

多次元溶融炉心 - コンクリート相互作用解析手法の開発

Development of three-dimensional Molten Core Concrete Interaction analysis method

*森田 彰伸, 堀田 亮年

原子力規制庁長官官房技術基盤グループ

非対称体系における溶融炉心-コンクリート相互作用 (MCCI) を評価するための解析コード CORCAAB を開発中である。本研究では、基本となる三次元コンクリート侵食及びクラスト成長に係るアルゴリズムを開発し、これらを同コードに組み込んで機能確認を行った。

キーワード : Molten Core Concrete Interaction, Three-dimensional ablation algorithm, Crust growth, CORCAAB

1. 緒言 実炉における MCCI では、キャビティ周辺やサンプ内に局所的に溶融物が堆積することにより、コンクリート侵食が非等方的に進展する。また、OECD/NEA MCCI 実験^[1]で確認された小規模体系での侵食挙動を実機体系にスケールアップするためには、三次元的な幾何形状の影響を直接考慮する必要があり、三次元的なコンクリート侵食及びクラスト成長に係るアルゴリズムが必要となる。

2. 侵食計算アルゴリズム CORCAAB におけるコンクリート侵食挙動は直交デカルト座標系にて定式化され、侵食面が存在する計算セル内においては複数の侵食面が存在する場合もあるが、単一稜線上には最大で1つの侵食フロントのみが存在するものとし、セル内の侵食面を14パターンに分類した。三次元体系におけるコンクリート侵食面追跡は、Gueyffier et al.^[2]によるPLIC(Piecewise Linear Interface Calculation)法に基づき設定している。本理論では、Fig.1 に示すように、各パターンにおいて各稜線上の侵食フロント座標の平均値 $\bar{x}$ を算出し、また、中心座標 $\bar{x}$ と各稜線上の二つの頂点 x_l, x_{l-1} の3点からなる n 個の三角形の法線ベクトルの平均 $\bar{n}$ を侵食面の単位法線ベクトルとする。中心座標 $\bar{x}$ 及び法線ベクトル $\bar{n}$ を持つ平面を用いて侵食面積及び侵食体積を求める。コンクリート侵食速度は侵食面の一次元熱収支から求めることができ、侵食速度から侵食フロントの移動量を計算する。侵食フロントの移動量は隣接する計算セルで算出された移動量の最小値とし、侵食フロントが計算セルの頂点を通過する場合には侵食フロントの移動量に調整を加えた。本アルゴリズムの検証のため、侵食計算アルゴリズムの他に、デブリ初期形状やクラスト形成に係るモデル、デブリとコンクリート/クラスト間の熱伝達や崩壊熱等を組み込んでいる。

3. 機能確認解析結果 現状における侵食アルゴリズムの機能を確認するため、実機において想定される複数の非対称侵食体系を想定した解析を実施した。Fig.2 では、二箇所のサンプを有するキャビティ形状の解析例を示す。コンクリート侵食によりサンプ溝が拡大し、やがて合体する状況までの過程を解析することができた。その他、ドレイン管内溶融デブリ、キャビティ周辺や機器近傍の入隅部及び出隅部に堆積した溶融デブリの侵食挙動を解析し、同様に侵食アルゴリズムが適切に機能していることを確認した。

4. 結言 今後、実績のある熱伝達係数等のモデルを組み込み、MCCI 実験解析を行うことにより、コードの妥当性を確認する予定である。

謝辞 本稿では、みずほ情報総研株式会社の山崎昇氏並びに高橋昌伸氏らにご協力をいただいた。ここに感謝の意を表する。

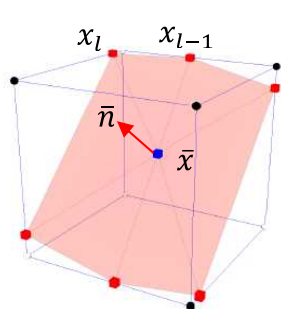


Fig. 1 Example of definition of ablation surface.

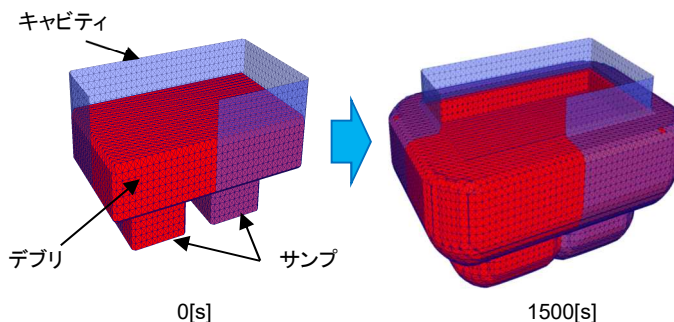


Fig. 2 Example of demonstration analysis result.

参考文献

- [1] M. Farmer et al., "OECD MCCI-2 Project Final Report," Rev. 1-Final, November 2010, OECD/MCCI-2010-TR07.
- [2] Gueyffier et al., Volume-of-Fluid interface tracking with smoothed surface stress methods for three-dimensional flows, Journal of Computational Physics, Vol, 152, Issue 2, July 1999, Pages 423-456

*Akinobu Morita, Akitoshi Hotta

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