

高浜発電所3、4号炉 高経年化技術評価 (耐震・耐津波安全性評価)

平成27年10月5日
関西電力株式会社

目次

1. 耐震安全性評価	2
1.1 耐震安全性評価の目的	2
1.2 評価対象機器	2
1.3 耐震安全性評価の評価手順	3
1.4 耐震安全性評価の概要	6
1.5 新規制基準適合性審査を踏まえた耐震安全性評価	8
1.6 新規制基準適合性審査における評価手法の反映について	11
1.7 耐震安全性評価結果	15
2. 耐津波安全性評価	27
2.1 耐津波安全性評価の評価手順	27
2.2 耐津波安全性評価結果	30
2.3 耐津波安全性評価のまとめ	30

1. 耐震安全性評価

1. 1 耐震安全性評価の目的

高経年化技術評価において、機器の材質や環境条件等を考慮し、発生し得る経年劣化事象に対して、適切な保全対策を行うことにより経年劣化を管理し得るかについて評価した結果、保全対策を講じることによっても管理できない経年劣化事象は抽出されていない。

したがって、地震時の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を保全対策により適切に管理することで、安全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、経年劣化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(以下、「技術評価」という。)の中で耐震安全性の評価を実施するものである。

1. 2 評価対象機器

評価対象機器は、高経年化対策に関する各機器・構造物の技術評価における評価対象機器と同じとする。

(重要度分類審査指針クラス1、2および最高使用温度が95℃を超える、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器(浸水防護施設を含む)、並びに常設重大事故等対処設備に属する機器・構築物)

耐震安全性評価の評価手順 (1/3)

1.3 耐震安全性評価の評価手順

1.3.1 評価手順

(1) 代表機器の選定

「技術評価」における代表機器を耐震安全性評価の代表機器として選定する。
「技術評価」で行った機器のグループ化において、同一グループ内に「技術評価」の代表機器より耐震重要度上位の機器が存在する場合は、これも代表機器として評価。

(2) 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出

想定される経年劣化事象が顕在化した場合、代表機器の振動応答特性、または構造・強度上、影響が「有意」なものを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。

(3) 経年劣化事象に対する耐震安全性評価

経年劣化事象ごとに、「原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-1987)」等に準じて耐震安全性評価を実施。以下は評価の基本項目。

- | | |
|------------------------|--------------------|
| ①機器の耐震重要度 | ④振動特性解析(地震応答解析) |
| ②機器に作用する地震力の算定 | ⑤地震荷重と内圧等他の荷重との組合せ |
| ③60年供用を仮定した経年劣化事象のモデル化 | ⑥許容限界との比較 |

(4) 評価対象機器全体への展開

代表機器の評価結果を基に評価対象機器全体に対して同様の評価が可能であるかを検討。同様と見なせないものは、耐震安全性評価を実施。

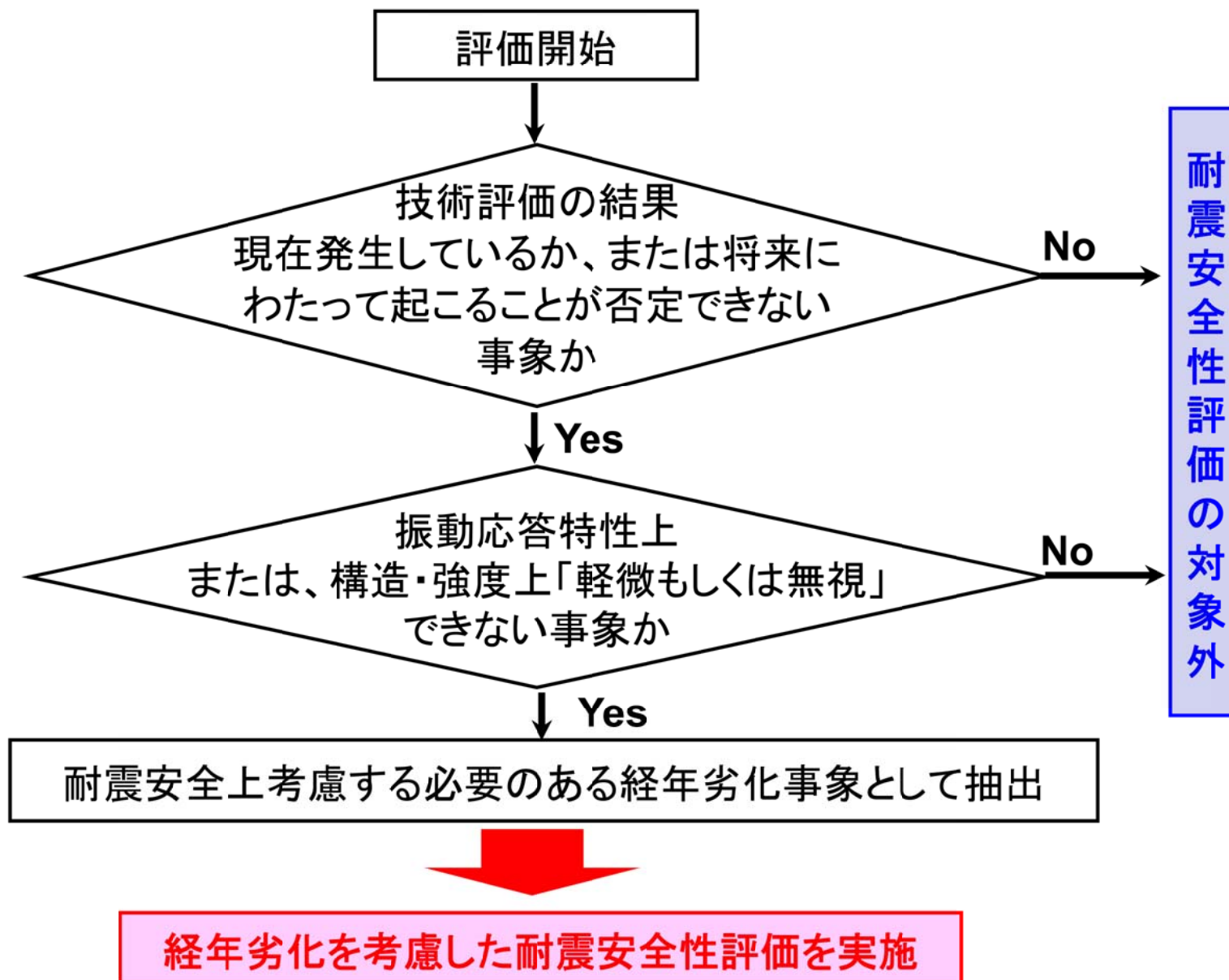
(5) 経年劣化事象に対する動的機能維持評価

経年劣化事象を考慮しても、地震時に動的機能が要求される機器の地震時の応答加速度が各機器の機能確認済加速度以下であるかを評価。

(6) 保全対策に反映すべき項目の抽出

耐震安全性評価の評価手順 (2/3)

1.3.2 耐震安全性上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出



1.3.3 評価用地震力

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

耐震重要度	評価用地震力
Sクラス※1	基準地震動 S_s により定まる地震力
	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力と静的地震力の大きい方（弾性設計用地震力）
Bクラス	Bクラス機器に適用される静的地震力 支持構造物の振動と共振のおそれがあるものについては、「弾性設計用地震動 S_d による定まる地震力」の1/2についても考慮する。
Cクラス	Cクラス機器に適用される静的地震力

※1: 耐震Sクラスへ波及的影響を及ぼす可能性のあるBクラス、Cクラスを含む。

耐震安全性評価の概要 (2/2)

1.4.2 経年劣化事象ごとの耐震安全性評価の内容

技術評価の結果から経年劣化を保守的に想定したうえ、耐震安全性評価※を行う。

経年劣化事象	耐震安全性評価の内容
疲労割れ (配管、弁、原子炉容器等)	通常運転時および地震時の疲労累積係数の合計が許容値の1を上回らないことを確認する。
	配管の高サイクル熱疲労割れについては、耐震評価のための保守的なき裂を想定し、当該部位における地震時の発生応力を算出してき裂安定限界応力を上回らないことを確認する。
中性子照射脆化 (原子炉容器胴部)	想定き裂に対し、加圧熱衝撃事象に地震を考慮した応力拡大係数を算出し、中性子照射を受けた材料の破壊靱性値を上回らないことを確認する。
中性子照射による靱性低下 (炉心そう)	想定き裂に対し、地震時の当該部位における応力拡大係数が、中性子照射を受けた材料の破壊靱性値を上回らないことを確認する。
中性子およびガンマ線照射脆化 (原子炉容器サポート)	想定き裂に対し、地震時の当該部位における応力拡大係数が、中性子等の照射を受けた材料の破壊靱性値を上回らないことを確認する。
熱時効 (1次冷却材管等)	想定き裂に対し、当該部位における地震時のき裂進展力を算出し、熱時効を考慮した材料のき裂進展抵抗値を上回らないことを確認する。
応力腐食割れ (廃液蒸発装置)	耐震評価のための保守的なき裂を想定し、当該部位における地震時の発生応力を算出してき裂安定限界応力を上回らないことを確認する。
照射誘起型応力腐食割れ (バフルフォーマボルト)	9段のうち2段目～8段目のバフルフォーマボルト(全体の7/9)が折損したと仮定して、残るバフルフォーマボルトに生じる地震時の発生応力を算出し、許容値を上回らないことを確認する。
摩耗 (制御棒クラスタ案内管等)	制御棒クラスタ案内管および被覆管については、保全活動の範囲内で発生する可能性のある摩耗量を仮定して、地震時の制御棒挿入時間が許容値以下であることを確認する。
	重機器支持構造物については、ヒンジ摺動部に摩耗を仮定して、当該部位における地震時の発生応力を算出し、許容応力を上回らないことを確認する。
全面腐食 (基礎ボルト等)	想定される最大の腐食減肉を仮定して、地震時の発生応力を算出し、許容応力を上まわらないことを確認する。
流れ加速型腐食 (配管、熱交換器等)	保全活動の範囲内で発生する可能性のある減肉を仮定して、地震時の発生応力を算出し、許容応力を上まわらないこと、または、疲労累積係数が許容値の1を上まわらないことを確認する。

※「原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-1987)」等に準じて評価を実施

新規制基準適合性審査を踏まえた耐震安全性評価 (1/3)

1.5 新規制基準適合性審査を踏まえた耐震安全性評価

1.5.1 高経年化技術評価の補正申請スケジュール

	当初申請 3号炉(H26年1月15日) 4号炉(H26年6月3日)	補正申請 3号炉(H27年10月2日) 4号炉(H27年10月2日)
評価 地震力	Ss(BC)基準地震動* (*耐震バックチェックで用いた基準地震動) H25.7当初の設置変更許可申請の地震動(水平最大加速度550cm/s ² ベース)により評価実施	Ss基準地震動 新基準適合の設置変更許可(H27.2.12許可)の基準地震動により評価を実施
評価 対象設備	新基準適合の対応設備(常設重大事故等対処設備等)については、H25.7申請の設置変更許可申請(工事計画認可申請)に記載の設備を網羅した。	○新規制基準適合性に係る審査で追加となった設備を網羅 ・設置変更許可(3、4号炉:H27.2.12許可) ・工事計画(3号炉:H27.8.4認可、4号炉:H27.9.29補正) ○耐震補強を反映して評価

新規制基準適合の設置変更許可および工事計画認可(申請)を反映した耐震安全性評価を実施し、高経年化技術評価書を更新して、保安規定変更認可申請を補正。(★)

	平成25年	平成26年	平成27年
高経年化 技術評価		申請(3号炉:平成26年1月15日) ▼申請(4号炉:平成26年6月3日)	補正 ★ (平成27年10月2日)
新規制基準 適合性審査	設置変更許可申請 (平成25年7月8日) ▼ 基準地震動:Ss(BC)	基準地震動補正(平成26年10月31日) ▼ 基準地震動:Ss	▼設置変更許可(3、4号炉:平成27年2月12日) ▼工事計画認可 (3号炉:平成27年8月4日) ▼工事計画補正 (4号炉:平成27年9月29日補正)

新規制基準適合性審査を踏まえた耐震安全性評価 (2/3)

1.5.2 評価地震動

高浜3、4号炉の高経年化技術評価(3号炉:平成26年1月申請、4号炉:平成26年6月申請)における耐震安全性評価では、新規制基準適合性に係る設置変更許可申請(平成25年7月)の内容に基づき、当初申請時の基準地震動($S_s(BC)$:水平最大加速度 550 cm/s^2 、鉛直最大加速度 367 cm/s^2)に基づく経年劣化を考慮した耐震安全性評価を行った。その後、新規制基準適合性に係る審査において、応答スペクトルに基づく地震動評価結果による基準地震動(S_s-1 :水平最大加速度 700 cm/s^2 、鉛直最大加速度 467 cm/s^2)、断層モデルを用いた手法による地震動評価結果による基準地震動および震源を特定せず策定する基準地震動が決定されたことから、これらの地震動に基づく経年劣化を考慮した耐震安全性について評価を行う。

○震源を特定して策定する基準地震動

・応答スペクトルに基づく地震動評価結果による基準地震動

S_s-1 :設計用模擬地震波(水平最大加速度 700 cm/s^2 、鉛直最大加速度 467 cm/s^2)

・断層モデルを用いた手法による地震動評価結果による基準地震動(上端深さ3km断層波)

S_s-2 :FO-A~FO-B~熊川断層

S_s-3 :FO-A~FO-B~熊川断層

S_s-4 :FO-A~FO-B~熊川断層

S_s-5 :上林川断層

○震源を特定せず策定する基準地震動 (鳥取県西部地震、北海道留萌支庁南部地震)

$S_s-6(EW)$:鳥取県西部地震を考慮した地震動(賀祥ダム観測波(EW方向))

$S_s-6(NS)$:鳥取県西部地震を考慮した地震動(賀祥ダム観測波(NS方向))

S_s-7 :北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動

新規制基準適合性審査を踏まえた耐震安全性評価 (3/3)

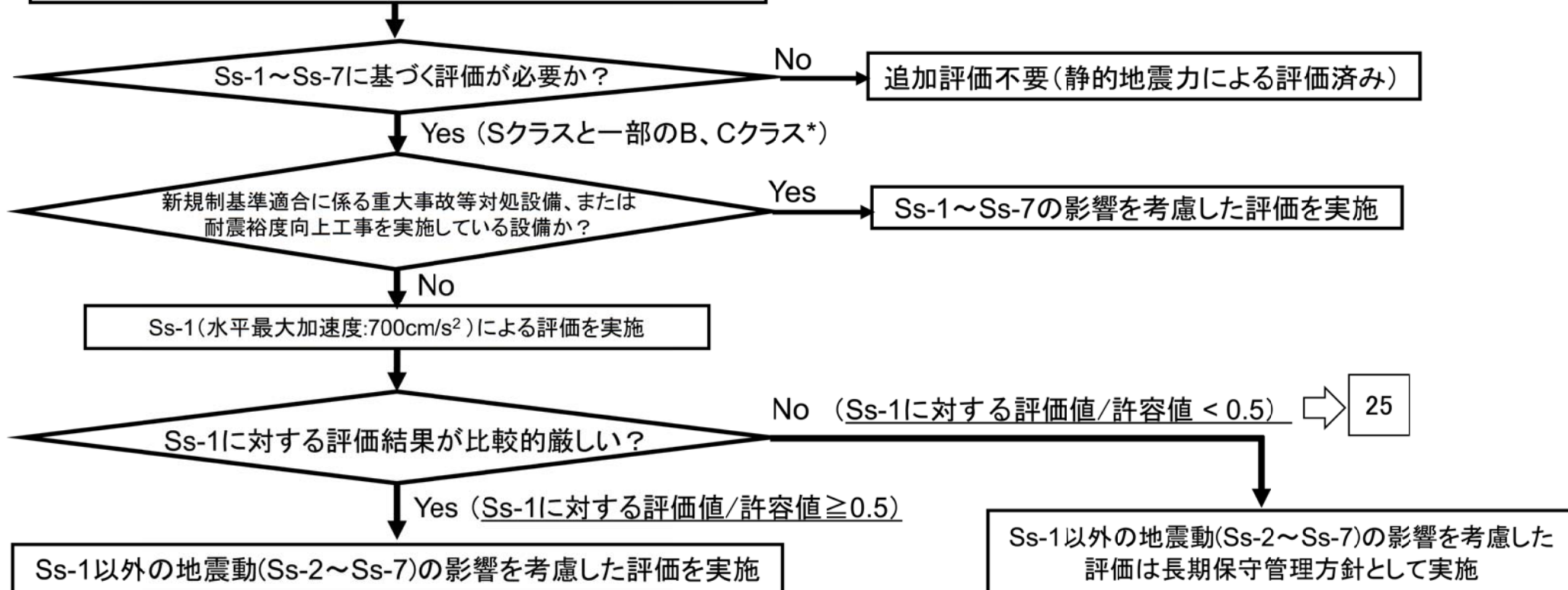
1.5.3 高浜3、4号炉における評価方針

- ・新規制基準に係る重大事故等対処設備とした設備、または耐震裕度向上工事により耐震評価に影響がある設備は、Ss-1～Ss-7の評価を実施。
- ・耐震安全性評価の全評価対象機器について、水平方向の最大加速度が最も大きな応答スペクトルに基づく基準地震動Ss-1(水平最大加速度700cm/s²)評価を実施。
- ・Ss-1に対する評価結果が比較的厳しい機器・経年劣化事象の組合せ(許容値に対する評価値の比が0.5以上のもの)に対しては、Ss-2～Ss-7の影響を考慮した評価を実施。
- ・その他は、長期保守管理方針としてSs-2～Ss-7の評価を実施。

耐震安全性評価の全評価対象

- ・重要度分類指針クラス1～3の機能を有する機器・構造物
- ・常設重大事故等対処設備に属する機器・構造物

*Sクラスへ波及的影響を及ぼす可能性のあるB、Cクラスおよび共振のおそれのあるBクラス。



1.6 新規制基準適合性審査における評価手法の反映について

新規制基準適合性審査(工認)の耐震評価における最新手法等が、高浜3、4号炉高経年化技術評価の耐震安全性評価へどのように反映されているか、状況を以下にまとめた。

1.6.1 最新手法等の反映について

項目	概要	工認評価における対象設備	高経年化技術評価(PLM)への反映	
			反映状況	説明
1	評価モデルの精緻化	蒸気発生器(伝熱管)	—	蒸気発生器管台(疲労割れ)の耐震評価等は実施しているが、伝熱管に耐震評価に影響する劣化事象なし
2	時刻歴解析の適用	原子炉容器、蒸気発生器、1次冷却材管等	○	原子炉容器(疲労割れ)の耐震評価等に反映
	クレーンの非線形耐震解析の適用(車輪のすべり条件を考慮評価)	格納容器ポーラクレーン	—	耐震評価に影響する劣化事象なし
	制御棒挿入性評価における時刻歴解析手法の適用	制御棒クラスタ	○	制御棒クラスタ案内管(摩耗)、バッフルフォーマボルト(照射誘起型応力腐食割れ)の耐震評価(制御棒挿入性評価)に反映

* 凡例 ○:反映有(既評価に反映済み)、◎:反映有(要補正)、—:反映不要

※1:工認においては新たな評価手法ではないが、PLM評価においては、新規制基準施行に伴う基準地震動による評価として新たに適用された手法となる。

1.6.1 最新手法等の反映について(続き)

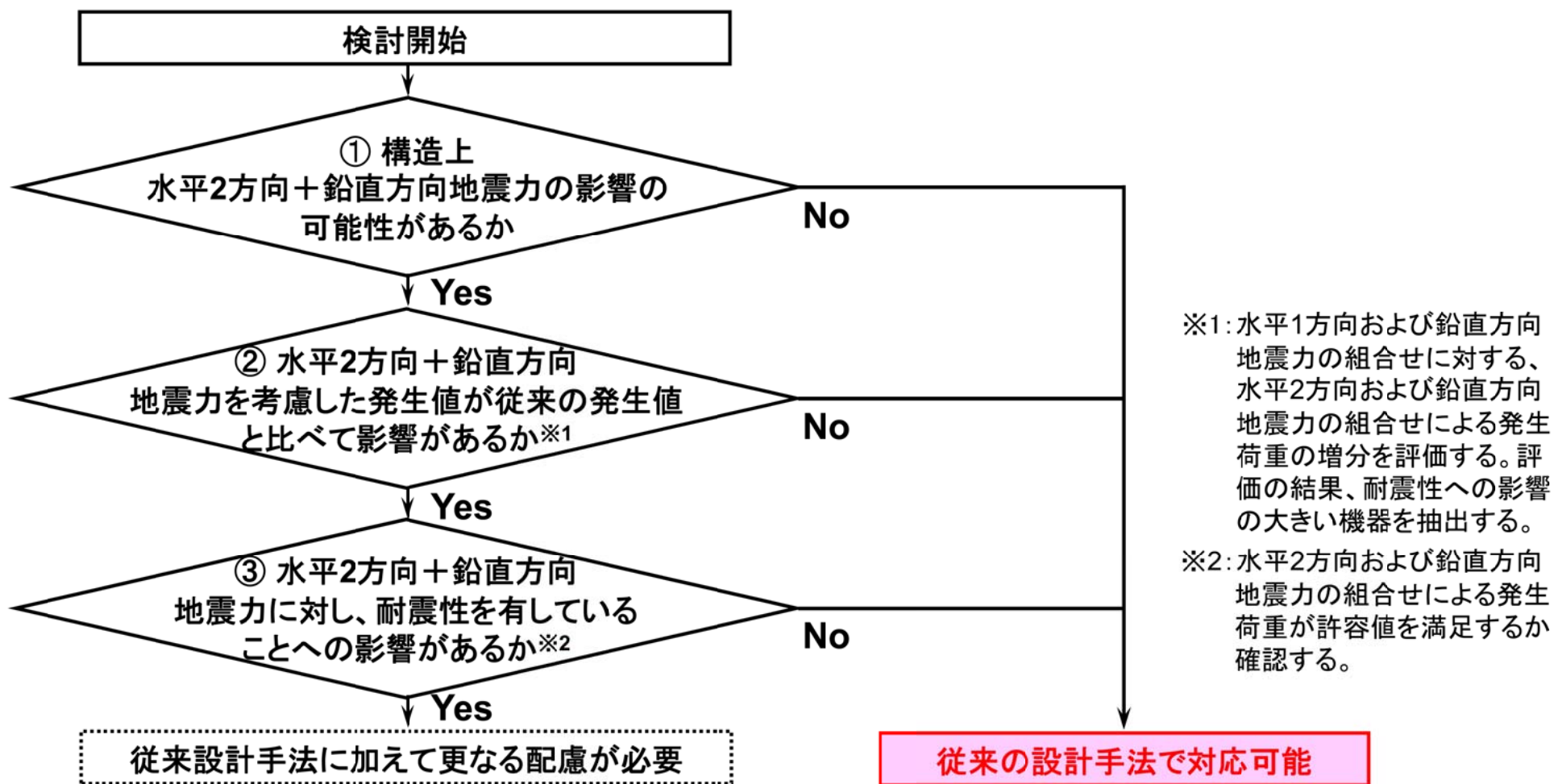
項目	概要	工認評価における対象設備	高経年化技術評価(PLM)への反映		
			反映状況	説明	
3	鉛直方向応答解析モデルを追加	鉛直動的地震動の導入に伴い、鉛直動的モデルを新たに採用	炉内構造物	○	炉内構造物(疲労割れ)の耐震評価に反映
4	照射の影響を考慮した耐震評価の適用	燃料集合体の耐震性について、照射の影響を考慮	燃料集合体 制御棒クラスタ	◎	制御棒クラスタ案内管(摩耗)、バッフルフォーマボルト(照射誘起型応力腐食割れ)の耐震評価(制御棒挿入性評価)に反映
5	最新知見として得られた減衰定数の採用	最新知見として得られた減衰定数の採用	配管 クレーン 蒸気発生器(伝熱管)	○	配管(疲労割れ)の耐震評価等に反映
6	水平2方向および鉛直方向地震の組合せについて	水平2方向および鉛直方向地震の組合せによる影響を確認【詳細は1.6.2参照】	原子炉容器サポート 燃料取替用水タンク 他	◎	原子炉容器サポート基礎ボルト(腐食)の耐震評価等に反映

* 凡例 ○:反映有(既評価に反映済み)、◎:反映有(要補正)、-:反映不要

上記のように新規制基準適合性審査(工認)の耐震評価における最新手法等は、高浜3、4号炉の高経年化技術評価における耐震安全性評価へ適切に反映される。

1.6.2 水平2方向および鉛直方向地震の組合わせについて

新規制基準適合性審査において、従来の設計手法における水平1方向および鉛直方向地震力を組合せた耐震計算に対して、設備の構造特性等により水平2方向および鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のある部位を抽出し、影響評価を行った結果、耐震性に影響がなく従来の設計手法で対応可能であることが確認されている。



水平2方向および鉛直方向の地震力を考慮した影響評価フロー

1.6.2 水平2方向および鉛直方向地震の組合わせについて(続き)

ここでは、高浜3、4号炉高経年化技術評価の耐震安全性評価においても、水平2方向および鉛直方向地震力の組合せによる影響を確認する。

具体的には、高経年化技術評価対象設備のうち、新規制基準適合性審査において、設備の構造特性等から水平2方向および鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性があり、**水平2方向+鉛直方向地震力の影響評価**(前頁の影響評価フロー③)が行われた部位であって、耐震評価に影響する劣化事象が想定される部位について、影響評価を行う。

評価対象部位	高経年化技術評価(PLM)への反映	
	反映状況	説明
蒸気発生器支持脚 ヒンジ摺動部	○	摩耗を考慮した耐震評価に対する影響評価が必要
海水ポンプ用電動機 軸受	—	耐震評価に影響する劣化事象なし
原子炉格納容器貫通部 スリーブ取付部	—	耐震評価に影響する劣化事象なし
1次冷却材管 (充てん管台)	○	疲労を考慮した耐震評価に対する影響評価が必要
1次冷却系統配管	—	耐震評価に影響する劣化事象なし
炉内構造物 制御棒クラスタ案内管	—	耐震評価に影響する劣化事象なし
炉心支持構造物 下部炉心支持柱	○	疲労を考慮した耐震評価に対する影響評価が必要
原子炉容器サポート 基礎ボルト	○	腐食を考慮した耐震評価に対する影響評価が必要
1次冷却材ポンプ ケーシングボルト	—	耐震評価に影響する劣化事象なし
燃料取替用水タンク 基礎ボルト	○	腐食を考慮した耐震評価に対する影響評価が必要
蓄圧タンク 基礎ボルト	○	腐食を考慮した耐震評価に対する影響評価が必要

* 凡例 ○:影響評価を実施、—:反映不要

耐震安全性評価結果

1.7 耐震安全性評価結果

1.7.1 審査会合における代表機器

基準地震動Ss-1による結果が厳しい等の理由で、基準地震動Ss-2～Ss-7に対する評価を実施している機器、工事計画における評価手法の反映した機器、長期保守管理方針策定に係る機器等の評価結果について説明する。

評価対象機器	Ss-1※1 評価	Ss-1～Ss-7※2 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2方向※3		
格納容器 (配管貫通部) 固定式配管貫通部 伸縮式配管貫通部	○	○ (固定式配管貫通部)	—	—	—	・固定式配管貫通部(余熱除去系統)および伸縮式配管貫通部(主給水系統等)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
燃料取替用水 タンク	○	○	—	○	—	・基礎ボルトの腐食
SGブローダウン配管	○	○	—	—	—	・エルボ部等の流れ加速型腐食
ドレン系統配管	— (Cクラス)	—	—	—	○	・エルボ部等の流れ加速型腐食

※1: 全ての耐震性に影響を与える可能性のある機器・経年劣化事象について評価を実施

※2: Ss-1評価の結果が比較的厳しい機器・経年劣化事象および新規規制基準に適合させるために実施した耐震裕度向上工事関係設備等の評価を実施

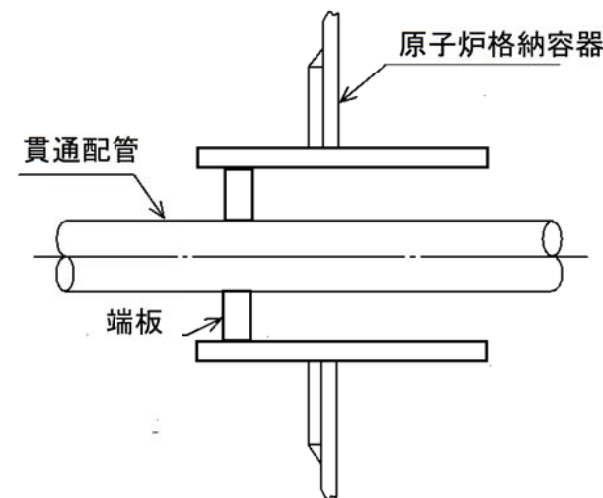
※3: 工事計画を踏まえ反映が必要な機器・経年劣化事象について評価を実施

耐震安全性評価結果

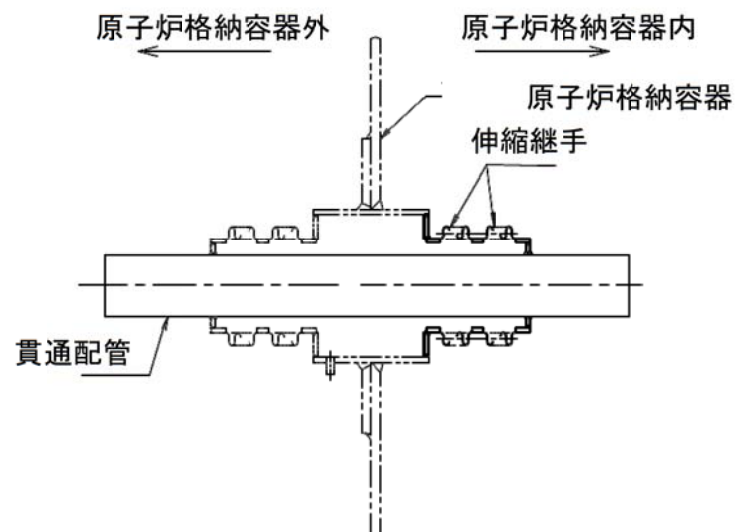
(1) 格納容器(配管貫通部)の劣化を考慮した耐震安全性評価

① 固定式配管貫通部／伸縮式配管貫通部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	固定式配管貫通部(端板) 伸縮式配管貫通部(伸縮継手)
技術評価内容	運転開始後60年時点における疲労評価(通常運転時の疲労累積係数による評価)の結果、疲労累積係数が1以下である結果を得ている。
耐震評価内容	運転開始後60年時点の通常運転における疲労を考慮した耐震安全性評価(通常運転時と地震時の疲労累積係数を足し合わせた評価)を実施。



固定式配管貫通部(余熱除去系統配管)



伸縮式配管貫通部(主給水系統配管)

耐震安全性評価結果

(1) 格納容器(配管貫通部)の劣化を考慮した耐震安全性評価

② 評価結果

3号炉

評価地震動		固定式配管貫通部		伸縮式配管貫通部	
		Ss(BC)	Ss Ss-1 (700Gal) + Ss-2~Ss-7	Ss(BC)	Ss Ss-1 (700Gal)
疲労累積係数 (許容値1)	通常運転時	0.001	0.001	0.203	0.203
	地震時	0.001	0.004	0.140	0.485
	合計	0.002	0.005	0.343	0.688

4号炉

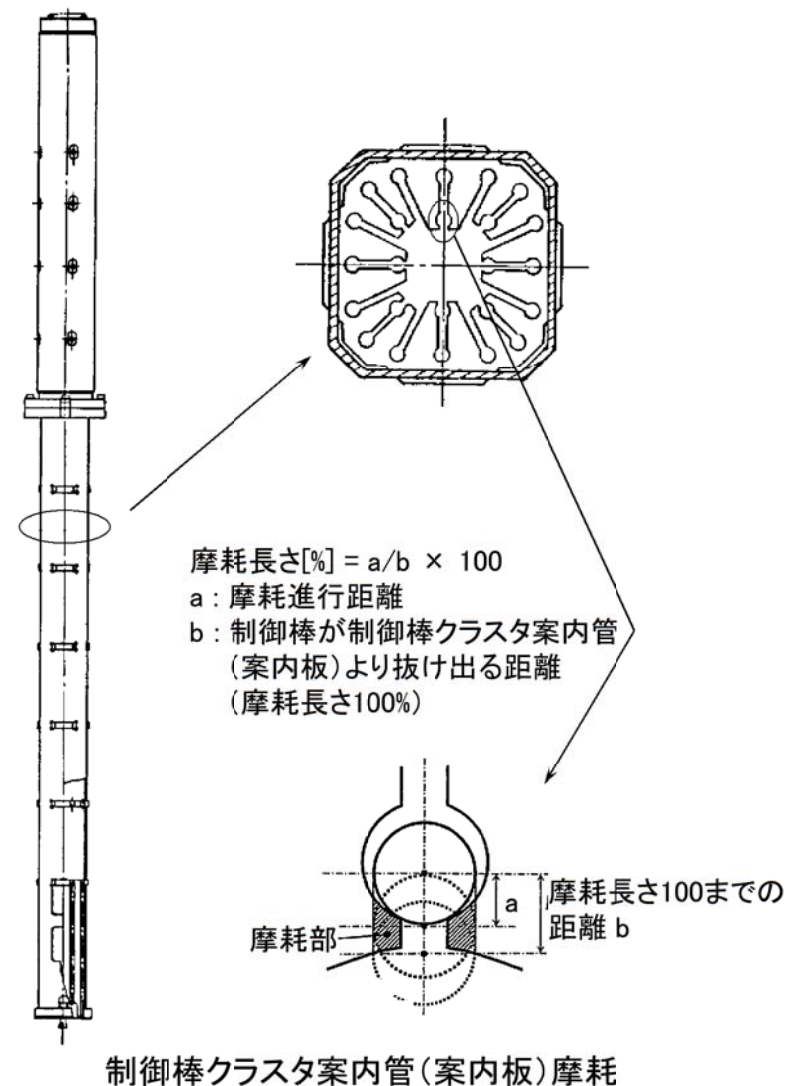
評価地震動		固定式配管貫通部		伸縮式配管貫通部	
		Ss(BC)	Ss Ss-1 (700Gal) + Ss-2~Ss-7	Ss(BC)	Ss Ss-1 (700Gal)
疲労累積係数 (許容値1)	通常運転時	0.001	0.001	0.385	0.385
	地震時	0.001	0.001	0.166	0.374
	合計	0.002	0.002	0.551	0.759

耐震安全性評価結果

(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)
技術評価内容	制御棒被覆管の摩耗減肉が認められており、長期的には制御棒クラスタ案内管(案内板)の摩耗が発生する可能性は否定できない。しかしながら摩耗が急激に進展することはない。摩耗が制御棒の案内機能へ与える影響については制御棒落下試験により検知可能である。
耐震評価内容	被覆管の摩耗については、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考慮した地震時の制御棒挿入性評価を実施



耐震安全性評価結果

(2) 炉内構造物の劣化を考慮した耐震安全性評価

② 評価結果

項目		挿入時間※1		規定時間※3
		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(BC)	Ss 〔Ss-1(700Gal) + Ss-2~Ss-7〕	2.2秒
	燃料集合体の照射条件	未照射条件	照射条件	
	評価手法	時刻歴手法	同左	
3号炉	地震時挿入時間	1.66秒	1.75秒※2 (Ss-1)	
	制御棒クラスタ案内管(案内板)および被覆管の摩耗を考慮した地震時挿入時間	1.66秒	1.75秒※2 (Ss-1)	
4号炉	地震時挿入時間	1.66秒	1.75秒※2 (Ss-1)	
	制御棒クラスタ案内管(案内板)および被覆管の摩耗を考慮した地震時挿入時間	1.66秒	1.75秒※2 (Ss-1)	

※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 : 挿入時間の下段のカッコ内は評価地震動を示す。

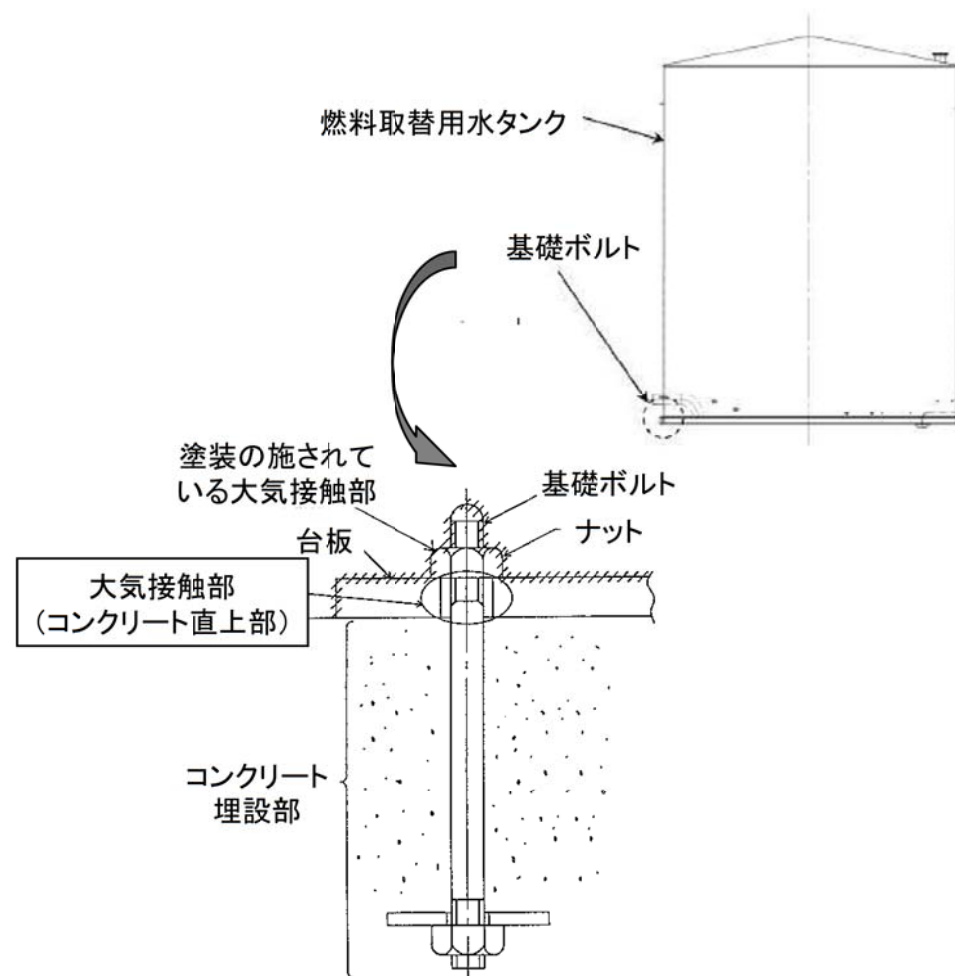
※3 : 設置許可申請書 添付10の値

耐震安全性評価結果

(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)
技術評価内容	コンクリート直上部の腐食は、塗装が施されておらず、また大気環境下であるため腐食による減肉が考えられる。しかしながら、巡視点検や定期検査時の試運転にて機器に異常な振動等がないことを点検することにより、支持機能に異常がないことを確認している。
耐震評価内容	基礎ボルトの腐食については、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(0.3mm)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

耐震安全性評価結果

(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

3号炉

評価地震動	Ss(BC)		Ss 〔Ss-1(700Gal) + Ss-2~Ss7〕			
	水平1方向+鉛直方向 地震動による評価		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 地震動による評価	
評価応力	引張応力	せん断応力	引張応力	せん断応力	引張応力	せん断応力
発生値 (MPa)	[Redacted]					
許容値 (MPa)						
応力比	0.44	0.35	0.53	0.39	0.68	0.56

4号炉

評価地震動	Ss(BC)		Ss 〔Ss-1(700Gal) + Ss-2~Ss7〕			
	水平1方向+鉛直方向 地震動による評価		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 地震動による評価	
評価応力	引張応力	せん断応力	引張応力	せん断応力	引張応力	せん断応力
発生値 (MPa)	[Redacted]					
許容値 (MPa)						
応力比	0.44	0.35	0.53	0.39	0.68	0.56

※1: せん断応力と引張応力の組合せを考慮した許容値

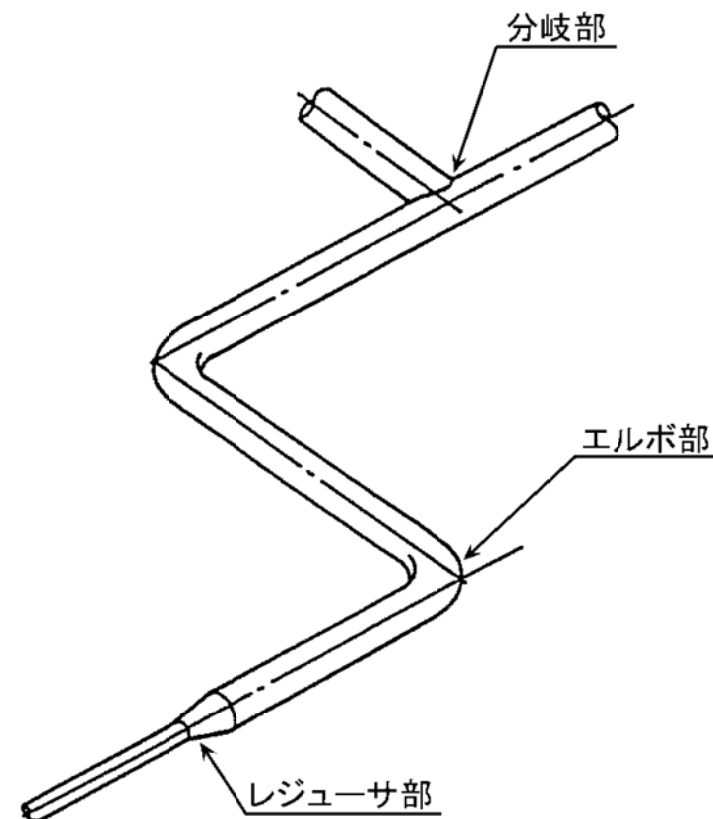
[Redacted] 内は商業機密に属しますので公開できません

耐震安全性評価結果

(4) 蒸気発生器ブローダウン系統配管およびドレン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
技術評価内容	高温水または2相流体を内包する炭素鋼配管では、エルボ部、分岐部、レジューサ部等の流れの乱れが起きる箇所、流れ加速型腐食により減肉が発生する可能性がある。しかしながら、超音波を用いた肉厚測定を実施し、減肉の管理を行っていくことで機器の健全性は維持できる。
耐震評価内容	炭素鋼配管の腐食については、エルボ部、分岐部、レジューサ部等の偏流発生部位およびその下流部に周方向およ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

耐震安全性評価結果

(4) 蒸気発生器ブローダウン系統配管およびドレン系統配管の劣化を考慮した耐震安全性評価

② 評価結果(蒸気発生器ブローダウン系統配管)

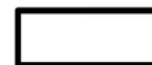
3号炉

評価地震動	Ss(BC)			Ss 〔 Ss-1(700Gal) 〕			Ss 〔 Ss-1(700Gal) + Ss-2~Ss7 〕		
	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	一次応力 評価	一次+二次 応力評価	疲労累積 係数
発生値※1(MPa)	□		0.574	□		0.922	□		0.922
許容値(MPa)									
応力比	0.40	1.03		0.28	1.17		0.30	1.17	

4号炉

評価地震動	Ss(BC)			Ss 〔 Ss-1(700Gal) 〕			Ss 〔 Ss-1(700Gal) + Ss-2~Ss7 〕		
	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	一次応力 評価	一次+二次 応力評価	疲労累積 係数
発生値※1(MPa)	□		0.877	□		0.909	□		0.909
許容値(MPa)									
応力比	0.34	1.14		0.26	1.16		0.27	1.16	

※1: 必要最小肉厚による評価値



内は商業機密に属しますので公開できません

耐震安全性評価結果

(4) 蒸気発生器ブローダウン系統配管およびドレン系統配管の劣化を考慮した耐震安全性評価

③ 評価結果 (ドレン系統配管)

3号炉

評価地震力	耐震Cクラス 静的地震力
評価項目	応力評価
発生値※1 (MPa)	□
許容値 (MPa)	
応力比	0.97

4号炉

評価地震力	耐震Cクラス 静的地震力
評価項目	応力評価
発生値※1 (MPa)	□
許容値 (MPa)	
応力比	0.93

全ての管理対象箇所(減肉の発生し得る、エルボ、レジューサ、分岐、および弁下流部)に対して実測データに基づく10年後の予想肉厚まで周軸方向に一様減肉した状態を想定し、耐震安全性評価を実施して、問題ないことを確認。

さらなる安全性向上のため、ドレン系統配管の一部については、耐震性が確認できる限界肉厚に到達するまでに、サポート改造等の設備対策工事を行う。また、これを反映し必要最小肉厚までの減肉を想定した耐震安全性評価を実施する。



長期保守管理方針

※1: 実測データに基づく予測肉厚による評価値

□ 内は商業機密に属しますので公開できません

耐震安全性評価結果

1.7.2 Ss-1にて耐震裕度があった機器に対するSs-2～Ss-7の耐震安全性の確認

□内は商業機密に属しますので公開できません

Ss-1に対する評価値／許容値<0.5の機器については、以下によりSs-2～Ss-7の耐震安全性を確認

(1) 加速度応答比による確認

床応答曲線を用いる評価については、評価対象機器の固有周期において、Ss-1に対するSs-2～Ss-7の加速度応答の最大となる比率 α を求めて、2以下であるかを確認する。



「Ss-1の(評価値/許容値)の最大値」×「固有周期での加速度応答比」

$$= 0.5 \times \alpha \leq 1.0$$

➡ $\alpha \leq 2$ であれば耐震安全性が確保されると評価。

(2) 発生荷重比による確認

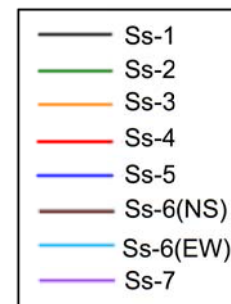
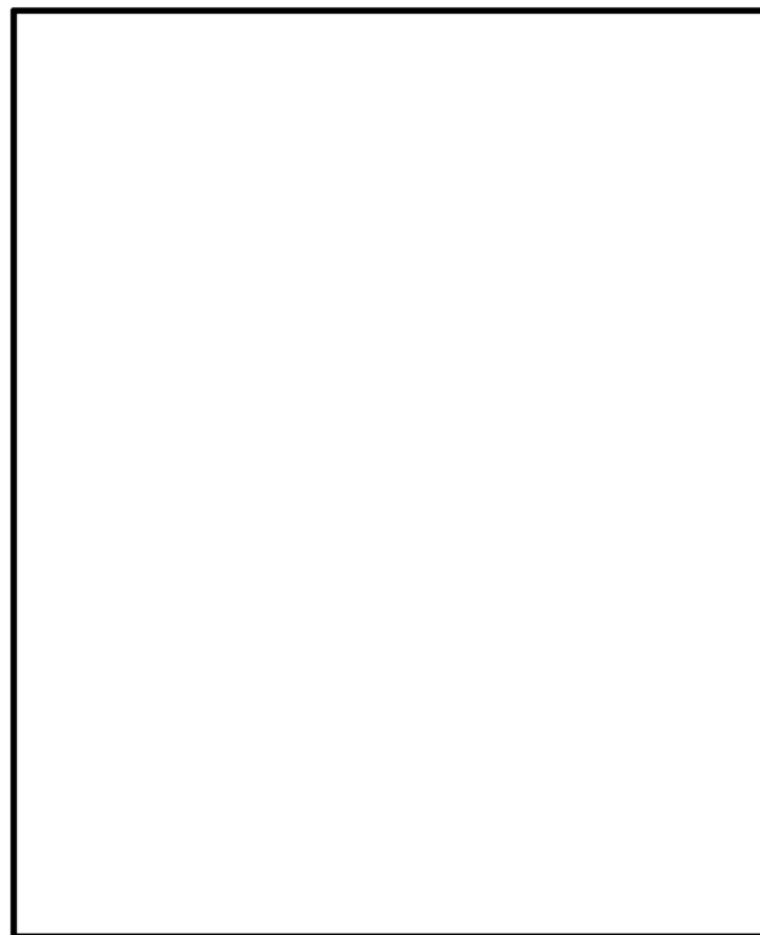
建屋とのループ連成解析を行っている機器*については、解析評価点において、Ss-1による地震時発生荷重に対するSs-2～Ss-7による地震時最大発生荷重との比率を求めて2以下であるかを確認する。

*建屋とのループ連成解析を行っている原子炉容器、1次冷却材ポンプ等の1次冷却設備。

(1) 加速度応答比による確認結果

加速度応答比(水平方向)の3、4号炉の最大値

・高浜3、4号炉 ほう酸タンク □ ≤ 2



ほう酸タンクが設置されている箇所の床応答曲線
EL : 7.08M
減衰 : 1.0%

(2) 発生荷重比による確認結果

発生荷重比の3、4号炉の最大値

・高浜3号炉 1次冷却材ポンプ □ ≤ 2

耐震安全性評価結果

1.7.3 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。

1.7.4 耐震安全性評価のまとめ

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、今後も継続して評価を実施する。

No.	内容	実施時期※1
1	<p>配管の腐食(流れ加速型腐食)については、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*1について、耐震性が確認できる板厚に到達するまでに、サポート改造等の設備対策を行い、これを反映した耐震安全性評価を実施する。なお、サポート改造等の設備対策が完了するまでは、減肉傾向の把握およびデータ蓄積を継続して行い、減肉進展の実測データを反映した耐震安全性評価を実施する。</p> <p>*1:ドレン系統配管</p>	短期
2	<p>基準地震動Ss-2～Ss-7に対する評価*2が必要な全ての機器・経年劣化事象*3について、継続して評価を実施する。</p> <p>*2:弾性設計用地震動Sd-2～Sd-7に対する評価を含む。 *3:基準地震動Ss-1に対する評価結果から評価が厳しいと考えられる機器・経年劣化事象等については、基準地震動Ss-2～Ss-7に対する評価を実施し、耐震安全性を確認している。</p>	短期

※1:実施時期は以下の期限を示す。

高浜3号炉:「短期」は平成27年1月17日から5年間
高浜4号炉:「短期」は平成27年6月 5日から5年間



ただし、No.2に関しては
平成28年9月までに実施する。

耐津波安全性評価の評価手順

2. 耐津波安全性評価

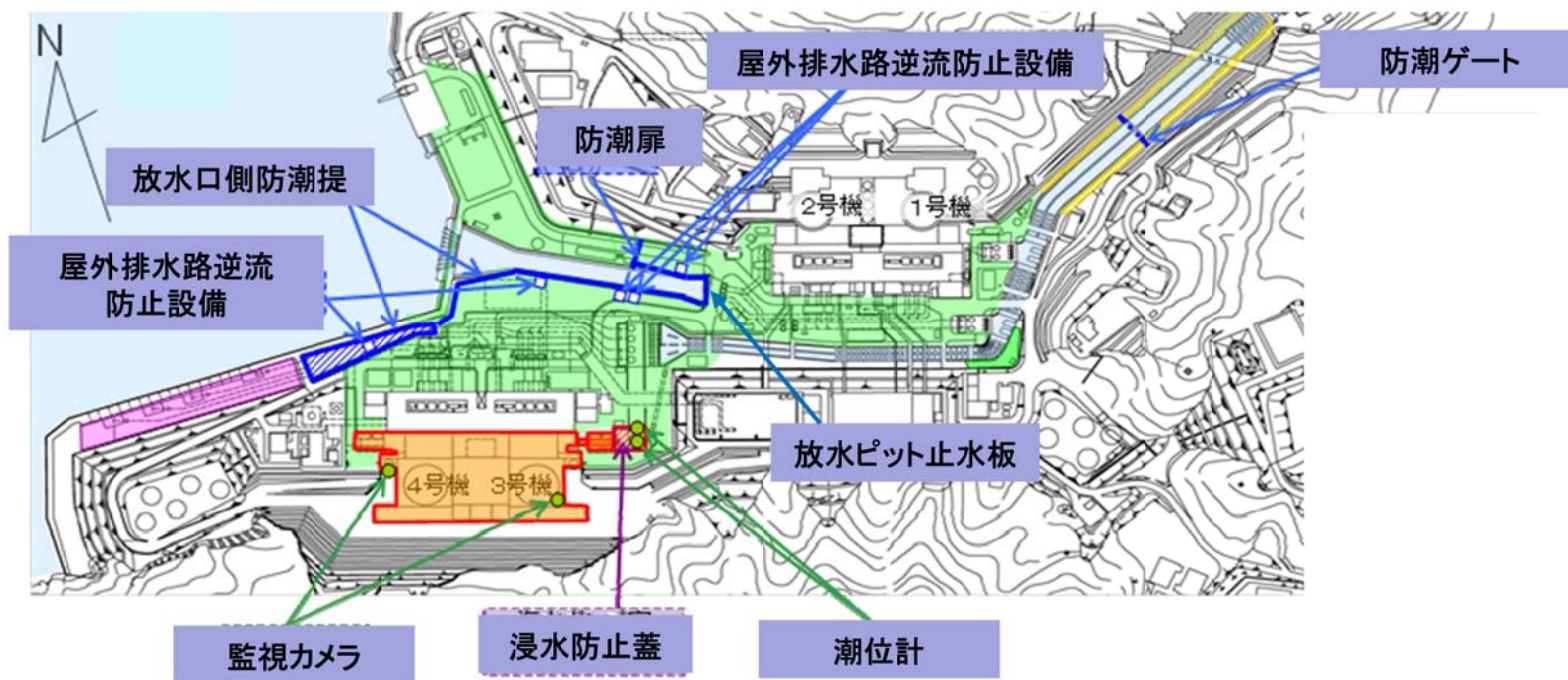
2.1 耐津波安全性評価の評価手順

2.1.1 耐津波安全性評価の目的

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について、経年劣化を考慮した耐津波安全性評価を実施し、評価対象設備の機能維持に対する経年劣化事象の影響を評価する。

2.1.2 評価対象設備

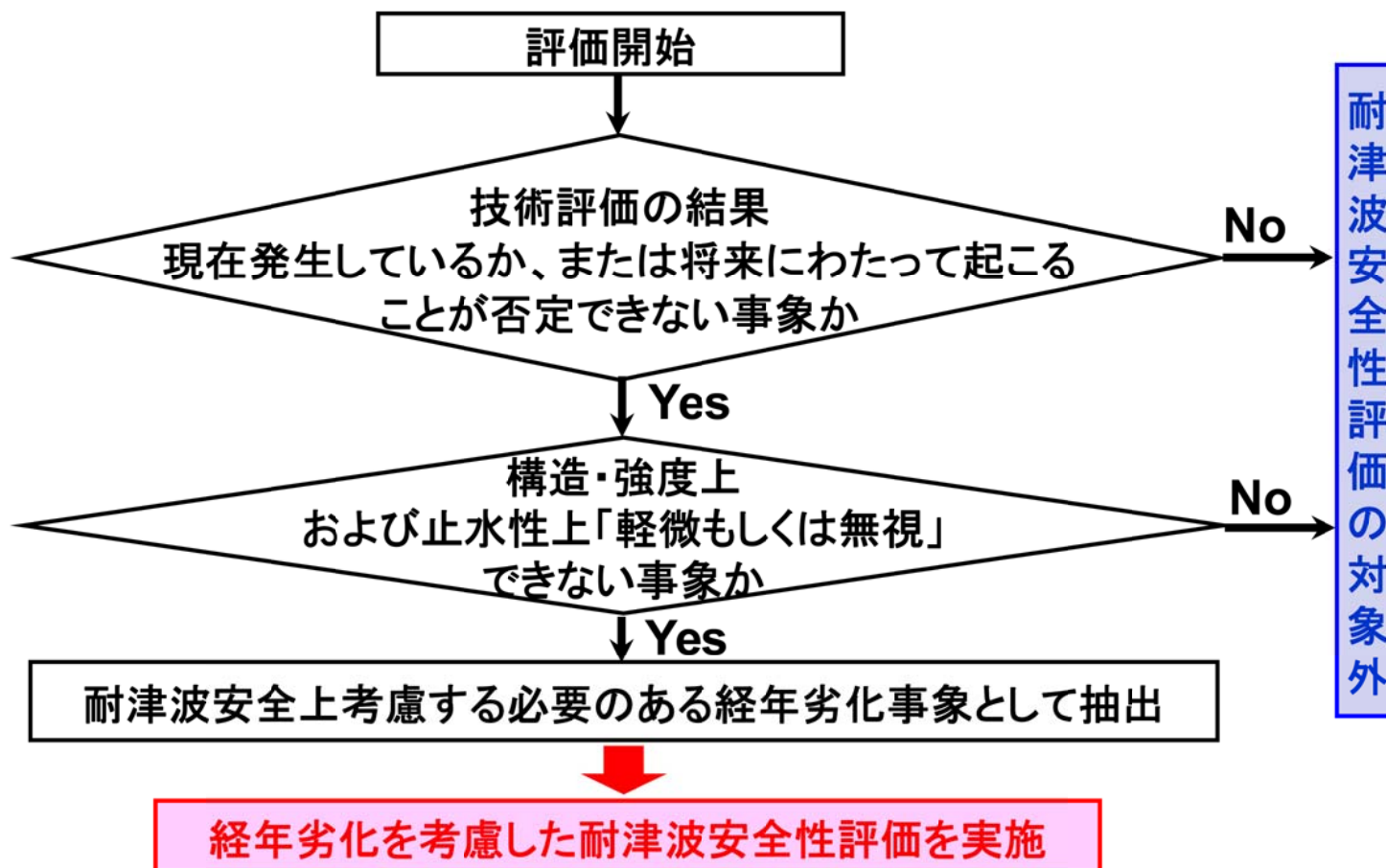
「技術評価」の評価対象設備のうち浸水防護施設で、津波による浸水高または波力等 による影響を受けると考えられるもの。



耐津波安全性評価の評価手順

2.1.3 評価フロー

津波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。



2.1.4 基準津波高さ

最大水位変動量（初期潮位：T.P.±0.00m）	
水位上昇側(m)	水位下降側(m)
放水路(奥)：T.P.+6.7m	3、4号機海水ポンプ室前面：T.P.-2.5m

2.1.5 津波による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※1			想定される劣化事象				備考
			強度低下 (コンクリート)	鉄骨の腐食に よる強度低下	支持構造物 基礎ボルト の腐食	樹脂劣化 (基礎ボルト)	
浸水防止 設備	コンクリート構造物および 鉄骨構造物	取水構造物（浸水防止蓋）	—	—※3	—	—	3、4号炉それぞれ にて評価
津波防護 施設	コンクリート構造物	防潮ゲート（道路部、水路部）	×	—	—	—	4号炉にて評価 (3、4号共用)
		防潮ゲート（水路部）	—	○	—	—	4号炉にて評価 (3、4号共用)
	鉄骨構造物	放水口側防潮堤（防潮扉含む）	—	○	—	—	4号炉にて評価 (3、4号共用)
		屋外排水路逆流防止設備	—	—※3	—	—	4号炉にて評価 (3、4号共用)
		放水ピット止水板	—	○	—	—	4号炉にて評価 (3、4号共用)
津波監視 設備	プロセス計測制御設備	津波監視カメラ※2	—	—	—	—	3号炉にて評価 (3、4号共用)
		潮位計	—	—	—※3	×	3号炉にて評価 (3、4号共用)

※1：浸水防護施設の水密ゴム(止水性)は、定期取替品であることから、高経年化技術評価対象外とする。

※2：津波の影響を受ける位置に設置されていないため、耐津波評価対象外とする。

※3：ステンレス鋼製のため腐食は想定されない。

* 凡例 ○：評価対象(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)
 ×：評価対象から除外(現在発生せず今後も発生の可能性がない、または小さい)
 —：評価対象から除外

耐津波安全性評価結果

2.2 耐津波安全性評価結果

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。2.1.3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なかった。

津波の影響を受ける 浸水防護施設			想定される劣化事象				備 考
			強度低下 (コンクリート)	鉄骨の腐食に よる強度低下	支持構造物 基礎ボルト の腐食	樹脂劣化 (基礎ボルト)	
浸水防止 設備	コンクリート構造物 および鉄骨構造物	取水構造物（浸水防止蓋）	—	—	—	—	3、4号炉それぞ れにて評価
津波防護 施設	コンクリート構造物	防潮ゲート（道路部、水路部）	—	—	—	—	4号炉にて評価 (3、4号共用)
	鉄骨構造物	防潮ゲート（水路部）	—	■	—	—	4号炉にて評価 (3、4号共用)
		放水口側防潮堤（水密扉含む）	—	■	—	—	4号炉にて評価 (3、4号共用)
		屋外排水路逆流防止設備	—	—	—	—	4号炉にて評価 (3、4号共用)
		放水ピット止水板	—	■	—	—	4号炉にて評価 (3、4号共用)
津波監視 設備	プロセス計測制御設備	潮位計	—	—	—	—	3号炉にて評価 (3、4号共用)

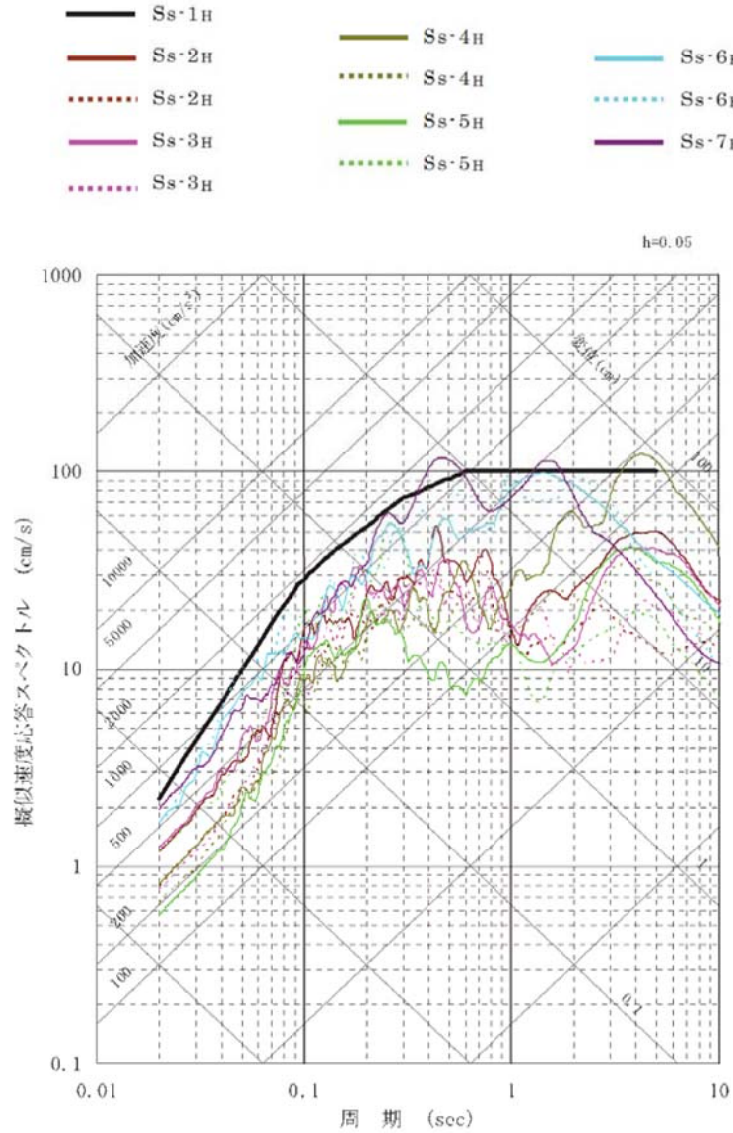
* 凡例 ■: 将来にわたって起こることが否定できないが、構造・強度上および止水上「軽微もしくは無視」できるもの
—: 経年劣化事象が想定されないものおよび今後も発生の可能性がないもの、または小さいもの

2.3 耐津波安全性評価のまとめ

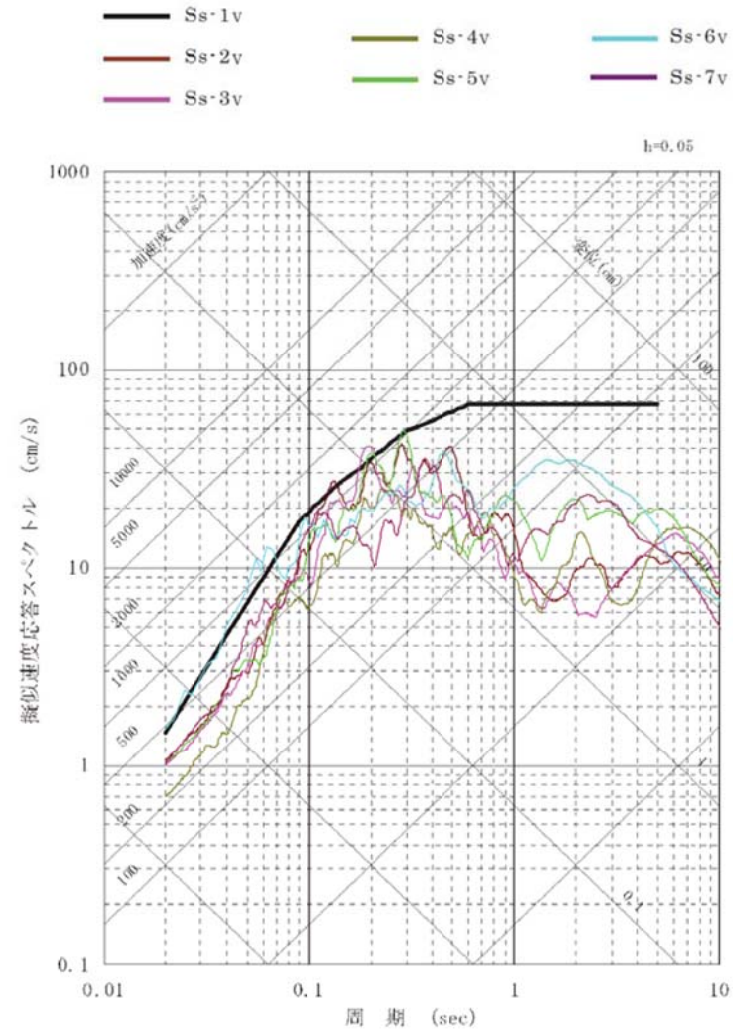
耐津波安全性評価上考慮する必要のある経年劣化事象はなく、プラントの耐津波 安全性上に問題のないことを確認した。

基準地震動

【基準地震動の加速度応答スペクトル】



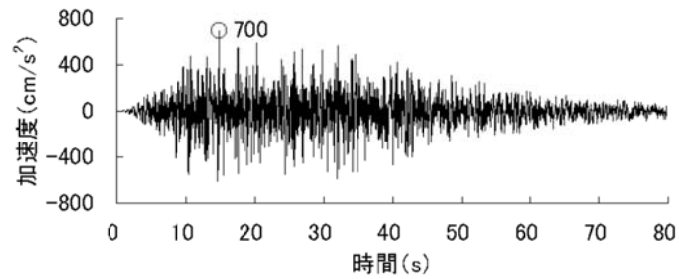
水平方向



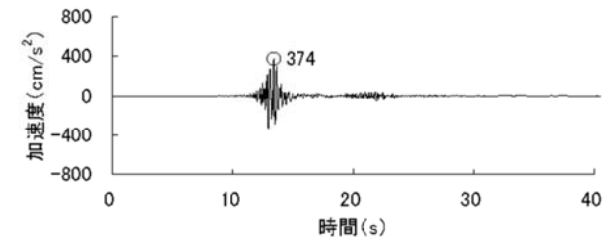
鉛直方向

基準地震動の時刻歴波形

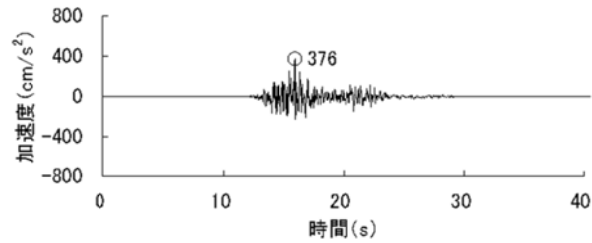
Ss-1(水平方向)



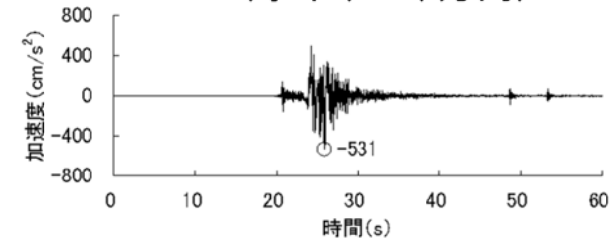
Ss-5(水平方向)



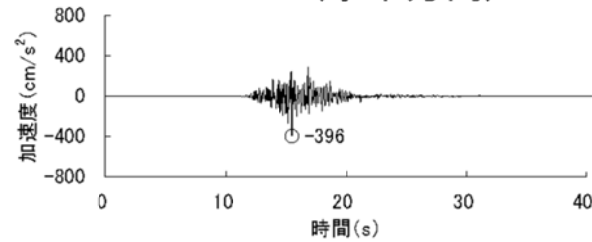
Ss-2(水平方向)



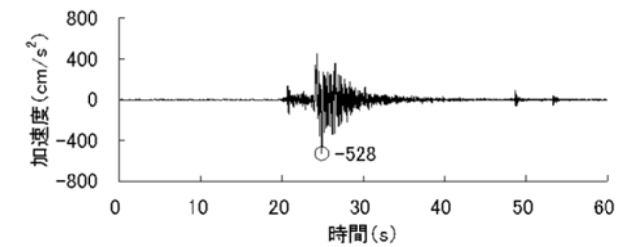
Ss-6(水平(EW)方向)



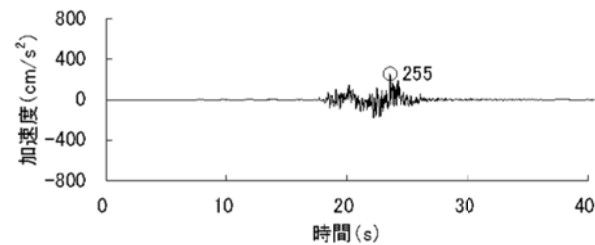
Ss-3(水平方向)



Ss-6(水平(NS)方向)



Ss-4(水平方向)



Ss-7(水平方向)

