

【論点22】 燃料集合体落下時の使用済燃料プールライニングの健全性(1/3)

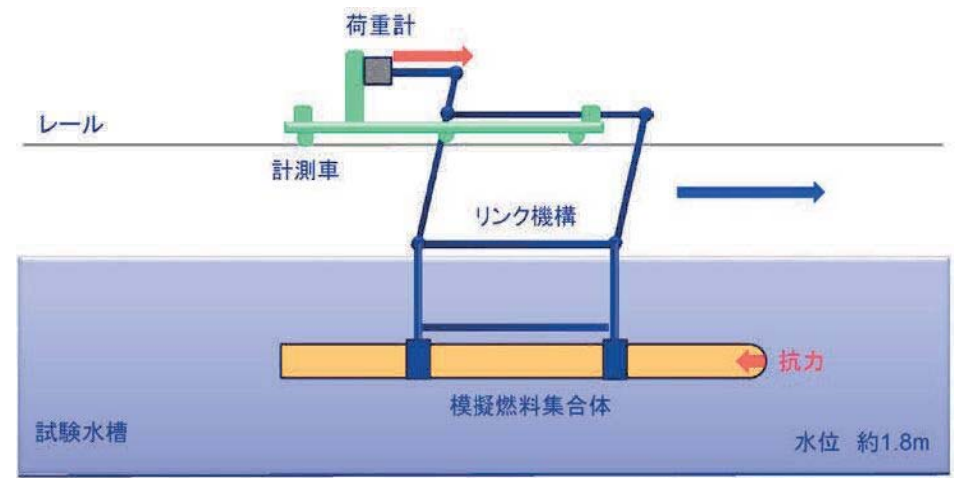
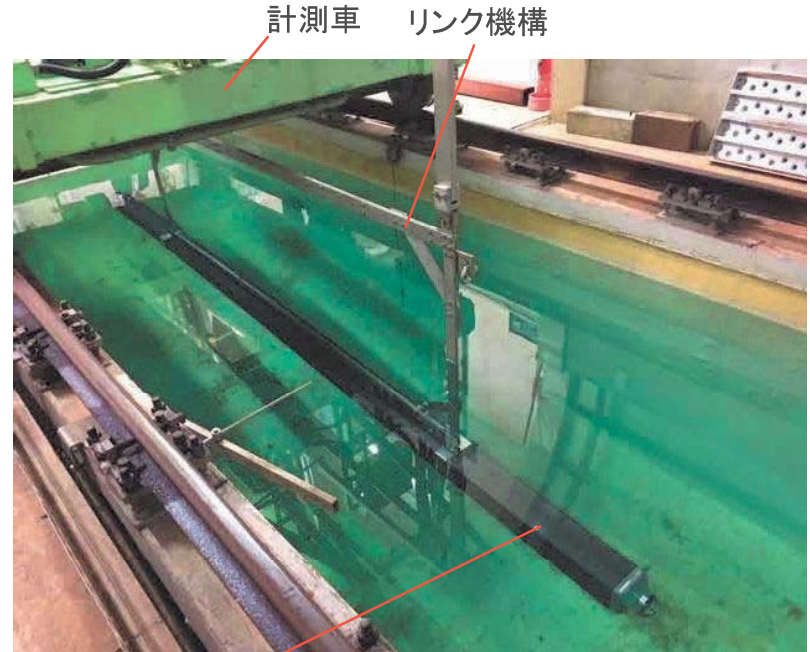
＜本論点の経緯＞

使用済燃料プールでの燃料集合体落下時のライニングの健全性評価において、運動方程式によって落下エネルギーを評価し、既往の試験における落下エネルギーに包絡されると評価している。この評価に使用したパラメータのうち、抗力係数Cdは単純化した形状の物体に対する文献値であり、長手方向の長さLと代表長さdの比(L/d)やレイノルズ数について実機を包絡していないことから、模擬燃料集合体を用いた抗力測定試験を実施し、求めた抗力係数から落下エネルギーを評価し、既往の試験に包絡されることを確認する。

また、CFD (Computational Fluid Dynamics)解析を並行して実施し、試験条件(レイノルズ数)を補完する解析も実施する。

【試験条件】

- 試験体: 模擬燃料集合体
(実機8×8形状(燃料ペレットなし), チャンネルボックス付)
- 計測速度: 2.8, 4.0, 5.0, 6.0m/s(実機: ~約10m/s)
[測定器条件により当初予定していた1.3m/sの代わりに4.0m/s及び5.0m/s実施]
- 水温: 20℃程度(実機: ~65℃)



試験体系

【評価手順概要】

- (1) 模擬燃料集合体を取り付けた状態で、荷重計により計測速度毎の抗力①を測定。
- (2) 模擬燃料集合体を取り外した状態で、荷重計により計測速度毎の抗力②を測定。
- (3) ①-②の差分から、模擬燃料集合体だけの抗力③を得る。

(次頁へつづく)

進行方向

【評価手順概要(つづき)】

(4) 抗力③から抗力係数Cdを求める。

$$C_d = \frac{2D}{\rho A v^2}$$

ここで、D: 抗力[N], ρ : 水密度[kg/m³], A: 流れに垂直な投影面積[m²],
v: 流速[m/s]

また、抗力係数のレイノルズ数依存性を確認。

(5) 試験体系でのCFD解析により、試験状態を評価し同様の傾向を確認。

(6) CFD解析により実機状態での抗力係数を計算し、実機の抗力係数を推定。

(7) 抗力係数から落下エネルギーを評価し、既往の燃料集合体落下試験に包絡されることを確認。

【評価結果】

抗力係数Cdの最小値を推定するため、実機条件(レイノルズ数(上限): 気中落下速度相当(10.5m/s), 水温65°C)の値を求めると、対数近似により0.76と推定(下図の●)できるが、評価に当たっては測定の際のばらつきも考慮し、標準偏差($\sigma = 0.043$)の3倍($3\sigma = 0.13$)を差し引いた値(0.63)から更に保守的に0.60を使う。

抗力係数Cd= 0.60として燃料集合体落下エネルギーを評価した結果は 14.9kJ となり、既往の落下試験結果 15.5kJ を下回ることを確認した。

抗力係数 (●: 試験結果, ▲: CFD解析)

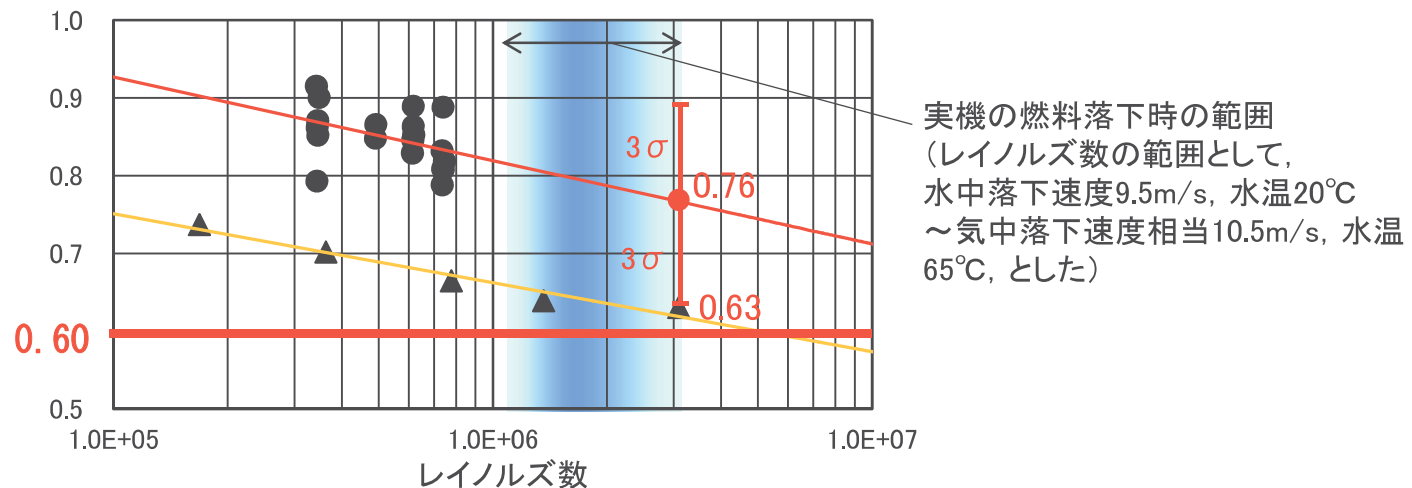


図 試験結果のまとめ

【試験結果の考察】

(1) 内部通過流の影響

中実の四角柱（水が柱体の中を通過しない）が円管内流水によって受ける抗力を測定する試験（図1）を別途行った。結果を図2に示す。当初想定した直方体（抗力係数0.8）に近いこのケースでは、抗力係数は比較的高い。燃料集合体の外観は直方体に近いが、内部を通り抜けた後の水流が後流の抗力を打ち消す方向に作用した（図3）ため、中実の場合より抗力係数が低くなった。

(2) CFD解析の保守性

CFD解析により、抗力係数のレイノルズ数依存性の傾向を確認し、燃料集合体抗力係数測定試験結果を補完した。CFD解析においては、燃料集合体の外面形状を精密に模擬し、内面には燃料設計上の抵抗係数を用いたが、表面粗さは特に下部タイプレートについては実機より小さい値とし、集合体内の非均質性は無視して単純化した（図4）。その結果、抗力係数解析値は保守側の小さい値となり、実際の燃料集合体の抗力係数が今回のCFD解析結果を下回ることはない。

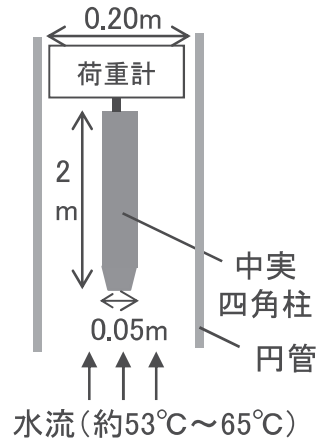


図1 中実四角柱の試験

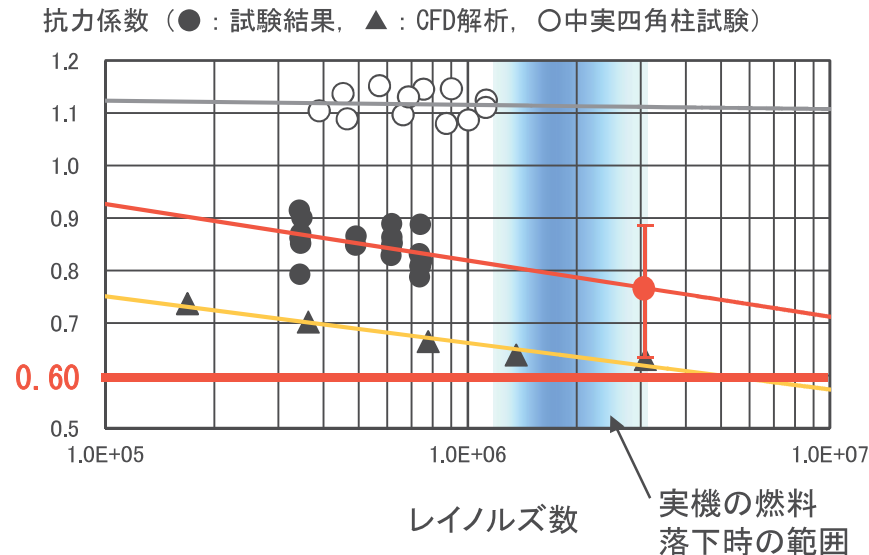


図2 レイノルズ数と抗力係数の関係

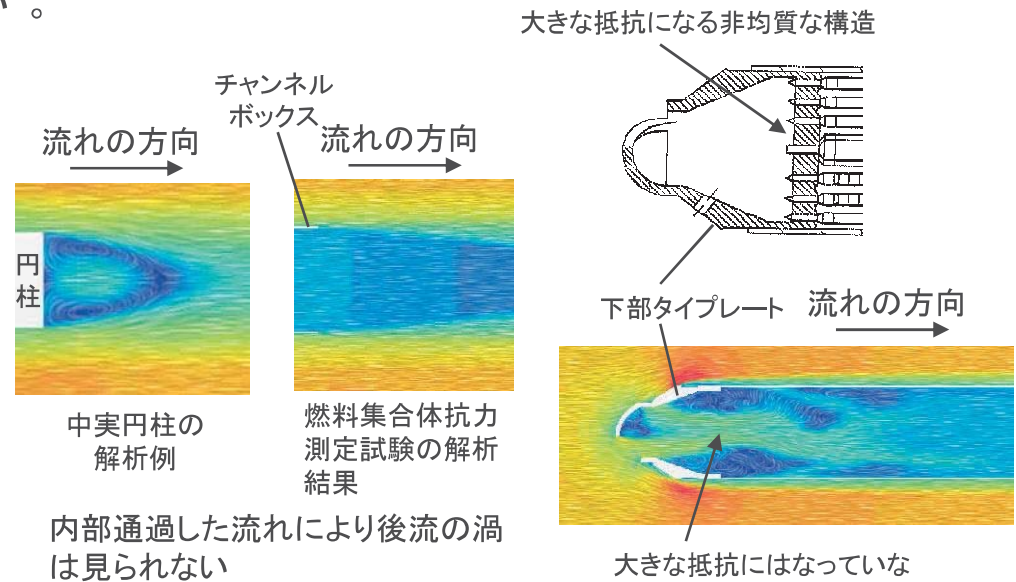


図3 内部通過流の影響 (CFD解析結果の比較)

図4 CFD解析の保守性