

平成 30 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

## 上向式ろ過に関する研究

研究代表者 浅見 真理 国立保健医療科学院 生活環境研究部  
研究協力者 安達 吉夫 国立保健医療科学院 生活環境研究部

### 研究要旨：

上向流式緩速ろ過の濁度除去特性の検証を行った。小型緩速ろ過実験装置を用いて、ろ過方向やろ過速度、原水濁度を変更して、ろ過水濁度及び微粒子の除去率を測定した結果、上向流式緩速ろ過は、条件により、ろ過水濁度0.1度以下、クリプトスポリジウム等の病原性原虫の除去効果が見込める結果が得られた。単にろ過砂に原水を通すだけで、上記の水質が得られるため、高度な運転技術を必要としない。また、同条件下での上向流式及び下向流式緩速ろ過実験において、上向流式緩速ろ過は高濁度原水に対しても、下向流式緩速ろ過に比べ、ろ層の閉塞がしにくいことも明らかとなり、維持管理面での有効性も確認できた。

### A. 研究目的

厚生労働省水道課により、給水人口 50 人未満の水道事業者へ水源と浄水方法について調査した結果を図 1 に示す。図 1 では、地下水以外を水源としている水道事業者の約半数以上が浄水方法に緩速ろ過を選択している。緩速ろ過は清澄な水源には適した方法であるが、表流水を利用し雨などで濁度が高くなった場合や落ち葉が入る場合などで閉塞する、野生生物が入り込んで表面を荒らすといった状況もあった。また、閉塞すると上部の砂をかきとるが、そのかきとりの手間がかかり、却って砂層の状況を悪化させている場合も見られる。

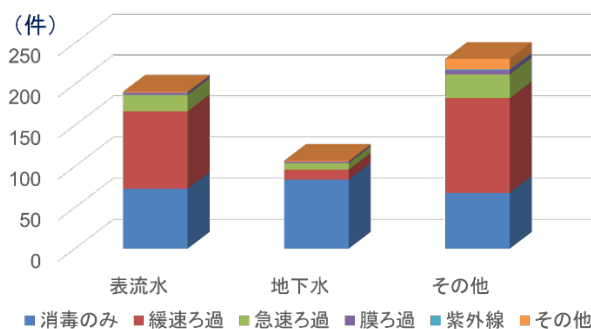


図 1 給水人口 50 人未満の水道事業者における水源と浄水方法

維持管理の容易な緩速ろ過の一つの方法として、上向流式緩速ろ過が、全国で約 1,000 箇所（平成 24 年度まで）導入されている。上向流式ろ過とは、一般的な緩速ろ過で用いられる下向流式ろ過のろ過方向を逆にしたろ過方式であり、ろ過方向を上向流にしたことにより、主に以下の 2 点のメリットが挙げられる。

① ろ過機能の長期継続

下向流方式の弱点であった、ろ過砂上面への土砂、落葉などの夾雑物や泥土等の堆積がなくなり、ろ層の閉塞が起りにくく、ろ過機能の長期継続が可能

② 簡易な維持管理

下向流方式で必要となっていた、ろ層表面の掻き取り作業、ろ過砂の入れ替えが不要となり、ろ層の洗浄も半年に 1 回程度の頻度でよく、維持管理が容易

しかし、上向流式緩速ろ過は下向流式緩速ろ過と比べ研究報告や導入実績が少なく、その処理性や有効性について明らかになっていないと言いが難い。本研究では、小型緩速ろ過実験装置を用いて、ろ過方向や処理速度、原水濁度を変更させ、ろ過水濁度、微粒子数及び砂層状況を測定することにより、上向流式緩速ろ過の濁度除去特性を検証した。

B. 実験方法

国立保健医療科学院地下水に粘土鉱物であるカオリン（和光純薬工業株式会社、17-00025）を添加した水を原水として実験を行った。

人工原水濁度の設定は、緩速ろ過を考慮し低濁度～中濁度である 10 度、30 度、50 度を設定した。ろ過速度の設定は、緩速ろ過であるため、5 m/日、10 m/日、15 m/日、20 m/日に設定した。

人工原水濁度とろ過速度の組み合わせを変え、ろ過水濁度の推移を確認する。また、濁度だけではなく、懸濁物質粒径毎の除去率を確認するため、ろ過水中の懸濁物質粒径毎の粒子数を測定する。本実験で設定した濁度とろ過速度の組み合わせおよび測定項目を表 1 に示す。下向流の設定は、上向流方式との懸濁物質の除去作用の違いを確認するためである。除去作用の違いは、砂層別濁度を測定し、砂層別の懸濁物質捕捉量を確認する。

表 1 濁度とろ過速度の組み合わせ

		濁度および粒径毎粒子数測定				砂層別濁度測定						
実	上向流	ろ過速度 (m/日)				上向流	ろ過速度 (m/日)					
			20	15	10		5		20	15	10	5
		濁度	50	○	○		○	○				
			30	○								
			10	○								
	下向流	ろ過速度 (m/日)				下向流	ろ過速度 (m/日)					
			20	15	10		5		20	15	10	5
		濁度	50		○						○	
			30									
			10									

実験装置は、国立保健医療科学院の実験棟 1 階に設

置されており、気候変動等の外的要因を受けずに安定的に実験が行える状況である。本実験で使用した実験装置の略図を図2に写真を図3に示す。

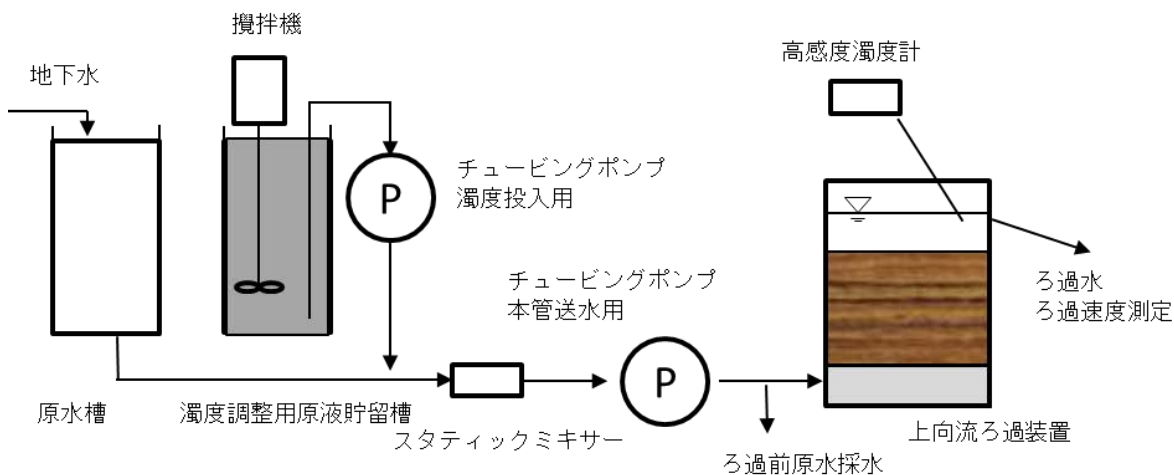


図2 実験装置概略図



図3 実験装置

原水槽への地下水投入はホースにて行った。原水槽下部に流出口を設け、位置エネルギーを利用し、本管用チュービングポンプの負担を軽減した。

濁度調整用原液貯留槽は、高濁度原液を貯留する。本実験での濁度は、600 度から 1300 度の原液を使用した。この高濁度原液を濁度投入用チュービングポンプで本管に投入し、スタティックミキサーで混合し実験用原水を作成した。

表2 ろ過装置仕様

注入ポンプ	チュービングポンプ	IWAKI PST-1000
	チューブ	タイゴン LMT-55 5/16×7/16A
ろ過装置	形状	内径 30cm 高さ 60cm 表面積 706.5cm <sup>2</sup>

	支持材	アクリル樹脂円盤    ウレタン樹脂 2 枚 直径 30cm 厚さ 1cm
	砂の性状	緩速用ろ過砂    有効径 0.45mm    均等係数 1.9
	砂層厚	30cm
	空隙率	50%
測定機器	高感度濁度計	日本電色工業 NP500T
	濁度計	三菱化学アナリテック PT-200T

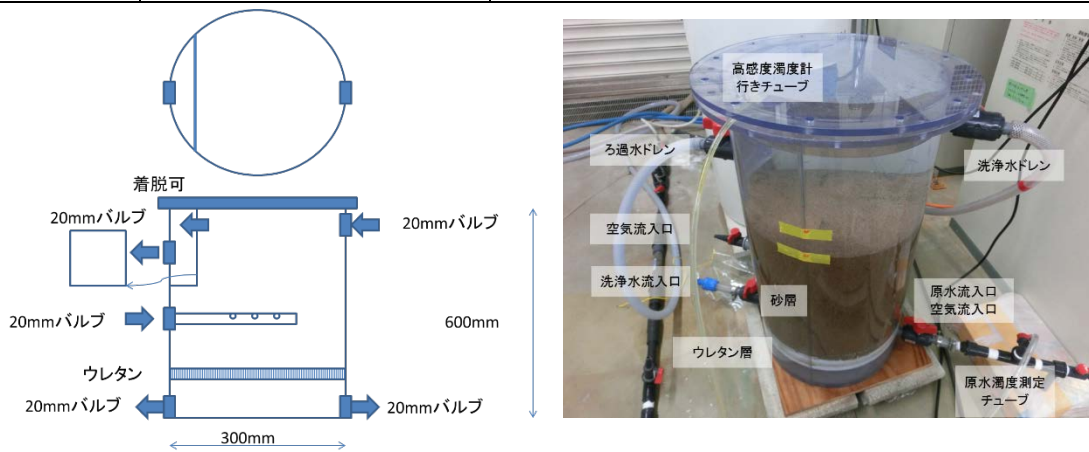


図4 ろ過装置

### C. 実験結果及びD. 考察

#### 1) 原水濁度およびろ過速度による比較

上向流式ろ過において、原水濁度及びろ過速度の違いによるろ過水濁度の変化を比較した。ろ過速度が 20m/日の時の原水濁度の違いによるろ過水濁度の推移を図 5 に、原水濁度が 50 度の時のろ過速度の違いによるろ過水濁度の推移を図 6 に示す。

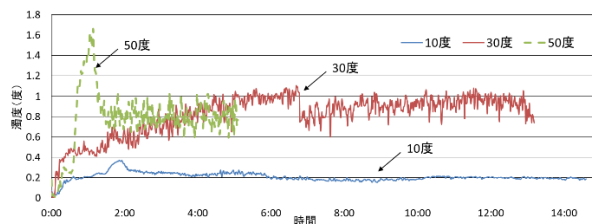


図5 原水濁度別ろ過水濁度の推移 (ろ過速度：20m/日)

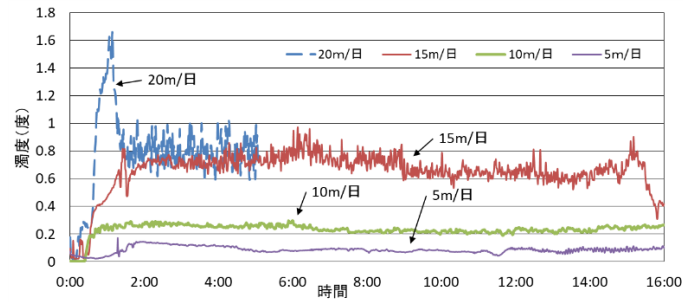


図6 ろ過速度別ろ過水濁度の推移（原水濁度：50度）

図5、図6ともろ過開始2時間まではろ過水濁度が安定していないのは、ろ過装置内の水の入れ替わりが十分出来ていないためである。よって、ろ過開始2時間以降のデータを用いて比較することとする。原水濁度及びろ過速度別のろ過水濁度の平均値を表2に示す。

表3 原水濁度及びろ過速度別のろ過水濁度平均値

ろ過水濁度（度）		ろ過速度（m/日）			
		20	15	10	5
濁度 (度)	50	0.80	0.69	0.24	0.10
	30	0.88	—	—	—
	10	0.20	—	—	—

表3より、原水濁度の変化については、原水濁度50度と30度において、ろ過水濁度の大きな変化がない一方、原水濁度10度においてはろ過水濁度の大きな低減が見られた。また、ろ過速度の変化については、ろ過速度20m/日と15m/日においては、ろ過水濁度の大きな変化がない一方、ろ過速度10m/日と5m/日においてはろ過水濁度の大きな低減が見られた。

以上の結果より、上向流式緩速ろ過方式において、クリプトスポリジウム等対策指針の要件であるろ過水濁度0.1度以下を維持するためには、原水濁度50度以下、ろ過速度5m/日以下にて適用可能と考えられる。一般的な緩速ろ過方式の最大許容濁度が10度、ろ過速度が4~5m/日である<sup>3)</sup>ことを考えると、十分な値と言える。

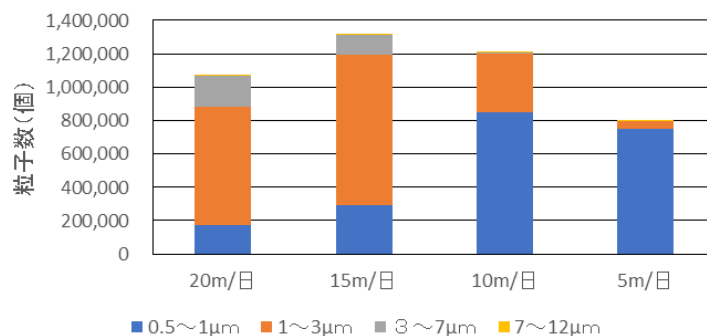


図7 ろ過速度別ろ過水中の粒径毎微粒子数の分布（原水濁度：50度）

原水濁度を变化させた場合のろ過水中の微粒子数は、原水濁度50度と10度において約100万個と同程度である。しかし、ろ過水濁度としては0.8度と0.2度で大きく異なっている。粒径毎の微粒子数を比較すると粒径 $1\mu\text{m}$ 以上の微粒子数は原水濁度50度のろ過水の方が多いのに対し、粒径 $0.5\sim 1\mu\text{m}$ の微粒子数は原水濁度50度のろ過水の方が少なくなっている。このことから、粒径 $1\mu\text{m}$ 以下の微粒子については濁度への影響が小さいものと考えられる。粒径 $0.5\sim 1\mu\text{m}$ の微粒子数は、測定誤差を受けやすいと考えられ、この傾向は図7においても同様の傾向が見られたため、粒径 $1\mu\text{m}$ 以上の微粒子に注視し、粒径毎の微粒子の除去率について比較を行った。

原水濁度及びろ過速度の違いによる微粒子及びろ過水濁度の除去率を比較した。原水濁度及びろ過速度を变化させた時の除去率をそれぞれ図8、図9に示す。ろ過開始2時間以降のデータの平均値から算出した除去率を棒グラフで示し、最大値と最小値の幅を誤差範囲としてバーで示す。

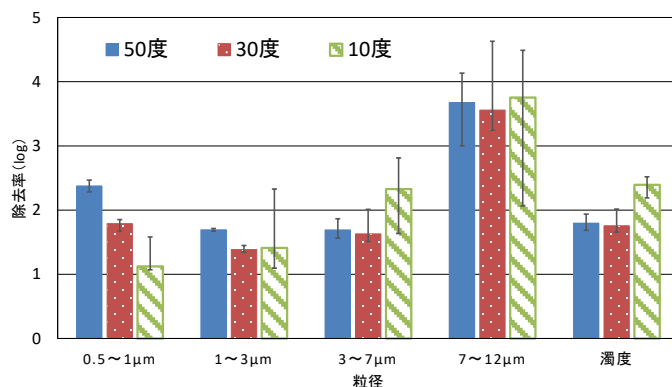


図8 原水濁度別除去率（ろ過速度：20m/日）

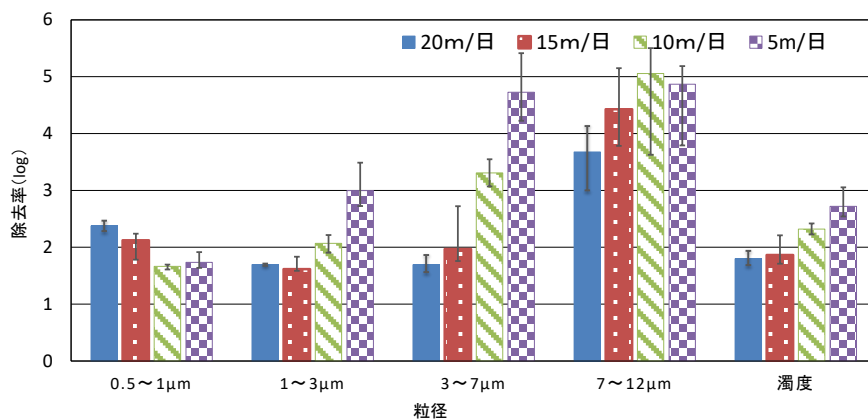


図9 ろ過速度別除去率（原水濁度：50度）



図8、図9より、濁度に起因すると考えた粒径 $1\mu\text{m}$ 以上の微粒子の除去率については、原水濁度またはろ過速度の低減によつてろ過水濁度の除去率が上昇すると、微粒子の除去率についても向上していることが分かる。

次に、クリプトスポリジウム等の対策としてのろ過性能について評価を行う。クリプトスポリジウムの大きさは $4\sim 6\mu\text{m}$ 、ジアルジアの大きさは長径 $8\sim 12\mu\text{m}$ 、短径 $5\sim 8\mu\text{m}$ であるため、 $3\mu\text{m}$ 以上の微粒子の除去率について着目する。クリプトスポリジウム等対策指針ではろ過水濁度が $0.1$ 度以下と規定されている。本実験では、ろ過水濁度の平均値が $0.10$ 度となった原水濁度 $50$ 度、ろ過速度 $5\text{m}/\text{日}$ での $3\sim 7\mu\text{m}$ 、 $7\sim 12\mu\text{m}$ の除去率はそれぞれ $4.7\text{log}$ 、 $4.9\text{log}$ となった。これは、Ottawaパイロットプラントでの最適な運転条件下におけるクリプトスポリジウムの除去率が $4.9\sim 5.8\text{log}$ である<sup>4)</sup>ことを考えると、同程度の除去効果を有していることとなる。よつて、上向流式緩速ろ過システムを原水濁度 $50$ 度以下、ろ過速度 $5\text{m}/\text{日}$ 以下にて運用した場合、ろ過水濁度が $0.1$ 度以下、クリプトスポリジウム等の除去効果が $5\text{log}$ 程度を期待できることがわかつた。

## 2) ろ過方式の違いによる比較

上向流式緩速ろ過と下向流式緩速ろ過および急速ろ過の濁度の推移を図10に示す。どのろ過方式も、原水濁度は $50$ 度である。緩速ろ過のろ過速度は $15\text{m}/\text{日}$ 、急速ろ過のろ過速度は $120\text{m}/\text{日}$ である。

図10から濁度除去性能は、良い順番に急速ろ過、下向流式緩速ろ過、上向流式緩速ろ過である。どのろ過方式も水質基準をクリアしているが、クリプトスポリジウム等対策指針である濁度 $0.1$ 度をクリアしているろ過方式は急速ろ過のみである。急速ろ過は、凝集沈殿およびろ過の2つのプロセスによる結果である。上向流式ろ過と下向流式ろ過との比較では、後で詳しく述べる表層ろ過作用により、下向流式ろ過が優位であつた。

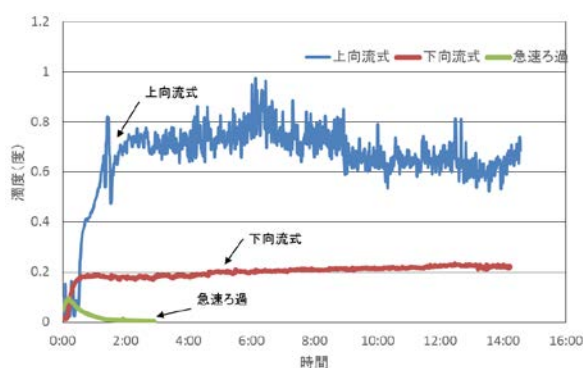


図10 ろ過方式による濁度の推移

ろ過方式別の微粒子および濁度除去率を図11に示す。この図も図10と同様、ろ過が安定した2時間後の平均を取つた値であり、最大値と最小値の幅を誤差範囲としてバーで示している。どのろ過方式も $7\mu\text{m}$ 以上の懸濁物質除去率は $4\text{log}$ を超えており、比較的大きな

微粒子の除去率に大きな差がない事が確認できる。1~3 $\mu$ m、3~7 $\mu$ mの濁度に起因すると推測される粒子除去率は、図10に示したろ過水濁度の順番通りの除去率性能を示している。すなわち、急速ろ過の除去率が高く、次いで下向流式緩速ろ過、上向流式緩速ろ過の順となっている。0.5~1 $\mu$ mでは、どのろ過方式も他の微粒子粒径より除去率が悪くなっている。緩速ろ過では、微粒子が小さいためろ過砂間隙をすり抜けているか、測定上の誤差が大きいと考えられ、急速ろ過では、フロックの形成が出来ていなかったもしくは、フロックの形成が出来ていても弱かったことが考えられる。ただし、図11が示す様に、急速ろ過におけるろ過水中の微粒子の絶対数は少ない。

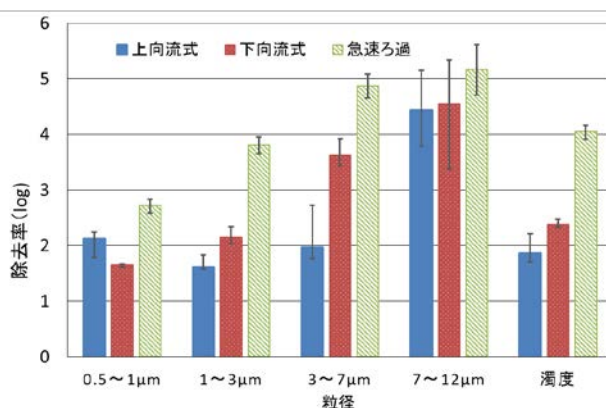


図11 微粒子および濁度除去率

### 3) 緩速ろ過における上向流式と下向流式の除去作用の比較

濁度 50 度原水、ろ過速度 15m/日における上向流式緩速ろ過と下向流式緩速ろ過において、除去作用の違いを見るためにろ過砂を 5 cm毎に採取し、砂層 1g あたりの濁質捕捉量を比較した。そのグラフを図 12 に示す。上向流式緩速ろ過では、下層から上層に向かって濁質捕捉量は落ちているが、全層にわたって捕捉している。一方、下向流式緩速ろ過では、上層部でかなりの量の濁質を捕捉している。これは、図 12 に示すとおり、ろ過砂表面にカオリンが表面に堆積していることが主因である。この堆積したカオリンとろ過砂による篩い分け作用によって濁質物質を捕捉しており、典型的な表層ろ過を裏付けるデータとなった。

また、砂ろ過表面が閉塞し損失水頭が増加したため、ろ過前原水の水位が上昇していることが確認された。万一に備えオーバーフロー管を開けながら実験を行い、ろ過装置からの越流を防ぐことができたが、高濁度原水による砂ろ過表面の閉塞が 16 時間のろ過時間でこれだけ進行する事も確認できた。下向流式緩速ろ過が上向流式緩速ろ過に比べ高濁度原水に弱い事の証明と言える。

ところで、図 12 では、上向流と下向流以外の条件が同一に関わらず、濁質物質の捕捉量合計が大きく異なることが判る。下向流式緩速ろ過ではろ過表面で濁質物質を捕捉していたのは、上記で述べたとおりであるが、上向流式緩速ろ過と下向流式緩速ろ過の



濁度除去率を考えると、上向流式緩速ろ過での捕捉量が少なく、濁質物質除去の計算が合わなくなる。これは、上向流式緩速ろ過では、砂ろ過に入る前の空間（ウレタン層下の整流用空間）において、濁質物質の沈殿を認めた。装置の都合上、これらの濁質物質を採取し、収支計算を行うことができなかったが、大きな粒子はこの空間において沈殿したものと考えられる。このことから、上向流式緩速ろ過は目詰まりを起こしにくくなっていると推測できる。

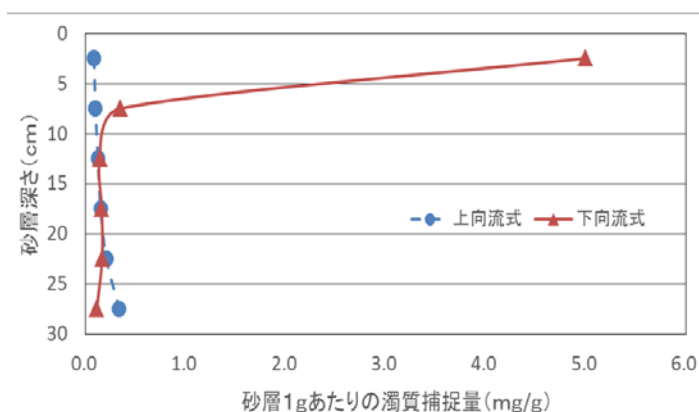


図 12 砂層 1g あたりの濁質捕捉量

#### E. 結論

課題は残っているが、上向流式緩速ろ過の濁度除去特性を検証し、実験結果のすべてにおいて、濁度の水質基準を下回る結果となった。クリプトスポリジウム等対策指針のろ過水濁度 0.1 度以下を満たすには、原水濁度やろ過速度の制約を受けるが、例えば、下向流式緩速ろ過の前段に上向流式緩速ろ過を設けることで、原水濁度やろ過速度の制約を大きく緩和することができ、緩速ろ過の適用範囲を拡大できるのではないかと考える。本実験が上向流式緩速ろ過、ひいては緩速ろ過の発展に寄与するものであれば幸いである。

#### <謝辞>

本研究の一部は、国立保健医療科学院水道工学研修特別研究において行われた。萩原健太（北海道環境生活部）、梶木慶太（奈良広域水質検査センター組合）、井上史臣（吹田市水道部）、中谷英嗣（大阪広域水道企業団）氏らに深く謝意を表す。

#### <参考文献>

- 1) 厚生労働省健康局水道課長：水道水中のクリプトスポリジウム等対策の実施について（通知），平成 19 年 3 月 30 日
- 2) 浅見真理、阿部功介、島崎大、越後信哉、伊藤 禎彦、小熊 久美子、増田 貴則：小規模水供給システムの維持管理の実態に関する調査，平成 30 年
- 3) 日本水道協会：水道施設設計指針（2012 年版），平成 24 年

4) 国立保健医療科学院 生活環境研究部 水管理研究領域：平成 30 年度第 1 回水道における微生物問題検討会 資料 2, 平成 30 年 6 月 18 日, p. 2

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

・ Mari Asami, Kosuke Abe, Dai Simazaki, Koichi Ohno, Trends In Operation And Management Of Water Supplies With Size And Location Diversity, 2018 年 9 月; 東京. IWA World Water Congress & Exhibition 2018. 639.

・ 阿部功介, 坂倉潤哉, 皆田明子, 越後信哉, 浅見真理, 島崎大, 秋葉道宏. 小規模水供給システムへの導入を考慮した塩素系消毒剤の反応特性の比較; 2018 年 10 月, 福岡. 平成 30 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集. p.736-737.

・ 浅見真理, 阿部功介, 越後信哉, 伊藤禎彦, 島崎大, 小熊久美子, 増田貴則, 中西智宏. 小規模水供給システムの維持管理の実態に関する調査. 2018 年 10 月, 福岡. 平成 30 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集. p.174-175.

G. 知的所有権の取得状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし