

川内原子力発電所 1号炉の 高経年化技術評価 (耐震・耐津波安全性評価について)

平成 27 年 6 月 15 日
九州電力株式会社

耐震・耐津波安全性評価の進め方について

目 次

1. はじめに	2
2. 耐震安全性評価	3
2.1 高経年化技術評価における耐震安全性評価について	3
2.2 新規制基準適合性審査を踏まえた耐震安全性評価の進め方	7
2.2.1 評価地震動について	8
2.2.2 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	14
3. 耐津波安全性評価	18
3.1 高経年化技術評価における耐津波安全性評価について	18
4. まとめ	22

1. はじめに

川内 1 号炉の高経年化技術評価(平成25年12月申請)における耐震・耐津波安全性評価では、新規制基準適合性に係る許認可申請(平成25年7月)の内容に基づく評価を行った。

その後、平成27年3月18日に工事計画が認可されたことから、その内容を反映した追加評価を実施し、今後、補正申請を行う。

ここでは、補正内容も含めた耐震・耐津波安全性評価の評価方針及び評価内容について説明を行う。

なお、工事計画認可を反映した主な追加評価の内容は、以下のとおりである。

追加になった基準地震動Ss-2に対する耐震安全性評価

適用された耐震安全性評価手法の反映

確定した浸水防護施設に対する耐津波安全性評価

2. 耐震安全性評価

2.1 高経年化技術評価における耐震安全性評価について

2. 耐震安全性評価

2.1.1 目的

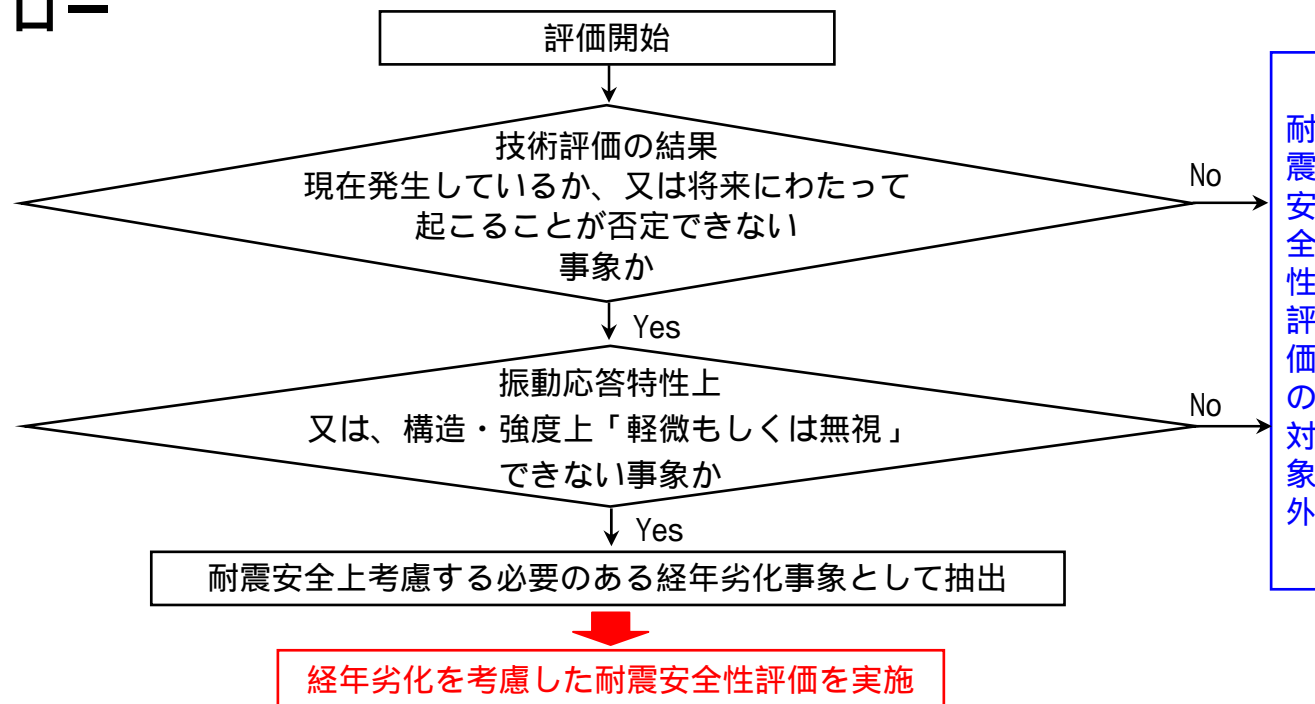
耐震安全性に影響を及ぼす可能性がある経年劣化事象について、経年劣化を考慮した耐震安全性評価を実施し、評価対象設備の機能維持に対する経年劣化事象の影響を評価する。

2.1.2 評価対象設備

「技術評価」の評価対象と同じ

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

2.1.3 評価フロー



2. 耐震安全性評価

2.1.4 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象

2.1.3 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。

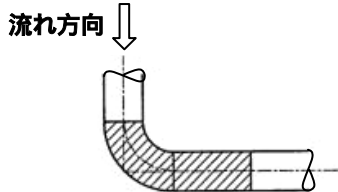

機器・構造物	耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象						
	疲労割れ	中性子(線)照射脆化/靱性低下	熱時効	応力腐食割れ	照射誘起型応力腐食割れ	摩耗	腐食(流れ加速型腐食による減肉を含む)
ポンプ		-		-	-	-	-
熱交換器		-	-	-	-	-	
ポンプ用電動機	-	-	-	-	-	-	-
容器			-	-	-	-	-
配管		-		-	-	-	
弁		-	-	-	-	-	-
炉内構造物			-	-			-
ケーブル	-	-	-	-	-	-	-
電気設備	-	-	-	-	-	-	-
タービン設備	-	-	-	-	-	-	
コンクリート構造物及び鉄骨構造物	-	-	-	-	-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

2. 耐震安全性評価

2.1.5 評価内容

経年劣化事象のモデル化

耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象のモデル化を行う。代表例を以下に示す。

経年劣化事象の例		配管の減肉を想定したモデル化の例	
経年劣化事象	腐食 (流れ加速型腐食)	【曲り部及び下流側】 流れ方向 ↓ 	【弁及び下流側】 流れ方向 → 
代表機器	炭素鋼配管 (曲がり部、弁下流部)	▨ : 減肉想定範囲	

機器に作用する地震力の算定

評価にあたっては、設備の耐震重要度に応じた地震力を用いた評価を実施する。

耐震重要度	評価用地震力	
Sクラス Bクラス	動的地震力*1	・ 基準地震動に基づく動的地震力*2 (水平方向及び鉛直方向)
	静的地震力	・ Sクラスに適用される静的地震力 (水平方向及び鉛直方向) ・ Bクラスに適用される静的地震力 (水平方向のみ)
Cクラス	静的地震力	・ Cクラスに適用される静的地震力 (水平方向のみ)

*1 : Bクラスは、共振のおそれがある場合のみ。

*2 : 基準地震動に基づく弾性設計用地震動を含む。

地震応答解析及び評価

機器に作用する地震力による地震応答解析を実施し、解析結果 (= 評価値) と許容値との比較を行い、耐震安全性を評価する。

2. 耐震安全性評価

2.2. 新規制基準適合性審査を踏まえた耐震安全性評価の進め方

2. 耐震安全性評価

2.2.1 評価地震動について

川内1号炉の高経年化技術評価(平成25年12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許認可申請(平成25年7月)の内容に基づき、基準地震動Ss-1(水平最大加速度540cm/s²、鉛直最大加速度324cm/s²)に基づく経年劣化を考慮した耐震安全性評価を行い問題のないことを確認している。その後、新規制基準適合性に係る審査において基準地震動Ss-1に加え、2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した震源を特定せず策定する地震動として基準地震動Ss-2(水平最大加速度620cm/s²、鉛直最大加速度320cm/s²)が加えられたことから、基準地震動Ss-2に基づく経年劣化を考慮した耐震安全性についても評価を行う。

	平成25年	平成26年	平成27年
高経年化技術評価	申請(平成25年12月) Ss-1に対する評価 基準地震動: Ss-1		Ss-2に対する評価
新規制基準適合性審査	申請(平成25年7月) 基準地震動: Ss-1	設置変更許可(平成26年9月) 基準地震動: Ss-1及びSs-2	工事計画認可(平成27年3月) 基準地震動: Ss-1及びSs-2

耐震重要度	Sクラス	Bクラス*	Cクラス
動的評価	Ss-1に基づく評価		
	Ss-2に基づく評価		
静的評価	静的地震力Ciに基づく評価		

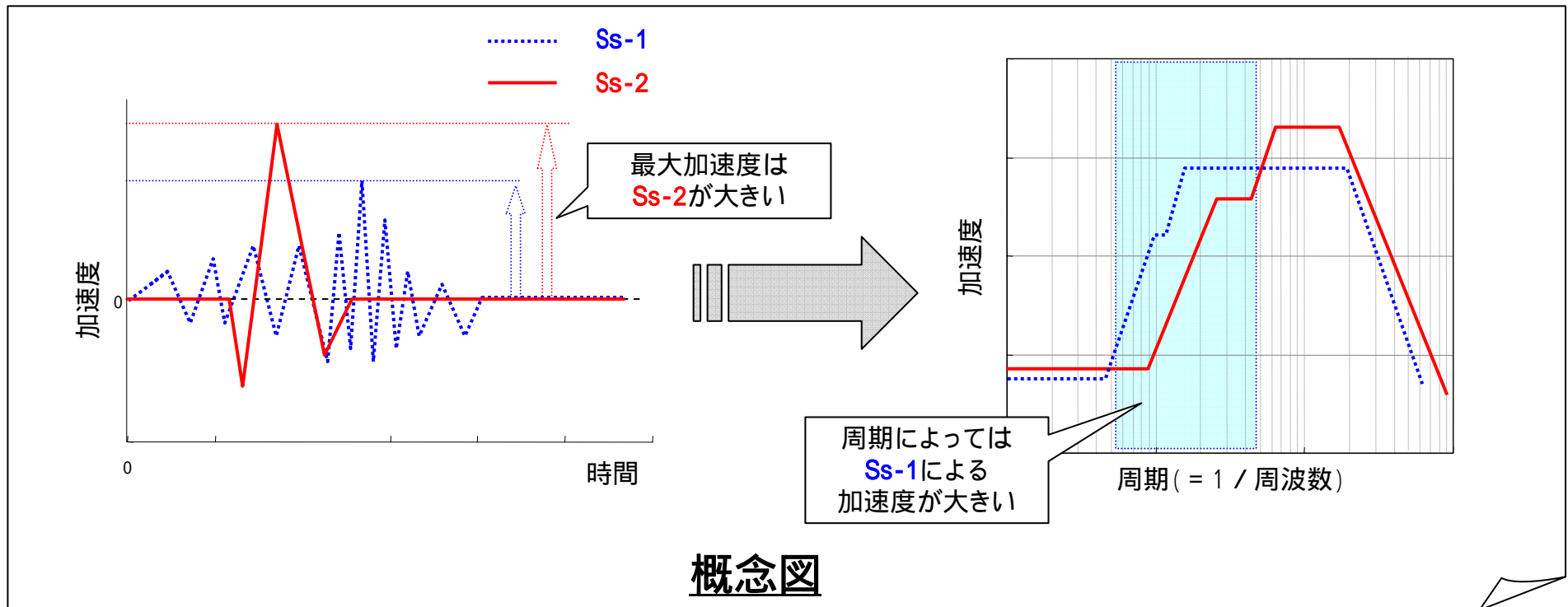
- : 平成25年12月申請の技術評価書で評価済み
- : 追加評価(Ss-2に基づく評価)を実施
- : 該当なし(評価不要)

* Bクラスの動的評価は共振のおそれがある場合のみ

2. 耐震安全性評価

なお、**基準地震動Ss-1**（水平最大加速度 540cm/s^2 ）と**基準地震動Ss-2**（水平最大加速度 620cm/s^2 ）では、水平方向の**最大加速度は、Ss-2の方が大きいものの**、それぞれの地震動で周波数特性が異なるため、設置場所や設備の周波数特性によっては、作用する水平方向の荷重が必ずしも $Ss-2 > Ss-1$ という関係にならない場合があることから、**基準地震動Ss-1**及び**基準地震動Ss-2**の各々について、耐震安全性を確認する必要がある。

川内1号炉の基準地震動Ss-1及びSs-2の関係性を模式的に示した概念図を以下に示す。



2. 耐震安全性評価

(1) 基準地震動Ss-2に基づく評価方針

経年劣化を考慮した耐震安全性評価の評価対象は、1.2～1.4に示すとおり、重要度分類指針クラス1～3の機能を有する機器・構造物並びに常設重大事故等対処設備に属する機器・構造物のうち耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象が抽出された設備^{*1}となるが、その中で**基準地震動Ss-2**に基づく評価が必要となる耐震S、Bクラスの設備について評価を行う。

評価にあたっては、既に評価済みである**基準地震動Ss-1**に対する評価結果から優先度を考慮し、以下のとおり評価を進める。

基準地震動Ss-2に対する全体的な評価の見通しを得るため、**基準地震動Ss-1**に対する評価が比較的厳しいものについて、**基準地震動Ss-2**に対する評価を行う。

に引き続き、全ての対象設備について、**基準地震動Ss-2**に基づく耐震安全性を確認する。なお、本評価については、長期保守管理方針として保安規定に記載し、確実に評価を行うこととする。

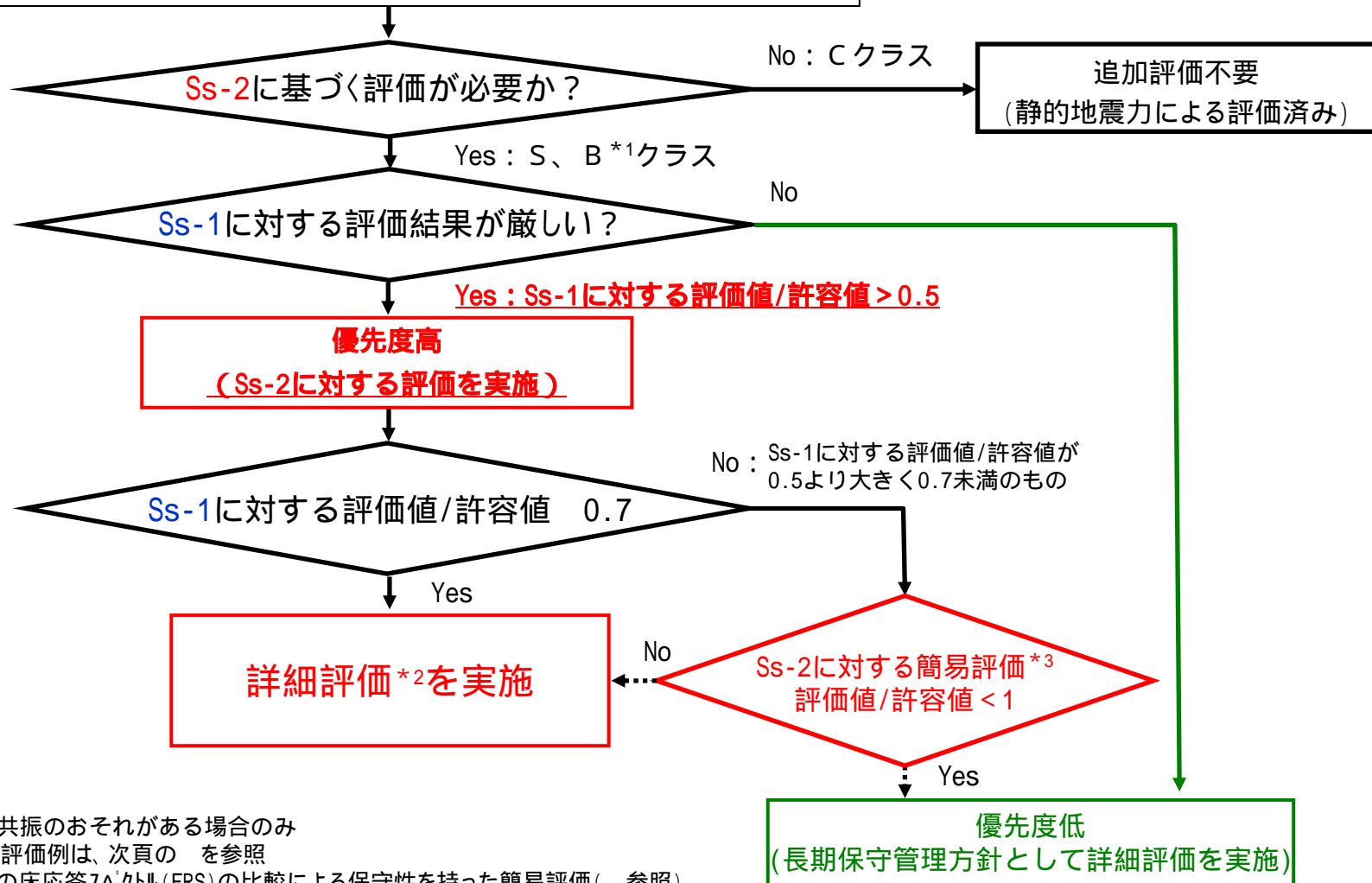
*1：一つの設備に複数の経年劣化事象が抽出された場合は、各々の経年劣化事象に対する評価を行う。

2. 耐震安全性評価

評価フロー

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



*1 Bクラスは共振のおそれがある場合のみ

*2 詳細評価の評価例は、次頁の を参照

*3 Ss-1とSs-2の床応答スペクトル(FRS)の比較による保守性を持った簡易評価(参照)

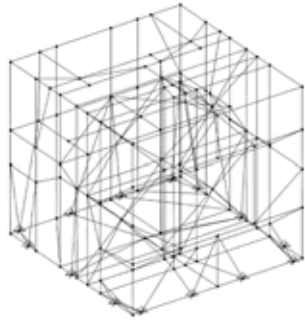
2. 耐震安全性評価

詳細評価について

床応答スペクトル(FRS)を用いた1質点系モデルの評価例

< 評価手順 >

- (a) 固有値解析を実施し、当該設備の固有値(固有周期)を算出



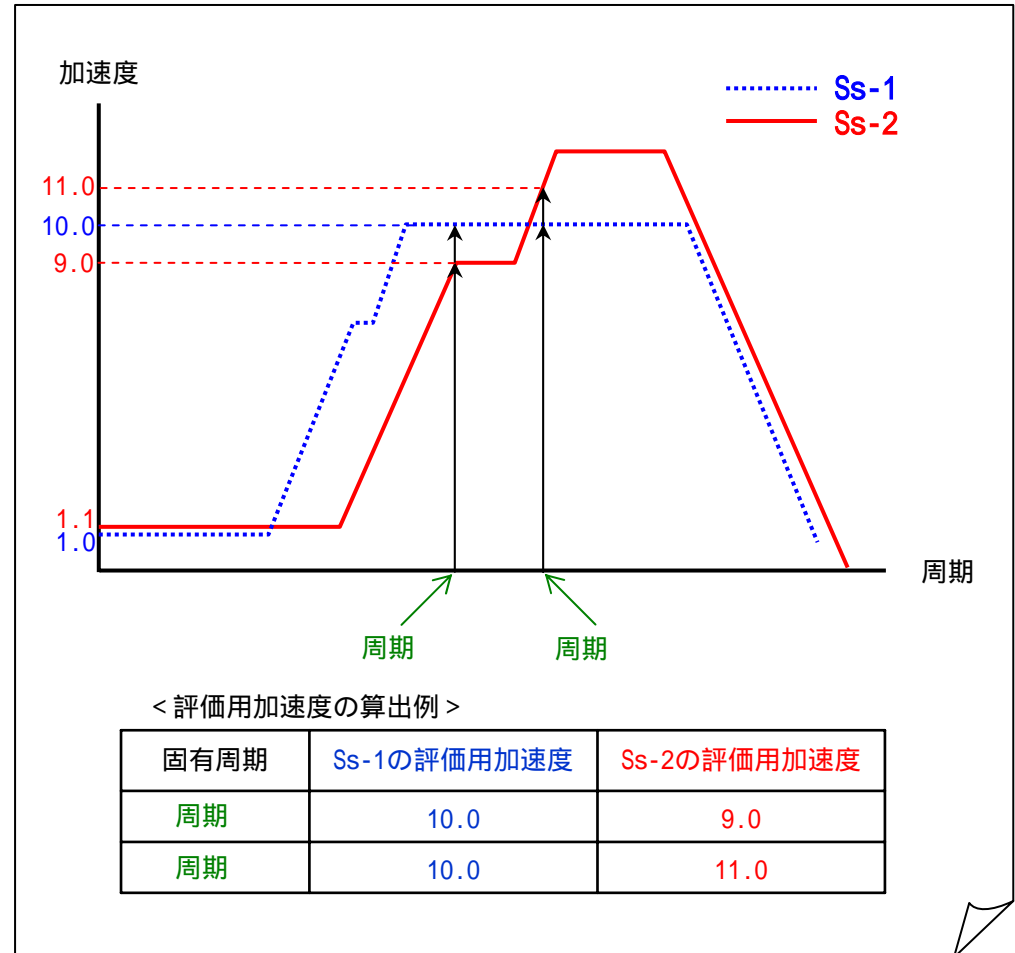
< 固有値解析モデルの例 >

- (b) FRSを使用し、評価用加速度を算出
・右図(概念図)を参照

- (c) 評価用加速度、JEAG4601の評価式等により、評価値(発生応力等)を算出

固有値解析・JEAG4601の評価式等により、
評価値の算出を実施するため、簡易評価^{*}
と比較して精緻な結果が得られる。

* : 簡易評価については、次頁参照

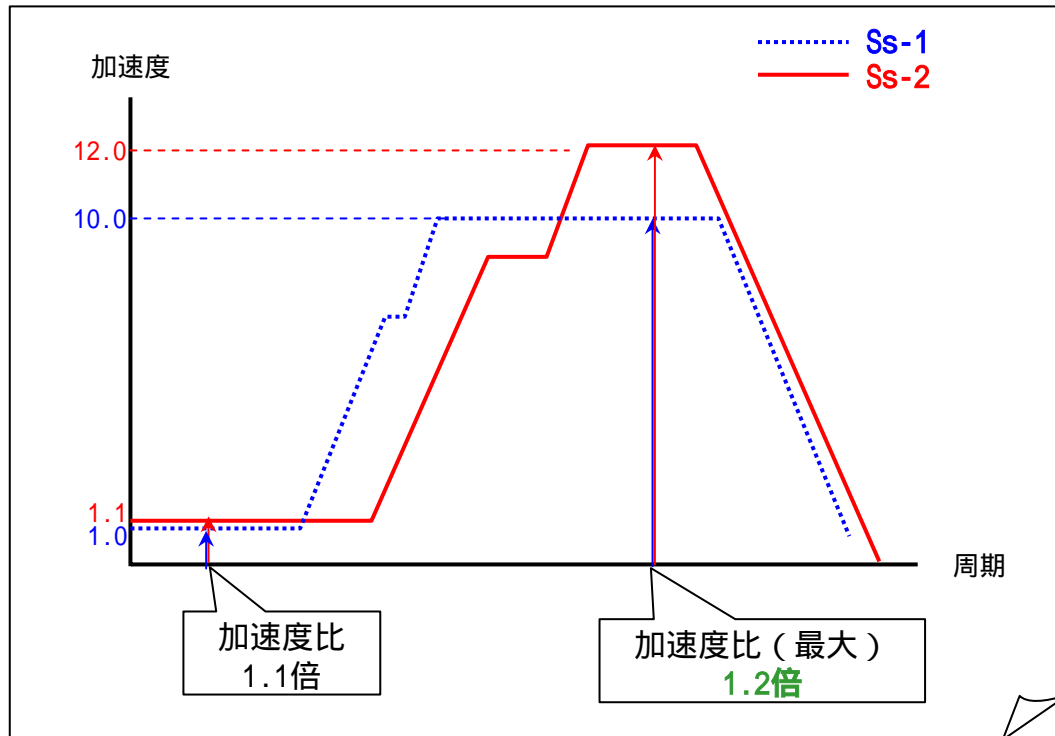


評価用加速度算出の概念図

2. 耐震安全性評価

Ss-2に対する簡易評価について

FRS比較による簡易評価の概念



< 説明文 >

1. Ss-1とSs-2のFRSを比較し、加速度比の最も大きい部分の比率（全周期での最大加速度比、左図では1.2倍）を算出する。
2. 「Ss-1に対する評価値/許容値」と全周期での最大加速度比を掛け合わせて、その値が1.0未満であれば、耐震安全上問題ないことを確認できる。

評価例（Ss-1に対する評価値/許容値が0.6の場合）

$$\begin{aligned} \text{「Ss-2に対する簡易評価」} &= \text{「Ss-1に対する評価値/許容値」} \times \text{「全周期での最大加速度比」} \\ &= 0.6 \times 1.2 \\ &= \underline{0.72} \quad (< 1.0) \quad \text{簡易評価にて耐震安全性を確認} \end{aligned}$$

2. 耐震安全性評価

2.2.2 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

認可された工事計画の耐震評価における評価手法等の高経年化技術評価への反映状況を以下に整理した。

ここでは、新規制基準適合性審査における評価手法等を網羅的に反映するために、経年劣化を考慮した耐震安全性評価（2.1.3 評価フロー参照）の対象外となる事象も含めて抽出を行った上で、反映状況を整理した。

(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	
			説明	反映状況 ^{*1}
1	評価モデルの精緻化	FEMモデルの適用	よう素除去薬品タンク基礎ボルト(腐食)の耐震評価等に反映	
		蒸気発生器伝熱管のU字管部の3次元はりモデルの適用	蒸気発生器(伝熱管) 蒸気発生器伝熱管に耐震評価に影響する劣化事象なし (反映不要)	
2	時刻歴解析の適用	建屋 - ループ連成解析モデルの時刻歴応答解析の適用 ^{*2}	原子炉容器、蒸気発生器、1次冷却材管等	原子炉容器(低サイクル疲労)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)	格納容器ポークレーン	耐震評価に影響する劣化事象なし (反映不要)
		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	バッドフォームボルト(IASCC)、制御棒クワ案内管及び被覆管(摩耗)の耐震評価(制御棒挿入性評価)に反映

2. 耐震安全性評価

(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		
			説明	反映 ^{*1} 状況	
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(低サイクル疲労)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	バブルウォーム(IASCC)、制御棒クランプ案内管及び被覆管(摩耗)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(低サイクル疲労)の耐震評価等に反映	
6	水平2方向及び鉛直方向地震の組合せについて	水平2方向及び鉛直方向地震の組合せによる影響を確認 【 詳細は(2)参照】	燃料取替用水タンク 原子炉容器サポート ほか	燃料取替用水タンク基礎ボルト(全面腐食)等の耐震評価に反映	

*1 : 既評価に反映済み、 : 反映した評価を行い補正、 : 反映不要

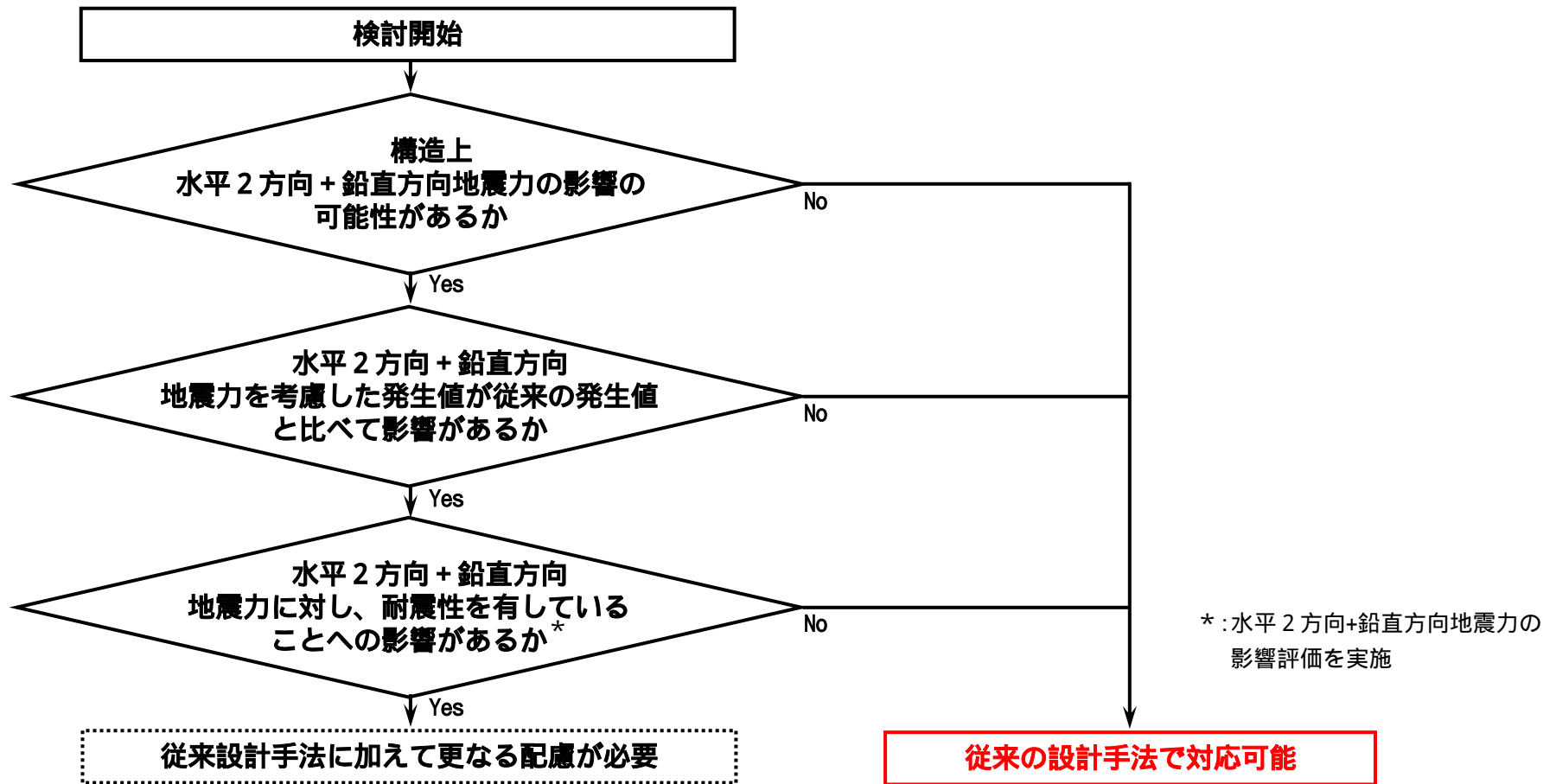
*2 工認においては新たな評価手法ではないが、PLM評価においては、新規制基準施行に伴い基準地震動 S_s による評価が適用されたことにより新たに用いた評価手法となるもの。

以上のとおり、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、川内1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。

2. 耐震安全性評価

(2) 水平2方向及び鉛直方向地震の組合せについて

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方向及び鉛直方向地震力を組合せた耐震計算に対して、設備の構造特性等により水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性がある部位を抽出し、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方向及び鉛直方向の地震力を考慮した影響評価フロー

2. 耐震安全性評価

(2) 水平2方向及び鉛直方向地震の組合せについて(続き)

ここでは、川内1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方向及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方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性があり、**水平2方向+鉛直方向地震力の影響評価**(前頁の影響評価フロー)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	
	説明	反映状況 ^{*1}
炉内構造物 熱遮へい材固定用ボルト	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 埋込金物	腐食を考慮した耐震評価に対する影響評価が必要	
蒸気発生器 給水入口管台	疲労を考慮した耐震評価に対する影響評価が必要	
蒸気発生器 上部胴サポート用ラグ取付部	耐震評価に影響する劣化事象なし	
1次冷却材ポンプ上部サポート ピストンロッド	耐震評価に影響する劣化事象なし	
安全注入系統配管	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	
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 : 影響評価を実施 : 反映不要

3. 耐津波安全性評価

3.1 高経年化技術評価における耐津波安全性評価について

3. 耐津波安全性評価

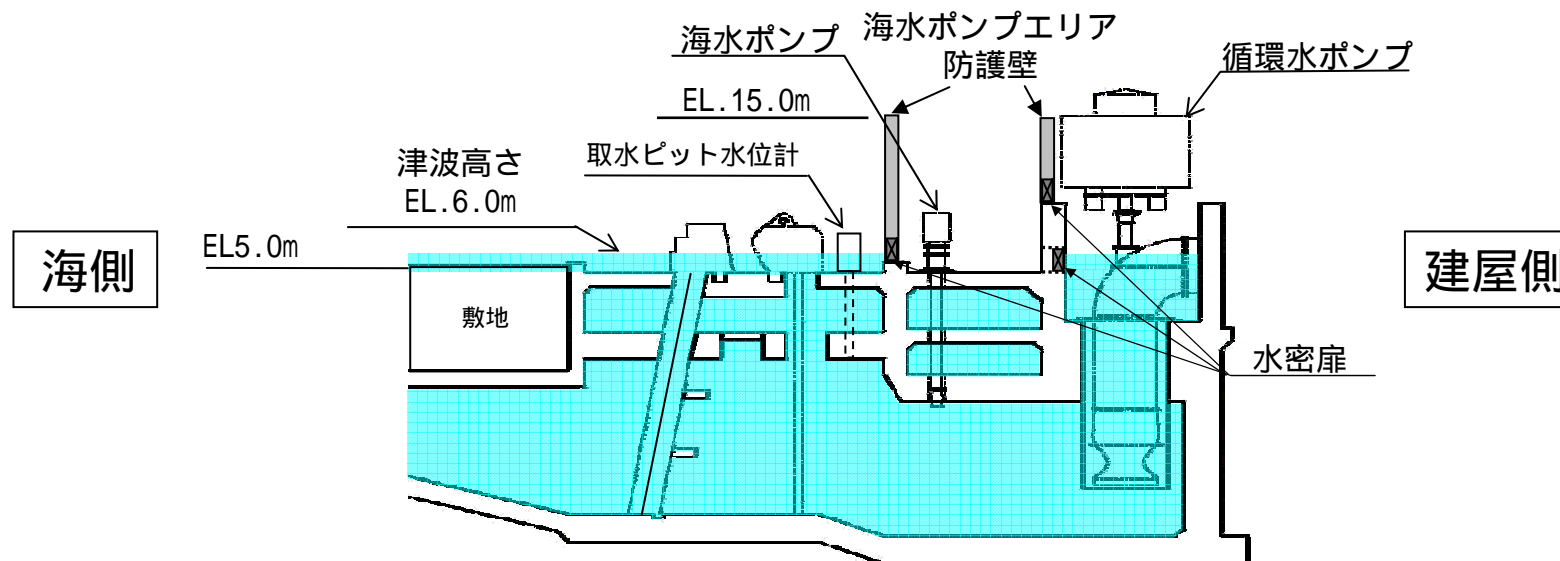
3.1.1 目的

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。

3.1.2 評価対象設備

「技術評価」の評価対象設備のうち、津波の影響を受ける浸水防護施設

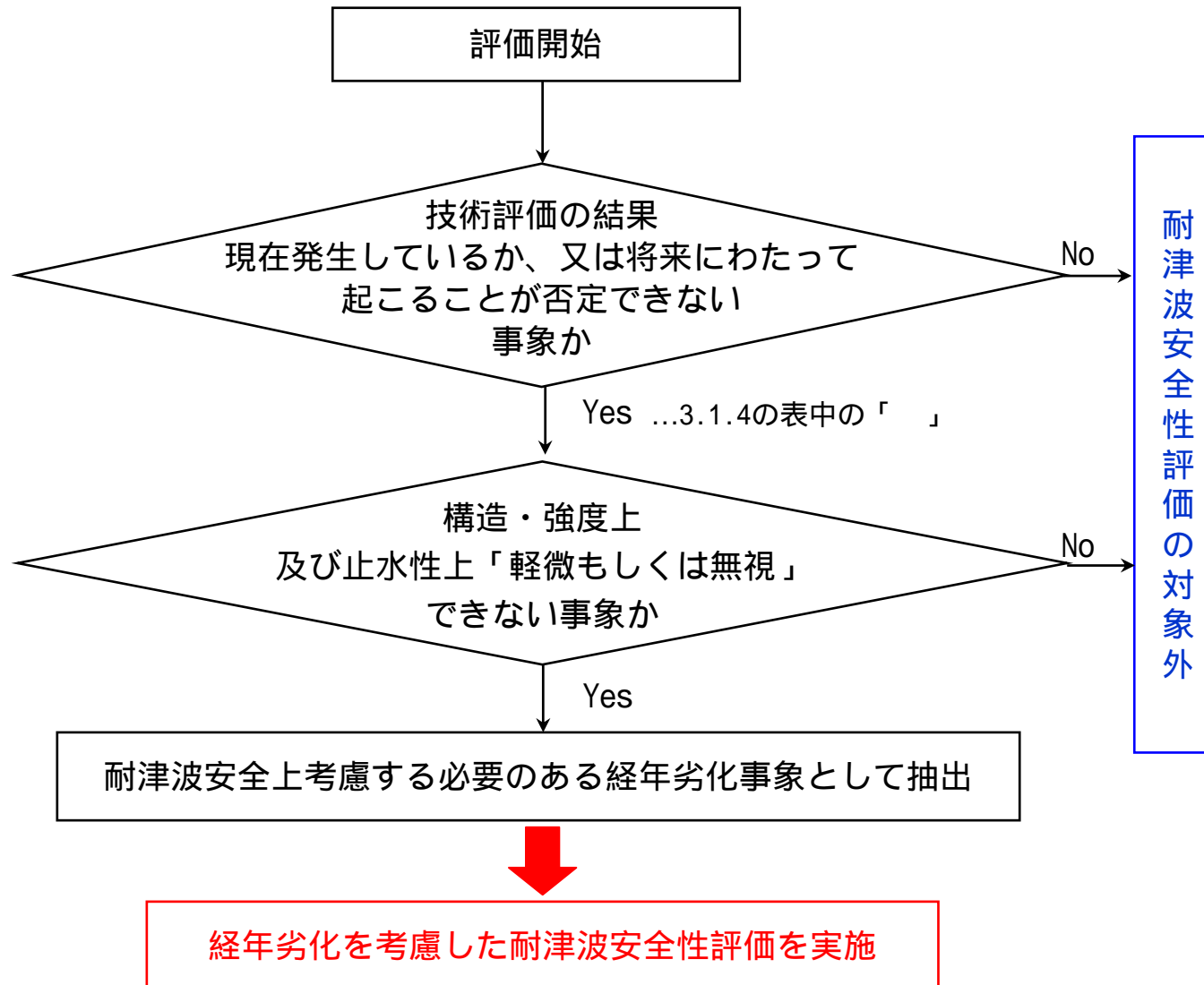
敷地に対する津波高さ：T.P.+6m程度



海水ポンプエリア周辺の遡上津波概略図

3. 耐津波安全性評価

3.1.3 評価フロー



3. 耐津波安全性評価

3.1.4 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*		想定される劣化事象	
		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 dren 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）

* 浸水防護施設の水密ゴム（止水性）

水密ゴムは、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。

3.1.5 評価内容

浸水防護施設に想定される劣化事象のうち、取水ピット水位計（基礎ボルト）の腐食については、構造・強度上の影響が無視できるとは言えない事象であることから、腐食による基礎ボルトの減肉を考慮した耐津波安全性評価（津波（波力）を考慮した強度評価）を実施する。

4. まとめ

(1) 耐震安全性評価

従来どおり、耐震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震安全性評価を実施し、経年劣化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する。

新規制基準適合性審査において追加となった基準地震動Ss-2に対して経年劣化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する。

新規制基準適合性審査において適用された最新手法等についても、適切に評価に反映する。

(2) 耐津波安全性評価

新規制基準適合性審査を踏まえ、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する。

以上のとおり、高経年化技術評価における従来の評価内容に加え、新規制基準適合性審査における評価内容等を適切に反映した評価を行い、経年劣化を考慮した場合であってもプラントの耐震・耐津波安全性に問題のないことを確認する。