多次元溶融物拡がり挙動解析コード MSPREAD の開発
コード設計及び模擬物質を用いた実験に基づく妥当性確認

Development of multi-dimensional melt spreading behavior analysis code MSPREAD

Code structure and validation based on simulant test data

*堀田　亮年、秋葉　美幸、土井　悠生

原子力規制庁長官官房技術基盤グループ

高温溶融物の床面上での多次元的拡がり挙動を解析するコード MSPREAD を開発している。浅水方程式により 2 次元拡がり挙動を扱い、固相率の変化による粘性増加、クラスト形成及び熱伝達による除熱挙動をモデル化している。本稿では、1 次元模擬物質実験データに基づく妥当性確認結果を示す。

キーワード：重大事故、溶融物拡がり、MCCI、キャビティ、MSPREAD

1. 緒言　キャビティ床面での高温溶融炉心の拡がり挙動は、冷却過程における粘性変化及びクラスト形成等の固化が非均一に進むため非等方的に進展する。その要因として、溶融物組成、床面及び上面（雰囲気又はプール水）との伝熱状態等が、様々な局所的要因により影響されることが考えられ、解析モデルには主要な要因をモデル化する必要がある。また、実機評価の観点からは、溶融物性として模擬物質からプロトタイプまでを対象とし、コンクリート材の溶込みを考慮した物性値ライブラリを組み込む。妥当性確認の対象となる実験としては 1 次元的な長尺流路条件から始め、2 次元流路条件に拡張していく計画である。

2. 解析コードの基本仕様　（保存式及び構成式）溶融物の拡がりは、落下時の運動量及び静水頭を主な駆動力としている。計算時間を抑制しつつ非等方的拡がりを扱うため、溶融物厚み方向を積分した 2 次元浅水方程式を適用する。溶融物のせん断応力項は、層流領域及び乱流領域を区別し、後者については、クラスト表面粗さ及び粘性底層を考慮した複数モデルにより表現する。溶融物の実効的粘性は、液相線–固相線から導出する固化率に従い増加する Ramacciotti [1]等のモデルにより表す。その際、複数成分の酸化物溶融物に、コンクリート及び金属の混入を考慮する物性値モデルをリンクする。また、上面及び底面におけるクラスト形成並びに溶融物とクラスト境界における摩擦を考慮する。除熱メカニズムとしては、溶融物–クラスト境界、上部クラスト–雰囲気（又はプール水）境界、そして下部クラスト–コンクリート境界において熱伝達及び熱伝導を考慮する。

（離散化と数値解法）離散化は 2 次元デカルト座標系とし、大きな粘性係数を陰的に扱うことが必要である。また、浅水方程式は圧縮性流体と構造が類似しており、実績のある解法である AUSM+-up 法[2]を適用する。離散化は圧縮性流体に対してセル境界の流束を計算しやすいコロケート格子を適用する。

3. 検証及び妥当性確認　クラスト成長等、組み込まれたモデルに関する解析解との比較による検証を実施した後、旧カールスルーエ研究センター（FZK）において実施された、模擬物質-長尺セラミック床面の組み合わせに基づくメルトスプレッド実験 KATS-12 に対する解析を実施した。本解析では、図 1(a)に示す体系に対し、同図(b)に示すメッシュ体系にて粘性モデルを中心に感度解析を実施した。その結果、拡がり先端位置を良好に予測できることを確認し、既往の解析コード THEMA との比較においても同等の予測結果を示しており[3]、基本モデル及び数値化アプローチが妥当であることを確認した。

4. 謝辞　本稿では、アドバンスソフト（株）の波田地洋隆氏のご協力を頂いた。ここに謝意を表する。

参考文献

[1]M. Ramacciotti, F. Sudreau, C. Journeau and G. Cognet, NED, **204**, 377-389(2001).

[2]P.A. Ullrich, et al, J. of Comp. Physics, **229**, 61004-6134(2010).

[3]B. Spindler and J-M Veateaux, CEA-R-6053(2004).

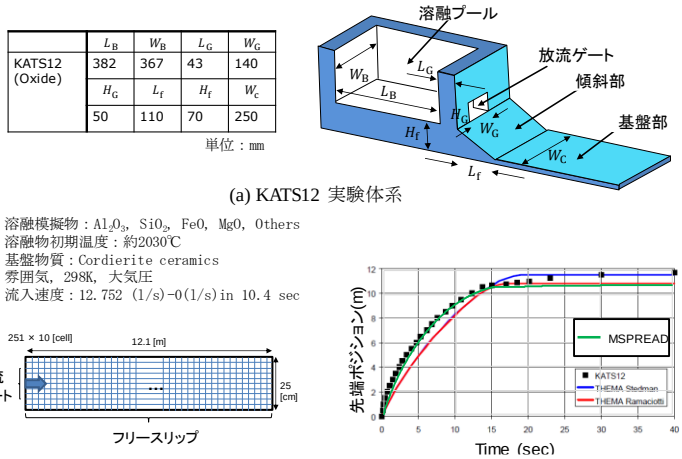

図1 KATS12実験結果に基づくMSPREADの妥当性確認[3]

* Akitoshi Hotta, Miyuki Akiba, Yuki Doi
Regulatory Standard and Research Department, Secretariat of Nuclear Regulation Authority (S/NRA/R)