

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26340106

研究課題名(和文) 微細珪砂を用いた高機能砂ろ過法の開発

研究課題名(英文) Development of Enhanced Filtration Process Packed with Super Fine Silica Sand

研究代表者

笠原 伸介 (Kasahara, Shinsuke)

大阪工業大学・工学部・准教授

研究者番号：90309170

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：今後の水供給を支える小規模分散型施設に適応するため、設計指針値を下回る微細珪砂を用いた新しい砂ろ過法を考案した。

まず、操作諸元と基本性能を調べたところ、(1) 微細珪砂のろ層厚を10cmとすれば従来のろ過法と同等の除濁効果が得られること、(2) 微細珪砂を用いると、突発的な原水濁度変動が生じてても、安定したろ過水質が得られることがわかった。

次に、沈降速度の遅い微細珪砂の流動化手法としてパドル攪拌洗浄法を考案し、適用条件と洗浄効果を調べたところ、(3) 抑留物の剥離と微細化は砂上水の攪拌G値に依存すること、(4) 洗浄条件を最適化すれば、従来の約1/4の水量で95%以上の濁質が排出されることがわかった。

研究成果の概要(英文)：A novel sand filtration process packed with super fine silica sand was developed for applying to small-scale distributed water infrastructure.

Evaluation results of the fundamental filter performance indicated that (1) removal efficiencies of particle matters obtained by this filter with the depth of 10cm were comparable with those obtained by the conventional rapid sand filter, (2) even if influent turbidities increased rapidly, those in the effluent from this filter were stable.

In addition, the filter backwash method with mechanical paddle mixing was proposed. Evaluation results on conditions and effects indicated that (3) effects of deposit removal from the filter and homogenization of particles in suspension were dependent on G value for mixing of water on the filter, (4) although amounts of backwash water required for this filter were about 1/4 for the conventional rapid sand filter, over 95% deposits could be removed by optimizing the backwash conditions.

研究分野：水環境工学

キーワード：砂ろ過 凝集 逆洗 微細珪砂

1. 研究開始当初の背景

気候変動への適応を背景に用水供給における分散型水利用の必要性が指摘される中、小規模水処理施設の重要性が高まりつつある。本来、これらの小規模施設では、維持管理の負担を軽減すべく、低コストであると同時に、水質安定性が高く運転管理が容易であること、且つ、構造がシンプルで保守管理が容易であることが求められる。しかし、一般的な急速ろ過施設は、専門知識を有する水道技術者によって維持管理されることを前提としており、目標水質を達成しつつろ過全体で濁質を捕捉することで損失水頭の発生を抑制し、極力小さな過面積で多くのろ過水量を得ることに主眼が置かれている。よって、その設計操作においては、薬注条件、ろ過水質、ろ過速度などの厳格な管理が求められる。

そこで、本研究では、小規模施設にも適用し易い簡素なろ過方式として、水道施設設計指針の規定範囲を下回る微細珪砂（有効径 0.2 mm、均等係数 1.7）を採用した凝集 + 砂ろ過法を考案した。微細珪砂を用いることでろ層の比表面積（表面積 / 充填体積）を著しく高め、ろ層を浅層化するとともに浅層化に伴う逆洗水量およびポンプ揚呈の削減により、ろ過ポンプ、洗浄ポンプ、貯水タンクなど、各種付帯設備の小型化を目論んだ。

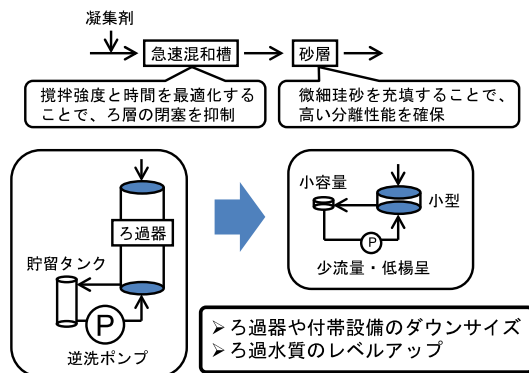


図1 ろ過システムのコンセプト

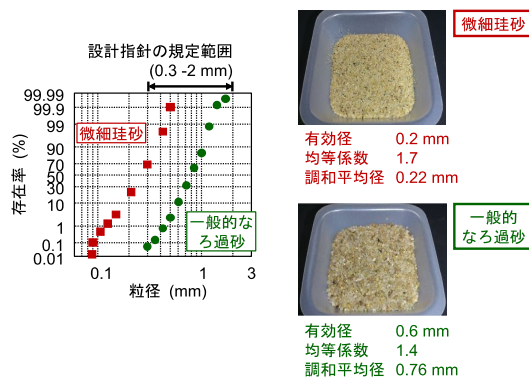


図2 微細珪砂の粒度分布

2. 研究の目的

本研究では、考案したろ過方式の実用化に向け、(1) 基本的なろ過性能および流入水質

変動に伴う凝集不良時の性能安定性を明らかにすること、(2) 流動化し易い微細珪砂に適した新しい層洗浄法としてパドル攪拌洗浄法を考案し、その効果的な適用法と洗浄効果を明らかにすることを目的とした。

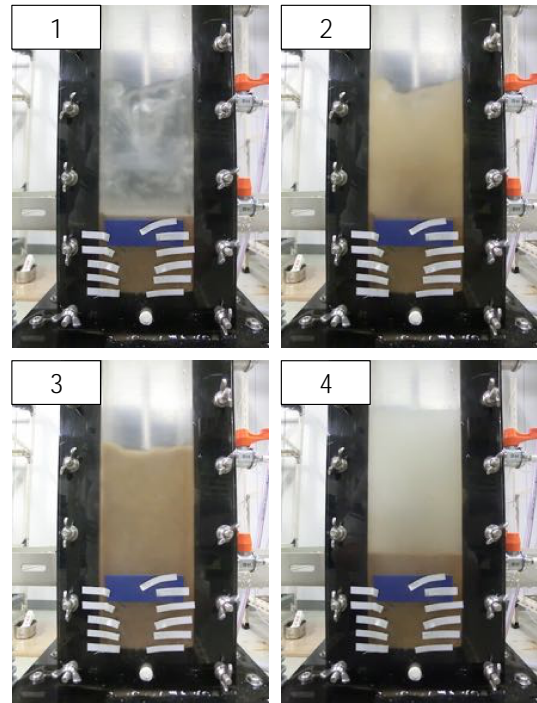


図3 パドル攪拌洗浄法

3. 研究の方法

(1) ろ過プロセスの検討として、ろ層厚、薬注率およびろ過速度を変更した一連の実験を行い、まず、一般的な急速ろ過層（有効径 0.64 mm、均等係数 1.6、ろ層厚 60 cm）と同等の濁度除去率を得るために必要な微細珪砂の充填層厚を決定した。

次に、そのろ層が持つ基本的なろ過性能として、濁度除去率、初期漏出時間および損失水頭を取り上げ、一般的な急速ろ過層との間でろ過性能を比較した。

また、微細珪砂充填ろ層（ろ層厚 10 cm）に対する流入濁度および流入 pH をろ過初期およびろ過水濁度の安定期（熟成後）に一時的に変動させる実験を行い、流入水質の変動に対する緩衝特性（水質安定性）を評価した。

(2) パドル攪拌併用洗浄の検討として、まず、ろ層厚 10 cm の微細珪砂充填ろ層に対する効果的なパドル攪拌条件を探索するため、人工濁質が捕捉されたろ層にパドル攪拌を単独で適用した。濁質の剥離や微細化に必要なパドル攪拌条件を探索した。

次に、ろ過および洗浄後にろ層内に残留する濁質分布を実測し、洗浄工程の進行に伴う濁質剥離・排出効果の推移をモニタリングすることで、効率的な洗浄操作手法の構築と洗浄効果の検証を行った。

4. 研究成果

(1) ろ層厚、薬注率およびろ過速度を変更した一連の実験を行ったところ、微細珪砂をろ層厚 5~10 cm に充填することで一般的な急速ろ過層(ろ層厚 60 cm)と同等の除濁効果が得られること、同じ薬注率とろ過速度を採用した場合、微細珪砂(ろ層厚 10 cm)の方が一般的な急速ろ過層(ろ層厚 60 cm)より約 10 倍高い損失水頭が発現すること、微細珪砂(ろ層厚 10 cm)を採用すると、ろ過速度に関係なくほぼ同等の除濁効果が得られるとともに、低い薬注率でも 0.5~3 μm といった小径粒子に対して高い除去効果を発揮すること、微細珪砂(ろ層厚 10 cm)を採用すると、初期漏出が収束するまでに供給される累積 AI 量が平均 34%低下し、ろ層の早期熟成、ひいては膨大な捨水量が必要となる地下水等の低濁度原水処理に有利となることなどを明らかにした。

(2) 微細珪砂充填ろ層(ろ層厚 10 cm)に対する流入濁度および流入 pH をろ過初期およびろ過水濁度の安定期(熟成後)に一時的に変動させ、微粒子の流出挙動がどのように変化するかをモニタリングしたところ、高流速(ろ速 120 m/d 以上)で熟成後に流入濁度が変動した場合、微細珪砂ろ層で 5 μm 以上の大径粒子が漏出する傾向が見られたが、粒径 5 μm 未満の小径粒子については、ろ速や変動時期に関係なく流入濁度変動が緩和され、小径粒子に対しては凝集不良時でも安定した除去性能が持続することが示された。一方、流入 pH が変動した場合、濃密な熟成層の崩壊に伴う損失水頭の低下やろ過水質の悪化が見られ、特にその傾向は、人工濁質の至適 pH 6.5 から大きく外れるアルカリ側への変動において顕著であった。このことから、pH 変動下での水質安定性を高めるには、アルカリ側で効果の高い凝集剤を選定することが重要と考えられた。

(3) 微細珪砂充填ろ層(ろ層厚 10 cm)に対する効果的なパドル攪拌洗浄条件を探索した。人工濁質が捕捉されたろ層にパドル攪拌を単独で適用したところ、攪拌位置を砂層表面直上とすれば攪拌時間 1 min 以内で十分な洗浄効果が得られること、砂層からの濁質剥離効果および剥離した濁質の微細化効果はパドルによる砂上水の攪拌 G 値に依存し、G 値 = 300 s⁻¹ 以上で必要十分な剥離効果が、G 値 = 500 s⁻¹ 以上で最大の微細化効果がそれぞれ得られることがわかった。

(4) 洗浄工程の進行に伴う残留濁質のろ層内分布の動きを計測したところ、ろ過後は表層 1 cm に全抑留量の 96 %が捕捉され、高い強度でパドル攪拌を行うほどろ層下部の清浄度が損なわれたが、G 値を剥離・排出に必要な最低レベルの 500 s⁻¹ 程度に設定すれば影響範囲は表層約 5 cm に止まり、その後の

水逆洗工程では、わずか 0.2 m/min の逆洗速度でろ層深さ 30 cm 相当の洗浄水を通水するだけで、残留率が 5 %にまで低下することがわかった。この洗浄水量は一般的な急速ろ過層の洗浄(有効径 0.64 mm、ろ層厚 60 cm、逆洗速度 0.6 m/min、膨張率 20 %)に必要な水量の約 1/4 に相当し、提案した洗浄方式を適用すれば高い節水効果の得られることが示された。また、流動状態のろ層からの濁質の分離・排出を促進するため、水逆洗工程におけるろ層の静置・排水回数を増加させたところ、繰り返し回数の増加に伴う洗浄効果の改善が見られ、最終的にはろ層深さ 20 cm 相当の洗浄水量で残留率が 4 %以下にまで低下することが示された。

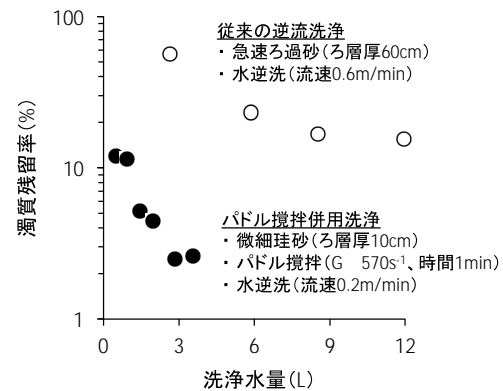


図4 洗浄効率の比較

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 13 件)

永井将貴・笠原伸介・石川宗孝: 微細珪砂を用いた凝集 + 砂ろ過法におけるパドル攪拌洗浄の研究, 第 51 回日本水環境学会年会講演集, pp.432, 2017.3.17 < 熊本大学黒髪キャンパス(熊本県熊本市) >

永井将貴・笠原伸介・石川宗孝: 微細珪砂を用いた凝集 + 砂ろ過法 - パドル攪拌洗浄の有効性と最適攪拌諸元の検討 -, 第 53 回環境工学研究フォーラム講演集 2016.12.7 < 北九州国際会議場(福岡県北九州市) >

永井将貴・笠原伸介・石川宗孝: パドル攪拌を用いた微細珪砂充填ろ層の洗浄再生手法の検討, 日本水環境学会関西支部第 7 回研究発表会, 2016.12.2 < 大阪工業大学うめきたナレッジセンター(大阪府大阪市) >

笠原伸介・永井将貴・石川宗孝: 微細珪砂を用いた凝集 + 砂ろ過法におけるパドル攪拌洗浄の検討, 第 24 回北海道大学衛生工学シンポジウム, 2016.11.15 < 北海道大学工学部フロンティア応用科学研究棟(北海道札幌市) >

永井将貴・笠原伸介・石川宗孝: 微細珪

砂を用いた凝集 + 砂ろ過法におけるパドル攪拌洗浄効果の検討, 平成 28 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集, pp.346-347, 2016.11.11 <京都市勤業館みやこめっせ (京都府京都市)>
永井将貴・笠原伸介・石川宗孝: 微細珪砂を用いた凝集 + 砂ろ過法における流入水質変動の抑制効果, 第 50 回日本水環境学会年会講演集, pp.172, 2016.3.16 <アステイ徳島 (徳島県徳島市)>
永井将貴・笠原伸介・石川宗孝: 微細珪砂を用いた凝集 + 砂ろ過法 - 流入変動に対する緩衝特性の検討 -, 第 52 回環境工学研究フォーラム講演集, pp.13-15, 2015.11.28 <日本大学工学部キャンパス (福島県郡山市)>
永井将貴・笠原伸介・石川宗孝: 微細珪砂を用いた凝集 + 砂ろ過法における流入変動緩衝性能に関する検討, 平成 27 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集, pp.266-267, 2015.10.23 <さいたまスーパーアリーナ (埼玉県さいたま市)>
南修司・永井将貴・笠原伸介・石川宗孝: 微細珪砂を用いた凝集 + 砂ろ過法に関する基礎的研究, 土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集, pp.39-40, 2015.9.17 <岡山大学津島キャンパス (岡山県岡山市)>
南修司・笠原伸介・石川宗孝: 微細珪砂を用いた凝集 + 砂ろ過法におけるろ層厚とろ過速度の検討, 第 49 回日本水環境学会年会講演集, pp.379, 2015.3.18 <金沢大学 (石川県金沢市)>
笠原伸介・南修司・石川宗孝: 微細珪砂を用いた凝集 + 砂ろ過法における設計諸元の検討, 第 22 回北海道大学衛生工学シンポジウム論文集, pp.15, 2014.11.21 <北海道大学工学部フロンティア応用科学研究棟 (北海道札幌市)>
>
S. Kasahara, S. Minami and M. Ishikawa: Performance of Direct Sand Filtration System with Super Fine Silica Sand, Proceedings of 2014 IWA World Water Congress and Exhibition, 2014.9.21-26 <Lisbon (Portugal)>
S. Kasahara, S. Minami and M. Ishikawa: Performance of Shallow Bed Filter Packed with Super Fine Silica Sand, Proceedings of Specialist Conference on Advances in Particle Science and Separation: from mm to nm Scale and Beyond, pp.444-445, 2014.6.16 <Sapporo (Japan)>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

笠原 伸介 (KASAHARA, Shinsuke)

大阪工業大学・工学部・准教授

研究者番号: 90309170

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.oit.ac.jp/japanese/voice/eng/detail.php?id=201412002>