

過酷事故における溶融物の多孔質浸透のモデル化

Modeling of capillary transport of liquid component in porous media in severe accident

*板倉 充洋¹, 中村 博樹¹, 奥村 雅彦¹

¹JAEA

過酷事故の際に共晶溶融が発生する制御棒 B4C 粉末と被覆 SUS や、ジルカロイ被覆管と UO₂ 燃料においては固体側が多孔質物体となっているため、毛細管現象による浸透を考慮する必要がある。メゾモデルによる解析と、土壌物理で使われているマクロモデルの応用について発表する。

キーワード：過酷事故, マルチスケールモデル

1. 緒言

過酷事故の際には原子炉内の様々な物質が反応、溶融し移行する。特に燃料 UO₂ と燃料被覆管ジルカロイ、減速材 B4C と被覆管 SUS 鋼の界面においては共晶溶融により融点が低下し溶融の起点となると考えられる。この時、UO₂ はセラミクス材料を焼結して作成され、B4C は粉末をそのまま充填し用いるため、それぞれ充填率 90%, 70% 程度の固体で空隙を含むものとなっている。共晶溶融で生じた液体はこの空隙に浸透していく可能性がある。ミクロ・メゾスケールの計算でこの現象の解析を行った結果を発表する。またマクロスケールにおける多孔質への液体浸透は、降雨時の地下水の水位変動等、土木分野で重要な現象でありモデル化や実験研究が多くある。そうしたモデルの SA 解析への取り込みの検討についても報告する予定である。

2. 解析

2-1. ミクロ解析

毛細管現象の駆動力となるのは固液気界面のぬれ性である。液体が固体表面を覆うとき、固気界面でのエネルギーが固液界面でのエネルギーに変化し、固液界面のほうがエネルギーが低い場合には液体が固体表面に広がる駆動力が働く。ぬれ性は固液気界面の三重点の角度（臨界接触角）によって評価され、固液、気液、固気の 3 種の界面エネルギーをミクロな計算により求めることで角度を求めることができる。B4C 固体と溶融した鉄 89% ホウ素 11% 混合物および真空の臨界接触角は第一原理計算により 70 度程度と推定された。

2-2. メゾ解析

臨界接触角を取り入れた多孔質浸透現象は流体計算コード OpenFoam を用いて行った。二次元で円を周期的に配置し充填率が 70 % 程度になるよう間隔を調整し、溶融鉄の密度、粘性、表面張力を用いて計算を行った。また臨界接触角は 5 度、20 度、70 度などいくつかの典型的な値を用いて解析を行った。その結果、毛細管圧と粘性抵抗の影響を考慮して得られる解析解である、浸透長さが時間の平方根に比例する振る舞いが見られた。マクロ解析においては、粒径、接触角、粘性、界面エネルギーによって決まる毛細管圧と粘性抵抗をメゾ計算で評価し、これを取り入れた浸透計算を行うことになる。

3. 結論

メゾ解析で、接触角が 60 度以上のぬれ性が弱い時には浸透が起こらないという結果を得た。実際の状況においては、水蒸気の供給状況により B4C 表面が酸化し融点が低い液体 B₂O₃ で覆われている可能性があり、その場合は高いぬれ性があり浸透する状況となる。今後は既往実験結果について水蒸気条件に注意し比較検討していく。

*Mitsuhiro Itakura¹, Hiroki Nakamura¹, Masahiko Okumura¹

¹JAEA