

石積み浄化堤による海水浄化工法の開発（その1）

——実海域の浄化堤実証施設における水質浄化の初期特性——

辻 博 和 喜 田 大 三 藤 井 慎 吾
石 垣 衛 宮 岡 修 二 小 林 真

(本社 土木技術本部
設計第1部)

Development of Ecological Sea Water Purification System by Gravel Dikes (Part 1)

—— Results of On-site Experiments at Early Stage by Model Facility of Gravel Dikes in Mikawa Bay ——

Hirokazu Tsuji Daizo Kita Shingo Fujii
Mamoru Ishigaki Shuji Miyaoka Makoto Kobayashi

Abstract

The outline of the sea water purification system by gravel dikes is as follows: A part of a polluted sea area is enclosed by gravel dikes. Due to the natural purification capability of the dikes, the water that passes through the dikes is gradually purified. This report introduces the model facility of gravel dikes constructed by Obayashi Corporation in Mikawa Bay and some results of on-site experiments at the early stage to verify the water purification efficiency of the gravel dikes.

Approximately 40 days after the construction of the gravel dikes (July 7, 1993), the water purification effects became clearly evident. In September, the transparency of water enclosed by the dikes was 2.5 to 3.5 m and turbidity of that water was 0.5 to 3 degrees, while the transparency of water outside the enclosed area was 0.7 to 1.2 m and turbidity was 8 to 20 degrees.

概 要

石積み浄化堤とは、汚濁海域中に石積みによって囲まれた水域を創出し、潮の干満さらには波動による海水の移動に伴って、石積みに生まれる自然生態系の水質浄化機能によって、清浄な水質の水域を創造する海岸構造物である。本報告では、三河湾の実海域に築造した石積み浄化堤の実証施設の概要を紹介するとともに、その実証施設における水質浄化の初期特性について報告する。

平成5年7月7日築造以来、礫堤体に好気性微生物群（生物膜）が順調に付着し、約40日経過以降、浄化堤の内水域の水は浄化され、外水域の汚濁海水中の懸濁物質が50%以上除去されている。9月において、外水域が透明度約0.7～1.2 m・濁度8～20度に対して、浄化堤の内水域は透明度2.5～3.5 m・濁度0.5～3度である。9月に発生した2回の赤潮の際にも、内水域は清澄を保ち、浄化堤の水質浄化機能が確認できた。

1. はじめに

ウォーターフロント・リバーフロントなどの水際地域では、各種の地域開発構想があり、その事業化が進められている。やすらぎと潤いのあるアメニティに富んだ親水空間を確保するためには、良好な水質環境の創出が不可欠である。

広域水域の水質浄化に当たっては、水質汚濁の直接的原因である汚濁負荷に対する対策として、水域への汚濁物質の流入負荷を低減し、さらに水底に堆積した有機ヘドロを除去あるいは覆砂などを行いヘドロからの汚濁物質の溶出負荷を低減するのがまず第一である。

しかし、これらの対策はその費用などの面から、長期的事業として実施されており、短期的には、実際の広域水域の汚濁水を直接浄化する対策も必要となる。その際

には、安価にかつ大規模に行わねばならない故に、自然生態系の持つ水質浄化機能を最大限に活用した水質浄化工法が望まれる。

当社は、シーブルーテクノロジー工法研究会に参画し、運輸省港湾技術研究所と共同で、礫間接触酸化の水路による海水浄化工法の実証実験を行ってきた。この成果を発展させ、さらに土木学会関西支部の「海洋のツツロによるヘドロの浄化」についての共同研究グループ（代表者：赤井一昭氏）の貴重な成果を参考にして、当社独自で、現在、「石積み浄化堤による海水浄化」の技術開発を進めている。

ここでは、愛知県三河湾の実海域に築造した石積み浄化堤の実証施設の概要を紹介するとともに、築堤後120日までについて、石積み浄化堤の水質浄化の初期特性を第1報として、懸濁物質の挙動を中心に報告する。

2. 石積み浄化堤とは

石積み浄化堤とは、海域中に石積みによって囲まれた水域を創出し、石積み堤に生まれる自然生態系の水質浄化機能によって、清浄な水質の内水域を創造できる海岸構造物である。

石積み浄化堤における水質浄化に際し、海水の移動は必要不可欠であり、それには潮の干満さらには波動によって海水が石積み浄化堤の堤体部を移動する現象を利用する。このように、石積み浄化堤では、海水移動の運動エネルギーとして、自然エネルギーだけを使用する。

石積み浄化堤では、自然エネルギーによる海水移動に伴って、汚濁海水が浄化堤の堤体材である礫の間を通過する際、礫表面に付着した微生物群（付着生物膜）によって、汚濁物質が生物膜を過され、海水は浄化される。また、礫に付着した貝類なども海水中の汚濁成分を吸着して、海水を浄化する。

さらに、生物膜に付着捕捉された汚濁物質は礫間に棲息する貝類・エビ類などの水生動物によって、生物膜とともに、摂取され除去される。

このようにして、石積み浄化堤によって汚濁海水が浄化され、清浄な水質となった内水域は、人工海浜・人工干潟・人工藻場・魚介類の育成場・釣り場あるいは浄化海水の取水場などとして総合的に利用できる。

3. 現地実験の概要

3.1 実験施設

三河湾の水深約2mの海域に、写真-1・図-1に示すように、前面に延長6m・堤頂幅5mの石積み浄化堤を配し、両側部および後部の3面を鋼矢板で囲まれた水域を造成した。

平成5年7月7日に、浄化堤の芯材である20~30cmの径の礫材を打設した。引き続き、30~100kgfさらに1tfの石による被覆工を実施したのち、8月3~4日に、内水域について約20cm厚のヘドロの浚渫・30~40cm厚の覆砂を実施した。

3.2 調査要領

(1) 水質浄化能の調査 浄化堤の外水域と内水域について、表層水（水面から50cm）と中層水（底面から1m）を対象に、原位置で測定あるいは採水し、水温・導電率・溶存酸素濃度・濁度・透視度・透明度・懸濁物質（SS）・化学的酸素要求量（COD）などについては1~2回/日の頻度で、クロロフィルa・フェオフィチン・T-N・T-P・動植物プランクトンなどについては1回/月の頻度で、測定・分析した。なお、各項目の測定あるいは分析は海洋観測指針に準拠して行った。

(2) 生態系の調査 浄化堤の堤体部、内水域の底質について、付着生物・ベントスなどの種類と現存量を1回/2カ月の頻度で調査した。

(3) 水理特性の調査 浄化堤の外部・堤体部・内水域などの水位、堤体内部の流速分布等を適宜調査した。

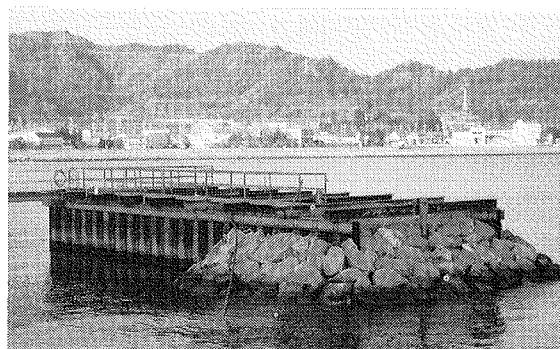
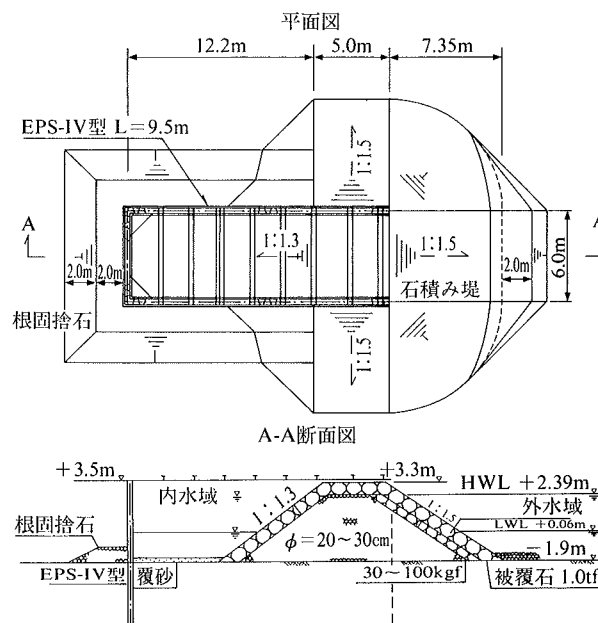


写真-1 石積み浄化堤の現地実験施設の全景



石積み浄化堤の仕様

水深	約2m
前面堤体	延長 6m 堤頂幅 5m
芯材	20~30cm径の礫
被覆石	30~100kgf, 1tf 石
内水面	側部・後部 IV型鋼矢板 幅 6m 奥行 約10m

図-1 石積み浄化堤の現地実験施設の概要

なお、本報告では、上記のうち(1)の石積み浄化堤の水質浄化能の調査結果、特に懸濁物質の除去性能を中心に述べることにし、(2)および(3)の調査結果などについては、次報で報告する予定である。

4. 現地実験の結果

4.1 実験経過の概要

平成5年7月7日に、石積み浄化堤の芯材である20~30cmの径の礫材を投入・打設し、実質的に浄化堤が築造された。

浄化堤築造後約1か月間は、浄化堤の内水域の状態は外水域とほぼ同じように推移していた。そして、8月7日以降、内水域が外水域に比べて、やや透明になりつつあ

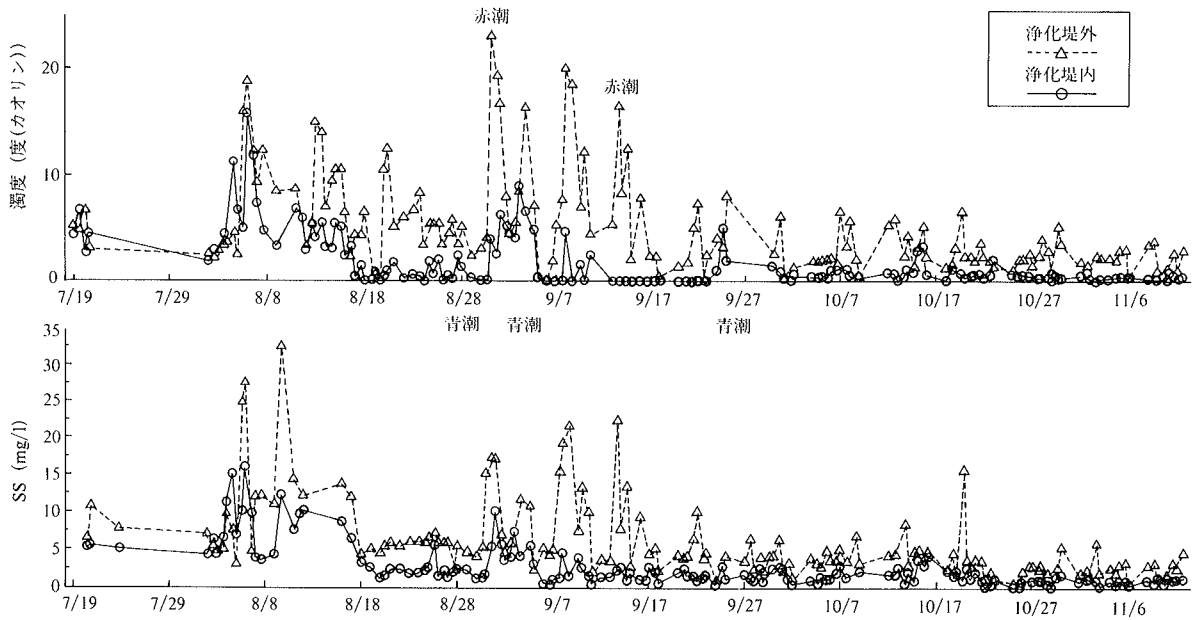


図-2 浄化堤の内外水域における表層水の濁度とSSの経日変化

る様相を呈し始め、8月17日には外水域に比べて、明確に透明度が大きくなり、内水域が浄化されていることを確認できるようになった。

浄化堤の内外水域における、表層水の濁度とSSの経日変化を図-2に示す。図から明らかなように、8月6日頃までは、内外水域とも同じように推移していたが、8月17日以降には、常に内水域の濁度とSSは外水域のそれより低くなっていた。しかも、9月1日～5日と9月24日を除いて、常に濁度は5度以下、SSは5ppm以下を維持していた。

このことから、浄化堤の水質浄化機能は、8月17日以降、すなわち築堤後約40日を経過することによって、確実に発揮されていたと考えられる。

この頃には、潮間帯下部にある被覆石の表面が茶色の色調をおびて来ていた。さらに、潮下帯にある被覆石の間隙から取り出せる芯材の礫の表面には、茶色を呈する生物膜が、ほぼ表面を覆い尽くす形で、付着していた。これらのことは、浄化堤の水質浄化機能が堤体の芯材である礫に付着した生物膜によることを示唆している。

9月10日頃までは、外水域の海水が茶色系統の色調であるのに対応して、内水域も茶色系統の色調であった。これに対して、9月10日以降、内水域は良好な透明度を維持しつつ、色調が緑色系統へと変化していった。なお外水域の海水の色調も、10月以降は緑色系統となった。

そして、9月中旬には、外水域が透明度0.7～1.2m・表層濁度8～20度・表層SS10～23ppmであったのに対して、内水域では透明度2.5～3.5m・表層濁度0.5～3度・表層SS2～5ppmであった。

なお、海水温度は、内水域と外水域でほとんど違いがなく、表層水温で、7月が23～29℃、8月が23～32℃、9月が21～29℃、10月が16～22℃であった。

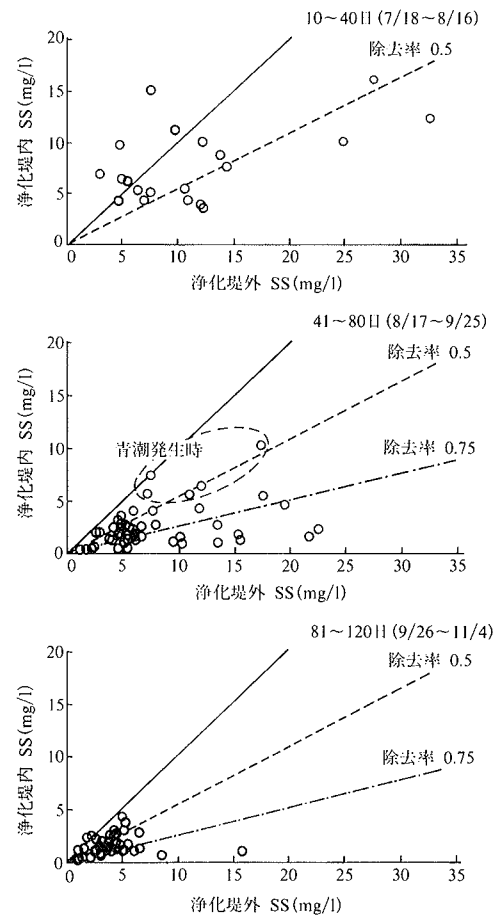


図-3 浄化堤における懸濁物質の除去性能

4.2 浄化堤における懸濁物質 (SS) の除去率

浄化堤におけるSSの除去率を明らかにするべく、横軸に外水域表層のSSを、縦軸に内水域表層のSSをとり、築堤後の期間別に図-3に示す。

図から明らかなように、築堤後40日すなわち8月16日

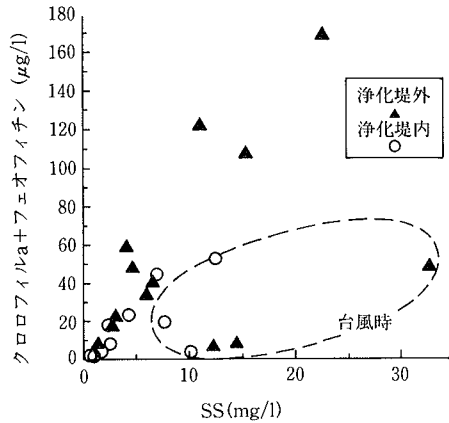


図-4 浄化堤の内外水域におけるSSとプランクトン量

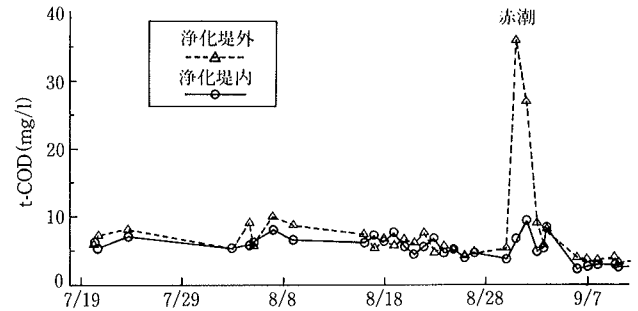


図-5 浄化堤の内外水域における表層水のCODの経日変化

までは、傾き=1の直線の周辺に分布し、浄化堤の浄化効果は明確でない。

これに対して、築堤後41日以降は、傾き=1の直線の下部に分布し、浄化堤の浄化効果を確認できる。

その際、破線で囲んだ部分を除けば、内水域のSSは5ppm以下を維持しており、かつ外水域のSSが10ppm以上の場合には、傾き=0.5の直線の下部に、すべてのデータが分布し、浄化堤のSS除去率は50%以上を維持していた。

なお、先に述べた破線で囲んだ部分とは、赤潮が発生した時期のデータであり、これについては、4.4で後述する。

4.3 SSとプランクトンとの関係

代表的なサンプルについて、プランクトンの構成成分であるクロロフィルを測定した。ここでは、クロロフィルaとフェオフィチンとを測定し、その含量をクロロフィル量とし、SSとの関係を図-4に示す。

図から明らかのように、台風時のデータを除外するとクロロフィル量とSSとは良好な相関にある。両者の関係から、クロロフィル量はSSの約0.77%と算出された。一般にプランクトン中のクロロフィル量は0.5~1.2%とされており、算出値もこの範囲に入っている。

このことから、台風等がなく、外水域の海底に堆積している底泥が巻き上がっていない平常時には、浄化堤におけるSSの除去率はプランクトンの除去率に近いと判断できる。なお、浄化堤で除去されているプランクトンの種類などについては、次報で報告したい。

4.4 赤潮時および青潮時における浄化性能

浄化堤の周辺水域では、赤潮が8月31日・9月13日に発生した。その際、外水域表層の濁度は18~23度、SSは15~23ppm、クロロフィル量は100~170ppbであり、CODは、図-5に示すように、27~36ppmであった。これに対して、内水域表層の濁度は0.5~4度、SSは2~5ppm、クロロフィル量は13~20ppb、CODは7~9ppmであり、平常時と比較してわずかに大きくなった程度で、ほとんど変化しなかった。

このことから、外水域で赤潮が発生しても、浄化堤の

プランクトン除去機能によって、内水域ではその影響を大きく受けないことが明らかとなった。

ところで、浄化堤の周辺水域では、青潮が8月26~27日・9月1~4・24日に発生した。その際には、前掲の図-3において、破線で囲んで示したように、内水域の清澄性は低下した。このように、青潮発生時すなわち海水の溶存酸素が少ない時には、浄化堤の浄化能が低下することが明らかとなった。このことは、平常時あるいは赤潮発生時における浄化堤の水質浄化機能が堤体材の礫に付着した好気性の生物群によることを示している。

5. まとめ

三河湾の実海域に石積み浄化堤の実証施設を築造し、自然生態系の水質浄化機能を活用する「石積み浄化堤による海水浄化システム」の実証実験を行っている。築造後120日までの結果を要約すると以下の通りである。

① 7月7日築造以来、約40日経過以降、浄化堤の内水域の水は浄化され、外水域の汚濁海水中の懸濁物質が50%以上除去されている。

② 9月中旬には、外水域が透明度0.7~1.2m・濁度8~20度に対して、浄化堤の内水域は透明度2.5~3.5m・濁度0.5~3度であった。

③ 9月には、本水域で赤潮が2回発生したが、その際にも、内水域は清浄で、浄化堤の水質浄化機能が確認できた。

以上のように、現地実証実験において、「石積み浄化堤」の水質浄化機能ある程度確認することができた。現在その計測を継続するとともに、浄化堤の生物調査さらには流況特性調査なども実施している。これらの成果は次報で報告する予定である。

参考文献

- 1) 佐藤，他；礫間接触酸化法を利用した海水浄化施設，土木学会誌，Vol. 78，No. 12，p. 14~17，(1993)
- 2) 赤井，他；汚染水域の浄化システム，環境システム研究，Vol. 17，No. 8，p. 100~106，(1989)
- 3) 気象庁編：海洋観測指針，(1990)