

「マスターカーブ法」による国産圧力容器鋼の破壊靱性評価

背景

従来、原子炉圧力容器鋼の破壊靱性の評価では、温度に対する実験値の下限値を包絡してその評価曲線が決められている。この方法は多分に経験的であり、評価曲線の妥当性はその曲線を下回るデータが得られていないという帰納的な証拠に支えられている。近年、破壊靱性が本来有する統計分布特性を考慮してその信頼限界を理論的に定める、「マスターカーブ法」*1なる評価法が提案された。同法は米国機械学会規格や国際原子力機関ガイドラインに採用されており、我が国においてもその規格への導入が議論されつつあるが、国産圧力容器鋼に対するマスターカーブ法の可否は明らかでない。同法の適用性を議論する上で重要な技術的課題として、破壊靱性値の統計的分布特性、マスターカーブの試験片寸法依存性、負荷速度依存性が挙げられる。

目的

代表的な国産原子炉圧力容器鋼材である SFVQ1A 鋼を対象に、試験片寸法、試験温度、負荷速度をパラメータとした体系的な破壊靱性試験を行い、同材に対するマスターカーブ法の適用性の可否を見極める。

主な成果

1. 破壊靱性の統計分布特性

米国材料試験協会 (ASTM) 規格に定める評価手順(図 1(a))に従い、有意なマスターカーブを決定できることを確認した。また、破壊靱性のばらつきがワイブル分布に従うとの前提条件が成立することを統計的に検証した(図 1(b))。

2. 破壊靱性に及ぼす各種因子の影響

試験温度の違い、試験片寸法の違いによるマスターカーブの差はきわめて小さく、それらの依存性は認められなかった。一方、マスターカーブには有意な負荷速度依存性があり、負荷速度の増加につれて参照温度が高温側にシフトする事実を確認した(図 2)。これは他の材料にも見られる普遍的な特性である。

3. マスターカーブの適用性

マスターカーブを基準として統計分布特性を考慮して定めた下限界曲線により、すべての破壊靱性データを安全側に包絡して評価することができた。シャルピー衝撃試験等の結果から間接的に破壊靱性の下限を定めるとする現行の国内規格(電気協会規格)による下限曲線は試験結果を大きく下回っており、過度に保守的であるのに対し、マスターカーブ法の採用により許容し得る破壊靱性を大幅に合理化できることを確かめた(図 3)。

以上により、SFVQ1A 鋼に対しマスターカーブ法が適用できることを明らかにした。

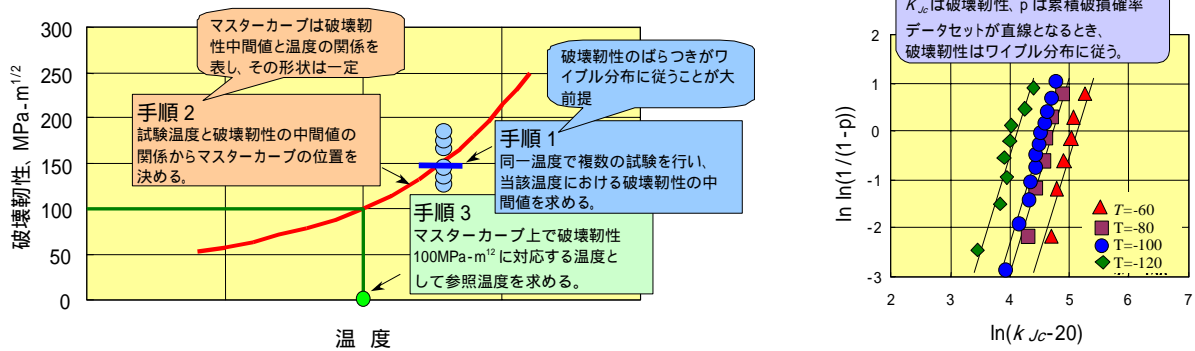
今後の展開

マスターカーブ法の規格への取り込みを図ると共に、監視試験片、再生試験片を利用した計装化シャルピー衝撃試験によるマスターカーブ評価法の開発を目指す。

主 担 当 者 材料科学研究所 構造材料評価領域 上席研究員 三浦 直樹

関連報告書 「国産原子炉圧力容器鋼 SFVQ1A に対するマスターカーブ法の適用性検討」 電力中央研究所報告：Q04020 (2005 年 7 月)

*1 同一条件下におけるフェライト鋼の破壊靱性のばらつきを最弱リンクモデルに基づくワイブル分布により記述し、かつその分布の中間値の温度依存性を、鋼材によって決まる参照温度を唯一のパラメータとする一本の曲線、すなわち「マスターカーブ」によって記述する手法。



(a) マスターカーブの決定手順 (b) 破壊靱性のワイブルプロット(1 インチ試験片)
 図1 マスターカーブの決定手順と破壊靱性の分布特性

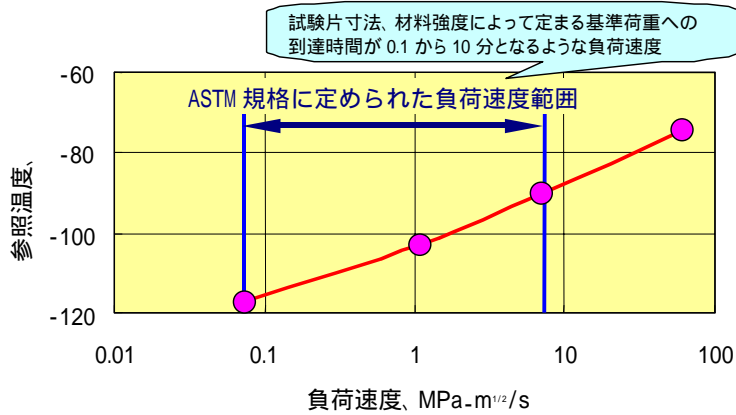


図2 マスターカーブに及ぼす負荷速度の影響(参照温度の比較による)

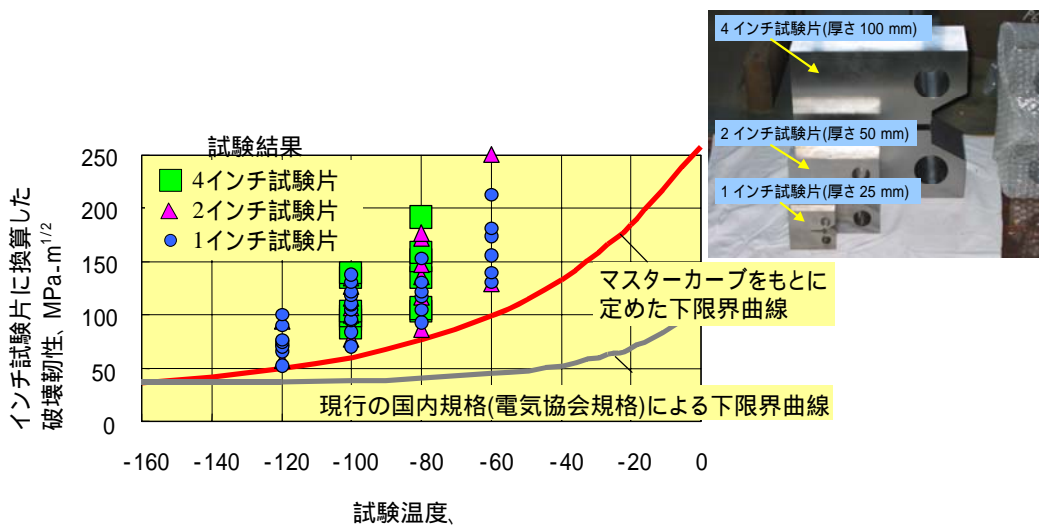


図3 マスターカーブの下限界曲線と現行規格の下限界曲線の比較