

軽水炉圧力容器鋼溶接部の照射脆化評価技術

Evaluation Technique of Neutron-Irradiation Embrittlement in Welded RPV

中部電力株式会社 原子力部	熊野秀樹	Hideki YUYA	
中部電力株式会社 原子力部	鈴木哲也	Tetsuya SUZUKI	
中部電力株式会社 原子力部	肥田 茂	Shigeru HIDA	Member
京都大学 エネルギー理工学研究所	木村晃彦	Akihiko KIMURA	Member

The ductile-brittle transition behavior of neutron-irradiated welded A533B Cl.1 steel has been studied by means of small specimen test technique for discussing the specimen size effects on the impact properties. Standard size, one-third size and 1.5mm size Charpy V-notch specimens were prepared. Neutron irradiation was performed in JMTR with fluencies up to 0.75 and $1.3 \times 10^{24} \text{ n/m}^2$ ($E > 1 \text{ MeV}$). Normalization of the USE is done by a curve fitting method and the USE of different size of specimens can be expressed by the equation; $E = a \times B^n$, where a is a constant and n is an exponent. There observed linear relationships between DBTTs obtained using standard and sub-sized specimens.

Keywords: RPV, neutron irradiation, embrittlement, surveillance test, small specimen test technique

1. 緒言

原子力発電所における監視試験は、原子炉圧力容器の中性照射脆化を評価し、継続運転に関する判断基準を与えるものである。長期間の運転に伴う問題の一つに監視試験片の不足が挙げられる。解決方法として、監視試験済み試験片を再利用する方法があり、溶接を用いて標準形状へ再生する方法や試験片を微小化する方法が考えられる。前者においては、再生時の溶接による脆化の回復、後者においては衝撃特性の試験片サイズ効果が課題となる。

シャルピー衝撃試験片(母材部)の標準形状への再生技術については、国のプロジェクトとして平成11年から独立行政法人原子力安全基盤機構(開始当時は(財)発電設備技術検査協会)により検討され、今般調査報告書としてまとめられた[1]。

一方、国のプロジェクトが開始されたのと同時期に、当社は高経年化対策の一環として、東北大学等と微小試験片による監視試験片再生技術の開発に取り組んできた[2]ので紹介する。

2. シャルピー衝撃試験

2.1 試験方法

本研究で使用した材料は、A533B Cl.1 圧力容器鋼である。試験片サイズは標準サイズ、1/3 サイズ、

1.5mm サイズの試験片の3種類とした。ノッチ部が母材、溶接金属および熱影響部になるように加工した。微小試験片は、JMTRにおいて $290 \pm 13^\circ\text{C}$ の温度で、0.75 および $1.3 \times 10^{24} \text{ n/m}^2$ ($E > 1 \text{ MeV}$) まで照射した。

2.2 寸法効果の解析

(1) 上部棚エネルギー (USE) の標準化

微小試験片の結果から標準試験片の結果を予測する方法の検討によると、これまでの多くの研究から体積規格による方法 ($(B \times b)^{3/2}$ で規格化、ここで B : 試験片幅、 b : リガメント幅) が適しているとされている。そこで、まず、非照射材について検討した。

従来の研究から USE と試験片幅 B との間に以下の関係式が成り立つ事が推測できる。

$$USE = a \times B^n \quad (1)$$

(a : 定数、 B : 試験片幅)

本研究では統一的で精度の高い方法を見いだす意味で、他の研究者が行った21鋼種の試験データの整理を行った。その結果、どの鋼種でも指数 n は 2.5~2.9 程度であり、体積規格が妥当であることを裏付けていることが分かった。

Fig. 1 は本研究で得られた1/3サイズ試験片の USE と指数 n の関係を示している。1/3サイズ試験片の指数 n は USE が 7.9J 以上の場合は USE の値に依存せず、USE が 7.9J 未満の場合には、指数 n は USE と線形の

連絡先: 熊野秀樹、〒461-8680 名古屋市東区東新町1番地、中部電力(株)原子力部長期保全グループ、電話: 050-7772-1209、e-mail: Yuya.Hideki@chuden.co.jp

関係にある。

$$n = 2.88 \quad (\text{USE} > 7.9\text{J}) \quad (2)$$

$$n = 0.07 \times \text{USE} + 2.3 \quad (\text{USE} < 7.9\text{J}) \quad (3)$$

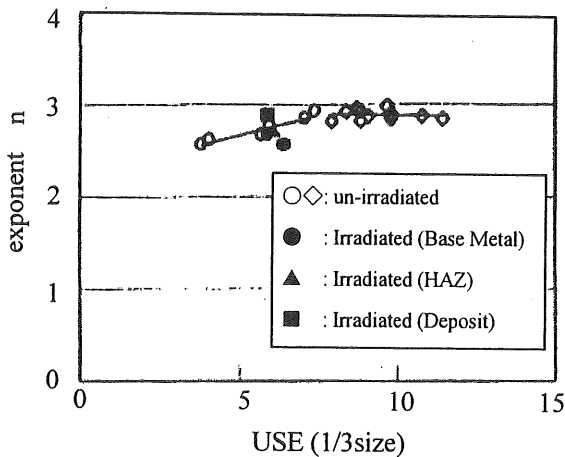


Fig. 1 The plots of n exponents against USE (1/3 size)

例えば、1/3 サイズ試験片で得られた USE から標準サイズ試験片の USE を求めるには、式(2)ないし(3)により指数 n を求め、最も代表的な a の値 ($a = 0.25$) と標準サイズ試験片の試験幅を用いて、USE (標準) を得ることができる。

データ点数が少ないものの照射材から得られた n 値を Fig.1 中にプロットしている。USE が 7.9J より小さい領域にプロットされ、かつ式(3)を満足しているように見える。しかし、定数 a や式(3)は照射材と非照射材とで異なることも十分考えられるので、今後、照射材のデータ点数を増やして式(2)および(3)の妥当性を検証する必要がある。

(2) 延性脆性遷移温度 (DBTT) の相関

DBTT の標準化については、様々な方法があるものの、いずれも適用範囲は限定されており、一般的な方法は確立されていない。そこで、本研究ではまず得られたデータの分析を行った。非照射材については、微小試験片と標準試験片の DBTT の間に式(4)のような比例関係が認められた。

$$\text{DBTT (微小試験片)} = \alpha \times \text{DBTT (標準)} \quad (4)$$

式(4)における非照射材の α の値は 1/3 サイズで 0.867、1.5mm サイズで 0.619 であった。照射材に関しては標準サイズ試験片のデータが無いため、照射材、非照射材それぞれの 1/3 サイズ試験片と 1.5mm サイズ試験片で得られた DBTT の関係を分析した (Fig. 2)。

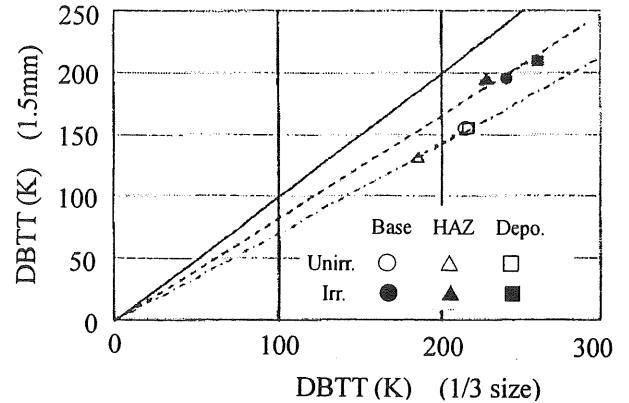


Fig. 2 The correlation of DBTT between standard and sub-sized specimens

Fig. 2 から分かるように、非照射材および照射材ともに比例関係が認められるが、非照射材と照射材とでは直線の傾きが異なっており、標準サイズにおいても同様の事が予想されることから、今後は照射データの充実が必要であることが分かる。

3. 結論

本研究では主に非照射材に関する以下の知見を得た。

- 異なるサイズの試験片の USE は $E = a \times B^n$ で表される。指数 n は 1/3 サイズ試験片では $E > 7.9\text{J}$ の時 $n = 2.88$ 、 $E < 7.9\text{J}$ の時 $n = 0.07 \times \text{USE} + 2.3$ である。
- 標準サイズと微小サイズで得られた DBTT には比例関係がある。非照射材の比例定数は 1/3 サイズで 0.867、1.5mm サイズで 0.619 であった。

4. まとめ

標準サイズの試験片のうち、仮に熱影響部や溶接金属部が不足する場合には微小試験片技術は重要な開発課題となる。本研究では、微小試験片技術の実機適用性を非照射材の知見を中心に検討した。今後、技術確立のためには標準サイズの照射試験片データの充実が必要である。

参考文献

- 「原子炉圧力容器監視試験片の再生に関する調査報告書」独立行政法人原子力安全基盤機構規格基準部、2006年4月 (JNES-SS-0601)
- 鈴木哲也、木村晃彦、”軽水炉圧力容器溶接部の照射脆化挙動評価技術”、原子力学会誌、vol.41, No.11 (1999)