

表流水取水装置および管内環境制御からみた浄水処理方法

研究分担者 伊藤禎彦 京都大学大学院工学研究科教授

研究分担者 中西智宏 京都大学大学院工学研究科助教

研究要旨：

取水設備が、多孔構造を有する集水管を、沢水や渓流水の流水中に横たえただけのものであることも数多い。この場合、取水口の閉塞が発生し、住民の維持管理上の負担となっている。そのような背景とニーズから生み出された小規模水供給施設向け表流水取水装置の事例を示した。また、過去の経験を踏まえて技術的に適切な設計がなされた施設例を示した。

一方、浄水処理で十分に濁質を除去できない場合、浄水中に残存する懸濁物質が配水管内に蓄積することで、管内環境の悪化が懸念される。そこで本研究では、除濁処理として砂ろ過と膜ろ過に着目し、ろ材や膜孔径を変化させながら濁質除去能を定量的に評価することで小規模水供給システムにおいて望ましい除濁処理について考察した。

A. 研究目的

本研究課題のひとつは、小規模水供給システムにおける衛生的な水を安定して供給するための技術的枠組みを整備することである。水供給システムの出発点は水道原水の取水である。しかしながら、取水設備として、多孔構造を有する集水管を、沢水や渓流水の流水中に横たえただけのものであることも数多い。この場合、落葉などによって取水口が閉塞することがしばしば起き、その都度住民の方が清掃する必要がある。取水能としても不安定であるといわざるを得ず、これが住民による管理上の主な困りごとの一つとなっている。これに対して、技術的な整備がなされた取水施設や、取水装置として改良された好例も存在する。ここでは、各地の小規模水供給システムを訪問調査する過程で見出された事例を示す。

また、小規模水供給施設の浄水処理では濁質除去が不十分であることが多く、残存する懸濁物質が配水管内に蓄積することで管内環境を悪化させることが懸念される。浄水処理における除濁操作として砂ろ過と膜ろ過があるが、微粒子除去の精度という観点で両者には大きな隔りがある。そこで、本研究ではこのような除去性能の隔りを定量的に推定し、その中間的な除去能を示す除濁処理を探索することで小規模水供給システムにおいて利用可能な単位処理の拡充を図ることを目的とした。具

体的には、砂ろ過の高機能化(砂ろ過に通常よりも高い除去能を持たせること)と膜ろ過の低機能化(あえてMF膜よりも低い除去能を持つ膜素材を探索すること)に着目し、実験的検討を行った。

B. 方法

1. 静岡市由比地区における調査

静岡市内の民営簡易水道施設と飲料水供給施設を所掌する静岡市保健所でヒアリングを行った。また、小規模水供給施設用の表流水取水装置を開発した日本エンジニア株式会社から資料を収集した。

なお、同じ静岡市内の権現沢水道組合ごんげんさわにおける整備後の取水施設例については既報りに記載している。ここでは、その他の施設を示す。

2. 愛知県東栄町における調査

愛知県東栄町事業課においてヒアリングを行うとともに、振草浄水場ふりくさとその水源地を訪問した。ここは住民管理ではなく役場によって管理されている。

3. 滋賀県長浜市寺院への訪問調査

滋賀県長浜市内の大吉寺だいきちじ(長浜市野瀬町)の水供給施設への訪問調査を行った。以前膜ろ過施設を設置していた企業(株式会社清水合金製作所)立会いのもと、ご住職からヒアリングすることができた。また、株式会社清水合金製作所からも、これまでの経緯等についてヒアリングを行った。さらに、取水施設に関する設計図面等の資料を収集した。

4. 複数のろ材を用いた砂ろ過・膜ろ過による濁質除去能の定量比較

本実験では、砂ろ材としてケイ砂、均等化ケイ砂、アンストラサイト、ガーネットを、膜ろ材としてMF膜、大孔径膜(孔径1 μm、2 μm)、セラミック基材(孔径約13 μm)を選定し、これらによる濁質除去実験を行った。原水は桂川由来の河川水(京都市内の浄水場から採水)とし、凝集剤(PAC)を注入率0.16 mg-Al/Lでインライン注入しながら直接ろ過を行った。ろ過水濁度を時間的に測定し、濁度-微粒子濃度の回帰直線からろ過水中の濁質濃度を推定し、log除去能で評価した。

(倫理面への配慮)

本調査研究の内容は、京都大学大学院工学研究科工学研究倫理委員会における審査非該当であることを確認した上で、個人情報の保護及び調査に係る対象者を含む安全性に配慮して実施した。ヒアリング調査における具体的な配慮事項は以下のとおりである。1)ヒアリングでは個人情報に関する設問を含まない、2)得られた情報は本研究実施以外の目的には使用しない、3)得られたデータに含まれる情報は適切に管理し、第三者には開示しない。また、同情報は研究担当者のみが扱い、研究終了後に適切に廃棄する。

C. 結果

1. 静岡市由比地区における調査

静岡市保健所は、2017年、市内に存在する民営簡易水道施設と飲料水供給施設に関する実態調査を

行った^{2, 3)}。調査時点における施設整備補助の対象となる施設数は、前者が6施設（給水戸数280戸、給水人口747人）、後者が168施設（給水戸数1576戸、給水人口3805人）であった（現在は前者4施設、後者146施設）。平成8年度以降、これらの民営簡易水道施設と飲料水供給施設は衛生部局（保健所）が所掌している。

上記のうち、特に困りごとがあると回答した施設は25あった。困っていることに関する回答をみると、「水質」、「日頃の管理」、「高齢化」、「台風・大雨」、「負担額」、「老朽化」が上位にリストアップされた。これらの諸課題は、静岡市だけではなく、各地の小規模水供給施設に共通すると言ってよい。

静岡市保健所は、この結果を受けて、安定水源の確保、メンテナンスフリーの取水・浄水処理装置の設置、確実な消毒の実施などによって、将来にわたって持続可能な水道施設とすることを目標とする施策を精力的に進めている。すなわち、住民の代表的な困りごとになっている、①取水口閉塞、②濁り、および③日常の水質管理（消毒）を解消するための施設整備を目指している。このとき、取水・浄水処理装置として求められるのは、メンテナンスフリーに近いこと、および安価であることである。

以上を背景として、上記困りごとの解決のために、施設統合を重要施策として推進しようとしている。安定水源の確保、メンテナンスフリーの取水・浄水処理装置の設置、確実な消毒の実施などによって、将来にわたって持続可能な水道施設とすることを旨とするものである。統合へ向けて地元住民らへの提案・調整が精力的に行われている。

以上の背景とニーズから生み出された装置が、小規模水供給施設向けの表流水を取水するためのスクリーンを備えた装置（ウォータースクリーン；日本エンジニア株式会社）である。

装置の側面図を図1に示す。表流水を越流させ、常にスクリーン表面を洗い流しながら、原水を取出口から取り出す構造になっている。このため、落ち葉や土砂による目詰まりがしにくく、安定した取水が可能となる。装置の仕様例を表1に示す。この例の場合、取水能力は最大25 m³/日である。後述するように、堰に埋め込むこともできるが、U字溝があればその流路内に設置することも可能である。

静岡市由比地区において、取水口閉塞対策として、目開き約1 mmの表流水取水装置（ウォータースクリーン）を設置した飲料水供給施設がある。詰まりが解消され、非常に優れていると高く評価されている。

2. 愛知県東栄町における調査

振草浄水場とその水源を訪問した。施設の詳細は本報告書別報に記載している⁴⁾。

原水は渓流水である。ステンレス製スクリーンが堰に埋め込まれて設置されている（日本エンジニア製、ウォータースクリーン）。写真1に示す。設置は10年程度前。費用数百万円。図1とは異なり、取水装置内部の側面から取水

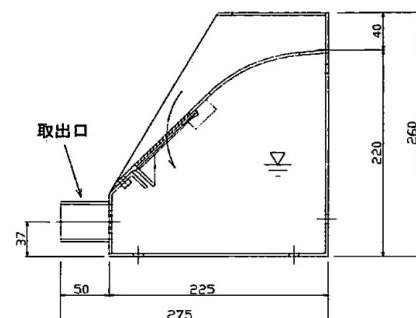


図1 表流水取水装置 側面図

表1 表流水取水装置の仕様

取水能力	25 m ³ /日（最大）
スクリーンサイズ	幅 160 mm×高さ 78 mm
取出口口径	32A（配管外形Φ42.7）
重量	約 6 kg
材質	SUS304

する構造になっている。導水管は埋設されている。施設は役場によって管理されているが、取水地点の維持管理がきわめて容易になったと評価されている。

3. 滋賀県長浜市寺院への訪問調査⁵⁾

大吉寺には、以前、砂ろ過施設が設置されていた。これに対し、旧浅井町から対策の必要性を指摘され、2005年に、膜ろ過装置を設置した。クリプトスポリジウム対策の意味もあったとみられる。導入されたのは、株式会社清水合金製作所のアクアレスキュー類似装置（初期モデル、MF、50 m³/日）。2013年、長浜市は、地元自治会に管理を移管した。

導入したシステムは、原水流量の減少により、ポンプが作動しなくなるなどのトラブルがしばしば発生した。給水栓からしばらく水を流していると、水量が減少することがしばしばあった。断水もよく起きるので困っていた。ただし、これらは膜ろ過装置に原因があるのではなく、取水設備が不良だったことに原因があるとみられる。このため3～4年前に膜ろ過装置は撤去し、現有設備に変更した。

原水である溪流と、現在の原水槽を写真2に示す。溪流水面にスクリーンが設置されているのがわかる。スクリーンの目開きは数mmである。この下部に集水管が設置されている（設計図面あり）。

原水は、原水槽（桝）に導入され、水槽中の水位は溪流水の水位と一致している。これは沈砂池の役割を有している。実際、設置後3～4年が経過し、砂が堆積している。流入管および流出管がほぼ埋

まっている状態。槽内に目開き数mmのストレーナを備えた集水管（流出管）あり。流出管は、溪流岸の石の下に埋設され、溪流水面に沿って下流へと延伸されている。

居住者（ご住職）によるメンテナンスは特に行われていない。費用も不要。ただし、原水槽には砂が堆積しているので、数年に一度程度の頻度で除去・清掃を行う必要があるとみられる。

4. 複数のろ材を用いた砂ろ過・膜ろ過による濁質除去能の定量比較

図2に各ろ材からのろ過水濁度の変化の一例を示す。PAC注入率0.16 mg-Al/Lの条件では、砂ろ過水の濁度範囲が0.1～0.6度程度であったのに対して、膜ろ過水の濁度は0～0.005度と極めて低かった。砂ろ過材の中では、有効径の最も大きいアンスラサイトでのろ過水濁度が最も高く、次いでケイ砂、均等化ケイ砂、ガーネットの順番で濁度が大きかった。一方、膜ろ過材の中では、最も孔径が大きいセラミック基材で0.008～0.039度と他の膜ろ材(0.005度未満)よりもやや濁度が高いものの、他の孔径のろ材間では顕著な違いは見られなかった。各ろ材による濁質除去 log 数を3回分

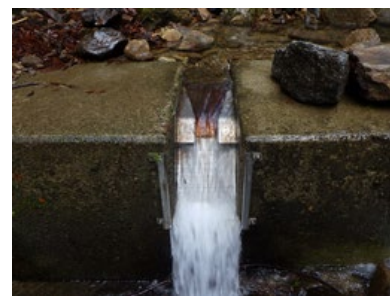


写真1 堰に設置されたステンレス製スクリーン（愛知県東栄町振草浄水場水源地）



写真2 大吉寺 スクリーンと原水槽

の実験結果から推定したものを図3に示す。砂ろ材と膜ろ過材の間には約1logほどの除去能の違いが見られた。また、砂ろ過材の中ではアンスラサイトとガーネットの間にはのみ統計的な有意差が見られたものの、他の砂ろ材や膜ろ過材の間では有意差は見られなかった。

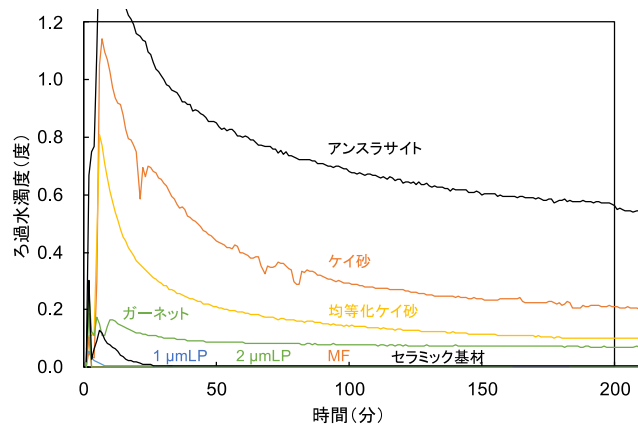


図2 各ろ材からのろ過水濁度の時間変化
(PAC 注入率 : 0.16 mg-Al/L)

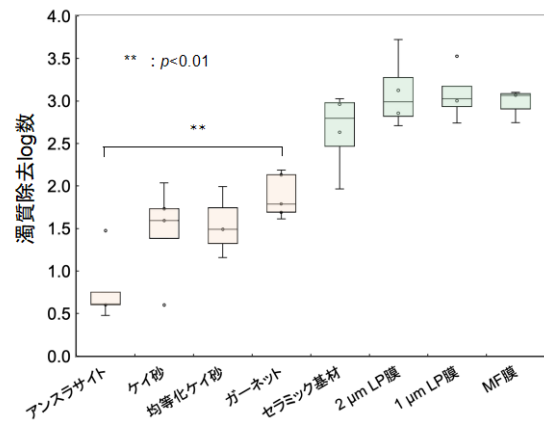


図3 各ろ材による濁質除去 log 数の比較
(PAC 注入率 : 0.16 Al-mg/L)

D. 考察

1. 表流水取水装置について

取水設備が、多孔構造を有する集水管を、沢水や渓流水の流水中に横たえただけのものであることも数多い。この場合、落葉などによって取水口が閉塞することがしばしば起き、その都度住民の方が清掃する必要がある。これが水供給システム上の主な困りごとの一つとなっている。ここで取り上げた小規模水供給施設向け表流水取水装置は、そのような背景とニーズから生み出された取水装置である。

長浜市寺院の事例は、過去の経験を踏まえて技術的に適切な設計がなされたものである。スクリーン機能と沈砂池機能を備えつつ、安定した取水を可能にした施設の好例とみることができる。

2. 管内環境制御からみた浄水処理方法について

濁質の除去 log 数で見た場合には統計的な有意差は見られなかったが、各試行回でのろ過水濁度はガーネットが最も低く、通常のケイ砂よりも高い濁質除去能を持つ可能性が示された。大孔径膜は通常の MF 膜に比べてエネルギー消費量が小さく時間当たりの処理水量が大きいという利点があり、小規模水供給システムに適している可能性がある反面、膜孔径が大きいために処理水質が悪く管内環境管理の観点からは望ましくない可能性が考えられた。しかしながら、本実験では膜孔径を 0.1~約 13 μm と大きく変化させたにも関わらず除去能に顕著な差は見られなかった。すなわち、少量でも凝集剤を注入すれば、大孔径膜でも良好な処理水質が得られる可能性が示された。

E. まとめ

(1) 表流水取水装置

住民の維持管理上の負担とならない小規模水供給施設向け表流水取水装置の事例、および過去の

経験を踏まえて技術的に適切に設計された施設例を見出し、普及が望まれると指摘した。

(2) 管内環境制御からみた浄水処理方法

砂ろ過と膜ろ過を含む種々の除濁処理法による濁質除去能を比較した。この結果、配水管内環境管理からみた必要十分な除濁処理プロセスを選択可能とした。

F. 研究発表

1. 論文

中西智宏, 亀子雄大, 周心怡, 小坂浩司, 伊藤禎彦, 藤井宏明: 配水管網における水道水の着色ポテンシャルからみた浄水中微粒子濃度の制御目標, 土木学会論文集 G(環境)(環境工学研究論文集 第58巻), Vol.77, No.7, III_311-III_319, 2021.

2. 学会発表

周心怡, 中西智宏, 越後信哉, 伊藤禎彦: A scenario analysis of controlling manganese accumulation in chlorinated drinking water distribution systems, 第55回日本水環境学会年会講演集, p.27, 2021.3

桂美月, 中西智宏, 越後信哉, 伊藤禎彦: 配水管内環境の制御を目的とした砂ろ過と膜ろ過の濁質除去能とその多様化に関する基礎研究, 第55回日本水環境学会年会講演集, p.172, 2021.3

3. 総説・解説

伊藤禎彦: 小規模水供給施設における衛生問題と微生物的安全確保, 小規模水供給シリーズ～実状と課題, 今後の展望について～, 水道, Vol.66, No.4, pp.10-19, 2021.7

4. 講演

伊藤禎彦: 上水道をめぐる諸課題と研究ニーズ, 土木学会第58回環境工学研究フォーラム 水供給システム招待講演, オンライン開催, 2021.11.16

伊藤禎彦: 水道料金値上げに対する容認度を高めるためのコミュニケーション手法, ダクタイル鉄管協会セミナー, 一般社団法人日本ダクタイル鉄管協会主催, 松本商工会議所(長野県松本市), 2021.11.1

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

【参考文献】

- 1) 伊藤禎彦, 堀さやか: 地元管理されている小規模水道の実態と課題、平成31年度(令和元年度)厚生労働科学研究費補助金(健康安全・危機管理対策総合研究事業) 小規模水供給システムの安定性及び安全性確保に関する統合的研究(H29-健危-一般-004) 分担研究報告書, pp.108-141, 2020.3

- 2) 静岡市：静岡市飲料水供給施設及び民営簡易水道実態調査結果、平成 29 年 7 月
- 3) 静岡市保健福祉長寿局、経済局、上下水道局：【市長報告】中山間地における水の安定供給に係る体制と取組の推進について、平成 31 年 2 月
- 4) 伊藤禎彦，曾潔：小規模水供給施設の管理実態と課題、令和 3 年度厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）小規模水供給システムの持続可能な維持管理に関する統合的研究（20LA1005）分担研究報告書、2022. 3.
- 5) 伊藤禎彦，曾潔，武藤陽平：小規模水供給施設における衛生問題と微生物的安全確保法、令和 2 年度厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）小規模水供給システムの持続可能な維持管理に関する統合的研究（20LA1005）分担研究報告書、2021.3.