

流れ加速型腐食に及ぼす局所流動状況の影響 —配管要素組み合わせにおける腐食速度—

Effects of Local Flow Field on Flow Accelerated Corrosion
—Corrosion Rate in a Combination of Pipe Components—

長屋 行則 (Yukinori Nagaya)* 歌野原 陽一 (Yoichi Utanohara)*
中村 晶 (Akira Nakamura)* 村瀬 道雄 (Michio Murase)*

要約 流れ加速型腐食 (FAC) に及ぼす流れ場の影響について評価するために、著者らはこれまでオリフィス及び玉形弁下流を対象に、電気抵抗法を用いた腐食速度測定、流速分布測定、数値流動解析を実施してきた。本研究では、配管要素が組み合わさった場合のケーススタディとして、上流 $14D$ (D : 配管内径) に玉形弁を配置した場合のオリフィス下流を対象に腐食速度測定を行った。測定には、高温高圧実験ループを用い、試験部は配管内径 50 mm 、管断面平均流速は 3.54 m/s 一定とし、水温は $150 \pm 1^\circ\text{C}$ 以内に制御した。この場合の腐食速度分布は、管の周方向に非対称な分布となり、オリフィス下流 $1D$ の距離の配管下部壁面において最大の腐食速度となった。数値計算の結果、上流に玉形弁を配置した場合、オリフィス下流の再付着点位置が $1.4\sim 1.8D$ となり、オリフィス単体の場合の $2.5D$ に比べ上流側に近づいた。配管要素が組み合わせられることで、配管要素単体に比べ流れ場の構造が変化し、腐食速度およびその分布も変化することを確認した。

キーワード 流れ加速型腐食、配管要素組み合わせ、玉形弁、オリフィス、腐食速度、電気抵抗法

Abstract In order to evaluate the effects of a flow field on corrosion rate due to flow accelerated corrosion (FAC), the authors have carried out corrosion rate measurements using the electrical resistance method, measurements of the velocity profile, and numerical analyses for each piping component such as an orifice and a globe valve. In this study, in a case study of the combination of pipe components, corrosion rate measurements were conducted downstream from an orifice with a globe valve located at $14D$ upstream (D : pipe inner diameter). In the corrosion rate measurement, a test loop operated at high temperature and high pressure conditions was used. The pipe inner diameter was 50 mm , the average velocity was kept at 3.54 m/s and the water temperature was controlled within $150 \pm 1^\circ\text{C}$. In this case, the distribution of FAC rates downstream from the orifice was asymmetrical to the center axis in the circumferential direction of the pipe, and the peak of the FAC rate was observed at $1D$ downstream from the orifice. In the numerical simulation, in the case with the upstream globe valve, the flow reattachment location was about $1.4\sim 1.8D$ downstream from the orifice. This reattachment location shifted upstream from $2.5D$ downstream from the orifice in the case of no valve being attached. It was confirmed that the structure of the flow field changed compared with the case of no valve, and the corrosion rate and its distribution also changed because of the influence from the combination of pipe components.

Keywords flow accelerated corrosion, combination of pipe components, globe valve, orifice, corrosion rate, electrical resistance method

1. はじめに

流れ加速型腐食 (Flow Accelerated Corrosion : FAC) は、火力、原子力、化学プラントにおける配

管減肉の重要な要因として知られている。日本機械学会は 2005 年に「発電用設備規格 配管減肉管理に関する規格」⁽¹⁾を制定し、FAC と液滴衝撃エロージョンによる配管減肉に対して、民間規格として統一した

*原子力安全システム研究所 技術システム研究所

管理方法を定めた。FACによる腐食速度は、環境(温度、pH、溶存酸素量などの水質)、材料(炭素鋼のクロムなどの含有量)、流れ(配管形状、流速)などの種々な因子によって影響される。

FACのメカニズムは、金属表面に形成された酸化皮膜の溶解と、流れによる鉄イオンの拡散によるという説が一般的である⁽¹⁾。これまで、FACの腐食速度に対する、温度⁽²⁾⁽³⁾、pH⁽⁴⁾、溶存酸素量⁽⁵⁾⁽⁶⁾、流速⁽³⁾などの影響が報告されている。Keller⁽²⁾は、弁などの配管要素がFACに及ぼす影響について報告した。腐食メカニズムのモデルと評価式^{(7)~(10)}がいくつか提案され、海外では、米国電力研究所(EPRI)で開発されたCHECWOKS⁽¹¹⁾、フランス電力会社(EDF)で開発されたBRT-CICERO⁽¹²⁾などが減肉評価に用いられている。しかしながらこれらのコードは、減肉速度の具体的な評価手法が開示されていない場合が多く、また、実機の減肉速度の予測値と測定値のばらつきが大きく⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾精度よく予測できる段階に至っていない。

プラントの系統の中で減肉の起こりやすい部位としては、配管の流路断面積を変化させるような弁、オリフィス、レデューサ、デフューザが挙げられ、また流れの方向を変化させるようなエルボ、ベント、分岐、合流管が挙げられる。これらの配管要素による流れの変化は、その下流にある直管や弁、エルボといった部位での腐食速度にも影響を与えると考えられる。現在、FACに及ぼす流れ因子の影響を解明し、その影響の程度を定量的に評価することを目的とした研究が多数行われており、オリフィス⁽¹⁵⁾や堰⁽¹⁶⁾といった比較的単純な形状での腐食速度測定も行われている。

著者らは、FACに及ぼす局所的な流れの影響を調査するために、これまで基礎的な配管形状としてオリフィス下流を対象に、流れ場の計測および数値解析により局所流れ場を把握するとともに、腐食速度測定を実施し、流れ場と腐食速度との関係について検討を進めてきた^{(17)~(23)}。また、実機プラント配管内の複雑な流れのケーススタディとして、玉形弁単体の下流を対象とした流れ場の計測と数値解析⁽²⁴⁾の検討を進めるとともに、腐食速度データを取得した⁽²⁵⁾。本報告は、配管要素組み合わせの事例として、上流に玉形弁を配置した場合のオリフィス下流の腐食速度測定及び数値解析を実施し、オリフィス単体における腐食速度分布、流れ場との比較を実施した。

2. 実験方法

2.1 実験装置

図1に実験装置の概要を示す。実験装置は、温水タンク・試験体・循環ポンプ・配管で構成される流動ループと、窒素加圧装置、水質調整系、水質測定系で構成される。

温水タンクは、温度200℃、圧力は2MPaまで使用可能である。循環ポンプは、インバータ制御のポンプを使用しており最大流量48m³/hまで流量制御が可能である。また、ループの温度は、温水タンクに設置されている電気ヒータ(10kW×2)により加熱することにより昇温する。当該ヒータは、温度制御器により設定温度±1℃の精度で温水タンク温度を制御可能である。温水タンク・循環ポンプ・配管はステンレス鋼製であり、試験体を除いた流動ループでのFAC発生は考慮する必要はない。系統の圧力調整に使用している窒素ポンベは、純窒素(純度:99.999%)を使用しており、系統加圧による溶存酸素濃度への影響を排除している。

水質調整系として、給水処理用の脱酸素装置・イオン交換樹脂ユニット、薬品注入用のタンクおよび薬注ポンプが3組あり、ヒドラジン・希硫酸・アンモニアを注入可能である。脱酸素装置は給水時に使用する他に、水張り後の系統水に対しても脱酸素処理に使用するために主系統からの通水ラインを設けている。

水質測定系では、手分析のための採水ラインがあるほか、溶存酸素分析計と導電率計が設けてあり、常時モニタリングが可能である。水質測定系は、FACにおいて影響が大きいとされるpH、溶存酸素濃度、鉄濃度に異常な変化がないか監視しており、pHと鉄濃度の測定は適宜採水したサンプル水を窒素雰囲気中で手分析により行っている。表1に水質測定機器仕様を示す。

2.2 試験体

図2に、腐食速度試験で使用した試験体の構成を示す。試験体は、上流側から玉形弁モジュール、オリフィス上流側試験部配管(長さ650mm)と下流側試験部配管(350mm)から構成されており、上流側と下流側試験部配管のフランジ接続部にオリフィスを設置できる仕様となっている。配管は、内径50mmのSUS304製の円管であり、オリフィス口径比 $\beta = 0.5$

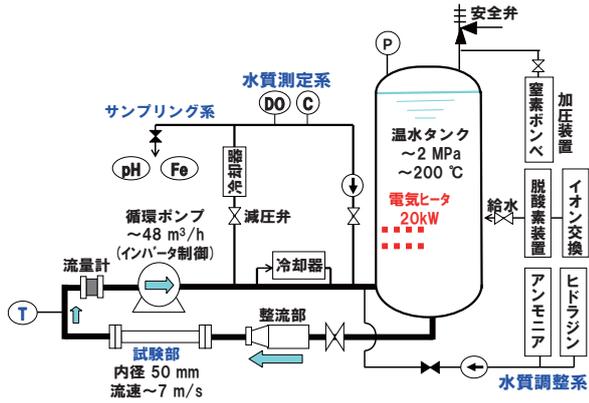


図1 局所熱流動実験装置の概要

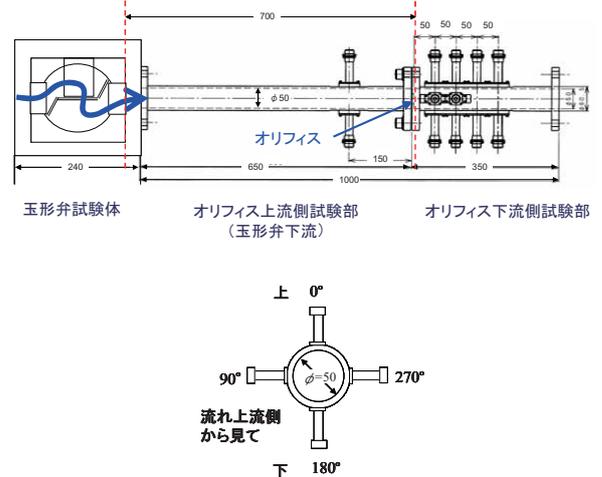


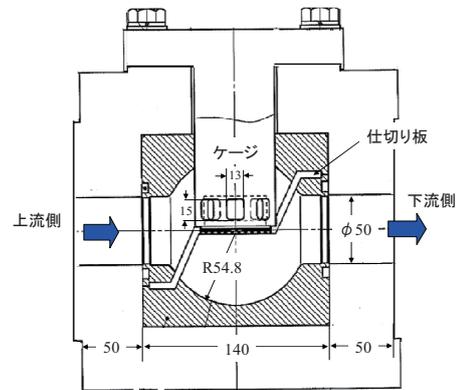
図2 腐食速度測定試験部

表1 水質測定機器仕様

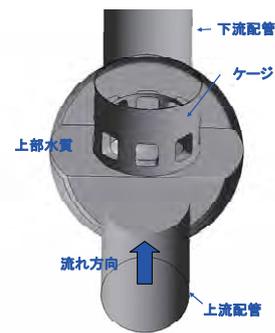
測定機器	製造者	型式	仕様
溶存酸素分析計	日機装株式会社	7115-22型	測定範囲：0~20 /0~200ppb 隔膜型ポーラログラフ式
導電率計	日機装株式会社	9792型	測定範囲：0~0.2/2.0/20.0mS/cm
pHメータ	株式会社堀場製作所	D-51	ガラス電極法 分解能：0.01pH
鉄濃度計	HACH CAMPANY	Pocket Colorimeter II	TPTZ法 精度：1.0 ± 0.02mg/L Fe 検出限界：0.01mg/L Fe

である。玉形弁モジュールとオリフィスとの離隔距離は650mm (13D) である。玉形弁モジュールの流路形状の詳細は図3に示す。玉形弁モジュールは、ステンレスブロックを上部水室と下部水室に分けて流路形状を削りだし、仕切り板およびケージを挟み込む構造となっており、加工精度は公差0.1mm以下である。玉形弁内の流れは、上部水室から8個のケージ穴を経由し、下部水室に向かう流れとなる。ケージの配置は図3(b)に示すとおり、流れ方向に対しケージ穴が正対するように配置した。玉形弁下流の流れ場は、旋回流が発生することが明らかとなっており⁽²²⁾、玉形弁を配置することで、上流の旋回流がオリフィス下流の腐食速度に及ぼす影響を確認することができる。

オリフィス上流側試験部配管には、オリフィス上流150mm (3D) の位置に腐食速度センサ (測定原理等については後述) を2台設置しており、弁下流直管部の腐食速度を測定する。オリフィス下流側試験部は、下流50, 100, 150, 200mmの位置に腐食速度センサを合計12個設置しており、オリフィス下流での腐食速度を測定する。



(a) 中央断面図 (流れ方向—鉛直方向断面)



(b) ケージの配置

図3 玉形弁の形状

2.3 腐食速度センサの測定原理

腐食速度センサの取付方法を図4に示す。腐食速度センサは、図4のように炭素鋼製の試験片を配管内表

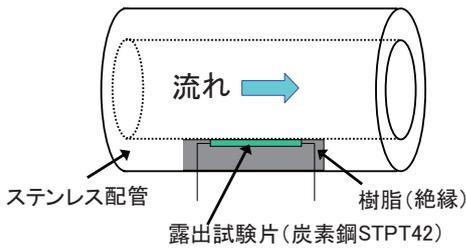


図4 腐食速度センサ取付方法

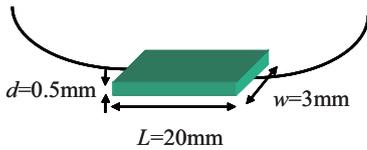


図5 露出試験片の初期形状

面に段差がないように露出させ、絶縁材の樹脂で固定している。露出試験片の両端に取り付けられたリード線により外部から電気抵抗を測定する構造となっており、露出試験片の初期形状は図5の通りである。配管内表面に露出した試験片は、腐食の進行により試験片厚さが減少するが、試験片厚さの減少に伴う断面積の減少により、電気抵抗が増加する。この電気抵抗 R の変化を計測することにより、厚み d の変化を測定する。なお、腐食速度センサの電気抵抗値と厚み d の関係式は式(1)の通りである。

$$d = \rho \frac{L}{wR} \quad (1)$$

ここで ρ は電気抵抗率、 L 、 d 、 w は露出試験片の長さ、厚みと幅である。具体的な換算方法については、既報⁽²⁵⁾を参照されたい。

今回使用した腐食速度センサは、既報^{(21)~(23)}で使用したセンサとは異なり、温度補償用の参照試験片をなくし露出試験片のみとした。形状を簡単にし、露出試験片の電気抵抗測定回路を2系統(図8参照)にすることで、センサ故障による測定データ欠落を低減することができる。但し、温度変動による影響を強く受けるため、以下、電気抵抗に及ぼす温度の影響について検討する。

金属の電気抵抗は、温度の増加に従い、直線的に増加するため、以下の近似式が成り立つ。

$$R_t = \rho_{t_0} \{1 + \alpha(t - t_0)\} \frac{L}{S} \quad (2)$$

ここで R_t は温度 t の時の電気抵抗、 ρ_{t_0} は温度 t_0 時の電

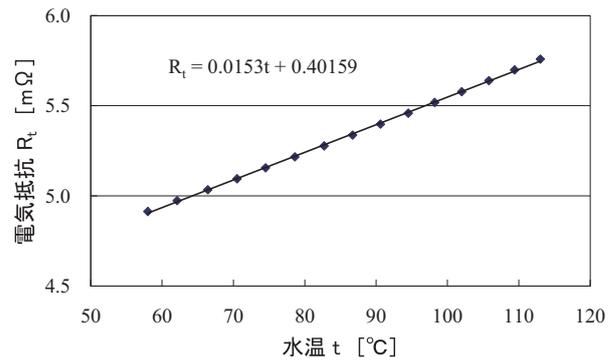


図6 昇温時のセンサ電気抵抗特性例

気抵抗率、 t_0 は基準温度、 α は温度係数、 L と S は露出試験片の長さ、断面積である。図6は昇温時の電気抵抗特性例であるが、基準温度 $t_0 = 0^\circ\text{C}$ とすると、昇温特性の傾き a と切片 b は以下の通りである。

$$a = \frac{\rho_0 L}{S} \alpha, \quad b = \frac{\rho_0 L}{S}$$

図6の場合、昇温特性の傾き、切片がそれぞれ $a = 0.0153$ 、 $b = 4.0159$ であることから温度係数 α は以下の通りとなる。

$$\alpha = \frac{a}{b} = \frac{0.0153}{4.0159} = 0.00381 \quad [1/^\circ\text{C}]$$

炭素鋼の温度係数を実測した例では、 $\alpha = 0.0037$ [1/°C] との報告⁽²⁶⁾もあり、ほぼ同じ値であることから妥当と判断した。試験期間を通して温度が $149.4 \pm 0.1^\circ\text{C}$ (表2参照) とほぼ一定であり、センサ厚さ $d = 500\mu\text{m}$ とすると $\pm 0.2\mu\text{m}$ の誤差となる。腐食速度算出には $10\mu\text{m}$ 以上減肉させた時刻歴データを用いており、この誤差は十分小さい。

2.4 計測システム

電気抵抗の計測システムおよび計測回路図をそれぞれ図7、図8に示す。計測システムは、腐食速度センサ、データ収集装置およびパソコンで構成されており、データ収集装置には12台のCorrOcean製データロガー(製品名: CorrLog)が収納されており、腐食速度センサの抵抗を計測する。パソコンには、CorrLog用計測ソフトMultiTrendをインストールしており、計測データのログ管理、計測システムの監視およびオンラインでのモニタリングが可能である。

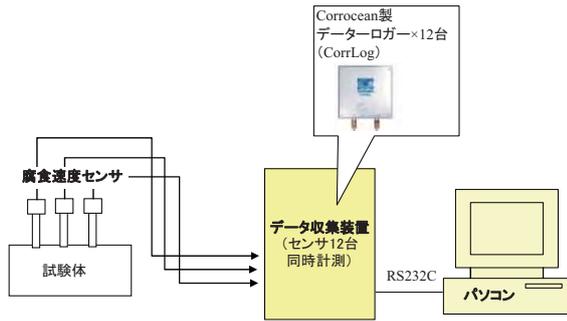


図7 電気抵抗計測システム

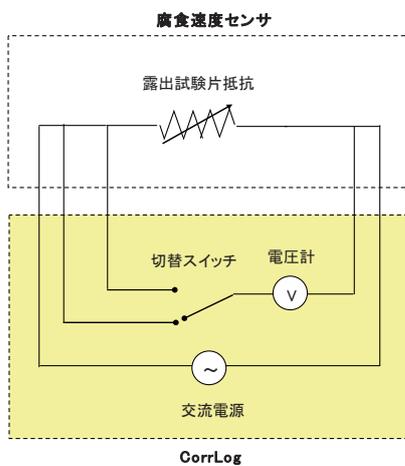


図8 電気抵抗計測回路図

2.5 試験条件

腐食速度測定の実験条件を表2に示す。実験装置には、試験進行に伴い溶出する鉄イオンを除去するための浄化装置が備えられていないため、試験時間は系統水の昇温を含め2週間を目安に実施した。流速条件は試験期間を通じ3.54 m/sである。系統圧力は約1.5 MPa、温度はほぼ150℃に維持しており、キャビテーションが発生しない条件としている。溶存酸素濃度については、給水時および低温時ループ水の脱酸素装置通水により20 ppb以下に低減した後、昇温することにより、ヒドラジンを追加することなく150℃時点で1 ppb以下に下げることができている。また、これまでの試験では、薬液注入によるpH調整は行っておらず、試験期間中のpHは6.8とほぼ中性であった。鉄濃度は、流れ加速型腐食による腐食量に影響する可能性のあるパラメータと考えられることから、鉄濃度

表2 腐食速度測定の実験条件

	試験条件
管断面平均流速 [m/s]	3.54
温度 [℃]	149.4 (149.3~149.5)
溶存酸素濃度 [ppb]	0.1 (0~0.2)
pH	6.8 (6.4~7.4)
鉄濃度 [ppm]	0.06~0.25
導電率 [μ S/cm]	0.54~1.09
腐食速度センサ材質	炭素鋼 STPT42 (Ni: 0.02%, Cr: 0.04%, Mo: 0.01%)

の飽和による腐食速度の鈍化を監視する目的でデータを採取している。

3. 数値計算

3.1 計算条件

3.1.1 上流に弁を配置した場合

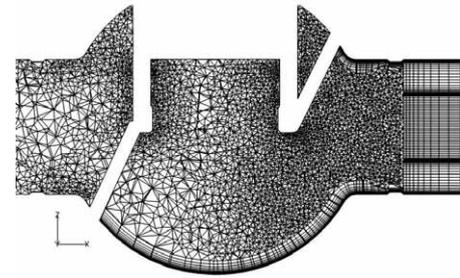
数値計算には ANSYS 社の汎用熱流体計算ソフトウェア CFX 13 を使用した。表3に計算条件、図9(a)に計算領域を示す。計算領域の長さは約30Dで、流入境界は弁上流2D、流出境界はオリフィス下流約10Dに設定した。乱流モデルには、Baseline レイノルズ応力モデル (BSL-RSM) を用いた。本計算で用いた計算メッシュを図10に示す。玉形弁のケージの配置は腐食速度測定試験体とは異なり、流れ方向に対しケージ柱が正対するように配置したが、玉形弁とオリフィスの離隔が14Dと離れていることから定性的な傾向は変わらないと考えられる。表4にメッシュ数を示す。図10(a)に示すように、上流管および弁本体ではテトラメッシュ(四面体メッシュ)、下流管ではヘキサメッシュ(六面体メッシュ)を使用している。壁面から第1格子点では y^+ が100以下になることを確認している。玉形弁下流のように複雑で非定常性の強い流れ場の場合、定常計算でも計算解は1つの解に収束することなく、計算の反復回数に応じて変動する⁽²⁴⁾。そこで、非定常 RANS 計算を行ない、その結果を時間平均処理することで、時間平均値を求めた。

3.1.2 オリフィス単体の場合

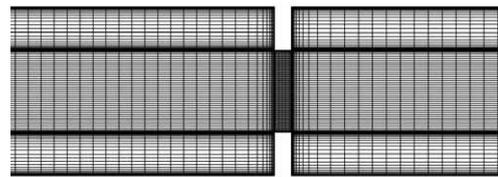
表3に計算条件、図9(b)に計算領域を示す。計算領域の長さは約10Dで、流入境界はオリフィス上流

表3 計算条件

計算領域		玉形弁+オリフィス	オリフィス単体
作動流体	水(150℃, 1.5MPa)		
	密度	917.586kg/m ³	
	粘性係数	1.82689 x 10 ⁻⁴ Pa・s	
乱流モデル		BSL - RSM	標準 k - ε
時間	解法	2次精度 オイラー後退	定常計算
	タイムステップ	0.01s	
対流項差分		2次精度風上差分	
境界条件	流入	25m ³ /h(3.54m/s), 一様流速	
	流出	圧力境界, (平均静圧 0Pa)	
	壁面	壁関数 (一般化対数則)	

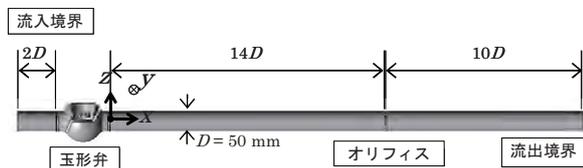


(a) 玉形弁



(b) オリフィス近傍

図10 計算メッシュ



(a) 上流14Dに玉形弁が配置されている場合



(b) オリフィス単体の場合

図9 計算領域

2D, 流出境界はオリフィス下流約7Dに設定した。玉形弁下流とは異なり, 定常計算でも計算解が収束することから標準 k-ε モデルによる定常 RANS 計算を実施した。その他の計算条件については, 3.1.1 と同じである。

3.2 計算結果

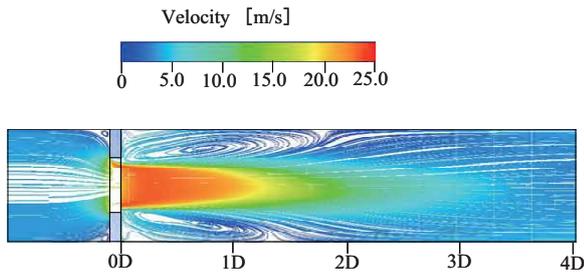
図11(a)(b)はそれぞれ, 計算で求めた上流に弁を配置した場合と単体の場合のオリフィス下流における流れ方向-鉛直断面の流速分布を示す。管断面平均流速は3.54m/s, 水温は150℃条件で, レイノルズ数は $Re = 8.9 \times 10^5$ である。

上流に玉形弁が配置されている場合でも, オリフィス下流では, 噴流はほぼ軸対称な分布となっており時間平均的な特徴が再現されている。再付着点は図11

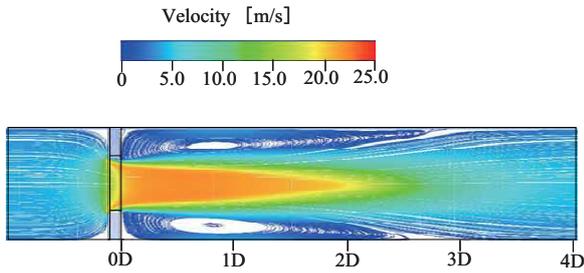
	弁上流管 弁本体	オリフィス部 及び 上流管, 下流管	合計
玉形弁+ オリフィス	(テトラ) 600,016	(ヘキサ) 1,677,104	2,362,801
	(ピラミッド) 420		
	(プリズム) 80,261		
オリフィス 単体		(ヘキサ) 1,020,307	1,020,307

(a)から $x = 1.4 \sim 1.8D$ 近傍に存在すると考えられる。図11(b)に示すとおり, オリフィス口径比 $\beta = 0.5$ のオリフィス下流の再付着点はおよそ $x = 2.5 \sim 3.0D$ であることから, オリフィス単体の場合に比べ上流側へ移動する結果となった。

図12は, 上流に弁を配置した場合の非定常 RANS で得られた瞬時流れ場の様子である。玉形弁下流では旋回流が発生する⁽²⁴⁾が, 弁直後と比べかなり減衰しているものの弁下流10D以降でも旋回した流れが確認できる。オリフィスに流入した旋回流は, 管軸中心では噴流が再現され, オリフィス直後では管壁に沿った旋回流れが確認でき, オリフィス上流の旋回成分に比べ強くなった。

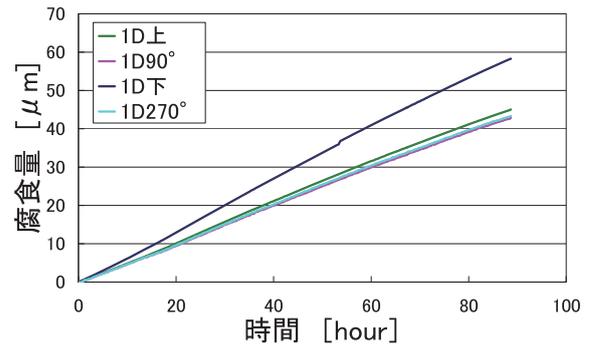


(a) 上流 14D に玉形弁が配設されている場合
($U_{ave}=3.5\text{m/s}$, 非定常)

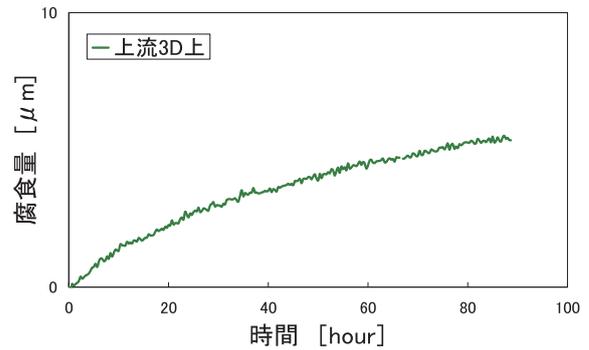


(b) オリフィス単体の場合
($U_{ave}=3.5\text{m/s}$, 定常)

図 11 数値解析による時間平均流速分布
(流れ方向 - 鉛直方向断面)



(a) オリフィス下流 1D



(b) オリフィス上流 3D (弁下流 11D)

図 13 試験期間中における腐食量の推移

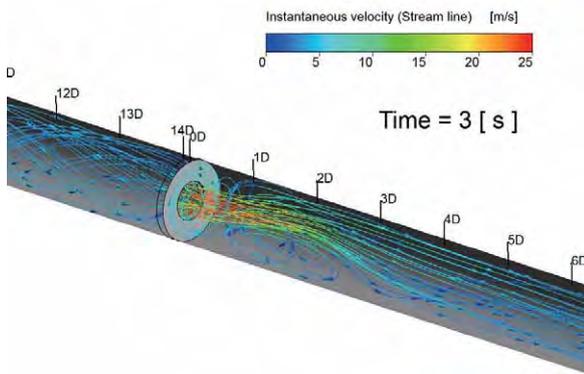


図 12 数値解析による瞬時の流速分布

量の推移を示す。20 分間隔で測定した電気抵抗値 R から、露出試験片の腐食量 Δd を求めた。図 13(a)を見ると、オリフィス下流 1D での腐食量がほぼ直線的に変化していることを確認できる。一方、上流 3D においては、直線的に増加する傾向とはならず、時間の経過とともに徐々に曲線の勾配が減少した。このような傾向は、酸化被膜の成長速度が溶解速度を上回るためと考えられ、これまで実施してきたオリフィス下流の腐食試験における直管部での腐食量の時間変化と同じ傾向を示した。玉形弁下流 11D での腐食速度は、弁のない直管部と同様に放物線則に従うといえる。

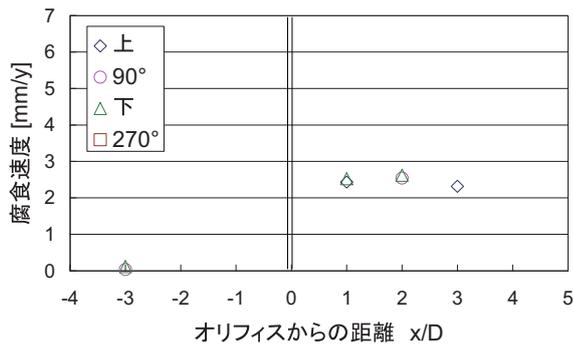
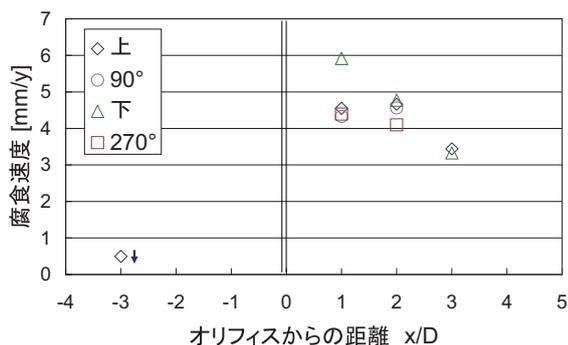
図 14(a)は、オリフィス単体の場合の腐食速度分布⁽²²⁾である。試験部温度は 149.8℃、管断面平均流速は 3.54 m/s、溶存酸素濃度 0.1ppb、pH は 6.2 である。オリフィス下流の腐食速度は下流 2D で最大となり、管周方向分布は管軸に対称な分布となった。

図 14(b)に、上流に玉形弁を配置した場合のオリフィス下流の腐食速度分布を示す。図 13 に示す昇温完了から 89 時間までの腐食量データの時間変化率を、最小二乗法により近似直線の傾きから求め、腐食速度を算出した。上流に弁を配置した場合のオリフィス下

4. 実験結果と考察

4.1 上流に玉形弁を配置した時のオリフィス下流における腐食速度分布

図 13(a) (b) にそれぞれ昇温完了以降のオリフィス下流 1D および上流 3D (玉形弁下流 11D) での腐食

(a) オリフィス単体の場合⁽²²⁾

(b) 上流 14D に玉形弁が配置されている場合

図 14 オリフィス下流における腐食速度分布

流における腐食速度の分布は、下流に行くに従い減少する傾向を示した。また、管周方向の分布は、管軸に対し非対称性を持ち、下流 1D 下部で最大の腐食速度となった。

図 14(a), (b) を比較すると、オリフィス下流の腐食速度分布が、上流に玉形弁がある場合とない場合とで大きく異なることがわかる。最大腐食速度は、オリフィス単体の場合は下流 2D で 2.58mm/y に対し、上流に弁がある場合は下流 1D 下部で 5.91mm/y となり約 2.3 倍に増加した。

4.2 考察

辻ら⁽²⁷⁾は、FAC 腐食速度の支配パラメータと考えられる物質移動係数を実験的に求めその分布から、オリフィス口径比によらず物質移動係数の最大位置が再付着点位置を関係づけ、その位置は再循環領域である再付着点距離のおおよそ半分の位置となることを報告している。著者らがこれまで実施してきたオリフィス口径比 $\beta = 0.5$ の腐食速度測定^{(21)・(22)}の結果でも、

オリフィス下流 1~3D の位置で最大腐食速度となり、再付着点である $x = 2.5 \sim 3.0D$ (図 11(b) 参照) およびその上流の再循環領域で腐食速度が大きくなることを示している。

今回の実験体系は玉形弁とオリフィスの組み合わせではあるが、玉形弁下流では旋回流が発生することから、上流側で旋回流がある場合のオリフィス下流での減肉影響を調べている。旋回流の影響で、オリフィス単体の場合と比べ、上流側に再付着点位置が移動するとともに、最大腐食速度となる位置も上流側に移動した。高野ら⁽²⁸⁾は、上流にスワラーを配置した場合のオリフィス下流の物質移動係数を実験的に測定し、旋回強度が大きい場合、物質移動係数の最大位置が上流側に移動することを報告しており、上流に玉形弁を配置した今回の腐食速度分布の傾向と定性的に一致する。このことから、オリフィス下流の再循環領域と物質移行係数および腐食速度分布が密接に関係していることが示唆される。

5. まとめ

配管要素組み合わせの事例として、上流に玉形弁を配置した場合のオリフィス下流の腐食速度測定及び数値計算を実施した結果、以下のことを確認した。

- (1) 数値計算の結果、上流に玉形弁を配置した場合、オリフィス下流の再付着点位置が 1.4~1.8D となり、オリフィス単体の場合の 2.5D に比べ上流側に移動した。
- (2) 上流に玉形弁を配置した場合のオリフィス下流の腐食速度分布は、管軸に対し非対称性を持ち、下流 1D の距離では下部壁面で最大となった。また、下流に行くに従い徐々に腐食速度は減少した。
- (3) オリフィス単体の場合と比較すると、最大腐食速度は、約 2.3 倍に増加するとともに、最大腐食速度となる位置も上流側に移動した。

以上のことから、配管要素が組み合わせられることで、配管要素単体に比べ流れ場構造が変化し、腐食速度およびその分布も変化することを確認した。今後、流れ場の測定を行うことで数値計算の妥当性確認するとともに、代表的な配管要素の組み合わせについて順次データを蓄積し、配管要素組み合わせの影響について確認していく予定である。

文献

- (1) 日本機械学会, 発電用設備規格 配管減肉管理に関する規格(2005年版) (増訂版) (2006).
- (2) H. Keller, Erosionskorrosion an Nassdampf-turbinen. VGBKraftwerk-technik 54, 5, p.292 (1974).
- (3) G. J. Bignold, K. Garbertt and I. S. Woolsey, in Ph. Berge and F. Kahn, eds., Corrosion-Erosion of Steel in High Temperature Water and Wet Steam (Electricite de France, Les Renardies, 1982), Paper No. 12.
- (4) H. G. Heimann and P. Schub, Initial experience gained with a high pH value in the secondary system of PWRs, Proc. of the Third Meeting on Water Chemistry of Nuclear Reactors, BNES, London, p.243 (1983).
- (5) 日本原子力学会, 原子炉水化学ハンドブック, コロナ社 (2000).
- (6) O. de Bouvier, M. Bouchacour and K. Fruzzetti, "Redox Condition Effect on Flow Accelerated Corrosion: Influence of Hydrazine and Oxygen," Proc. of International Conference Water Chemistry in Nuclear Reactor Systems, 117, Avignon, France (2002).
- (7) P. Berge, J. Ducreux and P. Saint-Paul, "Effects of chemistry on corrosion-erosion of steels in water and wet steam." Proc. of the Second Meeting on Water Chemistry of Nuclear Reactors, British Nuclear Engineering Society, London, 5 (1980).
- (8) L. E. Sanchez-Caldera, The Mechanism of Corrosion-Erosion in Steam Extract Lines of Power Stations, Ph. D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts (1984).
- (9) W. Kastner and R. Riedle, Empirisches Modell zur Berechnung von Materialabtagen durch Erosionkorrosion, VBG-Kraftwerk-technik, 66, 12, p.1171 (1986).
- (10) V. K. Chexal, H. Horowitz, R. Jones, et al., Flow-Accelerated Corrosion in Power Plants, EPRI TR-106611, Electric Power Research Institute, Palo Alto (1996).
- (11) H. M. Crockett and J. S. Horowitz, U. S. Approach to Flow-Accelerated Corrosion, International Conference on Flow Accelerated Corrosion, Lyon-France (2008).
- (12) S. Trevin, M. Persoz and I. Chapuis, Making FAC calculations with BRT-CICERO™ and updating to version 3.0, International Conference on Flow Accelerated Corrosion, Lyon-France (2008).
- (13) S. Trevin, F. Dupuis and P. Lardert, EDF knowledge of flow-assisted corrosion in PWR type Npp, EDF report ENTECH050089 (2005).
- (14) V. K. Chexal, J. S. Horowitz, Flow assisted corrosion in carbon steel piping parameters and influences, 4th International Symposium Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems — Water Reactors, 9-1 (1989).
- (15) 矢島佐知子, 額賀孝訓, 梅村文雄, 絞り部付き炭素鋼管を用いた高温水減肉試験及び流体力学的解析, 材料と環境, 第56巻, 第5号, p.222 (2007).
- (16) 米田公俊, 森田良, 佐竹正哲, 藤原和俊, 流れ加速型腐食に対する影響因子の定量的な評価(その3) -減肉予測モデルの提案-, 電力中央研究所報告, L08016, (2009).
- (17) 歌野原陽一, 長屋行則, 中村晶, 村瀬道雄, 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), 日本機械学会第13回動力・エネルギー技術シンポジウム, A108 (2008).
- (18) 長屋行則, 歌野原陽一, 中村晶, 村瀬道雄, オリフィス下流における流れ加速型腐食の評価(2. 腐食速度の測定と流れ場の影響評価), 日本機械学会 第13回動力・エネルギー技術シンポジウム, A109 (2008).
- (19) Y. Utanohara, A. Nakamura, RANS Prediction of Orifice Flow and Comparison with Measurements and LES, International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows (ICJWSF-2008), Berlin, Germany (2008).
- (20) Y. Utanohara, A. Nakamura, M. Murase and Y. Nagaya, Measurements of Flow Field and Flow Accelerated Corrosion in the Downstream of an Orifice, The 7th International Conference on Nuclear Thermal Hydraulics, Operations and Safety (NUTHOS-7), Seoul, Korea (2008).
- (21) 中村晶, 村瀬道雄, 歌野原陽一, 長屋行則, 流

- れ加速型腐食に及ぼす局所的流況の影響—研究の背景とオリフィス下流の腐食速度の計測—, INSS JOURNAL, Vol. 15, p.78 (2008).
- (22) 長屋行則, 中村晶, 村瀬道雄, 歌野原陽一, 流れ加速型腐食に及ぼす局所流動状況の影響—腐食速度の流速依存性—, INSS JOURNAL, Vol. 17, p.104 (2010).
- (23) 歌野原陽一, 長屋行則, 中村晶, 村瀬道雄, 流れ加速型腐食に及ぼす局所流動状況の影響—オリフィス下流の壁面せん断応力と腐食速度の関係—, INSS JOURNAL, Vol. 18, 94 (2011).
- (24) 歌野原陽一, 中村晶, 長屋行則, 村瀬道雄, 玉形弁流れの LDV 計測と非定常 RANS 計算, INSS JOURNAL, Vol. 17, p.88 (2010).
- (25) 長屋行則, 中村晶, 村瀬道雄, 歌野原陽一, 流れ加速型腐食に及ぼす局所流動状況の影響—玉形弁下流における腐食速度—, INSS JOURNAL, Vol. 18, p.84 (2011).
- (26) S. Yoshino, S. Hamada, Y. Kaieda, Accuracy Comparison of the Electrical Potential Drop Technique and Ultrasonic Testing For the Pipe Wall Thinning in the Thermal Power Plant, the ASME 2010 Pressure Vessels & Piping Division / K-PVP Conference (PVP2010), PVP2010-25410, (2010).
- (27) 辻義之, 近藤昌也, FAC 評価における流動場および物質移動の影響と課題, 日本機械学会論文集 (B 編), 78 巻, 787 号, p. 455 (2012).
- (28) 高野剛, 山縣貴幸, 伊藤嘉人, 藤澤延行, 流動加速腐食による配管減肉に関する研究 (旋回流とオリフィス偏心の組み合わせ効果による物質輸送現象), 保全学, Vol. 10, No. 2, p. 30 (2011).