

論文 貧酸素海域における環境修復材料としてのポーラスコンクリートの機能評価

上月 康則^{*1}・三好 順也^{*2}・水口 裕之^{*3}

要旨: 生物が生息できないほどに海水中の溶存酸素が低下する貧酸素海域でのポーラスコンクリートの環境修復機能について2年間現地実験を行い、検討を行った。その結果、礫を用いた場合よりも、生物種数や生物量は多くなり、特に堆積物を食する生物量は約2.4で、“ヘドロ”となる沈降物を生態系の中で消費、循環させていた。このように貧酸素化が著しい環境であっても適切な場所に設置すれば、ポーラスコンクリートはバランスのとれた生物群集の形成を促し、自律的に環境を修復させるように作用することがわかった。

キーワード: ポーラスコンクリート, 貧酸素, 海域, 環境修復, 底生動物

1. 緒論

大阪湾, 東京湾, 伊勢三河湾を始め, 都市を背後にもつ内湾は, コンクリートの直立護岸で囲まれ, 水質汚濁の進行しやすい富栄養化した環境となっている。その結果, 大阪湾の湾奥では, 6月から11月の約半年の間, 生物が生息できないほどに海底の酸素濃度が低下する貧酸素海域となっている。こうなると海底には生物は見あたらず, 海域の物質循環は滞り, 物質は一方的に海底に堆積し, 自然浄化作用は期待できなくなる。大阪湾では, このような環境を改善することを目的に自然再生の取り組みが始まっており, 様々な環境修復技術が提案されているが, 基本となるのは持続的可能性の高い生態系修復をとおして環境修復を図る技術である。これはまず適切な物理場を整え, そこに堆積物を食する生物も適当な量生息するバランスのとれた生物群集の形成を誘引する。その結果, 生態系の物質循環の力で自ずから水質や底質といった環境を改善, つまり自然浄化作用を再生しようとするものである¹⁾。

ポーラスコンクリートについては, これまでも水質浄化²⁾をはじめ様々な環境保全機能に

着目した検討がなされているが, 著者らも生物の生息基盤材料としてポーラスコンクリートを用いた自律的な環境修復を促す海岸構造物の開発を行ってきた。その結果, 連続した空隙は生物の生息場となり, その場の水質浄化機能を高める³⁾ように作用することを明らかにできた。

本研究では, 「貧酸素化が長期間継続するほどに環境が悪化している海域においてもポーラスコンクリートは生物生息場場として機能し, 環境を修復するように作用するか?」について検討するために2年間にわたり実証実験を行った。実験結果は, 礫材に比較してポーラスコンクリートに付着, 内部に生息する(1)生物の種数, (2)生物量, (3)堆積物食生物の生物量, (4)物質循環改善効果の4つの項目から評価を行った。

2. 実験方法

2.1 使用ポーラスコンクリートの形状に関する予備実験

ポーラスコンクリートは生物の生息基盤とするために用いるため, 強度面での配慮は特に必要としないものの, 空隙の大きさは生物の大きさや個体数に影響があると考え, 予備実験を行

*1 徳島大学大学院 工学研究科エコシステム工学専攻助教授 博(工) (正会員)

*2 徳島大学大学院 工学研究科エコシステム工学専攻博士後期課程 修(工)

*3 徳島大学 工学部建設工学科教授 工博 (正会員)

った。空隙特性と関係する骨材粒径の異なる立方体のポーラスコンクリート（20×20×20cm，目標連続空隙率 25%）を干潟に 1998 年 12 月から 6 ヶ月間埋設し，その内部に確認された生物の個体数を定期的に調査した。対象とした生物は一般的な堆積物食生物であるゴカイ類とした。

2.2 尼崎港での実験構造物

大阪湾の中でも最も環境が悪化している海域の一つである兵庫県尼崎港の岸壁に図-1に示す構造物（L：3.0m，W：1.5m）を，2003年3月に“棚”のように据えつけた。2.1の結果を参考に骨材粒径 15~20mm，φ15cm，目標連続空隙率 25%の球状ポーラスコンクリート（市販品）とΦ30~50cmの礫を，棚の床上にそれぞれ2層に設置した（写真-1）。この棚状の構造物は，(1)生物の生息場所となるように貧酸素化しないと思われる3つの浅い水深帯（D.L.-0.5m，-1.0m，-1.5m）に設置し，(2)その棚の上で岸壁に付着する二枚貝やその糞を受け止め，それらが海底で“ヘドロ化”しないように，生物分解を促し，自律的に環境が改善されることを狙って設置した。特にポーラスコンクリートには，



写真-1 構造物の床

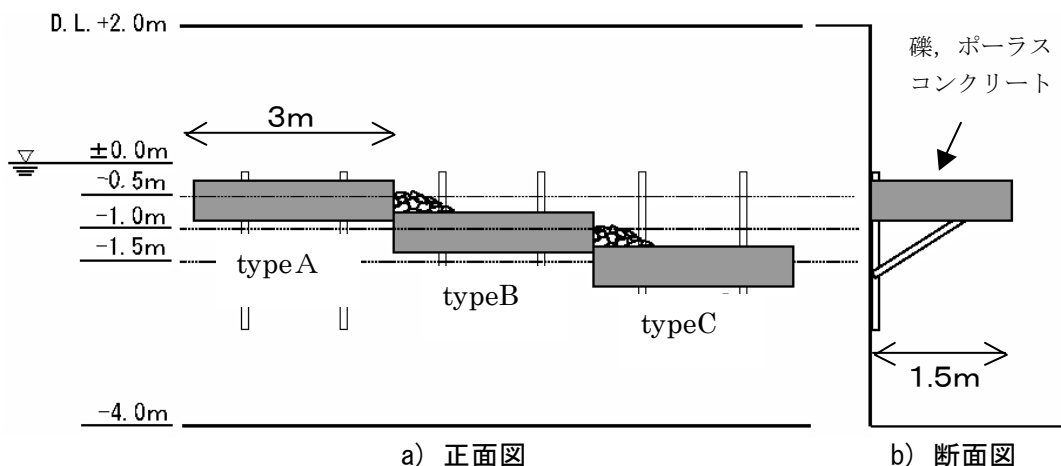


図-1 構造物の正面図，断面図およびポーラスコンクリート，礫の配置方法

大量に負荷される沈降物を餌とする小型の堆積物食生物がより多く定着することを期待した。実験では溶存酸素などの水質調査と同時に，ポーラスコンクリートと礫を定期的に採取し，生物量，種数などについて調査した。なお，ポーラスコンクリートや礫を設置した水深は，最低低潮位（DL0.0m）より低く，年間を通してこれらの材料が水面から出ることには無い。

2.3 溶存酸素からみた尼崎港の環境

図-2に各構造物の床の水深にあたるD.L.-0.5m，D.L.-1.0m，D.L.-1.5mとD.L.-4.0m（海底）における2002年6月から1年半の溶存酸素（DO）の変化を示す。この図から夏期には，海底のDOは1.0mg/l以下と無酸素状態に近くなり，それは秋季になっても改善されないことがわかる。各構造物の床上のDOを比較すると，概ね水深が深い所ほどDOは低くなる傾向にあったが，2003年の夏期にはD.L.-1.0mといった極浅い水深帯でも貧酸素化の基準である3.5mg/lを下まわっており，本海域は生物の生息には非常に厳しい環境にある。

3. 結果および考察

3.1 骨材粒径とゴカイ個体数の関係

図-3にポーラスコンクリートの内部に確認されたゴカイの個体数を，骨材粒径別に示す。図の横軸はゴカイの体長の指標である頭部の幅

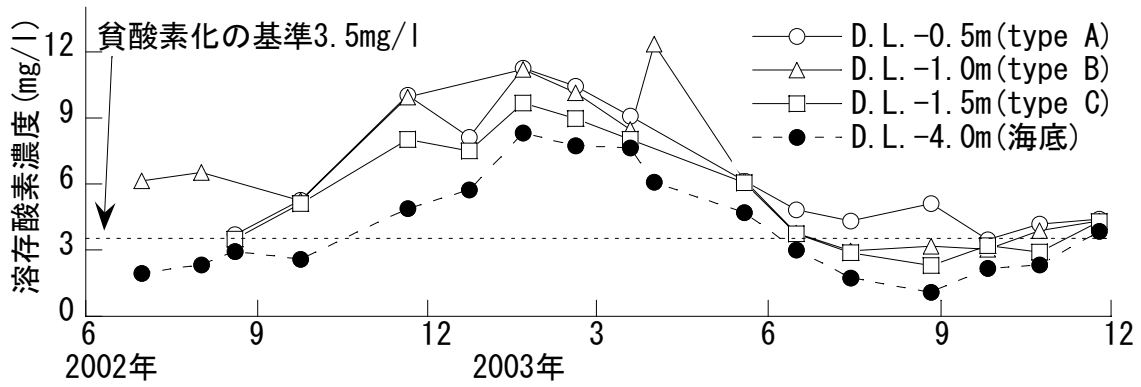


図-2 各構造物上の溶存酸素濃度の変化

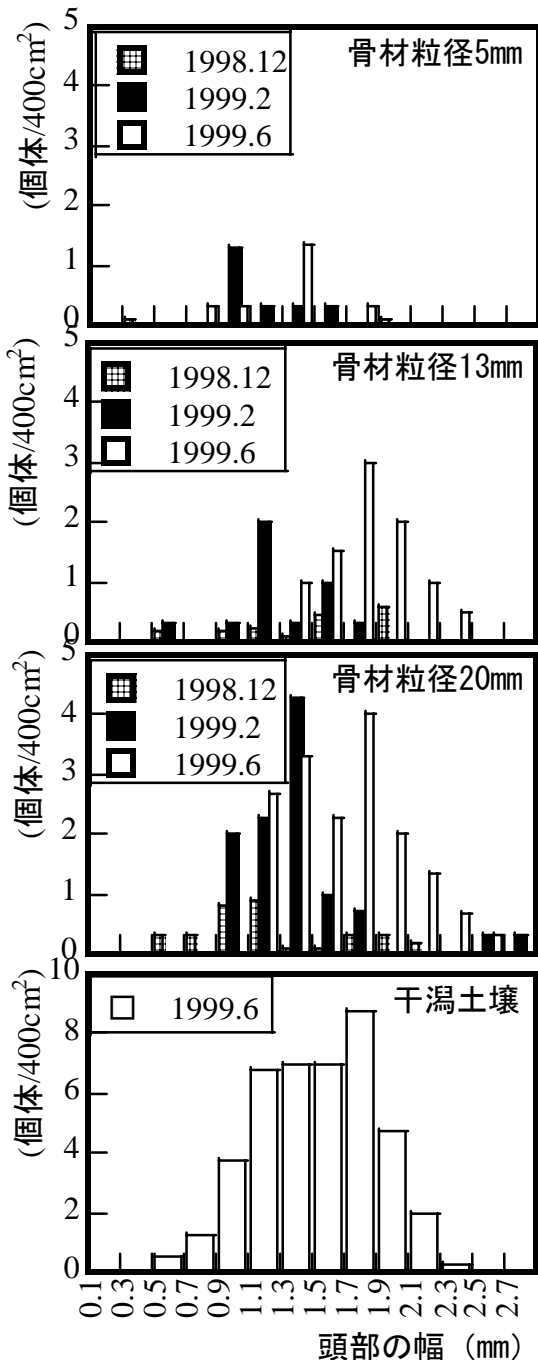


図-3 骨材粒径とゴカイ個体数

を、縦軸はそれぞれのポーラスコンクリート 1 供試体あたりの個体数を表す。

この図からいずれのポーラスコンクリートでも埋設してからの時間が経過すると、内部に生息するゴカイの個体数は増加していたことがわかる。また骨材粒径と生物個体数の関係については、粒径が大きくなるほど内部のゴカイ個体数は増加し、同時に様々な体長のゴカイが生息することがわかる。埋設後 6 ヶ月後の骨材粒径 15~20mm のポーラスコンクリートと干潟土壌中のゴカイ個体数とを比較すると、個体数はおよそ半数程度であったが、体長の分布は同程度であった。この結果から、骨材粒径 15~20mm 程度のポーラスコンクリートを尼崎港での実験に使用することとした。

3.2 生物の種数

図-4 に構造物床上のポーラスコンクリートの表面、内部および礫表面に付着していた生物種数の変化を構造物別に示す。いずれの水深、材料でも設置後 2 ヶ月後にあたる 2002 年 5 月には約 20 種類の生物が見られ、その後増加する傾向にあった。また両材料および設置水深でポーラスコンクリートの方が数種類多い傾向にあったが、いずれも約 30 種類ほどの種は確認された。種数に及ぼす夏期の貧酸素化の影響は明確ではないが、深い水深に設置した typeC の構造物では種数が減少する傾向が見られた。

3.3 生物の湿重量

調査時期ごとに確認された生物量を湿重量で
 図-5に示す。いずれの材料、水深帯でもプラン
 クトンなどの海中の懸濁物を食する二枚貝
 がほとんどであり、その割合は平均9割程度で、
 他の生物はわずかであった。また数ヶ月ごとに、
 湿重量は10倍以上もの増減が生じていた。この
 傾向は淡水の影響を受けやすい二枚貝の優占す
 る富栄養化した内湾でよく見られる現象で、貧
 酸素化の影響だけでなく、水温、塩分などの環
 境変化も影響していたと思われる。例えば、調
 査結果から5月にはムラサキガイが優占する
 ものの貧酸素化と水温上昇によって壁面から大
 量に脱落する。8月はその空いた空間にウスカラ
 シオツガイが入り込むが、それも11月にはミド

リイガイ、さらに2月はコウロエンカワヒバリ
 ガイと変化していた。

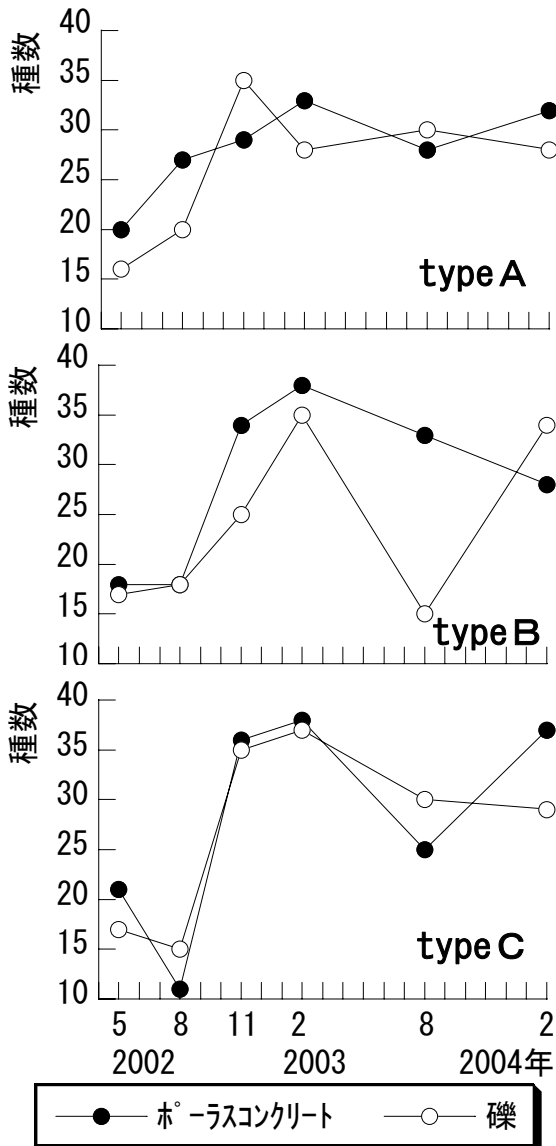


図-4 各構造物の材料中の生物種数

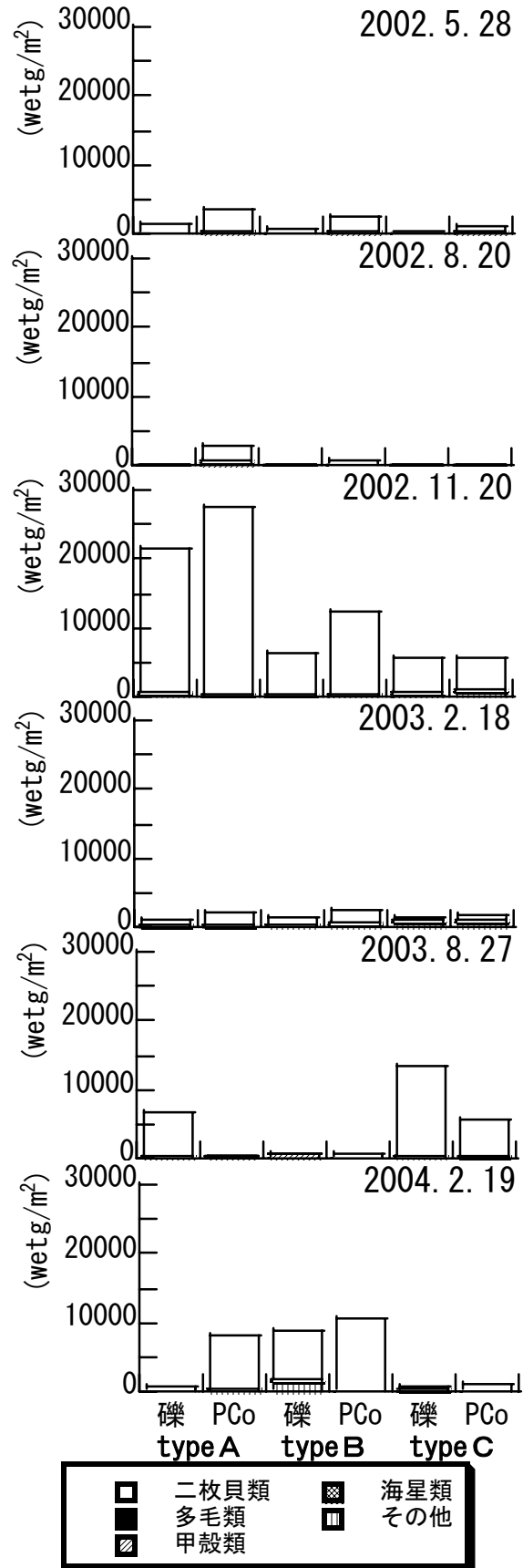


図-5 生物量

またポーラスコンクリートと礫の生物量を比較すると、2003年の8月を除く全ての時期と水深帯でポーラスコンクリートの方が生物量は多かった。これはポーラスコンクリートの表面が起伏に富んでおり、付着、定着しやすいことと、内部の空隙にも生物が生息できる³⁾ためである。

3.4 堆積物食生物の生物量

ポーラスコンクリートと礫との堆積物食生物の生物量を水深の異なる各構造物別に図-6に示した。2回ほどの結果を除くと、堆積物食生物の生物量は礫よりもポーラスコンクリートの方が多かった。この結果は、ポーラスコンクリートを底質材料として用いると、貧酸素化する環境でも堆積物が、生物に利用され、“ヘドロ化”

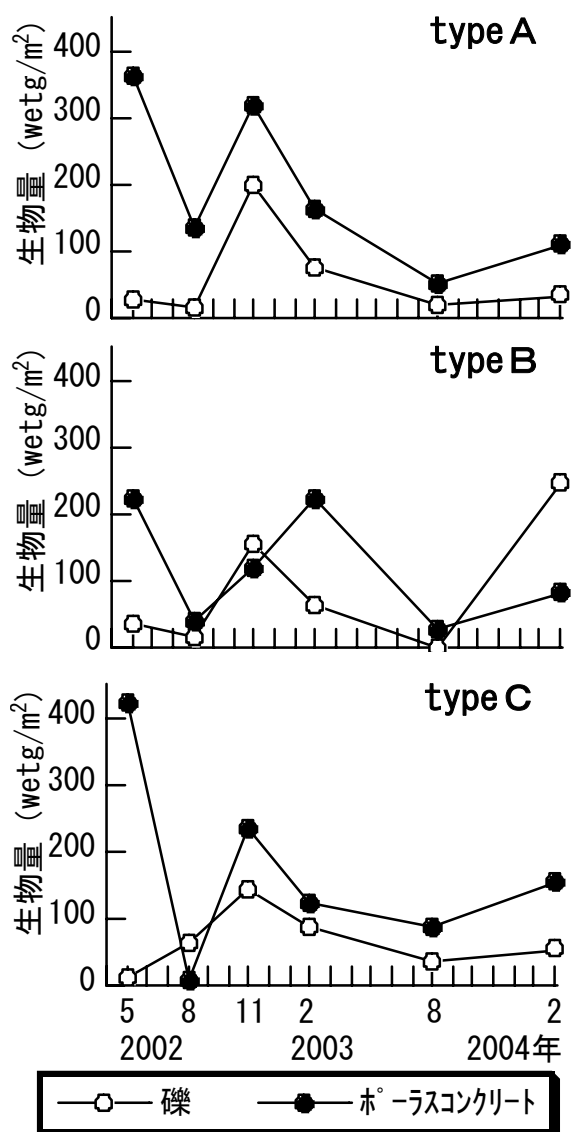


図-6 堆積物食生物の生物量

する量を減少させることで、環境悪化を防げることを示している。

4. 考察

4.1 ポーラスコンクリートによる環境保全効果

ポーラスコンクリートを使用したことによる環境保全効果を簡便な方法⁴⁾で定量化した。

2003年8月の最も深い水深帯に設置したtypeCで観測された堆積物食生物の生物量から、それらが一月に利用する堆積物中の有機炭素を生産量として求めた。1m²あたりの堆積物食生物は礫、ポーラスコンクリートそれぞれで 37.75wetg, 90.0wetg で、それらが一月に生産する量を有機炭素量に換算すると、礫上の堆積物食生物では 0.57gC/m², ポーラスコンクリートではその約2.4倍の 1.36gC/m²と試算された。さらに、この値と床上に負荷される沈降物量 (6,089gC/month)⁵⁾と比較すると、礫上の堆積物食生物は床上に負荷される沈降物の 0.018%を、ポーラスコンクリートでは 0.043%に相当する量を利用していたことがわかった。

一般に貧酸素化した海底には堆積物食生物は極限られた種がわずかに生息しているだけであり、海底に負荷される沈降物はそのまま“ヘドロ”となる。本構造物はそれを受け止め、堆積物食生物によって生態系の中で循環させる働きがあるが、ポーラスコンクリートを使用するとその機能はさらに強化される。特に多毛類は堆積物を攪拌することで環境を良くする効果があり³⁾, 実際には利用量以上に環境改善効果は大きいと思われる。

4.2 生物生息場としてのポーラスコンクリート

懸濁物の多い富栄養化した海域では、春先にポーラスコンクリートを設置すると、2ヶ月も経つと写真-2に示すように、その表面を懸濁物食生物の二枚貝が完全に覆ってしまう。しかし、酸素不足や塩分、水温が二枚貝に適さない時には、死亡、脱落が大量に起こる。本実験結果の生物量の増減が激しかったのはこのためである。また優占して出現した堆積物食生物のヨツバネ



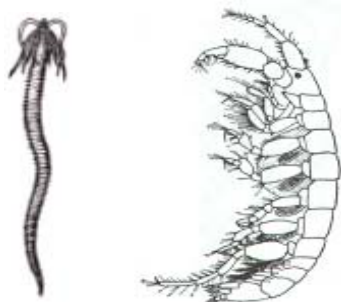
a) 設置前 b) 設置後

写真-2 2ヵ月後の生物付着状況

スピオやトゲドロクダムシ（図-7）はコンクリート内部の他に、この二枚貝の群塊の中にも棲み込んでいるため、二枚貝の増減にあわせて堆積物食動物の個体数も大きく変化したと考えられる。このようにポーラスコンクリートは生物の生息場として優れているが、環境悪化が著しい環境では個体数の変動も大きく、生態系が安定するといった状態を期待することは難しいことがわかる。

4.3 ポーラスコンクリート使用上の課題

富栄養化した海域でポーラスコンクリートを使用する場合の留意点は、生物量の増加だけでなく、その種類、特に堆積物食生物の定着を促すように設置することにある。そのため、貧酸素化する環境では、設置できる場所は極浅い水深帯に限られるが、波浪の影響を受けると、比較的軽量のポーラスコンクリートは流出する恐れがある。実際に実験中、床上から流出したことがあり、それ以降は床一面に網を被せるようにして、材料を押えた。今後、本構造物を実用するにあたっては、この点にも対策を講じておく必要がある。



ヨツバネスピオ トゲドロクダムシ
体長約3cm 体長3~5mm

図-7 主要な堆積物食生物⁶⁾

5. 結論

大阪湾の中でも最も環境悪化が著しい尼崎港での約2年間の実験の結果から、貧酸素海域でもポーラスコンクリートは生物生息場として機能することがわかった。特に礫を材料に用いた場合に比較して、堆積物食生物の生物量は2.4倍になった。これらの生物が直接摂餌する堆積物の量はわずかではあるが、堆積物を攪拌することで、微生物による堆積物の分解を促進させている。以上のことからポーラスコンクリートは、堆積物を生態系内で循環させ、環境の自律的な改善を促す材料の一つであると言える。

謝辞 本研究は環境省環境技術開発等推進事業「閉鎖性海域における最適環境修復技術のパッケージ化（平成13~15年度）」の一部として行われた。また村上仁士教授（徳島大学）、倉田健悟助教授（島根大学）、上嶋英機教授（広島工業大学）には研究を進めるにあたって有意義な助言を多々頂いた。ここに記して深謝いたします。

参考文献

- 1) 坂井忍, 水口裕之ほか: ポーラスコンクリートの水質浄化機能に及ぼす空隙特性, 高炉スラグ及びゼオライトの影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1, pp.169-174, 2001.6
- 2) 村上仁士, 伊藤禎彦ほか: 海岸構造物材料としての多孔質コンクリートにおける付着生物の発達, 海岸工学論文集, Vol.43, pp.1251-1255, 1996.11
- 3) 村上仁士, 上月康則: 内湾の物質循環を活性化させるエコシステム式海岸構造物, 電力土木, Vol.308, No.11, pp.3-8, 2003.11
- 4) 矢持進, 藤原俊介ほか: 都市に近接する自然干潟の生物生産と窒素収支, 海岸工学論文集, 第51巻, pp.1021-1025, 2004.11
- 5) 三好順也, 上月康則ほか: 岸壁付帯式テラス型海岸構造物によるムラサキイガイ由来の汚濁負荷量削減効果, 海洋開発論文集, 第20巻, pp.1061-1066, 2004.6
- 6) 新日本動物図鑑（上）（中）, 北隆館, 1988.5