冬期の緩速ろ過池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 Filters in Winter

山本満寿夫、中本信忠

信州大学繊維学部応用生物科学科/〒386 上田市常田3-15-1

MASUO YAMAMOTO and NOBUTADA NAKAMOTO

Department of Applied Biology, Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University
/3-15-1, Tokita, Ueda, 386

Abstract

This research was carried out to appreciate a slow sand filtration treatment by an investigation of suspended matter distribution in sand beds of Ishifune and Someya slow sand filters. The core-sampler was inserted to take suspended matter in slow sand filter beds during the filter operation when the filters were easy to clog in winter. The following results were obtained.

From the depth distribution of the Total Organic Carbon, Someya slow sand filter detained larger amount of suspended matter than Ishifune slow sand filter. And suspended matter was detained until deeper layer of the sand column at Someya water works.

The depth distribution of the Chl/SAND indicated the nearly same profile as TOC distribution. Pheophytin content in the sand column at Someya water works was several times larger at the deeper layer in the sand columns than Ishifune slow sand filter. From the depth distribution of the Chl/TOC ratio, Someya slow sand filter suggested that algae which had brought by inflow water at early times of filter run detained at the upper sand layer. Total cells number of the algae in the sand columns at Someya slow sand filter were from several to ten times higher than Ishifune slow sand filter.

Key words : slow sand filter, sand-core, suspended matter, distribution

1. はじめに

緩速ろ過池での糸状藻類被膜の形成はろ過閉塞防止に役立つとして、筆者の研究室ではこの藻類被膜に注目して研究を行ってきた¹⁻¹²⁾。河川表流水を取水する長野県上田市水道局の石舟浄水場と染屋浄水場緩速ろ過池では、水温が7℃以上の4月から11月の期間は、ろ過継続を続けても損失水頭がほとんど上昇しなかった^{3, 4)}。この期間はろ床で糸状藻類が盛んに繁殖し真綿状の藻類被膜を形成する期間と一致しており、藻類の優占種は糸状珪藻

メロシラであった²⁾。しかし水温が5℃以下になる冬期、特に2月の染屋浄水場はろ過継続2週間程度で標準化損失水頭(NHL)が100cmに達し⁴⁾、年間を通して最もろ過閉塞し易かった。

緩速ろ過池砂層内における抑留物質の深度分布を調査した結果^{11, 12)}、懸濁物質は砂層上部の表層でほとんど捕捉されていた。また砂層内では抑留物質に対する分解能が物質によって異なることが考えられた。しかし調査はいずれも排水後削り取り前における深度分布で、冬期間を除いた時期のものであった。

そこで本報はろ過閉塞し易い冬期、ろ過池使用中の砂層における抑留物質の深度分布について経日的に調査を行った。ろ過砂を詰めた塩ビ管を、砂層汚泥削り取り直後のろ過池砂層に充水直前に設置した。なお、この手法はDuncanがロンドン市内のHamptonとAshford Common浄水場ろ過池砂層で行った方法に準拠した¹³⁾。

2. 調査対象

調査は長野県上田市水道局石舟浄水場2号緩速ろ過池と染屋浄水場4号緩速ろ過池で行った。

ろ過池流入懸濁物質と標準化損失水頭

両浄水場の源流域である菅平高原は2月中降雪があるが、気温が低く融雪は生じないので河川水は清澄である。しかしながら少量の懸濁物質で標準化損失水頭が増加する^{3, 4)}。

石舟浄水場と染屋浄水場の管理日誌から、1996年2月15日から3月5日の両池ろ過池使用日数とろ過速度、流入水中の懸濁物質、ろ過水量と流入水中の懸濁物質か

ら計算した砂層表面への一日当たりの懸濁物質負荷量、標準化損失水頭(NHL)の関係をFig. 1に示した。調査したろ過池は以下に述べる様に運用、管理面で違いがあった。

ろ過池使用日数とろ過速度(Fig. 1-1)は、石舟浄水場では使用日数4日まで1.0m/d前後で、5日目から徐々に上昇させて10日目までに2.8m/dから3.0m/dにして、15日目に3.7m/dにしていた。染屋浄水場は4日目まで約1.5m/dで維持したろ過速度を、5日目に上昇させた後に戻してから再度急上昇させて10日目には4.5m/dにした。さらに15日目から20日目まではおよそ4.0m/dで、20日目には標準化損失水頭が100cmになった。

ろ過池使用日数と流入水中の懸濁物質量(Fig. 1-2)あるいは砂層表面への一日当たりの懸濁物質負荷量(Fig. 1-3)との関係から、石舟浄水場では、ろ過池使用9日目までは流入する懸濁物質が染屋浄水場よりもはるかに多いが、10日目以降は石舟浄水場の方が逆に少なかった。

Fig. 1-1

Fig. 1-3

Fig. 1-2

Fig. 1-4

Fig.1 Relationship between filter run (days) and flow rate (m/d), suspended solid (mg/l) in the inflow water, daily load of suspended solid (g/m²/d) on the filter bed, normalized head loss (NHL,cm) of slow sand filters at Ishifune (white square) and Someya (black square) water purification plants from February 15 to March 5 in 1996.

3. 方法

3.1 試料採取方法

直径5 cm、長さ15 cmの塩化ビニールパイプ(塩ビ管)を二つ割りにした中にろ過砂を詰めてろ過池に設置した。なおろ過砂は有効径0.32~0.36 mmで、標準ろ砂の粒径0.30~0.45 mmの範囲内にある¹²⁾。設置場所は、ろ過池北側周壁中央天端よりろ過池中央方向に1.2メートル、流入水口より5メートル以上離れた砂層表層とした。両池に各8本の塩ビ管を東西方向に30センチメートル間隔で埋込んで、ろ過継続中にはほぼ6日間隔で2本ずつフックのついた釣竿で塩ビ管をつり上げた。期間は1996年2月15日から3月5日の間である。

3.2 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前報¹²⁾と同じ処理を行って、全有機炭素(TOC)、クロロフィル(Chlorophyll、以下Chlと略す)、フェオフィチン(Pheophytin、以下Pheoと略す)を分析し2本の値を平均した。

3.3 藻類細胞の計数

洗砂液400~1200 mlの内約30 mlを5%ホルマリンで固定して、枠付界線入スライドガラスを用い光学顕微鏡(検鏡倍率300倍)で計数して乾燥砂(g)当たりで細胞数を算出した。

4. 結果

4.1 石舟浄水場と染屋浄水場ろ過池砂層の

全有機炭素量の深度分布

乾燥砂(g)当たりの全有機炭素量(TOC mg)の深度分布を対数目盛でFig. 2に示した。ろ過池使用日数2日目と20日目の深度分布を点線で、20日目を実線で示した。

TOCは分解残渣を含む全有機物量を示しているが、石舟浄水場ろ過池では上層から約2 cm深の間に急激に値が減少した。それ以深は使用日数2日目と20日目とが一定間隔で直線的な深度分布を示し、抑留される量はほぼ一定であった。染屋浄水場ろ過池砂層は、使用日数2日目は石舟浄水場ろ過池とほぼ同じであるが、20日目になると表層から約7 cm深まで漸減傾向を示した後ほぼ一定値になった。これは石舟浄水場ろ過池に比べて深層ま

Fig. 2 The depth distribution of the Total Organic Carbon (TOC) per dry sand (SAND) in logarithmic scale in upper sand columns on different days at Ishifune and Someya slow sand filters

で多くの量の有機物が侵入し抑留されていることを示している。また、染屋浄水場では8日目から13日目の間の抑留量が石舟浄水場ろ過池よりも数倍多く、一度ろ過速度を上げてから戻し、再度急上昇させた時期と一致した。

4. 2 両池のChl量の深度分布

両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、調査した冬期はろ過池では藻類は繁殖しにくい^{2,10)}。

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(Fig. 3)。石舟浄水場ろ過池では、上層から約2 cm深の間に急激にChl量が減少した。それ以深は2日目と20日目の値がほぼ同じ間隔で下層まで推移して、抑留されるChl量はほぼ一定であった。

染屋浄水場ろ過池では石舟浄水場と異なり、ろ過池使用2日目でも深層までChlが抑留されていた。また使用2日目と20日目とはほぼ平行した動きを示し、抑留量は染屋浄水場ろ過池の方が2倍から6倍多かった。

両浄水場のChlの抑留量は、8日目から13日の間に顕著な差がみられ、石舟浄水場よりも染屋浄水場ろ過池の方が数倍多かった。

4. 3 両池のPheo量の深度分布

Pheo量の深度分布をFig. 4に示した。PheoはChlの分解物であるが、石舟浄水場と染屋浄水場を使用2日目と比べて大きな違いはなかった。

石舟浄水場ろ過池では約6 cm深で使用2日目の点線と20日目の実線が交差して、それ以深では20日目の値が減少傾向を示した。このことは、使用日数が増えると同層ほどPheo量が減少することを示している。一方、染屋浄水場ろ過池では2日目と比べて20日目は約6 cm深まで数倍から10倍量多く抑留され、それ以深は2日目の値とほぼ同じであった。

4. 4 両池砂層の藻類細胞数の深度分布

両ろ過池において、使用20日目の砂層中の藻類細胞数の深度分布をFig. 5に対数目盛で示した。

石舟浄水場ろ過池は藻類被膜層の細胞数が乾燥砂(g)当たり 10^6 個であったが、4 cm深で 10^3 個まで漸減してそれ以深はほぼ一定になった。それに対して、染屋浄水場ろ過池は4 cm深まで漸減するが、石舟浄水場よりも10倍多く、それ以深はほぼ一定の値になった。

砂層中の藻類細胞数の深度分布は両方で顕著に異なり、染屋浄水場ろ過池では深層まで藻類が多く侵入している

Fig. 3 The depth distribution of the Chlorophyll a (Chl) / SAND in logarithmic scale in upper sand columns on different days at Ishifune and Someya slow sand filters

Fig. 4 The depth distribution of the Pheophytin a (Pheo) /SAND in logarithmic scale on different days in upper sand columns at Ishifune and Someya slow sand filters

Fig. 5 The depth distribution of total cells number of algae in logarithmic scale on 20 days of filter run at Ishifune and Someya slow sand filters

ことが判明した。また、両池とも付着珪藻 *Navicula* が優占種で、糸状珪藻 *Melosira* は比較的少なかった。近藤¹⁴⁾ は大阪市上水道緩速第8号ろ過池で、汚泥中に於ける生物の周年消長について報告している。その結果、2月は *Melosira* よりも *Navicula* が優占しており、石舟、染屋両浄水場の結果と一致した。

5. 考察

ろ過池使用20日間における両池の抑留物質の深度分布をまとめてTable 1に示した。砂層は藻類被膜層を含む0-1cm層、1-6cm層、6-13cm層の3層に分けて、TOC、Chl、Pheoの現存量を示した。

染屋浄水場ろ過池では0-1cm層はTOC、Pheoが約1.6倍、Chlが2.7倍ほど石舟浄水場の値より高かった。1-6cm層はさらにTOCが3.4倍、Pheoが約4.2倍、Chlが5.8倍と高く、染屋浄水場ろ過池砂層の方が抑留物質が深層まで多く存在した。また、6-13cm層はTOCが0.7倍、Chlは2.3倍、Pheoが4.3倍であった。

ろ過池使用20日目の石舟浄水場ろ過池砂層におけるPheoの深度分布が、使用2日目と比べて下層ほど減少するのに対して、染屋浄水場では抑留されるChl量、Pheo量は石舟浄水場より数段多く、特に6cm以深でPheo量が2日目と20日目で殆ど変わりがなくなり、ろ過池砂層における浄化能が石舟浄水場よりも低下していることが示唆された。

両池のChl/TOC比の深度分布をTable 2に示した。この比は有機物に占める藻類体の割合を示しているが、表層より5.5cm深までの層間は両池共TOC、Chlの抑留量が特に多い。ほぼ6日間毎の両池のChl/TOC比についてみると、使用日数2日目から7日目の間では、染屋浄水場ろ過池の砂層約2cm深までの比が際だって高く、次の8日目から13日目の間も下層までChl/TOC比が高いことが分かった。14日目から20日目の間は藻類被膜層を含む0.25cm深で石舟浄水場ろ過池と2倍強の差があるが、0.75cm以深では両者の差がほとんどなかった。

染屋浄水場ろ過池は20日間のろ過池使用期間中、砂層2.5cmから5.5cm深の間のChl/TOC比が石舟浄水場ろ

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

Filter	Layer	0-1.0cm $\mu\text{g/g}$	1.0-6.0cm $\mu\text{g/g}$	6.0-13cm $\mu\text{g/g}$	Total (0-13cm) $\mu\text{g/g}$	Total (0-13cm) Someya/Ishifune
Ishifune	TOC	6.93×10^3	0.14×10^3	0.13×10^3	8.51×10^3	
	Chlorophyll <i>a</i>	37.3	0.26	0.08	39.2	
	Pheophytin <i>a</i>	4.02	0.16	0.03	5.03	
Someya	TOC	11.0×10^3	0.48×10^3	0.09×10^3	14.0×10^3	1.7
	Chlorophyll <i>a</i>	99.1	1.52	0.18	108	2.8
	Pheophytin <i>a</i>	6.43	0.67	0.13	10.2	2.0

Table. 2 The depth distribution of the Chl/TOC ratio on different days in upper sand columns at Ishifune and Someya slow sand filters

Layer (cm)	DAY2-7		DAY8-13		DAY14-20	
	Ishifune ($\times 10^{-3}$)	Someya ($\times 10^{-3}$)	Ishifune ($\times 10^{-3}$)	Someya ($\times 10^{-3}$)	Ishifune ($\times 10^{-3}$)	Someya ($\times 10^{-3}$)
0.25	1.9	8.8	5.4	8.3	8.0	18.0
0.75	2.1	17.5	4.9	3.3	1.0	0.4
1.5	0.1	16.4	2.6	3.9	0.1	—
2.5	0.4	0.8	1.8	7.6	2.7	3.4
3.5	2.5	3.3	0.0	0.7	2.2	2.3
4.5	0.8	3.3	0.0	17.3	0.0	0.9
5.5	0.4	0.0	0.0	16.6	0.8	2.9

過池よりも明らかに高いことが分かった。

以上の結果から染屋浄水場では、ろ過池使用初期流入水によって持ち込まれた懸濁物質が、ろ過速度を一度上げてから戻して、その後再度急激に上昇させたために一気に砂層内に侵入してNHLが上昇し10cmから20cm以上という両者の損失水頭の差になったと考えられた。それに対して石舟浄水場は、使用初期の流入懸濁物質量は染屋浄水場より数倍多いが、NHLは30cm前後と低かった。これは懸濁物質がろ過池内に多く流入する時期に、流速を低く抑えていたため、砂層表層に懸濁物質が捕捉されて侵入しにくかったものと考えられた。その後は流速を徐々に上げており、10日目から20日目の間については、両者の流入懸濁物負荷量は逆転して石舟浄水場の流入量が低く、流速が上昇しても砂層への侵入量が少なかったものと考えられた。

岩瀬ら¹¹⁾は染屋浄水場において懸濁物質の侵入状況を調査しているが、大部分の懸濁物質は砂層の極上部で抑留され、2-3 cm以深へは殆ど侵入しないことを指摘している。また著者らは、前報¹²⁾でろ過池砂層への侵入度合いは浄水場によって異なることを報告した。その結果は今回の調査とは逆に、染屋浄水場よりも石舟浄水場の方が懸濁物質の侵入度合いが高かった。調査はそれぞれ4月から10月¹¹⁾、4月から7月¹²⁾で、両者とも冬期間を除いた時期のものであった。

Duncan¹³⁾は、緩速ろ過池砂層中の粒子状有機物は、ろ過池の損失水頭と流入する有機物負荷に関係することを、英国のHamptonとAshford Common浄水場の研究で明らかにしている。

また、野崎⁹⁾は染屋浄水場(1991年10月から1993年8月)と石舟浄水場ろ過池(1992年6月から1993年8月)に流入する藻類量について、ろ過池砂層上の藻類推定堆積量と実測の藻類現存量について調査を行っている。その結果、夏期は糸状体の藻類が真綿状の厚い被膜を形成しているが、冬期は堆積物のような薄い被膜が観察され、単細胞で生活する藻類が付着性の群落を形成して、冬期2月、3月の石舟浄水場と染屋浄水場では推定堆積量と実測の藻類現存量共におよそ2倍以上の差があり、染屋浄水場が石舟浄水場よりも高いことを指摘している。流入する藻類量からも染屋浄水場がろ過閉塞障害を生じやすいことを示唆していた。

今回の調査はろ過池使用日数が岩瀬ら¹¹⁾、前報¹²⁾の3分の2あるいは半分の20日間であった。2日目と20日目の深度分布を比べた結果、染屋浄水場ろ過池では砂層表層より約7 cm深まで、石舟浄水場では約2 cm深まで

TOC含量が高く、懸濁物質が多く侵入し抑留されていた。また、この深度での藻類細胞数は乾燥砂当たり両者共に約 10^4 個で、染屋浄水場ろ過池砂層の方が深層まで藻類が侵入していた。染屋浄水場よりも石舟浄水場の方が懸濁物質の侵入度合いが高かった理由として、野崎⁹⁾が示唆しているように、時期的に染屋浄水場の方が藻類現存量が高くろ過閉塞障害を生じ易いところに、ろ過池管理が悪かったことが抑留物質の深度分布に影響したものと考えられた。

6. 結論

冬期のろ過閉塞し易い時期、緩速ろ過池の石舟浄水場と染屋浄水場の砂層に、ろ過砂を詰めた塩ビ管を挿入して抑留物質の深度分布を調査した結果、以下のことが明らかになった。

- 1) TOCの深度分布から、石舟浄水場に比べて染屋浄水場ろ過池では有機物の抑留量が数倍多く深層まで抑留されていた。
- 2) Chlの深度分布についてもTOCとほぼ同様の結果が示された。
- 3) 染屋浄水場ろ過池のPheo量は石舟浄水場と比べて下層で多く抑留されていた。
- 4) 染屋浄水場では、藻類細胞数が石舟浄水場の数倍から10倍ほど多く存在した。
- 5) Chl/TOC比からみて、染屋浄水場ろ過池では流入水によって持ち込まれた藻類がろ過池に多く抑留され、ろ過池管理が深度分布に関係することが示唆された。

謝辞：本研究を行うにあたりろ過池での実験およ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および季節変化、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・坂井正：緩速濾過池の藻類の役割—緩速濾過池における糸状藻類の繁殖と濾過閉塞、249-252、土木学会衛生工学委員会編、環境微生物工学研究法、417、技報堂出版(1993)
 - 7) Sakai, M. and N. Nakamoto : Role of filamentous algae in a slow sand filter, Verh. Internat. Verein. Limnol., 25, 1993-1995(1994)
 - 8) Nakamoto, N. and M. Sakai : Primary production by harvest method in a pond of a slow sand filter, Verh. Internat. Verein. Limnol., 25, 1996-1998 (1994)
 - 9) 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)
 - 10) Nakamoto, N., M. Yamamoto, M. Sakai, K. Nozaki, N. Iwase, M. Yasuda, T. Kitada and K. Hirabayashi : Role of filamentous diatom as an automatic purifier in a slow sand filter, 139-148, In N. Graham and R. Collins (eds.) : Advances in slow sand and alternative biological filtration, 461, John Wiley & Sons Ltd. (1996)
 - 11) 岩瀬範泰・木崎豊・野崎健太郎・坂井正・中本信忠：緩速ろ過池砂層内の汚泥の垂直分布とその性状、水環境学会誌、19(12)、1009-1014(1996)
 - 12) 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)
 - 13) Duncan, A. : The ecology of slow sand filters, 163-180, In N. Graham (ed.) : Slow sand filtration-Recent developments in water treatment technology, 416, Ellis Horwood Ltd. (1988)
 - 14) 近藤正義：上水道に於ける濾膜の生物学的研究、第1報 緩速濾過汚泥中の生物分布に就て、水道協会雑誌、25、53-65(1935)
- (受付 1997. 3. 10)
(受理 1997. 6. 24)