

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
(16)破損モードマップを用いた限界強度評価法に関する提案

Failure mechanism under extreme loadings and prevention of catastrophic failure

(16) Proposal for limit strength evaluation method using the failure mode map

*小川 博志¹, 町田 秀夫¹, 笠原 直人²

¹テプコシステムズ, ²東京大学大学院

福島原子力発電所事故の教訓から、深層防護1層～3層（設計）とは異なる第4層のための構造強度評価体系の構築が必要である。その中で使用する破損モードを判定するための破損モードマップの概念と、その具体例として過温過圧時の原子炉圧力容器底部の破損モードマップについて報告する。

キーワード：極限荷重，過酷事故，過大地震，破損メカニズム，強度評価，数値解析，破損モードマップ

1. 緒言

福島原子力発電所事故の教訓から、深層防護の「第1層～第3層（設計基準事象）」に加えて「第4層（設計拡張事象：BDBE）」への重点的な取り組みが要求されている。この第4層への対策を立案するためには、従来設計の保守的評価と異なり、破損モードの特定と最適強度評価が必要となる。そこで、極限荷重に対する原子炉構造物の壊れる場所と順番、限界強度、壊れた場合の影響度などの破壊現象を解明するために、材料試験・構造物試験及び数値解析を用いて各破損モードに対する破損限界及び破損モードマップを検討してきた。本報では、原子炉構造物の破損モードを判定するための破損モードマップの概念と、その具体例として過温過圧時の原子炉圧力容器底部の破損モードマップについて報告する。

2. 破損モードマップの検討

BDBE として想定される冷却機能喪失事象では、炉心損傷が発生し原子炉圧力容器内は過温過圧状態となる。本検討では原子炉圧力容器底部に熔融燃料が堆積した状態の破損を想定した。この過温に対する各破損モードの破損限界を数値解析及び理論式により求め、炉底部の破損モードマップを検討した。破損モードは過温に対して時間消費則を評価基準としたクリープ損傷、高温における引張強さを評価基準とした内圧バーストを評価した。検討例を図1に示す。

3. 限界強度評価法における活用検討

表1にBDBEの高温内圧に対する非弾性解析に基づく限界強度評価法案を示す。事故や設計対応としてこの限界強度評価法案の適用に先立ち、破損モードマップの活用により、運転又は事故状態（温度／圧力）から当該機器に想定される破損モードの判定が可能となり、以降の詳細検討に活用できると考えられる。今後、局部破損などの破損モードについても拡張していく予定である。

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。

¹Hiroshi Ogawa¹, Hideo Machida¹ and Naoto Kasahara²

¹TEPCO SYSTEMS CORPORATION, ²The University of Tokyo

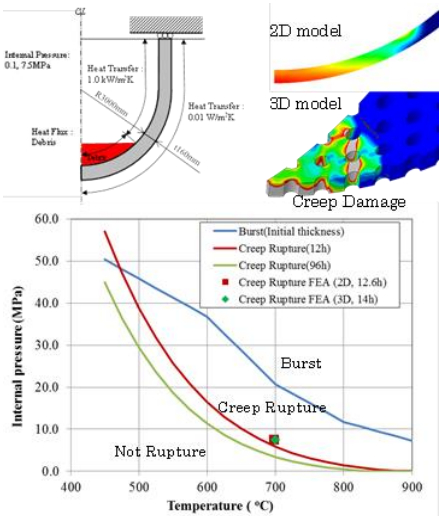


図1 RPV破損モードマップの検討例

表1 設計基準事象とBDBE限界強度評価法

荷重モード	設計基準事象（1層～3層）			設計拡張事象（4層）		
	破損モード	強度因子と評価手法	クライテリア	破損モード	強度因子と評価手法	クライテリア
高温内圧	延性破壊	弾性破壊応力による応力	引張強度	延性破壊	弾性破壊応力による弾塑性ひずみ（仮想ポイド）	真破壊ひずみ
	クリープ破壊	弾性破壊応力による応力	クリープ損傷 クリープ破壊所伸び	クリープ破壊	弾性破壊応力による弾塑性ひずみ（仮想ポイド）	クリープ損傷 クリープ破壊所伸び
	—	—	—	局部破損	弾性破壊応力による弾塑性ひずみ、多軸度	多軸度を考慮した真破壊ひずみ