

中性子照射された原子炉圧力容器鋼のシャルピー延性脆性遷移温度の不確かさ評価

Uncertainty evaluation of Charpy ductile-to-brittle transition temperature for neutron-irradiated reactor pressure vessel steels

*高見澤 悠、西山 裕孝

日本原子力研究開発機構

原子炉圧力容器(RPV)鋼のシャルピー衝撃試験による延性脆性遷移温度(DBTT)評価の不確かさについて、ベイズ統計に基づいて評価する手法を整備するとともに、照射前後の実測データに対する不確かさ評価を行った。

キーワード：原子炉圧力容器鋼，照射脆化，シャルピー衝撃試験，延性脆性遷移温度，不確かさ評価

1. 緒言

RPV 鋼の照射脆化は、シャルピー衝撃試験の 41J 吸収エネルギーを示す延性脆性遷移温度(T_{41J})の照射前後での変化量(ΔT_{41J})に基づいて予測されており、健全性評価においては T_{41J} や ΔT_{41J} の不確かさを考慮してマージンを設定する必要がある。 T_{41J} の不確かさは、試験片の採取位置、試験数、試験温度などに起因すると考えられる。本研究では、ベイズ統計に基づき、上記の因子を考慮して T_{41J} の不確かさを評価するための手法を整備し、照射前後における T_{41J} の不確かさの変化や試験数、試験温度が T_{41J} の不確かさに及ぼす影響について検討した。

2. 解析方法

原子力機構がこれまで取得してきた様々な材料特性を有する RPV 鋼の未照射及び中性子照射材のシャルピー衝撃試験データを用いて式(1)に示す双曲線関数の係数を最適化し、上部棚吸収エネルギー(USE)と T_0 で規格化して吸収エネルギーの温度依存性を式(2)のようにモデル化した(図 1 参照)。

$$\text{吸収エネルギー} = A + B \cdot \tanh\{(T - T_0)/C\} \quad \text{式(1)}$$

$$SD = stdev - 0.5 * stdev * |\tanh\{(T_k - T_0)/C\}| \quad \text{式(2)}$$

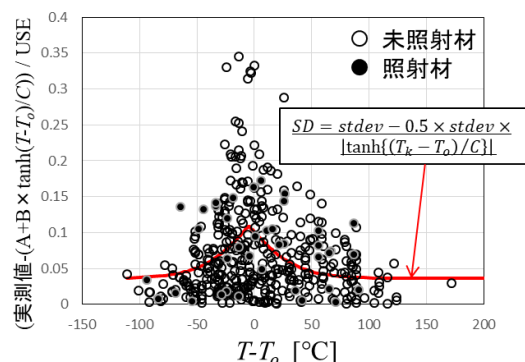


図 1 シャルピー吸収エネルギーの温度依存性

A、B は定数で、A-B、A+B はそれぞれ下部棚と USE、 T は試験温度、 T_0 と C は双曲線の位置と傾きを定める係数、 SD は試験温度 T_k に依存した吸収エネルギーのばらつき、 $stdev$ は隠れ変数である。本モデルに対して、シャルピーの実測データと遷移曲線の対数尤度を目的関数としてマルコフ連鎖モンテカルロで係数サンプリングを行い、DBTT 曲線の不確かさを評価した。係数のサンプリングは R 言語環境下^[1]で RJAGS^[2]を用いて実施した。

3. 結果

上記の解析方法により、未照射材について DBTT 曲線の中央値及び確信区間を求めた例を図 2 に示す。照射材について評価した結果、照射によって T_{41J} の不確かさは大きく変わらず、試験数や試験温度が T_{41J} の不確かさに対して支配的であることがわかった。

参考文献:

[1] <https://www.r-project.org/>、[2] <https://cran.r-project.org/web/packages/rjags/>

*Hisashi Takamizawa, Yutaka Nishiyama, Japan Atomic Energy Agency

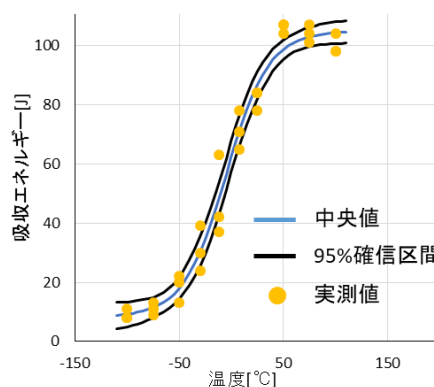


図 2 DBTT 曲線 (未照射材) の不確かさ評価例