

塑性域における局部破損評価法の クリープ域への拡張に関する検討

Investigation on extension of local failure evaluation method
in plastic region to creep region

東京大学	吉田 瑞城	Mizuki YOSHIDA	Non-Member
東京大学	坂口 貴史	Takashi SAKAGUCHI	Non-Member
東京大学	佐藤 拓哉	Takuya SATO	Non-Member
東京大学	笠原 直人	Naoto KASAHARA	Member

According to the design standards of nuclear equipment, ductile fracture is assumed as the failure mode due to monotonic loading in the elastic-plastic region, but it is known that failure mode called local failure occurs at the part with high stress triaxiality. In the past, the authors have proposed a fracture surface that can uniformly evaluate transition of failure modes from ductile fracture to local failure. This research proposes the extension method of the fracture surface to creep region.

Keywords: Ductile fracture, Local failure, Multi-axial stress, Elastic-plastic, Creep

1. 研究背景

福島原子力発電所事故以降求められていることとして「事故を起こさないような設計」から「事故が起こることを考慮した設計と対策」への意識転換と壊れる場所、順番、破損モードの特定および各破損モードに対する最適強度評価が挙げられる。一方で高温・高圧荷重時での原子炉建造物の壊れ方は十分には分かっておらず、また従来の設計基準では延性破壊を弾塑性領域での単調荷重に対する破損モードとして想定されているのに対して、事故時にはそれとは異なる破損モードである構造不連続部での局部破損が問題視されている^[1]。

2. 研究目的

延性破壊はミーゼス応力によって支配される破損モードである。それに対して、局部破損はミーゼス応力と静水圧応力の両者に支配される。本研究では、報告者らがこれまでに提案した塑性域における延性破壊から局部破損までを連続的に評価することのできる破壊

曲面^[2]について、そのクリープ域への拡張法を提案することを目的とする。

3. クリープ域における破壊曲面

25°Cにおける純鉛(実機材での高温状態を模擬^[1])のクリープ試験結果を Fig.1 に示す。この試験結果において定常クリープを Norton 則を用いて近似すると以下の式で表すことができる。

$$\dot{\epsilon} = 2.46 \times 10^{-7} \sigma^{7.18} \dots (1)$$

$\dot{\epsilon}$: クリープひずみ速度(mm/mm/hr) σ : 応力(MPa)

また 25°Cのクリープ試験結果における破断時間と応力の関係を Fig.2 に示す。(1)式と Fig.2 における近似曲線からクリープ破断ひずみを反映した上での定温度下における等時応力-ひずみ線図^[3]を作ることができる。その図を Fig.3 に示す。

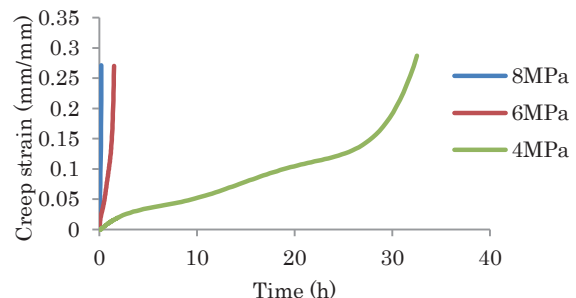


Fig.1 Creep strain curve

連絡先 : 吉田 瑞城、〒113-8656 文京区本郷 7-3-1
東京大学大学院工学系研究科 原子力国際専攻
E-mail : octopusnonono@gmail.com

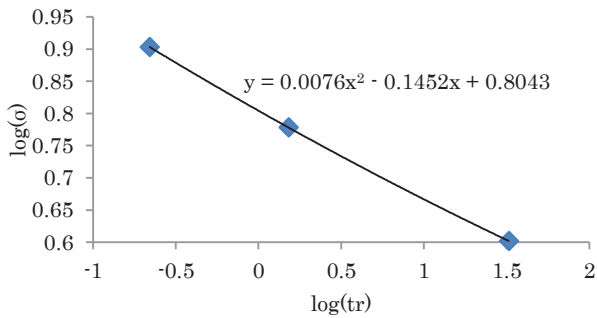


Fig.2 Relationship of stress and rupture time

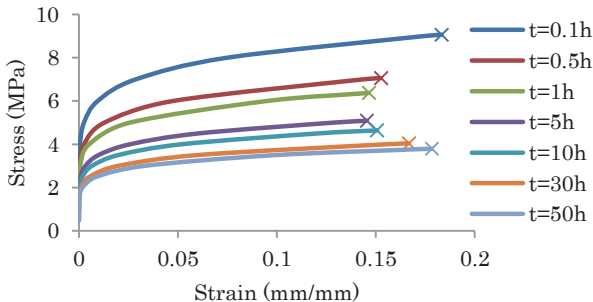


Fig.3 Isochronous stress-strain curve

弾塑性条件下の局部破損に対する限界ひずみ評価式⁴⁾として以下のような式が規格化されている。

$$\varepsilon_{Lm} = \varepsilon_{Lu} \cdot \exp \left[- \left(\frac{\alpha_{sl}}{1 + m_2} \right) \left(Tr - \frac{1}{3} \right) \right]$$

α_{sl} , m_2 : 材料定数

Tr : 3 軸応力度 (静水圧応力/ミーゼス応力)

ε_{Lu} : 単軸状態での限界ひずみ

ε_{Lm} : 多軸状態での限界ひずみ

この式をもとに、ある 3 軸応力度から Fig.4 に示す応力-ひずみ線図に対して多軸状態での限界ひずみを求め、その時の応力と 3 軸応力度から静水圧応力を求める。このような作業を繰り返し行うことで Fig.5 に示すようなミーゼス応力-静水圧応力平面における破壊曲面を作る。以上のような手順で塑性域における破壊曲面は作られる²⁾。

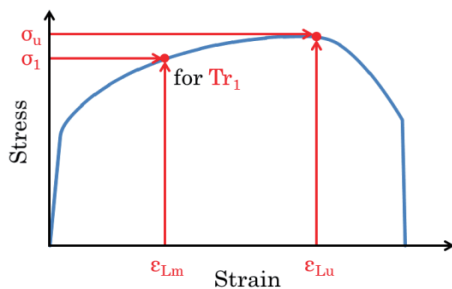


Fig.4 Stress-strain curve

この手順における応力-ひずみ線図を Fig.3 に示す等時応力-ひずみ線図に置き換え、さらに単軸状態での限界ひずみをクリーブ破断ひずみに置き換えることに

よって Fig.6 に示すような定温度下におけるクリーブ域についての等時破壊曲面を作ることができる。Fig.6 より時間が経過するほど破壊曲面は内側へ向かっていくことが分かる。

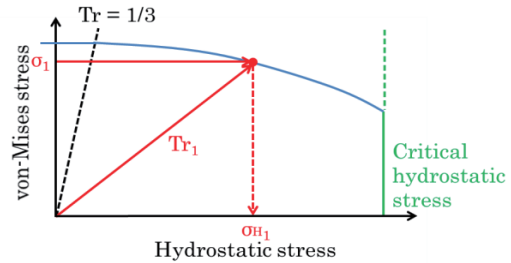


Fig.5 Fracture surface

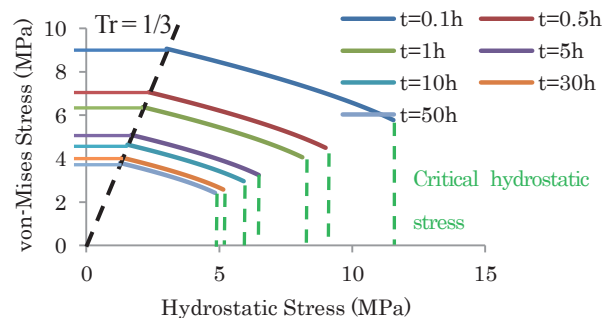


Fig.6 Isochronous fracture surface

4. 結論と今後の課題

弾塑性における応力-ひずみ線図をクリーブ試験結果による等時応力-ひずみ線図に置き換えることによってクリーブ条件下における等時破壊曲面を提案した。今後はクリーブ域において前述の限界ひずみ評価式を用いることの妥当性を検討すると共に、試験結果との比較により等時破壊曲面の適用性について調べていく計画である。

参考文献

- [1] Naoto KASAHARA, Izumi NAKAMURA, Hideo MACHIDA, Hitoshi NAKAMURA, Koji OKAMOTO, Takuya SATO, Structural analysis approach for risk assessment under BDBE, ASME, PVP2016-63416.
- [2] 窪田穰穂、小木曾慎、佐藤拓哉、笠原直人、“局部破損メカニズムの検討とそれに基づく破壊曲面の提案”、日本保全学会第 13 回学術講演会、2016.
- [3] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Sec.III. NH Class 1 Components in Elevated Temperature Service, (2010)
- [4] David A. Osage, P.E., “ASME Section VIII-Division2 Criteria and Commentary”, The Equity Engineering Group, Inc., (2009)