

配管減肉・減肉耐震評価

背景・目的

長期運転経年炉で考慮すべき事象の一つに、配管での流れ加速型腐食（FAC）および液滴衝撃エロージョン（LDI）による減肉現象がある。肉厚測定に基づいて減肉率と余寿命が管理されているが、定期検査あたり数百箇所、多い場合には千箇所を超える肉厚測定が行われている。

本課題では、肉厚測定箇所の重点化などを目的として、FAC、LDI に対して局所的な減肉分布まで予測可能な評価法を開発する。また、減肉した配管の耐震評価について、現状では全面減肉を仮定した保守的な評価が要求されているが、LDI による局所減肉の場合は減肉していない配管に近い強度をもつことを示すことにより、判断基準の合理化に資する。

主な成果

1. FAC・LDI 減肉予測評価モデルの予測性能向上への取り組み

- FAC について、当研究所はこれまで給復水系など単相流の系統を対象とし、炭素鋼の腐食挙動と溶解した鉄イオンの乱流による拡散（物質移動）を考慮した FAC 評価モデルを作成した。同モデルの物質移動係数を PWR 二次系の水質条件下で取得した減肉実験データに基づいて修正し、減肉率の予測精度を向上させた（図1）[L09006]。
- 減肉実験データおよび材料／溶液界面での溶存水素と水素イオン濃度の理論値から、FAC 発生部位における炭素鋼の腐食電位を求めた。本結果を上記モデルに適用し、溶存酸素濃度が FAC 抑制基準値に近づくと急激に腐食電位が高くなる現象を再現できた（図2）[Q09028]。

2. 減肉評価の高速化への取り組み

- 上記 FAC 評価モデルを用い、エルボ・オリフィス等の主要な配管要素について、相対的な減肉傾向を示す「形状係数」を求めた。また、各要素で局所的に顕著な減肉傾向が予想される部位を絞り込んだ（表1）。本結果により、各要素の最大減肉率を詳細な 3次元流動解析によらず簡易な評価式で予測可能とした [L09006]。
- LDI について、当研究所はこれまでベント系など比較的湿り度の低い蒸気系配管エルボ部において LDI の発生箇所や減肉量の評価を可能とする LDI 評価システムを作成した。同システムに対して、減肉量の局所的分布を 3次元流動解析によらず、短時間（10分程度）で 3次元解析とほぼ同等の精度の予測が可能な近似手法を開発・導入した（図3）[L09004]。

3. ハイブリッド動的力学試験システムによる減肉エルボ配管の耐震実験

実機で想定される局所減肉エルボ配管を試験体とし、周辺の直管・枝管・バルブ・サポートなどを数値モデルとして設定した配管系統のハイブリッド地震応答実験を行った。本試験の結果、減肉配管の耐震評価上、全周一樣減肉の条件は保守的であり、局所減肉を考慮することにより評価法を合理化できる見通しを得た（図4）。

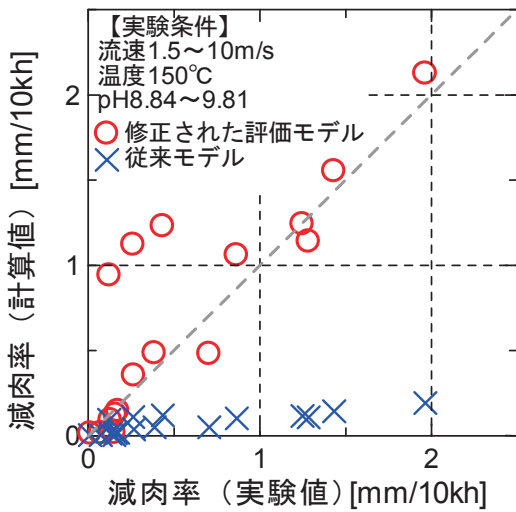


図1 減肉率の予測

PWR二次系の水質条件下で取得したデータを反映することにより、減肉率の予測精度が向上。

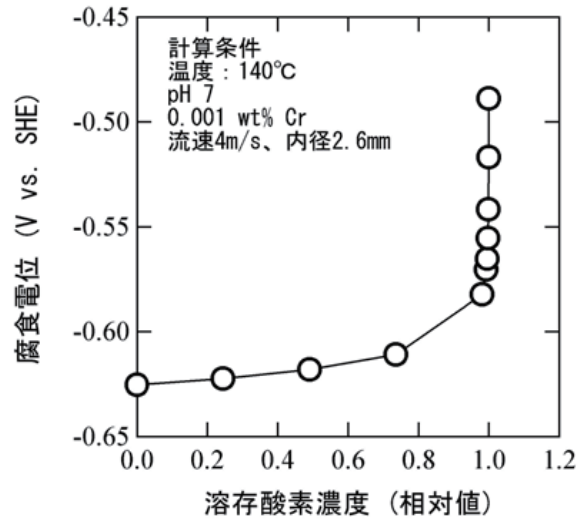


図2 腐食電位に及ぼす溶存酸素濃度の影響

横軸はFAC抑制に必要な溶存酸素濃度に対する相対値で、本成果により溶存酸素のFACに対する影響が評価可能となった。

表1 主要配管要素の減肉傾向評価結果

形状係数は、直管の減肉率に対する比として算出

配管要素	形状係数の試算例 (各値は幾何形状等により変化)	顕著な減肉傾向が 想定される部位
エルボ	4.8 (ショートエルボ)	エルボ腹側の上流側 から中央部の領域
オリフィス	3.8 (絞り口径比0.6)	オリフィスから管内径 2倍程度下流の直管全周
レジューサ	9.0 (絞り角度20°)	レジューサ下流側の 直管接続部付近の領域
弁(玉型)	10.2 (弁開度100%)	弁直後の下流管の 上部(天側)領域
T管合流部	主管: 7.0、枝管: 3.0 (枝管・主管口径比1)	主管合流後の枝管接続側 の半面領域
T管分岐部	主管: 7.8、枝管: 9.6 (枝管・主管口径比0.66)	管接続部上流側付近から 枝管背側にかけた領域

減肉率[mm/yr]

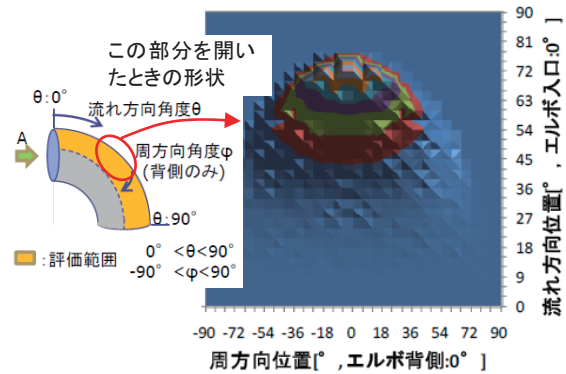
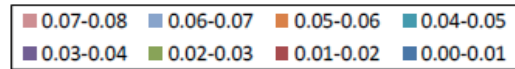
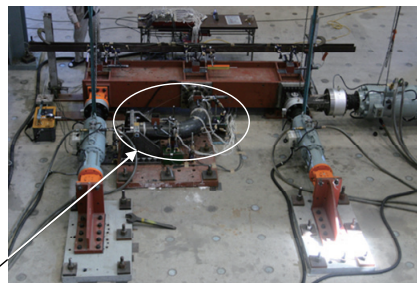
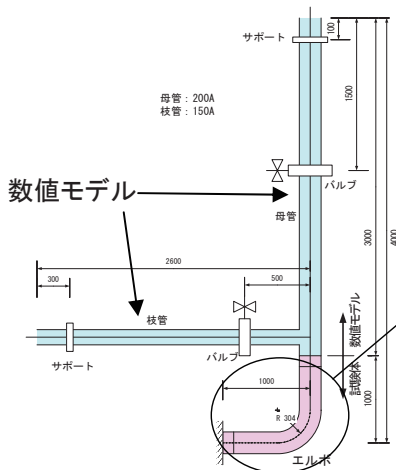


図3 近似手法による減肉率の局所的分布の算出例



減肉したエルボの加震実験部



き裂貫通時の試験体
き裂貫通部から水の流出
が見られる。

図4 評価対象の配管系の例と、数値解析と加震実験とのハイブリッド動的力学試験システムにおける減肉エルボ部の载荷状況およびき裂貫通時の試験体の状況

同一の加震条件下で、全面減肉させた配管ではき裂が発生したが、健全配管および背側局所減肉配管ではき裂は発生しなかった。