

PWR の原子炉容器の破損リスクに対する疲労と非破壊検査の影響

Effect of Material Degradation and In-Service Inspection on Through Wall Crack Frequency of
PWR Reactor Vessels

*村上 健太¹, 李 坤生¹, 勝山 仁哉¹, 関村 直人¹

¹東京大学

確率論的破壊力学評価(PFM)の実活用に向けて、供用期間中検査に関係するパラメータが原子炉圧力容器破損リスクに与える影響を調べた。供用期間中の亀裂の成長が十分小さいこと、及び非破壊検査の精度の方が検査頻度よりも寄与が大きいことが示された。

キーワード：確率論的破壊力学，原子炉容器，供用中検査

1. 緒言

2018 年に実施された規制規則の解釈の変更等により、原子炉(圧力)容器に対して要求される非破壊検査の程度が増加する見込みである。そこで、供用期間中検査に関係するパラメータとして、低サイクル疲労により製造時から存在する微小な亀裂が進展する可能性と、検査による亀裂の検出確率等を選択し、これらを明示的に考慮した確率論的破壊力学解析により、PWR 原子炉容器の破損リスクに与える影響を評価した。

2. 方法

計算には、日本原子力研究開発機構の PASCAL5 を用いた。計算条件は、原則として標準的解析要領 [1] に従った。初期亀裂分布は、日本の溶接プロセスを考慮しつつ、VFLAW を用いて決定した。これらの亀裂の低サイクル疲労による進展を、年間約 3 回の起動/停止、運転中の圧力変動、燃料交換及び耐圧・漏洩試験を想定して、Paris 則に基づき予測した。疲労による亀裂寸法の変化の影響は、各初期寸法の亀裂の供用期間中の進展量を考慮して応力拡大係数を増加させることにより考慮した。一方、非破壊検査の影響を考慮するため、これまでの国内の検査結果を鑑み、非破壊検査において欠陥指示がなかったものと仮定し、ベイズ更新によって亀裂分布に反映させた。ここで、欠陥の検出精度の寸法依存性は 3 種類を仮定した。検査程度を 5~10 年/100%に振って、原子炉容器の貫通破損頻度及び関連するリスク指標がどのように変わるかを評価した。その他の経年劣化としては、中性子照射脆化による破壊靱性値の変化を、材料組成の不均質さや中性子照射量分布の違いも踏まえて考慮した。

3. 結果

低サイクル疲労による亀裂進展は平均で板厚の 0.2%程度と小さかったので、破損リスクに対して有意な違いをもたらさなかった。非破壊検査の検出精度が高いほど、亀裂寸法分布が小さくなることで、破損リスクが低くなる。検査頻度は、破損リスクに対して有意な違いをもたらさなかった。

参考文献

[1] 高見澤悠, *et. al.*, “原子炉圧力容器用確率論的破壊力学解析コード PASCAL5 の使用手引き及び解析手法”, JAEA-Data/Code 2022-006, 2023

*Kenta Murakami¹, Kunsheng Li¹, Jinya Katsuyama¹ and Naoto Sekimura¹

¹The University of Tokyo