配管減肉のモニタリングと予測に基づく配管システムのリスク管理 (3) 固液混相流条件下における流れ加速型腐食の減肉挙動評価

Piping System, Risk Management based on Wall Thinning Monitoring and Prediction (3) Evaluation of Wall Thinning Profile by Flow Accelerated Corrosion under Solid-Liquid Multiphase Flow

電力中央研究所	渡辺	瞬	Shun WATANABE	会員
電力中央研究所	森田	良	Ryo MORITA	非会員

In the nuclear power plant under the severe accident, it is possible that the debris dust and the metallic powder are immixed in the coolant, and then the flow pattern can become the solid-liquid multiphase flow in the reactor coolant circulation system. In this study, the numerical analysis is conducted in order to evaluate the FAC profile in the piping under the solid-liquid multiphase flow. By using the FAC model, the mass transfer coefficient in the elbow was evaluated. The mass transfer coefficient becomes higher at the inlet of the elbow especially ventral part. And such profiles are obtained from both the single phase flow and the solid-liquid multiphase flow.

Keywords: Pipe wall thinning, Solid-liquid multiphase flow, FAC, Mass transfer coefficient, CFD

1. 緒言

過酷事故を起こした原子力発電所では、廃止措置時の デブリ取り出しの作業に伴って、デブリ粉塵あるいは金 属粉が冷却水に含まれる可能性があり、固液混相流の原 子炉冷却循環システムになることが考えられる。しかし ながら、デブリ粉塵を含む固液混相流条件下での減肉現 象は明らかになっていないため、固液混相流体系による 配管減肉モデルを構築する必要がある。本研究では、固 液混相流体系に適用可能な流動解析モデルを使用し、解 析から得られた結果を、当所で開発した配管減肉モデル に投入することで、固体粒子の特性パラメータに応じた 減肉評価を行う。

2. 配管減肉評価モデル

本研究では、固液混相流を計算するためのモデルとし て Parcel 粒子モデル^[1]を選択した。本モデルは、ある粒子 群を 1 つの塊として取扱い、液相と固相の相互作用は評 価可能であるものの粒子間の相互作用を考慮しないため、 粒子 1 つ 1 つを個別に扱うモデルに比べて計算負荷が軽 いという特徴を持つ。また、壁面第一セルにおける物質 移動係数は、当所のモデルである式(1)により算出する。 このモデルは、直管条件の摩擦速度に変動流速を加味す



Fig.1 Pipe geometry and coordinate system

ることで、偏流による物質移動効果の増大を考慮に入れ たものである^[2]。ここで、 k_{Me} 、 k_{M0} はそれぞれ、偏流条件、 直管条件における物質移動係数を表す。また、 U_{R} 、 U_{0} はそれぞれ偏流条件、直管条件における摩擦速度、 α は レイノルズ数の効果を表す定数、nは壁面近傍の流速勾配 に関わる定数である。右辺を決定する際に、当該セルの 局所流速、乱流エネルギー、壁面距離を使用する。

$$k_{Me} = k_{M0} \left(\frac{U_{\infty}}{U_{r0}} \right)^{\alpha^{\frac{n+1}{n}}} \tag{1}$$

3. 固液混相流条件下における評価体系

固液混相流の評価体系は、図1に示すエルボ体系であ り、流入方向と同一の方向に重力が作用している。エル ボの曲率半径は1.5Dであり、エルボの上流と下流に20D の助走区間を設けた。また、表1のように、本報では、 粒子パラメータとして粒子径を設定した(粒径分布は未 考慮)。なお、今回用いた粒子の形状は球形である。

連絡先: 渡辺瞬、〒240-0196 神奈川県横須賀市 長坂 2-6-1、一般財団法人 電力中央研究所 E-mail: w-shun@criepi.denken.or.jp

Table 1 Evaluation conditions

久 川	CFD解析における設定値		
采件	液単相流	固液混相流	
配管体系	直管+エルボ	直管+エルボ	
流入圧力	大気圧	大気圧	
流速	5.0 [m/s]	5.0 [m/s]	
温度	20 [°C]	20 [°C]	
水の密度	997.6 [kg/m ³]	997.6 [kg/m ³]	
配管内径	50 [mm]	50 [mm]	
粒子比重	-	$5.0 [g/cm^3]$	
粒子径	-	10, 30, 100 [µm]	
粒子流量	-	10 ¹¹ [個/s]	
粒子濃度(体積分率)	-	0.5~15%	
粒子形状	-	球形	

4. 減肉挙動評価結果および考察

図2に、エルボの各断面における流速分布を示す。断面の位置や配管径方向位置については、図1の座標系の通りであり、局所流速uを入口平均流速umで除した値を示した。固液混相流体系においては、液単相流体系と同様に、エルボ部入口で高流速領域が形成し、エルボ部出口腹側では剥離による低流速領域が生じることが分かった。その一方で、混入する粒子径 dpが大きいほど配管の主流と壁面側の流速差が拡大する傾向が認められた。





流動解析結果に、当所の減肉評価モデルを適用してエ ルボ部近傍の物質移動係数を評価した。その結果、図 3 に示すように、両体系において、エルボ部入口の腹側お よびエルボ部中腹からエルボ部下流の側面側に物質移動 係数の高い領域が見られた。一方、固液混相流体系では、 液単相流条件に比べて、物質移動係数の高い領域が拡大 することが確認され、特にエルボ部の側面においてその 傾向が顕著に表れることが分かった。

謝辞

本研究の一部は、「文部科学省英知を結集した原子力科 学技術・人材育成推進事業(日仏)」により実施された「配 管減肉のモニタリングと予測に基づく配管システムのリ スク管理」の成果である。

参考文献

- 渡邊他、「乱流混合層中の粒子挙動に及ぼす代表粒子 モデルの影響」、J. Soc. Powder Technol., Japan, 51, 846-855 (2014)
- [2] 米田 他、「流れ加速型腐食に対する影響因子の定量的な評価(その4)」、電中研研究報告 L09006、(2010)