

管形状材料の周方向機械強度の評価（改良型中子拡管試験法の開発）

Evaluation of mechanical properties in circumferential direction of tubular materials

(Development of advanced expansion due to compression test)

*國井 大地¹, 西村 憲治¹, 趙 子寿¹, 木下 詩織¹, 阿部 友紀¹,

叶野 翔², 松川 義孝¹, 佐藤 裕樹¹, 阿部 弘亨²

¹東北大学, ²東京大学

文部科学省事業原子力システム研究開発事業「原子炉燃料被覆管の安全設計基準に資する環境劣化評価手法開発」シリーズ発表の二件目であり、改良型中子拡管(A-EDC)試験法の開発及び A-EDC 試験法を用いた管形状材料の周方向機械強度評価手法をまとめる。

キーワード：軽水炉燃料被覆管、改良型中子拡管試験、周方向機械強度、管形状材料

1. 動機及び目的

軽水炉燃料被覆管は、内圧負荷環境における応力状態及び集合組織形成による組織、水素脆化による劣化等に異方性があり、周方向における材料強度評価及び寿命評価を行うことは非常に重要である。これまでに本研究グループは中子拡管(EDC)試験に改良を加えた改良型中子拡管(A-EDC)試験を開発した。A-EDC 試験は破断まで安定した周方向単軸引張条件を満足しているとされる。本研究では、A-EDC 試験及び解析手法を高度化することで周方向応力-周方向ひずみ曲線を導出する手法を開発することを目的とした。また得られる機械強度から A-EDC 試験の有用性について検証を試みた。

2. 実験方法

供試材として Zry-4 を使用し、室温において A-EDC 試験及び中子圧縮試験を行った。両試験の荷重-高さ変位曲線の比較からリング試料が受けた仕事量を算出し、その仕事量と直径変化(周方向ひずみ)から周方向応力を導出した。ここで不均一性を解消するため、旋盤加工によって径を切削し、その後熱処理(220 K×20 hr)を施した中子を用いた。さらに変位測定に用いるレーザー変位計の測定誤差を低減するために、得られたデータにおいて最小二乗近似法を用いて補正をした。

3. 結果と考察

試験及び解析体系を最適化することで、破断に至る大変形域まで連続的な周方向応力-周方向ひずみ曲線を導出することに成功した。Zry-4 の周方向における機械強度は、ヤング率は 101 GPa、0.2%耐力は 820.3 MPa、最大引張強度は 1021 MPa、破断ひずみ値は 0.116 と算出され、ヤング率のばらつきは $\leq 13\%$ であった。また、本試験結果と他の周方向応力負荷試験における周方向破断ひずみ値は、軸方向破断ひずみ値に指数近似することを確認し、ここから、Zry-4 の等二軸引張条件における破断ひずみ相当値は約 0.064 と算出された。これは、Leclercq らの式[1]を用いて本試験結果から求められる値とほぼ同程度であった。これらより、A-EDC 試験が周方向における単軸引張条件を満足していることを実験的に明らかにした。

謝辞：本シリーズ発表は、文部科学省からの受託事業として実施した原子力システム研究開発事業「原子炉燃料被覆管の安全設計基準に資する環境劣化評価手法に関する研究開発」の成果です。

参考文献

[1] S. Leclercq, et al., Nuclear Engineering and Design, 238, 2206-2218 (2008)

Daichi Kunii¹, Kenji Nishimura¹, Zhao Zishou¹, Shiori Kishita¹, Tomonori Abe¹

Sho Kano², Yoshitaka Matsukawa¹, Yuhki Satoh¹, Hiroaki Abe²

¹Tohoku University, ²The University of Tokyo