

ナトリウム冷却高速炉の炉心崩壊事故時における 溶融炉心物質の再配置挙動に関する研究 (3) 密度の大きな噴流挙動への MPS 法の適用

Studies on Relocation Behavior of Molten Core Materials
in the Core Disruptive Accident of Sodium-cooled Fast Reactors
(3) A Simulation of a Heavy Metal Jet with MPS Method

*此村 守¹, 神山 健司²

¹ 福井大学, ² 原子力機構

A behavior of a heavy metal jet which ran into a water pool was analyzed with the Moving Particle Semi-implicit Method. A little pressurization proved useful to suppress unrealistic cavity which appeared in the pool.

キーワード：粒子法、MPS 法、噴流、高密度流体、空隙、ナトリウム冷却高速炉

1. 緒言

ナトリウム冷却高速炉における重大事故時に炉心溶融が発生すると、その進展によっては、溶融炉心物質が制御棒案内管を通じて、下部の低圧プレナム中に噴流となって放出される。この模擬実験の解析に粒子法^[1] (Moving Particle Semi-implicit Method) を用いることを検討した。

2. 解析

2-1. 解析体系

解析体系を図 1 に示す。内径 28mm の直管が密度 979kg/m^3 の水プール中に浸漬されており、直管の中を密度 8689kg/m^3 の低融点合金が流れ、開口部から噴流となって水プール中に突入する。

2-2. 解析コード及び解析条件

本解析で用いたソースコードは、越塚の著書[1]に付録として添付されている MPS 法のサンプルプログラムをベースとしている。当該プログラムにはナビエ・ストークス式中の粘性項が入っていないので、それを付加した上で解析に用いた。また、本解析に用いた粒子径は 2mm である。なお、表面張力及び熱解析のモデルは入っていない。

2-3. 解析結果

図 2 に図 1 の体系をそのままモデル化して解析した時の、突入開始後 0.05 秒の結果を示す。濃い青が低融点合金であり、薄い青が水を表している。外側の赤い線は容器である。低融点合金の初速度は 7m/s であるため、本来、空隙は発生しないはずであるが、本解析では噴流の周りに大きな空隙が発生している。これを是正するために、図 2 と同一の解析条件を用い、水プールの自由表面を覆った場合の解析結果を図 3 に示す。この場合、空隙は発生していない。

2-4. 考察

解析モデル上、流体内部で空隙が発生してしまう原因は、自由表面の判定方法にある。本モデルでは自由表面を解析初期の粒子数密度からある割合減少した時としている。このため、2 流体の衝突により発生した圧力で、軽い流体内部の粒子間距離が広がり粒子数密度が低下すると、当該部位において自由表面が生じたと判定され、圧力計算から除外される。その結果、見かけ上空隙が発生することになる。これを抑止するには、解析粒子の運動挙動に大きな影響を与えない程度の圧力を軽い流体側に付加することが効果的である。図 3 に示した解析の場合、自由表面を覆うことにより、両流体の境界で約 $10^2 \sim 10^3\text{Pa}$ の圧力を発生させ、空隙の発生を抑止している。

3. 結論

自由表面を持った流体に噴流が突入する場合の挙動を MPS 法で解く時の解析上の工夫を示した。

この解析結果から、突入した噴流は底面で反射することなく、底面に沿って広がるものと予想される。また噴流の表面挙動は解析粒子径の影響を大きく受けるため、本解析から断言することはできないが、滑らかな表面を維持するとは限らないことが推察できる。今後、表面張力の影響を検討する予定である。

本研究を進めるにあたり、東京大学・越塚教授から有用なコメントをいただいたことに感謝いたします。

(本研究成果は日本原子力研究開発機構と福井大学附属国際原子力工学研究所との共同研究の結果である。)

参考文献

[1] 越塚誠一、「粒子法」、丸善出版 (2007)

*Mamoru Konomura¹, Kenji Kamiyama²

¹Univ. of Fukui, ²Japan Atomic Energy Agency

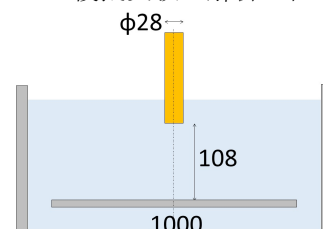


図 1

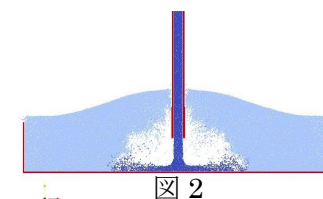


図 2

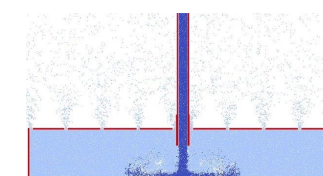


図 3