高速炉用詳細炉心湾曲解析コードの高度化
（3）集合体湾曲実験に関する IAEA ベンチマーク問題による解析コードの検証

Advancement of detailed core bowing analysis code for fast reactor

(3) Validity of calculation code by IAEA benchmark problem of the duct bowing experiment

*楠見　紘司[1]，太田　宏一[1]，大釜 和也[2]，山野　秀将[2]，二神　敏[2]

[1]電中研，[2]JAEA

電中研で開発中の詳細炉心湾曲解析コード ARKAS_cellule の検証のため、IAEA ベンチマーク実験を対象に湾曲量と接触応力を解析した。実験結果との比較により、ARKAS_cellule は集合体（群）の湾曲量や接触応力を概ね再現できることが示され、そのコードの妥当性を確認した。

キーワード：高速炉，集合体変形，受動的安全性，詳細シェルモデル，数値計算

1. 緒言

高速炉では炉心損傷防止策の一つとして、過渡時に炉心湾曲し径方向に膨張することによる負のフィードバック反応度の投入が期待されている。しかしながら、炉心湾曲反応度には通常運転時の集合体形状や集合体間の残留ギャップ幅などによる、大きな不確かさが存在することが知られており、精度の高い手法によって炉心湾曲挙動を詳細に解析する必要がある。それゆえに電力中央研究所では、詳細炉心湾曲解析コード ARKAS_cellule の開発を進めている[1]。これまで ARKAS_cellule による集合体（群）の熱湾曲解析結果の実験による検証は行われていないことから、IAEA ベンチマーク問題[2]である熱湾曲実験の結果との比較検証を通じて、ARKAS_cellule の妥当性の確認を行う。

2. ARKAS_cellule の概要

従来の炉心湾曲挙動の解析手法は、集合体を 1 本のビーム要素で表し、ダクト間の接触は接触要素を配置してモデル化している。また、ダクトの剛性はビーム要素と接触要素の間にバネ定数を与えることで模擬している（図 1 中）。一方で、ARKAS_cellule は、ダクトの壁面を多数の薄肉シェル要素でモデル化（図 1 右）することで、集合体間の様々な接触状態に応じたダクト表面形状の変化に伴うダクト剛性の変化を考慮できる。

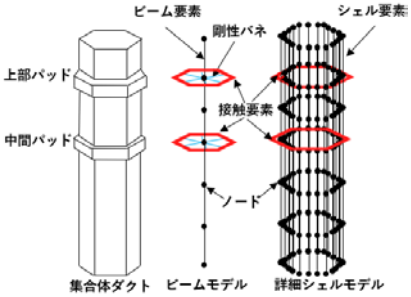


図1.　炉心湾曲コードの集合体モデル

3. IAEA ベンチマーク解析による解析条件

ダクト間の温度勾配による集合体（群）熱湾曲挙動の検証を目的とした IAEA ベンチマーク実験の解析を行った。実験では反力壁による上部・中間パッド部の拘束の有無をパラメータとした 2 ケースの単一集合体(図 2)の熱湾曲挙動と両端の集合体の上部・中間パッド外側にギャップを介して固定壁を設けた 10 体の直列集合体群(図 3)の熱湾曲挙動が測定された。IAEA ベンチマーク実験結果に対して ARKAS_cellule の詳細シェルモデルによる解析結果を検証した。

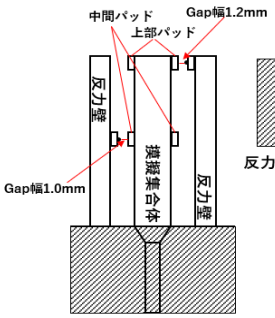


図2.　拘束条件下の単体熱湾曲実験

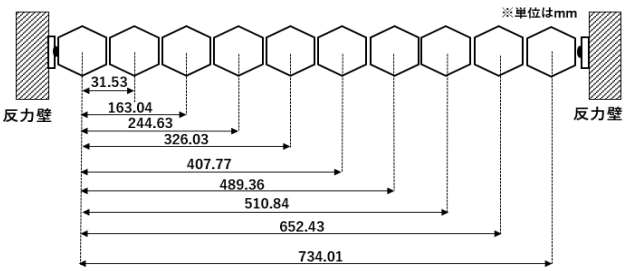


図3.　10体並列集合体の熱湾曲実験(上から見た図)

4. 解析結果

詳細シェルモデルとビームモデルによる上部パッド部における変位量の解析結果を実験結果と比較した C/E を表 1 に示す。単一集合体の自由熱湾曲の場合は両モデルで変位量の解析結果は一致した。一方で、反力壁や隣接集合体との間に接触がある場合は、解析結果に相違がみられ、単体および 10 体の集合体群の変位量とも詳細シェルモデルで再現性が向上した。詳細シェルモデルでは、集合体間の接触条件に応じたダクト剛性の変化が考慮できることによると考えられる。

表1.各解析条件の上部パッドにおける変位量のC/E

解析対象	解析モデル	C/Eまたは平均C/E	標準偏差
単体集合体（拘束なし）	ビーム	0.94	
単体集合体（拘束なし）	詳細シェル	0.94	
単体集合体（拘束あり）	ビーム	0.86	
単体集合体（拘束あり）	詳細シェル	0.88	
10体集合体列	ビーム	0.87	0.09
	詳細シェル	0.91	0.07

※標準偏差(不確かさ)は各10体集合体の上部パッドにおける変位量の散逸度を示す。

5. 結論

詳細炉心湾曲解析コード(ARKAS_cellule)の検証を目的に IAEA の集合体(群)熱湾曲ベンチマーク実験の解析を行った。その結果、拘束条件下では従来からのビームモデルに比べ、詳細シェルモデルで実験結果の再現性の向上が確認でき、ARKAS_cellule モデルの妥当性が確認できた。

参考文献　[1] H. Ohta, et al., Nucl. Technol., 146 May 2004 [2] IAEA, IWGFR/75 (1990)

本成果は、経済産業省資源エネルギー庁の委託事業「令和 2 年度高速炉に係る共通基盤のための技術開発」によって得られたものである。

*Koji Kusumi[1], Hirokazu Ohta[1], Kazuya Ohgama[2], Hidemasa Yamano[2], Satoshi Futagami[2]

[1]CRIEPI, [2]JAEA