リスク評価に基づく検査および保全戦略
8. PFM と FMEA の融合によるコストを考慮した信頼性評価

Risk Based Strategies for Inspection and Maintenance of Nuclear Power Plants

8. Reliability Evaluation Combining PFM and FMEA in Consideration of Cost

*小嶋 正義 [1]，高橋 秀治 [1]，内田 俊介 [2]，岡田 英俊 [2]，木倉 宏成 [1]

[1] 東京工業大学，[2] エネルギー総合工学研究所

PFM（Probabilistic Fracture Mechanics）と FMEA (Failure Modes and Effects Analysis)を融合させた信頼性評価手法を活用した条件付き試解析において、保全費用及び放射線被ばくの影響をコストとして考慮した。

キーワード：原子力プラント，保守管理，信頼性評価手法，PFM，FMEA，IGSCC

1. 緒言

著者らは、機器の保守管理方法の改善によりプラントの安全性向上に資するために、リスク情報を活用した信頼性評価手法の開発を目的とした研究を進めている。2018 年春の大会では確率論的手法である PFM の解析結果を FMEA 手法の入力情報として活用し、沸騰水型軽水炉の原子炉再循環系配管における粒界型応力腐食割れを故障モードとした定量的なリスク分析により、検査周期を変化させた評価を試みた[1]。今大会では、FMEA 手法におけるリスクに関する項目のうち、検出難易度(D)と影響度(S)について、保全費用及び作業者の放射線被ばくの影響をコストとして考慮した信頼性評価の結果を報告する。

2. 解析手順

PFM の解析条件として板厚 40mm の 600A 配管に微小亀裂を想定した。また、亀裂進展における管理基準を板厚の 25%(10mm)に設定し、検査周期が 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 20 年の 13 ケースについて、サンプル数 10^6 の解析を実施した。そして、PFM の結果を FMEA 手法の入力条件として活用した。

FMEA 手法では、発生頻度(P: Probability)が管理基準逸脱の可能性、検出難易度(D: Detectability)が管理基準逸脱の検出の困難性、影響度(S: Severity)が管理基準逸脱による影響として定義され、リスク優先度（RPN: Risk Priority Number）を発生頻度(P)、検出難易度(D)及び影響度(S)の積(RPN=P×D×S)として算出し、管理基準逸脱から生じうるリスクを評価する。リスク優先度が小さいほどリスクが低いことを示す。

ここで、2018 年春の大会と同様に、発生頻度(P)を運転期間 40 年間で亀裂が管理基準に到達する可能性、検出難易度(D)を亀裂が管理基準に達する前に非破壊試験で検出できる可能性、影響度(S)を亀裂が管理基準を逸脱した際の配管の補修日数として設定した。更に、検出難易度(D)は非破壊試験の実施頻度を保全費用及び放射線被ばくの影響とし、2018 年春の大会の結果に検査周期により単純に比率計算した値を用いた。また、影響度(S)は、配管の補修日数で保全費用が含まれているため、補修における放射線被ばくの影響のみを検査周期を活用し比率計算に用いた。比率計算では、保全費用に対する放射線被ばくの影響の比を被ばく係数(α)として定義し、保全費用及び作業者の放射線被ばくの影響をコストとして考慮した。例えば、被ばく係数 α=0 は保全費用のみを考慮し、放射線被ばくの影響は考慮されない。また、被ばく係数 α=20 は保全費用に対する放射線被ばくの影響は 20 倍である。

3. 結果

図 1 に各検査周期に対するリスク優先度の算出結果を示す。図中の三角(△)は保全費用及び作業者の放射線被ばくの影響をコストとして考慮しないリスク優先度で、2018 年春の大会と同じ算出結果である[1]。また、丸(●)は被ばく係数 α=0 の算出結果、四角(■)は被ばく係数 α=20 の算出結果である。

横軸を対数とし、被ばく係数 α=0 と 2018 年春の大会の結果と比較すると、被ばく係数 α=0 は早い検査周期からリスク優先度の上昇が始まり、その後は 2018 年春の大会と同様に一定の上昇傾向を示した。また、被ばく係数 α=20 は、被ばく係数 α=0 及び 2018 年春の大会よりもリスク優先度の変化及び差が相対的に小さく、検査周期が 12 年からは減少する傾向を示した。当日の発表では、被ばく係数(α)を 0, 1, 5, 10, 15, 20 に変化させてリスク優先度を算出し、最適と推測される検査周期について考察する。

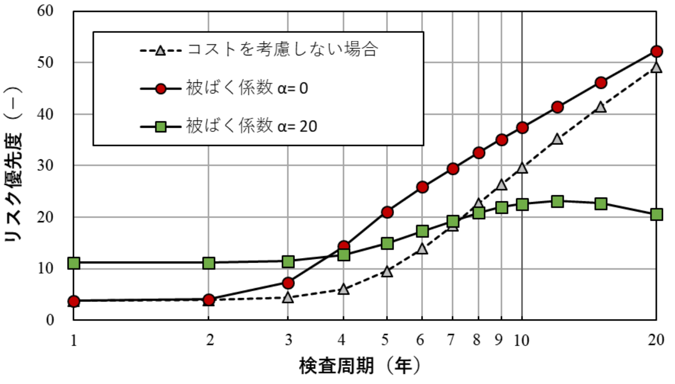

図 1 検査周期の変化によるリスク低減への影響

参考文献

[1] 小嶋 他，日本原子力学会 2018 春の大会予稿集, 3K10, (2018)

*Masayoshi Kojima[1], Hideharu Takahashi[1], Shunsuke Uchida[2], Hidetoshi Okada[2] and Hiroshige Kikura[1]

[1]Tokyo Institute of Technology, [2]The Institute of Applied Energy