LOCA 時の燃料被覆管の膨れ量と急冷後の曲げ強度との関係

The Relationship between the Circumferential Strain and the Bending Strength after Quench of the Fuel Cladding Ballooned during a LOCA

*湯村　尚典[1]，天谷　政樹[1]
[1] 日本原子力研究開発機構

LOCA 時の温度履歴を模擬した条件下で膨れ破裂及び酸化させた未照射被覆管を用いて 4 点曲げ試験を実施した。その結果、膨れ量の増加に伴い曲げ強度が低下する傾向が見られた。これは被覆管の機械強度を左右する prior-β 相厚さが膨れ量の増加に伴い減少する影響と考えられる。
Keywords：Fuel Cladding, LOCA, Quench, Circumferential Strain, Bending Strength, Four-Point-Bend Test

1. 緒言　軽水炉の冷却材喪失事故(LOCA)後の燃料形状維持は LOCA 後の長期冷却期間中における炉心の冷却性確保の上で重要であり、この評価を行う際には機械強度の知見が必要となる。特に、長期冷却期間中の燃料形状維持の評価においては LOCA 後の被覆管の曲げ強度が重要である。LOCA 時に生じる被覆管の膨れ破裂は、局所的な被覆管の薄肉化や形状の変化をもたらしその曲げ強度に影響を及ぼす可能性がある。従来の研究では、酸化後の被覆管の延性はその内部に存在する prior-β 相の厚さと密接な関係があることが示されている[1]が、これらのデータは製造時の形状を有する被覆管を主な対象として取得されたものであり、膨れ破裂の程度が被覆管の曲げ強度に及ぼす影響は十分に評価されていない。本研究では、LOCA 時を模擬して膨れ破裂、高温酸化及び急冷させた未照射被覆管試料を対象に 4 点曲げ試験を実施し、LOCA 時の膨れ量が被覆管の曲げ強度に及ぼす影響を調べた。

2. 実験　長さ約 190mm の PWR 用ジルカロイ-4 未照射被覆管にアルミナペレットを装填後、Ar ガス(初期内圧: 2～7 MPa)を封入して模擬燃料棒を作製した。この模擬燃料棒を赤外線イメージ炉を用いて Ar 雰囲気中で加熱し膨れ破裂させた。膨れ破裂後に模擬燃料棒の周方向最大膨れ量を計測し、当該部分の等価被覆酸化量(ECR)が 15%となる時間を等温酸化時の温度(1373 K)及び Baker-Just 式[2]で算出した。この算出時間の間、模擬燃料棒を再び赤外線イメージ炉にセットし水蒸気雰囲気中で等温酸化させた後、973 K まで水蒸気雰囲気中で徐冷し下部から冠水させて急冷した。その後、模擬燃料棒から端栓及びアルミナペレットを除去し、被覆管試料の膨れ破裂開口周辺に均一な曲げモーメントを作用させる 4 点曲げ試験を実施した。試験条件は、変位速度 1 mm/min、支点間距離 130 mm、荷重点間距離 72 mm とした。被覆管試料は、膨れ部が荷重点の間に来るように、また破裂開口部が下を向くように配置した。

3. 結果及び考察　本研究で得られた 4 点曲げ試験結果を図 1 に示す。合わせて、この中から抽出した 7 個の試料の破断箇所の横断面金相観察から求めた周方向平均の prior-β 相の厚さも示す。この図から分かるように、被覆管の曲げ強度は膨れ量の増加に伴って減少する傾向がみられた。これは、ECR を同等とした場合、膨れ量の増加に伴い被覆管内部に存在する prior-β 相の厚さが減少することに起因していると考えられる。また、膨れ量約 30%以下の領域では、膨れ破裂開口部での破断以外に荷重点または支持点での破損も見られた。酸化後の被覆管試料の軸方向水素濃度分布を調べた結果、荷重点または支持点近傍で二次水素化による影響と考えられるピークが観察されていることから、被覆管の曲げ強度は、膨れ量が小さくなると膨れに伴う prior-β 相の厚さに加え二次水素化に伴う脆化の影響も受けるようになると考えられる。

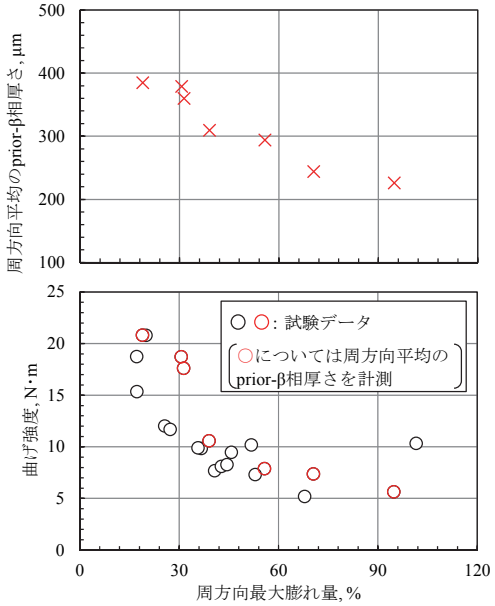

図 1　膨れ量と曲げ強度及び周方向平均 prior-β 相厚さ

参考文献
[1] D. O. Hobson and P. L. Rittenhouse, ORNL-4758 (1972).
[2] L. Baker and L.C. Just, ANL-6548 (1962).

*Takanori YUMURA[1], Masaki AMAYA[1]
[1] Japan Atomic Energy Agency