

材料部会企画セッション「福島事故後の原子炉圧力容器の健全性評価技術の方向性」

(3) 確率論的破壊力学評価の適用について

(3) Application of Probabilistic Fracture Mechanics Analysis

廣田 貴俊¹¹三菱重工業株式会社

1. 緒言

現行規格に規定される機器の破壊に対する健全性評価手法は、亀裂、過渡、破壊靱性等を保守的に設定して評価する決定論的破壊力学評価に基づいている。破壊現象に影響するこれらの種々のパラメータに確率的な分布を与えて破壊を評価する確率論的破壊力学(PFM: Probabilistic Fracture Mechanics)が安全裕度を定量的に評価するための手法として活用が期待されている。ここでは、国内外で比較的検討が進んでいる原子炉圧力容器に対する PFM 適用の状況と今後の方向性について述べる。

2. PFM 適用の状況と今後の方向性

米国では、古くから原子炉圧力容器に対する PFM の適用が規制に取り入れられている。1985 年に施行された原子炉圧力容器の加圧熱衝撃(PTS: Pressurized Thermal Shock)事象に対する破壊靱性要求(10CFR50.61)では、中性子照射による脆化を考慮した関連温度の予測値がスクリーニング基準を超える場合、PFM 解析により亀裂が容器板厚を貫通する頻度が十分低いことを示せば、継続運転が認められるとされた。また、過度の保守性を低減して合理的な基準とする等の目的から、PTS 再評価プロジェクトが進められ、代表プラントを対象とした PFM 解析に基づき、2010 年に代替規則として 10CFR50.61a が新たに施工された。

PTS 再評価プロジェクトにおいては、オークリッジ国立研究所(ORNL)において開発された PFM 解析コード FAVOR を用いて、最新の知見に基づく PFM 解析が実施された。PFM 解析においては、PTS 事象時の亀裂に対する応力拡大係数の分布と評価時期での破壊靱性の分布から破壊の頻度が求められる。FAVOR では、化学成分、照射量等の脆化予測に関わる因子や関連温度、ならびに、破壊靱性のバラツキ等が確率分布として考慮され、亀裂の形状・寸法、過渡の発生頻度等が応力拡大係数に関する確率分布として考慮され、脆性破壊の発生頻度及び亀裂の容器板厚の貫通頻度を算出する。

現行の決定論的破壊力学評価では、各パラメータの保守的な条件のもと、破壊が発生するか否かを評価するのに対して、PFM ではバラツキや不確定性を考慮した破壊の頻度を求めることができることから、今後より活用が期待されている確率論的リスク評価(PRA: Probabilistic Risk Assessment)と同様に、プラントシステムの安全性を踏まえた機器の合理的な評価に繋げることが可能と考えられる。また、破壊頻度を指標とすれば、決定論的破壊力学評価における各パラメータの保守性や保全に伴う安全性向上の程度を定量的に評価すること等にも利用することが考えられ、今後活用が期待される。

3. 結語

米国では原子炉圧力容器に対する PFM が規制に取り入れられていること等も踏まえて、国内でも(一社)日本溶接協会 PFM 小委員会や、最近では原子力規制庁の高経年化技術評価高度化事業で、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が主催する原子炉圧力容器健全性研究専門部会で PFM の適用に向けた検討が進められている。PFM はプラントの安全性向上に有益となる情報を得ることができ、リスク情報の活用の観点から、国内においても今後 PFM の活用が進むことが期待される。

Takatoshi Hirota¹¹Mitsubishi Heavy Industries, LTD.