

VULCANO VF-U1 実験における金属溶融物相凝固挙動の MPS 法解析の改良

Improvement of the Analysis of Metallic Corium Solidification in VULCANO VF-U1 Experiment with MPS Method

*福田 貴斉¹、山路 哲史¹、Li Xin¹

¹早稲田大学

溶融炉心・コンクリート相互作用 (MCCI)を模擬した VULCANO VF-U1 実験における酸化溶融物中の特徴的な金属相凝固分布のメカニズムを Moving Particle Semi-implicit (MPS)法を用いて示した結果を報告する。

キーワード: 溶融炉心・コンクリート相互作用(MCCI), 東京電力福島第一原子力発電所廃炉, 燃料デブリ, MPS 法, VULVANO VF-U1 実験

1. 背景・目的

福島第一原子力発電所の事故後、溶融炉心・コンクリート相互作用 (MCCI) を経て形成された燃料デブリ内部の性状分布の推定が重要な課題である。仏国 CEA が実施した VULCANO VF-U1 実験では、実験後に燃料デブリ中の一部の金属相が鉛直方向に引き延ばされるように分布し、酸化物相中に雫状の金属相が分布していた。VOF 法を用いた等温解析では酸化物相・金属相間の界面張力やコンクリートの熱分解により生じたガスバブルの影響が示されたが、伝熱やそれに伴う固液相変化がこのような分布形成に及ぼした影響を解明する必要がある。そこで本研究では、固液相変化を伴う複雑な界面変化の追跡が容易な MPS 法を用いて、VULCANO VF-U1 実験における金属相の凝固分布の形成メカニズムを明らかにすることを目的とする。

2. 手法

本研究では MPS 法を用いて多相マルチ界面の凝固直前の流動を高精度に捉えるため、Duan らによる高粘性流動解析アルゴリズム[1]を採用した。さらに Chai らによる研究[2]を参考に、コンクリート熱分解に伴うガスバブルや溶融コンクリートとの混合に伴う酸化物相の密度低下が溶融物挙動に及ぼす影響を考慮するモデルを新たに開発し、従来の MPS 法に基づく MCCI 解析を改良した。

3. 結果

先ず、溶融コンクリートが酸化物相と瞬時・均一に混ざり合い、酸化物相の密度が減少すると仮定した解析を行なった。その結果、酸化物相と金属相は密度差で成層化した。その後、コンクリート壁に接する金属相が選択的に凝固することでコンクリートの侵食に伴う溶融物の沈降から金属相が取り残され、実験と同様に金属相がコンクリート側壁近傍に分布した。しかし実験で観測された金属相の雫状の散乱や縦方向に引き延ばされたような分布は再現されず、コンクリート下部の侵食が過大評価された。このような実験結果と解析結果の差は、解析における金属相と酸化物相の密度差の過大評価が原因と考えられる。そこで、酸化物相が溶融コンクリートと混合しても金属相と同程度の密度が維持されると仮定した解析を行なった。その結果、ガスバブルにより金属相の一部が酸化物相中に雫状に散らばり、溶融コンクリートが誘起した上昇流で金属相の一部がコンクリート側壁近傍に牽引された後、熱伝導率の高い金属相に接した酸化物相が先行して固化し、実験結果と同様な凝固物分布が再現された。

謝辞: 本研究は JSPS 科研費 JP21J12226 の助成を受けたものです。

参考文献

[1] Duan, G., et al., Nucl. Eng. and Des., 343, 218–231, 2019. [2] Chai, P., et al., Ann. Nucl. Ener., vol. 103, p. 227–237, 2017.

*Takanari Fukuda¹, Akifumi Yamaji¹ and Xin Li¹

¹Waseda Univ.