

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)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

(2000字程度)

報告番号	乙 第 号	学位申請者	森重 直樹	
	氏 名	職 名	氏 名	職 名
論文審査員	主査 岸本喜久雄	教授	宮崎 祐介	准教授
	井上 裕嗣	教授	Farid Triawan	特任講師
	因幡 和晃	准教授		
	水谷 義弘	准教授		

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圧縮衝撃に対する燃料棒の挙動に関する研究の現状を概説し、本研究の目的を述べている。すなわち、燃料棒はジルカロイ合金製円筒に短円柱形状の酸化ウランペレットを重ねて封入した構成になっており、この燃料棒のモデル試験体に軸方向に圧縮衝撃が負荷されると円筒に破断が生じる場合があることが報告されているが、燃料棒のように細長比が大きかつ、ペレットのような充填物を有する場合の衝撃挙動に関する研究は限られており、破断機構については未解明であることを指摘している。そこで、細長比が大きくペレットを有する円筒に軸圧縮衝撃が作用する場合について、衝撃試験および有限要素解析を行うことで、円筒の破断機構を解明するとともに、燃料棒の破断条件を明らかにすることが本論文の目的であると述べている。

第2章「ペレットを有する円筒の軸衝撃試験」では、ペレットを充填していない空管ならびにペレットを充填した円筒管に対して軸圧縮衝撃試験を実施し、円筒の変形と破断条件について検討している。すなわち、ジルカロイ合金製およびステンレス鋼製の円筒に、剛性の小さい鉛-アンチモンペレットと剛性の大きいアルミナペレットの2種類のペレットを充填して、種々の衝撃速度で軸方向に圧縮衝撃を負荷する試験を実施し、その結果、剛性の小さいペレットを用いた場合には、ペレットの影響は小さく、変形形状、発生する最大荷重は空管と同程度であるのに対して、剛性の大きいペレットを用いた場合には、ペレットの支持効果により、変形形状が変化し、最大荷重が増加するとともに、ジルカロイ合金製円筒においては、曲げ変形部の引張側のペレット境界において破断が生じることを見出している。このことから、破断には円筒とペレット端部の接触により発生する応力場が関与していると推論している。

第3章「ペレット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有限要素解析を行い、多軸応力場の指標である応力3軸度に注目して検討している。すなわち、2章で実施した軸圧縮衝撃試験に対して有限要素解析を行い、ペレットの剛性が小さい場合には、曲げ変形部において円筒の扁平化の抑制により応力3軸度が増加するが相当塑性ひずみはほとんど変化しないのに対して、ペレットの剛性が大きい場合には、円筒の扁平化の抑制に加えて、ペレット間の境界において円筒とペレット端部の接触による局所的な引張変形が生じることから、応力3軸度と共に相当塑性ひずみも増加することを見出し、このことが円筒の破断の要因であると考察している。

第4章「破壊条件の検討」では、スリット加工したジルカロイ合金円筒試験片による軸引張試験を行うことで破壊条件を明らかにするとともに、軸衝撃試験の有限要素解析結果と比較することで破壊条件の適用性を確認し、燃料棒のモデル試験体での破断評価について検討している。すなわち、種々の先端半径のスリットを有する円筒の引張試験を行い、き裂発生時の限界相当塑性ひずみは応力3軸度の増加に伴って減少する傾向があることを明らかにするとともに、軸衝撃試験において破断が生じた曲げ変形部の引張側に注目して、応力3軸度と相当塑性ひずみの変化を求めたところ、ペレットの剛性が高い場合には応力3軸度と相当塑性ひずみの両者ともに増加し、軸引張試験で求めた破壊条件に到達することを見出している。このことから、円筒内にペレットが存在すると、応力3軸度を増加させて限界相当塑性ひずみを減少させるとともに、ペレットの剛性が大きい場合にはペレット間の境界における局所変形に伴って相当塑性ひずみが増加することで破断に至ることを明らかにしている。さらに、ウラン酸化ペレットの製造時状態、劣化状態を想定した有限要素解析により、本論文で設定した衝撃速度範囲においては、両者の状態ともに破断条件に達しないことを示し、燃料棒は破断しない見通しが得られたと考察している。

第5章「総括と今後の展望」では、本研究で得られた結論を総括するとともに、今後の課題について述べている。

以上を要するに本論文は、原子燃料棒を想定したペレットを充填した円筒について、材料強度試験、軸圧縮衝撃試験および有限要素解析を行うことで、破断機構を解明するとともに、燃料棒の破断条件を明らかにしており、工学上及び工業上貢献するところが大きい。よって本論文は、博士(工学)の学位論文として十分な価値があるものと認められる。