

# 【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(1/4)

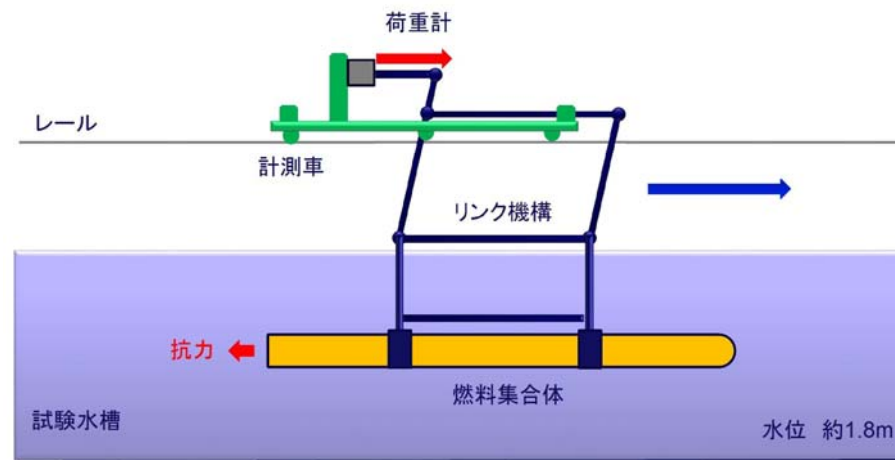
## ＜本論点の経緯＞

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 $C_d$ 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。

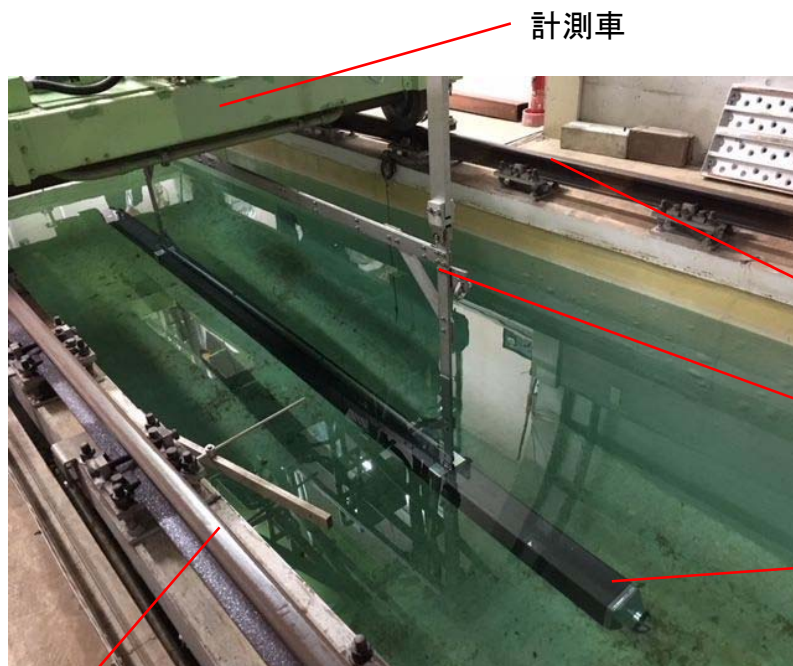
また、CFD (Computational Fluid Dynamics)解析を並行して実施し、試験条件(レイノルズ数)を補完する解析も実施する。

## 【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)
- 水温: 20°C程度(実機: ~65°C)



試験体系



計測車のレール

試験装置外観

進行方向

計測車のレール

固定治具(リンク機構)

模擬燃料集合体

## 【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(2/4)

### 【評価手順概要】

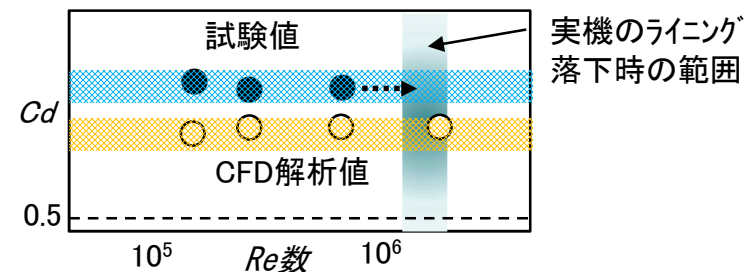
- (1) 燃料集合体を取り付けた状態で、荷重計により計測速度毎の抗力①を測定。(図1)
- (2) 燃料集合体を取外した状態で、荷重計により計測速度毎の抗力②を測定。(図2)
- (3) ①－②の差分から、燃料集合体だけの抗力③を得る。(図3)
- (4) 抗力③から抗力係数 $C_d$ を求める。

$$C_d = D \times 2 \div \rho \div A \div v^2$$

ここで、 $D$ ：抗力[N]， $\rho$ ：水密度[kg/m<sup>3</sup>]， $A$ ：流れに垂直な投影面積[m<sup>2</sup>]， $v$ ：流速[m/s]

また、抗力係数のレイノルズ数依存性を確認。(図4)

- (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。(図4)
- (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。(図4)
- (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。



試験・解析結果の比較(イメージ)

### 【評価結果】

実機条件での抗力係数 $C_d$ は 0.7 と評価した。

抗力係数 $C_d=0.7$ として燃料集合体落下エネルギーを評価した結果は 14.7kJ 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。

【試験結果】

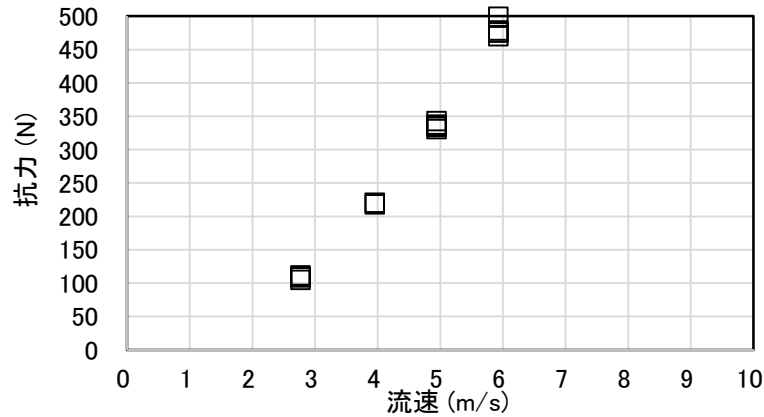


図1 燃料集合体と固定治具の合計抵抗力

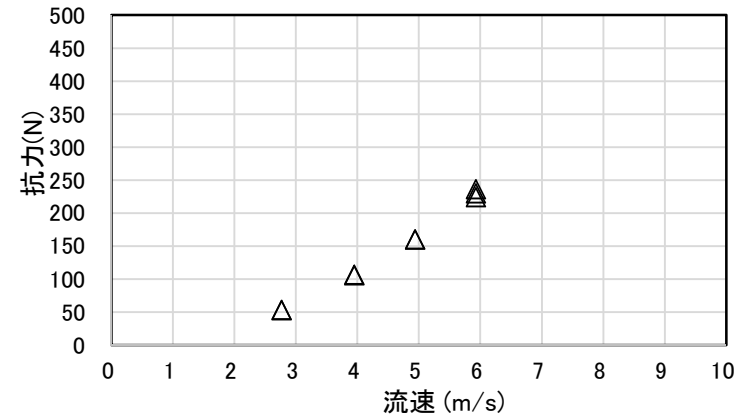


図2 固定治具のみの抵抗力

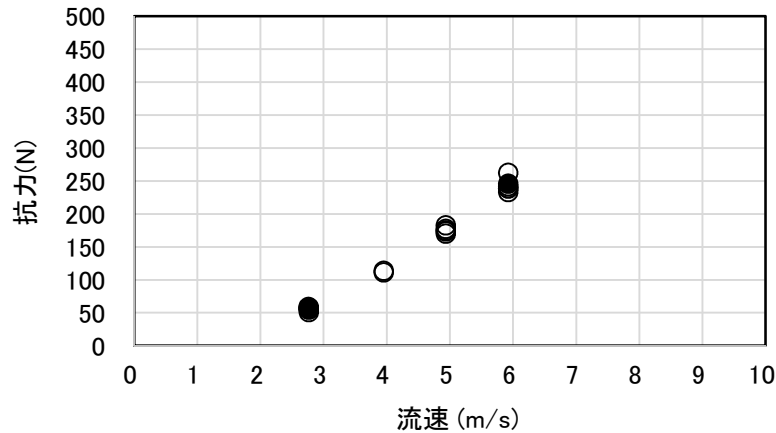


図3 燃料集合体のみの抵抗力

抵抗力係数 (● : 試験結果, ▲ : CFD解析)

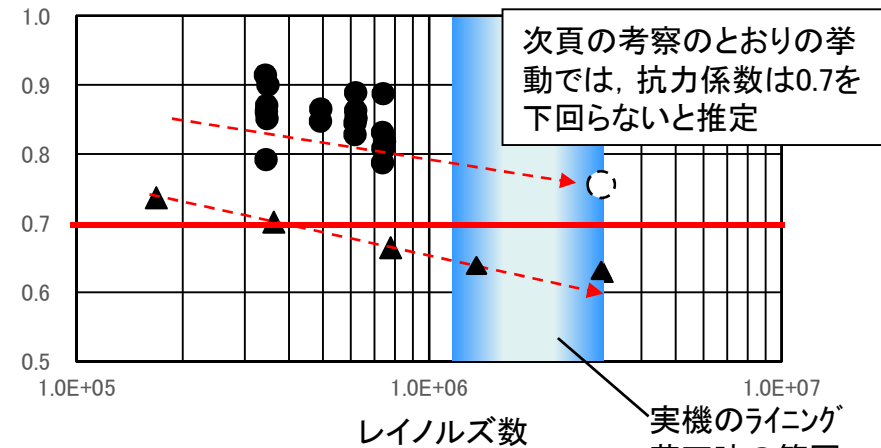


図4 燃料集合体の抵抗力係数

【試験結果の考察】

当初、文献値から直方体 ( $L/d=1\sim 5$ , レイノルズ数 $=1.7\times 10^5$ ) の抗力係数の極小値に更に余裕をみて0.80とした。

今回、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実験も行った（図5）。図4にこの実験の結果を加えて、図6に示す。この場合は内部を水が通り抜けることはなく、レイノルズ数が高くなっても抗力係数の変化は小さい。この結果から以下のとおり試験結果を考察した。

(1) 燃料集合体は外観は直方体に近いが、内部を通り抜ける水の影響を無視できず、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ため、抗力係数が低くなった可能性が考えられる。

(2) CFD解析では、燃料集合体内部を通過する流れを過大評価していること等により、抗力係数が小さくなったと考えられる。

→ 試験結果は、中実四角柱の実験結果とCFD解析の中間の傾向を示していると考えられる。

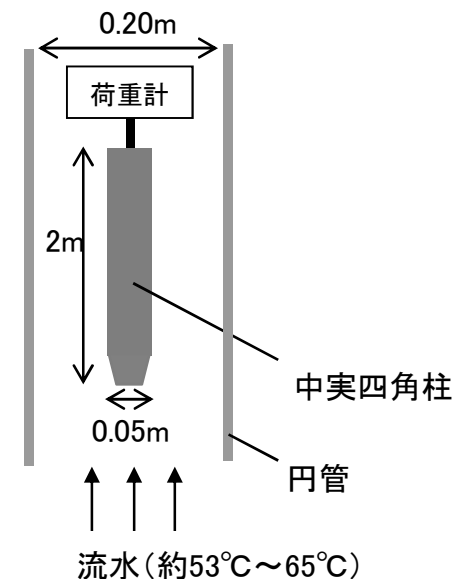
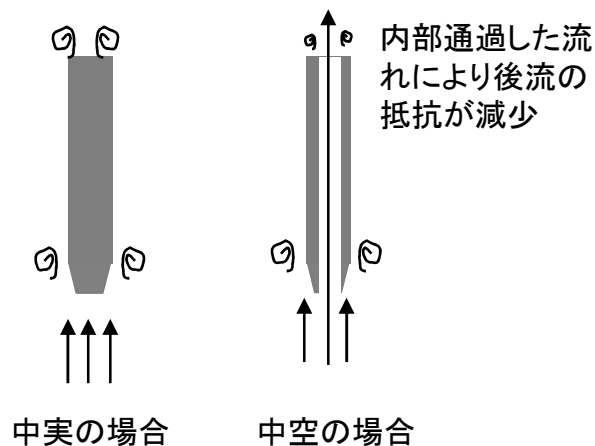


図5 中実四角柱の実験



抗力係数 (● : 試験結果, ▲ : CFD解析, ○中実四角柱実験)

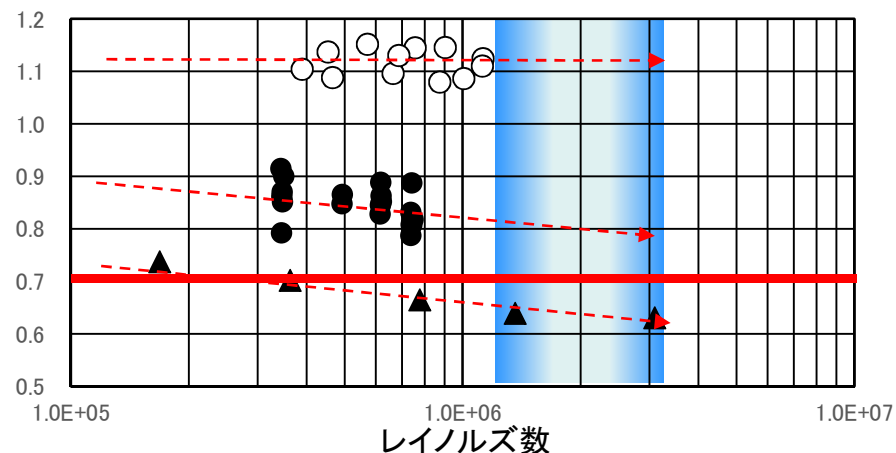


図6 レイノルズ数と抗力係数の関係(中実四角柱の実験含む)