

(1) 針状珪藻の急速砂ろ過層内抑留に対する(ろ材径/珪藻長)比の影響

Influence of Ratio of Grain Size of Filter to Length of Slender Type Diatoms
on Deposit in Rapid Sand Filter

今野 弘*・伊澤信宏*・佐藤敦久**・真柄泰基***

Hiroshi KONNO, Nobuhiro IZAWA, Atsuhisa SATO, Yasumoto MAGARA

ABSTRACT ;Most of algae which affect the filter clogging in water purification process for drinking water are slender type diatom. In this study, the filtration experiment has been performed using the practical slender diatoms to clear the mechanism of deposit in the filter. The ratio of filter grain size to the length of slender type diatom is closely related with the filter efficiency, the headloss profile in filter layer. As the results, it is indicated as follows: 1) the efficiency of filtration is higher comparatively under the filtration of filter grain size, d within about 15 times of length of slender type diatom, s , but it decreases with ratio of grain size to length of diatom, 2) on the penetration depth, which is correspond to the filter depth of the 95% headloss appearance to total headloss for the deposit in the filter, of diatoms into sand filter layer, under the condition such less than 15 in ratio, d/s , the number of thin filter layer having depth of grain size for the penetration depth is within about 50 only.

KEYWORDS ; rapid sand filtration, filter clogging, diatom, anthracite, dual-media filter

1. 序 論

水質汚濁の進んだ水源原水は健康への影響だけでなく、水処理のプロセスやシステムに対しても困難性をもたらしめている。それは、富栄養化した水源で発生する藻類に起因している。藍藻類を初めとして藻類の多くの種類が関係しているといわれる異臭水の発生は、日本の5分の1近くの国民に影響を与えているといわれている。富栄養化した水源で増殖する一般の藻類は、粘土のような自然の懸濁物質よりは一般に相対密度が低く、それ故藻類は、一般にコロイド粒子よりは大きなサイズを持っているものの、他の懸濁物質よりは、沈降速度が遅い^{1)・2)}。藻類の凝集やフロック形成に関する研究は、比較的最近になって実施されており、それらの現象の特殊性、特に生物体としての藻類の表面状態の変化、各増殖期ごとの異なる生物活性による凝集性の違いや凝集のしにくさ^{2)・3)}、あるいは藻類が代謝する有機物の凝集に対する影響などがしだいに明らかになってきている^{4)~14)}。しかしながら未だ不明な点が多い。これらの問題は針状の珪藻に限らず藻類全般にいえることで、今後とも藻類の水処理への影響について検討を進めていく必要がある。

一方、浄水処理システムの仕上げ工程としての急速砂ろ過池の閉塞の問題は、湖沼や貯水池のような閉鎖性水域の富栄養化のために以前から問題になっていた。この問題に関しては、これまで多くの研究者によって閉塞の原因となる藻類の種類やろ過の運転条件についての研究が報告されてきた^{15)~26)}。ろ過閉塞を引き起こす藻類の多くは、シネドラ、フラギラリアそしてアステリオネラのような針状の珪藻である。報告や論文の多くは、閉塞の主な原因や急速ろ過法における対策について指摘している。これらは、原因を特定し、ろ過層内部に抑留された藻類による損失水頭の発現性や講じられた対策の例について報告しているために、論文や報告としては評価されるもののより一般的に抑留の機構を明らかにしたり、対策の一般化あるいは、対

* 東北工業大学土木工学科 (Dept. of Civil Engineering, Tohoku Institute of Technology)

** 八戸工業大学土木工学科 (Dept. of Civil Engineering, Hatinohe Institute of Technology)

*** 国立公衆衛生院水道工学部 (Dept. of Water Supply Engineering, The Institute of Public Health)

策の指針を得るまで言及できていない。またこの種の研究において、生物体としての藻類を扱う場合、粘土などの無機物質と異なって、懸濁物質としては実験条件や生物的な性質の設定など不明確で面倒な点が多い。したがって、調査研究の舞台が実際の浄水場であったり、あるいは実際の貯水池の水を原水として実験したりするという実験的な検討が多い^{15)~19), 26)}。また一方では、ろ過閉塞の原因藻類の増殖の特性についての研究なども試みられており^{27), 28)}、これらは水源の水質や環境条件から、その種の藻類の増殖の制御や増殖予測のための研究と位置づけられる。

著者らは、先に針状珪藻の長さや濃度およびろ材やろ過速度など物理的諸条件とろ過閉塞との関係を明らかにすることを目的にして、針状珪藻や砂の代わりに物理的条件が設定しやすいモデル材料を用いて、抑留比、ろ材一個当りの抑留量、藻類の進入深さなどについて検討した結果を最近発表した²⁹⁾。この結果、モデル藻類のモデルろ材中への抑留状況と進入深さから考察して、ろ過閉塞防止のために用いられるアンスラサイトなどの大粒径ろ層の有用性とそのろ層厚さに関する指標を提示した。しかし、この結果は本来モデル材料を用いて得られた結果であるので、実際の針状珪藻を用いた検証が必要と考え、平行して実験的な検討を重ねてきた。本研究では、実際に針状の珪藻を培養して、ろ過実験を行い、針状珪藻の抑留特性とろ過閉塞の防止のためのろ層構成に対して検討を加えた。

2. 実験

2.1 藻類の培養

針状の珪藻は、通常の水域に生息しており、簡単に採取することができる。しかし、一般には各種の藻類種が混在しており、そのままでは実験に供することができない。本研究においては、仙台市の主要な水瓶であるK湖およびその流入河川から藻類を採取し、その中から針状の珪藻を分離培養してろ過実験に使用した。培地は表-1に示すような成分を有する BG-11培地を用い、必要な藻類のみを培養する分離には1.5%の寒天培地を用いた。分離に成功した針状の珪藻類はニッチア (*Nitzschia*) 属であり、三種類の長さのニッチアを大量培養することができた。写真には、電子顕微鏡で観察、撮影したニッチアを示した。ニッチアは、淡水、海水いずれにも見られ、非常に多くの種類があるといわれているが、写真に示したのは、ニッチア パレア (*Nitzschia palea*) であると判断した。培地BG-11中においては、培養日数の経過とともにニッチアはよく増殖した。なお、他の培養条件は水温20℃、照度2,000lxの連続照射、特に振とうしない静置培養である。図-1に増殖曲線の一例を示した。ニッチアの増殖パターンを図-1に示したように、培養日数一週間程度までの対数増殖期、個数濃度がピークに達した定常期(培養日数10日間程度)、

Table 1 Chemical composition of culture media

NaNO ₃	0.5 g	A _s solution	
K ₂ HPO ₄	0.039 g	H ₃ BO ₃	2.86 g
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.075 g	MnCl ₂ ·4H ₂ O	1.86 g
CaCl ₂	0.036 g	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.22 g
Na ₂ CO ₃	0.020 g	CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.08 g
Na ₂ SiO ₃	0.058 g	Na ₂ MoO ₄	0.02 g
citric acid	0.006 g	H ₂ SO ₄	1 drop
ferric citrate	0.006 g	distilled water	1,000 ml
vitamin B ₁	0.002 g	B _s solution	
vitamin B ₁₂	trace	NH ₄ VO ₃	0.23 g
EDTA	0.001 g	Cr ₂ K ₂ (SO ₄) ₄ ·24H ₂ O	0.96 g
A _s solution	1.0 ml	NiSO ₄ ·6H ₂ O	0.45 g
B _s solution	1.0 ml	Na ₂ WO ₄ ·2H ₂ O	0.49 g
distilled water	1,000 ml	Ti solution	20 ml
		0.1N H ₂ SO ₄	1,000 ml

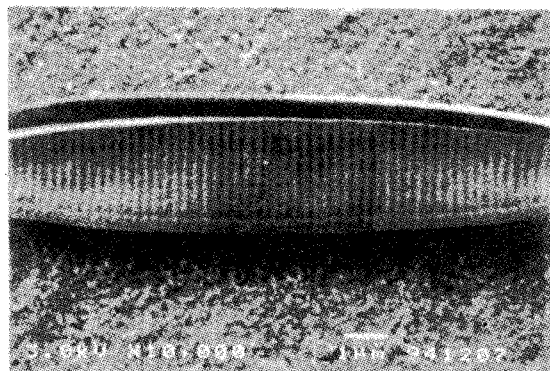


Photo. *Nitzschia palea*

やがて個数濃度が減少する死滅期（培養日数二週間程度以降）に分けることができる。

2.2 実験装置および実験条件

実験装置は、図-2に示した。ろ過筒は透明なアクリル製である。ろ過筒本体は直径50mm、長さ120cmの円筒形である。ろ層部には2cm間隔にマノメータ用のチューブがとりつけてある。装置全体的には、実験原水である水道水の残留塩素を除去するために粒状活性炭カラム、原水用の水槽、ニッチア原水用の水槽および攪拌器、流量設定用の定量ポンプ、ろ層再生用の逆流洗浄用ノズルなどから構成されている。実験条件は表-2に示した。ろ材は、アンスラサイトと砂の二種類、幾何平均粒径は、0.40～1.84mmである。針状珪藻の長さは、100～110、30～40、20～30 μm の三種類である。この針状珪藻の長さにより、実験条件をそれぞれ条件A（100～110）、B（30～40）、C（20～30）と分けることにした。ニッチアのろ過原水中における個数濃度は、A、B、Cの各長さのニッチアに対し、（個数濃度） $\times$ （平均長さ）の値がだいたい等しくなるように個数濃度を設定した。これは、各長さのニッチアの幅を等しいと仮定した場合のろ過原水中のニッチアの体積濃度を、ほぼ同程度にしてろ層内の抑留を比較することを目的にしているために設定されたものである。

2.3 実験方法および測定項目

ろ過は、流入流量を一定に保ち、カスケード的流入および一定水位で、損失水頭の増加に応じて砂上水深が増加していくという自然平衡型ろ過で制御した。ろ過速度は100m/d、ろ過現象の時間的推移から判断してろ過は6時間で停止した。原水は脱残留塩素した水道水に所定個数濃度に調製したニッチアを懸濁させたもので、それ以外の懸濁質や凝集剤は添加していない。急速ろ過といいながら凝集剤を添加していない理由は、ろ過池にキャリーオーバーしてくる針状珪藻は、一般に凝集漏れた単体の珪藻がほとんどであるという仮定に基づいている。実験において凝集剤を加えると、少なからず珪藻類同士の凝集が避けられず、実験的に集合体となるニッチア群が多くなるのを防ぐというろ過実験条件上の配慮である。凝集剤や他の懸濁物質の影響は別に検討することとしたい。また、一般に藻類の各増殖期は、珪藻の生物的な活性が異なるので、藻類表

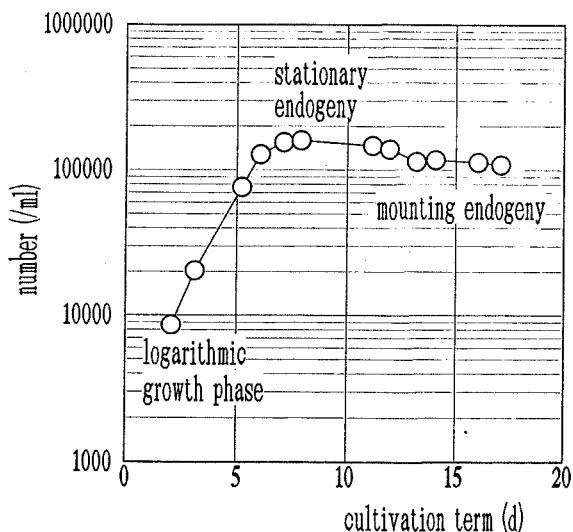


Fig.1 Reproduction curve of *Nitzschia*

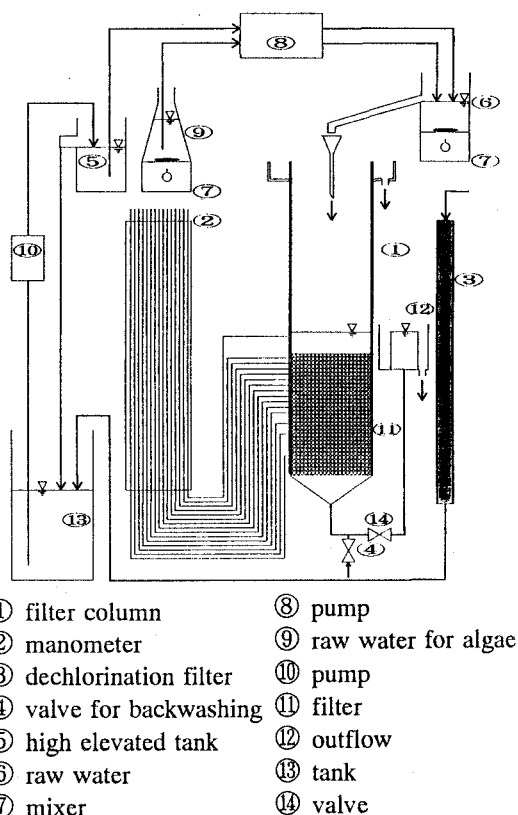


Fig.2 Experimental apparatus

面の状態や性質が変化してそれ自身の凝集に影響を与えていることも指摘されている。また、図-1からもわかるように、対数増殖期には細胞分裂による個数濃度の変化速度がたいへんに大きい。したがって、10時間近い時間を必要とするろ過実験においては、細胞の個数濃度が大きく変化してろ過実験上の誤差が大きくなるのを防止する意味で、ろ過実験に供するニッチアは、定常期および死滅期にかけてのものに限ることにした。なお、ろ過実験中細胞分裂により個数濃度が大幅な変化はないものと考えた。ろ過実験中の測定項目は、ろ過原水、ろ水中のニッチア個数濃度、損失水頭、水温、pHなどである。

3. 結果および考察

3.1 ろ層でのろ過効率

ろ過効率に対するろ材径と針状珪藻の長さの影響について考察した。ここでは、ろ材径(d)と針状珪藻の長さ(s)の比(d/s)を一つのパラメータとして整理した。ろ過効率に対するこのろ材径とニッチアの長さの比(d/s)の影響を図-3にまとめた。各 d/s におけるろ過効率は、一時間ごとに測定されたろ水中の個数濃度から計算されたろ過経過時間でのそれぞれのろ過効率を示すものである。横軸方向に実線で結んだ実線は、ニッチアの長さごとの実験条件A, B, Cのグルーピングを示したものである。図によると、ろ過時間1~6時間におけるろ過効率の幅があるものの、三種類のニッチアの長さにおいても、 d/s というろ材径とニッチアの長さの比を用いると、ほぼ同一の傾向でまとめることができるようである。つまり、 d/s の値が小さい場合、相対的にろ過効率が高く、 d/s の増加に伴ってろ過効率が低下する。ろ材径がニッチアの長さの15倍以内の場合、ろ過時間における平均ろ過効率が80%以上とかなり高く、ろ過効率の変動も小さい。一方、ろ材径がニッチアの長さの50倍以上(ここではB, Cタイプの小型珪藻のみ)になると、平均ろ過効率は50%以下まで低下し、変動幅も大きくなる。特にろ材径が珪藻の長さの60倍にもなるとろ過効率は20%以下とほとんどのニッチアが砂層内に抑留せずろ水中に流出してしまうことになる。ろ層の厚さが変化すれば、絶対的なろ過効率が変化することになるので、ろ

Table 2 Experimental condition

	materials	depth(cm)	diameter(mm)
filter	anthracite	52.5	1.84
		52.0	1.29
	sand	52.0	1.09
		52.0	0.78
		52.0	0.65
		13.0	0.46
		13.0	0.40
algae	kind	diatom, <i>Nitzschia</i>	
	length (μm)	A	100~110
		B	30~40
		C	20~30
	concentration (/ml)	A	500
operation		B	1,500
		C	2,100
	filtration rate (m/d)	100	
	filter run (h)	6	

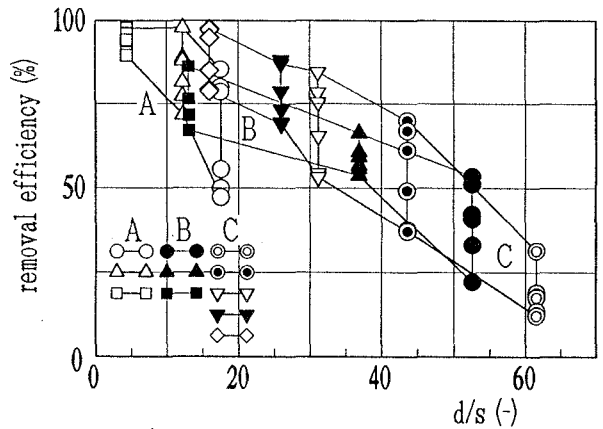


Fig.3 Changing of removal efficiency with ratio, d/s

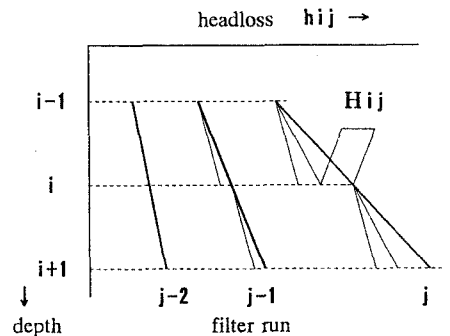


Fig.4 Schematic diagram of headloss

過効率そのものにはあまり意味はないが、ろ過に関与する大切な二つのパラメータであるろ材径と針状珪藻の長さを、一つにまとめた指標の d/s で、ろ過効率をある程度評価することができるという意義は大きいといえる。

3.2 ろ層中の損失水頭の分布

図-4は、ろ層内で発生する損失水頭を模式的に示したものである。図の H_{ij} は次のように表せる。

$$H_{ij} = (h_{ij}) - (h_{i,j-1}) - \{ (h_{i-1,j}) - (h_{i-1,j-1}) \}$$

H_{ij} : ろ過時間(j-1)から(j)までの間における深さ(i-1)から(i)までの厚さのろ層区分への抑留による損失水頭,

h_{ij} : ろ過時間jでのろ層深さiでの損失水頭,

$h_{i,j-1}$: ろ過時間(j-1)でのろ層深さiでの損失水頭,

$h_{i-1,j}$: ろ過時間jでのろ層深さ(i-1)での損失水頭,

$h_{i-1,j-1}$: ろ過時間(j-1)でのろ層深さ(i-1)での損失水頭

これらを計算すると、ろ層内への抑留に伴う損失水頭が、ろ過に伴ってろ層深さ方向にどのように進行していくかを考察できる。しかしここでは、与えられた実験条件におけるろ過終了時での初期に対する損失水頭の増分について検討する。いま、任意のろ層深さ z 、全ろ層厚さを l 、および実験の全ろ過時間を T として、

$$H_t = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^T H_{ij}, \quad H_z = \sum_{i=1}^z \sum_{j=1}^T H_{ij}$$

とおくことにした。すなわち H_t は全ろ層厚における全ろ過時間でのろ層内への抑留による損失水頭の増分であり、 H_z は、全ろ過時間におけるある任意のろ層深さまでのろ層内抑留による損失水頭の増分ということになる。この比 $H_z/H_t \times 100 (\%)$ を求めると、ろ過終了時での抑留によって損失水頭が増加する状況をろ層深さ方向に明らかにすることができる。それが図-5でこれはいわゆる抑留による損失水頭の発生高のろ層深さごとの比率を示したものである。図から小型のニッチアB、Cタイプの長さの約15倍のろ材径や、その小型の珪藻の3倍の長さである比較的大型のニッチアAタイプの約5倍のろ材径では、ろ層表層5cm付近で、すでに $H_z/H_t (\times 100)$ がほぼ100%に達していることがわかる。つまり d/s が15より小さい場合、針状珪藻の長さに関わらず、少なくとも10cm以内のろ層厚で100%近い損失水頭が発生していることを示している。指標の d/s は、損失水頭の分布の傾向を示す意味でもたいへん有用であることがわかる。

一方で、10cm以内のろ層厚で100%に近い損失水頭が発生することは、ろ層内部における抑留がろ層の表層部付近にのみ抑留するという抑留の偏りをも示している。つまり、小さい d/s においては、表層部への抑留の偏りが発生しやすいということである。

表層部への抑留の偏りはとりもなおさず、特にろ材径が小さい場合にはろ過閉塞をもたらすことになる。しかし、小さい d/s の場合であっても、大きなろ材径を使用すれば、同一の抑留量であったとしても発生する損失水頭はたいへん小さくなる。したがって、ろ過閉塞の防止のためにはできるだけ大きなろ材径を用いれば良いことになる。すなわち、大きなろ材径を用いた場合、原水中の藻類長との比 d/s が小さいという条件においては、3.1の図-3の結果から得られた考察で明らかなように、高いろ過効率を得られ、また同一の抑留量であっても小さいろ材

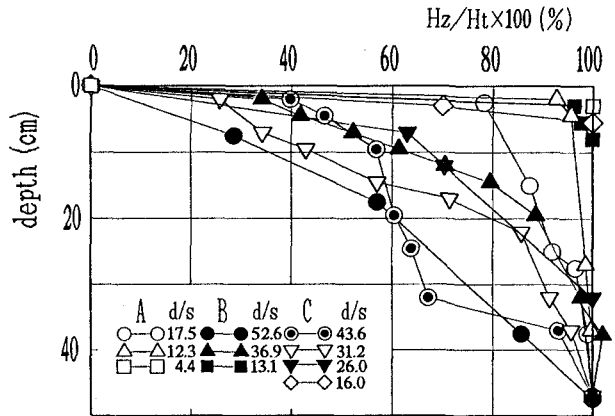


Fig.5 Headloss profile in each condition

径の場合よりは比較的小さな損失水頭ですむということになる。一方、小型ニッチアであるB、Cタイプの場合、その30~40倍以内のろ材径で、30cmぐらいのろ層深さまで均等に損失水頭を発生させていることがわかる。このことは藻類の抑留が表層に偏らず、ろ層内の抑留機能を効率良く活かし、適度にろ層深さ方向に分散してろ過抵抗の上昇の度合を緩やかにしていることを示している。しかし、ろ層全体が有効に活用できるということは、一方でブレイクスルーの問題と隣り合わせという危険性を含んでいることになる。

3.3 ろ層内への進入深さ

図-5より、抑留による損失水頭の全増分に対する95%の増分が発生するろ層深さを実験結果を内挿することにより近似的に算定することができる。ここではそれを藻類の進入深さと称することにした。その結果をろ材径/珪藻長比 (d/s) ごとに図-6に示した。ろ材径がニッチアの長さの15倍前後であると、進入深さはA、B、Cタイプともにろ層表層5cm程度で大きな差は見られない。このことは、針状珪藻がどんな長さであっても、ろ材径の15倍以内であれば針状珪藻の進入深さは5cm程度止まりであることを意味している。

また、ろ層内30cmまでの藻類の進入過程については、 d/s の比が大きくなるに伴い、藻類はろ層深くに進入するようになる。ただし、その進入程度やその比に対する進入度の変化は、針状珪藻の長さによって若干異なるようで、Aタイプが急激なのに対し、B、Cタイプでは、その長さの約30~50倍ぐらいのろ材径まで徐々に進入深さが増している。この進入深さはろ過効率が同じであっても同一になるとは限らず、ろ層内の損失水頭の発生状況に支配される。これは他の抑留特性と関わっているのでさらに詳細に検討してみたい点である。

いずれにしても今回の注目したい点は、 d/s の大きい部分における進入深さの相違点よりも、 d/s の小さい15以下のところにおいてA、B、Cの各藻類長の進入深さが同程度であるという点である。

さて、ろ層全体が、ろ材径の厚さの一層ごとの薄層の集合体と考える概念はすでに提案している^{29)・30)}。これは、ろ過のもう一つのパラメータであるろ層深さを、ろ材径で無次元化して表示するものである。その概念図を改めて図-7に示した。実際のろ層構成は、ろ材径や大小の粒径の混合およびかみあわせ状態、さらに一個のろ材粒子の形状など多くの因子が絡み合った複雑な現象と考えられるが、概略的にろ材径に相当する厚さのろ層の数でろ層深さを無次元化することで単純化を図っている。つまり、ここでの仮定は、1)ろ材は球形でろ材径は一定である、2)球形粒子の中心点を結んだ立体は、立方体である、ということである。したがって、この場合、ろ材径 d の球形粒子で構成されたろ材厚 L のろ材の場合、ろ材径 d に相当する厚さの薄いろ層の層数 n は、 $n = L / d$ で計算することができる。この研究では、ろ材を同様に仮定し、ろ材厚、ろ材径とも実験条件の値を使用してこの n を計算して、ニッチアのろ層内への進入深さを n で表現することにした。

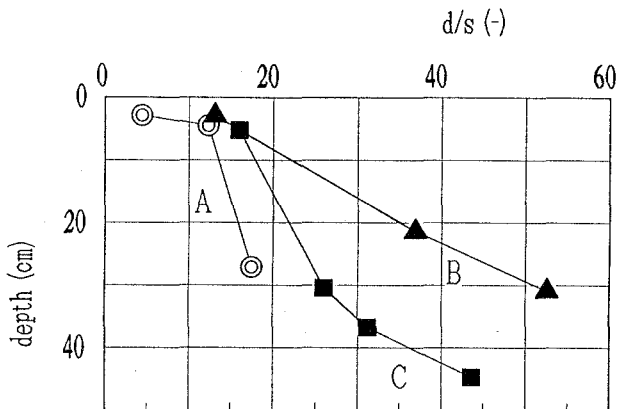


Fig.6 Relation between penetration depth and ratio, d/s

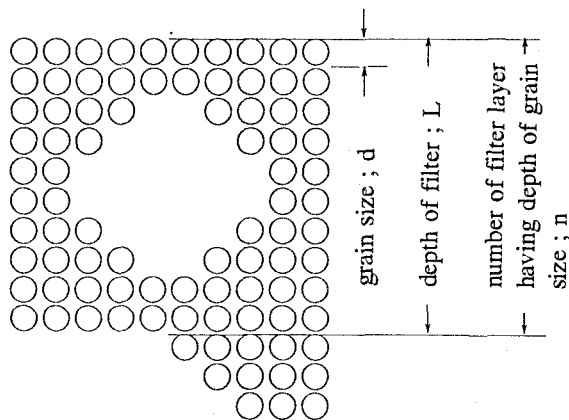


Fig.7 Schematic diagram of filter

その結果が、図-8である。図によると、図-6とは、若干傾向を異にするが、 d/s が15以下の場合においては、95%の損失水頭が発生するニッチアのろ層内への進入層数は、どの長さのニッチアにおいてもだいたい50層程度と見積もることができる。

実は、この数字は、先にモデル藻類を用いて検討された結果である「 d/s が2~6という条件においては、95%以上のろ層内抑留による損失水頭をもたらすろ材径厚ろ層数は、約30層である」²⁹⁾という値と極めて近いといえる。つまり、今回実施した実際にニッチアという針状珪藻を用いた研究結果は、 d/s の範囲を15程度まで拡大して、30層をややオーバーするが、50層程度までの範囲のろ材径厚ろ層数で、損失水頭の95%程度を負担することができるということを明らかにした。

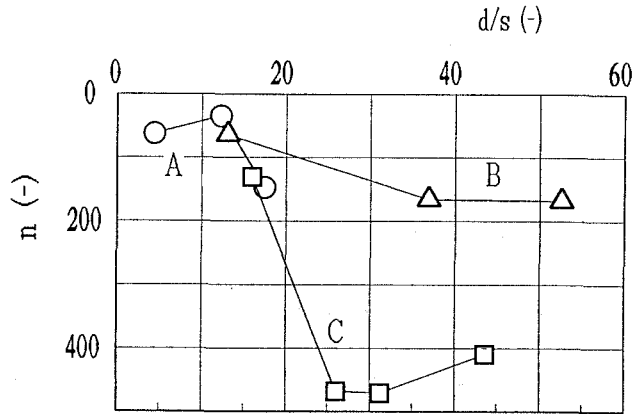


Fig.8 Number of filter layer having depth of grain size for penetration of *Nitzschia*

4. 結論

実際に針状珪藻の一種であるニッチアを分離培養して急速ろ過実験を行い、その抑留特性と損失水頭の発現性および針状珪藻の進入深さなどについて考察した。その研究の結果をまとめると、つぎのようになる。

- (1)ろ材径と針状珪藻の長さの比 (d/s) を提示した。これは、ろ過効率や損失水頭の発現傾向、針状珪藻の進入深さを評価するのに有効である。
- (2) d/s が小さいほど、ろ過効率が高くなる。逆に d/s が大きくなると、ろ過効率は低くなる。
- (3) d/s が15より小さい場合、針状珪藻の長さに関わらず、少なくとも10cm以内のろ層厚で100%近い損失水頭が発生している。
- (4)ろ過閉塞の防止のためには、できるだけ大きな材径 (d) を選択し、かつ原水中の藻類長 (s) との比 (d/s) が小さい方がろ過閉塞防止上望ましい。
- (5) d/s が15以下の場合においては、95%の損失水頭が発生するニッチアのろ層内への進入層数は、どの長さのニッチアにおいてもだいたい50層程度と見積もることができる。

謝辞 本研究は、日本水道協会の研究委員会「浄水処理における藻類の除去に関する研究」の一部として実施されているものである。協会の援助と委員の方々のご協力に感謝し、また本研究のための実験に協力してくれた東北工業大学学生（高橋 智、阿部正和、尾田川功久、高野勝美の諸君；当時）に感謝致します。

参考文献

- 1) Reynolds C.S.; The Ecology of Freshwater Phytoplankton, Cambridge Univ. Press(1975)
- 2) Konno H.; Settling and coagulation of slender type diatoms, Water Science and Technology, 27(11), 231-240(1993)
- 3) 今野 弘; 藻類の表面状態と凝集の関わり, 環境工学研究フォーラム講演集, 29, 138-140(1992)
- 4) Bernhardt H. & J. Clasen; Studies on the removal of planktonic algae by flocculation and filtration, The Proc. 8th ASPAC-IWSA Regional Water Supply Conference, 2, ss44, 1-17(1992)
- 5) Bernhardt H.; Investigation of algae born organic substances and their effect on water treatment, Proc. of the

- Japanese-German Workshop on Waste Water and Sludge Treatment,583-637(1982)
- 6) 真柄泰基、国包章一、相沢貴子：藻類の生産する有機物の凝集障害に関する基礎的研究，水道協会雑誌，55(4),33-39(1986)
 - 7) Hassan E.A.et al ; Effect of clay on algae removal from Nile water,Indian J. of Tech.,23,25-27(1985)
 - 8) Ayoub G.M.et al ; Seawater induced algae flocculation, Wat. Res.,20(10),1265-1271(1986)
 - 9) Ayoub G.M.et al ; Algal separation by the Lime-seawater process, J.WPCF,58(9),924-931(1986)
 - 10) Sridhar P.et al ; Algae flocculation in reservoir water, Biotech.& Bioeng.,32,345-347(1956)
 - 11) 秋葉道宏，後藤光亀，佐藤敦久；*Chlorella sp.* の細胞内外有機物質の凝集阻害に関する基礎的研究，水道協会雑誌，60(2),33-39（1991）
 - 12) 秋葉道宏，後藤光亀，佐藤敦久；緑藻 2 種の凝集特性に関する基礎的研究，水道協会雑誌，61(6),2-11（1992）
 - 13) 斉藤昭二，有井鈴江；前塩素注入の有無による大型珪藻 4 種の凝集沈殿特性，水道協会雑誌，62(11),18-27（1993）
 - 14) 菅原 繁，黒川真弓，真柄泰基；*Microcystis spp.* 群体から得られた有機物質が凝集沈殿処理に与える影響，水道協会雑誌，64(5),2-11（1995）
 - 15) 斉藤昭二，日露野昭好；谷ヶ原浄水場における *Synedra* 属によるろ過閉塞の特徴，用水と廃水，22(3), 311-316（1980）
 - 16) 仙台市水道局；国見浄水場ろ過障害調査，仙台市水道局水質試験年報，259-272(1980)
 - 17) 国富 進，相沢 靖；藻類プランクトンによる濾過閉塞障害について－アスラサイト敷き均しによる濾過閉塞防止効果，水道公論，20(11),72-77(1984)
 - 18) 相沢 靖，青木節男；水源における浮遊性珪藻の発生と浄水場ろ過池閉塞，用水と廃水，27(12),22-29（1985）
 - 19) 田中和明，山中 勝；最近の相模湖、津久井湖に起因する生物障害，第 37 回全国水道研究発表会，243-245（1986）
 - 20) 斎藤昭二；藻類による浄水障害－かび臭、ろ過障害、着濁，水道協会雑誌，62(6),2-16(1993)
 - 21) Naghavi B.et al ; Algae removal by fine sand/silt filtration, Wat.Res.,20(3),377-383(1986)
 - 22) Konno H.& A.Sato; On study for sand filter clogging by diatoms, The Proc.5th ASPAC-IWSA Regional Water Supply Conference,ss6,1-8,(1985)
 - 23) Folkman Y.et al ; Filtration of *Chlorella* through dune-sand, ASCE,96(SA3),675-690(1970)
 - 24) Borchardt J.A.et al ; Sand filtration of algal suspension, J.AWWA,53(12),1493-1502(1961)
 - 25) Davis E.et al ; Sand filtration of particulate matter, ASCE,92(SA),47-59(1966)
 - 26) Al-Ani M.Y.; Clogging-front behaviour in dual-medium filters, Aqua,39(3),188-196(1990)
 - 27) 青木 稔，瀬戸義正、建部修、中村一誠；ろ過障害生物 *Synedra acus* の増殖特性－AGP 試験による増殖特性の検討，水道協会雑誌，59(3),20-29（1990）
 - 28) 斉藤昭二、有賀祐勝；津久井湖における植物プランクトンの季節的消長と環境要因との関係，水道協会雑誌，63(4),62-79（1994）
 - 29) 今野 弘、佐藤敦久、真柄泰基；モデル材料を用いた針型珪藻の抑留特性と砂ろ過池の閉塞に対する検討，環境工学研究論文集，31,11-18（1994）
 - 30) 藤田賢二；急速ろ過池の設計に関する研究，東京大学学位論文，28-48(1976)