

極限荷重に対する原子炉構造物の破損メカニズム解明と破局的破壊防止策

(13) 試験と解析による局部破損メカニズムに関する研究

Failure Mechanism under extreme loading and prevention of catastrophic failure

(13) Study on mechanism of local failure with experiments and analysis

*窪田 穰穂¹, 小木曾 慎¹, 佐藤 拓哉¹, 笠原 直人¹

¹ 東京大学

構造不連続部において発生の可能性が指摘されている局部破損のメカニズムは未だ十分には解明されていない。本研究では、局部破損のメカニズムを研究し、新たに破壊曲面の考え方を提案した。

キーワード：大変形弾塑性解析，3軸応力度，局部破損，破壊曲面

- 1. 序論** 原子炉構造物の構造不連続部では、内圧に対する破損モードとして局部破損の可能性が指摘されている。しかし、現在の原子力機器の設計基準では局部破損を想定せず、Mises の応力に支配される延性破壊のみを想定することが多い。また、局部破損は3軸応力度（静水圧応力/ Mises 応力）が影響することまでは半定量的に理解されているが、メカニズムは十分に解明されていない。本研究では、引張り試験と大変形弾塑性 FEM 解析を行うことにより、局部破損メカニズムの解明を目的とする。
- 2. 引張試験と FEM 解析** SUS304 製平滑丸棒及び切欠き丸棒試験片の引張り試験を行った。図 1 に各試験片の破面を、図 2 に荷重-変位曲線を示す。また、大変形弾塑性 FEM 解析によって算出した平滑丸棒試験片と切欠き丸棒試験片の最小断面での3軸応力度分布を図 3 に示す。



図 1 引張試験結果（破面）

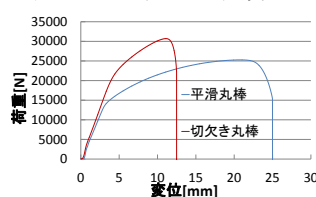


図 2 荷重-変位曲線

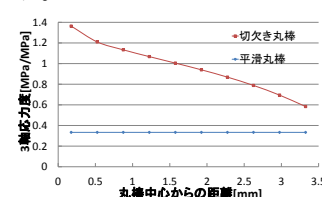


図 3 最小断面での3軸応力度分布

- 3. 破壊曲面の提案および破壊曲面に基づいた考察** 2章の結果に合理的な説明を与えるために、SUS 304 の応力-ひずみ関係と ASME Sec. VIII Div. 2^[1] の限界ひずみ評価式（単軸の限界ひずみ、ひずみ硬化係数、3軸応力度の関数）を考慮した破壊曲面という考え方を図 4 に提案する。水平の直線はミーゼスの降伏曲面を、傾きを持った直線は典型的な応力状態を表す。図 1,4 から、傾きが大きく3軸応力度の小さい単軸状態（平滑丸棒試験片）では延性破壊（せん断型の破面を形成^[2]）の傾向が強くなり、傾きが小さく3軸応力度が大きくなる切欠き丸棒試験片では局部破損（繊維状型の破面を形成^[2]）の傾向が強くなることが表現される。図 3 に示すように、切欠き丸棒試験片の3軸応力度が大きくなるのは、最小断面の塑性変形が断面積の大きい周辺によって拘束される（塑性拘束）ことによる。また、切欠き丸棒試験片の最小断面の3軸応力度が大きいうことは、図 4 から分かるように破壊時の静水圧応力が大きくなる。これは軸方向応力も大きくなることを意味し、結果として図 2 のように最大荷重が増加する。提案した破壊曲面は、延性破壊と局部破損を連続的に表現できることに特徴がある。

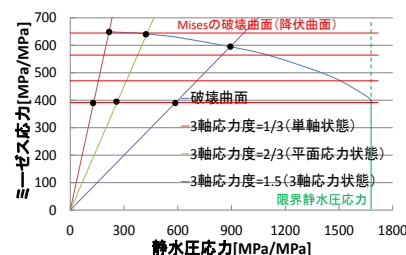


図 4 破壊曲面

参考文献

- [1] David A. Osage, P.E., “ASME Section VIII-Division 2 Criteria and Commentary”, The Equity Engineering Group, Inc., (2009)
 [2] 横堀武夫（1981）『材料強度学』技報堂出版株式会社

*Shigeho Kubota¹, Shin Ogiso¹, Takuya Satou¹ and Naoto Kasahara¹ ¹Tokyo Univ.