

氏 名	しら 井 孝 治
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3193 号
学位授与の日付	平 成 9 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	使用済燃料貯蔵施設の衝撃及び地震荷重に対する構造健全性に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 土 岐 憲 三 教 授 藤 井 學 教 授 東 邦 夫

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、使用済燃料の中間貯蔵施設における異常時の構造的健全性の評価にとって重要課題であると考えられる衝撃及び地震荷重を受ける鉄筋コンクリート構造物と金属製使用済燃料貯蔵容器（キャスク）の動的挙動を論じたもので、7章から構成されている。

第1章は緒論であり、研究の背景、目的と概要を示している。

第2章では、中速度の衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリート構造物の衝撃応答を評価するための数値解析モデルを論じている。まず、鉄筋コンクリートを対象として、3軸応力下の破壊基準、3軸方向のひびわれを考慮した引張破壊、破壊強度のひずみ速度依存性を適用した数値解析モデルを提示している。また、鉄筋モデルとして降伏強度のひずみ速度依存性を考慮した数値解析モデルを表示している。さらに、これら材料モデルを適用した有限要素解析により、構造物の基本的な構成要素である鉄筋コンクリート梁が衝撃荷重を受ける場合の衝撃応答解析を実施し、過渡応答時の応力波の伝播状況や梁の破壊形態を追跡し、応答解析手法の精度を検証している。

第3章では、貯蔵施設内で取扱中に万一落下事故が生じた場合のキャスクの健全性評価について論じている。まず、実物大のキャスクと貯蔵建屋の床部材を用いた落下試験を実施し、衝撃荷重を受けるキャスクと鉄筋コンクリート床版の動的な相互作用を明らかにするとともに、落下事故に対するキャスクの構造的健全性や密封性能の健全性を確認している。さらに、鉄筋コンクリートモデルにより衝撃荷重を受ける金属製キャスクの動的応答を数値解析的に評価できることを明らかにしている。

第4章では、球状黒鉛鋳鉄と呼ばれるキャスク材料の低温時における落下衝撃荷重に対する脆性破壊の評価手法について論じている。まず、球状黒鉛鋳鉄の脆性破壊評価手法として、線形破壊力学の理論に基づく評価式が有用であることを示している。次に、実規模大の鋳鉄製厚肉円筒容器を製作して、落下試験時に最も厳しい応力が発生する位置に人工欠陥を挿入し、球状黒鉛鋳鉄の脆性破壊領域温度において落下試験を実施し、人工欠陥からの亀裂の進展がないことを確認している。さらに、試験で得られた欠陥部発生応力を用いて、脆性破壊防止基準の評価式の安全率を決定論的に提案している。また、提案した評価式

を確率論的に考察し、評価式の安全裕度についても検討を加えている。

第5章では、地震時におけるキャスクの転倒安定性の評価手法について論じている。まず、キャスクの縮尺相似模型と貯蔵施設の床を模擬した鉄筋コンクリート床版を用いて、大型振動台によるキャスクの転倒試験を実施している。この結果、正弦波加振試験より、周期的な入力に対する円筒型キャスクの応答や過渡状態の挙動は、二次元角柱剛体の振動方程式の周期解と良い対応がみられることを見い出している。また、地震波加振試験より、キャスクの応答は入力波の周波数成分に依存し、長周期成分を有する入力波に対して応答が大きくなることを明らかにしている。さらに、二次元の個別要素法解析コードを用いて数値解析を行い、パラメータ（摩擦係数・バネ定数・減衰・時間刻み等）の設定方法を提案し、地震時におけるキャスクの転倒安定性に対する応答解析手法の有用性を検証している。

第6章では、偶発的な飛来物の衝突による衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリート構造物の局部破壊（貫入・裏面剝離・貫通）に対する耐衝撃設計手法について論じている。まず、鉄筋コンクリート床版と剛飛来物を用いた高速衝撃実験を実施し、従来の研究において提案されている剛飛来物に対する限界厚さの評価式の適用性を明らかにしている。また、航空機のエンジンを模擬した柔飛来物による衝撃実験を実施し、限界厚さの低減の効果を検討している。さらに、鉄筋コンクリート構造物の耐衝撃性を向上させる工法についても検討を加えている。

第7章は結語で、本研究で得られた成果を総括している。

論文審査の結果の要旨

使用済燃料の発電所敷地内貯蔵に対し、将来はキャスクと呼ばれる金属製の堅固な容器を使用することが検討されている。本論文では、発電所施設内での取扱中におけるキャスクの落下事故、地震時におけるキャスクの転倒安定性、外部飛来物に対する施設構造物の耐衝撃性を取り扱い、衝撃及び地震荷重を受ける鉄筋コンクリート構造物と金属製容器の動的挙動を論じており、得られた主な成果は以下のとおりである。

1. 実物大のキャスクと貯蔵建屋の床を用いた落下試験を実施し、貯蔵施設内の取扱中に想定される落下事故に対するキャスクの構造・密封健全性を確認するとともに、キャスクの衝撃応答を数値解析的に評価できることを示した。

2. 球状黒鉛鋳鉄製キャスクの落下衝撃荷重に対する低温脆性破壊評価手法について、線形破壊力学の理論に基づく評価式を提案し、人工欠陥を挿入した鋳鉄製厚肉円筒容器の低温時の落下試験に基づき、評価式の妥当性を確認した。

3. キャスクの縮尺相似模型を用いた転倒試験を実施し、実験的に応答特性を評価するとともに、個別要素法を用いて数値解析を行い、キャスクの転倒安定性に対する応答解析手法の有用性を検証した。

4. 鉄筋コンクリート床版と飛来物を用いた高速衝撃実験を実施し、剛飛来物に対する局部破壊設計評価式の検証を行うとともに、飛来物の変形が局部破壊に及ぼす影響や、鉄筋コンクリート構造物の耐衝撃性を向上させる工法について検討を行った。

以上を要するに、本論文は、キャスク貯蔵施設における異常時の構造的健全性の評価にとって重要課題

であると考えられる諸問題を，実験および理論解析により論じたものであり，学術上，実際上寄与するところが少なくない。よって，京都大学博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また，平成9年1月21日，論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果，合格と認めた。