

島根原子力発電所 2号炉

地震による損傷の防止

(耐震設計の論点)

[地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持]

令和元年 8月
中国電力株式会社

No.	論点	回答頁
論点[Ⅱ]既工認と今回工認の手法の相違点の整理に基づく論点		
＜機器・配管系＞		
1	[論点Ⅱ－7：地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持] ・燃料被覆管の閉じ込め機能維持の観点で、地震時の荷重を考慮した一次＋二次応力の評価を実施する。	2～20

論点Ⅱ-7 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持（1）

■ 耐震設計の論点

【論点Ⅱ-7：地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持】（論点の重み付け：A）

○燃料被覆管の閉じ込め機能維持の観点で、地震時の荷重を考慮した一次＋二次応力の評価を実施する。

■ 論点に係る説明概要

- 平成29年9月11日に改正施行された「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」において、地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持についての要求が追加された。
- 追加要求事項を受け、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に燃料被覆管にかかる荷重に加え、地震時の荷重を考慮した燃料被覆管応力評価及び疲労評価を行う方針とする。
- 応力評価については、「発電用原子炉の燃料体に対する地震の影響について（平成29年2月15日、原子力規制庁）」に基づき、応力評価基準を設定する。また、スペーサ間、スペーサ部、下部端栓溶接部を応力評価対象部位とし、スペーサ部・スペーサ間については厚肉円筒式を用いた弾性解析により入力変数の統計的分布に基づくモンテカルロ法による統計評価を、下部端栓溶接部については保守的な条件を用いた有限要素法による決定論的評価を行う。
- 疲労評価については、下部端栓溶接部を評価部位とし、累積損傷の法則（Minerの仮説）及びLanger-O'Donnellの考え方に基づき、評価を実施する。
- 9×9燃料（A型）、9×9燃料（B型）、MOX燃料について評価を実施し、地震による応力を考慮した場合においても、応力設計比は最大で0.84、疲労係数の増分は最大で0.00532であり、追加要求事項に対する基準適合性を見通しを得た。
- なお、詳細評価については工事計画認可申請段階で説明する。

■ 先行プラント(BWR)実績

- 柏崎刈羽6/7号炉及び東海第二にて原子炉設置変更許可取得、工事計画認可申請済み

論点Ⅱ-7 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持（2）

1. はじめに

- 従来、燃料被覆管の応力評価に関しては、燃料の健全性を確認する観点から、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する応力を考慮し、燃料被覆管の応力設計比の評価を行っている。〔原子炉設置(変更)許可申請書添付書類八及び燃料体設計認可申請書添付書類Ⅱ（応力解析）〕
また、崩壊熱除去可能な形状の維持の観点から、地震時の一次応力も考慮した応力評価を実施している。〔工事計画認可申請書及び燃料体設計認可申請書添付書類Ⅱ（耐震解析）〕
- 一方、平成29年8月30日の原子力規制委員会において、「実用発電用原子炉及びその附属施設的位置、構造及び設備の基準に関する規則」の改正が決定、平成29年9月11日に施行され、地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持についての要求が追加された。
- 本資料では、地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る設計方針及び基準地震動等に対する基準適合性の見通しについて説明する。なお、詳細評価については、適切な評価条件等を設定して実施することとし、その評価結果について工事計画認可申請段階で説明する。

論点Ⅱ-7 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持（3）

2. 基本方針

（1）要求事項の整理

以下に改正された設置許可基準規則第4条及び同規則の解釈を示す。

設置許可基準規則第4条及び設置許可基準規則第4条の解釈

設置許可基準規則 第4条（地震による損傷の防止）	設置許可基準規則の解釈 第4条（地震による損傷の防止）	備考
設計基準対象施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。	一 第1項に規定する「地震力に十分に耐える」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と、弾性設計用地震動による地震力（本規程別記2第4条第4項第1号に規定する弾性設計用地震動による地震力をいう。）又は静的地震力（同項第2号に規定する静的地震力をいい、Sクラスに属する機器に対し算定されるものに限る。）のいずれか大きい方の地震力を組み合わせた荷重条件に対して、炉心内の燃料被覆材の応答が全体的におおむね弾性状態に留まることをいう。	解釈 追記
5 炉心内の燃料被覆材は、基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込め機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	二 第5項に規定する「基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込め機能が損なわれるおそれがない」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込め機能に影響を及ぼさないことをいう。	追加 要求 事項

論点Ⅱ-7 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持（4）

（1）要求事項の整理

本規則改正に伴う要求事項として、「実用発電用原子炉に燃料体に対する地震の影響の考慮について（原子力規制庁，平成29年2月15日）」において以下のとおり示されている。

『・・地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る評価として、より精緻化する観点から、地震力並びに地震力と重畳する可能性のある1次応力及び2次応力を加味した評価を実施することを求める必要がある。よって、原子力規制庁としては、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に、基準地震動 s_s の地震が発生した場合でも、燃料被覆管の閉じ込め機能は維持できることを新たに要求し、耐震重要度分類 s クラスの耐震設計の考え方になって、その判断基準として、基準地震動 s_s の地震による1次応力を加味した運転状態における応力が設計引張強さを下回ること、また、弾性設計用地震動 s_d の地震による1次応力を加味した運転状態における応力が設計降伏点を下回ることとしたい。』

（2）追加要求事項への適合性に係る設計方針

規則へ適合するための燃料被覆材の設計方針として、発電用原子炉設置変更許可申請書に以下のとおり追記。

炉心内の燃料被覆材の放射性物質の閉じ込め機能については、以下のとおり設計する。
弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対して、炉心内の燃料被覆材の応答が全体的におおむね弾性状態にとどまるように設計する。
基準地震動による地震力に対して、放射性物質の閉じ込め機能に影響を及ぼさないように設計する。

論点Ⅱ-7 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持（5）

3. 追加要求事項に係る評価項目の選定

- 構造強度設計での考慮事項

BWR燃料集合体は「沸騰水型原子炉に用いられる8行8列型の燃料集合体について（昭和49年12月25日，原子炉安全専門審査会）」に従い，構造強度設計で以下を考慮している。なお，損傷限界は1%塑性歪及び沸騰遷移であり，それぞれ最大線出力密度と最小限界出力比を通常運転時の熱的制限値として管理することで損傷限界に至らないことを確認しているため，地震の影響は問題とならない。

- (1) 被覆管にかかる応力は，設計応力強さ限界を超えないこと。
- (2) 累積疲労サイクル数は，設計疲労寿命を超えないこと。
- (3) 使用中に燃料棒の変形等による過度の寸法変化を生じないこと。

- 地震動の影響を考慮すべき評価項目

地震動により燃料被覆管に外力として応力が作用し，また，地震動が継続する間繰返し応力として作用するため，上記の内，(1)及び(2)について地震影響を考慮した評価を行う。

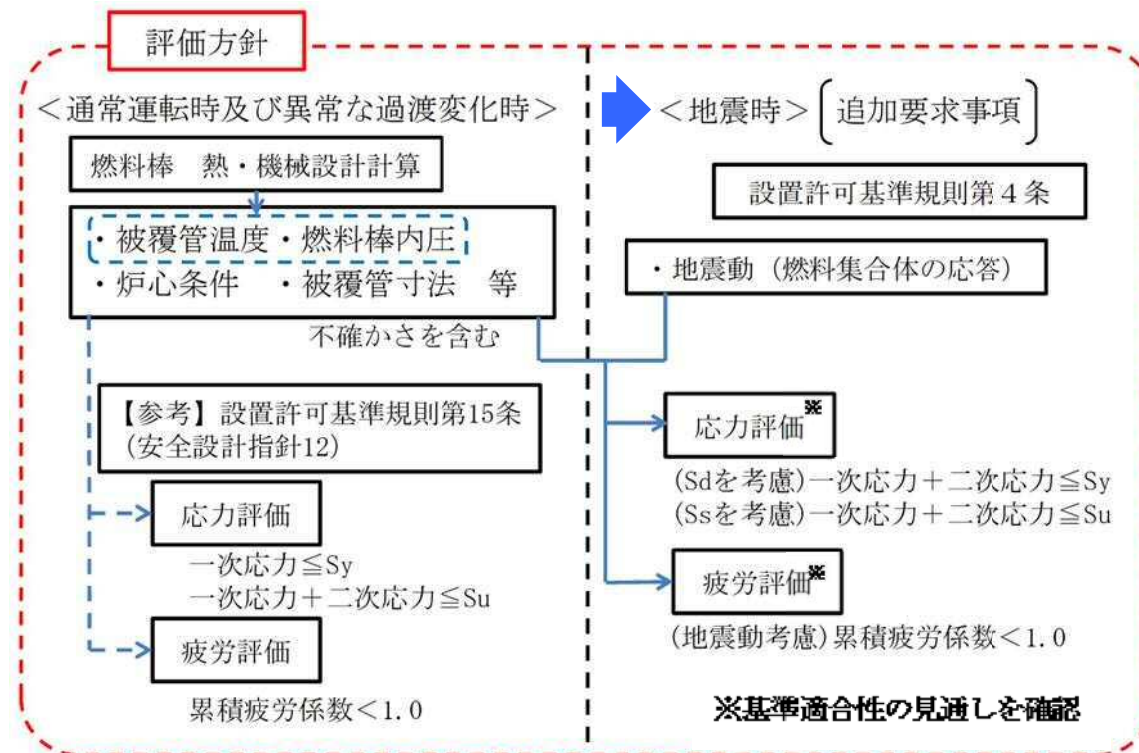
(3)の燃料集合体に異常な寸法形状変化を生じさせないための以下の配慮は地震の影響が問題とならないことから評価対象としない。

- 燃料被覆管製造時における残留応力除去
- スペースによる燃料棒の間隔保持及び燃料棒の軸方向伸縮を拘束しない接触圧保持
- 上部タイプレートを通して燃料棒の軸方向伸びを自由に逃げられるようにすること
- スペース等によるウォータロッドと燃料棒の軸方向伸びの差への処置

論点Ⅱ-7 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持（6）

4. 燃料被覆管閉じ込め機能評価方針

通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に燃料被覆管にかかる荷重に加え、地震動を考慮する場合は地震時の荷重を考慮。燃料棒熱・機械設計解析コードから得られる燃料被覆管温度や燃料棒内圧のほか、燃料被覆管寸法、冷却材圧力等の炉心条件、地震動による影響を評価する場合は、地震動に対する燃料集合体の応答加速度、応答変位を入力値とした応力評価及び疲労評価を行う方針とする。



燃料被覆管閉じ込め機能評価方針

論点Ⅱ-7 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持（7）

5. 追加要求事項を踏まえた燃料被覆管応力評価条件

（1）荷重の組合せと許容応力

「実用発電用原子炉の燃料体に対する地震の影響の考慮について（平成29年2月15日，原子力規制庁）」に基づき応力評価基準を以下のように設定。

燃料被覆管の応力評価条件

運転状態	要求機能	考慮する応力と地震動※	許容応力
地震時	燃料被覆管の閉じ込め機能	一次応力（ s_d を考慮） + 二次応力（ s_d を考慮）	降伏応力（ s_y ）
		一次応力（ s_s を考慮） + 二次応力（ s_s を考慮）	引張強さ（ s_u ）

※：評価に当たって考慮する地震動を（ ）内に示す。

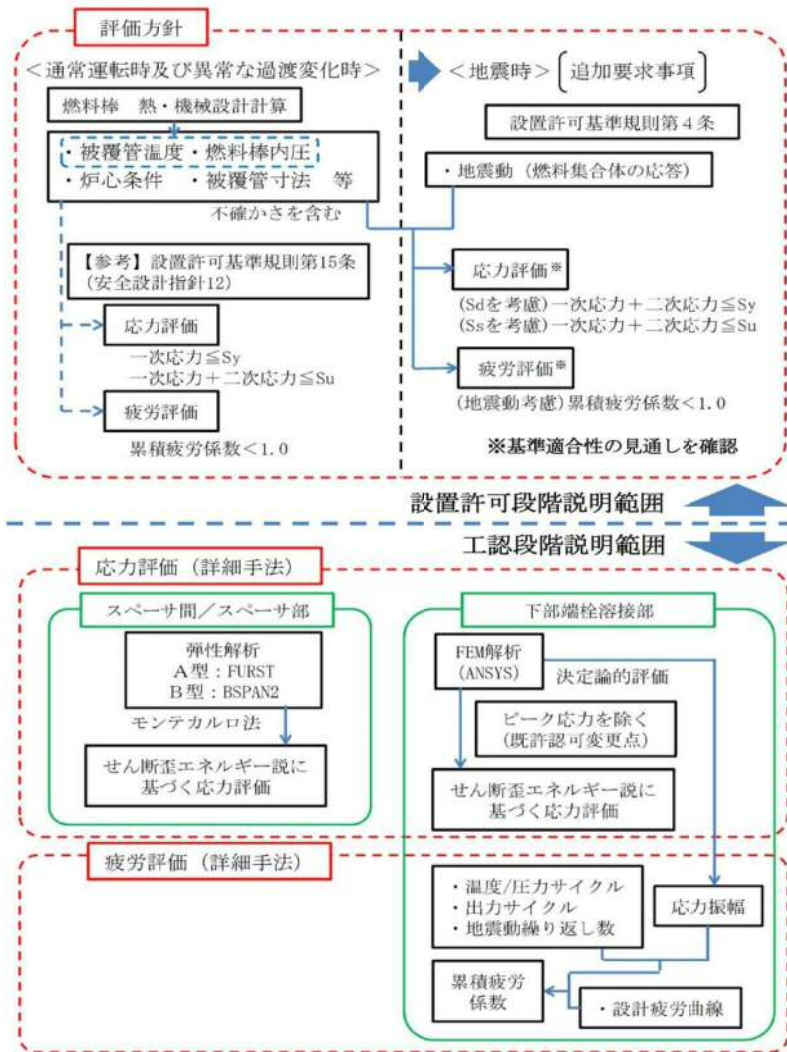
（参考）従来の応力評価基準※（BWR）

運転状態	要求機能	考慮する応力と地震動	許容応力
通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時	燃料被覆管の閉じ込め機能	一次応力	降伏応力（ s_y ）
		一次応力+ 二次応力	引張強さ（ s_u ）
地震時	崩壊熱除去可能な形状の維持	一次応力	$0.7s_u$

※：追加要求事項を踏まえた燃料被覆管の応力評価条件は，従来の燃料被覆管の応力評価条件に代わるものではなく，追加されるものである。

論点Ⅱ-7 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持（8）

6. 評価手法



- 原子炉設置変更許可申請では、地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る設計方針及び基準適合性の見通しについて説明。
- 次のページより、基準適合性の見通しを示すため、評価方法並びに評価結果についてまとめる。
- 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る評価手法の詳細は工事計画認可申請段階で説明する。

燃料被覆管閉じ込め機能評価フロー

論点Ⅱ-7 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持（9）

（1）応力評価手法

a. 応力評価対象部位：

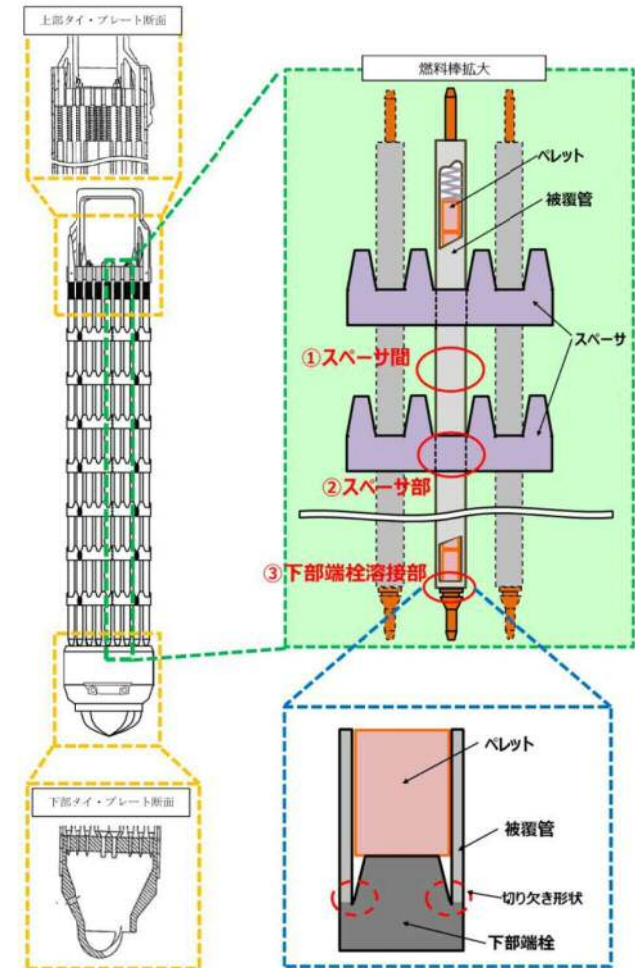
- 従来評価と同様，スペーサ間，スペーサ部，下部端栓溶接部とする。

b. スペーサ間・スペーサ部の応力評価手法：

- 厚肉円筒式を用いた弾性解析を用いる。応力計算は，燃料被覆管に発生する全ての応力を三軸方向（半径方向，円周方向及び軸方向）について解析し，せん断歪エネルギー説に基づき燃料被覆管の相当応力を求め応力設計比を評価する。
- 応力設計比は，燃料被覆管温度，燃料棒内圧，炉心条件，許容応力などの統計的入力変数の関数となる。入力変数の統計的分布として，製造実績，実機運転データ等を考慮して設定された標準偏差を弾性解析の入力とし，モンテカルロ法により統計評価を行い，応力設計比の95%確率上限値を求める。

c. 下部端栓溶接部の応力評価手法：

- 切り欠き形状を含む複雑形状のため有限要素法を用いる。入力変数には95%確率上下限值を使用し，決定論的評価を行う。
- 切り欠き部の応力集中によるピーク応力を除いた，一次応力と二次応力を評価。



※ 下部端栓の材料は燃料被覆管と同じジルコニウム合金（ジルカロイ-2）を使用。溶加材を用いずに突き合わせ溶接により燃料被覆管と溶接しており，異種の溶接金属は使用していない。

評価対象部位（イメージ）

論点Ⅱ-7 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持 (10)

(2) 疲労評価手法

a. 評価対象部位：

- ・ 切り欠き形状を有し応力集中が発生する下部端栓溶接部を評価部位とする。

b. 疲労評価手法：

- ・ 疲労評価は累積損傷の法則(Minerの仮説)及びLanger-Donneの考え方に基づく。
- ・ 温度・圧力及び出力の予測サイクル※1による疲労に加え、地震動を考慮する場合には、地震動による繰り返し荷重を考慮し、累積疲労係数が1.0未満であることを確認。
- ・ 応力振幅は前述の有限要素法により、切り欠き部の応力集中によるピーク応力を含めて評価。

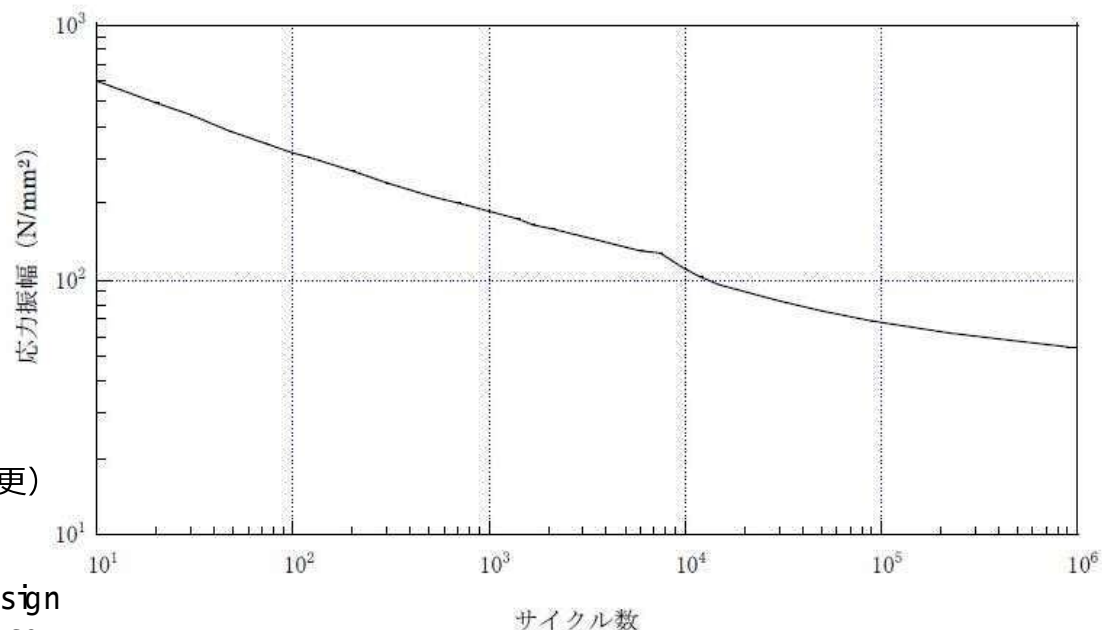
c. 地震荷重の繰り返し回数：

- ・ 原子炉建物－大型機器連成解析モデルを用いた地震応答解析に基づき算出された値をふまえ、基準地震動 s_s は150回、弾性設計用地震動 s_d は300回として影響を確認する。

※1:島根原子力発電所第2号炉 原子炉設置(変更)
許可申請書添付書類八

※2:参考文献

W. J. O'Donoghue and B. F. Langer, "Fatigue Design Basis for Zircaloy Components", Nuclear Science and Engineering, 20, 1-12 (1964)



ジルカロイの設計疲労曲線※2

論点Ⅱ-7 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持（11）

7. 評価結果

（1）応力評価結果

通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する応力に加えて地震による応力を考慮した場合においても、応力設計比は最大で0.80（9×9 燃料（A 型））、0.79（9×9 燃料（B 型））及び0.84（MOX燃料）であり、1.0 より小さいことを確認した。

燃料被覆管応力の評価結果（9×9 燃料（A 型））

地震動と許容応力	運転条件	評価点	スペーサ間 (応力設計比)	スペーサ部 (応力設計比)	下部端栓 溶接部 (応力設計比)
弾性設計用地震動 sdに対して 降伏応力sy	圧力過渡	寿命初期	0.80	0.77	0.72
		寿命中期	0.30	0.27	0.34
		寿命末期	0.26	0.25	0.26
	出力過渡	寿命初期	0.77	0.67	0.66
		寿命中期	0.32	0.30	0.31
		寿命末期	0.27	0.25	0.24
基準地震動ssに対 して引張強さsu	圧力過渡	寿命初期	0.46	0.42	0.40
		寿命中期	0.28	0.26	0.31
		寿命末期	0.24	0.24	0.26
	出力過渡	寿命初期	0.45	0.37	0.37
		寿命中期	0.29	0.27	0.29
		寿命末期	0.25	0.23	0.23

論点Ⅱ-7 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持（12）

（1）応力評価結果

燃料被覆管応力の評価結果（9×9 燃料（B 型））

地震動と許容応力	運転条件	評価点	スペーサ間 (応力設計比)	スペーサ部 (応力設計比)	下部端栓 溶接部 (応力設計比)
弾性設計用地震動 sdに対して 降伏応力sy	圧力過渡	寿命初期	0.76	0.79	0.69
		寿命中期	0.36	0.33	0.56
		寿命末期	0.31	0.29	0.52
	出力過渡	寿命初期	0.74	0.74	0.62
		寿命中期	0.39	0.35	0.51
		寿命末期	0.30	0.27	0.47
基準地震動ssに対 して引張強さsu	圧力過渡	寿命初期	0.48	0.48	0.40
		寿命中期	0.34	0.31	0.37
		寿命末期	0.30	0.28	0.35
	出力過渡	寿命初期	0.48	0.46	0.36
		寿命中期	0.36	0.33	0.35
		寿命末期	0.29	0.27	0.32

論点Ⅱ-7 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持（13）

（1）応力評価結果

燃料被覆管応力の評価結果（M O X燃料）

地震動と許容応力	運転条件	評価点	スペーサ間 (応力設計比)	スペーサ部 (応力設計比)	下部端栓 溶接部 (応力設計比)
弾性設計用地震動 sdに対して 降伏応力sy	圧力過渡	寿命初期	0.84	0.66	0.81
		寿命中期	0.34	0.33	0.38
		寿命末期	0.44	0.45	0.32
	出力過渡	寿命初期	0.82	0.64	0.78
		寿命中期	0.44	0.44	0.37
		寿命末期	0.63	0.64	0.31
基準地震動ssに対 して引張強さsu	圧力過渡	寿命初期	0.49	0.38	0.45
		寿命中期	0.31	0.30	0.35
		寿命末期	0.37	0.37	0.31
	出力過渡	寿命初期	0.49	0.38	0.44
		寿命中期	0.38	0.37	0.34
		寿命末期	0.50	0.49	0.30

論点Ⅱ-7 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持（14）

（2）疲労評価結果

地震力が繰り返された場合の応力評価と繰り返し回数，ジルカロイの設計疲労曲線を用いて評価された疲労係数の増分は，0.00250（9×9 燃料（A 型）），0.00532（9×9 燃料（B 型））及び0.00508（MOX燃料）であり，予測サイクルに基づく累積疲労係数（約0.003^{※1}（9×9 燃料（A 型）），約0.006^{※2}（9×9 燃料（B 型））及び約0.006^{※3}（MOX燃料））を考慮しても1.0 より小さいことを確認した。

地震による振動サイクルに伴う累積疲労係数（9×9 燃料（A 型））

地震動	評価点	応力振幅 (N/m m ²)	許容 サイクル数	地震荷重の 繰り返し数	疲労係数の増分
基準地震動 Ss	寿命初期	71	6.4×10 ⁴	150	0.00234
	寿命中期	70	7.0×10 ⁴	150	0.00214
	寿命末期	71	6.4×10 ⁴	150	0.00234
弾性設計用 地震動 Sd	寿命初期	66	1.2×10 ⁵	300	0.00250
	寿命中期	66	1.2×10 ⁵	300	0.00250
	寿命末期	66	1.2×10 ⁵	300	0.00250

※1: 島根原子力発電所第2号機「燃料体設計認可申請書」（GNF燃設認第30号，平成21年1月7日認可）

※2: 島根原子力発電所第2号機「燃料体設計認可申請書」（20原燃東 第805号，平成21年2月12日認可）

※3: 島根原子力発電所2号炉におけるMOX燃料の採用に係る原子炉設置変更許可申請時のMOX燃料被覆管疲労評価結果

論点Ⅱ-7 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持 (15)

(2) 疲労評価結果

地震による振動サイクルに伴う累積疲労係数 (9×9 燃料 (B 型))

地震動	評価点	応力振幅 (N/m m ²)	許容 サイクル数	地震荷重の 繰返し数	疲労係数の増分
基準地震動 Ss	寿命初期	87	2.8×10^4	150	0.00532
	寿命中期	85	3.0×10^4	150	0.00496
	寿命末期	84	3.2×10^4	150	0.00476
弾性設計用 地震動 Sd	寿命初期	73	6.6×10^6	300	0.00458
	寿命中期	71	7.2×10^6	300	0.00416
	寿命末期	71	7.6×10^6	300	0.00393

地震による振動サイクルに伴う累積疲労係数 (MOX燃料)

地震動	評価点	応力振幅 (N/m m ²)	許容 サイクル数	地震荷重の 繰返し数	疲労係数の増分
基準地震動 Ss	寿命初期	76	4.2×10^4	150	0.00357
	寿命中期	76	4.2×10^4	150	0.00357
	寿命末期	76	4.2×10^4	150	0.00357
弾性設計用 地震動 Sd	寿命初期	72	5.9×10^4	300	0.00508
	寿命中期	71	6.4×10^4	300	0.00469
	寿命末期	71	6.4×10^4	300	0.00469

論点Ⅱ-7 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持（16）

＜参考＞ 評価する応力の種類（1）

各評価対象部位において考慮する応力

考慮する応力	スペーサ間	スペーサ部	下部端栓 溶接部
(1)内外圧力差に基づく応力	○	○	○
(2)水力振動に基づく応力	○	○※1	—
(3)楕円度に基づく応力	○	○	—
(4)スペーサ（支持格子）の接触力に基づく応力	—	○	—
(5)半径方向温度差に基づく応力	○	○	○
(6)円周方向温度差に基づく応力	○	○	○※1
(7)膨張スプリング等による軸方向荷重に基づく応力	○	○	○※1
(8)ウォータチャンネルと燃料被覆管の熱膨張差による応力	○※2	○※2	—
(9)端栓取付角公差による曲がりに基づく応力	—	—	○※1
(10)スペーサ（支持格子）間の水平地震力による燃料被覆管のたわみに基づく応力※3	○	○	○
(11)チャンネルボックスの水平地震力によるたわみに基づく応力※3	○	○	○
(12)鉛直方向地震加速度に基づく応力※3	○	○	○

※1：9×9燃料（A型）及びM O X燃料の場合にのみ考慮

※2：9×9燃料（B型）の場合にのみ考慮

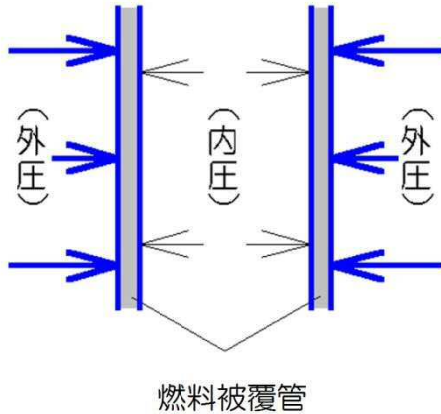
※3：地震動を考慮する場合に新たに加わる応力

論点Ⅱ-7 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持（17）

＜参考＞ 評価する応力の種類（2）

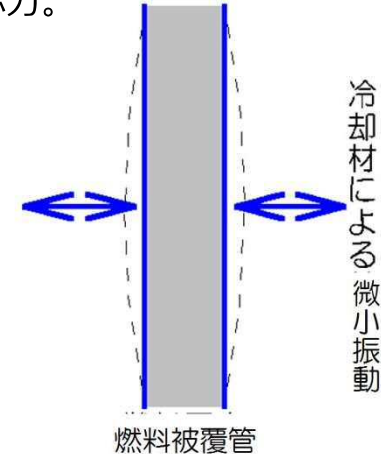
(1) 内外圧力差に基づく応力

燃料被覆管内部ガス圧と冷却材圧力の差圧により発生する応力。



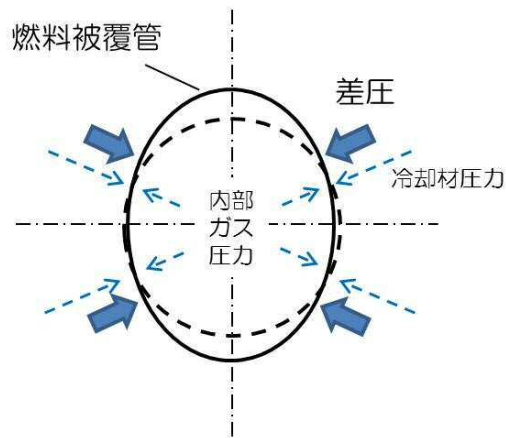
(2) 水力振動に基づく応力

冷却材の流れによって生じる燃料被覆管の微小振動に基づき発生する応力。



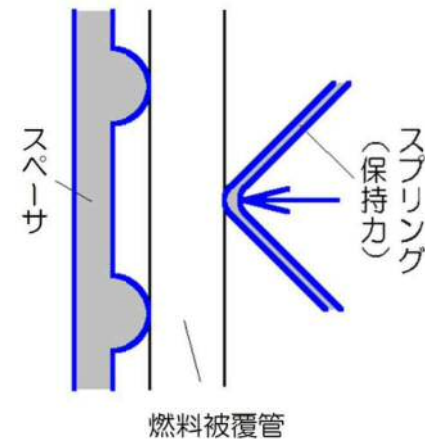
(3) 楕円度に基づく応力

燃料被覆管製作時に生じる真円からのわずかな歪みにより、燃料被覆管内部ガス圧と冷却材圧力の差圧により発生する応力。



(4) スペース（支持格子）の接触力に基づく応力

スペース（支持格子）のばね押圧により、スペース部に発生する応力。

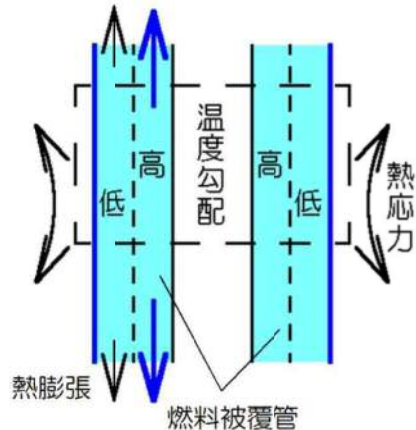


論点Ⅱ-7 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持（18）

<参考> 評価する応力の種類（3）

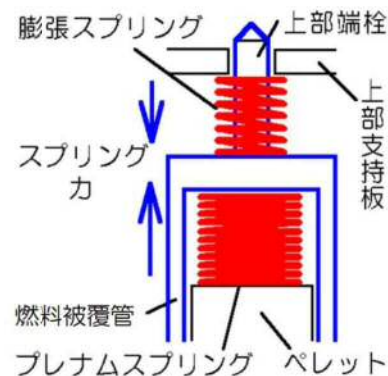
(5) 半径方向温度差に基づく応力

燃料被覆管内外面の温度差に基づく熱膨張差が拘束されることにより発生する応力。



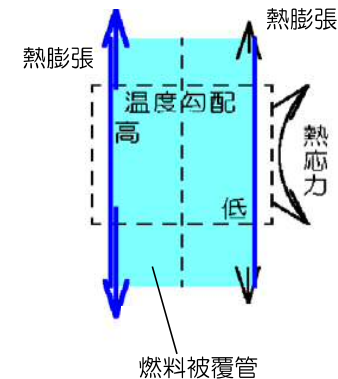
(7) 膨張スプリング等による軸方向荷重に基づく応力

膨張スプリング及びプレナムスプリング（内部スプリング）により発生する応力。9×9燃料（A型）及びMOX燃料については、燃料自重による応力も含む。



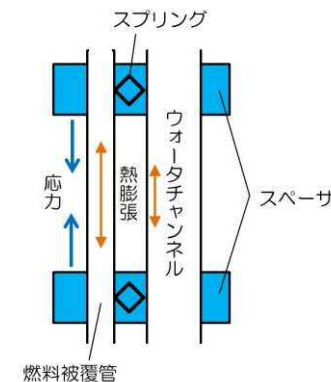
(6) 円周方向温度差に基づく応力

燃料被覆管の円周方向温度分布の不均一による燃料被覆管の湾曲がスペーサ（支持格子）により拘束されることで発生する応力。（9×9燃料（B型）の熱湾曲矯正による応力も同様の応力）



(8) ウォータチャンネルと燃料被覆管の熱膨張差による応力

燃料被覆管とウォータチャンネルの熱膨張差により、燃料被覆管の伸びが拘束されることにより発生する応力（9×9燃料（B型）のみ）。

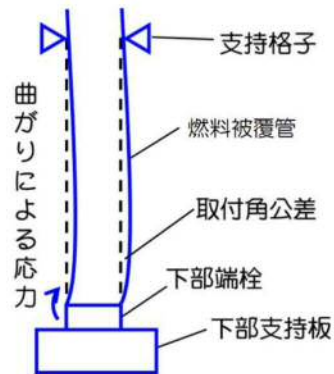


論点Ⅱ-7 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持（19）

〈参考〉評価する応力の種類（4）

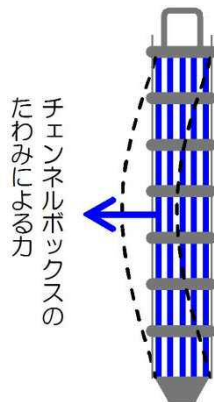
(9) 端栓取付角公差による曲がりに基づく応力

下部端栓の取付角の公差により、下部端栓とスペーサ(支持格子)との間で燃料被覆管に曲げが生じることにより発生する応力(9×9燃料(A型)及びM0X燃料のみ)。



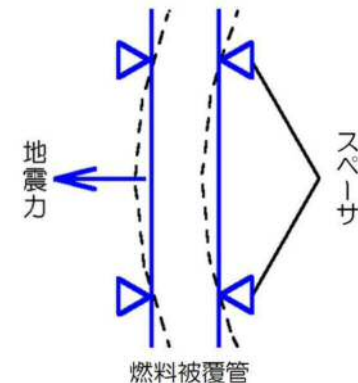
(11) チャンネルボックスの水平地震力によるたわみに基づく応力

水平地震荷重によるチャンネルボックスのたわみに従って、燃料被覆管がたわむことにより発生する応力。



(10) スペーサ（支持格子）間の水平地震力による燃料被覆管のたわみに基づく応力

水平地震荷重により、スペーサ（支持格子）を支持点として燃料被覆管がたわむことにより発生する応力。



(12) 鉛直方向地震加速度に基づく応力

鉛直方向地震加速度により、燃料被覆管に見かけの質量が軸方向に付加されることにより発生する応力。なお、9×9燃料(B型)では「(10) スペーサ（支持格子）間の水平地震力による燃料被覆管のたわみに基づく応力」に加味する形で考慮している。