

糸状藻類を活用した貯水池水質保全対策

Countermeasures for Reservoir Water Quality Conservation Using Filamentous Algae

丹羽 薫^{*}・久納 誠^{**}・大西 実^{***}・山下芳浩^{****}

By Kaoru NIWA, Makoto KUNOU, Minoru ONISI and Yoshihiro YAMASITA

Unusual growth of undesirable algae caused by eutrophication has brought water quality problems of water bloom or odor in some reservoirs. Countermeasures against the phenomenon are to understand a growth mechanism of the algae and to prevent undesirable floating algae from rapid increase.

The water purification system proposed in this paper provides an environment to grow desirable algae, filamentous algae, which works to remove T-P and T-N from the river pouring into the reservoir and inorganics from the reservoir surface, resulting that increase of undesirable floating algae is to be prevented in the reservoir. Besides the system works to remove undesirable algae and odor from the discharge flow.

Explained and reported in this paper are on characteristics of the water purification system using filamentous algae and field experiments confirming the system to be effective for reservoir water purification.

Keywords : reservoir, water quality management, eutrophication, algae-control method, filamentous algae

1. まえがき

ダム湖の富栄養化に起因する現象（水の華、カビ臭等）の原因は好ましくない藻類の異常増殖である。こうした富栄養化現象の対策は好ましくない藻類の増殖メカニズムを把握し、好ましくない藻類の異常増殖を阻止する施策をとることである。

本報文で提案する水質浄化システムは、好ましい糸状藻類が増殖できる環境を人為的に与えることにより、貯水池流入水からT-P、T-N、貯水池表層水から無機態の栄養塩類を除去して好ましくない浮遊性の藻類の異常増殖を阻止し、さらに放流水から藻類及びカビ臭物質を除去するシステムである。

糸状藻類を活用した水質浄化システムの特色を述べ、さらに本システムはダム湖の水質浄化に有効であることが現地実験によって確かめられたのでその報告を行う。

2. 糸状藻類を水質浄化に用いる利点

糸状藻類とは顕微鏡レベルで細胞が列車のようにつながっている藻類を指す場合と、肉眼レベルで毛糸や木綿糸のように糸状になっている藻類を指す場合があるが、ここでは後者を指す。糸状藻類にはどんな種類があるかという点、例えば、珪藻類のメロシラ（*Melosira varians*）は浄水場の緩速砂濾過で重要な役割を

*	正会員	建設省土木研究所水資源開発研究室 室長	（〒305 茨城県つくば市大字旭1番地）
**	正会員	同室 主任研究員	
***		同室	
****		同室 部外研究員	

する藻類であり¹⁾、緑藻類のアオミドロ (*Spirogyra*) は海外で食料とするために養殖されている藻類であり²⁾、緑藻類のシオグサ (*Cladophora glomerata*) は丸くならない点を除いてマリモと同じ属の藻類である。以下、糸状藻類を水質浄化に用いる利点を示す。

- ①糸状藻類は富栄養化に起因する現象(水の華、カビ臭等)の原因とならない。
- ②浮遊性の藍藻類と同じく、糸状藻類は増殖速度が早く、その分無機態栄養塩類の吸収能力が高い。例えば、水生植物の代表であるホテイアオイの倍加日数が約2週間であるのに対し、糸状藻類の代表であるメロシラの倍加日数は約2日である³⁾。
- ③糸状藻類が生息するのに付着或いは支持できる基質が必要であり、この基質を人為的に操作することにより糸状藻類の生息を制御できる。
- ④糸状藻類の適応温度は藍藻類に比べ、やや低い水温でも生息が可能である。
- ⑤糸状藻類が必要な無機態栄養塩類は好ましくない藍藻類に比べ、低い濃度でも生息が可能である。なお、かなり低い濃度となっても水が次々と入れ替われば栄養塩類を吸収することができる。
- ⑥浮遊性である藍藻類と異なり、糸状藻類は水からの分離除去がスクリーン等で容易にできる。
- ⑦糸状藻類はアユやワカサギ等の魚類が好んで食べるため、良質なエサとなる⁴⁾。

3. 糸状藻類を活用した水質浄化システム

3. 1 水質浄化システムの概要

水質浄化システムは、貯水池に流入する河川水のT-P, T-Nを除去する流入水浄化設備、貯水池の湖上で貯水池の無機態栄養塩類を除去する表層水浄化設備、貯水池からの放流水の藻類やカビ臭物質を除去する放流水浄化設備から成るシステムであり、いずれの設備も糸状藻類を活用している。

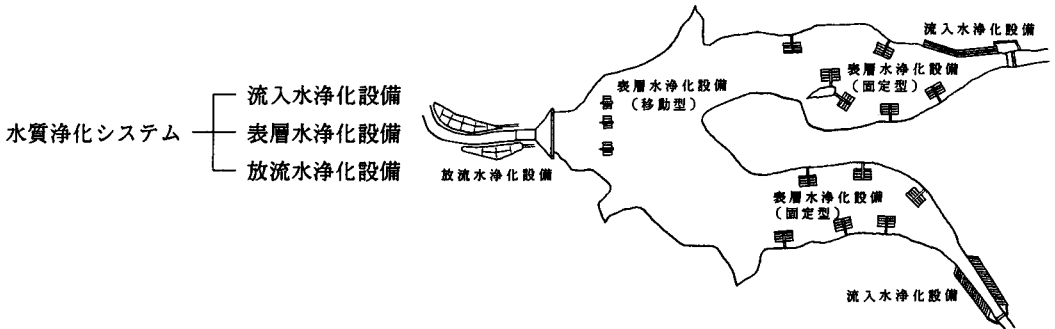


図-1 水質浄化システム

3. 2 流入水浄化設備

流入水浄化設備は、糸状藻類の増殖と砂利濾過の二過程を交互に行うことにより、T-P, T-Nを除去する設備である。流入水浄化設備を図-2に示すが、対象とする流入河川に生息している糸状藻類の種類により、タイプAとタイプBに分かれる。タイプAは緩流に適した糸状藻類を対象とした設備であり、タイプBは急流に適した糸状藻類を対象とした設備である。

タイプAの構造と原理を述べる。上部構造は緩流に適した糸状藻類が生息しやすい環境となっており、対象とする糸状藻類はメロシラ、アオミドロ等であり、糸状藻類により流入水の無機態栄養塩類を吸収除去する。下部構造は粒径3~4mm程度の粗砂層となっており、粗砂粒子間の浄化を期待する。下部構造を細砂層とせず粗砂層としたのは、濾過閉塞を避けるためである。

次にタイプBの構造と原理を述べる。上部構造は急流に適する糸状藻類が生息しやすい環境となっており、対象とする糸状藻類はシオグサ等であり、糸状藻類により流入水の無機態栄養塩類を吸収除去する。下部構造は5~10mm程度の砂利層となっており、砂利粒子間の浄化を期待する。

糸状藻類の回収について説明する。タイプAの場合、メロシラやアオミドロは成長すると光合成による酸素を多く含む気泡を付着させ、直径5〜20cmの真綿状の塊となって浮上して来るので、それを越流管とスクリーンにより除去する。タイプBの場合、シオグサは仮根により砂利に付着しており、繁殖しすぎると途中から切れたり仮根が付着している砂利ごと引きずられたりして流下して来るので、それをスクリーンで除去する。

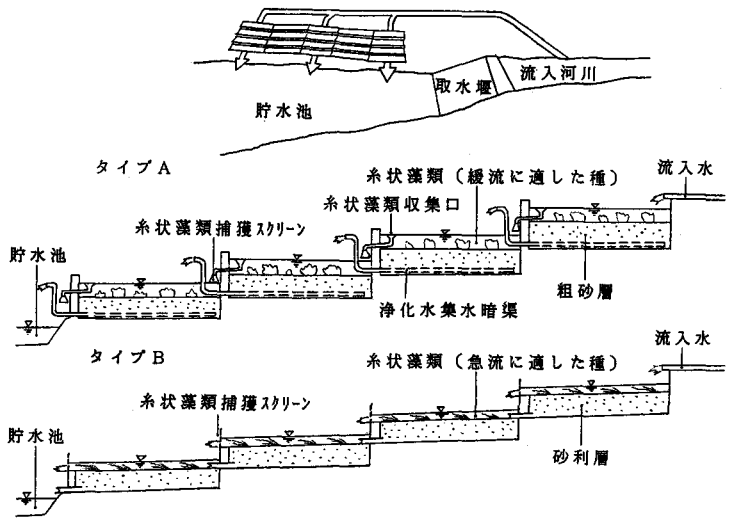


図-2 流入水浄化設備

3.3 表層水浄化設備

表層水浄化設備は、貯水池表層にネットや粗面ボードを設けることにより、糸状藻類である緑藻類・珪藻類が付着して生息できる基質を設け、洪水等で表層に混入して来た無機態栄養塩類を、好ましくない藻類より先に糸状藻類に吸収除去させる設備である。

表層水浄化設備を図-3に示す。タイプAは糸状藻類がネット内面を基質とし、さらに給水による鉛直流動が得られるような構造となっている。糸状藻類の回収は、糸状藻類が酸素を多く含む気泡を付着して浮上しているところを移動式スクリーンにより除去する。タイプBは糸状藻類が粗面ボードを基質とし、さらに給水による水平流動が得られるような構造となっている。糸状藻類の回収は、糸状藻類が切れて流れて来たところをスクリーンにより除去する。

この設備の原理は、表層において無機態栄養塩類が洪水で急増した場合に、浮遊性の藍藻類が無機態栄養塩類を採り込んで異常増殖する前に、この設備により待機させておいた糸状藻類により無機態栄養塩類を吸収除去してしまおうというものである。よってこの設備は、換言すると、藻類の生息環境を変えることにより、藻類の優占種を人為的に好ましくない藻類から好ましい藻類に転換させる設備であると言える。

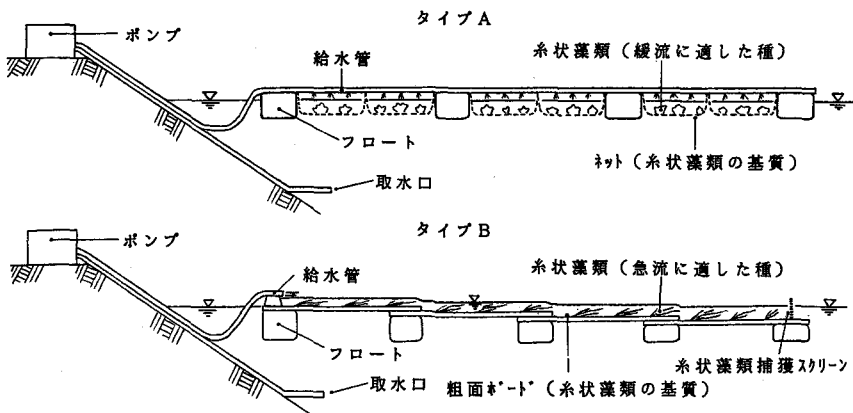


図-3 表層水浄化設備

3.4 放流水浄化設備

放流水浄化設備は、利水を含む正常流量を補給するため下流に放流した水を、異臭味障害が発生しやすい期間において、生物膜濾過により藻類及びカビ臭物質を除去する設備である。

生物膜濾過は浄水場で用いられている緩速砂濾過を放流水の浄化設備として発展させたものであり、藻類及びカビ臭物質の浄化効果が高く、維持管理についても濾過膜をうまく制御できれば比較的管理が容易な浄化設備となる。放流水浄化設備を図-4に示す。濾過池の濾過膜は糸状藻類のメロシラが優占種になりやすい。メロシラは成長すると光合成による酸素を多く含む気泡を付着させて浮上するが、その際濾過膜ごと浮上するため、濾過膜の閉塞は生じにくい。また浮上した糸状藻類は直径5~20cmの真綿状の塊になるため、浮遊性の藍藻類と違い越流管とスクリーンにより容易に分離除去できる¹⁾。

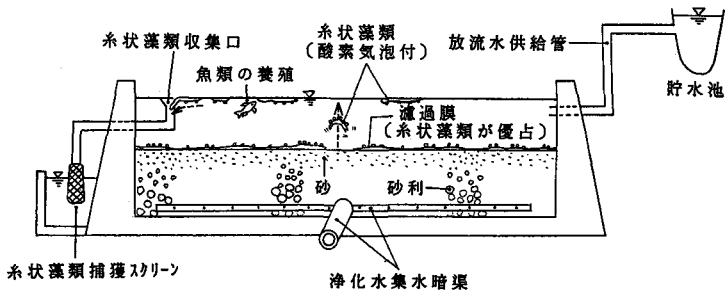


図-4 放流水浄化設備

4. 糸状藻類による水処理実験

4.1 実験の目的、方法及び結果

糸状藻類を活用した水質浄化システムの特徴を把握するために現地実験を行った。実験装置は放流水浄化設備を基本とした。面積約2m²/基の実験水槽3基を用い、霞ヶ浦の湖水を直接ポンプアップして流入させた。実験装置を図-5に示す。表-1に、実験で確認したい事項、それに対応した実験条件、実験結果、得られた知見及び考察を示す。なお、図-6に1号水槽における水質測定結果を示す。

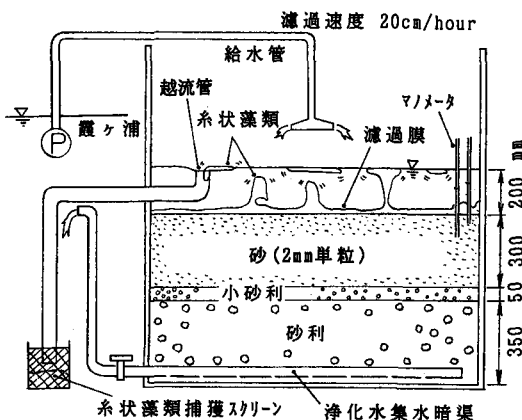


図-5 実験装置

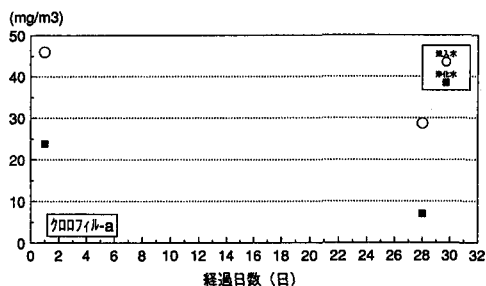
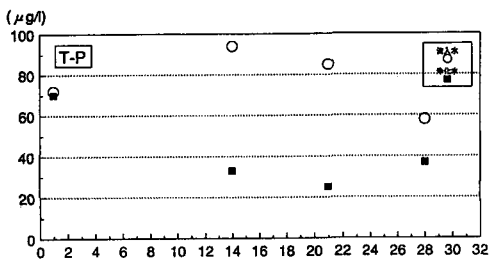
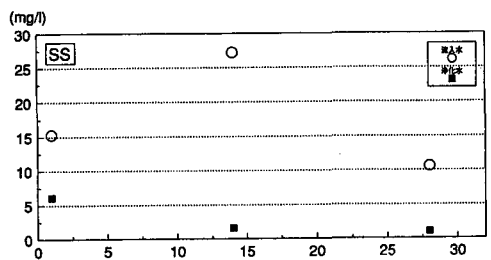


図-6 水質測定結果

表-1 糸状藻類による水処理実験

	確認したい事項	実験条件	実験結果	得られた知見及び考察
1	湖水の流入を開始してから生物膜ができるまでに浮遊性の藍藻類で目詰まりしないか	1~3号：砂の粒径を2mmの単粒とし、浮遊性の藍藻類が素通りしやすくする	湖水は、 <i>ワットリア</i> 、 <i>アフリゾメ</i> 等の浮遊性の藍藻類が優占となっていたが、目詰まりはしなかった	初期の目詰まりに対しては砂の粒径は2mm程度が良い
2	藍藻類優占の湖水で、 <i>クロシラ</i> 等の糸状藻類が発生するか	1号：湖水のままとする 2~3号： <i>クロシラ</i> が付着している床礫を入れる	1号： <i>クロシラ</i> が発生した。ただし通水直後に <i>クロシラ</i> が生息している河川が小洪水となり、その水の混入が原因であると思われる 2~3号：河床礫の <i>クロシラ</i> が増殖した	<i>クロシラ</i> が発生しにくい場合は、 <i>クロシラ</i> を含む河川水や河床礫を入れてやれば良い
3	藍藻類優占の湖水は、非洪水期では PO_4-P で概ね $10\mu g/l$ と低い為に、糸状藻類が増殖できるか	1号：湖水のままとする 2~3号：湖水にリンを加え、 PO_4-P で30~ $60\mu g/l$ とする	1号： <i>クロシラ</i> の増殖がやや悪く <i>クロシラ</i> が立体構造になる前に藍藻類の <i>ワットリア</i> に被覆され立体構造にならなかった 2号： <i>クロシラ</i> の増殖が良く、 <i>クロシラ</i> が立体構造になる前に藍藻類の <i>ワットリア</i> に一旦被覆されるが、暫くしてから立体構造になった 3号： <i>クロシラ</i> の増殖が良く、 <i>クロシラ</i> が立体構造となつてから通水したので藍藻類に被覆されることすらなかった	PO_4-P が $10\mu g/l$ 以下では <i>クロシラ</i> の増殖も悪く藍藻類に優占を奪われることもある PO_4-P が30~ $60\mu g/l$ では <i>クロシラ</i> の増殖も良く藍藻類に覆われかけても自力で優占を守ることができ なお、 PO_4-P が $10\mu g/l$ 以下の場合には濾過速度をあげて <i>クロシラ</i> の活性を高める方法が考えられる
4	生物膜となった糸状藻類が藍藻類に覆われて優占を失うことはないか	1~2号：湖水を通しながら生物膜を育てる 3号：湖水を通す前に生物膜を育ててから湖水を通す	1~2号： <i>クロシラ</i> が立体構造になる前に藍藻類の <i>ワットリア</i> に一旦被覆されるが、暫くしてから立体構造になった 3号： <i>クロシラ</i> の増殖が良く、 <i>クロシラ</i> が立体構造となつてから通水したので藍藻類に被覆されることすらなかった	砂の粒径が2mmの場合、数秒間の負圧により深さ0~3cmの有機物は容易に移動し、目詰まりを回復させ易いと考えられる しかし長期的な目詰まり対策は別途必要である
5	生物膜が目詰まりしてきたら、それを回復させる方法はないか	1~3号：砂の粒径を2mmの単粒とし、目詰まりし始めたら水圧を変化させて回復を試みる 目詰まりしだした砂層をコアプ・リンクする	目詰まりし始めた生物膜に数秒間約 $0.06kgf/cm^2$ の負圧を与えたところ、元に戻った コアプ・リンクの結果は深さ0~3cmは茶色の軟質の有機物で砂粒間が満たされており3~10cmでは砂粒表面に有機物が薄く付着しており10cm以降では肉眼では何の付着も見られなかった	砂の粒径が2mmの場合、数秒間の負圧により深さ0~3cmの有機物は容易に移動し、目詰まりを回復させ易いと考えられる しかし長期的な目詰まり対策は別途必要である
6	増殖させた糸状藻類をいかに除去するか	1~3号：越流管を設け、管の出口には捕獲ネットを設ける	越流水深が数mmであるが浮上してきた <i>クロシラ</i> は吸い込まれるように越流管に入った 捕獲ネットを水中に設置したら採取できた	越流管と水中に設置した捕獲ネットが良い
7	SS、T-P、 PO_4-P 、 <i>クロフイルム</i> 等はいかにほど除去できるか	1~3号：流入水と浄化水の水質を測定する	湖水のままではSSは90%、T-Pは60%、 <i>クロフイルム</i> は80%除去できることがわかった PO_4-P の除去率はプラスとなつたりマイナスとなつたりする 流入水の PO_4-P が低ければ PO_4-P の除去率はプラスとなり、高ければプラスとなる	上部構造で <i>クロシラ</i> が除去できた分はそのまま PO_4-P の除去量となる 湖水のままでは PO_4-P が低く <i>クロシラ</i> の増殖量も少ないが PO_4-P を30~ $60\mu g/l$ にすれば <i>クロシラ</i> の増殖量も多くなる 下部構造では、有機態の栄養塩類が無機態に分解されるために PO_4-P は逆に増加する

4.2 各浄化設備における浄化機能の組み合わせ

糸状藻類を活用した水質浄化設備が有する機能を現地実験をもとに考えてみると、図-7に示すようになる。

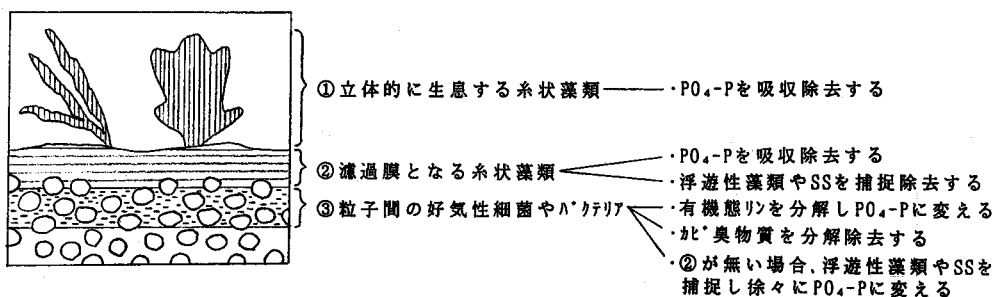


図-7 糸状藻類による浄化設備が持つ浄化機能

流入水、表層水、放流水浄化設備は、除去すべき物質や生息させたい糸状藻類のタイプにより図-7に示す浄化機能の組み合わせが異なる。各浄化設備に適用すべき浄化機能の組み合わせを表-2に示す。

表-2 各浄化設備における浄化機能の組み合わせ

設備名	除去したい代表物質	設備タイプ	適用すべき浄化機能の組み合わせ
流入水 浄化設備	T-P (P ₀₄ -Pも含む)	タイプA (緩流)	①, ②, ③ ・③で新たに生じたP ₀₄ -Pを、②の活性を高めるのに用いるために、多段式とする ・③にて目詰まりしないように粒径を3~4mmとする
		タイプB (急流)	①, ③ ・③にて多量の流入水を透過できるように5~10mmとし、浮遊性藻類やSSを捕捉する ・浄化水が①と③を交互に入れ代わるように多段式とする ・水平流のため②は不用
表層水 浄化設備	P ₀₄ -P	タイプA (緩流)	①, ② ・P ₀₄ -Pが増加する③を除く ・浮遊性藻類が多い場合は②は不向き
		タイプB (急流)	① ・P ₀₄ -Pが増加する③を除く ・水平流のため②は不用
放流水 浄化設備	藻類 カビ臭物質	タイプA (緩流)	②, ③ ・放流水のP ₀₄ -P濃度が低い場合は、②の活性を高めるために、濾過速度を高める ・③にて目詰まりしにくいように粒径を1~2mmとする ・本設備では③によりP ₀₄ -Pが増えてもかまわない

5. まとめ

- 糸状藻類を活用した水処理を行い、貯水池流入水からT-P、T-Nを、貯水池表層水から無機態の栄養塩類を、放流水から藻類及びカビ臭物質を除去する水質浄化システムは、好ましくない藻類の異常増殖の抑制と処置に対して効果が高いと考えられる。
- 糸状藻類による浄化設備の浄化機能は基本的に、①立体的に生息する糸状藻類、②濾過膜となる糸状藻類、③粒子間の好気性細菌やバクテリア、の働きによる浄化機能である。各浄化設備は、除去すべき物質と活用したい糸状藻類が緩流に適するか急流に適するかによって、適用すべき浄化機能の組み合わせが決まる。

参考文献

- 中本信忠：緩速濾過における糸状藻類とその連続培養の重要性，日本水処理生物学会誌，Vol127，No. 1，1991
- 飯山郁子，坂井真奈美：緑藻アオノモリ®の食品学的評価，山陽女子短期大学研究紀要X，1984
- 中本信忠，江連小百合：緩速濾過池濾床藻類の繁殖過程及び季節変化，水道協会雑誌，No. 58，Vol18，1989
- 坂井正，中本信忠他：緩速濾過池で繁殖する藻類とその有効利用，環境科学年報（信州大学），No. 14，1992
- 小島貞男：上水道の生物学（2），用水と廃水，Vol19，No. 11，1967