

高速ろ過装置設計諸元の基礎的な検討

淵脇 哲司, 麻田 拓矢

1. 緒 言

イオン交換膜製塩工場の海水濃縮工程である電気透析槽（以下、電槽と略記）は陽、陰イオン交換膜が狭い間隔（0.3～0.75 mm）で交互に配列した構造であり、この間隙に海水が供給される。そのため、膜面などに海水中の濁質が付着すると流路閉塞を生じ易く、場合によっては流路閉塞が原因となって水分解などの運転トラブルが発生する。

そのため、製塩工場では、海水の前処理装置として砂ろ過装置を用い、近隣沿岸より取水した海水を2段ろ過し、上水と同程度まで清澄化して電槽に供給している。しかし、海水中の濁質粒子の電槽海水流路への付着を完全に抑制することは困難であり、前述した運転トラブルを回避するため、定期的に電槽の解体洗浄を行っている。

砂ろ過器は、空隙率が小さいために、通水抵抗が大きく、製塩工場における装置の処理速度は8～15 m/h程度と小さい¹⁾。また、所要のろ過性能に到達するまでの時間（清澄化時間）が長いことなどの問題点がある。

近年、繊維状ろ材を用いたろ過器が開発されている²⁻⁴⁾。繊維状ろ材は、ろ層の空隙率が80～90%と砂の2倍以上高く、通水抵抗は小さいため、高速処理が可能である。しかし、繊維状ろ材を用いたろ過器は、下水道処理や工業排水など、高濁質の1次処理への適用が主流で、上水程度の清澄化が必要な製塩工程への適用を検討した研究はほとんど報告されていない。

そこで、本研究では、海水前処理装置のろ過性能の向上、装置のコンパクト化を目的に、繊維状ろ材を用いたろ過装置のろ過性能、装置構造について検討した。

2. 装置の基本的な考え方

装置の目標性能は、取水した海水を1段処理で清澄化すること、装置の設置面積を現状の1/5～1/10にコンパクト化することとした。また、ろ過海水水質については、水分解などの運転トラブルが生じない水質はFI値で3.5～4.0とされていることから¹⁾、FI = 3.5とした。

ろ材に関しては、濁質量が立地条件、季節により大きく変動する海水¹⁾の高速処理を可能とするため、繊維状ろ材を選定した。また、繊維状ろ材の仕様としては、圧

縮性が高く、規則的に積層する粒状形の構成が適切と考え、柔軟性のある不織布を小片状に裁断し、ろ材として用いた。

3. 実 験

3.1 実験装置および方法

実験に用いたろ過装置の概要図を図1に示す。ろ過装置は圧力式であり、ろ過装置本体は内径100, 300, および500 mm（高さ1000 mm）の3種類の透明塩化ビニル管を用い、ろ材を層高450 mmに設定して充填した。実験は、エア抜きバルブを開放した状態で、ポンプにて海水を装置上部に60～120 m/hの流速で供給し、装置内部の空気を排出した後、同バルブを閉じろ過運転を開始した。また、ろ過運転では、ろ過器入口配管に設置した凝集剤添加口から、所定量の凝集剤を供給海水に添加した。

ろ材は東洋紡績株製の厚さ約5 mmの柔軟性のある不織布を図2に示すように1 cm角に裁断（以下、不織布と略記）したものをを用いた。凝集剤は中山⁵⁾、吉田ら⁶⁾の報告を参考に塩化第二鉄を選定し、海水中の鉄濃度が0.25～1.0 mg/Lになるよう添加した。ろ過器の供給海水には、当研究所で取水した相模湾の海水を使用した。

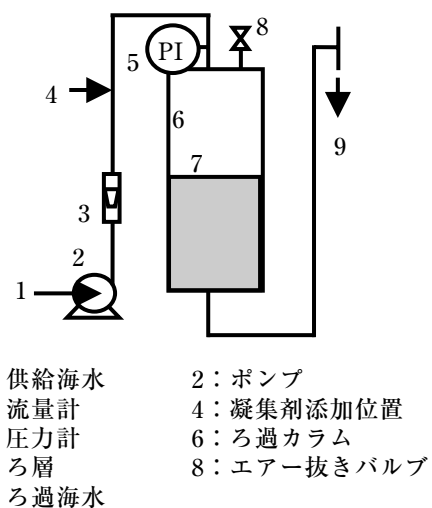


図1 実験装置の概要



図2 繊維状ろ材（不織布）の外観

なお、以降の検討では、特記しない場合、ろ過カラム内径300 mm，ろ過流速60 m/hとした。

3.2 ろ過性能の評価法

ろ過性能の評価には、圧力損失上昇速度 (ΔP)，ろ層の圧密度 (α) およびろ過海水のFI値を用いた。各々の測定および算出方法を以下に示す。

圧力損失上昇速度 (ΔP) は、圧力計によりろ過器入口圧を連続測定し、ろ過初期入口圧 (P_0) とろ過器入口圧 (P_1)，ろ過経過時間 (t) から以下の式により算出した。

$$\Delta P = (P_1 - P_0) / t \quad (1)$$

ΔP (kPa/h)：圧力損失上昇速度

P_0 (kPa)：ろ過初期入口圧

P_1 (kPa)：ろ過器入口圧 t (h)：ろ過経過時間

圧密度 (α) は、0.5～1時間ごとにろ材層高を計測し、充填時のろ材層高 (H_0) とろ過運転におけるろ材層高 (H_1) から以下の式により算出した。

$$\alpha = H_0 / H_1 \quad (2)$$

α (-)：圧密度 H_0 (mm)：充填時のろ材層高

H_1 (mm)：ろ過運転時のろ材層高

なお、圧密度は値が大きいほどろ層の圧縮度が高いことを示す。

FI値は、経過時間毎にサンプリングを行ったろ過海水を206 kPaの定圧下で孔径0.45 μm のフィルター(MILLIPORE製)を用いてろ過し、ろ過初期およびろ過15分後の両試料液500 mlについて、ろ過に要する時間 (t_1 , t_2) を計測し、以下の式により算出した⁷⁾。

$$\text{FI値} = ((1 - t_1/t_2) \times 100) / 15 \quad (3)$$

t_1 (sec)：ろ過初期の試料液(500 ml)ろ過時間

t_2 (sec)：ろ過15分後の試料液(500 ml)ろ過時間

FI値の最大値は6.7であり、清澄化された海水ほど値

は低い。

4. 結果および考察

4.1 凝集剤添加の効果

図3に凝集剤の添加量を変化させた場合のろ過海水のFI値の経時変化を示す。なお、実験に用いた供給海水のFI値は4.9であった。

ろ過海水のFI値は、凝集剤を使用しない場合には4.5程度で推移した。一方、凝集剤を使用した場合、ろ過初期には高い値を示したが、ろ過の経過に伴い、低減した。また、添加量0.5, 1.0 mg/Lの場合には、ろ過経過3時間後には3程度となった。

凝集剤無添加の場合には、海水中の濁質粒子のほとんどはろ層のふるい分け効果を受け難く、また、ろ層内部への堆積も起こり難いため、そのほとんどが漏洩すると考えられた。凝集剤を使用した場合は、ろ過初期には凝集剤の添加により形成したフロックのろ層への堆積が少なく、ふるい分け効果は小さかったが、濁質粒子が徐々に堆積して、ろ層のふるい分け効果が向上することにより、ろ過性能が向上したものと考えられた。

以上のことから、凝集剤の添加では、ろ過初期には濁質の漏洩が認められるが、ろ過海水の清澄化に効果的な方法であることが分かった。また、凝集剤の添加量は、0.5 mg/L以上でほぼ同一であったことから、以降の検討では、凝集剤の添加量は0.5 mg/Lとし、ろ過開始からFI値3.5となるまでの時間を清澄化時間とした。

4.2 圧密度のろ過性能への影響

4.1項の検討により、凝集剤の使用におけるろ過初期の濁質漏洩にはろ層の空隙率の変化が影響すると考えた。

ろ材として柔軟な不織布を用いた場合、ろ層の高さは砂のような非圧縮性のろ材と異なり、ろ過流速やろ過経

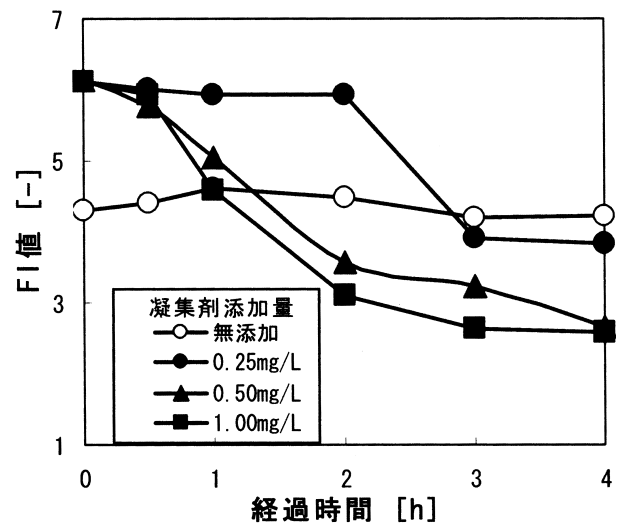


図3 凝集剤添加量とFI値の変化

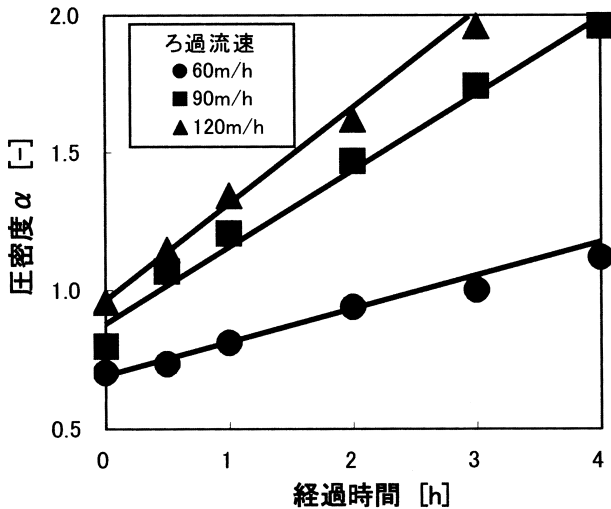


図4 ろ過流速とろ層の圧密度変化

過時間により変化する。図4にろ層の圧密度と流速との関係を示す。ろ層の圧密度は流速の増加にともない増加する傾向があり、圧密度とろ過経過時間とは直線で近似できた。

図5に供給海水FI値4.9におけるろ過流速とろ過海水のFI値との関係を示す。ろ過流速の増加にともない清澄化時間は短縮される傾向にあり、ろ過流速60 m/hで2～3時間、120 m/hではろ過初期でFI値<3.5となった。また、同様の検討を供給海水FI値6.1において実施した結果、清澄化時間は60 m/hで3時間、120 m/hで0.5時間であった。

ここで、清澄化時間は濁質の比堆積量により決定されると仮定すると、ろ過流速120 m/hの清澄化時間は60 m/hの1/2になると考えられるが、実験結果は1/6以下であった。この原因として、図4に示したろ過流速と圧密度の変化がろ過性能に影響すると考えた。

図6にろ層の圧密度(α)とろ過海水のFI値との関係を示す。ろ過海水のFI値は、 $\alpha < 1.1$ ではばらつきが大きく、供給海水のFI値が高い場合には比較的高い値を示した。一方、 $\alpha > 1.1$ では供給海水の濁度に関わらずFI値のばらつきは小さく、3.5以下となった。この結果から、ろ層の圧密度 $\alpha < 1.1$ ではろ層の空隙率が大きいため濁質粒子が漏洩し易く、ろ層の圧密度 $\alpha > 1.1$ では供給海水の濁度に関係なく、濁質粒子の捕捉を効果的に行い得るろ層の空隙率に到達しているものと考えた。

4.3 装置構造の検討

これまでの検討により、凝集剤を用いた場合、ろ過初期の圧密度 $\alpha > 1.1$ とすることで、清澄化時間を短縮でき、ろ過海水のFI値が3.5以下になることが分かった。しかし、ろ過流速を増加させ $\alpha > 1.1$ とする操作は、ろ層の空隙率を低下させ、流動抵抗が増大するため、圧力

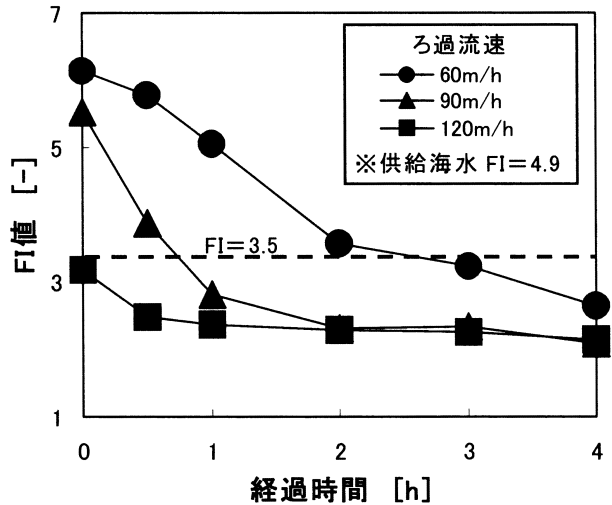


図5 ろ過流速を変化させた場合のFI値の変化

損失を増大させる。

図4に示したろ過流速におけるろ過初期の圧力損失は、各々22kPa (60 m/h)、26 kPa (90 m/h) および37kPa (120 m/h)であった。また、圧力損失の上昇速度は各々5 kPa/h (60 m/h)、50kPa/h (90 m/h) および60kPa/h (120 m/h)であった。通常、圧力式ろ過器の許容圧力は200 kPaであるため⁸⁾、ろ過流速90 m/h以上では1日あたりの逆洗頻度が多くなり、装置の稼働効率が低下する。

一方、ろ過流速60 m/hの条件は、製塩工場の4～8倍の処理速度であり、圧力損失の上昇速度が遅く、12時間以上の運転が可能である。そこで、ろ過装置の処理速度を60 m/hに設定し、圧力損失の上昇を抑制し、且つ清澄化時間の短縮が可能なるろ過システムについて検討し

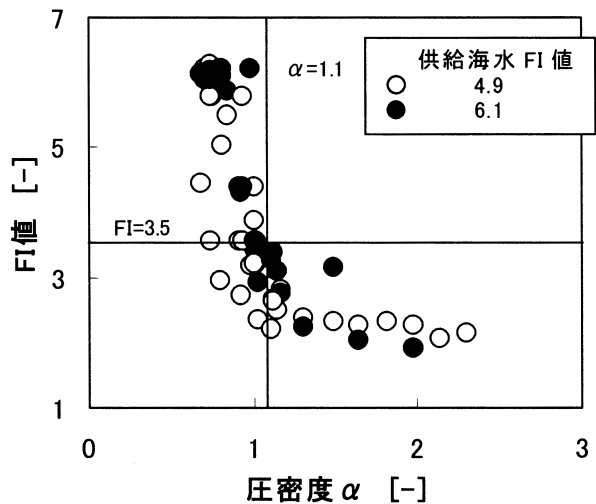


図6 ろ層の圧密度とろ過海水FI値

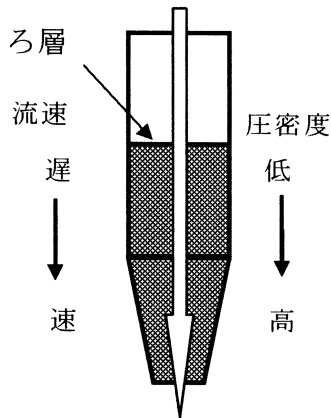


図7 装置構造の考え方

た。

図7に装置構造の基本的な考え方を示す。装置は円筒形カラムの下部にろ過器出口に向かって絞り込まれるコーンを設置する構造とした。このような装置構造を用いることにより、装置内部流速は上部では遅く、下部では速くなるため、ろ層の圧密度は下部に向かって高くなる。これにより、圧密度の高い装置下部では緻密なろ過が行われるが、圧密度が低い装置上部では濁質の粗取りが行われるため、緻密層におけるろ過閉塞の進行が低減され、清澄化時間が短く、圧力損失の上昇速度が遅いろ過が可能になると考えた。

この装置構造の有効性について検討するため、図7に示したコーンを上部3：下部2の口径比で、高さ500mmに設定し、ろ材を装置下部より高さ1000mmに充填した装置を用いてろ過実験を実施した。なお、この場合のろ過流速はろ過器入口で60 m/h、出口で135 m/hとなる。図8にろ過海水のFI値の経時変化を例示する。ろ過海水のFI値は、ろ過開始1時間後には3.5以下となった。また、この時のろ過初期の圧力損失は24 kPa、圧力損失の上昇速度は12 kPa/hであり、供給海水のFI値の影響は認められなかったことから、約12時間のろ過運転の持続が可能であると考えられた。

以上の結果から、図7に示した装置構造は清澄化時間の短縮、圧力損失上昇速度の低減に有効であることが明らかとなった。

5. 結 言

イオン交換膜製塩工場における海水前処理装置の高性能化を目的に、繊維状ろ材を用いるろ過装置開発の可能性を検討した。本研究では、圧密充填可能な不織布をろ材として採用し、ろ過性能に関わる要因を検討した。その結果、ろ過性能にはろ層の圧密度が関係し、圧密度が高くなるほどろ過海水の水質は向上し、清澄化時間も短縮できることが明らかとなった。しかし、圧密度が高く

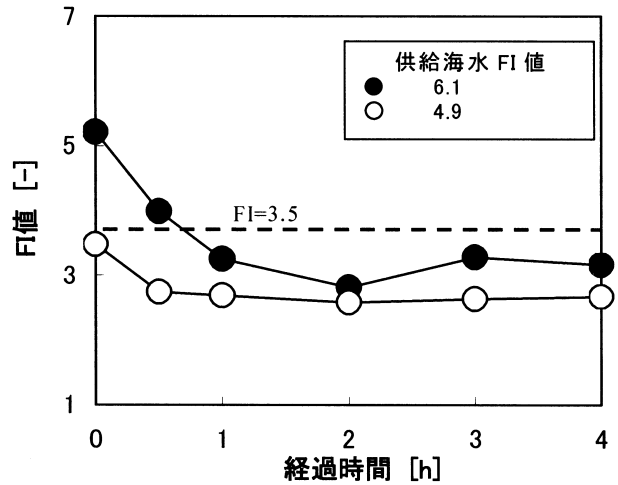


図8 コーン構造を付加した場合のFI値の変化

なるとろ過装置の圧力上昇が早く、逆洗周期が短くなることもわかった。そこで、円筒形のカラム下部にコーンを設置した構造を考案し、円筒部で濁質粒子の粗取りを行い、残った粒子をコーン部で効率的に捕捉することを検討した。この検討により、ろ過流速60 m/hで、清澄化時間1時間、清澄化時間以降のろ過海水のFI値を3.5以下、逆洗間隔を12時間以上とすることができ、実用化に関する設計諸元を得ることができた。

引用文献

- 1) 尾方昇, “製塩の工学Ⅱ採かん編”, pp. 16-41, (社)日本塩工業会 (1995)
- 2) オルガノ(株), “長繊維ろ材式高速ろ過装置について”, 工業用水, **455**, p. 2 (1998)
- 3) 石橋忠也, 藤井正博, “繊維担体を用いたろ過システムの開発”, 海水誌, **48**, p.38 (1994)
- 4) 竹島正, 畑津十四日, “高速ろ過法の評価に関する調査”, 日本下水道事業団技術開発部報, p. 83 (1994)
- 5) 中山道夫, “海水前処理”, 日塩誌, **17**, p. 197 (1963)
- 6) 吉田実, 清水勉昭, “海水濁度成分の除去”, 日本専売公社防府試験場報告, **24**, p.11 (1971)
- 7) 国定勇一, “海水濁度の測定技術”, 海水誌, **33**, p. 184 (1979)
- 8) 山本和夫, 滝沢智, “急速ろ過・生物ろ過・膜ろ過”, pp. 116-169, 技報堂出版 (1994)

Abstract**Basic Study for Designing High-Speed Filtration System**

Tetsushi FUCHIWAKI and Takuya ASADA

A filtration system for improving the seawater pretreatment process of an ion exchange membrane salt-manufacturing factory was examined using a fibroid filter medium. In this study, the factor of the filter performance in the case of using a nonwoven fabric as a filter medium, which can be consolidated in the filtration columns, was examined. The filter performance of this media filtration of seawater was dependent on degree of consolidation of the filter layer. Consolidation at a high degree improved filtrated seawater quality and shortened the clarification time of filtrated seawater, but shortened the cycle of backwash due to the increase in the rise pressure loss of the filter in the short term. Then, we examined the improvement in filter performance on the basis of the improvement in filter structure. The structure is a conical-type column under a cylindrical-type column. Using this structure it was considered that suspended particles in seawater can be roughly caught in the cylinder and particles that pass through the cylinder part can be efficiently caught in the cone part. As a result, this filtration system, under the condition of a 60m/hr flow rate, could shorten the clarification time of filtrated seawater to 1 hour, clarify seawater with an FI value of 3.5 or less after the clarification time and adjust the cycle of backwash to 12 hours or more. Thus, the design parameter of the high-speed filtration system for practical use was obtained by this study.