高速炉炉心の 3 次元集合体変位を考慮した耐震性評価手法の構築
（2）3 次元燃料集合体変位を考慮した投入反応度解析手法の構築

Development of Seismic Evaluation Method Considering Three Dimensional Fuel Assembly Displacement in FBR Core

(2) Development of Seismic Reactivity Analysis Method Considering Three Dimensional Fuel Assembly Displacement

*上山　洋平[1]、桐村 一生[1]、山路 和也[1]、小坂 進矢[1]

[1]三菱重工

従来、高速炉の地震時投入反応度の評価法では、2 次元 R-Z 円筒炉心体系に基づく保守性の大きいモデルで実施していた。過度の保守性を排除するため、3 次元炉心体系に基づいて燃料集合体変位を直接的に取り扱う投入反応度評価モデルを開発した。

キーワード：FBR、BOWING-3D、3 次元、変位、反応度

1. 緒言

3 次元炉心体系に基づいて燃料集合体変位を直接的に取り扱う投入反応度評価コード BOWING-3D を新たに開発した。高速炉の地震時投入反応度の評価シナリオは多岐に渡り、詳細タイムステップでの解析が必要であるため、単位計算あたりの負荷を低減する必要がある。本手法では、感度解析の考え方に基づいて、事前に燃料変位に対する 3 次元中性子束分布変化を感度係数テーブルとして用意し、実際の変位量に対応した感度係数を全集合体について積算して、炉心解析無しで燃料変位による投入反応度を評価する。

2. 計算手法

まず、通常の炉心条件（ノミナル条件）から、ある燃料集合体のある軸方向分点（以下、ノードと呼ぶ）のみ変位（実際には集合体ギャップの変位）させ、炉心解析を行って 3 次元中性子束分布を得る。これを全ノードについて行うことで、ノード毎の変位に対する 3 次元中性子束分布の変化（感度係数テーブル）が得られる。なお、テーブル作成時の入力変位は、発生しうる変位を包絡するよう幅を設定する。次に、ノード毎の実際の変位を入力として、感度係数テーブルを内挿し、当該変位による 3 次元中性子束分布の変化量を得る。これを全ノードについて積算することで、当該条件における中性子束分布を得る（式(1)）。更に、燃料変位による体系からの中性子漏洩量の変化についても同様の考え方で評価して、最終的な投入反応度を得る。本手法では、事前に感度係数テーブルを整備されていれば、単純な四則計算のみで地震時の燃料変位による投入反応度を評価することが可能であり、炉心解析による都度評価に比して計算負荷を大幅に低減可能である。

$$\phi_{sig,i} = \phi_{base,i} + \sum_{k}^{AMAX} \frac{1}{6} \sum_{s}^{6} \left[\frac{\Delta G_{k,s,inp}}{\Delta G_{k,s,tbl}} \left(\phi_{k \to i} - \phi_{base,i} \right) \right] \qquad \text{式(1)}$$

$\phi_{disp,i}$：ノードiの変位後の予測中性子束
$\phi_{base,i}$：ノードiの変位無し状態の中性子束
$\phi_{k \to i}$：ノードkが変位した際のノードiの中性子束（感度係数）
$\Delta G_{k,s,inp}$：入力条件におけるノードk・表面sのギャップ変位幅
$\Delta G_{k,s,tbl}$：感度係数テーブルのノードk・表面sのギャップ変位幅

3. 検証

FBR 炉心体系において、地震による 3 次元燃料変位を模擬したサンプルケースにて、BOWING-3D を用いて評価した実効増倍率及び反応度を、炉心解析にてギャップ変化を模擬した評価結果（直接法）と比較した。結果を表 1 に示す。BOWING-3D の評価結果は、直接法による評価結果と良好に一致することを確認した。

表1 BOWING-3D検証結果

ケース	BOWING-3D keff	BOWING-3D 反応度 [pcm]	直接法 keff	直接法 反応度 [pcm]	反応度差異 [pcm]
0（ノミナル）	1.07792	－	1.07792	－	－
1	1.08054	225	1.08048	220	5
2	1.08061	231	1.08056	226	5
3	1.07851	51	1.07845	46	5
4	1.07677	−99	1.07674	−102	3
5	1.07639	−132	1.07636	−134	2

*Yohei Kamiyama[1], Kazuki Kirimura[1], Kazuya Yamaji[1], Shinya Kosaka[1]

[1]Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.