

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-028-10-45 改0
提出年月日	2020年7月10日

燃料被覆管応力評価部位について

2020年7月

東京電力ホールディングス株式会社

目 次

1. 概要	1
2. 燃料集合体の構造及び応力評価部位選定の考え方	1
3. スペーサ間及びスペーサ部に発生する応力とその取扱い	2

1. 概要

「燃料集合体の耐震性についての計算書」で実施している崩壊熱除去可能な形状の維持及び燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に関する燃料被覆管応力評価において、評価対象とした部位及び応力について、その選定の考え方及び取扱いについて説明するものである。

2. 燃料集合体の構造及び応力評価部位選定の考え方

図 2-1 に、 9×9 燃料 (A 型) の燃料集合体の概略図を示す。燃料被覆管応力評価の対象である燃料棒には、標準燃料棒 (58 本)、結合燃料棒 (タイロッド, 8 本) 及び部分長燃料棒 (8 本) の 3 種類があり、それぞれの所定の長さでペレットが燃料被覆管に装填され、上部にはガス溜めのプレナムを設けてプレナムスプリングが挿入されている。全ての燃料棒の下端に溶接されている下部端栓は下部タイプレートに挿入され、 9×9 の正方格子に配列されている。これらの燃料棒は、軸方向に等間隔で配された 7 個のスペーサで燃料棒相互の間隔が保持されている。ただし、部分長燃料棒は他の燃料棒の $2/3$ 程度の長さであり、燃料棒の上端は下から 5 番目のスペーサ (第 5 スペーサ) から突き出た状態となっている。標準燃料棒及び結合燃料棒の上端に溶接されている上部端栓は上部タイプレートに挿入され、上部端栓に装着されている膨張スプリングで上部タイプレートとチャンネルボックスの質量を支えている。結合燃料棒は上下部端栓にねじを有しており、下部端栓は下部タイプレートにねじ込み、上部端栓にはナットを付けて、下部タイプレートと上部タイプレートを連結している。

このような燃料集合体の構造から、運転中の燃料棒の水力振動及び地震時の水平方向加速度などが作用する場合の燃料棒の振動やたわみは、主にスペーサを支点とした一次モードの変形挙動を呈すると考えられる。このような特徴に着目し、特徴的な部位として燃料棒の曲げによる応力が最大となるスペーサ間 (スパン中央部) 及び曲げの支点となりスペーサの接触力も作用するスペーサ部を応力評価の対象としている。なお、部分長燃料棒の第 5 スペーサから上部においては、片持ち梁のような構造となっているが、当該部分にはペレットが装填されていないため、下記の理由により応力評価部位から除外している。

- ・ペレットの発熱に起因する被覆管の径方向及び周方向の温度差による熱応力が発生しない。
- ・燃料有効部と比べ単位長さ当たりの質量が小さく、当該部分の長さも適切に設定していることから、水平方向加速度による曲げ応力は小さく、水力振動が顕著になることもない。

その他の応力評価部位として、燃料被覆管の両端に溶接されている下部端栓及び上部端栓の溶接部が挙げられるが、両者のうち、ペレットと接しているため熱応力が大きくなる下部端栓溶接部を評価部位としている。なお、下部端栓溶接部近傍は形状が複雑であることから有限要素法による応力評価を実施しており、その詳細は別の補足説明資料で説明する。

3. スペーサ間及びスペーサ部に発生する応力とその取扱い

崩壊熱除去可能な形状の維持及び燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に関する地震時の燃料被覆管応力評価では、地震時に燃料棒に作用する地震力の他に、運転時の異常な過渡変化までを考慮した運転中に燃料棒に作用する機械的及び熱的な荷重も付加している。このような地震時に燃料棒に作用する種々の荷重に起因してスペーサ間及びスペーサ部に発生する応力（被覆管応力解析で考慮する応力）の模式図を、図 3-1 に示す。

ここで、燃料棒に作用する荷重や被覆管に発生する応力は、燃料棒の軸方向、被覆管断面の周方向に分布を有しており、また個々の荷重の作用方向は必ずしも同じ方向ではなく、図 3-1 に示す応力は、空間的及び時間的に応力評価点に同時に作用する可能性は小さいと考えられる。しかしながら、燃料被覆管応力評価においては下記の取扱いに基づく保守的な評価を行っている。

- ・線出力密度の軸方向分布における最大の線出力密度を採用する。
- ・地震時の水平方向及び鉛直方向加速度の軸方向分布における最大値を採用する。
- ・燃料棒の曲げによる応力（中立軸の左右で引張と圧縮に分布、図 3-1 の②、⑥、⑧、⑨及び⑩）、楕円度に基づく応力（被覆管の周方向に引張と圧縮で分布、図 3-1 の③）及びスペーサの接触力に基づく応力（接触点での局所的な応力、図 3-1 の④）は、それぞれ燃料被覆管断面において周方向に分布を持つが、応力評価点には各応力の周方向分布の最大値が同時に作用すると想定する。
- ・荷重の作用方向の反転などで応力評価点の応力が引張（+側）と圧縮（-側）に変化する応力（図 3-1 の②、③、⑥、⑧、⑨、⑩及び⑪）については、それらの応力の+側と-側の全ての組み合わせについて相当応力を計算し、最大値を採用する。

以上のように、燃料被覆管応力評価ではスペーサ間及びスペーサ部に発生する応力について保守側となる取扱いをしている。

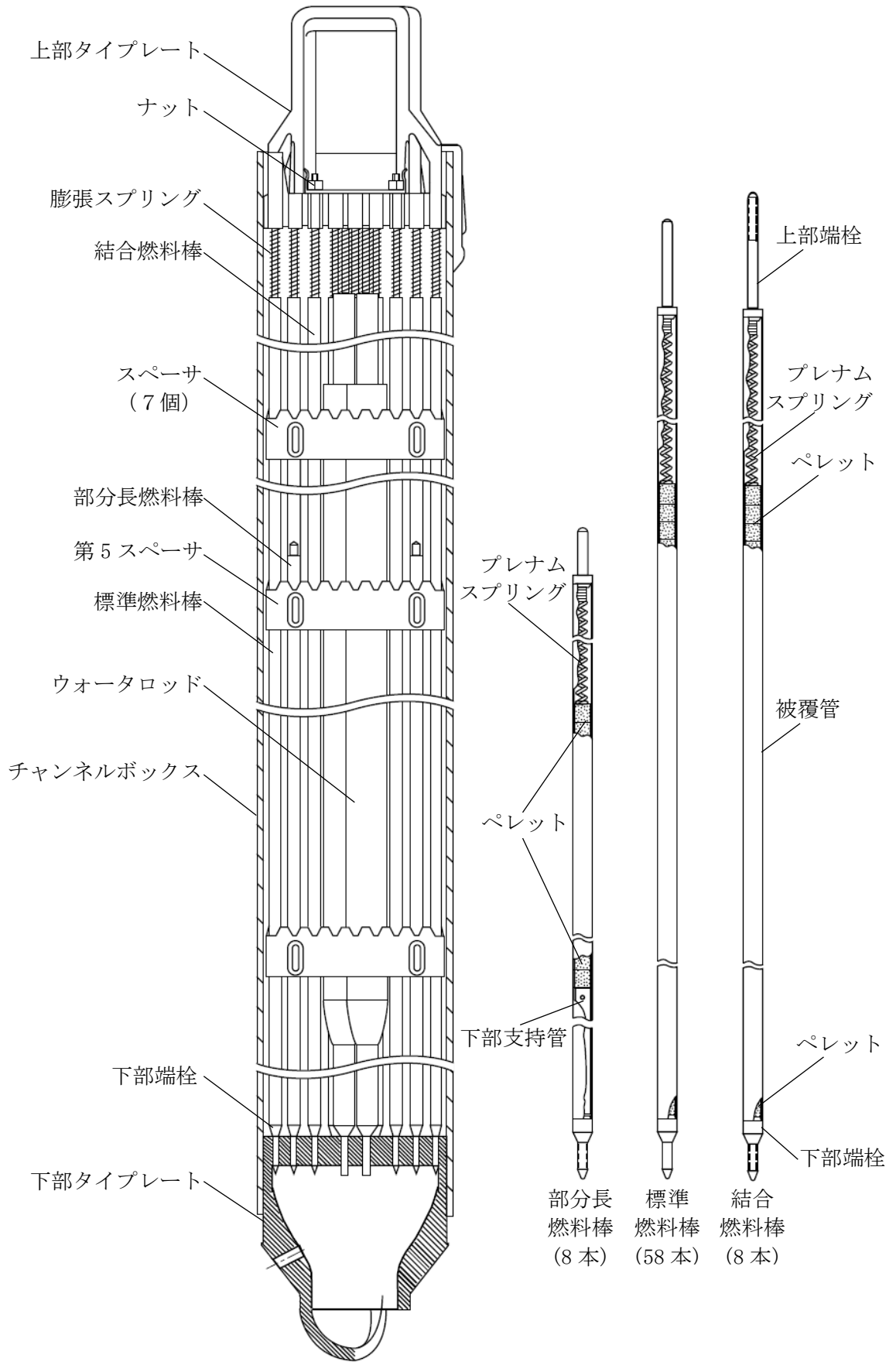


図 2-1 9×9燃料 (A型) の燃料集合体の概略図

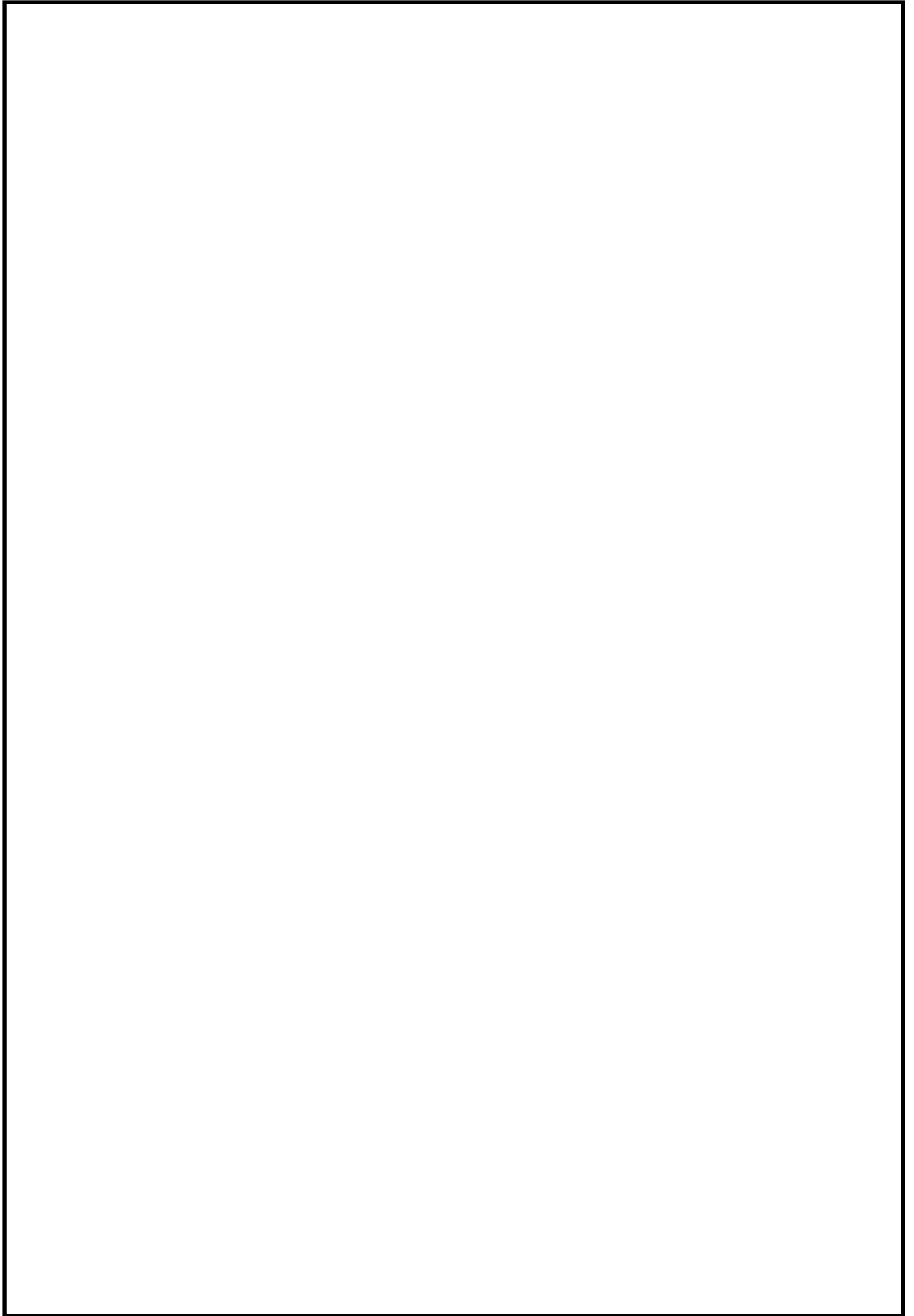


図 3-1 地震時のスペーサ間及びスペーサ部の被覆管応力解析で考慮する応力の模式図