

糸状体藻類 *Phormidium tenue* の急速汙過システム  
における耐性と処理性

佐藤正浩 今野弘  
株式会社東洋設計水道部・工修 東北工業大学工学部建設システム工学科  
教授・工博

李泰官  
啓明大学校環境大学教授・工博

## 「論 文」

糸状体藻類 *Phormidium tenue* の急速汙過システム  
における耐性と処理性

佐 藤 正 浩 今 野 弘

株東洋設計水道部・工修 東北工業大学工学部建設システム工学科  
教授・工博

李 泰 官

啓明大学校環境大学教授・工博

要旨：浄水に異臭味障害を引き起こす糸状体藻類 *Phormidium tenue* (以下 *P. tenue*) の急速汙過システムでの攪拌及び塩素に対する耐性と処理性について、回分と連続流式模型実験を通して検討し、以下に示す結果を得た。(1) 攪拌強度の上昇に伴い *P. tenue* の糸状体はより分断される。(2) 増殖期や塩素処理の有無により、*P. tenue* の糸状体は、急速攪拌によって分断されやすいグループ (易・分断) と分断されにくいグループ (難・分断) に二分することができる。(3) 対数増殖期の *P. tenue* は塩素処理の影響を受けやすく、無処理に比べてより分断されやすくなる。(4) *P. tenue* の処理性は安定しているが、*P. tenue* が汙層の深くまで進入し、汙過水に長い糸状体が漏出する。(5) アンスラサイト複層化は、*P. tenue* の多くをアンスラサイト層と混合層で抑留することができ、*P. tenue* の効率的な除去に有効である。

キーワード：糸状体藻類、G 値、耐性、凝集・沈殿除去、急速汙過

分類項目：凝集・沈殿 (120702)、汙過 (120703)、藻類 (120902)

## 1. はじめに

近年の水道普及率が96%を超える中、水道水源においては富栄養化により、藻類起因の浄水障害が数多く報告されている。それらは藍藻類などが原因の異臭味障害<sup>1)</sup>、藻類生産由来有機物による凝集阻害<sup>2-4)</sup>、溶解性アルミニウムの残留<sup>5-6)</sup>などであり、藻類の塩素処理と凝集沈降性の研究も関連して報告されている<sup>7-8)</sup>。また、汙過プロセスでは大型珪藻類による汙過閉塞の問題<sup>9-11)</sup>が多く、それに対する研究も多くなされてきている<sup>12-14)</sup>。

一方、クリプトスポリジウム汚染の問題から、濁質や藻類の急速汙過池からの漏出の問題にも着目する必要がある、その研究も行われている<sup>15)</sup>。また、浄水のザラザラ感なるものが水道関係の職員の間で言われている。このような障害が発生したときの浄水を検査したところ、糸状体藻類である *Phormidium* が数多く検出されたことから、糸状体藻類の汙過水への漏出についての検討が必要である。

*Phormidium* は直径 1 ~ 8  $\mu\text{m}$ 、長さが直径の 2 ~ 3 倍の細胞が連なって糸状体を形成しており、細胞の分裂または連鎖体 (ホルモゴン) の形成により生殖し<sup>16)</sup>、汙過池から漏出しやすい藻類種であることが知られている<sup>17)</sup>。そこで本研究では、糸状体藻類である *Phormidium tenue* (以下 *P. tenue*) がアンスラサイト及び砂の二層汙過を用いた急速汙過システム内でどのような物理化学的挙動を示し、またどの程度除去されるかを、回分実験と連続流式模型実験を通して検討することとした。

## 2. 実験条件及び方法

## 2.1 回分実験による糸状体藻類の塩素処理と攪拌に対する耐性実験

実験フローを図-1に示す。また以下に各条件と方法を示す。

2.1.1 *P. tenue* の増殖期の把握

実験に供した *P. tenue* は、S 市水道局より譲り受けた。これは K ダム湖より採取して単離したものである。回分実験のために用いた *P. tenue*



図-1 回分実験の実験フロー

の培養条件は CT 培地、水温20℃、照度1,000lx、12時間明暗サイクルとし、静置培養を行い、計数は標準計数板法を採用した。

### 2.1.2 *P. tenue* の塩素処理に対する耐性実験

*P. tenue* の糸状体単位を約100/mL<sup>10)</sup>にした試料水250mLを8段階の塩素注入率に設定し、回転数40rpmで13分間攪拌を行った。不活化の確認方法として、*P. tenue* の自家蛍光を利用した落射蛍光顕微鏡による判別<sup>10)</sup>と再培養による判別を採用した。今回使用した蛍光顕微鏡のフィルターセットを表-1に示す。自家蛍光の退色を防ぐため実験中は暗照明とし、プレパラート作成後は迅速に観察を行った。また、再培養は塩素処理した *P. tenue* を吸引汙過し、その汙紙を CT 培地に浸し、遠心分離器 (1,500rpm) にかけて汙紙から *P. tenue* を剥離させ、上記2.1.1と同じ条件下で培養を行った。その後、標準計数板法で計数を行い、増殖の有無を確認した。なお、ここでの不活化とは、塩素処理により *P. tenue* の細胞が破壊され、死滅した状態であると定義した。

表-1 蛍光顕微鏡のフィルターセット (B 励起)

励起フィルター	ダイクロイックミラー	吸収フィルター
BP450-490	FT510	LP515

### 2.1.3 *P. tenue* の急速攪拌に対する耐性実験

*P. tenue* 糸状体単位を約100/mLに調整し、無処理のものと、塩素注入率0.2mg/Lで塩素処理したものについて実験を行った。実験に使用した攪拌装置の概略図を図-2に示す。また、G値 (s<sup>-1</sup>)

は以下の式により算出した<sup>20)</sup>。

$$G = \sqrt{\frac{\rho C a u^3}{2 \mu V}}$$

ここで、 $\rho$  : 密度 (kg/m<sup>3</sup>)、 $C$  : 攪拌翼抵抗係数 (1.18)、 $a$  : 攪拌翼面積 (m<sup>2</sup>)、 $u$  : 攪拌翼平均速度 (m/s)、 $\mu$  : 粘性係数 (kg/m · s)、 $V$  : 攪拌槽容量 (m<sup>3</sup>) とする。攪拌機の回転数を 0、100、200、300、400、500、600rpm に設定し、各々の攪拌翼平均速度を算出し、上記の式に適用させた。攪拌時間は 5 min とした。攪拌終了後、個数濃度も確認するためメンブランフィルター法によりランダムに選んだ全20視野内の全糸状体の個々の長さを測り、記録した。

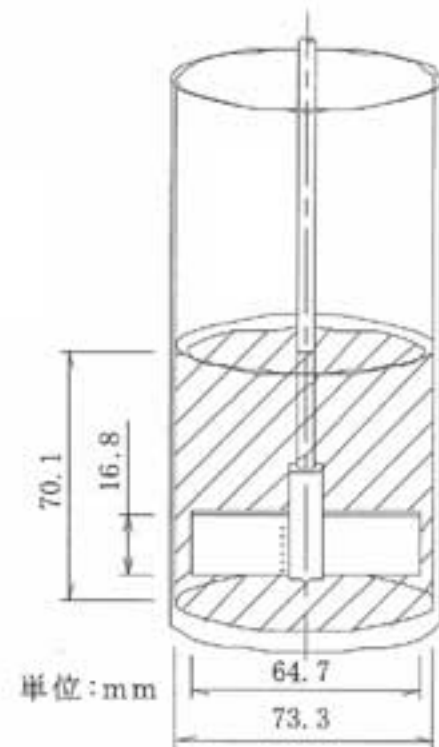


図-2 攪拌機概要図

## 2.2 連続流式模型実験による糸状体藻類の凝集沈澱及び汙過処理に関する実験

実験に用いた模型の概要を図-3に、実験フローを図-4に示す。また以下に諸条件を示す。

### 2.2.1 原水

濁度の調整にはカオリンを用いた。*P. tenue* は新たに S 市水道局が K ダム湖より単離した培養株を譲り受け、照度を3,000lxに変えた他は2.1.1と同じ条件下で培養を行い、培養開始から13日目の定常期にあたる株を使用した。原水中の *P. tenue* や濁質分の均一性を図るため、曝気により

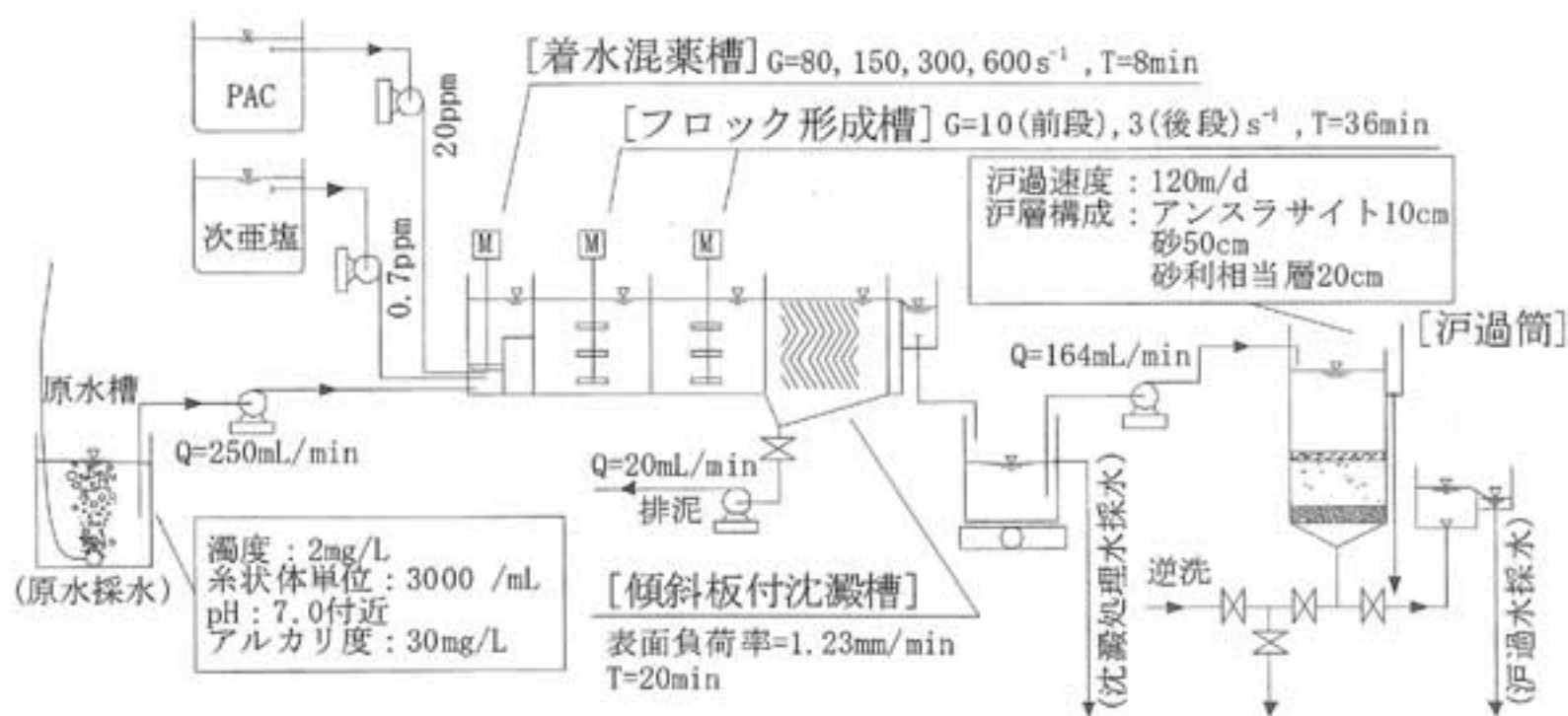


図-3 凝集沈澱・濾過装置の模型の概要

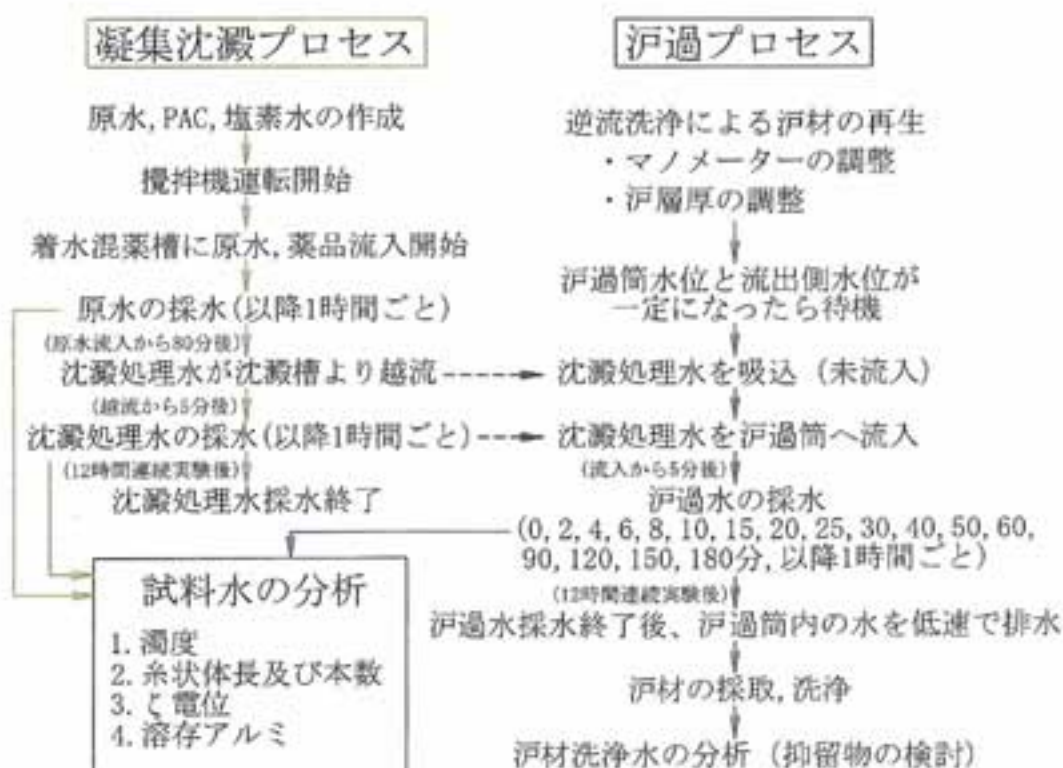


図-4 連続流式実験の実験フロー

攪拌を行った。

### 2.2.2 凝集沈澱プロセス

100倍に希釈したポリ塩化アルミニウムを凝集剤として用い、最適凝集剤注入率はジャーテストにより求めた。また、塩素剤は次亜塩素酸ナトリウムを用い、注入濃度は塩素要求量をもとにして決めた。攪拌強度  $G$  は、急速条件として、一般値付近の  $80 (s^{-1})$  から  $600 (s^{-1})$  までとし、緩速条件はフロック形成の予備実験から決めた。

### 2.2.3 濾過プロセス

濾過の制御は、自然平衡型定速濾過方式を採用し、濾層構成は図-3にも示してあるが、濾過閉塞防止のため表層をアンスラサイトに敷き換えたM浄水場と同様の構成とした。濾過筒内の抑留状況を考察するため濾過筒にマンメーターを設け、損失水頭を測定した。また、濾過終了後の濾材を採取し、蒸留水を加えて振盪洗浄させ、500mLに調整した後、濁度と *P. tenue* の糸状体長及び

本数を測定し、糸状体分布を考察した。

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 回分実験による糸状体藻類の塩素処理と攪拌に対する耐性実験

##### 3.1.1 *P. tenue* の増殖期の把握

図-5に照度1,000lx 下での *P. tenue* の増殖曲線を示す。この図から、培養開始から10日までを対数増殖期、65日目までを定常期、以降を死滅期とした。回分実験に用いた培養株は、対数増殖期は9日目、定常期は55日目、死滅期は69日目のものを用いた。

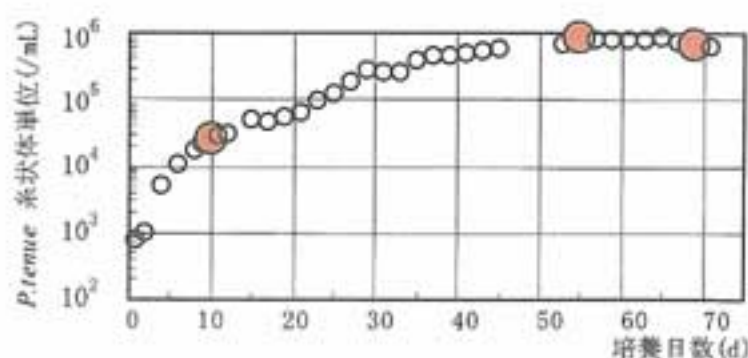


図-5 1,000lx 下における *P. tenue* の増殖曲線

##### 3.1.2 *P. tenue* の塩素処理に対する耐性実験

対数増殖期の *P. tenue* を塩素処理し、落射蛍光顕微鏡で観察した結果を表-2に示す。ここで、今回使用したB 励起下におけるフィルターセットを用いると、主要光合成色素がフィコシアニンの場合は暗赤色、フィコエリトリンの場合は橙色、クロロフィルの場合は鮮赤色の蛍光を示すことが分かっている。また、黄色はこれら3種の光合成色素がない状態と考えられる。このことから、今回実験に用いた *P. tenue* は、塩素濃度が0 mg/L のとき暗赤色であったため、主要光合成色素としてフィコシアニンを持ち、この暗赤色が鮮赤色に変わった塩素濃度 (0.2mg/L) が、細胞壁の破壊が生じた不活点であると考えた。塩素による細胞

表-2 塩素処理後の蛍光色

塩素注入率 (mg/L)	蛍光色
0	暗赤色
0.1	暗赤色と鮮赤色
0.2	鮮赤色
4,5,6	鮮赤色から徐々に黄色へ
7	黄色

破壊と光合成色素の模式図を図-6に示したが、表-2の結果とこの図より、塩素注入率が0.2mg/L の時が、図-6の状況と考えられる。次に、塩素処理を行った *P. tenue* を再培養した増殖傾向を図-7に示す。この図によると、塩素注入率0 mg/L 以外の *P. tenue* は増殖しておらず、活性が無くなったことを示している。これら二つの実験結果から、対数増殖期にある *P. tenue* の不活化塩素濃度は0.2mg/L と考えられる。

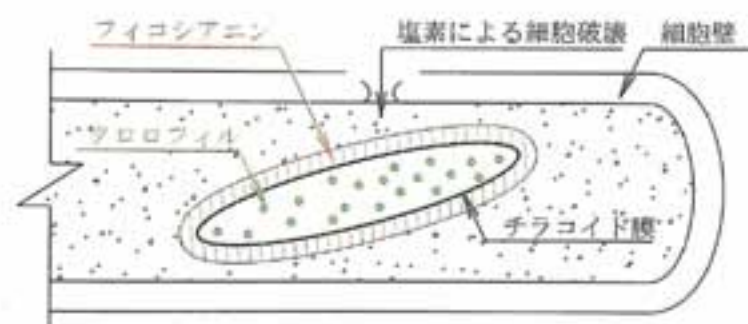


図-6 塩素処理時の *P. tenue* の光合成色素模式図

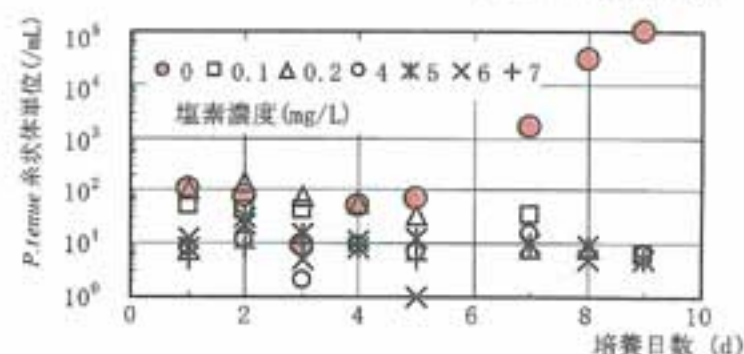


図-7 再培養における *P. tenue* の増殖曲線

##### 3.1.3 *P. tenue* の急速攪拌に対する耐性実験

図-8に増殖各期における攪拌強度 (G 値) と G 値0 を基準とした *P. tenue* の全糸状体の個数倍率の関係を示した。ここで、各試料水の *P. tenue*

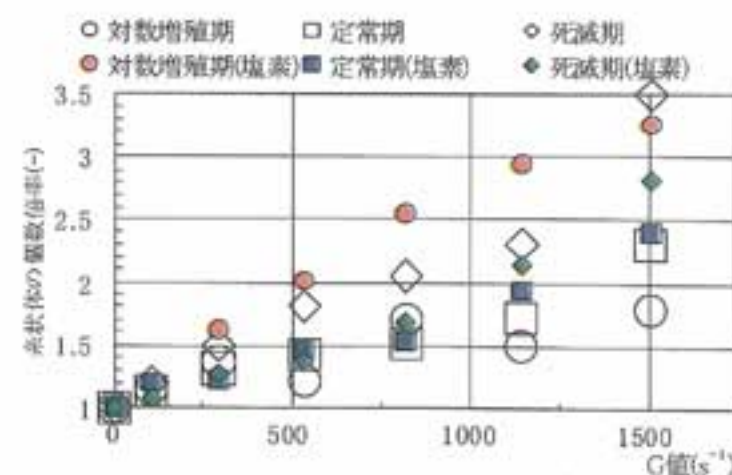


図-8 増殖各期における攪拌強度 (G 値) と G 値0 を基準とした *P. tenue* の全糸状体の個数倍率

の個数濃度を示す糸状体単位は約100 (/mL) であり、糸状体の分断の程度を考察するために、1 mL 中に含まれる全糸状体の本数を測定し考察に用いた。この図から、G 値の上昇に伴い、どの増殖期においても全糸状体個数は増加していることがわかる。また、糸状体の分断の程度を考察するために、表-3に増殖各期における *P. tenue* の攪拌及び塩素処理に対する耐性をまとめた。この表において、回帰係数が $10 \times 10^{-4}$ 以上の増殖期のものを、「糸状体が細かく分断され、増加しやすい傾向のもの (以下、易・分断)」、回帰係数が $10 \times 10^{-4}$ 未満の増殖期のものを、「G 値の影響をさほど受けず、増加しにくい傾向のもの (以下、難・分断)」に分けることとした。どちらの耐性の分類においても回帰係数が近似し、また相関も高いことから、攪拌に対する耐性という点でグループ内で同様の性質を有していると考えられる。また表-3によると、各増殖期の特徴として、対数増殖期の *P. tenue* は無処理では攪拌に対する耐性は強いが、塩素処理を行うことにより分断されやすくなる結果を示している。定常期では攪拌に対する耐性が強く、塩素処理によってもその強さは大きいままの結果を示している。死滅期では攪拌に対する耐性は弱く、塩素処理しても同じく弱いという結果を示している。

対数増殖期の *P. tenue* の塩素耐性が弱い原因として、対数増殖期では増殖活性が高く、若く新しい細胞壁であるため急速攪拌などの物理力に対しては柔軟で強いが、塩素の影響を受けやすく、より敏感に反応した結果と考えられる。また、定常期の *P. tenue* は細胞分裂に時間がかかるため、細胞壁が肥厚し、細胞間の隔壁は柔軟で十分な強

表-3 増殖各期における *P. tenue* の攪拌及び塩素処理に対する耐性

耐性	係 数		生物活性 / 塩素 / 回帰係数
易・分断	回帰	$14.1 \times 10^{-4}$	対数増殖期 / 有 / $16.3 \times 10^{-4}$
	相関	0.94	死滅期 / 無 / $14.6 \times 10^{-4}$
難・分断	回帰	$6.9 \times 10^{-4}$	対数増殖期 / 無 / $4.6 \times 10^{-4}$
	相関	0.92	定常期 / 無 / $7.5 \times 10^{-4}$
			定常期 / 有 / $8.5 \times 10^{-4}$

度を有する時期であると考えられるため、攪拌や塩素に対する耐性が強いものと考えられる。さらに、死滅期に至った *P. tenue* は、細胞間の隔壁は徐々に柔軟性を失って硬質化し、攪拌による物理的な作用には抵抗できなくなり、塩素処理に対しても脆弱になっている結果と考えられる。

次に、実浄水場において不快感が感じられた際の *P. tenue* の糸状体長  $L$  が $50 \sim 100 \mu\text{m}$ であったことから、増殖各期における $50 \leq L (\mu\text{m}) < 100$ の範囲の糸状体が、G 値の上昇に伴いどの程度増減するかを考察するために、図-9に増殖各期における G 値 0 を基準とした各糸状体長範囲の個数倍率を示した。この図から、 $50 \leq L (\mu\text{m}) < 100$ の糸状体は、難・分断のグループである無処理の対数増殖期、無処理の定常期及び塩素処理後の定常期の株について、G 値の影響をさほど受けずに個数は減少しておらず、 $100 \leq L$ の長い糸状体もその減少の程度が他の3種の増殖各期の株と比べて小さいことがわかる。つまり、この3種の増殖期にある *P. tenue* は、急速攪拌の影響を受けにくく、糸状体が短く分断されないために、河過池に長い糸状体のものが多く流入するものと考えられる。

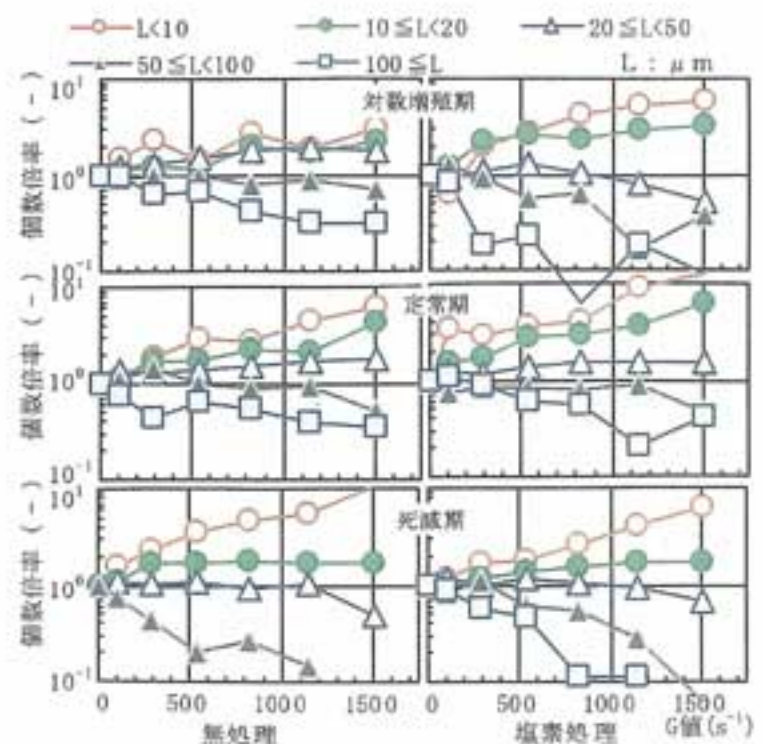


図-9 増殖各期における G 値 0 を基準とした各糸状体長範囲の個数倍率

### 3.2 連続流式模型実験による糸状体藻類の凝集沈澱及び汚濁処理に関する実験

#### 3.2.1 凝集沈澱及び汚濁処理水の特性

図-10には原水、沈澱処理水、汚濁水中の *P. tenue* の糸状体単位とその沈澱及び汚濁効率の経時変化を示した。処理効率  $R$  は、

$$R = \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100(\%)$$

ここで、 $N_0$ 、 $N$  は沈澱及び汚濁のそれぞれの処理において以下の各水中における糸状体単位 (/mL) である。

	沈澱処理	汚濁処理
$N_0$	原水	沈澱処理水
$N$	沈澱処理水	汚濁処理水

この図から、原水の *P. tenue* は常に3,000/mL程度に調整されている。沈澱処理水中の *P. tenue* 糸状体単位は、200~600/mLの間で変動したので沈澱処理効率に変化したが、常に85%以上を達成し、結果として安定した処理が行われていることがわかる。一方、汚濁による処理効率も沈澱処理効率同様85%以上を維持し、安定した処理が行われている。しかしながら、汚濁水中には *P. tenue* が $10^0 \sim 10^1$ /mL糸状体単位で存在する結果となった。

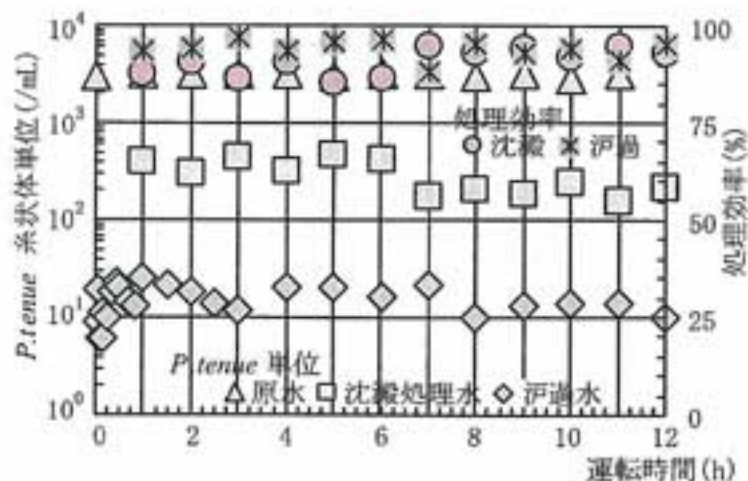


図-10 原水、沈澱処理水、汚濁水中の *P. tenue* の糸状体単位と沈澱及び汚濁効率 ( $G$  値 $80s^{-1}$ の場合)

図-11に  $G$  値 $80s^{-1}$ における原水、沈澱処理水、汚濁水中に含まれる *P. tenue* 及びカオリンの $\zeta$ -電位を示す。原水中の粒子は、 $\zeta$ -電位が変化する要因はないはずであるが、結果として $-25 \sim$

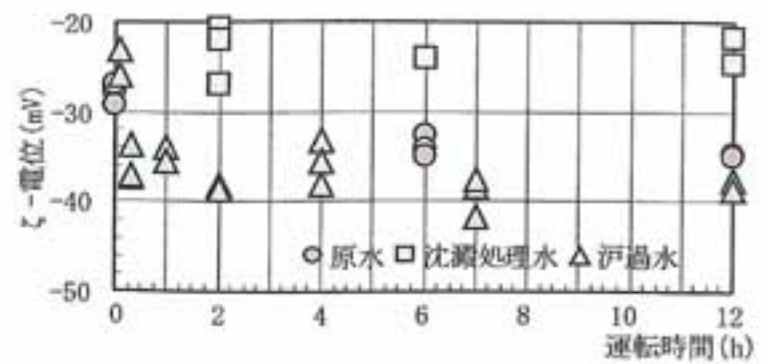


図-11 原水、沈澱処理水、汚濁水中の *P. tenue* 及びカオリン粒子の $\zeta$ -単位 ( $G$  値 $80s^{-1}$ の場合)

$35mV$  と変動している。これは、表面状態が変化したというより、原水中の *P. tenue* やカオリン粒子はその程度の幅を持った $\zeta$ -電位を有していると考えられるべきであろう。沈澱処理水では絶対値が小さくなり $-20 \sim -25mV$  の範囲内でさほど変動がないことがわかる。また、汚濁水では汚濁開始6分後の $\zeta$ -電位が $-25mV$  付近であった以降は $-30mV \sim -40mV$  の範囲で推移している。この現象は塩素剤と凝集剤の注入により表面電位の絶対値が低下し、原水よりも沈澱処理水の $\zeta$ -電位が全体的に低くなることを意味している。また、汚濁開始直後は汚濁層の熟成が不十分なために沈澱処理水と同等の $\zeta$ -電位をもつものが汚濁筒から流出するが、汚濁層の成熟が進むにつれて $\zeta$ -電位の絶対値の大きいものだけが汚濁池から流出したものと考えられる。

次に図-12に  $G$  値 $80, 300, 600s^{-1}$ における原水、沈澱処理水、汚濁水に含まれる *P. tenue* の各糸状体長範囲の割合を示す。これらの図から  $G$  値 $80s^{-1}$ に関して考察すると、原水において  $L \geq 50 \mu m$  の比較的長い糸状体の割合が半数 (49%) を占めていたのに対し、凝集沈澱処理後は  $L < 50 \mu m$ 、特に  $L < 20 \mu m$  の短い糸状体の割合が高くなっている。このことは、比較的長い糸状体は凝集沈澱除去されやすく、短い糸状体は沈澱処理水中に残留しやすいことを示している。また、沈澱処理水と汚濁水中の  $L \geq 50 \mu m$  の比較的長い糸状体の割合を見ると、同程度の割合を示す頻度が高い。このことは沈澱処理水の糸状体長の分布が汚濁水に影響を及ぼしていることを意味しており、沈澱処理水中に  $50 \mu m$  以上の長い糸状体が存在した場合、汚濁水へ長い糸状体が漏出する可能性

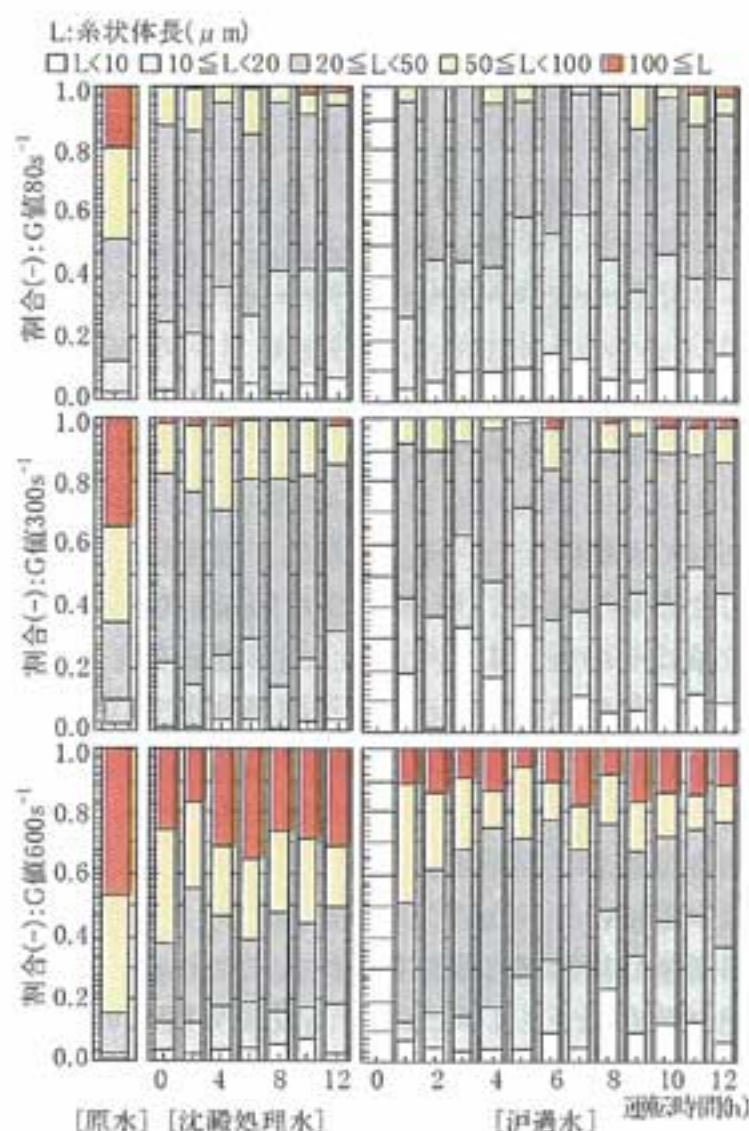


図-12 G 値80、300、600s<sup>-1</sup>における原水、沈澱処理水、汙過水に含まれる *P. tenue* の各糸状体長範囲の割合

が高いと考えられる。これらの現象は G 値300、600s<sup>-1</sup>においても同様の傾向を示している。

次に各 G 値において比較すると、原水の *P. tenue* の糸状体長割合が明らかに違うことがわかる。80s<sup>-1</sup>では L ≥ 50 μm の比較的長い糸状体が 49%であるのに対し、300s<sup>-1</sup>では66%、600s<sup>-1</sup>では85%を占めている。この原水の割合を考慮し、80s<sup>-1</sup>と300s<sup>-1</sup>における沈澱処理水及び汙過水の糸状体長の割合を比較する。80s<sup>-1</sup>と300s<sup>-1</sup>における原水中の50 μm 以上の長い糸状体の割合と沈澱処理水における割合の平均値の変化率（(原水の平均値 - 沈澱処理水の平均値) / 原水の平均値）から考察すると、80s<sup>-1</sup>では78%、300s<sup>-1</sup>では70%と比較的近似した特徴を持っている。同様に沈澱処理水と汙過水の変化率は、80s<sup>-1</sup>では64%、300s<sup>-1</sup>では55%と近似していることから、原水中の糸状体の割合が沈澱処理水及び汙過水に影

響を及ぼし、G 値が高ければその変化率が小さくなっていく傾向にあることを示している。一方、600s<sup>-1</sup>における汙過水では沈澱処理水に比べ時間の経過に伴って徐々に L ≥ 50 μm の比較的長い糸状体の割合は減少しているようにみえるが、沈澱処理水と汙過水の割合の変化率では45%となり、80s<sup>-1</sup>、300s<sup>-1</sup>と明確な差を確認することができない。

沈澱処理水の糸状体長の割合が G 値に関係なく原水の割合に依存した原因として、今回使用した *P. tenue* の増殖期が定常期であり、3.1.3で述べたように活性としてもっとも安定し、攪拌や塩素に対する耐性が強い増殖期なためと考えられる。つまり、定常期にある *P. tenue* は攪拌強度の大小にさほど左右されないため、沈澱処理水中の糸状体長の割合は原水中の糸状体の割合が大きく影響するものと考えられる。

また、汙過処理水における L ≥ 50 μm の比較的長い糸状体の割合は、どの攪拌強度においても沈澱処理水の割合を反映しており、短い糸状体 (L < 50 μm) のみならず長い糸状体 (L ≥ 50 μm) も汙過水中に流出していることを意味している。

図-13に G 値と *P. tenue* の処理効率を示す。図から、沈澱効率と汙過効率は、G 値に対する処理効率の低下割合が違うものの、G 値の上昇に伴って処理効率が低下する傾向にある。

この原因として、攪拌により糸状体が細かく分断され、元の状態よりも *P. tenue* の表面積が増え、負の表面電位が増加すると考えられる。ここで、一定量の凝集剤注入量における中和能力は、攪拌強度を上げることにより向上するとも考えられるが、それ以上に糸状体が細分化するため、凝集剤による中和が十分に行われず、結果として凝集沈降性が悪化したものと考えられる。また汙

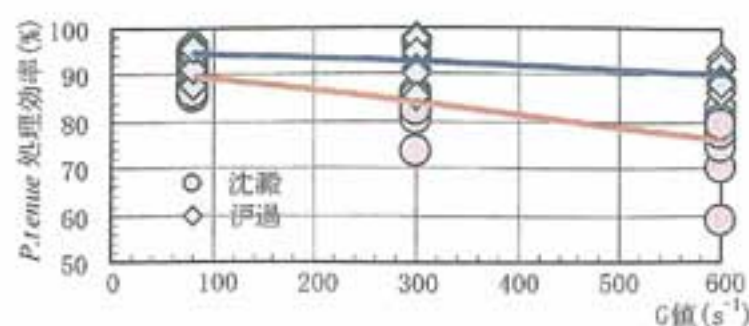


図-13 G 値と *P. tenue* 処理効率

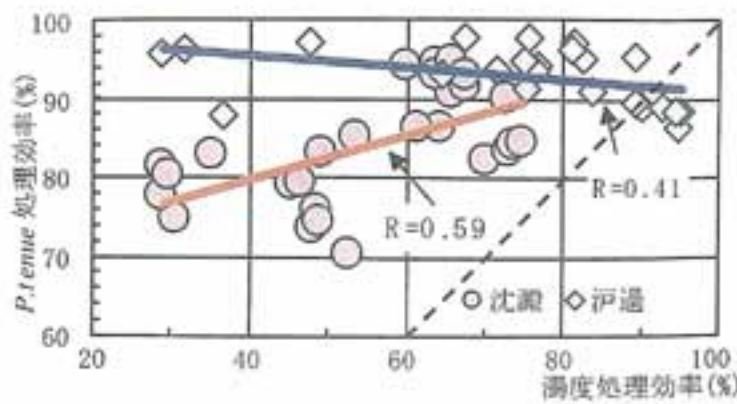


図-14 濁度処理効率と *P. tenue* 処理効率

過効率が低下していく原因として、前処理である凝集沈澱効率の影響が大きいと考察される。

図-14は本実験における全範囲の濁度処理効率と *P. tenue* 処理効率について沈澱及び汙過処理の比較を行った。図から沈澱処理においては濁度処理効率の上昇に伴い *P. tenue* 処理効率も上昇しているが、汙過処理においては濁度処理効率の上昇に伴い、*P. tenue* 処理効率は若干下降傾向にある。しかしながらこの点について、図中に濁度と *P. tenue* の処理効率が等しい場合の関係を破線で示した。これによると、沈澱や汙過とも、濁度処理効率より *P. tenue* の処理効率が高いことがわかる。

### 3.2.2 汙過時の損失水頭と汙層の抑留特性

図-15に汙過終了時の各汙層深さに抑留された *P. tenue* の各糸状体長範囲の個数分布と損失水頭を、また図-16にアンストラサイト砂複層汙過層の逆流洗浄後の汙層模式図を示す。図-15から、汙層深さ10cm までのアンストラサイト層において抑留量が比較的多いにもかかわらず、損失水頭が低く抑えられている。また、汙層深さ10~20cm では、どの  $G$  値においても糸状体の抑留が多く、損失水頭も急激に上昇している。この原因は、汙層深さ10~20cm のアンストラサイトと砂が混合している層（混合層）の存在である。

汙層の深さ方向における糸状体の抑留割合を見ると、各層において抑留量は違うものの、割合は近似しており、また汙層の深く ( $L=35\text{cm}$ ) まで  $L \geq 50\mu\text{m}$  の糸状体が抑留していることから、長い糸状体が汙層深くまで進入していることが確認できる。また各  $G$  値における抑留分布を比較すると、抑留している糸状体の本数は  $80\text{s}^{-1}$  がもっ

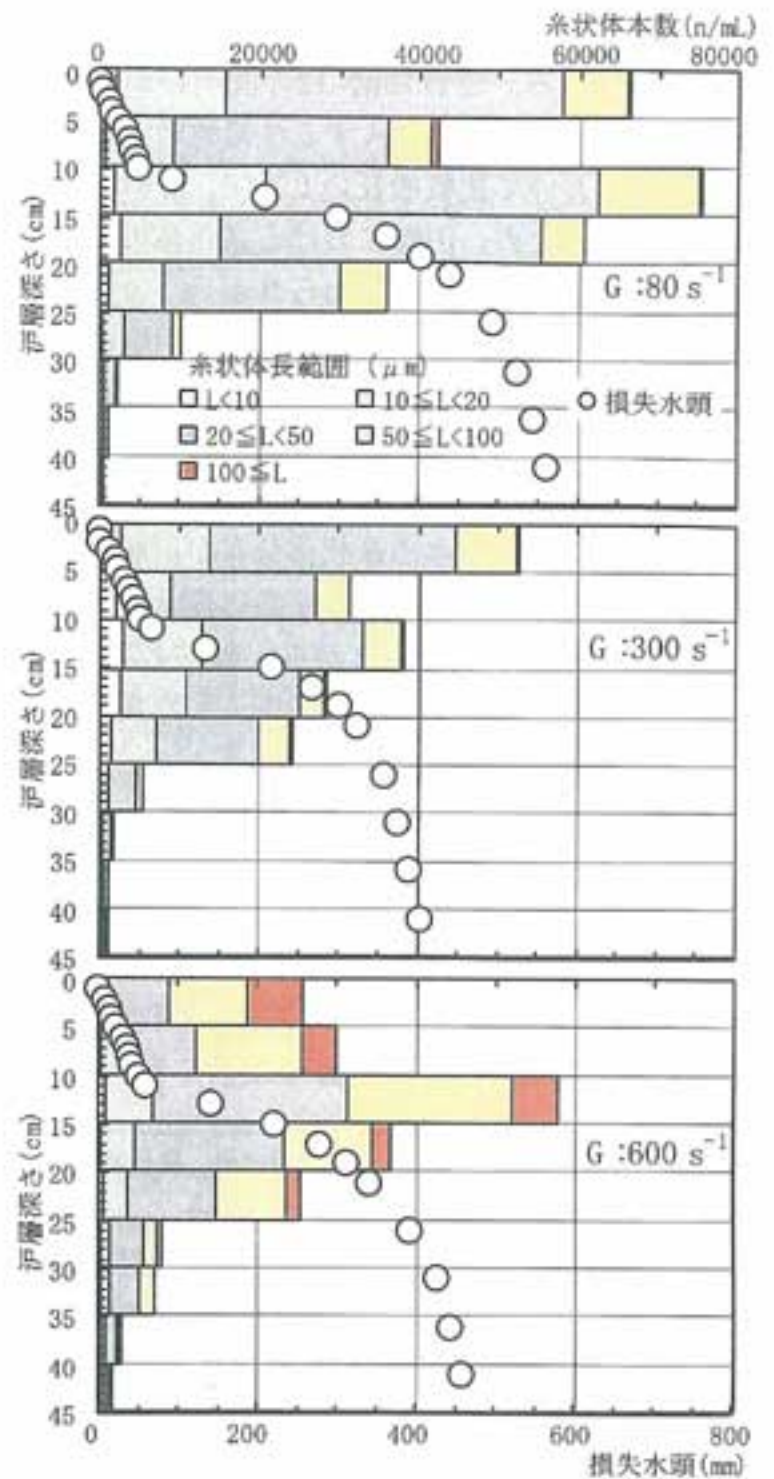


図-15 汙過終了時の各汙層深さでの *P. tenue* の各糸状体長範囲の抑留分布と損失水頭

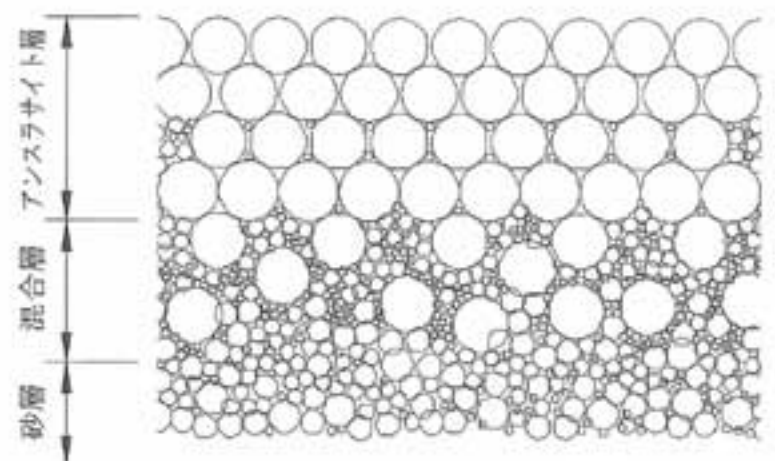


図-16 逆流洗浄後の複層汙過層の模式図

とも多いが、 $600\text{s}^{-1}$ では長い糸状体が多量に多く抑留している。これは図-12の説明においても考察したが、汙過筒に流入する沈澱処理水中の糸状体分布において比較的長い $L \geq 50\mu\text{m}$ の糸状体の割合が高いため、汙層における糸状体の抑留分布に反映しているものと考えられる。

これらのことから、*P. tenue*による汙層の閉塞を防止する観点からの効率的な汙過処理には、表層をアンストラサイトに置き換えた複層汙過が有効的であるとされる。

しかし、沈澱処理水の糸状体分布が汙層の糸状体分布に反映し、汙層全体で沈澱処理水と同様の抑留分布を示していることから、仮に $L \geq 50\mu\text{m}$ の長い糸状体が汙過池に大量に流入した場合、これらの汙過水への流出が懸念される。

図-17に汙過終了時の各汙層での*P. tenue*糸状体単位とその層における損失水頭を示した。前述したように、アンストラサイト砂複層汙層の特徴を裏付ける結果となった。

図-18に各汙層における*P. tenue*と濁度の抑留状況を示す。図からどの汙層においても*P. tenue*

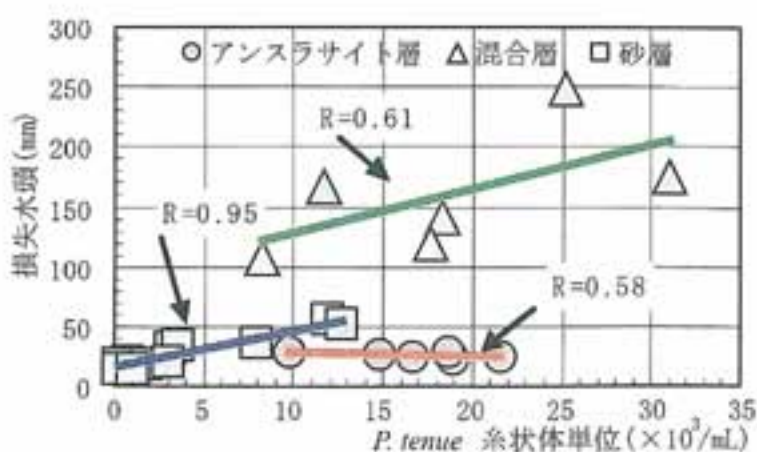


図-17 汙過終了時の*P. tenue*損失水頭

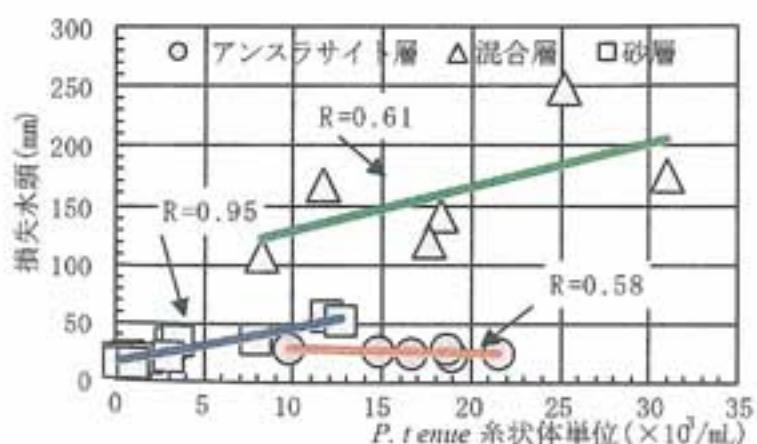


図-18 各汙層における*P. tenue*と濁度の抑留量

と濁度の抑留量には相関性が高いことがわかる。つまり*P. tenue*を多く抑留している場合、同様に濁度も多く抑留している。アンストラサイト層では混合層に比べ*P. tenue*の抑留量に対する濁度の抑留量が大きい。したがって、*P. tenue*はアンストラサイト層と混合層においてその多くを抑留するが、濁度成分は表層のアンストラサイト層でより多く抑留するものと考えられる。

#### 4. おわりに

本論文では急速汙過池における糸状体藻類*P. tenue*の漏出現象を解明するため、回分式実験及び連続流式実験を行い、急速攪拌と塩素処理による物理化学的耐性、凝集沈澱処理性及び汙過処理性について検討した。結果は以下のとおりである。

- ①攪拌強度の上昇に伴い*P. tenue*の糸状体はより分断される。
- ②増殖期や塩素処理の有無により、急速攪拌によって分断されやすいグループ（易・分断）と分断されにくいグループ（難・分断）に二分することができる。
- ③対数増殖期の*P. tenue*は増殖活性が高いため塩素の影響を受けやすく、無処理のものに比べ塩素処理を行った*P. tenue*は、より分断される。
- ④不快感のあった浄水中で観測された糸状体の長さが $50\sim 100\mu\text{m}$ であったことから、無処理の対数増殖期、無処理及び塩素処理した定常期においてG値に関係なく長い糸状体の割合が高いため、この活性段階における*P. tenue*が汙過漏出する可能性が高い。
- ⑤*P. tenue*の沈澱処理性は安定しており、長い糸状体の処理性が高い。また汙過処理性は早期に安定するが、汙過水中の糸状体長の割合は沈澱処理水中の割合に影響を受ける。
- ⑥凝集沈澱処理及び汙過処理過程において、*P. tenue*糸状体単位の処理効率は濁度処理効率より高いことが多い。
- ⑦表層10cmをアンストラサイト層とすることで、*P. tenue*の多くをアンストラサイト層と混合層で抑留することができ、*P. tenue*の効率的な除去のためには表層のアンストラサイト置き換えが有効的である。

⑧汚層の *P. tenue* の糸状体抑留分布は沈澱処理水の糸状体長分布の影響が大きく、深さに関係なく同様の割合を示していることから、50  $\mu\text{m}$  以上の長い糸状体の汚過水への漏出が懸念される。

最後に、本研究は平成15年度東京都水道局受託研究（アルミニウム代替凝集剤に関する調査；代表北海道大学大学院眞柄教授）に費用の一部助成を受けたことを付記し、感謝する。

### 参 考 文 献

- 1) 石橋良信、一柳淳一、後藤光亀、今野 弘：Uroglena 属の培養条件と臭気物質特性、日本水環境学会年会講演集、27、p. 27 (1993)
- 2) Heinz Bernhardt, Oluf Hoyer, Helmut Schell, Bernhard Lusse: Reaction Mechanisms Involved in the Influence of Algogenic Organic Matter on Flocculation, Z. Wasser-Abwasser- Forsch, 18, pp. 18~30 (1985)
- 3) 眞柄泰基、国包章一、相沢貴子：藻類の生産する有機物の凝集阻害に関する基礎的研究、水道協会雑誌、55 (4)、pp. 33~39 (1986)
- 4) 菅原 繁、黒川真弓、眞柄泰基：Microcystis spp. 群体から得られた有機物質が凝集沈澱処理に与える影響、水道協会雑誌、64 (5)、pp. 2~11 (1995)
- 5) 川原正博、黒田洋一郎：アルツハイマー病の危険因子としてのアルミニウム、Bull. Inst. Public Health, 42 (4)、pp. 520~525 (1993)
- 6) 今野 弘：溶解性アルミニウムの生成に及ぼす藻類の増殖と塩素処理の影響、用水と廃水、38 (11)、pp. 23~26 (1996)
- 7) Reynolds C. S. : The Ecology of Freshwater Phytoplankton, Cambridge Univ. Press (1975)
- 8) 斎藤昭二、有井鈴江：前塩素注入の有無による大型珪藻4種の凝集沈降特性、水道協会雑誌、62 (11)、pp. 18~27 (1993)
- 9) 日露野昭好、小野田靖彦、網野信重、斎藤昭二：アンスラサイト複層による汚過閉塞の改善、水道協会雑誌、545、pp. 19~27 (1980)
- 10) 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—アン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)、pp. 72~77 (1984)
- 11) Al-Ani M. Y. : Clogging-front behaviour in dual-medium filters, Aqua, 39 (3), pp. 188~196 (1990)
- 12) 今野 弘、佐藤敦久、眞柄泰基：モデル材料を用いた針状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、pp. 11~18 (1994)
- 13) 今野 弘、伊澤信宏、佐藤敦久、眞柄泰基：針状珪藻の急速砂ろ過槽内抑留に対する（ろ材径/珪藻長）比の影響、環境工学研究論文集、32、pp. 1~8 (1995)
- 14) 今野 弘：複層濾過池における藻類の濾過効率と濾水水質、世界濾過工学会日本会濾過分離シンポジウム、pp. 103~107 (2001)
- 15) 海老江邦雄、張 一憲、山田直之、川口倫由：低汚速スタート法による初期漏出濁度の抑制機構とその効果、全国水道研究発表会講演集、53、pp. 170~171 (2002)
- 16) 廣瀬弘幸、山岸高旺編：日本淡水藻図鑑、pp. 2~100、内田老鶴園 (1977)
- 17) 日本水道協会：こまった生物、上水試験方法2001年版、添付 CD (2001)
- 18) 日本水道協会：上水試験方法 2001年版、p. 676 (2001)
- 19) 中村寿子：落射蛍光顕微鏡を用いた水道生物試験、水道協会雑誌、第57巻第7号 (第646号)、pp. 21~32 (1987)
- 20) 日本水道協会：水道施設設計指針 2000年版、pp. 186~190 (2000)

(平成16年4月16日受付)