

閉鎖性水域に造成した捨石堤で囲われた干潟の効果と課題

- 尼崎臨海部の環境修復を目的とした現地実証実験 -

石垣 衛 山本 縁
辻 博 和

(本社土木技術本部環境技術第二部)

Effect of Tidal Flat Surrounded by Rubble Mound and Improvement of Enclosed Waters

- Field Experiment Aimed at Environmental Restoration Technologies in AMAGASAKI Port -

Mamoru Ishigaki Yukari Yamamoto
Hirokazu Tsuji

Abstract

Filed experiments were executed to determine the effect of a tidal flat surrounded by a rubble mound aimed at environmental restoration of Amagasaki Port. At first, sea area transparency was improved by surrounding the flat with a rubble mound. Furthermore, improvement of the tidal flat in the area surrounded by the rubble mound and demanded formation process of ecosystem from result of field experiment. As a result the creation of the sea area where, transparency was high got possible upshot. However, the problem that organic substance was accumulated by tidal flat because benthic algae grew thick by being behind with accession of benthos to dry beach was extracted.

概要

大阪湾奥の代表的な閉鎖性海域である尼崎港の環境修復を目的に、『捨石堤で囲われた干潟』の造成効果について現地実験を実施した。尼崎港のような都市部を抱える富栄養化の進行した海域では、水質浄化や生物生息空間としての干潟の再生に加え、市民の憩いの場としての親水空間の創出が望まれている。本論では、捨石堤で囲われた実験海域を造成し、礫間接触酸化作用などによる透明度の高い親水空間の創出を試みた。さらに、当該域に浅海域の多様な物質循環機能を付加する目的で干潟を造成し、その効果を現地調査結果より評価した。ここで評価に際し、隣接して造成した人工干潟の追跡調査結果との比較を実施した。その結果、透明度の高い親水空間の創出は可能であるものの、当該域に対して底生生物の加入が遅れることで付着藻類が繁茂し、堤内域に有機物が蓄積されやすいという課題が抽出された。

1. 緒論

大阪湾奥の沿岸域では、高度成長期以降の大規模な埋立により多くの浅海域が消失し、自然浄化能が低下した海域が形成されている。このような海域の環境修復には、水質浄化や生物生息場としての浅海域機能を再生することに加え、人と海が触れ合う透明度の高い親水空間を創出することが望まれている。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進み、閉鎖性の強い海域が形成された場所である。港内は、運河や処理場を通じて陸域からの負荷が流入し続け、水質・底質が悪化しており、港内底層部では夏季に強い貧酸素水塊が形成されている。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が実施され、各技術の最適な組み合わせによる港内の環境修復効果が検証されている。

本研究では、尼崎港内に透明度の高い親水空間を創出することを目的に、赤井¹⁾が提唱した多空隙を有する堤体で囲った海域を造成し、その効果を追跡調査した。さらに、透明度

が高いと期待される堤内域に干潟を造成することで、富栄養化の進行した海域に『捨石堤で囲われた干潟(以下、捨石堤干潟と表現)』を造成する効果を評価した。評価に際し、隣接して造成した『従来型の人工干潟(以下、人工干潟と表現)』の追跡調査結果との比較を行った。

2. 実験施設および調査概要

2.1 実験施設

実験施設は、Photo 1 に示すように尼崎港内の南西域の隅角部に捨石堤干潟と人工干潟を隣接して造成した。施設の形状・規模を Photo 2 および、Photo 3 に示す。Photo 2 より、捨石堤干潟実験施設を構成する堤体は、粒径 150mm ~ 200mm の礫を蛇籠にて積み上げることで築堤した。堤体延長は約 41m、堤体幅は、堤体前面で 4m、堤体側面で 1.5m ~ 2m とした。また、堤体を通じて行われる堤内外域の海水交換は、堤体前面のみで行うことを目的に堤体側面に遮水シートを敷設した。堤内域は、幅 5m、奥行き 10m の矩形形状の

干潟を造成し、水深が満潮時には、最大 OP +2.1m、干潮時には全域が干出する構造となっている。ここで、干潟地盤高を OP +0.75m ~ OP +1.5m の間で4段に造成し、各段毎に25cm 段差を設けることで隣接する人工干潟と同じ水深帯に潮間帯を設定したことに施設の特徴がある。

人工干潟実験施設の規模は長さ 35m、幅 8m、勾配 1/50 である (Photo 3)。施設は当該地区が軟弱地盤であることから、沈下による地形変化を最小にすることを目的に、既設の緩傾斜護岸の上に乗せる方式で造成した。当該干潟は、既設護岸に囲まれた形状であることから、創出する干潟像を磯場の延長にある砂質干潟とし、二枚貝の生息に適した造成材 (粒径: 1mm 以下, 砂泥分: 砂 80%, 泥 20%) を選択した。また干潟の地盤高は、二枚貝の生息に適するように、干潮時にも総面積の 1/3 が冠水するように設定した。

2.2 調査方法

実験施設造成直後から1年間(2002年4月~2003年3月)で、水質・地形・底質・底生生物の調査項目を設け、各項目について初期動態の追跡調査を実施した。調査頻度は、水質・地形・底質について1回/月とし、底生生物は四季調査(4回/年: 5月, 8月, 11月, 2月)とした。

2.2.1 水質調査

捨石堤による懸濁物質除去を中心とした水質浄化効果を確認する目的で水質調査を実施した。調査は、堤内外域に各1測点を設け、各測点にて多項目水質計(堀場 U-10)または、バンドン採水器を用いた採水により Table 1 に示す項目について計測・分析を実施した。

2.2.2 地形測量

Fig. 1 に示すように捨石干潟に12測点、人工干潟に161測点を設置し、水準測量によって地形の経時変化を把握した。基準面は、尼崎港内における潮位観測結果をもとに大阪港工事基準とした。



Photo 1 尼崎港位置図および実験施設設置場所

A Figure of Amagasaki Harbor Lay and Experiment Filed

2.2.3 底質調査

干潟表層下約 20mm 層までを Fig.1 に示すように、捨石干潟で 4 地点 (St.1 ~ St.4)、人工干潟で 5 地点 (St.5 ~ St.9) 採泥した。採取試料は、粒度組成、全硫化物濃度、強熱減量の各分析に供した。粒度は、粘土分 (5 μm 以下)、シルト分 (5 μm ~ 75 μm)、細砂分 (0.075mm ~ 0.25mm)、中砂分 (0.25mm ~ 0.85mm)、粗砂分 (0.85mm ~ 2mm)、礫分 (2mm 以上) の 6 分類の値を求めた。強熱減量は底質の調査・試験マニュアル(底質浄化協会, 1995 年)に基づき、全硫化物濃度は検知管法によりそれぞれ分析した。



Photo 2 捨石堤干潟施設形状・規模

Configuration and Scale of Rubble Mound Tidal Flat



Photo 3 人工干潟施設形状・規模

Configuration and Scale of Artificial Tidal Flat

Table 1 水質調査項目
Item of Water Quality Survey

項目	調査地点	計測方法
水温・塩分 pH・DO 電気伝導度	堤内外水域 1 点	・多項目水質計 ・表層から 50cm 間隔
濁度・SS Chl.a	堤内外水域 1 点	・採水後室内分析 ・OP +1.75m で採水
TOC・DOC T - N・T - P	堤内外水域 1 点	・採水後室内分析 ・OP +1.75m で採水

2.2.4 底生生物調査

先に Fig. 1 に示した底質の採泥地点と同一の場所において底生生物調査を実施した。調査は、30cm × 30cm の枠を用いて採取した泥を目あい 1mm のふるいに通し、ふるいに残った試料を分析室にて測定した。測定項目として種の査定、生物種類別個体数、湿重量を設定した。このほかにも底質上の付着藻類量 (Chl.a) についても分析した。

3. 調査結果および考察

3.1 捨石堤の水質浄化効果

捨石堤による水質浄化効果を確認するために、Fig. 1 示した St.4, St.10 の採水地点で水温、塩分、DO、濁度、Chl.a を 2002 年 4 月から毎月測定した。水温、塩分、DO については、多項目水質計を用いて昼間に現地計測した。濁度、

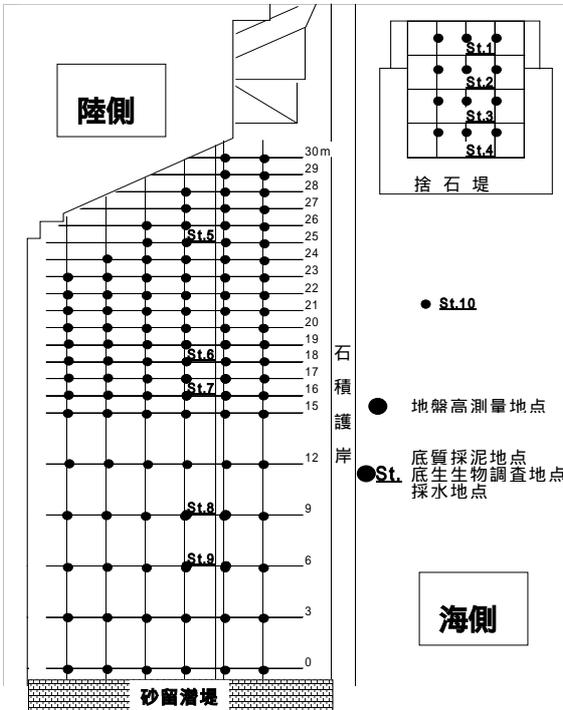


Fig. 1 捨石干潟・人工干潟の調査地点
Observation Point Tidal Flat

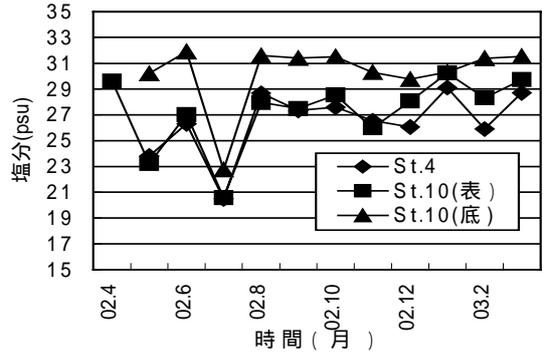


Fig. 3 塩分測定結果
Observation of Salinity

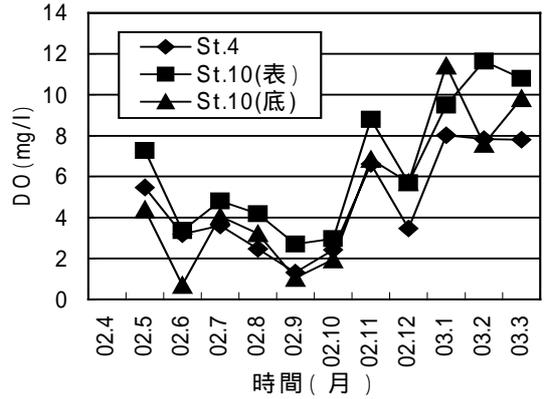


Fig. 4 DO 測定結果
Observation of DO

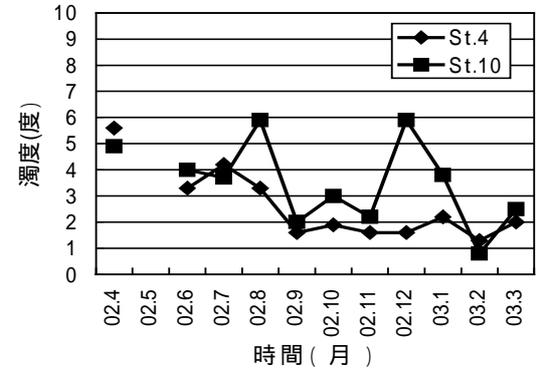


Fig. 5 濁度測定結果
Observation of Turbidity

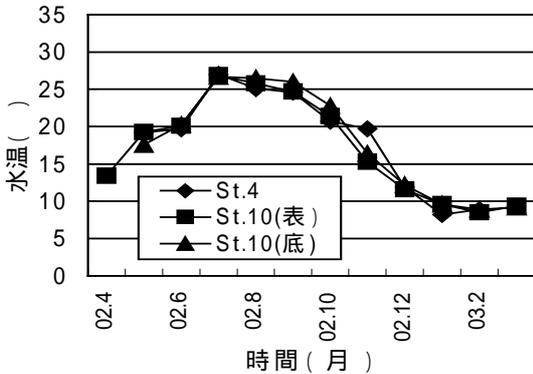


Fig. 2 水温測定結果
Observation of Water Temperature

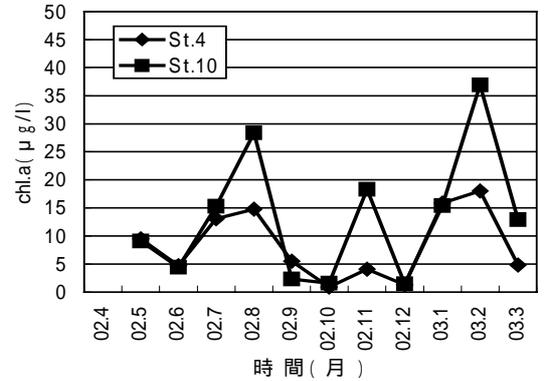


Fig. 6 Chl.a 測定結果
Observation of Chl.a

Chl.a は、採水後に室内にて分析測定した。現地計測の結果を Fig. 2 ~ Fig. 4 に示す。ここで、St.10 の表層の値は水面 - 1.0m の値を採用し、底層の値は底層+1.0m の値を採用した。水温は各測点で差はなく St.10 の表層と底層にも顕著な差は見られない。塩分は港内の処理場および、淀川の影響を強く受けることで値にばらつきが大きく、特に St.10 (表層) では平均して 25 程度と低かった。なお、7 月の調査時には降雨の影響のために各測点とも低い値となった。DO は St.4 の値が St.10 (表層) に比較して低くなっており、礫間接触酸化の効果が発現していることがわかる。

次に、採水後の室内分析結果を Fig. 5, Fig. 6 に示す。濁度、Chl.a とともに夏場まで内外の値に大きな差が確認されなかつたものの、8 月以降に St.4 の値が St.10 の値に比較して低い傾向にあり、現地では真夏に堤外域の海水がコーヒー色に懸濁した時にでも、堤内域は透明感のある水域を形成していた。ここで、Fig. 6 の結果から懸濁物質の除去率は堤外域の濃度が高いほど大きく、最大約 75% の除去率を得ることができる。

以上のことより、捨石堤で囲ったことにより透明度の高い水域が創出されたことがわかった。

3.2 地形変化

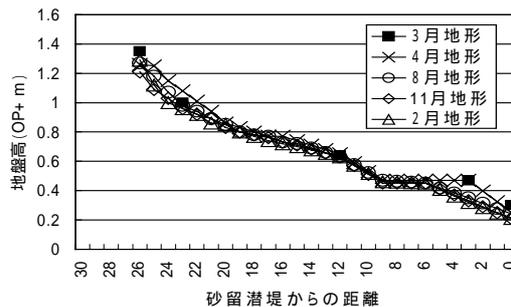
2002 年 4 月から 2003 年 3 月までの 1 年間に実施した地形測量結果より、捨石堤干潟および、人工干潟の基準面からの波浪・潮汐流による地盤高の変動量を求めた。Fig. 7 に各施設の縦断方向の中心断面での地盤高を示す。ここで、地盤高は 2002 年 3 月、4 月、8 月、11 月、および 2003 年 2 月の結果を抽出して示したものである。人工干潟の地形変化について、造成直後の 2002 年 3 月の断面を基準とすれば、約半年後の 8 月末には砂留め潜堤背後から 9m までの範囲で最大約 20 cm の地形変化が確認された。また、1 日を通じて最も波当りの時間が長いと推定される潜堤から 18m 以上離れた地盤においても、約 10 cm ~ 20 cm の地形変化が確認された。しかし、潜堤からの距離が 9m ~ 18m の範囲の地盤では、造成当初に設定した高さに比較して 1 cm ~ 2 cm の地形変化で収まっており、測量誤差を考慮した場合、地盤はほとんど変動していないと考えられる。

次に、捨石堤干潟の地形変化については、造成から 1 ヶ月後の 4 月のデータを基準とすれば、St.2 では最大 5cm 程度の地形変化が確認された。しかし、その他の計測地点では変化量が 2cm 以下程度であり、捨石堤干潟の地形は、ほとんど変動していないと考えられる。

3.3 底質変化

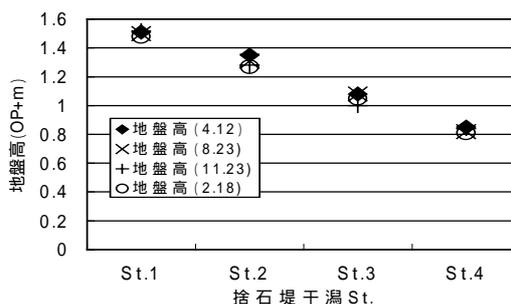
施設造成後の 2002 年 4 月 ~ 2003 年 3 月までに、前掲の Fig. 1 に示す St.1 ~ St.9 にて採泥を行い、各地点における粒度分布の経時変化を求めた。Fig. 8 に捨石堤内の St.3 および、人工干潟内の St.6 の粒度分布の経時変化を示す。ここで、St.3 と St.6 は造成時には同じ地盤高であった。2 つの調査地点の粒度分布を比較すると、St.3 では、施設が完成して約 1 年経過後も当初と比較して大きな変化はない。一方、St.6 で

は、完成当初に比較して細粒分が減少する傾向にあり、



人工干潟

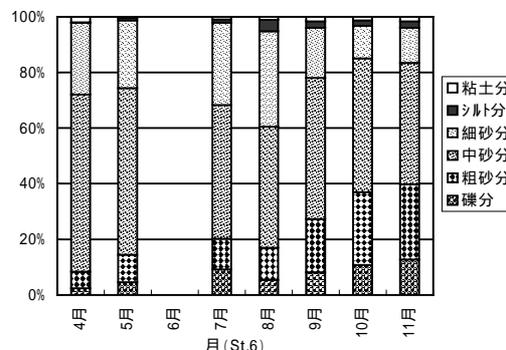
Artificial Tidal Flat



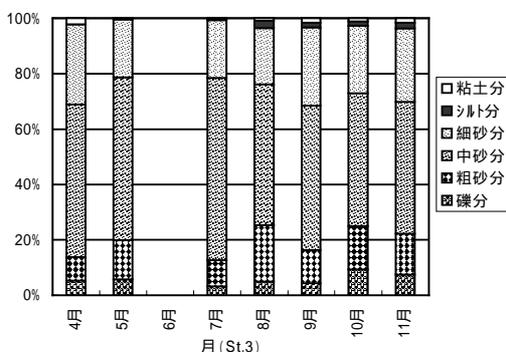
捨石堤干潟

Rubble Mound Tidal Flat

Fig. 7 干潟地盤形状変化の測量結果
Observation of Topographic Survey of Tidal Flat



人工干潟粒度



捨石堤干潟粒度

Rubble Mound Tidal Flat

Fig. 8 捨石堤干潟および人工干潟の粒度変化
Observation of Grain Size of Tidal Flat

同じ時期に、同じ材料で施工した St.3 の方が細粒分の割合が多い。この結果と前述の 3.2 で示した地形変化の結果より、捨石堤で干潟を囲むことで、当初の干潟域の設計条件である材料粒径、勾配、地盤高が安定して確保されることが示された。なお、Fig. 8 の 6 月のデータは欠測となっている。

3.4 生物の出現状況

3.4.1 付着藻類

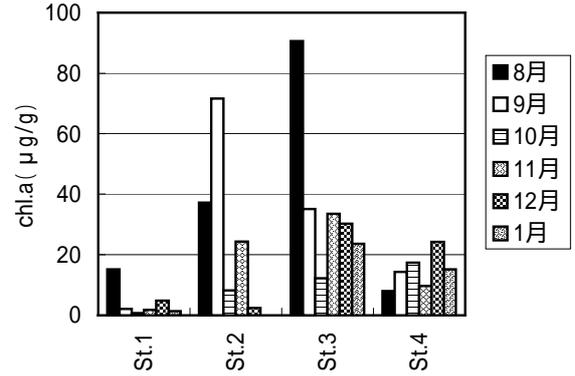
Fig. 9 に各調査地点で採取した付着藻類の現存量を Chl.a で表し、その経時変化を示す。調査地点別の比較では、捨石堤干潟に設定した St.2, St.3 の現存量が他と比較して多い傾向にある。St.3 の 8 月の出現量に着目すれば、同じ地盤高にある St.6 に比較して 2 倍以上確認された。また、現地での目視調査でも捨石堤干潟の付着藻類は夏場以降に密生していることが確認されている。これは、堤内域の底質が安定することで付着藻類が着生し易くなったことや、堤内域の透明度が高くなったために、付着藻類の一次生産量が人工干潟に比較して大きくなったためと推測できる。

3.4.2 底生生物

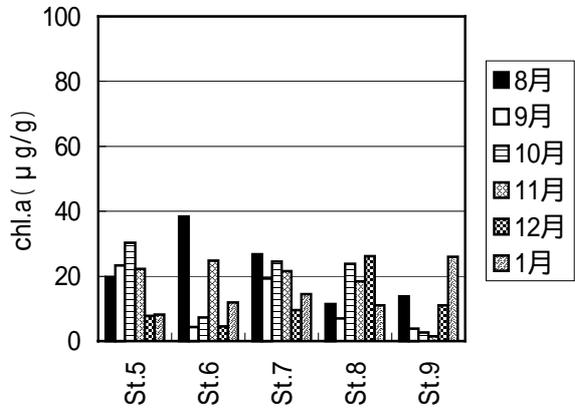
Fig. 10 ~ Fig. 12 に捨石堤干潟および、人工干潟の底生生物調査結果を示す。まず、人工干潟では各調査地点とも種類数は増加傾向にある。個体数については、干潟造成後の初期には節足動物（ヨコエビ）が優占しているものの、8 月以降に軟体動物（二枚貝類）が確認された。また、軟体動物の個体数は、水深が深い場所では増加傾向を示し、浅い場所では減少傾向を示していた。

捨石堤干潟では、底生生物の種類数・個体数ともに人工干潟に比較して極めて少ない結果が得られた。これは、捨石堤で干潟を囲ったために底生生物の加入が減少した、又は遅れる傾向にあるためと考えられる。

この結果から、今後も付着藻類を摂餌する底生生物の加入がなければ、捨石堤干潟ではさらに付着藻類が繁茂し、堤内域で有機物が蓄積されることが予想された。

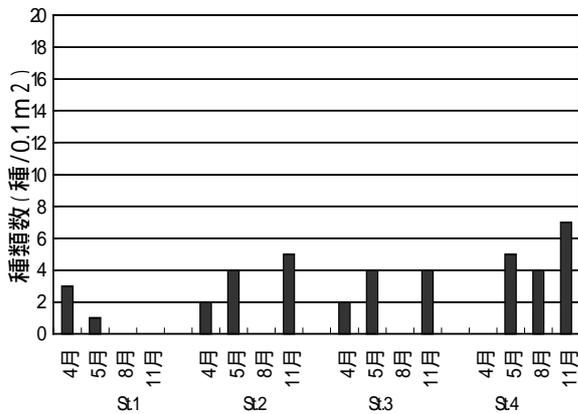


捨石干潟の付着藻類
Rubble Mound Tidal Flat

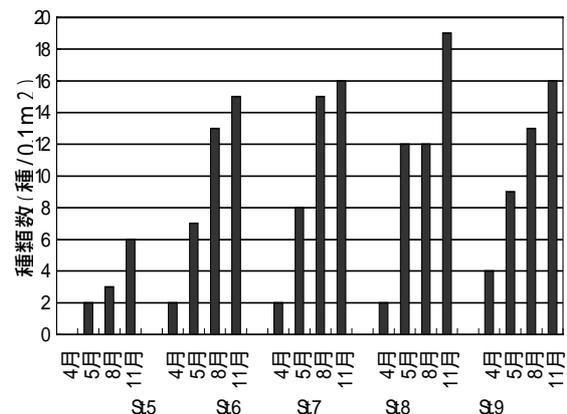


人工干潟の付着藻類
Artificial Tidal Flat

Fig. 9 捨石干潟および人工干潟における付着藻類量
Unit Weight of Benthic Algae in Tidal Flat



捨石堤干潟
Rubble Mound Tidal Flat



人工干潟
Artificial Tidal Flat

Fig. 10 捨石干潟および人工干潟における底生生物種類数
Number of Kind of Benthos of Tidal Flat

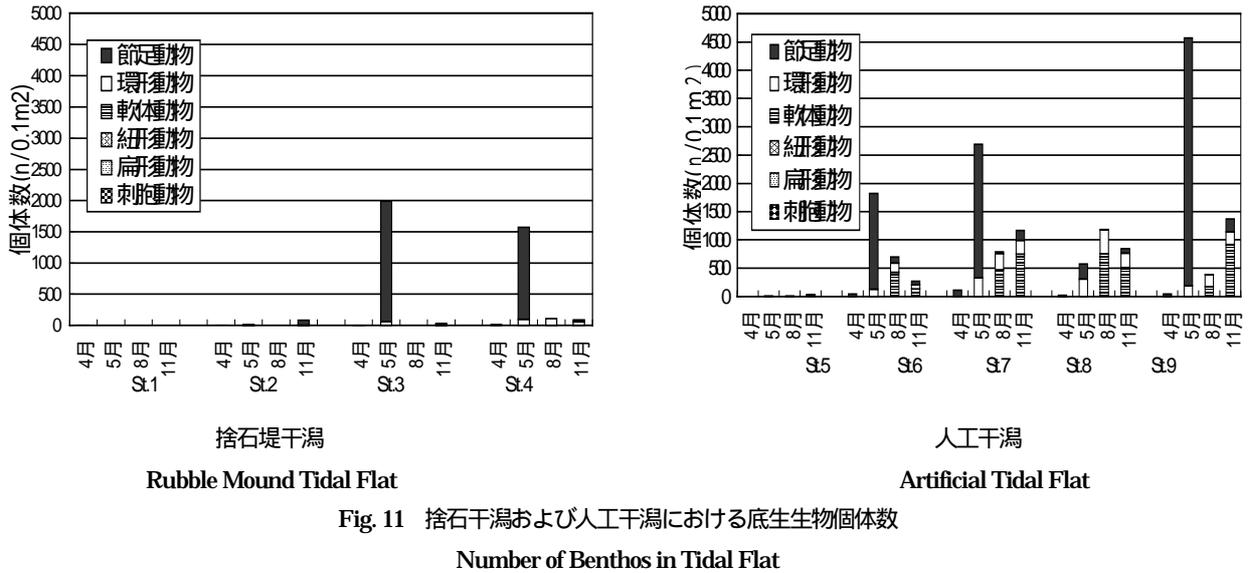


Fig. 11 捨石干潟および人工干潟における底生生物個体数
Number of Benthos in Tidal Flat

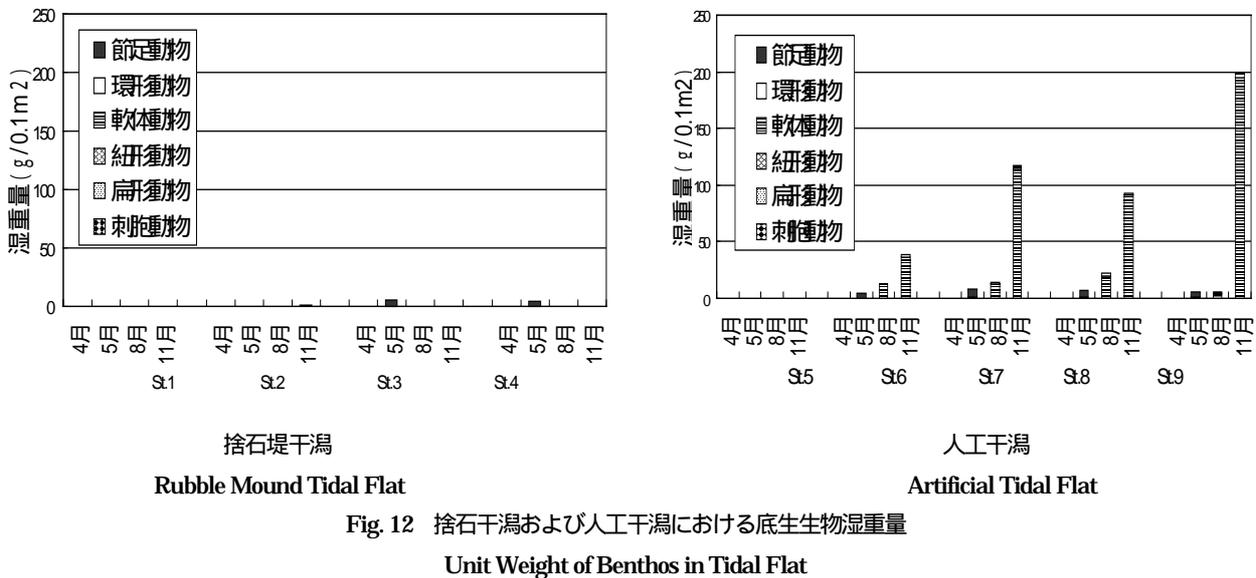


Fig. 12 捨石干潟および人工干潟における底生生物湿重量
Unit Weight of Benthos in Tidal Flat

4. 結論

捨石堤で囲われた干潟の造成後1年間の調査より、富栄養化の進行した大阪湾奥でも本工法にて透明度が高く、地形形状の安定した空間の創出が可能であることを示すことができた。ここで、堤内域の物質循環に着目すれば、透明度が高くなることで付着藻類が繁茂し、海域の栄養塩を固定することも可能と考える。その一方で、堤内では付着藻類を摂餌する底生生物の加入が少なく、その結果、付着珪藻が繁茂することで有機物の蓄積される水域が形成されるという課題が抽出された。

謝辞

本研究は環境省の平成14年度環境技術開発等推進費助成を受けて(財)国際エメックスセンターが推進している研究プロジェクト

『閉鎖性海域における最適環境修復技術のパッケージ化』の一環として実施したものであり、関係者各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 赤井一昭：水域の浄化システム，第11回建設技術発表会論文集，pp.76-79，(1984)
- 2) 辻博和，石垣衛，小林真，喜田大三，宮岡修二，藤井慎吾：石積み浄化堤による海水浄化工法の開発 - 実海域の浄化堤実証施設における水質浄化特性 - ，ヘドロ，No.61，pp.47-52 (1997)
- 3) 桑江朝比呂，三好英一，小沼晋，中村由行，細川恭史：干潟実験生態系における底生動物群集の6年間にわたる動態と環境変化に対する応答，海岸工学論文集，第49巻，pp.1296-1297(2002)
- 4) 石垣衛，大塚耕二，辻博和，上月康則，上嶋英機：石積浄化堤を用いた干潟造成の効果と課題，第58回年次学術講演会講演概要集，(投稿中)