

【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(1/2)

<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。

<コメント>

CFD解析モデルについて説明すること。

<回答>

今回の試験において、試験体の形状については実機と同じものを使用するが、速度及び水温の不足分をレイノルズ数で整理して、CFD解析により抗力係数を求め補完する。

1. 解析モデル

- 燃料集合体外形の詳細形状を模擬(下部タイプレートのCADを使用)
- 燃料集合体内部形状を多孔質近似(実際の集合体内の流動抵抗係数(燃料設計値)を設定)

2. 解析手法

- 解析コード: 汎用熱流体解析コード(STAR-CCM+)
- 解析手法: 定常单相流解析
- 乱流モデル: チャンネルボックス近傍をより精緻に計算するモデル
- メッシュ条件: チャンネルボックス近傍にメッシュを密に配置し、流速分布を考慮

3. 解析条件

- 一様流の中で燃料集合体にかかる抗力を解析
- <試験解析> 流体: 水(大気圧、20°C), 流速: 1.3, 2.8, 6.0m/s (Re数=1.7×10⁵ ~ 7.8×10⁵)
- <実機補完> 流体: 水(大気圧、65°C), 流速: 10.5 m/s (Re数=2.8×10⁶)

4. 使用コードの適用事例

- 円柱後流部の渦剥離構造において、レイノルズ数 1×10^5 , 2×10^6 , 1×10^7 に対する抗力係数 C_d について実験値及び他コードとの比較により妥当性確認がなされている(Ahmed Ibrahim, et al "CFD Simulation of Current Past Bluff Body at High Reynolds Number," Offshore Technology Conference, OTC-26911-MS, Huston, Texas, USA, May 2016.)
- 高レイノルズ数体系における複雑形状に対する適用事例多数(航空機, 自動車等)

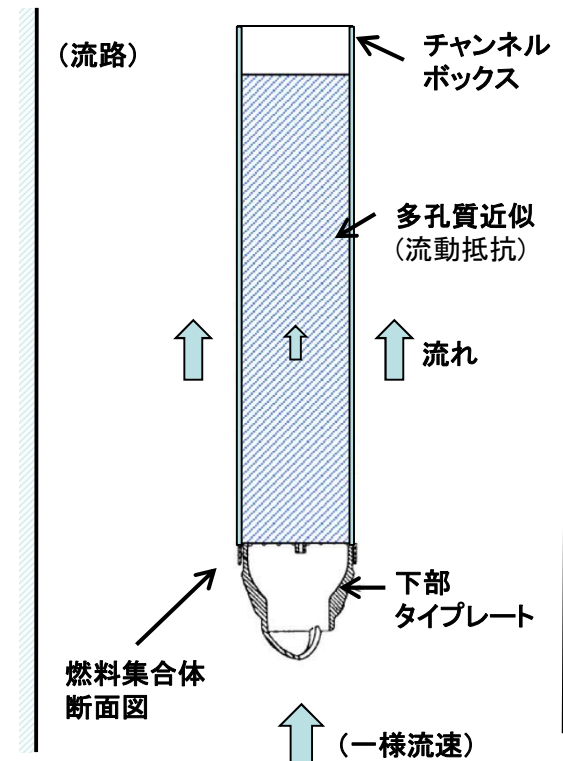


図1 解析モデルの概念図

【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(2/2)

<参考>

【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: 1.3, 2.8, 6.0m/s(実機: ~約10m/s)
- 水温: 20°C程度(実機: ~65°C)

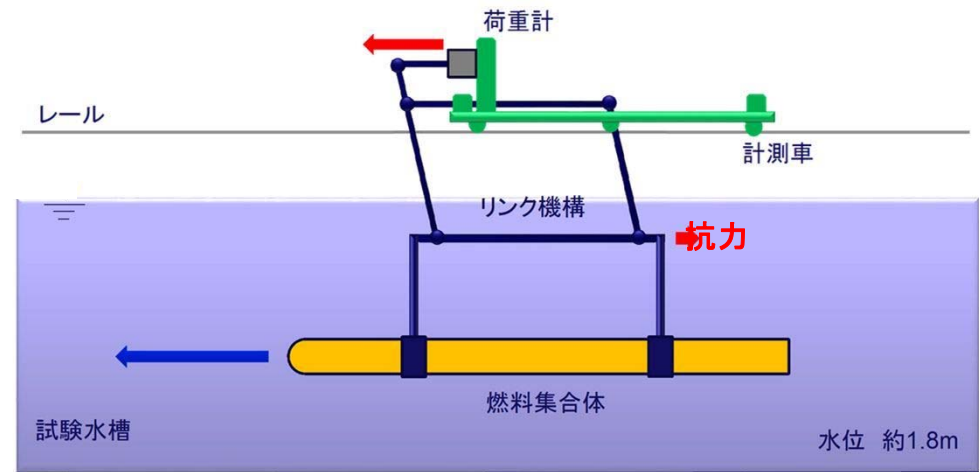


図2 試験体系

【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。
- (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。
- (3) ①-②の差分から、燃料集合体だけの抗力③を得る。
- (4) 抗力③から抗力係数を求める。
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。(図3)
- (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。

【試験スケジュール】

- | | |
|-----------|----------------|
| 6月18日~20日 | 模擬燃料集合体による試験実施 |
| ~20日 | CFD解析 |
| 6月末 | 試験結果の説明 |

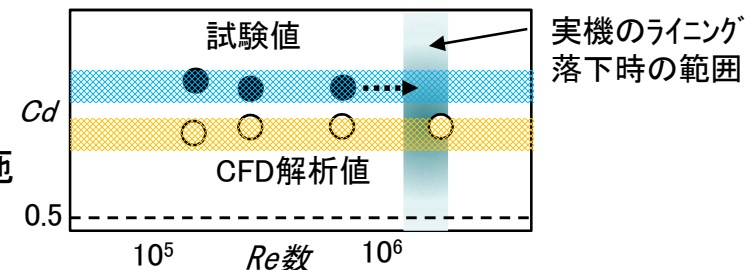


図3 試験・解析結果の比較(イメージ)