

浄水処理用モノリス型セラミック膜システムの ろ過特性に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、緩速ろ過、急速ろ過に引き続く新たな浄水処理方式として膜ろ過が導入された。90年代半ばより小規模水道から導入を開始した膜ろ過方式は、新設・更新を迎える大規模浄水場の浄水方式としても検討されるようになった。しかしながら、今後、膜ろ過方式をより多くの水道事業で採択し、また多様な原水水質や施設需要に応えるためには、この方式に携わるより多数の人に膜ろ過技術を正しく示していくことが必要である。

本研究が対象とするモノリス型セラミック膜浄水システムは、前凝集を組み合わせることを標準としている。膜ろ過による水質的な変換と膜ファウリングは、この凝集操作を前段に構えることにより多くのメリットが得られるとともに、この両者は凝集、フロキュレーション、フロック粒子を通じて密接に関係している。

そこで、本研究では、前凝集を伴うモノリス型セラミック膜のろ過特性を、自らも含めて正しく理解するために、凝集・フロキュレーション・フロック粒子の視点から技術的な整理を試みることを目的とした。まず、膜モジュール内の流動と微粒子の挙動に関する基礎的な特性を踏まえて固液分離装置としてユニークなろ過機能が発現する理由を明らかにし、その後、今後必要とされるモノリス型セラミック膜の高流束域における膜ファウリング因子が微細な凝集フロック粒子であること、これに対して逆洗強度の強化により対処できることを示し、最後に前凝集操作における Shear Cycle に留意すれば、強化逆洗と同様なファウリング低減効果を獲得できることを示した。

第1章の「序論」では、海外の膜ろ過浄水技術の現状、セラミック膜の歴史と概要、セラミック膜浄水システムの既往の研究、モノリス型セラミック膜の開発経緯と技術の概要、本研究の目的と構成について述べた。

第2章の「モノリス膜モジュール内の流動モデルと微粒子の挙動」では、モノリス型セラミック膜および膜モジュール内の流動モデルとその流動式の近似解を新たに提案し、デッドエンドで運転した場合の原水側流動パターンとその流動における微粒子挙動について数値計算を交えて予測した。

第3章の「モジュール内の流動と微粒子挙動の実験」では、凝集フロックを利用して膜モジュール内の目視実験を試み、凝集・膜ろ過過程のフロック粒子径変化と膜モジュール内の固形物蓄積分布を実験的に測定して前章の数値計算による予測を検証し、また、膜ろ過による濃縮を伴うチャンネル内の層流流動が極めて効率の良いフロキュレーションを引き起こしていることも見出し、凝集水に対するモノリス膜モジュールのユニークで優れた固液分離機能が発現する理由を明らかにした。

第4章の「高流束域における逆洗強度とファウリング」では、高流束域で使用するモノリス膜の不可逆ファウリングの因子として「微粒子」に着目し、実験データと考察に基づいて 0.05 ないし $1.0\mu\text{m}$ の凝集フロック粒子が不可逆ファウリングを引き起こしているこ

とを指摘し、さらに逆洗強度因子と微粒子による不可逆ファウリングの関係について明らかにした。

第5章の「高流束条件下の前凝集処理」では、モノリス型セラミック膜の前凝集に着目し、その前凝集の構成と高流束域における不可逆ファウリングの実験検証結果を踏まえてモノリス膜に望ましい前凝集の要件を具体的に整理・考察するとともに、本研究以降に残される今後の研究課題や問題点についても述べた。

これをまとめれば、モノリス型セラミック膜のチャンネル内には効率的なフロキュレーション場があることを見出し、これがモノリス膜にユニークな固液分離機能を付与することを解明した。また、フロキュレーション機能を含めたチャンネル内層流流動、微粒子による膜ファウリングおよび前凝集の操作条件が凝集フロック粒子を介して密接に関係していることを明らかにした。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 渡 辺 義 公

副 査 教 授 船 水 尚 行

副 査 助 教 授 岡 部 聡

学 位 論 文 題 名

浄水処理用モノリス型セラミック膜システムの ろ過特性に関する研究

近年、緩速ろ過、急速ろ過に引き続く新たな浄水処理方式として膜ろ過が導入された。90年代半ばより小規模水道から導入を開始した膜ろ過方式は、新設・更新を迎える大規模浄水場の浄水方式としても検討されるようになった。しかしながら、今後、膜ろ過方式をより多くの水道事業で採択し、また多様な原水水質や施設需要に応えるためには、この方式に携わるより多数の人に膜ろ過技術を正しく示していくことが重要である。

本研究が対象とするモノリス型セラミック膜浄水システムは、前凝集を組み合わせたことを標準としている。膜ろ過による水質的な変換と膜ファウリングは、この凝集操作を前段に構えることにより多くのメリットが得られるとともに、この両者は凝集、フロキュレーション、フロック粒子を通じて密接に関係している。

そこで、本研究では、前凝集を伴うモノリス型セラミック膜のろ過特性を、自らも含めて正しく理解するために、凝集・フロキュレーション・フロック粒子の視点から技術的な整理を試みることを目的としている。まず、膜モジュール内の流動と微粒子の挙動に関する基礎的な特性を踏まえて固液分離装置としてユニークなろ過機能が発現する理由を明らかにし、その後、今後に必要なとされるモノリス型セラミック膜の高流束域における膜ファウリング因子が微細な凝集フロック粒子であること、これに対して逆洗強度の強化により対処できることを示し、最後に前凝集操作における Shear Cycle に留意すれば、強化逆洗と同様なファウリング低減効果を獲得できることを示した独創性と新規性に富む研究である。

第1章の「序論」では、海外の膜ろ過浄水技術の現状、セラミック膜の歴史と概要、セラミック膜浄水システムの既往の研究、モノリス型セラミック膜の開発経緯と技術の概要、本研究の目的と構成について述べている。

第2章の「モノリス膜モジュール内の流動モデルと微粒子の挙動」では、モノリス型セラミック膜および膜モジュール内の流動モデルとその流動式の近似解を新たに提案し、デッドエンドで運転した場合の原水側流動パターンとその流動における微粒子挙動について数値計算を交えて予測している。

第3章の「モジュール内の流動と微粒子挙動の実験」では、凝集フロックを利用して膜モジュール内の目視実験を試み、凝集・膜ろ過過程のフロック粒子径変化と膜モジュール内の固形物蓄積分布を実験的に測定して前章の数値計算による予測を検証し、また、膜ろ過による濃縮を伴うチャンネル内の層流流動が極めて効率の良いフロキュレーションを引き

起こしていることも見出し、凝集水に対するモノリス膜モジュールのユニークで優れた固液分離機能が発現する理由を明らかにしている。

第4章の「高流束域における逆洗強度とファウリング」では、高流束域で使用するモノリス膜の不可逆ファウリングの因子として「微粒子」に着目し、実験データと考察に基づいて0.05ないし1.0 μm の凝集フロック粒子が不可逆ファウリングを引き起こしていることを指摘し、さらに逆洗強度因子と微粒子による不可逆ファウリングの関係について明らかにしている。

第5章の「高流束条件下の前凝集処理」では、モノリス型セラミック膜の前凝集に着目し、その前凝集の構成と高流束域における不可逆ファウリングの実験検証結果を踏まえてモノリス膜に望ましい前凝集の要件を具体的に整理・考察するとともに、本研究以降に残される今後の研究課題や問題点についても述べている。

これを要するに、著者はモノリス型セラミック膜のチャンネル内には効率的なフロキュレーション場があることを見出し、これがモノリス膜にユニークな固液分離機能を付与することを解明している。また、フロキュレーション機能を含めたチャンネル内層流流動、微粒子による膜ファウリングおよび前凝集の操作条件が凝集フロック粒子を介して密接に関係していることを実証したものであり、環境工学、水処理工学および膜分離工学の新展開に対して貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。