

燃料被覆管のセル内二軸試験装置の開発

Development of in cell biaxial testing device for nuclear fuel claddings

*中司 雅文¹, 坂本 寛², 青見 雅樹³

¹ジルコテクノロジー,²日本核燃料開発,³GNF-J

抄録: 燃料被覆管の「長手方向/円周方向応力比」を固定したまま負荷応力を増加可能な小型二軸応力負荷試験装置を試作した。ひずみ計測から設定応力比が得られることを確認し、燃料被覆管への適用性を検討した。

キーワード: 燃料被覆管, 二軸応力, 試験装置

1. 緒言 炉内で被覆管に生じている荷重状態により近い多軸応力状態での材料強度情報が待たれている。燃料被覆管と内圧発生用のピストンとを組合せた構造からなる二軸応力負荷機構を提案し⁽¹⁾、一例として長手方向応力/円周方向応力比 (σ_l/σ_t) が 1 の場合について引張力制御型と内圧制御型の二方式の二軸応力負荷機構を試作した。

2. 試作 試験装置の原理を、引張力によって生じた内圧を被覆管に追加負荷する構造から構成された引張制御型を例に説明する。被覆管の半径、内外径および肉厚を r, d_i, d_o, t とし、引張り力、シリンダ-内径および試験片内への充填液体の圧力をそれぞれ F, d_p, p とすると円周方向 σ_t 、長手方向応力 σ_l は引張り力 F に対して、 $\sigma_t = pd_i^2/(d_o^2 - d_i^2)(1 + d_o^2/4r^2)$ 、 $\sigma_l = pd_i^2/(d_o^2 - d_i^2) + F/A$ となる。ここで $A = (\pi/4)(d_o^2 - d_i^2)$ である。シリンダ-/ピストン間の摩擦力を考慮 ($\kappa \leq 1$) すると、 $F = (\pi/4)d_p^2 \times p \times \kappa$ だから、応力比を $K = \sigma_l/\sigma_t > 0.5$ とすると、シリンダ-内径は(1)式で表せる。 $K=1, \kappa=1$ の条件で d_p を求めて装置を製作 (図 1) し、性能を確認した。

$$d_p = 0.5(d_o + d_i)\sqrt{(2K - 1)/\kappa} \quad \text{---(1)}$$

3. 検討 薄肉円筒では、 \bar{S}_{ij} を被覆管の弾性特性とすると円周、長手方向のひずみと応力 ($\varepsilon_t, \varepsilon_l, \sigma_t, \sigma_l$) には下記の関係が成り立つ⁽²⁾。

$$\begin{Bmatrix} \sigma_t \\ \sigma_l \end{Bmatrix} = \frac{1}{(\bar{S}_{22}^2 - \bar{S}_{23}^2)} \begin{bmatrix} \bar{S}_{22} & -\bar{S}_{23} \\ -\bar{S}_{23} & \bar{S}_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_t \\ \varepsilon_l \end{Bmatrix} \quad \text{--- (2)}$$

検討用にシリンダ-内に液体を充填し引張り力 F を階段状に増加させ、発生した内圧、ひずみ ($\varepsilon_t, \varepsilon_l$) を計測し、内圧から求まる σ_t (図 2 点線)、ひずみと(2)式から計算される応力 (同実線) および応力比 (同破線) を求めた。なお、内圧制御型も同一原理であり、内容は講演で発表する。

4. 結論 図 2 から、本装置で設定した応力比=1 が生じていることを確認した。また、荷重の増加減少過程で応力比の変化が少ないことから、内圧媒体シール材の摩擦の影響が微小であると言える。これにより、セル内での引張試験機での二軸応力試験が可能になった。

参考文献 [1] K. Sakamoto, M. Nakatsuka, Japanese Patent Application No. 2015-219145.

[2] M. Nakatsuka, Nuclear Engineering and Design, Vol.63, No1 (1981)103-111.

*Masafumi Nakatsuka¹, Kan Sakamoto², Masaki Aomi³ (1.Zirco-technology, 2.Nippon Nuclear Fuel Development Co.,Ltd, 3.Global Nuclear Fuel Japan)

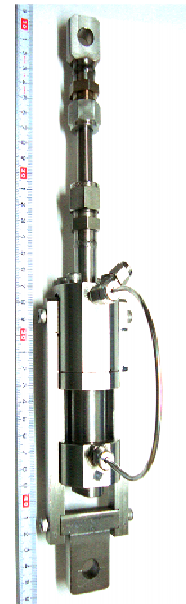


図 1 引張力制御型二軸試験装置 (上部:被覆管,下部:内圧発生部)

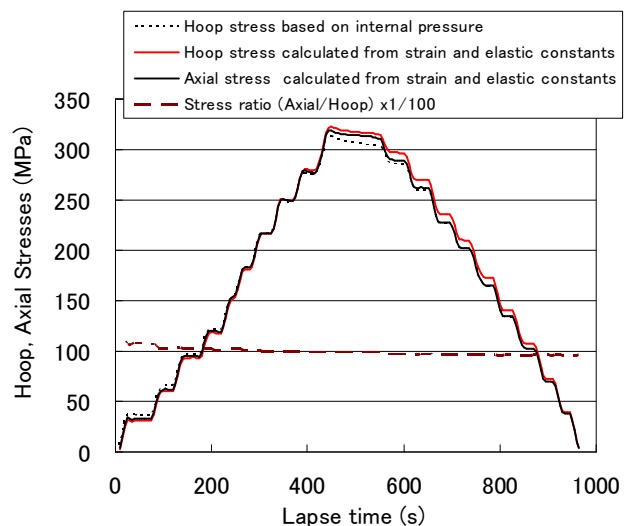


図 2 引張力の増加・減少時に計測した内圧およびひずみから算出した応力・応力比