A108 オリフィス下流における流れ加速型腐食の評価 (1. 流れ場の計測と数値解析)

Evaluation of the Flow-Accelerated Corrosion Downstream of an Orifice (1. Measurements and Numerical Analysis of Flow Field)

○正 歌野原 陽 (株) 原子力安全システム研究所 (INSS)
 正 長屋 行則 (株) 原子力安全システム研究所 (INSS)
 正 中村 晶 (株) 原子力安全システム研究所 (INSS)
 正 村瀬 道雄 (株) 原子力安全システム研究所 (INSS)

Yoichi UTANO HARA, Yukinori NAGAYA, Akira NAKAMURA and Michio MURASE,
 Institute of Nuclear Safety System, Inc., 64 Sata, Mihama-Cho, Mikata-Gun, Fukui

In this study, in order to evaluate the effects of flow field on corrosion rate due to flow accelerated corrosion (FAC), an orifice flow was measured and calculated. The diameter of pipe is 50 mm and that of the orifice is 24.3 mm, and flow velocity in a water loop was set at 2.41 m/s. Flow field was measured by laser Doppler velocimetry (LDV) and particle image velocimetry (PIV), and compared with a calculation for the same flow conditions. Measurements of wall shear stress downstream of the orifice was also planned. The calculated velocity distributions of standard $k-\epsilon$ agreed qualitatively with PIV data and quantitatively with LDV data. Instantaneous flow field measured by PIV showed vortices around the jet from the orifice and some of them reached near the pipe wall.

Key Words: Flow accelerated corrosion, Orifice, Numerical analysis, PIV, LDV, Wall shear stress

1. はじめに

流れ加速型腐食(FAC)は、流れが大きく乱される配管部位で発生するが、これは溶出した鉄イオンの物質輸送が乱れにより促進され、保護酸化皮膜の溶解が加速されることが原因と言われている。これまで、流れ加速型腐食(FAC)に対する流れ場の影響を数値解析で評価する研究はいくつか行われているが⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾、評価パラメータとして何を用いるべきなのか、まだ定まった見解はないようである。筆者らは減肉速度に直接結びつくパラメータとして、壁面せん断応力に注目している。というのも、運動量輸送と物質輸送の相似性を考えると、壁面近傍での運動量輸送量、つまり壁面せん断応力が、溶出する鉄イオンの輸送量に大きく関連していると思われるからである。よって、筆者らはオリフィス下流での炭素鋼腐食速度測定及び流速分布測定(LDV, PIV)、せん断力測定、流れ場の数値解析等により、減肉速度と壁面せん断応力の関連性について調べている。ここではその内、流速分布測定(LDV, PIV)、壁面せん断力測定、および数値解析について述べる。

2. 実験装置

2.1 実験ループ

図1に実験装置の概要を示す。実験装置は高温水タンク等で構成されるループ、窒素加圧装置、イオン交換・脱酸素装置、水質調整系、水質測定系等で構成される。流速分布測定では常温(約20℃)の水をループで循環させるだけなので、ループと窒素加圧系以外は使用していない。

2.2 流速分布測定

流速分布測定の主な目的は、計算結果の妥当性を検証するデータの取得である。テストセクションには図2で示すアクリル製可視化試験体を設置した。円管内径 $D = 50$ mm、オリフィス径 $d = 24.3$ mm であり、周囲にウォータージャ

Fig. 1 Test apparatus

Fig. 2 Test section made of acrylic resin

ケットを付け、流速分布測定時のレーザの屈折を和らげている。可視化測定では流量を $Q = 17 \text{ m}^3/\text{h}$ (管断面平均流速 $U_{ave} = 2.41 \text{ m/s}$, $Re = 1.2 \times 10^5$) に設定し、0.2 MPa 加圧することでオリフィス下流でのキャビテーション発生を防いでいる。流速分布測定は2次元LDVと2次元PIV(図3)とで行った。LDVは日本カノマックス製 Smart-LDV を使用した。PIVシステムは、ダブルパルス YAG レーザ (New

Fig. 3 Picture of experimental set up for PIV

Wave Resarch 製, DPIV-N50, 発光時間 3-5nsec), CCD カメラ (LaVision 製, Imager Intense, 1376×1040pixel, 10fps), タイミングユニット (LaVision 製) 等で構成される. LDV 測定サンプル数はおよそ 5000, PIV (時間平均場算出時) は 100 である.

3. 数値解析方法

数値解析には汎用熱流体解析コード CFX11.0 を用いた. 計算領域はオリフィス上流 23D, 下流 31D, 計 54D の領域である. 表 1 に計算条件の詳細を示す.

4. 結果

ここでは流れ場に関する結果を中心に述べ, せん断力測定の詳細については講演で述べる.

4.1 数値解析の妥当性検証

図 4 は PIV で得られたオリフィス流れの時間平均速度分布を示したものである. オリフィス上流で縮流され, 下流へ噴流となって噴出している.

図 5 に標準 $k-\epsilon$ により得られた速度分布を示す. 図 4 と比較すると, 計測された時間平均的な流れ場を定性的に再現している. 図 6 は軸方向流速を数値解析と LDV 計測データとで比較したものである. SST 乱流モデルを用いた場合は下流で大幅なずれが生じるが, 標準 $k-\epsilon$ では LDV と良い一致を示した.

4.2 瞬時の流れ場

図 7 に PIV で計測された瞬時の流れ場を示す. 瞬時では

Table 1. Analysis conditions

流体	水 (25°C)	
	密度	997 kg/m ³
	粘性係数	8.899×10 ⁻⁴ Pa·s
乱流モデル	Shear Stress Transport (SST), 標準 $k-\epsilon$	
境界条件	流入	$Q = 17 \text{ m}^3/\text{h}$ (管断面平均流速 $U_{ave} = 2.4 \text{ m/s}$)
	流出	圧力境界 (平均静圧 0 Pa)
	wall	壁関数 (一般化対数則) ($y^+ < 100$)
総メッシュ数	1,020,307

Fig. 4 Time averaged flow field measured by PIV

Fig. 5 Calculated velocity distribution

Fig. 6 Axial velocity profiles of standard $k-\epsilon$ and LDV

Fig.7 Instantaneous velocity distribution measured by PIV measurement

オリフィスからの噴流の周りに渦が生じており, 壁面に到達する規模の渦も確認できる. 配管壁面では弱い逆流が生じている. このように, 定常的な再循環領域のイメージである大きく長い渦とは異なっており, 噴流周囲の渦が壁面近傍の流れ場に影響を及ぼしていると思われる.

参考文献

- (1)関西電力株式会社美浜発電所 3 号機二次系配管破損事故について(最終報告書), 原子力安全保安院, 2005
- (2)米田, 電中研報告, 報告書番号 L05007, 2006
- (3)矢島ら, 材料と環境, 56(5), 222-227, 2007