

実海域における多孔質コンクリートの水質浄化機能試験

武 政 剛 弘* ・ 永 松 慎 一**
 吉 永 哲 典** ・ 古 本 勝 弘*
 鶴 田 健*** ・ 金 子 文 夫****

An Application Test of Porous Concrete on Water Purification Function in a Field Sea Area

by

Takehiro TAKEMASA*, Shiniti NAGAMATSU**,
 Tetsunori YOSINAGA**, Katsuhiko FURUMOTO*,
 Ken TSURUTA***, Fumio KANEKO****

Recently, the water pollution in the closed water areas that are surrounded by urban areas is a serious social problem. It is not an exception even in the Oomura Bay.

The purpose of this study is to improve the water quality based on the idea of using organisms which grows on the porous concrete. Because, the organic matter that is dissolved in the water will be taken away by this organisms. In the Oomura Bay site, organisms are adhered to the porous concrete and so the ecosystem of the coastal area becomes brisk.

1. まえがき

近年、市街地で囲まれたウォーターフロントや湖沼などの閉鎖性水域では、水質汚濁が進行し、深刻な社会問題となっている。大村湾でも、他の閉鎖性水域と同様に親水機能が低下したり、漁業に及ぼす影響も以前に比べて大きくなっている。この主な要因としては、以下のことが考えられる。

大村湾は佐世保湾の副湾で、主湾である佐世保湾とは針尾瀬戸および早岐瀬戸の狭小2水路を経て海水交換を行う袋状中型サイズの海湾である。これを經由して流出入する海水量は1/2潮で $1.95 \times 10^8 \text{ m}^3$ (面積×平均潮位差0.6mで計算)で、大村湾海水収容量のわずか4.05%に過ぎない。

潮位差は大潮時で約0.8m、小潮時で約0.4mと小さ

く主湾のそれがそれぞれ2.6m、および1.0mであるのに比べると約1/3でしかない。

これは大村湾の湾口部が狭く、湾収容量に見合う十分量の海水流出入がないことを意味する¹⁾。

さらに、生活雑排水が流入し水質の富栄養化が進行する一方、湾周辺の開発により自然海岸が少なくなり生態系が変化し、自浄能力が減少したことも大きな要因の一つと想定される。すなわち、流入負荷量と自浄作用とのバランスが崩れているものと考えられる。

水質浄化法には、従来から行われている物理・化学的手法(汚濁物質浚渫、浄化用水の導入、流水循環など)がある。この手法は、これまでに多くの実績があり、効果も期待できる。しかし、対象水域が広範囲にわたり、しかも濁水濃度が下水処理などで行われてい

平成7年4月30日受理

*社会開発工学科 (Department of Civil Engineering)

**大学院修士課程土木工学専攻 (Graduate Student, Department of Civil Engineering)

***小沢コンクリート工業 (株) (Ozawa Concrete Industry Co., Ltd.)

****大成建設 (株) (Technology Research Center, Taisei Co., Ltd.)

る濃度よりかなり低い場合には、コスト的に有効な手法といえない。

一方、対象水域が広範囲にわたる場合の水質浄化対策として、近年生物膜を利用した浄化法が注目されている。たとえば、河川水の水質浄化については、礫間接触酸化法などの研究が行われており、実際に利用されつつある^{2), 3)}。

また、海水の有機物分解に砂粒子に付着した好気性微生物が関与しており、微生物の付着場としての砂粒子の表面積が重要な意味を持つと報告されている⁴⁾。

これらの報告例からも、多様な生物は有機物の分解に大きな役割を担っているといえる。このような生物の有機物分解能力を考慮すると、水中に懸濁または溶存している有機物を生物が餌料として取り込み、生物自体の排泄物をさらにバクテリアが分解するという物質循環のバランスを維持すれば、系内の有機物濃度は安定するものと想定される。

大村湾の場合も生物の活用を図り、生物により自然のサイクルの中で水質を浄化できれば環境に与える影響も少なく、経済的にも十分可能性のある手法と考えられる。

その際に用いる生物付着基盤として、多孔質コンクリートは天然石よりも良好な付着基盤となりうるものがこれまでの研究で確認されている^{5), 6)}。

また、多孔質コンクリートの浄化特性、水理的特性に関しての実際の海水を用いた室内試験による検討もなされている⁷⁾。

しかし実海域における浄化特性に関してはまだ十分なデータは得られていない。

本研究は、大村湾沿岸域をバランスのとれた生態環境にするために、生物付着基盤として多孔質コンクリートを実海域に設置し、溶存あるいは懸濁している有機物を生物の成長に転換し、その除去能力を確かめると同時に海水浄化効果を検証するものである。

2. 実海域及び実験方法

沿岸域に生息する付着生物を利用した海水浄化手法の研究として、将来生物付着基盤である比表面積の大きな多孔質コンクリート（以下供試体という）を浄化堤として用いて、供試体の実海域における性能評価（生物付着量、水質変化量、供試体の強度）を目的とした実験を行い、実現性に向けて基礎データの蓄積を図る。

2.1 実海域

実験水域を Fig. 1 に示す、長崎県西彼杵郡琴海町土井ノ浦（大村湾西側の形上湾に位置する）で行う。

土井ノ浦は大村湾の中でも特に波の静かな場所であり、水質の変化量を調べるのに適しており、また供試体の設置及び管理にも適した場所である。

Fig. 2 は実験場所（土井ノ浦）の拡大図である。同図の湾奥には降雨後は小さな溝からの淡水流入がある。

土井ノ浦の平均水質採水場所として湾入口部分に設定している。これをA点とする。B, C両点は、岸から約10m離れた海中に供試体を入れた場所を示す。供試体は2カ所に設置し、1カ所には曝気した海水を強制的に接触させて、他方の供試体には曝気を行わず自然状態にしておく。

曝気を行う供試体をBとし、曝気を行わない自然状態の供試体をCとする。さらに、供試体の内外を区別するために添字1, 2を付けた。

今回の採水試験はA, B, Cの3カ所で行った。その記号の説明を以下に記す。

- A : 形上湾副湾の湾入口（供試体無し）
（水深3.5~4.0m）
- B 1 : 曝気を行う供試体内部
- B 2 : 曝気を行う供試体外部近傍
（水深1.5~2.0m）

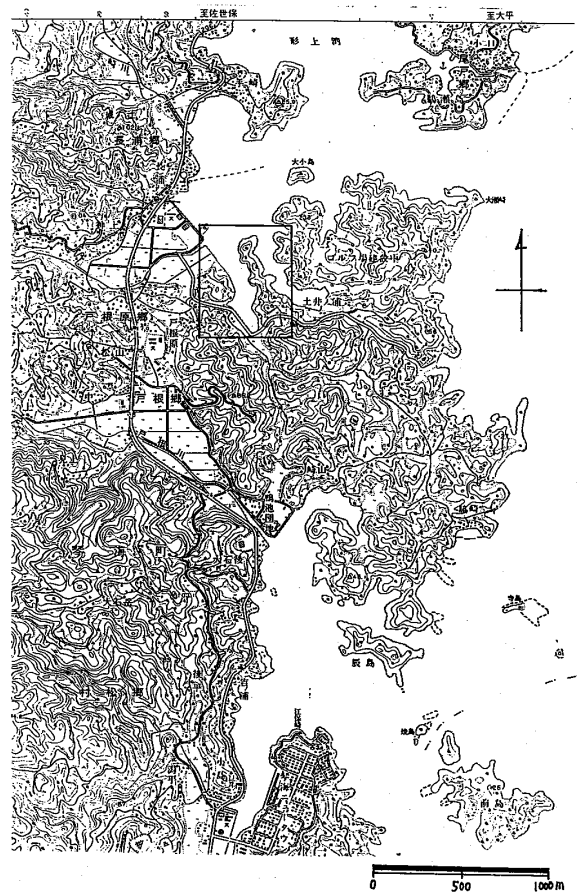


Fig. 1 Field sea area



Fig. 2 Expansion figure of the field sea area

- C 1 : 曝気を行わない供試体内部
- C 2 : 曝気を行わない供試体外部近傍
(水深1.5~2.0m)

2.2 供試体の諸元と設置状況

生物付着基盤としてポルトランドセメント製の多孔質コンクリートの供試体を用いる。多孔質コンクリート供試体を通じた海水の水質変化を確認するために、φ170mmの細穴を6個開けている。その供試体の大きさと形状を Fig. 3 に示す。この供試体10個を1組として前述のB, C点に設置する。設置状況断面図を Fig. 4 に示す。風波によって設置した供試体にずれが生じないようにするために、供試体どうしを鉄筋で固定してある。

この供試体に曝気した海水を強制的に接触させた場合 (B) と、自然状態に設置した場合 (C) とで、生物付着特性がどのように異なるかを確認する。生物付着特性の定量的な確認方法は、流れを強制的に発生させる供試体側では流れ・曝気の影響がある供試体の側面及び背面の2カ所に生物付着板を設置し、また自然状態に設置した供試体では1カ所に付着板を設置し、それぞれ定期的サンプリングを行い生物種の同定及び個体数を計測する。付着板設置状況を Fig. 5 に示し、供試体と付着板の位置関係を Fig. 6 に示す。付着板の大きさは200mm×200mm×板厚40mmで、材質は供試体と同じポルトランドセメントである。付着生物のサンプリングは生物付着が多い春から夏は毎月行い、付着の少なくなる秋から春までは2カ月に1回とした。

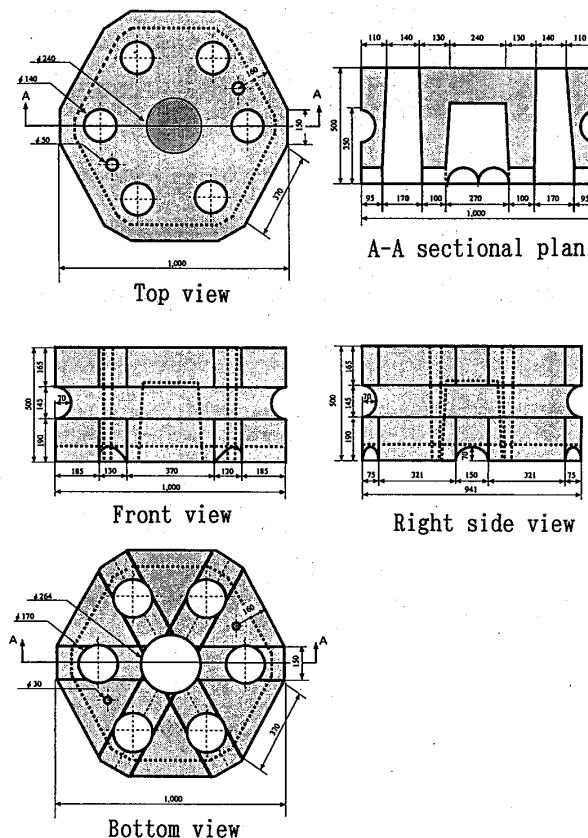


Fig. 3 The specimen simple substance

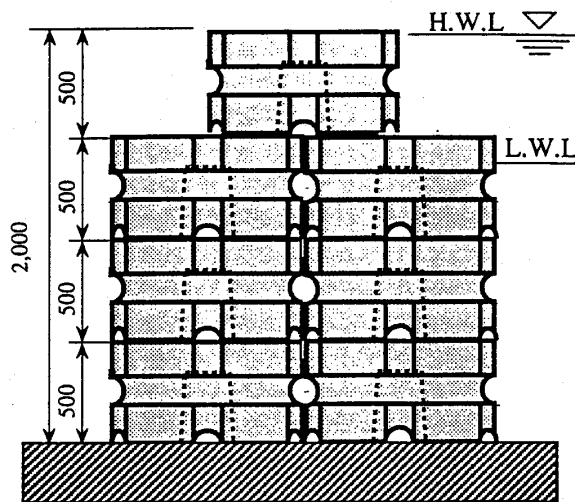


Fig. 4 Sectional plan of the specimen establishment situation

流れを強制的に発生させる方法は、水流発生装置を供試体近傍に配置し、常時一定方向から流れ（曝気を併用する）を発生させる。

曝気装置は、ジェット・ストリーマー（マリン技研製）を用いる。

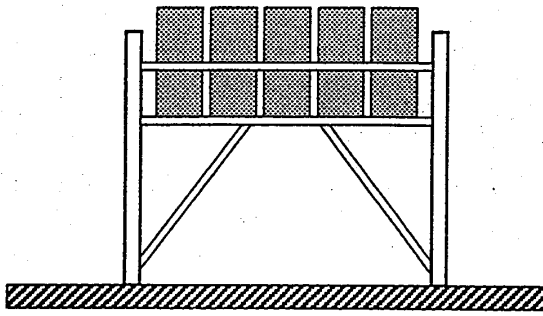


Fig. 5 Establishment situation of the attachment boards

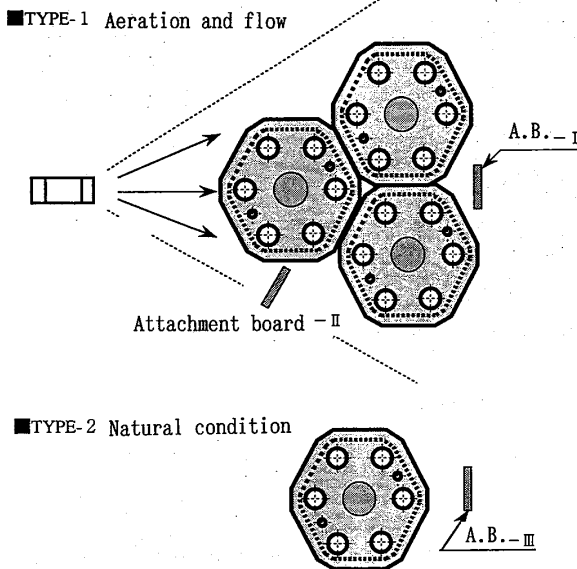


Fig. 6 Top view of establishment situation of the specimens and the attachment boards

2.3 水質試験項目と試験方法

1) 採水方法

水質変化量の調査を行うために毎月1回採水を行う。採水は形上湾副湾の湾入口 (A), 水流発生装置を設置した供試体の内部 (B1), 外部 (B2), 水流を発生させない自然状態の供試体の内部 (C1), 外部 (C2) の5カ所で行う。採水を行う水深はすべての場所で水面下1mとし, 1カ所につき1リットルの海水を採水する。

2) 調査・分析項目

毎月1回土井ノ浦の5カ所の現場において, 水温, 塩分, 溶存酸素 (DO), 濁度の一般項目は水質チェッカーWQC-20A (東亜電波工業製) を用いて海上にて測定する。測定は水深1mで行う。

汚濁指標項目の化学的酸素要求量 (COD) には, 水質総量規制用簡易COD計を用いてアルカリ法にて測定する。観測場所1カ所につき3回測定を行い, その平均値をとる。全有機態炭素 (TOC) の測定には,

全有機炭素計TOC-500 (島津製作所製) を用いる。TOCもCODと同様に, 3回測定を行いその平均値をとる。

2.4 海中暴露実験

多孔質コンクリートを長期間海水浸漬した場合の耐久性を評価するために, 多孔質コンクリートの海中暴露実験を行う。そこで, 前述の実験で設置している供試体の他に, 海中暴露実験用にテストピースを製作し, 生物付着実験を行う場所の周辺に設置し, 長期的な耐久性を検討する。テストピースは普通ポルトランドセメント製, 高炉B種セメント製の二種で, 円筒状 ($\phi 100 \times 200\text{mm}$) とし, 1回に6個 (3個 \times 2種類) を引き上げ強度試験を行う。

水質試験, 付着生物サンプリング, 強度試験それぞれの試験実施月を Table 1 に示す。

Table 1 Practice of examinations

M/Y	9.94.	10.94.	11.94.	12.94.	1.95.	2.95.	3.95.
Water analysis	○	○	○	○	○	○	○
Attachment B.		○	○			○	
Compression T.		○		○			○
Elapsed time	0	1	2	3	4	5	6

3. 測定結果

3.1 生物付着調査結果

Table 2 に生物付着調査の結果を示す。

同表によると, 1994年10月13日 (供試体設置1カ月目) の付着結果で最も付着面積, 推定重量が多かったのは, 曝気無し自然状態の供試体の側に設置した付着板であった。付着した生物の種類と数は, アメリカフジツボ4500個, ムラサキイガイ10個及びホヤ2個であり, アメリカフジツボの付着が群を抜いて多かった。これはフジツボの付着の仕方に関係があると思われる。フジツボは授精後キプリス幼生となり, 浮遊して付着場所を探す。付着に先立ち, 第一触角を使ってより好適な場所を見つけて, その後に付着する。さらに先に付着した個体は, それに続く幼生の付着を誘引する。これにより曝気無し自然状態の付着板がフジツボにとって最も付着しやすい場所であったといえる。

曝気を行った供試体の周りの付着板にフジツボがあまり付着しなかった原因として, 付着板近くの流速に関係があると考えられる。フジツボは, 流速0.8m/s以上の流れの存在する場所では, 付着を嫌う性質がある⁸⁾。曝気を行ったことによって流速が速くなり, 付

Table 2 Analysis of attaching organisms

Elapsed time:1mon(10.94.)					Attached organisms	
	Balanus edurneus	Mytilus edulis	Ascidiacea	Ostreidae	mass(g)	area(cm ²)
Aeration-back	3 0 0 0	2 0	1	0	1 2 0	7 6 0
Aeration-side	2 5 0 0	4 0 0	0	0	1 0 0	7 4 0
No aeration	4 5 0 0	1 0	2	0	1 5 0	8 4 0

Elapsed time:2mons(11.94.)					Attached organisms	
	Balanus edurneus	Mytilus edulis	Ascidiacea	Ostreidae	mass	area
Aeration-back	2 2 0 0	2 0 0	3 0	0	5 0 0	7 8 0
Aeration-side	3 0 0 0	6 0 0	3 0	1	6 0 0	7 8 0
No aeration	3 0 0 0	3 4 0	7 0	0	8 0 0	8 4 0

Elapsed time:5mons(2.95.)					Attached organisms	
	Balanus edurneus	Mytilus edulis	Ascidiacea	Ostreidae	mass	area
Aeration-back	—	—	5 0	1	5 0 0	7 8 0
Aeration-side	—	—	3 0	3	1 0 0 0	7 8 0
No aeration	—	—	2 7 0	1	1 5 0 0	7 8 0

着量が少なくなったと考えられる。逆にムラサキイガイは速い流れに対して付着する能力がフジツボよりもあり、曝気を行った側面の最も流速の速い場所の付着板に付着量が多かった。

1994年11月15日(供試体設置2カ月目)の付着結果では、アメリカフジツボの付着個数が3カ所ともに近い値になってきた。これはフジツボの縄張り行動によるものであると考えられる。これは後から付着する個体が幼フジツボの殻の上や、殻に接するような距離には付着せず、少なくとも固着を遂げた時に先着の個体と接触しない距離以上を隔てるように場所を選択した後に付着する性質である。これにより、条件の良い場所から付着したフジツボは、次第に条件の悪い場所にも付着していき均一化したと思われる。

ムラサキイガイはフジツボのような縄張り行動はなく、付着した殻の上にさらに付着していき層状に発達する。従って、これからムラサキイガイの付着量はますます増加し、フジツボの付着量はさほど増えないと思われる。

曝気装置による影響が見られたのは94年11月迄の付着初期の段階で、曝気開始5カ月目の95年2月になると各付着板での生物相の差異はさほど見られなかった。しかし、付着量では自然状態のものが最も大きい結果となっている。

海水中の有機物の除去作用の大きさは通常付着生物

のろ過速度で表現される。ろ過速度とは1個体が単位時間当たりをろ過する水量を表しており、付着生物の種類によってこの速度は異なる。ムラサキイガイとフジツボのろ過速度を比較してみると、ムラサキイガイの方が20~40倍大きい⁹⁾。よって、場の浄化作用におけるムラサキイガイの役割はフジツボとは比べものにならないくらい大きいといえる。ただし付着重量の大半を占めるのは付着板の最表層を覆うように発達したホヤ類であり、生物による浄化能力は曝気を行った供試体と自然状態の供試体でさほどの差異は現れないと思われる。

3.2 水質変化量結果

水質変化量の測定を1994年9月から1995年3月までの毎月1回、合計7回行った。測定場所は2.1に記したA, B1, B2, C1, C2の5カ所であり、水深1mの地点において行った。それぞれの結果について以下に述べる。

1) 水温の経時変化

水温の変化は、季節的な変化が主なものであって気温の低下により水温も低下している。同図で1994年12月の測定値だけが採水場所の違いにより水温の変化がみられた。その原因として天候が関係していたと考えられる。採水を行ったのが12月14日であったが、12月11日、12月12日に大雨が降った。観測前日の12月13日

にも小雨が降っており、湾奥からの淡水の流入により水温が場所的にばらついたと考えられる。

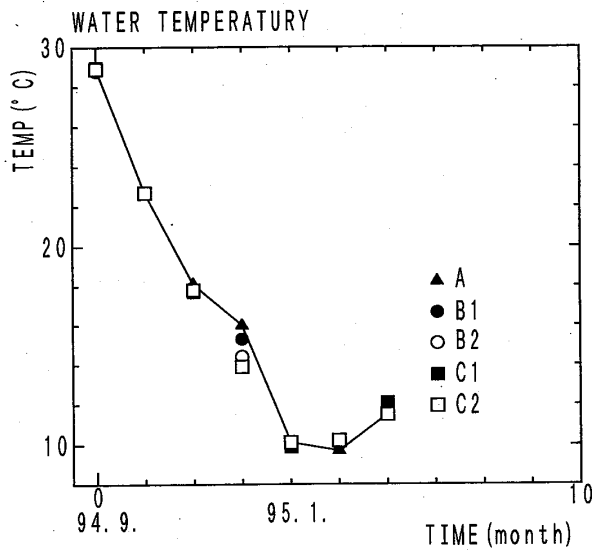


Fig. 7 Change in time-histories of water temperature

2) 塩分濃度の経時変化

外洋での塩分濃度は通常3.3%~3.8%であるが、沿岸域や内湾では河川流入や降水の影響を受けて低い値となる。今までの観測では最高3.47%で最小3.04%であった。観測を行った場所は内湾であり、淡水流入もあるのでこのように低い値となったと考えられる。特に12月の値が低くなっているが、測定前日の大雨による影響であると考えられる。

測定結果をみると供試体を設置した場所 (B, C) の値が、湾入口 (A) の値より小さくなっていることから、淡水流入の影響が見られる。

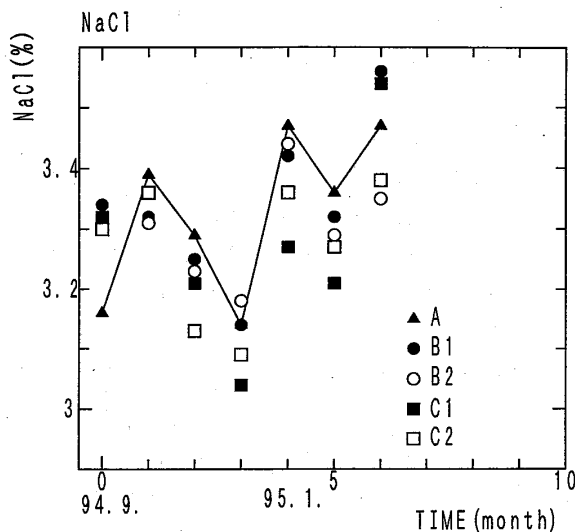


Fig. 8 Change in time-histories of NaCl concentration

3) 溶存酸素 (DO) の経時変化

酸素の海水への溶解度は海水の温度が低いほど、塩分濃度が低いほど高くなる。海水の温度は気温の低下により月毎に低くなっており、溶存酸素の量は増加傾向にあった。

曝気を行った供試体 (B) の周辺と、曝気を行わなかったもの (C) の溶存酸素量を比較してみると、曝気を行わなかった供試体の周辺の値が逆に高い値となり、曝気の効果はまだ見られなかった。3.1に示したとおり、付着生物量は自然状態の供試体周囲が最も多く、また淡水の流入の影響を最も受けやすい位置にある。これらの原因により、このような差異が生じたと思われる。

Table 3 に公害対策基本法で定められている生活環境の保全に関する環境基準を示す。形上湾は海域B種に指定されている。溶存酸素量はこの基準を満たして

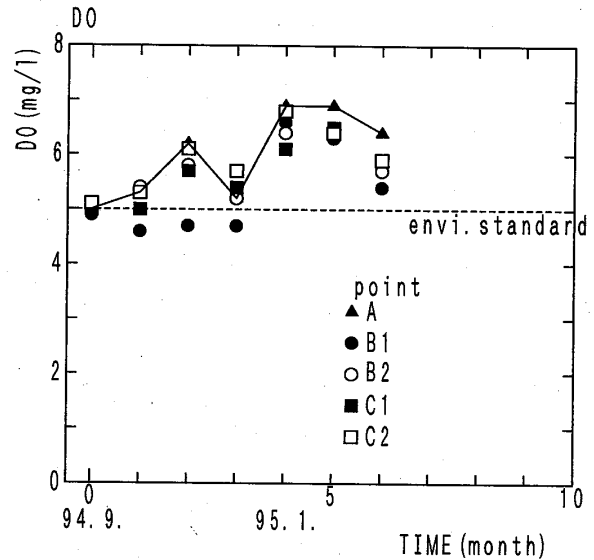


Fig. 9 Change in time-histories of DO

Table 3 The standard of environment provided by the Pollution measures law

	Type	Grade	Standard	
			COD	DO
SEA AREA	A	1	less than 2 mg/l	more than 7.5 mg/l
	B	2	less than 3 mg/l	more than 5 mg/l
	C	3	less than 8 mg/l	more than 2 mg/l

いる。

4) 濁度の経時変化

濁度は冬期になって有機物が減少するのにもなってその値は減少している。実験時の目視によっても明らかに海中の濁りは減少していた。

95年1月以降になって海水中にプランクトンの死骸と思われる白い粒が多くみられるようになってきた。供試体の周辺において濁度が特に減少しているとは断定できない。

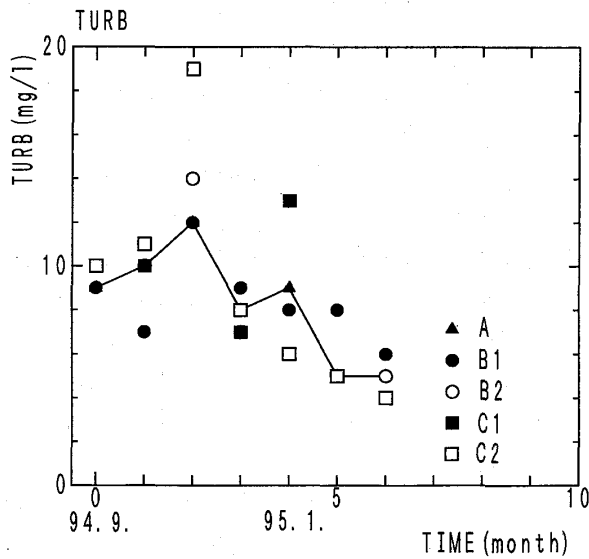


Fig. 10 Change in time-histories of turbidity

5) 化学的酸素要求量 (COD) の経時変化

Fig. 11にCODの経時変化と、大村湾内17の環境基準点の平均COD値10年間の月別平均COD値 (長崎県衛生公害研究所資料) を示す。両者を比較すると、今回の実験値は全体的に下回る値として出ている。

明らかに水温の低下と共にCOD値の減少がみられ

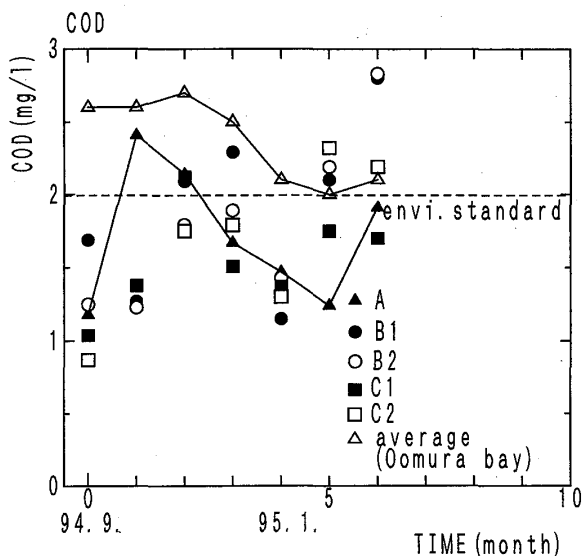


Fig. 11 Change in time-histories of COD

て、水温の低下による有機物の減少が確認された。CODに関しては多少供試体の影響が現れてきたように思われる。大雨の生じた94年12月、95年3月を除いて10月、11月、1月と湾入口 (A) の値より、供試体周辺の値の方が低くなっている。僅かながら供試体によってその周辺の有機物が取り除かれてきているのではないかと考えられる。

前記したTable 3の環境基準値と測定した値を比較してみると、冬期は水産1級の基準となる2mg/l以下にはほぼ収まっている。

6) 全有機態炭素量 (TOC) の経時変化

TOCも12月の大雨の影響により値が大きくなった。供試体を設置して2カ月後の11月から湾入口のTOC値よりも、供試体周辺の値の方が小さくなってきた。CODと同様に供試体の影響が僅かにあらわれてきたものと思われる。

10月と12月に供試体の内部 (B1, C1) の値が大きくなっていった。この原因としては、潮の干満に関係があると考えられる。この月に採水を行ったとき、潮は干潮の状態であり供試体内部の水の循環が全くみられなかった。その結果一時的にTOCの値が大きくなったと考えられる。

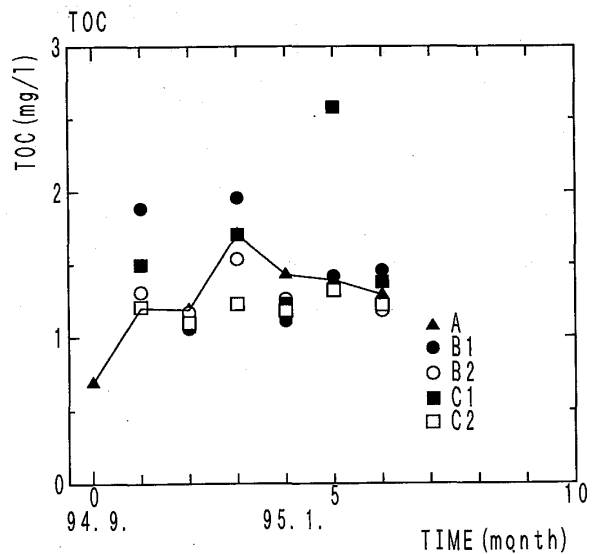


Fig. 12 Change in time-histories of TOC

3. 3 海水暴露実験 (圧縮試験) 結果

Table 4に海中暴露実験結果を示す。供試体設置1カ月目の圧縮試験の結果には、ポルトランドセメント製の供試体と高炉B種セメント製の供試体には強度の差はほとんどみられなかった。供試体設置3カ月目以降の圧縮試験の結果には、ポルトランドセメント製の供試体と高炉B種セメント製の供試体の間に強度の差が現れた。強度の減少は両方の供試体にみられたが、

ポルトランド製の供試体の方の強度の減少が大きかった。今回の実験に用いた多孔質コンクリートは空隙率30%程度で、骨材間のセメントペーストが海水に接触する面積が通常のコンクリートよりも大きく、そのため圧縮強度の極端な劣化が現れている。

Table 4 Compression Test

Elapsed time (month)	Compressive strength (kg/cm ²)	
	Portland cement	Blast furnace slag c. B
1	62.9	63.6
3	44.1	59.1
6	47.8	53.4

4. 将来展望及び考察

付着生物を利用した海水の浄化に関する研究を大村湾に供試体を設置して開始した。この実験は1994年9月から1996年4月までの3カ年計画で行われる。実験を開始してまだ7カ月しか経過していないことと、生物の付着が主に春から夏にかけて起こることから、まだ顕著な供試体の効果について論じることが出来なかったが、供試体の周辺で僅かながら有機物の減少がみられた。また季節的な水温の変化による要因が支配的のようであるが、これから測定を継続し、より多くのデータを集積することにより、詳細を確かめられるであろう。

また、実海域における淡水の流入機構、付着生物の季節的な繁殖時期等不明な点が多く、これらを明確にすることが定量的な解析手法を見いだすための当面の課題である。

終わりに、本研究の遂行及び本論文の作成に際し、生物付着判定、圧縮試験、水質検定で御協力いただいた長崎大学水産学部 北村等助教授、長崎大学工学部 松田浩助教授、長崎大学地域共同研究センター及び長崎県衛生公害研究所の皆様方へ深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 飯塚昭二・平山和次；大村湾，平野敏行編 海の環境科学，p.324，1983.
- 2) 建設省；湖沼水質改善技術適用マニュアル（案），（財）土木研究センター，1986.
- 3) 井上基仁；河川の自然浄化機能の調査研究，京都大学工学部衛生工学卒業研究論文，1991.
- 4) 栗原 康；河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー，東海大出版会，pp.119-125，1988.
- 5) 片倉徳男・福永純治・和田直巳・金子文夫；生物付着多孔質担体を用いた海水浄化に関する研究，大成建設技術研究所報告，23，pp.15-20，1990.
- 6) 片倉徳男・福永純治・和田直巳；生物付着多孔質担体の海水浄化特性，大成建設技術研究所報告，24，pp.133-136，1991.
- 7) 橋本宏治・上野成三・片倉徳男・友沢 孝；生物付着多孔質担体の海水浄化特性—その2—，大成建設技術研究所報告，25，pp.423-430，1992.
- 8) 坂口 勇・青木敬雄・福原華一・木田孝道・安井勝美；海水導入管内の流速と汚損生物付着との関係に関する実験報告（第一報），電中研報，481504，pp.1-3，1981.
- 9) 堀江 毅；海域の物質循環過程のモデル化と浄化対策効果の予法について，港湾技術研究所報告，26,4，pp.57-123，1987.