

有用微生物群を封入した多孔質コンクリート ブロックの流水中での水質浄化能力の検討

WATER QUALITY PURIFICATION BY PORUS CONCRETE BLOCK
INCLUDING BACILLUS SUBTILIS NATTO GROUP
UNDER RUNNING WATER CONDITIONS

橋本彰博¹・山本真義²・堤大二郎³・押川英夫⁴・松永信博⁵・小松利光⁶
古賀雅之⁷・岩下智明⁸・原田敦彦⁹

Akihiro HASHIMOTO, Masayoshi YAMAMOTO, Daijiro TSUTSUMI, Hideo OSHIKAWA,
Nobuhiro MATSUNAGA, Toshimitsu KOMATSU, Masayuki KOGA, Toshiaki IWASHITA
and Atsuhiko HARADA

¹正会員 博士(工) 九州大学大学院 工学研究院学術研究員 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)

²岩国市役所 (〒740-8585 山口県岩国市今津町一丁目14-51)

³学生員 九州大学大学院 工学府 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)

⁴正会員 博士(工) 九州大学大学院 工学研究院助教 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)

⁵正会員 工博 九州大学大学院 総合理工学研究院教授 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1)

⁶フェロー 工博 九州大学大学院 工学研究院教授 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)

⁷コヨウ株式会社 (〒835-0006 福岡県みやま市瀬高町坂田169番地)

⁸(株) ビッグバイオ (〒862-0962 熊本市田迎6-11-55)

⁹NPO法人 河川環境基金 (〒816-0063 福岡市博多区金の隈1-28-45)

Laboratory experiments were carried out on water quality purification by a porous concrete block including *Batillus subtilis natto group*, called Eco-Bio Block (EBB). The ability for the mineralization of organic matter and nitrification of ammonium was examined under the running water conditions. The values of biochemical oxygen demand (BOD) decrease with time under the running water conditions. It is found that EBB has the high capacity for reducing the value of BOD. Furthermore, the rate of nitrification by *Batillus subtilis natto group* was about 0.8mg/l/day with the slow velocity condition. These results indicated that *Batillus subtilis natto group* released from the EBB into water has the high capacity for both mineralization of organic matter and nitrification of ammonium.

Key Words : Eco Bio-Block, water purification ,running water conditions, laboratory experiments

1. はじめに

我が国では、流域における開発や人口増加等の社会・経済的な構造の変化によって汚濁負荷が増加し、水質やそれと密接に関連した水環境が損なわれてきている。このため、これまでに水環境を再生・改善する様々な取り組みがなされてきた。しかしながら、水質環境基準の達成状況¹⁾を見てみると、平成19年度においても湖沼50.3%、河川90.0%、海域78.7%と河川を除いて依然低い状態が続いており、未だ改善の兆しが見られないのが実情である。そのため、今日までに様々な水質改善手法が提案さ

れているが(例えばマイクロバブル²⁾、礫間接触法³⁾)、特に生態系の物質循環システムを有効に利用する技術の開発には大きな期待が寄せられている⁴⁾⁵⁾。そのような背景の下、著者らはアルカリ性に強い耐性をもつ有用微生物群を封入したコンクリートブロック (Eco Bio Block, 以下EBBと呼ぶ)により有機汚濁の進行した水域の水質を浄化する技術の開発に取り組んでいる。EBBは、ポーラスコンクリートブロックで、その製造過程において有用微生物群(以下、EBB菌と呼ぶ)を混ぜ込んだものである。EBB菌は土壤中に生息する納豆菌群(*Bacillus subtilis natto group*)から耐アルカリ性と耐熱性を持った微生物群を抽出・培養したもので、直径約0.7~0.8μm、長

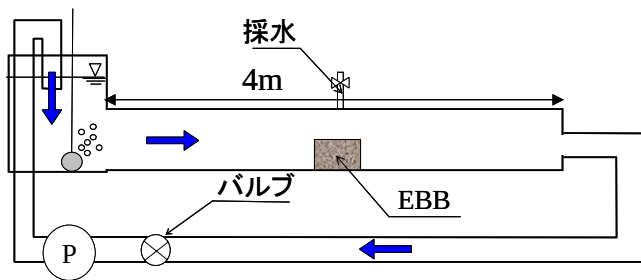


図-1 実験装置

さ2~3 μm の好気性細菌である。EBB菌およびEBBの特性については前報⁷⁾を参照されたい。

著者ら^{7~10)}は、これまでに静水中を対象として、フラン瓶による密閉系と水槽を用いた開放系で実験を行い、EBBの基本性能を検討してきた。その結果、以下のことが明らかとなっている。

- 1) 有機物分解能力および硝化能力が非常に高い。
- 2) 水温が高いほど有機物分解速度、硝化速度ともに大きくなり、有機物 $\rightarrow\text{NH}_4\text{-N}\rightarrow\text{NO}_3\text{-N}$ という無機化プロセスが効率的に進行する。
- 3) ポーラスブロックであるため、高い有機物吸着能力を有している。
- 4) EBB菌と土壤中の脱窒菌を共生させることにより、有機物 $\rightarrow$ 硝化 $\rightarrow$ 脱窒プロセスが効率的に行われる。
- 5) 海水においても有機物分解能、硝化能力が高く、閉鎖性水域の水質浄化や干潟底泥の改善への利用も期待できる。

以上の結果は静水中での水質浄化能力に関するものであり、流れが存在する場でどの程度の水質浄化能力を発揮できるかについては全く研究がなされていない。また、水路や小河川のような水域にEBBを設置する場合、経済性を考慮すると効果が失われない程度の間隔でブロックを設置する必要がある。つまり、流水中で水質を浄化するためには、ブロックから流水中に放出された菌群による浄化能力がどの程度なのかを把握する必要がある。そこで本研究では、流水中におけるEBBの基本性能を明らかにするとともに、ブロックから放出されたEBB菌による水質浄化能力を定量的に比較・検討することを目的として実験を行った。

2. 実験概要

(1) 実験装置

実験は図-1に示す循環水路を用いて行った。水路は長さ4m、一辺が10cmの矩形管路で、試料水は循環ポンプにより循環され、設置されているバルブおよび流量計により任意の流量に設定することができる。なお、水路内の水はエアープンプにより常時曝気され、水温はヒーターによって25℃に保たれていた。

表-1 実験条件

case	流速 (cm/s)	B/W*	ブロック 投入時間(h)	接触流速 (cm/s)
1-1-1	0.83	0.001	∞	設定流速 と同じ
1-1-2		0.005		
1-1-3		0.01		
1-2-1	3.33	0.001		
1-2-2		0.005		
1-2-3		0.01		
1-3-1	6.67	0.001		
1-3-2		0.005		
1-3-3		0.01		
2-1	0.057	0.01	6	0.057
2-2	0.83			
2-3	3.33			
2-4	6.67			
2-5	8.33			

*B：ブロック重量(kg), W：試料水の重量(kg)

(2) 実験方法

まず、流水中におけるEBBの水質浄化能力を調べた(case1-1-1~1-3-3)。実験では投入するブロックの量B/W（ここでBはブロック、Wは試料水の重量(kg)を表す）を表-1に示すように3種類設定し、ブロックを水路に投入後、ポンプを稼働して各設定流速で試料水を循環させた。次にブロックから流水中に放出されたEBB菌のみによる浄化効果を調べる実験を行った(case2-1~5)。この実験ではブロックに接触させる流水の流速および接触時間を全て統一し、ブロックを取り出した後に流速を設定した(流速を設定した時間をt=0とする)。なお、case2-1~5では循環水路を新たにもう1本作成し、リファレンスとして試料水のみ循環させたときの水質のデータを取得した。投入するブロック量はB/W=0.01とした。つまり、水中に放出された菌体量は全てのケースで一定と仮定した。本研究で実施した実験条件をまとめて表-1に示す。

本実験ではグルコース、ペプトンおよび各無機栄養塩を含んだ人工排水（各濃度は野外実験水路の水質にあわせ、T-N：4.5mg/L、BOD：20mg/L、COD：12mg/Lとした）を試料水として使用した。実験開始直後とその後1日毎に採水を行い、採水と同時に試料水の水温、pHを測定した。流水中におけるEBBの有機物分解能力および硝化能力を評価するために、生物化学的酸素要求量（BOD₅）の値および栄養塩濃度（T-N、T-P、NH₄-N、NO₂-N、NO₂-N + NO₃-N）を測定した。BOD₅の測定は工業用水試験方法に従い、各種栄養塩濃度の分析にはTN・TP Auto Analyzer（BLTEC社製：swAAt）を使用した。

3. 実験結果および考察

(1) 流水中におけるEBBの水質浄化能力

a) BODの経時変化

まず、流水中におけるEBBの水質浄化能力を評価するために、BODの時間変化を調べた。なお、全ての実験に

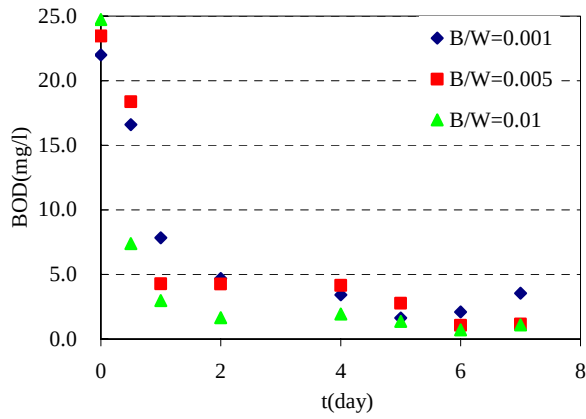


図-2 BODの経時変化(1)

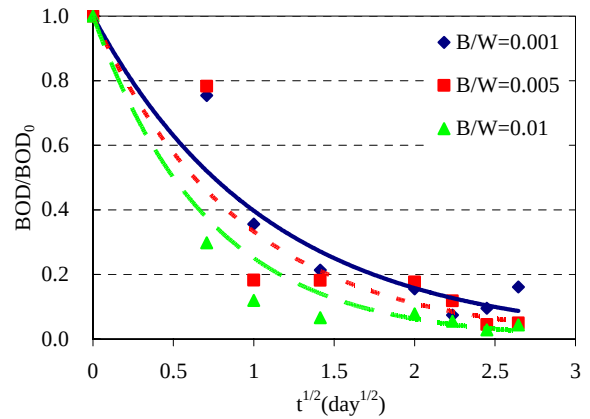


図-3 BODの経時変化(2)

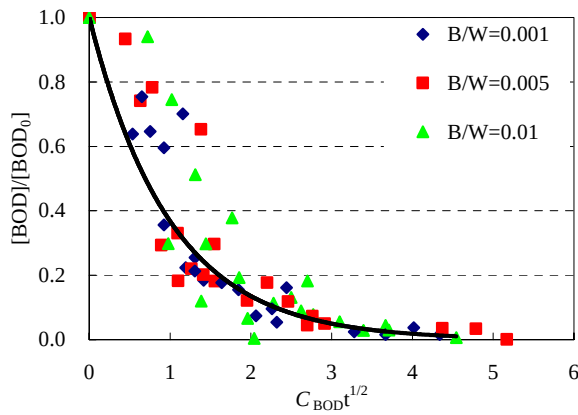


図-4 BODの経時変化の普遍表示

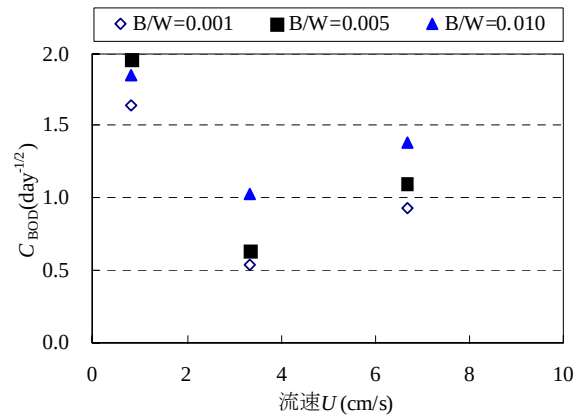


図-5 流速UとBOD低減率 C_{BOD} の関係

においてpHは8.0、水温は25℃前後であった。結果の一例として、流速 $U=6.67\text{cm/s}$ (case1-3) の場合におけるBODの経時変化をB/W毎に図-2に示す。BODは初期に急激に減少し、最終的に初期値の1割程度の値まで減少しているのが分かる。また、B/Wが大きいほどBODの値の減少速度は大きくなっている。

次にEBBによるBODの低減効果を定量的に検討するために、静水中における実験結果⁹⁾と同様にBODの値をその初期値 BOD_0 で除した後、次式で表される指数関数を適合させた。

$$\frac{[BOD]}{[BOD_0]} = \exp\left(-C_{BOD} t^{\frac{1}{2}}\right) \quad (1)$$

その結果、流水中においても静水中と同様の関数型で近似可能であることが分かった (図-3)。そこで、全ケースのデータを(1)式に適合させて各ケースのBOD減少率 C_{BOD} の値を算出した。図-4に C_{BOD} の値を用いてプロットし直した結果を示す。BODの経時変化は(1)式によって普遍的に表されることが分かる。

以上の結果を基に、流速 U と C_{BOD} の関係をB/W毎にプロットしたものを図-5に示す。case1-1-2を除き、いずれの流速においてもB/Wが大きい程 C_{BOD} の値も増加してい

る。また、流速 U が一番小さいcase1-1-1～case1-1-3の時に C_{BOD} の値は最も大きくなるのが分かる。 C_{BOD} の流速への依存性について、流速が大きくなると C_{BOD} は小さくなる傾向にある。しかしながら、今回の結果からだけでははっきりと結論づけることはできず、今後さらなる実験を行う必要がある。

b) 栄養塩の経時変化

流速 $U=6.67\text{cm/s}$ (case1-3) の場合における栄養塩 ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, T-N) の濃度の経時変化をB/W毎に図-6に示す。BODの結果 (図-2) と同様に、実験開始後すぐに有機物の分解に伴う $\text{NH}_4\text{-N}$ の上昇が見られる。さらに実験開始3、4日後から硝化にともなう $\text{NH}_4\text{-N}$ の減少が見られるとともに $\text{NO}_2\text{-N}$ および $\text{NO}_3\text{-N}$ の上昇が確認できる。また、投入したブロック量が多いほど有機物の分解および硝化が促進されているが、B/W=0.001の場合には硝化に伴う $\text{NO}_2\text{-N}$ および $\text{NO}_3\text{-N}$ の上昇は確認できなかった。T-Nは初期に減少傾向が見られ、その後変動が見られるもののおおよそ一定の値を取っている。初期のT-N濃度の減少は有機物がブロックに付着・吸着したことによるものと考えられる。

以上の結果から、静水中で得られた結果⁹⁾と同様に、流水中においてもEBBは高い有機物分解能力及び硝化能力を有していることが確認できた。

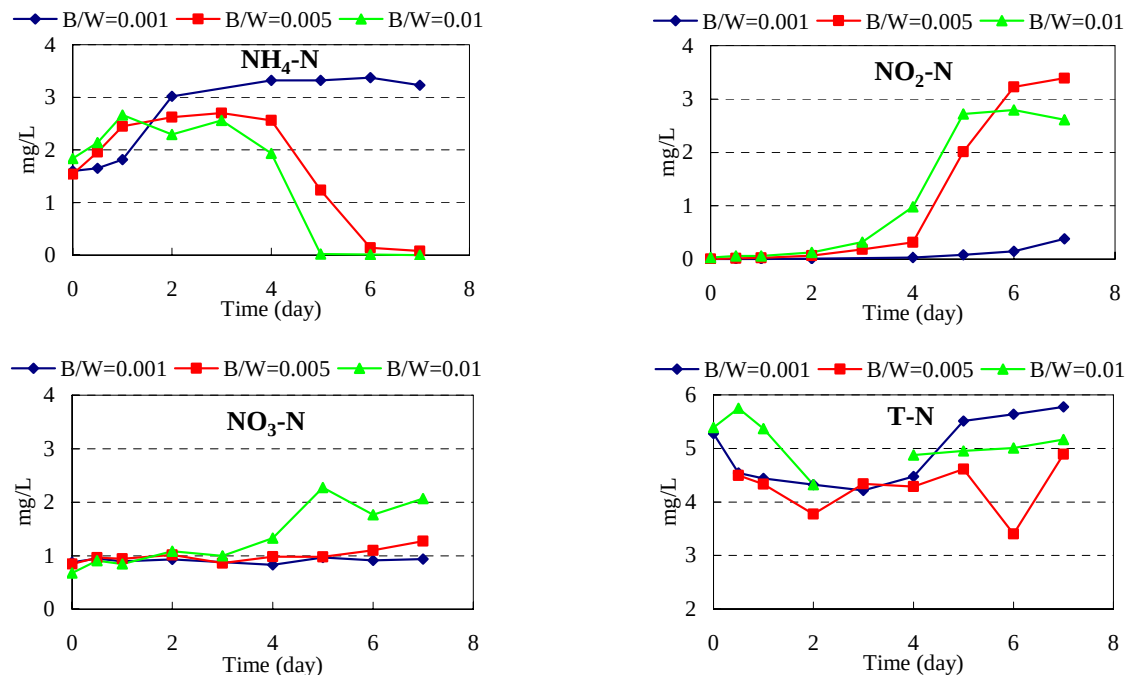


図-6 栄養塩の経時変化(case1-3)

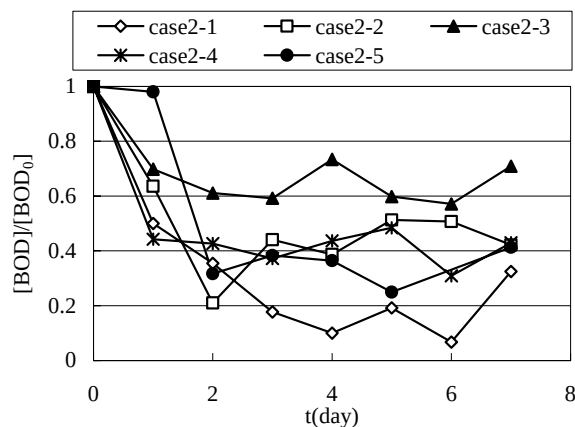


図-7 BODの経時変化(3)

(2) ブロックから水中に放出されたEBB菌による水質浄化能力

a) BODの経時変化

図-7にcase2-1～5の各流速に対するBODの経時変化を示す。BODは実験開始後ある程度大きな低減が見られ、それ以降はほぼ一定の値に落ち着く傾向が見られた。各流速について初期のBODの変化に注目すると、設定流速が一番小さいcase2-1の時、BOD低減効果は最も大きく効果が持続する期間も4日間であった。一方、その他のケースでは1日後までは大きく減少したが、それ以降あまり大きな減少は見られなかった。ここでB/W=0.01、U=6.67cm/sのケースについて、EBBを入れたままにした時(図-2: case1-3-3)と流水中にEBB菌のみが存在する時(case2-4)のBOD変化を比較すると、EBB菌のみの場合、BODは実験開始後1～2日目まで初期濃度の6割程度まで減少するがそれ以降はほぼ一定となる一方、EBBを入れた

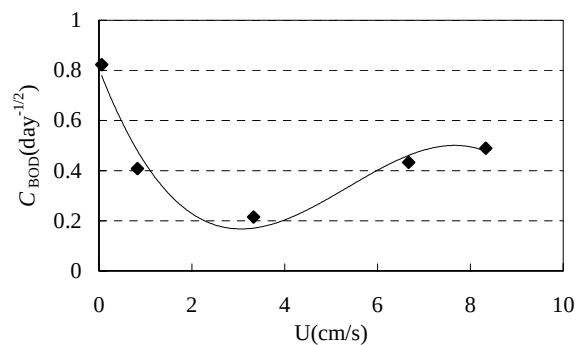


図-8 流速 U とBOD低減率 C_{BOD} の関係

ままの場合はほぼゼロになるまで速やかに減少している。

図-8に流速 U とBOD低減率 C_{BOD} の関係を示す。ブロックを入れたままのcase1と比較すると C_{BOD} の値は小さい。 C_{BOD} の値は流速が最も遅いcase2-1の時に最大となり、流速を上げていくと減少し、ほぼ一定の値を取る傾向にある。

以上の結果より、水中に放出されたEBB菌のみであっても初期濃度の6割程度のBOD低減効果が期待できることが明らかとなった。また、低減効果が持続するのは1～2日間であり、効果を持続させるためには常時ブロックから菌が補給されるか、もしくは菌が繁殖出来る付着担体が必要であることが示唆された。つまり、流水中にEBBを設置する場合、滞留時間を1～2日間確保すれば十分なBODの低減効果が期待できる。

b) 栄養塩の経時変化

図-9にcase2-1～4の栄養塩の経時変化を示す。流速が

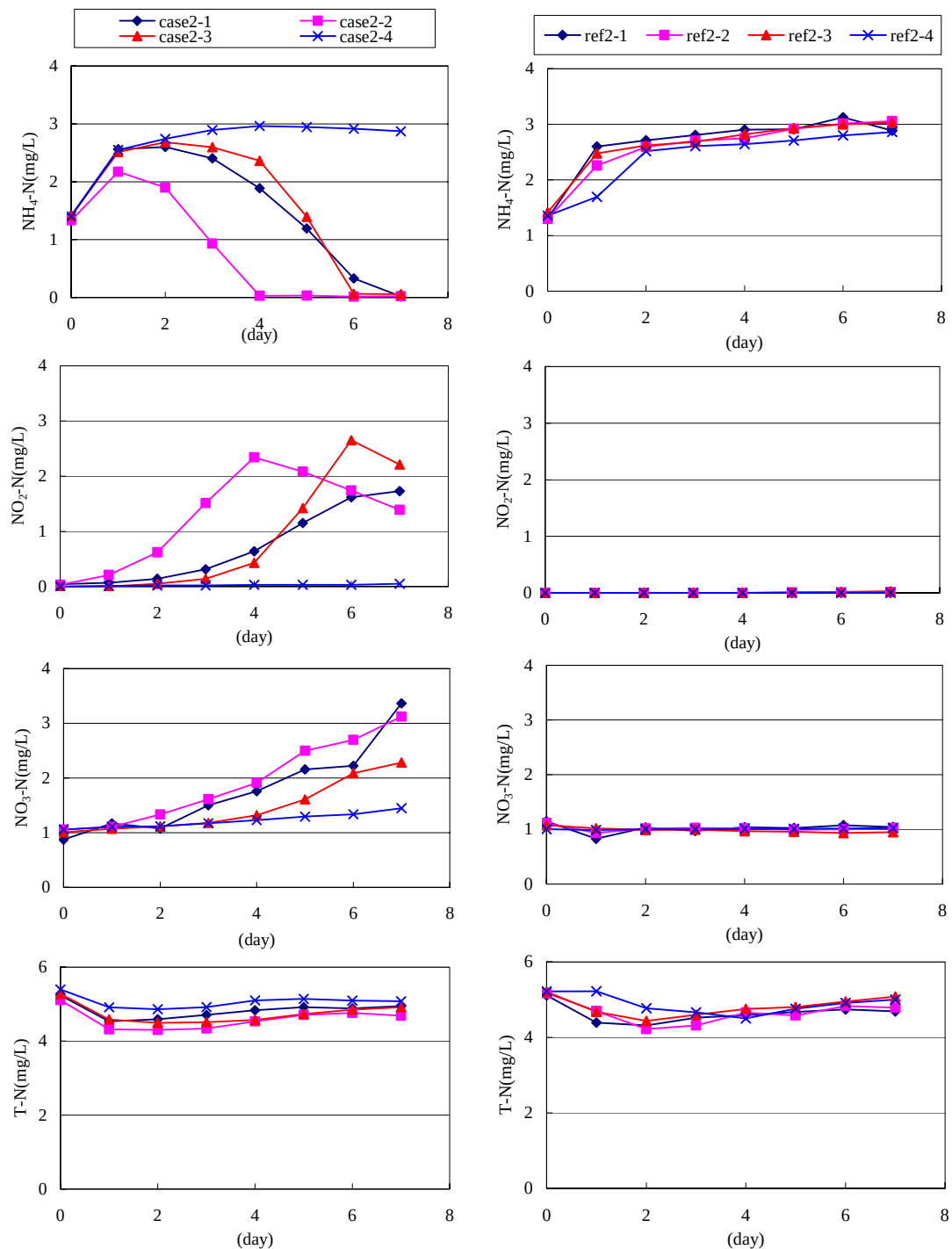


図-9 栄養塩の経時変化(左: EBB有り, 右: リファレンス)

最も速いcase2-4を除いた全てのケースにおいて、実験開始後、有機物分解に伴うNH₄-Nの増加および硝化に伴うNO₂-N、NO₃-Nの増加が見られる。T-Nは全てのケースにおいてほぼ一定の値を取っている。

図-10および図-11はDIN生成速度と硝化速度を示している。今回の実験ではcase2-2において実験開始4日後にNH₄-Nが全てNO₂-Nに酸化されているため、DIN生成速度と硝化速度は実験開始後4日目までの分析結果のデータからリファレンスのデータを差し引き、その結果に対して線形近似を当てはめることにより算出した。DIN生

成速度は流速の増加とともに緩やかに増加し、また硝化速度はcase2-2で最大値を取り、その後流速の増加とともに減少する傾向が確認できる。湖沼および海域の硝化速度は、それぞれ数10～数100μg/l/day、数μg/l/day程度¹¹⁾であることが知られている。リファレンスの結果からは硝化が見られないことから、この結果はブロックより放出されたEBB菌によるものと考えることができ、その値は大きいことが分かる。また、流速が早い場合には硝化速度が小さくなっている。流速がEBB菌の硝化活性に何らかの影響を及ぼしていることが示唆され、今後の検討課

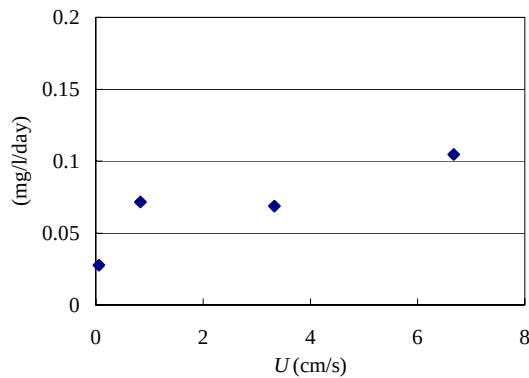


図-10 流速 U とDIN生成速度の関係

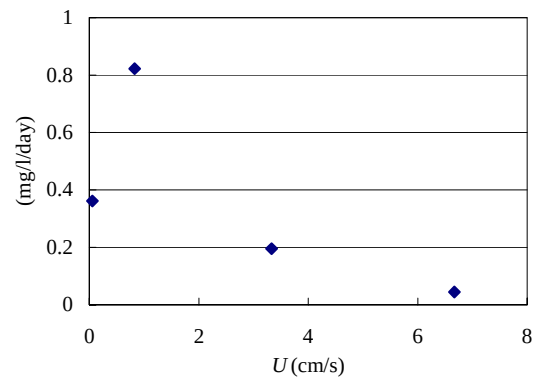


図-11 流速 U と硝化速度の関係

題である。

4. おわりに

本研究では、流水中におけるEBBの基本性能を明らかにするとともに、ブロックから放出されたEBB菌による水質浄化能力を定量的に比較・検討を行った。得られた知見を以下に示す。

- 1) 流水中においてもEBBは高い有機物分解能力及び硝化能力を有している。
- 2) C_{BOD} の値は B/W が大きいくほど大きくなった。しかしながら、今回の実験では C_{BOD} の流速依存性は確認できなかった。
- 3) 水中に放出されたEBB菌のみであっても初期濃度の6割程度のBOD低減効果が期待できる。また、低減効果が持続するのは1～2日間であり、効果を持続させるためには常時ブロックから菌が補給されるか、もしくは菌が繁殖出来る付着担体が必要である。
- 4) 水中に放出されたEBB菌のみであっても高い有機物分解能力ならびに硝化能力を発揮できる。また、DIN生成速度は流速の増加とともに緩やかに増加する。硝化速度は最大値を取り、その後流速の増加とともに減少する傾向がある。

謝辞：本研究は平成20年度科学研究費補助金（基盤研究A，代表：小松利光）ならびに平成20年度JSTシーズ発掘試験の研究助成を受けて行われた。また、水質分析を行うにあたり九州大学大学院総合理工学府の李洪源氏の多大なる協力を受けた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 環境白書 平成21年度版，400p，環境省
- 2) 道奥康治，神田徹，大成博文，西川孝晴，松尾克美，木戸崇博：マイクロバブルによる貯水池の水質浄化実験，水工学論文集，第44巻，pp.1119-1124，2000。
- 3) 酒井信行，南後和寛，高村弘人：河川水の直接浄化のための

上向流木炭接触酸化法，水環境学会誌，第18巻，pp.663-669，1995。

- 4) 和田 安彦，三浦 浩之：湖沼集水域での汚濁負荷の発生とその制御，水環境学会誌，第19巻，pp.161-169，1996。
- 5) 池田佳子，荒木佐知子，鷺谷いずみ：浚渫ヘドロを利用した水辺の植生復元の可能性の検討，保全生態学研究，Vol. 4，pp. 21-31. 1999。
- 6) 羽田好孝：アオサの除去による浜名湖の水質浄化対策，水産学シリーズ 水産業における水圏環境保全と修復機能，恒星社厚生閣，pp. 106-118. 2002。
- 7) 松永信博，徳永貴久，増田壮佑，矢野真一郎，押川英夫，藤田和夫，古雅雅之，岩下智明，原田敦彦：エコバイオ・ブロック（EBB）の水質浄化機能に関する基礎的実験，水工学論文集，第50巻，pp.1081-1086，2006。
- 8) 松永信博，増田壮佑，中牟田大嗣，徳永貴久，矢野真一郎，押川英夫，橋本彰博，藤田和夫，古雅雅之，岩下智明，原田敦彦：納豆菌群を封入した多孔型コンクリートブロックによる水質浄化能力，水工学論文集，第50巻，pp.1415-1420，2007。
- 9) 松永信博，増田壮佑，中牟田大嗣，徳永貴久，矢野真一郎，押川英夫，橋本彰博，藤田和夫，古賀雅之，岩下智明，原田敦彦：ポーラスコンクリートブロックに封入された有用微生物群と土壌中の脱窒菌との共生による水質浄化，水工学論文集，第52巻，pp.1291-1296，2008。
- 10) 松永信博，村島和幸，李洪源，小松利光，橋本彰博，押川英夫，古賀雅之，岩下智明：淡・塩水における納豆菌群を封入した多孔型コンクリートブロックの水質浄化能力に関する比較研究，水工学論文集，第53巻，pp.1519-1524，2009。
- 11) 吉田陽一：汚濁物質の無機化および硝化・脱窒，水産学シリーズ 水域の自浄作用と浄化，厚生社厚生閣，pp.22-35，1979。

(2009. 9. 30受付)