

配管内オリフィス下流域の減肉現象に及ぼす流動因子の解明

背景

原子力・火力発電プラントの系統配管の健全性を維持する上で、配管の減肉現象は重要な問題である。減肉現象の中でも、配管の大規模な破損に至る可能性を持つ流れ加速腐食（FAC）*1には十分な注意が必要である。FACはオリフィスの下流域やエルボ等の、流れの乱れ（乱流）が発生する部位において多く見られる（図1）。しかし、それらの部位で乱流が発生する範囲や、流動因子とFACとの相関はこれまで明解に示されていない。FACが生じる範囲や、FACに及ぼす流動因子の影響を、定量的に解明することができれば、有効なFAC対策や適切な配管減肉検査の確立に役立つと考えられる。

目的

プラント配管内でFACが発生する代表的な部位であるオリフィスの下流域体系を対象に、FACによる顕著な減肉現象に特段の注意を払うべき領域範囲と、流動因子、特に乱流がFACに及ぼす影響を調べる。

主な成果

1. FACによる減肉現象が発生し得る領域範囲の評価

オリフィス配管体系（絞り面積比0.37）の流動に対して、可視化実験及び数値計算を実施し、それらの結果と実機プラントの配管における減肉量分布データ*2とを比較して以下の知見を得た。

- (1) 数値計算結果は実験結果に対し、管内の平均的な流動特性及び壁面近傍の乱流特性を予測できることを確認した（図2）。このことから、本数値計算が実機体系に対して適用可能であることが確認された。
- (2) 本実験・計算及び外部機関の実験結果*3より、同体系における流れのはく離の再付着点は、レイノルズ数の増大と共に下流側に移動する傾向があるが、実機配管条件であっても最大で管径の2.5倍程度であると推定できた（図3）。
- (3) 実機減肉データより、同体系におけるFACによる顕著な減肉は、流れのはく離領域の範囲内において発生すると考えられる。従って、絞り面積比0.37のオリフィス配管体系に対する減肉検査は、現行規格*4にて定める管径の3倍以内の領域に対して実施すれば、保守的な配管管理ができると考えられる。

2. FACに及ぼす流動因子の影響の評価

- (1) FACによる実機減肉データと定性的な傾向が類似する壁面近傍の乱流エネルギー*5は、FACに強く寄与する乱流特性であると考えられる（図4）。
- (2) FACによる減肉が顕著な領域における壁面剪断応力は、10Paに満たない小さいものであり、FACがエロージョン（流体による機械的な材料破損を伴う壊食現象）と全く異なる現象であることを明確に示した（図4）。尚、この成果は日本機械学会にて策定した規格*4を補足する技術的な資料*6の作成に貢献した。

今後の展開

プラント配管の種々の部位における乱流特性を把握し、FACによる減肉の定量評価手法を構築する。

主担当者 原子力技術研究所 発電基盤技術領域 主任研究員 米田 公俊
原子力技術研究所 発電基盤技術領域 主任研究員 森田 良

関連報告書 「配管減肉現象に関わる流動特性の解明（その1）」電力中央研究所報告：L05007（2006年3月）

*1：炭素鋼・低合金鋼配管の酸化皮膜の腐食が、管内の流れによって促進される減肉現象（Flow Accelerated Corrosion）

*2：経済産業省美浜発電所3号機2次系配管破損事故調査委員会資料4-1-1-1（別途1）（2004/09）

*3：経済産業省美浜発電所3号機2次系配管破損事故調査委員会資料7-1-1（別途4）（2004/12）

*4：日本機械学会発電用設備規格のBWR及びPWR配管減肉管理に関する技術規格（2006/10）

*5：流れの乱れの大きさを示すスカラー統計量。非定常な流れの変動流速成分の二乗平均

*6：日本機械学会発電用設備規格委員会 配管減肉特別タスク 技術サブタスク「配管減肉に関する技術的知見の現状」（2006/03）

5. 原子力発電／軽水炉発電の経済性・信頼性向上

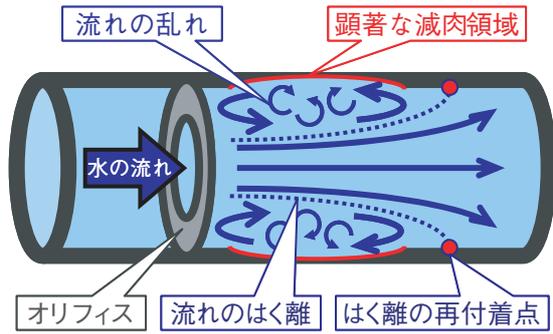


図1 オリフィス下流域の流れの特徴と流れ加速腐食（FAC）による一般的な減肉傾向

オリフィスで絞られた流れが、下流域の壁面近傍に逆流を伴うはく離領域を形成する。壁面における流れ方向が逆方向から順方向に転ずる位置をはく離の再付着点という。

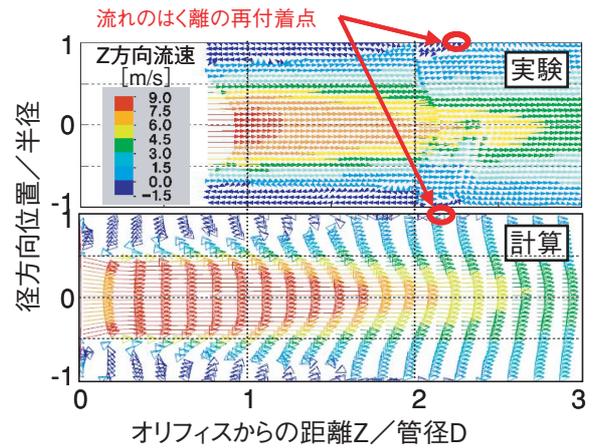


図2 オリフィス下流域のZ方向平均流速分布

可視化実験は管径100mmの亚克力配管体系にて常温大気圧条件で実施し、PIV（粒子画像流速計測法）による流速計測を行った。この計測結果を用いて同体系の数値計算の検証を行った。

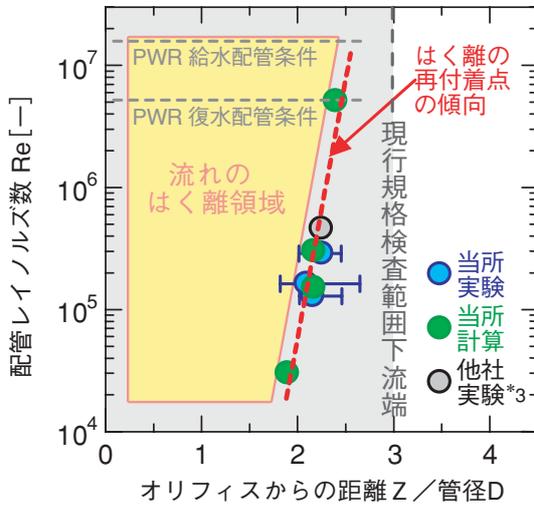


図3 オリフィス下流域における流れのはく離の再付着点の傾向

$$\text{配管レイノルズ数} = (\text{管径}) \times (\text{管内平均流速}) \div (\text{動粘性係数})$$

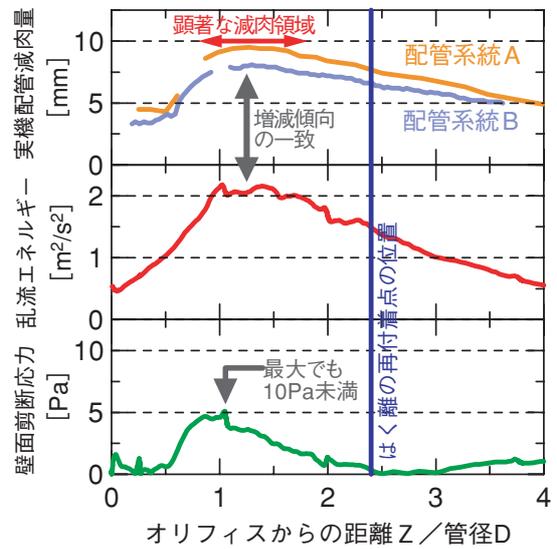


図4 実機配管減肉量と数値計算による乱流エネルギー及び壁面剪断応力の値との比較

実機配管と同等の高温高压条件で流動数値計算を実施し、壁面近傍における乱流エネルギーと壁面剪断応力を算出して比較した。