

過栄養で静穏な港内の人工干潟における二枚貝の 生息環境について

村上 晴通*・細川 真也**・中村 由行***・石垣 衛****

尼崎港に造成された干潟実証実験施設において、底生生物や底質・波浪などの現地調査ならびに流動場の数値計算等の検討を行い、物理的環境条件と二枚貝の種類や個体数の関係を整理し、二枚貝の生息環境を考察した。その結果、イガイ科の生物量が特に多い場所では、アサリの生物量は少なくなることが分かった。これは、イガイ科のマット化によって、アサリが加入阻害、あるいは硫化物による成長阻害を受けたものと考えられる。また、潜堤背後及び岸側の領域において二枚貝の生物量が少なかった。潜堤背後における大きな満潮、碎波による乱れ、あるいは冠水時間の変動が二枚貝の分布を制限しているものと考えられる。

1. はじめに

大阪湾奥部に位置する尼崎港は、昭和初期から大規模な埋立が行われ、極めて閉鎖的な海域が形成された場所である。港内では、過度に富栄養化が進行し、生物による物質循環が阻害されている。このような尼崎港において、2001 年度より港内の環境修復を目的とした各種技術の実証実験を行い、各種技術の最適な組合せによる環境修復を検証するプロジェクトが実施されている（(財)国際エメックスセンター, 2002）。この中で、水質浄化・親水などの機能性を考慮して、アサリなどの有用二枚貝の生息場形成を目的に干潟実証実験施設（以下、人工干潟と記す）が 2002 年 3 月に造成された。

2002 年度の生物量追跡調査から、人工干潟では、造成後 1ヶ月程度から底生生物が定着し、その後種類数・個体数ともに増加傾向にあるが、二枚貝のほとんどはホトギスガイを中心としたイガイ科であることが分かった（(財)国際エメックスセンター, 2003）。ホトギスガイは大量に増殖すると、底表面をマット状に覆うため、アサリなどの有用二枚貝の生息を阻害することがある（千葉, 1977）。尼崎港のような過栄養な内湾域では、このようなイガイ科の優占化が生じ易いが、マット化を防止して種の多様性を促すことは、人工干潟の順応的管理手法の一環として重要であると考えられる。

そこで本論では、底生生物や底質・波浪などの現地調査ならびに流動場の数値計算、冠水時間等の検討を行い、人工干潟における物理的環境条件と二枚貝の種類や個体数の関係を整理し、二枚貝の生息条件を考察した。

2. 人工干潟と現地調査の概要

(1) 人工干潟概要

図-1 に人工干潟の平面図を示す。人工干潟は、尼崎港の西南域隅角部に位置しており、側面は護岸と石積み堤、

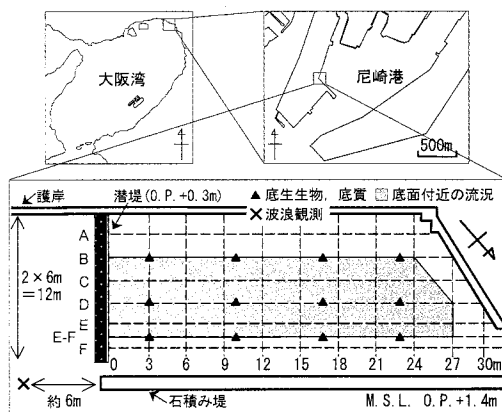


図-1 人工干潟平面図

沖側は潜堤によって囲まれた 32m×12m の砂質干潟である。造成時には、中央粒径 0.56 mm の海砂が投入され、砂流出防止のため護岸は吸出し防止材、石積み堤と潜堤は遮水シートで覆われている。また、干潟地盤は、造成後 4ヶ月を経過すると大きな変動は収束し、地形勾配は約 1/35 で安定している（石垣ら, 2003）。

(2) 現地調査概要

人工干潟造成から 2 年目の 2003 年度では、イガイ科のマット化は 7 月から進行しはじめ、8 月に最大となったが以後減少し、10 月には潜堤から 10m 地点周辺を除いて消滅した。本論では、イガイ科のマット化が最も拡大した 2003 年 8 月に、イガイ科マットの分布・底生生物・底質・底面付近の流況を調査した。さらに、同年 11 月に入射波の波浪観測を行った。調査地点は図-1 のとおりである。

a) イガイ科マットの分布

項目：マットの発生範囲

人工干潟全域を潜水調査した。

b) 底生生物

項目：マクロベントスの個体数、湿重量

地点：B, D, E-F 側線上の潜堤から 3, 10, 17, 23 m の地点

* 正会員 修(工) 若築建設(株) 事業統括本部 技術研究所

** 正会員 修(工) (独法)港湾空港技術研究所 海洋・水工部

*** 正会員 工 博 (独法)港湾空港技術研究所 海洋・水工部

**** 正会員 博(工) (株)大林組 技術研究所

c) 底質

項目：粒度，酸揮発性硫化物 AVS

地点：B, D, E-F 側線上の潜堤から 3, 10, 17, 23 m の地点

d) 底面付近の流況

項目：流動場の強さ

地点：B, C, D, E, E-F 側線上の潜堤から 1.5 m 間隔（一部，3 m 間隔）の地点（計 88 地点）

測器：石膏球

流動場の強さは，石膏球を底面近傍に 48 時間設置し，前後での石膏球の重量差から求めた。

e) 波浪観測

項目：波高，周期

地点：石積堤から約 6 m 沖側の人工干潟外の地点（地盤高 O.P. 約 -1.1 m）

測器：観測ポール，ビデオカメラ

波高・周期は，設置した観測ポールでの水面変動をビデオカメラで撮影し，撮影画像を解析して求めた。

3. 現地調査結果

(1) イガイ科生物マットの分布

図-2 にイガイ科生物マットの平面分布を示す。この図から，マットは人工干潟の大部分において発生しているが，潜堤背後（潜堤から 0~3 m 付近）の一部領域と潜堤から 23 m より岸側の領域では，発生していないことが分かる。

(2) 底生生物

a) マクロベントスの個体数，湿重量

図-3 に D 測線上で測定したマクロベントスの個体数と湿重量を示す。この図から，個体数と湿重量は共に潜堤から 10 m 地点で極大値をとり，潜堤背後や岸側の地点で減少することが分かる。また，湿重量では二枚貝類が優占しており，そのほとんどはホトトギスガイを中心としたイガイ科とアサリで構成されていた。

b) イガイ科とアサリの湿重量

図-4 にイガイ科とアサリの湿重量を示す。この図をみると，イガイ科の湿重量は B 測線上における潜堤から 3, 10 m 地点で特に大きいことが分かる。一方，同 3, 10 m におけるアサリの湿重量をみると，B 測線上での値は D, E-F 測線上での値に比べて小さい。このように，イガイ科が高密度に生息する場所では，アサリの生息量は減少する傾向を示した。

(3) 底質

a) 酸揮発性硫化物 AVS

図-5 に AVS とイガイ科の湿重量の関係を示す。この図から，AVS はイガイ科の湿重量と相関が良いことが分かる。このため，AVS は主にイガイ科のマット化により，

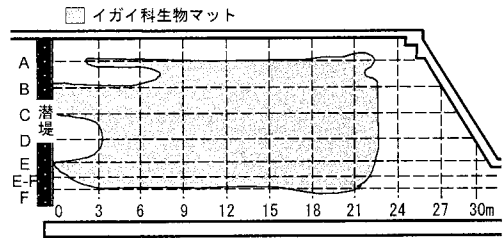


図-2 イガイ科生物マットの平面分布

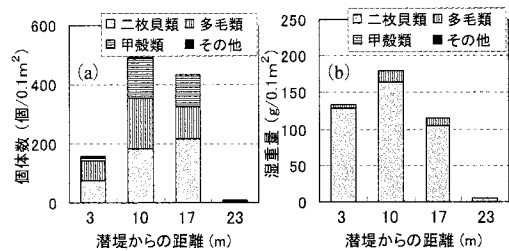


図-3 マクロベントスの(a)個体数と(b)湿重量

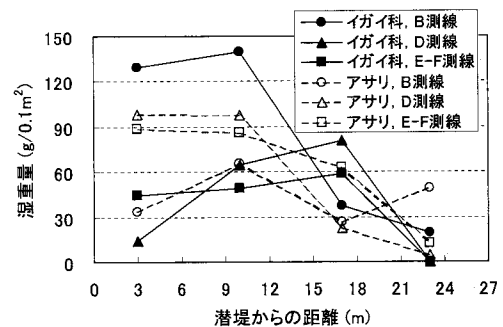


図-4 イガイ科とアサリの湿重量

マット下部の底質が嫌気化して発生したと考えられる。

また，イガイ科の生物量が特に大きい場所では，アサリの生物量は減少する傾向を得たが，これはイガイ科がマット化することによって，アサリは直接的な加入障害や硫化物による成長障害を受けた可能性があると考えられる。

b) 粒度

図-6 に粒度分布を示す。これらの図をみると，最も潜堤側の地点（潜堤から 3 m）と最も岸側の地点（潜堤から 23 m）は，他の地点に比べて礫・粗砂分の割合が大きく，細砂・中砂分の割合が小さいことが分かる。潜堤から 10, 17 m 地点付近は，造成時の粒度が相対的に維持されていることから，潜堤背後および岸側の地点において礫・粗砂分の割合が大きいのは，細砂・中砂分が流出したためと考えられる。

(4) 底面付近の流況

図-7 に，石膏球を用いて測定した底面付近における

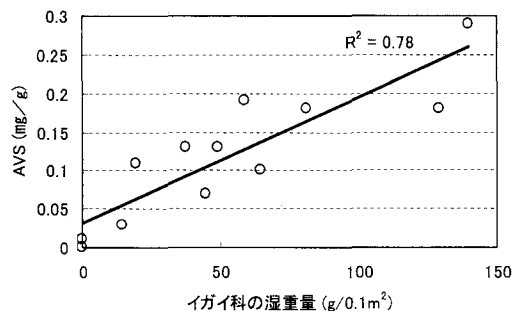


図-5 AVS とイガイ科の湿重量

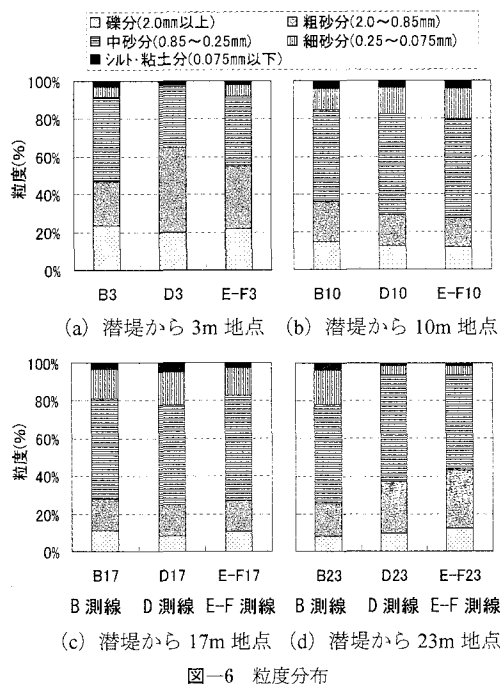


図-6 粒度分布

流動場の強さを示す。図中に示す値は、測定した強さの最大値を基準(=1)とした比率(0~1)である。この図から、流動場の強さは、潜堤背後と岸側の領域で大きな値を持つことが分かる。

(5) 波浪観測

湾口から入射する波(主にうねり)に対して、人工干潟はその回折領域に位置するため影響を受けにくい。また、尼崎港での風は年間を通してN~W方向に卓越しており、人工干潟はSE方向に向いているため風波の影響も小さい。そのため、人工干潟は通常時非常に静穏である。しかし、船舶の往来があると、比較的波高の大きな航跡波が、干潟内へ入射することが分かった。そこで、波浪観測は航跡波を対象に行った。なお、船舶航行がない場合での有義波高、有義波周期は、それぞれ4.5 cm、1.8 sであった。

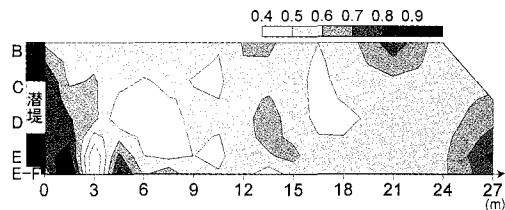


図-7 流動場の強さ

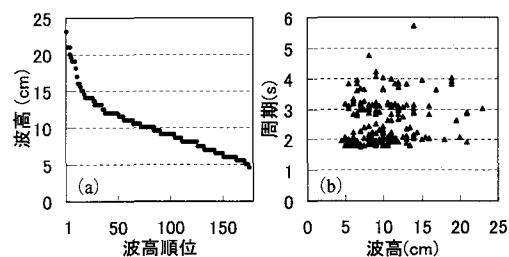


図-8 航跡波の(a)波高、(b)周期

測定は2004年11月6日、7日の日中に延べ7時間行ったが、測定地点で航跡波を明確に確認することが出来たのは、10ケース(船舶航行1回を1ケースとする)であった。図-8に測定結果を示す。(a)が波高、(b)が周期である。(a)は横軸に波高順位をとり、大きな波高から順に並べている。これらの図から、波高は平均すると10 cm程度であるが、20 cm以上のものも発生することが分かる。また、周期は2~4 s程度であった。

4. 潜堤背後領域の物理環境特性と生物生息との関係

(1) 流動場の数値計算

潜堤背後の領域は、底質の粒度調査と石膏球を用いた流況調査から、その他の領域に比べて物理的攪乱が大きいと考えられる。そのため、この領域で生物量が減少する原因として流動場の影響が考えられる。そこで、数値波動水路の耐波設計への適用に関する研究会(2001)が開発した「CADMAS-SURF V 4.0」を用いて、潜堤背後領域における流動場の計算を行った。

表-1に計算条件、図-9に計算領域を示す。計算は、観測された中で特に波高の大きな航跡波を対象として、波高20 cm、周期3 sの波浪条件で行った。潮位はM.S.L.とした。潜堤部は、捨石により築堤されているため、空隙率0.44、抵抗係数1.0、慣性力係数1.2のポラスセルを設定した。干潟部の底面は滑面乱流境界を与えた。また、計算は、潜堤から10.5 mまでの領域を対象とした。なお、計算領域の両端には、2波長分のエネルギー吸収帯を設定した。

表-1 計算条件

波浪条件		潮位	潜堤部	干潟部	格子間隔	
波高	周期				Δx	Δy
20 cm	3.0 s	M.S.L.	空隙率 0.44 抵抗係数 1.0 慣性力係数 1.2	滑面乱流	6~10 cm	2~4 cm

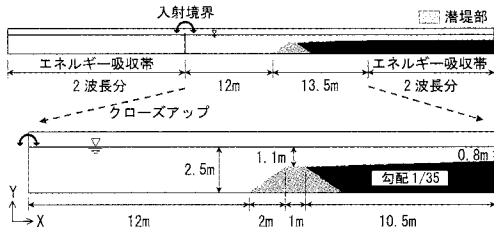


図-9 計算領域

(2) 計算結果

数値計算により得た流速を用いて式(1)から底面せん断力 τ を計算した。図-10に結果を示す。

$$\tau = \mu(u_c - u_b) / \Delta y \quad (1)$$

ここで、 μ は粘性係数、 u_c は底面境界に接する格子(空隙率=1)での水平方向流速の振幅最大値、 u_b は底面流速($=0$ cm/s)、 $\Delta y=1$ cmである。

図-10をみると、潜堤から約1~10 mの領域では、水深が徐々に減少するため、 τ の値は岸側に向けて増加することが分かる。しかし、潜堤から約0~1 mの領域では、 τ は逆に沖側に向けて増加する傾向を示した。ただし、この領域での τ の最大値は、潜堤から約10 m地点での値と同等であった。

次に、式(2)を用いて渦度 ζ を計算した。

$$\zeta = \partial v / \partial x - \partial u / \partial y \quad (2)$$

ここで、 u は水平方向流速、 v は鉛直方向流速である。計算には、底面上5 cmでの u 、 v の値を用いた。また、 $\Delta x=6$ cm、 $\Delta y=2$ cmである。

図-11は渦度絶対値 $|\zeta|$ の最大値の計算結果である。この図から、潜堤背後の領域には、それより岸側の領域に比べて、非常に大きな渦度が発生することが分かる。また、図-12は押し波時の流速ベクトル図である。この図から、押し波時には潜堤部と干潟部の境界で剥離が生じ、流速ベクトルが不均一になることが分かる。この流れの剥離が、潜堤背後領域における大きな渦度の主要な発生原因であると考えられる。

(3) 流動場と生物の関係

数値計算により、潜堤背後の領域では大きな渦度が発生することが分かった。この領域では、底質の粒径が大きく、また、生物量が減少していることから、この渦による底質攪乱が、生物の定着や成長に影響を与えていると示唆される。

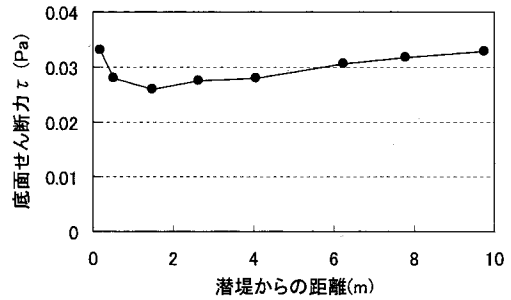
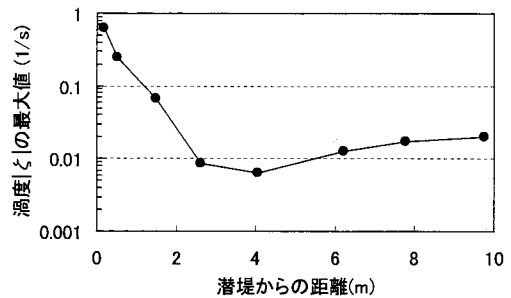
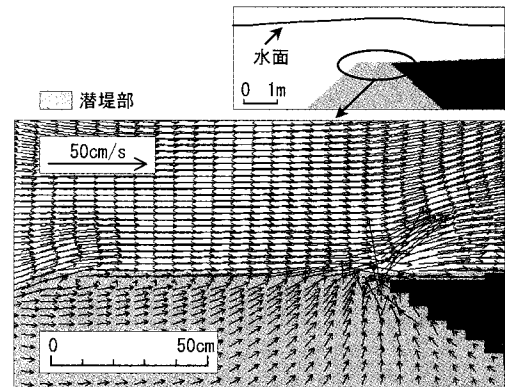
図-10 底面せん断力 τ 図-11 度絶対値 $|\zeta|$ の最大値

図-12 押し波時の流速ベクトル

5. 岸側領域の物理環境特性と生物生息との関係

(1) 冠水時間

人工干潟における月別の冠水時間割合を式(3)により計算した。計算には、気象庁が公開する大阪市港区築港における2002年11月~2003年10月の潮位データを用いた。

$$\text{冠水時間割合} = \left\{ \frac{\text{月間冠水時間}(h)}{\text{各月の日数} \times 24(h)} \right\} \quad (3)$$

図-13は、11, 2, 5, 8月の冠水時間割合を示したものである。この図から、冠水時間割合は、生物量が減少傾

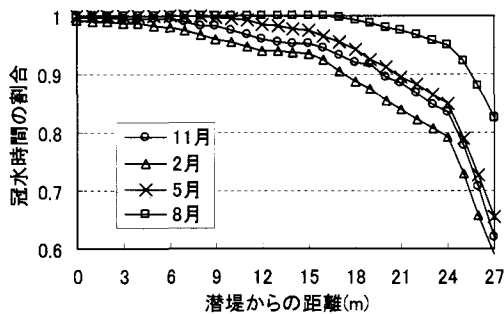


図-13 冠水時間割合

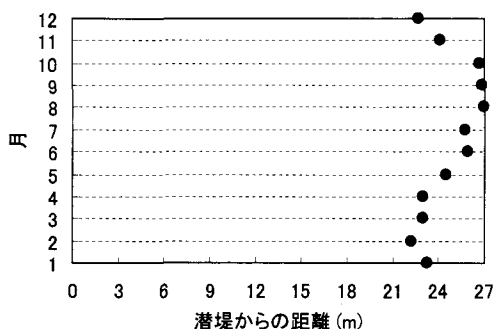


図-14 航跡波の砕波点

向を示す岸側領域(潜堤から約17~27mの領域)において、同様に減少することが分かる。また、イガイ科のマット化は、7月から進行しはじめ、8月に最大となったのち減少して、秋期には一部を除いて消滅したが、特に岸側領域での冠水時間割合は、マット化の進行・衰退とはほぼ同様な変動を示すことが分かる。これらのことから、干出時間の減少による乾燥化や摂餌時間減少が、この領域での生物量減少に影響していると考えられる。

(2) 砕波

航跡波の波浪条件(波高20cm, 周期3s)に対して、人工干潟内での砕波点と砕波点での摩擦速度を計算した。砕波水深と砕波波高は、地形を1/35勾配の一樣斜面と考えて、合田(1970)の砕波指標を用いて計算した。摩擦速度はJonssonの方法で計算した(本間, 1985)。

図-14に、月別に求めた平均水深条件での砕波点の位置を示す。この図から、砕波点は、月毎に変動するが、年間を通して生物量が減少傾向を示す領域内にあることが分かる。そのため、航跡波の砕波による底質攪乱が、生物の定着や成長に影響を与えていると考えられる。

一方、砕波点での摩擦速度は5.6cm/sとなった。中砂($d=0.06$ cm)の移動限界摩擦速度は4.1cm/s(渡辺, 1979)なので、この領域で礫・粗砂分の割合が大きくなるのは、砕波によって中砂より小さい粒径の土粒子が流出したためと考えられる。

6. まとめ

本論で得られた主要な結論は以下のとおりである。

1) イガイ科の湿重量が特に大きい場所では、アサリの湿重量は相対的に減少する傾向を得た。また、AVSの分布は、ホトトギスガイを中心としたイガイ科の生物量の分布とよく一致していた。これは、イガイ科がマット化することによって、アサリは直接的な加入阻害やマット下部で発生した硫化物による成長阻害を受けたものと考えられる。

2) 人工干潟内の通常時における大きな物理的外力は、航跡波によるものであることが分かった。航跡波の波高は大きなもので20cm程度、周期は3s程度であった。

3) 数値計算により、潜堤背後の領域では、相対的に大きな渦が発生することが分かった。そのため、この領域で生物量が減少する一因として、渦による底質攪乱の影響が示唆される。

4) 生物量が減少する岸側の領域では、相対的に冠水時間が短いこと、航跡波の砕波点はこの領域内であることが分かった。また、イガイ科生物マットは、冠水時間が減少する秋期において衰退した。これらの事により、岸側の領域では、冠水時間の減少と砕波による底質攪乱が生物量の減少に影響を与えていると考えられる。

謝辞: 本研究は、環境省環境技術開発等推進事業の助成を受け、(財)国際エメックスセンターが推進した研究プロジェクト「閉鎖性海域における最適環境修復技術のパッケージ化」の一環として行ったものである。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 石垣 衛・大塚耕司・桑江朝比呂・中村由行・上月康則・上嶋英機 (2003): 大阪湾奥の閉鎖性水域に造成した捨石堤で囲まれた干潟の効果と課題, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 1236-1240.
- 合田良実 (1970): 砕波指標の整理について, 土木学会論文報告集 No. 180, pp. 39-49.
- 財団法人国際エメックスセンター (2002): 閉鎖性海域における最適環境修復技術のパッケージ化研究開発進捗状況等報告書 (平成14年3月), 118p.
- 財団法人国際エメックスセンター (2003): 閉鎖性海域における最適環境修復技術のパッケージ化研究開発成果報告書 (平成15年3月), 138p.
- 数値波動水路の耐波設計への適用に関する研究会 (2001): 数値波動水路の研究・開発, 財団法人沿岸開発技術研究センター, 296p.
- 千葉健治 (1977): ホトトギスガイの生態について, 海洋科学, 9, pp. 13-17.
- 本間 仁 (1985): 海岸環境工学, 東京大学出版会, pp. 62-70.
- 渡辺 晃 (1979): 振動境界層と海浜過程, 第15回水工学に関する夏期研修会講義集(B 海岸・港湾コース), 土木学会, pp. B-3-1~B-3-13.