

津田湾における覆砂事業による環境改善効果の持続性の検証

Verification of the Durable Effect of the Sand Banking Method in Tsuda Bay

石橋洋信¹・三野真治²・岡本雅治³・山下祥央⁴
酒井康彦⁵・西林健一郎⁶・宮崎太一郎⁷

Hironobu ISHIBASHI, Shinji MINO, Masaharu OKAMOTO, Yoshihisa YAMASHITA
Yasuhiko SAKAI, Kenichiro NISHIBAYASHI and Taichiro MIYAZAKI

Though a sand banking method is known to be effective to improve an environment of bottom sediment, there is no common method of construction or monitoring investigation. Duration of effect is also not clear. In this study, we verified the duration of effect of sand banking method based on monitoring investigation for 17 years in Tsuda Bay. As a result, it became clear that the effect lasted 17 years on improvement of sediment, elution of phosphorus, and a habitat of bottom fish.

1. はじめに

底泥からの栄養塩類の溶出削減や底生生物の生息環境の改善に有用とされる覆砂事業は、愛知県三河湾（赤石，2007）や福岡県荇田港沖（住田，1989）等，全国各地でこれまで多く実施されているが，施工やモニタリング調査についての統一的な手法は確立されていないのが現状である。特に，覆砂効果の持続性に関しては，福岡県多湾で6年間の効果の持続が確認された事例（福岡市港湾局，2004）があるほか，数値解析により覆砂厚と効果持続年数の関係を検討した事例（干山，1998）等があるものの，施工後のモニタリング調査を長期間行っている事例はほとんどなく，知見が不足している状況にある。

本研究では，香川県東部の津田湾におけるシーブラス事業（覆砂事業）について，施工後から17年間にわたって実施したモニタリング調査を踏まえ，覆砂の効果やその持続性について検討を行うことにより，今後他海域で覆砂による環境改善を検討する際に基礎となる情報を整理することを目的とした。

2. 覆砂事業の概要

津田湾は，香川県東部のさぬき市地先に位置する約7km²の半閉鎖性の海域であり，長年にわたる陸域からの流入負荷等に起因する汚泥が海底に堆積している。この

ような状況から，図-1に示すとおり，平成3～5年度に第Ⅰ期事業として約51万m²，平成14～17年度に第Ⅱ期事業として約13万m²の範囲で覆砂事業を実施した。覆砂材は，備讃瀬戸の航路浚渫工事で発生する良質な土砂を活用した。覆砂厚は，図-2に示すとおり，底質改善効果，溶出量削減効果，漁業による影響，生物攪乱の影響，施工精度を考慮し50cmとした。

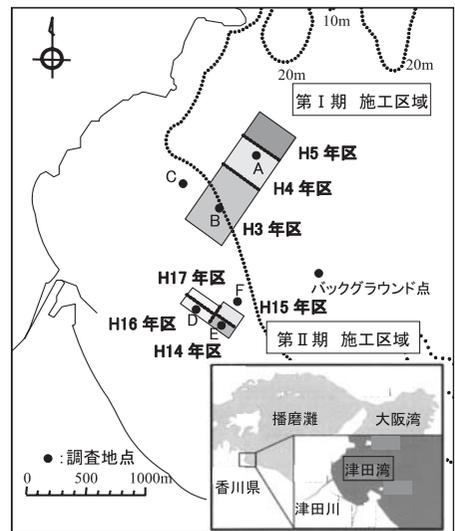


図-1 覆砂施工位置

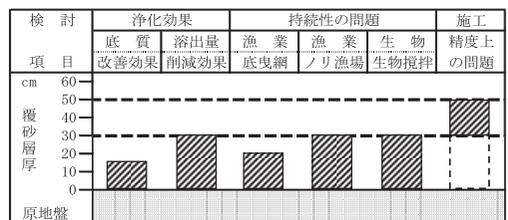


図-2 適正覆砂層厚の検討

- | | | | |
|---|-----|----|-------------------------------------|
| 1 | 正会員 | 工修 | 国土交通省 四国地方整備局 高松港湾・空港整備事務所 所長 |
| 2 | | | 国土交通省 四国地方整備局 高松港湾・空港整備事務所 副所長 |
| 3 | | | 国土交通省 四国地方整備局 高松港湾・空港整備事務所 海洋環境課 課長 |
| 4 | | | 国土交通省 四国地方整備局 高知港湾・空港整備事務所 企画調整課 係長 |
| 5 | 正会員 | 農修 | いであ(株) 大阪支社 環境技術グループ |
| 6 | 正会員 | 理修 | いであ(株) 大阪支社 環境調査グループ |
| 7 | | 工修 | いであ(株) 大阪支社 環境技術グループ |

表-1 モニタリング調査期間・内容

年度	覆砂事業	対象区域*1	調査項目*2						
			水質	流況	底質	間隙水	溶出速度	底生生物	底生魚介類
平成3	第I期	I	●		●	●	●	●	
4	第I期	I	●		●	●	●	●	
5	第I期	I	●		●	●	●	●	
6		I	●		●	●	●	●	
7		I	●		●	●	●	●	
8		I	●		●	●	●	●	
9									
10									
11		II			○		○	○	
12		I+II	○		○				
13									
14	第II期	I+II	●		●			●	
15	第II期	I+II	●		●			●	
16	第II期	I+II	●		●	●	●	●	
17	第II期	I+II			●			●	
18		I+II	●		●	●	●	●	
19		I+II		●	●	●		●	
20		I+II	●		●			●	●

*1 I：第I期覆砂区域，II：第II期覆砂区域

*2 ●：事後調査，○：現況把握調査および事前調査

3. モニタリング調査内容

事業に当たっては、事前調査を行うとともにモニタリング調査を実施し、覆砂による環境改善効果の検証を行った。調査項目は、水質、流況、底質、間隙水、底生生物（マクロベントス）、底生魚介類とし、表-1に示す期間・内容で実施した。

評価に当たっては、底質の改善（覆砂層厚及び覆砂材の質の維持）、水質の改善（底層水質の改善、栄養塩類溶出の遮蔽効果）、生物相の回復（底生生物（マクロベントス）及び底生魚介類の種類数・個体数の増大）について着目し、検討を行った。

4. 調査結果及び考察

(1) 底質の改善

a) 覆砂層厚の維持

覆砂後の底質の状況を図-3に示す。表層（0～5cm層）の砂礫分は覆砂施工後10年程度にわたり80%以上の高い値を維持しているが、施工10年後から徐々に減少する傾向がみられ、平成19年以降に大きく低下する傾向がみられた。

施工16年後の平成19年8月に実施した粒度組成の調査結果を図-4に示す。鉛直方向にみると、20～30cm層は砂礫分が80%以上と高くなっていることから、覆砂厚が維持されており、シルト・粘土分の堆積・混合は覆砂層

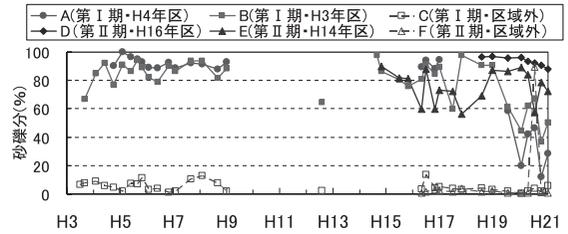


図-3 覆砂後の底質の状況（砂礫分）（表層）

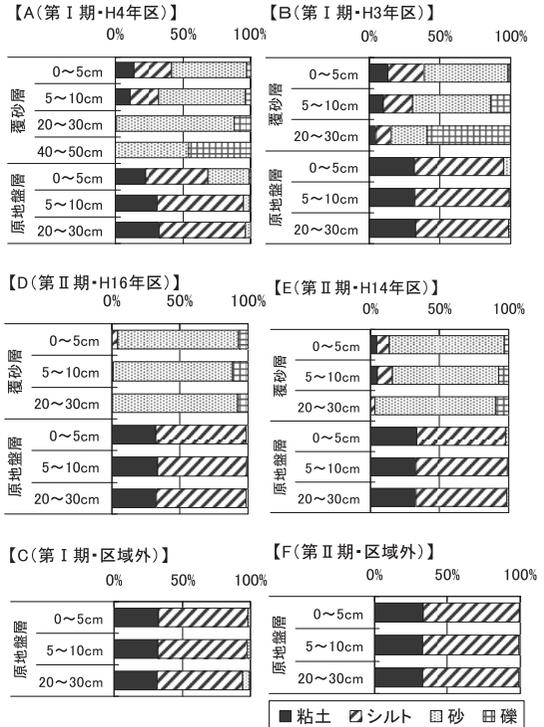


図-4 覆砂後の底質の状況（平成19年8月）（粒度組成）

表-2 流況調査（平成19年，大潮期）における流速出現頻度

流速 (cm/s)	平成19年8月25日		平成20年2月5日	
	データ数	出現頻度	データ数	出現頻度
0～10	374	38%	840	64%
10～20	449	46%	467	36%
20～30	145	15%	3	0%
30～40	9	1%	0	0%
計	977	100%	1,310	100%

の表層部分に限られることが明らかとなった。

平成19年8月及び平成20年2月において実施した大潮期における流況調査における、底層（水深8m）の流速の出現頻度を表-2に示す。流速20cm/s以下の割合が、8月調査では84%，2月調査では99%以上を占めており、本海域の底層付近では、特異な気象擾乱がない状況においては流速が小さく、覆砂材が移動しにくい状況であることが示唆された。

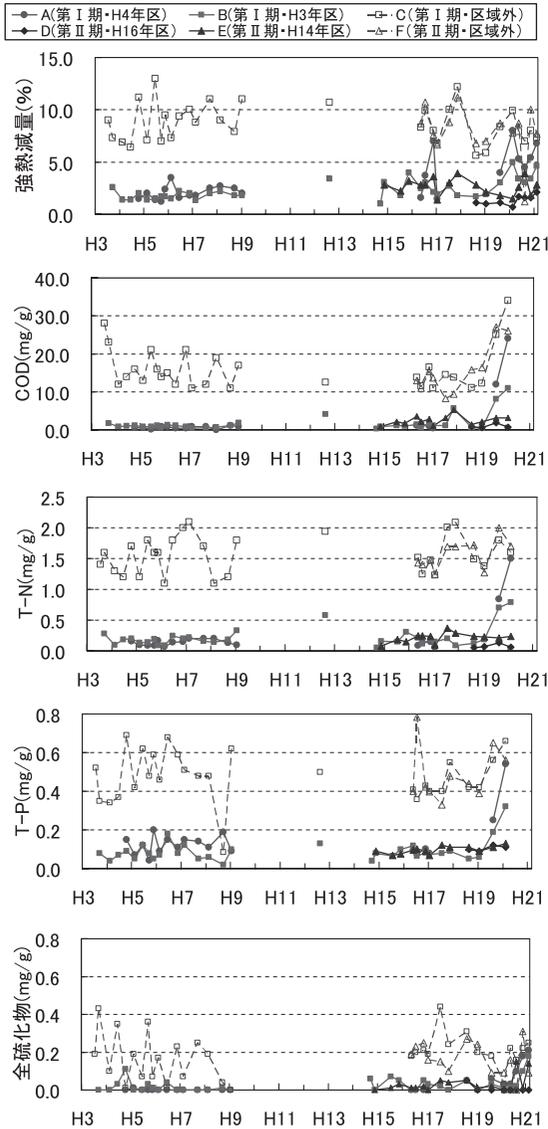


図-5 覆砂後の底質の状況 (強熱減量, COD, 全窒素, 全リン, 全硫化物) (表層0~5cm)

b) 覆砂材の質の維持

表層 (0~5cm層) における強熱減量, COD, 全窒素, 全リン, 全硫化物の状況を図-5に示す。砂礫分と同様の傾向がみられるものの, 砂礫分比べて悪化の進行は緩やかであった。

平成19年8月に実施した鉛直調査の結果を図-6に示す。覆砂層の10cm以深については各項目とも低い値となっていた。

従って, 有機物, 栄養塩類, 硫化物の各含有量については, 表層付近で施工10年後頃から浮泥の堆積・混合がみられるものの, 覆砂区域外に比べて明らかに低い状態が, 施工後15年程度にわたり維持されているものと考えられる。

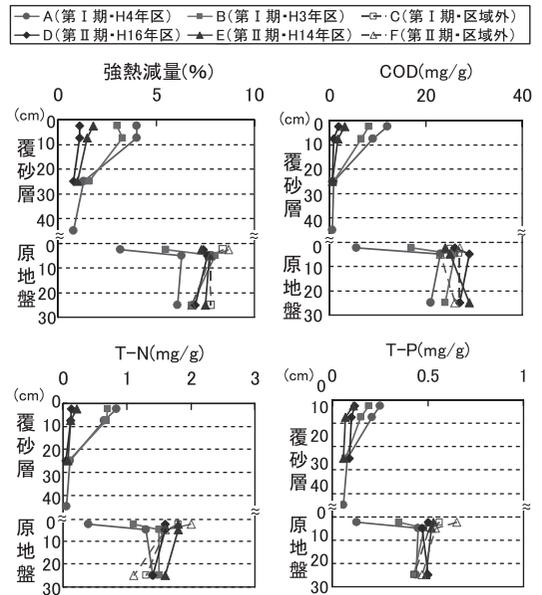


図-6 覆砂後の底質の状況 (平成19年8月) (強熱減量, COD, 全窒素, 全リン)

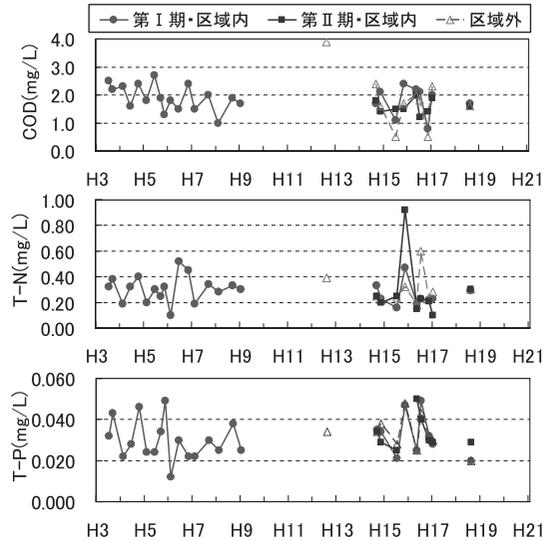


図-7 覆砂後の底層水質の状況 (海底面上0.5m) (COD, 全窒素, 全リン)

(2) 水質の改善

a) 底層水質の変化

覆砂区域内外における底層 (海底面上0.5m) の水質を図-7に示す。覆砂区域内外での差はほとんどみられず, 水質の直接的な改善効果はみられなかった。津田湾内では, 潮汐に伴う海水の流れがあるため, 希釈・拡散効果が大きいことが考えられる。

b) 栄養塩類の溶出遮断効果

覆砂施工区域の原地盤層における間隙水中の栄養塩類濃度 (全リン) を図-8に示す。全リンについては, 施工

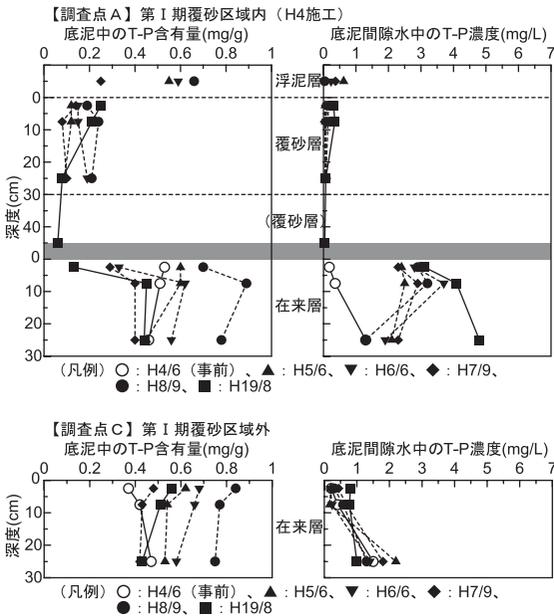


図-8 底質および間隙水の状況 (全リン)

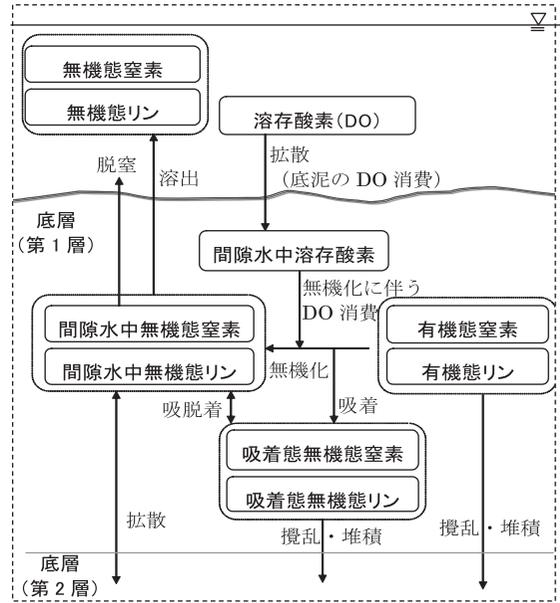


図-9 底質鉛直一次元モデルの概要

後の数年間で上昇した後、安定する傾向が明瞭である。従って、覆砂層の存在によって栄養塩類が原地盤層内に蓄積され、水中への溶出が抑制される効果があり、その効果が持続しているものと考えられる。

栄養塩類の溶出遮蔽効果を再現するため、底質鉛直一次元モデルを用いて間隙水質の経時変化の計算を行った。モデルの概要は表-3及び図-9に示すとおりである。

計算結果は図-10に示すとおりである。調査結果と同様に、覆砂施工後に覆砂層直下の原地盤層で間隙水中濃度が上昇する傾向がみられ、調査結果が再現された。

さらに、このモデルを用いて栄養塩類の溶出量を算出した。この結果を表-4に示す。施工15年後時点における溶出削減量は、津田湾全体の溶出量に対して全窒素が8%、全リンが9%と推定され、津田湾全体の面積に対する覆砂面積の割合分に相当する溶出削減効果があるものと考えられる。

表-3 底質鉛直一次元モデルの概要

モデルの諸元	概要
モデル	鉛直1次元モデル
対象地点	第I期覆砂区域内の地点B
検討ケース	2ケース (覆砂あり, 覆砂なし)
底泥の層数	覆砂あり: 2層 (覆砂層, 原地盤層) 覆砂なし: 1層 (原地盤層)
初期条件	底質 (O-N, I-N, O-P, I-P), 間隙水質 (I-N, I-P)
境界条件	下層水質 (I-N, I-P, DO, 水温) ※公共用水域測定結果
予測項目	間隙水質 (I-N, I-P), 溶出速度 (I-N, I-P)

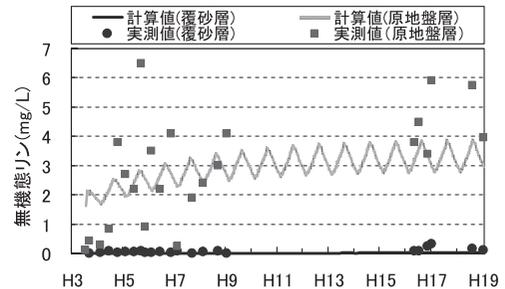


図-10 底質鉛直一次元モデルを用いた間隙水質の計算結果 (無機態リン)

表-4 溶出削減効果

区分	面積 (m ²)	溶出速度 (mg/m ² /day)		溶出量 (kg/day)	
		I-N	I-P	I-N	I-P
覆砂なし	① 津田湾全体 (覆砂区域を含む)	4.93	0.59	34.51	4.13
	② 覆砂区域	4.93	0.59	3.14	0.38
覆砂あり	③ 覆砂区域	0.39	0.03	0.25	0.02
④ 覆砂による削減量 (③-②)				2.89	0.36
⑤ 覆砂による削減率 (④/①)				8%	9%

(3) 生物相の回復

a) 底生生物 (マクロベントス)

覆砂施工区域周辺における底生生物 (マクロベントス) の種類数, 個体数, 湿重量及び多様性指数を図-11に示す。種類数, 個体数, 湿重量は季節によりばらつきが大きいものの、覆砂区域内で多い傾向がみられ、その傾向が持続している。従って、生息環境の改善効果があり、

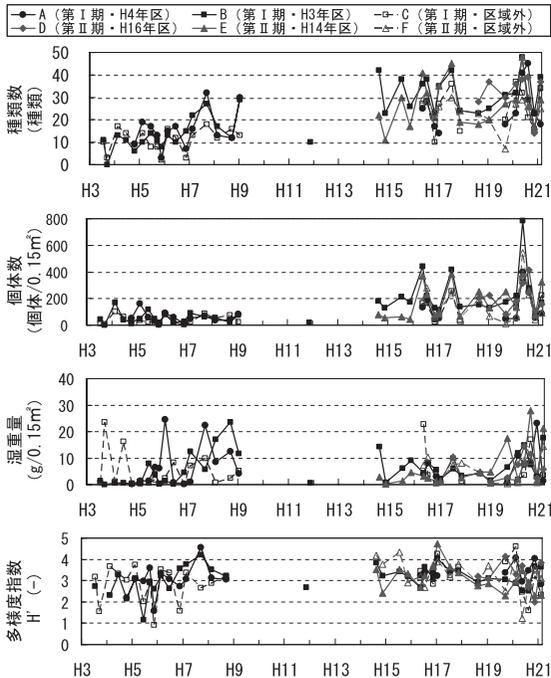


図-11 覆砂後の底生物（マクロベントス）の状況（種類数，個体数，湿重量，多様度指数）

その効果は17年間維持されているものと考えられる。

b) 底生魚介類

施工17年後の平成20年に実施した底刺し網による試験採集の結果を図-12に示す。マクロベントスを餌とするヒラメ・カレイ類等の底魚類やクルマエビ、ガザミ等のエビ・カニ類が、覆砂区域から離れたバックグラウンド点に比べて、種類数、個体数とも覆砂区域及びその近傍で多くみられる。よって、覆砂により底生魚介類の生息環境が改善されたものと考えられる。

底魚類及び甲殻類について、津田漁協における漁獲量と香川県及び播磨灘における漁獲量の経年変化を整理した結果を図-13に示す。なお、各々の漁獲量については、

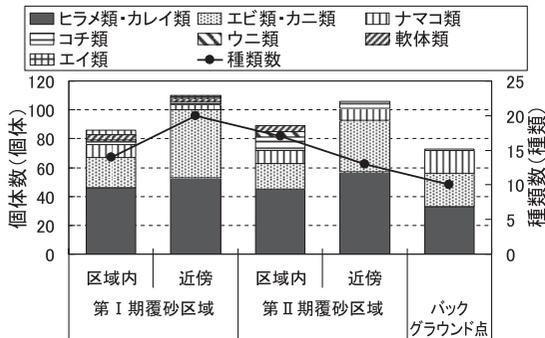


図-12 底生魚介類の種類数及び個体数

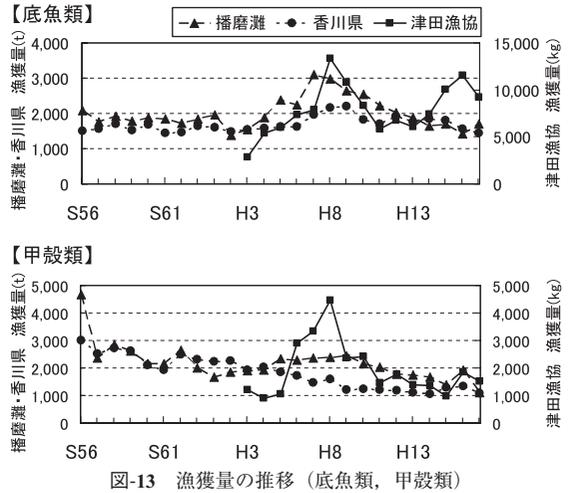


図-13 漁獲量の推移（底魚類，甲殻類）

津田漁協は津田漁協への聞き取り調査，香川県は「漁業・養殖業生産統計年報」，播磨灘は「瀬戸内海漁業灘別漁獲統計類年表」，「瀬戸内海地域の漁業」，「瀬戸内海地域における漁業動向」，「瀬戸内海区及び南太平洋区における漁業動向」を基に整理した。これをみると，津田漁協では第Ⅰ期施工後の平成8年頃に底魚類及び甲殻類，第Ⅱ期施工中の平成16年頃に底魚類の漁獲量が多くなっており，香川県及び播磨灘の傾向とは異なっていることから，津田湾においては，覆砂が水産資源の回復に寄与していることが示唆される。

5. 結論

これまでの長期間に亘るモニタリング調査の結果，津田湾においては覆砂による底質の改善，栄養塩類溶出量の削減，生物相の回復等の効果が明確にみられ，かつ，その効果は17年間にわたり維持されていることが確認された。また，底質鉛直次元モデルを用いた解析からも，栄養塩類の溶出削減効果が実証された。

このような長期間に亘る覆砂の効果に関するモニタリングデータの蓄積は他に類をみないものであり，今後，他海域で覆砂の適用性，施工方法，およびモニタリング調査内容を検討する際に極めて有用であるものと考えられる。

参考文献

赤石正廣 (2007) : 三河湾における海域環境創造事業 (シーブルー事業) について，土と基礎，55巻，7号，pp.17-20.
 住田公資 (1989) : 苅田港沖におけるシーブルー事業の実施について，ヘドロ，45号，pp.22-25.
 福岡市港湾局 (2004) : エコパークゾーン香椎地区 (御島) シーブルー事業効果把握調査報告書，pp.15-33.
 干山善幸 (1998) : 覆砂の設計，沿岸の環境圏，株式会社フジ・テクノシステム，p.1148.