

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	衝撃荷重付与時のペレットを有する円筒の破断メカニズムに関する研究
Title(English)	
著者(和文)	森重直樹
Author(English)	Naoki Morishige
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10627号, 授与年月日:2017年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:岸本 喜久雄,井上 裕嗣,因幡 和晃,水谷 義弘,宮崎 祐介,FARID TRIAWAN
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10627号, Conferred date:2017/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

本論文は「衝撃荷重付与時のペレットを有する円筒の破断メカニズムに関する研究」と題し、5章より構成されている。

第1章「緒論」では、原子燃料の事故時を想定した際に生じうる軸衝撃に対する燃料棒の挙動に関する現状を概説し、本研究の目的を述べている。すなわち、燃料棒はZry-4製円筒と酸化ウラン製のペレットと呼ばれる円筒形状の内装物から構成されており、この燃料棒を模擬した体系に軸衝撃荷重が付与されると円筒の破断が生じることが報告されている。燃料棒は細長比の大きな体系であるが、軸衝撃に対する円筒の挙動は細長比の小さい体系が主であり、細長比が大きく、かつ内装物を有する体系での衝撃挙動に関する研究は限られており、破断のメカニズムについては不明であるのが現状であることを指摘している。そこで、健全性を評価する上で非常に重要な破断について、細長比が小さく内装物を有する円筒の軸衝撃作用時の挙動を試験及び解析により把握し、また、円筒材料の破断条件を試験及び解析より算出することで、燃料棒体系での軸衝撃荷重作用時の破損メカニズムを解明することが本論文の目的である。

第2章「内装物を有する円筒の軸衝撃試験」では、軸衝撃作用時の円筒材料及び円筒形状の内装物の挙動について観測するとともに、破断の生じる条件を見出し、破断の原因が円筒と内装物端部の接触部に起因し、多軸応力場が影響していると推定している。すなわち、ジルカロイ合金製、ステンレス鋼製の円筒材料に、アルミナペレット、鉛-アンチモンペレットと剛性の異なる2種類の円筒形状のペレットを内装し、種々の衝撃速度で軸衝撃荷重を付与する試験を実施した。試験結果より、内装物の剛性が大きい場合、その支持効果により最大衝撃荷重、変形形状は変化するものの円筒へ作用する荷重は耐力相当荷重で飽和すること、高速度条件において局所的な曲げ変形の発生に伴い、曲げ変形部の引張側にてクラックが生じて破断に至ることが確認された。この破断は内装物の境界面にて生じていることから、破断の原因は円筒と内装物端部の接触により発生する複雑な応力場が関係すると考察した。

第3章「内装物を有する円筒の軸衝撃解析」では、軸衝撃作用時に円筒に発生する応力場について評価するために数値計算を行い、応力場の指標である応力3軸度に着目し、高剛性のペレットが内装された場合では、応力3軸度とともに相当塑性歪が増加することを確認にした。すなわち、2章で実施した軸衝撃試験を有限要素法(LS-DYNA)にて再現解析を実施することで、軸衝撃荷重作用時に破断箇所にて発生する応力、歪を算出し、内装物の剛性が小さい場合では、曲げ変形部において円筒の扁平化の抑制により応力3軸度が増加するものの、発生相当塑性歪はほとんど変化しない。一方、内装物の剛性が大きい場合では、円筒の扁平化の抑制に加えて、内装物の境界にて円筒と内装物の接触による局所的な引張変形が生じ、応力3軸度と共に相当塑性歪が増加する結果を得た。

第4章「破壊条件の検討」では、円筒材料のクラック発生条件として、軸引張試験及びその再現解析を通して相当塑性歪と応力3軸度の関係を算出し、軸衝撃荷重作用時での結果と比較することで破壊メカニズムについて検討し、内装物の剛性によってはクラック発生基準に達する可能性があることから、軸衝撃荷重付与時の円筒の破断は応力3軸度の増加に起因すると結論付けた。すなわち、種々の円孔／楕円孔を有する円筒の引張試験結果およびその再現解析から、クラック

発生基準として、応力 3 軸度の増加に伴い、クラック発生歪が減少する相関を得た。軸衝撃試験にてクラック発生が確認された曲げ変形部の引張側に着目し、応力 3 軸度、相当塑性歪を算出し、クラック発生条件と比較した結果、内装物の剛性が低い場合には、応力 3 軸度は増加するものの相当塑性歪はほとんど増加せず、クラック発生条件に達しないが、内装物の剛性が高い場合には応力 3 軸度、相当塑性歪共に増加し、また、応力 3 軸度の増加に伴いクラックが発生する相当塑性歪が小さくなることで、クラック発生条件に達することが確認された。このことから、円筒内部に内装物が存在すると、内装物は応力 3 軸度を増加させクラックが発生する相当塑性歪を減少させるとともに、内装物の剛性が大きい場合には内装物境界での局所変形に伴う相当塑性歪の増加を生じさせ、クラック発生条件に達して破断に至ることがわかった。

第 5 章「総括と今後の展望」では、本研究で得られた結果を要約するとともに、今後の課題について示した。