

川内原子力発電所 1号炉の 高経年化技術評価

(耐震・耐津波安全性評価結果について)

平成27年7月13日
九州電力株式会社

目 次

| | |
|--|----|
| 1. 耐震安全性評価 · | 2 |
| 1.1 高経年化技術評価における耐震安全性評価 · · · · · · · · · · · | 2 |
| 1.2 工事計画(H27.3認可)を踏まえたP L M耐震評価 · · · · · · · | 4 |
| 1.3 耐震安全性評価結果 · · · · · · · · · · · · · · · · · | 5 |
| 1.4 その他の評価について · · · · · · · · · · · · · · · · · | 14 |
| 1.5 耐震安全性評価のまとめ · · · · · · · · · · · · · · · · | 14 |
| 2. 耐津波安全性評価 · · · · · · · · · · · · · · · · · · · | 15 |
| 2.1 高経年化技術評価における耐津波安全性評価 · · · · · · · | 15 |
| 2.2 耐津波安全性評価結果 · · · · · · · · · · · · · · · | 17 |
| 2.3 耐津波安全性評価のまとめ · · · · · · · · · · · · · | 18 |

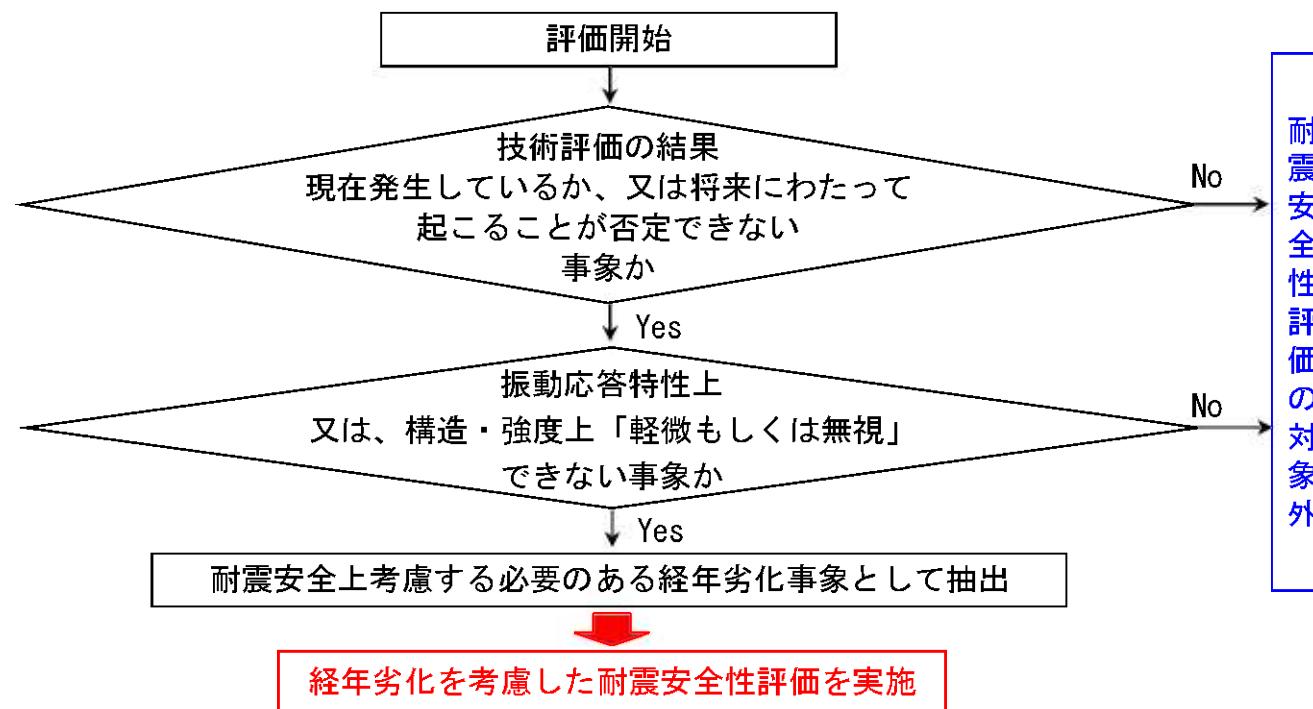
1. 耐震安全性評価

1.1 高経年化技術評価における耐震安全性評価

(1) 評価フロー

高経年化技術評価における耐震安全性評価（以下、PLM耐震評価）では、技術評価の結果から耐震安全性に影響を及ぼす可能性が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している。

PLM耐震評価の評価フローを以下に示す。



1. 耐震安全性評価

(2) 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象

前頁の評価フローに従い抽出された耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象を下表に示す。

| 機器・構造物 | 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象 | | | | | | |
|----------------------|----------------------|--------------------------|-----|--------|-----------------|----|-------------------------|
| | 疲労割れ | 中性子(γ線) 照射脆化 /韌性低下 | 熱時効 | 応力腐食割れ | 照射誘起型 応力腐食割れ | 摩耗 | 腐食 (流れ加速型腐食による減肉を含む) |
| ポンプ | ● | — | ● | — | — | — | — |
| 熱交換器 | ● | — | — | — | — | — | ● |
| ポンプ用電動機 | — | — | — | — | — | — | — |
| 容器 | ● | ● | — | — | — | — | — |
| 配管 | ● | — | ● | — | — | — | ● |
| 弁 | ● | — | — | — | — | — | — |
| 炉内構造物 | ● | ● | — | — | ● | ● | — |
| ケーブル | — | — | — | — | — | — | — |
| 電気設備 | — | — | — | — | — | — | — |
| タービン設備 | — | — | — | — | — | — | ● |
| コンクリート構造物 及び鉄骨構造物 | — | — | — | — | — | — | — |
| 計測制御設備 | — | — | — | — | — | — | — |
| 空調設備 | — | — | — | — | — | — | ● |
| 機械設備 | ● | ● | — | ● | — | ● | ● |
| 電源設備 | — | — | — | — | — | — | ● |

1. 耐震安全性評価

1.2 工事計画(H27.3認可)を踏まえたPLM耐震評価

(1) 評価地震動について

基準地震動Ss-1に対する評価に加え、新規制基準適合性に係る審査において追加となった基準地震動Ss-2についても評価を実施する。

なお、評価に当たっては、既に実施済みの基準地震動Ss-1に対する評価結果から、評価が厳しいと判断される機器・経年劣化事象を評価を実施し、耐震安全性に問題ないことを確認した。

(2) 工事計画における評価手法等の反映

① 最新評価手法の反映

⇒ 最新評価手法で評価を実施し耐震安全性に問題ないことを確認した。

② 水平2方向及び鉛直方向地震の組合せを考慮した影響評価

⇒ 評価対象部位について影響評価を行い、耐震安全性に問題ないことを確認した。

※ 詳細は、「第8回審査会合[平成27年6月15日]資料1－2」を参照

1. 耐震安全性評価

1.3 耐震安全性評価結果

基準地震動Ss-1に対する評価が厳しく、基準地震動Ss-2に対する評価（詳細評価）を実施している機器のうち工事計画における評価手法の反映や長期保守管理方針策定等の観点から以下の4つの機器の評価結果について説明する。

| 評価対象機器 | *1 Ss-1 評価 | *2 Ss-2 詳細 評価 | 工事計画 評価手法 | | 長期 保守 管理 方針 | 評価に考慮した経年劣化事象 |
|-----------------|------------------|------------------------|--------------|-------------|----------------------|---|
| | | | 最新 手法 | 水平*3 2方向 | | |
| 伸縮式配管貫通部 | ○ | ○ | — | — | — | ・伸縮式配管貫通部（主蒸気系統）の疲労割れ |
| 炉内構造物 | ○ | ○ | ○ | — | — | ・制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗 ・バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れ |
| 燃料取替用水 タンク | ○ | ○ | — | ○ | — | ・基礎ボルトの腐食 |
| 主蒸気/主給水 系統配管 | ○ | ○ | — | — | ○ | ・曲り部等の流れ加速型腐食 |

*1：全ての機器・経年劣化事象について評価を実施

*2：Ss-1評価の結果が厳しい機器・経年劣化事象について評価を実施

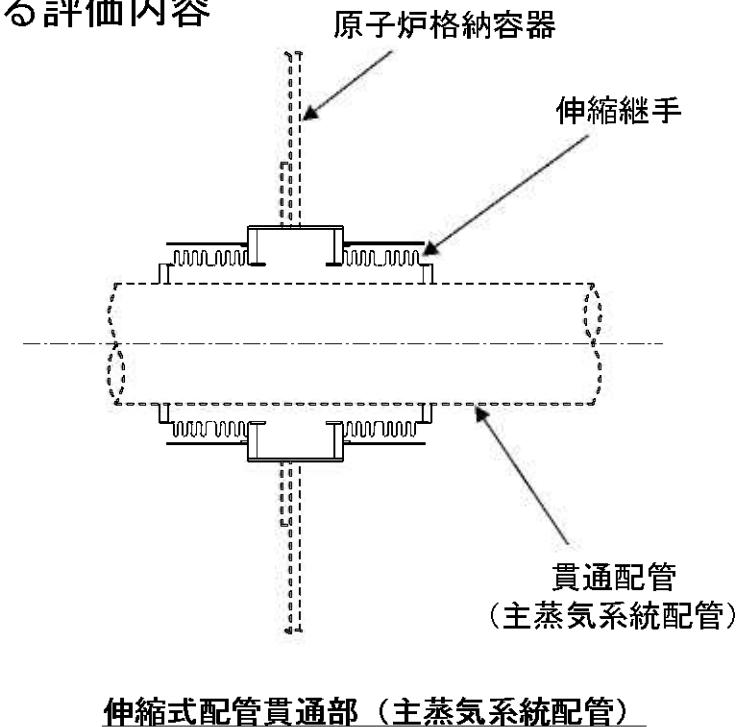
*3：工事計画を踏まえ反映が必要な機器・経年劣化事象について評価を実施

1. 耐震安全性評価

(1) 伸縮式配管貫通部の劣化を考慮した耐震安全性評価

① 伸縮式配管貫通部（主蒸気系統）の疲労割れに対する評価内容

| 項目 | 評価内容等 |
|-----------------|--|
| 想定される 経年劣化事象 | 疲労割れ |
| 想定部位 | 伸縮式配管貫通部 |
| 技術評価結果 | 運転開始後 60 年時点における疲労評価の結果、許容値に対し余裕のある結果を得ている。 |
| 耐震評価内容 | 運転開始後 60 年間の通常運転における疲労を考慮した耐震安全性評価を実施。 〔「通常運転時 UF*」 + 「地震時 UF*」〕 * UF : 疲労累積係数 |



② 評価結果

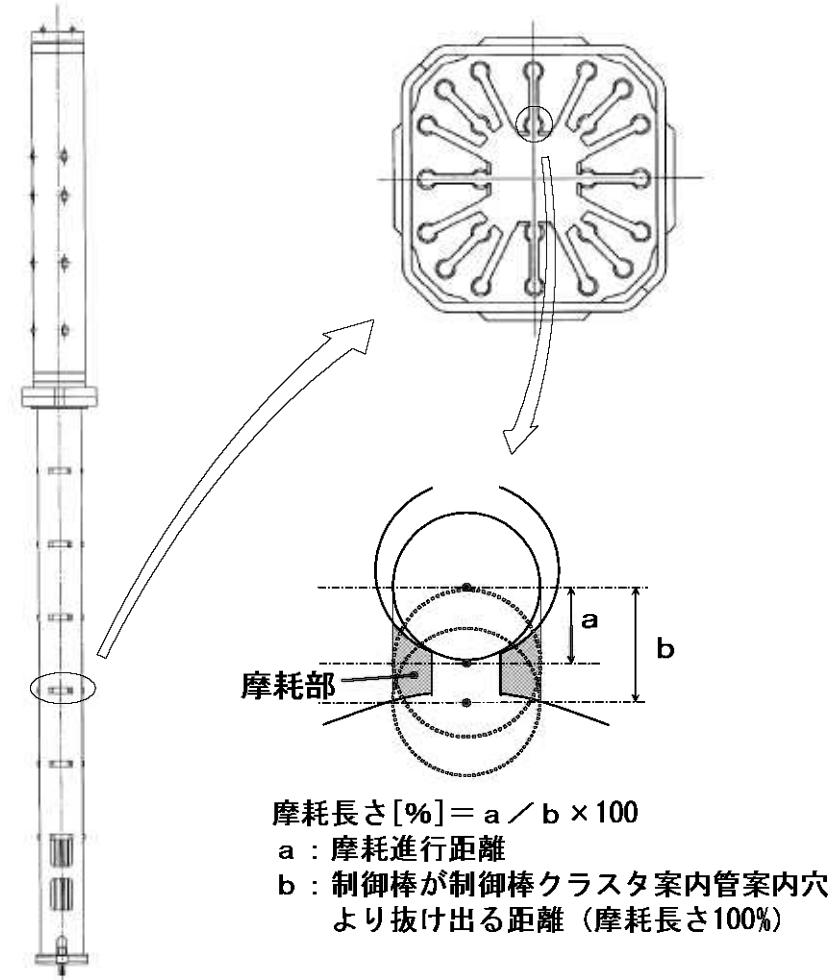
| 評価地震動 | Ss-1 | Ss-2 |
|----------------------|-------|-------|
| 疲労累積係数 (許容値 1 以下) | 通常運転時 | 0.020 |
| | 地震時 | 0.944 |
| | 合計 | 0.964 |
| 0.020 | 0.020 | 0.582 |
| | 0.602 | |

1. 耐震安全性評価

(2) 炉内構造物の劣化を考慮した耐震安全性評価

① 制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗に対する評価内容

| 項目 | 評価内容等 |
|-------------|---|
| 想定される経年劣化事象 | 摩耗 |
| 想定部位 | 制御棒クラスタ案内管（案内板） |
| 技術評価結果 | 摩耗データを採取しており、摩耗が急激に進展する可能性は小さい。 |
| 耐震評価内容 | 保守的に制御棒被覆管の一部が100%摩耗すると仮定し、制御棒クラスタ案内管（案内板）が管理摩耗長さ（摩耗長さ68%）に至るまでの摩耗過程で最大となる抗力を仮定した制御棒挿入性評価を実施。 |



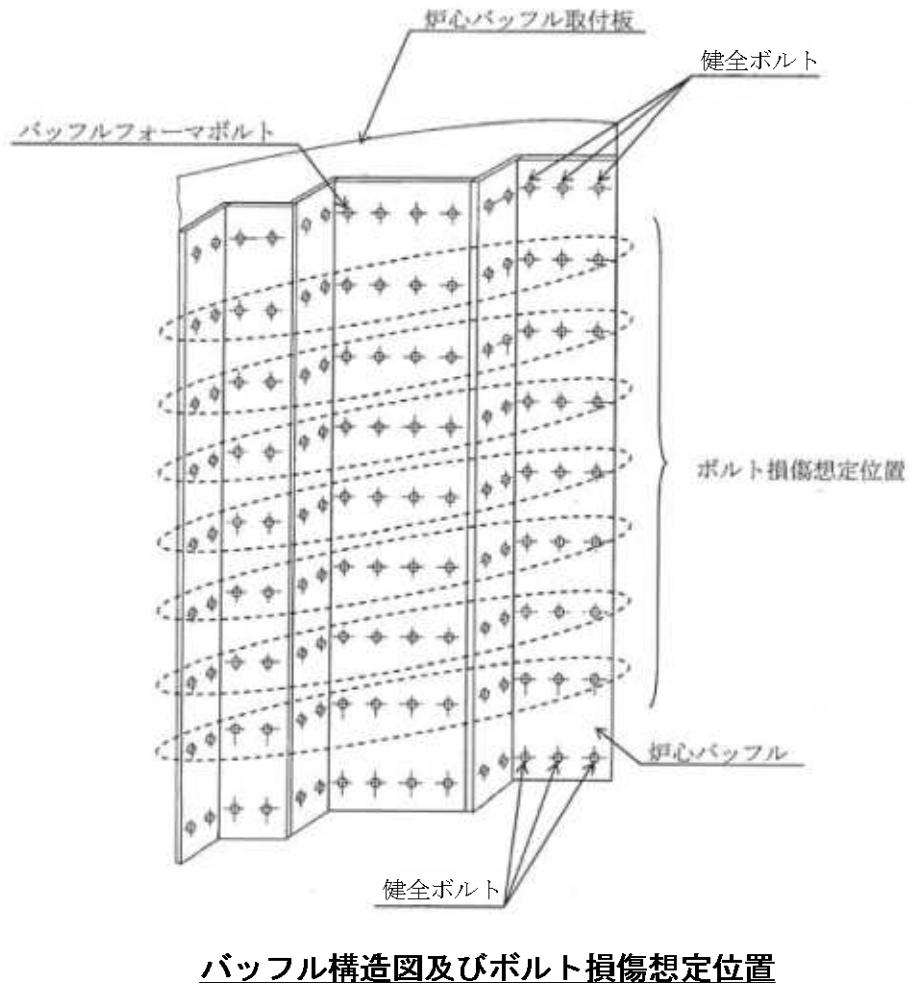
制御棒クラスタ案内管（案内板）摩耗

1. 耐震安全性評価

(2) 炉内構造物の劣化を考慮した耐震安全性評価

② バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れに対する評価内容

| 項目 | 評価内容等 |
|-----------------|--|
| 想定される 経年劣化事象 | 照射誘起型応力腐食割れ |
| 想定部位 | バッフルフォーマボルト |
| 技術評価 結果 | 運転開始後60年時点までに損傷 が発生する可能性は小さい。 |
| 耐震評価 内容 | 右図に示すとおり、最上段と再 下段のバッフルフォーマボルト のみが健全な場合（全ボルトの 7/9が損傷）を仮定した制御棒挿 入性評価を実施。 |



1. 耐震安全性評価

(2) 炉内構造物の劣化を考慮した耐震安全性評価

③ 評価結果

| | | 挿入時間*1 | | 規定時間 |
|--|------------|--------|--------------|------|
| | | 申請時の評価 | 工事計画を反映した評価 | |
| 評価条件 | 評価地震動 | Ss-1のみ | Ss-1及びSs-2*2 | 2.2秒 |
| | 燃料集合体の照射条件 | 未照射条件 | 照射後条件 | |
| | 評価手法 | 静的手法のみ | 静的+時刻歴手法 | |
| 地震時挿入時間 | | 1.86秒 | 1.73秒 | |
| 制御棒クラスタ案内管 (案内板) 及び被覆管 の摩耗を考慮した 地震時挿入時間 | | 1.86秒 | 1.74秒 | |
| バッフルフォーマボルトの 照射誘起型応力腐食割れ を考慮した地震時挿入時間 | | 2.02秒 | 1.82秒 | |

*1：各時間は落下開始から制御棒が全ストロークの85%に至るまでの時間

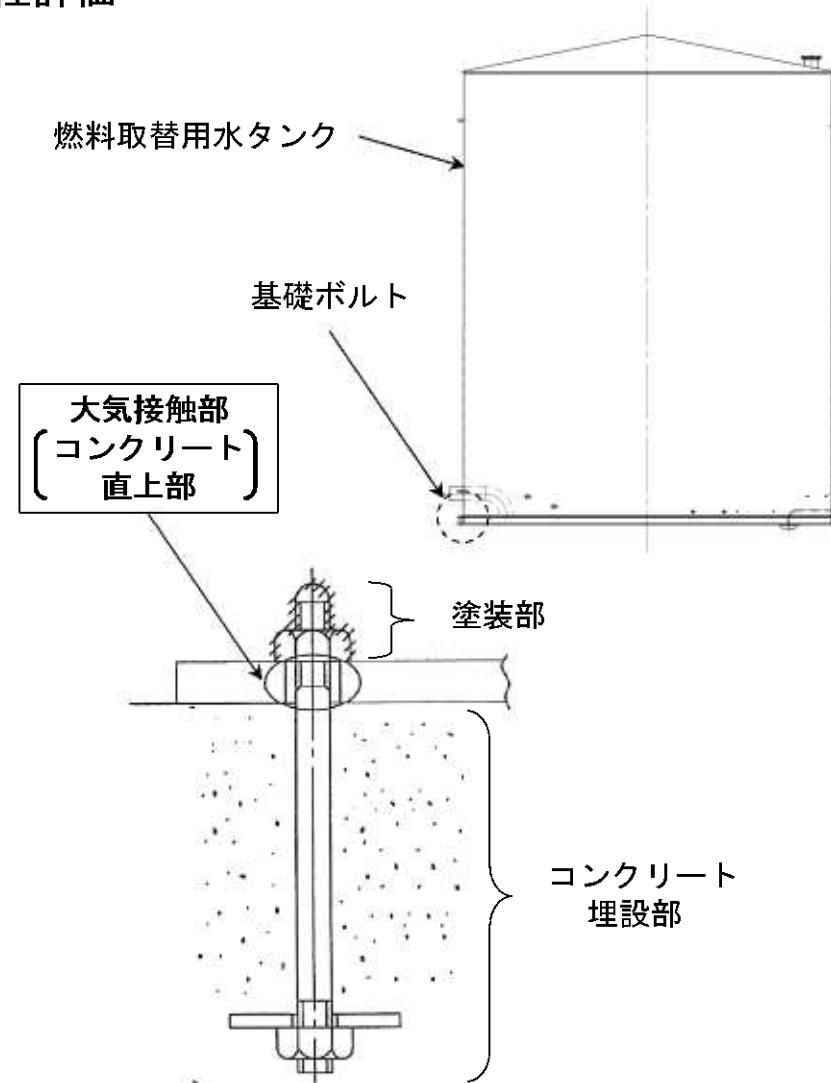
*2：制御棒挿入性評価が厳しいSs-2による評価

1. 耐震安全性評価

(3) 燃料取替用水タンクの劣化を考慮した耐震安全性評価

① 評価内容

| 項目 | 評価内容等 |
|-----------------|--|
| 想定される 経年劣化事象 | 腐食 |
| 想定部位 | 基礎ボルト (コンクリート直上部) |
| 技術評価 結果 | コンクリート直上部の腐食については、発生の可能性は否定できないが、実機サンプリング結果より急激に進行する可能性は小さい。 |
| 耐震評価 内容 | 暴露試験結果（普通鋼に対する海岸地帯のデータ）をもとに算出した運転開始後60年時点での腐食量を仮定した耐震安全性評価を実施。 |



基礎ボルトの腐食が想定される部位

1. 耐震安全性評価

(3) 燃料取替用水タンクの劣化を考慮した耐震安全性評価

② 評価結果

| 評価地震動 | Ss-1 | | Ss-1, Ss-2包絡 | |
|--------------|--------------------|-------|----------------------|-------|
| | 水平1方向+鉛直方向地震動による評価 | | 水平2方向+鉛直方向地震動による影響評価 | |
| 評価応力 | 引張応力 | せん断応力 | 引張応力 | せん断応力 |
| 発生値 (MPa) | | | | |
| 許容値 (MPa) | | | | |
| 応力比 | 0.50 | 0.55 | 0.90 | 0.75 |

*1：せん断応力と引張応力の組合せを考慮した許容値



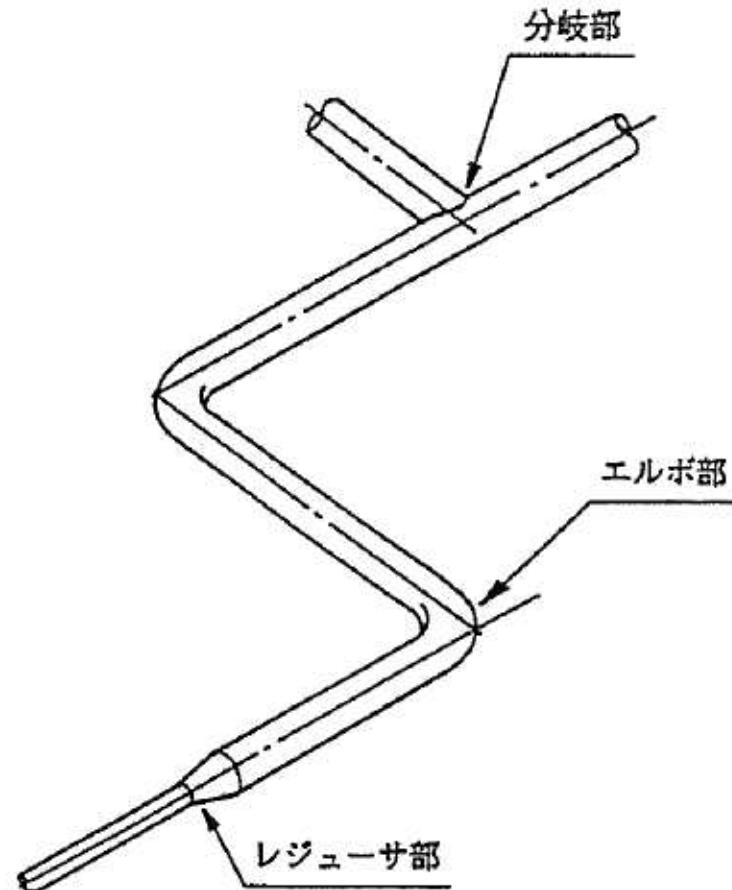
内は商業機密に属しますので公開できません

1. 耐震安全性評価

(4) 主蒸気及び主給水系統配管の劣化を考慮した耐震安全性評価

① 評価内容

| 項目 | 評価内容等 |
|-----------------|--|
| 想定される 経年劣化事象 | 流れ加速型腐食 |
| 想定部位 | エルボ部、分岐部、 レジューサ部等 |
| 技術評価 結果 | JSME規格を反映した配管肉厚管 理要領書に基づき配管減肉の管 理を実施していくことで健全性 は維持できる。 |
| 耐震評価 内容 | エルボ部、分岐部、レジューサ 部等の偏流発生部位及びその下 流部に周方向及び軸方向に一様 減肉を仮定した耐震安全性評価 を実施。 |



流れ加速型腐食が想定される代表的な部位

1. 耐震安全性評価

(4) 主蒸気及び主給水系統配管の劣化を考慮した耐震安全性評価

② 評価結果

| 評価地震動 | | Ss-1 | | | Ss-2 | | |
|--|--------------|------------|---------------|------------|------------|---------------|------------|
| 評価項目 | | 一次応力 評価 | 一次+二次 応力評価 | 疲労 累積係数 | 一次応力 評価 | 一次+二次 応力評価 | 疲労 累積係数 |
| 主蒸気系統配管 〔必要最小板厚〕 による評価値 | 発生値 (MPa) | | | | 0.881 | | |
| | 許容値 (MPa) | | | | | | |
| | 応力比 | 0.71 | 1.47 | | 0.50 | 1.07 | 0.477 |
| 主給水系統配管 〔実測データに基づく予測板厚〕 ^{*1} による評価値 | 発生値 (MPa) | | | | 0.858 | | |
| | 許容値 (MPa) | | | | | | |
| | 応力比 | 0.44 | 1.55 | | 0.29 | 1.62 | 0.991 |

*1：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を長期保守管理方針としている。



内は商業機密に属しますので公開できません

1. 耐震安全性評価

1.4 その他の評価について

その他の機器・経年劣化事象の組合せに対する評価についても、耐震安全性に問題のないことを確認した。

1.5 耐震安全性評価のまとめ

以上のとおり、経年劣化事象を考慮した場合であってもプラントの耐震安全性に問題のないことを確認したが、以下の2点については、長期保守管理方針として、今後、継続して評価を実施する。

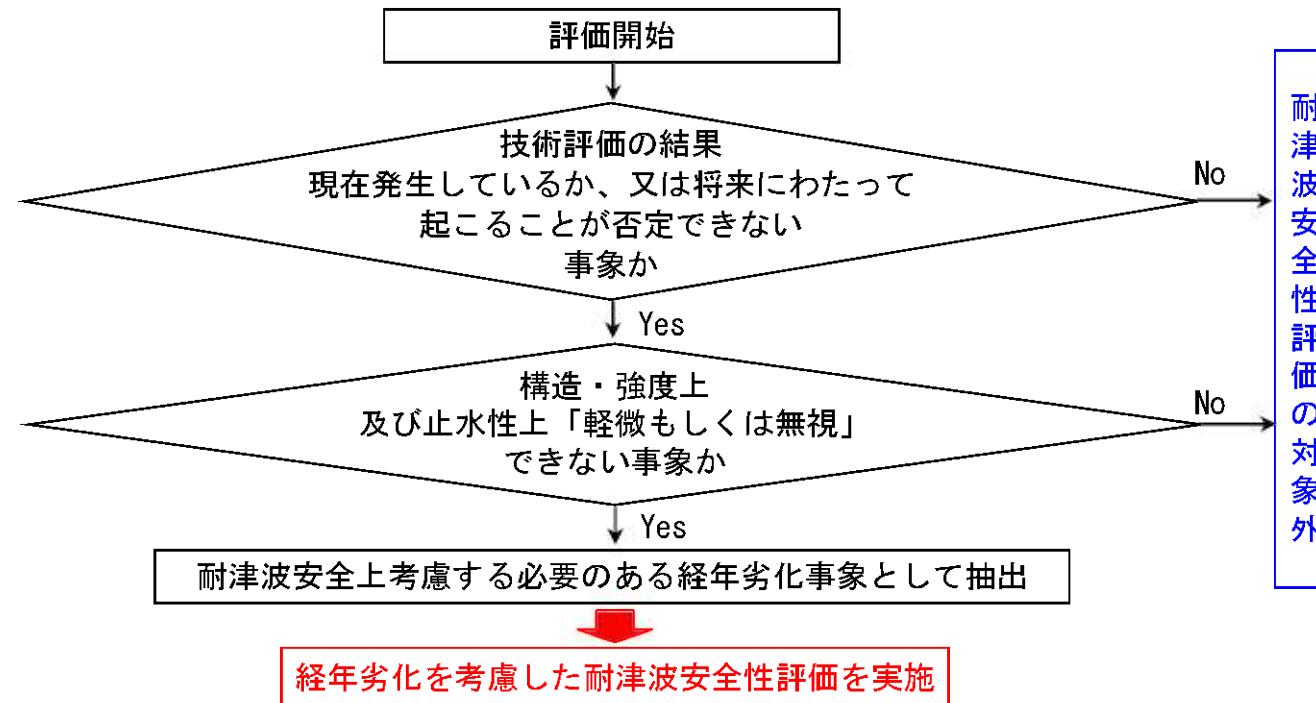
| No. | 内 容 | 実施時期 |
|-----|---|-------------------|
| 1 | <p>肉厚計測による実測データに基づき耐震安全性評価を実施した炭素鋼配管*の腐食（流れ加速型腐食）については、運転開始後40年時点における予測肉厚による耐震安全性は確認できているが、今後の実測データを反映した耐震安全性評価を実施する。なお、設備対策を行った場合、その内容も反映した耐震安全性評価を実施する。</p> <p>* : 主給水系統配管、補助蒸気系統配管</p> | 中長期 〔評価開始は短期〕 |
| 2 | 基準地震動Ss-1による評価及び評価が厳しいと考えられる機器・経年劣化事象に対する基準地震動Ss-2による評価を実施し、耐震安全性を確認しているが、基準地震動Ss-2による評価が必要な全ての機器・経年劣化事象について、継続して評価を実施する。 | 短期 〔平成28年7月まで〕 |

2. 耐津波安全性評価

2.1 高経年化技術評価における耐津波安全性評価

(1) 評価フロー

津波の影響を受ける浸水防護施設に対し、耐津波安全性に影響を及ぼす可能性がある経年劣化事象を抽出し、経年劣化を考慮した耐津波安全性評価を実施している。
評価フローを以下に示す。



2. 耐津波安全性評価

(2) 津波の影響を受ける浸水防護施設に想定される経年劣化事象

津波の影響を受ける浸水防護施設に想定される経年劣化事象を下表に示す。
なお、前頁の評価フローに従い抽出された耐津波安全上考慮する必要のある経年劣化事象は取水ピット水位計の基礎ボルトの腐食のみである。

| 津波の影響を受ける 浸水防護施設 | | 想定される経年劣化事象 | |
|---------------------|-------------|-------------|----------|
| | | 強度低下（腐食） | 腐食 |
| 津波防護施設 | 海水ポンプエリア防護壁 | ○（鉄骨構造物） | — |
| | 貯留堰 | — | — |
| 浸水防止設備 | 海水ポンプエリア水密扉 | ○（鉄骨構造物） | — |
| | 原子炉補助建屋水密扉 | ○（鉄骨構造物） | — |
| | 床ドレンライン逆止弁 | — | — |
| 津波監視設備 | 取水ピット水位計 | — | ◎（基礎ボルト） |

◎：耐津波安全上考慮する必要のある経年劣化事象

○：経年劣化は想定されるが、耐津波安全性に影響しない事象

2. 耐津波安全性評価

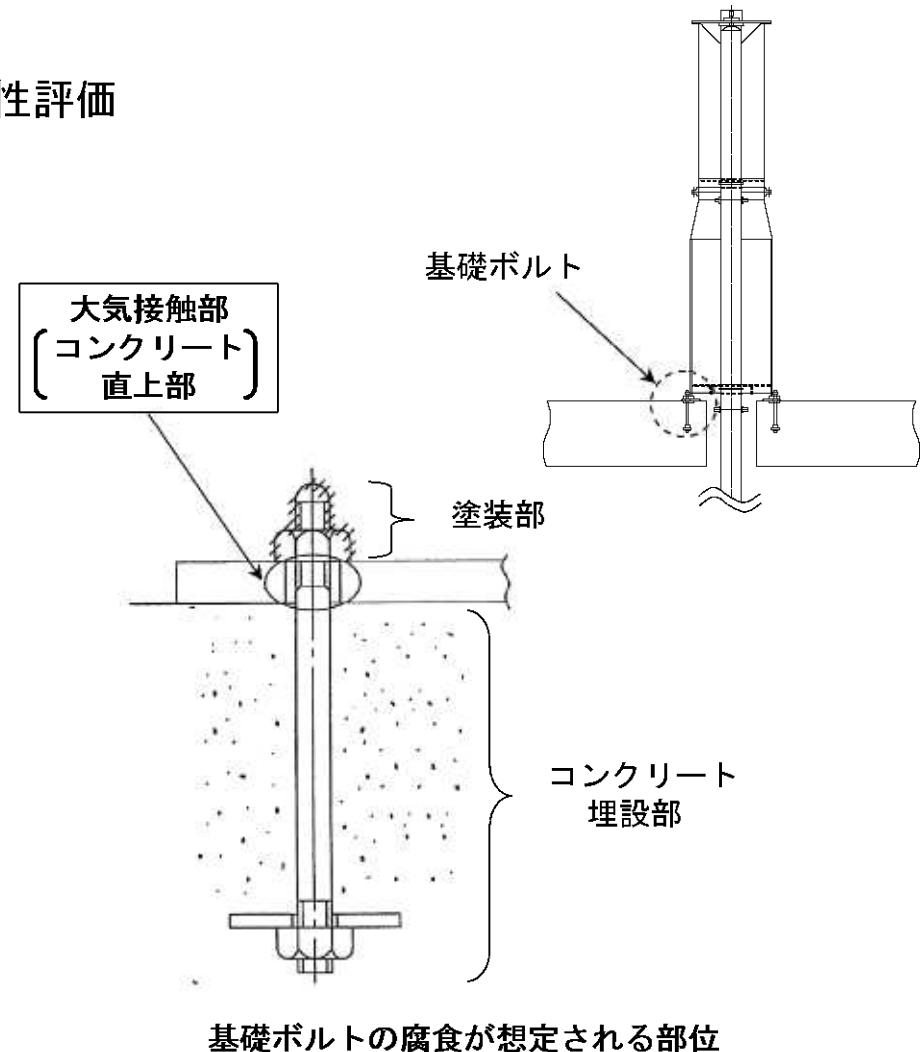
2.2 耐津波評価結果

経年劣化を考慮した具体的な耐津波安全性評価を実施している取水ピット水位計（基礎ボルトの腐食）の評価結果について説明する。

(1) 取水ピット水位計の劣化を考慮した耐津波安全性評価

① 評価内容

| 項目 | 評価内容等 |
|-----------------|---|
| 想定される 経年劣化事象 | 腐食 |
| 想定部位 | 基礎ボルト (コンクリート直上部) |
| 技術評価 結果 | コンクリート直上部の腐食については、発生の可能性は否定できないが、実機サンプリング結果より急激に進行する可能性は小さい。 |
| 耐津波評価 内容 | 暴露試験結果（普通鋼に対する海岸地帯のデータ）をもとに算出した運転開始後60年時点での腐食量を仮定した耐津波安全性評価を実施。 |



2. 耐津波安全性評価

(1) 取水ピット水位計の劣化を考慮した耐津波安全性評価

② 評価結果

| 評価条件 | 評価応力 | 発生値 (MPa) | 許容値 (MPa) | 応力比 |
|--------------------------------|-------|--------------|--------------|------|
| 津波時 〔基準津波による 波力等を考慮〕 | 引張応力 | | | 0.34 |
| | せん断応力 | | | 0.17 |

*1：せん断応力と引張応力の組合せを考慮した許容値

2.3 耐津波安全性評価のまとめ

以上のとおり、経年劣化事象を考慮した場合であってもプラントの耐津波安全性に問題のないことを確認した。



内は商業機密に属しますので公開できません