

オリフィス下流における流れ加速腐食機構に関する実験的研究

Experimental research on mass flow accelerated corrosion mechanism behind the orifice

名古屋大学大学院工学研究科	小城 烈	Retsu KOJO	Non-Member
	黒田 祐志	Yuji KURODA	Non-Member
	近藤 昌也	Masaya KONDO	Non-Member
	辻 義之	Yoshiyuki TSUJI	Non-Member

Flow Accelerated Corrosion (FAC) is thought to be the origin of the pipe thinning in the pipe of second cooling system of power plants. FAC is a phenomenon that inclined to and promoted the corrosion because of the increase of the complex turbulent flow behind the orifice. Now the analysis of the mechanism of FAC for maintenance of the nuclear reactor is performed. Although the rough surface is confirmed over the pipe wall, influence of the shape on the corrosion is not understood at this stage. Therefore, it aims at the investigating the mechanism of the flow accelerated corrosion under the rough surface in the present study. We measure the mass transfer rate directly with electrochemical method at the wall with the influence of the ruggedness elements.

Keywords: Flow Accelerated Corrosion, Mass transfer rate, Rough Wall surface

1. 緒言

2004年に発生した美浜3号機2次系配管破断事故において破断の主たる原因とされている流れ加速腐食(FAC)は、配管内に設置されたオリフィス下流部などで発生した偏流部が腐食現象を加速させるという現象である。現在、原子炉配管の安全管理手法の向上を目的としてFACのモデル化の研究が進められている。しかし、流れ加速腐食(FAC)には流体力学、水化学、材料科学など様々な因子が絡み合っており、現象の理解は非常に複雑なものである。今後、原子炉の高効率化を目的とした高温高压プラントの設計が見込まれるため、配管の安全管理は従来以上に重要になると考えられる。FACに関して流体力学の分野では、配管壁面からのイオンの輸送、すなわち物質伝達率の測定が非常に重要と考えられている。特に壁面に生じた粗面形状が物質伝達に与える影響についてはほとんど知見が得られていない。本研究では直管と粗い形状をもつ壁面での物質伝達の測定を行った。

2. 物質伝達率の測定実験

物質伝達の測定には電気化学法を用いた。この手法を用いることで物質伝達を直接測定することができる。配管内に電解液を循環させ、流れを十分に発達させた後、試験部を通過させた。試験装置を以下の図1に示す。配管流路は管内径 $D=44\text{mm}$ の塩ビ製で

各接続部は段差が生じないように工夫を施してある。試験部には流れ方向に入り口から $x/D=3$ の位置までに作用極を設置する。その電極に電圧をかけ電極表面で電解液の酸化還元反応をおこす(x は流れ方向の距離)。本実験では作動流体に拡散係数が鉄イオンに近く安定な錯イオンであるフェリシアン化カリウムを用い、作用極に負の電圧を与え、鉄(III)イオンから鉄(II)イオンへの還元反応をおこした。その際電極に流れる電流(限界電流)の測定を行った。電流測定の際、電極が常に一定のポテンシャルをたもつようポテンシostatを用いて電圧を制御した。作用極の還元反応と対を成す酸化反応は試験部下流に設置した対極にて生じる。反応が生じている電極の電位を正確に測定するため、塩橋をもちいて電位の基準となる参照極を水路と電通する位置に設置してある。作用極上で反応するイオンの量は一定以上の電圧を加えると拡散によって律則されるようになる。この電流 i は $i=A n_e F N$ であらわされる (A は電極表面積、 n_e は酸化還元を行うイオンの価数、 F はファラデー定数、 N は質量流速である)。また、壁面からの物質伝達率 k は $k=N \cdot (C_b - C_i)$ と近似的に表される (C_b はバルク濃度、 C_i は壁面での濃度)。よって限界電流を測定することで物質伝達率を測定することが可能となる。また試験部壁面には波長 16mm 、振幅 0.8mm の正弦波の粗面形状を作成し、正弦波の山、谷、両中腹に直径 1mm 金製の電極を設置し、物質伝達率の測定を行った (以降では、各電極をそれぞれ [top],[down],[up],[bottom] と呼ぶこととする、下図3参照)。

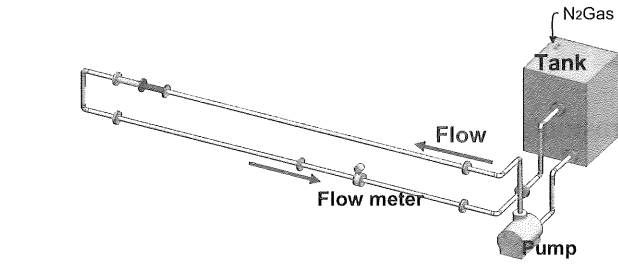


図 1. 試験装置概要

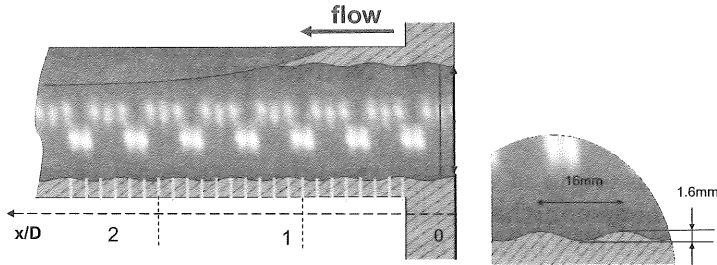


図 2. 試験部概要

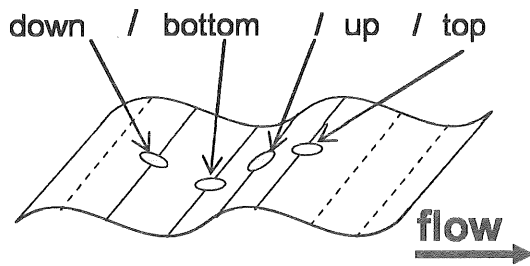


図 3. 正弦波をもつ壁面上の電極名称

3. 実験結果

限界電流平均値の空間分布を図 4 に示す。横軸は主流方向への距離を管直径で無次元化したものであり、Re 数は 25000、55000 である。直管形状の場合、流れ方向に一様な空間分布を持つのにに対し、粗面形状の場合、粗面形状の影響を受けて空間的なかたよりを持つ。また、物質伝達が最大となる位置は谷と山の中腹 [up] の位置であることがわかった。これは粗面をもつ壁面が流動場に影響を及ぼしたため、物質伝達率にも空間的な分布が生じたものと考えられる。また、図 5 に各位置の電極における物質伝達率と Re 数の関係を示す。各箇所によって物質伝達率は Re 数に対して異なるべき乗則を持つことがわかる。各位置でのべき指数は [down] : 1.03, [bottom] : 0.44, [up] : 0.55, [top] : 0.51 となった。このことから壁面形状の影響は物質伝達のべき指数に影響を与える、すなわち [up] と [top] の位置における減肉が大きくなることわかる。これは 2500~4500 の Re 数においては [down] の位置で、5500 以上の Re 数では [bottom] の位置で減肉が最も進むと予測される。発表では実験の詳細、他にとり行った物質伝達率の測定結果に関して発表をする。

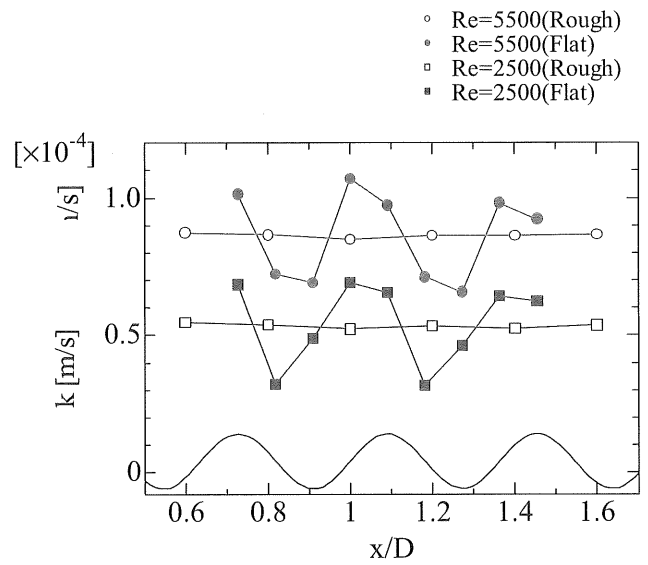


図 4. 粗面形状上における物質伝達率の空間分布

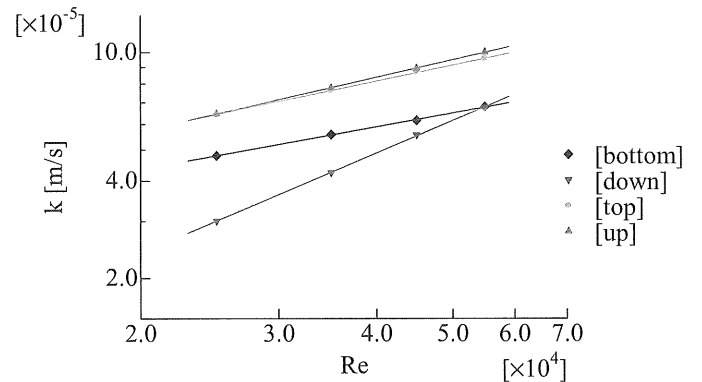


図 5. 各位置における物質伝達率の Re 数依存性

4. 結言

- 物質伝達率は直管の場合、流れ方向に一様な空間分布を持つのにに対し、粗面形状の場合は粗面形状の影響を受けて空間的なかたよりを示す。
- 粗面形状をもつ壁面において、物質伝達が最大となる位置は谷と山の中腹で流れ方向に上昇する位置、すなわち [up] の位置である。

壁面形状による流れ場の影響は 2500~4500 の Re 数においては [down] の位置で、5500 以上の Re 数では [bottom] の位置で減肉が最も進むと予測される。

謝辞

謝辞：本研究は、原子力安全・保安院の高経年化対策強化基盤整備事業からの援助を受け、INSS からの受諾研究として実施しました。

参考文献

- [1] T. Mizushima, The electrochemical method in transport phenomena. (1971)
- [2] 関西電力株式会社, 美浜発電所 3 号機「2 次系配管破断事故」発生原因の調査について (2004)
- [3] 米田公俊, 森田良, 流れ加速型腐食に対する影響因子の定量的な評価 (その 1) -流体力学因子と減肉率との相関-

(平成 22 年 6 月 11 日)