

廃ゼオライトの長期保管方策の検討

(16) 残水浸透挙動を考慮したモデルによる使用済ゼオライト吸着塔内の数値解析

Consideration for long-term storage of a spent zeolite adsorption vessel

(16) Numerical simulation of inner used zeolite vessel including permeation model of remained contaminated water

*宇留賀 和義¹, 塚田 毅志¹, 山岸 功², 寺田 敦彦²

¹電力中央研究所, ²日本原子力研究開発機構

福島第一原子力発電所の汚染水処理に使用されたゼオライト吸着塔の保管時の塔内挙動を予測している。内部の残水の蒸発・凝縮およびゼオライトへの浸透について、試験結果に基づくモデルを構築し、数値解析を行った結果、残水に含まれる塩分は吸着塔の中心部に濃縮され、残水中塩分濃度は減少することがわかった。

キーワード: 福島第一原子力発電所, 汚染滞留水, ゼオライト, 浸透, 腐食

1. 緒言 使用済ゼオライト吸着塔の保管時の塔内挙動を明らかにするため、これまでに、1/4 サイズの吸着塔モデルおよび実規模吸着塔を使用し、塔中心部分を加熱する試験を実施した^{1,2)}。この結果、塔内に残留した汚染水(残水)は、ゼオライトへの浸透で塔中心部分に移動した後、水分は蒸発して塔内を還流する一方で、塩分は蒸発しないため蒸発界面に固定され、結果として残水中の塩分(Cl⁻)濃度は時間と共に減少した。塩分濃度の減少は吸着塔容器の腐食リスク低減に寄与することから、現在、実吸着塔での残水挙動について数値計算による推定を進めている。本研究では、これまでに別途カラム試験で取得したゼオライトへの残水の浸透挙動³⁾をモデル化して数値計算に反映し、上記の吸着塔試験結果と計算結果を比較検討した。

2. 数値モデル 残水の移動は毛細管凝縮によるゼオライト充填層への浸透であるとして、ゼオライト粒子間および粒子内に径の異なる3種類の毛細管が存在すると仮定した。毛細管内は Hagen-Poiseuille 流れとした場合、単位時間に輸送される残水量 Q (kg/m²/s)は、

$$Q = \frac{\pi k \rho r_i^3}{8 \mu L} (2T \cos \theta - \rho g r_i L) \left(n_{max,i} - \frac{(n_{max,i} - n_{min,i})L}{L_{max,i}} \right)$$

となる。ここで、添え字 i ($i=1,2,3$)は3種類の毛細管を表し、 r は毛細管半径(m)、 L は浸透距離(m)、 μ は残水粘度(Pa·s)、 T は残水表面張力(N·m)、 θ は接触角、 ρ は残水密度(kg/m³)、 g は重力加速度(m/s²)、 k は流路抵抗(-)、 n_{max} および n_{min} は単位面積当たりの最大・最小流路数(m²)、 L_{max} は最大浸透距離である。各係数値を表1に示す。塩分については、残水にすべて溶解し、上記の浸透に伴って移動するが、残水蒸発時にはその場に留まり、濃縮されることとした。熱の輸送は計算せず、与えられた温度条件下での飽和水蒸気濃度から、残水の蒸発量および水蒸気の凝縮量を計算した。水蒸気は濃度拡散による移動を考慮し、対流は検討外とした。

表1 各パラメータの値

i	1	2	3
r	2.50E-04	2.20E-04	5.00E-06
k	8.00E-03	1.00E-05	5.00E-06
n_{max}	2.76E+06	3.43E+06	4.09E+09
n_{min}	2.71E+06	2.18E+06	1.28E+09

3. 結果および考察 1/4 サイズの吸着塔モデルを用いた試験について計算した結果、残水中の塩分は塔中心部に濃縮される現象は再現できた。一方で、塔底部の残水中 Cl⁻濃度は、試験では約20日でほぼゼロとなったのに対し、計算では160日程度を要した(図1)。Cl⁻濃度の減少は、蒸発残水が凝縮して還流し、底部に溜まった残水と混合されることで生じると推定された。この混合を再現するため、底部の残水中 Cl⁻濃度は常に混合されて均一となる条件をモデルに追加したところ、減少に要する期間は80日程度に改善された。試験値との乖離をさらに減少させるには、還流水がより多く底部に輸送されるチャネリング等の現象について考慮する必要がある。本計算では、塩分の減少に要する期間の妥当性については検討の余地があるが、定性的な挙動については示すことができたといえる。発表では実機の解析例も報告する。

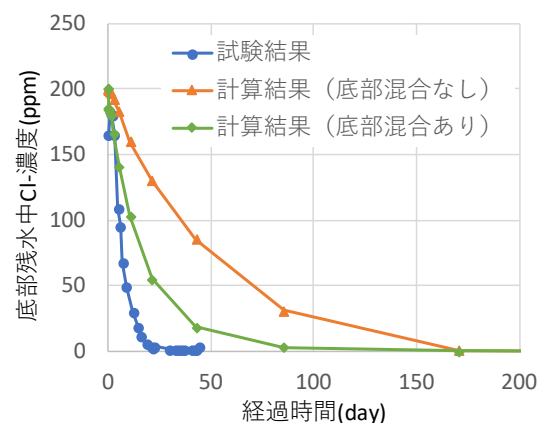


図1 吸着塔底部残水中 Cl⁻濃度の時間変化

- 1) 宇留賀, 塚田, 山岸, 寺田, 内山, 日本原子力学会 2015 秋の大会, I19.
- 2) 山岸, 有坂, 佐藤, 寺田, 日本原子力学会 2019 秋の大会, 1B03.
- 3) 宇留賀, 塚田, 寺田, 山岸, 日本原子力学会 2018 秋の大会, 2G01.

*Kazuyoshi Uruga¹, Takeshi Tsukada¹, Isao Yamagishi², Atsuhiko Terada²

¹Central Research Institute of Electric Power Industry, ²Japan Atomic Energy Agency