

# 英虞湾における浚渫ヘドロを用いた大規模造成干潟の底質と 底生生物の特性について

国分秀樹\* ・奥村宏征\*\* ・上野成三\*\*\*  
高山百合子\*\*\*\* ・湯浅城之\*\*\*\*\*

三重県英虞湾において浚渫ヘドロを用いて6区画の小規模な人工干潟(5m×5m)を造成し調査を3年間継続してきた。昨年度までの研究成果として、干潟生態系に最適な底質の有機物量と粒度条件を明らかにし、干潟造成材に浚渫ヘドロを利用する際の混合率の設定方法を取りまとめた。その研究成果を元に平成15年3月に同海域において規模を拡大して約3000m<sup>2</sup>の人工干潟を造成し、底生生物及び底質の調査を行ってきた。本論文では、造成前1年間の事前調査及び造成後約1年間にわたる調査結果を取りまとめ、干潟造成後の底質粒度の変化及び底生生物の定着状況を解析し、干潟造成規模拡大による底生生物及び底質の変化特性について整理したので報告する。

## 1. はじめに

英虞湾は伊勢志摩国立公園内にあり、風光明媚な海岸として、また真珠養殖などで全国的に知られている。しかし、リアス式海岸の閉鎖された海域であることから、長年にわたる漁場行使と陸域からの負荷の増加等による漁場環境の悪化が無視できない。特に底質の富栄養化の進行が顕著であり、海底には大量のヘドロが堆積している。このため、汚染泥の除去を目的に大規模な浚渫事業を実施しているが、浚渫土の処分場の確保や費用の問題から全てを浚渫することは困難である。以上のことから、英虞湾の環境改善には、負荷量の削減と同時に海域の自然浄化能力を増進することが不可欠である。浚渫ヘドロには有機物や窒素・リン等の栄養分が豊富に含まれていることから、「有機物を含んだ未利用資源」と考えることができる。そこで著者らは英虞湾において浚渫ヘドロを干潟材料として底生生態系への栄養供給材として用いる人工干潟造成技術を開発した(上野ら, 2001, 2002)。

2003年までの研究成果として、三重県英虞湾において浚渫ヘドロを用いて6区画の小規模な人工干潟(5m×5m)の3年間の調査結果から、干潟生態系に最適な底質の有機物量と粒度条件を明らかにし、干潟造成材に浚渫ヘドロを利用する際の混合率の設定方法を取りまとめた(国分ら, 2004)。その研究成果を元に2004年3月に同海域において規模を拡大して約3000m<sup>2</sup>の人工干潟を造成し、底生生物及び底質の調査を行ってきた。本論文では、造成前1年間の事前調査及び造成後約1年間にわたる調査結果を取りまとめ、干潟造成後の底質粒度の変化及び底生生物の定着状況を解析し、干潟造成規模拡大に

よる底生生物と底質の変化特性について整理した。

## 2. 現地実験の方法

### (1) 浚渫ヘドロを用いた大規模実験干潟の造成方法

2000年9月に阿児町立神浦において浚渫ヘドロを用いて、混合率を変えた6区画の小規模な人工干潟(5m×5m)を造成し、3年間の調査結果から、干潟生態系に最適な底質の有機物量と粒度条件は、CODは3~10mg/g-dry、粘土・シルト含有量は15%~35%であることを明らかにした(国分ら2004)。その研究成果を元に2004年3月に同海域において規模を拡大し、浚渫土混合率30%の実験区と50%の実験区を各1500m<sup>2</sup>ずつ、計3000m<sup>2</sup>の人工干潟を地盤高DL+1.2m~-0.8mのエリアで、勾配1/25で造成した。造成場所の地形と事前調査点を図-1に、人工干潟の平面図と断面図を図-2、図-3に、造成に使用した浚渫土および造成干潟土壌の設計値と施工後の底質の性状について表-1に示した。造成に用いた浚渫ヘドロは英虞湾片田地先で浚渫され脱水処理されたものを粉碎して用いた。造成方法は現地地盤をあらかじめ混合率30%実験区で30cm、50%実験区で

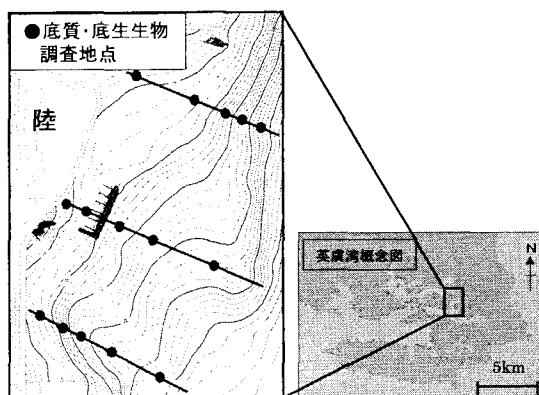


図-1 人工干潟造成場所と事前調査地点

|       |     |                          |
|-------|-----|--------------------------|
| *     | 理修  | 三重県科学技術振興センター水産研究部       |
| **    | 生修  | 三重県科学技術振興センター水産研究部       |
| ***   | 正会員 | 上修 大成建設株式会社技術センター土木技術研究所 |
| ****  | 正会員 | 大成建設株式会社技術センター土木技術研究所    |
| ***** |     | 財団法人三重県産業支援センター          |

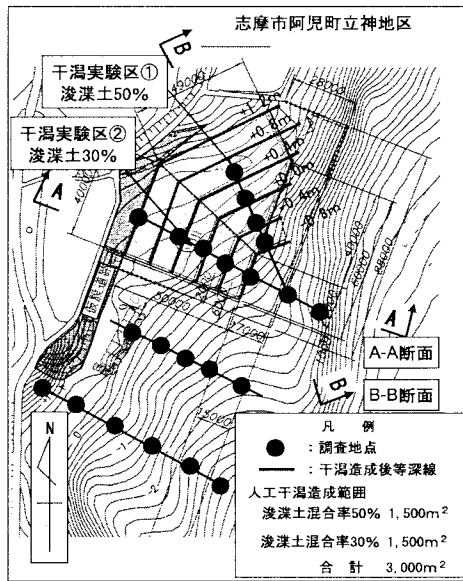


図-2 人工干潟の平面図

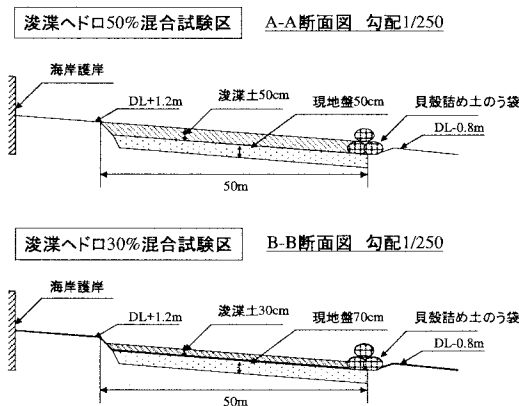


図-3 人工干潟の断面図

表-1 造成干潟土壌の設計値と施行後の COD と泥分含有量

|           | 浚渫<br>ヘドロ | 現地<br>盤土 | 30%混合区  |      | 50%混合区  |      |
|-----------|-----------|----------|---------|------|---------|------|
|           |           |          | 設計値     | 施工後  | 設計値     | 施工後  |
| COD(mg/g) | 12        | 0.46     | 2.5-5.5 | 3.9  | 4.8-7.8 | 5.6  |
| 含泥率(%)    | 91.9      | 16.6     | 30-50   | 39.2 | 45-65   | 54.2 |

表-2 調査項目

| 調 査 項 目 |                                                 |
|---------|-------------------------------------------------|
| 底 質     | 粒度分布、含水率、灼熱減量、酸化還元電位、pH、COD、AVS、T-N、T-P、クロロフィル量 |
| 底生生物    | マクロベントスの種類、数、湿潤重量                               |
| 地 盤 高   | 5 m メッシュで造成干潟上に測量                               |

50 cm 掘削し、その上に浚渫ヘドロを30%区で30 cm、50%区で50 cm 敷設した後、スタビライザー付き泥上車

で1 m の深さまで混合することにより所定の混合率の実験区を造成した。各実験区の間は木杭と仕切布を設置し、沖側周囲の土留め潜堤は粉碎したアコヤガイの貝殻を網袋に入れた貝殻土嚢で作成した。アコヤガイの貝殻は英虞湾内の真珠養殖の過程で大量に発生する廃棄物である。なお、干潟造成方法の詳細は片倉ら(2004)を参照されたい。

人工干潟の造成工事は2003年12月より開始し、2004年3月に完了した。造成手順は、現地地盤の掘削を行い、貝殻土嚢により土留め潜堤を構築した後、干潮時に脱水した浚渫ヘドロを投入し、約1 m の厚さで現地地盤と混合した。人工干潟の完成後、10 m 間隔での地盤高調査と1 m の柱状試料を採取し、25 cm 毎に粒度及びCODの調査を行った。

## (2) 調査方法

図-1 に示す干潟造成予定地周辺の地盤高の異なる測点において底質とマクロベントスの事前調査を2003年4月より1年間に4回の割合で定期的に行った。調査項目は表-2 に示した。底質については、クロロフィルは表層1 cm、それ以外は表層から12 cm を採取し、それを均一に混合し、マクロベントスについては、各地点面積0.2 m<sup>2</sup>、深さ20 cm で採取し、分析を行った。

さらに人工干潟造成後、2004年5月から図-2 に示す造成干潟周辺の地盤高の異なる測点において底質、マクロベントスについて1年間に4回の割合で定期的調査を行った。調査項目は表-2 に示したとおりで、底質についてはクロロフィルは各実験区表層から1 cm、それ以外は12 cm で採泥と分析を行った。マクロベントスの調査は、各地点面積0.2 m<sup>2</sup>、深さ20 cm で採取し、マクロベントスの種類数、個体数、湿潤重量を調べた。さらに2004年5月、11月には、造成干潟全面の地盤高調査を5 m 間隔で行った。また2004年10月には、小規模実験時の干潟底質細粒分の減少原因を確認するために、浚渫ヘドロを30%混合した実験区について地盤高の異なる3地点(DL+0.5 m, 0 m, -0.5 m)の造成6ヶ月後の地点別粒度分布を調べた。本追跡調査は現在も継続中であり、本論文では1年間の事前調査と造成後10ヶ月が経過した2005年1月までの調査結果をとりまとめた。

## 3. 現地実験の結果・考察

### (1) 造成干潟における底生生態系の変化

#### a) 干潟のクロロフィル量とマクロベントスの定着状況

浚渫ヘドロ混合率30%と50%の実験区の地盤高毎のクロロフィル量の経時変化を図-4 に示した。事前調査の1年間の平均値と比較すると造成2ヶ月後には混合率30%実験区、混合率50%実験区では同等以上まで急激に増加し、4ヶ月以降では、事前調査とほぼ同等に遷移し

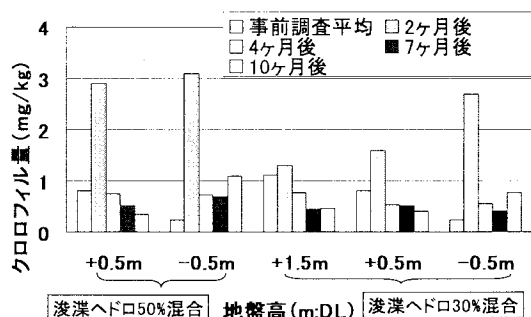
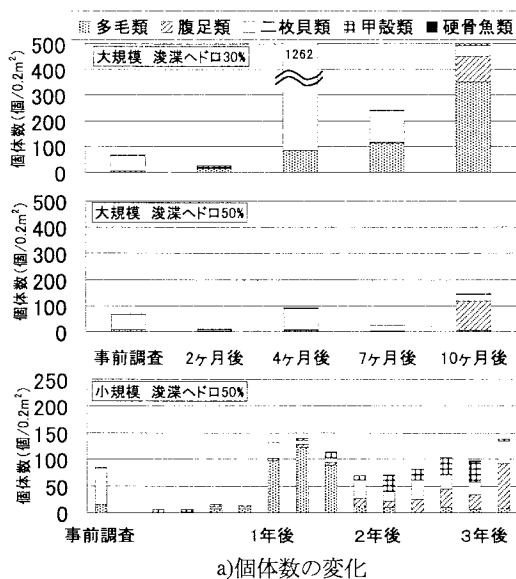
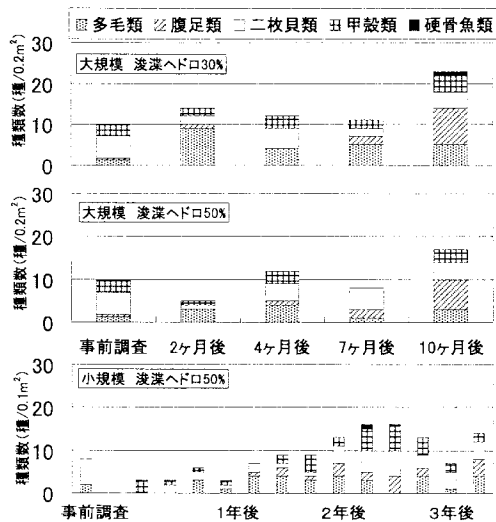


図-4 地盤高毎の底質クロロフィル量の経時変化



a) 個体数の変化



(b) 種類数の変化

図-5 マクロベントスの分類群別  
種類数・個体数の変化

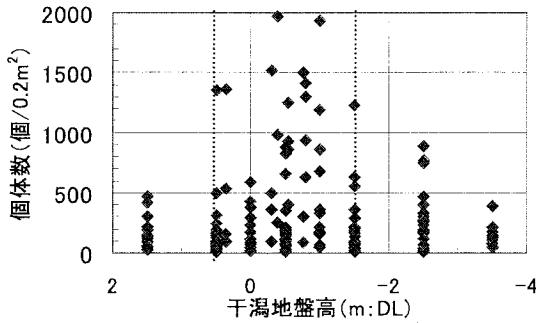
た。これより、浅瀬ヘドロには底生付着珪藻等の植物の成長に必要な栄養分の供給源である(有機物)が多く含まれるため、造成後初期に底生の付着珪藻等が最初に回復することが分かった。

浅瀬ヘドロ混合率30%と50%の実験区および2000年より3年間行った小規模実験の混合率50%実験区における地盤高DL+0.5mの測点で出現した底生生物について、多毛類、二枚貝類、腹足類、甲殻類、硬骨魚の分類群に分類し、種類数及び個体数の変化を図-5に示した。小規模実験区では、造成後1年間は甲殻類や腹足類といった移動性生物が主体で種類数も少なく、二枚貝類や多毛類のような定住性の生物が増加し、安定するまで1年半を要した。一方、大規模各実験区では、造成後約半年で種類数は事前調査と同等以上に回復し、造成後10ヶ月で定住性の生物も増加し、干潟面積を拡大することにより多様性も高くなることが分かった。個体数は混合率30%実験区において造成後4ヶ月より急激に増加し、季節的な変動はあるものの、10ヶ月後には各実験区共に事前調査以上に回復した。また混合率30%実験区では50%実験区よりも個体数も種類数も回復が早くなる傾向が示された。

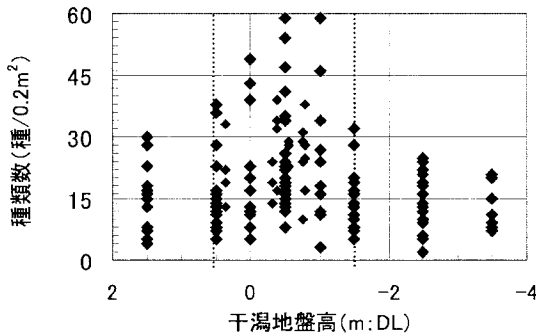
以上より、干潟生態系の回復はクロロフィル量で表される、マクロベントスのエサとなるような底生藻類が最初に増加し、その後マクロベントスが増加していることが明らかになった。また、干潟面積を拡大することにより定着するマクロベントスの種類数及び個体数が増加し、マクロベントスの回復速度も早くなることが明らかになった。さらにマクロベントスをその食性形態別(風呂田ら, 1996)に分類してみると、造成前の状態では懸濁物食者である二枚貝類主体の多様性の低い生物相であったのに対して、浅瀬ヘドロを混合することにより二枚貝類に加えて多毛類や甲殻類、腹足類などの堆積物食者が増加し、多様性の高い生物相に変化することが分かった。

#### b) 干潟地盤高とマクロベントスとの関係

小規模の実験干潟では、地盤高がDL+0.5mの地点のみであったが、本実験では造成干潟面積を拡大することにより、DL+1.2m～-0.8mの水深エリアを確保することができ、さらに図-2に示すように、天然干潟を含め、DL+1.5m～-3.5mを調査している。そこで、事前調査及び事後調査で行った天然干潟と人工干潟上の測点の干潟地盤高(DL:m)とそこに定着するマクロベントスの個体数と種類数との関係を図-6に示した。その結果、汀線付近DL+0.5m～-1mの範囲でマクロベントスの個体数及び種類数が極大値を示すことが分かった。これは、水深が深くなるほど、定着するマクロベントス量は減少するが、常に潮の干満により干出、水没を繰り返す水深の浅いエリアにおいても、マクロベントス量は減少することを示す。つまり大潮の干潮時に干



(a)干潟地盤高と個体数の関係



(b)干潟地盤高と種類数の関係

図-6 干潟地盤高とマクロベントス  
個体数・種類数の関係

出し、それ以外は水没するくらいの適度な水深エリアがマクロベントスの種類数、個体数共に多くなることを示す。マクロベントスの種類毎に、最適な地盤高というものが存在するが、DL+0.5m～-1m 付近の水深は、より多種のマクロベントスの生息に適した場所であるといえる。この値は風呂田(1983)、矢持ら(2003)の既往の報告例とも一致し、マクロベントスの地盤高による出現特性が明らかになった。干潟の浄化能力を考える上で、底生生物の摂食等の働きが最も重要であることから、人工干潟造成の際には、豊富なマクロベントスが定着し、多様な食物連鎖網が存在すると考えられる DL+0.5m～-1m の地盤高のエリアを広く確保することが重要であることが明らかになった。

## (2) 造成干潟の地盤高の変化

### a) 造成干潟の泥分含有量の鉛直分布

小規模の実験干潟では、時間の経過と共に干潟底質細粒分が徐々に減少していくという問題があげられた(国分ら, 2004)。その原因を確認するために、浚渫ヘドロ30%、50%混合区について地盤高毎に表層12cmの泥分含有量について図-7に示した。時間の経過と共に表層の泥分含有量が増加する傾向にあった。さらに地盤高が低くなり沖の方へ行くほど、その傾向が強くなった。こ

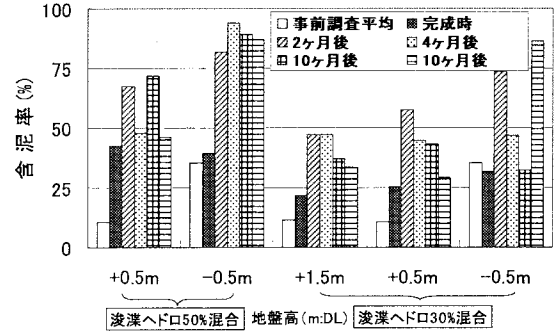


図-7 人工干潟表層の地盤高毎の含泥率の経時変化

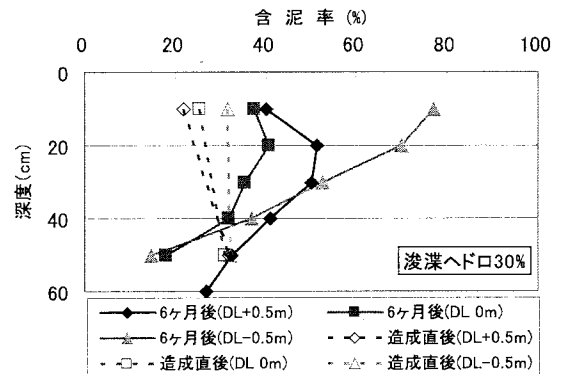


図-8 浚渫ヘドロ30%混合区の含泥率の鉛直分布

れは経時的に表層が細粒化し、沖方向へ移動していることが考えられる。そこで表層が細粒化する原因を調べるために、浚渫ヘドロ混合率30%実験区の地盤高の異なる3地点(DL+0.5m, 0m, -0.5m)について造成直後と造成6ヶ月後に50cmの柱状採泥を行い、10cm毎の深度別粒度分布を調査した(図-8)。造成直後は各地盤高で干潟表層から50cmの深度まで泥分含有率は20～30%であったのに対し、造成6ヶ月後には表層30cmで泥分含有量が増加し、それ以深で粗粒化する傾向にあった。これは、人工干潟造成の際、スタビライザー付き泥上車を用いて攪拌を行った後、干潟土壌が安定する過程で上下に分級が起こっている可能性が考えられる。また極表層の10cmに着目すると、スワッシュゾーンに位置するDL+0.5m, 0mの地点で粗粒化し、潮下帯に位置するDL-0.5mの地点で細粒化していた。これは、極表層の干潟底質の細粒分がスワッシュゾーン付近から沖方向へ移動していることを示している。

以上より、干潟造成後経時的に底質の細粒分が鉛直方向と沖方向に移動することが分かった。このことから、底生生物の定着に適した底質の有機物量や泥分含有量、地盤高の条件に合わせて人工干潟を造成しても、経年とともに底質条件が変化することが予想される。今後粘土

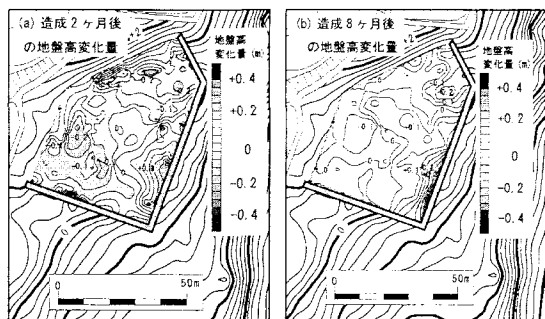


図-9 干潟造成後の地盤高の変化量

シルトの流出を防止し、干潟土壌を長期間安定させるための技術が必要になると考えられる。

#### b) 人工干潟造成後の地形変化

造成2ヶ月後と8ヶ月後に、造成干潟全面の地盤高調査を5m間隔で行い、干潟造成直後からの地盤高の変化量を図-9に示した。造成2ヶ月後には、DL-0.5m以深の潮下帯のあたりで地盤が約10cm高くなり、8ヶ月後にはさらに高くなり、合計約20から30cm地盤が高くなっていた。これは、前述(2)-(a)の現象と一致していることから、干潟底質の細粒分が沖方向に移動していることが要因であると考えられる。また、DL-0.5m以浅の常に水没と干出を繰り返す潮上帯の部分では、造成後2ヶ月では地盤高が10cmから20cm削られ低くなったが、造成後8ヶ月では再び10cmほど地盤が高くなっていた。干潟を造成した英虞湾奥部は河川からの土砂の供給もなく、通常波浪も低い穏やかな地域であるが、地盤高調査を行った2ヶ月後(2004年5月)と8ヶ月後(2004年11月)の間に台風(4, 6, 10, 11, 16, 18, 21, 22号)の襲来が多数あったために、高波浪により大規模な砂移動が起こった可能性が考えられる。以上より、干潟の地形変化を評価するには、詳細な波浪条件を把握し、検討する必要がある。今後1年を通して波浪状態を調査し、検討を進めることとする。

## 4. 結 論

本研究の主要な結論を以下に示す。

- ①干潟生態系の回復過程では、マクロベントスのエサとなるような底生藻類が最初に増加し、その後マクロベントスが増加していることが明らかになった。
- ②小規模干潟実験と比較すると、干潟面積を拡大することによりマクロベントスの種類数及び個体数が増加し、回復速度も早くなることが明らかになった。さらに造成前は懸濁物食者主体の多様性の低い生物相であったが、浚渫ヘドロを混合することにより懸濁物食者に加え、堆積物食者が増加し、多様性の高い生物相に変化

することが分かった。

- ③干潟地盤高とそこに定着するマクロベントスの個体数と種類数との関係から、DL+0.5m～-1m付近の水深で干潟生物の種類数、個体数共に最も豊富になり、干潟造成の際にはこの水深のエリアを広く確保することが重要であることが明らかになった。
- ④干潟造成後の平面的な表層の粒度分布と鉛直方向の粒度分布調査の結果、時間の経過と共に極表層の干潟底質の細粒分がスワッシュゾーン付近から沖方向へ移動しており、鉛直方向では表層から30cmで細粒化が起こっていることが明らかになった。

以上より、本論文では、干潟造成規模拡大による底生生物及び底質の変化特性について整理し、マクロベントスの個体数、種類数が最大になる地盤高条件と、経時的な干潟底質細粒分の移動についてとりまとめた。しかし、造成後干潟底質の細粒分が移動し、減少傾向にあることから、今後粘土・シルトの流出を防止し、泥分を維持する、干潟の地盤安定化についての対策が新たな課題として残された。

**謝辞：**本研究は三重県・大成建設の共同研究、および、三重県地域結集型共同研究事業の一部で実施された。また、現地実験にあたり、英虞湾再生コンソーシアム、立神真珠研究会、志摩の国漁協立神支所、志摩市、芙蓉海洋開発株から多大な協力を得た。ここに謝意を表す。

## 参 考 文 献

- 上野成三・高橋正昭・原条誠也・高山百合子・国分秀樹(2001)：浚渫ヘドロを利用した資源循環型人工干潟の造成実験，海岸工学論文集，第48巻，pp. 1306-1310。
- 上野成三・高橋正昭・高山百合子・国分秀樹(2002)：浚渫土を用いた干潟再生実験における浚渫土混合率と底生生物との関係について，海岸工学論文集，第49巻，pp. 1301-1305。
- 国分秀樹・奥村宏征・上野誠三・高山百合子・湯浅城之(2004)：英虞湾における浚渫ヘドロを用いた干潟造成実験から得られた干潟底質の最適条件，海岸工学論文集，第51巻，pp. 1191-1195。
- 風呂田利夫(2000)：干潟底生生物の分布と摂食様式，月刊海洋，Vol. 28, No. 2, p. 166-177。
- 片倉徳男・高山百合子・上野成三・小林峯男・国分秀樹・奥田圭一(2004)：浚渫ヘドロを用いた干潟再生工法におけるヘドロ混合の設計・施工計画，海洋開発論文集，第30巻。
- 上野成三・高山百合子・湯浅城之(2004)：人工干潟の設計資料として整理した三番瀬干潟における底生生物の出現特性，海岸工学論文集，第51巻，pp. 1006-1010。
- 風呂田利夫(1983)：日本全国沿岸海洋誌，第9章東京湾IV生物，東海大学出版会，pp. 373-387。
- 矢持進・平井研・藤原俊介(2003)：富栄養浅海域における生態系の創出—人工干潟現地実験場での生物と窒素収支の変遷—，海岸工学論文集，第50巻，pp. 1246-1250。