緩速ろ過池モデルを遮光したときの 砂層における抑留物質の深度分布

Depth Distribution of Suspended Matter in the Sand Layer of Slow Sand Filter Models with Covered Filter

山本満寿夫、大島 茂、中本信忠

信州大学繊維学部応用生物科学科／〒386-8567上田市常田3-15-1

MASUO YAMAMOTO, SHIGERU OSHIMA and NOBUTADA NAKAMOTO

Department of Applied Biology, Faculty of Textile Science and Technology,

Shinshu University/3-15-1, Tokita, Ueda, 386-8567

Abstract

This research was carried out to appreciate a slow sand filtration treatment by an investigation of suspended matter distribution in sand beds with covered of slow sand filter models (covered filter). The core-sampler was inserted to take suspended matter in slow sand filter model beds during the filter operation when the filters were not easy to clog in summer. The following results were obtained.

Normalized head loss value was increased at covered filter than at open filter after about 25 days of filter run. From the depth distribution of the Suspended Solid (SS) and Total Organic Carbon (TOC), covered filter detained larger amount of suspended matter than open filter. And suspended matter was detained at the extremely surface layer of the sand column with covered filter. The depth distribution of the Chlorophyll *a* indicated nearly opposite profile as SS, TOC distribution.

key words: slow sand filter model, covered filter, sand-core, suspended matter distribution

1. はじめに

栄養塩類を含んだ河川水や地下水を水源とする緩速ろ過池では、糸状珪藻を中心とした附着性藻類が繁殖し砂層上に藻類被膜を形成する¹⁻⁷⁾。この藻類被膜は光合成により多量の酸素を放出することで砂層内の生物群集を活性化させ、有機物等の好氣的分解に寄与している。さらに、真綿状の藻類被膜は流入懸濁物質を捕捉し、光合成による気泡と共に剥離浮上して越流管より排出されることで、ろ過池砂層上に堆積したり砂層内に侵入する懸濁物質量を減少させてろ過閉塞を遅延する効果があると考えられた。

ろ過池内で藻類の繁殖が旺盛で越流管より排出されな

い場合、浮上した藻類が腐敗して悪臭の原因になると言われている。また、藻類は夜間に呼吸により酸素を消費することで藻類体自体がろ過閉塞の原因となることも考えられる。そこで、ろ過池での藻類の繁殖は抑えるべきだという意見もあり、ろ過池に遮光ネットを設置^{8, 9)}したり、前塩素添加¹⁰⁻¹⁴⁾をして藻類繁殖を抑制する試み等がなされている。

ろ過池を遮光することは藻類の光合成を断ち藻類繁殖を抑制することで、ろ過閉塞防止および原水中の栄養塩除去の観点から逆効果ではないかと懸念された。そこで、本実験では河川表流水を取水する長野県上田市水道局の染屋浄水場内にろ過池モデルを設置して、遮光することにより緩速ろ過池砂層に及ぼす抑留物質の影響について

検討を行った。

2. ろ過池モデル及び方法

2. 1 ろ過池モデル及び実験期間

ろ過池モデルは家庭用のプラスチック浴槽にろ過砂を入れ、そこに染屋浄水場の沈殿水を引き入れてろ過処理を行った (Fig. 1)。ろ過池のろ過面積は 0.42m^2 で、遮光はプラスチック製の風呂蓋で行った。このろ過池モデルに直径5 cm、長さ15 cmの塩化ビニルパイプ (塩ビ管) を二つ割りにした中にろ過砂を詰めた砂層カラムを設置した¹⁷⁾ (photo)。

なお、ろ過砂は有効径 $0.32\sim 0.36\text{mm}$ で標準ろ砂の粒径 $0.30\sim 0.45\text{mm}$ ¹⁵⁾の範囲内にある。両池に各8本から10本

の砂層カラムを10センチメートル間隔で埋込んで、ろ過継続中にはほぼ10日間隔で2本ずつ砂層カラムを取り上げて、砂層における抑留物質の深度分布について調査を行った。調査は遮光池と開放池のろ過池モデルについて2回反復実験を行った。1997年7月1日～7月31日の間を予備実験とし、9月10日～10月15日の間に本実験を行った。

2. 2 分析方法

採取した塩ビ管中の砂層は深度別に切断した後に既報¹⁵⁾と同じ処理を行って浮遊物質 (Suspended Solid、以下SSと略す)、全有機炭素 (Total Organic Carbon、以下TOCと略す)、クロロフィル (Chlorophyll *a*、以下Chlと略す) を分析し2本の値を平均した。

Fig. 1 Slow sand filter model

Photo : Slow sand filter model

3. 結果

3. 1 ろ過池流入懸濁物質と標準化損失水頭

染屋浄水場の源流域である菅高原は夏期は夕立による降水が多く、河川水は冬期に比べて懸濁物質が多いため原水濁度が上昇する⁵⁾。なおこの浄水場では着水井で濁度12mg/lを越えたと前処理として自動的に凝集沈殿剤を注入していた。

実験を行った9月10日～10月15日の間の遮光池、開放

池モデルろ床の水温差は平均1.0℃で開放池の方が高かった (Fig. 2)。ろ過池使用日数とろ過速度を Fig.3-1に示した。ろ過速度は遮光池、開放池モデルいずれも使用日数10日目まで1日当たり1.5m前後で維持し、ろ過池使用15日目くらいまで両池共に同じろ過速度を維持できたが、その後20日目まで徐々に上昇させて3.0m/d～4.0m/dにした。20日目頃から開放池モデルに比べて遮光池モデルのろ過速度がややばらついた。それ以降は標準ろ過速度の4.8m/dを維持するようにした。

Fig. 2 Relationship between filter run (days) and water temperature (°C) of slow sand filters with an open model (white square) and a covered model plant (black square) from September 10 to October 15 in 1997.

Fig. 3-1

Fig. 3-2

Fig. 3-3

Fig. 3 Relationship between filter run (days) and flow rate (m/d) (Fig.3-1), load of suspended solid (g/m²/d) (Fig.3-2), normalized head loss (NHL, mm) of slow sand filters (Fig.3-3) with an open model (white square) and a covered model plant (black square) from September 10 to October 15 in 1997.

また、調査開始直後から雨天が続いたために8日間ほど着水中に凝集沈殿剤が添加された (Fig.3-2)。そのために懸濁物質負荷量は極めて少なく $5 \text{ g/m}^2/\text{d}$ 以下で9日目以降の負荷量は $5 \sim 30 \text{ g/m}^2/\text{d}$ であった。

標準化損失水頭 (NHL)⁴⁾ と使用日数の関係を Fig.3-3 に示した。なお前述の様にろ過池使用初期、雨天が続いたために開放池の藻類の発育が遅れた。NHL は20日目までは両者ほぼ同じ動きで推移したが、その後、開放池モデルよりも遮光池モデルの損失水頭が徐々に高くなる傾向を示し、35日目で約80mmになった。遮光池モデルは開放池モデルよりもろ過池使用25日以降から損失水頭が上昇してろ過閉塞し易くなった。

3. 2 遮光池と開放池の浮遊物質 (SS) と全有機炭素 (TOC) の深度分布

乾燥砂 (g) 当たりの浮遊物質 (SS) の深度分布は遮光池と開放池共に上層から約2～3cm深間で減少した (Fig.4-1)。それ以後は使用日数2日目と30日目とが直線的な深度分布を示し、抑留される量は両池ほぼ一定であった。使用日数2日目の遮光池は開放池と大体同じ動きを示したが、30日目になると表層から約2cm深までの間に開放池に比べて多量のSSが侵入し抑留された。また、遮光池では20日目～30日目の間の抑留量が開放池よりも数倍多く、NHLの上昇した時期と一致した。

TOCは全般にSSと類似した深度分布を示し、遮光池では20日目～30日目の間の表層の抑留量が開放池に比べて数倍多かった (Fig.4-2)。

3. 3 遮光池と開放池のChlの深度分布

染屋浄水場は河川表流水を取水している。ろ過池砂層表面には河川由来の付着藻類あるいはろ過池で繁殖した藻類が出現する^{2,5)}が、夏期は特にろ過池で藻類が大繁殖する^{2,12)}。

Fig.4-3に砂層内に侵入し抑留されている藻類量をChlを指標として示した。Chlは全般的にSS、TOCとは逆に開放池の方が高い傾向を示し、量的にはSS、TOCの約1/1000であった。

以上、初秋期における両モデルの砂層におけるSS、TOC、Chlの深度分布は、予備実験として7月に行った深度分布 (結果略) と総じて同様の結果であった。

4. 考察

ろ過池を長期間ろ過継続していると開放池に比べて遮

光池モデルの標準化損失水頭が上昇した。その理由として、砂層表層における懸濁物質の堆積量の違いが考えられた。

昼間、光合成を活発に行っている開放池モデルは藻類の生育が旺盛で、光合成によって生産される酸素の気泡と共に糸状藻類被膜に捕捉された流入懸濁物質が剥離浮上して越流管から流出する。一方、藻類が生育し難い遮光池モデルは開放池モデルのように流入懸濁物質を捕捉する糸状藻類の剥離浮上がないから、砂層表層に堆積し易くなることが考えられた。

ろ過池使用30日間の砂層0～1cm、1～6cm、6～14cmにおけるSS、TOC、Chlの現存量を開放池モデルと遮光池モデルに分けて示した (Table 1)。

砂層0～1cm層では開放池に比べて遮光池モデルのSS、TOC濃度が高く、特にろ過池使用後半の20日目、30日目の値が高くなった。一方、Chlは逆に遮光池モデルの方が低い値を示した。30日目について、遮光池モデルに対する開放池モデルの比をみると、SSが3.0倍、TOCが4.5倍、Chlが0.6倍で、SSとTOCは両池間の差が顕著であった。次に、砂層1～6cm層では両池共に類似した値を示したが、Chlは開放池の方がやや高い値を示した。6～14cm層は全体に値は低くなるが1～6cm層の傾向と類似していた。

以上の結果より、使用日数20日目を過ぎてからの遮光池モデルの標準化損失水頭の上昇は、SSとTOCに由来する懸濁物質の堆積、抑留が反映されたものと考えられた。

夏期における染屋浄水場のろ過継続日数と藻類現存量の関係については野崎¹⁶⁾による報告がある。それによると、6月～9月期は藻類が急激に増加し活発に繁殖しており、ろ過継続10日目以降は藻類被膜が盛んに剥離、浮上して藻類現存量の値がばらつくことを指摘している。

今回の調査では、遮光池よりも開放池モデルの方がChlが総じて高い結果になった。このことから、砂層表面より藻類被膜が剥離、浮上する間に、砂層の剥離面から未ろ水中の藻類が砂層中に侵入し抑留されることが推測された。しかし、遮光池モデルのように顕著な損失水頭の上昇に至らないのは、活発な水生動物群の捕食の影響により砂層中に水道 (路) が確保されているのではないかと考えられた。

前報¹⁷⁾で、染屋浄水場の緩速ろ過池がろ過閉塞を引き起こし易い原因として、流入水によって持ち込まれる藻類を取り上げた。しかし、これは水生動物群の活性が極めて低い冬期2月半ばから3月初めにかけて行った調査

Fig. 4-1

Fig. 4-2

Fig. 4-3

Fig. 4 The depth distribution of the Suspended Solid (SS) per dry sand (SAND) (Fig.4-1) and Total Organic Carbon (TOC)/SAND (Fig.4-2), Chlorophyll a (Chl) /SAND (Fig.4-3) in logarithmic scale in upper sand columns on different days at slow sand filters with an open model and a covered model plant from September 10 to October 15 in 1997

Table 1 Standing stock of various adhered suspended matters per dry sand in upper sand columns.

	Run day	Layer 0-1cm		Layer 1-6cm		Layer 6-14cm	
		Open F.	Covered F.	Open F.	Covered F.	Open F.	Covered F.
Suspended Solid ($\times 10^3 \mu\text{g/g}$)	2	1.20	0.48	0.37	0.24	0.13	0.21
	10	2.85	1.72	0.37	0.29	0.22	0.22
	20	5.50	7.49	0.45	0.57	0.13	0.17
	30	5.65	16.94	0.92	0.42	0.22	0.21
TOC ($\times 10^3 \mu\text{g/g}$)	2	0.08	0.10	0.06	0.10	0.03	0.03
	10	0.36	0.26	0.06	0.04	0.04	0.02
	20	0.36	0.81	0.07	0.06	0.03	0.02
	30	0.53	2.37	0.13	0.18	0.04	0.03
Chlorophyll <i>a</i> ($\mu\text{g/g}$)	2	0.06	0.09	0.03	0.02	0.01	0.01
	10	1.71	0.52	0.05	0.05	0.03	0.01
	20	1.61	1.39	0.24	0.08	0.05	0.01
	30	4.82	2.89	0.50	0.08	0.07	0.01

である。今回のように生物活性の高い夏期から初秋期にかけては逆に繁殖した藻類がろ過閉塞を遅延し、砂層内に侵入した藻類についてもそれを摂食する水生動物群がろ過閉塞防止を担っていることが推測された。

5. 結論

夏期と初秋期の2回、緩速ろ過池モデルを遮光して砂層における抑留物質の深度分布を、遮光しないろ過池モデル（開放池）と比較検討した。砂層にはろ過砂を詰めた塩ビ管を挿入し、ろ過継続中に取り出して抑留物質の深度分布を調査した。その結果以下のことが明らかになった。

- 1) ろ過を継続をしていくと、開放池モデルに比べて遮光池モデルの方が標準化損失水頭が上昇した。
- 2) ろ過池使用後半、遮光池モデルは開放池モデルよりも砂層の極表層における浮遊物質（SS）と全有機炭素（TOC）の抑留量が数倍多かった。
- 3) クロロフィル *a*（Chl）の抑留量は遮光池モデルよりも開放池モデルの砂層の方が多かった。

謝辞：本研究を行うにあたり浄水場内での実験場所及び資料を提供いただいた上田市水道局に感謝いたします。

[引用文献]

- 1) 中本信忠：緩速ろ過における糸状藻類の有用性、水道協会雑誌、55（3）、19-21（1986）
- 2) 中本信忠・江連小百合：緩速ろ過池ろ床藻類の繁殖過程及び季節変化、水道協会雑誌、58（8）、17-21（1989）
- 3) 中本信忠・坂井 正：緩速ろ過池における糸状珪藻とその連続培養の重要性、日本水処理生物学会誌、27（1）、33-38（1991）
- 4) 中本信忠・坂井 正：緩速ろ過池のろ過閉塞指標としての標準化損失水頭と藻類、日本水処理生物学会誌、28（1）、7-16（1992）
- 5) 野崎健太郎・坂井 正・中本信忠：菅平ダム湖での *Nitzschia holsatica* のブルームと石舟浄水場のろ過閉塞障害、日本水処理生物学会誌、28（2）、123-127（1992）
- 6) 中本信忠・池田大介・田口香代・山本満寿夫：河川を水源とする緩速ろ過池と貯水池を水源とする緩速ろ過池の藻類被膜の発達の違い、日本水処理生物学会誌、33（2）、81-90（1997）
- 7) Nobutada Nakamoto, Noriyasu Iwase, Kentaro Nozaki, and Masashi Sakai: Inconsiderable Amount of Phytoplankton Leakage by Algal Mat Peeling from a Slow Sand Filter, Jap. Jour. Wat. Treat. Biol., 33（4）、179-186（1997）
- 8) 斎藤 滋・黒川正博・岸野 靖・小山美喜彦：緩速ろ過池における遮光による藻類繁殖抑制実験について、日本水道協会関東地方支部 水質研究発表概要集、21-23（1994）

- 9) 大島 茂・山下昌輝・小関善憲・中畑ゆり・磯貝泰裕・山本満寿夫・中本信忠：緩速ろ過池モデルを用いた研究、(2) 溶存酸素、砂層内抑留物から見た藻類の緩速ろ過に与える影響、日本陸水学会甲信越支部会報、23、32-33 (1997)
- 10) 田中利昭・黒川正博：緩速ろ過池における前塩素間欠注入による藻類制御、日本水道協会関東地方支部水質研究発表概要集、16-18 (1990)
- 11) 蒲谷 宏・小川 明・相原正一・石井雅夫・草間英輝・河西慎司：横須賀市における緩速ろ過池の藻類抑制実験、第43回全国水道研究発表会概要集、3 浄水部門、346-348 (1992)
- 12) 谷本 清：大阪市上水道緩速濾過に於ける濾過前塩素消毒試験成績：水道協会雑誌、29、20-35 (1935)
- 13) 近藤正義：緩速濾過に於ける原水塩素消毒の爾後生物相に及ぼす影響、大阪市上水道の生物学的研究、第7篇：水道協会雑誌、34、14-23 (1936)
- 14) 山下昌輝・大島 茂・小関善憲・磯貝泰裕・中畑ゆり・中谷 修・山本満寿夫・中本信忠：緩速ろ過池モデルを用いた研究、(1) 前塩素処理が砂層に及ぼす影響、日本陸水学会甲信越支部会報、23、30-31 (1997)
- 15) 山本満寿夫・中本信忠：河川表流水を水源とする緩速ろ過池砂層における抑留物質の深度分布、日本水処理生物学会誌、32 (2)、123-129 (1996)
- 16) 野崎健太郎：緩速ろ過池における藻類被膜の発達過程に関する研究、信州大学大学院工学系研究科学学位論文 (修士) (1994)
- 17) 山本満寿夫・中本信忠：冬期の緩速ろ過池砂層における抑留物質の深度分布、日本水処理生物学会誌、33 (3)、109-116 (1997)

(受付 1998. 8. 20)

(受理 1998. 10. 14)