

ローカルアプローチ法に基づく原子炉圧力容器鋼の破壊評価

Fracture evaluation of reactor pressure vessel steels using local approach technique

*高見澤 悠, 山口 義仁, 勝山 仁哉, 西山 裕孝

日本原子力研究開発機構

原子炉圧力容器鋼について、亀裂先端の拘束が異なる試験片に対して破壊靱性試験および有限要素解析 (FEA) を実施し、ワイブル応力を用いた破壊評価の検討を行った。

キーワード：原子炉圧力容器鋼, 破壊靱性, ローカルアプローチ, ワイブル応力

1. 緒言

原子炉圧力容器鋼の破壊靱性値は、コンパクトテンション(C(T))等の深い亀裂を有する試験片に基づいて評価がなされている。しかし試験片形状や応力負荷の違いなど、亀裂先端の拘束が異なる試験片においては得られる破壊靱性値が異なることが示唆されている。本研究では、亀裂形状等に依存しない破壊評価方法として最弱リンクモデルに基づくローカルアプローチ法(ワイブル応力)について検討した。破壊靱性試験結果と FEA 結果から材料パラメータを取得し、亀裂先端の拘束が異なる試験片の破壊確率について検討した。

2. 解析方法

ワイブル応力 σ_w (式 1) 及びワイブル応力に基づく破壊確率は式(2)で与えられる[1]。

$$\sigma_w = \left[\frac{1}{V_0} \int_{V_f} \sigma_{eff}^m dV_f \right]^{\frac{1}{m}} \dots (1), \quad F(\sigma_{w,cr}) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{\sigma_{w,cr}}{\sigma_u} \right)^m \right] \dots (2)$$

V_f, V_0 , 及び σ_{eff} は、破壊のプロセスゾーンの体積、一様応力が作用する要素の体積、及びプロセスゾーン内の有効応力、 $\sigma_{w,cr}$ (限界ワイブル応力) は脆性破壊発生時のワイブル応力である。 m, σ_u は材料固有の定数であり、本研究では複数温度で行った C(T) 試験結果[2]に基づいて算出した。

3. 結果

Fig.1 に $-130^\circ\text{C} \sim -40^\circ\text{C}$ の範囲で実施した 1 インチ厚さ C(T) (1T-C(T)) 試験片の破壊靱性試験結果を示す。各温度の破壊靱性値をマスターカーブ法に基づいて -100°C の破壊靱性値に換算した。Fig.2 に FEA で得られた等価応力拡大係数(K_I)と式(2)で得られる破壊確率の関係および破壊靱性試験結果と破壊確率の関係を示す。これらを用いて最尤推定法によりワイブルパラメータを求めた結果、 $m = 30.8, \sigma_u = 3000$ となった。本発表では、板厚の異なる C(T) 試験片および 3 点曲げ破壊靱性試験片における K_I とワイブル応力、累積破壊確率の関係について調べた結果を報告する。

謝辞

本研究は、原子力規制庁からの受託事業「軽水炉燃材料詳細健全性調査」の成果の一部である。

参考文献

- [1] F. M. Beremin: Metallurgical Trans., 14A (1983), 2277.
 [2] T. Tobita et al.: ASME 2013 Pressure Vessel and Piping Conference, PVP2013-97897.

*Hisashi Takamizawa, Japan Atomic Energy Agency

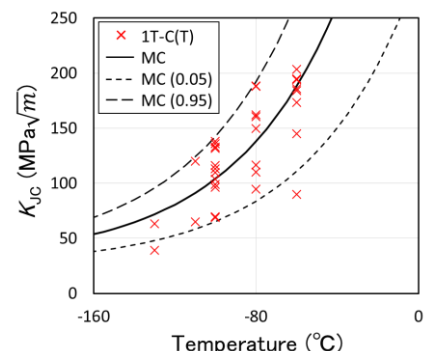


Fig. 1 Fracture toughness test result of 1T-C(T) specimen.

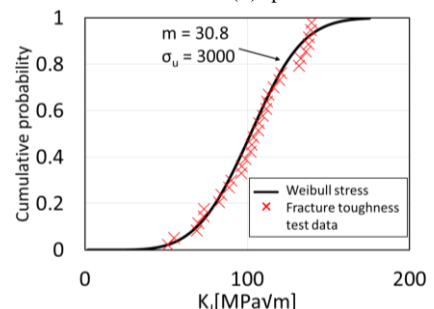


Fig. 2 Cumulative probability plot.