

Title	開空間における熱流体の3次元自然対流と拡がり及び溶融凝固連成挙動に関する研究
Author(s)	日高, 政隆
Citation	
Issue Date	
Text Version	none
URL	http://hdl.handle.net/11094/48425
DOI	
rights	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

氏名	ひだかまさたか 白高政隆
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第20634号
学位授与年月日	平成18年7月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文名	開空間における熱流体の3次元自然対流と拡がり及び溶融凝固連成挙動に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 片岡 勲 (副査) 教授 武石賢一郎 教授 梶島 岳夫 教授 田中 敏嗣 助教授 大川 富雄

論文内容の要旨

米国スリーマイル島2号炉(TMI-2)の炉心溶融事故に代表される原子炉シビアアクシデント(SA)では、高温の炉心溶融物の落下に対して压力容器が健全性を保つことが、安全上最も重要である。健全性評価のためには、容器下部ヘッド上に拡がりながら凝固する炉心溶融物の熱流体挙動を予測する必要がある。また、拡がりながら凝固する現象は火山噴火時の溶岩流にも見られ、防災計画策定のため、その熱流体挙動を予測する必要がある。上記の熱流体挙動は、開空間における拡がり、自然対流、溶融凝固現象の連成した流れである。しかし、従来は3次元的な凝固挙動と液相流れを連成させて解くことはできなかった。

本研究の目的は、開空間において拡がり、自然対流、及び溶融凝固の連成した現象を解析する物理モデルを開発し、原子炉SA時の炉心溶融物、及び溶岩流の熱流体挙動を解析的に明らかにすることである。

非定常自然対流解析の数式モデルを基に、2種のセル属性(対流セルと自由液面セル)を設け、両セル間に半自由流出の解析境界を定義した。対流セルでは、非圧縮性3次元自然対流のナビエ・ストークス方程式を解く一方、自由液面セルでは高さ関数法を適用して、運動量とエネルギー輸送を解いた。固液と拡がりの境界移動にともない、圧力ポアソン方程式のマトリックス係数と前記セル属性を計算ステップごとに変更する手法を構築した。

高過熱度の溶融ステンレスの拡がり、凝固実験を対象に実験解析を行い、拡がり停止後の面積を $-8\% \sim +11\%$ の誤差で再現した。また、低過熱度の条件を与えて解析し、作動流体の周囲が凝固物で覆われる現象の解析機能を確認した。本解析モデルにより、高過熱度の溶融物では流動最小厚さまで薄く拡がった後に凝固し、低過熱度の溶融物では先端の凝固で拡がりが停止した後に後続の溶融物が積み重なる現象を明らかにできた。

本解析モデルを用い、TMI-2事故時の炉心溶融物の熱流体挙動を解析した。解析では、压力容器壁の熱伝導とCCFL現象のモデルを構築しプログラムに組み込んだ。炉心溶融物の熱流動と容器壁の温度分布を計算し、容器壁の最高温度と温度低下率の計算値を事故後検査の評価値と比較した。その結果、ギャップ形成を仮定することにより、压力容器健全性評価に対して本研究の解析モデルが有用であることを確認した。

地形に沿って流れる溶岩流の挙動を解析するため、地表面の標高と傾斜角の効果を定式化し、本解析モデルに組み込んだ。伊豆大島1986年噴火の溶岩流を対象として再現計算を行い、溶岩流の到達面積を $-10.7\% \sim +18.9\%$ の精度で再現した。本研究の解析モデルによって、計測困難な溶岩流の3次元的な流れ現象の一部を解析によって明らかにできた。

論文審査の結果の要旨

本論文は、従来解析することが極めて困難であった高温の溶融物の開空間における拡がり、自然対流、及び溶融凝固の連成した熱流体現象を解析する物理モデルを開発し、原子炉過酷事故時の炉心溶融物、及び火山噴火時の溶岩流の熱流体挙動を解析的に明らかにしたもので、その主な成果は以下のようである。

- (1) 非定常自然対流解析の数式モデルを基に、2種の数値解析セル属性（対流セルと自由液面セル）を設け、両セル間に半自由流出の解析境界を定義した。対流セルでは、非圧縮性3次元自然対流のナビエ・ストークス方程式を解く一方、自由液面セルでは高さ関数法を適用して、運動量とエネルギー輸送を解いた。固液と拡がりの境界移動にともない、圧力ポアソン方程式のマトリックス係数と前記セル属性を計算ステップごとに変更する手法を構築した。
- (2) 高過熱度の溶融ステンレスの拡がり、凝固実験を対象に実験解析を行い、拡がり停止後の面積を $-8\% \sim +11\%$ 以内の誤差で再現した。また、低過熱度の条件を与えて解析し、作動流体の周囲が凝固物で覆われる現象の解析機能を確認した。本解析モデルにより、高過熱度の溶融物では流動最小厚さまで薄く拡がった後に凝固し、低過熱度の溶融物では先端の凝固で拡がりが停止した後に後続の溶融物が積み重なる現象を明らかにした。
- (3) 開発した解析手法を、米国スリーマイル島原子力発電所2号機の事故時の炉心溶融物の熱流体挙動の解析として適用した。解析では、圧力容器壁の熱伝導と対向流制限現象のモデルを構築しプログラムに組み込んだ。炉心溶融物の熱流動と容器壁の温度分布を計算し、容器壁の最高温度と温度低下率の計算値を事故後検査の評価値と比較した。その結果、ギャップ形成を仮定することにより、圧力容器健全性評価に対して本研究の解析モデルが有用であることを確認した。
- (4) 開発した解析手法の応用として、火山噴火時の溶岩流の地形に沿った流れの挙動を解析するため、地表面の標高と傾斜角の効果を定式化し、本解析モデルに組み込んだ。伊豆大島1986年噴火の溶岩流を対象として再現計算を行い、溶岩流の到達面積に関して、観測値との差が $-10.7\% \sim +18.9\%$ 以内となる再現精度を実証した。本研究の解析モデルによって、計測困難な溶岩流の流れ現象の3次元的な挙動を解明する手法を構築した。

以上のように、本論文は、凝固しながら流れる高温溶融物の熱流体挙動を明らかにし、その解析手法を構築して、原子炉の安全性の解析や火山噴火時の防災解析に応用したものであり、学術的な価値も大きく、その応用により社会的に貢献するところも大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。