流量調整のための補給放流が長期間継続した場合の付着藻類及び大型糸状緑藻へ及ぼす影響

大島　正憲[1]・松浦　崇裕[2]・坂口　幸太[3]・小林真之[4]・福嶋悟[5]・唐澤浩光[6]

[1]正会員　八千代エンジニヤリング株式会社（〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8 CS タワー）

E-mail：ms-ooshima@yachiyo-eng.co.jp
[2]八千代エンジニヤリング株式会社（〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8 CS タワー）
E-mail：tk-matsuura@yachiyo-eng.co.jp
[3]八千代エンジニヤリング株式会社（〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8 CS タワー）

E-mail：yt-sakaguchi@yachiyo-eng.co.jp
[4]八千代エンジニヤリング株式会社（〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8 CS タワー）

E-mail：msy -kobayashi@yachiyo-eng.co.jp
[5]藻類研究所分析センター（〒171-0051 東京都豊島長崎 1-14-5）

E-mail：fukushima_algae@yahoo.co.jp
[6]関東地方整備局　相模川水系広域ダム管理事務所広域水管理課

（〒252-0156 神奈川県相模原市緑区青山字南山 2145-50）

E-mail：karasawa-h8311@mlit.go.jp

宮ヶ瀬ダムでは下流河川の冬季の流況調整として，補給放流を実施している．また，当ダムではフラッシュ放流等による下流河川環境への影響把握のため，モニタリング調査を実施している．既往研究よりフラッシュ放流等による付着藻類の剥離更新は明らかになってきたが，補給放流による剥離更新の知見は少ない．そのため，本研究ではモニタリング調査結果と放流実績を基に補給放流が付着藻類や大型糸状緑藻に与える影響について分析を行った．その結果，付着藻類については補給放流が長期化することで剥離更新が確認された．大型糸状緑藻については，補給放流開始直後に剥離効果が見られた．これらの結果は補給放流にも付着藻類への剥離更新があり，河川環境の改善に資することを示すものである．

Key Words : *Supply water discharge, Periphyton, filamentous green algae, flashing discharge, elastic management test*

１．はじめに

(1) ダムにおけるフラッシュ放流

ダム供用開始後の下流の河川環境の変化として，減水区間の出現や出水頻度の減少（流況の安定化），土砂供給の減少などにより，付着藻類の剥離更新頻度の減少，河床のアーマーコート化，「よどみ」の発生等，ダム下流の水質・生物・景観等の環境に対する影響が指摘されてきた．こうした状況において，既存ダムの一層の有効活用を図ることによりダム下流における河川環境を改善するため，国土交通省では「ダムの弾力的管理」[1)]に取り組んでいる．

「ダムの弾力的管理」は，平常時は空き容量となっているダムの洪水調節容量の一部に洪水調整に支障を及ぼさない範囲で流水を貯留できる活用容量を設定し，この活用容量内に貯留された流水を，ダム下流の河川環境の整備と保全等を図るために適切に放流するものである．平成 15 年 4 月に「ダムの弾力的管理試験の手引き(案)」[1)]が国土交通省により定められ，20 を超えるダムにおいて，活用容量を利用したフラッシュ放流が行われ，河川環境の改善に取り組んでいる．

フラッシュ放流の目的の例としては，以下に挙げるとおりである．

- 付着藻類の剥離及び更新の促進：流況の安定化により剥離しない付着藻類の更新
- 河床堆積物の流掃：流況の安定化により堆積している細粒分の流掃
- よどみ水（景観阻害・臭気）の流掃：よどみ水にある河床堆積物や浮遊物の洗浄

寒河江ダム等では，フラッシュ放流による河床のシルト等の堆積物の掃流などの効果検証が行われてきた[2]．また，真名川ダム及び一庫ダムにおいては，置土とフラッシュ放流を合わせることで付着藻類の剥離更新効果が認められ，魚類の採餌環境の改善に寄与することが報告されている[3,4]．宮ヶ瀬ダムにおいても，赤松ら(2008)[5]は 5～10mm 程度の粒径からなる置土とフラッシュ放流の組み合わせによって，ダム下流に繁茂した糸状藻類の除去効果が見られることを確認している．他にも宮ヶ瀬ダムではフラッシュ放流による付着藻類への影響や剥離更新に必要なせん断力について研究が実施されている[6,7,8]．

(2) 宮ヶ瀬ダムにおけるフラッシュ放流及び補給放流の実施と河川環境モニタリング調査

神奈川県相模川水系中津川の上流に位置する宮ヶ瀬ダムは平成12年に竣工した，首都圏で最大級の貯水容量を誇るダムである（**図-1**参照）．また，近隣の相模ダム，城山ダム及び道志ダムと道志導水路及び津久井導水路を利用した連携した管理運営が行われている（**図-2**参照）．また，宮ヶ瀬ダムの直下には下流河川の流量の安定化と急激な増水を防ぐための逆調整ダムとして，石小屋ダムが位置する．

宮ヶ瀬ダムでは下流河川の中津川に繁茂している藻類や河床に堆積したシルト等の掃流を目的として，平成13年よりフラッシュ放流を実施している．ただし，近年はフラッシュ放流の実施頻度は減少傾向にある（**表-1**参照）．一方で，主に冬季の下流河川の流量調整として，通常の維持流量（$2m^3/s$）より3～$7m^3/s$ほど流量を増やして放流する（5～$9m^3/s$）補給放流を平成23年以降に実施している．

また，宮ヶ瀬ダムではダム放流が下流河川環境へ与える効果について把握するため，H13年以降出水前後で下流河川の付着藻類等のモニタリング調査を行っている．

(3) 本研究の目的

上述したように宮ヶ瀬ダムからのフラッシュ放流と付着藻類等の剥離更新に関する多数の調査・研究が行われ[5,6,7,8]，フラッシュ放流等の大規模出水による藻類の剥離更新に関する知見は蓄積されてきた．

一方で，補給放流のような通常の維持流量よりわずかに流量が増加した場合の付着藻類や大型糸状緑藻の剥離更新等への影響に関する知見は少ない．また，**表-1**に示すとおり近年のフラッシュ放流の実施は稀である．一方で，下流河川の流量調整として補給放流は毎年実施しており，実施時間は年々長期間継続される傾向にある（**表-1**参照）．

そのため，補給放流が付着藻類等へ与える影響を明らかにすることはダムの弾力的管理の観点から重要である．そこで本研究は宮ヶ瀬ダムの放流状況とモニタリング調査結果を用いて，ダムの補給放流が付着藻類及び大型糸状緑藻に与える影響を明らかにすることを目的に調査を実施した．

2. モニタリング調査内容

（1）調査地点・調査時期

調査地点は宮ヶ瀬ダム及び石小屋ダムの下流河川である**図-3**に示す中津川を対象とした．

現地調査は河川生態系の1次生産者であり，河川景観にも影響を及ぼす付着藻類の繁茂状況の把握を目的とした付着藻類調査と大型糸状藻類の繁茂状況の把握を目的とした大型糸状緑藻調査を行った．

付着藻類調査は中津川上流の日向橋上流，中流の角田大橋上流，下流の才戸橋上流の3地点で実施した．大型糸状緑藻調査は石小屋ダム下流～愛川橋までの区間を踏査した（**図-3**参照）．

調査時期はモニタリング調査の目的である秋季の出水前後，春季のフラッシュ放流前後と，それに併

図-1　宮ヶ瀬ダム位置図[4]

図-2　近隣のダムと各種導水路[4]

表-1　近年5ヵ年（H29～R4）の補給放流及びフラッシュ放流の実施状況

No.	実施時期	放流形態	放流規模	継続時間
1	H29.2.9	補給放流	6 m^3/s	93h
2	H29.2.27	補給放流	9 m^3/s	23h
3	H30.2.13	補給放流	5 m^3/s	62h
4	H30.3.2	補給放流	7 m^3/s	68h
5	H31.1.17	補給放流	5 m^3/s	1270h
6	R2.12.25	補給放流	7 m^3/s	504h
7	R3.1.15	補給放流	7 m^3/s	696h
8	R4.1.14	補給放流	7 m^3/s	984h
9	R4.2.2.5	フラッシュ放流	40 m^3/s	0.5h

日向橋上流の状況

角田大橋上流の状況

才戸橋上流の状況

図-3　現地調査地点・範囲と付着藻類調査地点状況

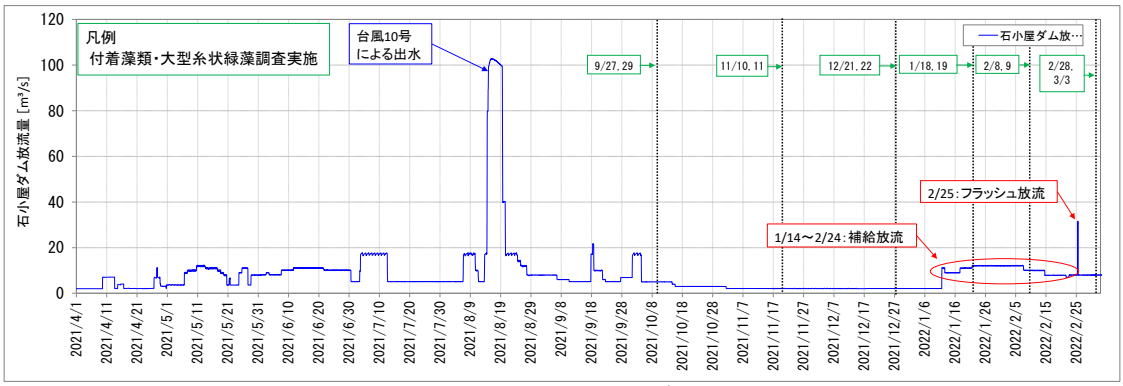

図-4　令和３年度の石小屋ダム放流量

せて自然出水や補給放流中の合計6回調査を行った．令和3年度の調査時日については**表-2**に示すとおりである．令和3年度は新型コロナウイルス感染症の影響もあり，9月下旬まで河川敷が封鎖されており，モニタリング調査は9月下旬以降に実施した．

本論文では補給放流の長期化等と付着藻類及び大型糸状緑藻の関係性について分析するため，補給放流実施直前の12月調査以降の結果について着目した．

表-2　令和３年度のモニタリング調査日

No.	調査時期	No.	調査時期
1	9/27, 29	4	1/18, 19
2	11/10, 11	5	2/8, 9
3	12/21, 22	6	2/28, 3/3

（２）調査方法

付着藻類の調査方法は，1調査地点につき，河床を６つ採取し，それらに5cm×5cmの方形枠を設定し，コドラート・ブラシ法により藻類の採取を行った．

大型糸状緑藻は調査範囲を踏査し，目視で観察を行い分布状況及び概略の群落面積を図面に記録した．大型糸状緑藻が確認される地点ではブロンーブランケ法に従い被度の判定を行った．また，各範囲における優占種と糸状体の長さを記録した．

（３）付着藻類の分析方法

現地調査で採取した付着藻類は付着藻類の種・細胞数，強熱減量，クロロフィルa量，フェオフィチンについて分析を行った．付着藻類の種・細胞数は光学顕微鏡による分析，強熱減量は河川水質試験方法(案)1997年版-試験方法編-12-4 強熱減量に基づいた分析及びクロロフィルa量とフェオフィチンはローレンツェン法による分析を行った．

５．調査結果

（１）付着藻類への影響

調査実施日ごとの細胞数，クロロフィルa量及びフェオフィチン量の分析結果を**図-5**及び**図-6**に示す．

補給放流開始直後である1月18日の調査結果は，補給放流開始前である12月21日の調査結果に比べて細胞数，クロロフィルa量及びフェオフィチンについて，減少している地点と増加している地点が混在し，明確な減少傾向は確認されなかった．一方，補給放流が継続した2月8日の調査結果では各調査地点で1月18日の調査結果に比べて明瞭に減少していることが確認された．

（２）大型糸状緑藻への影響

調査実施日ごとの大型糸状緑藻の調査結果を**図-7**～**図-9**に示す．

大型糸状緑藻は付着藻類と対照的に，補給放流開始前の結果（12月21,22日調査）と補給放流開始直後の結果（1月18,19日調査）を比較すると，ワンド・たまりといった本川の流量の影響を受けにくい箇所を除き，糸状体長が10cm以上の箇所が剥離している傾向が確認された（**図-7**及び**図-8**参照）．つまり，糸状体長10cm以上のような生長した大型糸状緑藻に対しては補給放流のようなわずかな流量増加でも剥離更新効果が期待できることを示している．

一方で，補給放流が長期間継続した2月8,9日調査結果では被度2（被度が10%～25%）が占める面積が増加するといった結果が得られた（**図-9**参照）．また，**図-8**に示すとおり，1月18,19日調査と2月8,9日調査を比べると一部箇所では糸状体長が生長し回復しているのが確認された．

2月25日に実施したフラッシュ放流ではワンド・たまりといった，補給放流時には剥離更新が確認されなかった地点においても糸状体長の減少が確認された（**図-7**及び**図-8**参照）．

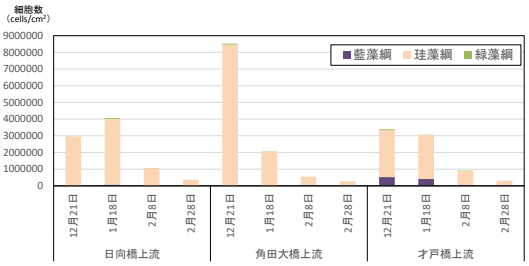

図-5　調査地点別の網別細胞数の変化

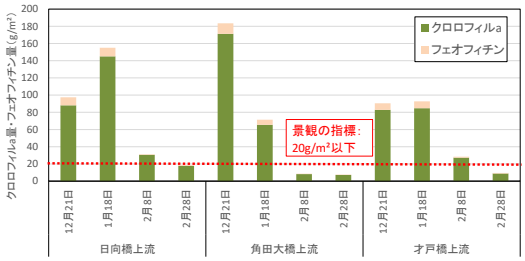

図-6　調査地点別のクロロフィル a 量及びフェオフィチン量の変化

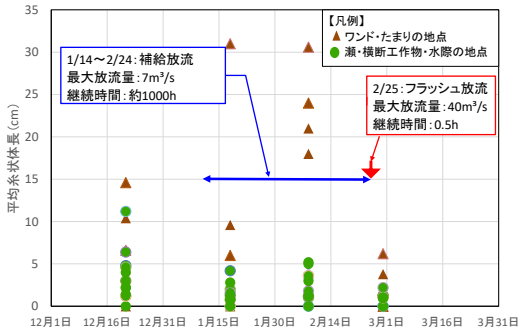

図-7　大型糸状緑藻の平均糸状体長の変化

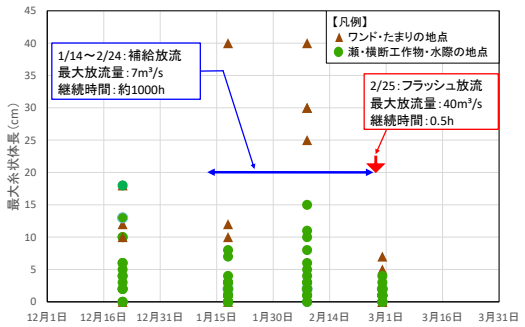

図-8　大型糸状緑藻の最大糸状体長の変化

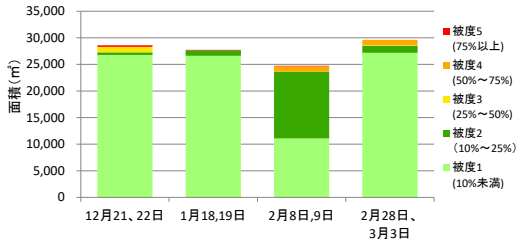

図-9　大型糸状緑藻の被度別面積の変化

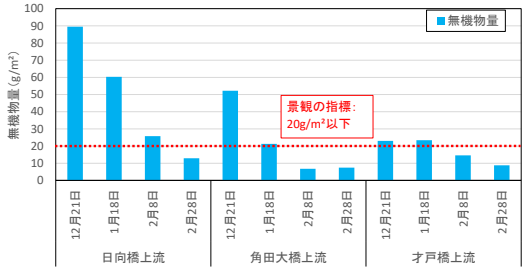

図-10　調査地点別の無機物量の変化

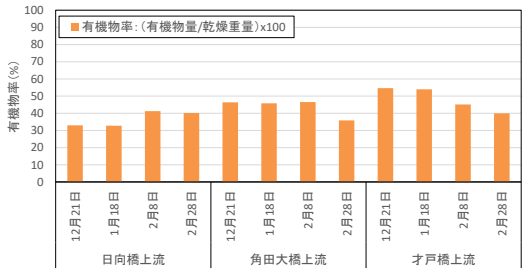

図-11　調査地点別の有機物率の変化

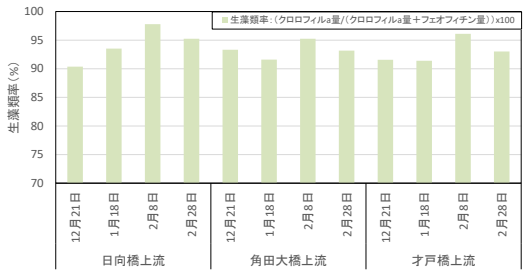

図-12　調査地点別の生藻類率の変化

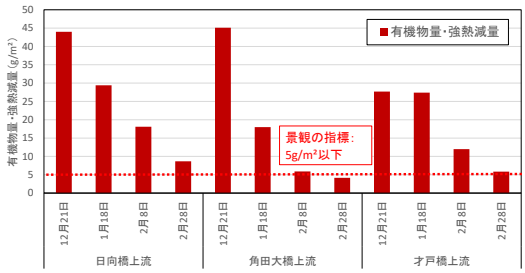

図-13　調査地点別の有機物量・強熱減量の変化

６．考察

（１）補給放流が大型糸状緑藻へ与える影響のメカニズム

大型糸状緑藻の調査結果と補給放流の実施状況より，補給放流の長期化は大型糸状緑藻の被度増加につながることが示された．

この現象を駆動するメカニズムとしては以下の内容が考えられる．はじめに補給放流が長期化することにより河床のシルト等の無機物が減少する．これは付着藻類調査時の無機物量の変化からも示されている（**図-10**参照）．次に，流量増加に伴い恒常的に一定量の栄養塩が供給されるため，大型糸状緑藻の生長を促進させる．つまり，補給放流の長期化により河床の無機物の掃流による生育適地の拡大と供給される栄養塩量の増加による生長の促進が大型糸状緑藻の被度増加を引き起こしたと考えられる．

（２）補給放流の長期化による河川景観改善効果

本研究の結果から補給放流の長期化が付着藻類の剥離更新を引き起こすことが示された．ここでは付着藻類の剥離更新，河床のシルトの掃流を確認し，河川景観の観点[9]から補給放流の効果を考察する．

補給放流による付着藻類の剥離更新として，生藻類率の変動を確認する.生藻類率は補給放流が長期化すると上昇傾向にあり，生藻類率の観点からも付着藻類の剥離更新が起きていることが確認された（**図-11**参照）．

河床の無機物の掃流として，有機物率の変動を確認する．有機物率は補給放流が長期化すると日向橋上流でのみ値が上昇傾向にあることが確認された（**図-12**参照）.他2地点で日向橋上流とは異なる動態となった要因としては河床の無機物の掃流とともに有機物量も減少したため，有機物率では明確な上昇傾向は見られなかったと考えられる（**図-10**及び**図-13**参照）．

河川景観に影響を及ぼすと考えられているクロロフィルa量・フェオフィチン量[9]，無機物量[9]及び有機物量・強熱減量[9]は全調査地点において補給放流が長期化すると減少傾向であった（**図-6**，**図-10**，**図-13**）．付着藻類の繁茂と関連するクロロフィルa量・フェオフィチン量及び有機物量・強熱減量は剥離更新が生じたため，補給放流により減少したと考えられる．無機物量も同様に補給放流の長期化による減少が確認された．このことから補給放流の長期化は付着藻類の剥離更新だけでなく，河床のシルト等の掃流の効果もあることを示している．

以上のことから，補給放流の長期化は付着藻類の剥離更新と河床のシルト等の掃流を促進し，河川景観の改善に資すると考えられる．

７．終わりに

(1) 本研究の成果

本研究により補給放流が付着藻類及び大型糸状緑

藻へ及ぼす影響として，以下のことが明らかになった．

① 長期的な補給放流は付着藻類の剥離更新を促進させる働きがある．
② 短期的な補給放流は生長した大型糸状緑藻に対しては剥離更新を促す働きがある．
③ 長期的な補給放流は大型糸状緑藻の生育適地を増加させ，被度の増加につながる．このメカニズムとしては，補給放流の長期化が河床のシルト等の掃流効果や上流から供給される栄養塩量の増加を引き起こし，生育適地の拡大を引き起こしていると考えられる．

（2）課題点

本研究は以下の2点において，改善の余地があると考えられる．

① 今回の調査結果は補給放流の事前調査が補給放流開始の約3週間前に実施している．そのため，補給放流開始直前の結果が得られておらず，付着藻類及び大型糸状緑藻の剥離更新が補給放流によるものであることのより精度の高い検証．
② 今回の対象とした補給放流期間中の調査は補給放流開始4日後と25日後の2回のみである．そのため，付着藻類及び大型糸状緑藻の剥離更新に必要な補給放流の継続時間が不明．

上記の課題点を解決するためには，現在のモニタリング調査は主にフラッシュ放流や自然出水に着目したものであるが，今後は補給放流に関しても同様の働きを持つと捉えて，調査時期判断の項目に加えていく必要があると考えられる．

謝辞

本稿で使用した資料は国土交通省関東地方整備局相模川水系広域ダム管理事務所から貸与していただいたものである.また，本稿に示した調査・分析・解析，資料整理については相模川水系広域ダム管理事務所の発注業務の一部として実施したものを含んでいる．ここに記して御礼申し上げる．

参考文献

1)国土交通省河川局河川環境課　（2003）ダムの弾力的管理試験の手引き（案）
2)島田昭一，松田正賽（1999）寒河江ダムの弾力的管理の試行実績〈フラッシュ放流による河川環境改善の試み〉，ダム技術，No.153，pp.35-47
3)坂本博文，中村甚一，角哲也，浅見和弘（2006）真名川ダム弾力的管理試験における「フラッシュ放流」の計画と効果の評価手法について，河川技術論文集，第12巻，pp.271-276
4)藤津亜弥子（2015）フラッシュ放流等による河川環境改善の効果検証～一庫ダムにおける物理的・生物学的調査と分析～，ダム技術，No.349，調査・計画・設計部門：No.10，pp1-pp5
5)赤松良久・井上麻衣・池田駿介（2008）フラッシュ放流によるダム下流の河床付着性藻類の強制剥離に関する研究，河川技術論文集，14，425-430.
6)対馬孝治・天野邦彦・傳田正利・時岡利和・皆川朋子（2006）宮ケ瀬ダム放流試験による河川流下有機物の変化とその要因，河川技術論文集，12，247-252.
7)皆川朋子・福嶋悟・萱場祐一（2007）ダム下流の河床付着膜の特徴とフラッシュ放流による掃流，土木技術資料，49(8)，52-57.
8) 井内隆満・福嶋悟・羽澤敏行・蘭勝司（2013）ダム下流河川における河川流況や濁度が大型糸状緑藻類に及ぼす影響について，応用生態工学会第17回研究発表会講演集，51-54.
9)皆川朋子，福嶋悟，萱場祐一（2005）河川流量管理のための河床付着物の視角的評価に関する研究，河川技術論文集，第11巻，pp.553-558

(Recieived June 16, 2022)

WHEN SUPPLY WATER DISCHARGE KEPT LONG-TERM FOR FLOW CONTROL, IT EFFECTS ON PERIPHYTON AND LARGE FILAMENTOUS GREEN ALGAE

Masanori OSHIMA, Takahiro MATSUURA, Yuta SAKAGUCHI, Masayuki KOBAYASHI, Satoshi FUKUSHIMA and Hiromithu KARASAWA

Miyagase Dam conducts supplemental water discharge to adjust the flow conditions of the downstream river during the winter season. In addition, monitoring surveys are being conducted at the dam to determine the effects of flashing discharge and other discharges on the downstream river environment. Previous studies have shown that flashing discharge and other discharges cause detachment and renewal of attached algae, but there is little information on detachment and renewal caused by supplemental discharges. Therefore, in this study, we analyzed the effects of supplemental water discharge on attached algae and large filamentous green algae based on the results of monitoring surveys and actual releases. As a result, we confirmed that detachment and renewal of attached algae occurred as a result of prolonged supplementation and discharge. For macroalgae, the detachment effect was observed immediately after the start of supplementation. These results indicate that supplemental water discharge also causes detachment and renewal of attached algae, and contributes to the improvement of the river environment.