

審査の結果の要旨

氏名 柴 鵬輝

東京電力福島第一原子力発電所1号機においては、溶融した炉心が原子炉容器を突き破り、ペDESTALに落下するとともに、床のコンクリートと反応し侵食する溶融コリウム-コンクリート反応(MCCI)を起こしたと考えられている。MCCIは溶融燃料がコンクリートを溶かすだけでなく、様々な化学反応を伴う非常に非線形な現象である。従来から、MCCIに関しては、様々な実験や解析的検討が進められてきた。非線形な融点変化や、混合物挙動、化学反応など複雑な物理現象が絡み合い、その詳細なメカニズムについては、必ずしも十分に分かっていない。従来は主として、実験的研究をベースとした評価が進められてきている。本論文においては、複雑な挙動をシミュレーションする事が可能な粒子法(MPS)コードを改良し、様々な物理モデルを導入する事で、MCCIにおける侵食挙動を評価する事を試みている。実験結果として比較的大きな2次元体系での実験であるCCI-2を解析し、評価を進める事で、MCCIのメカニズムに関して知見を与える事を目的としている。本論文は5章にて構成されている。

第1章では、MCCIに関する従来の研究についてまとめている。過去に実施されたMCCIに関する様々な実験によって明らかになっているMCCI挙動をまとめるとともに、これらのシミュレーションに関する現状をまとめている。特に、粒子法(MPS)を用いた研究についても過去にいろいろ実施されているが、これらが1次元の評価が中心である事や、単純なモデルによる評価になっており、物理的メカニズムを詳細に調べるには不十分であることを述べている。これらの背景の下で、本論文においては、MCCIに対する様々な物理モデルをMPS法にモデル化する事と、2次元解析を行う事によって、MCCIの侵食メカニズムを評価する事を目的とすることを述べている。

第2章では、粒子法(MPS)の手法についてまとめるとともに、本論文で新しく導入する、物理モデルについてまとめている。具体的には、相変化(溶融凝固)、

表面張力、自然対流、混合モデル、化学反応モデル、気泡攪拌モデル、凝固温度モデルについて、物理現象からモデル化の課程を示している。

第3章では、第2章で導入した、様々な物理モデルに対して、検証と妥当性解析を行っている。理論解との比較だけではなく、過去に実施されたガリウムの溶融自然対流などの実験結果と比較する事で、物理モデルの妥当性について評価を行っている。特に、溶融を伴う侵食評価のために、重たい高温の液体金属が軽い物質を溶融させて侵食していく実験を、低融点金属とワックスを用いて実施し、計算結果と比較する事で2次元的な侵食状況の評価が可能であることを示している。

第4章では、開発した物理モデルを導入した粒子法(MPS)コードを用いて、過去に実施された MCCI 実験の一つである CCI-2 実験の結果を評価している。これは、2次元的なコンクリートの侵食挙動を評価した実験である。コリウム流下当初は、コリウムとコンクリートの間にクラストが形成され、これが熱抵抗となって侵食がほとんど起きない事を模擬できている。また、クラストが溶融した後に、コンクリートがコリウムに混合する事で融点が大幅に低下する現象を模擬するとともに、コンクリートが混合したコリウムの密度が低下するために、自然対流が発生しうることを示している。この自然対流の発生によって、コンクリートの侵食が増大する事を計算によって明らかにし、実験で得られた侵食の急激な進捗が、コリウムの自然対流に起因する可能性を指摘している。計算では、側面の侵食を正確に模擬できたが、底面の侵食は実験と大きく異なった。これは、底面の侵食を推進する、気泡攪拌モデルのモデル化が不十分であることを意味しており、今後の課題としている。しかしながら、実験で得られていた側面侵食増大現象が、クラスト溶融後の自然対流に依る事を明らかにした事は、今後の MCCI 評価の重要な知見である。

第5章は、結論であり、本論文の成果をまとめている。

以上、本論文は、シビアアクシデント時に重要な溶融コリウム-コンクリート反応(MCCI)について、物理モデルをシミュレーションコードに導入する事によって、その侵食挙動がコンクリート溶融後の自然対流に起因する事などを明らかにしたものであり、MCCI 研究に重要な知見を与えることから、原子力工学の進展に寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。