

# 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

## (18) 信頼性に基づく限界強度評価

Failure Mechanism Under Extreme Loadings and Prevention of Catastrophic Failure

(18) Limit Strength Evaluation Based on Reliability

\*鈴木 正昭<sup>1</sup>, 笠原 直人<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学

設計想定を超える極限荷重に対して、荷重・応答・強度の不確実性を考慮し解析等を活用した、信頼性に基づく原子炉構造物の限界強度評価の枠組みを提示した。

**キーワード**：極限荷重、限界強度、最適評価、不確実性、信頼性

**1. 緒言** 福島原子力発電所事故以降、設計想定外事象に対する影響緩和への重点的取り組みが求められている。低頻度で不確実性の大きい設計想定外事象に対して合理的な対策を講じるには、最適評価に不確実性を考慮した現実的事故シナリオに基づき脆弱点を解明し改善する必要がある。本研究では、設計想定を超える極限荷重下で考えられる原子炉構造物の破損モードに対して、強度理論および非弾性解析を活用した最適評価に荷重・応答・強度の不確実性を考慮した、信頼性に基づく限界強度評価の枠組みを構築する。

**2. 信頼性に基づく限界強度評価** 限界強度評価に不確実性を考慮し、信頼性に基づき構造健全性を評価するために、部分安全係数形式の信頼性照査式  $\gamma L < R/\phi$  ( $L$ : 荷重,  $R$ : 強度) を用いる。部分安全係数  $\gamma$ ,  $\phi$  の値は荷重・強度の不確実性の程度および照査信頼性水準と対応して導出される。各部分安全係数値の大小は各荷重・強度の不確実性による信頼性への影響度と対応している。限界強度評価にあたっては、破損モードマップおよび大規模非弾性解析法を活用する。まず、破損モードマップを用いて荷重と形状から破損モードを判定する。次に、モード毎の強度支配因子に対して、強度理論や大規模非弾性解析法により最適評価を行う。最適評価値と照査信頼性水準、および対応する部分安全係数に基づき信頼性を照査する。

**3. 高温外圧荷重に対する限界強度評価** 炉内温度・圧力の上昇に伴う中性子計測管等の破損を想定し、高温外圧荷重下の弾塑性座屈破損モードを対象とした信頼性照査式の導出例を示す。外圧を受ける円管の弾性・塑性座屈圧力  $P_{cr}$  は弾性座屈理論式および換算係数理論より得られる (図1)。荷重の不確実性として作用外圧  $P_{ap}$  および温度の、強度の不確実性として形状不整と各材料特性のばらつきを考慮することで、信頼性に基づく破損評価線図を得ることが出来る (図2)。部分安全係数を導出すると、ここでは複数のばらつき因子を含む座屈圧力  $P_{cr}$  の不確実性による信頼性への影響が大きいことが分かる (図3)。

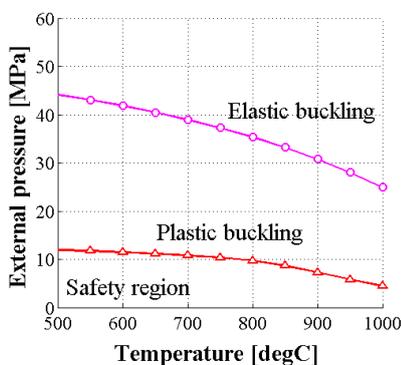


図1 弾性・塑性座屈圧力  
(半径板厚比 = 10)

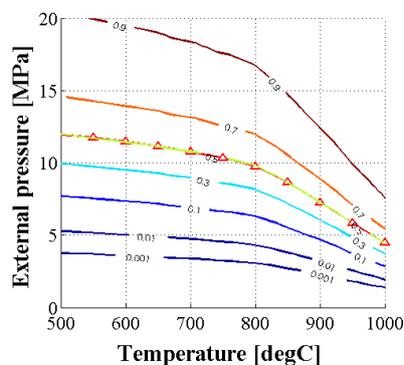


図2 等破損確率曲線  
(半径板厚比 = 10)

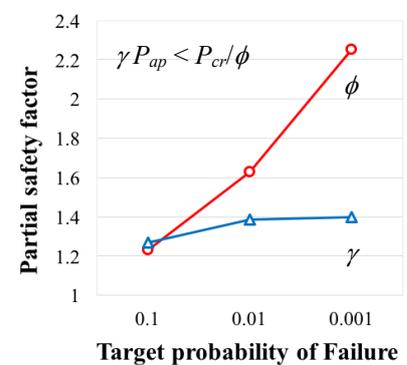


図3 部分安全係数値

**謝辞** 本研究は、文部科学省国家課題対応型研究開発推進事業原子力システム研究開発事業の成果である。関係各位に記して謝意を表します。

\*Masaaki Suzuki<sup>1</sup> and Naoto Kasahara<sup>1</sup>, <sup>1</sup>The University of Tokyo