

デブリベッド冷却性解析コード THERMOS-DPCOOL の開発

(1)理論及び検証

Development of a debris bed cooling code THERMOS-DPCOOL

(1) Theory and verification

*堀田 亮年、土井 悠生、秋葉 美幸

原子力規制庁長官官房技術基盤グループ

「格納容器内先行注水による溶融炉心冷却挙動に関する研究」において開発するデブリベッド形成及び冷却を扱う統合解析コード THERMOS のモジュールとして、プール内の多孔質発熱体内の二相流動とプール内二相流動を一括して扱う多次元伝熱流動解析コード DPCOOL を開発している。

キーワード：重大事故、デブリベッド、冷却性、多孔質体、THERMOS-DPCOOL

1. 緒言 デブリベッドは発熱を伴う非一様な多孔質体及び塊状体から構成される。その冷却性は、多孔質体の空隙率、塊状体の幾何形状、気液対向流、酸化物固体相内の溶融金属侵入による流路閉塞等により支配される。これらは多次元二相流動モデルにより扱うべき現象であり、国外においては WABE[1]、DECOSIM[2]等の解析コードが開発されている。THERMOS-DPCOOL の開発においては、こうした既存解析コードにおけるモデルを調査し、実用上扱うべき現象の範囲等の基本仕様を検討した。

2. 解析コードの基本仕様（保存式及び構成式） デブリベッドの形成プロセス及びデブリベッド再溶融後の形状変化プロセスは THERMOS に属する他のモジュールが受け持つものとし、DPCOOL は形状が疑似定常的に固定された後のデブリベッド内の二相伝熱流動を扱うものとする。流体場は 3 次元二流体モデルにより表現し、各相の質量、運動量及びエネルギーの 3 種保存式を解く。プールについては Navier-Stokes 式を適用し、堆積層についてはここから時間依存項及びせん断応力項を無視した。プール液相については粒子デブリの気泡ブルームによる舞い上がりを行うために標準 $k-\epsilon$ モデルを組み込んだ。両領域の保存式は空隙率を変数とする内挿関数により結合し、プールから堆積層へと移行するにつれてせん断応力の効果が連続的に消滅するようにした。プール内の界面摩擦については、気泡流に対しては Angelini, Yuen & Theofanous モデルを適用し、スラグ流以上では Ishii & Zuber モデルを適用した。堆積層中の Permeability 及び Passability については Ergun による単相モデルを Tung & Dhir が二相流に拡張したモデルを適用し、流動様式に関する Schmidt 補正モデルを考慮した。堆積層から流体への伝熱は、Ranz-Marshall による熱伝達係数による評価の他に熱流束一定条件を考慮する。気液界面での両相への熱分配では Yakush 等の方法に基づき、Ranz-Marshall モデルをベースとしボイド率及びポロシティを幾何パラメータとした熱伝達係数により扱う。[1], [2],[3],[4]

（離散化と数値解法） 離散化は 3 次元デカルト座標系かつスタガード格子を採用し、対流項は 1 次風上法により離散化する。入口・出口境界条件は圧力及び速度を指定し、壁面は Slip 条件とする。圧力方程式解法には IPSA 法を適用する。本手法では、圧力の補正項を求める方程式を体積率の和が 1 であることから導出する。

3. 検証 Chu 等が実施した空気-水系の非発熱の多孔質体実験結果との比較を実施した。本実験では、粒径 5.8mm から 19mm の粒子ベッドを用い、底部より空気を注入し、圧損、摩擦力及びボイド率と見かけ蒸気流速 j_v の関係を取得している。ボイド率についての比較結果を図 1 に示す。[1],[5]

4. 謝辞 本コード開発では、アドバンスソフト (株) の清水守氏、湊明彦氏及び森田秀利氏のご協力を頂いた。ここに謝意を表す。

参考文献

[1]Schmidt, W., IKE2-149(2004).

[2]Yakush, S., Paper-11416, ICAPP(2011).

[3]Ishii, M. and Zuber, N., AIChE, Vol.5, page179(1979).

[4]Angelini, S. et al., Nuclear Engineering and Design, 155, pp.115-157(1995).

[5]Chu, W., Dhir, V.K. and J. Marshall, AIChE, Vol.79, pp.224-235(1983).

* Akitoshi Hotta, Yuki Doi, Miyuki Akiba

Regulatory Standard and Research Department, Secretariat of Nuclear Regulation Authority (S/NRA/R)

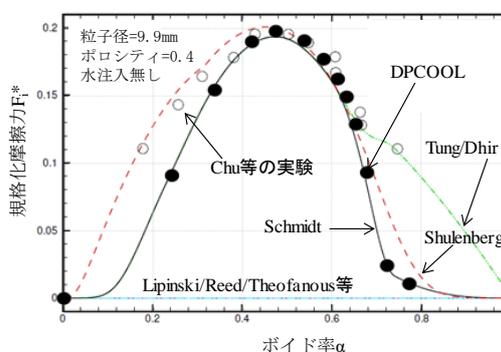


図1 Chu 等の実験に基づく他モデルとの比較[1]