

複雑形状部での物質伝達係数と形状係数

Mass Transfer and Shape Factor in Complicated Flow Field

名古屋大学
同
同
同
同

猪飼 太郎
片井 勇旭
恒吉 達矢
伊藤 高啓
辻 義之

Taro Ikai
Yuki Katai
Tatsuya Tsuneyoshi
Takahiro Ito
Yoshiyuki Tsuji

Abstract

Flow Accelerated Corrosion (FAC) is one of the issues to be noticed considerably in plant piping management. For the integrity and safety of the plant, the wall-thinning and thinning rate due to FAC should be clearly predicted in pipe wall inspection. In this paper, we study FAC from the view point of flow dynamics. The mass transfer coefficient is estimated by the numerical simulation inside the bent. Changing the Reynolds number, the peak location of mass transfer coefficient and its maximum value is evaluated by the flow condition and the curvature of bent.

Keywords: Nuclear power plant, Structural cooling system, Pipe wall thinning, Flow accelerated corrosion, Thinning rate, Numerical flow analysis, corrosion analysis, observe

1. はじめに

流れ加速型腐食 (FAC) は様々なエネルギープラントにおいて発生しており, FAC の減肉速度を予測するための減肉予測評価コードの開発がすすめられている. 予測コードでは複雑形状であるエルボ管, オリフィス管, T字管などの減肉箇所, 減肉速度の評価を行っており, その評価パラメータとして形状係数 k/k_0 を用いている. 形状係数とは各配管形状における物質移行係数を同条件下の直管における値で規格化したものであり, 過去に Keller らにより提案されている. しかし, この提案された形状係数は, 気液混相流の結果であり, 精度や実験条件などに不明確な部分が多く, 再度検討する必要があると指摘されている.

本研究では Keller の提案する形状係数の中でも非常に高い値を示しているエルボ部分に関して数値計算に基づき検討していく. そこで, エルボ管の流動場, 温度場の解析を行い, エルボの壁面の物質移動係数と, 形状係数を算出し, 腐食箇所の予測をおこなう.

2. 計算方法

計算はエルボ管を対象とした 3 次元非圧縮流れ場である. 数値計算には汎用熱流体解析ソフトである STAR-CCM+ を用い, RANS 方程式の中でも乱流エネルギー 6 成分を計算でき, 速度勾配を全方向に示せる

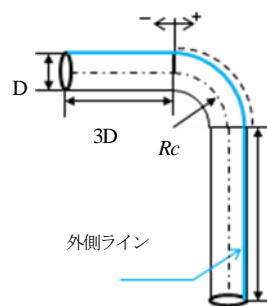


Fig.1 Pipe elbow

レイノルズ応力モデル (RSM) を用いる. 円管の内径を D とし, 曲がり部内の円管中心から曲率中心までの距離を R_c と定義し, 曲率半径を R_c/D としてその影響を評価した.

流入条件として, 周期境界条件により発達乱流場をレイノルズ (Re) 数を $Re=15000$ から $Re=180000$ まで計算し, 曲がり部上流 $3D$ の地点から流入した. また下流には $5D$ の直管部を設置し, 出口条件を圧力出口とした.

メッシュ条件として, 構造格子であるヘキサメッシュを使用する. 曲率は $R_c/D=1, 1.5, 2$ とし, 格子点数はそれぞれ約 210 万点, 約 230 万点, 約 250 万点程度とした. 壁面には温度勾配を生成のため, 主流温度 (300K) より 10K 高く設定した.

3. エルボ管の形状係数の最大領域

図2に $Re=65000$, $Rc/D=1.5$ の物質移行係数 k のコンター図を示す。縦軸には外側ラインからの角度を示しており、中心の 0° 線上が外側ラインとなる。左から曲がり上流部、曲がり部、曲がり下流部の順に並べた。曲がり部内側の流れの剥離域でも k は極大値を得ているが、 k の最大値箇所 x_{max} は、 Rc/D や Re 数に依存せず、外側ライン上にある事がわかった。よって本研究では外側ライン上における議論をおこなう。

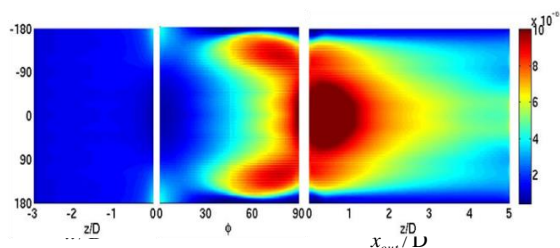


Fig.2 Contour of mass transfer inside elbow.

4. 形状係数 k/k_0 の Re 数依存性

$Rc/D=1.5$ の外側ライン上における k/k_0 を図3に示す。横軸には曲がり部流入口からの距離を外側円弧の長さ $a_{1.5}$ で規格化した無次元数であり、縦軸には形状係数を示している。 k/k_0 は Re 数に依存せず、曲がり部流入口にて 0.8 程度まで小さくなり、曲がり部内では継続的に上昇し続けることが分かる。また曲がり部内では Re 数が低いと k/k_0 は高くなる傾向がある事がわかる。

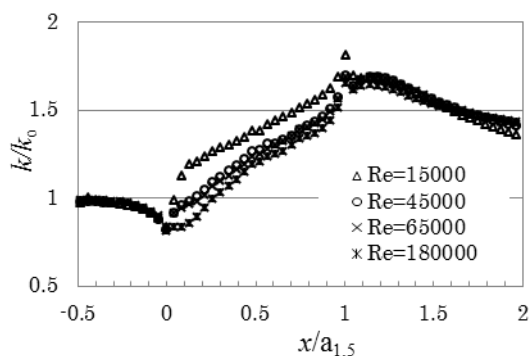


Fig.3 Shape factor distribution inside below.

しかし k/k_0 の最大値 k_{max}/k_0 は Re 数依存性は小さく、本計算範囲では $k/k_0=1.69$ 程度であることがわかった。 k が最大となる位置である x_{max} は Re 数の影響は小さく、計算範囲においては、 $x_{max}=1.1a_{1.5}$ 程度であることがわかる。

5. 形状係数の曲率半径依存性

図4に $Re=65000$ の $Rc/D=1, 1.5, 2$ の外側ライン上の k/k_0 の計算結果を示す。横軸は曲がり部入口からの距離をそれぞれの曲がり部外側の円弧の長さで規格化したものである。 Rc/D に関係なく、曲がり部下流域にて最大値をとる。しかし $Rc/D=1, 1.5, 2$ の x_{max} はそれぞれ約 1.22, 約 1.16, 約 1.11 の順となっており、計算範囲内では、 Rc/D が大きいと x_{max} の位置は曲がり部出口に近づいていく事が予測できる。

また k_{max}/k_0 は $Rc/D=1$ では 1.93 程度、 $Rc/D=2$ では 1.61 程度であることがわかり。 Rc/D を小さくすると k_{max}/k_0 の値は大きくなる事が予測できる。

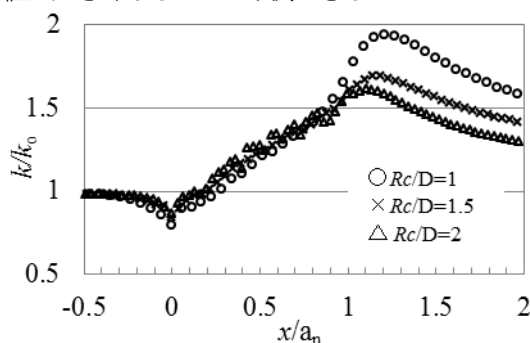


Fig.4 Shape factor: curvature dependence.

6. 結言

本数値計算の妥当性を過去の実験データと比較し、エルボ管における物質移動係数 k 及び形状係数 k/k_0 , 最大腐食箇所 x_{max} の予測をおこなった。

x_{max} は Re 数や曲率半径 Rc/D に依存せず、曲がり部下流域の外側ライン上にあることがわかった。また x_{max} は実距離を円弧長さ a_n で規格化すると曲率半径 Rc/D が大きくなるにつれて曲がり部出口に近づく。物質移行係数の最大値 k_{max} は、 Re 数依存性が小さく $1 \leq Rc/D \leq 2$ の範囲では Rc/D が小さくなると k_{max} が大きくなる事がわかった。

参考文献

- (1) H. G. Heitmann, P. Schub, "Initial experience gained with a high pH value in the secondary system of PWRs"
- (2) Shaw & Hanratty, AIChE J., 23-1 (1977), 28.
- (3) University of California Publications in Engineering, Col. 2, No. 13, (1930), pp. 443-461
- (4) Son, J. S. and Hanratty, T. J., AIChE J., Vol. 13, No. 4 (1967), pp. 689-696.

(平成 25 年 6 月 21 日)

