

夏期の緩速ろ過池における藻類被膜の発達と水質浄化能

中本信忠・田口香代・池田大介・山本満寿夫・松田卓也
 信州大学繊維学部応用生物科学科

Relationship Between Growth of Algae and Water Purification in a Slow Sand Filter in Summer

Nobutada NAKAMOTO, Kayo TAGUCHI, Daisuke IKEDA,
 Masuo YAMAMOTO and Takuya MATSUDA

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

Abstract: The effects of water depth on the growth of algae and on the purification capacity of water in slow sand filters in summer were studied. Filamentous algae grew well in a shallow filter pond. The higher removal rates of available nutrients and dissolved organic carbon in a raw water were observed in the filtration of a shallow filter pond. Importance of algae as a nutrient assimilator and as an oxygen producer in the purification process was discussed.

Key words: algal mat, purification, water depth, slow sand filter

藻類被膜, 水質浄化, 水深, 緩速ろ過

1. 緒 論

緩速ろ過処理法は、河川水、湖沼水、地下水などを底に約1mの砂層、れき層のある緩速ろ過池(図-1)へ導入させ、3~5m/日のゆっくりとした速度で通過させて水を浄化する方法である。このろ過池の砂層表面には、微生物群集の生物膜が発達し、有機物分解を担っていることが知られている。上田市の緩速ろ過池では、砂層表面に糸状珪藻 *Melosira varians* が優占的に繁殖し、藻類被膜を形成する事が報告された(中本, 江連1989)。また、この藻類被膜の発達は水質浄化にも役立っていると考えられた(中本1986)。ところが、群馬県高崎市水道局の若田浄水場を調査したところ、上田市のろ過池に比べ藻類被膜の発達が悪かった。この原因は、ろ過池の水深が1.5m以上と深く、光条件が悪いためと考えられた。その後、この浄水場ではろ過池の水深を浅くする工事が行われ、1994年には10池中5つのろ過池の水深が浅くなった。1994年5月に調査したところ、藻類被膜が良く発達するろ過池と、あまり発達しないろ過池が観察された。本研究ではろ過池の水深に着目し、藻類繁殖が顕著な夏期

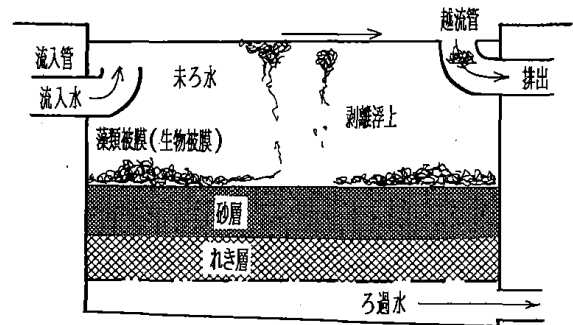


図-1 緩速ろ過池の構造

表-1 高崎市若田浄水場の各ろ過池の平均水深

	浅いろ過池	深いろ過池
水 深	103cm	156cm
	105cm	164cm
	112cm	175cm
	114cm	180cm
	117cm	182cm
平 均	110cm	171cm

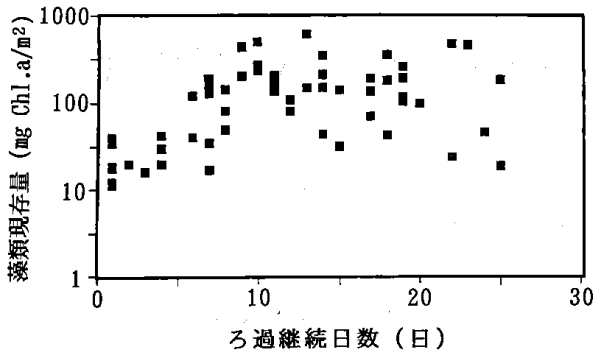


図-2 a 浅いろ過池におけるろ過継続日数と藻類現存量の関係

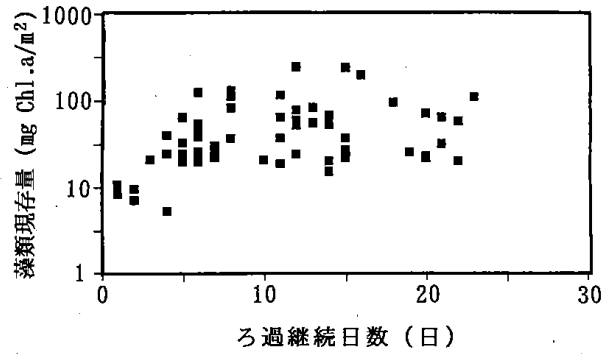


図-2 b 深いろ過池におけるろ過継続日数と藻類現存量の関係

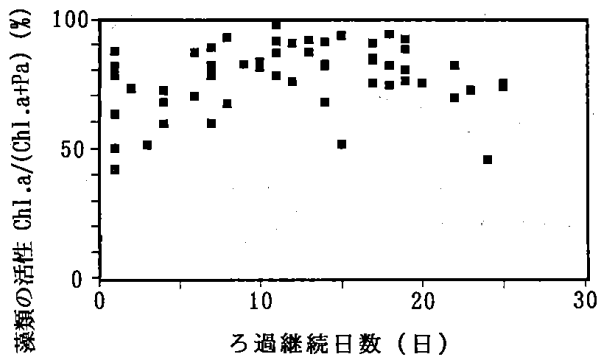


図-3 a 浅いろ過池におけるろ過継続日数と藻類の活性の関係

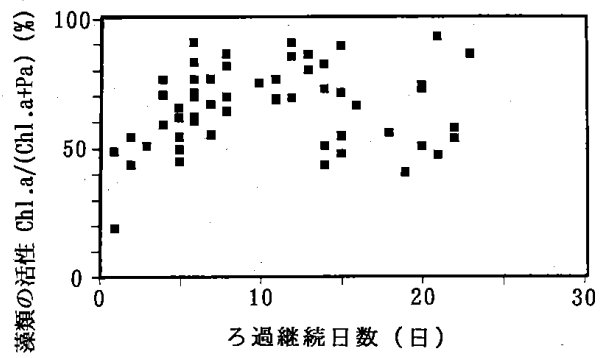


図-3 b 深いろ過池におけるろ過継続日数と藻類の活性の関係

の藻類被膜の発達状態および水質浄化能の違いについて調査、検討した。

2. 調査期間、調査地および方法

群馬県高崎市若田浄水場で1994年5月18日、6月28日、7月4日、7月14日、7月18日、7月26日、8月4日、8月9日、8月30日、9月9日、10月18日、10月25日、11月1日の13回調査した。ろ過池の平均水深は表-1に示すように明確に、5つの浅いろ過池と5つの深いろ過池に分けられた。

藻類被膜はろ過膜採取器(中本1988)を用い砂層表面10cm²を2ヶ所採取したものを混合し試料とした。試料水をガラス繊維ろ紙(東洋GA100)でろ過し、懸濁物質中のクロロフィル量をUNESCO法およびLorenzen法により分析した。分析は上水試験方法(日本水道協会1978)を参考にした。砂層表面の単位面積あたりの藻類現存量をChl.aを指標として表した。

また、懸濁試料水をガラス繊維ろ紙(Whatman GF/C)でろ過し、試料水中の全有機炭素(TOC)とろ過水中のTOCを、島津全有機炭素計TOC-500により分析した。試料水中のTOCとろ過水中のTOC

の差をとり、粒子状炭素(POC)を求めた。砂層表面の単位面積あたりの付着物現存量を有機炭素量で表した。

ろ過池への流入水、未ろ水およびろ過水を採水し分析試料とした。生物利用可能な栄養塩濃度の評価は、水中の生物利用可能な栄養物質を評価するバイオアッセイ法のMBOD法(32°C2日間培養法)により分析した(中本1978)。MBOD法による水質評価実験は、流入水については3回(8月4日、9月9日、10月25日)行い、未ろ水およびろ過水については2回(9月9日、10月25日)行った。

また、試水中の全炭素(TC)と無機炭素(IC)を測定し、その差をTOCとし、DOCも測定しPOCを算出した。さらに、未ろ水のTOCからろ過水のTOCの差からTOCの除去量および除去率を算出した。

3. 結果

3-1 藻類被膜について

a. ろ過継続日数と藻類現存量の関係

調査期間中のろ過継続日数と藻類現存量の関係は、

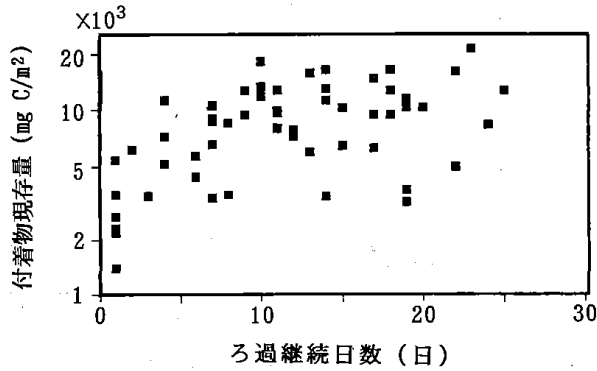


図-4 a 浅いろ過池におけるろ過継続日数と付着物現存量(有機炭素量)の関係

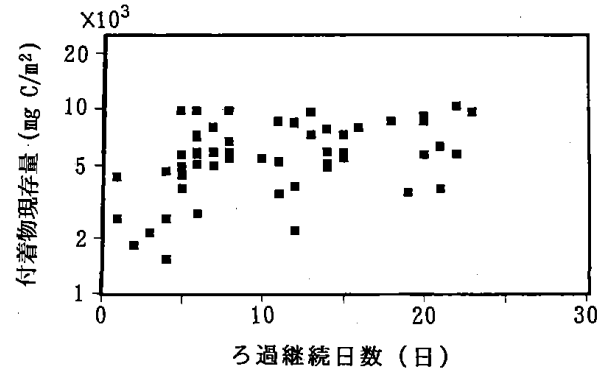


図-4 b 深いろ過池におけるろ過継続日数と付着物現存量(有機炭素量)の関係

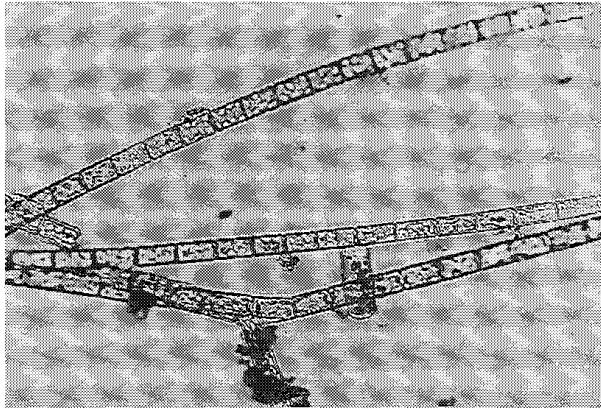


写真-1 浅いろ過池における藻類被膜を構成する活性の良い糸状珪藻 *Melosira varians*

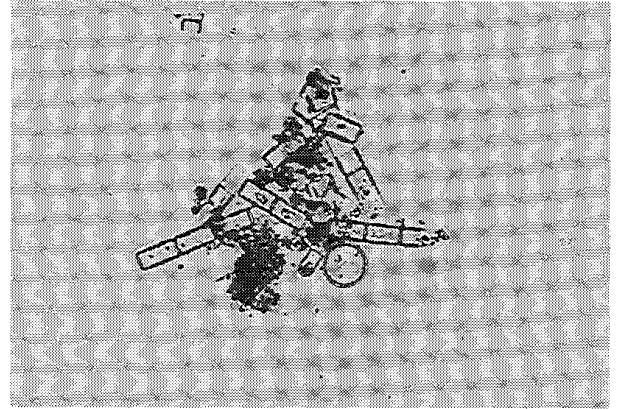


写真-2 深いろ過池における藻類被膜を構成する活性の悪い糸状珪藻 *Melosira varians*

浅いろ過池と深いろ過池で明らかな差がみられた(図-2a,b)。ろ過開始初期のUNESCO法で分析したChl.a量で表した藻類被膜の発達は対数増加し、その速度定数($\log_{10}\text{day}$)と倍加時間(日)は、浅いろ過池では0.13および2.31日、深いろ過池では0.14および2.15日となり大きな差ではなかった。しかし、浅いろ過池では、ろ過継続10日目あたりまで増加を続けるのに対し、深いろ過池では、ろ過継続6日目あたりで既に頭打ちとなり定常状態に入った。定常状態での藻類現存量は、藻類が剥離浮上を繰り返すため、平均現存量を正確に求める事は難しいが、浅いろ過池で $192 \pm 144 \text{ mg Chl.a/m}^2$ (平均±標準偏差)、深いろ過池で $60.4 \pm 53.2 \text{ mg Chl.a/m}^2$ となり、約3倍の違いがあった。

b. ろ過継続日数と藻類の活性の関係

ろ過継続日数と藻類の活性の関係をクロロフィルa分解物であるフェオフィチンaの存在割合の変化で表した(図-3a,b)。浅いろ過池では、ろ過開始初期の

段階で、既に高い活性を示す傾向がみられた。また定常状態になった後は、浅いろ過池では $81.1 \pm 11.1\%$ と高い値を示し、活性の良い藻類の割合が多いことが分かった。一方、深いろ過池でのこの割合は、 $67.9 \pm 16.4\%$ となり、明らかな違いがみられた。

また、藻類被膜を顕微鏡観察したところ、浅いろ過池では細胞質のつまった *Melosira varians* の長い糸状のコロニーが多く、深いろ過池では細胞の数が短いコロニーで、しかも細胞質のつまっていない状態がほとんどであった(写真-1,2)。

c. ろ過継続日数と付着物現存量の関係

有機炭素量で表した付着物現存量は、浅いろ過池では、ろ過継続10日目あたりまで増加したが、深いろ過池では、ろ過継続6日目あたりで頭打ちになり定常状態になった(図-4a,b)。この傾向は、Chl.a量で表した藻類現存量の変化と同じである。定常状態になってからの付着物現存量は、浅いろ過池で $10.1 \pm 4.5 \times 10^3 \text{ mg C/m}^2$ 、深いろ過池で $6.5 \pm 6.7 \times 10^3 \text{ mg C/m}^2$

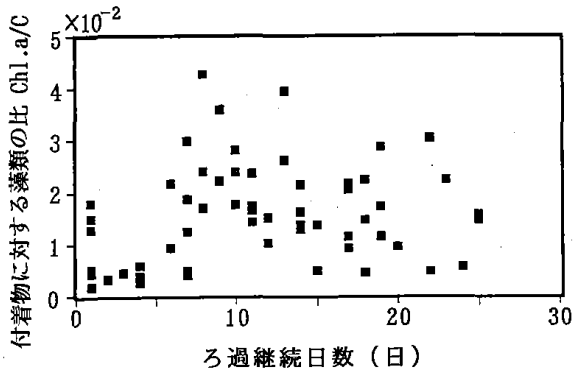


図-5 a 浅いろ過池におけるろ過継続日数と付着物現存量(有機炭素量)に対する藻類現存量(クロロフィルa量)の比との関係

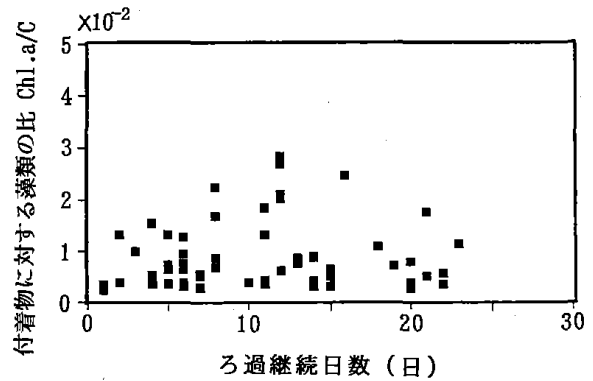


図-5 b 深いろ過池におけるろ過継続日数と付着物現存量(有機炭素量)に対する藻類現存量(クロロフィルa量)の比との関係

表-2 流入水のMBOD法による分析結果

採水日	MBOD mg O ₂ /l	MBOD-N mg O ₂ /l	MBOD-P mg O ₂ /l
8月4日	13.94	107.33	13.03
9月9日	14.28	87.06	11.58
10月25日	12.27	121.90	8.08
平均	13.50	105.43	10.90

表-3 MBOD法による浄化能を調べたろ過池の状態

調査日	浅いろ過池		深いろ過池	
	ろ過継続日数	藻類現存量	ろ過継続日数	藻類現存量
	日	mg Chl.a/m ²	日	mg Chl.a/m ²
9月9日	17	136.4	14	42.8
10月25日	19	257.2	14	67.6

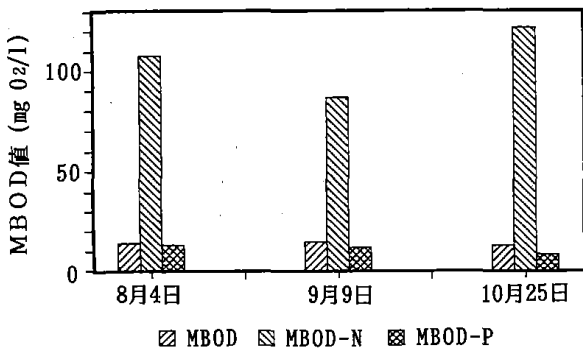


図-6 流入水のMBOD法による水質分析結果(8月4日, 9月9日, 10月25日)

となり、浅いろ過池の方が多かった。

d. ろ過継続日数と付着物に対する藻類の比の関係

定常状態になったときの付着物(有機炭素量)に対する藻類(Chl.a量)の比は、浅いろ過池で 0.019 ± 0.013 (Chl.a/C)、深いろ過池では 0.0094 ± 0.0069 となり、浅いろ過池の方が有機炭素中に占めるクロロフィル含量が、約2倍と高い事が分かった(図-5a,b)。

3-2 流入水について

MBOD法による流入水の水質分析結果を表-2, 図-6に示した。分析を3回行ったが、いずれも潜在

藻類生産能のMBOD値とリンに依存するMBOD-P値がほぼ一致し、窒素に依存するMBOD-N値が約10倍の高い値を示した。MBOD値から潜在藻類生産量を推定すると、流入水は 27 mg Chl.a/m^2 の潜在生産量があり、流入水中のリンを完全に藻類が利用すると、約 22 mg Chl.a/m^2 、窒素を完全に利用すると約 210 mg Chl.a/m^2 の潜在生産量があった。つまり、流入水中の栄養塩の必要量に関しては、生物利用可能な窒素量が約10倍多く、窒素が余るリン制限型の水である事が分かった。

3-3 未ろ水とろ過水について

a. MBOD法による水質分析結果

藻類被膜が発達し、定常状態になった浅いろ過池と深いろ過池の各々の未ろ水とろ過水を、MBOD法により分析し、栄養物質を測定した。調査したろ過池の状態を表-3に示した。MBOD法による分析結果を各々について平均値で表-4に示した。

ろ過池を通過する事による、栄養物質の除去量を算出した結果、MBOD-N値が他のMBOD値に比べ非常に高い値を示した(図-7)。つまり、水深に関係なく窒素をより多く除去していた。しかし、浅いろ過池では、MBOD-N値がMBOD-P値の10倍以上であ

表 - 4 未ろ水とろ過水の MBOD 法による分析結果

		MBOD	MBOD-N	MBOD-P
		mg O ₂ /l	mg O ₂ /l	mg O ₂ /l
浅いろ過池	未ろ水	8.19	60.33	9.45
	ろ過水	5.49	30.85	6.99
	除去量	2.70	29.48	2.46
	除去率(%)	33.0	48.9	26.0
深いろ過池	未ろ水	7.84	53.45	10.17
	ろ過水	9.28	45.94	8.61
	除去量	-1.44	7.51	1.56
	除去率(%)	-18.4	14.0	15.3

表 - 5 炭素量の測定結果

		浅いろ過池		深いろ過池	
		未ろ水	ろ過水	未ろ水	ろ過水
TC	平均(mg C/l)	8.39	7.57	7.95	7.39
	標準偏差	1.14	1.47	1.05	1.57
IC	平均(mg C/l)	6.51	6.43	6.22	6.03
	標準偏差	1.14	0.65	0.52	0.63
TOC	平均(mg C/l)	1.88	1.15	1.73	1.36
	標準偏差	1.23	1.15	1.23	1.18
TOC 除去量(mg C/l)		0.73		0.38	
標準偏差		0.47		0.33	
TOC 除去率(%)		42.5		23.9	

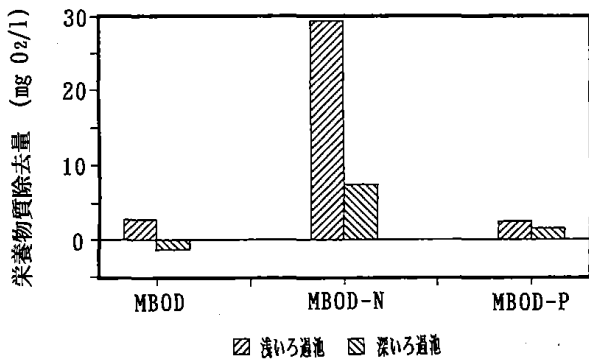


図 - 7 MBOD 法による栄養物質の除去量：未ろ水とろ過水の MBOD 値の差(9月9日, 10月25日の平均値)

ったのに対し、深いろ過池では約5倍しかなく、浅いろ過池の方が能率良く窒素を除去していた事も分かった。更に、浅いろ過池と深いろ過池を比較すると、全ての項目において浅いろ過池の方が除去量が多く、除去率もはるかに良かった。また、深いろ過池の MBOD 値がマイナスの値を示した。この事は、深いろ過池でも藻類被膜が発達し、多少は無機栄養物質を藻類が取り込んでいたはずが、未ろ水よりもろ過水の

方が逆に多くなっていた。

b. TOC の測定結果

溶存有機炭素 (DOC) を測定したところ、TOC とほとんど同じ値で、POC は約0.1mg C/l となり、TOC と DOC の値に比べ極端に小さく、無視できる値であった。未ろ水とろ過水の TC と IC、および TOC の測定結果を、表 - 5 に示した。砂層を通過することによる TOC の除去量は、浅いろ過池で0.73±0.47mg C/l、深いろ過池で0.38±0.33mg C/l と、浅いろ過池の方が多かった(図 - 8a, b)。除去率も、浅いろ過池で42.5%、深いろ過池で23.9%と、浅いろ過池の方が良かった。

また注目すべき事は、浅いろ過池ではろ過開始初期の段階で、既に高い除去量を示した事である。この現象は、藻類の活性と関係があると考えられた。浅いろ過池で、藻類の活性はろ過開始初期の段階で既に高い除去量を示していた(図 - 3a, b: 前出)。つまり、ろ過開始初期から、藻類の活性が良く光合成が盛んで、より多くの酸素を生産し、砂層表層の生物膜(微生物

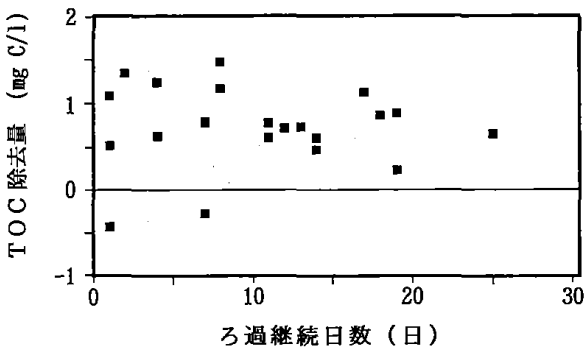


図 - 8 a 浅いろ過池におけるろ過継続日数と TOC 除去量の関係

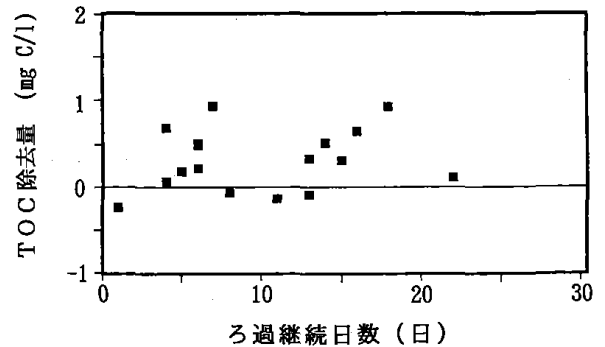


図 - 8 b 深いろ過池におけるろ過継続日数と TOC 除去量の関係

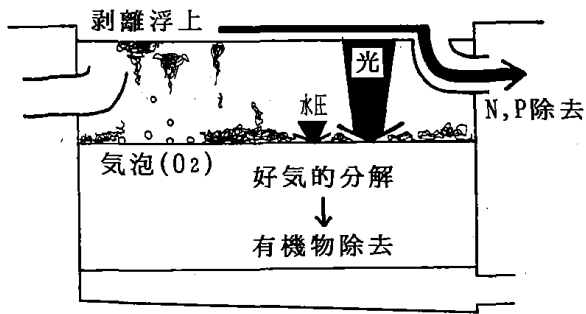


図-9 a 水深の浅いろ過池における藻類被膜の発達と浄化能力の関係の模式図

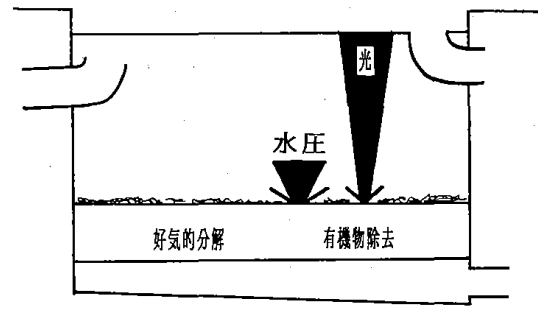


図-9 b 水深の深いろ過池における藻類被膜の発達と浄化能力の関係の模式図

膜)による有機物の好氣的分解が促され、有機物の除去量が多いと考えられた。

4. 総合考察

水深と藻類の関係を模式化し図-9a,bに示した。藻類被膜の状態は、ろ過池水深の浅い方が藻類現存量が多く、活生の良い藻類が多かった。また、付着物現存量、付着物に対する藻類の割合も、浅いろ過池の方が高い値を示した。これは、浅いろ過池の方が、より多くの光が砂層表面に到達しやすく、藻類が活発に光合成を行う事ができるためであると考えられた。

また砂層表面の水圧は、浅いろ過池の方が小さく、光合成により生じた酸素が気泡になりやすい状態にある(中本, 坂井1993)。生産された気泡は、藻類被膜に付着し、その浮力で被膜を剥離、浮上させる。つまり、浅いろ過池では、藻類体の生産が盛んで、浮上した藻類被膜は越流管より排出されやすい。藻類の成長に利用された窒素やリンは、藻類体と一緒に越流管より除去されると考えられた。

更に、藻類被膜に付着している気泡は、藻類の剥離、浮上と共に、全ての気泡が日中に流出するのではない。日没後も藻類被膜に大量の気泡が付着したままであり、気泡から砂層表面の微生物膜に酸素を供給し続ける。つまり、浅いろ過池では、微生物の好氣的分解が一日中促され、有機物をより多く除去する事ができると考えられた。

水深の浅いろ過池では、藻類被膜は盛んに発達し、このろ過水は、肥料成分や有機物量の少ない、より上流の水質になった。藻類被膜の発達は水質浄化に役立つ事が確認できた。

最後に、調査に理解を示しご協力をいただいている、高崎市水道局の皆様にご感謝の意を表します。

摘 要

ろ過池水深に着目し、水深の浅いろ過池と深いろ過池について、藻類被膜の発達状態と浄化能力について調査した。浅いろ過池の方が、藻類現存量は多く、活性も高かった。藻類の光合成により生産された酸素の気泡の浮力により、藻類被膜は剥離、浮上を繰り返し、藻類体に取り込まれた窒素やリンは、藻類体と一緒に除去された。また、光合成による気泡は、砂層表面の微生物膜に酸素を供給し、微生物の好氣的分解を促進し、有機物分解に役立つと考えられた。

参考文献

- 中本信忠 (1978) : バイオアッセイ法による水中の生物利用可能栄養物質の推定, 下水道協会誌 15 (No.172) : 1-8.
- 中本信忠 (1986) : 緩速ろ過における糸状藻類の有用性, 水道協会雑誌55(3) (No.618) : 19-21.
- 中本信忠 (1988) : 緩速ろ過池における藻類被膜の採取道具の試作, 水道協会雑誌57(10) (No.649) : 17-19.
- 中本信忠・江連小百合 (1989) : 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) (No.659) : 17-21.
- 中本信忠・坂井正 (1993) : 水圧を受けた現場での溶存酸素の絶対飽和度と気泡生産, 環境科学年報 15 : 87-88.
- 日本水道協会 (1978) : 上水試験方法 (1978年版)
- 日本分析化学会北海道支部 (1981) : 水の分析 (第3版), 化学同人

(受付 1995年2月10日)