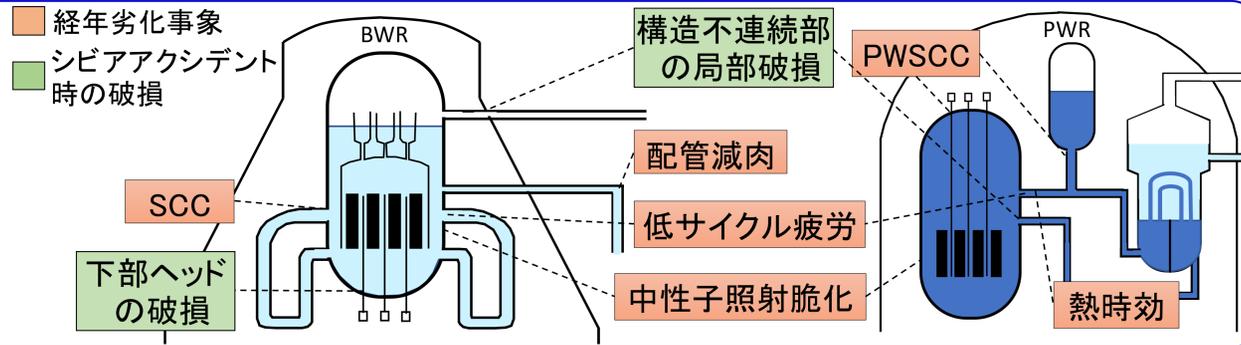


研究の全体概要

原子炉圧力容器(RPV)や一次系配管等の安全上重要な原子炉機器を対象に、長期間の供用による中性子照射脆化や応力腐食割れ(SCC)等の経年劣化事象を考慮した健全性評価手法の高度化を図る。また、福島第一原子力発電所(1F)事故の教訓を踏まえ、設計上の想定を超える事象に対応した構造強度評価法の整備を進める。



ニーズ
← 実用化に向けた知見

基盤研究

- 亀裂進展、破壊評価、溶接残留応力等の評価手法
- 設計上の想定を超える条件下の強度評価手法
- 破壊試験、強度試験
- 確率論的解析技術 等

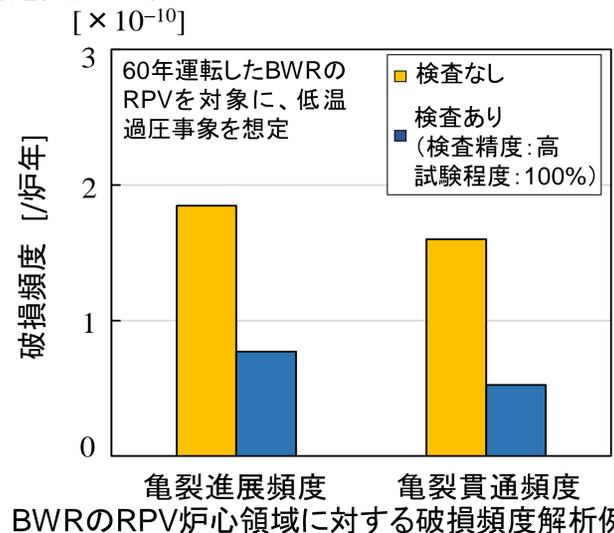
原子炉機器の健全性評価法の高度化

研究背景・目的

- 長期間供用された軽水炉のRPVや一次系配管等の健全性確保は重要な課題であることを踏まえ、決定論的な健全性評価手法の高度化を進める。また、欧米等では、確率論的数値指標を評価できる確率論的破壊力学(PFM)に基づく確率論的健全性評価手法の活用が進められており、国内においても、RPV溶接継手に対する供用期間中非破壊検査の影響評価においてPFMの活用が議論される等、PFM解析技術の重要性が増している。そこで、PFMに基づく確率論的健全性評価手法の実用化を念頭に、最新知見を踏まえPFM解析コードPASCALシリーズの評価対象を拡充するとともに、国内外におけるベンチマーク解析等を通じてPFM解析コードの検証を推進する。また、PASCALシリーズを用いて、安全性向上評価や新検査制度等に資する活用方策の検討を進める。

研究内容

- 決定論的な健全性評価手法の高度化
 - 健全性評価で想定される亀裂に対する拘束効果が見かけの破壊靱性に及ぼす影響を明確にするための試験及び解析的検討を実施した。
- PFM解析コードの整備
 - 加圧水型軽水炉のRPVの破損頻度を評価するPFM解析コードとして整備してきたPASCAL4について、沸騰水型原子炉(BWR)のRPVを対象とした解析を可能にするため、外表面側の亀裂に対応した亀裂進展や破壊評価機能、考慮すべき過渡事象等の解析条件等の整備を実施した。
 - 原子炉配管の破損確率を評価するPFM解析コードとして整備してきたPASCAL-SPについて、評価対象とする経年劣化事象等の拡充や破損確率の信頼度評価機能の整備を実施した。
- PFM解析コードの検証
 - PASCAL4について、国内産学9機関で構成されたPASCAL信頼性向上ワーキンググループでベンチマーク解析を実施し、検証を進めた。
 - PASCAL-SPについて、米国で開発が進められているPFM解析コードxLPRとのベンチマーク解析により、検証を進めた。
- PFM解析の活用方策の検討
 - PASCAL4を用いて国内BWRのRPVの炉心領域を対象に、非破壊検査による亀裂の検出性の影響を破損頻度を数値指標として定量的に評価する等の活用事例を整備した(右図)。
 - PASCAL-SPを用いて、供用期間中検査のサンプリング方式や追加試験の影響を破損確率を数値指標として定量的に評価する等の活用事例を整備した。



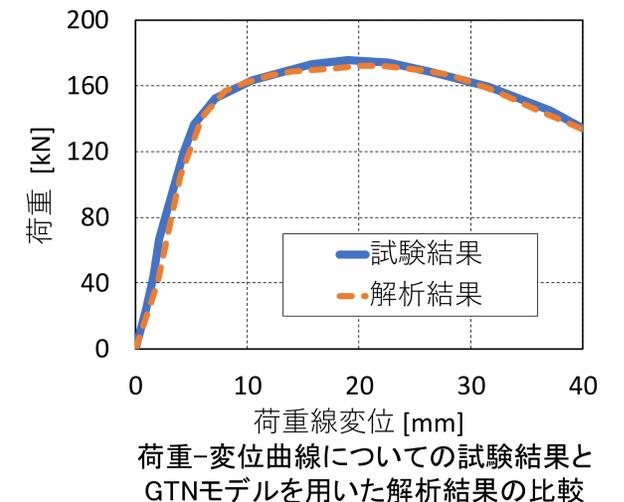
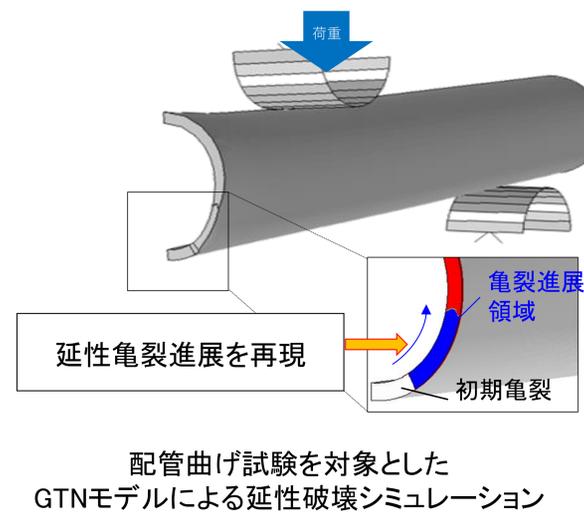
設計上の想定を超える事象に対応した構造強度評価法の高度化

研究背景・目的

- 1F事故の教訓を踏まえ、設計上の想定を超える事象に対応した構造強度評価法の高度化が重要な課題となっている。そこで、設計上の想定を超える温度や荷重条件下における構造物の損傷評価手法の整備を進める。

研究内容

- 重大事故時に原子炉機器が高温に曝された場合に適用可能なクリープ損傷評価手法の高度化(原子力基礎工学研究センターとの連携研究)
 - 融点近くの高温度域までのクリープ試験を通じて、有限要素解析に基づくクリープ損傷評価に必要な、融点近くの高温度域までの材料特性データベースを整備した。
 - 重大事故時の圧力容器下部ヘッドの破損時間や破損形態等を精度良く評価する手法として、崩壊熱による熱分布解析と熱流動解析及び構造解析の連成解析手法を整備した。
- 塑性変形を伴う大きな荷重が負荷された場合に適用可能な延性破壊評価手法の高度化
 - 延性破壊評価手法の高度化の一環として、損傷力学に基づくGurson-Tvergaard-Needleman(GTN)モデルについて、せん断ひずみによる材料損傷を考慮可能とする機能改良を実施した。
 - 国内外の大学や研究機関等で構成されるベンチマークプロジェクトに参加し、配管曲げ試験(左下図)を模擬した解析を通じて、GTNモデルを用いることにより配管曲げ試験で取得された大規模塑性変形を伴う荷重-荷重線変位を高い精度で再現できることを確認した(右下図)。



まとめ

- 決定論的な健全性評価手法の高度化を進めるとともに、確率論的健全性評価手法の実用化を図るため、PASCAL4及びPASCAL-SPを高度化し、両PFM解析コードの検証を進めた。また、PFM解析の活用方策の検討を通じて、非破壊検査の影響評価等に対するPFM評価手法の有用性を示した。
- 設計上の想定を超える事象に対応した構造強度評価法として、融点近くの高温度域まで対応可能な有限要素解析に基づくクリープ損傷評価手法を整備した。また、塑性変形を伴う大きな荷重が負荷された場合に適用可能な延性破壊評価手法の開発と検証を進めた。