

審査の結果の要旨

氏名 岩崎 晃久

本研究は、「非線形 3 次元挙動を伴う液中構造物の耐震評価技術に関する研究」と題し、大地震が頻発している我が国にとって重要な、地震に対する構造物の健全性評価手法に関する研究である。

一般的には、線形で取り扱うことのできる構造物が評価の対象であるケースが多いが、本研究の対象は、ガタ、衝突、滑り、ロック等々の接触や幾何学的な非線形性を伴う周囲を液体で囲まれた構造物いわゆる液中構造物の 3 次元挙動である。このような構造物に対しては、実物大の試験体を用いた試験や計測が困難なため、解析モデルが必要となる。

非線形性を考慮したモデル化が必要な構造物として、本研究では、原子力プラント機器である、フリースタンディングラックおよび高速炉炉心を対象としている。フリースタンディングラックは水中に設置されており、地震時には滑りやロック振動が生じ、ロック振動発生時には脚部に衝突荷重が生じる。

高速炉炉心は、液体ナトリウム中において多数の炉心構成要素が炉心支持板に挿入されて自立し、地震時には隣接する炉心構成要素間で衝突しながら上下に跳び上がりが生じる。これらは液中にあり、液体から作用する荷重によって地震時の応答が低減されるため、液体の影響を考慮した解析モデルを提案する必要がある。

本研究では、フリースタンディングラックと高速炉炉心を対象とし、液中における複雑な非線形挙動を把握するとともに、構造健全性を確認するための変位や荷重を解析し評価することで、提案した構造健全性評価手法の有効性を確認している。

以下、各章の概要について紹介する。

第 1 章の「序論」では、本論文の目的と研究範囲、滑り・ロックを伴う振動挙動、ガタ支持構造物の振動挙動、液中構造物の振動挙動についての既往研究を纏め、対象であるフリースタンディングラックと高速炉炉心の概要について紹介している。

第 2 章は「フリースタンディングラック耐震解析手法と試験」と題し、フリースタンディングラックの解析モデルの考え方および実寸大耐震試験の結果につ

いて示している。解析では、滑りとロッキングによる大变位の挙動を推定するために、機構解析を用いて、自重による荷重分布や底面剛性が適切に模擬できるような解析モデルを提案している。また、ラックセルと燃料集合体との衝突、周囲の流体との連成も考慮している。耐震試験では、 7×10 セルの実寸大のフリースタンディングラックを対象とし、燃料の装荷状態や加振周波数による滑りやロッキング挙動の違いを明らかにしている。

第3章は、「フリースタンディングラック耐震評価手法」と題し、フリースタンディングラックの耐震評価に必要な、滑り変位・ロッキング変位・脚部荷重について解析手法の妥当性の検証を行っている。フリースタンディングラックの振動挙動は、脚部と床面との間の摩擦係数の感度が高いため、摩擦係数の上限値と下限値を用いることで滑り変位、ロッキング変位、脚部荷重の評価を行っている。さらに、信頼性向上のため、摩擦係数以外の解析パラメータのバラツキを考慮したモンテカルロ法による滑り変位の評価を行い、設計評価手法に纏めている。

第4章は、「高速炉炉心の群振動解析」と題し、高速炉炉心の耐震解析において考慮すべき外力を整理し、ガタを有する炉心構造物群による隣接炉心構成要素同士の衝突、流体構造連成など、水平挙動に加えて、炉心構成要素の跳び上がり、運転時の上下差圧、炉心支持板の応答など上下挙動を考慮した非線形3次元解析モデルについて述べている。具体的には、エントランスノズルや球面座におけるガタ部を考慮することで、炉心構成要素の自由倒れや回転、跳び上がりといった剛体運動を模擬でき、炉心構成要素全数において隣接する炉心構成要素との衝突および摩擦、流路網による流体力などの非線形事象を考慮した数値解析モデルを構築している。

第5章は、「高速炉炉心の群振動試験と解析の検証」と題し、高速炉炉心の地震時の健全性評価に関して、実寸大炉心構成要素単体の地震応答解析、縮尺試験体による多数体系耐震試験による試験を実施し、炉心構成要素の跳び上がり、炉心構成要素頂部の水平方向変位、パッド部の荷重について計測を行い、単体から多数体へと段階を踏みながら試験結果と解析結果を比較して、解析方法の妥当性の検証を行っている。

第6章では、本研究で得られた知見を纏めている。

以上のように、本研究は、地震時の液中構造物の健全性評価に供する非線形性を伴う液中構造物の3次元挙動を解析する手法を提案したものであり、流体関連振動学及び耐震工学の発展に寄与するものである。

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。