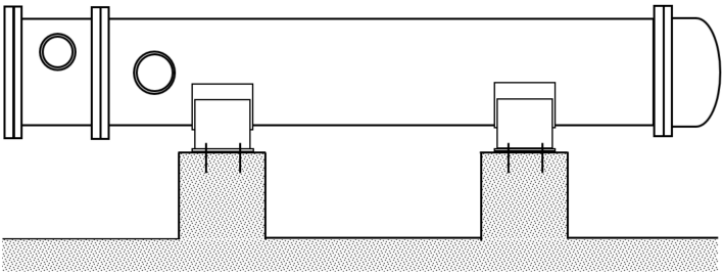
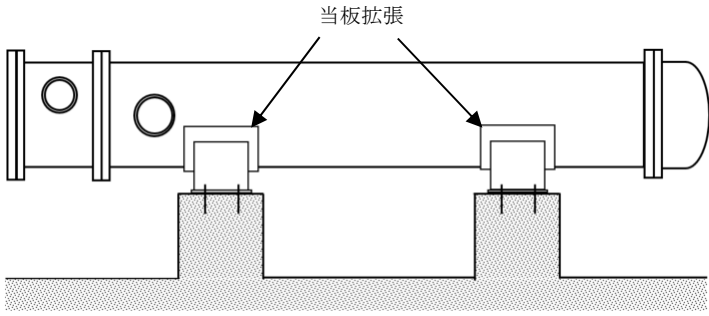
添付図 2. 燃料プール冷却系熱交換器

変更前	変更後	備考
		<p>耐震補強（胴の脚付け根部の応力低減）を目的とし、胴の脚付け根部の当板を拡張</p>

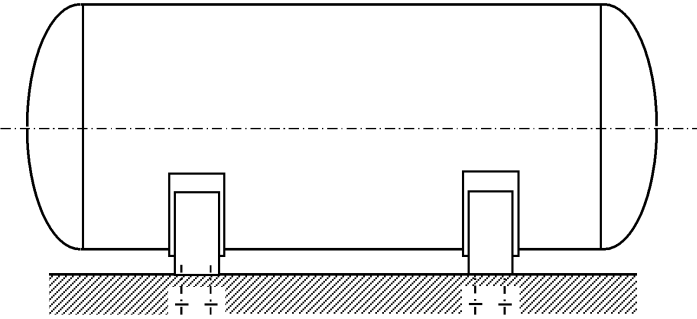
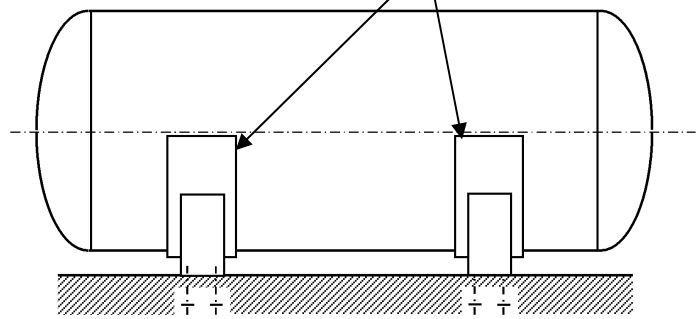
添付図 3. 原子炉補機冷却系熱交換器

変更前	変更後	備考
		<p>耐震補強を目的とし, 以下の構造変更を実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 胴の脚付け根部の当板を拡張 (胴の脚付け根部の応力低減) ・ 脚底板の周囲に耐震補強サポートを追設 (脚底面のせん断荷重を基礎ボルトに作用させないための補強)

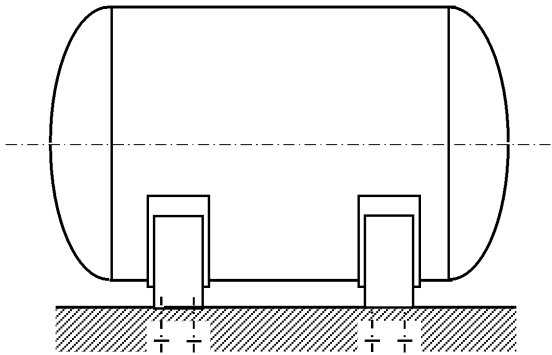
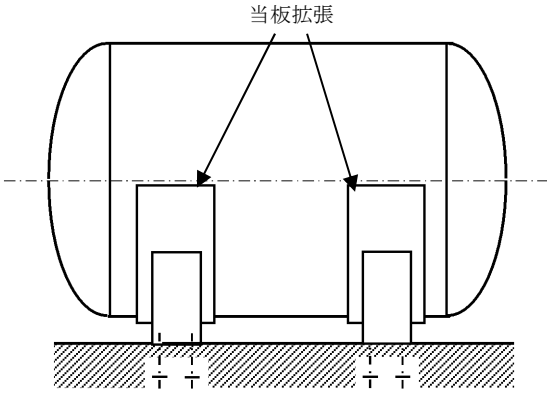
添付図 4. 高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器

変更前	変更後	備考
		<p>耐震補強（胴の脚付け根部の応力低減）を目的とし、胴の脚付け根部の当板を拡張</p>

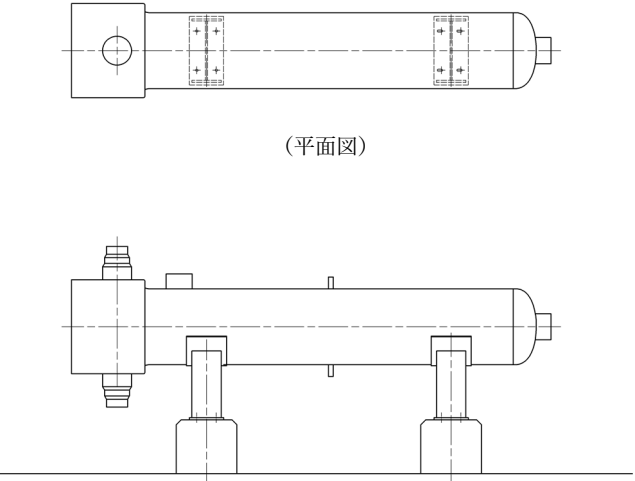
添付図5. 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンク

変更前	変更後	備考
		<p>耐震補強（胴の脚付け根部の応力低減）を目的とし、胴の脚付け根部の当板を拡張</p>

添付図 6. 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンク

変更前	変更後	備考
		<p>耐震補強（胴の脚付け根部の応力低減）を目的とし、胴の脚付け根部の当板を拡張</p>

添付図 7. 原子炉浄化系補助熱交換器（波及的影響を及ぼすおそれのある設備）

変更前	変更後	備考
 <p>(平面図)</p> <p>(正面図)</p>		<p>耐震補強を目的とし、以下の構造変更を実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 胴の脚付け根部の当板を拡張（胴の脚付け根部の応力低減） ・ 脚への耐震補強サポート追設（基礎ボルトの荷重低減）

添付図 8. 配管系 (例 1 : 復水系配管)

変更前	変更後	備考
		<p>耐震補強を目的とし、以下の構造変更を実施</p> <ul style="list-style-type: none"> サポートの追設，補強等

添付図 9. 配管系 (例 2 : 給水系配管)

変更前	変更後	備考
		<p>耐震補強を目的とし、以下の構造変更を実施</p> <ul style="list-style-type: none"> サポートの追設, 補強等

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

配管系について、JEAG4601-1991 追補版ではなく、最新知見として得られた減衰定数を用いて耐震安全性評価を実施した。

1. 評価に用いた設計用減衰定数

最新知見として反映した配管系の設計用減衰定数を表 1 に示す。

表 1 配管系の設計用減衰定数（「島根 2 号炉 設置許可審査資料」*1 より抜粋）

配管区分		設計用減衰定数*4 (%)			
		保温材無		保温材有*5	
		JEAG4601*2	島根 2 号炉	JEAG4601*2	島根 2 号炉
I	支持具がスナップ及び架構レスト 主体の配管系で、その数が 4 個以上 のもの	2.0	同左	2.5	3.0
II	スナップ、架構レスト、ロッドレスト、 ハカ等をも有する配管系で、ア ンク及び U ボルトを除いた支持具の 数が 4 個以上であり、配管区分 I に属さないもの	1.0	同左	1.5	2.0
III*3	U ボルトをも有する配管系で、架構 で水平配管の自重を受ける U ボル トの数が 4 個以上のもの	—	2.0	—	3.0
IV	配管区分 I、II 及び III に属さな いもの	0.5	同左	1.0	1.5

*1:「島根原子力発電所 2 号炉設置許可審査資料 第 4 条 地震による損傷の防止 別紙-7 機器・配管系における手法の変更点について」より抜粋

*2: 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版（社団法人日本電気協会）

*3: 区分 III については新たに設定されたものであり、現行 JEAG4601 では区分 IV に含まれる。

*4: 水平方向及び鉛直方向の設計用減衰定数は同じ値を使用。

*5: 保温材有の設計用減衰定数は、無機多孔質保温材による付加減衰定数として、1.0%を考慮したものである。金属保温材による付加減衰定数は、配管ブロック全長に対する金属保温材使用割合が 40%以下の場合 1.0%を適用してよいが、金属保温材使用割合が 40%を超える場合は 0.5%とする。

新規制基準適合性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

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を表 1 に示す。

表 1 (1/2) 新規制基準適合性に係る工事計画認可等の反映内容 (1/2)

項目	内容	評価対象	補足
原子炉設置変更許可の反映	基準地震動 Ss および弾性設計用地震動 Sd	<ul style="list-style-type: none"> 耐震安全性評価を行った S クラス設備および共振のおそれのある B クラス設備 (Ss, Sd) 常設重大事故等対処設備 (Ss) 	補紙 (1)
	耐震重要度分類の見直し	<ul style="list-style-type: none"> 初回申請時に耐震重要度分類を B クラスから C クラスに変更していた設備について、B クラスに変更して再評価する。 	補紙 (2)
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く、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。 なお、スペクトルモーダル解析においては、剛領域の振動モードの影響を踏まえて、20Hz を超える振動数領域まで考慮した地震応答解析により、弁駆動部の応答加速度の算定を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 配管の流れ加速型腐食を考慮した蒸気内側隔離弁の動的機能維持評価 <p>—</p>
	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"> 工事計画認可における水平 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うえで水平 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"> 原子炉圧力容器 給水ノズルの疲労割れ 原子炉格納容器 ベント管ベローズ、原子炉格納容器配管貫通部ベローズの疲労割れ 配管系の疲労割れおよび流れ加速型腐食 原子炉格納容器 (サブプレッションチェンバ) の基礎ボルトの腐食

表 1 (2/2) 新規制基準適合性に係る工事計画認可等の反映内容

項目	内容	評価対象	補足
工事計画認可の反映(続き) その他工事計画認可における評価手法等の適用	<ul style="list-style-type: none"> ・工事計画認可にて適用された評価モデル等の反映 		補紙(3)
	【サブプレッショントラップの耐震評価】 <ul style="list-style-type: none"> ・モデル化範囲, 内部水の考慮方法, サブプレッショントラップポート取付部の剛性について, 工事計画認可と同様の解析モデルを用いた耐震安全性評価を実施する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉格納容器(サブプレッショントラップ)の基礎ボルトの腐食 	
	【配管の耐震評価】 <ul style="list-style-type: none"> ・復水系配管および給水系配管の一部は, 上位クラス施設に対する波及的影響を考慮し, 基準地震動 Ss に対して耐震性を有するよう耐震補強を実施している。これらの配管系については, 流れ加速型腐食を考慮したうえで基準地震動 Ss による耐震安全性評価を実施する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・復水系, 給水系配管の流れ加速型腐食 	
	【たて置円筒形容器の耐震評価】 <ul style="list-style-type: none"> ・ラグ周辺への支持構造物の追設を反映した解析モデルを用いて基礎ボルトの腐食を考慮した耐震安全性評価を実施する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・残留熱除去系熱交換器の基礎ボルトの腐食 	
	【横置円筒形容器の耐震評価】 <ul style="list-style-type: none"> ・横置円筒形容器の胴の応力評価は当板の考慮可否を判断し, 評価を実施する。 ・横置円筒形容器の当板拡張工事に伴い, 設計用震度および質量条件を見直したうえで基礎ボルトの腐食を考慮した耐震安全性評価を実施する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・排ガス予熱器および原子炉浄化系再生熱交換器の胴の流れ加速型腐食 ・燃料プール冷却系熱交換器, 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料タンク他の基礎ボルトの腐食 	
	【立形ポンプの耐震評価】 <ul style="list-style-type: none"> ・はり要素に鉛直方向剛性を設定したうえで, 新たにバルケシングフランジ部および電動機上部軸受部について鉛直ばねを考慮するとともに, バルケシングフランジ部の剛性を回転ばねとして考慮した応答解析モデルで評価を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・残留熱除去ポンプ, 高圧炉心スプレッドポンプ他の基礎ボルトの腐食 	
	【横形ポンプの耐震評価】 <ul style="list-style-type: none"> ・質量条件を見直したうえで基礎ボルトの腐食を考慮した耐震安全性評価を実施する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料移送ポンプの基礎ボルトの腐食 	別紙(2)
<ul style="list-style-type: none"> ・工事計画認可にて適用された最新知見として得られた減衰定数を適切に反映した評価を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・配管系の疲労割れおよび流れ加速型腐食 		

基準地震動 Ss および弾性設計用地震動 Sd の適用

1. 初回申請からの変更点

初回申請では2013年12月25日付け設置変更許可申請における基準地震動 Ss および弾性設計用地震動 Sd に基づく耐震安全性評価を行っていたが、これらの地震動が変更となったことから、設置変更許可を受けた基準地震動 Ss および弾性設計用地震動 Sd* を適用することとした。基準地震動 Ss の応答スペクトルおよび加速度時刻歴波形を図1~3に、弾性設計用地震動 Sd の応答スペクトルおよび加速度時刻歴波形を図4~6に示す。

なお、新たに制定された標準応答スペクトルについては、基準地震動 Ss による応答スペクトル比を用いた検討に関する審議を受け、基準地震動が変更不要であることを認める通知を受領している(参考資料(1))。

※：弾性設計用地震動 Sd は、基準地震動 Ss との応答スペクトルの比率が目安として0.5を下回らないよう基準地震動 Ss に係数0.5を乗じて設定した。さらに、弾性設計用地震動 Sd の設定に当たっては、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針(昭和56年7月20日原子力安全委員会決定、平成13年3月29日一部改訂)」における基準地震動 S1 の応答スペクトルをおおむね下回らないよう配慮した地震動も弾性設計用地震動 Sd として設定した。

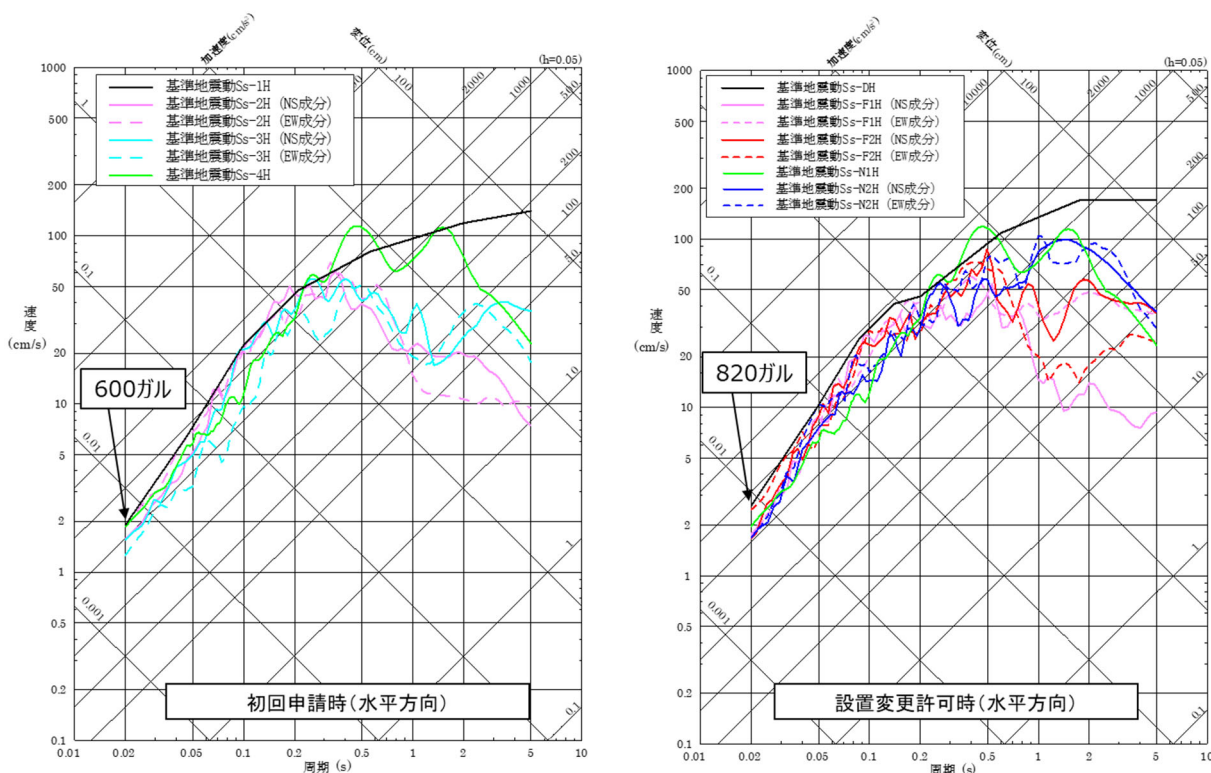


図1 基準地震動 Ss の応答スペクトル (水平方向)
(左側：初回申請時 右側：補正申請時)

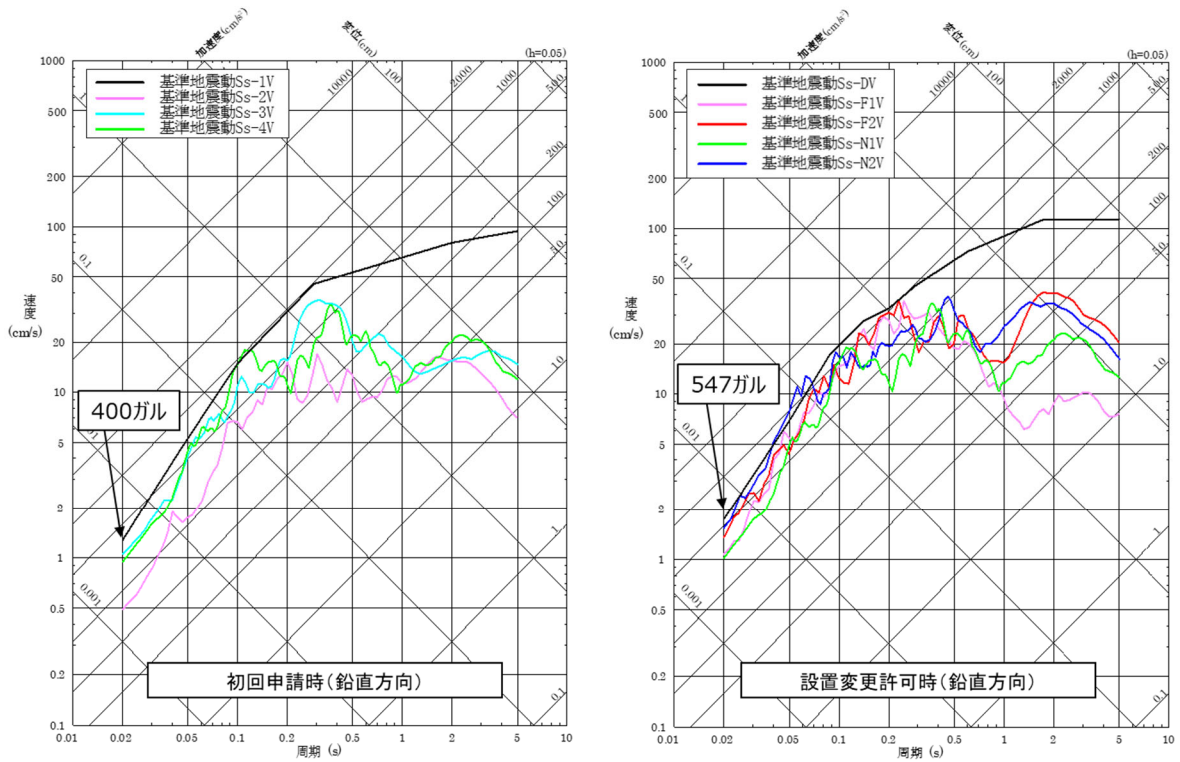


図2 基準地震動 Ss の応答スペクトル (鉛直方向)
(左側：初回申請時 右側：補正申請時)

基準地震動		水平方向 (NS成分)	水平方向 (EW成分)	鉛直方向
Ss-D	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 [応答スペクトル手法による基準地震動]			
Ss-F1	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 [断層モデル手法による基準地震動 穴道断層による地震の中越中地震の短周期レベルの不確かさ 破砕帯起点5]			
Ss-F2	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 [断層モデル手法による基準地震動 穴道断層による地震の中越中地震の短周期レベルの不確かさ 破砕帯起点6]			
Ss-N1	震源を特定せず策定する地震動による基準地震動 [2004年北海道留萌支庁南部地震 (K-NET港町) の検討結果に保守性を考慮した地震動]			
Ss-N2	震源を特定せず策定する地震動による基準地震動 [2000年鳥取県西部地震の賀祥ダム (監査廊) の観測記録]			

※：表中のグラフは各基準地震動の加速度時刻歴波形 [縦軸：加速度 (cm/s²)、横軸：時間 (s)]

図3 基準地震動 Ss の加速度時刻歴波 (補正申請時)

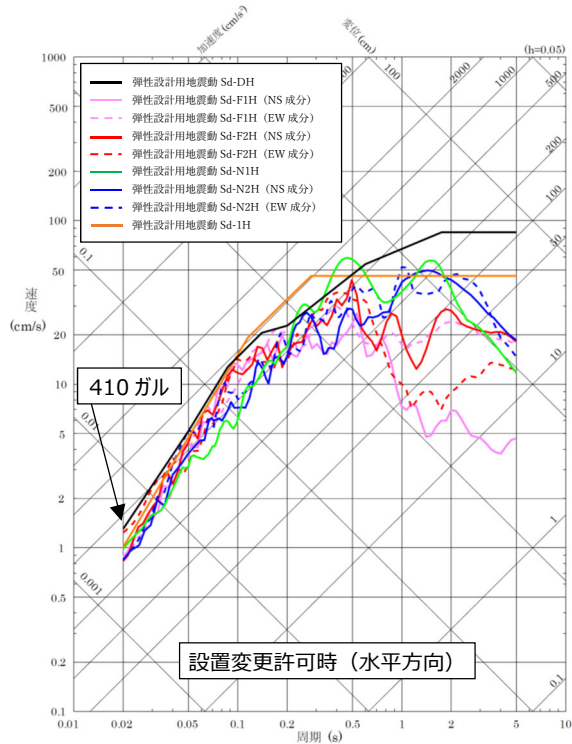
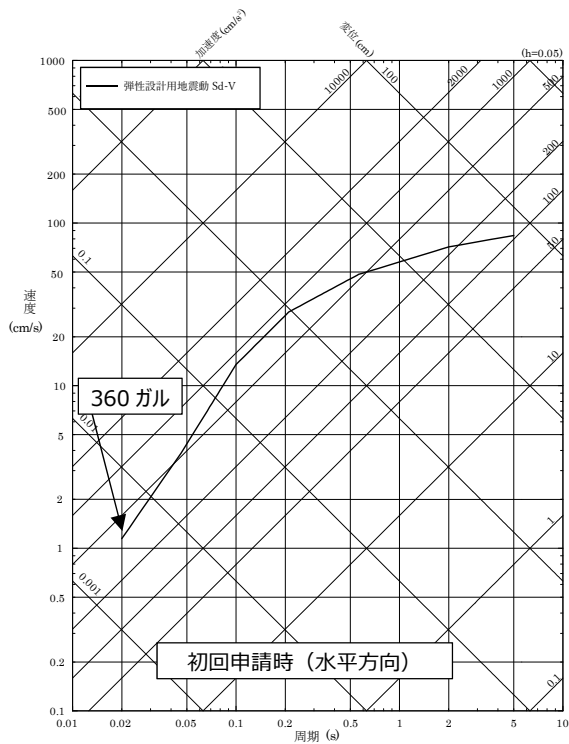


図4 弾性設計用地震動 Sd の応答スペクトル (水平方向)
(左側：初回申請時 右側：補正申請時)

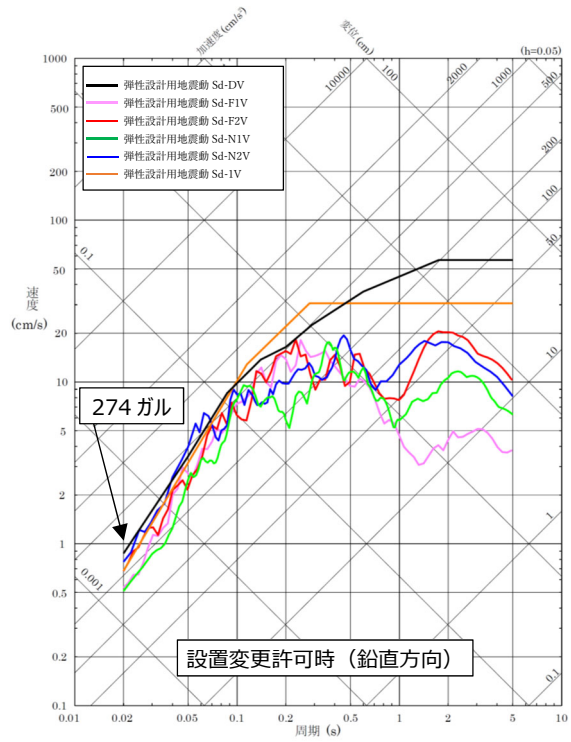
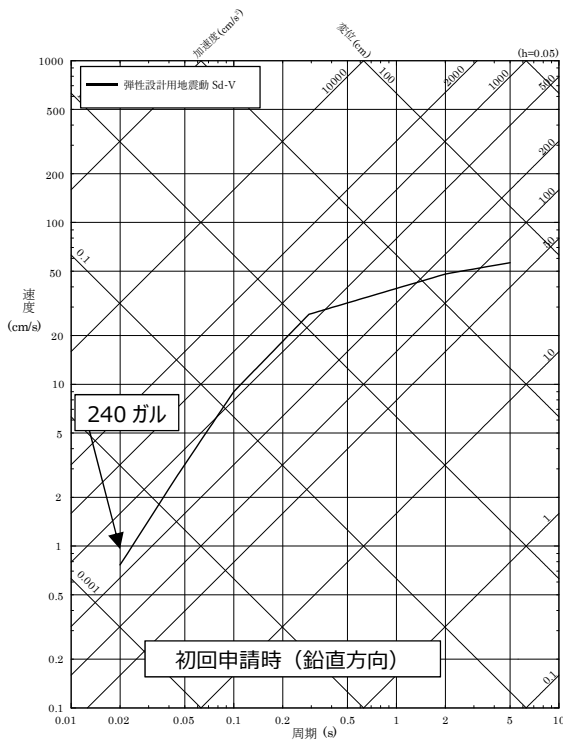
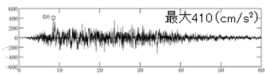
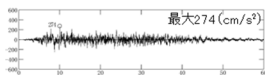
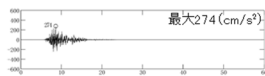
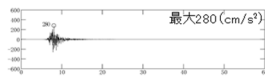
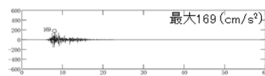



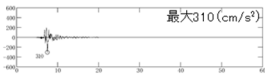
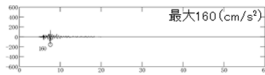
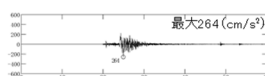
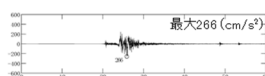
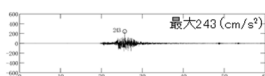
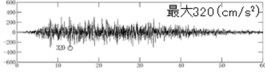
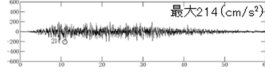


図5 弾性設計用地震動 Sd の応答スペクトル (鉛直方向)
(左側：初回申請時 右側：補正申請時)

弾性設計用地震動	水平方向 (NS成分)	水平方向 (EW成分)	鉛直方向
Sd-D			
Sd-F1			
Sd-F2			
Sd-N1			
Sd-N2			
Sd-1			

※：表中のグラフは各弾性設計用地震動の加速度時刻歴波形【縦軸：加速度 (cm/s²)，横軸：時間 (s)】

図6 弾性設計用地震動 Sd の加速度時刻歴波 (補正申請時)

< 参考資料 >

- (1) 「標準応答スペクトルの規制への取り入れに伴う基準地震動の変更の要否に係る審議結果 (中国電力島根原子力発電所 2 号炉)」 (令和 3 年 12 月 8 日 原子力規制庁)

耐震重要度分類の見直し

1. 初回申請からの変更点

平成 25 年 12 月 25 日付け設置変更許可申請では、公衆への放射線影響が小さいことが確認できた設備の耐震重要度分類を B クラスから C クラスに変更していたが、施設の耐震重要度分類の変更については、設置変更許可審査において平成 28 年 5 月 26 日および平成 28 年 7 月 12 日の審査会合を踏まえ、検討課題が多く多岐に亘る議論を要すると判断し、島根 2 号炉の新規制基準適合性審査において施設の耐震重要度分類の変更は取り止めた。

平成 25 年 12 月 25 日付け設置変更許可申請において B クラスから C クラスに変更した設備は、PLM 初回申請においても C クラスとしていたが、上記を踏まえて、耐震重要度分類を B クラスに変更した（表 1 参照）。なお、従前（平成 25 年 12 月 25 日付け設置変更許可申請以前）からの C クラス設備については、今回の補正においても C クラスとしている。

PLM 初回申請時に B クラスから C クラスに変更していた施設の耐震重要度分類の概要図を図 1 に示す。

表 1 C クラスから B クラスに見直した設備

評価書区分	設備名称	耐震重要度分類		備考
		初回申請時	補正申請時	
ポンプ	復水ポンプ	C	B	【排ガス予熱器以外】 ・基礎ボルトの減肉耐震評価 【排ガス予熱器】 ・基礎ボルト、伝熱管、胴および管支持板の減肉耐震評価
	復水昇圧ポンプ			
	制御棒駆動水圧ポンプ			
熱交換器	原子炉浄化補助熱交換器			
	第 3 給水加熱器			
	第 4 給水加熱器			
	グラント蒸気発生器			
	グラント蒸気復水器			
	排ガス予熱器			
	排ガス復水器			
容器	排ガス脱湿塔			
	原子炉建物機器ドレンサンプタンク			
	排ガス再結合器			
	原子炉浄化系サージタンク			
	復水ろ過脱塩器ストレナ			
タービン設備	低圧タービン			
機械設備	床ドレン濃縮器			
	化学廃液濃縮器復水器			
	床ドレン濃縮器復水器			
	排ガスブロワ			
	化学廃液濃縮器循環ポンプ			
	濃縮廃液タンク			
	濃縮廃液ポンプ			
	空気抽出器			
	雑固体焼却炉			
	1 次セラミックフィルタ			
	2 次セラミックフィルタ			
	排ガスフィルタ			

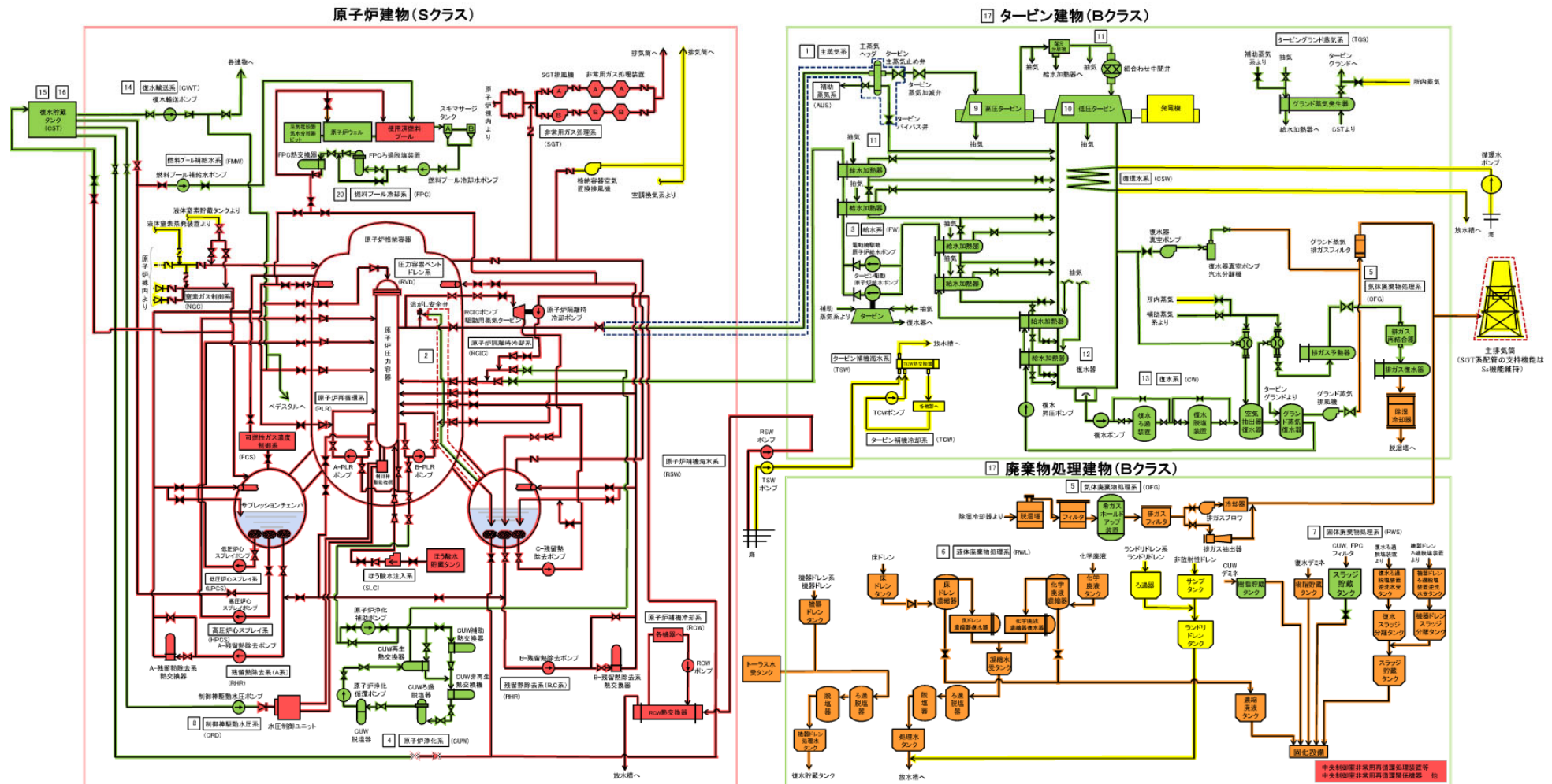
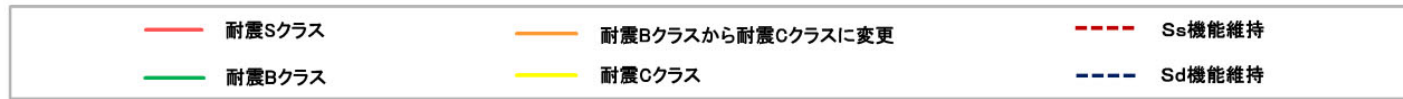


図1 島根原子力発電所2号炉 設計基準対象施設の耐震重要度分類概要図

(第379回審査会合(平成28年7月12日)資料「島根原子力発電所2号炉 施設の耐震重要度分類の変更について」より抜粋)

工事計画認可にて適用された評価モデル等の反映

1. サプレッションチェンバの耐震安全性評価

サプレッションチェンバの基礎ボルトの腐食に対する耐震安全性評価に用いる解析モデルについて、初回申請と補正申請の変更点を表1に、解析モデルを図1に示す。

表1 サプレッションチェンバの解析モデルの変更点

項目	初回申請	補正申請	変更理由
モデル化範囲	サプレッションチェンバの半周	サプレッションチェンバの全周	非対称に設置されたECCSストレーンを適切にモデル化するため。
内部水の考慮方法	内部水全体を固定水として考慮 (スロッシング荷重は水平方向地震荷重に包含)	内部水質量に有効質量を適用 (FEMモデルにてスロッシング荷重を個別に算定)	地震応答を精緻に評価するため。
サプレッションチェンバサポート取付部の剛性	剛性が十分に高いと判断	局部変形をばね剛性として考慮	鉛直方向の地震応答を適切に表現するため。

初回申請	補正申請

図1 サプレッションチェンバの解析モデル（初回申請と補正申請の比較）

2. 配管の耐震安全性評価

流れ加速型腐食を考慮した配管の耐震安全性評価対象のうち、Bクラスの復水系配管および給水系配管（下位クラス配管）については、工事計画認可の審査において、基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、直下又は近傍に設置された上位クラス施設に対して、下位クラス配管の転倒および落下による波及的影響を及ぼさないことを説明している。耐震安全性評価においては、当該復水系配管および給水系配管に対して、流れ加速型腐食を考慮したうえでBクラスとしての評価に加え、工事計画認可と同様に基準地震動 S_s による耐震評価を実施した。初回申請と補正申請における復水系配管および給水系配管の解析モデルの比較を図2、図3に、耐震安全性評価結果を表2に示す。

初回申請	補正申請

図2 復水系配管【CW-T-10】の解析モデル（初回申請と補正申請の比較）

初回申請	補正申請

図 3 給水系配管【FW-T-4】の解析モデル（初回申請と補正申請の比較）

表 2 耐震安全性評価結果（初回申請と補正申請の比較）

配管 モデル	初回申請					補正申請								備考
	許容 応力 状態	一次応力				一次応力				一次+二次応力				
		評価 点 No	発生 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	評価 点 No	発生 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	評価 点 No	発生 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	
CW-T-10	B _A S	1N	110	232	2.10	1N	117	232	1.98	—	—	—	—	初回申請におけるB クラス範囲最大応 力評価点
	IV _A S	—	—	—	—	1N	218	386	1.77	1N	311	464	1.49	初回申請におけるB クラス範囲最大応 力評価点
FW-T-4	B _A S	47N	89	229	2.57	47N	78	229	2.93	—	—	—	—	
		510	81	229	2.82	510	95	229	2.41	—	—	—	—	初回申請におけるB クラス範囲最大応 力評価点 (補正申請におけ る B クラス範囲最 大応力評価点に同 じ)
	IV _A S	—	—	—	—	38	125	382	3.05	38	139	458	3.29	

3. たて置円筒形容器の耐震安全性評価

残留熱除去系熱交換器は、ラグ周辺への支持構造物の追設を反映した固有値解析モデルを用いて固有値解析を実施したうえで、基礎ボルトの腐食を考慮した耐震安全性評価を実施した。補正申請における残留熱除去系熱交換器の固有値解析モデルを図4に、初回申請と補正申請の固有値解析結果および設計用震度の比較を表3に示す。

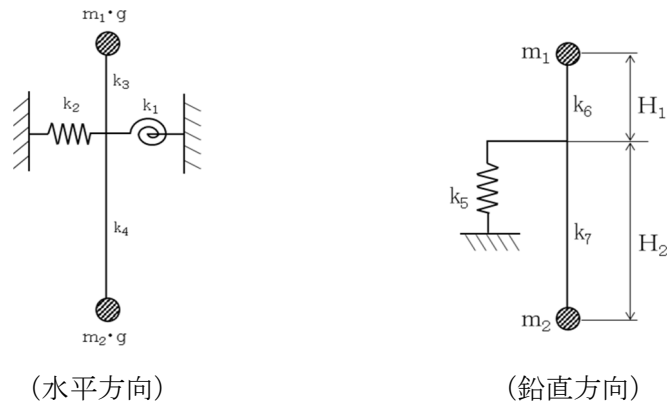


図4 残留熱除去系熱交換器の固有値解析モデル

表3 残留熱除去系熱交換器の固有値解析結果および設計用震度(初回申請と補正申請の比較)

項目		初回申請	補正申請	
固有周期(s)	水平			
	鉛直			
設計用震度	弾性設計用地震動 Sd	水平	1.68	3.02 ^{※1}
		鉛直	0.98	1.10 ^{※2,3}
	基準地震動 Ss	水平	3.00	5.85 ^{※4}
		鉛直	1.95	2.07 ^{※3,5}

※1：設計用床応答スペクトルⅡ（弾性設計用地震動 Sd）より得られる震度

※2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 Sd）

※3：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

※4：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 Ss）より得られる震度

※5：設計用震度Ⅱ（基準地震動 Ss）

4. 横置円筒形容器の耐震安全性評価

排ガス予熱器および原子炉浄化系再生熱交換器の胴の流れ加速型腐食を考慮した耐震安全性評価（応力評価）は、初回申請および補正申請では、脚付け根部に取り付く当板を考慮した評価としていたが、図5に示す有効板厚 t_e の判定基準を設けることとしたため、胴の応力評価においては当板を考慮せず、胴のみの板厚による応力評価を実施した。

また、表4に示す横置円筒形容器については、胴の流れ加速型腐食を考慮した耐震安全性評価は対象外だが、基礎ボルトの腐食を考慮した耐震安全性評価の対象設備である。これらの設備については、工事計画認可の審査を踏まえて当板の拡張工事を実施しており、工事計画認可の審査を踏まえて設計用震度および質量条件を見直したうえで基礎ボルトの腐食を考慮した耐震安全性評価を実施した。

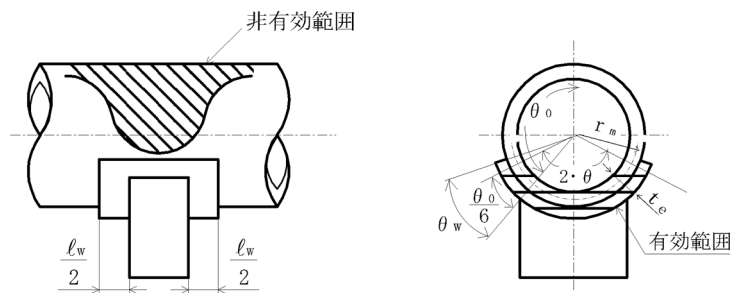


図5-2 脚付け根部の有効範囲

胴の脚付け根部に取り付く当板の大きさが

$$\text{周方向範囲} \quad \theta_w \geq \frac{\theta_0}{6}^{*1} \dots\dots\dots (5.3.1.1.13)$$

$$\text{長手方向範囲} \quad l_w \geq 1.56 \cdot \sqrt{\left(\frac{D_i + t}{2}\right) \cdot t}^{*2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.14)$$

である場合、脚付け根部における胴の有効板厚 t_e は胴板の厚さと当板の厚さの合計とする。また、当板が上記の範囲を満たさない場合、 t_e は胴板の厚さとする。

注記*1：引用文献(1)より引用

*2：引用文献(3)より引用

7. 引用文献

(1) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep. 1951.

(3) 日本産業規格 J I S B 8 2 7 8 (2003) 「サドル支持の横置圧力容器」

図5 有効板厚 t_e の判定基準

(工認の耐震設計の基本方針「VI-2-1-14 機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-4 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」から抜粋)

表 4 横置円筒形容器の基礎ボルトの腐食を考慮した耐震安全性評価対象設備

対象設備	耐震重要度分類
燃料プール冷却系熱交換器	B, 重 ^{※1}
非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料タンク	S, 重 ^{※1}
高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料タンク	S, 重 ^{※1}
原子炉補機冷却系熱交換器	S, 重 ^{※1}
高圧炉心スプレィ補機冷却系熱交換器	S, 重 ^{※1}
原子炉浄化系補助熱交換器	B

※1：耐震重要度分類とは別に常設重大事故等対処設備の区分に応じた耐震設計が求められていることを示す。

5. 立形ポンプの耐震安全性評価

以下に示す立形ポンプについては、工事計画認可の審査を踏まえて、応答解析モデルを変更（精緻化）したうえで、基礎ボルトの腐食を考慮した耐震安全性評価を実施した。補正申請時と見直し後の立形ポンプの応答解析モデルの変更点を表5に示す。また、代表として残留熱除去ポンプの応答解析モデルの変更前後を図6に示すが、他の立形ポンプについても同様である。

立形ポンプの基礎ボルトの腐食を考慮した耐震安全性評価対象設備を表6に示す。

表5 解析モデルの変更点

No.	変更点	補正申請	見直し後
1	自由度	2自由度 ・水平 (X) ・回転 (Z 軸回り)	3自由度 ・水平 (X) ・鉛直 (Y) ・回転 (Z 軸回り)
2	鉛直方向剛性	鉛直方向は「剛」として 自由度なし	以下の鉛直方向剛性を考慮 ・ロータ、コラムパイプおよびバルベツシング等の鉛直方向剛性（はり要素に剛性を設定） ・電動機上部軸受部の鉛直方向剛性（鉛直ばね） ・バルベツシングフランジ部の鉛直方向剛性（鉛直ばね）
3	バルベツシングフランジ部 回転剛性	考慮していない	考慮（回転ばね）

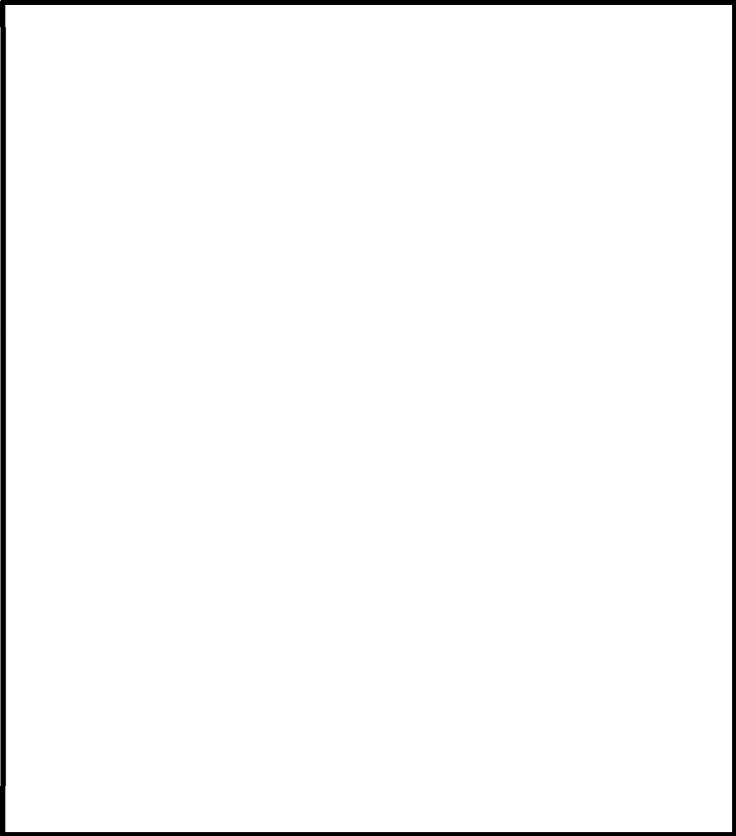
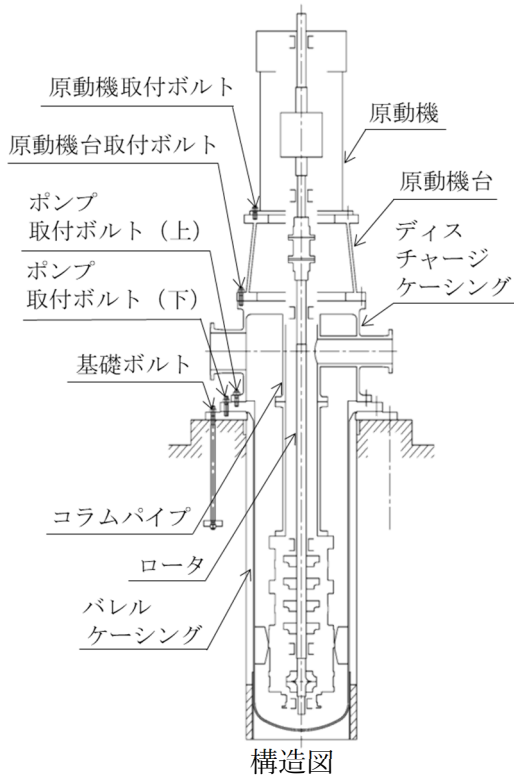


図6 残留熱除去ポンプ応答解析モデル図

表6 立形ポンプの基礎ボルトの腐食を考慮した耐震安全性評価対象設備

対象設備	耐震重要度分類
残留熱除去ポンプ	S, 重 ^{※1}
高圧炉心スプレッドポンプ	S, 重 ^{※1}
低圧炉心スプレッドポンプ	S, 重 ^{※1}
復水ポンプ	C

※1：耐震重要度分類とは別に常設重大事故等対処設備の区分に応じた耐震設計が求められていることを示す。

6. 横形ポンプの耐震安全性評価

横形ポンプのうち非常用ディーゼル機関付属設備の燃料移送ポンプおよびHPCSディーゼル機関付属設備の燃料移送ポンプについては、工事計画認可の審査を踏まえて「ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備」の質量を加味したうえで基礎ボルトの腐食を考慮した耐震安全性評価を実施した。横形ポンプの概略構造図を図7に示す。

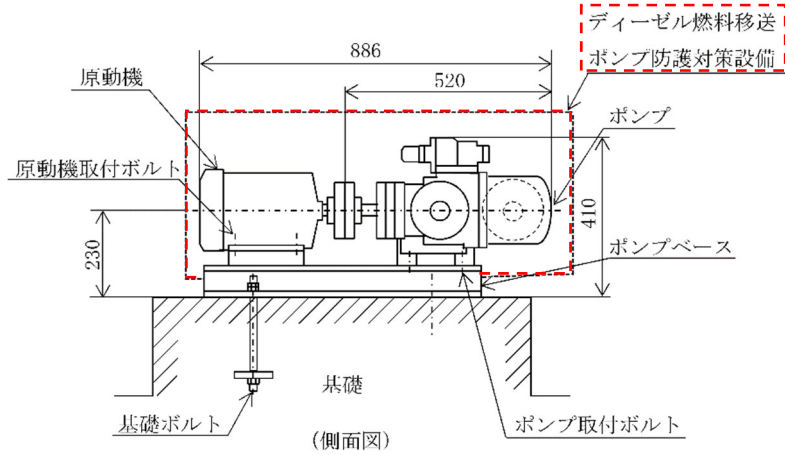


図7 燃料移送ポンプ（ディーゼル機関付属設備）の概略構造図

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

本資料は、機器・配管系の耐震安全性評価において、水平２方向および鉛直方向地震力を組み合わせて評価している設備について、具体的な考慮方法を説明する。

なお、本資料は以下の工事計画認可申請（補正）の耐震設計の基本方針および補足説明資料の内容を抜粋して作成した。

- ・工認の耐震設計の基本方針「VI-2-1-8 水平２方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」
- ・補足-023-04 水平２方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する検討について

1. 対象設備

機器・配管系の耐震安全性評価において、水平２方向および鉛直方向地震力を組み合わせて評価している設備を表１に示す。なお、表１以外の設備については、応答軸（強軸・弱軸）が明確であるため、水平１方向および鉛直方向地震力を組み合わせた評価を行っているが、水平各方向の地震力を包絡し、変形モードが支配的となる応答軸方向に入力するなど、保守的な取り扱いを基本としている。

表１ 水平２方向および鉛直方向地震力を組み合わせて評価している設備

No	設備名称
1	原子炉圧力容器給水ノズル
2	原子炉格納容器ベント管ベローズ
3	原子炉格納容器配管貫通部ベローズ
4	配管系
5	原子炉格納容器（サブプレッションチェンバ）

2. 水平２方向および鉛直方向地震力の考慮方法

表１に示す設備については、３次元的な広がりを持つ設備であるため、３次元のモデル化を行ったうえで、建物・構築物の応答軸方向の地震力をそれぞれ入力し、この入力により算定される荷重等を用いて評価を実施している。具体的な考慮方法を表２に示す。

表2 水平2方向および鉛直方向地震力の具体的な考慮方法

No	設備名称	考慮方法
1	原子炉圧力容器給水ノズル	評価においては、3次元的に配置されている接続配管の応答を使用しており、この配管応答は水平2方向を考慮した評価を実施していることから、原子炉圧力容器給水ノズルについても水平2方向を考慮した評価となっている。
2	原子炉格納容器ベント管ベローズ	評価においては、水平2方向を考慮したサブプレッションチェンバおよびドライウエルの地震応答解析結果（変位）を使用していることから、水平2方向を考慮した評価となっている。
3	原子炉格納容器配管貫通部ベローズ	評価においては、水平2方向を考慮したドライウエルおよび原子炉建物の地震応答解析結果（変位）を使用していることから、水平2方向を考慮した評価となっている。
4	配管系	評価においては、3次元のモデル化を行っており、建物・構築物の応答軸方向の地震力をそれぞれ入力し、この入力により算定される荷重を用いていることから、水平2方向を考慮した評価となっている。
5	原子炉格納容器（サブプレッションチェンバ）	同上。

低サイクル疲労を考慮した耐震安全性評価について

原子炉圧力容器給水ノズルの低サイクル疲労を考慮した耐震安全性評価を以下に示す。

1. 通常運転時における疲れ累積係数

(1) 過渡回数

原子炉圧力容器給水ノズルの通常運転時における疲労評価に用いた運転開始後 60 年時点（以下「60 年時点」という）の推定過渡回数を表 1 に示す。

表 1 原子炉圧力容器給水ノズルにおける推定過渡回数

運転条件	運転実績に基づく過渡回数 (2015 年 7 月末時点)	60 年時点 推定回数
耐圧試験	24	55
起動（昇温，タービン起動）	36	74
夜間出力運転（出力 75%）	40	81
週末出力運転（出力 50%）	34	84
制御棒パターン変更	58	143
給水加熱機能喪失（発電機トリップ）	0	1
給水加熱機能喪失（給水加熱器部分 バイパス）	0	1
スクラム（タービントリップ）	1	2
スクラム（その他のスクラム）	4	7
停止（タービン停止，高温待機，冷却， 容器満水，満水後冷却）	36	74
スクラム（原子炉給水ポンプ停止）	0	1
スクラム（逃し安全弁誤作動）	0	1

(2) 解析モデル

原子炉圧力容器給水ノズルの疲れ累積係数の算出に用いた疲労解析モデルおよび評価点を図 1 に示す。なお，解析コードは TACF（温度分布解析）および ASHSD2-B（応力解析）を使用した。

【解析モデル】

【評価点】

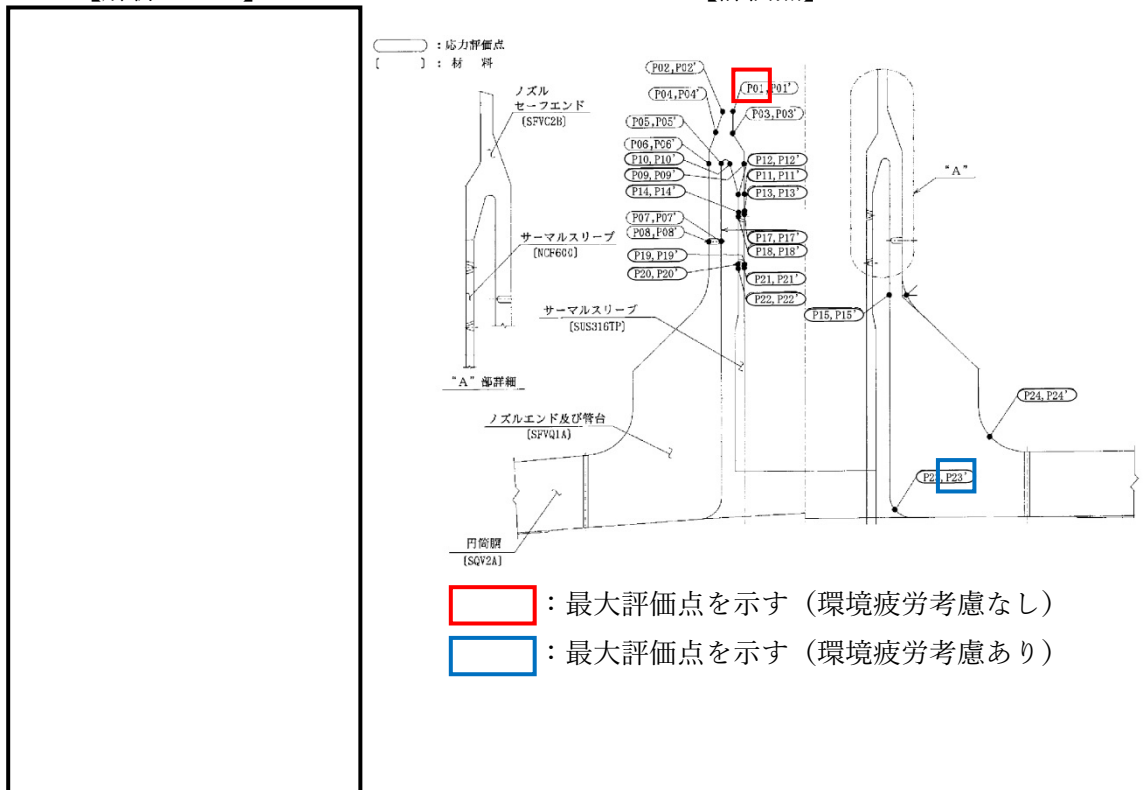


図1 原子炉圧力容器給水ノズルの疲労解析モデル図および評価点

(3) 材料物性値および外荷重条件

給水ノズルの評価に使用した材料物性値を表2に外荷重条件を表3に示す。

表2 給水ノズルの繰返し荷重の評価に使用する材料の物性値

材料	$E \times 10^5$ (MPa)	$\alpha \times 10^{-6}$ (mm/mm°C)	S_m (MPa)	S (MPa)	$E_0 \times 10^5$ (MPa)	q	A0	B0
SFVQ1A						3.1	1.0	1.25

〈記号の説明〉

- E : 運転温度 () (C) に対する縦弾性係数
- α : 運転温度 () (C) に対する瞬時熱膨張係数
- S_m : 運転温度 () (C) に対する設計応力強さ
- S : 設計・建設規格 図 添付 4-2-1 の設計疲労線図より読み取った $S_u \leq 550\text{MPa}$ の 10^6 回に対する繰返しピーク応力強さ
- E_0 : 設計・建設規格 添付 4-2 に記載された縦弾性係数
- q, A0, B0 : 設計・建設規格 表 PVB-3315-1 に示された簡易弾塑性解析に使用する係数

表3 原子炉压力容器給水ノズルの外荷重条件

荷重名称	力*1,*2		モーメント*1,*2		荷重作用点位置*3 (mm)
	H (kN)	F _Z (kN)	M (kN・m)	M _Z (kN・m)	
設計機械的荷重					
死荷重					
熱変形力					

*1 : 表中の値は、小数点以下第2位を切り上げ
 *2 : H, F_Z, MおよびM_Zは、配管からの荷重を示す

なお、荷重方向は右図のとおり

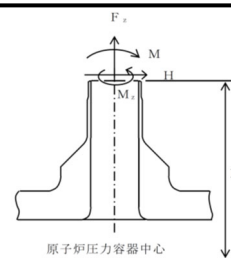
H : 水平力

F_Z : 軸力

M : モーメント

M_Z : ねじりモーメント

*3 : Rは原子炉压力容器中心からの距離を示す



(3) 運転実績に基づく疲労評価結果および環境疲労評価手法に基づく疲労評価結果

原子炉压力容器給水ノズルの通常運転時における疲れ累積係数最大値は、設計・建設規格の疲労線図に基づく評価（環境疲労考慮なし）および環境疲労評価手法に基づく評価（環境疲労考慮あり）を行い、最大評価点でそれぞれ0.094, 0.411となった。原子炉压力容器給水ノズルの環境疲労考慮有無におけるそれぞれの疲れ累積係数の算出結果を表4に、環境疲労考慮なしでの全評価点の疲れ累積係数の算出結果を表5にそれぞれ示す。

表 4(1/2) 原子炉圧力容器給水ノズルの通常運転時の疲れ累積係数（環境疲労考慮なし）

応力評価点 — P01

材 料 — SFVC2B

No.	事象毎の組合せ			Sn (MPa)	Ke	Sp (MPa)	S0 (MPa)	S0' (MPa)	Na	Nc	Nc/Na
	名称	運転温度(°C)									
		始点	終点								
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											

疲れ累積係数 Uf = 0.0935

表 4(2/2) 原子炉圧力容器給水ノズルの通常運転時の疲れ累積係数（環境疲労考慮あり）

応力評価点 — P23'

材 料 — SFVQ1A



No.	事象毎の組合せ		Sn (MPa)	Ke	Sp (MPa)	Sl (MPa)	Sl' (MPa)	Na	Nc	Nc/Na	Fen, det	Uen	
	名称	運転温度(°C)											
		始点											終点
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													

Uf = 0.0345 Uen = 0.4104

〈記号の説明〉

- Sn : 供用状態 A, B における一次+二次応力の応力最大範囲
- Ke : 簡易弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数
- Sp : 一次+二次+ピーク応力の応力差範囲
- Sl : 繰返しピーク応力強さ
- Sl' : 補正繰返しピーク応力強さ
- Na : Sl' に対応する許容繰返し回数
- Nc : 実際の繰返し回数
- Uf : 疲れ累積係数
- Fen, det : 詳細評価手法による環境効果補正係数
- Uen : 環境を考慮した疲れ累積係数

表 5 原子炉圧力容器給水ノズルの通常運転時の疲れ累積係数（全評価点，環境疲労考慮なし）

評価点	Uf	環境条件	許容値	
P01 ※	0.0935	給水	1	
P01'	0.0302	給水		
P02	0.0114	—		
P02'	0.0206	—		
P03	0.0226	給水		
P03'	0.0136	給水		
P04	0.0003	—		
P04'	0.0002	—		
P05	0.0100	炉水		
P05'	0.0019	炉水		
P06	0.0009	—		
P06'	0.0002	—		
P07	0.0003	炉水		
P07'	0.0004	炉水		
P08	0.0002	—		
P08'	0.0003	—		
P09	0.0272	給水		
P09'	0.0284	給水		
P10	0.0030	炉水		
P10'	0.0016	炉水		
P11	0.0130	給水		
P11'	0.0125	給水		
P12	0.0158	炉水		
P12' ※	0.0161	炉水		
P13	0.0088	給水		
P13'	0.0088	給水		
P14	0.0069	炉水		
P14'	0.0070	炉水		
P15	0.0003	炉水		1
P15'	0.0004	炉水		
P16	0.0024	—		
P16'	0.0007	—		
P17	0.0002	給水		1
P17'	0.0002	給水		
P18	0.0003	炉水		
P18'	0.0003	炉水		
P19 ※	0.0051	給水		
P19'	0.0051	給水		
P20	0.0034	炉水		
P20' ※	0.0034	炉水		
P21 ※	0.0251	給水		
P21'	0.0249	給水		
P22	0.0115	炉水		
P22' ※	0.0115	炉水		
P23	0.0290	炉水	1	
P23' ※	0.0345	炉水		
P24	0.0250	—		
P24'	0.0157	—		

※：材料および環境条件（給水中または炉水中）ごとで疲れ累積係数が最大となる評価点

 ：最大評価点を示す（環境疲労考慮なし）

 ：最大評価点を示す（環境疲労考慮あり）

2. 地震動による疲れ累積係数

原子炉圧力容器給水ノズルの各評価点のうち、環境疲労評価手法に基づく評価を用いて得られた疲れ累積係数が最大となる評価点（P23'）について、基準地震動（Ss）および弾性設計用地震動（Sd）の評価を実施した。

(1) 解析モデル

発生応力の算出には、「1. 通常運転時における疲れ累積係数」の算出に用いたものと同じの解析モデル（2次元軸対称モデル）を用いた。

(2) 材料物性値および耐震条件

材料物性値は「1. 通常運転時における疲れ累積係数」の算出に用いたものと同じの値を用いた。耐震条件は、基準地震動 Ss、弾性設計用地震動 Sd を用いて設定した設計用条件 I を上回る地震荷重にて評価を行った。評価に用いた地震荷重条件を表 6 に示す。

また、基準地震動 Ss における等価繰返し回数は 150 回、弾性設計用地震動 Sd における等価繰返し回数は 300 回を用いた。

表 6 原子炉圧力容器給水ノズルの地震荷重条件

荷重名称	力*1,*2		モーメント*1,*2		荷重作用点位置*3 (mm)
	H(kN)	Fz(kN)	M(kN・m)	Mz(kN・m)	
地震荷重 Ss (一次)					
地震荷重 Ss (二次)					
地震荷重 Sd (一次)					
地震荷重 Sd (二次)					

*1：表中の値は、小数点以下第2位を切り上げ

*2：H, Fz, MおよびMzは、配管からの荷重を示す

*3：Rは原子炉圧力容器中心からの距離を示す

(3) 地震動による疲労評価結果

a. 応力の解析結果

地震時に生じる応力の解析結果を表 7 に示す。

表 7 地震時に生じる応力の解析結果
(単位：MPa)

評価 地震力	一次+二次応力		
	評価点	S n #	許容値
Ss	P23'	20	
Sd		16	

〈記号の説明〉

S n #：基準地震動 Ss または弾性設計用地震動 Sd による地震荷重のみによる一次+二次
応力の応力差最大範囲

b. 地震動による疲労評価結果

基準地震動 S_s および弾性設計用地震動 S_d による一次+二次+ピーク応力の応力差範囲 S_p[#]の解析結果を表 8 に示す。

繰返しピーク応力強さ S_ℓ は、基準地震動 S_s または弾性設計用地震動 S_d による一次+二次+ピーク応力の応力差範囲 S_p[#]を次式の S_p に代入することにより求める。

$$S_{\ell} = \frac{S_p}{2}$$

表 7 に示すとおり、基準地震動 S_s または弾性設計用地震動 S_d による一次+二次応力の応力差最大範囲 S_n[#]が許容値である 3・S_m未満であるため、設計・建設規格 PVB-3315(1)に該当する。このため設計・建設規格 PVB-3315 に記載の K_eによる割増しは考慮しない。

補正繰返しピーク応力強さ S_ℓ' は、上記の繰返しピーク応力強さ S_ℓ、表 2 に記載の縦弾性係数 E₀、運転温度に対する縦弾性係数 E を用いて次式により求める。算出結果を表 8 に示す。

$$S_{\ell}' = S_{\ell} \cdot \frac{E_0}{E}$$

以上より、基準地震動 S_s および弾性設計用地震動 S_d による疲れ累積係数を表 8 に示す。表に示すとおり、疲れ累積係数の大きい弾性設計用地震動 S_d を地震動による疲れ累積係数として評価に用いた。基準地震動 S_s の全評価点の疲れ累積係数を表 9 に、弾性設計用地震動 S_d の全評価点の疲れ累積係数を表 10 に示す。

表 8 基準地震動 S_s および弾性設計用地震動 S_d による疲れ累積係数

評価地震力	評価点	S _p [#] (MPa)	S _ℓ ' (MPa)	等価繰返し回数	許容繰返し回数	疲れ累積係数
S _s	P23'					0.0002
S _d						0.0003

〈記号の説明〉

S_p[#] : 基準地震動 S_s または弾性設計用地震動 S_d による一次+二次+ピーク応力の応力差範囲

S_ℓ' : 補正繰返しピーク応力強さ

表9 給水ノズルの地震動による評価結果（基準地震動（S_s））

評価点	U _{S_s}	環境条件	許容値
P01 ※	0.0002	給水	1
P01'	0.0002	給水	
P02	0.0002	—	
P02'	0.0002	—	
P03	0.0002	給水	
P03'	0.0002	給水	
P04	0.0002	—	
P04'	0.0002	—	
P05	0.0075	炉水	
P05'	0.0075	炉水	
P06	0.0002	—	
P06'	0.0002	—	
P07	0.0002	炉水	
P07'	0.0002	炉水	
P08	0.0002	—	
P08'	0.0002	—	
P09	0.0002	給水	
P09'	0.0002	給水	
P10	0.0007	炉水	
P10'	0.0007	炉水	
P11	0.0010	給水	
P11'	0.0010	給水	
P12	0.0469	炉水	
P12' ※	0.0469	炉水	
P13	0.0066	給水	
P13'	0.0066	給水	
P14	0.0027	炉水	
P14'	0.0027	炉水	
P15	0.0002	炉水	
P15'	0.0002	炉水	
P16	0.0009	—	
P16'	0.0009	—	
P17	0.0001	給水	
P17'	0.0001	給水	
P18	0.0000	炉水	
P18'	0.0000	炉水	
P19 ※	0.0000	給水	
P19'	0.0000	給水	
P20	0.0001	炉水	
P20' ※	0.0001	炉水	
P21 ※	0.0001	給水	
P21'	0.0001	給水	
P22	0.0000	炉水	
P22' ※	0.0000	炉水	
P23	0.0002	炉水	
P23' ※	0.0002	炉水	
P24	0.0002	—	
P24'	0.0002	—	

 ：運転実績回数に基づく疲労評価結果（環境疲労考慮あり）のうち最大評価点

※：材料および環境条件（給水中または炉水中）ごとで通常運転時を含めた疲れ累積係数が最大となる評価点

表 10 給水ノズルの地震動による評価結果（弾性設計用地震動（S d））

評価点	U s d	環境条件	許容値
P01 ※	0.0003	給水	1
P01'	0.0003	給水	
P02	0.0003	—	
P02'	0.0003	—	
P03	0.0003	給水	
P03'	0.0003	給水	
P04	0.0003	—	
P04'	0.0003	—	
P05	0.0061	炉水	
P05'	0.0061	炉水	
P06	0.0003	—	
P06'	0.0003	—	
P07	0.0003	炉水	
P07'	0.0003	炉水	
P08	0.0003	—	
P08'	0.0003	—	
P09	0.0003	給水	
P09'	0.0003	給水	
P10	0.0003	炉水	
P10'	0.0003	炉水	
P11	0.0003	給水	
P11'	0.0003	給水	
P12	0.0120	炉水	
P12' ※	0.0120	炉水	
P13	0.0032	給水	
P13'	0.0032	給水	
P14	0.0011	炉水	
P14'	0.0011	炉水	
P15	0.0003	炉水	
P15'	0.0003	炉水	
P16	0.0005	—	
P16'	0.0005	—	
P17	0.0001	給水	
P17'	0.0001	給水	
P18	0.0000	炉水	
P18'	0.0000	炉水	
P19 ※	0.0000	給水	
P19'	0.0000	給水	
P20	0.0000	炉水	
P20' ※	0.0000	炉水	
P21 ※	0.0000	給水	
P21'	0.0000	給水	
P22	0.0000	炉水	
P22' ※	0.0000	炉水	
P23	0.0003	炉水	
P23' ※	0.0003	炉水	
P24	0.0003	—	
P24'	0.0003	—	

 : 運転実績回数に基づく疲労評価結果（環境疲労考慮あり）のうち最大評価点

※ : 材料および環境条件（給水中または炉水中）ごとで通常運転時を含めた疲れ累積係数が最大となる評価点

4. 評価結果

運転実績に基づく疲れ累積係数を加えた結果を表 11 に示す。給水ノズルの運転実績回数に基づく疲れ累積係数と地震動による疲れ累積係数の和は許容値 1 以下となり、耐震安全性に問題がないことを確認した。

表 11 給水ノズルの疲労評価結果

評価 地震力	運転実績回数に基づく疲れ累 積係数（環境疲労を考慮）	地震動による 疲れ累積係数	合計
Ss	0.411 (0.4104)	0.001 (0.0002)	0.412
Sd	0.411 (0.4104)	0.001 (0.0003)	0.412

各疲れ累積係数の（）内の数値は桁処理前の数値を示す。

中性子照射脆化を考慮した耐震安全性評価について

原子炉圧力容器円筒胴の中性子照射脆化を考慮した耐震安全性評価を以下に示す。

1. 中性子照射脆化を考慮した耐震安全性評価の評価対象

耐震安全性評価の対象を、中性子照射脆化評価において原子炉圧力容器の代表としている円筒胴（炉心領域部）と低圧注水ノズルより検討する。

JEAC4206 解説-附属書 A-3220 1. (1) c. 「 K_{IC} 曲線の適用性」には、円筒胴（炉心領域部）およびノズルコーナ部について、地震荷重による応力は軸方向応力であり非延性破壊防止評価上支配的な応力（円周方向応力）と応力の方向が異なり、地震荷重の影響は無視できる、と規定されている。

ただし、JEAC4206 F-3000 には軸方向応力および円周方向応力の計算例が規定されており、円筒（円筒胴（炉心領域部））について適用できることから、「2. 円筒胴（炉心領域部）の耐震安全性評価」において、地震荷重および仮想欠陥を想定した 4 ケースについて耐震安全性評価を実施する。

このことは、軸方向応力（円周方向欠陥想定）よりも円周方向応力（軸方向欠陥想定）の方が厳しいことを確認する位置づけであるものと考えられる。

一方、JEAC4206 FB-4100 「Paris and Sih の計算に基づく解」には、ノズルコーナ部について、軸方向応力に関する記載はなく、円筒胴の周方向応力を用いることが規定されていることから、低圧注水ノズルについては評価対象外とし、円筒胴（炉心領域部）を評価対象として耐震安全性評価を実施する。

2. 円筒胴（炉心領域部）の耐震安全性評価

(1) 円筒胴（炉心領域部）の圧力-温度制限曲線（P-T 線図）の算出根拠

炉心領域の円筒胴に対して、JEAC4206 FB-4100 に従い P-T 線図を作成する。P-T 線図は、中性子照射脆化評価における最低使用温度の設定において、厳しい評価となった母材に対して作成し、その算出根拠を以下に示す。

①材料データ

- a. 円筒胴（炉心領域部の材料）
 - (a) RT_{NDT} 初期値： -40°C
 - (b) 運転開始後 60 年時点の ΔRT_{NDT} 予測値： 26.4°C
- b. 胴体フランジ（ボルト締付荷重が作用する部分の材料）

RT_{NDT} 初期値： -29°C

②寸法

- a. 円筒胴内径 D_i : mm
- b. 円筒胴の最小肉厚 t : mm

③仮想欠陥および荷重の想定

- a. 欠陥方向：軸方向／円周方向の2ケース
- b. 荷重：地震荷重なし／ありの2ケース
- c. 欠陥寸法：深さ $a = t/4$ ，長さ $l = 1.5 \times t$

④応力値

a. 円筒胴の応力（計算においては，外面腐れ代 mm を考慮した寸法を用いる。）

(a) 円筒胴の板厚 $T = t - \text{} = \text{}$ mm

(b) 円筒胴の内半径 $R_i = D_i / 2 = \text{}$ mm

(c) 円筒胴の外半径 $R_o = R_i + T = \text{}$ mm

(d) 円筒胴の断面積 $A = \pi (R_o^2 - R_i^2) = \text{} \times 10^6 \text{mm}^2$

(e) 円筒胴の断面係数 $Z_o = \pi / 4 \times (R_o^4 - R_i^4) / R_o = \text{} \times 10^9 \text{mm}^3$

b. 円筒胴の最高使用圧力 ($P_d = 8.62 \text{MPa}$) に対する応力

(a) 円周方向応力 $\sigma_{t1m} = P_d \times R_i / T = \text{}$ MPa (一次膜応力)

(b) 軸方向応力 $\sigma_{l1m} = P_d \times R_i^2 / (R_o^2 - R_i^2) = \text{}$ MPa (一次膜応力)

(c) 円周方向応力 $\sigma_{t2b} = P_d \times (1 + (R_o / R_i)^2) / ((R_o / R_i)^2 - 1) - \sigma_{t1m} = \text{}$ MPa
(二次曲げ応力)

c. 円筒胴の供用状態 A および B + 地震荷重による応力

(a) 鉛直荷重 $V = \text{}$ kN (供用状態 A および B) $\text{}$ kN (地震荷重 S_s)
 $= \text{}$ kN

(b) モーメント $M = \text{}$ kN·m (保守的にスカート下端での荷重を使用)

(c) 軸方向応力 $\sigma_{l1ms} = V / A + M / Z_o = \text{}$ MPa (一次膜応力)

⑤ K_{IT} (円筒胴の板厚方向の温度勾配による応力拡大係数)

K_{IT} は，JEAC4206 附属書 F-3100 (3) 項より示される以下の式により求められる。

$$K_{IT} = M t^{*1} \times \Delta T_w^{*2} = \text{} = \text{} \text{MPa}\sqrt{\text{m}}$$

*1：JEAC4206 附属書図 F-3100-2 で与えられる係数 (円筒胴板厚 mm にて評価)

*2：板厚方向の温度差の最大値

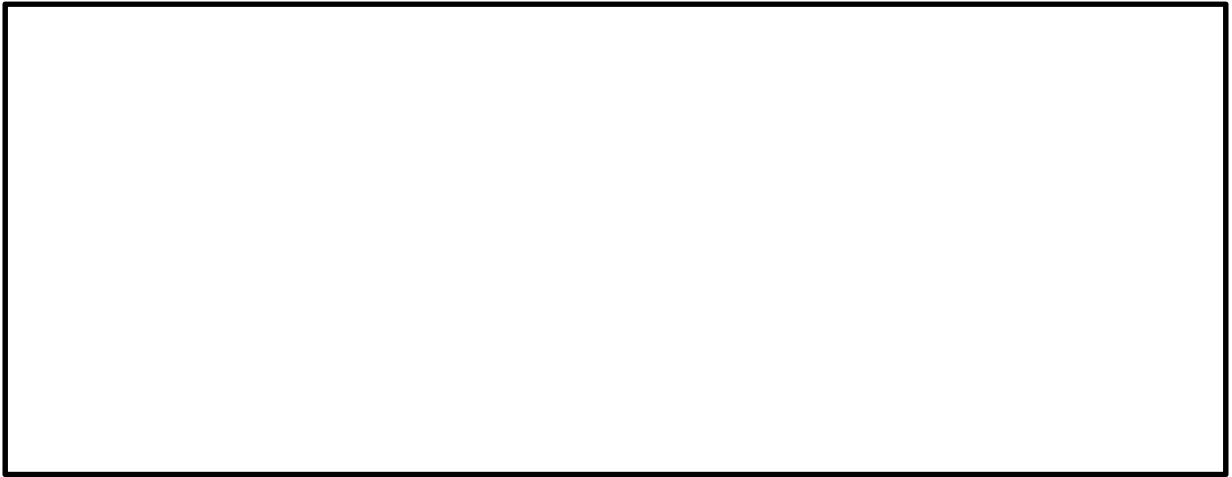


図1 円筒胴の温度分布解析結果

⑥円筒胴の破壊力学的手法による P-T 線図の想定ケース

円筒胴に対して仮想欠陥の方向および地震荷重の有無により、以下の 4 ケースを想定する。

ケース 1：軸方向欠陥＋地震荷重なし（内圧＋熱応力のみ）

ケース 2：軸方向欠陥＋地震荷重あり（内圧＋熱応力＋地震荷重）

ケース 3：円周方向欠陥＋地震荷重なし（内圧＋熱応力のみ）

ケース 4：円周方向欠陥＋地震荷重あり（内圧＋熱応力＋地震荷重）

これらの想定したケースに、JEAC4206 附属書 A の破壊力学的手法を適用し評価する。

以下に P-T 線図の作成手順を示す。

a. 内圧による応力は、ケース 1 および 2 については、(1) ④b. で算出した最高使用圧力に対する円周方向応力 σ_{t1m} および σ_{t2b} を、ケース 3 および 4 については σ_{11m} を、圧力値の比率で補正して用いる。

これに加え、ケース 4 については (1) ④c. の供用状態 A および B＋地震荷重による軸方向応力 σ_{11ms} による K_I を考慮する。

（なお、地震による応力は、(1) ④c. に示すとおり軸方向応力のみであることから、ケース 1 とケース 2 は同一の結果となる）

b. T-RT_{NDT} の算出は、JEAC4206 附属書 A-3222 (7) 式による。

c. 各内圧に対して計算された T-RT_{NDT} から、計算上必要な T（要求温度）を計算する。

要求温度については、(1) ①の ΔRT_{NDT} 予測値を考慮するとともに、JEAC4206 表 FB-4100-1 に規定される炉心が臨界の場合のマージン 22°C を加える。

⑦最低温度要求の制限線

P-T 線図は、JEAC4206 表 FB-4100-1 に従い、「圧力・温度制限の要求」と「最低温度要求」により設定される。このうち、最低温度要求の制限線を設定するにあたり、JEAC4206 表 FB-4100-1 に基づく最低温度要求の結果を表 1 に示す。表 1 より供用状態 A および B の場合には、以下の制限線が設定される。

a. 4°C の制限線

供用前の水圧試験圧力の 20% 以下の圧力であり、炉心が臨界の場合（BWR で通常水位内での運転がなされる場合）に対する制限線である。

b. 60°C の制限線

供用前の水圧試験圧力の 20% を超える圧力であり、炉心が臨界の場合に対する制限線である。

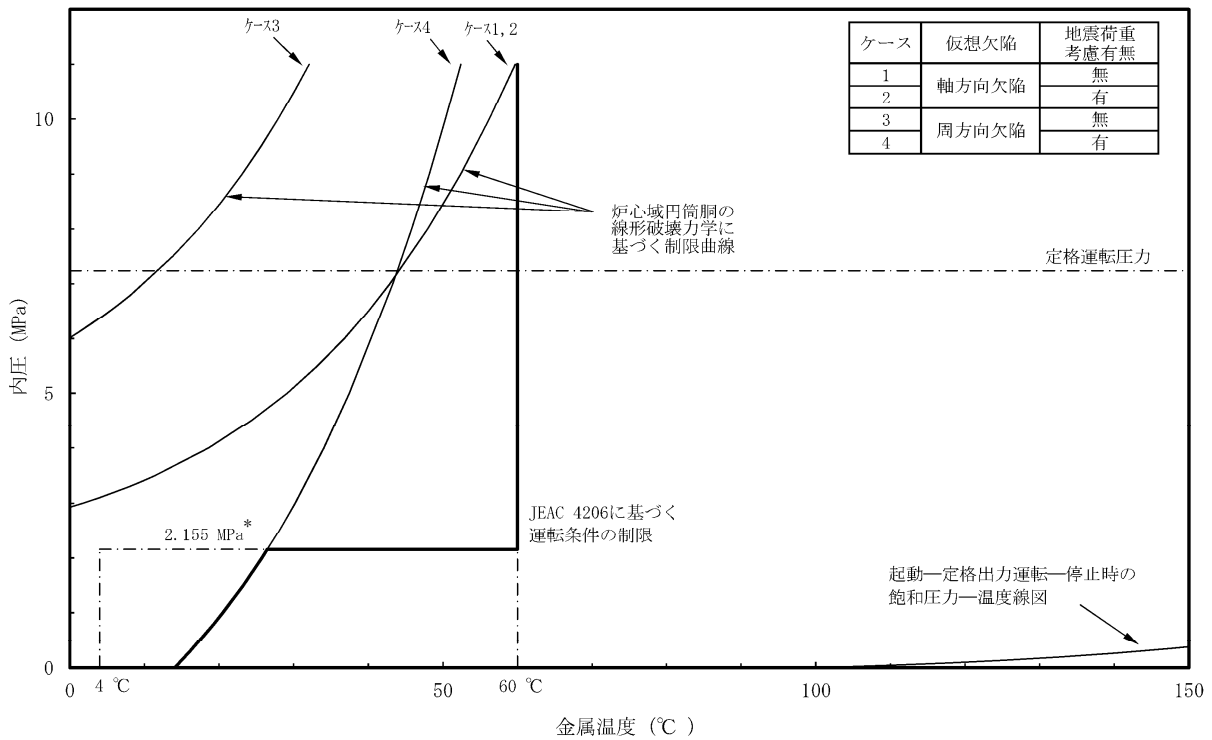
また、耐圧・漏えい試験の場合には、供用前の水圧試験圧力の 20% 以下の圧力に対する 4°C の制限線とともに、供用前の水圧試験圧力の 20% を超える圧力に対する 21°C の制限線が設定される。

表 1 最低温度要求の結果

供用状態		原子炉圧力 容器の圧力	最低温度要求	
耐圧・漏えい試験 (未臨界)	燃料装荷後	$\leq 20\%$	ボルト締付荷重が作用する部分の材料の最も高い $RT_{NDT} + 33^\circ\text{C}$	$-29+33= 4^\circ\text{C}$
	燃料装荷後	$> 20\%$	(ボルト締付荷重が作用する部分の材料の最も高い $RT_{NDT} + 50^\circ\text{C}$) と (ボルト締付荷重が作用しない部分の材料の最も高い RT_{NDT}) の高い方	$21^\circ\text{C} (= -29 + 50)$ と -14°C の高い方
供用状態 A および B (耐圧・漏えい試験を除く。)	炉心未臨界	$\leq 20\%$	ボルト締付荷重が作用する部分の材料の最も高い $RT_{NDT} + 33^\circ\text{C}$	$-29+33= 4^\circ\text{C}$
	炉心未臨界	$> 20\%$	(ボルト締付荷重が作用する部分の材料の最も高い $RT_{NDT} + 67^\circ\text{C}$) と (ボルト締付荷重が作用しない部分の材料の最も高い RT_{NDT}) の高い方	$38^\circ\text{C} (= -29 + 67)$ と -14°C の高い方
	炉心が臨界	$\leq 20\%$	沸騰水型原子炉圧力容器において、通常水位内での運転がなされる場合は、(ボルト締付荷重が作用する部分の材料の最も高い $RT_{NDT} + 33^\circ\text{C}$) の要求を満たすこと。	$-29 + 33= 4^\circ\text{C}$
	炉心が臨界	$> 20\%$	(「耐圧・漏えい試験」に対して要求される温度) と (ボルト締付荷重が作用する部分の材料の最も高い $RT_{NDT} + 89^\circ\text{C}$) の高い方	9°C と 60°C ($= -29 + 89$) の高い方

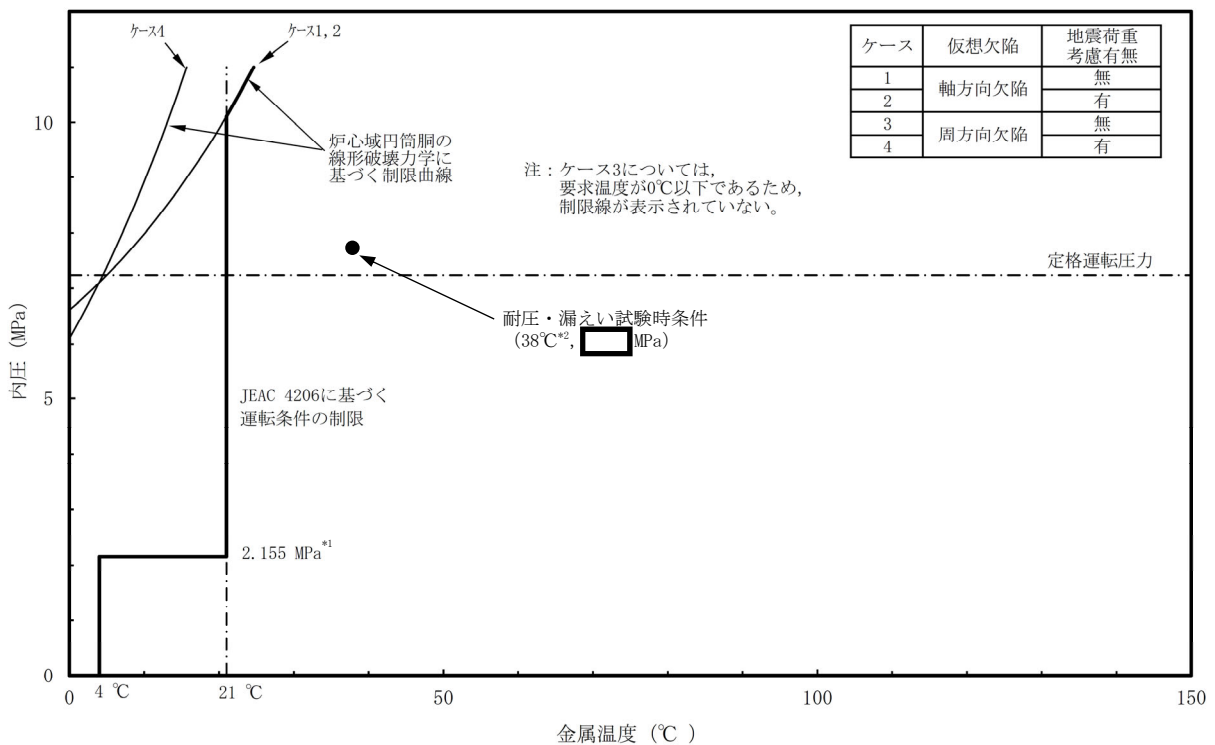
(2) 炉心臨界時および耐圧・漏えい試験時の P-T 線図について

運転開始後 60 年時点における P-T 線図を図 2 に、耐圧・漏えい試験時の P-T 線図を図 3 に、要求温度の計算例 (炉心臨界時：ケース 4) を表 2 に示す。



*: 供用前の耐圧試験圧力の20% ((最高使用圧力 8.62MPa) × (供用前耐圧 1.25 倍) × (20%) = 2.155MPa)

図2 原子炉圧力容器のP-T線図(運転開始後60年時点, 炉心臨界時)



*1: 供用前の耐圧試験圧力の20% ((最高使用圧力 8.62MPa) × (供用前耐圧 1.25 倍) × (20%) = 2.155MPa)

*2: 耐圧・漏えい試験時に要求される温度に余裕を見込み設定した運用上の管理値

図3 原子炉圧力容器のP-T線図(運転開始後60年時点, 耐圧・漏えい試験時)

表 2 運転開始後 60 年時点における要求温度の計算例（炉心臨界時：ケース 4）

応力成分 $\sigma \ell$
 板厚 $t = \square$ mm
 欠陥深さ $a/t = 0.25$
 安全係数 $Sf = 2$ （一次応力の K_I に関して）
 関連温度 $RT_{NDT} = -13$ °C （60年時点の推定値）
 設計降伏点 $Sy = 302$ MPa at 302°C, SQV2A

荷重組合せ	内圧 P (MPa)	応力 (MPa) *1				補正係数		温度勾配 による 応力拡大係数 $K_{I,t}$ ($MPa\sqrt{m}$)	応力拡大 係数 K_I *4 ($MPa\sqrt{m}$)	計算 された $T - RT_{NDT}$ (°C)	要求 温度 T (°C)	要求温度 + 22°C マージン T + 22 (°C)
		σ_{m1}	σ_{b1}	σ_{m2}	σ_{b2}	Mm *2 (\sqrt{m})	Mb *3 (\sqrt{m})					
最高使用圧力												
死荷重+地震荷重												
Load Combination 1												
Load Combination 2												
Load Combination 3												
Load Combination 4												
Load Combination 5												
Load Combination 6												
Load Combination 7												
Load Combination 8												
Load Combination 9												
Load Combination 10												
Load Combination 11												
Load Combination 12												
Load Combination 13												
Load Combination 14												
Load Combination 15												
Load Combination 16												
Load Combination 17												

- *1: 内圧及び死荷重 + 地震荷重による応力
- *2: 膜応力による K_I 算出のための補正係数 (WRC Bulletin No.175 Appendix 3tにより算出)
- *3: 曲げ応力による K_I 算出のための補正係数 (JEAC 4206-2007 附属書F-3100(2)により算出)
- *4: 内圧及び死荷重+地震荷重による応力から求められた応力拡大係数に、 $K_{I,t}$ を加えたもの。

3. K_{Ic} 下限包絡曲線と K_I 曲線による評価

(1) K_{Ic} 下限包絡曲線

円筒胴（炉心領域部）の関連温度を考慮し、JEAC4206 付属書 A-3222 (7) 式より算出した要求温度に、JEAC4206 表 FB-4100-1 に規定されたマージン 22°C を考慮して K_{Ic} 下限包絡曲線をプロットする。なお、耐圧・漏えい試験時の場合は、マージン 22°C は考慮不要となる。

(2) 応力拡大係数 K_I

① K_I 曲線（炉心臨界時）

炉心臨界時の K_I 曲線を算出するにあたり、BWR においては起動、定格出力運転および停止時まで飽和圧力-温度線図に従うことから、飽和圧力-温度線図で示される圧力に対して、「2. 円筒胴（炉心領域部）の耐震安全性評価(1) ⑥a. 内圧による応力」と同様に応力拡大係数を求め、 K_I 曲線をプロットする。熱応力は、温度分布解析の結果から最大温度差による K_{IT} を一律に考慮しており、島根原子力発電所 2 号炉の原子炉冷却材温度について、 20°C 以上に維持することを定めていることから、 20°C 未満を運転時の温度管理範囲外とし、 20°C 以上の範囲を評価している。

② K_I 曲線（耐圧・漏えい試験時）

耐圧・漏えい試験時においては、円筒胴（炉心領域部）の最高使用圧力を耐圧・漏えい試験圧力（ MPa）に置き換え、「2. 円筒胴（炉心領域部）の耐震安全性評価(1) ⑥a. 内圧による応力」と同様に応力拡大係数を求め、JEAC4206-2007 により耐圧試験時の K_I をプロットする。

(3) 耐圧・漏えい試験時と炉心臨界時の差異

JEAC4206 付属書 A-3225 に記載のとおり、炉心臨界時の場合は応力拡大係数に安全率 2 を考慮するのに対し、耐圧・漏えい試験時の場合は安全率 1.5 となる。また、前述のとおり炉心臨界時の応力拡大係数の算出には最大温度差による K_{IT} を考慮し、要求温度にはマージン 22°C を考慮するが、耐圧・漏えい試験時の場合は K_{IT} およびマージンは考慮不要となる。

(1) ~ (3) を踏まえ算出した運転開始後 60 年時点の K_{Ic} 下限包絡曲線と K_I 曲線または耐圧・漏えい試験時圧力による K_I の関係を図 4 に示す。いずれも $K_{Ic} > K_I$ を満足することを確認した。

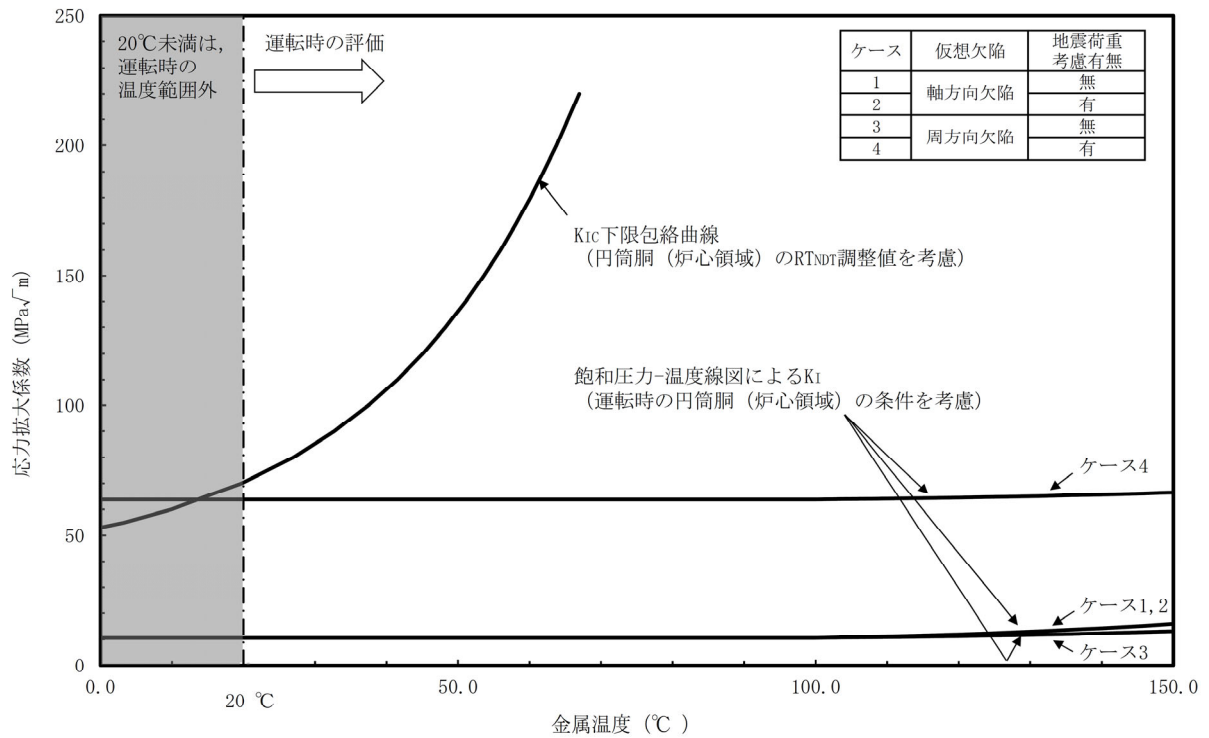
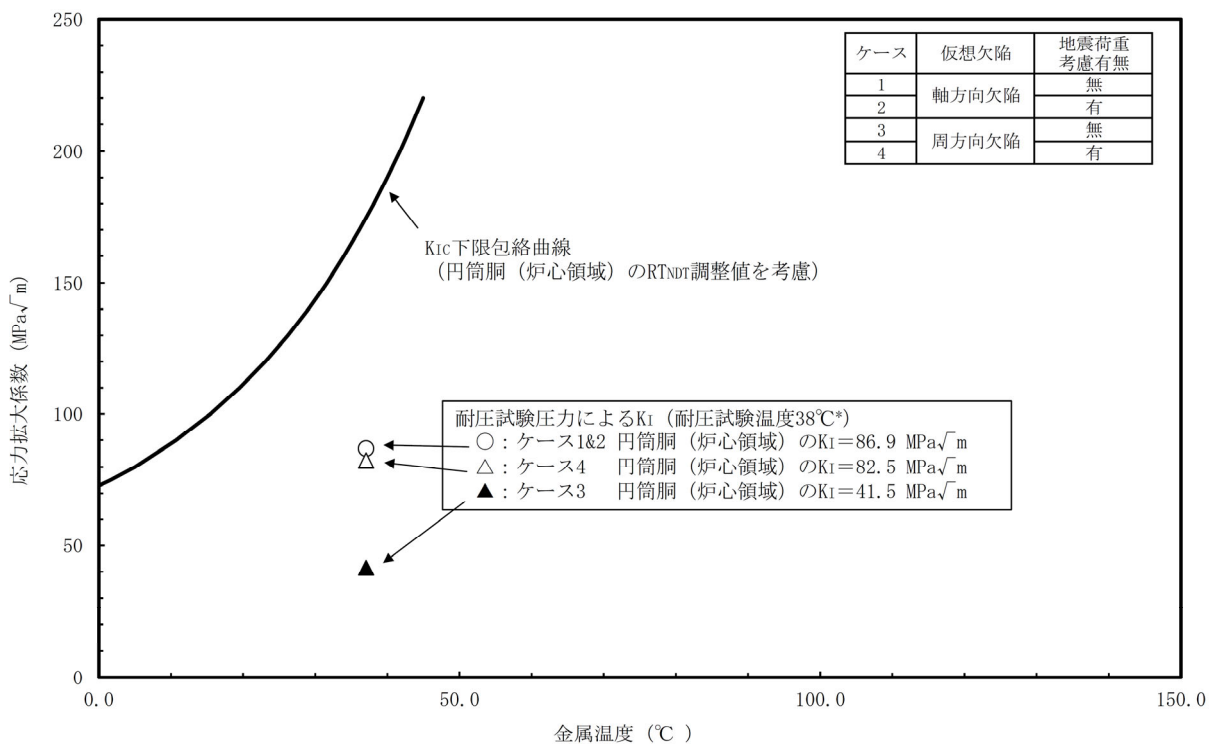


図 4 (1/2) 運転開始後 60 年時点の円筒胴 (炉心領域部) K_{IC} 下限包絡曲線と K_I 曲線 (炉心臨界時)



*: 耐圧・漏えい試験時に要求される温度に余裕を見込み設定した運用上の管理値

図 4 (2/2) 運転開始後 60 年時点の円筒胴 (炉心領域部) K_{IC} 下限包絡曲線と K_I 評価点 (耐圧・漏えい試験時)

4. 評価結果

脆性防止破壊の観点から、原子炉圧力容器の運転は、P-T 線図に示す制限曲線より高温側の条件で運転温度の管理が要求される。

図 2 に示すとおり、原子炉圧力容器の運転は飽和圧力-温度曲線に従い、また図 3 に示すとおり、耐圧・漏えい試験時の温度および圧力を制限曲線と比較した結果、中性子照射脆化に対する耐震性を考慮した運転制限に対し、十分な安全性が確保されていると判断する。

また、図 4 に示すとおり、運転開始後 60 年時点の K_{Ic} 下限包絡曲線と運転時の K_I 曲線または耐圧・漏えい試験時圧力による K_I がいずれも $K_{Ic} > K_I$ を満足することから、原子炉圧力容器の中性子照射脆化を考慮した耐震安全性評価の結果、問題ないことを確認した。

流れ加速型腐食を考慮した耐震安全性評価について

腐食（流れ加速型腐食）に対する耐震安全性評価については、以下の劣化事象について実施する。

1. 配管内面の腐食（流れ加速型腐食）（炭素鋼配管）
2. 伝熱管の腐食（流れ加速型腐食）および摩耗
3. 管支持板の腐食（流れ加速型腐食）
4. 胴の腐食（流れ加速型腐食）

1. 配管内面の腐食（流れ加速型腐食）に対する耐震安全性評価

(1) 評価対象配管の抽出について

配管の腐食（流れ加速型腐食）に対する耐震安全性評価は、「発電用原子炉設備規格 沸騰水型原子力発電所 配管減肉管理に関する技術規格（2006年度版）（JSME S NH1-2006）」（以下、「減肉規格（2006年度版）」という。）において、流れ加速型腐食の可能性が否定できないとされている FAC-2 および FAC-S の箇所を含むラインのうち、炭素鋼配管を評価対象ラインとして選定した。

減肉規格（2006年度版）において溶存酸素濃度を高く保つことで流れ加速型腐食による減肉を抑制している範囲と定義している FAC-1 の範囲については評価対象外とした。また、FAC-2 および FAC-S の範囲のうち、流れ加速型腐食に対して耐性を有する材料（ステンレス鋼、低合金鋼等）を使用している範囲についても評価対象外とした。

(2) 評価対象モデル数

評価対象として抽出され評価を実施した配管は合計 62 モデルであり、系統および耐震重要度毎のモデル数を表 1 に示す。

表1 配管内面の腐食（流れ加速型腐食）（炭素鋼配管）の評価対象モデル数

評価対象配管 (系統名)	耐震重要度	モデル数 ^{*1}
給水系	S	1
	B (Ss) ^{*2, *3}	1
	B	12
原子炉ベントリ系	S	2
原子炉隔離時冷却系	S	3
復水系	B (Ss) ^{*2}	2
	B	40
タービンラント蒸気系	B	3
残留熱除去系	S	3
補助蒸気系	B	1

*1：同一モデル内に複数の系統，耐震重要度が含まれる管があるため，モデル数は一部重複あり

*2：Sクラス設備または常設重大事故等対処設備への波及的影響を考慮して，基準地震動 Ss による評価を実施した

*3：溢水源としない B, C クラス設備に該当するため，基準地震動 Ss による評価を実施した

(3) 評価対象ラインおよび解析モデル

解析モデルは，三次元多質点系はりモデルとし，減肉量を考慮した寸法以外のモデル化の条件は，工事計画認可と同等とする。解析は，計算機コード「HISAP」を使用する。

また，計算機コードを用いた配管の耐震評価では，応力評価に加え，一次＋二次応力の許容応力超過部位に対する疲れ累積係数による評価もあわせて実施する。

(4) 耐震評価条件

耐震評価を行うにあたり使用する地震動は，設置変更許可を受けた基準地震動 Ss (Ss-D, Ss-F1, Ss-F2, Ss-N1, Ss-N2) および弾性設計用地震動 Sd (Sd-D, Sd-F1, Sd-F2, Sd-N1, Sd-N2, Sd-1) に基づく入力地震動を用いた時刻歴応答解析に基づき作成された設計用床応答スペクトル I を適用する。

なお，評価にあたっては対象モデルの重心位置の上階の設計用床応答スペクトルを適用する。

(5) 評価内容

配管の腐食（流れ加速型腐食）に対しては，超音波厚さ計による肉厚測定等を実施した上でその結果に基づき耐震管理厚さ^{*1}を管理基準として余寿命を管理し，配管の取替等を検討することとしている。

耐震安全性評価では，減肉規格（2006年度版）において流れ加速型腐食の発生の可能性が低いとされている FAC-1 管理範囲以外で，常時流れがあり減肉の想定される範囲については，減肉が想定される部位に耐震管理厚さまで減肉が生じたと想定して地震時の発生応力を評価した。

- *1：先行プラントは「耐圧上の必要最小厚さ」または「60年目の想定厚さ」を管理基準としているが、一部系統で流れ加速型腐食を考慮した耐震安全性評価が成立しないことから、「耐震管理厚さ」(=min(40年目の想定厚さ, 公称板厚の80%の厚さ))を定め、耐震管理厚さを考慮した配管板厚管理を実施している。
(耐圧上の必要厚さを耐震管理厚さが下回る場合、配管板厚は耐圧上の必要厚さ以上で管理する)

配管の流れ加速型腐食に対する耐震安全性評価は、原則として以下の手順で実施した。

a. 耐震管理厚さの決定

- ①実機点検結果に基づいて系統全体における肉厚管理測定箇所から、評価対象ラインの中の減肉想定範囲において流体条件が類似する箇所の実機測定データを整理して各評価箇所に保守的になるよう減肉率を設定する。
- ②①で設定した減肉率を用いて運転開始後40年時点までの一様な減肉を想定し、40年目の想定厚さを算出する。
- ③公称板厚の80%となる厚さと②で算出した40年目の想定厚さを比較し、小さい方を耐震管理厚さとする。

b. 耐震管理厚さを用いた耐震評価

- ①エルボ部、分岐部、レジューサ部等の偏流発生部およびその下流部の以下に示す減肉想定範囲(減肉規格(2006年度版)に規程されている測定長さ)に耐震管理厚さまで一様な減肉が生じたと想定して三次元多質点系はりモデルに反映
 - ・管の呼び径 125A 以下 : 300 mm
 - ・管の呼び径 125A を超えるもの : 500 mmただし、弁およびオリフィス下流部については以下とする(Dは配管口径を示す)。
 - ・弁下流部 : 1D の位置が上記を超える場合は 1D
 - ・オリフィス下流部 : 3D の位置が上記を超える場合は 3D
- ②評価対象ラインの全ての減肉想定範囲に対し①で選定した耐震管理厚さまで、全周一様な減肉を想定し、三次元多質点系はりモデルに反映
- ③評価対象ラインの耐震クラスに応じた地震力を用いて地震時の発生応力(一次応力)の評価を実施(振動試験結果を踏まえ設計評価用として安全側に設定した減衰定数を適用する。)
- ④耐震重要度 S クラスおよび B クラスのうち S_s 機能維持要求範囲の配管については、一次+二次応力の評価を実施し、許容応力を満足しなかった場合には疲れ累積係数による評価を実施

(6) 評価結果

耐震管理厚さまでの減肉を想定し、地震時に発生する応力または疲れ累積係数が許容値を下回ることから、耐震安全性に問題ないことを確認した。

評価対象ラインの概略図を図 1 に，全ラインの評価結果一覧および疲れ累積係数による評価結果を表 2，表 3 にそれぞれ示す。

また，評価対象ラインのうち，発生応力が許容応力を上回り疲れ累積係数が最大となった原子炉ベントドレン系配管を代表モデルとし，解析モデル図を図 2 に，疲れ累積係数の算出過程を補紙（1）に示す。

記号凡例

記号	内容
—— (太線)	FAC-2 の管
--- (太破線)	FAC-S の管
—— (細線)	FAC-1 の管
--- (破線)	減肉管理対象外の管
○ ○ - ○ - ○ ○	解析モデル名 (代表モデル)
○ ○ - ○ - ○ ○	解析モデル名 (代表モデル以外)
⊗	アンカ
C1	管クラス (管クラスがクラス 1 管である場合の例)
[S]	耐震重要度分類 (耐震重要度分類が S クラスである場合の例)

図 1 配管の腐食 (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 (1/14)

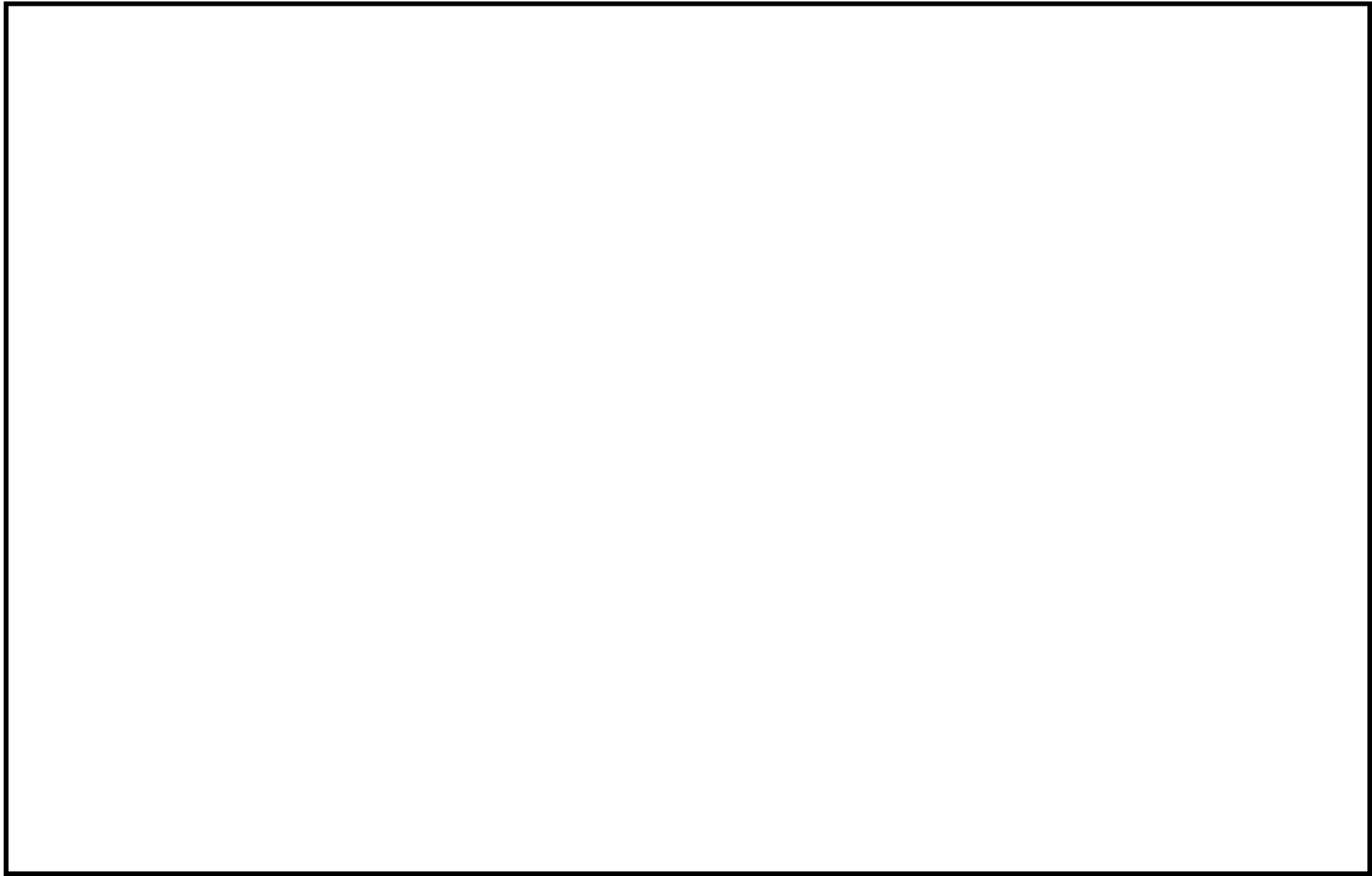


図1 配管の腐食（流れ加速型腐食）による減肉を考慮した耐震評価対象範囲(2/14)

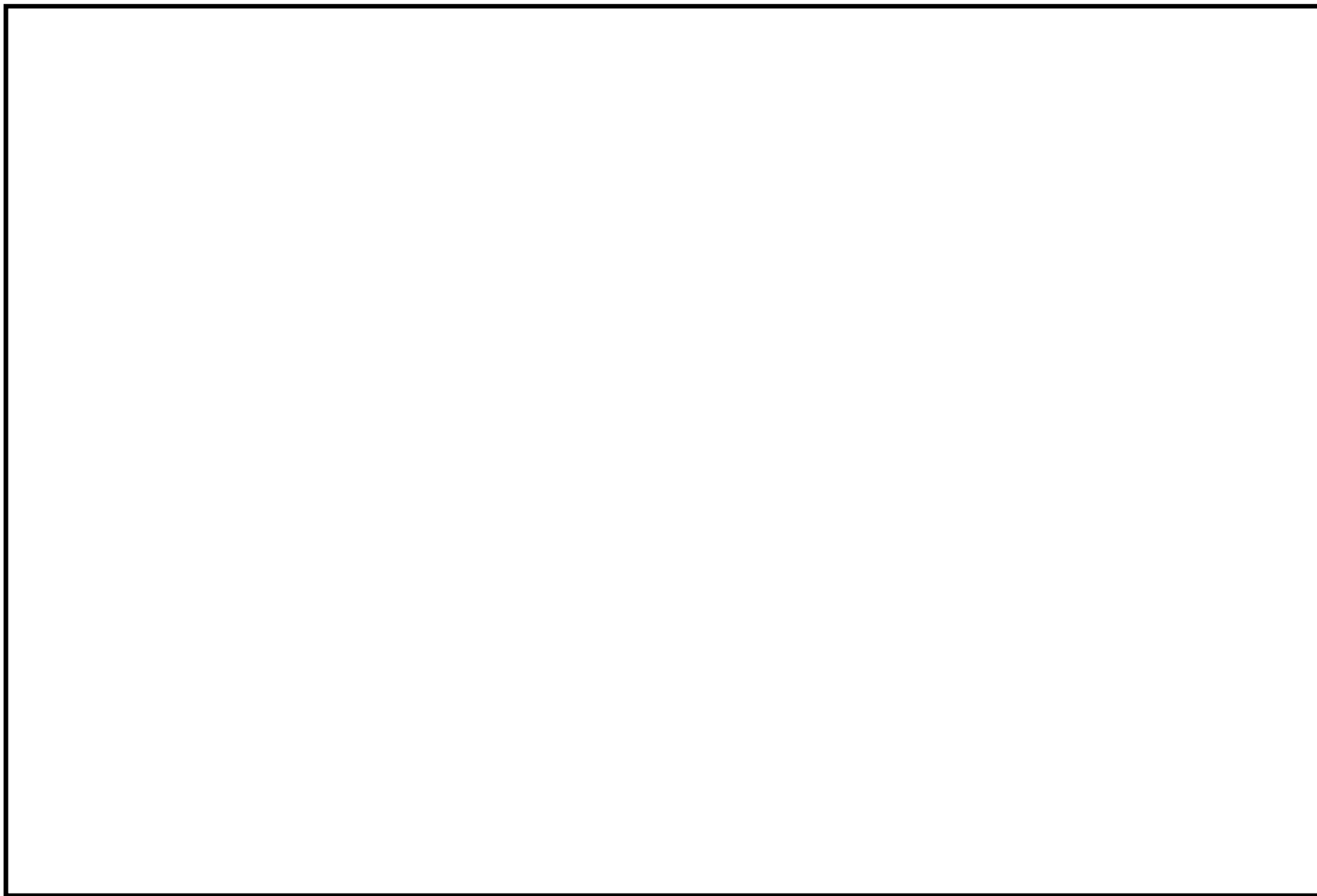


図1 配管の腐食（流れ加速型腐食）による減肉を考慮した耐震評価対象範囲 (3/14)

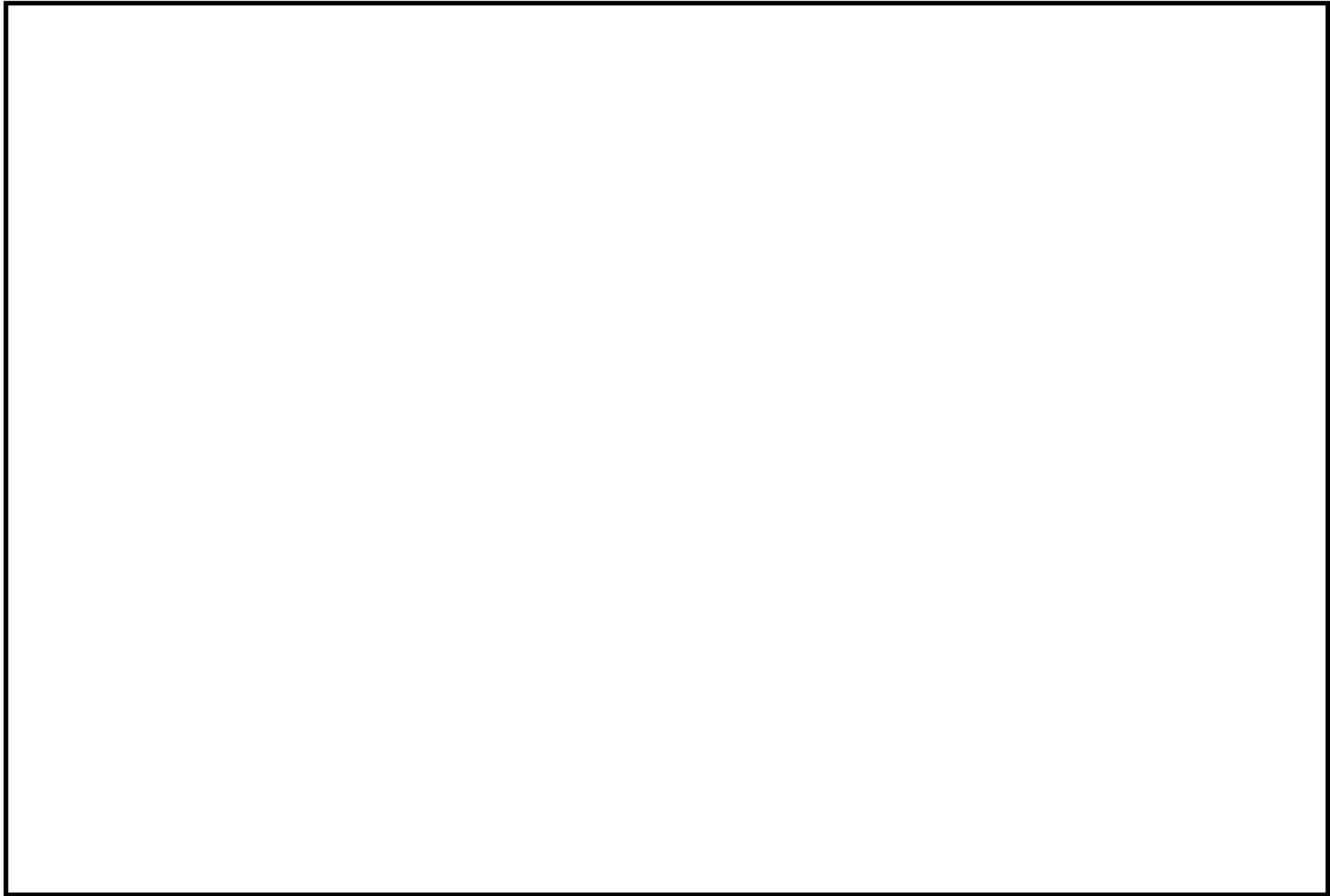


図1 配管の腐食（流れ加速型腐食）による減肉を考慮した耐震評価対象範囲(4/14)

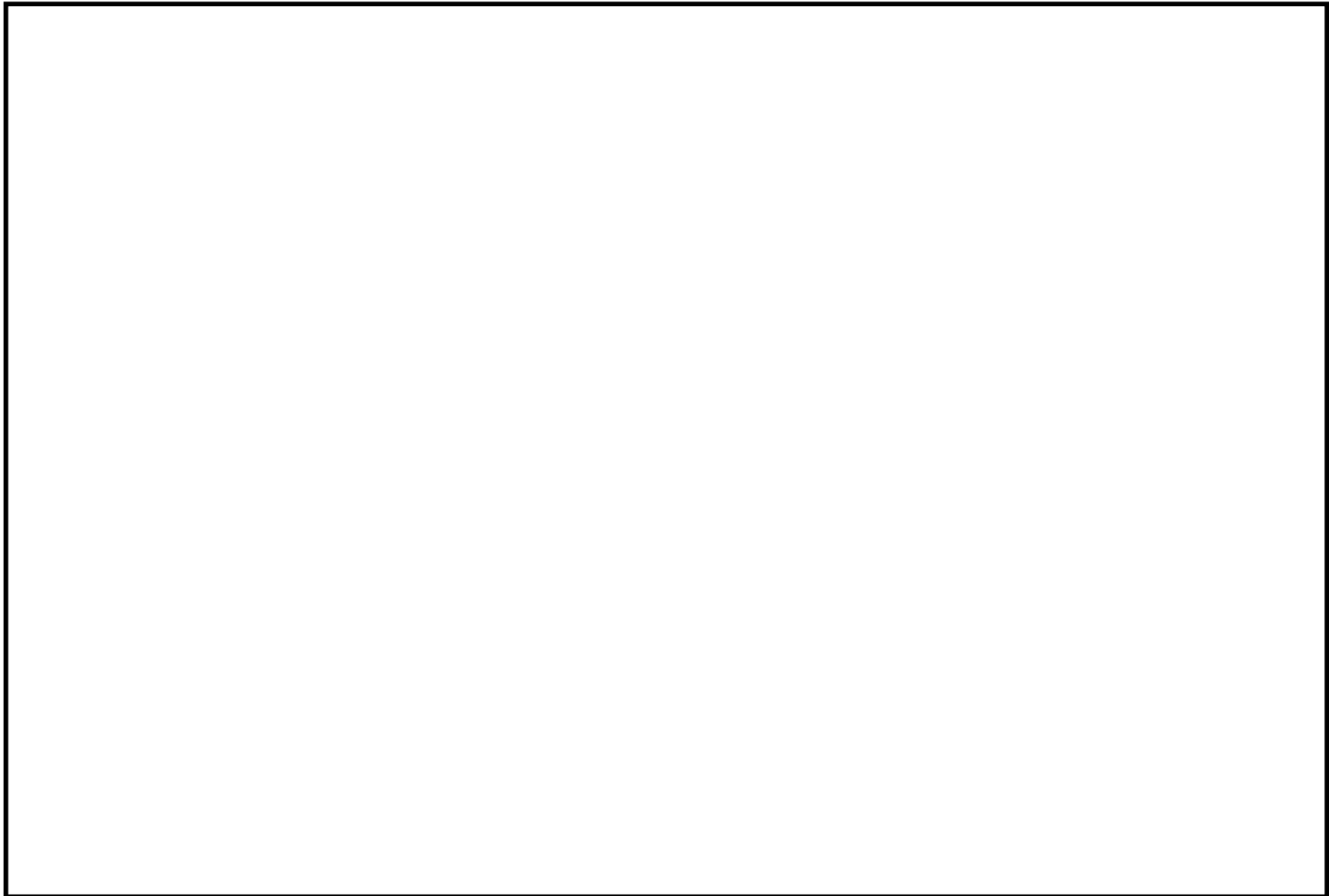


図1 配管の腐食（流れ加速型腐食）による減肉を考慮した耐震評価対象範囲(5/14)

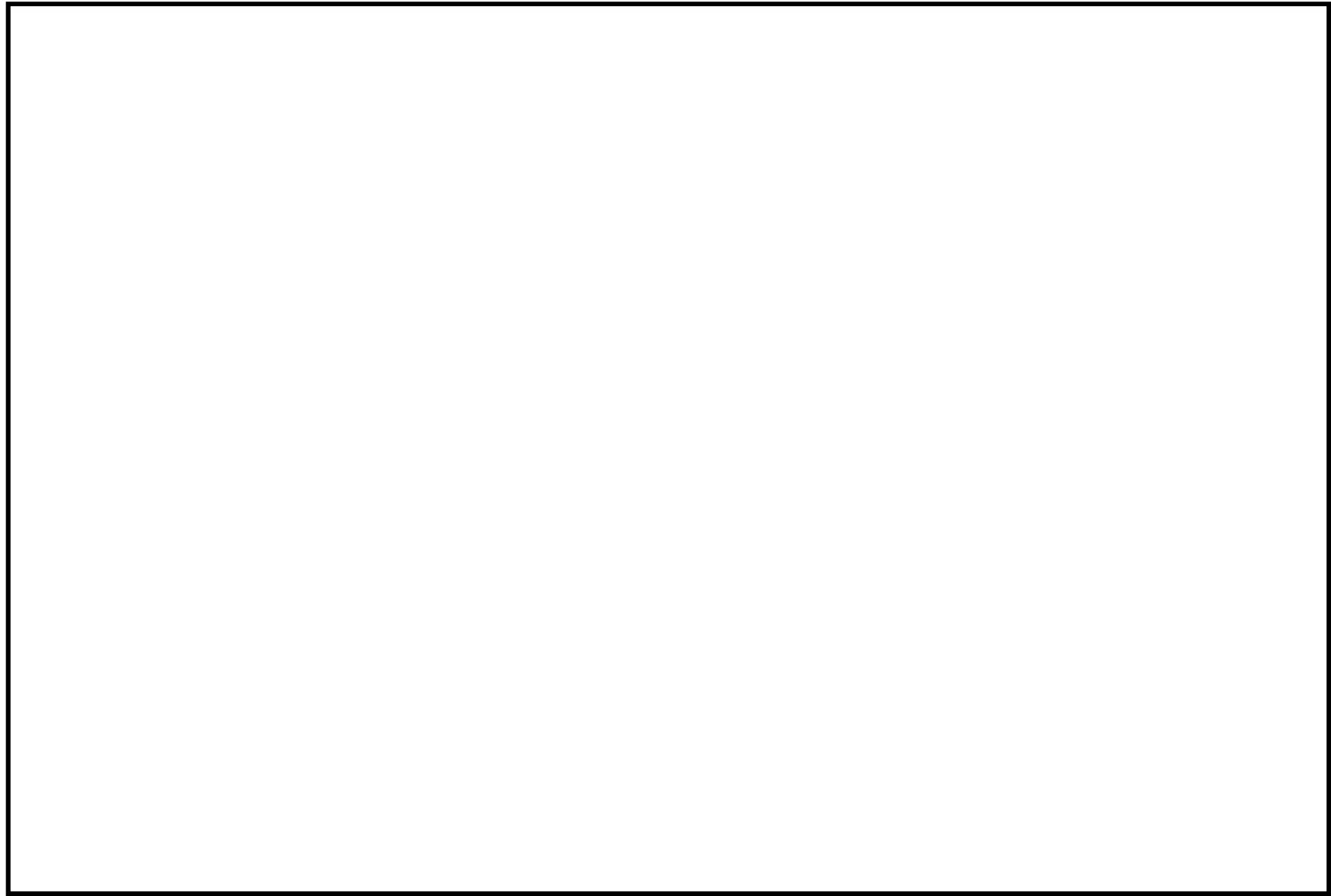


図1 配管の腐食（流れ加速型腐食）による減肉を考慮した耐震評価対象範囲(6/14)

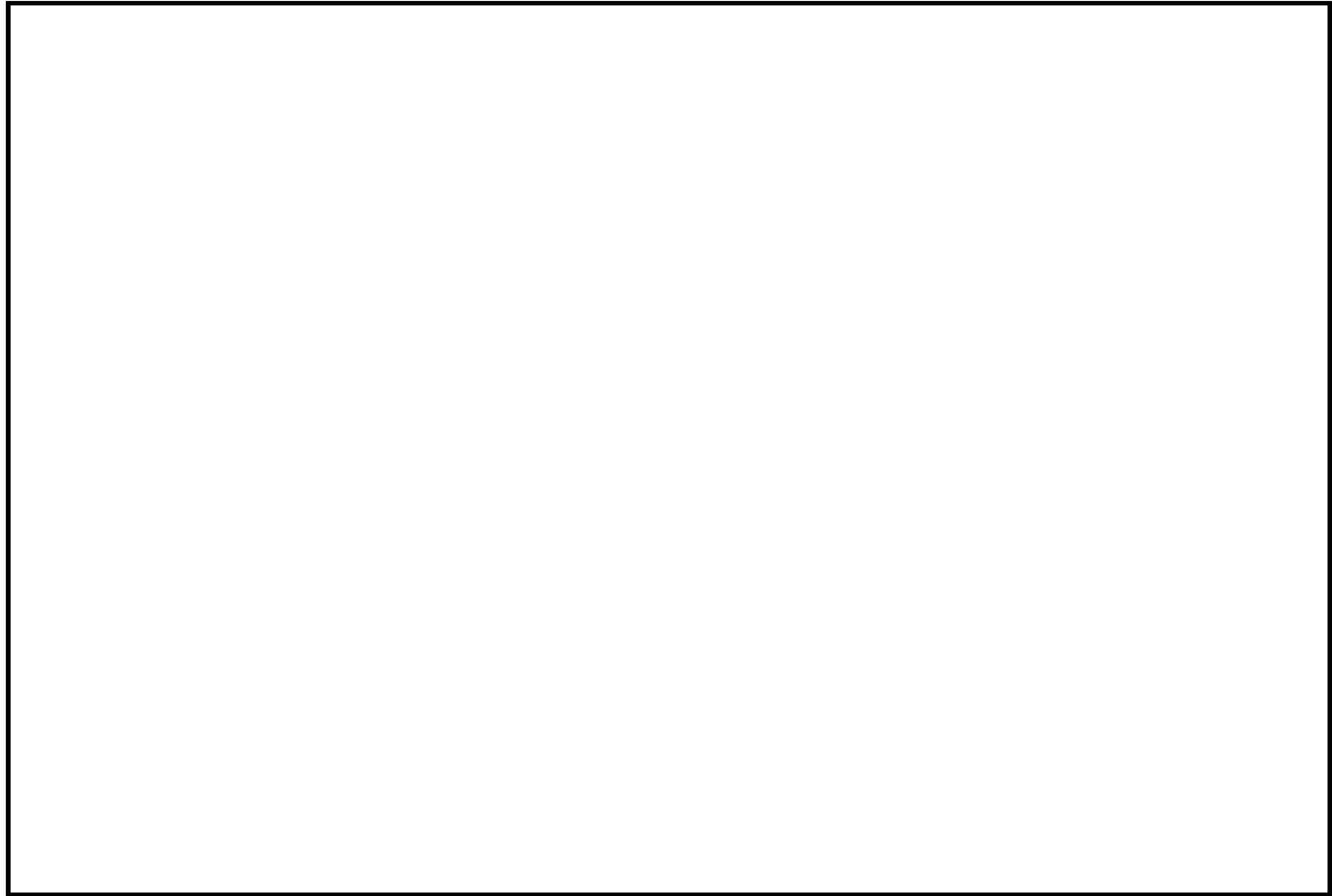


図1 配管の腐食（流れ加速型腐食）による減肉を考慮した耐震評価対象範囲(7/14)

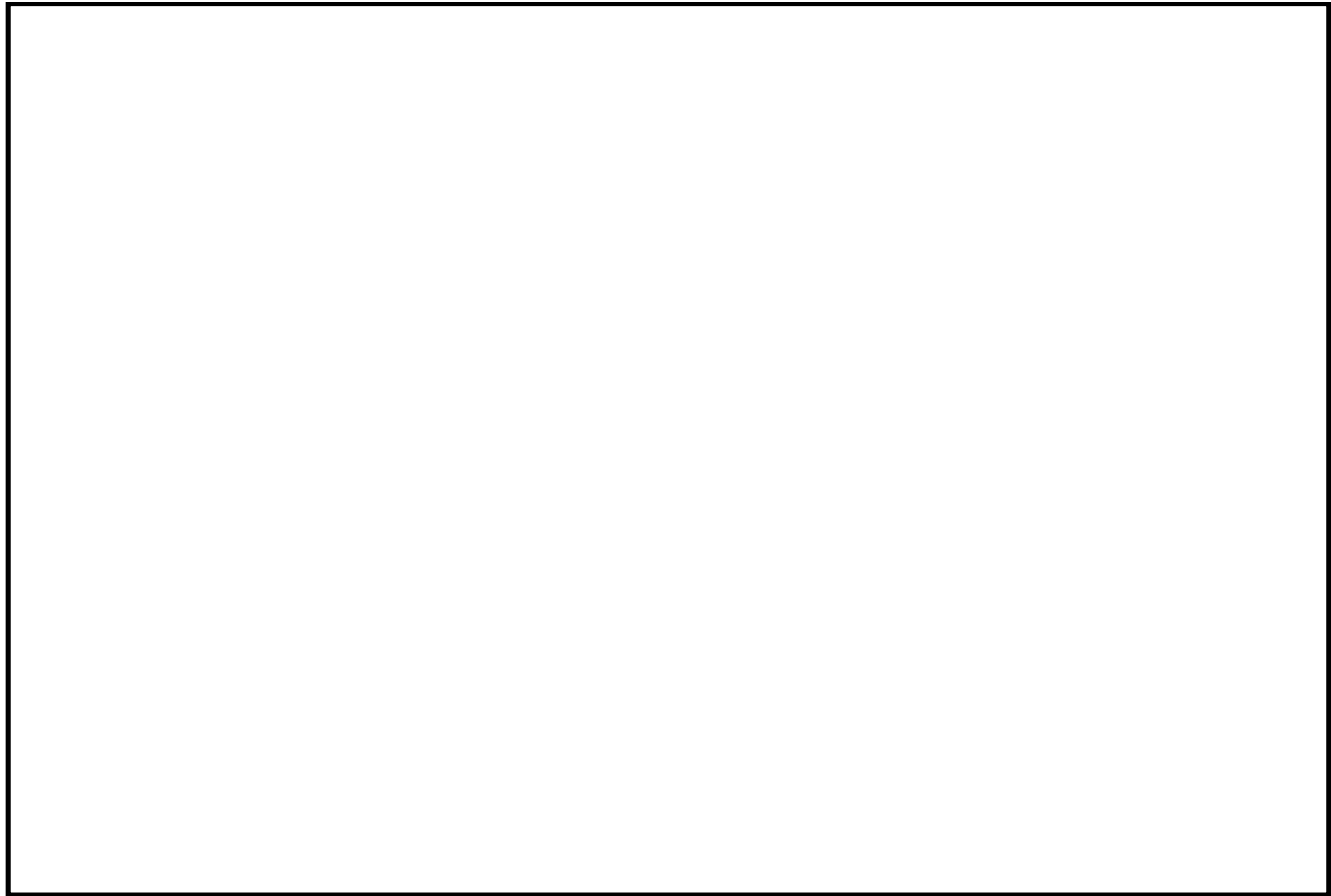


図1 配管の腐食（流れ加速型腐食）による減肉を考慮した耐震評価対象範囲(8/14)

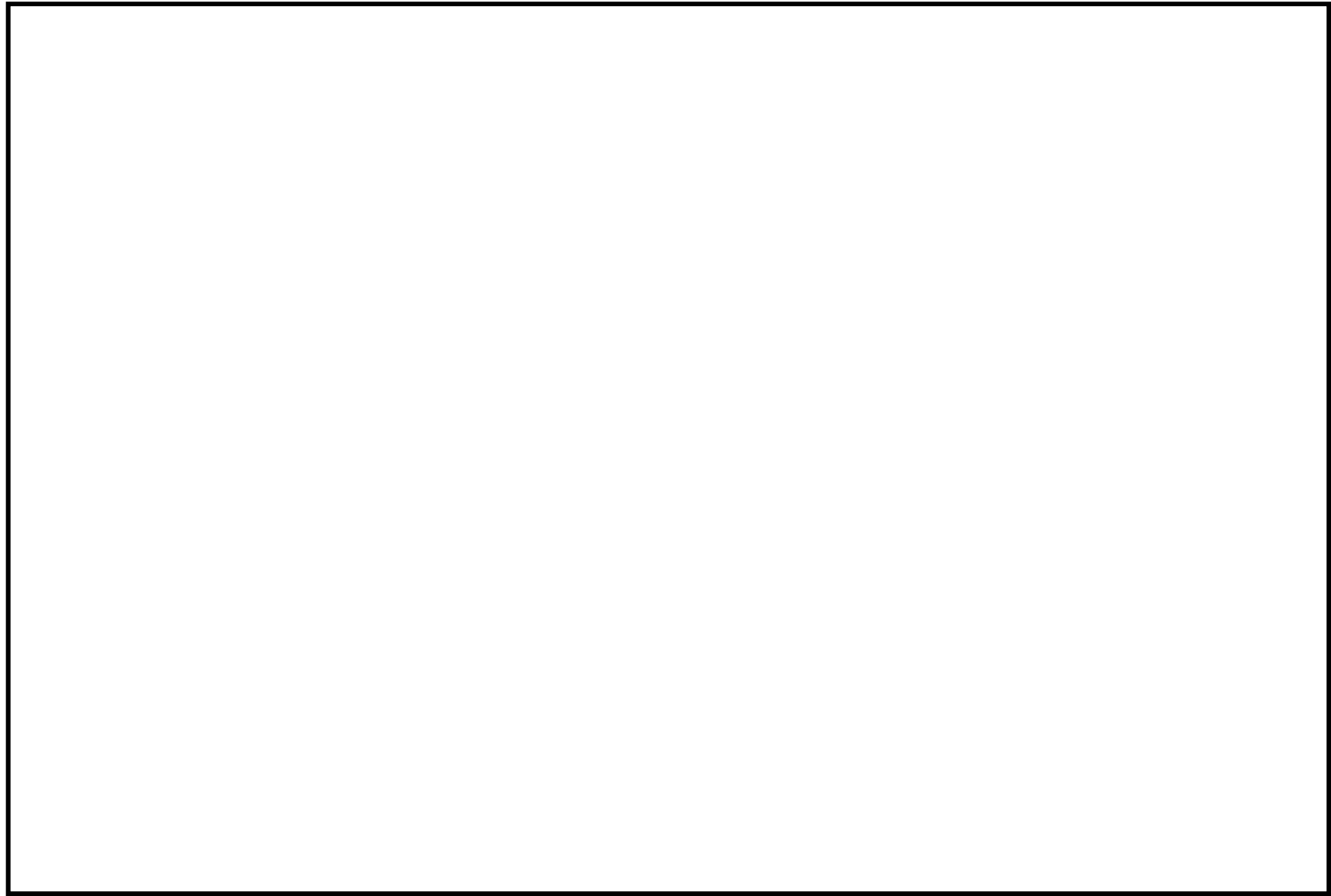


図1 配管の腐食（流れ加速型腐食）による減肉を考慮した耐震評価対象範囲(9/14)

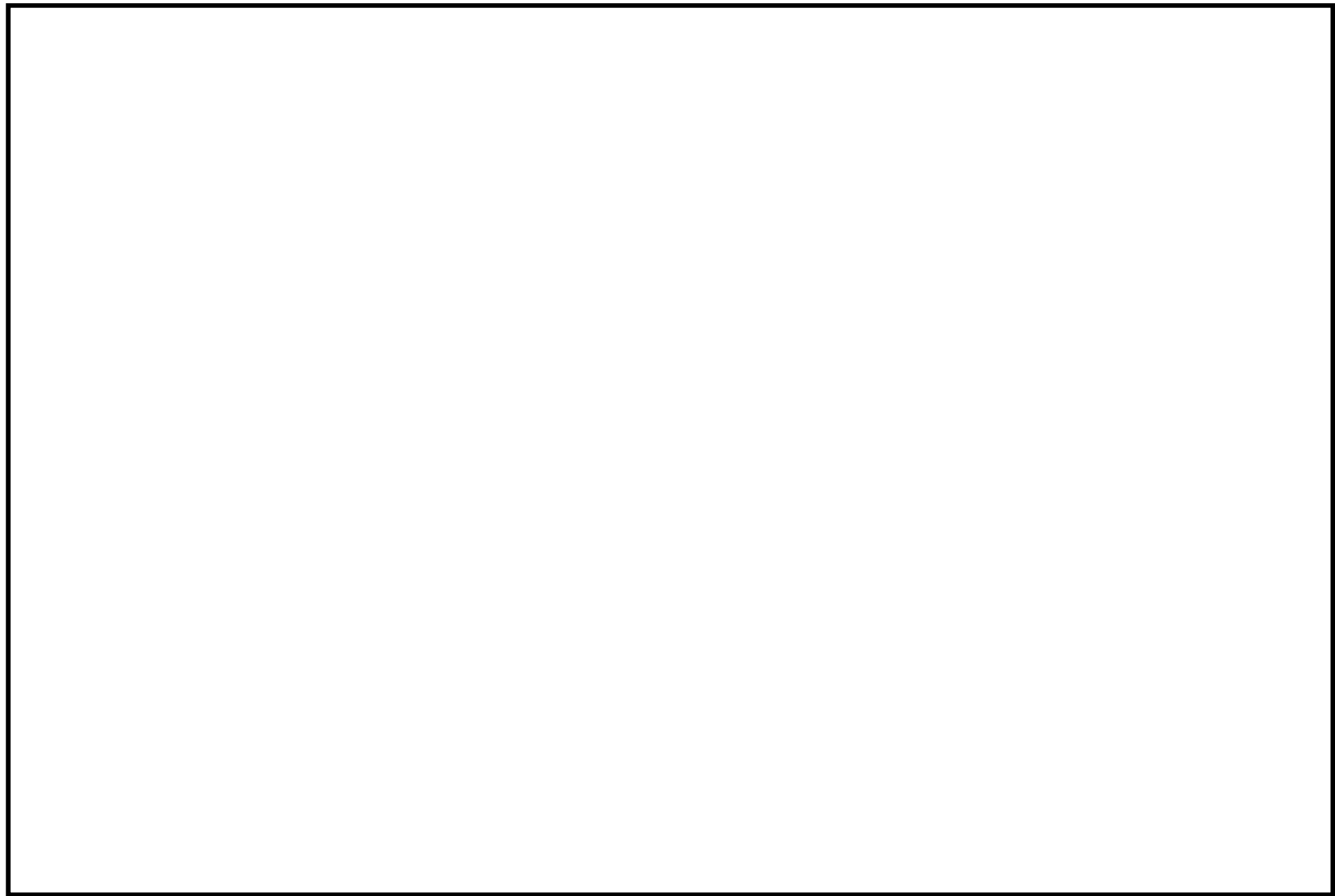


図1 配管の腐食（流れ加速型腐食）による減肉を考慮した耐震評価対象範囲(10/14)

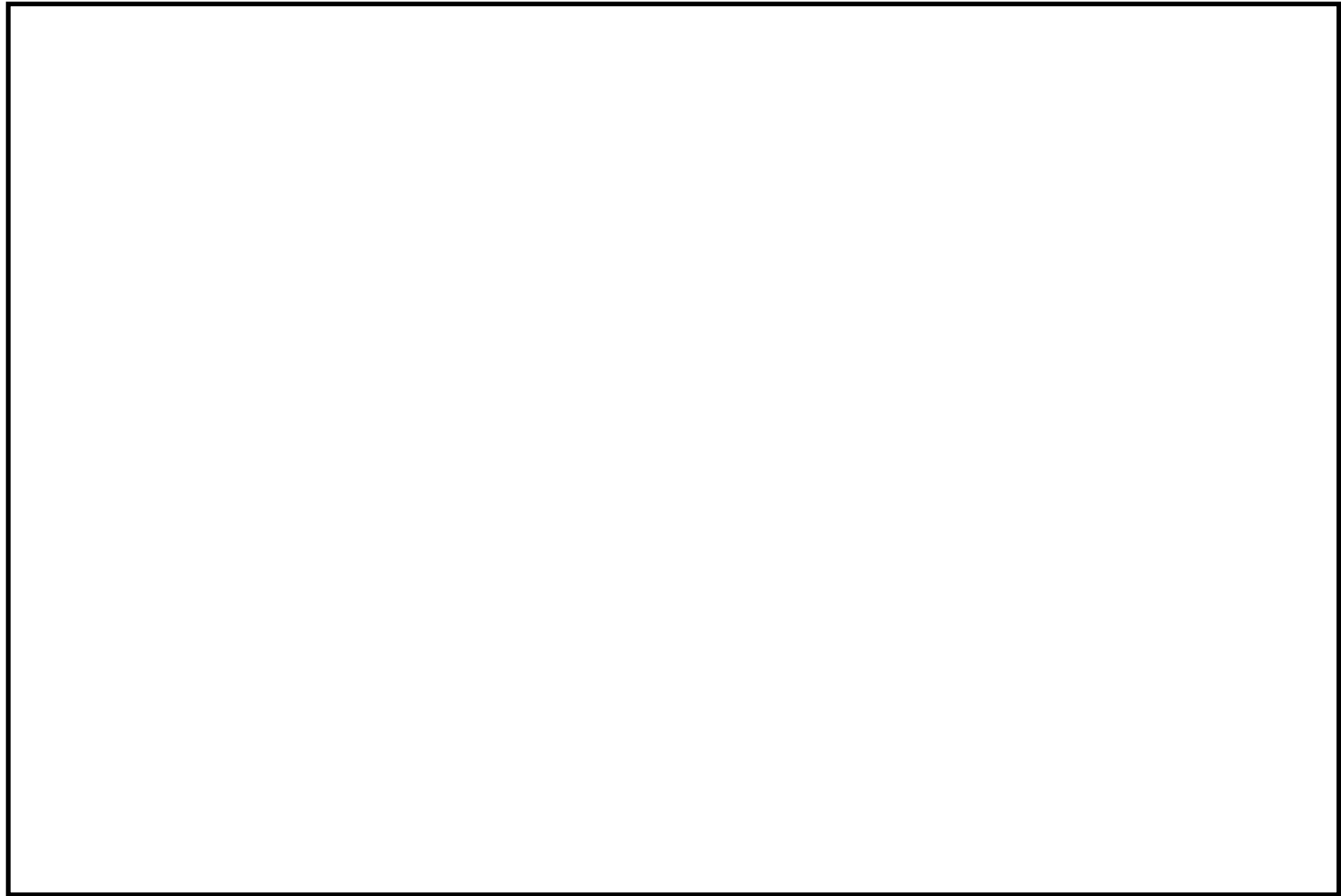


図1 配管の腐食（流れ加速型腐食）による減肉を考慮した耐震評価対象範囲(11/14)

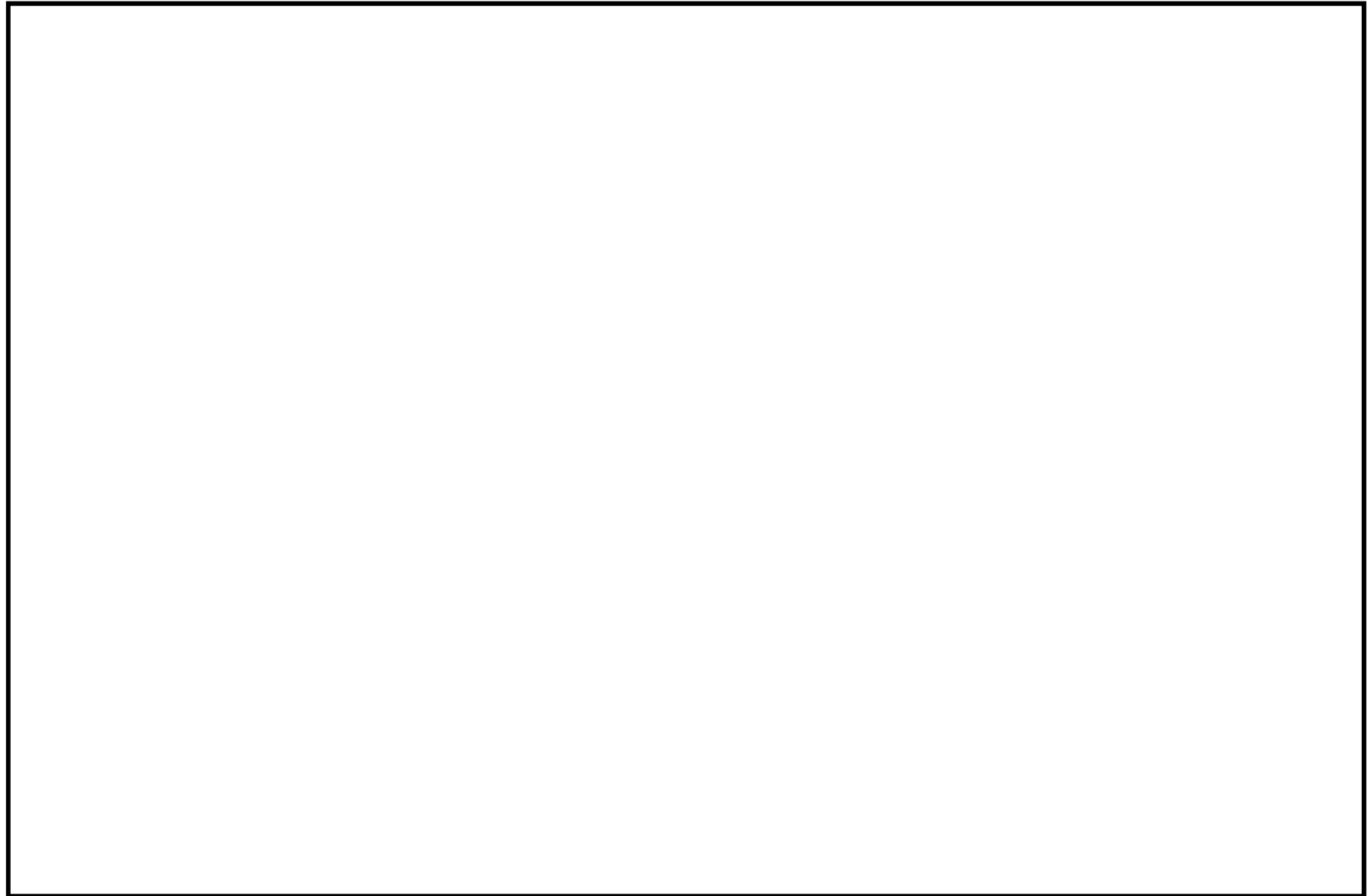


図1 配管の腐食（流れ加速型腐食）による減肉を考慮した耐震評価対象範囲(12/14)

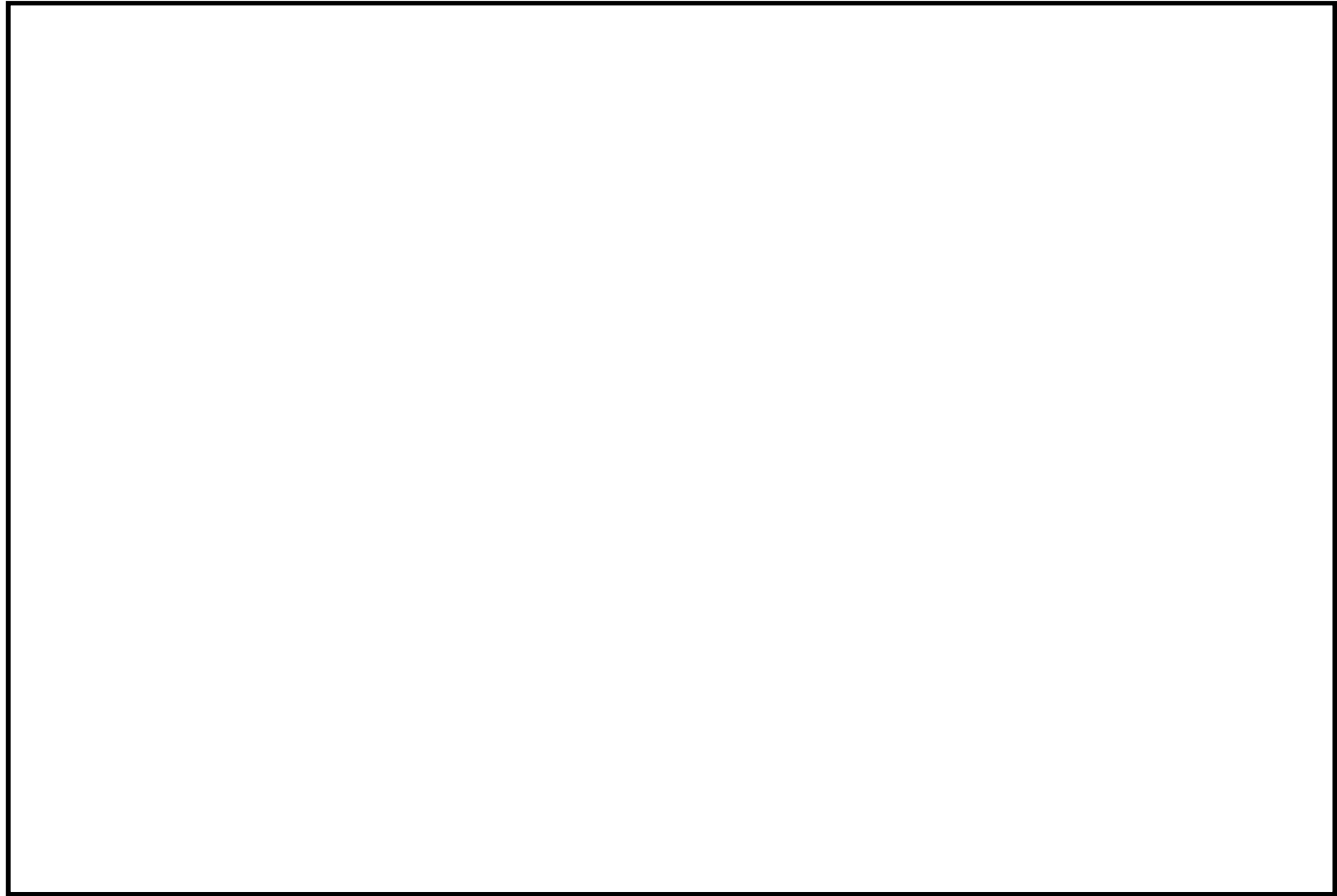


図1 配管の腐食（流れ加速型腐食）による減肉を考慮した耐震評価対象範囲(13/14)

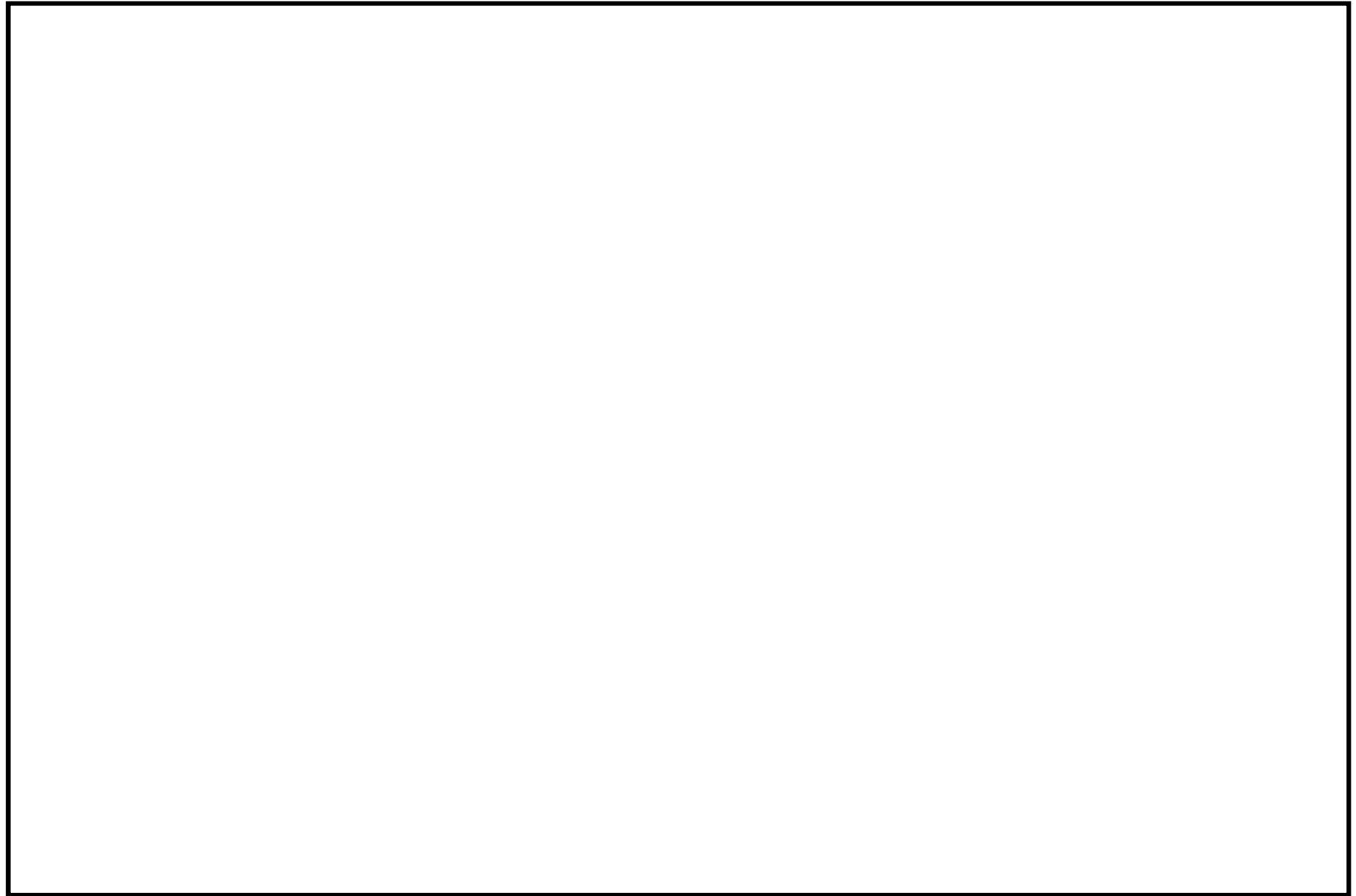


図1 配管の腐食（流れ加速型腐食）による減肉を考慮した耐震評価対象範囲(14/14)

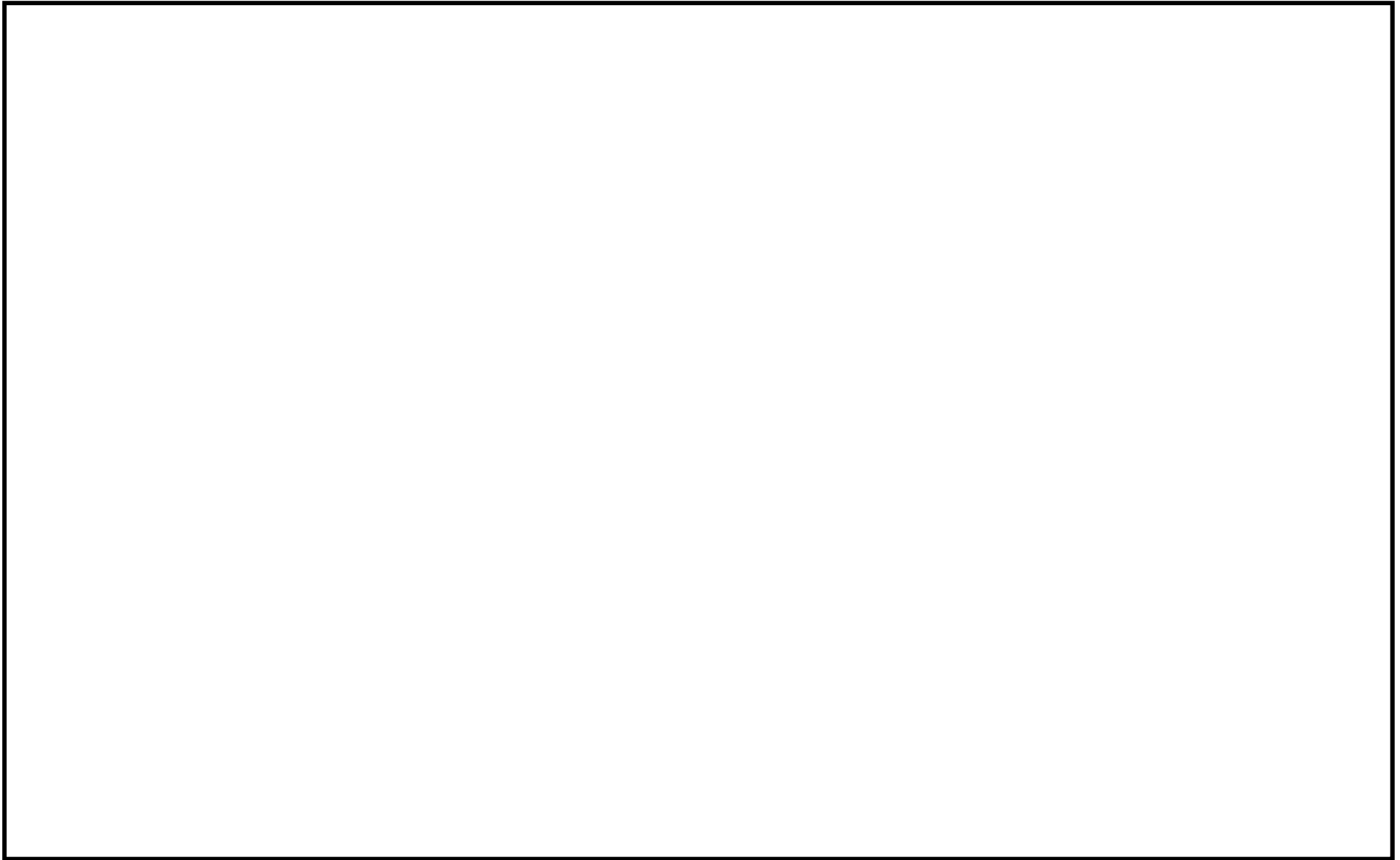


図2 代表モデル（原子炉ベントドレン系配管）の解析モデル図

表2 配管の腐食（流れ加速型腐食）に対する評価結果

系統	区分	耐震重要度	評価地震力	許容応力状態	応力種別	発生応力*1 (MPa)	許容応力*2 (MPa)
給水系	クラス2	S	Ss	IV _A S	一次応力	135	380
					一次+二次応力	156	418
			Sd	III _A S	一次応力	100	209
					一次+二次応力	87	418
	クラス3	B	Ss*4,5	IV _A S	一次応力	125	382
					一次+二次応力	139	458
			S _B	B _A S	一次応力	174	218
復水系	クラス3*3	B	Ss*4	IV _A S	一次応力	218	386
					一次+二次応力	311	464
			S _B	B _A S	一次応力	220	234
原子炉ベント ドレン系	クラス1	S	Ss	IV _A S	一次応力	166	364
					一次+二次応力	868	366
			Sd	III _A S	一次応力	107	274
					一次+二次応力	487	366
	クラス3	S	Ss	IV _A S	一次応力	108	363
					一次+二次応力	193	364
			Sd	III _A S	一次応力	64	182
					一次+二次応力	96	364
原子炉隔離時 冷却系	クラス1	S	Ss	IV _A S	一次応力	138	364
					一次+二次応力	505	366
			Sd	III _A S	一次応力	89	274
					一次+二次応力	263	366
	クラス2 クラス3	S	Ss	IV _A S	一次応力	136	363
					一次+二次応力	256	364
			Sd	III _A S	一次応力	102	182
					一次+二次応力	181	364
残留熱除去系	クラス1	S	Ss	IV _A S	一次応力	96	364
					一次+二次応力	609	366
			Sd	III _A S	一次応力	78	274
					一次+二次応力	364	366
	クラス3	S	Ss	IV _A S	一次応力	160	394
					一次+二次応力	865	374
			Sd	III _A S	一次応力	114	187
					一次+二次応力	520	374
タービンゲランド 蒸気系	クラス3*3	B	S _B	B _A S	一次応力	151	210
補助蒸気系	クラス3*3	B	S _B	B _A S	一次応力	119	182

*1：評価モデル内の最大発生応力を示す

*2：日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補版を含む））＜第I篇 軽水炉規格＞ JSME S NC1-2005/2007」付録材料図表Part5 表8, 表9より求まる値

*3：設計・建設規格区分としては基準外であるが、耐震評価上クラス3として扱った

*4：Sクラス設備または常設重大事故等対処設備への波及的影響を考慮して、基準地震動Ssによる評価を実施した

*5：溢水源としないB, Cクラス設備に該当するため、基準地震動Ssによる評価を実施した

表3 配管の腐食に対する評価結果（疲れ累積係数による評価結果）

系統	区分	耐震 重要度	評価 地震力	許容応力 状態	疲れ累積係数*1 (許容値：1を下回る)
原子炉ベントドレン系	クラス1	S	Ss	IV _A S	0.868
			Sd	III _A S	0.171
原子炉隔離時冷却系	クラス1	S	Ss	IV _A S	0.087
			Sd	III _A S	0.010
残留熱除去系	クラス1	S	Ss	IV _A S	0.260
			Sd	III _A S	0.025
	クラス3	S	Ss	IV _A S	0.474
			Sd	III _A S	0.073

*1：評価モデル内の1次+2次応力最大の疲れ累積係数

2. 伝熱管の腐食（流れ加速型腐食）に対する耐震安全性評価

(1) 評価対象部位の抽出について

伝熱管の腐食（流れ加速型腐食）に対する耐震安全性評価は、PLM 技術評価書対象機器のうち熱交換器の伝熱管内部流体による腐食（流れ加速型腐食）が想定される部位であって、現状保全によって管理される減肉を想定した場合に固有振動数および構造強度評価への影響が有意であると判断したものを評価対象とした結果、原子炉補機冷却系熱交換器の伝熱管を評価対象部位として選定した。

また、熱交換器の伝熱管については、管支持板との摩耗による減肉を想定した場合に固有振動数および構造強度評価への影響が有意であると判断したものを評価対象とした結果、気体廃棄物処理系排ガス予熱器の伝熱管を評価対象部位として選定した。

(2) 算出過程

① 原子炉補機冷却系熱交換器

原子炉補機冷却系熱交換器は S クラスであり、原子炉建物 EL. 15. 300 に設置されている。熱交換器の構造を踏まえ支持条件ごとに評価モデルを作成し、伝熱管厚さに対し管内面側から 50%減肉したものとして、JEAG4601 および機械工学便覧に定める式に基づき、固有振動数を求めた結果、いずれのモデルにおいても剛構造であることを確認した。

評価モデルと各モデルの固有振動数を表 4 に示す。

表 4 原子炉補機冷却系熱交換器の評価モデルと伝熱管腐食時の伝熱管の固有振動数

評価モデル		固有振動数 [Hz]
管板－管支持板	片側固定・他端支持 はりモデル	
管支持板－管支持板	両端支持 はりモデル	

a. 発生応力

原子炉補機冷却系熱交換器の伝熱管について、伝熱管厚さに対し管内面側から 50%減肉したものとして、JEAG4601 および機械工学便覧に定める式に基づき、地震時に発生する応力を求めた。発生応力の算出過程を補紙（2）に示す。

b. 許容応力

伝熱管の一次応力に対する許容応力は、使用材料により設計・建設規格 JSME S NC1-2005 付録材料図表 Part5 表 8, 9 より得られる S_y , S_u に基づき、JEAG4601 に規定されている横置円筒形容器の胴（容器）の許容応力を適用した。なお、許容応力は基準地震動 S_s については許容応力状態 $IV_A S$ 、弾性設計用地震動 S_d については許容応力状態 $III_A S$ に基づいた値とした。

② 気体廃棄物処理系排ガス予熱器

気体廃棄物処理系排ガス予熱器はBクラスであり、タービン建物EL. 12.500に設置されている。原子炉補機冷却系熱交換器と同様の考え方でモデルを作成し固有振動数を求めた結果、いずれのモデルにおいても剛構造であることを確認した。

評価モデルと各モデルの固有振動数を表5に示す。

表5 気体廃棄物処理系排ガス予熱器の評価モデルと伝熱管腐食時の伝熱管の固有振動数

評価モデル		固有振動数[Hz]
管板-管支持板	片側固定・他端支持 はりモデル	
管支持板-管支持板	両端支持 はりモデル	

a. 発生応力

発生応力は原子炉補機冷却系熱交換器と同様の手法で算出した。ただし、Bクラス機器であるため地震荷重は水平方向のみ考慮することから、補紙(2)に示す各応力成分の算出過程のうち、①a. (e)および(f)は対象外とした。

b. 許容応力

伝熱管の一次応力に対する許容応力は、使用材料により設計・建設規格 JSME S NC1-2005 付録材料図表 Part5 表8より求まる S_y に基づき、JEAG4601に規定されている横置円筒形容器の胴(容器)の許容応力を適用した。

(3) 評価結果

熱交換器伝熱管の腐食(流れ加速型腐食)を考慮した耐震安全性評価結果を表6に示す。評価の結果、発生応力は許容応力を下回り、耐震安全性に問題ないことを確認した。

表6 熱交換器の伝熱管の腐食(流れ加速型腐食)を考慮した耐震安全性評価結果

評価対象	区分	耐震重要度	評価地震力	許容応力状態	応力種別	発生応力(MPa)		許容応力*1
						管板~管支持板	管支持板~管支持板	
原子炉補機冷却系熱交換器伝熱管	クラス3	S, 重*3	Ss	IV _A S	一次応力	44	54	337
			Sd	III _A S		32	38	337
気体廃棄物処理系排ガス予熱器伝熱管	-*2	B	1.8Ci	B _A S	一次応力	38	38	139

*1: 設計・建設規格 JSME S NC1-2005 付録材料図表 Part5 表6, 表8および表9より求まる値

*2: 設計・建設規格にて定められる区分としては基準外であるが、耐震評価上クラス3として扱った

*3: 耐震重要度とは別に常設重大事故等対処設備の区分に応じた耐震設計が求められていることを示す

3. 管支持板の腐食（流れ加速型腐食）に対する耐震安全性評価

(1) 評価対象部位の抽出について

気体廃棄物処理系排ガス予熱器については、経年劣化事象として管支持板の腐食（流れ加速型腐食）が想定され、伝熱管支持間隔の拡大により、伝熱管の耐震安全性に影響を及ぼす可能性があるため、耐震安全性評価を実施した。

なお、管支持板の評価モデルは2.における排ガス予熱器と同様とし、「管板（固定端）から管支持板」、「管支持板から管支持板」までのそれぞれの伝熱管の管支持板について、腐食により管支持機能が1箇所喪失する場合を想定して評価を実施した。

(2) 算出過程

気体廃棄物処理系排ガス予熱器の耐震重要度分類等の条件は2.のとおりであり、各モデルで管支持機能の喪失による固有振動数を求めた結果、いずれのモデルにおいても剛構造であることを確認した。

評価モデルと各モデルの固有振動数を表7に示す。

表7 気体廃棄物処理系排ガス予熱器の評価モデルと管支持機能の喪失時の伝熱管の固有振動数

評価モデル		固有振動数[Hz]
管板－管支持板	片側固定・他端支持 はりモデル	
管支持板－管支持板	両端支持 はりモデル	

a. 発生応力

気体廃棄物処理系排ガス予熱器の伝熱管について、管支持板の腐食により1箇所の管支持機能を喪失したものとして、JEAG4601および機械工学便覧に定める式に基づき、地震時に発生する応力を求めた。発生応力の算出過程を補紙（3）に示す。

b. 許容応力

気体廃棄物処理系排ガス予熱器の伝熱管の一次応力に対する許容応力は、2.における同機器の許容応力と同様、JEAG4601に規定されている横置円筒形容器の胴（容器）の許容応力を適用した。

(3) 評価結果

気体廃棄物処理系排ガス予熱器の管支持板の腐食（流れ加速型腐食）による管支持機能の喪失を考慮した伝熱管の耐震安全性評価結果を表8に示す。評価の結果、発生応力は許容応力を下回り、耐震安全性に問題ないことを確認した。

表 8 排ガス予熱器の管支持板の腐食（流れ加速型腐食）を想定した
伝熱管の耐震安全性評価結果

評価対象	区分	耐震 重要度	評価 地震力	許容 応力 状態	応力 種別	発生応力 (MPa)		許容応力*1 (MPa)
						管板～ 管支持板	管支持板～ 管支持板	
気体廃棄物処理系 排ガス予熱器 伝熱管	—*2	B	1.8Ci	B _A S	一次 応力	19	19	139

*1：許容値は設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 および表 9 より求まる値

*2：設計・建設規格にて定められる区分としては基準外であるが、耐震評価上クラス 3 として扱った

4. 胴の腐食（流れ加速型腐食）に対する耐震安全性評価

(1) 評価対象機器の抽出について

胴の腐食（流れ加速型腐食）に対する耐震安全性評価は、PLM 技術評価書対象機器のうち熱交換器、容器等の胴部分に腐食（流れ加速型腐食）が想定される部位であって、現状保全によって管理される減肉を考慮した場合に固有振動数および構造強度評価への影響が有意であると判断したものを評価対象とした結果、原子炉浄化系再生熱交換器および気体廃棄物処理系排ガス予熱器の胴を評価対象部位として選定した。

(2) 算出過程

① 原子炉浄化系再生熱交換器

原子炉浄化系再生熱交換器は B クラスであり、原子炉建物 EL. 23. 800 に設置されている。熱交換器本体を 2 次元多質点系はりモデルとし、公称板厚から 1. 47mm の腐食量を想定して有限要素法で固有振動数および胴板と脚の付け根部に作用する荷重とモーメントを算出した。固有値解析結果を表 9 に示す。なお、評価に用いた推定腐食量の算出根拠を補紙（4）に示す。

表 9 原子炉浄化系再生熱交換器の胴の腐食時の固有値解析結果

支配モード		固有振動数 [Hz]
一次	水平	

a. 応力評価

原子炉浄化系再生熱交換器の胴の応力評価は、工認の耐震設計の基本方針「VI-2-1-14 機器・配管系の計算書作成の方法」のうち、「添付資料-4 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」と同様の手法にて許容応力および発生応力を算出した。

② 気体廃棄物処理系排ガス予熱器

気体廃棄物処理系排ガス予熱器は耐震重要度分類 B クラスであり、タービン建物 EL. 12. 500 に設置されている。熱交換器の形状が JEAG4601 に示されている横置円筒形容器であるため、公称板厚から 0. 58mm の腐食量を想定して JEAG の手法に基づき評価を実施し

た。固有振動数の算出結果を表 10 に示す。なお、評価に用いた推定腐食量の算出根拠を補紙（5）に示す。

表 10 気体廃棄物処理系排ガス予熱器の胴の腐食時の固有振動数

	固有振動数[Hz]
水平方向（長手方向）	
水平方向（横方向）	
鉛直方向	

a. 応力評価

気体廃棄物処理系排ガス予熱器の胴の応力評価は、工認の耐震設計の基本方針「VI-2-1-14 機器・配管系の計算書作成の方法」のうち、「添付資料-4 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」と同様の手法にて許容応力および発生応力を算出した。

(3) 評価結果

原子炉浄化系再生熱交換器および気体廃棄物処理系排ガス予熱器の胴の腐食（流れ加速型腐食）を考慮した耐震安全性評価結果を表 11 に示す。評価の結果、発生応力は許容応力を下回り、耐震安全性に問題ないことを確認した。

表 11 熱交換器の胴の腐食（流れ加速型腐食）を考慮した耐震安全性評価結果

評価対象	区分	耐震 重要度	評価 地震力	許容応 力状態	応力種別	発生応力 (MPa)	許容応力*1 (MPa)
原子炉浄化系 再生熱交換器	クラス3	B	1.8Ci	B _A S	一次一般膜応力	126	198
					一次応力	183	198
排ガス予熱器	—*2	B	1.8Ci	B _A S	一次一般膜応力	34	198
					一次応力	63	198

*1：日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補版を含む））＜第 I 篇 軽水炉規格＞ JSME S NC1-2005/2007」付録材料図表Part5 表8, 表9より求まる値

*2：日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補版を含む））＜第 I 篇 軽水炉規格＞ JSME S NC1-2005/2007」にて定められる区分としては基準外であるが、耐震評価上クラス3として扱った

原子炉ベントドレン系配管の耐震管理厚さにおける疲れ累積係数の算出過程

1. 評価仕様

原子炉ベントドレン配管はクラス1管に該当することから、耐震安全性評価における疲れ累積係数については、JEAG4601-1987 6.3.3項 管の許容応力に基づき、地震動のみによる疲れ累積係数に通常運転時における疲れ累積係数を加えたものを用いる。

なお、疲れ累積係数の算出には、これまでの測定データに基づき想定した40年時点の厚さと、公称板厚の80%の厚さのいずれか小さい方の厚さ（以下「耐震管理厚さ」という。）による一様減肉を仮定した評価モデルを用いて算出する。

疲れ累積係数の算出に用いる配管仕様を表1に示す。

表1 代表モデル（原子炉ベントドレン系配管）の配管仕様

項目	単位	評価対象配管	
		原子炉ベントドレン系配管	
		評価点 20	
		主管	分岐管
配管口径 D_0	Mm	60.5	34.0
配管板厚 t	Mm	<input type="text" value="8.7"/> (8.7)*1	<input type="text" value="6.4"/> (6.4)*1
材質	—	STS410	
最高使用圧力	MPa	8.62	
最高使用温度	℃	302	
設計応力強さ (S_m)	MPa	122*2	

*1：（ ）内の数値は減肉前の公称板厚を示す。

*2：設計・建設規格 JSME S NC1-2005 付録材料図表 Part5 表1 より求まる値

2. 算出過程

代表モデルである原子炉ベントドレン系配管の耐震管理厚さにおける疲れ累積係数の算出過程を以下に示す。

なお、ここでは疲れ累積係数の算出ケースのうち、疲れ累積係数が最も大きい基準地震動 S_s による算出過程を示す。

(1) 諸元

算出に用いた諸元を表 2 に示す。

表 2 代表モデル（原子炉ベントドレン系配管）の諸元

記号	諸元*1	単位	説明
JEAG4601-1984 許容応力編 2.2.1 項 第 1 種管の許容応力の解説より			
Z _r		mm ³	主管の断面係数
Z _b		mm ³	分岐管の断面係数
C _{2r}		—	主管の応力係数
K _{2r}		—	主管の応力係数
C _{2b}		—	分岐管の応力係数
K _{2b}		—	分岐管の応力係数
Sn	—	MPa	一次＋二次応力変動値
Sp	—	MPa	ピーク応力強さ
S1	—	MPa	繰返しピーク応力強さ
M _{rs}		N・mm	主管の地震のみによる慣性力と相対変位により生じるモーメントの全振幅
M _{bs}		N・mm	分岐管の地震のみによる慣性力と相対変位により生じるモーメントの全振幅
K	—	—	Sp/Sn
Ke	—	—	割増し係数
設計・建設規格 第 4 章 添付 4-2 より			
S1'	—	MPa	繰返しピーク応力強さ（縦弾性係数補正後）
E	184760	MPa	材料の使用温度における縦弾性係数
Sa	—	MPa	任意の点の繰返しピーク応力強さ
Na	—	—	Sa に対応する許容繰返し回数
S ₁	—	MPa	（設計・建設規格 表 添付 4-2-1）中の Sa より低く、かつ、最も近い繰返しピーク応力強さ
S ₂	—	MPa	（設計・建設規格 表 添付 4-2-1）中の Sa より高く、かつ、最も近い繰返しピーク応力強さ
N ₁	—	—	S ₁ に対応する許容繰返し回数
N ₂	—	—	S ₂ に対応する許容繰返し回数
U _{Sd}	—	—	弾性設計用地震動 Sd による疲れ累積係数
U _{Ss}	—	—	基準地震動 Ss による疲れ累積係数

*1：諸元欄の“—”は計算結果を参照

(2) 基準地震動 S_s による疲れ累積係数の算出過程

① 一次+二次応力を算出する。

「JEAG4601-1984 許容応力編 2.2.1 項 第1種管の許容応力の解説(6)a. 管台及び突合せ溶接式ティー」より

$$S_n = \frac{C_{2b} \cdot M_{bs}}{Z_b} + \frac{C_{2r} \cdot M_{rs}}{Z_r}$$

$$= \boxed{}$$

$$= 867.21 \approx 868 \text{ MPa}$$

② ピーク応力強さを算出する。

「JEAG4601-1984 許容応力編 2.2.1 項 第1種管の許容応力の解説(8)a. 管台及び突合せ溶接式ティー」より

$$S_p = \frac{K_{2b} \cdot C_{2b} \cdot M_{bs}}{Z_b} + \frac{K_{2r} \cdot C_{2r} \cdot M_{rs}}{Z_r}$$

$$= \boxed{}$$

$$= 867.21 \approx 868 \text{ MPa}$$

③ 繰返しピーク応力強さを算出する。

「JEAG4601-1984 許容応力編 2.2.1 項 第1種管の許容応力の解説(7)」より

$$S_l = \frac{K_e \cdot S_p}{2} \dots \dots \dots A$$

A 式の K_e を、設計・建設規格 PVB-3315 簡易弾塑性評価方法 (2)より算出する。
(PVB-87)式より、

$$K = \frac{S_p}{S_n} = \frac{868}{868} = 1.0$$

ここで、表 PVB-3315-1 より、炭素鋼の q , A_0 , B_0 は以下のとおり。

材料の種類	炭素鋼
q	3.1
A_0	0.66
B_0	2.59

よって、 $K < B_0$ となる。

$K < B_0$ のとき、PVB-3315(2) a. より K_e を求める式を決定する。

$$\frac{S_n}{3S_m} = \frac{868}{3 \times 122} = 2.371 \dots \dots \dots B$$

$$\frac{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1\right) - \sqrt{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1\right)^2 - 4A_0(q - 1)}}{2A_0}$$

$$= \frac{\left(3.1 + \frac{0.66}{1.0} - 1\right) - \sqrt{\left(3.1 + \frac{0.66}{1.0} - 1\right)^2 - 4 \times 0.66(3.1 - 1)}}{2 \times 0.66}$$

$$= 1.0 \dots \dots \dots C$$

B式 ≧ C式より、(PVB-84)式により Ke を求める。

$$Ke = Ke' = 1 + (q - 1) \left(1 - \frac{3Sm}{Sn}\right)$$

$$= 1 + (3.1 - 1) \left(1 - \frac{366}{868}\right)$$

$$= 2.214 \approx 2.3$$

よって、A式より、

$$Sl = \frac{Ke \cdot Sp}{2}$$

$$= \frac{2.3 \times 868}{2}$$

$$= 998.2 \approx 999 \text{ MPa (縦弾性係数補正前)}$$

④ 設計疲労線図より許容繰返し回数を算出する。

設計・建設規格 第4章 添付4-2 3.1より、使用材料(STS410)はSu<550MPaであるため、同(2)に基づき縦弾性係数により補正した繰返しピーク応力強さS1'の値を用いて、設計・建設規格表 添付4-2-1の設計疲労線図(デジタル値)および(設計・建設規格 添付4-2-1)式から、S1' = Saとして許容繰返し回数を求める。

E = 184760 MPa (使用温度における値)より、

$$S1' = \frac{2.07 \times 10^5}{E} \times Sl$$

$$= \frac{2.07 \times 10^5}{184760} \times 999$$

$$= 1119.252003 \approx 1119.252 \text{ MPa (縦弾性係数補正後)}$$

よって、設計・建設規格表 添付4-2-1より、S1' = SaにおけるS1, S2, N1, N2は以下のとおり。

S ₁ (MPa)	1069
S ₂ (MPa)	1413
N ₁	200
N ₂	100

$$\begin{aligned}
N_a &= N_2 \times \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^{\frac{\log(S_2/S_a)}{\log(S_2/S_1)}} \\
&= 100 \times \left(\frac{200}{100} \right)^{\frac{\log(1413/1119.252)}{\log(1413/1069)}} \\
&= 178.428 \approx 178
\end{aligned}$$

⑤ 疲れ累積係数を算出する。

工事計画認可において、基準地震動 S_s に対して一律に設定する等価繰返し回数として設定した 150 回に対して疲れ累積係数 (U_{ss}) を求める。

$$\begin{aligned}
U_{ss} &= \frac{\text{等価繰返し回数}}{\text{許容繰返し回数}} = \frac{150}{178} \\
&= 0.84269 \approx 0.8427
\end{aligned}$$

(3) 評価結果

原子炉ベントドレン系配管の耐震管理厚さにおける疲れ累積係数を表 3 に示す。

評価の結果、疲れ累積係数は許容値 1 を下回ることから、耐震安全性評価上問題ない。

表 3 原子炉ベントドレン系配管の耐震管理厚さにおける疲れ累積係数

種別	通常運転時の 疲れ累積係数	地震動による 疲れ累積係数	合計	許容値
U_{sd}	0.0253	0.1457 ^{*1}	0.1710	1 を下回る
U_{ss}	0.0253	0.8427 ^{*2}	0.8680	

*1：弾性設計用地震動 S_d による疲れ累積係数の算出に用いる等価繰返し回数は、一律に設定する等価繰返し回数として設定した 300 回を適用

*2：基準地震動 S_s による疲れ累積係数の算出に用いる等価繰返し回数は、一律に設定する等価繰返し回数として設定した 150 回を適用

熱交換器伝熱管の腐食（流れ加速型腐食）に対する発生応力の算出根拠

1. 評価仕様

熱交換器伝熱管に対して内面から 50%の減肉を想定し，地震時の発生応力が許容応力を下回ることを確認する。

2. 算出過程

(1) 諸元

熱交換器の伝熱管について，算出に用いた各記号の説明および熱交換器の仕様を表 1, 表 2 にそれぞれ示す。

なお，本文 2. (2)②に記載のとおり，気体廃棄物処理系排ガス予熱器の算出過程は原子炉補機冷却系熱交換器と同様であるため，表 2 に機器の仕様のみ記載し，算出過程は原子炉補機冷却系熱交換器のみ記載する。

表 1 計算に使用する記号の説明 (1/3)

記号	記号の説明	単位
A_{stbc}	減肉を考慮した場合の伝熱管のせん断断面積	mm ²
A_{tbco}	減肉を考慮した場合の伝熱管断面積	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_m	外部流体付加質量係数	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_i	伝熱管内径	mm
D_{ico}	減肉を考慮した場合の伝熱管内径	mm
D_o	伝熱管外径	mm
E_s	伝熱管の縦弾性係数	MPa
f_{anc}	管板—管支持板間における伝熱管の固有振動数	Hz
f_{hoc}	管支持板—管支持板間における伝熱管の固有振動数	Hz
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
I_{tbc}	減肉を考慮した場合の伝熱管の断面二次モーメント	mm ⁴
L_{an}	管板—管支持板間の長さ	mm
L_{ho}	管支持板—管支持板間の長さ	mm
m_{ec}	減肉を考慮した場合の伝熱管相当質量	kg/m
m_{pco}	減肉を考慮した場合の伝熱管単位長さあたりの質量	kg/m
m_{wico}	減肉を考慮した場合の伝熱管内部流体の単位長さあたりの質量	kg/m

表1 計算に使用する記号の説明 (2/3)

記号	記号の説明	単位
m_{wo}	伝熱管外部流体の単位長さあたりの質量	kg/m
M_{anc}	減肉を考慮した場合の管板－管支持板間における自重による曲げモーメント	N・mm
M_{Haanc}	減肉を考慮した場合の管板－管支持板間における水平方向地震荷重による曲げモーメント	N・mm
M_{Hahoc}	減肉を考慮した場合の管支持板－管支持板間における水平方向地震荷重による曲げモーメント	N・mm
M_{hoc}	減肉を考慮した場合の管支持板－管支持板間における自重による曲げモーメント	N・mm
M_{Vaanc}	減肉を考慮した場合の管板－管支持板間における鉛直方向地震荷重による曲げモーメント	N・mm
M_{Vahoc}	減肉を考慮した場合の管支持板－管支持板間における鉛直方向地震荷重による曲げモーメント	N・mm
P_{ig}	最高使用圧力	MPa
t_{co}	伝熱管減肉厚さ	mm
t_{tb}	伝熱管厚さ	mm
T_{os}	伝熱管外側平均温度	℃
T_{osi}	運転時胴側入口温度	℃
T_{oso}	運転時胴側出口温度	℃
T_{ot}	伝熱管内側平均温度	℃
T_{oti}	運転時管側入口温度	℃
T_{oto}	運転時管側出口温度	℃
v_i	内部流体の比容積	m ³ /kg
v_o	外部流体の比容積	m ³ /kg
Z_{tbc}	減肉を考慮した場合の伝熱管の断面係数	mm ³
λ_{an1}	管板－管支持板間における伝熱管の振動係数	—
λ_{ho1}	管支持板－管支持板間における伝熱管の振動係数	—
π	円周率	—
ρ_i	内部流体の密度	kg/m ³
ρ_o	外部流体の密度	kg/m ³
ρ_{tb}	伝熱管材料の密度	kg/m ³
σ_{anc}	減肉を考慮した場合の管板－管支持板間における組合せ一次応力	MPa
σ_{hoc}	減肉を考慮した場合の管支持板－管支持板間における組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{Hx3hanc}$	減肉を考慮した場合の管板－管支持板間における水平方向地震荷重による曲げ応力	MPa
$\sigma_{Hx3hhoc}$	減肉を考慮した場合の管支持板－管支持板間における水平方向地震荷重による曲げ応力	MPa

表1 計算に使用する記号の説明 (3/3)

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{Vx3hanc}$	減肉を考慮した場合の管板－管支持板間における鉛直方向地震荷重による曲げ応力	MPa
$\sigma_{Vx3hhoc}$	減肉を考慮した場合の管支持板－管支持板間における鉛直方向地震荷重による曲げ応力	MPa
σ_{xanc}	減肉を考慮した場合の管板－管支持板間における軸方向組合せ一次応力	MPa
σ_{xhoc}	減肉を考慮した場合の管支持板間－管支持板間における軸方向組合せ一次応力	MPa
σ_{x1c}	減肉を考慮した場合の伝熱管における内圧により生じる軸方向応力	MPa
σ_{x2ganc}	減肉を考慮した場合の管板－管支持板間における自重による曲げ応力	MPa
σ_{x2ghoc}	減肉を考慮した場合の管支持板－管支持板間における自重による曲げ応力	MPa
$\sigma_{\phi 1c}$	減肉を考慮した場合の伝熱管における内圧により生じる周方向応力	MPa
$\sigma_{\phi anc}$	減肉を考慮した場合の管板－管支持板間における周方向組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{\phi hoc}$	減肉を考慮した場合の管支持板間－管支持板間における周方向組合せ一次応力	MPa
τ_{anc}	減肉を考慮した場合の管板－管支持板間におけるせん断応力	MPa
τ_{hoc}	減肉を考慮した場合の管支持板間－管支持板間におけるせん断応力	MPa
τ_{H1anhc}	減肉を考慮した場合の管板－管支持板間における水平方向荷重によるせん断応力	MPa
τ_{H1hohc}	減肉を考慮した場合の管支持板－管支持板間における水平方向荷重によるせん断応力	MPa
τ_{V1anhc}	減肉を考慮した場合の管板－管支持板間における鉛直方向荷重によるせん断応力	MPa
τ_{V1hohc}	減肉を考慮した場合の管支持板－管支持板間における鉛直方向荷重によるせん断応力	MPa

表 2 熱交換器の機器要目 (1/2)

記号	数値*1		単位	引用元*2
—	①	C6870T	—	(熱交換器伝熱管の使用材料)
	②	SUS304	—	
λ_{an1}	① ②	3.927	—	機械工学便覧 A3 編 力学・機械力学 (固定-支持)
L_{an}	①		mm	
	②			
T_{oti}	①		°C	
	②			
T_{oto}	①		°C	
	②			
T_{osi}	①		°C	
	②			
T_{oso}	①		°C	
	②			
D_o	①		mm	
	②			
D_i	①		mm	
	②			
t_{co}	①		mm	
	②			
ρ_{tb}	①	8400	kg/m ³	①JIS 非鉄 (参考「銅及び銅合金展伸材の平均的密度表」) ②JIS G 3463
	②	7930		
v_i	①		m ³ /kg	日本機械学会蒸気表
	②			
C_m	①		—	STANDARDS OF THE TUBULAR EXCHANGER MANUFACTURERS ASSOCIATION (TEMA) NINTH EDITION SECTION 6 V-7. 11
	②			
v_o	①		m ³ /kg	日本機械学会蒸気表
	②			
λ_{ho1}	① ②	π	—	機械工学便覧 A3 編 力学・機械力学 (支持-支持)
L_{ho}	①		mm	
	②			
P_{ig}	①		MPa	
	②			
t_{tb}	①		mm	
	②			

*1: ①は原子炉補機冷却系熱交換器, ②は気体廃棄物処理系排ガス予熱器の値をそれぞれ示す。

*2: 引用元に記載がない場合, 数値は機器の設計条件 (使用環境, 寸法等) から得た値を示す。

表 2 熱交換器の機器要目 (2/2)

記号	数値*1		単位	引用元
C _H	①	1.59 (Ss)	—	①設計用条件Ⅱ
		0.89 (Sd)		
	②	0.42		②1.8Ci を上回る水平震度
C _V	①	1.58 (Ss)	—	設計用条件Ⅱ
		0.81 (Sd)		

*1：①は原子炉補機冷却系熱交換器，②は気体廃棄物処理系排ガス予熱器の値をそれぞれ示す。

(2) 算出過程

a. 固有振動数

固有振動数は，機械工学便覧に定める式に基づき以下のとおり算出した。

・管板－管支持板

$$f_{anc} = \frac{\lambda_{an1}^2}{2\pi \cdot L_{an}^2} \sqrt{\frac{E_s \cdot I_{tbc}}{m_{ec}}}$$

伝熱管の縦弾性係数 E_s は，ASME SECTION II PART D の値*1から，線形補間により以下のとおり算出する。

$$E_s = 110000 \text{ MPa} + \frac{108000 \text{ MPa} - 110000 \text{ MPa}}{(100 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ\text{C})} \cdot \left(\frac{T_{ot} + T_{os}}{2} - 25 \text{ }^\circ\text{C} \right)$$

ここで， $T_{ot} = \frac{T_{oti} + T_{oto}}{2}$ ， $T_{os} = \frac{T_{osi} + T_{oso}}{2}$ より，

$$E_s = 110000 + \frac{108000 - 110000}{(100 - 25)} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\quad}{2} + \frac{\quad}{2} \right) - 25 \right)$$

$$= 109705.3 \approx 110000 \text{ MPa}$$

*1：気体廃棄物処理系排ガス予熱器については，設計・建設規格 JSME S NC1-2005 付録材料図表 Part6 表 1 の値

減肉を考慮した場合の伝熱管の断面二次モーメント I_{tbc} は，伝熱管外径と減肉を考慮した場合の伝熱管内径を用いて以下のとおり算出できる。

$$I_{tbc} = \frac{\pi}{64} \cdot (D_o^4 - D_{ico}^4)$$

ここで，減肉を考慮した場合の伝熱管内径は $D_{ico} = D_o - 2 \cdot t_{tb} + 2 \cdot t_{co}$ より算出できることから，

$$I_{tbc} = \frac{\pi}{64} \cdot \left(\frac{\quad}{\quad} \right)$$

$$= 2455.673 \text{ mm}^4$$

減肉を考慮した場合の伝熱管相当質量 m_{ec} は，伝熱管自体の単位長さあたりの質量および伝熱管内外の流体の質量を用いて以下のとおり算出できる。

$$m_{ec} = m_{pco} + m_{wico} + m_{wo}$$

ここで，伝熱管自体の単位長さあたりの質量および伝熱管内外の流体の質量はそれぞれ $m_{pco} = \rho_{tb} \cdot A_{tbc}$ ， $m_{wico} = \rho_i \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_{ico}^2$ および $m_{wo} = C_m \cdot \rho_o \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_o^2$ より算出できることから，

$$m_{ec} = 0.354 + 0.344 + 0.632$$

$$= 1.33 \text{ kg/m}$$

$$m_{pco} = 8400 \times 42.07221 \times 10^{-6}$$

$$= 0.353407 \approx 0.354 \text{ kg/m}$$

$$m_{wico} = \boxed{} \times \frac{\pi}{4} \times \boxed{}$$

$$= 0.344003 \approx 0.344 \text{ kg/m}$$

$$m_{wo} = \boxed{} \times \frac{\pi}{4} \times \boxed{}$$

$$= 0.63168 \approx 0.632 \text{ kg/m}$$

$$\text{なお, } A_{tbco} = \left(\frac{D_o}{2}\right)^2 \pi - \left(\frac{D_{ico}}{2}\right)^2 \pi = \left(\frac{\boxed{}}{2}\right)^2 \pi - \left(\frac{\boxed{}}{2}\right)^2 \pi$$

$$= 42.07221 \text{ mm}^2$$

$$\rho_i = \frac{1}{v_i} = \frac{1}{\boxed{}} = \boxed{} \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_o = \frac{1}{v_o} = \frac{1}{\boxed{}} = \boxed{} \text{ kg/m}^3$$

以上より、管板－管支持板の一次固有振動数は以下のとおり算出できる。

$$f_{anc} = \frac{\lambda_{an1}^2}{2\pi \cdot L_{an}^2} \sqrt{\frac{E_s \cdot I_{tbc}}{m_{ec}}} = \frac{3.927^2}{2\pi \cdot \boxed{}} \sqrt{\frac{110000 \times 10^6 \times 2455.673}{\boxed{}}}$$

$$= \boxed{} \text{ Hz}$$

・管支持板－管支持板

機械工学便覧に定める式について、 $\lambda_{an1} \rightarrow \lambda_{ho1}$ 、 $L_{an} \rightarrow L_{ho}$ として上記の管板－管支持板と同様の計算を実施すると、一次固有振動数は以下のとおり算出できる。

$$f_{hoc} = \frac{\lambda_{ho1}^2}{2\pi \cdot L_{ho}^2} \sqrt{\frac{E_s \cdot I_{tbc}}{m_{ec}}} = \frac{\pi^2}{2\pi \cdot \boxed{}} \sqrt{\frac{110000 \times 10^6 \times 2455.673}{\boxed{}}}$$

$$= \boxed{} \text{ Hz}$$

b. 応力成分

原子炉補機冷却系熱交換器の伝熱管について、伝熱管厚さに対し管内面側から 50%減肉したものとして、JEAG4601 および機械工学便覧に定める式に基づき、以下(a)～(f)の各成分を算出し地震時に発生する応力を求めた。

(a) 内圧により生じる膜応力成分

内圧により生じる膜応力は、以下の式により算出した。

$$\text{周方向: } \sigma_{\varphi 1c} = \frac{P_{ig} \cdot [D_{ico} + 1.2(t_{tb} - t_{co})]}{2 \cdot (t_{tb} - t_{co})}$$

$$= \frac{\boxed{} \cdot [(\boxed{}) + 1.2(\boxed{})]}{2 \cdot (\boxed{})}$$

$$= 17.18649 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 \text{軸方向：}\sigma_{x1c} &= \frac{P_{ig} \cdot [D_{ico} + 1.2(t_{tb} - t_{co})]}{4 \cdot (t_{tb} - t_{co})} \\
 &= \frac{\boxed{} \cdot [\boxed{} + 1.2(\boxed{})]}{4 \cdot (\boxed{})} \\
 &= 8.593244 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

(b) 自重により生じる曲げ応力成分

自重により生じる曲げ応力は、以下の式により算出した。

$$\text{管板 - 管支持板} \quad : \sigma_{x2ganc} = \frac{M_{anc}}{Z_{tbc}} = \frac{1868.084}{221.0327} = 8.451621 \text{ MPa}$$

$$\text{管支持板 - 管支持板} : \sigma_{x2ghoc} = \frac{M_{hoc}}{Z_{tbc}} = \frac{2383.661}{221.0327} = 10.78421 \text{ MPa}$$

なお、 M_{anc} 、 M_{hoc} および Z_{tbc} は以下の式により算出した。

$$\begin{aligned}
 M_{anc} &= \frac{3 \cdot (m_{ec} \cdot L_{an} \cdot g) \cdot L_{an}}{16} \\
 &= \frac{3 \cdot (\boxed{} \times 9.80665) \cdot \boxed{}}{16} \\
 &= 1868.084 \text{ N} \cdot \text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{hoc} &= \frac{(m_{ec} \cdot L_{ho} \cdot g) \cdot L_{ho}}{4} \\
 &= \frac{(\boxed{} \times 9.80665) \cdot \boxed{}}{4} \\
 &= 2383.661 \text{ N} \cdot \text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_{tbc} &= \frac{\pi}{32} \cdot \frac{(D_o^4 - D_{ico}^4)}{D_o} \\
 &= \frac{\pi}{32} \cdot \frac{\boxed{}}{\boxed{}} \\
 &= 221.0327 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

(c) 水平地震荷重により生じる曲げ応力成分

水平地震荷重により生じる曲げ応力は、以下の式により算出した。

・基準地震動 S_s

$$\text{管板 - 管支持板} \quad : \sigma_{Hx3hanc} = \frac{M_{Haanc}}{Z_{tbc}} = \frac{2970.254}{221.0327} = 13.43808 \text{ MPa}$$

$$\text{管支持板 - 管支持板} : \sigma_{Hx3hhoc} = \frac{M_{Hahoc}}{Z_{tbc}} = \frac{3790.022}{221.0327} = 17.14689 \text{ MPa}$$

・弾性設計用地震動 S_d

$$\text{管板 - 管支持板} \quad : \sigma_{Hx3hanc} = \frac{M_{Haanc}}{Z_{tbc}} = \frac{1662.595}{221.0327} = 7.521943 \text{ MPa}$$

$$\text{管支持板} - \text{管支持板} : \sigma_{Hx3hhoc} = \frac{M_{Hahoc}}{Z_{tbc}} = \frac{2121.459}{221.0327} = 9.597942 \text{ MPa}$$

なお、 M_{Haanc} および M_{Hahoc} は以下の式により算出した。

・ 基準地震動 S_s

$$\begin{aligned} M_{Haanc} &= C_H \cdot \frac{3 \cdot (m_{ec} \cdot L_{an} \cdot g) \cdot L_{an}}{16} \\ &= 1.59 \cdot \frac{\boxed{} \times 9.80665 \cdot \boxed{}}{16} \\ &= 2970.254 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Hahoc} &= C_H \cdot \frac{(m_{ec} \cdot L_{ho} \cdot g) \cdot L_{ho}}{4} \\ &= 1.59 \cdot \frac{\boxed{} \times 9.80665 \cdot \boxed{}}{4} \\ &= 3790.022 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

・ 弾性設計用地震動 S_d

$$\begin{aligned} M_{Haanc} &= C_H \cdot \frac{3 \cdot (m_{ec} \cdot L_{an} \cdot g) \cdot L_{an}}{16} \\ &= 0.89 \cdot \frac{\boxed{} \times 9.80665 \cdot \boxed{}}{16} \\ &= 1662.595 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Hahoc} &= C_H \cdot \frac{(m_{ec} \cdot L_{ho} \cdot g) \cdot L_{ho}}{4} \\ &= 0.89 \cdot \frac{\boxed{} \times 9.80665 \cdot \boxed{}}{4} \\ &= 2121.459 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

(d) 水平地震荷重により生じるせん断応力成分

水平地震荷重により生じるせん断応力は、以下の式により算出した。

・ 基準地震動 S_s

$$\begin{aligned} \text{管板} - \text{管支持板} : \tau_{H1anhc} &= C_H \cdot \frac{m_{ec} \cdot L_{an} \cdot g}{A_{stbc}} \\ &= 1.59 \cdot \frac{\boxed{} \times 9.80665}{21.04766 \times 10^{-6}} \times 10^{-6} \\ &= 0.8611467 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{管支持板} - \text{管支持板} : \tau_{H1hohc} &= C_H \cdot \frac{m_{ec} \cdot L_{ho} \cdot g}{A_{stbc}} \\ &= 1.59 \cdot \frac{\boxed{} \times 9.80665}{21.04766 \times 10^{-6}} \times 10^{-6} \end{aligned}$$

$$= 0.8424261 \text{ MPa}$$

・弾性設計用地震動 Sd

$$\begin{aligned} \text{管板 - 管支持板} \quad : \tau_{H1anhc} &= C_H \cdot \frac{m_{ec} \cdot L_{an} \cdot g}{A_{stbc}} \\ &= 0.89 \cdot \frac{\boxed{} \times 9.80665}{21.04766 \times 10^{-6}} \\ &= 0.4820255 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{管支持板 - 管支持板} : \tau_{H1hohc} &= C_H \cdot \frac{m_{ec} \cdot L_{ho} \cdot g}{A_{stbc}} \\ &= 0.89 \cdot \frac{\boxed{} \times 9.80665}{21.04766 \times 10^{-6}} \\ &= 0.4715467 \text{ MPa} \end{aligned}$$

なお、 A_{stbc} は以下の式により算出した。

$$\begin{aligned} A_{stbc} &= \frac{3 \cdot \left[\left(\frac{D_o}{2} \right)^2 + \left(\frac{D_{ico}}{2} \right)^2 \right]}{4 \left[\left(\frac{D_o}{2} \right)^2 + \left(\frac{D_o}{2} \right) \cdot \left(\frac{D_{ico}}{2} \right) + \left(\frac{D_{ico}}{2} \right)^2 \right]} \cdot A_{tbco} \\ &= \frac{3 \cdot \left[\left(\frac{\boxed{}}{2} \right)^2 + \left(\frac{\boxed{}}{2} \right)^2 \right]}{4 \left[\left(\frac{\boxed{}}{2} \right)^2 + \left(\frac{\boxed{}}{2} \right) \cdot \left(\frac{\boxed{}}{2} \right) + \left(\frac{\boxed{}}{2} \right)^2 \right]} \cdot 42.07221 \\ &= 21.04766 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(e) 鉛直地震荷重により生じる曲げ応力成分

鉛直地震荷重により生じる曲げ応力は、以下の式により算出した。

・基準地震動 Ss

$$\text{管板 - 管支持板} \quad : \sigma_{Vx3hanc} = \frac{M_{Vaanc}}{Z_{tbc}} = \frac{2951.573}{221.0327} = 13.35356 \text{ Mpa}$$

$$\text{管支持板 - 管支持板} : \sigma_{Vx3hhoc} = \frac{M_{Vahoc}}{Z_{tbc}} = \frac{3766.185}{221.0327} = 17.03904 \text{ MPa}$$

・弾性設計用地震動 Sd

$$\text{管板 - 管支持板} \quad : \sigma_{Vx3hanc} = \frac{M_{Vaanc}}{Z_{tbc}} = \frac{1513.148}{221.0327} = 6.845813 \text{ Mpa}$$

$$\text{管支持板 - 管支持板} : \sigma_{Vx3hhoc} = \frac{M_{Vahoc}}{Z_{tbc}} = \frac{1930.766}{221.0327} = 8.735206 \text{ MPa}$$

なお、 M_{Vaanc} および M_{Vahoc} は以下の式により算出した。

・基準地震動 Ss

$$\begin{aligned} M_{Vaanc} &= C_V \cdot \frac{3 \cdot (m_{ec} \cdot L_{an} \cdot g) \cdot L_{an}}{16} \\ &= 1.58 \cdot \frac{3 \cdot \boxed{} \times 9.80665 \cdot \boxed{}}{16} \\ &= 2951.573 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

$$M_{Vahoc} = C_V \cdot \frac{(m_{ec} \cdot L_{ho} \cdot g) \cdot L_{ho}}{4}$$

$$= 1.58 \cdot \frac{\boxed{} \times 9.80665 \cdot \boxed{}}{4}$$

$$= 3766.185 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

・弾性設計用地震動 Sd

$$M_{Vaanc} = C_V \cdot \frac{3 \cdot (m_{ec} \cdot L_{an} \cdot g) \cdot L_{an}}{16}$$

$$= 0.81 \cdot \frac{3 \cdot \boxed{} \times 9.80665 \cdot \boxed{}}{16}$$

$$= 1513.148 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{Vahoc} = C_V \cdot \frac{(m_{ec} \cdot L_{ho} \cdot g) \cdot L_{ho}}{4}$$

$$= 0.81 \cdot \frac{\boxed{} \times 9.80665 \cdot \boxed{}}{4}$$

$$= 1930.766 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

(f) 鉛直地震荷重により生じるせん断応力成分

鉛直地震荷重により生じるせん断応力は、以下の式により算出した。

・基準地震動 Ss

管板 - 管支持板 : $\tau_{V1anhc} = C_V \cdot \frac{m_{ec} \cdot L_{an} \cdot g}{A_{stbc}}$

$$= 1.58 \cdot \frac{\boxed{} \times 9.80665}{21.04766 \times 10^{-6}}$$

$$= 0.8557307 \text{ MPa}$$

管支持板 - 管支持板 : $\tau_{V1hohc} = C_V \cdot \frac{m_{ec} \cdot L_{ho} \cdot g}{A_{stbc}}$

$$= 1.58 \cdot \frac{\boxed{} \times 9.80665}{21.04766 \times 10^{-6}}$$

$$= 0.8371278 \text{ MPa}$$

・弾性設計用地震動 Sd

管板 - 管支持板 : $\tau_{V1anhc} = C_V \cdot \frac{m_{ec} \cdot L_{an} \cdot g}{A_{stbc}}$

$$= 0.81 \cdot \frac{\boxed{} \times 9.80665}{21.04766 \times 10^{-6}}$$

$$= 0.4386974 \text{ MPa}$$

管支持板 - 管支持板 : $\tau_{V1hohc} = C_V \cdot \frac{m_{ec} \cdot L_{ho} \cdot g}{A_{stbc}}$

$$= 0.81 \cdot \frac{\boxed{} \times 9.80665}{21.04766 \times 10^{-6}}$$

$$= 0.4291605 \text{ MPa}$$

c. 組合せ応力

一次応力は、以下の式により組み合わせた。

・基準地震動 Ss

管板 - 管支持板 :

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{anc}} &= \frac{1}{2} \left[\sigma_{\varphi\text{anc}} + \sigma_{\text{xanc}} + \sqrt{(\sigma_{\varphi\text{anc}} - \sigma_{\text{xanc}})^2 + 4 \cdot \tau_{\text{anc}}^2} \right] \\ &= \frac{1}{2} \left[17.18649 + 43.83651 + \sqrt{(17.18649 - 43.83651)^2 + 4 \times 1.716877^2} \right] \\ &= 43.94666 \cong 44 \text{ MPa}\end{aligned}$$

管支持板 - 管支持板 :

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{hoc}} &= \frac{1}{2} \left[\sigma_{\varphi\text{hoc}} + \sigma_{\text{xhoc}} + \sqrt{(\sigma_{\varphi\text{hoc}} - \sigma_{\text{xhoc}})^2 + 4 \cdot \tau_{\text{hoc}}^2} \right] \\ &= \frac{1}{2} \left[17.18649 + 53.56338 + \sqrt{(17.18649 - 53.56338)^2 + 4 \times 1.679554^2} \right] \\ &= 53.64076 \cong 54 \text{ MPa}\end{aligned}$$

・弾性設計用地震動 Sd

管板 - 管支持板 :

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{anc}} &= \frac{1}{2} \left[\sigma_{\varphi\text{anc}} + \sigma_{\text{xanc}} + \sqrt{(\sigma_{\varphi\text{anc}} - \sigma_{\text{xanc}})^2 + 4 \cdot \tau_{\text{anc}}^2} \right] \\ &= \frac{1}{2} \left[17.18649 + 31.41262 + \sqrt{(17.18649 - 31.41262)^2 + 4 \times 0.9207229^2} \right] \\ &= 31.47196 \cong 32 \text{ MPa}\end{aligned}$$

管支持板 - 管支持板 :

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{hoc}} &= \frac{1}{2} \left[\sigma_{\varphi\text{hoc}} + \sigma_{\text{xhoc}} + \sqrt{(\sigma_{\varphi\text{hoc}} - \sigma_{\text{xhoc}})^2 + 4 \cdot \tau_{\text{hoc}}^2} \right] \\ &= \frac{1}{2} \left[17.18649 + 37.71060 + \sqrt{(17.18649 - 37.71060)^2 + 4 \times 0.9007072^2} \right] \\ &= 37.75005 \cong 38 \text{ MPa}\end{aligned}$$

なお、各方向の応力は上記 b. (a) ~ b. (f) で算出した各成分を用いて以下のとおり算出した。

・基準地震動 Ss

$$\text{周方向応力} : \sigma_{\varphi\text{anc}} = \sigma_{\varphi\text{1c}} = 17.18649 \text{ MPa}, \quad \sigma_{\varphi\text{hoc}} = \sigma_{\varphi\text{1c}} = 17.18649 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}\text{軸方向応力} : \sigma_{\text{xanc}} &= \sigma_{\text{x1c}} + \sigma_{\text{x2ganc}} + \sigma_{\text{Hx3hanc}} + \sigma_{\text{Vx3hanc}} \\ &= 8.593244 + 8.451621 + 13.43808 + 13.35356 \\ &= 43.83651 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{xhoc}} &= \sigma_{\text{x1c}} + \sigma_{\text{x2ghoc}} + \sigma_{\text{Hx3hhoc}} + \sigma_{\text{Vx3hhoc}} \\ &= 8.593244 + 10.78421 + 17.14689 + 17.03904\end{aligned}$$

$$= 53.56338 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{せん断応力: } \tau_{\text{anc}} &= \tau_{\text{H1anhc}} + \tau_{\text{V1anhc}} \\ &= 0.8611467 + 0.8557307 \\ &= 1.716877 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{\text{hoc}} &= \tau_{\text{H1hohc}} + \tau_{\text{V1hohc}} \\ &= 0.8424261 + 0.8371278 \\ &= 1.679554 \text{ MPa} \end{aligned}$$

・弾性設計用地震動 Sd

$$\text{周方向応力: } \sigma_{\phi\text{anc}} = \sigma_{\phi\text{1c}} = 17.18649 \text{ MPa}, \quad \sigma_{\phi\text{hoc}} = \sigma_{\phi\text{1c}} = 17.18649 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{軸方向応力: } \sigma_{\text{xanc}} &= \sigma_{\text{x1c}} + \sigma_{\text{x2ganc}} + \sigma_{\text{Hx3hanc}} + \sigma_{\text{Vx3hanc}} \\ &= 8.593244 + 8.451621 + 7.521943 + 6.845813 \\ &= 31.41262 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{xhoc}} &= \sigma_{\text{x1c}} + \sigma_{\text{x2ghoc}} + \sigma_{\text{Hx3hhoc}} + \sigma_{\text{Vx3hhoc}} \\ &= 8.593244 + 10.78421 + 9.597942 + 8.735206 \\ &= 37.71060 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{せん断応力: } \tau_{\text{anc}} &= \tau_{\text{H1anhc}} + \tau_{\text{V1anhc}} \\ &= 0.4820255 + 0.4386974 \\ &= 0.9207229 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{\text{hoc}} &= \tau_{\text{H1hohc}} + \tau_{\text{V1hohc}} \\ &= 0.4715467 + 0.4291605 \\ &= 0.9007072 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3. 評価結果

熱交換器伝熱管の腐食（流れ加速型腐食）を考慮した耐震安全性評価結果を表3に示す。評価の結果、発生応力は許容応力を下回り、耐震安全性に問題ないことを確認した。

表3 熱交換器の伝熱管の腐食（流れ加速型腐食）を考慮した耐震安全性評価結果

評価対象	区分	耐震重要度	評価地震力	許容応力状態	応力種別	発生応力 (MPa)		許容応力*1
						管板～管支持板	管支持板～管支持板	
原子炉補機冷却系熱交換器伝熱管	クラス3	S	Ss	IV _A S	一次応力	44	54	337
			Sd	III _A S		32	38	337
気体廃棄物処理系排ガス予熱器伝熱管	—*2	B	1.8Ci	B _A S	一次応力	38	38	139

*1：設計・建設規格 JSME S NC1-2005 付録材料図表 Part5 表8および表9より求まる値

*2：設計・建設規格にて定められる区分としては基準外であるが、耐震評価上クラス3として扱った

熱交換器管支持板の腐食（流れ加速型腐食）に対する発生応力の算出根拠

1. 評価仕様

熱交換器管支持板の腐食（流れ加速型腐食）による管支持板 1 箇所支持機能喪失を想定し、地震時の発生応力が許容応力を下回ることを確認する。なお、補紙（2）と同様、JEAG4601 に示されている横置円筒形容器の許容応力を適用した。

2. 算出過程

(1) 諸元

熱交換器管支持板 1 箇所支持機能喪失を想定した伝熱管の耐震安全性評価について、算出に用いた各記号の説明および熱交換器の仕様を表 1、表 2 にそれぞれ示す。

表 1 計算に使用する記号の説明（1/2）

記号	記号の説明	単位
A_{stb}	伝熱管のせん断断面積	mm ²
A_{tb}	伝熱管断面積	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_m	外部流体付加質量係数	—
D_i	伝熱管内径	mm
D_o	伝熱管外径	mm
E_s	伝熱管の縦弾性係数	MPa
f_{an}	管板－管支持板間における伝熱管の固有振動数	Hz
f_{ho}	管支持板－管支持板間における伝熱管の固有振動数	Hz
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
I_{tb}	伝熱管の断面二次モーメント	mm ⁴
L_{an}	管支持機能の 1 箇所喪失を考慮した場合の管板－管支持板間の最長長さ	mm
L_{ho}	管支持機能の 1 箇所喪失を考慮した場合の管支持板－管支持板間の最長長さ	mm
m_e	伝熱管相当質量	kg/m
m_p	伝熱管単位長さあたりの質量	kg/m
m_{wi}	伝熱管内部流体の単位長さあたりの質量	kg/m
m_{wo}	伝熱管外部流体の単位長さあたりの質量	kg/m
M_{an}	管板－管支持板間における自重による曲げモーメント	N・mm
M_{aan}	管板－管支持板間における水平方向地震荷重による曲げモーメント	N・mm
M_{aho}	管支持板－管支持板間における水平方向地震荷重による曲げモーメント	N・mm
M_{ho}	管支持板－管支持板間における自重による曲げモーメント	N・mm

表1 計算に使用する記号の説明 (2/2)

記号	記号の説明	単位
P_{ig}	最高使用圧力	MPa
t_{tb}	伝熱管厚さ	mm
T_{os}	伝熱管外側平均温度	°C
T_{osi}	運転時胴側入口温度	°C
T_{oso}	運転時胴側出口温度	°C
T_{ot}	伝熱管内側平均温度	°C
T_{oti}	運転時管側入口温度	°C
T_{oto}	運転時管側出口温度	°C
v_i	内部流体の比容積	m ³ /kg
v_o	外部流体の比容積	m ³ /kg
Z_{tb}	伝熱管の断面係数	mm ³
λ_{an1}	管板－管支持板間における伝熱管の振動係数	—
λ_{ho1}	管支持板－管支持板間における伝熱管の振動係数	—
π	円周率	—
ρ_i	内部流体の密度	kg/m ³
ρ_o	外部流体の密度	kg/m ³
ρ_{tb}	伝熱管材料の密度	kg/m ³
σ_{an}	管板－管支持板間における組合せ一次応力	MPa
σ_{ho}	管支持板－管支持板間における組合せ一次応力	MPa
σ_{xan}	管板－管支持板間における軸方向組合せ一次応力	MPa
σ_{xho}	管支持板－管支持板間における軸方向組合せ一次応力	MPa
σ_{x1}	伝熱管における内圧により生じる軸方向応力	MPa
σ_{x2gan}	管板－管支持板間における自重による曲げ応力	MPa
σ_{x2gho}	管支持板－管支持板間における自重による曲げ応力	MPa
σ_{x3han}	管板－管支持板間における水平方向地震荷重による曲げ応力	MPa
σ_{x3hho}	管支持板－管支持板間における水平方向地震荷重による曲げ応力	MPa
$\sigma_{\phi an}$	管板－管支持板間における周方向組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{\phi ho}$	管支持板間－管支持板間における周方向組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}$	伝熱管における内圧により生じる周方向応力	MPa
τ_{an}	管板－管支持板間におけるせん断応力	MPa
τ_{ho}	管支持板間－管支持板間におけるせん断応力	MPa
τ_{1anh}	管板－管支持板間における水平方向荷重によるせん断応力	MPa
τ_{1hoh}	管支持板－管支持板間における水平方向荷重によるせん断応力	MPa

表 2 熱交換器の機器要目

記号	数値	単位	引用元*1
—	SUS304	—	(熱交換器伝熱管の使用材料)
λ_{an1}	3.927		機械工学便覧 A3 編 力学・機械力学 (固定-支持)
L_{an}		mm	表 3 参照
T_{oti}		°C	
T_{oto}		°C	
T_{osi}		°C	
T_{oso}		°C	
D_o		mm	
D_i		mm	
ρ_{tb}	7930	kg/m ³	JIS G 3463
v_i		m ³ /kg	日本機械学会蒸気表
C_m		—	STANDARDS OF THE TUBULAR EXCHANGER MANUFACTURERS ASSOCIATION (TEMA) NINTH EDITION SECTION 6 V-7.11
v_o		m ³ /kg	日本機械学会蒸気表
λ_{ho1}	π	—	機械工学便覧 A3 編 力学・機械力学 (支持-支持)
L_{ho}		mm	表 3 参照
P_{ig}		MPa	
t_{tb}		mm	
C_H	0.42	—	1.8Ci を上回る水平震度

*1：引用元に記載がない場合、数値は機器の設計条件（使用環境、寸法等）から得た値を示す。

【管支持板の管支持機能喪失による支持間長さについて】

管支持板の腐食（流れ加速型腐食）により、管支持機能を 1 箇所喪失したものとして地震時に発生する伝熱管への応力を求めることから、現状構造の支持間長さとして機能喪失を考慮した場合の支持間長さを表 3 に示す。

表 3 管支持機能喪失を考慮した支持間長さ

評価モデル	現状構造の支持間最長長さ (mm)	機能喪失を考慮した場合の 支持間最長長さ (mm)
管板-管支持板 (固定-支持)		
管支持板-管支持板 (支持-支持)		

(2) 算出過程

a. 固有振動数

固有振動数は、機械工学便覧に定める式に基づき以下のとおり算出した。

・管板－管支持板

$$f_{an} = \frac{\lambda_{an1}^2}{2\pi \cdot L_{an}^2} \sqrt{\frac{E_s \cdot I_{tb}}{m_e}}$$

伝熱管の縦弾性係数 E_s は、設計・建設規格 JSME S NC1-2005 付録材料図表 Part6 表 1 の値から、線形補間により以下のとおり算出できる。

$$E_s = 188000 \text{ MPa} + \frac{186000 \text{ MPa} - 188000 \text{ MPa}}{(150 \text{ }^\circ\text{C} - 125 \text{ }^\circ\text{C})} \cdot \left(\frac{T_{ot} + T_{os}}{2} - 125 \text{ }^\circ\text{C} \right)$$

ここで、 $T_{ot} = \frac{T_{oti} + T_{oto}}{2}$ 、 $T_{os} = \frac{T_{osi} + T_{oso}}{2}$ より、

$$\begin{aligned} E_s &= 188000 + \frac{186000 - 188000}{(150 - 125)} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\quad}{2} + \frac{\quad}{2} \right) - 125 \right) \\ &= 186320 \approx 186000 \text{ MPa} \end{aligned}$$

伝熱管の断面二次モーメント I_{tbc} は、伝熱管外径と伝熱管内径を用いて以下のとおり算出できる。

$$I_{tb} = \frac{\pi}{64} \cdot (D_o^4 - D_i^4)$$

ここで、伝熱管内径は $D_i = D_o - 2 \cdot t_{tb}$ より算出できることから、

$$\begin{aligned} I_{tb} &= \frac{\pi}{64} \cdot \left(\frac{\quad}{2} \right)^4 \\ &= 20878.08 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

伝熱管相当質量 m_e は、伝熱管自体の単位長さあたりの質量および伝熱管内外の流体の質量を用いて以下のとおり算出できる。

$$m_e = m_p + m_{wi} + m_{wo}$$

ここで、伝熱管自体の単位長さあたりの質量および伝熱管内外の流体の質量はそれぞれ $m_p = \rho_{tb} \cdot A_{tb}$ 、 $m_{wi} = \rho_i \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_i^2$ および $m_{wo} = C_m \cdot \rho_o \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_o^2$ より算出できることから、

$$\begin{aligned} m_e &= 1.485 + 0.001 + 0.005435 \\ &= 1.491435 \approx 1.50 \text{ kg/m} \\ m_p &= 7930 \times 187.2389 \times 10^{-6} \\ &= 1.484805 \approx 1.485 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{wi} &= \frac{\quad}{4} \times \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{\quad}{2} \right)^2 \times 10^{-6} \\ &= 0.00037 \approx 0.001 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{wo} &= \frac{\quad}{4} \times \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{\quad}{2} \right)^2 \\ &= 0.0054343 \approx 0.005435 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{なお、} A_{tb} &= \left(\frac{D_o}{2} \right)^2 \pi - \left(\frac{D_i}{2} \right)^2 \pi = \left(\frac{\quad}{2} \right)^2 \pi - \left(\frac{\quad}{2} \right)^2 \pi \\ &= 187.2389 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\rho_i = \frac{1}{v_i} = \frac{1}{\boxed{}} = \boxed{} \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_o = \frac{1}{v_o} = \frac{1}{\boxed{}} = \boxed{} \text{ kg/m}^3$$

以上より、管板－管支持板の一次固有振動数は以下のとおり算出できる。

$$f_{an} = \frac{\lambda_{an1}^2}{2\pi \cdot L_{an}^2} \sqrt{\frac{E_s \cdot I_{tb}}{m_e}} = \frac{3.927^2}{2\pi \cdot \boxed{}} \sqrt{\frac{186000 \times 10^6 \times 20878.08}{\boxed{}}}$$

$$= \boxed{} \text{ Hz}$$

・管支持板－管支持板

機械工学便覧に定める式について、 $\lambda_{an1} \rightarrow \lambda_{ho1}$ 、 $L_{an} \rightarrow L_{ho}$ として上記の管板－管支持板と同様の計算を実施すると、一次固有振動数は以下のとおり算出できる。

$$f_{ho} = \frac{\lambda_{ho1}^2}{2\pi \cdot L_{ho}^2} \sqrt{\frac{E_s \cdot I_{tb}}{m_e}} = \frac{\pi^2}{2\pi \cdot \boxed{}} \sqrt{\frac{186000 \times 10^6 \times 20878.08}{\boxed{}}}$$

$$= \boxed{} \text{ Hz}$$

b. 応力成分

気体廃棄物処理系排ガス予熱器の伝熱管について、管支持板の腐食により1箇所の管支持機能を喪失したものとして、JEAG4601 および機械工学便覧に定める式に基づき、以下(a)～(d)の各成分を算出し地震時に発生する応力を求めた。

(a) 内圧により生じる膜応力成分

内圧により生じる膜応力は、以下の式により算出した。

$$\text{周方向：} \sigma_{\varphi 1} = \frac{P_{ig} \cdot [D_i + 1.2t_{tb}]}{2 \cdot t_{tb}}$$

$$= \frac{\boxed{} \cdot [\boxed{} + 1.2 \cdot \boxed{}]}{2 \cdot \boxed{}}$$

$$= 18.49750 \text{ MPa}$$

$$\text{軸方向：} \sigma_{x1} = \frac{P_{ig} \cdot [D_i + 1.2t_{tb}]}{4 \cdot t_{tb}}$$

$$= \frac{\boxed{} \cdot [\boxed{} + 1.2 \cdot \boxed{}]}{4 \cdot \boxed{}}$$

$$= 9.248750 \text{ MPa}$$

(b) 自重により生じる曲げ応力成分

自重により生じる曲げ応力は、以下の式により算出した。

$$\text{管板－管支持板} \quad : \sigma_{x2gan} = \frac{M_{an}}{Z_{tb}} = \frac{4935.233}{1313.087} = 3.758498 \text{ MPa}$$

$$\text{管支持板－管支持板} : \sigma_{x2gho} = \frac{M_{ho}}{Z_{tb}} = \frac{1885.011}{1313.087} = 1.435557 \text{ MPa}$$

なお、 M_{an} 、 M_{ho} および Z_{tb} は以下の式により算出した。

$$M_{an} = \frac{3 \cdot (m_e \cdot L_{an} \cdot g) \cdot L_{an}}{16}$$

$$= \frac{3 \cdot (\text{ } \times 9.80665) \cdot \text{ }}{16}$$

$$= 4935.233 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{ho} = \frac{(m_e \cdot L_{ho} \cdot g) \cdot L_{ho}}{4}$$

$$= \frac{\text{ } \times 9.80665 \cdot \text{ }}{4}$$

$$= 1885.011 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$Z_{tb} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{(D_o^4 - D_i^4)}{D_o}$$

$$= \frac{\pi}{32} \cdot \frac{\text{ } - \text{ }}{\text{ }}$$

$$= 1313.087 \text{ mm}^3$$

(c) 水平地震荷重により生じる曲げ応力成分

水平地震荷重により生じる曲げ応力は、以下の式により算出した。

$$\text{管板} - \text{管支持板} : \sigma_{x3han} = \frac{M_{aan}}{Z_{tb}} = \frac{2072.798}{1313.087} = 1.578569 \text{ MPa}$$

$$\text{管支持板} - \text{管支持板} : \sigma_{x3hho} = \frac{M_{aho}}{Z_{tb}} = \frac{791.7046}{1313.087} = 0.602934 \text{ MPa}$$

なお、 M_{aan} および M_{aho} は以下の式により算出した。

$$M_{aan} = C_H \cdot \frac{3 \cdot (m_e \cdot L_{an} \cdot g) \cdot L_{an}}{16}$$

$$= 0.42 \cdot \frac{3 \cdot (\text{ } \times 9.80665) \cdot \text{ }}{16}$$

$$= 2072.798 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{aho} = C_H \cdot \frac{(m_e \cdot L_{ho} \cdot g) \cdot L_{ho}}{4}$$

$$= 0.42 \cdot \frac{\text{ } \times 9.80665 \cdot \text{ }}{4}$$

$$= 791.7046 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

(d) 水平地震荷重により生じるせん断応力成分

水平地震荷重により生じるせん断応力は、以下の式により算出した。

$$\begin{aligned}
 \text{管板 - 管支持板} \quad : \tau_{1anh} &= C_H \cdot \frac{m_e \cdot L_{an} \cdot g}{A_{stb}} \\
 &= 0.42 \cdot \frac{\boxed{} \times 9.80665}{93.90017 \times 10^{-6}} \\
 &= 0.08776 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{管支持板 - 管支持板} : \tau_{1hoh} &= C_H \cdot \frac{m_e \cdot L_{ho} \cdot g}{A_{stb}} \\
 &= 0.42 \cdot \frac{\boxed{} \times 9.80665}{93.90017 \times 10^{-6}} \\
 &= 0.046971 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

なお、 A_{stb} は以下の式により算出した。

$$\begin{aligned}
 A_{stb} &= \frac{3 \cdot \left[\left(\frac{D_o}{2} \right)^2 + \left(\frac{D_i}{2} \right)^2 \right]}{4 \left[\left(\frac{D_o}{2} \right)^2 + \left(\frac{D_o}{2} \right) \cdot \left(\frac{D_i}{2} \right) + \left(\frac{D_i}{2} \right)^2 \right]} \cdot A_{tb} \\
 &= \frac{3 \cdot \left[\left(\frac{\boxed{}}{2} \right)^2 + \left(\frac{\boxed{}}{2} \right)^2 \right]}{4 \left[\left(\frac{\boxed{}}{2} \right)^2 + \left(\frac{\boxed{}}{2} \right) \cdot \left(\frac{\boxed{}}{2} \right) + \left(\frac{\boxed{}}{2} \right)^2 \right]} \cdot 187.2389 \\
 &= 93.90017 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

c. 組合せ応力

一次応力は、以下の式により組み合わせた。

管板 - 管支持板：

$$\begin{aligned}
 \sigma_{an} &= \frac{1}{2} \left[\sigma_{\phi an} + \sigma_{xan} + \sqrt{(\sigma_{\phi an} - \sigma_{xan})^2 + 4 \cdot \tau_{an}^2} \right] \\
 &= \frac{1}{2} \left[18.49750 + 14.58582 + \sqrt{(18.49750 - 14.58582)^2 + 4 \times 0.087760^2} \right] \\
 &= 18.49947 \cong 19 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

管支持板 - 管支持板：

$$\begin{aligned}
 \sigma_{ho} &= \frac{1}{2} \left[\sigma_{\phi ho} + \sigma_{xho} + \sqrt{(\sigma_{\phi ho} - \sigma_{xho})^2 + 4 \cdot \tau_{ho}^2} \right] \\
 &= \frac{1}{2} \left[18.49750 + 11.28725 + \sqrt{(18.49750 - 11.28725)^2 + 4 \times 0.046971^2} \right] \\
 &= 18.49781 \cong 19 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

なお、各方向の応力は上記 b. (a)～b. (d) で算出した各成分を用いて以下のとおり算出した。

$$\text{周方向応力} : \sigma_{\phi an} = \sigma_{\phi 1} = 18.49750 \text{ MPa}, \quad \sigma_{\phi ho} = \sigma_{\phi 1} = 18.49750 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 \text{軸方向応力} : \sigma_{xan} &= \sigma_{x1} + \sigma_{x2gan} + \sigma_{x3han} \\
 &= 9.248750 + 3.758498 + 1.578569 \\
 &= 14.58582 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{xho} &= \sigma_{x1} + \sigma_{x2gho} + \sigma_{x3hho} \\ &= 9.248750 + 1.435557 + 0.602934 \\ &= 11.287241 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{せん断応力: } \tau_{an} &= \tau_{1anh} \\ &= 0.087760 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau_{ho} &= \tau_{1hoh} \\ &= 0.046971 \text{ MPa}\end{aligned}$$

3. 評価結果

熱交換器伝熱管の腐食（流れ加速型腐食）を考慮した耐震安全性評価結果を表3に示す。評価の結果、発生応力は許容応力を下回り、耐震安全性に問題ないことを確認した。

表3 熱交換器の管支持板の腐食（流れ加速型腐食）を考慮した伝熱管の耐震安全性評価結果

評価対象	区分	耐震 重要度	評価 地震力	許容 応力 状態	応力 種別	発生応力 (MPa)		許容応力*1
						管板～ 管支持板	管支持板～ 管支持板	
気体廃棄物処理系 排ガス予熱器 伝熱管	—*2	B	1.8Ci	B _A S	一次 応力	19	19	139

*1：設計・建設規格 JSME S NC1-2005 付録材料図表 Part5 表8および表9より求まる値

*2：設計・建設規格にて定められる区分としては基準外であるが、耐震評価上クラス3として扱った

原子炉浄化系再生熱交換器の想定腐食量の設定根拠について

1. 概要

原子炉浄化系再生熱交換器の胴については2016年12月に実機の肉厚測定を実施しており、測定結果が公称板厚を上回る結果となった。しかしながら、運転開始後60年時点までの運転を想定した減肉については、水質、流速等による影響を考慮した腐食速度を用いて想定減肉量を算出した。

2. 原子炉浄化系再生熱交換器の想定減肉量の算出に用いる評価条件

原子炉浄化系再生熱交換器の評価条件は下記とした。

評価条件	
温度	224.4℃ ～ 50℃
溶存酸素濃度	約10ppb（水素注入時）
流速	最大1.8m/s（胴内の流速（1.07m/s）に対して保守性を考慮した設定値）

3. 算出方法

原子炉浄化系再生熱交換器の胴（炭素鋼）における、肉厚測定日（2016年12月12日）から運転開始後60年時点（2049年2月10日）までの期間における想定減肉量を算出した。

具体的には、上記評価条件における腐食速度を図1^[1]から読み取り、流路形状による減肉量への影響係数^[2]を乗じて減肉量を算出した。

評価期間	暦年
肉厚測定日（2016年12月12日）～運転開始後60年目（2049年2月10日）	32.19年

4. 減肉量の算出過程

3. に記載した評価条件における腐食速度は図1の読取値より以下となる。

- ・腐食速度：約60[mg/dm²/month]

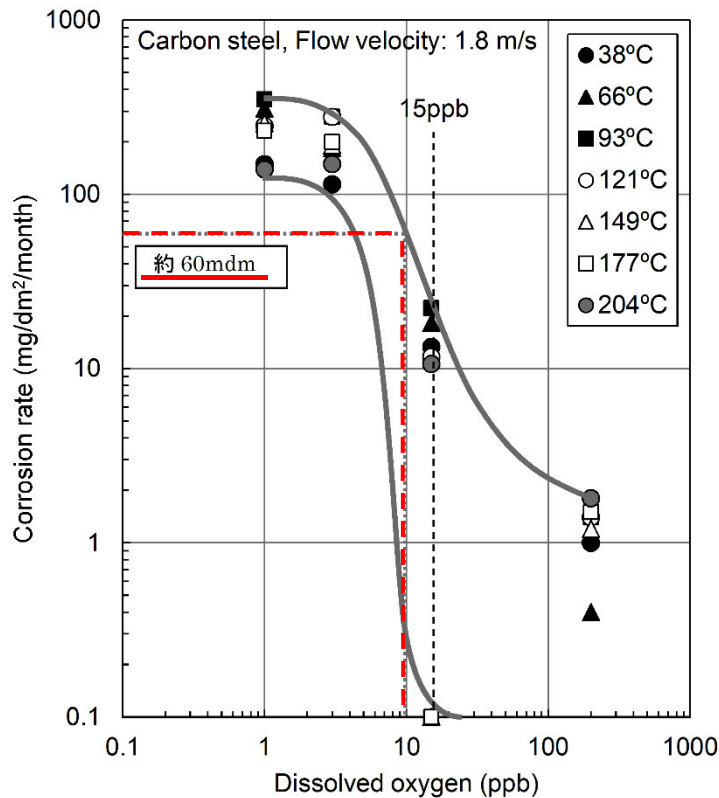


図1 腐食速度と溶存酸素の関係^[1]

原子炉浄化系再生熱交換器の胴側流体の流れは、直管のように完全な水平方向の流れではなく、管支持板があるため直交方向の流れの影響を受ける。流路形状による減肉量への影響係数^[2]として、当該機器の流路形状を考慮し、直管部に対する渦形成によるよどみ点での形状係数比を乗じる。

以上より、肉厚測定日から運開後60年目までの期間における推定減肉量を以下のとおり算出した。

$$\begin{aligned} \text{減肉量} &= \frac{60[\text{mg}/\text{dm}^2/\text{month}] \times 12[\text{month}/\text{year}] \times 32.19[\text{year}] \times 10[\text{mm}/\text{cm}]}{7.9[\text{g}/\text{cm}^3] \times 100[\text{cm}^2/\text{dm}^2] \times 1000[\text{mg}/\text{g}]} \times \frac{0.2^{*1}}{0.04^{*2}} \\ &= \underline{1.47[\text{mm}]} \end{aligned}$$

*1：渦形成によるよどみ点での形状係数

*2：直管部での形状係数

5. 参考文献

[1] E. G. Brush, W. L. Pearl, “Corrosion and Corrosion Product Release in Neutral Feedwater”, Corrosion, 28, 129-135 (1972)

[2] JSME S CA1-2005, 発電用設備規格 配管減肉管理に関する規格 (2005年版) (増訂版)

排ガス予熱器の想定腐食量の設定根拠について

1. 概要

排ガス予熱器の胴については2016年2月12日に肉厚測定を実施した結果、公称板厚からの減肉を確認した（公称板厚12mmに対して測定最小値が11.8mm）。

排ガス予熱器の肉厚測定回数は1回のみであることから、公称板厚から測定最小板厚の差を実際の減肉量として、減肉率を算出した。減肉傾向と運転開始後60年時点までの時間を用いて想定減肉量を算出した。

評価期間		評価時間[kh]
実績	運転開始（1989年2月10日）から初回測定までの運転時間（2012年1月27日）	162.51
想定	最後に測定した日（2016年2月12日）から運転開始後60年目（2049年2月10日）	289.2

2. 排ガス予熱器の減肉量の算出方法

(1) 想定減肉率の算出

以下の算出式により減肉率を算出する。

$$\begin{aligned} \text{減肉率}[\text{mm/kh}] &= \frac{\text{公称板厚}[\text{mm}] - \text{測定最小板厚}[\text{mm}]}{\text{運転開始から初回測定までの運転時間}[\text{kh}]} \\ &= \frac{12[\text{mm}] - 11.8[\text{mm}]}{162.51[\text{kh}]} \\ &= 0.0012 \rightarrow \underline{0.002[\text{mm/kh}]} \quad (\text{小数第4位を切上}) \end{aligned}$$

(2) 想定減肉量の算出

(1) で算出した減肉率に最後に測定した測定日から運転開始後60年時点までの時間*を乗じて想定減肉量を算出する。

※：排ガス予熱器はプラント運転中のみ稼働する設備であるが、想定減肉量の算出にあたっては保守的にプラント停止期間を考慮せず、運転開始後60年時点までの総時間を用いて評価を行った。

$$\begin{aligned} \text{想定減肉量}[\text{mm}] &= \text{減肉率}[\text{mm/kh}] \times \text{最後に測定した日から運転開始後60年目までの時間}[\text{kh}] \\ &= 0.002[\text{mm/h}] \times 289.2[\text{kh}] \\ &= 0.5784 \rightarrow \underline{0.58[\text{mm}]} \quad (\text{小数第3位を切上}) \end{aligned}$$

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

耐震安全性評価書における基礎ボルトの腐食を考慮した耐震安全性評価における計算過程を、表 1 に示す理由により、残留熱除去系熱交換器を代表機器として説明する。また、腐食を考慮しない場合の発生応力については、工認耐震計算書「VI-2-5-4-1-1 残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算書」と同様の算出方法とする。

表 1 代表機器の選定

代表機器	選定理由
残留熱除去系熱交換器	<ul style="list-style-type: none"> ・過去において耐震補強実績があり且つ今回の評価において補強を前提とした評価を行った機器 ・発生応力と許容応力の比が最大である機器 ・発生応力が最大である機器

1. 基礎ボルトの設計降伏点および設計引張強さ

代表機器の基礎ボルトに使用されている材料の設計降伏点 S_y および設計引張強さ S_u を表 2 に示す。

表 2 代表機器の基礎ボルト使用材料の S_y , S_u *1

材料	最小引張強さ (MPa)	最小降伏点 (MPa)	S_y , S_u	温度 (°C)			
				-30~40	75	100	150
SCM435 直径 ≤ 60mm							

*1 : JSME S NC1 2005 付録材料図表 Part5 表 8 および表 9 より抜粋

各代表機器の周囲環境温度を踏まえ、計算に使用する S_y , S_u を表 3 に示す。なお、 S_y , S_u は「JSME S NC1 2005 付録材料図表 Part5 表 8 および表 9」に定められている各温度での数値を周囲環境温度で線形補間して算出した。

表3 代表機器基礎ボルトの Sy, Su 算出値

代表機器	材料	周囲環境温度 (°C)	設計降伏点 Sy (MPa)	設計引張強さ Su (MPa)
残留熱除去系 熱交換器	SCM435 直径 ≤ 60mm	DB 条件 : 66	730	868
		SA 条件 : 140	659	847

2. 発生応力の算出

発生応力の算出に用いる耐震条件に関しては、設置変更許可を受けた基準地震動 Ss および弾性設計用地震動 Sd をもとに、工認で耐震条件として設定した設計用条件 I または II に基づき、評価に用いる耐震条件を設定している。

残留熱除去系熱交換器の基礎ボルトについて、基礎ボルトの腐食による減肉を考慮しない場合の評価については工認耐震計算書にて耐震安全上問題ないことを確認している。ここで、最大引張応力 σ_b および最大せん断応力 τ_b は、解析等により得られた水平力および鉛直力に対して引張力またはせん断力を受ける基礎ボルトの軸断面積 A_b で除することで算出している。したがって、腐食による減肉を考慮した場合の基礎ボルトに生じる最大引張応力および最大せん断応力は、評価に用いる耐震条件が工認耐震計算書と同じである場合、腐食を考慮した場合の基礎ボルトの引張応力 σ_b' およびせん断応力 τ_b' は、腐食を考慮しない場合の引張応力 σ_b 、せん断応力 τ_b 、減肉前の基礎ボルトの軸断面積 A_b および減肉後の基礎ボルトの軸断面積 A_b' の比率 $\frac{A_b}{A_b'}$ を用いて表 4 のとおり算出できる。

表4 残留熱除去系熱交換器の基礎ボルトに生じる最大引張応力
および最大せん断応力の算出方法

応力分類	腐食考慮なし*1	腐食考慮あり
引張応力	σ_b (5.4.1.3.1)式	$\sigma_b' = \sigma_b \times \frac{A_b}{A_b'}$
せん断応力	τ_b (5.4.1.3.2)式	$\tau_b' = \tau_b \times \frac{A_b}{A_b'}$

*1：腐食を考慮しない場合の基礎ボルトの最大引張応力 σ_b および最大せん断応力 τ_b の算出方法は、工認耐震計算書「VI-2-5-4-1-1 残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算書」に記載されている式番号を記載。

表 4 に従い、代表機器の基礎ボルトの腐食を考慮した引張応力、せん断応力の算出結果および算出過程を表 5 に示す。

表 5 基礎ボルトの腐食を考慮した引張応力、せん断応力

代表機器	地震の種類	応力分類	算出応力 (MPa)	算出過程
残留熱除去系熱交換器	Sd または 静的震度	引張	232	$\sigma_b \times \frac{A_b}{A'_b} = 226 \times \frac{(48 \div 2)^2 \times \pi}{\{(48 - 0.6) \div 2\}^2 \times \pi} = 231.7 \rightarrow 232 \text{MPa}$
		せん断	0	ラグの回転が拘束されており、基礎ボルトはせん断方向の応力が発生しない
	Ss	引張	436	$\sigma_b \times \frac{A_b}{A'_b} = 424 \times \frac{(48 \div 2)^2 \times \pi}{\{(48 - 0.6) \div 2\}^2 \times \pi} = 435.2 \rightarrow 436 \text{MPa}$
		せん断	0	ラグの回転が拘束されており、基礎ボルトはせん断方向の応力が発生しない

3 許容応力の算出

3.1 残留熱除去系熱交換器

表 3 より、基礎ボルトの許容応力算定用基準値 F 、 F^* は以下のとおりであり、DB 条件、SA 条件それぞれの許容応力状態での基準値をもとに許容引張応力 (f_{to})、許容せん断応力 (f_{sb}) および組合せを考慮した許容引張応力 (f_{ts}) を以下の (1)～(3) の算出式にて算出する。

【DB 条件】

<許容応力状態 III_{AS}>

$$F = \min[S_y, 0.7S_u]$$

$$= \min[730.7, 0.7 \times 868.3] = \min[730.7, 607.8] = 607 \text{ MPa}$$

<許容応力状態 IV_{AS}>

$$F^* = \min[1.2S_y, 0.7S_u]$$

$$= \min[1.2 \times 730.7, 0.7 \times 868.3] = \min[876.8, 607.8] = 607 \text{ MPa}$$

【SA 条件】

<許容応力状態 IV_{AS}>

$$F^* = \min[1.2S_y, 0.7S_u]$$

$$= \min[1.2 \times 659.4, 0.7 \times 847.0] = \min[791.2, 592.9] = 592 \text{ MPa}$$

(1) 許容引張応力 (f_{to}) の算出

【DB 条件】

<許容応力状態 III_{AS}, IV_{AS}>

$$f_{to} = \frac{F}{2} \cdot 1.5 = \frac{607}{2} \times 1.5 = 455.2 \quad \doteq \quad 455 \text{ MPa}$$

【SA 条件】

<許容応力状態 IV_{AS}>

$$f_{to} = \frac{F^*}{2} \cdot 1.5 = \frac{592}{2} \times 1.5 = 444.0 \quad \doteq \quad 444 \text{ MPa}$$

(2) 許容せん断応力 (f_{sb}) の算出

【DB 条件】

<許容応力状態 III_{AS}, IV_{AS}>

$$f_{sb} = \frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5 = \frac{607}{1.5 \times \sqrt{3}} \times 1.5 = 350.4 \quad \doteq \quad 350 \text{ MPa}$$

【SA 条件】

<許容応力状態 IV_{AS}>

$$f_{sb} = \frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5 = \frac{592}{1.5 \times \sqrt{3}} \times 1.5 = 341.7 \quad \doteq \quad 341 \text{ MPa}$$

(3) 組合せを考慮した許容引張応力 (f_{ts}) の算出

$$\begin{aligned} \text{【DB 条件】 } f_{ts} &= \min[1.4 \times f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b', f_{to}] = \min[1.4 \times 455.2 - 1.6 \times 0, 455.2] \\ &= \min[637.28, 455.2] \\ &= 455 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{【SA 条件】 } f_{ts} &= \min[1.4 \times f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b', f_{to}] = \min[1.4 \times 444.0 - 1.6 \times 0, 444.0] \\ &= \min[621.6, 444.0] \\ &= 444 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4. 評価結果

表 6 に代表機器の機器付基礎ボルトの腐食を考慮した耐震安全性評価結果を示す。算出結果より、代表機器の引張、せん断ともに発生応力は、許容応力以下であることを確認した。

表 6 機器付基礎ボルトの腐食を考慮した耐震安全性評価結果

代表機器	周囲環境温度 (°C)	地震の 種類	応力 分類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
残留熱除去系 熱交換器	DB 条件 : 66	Sd または 静的震度	引張	232	455
			せん断	0	350
		Ss	引張	436	455
			せん断	0	350
	SA 条件 : 140	Ss	引張	436	444
			せん断	0	341

後打ちアンカの耐震安全性評価について

後打ちアンカ（後打ちメカニカルアンカおよび後打ちケミカルアンカ）については、メーカーの後打ちアンカ使用基準に基づき、設計許容荷重を定めており、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。

後打ちアンカの許容荷重は、ボルト部の破損、コンクリートのコーン状破壊および引抜（付着力喪失）を想定して定められるが、技術評価においてボルトの直上部および後打ちメカニカルアンカのコンクリート埋設部に腐食が想定されると評価しており、ボルトの腐食により影響を受けるのは、上記想定の中で「ボルト部の破損」である。

このことから、保守的に設定した運転開始後 60 年間の腐食量である 0.3mm を想定し、設計許容荷重が負荷された時のボルト発生応力と許容応力を算出した結果、ボルトの発生応力はいずれも許容応力を下回ることを確認した。確認結果を表 1 および表 2 に示す。

また、高経年化技術評価対象機器のうち、工事計画認可における S クラス機器の後打ちアンカの基準地震動 S_s に対する評価結果を表 3 に示す。表 3 に示す機器のうち、代表機器として「230V 系直流盤」^{※1} および「115V 系蓄電池」^{※2} を選定し、後打ちアンカのボルト減肉を想定した耐震評価結果を表 4、表 5 にそれぞれ示す。

※1：工認の耐震設計の基本方針「VI-2-1-7 設計用床応答スペクトルの作成方針」において設定した設計用震度 I または II にて評価した機器のうち応力比が最大の機器

※2：設計用震度 I を上回る震度または設計用震度 II を上回る震度にて評価した機器のうち応力比が最大の機器

以上より、後打ちアンカについては、機種に関わらず、コンクリート直上部および後打ちメカニカルアンカのコンクリート埋設部の腐食を想定した場合においても、耐震安全性は確保できると評価する。

表1 後打ちメカニカルアンカの許容荷重とボルト発生応力および許容応力

		M6	M8	M10	M12	M16	M20
ボルト断面積 (mm ²) *1	減肉前	28.27	50.26	78.53	113.09	201.06	314.15
	減肉後	22.9	43.0	69.39	102.07	186.26	295.59
アンカの設計許容荷重(kN) *2	引張	1.5	2.4	3.3	4.8	5.6	10.1
	せん断	1.8	3.0	5.3	8.3	14.2	22.4
設計許容荷重負荷時のボルト発生応力(MPa)	引張	53	48	43	43	28	33
	せん断	64	60	74	74	71	72
設計許容荷重負荷, 減肉時のボルト発生応力(MPa)	引張	66	56	48	47	30	35
	せん断	79	70	77	82	77	76
ボルトの許容応力(MPa)*3	引張	147	147	147	147	147	141
	せん断	113	113	113	113	113	108
減肉後のボルト応力比*4	引張	0.45	0.38	0.33	0.32	0.21	0.25
	せん断	0.70	0.62	0.69	0.73	0.69	0.71

*1：ボルト呼び径より算出した断面積

*2：後打ちアンカ使用基準の規定値（短期荷重）に基づく値

*3：日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補版を含む））
 <第Ⅰ篇 軽水炉規格> JSME S NC1-2005/2007」付録材料図表Part5 表8, 表9より求まる値

なお、許容応力は以下の条件に基づき算出した。

・ボルト材質：SS400

設計降伏点：Sy = 245MPa（径≤16mm），235MPa（16mm<径≤40mm）

設計引張強さ：Su = 400MPa

・周囲環境温度：40℃

設計・建設規格 SSB-3133に基づき、許容応力状態Ⅲ_ASにおける許容応力を適用する。導出過程（M12における計算例）は以下のとおり。

$$F = \min(Sy, 0.7Su) = \min(245, 0.7 \times 400) = \min(245, 280) = 245 \text{ MPa}$$

許容応力状態Ⅲ_ASの許容引張応力 f_t 、許容せん断応力 f_s は以下のとおり。

$$f_t = 1.5 \times F / 2 \times 0.8^{**} = 1.5 \times 245 / 2 \times 0.8^{**} = 147 \text{ MPa}$$

$$f_s = 1.5 \times F / 1.5\sqrt{3} \times 0.8^{**} = 1.5 \times 245 / 1.5\sqrt{3} \times 0.8^{**} = 113 \text{ MPa}$$

※：JEAG4601に基づく許容応力の20%低減を考慮

*4：減肉後のボルト応力比＝減肉時のボルト発生応力／許容応力

表2 後打ちケミカルアンカの許容荷重とボルト発生応力および許容応力

		M12	M16	M20	M22	M24
ボルト断面積(mm) *1	減肉前	113.09	201.06	314.15	380.13	452.38
	減肉後	102.07	186.26	295.59	359.68	430.05
アンカの設計許容荷重(kN) *2	引張	12.4	22.5	34.5	42.7	50.1
	せん断	7.7	14.3	21.4	26.5	33.9
設計許容荷重負荷時のボルト発生応力(MPa)	引張	110	112	110	113	111
	せん断	68	72	69	70	75
設計許容荷重負荷, 減肉時のボルト発生応力(MPa)	引張	122	121	117	119	117
	せん断	76	77	73	74	79
ボルトの許容応力(MPa) *3	引張	147	147	141	141	141
	せん断	113	113	108	108	108
減肉後のボルト応力比*4	引張	0.83	0.83	0.83	0.85	0.83
	せん断	0.68	0.69	0.68	0.69	0.74

*1：ボルト呼び径より算出した断面積

*2：後打ちアンカ使用基準の規定値（短期荷重）または規格基準規定値

*3：日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補版を含む））
 <第I篇 軽水炉規格> JSME S NC1-2005/2007」付録材料図表Part5 表8, 表9より求まる
 値

なお、許容応力は以下の条件に基づき算出した。

・ボルト材質：SS400

設計降伏点： $S_y = 245\text{MPa}$ （径 $\leq 16\text{mm}$ ）， 235MPa （ $16\text{mm} < \text{径} \leq 40\text{mm}$ ）

設計引張強さ： $S_u = 400\text{MPa}$

・周囲環境温度： 40°C

設計・建設規格 SSB-3133に基づき、許容応力状態Ⅲ_ASにおける許容応力を適用する。導出過程（M12における計算例）は以下のとおり。

$$F = \min(S_y, 0.7S_u) = \min(245, 0.7 \times 400) = \min(245, 280) = 245\text{MPa}$$

許容応力状態Ⅲ_ASの許容引張応力 f_t 、許容せん断応力 f_s は以下のとおり。

$$f_t = 1.5 \times F / 2 \times 0.8^{**} = 1.5 \times 245 / 2 \times 0.8^{**} = 147\text{MPa}$$

$$f_s = 1.5 \times F / 1.5\sqrt{3} \times 0.8^{**} = 1.5 \times 245 / 1.5\sqrt{3} \times 0.8^{**} = 113\text{MPa}$$

※：JEAG4601に基づく許容応力の20%低減を考慮

*4：減肉後のボルト応力比＝減肉時のボルト発生応力／許容応力

表3 工事計画認可におけるSクラス機器の後打ちアンカの基準地震動Ssに対する評価結果(1/2)

分類	機器名称	後打ちアンカ種別	応力分類	応力比	評価に用いた震度	代表
計測制御 設備	原子炉圧力	ケミカルアンカ	引張	0.106	設計用震度Ⅱ	
			せん断	0.026		
	低圧炉心スプレッドポンプ出口圧力	ケミカルアンカ	引張	0.065	設計用震度Ⅱ	
			せん断	0.234		
	ドライウェル圧力	ケミカルアンカ	引張	0.137	設計用震度Ⅰを上 回る震度	
			せん断	0.021		
	主蒸気管周囲温度	ケミカルアンカ	引張	0.080	設計用震度Ⅱ	
			せん断	0.008		
	低圧炉心スプレッドポンプ出口流量	ケミカルアンカ	引張	0.065	設計用震度Ⅱ	
			せん断	0.234		
	スクラム排出水容器水位	ケミカルアンカ	引張	0.270	設計用震度Ⅱ	
			せん断	0.035		
	原子炉水位	ケミカルアンカ	引張	0.178	設計用震度Ⅰを上 回る震度	
			せん断	0.035		
	トラス水位	ケミカルアンカ	引張	0.033	設計用震度Ⅱ	
			せん断	0.043		
	取水槽水位	ケミカルアンカ	引張	0.410	設計用震度Ⅱを上 回る震度	
			せん断	0.263		
格納容器雰囲気放射線(サブセッションチェンバ)	ケミカルアンカ	引張	0.013	設計用震度Ⅱ		
		せん断	0.009			

表3 工事計画認可におけるSクラス機器の後打ちアンカの基準地震動S_sに対する評価結果(2/2)

分類	機器名称	後打ちアンカ種別	応力分類	応力比	評価に用いた震度	代表
計測制御 設備	原子炉棟排気高レンジ放射線	ケミカルアンカ	引張	0.007	設計用震度Ⅱ	
			せん断	0.008		
	燃料取替階放射線	ケミカルアンカ	引張	0.007	設計用震度Ⅱ	
			せん断	0.008		
	監視カメラ制御盤*1	ケミカルアンカ	引張	0.270	設計用震度Ⅱ	
			せん断	0.196		
電源設備	115V系蓄電池	ケミカルアンカ	引張	0.875	設計用震度Ⅱを上 回る震度	○
			せん断	0.225		
	230V系蓄電池	ケミカルアンカ	引張	0.441	設計用震度Ⅱを上 回る震度	
			せん断	0.163		
	115V系充電器	ケミカルアンカ	引張	0.851	設計用震度Ⅱを上 回る震度	
			せん断	0.219		
	原子炉中性子計装用充電器	ケミカルアンカ	引張	0.604	設計用震度Ⅱを上 回る震度	
			せん断	0.135		
	原子炉中性子計装用分電盤	ケミカルアンカ	引張	0.158	設計用震度Ⅱ	
			せん断	0.206		
	230V系直流盤	ケミカルアンカ	引張	0.410	設計用震度Ⅱ	○
			せん断	0.085		

*1: 新規に設置される機器

表 4 設計用震度 I または設計用震度 II のうち応力比最大機器の減肉耐震評価結果（後打ちケミカルアンカ）

機器名称	ボルト呼び径 (本数)	断面積		設計許容荷重 (kN)		発生荷重 ^{*2} (kN)		発生応力 (MPa)				許容応力 ^{*3} (MPa)		応力比			
		減肉前(mm ²)	減肉後(mm ²) ^{*1}	引張	せん断	引張	せん断	減肉前		減肉後		引張	せん断	減肉前		減肉後	
								引張	せん断	引張	せん断			引張	せん断	引張	せん断
230V系直流盤	M16 (14)	201.1	186.3	22.5	14.3	12.6	2.0 (ボルト1本あたり)	63	10	68	11	154	119	0.410	0.085	0.442	0.093

*1：運転開始後 60 年時点での腐食量（半径 0.3mm）を全周に仮定

*2：工認耐震計算書「VI-2-10-1-4-24 230V 系直流盤（RCIC）の耐震性についての計算書」における「ボルトに作用する力（基準地震動 S_s）」

*3：日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補版を含む））＜第 I 篇 軽水炉規格＞ JSME S NC1-2005/2007」付録材料図表Part5 表8, 表9より求まる値S_y, S_uおよび以下条件に基づき、算出した。

・ボルト材質：SS400

設計降伏点：S_y = 215MPa（40mm<径≦100mm）

設計引張強さ：S_u = 400MPa（40mm<径≦100mm）

・周囲環境温度：40℃

設計・建設規格 SSB-3133に基づき、許容応力状態IV_ASにおける許容応力を適用する。導出過程は以下のとおり。

$$F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u) = \min(1.2 \times 215, 0.7 \times 400) = \min(258, 280) = 258\text{MPa}$$

許容応力状態IV_ASの許容引張応力f_t, 許容せん断応力f_sは以下のとおり。

$$f_t = 1.5 \times F^* / 2 \times 0.8^* = 1.5 \times 258 / 2 \times 0.8^* = 154\text{MPa}$$

$$f_s = 1.5 \times F^* / (1.5\sqrt{3}) \times 0.8^* = 1.5 \times 258 / (1.5\sqrt{3}) \times 0.8^* = 119\text{MPa}$$

※：JEAG4601 に基づく許容応力の 20%低減を考慮

表 5 設計用震度 I を上回る震度または設計用震度 II を上回る震度のうち応力比最大機器の減肉耐震評価結果（後打ちケミカルアンカ）

機器名称	ボルト呼び径 (本数)	断面積		設計許容荷重 (kN)		発生荷重 (kN)		発生応力 (MPa)				許容応力 ^{*3} (MPa)		応力比			
		減肉前(mm)	減肉後(mm) ^{*1}	引張	せん断	引張	せん断	減肉前		減肉後		引張	せん断	減肉前		減肉後	
								引張	せん断	引張	せん断			引張	せん断	引張	せん断
115V系蓄電池	M16 (7)	201.1	186.3	22.5	14.3	29.6 ^{*2}	5.8 ^{*2} (ボルト1本あたり)	147	29	159	32	168	129	0.88	0.23	0.95	0.25

*1：運転開始後 60 年時点での腐食量（半径 0.3mm）を全周に仮定

*2：設計許容荷重に対して発生荷重が上回っているが、設計用震度 I における発生荷重は引張：13.2 kN，せん断：2.2 kNであり設計許容荷重を下回る。

*3：日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補版を含む））＜第 I 篇 軽水炉規格＞ JSME S NC1-2005/2007」付録材料図表Part5 表8，表9より求まる値 S_y ， S_u および以下条件に基づき，算出した。

・ボルト材質：SS400

設計降伏点： $S_y = 245\text{MPa}$ （径 $\leq 16\text{mm}$ ）

設計引張強さ： $S_u = 400\text{MPa}$ （径 $\leq 16\text{mm}$ ）

・周囲環境温度：40℃

設計・建設規格 SSB-3133に基づき，許容応力状態IV_ASにおける許容応力を適用する。導出過程は以下のとおり。

$$F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u) = \min(1.2 \times 245, 0.7 \times 400) = \min(294, 280) = 280\text{MPa}$$

許容応力状態IV_ASの許容引張応力 f_t ，許容せん断応力 f_s は以下のとおり。

$$f_t = 1.5 \times F^* / 2 \times 0.8^{**} = 1.5 \times 280 / 2 \times 0.8^{**} = 168\text{MPa}$$

$$f_s = 1.5 \times F^* / (1.5\sqrt{3}) \times 0.8^{**} = 1.5 \times 280 / (1.5\sqrt{3}) \times 0.8^{**} = 129\text{MPa}$$

※：JEAG4601 に基づく許容応力の 20%低減を考慮

津波監視カメラの評価結果について

津波監視カメラについて、後打ちアンカを使用しているが、ボルト材質がステンレス鋼であることから、ボルトの腐食（全面腐食）は想定されないため、ボルトの腐食（全面腐食）を考慮した耐震評価は不要と整理した。なお、津波監視カメラの耐震評価は工事計画認可申請（VI-2-10-2-17 津波監視カメラの耐震性についての計算書）にて評価済みであり、評価結果を以下に示す。

1. 概要

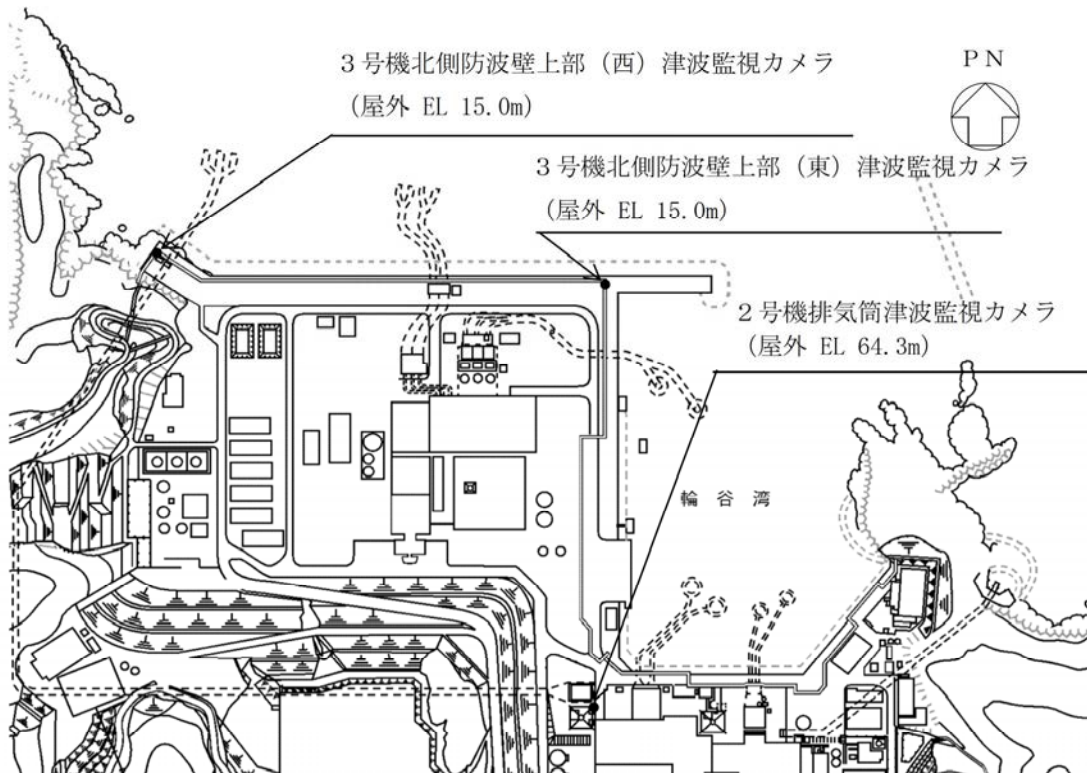
津波監視カメラは3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ、3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラおよび2号機排気筒津波監視カメラの3式を設置している。

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラおよび3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラは監視カメラ架台と取付ボルトにより固定され、監視カメラ架台は防波壁上に基礎ボルト（後打ちケミカルアンカ）により固定される。

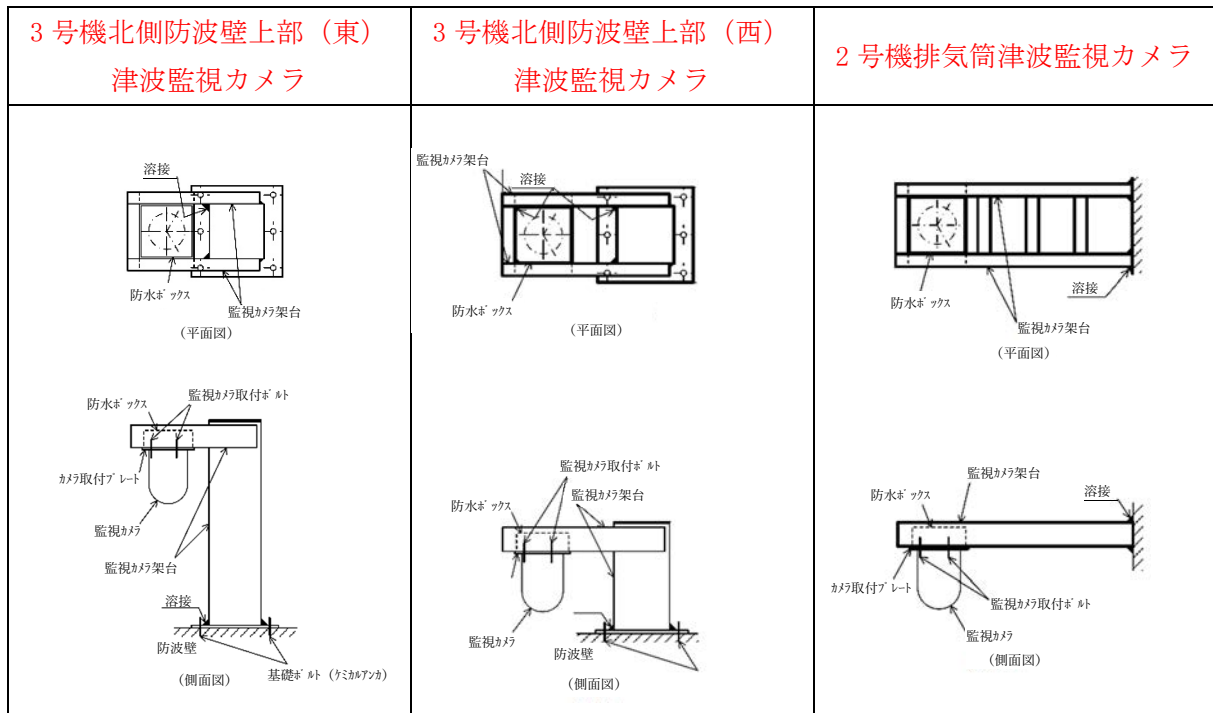
2号機排気筒津波監視カメラは監視カメラ架台と取付ボルトにより固定され、監視カメラ架台は排気筒支柱材に溶接により固定される。

それぞれの津波監視カメラの配置図を2.に概略構造図を3.に工事計画認可申請における基準地震動 S_s に対する評価結果を4.に示す。

2. 津波監視カメラの配置図



3. 概略構造図



4. 基礎ボルト（後打ちケミカルアンカ）の基準地震動 S_s に対する評価結果

機器名称	材料	評価に用いた 震度	発生応力 (MPa)		許容応力 (MPa)	
			引張	せん断	引張	せん断
3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ	SUS316	設計用震度 I を上回る震度	57	11	123	94
3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラ	SUS316		39	16	123	94
2号機排気筒津波監視カメラ	※					

※：溶接固定のため省略

動的機能維持評価について

1. 動的機能維持評価の対象機器・整理方法について

地震時に動的機能維持が要求される機器については、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おいても動的機能が維持されることを確認する。

(1) 対象機器の整理

高経年化対策実施ガイドで要求されている動的機能維持評価の対象は、“地震時または地震後に動的機能維持が要求される機器の振動特性に有意な影響を及ぼす経年劣化事象”が想定される機器である。また、動的機能の維持が要求される機器については、工事計画認可で対象機器を整理している。

したがって、耐震安全性評価で抽出した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（弁の場合は接続される配管の経年劣化を含む）のうち、工事計画認可で動的機能維持が要求される機器を動的機能維持の評価対象機器とする。

動的機能維持評価対象機器の抽出フローを図1に、抽出手順を表1に示す。

(2) 整理結果

前項にて抽出された機器の動的機能維持評価の実施要否について、以下のとおり検討した。

a. 配管、弁

想定される経年劣化事象として低サイクル疲労割れおよび腐食（流れ加速型腐食）がある。

低サイクル疲労割れについては、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れ累積係数（接液部は環境疲労を考慮した疲れ累積係数）を基準地震動 S_s または弾性設計用地震動 S_d を考慮した疲れ累積係数が1を下回り、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。

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を確認する。

b. ポンプ、熱交換器、容器、炉内構造物、機械設備

評価対象機器のうち、熱交換器、容器および炉内構造物については、経年劣化事象が想定されるが、動的機能維持要求のない機器であり評価は不要と判断した。

評価対象機器のうち、ポンプおよび機械設備については動的機能維持要求があるが、基礎ボルトの腐食（全面腐食）を想定したうえで、60年時点での経年劣化を考慮した耐震安全性評価の結果、発生応力が許容応力を下回ることから、機器の振動応答特性への影響が「軽微もしくは無視」できる事象であると評価し、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。

これより経年劣化を考慮しても、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はないと考えられ、地震時の動的機能について維持されると判断する。上記を踏まえた動的機能維持評価対象機器の整理結果を表2に示す。

2. 動的機能維持評価の結果

経年劣化事象による影響を考慮した動的機能維持評価結果を表3に示す。経年劣化事象による振動応答特性への影響を考慮しても、地震時の応答加速度が機能確認済加速度以下であることから、動的機能が維持されることを確認した。

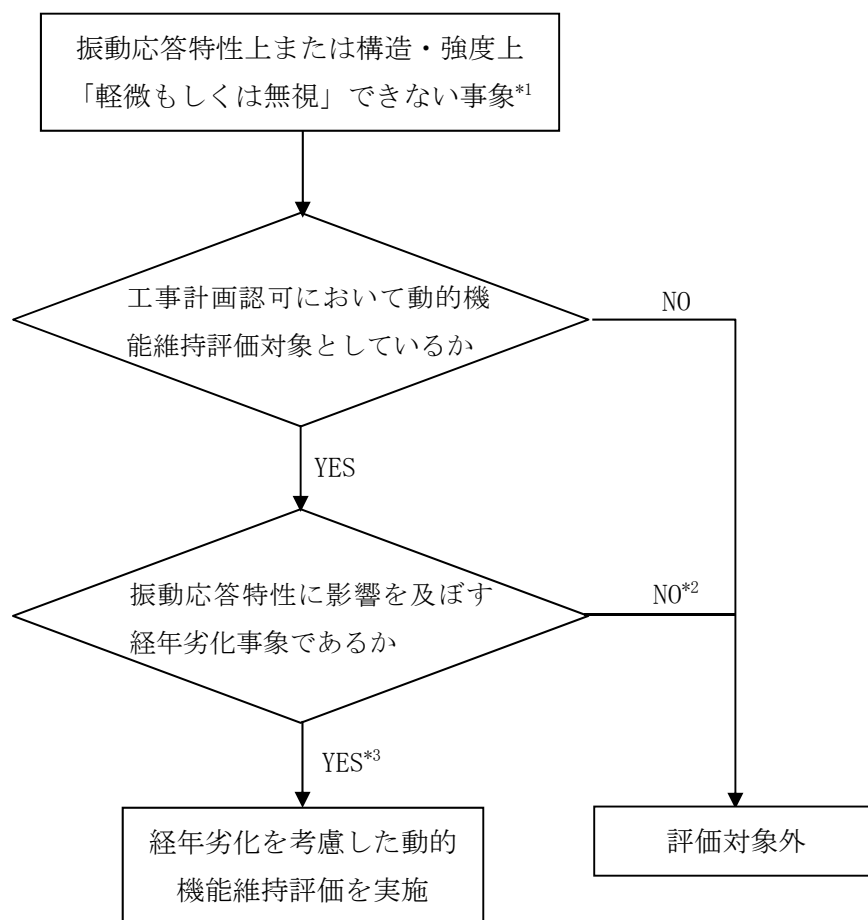


図1 動的機能維持評価対象機器の抽出フロー

- *1：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事象のうち、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（◎事象）
- *2：低サイクル疲労、基礎ボルトの全面腐食について発生値が許容値（疲れ累積係数または許容応力）を下回ることを確認しているため振動応答特性に影響を与える経年劣化事象ではない
- *3：弁の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ため、弁については動的機能維持評価対象として整理する

表1 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出までの手順

技術評価で想定される経年劣化事象		ステップ1	ステップ2		ステップ3	
高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	下記①, ②を除く経年劣化事象	○	i	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	×	×
			ii	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	○	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 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
高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	① 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難い経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの (日常劣化管理事象_△事象)	○	i	日常劣化管理事象であるが、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	—	—
			ii	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	○	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 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
	② 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象 (日常劣化管理事象以外_▲事象)	—	—	—	—	—

○：評価対象として抽出。

—：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象であり、日常劣化管理事象以外であるもの、あるいは日常劣化管理事象であるが、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して評価対象から除外。

×：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して評価対象から除外。

■：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。

表2 動的機能維持評価対象機器の抽出に関する整理 (1/3)

機種	機器	耐震重要度	部位	振動応答特性に有意な影響を及ぼす経年劣化事象	耐震評価	動的機能要求有無	評価要否	判断した理由
ポンプ	原子炉再循環ポンプ	S	ケーシング	低サイクル疲労	◎	無※	否	①
				熱時効	◎	無※	否	①
熱交換器	原子炉補機冷却系熱交換器	S	伝熱管	流れ加速型腐食	◎	無	否	①
	排ガス予熱器	B	伝熱管	摩耗	◎	無	否	①
			胴	流れ加速型腐食	◎	無	否	①
			管支持板	流れ加速型腐食	◎	無	否	①
	原子炉浄化系再生熱交換器	B	胴	流れ加速型腐食	◎	無	否	①
高压炉心スプレ補機冷却系熱交換器	S	伝熱管	流れ加速型腐食	◎	無	否	①	
容器	原子炉圧力容器	S	ノズル等	低サイクル疲労	◎	無	否	①
			円筒胴	中性子照射脆化	◎	無	否	①
	原子炉格納容器	S	ベント管ヘローズ	低サイクル疲労	◎	無	否	①
	機械ネトレーション	S	主蒸気系配管貫通部ヘローズ	低サイクル疲労	◎	無	否	①
			給水系配管貫通部ヘローズ	低サイクル疲労	◎	無	否	①

①：動的機能要求の無い機器のため評価不要

②：経年劣化を考慮した耐震安全性評価の結果、許容値を下回ることを確認している機器のため評価不要

③：経年劣化を考慮した場合に、振動応答特性に影響を及ぼす可能性があるため影響評価を行う必要がある

※：回転機器であるが、原子炉圧力容器のバウンダリ機能維持の要求のみ有りのため、動的機能の要求は無い

表2 動的機能維持評価対象機器の抽出に関する整理 (2/3)

機種	機器		耐震 重要度	部位	振動応答特性に有意な影響 を及ぼす経年劣化事象	耐震評価	動的機能 要求有無	評価要否	判断した 理由
配管 (接続弁※ 含む)	ステンレス鋼 配管	原子炉再循環系	S	配管	低サイクル疲労	◎	無	否	①
		原子炉浄化系	S	配管	低サイクル疲労	◎	有	否	②
		残留熱除去系	S	配管	低サイクル疲労	◎	無	否	①
	炭素鋼 配管	給水系	S	配管	低サイクル疲労	◎	有	否	②
		主蒸気系	S	配管	低サイクル疲労	◎	有	否	②
		原子炉浄化系	S	配管	低サイクル疲労	◎	無	否	①
		原子炉隔離時冷却系	S	配管	低サイクル疲労	◎	有	否	②
		残留熱除去系	S	配管	低サイクル疲労	◎	有	否	②
		低圧炉心スプレイ系	S	配管	低サイクル疲労	◎	有	否	②
		高圧炉心スプレイ系	S	配管	低サイクル疲労	◎	有	否	②
	給水系	S	配管	流れ加速型腐食	◎	無	否	①	
	復水系	B	配管	流れ加速型腐食	◎	無	否	①	
	原子炉ヘントリ系	S	配管	流れ加速型腐食	◎	無	否	①	
	原子炉隔離時冷却系	S	配管	流れ加速型腐食	◎	有	要	③	
	残留熱除去系	S	配管	流れ加速型腐食	◎	無	否	①	
	タービンラント蒸気系	B	配管	流れ加速型腐食	◎	無	否	①	
補助蒸気系	B	配管	流れ加速型腐食	◎	無	否	①		

①：動的機能要求の無い機器のため評価不要

②：経年劣化を考慮した耐震安全性評価の結果、許容値を下回ることを確認している機器のため評価不要

③：経年劣化を考慮した場合に、振動応答特性に影響を及ぼす可能性があるため影響評価を行う必要がある

※：接続先に動的機能要求の弁が有る場合

表2 動的機能維持評価対象機器の抽出に関する整理 (3/3)

機種	機器	耐震 重要度	部位	振動応答特性に有意な影 響を及ぼす経年劣化事象	耐震評価	動的機能 要求有無	評価要否	否とした 理由	
弁	原子炉再循環ポンプ 出口弁	S	弁箱	低サイクル疲労	◎	無	否	①	
				熱時効	◎	無	否	①	
	残留熱除去ポンプ 炉水戻り弁	S	弁箱	低サイクル疲労	◎	有	否	②	
	原子炉給水内側隔離逆止弁	S	弁箱	低サイクル疲労	◎	有	否	②	
	主蒸気隔離弁	S	弁箱	低サイクル疲労	◎	有	否	②	
	仕切弁	原子炉再循環系	S	弁箱	低サイクル疲労	◎	無	否	①
		原子炉浄化系	S	弁箱	低サイクル疲労	◎	有	否	②
		残留熱除去系	S	弁箱	低サイクル疲労	◎	有	否	②
		低圧炉心スプレイ系	S	弁箱	低サイクル疲労	◎	有	否	②
		高圧炉心スプレイ系	S	弁箱	低サイクル疲労	◎	有	否	②
	逆止弁	給水系	S	弁箱	低サイクル疲労	◎	有	否	②
		残留熱除去系	S	弁箱	低サイクル疲労	◎	有	否	②
		低圧炉心スプレイ系	S	弁箱	低サイクル疲労	◎	有	否	②
		高圧炉心スプレイ系	S	弁箱	低サイクル疲労	◎	有	否	②
炉内構造物	炉心シュラウド	S	上部胴, 中間胴, 下部胴, リング	低サイクル疲労	◎	無	否	①	
	シュラウドサポート	S	シリング, プレート, レグ	低サイクル疲労				①	
機械設備	基礎ボルト	S	基礎ボルト	全面腐食	◎	有	否	②	

- ①：動的機能要求の無い機器のため評価不要
 ②：経年劣化を考慮した耐震安全性評価の結果、許容値を下回ることを確認している機器のため評価不要
 ③：経年劣化を考慮した場合に、振動応答特性に影響を及ぼす可能性があるため影響評価を行う必要がある

表3 経年劣化事象を考慮した動的機能維持評価結果

経年劣化事象	地震力		仕切弁	
			蒸気内側隔離弁	
			機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
流れ加速型腐食	Ss	水平	3.2*	6.0
		鉛直	3.8*	6.0

*：減肉考慮前後で機能維持評価用加速度の値に差異なし

弁に接続する配管の経年劣化事象（流れ加速型腐食）による弁の振動応答特性への影響を考慮しても、弁の地震時の応答加速度が機能確認済加速度以下であることから、弁の動的機能が維持されることを確認した。

当該弁の評価に用いた解析モデル図を図2に、弁の動的機能維持評価における機能維持評価用加速度の算定方針を補紙（1）に示す。

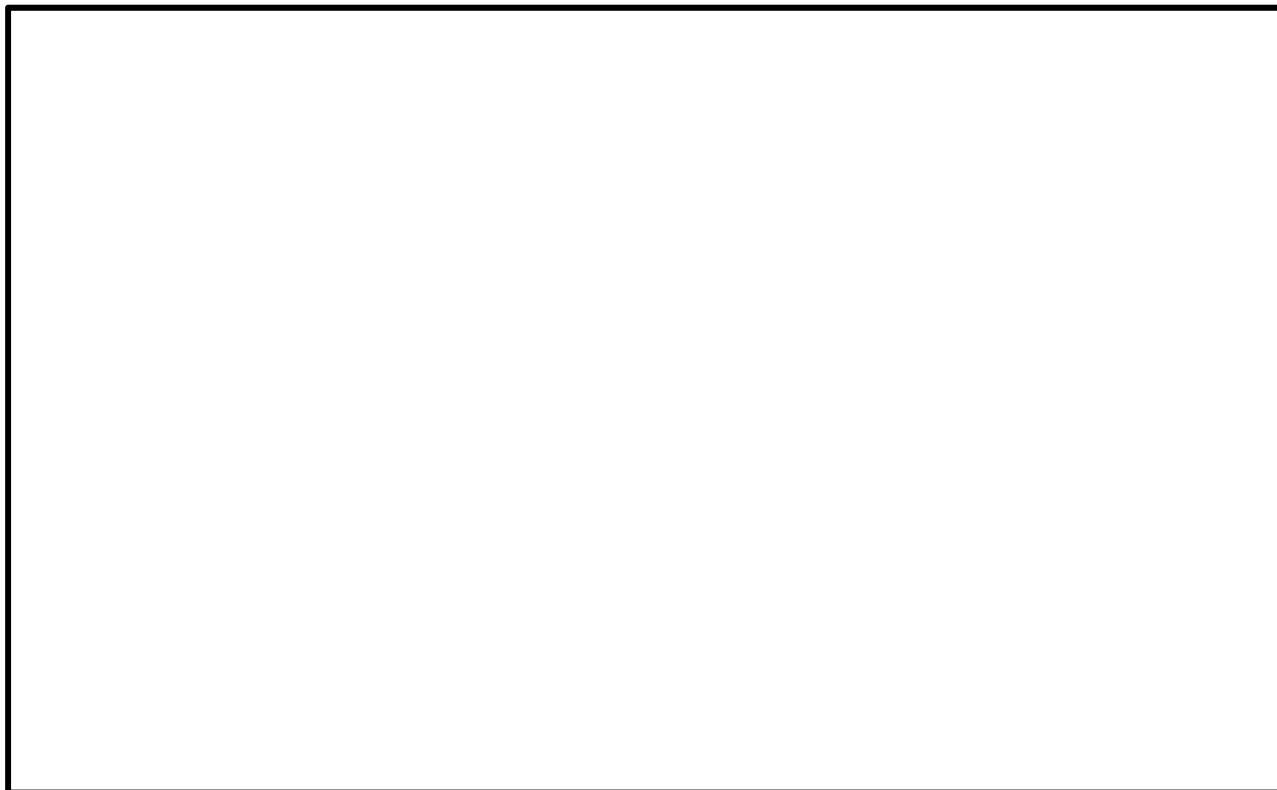


図2 原子炉隔離時冷却系配管 解析モデル図（蒸気内側隔離弁 接続配管）

弁の動的機能維持評価における機能維持評価用加速度の算定方針

1. 概要

実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈等における動的機能維持に関する評価に係る一部改正（以下「技術基準規則解釈等の改正」という。）およびそれに伴い改正された耐震設計に係る工認審査ガイドの記載を踏まえて、島根原子力発電所2号機における配管系に設置される弁の動的機能維持に適用する加速度の算定方針を示す。

2. 機能維持評価用加速度の算定方針

(1) 耐震設計手順

JEAG4601において、配管系の固有値に応じた弁の動的機能維持評価に用いる弁駆動部の応答加速度の算定方針について、以下の通り示されている。

- ・剛構造：最大応答加速度（以下「ZPA」という。）を用いる
- ・柔構造：設計用床応答スペクトルを入力とした配管系のスペクトルモード解析を行い算出された弁駆動部での応答加速度を用いる

また、耐震設計に係る工認審査ガイドにおいて、弁等の応答加速度が配管の地震応答により増加すると考えられる場合に一定の余裕を見込むことが記載されていることから、島根原子力発電所2号機の弁の機能維持評価の耐震設計手順は表1のとおりとした。

表1 弁の機能維持評価の耐震設計手順の比較

配管系の固有値	JEAG4601	島根原子力発電所2号機の耐震設計手順
剛構造	最大応答加速度 (1.0ZPA) を適用	最大応答加速度を 1.2 倍した値 (1.2ZPA) を適用
柔構造	スペクトルモード解析により算出した弁駆動部の応答を適用	スペクトルモード解析*により算出した弁駆動部の応答と最大応答加速度を 1.2 倍した値 (1.2ZPA) のいずれか大きい方の値を適用

*：20Hz を超える振動数領域まで考慮した地震応答解析により算定

(2) スペクトルモード解析における考慮事項

弁の動的機能維持評価について、高振動数領域を考慮したスペクトルモード解析を実施した。具体的には、弁の動的機能維持評価に用いる床応答スペクトルは、50Hz までの範囲で床応答スペクトルを作成し、50Hz 以上を最大応答加速度 (1.0ZPA) としたうえで、水平2方向および鉛直方向を考慮した。なお、50Hz までの評価に対して100Hz までの評価を比較し、有意な増加が無いことを確認している。

解析の結果、高経年化技術評価において動的機能維持評価が必要となった「蒸気内側隔離弁」において、高振動数領域を含めた評価においても、腐食の有無によらず機能確認済加速度を上回ることが無く、弁の動的機能が維持されることを確認した。

弁の動的機能維持評価結果を表 2 に示す。

表 2 経年劣化事象を考慮した動的機能維持評価結果（打切り振動数 50Hz）

系統	弁名称	弁型式	地震動	方向	劣化考慮無		劣化（流れ加速型腐食）考慮有	
					機能維持評価用 加速度*1	機能確認済 加速度	機能維持評価用 加速度*1	機能確認済 加速度
RCIC	蒸気内側 隔離弁	電動 ゲート弁	Ss	水平	3.2	6.00	3.2	6.00
					1.0		1.0	
					3.2		3.2	
				鉛直	3.8	6.00	3.8	6.00
					3.8		3.8	
					1.5		1.5	

*1：上段が動的解析結果（打切り振動数 50Hz）と最大応答加速度（1.2ZPA）における最大値，中段が動的解析結果（打切り振動数 50Hz）の値，下段が最大応答加速度（1.2ZPA）の値

経年劣化事象を考慮した動的機能維持評価を実施する弁の選定について

1. 概要

経年劣化事象を考慮した動的機能維持評価を実施する弁については、弁の接続配管に流れ加速型腐食が生じた場合、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ことから、当該弁を動的機能維持評価対象として選定している。

本資料では、設工認において動的機能維持評価対象と選定した弁に対して、その弁が設置される系統または接続される配管のモデルを整理し、流れ加速型腐食の影響を考慮する弁が蒸気内側隔離弁（RCIC）であることを示す。

また、参考として、流れ加速型腐食を考慮する必要がある配管および自主管理範囲における弁の動的機能維持評価結果を示す。

2. 設工認において動的機能維持評価対象と選定した弁

設工認において動的機能維持評価対象と選定した弁とその弁が設置される系統または接続される配管のモデルを表1に示す。

表1 設工認において動的機能維持評価対象と選定した弁とその弁が設置される系統または接続される配管モデル（1/5）

No.	系統	弁番号	弁名称	系統名称または 弁が接続される配管モデル
1	MS	RV202-1A	Aー主蒸気逃がし安全弁	主蒸気系 (流れ加速型腐食を考慮する系統 ではない)
2	MS	RV202-1B	Bー主蒸気逃がし安全弁	
3	MS	RV202-1C	Cー主蒸気逃がし安全弁	
4	MS	RV202-1D	Dー主蒸気逃がし安全弁	
5	MS	RV202-1E	Eー主蒸気逃がし安全弁	
6	MS	RV202-1F	Fー主蒸気逃がし安全弁	
7	MS	RV202-1G	Gー主蒸気逃がし安全弁	
8	MS	RV202-1H	Hー主蒸気逃がし安全弁	
9	MS	RV202-1J	Jー主蒸気逃がし安全弁	
10	MS	RV202-1K	Kー主蒸気逃がし安全弁	
11	MS	RV202-1L	Lー主蒸気逃がし安全弁	
12	MS	RV202-1M	Mー主蒸気逃がし安全弁	
13	MS	AV202-1A	Aー主蒸気内側隔離弁	
14	MS	AV202-1B	Bー主蒸気内側隔離弁	
15	MS	AV202-1C	Cー主蒸気内側隔離弁	
16	MS	AV202-1D	Dー主蒸気内側隔離弁	

表1 設工認において動的機能維持評価対象と選定した弁とその弁が設置される系統または接続される配管の解析モデル (2/5)

No.	系統	弁番号	弁名称	系統名称または 弁が接続される配管モデル
17	MS	AV202-2A	A-主蒸気外側隔離弁	主蒸気系 (流れ加速型腐食を考慮する系統 ではない)
18	MS	AV202-2B	B-主蒸気外側隔離弁	
19	MS	AV202-2C	C-主蒸気外側隔離弁	
20	MS	AV202-2D	D-主蒸気外側隔離弁	
21	FW	AV204-101A	A-原子炉給水外側隔離逆止弁	FW-PD-1 (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)
22	FW	AV204-101B	B-原子炉給水外側隔離逆止弁	FW-PD-2 (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)
23	FW	V204-101A	A-原子炉給水内側隔離逆止弁	FW-PD-1 (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)
24	FW	V204-101B	B-原子炉給水内側隔離逆止弁	FW-PD-2 (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)
25	RHR	MV222-2A	A-RHR 熱交バイパス弁	RHR-R-5 (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)
26	RHR	MV222-2B	B-RHR 熱交バイパス弁	RHR-R-10 (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)
27	RHR	MV222-3A	A-RHR ドライウエル第1スプレイ弁	RHR-R-5B (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)
28	RHR	MV222-3B	B-RHR ドライウエル第1スプレイ弁	RHR-R-11 (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)
29	RHR	MV222-4A	A-RHR ドライウエル第2スプレイ弁	RHR-R-5B (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)
30	RHR	MV222-4B	B-RHR ドライウエル第2スプレイ弁	RHR-R-11 (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)

表1 設工認において動的機能維持評価対象と選定した弁とその弁が設置される系統または接続される配管の解析モデル (3/5)

No.	系統	弁番号	弁名称	系統名称または 弁が接続される配管モデル
31	RHR	MV222-5A	A-RHR 注水弁	RHR-R-5A (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)
32	RHR	MV222-5B	B-RHR 注水弁	RHR-R-11 (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)
33	RHR	MV222-5C	C-RHR 注水弁	RHR-R-16 (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)
34	RHR	MV222-6	RHR 炉水入口内側隔離弁	PLR-PD-2 (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)
35	RHR	MV222-7	RHR 炉水入口外側隔離弁	RHR-R-1 (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)
36	RHR	MV222-11A	A-RHR ポンプ炉水戻り弁	RHR-R-6 (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)
37	RHR	MV222-11B	B-RHR ポンプ炉水戻り弁	RHR-R-12 (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)
38	RHR	MV222-15A	A-RHR テスト弁	RHR-R-6 (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)
39	RHR	MV222-15B	B-RHR テスト弁	RHR-R-11 (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)
40	RHR	MV222-16A	A-RHR トーラススプレイ弁	RHR-R-6 (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)
41	RHR	MV222-16B	B-RHR トーラススプレイ弁	RHR-R-12 (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)

表1 設工認において動的機能維持評価対象と選定した弁とその弁が設置される系統または接続される配管の解析モデル (4/5)

No.	系統	弁番号	弁名称	系統名称または 弁が接続される配管モデル
42	RHR	AV222-1A	A-試験可能逆止弁	RHR-PD-4 (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)
43	RHR	AV222-1B	B-試験可能逆止弁	RHR-PD-5 (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)
44	RHR	AV222-1C	C-試験可能逆止弁	RHR-PD-6 (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)
45	RHR	AV222-3A	A-炉水戻り試験可能逆止弁	PLR-PD-2 (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)
46	RHR	AV222-3B	B-炉水戻り試験可能逆止弁	PLR-PD-1 (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)
47	HPCS	MV224-2	HPCS ポンプトラス入口弁	高圧炉心スプレイ系 (流れ加速型腐食を考慮する系統 ではない)
48	HPCS	MV224-3	HPCS 注水弁	
49	HPCS	AV224-1	試験可能逆止弁	
50	LPCS	MV223-2	LPCS 注水弁	低圧炉心スプレイ系 (流れ加速型腐食を考慮する系統 ではない)
51	LPCS	AV223-1	試験可能逆止弁	
52	RCIC	MV221-20	蒸気内側隔離弁	RCIC-PD-1 (流れ加速型腐食を考慮する必要 のあるモデルであり、動的機能維 持評価対象と選定)
53	RCIC	MV221-21	蒸気外側隔離弁	RCIC-R-3 (流れ加速型腐食を考慮する配管 モデルではない)
54	RCW	MV214-1A	A-RCW 常用補機冷却水入口切換弁	原子炉補機冷却系 (流れ加速型腐食を考慮する系統 ではない)
55	RCW	MV214-1B	B-RCW 常用補機冷却水入口切換弁	
56	RCW	MV214-7A	A-RHR 熱交冷却水出口弁	
57	RCW	MV214-7B	B-RHR 熱交冷却水出口弁	

表1 設工認において動的機能維持評価対象と選定した弁とその弁が設置される系統または接続される配管の解析モデル (5/5)

No.	系統	弁番号	弁名称	系統名称または 弁が接続される配管モデル
58	CUW	MV213-3	CUW 入口内側隔離弁	原子炉浄化系 (流れ加速型腐食を考慮する系統 ではない)
59	CUW	MV213-4	CUW 入口外側隔離弁	
60	CRD	AV212-126	水圧制御ユニットスクラム弁	制御棒駆動系 (流れ加速型腐食を考慮する系統 ではない)
61	CRD	AV212-127	水圧制御ユニットスクラム弁	
62	ADS	MV227-2A	A-逃がし弁 N2 入口弁	逃がし安全弁 N2 ガス供給系 (流れ加速型腐食を考慮する系統 ではない)
63	ADS	MV227-2B	B-逃がし弁 N2 入口弁	
64	SGT	AV226-1A	A-R/B 連絡弁	非常用ガス処理系 (流れ加速型腐食を考慮する系統 ではない)
65	SGT	AV226-1B	B-R/B 連絡弁	
66	FCS	MV229-1A	A-FCS 入口隔離弁	可燃性ガス濃度制御系 (流れ加速型腐食を考慮する系統 ではない)
67	FCS	MV229-1B	B-FCS 入口隔離弁	
68	FCS	MV229-2A	A-FCS 出口隔離弁	
69	FCS	MV229-2B	B-FCS 出口隔離弁	
70	NGC	AV217-10A	A-トーラス真空破壊隔離弁	窒素ガス制御系 (流れ加速型腐食を考慮する系統 ではない)
71	NGC	AV217-10B	B-トーラス真空破壊隔離弁	
72	TSW	MV247-1A	タービン補機海水系ポンプ出口弁	タービン補機海水系 (流れ加速型腐食を考慮する系統 ではない)
73	TSW	MV247-1B	タービン補機海水系ポンプ出口弁	
74	TSW	MV247-1C	タービン補機海水系ポンプ出口弁	
75	TSW	MV247-3	タービン補機海水系ポンプ第二出口弁	
76	TSW	V247-5	タービン補機海水系浸水防止逆止弁	
77	RWL	V252-6000	廃液放出管浸水防止逆止弁	液体廃棄物処理系 (流れ加速型腐食を考慮する系統 ではない)

3. 流れ加速型腐食を考慮する必要がある配管

流れ加速型腐食を考慮する必要がある配管については、JSME 減肉管理規格において流れ加速型腐食発生の可能性が低いとされている FAC-1 管理範囲以外で、常時流れがあり減肉の想定される範囲を評価対象として選定している。評価対象となる配管（解析モデル）を表 2～表 8 に示す。

表 2 流れ加速型腐食を考慮する必要がある配管（給水系配管）

No	系統名称	解析モデル
1	給水系	FW-T-1
2		FW-T-2
3		FW-T-3
4		FW-T-4
5		FW-T-5
6		FW-T-6
7		FW-T-7
8		FW-T-8
9		FW-T-1SPB
10		FW-T-2SPB
11		FW-T-3SPB
12		FW-T-4SPB

表 3 流れ加速型腐食を考慮する必要がある配管（復水系配管）（1/2）

No	系統名称	解析モデル
1	復水系	CRD-R-8
2		CW-T-1
3		CW-T-2
4		CW-T-5
5		CW-T-6
6		CW-T-7
7		CW-T-8
8		CW-T-9
9		CW-T-10
10		CW-T-11
11		CW-T-12
12		CW-T-13
13		CW-T-15
14		CW-T-16
15		CW-T-18
16		CW-T-21

表3 流れ加速型腐食を考慮する必要がある配管（復水系配管）（2/2）

No	系統名称	解析モデル
17	復水系	CW-T-27
18		CW-T-30A
19		CW-T-30B
20		CW-T-31
21		CW-T-32
22		CW-T-33
23		CW-T-34
24		CW-T-35
25		CW-T-36
26		CW-T-83
27		CW-T-1SPB
28		CW-T-2SPB
29		CW-T-3SPB
30		CW-T-22SPB
31		CW-T-23SPB
32		CW-T-154SPB
33		CW-T-155SPB
34		CW-T-156SPB
35		CW-T-157SPB
36		CW-T-158SPB
37		CW-T-159SPB
38		CW-T-160SPB
39		CW-T-161SPB
40		FW-T-3

表4 流れ加速型腐食を考慮する必要がある配管（原子炉ベントドレン系配管）

No	系統名称	解析モデル
1	原子炉ベント ドレン系	RVD-PD-1SP
2		RVD-PD-2SP

表5 流れ加速型腐食を考慮する必要がある配管（原子炉隔離時冷却系配管）

No	系統名称	解析モデル
1	原子炉隔離時冷却系	RCIC-PD-1
2		MS-PD-5
3		RCIC-R-7SP

表6 流れ加速型腐食を考慮する必要がある配管（残留熱除去系配管）

No	系統名称	解析モデル
1	残留熱除去系	RHR-PD-7
2		RHR-PD-21
3		RVD-PD-2SP

表7 流れ加速型腐食を考慮する必要がある配管（タービングラント蒸気系配管）

No	系統名称	解析モデル
1	タービングラント 蒸気系	TGS-T-3
2		TGS-T-2SPB
3		TGS-T-4SPB

表8 流れ加速型腐食を考慮する必要がある配管（補助蒸気系配管）

No	系統名称	解析モデル
1	補助蒸気系	TGS-T-2

4. 流れ加速型腐食の自主管理範囲における弁の動的機能維持評価について

自主的に流れ加速型腐食の対象として管理している配管に設置される弁の動的機能維持評価結果を表9に示す。なお、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度よりも大きい場合は、水平または鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値と、設工認の構造強度評価結果に用いた加速度を比較することで弁の機能維持に影響がないことを確認している。

表9 流れ加速型腐食の自主管理範囲における弁の動的機能維持評価結果 (1/2)

No	系統	弁番号	弁名称	地震動	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{※1}			
					水平	鉛直	合成 ^{※2}	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果	
										水平	鉛直		
1	MS	AV202-1A	A-主蒸気内側隔離弁	Ss	4.7	3.5	—	10.0	6.2	—	—	—	
2	MS	AV202-2A	A-主蒸気外側隔離弁	Ss	4.7	3.5	—	10.0	6.2	—	—	—	
3	MS	RV202-1A	A-主蒸気逃がし安全弁	Ss	10.8	5.4	12.1	9.6	6.1	20.0	20.0	設工認の構造強度評価結果に用いた加速度(17.6G)により健全性が確保されていることを確認	
4	MS	RV202-1B	B-主蒸気逃がし安全弁	Ss	12.1	4.7	12.9	9.6	6.1	20.0	20.0	No.3と同じ	
5	MS	RV202-1C	C-主蒸気逃がし安全弁	Ss	13.7	5.9	14.9	9.6	6.1	20.0	20.0	No.3と同じ	
6	MS	RV202-1D	D-主蒸気逃がし安全弁	Ss	14.2	6.1	15.5	9.6	6.1	20.0	20.0	No.3と同じ	
7	MS	AV202-1B	B-主蒸気内側隔離弁	Ss	4.0	3.3	—	10.0	6.2	—	—	—	
8	MS	AV202-2B	B-主蒸気外側隔離弁	Ss	4.5	4.1	—	10.0	6.2	—	—	—	
9	MS	RV202-1E	E-主蒸気逃がし安全弁	Ss	13.4	4.5	14.1	9.6	6.1	20.0	20.0	No.3と同じ	
10	MS	RV202-1F	F-主蒸気逃がし安全弁	Ss	15.3	5.5	16.3	9.6	6.1	20.0	20.0	No.3と同じ	
11	MS	AV202-1C	C-主蒸気内側隔離弁	Ss	4.5	3.9	—	10.0	6.2	—	—	—	
12	MS	AV202-2C	C-主蒸気外側隔離弁	Ss	5.0	4.2	—	10.0	6.2	—	—	—	
13	MS	RV202-1G	G-主蒸気逃がし安全弁	Ss	11.8	4.4	12.6	9.6	6.1	20.0	20.0	No.3と同じ	

※1：水平または鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し、水平および鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

※2：水平および鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり、詳細評価を実施する場合に使用する。

表 9 流れ加速型腐食の自主管理範囲における弁の動的機能維持評価結果 (2/2)

No	系統	弁番号	弁名称	地震動	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{※1}			
					水平	鉛直	合成 ^{※2}	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果	
										水平	鉛直		
14	MS	RV202-1H	H-主蒸気逃がし安全弁	Ss	13.3	5.0	14.2	9.6	6.1	20.0	20.0	No. 3と同じ	
15	MS	AV202-1D	D-主蒸気内側隔離弁	Ss	4.4	3.7	—	10.0	6.2	—	—	—	
16	MS	AV202-2D	D-主蒸気外側隔離弁	Ss	4.2	4.2	—	10.0	6.2	—	—	—	
17	MS	RV202-1J	J-主蒸気逃がし安全弁	Ss	13.6	4.0	14.2	9.6	6.1	20.0	20.0	No. 3と同じ	
18	MS	RV202-1K	K-主蒸気逃がし安全弁	Ss	10.9	3.1	11.3	9.6	6.1	20.0	20.0	No. 3と同じ	
19	MS	RV202-1L	L-主蒸気逃がし安全弁	Ss	12.3	3.9	12.8	9.6	6.1	20.0	20.0	No. 3と同じ	
20	MS	RV202-1M	M-主蒸気逃がし安全弁	Ss	12.3	3.9	12.8	9.6	6.1	20.0	20.0	No. 3と同じ	
21	FW	AV204-101A	A-原子炉給水外側隔離逆止弁	Ss	2.7	1.3	—	6.0	6.0	—	—	—	
22	FW	V204-101A	A-原子炉給水内側隔離逆止弁	Ss	2.7	1.3	—	6.0	6.0	—	—	—	
23	FW	AV204-101B	B-原子炉給水外側隔離逆止弁	Ss	2.7	1.3	—	6.0	6.0	—	—	—	
24	FW	V204-101B	B-原子炉給水内側隔離逆止弁	Ss	2.7	1.3	—	6.0	6.0	—	—	—	

※1：水平または鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し、水平および鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

※2：水平および鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり、詳細評価を実施する場合に使用する。

機器・配管系の耐震安全性評価に用いた地震力について

機器・配管系の耐震安全性評価において適用する耐震評価条件の概要を以下に示す。

なお、本資料は以下の工事計画認可申請（補正）の耐震設計の基本方針および耐震計算書の内容を抜粋して作成した。

- ・工認の耐震設計の基本方針「VI-2-1-7 設計用床応答スペクトルの作成方針」
- ・工認の耐震設計の基本方針「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」
- ・工認耐震計算書「VI-2-2-1 炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」

1. 耐震評価条件の基本方針

(1) 設計用床応答スペクトル

- ① 各原子炉施設の解析モデルに対して，基準地震動 S_s ，弾性設計用地震動 S_d に基づく入力地震動を用いた時刻歴応答解析を行い，各質点位置における加速度応答時刻歴を求める。
- ② ①で求めた各質点の加速度応答時刻歴を入力として，減衰付 1 自由度系の応答スペクトルを求め，床応答スペクトルを作成する。
- ③ ②で求めた床応答スペクトルに対し，各施設の固有周期のシフトを考慮し，周期方向に $\pm 10\%$ の拡張を行う。
- ④ ③で求めた床応答スペクトルに対し，材料物性の不確かさ（地盤物性の不確かさ）を考慮した時刻歴応答解析から得られる加速度応答時刻歴を用いて作成した床応答スペクトルを包絡させたものを「設計用床応答スペクトルⅠ」とする。
- ⑤ ③で求めた床応答スペクトルの震度に対して，すべての固有周期にわたって一律に 1.5 以上の係数を乗じて設定した条件を「設計用床応答スペクトルⅡ」とする。適用する係数は設計用床応答スペクトルⅡのすべての固有周期における震度が設計用床応答スペクトルⅠ以上となるように設定する。
- ⑥ 評価作業の合理化や保守的な条件で評価を行うことを目的として④および⑤以外の条件を適用する場合，すべての固有周期における震度が「設計用床応答スペクトルⅠ（または設計用床応答スペクトルⅡ）」を上回る床応答スペクトルを適用する。

以上，④～⑥で得られた床応答スペクトルを総称して「設計用床応答スペクトル」という。

(2) 設計用震度

- ① 1. (1)①で求めた各質点の加速度応答時刻歴の最大値（最大応答加速度）に対し，材料物性の不確かさ（地盤物性の不確かさ）を考慮して求めた各質点の加速度応答時刻歴の最大値を包絡させたものを「設計用震度Ⅰ」とする。

- ② 1. (1)①で求めた各質点の最大応答加速度に 1.5 以上の係数を乗じて設定した条件を「設計用震度Ⅱ」とする。適用する係数は設計用震度Ⅱが設計用震度Ⅰ以上となるように設定する。
- ③ 評価作業の合理化や保守的な条件で評価を行うことを目的として①および②以外の条件を適用する場合、「設計用震度Ⅰ（又は設計用震度Ⅱ）」を上回る震度を適用する。以上、①～③の震度を総称して「設計用震度」という。

(3) 設計用荷重

炉心，原子炉圧力容器，原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉格納容器ペDESTAL等（大型機器系）の解析モデルを用いて，基準地震動 S_s および弾性設計用地震動 S_d による地震応答解析から得られた地震力を 1.2 倍した値および材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析から得られた地震力を 1.0 倍した値を包絡した地震力を「設計用荷重Ⅰ」という。

2. 設計用地震力

機器・配管系の耐震安全性評価について，耐震重要度に応じて表 1 に示す設計用地震力にて評価を実施している。

表 1 機器・配管系の設計用地震力

耐震重要度 分類	静的地震力*1		動的地震力*1, *2	
	水平	鉛直	水平	鉛直
S	$3.6 C_i^{*3}$	$1.2 C_v^{*4}$ (0.29)	S_s, S_d	S_s, S_d
B	$1.8 C_i^{*3}$	—	$S_d \times 1/2^{*5}$	$S_d \times 1/2^{*5}$
C	$1.2 C_i^{*3}$	—	—	—
重大事故等 対処施設	<ul style="list-style-type: none"> ・常設耐震重要重大事故防止設備は，基準地震動 S_s による地震力 ・常設重大事故緩和設備は，基準地震動 S_s による地震力 			

*1：機器・配管系については設置された床の応答を入力とする。

*2： S_s ：基準地震動 S_s により定まる地震力， S_d ：弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力

*3：地震層せん断力係数 C_i は標準せん断力係数を 0.2 とし，建物・構築物の振動特性，地盤の種類等を考慮して求められる値で次式に基づく。

$$C_i = R_t \cdot A_i \cdot C_o \quad (R_t: \text{振動特性係数 } 0.8, A_i: C_i \text{ の分布係数}, C_o: \text{標準せん断力係数 } 0.2)$$

*4：震度 0.3 とし，建物・構築物の振動特性，地盤の種類等を考慮し，高さ方向に一定とする。また次式により求めた値を表に記載した。

$$C_v = 0.3 \cdot R_v \quad (R_v: \text{鉛直方向振動特性係数 } 0.8)$$

*5：地震動に対して共振のおそれのある施設について適用する。

3. 初回申請時からの変更要否の確認

前述の手法に基づき設定した設計用条件に対して、評価対象機器ごとに以下の通り耐震安全性評価に用いる震度等を分類しており、一部の機器については初回申請時に保守的な条件で評価していたことから、初回申請時の評価結果をそのまま適用している。

(例：設計用震度にて評価する場合)

- ・設計用震度Ⅰ
- ・設計用震度Ⅰを上回る設計震度
- ・設計用震度Ⅱ
- ・設計用震度Ⅱを上回る設計震度

初回申請時の評価用条件にて評価成立と判断した機器について、その考え方を以下に示す。

(1) 耐震重要度分類の見直し (C→B) に伴う影響

別紙3に記載の通り、初回申請時に耐震重要度分類をBクラスからCクラスに変更していた設備について、Bクラスとして再評価した。耐震重要度分類見直しに伴い評価用条件が変更となるが、一部機器については、初回申請当時のCクラスでの評価時点で保守的な条件にて評価していたため、初回申請時の評価条件が補正申請におけるBクラスの評価条件を包絡していることを確認し、初回申請時の評価用条件にて耐震安全性評価上問題ないと判断した。

初回申請時の評価条件で包絡していることを確認した機器の、基礎ボルトの腐食を考慮した耐震安全性評価の例を表2に示す。

表2 基礎ボルトの腐食を考慮した耐震安全性評価（初回申請時の評価条件で包絡していることを確認した機器）

評価機器・ 部位	初回申請					補正申請					
	耐震 重要度	評価に用いた 震度	荷重 種別	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	耐震 重要度*1	設計用震度 I（弾性設計 用地震動 $S_d \times 1/2$ ） および静的震度	評価に用いた 震度	荷重 種別	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
復水ポンプ 基礎ボルト	C	$C_H=0.46$	引張 応力	10	158	B (柔)	$C_H^{*2}=0.30$ $1.8C_i(NS)=0.29$ $1.8C_i(EW)=0.29$	$C_H=0.46$	引張 応力	10	161*3
			せん断 応力	14	122				せん断 応力	14	124*3
排ガス 再結合器 基礎ボルト	C	$C_H=0.42$	引張 応力	16	173	B (剛)	$1.8C_i(NS)=0.34$ $1.8C_i(EW)=0.33$	$C_H=0.42$	引張 応力	16	173
			せん断 応力	5	133				せん断 応力	5	133

*1：耐震重要度分類にあわせ、括弧書きで以下事項を示す

（柔）：柔構造（1次固有周期が0.05秒超過）

（剛）：剛構造（1次固有周期が0.05秒以下）

*2：動的震度であり、最大応答加速度を1.2倍した震度

*3：その他の変更として、環境温度の見直し（50℃→40℃）を実施しているため許容応力が初回申請から変更となった

(2) 原子炉圧力容器円筒胴の中性子照射脆化を考慮した評価に用いた地震荷重条件

原子炉圧力容器円筒胴の中性子照射脆化を考慮した耐震安全性評価においては設計用荷重 I を上回る地震荷重に加えて、供用状態 A および B (死荷重) を考慮して評価している。(評価条件の内訳を図 1 に示す。また、評価に適用した荷重の詳細な算出過程等は別紙 5 参照)

初回申請時に原子炉圧力容器円筒胴の中性子照射脆化を考慮した耐震安全性評価を実施した荷重条件に対して、設計用荷重 I における荷重条件を比較した結果、初回申請時の条件が設計用荷重 I を包絡していることを確認し、初回申請時の評価用条件にて耐震安全性評価上問題ないと判断した。

初回申請時および補正申請時の評価に用いた荷重と、設計用荷重 I の比較を表 3 に示す。

表 3 原子炉圧力容器円筒胴の中性子照射脆化を考慮した評価に用いた地震荷重条件

評価機器・部位	耐震重要度	設計用荷重 I			初回申請および補正申請の評価に用いた荷重*1		
		水平力 (kN)	鉛直力 (kN)	モーメント (kN・m)	水平力 (kN)	鉛直力 (kN)	モーメント (kN・m)
原子炉圧力容器 円筒胴	S						

*1：荷重は絶対値を記載

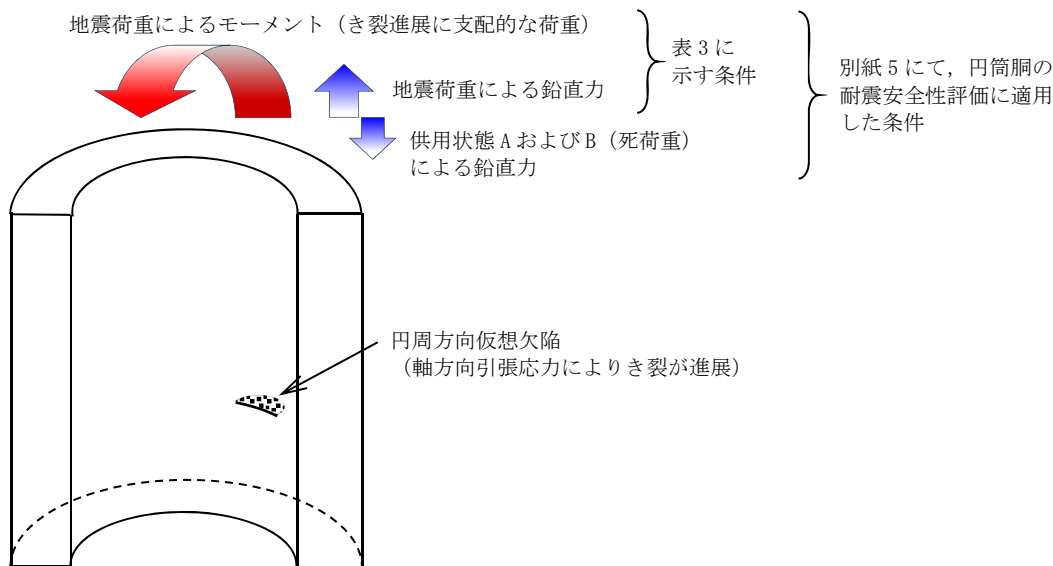


図 1 原子炉圧力容器円筒胴の中性子照射脆化を考慮した評価条件の内訳

4. 各設備の耐震安全性評価に用いた地震力

耐震安全性評価において、各機器に使用した耐震条件および応答解析手法の種別について表 4 に示す。

表 4 耐震安全性評価に用いた耐震条件および応答解析手法の種別一覧(1/10)

機器名	経年劣化事象	機器名称・部位		耐震重要度	耐震条件	応答解析手法
ポンプ	低サイクル疲労割れ	原子炉再循環ポンプ	ケーシング (配管取合)	S	設計用床応答スペクトル I	スペクトルモデル解析
		復水ポンプ	基礎ボルト	B	設計用床応答スペクトル I を上回る	スペクトルモデル解析
	低圧炉心スプレイポンプ	S, 重		設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価	
	高圧炉心スプレイポンプ	S, 重		設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価	
	電動駆動原子炉給水ポンプ	B		1.8Ci 以上	静的地震力による評価	
	原子炉隔離時冷却ポンプ	S, 重		設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価	
	燃料プール冷却ポンプ	B, 重		設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価	
	腐食(全面腐食)	残留熱代替除去ポンプ		重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		復水昇圧ポンプ		B	1.8Ci 以上	静的地震力による評価
		制御棒駆動水圧ポンプ		B	1.8Ci 以上	静的地震力による評価
		原子炉浄化循環ポンプ		B*	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		原子炉浄化補助ポンプ		B*	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		残留熱除去封水ポンプ		S	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		低圧原子炉代替注水ポンプ		重	設計用震度 II を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
高圧原子炉代替注水ポンプ		重		設計用震度 II	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価	

*: 溢水源としない B, C クラス設備に該当するため, Ss 地震力による健全性評価を実施

表 4 耐震安全性評価に用いた耐震条件および応答解析手法の種別一覧(2/10)

機器名	経年劣化 事象	機器名称・部位		耐震 重要度	耐震条件	応答解析手法
ポンプ	腐食（全面 腐食）	タービン駆動原子 炉給水ポンプ	基礎ボルト	B	1.8Ci 以上	静的地震力による 評価
		原子炉補機冷却水 ポンプ		S, 重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に 基づく応答加速度 による評価
		高圧炉心スプレイ 補機冷却水ポンプ		S, 重	Ss:設計用震度 I を上 回る Sd:設計用震度 II を上 回る	各設備の固有値に 基づく応答加速度 による評価
		残留熱除去ポンプ		S, 重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に 基づく応答加速度 による評価
		ほう酸水注入ポン プ		S, 重	Ss:設計用震度 I を上 回る Sd:設計用震度 II	各設備の固有値に 基づく応答加速度 による評価
	熱時効	原子炉再循環ポン プ	ケーシング (配管取合)	S	設計用床応答スペクト ル I	スペクトルモーダ ル解析
熱交換器	腐食（F A C）	原子炉補機冷却系 熱交換器	伝熱管	S, 重	設計用震度 II	各設備の固有値に 基づく応答加速度 による評価
		高圧炉心スプレイ 補機冷却系熱交換 器	伝熱管	S, 重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に 基づく応答加速度 による評価
		排ガス予熱器	管支持板	B	1.8Ci 以上	静的地震力による 評価
			胴	B	1.8Ci 以上	静的地震力による 評価
	摩耗（減 肉）		伝熱管	B	1.8Ci 以上	静的地震力による 評価
	腐食（F A C）	原子炉浄化系再生 熱交換器	胴	B	1.8Ci 以上	静的地震力による 評価
	腐食（全面 腐食）	原子炉補機冷却系 熱交換器	基礎ボルト	S, 重	Ss:設計用震度 I を上 回る Sd:設計用震度 II	各設備の固有値に 基づく応答加速度 による評価
		高圧炉心スプレイ 補機冷却系熱交換 器		S, 重	設計用震度 II を上回る	各設備の固有値に 基づく応答加速度 による評価
		原子炉浄化系再生 熱交換器		B	1.8Ci 以上	静的地震力による 評価
		残留熱除去系熱交 換器		S, 重	設計用震度 II および設 計用床応答スペクト ル II	各設備の固有値に 基づく応答加速度 による評価
原子炉浄化系補助 熱交換器		B		設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に 基づく応答加速度 による評価	

表4 耐震安全性評価に用いた耐震条件および応答解析手法の種別一覧(3/10)

機器名	経年劣化事象	機器名称・部位		耐震重要度	耐震条件	応答解析手法
熱交換器	腐食(全面腐食)	燃料プール冷却系熱交換器	基礎ボルト	B, 重	設計用震度Ⅱ	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		第3給水加熱器		B	1.8Ci以上	静的地震力による評価
		第4給水加熱器		B	1.8Ci以上	静的地震力による評価
		第5給水加熱器		B	1.8Ci以上	静的地震力による評価
		第6給水加熱器		B	1.8Ci以上	静的地震力による評価
		グラント蒸気発生器		B	1.8Ci以上	静的地震力による評価
		グラント蒸気復水器		B	1.8Ci以上	静的地震力による評価
		排ガス予熱器		B	1.8Ci以上	静的地震力による評価
		排ガス復水器		B	1.8Ci以上	静的地震力による評価
容器	低サイクル疲労割れ	原子炉圧力容器	下鏡	S, 重	設計用荷重Ⅰを上回る	時刻歴応答解析
			ノズル等	S, 重	設計用床応答スペクトルⅠを上回る/設計用荷重Ⅰを上回る	スペクトルモード解析(配管反力)/時刻歴応答解析
			支持スカート	S, 重	設計用荷重Ⅰを上回る	時刻歴応答解析
	中性子照射脆化		円筒胴	S, 重	設計用荷重Ⅰを上回る	時刻歴応答解析
	低サイクル疲労割れ	原子炉格納容器	ベント管ベローズ	S, 重	設計用条件Ⅰを上回る	サブプレッションチェンバおよびドライウエルの地震応答解析結果(変位)による評価
		機械へネレーション	配管貫通部ベローズ	S, 重	設計用条件Ⅰを上回る	ドライウエルおよび原子炉建物の地震応答解析結果(変位)による評価
	腐食(全面腐食)	排ガス脱湿塔	基礎ボルト	B	1.8Ci以上	静的地震力による評価
		排ガス再結合器		B	1.8Ci以上	静的地震力による評価
		原子炉浄化系サージタンク		B	1.8Ci以上	静的地震力による評価

表4 耐震安全性評価に用いた耐震条件および応答解析手法の種別一覧(4/10)

機器名	経年劣化事象	機器名称・部位		耐震重要度	耐震条件	応答解析手法
容器	腐食(全面腐食)	原子炉建物機器ドレンサンプタンク	基礎ボルト	B	1.8Ci 以上	静的地震力による評価
		原子炉補機冷却系サージタンク		S, 重	Ss:設計用震度Ⅱ Sd:設計用震度Ⅱを上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンク		S, 重	設計用震度Ⅱ	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		ほう酸水貯蔵タンク		S, 重	設計用震度Ⅰを上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		活性炭式希ガスホールドアップ塔		B	1.8Ci 以上	静的地震力による評価
		第1ベントフィルタスクラバ容器		重	設計用震度Ⅰを上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		第1ベントフィルタ銀ゼオライト容器		重	設計用震度Ⅱを上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		復水ろ過脱塩器		B	1.8Ci 以上	静的地震力による評価
		復水脱塩器		B	1.8Ci 以上	静的地震力による評価
		復水ろ過脱塩器ストレーナ		B	1.8Ci 以上	静的地震力による評価
		原子炉浄化ろ過脱器		B	1.8Ci 以上	静的地震力による評価
		原子炉浄化脱塩器		B	1.8Ci 以上	静的地震力による評価
		原子炉補機海水ストレーナ		S, 重	設計用震度Ⅱを上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ		S, 重	設計用震度Ⅱを上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
原子炉格納容器(サブプレッションチェンバ)	S, 重	設計用応答スペクトルⅠ	スペクトルモデル解析			
配管	低サイクル疲労割れ	ステンレス鋼配管	原子炉再循環系配管	S	設計用応答スペクトルⅠ	スペクトルモデル解析
		炭素鋼配管	給水系配管	S	設計用応答スペクトルⅠ	スペクトルモデル解析

表 4 耐震安全性評価に用いた耐震条件および応答解析手法の種別一覧(5/10)

機器名	経年劣化事象	機器名称・部位		耐震重要度	耐震条件	応答解析手法
配管	低サイクル疲労割れ	炭素鋼配管	主蒸気系配管	S	設計用応答スペクトル I	スペクトルモーダル解析
			給水系配管	S, B	設計用応答スペクトル I	スペクトルモーダル解析
	腐食 (FAC)	炭素鋼配管	復水系配管	B	設計用応答スペクトル I	スペクトルモーダル解析
			原子炉ベントドレン系配管	S	設計用応答スペクトル I	スペクトルモーダル解析
			原子炉隔離時冷却系配管	S	設計用応答スペクトル I	スペクトルモーダル解析
			残留熱除去系配管	S	設計用応答スペクトル I	スペクトルモーダル解析
			タービングランド蒸気系配管	B	設計用応答スペクトル I	スペクトルモーダル解析
			補助蒸気系配管	B	設計用応答スペクトル I	スペクトルモーダル解析
弁 (仕切弁)	低サイクル疲労割れ	原子炉再循環ポンプ出口弁	弁箱	S	設計用応答スペクトル I	スペクトルモーダル解析
弁 (玉形弁)	低サイクル疲労割れ	残留熱除去系ポンプ炉水戻り弁	弁箱	S, 重	設計用応答スペクトル I	スペクトルモーダル解析
弁 (逆止弁)	低サイクル疲労割れ	原子炉給水内側隔離逆止弁	弁箱	S	設計用応答スペクトル I	スペクトルモーダル解析
弁 (主蒸気隔離弁)	低サイクル疲労割れ	主蒸気隔離弁	弁箱	S	設計用応答スペクトル I	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	炉心シュラウド	上部胴	S, 重	設計用荷重 I を上回る	時刻歴応答解析
			中間胴	S, 重	設計用荷重 I を上回る	時刻歴応答解析
			下部胴	S, 重	設計用荷重 I を上回る	時刻歴応答解析
			リング	S, 重	設計用荷重 I を上回る	時刻歴応答解析
	低サイクル疲労割れ	シュラウドサポート	シリンダ	S, 重	設計用荷重 I を上回る	時刻歴応答解析
			プレート	S, 重	設計用荷重 I を上回る	時刻歴応答解析
レグ			S, 重	設計用荷重 I を上回る	時刻歴応答解析	
タービン設備	腐食 (全面腐食)	高压タービン	基礎ボルト	B	1.8Ci 以上	静的地震力による評価
		低压タービン		B	1.8Ci 以上	静的地震力による評価
		原子炉給水ポンプ駆動用蒸気タービン		B	1.8Ci 以上	静的地震力による評価
		主タービン EHC 装置		C	1.2Ci 以上	静的地震力による評価

表4 耐震安全性評価に用いた耐震条件および応答解析手法の種別一覧(6/10)

機器名	経年劣化事象	機器名称・部位		耐震重要度	耐震条件	応答解析手法
タービン設備	腐食(全面腐食)	原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンおよび付属装置(本体)	基礎ボルト	S	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンおよび付属装置(グラウンドシール装置)		S	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		高圧原子炉代替注水ポンプ駆動用蒸気タービンおよび付属装置		重	設計用震度 II	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
計測制御設備	腐食(全面腐食)	取水槽水位	基礎ボルト	S, 設	設計用震度 II を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		地震加速度		S	設計用震度 II	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
空調設備	腐食(全面腐食)	非常用ガス処理系排風機	基礎ボルト	S, 重	Ss: 設計用震度 I を上回る Sd: 設計用震度 II	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		中央制御室送風機		S, 重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		中央制御室非常用再循環送風機		S, 重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		中央制御室排風機		S, 重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		A-非常用ディーゼル室送風機		S	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		B-非常用ディーゼル室送風機		S	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		高圧炉心スプレイディーゼル室送風機		S	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価

表4 耐震安全性評価に用いた耐震条件および応答解析手法の種別一覧(7/10)

機器名	経年劣化事象	機器名称・部位	耐震重要度	耐震条件	応答解析手法	
空調設備	腐食(全面腐食)	非常用電気室送風機	基礎ボルト	S	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		非常用電気室排風機		S	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		高圧炉心スプレイ電気室送風機		S	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		高圧炉心スプレイ電気室排風機		S	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		低圧炉心スプレイポンプ室冷却機		S	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		高圧炉心スプレイポンプ室冷却機		S	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		残留熱除去ポンプ室冷却機		S	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		原子炉補機冷却水ポンプ熱交換器室冷却機		S	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		中央制御室冷凍機		S	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		中央制御室冷水循環ポンプ		S	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		非常用ガス処理系前置ガス処理装置		S, 重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		非常用ガス処理系後置ガス処理装置		S, 重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		中央制御室非常用再循環処理装置		S, 重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		中央制御室空調和装置		S	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価

表 4 耐震安全性評価に用いた耐震条件および応答解析手法の種別一覧(8/10)

機器名	経年劣化事象	機器名称・部位		耐震重要度	耐震条件	応答解析手法
空調設備	腐食（全面腐食）	非常用電気室外気処理装置	基礎ボルト	S	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		高圧炉心スプレイ電気室外気処理装置		S	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
機械設備	腐食（全面腐食）	非常用ディーゼル機関（本体）	基礎ボルト	S, 重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		空気だめ		S, 重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		空気圧縮機		C	1.2Ci 以上	静的地震力による評価
		共通ベース（潤滑油系）		S, 重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		共通ベース（冷却水系）		S, 重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		共通ベース（燃料油系）		S, 重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		潤滑油サンプタンク		S, 重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		燃料移送ポンプ		S, 重	設計用震度 II を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		燃料デイトンク		S, 重	Ss:設計用震度 I を上回る Sd:設計用震度 II	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		HPCSディーゼル機関（本体）		S, 重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		空気だめ		S, 重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		空気圧縮機		C	1.2Ci 以上	静的地震力による評価
	共通ベース（潤滑油系）	S, 重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価		

表 4 耐震安全性評価に用いた耐震条件および応答解析手法の種別一覧(9/10)

機器名	経年劣化事象	機器名称・部位		耐震重要度	耐震条件	応答解析手法
機械設備	腐食（全面腐食）	共通ベース（冷却水系）	基礎ボルト	S, 重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		共通ベース（燃料油系）		S, 重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		潤滑油サンプタンク		S, 重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		燃料移送ポンプ		S, 重	設計用震度 II を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		燃料デイトank		S, 重	設計用震度 II	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		共通ベース（可燃性ガス濃度制御系再結合装置）再結合装置		S	Ss: 設計用震度 I を上回る Sd: 設計用震度 II	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		共通ベース（可燃性ガス濃度制御系再結合装置）ブロワ		S	Ss: 設計用震度 I を上回る Sd: 設計用震度 II を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		共通ベース（計装用空気圧縮設備）		C	1.2Ci 以上	静的地震力による評価
		空気脱湿塔		C	1.2Ci 以上	静的地震力による評価
		空気抽出器		B	1.8Ci 以上	静的地震力による評価
		排ガスブロワ		B	1.8Ci 以上	静的地震力による評価
		床ドレン濃縮器		B	1.8Ci 以上	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		化学廃液濃縮器循環ポンプ		B	1.8Ci 以上	静的地震力による評価
		床ドレン濃縮器復水器		B	1.8Ci 以上	静的地震力による評価
		化学廃液濃縮器復水器		B	1.8Ci 以上	静的地震力による評価
濃縮廃液タンク	B	設計用床応答スペクトル I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価			
濃縮廃液ポンプ	B	1.8Ci 以上	静的地震力による評価			

表 4 耐震安全性評価に用いた耐震条件および応答解析手法の種別一覧(10/10)

機器名	経年劣化事象	機器名称・部位	耐震重要度	耐震条件	応答解析手法	
機械設備	腐食（全面腐食）	3号所内ボイラ本体	基礎ボルト	C	1.2Ci 以上	静的地震力による評価
		3号所内ボイラ蒸気だめ		C	1.2Ci 以上	静的地震力による評価
		3号所内ボイラ給水ポンプ		C	1.2Ci 以上	静的地震力による評価
		4号所内ボイラ本体		C	1.2Ci 以上	静的地震力による評価
		4号所内ボイラ蒸気だめ		C	1.2Ci 以上	静的地震力による評価
		4号所内ボイラ給水ポンプ		C	1.2Ci 以上	静的地震力による評価
		4号所内ボイラ缶水循環ポンプ		C	1.2Ci 以上	静的地震力による評価
		雑固体焼却炉		B	1.8Ci 以上	静的地震力による評価
		1次セラミックフィルタ		B	1.8Ci 以上	静的地震力による評価
		2次セラミックフィルタ		B	1.8Ci 以上	静的地震力による評価
		排ガスフィルタ		B	1.8Ci 以上	静的地震力による評価
		ガスタービン発電機関本体		重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		軽油タンク		重	設計用条件 I を上回る／設計用震度 II を上回る	時刻歴応答解析／各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		燃料移送ポンプ		重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
サービスタンク	重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価			
油こし器	重	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価			
電源設備	腐食（全面腐食）	原子炉保護系 MG セット	基礎ボルト	C	1.2Ci 以上	静的地震力による評価
		非常用ディーゼル発電機		S	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価
		高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機		S	設計用震度 I を上回る	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価

タイトル	これまでに発生した地震が与える影響について
説明	<p>島根原子力発電所2号機がこれまでに経験した地震について、地震発生時の対応と経験した地震が施設に与える影響の検討結果は以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 島根原子力発電所2号機が経験した地震について 島根原子力発電所2号機が運転開始以降に経験した最も大きな地震は、2000年鳥取県西部地震である。 2. 地震が施設に与える影響について 当該地震の際に地震計で観測された加速度は、原子炉建物の基礎マット上で34ガル（最大加速度値）^{※1}であり、弾性設計用地震動Sdの加速度レベルに余裕を持たせた値として設定しているスクラム設定値（水平140ガル、鉛直70ガル）と比較しても十分に小さく、施設に与える影響はないと考えている。 なお、当該地震発生後には、安全上重要な設備に損傷が無いことを計器や現場パトロール等で確認している。 <p>※1：工事計画認可申請（補正）の補足説明資料 補足-024-01 原子炉建物の地震王津計算書に関する補足説明資料 （p.別紙1-3-19 表3-3）</p> <p style="text-align: right;">以上</p>

タイトル	炭素鋼配管の腐食（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>炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）に対する耐震安全性評価の具体的内容について、添付－1に示す。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>

炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）に対する耐震安全性評価の具体的内容について

1. 概要

本資料は、炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）（以下、「FAC」という。）を想定した耐震安全性評価の結果について補足説明するものである。

2. 基本方針

FACが想定される範囲のうち偏流発生部位およびその下流側（以下、「減肉設定範囲」という。）に対して耐震管理厚さまで一様に減肉を想定した管厚さを設定した地震応答解析を実施することで、地震時の発生応力、または、疲れ累積係数を算出し、許容値を下回ることを確認する。

なお、FAC管理ランクについては、社内QMS「配管肉厚管理手引書」に基づき、配管材質、内部流体等を考慮して設定している。また、減肉設定範囲は適用規格である「発電用原子力設備規格 沸騰水型原子力発電所 配管減肉管理に関する技術規格（JSME S NH1-2006）」（以下、「減肉規格（2006年度版）」という。）におけるCA-2100の規定に基づき、FAC管理ランクがFAC-2およびFAC-Sに分類される範囲から抽出する。なお、FAC-1に分類される範囲のうち偏流発生部が連続して設置される箇所については、著しい偏流効果が生じ、減肉発生の可能性を否定できないため、減肉規格（2006年度版）の規定におけるCA-2100に基づき、FAC-Sとして扱う。

3. 管の耐震安全性評価結果

3. 1 給水系

本系統における FAC 管理範囲および FAC 管理ランクを示した図（以下、「FAC 管理区分図」という。）を図 3-1-1 に示す（記号凡例については、表 3-1-1 に示す）。本系統において FAC 管理範囲を含む解析モデルは、全 12 モデルあり、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値が最小となる解析モデルを代表として、解析モデル図を図 3-1-2～図 3-1-4 に示す（記号凡例については、表 3-1-2 に示す）。また、解析モデル図に、減肉設定範囲を示すとともに、当該部において適用した耐震管理厚さを含む評価仕様を表 3-1-3 に示す。各応力区分における代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果を表 3-1-4 に示す。

表 3-1-1 FAC 管理区分図記号凡例





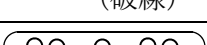
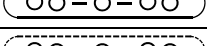



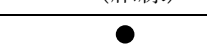
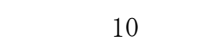

記号	内容
 (太線)	FAC-2 の管
 (太破線)	FAC-S の管
 (細線)	FAC-1 の管
 (破線)	減肉管理対象外の管
	解析モデル名 (代表モデル)
	解析モデル名 (代表モデル以外)
	アンカ
C1	管クラス (管クラスがクラス 1 管である場合の例)
[S]	耐震重要度分類 (耐震重要度分類が S クラスである場合の例)

表 3-1-2 解析モデル図記号凡例

記号	内容
 (太線)	減肉設定範囲の管
 (細線)	減肉設定範囲以外の管
 10	最大応力評価点および対応する評価点番号 (評価点番号が 10 である場合の例)
	管番号の境界点
	対応する管番号 (管番号が 1 である場合の例)

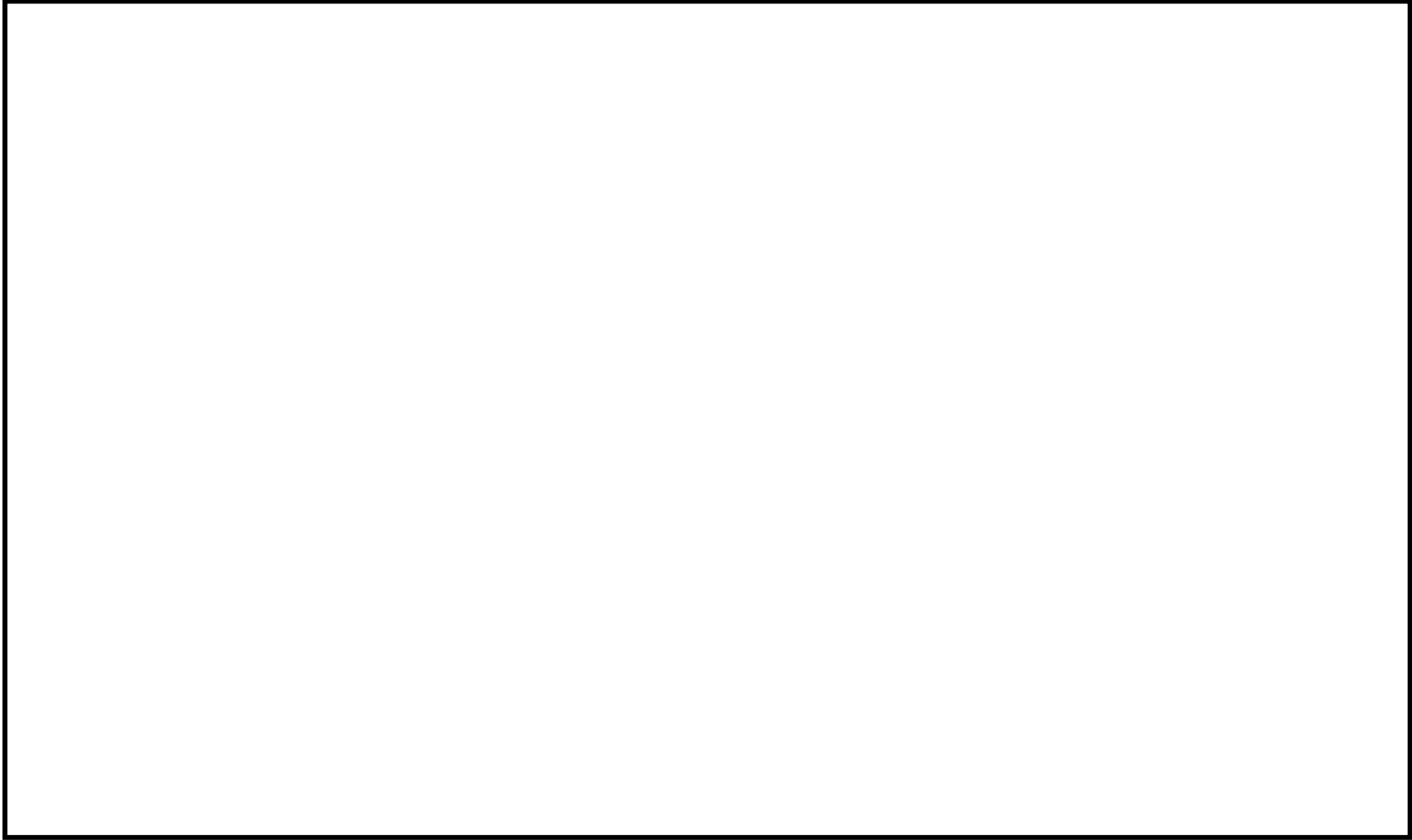


図 3-1-1 給水系 FAC 管理区分図

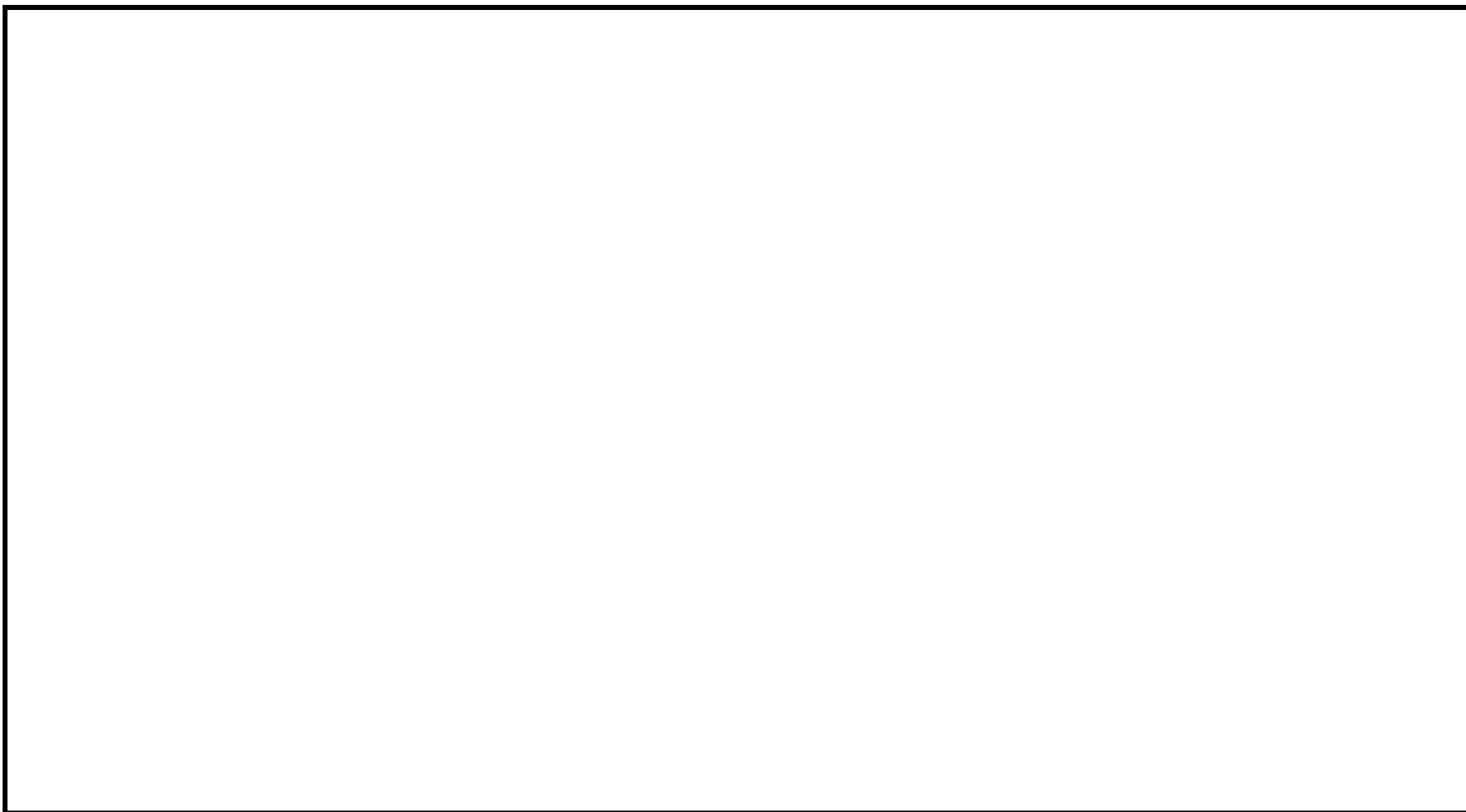


図 3-1-2 FW-T-8 解析モデル図

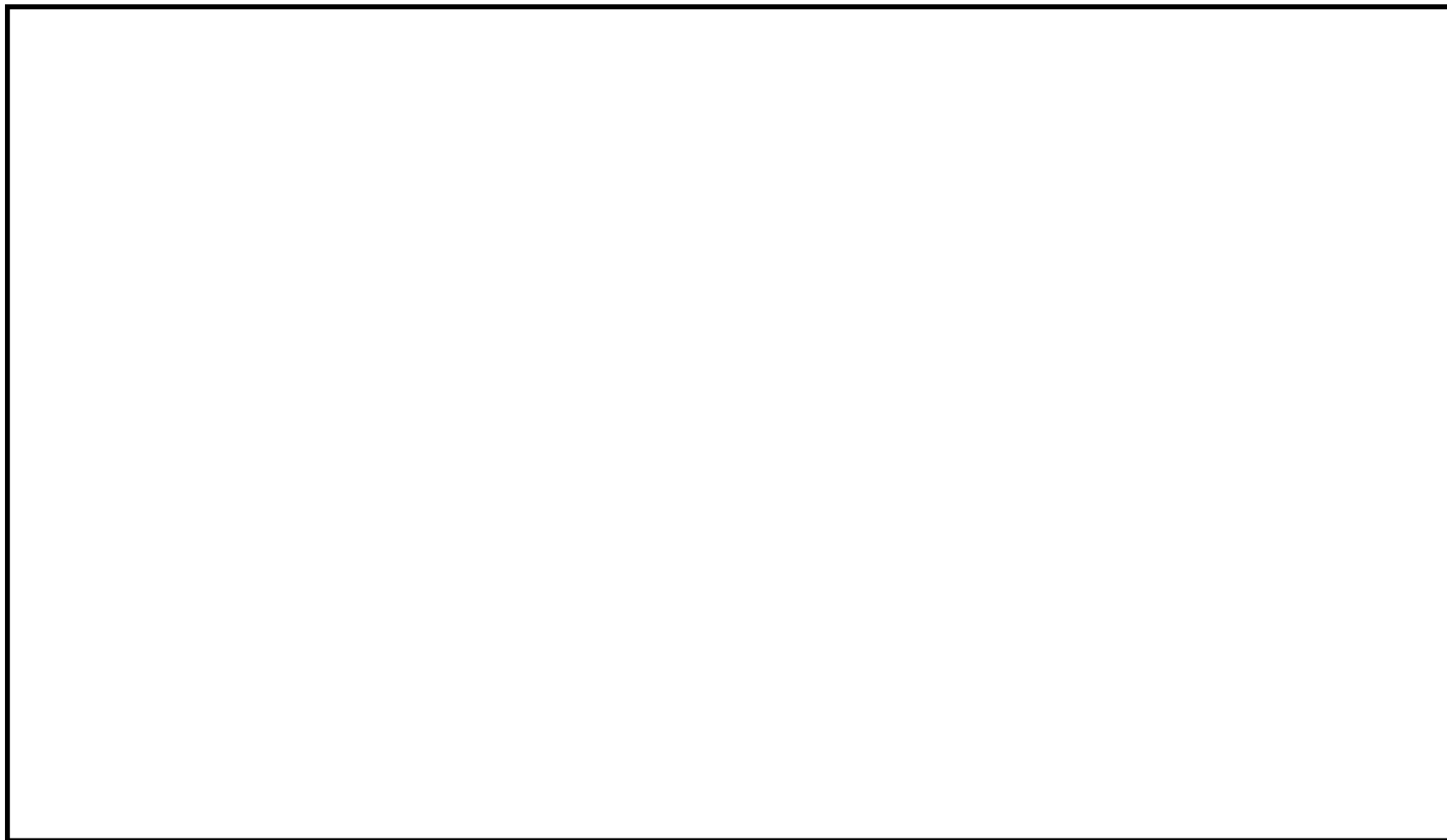


図 3-1-3 FW-T-4 解析モデル図

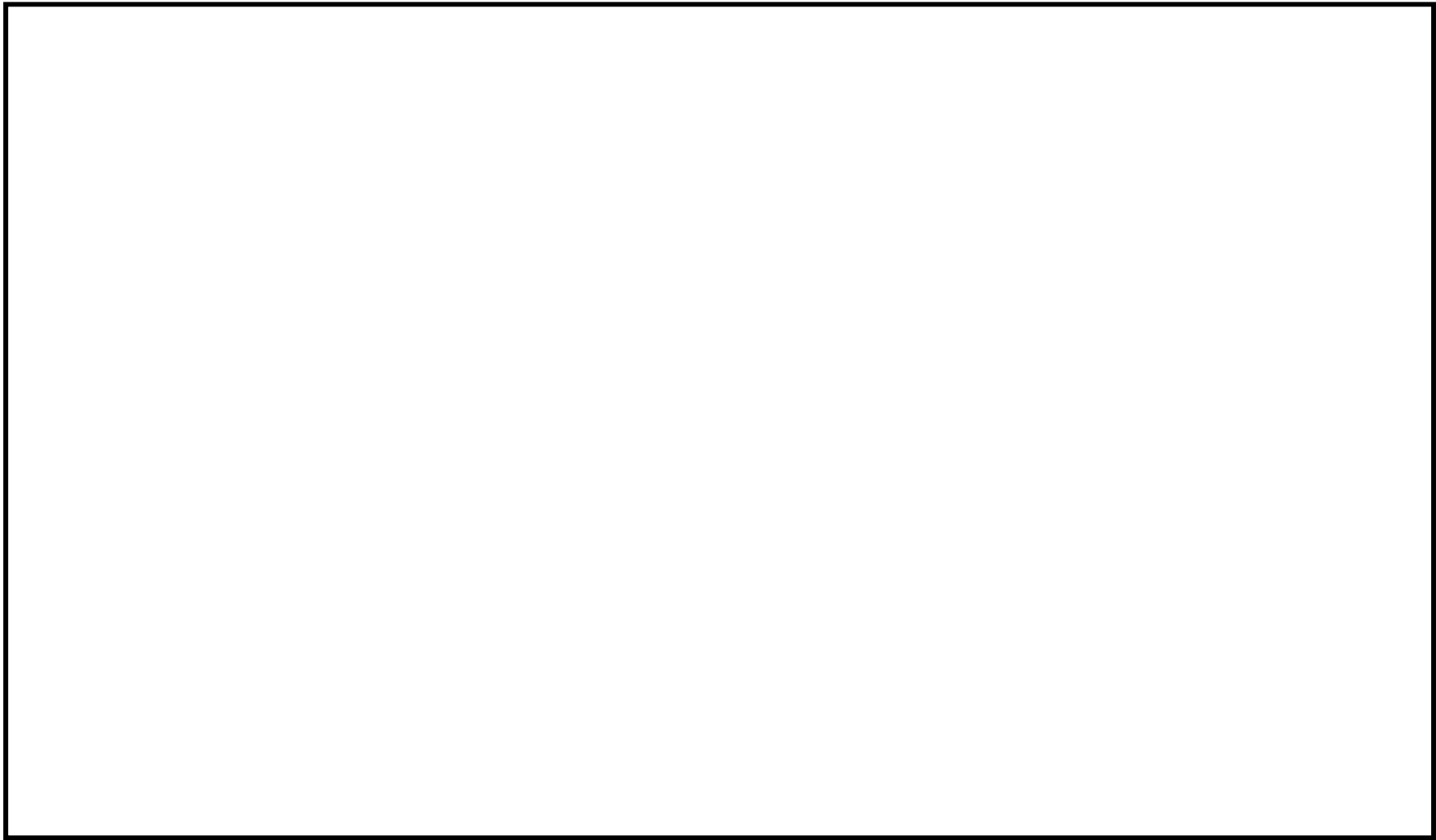


図 3-1-4 FW-T-7 解析モデル図

表 3-1-3 減肉設定範囲における評価仕様 (1/3)

解析モデル：FW-T-8

管番号*1	外径 (mm)	公称 板厚 (mm)	耐震 管理 厚さ (mm)	耐震管理 厚さ区分	FAC 管理 ランク	耐震 重要度 分類	管クラス
1	457.2	23.8				S	クラス 2 以下の管
2	711.2	35.7				B	クラス 3 以下の管
3	769.8	65.0				B	クラス 3 以下の管
4	540.6	48.8				B	クラス 3 以下の管
5	508.0	32.5				B	クラス 3 以下の管
6	508.0	44.4				B	クラス 3 以下の管
7	508.0	44.4				B	クラス 3 以下の管
8	508.0	42.95				B	クラス 3 以下の管
9R	508.0	32.5				B	クラス 3 以下の管
	457.2	29.4				B	クラス 3 以下の管
10	457.2	29.4				B	クラス 3 以下の管

注記*1：管番号は、解析モデル図に示す○数字と紐付く。また、管番号の末尾に「R」が付く管はレジャーサ部であり、上段が大口径側、下段が小口径側の情報を示す。

*2：FAC-1 に分類される範囲のうち偏流発生部が連続する箇所であり、FAC-S として扱う箇所。

表 3-1-3 減肉設定範囲における評価仕様 (2/3)

解析モデル：FW-T-4

管番号*1	外径 (mm)	公称 板厚 (mm)	耐震 管理 厚さ (mm)	耐震管理 厚さ区分	FAC 管理 ランク	耐震 重要度 分類	管クラス
1	508.0	32.5				B S s	クラス 3 以下の管
2	508.0	32.5				B	クラス 3 以下の管
3	711.2	35.7				B	クラス 3 以下の管
4	769.8	5.0				B	クラス 3 以下の管
5	540.6	48.8				B	クラス 3 以下の管
6R	711.2	35.7				B	クラス 3 以下の管
	508.0	32.5				B	クラス 3 以下の管

注記*1：管番号は、解析モデル図に示す○数字と紐付く。また、管番号の末尾に「R」が付く管はレジャーサ部であり、上段が大口径側、下段が小口径側の情報を示す。

*2：FAC-1 に分類される範囲のうち偏流発生部が連続する箇所であり、FAC-S として扱う箇所。

表 3-1-3 減肉設定範囲における評価仕様 (3/3)

解析モデル：FW-T-7

管番号*1	外径 (mm)	公称 板厚 (mm)	耐震 管理 厚さ (mm)	耐震管理 厚さ区分	FAC 管理 ランク	耐震 重要度 分類	管クラス
1	508.0	32.5				B	クラス 3 以下の管
2	711.2	35.7				B	クラス 3 以下の管
3	769.8	65.0				B	クラス 3 以下の管
4	540.6	48.8				B	クラス 3 以下の管
5R	711.2	35.7				B	クラス 3 以下の管
	508.0	32.5				B	クラス 3 以下の管

注記*1：管番号は、解析モデル図に示す○数字と紐付く。また、管番号の末尾に「R」が付く管はレギュレーサ部であり、上段が大口径側、下段が小口径側の情報を示す。

*2：FAC-1 に分類される範囲のうち偏流発生部が連続する箇所であり、FAC-S として扱う箇所。

表 3-1-4 代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果 (1/4)

クラス 2 以下の管

No	解析モデル	耐震 重要度 分類	許容応力状態Ⅲ _A S												
			一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲れ 累積 係数	代表
1	FW-T-8	S	253	100	209	2.09	○	253	87	418	4.80	○	—	—	—

注：設計用床応答スペクトル I および設計用震度 I による評価結果を示す。

表 3-1-4 代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果 (2/4)

クラス 2 以下の管

No	解析モデル	耐震 重要度 分類	許容応力状態IV _A S												
			一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲れ 累積 係数	代表
1	FW-T-8	S	253	135	380	2.81	○	253	156	418	2.67	○	—	—	—

注：設計用床応答スペクトル I および設計用震度 I による評価結果を示す。

表 3-1-4 代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果 (3/4)

クラス 3 以下の管

No	解析モデル	耐震 重要度 分類	許容応力状態Ⅳ A S												
			一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲れ 累積 係数	代表
1	FW-T-4	B S s	38	125	382	3.05	○	38	139	458	3.29	○	—	—	—

注：設計用床応答スペクトルⅠおよび設計用震度Ⅰによる評価結果を示す。

表 3-1-4 代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果 (4/4)

クラス 3 以下の管

No	解析モデル	耐震 重要度 分類	許容応力状態 B A S				
			一次応力評価				
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表
1	FW-T-1	B	214	165	240	1.45	—
2	FW-T-2	B	27	98	229	2.33	—
3	FW-T-3	B	55	109	229	2.10	—
4	FW-T-4	B	510	95	229	2.41	—
5	FW-T-5	B	18N	117	223	1.90	—
6	FW-T-6	B	20N	133	223	1.67	—
7	FW-T-7	B	18	174	218	1.25	○
8	FW-T-8	B	34	134	230	1.71	—
9	FW-T-1SPB	B	47	155	224	1.44	—
10	FW-T-2SPB	B	30W	116	210	1.81	—
11	FW-T-3SPB	B	73W	140	210	1.50	—
12	FW-T-4SPB	B	49W	122	210	1.72	—

注：設計用床応答スペクトル I および設計用震度 I による評価結果を示す。

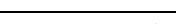
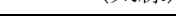



3. 2 復水系

本システムにおける FAC 管理区分図を図 3-2-1 に示す（記号凡例については、表 3-2-1 に示す）。本システムにおいて FAC 管理範囲を含む解析モデルは、全 40 モデルあり、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値が最小となる解析モデルを代表として、解析モデル図を図 3-2-2 および図 3-2-3 に示す（記号凡例については、表 3-2-2 に示す）。また、解析モデル図に、減肉設定範囲を示すとともに、当該部において適用した耐震管理厚さを含む評価仕様を表 3-2-3 に示す。各応力区分における代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果を表 3-2-4 に示す。

表 3-2-1 FAC 管理区分図記号凡例

記号	内容
 (太線)	FAC-2 の管
 (太破線)	FAC-S の管
 (細線)	FAC-1 の管
 (破線)	減肉管理対象外の管
	解析モデル名 (代表モデル)
	解析モデル名 (代表モデル以外)
	アンカ
C1	管クラス (管クラスがクラス 1 管である場合の例)
[S]	耐震重要度分類 (耐震重要度分類が S クラスである場合の例)

表 3-2-2 解析モデル図記号凡例

記号	内容
 (太線)	減肉設定範囲の管
 (細線)	減肉設定範囲以外の管
 10	最大応力評価点および対応する評価点番号 (評価点番号が 10 である場合の例)
	管番号の境界点
	対応する管番号 (管番号が 1 である場合の例)

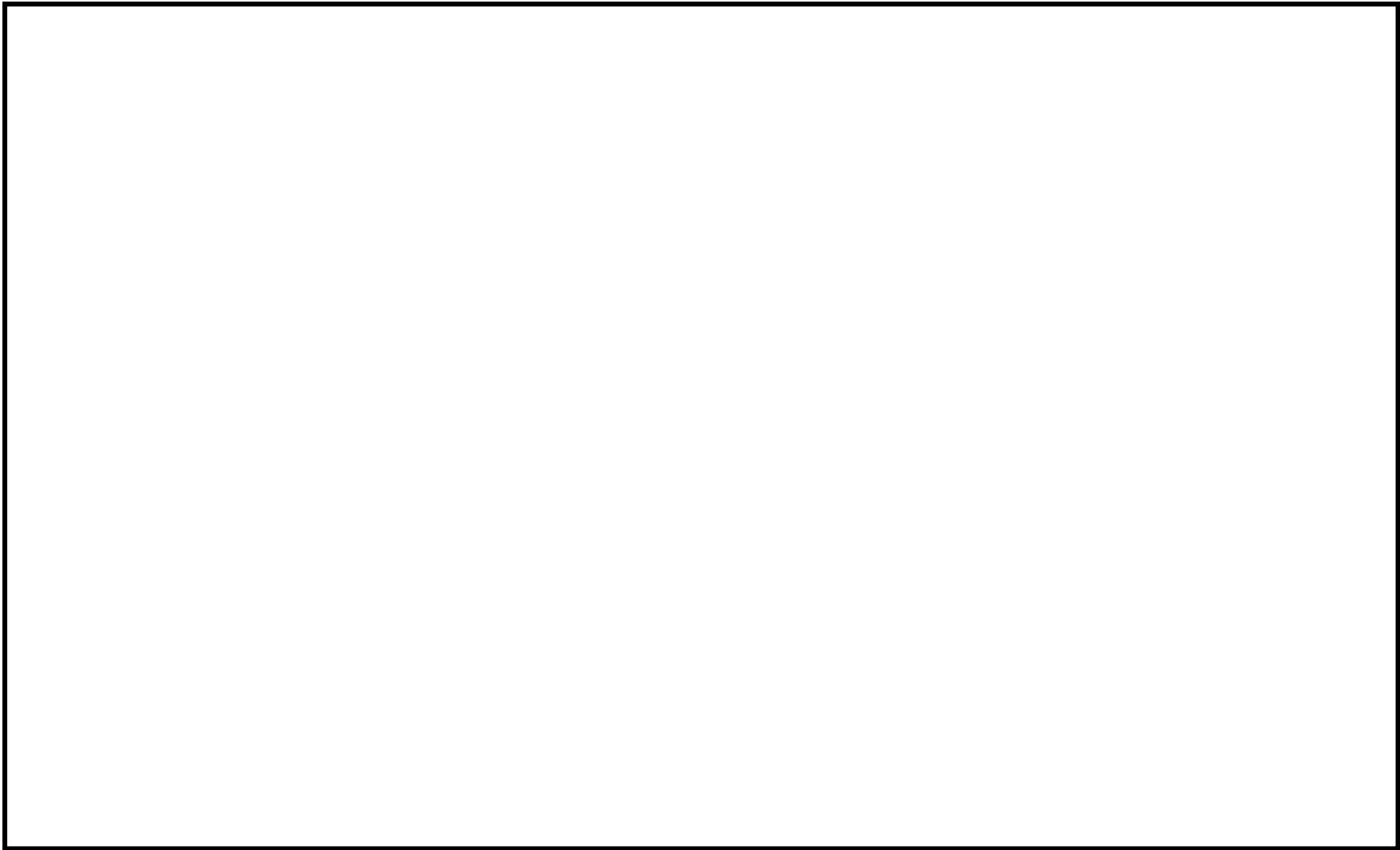


図 3-2-1 復水系 FAC 管理区分図 (1/7)

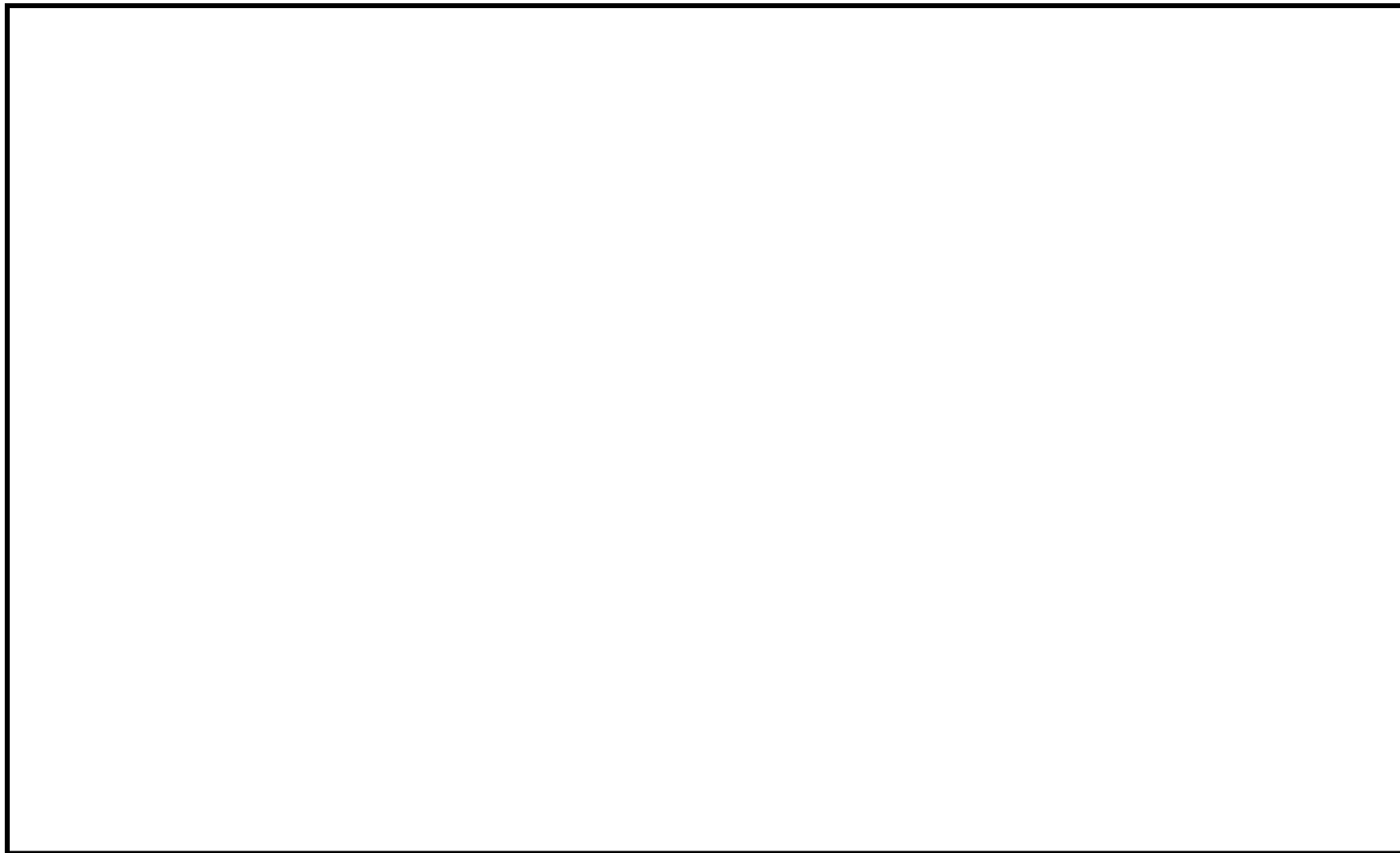


図 3-2-1 復水系 FAC 管理区分図 (2/7)

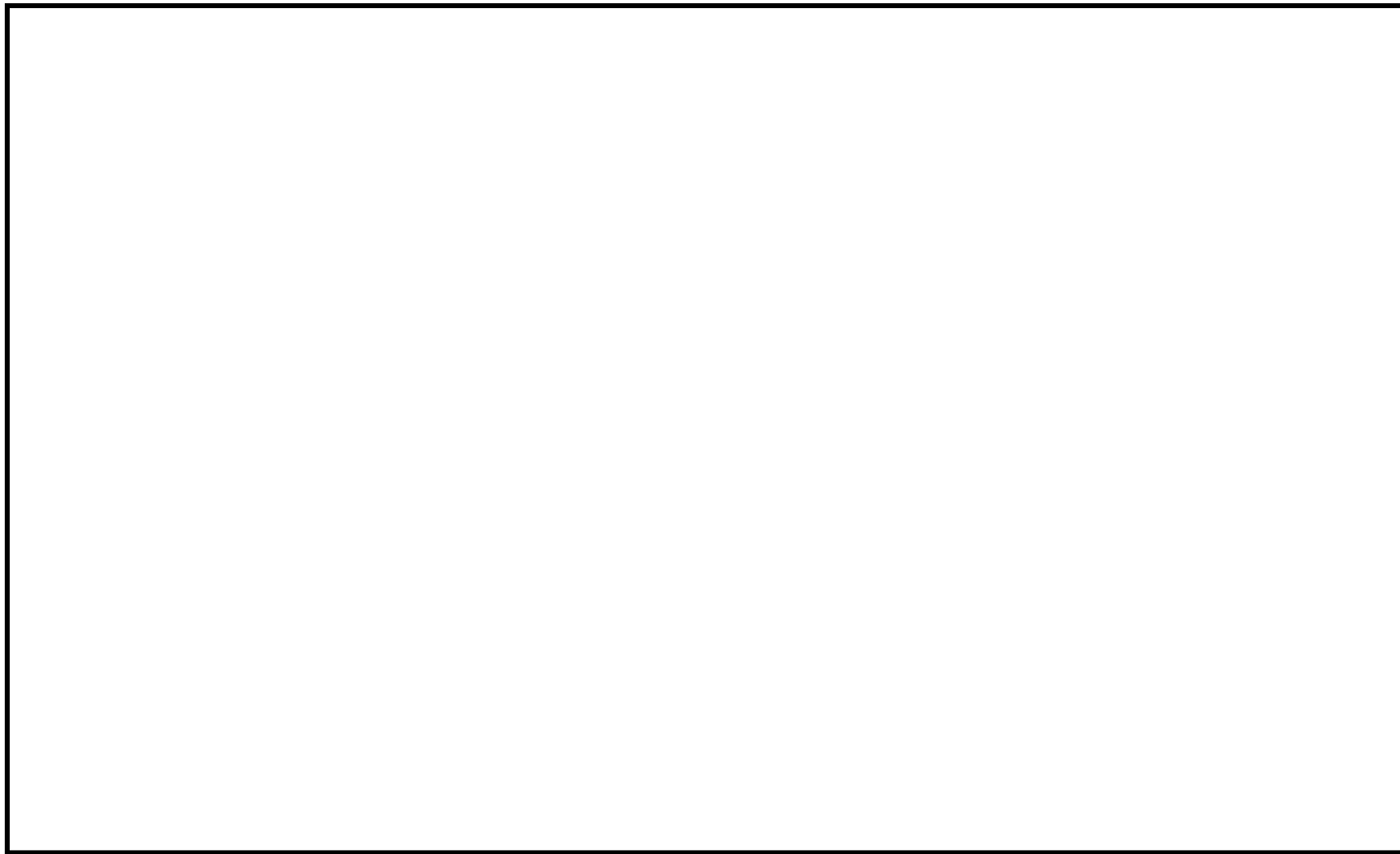


図 3-2-1 復水系 FAC 管理区分図 (3/7)

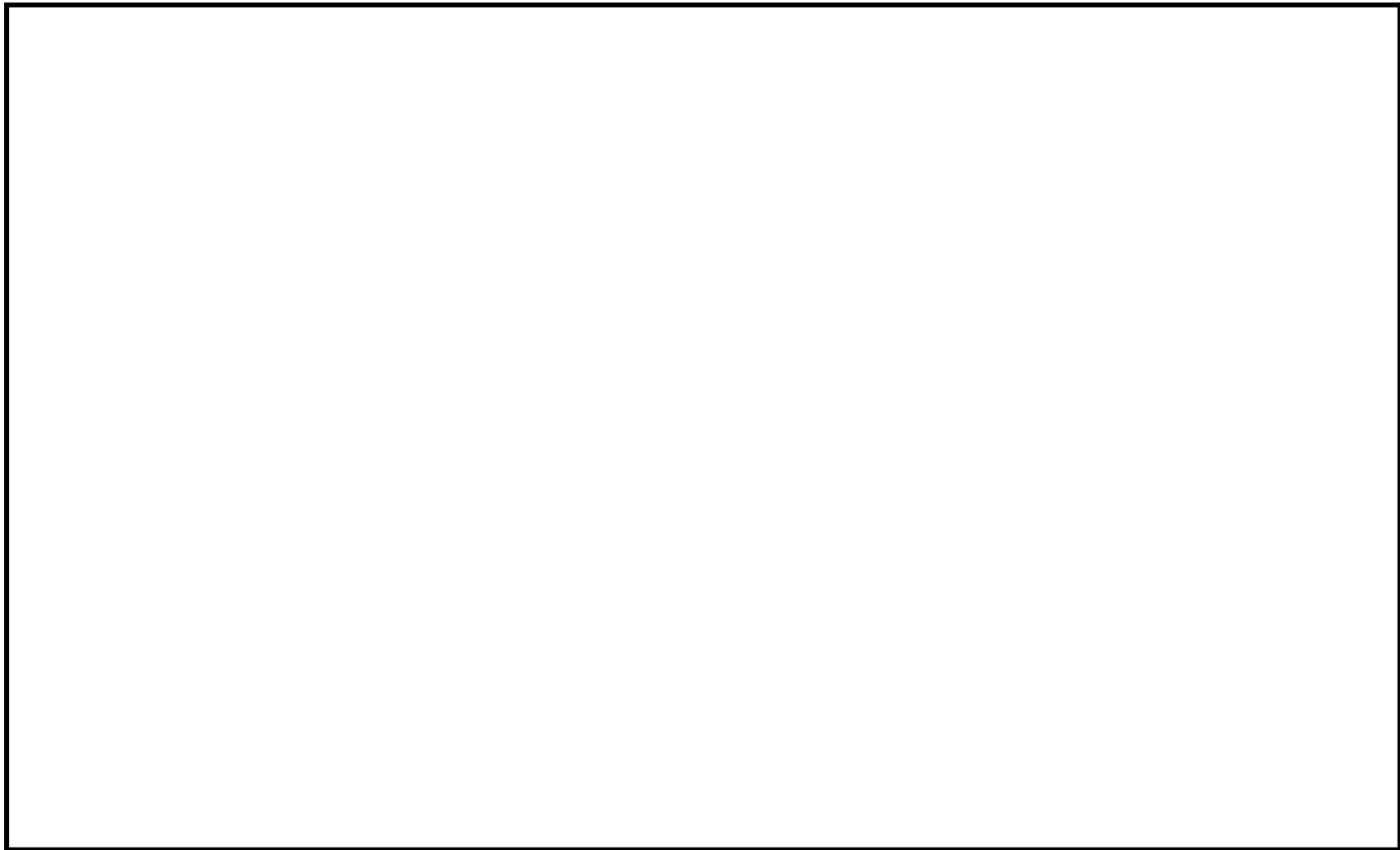


図 3-2-1 復水系 FAC 管理区分図 (4/7)

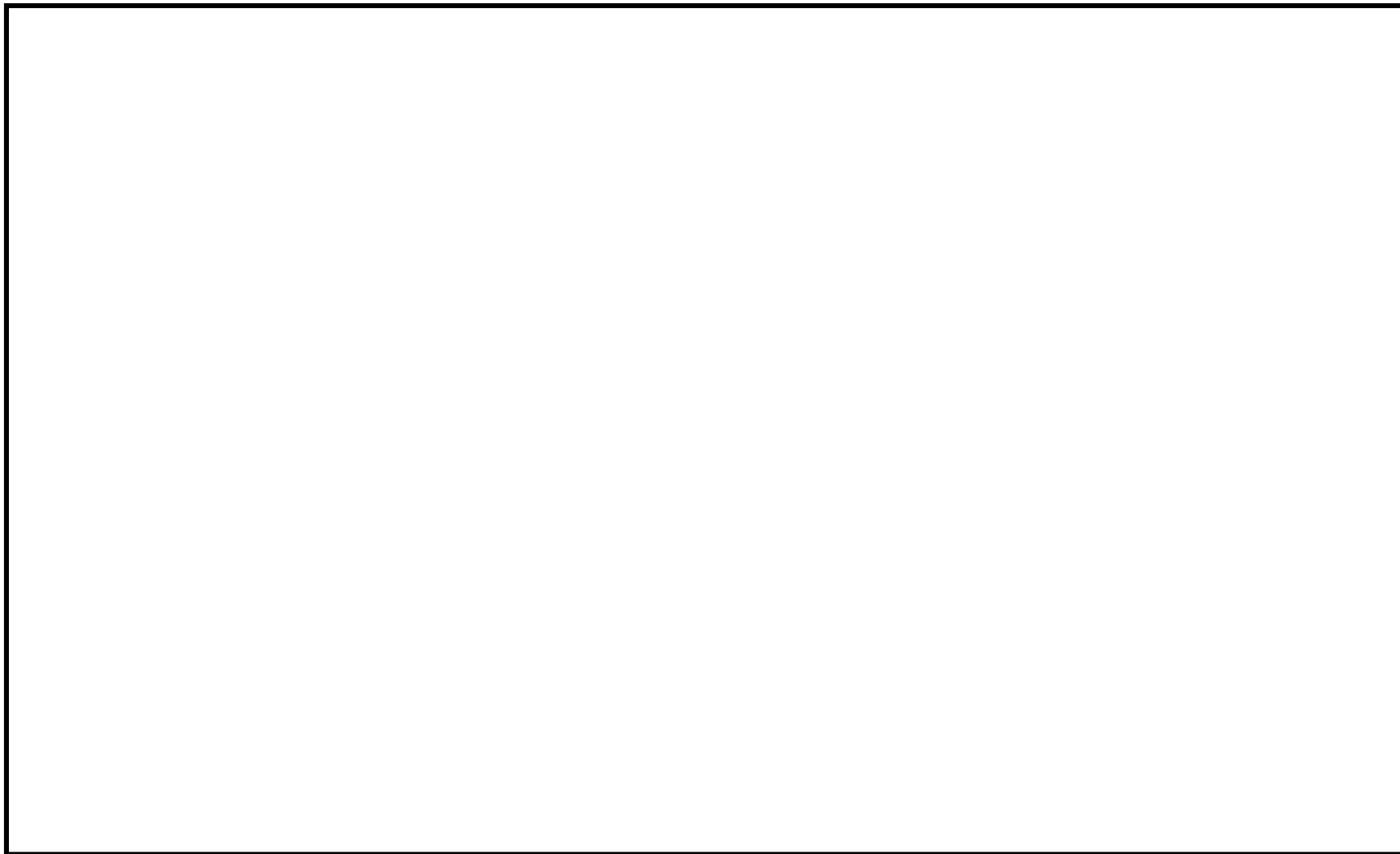


図 3-2-1 復水系 FAC 管理区分図 (5/7)

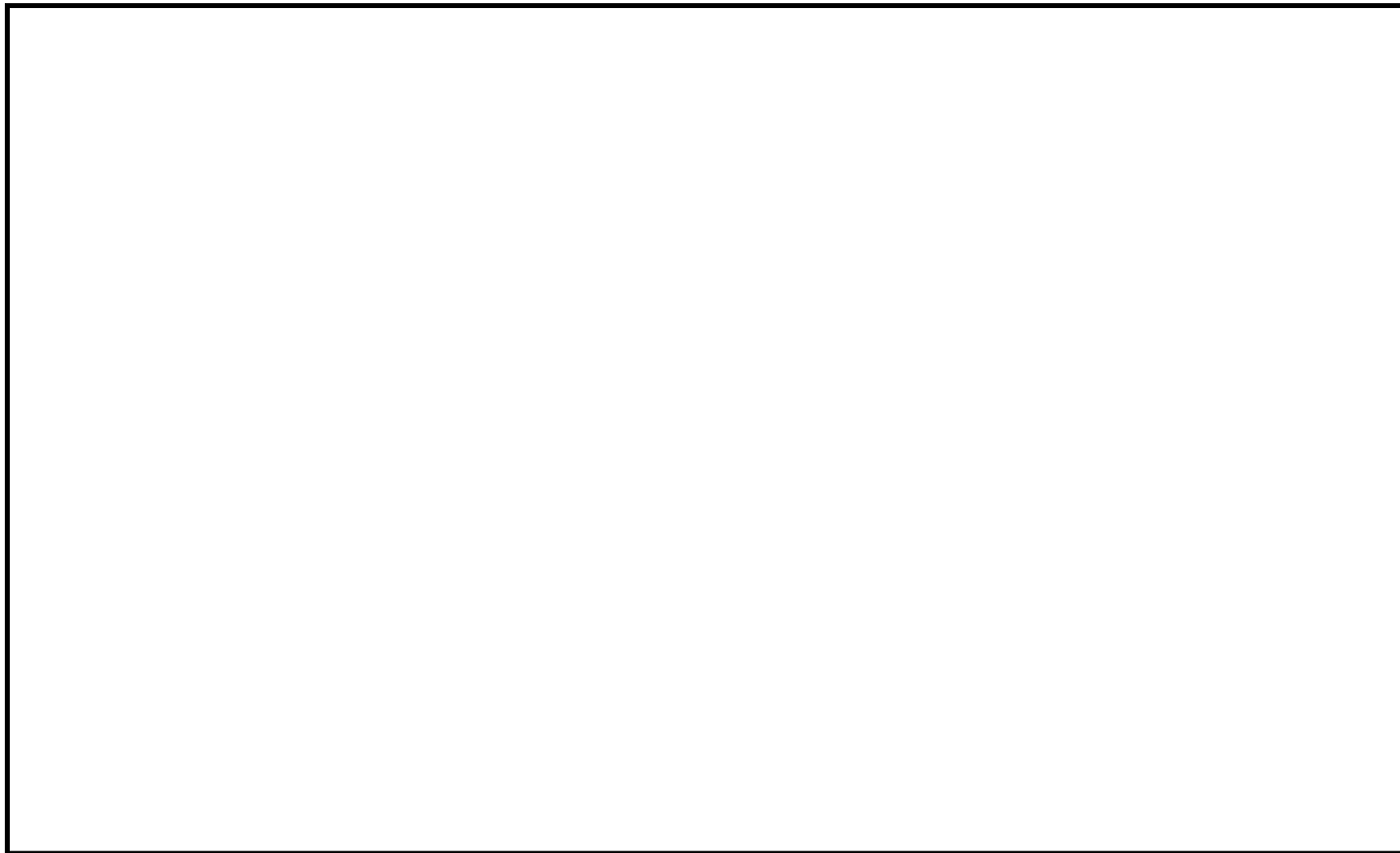


図 3-2-1 復水系 FAC 管理区分図 (6/7)

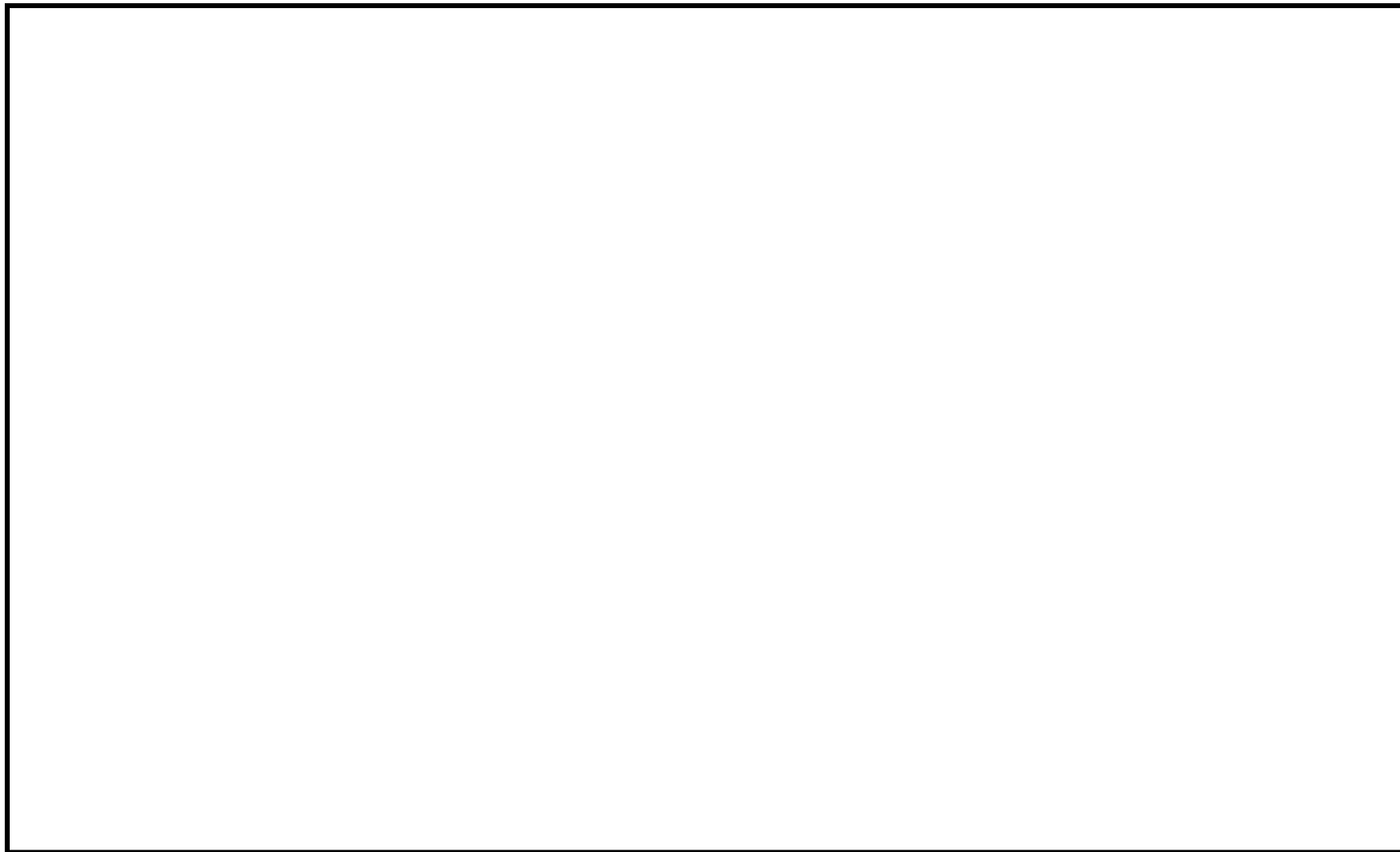


図 3-2-1 復水系 FAC 管理区分図 (7/7)

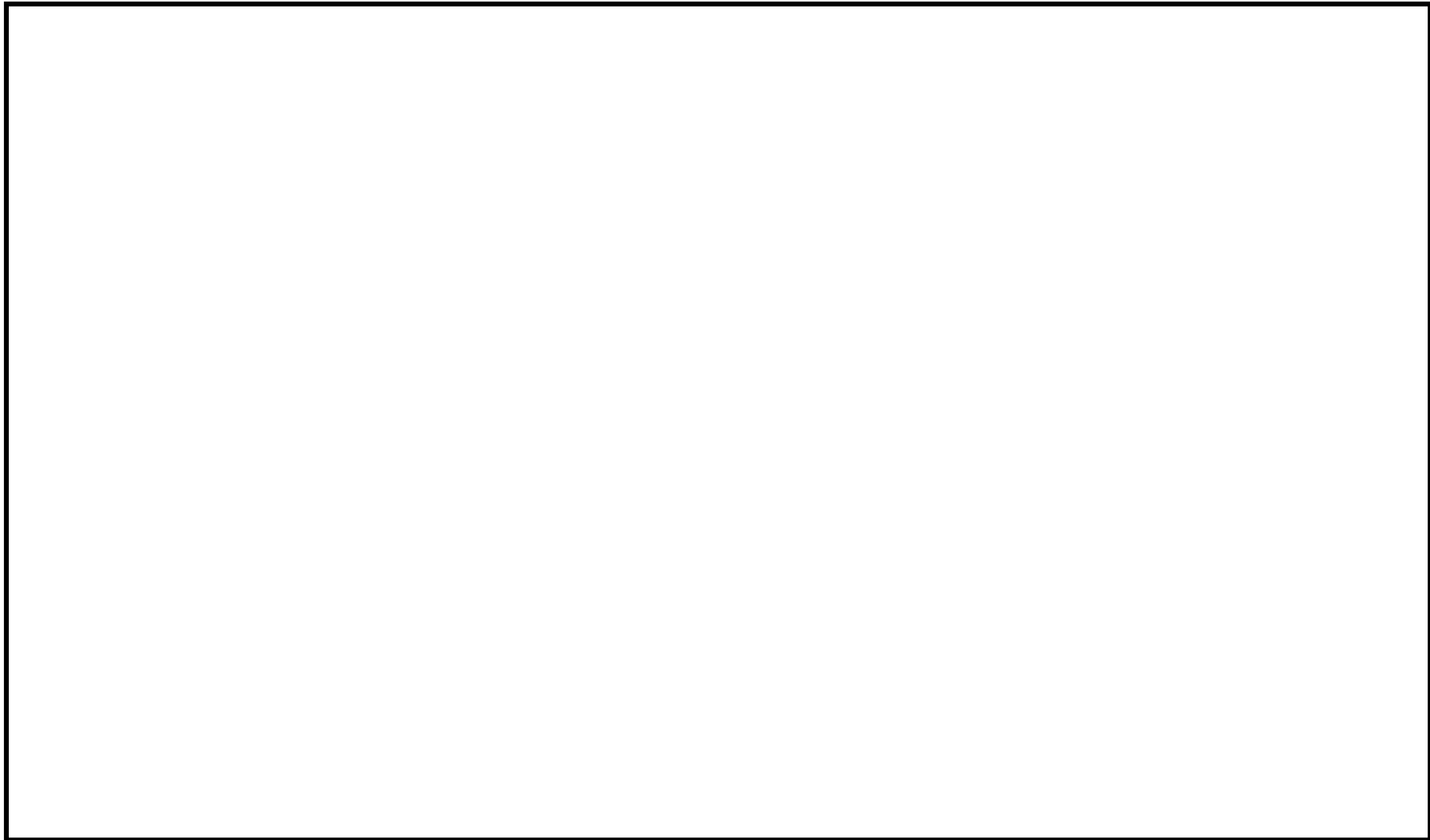


図 3-2-2 CW-T-10 解析モデル図



図 3-2-3 CW-T-27 解析モデル図

表 3-2-3 減肉設定範囲における評価仕様 (1/2)

解析モデル：CW-T-10

管番号*1	外径 (mm)	公称 板厚 (mm)	耐震 管理 厚さ (mm)	耐震管理 厚さ区分	FAC 管理 ランク	耐震 重要度 分類	管クラス
1	508.0	20.6				B S s	クラス 3 以下の管

注記*1：管番号は、解析モデル図に示す○数字と紐付く。

*2：FAC-1 に分類される範囲のうち偏流発生部が連続する箇所であり，FAC-S として扱う箇所。

表 3-2-3 減肉設定範囲における評価仕様 (2/2)

解析モデル：CW-T-27

管番号*1	外径 (mm)	公称 板厚 (mm)	耐震 管理 厚さ (mm)	耐震管理 厚さ区分	FAC 管理 ランク	耐震 重要度 分類	管クラス
1	89.7	11.4				B	クラス 3 以下の管
2	89.7	11.4				B	クラス 3 以下の管
3	89.7	11.4				B	クラス 3 以下の管
4	89.7	11.4				B	クラス 3 以下の管
5	110.0	21.6				B	クラス 3 以下の管
6	89.1	7.6				B	クラス 3 以下の管
7R	89.7	7.1				B	クラス 3 以下の管
	60.5	5.5				B	クラス 3 以下の管

注記*1：管番号は、解析モデル図に示す○数字と紐付く。また、管番号の末尾に「R」が付く管はレギュレーサ部であり、上段が大口径側、下段が小口径側の情報を示す。

*2：FAC-1 に分類される範囲のうち偏流発生部が連続する箇所であり、FAC-S として扱う箇所。

表 3-2-4 代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果 (1/4)

クラス 3 以下の管

No	解析モデル	耐震 重要度 分類	許容応力状態Ⅳ A S												
			一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲れ 累積 係数	代表
1	CW-T-10	B S s	1N	218	386	1.77	○	1N	311	464	1.49	○	—	—	—
2	FW-T-3	B S s	351	208	382	1.83	—	351	282	458	1.62	—	—	—	—

注：設計用床応答スペクトルⅠおよび設計用震度Ⅰによる評価結果を示す。

表 3-2-4 代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果 (2/4)

クラス 3 以下の管

No	解析モデル	耐震 重要度 分類	許容応力状態 B A S				
			一次応力評価				
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表
1	CRD-R-8	B	26	84	188	2.23	—
2	CW-T-1	B	37	104	227	2.18	—
3	CW-T-2	B	7	65	215	3.30	—
4	CW-T-5	B	7321	139	219	1.57	—
5	CW-T-6	B	5	178	238	1.33	—
6	CW-T-7	B	1N	89	244	2.74	—
7	CW-T-8	B	1N	89	244	2.74	—
8	CW-T-9	B	1N	98	244	2.48	—
9	CW-T-10	B	1N	117	232	1.98	—
10	CW-T-11	B	38N	118	232	1.96	—
11	CW-T-12	B	60	123	232	1.88	—
12	CW-T-13	B	162	118	229	1.94	—
13	CW-T-15	B	40	96	234	2.43	—
14	CW-T-16	B	48	119	225	1.89	—

注：設計用床応答スペクトル I および設計用震度 I による評価結果を示す。

表 3-2-4 代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果 (3/4)

クラス 3 以下の管

No	解析モデル	耐震 重要度 分類	許容応力状態 B A S				
			一次応力評価				
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表
15	CW-T-18	B	146	153	225	1.47	—
16	CW-T-21	B	85	118	234	1.98	—
17	CW-T-27	B	1A	220	234	1.06	○
18	CW-T-30A	B	95	93	234	2.51	—
19	CW-T-30B	B	85	68	234	3.44	—
20	CW-T-31	B	773	141	234	1.65	—
21	CW-T-32	B	20	82	215	2.62	—
22	CW-T-33	B	313	72	234	3.25	—
23	CW-T-34	B	920	111	234	2.10	—
24	CW-T-35	B	603	181	234	1.29	—
25	CW-T-36	B	112	62	234	3.77	—
26	CW-T-83	B	202	114	234	2.05	—
27	CW-T-1SPB	B	60N	147	234	1.59	—
28	CW-T-2SPB	B	65	81	234	2.88	—

注：設計用床応答スペクトル I および設計用震度 I による評価結果を示す。

表 3-2-4 代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果 (4/4)

クラス 3 以下の管

No	解析モデル	耐震 重要度 分類	許容応力状態 B A S				
			一次応力評価				
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表
29	CW-T-3SPB	B	61N	113	234	2.07	—
30	CW-T-22SPB	B	30	109	210	1.92	—
31	CW-T-23SPB	B	25	123	210	1.70	—
32	CW-T-154SPB	B	49N	76	234	3.07	—
33	CW-T-155SPB	B	49N	36	234	6.50	—
34	CW-T-156SPB	B	28W	31	234	7.54	—
35	CW-T-157SPB	B	48N	37	234	6.32	—
36	CW-T-158SPB	B	28W	32	234	7.31	—
37	CW-T-159SPB	B	48N	38	234	6.15	—
38	CW-T-160SPB	B	31W	32	234	7.31	—
39	CW-T-161SPB	B	48N	40	234	5.85	—
40	FW-T-3	B	351	103	229	2.22	—

注：設計用床応答スペクトル I および設計用震度 I による評価結果を示す。

3. 3 原子炉ベントドレン系

本システムにおける FAC 管理区分図を図 3-3-1 に示す（記号凡例については、表 3-3-1 に示す）。本システムにおいて FAC 管理範囲を含む解析モデルは、全 2 モデルあり、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値が最小となる解析モデルを代表として、解析モデル図を図 3-3-2 および図 3-3-3 に示す（記号凡例については、表 3-3-2 に示す）。また、解析モデル図に、減肉設定範囲を示すとともに、当該部において適用した耐震管理厚さを含む評価仕様を表 3-3-3 に示す。各応力区分における代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果を表 3-3-4 に示す。

表 3-3-1 FAC 管理区分図記号凡例




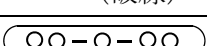





記号	内容
 (太線)	FAC-2 の管
 (太破線)	FAC-S の管
 (細線)	FAC-1 の管
 (破線)	減肉管理対象外の管
	解析モデル名 (代表モデル)
	解析モデル名 (代表モデル以外)
	アンカ
C1	管クラス (管クラスがクラス 1 管である場合の例)
[S]	耐震重要度分類 (耐震重要度分類が S クラスである場合の例)

表 3-3-2 解析モデル図記号凡例

記号	内容
 (太線)	減肉設定範囲の管
 (細線)	減肉設定範囲以外の管
● 10	最大応力評価点および対応する評価点番号 (評価点番号が 10 である場合の例)
▼	管番号の境界点
	対応する管番号 (管番号が 1 である場合の例)

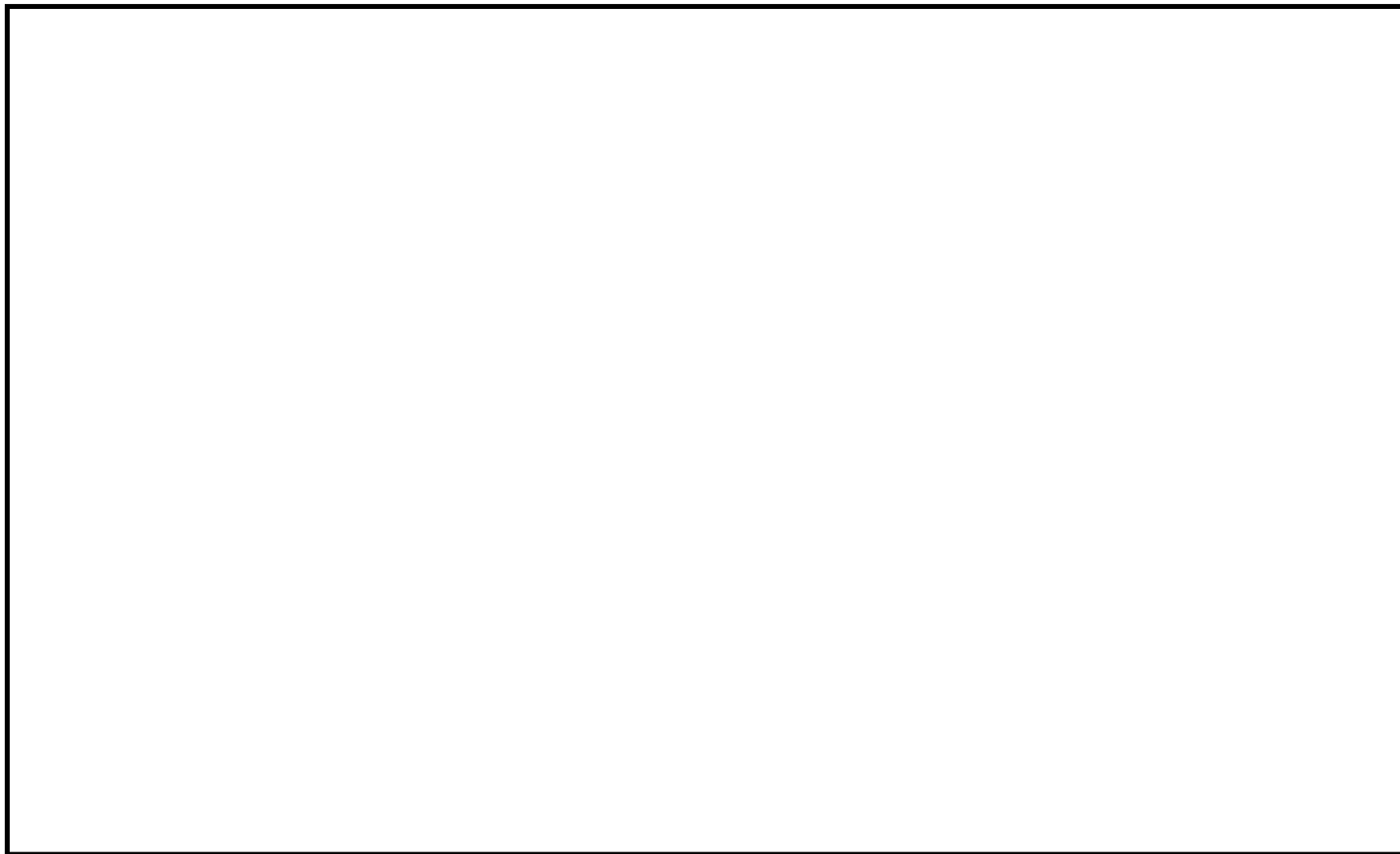


図 3-3-1 原子炉ベントドレン系 FAC 管理区分図

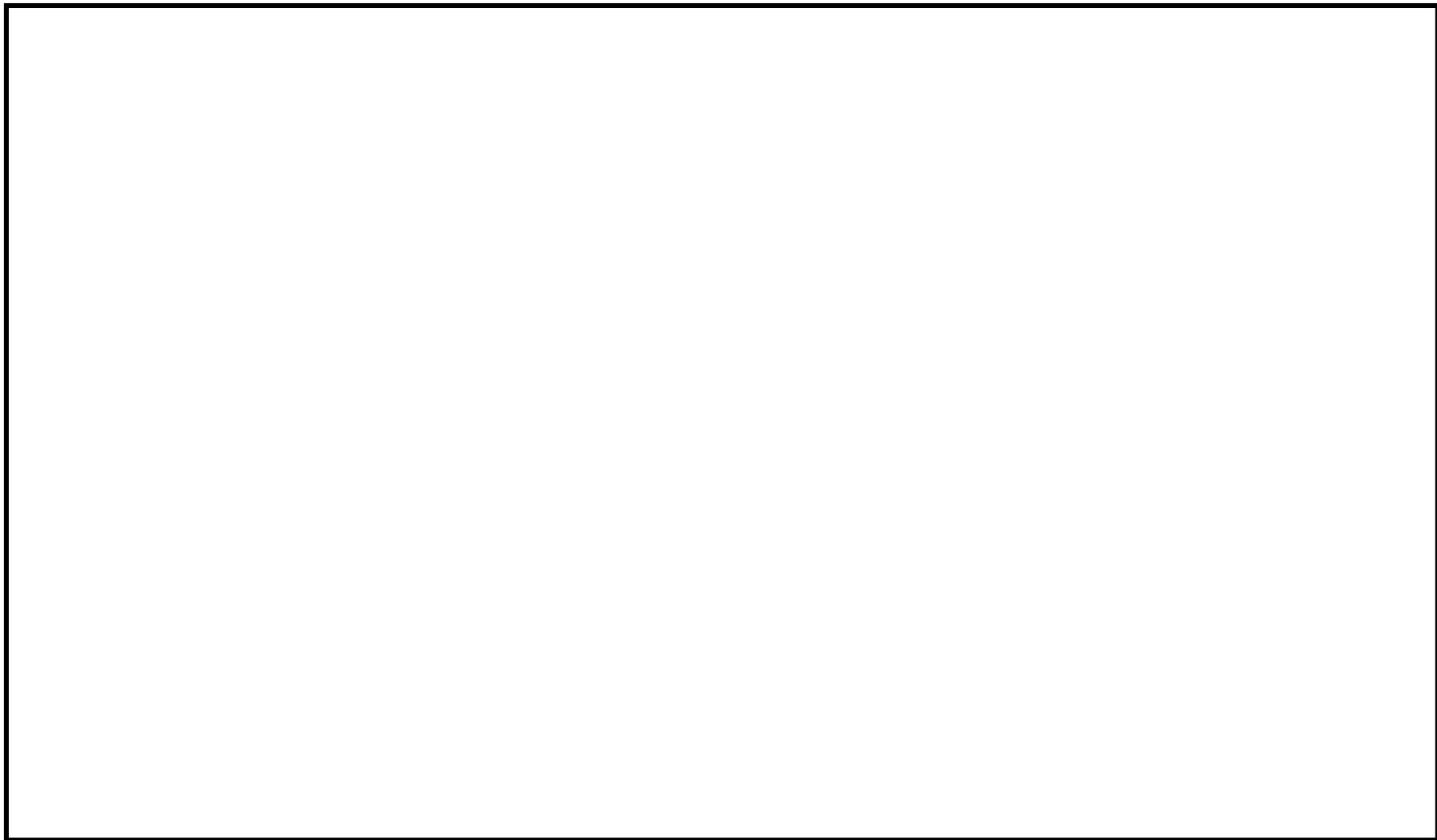


図 3-3-2 RVD-PD-1SP 解析モデル図

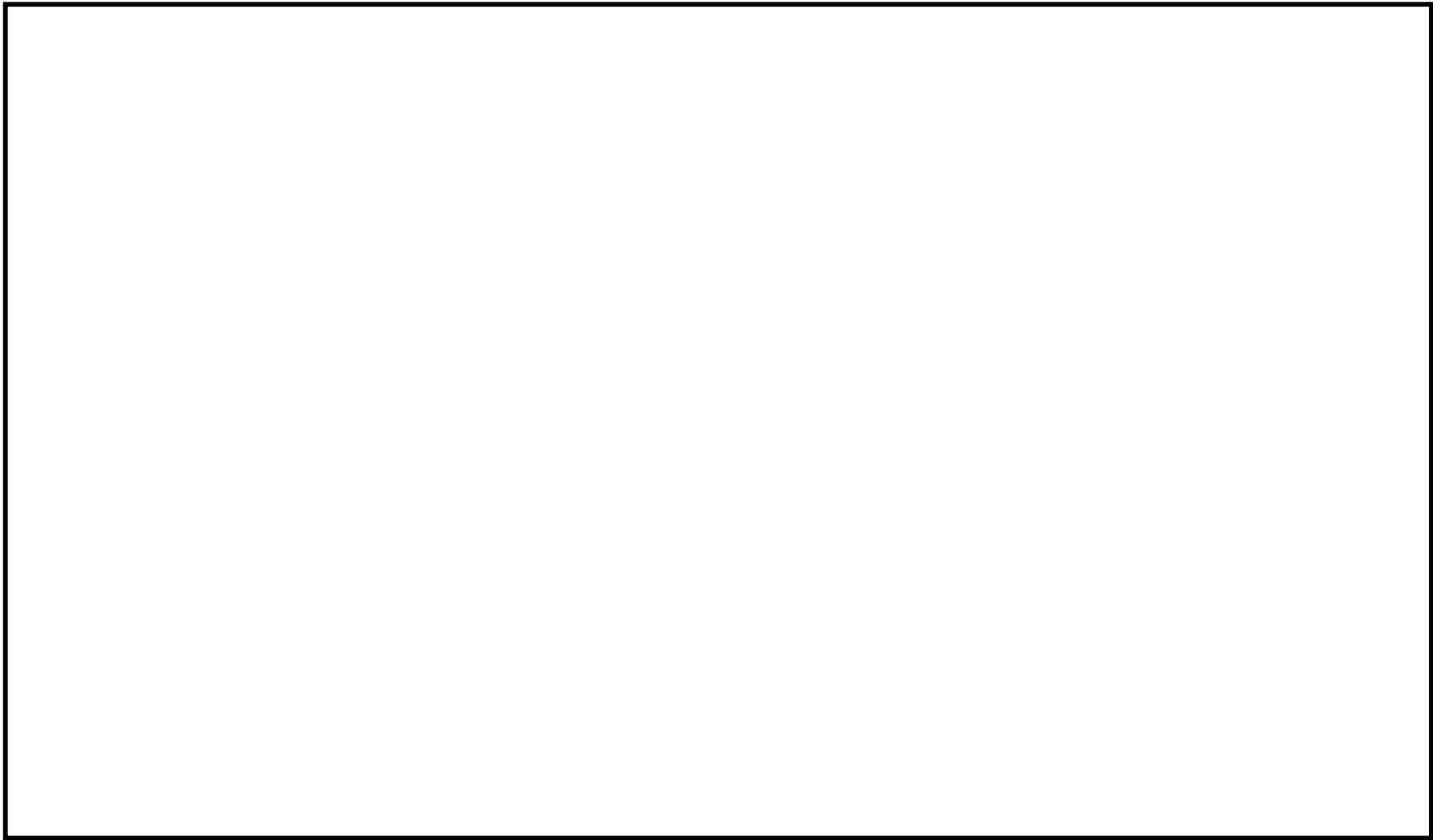


図 3-3-3 RVD-PD-2SP 解析モデル図

表 3-3-3 減肉設定範囲における評価仕様 (1/2)

解析モデル：RVD-PD-1SP

管番号*1	外径 (mm)	公称 板厚 (mm)	耐震 管理 厚さ (mm)	耐震管理 厚さ区分	FAC 管理 ランク	耐震 重要度 分類	管クラス
1R	114.3	11.1				S	クラス1管
	60.5	8.7				S	クラス1管
2	60.5	8.7				S	クラス1管
3	60.5	8.7				S	クラス1管
4	34.0	6.4				S	クラス1管*2

注記*1：管番号は、解析モデル図に示す○数字と紐付く。また、管番号の末尾に「R」が付く管はレジャーサ部であり、上段が大口径側、下段が小口径側の情報を示す。

*2：当該箇所はクラス2以下の管であるが、クラス1管として評価する。

表 3-3-3 減肉設定範囲における評価仕様 (2/2)

解析モデル：RVD-PD-2SP

管番号*	外径 (mm)	公称 板厚 (mm)	耐震 管理 厚さ (mm)	耐震管理 厚さ区分	FAC 管理 ランク	耐震 重要度 分類	管クラス
1	60.5	8.7				S	クラス1管
2	60.5	8.7				S	クラス3以下の管
3	27.2	5.5				S	クラス3以下の管
4	27.2	5.5				S	クラス3以下の管

注記*：管番号は、解析モデル図に示す○数字と紐付く。また、管番号の末尾に「R」が付く管はレギュレーサ部であり、上段が大口径側、下段が小口径側の情報を示す。

表 3-3-4 代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果 (1/4)

クラス 1 管

No	解析モデル	耐震 重要度 分類	許容応力状態Ⅲ _A S												
			一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲れ 累積 係数	代表
1	RVD-PD-1SP	S	20	107	274	2.56	○	20	487	366	0.75	○	20	0.1710	○
2	RVD-PD-2SP	S	19	102	274	2.68	—	31	283	366	1.29	—	1N	0.1392	—

注：設計用床応答スペクトル I および設計用震度 I による評価結果を示す。

表 3-3-4 代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果 (2/4)

クラス 1 管

No	解析モデル	耐震 重要度 分類	許容応力状態IV _A S												
			一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲れ 累積 係数	代表
1	RVD-PD-1SP	S	20	158	364	2.30	—	20	868	366	0.42	○	20	0.8680	○
2	RVD-PD-2SP	S	19	166	364	2.19	○	31	532	366	0.68	—	1N	0.1700	—

注：設計用床応答スペクトル I および設計用震度 I による評価結果を示す。

表 3-3-4 代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果 (3/4)

クラス 3 以下の管

No	解析モデル	耐震 重要度 分類	許容応力状態ⅢA S												
			一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲れ 累積 係数	代表
1	RVD-PD-2SP	S	40W	64	182	2.84	○	40W	96	364	3.79	○	—	—	—

注：設計用床応答スペクトル I および設計用震度 I による評価結果を示す。

表 3-3-4 代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果 (4/4)

クラス 3 以下の管

No	解析モデル	耐震 重要度 分類	許容応力状態Ⅳ _A S												
			一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲れ 累積 係数	代表
1	RVD-PD-2SP	S	40W	108	363	3.36	○	40W	193	364	1.88	○	—	—	—

注：設計用床応答スペクトルⅠおよび設計用震度Ⅰによる評価結果を示す。






3. 4 原子炉隔離時冷却系

本システムにおける FAC 管理区分図を図 3-4-1 に示す（記号凡例については、表 3-4-1 に示す）。本システムにおいて FAC 管理範囲を含む解析モデルは、全 3 モデルあり、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値が最小となる解析モデルを代表として、解析モデル図を図 3-4-2 および図 3-4-3 に示す（記号凡例については、表 3-4-2 に示す）。また、解析モデル図に、減肉設定範囲を示すとともに、当該部において適用した耐震管理厚さを含む評価仕様を表 3-4-3 に示す。各応力区分における代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果を表 3-4-4 に示す。蒸気内側隔離弁の動的機能維持評価結果を表 3-4-5 に示す。

表 3-4-1 FAC 管理区分図記号凡例

記号	内容
 (太線)	FAC-2 の管
 (太破線)	FAC-S の管
 (細線)	FAC-1 の管
 (破線)	減肉管理対象外の管
	解析モデル名 (代表モデル)
	解析モデル名 (代表モデル以外)
	アンカ
C1	管クラス (管クラスがクラス 1 管である場合の例)
[S]	耐震重要度分類 (耐震重要度分類が S クラスである場合の例)

表 3-4-2 解析モデル図記号凡例

記号	内容
 (太線)	減肉設定範囲の管
 (細線)	減肉設定範囲以外の管
 10	最大応力評価点および対応する評価点番号 (評価点番号が 10 である場合の例)
	管番号の境界点
	対応する管番号 (管番号が 1 である場合の例)

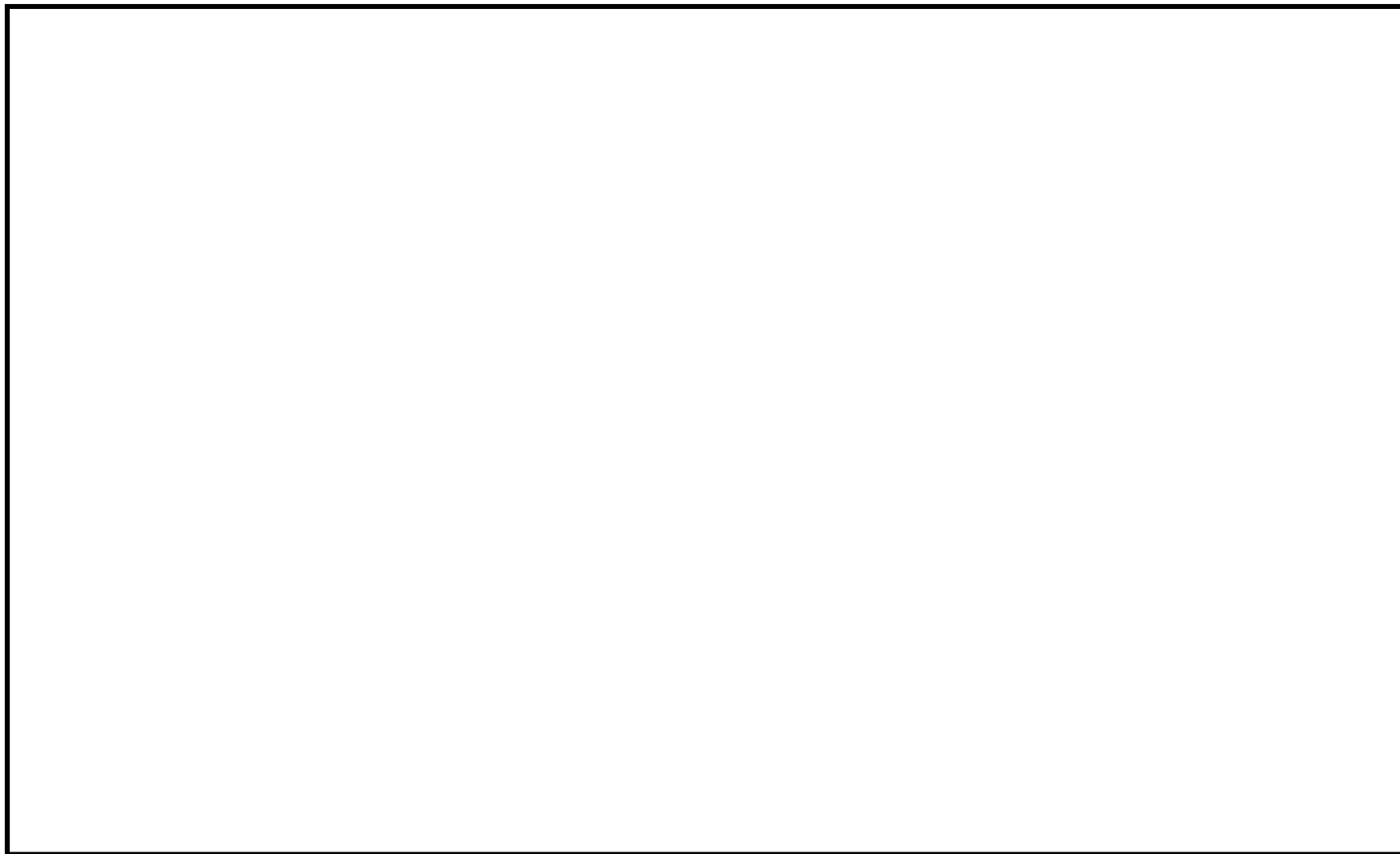


図 3-4-1 原子炉隔離時冷却系 FAC 管理区分図

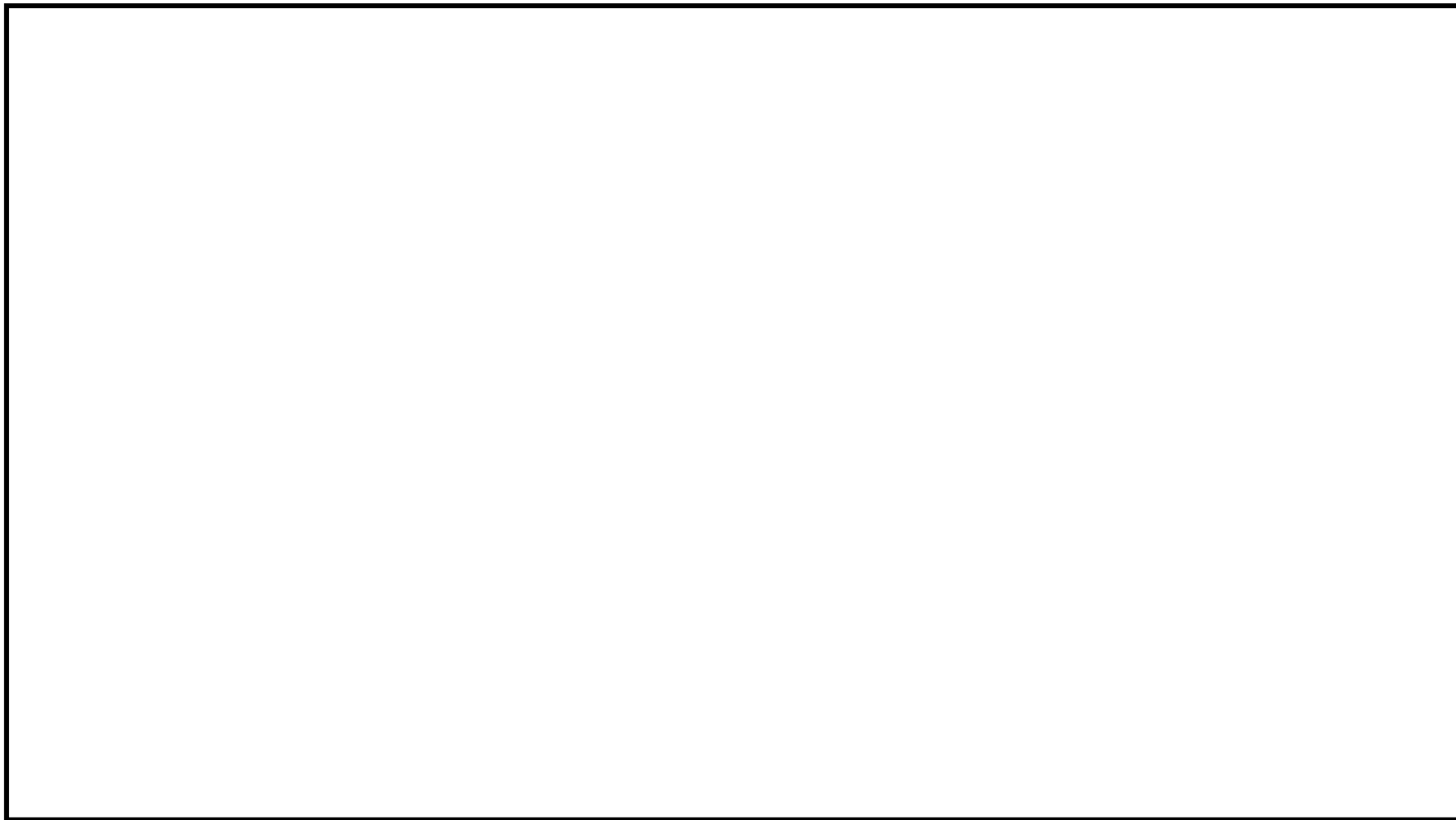


図 3-4-2 RCIC-PD-1 解析モデル図

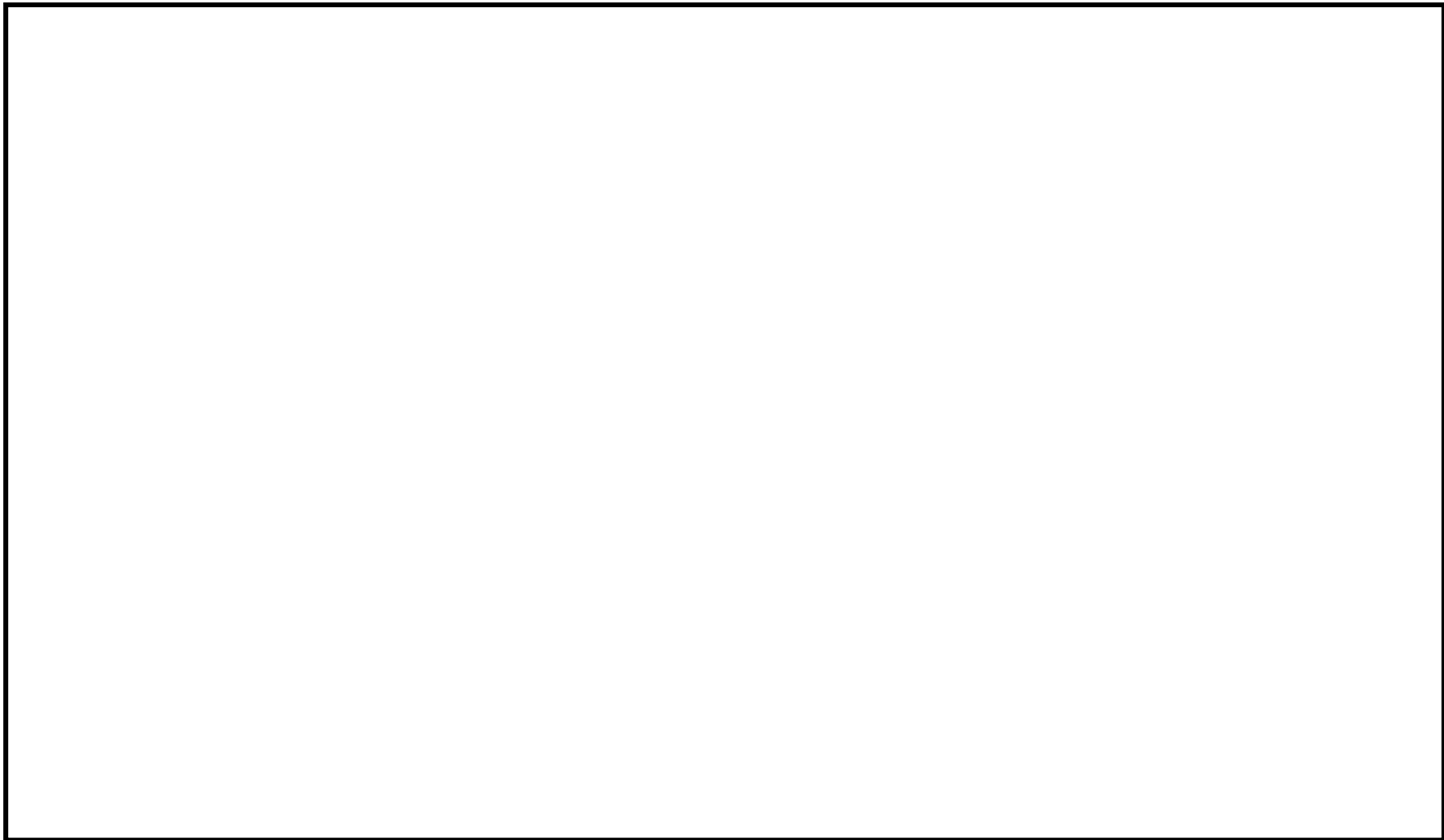


図 3-4-3 RCIC-R-7SP 解析モデル図

表 3-4-3 減肉設定範囲における評価仕様 (1/2)

解析モデル：RCIC-PD-1

管番号*1	外径 (mm)	公称 板厚 (mm)	耐震 管理 厚さ (mm)	耐震管理 厚さ区分	FAC 管理 ランク	耐震 重要度 分類	管クラス
1	114.3	11.1				S	クラス1管

注記*1：管番号は、解析モデル図に示す○数字と紐付く。

*2：FAC-1 に分類される範囲のうち偏流発生部が連続する箇所であり，FAC-S として扱う箇所。

表 3-4-3 減肉設定範囲における評価仕様 (2/2)

解析モデル：RCIC-R-7SP

管番号*	外径 (mm)	公称 板厚 (mm)	耐震 管理 厚さ (mm)	耐震管理 厚さ区分	FAC 管理 ランク	耐震 重要度 分類	管クラス
1	39.2	9.0				S	クラス 2 以下の管
2	59.0	12.25				S	クラス 2 以下の管

注記*：管番号は、解析モデル図に示す○数字と紐付く。

表 3-4-4 代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果 (1/4)

クラス 1 管

No	解析モデル	耐震 重要度 分類	許容応力状態Ⅲ _A S												
			一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲れ 累積 係数	代表
1	RCIC-PD-1	S	30	89	274	3.07	○	31	263	366	1.39	○	31	0.0100	○

注：設計用床応答スペクトル I および設計用震度 I による評価結果を示す。

表 3-4-4 代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果 (2/4)

クラス 1 管

No	解析モデル	耐震 重要度 分類	許容応力状態IV _A S												
			一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲れ 累積 係数	代表
1	RCIC-PD-1	S	12	138	364	2.63	○	31	505	366	0.72	○	31	0.0863	○

注：設計用床応答スペクトル I および設計用震度 I による評価結果を示す。

表 3-4-4 代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果 (3/4)

クラス 2 以下の管

No	解析モデル	耐震 重要度 分類	許容応力状態Ⅲ _A S												
			一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲れ 累積 係数	代表
1	MS-PD-5	S	96	71	163	2.29	—	96	106	326	3.07	—	—	—	—
2	RCIC-R-7SP	S	214N	102	182	1.78	○	214N	181	364	2.01	○	—	—	—

注：設計用床応答スペクトル I および設計用震度 I による評価結果を示す。

表 3-4-4 代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果 (4/4)

クラス 2 以下の管

No	解析モデル	耐震 重要度 分類	許容応力状態IV _A S												
			一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲れ 累積 係数	代表
1	MS-PD-5	S	96	102	360	3.52	—	96	186	326	1.75	—	—	—	—
2	RCIC-R-7SP	S	214N	136	363	2.66	○	214N	256	364	1.42	○	—	—	—

注：設計用床応答スペクトル I および設計用震度 I による評価結果を示す。

表 3-4-5 蒸気内側隔離弁の動的機能維持評価結果

弁番号	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		機能維持確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
	水平	鉛直	水平	鉛直
MV221-20	3.2	3.8	6.0	6.0

3. 5 残留熱除去系

本システムにおける FAC 管理区分図を図 3-5-1 に示す（記号凡例については、表 3-5-1 に示す）。本システムにおいて FAC 管理範囲を含む解析モデルは、全 3 モデルあり、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値が最小となる解析モデルを代表として、解析モデル図を図 3-5-2 および図 3-5-3 に示す（記号凡例については、表 3-5-2 に示す）。また、解析モデル図に、減肉設定範囲を示すとともに、当該部において適用した耐震管理厚さを含む評価仕様を表 3-5-3 に示す。各応力区分における代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果を表 3-5-4 に示す。

表 3-5-1 FAC 管理区分図記号凡例




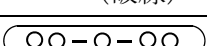





記号	内容
 (太線)	FAC-2 の管
 (太破線)	FAC-S の管
 (細線)	FAC-1 の管
 (破線)	減肉管理対象外の管
	解析モデル名 (代表モデル)
	解析モデル名 (代表モデル以外)
	アンカ
C1	管クラス (管クラスがクラス 1 管である場合の例)
[S]	耐震重要度分類 (耐震重要度分類が S クラスである場合の例)

表 3-5-2 解析モデル図記号凡例

記号	内容
 (太線)	減肉設定範囲の管
 (細線)	減肉設定範囲以外の管
● 10	最大応力評価点および対応する評価点番号 (評価点番号が 10 である場合の例)
▼	管番号の境界点
	対応する管番号 (管番号が 1 である場合の例)

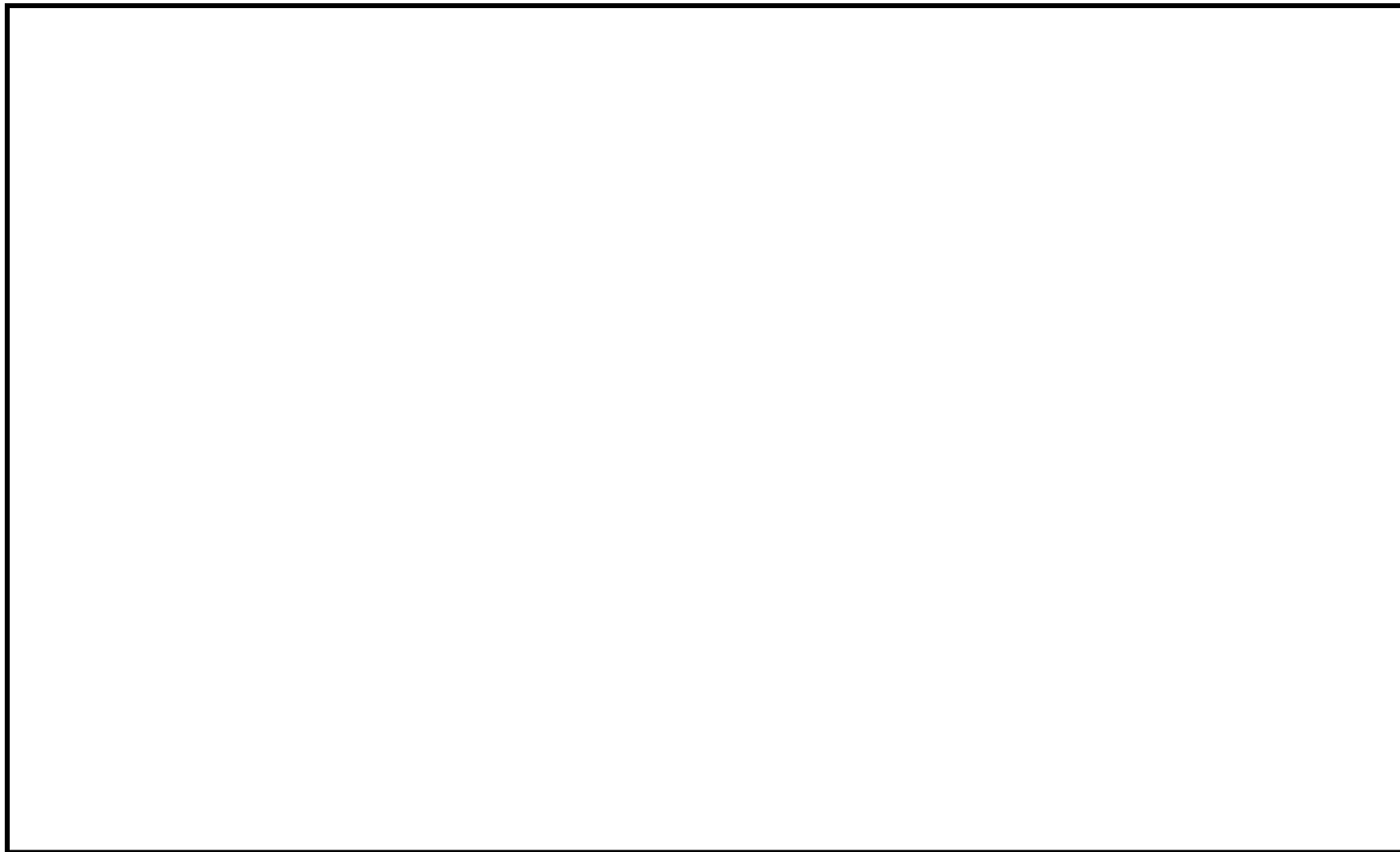


図 3-5-1 残留熱除去系 FAC 管理区分図

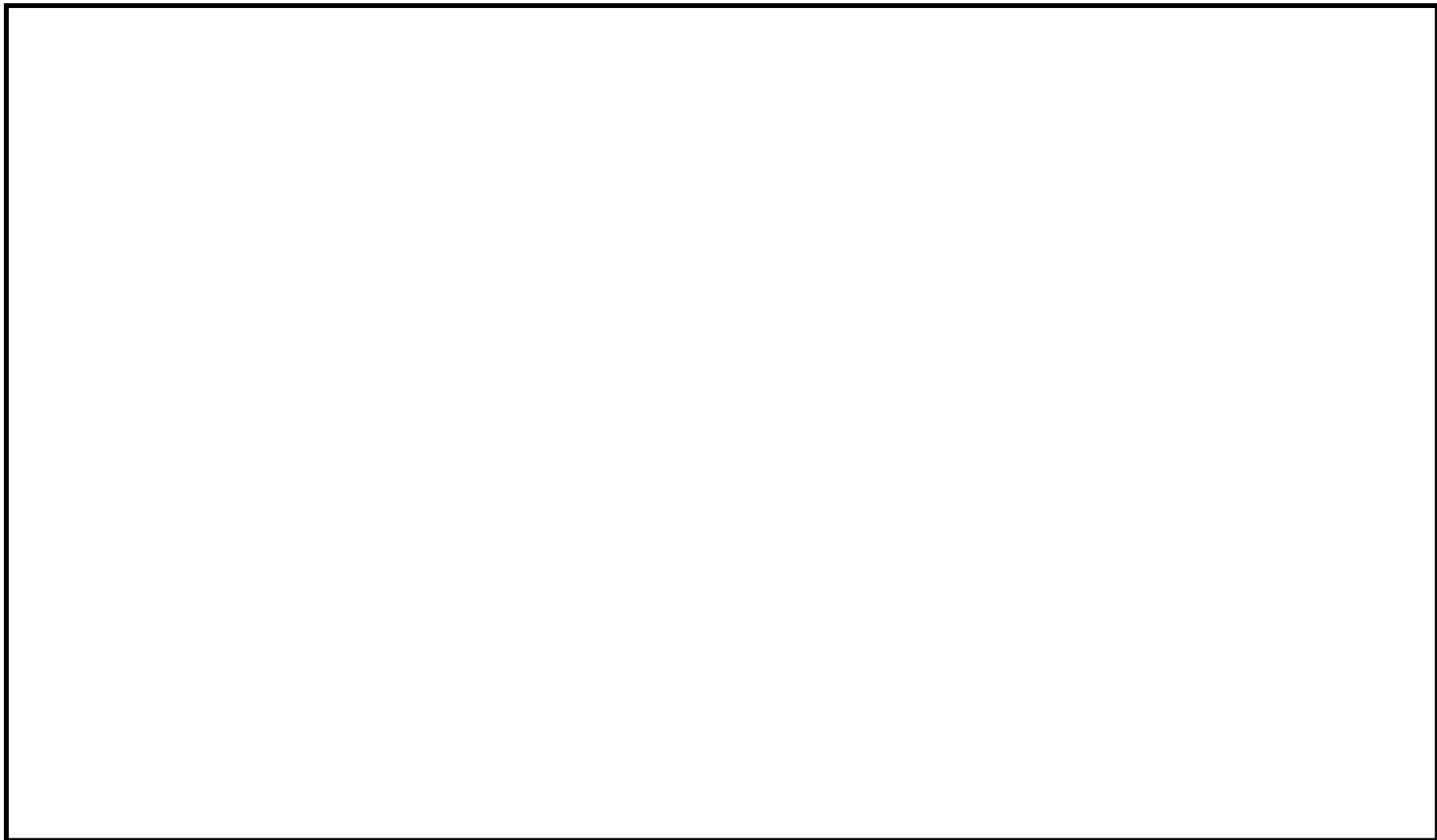


図 3-5-2 RHR-PD-7 解析モデル図

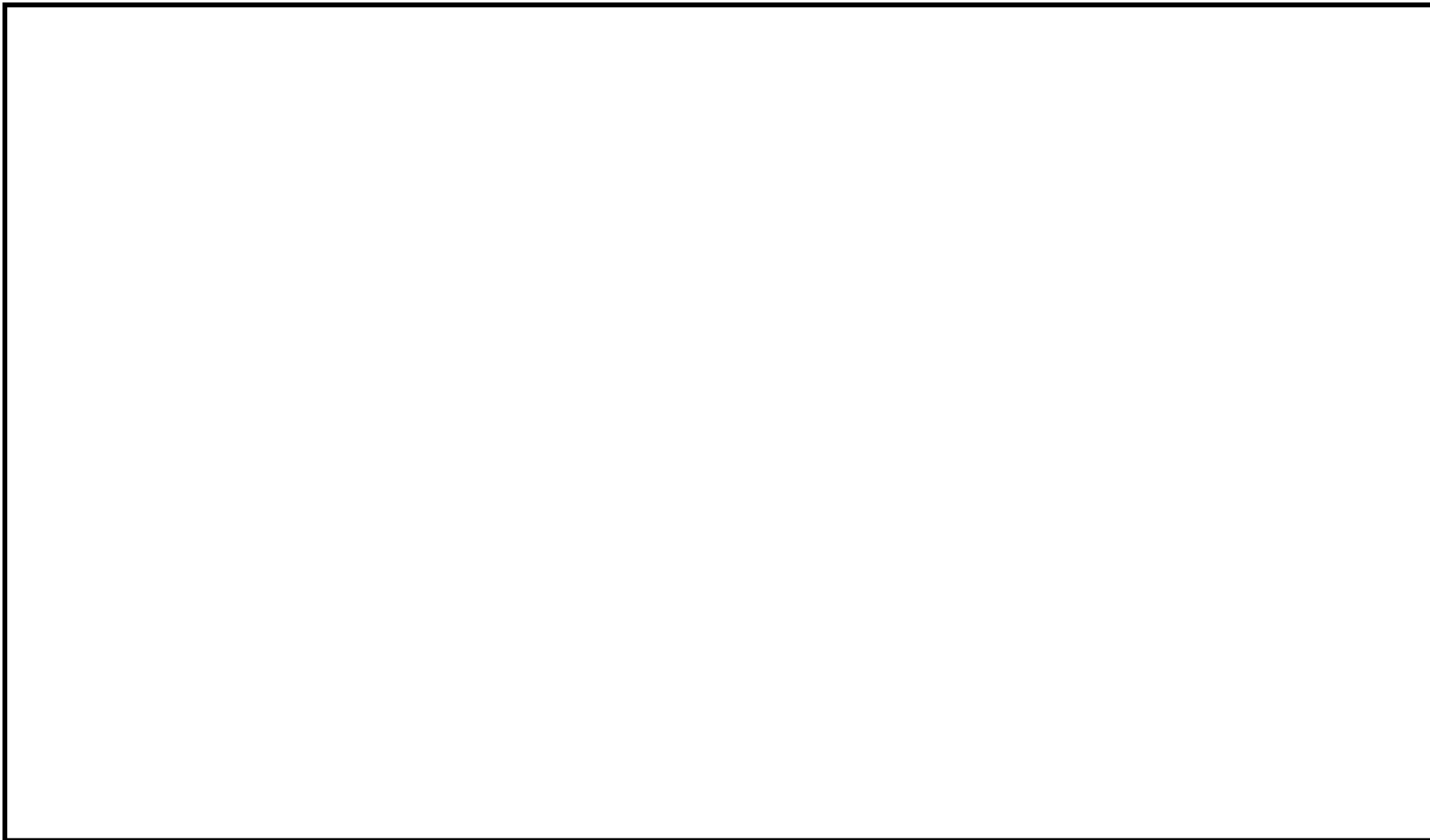


図 3-5-3 RHR-PD-21 解析モデル図

表 3-5-3 減肉設定範囲における評価仕様 (1/2)

解析モデル：RHR-PD-7

管番号*	外径 (mm)	公称 板厚 (mm)	耐震 管理 厚さ (mm)	耐震管理 厚さ区分	FAC 管理 ランク	耐震 重要度 分類	管クラス
1	114.3	11.1				S	クラス 1 管
2R	165.2	14.3				S	クラス 1 管
	114.3	11.1				S	クラス 1 管

注記*：管番号は、解析モデル図に示す○数字と紐付く。また、管番号の末尾に「R」が付く管はレジャーサ部であり、上段が大口径側、下段が小口径側の情報を示す。

表 3-5-3 減肉設定範囲における評価仕様 (2/2)

解析モデル：RHR-PD-21

管番号*	外径 (mm)	公称 板厚 (mm)	耐震 管理 厚さ (mm)	耐震管理 厚さ区分	FAC 管理 ランク	耐震 重要度 分類	管クラス
1	27.2	5.5				S	クラス 3 以下の管
2	27.2	5.1				S	クラス 3 以下の管
3	38.2	11.0				S	クラス 3 以下の管

注記*：管番号は、解析モデル図に示す○数字と紐付く。

表 3-5-4 代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果 (1/4)

クラス 1 管

No	解析モデル	耐震 重要度 分類	許容応力状態Ⅲ _A S												
			一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲れ 累積 係数	代表
1	RHR-PD-7	S	26	78	274	3.51	○	27	364	366	1.00	○	27	0.0245	○

注：設計用床応答スペクトル I および設計用震度 I による評価結果を示す。

表 3-5-4 代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果 (2/4)

クラス 1 管

No	解析モデル	耐震 重要度 分類	許容応力状態Ⅳ _A S												
			一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲れ 累積 係数	代表
1	RHR-PD-7	S	26	96	364	3.79	○	27	609	366	0.60	○	27	0.2591	○

注：設計用床応答スペクトルⅠおよび設計用震度Ⅰによる評価結果を示す。

表 3-5-4 代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果 (3/4)

クラス 3 以下の管

No	解析モデル	耐震 重要度 分類	許容応力状態Ⅲ _A S												
			一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲れ 累積 係数	代表
1	RHR-PD-21	S	48	114	187	1.64	○	48	520	374	0.71	○	48	0.0722	○
2	RVD-PD-2SP	S	110	91	182	2.00	—	126	152	364	2.39	—	—	—	—

注：設計用床応答スペクトル I および設計用震度 I による評価結果を示す。

表 3-5-4 代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果 (4/4)

クラス 3 以下の管

No	解析モデル	耐震 重要度 分類	許容応力状態Ⅳ _A S												
			一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲れ 累積 係数	代表
1	RHR-PD-21	S	48	160	394	2.46	○	48	865	374	0.43	○	48	0.4732	○
2	RVD-PD-2SP	S	110	137	363	2.64	—	126	273	364	1.33	—	—	—	—

注：設計用床応答スペクトルⅠおよび設計用震度Ⅰによる評価結果を示す。

3. 6 タービングラウンド蒸気系

本システムにおける FAC 管理区分図を図 3-6-1 に示す（記号凡例については、表 3-6-1 に示す）。本システムにおいて FAC 管理範囲を含む解析モデルは、全 3 モデルあり、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値が最小となる解析モデルを代表として、解析モデル図を図 3-6-2 に示す（記号凡例については、表 3-6-2 に示す）。また、解析モデル図に、減肉設定範囲を示すとともに、当該部において適用した耐震管理厚さを含む評価仕様を表 3-6-3 に示す。各応力区分における代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果を表 3-6-4 に示す。

表 3-6-1 FAC 管理区分図記号凡例




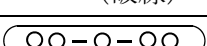

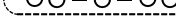
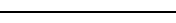
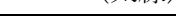



記号	内容
 (太線)	FAC-2 の管
 (太破線)	FAC-S の管
 (細線)	FAC-1 の管
 (破線)	減肉管理対象外の管
	解析モデル名 (代表モデル)
	解析モデル名 (代表モデル以外)
	アンカ
C1	管クラス (管クラスがクラス 1 管である場合の例)
[S]	耐震重要度分類 (耐震重要度分類が S クラスである場合の例)

表 3-6-2 解析モデル図記号凡例

記号	内容
 (太線)	減肉設定範囲の管
 (細線)	減肉設定範囲以外の管
 10	最大応力評価点および対応する評価点番号 (評価点番号が 10 である場合の例)
	管番号の境界点
	対応する管番号 (管番号が 1 である場合の例)

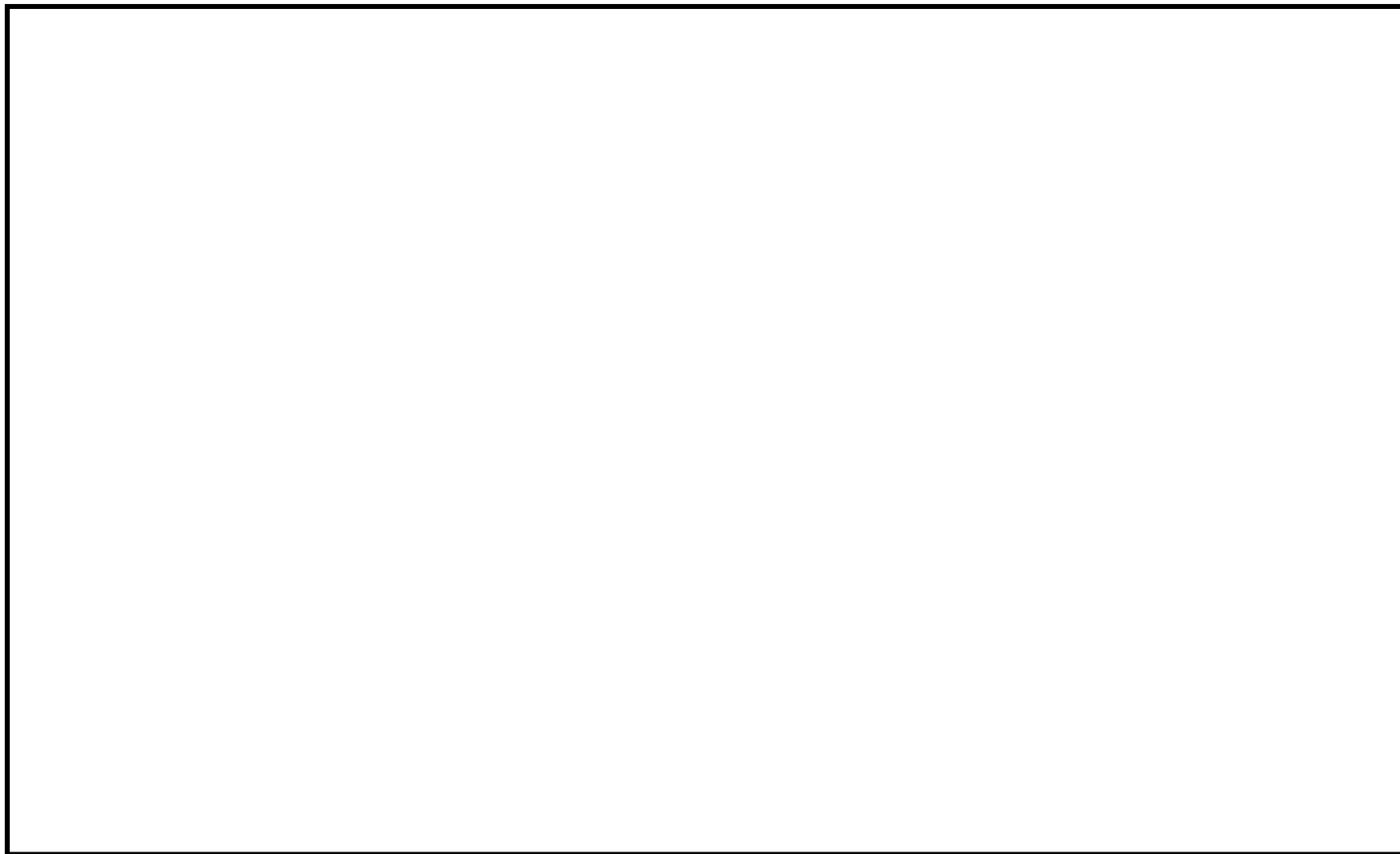


図 3-6-1 タービングランド蒸気系 FAC 管理区分図

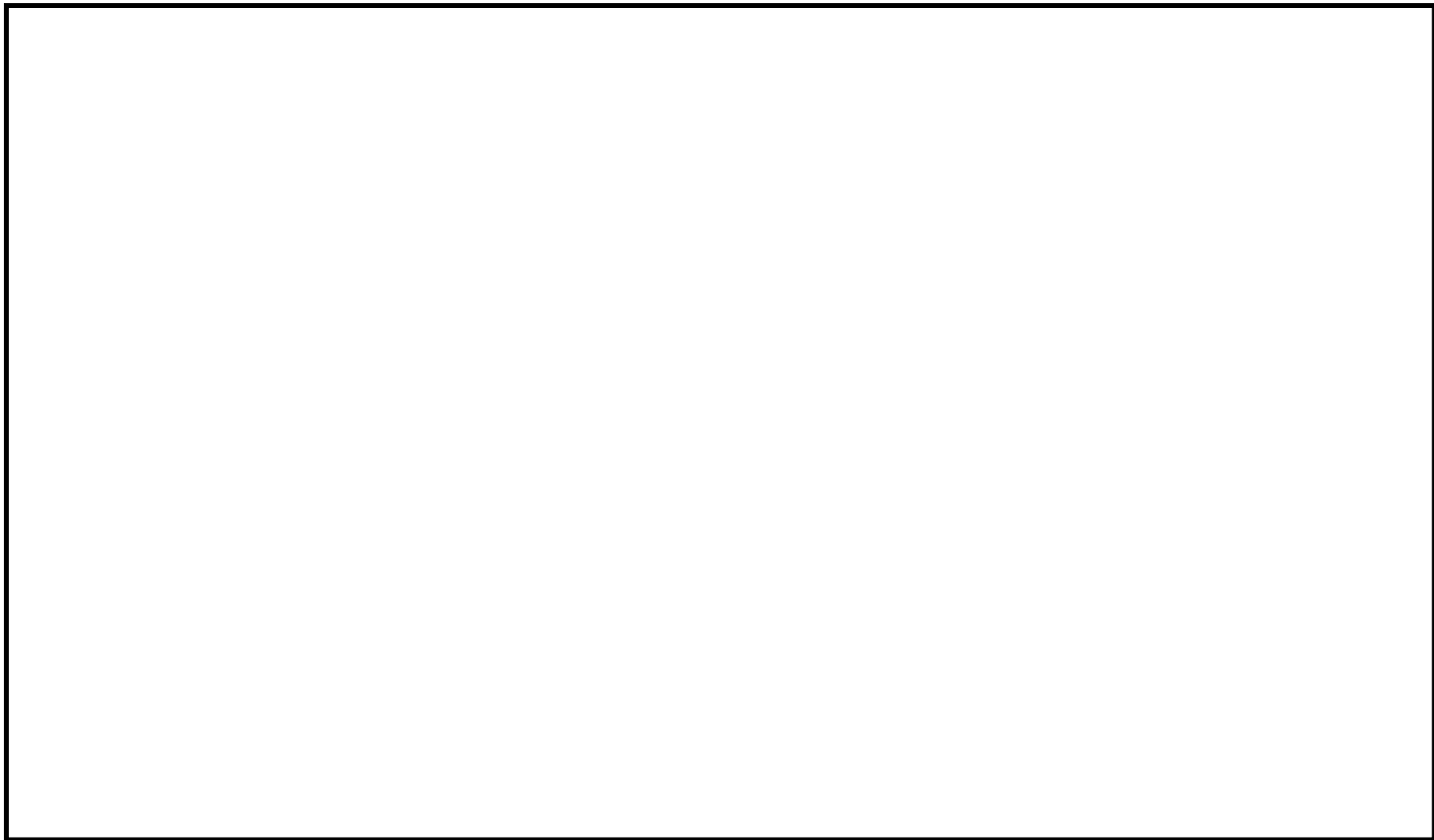


図 3-6-2 TGS-T-3 解析モデル図

表 3-6-3 減肉設定範囲における評価仕様

解析モデル：TGS-T-3

管番号*	外径 (mm)	公称 板厚 (mm)	耐震 管理 厚さ (mm)	耐震管理 厚さ区分	FAC 管理 ランク	耐震 重要度 分類	管クラス
1	267.4	9.3				B	クラス 3 以下の管
2	406.4	12.7				B	クラス 3 以下の管

注記*：管番号は、解析モデル図に示す○数字と紐付く。

表 3-6-4 代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果

クラス 3 以下の管

No	解析モデル	耐震 重要度 分類	許容応力状態 B A S				
			一次応力評価				
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表
1	TGS-T-3	B	78	151	210	1.39	○
2	TGS-T-2SPB	B	132W	122	180	1.47	—
3	TGS-T-4SPB	B	16	73	210	2.87	—

注：設計用床応答スペクトル I および設計用震度 I による評価結果を示す。

3. 7 補助蒸気系

本システムにおける FAC 管理区分図を図 3-7-1 に示す（記号凡例については、表 3-7-1 に示す）。本システムにおいて FAC 管理範囲を含む解析モデルは、全 1 モデルあり、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値が最小となる解析モデルを代表として、解析モデル図を図 3-7-2 に示す（記号凡例については、表 3-7-2 に示す）。また、解析モデル図に、減肉設定範囲を示すとともに、当該部において適用した耐震管理厚さを含む評価仕様を表 3-7-3 に示す。各応力区分における代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果を表 3-7-4 に示す。

表 3-7-1 FAC 管理区分図記号凡例



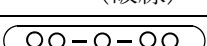





記号	内容
 (太線)	FAC-2 の管
 (太破線)	FAC-S の管
 (細線)	FAC-1 の管
 (破線)	減肉管理対象外の管
	解析モデル名 (代表モデル)
	解析モデル名 (代表モデル以外)
	アンカ
C1	管クラス (管クラスがクラス 1 管である場合の例)
[S]	耐震重要度分類 (耐震重要度分類が S クラスである場合の例)

表 3-7-2 解析モデル図記号凡例

記号	内容
 (太線)	減肉設定範囲の管
 (細線)	減肉設定範囲以外の管
 10	最大応力評価点および対応する評価点番号 (評価点番号が 10 である場合の例)
	管番号の境界点
	対応する管番号 (管番号が 1 である場合の例)

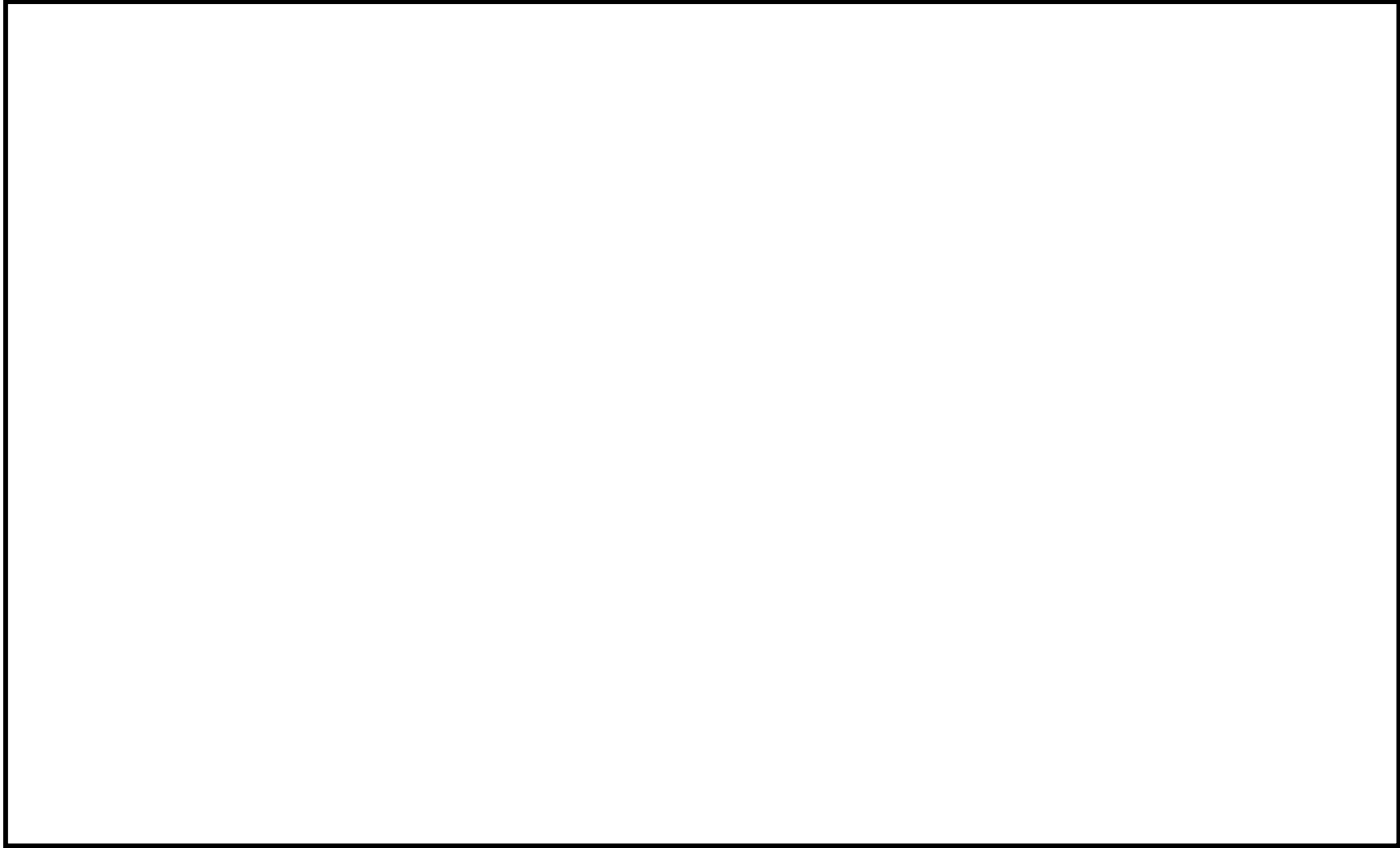


図 3-7-1 補助蒸気系 FAC 管理区分図

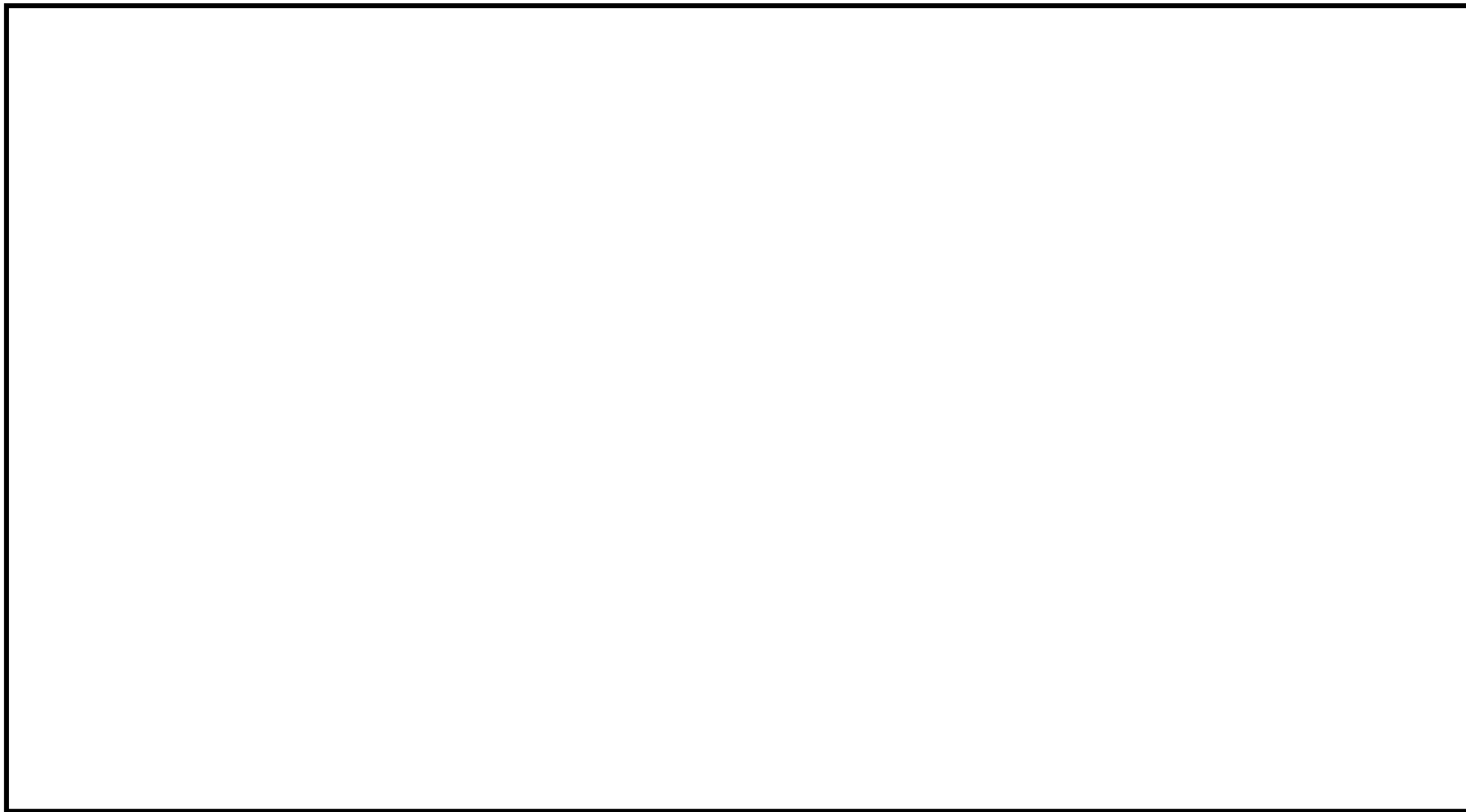


図 3-7-2 TGS-T-2 解析モデル図

表 3-7-3 減肉設定範囲における評価仕様

解析モデル：TGS-T-2

管番号*1	外径 (mm)	公称 板厚 (mm)	耐震 管理 厚さ (mm)	耐震管理 厚さ区分	FAC 管理 ランク	耐震 重要度 分類	管クラス
1	165.2	14.3				B	クラス 3 以下の管
2	165.2	14.3				B	クラス 3 以下の管

注記*1：管番号は、解析モデル図に示す○数字と紐付く。

*2：FAC-1 に分類される範囲のうち偏流発生部が連続する箇所であり、FAC-S として扱う箇所。

表 3-7-4 代表モデルの選定結果および全モデルの評価結果

クラス 3 以下の管

No	解析モデル	耐震 重要度 分類	許容応力状態 B A S				
			一次応力評価				
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表
1	TGS-T-2	B	1A	119	182	1.52	○

注：設計用床応答スペクトル I および設計用震度 I による評価結果を示す。

タイトル	炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）に対する耐震安全性評価に係る耐震管理厚さについて
説明	炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）に対する耐震安全性評価に係る耐震管理厚さについて、添付一1に示す。 <p style="text-align: right;">以 上</p>

炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）に対する耐震安全性評価に係る耐震管理厚さについて

1. 概要

炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）に対する耐震安全性評価に係る耐震管理厚さは、耐震管理厚さ $=\min$ （40年目の想定厚さ，公称板厚の80%の厚さ）と定義している。

耐震管理厚さは耐震上の必要厚さ以上であり，耐震管理厚さをプラント運転期間中継続的に管理することで，配管の腐食（流れ加速型腐食）に対する耐震性を確保する方針としている。

本資料では，耐震管理厚さを含めた配管板厚の管理基準の考え方および耐震管理厚さと耐震上の必要厚さの比較を示し，耐震管理厚さを継続的に管理することで，プラント運転期間中の耐震性の確保が可能であることを示す。

2. 耐震管理厚さを含めた配管板厚の管理基準の考え方

（1）耐震上の観点

島根2号炉は基準地震動 S_s が大きく，先行プラントの管理基準と同等（耐圧上の必要厚さ（以下，「 t_{sr} 」という。）または60年目の想定厚さ）とした場合には，耐震評価が成立しない系統があることから，社内QMSにおいて，以下の「耐震管理厚さ」を適用して配管板厚を管理している。

- ・耐震管理厚さ $=\min$ （40年目の想定厚さ，公称板厚の80%の厚さ）

（2）耐圧上の観点

社内QMSにおいて， t_{sr} を下回らないよう配管板厚を管理している。

以上より，（1），（2）の大きい方が島根2号炉の配管板厚の管理基準となっている。

また，配管板厚の管理基準は，多くの箇所が耐震管理厚さにより決まっており，これらは t_{sr} より大きいため，耐圧上は先行プラントと同等以上の安全性を有しているものと考えている。

耐震管理厚さと t_{sr} の比較を表1に，代表選定区分の記号説明を表2に示す。また，選定区分ごとの代表モデル（評価結果が厳しいモデル）を図1～13に示す。

表1 耐震管理厚さと t_{sr} の比較 (1/13)

系統	解析モデル	適用した条件	耐震管理厚さ (mm)	t _{sr} (mm)	備考 [選定区分は表2参照]
給水系	FW-T-1	公称板厚の80%の厚さ	36.1	30.18	
		40年目の想定厚さ	23.8	23.47	
		公称板厚の80%の厚さ	28.5	23.47	
		公称板厚の80%の厚さ	25.4	23.47	
		公称板厚の80%の厚さ	14.5	12.56	
		公称板厚の80%の厚さ	14.5	10.88	
		公称板厚の80%の厚さ	18.4	14.24	
		公称板厚の80%の厚さ	26.6	21.02	
		40年目の想定厚さ	23.5	21.02	
		公称板厚の80%の厚さ	22.2	14.39	
		公称板厚の80%の厚さ	19.0	14.39	
		公称板厚の80%の厚さ	14.5	8.73	
		公称板厚の80%の厚さ	26.0	20.55	
		公称板厚の80%の厚さ	39.0	21.87	
		40年目の想定厚さ	19.7	14.39	
		公称板厚の80%の厚さ	28.5	14.99	
		公称板厚の80%の厚さ	19.0	14.05	
		FW-T-2	公称板厚の80%の厚さ	28.5*	
	公称板厚の80%の厚さ		52.0	31.14	
	公称板厚の80%の厚さ		26.0	20.55	
	公称板厚の80%の厚さ		23.5	18.50	
	公称板厚の80%の厚さ		12.0	8.73	
	公称板厚の80%の厚さ		39.0	21.87	
	公称板厚の80%の厚さ		33.6	10.64	

※ 耐震管理厚さは t_{sr} を下回るが、耐圧上の観点から配管板厚は t_{sr} で管理する。

表1 耐震管理厚さと t_{sr} の比較 (2/13)

系統	解析モデル	適用した条件	耐震管理厚さ (mm)	t _{sr} (mm)	備考 [選定区分は表2参照]
給水系	FW-T-3	公称板厚の80%の厚さ	26.0	20.55	
		公称板厚の80%の厚さ	23.5	18.50	
		公称板厚の80%の厚さ	12.0	8.73	
		公称板厚の80%の厚さ	39.0	21.87	
		公称板厚の80%の厚さ	33.6	10.64	
		公称板厚の80%の厚さ	12.0	8.52	
		公称板厚の80%の厚さ	28.5*	28.77	
		公称板厚の80%の厚さ	52.0	31.14	
		公称板厚の80%の厚さ	34.4	17.33	
		公称板厚の80%の厚さ	20.9	16.00	
	FW-T-4	公称板厚の80%の厚さ	28.5*	28.77	図1参照 [選定区分] BS-C3-III-P BS-C3-III-S
		公称板厚の80%の厚さ	26.0	20.55	
		公称板厚の80%の厚さ	52.0	31.14	
		公称板厚の80%の厚さ	39.0	21.87	
	FW-T-5	公称板厚の80%の厚さ	26.0	20.55	
	FW-T-6	公称板厚の80%の厚さ	26.0	20.55	
	FW-T-7	公称板厚の80%の厚さ	28.5*	28.77	図2参照 [選定区分] B-C3-B-P
		公称板厚の80%の厚さ	52.0	31.14	
		公称板厚の80%の厚さ	39.0	21.87	
		公称板厚の80%の厚さ	26.0	20.55	

※ 耐震管理厚さは t_{sr} を下回るが、耐圧上の観点から配管板厚は t_{sr} で管理する。

表1 耐震管理厚さと tsr の比較 (3/13)

系統	解析モデル	適用した条件	耐震管理厚さ (mm)	tsr (mm)	備考 [選定区分は表2参照]
給水系	FW-T-8	公称板厚の80%の厚さ	28.5*	28.77	図3参照 [選定区分] S-C2-III-P S-C2-III-S S-C2-IV-P S-C2-IV-S
		公称板厚の80%の厚さ	26.0	20.55	
		公称板厚の80%の厚さ	52.0	31.14	
		公称板厚の80%の厚さ	39.0	21.87	
		40年目の想定厚さ	30.9	20.55	
		公称板厚の80%の厚さ	34.3	20.55	
		公称板厚の80%の厚さ	35.5	20.55	
		公称板厚の80%の厚さ	23.5	18.50	
		公称板厚の80%の厚さ	19.0	18.87	
		公称板厚の80%の厚さ	19.0	16.01	
	FW-T-1SPB	公称板厚の80%の厚さ	11.3	2.76	
		40年目の想定厚さ	5.0	2.20	
		公称板厚の80%の厚さ	5.0	2.20	
		公称板厚の80%の厚さ	5.6	2.28	
	FW-T-2SPB	公称板厚の80%の厚さ	11.3	2.76	
		公称板厚の80%の厚さ	5.6	2.20	
		公称板厚の80%の厚さ	5.6	2.28	
	FW-T-3SPB	公称板厚の80%の厚さ	11.3	2.76	
		公称板厚の80%の厚さ	5.6	2.20	
		公称板厚の80%の厚さ	5.6	2.28	
	FW-T-4SPB	公称板厚の80%の厚さ	11.3	2.76	
		公称板厚の80%の厚さ	5.6	2.20	
		公称板厚の80%の厚さ	5.6	2.28	

※ 耐震管理厚さは tsr を下回るが、耐圧上の観点から配管板厚は tsr で管理する。

表1 耐震管理厚さと tsr の比較 (4/13)

系統	解析モデル	適用した条件	耐震管理厚さ (mm)	tsr (mm)	備考 [選定区分は表2参照]
復水系	CRD-R-8	公称板厚の80%の厚さ	4.8	3.40	
	CW-T-1	公称板厚の80%の厚さ	10.1	3.80	
		公称板厚の80%の厚さ	15.2	3.80	
		公称板厚の80%の厚さ	11.4	3.80	
		40年目の想定厚さ	14.2	3.80	
		公称板厚の80%の厚さ	18.1	3.80	
		40年目の想定厚さ	11.5	3.80	
		40年目の想定厚さ	8.5	3.80	
		公称板厚の80%の厚さ	10.8	3.40	
	CW-T-2	公称板厚の80%の厚さ	13.9	7.62	
		公称板厚の80%の厚さ	10.1	6.50	
		公称板厚の80%の厚さ	10.1	4.76	
		公称板厚の80%の厚さ	13.9	9.04	
		公称板厚の80%の厚さ	20.8	6.49	
		公称板厚の80%の厚さ	15.2	6.66	
		公称板厚の80%の厚さ	13.9	8.92	
	CW-T-5	公称板厚の80%の厚さ	8.2	3.80	
		公称板厚の80%の厚さ	13.9	8.92	
		公称板厚の80%の厚さ	13.1	3.80	
		公称板厚の80%の厚さ	5.6	3.80	
		公称板厚の80%の厚さ	10.0	3.80	
		公称板厚の80%の厚さ	12.7	7.45	
		公称板厚の80%の厚さ	13.9	8.13	
		公称板厚の80%の厚さ	4.8	3.40	
		公称板厚の80%の厚さ	12.7	7.15	
		公称板厚の80%の厚さ	9.2	3.40	
		公称板厚の80%の厚さ	15.2	3.89	

表1 耐震管理厚さと tsr の比較 (5/13)

系統	解析モデル	適用した条件	耐震管理厚さ (mm)	tsr (mm)	備考 [選定区分は表2参照]
復水系	CW-T-6	40年目の想定厚さ	11.3	10.76	
		公称板厚の80%の厚さ	16.4	13.45	
		公称板厚の80%の厚さ	22.0	6.34	
		公称板厚の80%の厚さ	10.1	5.58	
		公称板厚の80%の厚さ	13.3	10.76	
		公称板厚の80%の厚さ	16.4	13.48	
		公称板厚の80%の厚さ	22.8	18.83	
		公称板厚の80%の厚さ	41.6	20.07	
		公称板厚の80%の厚さ	22.8	20.07	
		公称板厚の80%の厚さ	24.7	14.00	
		40年目の想定厚さ	19.9	18.83	
		公称板厚の80%の厚さ	25.6	11.33	
		公称板厚の80%の厚さ	17.1	10.76	
		40年目の想定厚さ	16.7	10.76	
	CW-T-7	公称板厚の80%の厚さ	17.1	10.76	
	CW-T-8	公称板厚の80%の厚さ	17.1	10.76	
	CW-T-9	公称板厚の80%の厚さ	17.1	10.76	
	CW-T-10	公称板厚の80%の厚さ	16.4	13.45	図4参照 [選定区分] BS-C3-IV-P BS-C3-IV-S
	CW-T-11	公称板厚の80%の厚さ	16.4	13.45	
	CW-T-12	公称板厚の80%の厚さ	17.1	10.76	
40年目の想定厚さ		12.9	10.76		
公称板厚の80%の厚さ		41.6	20.07		
公称板厚の80%の厚さ		25.6	11.33		
公称板厚の80%の厚さ		22.8	18.83		
公称板厚の80%の厚さ		24.7	14.00		
公称板厚の80%の厚さ		16.4	13.45		
公称板厚の80%の厚さ		16.4	13.48		

表1 耐震管理厚さと tsr の比較 (6/13)

系統	解析 モデル	適用した条件	耐震管 理厚さ (mm)	tsr (mm)	備考 [選定区分は表2参照]
復水系	CW-T-13	公称板厚の80%の厚さ	22.8	18.83	
		公称板厚の80%の厚さ	41.6	20.07	
		公称板厚の80%の厚さ	16.4	13.45	
		公称板厚の80%の厚さ	24.7	14.00	
		公称板厚の80%の厚さ	16.4	13.48	
		公称板厚の80%の厚さ	22.8	9.92	
		公称板厚の80%の厚さ	15.2	9.42	
		公称板厚の80%の厚さ	15.0	13.41	
		公称板厚の80%の厚さ	15.2	12.11	
		公称板厚の80%の厚さ	16.4	13.71	
		公称板厚の80%の厚さ	15.2	9.70	
		公称板厚の80%の厚さ	13.4	9.39	
		公称板厚の80%の厚さ	19.0	12.11	
		CW-T-15	公称板厚の80%の厚さ	4.8	
	公称板厚の80%の厚さ		9.2	3.40	
	CW-T-16	公称板厚の80%の厚さ	6.5	3.80	
		公称板厚の80%の厚さ	7.4	3.80	
		40年目の想定厚さ	6.1	3.80	
		公称板厚の80%の厚さ	4.4	2.40	
		公称板厚の80%の厚さ	4.8	3.40	
	CW-T-18	公称板厚の80%の厚さ	6.5	3.80	
		公称板厚の80%の厚さ	7.4	3.80	
		公称板厚の80%の厚さ	4.4	2.40	
		公称板厚の80%の厚さ	4.8	3.40	
	CW-T-21	公称板厚の80%の厚さ	6.8	3.51	
		公称板厚の80%の厚さ	15.2	3.89	
		公称板厚の80%の厚さ	6.0	3.00	

表1 耐震管理厚さと t_{sr} の比較 (7/13)

系統	解析 モデル	適用した条件	耐震管 理厚さ (mm)	t _{sr} (mm)	備考 [選定区分は表2参照]
復水系	CW-T-27	公称板厚の80%の厚さ	6.0	3.00	図5参照 [選定区分] B-C3-B-P
		公称板厚の80%の厚さ	17.2	3.40	
		40年目の想定厚さ	8.5	3.00	
		40年目の想定厚さ	8.7	3.00	
		40年目の想定厚さ	8.6	3.00	
		40年目の想定厚さ	8.4	3.00	
		公称板厚の80%の厚さ	5.6	3.00	
		公称板厚の80%の厚さ	4.4	2.40	
	CW-T-30A	公称板厚の80%の厚さ	6.0	3.00	
		公称板厚の80%の厚さ	17.2	3.40	
		40年目の想定厚さ	8.2	3.00	
		公称板厚の80%の厚さ	9.1	3.00	
		40年目の想定厚さ	8.5	3.00	
		40年目の想定厚さ	9.0	3.00	
		公称板厚の80%の厚さ	5.6	3.00	
		公称板厚の80%の厚さ	4.4	2.40	
	CW-T-30B	公称板厚の80%の厚さ	6.0	3.00	
		公称板厚の80%の厚さ	17.2	3.40	
		40年目の想定厚さ	8.2	3.00	
		40年目の想定厚さ	8.4	3.00	
		40年目の想定厚さ	9.0	3.00	
		公称板厚の80%の厚さ	5.6	3.00	
		公称板厚の80%の厚さ	4.4	2.40	
		CW-T-31	40年目の想定厚さ	4.7	
	公称板厚の80%の厚さ		7.4	3.80	
	公称板厚の80%の厚さ		13.9	8.92	
	公称板厚の80%の厚さ		15.2	3.80	
公称板厚の80%の厚さ	13.9		6.48		
公称板厚の80%の厚さ	6.5		3.80		

表1 耐震管理厚さと tsr の比較 (8/13)

系統	解析 モデル	適用した条件	耐震管 理厚さ (mm)	tsr (mm)	備考 [選定区分は表2参照]	
復水系	CW-T-32	公称板厚の80%の厚さ	7.4	3.80		
		40年目の想定厚さ	6.9	3.80		
		40年目の想定厚さ	6.7	3.80		
		40年目の想定厚さ	6.8	3.80		
		40年目の想定厚さ	6.7	3.80		
		40年目の想定厚さ	7.1	3.80		
		40年目の想定厚さ	7.0	3.80		
		公称板厚の80%の厚さ	13.9	6.66		
		公称板厚の80%の厚さ	13.9	9.48		
		公称板厚の80%の厚さ	15.2	3.80		
		40年目の想定厚さ	13.3	9.48		
		40年目の想定厚さ	11.0	9.48		
		40年目の想定厚さ	13.8	9.48		
		40年目の想定厚さ	10.3	9.48		
		CW-T-33	公称板厚の80%の厚さ	7.4		3.80
			公称板厚の80%の厚さ	6.5		3.80
	CW-T-34	公称板厚の80%の厚さ	13.9	9.48		
		公称板厚の80%の厚さ	15.2	3.80		

表1 耐震管理厚さと tsr の比較 (9/13)

系統	解析モデル	適用した条件	耐震管理厚さ (mm)	tsr (mm)	備考 [選定区分は表2参照]
復水系	CW-T-35	40年目の想定厚さ	4.7	3.80	
		公称板厚の80%の厚さ	7.4	3.80	
		40年目の想定厚さ	6.9	3.80	
		40年目の想定厚さ	6.8	3.80	
		40年目の想定厚さ	7.2	3.80	
		40年目の想定厚さ	7.2	3.80	
		公称板厚の80%の厚さ	10.1	4.28	
		公称板厚の80%の厚さ	10.1	5.85	
		公称板厚の80%の厚さ	10.1	6.09	
		公称板厚の80%の厚さ	13.9	8.92	
		公称板厚の80%の厚さ	20.8	6.49	
		公称板厚の80%の厚さ	15.2	6.01	
		公称板厚の80%の厚さ	15.2	3.80	
		40年目の想定厚さ	12.2	9.48	
		40年目の想定厚さ	10.2	9.48	
		40年目の想定厚さ	10.8	9.48	
		公称板厚の80%の厚さ	13.9	9.48	
		40年目の想定厚さ	11.5	9.48	
		40年目の想定厚さ	11.4	9.48	
		公称板厚の80%の厚さ	20.8	6.82	
		公称板厚の80%の厚さ	15.2	6.26	
		公称板厚の80%の厚さ	6.5	3.80	
		CW-T-36	公称板厚の80%の厚さ	7.4	
	公称板厚の80%の厚さ		6.5	3.80	
	公称板厚の80%の厚さ		5.2	3.80	
	CW-T-83	公称板厚の80%の厚さ	4.8	3.40	
		公称板厚の80%の厚さ	4.1	2.70	
	CW-T-1SPB	公称板厚の80%の厚さ	4.4	2.40	
		公称板厚の80%の厚さ	3.1	1.70	
		40年目の想定厚さ	3.2	2.40	

表 1 耐震管理厚さと t_{sr} の比較 (10/13)

系統	解析 モデル	適用した条件	耐震管 理厚さ (mm)	t _{sr} (mm)	備考 [選定区分は表 2 参照]
復水系	CW-T-2SPB	公称板厚の 80%の厚さ	4.4	2.40	
		公称板厚の 80%の厚さ	3.1	1.70	
	CW-T-3SPB	公称板厚の 80%の厚さ	4.4	2.40	
		公称板厚の 80%の厚さ	3.1	1.70	
	CW-T-22SPB	公称板厚の 80%の厚さ	11.9	3.00	
		公称板厚の 80%の厚さ	9.7	2.70	
	CW-T-23SPB	公称板厚の 80%の厚さ	11.9	3.00	
		公称板厚の 80%の厚さ	9.7	2.70	
	CW-T-154SPB	公称板厚の 80%の厚さ	4.5	1.90	
		公称板厚の 80%の厚さ	4.7	1.70	
		公称板厚の 80%の厚さ	3.1	1.70	
	CW-T-155SPB	公称板厚の 80%の厚さ	4.5	1.90	
		公称板厚の 80%の厚さ	4.7	1.70	
		公称板厚の 80%の厚さ	3.1	1.70	
	CW-T-156SPB	公称板厚の 80%の厚さ	4.5	1.90	
		公称板厚の 80%の厚さ	4.7	1.70	
		公称板厚の 80%の厚さ	3.1	1.70	
	CW-T-157SPB	公称板厚の 80%の厚さ	4.5	1.90	
		公称板厚の 80%の厚さ	4.7	1.70	
		公称板厚の 80%の厚さ	3.1	1.70	
	CW-T-158SPB	公称板厚の 80%の厚さ	4.5	1.90	
		公称板厚の 80%の厚さ	4.7	1.70	
		公称板厚の 80%の厚さ	3.1	1.70	
	CW-T-159SPB	公称板厚の 80%の厚さ	4.5	1.90	
公称板厚の 80%の厚さ		4.7	1.70		
公称板厚の 80%の厚さ		3.1	1.70		
CW-T-160SPB	公称板厚の 80%の厚さ	4.5	1.90		
	公称板厚の 80%の厚さ	4.7	1.70		
	公称板厚の 80%の厚さ	3.1	1.70		

表 1 耐震管理厚さと t_{sr} の比較 (11/13)

系統	解析モデル	適用した条件	耐震管理厚さ (mm)	t _{sr} (mm)	備考 [選定区分は表 2 参照]	
復水系	CW-T-161SPB	公称板厚の 80%の厚さ	4.5	1.90		
		公称板厚の 80%の厚さ	4.7	1.70		
		公称板厚の 80%の厚さ	3.1	1.70		
	FW-T-3	公称板厚の 80%の厚さ	16.4	13.45		
		40年目の想定厚さ	15.8	13.48		
		公称板厚の 80%の厚さ	22.8	18.83		
		公称板厚の 80%の厚さ	41.6	20.07		
		公称板厚の 80%の厚さ	24.7	14.00		
		公称板厚の 80%の厚さ	25.6	11.29		
		公称板厚の 80%の厚さ	17.1	10.73		
原子炉ベントドレン系	RVD-PD-1SP	公称板厚の 80%の厚さ	6.9	2.40	図 6 参照 [選定区分] S-C1-III-P S-C1-III-S S-C1-III-U S-C1-IV-S S-C1-IV-U	
		40年目の想定厚さ	8.1	3.93		
		40年目の想定厚さ	5.5	2.40		
		公称板厚の 80%の厚さ	5.1	1.70		
	RVD-PD-2SP	公称板厚の 80%の厚さ	6.9	2.40		図 7 参照 [選定区分] S-C1-IV-P S-C2-III-P S-C2-III-S S-C2-IV-P S-C2-IV-S
		公称板厚の 80%の厚さ	6.9	2.45		
		40年目の想定厚さ	4.2	1.70		

表 1 耐震管理厚さと t_{sr} の比較 (12/13)

系統	解析モデル	適用した条件	耐震管理厚さ (mm)	t _{sr} (mm)	備考 [選定区分は表 2 参照]
原子炉隔離 時冷却系	RCIC-PD-1	公称板厚の 80%の厚さ	8.8	3.94	図 8 参照 [選定区分] S-C1-III-P S-C1-III-S S-C1-III-U S-C1-IV-P S-C1-IV-S S-C1-IV-U
	MS-PD-5	公称板厚の 80%の厚さ	9.8	2.40	
		公称板厚の 80%の厚さ	15.1	2.40	
	RCIC-R-7SP	公称板厚の 80%の厚さ	9.8	2.40	図 9 参照 [選定区分] S-C2-III-P S-C2-III-S S-C2-IV-P S-C2-IV-S
		公称板厚の 80%の厚さ	7.2	1.90	
残留熱除去系	RHR-PD-7	公称板厚の 80%の厚さ	8.8	3.94	図 10 参照 [選定区分] S-C1-III-P S-C1-III-S S-C1-III-U S-C1-IV-P S-C1-IV-S S-C1-IV-U
		公称板厚の 80%の厚さ	11.4	5.70	

表 1 耐震管理厚さと t_{sr} の比較 (13/13)

系統	解析モデル	適用した条件	耐震管理厚さ (mm)	t _{sr} (mm)	備考 [選定区分は表 2 参照]
残留熱除去系	RHR-PD-21	公称板厚の 80%の厚さ	8.8	1.90	図 11 参照 [選定区分] S-C2-III-P S-C2-III-S S-C2-III-U S-C2-IV-P S-C2-IV-S S-C2-IV-U
		公称板厚の 80%の厚さ	4.0	1.70	
		公称板厚の 80%の厚さ	4.4	1.70	
	RVD-PD-2SP	公称板厚の 80%の厚さ	4.4	1.70	
タービン ランド蒸気系	TGS-T-3	公称板厚の 80%の厚さ	7.4	3.80	図 12 参照 [選定区分] B-C3-B-P
		公称板厚の 80%の厚さ	10.1	3.80	
	TGS-T-2SPB	公称板厚の 80%の厚さ	6.3	2.70	
		公称板厚の 80%の厚さ	6.6	2.70	
		公称板厚の 80%の厚さ	4.4	2.40	
	TGS-T-4SPB	公称板厚の 80%の厚さ	6.3	2.70	
		公称板厚の 80%の厚さ	6.6	2.70	
公称板厚の 80%の厚さ		4.4	2.40		
補助蒸気系	TGS-T-2	公称板厚の 80%の厚さ	11.4	6.69	図 13 参照 [選定区分] B-C3-B-P

表2 代表選定区分の記号説明^{※1, 2}

許容応力状態の区分	応力分類の区分	耐震重要度, 管クラスの区分			
		S (S)		BSs (BS)	B (B)
		クラス1 (C1)	クラス2, 3以下 (C2)	クラス3以下 (C3)	クラス3以下 (C3)
ⅢAS (Ⅲ)	一次応力(P)	S-C1-Ⅲ-P	S-C2-Ⅲ-P	BS-C3-Ⅲ-P	—
	一次+二次応力(S)	S-C1-Ⅲ-S	S-C2-Ⅲ-S	BS-C3-Ⅲ-S	—
	疲労(U)	S-C1-Ⅲ-U	S-C2-Ⅲ-U	BS-C3-Ⅲ-U	—
ⅣAS (Ⅳ)	一次応力(P)	S-C1-Ⅳ-P	S-C2-Ⅳ-P	BS-C3-Ⅳ-P	—
	一次+二次応力(S)	S-C1-Ⅳ-S	S-C2-Ⅳ-S	BS-C3-Ⅳ-S	—
	疲労(U)	S-C1-Ⅳ-U	S-C2-Ⅳ-U	—	—
BAS (B)	一次応力(P)	—	—	—	B-C3-B-P

※1：代表選定区分は「耐震重要度-管クラス-許容応力状態-応力分類」の順で付番する。

※2：評価対象のなかで該当するモデルがない場合「—」とする。

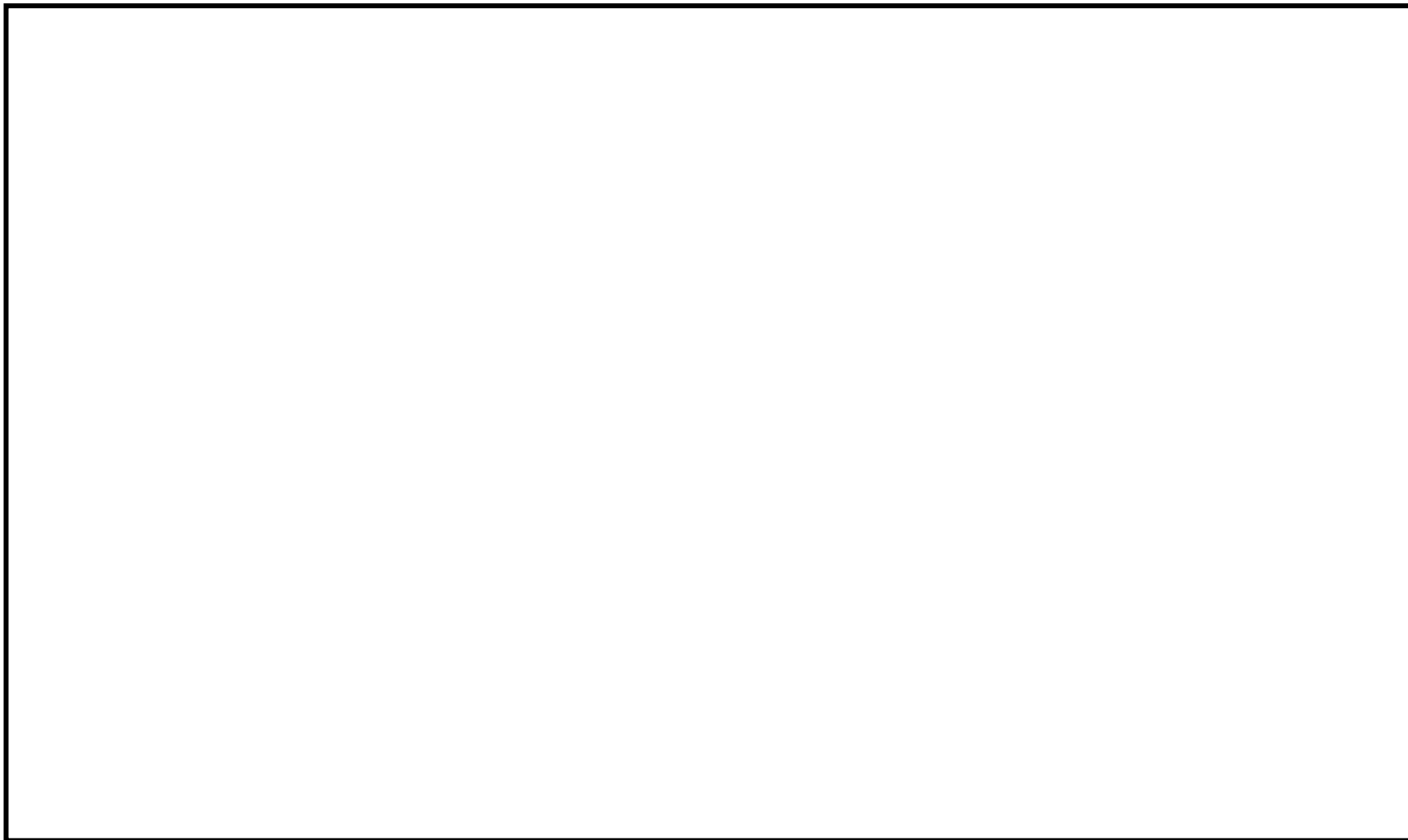


図 1 FW-T-4 解析モデル図

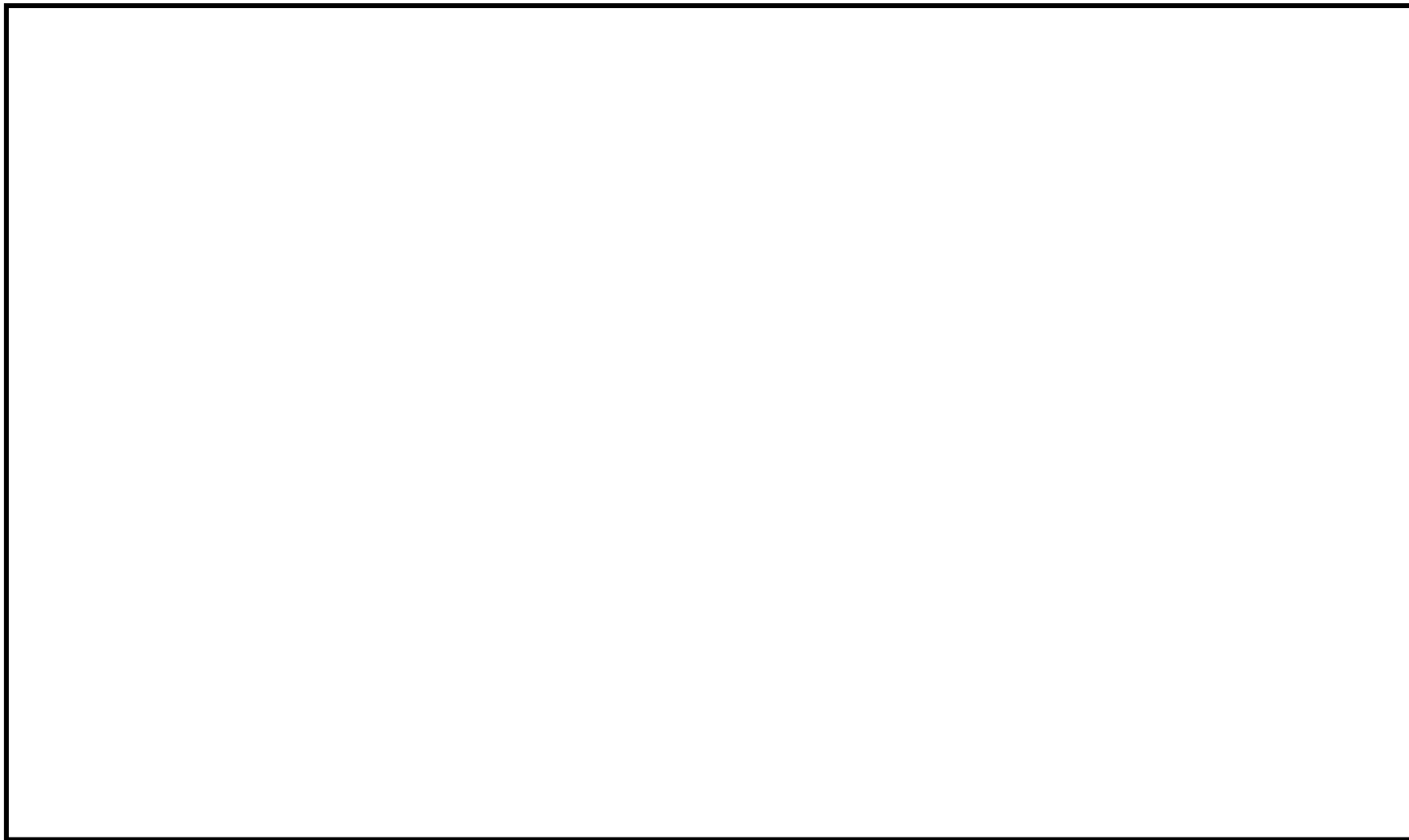


図 2 FW-T-7 解析モデル図

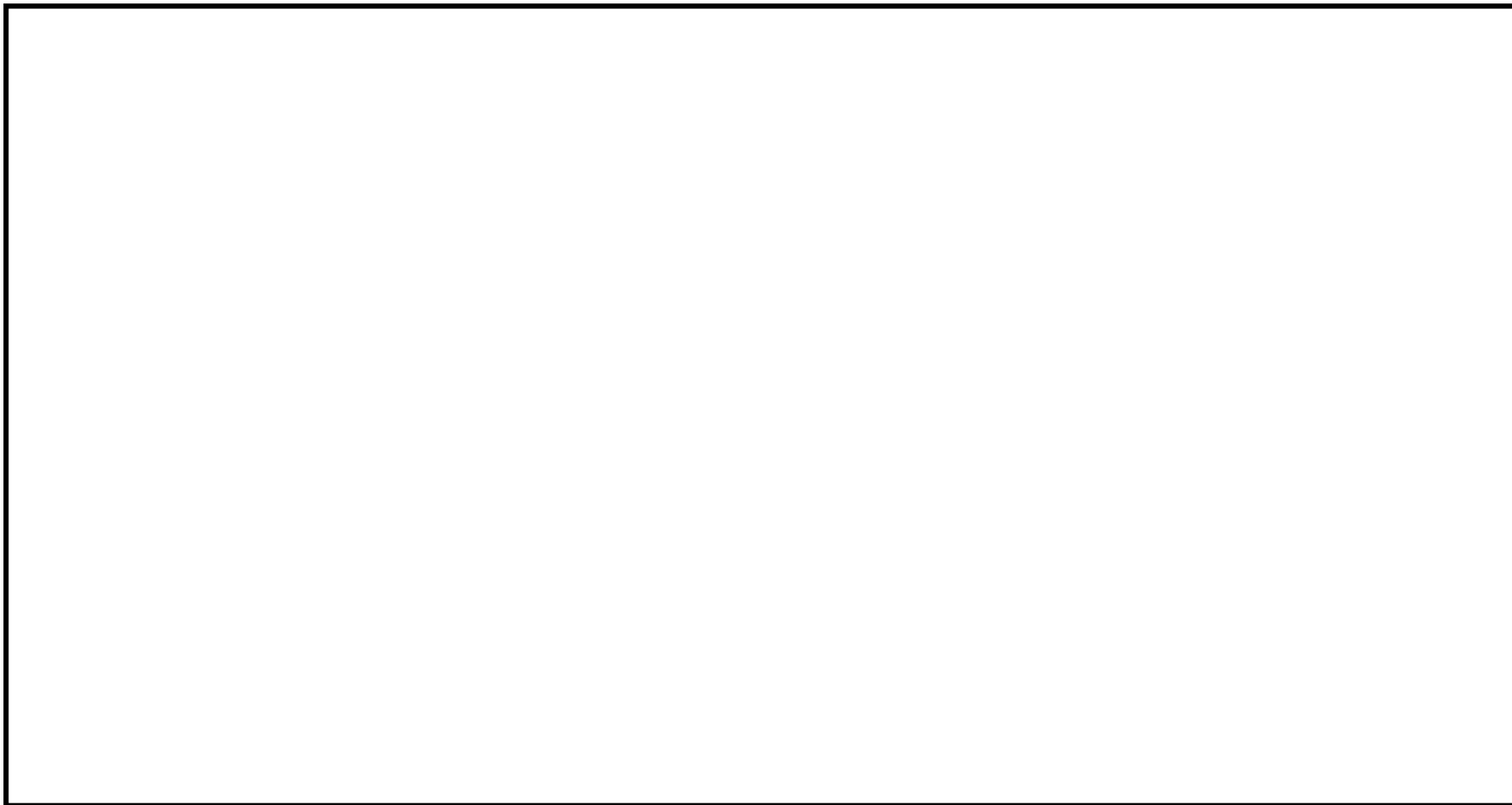


図 3 FW-T-8 解析モデル図

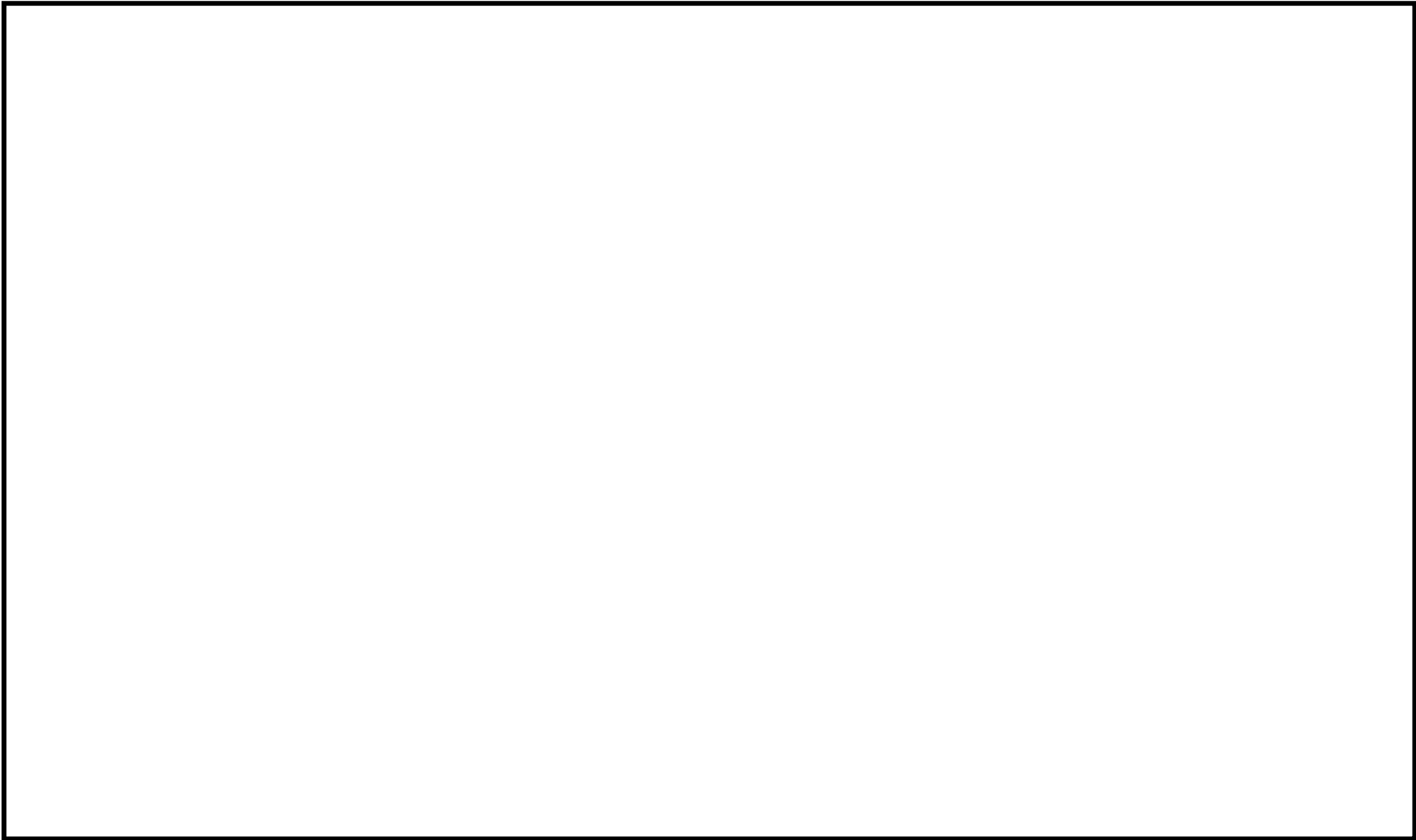


図 4 CW-T-10 解析モデル図

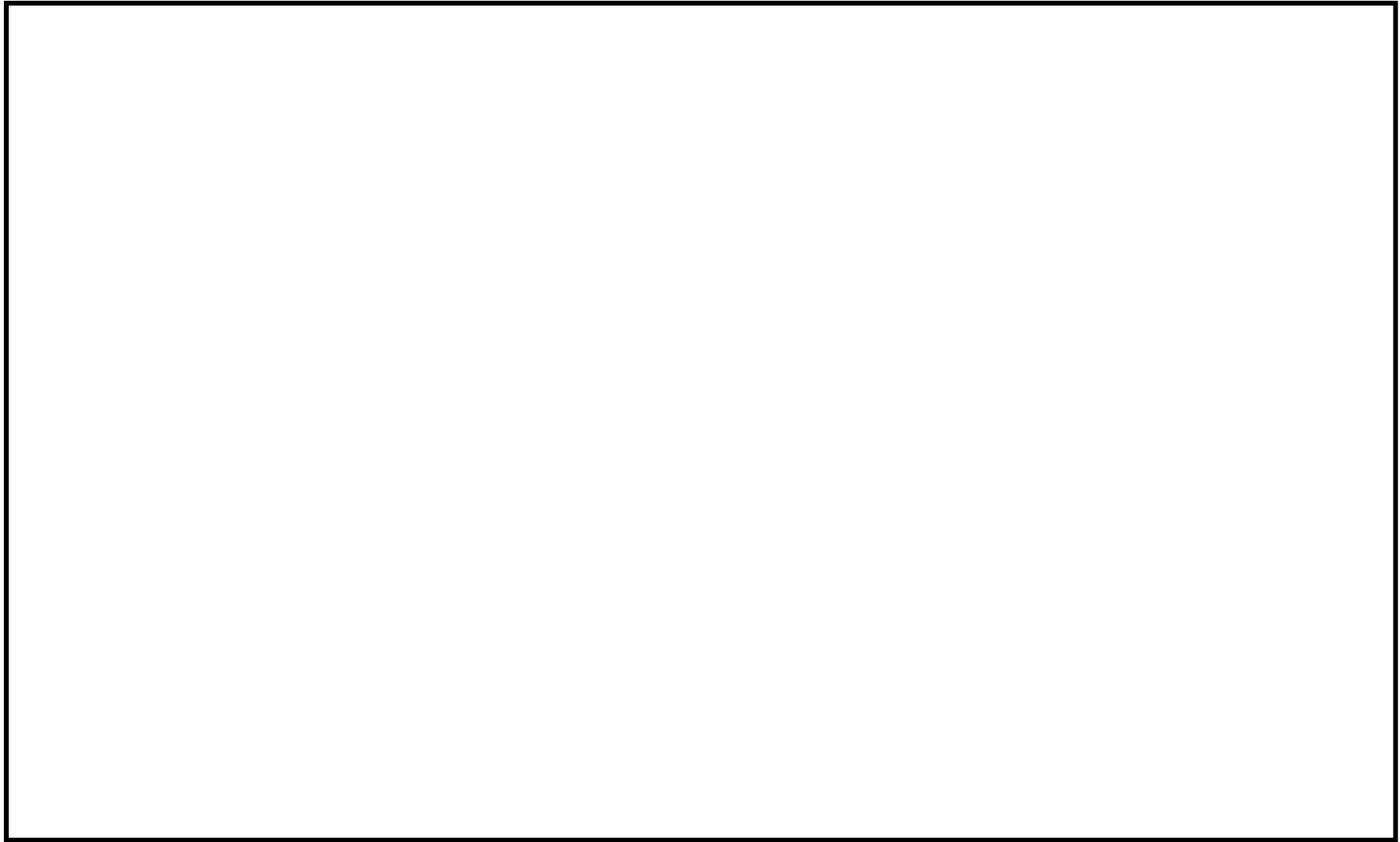


図 5 CW-T-27 解析モデル図

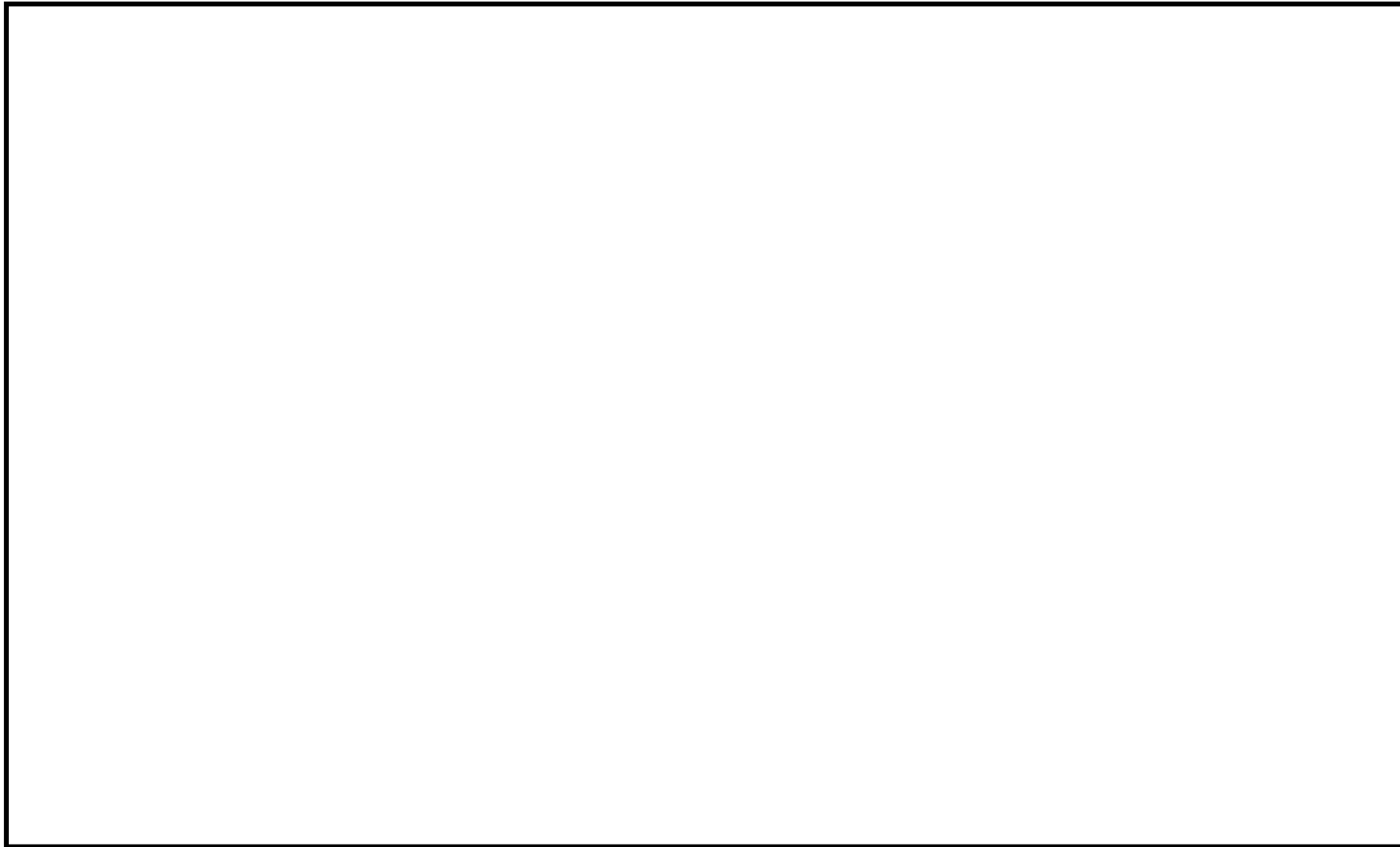


図 6 RVD-PD-1SP 解析モデル図

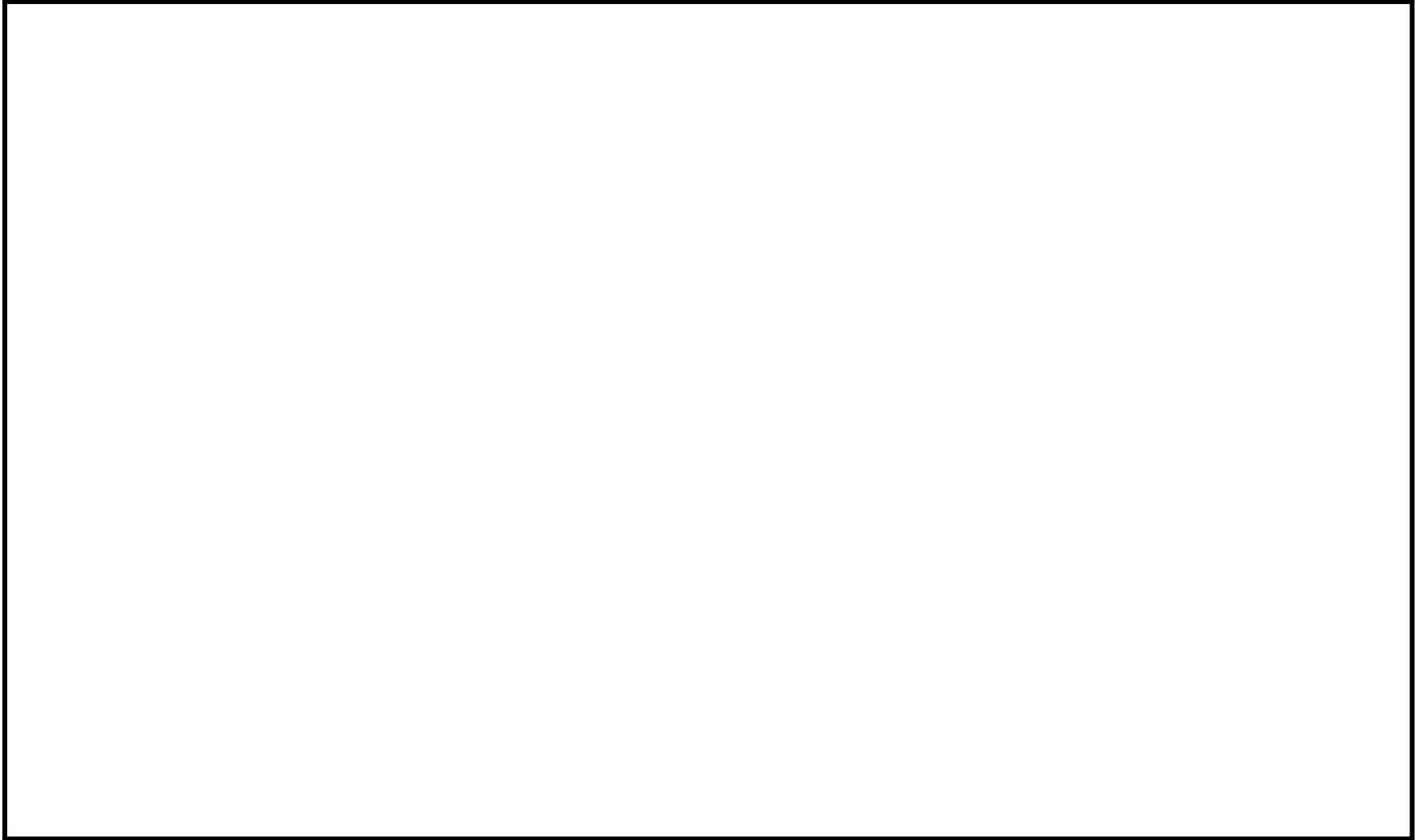


図 7 RVD-PD-2SP 解析モデル図

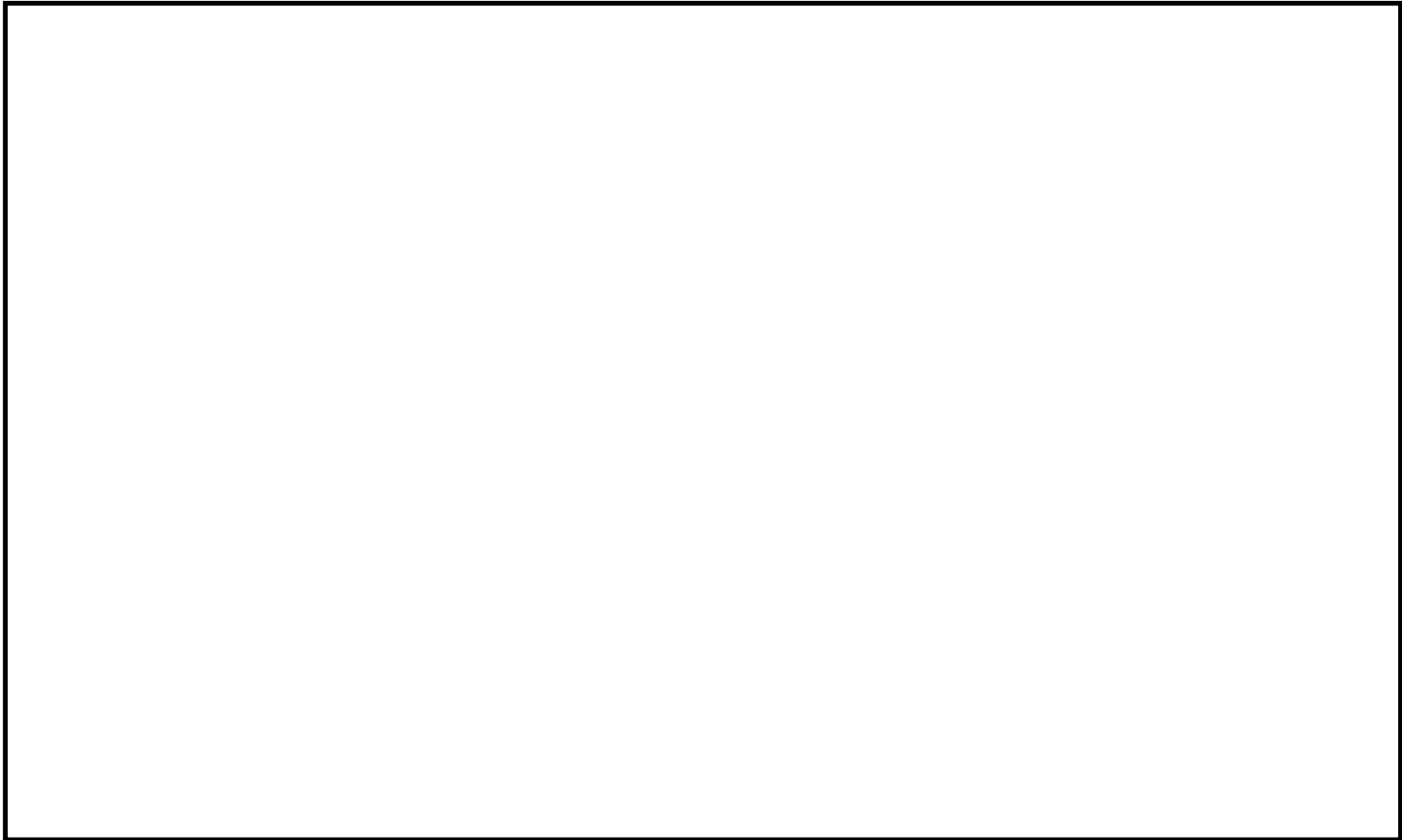


図 8 RCIC-PD-1 解析モデル図

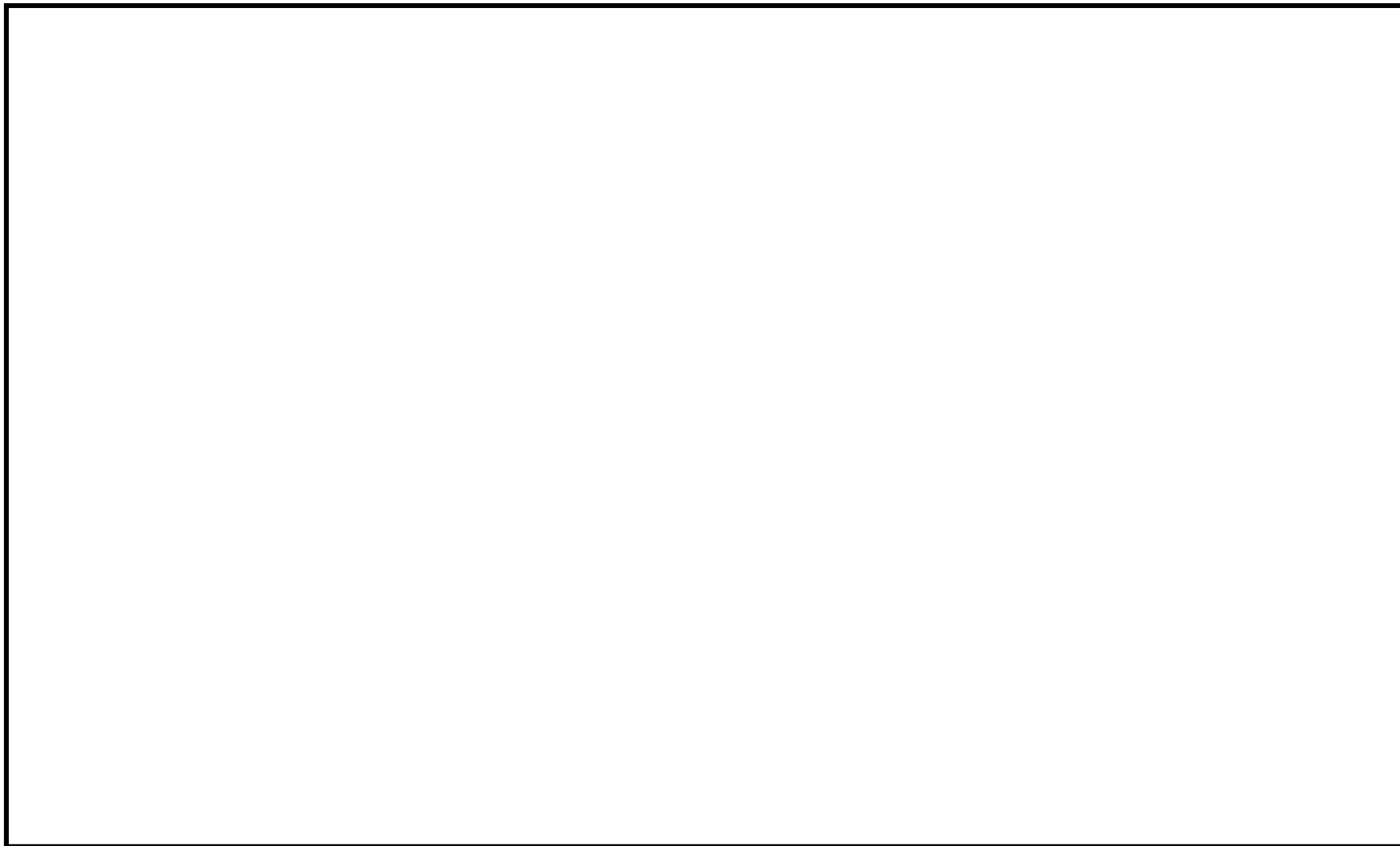


図 9 RCIC-R-7SP 解析モデル図

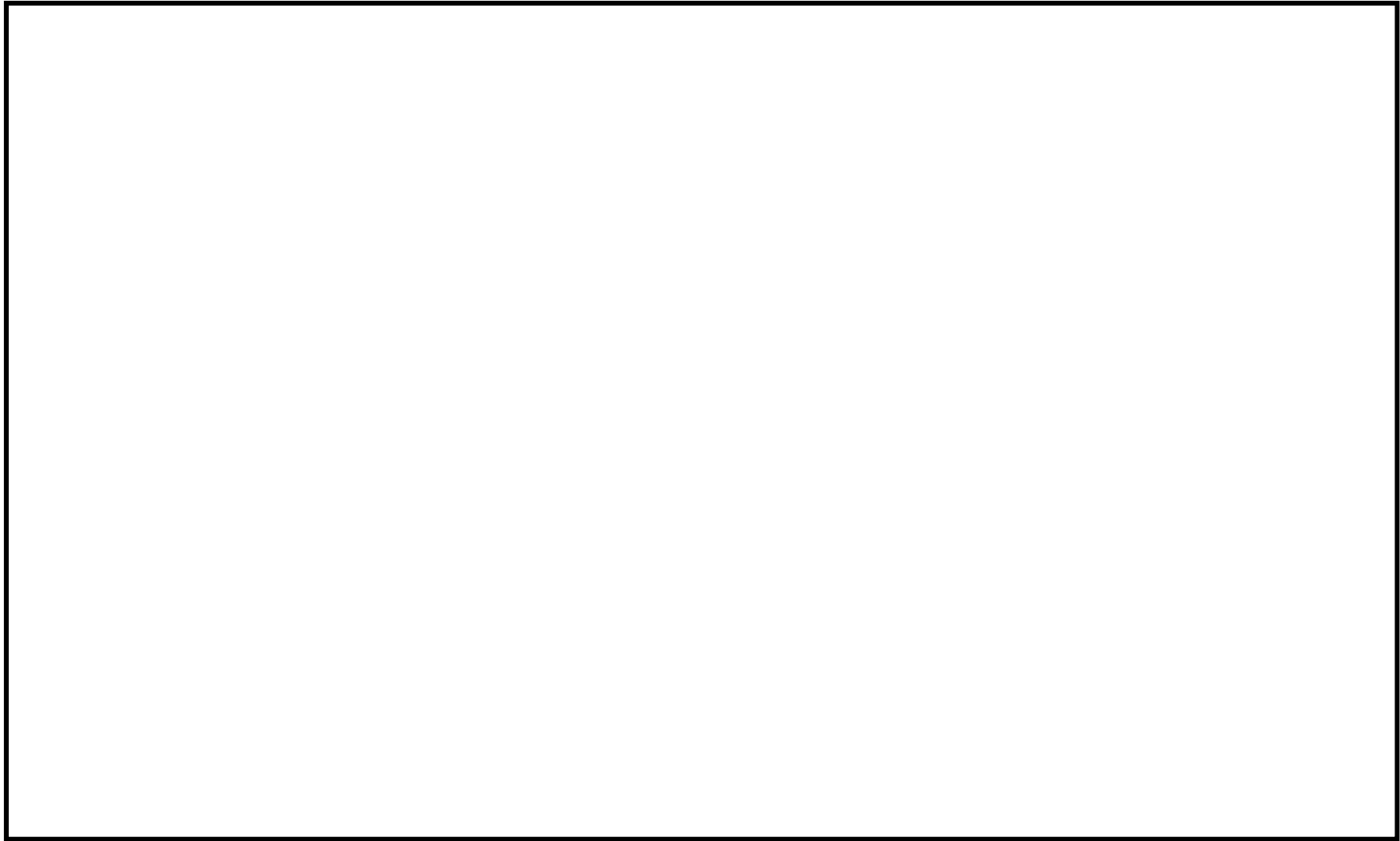


図 10 RHR-PD-7 解析モデル図

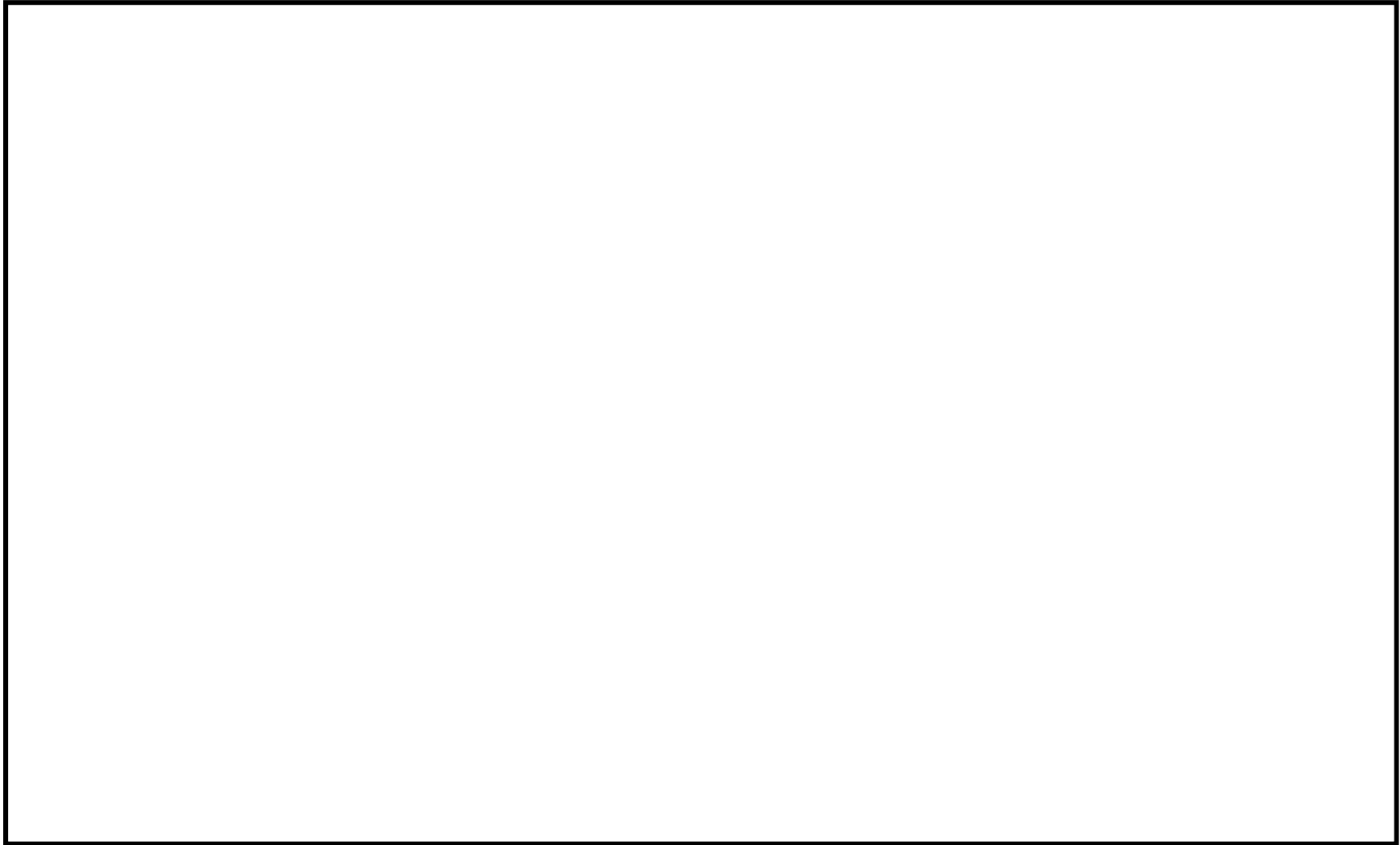


図 11 RHR-PD-21 解析モデル図

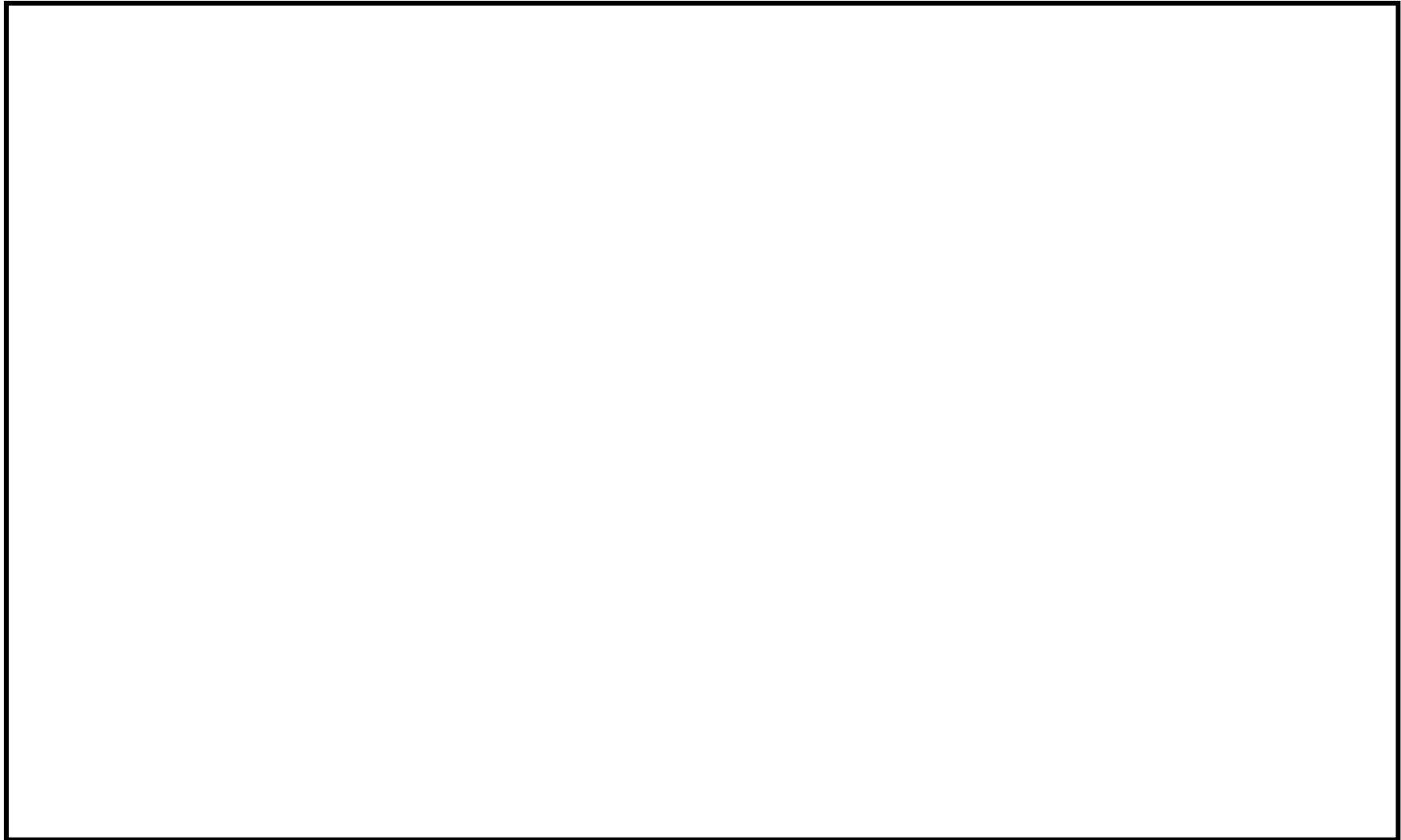


図 12 TGS-T-3 解析モデル図

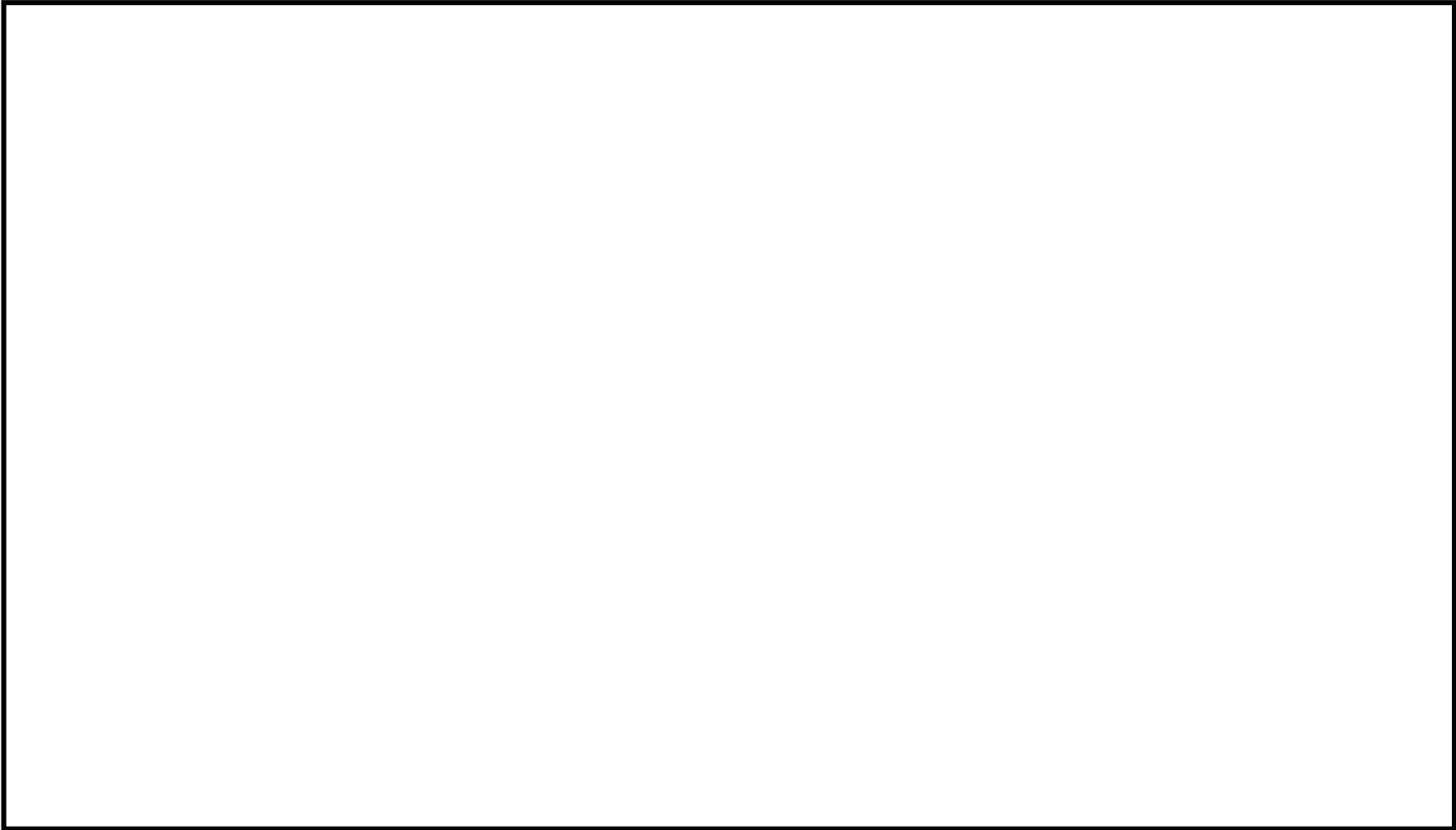


図 13 TGS-T-2 解析モデル図

3. 耐震管理厚さと耐震上の必要厚さの比較

耐震上の必要厚さの算定については、板厚の変動により、断面性能、固有周期、設計震度、配管系の質量、内圧による応力、地震による応力等の様々なパラメータが変動するため、正確な厚さを算定するには数多くのパラメータスタディを実施する必要がある。

そのため、正確な耐震上の必要厚さの算定は現実的ではないことから、以下のとおり検討対象とする系統を選定した上で耐震管理厚さと耐震上の必要厚さの比較を実施する。

(1) 検討対象とする系統の選定

検討対象とする系統は、60年目の想定厚さが公称板厚の80%の厚さを下回るSクラスの系統とする。選定の考え方は以下、①、②のとおり。

①60年目の想定厚さが公称板厚の80%の厚さを下回る系統

検討対象とする系統は、60年目想定厚さが耐震上の必要厚さを下回る可能性のある系統として、60年目の想定厚さが公称板厚の80%の厚さを下回る系統を選定する。

40年目、50年目、60年目の想定厚さが公称板厚の80%の厚さを下回る箇所を割合を表3に示す。表3に示すとおり、配管の腐食（流れ加速型腐食）を想定する箇所は全体で約1800箇所あるが、60年目の想定厚さが、公称板厚の80%の厚さを下回る箇所は全体の約17%であり、該当する以下の3系統を検討対象とする。

- ・給水系（FW系）
- ・復水系（CW系）
- ・原子炉ベントドレン系（RVD系）

表3 公称板厚の80%の厚さを下回る箇所の割合

項目	想定厚さ		
	40年目	50年目	60年目
公称板厚の80%の厚さを下回る箇所の割合	約6%	約12%	約17%
全数	約1800箇所		

②板厚の減少に伴う裕度減少の傾向

板厚の減少に伴う裕度減少の傾向を把握するため、①で抽出された系統のうち、以下の配管（解析モデル）を選定し、減肉設定箇所の厚さを40年目、50年目、60年目の想定厚さとした場合の応力解析を実施した。応力解析結果を表4に示す。

- ・水系、大口径、Bクラス配管である給水系配管（解析モデル：FW-T-4）
- ・蒸気、小口径、Sクラス配管である原子炉ベントドレン系配管（解析モデル：RVD-PD-2SP）

表4に示すとおり、Bクラス配管である給水系配管は、60年目の想定厚さに対しても耐

震安全性評価を満足することを確認した。一方、Sクラス配管である原子炉ベントドレン系配管は50年目の想定厚さに対しては耐震安全性評価を満足するが、60年目の想定厚さでは耐震安全性評価を満足しないことを確認した。また、板厚減少に伴う裕度の減少の傾向についても、Bクラス配管に比べ、Sクラス配管は裕度減少が大きいことを確認した。

なお、本傾向は、一次応力は内圧による応力と地震による応力が関連していることから、一次応力に含まれる地震応力の割合に応じて、板厚減少時の応力増加の傾向が把握できる。これは、内圧による応力の計算式と地震による応力の計算式が以下のとおりであり、断面係数の減少によるものと考えられ、計算式に示されるように、地震応力が支配的な箇所については、板厚の減少による断面係数の変化に伴って、応力変動が大きく生じるものと考えている。

内圧による応力算定式： $B_1 \cdot P \cdot D_o / (2 \cdot t)$

地震による応力算定式： $B_2 \cdot M / Z_i$

- ・ B_1, B_2 : 応力係数
 - ・ P : 内圧 [MPa]
 - ・ D_o : 外径 [mm]
 - ・ M : 地震により生じるモーメント [N・mm]
 - ・ t : 板厚 [mm]
 - ・ Z_i : 断面係数 [mm³]
- $$Z_i = \pi \cdot \{ (D_o^4 - (D_o - 2 \cdot t)^4) / (32 \cdot D_o) \}$$

以上のことから、Sクラスの系統を検討対象とする。

表 4-1 減肉設定箇所の厚さを 40 年目, 50 年目, 60 年目の想定厚さとした場合の応力解析結果 (給水系配管 (FW-T-4)) (1/2)

解析モデル	減肉設定箇所 ※1	公称板厚 (mm)	想定厚さ (mm)		公称板厚の 80%の厚さ (mm)	評価適用厚さ (mm) (公称板 厚との比率 (%))	発生応力 (MPa)				許容 応力 (MPa)	裕度	評価結果
			40年目	50年目			内圧応力 (①)	自重応力 (②)	地震応力 (③)	合計応力 (①+②+③)			
FW-T-4	①	32.5	40年目	26.0	26.0	26.0(80)	54	1	70	125	382	3.05	いずれの評価適用厚さにおいても成立
			50年目	26.0			54	1	70	125			
			60年目	26.0			54	1	70	125			
	②	32.5	40年目	26.0	26.0	26.0(80)	54	11	30	95	229	2.41	
			50年目	26.0			54	11	30	95			
			60年目	26.0			54	11	30	95			
	③	35.7	40年目	28.5	28.5	28.5(80)	69	7	15	91	229	2.51	
			50年目	28.5			69	7	15	91			
			60年目	28.5			69	7	15	91			
	③-1	35.7	40年目	28.5	28.5	28.5(80)	69	11	7	87	229	2.63	
			50年目	26.8		26.8(75)	73	11	8	92		2.48	
			60年目	22.8		22.8(64)	86	12	9	107		2.14	
	④	65.0	40年目	52.0	52.0	52.0(80)	39	12	38	89	229	2.57	
			50年目	52.0			39	12	38	89			
			60年目	52.0			39	12	38	89			

※1: 図 1 に示す解析モデル図に対応する箇所を示す。

板厚減少に伴う裕度の減少は表 4-2 の S クラス配管 (減肉設定箇所①-1, ③) に比べ小さい

表 4-1 減肉設定箇所を 40 年目, 50 年目, 60 年目の想定厚さとした場合の応力解析結果 (給水系配管 (FW-T-4)) (2/2)

解析 モデル	減肉 設定 箇所 ※1	公称 板厚 (mm)	想定厚さ (mm)		公称板厚の 80%の厚さ (mm)	評価適用厚さ (mm) (公称板 厚との比率 (%))	発生応力 (MPa)				許容 応力 (MPa)	裕度	評価結果
			40 年目	50 年目			内圧応力 (①)	自重応力 (②)	地震応力 (③)	合計応力 (①+②+③)			
FW-T-4	⑤	48.8	40 年目	39.0	39.0	39.0 (80)	54	11	30	95	229	2.41	いずれの評価適 用厚さにおいて も成立
			50 年目	39.0			54	11	30	95			
			60 年目	39.0			54	11	30	95			
	⑥※2	35.7	40 年目	28.5	28.5	28.5 (80)	55	8	5	68	229	3.36	
			50 年目	28.5			55	8	5	68			
			60 年目	28.5			55	8	5	68			
	32.5	40 年目	26.0	26.0	26.0 (80)	54	13	16	83	229	2.75		
		50 年目	26.0			54	13	16	83				
		60 年目	26.0			54	13	16	83				

※1: 図 1 に示す解析モデル図に対応する箇所を示す。

※2: 当該箇所はレジャーサ部であり, 上段が大口径側, 下段が小口径側の値を示す。

表 4-2 減肉設定箇所を 40 年目, 50 年目, 60 年目の想定厚さとした場合の応力解析結果 (原子炉ベントドレン系 (RVD-PD-2SP))

解析モデル	減肉設定箇所 ※1	公称板厚 (mm)	想定厚さ (mm)		公称板厚の 80%の厚さ (mm)	評価適用厚さ (mm) (公称厚さとの比率 (%))	発生応力 (MPa)				許容応力 (MPa)	裕度	評価結果	
			40 年目	50 年目			内圧応力 (①)	自重応力 (②)	地震応力 (③)	合計応力 (①+②+③)				
RVD-PD-2SP	①	8.7	40 年目	6.9	6.9	6.9 (80)	28	14	115	157	364	2.31	いずれの評価適用厚さにおいても成立	
			50 年目	6.9			28	14	110	152				2.39
			60 年目	6.9			28	14	143	185				1.96
	①-1	8.7	40 年目	6.9	6.9	6.9 (80)	19	7	140	166	364	2.19	耐震上の必要厚さは 50~60 年目の想定厚さの範囲に相当する	
			50 年目	6.4		6.4 (74)	20	8	164	192		1.89		
			60 年目	5.3		5.3 (61)	25	9	369	403		0.90		
	②	8.7	40 年目	6.9	6.9	6.9 (80)	21	4	35	60	363	6.05	いずれの評価適用厚さにおいても成立	
			50 年目	6.9			21	4	35	60				6.05
			60 年目	6.9			21	4	35	60				6.05
	③	5.5	40 年目	4.2	4.4	4.2 (77)	16	2	58	76	363	4.77	板厚減少に伴う裕度の減少は表 4-1 の B クラス配管 (減肉設定箇所③-1) に比べ大きい	
			50 年目	3.2		3.2 (58)	21	2	70	93		3.90		
			60 年目	2.1		2.1 (39)	31	4	153	188		1.93		
④	5.5	40 年目	4.4	4.4	4.4 (80)	15	21	96	132	363	2.75			
		50 年目	4.4			15	21	96	132				2.75	
		60 年目	4.4			15	22	97	134				2.70	

※1: 図 7 に示す解析モデル図に対応する箇所を示す。

(2) 検討対象とする系統における耐震管理厚さと耐震上の必要厚さの比較

検討対象とする S クラス系統であり、60 年目の想定厚さが公称板厚の 80% の厚さを下回る原子炉ベントドレン系について、減肉設定箇所の厚さを 40 年目、50 年目、60 年目の想定厚さとした場合の応力解析の結果を表 5 に、解析モデルを図 14、15 に示す。

表 5 に示すとおり、S クラス配管であっても耐震上の必要厚さは、60 年目以降または 50 年目から 60 年目の間の想定厚さとなることを確認した。また、本結果を踏まえた、耐震管理厚さと耐震上必要厚さの比較結果を表 6 に示す。

表5 40年目、50年目、60年目の想定厚さを適用した配管応力解析結果

解析モデル	応力確認 選定箇所		対応する 箇所 ^{※1}	評価厚さの公称板厚 に対する比率(%)	推定板厚 年数	発生応力(MPa)				許容応力 (MPa)	裕度
						内圧応力 (①)	自重応力 (②)	地震応力 (③)	合計応力 (①+②+③)		
RVD-PD -1SP	順次 減肉 する 箇所	裕度小	A	80	40年目	19	32	107	158	364	2.30
				74	50年目	20	38	127	185	364	1.96
				61	60年目	25	53	177	255	364	1.42
		裕度大	B	80	40年目	19	2	9	30	364	12.13
				74	50年目	20	2	10	32	364	11.37
				61	60年目	25	2	11	38	364	9.57
	順次減肉 しない箇所		C	80	40年目	19	2	34	55	364	5.96
					50年目	19	2	34	55	364	5.77
					60年目	19	2	34	55	364	5.51
RVD-PD -2SP	順次 減肉 する 箇所	裕度小	A	80	40年目	19	7	140	166	364	2.19
				74	50年目	20	8	164	192	364	1.89
				61	60年目	25	9	369	403	364	0.90
		裕度大	B	80	40年目	19	1	17	37	364	9.83
				74	50年目	20	1	18	39	364	9.33
				61	60年目	25	1	26	52	364	7.00
	順次減肉 しない箇所		C	80	40年目	19	6	91	116	364	3.13
					50年目	19	6	89	114	364	3.19
					60年目	19	6	89	114	364	3.19

※1：図14及び図15に示す解析モデル図に対応する箇所を示す。

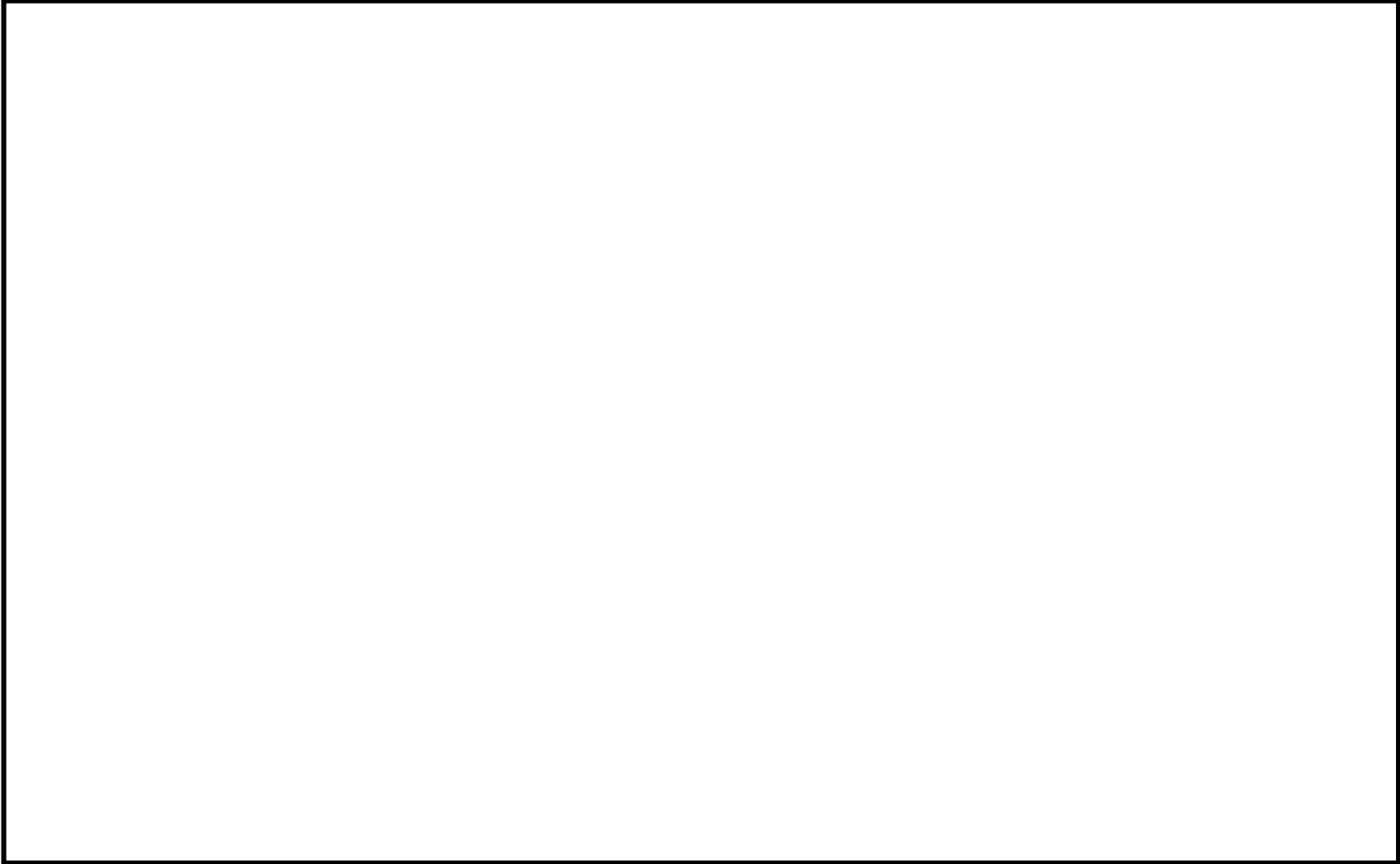


図 14 RVD-PD-1SP における応力選定箇所

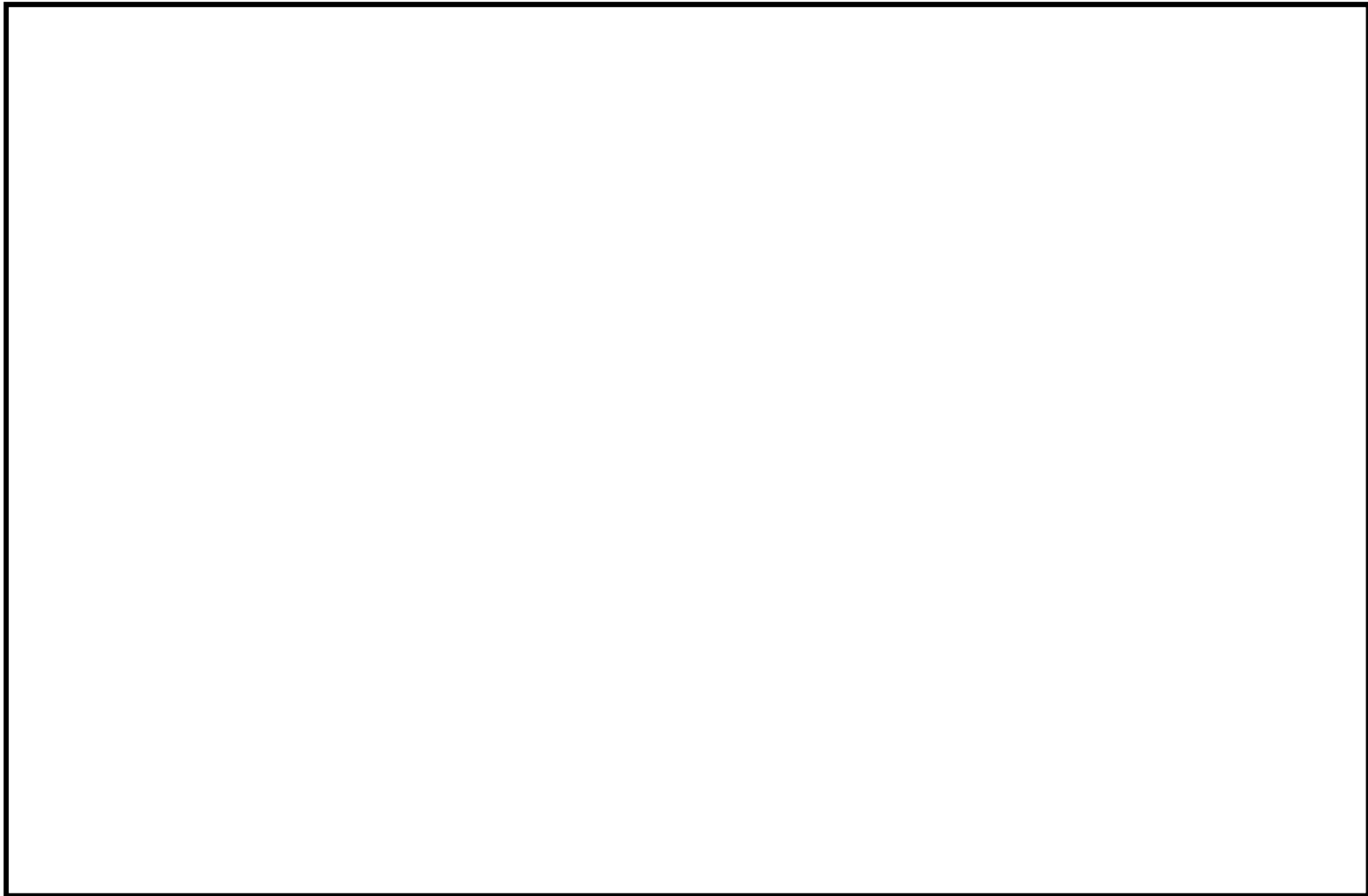


図 15 RVD-PD-2SP における応力選定箇所

表6 耐震管理厚さと耐震上の必要厚さの比較

系統	解析モデル	公称板厚 (mm)	耐震管理厚さ (mm)	減肉率 (mm/kh)	耐震上の必要厚さ (mm)
原子炉 ベント ドレン 系	RVD-PD- 1SP	8.7	6.9 (公称板厚の 80%の厚さ)	0.012	5.5mm 未満 (60年目以降の想定厚 さ)
	RVD-PD- 2SP	8.7	6.9 (公称板厚の 80%の厚さ)	0.012	6.4mm~5.5mm の間 (50年目~60年目の間の 想定厚さ)

4. まとめ

耐震管理厚さは、耐震上の必要厚さを上回る値であり、また、Sクラス配管であっても耐震上の必要厚さは、60年目以降または50年目から60年目の間の想定厚さであることから、耐震管理厚さは、耐震上の必要厚さに対して十分な余裕があることを確認した。

以上のことから、耐震管理厚さ (=min (40年目の想定厚さ, 公称板厚の80%の厚さ)) は、耐震安全性評価を実施する上で、適切な値であり、また耐震管理厚さを継続的に管理していくことで、60年間の健全性の確保が可能であると判断した。

耐震管理厚さの設定について

1. 概要

先行プラントでは、炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）に係る耐震安全性評価は、図1に示す手順を設定している。また、耐震安全性評価に適用する配管厚さは、必要最小厚さ若しくは60年目の想定厚さにて設定される。

これに対し、島根2号炉の一部の配管系については、基準地震動 S_s が大きく、先行プラントの管理基準を適用する場合、評価を満足しないものがある。このため、島根2号炉における耐震安全性評価においては、先行プラントよりも厚い管理値で設定した配管厚さ（以下、「耐震管理厚さ*」という）を適用している。

本資料では、一例として原子炉ベントドレン系配管のうち RVD-PD-2SP を用いて、先行プラントの耐震管理厚さを適用した場合の評価を実施し、評価結果を確認する。

* : min (40年目の想定厚さ, 公称板厚の80%の厚さ)

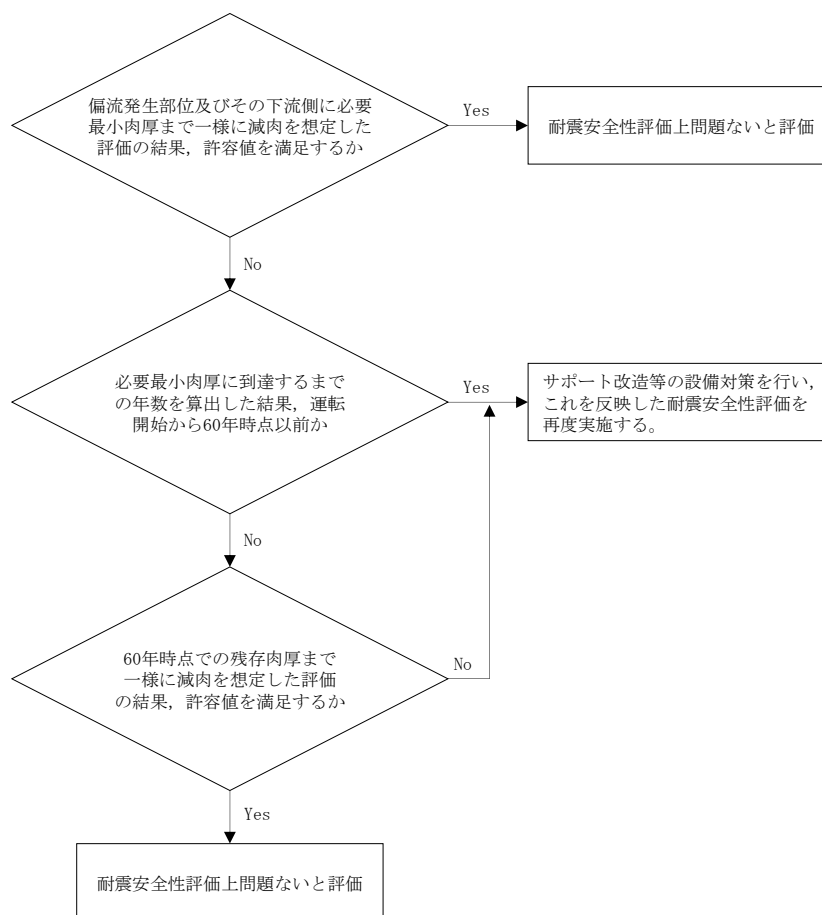


図1 先行プラントにおける耐震安全性評価手順

2. 耐震安全性評価結果

耐震管理厚さまたは先行プラントの管理基準を適用した場合の RVD-PD-2SP に対する評価結果を表 1 及び表 2 に示す。また、評価点に適用した配管厚さを表 3 に示し、評価対象の解析モデルの形状を図 2 に示す。

なお、表 1 及び表 2 に示すとおり、RVD-PD-2SP については、先行プラントの管理基準で設定されるいずれの配管厚さにおいても耐震安全性評価が不成立となる。

表 1 耐震安全性評価のうち応力評価結果 (RVD-PD-2SP)

区分	許容 応力 状態	応力種別	評価点	耐震管理厚さ による評価結果		先行プラントの管理基準 による評価結果				許容 応力 (MPa)
						必要最小厚さ		60 年目の想定厚さ		
				発生 応力 (MPa)	裕度	発生 応力 (MPa)	裕度	発生 応力 (MPa)	裕度	
クラス 1	Ⅲ _A S	一次応力	19	102	2.68	445	0.61	222	1.23	274
		一次+二次応力	31	283	1.29	1223	0.29	247	1.48	366
	Ⅳ _A S	一次応力	19	166	2.19	978	0.37	376	0.96	364
		一次+二次応力	31	532	0.68	2103	0.17	464	0.78	366
クラス 2	Ⅲ _A S	一次応力	114	89	2.04	151	1.20	85	2.14	182
		一次+二次応力	126	152	2.39	186	1.95	158	2.30	364
以下	Ⅳ _A S	一次応力	114	132	2.75	210	1.72	133	2.72	363
		一次+二次応力	126	273	1.33	338	1.07	283	1.28	364

表 2 耐震安全性評価のうち疲労評価結果 (RVD-PD-2SP)

区分	許容 応力 状態	評価点	疲れ累積係数 (許容値：1 以下)		
			耐震管理厚さによる 評価結果	先行プラントの管理基準 による評価結果	
				必要最小厚さ	60 年目の想定厚さ
クラス 1	Ⅲ _A S	1N	0.1392	1.2341	0.1310
	Ⅳ _A S	1N	0.1700	4.4644	0.5522

表3 評価点における評価適用厚さ (RVD-PD-2SP)

評価点	公称 板厚 (mm)	耐震管理厚さ		必要最小 厚さ (mm)	60年目の想定 厚さ (mm)
		配管厚さ (mm)	適用した条件		
1N	8.7	6.9	公称板厚の80%の厚さ	2.4	8.7
19	8.7	6.9	公称板厚の80%の厚さ	2.4	5.3
31	8.7	6.9	公称板厚の80%の厚さ	2.4	8.7
114	5.5	4.4	公称板厚の80%の厚さ	1.7	5.5
126	5.5	4.4	公称板厚の80%の厚さ	1.7	5.5

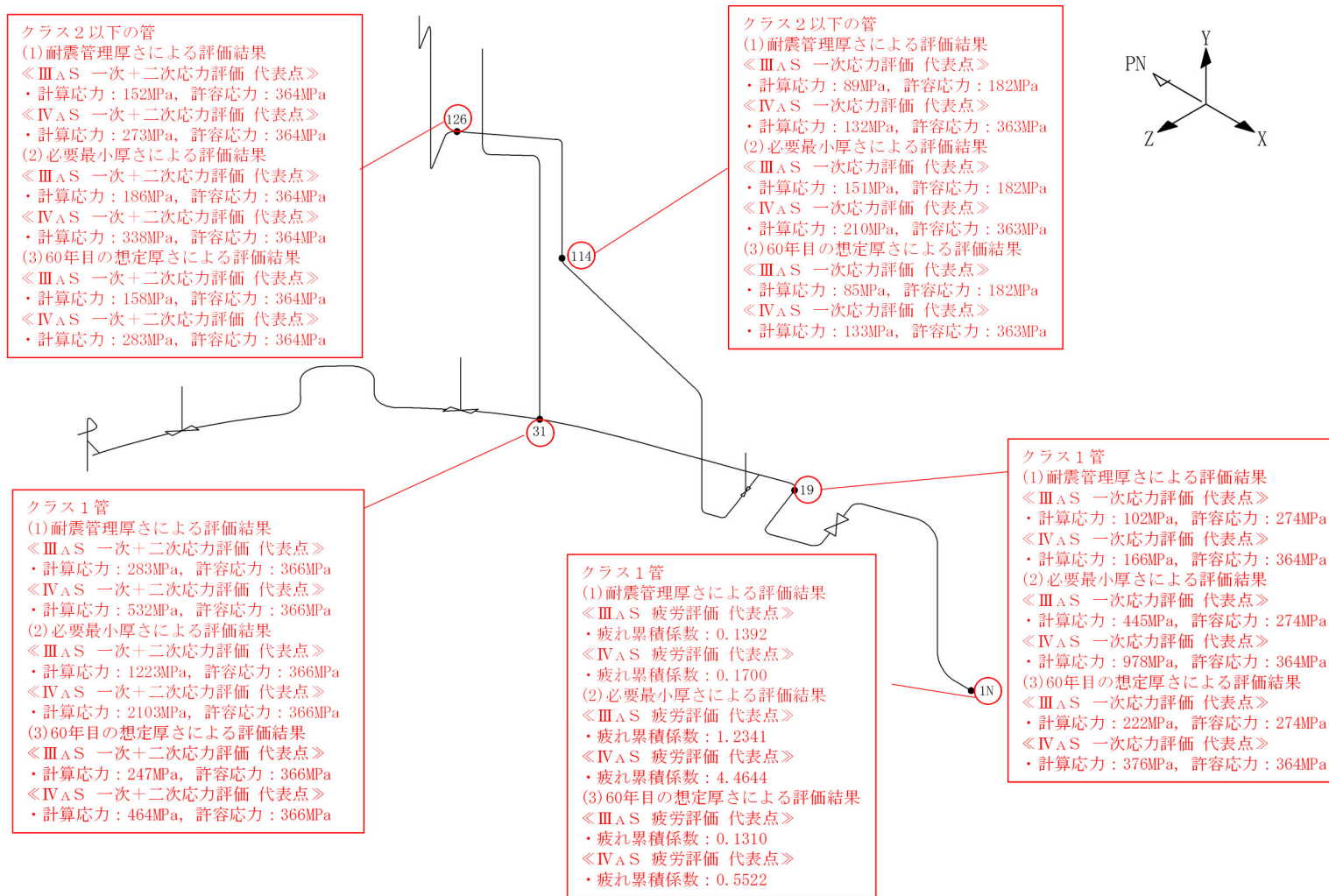


図2 RVD-PD-2SP モデル全体形状

コメント (確認内容)	疲労割れに対する評価の具体的内容について
回 答	<p>ベント管ベローズの低サイクル疲労に対する評価の具体的内容を添付資料（１）に，主蒸気系配管の低サイクル疲労に対する評価の具体的内容を添付資料（２），炉心シュラウドの低サイクル疲労に対する評価の具体的内容を添付資料（３）に示す。</p> <p>添付資料</p> <ul style="list-style-type: none">（１）ベント管ベローズの低サイクル疲労に対する評価の具体的内容（２）主蒸気系配管の低サイクル疲労に対する評価の具体的内容（３）炉心シュラウドの低サイクル疲労に対する評価の具体的内容

ベント管ベローズの低サイクル疲労に対する評価の具体的内容

1. 評価概要

ベント管ベローズの疲労評価は、設計・建設規格 クラス MC 容器に基づき実施しており、評価対象部位の疲れ累積係数の算出根拠は以下のとおりである。

(1) 過渡回数

ベント管ベローズの疲労評価に用いた過渡回数を表 1 および表 2 に示す。

表 1 ベント管ベローズの疲労評価に用いた過渡回数

運転条件	運転実績に基づく過渡回数 (2015年7月末時点)	60年目の推定 過渡回数
ボルト締付	20	45
耐圧試験	24	55
起動（昇温，タービン起動）	36	74
夜間出力運転（75%出力）	40	81
週末出力運転（50%出力）	34	84
制御棒パターン変更	58	143
給水加熱機能喪失（発電機トリップ）	0	1
給水加熱機能喪失（給水加熱器部分バypass）	0	1
スクラム（タービントリップ）	1	2
スクラム（その他スクラム）	4	7
停止（タービン停止，高温待機，冷却，容器満水，満水後冷却）	36	74
ボルト取り外し	21	46
スクラム（原子炉給水ポンプ停止）	0	1
スクラム（逃がし安全弁誤作動）	0	1

表 2 ベント管ベローズの過渡回数

項目 運転状態	記号	運転実績に基づく過渡回数(2015年7月末時点)	60年目の推定過渡回数	備考
通常状態	N ₁	240	530	表 1 に示すボルト締付およびボルト取り外し以外の過渡回数の合計値（一の位切り上げ）
設計状態	N ₂	30	50	設計状態相当の変位となる回数を PCV 全体漏えい率試験の回数と考え、表 1 に示すボルト取り外しの過渡回数を用いる。（一の位切り上げ）
地震時	N ₃	300	300	設工認の設計繰り返し回数と同じ

(2) 基本寸法および仕様

疲れ累積係数の算出に用いたベント管ベローズの形状を図1に、基本寸法を表3に仕様を表4に示す。

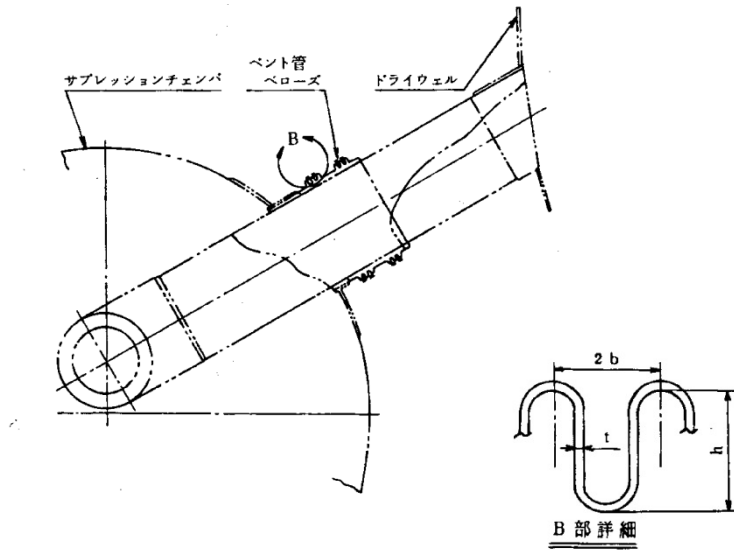


図1 ベント管ベローズの形状

表3 ベント管ベローズの基本寸法

部位	形状				
	b (mm)	h (mm)	t (mm)	n	c
ベント管ベローズ					

〈記号の説明〉

b : ベローズの波のピッチの2分の1

h : ベローズの波の高さ

t : ベローズの板厚

n : ベローズの波数の2倍の値

c : ベローズの層数

表4 ベント管ベローズの仕様

部位	材料	区分	最高使用温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)	縦弾性係数 (MPa)
ベント管ベローズ	SUS304	通常状態	57	0	192000
		設計状態	171	0.427	184000

表5 ベント管ベローズの全伸縮量 (mm)

部位	通常状態 δ_1^{*1}	設計状態 δ_2^{*1}	地震時 δ_3^{*2}
ベント管ベローズ			

*1：建設時工認の値

*2：設工認における基準地震動 S_s の地震時の伸縮量

(4) 運転実績に基づく疲労評価結果

ベント管ベローズの運転実績に基づく疲労評価結果を表6に示す。

表6 ベント管ベローズの運転実績に基づく疲労評価結果

評価条件	通常状態		設計状態		$\frac{N_1}{N_{SA}} + \frac{N_2}{N_{SB}}$
	N_{SA}	$\frac{N_1}{N_{SA}}$	N_{SB}	$\frac{N_2}{N_{SB}}$	
評価時点					0.02924
運転後60年 時点					0.04874

(5) 地震動による疲労評価結果

ベント管ベローズの地震動による疲労評価結果を表7に示す。

表7 ベント管ベローズの地震動による疲労評価結果

評価条件	地震時	
	N_{SC}	$\frac{N_3}{N_{SC}}$
評価時点	9.297×10^2	0.32268
運転後60年 時点	9.297×10^2	0.32268

(6) 評価結果

ベント管ベローズの評価結果を表 8 に示す。表に示すとおり運転実績に基づく疲れ累積係数と地震動による疲れ累積係数の和は許容値 1 以下となり，耐震安全性に問題がないことを確認した。(各疲れ累積係数の () 内の数値は桁処理前の数値を示す。)

表 8 ベント管ベローズの疲労評価結果

評価部位	評価地震力	運転実績回数に基づく疲れ累積係数	地震動による疲れ累積係数*	合計 (許容値：1 以下)
ベント管ベローズ	Ss/Sd	0.049 (0.04874)	0.323 (0.32268)	0.372

*：基準地震動 Ss および弾性設計用地震動 Sd の設計繰り返し回数は Ss：150 回，Sd：300 回であり，保守的に 300 回を適用した値

主蒸気系配管の低サイクル疲労に対する評価の具体的内容

1. 評価概要

主蒸気系配管の疲労評価は、設計・建設規格 クラス 1 配管に基づき実施しており、疲れ累積係数の算出根拠は以下のとおりである。

(1) 過渡回数

主蒸気系配管の疲労評価に用いた 60 年目の推定過渡回数を表 1 に示す。

表 1 主蒸気系配管の疲労評価に用いた過渡回数

運転条件	運転実績に基づく過渡回数 (2015 年 7 月末時点)	60 年目の推定 過渡回数
ボルト締付	20	45
耐圧試験	24	55
起動（昇温，タービン起動）	36	74
夜間低出力運転（75%出力）	40	81
週末低出力運転（50%出力）	34	84
制御棒パターン変更	58	143
給水加熱機能喪失（発電機トリップ）	0	1
給水加熱機能喪失（給水加熱器部分バypass）	0	1
スクラム（タービントリップ）	1	2
スクラム（その他スクラム）	4	7
停止（タービン停止，高温待機，冷却，容器満水，満水後冷却）	36	74
ボルト取り外し	21	46
スクラム（原子炉給水ポンプ停止）	0	1
スクラム（逃がし安全弁誤作動）	0	1

(2) 解析モデル

疲労評価に用いた解析モデルおよび評価点を図 1 に示す。なお，解析コードは HISAP を使用した。

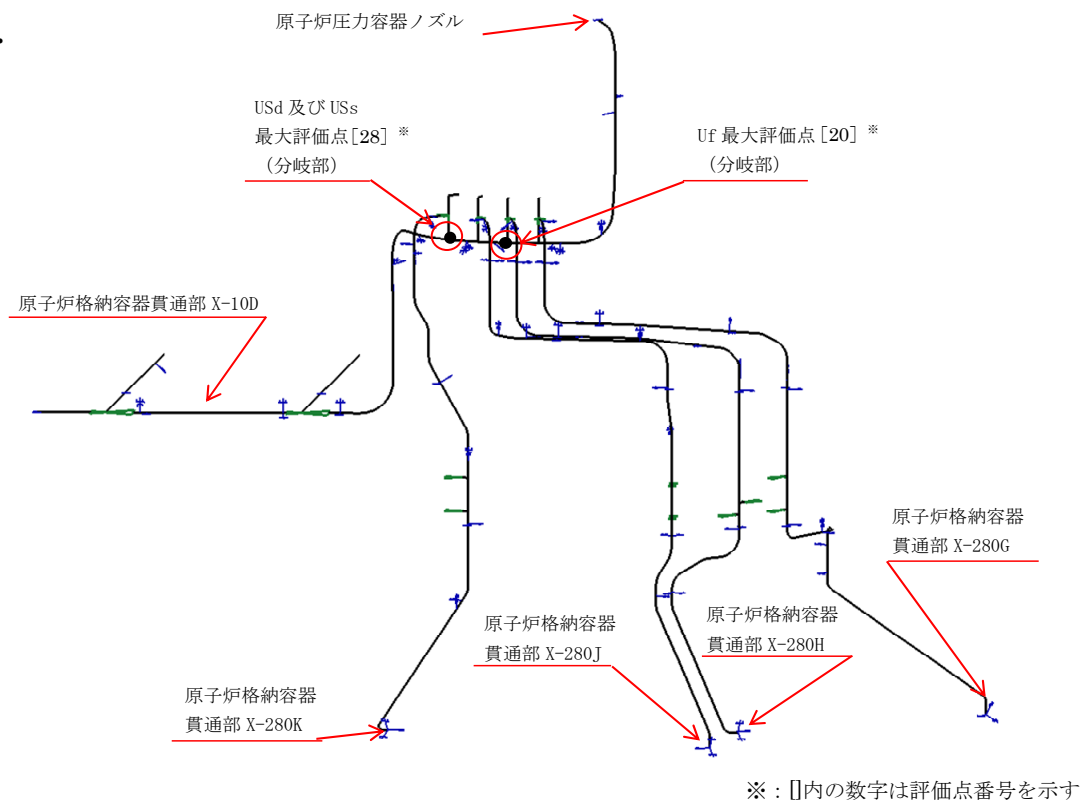


図1 主蒸気系配管 解析モデルおよび評価点

(3) 線膨張係数

主蒸気系配管の評価に使用した線膨張係数（最大評価点の数値）を以下に示す。

評価区分	最大評価点	材質	線膨張係数 [$\times 10^{-6}$ mm/mm $^{\circ}$ C]
運転実績回数に基づく疲労評価	20	STS49	12.92
地震動による疲労評価	28		

(4) 運転実績回数に基づく疲労評価結果

主蒸気系配管の運転実績回数に基づく疲労評価結果（全評価点）を表2に最大評価点における疲労評価結果の内訳を表3に示す。

表2 主蒸気系配管の運転実績回数に基づく疲労評価結果（全評価点）

評価点	疲労評価結果	
1N	Uf	0.0007
2	Uf	0.0009
3	Uf	0.0003
3001	Uf	0.0000
4	Uf	0.0000
5	Uf	0.0000
6	Uf	0.0000
7	Uf	0.0000
8	Uf	0.0000
9	Uf	0.0000
10	Uf	0.0000
11	Uf	0.0005
12	Uf	0.0009
13	Uf	0.0010
1301	Uf	0.0000
14	Uf	0.0000
1501	Uf	0.0000
15	Uf	0.0000
16	Uf	0.0000
17	Uf	0.0120
18	Uf	0.0000
19	Uf	0.0000
20	Uf	0.0133
21	Uf	0.0000
22	Uf	0.0000
23	Uf	0.0000
24	Uf	0.0094
25	Uf	0.0000
26	Uf	0.0000
27	Uf	0.0000
28	Uf	0.0090
29	Uf	0.0000
30	Uf	0.0000
31	Uf	0.0000
32	Uf	0.0000
33	Uf	0.0000
34	Uf	0.0021
35	Uf	0.0012
3501	Uf	0.0000
36	Uf	0.0000
37	Uf	0.0000
38	Uf	0.0000
3801	Uf	0.0000
3802	Uf	0.0000
39	Uf	0.0000
3901	Uf	0.0000
40	Uf	0.0018
41	Uf	0.0019
4101	Uf	0.0000
42	Uf	0.0000
4200	Uf	0.0000
43	Uf	0.0002
100	Uf	0.0000

評価点	疲労評価結果	
101	Uf	0.0000
200	Uf	0.0000
201	Uf	0.0000
300	Uf	0.0000
301	Uf	0.0000
400	Uf	0.0000
401	Uf	0.0000

: 最大値となる箇所を示す。

表3 主蒸気系配管（評価点：20）の運転実績回数に基づく疲労評価結果の内訳

No.	事象毎の組合せ		ピーク応力	一次+二次 応力	Ke係数	繰返し ピーク応力 (ヤング率補正前)	最高使用温度 における ヤング率	繰返し ピーク応力 (ヤング率補正後)	繰返し回数		疲れ累積係数	
	名称	運転温度(°C)		Sp	Sn	Ke	S0	E	S0'	ni	Ni	U f
		始点	終点	MPa	MPa	—	MPa	MPa	MPa	回数	許容回数	大気中
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												
										疲れ累積係数総合計	0.0133	

(5) 地震動による疲労評価結果

表 4 に基準地震動 (Ss) による疲労評価結果, 表 5 に弾性設計用地震動 (Sd) による疲労評価結果を示す。これらの地震動の評価結果のうち, 疲れ累積係数の大きい基準地震動 (Ss) の最大評価点における地震動による疲労評価結果の内訳を表 6 に示す。

表 4 主蒸気系配管の地震動による疲労評価結果 (基準地震動 (S s))

評価点	疲労評価結果		評価点	疲労評価結果	
1N	USs	0.0000	200	USs	0.0173
2	USs	0.0000	201	USs	0.0055
3	USs	0.0000	300	USs	0.0057
3001	USs	0.0000	301	USs	0.0032
4	USs	0.0000	400	USs	0.0550
5	USs	0.0000	401	USs	0.0028
6	USs	0.0000			
7	USs	0.0000			
8	USs	0.0000			
9	USs	0.0000			
10	USs	0.0000			
11	USs	0.0000			
12	USs	0.0000			
13	USs	0.0000			
1301	USs	0.0000			
14	USs	0.0000			
1501	USs	0.0000			
15	USs	0.0000			
16	USs	0.0000			
17	USs	0.3283			
18	USs	0.0000			
19	USs	0.0000			
20	USs	0.4033			
21	USs	0.0000			
22	USs	0.0000			
23	USs	0.0000			
24	USs	0.2033			
25	USs	0.0000			
26	USs	0.0000			
27	USs	0.0000			
28	USs	0.5929			
29	USs	0.0000			
30	USs	0.0000			
31	USs	0.0000			
32	USs	0.0000			
33	USs	0.0000			
34	USs	0.0000			
35	USs	0.0000			
3501	USs	0.0000			
36	USs	0.0000			
37	USs	0.0000			
38	USs	0.0000			
3801	USs	0.0000			
3802	USs	0.0000			
39	USs	0.0000			
3901	USs	0.0000			
40	USs	0.0004			
41	USs	0.0004			
4101	USs	0.0000			
42	USs	0.0000			
4200	USs	0.0000			
43	USs	0.0016			
100	USs	0.0119			
101	USs	0.0043			

: 最大評価点を示す。

表 5 主蒸気系配管の地震動による疲労評価結果（弾性設計用地震動（S d））

評価点	疲労評価結果		評価点	疲労評価結果	
1N	USd	0.0000	200	USd	0.0018
2	USd	0.0000	201	USd	0.0009
3	USd	0.0000	300	USd	0.0010
3001	USd	0.0000	301	USd	0.0003
4	USd	0.0000	400	USd	0.0035
5	USd	0.0000	401	USd	0.0000
6	USd	0.0000			
7	USd	0.0000			
8	USd	0.0000			
9	USd	0.0000			
10	USd	0.0000			
11	USd	0.0000			
12	USd	0.0000			
13	USd	0.0000			
1301	USd	0.0000			
14	USd	0.0000			
1501	USd	0.0000			
15	USd	0.0000			
16	USd	0.0000			
17	USd	0.0130			
18	USd	0.0000			
19	USd	0.0000			
20	USd	0.0150			
21	USd	0.0000			
22	USd	0.0000			
23	USd	0.0000			
24	USd	0.0098			
25	USd	0.0000			
26	USd	0.0000			
27	USd	0.0000			
28	USd	0.0430			
29	USd	0.0000			
30	USd	0.0000			
31	USd	0.0000			
32	USd	0.0000			
33	USd	0.0000			
34	USd	0.0000			
35	USd	0.0000			
3501	USd	0.0000			
36	USd	0.0000			
37	USd	0.0000			
38	USd	0.0000			
3801	USd	0.0000			
3802	USd	0.0000			
39	USd	0.0000			
3901	USd	0.0000			
40	USd	0.0000			
41	USd	0.0000			
4101	USd	0.0000			
42	USd	0.0000			
4200	USd	0.0000			
43	USd	0.0000			
100	USd	0.0014			
101	USd	0.0005			

 : 最大評価点を示す。

表6 主蒸気系配管の地震動による疲労評価結果（基準地震動（S s））の内訳

No.	事象毎の組合せ			ピーク応力	一次+二次 応力	Ke係数	繰返し ピーク応力 (ヤング率補正前)	最高使用温度 における ヤング率	繰返し ピーク応力 (ヤング率補正後)	繰返し回数		疲れ累積係数
	名称	運転温度(°C)		Sp	Sn	Ke	S0	E	S0'	ni	Ni	US s
		始点	終点	MPa	MPa	—	MPa	MPa	MPa	回数	許容回数	大気中
1												
											疲れ累積係数総計	0.5929

(6) 評価結果

主蒸気系配管の評価結果を表7に示す。運転実績回数に基づく最大評価点の疲れ累積係数と地震動による最大評価点の疲れ累積係数の和は許容値1以下となり、耐震安全性に問題がないことを確認した。なお、運転実績回数に基づく疲れ累積係数と地震動による疲れ累積係数の最大評価点はそれぞれ異なるが、保守的にそれぞれの最大値を足し合わせた。

表7 主蒸気系配管の疲労評価結果

系統	評価 地震力	運転実績回数に 基づく 疲れ累積係数	地震動による 疲れ累積係数	合計 (許容値：1以下)
主蒸気系	Ss	0.014 (0.0133)	0.593 (0.5929)	0.607
	Sd	0.014 (0.0133)	0.043 (0.0430)	0.057

各疲れ累積係数の () 内の数値は桁処理前の数値を示す。

炉心シュラウドの低サイクル疲労に対する評価の具体的内容

1. 評価概要

炉心シュラウドの疲労評価は、設計・建設規格 炉心支持構造物に基づき実施しており、疲れ累積係数の算出根拠は以下のとおりである。

2. 通常運転時における疲れ累積係数

(1) 過渡回数

炉心シュラウドの疲労評価に用いた過渡回数を表 1 に示す。

表 1 炉心シュラウドの疲労評価に用いた過渡回数

運転条件	運転実績に基づく過渡回数 (2015年7月末時点)	60年時点 推定回数
耐圧試験	24	55
起動（昇温，タービン起動）	36	74
給水加熱機能喪失（発電機トリップ）	0	1
スクラム（タービントリップ）	1	2
スクラム（その他のスクラム）	4	7
停止（タービン停止，高温待機，冷却， 容器満水，満水後冷却）	36	74
スクラム（原子炉給水ポンプ停止）	0	1
スクラム（逃し安全弁誤作動）	0	1

(2) 解析モデル

炉心シュラウドの疲労評価に用いた解析モデルおよび評価点を図 1 に示す。なお，解析コードは TACF（温度分布解析）および ASHSD2-B（応力解析）を使用した。

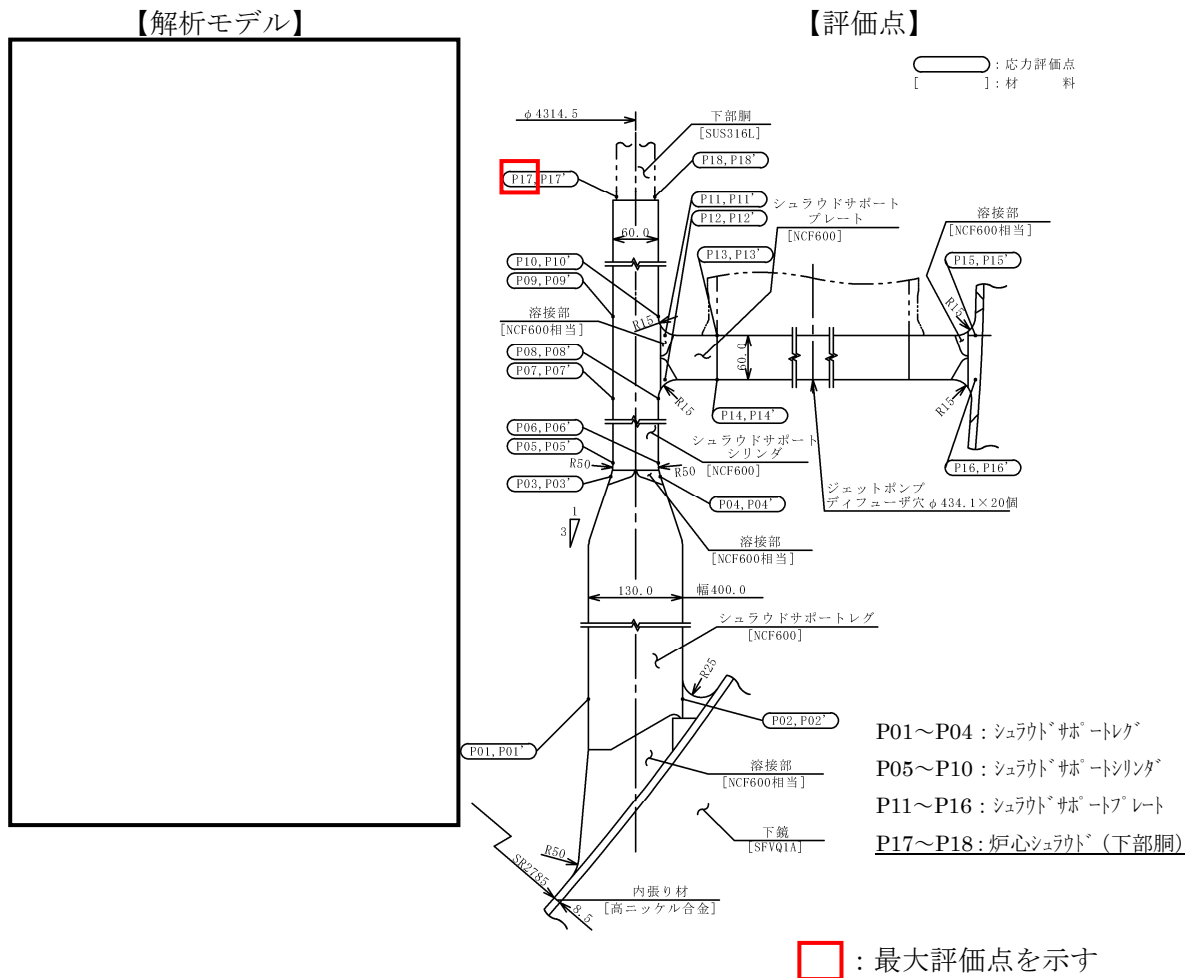


図1 炉心シールド 解析モデルおよび評価点

(3) 材料物性値および外荷重条件

炉心シールドの評価に使用した材料物性値を表2に外荷重条件を表3に示す。

表2 炉心シールドの繰返し荷重の評価に使用する材料の物性値

材料	$E \times 10^5$ (MPa)	$\alpha \times 10^{-6}$ (mm/mm°C)	Sm (MPa)	S (MPa)	$E_0 \times 10^5$ (MPa)	q	A ₀	B ₀
SUS316L						3.1	0.7	2.15

〈記号の説明〉

- E : 運転温度 () °C に対する縦弾性係数
- α : 運転温度 () °C に対する瞬時熱膨張係数
- Sm : 運転温度 () °C に対する設計応力強さ
- S : 設計・建設規格 表 添付 4-2-2 の曲線Cの 10¹¹ 回に対する繰返しピーク応力強さ
- E₀ : 設計・建設規格 添付 4-2 に記載された縦弾性係数
- q, A₀, B₀ : 設計・建設規格 表 PVB-3315-1 に示された簡易弾塑性解析に使用する係数

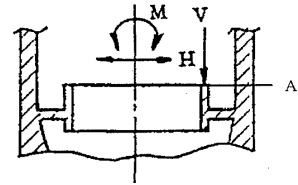
表3 炉心シュラウドの外荷重条件

荷重名称	鉛直力 (kN)	水平力 (kN)	モーメント (kN・m)
	V	H	M
設計機械的荷重			
死荷重			
ジェット反力			

注1：H，Mはシュラウドサポートシリンダの上端部における値を示す

注2：表中の値は1桁目を切り上げ

注3：荷重方向は右図の通り



(4) 運転実績に基づく疲労評価結果および環境疲労評価手法に基づく疲労評価結果

炉心シュラウドの疲れ累積係数は、運転実績に基づく疲労評価および環境疲労評価手法に基づく疲労評価の最大評価点でそれぞれ 0.013, 0.317 となった。炉心シュラウドの運転実績回数に基づく疲労評価結果（全評価点）を表4に、最大評価点における疲労評価結果の内訳を表5に、環境疲労評価手法に基づく疲労評価結果を表6にそれぞれ示す。

表4 炉心シュラウドの運転実績回数に基づく疲労評価結果（全評価点）

評価点	Uf	許容値
P17	0.0123	1
P17'	0.0123	
P18	0.0072	
P18'	0.0072	

 ：最大評価点を示す

表 5 炉心シュラウドの運転実績回数に基づく疲労評価結果（最大評価点）の内訳

応力評価点 — P17

材料 — SUS316L

No.	事象毎の組合せ			Sn (MPa)	Ke	Sp (MPa)	S θ (MPa)	S θ ' (MPa)	Na	Nc	Nc/Na
	名称	運転温度(°C)									
		始点	終点								
1											
2											
3											
4											
5											
6											

Uf = 0.0123

<記号の説明>

- Sn : 供用状態 A, B における一次+二次応力の応力最大範囲
- Ke : 簡易弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数
- Sp : 一次+二次+ピーク応力の応力差範囲
- S θ : 繰返しピーク応力強さ
- S θ ' : 補正繰返しピーク応力強さ
- Na : S θ ' に対応する許容繰返し回数
- Nc : 実際の繰返し回数
- Uf : 疲れ累積係数

表 6 炉心シュラウドの環境疲労評価手法に基づく疲労評価結果（環境疲労考慮あり）

評価点	Uf	F _{en,sc} *1	U _{en} *2	許容値
P17	0.0123	25.8896	0.3171	1
P17'	0.0123	25.8896	0.3171	
P18	0.0072	25.8896	0.1856	
P18'	0.0072	25.8896	0.1856	

P17 : 最大評価点を示す

*1 : 係数倍法による環境効果補正係数（算出過程は以下のとおり）

解析温度 : T = 302°C

$F_{en,sc} = \exp(11.119 \times T^*)$

$T^* = 0.000969 \times T$

$F_{en,sc} = \exp(11.119 \times 0.000969 \times 302)$

= 25.8896

*2 : $U_{en} = U_f \times F_{en,sc}$

3. 地震動による疲れ累積係数

炉心シュラウドの各評価点のうち、環境疲労評価手法に基づく評価を用いて得られた疲れ累積係数が最大となる評価点（P17）について、基準地震動（S_s）および弾性設計用地震動（S_d）の評価を実施した。

（1）解析モデル

発生応力の算出には、「2. 通常運転時における疲れ累積係数」の算出に用いたものと同一の解析モデル（2次元軸対称モデル）を用いた。

（2）材料物性値および耐震条件

材料物性値は「2. 通常運転時における疲れ累積係数」の算出に用いたものと同一の値を用いた。耐震条件は、基準地震動 S_s、弾性設計用地震動 S_d を用いて設定した設計用条件 I を上回る地震荷重にて評価を行った。評価に用いた地震荷重条件を表 7 に示す。

また、基準地震動 S_s における等価繰返し回数は 150 回、弾性設計用地震動 S_d における等価繰返し回数は 300 回を用いた。

表 7 炉心シュラウドの地震荷重条件

荷重名称	鉛直力 (kN)	水平力 (kN)	モーメント (kN・m)
	V	H	M
地震荷重 S _s			
地震荷重 S _d			

(3) 地震動による疲労評価結果

a. 応力の解析結果

地震時に生じる応力の解析結果を表 8 に示す。

表 8 地震時に生じる応力の解析結果

(単位：MPa)

評価 地震力	一次+二次応力		
	評価点	S n #	許容値
Ss	P17	249	
Sd		145	
Ss	P18	323	
Sd		188	

〈記号の説明〉

S n # : 基準地震動 Ss または弾性設計用地震動 Sd による地震荷重のみによる一次+二次応力の応力差最大範囲

b. 地震動による疲労評価結果

基準地震動 Ss および弾性設計用地震動 Sd による一次+二次+ピーク応力の応力差範囲 S p # の解析結果を表 8 に示す。

表 7 に示すとおり、基準地震動 Ss による一次+二次応力の応力差最大範囲 S n # が許容値である 3・S m を超えるため、設計・建設規格 PVB-3315(2) に該当する。このため設計・建設規格 PVB-3315 に記載の K e による割増しを考慮する。一方、弾性設計用地震動 Sd による一次+二次応力の応力差最大範囲 S n # は許容値である 3・S m 未満であるため、設計・建設規格 PVB-3315(1) に該当する。このため設計・建設規格 PVB-3315 に記載の K e による割増しは考慮しない。

上記より、繰返しピーク応力強さ S ℓ は、基準地震動 Ss による一次+二次+ピーク応力の応力差範囲 S p #、応力割増係数 K e と次式により求める。また、弾性設計用地震動 Sd による一次+二次+ピーク応力の応力差範囲 S p # と次式により求める。

$$\text{基準地震動 Ss} \quad : \quad S_{\ell} = \frac{K_e S_p}{2}$$

$$\text{弾性設計用地震動 Sd} \quad : \quad S_{\ell} = \frac{S_p}{2}$$

補正繰返しピーク応力強さ $S\ell'$ は、上記の繰返しピーク応力強さ $S\ell$ 、表 5 に記載の縦弾性係数 E_0 、運転温度に対する縦弾性係数 E を用いて次式により求める。算出結果を表 8 に示す。

$$S\ell' = S\ell \cdot \frac{E_0}{E}$$

以上より、基準地震動 S_s および弾性設計用地震動 S_d による疲れ累積係数を表 8 に示す。表に示すとおり、疲れ累積係数の大きい基準地震動 S_s を地震動による疲れ累積係数として評価に用いた。基準地震動 S_s の全評価点の疲れ累積係数を表 9 に、弾性設計用地震動 S_d の全評価点の疲れ累積係数を表 10 に示す。

表 8 基準地震動 S_s および弾性設計用地震動 S_d による疲れ累積係数の算出結果

評価地震力	評価点	$S_{p\#}$ (MPa)	K_e	$S\ell'$ (MPa)	等価繰返し回数	許容繰返し回数	疲れ累積係数
S_s	P17						0.0010
S_d							0.0002
S_s	P18						0.0264
S_d							0.0004

〈記号の説明〉

$S_{p\#}$: 基準地震動 S_s または弾性設計用地震動 S_d による一次+二次+ピーク応力の応力差範囲

K_e : 応力割増し係数

$S\ell'$: 補正繰返しピーク応力強さ

表 9 炉心シュラウドの地震動による評価結果 (基準地震動 (S_s))

評価点	U_{s_s}	環境条件	許容値
P17 ※	0.0010	炉水	1
P17'	0.0010	炉水	
P18	0.0264	炉水	
P18'	0.0264	炉水	

※ : 運転実績回数に基づく疲労評価結果のうち最大評価点

表 10 炉心シュラウドの地震動による評価結果 (弾性設計用地震動 (S_d))

評価点	U_{s_d}	環境条件	許容値
P17 ※	0.0002	炉水	1
P17'	0.0002	炉水	
P18	0.0004	炉水	
P18'	0.0004	炉水	

※ : 運転実績回数に基づく疲労評価結果のうち最大評価点

4. 評価結果

炉心シュラウドの疲労評価結果を表 11 に示す。表に示すとおり運転実績回数に基づく疲れ累積係数と地震動による疲れ累積係数の和は許容値 1 以下となり、耐震安全性に問題がないことを確認した。

表 11 炉心シュラウドの疲労評価結果

評価 地震力	運転実績回数に基づく疲 れ累積係数 (環境疲労を考慮)	地震動による 疲れ累積係数	合計
Ss	0.318 (0.3171)	0.001 (0.0010)	0.319
Sd	0.318 (0.3171)	0.001 (0.0002)	0.319

各疲れ累積係数の () 内の数値は桁処理前の数値を示す。

<p>タイトル</p>	<p>基礎ボルトの腐食に対する評価の具体的内容について</p>																				
<p>説明</p>	<p>基礎ボルトの腐食に対する評価の具体的内容については、耐震安全性評価の補足説明資料のうち「別紙 7 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」にて残留熱除去系熱交換器を代表として説明している。</p> <p>腐食後の発生応力σ_b'は、腐食前の引張応力σ_bに腐食前後の基礎ボルトの軸断面積の比率$\frac{A_b}{A_b'}$を乗じて算出している (A_b : 腐食前の基礎ボルトの軸断面積, A_b' : 腐食後の基礎ボルトの軸断面積)。算出結果を表 1 に示す。</p> <p>許容応力については、「JSME S NC1 2005 付録材料図表 Part5 表 8 および表 9」により求まる S_y, S_u および「JSME S NC1 2005 SSB-3121.3」の規定により、SSB-3121(1)a.における S_y を $1.2S_y$ に読み替えた値を用いて、許容応力状態IV_ASでの基礎ボルトの許容引張応力 (f_{t0}) および組合せを考慮した許容引張応力 (f_{ts}) を算出している。算出結果を表 2 に示す。また、応力比を腐食後の発生応力σ_b'と許容応力f_{ts}の比$\frac{\sigma_b'}{f_{ts}}$により求めた応力比の結果を表 3 に示す。</p> <p style="text-align: center;">表 1 発生応力</p> <table border="1" data-bbox="443 1122 1442 1570"> <thead> <tr> <th>設備名</th> <th>応力分類</th> <th>発生応力 (MPa)</th> <th>算出過程</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>残留熱除去系熱交換器</td> <td rowspan="5">引張</td> <td>436</td> <td>$\sigma_b \times \frac{A_b}{A_b'} = 424^* \times \frac{(48 \div 2)^2 \times \pi}{\{(48-0.6) \div 2\}^2 \times \pi} = 436 \text{MPa}$</td> </tr> <tr> <td>B-非常用ディーゼル室送風機</td> <td>198</td> <td>$\sigma_b \times \frac{A_b}{A_b'} = 188 \times \frac{(24 \div 2)^2 \times \pi}{\{(24-0.6) \div 2\}^2 \times \pi} = 198 \text{MPa}$</td> </tr> <tr> <td>中央制御室冷凍機</td> <td>188</td> <td>$\sigma_b \times \frac{A_b}{A_b'} = 181 \times \frac{(36 \div 2)^2 \times \pi}{\{(36-0.6) \div 2\}^2 \times \pi} = 188 \text{MPa}$</td> </tr> <tr> <td>中央制御室非常用再循環処理装置</td> <td>132</td> <td>$\sigma_b \times \frac{A_b}{A_b'} = 125^* \times \frac{(20 \div 2)^2 \times \pi}{\{(20-0.6) \div 2\}^2 \times \pi} = 132 \text{MPa}$</td> </tr> <tr> <td>非常用電気室外気処理装置</td> <td>161</td> <td>$\sigma_b \times \frac{A_b}{A_b'} = 149 \times \frac{(16 \div 2)^2 \times \pi}{\{(16-0.6) \div 2\}^2 \times \pi} = 161 \text{MPa}$</td> </tr> </tbody> </table> <p>※：設工認耐震計算書の値（小数点第 1 位切上げ）を記載</p>	設備名	応力分類	発生応力 (MPa)	算出過程	残留熱除去系熱交換器	引張	436	$\sigma_b \times \frac{A_b}{A_b'} = 424^* \times \frac{(48 \div 2)^2 \times \pi}{\{(48-0.6) \div 2\}^2 \times \pi} = 436 \text{MPa}$	B-非常用ディーゼル室送風機	198	$\sigma_b \times \frac{A_b}{A_b'} = 188 \times \frac{(24 \div 2)^2 \times \pi}{\{(24-0.6) \div 2\}^2 \times \pi} = 198 \text{MPa}$	中央制御室冷凍機	188	$\sigma_b \times \frac{A_b}{A_b'} = 181 \times \frac{(36 \div 2)^2 \times \pi}{\{(36-0.6) \div 2\}^2 \times \pi} = 188 \text{MPa}$	中央制御室非常用再循環処理装置	132	$\sigma_b \times \frac{A_b}{A_b'} = 125^* \times \frac{(20 \div 2)^2 \times \pi}{\{(20-0.6) \div 2\}^2 \times \pi} = 132 \text{MPa}$	非常用電気室外気処理装置	161	$\sigma_b \times \frac{A_b}{A_b'} = 149 \times \frac{(16 \div 2)^2 \times \pi}{\{(16-0.6) \div 2\}^2 \times \pi} = 161 \text{MPa}$
設備名	応力分類	発生応力 (MPa)	算出過程																		
残留熱除去系熱交換器	引張	436	$\sigma_b \times \frac{A_b}{A_b'} = 424^* \times \frac{(48 \div 2)^2 \times \pi}{\{(48-0.6) \div 2\}^2 \times \pi} = 436 \text{MPa}$																		
B-非常用ディーゼル室送風機		198	$\sigma_b \times \frac{A_b}{A_b'} = 188 \times \frac{(24 \div 2)^2 \times \pi}{\{(24-0.6) \div 2\}^2 \times \pi} = 198 \text{MPa}$																		
中央制御室冷凍機		188	$\sigma_b \times \frac{A_b}{A_b'} = 181 \times \frac{(36 \div 2)^2 \times \pi}{\{(36-0.6) \div 2\}^2 \times \pi} = 188 \text{MPa}$																		
中央制御室非常用再循環処理装置		132	$\sigma_b \times \frac{A_b}{A_b'} = 125^* \times \frac{(20 \div 2)^2 \times \pi}{\{(20-0.6) \div 2\}^2 \times \pi} = 132 \text{MPa}$																		
非常用電気室外気処理装置		161	$\sigma_b \times \frac{A_b}{A_b'} = 149 \times \frac{(16 \div 2)^2 \times \pi}{\{(16-0.6) \div 2\}^2 \times \pi} = 161 \text{MPa}$																		

		表 2 許容応力 (1/2)		
説 明	設備名	応力分類	許容応力 (MPa)	算出過程
	残留熱除去系熱交換器	引張	444	$F^* = \min[1.2S_y, 0.7S_u]$ $= \min[1.2 \times 659.4, 0.7 \times 847.0]$ $= \min[791.2, 592.9] = 592 \text{ MPa}$ $f_{to} = \frac{F^*}{2} \cdot 1.5 = \frac{592}{2} \times 1.5 = 444.0 \text{ MPa}$ $f_{ts} = \min[1.4 \times f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b', f_{to}]$ $= \min[1.4 \times 444.0 - 1.6 \times 0^{**}, 444.0]$ $= \min[621.6, 444.0]$ $= 444 \text{ MPa}$
	B-非常用ディーゼル室送風機		210	$F^* = \min[1.2S_y, 0.7S_u]$ $= \min[1.2 \times 235.0, 0.7 \times 400.0]$ $= \min[282.0, 280.0] = 280 \text{ MPa}$ $f_{to} = \frac{F^*}{2} \cdot 1.5 = \frac{280}{2} \times 1.5 = 210.0 \text{ MPa}$ $f_{ts} = \min[1.4 \times f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b', f_{to}]$ $= \min[1.4 \times 210.0 - 1.6 \times 34^{**}, 210.0]$ $= \min[239.6, 210.0]$ $= 210 \text{ MPa}$
	中央制御室冷凍機		196	$F^* = \min[1.2S_y, 0.7S_u]$ $= \min[1.2 \times 235.0, 0.7 \times 400.0]$ $= \min[282.2, 280.0] = 280 \text{ MPa}$ $f_{to} = \frac{F^*}{2} \cdot 1.5 = \frac{280}{2} \times 1.5 = 210.0 \text{ MPa}$ $f_{ts} = \min[1.4 \times f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b', f_{to}]$ $= \min[1.4 \times 210.0 - 1.6 \times 61^{**}, 210.0]$ $= \min[196.4, 210.0]$ $= 196 \text{ MPa}$
	中央制御室非常用再循環処理装置		139	$F^* = \min[1.2S_y, 0.7S_u]$ $= \min[1.2 \times 211.5, 0.7 \times 394.0]$ $= \min[253.8, 275.8] = 253 \text{ MPa}$ $f_{to} = \frac{F^*}{2} \cdot 1.5 = \frac{253}{2} \times 1.5 = 189.7 \text{ MPa}$ $f_{ts} = \min[1.4 \times f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b', f_{to}]$ $= \min[1.4 \times 189.7 - 1.6 \times 80^{**}, 189.0]$ $= \min[139.0, 189.0]$ $= 139 \text{ MPa}$
※：耐震安全性評価書の値（小数点第1位切上げ）を記載				

表 2 許容応力 (2/2)			
設備名	応力分類	許容応力 (MPa)	算出過程
非常用電気室外気処理装置	引張	167	$F^* = \min[1.2S_y, 0.7S_u]$ $= \min[1.2 \times 235.0, 0.7 \times 400.0]$ $= \min[282.2, 280.0] = 280 \text{ MPa}$ $f_{to} = \frac{F^*}{2} \cdot 1.5 = \frac{280}{2} \times 1.5 = 210.0 \text{ MPa}$ $f_{ts} = \min[1.4 \times f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b', f_{to}]$ $= \min[1.4 \times 210.0 - 1.6 \times 79^{**}, 210.0]$ $= \min[167.6, 210.0]$ $= 167 \text{ MPa}$
※：耐震安全性評価書の値（小数点第1位切上げ）を記載			
表 3 応力比			
設備名	発生応力※	許容応力	応力比
残留熱除去系熱交換器	436	444	0.982
B-非常用ディーゼル室送風機	198	210	0.943
中央制御室冷凍機	188	196	0.960
中央制御室非常用再循環処理装置	132	139	0.950
非常用電気室外気処理装置	161	167	0.964
※：評価に用いている震度は設計用震度 I に比べ大きい値を用いているため、実際の発生応力は算出値より小さくなると評価している。			
以 上			

説 明

タイトル	初回申請および補正申請の発生応力および許容応力の比較について
説明	<p>初回申請および補正申請の発生応力および許容応力の比較について、具体的内容を添付-1に示す。また、添付-1の凡例を以下に示す。</p> <p>【凡例】 黄色箇所：初回申請と補正申請との差異がある箇所</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>

初回申請および補正申請の発生応力および許容応力の比較 (2/7)

No.	評価書分類	機器名称	評価部位	劣化事象	初回申請										補正申請 (2023年7月20日提出版)										変更有無	変更有の主な理由
					区分	耐震重要度	評価地震力	評価に用いる震度		許容応力状態	応力種別	応力分類	発生応力	許容応力	区分	耐震重要度	評価地震力	評価に用いる震度 ^{※2}		許容応力状態	応力種別	応力分類	発生応力	許容応力		
								水平	鉛直									水平	鉛直							
20	基礎ボルト	残留熱代替除去ポンプ	基礎ボルト	腐食	-	C	Ss	3.50	1.14	IVAS	-	引張応力	150	170	-	重	Ss	2.13	0.99	IVAS	-	引張応力	19	421	有	・ SA設備として新規追加
21	基礎ボルト	復水昇圧ポンプ	基礎ボルト	腐食	-	C	Ss	3.50	1.14	IVAS	-	引張応力	150	170	-	B	1.8Ci	0.32	-	BA S	-	引張応力	発生せず	161	有	・ 初回申請時にSs機能維持評価をしていたが工認耐震計算書提出範囲外となったため、本来の耐震クラスに基づく評価を実施 ・ 耐震重要度分類の見直し (C→B) ・ 周囲環境温度の見直し
22	基礎ボルト	制御棒駆動水圧ポンプ	基礎ボルト	腐食	-	C	Ss	2.13	0.99	IVAS	-	引張応力	32	205	-	B	1.8Ci	0.31	-	BA S	-	引張応力	2	176	有	・ 初回申請時にSs機能維持評価をしていたが工認耐震計算書提出範囲外となったため、本来の耐震クラスに基づく評価を実施 ・ 耐震重要度分類の見直し (C→B)
23	基礎ボルト	原子炉浄化循環ポンプ	基礎ボルト	腐食	-	B	1.8Ci	3.00	1.95	BA S	-	引張応力	61	205	-	B	1.8Ci	3.00	1.95	BA S	-	引張応力	61	205	無	
24	基礎ボルト	原子炉浄化補助ポンプ	基礎ボルト	腐食	-	B	1.8Ci	2.13	0.99	BA S	-	引張応力	29	207	-	B	1.8Ci	2.13	0.99	BA S	-	引張応力	29	207	無	
25	基礎ボルト	残留熱除去封水ポンプ	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	1.79	0.94	IVAS	-	引張応力	8	202	-	S	Ss	1.79	0.94	IVAS	-	引張応力	8	202	無	
26	基礎ボルト	低圧原子炉代替注水ポンプ	基礎ボルト	腐食	-	重	Ss	1.47	1.00	IVAS	-	引張応力	27	440	-	重	Ss	5.50	4.10	IVAS	-	引張応力	148	440	有	・ 適用地震動の見直し
27	基礎ボルト	高圧原子炉代替注水ポンプ	基礎ボルト	腐食	-	重	Ss	1.47	1.00	IVAS	-	引張応力	19	338	-	重	Ss	5.50	4.10	IVAS	-	引張応力	68	338	有	・ 適用地震動の見直し
28	基礎ボルト	タービン駆動原子炉給水ポンプ	基礎ボルト	腐食	-	B	1.8Ci	0.69	-	BA S	-	引張応力	発生せず	475	-	B	1.8Ci	0.69	-	BA S	-	引張応力	発生せず	488	有	・ 周囲環境温度の見直し
29	基礎ボルト	原子炉補機冷却水ポンプ	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	3.17	1.50	IVAS	-	引張応力	50	469	-	S,重	Ss	3.17	1.50	IVAS	-	引張応力	50	444	有	・ SA時の周囲環境温度への見直し ・ 耐震重要度に「重」の追加
30	基礎ボルト	高圧炉心スプレ補機冷却水ポンプ	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	2.13	0.99	IVAS	-	引張応力	8	475	-	S,重	Ss	2.13	0.99	IVAS	-	引張応力	8	475	有	・ 耐震重要度に「重」の追加
31	基礎ボルト	残留熱除去ポンプ	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	1.79	0.94	IVAS	-	引張応力	40	455	-	S,重	Ss	1.79	0.94	IVAS	-	引張応力	40	444	有	・ SA時の周囲環境温度への見直し ・ 耐震重要度に「重」の追加
32	基礎ボルト	ほう酸水注入ポンプ	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	3.73	2.32	IVAS	-	引張応力	130	190	-	S,重	Ss	3.73	2.32	IVAS	-	引張応力	130	174	有	・ SA時の周囲環境温度への見直し ・ 耐震重要度に「重」の追加
33	基礎ボルト	原子炉補機冷却系熱交換器	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	1.56	1.11	IVAS	-	引張応力	201	258	-	S,重	Ss	1.45	1.16	IVAS	-	引張応力	146	187	有	・ 当板拡張工事に伴う質量条件の変更 ・ 適用地震動の見直し ・ SA時の周囲環境温度への見直し ・ 初回申請時は鋼構造設計規準 (AU) に基づき算出していたが、見直し後は工事計画認可と同様に原子力発電所耐震設計技術指針 (J EAG) に基づき算出 ・ 耐震重要度に「重」の追加
34	基礎ボルト	高圧炉心スプレ補機冷却系熱交換器	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	1.71	0.77	IVAS	-	引張応力	90	170	-	S,重	Ss	1.56	1.16	IVAS	-	引張応力	92	153	有	・ 当板拡張工事に伴う質量条件の変更 ・ SA時の周囲環境温度への見直し ・ 適用地震動の見直し ・ 耐震重要度に「重」の追加
35	基礎ボルト	原子炉浄化系再生熱交換器	基礎ボルト	腐食	-	B	1.8Ci	0.58	-	BA S	-	引張応力	136	475	-	B	1.8Ci	0.58	-	BA S	-	引張応力	136	475	無	
36	基礎ボルト	残留熱除去系熱交換器	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	3.00	1.95	IVAS	-	引張応力	268	455	-	S,重	Ss	5.85	2.07	IVAS	-	引張応力	436	444	有	・ 適用地震動の見直し ・ SA時の周囲環境温度への見直し ・ 耐震重要度に「重」の追加 ・ ラグ周辺への支持構造物の追加を反映した評価の実施
37	基礎ボルト	原子炉浄化系補助熱交換器	基礎ボルト	腐食	-	C	Ss	NS=1.15 EW=1.14	1.48	IVAS	-	引張応力	275	276	-	B	Ss	NS=1.23 EW=1.17	1.54	IVAS	-	引張応力	166	201	有	・ 耐震重要度分類の見直し (C→B) (初回申請からSs機能維持評価を実施済) ・ 初回申請時は鋼構造設計規準 (AU) に基づき算出していたが、見直し後は工事計画認可と同様に原子力発電所耐震設計技術指針 (J EAG) に基づき算出 ・ 適用地震動の見直し
38	基礎ボルト	燃料プール冷却系熱交換器	基礎ボルト	腐食	-	重	Ss	1.47	1.00	IVAS	-	引張応力	27	440	-	重	Ss	5.50	4.10	IVAS	-	引張応力	148	440	有	・ SA設備として新規追加
39	基礎ボルト	第3給水加熱器	基礎ボルト	腐食	-	C	1.8Ci	0.32	-	BA S	-	引張応力	26	156	-	B	1.8Ci	0.32	-	BA S	-	引張応力	26	156	有	・ 耐震重要度分類の見直し (C→B) (初回申請からBクラスに適用する耐震条件以上にて実施済のため評価結果の変更なし)
40	基礎ボルト	第4給水加熱器	基礎ボルト	腐食	-	C	1.8Ci	0.32	-	BA S	-	引張応力	28	156	-	B	1.8Ci	0.32	-	BA S	-	引張応力	28	156	有	・ 耐震重要度分類の見直し (C→B) (初回申請からBクラスに適用する耐震条件以上にて実施済のため評価結果の変更なし)
41	基礎ボルト	第5給水加熱器	基礎ボルト	腐食	-	B	1.8Ci	0.32	-	BA S	-	引張応力	19	156	-	B	1.8Ci	0.32	-	BA S	-	引張応力	19	156	無	
42	基礎ボルト	第6給水加熱器	基礎ボルト	腐食	-	B	1.8Ci	0.42	-	BA S	-	引張応力	41	156	-	B	1.8Ci	0.42	-	BA S	-	引張応力	41	156	無	
43	基礎ボルト	グランド 蒸気発生器	基礎ボルト	腐食	-	C	1.8Ci	0.42	-	BA S	-	引張応力	26	156	-	B	1.8Ci	0.42	-	BA S	-	引張応力	26	156	有	・ 耐震重要度分類の見直し (C→B) (初回申請からBクラスに適用する耐震条件以上にて実施済のため評価結果の変更なし)
44	基礎ボルト	グランド 蒸気復水器	基礎ボルト	腐食	-	C	1.8Ci	0.42	-	BA S	-	引張応力	8	173	-	B	1.8Ci	0.42	-	BA S	-	引張応力	8	173	有	・ 耐震重要度分類の見直し (C→B) (初回申請からBクラスに適用する耐震条件以上にて実施済のため評価結果の変更なし)

* 1 : 初回申請時の地震動により作成した設計用床応答スペクトル

* 2 : スペクトルモーダル解析により地震力を算出している場合は、適用した設計用床応答スペクトルを記載する。

初回申請および補正申請の発生応力および許容応力の比較 (3/7)

No.	評価書分類	機器名称	評価部位	劣化事象	初回申請										補正申請 (2023年7月20日提出版)										変更有無	変更有の主な理由		
					区分	耐震重要度	評価地震力	評価に用いる震度		許容応力状態	応力種別	応力分類	発生応力		許容応力	区分	耐震重要度	評価地震力	評価に用いる震度 ^{※2}		許容応力状態	応力種別	応力分類	発生応力			許容応力	
								水平	鉛直				水平	鉛直					水平	鉛直				水平				鉛直
45	基礎ボルト	排ガス予熱器	基礎ボルト	腐食	-	C	1.8Ci	0.42	-	B _s S	-	引張応力	6	173	-	B	1.8Ci	0.42	-	B _s S	-	引張応力	6	173	有	・耐震重要度分類の見直し (C→B) (初回申請からBクラスに適用する耐震条件以上にて実施済のため評価結果の変更なし)		
46	基礎ボルト	排ガス復水器	基礎ボルト	腐食	-	C	1.8Ci	0.42	-	B _s S	-	引張応力	45	173	-	B	1.8Ci	0.42	-	B _s S	-	引張応力	45	173	有	・耐震重要度分類の見直し (C→B) (初回申請からBクラスに適用する耐震条件以上にて実施済のため評価結果の変更なし)		
47	基礎ボルト	排ガス脱温塔	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Ci	0.34	-	C _s S	-	引張応力	48	176	-	B	1.8Ci	0.64	-	B _s S	-	引張応力	107	176	有	・耐震重要度分類の見直し (C→B) ・適用地震動の見直し		
48	基礎ボルト	排ガス再結合器	基礎ボルト	腐食	-	C	1.8Ci	0.42	-	B _s S	-	引張応力	16	173	-	B	1.8Ci	0.42	-	B _s S	-	引張応力	16	173	有	・耐震重要度分類の見直し (C→B) (初回申請からBクラスに適用する耐震条件以上にて実施済のため評価結果の変更なし)		
49	基礎ボルト	復水貯蔵タンク	基礎ボルト	腐食	-	C	1/2Sd	1.75	-	B _s S	-	引張応力	127	288	-							引張応力	288	366	有	・重要度の見直し (MS-1→MS-3) により、高経年化技術評価書から削除		
50	基礎ボルト	原子炉浄化系ラジタンク	基礎ボルト	腐食	-	C	1.8Ci	0.60	-	B _s S	-	引張応力	50	173	-	B	1.8Ci	0.60	-	B _s S	-	引張応力	50	176	有	・耐震重要度分類の見直し (C→B) (初回申請からBクラスに適用する耐震条件以上にて実施済のため評価結果の変更なし) ・周囲環境温度の見直し		
51	基礎ボルト	原子炉建物機器ドレンラジタンク	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Ci	0.20	-	C _s S	-	引張応力	2	173	-	B	1.8Ci	0.29	-	B _s S	-	引張応力	5	176	有	・耐震重要度分類の見直し (C→B) ・周囲環境温度の見直し ・適用地震動の見直し		
52	基礎ボルト	原子炉補機冷却系ラジタンク	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	2.43	1.91	IV _s S	-	引張応力	163	234	-	S,重	Ss	2.52	2.46	IV _s S	-	引張応力	136	143	有	・適用地震動の見直し ・SA時の周囲環境温度への見直し ・耐震重要度に「重」の追加		
53	基礎ボルト	高圧炉心スライ補機冷却系ラジタンク	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	2.13	0.99	IV _s S	-	引張応力	93	207	-	S,重	Ss	1.56	1.16	IV _s S	-	引張応力	51	201	有	・適用地震動の見直し ・SA時の周囲環境温度への見直し ・耐震重要度に「重」の追加		
54	基礎ボルト	ほう酸水貯蔵タンク	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	2.87	1.87	IV _s S	-	引張応力	178	188	-	S,重	Ss	1.90	1.79	IV _s S	-	引張応力	93	188	有	・適用地震動の見直し ・初回申請時は鋼構造設計標準 (AI) に基づき算出していたが、見直し後は工事計画認可と同様に原子炉発電所耐震設計技術指針 (JEAG) に基づき算出 ・耐震重要度に「重」の追加		
55	基礎ボルト	活性炭式希ガス脱アゾ塔	基礎ボルト	腐食	-	B	1.8Ci	0.64	-	B _s S	-	引張応力	19	176	-	B	1.8Ci	0.64	-	B _s S	-	引張応力	19	176	無			
56	基礎ボルト	第1ベントフィルタリ容器	基礎ボルト	腐食	-	重	Ss	2.99	2.17	IV _s S	-	引張応力	100	428	-	重	Ss	4.50	3.00	IV _s S	-	引張応力	386	428	有	・適用地震動の見直し		
57	基礎ボルト	第1ベントフィルタリ容器	基礎ボルト	腐食	-	重	Ss	2.99	1.53	IV _s S	-	引張応力	66	428	-	重	Ss	4.50	3.00	IV _s S	-	引張応力	114	428	有	・適用地震動の見直し		
58	基礎ボルト	復水ろ過脱塩器	基礎ボルト	腐食	-	B	1.8Ci	0.29	-	B _s S	-	引張応力	5	176	-	B	1.8Ci	0.29	-	B _s S	-	引張応力	5	176	無			
59	基礎ボルト	復水脱塩器	基礎ボルト	腐食	-	B	1.8Ci	0.29	-	B _s S	-	引張応力	1	176	-	B	1.8Ci	0.29	-	B _s S	-	引張応力	1	176	無			
60	基礎ボルト	復水ろ過脱塩器ストレーナ	基礎ボルト	腐食	-	C	1.8Ci	0.29	-	B _s S	-	引張応力	15	176	-	B	1.8Ci	0.29	-	B _s S	-	引張応力	15	176	有	・耐震重要度分類の見直し (C→B) (初回申請からBクラスに適用する耐震条件以上にて実施済のため評価結果の変更なし)		
61	基礎ボルト	原子炉浄化ろ過脱塩器	基礎ボルト	腐食	-	B	1.8Ci	0.60	-	B _s S	-	引張応力	32	176	-	B	1.8Ci	0.60	-	B _s S	-	引張応力	32	176	無			
62	基礎ボルト	原子炉浄化脱塩器	基礎ボルト	腐食	-	B	1.8Ci	0.58	-	B _s S	-	引張応力	20	176	-	B	1.8Ci	0.58	-	B _s S	-	引張応力	20	176	無			
63	基礎ボルト	原子炉補機海水ストレーナ	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	3.45	2.13	IV _s S	-	引張応力	384	472	-	S,重	Ss	3.45	2.13	IV _s S	-	引張応力	384	454	有	・周囲環境温度の見直し ・耐震重要度に「重」の追加		
64	基礎ボルト	高圧炉心スライ補機海水ストレーナ	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	3.45	2.13	IV _s S	-	引張応力	290	488	-	S,重	Ss	3.45	2.13	IV _s S	-	引張応力	290	475	有	・周囲環境温度の見直し ・耐震重要度に「重」の追加		
65	基礎ボルト	原子炉格納容器 (97レクションファン)	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	※1	※1	IV _s S	-	引張応力	323	473	-	S,重	Ss	I	I	IV _s S	-	引張応力	378	454	有	・適用地震動の見直し ・SA時の周囲環境温度への見直し ・耐震重要度に「重」の追加		
66	基礎ボルト	高圧タビン	基礎ボルト	腐食	-	B	1.8Ci	0.68	-	B _s S	-	引張応力	131	182	-	B	1.8Ci	0.68	-	B _s S	-	引張応力	131	210	有	・周囲環境温度の見直し		
67	基礎ボルト	低圧タビン	基礎ボルト	腐食	-	C	1.8Ci	0.68	-	B _s S	-	引張応力	発生せず	177	-	B	1.8Ci	0.68	-	B _s S	-	引張応力	発生せず	210	210	有	・耐震重要度分類の見直し (C→B) (初回申請からBクラスに適用する耐震条件以上にて実施済のため評価結果の変更なし) ・周囲環境温度の見直し	
68	基礎ボルト	原子炉給水ポンプ駆動用蒸気タビン	基礎ボルト	腐食	-	B	1.8Ci	0.69	-	B _s S	-	引張応力	64	475	-	B	1.8Ci	0.69	-	B _s S	-	引張応力	64	444	有	・周囲環境温度の見直し		
69	基礎ボルト	主タビンEHC装置	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Ci	0.20	-	C _s S	-	引張応力	発生せず	246	-	C	1.2Ci	0.20	-	C _s S	-	引張応力	発生せず	246	246	有	・設備改造による質量の見直し	
70	基礎ボルト	原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タビンおよび付属装置(本体)	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	1.79	0.94	IV _s S	-	引張応力	42	444	-	S	Ss	1.79	0.94	IV _s S	-	引張応力	42	444	無			
71	基礎ボルト	原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タビンおよび付属装置(ランドン装置)	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	1.79	0.94	IV _s S	-	引張応力	14	455	-	S	Ss	1.79	0.94	IV _s S	-	引張応力	14	455	無			

※1：初回申請時の地震動により作成した設計用床応答スペクトル

※2：スペクトルモーダル解析により地震力を算出している場合は、適用した設計用床応答スペクトルを記載する。

初回申請および補正申請の発生応力および許容応力の比較 (5/7)

No.	評価書分類	機器名称	評価部位	劣化事象	初回申請										補正申請 (2023年7月20日提出版)										変更有無	変更有の主な理由
					区分	耐震重要度	評価地震力	評価に用いる震度		許容応力状態	応力種別	応力分類	発生応力	許容応力	区分	耐震重要度	評価地震力	評価に用いる震度 ^{※2}		許容応力状態	応力種別	応力分類	発生応力	許容応力		
								水平	鉛直									水平	鉛直							
91	基礎ボルト	中央制御室冷凍機冷水循環ポンプ	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	2.77	1.58	IV _A S	-	引張応力	19	207	-	S	Ss	2.77	1.58	IV _A S	-	引張応力	19	210	有	・周囲環境温度の見直し
													13	159									13	161		
													9	173									9	176		
													8	133									8	135		
92	基礎ボルト	非常用ガス処理系前置ガス処理装置	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	2.87	1.87	IV _A S	-	引張応力	71	185	-	S,重	Ss	2.87	1.87	IV _A S	-	引張応力	71	174	有	・SA時の周囲環境温度への見直し ・耐震重要度に「重」の追加
													39	142									39	134		
													42	154									42	154		
													19	118									19	118		
93	基礎ボルト	非常用ガス処理系後置ガス処理装置	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	2.87	1.87	IV _A S	-	引張応力	80	185	-	S,重	Ss	2.87	1.87	IV _A S	-	引張応力	80	170	有	・SA時の周囲環境温度への見直し ・耐震重要度に「重」の追加
													46	142									46	134		
													47	154									47	154		
													22	118									22	118		
94	基礎ボルト	中央制御室非常用再循環処理装置	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	2.77	1.64	IV _A S	-	引張応力	132	139	-	S,重	Ss	2.77	1.64	IV _A S	-	引張応力	132	139	有	・耐震重要度に「重」の追加
													80	146									80	146		
													36	140									36	140		
													51	122									51	122		
95	基礎ボルト	中央制御室空調装置	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	1.61	1.19	IV _A S	-	引張応力	96	161	-	S	Ss	1.61	1.19	IV _A S	-	引張応力	98	155	有	・設備改造による質量の見直し(質量の見直しにより発生応力(せん断)が変更となったため許容応力(引張)の数値が変更)
													81	159									81	159		
													49	140									49	138		
													64	133									64	133		
96	基礎ボルト	非常用電気室外気処理装置	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	2.87	1.87	IV _A S	-	引張応力	161	164	-	S	Ss	2.87	1.87	IV _A S	-	引張応力	161	167	有	・周囲環境温度の見直し
													79	159									79	161		
													67	169									67	172		
													46	133									46	135		
97	基礎ボルト	高圧炉心スライ電気室外気処理装置	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	2.05	1.56	IV _A S	-	引張応力	135	207	-	S	Ss	2.05	1.56	IV _A S	-	引張応力	135	210	有	・適用地震動の見直し ・周囲環境温度の見直し
													37	159									37	161		
													16	173									16	176		
													20	133									20	135		
非常用ディーゼル機関 (A,B号機) (本体), 非常用ディーゼル機関 (A,B号機) 付属設備																										
98	基礎ボルト	非常用ディーゼル機関 (A,B号機) (本体)	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	1.84	0.95	IV _A S	-	引張応力	133	261	-	S,重	Ss	1.84	0.95	IV _A S	-	引張応力	133	261	有	・耐震重要度に「重」の追加
													35	201									35	201		
													15	224									15	224		
													13	173									13	173		
99	基礎ボルト	空気だめ	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	1.87	0.96	IV _A S	-	引張応力	64	207	-	S,重	Ss	1.87	0.96	IV _A S	-	引張応力	64	207	有	・耐震重要度に「重」の追加
													22	159									22	159		
													16	173									16	173		
													8	133									8	133		
100	基礎ボルト	空気圧縮機	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Cl	0.20	-	C _A S	-	引張応力	発生せず	180	-	C	1.2Cl	0.20	-	C _A S	-	引張応力	発生せず	174	有	・周囲環境温度の見直し
													2	139									2	134		
													44	207									44	207		
													45	159									45	159		
101	基礎ボルト	共通マス (潤滑油系)	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	1.87	0.96	IV _A S	-	引張応力	44	207	-	S,重	Ss	1.87	0.96	IV _A S	-	引張応力	44	207	有	・耐震重要度に「重」の追加
													10	173									10	173		
													23	133									23	133		
													30	207									30	207		
102	基礎ボルト	共通マス (冷却水系)	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	1.87	0.96	IV _A S	-	引張応力	25	159	-	S,重	Ss	1.87	0.96	IV _A S	-	引張応力	25	159	有	・耐震重要度に「重」の追加
													7	173									7	173		
													13	133									13	133		
													16	207									16	207		
103	基礎ボルト	共通マス (燃料油系)	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	1.87	0.96	IV _A S	-	引張応力	5	159	-	S,重	Ss	1.87	0.96	IV _A S	-	引張応力	5	159	有	・耐震重要度に「重」の追加
													7	180									7	180		
													3	139									3	139		
													17	207									17	207		
104	基礎ボルト	潤滑油ポンプタンク	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	1.79	0.94	IV _A S	-	引張応力	39	159	-	S,重	Ss	1.79	0.94	IV _A S	-	引張応力	39	159	有	・耐震重要度に「重」の追加
													1	173									1	173		
													20	133									20	133		
													18	207									18	207		
105	基礎ボルト	燃料移送ポンプ	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	2.96	1.33	IV _A S	-	引張応力	10	159	-	S,重	Ss	2.96	1.33	IV _A S	-	引張応力	29	207	有	・ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の質量を加味した再評価結果の反映 ・耐震重要度に「重」の追加
													8	180									8	180		
													5	139									5	139		
													145	190									145	190		
106	基礎ボルト	燃料タンク	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	1.56	1.11	IV _A S	-	引張応力	44	146	-	S,重	Ss	1.46	1.03	IV _A S	-	引張応力	121	190	有	・当板拡張工事に伴う質量条件の変更 ・耐震重要度に「重」の追加 ・適用地震動の見直し
													64	158									64	158		
													22	122									22	122		
													7	139									7	139		
HPCSディーゼル機関 (本体), HPCSディーゼル機関付属設備																										
107	基礎ボルト	HPCSディーゼル機関 (本体)	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	1.84	0.95	IV _A S	-	引張応力	130	261	-	S,重	Ss	1.84	0.95	IV _A S	-	引張応力	130	261	有	・耐震重要度に「重」の追加
													35	201									35	201		
													15	224									15	224		
													13	173									13	173		
108	基礎ボルト	空気だめ	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	1.87	0.96	IV _A S	-	引張応力	64	207	-	S,重	Ss	1.87	0.96	IV _A S	-	引張応力	64	207	有	・耐震重要度に「重」の追加
													22	159									22	159		
													16	173									16	173		
													8	133									8	133		
109	基礎ボルト	空気圧縮機	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Cl	0.20	-	C _A S	-	引張応力	発生せず	180	-	C	1.2Cl	0.20	-	C _A S	-	引張応力	発生せず	174	有	・周囲環境温度の見直し
													2	139									2	134		

* 1 : 初回申請時の地震動により作成した設計用床応答スペクトル

* 2 : スペクトルモーダル解析により地震力を算出している場合は、適用した設計用床応答スペクトルを記載する。

初回申請および補正申請の発生応力および許容応力の比較 (6/7)

No.	評価書分類	機器名称	評価部位	劣化事象	初回申請										補正申請 (2023年7月20日提出版)										変更有無	変更有の主な理由		
					区分	耐震重要度	評価地震力	評価に用いる震度		許容応力状態	応力種別	応力分類	発生応力		許容応力	区分	耐震重要度	評価地震力	評価に用いる震度 ^{※2}		許容応力状態	応力種別	応力分類	発生応力			許容応力	
								水平	鉛直				水平	鉛直					水平	鉛直				水平				鉛直
110	基礎ボルト	共通ベ-ス (潤滑油系)	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	1.87	0.96	IV _A S	-	引張応力	43	207	-	S,重	Ss	1.87	0.96	IV _A S	-	引張応力	43	207	有	・耐震重要度に「重」の追加		
								Sd	0.94			0.48	III _A S	-				せん断応力	44			159	せん断応力	44			159	
																		引張応力	10			173	引張応力	10			173	
111	基礎ボルト	共通ベ-ス (冷却水系)	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	1.87	0.96	IV _A S	-	引張応力	30	207	-	S,重	Ss	1.87	0.96	IV _A S	-	引張応力	30	207	有	・耐震重要度に「重」の追加		
								Sd	0.94			0.48	III _A S	-				せん断応力	25			159	せん断応力	25			159	
																		引張応力	7			173	引張応力	7			173	
112	基礎ボルト	共通ベ-ス (燃料油系)	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	1.87	0.96	IV _A S	-	引張応力	16	207	-	S,重	Ss	1.87	0.96	IV _A S	-	引張応力	16	207	有	・耐震重要度に「重」の追加		
								Sd	0.94			0.48	III _A S	-				せん断応力	5			159	せん断応力	5			159	
																		引張応力	7			180	引張応力	7			180	
113	基礎ボルト	潤滑油ポンプタケ	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	1.79	0.94	IV _A S	-	引張応力	17	207	-	S,重	Ss	1.79	0.96	IV _A S	-	引張応力	17	207	有	・耐震重要度に「重」の追加		
								Sd	0.90			0.47	III _A S	-				せん断応力	39			159	せん断応力	39			159	
																		引張応力	1			173	引張応力	1			173	
114	基礎ボルト	燃料移送ポンプ	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	2.96	1.33	IV _A S	-	引張応力	18	207	-	S,重	Ss	2.96	1.33	IV _A S	-	引張応力	29	207	有	・ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の質量を加味した再評価結果の反映 ・耐震重要度に「重」の追加		
								Sd	1.49			0.67	III _A S	-				せん断応力	10			159	せん断応力	14			159	
																		引張応力	8			180	引張応力	13			180	
115	基礎ボルト	燃料デ-イタケ	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	1.71	0.77	IV _A S	-	引張応力	101	190	-	S,重	Ss	1.56	1.16	IV _A S	-	引張応力	85	190	有	・当板拡張工事に伴う質量条件の変更 ・耐震重要度に「重」の追加 ・適用地震動の見直し		
								Sd	0.74			0.49	III _A S	-				せん断応力	29			146	せん断応力	24			146	
																		引張応力	39			158	引張応力	38			158	
可燃性ガス濃度制御系再結合装置																												
116	基礎ボルト	共通ベ-ス (再結合装置)	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	3.73	2.32	IV _A S	-	引張応力	169	372	-	S	Ss	3.73	2.32	IV _A S	-	引張応力	169	371	有	・適用地震動の見直し (Ssの許容応力(引張)が変更となっているが、桁処理の差)		
								Sd	2.06			1.16	III _A S	-				せん断応力	157			342	せん断応力	157			342	
																		引張応力	56			444	引張応力	55			444	
計装用圧縮空気系設備																												
117	基礎ボルト	共通ベ-ス (計装用空気圧縮設備)	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Ci	0.20	-	C _A S	-	引張応力	発生せず	173	-	C	1.2Ci	0.20	-	C _A S	-	引張応力	発生せず	176	有	・周囲環境温度の見直し		
118	基礎ボルト	空気脱湿塔	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Ci	0.20	-	C _A S	-	引張応力	発生せず	173	-	C	1.2Ci	0.20	-	C _A S	-	引張応力	発生せず	176	有	・周囲環境温度の見直し		
気体廃棄物処理系設備																												
119	基礎ボルト	空気抽出器	基礎ボルト	腐食	-	C	1.8Ci	0.42	-	B _A S	-	引張応力	58	173	-	B	1.8Ci	0.42	-	B _A S	-	引張応力	58	173	有	・耐震重要度分類の見直し (C→B) (初回申請からBクラスに適用する耐震条件以上にて実施済のため評価結果の変更なし)		
120	基礎ボルト	排ガスポンプ	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Ci	0.29	-	C _A S	-	引張応力	1	180	-	B	1.8Ci	0.50	-	B _A S	-	引張応力	3	183	有	・耐震重要度分類の見直し (C→B) ・周囲環境温度の見直し		
液体廃棄物処理系設備																												
121	基礎ボルト	床下濃縮器	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Ci	0.29	-	C _A S	-	引張応力	44	168	-	B	1.8Ci	0.94	-	B _A S	-	引張応力	137	168	有	・耐震重要度分類の見直し (C→B)		
122	基礎ボルト	化学廃液循環ポンプ	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Ci	0.23	-	C _A S	-	引張応力	発生せず	173	-	B	1.8Ci	0.35	-	B _A S	-	引張応力	発生せず	176	有	・耐震重要度分類の見直し (C→B) (初回申請でCクラスで実施し、補正申請にてBクラスの評価を行ったが、桁処理により発生応力(表記)の変更なし。) ・周囲環境温度の見直し		
												せん断応力	2	133								せん断応力	2	135				
123	基礎ボルト	床下濃縮器復水器	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Ci	0.29	-	C _A S	-	引張応力	2	176	-	B	1.8Ci	0.50	-	B _A S	-	引張応力	11	176	有	・耐震重要度分類の見直し (C→B)		
124	基礎ボルト	化学廃液濃縮器復水器	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Ci	0.29	-	C _A S	-	引張応力	5	135	-	B	1.8Ci	0.50	-	B _A S	-	引張応力	9	135	有	・耐震重要度分類の見直し (C→B)		
												せん断応力	8	135								せん断応力	29	176				
125	基礎ボルト	濃縮廃液タケ	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Ci	0.20	-	C _A S	-	引張応力	8	135	-	B	1.8Ci	0.77	-	B _A S	-	引張応力	13	135	有	・耐震重要度分類の見直し (C→B) (Bクラスの評価によって発生応力(せん断)が変更となったため許容応力(引張)の数値が変更)		
												せん断応力	8	135								せん断応力	86	135				
126	基礎ボルト	濃縮廃液ポンプ	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Ci	0.20	-	C _A S	-	引張応力	発生せず	173	-	B	1.8Ci	0.29	-	B _A S	-	引張応力	67	133	有	・耐震重要度分類の見直し (C→B) (Bクラスの評価によって発生応力(せん断)が変更となったため許容応力(引張)の数値が変更) ・周囲環境温度の見直し		
												せん断応力	18	133								せん断応力	86	135				
3号所内 ^{※1} 行																												
127	基礎ボルト	本体	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Ci	0.24	-	C _A S	-	引張応力	発生せず	176	-	C	1.2Ci	0.24	-	C _A S	-	引張応力	発生せず	176	無			
128	基礎ボルト	蒸気だめ	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Ci	0.24	-	C _A S	-	せん断応力	66	135	-	C	1.2Ci	0.24	-	C _A S	-	せん断応力	66	135	無			
												引張応力	103	176								引張応力	103	176				
129	基礎ボルト	給水ポンプ	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Ci	0.24	-	C _A S	-	引張応力	17	135	-	C	1.2Ci	0.24	-	C _A S	-	引張応力	17	135	無			
												せん断応力	2	135								せん断応力	2	135				
4号所内 ^{※1} 行																												
130	基礎ボルト	本体	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Ci	0.24	-	C _A S	-	引張応力	発生せず	176	-	C	1.2Ci	0.24	-	C _A S	-	引張応力	発生せず	176	無			
131	基礎ボルト	蒸気だめ	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Ci	0.24	-	C _A S	-	せん断応力	41	135	-	C	1.2Ci	0.24	-	C _A S	-	せん断応力	41	135	無			
												引張応力	31	176								引張応力	31	176				
132	基礎ボルト	給水ポンプ	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Ci	0.24	-	C _A S	-	せん断応力	11	135	-	C	1.2Ci	0.24	-	C _A S	-	せん断応力	11	135	無			
												引張応力	7	135								引張応力	7	135				
133	基礎ボルト	缶水循環ポンプ	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Ci	0.24	-	C _A S	-	引張応力	4	176	-	C	1.2Ci	0.24	-	C _A S	-	引張応力	4	176	無			
												せん断応力	2	135								せん断応力	2	135				

* 1 : 初回申請時の地震動により作成した設計用床応答スペクトル

* 2 : スペクトルモーダル解析により地震力を算出している場合は、適用した設計用床応答スペクトルを記載する。

初回申請および補正申請の発生応力および許容応力の比較 (7/7)

No.	評価書分類	機器名称	評価部位	劣化事象	初回申請										補正申請 (2023年7月20日提出版)										変更有無	変更の主な理由
					区分	耐震重要度	評価地震力	評価に用いる震度		許容応力状態	応力種別	応力分類	発生応力	許容応力	区分	耐震重要度	評価地震力	評価に用いる震度 ^{*2}		許容応力状態	応力種別	応力分類	発生応力	許容応力		
								水平	鉛直									水平	鉛直							
固体廃棄物処理系設備 (雑固体廃棄物焼却設備)																										
134	基礎ボルト	雑固体焼却炉	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Ci	0.222	-	C _A S	-	引張応力 せん断応力	発生せず 19 129	168	-	C	1.2Ci	0.222	-	C _A S	-	引張応力 せん断応力	発生せず 19 129	168	無	
135	基礎ボルト	1次セツク714t	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Ci	0.251	-	C _A S	-	引張応力 せん断応力	発生せず 32 135	176	-	C	1.2Ci	0.251	-	C _A S	-	引張応力 せん断応力	発生せず 32 135	176	無	
136	基礎ボルト	2次セツク714t	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Ci	0.251	-	C _A S	-	引張応力 せん断応力	発生せず 32 135	176	-	C	1.2Ci	0.251	-	C _A S	-	引張応力 せん断応力	発生せず 32 135	176	無	
137	基礎ボルト	排ガス4t	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Ci	0.251	-	C _A S	-	引張応力 せん断応力	45 14 176 135	176	-	C	1.2Ci	0.251	-	C _A S	-	引張応力 せん断応力	45 14 176 135	176	無	
ガスタービン機関付属設備																										
138	基礎ボルト	ガスタービン機関本体	基礎ボルト	腐食	-	重	Ss								-	重	Ss	2.96	1.00	IV _A S	-	引張応力 せん断応力	127 96 472 346	451	有	・SA設備として新規追加
139	基礎ボルト	軽油タンク	基礎ボルト	腐食	-	重	Ss	地震応答解析による断面力	1.12	-	-	引張応力 せん断応力	153 121 472 366	472	-	重	Ss	地震応答解析による断面力	1.12	IV _A S	-	引張応力 せん断応力	153 121 472 366	472	無	
140	基礎ボルト	燃料移送ポンプ	基礎ボルト	腐食	-	重	Ss							-	重	Ss	2.11	0.89	IV _A S	-	引張応力 せん断応力	13 7 207 159	207	有	・SA設備として新規追加	
141	基礎ボルト	ラビスタク	基礎ボルト	腐食	-	重	Ss							-	重	Ss	2.96	1.00	IV _A S	-	引張応力 せん断応力	292 84 439 338	439	有	・SA設備として新規追加	
142	基礎ボルト	燃料油こし器	基礎ボルト	腐食	-	重	Ss							-	重	Ss	2.11	0.89	IV _A S	-	引張応力 せん断応力	53 16 207 159	207	有	・SA設備として新規追加	
143	基礎ボルト	原子炉保護系MGセツト	基礎ボルト	腐食	-	C	1.2Ci	A:0.24 B:0.22	-	C _A S	-	引張応力 せん断応力	発生せず 3 133 261	173	-	C	1.2Ci	A:0.24 B:0.22	-	C _A S	-	引張応力 せん断応力	発生せず 3 133 261	173	無	
144	基礎ボルト	非常用ディーゼル発電機	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	1.84	0.95	IV _A S	-	引張応力 せん断応力	15 224 201	201	-	S	Ss	1.84	0.95	IV _A S	-	引張応力 せん断応力	15 224 201	201	無	
145	基礎ボルト	高圧炉心スレーブディーゼル発電機	基礎ボルト	腐食	-	S	Ss	1.84	0.95	IV _A S	-	引張応力 せん断応力	15 224 201	201	-	S	Ss	1.84	0.95	IV _A S	-	引張応力 せん断応力	15 224 201	201	無	
					-	S	Sd	0.65	0.48	III _A S	-	引張応力 せん断応力	13 173 261	173	-	S	Sd	0.65	0.48	III _A S	-	引張応力 せん断応力	13 173 261	173	無	

* 1 : 初回申請時の地震動により作成した設計用床応答スペクトル

* 2 : スペクトルモーダル解析により地震力を算出している場合は、適用した設計用床応答スペクトルを記載する。