

審査の結果の要旨

氏名 三浦 直樹

軽水炉プラント機器の主要構造である原子炉圧力容器が長期の利用に伴って中性子照射脆化を起こすと破壊靱性の低下により構造健全性に影響を及ぼす。従って、原子炉圧力容器鋼の経年化に伴う破壊靱性評価が重要である。現行では、監視試験片に対する監視試験プログラムの中で、破壊靱性評価が行われているが、監視試験回数の増加に伴う試験片数の不足が課題となりつつある。このため、監視試験でのシャルピー試験後の試験片を有効活用することが課題となっている。この問題を解決するための有力な方法として、マスターカーブ法が期待されている。しかし、マスターカーブ法を実機に適用できるようにするためには、「少ない試験片数」で、なかおつ「小さな試験片」で実施しても、現行の監視試験プログラムと十分に共存し得ることを示すことが極めて重要である。本論文では、原子炉圧力容器鋼の破壊靱性を評価するにあたり、統計的手法を導入することによりマスターカーブ法を実機への適用できるようにするための新たな方法を新たに提案するものである。

第1章は緒論であり、マスターカーブ法に関する既往研究事例、マスターカーブ法に関連する国内外の規格基準の整備状況について概観した後、研究課題として、「試験データ数と統計分布特性の推定精度の関係に基づくマスターカーブ下限界曲線の合理的な設定」、および「使用済みの監視試験片から採取可能な超小型試験片を用いたマスターカーブ法の実現」を抽出した。

第2章では、代表的な国産原子炉圧力容器鋼を対象として取得された破壊靱性データを基に、マスターカーブ法の有用性に関する考察を行った。参照温度に及ぼす試験温度、評価法、試験片寸法の影響は小さく、マスターカーブ法が評価法としてのロバスト性を備えている一方で、異なる鋼種に対する参照温度の違いは歴然としており、仕様が同じ材料であっても個別に参照温度を決定することの必要性を明確化した。破壊靱性のばらつきが鋼種や試験温度の違いによらずワイブル指数4のワイブル分布にしたがうという事実は、試験片の寸法補正や信頼限界決定の評価式が使えるための前提条件が満たされていることを意味しており、これによりマスターカーブ法適用の無謬性を明らかにした。これらの結果を通じて、国産原子炉圧力容器鋼に対しマスターカーブ法が適用可能であること、かつマスターカーブ法を適用することで同鋼の破壊靱性を適切に評価できることを明らかにした。

第3章では、ワイブル分布にしたがう破壊靱性の母集団からサンプリングを行って破壊靱性を推定するとの観点でマスターカーブ法を捉え、試験データ数と統計分布特性の推定精度の関係に基づくマスターカーブ下限界曲線の設定方法を新たに提案した。現行基準ではサンプルサイズが無限大であるとの仮定に基づいているのに対し、提案法によればサンプルサイズの影響を的確に考慮した下限界曲線の評価式を合理的に決定できる。さらに、現行基準で必要とされるよりもデータ数が少ない場合であっても、相応の下限界を合理的

に決めることを可能とし、これは、「実機材にマスターカーブ法を適用するには少ない試験片数で同法を使えるようにしなければならない」との要請に応える成果である。

第 4 章では、監視試験片の再利用を前提とし、使用済みの監視試験片から採取可能な厚さ 4 mm のミニチュア C(T)試験片を設計・製作し、これを用いた破壊靱性試験を行った。ミニチュア試験片を用いても、標準試験片やそれ以上の寸法の試験片と同等の参照温度を決定できることに加え、試験温度を適切に設定することにより、有効な参照温度を現実的な試験片数で決定できることを見出した。これにより、マスターカーブ法を実機原子炉圧力容器鋼に適用するための障壁であった試験片サイズの問題が克服され、実機適用の先鞭を付けることができた。

第 5 章では、我が国で現在運用されている原子炉圧力容器の破壊靱性の確認試験方法の現状を概観し、これにマスターカーブ法を導入した場合の効用について論じた。監視試験プログラムと並立させてマスターカーブ法による破壊靱性評価を行うことによる利点について考察を加え、破壊靱性の統計分布特性の理論的根拠を明確化できること、参照温度を直接決定できること、関連温度の初期値とその移行量を別々に求めるといった手順に拠らなくてよいことに加え、参照温度を破壊靱性の指標として用いることで、異なるデータセットに対してもほぼ一定の裕度を確保できることを明らかにした。

第 6 章においては、上記の各章において得られた成果をとりまとめるとともに、関連する研究ならびにその適用分野における今後の課題と展望を整理した。

本論文で示された提案法に基づき、実機原子炉圧力容器鋼の破壊靱性評価に統計的手法を導入したマスターカーブ法を適用することで、現行の監視試験プログラムと共存しながらも、信頼性の高い構造健全性評価が実現できるものと考えられ、同手法の標準化と普及に大きな貢献が期待される。よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。