

浜岡3号炉－耐震－7 Rev.1

タイトル	冷温停止の維持状態で動的機能維持が必要となる機器とその理由，並びに個別機器ごとの動的機能維持評価の記載方針（耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象がある場合とない場合の評価部部位等）について
説明	<p>冷温停止の維持状態で動的機能維持評価が必要となる機器は，冷温停止の維持に必要な設備のうち，「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（JEAG 4601・補-1984）」を参考に抽出している。</p> <p>個別機器ごとの動的機能維持評価は，耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象を表7-1のとおり整理し，振動応答特性上又は構造・強度上「軽微もしくは無視」できない事象及びできる事象に分類した。「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上問題のないことを確認している。</p>

表 7-1 冷温停止状態の維持に必要な機器の動的機能維持評価

機器分類	理由※1	対象機器	主な経年劣化事象とその部位	事象区分
ポンプ ポンプモータ	②	余熱除去ポンプ 高圧炉心スプレイポンプ 低圧炉心スプレイポンプ 原子炉機器冷却水ポンプ 高圧炉心スプレイ機器冷却水ポンプ 原子炉機器冷却海水ポンプ 高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプ	主軸の摩耗 軸継手の腐食 羽根車の摩耗 ライナーリングの摩耗	■
			固定子コイルの絶縁特性低下 口出線・接続部品の絶縁特性低下	※2
弁	①	給水系弁 原子炉冷却材浄化系弁	弁箱の疲労割れ	◎※3 (給水系弁)
	②	余熱除去系弁 高圧炉心スプレイ系弁 低圧炉心スプレイ系弁 原子炉機器冷却水系弁 高圧炉心スプレイ機器冷却水系弁	弁棒の摩耗 アームの摩耗 アームの腐食 ギアの摩耗	■
	③	非常用ガス処理系弁	固定子コイルの絶縁特性低下 口出線・接続部品の絶縁特性低下 ブレーキ電磁コイルの絶縁特性低下	※2
	④	燃料プール冷却浄化系弁		
計測制御装置	②	補助継電器盤 操作制御盤	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象および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）なし	—
空調	②	ファン（D/G系間接系） ローカルクーラ（ECCS間接系）	主軸の摩耗	■
	③	ファン（SGTS） ローカルクーラ（SGTS間接系） 原子炉室隔離弁	固定子コイルの絶縁特性低下 口出線・接続部品の絶縁特性低下	※2
機械設備	②	非常用ディーゼル機関・付属設備 高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関・付属設備	ピストンリングの摩耗 シリンダヘッドの摩耗、腐食 主軸の摩耗	■
			調速・制御装置の性能低下 固定子コイルの絶縁特性低下	※2
電源設備	②	高圧閉鎖配電盤 動力用変圧器 低圧閉鎖配電盤 コントロールセンタ 非常用ディーゼル発電設備 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 125V充電器	操作機構の固着 しゃ断器の固着 電解液の蒸発・液位低下 すべり軸受の摩耗及びはく離	■
			コイルの絶縁特性低下	※2

◎：振動応答特性上又は構造・強度上「軽微もしくは無視」できない事象

■：振動応答特性上又は構造・強度上「軽微もしくは無視」できる事象

※1 動的機能維持が必要となる理由の詳細については、以下のとおりである。

- ① 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する弁のうち、その健全性を維持するために動的機能維持が必要なもの。
- ② 炉心から崩壊熱を除去するために必要な動的設備。
- ③ 放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部拡散を抑制するために必要な動的設備。
- ④ 使用済燃料プール水を補給するために必要な動的設備。

※2 耐震安全性に影響を与えないことが自明な経年劣化事象

※3 弁箱の疲労割れについて、疲労割れが生じた場合は振動応答特性に影響を与える可能性があるが、疲労累積係数が許容値1未満であることを確認しているため割れは発生せず、振動応答特性に影響を与える経年劣化事象ではない。（図7-1）

FDW 第 1 隔離弁(A)
H3-B21-V-F052A

環境*1	地震*2	組合せ*3
0.1409	0.0009	0.1418

FDW 第 2 隔離弁(A)
H3-B21-AO-F051A

環境*1	地震*2	組合せ*3
0.1267	0.0000	0.1267

FDW 第 1 隔離弁(B) <代表弁>
H3-B21-V-F052B

環境*1	地震*2	組合せ*3
0.1502	0.0009	0.1511

FDW 第 2 隔離弁(B)
H3-B21-AO-F051B

環境*1	地震*2	組合せ*3
0.1045	0.0000	0.1045

- * 1 : 運転実績回数に基づく疲れ累積係数 (環境を考慮)
- * 2 : 地震動 (基準地震動Ss (800gal)) による疲れ累積係数
- * 3 : 許容値 1 以下

図 7 - 1 動的機能維持対象弁の疲労評価結果

以 上

■ 内は営業秘密に属しますので公開できません

浜岡 3 号炉－耐震－19

タイトル	炉心シュラウド及びシュラウドサポート並びに、記述されていないが炉心シュラウド支持ロッドの疲労割れに対する評価の具体的内容（評価仕様、解析モデル、入力（荷重）条件、評価結果を含む）について
説明	<p>炉心シュラウド及びシュラウドサポートは、技術評価における運転実績に基づいた現時点（平成 26 年度末）の過渡回数を用いた疲労累積係数評価に、基準地震動 S_s による疲労解析から求められる疲労累積係数を加味した疲労評価を行い、疲労割れに対する健全性を確認しております。炉心シュラウドの疲労割れに対する評価の具体的内容を添付資料 19-1 に、シュラウドサポートの疲労割れに対する評価の具体的内容を添付資料 19-2 に示します。</p> <p>なお、炉心シュラウド支持ロッドの疲労については、技術評価において、「日本機械学会 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年／2007 年追補版）」の「CSS-3130 疲労解析不要の条件」に従い、疲労解析を要しないことから、高経年化対策上の経年劣化事象として抽出しておりません。（浜岡 3 号炉－その他の経年劣化事象－5 回答書参照）</p> <p>このため、地震時と供用状態を加味した疲労評価の対象とはならず、耐震安全性上考慮する必要のある経年劣化事象ではないものと評価しています。</p> <p>添付資料 19-1 炉心シュラウドの疲労割れに対する評価の具体的内容 添付資料 19-2 シュラウドサポートの疲労割れに対する評価の具体的内容</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>

炉心シュラウドの疲労割れに対する評価の具体的内容

1. 評価仕様

(1) 解析モデル及び応力評価点

解析モデル（形状・寸法・材料）及び応力評価点は、浜岡原子力発電所第3号機工事計画届出書（本浜岡発第856号 平成17年1月20日届出）参考資料「IV-2-1-2 炉心シュラウドの応力計算書」と同様であり、炉心シュラウドの形状・寸法・材料・評価点を図19-1に示す。

なお、解析モデルはシュラウドサポート溶接部に発生したひび割れのサンプル採取加工を全周に行ったものとして評価を行った。解析モデルの詳細を図19-2に示す。



図 19-1 炉心シュラウドの形状・材料・寸法・応力評価点

■ 内は営業秘密に属しますので公開できません



図 19-2 炉心シュラウドの解析モデル

■ 内は営業秘密に属しますので公開できません

(2) 物性値の条件

評価に用いる物性値は [redacted] に対する値を用いる。

(3) 入力条件

① 地震時等価繰り返し回数 N_c : 60回

② 地震荷重 : 基準地震動 Ss (800gal) 地震荷重

評価に用いる基準地震動 Ss (800gal) 地震荷重の値を表 19-1 に示す。

表 19-1 荷重条件

荷重名称	荷重作用点	鉛直力	水平力	モーメント
		V(kN)	H(kN)	M(kN・m)
基準地震動 Ss	A	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	B	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	C	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	D	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	E	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	F	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	G	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	H	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	J	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	K	[redacted]	[redacted]	[redacted]

注 : V, H 及び M は A~K の各荷重作用点に作用する。

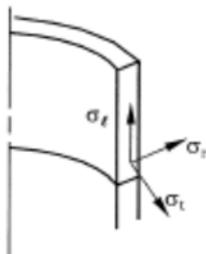
*基準地震動 Ss の上部格子板, 炉心支持板の荷重はそれぞれ荷重評価点 C, E に含まれている。



(4) 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は下記のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
- σ_l : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力
- τ_{lr} : せん断応力



(5) 応力集中係数

応力集中係数を表 19-2 に示す。応力集中係数は、疲労評価を行うときに形状の不連続の方向性を考慮して、応力集中が生じるピーク応力成分にこれを乗じる。

表 19-2 応力集中係数

応力評価点	応力集中係数	備考

2. 応力計算

応力の計算には、計算機コード「STAX」及び「ASHSD2」を用いた。応力計算のモデル及び仮定した境界条件（拘束条件）は図 19-2 のとおりである。

計算された各荷重による応力を、応力の分類ごとに重ね合わせ組合せ応力を求める。組合せ応力が一般に $\sigma_t, \sigma_\ell, \sigma_r, \tau_{t\ell}, \tau_{\ell r}, \tau_{rt}$ の 6 成分をもつ場合には、主応力 ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) は次式を満足する σ の 3 根として計算する。

$$\sigma^3 - (\sigma_t + \sigma_\ell + \sigma_r) \cdot \sigma^2 + (\sigma_t \cdot \sigma_\ell + \sigma_\ell \cdot \sigma_r + \sigma_r \cdot \sigma_t - \tau_{t\ell}^2 - \tau_{\ell r}^2 - \tau_{rt}^2) \cdot \sigma - \sigma_t \cdot \sigma_\ell \cdot \sigma_r + \sigma_t \cdot \tau_{\ell r}^2 + \sigma_\ell \cdot \tau_{rt}^2 + \sigma_r \cdot \tau_{t\ell}^2 - 2 \cdot \tau_{t\ell} \cdot \tau_{\ell r} \cdot \tau_{rt} = 0$$

応力差 $\sigma_{12}, \sigma_{23}, \sigma_{31}$ を次式により求め、その絶対値で最大のものを応力強さとする。

$$\sigma_{12} = \sigma_1 - \sigma_2$$

$$\sigma_{23} = \sigma_2 - \sigma_3$$

$$\sigma_{31} = \sigma_3 - \sigma_1$$

以上より求められた各応力評価点での Ss 地震荷重 (800gal) による一次+二次応力強さ (Sn) および一次+二次+ピーク応力強さ (Sp) の結果を表 19-3 に示す。

表 19-3 Ss 地震荷重による応力強さの評価のまとめ

応力評価点	Sn (MPa)	Sp (MPa)	3Sm (MPa)
P01			
P02			
P03			
P04			
P05			
P06			
P07			
P08			
P09			
P10			
P11			
P12			
P13			
P14			

3. 疲労評価方法

(1) 繰返しピーク応力強さ (S_ℓ)

疲労解析に用いる繰返しピーク応力強さを、一次+二次+ピーク応力強さ (S_p) から、次式により求める。

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

ただし、一次+二次応力の応力強さ (S_n) が $3S_m$ を超える応力評価点については、設計・建設規格 CSS-3320 に従い、繰返しピーク応力強さの割増しを行う。

(2) 縦弾性係数の補正

(1) 項で求めた S_ℓ に対し、設計疲労線図に使用されている縦弾性係数 (E_0) と解析に用いる縦弾性係数 (E) との比を考慮し、設計・建設規格 添付 4-2 3.2(1) のとおり、次式の補正を行う。

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

$E_0 = 1.95 \times 10^5$ MPa (設計・建設規格 添付 4-2 に示された縦弾性係数)

$E =$ MPa (に対する縦弾性係数)

(3) 疲労累積係数の算出

疲労累積係数の算出にあたって、 S_ℓ' に対応する許容繰返し回数 (N_a) を用いて、 S_s 地震による繰返し回数 N_c (60 回) として、設計・建設規格 CSS-3113 または CSS-3320 に従い、 S_s 地震による疲労累積係数 (U_{Ss}) を下式により算出し、許容値である 1.0 以下であることを確認する。

$$U_{Ss} = \frac{60}{N_a}$$

なお、繰返しピーク応力強さが 194MPa 以下のものについては、設計疲労線図として、設計・建設規格 表 添付 4-2-2 設計疲労線図 (図 添付 4-4-4(1) の曲線 C) を用いる。

4. 評価結果

炉心シユラウドの疲労評価結果を表 19-4、環境疲労を考慮した疲労累積係数に基準地震動 S_s (800gal) による疲労累積係数を加算した結果を表 19-5 に示す。

全ての応力評価点における疲労累積係数は許容値 1.0 以下であり、耐震安全性に問題がないことを確認した。

表 19-4 炉心シュラウドの疲労評価結果 (地震動 Ss)

応力 評価点	Sn (MPa)	Sp (MPa)	3Sm*1 (MPa)	K*2	Ke*3	S σ (MPa)	S σ' *4 (MPa)	Na	Nc	USs (Nc/Na)
P01									60	
P02									60	
P03									60	
P04									60	
P05									60	
P06									60	
P07									60	
P08									60	
P09									60	
P10									60	
P11									60	
P12									60	
P13									60	0.1055
P14									60	

注 : 疲労累積係数は, 設計・建設規格 CSS-3113 または CSS-3320 に従い算出する。

注記*1 : に対する値

*2 : $K = Sp/Sn$

*3 : 一次+二次応力強さ (Sn) が, 3Sm を超える場合は, 繰り返しピーク応力強さの割増を行う (設計・建設規格 CSS-3320)。

*4 : $S\sigma' = S\sigma \times$

表 19-5 炉心シュラウドの疲労評価結果（環境疲労+地震動 Ss）

分類	疲労累積係数			許容値
	Uen	USs	Uen+USs	
P01				1
P01'				1
P02				1
P02'				1
P03				1
P03'				1
P04				1
P04'				1
P05				1
P05'				1
P06				1
P06'				1
P07				1
P07'				1
P08				1
P08'				1
P09				1
P09'				1
P10				1
P10'				1
P11				1
P11'				1
P12				1
P12'				1
P13	0.0049	0.1055	0.1104	1
P13'	0.0049	0.1055	0.1104	1
P14				1
P14'				1

■ 内は営業秘密に属しますので公開できません

5. 評価温度に対する検討

本評価においては、冷温停止の温度ではなく運転温度を用いている。評価において温度に依存するパラメータとして、設計応力強さ (S_m) と縦弾性係数 (E) があるため、その影響について検討する。

設計応力強さ (S_m) は設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に示された値であり、温度の増加に伴い減少する。設計応力強さ (S_m) は、許容値 $3S_m$ として用いるため、運転温度にて評価した場合、保守的な評価となる。

縦弾性係数 (E) は、付録材料図表 Part6 表 1 より求めるが、温度の増加に伴い減少する。縦弾性係数 (E) は、3.(2)項のとおり設計疲労線図から読み取るための補正繰返しピーク応力強さ S_p' を求めるために用いる。運転温度にて評価した場合、縦弾性係数 (E) の減少に伴い補正繰返しピーク応力強さ S_p' が増加する。繰返しピーク応力強さが増加すると、許容繰返し回数が減少するため、保守的な評価となる。

以 上

シュラウドサポートの疲労割れに対する評価の具体的内容

1. 評価仕様

(1) 解析モデル及び応力評価点

形状・寸法・材料及び応力評価点は、浜岡原子力発電所第3号機工事計画届出書（本浜岡発第856号 平成17年1月20日届出）参考資料「IV-2-1-3 シュラウドサポートの応力計算書」と同様であり、シュラウドサポートの形状・寸法・材料・評価点を図19-3に示す。

応力は、下部鏡板、支持スカート、シュラウドサポート及び炉心シュラウド下部胴を模擬した解析モデルを用いて評価を行った。解析モデルの詳細を図19-4に示す。



図 19-3 シュラウドサポートの形状・材料・寸法・応力評価点

■ 内は営業秘密に属しますので公開できません



図 19-4 シュクラウドサポートの解析モデル

■ 内は営業秘密に属しますので公開できません

(2) 物性値の条件

評価に用いる物性値は [] に対する値を用いる。

(3) 入力条件

① 地震時等価繰り返し回数 N_c : 60回

② 地震荷重 : 基準地震動 Ss (800gal) 地震荷重

評価に用いる基準地震動 Ss (800gal) 地震荷重の値を表 19-6 及び表 19-7 に示す。

表 19-6 荷重条件 (シュラウドサポート)

荷重名称	鉛直力			水平力	モーメント
	V_1 (kN)	V_2 (kN)	V_3^* (kN)	H (kN)	M (kN・m)
基準地震動 Ss	[]				



表 19-7 荷重条件 (下部鏡板及び原子炉压力容器支持スカート)

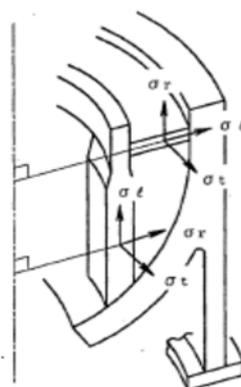
荷重名称	鉛直力		水平力	モーメント
	V ₁ (kN)	V ₂ (kN)	H (kN)	M (kN・m)
基準地震動 S _s				



(4) 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は下記のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
- σ_ℓ : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力
- τ : せん断応力



(5) 応力集中係数

応力集中係数を表 19-8 に示す。

表 19-8 応力集中係数

応力評価点	応力集中係数		備考
	Kn 引張り	Kb 曲げ	
P01			
P02			
P03~P10			
P11~P12			
P13~P16			
P17			
P18			

※ 1 March 1979 Revision of WRC Bulletin 107/August 1965 「Local Stress in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings」

※ 2 西田正孝, “応力集中”, 北森出版, 昭和 42 年

2. 応力計算

応力の計算には、計算機コード「STANSAS」を用いた。応力計算のモデル及び仮定した境界条件（拘束条件）は図 19-4 のとおりである。

計算された各荷重による応力を、応力の分類ごとに重ね合わせ組合せ応力を求める。組合せ応力が一般に σ_t , σ_ℓ , σ_r , $\tau_{t\ell}$, $\tau_{\ell r}$, τ_{rt} の 6 成分をもつ場合には、主応力 (σ_1 , σ_2 , σ_3) は次式を満足する σ の 3 根として計算する。

$$\begin{aligned} &\sigma^3 - (\sigma_t + \sigma_\ell + \sigma_r) \cdot \sigma^2 + (\sigma_t \cdot \sigma_\ell + \sigma_\ell \cdot \sigma_r + \sigma_r \cdot \sigma_t - \tau_{t\ell}^2 - \tau_{\ell r}^2 - \tau_{rt}^2) \cdot \sigma \\ &- \sigma_t \cdot \sigma_\ell \cdot \sigma_r + \sigma_t \cdot \tau_{\ell r}^2 + \sigma_\ell \cdot \tau_{rt}^2 + \sigma_r \cdot \tau_{t\ell}^2 - 2 \cdot \tau_{t\ell} \cdot \tau_{\ell r} \cdot \tau_{rt} = 0 \end{aligned}$$

応力差 σ_{12} , σ_{23} , σ_{31} を次式により求め、その絶対値で最大のものを応力強さとする。

$$\sigma_{12} = \sigma_1 - \sigma_2$$

$$\sigma_{23} = \sigma_2 - \sigma_3$$

$$\sigma_{31} = \sigma_3 - \sigma_1$$

以上より求められた各応力評価点での Ss 地震荷重 (800gal) による一次+二次応力強さ (Sn) および一次+二次+ピーク応力強さ (Sp) の結果を表 19-9 に示す。

表 19-9 Ss 地震荷重による応力強さの評価結果 (代表点)

応力評価点	Sn (MPa)	Sp (MPa)	3Sm (MPa)
P02			
P09			
P16			

3. 疲労評価方法

(1) 繰返しピーク応力強さ (S_ℓ)

疲労解析に用いる繰返しピーク応力強さを、一次+二次+ピーク応力強さ (S_p) から、次式により求める。

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

ただし、一次+二次応力の応力最大範囲 (S_n) が $3S_m$ を超える応力評価点については、設計・建設規格 CSS-3320 に従い、繰返しピーク応力強さの割増しを行う。

(2) 縦弾性係数の補正

(1) 項で求めた S_ℓ に対し、設計疲労線図に使用されている縦弾性係数 (E_0) と改世紀に用いる縦弾性係数 (E) との比を考慮し、設計・建設規格 添付 4-2 3.2(1) のとおり、次式の補正を行う。

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

$E_0 = 1.95 \times 10^5$ MPa (設計・建設規格 添付 4-2 に示された縦弾性係数)

$E =$ [] MPa [] に対する縦弾性係数)

(3) 疲労累積係数の算出

疲労累積係数の算出にあたって、 S_{ℓ}' に対応する許容繰返し回数 (N_a) を用いて、 S_s 地震による繰返し回数 N_c (60回) として、設計・建設規格 CSS-3113 または CSS-3320 に従い、 S_s 地震による疲労累積係数 (U_{Ss}) を下式により算出し、許容値である 1.0 以下であることを確認する。

$$U_{Ss} = \frac{60}{N_a}$$

なお、繰返しピーク応力強さが 194MPa 以下のものについては、設計疲労線図として、設計・建設規格 表 添付 4-2-2 設計疲労線図 (図 添付 4-4-4(1)の曲線 C) を用いる。

4. 評価結果

シュラウドサポートの疲労評価結果を表 19-10、環境疲労を考慮した疲労累積係数に基準地震動 S_s (800gal) による疲労累積係数を加算した結果を表 19-11 に示す。

全ての応力評価点における疲労累積係数は許容値 1.0 以下であり、耐震安全性に問題がないことを確認した。

表 19-10 シュラウドサポートの疲労評価結果 (地震動 S_s , 代表点)

応力 評価点	S_n (MPa)	S_p (MPa)	$3S_m^{*1}$ (MPa)	K^{*2}	K_e^{*3}	S_{ℓ} (MPa)	$S_{\ell}'^{*4}$ (MPa)	N_a	N_c	U_{Ss} (N_c/N_a)
P02	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	60	[]
P09	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	60	[]
P16	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	60	0.3637

注 : 疲労累積係数は、設計・建設規格 CSS-3113 または CSS-3320 に従い算出する。

注記*1 : [] に対する値

*2 : $K = S_p/S_n$

*3 : 一次+二次応力強さ (S_n) が、 $3S_m$ を超える場合は、繰返しピーク応力強さの割増を行う (設計・建設規格 CSS-3320)。

*4 : $S_{\ell}' = S_{\ell} \times$ []

表 19-11 炉心シュラウドの疲労評価結果（環境疲労+地震動 Ss）

分類 評価点	疲労累積係数			許容値
	Uen	USs	Uen+USs	
P01				1
P01'				1
P02				1
P02'				1
P03				1
P03'				1
P04				1
P04'				1
P05				1
P05'				1
P06				1
P06'				1
P07				1
P07'				1
P08				1
P08'				1
P09				1
P09'				1
P10				1
P10'				1
P11				1
P11'				1
P12				1
P12'				1
P13				1
P13'				1
P14	0.2646	0.0001	0.2647	1
P14'	0.2646	0.0001	0.2647	1
P15				1
P15'				1
P16	0.0341	0.3637	0.3978	1
P16'	0.0341	0.3637	0.3978	1
P17				1
P17'				1
P18				1
P18'				1

■ 内は営業秘密に属しますので公開できません

5. 評価温度に対する検討

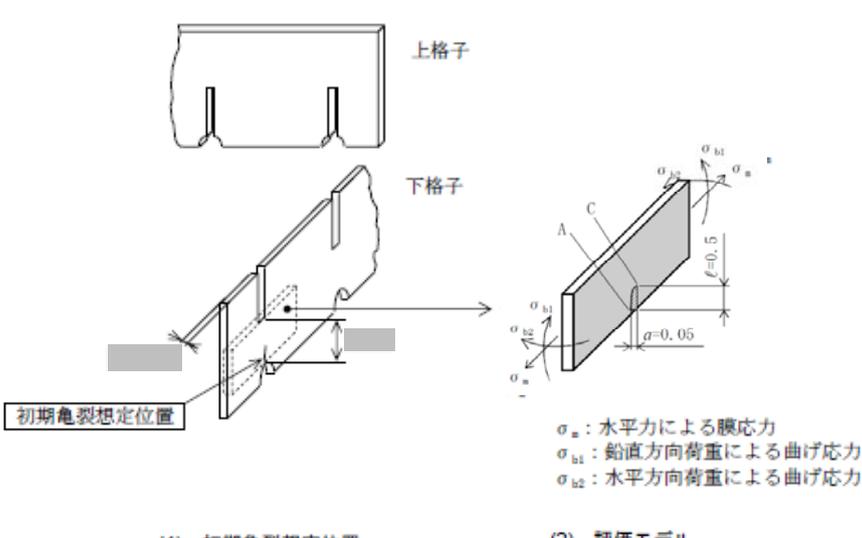
本評価においては、冷温停止の温度ではなく運転温度を用いている。評価において温度に依存するパラメータとして、設計応力強さ (S_m) と縦弾性係数 (E) があるため、その影響について検討する。

設計応力強さ (S_m) は、設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に示された値であり、評価対象の材料 (NCF600) では、常温から運転温度の範囲で同値であるため、評価に影響はない。

縦弾性係数 (E) は、付録材料図表 Part6 表 1 より求めるが、温度の増加に伴い減少する。縦弾性係数 (E) は、3.(2)項のとおり設計疲労線図から読み取るための補正繰返しピーク応力強さ S_p' を求めるために用いる。運転温度にて評価した場合、縦弾性係数 (E) の減少に伴い補正繰返しピーク応力強さ S_p' が増加する。繰返しピーク応力強さが増加すると、許容繰返し回数が減少するため、保守的な評価となる。

以 上

浜岡3号炉—耐震—20 Rev.2

<p>タイトル</p>	<p>上部格子板の靱性低下に対する評価の具体的内容（評価仕様，解析モデル，入力（荷重）条件，評価結果を含む）について</p>
<p>説明</p>	<p>上部格子板のうち高速中性子照射量（以下「照射量」という。）が大きいグリッドプレートに対して，照射誘起型応力腐食割れ（以下「IASCC」という。）が発生するものと仮定し，IASCC によるき裂進展と中性子照射量の増加による靱性低下を考慮して，地震力を受けた場合のき裂安定性評価を行った。</p> <p>1. 評価条件</p> <p>(1) 初期想定欠陥</p> <p>上部格子板のグリッドプレート（下格子）の切欠き部に設定する初期き裂の想定位置については図 20-1 のとおりである。初期き裂は深さ（板厚方向）0.05mm，長さ（鉛直方向）0.5mm の 1/4 楕円き裂とする。なお，初期き裂の想定寸法については，「BWR 炉内構造物点検評価ガイドライン [炉心シュラウド]」を参考に設定している。</p> <div style="text-align: center;">  <p>(1) 初期亀裂想定位置</p> <p>(2) 評価モデル</p> <p>σ_a : 水平力による膜応力 σ_{bt} : 鉛直方向荷重による曲げ応力 σ_{bt2} : 水平方向荷重による曲げ応力</p> </div> <p>図 20-1 上部格子板の初期き裂想定位置及び評価モデル</p> <p>(2) 作用応力条件及び差圧条件</p> <p>評価における作用応力はき裂進展評価においては死荷重による応力を用い，破壊評価においては死荷重及び地震荷重による応力を用いる。なお，設計差圧はき裂を進展させる方向に作用しないため，考慮しない。死荷重及び地震荷重による応力について①，②及び表 20-1 に，各計算に用いた記号について表 20-2 に示す。</p>

① 死荷重による応力

死荷重による鉛直方向荷重による曲げ応力は、建設工認の方法に基づきグリッドプレートを両端固定はりとしみなして以下のとおり算定する。自重によりグリッドプレートに作用する荷重 W_G を次式により求める。

$$W_G = \gamma \cdot g \cdot L \cdot t \cdot (h_1 + h_2)$$

この時 L_1 における曲げモーメント M_{L1} は

$$M_{L1} = \frac{W_G}{2} \left(\frac{L}{6} + \frac{L_1^2}{L} - L_1 \right)$$

であり、発生する曲げ応力 σ_{b1} は次式のとおりである。

$$\sigma_{b1} = \frac{M_{L1}}{Z_1}$$

ここで、 $Z_1 = \frac{t \cdot h_1^2}{6}$ である。

② 地震荷重による応力

a. 水平力による膜応力

地震荷重により生じる水平力による膜応力 σ_m は、建設工認の方法に基づき上部格子板に作用する水平力 H より求める。水平力による膜応力 σ_m は格子1個あたりの値であり、水平力は燃料集合体764体による値であるため、1格子あたり最大4体分に相当する水平力 W_H が作用するものとして算定する。

$$W_H = H \cdot \frac{4}{764}$$

$$\sigma_m = \frac{W_H}{2A}$$

ここで、 $A = h_1 \cdot t$ である。

b. 鉛直方向荷重による曲げ応力

地震荷重による鉛直方向荷重による曲げ応力は、建設工認の方法に基づきグリッドプレートを両端固定はりとしみなして以下のとおり算定する。

地震力によりグリッドプレートに作用する荷重 W_V を次式により求める。

$$W_V = \gamma \cdot g \cdot L \cdot t \cdot (h_1 + h_2) \cdot C_V$$

この時 L_1 における曲げモーメント M_{L1s} は

$$M_{L1s} = \frac{W_V}{2} \left(\frac{L}{6} + \frac{L_1^2}{L} - L_1 \right)$$

であり、発生する曲げ応力 σ_{b1s} は次式のとおりである。

$$\sigma_{b1s} = \frac{M_{L1s}}{Z_1}$$

c. 水平方向荷重による曲げ応力

地震荷重により生じる水平方向荷重による曲げ応力 σ_{b2} は、建設工認の方法に基づき水平力により生じる最大曲げモーメント M_{max} から以下のとおり求める。

$$M_{max} = \frac{W_H \cdot L_2}{12}$$

$$\sigma_{b2} = \frac{M_{max}}{Z_2}$$

ここで、 $Z_2 = \frac{h_1 \cdot t^2}{6}$ である。

表 20-1 作用応力条件

(単位：MPa)

荷重区分	水平力による膜応力 (σ_m)	鉛直方向荷重による曲げ応力 (σ_{b1})	水平方向荷重による曲げ応力 (σ_{b2})
死荷重			
地震荷重 Ss(800gal)			

※1

※2

表 20-2 記号の説明

項目	記号	入力値	単位	
材料の比重量	γ		kg/mm ³	
グリッドプレート板厚	t		mm	
グリッドプレートの切欠き部を除く高さ	h_1		mm	
切欠き部の高さ	h_2		mm	
最長グリッドプレート長さ	L		mm	
グリッドプレート端部からの長さ	L_1		mm	
グリッドプレートの切欠き部間の長さ	L_2		mm	
グリッドプレートの格子全体に作用する水平力	H		kN	
鉛直震度	C_V		—	
重力加速度	g		9.80665	m/s ²

(3) 破壊靱性値 K_{IC}

死荷重、地震荷重によるき裂の応力拡大係数 (K 値) が破壊靱性値を超えるか否かによる線形弾性破壊基準の判定を行う。評価に使用する破壊靱性値は、発電用原子力設備規格 維持規格 添付 E-14 に従い、照射量 ϕ が

$$3.0 \times 10^{24} \text{ n/m}^2 < \phi \leq 8.0 \times 10^{24} \text{ n/m}^2 \quad (E > 1 \text{ MeV}) \text{ の場合,}$$

$$K_{IC} = 165 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

$$8.0 \times 10^{24} \text{ n/m}^2 < \phi \quad (E > 1 \text{ MeV}) \text{ の場合,}$$

$$K_{IC} = 43.2 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

とする。

(4) 中性子束

照射量を得るための高速中性子束条件について、保守的に固定値を適用した。中性子束は、図 20-1 に示すグリッドプレート下格子切欠き部の値を用い $\text{■■■■ n/cm}^2/\text{s}$ を適用した。

2. 評価

(1) き裂進展評価

発電用原子力設備規格 維持規格 解説 IJG-B-3 「IASCC 発生のしきい照射量」からグリッドプレート材質が SUS316L であることから照射量が $1.0 \times 10^{25} \text{ n/m}^2$ を超えた時点でき裂が進展するものとした。

なお、照射量が IASCC 発生のしきい値を超えてき裂が進展し始めると想定した年数は、1. (4) に示す中性子束より ■■■■ となる。

① き裂進展速度

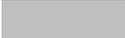
き裂進展速度は維持規格におけるオーステナイト系ステンレス鋼の BWR 炉内水質環境中の SCC き裂進展速度 (中性子照射量が $5.0 \times 10^{24} \text{ n/m}^2$ ($E > 1 \text{ MeV}$) を超える場合) を用いた。き裂進展速度の算出に用いるパラメータは表 20-3 のとおりとした。

表 20-3 き裂進展速度の算出に用いるパラメータ

パラメータ	設定値	単位
初期鋭敏化度 EPR_0	■■■■	C/m ²
導電率 κ	■■■■	$\mu \text{ S/m}$
腐食電位 ϕ	■■■■	mV _{SHE}

② 評価期間

き裂進展評価の評価期間は、運転開始後 40 年までの期間とする。ただし、平成 22 年 11 月 29 日の原子炉停止以降は安定停止を前提としているため、安定停止期間中の高速中性子束は $0\text{n/cm}^2/\text{s}$ として評価する。

このため、評価期間は中性子照射量がしきい値を超過した時点～原子炉停止であり、この期間の年数は、 から 18.43EFPY となる。

③ 応力拡大係数 (K 値) 評価

1/4 楕円コーナき裂に作用する応力拡大係数 (K 値) は、
 に基づき計算する。

応力拡大係数 (K 値) については、水平力による膜応力 (σ_m) による K 値、鉛直方向荷重による曲げ応力 (σ_{b1}) による K 値及び水平方向荷重による曲げ応力 (σ_{b2}) による K 値をそれぞれ求め、その重ね合わせを行う。それぞれの応力における K 値の算出式は以下のとおりとなる。





図 20-2 応力拡大係数評価式における座標軸の定義

④ き裂進展評価

初期き裂から時間ステップごとに深さ方向及び長さ方向のき裂進展量増分を求め、評価期間に達するまでき裂進展計算を繰り返すことにより、評価期間である 18.43EFPY 時点のき裂寸法を求めた。18.43EFPY 時点までのき裂進展評価の結果を表 20-4 に示す。

表 20-4 18.43EFPY 時点のき裂進展評価結果

項目	値	単位
き裂深さ		mm
き裂長さ		mm

(2) 破壊評価

前項で求めた運転開始後 40 年時点 (18.43EFPY) のき裂に対して破壊評価を実施した。破壊評価においては死荷重及び地震荷重 (表 20-1) を考慮した。

18.43EFPY 時点の中性子照射量 ϕ は [redacted] n/m² であり、1.(3) で示したとおり破壊靱性値は $43.2 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ となる。

18.43EFPY 時点の水平力、水平方向荷重及び鉛直方向荷重による曲げモーメントそれぞれによる応力拡大係数の算出結果を表 20-5 に示す。

それぞれの応力拡大係数の合計は、破壊靱性値を下回ることから、不安定破壊は生じず、上部格子板の IASCC 及び中性子照射量の増加による靱性低下は耐震安全性に問題のないことを確認した。

表 20-5 破壊評価結果

評価位置	応力拡大係数($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$)				許容値
	水平力	鉛直方向 ^{※1} 荷重による 曲げ	水平方向 荷重による 曲げ	合計	破壊靱性値 ($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$)
最深点A	■			1.11 ^{※2}	43.2
表面点C				0.49 ^{※2}	43.2

※1 死荷重によるものを含む。

※2 合計が合わないのは丸め誤差によるもの。

3. 応力集中による影響程度の確認

グリッドプレート下格子切欠き部における応力集中の影響を定量的に確認することを目的に以下のとおり評価を行った。

応力集中による影響程度の確認のための評価では、保守的に応力集中係数を5とし、応力集中係数を乗じた応力を用いて1. 項, 2. 項に従いき裂進展評価及び破壊評価を行った。運転開始後40年時点(18.43EFPY)のき裂進展評価結果(応力集中による影響程度の確認)を表20-6に、破壊評価結果(応力集中による影響程度の確認)のための評価を表20-7に示す。

表 20-6 18.43EFPY 時点のき裂進展評価結果
(応力集中による影響程度の確認)

項目	値	単位
き裂深さ	■	mm
き裂長さ	■	mm

表 20-7 破壊評価結果 (応力集中による影響程度の確認)

評価位置	応力拡大係数($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$)				許容値
	水平力	鉛直方向 ^{※1} 荷重による 曲げ	水平方向 荷重による 曲げ	合計	破壊靱性値 ($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$)
最深点A	■			17.22	43.2
表面点C				16.15 ^{※2}	43.2

※1 死荷重によるものを含む。

※2 合計が合わないのは丸め誤差によるもの。

以上より、応力集中を考慮した場合においても安定停止を前提とした評価期間において、初期き裂の進展後のき裂は板厚貫通に至らず、このき裂に作用する応力拡大係数の合計は破壊靱性値 $43.2 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ に比べ十分に余裕があることから、耐震安全性への影響はないものと判断する。

参考文献

Murakami, Y., Stress Intensity Factors Handbook, Vol.2. p.728, 9.30
Weighting Function for a Quarter-Elliptical Crack in a Plate under Basic
Mode of Stress Distribution, Pergamon Press, (1986).

以上

浜岡3号炉－耐震－24 Rev.2

タイトル	今回の高経年化技術評価に当たって既工認からの評価条件，評価手法の変更点，その変更内容及び適用実績について。
説明	<p>既工認からの評価条件，評価手法の変更点，その変更内容及び適用実績は以下のとおりです。</p> <p>1. 設計用減衰定数</p> <p>既工認は日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」発行前のため，配管について保守的な設計用減衰定数を適用していましたが，高経年化技術評価では，日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」に準拠して評価を実施しております。</p> <ul style="list-style-type: none">・変更対象：配管系・適用実績：耐震バックチェック，定期安全レビュー <p>[参考]</p> <p>既工認における配管解析に用いた減衰定数 </p> <p>2. 解析モデル</p> <p>既工認から解析モデルを変更しています。</p> <p>添付資料 24-1 に解析モデル変更点を示します。</p> <ul style="list-style-type: none">・変更対象：余熱除去熱交換器，配管系（改造）・適用実績：耐震バックチェック，定期安全レビュー・変更対象：原子炉圧力容器給水ノズル（有限要素法）・適用実績：定期安全レビュー・変更対象：低圧炉心スプレイポンプ，余熱除去ポンプ，高圧炉心スプレイポンプ（単質点モデル）・適用実績：なし

3. 応力集中係数

炉心シュラウド、シュラウドサポートの疲労評価では、実際の形状等を踏まえ、応力集中係数を設定しました。

添付資料 24-2 に応力集中係数変更点を示します。

- ・変更対象：炉心シュラウド、シュラウドサポート
- ・適用実績：なし

添付資料 24-1 解析モデル変更点

添付資料 24-2 応力集中係数変更点

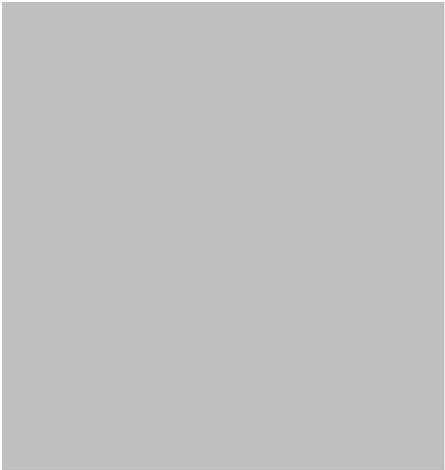
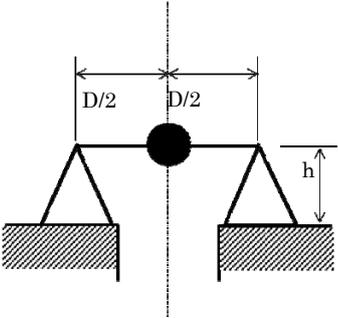
以上

解析モデル変更点

項目	既工認手法	高経年化技術評価解析モデル
解析モデル	余熱除去熱交換器 (改造前モデル)	余熱除去熱交換器 (改造後モデル)
変更点	脚部サポート追加によりモデル修正しています。	

項目	既工認手法	高経年化技術評価解析モデル
解析モデル	原子炉圧力容器給水ノズル 理論式により評価	原子炉圧力容器給水ノズル
変更点	外荷重の評価について、理論式による評価から有限要素法による評価に変更しています。	

■ 内は営業秘密に属しますので公開できません

項目	既工認手法	高経年化技術評価解析モデル
解析モデル	多質点モデル※ (低圧炉心スプレイポンプ) 	単質点モデル 
変更点	多質点モデルから、単質点モデルへ変更しています。	

※：余熱除去ポンプ，高圧炉心スプレイポンプも同様な多質点モデルです。

 内は営業秘密に属しますので公開できません

応力集中係数変更点

炉心シュラウドの応力集中係数

応力評価点	既工認		高経年化技術評価		備考
	Kn 引張り	Kb 曲げ	Kn 引張り	Kb 曲げ	



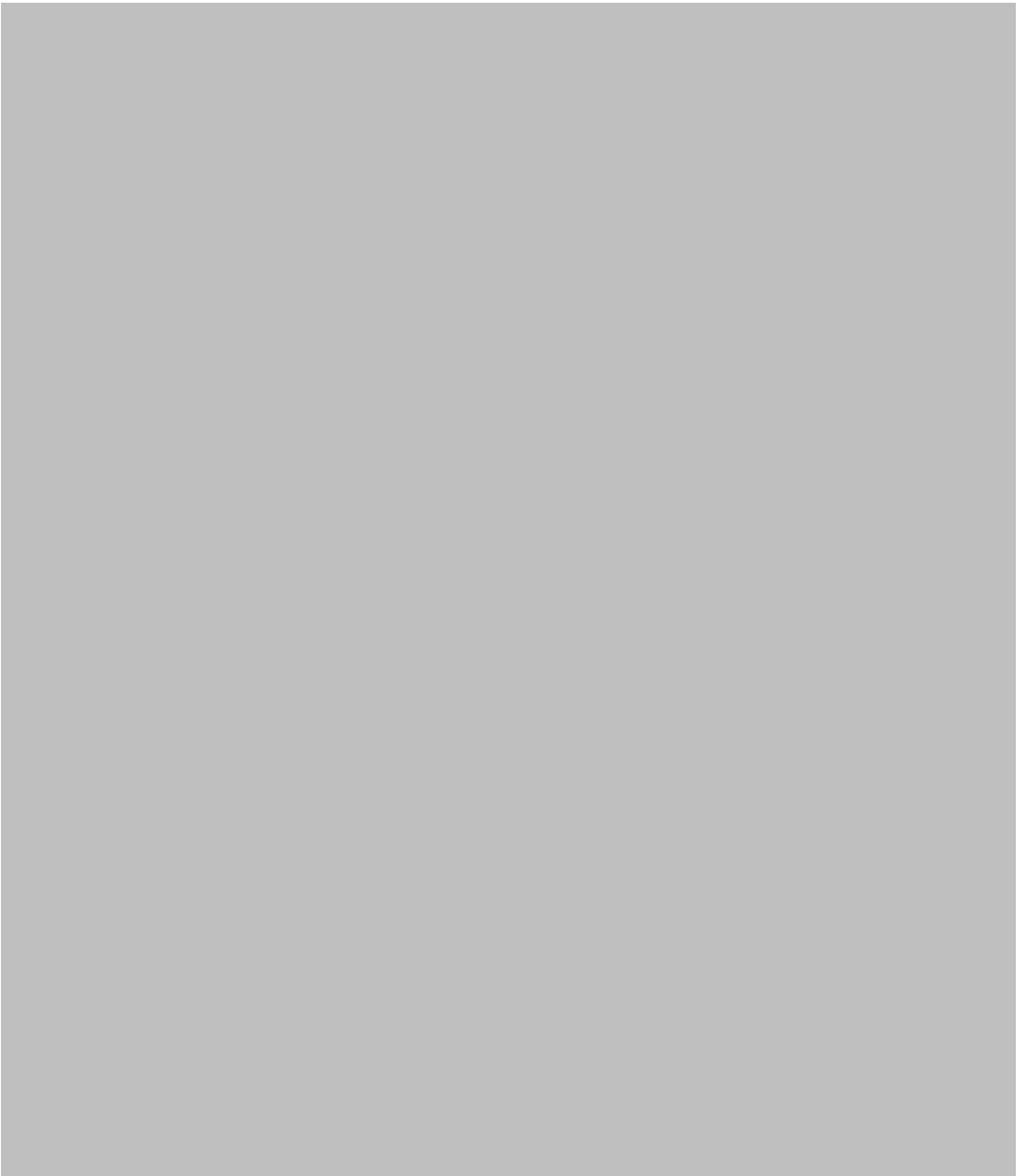
■ 内は営業秘密に属しますので公開できません

シュラウドサポートの応力集中係数

応力評価点	既工認		高経年化技術評価		備考
	Kn 引張り	Kb 曲げ	Kn 引張り	Kb 曲げ	

※1 西田正孝, “応力集中”, 北森出版, 昭和 42 年

※2 March 1979 Revision of WRC Bulletin 107/August 1965 「Local Stress in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings」



■ 内は営業秘密に属しますので公開できません