

平成 22 年度環境技術実証事業

閉鎖性海域における水環境改善技術

実証試験結果報告書

実 証 機 関 : 財団法人広島県環境保健協会

環 境 技 術 開 発 者 : 株式会社エネルギー・エコ・マテリア

技 術 の 名 称 : 「石炭灰造粒物(Hi ビーズ)による海域環境の
改善技術」

－ 目 次 －

1. 全体概要	1
2. 導入と背景	9
3. 実証試験参加組織と実証試験参加者の責任分掌	10
4. 実証対象技術の概要	11
4.1 実証対象技術の原理と目的	11
4.2 実証試験対象物の概要	12
5. 実証試験実施場所の概要	16
5.1 実証試験実施場所の名称, 所在地	16
5.2 海域の概要	17
5.3 試験区の配置	18
6. 実証試験の方法	22
6.1 実証試験工程	22
6.2 目標および調査項目	22
6.3 実証試験方法	23
7. 実証試験結果	24
7.1 大河漁港	24
7.2 馬島沖	46
8. 実証試験の評価と結論	63
8.1 調査項目別の評価	63
8.2 実証試験の結論	66
9. 技術実証委員会の見解	69

1. 全体概要

実証対象技術／環境技術開発者	石炭灰造粒物(Hiビーズ)による海域環境の改善技術／(株)エネルギー・エコ・マテリア
実証機関	(財)広島県環境保健協会
実証試験期間	平成22年6月1日～平成23年3月18日
実証の目的	石炭灰造粒物による硫化物イオン、DINおよびDIPの吸着による底質・水質の改善とこれに伴う底生生物の生息環境の改善効果の検証

1. 実証対象技術の概要

<p>技術の模式図</p>	<p>原理</p> <p>石炭火力発電所から産出される石炭灰(フライアッシュ)を少量のセメントで造粒固化した石炭灰造粒物は、栄養塩や硫化物イオン等の吸着効果が付加されることが確認されている。このことから、水質、底質改善材として、従来材料(天然砂)にある物理的効果に加えて、化学的な効果を期待できる技術である。また、海藻草類の着生・繁茂や有用二枚貝の生産などの付加価値も期待される。</p>
---------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

2. 実証試験の概要

○実証試験実施場所の概要

- ・石炭灰造粒物を新設し、短期的な効果を検証した場所

海域の名称	大河漁港(広島県広島市南区丹那町)	
主な利用状況	実証試験実施海域は港湾区域内の奥まった地形にあり、非常に静穏な場所であるが、小型漁船の往来がある。	
海域の状況	水質	港湾区域内の奥に位置するため閉鎖性が強く、海水交換は悪い。 溶存酸素(平成18年6月):海底上0.3mで6.2 mg/L
	底質	試験実施前(平成22年5月):酸揮発性硫化物(AVS-S)1.0~1.6mg/g、酸化還元電位-320mV、COD29.0~30.8 mg/g、IL12.3~12.9%、軟泥
	生物生息環境	試験実施前(平成22年5月)の目視観察では、肉眼的サイズのベントスは確認できなかった。

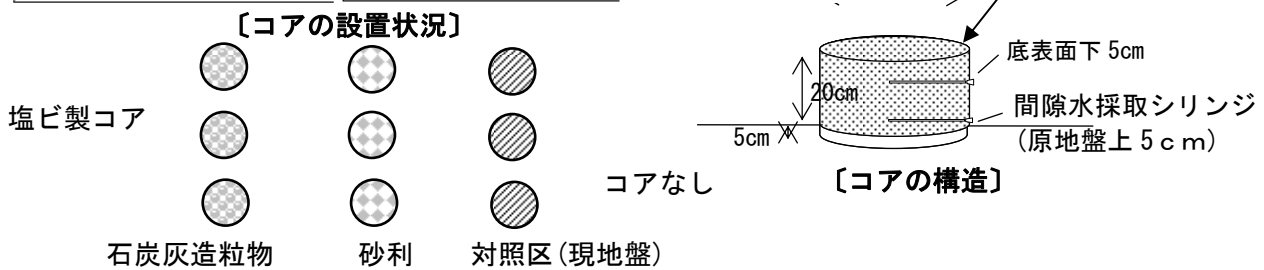
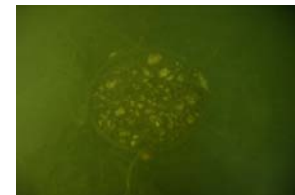
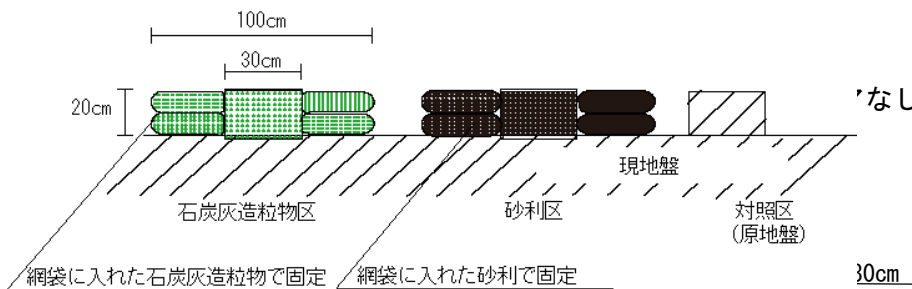
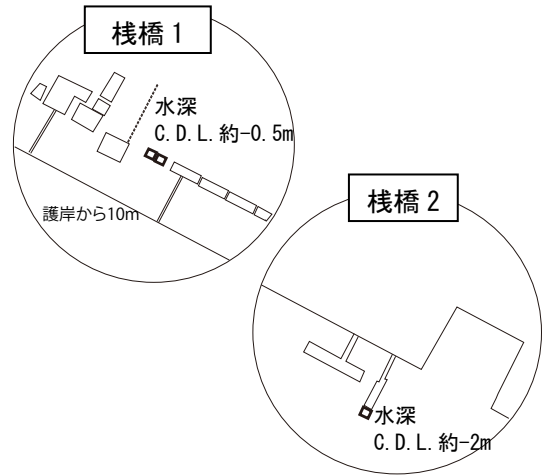
- ・石炭灰造粒物設置後8年経過し、長期的な効果を検証した場所

海域の名称	馬島沖(山口県熊毛郡田布施町馬島沖周辺海域)	
主な利用状況	実証試験実施海域は港湾区域外で、かつてエビ養殖の排水の影響を受けた海域であり、平成14年5月に石炭灰造粒物が覆土された。 設置場所は船舶航路ではなく、比較的静穏な場所である。 漁場は山口県漁業協同組合田布施支店の漁業権が設定されている。	
海域の状況	水質	閉鎖性は低く、水深10m程度。 覆砂敷設前(平成14年2月実施):pH8.2~8.3、T-N 0.12~0.20 mg/L、T-P 0.008~0.036 mg/L
	底質	覆砂敷設前(平成14年2月実施):pH 8.5~8.7、T-N1950~2150 mg/kg、T-P 701~878 mg/kg、T-S 0.18~0.41 mg/g、IL 10.3~10.8 %
	生物生息環境	覆砂敷設前(平成14年2月実施):個体数299~357 個体/m ² 、湿重量19.4~121.5g/m ² 、種類数11~17 種

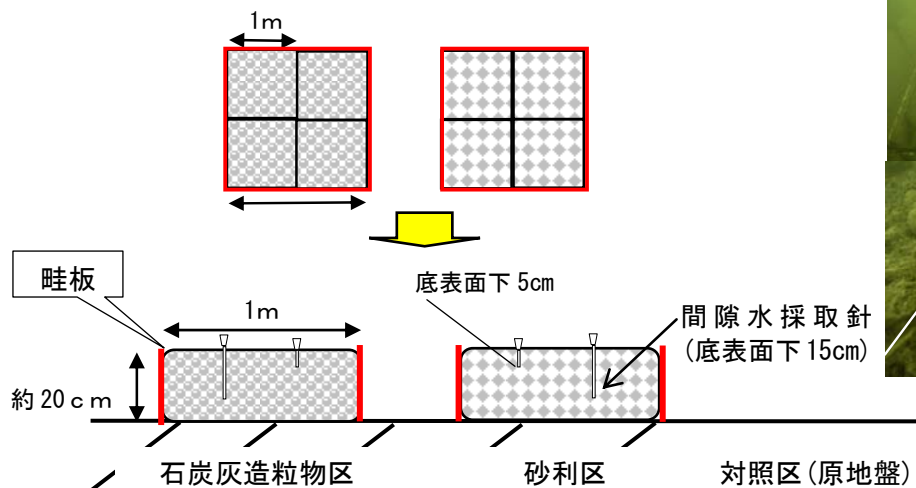
○実証対象技術の設置後の状況

・大河漁港<短期的効果の検証場所>

栈橋1(コア試験)で実証試験対象物をコアに詰めた試験、栈橋2(覆土試験)で網袋に詰めて覆土した試験を行った。



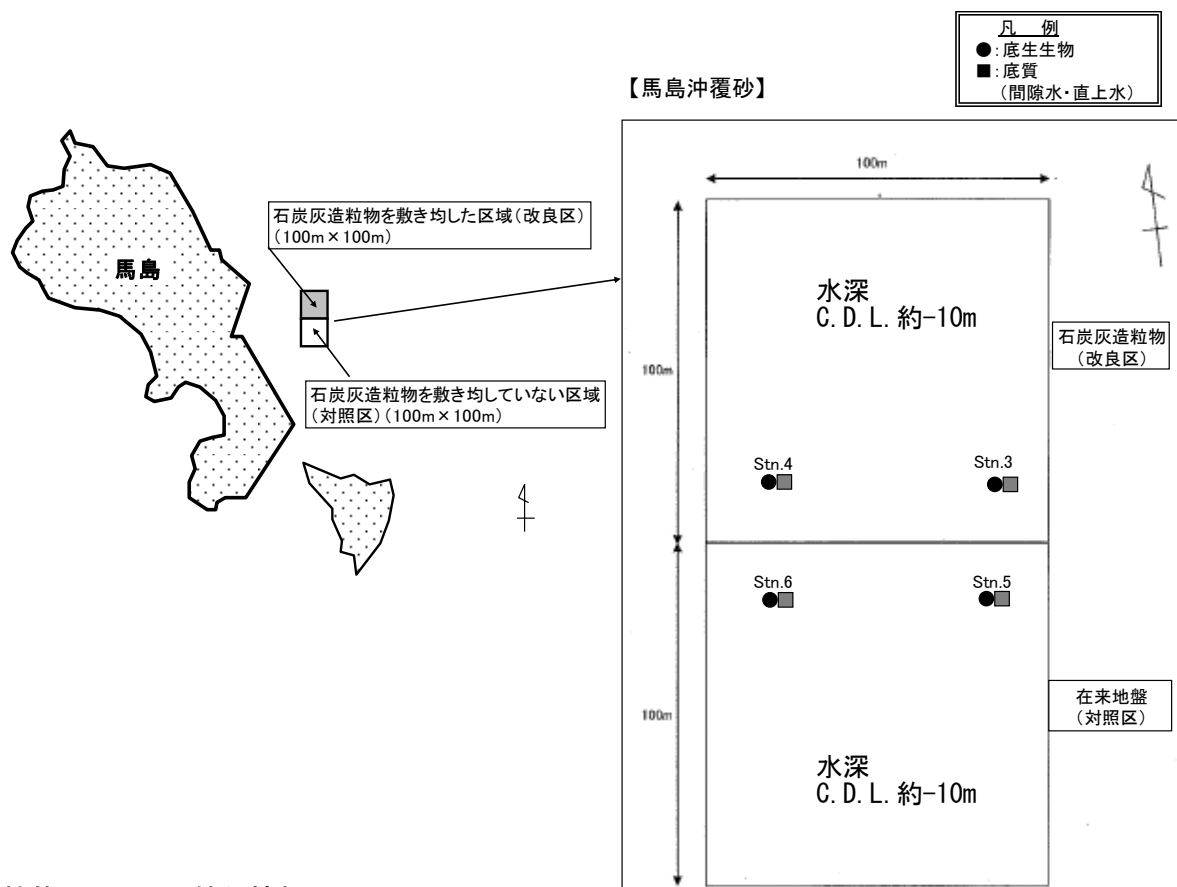
石炭灰造粒物および砂利の設置状況図(栈橋1)



石炭灰造粒物および砂利の設置状況図(栈橋2)

・馬島沖く長期的効果の検証場所)

石炭灰造粒物を 100m × 100m × 20cm(厚さ)で覆砂した改良区 (石炭灰造粒物設置後 8 年以上経過) が設定されている。



3. 維持管理にかかる技術情報

○使用資源量・生成物処理量

項目	単位(適宜設定)	結果
消耗品及び電力使用量	—	消耗品及び電力使用量はない
汚泥や廃棄物の物理化学的特性と頻度	—	汚泥や廃棄物の発生はない
薬剤	—	薬剤の使用はない

○維持管理項目

管理項目	技術者の必要性	一回あたりの管理時間	管理頻度
維持管理に必要な作業項目	<input type="checkbox"/> 要 <input checked="" type="checkbox"/> 不要	—	—
使用者に必要な維持管理技能	<input type="checkbox"/> 要 <input checked="" type="checkbox"/> 不要	—	—

○維持管理に係るその他の特記事項

溶出による問題がないこと

4. 実証試験結果

○実証試験の目標と結果

調査項目	目標水準
底質 (間隙水・直上水)	<p>・溶出抑制効果が認められる。 →石炭灰造粒物区(改良区)の溶存無機態窒素、リンおよび硫化物イオン濃度が対照区よりも低い(大河漁港:石炭灰造粒物区が砂利区よりも低い)。</p> <p>【参考】 →石炭灰造粒物区(改良区)の酸化還元電位が対照区よりも高い(大河漁港:石炭灰造粒物区が砂利区よりも高い)。</p>
底生生物	<p>・石炭灰造粒物区(改良区)の底生生物の個体数・種類・多様度指数が対照区と比べて高い値を示している(大河漁港:石炭灰造粒物区が砂利区よりも低い)。</p>

(1) 短期的効果(大河漁港)

石炭灰造粒物の設置は、広島湾内の比較的栄養塩濃度の高い海域であり、平成22年7月～10月にかけて短期的な効果を検証した。

ア. 水質・底質の改善効果

①溶存態窒素DIN

- ・直上水の平均DIN濃度は、石炭灰造粒物区および砂利区は、対照区と同水準もしくはそれより低く、溶出の抑制効果が考えられた。
- ・石炭灰造粒物区の間隙水中濃度は、栈橋1(コア試験区)では砂利区より高かった。しかしながら、当該技術を活用した実際の事業を想定した栈橋2(覆土試験)の試験では、設置間もない8月を除くと、砂利区よりも低い値を示し、石炭灰造粒物による溶出抑制効果を裏付ける結果が得られた。なお、石炭灰造粒物区の濃度は、対照区の概ね1/10以下であった。

②溶存態リンDIP

- ・直上水の平均DIP濃度は、石炭灰造粒物区が砂利区、対照区と同水準もしくはそれより低く、溶出の抑制が考えられた。
- ・石炭灰造粒物区の間隙水中濃度は、砂利区の濃度を1として比較すると、9月には0.1～0.4、10月には0.2～1.0であり、石炭灰造粒物による溶出抑制効果を裏付ける結果が得られた。なお、石炭灰造粒物区の濃度は、対照区の概ね1/20以下であった。

③硫化物イオンS²⁻

- ・直上水の平均硫化物イオン濃度は、いずれもほぼ定量下限値を下回り、溶出抑制効果については確認できなかった。
- ・石炭灰造粒物区の間隙水中濃度は、砂利区濃度を1として比較すると、0～0.8の値を示し、特に9月は栈橋1を除くと定量下限値を下回っており、硫化物発生抑制効果を裏付ける結果が得られた。なお、間隙水中の濃度は、石炭灰造粒物区が対照区よりも概ね1/100以下であった。

④pH

- ・直上水の平均pHは、試験区間で顕著な差は認められなかった。
- ・間隙水のpHは、石炭灰造粒物区において8前後であり、対照区、砂利区よりもやや高い程度で、顕著なpH上昇は確認できなかった。

⑤酸化還元電位ORP

- ・直上水の平均ORP値は、いずれもプラスを示し、試験区間で顕著な差は認められなかった。
- ・間隙水中のORP値は、設置後間もない8月を除くと、石炭灰造粒物区が対照区および砂利区よりも高い値を示し、ORPの低下抑制効果を裏付ける結果が得られた。

イ. 生物生息環境の改善効果

①底生生物

- ・貧酸素状態が維持されやすい栈橋 2（覆土試験）では、石炭灰造粒物区において、底生生物の個体数、湿重量、種類数および多様度指数が高い値を示し、石炭灰造粒物による生物生息環境の改善効果を裏付ける結果が得られた。
- ・干潮時に貧酸素状態の解消が可能な栈橋 1（コア試験）では、石炭灰造粒物区で平均種類数が最高となり、生息環境の改善効果が確認された。ただし、個体数と湿重量については砂利区（ホトトギスガイの大量出現）で、多様度指数は対照区（種類数は最小、優先度の偏り小）で高かった。また、石炭灰造粒物区では、アサリ（対照区でも出現）、マガキ（砂利区でも出現）などの有用魚介類が生息するほか、付着性の生物も確認された。

(2) 長期的効果（馬島沖）

山口県田布施町馬島沖の石炭灰造粒物設置海域は、かつてエビ養殖の排水の影響を受けた海域であり、設置後 8 年を経過していることから、平成 22 年 8 月～11 月にかけて長期的な効果の検証を行った。

ア. 水質・底質の改善効果

①溶存態窒素 DIN

- ・直上水の DIN は、8 月調査では改良区で、9 月調査では対照区で高い値を示し ($p < 0.05$, $n=6$)、また間隙水についても 8 月および 11 月に改良区で高い値を示しており ($p < 0.05$, $n=6$)、石炭灰造粒物による溶出抑制効果については確認できなかった。

②溶存態リン DIP

- ・直上水の DIP は、8 月には改良区で高く ($p < 0.05$, $n=6$)、間隙水についても 8 月に改良区で高くなったが、9 月および 11 月には対照区で高い値 ($p < 0.05$, $n=6$) を示したことから、石炭灰造粒物による溶出抑制効果の可能性が示唆された。

③硫化物イオン S^{2-}

- ・直上水の硫化物イオンは検出されず、石炭灰造粒物による溶出の抑制効果については確認できなかった。
- ・間隙水については、8 月と 9 月には検出されてもわずかであったが、11 月調査においては改良区でおおむね定量下限値を下回るのに対して対照区では $0.10 \sim 0.14 \text{ mg/L}$ を示し、石炭灰造粒物による硫化物イオン発生抑制効果を示唆する結果が得られた。

④ pH

- ・直上水、間隙水ともに改良区と対照区との間で顕著な差はなく、石炭灰造粒物による顕著な pH 上昇については確認できなかった。

⑤酸化還元電位 ORP

- ・直上水の ORP 値は、8 月および 9 月には改良区で高く ($p < 0.05$, $n=6$)、間隙水（底質）についても 9 月および 11 月には改良区で高い値 ($p < 0.05$, $n=6$) を示したことから、石炭灰造粒物による ORP の低下抑制効果を示唆する結果が得られた。

イ. 生物生息環境の改善効果

①底生生物

- ・個体数、湿重量、種類数および多様度指数は、改良区で高い傾向にあり、特に種類数と多様度指数は改良区で高い値を示した。また、種類数と個体数は、覆土前より増えており、生物生息環境の改善効果を裏付ける結果が得られた。
- ・撒布後 8 年を経過した石炭灰造粒物の状況を見ると、覆土された状態を残し、底生生物にとっては、堆積した泥だけでなく、付着基質やその隙間など、多様な生息環境が形成されていた。

○実証試験の結論

水質および底質の改善

【短期的効果:設置後 18 日～約 3 ヶ月】

- ・石炭灰造粒物の覆土については、DIN、DIP および硫化物イオンの溶出抑制効果が確認された。
- ・ORP の低下抑制効果、pH の顕著な上昇がないことが確認された。

【長期的効果(8 年以上経過)】

- ・覆土後 8 年以上経過した改良区では、DIN の溶出抑制効果は確認できなかったが、DIP、硫化物イオンの溶出抑制効果および ORP の低下抑制効果を示唆する結果が得られた。

生物生息環境の改善

【短期的効果:設置後 18 日～約 3 ヶ月】

- ・貧酸素状態が維持されやすい試験区(覆土試験区)では、石炭灰造粒物区において、底生生物の個体数、湿重量、種類数および多様度指数が高く、生物生息環境の改善効果が確認された。貧酸素状態の解消が可能な試験区(コア試験区)でも、石炭灰造粒物区で種類数が最高となり、生物生息環境の改善効果が確認された。

【長期的効果(8 年以上経過)】

- ・石炭灰造粒物を敷設した海域(改良区)において、底生生物の個体数、湿重量、種類数および多様度指数が高い傾向にあり、生物生息環境の改善効果が確認された。石炭灰造粒物は、硫化物イオンの発生抑制や酸化還元電位の低下抑制などとともに、多様な生息環境を提供することによる生物生息環境の改善効果が期待できる。

○実証試験についての技術委員会の見解

○実験結果の見解

水質および底質の改善

【短期的効果】

- ・本実証対象技術(石炭灰造粒物の覆土)は、短期的な効果として DIN、DIP、硫化物イオンの溶出抑制及び ORP の低下抑制による水質および底質改善が期待できる技術である。

【長期的効果】

- ・本実証対象技術(石炭灰造粒物の覆土)は、長期的効果として DIP、硫化物イオンの溶出抑制および ORP の低下抑制による水質および底質改善が期待できる技術である。

生物生息環境の改善

【短期的効果】

- ・本実証対象技術(石炭灰造粒物の覆土)は、原地盤や砂利区と比較して数ヶ月でより多くの種類が出現するなど、生物生息環境の改善において短期的効果が期待できる技術である。

【長期的効果】

- ・本実証対象技術(石炭灰造粒物の覆土)は、石炭灰造粒物敷設後 8 年を経過しても原地盤より種類数などが多いため、生物生息環境の長期的改善効果が期待できる技術である。

○技術的課題や改善の方向性

- ・水質及び底質の改善については、効果の持続性をより高めるための技術的検討(覆土厚等)が、今後、必要である。

○他の実水域への適用可能性を検討する際の留意点

- ・本実証対象技術(石炭灰造粒物の覆土)の適用場所については、覆土により海底地形の変化が伴うことを考慮しつつ、比較的栄養塩濃度の高い海域などの環境改善を必要とする場所を慎重に選定する必要がある。

○その他

- ・上記の改善効果については、(株) エネルギア・エコ・マテリアの技術によって造粒固化された石炭灰造粒物(Hi ビーズ)に限定して認めるものである。

(参考情報)

注意：このページに示された製品データは、全て環境技術開発者が自らの責任において申請した内容であり、環境省及び実証機関は、内容に関して一切の責任を負いません。

○製品データ

項目		環境技術開発者 記入欄			
名称		石炭灰造粒物による海域環境の改善技術(Hiビーズ)			
型式		-			
製造(販売)企業名		株式会社エネルギア・エコ・マテリア			
連絡先	TEL/FAX	TEL(082)545-1543 / FAX(082)545-1544			
	Web アドレス	http://www.energia-eco-materia.co.jp/			
	E-mail	t-saito@energia-eco-materia.co.jp			
設置方法		沖合覆砂:ガット船による投入 浅場造成:ガット船による投入または陸上巻き出し・投入			
供給能力		1,000~2,000m ³ /日			
コスト概算	費目		単価(円)	数量	計(円)
	イニシャルコスト				
	土木費		通常工法で覆砂厚(数量)を低減可能 砂と同程度～(輸送距離によって異なる)		
	資材費				
	()				
ランニングコスト(月間)		0	0	0	

○その他 本技術に関する補足説明(導入実績、受賞歴、特許・実用新案、コストの考え方 等)

施工特性:軽量であるため、高含水・高有機質の底泥上にカバーリングできる。

導入実績:
○導入実績 中国地方の公共事業採用:約 20 万 m³, 15 件
○受賞歴
●会社表彰 平成 16 年度 リデュース・リユース・リサイクル推進功労者表彰(会長賞)
平成 16 年度 資源循環技術・システム表彰(経済産業省産業技術環境局長賞)等
●Hiビーズ 平成 13 年度 電力技術協会 高橋賞
○特許 特開 2007-136395 珪藻類着生材料及びこれを用いた水質改善方法 等
○製品登録 山口県認定リサイクル製品 第 14 号

主要論文
・「石炭灰造粒物による沿岸海域有機質汚泥からの硫化物イオンの吸着」水環境学会誌 2008, Vol.31(No.8)
・「NEW METHOD FOR REDUCTION IN EUTROPHICATION OF SEA WATER BY USING FLY ASH」Asian and Pacific Coasts 2009
・「石炭灰造粒物覆砂による環境修復効果—汽水域をフィールドとして—」海岸工学論文集, 第 56 巻, 2009
・「Effects of Granulated Fly Ash for Restoration of Water Environment」International Conference on Civil and Environmental Engineering 2009

2. 導入と背景

環境技術実証事業は、既に適用可能な段階にありながら、環境保全効果等についての客観的な評価が行われていないために普及が進んでいない環境技術について、その環境保全効果等を第三者が客観的に実証することにより、環境技術実証の手法・体制の確立を図るとともに、環境技術の普及を促進し、環境保全と環境産業の発展に資することを目的とする。

本実証試験は、「石炭灰造粒物（Hi ビーズ）による海域環境の改善技術」として石炭灰造粒物による硫化物イオン、DIN および DIP の吸着による底質・水質の改善とこれに伴う底生生物の生息環境の改善を目的とした環境技術についてモニタリング調査を実施し、環境技術実証の手法・体制の確立および環境技術の普及促進、環境保全と環境産業の発展に資することを目標としている。

なお、申請時の実証対象技術応募資料では、山口県柳井市で吊り下げ試験による生物の着生効果の確認を計画していたが、専門家（実証委員会委員）の指導・助言を得て、実証試験場所を環境改善効果が確認しやすい広島湾の比較的栄養塩濃度が高い海域に変更し、底質・水質の改善と生物生息環境の改善効果の確認を目的とした試験計画に変更した。

3. 実証試験参加組織と実証試験参加者の責任分掌

実証試験における参加組織は、図3-1のとおりであり、その責任分掌は表3-1に示すとおりである。

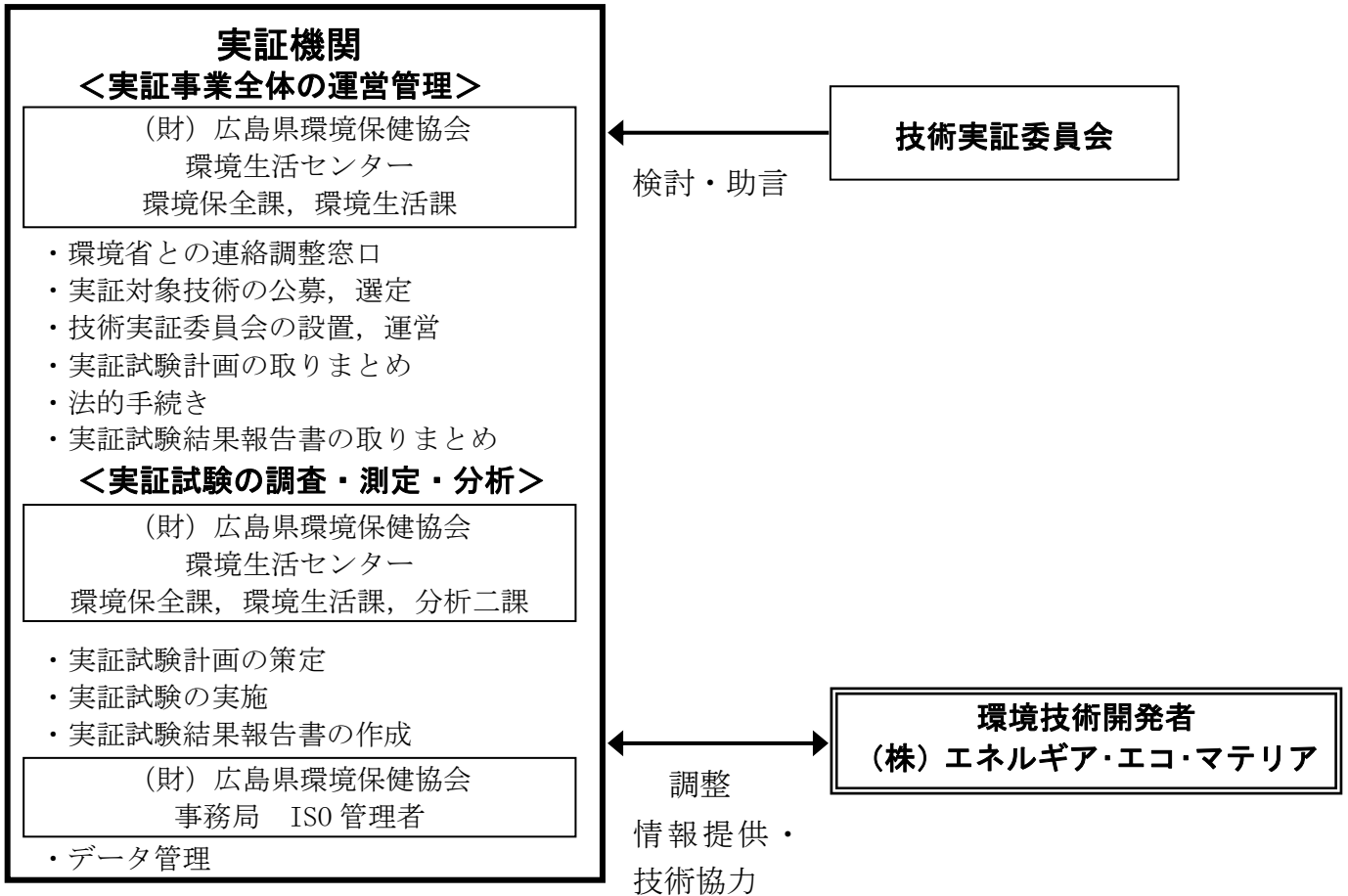


図 3-1 実証試験参加組織

表 3-1 実証試験参加者の責任分掌

区分	実証試験参加機関	責任分掌
実証機関	(財) 広島県環境保健協会 環境生活センター 環境保全課、環境生活課	・ 実証事業全体の運営管理 ・ 実証対象技術の公募・選定 ・ 技術実証委員会の設置・運営 ・ 法的手続き
	(財) 広島県環境保健協会 環境生活センター 環境保全課、環境生活課、分析二課	・ 実証試験計画の策定 ・ 実証試験の実施 ・ 実証試験結果報告書の取りまとめ
	(財) 広島県環境保健協会 事務局 ISO 管理者	・ データ管理
環境技術開発者	(株) エネルギア・エコ・マテリア	・ 実証対象技術の準備、運搬、設置およびこれらの経費の負担

4. 実証対象技術の概要

4.1 実証対象技術の原理と目的

実証対象技術および効果の原理の模式図を図4-1に示す。

これまで、海底や湖底など底質改善を目的とした技術としては、天然砂等を用いた覆砂が実施されているが、これは単に砂で海底を覆うだけの物理的效果である。

石炭火力発電所から産出される石炭灰（フライアッシュ）を少量のセメントで造粒固化した石炭灰造粒物はこれまで実施してきた試験の結果、栄養塩や硫化物イオン等の吸着効果が付加されることが確認されている^{1,2,3)}。このことから、比較的栄養塩濃度が高い海域の水質、底質改善材として、従来材料（天然砂）にある物理的效果に加えて、化学的な効果を期待できる技術である。また、海藻草類の着生・繁茂や有用二枚貝の生産などの付加価値も期待される。

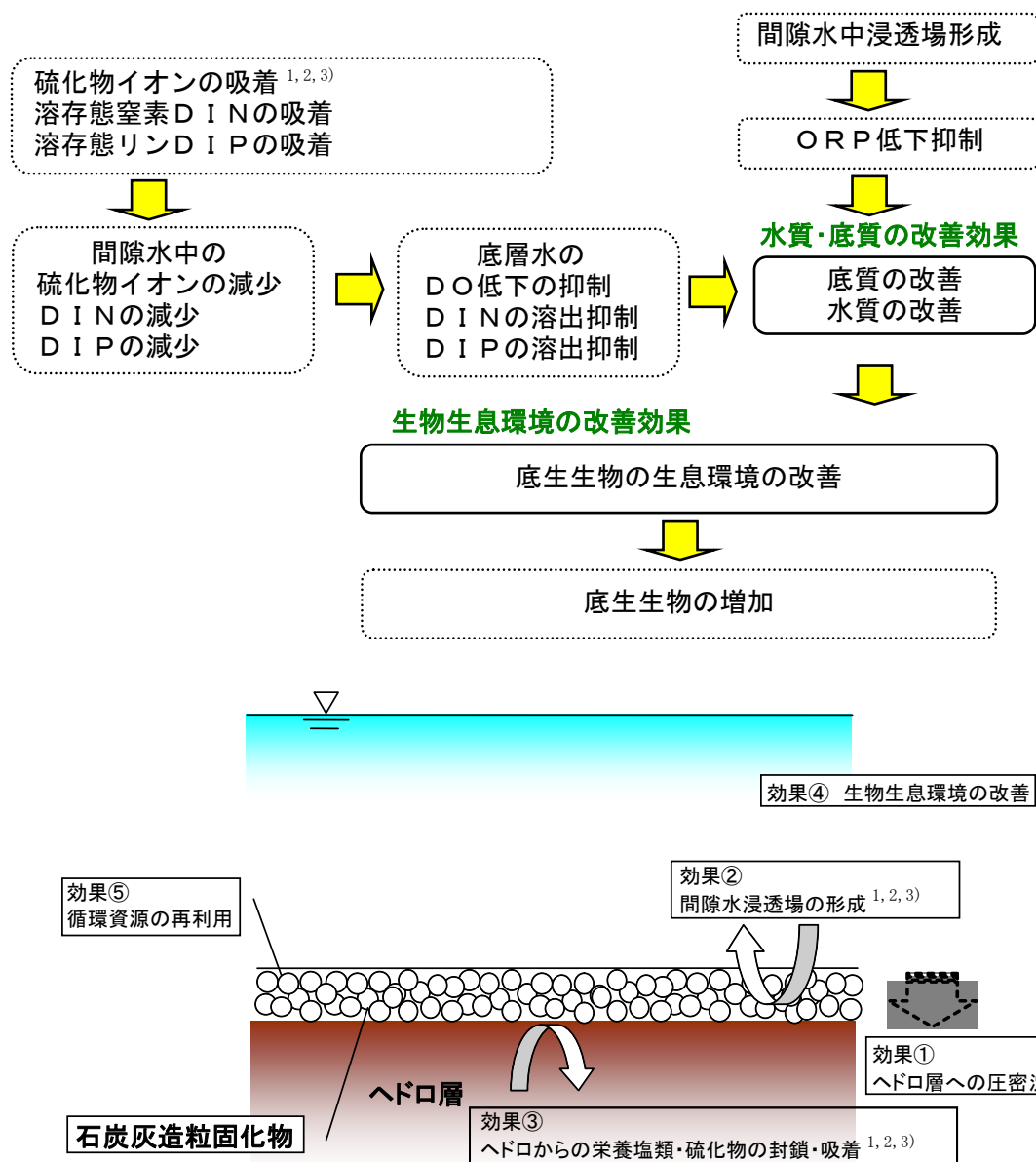


図4-1 実証対象技術の概要図

4.2 実証試験対象物の概要

実証試験対象物は、中国電力株式会社の火力発電所から発生するフライアッシュを株式会社エネルギー・エコ・マテリアの技術によって造粒固化された材料であり、「4.2.1」の項に示すような性状をもつ石炭灰造粒物製品（Hi ビーズ）に限定している。

なお、フライアッシュは、微粉碎した瀝青炭および瀝青炭に木質バイオマス（添加率 5%以下）を混焼したものを電気集塵器に捕集したものである。

4.2.1 試験する石炭灰造粒物の性状

粒径は、40mm 以下で概ね 10～20mm 程度であり、10N/mm² 程度の強度をもつ。なお、石炭灰造粒物の基本配合および物理特性は表 4-2-1、組成成分は図 4-2-1 のとおりである。

表 4-2-1 石炭灰造粒物の物理特性

品質項目	単位	試験方法	代表値
土粒子の密度試験	g/cm ³	JIS A 1202	2.1～2.4
乾燥密度	g/cm ³	JIS A 1225	0.8～1.1
湿潤密度	g/cm ³	JIS A 1225	1.0～1.4
自然含水比	%	JIS A 1225	15～35（自然状態）
内部摩擦角	度	JGS 0524	45 以上 (6Ec 突固め状態)



図 4-2-1 石炭灰造粒物の組成分析

4.2.2 石炭灰造粒物の溶出試験

・実証試験で採取した石炭灰造粒物からの溶出については、問題は確認されなかった。

本実証試験で採取した石炭灰造粒物の溶出試験結果は、表 4-2-2 のとおりであり、問題は確認されなかった。

表 4-2-2(1) 溶出試験結果（大河漁港）

項目	海洋汚染防止法 (水底土砂基準) 総理府令第6号	産業廃棄物処理法 (建設汚泥基準) 総理府令第5号	大河漁港 (8月9日採取)		大河漁港 (10月14日採取)	
			栈橋1	栈橋2	栈橋1	栈橋2
アルキル水銀化合物	検出されないこと	検出されないこと	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満
水銀又はその化合物	0.005 mg/L	0.0005 mg/L	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満
カドミウム又はその化合物	0.1 mg/L	0.01 mg/L	0.001mg/L未満	0.001mg/L未満	0.001mg/L未満	0.001mg/L未満
鉛又はその化合物	0.1 mg/L	0.01 mg/L	0.005mg/L未満	0.005mg/L未満	0.005mg/L未満	0.005mg/L未満
有機りん化合物	1 mg/L	検出されないこと	0.1mg/L未満	0.1mg/L未満	0.1mg/L未満	0.1mg/L未満
六価クロム化合物	0.5 mg/L	0.05 mg/L	0.04mg/L未満	0.04mg/L未満	0.04mg/L未満	0.04mg/L未満
ひ素又はその化合物	0.1 mg/L	0.01 mg/L	0.005mg/L未満	0.005mg/L未満	0.005mg/L未満	0.005mg/L未満
シアン化合物	1 mg/L	検出されないこと	0.1mg/L未満	0.1mg/L未満	0.1mg/L未満	0.1mg/L未満
ポリ塩化ビフェニル	0.003 mg/L	検出されないこと	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満
銅又はその化合物	3 mg/L	0.014 mg/L	0.005mg/L未満	0.005mg/L未満	0.005mg/L未満	0.005mg/L未満
亜鉛又はその化合物	2 mg/L	0.8 mg/L	0.01mg/L未満	0.01mg/L未満	0.01mg/L未満	0.01mg/L未満
ふっ化物	15 mg/L	3 mg/L	0.2mg/L	0.5mg/L	0.3mg/L	0.3mg/L
トリクロロエチレン	0.3 mg/L	0.03 mg/L	0.002mg/L未満	0.002mg/L未満	0.002mg/L未満	0.002mg/L未満
テトラクロロエチレン	0.1 mg/L	0.01 mg/L	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満
ベリリウム又はその化合物	2.5 mg/L	0.25 mg/L	0.01mg/L未満	0.01mg/L未満	0.01mg/L未満	0.01mg/L未満
クロム又はその化合物	2 mg/L	0.2 mg/L	0.04mg/L未満	0.04mg/L未満	0.04mg/L未満	0.04mg/L未満
ニッケル又はその化合物	1.2 mg/L	0.12 mg/L	0.01mg/L未満	0.01mg/L未満	0.01mg/L未満	0.01mg/L未満
バナジウム又はその化合物	1.5 mg/L	0.15 mg/L	0.1mg/L未満	0.1mg/L未満	0.1mg/L未満	0.1mg/L未満
有機塩素化合物	40 mg/kg (含有量 ^{テータ})	1 mg/L	4mg/kg未満 (含有量 ^{テータ})	4mg/kg未満 (含有量 ^{テータ})	4mg/kg未満 (含有量 ^{テータ})	4mg/kg未満 (含有量 ^{テータ})
ジクロロメタン	0.2 mg/L	0.02 mg/L	0.002mg/L未満	0.002mg/L未満	0.002mg/L未満	0.002mg/L未満
四塩化炭素	0.02 mg/L	0.002 mg/L	0.0002mg/L未満	0.0002mg/L未満	0.0002mg/L未満	0.0002mg/L未満
1,2-ジクロロエタン	0.04 mg/L	0.004 mg/L	0.0004mg/L未満	0.0004mg/L未満	0.0004mg/L未満	0.0004mg/L未満
1,1-ジクロロエチレン	0.2 mg/L	0.02 mg/L	0.002mg/L未満	0.002mg/L未満	0.002mg/L未満	0.002mg/L未満
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.4 mg/L	0.04 mg/L	0.004mg/L未満	0.004mg/L未満	0.004mg/L未満	0.004mg/L未満
1,1,1-トリクロロエタン	3 mg/L	1 mg/L	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満
1,1,2-トリクロロエタン	0.06 mg/L	0.006 mg/L	0.0006mg/L未満	0.0006mg/L未満	0.0006mg/L未満	0.0006mg/L未満
1,3-ジクロロプロペン	0.02 mg/L	0.002 mg/L	0.0002mg/L未満	0.0002mg/L未満	0.0002mg/L未満	0.0002mg/L未満
チウラム	0.06 mg/L	0.006 mg/L	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満
シマジン	0.03 mg/L	0.003 mg/L	0.0003mg/L未満	0.0003mg/L未満	0.0003mg/L未満	0.0003mg/L未満
チオベンカルブ	0.2 mg/L	0.02 mg/L	0.001mg/L未満	0.001mg/L未満	0.001mg/L未満	0.001mg/L未満
ベンゼン	0.1 mg/L	0.01 mg/L	0.001mg/L未満	0.001mg/L未満	0.001mg/L未満	0.001mg/L未満
セレン又はその化合物	0.1 mg/L	0.01 mg/L	0.002mg/L未満	0.002mg/L未満	0.002mg/L未満	0.003mg/L

表 4-2-2(2) 溶出試験結果 (馬島沖)

項目	海洋汚染防止法 (水底土砂基準) 総理府令第6号	産業廃棄物処理法 (建設汚泥基準) 総理府令第5号	馬島沖 (8月2日採取)		馬島沖 (11月25日採取)	
			Stn. 3	Stn. 4	Stn. 3	Stn. 4
アルキル水銀化合物	検出されないこと	検出されないこと	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満
水銀又はその化合物	0.005 mg/L	0.0005 mg/L	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満
カドミウム又はその化合物	0.1 mg/L	0.01 mg/L	0.001mg/L未満	0.001mg/L未満	0.001mg/L未満	0.001mg/L未満
鉛又はその化合物	0.1 mg/L	0.01 mg/L	0.005mg/L未満	0.005mg/L未満	0.005mg/L未満	0.005mg/L未満
有機りん化合物	1 mg/L	検出されないこと	0.1mg/L未満	0.1mg/L未満	0.1mg/L未満	0.1mg/L未満
六価クロム化合物	0.5 mg/L	0.05 mg/L	0.04mg/L未満	0.04mg/L未満	0.04mg/L未満	0.04mg/L未満
ひ素又はその化合物	0.1 mg/L	0.01 mg/L	0.005mg/L未満	0.005mg/L未満	0.005mg/L未満	0.005mg/L未満
シアン化合物	1 mg/L	検出されないこと	0.1mg/L未満	0.1mg/L未満	0.1mg/L未満	0.1mg/L未満
ポリ塩化ビフェニル	0.003 mg/L	検出されないこと	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満
銅又はその化合物	3 mg/L	0.014 mg/L	0.005mg/L未満	0.005mg/L未満	0.005mg/L未満	0.005mg/L未満
亜鉛又はその化合物	2 mg/L	0.8 mg/L	0.01mg/L未満	0.01mg/L未満	0.01mg/L未満	0.01mg/L未満
ふっ化物	15 mg/L	3 mg/L	0.2mg/L	0.3mg/L	0.2mg/L	0.2mg/L
トリクロロエチレン	0.3 mg/L	0.03 mg/L	0.002mg/L未満	0.002mg/L未満	0.002mg/L未満	0.002mg/L未満
テトラクロロエチレン	0.1 mg/L	0.01 mg/L	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満
ベリリウム又はその化合物	2.5 mg/L	0.25 mg/L	0.01mg/L未満	0.01mg/L未満	0.01mg/L未満	0.01mg/L未満
クロム又はその化合物	2 mg/L	0.2 mg/L	0.04mg/L未満	0.04mg/L未満	0.04mg/L未満	0.04mg/L未満
ニッケル又はその化合物	1.2 mg/L	0.12 mg/L	0.01mg/L未満	0.01mg/L未満	0.01mg/L未満	0.01mg/L未満
バナジウム又はその化合物	1.5 mg/L	0.15 mg/L	0.1mg/L未満	0.1mg/L未満	0.1mg/L未満	0.1mg/L未満
有機塩素化合物	40 mg/kg (含有量 τ - η)	1 mg/L	4mg/kg未満 (含有量 τ - η)	4mg/kg未満 (含有量 τ - η)	4mg/kg未満 (含有量 τ - η)	4mg/kg未満 (含有量 τ - η)
ジクロロメタン	0.2 mg/L	0.02 mg/L	0.002mg/L未満	0.002mg/L未満	0.002mg/L未満	0.002mg/L未満
四塩化炭素	0.02 mg/L	0.002 mg/L	0.0002mg/L未満	0.0002mg/L未満	0.0002mg/L未満	0.0002mg/L未満
1,2-ジクロロエタン	0.04 mg/L	0.004 mg/L	0.0004mg/L未満	0.0004mg/L未満	0.0004mg/L未満	0.0004mg/L未満
1,1-ジクロロエチレン	0.2 mg/L	0.02 mg/L	0.002mg/L未満	0.002mg/L未満	0.002mg/L未満	0.002mg/L未満
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.4 mg/L	0.04 mg/L	0.004mg/L未満	0.004mg/L未満	0.004mg/L未満	0.004mg/L未満
1,1,1-トリクロロエタン	3 mg/L	1 mg/L	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満
1,1,2-トリクロロエタン	0.06 mg/L	0.006 mg/L	0.0006mg/L未満	0.0006mg/L未満	0.0006mg/L未満	0.0006mg/L未満
1,3-ジクロロプロペン	0.02 mg/L	0.002 mg/L	0.0002mg/L未満	0.0002mg/L未満	0.0002mg/L未満	0.0002mg/L未満
チウラム	0.06 mg/L	0.006 mg/L	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満
シマジン	0.03 mg/L	0.003 mg/L	0.0003mg/L未満	0.0003mg/L未満	0.0003mg/L未満	0.0003mg/L未満
チオベンカルブ	0.2 mg/L	0.02 mg/L	0.001mg/L未満	0.001mg/L未満	0.001mg/L未満	0.001mg/L未満
ベンゼン	0.1 mg/L	0.01 mg/L	0.001mg/L未満	0.001mg/L未満	0.001mg/L未満	0.001mg/L未満
セレン又はその化合物	0.1 mg/L	0.01 mg/L	0.002mg/L未満	0.002mg/L未満	0.002mg/L未満	0.002mg/L未満

4.2.3 試験に用いた石炭灰造粒物の空隙率

石炭灰造粒物の空隙率は、図 4-2-2～図 4-2-4 のとおり、満水にしたバケツに試験材料を満たし、オーバーフローした水から求めた。試験結果は、表 4-2-3 のとおりである。

なお、石炭灰造粒物の吸着効果を見るために、市販の砂利を一定の割合で混合し、同様な空隙率に調整した砂利を比較として用いた。

表 4-2-3 石炭灰造粒物、砂利の空隙率

石炭灰造粒物	平均 39% (38%, 39%, 39%, 41%, 39%)
砂利(調整後)	平均 39% (37%, 40%, 39%)



図 4-2-2 バケツ試験 (簡易試験)



図 4-2-3 石炭灰造粒物



図 4-2-4 砂 利

5. 実証試験実施場所の概要

5.1 実証試験実施場所の名称、所在地

実証試験実施場所は、新設の大河漁港と既存（石炭灰造粒物設置後 8 年以上経過）の馬島沖の 2ヶ所であり、名称および所在地は図 5-1-1、図 5-1-2 のとおりである。

なお、大河漁港および馬島沖の実証試験実施場所は、それぞれ短期的な効果の検証場所と長期的な効果の検証場所として位置づけた。

名称	大河漁港
所在地	広島県広島市南区丹那町



図 5-1-1 実証試験実施場所位置図（大河漁港）

名称	馬島沖
所在地	山口県熊毛郡田布施町馬島沖周辺海域



図 5-1-2 実証試験実施場所位置図（馬島沖）

5.2 海域の概要

5.2.1 実証試験実施場所の周辺海域の概要

実証試験実施場所周辺海域の概要を表 5-2-1、5-2-2 に示す。

表 5-2-1 実証試験実施場所周辺海域の概要（大河漁港）

海域の主な利用状況	実証試験実施海域は港湾区域内の奥まった地形にあり、非常に静穏な場所であるが、小型漁船の往来がある。
水質の状況	港湾区域内の奥に位置するため閉鎖性が強く、海水交換は悪い。 溶存酸素（平成 18 年 6 月）：海底上 0.3m で 6.2 mg/L
底質の状況	試験実施前（平成 22 年 5 月）：酸揮発性硫化物 (AVS-S) 1.0~1.6mg/g、酸化還元電位-320mV、COD29.0~30.8 mg/g、IL12.3~12.9%、軟泥
生物生息環境	試験実施前（平成 22 年 5 月）の目視観察では、肉眼的サイズのベントスは確認できなかった。
海域の課題	船の出入りが多く、その影響に配慮する必要がある。
実証試験環境	【実証試験場所へのアプローチ】水深が浅いため小型船舶を使用。 【試料採取・観察】潜水士が行う。

表 5-2-2 実証試験実施場所周辺海域の概要（馬島沖）

海域の主な利用状況	実証試験実施海域は港湾区域外で、かつてエビ養殖の排水の影響を受けた海域であり、平成 14 年 5 月に石炭灰造粒物が覆土された。 設置場所は船舶航路ではなく、比較的静穏な場所である。 漁場は山口県漁業協同組合田布施支店の漁業権が設定されている。
水質の状況	閉鎖性は低く、水深 10m 程度（図 5-2-1 参照）。 覆砂敷設前（平成 14 年 2 月実施） ⁷⁾ ：pH8.2~8.3、T-N 0.12~0.20 mg/L、T-P 0.008~0.036 mg/L
底質の状況	覆砂敷設前（平成 14 年 2 月実施） ⁷⁾ ：pH 8.5~8.7、T-N1950~2150 mg/kg、T-P 701~878 mg/kg、T-S 0.18~0.41 mg/g、IL 10.3~10.8 %
生物生息環境	覆砂敷設前の生物生息環境調査結果（平成 14 年 2 月実施） ⁷⁾ ：個体数 299~357 個体/m ² 、湿重量 19.4~121.5g/m ² 、種類 11~17 種
海域の課題	ひっ迫する課題は見当たらない。
実証試験環境	【実証試験場所へのアプローチ】地元船舶を使用。 【試料採取・観察】潜水士が行う。

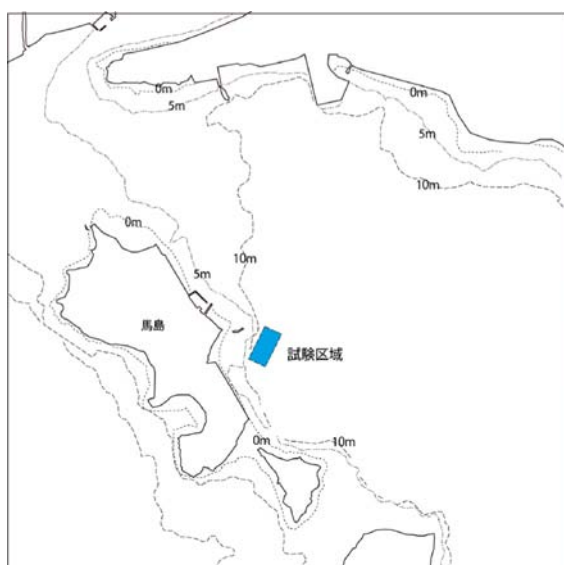


図 5-2-1 馬島周辺水深図

5.3 試験区の配置

5.3.1 大河漁港

試験実施場所は、図 5-3-1 に示す大河漁港内の 2 ヶ所 (栈橋 1:C. D. L. -0.5m, 栈橋 2:C. D. L. -2m) であり、栈橋 1 で実証試験対象物をコアに詰めた試験、栈橋 2 で網袋に詰めた覆土試験を行った。

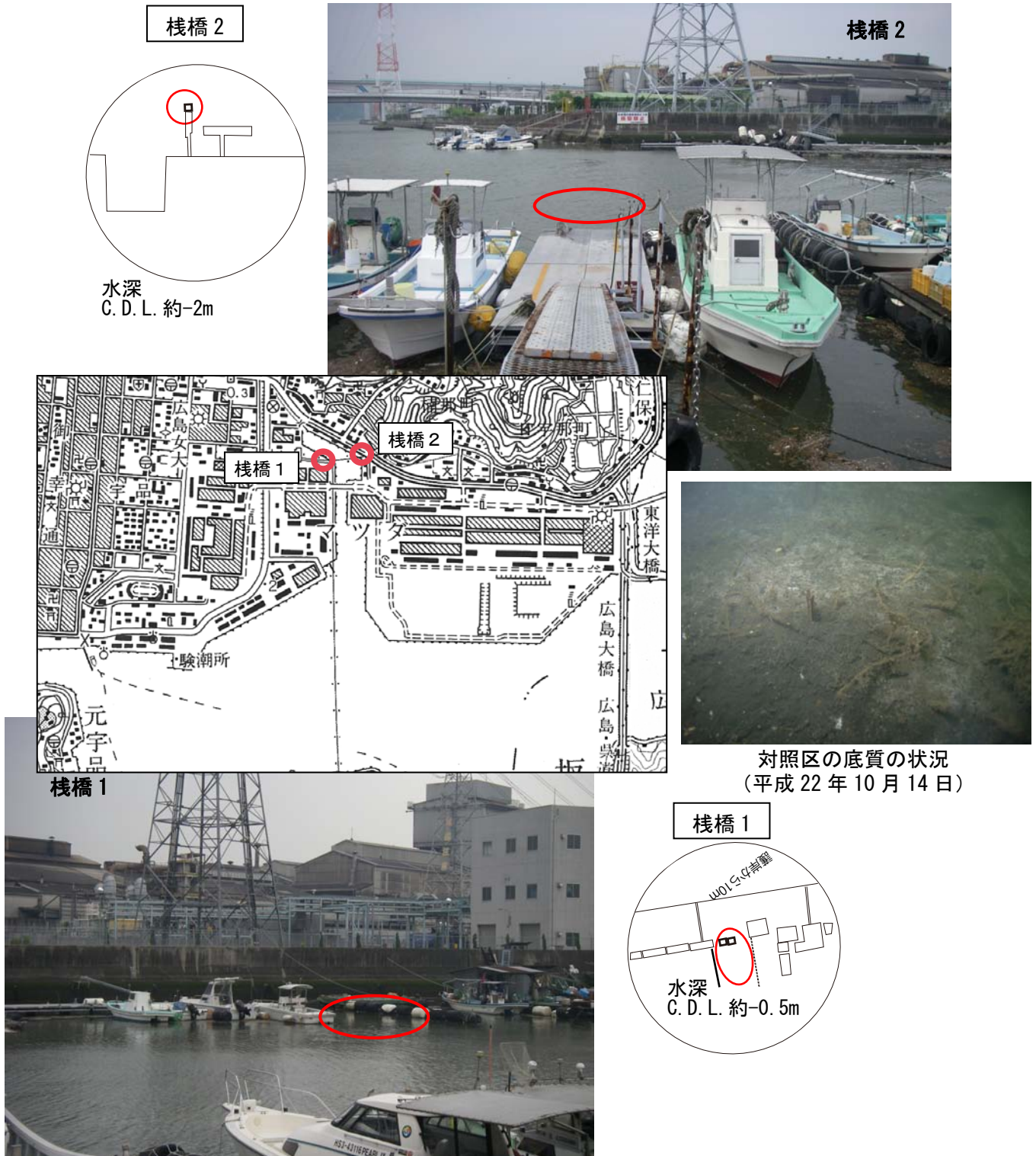
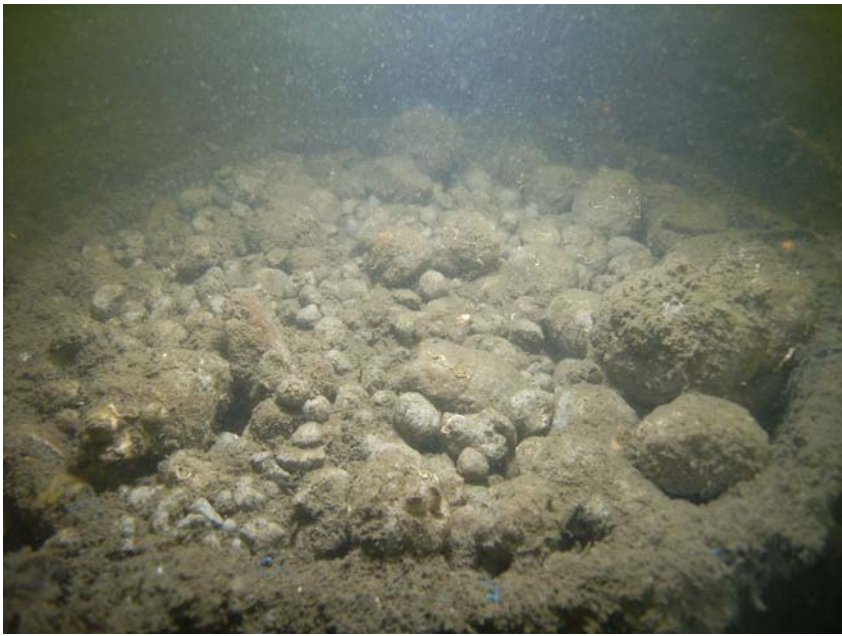
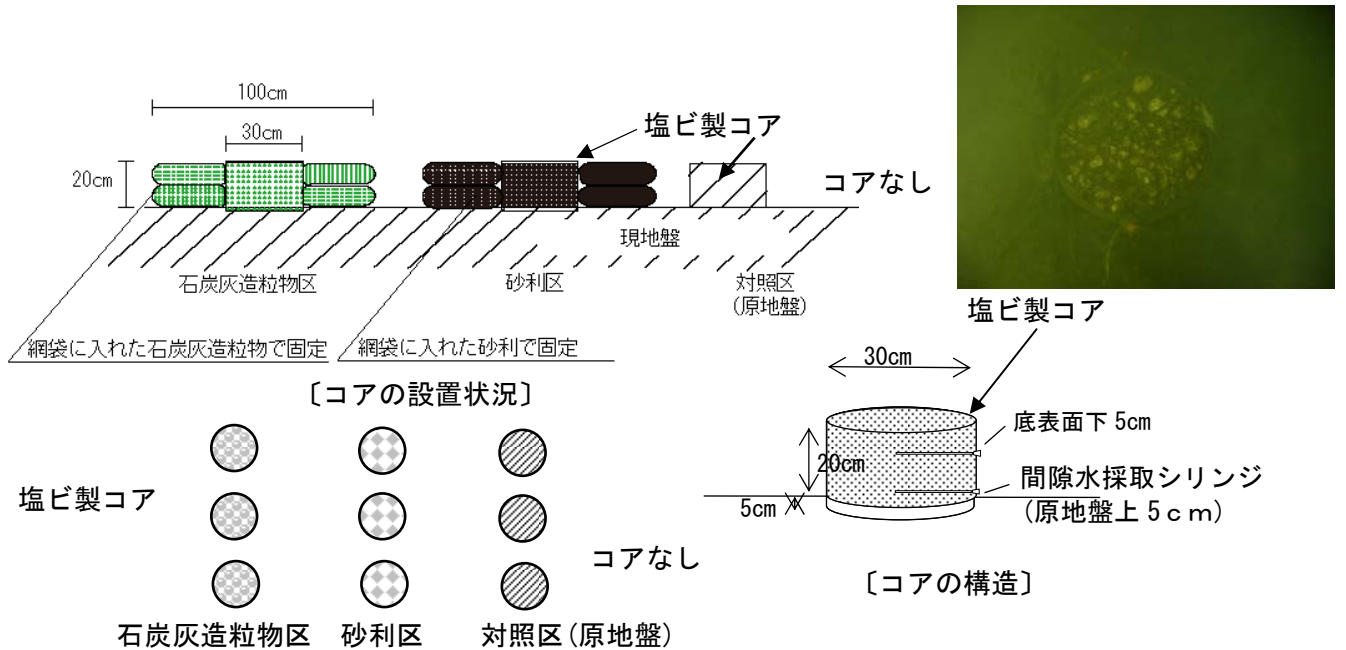


図 5-3-1 実証試験位置図 (大河漁港)

(1) 棧橋 1 (コア試験)

棧橋 1 では、石炭灰造粒物の吸着効果を確実に確認することを期待して、コアによる実証試験を行った。棧橋 1 付近に図 5-3-2 に示すように直径 30cm×高さ 25cm 程度の塩ビ製コアを石炭灰造粒物区と砂利区に各 3 基、対照区に 3 基×3 列=9 基を設置した。

塩ビ製コアには 20cm の深さまで試験材料を入れた。対照区については、塩ビ製コアに原地盤の底泥を入れたものとコアなしの状態を設定した。また、敷設した状態に近づけるために塩ビ製コアの周囲には、試験材料と同じ材料を網袋 (目合 5mm) に入れ敷き詰めた。

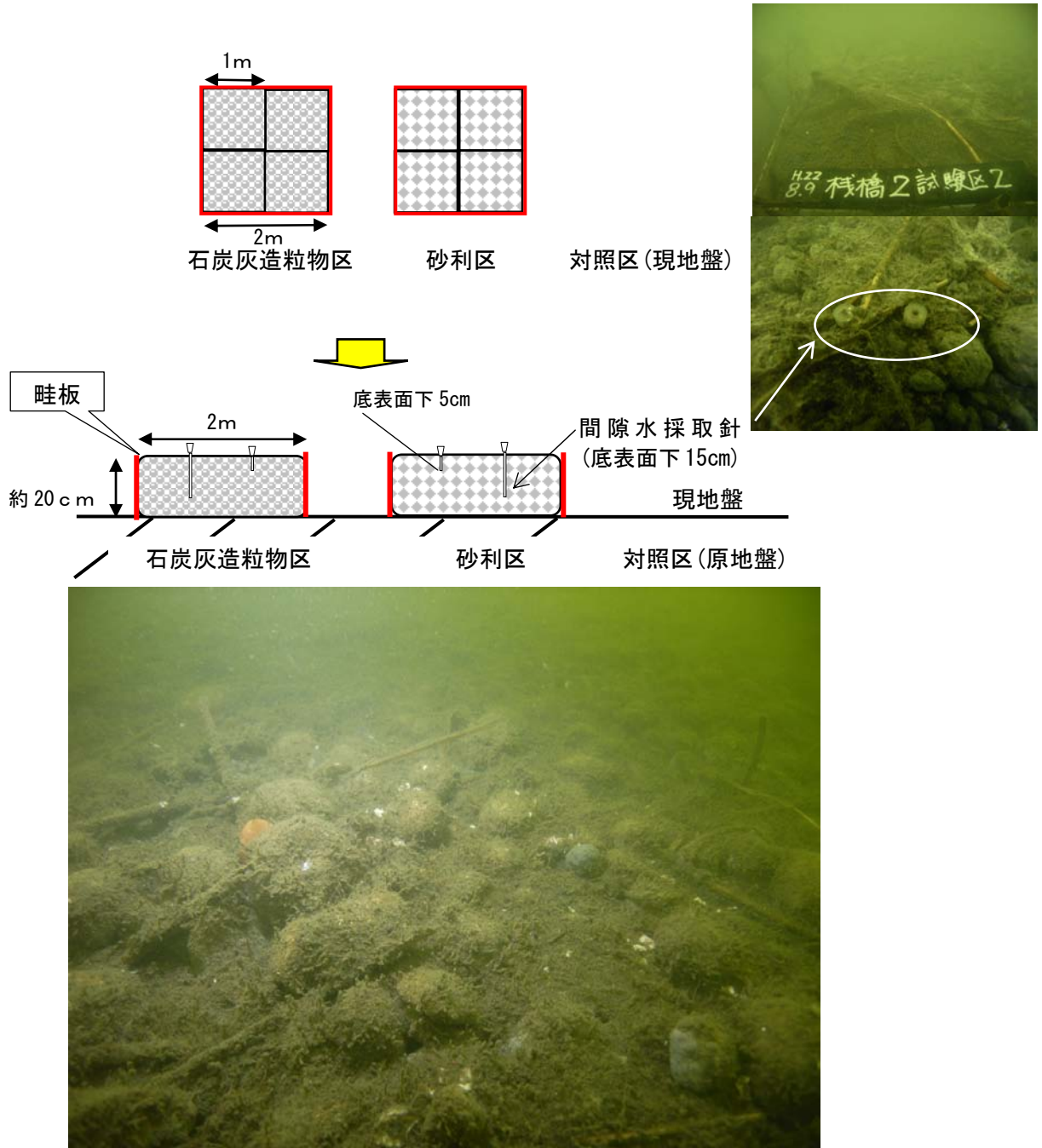


棧橋 1 の石炭灰造粒物区の状況 (平成 22 年 9 月 14 日)

図 5-3-2 塩ビ製コアの設置位置図および構造図 (棧橋 1)

(2) 棧橋 2 (覆土試験)

棧橋 2 での試験は、当該技術を活用した実際の事業に近づけた試験を想定し、図 5-3-3 に示すように、網袋 (目合 5mm) に入れた石炭灰造粒物および砂利を 2m 四方 (4m²)、覆土厚約 20cm となるように隙間なく設置した。周囲は、不透過の畦板で囲んだ。



棧橋 2 の石炭灰造粒物区の状況 (平成 22 年 9 月 14 日)

図 5-3-3 網袋に入れた石炭灰造粒物および砂利の設置状況図 (棧橋 2)

5.3.2 馬島沖

石炭灰造粒物敷設後8年が経過した海域において、実証試験を行った。試験地は、石炭灰造粒物を100m×100m×20cm(厚さ)で敷設した改良区と100m×100mに区画された在来地盤の対照区が設定されている(図5-3-4)。



石炭灰造粒物敷設直後の状況
(平成14年3月25日)



対照区の底質の状況
(平成22年11月26日)



改良区の石炭灰造粒物の状況
(平成22年11月26日)

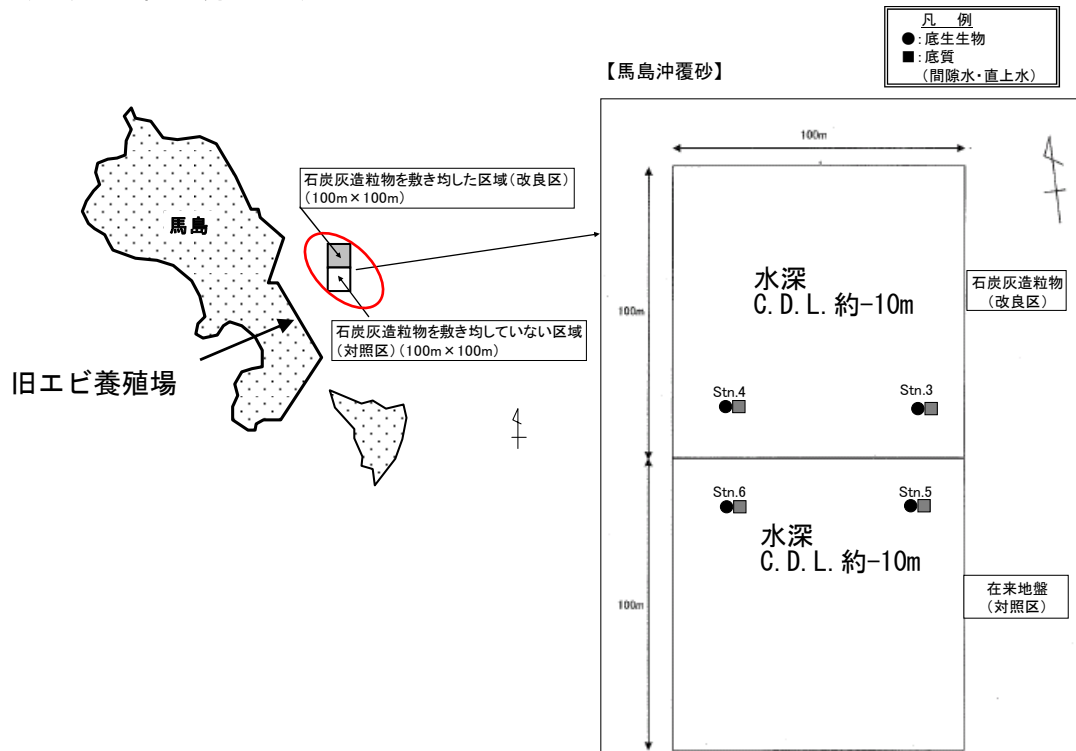


図5-3-4 改良区および対照区の位置図(馬島沖)

6. 実証試験の方法

6.1 実証試験工程

本実証試験工程を表6-1-1に示す。

表6-1-1 実証試験工程

調査地点	調査内容	平成22年						平成23年			
		6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
広島市南区大河漁港	試験計画・調査準備 関係機関調整・試験体設置	■	■								
	底質調査			■	■	■					
	底生物調査					■					
	石炭灰造粒物の溶出試験			■		■					
山口県熊毛郡 田布施町馬島沖合	試験計画・調査準備・関係機関調整	■									
	底質調査			■	■		■				
	底生物調査			■			■				
	石炭灰造粒物の溶出試験			■			■				
技術実証委員会		■			■	■				■	
報告書作成				■	■	■	■	■	■	■	■

6.2 目標および調査項目

6.2.1 目標

本実証試験は、「石炭灰造粒物（Hi ビーズ）による海域環境の改善技術」として石炭灰造粒物の底泥から溶出する栄養塩類、硫化物の吸着による水質・底質改善効果および生物生息環境の改善効果を評価することを目標とした。

6.2.2 調査項目

上記目標を評価するため、表6-2-1に示す調査項目について試験を実施した。

表6-2-1 実証試験の調査項目・目標水準

実証目標	調査項目	目標水準
水質・底質の改善効果	底質 (間隙水・直上水) DIN, DIP, 硫化物イオン, 酸化還元電位, pH	<ul style="list-style-type: none"> ・溶出抑制効果が認められる。 →試験区の溶存無機態窒素、リン濃度が対照区よりも低い。 (大河漁港：石炭灰造粒物区が砂利区よりも低い。) →試験区の硫化物イオン濃度が対照区よりも低い。 (大河漁港：石炭灰造粒物区が砂利区よりも低い。)
生物生息環境の改善効果	底生物	<ul style="list-style-type: none"> ・試験区の底生物の個体数・種類・多様度指数が対照区と比べて高い値を示している。

6.3 実証試験方法

6.3.1 底質調査（間隙水・直上水）

底質調査（間隙水・直上水）に係る試料採取方法、分析方法等を表 6-3-1 に示す。

表 6-3-1 底質調査の試料採取方法、分析方法等

調査時期	【大河漁港】平成 22 年 7 月 21～23 日（試験区設置） 平成 22 年 8 月 9 日、9 月 14 日、10 月 14 日 【馬島沖】平成 22 年 8 月 2 日、9 月 29 日（補完調査）、11 月 25 日	
試料採取方法	〔間隙水〕ダイバーが、シリンジによる採取あるいは長さ約 30cm のアクリルパイプを用いて表層試料(0-10cm)を柱状採取し、遠心分離にかけ、間隙水の採取を行った。シリンジによる採取は、大河漁港の石炭灰造粒物区と砂利区で行った。 〔直上水〕ダイバーが、シリンジにより底上 5cm を採水した。	
試料採取数	各調査地点：各 3 検体	
分析項目	pH	現地機器測定
	酸化還元電位	現地機器測定
	DIN	JIS K 0102(2008)によるろ過試料の無機態窒素 (NH ₄ -N、NO ₂ -N、NO ₃ -N) を分析
	DIP	JIS K 0102(2008)によるろ過試料の無機態リンを分析
	硫化物イオン	JIS K 0102(2008)39



間隙水採取状況

6.3.2 底生生物調査

底生生物調査に係る試料採取方法、調査方法等を表 6-3-2 に示す。

表 6-3-2 底生生物調査の試料採取方法、調査方法等

調査時期	【大河漁港】平成 22 年 10 月 14 日 【馬島沖】平成 22 年 8 月 2 日、11 月 25 日	
試料採取方法	調査地点の海底に 20cm 四方の方形枠を設置し、表層部 20cm の底質を採取した。なお、大河漁港の栈橋 1 については、コア内の底質を採取した。	
試料採取数	各調査地点：各 3 検体	
調査項目	底生生物（メガロベントス）	25cm 四方の方形枠を任意に設置し、その中に生息する大型生物の種類と個体数を観測するとともに、同時に写真撮影を行った。
	底生生物（マクロベントス）	採取試料を 1mm 目の篩にかけ、篩上に残った生物を試料とする。試料は、10%ホルマリンで固定して分析室に持ち帰り、種の同定、個体数の計数および湿重量の測定を行った。

7. 実証試験結果

7.1 大河漁港

7.1.1 水質調査

- ・試験区の状況としては、7月には溶存酸素量 2mg/L 以下の貧酸素状態がみられ、栈橋 1 では干潮時には 7mg/L 以上と貧酸素状態が解消したが、栈橋 2 では貧酸素の状況が維持されていた。
- ・8月には、溶存酸素量は 3mg/L 以下を観測したが、これ以降は、溶存酸素量が高くなり、3mg/L 以下の溶存酸素量は栈橋 2 で 10月に記録しただけであった。

試験区の状況を調べるために、7月には多項目水質計による測定を干潮時と満潮時に行った。この時の水温および溶存酸素量 (DO) の鉛直分布状況を図 7-1-1 に示す。

満潮時には水温躍層の形成が認められ、溶存酸素量は栈橋 1 および栈橋 2 ともに 2mg/L 以下と、水産用水基準(2005年版)で底生生物の生息可能な最低濃度とされる 2.9mg/L(2mL/L)を下回った。栈橋 1 では、水深が C. D. L. 約 0.5m と浅く、干潮時には底層の溶存酸素量は 7mg/L 以上を示したが、栈橋 2 では干潮時においても水温躍層が維持され、2mg/L を下回っていた。

このように、7月には 2mg/L 以下の貧酸素状態が認められ、栈橋 1 では干潮時に貧酸素状態が解消されたが、栈橋 2 では貧酸素の状況が維持されていた。

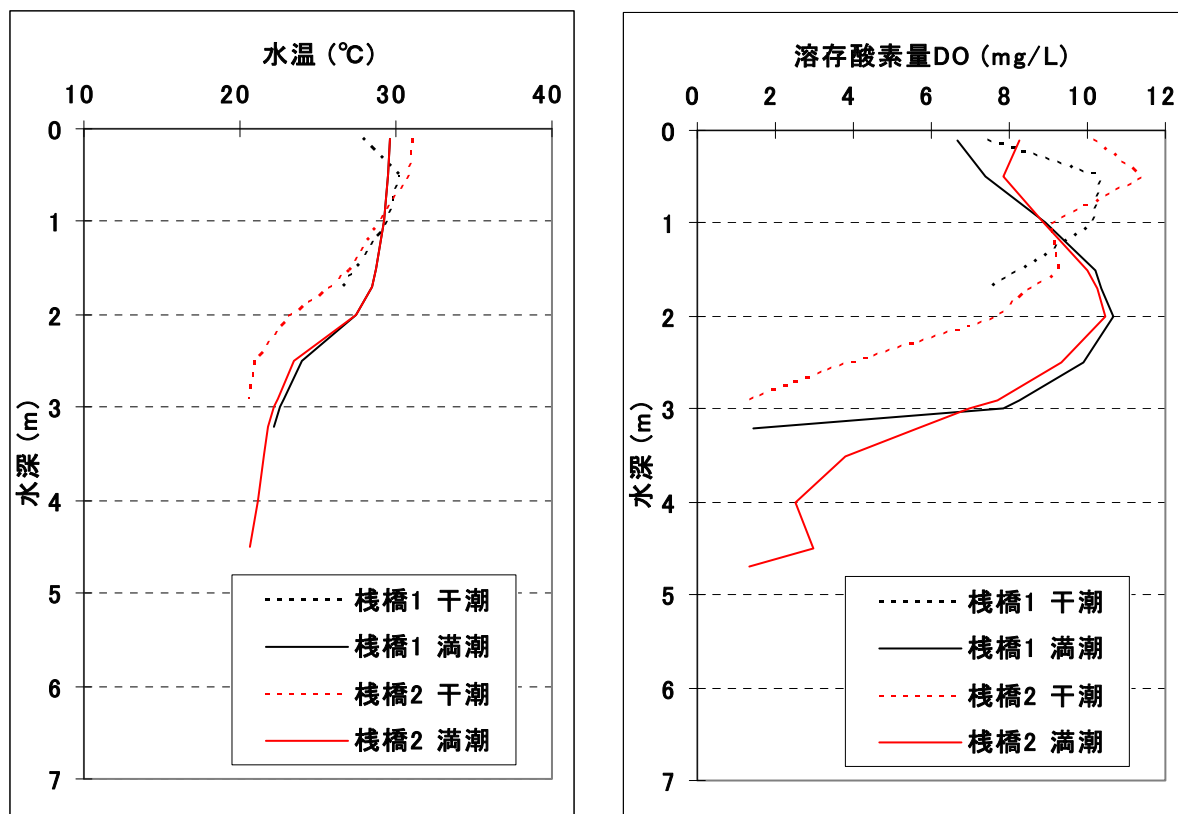
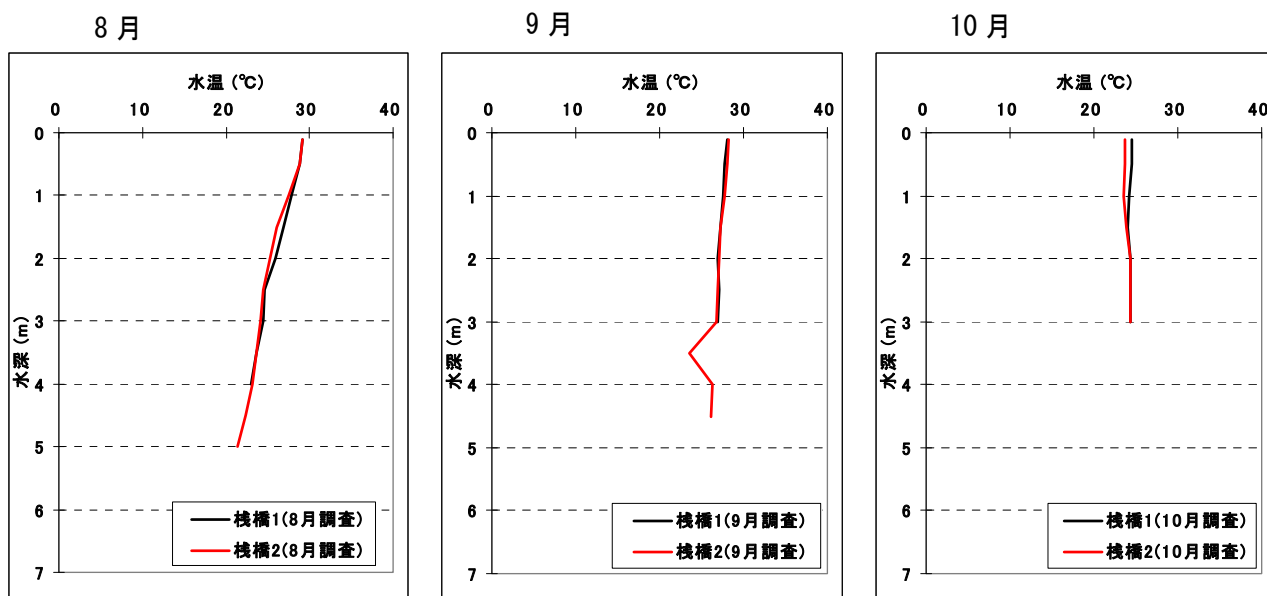


図 7-1-1 7月の干潮時と満潮時の水温および溶存酸素量 (DO) の鉛直分布状況 (大河漁港)

8月～10月は、満潮時のみ水質測定を行った。その結果は、図7-1-2のとおりであり、水温の上下較差は8月には大きかったが、9月以降は小さくなった。溶存酸素量は、8月には生息可能な最低濃度を下回ったが、これ以降、溶存酸素量は高くなり、3mg/L以下の溶存酸素量は栈橋2で10月に記録しただけであった。

〔水温鉛直分布〕



〔溶存酸素量鉛直分布〕

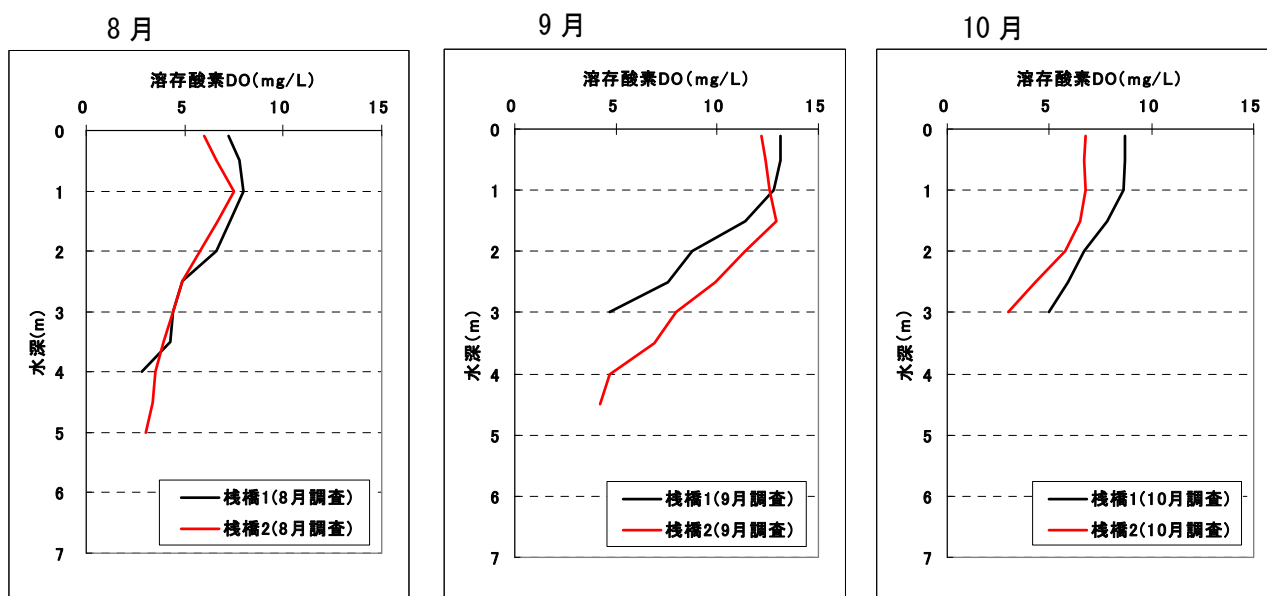


図7-1-2 8月～10月の満潮時の水温および溶存酸素の鉛直分布状況（大河漁港）

7.1.2 底質調査（間隙水・直上水）

大河漁港の底質（直上水・間隙水）の調査結果の一覧を表7-1-1に示す。

なお、8月調査は石炭灰造粒物設置18日経過後、9月調査は54日経過後、10月調査は84日経過後にそれぞれ調査を実施した。

表7-1-1(1) 8月調査結果一覧表（大河漁港 棧橋1（コア試験）：設置後18日）

直上水

試験区域 項目	石炭灰造粒物	砂利	対照区（原地盤）	
			コア	コアなし
pH (—)	7.8(7.8)	7.7(7.6~7.9)	7.8(7.8)	7.9(7.8~7.9)
ORP (mV)	118(116~122)	143(124~178)	117(111~126)	104(102~107)
DIN (mg/L)	0.20(0.18~0.24)	0.18(0.15~0.19)	0.20(0.19~0.20)	0.23(0.21~0.26)
DIP (mg/L)	0.027(0.015~0.034)	0.033(0.030~0.035)	0.037(0.036~0.038)	0.040(0.038~0.043)
S ²⁻ (mg/L)	<0.05(<0.05)	0.06(0.05~0.07)	<0.05(<0.05~0.05)	<0.05(<0.05)

間隙水

試験区域 項目	石炭灰造粒物		砂利	
	底表面下5cm	底表面下15cm	底表面下5cm	底表面下15cm
pH (—)	8.4(8.1~8.7)	8.4(8.3~8.6)	8.1(7.9~8.3)	8.0(8.0)
ORP (mV)	60(53~64)	-52(-67~-26)	54(46~67)	39(27~58)
DIN (mg/L)	0.32(0.20~0.43)	0.33(0.25~0.42)	0.14(0.08~0.21)	0.17(0.10~0.23)
DIP (mg/L)	0.044(0.036~0.056)	0.031(0.019~0.052)	0.025(0.011~0.033)	0.013(0.005~0.022)
S ²⁻ (mg/L)	<0.05(<0.05)	0.05(0.05~0.06)	<0.05(<0.05)	0.05(0.05)

間隙水

試験区域 項目	対照区（原地盤）	
	コア	コアなし
pH (—)	8.0(7.9~8.0)	7.7(7.4~7.8)
ORP (mV)	-353(-397~-320)	-376(-402~-360)
DIN (mg/L)	17(11~22)	17(14~20)
DIP (mg/L)	3.6(2.2~5.4)	3.4(2.6~4.5)
S ²⁻ (mg/L)	3.1(2.7~3.8)	3.1(1.6~4.3)

注）平均値（分析値範囲）

表7-1-1 (2) 8月調査結果一覧表（大河漁港 棧橋2（覆土試験）：設置後18日）

直上水

試験区域 項目	石炭灰造粒物	砂利	対照区（原地盤）
pH (—)	7.6(7.6)	7.5(7.4~7.5)	7.4(7.2~7.5)
ORP (mV)	225(222~228)	178(79~215)	79(79~100)
DIN (mg/L)	0.21(0.20~0.21)	0.27(0.20~0.43)	0.28(0.23~0.31)
DIP (mg/L)	0.051(0.051~0.052)	0.063(0.049~0.093)	0.062(0.055~0.066)
S ²⁻ (mg/L)	<0.05(<0.05~0.05)	<0.05(<0.05~0.05)	<0.05(<0.05)

間隙水

試験区域 項目	石炭灰造粒物		砂利		対照区（原地盤）
	底表面下5cm	底表面下15cm	底表面下5cm	底表面下15cm	
pH (—)	8.1(7.9~8.2)	8.4(8.2~8.5)	7.9(7.8~8.0)	7.9(7.8~7.9)	7.4(7.3~7.4)
ORP (mV)	87(73~108)	3(-13~16)	62(55~67)	-76(-114~-43)	-238(-250~-231)
DIN (mg/L)	0.17(0.09~0.24)	0.14(0.04~0.22)	0.19(0.16~0.22)	0.13(0.04~0.29)	6.7(4.1~9.3)
DIP (mg/L)	0.027(0.018~0.028)	0.043(0.027~0.057)	0.012(0.007~0.017)	0.017(0.004~0.030)	0.93(0.52~1.4)
S ²⁻ (mg/L)	<0.05(<0.05)	<0.05(<0.05)	<0.05(<0.05)	<0.05(<0.05)	2.0(1.2~3.3)

注）平均値（分析値範囲）

表7-1-1(3) 9月調査結果一覧表（大河漁港 棧橋1（コア試験）：設置後54日）

直上水

試験区域 項目	石炭灰造粒物	砂利	対照区（原地盤）	
			コア	コアなし
pH (—)	7.7(7.7)	7.7(7.6~7.7)	7.7(7.7)	7.7(7.7)
ORP (mV)	51(49~53)	28(11~39)	62(60~64)	57(56~59)
DIN (mg/L)	0.17(0.16~0.17)	0.15(0.15~0.16)	0.15(0.14~0.16)	0.15(0.15)
DIP (mg/L)	0.028(0.015~0.046)	0.041(0.038~0.043)	0.041(0.038~0.042)	0.040(0.038~0.041)
S ²⁻ (mg/L)	<0.05(<0.05)	<0.05(<0.05)	<0.05(<0.05)	<0.05(<0.05)

間隙水

試験区域 項目	石炭灰造粒物		砂利	
	底表面下5cm	底表面下15cm	底表面下5cm	底表面下15cm
pH (—)	7.9(7.7~8.1)	8.0(7.7~8.3)	7.8(7.6~7.9)	7.6(7.5~7.6)
ORP (mV)	-31(-57~-16)	-147(-164~-135)	-173(-198~-151)	-204(-225~-170)
DIN (mg/L)	0.61(0.40~0.97)	2.1(1.7~2.3)	1.3(0.66~1.8)	2.2(0.69~3.6)
DIP (mg/L)	0.078(0.068~0.087)	0.044(0.021~0.072)	0.33(0.22~0.55)	0.76(0.23~1.3)
S ²⁻ (mg/L)	<0.05(<0.05)	<0.05(<0.05)	<0.08(<0.05~0.23)	<1.4(<0.05~3.9)

間隙水

試験区域 項目	対照区（原地盤）	
	コア	コアなし
pH (—)	7.5(7.3~7.7)	7.7(7.4~7.8)
ORP (mV)	-391(-394~-388)	-376(-402~-360)
DIN (mg/L)	8.7(6.0~12)	7.8(5.3~10)
DIP (mg/L)	1.4(0.84~2.0)	1.1(0.75~1.4)
S ²⁻ (mg/L)	<0.05(<0.05)	<6.8(<0.05~14)

注）平均値（分析値範囲）

表 7-1-1(4) 9月調査結果一覧表（大河漁港 棧橋 2（覆土試験）：設置後 54 日）

直上水

項目	試験区域	石炭灰造粒物	砂利	対照区（原地盤）
pH	(-)	7.0(6.7~7.2)	7.4(7.3~7.4)	7.5(7.4~7.5)
ORP	(mV)	173(150~204)	105(79~125)	69(63~75)
DIN	(mg/L)	0.40(0.39~0.41)	0.42(0.41~0.43)	0.43(0.40~0.45)
DIP	(mg/L)	0.088(0.088~0.089)	0.092(0.091~0.093)	0.092(0.089~0.093)
S ²⁻	(mg/L)	<0.08(<0.05~0.18)	<0.05(<0.05~0.10)	<0.05(<0.05)

間隙水

項目	試験区域	石炭灰造粒物		砂利		対照区（原地盤）
		底表面下5cm	底表面下15cm	底表面下5cm	底表面下15cm	
pH	(-)	8.0(7.9~8.1)	8.2(8.0~8.4)	7.6(7.3~7.8)	7.6(7.4~7.8)	7.3(7.2~7.4)
ORP	(mV)	-65(-96~-38)	-116(-169~-84)	-208(-232~-188)	-224(-238~-211)	-352(-371~-339)
DIN	(mg/L)	0.68(0.65~0.73)	0.63(0.55~0.69)	1.6(0.95~2.5)	1.7(1.6~1.9)	11(6.0~16)
DIP	(mg/L)	0.062(0.027~0.11)	0.074(0.045~0.11)	0.24(0.14~0.31)	0.21(0.20~0.23)	1.1(0.61~1.9)
S ²⁻	(mg/L)	<0.05(<0.05)	<0.05(<0.05)	<2.1(<0.05~6.4)	6.9(5.3~8.0)	23(4.9~59)

注）平均値（分析値範囲）

表 7-1-1(5) 10月調査結果一覧表（大河漁港 棧橋 1（コア試験）：設置後 84 日）

直上水

項目	試験区域	石炭灰造粒物	砂利	対照区（原地盤）	
				コア	コアなし
pH	(-)	7.8(7.8)	7.7(7.7)	7.8(7.8)	7.8(7.8)
ORP	(mV)	46(45~47)	58(50~70)	47(45~50)	50(48~52)
DIN	(mg/L)	0.17(0.16~0.17)	0.18(0.18)	0.16(0.16~0.17)	0.16(0.15~0.16)
DIP	(mg/L)	0.040(0.038~0.042)	0.040(0.039~0.040)	0.038(0.035~0.040)	0.038(0.036~0.040)
S ²⁻	(mg/L)	<0.05(<0.05)	<0.05(<0.05)	<0.05(<0.05)	<0.05(<0.05)

間隙水

項目	試験区域	石炭灰造粒物		砂利	
		底表面下5cm	底表面下15cm	底表面下5cm	底表面下15cm
pH	(-)	8.1(8.0~8.1)	8.4(8.2~8.5)	7.7(7.6~7.8)	7.8(7.8~7.9)
ORP	(mV)	-37(-70~13)	-69(-99~-26)	-128(-165~-72)	-208(-217~-200)
DIN	(mg/L)	0.56(0.36~0.10)	1.3(1.1~1.6)	0.44(0.32~0.57)	1.3(1.1~1.7)
DIP	(mg/L)	0.060(0.057~0.064)	0.052(0.040~0.070)	0.11(0.054~0.16)	0.30(0.28~0.32)
S ²⁻	(mg/L)	0.21(0.10~0.36)	0.42(0.33~0.47)	<0.28(<0.05~0.79)	1.6(0.18~4.3)

間隙水

項目	試験区域	対照区（原地盤）	
		コア	コアなし
pH	(-)	7.4(7.4~7.5)	7.4(7.3~7.4)
ORP	(mV)	-345(-374~-325)	-366(-375~-357)
DIN	(mg/L)	5.4(3.1~6.6)	7.2(5.7~8.8)
DIP	(mg/L)	1.9(1.4~2.2)	1.2(1.1~1.3)
S ²⁻	(mg/L)	16(4.5~26)	27(15~35)

注）平均値（分析値範囲）

表 7-1-1(6) 10月調査結果一覧表（大河漁港 棧橋 2（覆土試験）：設置後 84 日）

直上水

項目	試験区域	石炭灰造粒物	砂利	対照区（原地盤）
pH	(-)	7.5(7.4~7.5)	7.6(7.6)	7.6(7.6~7.7)
ORP	(mV)	21(12~31)	17(15~20)	18(12~21)
DIN	(mg/L)	0.18(0.18)	0.18(0.17~0.20)	0.22(0.20~0.23)
DIP	(mg/L)	0.047(0.047~0.048)	0.048(0.047~0.049)	0.053(0.052~0.054)
S ²⁻	(mg/L)	<0.05(<0.05)	<0.05(<0.05)	<0.05(<0.05)

間隙水

項目	試験区域	石炭灰造粒物		砂利		対照区（原地盤）
		底表面下5cm	底表面下15cm	底表面下5cm	底表面下15cm	
pH	(-)	8.2(8.1~8.3)	8.3(8.2~8.4)	7.6(7.6~7.7)	7.7(7.6~7.7)	7.2(7.1~7.3)
ORP	(mV)	-85(-96~-69)	-137(-149~-130)	-166(-200~-107)	-191(-201~-185)	-361(-376~-341)
DIN	(mg/L)	0.44(0.29~0.61)	0.74(0.63~0.90)	0.63(0.33~0.80)	0.79(0.68~0.94)	12(11~13)
DIP	(mg/L)	0.064(0.055~0.069)	0.10(0.073~0.13)	0.065(0.060~0.070)	0.11(0.048~0.14)	1.2(1.0~1.4)
S ²⁻	(mg/L)	0.26(0.12~0.42)	0.52(0.13~0.84)	0.50(0.09~0.97)	1.6(0.41~3.8)	51(32~63)

注）平均値（分析値範囲）

(1) 溶存態窒素DIN

- ・直上水の平均 DIN 濃度は、石炭灰造粒物区および砂利区は対照区とほぼ同水準かわずかに低かった。
- ・間隙水中の濃度については、石炭灰造粒物区および砂利区が対照区の概ね 1/10 以下であった。
- ・石炭灰造粒物区の間隙水中濃度は、棧橋 1 (コア試験) では 9 月の 5cm 層を除くと、砂利区よりも高い値を示した。一方、棧橋 2 (覆土試験) では、試験区設置後間もない 8 月を除くと、石炭灰造粒物区で低い値を示し、特に 9 月に顕著であった。

DIN の調査結果は、図 7-1-3(1) および図 6-1-3(2) のとおりである。

【棧橋 1(コア試験)】 (図 7-1-3(1))

直上水の平均 DIN 濃度は、石炭灰造粒物区で 0.17~0.20mg/L、砂利区で 0.15~0.18mg/L、対照区で 0.15~0.23mg/L であった。石炭灰造粒物区の間隙水中の平均濃度は、対照区の 0.9~1.1 倍の濃度であり、ほぼ同水準にあった。

底表面下 5cm の間隙水については、石炭灰造粒物区が 0.32~0.61mg/L であり、対照区 (5.4~17mg/L : 0~10cm 層) の概ね 1/10 以下であった。砂利区 (0.14~1.3mg/L) の濃度を 1 として比較すると (表 7-1-2(1))、石炭灰造粒物区は 9 月の 0.5 を除くといずれも高い値を示した。

底表面下 15cm では、石炭灰造粒物区が 0.33~2.1mg/L であり、試験区設置後間もない 8 月を除くと、砂利区 (0.17~2.2mg/L) と同水準の濃度であった (表 7-1-2(1))。

表 7-1-2(1) 砂利区での平均 DIN 濃度を 1 として比較した石炭灰造粒物区の濃度比

採取深度	8 月	9 月	10 月
底表面下 5cm	2.3	0.5	1.3
底表面下 15cm	1.9	1.0	1.0

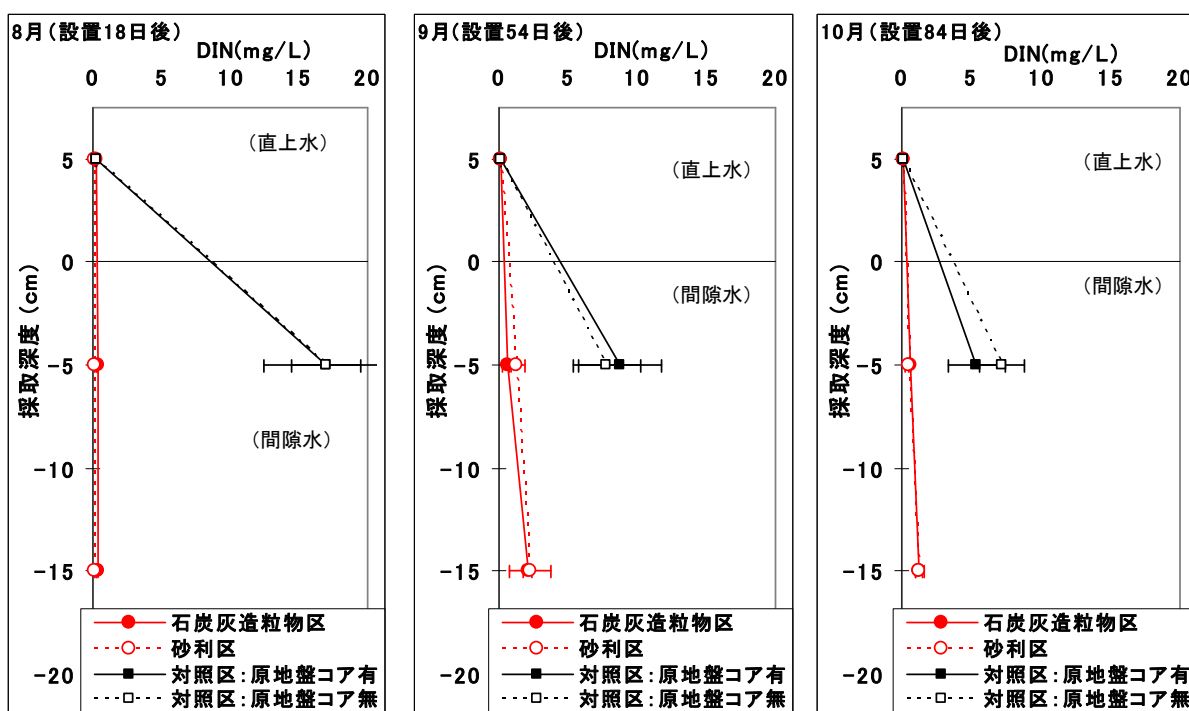


図 7-1-3(1) 直上水・間隙水調査結果 (棧橋 1、DIN)

【棧橋 2 (覆土試験)】 (図 7-1-3(2))

直上水の平均 DIN 濃度は、石炭灰造粒物区で 0.18~0.40mg/L、砂利区で 0.18~0.42mg/L、対照区で 0.22~0.43mg/L であった。石炭灰造粒物区の平均濃度は、対照区の 0.8~0.9 倍の濃度であり、わずかに低い値を示した。

底表面下 5cm の間隙水については、石炭灰造粒物区が 0.17~0.68mg/L であり、対照区 (6.7~12mg/L) の概ね 1/10 以下であった。砂利区の濃度を 1 として比較すると (表 7-2(2))、石炭灰造粒物区は、試験区設置後間もない 8 月を除くと、0.7 以下であり、9 月には 0.4 を示した。

底表面下 15cm では、石炭灰造粒物区が 0.14~0.74mg/L であり、砂利区 (0.13~1.7mg/L) と比較すると (表 7-1-2(2))、石炭灰造粒物区において低い水準にあり、平均濃度は 9 月には 0.4 を示した。

表 7-1-2(2) 砂利区での平均 DIN 濃度を 1 として比較した石炭灰造粒物区の濃度比

採取深度	8 月	9 月	10 月
底表面下 5cm	0.9	0.4	0.7
底表面下 15cm	1.1	0.4	0.9

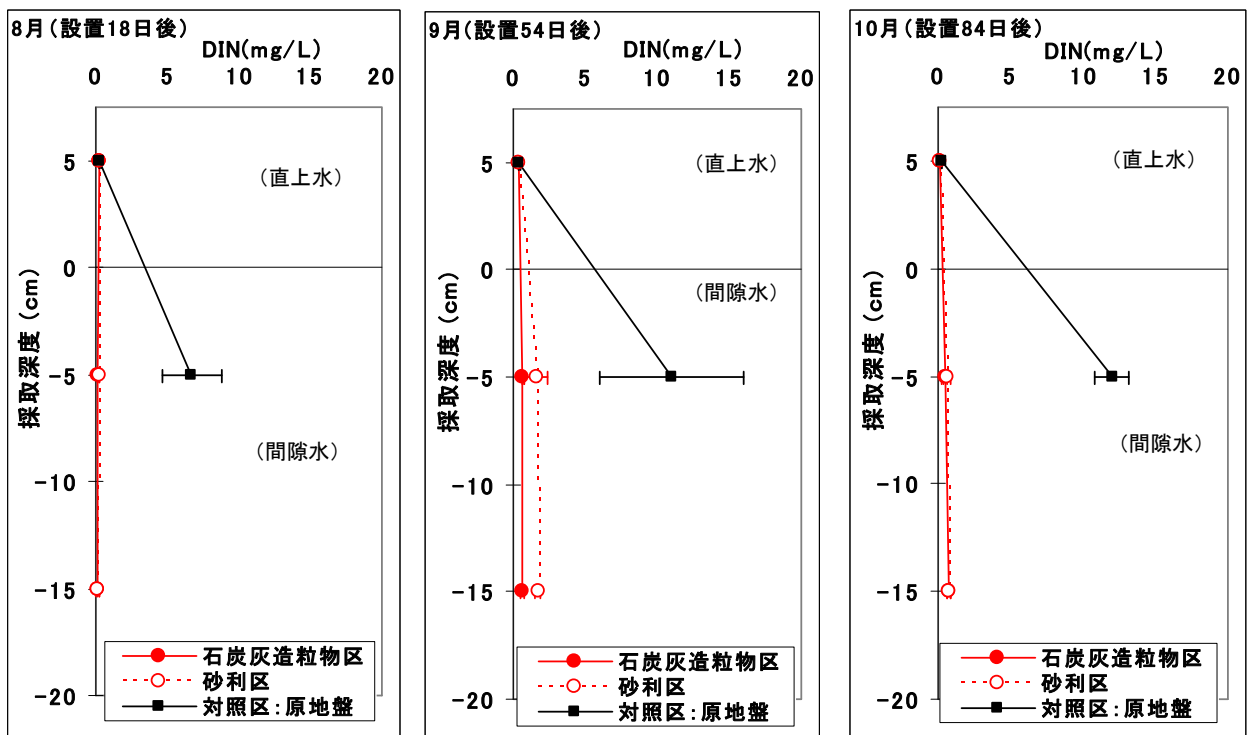


図 7-1-3 (2) 直上水・間隙水調査結果 (棧橋 2、DIN)

(2) 溶存態リンDIP

- ・直上水の平均DIP濃度は、石炭灰造粒物区が砂利区、対照区と比較して同水準か、低かった。
- ・間隙水中の濃度については、石炭灰造粒物区および砂利区が対照区の概ね1/20以下であった。
- ・石炭灰造粒物区の間隙水中濃度は、砂利区の濃度を1とすると、9月には0.1~0.4であったが、10月には0.2~1.0の値を示した。

DIPの調査結果は、図7-1-4(1)および図7-1-4(2)のとおりである。

【棧橋1(コア試験)】(図7-1-4(1))

直上水の平均DIP濃度は、石炭灰造粒物区で0.027~0.040mg/L、砂利区で0.033~0.041mg/L、対照区で0.037~0.041mg/Lであった。石炭灰造粒物区の濃度は、砂利区、対照区と比較して同水準(10月)か、低かった(7割程度)。

底表面下5cmの間隙水については、石炭灰造粒物区が0.044~0.078mg/Lであり、対照区(1.4~3.6mg/L)の1/20以下の濃度であった。砂利区の濃度を1とすると(表7-1-3(1))、石炭灰造粒物区は、8月を除くと、0.5以下であった。

底表面下15cmでは、石炭灰造粒物区が0.031~0.050mg/Lであり、砂利区で0.013~0.76mg/Lであった。砂利区の濃度を1とすると(表7-1-3(1))、石炭灰造粒物区は、8月を除くと、0.2以下であった(表7-1-3(1))。

表7-1-3(1) 砂利区での平均DIP濃度を1として比較した石炭灰造粒物区の濃度比

採取深度	8月	9月	10月
底表面下5cm	1.8	0.2	0.5
底表面下15cm	2.4	0.1	0.2

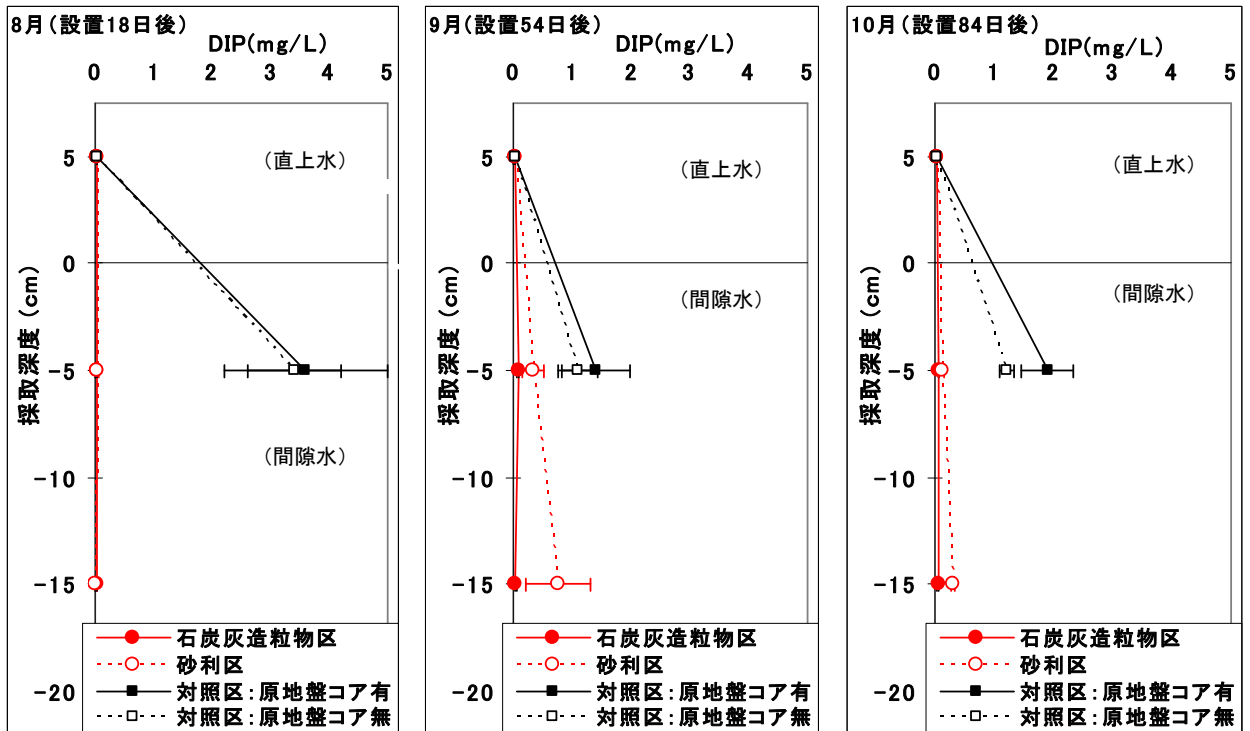


図7-1-4(1) 直上水・間隙水調査結果(棧橋1、DIP)

【棧橋 2（覆土試験）】（図 7-1-4(2)）

直上水の平均 DIP 濃度は、石炭灰造粒物区で 0.047~0.088mg/L、砂利区で 0.048~0.092mg/L、対照区で 0.053~0.092mg/L であった。石炭灰造粒物区の濃度は、砂利区、対照区と比較して同水準か、低かった。

底表面下 5cm の間隙水については、石炭灰造粒物区が 0.024~0.064mg/L であり、対照区 (0.93~1.2mg/L) の概ね 1/20 以下の濃度であった。砂利区 (0.012~0.24mg/L) の濃度を 1 とすると (表 7-1-3(2))、石炭灰造粒物区は、9 月には 0.3 を示したが、10 月には 1.0 となった。

底表面下 15cm では、石炭灰造粒物区が 0.043~0.099mg/L であり、砂利区 (0.017~0.21mg/L) の濃度を 1 とすると (表 7-1-3(2))、9 月には 0.4、10 月には 0.9 となった。

表 7-1-3(2) 砂利区での平均 DIP 濃度を 1 として比較した石炭灰造粒物区の濃度比

採取深度	8 月	9 月	10 月
底表面下 5cm	2.3	0.3	1.0
底表面下 15cm	2.5	0.4	0.9

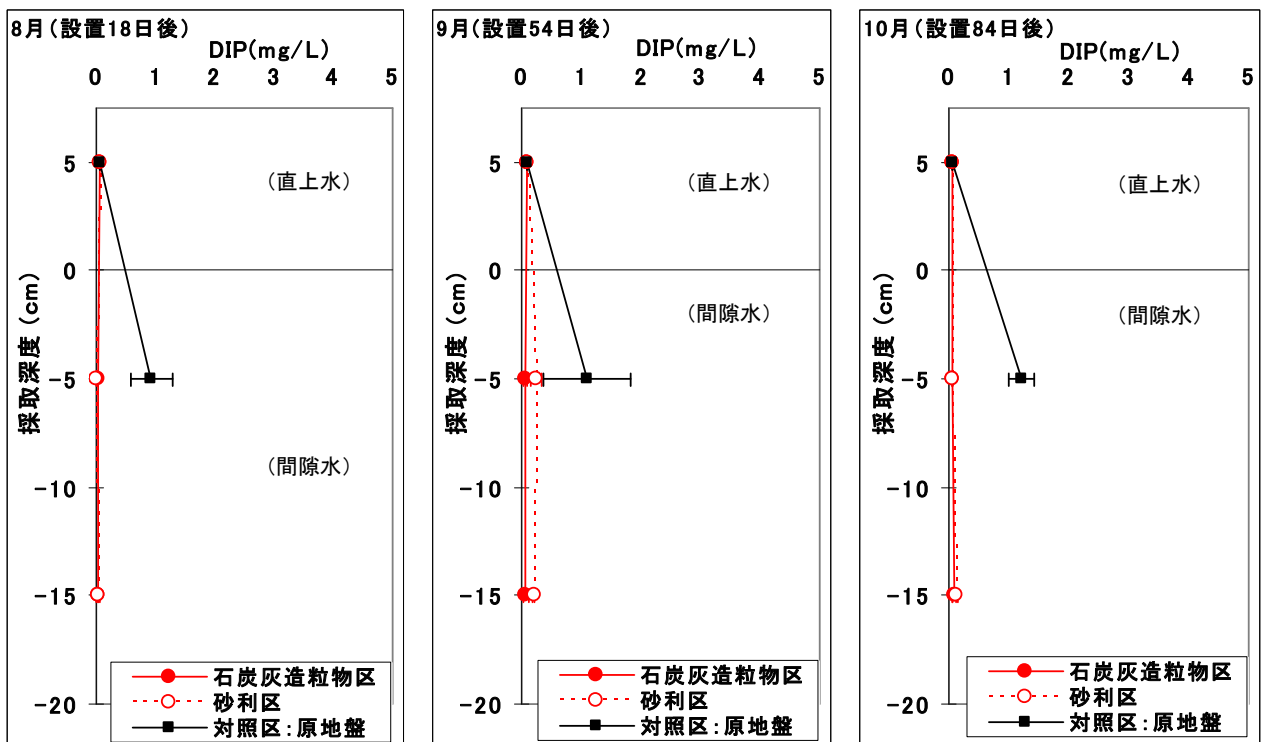


図 7-1-4(2) 直上水・間隙水調査結果（棧橋 2、DIP）

(3) 硫化物イオン S^{2-}

- ・直上水の平均硫化物イオン濃度は、いずれの試験区もほぼ定量下限値を下回っていた。
- ・間隙水中の濃度は、石炭灰造粒物区が対照区の概ね 1/100 以下程度であった。
- ・石炭灰造粒物区の間隙水中濃度は、砂利区濃度を 1 として比較すると、0~0.8 の値を示し、特に 9 月は栈橋 1 の 0.6 を除くと 0 であった。

硫化物イオン S^{2-} の調査結果は、図 7-1-5(1) および図 7-1-5(2) のとおりである。

【栈橋 1 (コア試験)】 (図 7-1-5(1))

直上水の S^{2-} 濃度は、石炭灰造粒物区および対照区では「検出されず (以下、ND という)」で、砂利区は ND~0.06mg/L で、ほぼ定量下限値 (0.05mg/L) を下回っていた。

底表面下 5cm の間隙水については、石炭灰造粒物区が ND~0.21mg/L であり、対照区 (ND~16mg/L) の概ね 1/100 以下程度であった。砂利区 (ND~0.28mg/L) の濃度を 1 として比較すると (表 7-1-4(1))、石炭灰造粒物区の濃度は、8 月を除くと 0.8 以下であり、9 月に低い値を示した。

底表面下 15cm では、石炭灰造粒物区が ND~0.42mg/L であり、砂利区 (0.05~1.6mg/L) を 1 とすると (表 7-1-4(1))、8 月を除くと 0.3 以下であり、9 月には 0 であった。

表 7-1-4(1) 砂利区での平均 S^{2-} 濃度を 1 として比較した石炭灰造粒物区の濃度比

採取深度	8 月	9 月	10 月
底表面下 5cm	1.0	0.6	0.8
底表面下 15cm	1.0	0.0	0.3

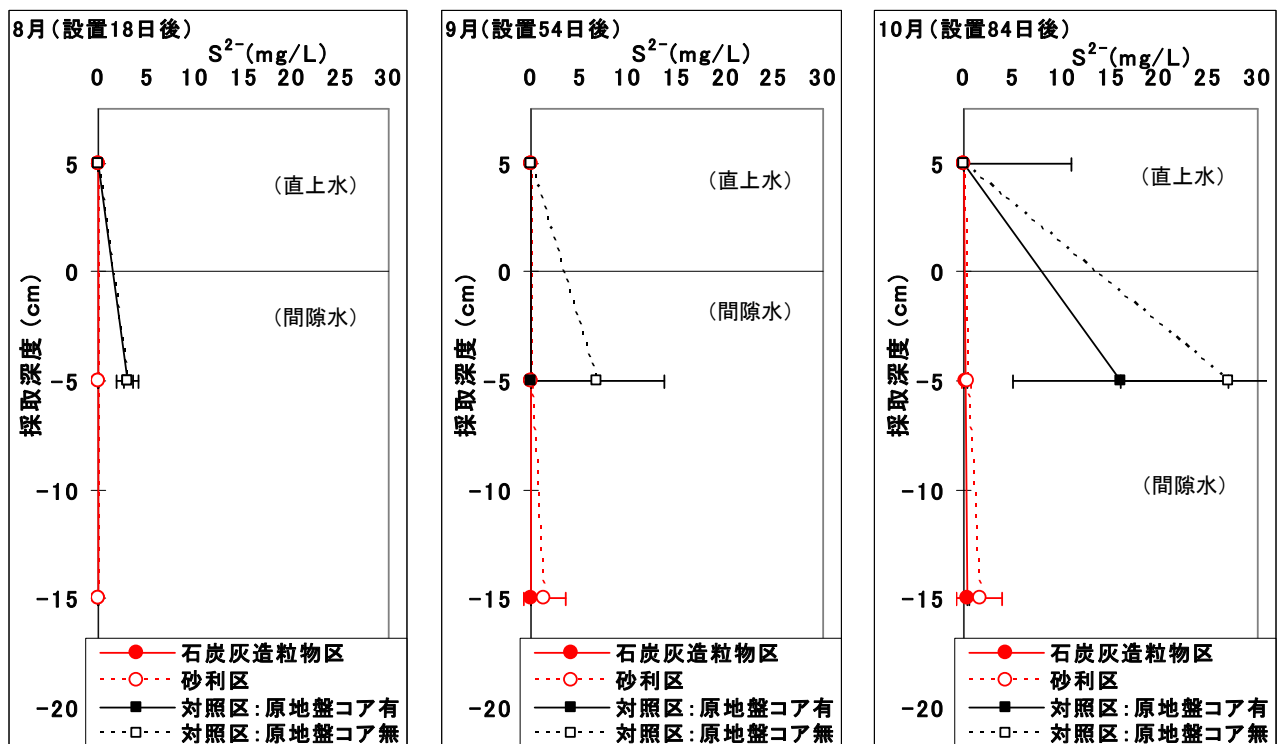


図 7-1-5(1) 直上水・間隙水調査結果 (栈橋 1、 S^{2-})

【棧橋 2 (覆土試験)】 (図 7-1-5 (2))

直上水の平均硫化物イオン濃度は、石炭灰造粒物区は ND~0.08mg/L、砂利区および対照区は ND で、棧橋 1 (コア試験) と同様にほぼ定量下限値 (0.05mg/L) を下回っていた。

底表面下 5cm の間隙水については、石炭灰造粒物区が ND~0.26mg/L であり、対照区 (ND~27mg/L) の概ね 1/100 以下程度であった。砂利区 (ND~4.5mg/L) の濃度を 1 とすると (表 7-1-4 (2))、石炭灰造粒物区は、8 月を除くと、0.5 以下であり、9 月は 0 であった。

底表面下 15cm では、石炭灰造粒物区が ND~0.52mg/L であり、砂利区 (ND~6.9mg/L) の濃度を 1 とすると (表 7-1-4 (2))、8 月を除くと 0.3 以下であり、9 月は 0 であった。

表 7-1-4 (2) 砂利区での平均 S²⁻濃度を 1 として比較した石炭灰造粒物区の濃度比

採取深度	8 月	9 月	10 月
底表面下 5cm	1.0	0.0	0.5
底表面下 15cm	1.0	0.0	0.3

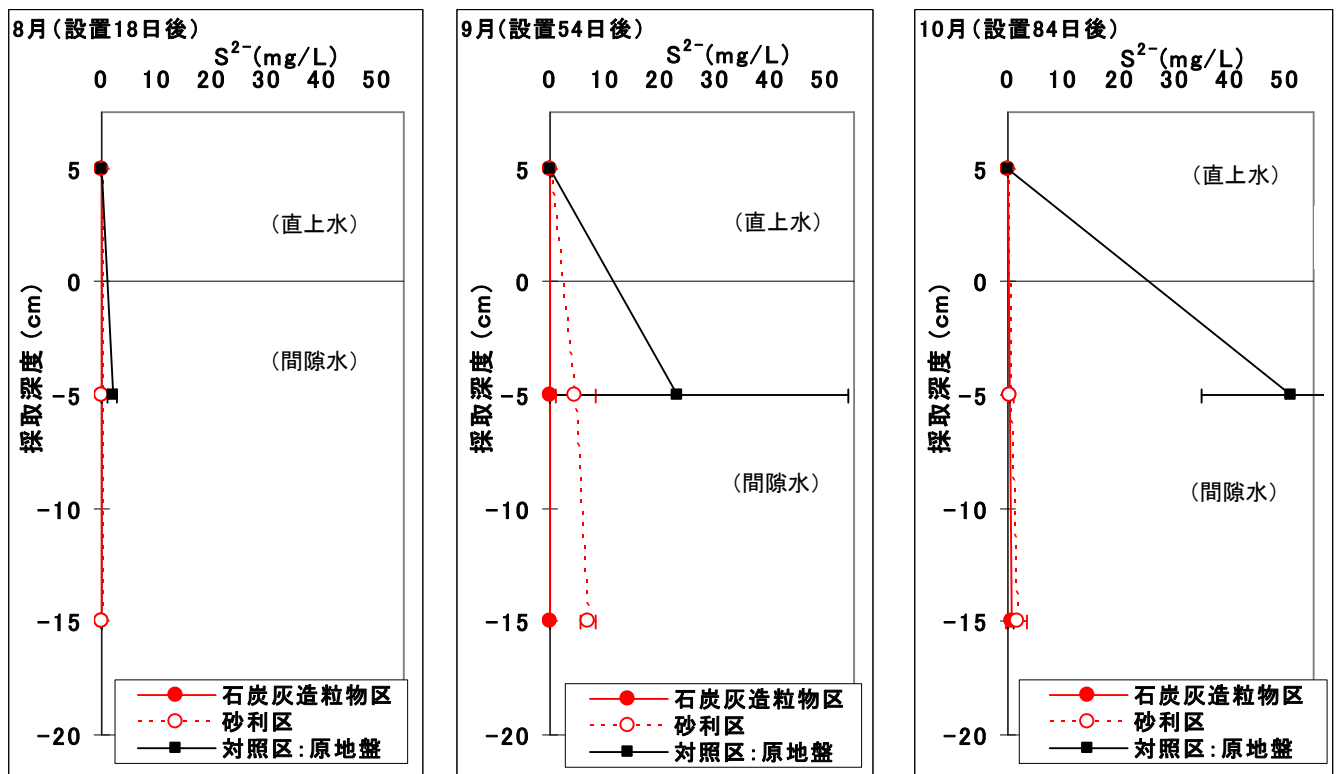


図 7-1-5 (2) 直上水・間隙水調査結果 (棧橋 2、S²⁻)

(4) pH

- ・直上水の平均 pH は、試験区間での顕著な差は認められなかった。
- ・間隙水の pH は、石炭灰造粒物区において 8 前後であり、対照区、砂利区と比較してやや高い程度であった。

pH の調査結果は、図 7-1-6(1) および図 7-1-6(2) のとおりである。

【棧橋 1 (コア試験)】 (図 7-1-6(1))

石炭灰造粒物区における直上水の平均 pH は 7.7~7.8 であり、砂利区の 7.7、対照区の 7.7~7.9 と比較して試験区間での顕著な差は認められなかった。

間隙水については、底表面下 5cm では石炭灰造粒物区が、7.9~8.4 であり、砂利区の 7.7~8.1、対照区の 7.4~8.0 と比較してやや高めであった。また、底表面下 15cm においても、石炭灰造粒物区は 8.0~8.4 であり、砂利区の 7.6~8.0 と比較してやや高かった。

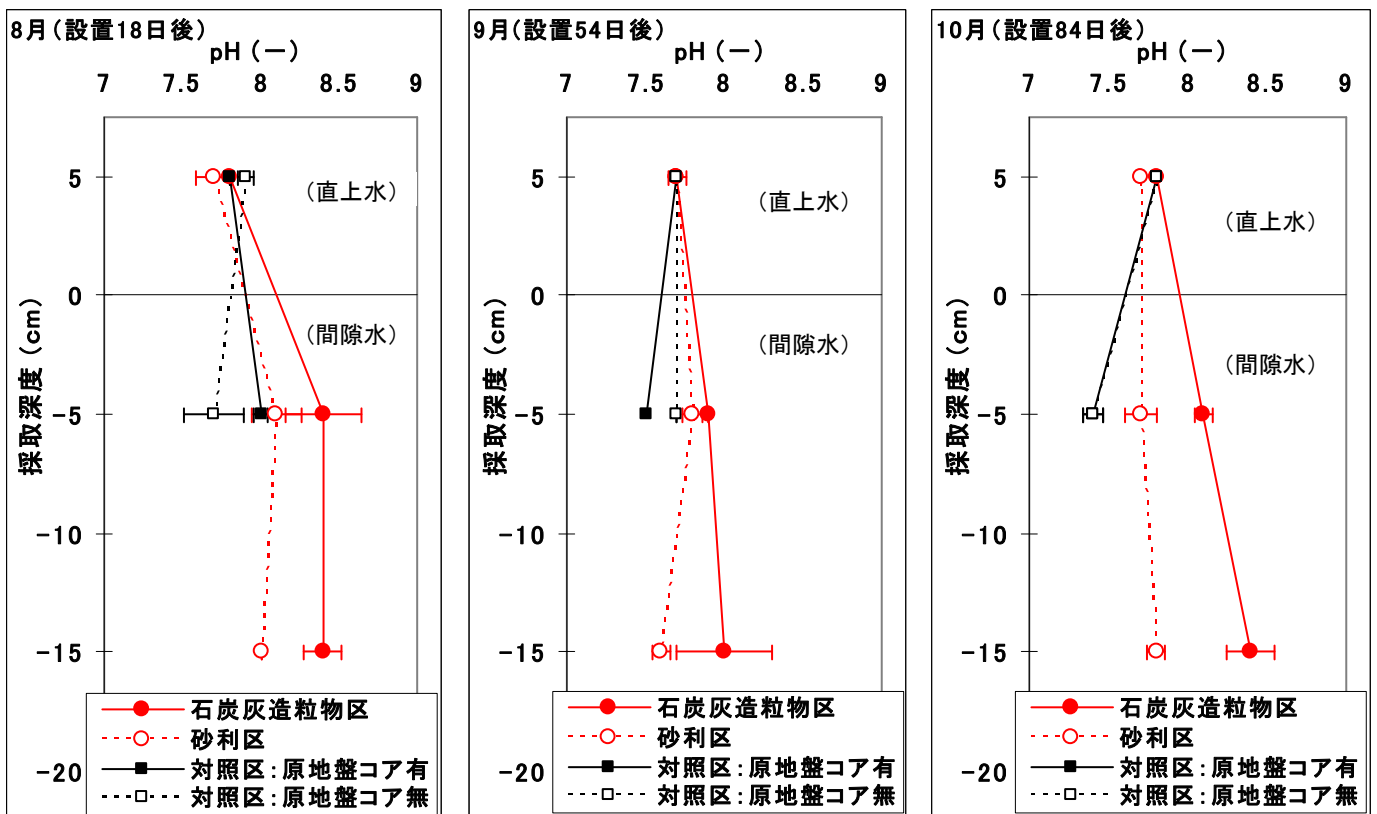


図 7-1-6(1) 直上水・間隙水調査結果 (棧橋 1、pH)

【棧橋 2 (覆土試験)】 (図 7-1-6(2))

石炭灰造粒物区における直上水の平均 pH は 7.0~7.6 であり、砂利区と対照区の 7.4~7.6 と比較して試験区での顕著な差は認められなかった。

底表面下 5cm の間隙水については、石炭灰造粒物区で 8.0~8.2、砂利区で 7.6~7.9、対照区で 7.2~7.5 であり、石炭灰造粒物区で若干高めである。底表面下 15cm では石炭灰造粒物区で 8.2~8.4、砂利区で 7.6~7.9 であり、石炭灰造粒物区でやや高い値を示している。

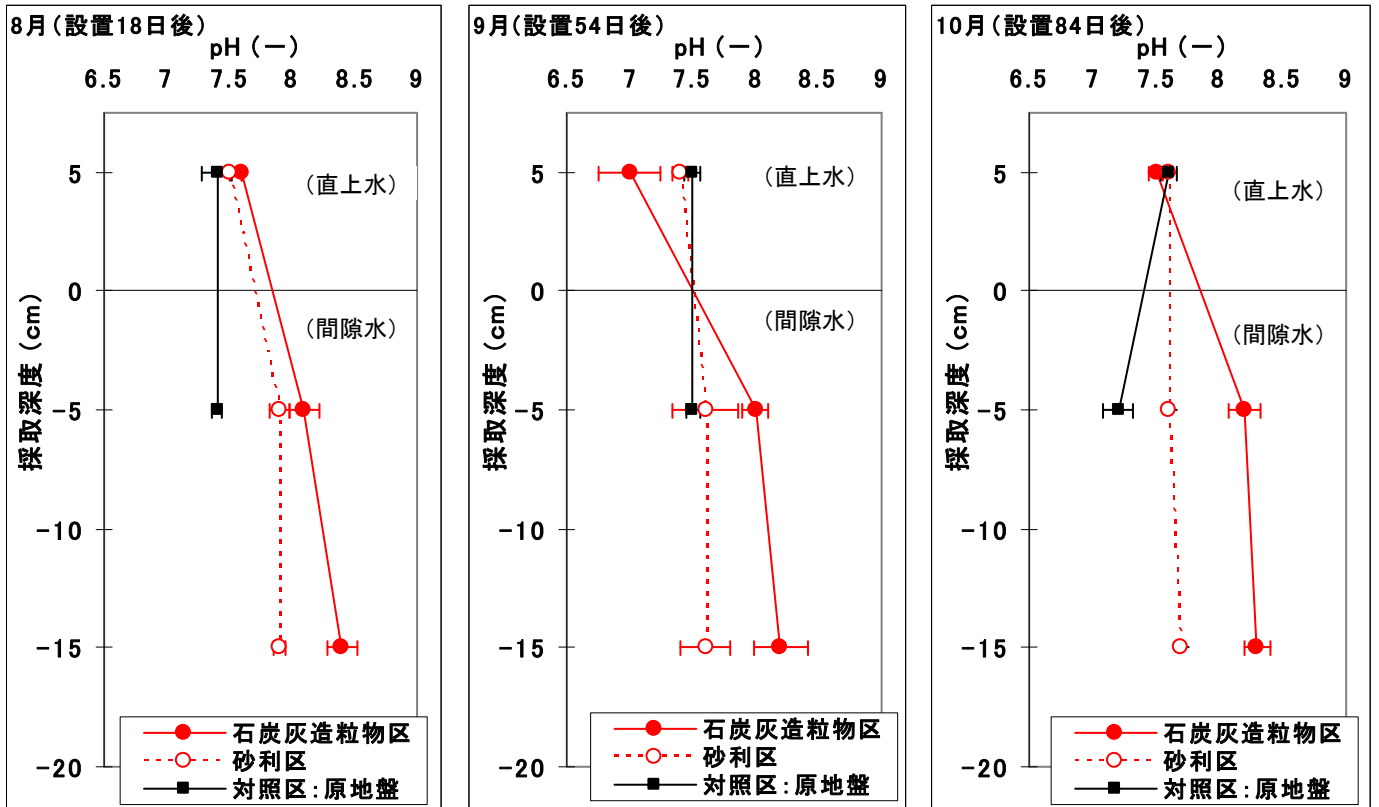


図 7-1-6(2) 直上水・間隙水調査結果 (棧橋 2、pH)

(5) 酸化還元電位 ORP

- ・直上水の平均 ORP 値は、いずれもプラスを示し、試験区間で顕著な差は認められなかった。
- ・間隙水中の ORP 値は、設置後間もない 8 月を除くと、石炭灰造粒物区が対照区および砂利区よりも高い値を示した。

ORP の調査結果は、図 7-1-7(1) および図 7-1-7(2) のとおりである。

【棧橋 1 (コア試験)】 (図 7-1-7(1))

直上水の平均 ORP 値は、いずれもプラス値 (酸化状態) を示し、試験区間での顕著な差は認められなかった。

底表面下 5cm の間隙水では、ORP 値が石炭灰造粒物区で -37~60mV、砂利区で -173~54mV、対照区で -391~-345mV であり、石炭灰造粒物区で高い値を観測した。

底表面下 15cm では、設置間もない 8 月を除くと、石炭灰造粒物区の ORP 値が砂利区よりも高い値を示した。

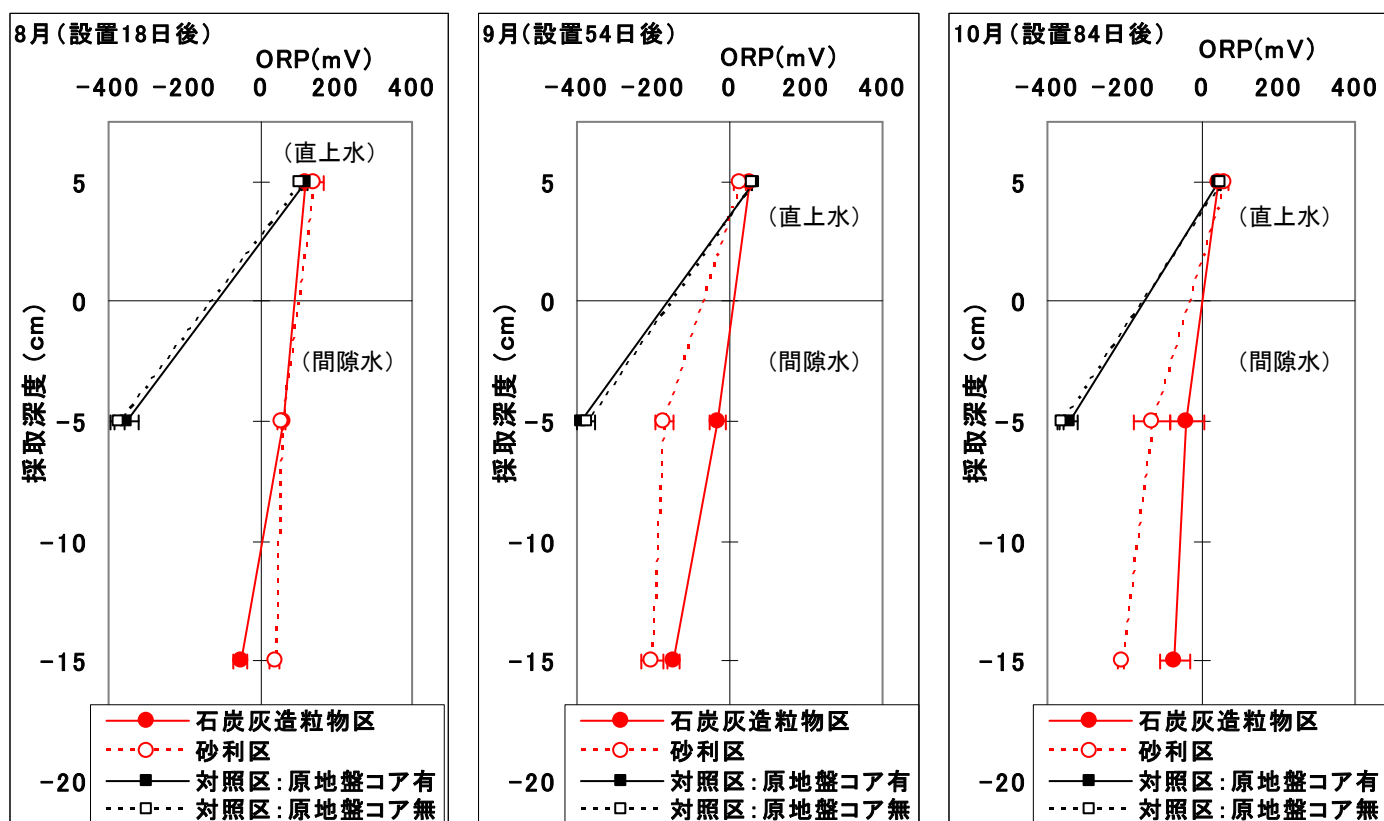


図 7-1-7(1) 直上水・間隙水調査結果 (棧橋 1、ORP)

【棧橋 2 (覆土試験)】 (図 7-1-7(2))

直上水の平均 ORP 値は、いずれもプラス値 (酸化状態) を示し、試験区間での顕著な差はなかった。

底表面下 5cm の間隙水では、ORP 値が石炭灰造粒物区で-85~87mV であり、砂利区の-208~62 mV、対照区の-361~-238mV と比較し高い値を観測した。

底表面下 15cm においても石炭灰造粒物区で-137~3mV であり、砂利区の-224~-76mV よりも高い値を示した。

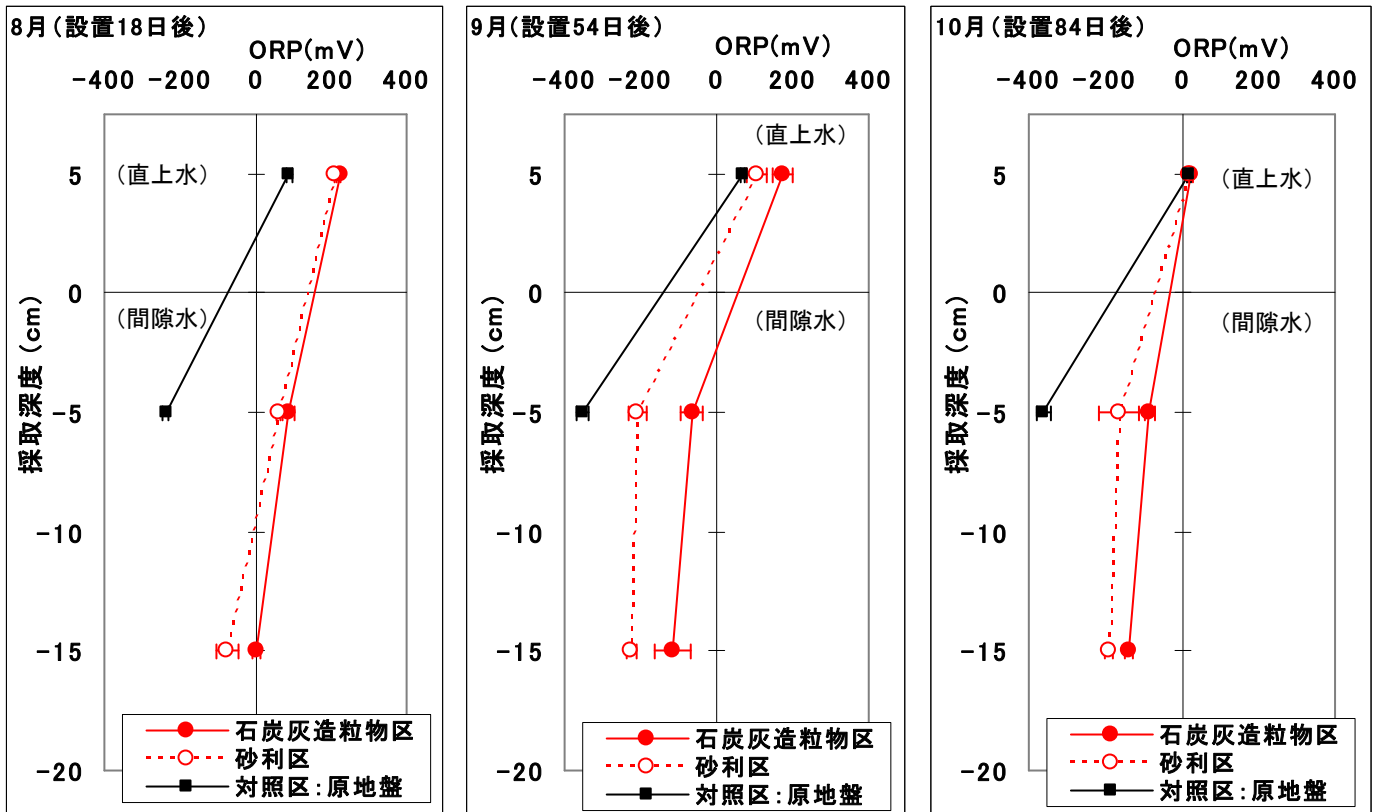


図 7-1-7(2) 直上水・間隙水調査結果 (棧橋 2、ORP)

7.1.3 底生生物調査

- ・ 棧橋 1 (コア試験) では、干潮時には貧酸素状態の解消が可能な環境にあり、比較的多くの生物が出現した。この中には、有用魚介類のアサリとマガキが石炭灰造粒物区でも確認された。
- ・ また、平均種類数は石炭灰造粒物区で最高となったが、個体数と湿重量は砂利区で、多様度指数は対照区 (原地盤) で最高となった。
- ・ 棧橋 2 (覆土試験) では、貧酸素状態が棧橋 1 よりも維持されやすい環境にあり、生物が少なかった。個体数、湿重量、種類数および多様度指数の平均値は、石炭灰造粒物区の地点に

【棧橋 1 (コア試験)】 (図 7-1-8(1))

棧橋 1 におけるメガロベントスを含む底生生物の個体数、湿重量、種類数および多様度指数 (Shannon & Weaver の H' 指数) の地点別比較を図 7-1-8(1) および表 7-1-5(1) に示す。

棧橋 1 は、水深が浅く、干潮時には貧酸素状態の解消が可能な環境にあることから、比較的多くの生物が出現した。この中には、有用魚介類のアサリとマガキが出現し、石炭灰造粒物区でも確認された。

平均出現種類数は、20~30 種を記録し、石炭灰造粒物区では付着生物も出現し (図 7-1-8(2))、最高を記録した。個体数と湿重量については、ホトトギスガイの大量出現により、砂利区で最高を記録した。多様度指数については、種類数が少ないものの、優占度の偏りが小さい対照区 (原地盤) で最高を示した。なお、優占種は、いずれもホトトギスガイであった。

コア内のメガロベントスについては、ナマコ、ヒトデなどは、確認されなかったが、大型の生物としてマガキが石炭灰造粒物区で 2 個体、砂利区で 4 個体採集された。

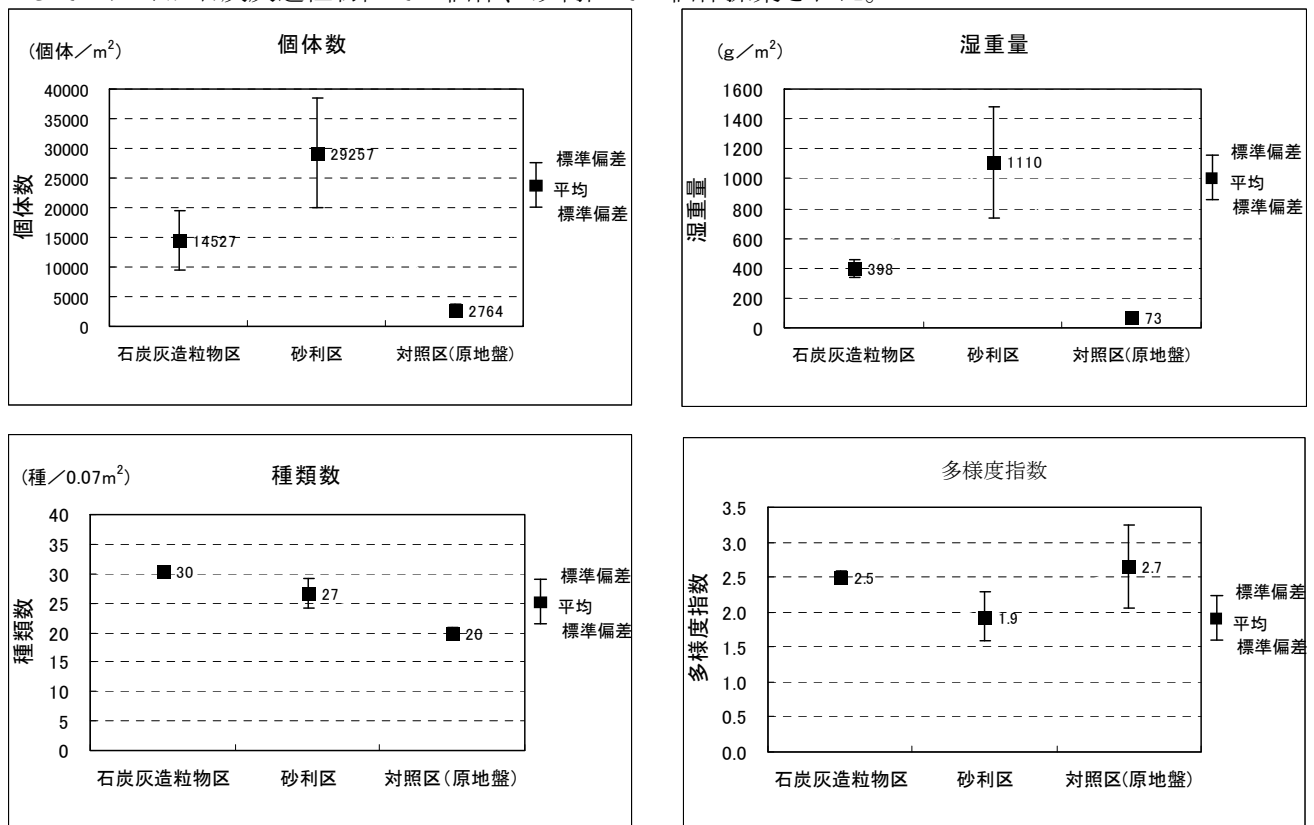


図 7-1-8(1) 棧橋 1 (コア試験) における底生生物調査結果 (10 月 : 設置後 84 日)

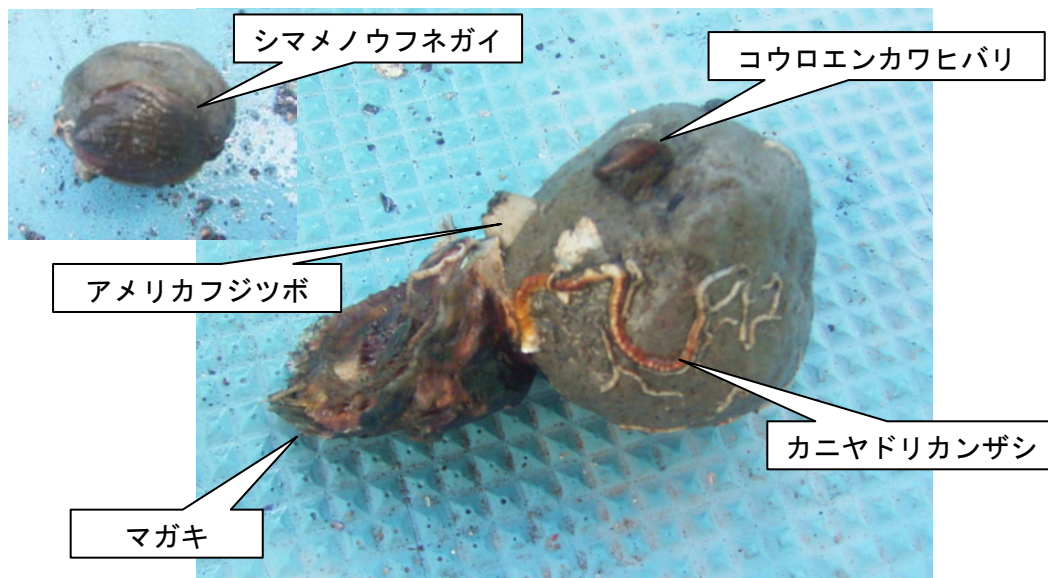


図 7-1-8(2) 棧橋 1 の石炭灰造粒物に着生する生物 (平成 22 年 11 月 2 日)

表 7-1-5(1) 大河漁港 (棧橋 1) の底生生物調査結果 (2010 年 10 月 : 設置後 84 日)

調査年月日:平成22年10月14日

和名	種名(学名)	石炭灰造粒物区						対照区(原地盤)						砂利区							
		IH-1		IH-2		IH-3		ICN-1		ICN-2		ICN-3		IG-1		IG-2		IG-3			
		個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量		
刺胞動物門	Cnidaria																				
ボウキウケンシヤク	<i>Boloceroides incurritchi</i>	3	0.01	3	0.07	2	0.02												1	0.01	
原索動物門	PROTOCHORDATA																				
シロホヤ	<i>Strelia plicata</i>					1	0.49											1	1.99		
シロホヤ	<i>Ciona savignyi</i>																				
シロホヤ	<i>Ascidia zara</i>																				
不明種		3	0.1			4	1.22											3	0.62		
節足動物門	ARTHROPODA																				
カクアツウガニ	<i>Hemigrapsus takanoi</i>	1	0.01	6	0.27	5	0.43											1	0.07	4	0.32
コハエビ	<i>Nebalia japonensis</i>	2	0.01	2	0.01	1														4	
アリアリソコ	<i>Blanus eburneus</i>	19	1.89	10	1.26	40	5.54											51	6.74	59	7.95
タマシソコ	<i>Amphibalanus amphitrite</i>	2	0.08	2	0.15	5	0.4											9	0.54	18	1.33
トコナシソコ	<i>Corophium</i> sp.	3		7		1												23	0.02	1	
ヨハコソコ	<i>Sphaeroma retrolaevis</i>																	1	0.04		
ニホトコソコ	<i>Grandierella japonica</i>																	1			
軟体動物門	MOLLUSCA																				
ウミマコ	<i>Stenolyra edogawensis</i>	2	0.01															2	0.01		
アムシロガイ	<i>Reticunassa festiva</i>	1	0.34	1	0.41													3	0.77	1	0.46
アムシロガイ	<i>Natica adamsiana</i>																	1	0.26		
フトガイ	<i>Halca japonica</i>	1	0.02	1	0.07	5	1.11														
アサリ	<i>Anomia chinensis</i>	2	0.17	2	0.2																
ヒジメガイ	<i>Ruditapes philippinarum</i>																				
ヒジメガイ	<i>Macoma incongrua</i>																	3	1.7	1	0.49
ホトケシガイ	<i>Misculinista senhousia</i>	676	14.63	868	22.11	223	8.3											54	1.18	55	2.8
コウエンカイ	<i>Xenostrobus securis</i>	102	4.11	140	6.86	51	2.44											4	0.03	4	0.13
マサキ	<i>Crasostrea gigas</i>					2	11.8														
シスガイ	<i>Theora fragilis</i>																	1	0.01	1	0.02
ワカサオツガイ	<i>Petricola</i> sp.	1	0.01	4	0.04	1	0.01													3	0.04
環形動物門	ANNELIDA																				
カギガイ	<i>Capitella</i> sp.	1		4																	
シシコガイ	<i>Sigambra phuketensis</i>																	1	0.01	1	
アサリガイ	<i>Neanthes succinea</i>	25	0.23	32	0.25	25	0.12											8	0.03	28	0.51
ヒメガイ	<i>Neanthes caudata</i>					1															
ツルビコガイ	<i>Platynereis bicannaliculata</i>	29	0.04	28	0.06	11	0.03											1	0.01	1	
コウガイ	<i>Ceratonereis erythraeensis</i>	22	0.05	36	0.11	8	0.01											3		10	0.01
コウガイ	<i>Typosyllis</i> sp.																				
ナメガイ	<i>Naineris</i> sp.	9	0.02	6	0.01	7	0.01											2	0.01	2	0.14
サシコガイ科	Phyllodoceidae	4	0.01	7	0.01	3	0.01											5	0.02	6	0.01
モリコトシ	<i>Ophiodonotus pugnetensis</i>	3	0.01	4	0.01	8	0.02											3	0.02	1	
レピドトシ	<i>Lepidonotus</i> sp.	1	0.01	1	0.03																
ホトケシガイ科	Hesioniidae	2				1															
カマカリホシコガイ	<i>Scotetona longifolia</i>																	4	0.07	1	0.02
カマカリホシコガイ	<i>Paraprionospio</i> 属 A型																				
カマカリホシコガイ	<i>Pseudopolydora</i> sp.																	1	0.01		
カマカリホシコガイ	<i>Polydora cornuta</i>	110	0.08	206	0.12	47	0.03											21	0.01	39	0.02
小トシホヤ	<i>Prionospio pulextra</i>	12	0.01	11	0.01	4												5	0.01	14	0.01
シハホヤホヤ	<i>Prionospio krusadensis</i>																				
シハホヤホヤ	<i>Aonides oxycephala</i>																	1	0.01	1	0.01
シハホヤホヤ	<i>Telepus</i> sp.																				
シハホヤホヤ	<i>Cirriiforma tentaculata</i>	1	0.15	3	0.05	1												2	0.72	1	0.36
ケリソコ	Sabellidae	2	0.02			2	0.02														
カマカリホシコガイ	<i>Ficopomatus enigmaticus</i>	14	0.08	4	0.03	11	0.05													1	
エゾカネホヤ	<i>Hydroides ezoensis</i>	51	0.19	26	0.03	96	0.24													12	0.08
細形動物門	NEMERTINEA																				
ヒメムシ類	Nemertinea	1	0.01																	3	0.04
扁形動物門	PLATYHERMINTHES																				
ヒメムシ類		2	0.03	2	0.04	4	0.03													7	0.04
合計		1107	22.33	1424	32.22	571	32.33	121	4.59	166	6.78	299	4.12	2019	116.08	1304	63.88	2894	58.59	30	0.2
種数		31		31		29		20		19		21		26		30		24		24	

1. 採取面積.....0.07m²
 2. 湿重量の単位.....g
 3. 表中の+記号.....0.01g未満

【**栈橋 2 (覆土試験)**】 (図 7-1-8(3)、図 7-1-8(4))

栈橋 2 における底生生物の個体数、湿重量、種類数および多様度指数(Shannon & Weaver の H' 指数)の地点別比較を図 7-1-8(3)および表 7-1-5(2)に示す。

栈橋 2 は、栈橋 1 と比較して貧酸素状態が維持されやすい環境にあることから、出現生物が栈橋 1 よりも少なかった。

底生生物の個体数、湿重量、種類数および多様度指数の平均値は、石炭灰造粒物区の地点においていずれも高く、特に種類数と多様度指数は石炭灰造粒物区において高い値を示した。優占種は、石炭灰造粒物区では付着性のカニヤドリカンザシゴカイであり、対照区のウミゴマツボとは異なっていた。

なお、ナマコ、ヒトデなどの肉眼で観察可能なメガロベントスについては、枠内では確認されなかった (図 7-1-8(4))。

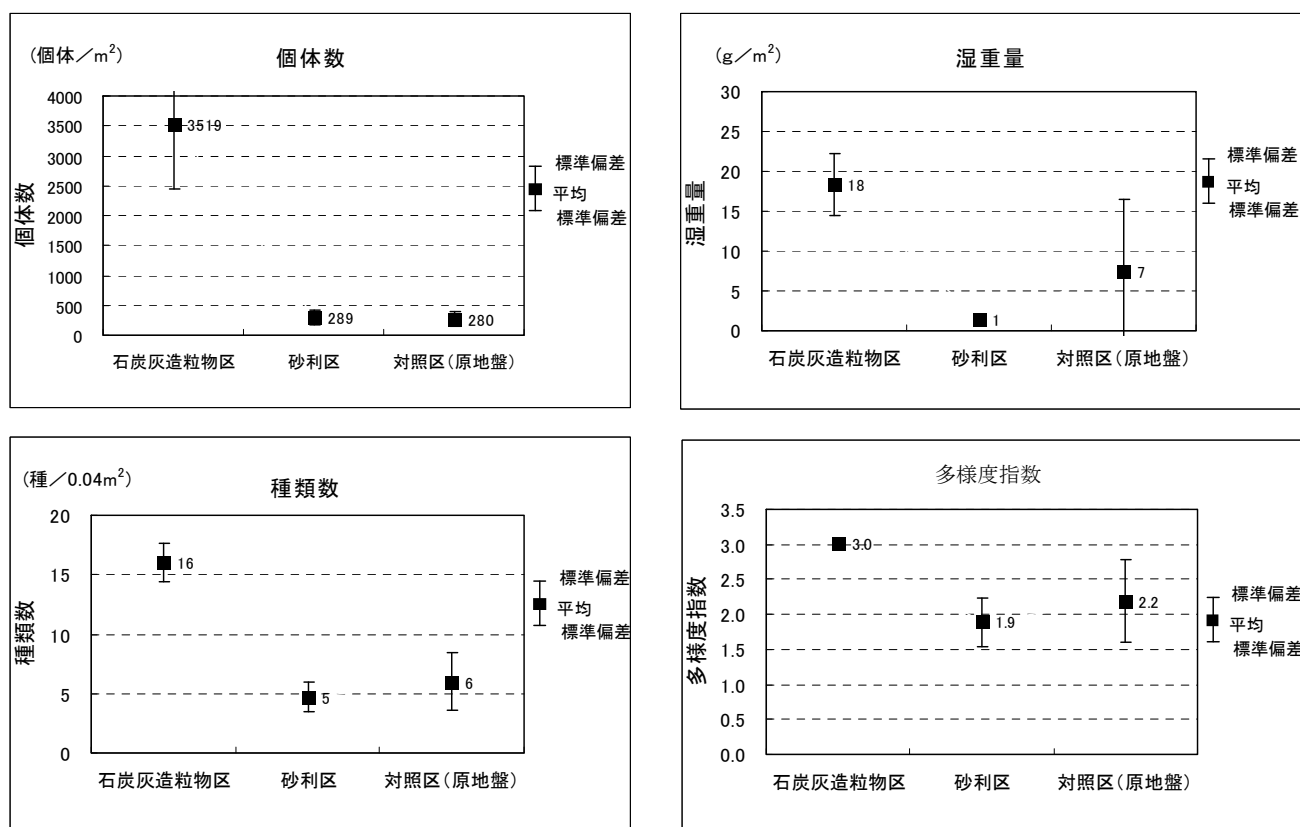


図 7-1-8(3) 栈橋 2 (覆土試験) における底生生物調査結果 (10 月 : 設置後 84 日)
(個体数、湿重量、種類数および多様度指数(Shannon & Weaver の H' 指数))

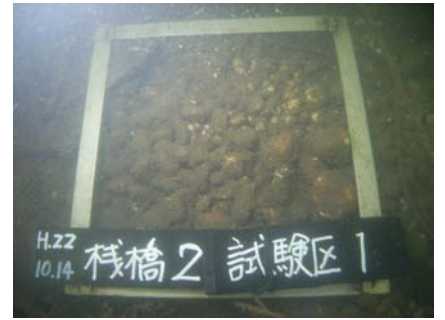
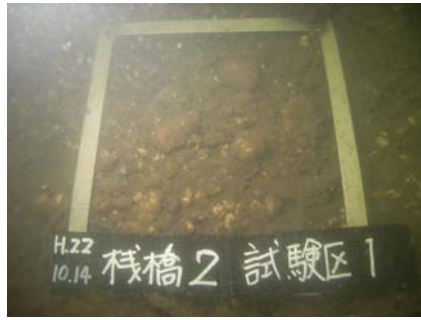
表 7-1-5(2) 大河漁港棧橋 2 の底生生物調査結果 (2010 年 10 月 : 設置後 84 日)

和名 刺胞動物門 オヨキイキンテンヤク 節足動物門 コハエビ タデシマツボ トロカタスノ属 ニホトシノコエビ 軟体動物門 ウミマツボ コホレタマ ヒメシノトリガイ ホトキスガイ ゴロエンガヒバリガイ ムナギキガイ ウツクシガイ カコガイ科 環形動物門 Capitella 属 シノカキコカイ アシナカキガイ サンハコガイ科 モリカキガイ オヒコガイ科 カタマカキコカイ Pseudopolydora 属 Polydora 属 小エビ科 Paraprionospio 属 A型 ミスヒコカイ ケリムシ科 カニトリカサシノカイ ヤケルマカサシノカイ カサシノカイ科 カネカサシノカイ 扁形動物門 ヒラムシ類	右戻灰造粒物						原地盤						砂利					
	2H-1		2H-2		2H-3		2CN-1		2CN-2		2CN-3		2G-1		2G-2		2G-3	
	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量
種名(学名) CNIDARIA	5	0.03	9	0.03	13	0.03												
<i>Bolocerooides mcinnurichi</i>																		
ARTHROPODA	2	0.01	2	0.01	1	+	1	0.01								1	0.01	
<i>Nebalia japonensis</i>																		
<i>Blanus eburneus</i>			1	+	6	0.16												
<i>Amphibalanus amphirrite</i>					2	0.02												
<i>Corophium</i> sp.	13	0.01	21	0.03	25	0.01	1	+				5	+	1	+	7	+	
<i>Granditerella japonica</i>					1	+												
MOLLUSCA							6	0.02	3	0.01	3	0.01						
<i>Stenothyra edogawensis</i>	1	+			4	0.02												
<i>Pillucina neglecta</i>							1	0.63										
<i>Macoma incongrua</i>					7	0.05	2	0.03	1	0.01								
<i>Musculista senhousia</i>	6	0.04	17	0.16	10	0.28	2	0.01			1	0.01	2	0.02	2	0.03	3	0.03
<i>Xenostrobus securis</i>	18	0.28	14	0.30	1	0.02												
<i>Mytilus galloprovincialis</i>			1	0.02														
<i>Petricola</i> sp.	1	0.01	1	+	2	+												
Galecommatidae																		
ANNELIDA																		
<i>Capitella</i> 属			1	+														
<i>Capitella</i> sp.							1	0.01										
<i>Sigambra</i> sp.	4	+	5	+	16	0.01	1	0.01	1	0.01								
<i>Neanthes succinea</i>	5	0.01			5	0.01												
Phyllocoelae																		
<i>Ophiodromus puggettensis</i>	1	+	1	+														
Hesionidae																		
<i>Scoletoma longifolia</i>									1	0.02								
<i>Pseudopolydora</i> 属	1	+																
<i>Pseudopolydora</i> sp.																		
<i>Polydora cornuta</i>			3	+	12	0.01												
<i>Prionospio pulchra</i>					1	+			2	+	1	+						
<i>Paraprionospio</i> 属 A型									1	+								
<i>Paraprionospio</i> sp. A type			1	0.01	1	0.01												
<i>Cirrifornia tentaculata</i>																		
Sabellidae	1	+	1	+														
<i>Ficopomatus enigmaticus</i>	23	0.07	41	0.13	66	0.18						2	0.01					
<i>Hydrozoales dirampha</i>					2	0.01												
Serpulidae	1	0.01																
<i>Hydrozoales elegans</i>			1	0.01														
PLATYHERMINTHES																		
合計	82	0.47	120	0.7	175	0.8	16	0.72	9	0.05	5	0.02	14	0.06	4	0.03	13	0.06
種数	14		16		18		9		6		3		6		3		5	

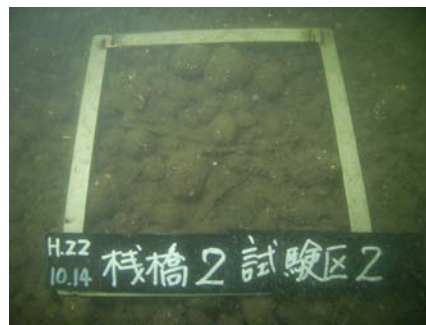
調査年月日:平成22年10月14日

1. 採取面積.....0.04m²
 2. 湿重量の単位.....g
 3. 表中の+記号.....0.01g未満

【栈橋 2：石炭灰造粒物区】



【栈橋 2：砂利区】



【栈橋 2：对照区】



図 7-1-8(4) メガロベントス調査結果 (2010 年 10 月：設置後 84 日)

7.2 馬島沖

7.2.1 水質調査

- ・底層の溶存酸素量は、8月～11月の調査期間中、5.4mg/L以上と底生生物の生存可能な最低濃度を上回っていた。

多項目水質計による水温と溶存酸素量（DO）測定結果を図7-2-1に示す。

温度躍層は、8月調査時に確認されたが、9月以降の調査では確認されなかった。底層の溶存酸素量は、調査期間中、5.4mg/L以上と、底生生物の生存可能な最低濃度2.9mg/L(2mL/L)を上回った。

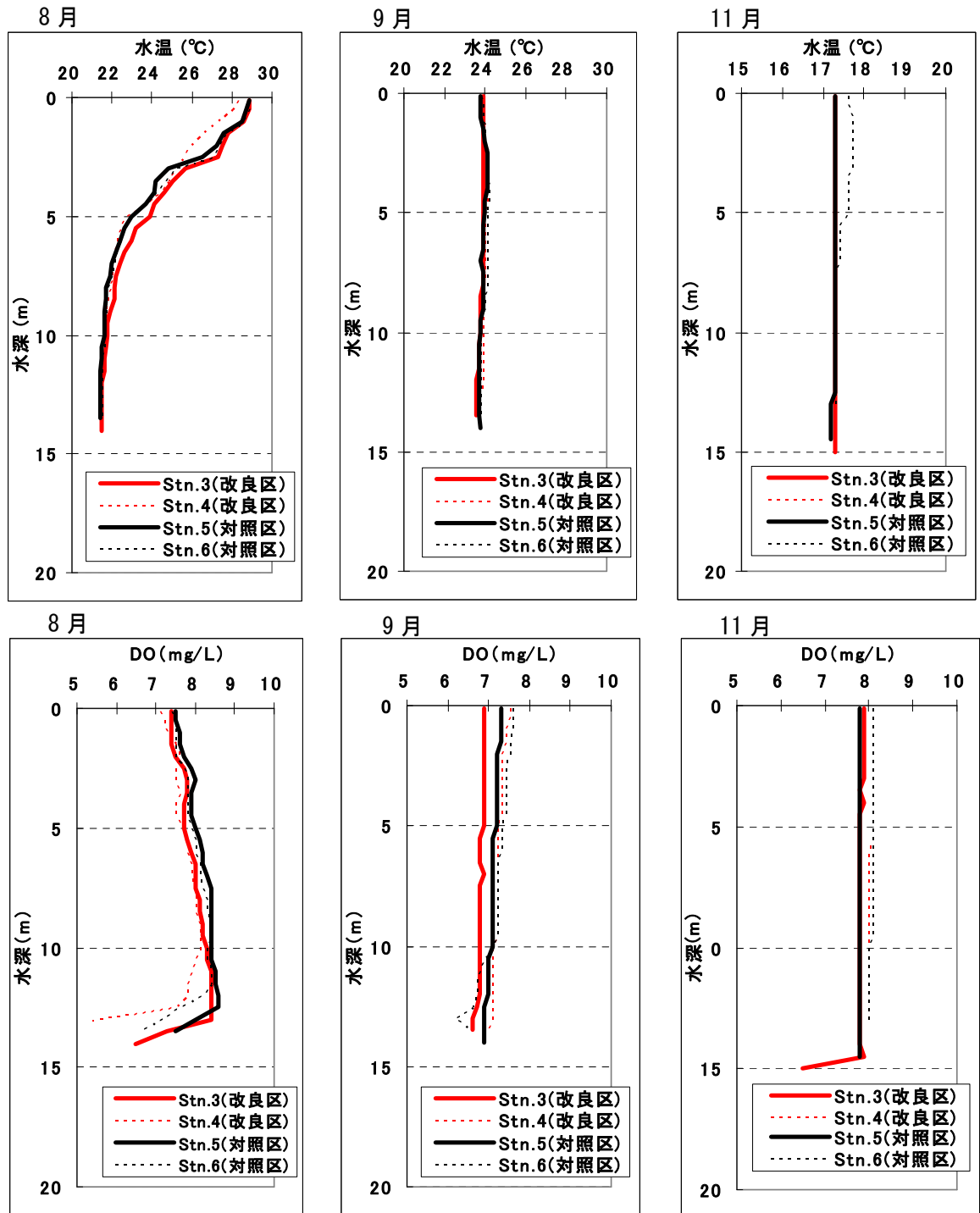


図7-2-1 8月～11月の水温と溶存酸素量の鉛直分布状況（馬島沖）

7.2.2 底質調査結果（間隙水・直上水）

馬島沖の底質（直上水・間隙水）の調査結果の一覧を表7-2-1に示す。

表7-2-1(1) 8月調査結果一覧表（馬島沖）

試験区域 項目	直上水		間隙水	
	改良区（試験区） (Stn. 3, 4)	対照区 (Stn. 5, 6)	改良区（試験区） (Stn. 3, 4)	対照区 (Stn. 5, 6)
pH (—)	7.6(7.4~7.8)	8.0(8.0)	7.6(7.5~7.7)	7.6(7.5~7.7)
ORP (mV)	131(119~147)	88(63~103)	-150(-170~-110)	-119(-144~-94)
DIN (mg/L)	0.05(0.04~0.06)	0.02(0.01~0.03)	2.0(1.2~3.3)	0.92(0.83~0.97)
DIP (mg/L)	0.022(0.018~0.025)	0.014(0.012~0.015)	0.29(0.18~0.37)	0.22(0.19~0.26)
S ²⁻ (mg/L)	<0.05(<0.05)	<0.05(<0.05)	<0.05(<0.05)	<0.05(<0.05)

表7-2-1(2) 9月調査結果一覧表（馬島沖）

試験区域 項目	直上水		間隙水	
	改良区（試験区） (Stn. 3, 4)	対照区 (Stn. 5, 6)	改良区（試験区） (Stn. 3, 4)	対照区 (Stn. 5, 6)
pH (—)	8.0(7.7~8.1)	8.1(8.0~8.1)	7.7(7.7~7.8)	7.6(7.5~7.7)
ORP (mV)	78(55~93)	45(31~65)	-143(-169~-97)	-196(-208~-181)
DIN (mg/L)	0.01(0.01~0.02)	0.03(0.02~0.04)	1.1(0.73~1.7)	1.6(1.1~2.2)
DIP (mg/L)	0.010(0.005~0.015)	0.016(0.010~0.017)	0.19(0.11~0.28)	0.40(0.27~0.52)
S ²⁻ (mg/L)	<0.05(<0.05)	<0.05(<0.05)	<0.05(<0.05~0.05)	<0.05(<0.05~0.07)

表7-2-1(3) 11月調査結果一覧表（馬島沖）

試験区域 項目	直上水		間隙水	
	改良区（試験区） (Stn. 3, 4)	対照区 (Stn. 5, 6)	改良区（試験区） (Stn. 3, 4)	対照区 (Stn. 5, 6)
pH (—)	8.1(8.0~8.2)	8.1(8.1~8.2)	8.0(7.9~8.2)	7.7(7.6~7.8)
ORP (mV)	95(77~110)	100(84~109)	-94(-142~-68)	-146(-218~-109)
DIN (mg/L)	0.04(0.04~0.05)	0.04(0.04~0.05)	1.7(1.1~2.4)	1.1(0.84~1.4)
DIP (mg/L)	0.013(0.010~0.021)	0.011(0.010~0.012)	0.21(0.094~0.31)	0.34(0.31~0.39)
S ²⁻ (mg/L)	<0.05(<0.05)	<0.05(<0.05)	<0.05(<0.05~0.06)	0.12(0.10~0.14)

(1) 溶存態窒素DIN

- ・直上水のDINは、8月調査では改良区で高かったが、9月調査では対照区で高い値を示した ($p < 0.05, n=6$)。
- ・間隙水のDINは、8月および11月調査では改良区で高い値を示した ($p < 0.05, n=6$)。

直上水、間隙水のDINの調査結果を図7-2-2に示す。

直上水の平均DINは改良区で0.01~0.05mg/L、対照区で0.02~0.04mg/Lの範囲にあり、8月調査では改良区で高かったが、9月調査では対照区で高い値を示した ($p < 0.05, n=6$)。

間隙水の平均DINは改良区で1.1~2.0mg/L、対照区で0.92~1.6mg/Lの範囲にあり、8月および11月調査では改良区で高い値を示した ($p < 0.05, n=6$)。

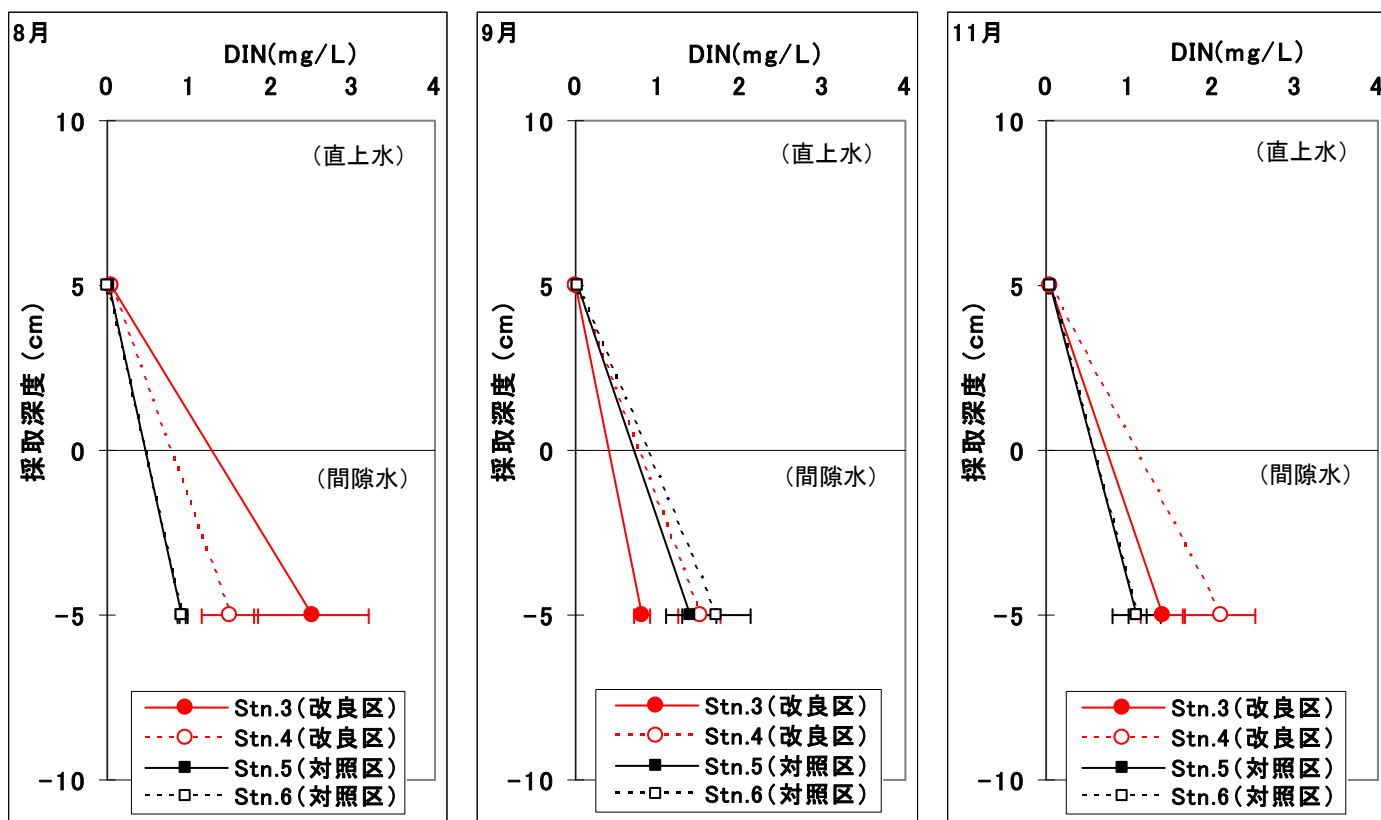


図7-2-2 直上水・間隙水調査結果 (DIN)

(2) 溶存態リンDIP

- ・直上水のDIPは、8月調査では改良区で幾分高い値を示した ($p < 0.05, n=6$)。
- ・間隙水のDIPは、8月調査では改良区で高く、9月および11月調査では対照区で高い値を示した ($p < 0.05, n=6$)。

直上水、間隙水のDIPの調査結果を図7-2-3に示す。

直上水の平均DIPは改良区で0.010~0.022mg/L、対照区で0.011~0.016mg/Lの範囲にあり、8月調査では改良区で幾分高い値を示した ($p < 0.05, n=6$)。

間隙水の平均DIPは改良区で0.19~0.29mg/L、対照区で0.22~0.40mg/Lの範囲にあり、8月調査では改良区で高く、9月および11月調査では対照区で高い値を示した ($p < 0.05, n=6$)。

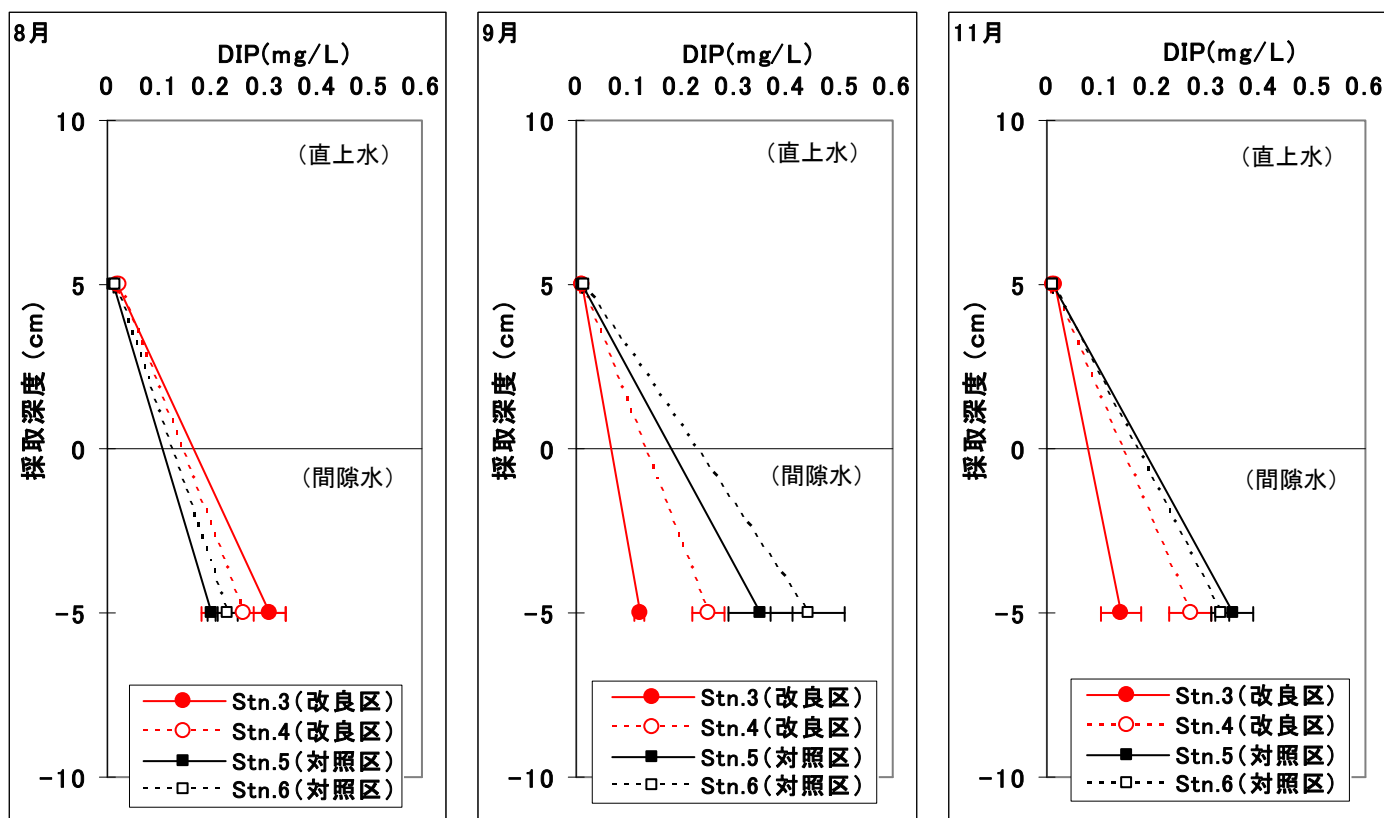


図7-2-3 直上水・間隙水調査結果 (DIP)

(3) 硫化物イオン S^{2-}

- ・直上水の硫化物イオンは改良区、対照区ともに検出されなかった。
- ・間隙水の硫化物イオンは、8月と9月には検出されてもわずかであったが、11月調査においては改良区でおおむね定量下限値を下回るのに対して対照区では0.10~0.14mg/Lを示した。

直上水、間隙水の硫化物イオンの調査結果を図7-2-4に示す。

直上水の硫化物イオンは改良区、対照区ともに検出されなかった。

間隙水の硫化物イオンは、8月調査では検出されなかったが、9月調査では改良区 (Stn.3) と対照区 (Stn.5) でわずかに検出された。11月調査では、改良区では概ね定量下限値 (0.05mg/L) を下回っていたが、対照区では0.10~0.14mg/Lを検出した。

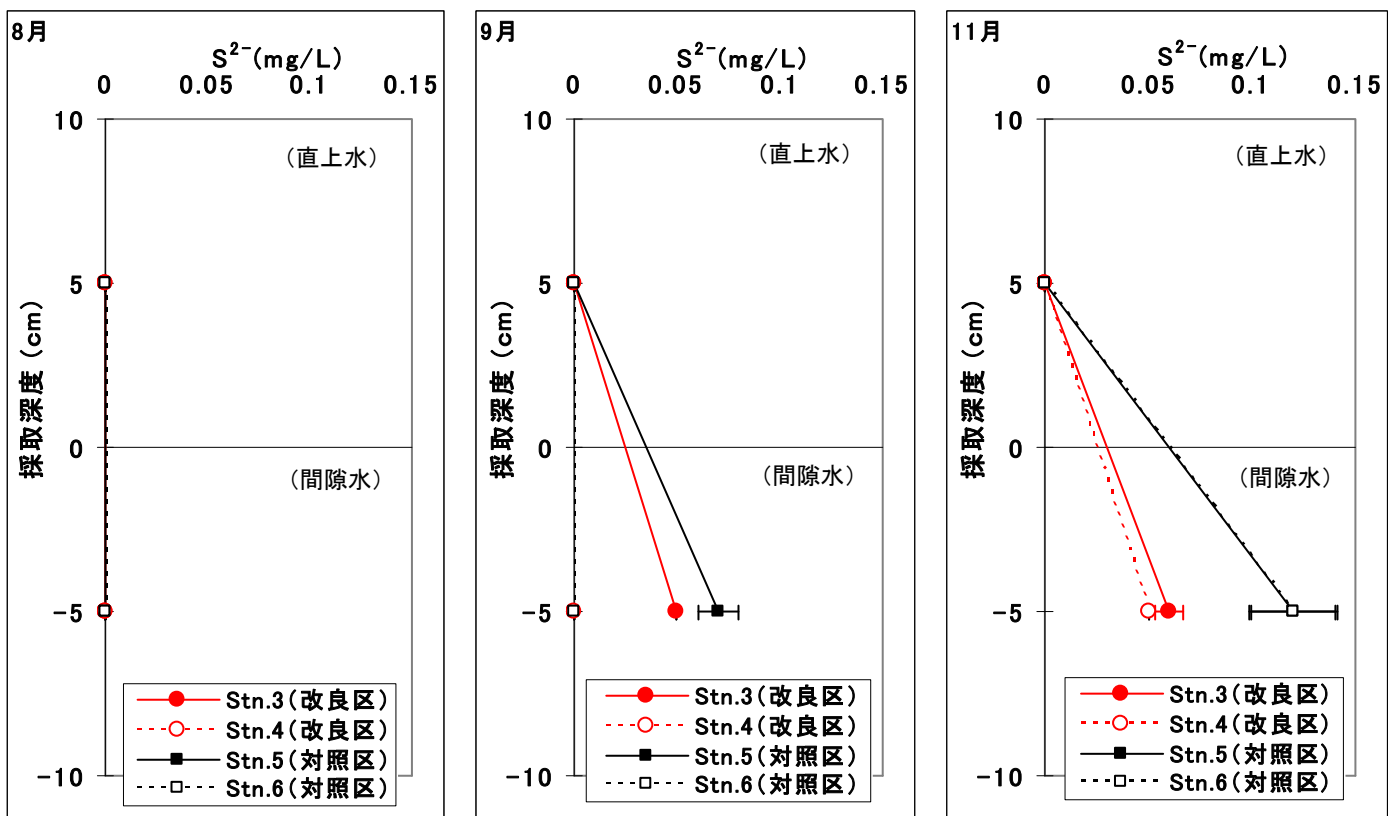


図7-2-4 直上水・間隙水調査結果 (S^{2-})

(4) pH

- 直上水の pH は、改良区 (7.6~8.1) と対照区 (8.0~8.1) で顕著な差はなかった。
- 間隙水の平均 pH は、改良区 (7.6~8.0) と対照区 (7.6~7.7) で顕著な差はなかった。

直上水、間隙水の pH の調査結果を図 7-2-5 に示す。

直上水の平均 pH は、改良区で 7.6~8.1、対照区で 8.0~8.1 の範囲にあり、8 月調査では対照区でやや高い値を示したが ($p < 0.05, n=6$)、改良区と対照区で顕著な差はなかった。

間隙水の平均 pH は改良区で 7.6~8.0、対照区で 7.6~7.7 の範囲にあり、9 月および 11 月調査では改良区でやや高い値を示したが ($p < 0.05, n=6$)、改良区と対照区で顕著な差はなかった。

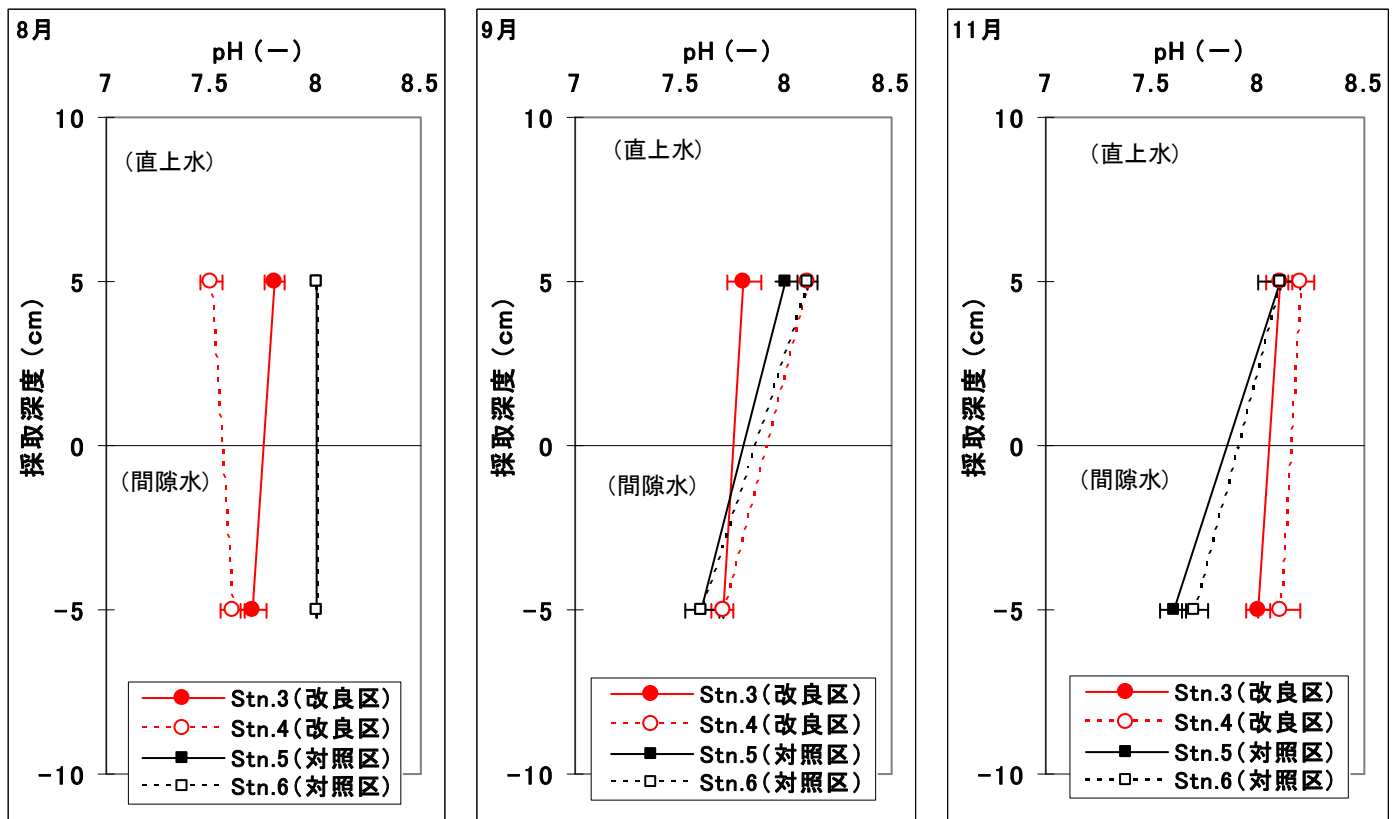


図 7-2-5 直上水・間隙水調査結果 (pH)

(5) 酸化還元電位 ORP

- ・直上水の ORP は、8 月および 9 月調査では改良区で高い値を示した ($p < 0.05, n=6$)。
- ・間隙水の ORP は、8 月調査では対照区で高かったが、9 月および 11 月調査では改良区で高い値を示した ($p < 0.05, n=6$)。

直上水、間隙水の ORP の調査結果を図 7-2-6 に示す。

直上水の平均 ORP は改良区で 78~131mV、対照区で 45~100mV の範囲にあり、8 月および 9 月調査では改良区で高い値を示した ($p < 0.05, n=6$)。

間隙水の平均 ORP は改良区で -94~-150mV、対照区で -119~-196mV の範囲にあり、8 月調査では対照区でやや高く、9 月および 11 月調査では改良区で高い値を示した ($p < 0.05, n=6$)。

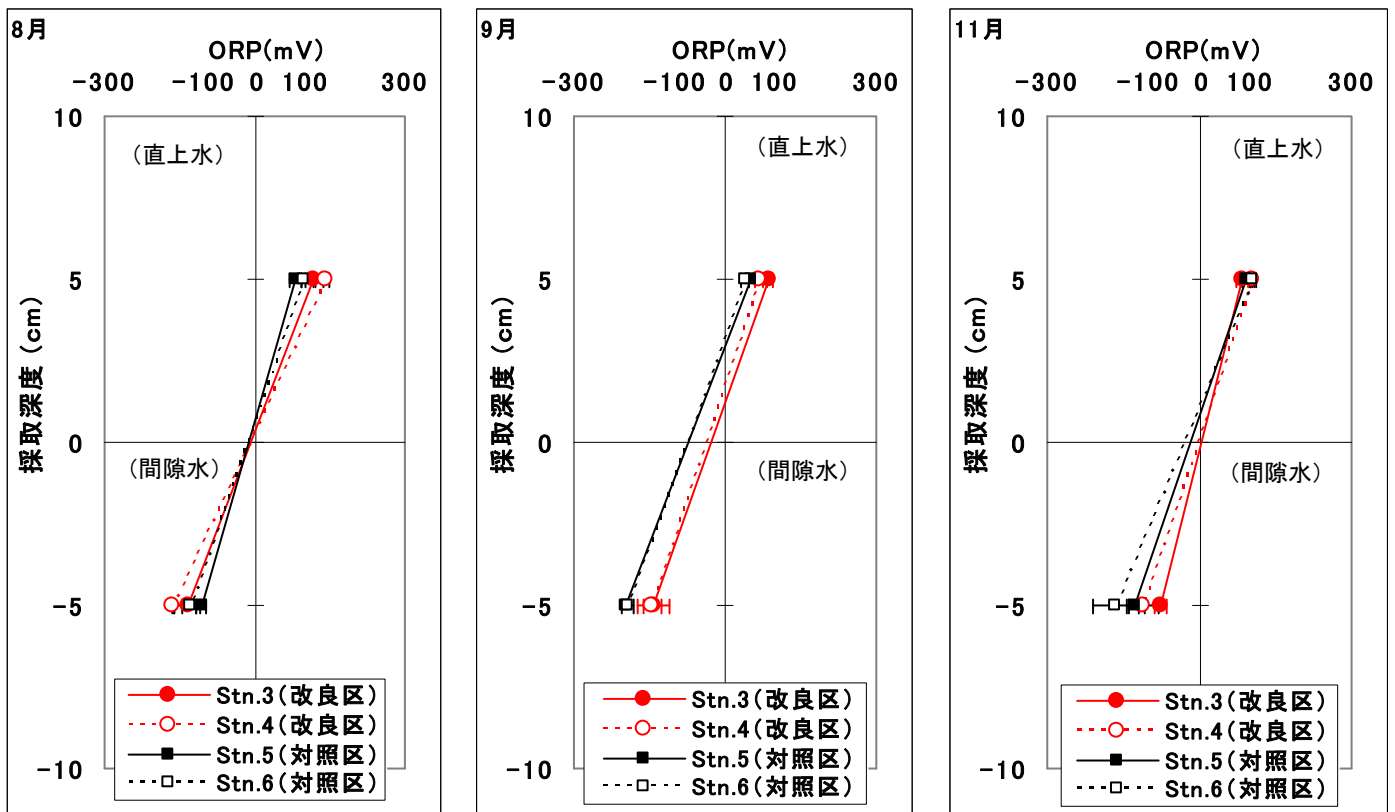


図 7-2-6 直上水・間隙水調査結果 (ORP)

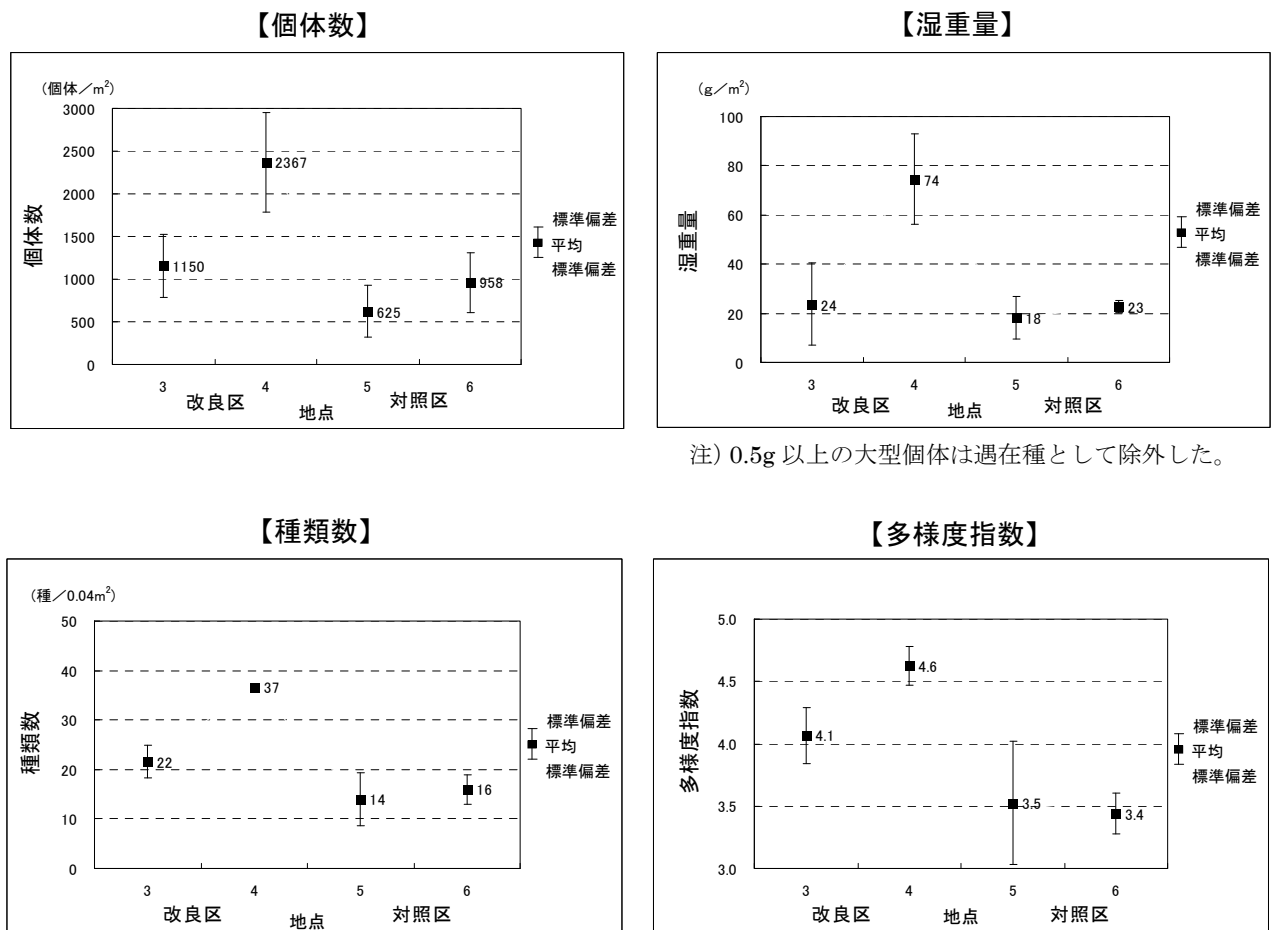
7.2.3 底生生物調査

- 底生生物の個体数、湿重量、種類数および多様度指数は、改良区で高い傾向にあり、特に種類数と多様度指数は改良区で高い値を示した。付着性の生物はほとんど出現しなかった。
- 改良区の平均種類数および個体数は、改良前よりも多かった。

馬島沖における底生生物の個体数、湿重量、種類数および多様度指数(Shannon & Weaver の H' 指数)について、地点別比較を図7-2-7および表7-2-2に示す。

8月における底生生物の個体数、湿重量、種類数および多様度指数の平均値は、対照区よりも改良区の地点においていずれも高く、特に種類数と多様度指数は改良区で高い値を示した。また、種類数および個体数は、改良前の11~17種、299~357個体⁷⁾と比較し、平均22種以上、1,150個体以上と多かった。優占種については、カキクモヒトデ、シズクガイ、カタマガリギボシソメなどであり、付着性の生物はほとんど出現しなかった。

なお、メガロベントスについては、枠内では確認されなかった。(図7-2-8(1), (2))



注) 0.5g以上の大型個体は遇在種として除外した。

図7-2-7(1) 馬島沖における8月の底生生物調査結果

(個体数、湿重量、種類数および多様度指数(Shannon & Weaver の H' 指数))

11月における底生生物の個体数、湿重量、種類数および多様度指数の平均値は、湿重量を除くと、対照区よりも改良区の地点において高く、特に種類数と多様度指数は改良区で高い値を示した。また、種類数および個体数は、平均39種以上、3,000個体以上と改良前よりも多かった。優占種については、カタマガリギボシイソメなどであり、付着性の生物ではなかった。

なお、メガロベントスについては、枠内では確認されなかった。(図7-2-8(3), (4))

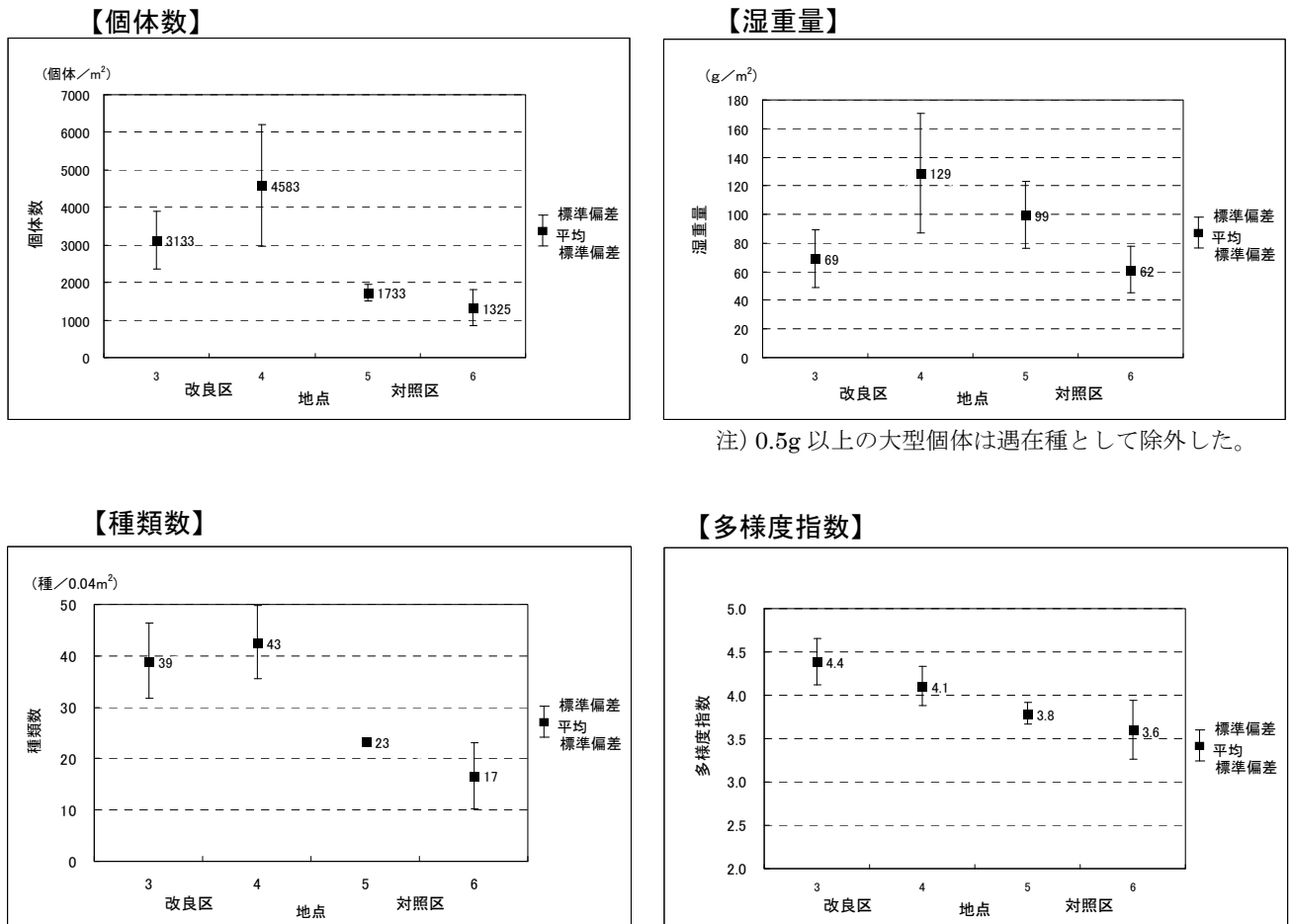


図7-2-7(2) 馬島沖における11月の底生生物調査結果
(個体数、湿重量、種類数および多様度指数(Shannon & WeaverのH'指数))

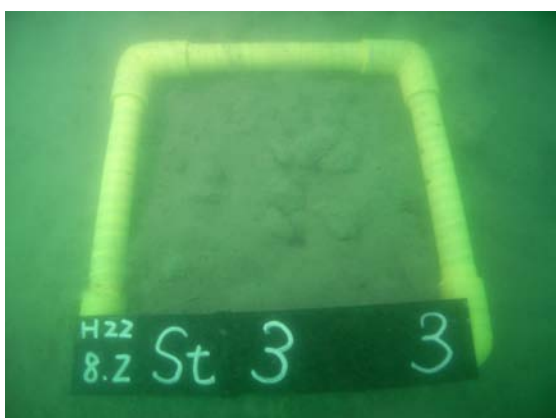
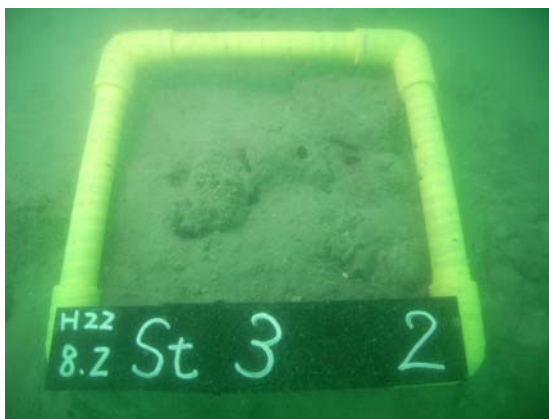
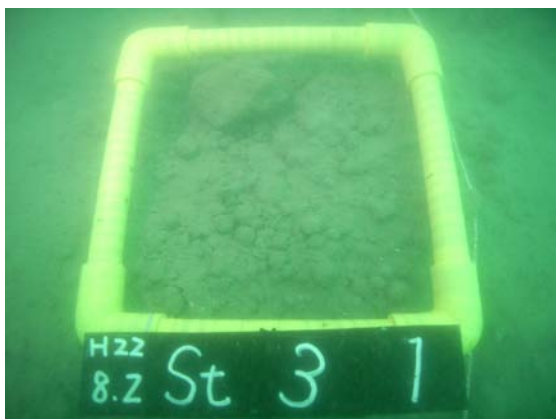
表 7-2-2 (2) 馬島沖 底生生物調査結果【夏季調査：2010年8月】

和名	種名(学名)	3-1		3-2		3-3		4-1		4-2		4-3		5-1		5-2		5-3		6-1		6-2		6-3		
		個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	
環形動物門	ANNELEIDA																									
Harmothoe 属	Harmothoe sp.			2	0.013			6	0.036	2	0.012	2	0.006													
セウロコエシ	Hermilidonotus helotyus							1	0.016			1	0.007													
Lenidionotus 属	Lenidionotus sp.																									
ヒダヒダシ科	Pholidae																									
クワカクアノコカイ	Bhawania goodiei	1	0.002	3	0.034			1	0.004	4	0.022	2	0.009	1	0.277									1	0.001	
ウツシシ科	Amphinomidae																									
オトコカイ科	Phyllodoctidae	1	0.005					1	0.001																	
ヒソコカイ科	Hesionidae																									
Tyrosyllis 属	Tyrosyllis sp.																									
Cabira 属	Cabira sp.																									
クワカクアノコカイ	Sigambra phuketensis					1	0.008																			
アノコカイ	Neanthes succinea							1	0.018																	
コハシコカイ	Neanthes succinea																									
コハシコカイ	Neanthes succinea																									
Microdephthys 属	Microdephthys sp.			1	0.001																					
Glycera 属	Glycera sp.																									
Glycinde 属	Glycinde sp.																									
クワカクアノコカイ	Scalotoma longifolia	1	0.016	1	0.013	1	0.006	7	0.039	28	0.258	10	0.113	1	0.011	2	0.021	1	0.004	1	0.02	2	0.029	2	0.02	
トコエシ	Pseudopolydora kempfi			8	0.063	2	0.011	1	0.003	1	0.008	2	0.004												2	0.017
アノコカイ	Pronospio exocollata							1	0.003	1	0.006															
エーシ	Pronospio elhersi							1	0.001																	
Parapionospio 属 B型	Parapionospio sp. B type																									
Parapionospio 属 C I 型	Parapionospio sp. C I type																									
Spiothanes 属	Spiothanes sp.																									
Spiolepis 属	Spiolepis sp.																									
ウツシシ科	Checoteridae							1	0.012																	
アノコカイ	Spiochaetopterus costarum																									
アノコカイ	Tharyx sp.																									
Tharyx 属	Tharyx sp.																									
Paraconidae	Paraconidae							1	0.002	6	0.013	2	0.013													
Arctidea 属	Arctidea sp.																									
Cossura 属	Cossura sp.																									
Notomastus 属	Notomastus sp.	1	0.002	1	0.009	1	0.023			4	0.055	1	0.112	3	0.024	4	0.026			3	0.066	4	0.078	4	0.026	
Mediomastus 属	Mediomastus sp.							1	0.004	1	0.002															
Malindiidae	Malindiidae							2	0.017	3	0.013	1	0.009	1	0.02											
Praxillella pacifica	Praxillella pacifica																									
Asychis disparidentata	Asychis disparidentata																									
Oweniidae	Oweniidae							1	0.005																	
Leais bocki	Leais bocki																									
Alpharacidae	Alpharacidae																									
Lysilla 属	Lysilla sp.																									
Streptosoma 属	Streptosoma sp.																									
Amphitrite	Amphitrite sp.	4	0.025	4	0.09	4	0.132	9	0.242	10	0.696	5	0.228	2	0.03	4	0.035			3	0.029	1	0.009	2	0.036	
Chone 属	Chone sp.							1	0.005	6	0.03	2	0.011													
Euchone 属	Euchone sp.							1	0.003																	
扁形動物門	PLATYHERMINTHES																									
ヒソコカイ																										
ヒソコカイ																										
環形動物門	NEMERTINEA																									
ヒソコカイ																										
環形動物門	SIPUNCULA																									
ヒソコカイ																										
環形動物門	PROTOCHORDATA																									
ヒソコカイ																										
合計		29	1.884	65	0.59	44	0.373	91	2.201	125	3.966	68	2.77	36	1.006	31	0.233	8	0.931	28	0.945	29	0.779	68	14.677	
種数		17		24		24		37		36		37		21		13		8		13		15		20		

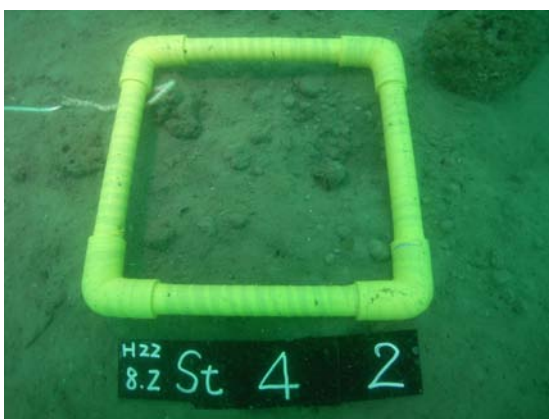
1. 採取面積.....0.0625m²
 2. 湿重量の単位.....g
 3. 表中の+記号.....0.01g未満

表 7-2-2(4) 馬島沖 底生生物調査結果【秋季調査：2010年11月】

種名(学名)	3-1		3-2		3-3		4-1		4-2		4-3		5-1		5-2		5-3		6-1		6-2		6-3			
	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量		
ANNELIDA																										
Harmothoe 属	1	0.073	1	0.050	2	0.022	1	0.086	2	0.095																
Hemilepidionotus heloytypus																										
Sigalionidae																										
Pholidae	11	0.050	2	0.016	1	0.001	2	0.016	1	0.001	3	0.017	2	0.373	2	0.056	3	0.171	1	0.025						
ナガホコアノコカイ																										
Bhawania goodii	3	0.007	2	0.027	1	0.001	3	0.017	1	0.011	3	0.017	1	0.005	1	0.005										
Phyllodoceae																										
ナガホコアノコカイ	3	0.007	2	0.027	1	0.001	1	0.009	1	0.003																
ナガホコアノコカイ																										
Styis gracilis																										
Ancistrosyllis 属																										
Ancistrosyllis sp.	3	0.004	4	0.008	1	0.001	1	0.034																		
カサホコカイ	1	0.001																								
Ceratonereis mirabilis																										
Neanthes 属																										
Neanthes sp.																										
Neanthes sp.																										
Neanthes sp.																										
Nectonereis litipoda																										
コサノコカイ	1	0.001																								
Nephtys uliginosa																										
Micronephthys 属																										
Micronephthys sp.																										
Paracydonia paradoxa	2	0.002	1	0.001	1	0.001	6	0.121	4	0.065	1	0.006	1	0.006	1	0.022	1	0.151	1	0.013	1	0.017				
Glucera 属																										
Glucera sp.	3	0.010																								
Eunicie 属																										
Eunicie sp.	2	0.003																								
Lysidice collaris	30	0.157	42	0.151	16	0.067	43	0.183	90	0.275	34	0.146	13	0.072	8	0.083	4	0.035	9	0.065	2	0.008	5	0.025		
カサホコカイ	2	0.001																								
Scoletoma longibola	1	0.012																								
Schistomeringos rudolphi	1	0.001																								
Polidora flava orientalis	1	0.001																								
Pseudopolydora kempi	1	0.001																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								
トサホコカイ	1	+																								

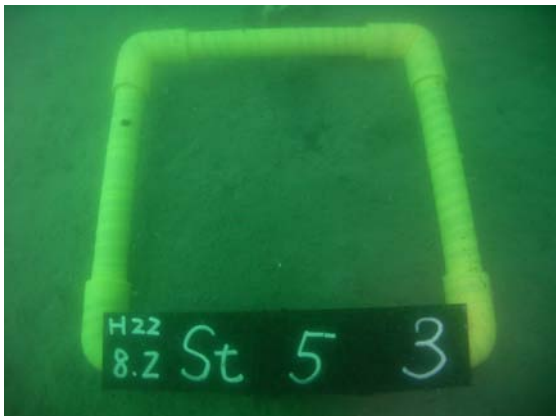
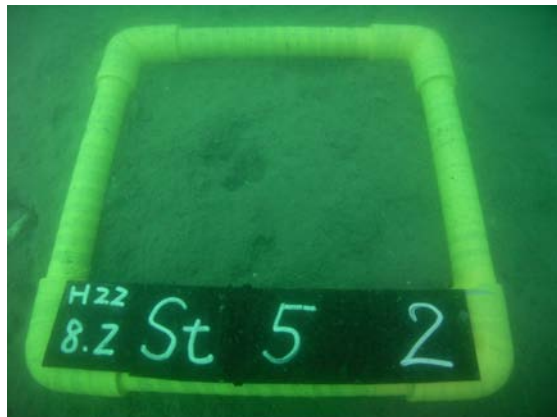
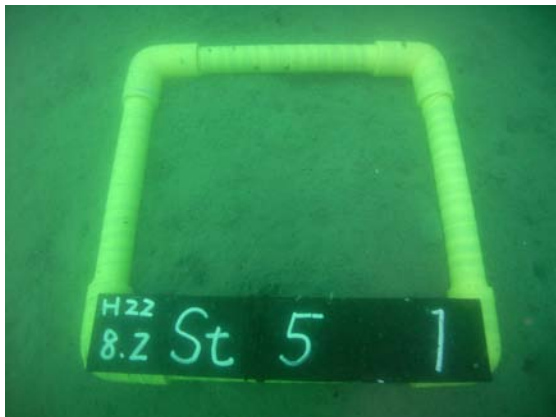


改良区 : St. 3
平成 22 年 8 月 2 日
観察結果 : メガロベントス確認されず。

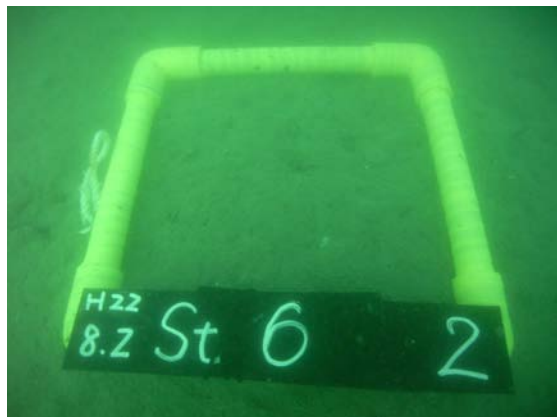


改良区 : St. 4
平成 22 年 8 月 2 日
観察結果 : メガロベントス確認されず。

図 7-2-8(1) メガロベントス調査結果 (改良区)

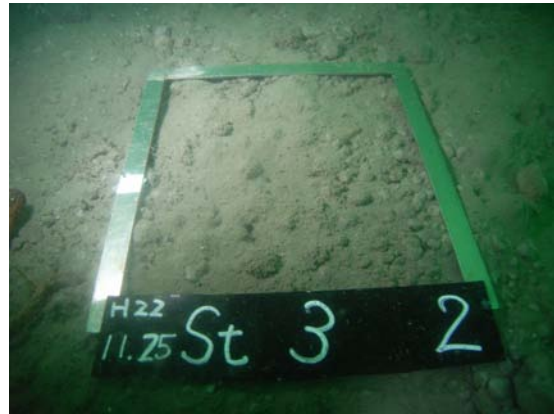
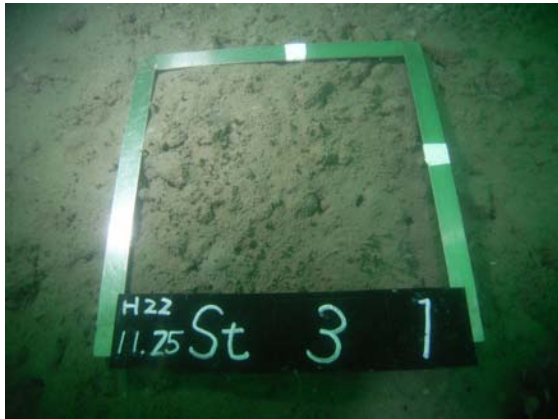


対照区 : St. 5
平成 22 年 8 月 2 日
観察結果 : メガロベントス確認されず。

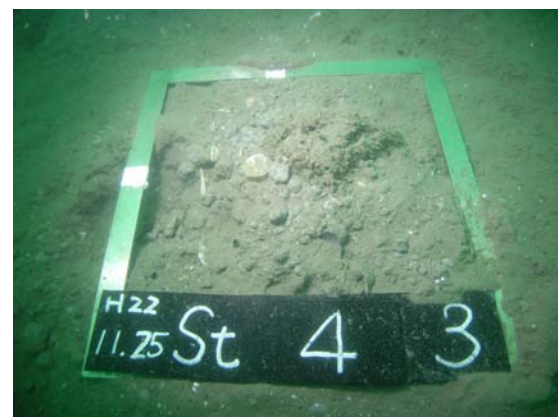
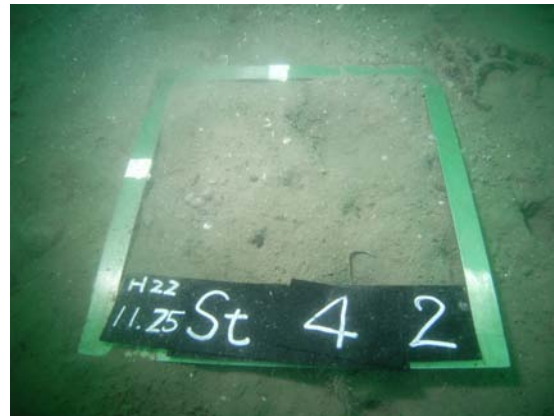
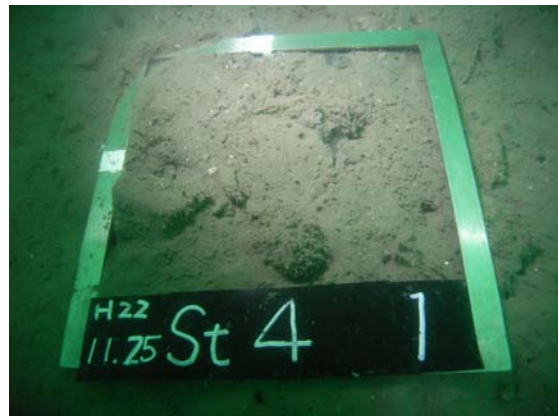


対照区 : St. 6
平成 22 年 8 月 2 日
観察結果 : メガロベントス枠内では確認されず。

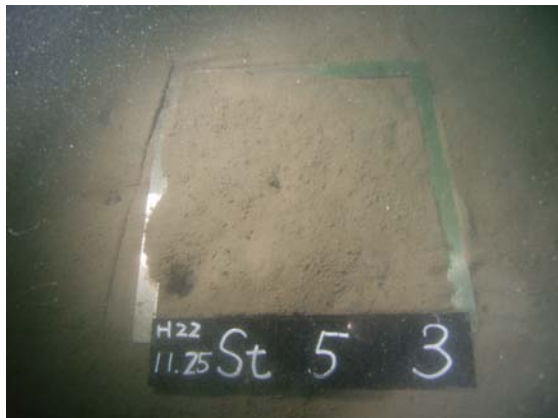
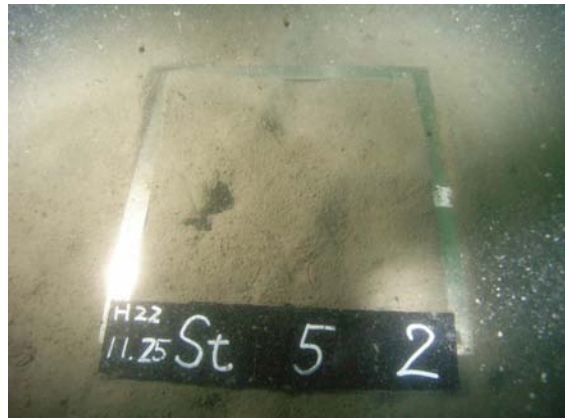
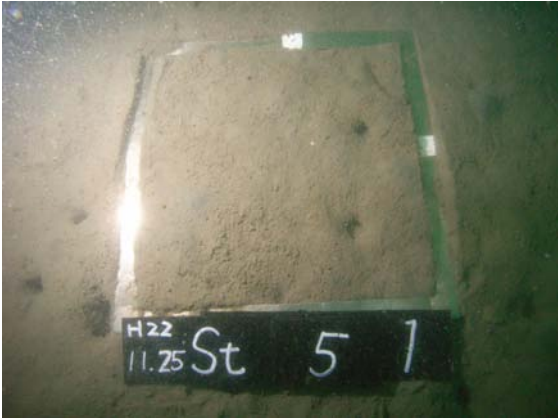
図 7-2-8 (2) メガロベントス調査結果 (対照区)



対照区 : St. 3
平成 22 年 11 月 25 日
観察結果 : メガロベントス確認されず。



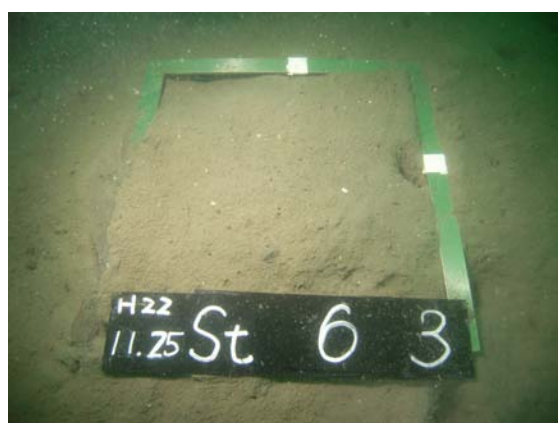
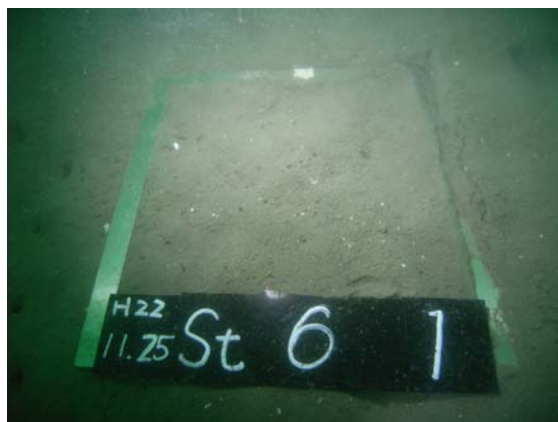
対照区 : St. 4
平成 22 年 11 月 25 日
観察結果 : メガロベントス確認されず。



対照区 : St. 5

平成 22 年 11 月 25 日

観察結果 : メガロベントス確認されず。



対照区 : St. 6

平成 22 年 11 月 25 日

観察結果 : メガロベントスは確認されず。

8. 実証試験の評価と結論

8.1 調査項目別の評価

本実証試験の実証目標は、「水質・底質の改善効果」と「生物生息環境の改善効果」であり、調査項目別に目標水準との比較で評価を行った。

実証目標	調査項目	目標水準
水質・底質の改善効果	底質 (間隙水・直上水) DIN, DIP, 硫化物イオン, 酸化還元電位, pH	<ul style="list-style-type: none"> ・溶出抑制効果が認められる。 →試験区の溶存無機態窒素、リン濃度、硫化物イオン濃度が対照区よりも低い。 (大河漁港：石炭灰造粒物区が砂利区よりも低い。) 【参考】 →試験区の酸化還元電位が対照区よりも高い。 (大河漁港：石炭灰造粒物区が砂利区よりも高い。)
生物生息環境の改善効果	底生生物	<ul style="list-style-type: none"> ・試験区の底生生物の個体数・種類・多様度指数が対照区と比べて高い値を示している。

8.1.1 短期的効果（大河漁港）

石炭灰造粒物の設置は、広島湾内の比較的栄養塩濃度の高い海域であり、平成22年7月～10月にかけて短期的な効果を検証した。

(1) 水質・底質の改善効果

①溶存態窒素DIN

- ・直上水の平均DIN濃度は、石炭灰造粒物区および砂利区は、対照区と同水準もしくはそれより低く、溶出の抑制効果が考えられた。
- ・石炭灰造粒物区の間隙水中濃度は、栈橋1（コア試験区）では砂利区より高かった。しかしながら、当該技術を活用した実際の事業を想定した栈橋2（覆土試験）の試験では、設置間もない8月を除くと、砂利区よりも低い値を示し、石炭灰造粒物による溶出抑制効果を裏付ける結果が得られた。なお、石炭灰造粒物区の濃度は、対照区の概ね1/10以下であった。

②溶存態リンDIP

- ・直上水の平均DIP濃度は、石炭灰造粒物区が砂利区、対照区と同水準か低く、溶出の抑制が考えられた。
- ・石炭灰造粒物区の間隙水中濃度は、砂利区の濃度を1として比較すると、9月には0.1～0.4、10月には0.2～1.0であり、石炭灰造粒物による溶出抑制効果を裏付ける結果が得られた。なお、石炭灰造粒物区の濃度は、対照区の概ね1/20以下であった。

③硫化物イオンS²⁻

- ・直上水の平均硫化物イオン濃度は、いずれもほぼ定量下限値を下回り、溶出抑制効果については確認できなかった。
- ・石炭灰造粒物区の間隙水中濃度は、砂利区濃度を1として比較すると、0～0.8の値を示し、特に9月は栈橋1を除くと定量下限値を下回っており、硫化物発生抑制効果を裏付ける結果が得られた。なお、間隙水中の濃度は、石炭灰造粒物区が対照区よりも概ね1/100以下であった。

④ pH

- ・直上水の平均 pH は、試験区間で顕著な差は認められなかった。
- ・間隙水の pH は、石炭灰造粒物区において 8 前後であり、対照区、砂利区よりもやや高い程度で、顕著な pH 上昇は確認できなかった。

⑤酸化還元電位 ORP

- ・直上水の平均 ORP 値は、いずれもプラスを示し、試験区間で顕著な差は認められなかった。
- ・間隙水中の ORP 値は、設置後間もない 8 月を除くと、石炭灰造粒物区が対照区および砂利区よりも高い値を示し、ORP の低下抑制効果を裏付ける結果が得られた。

(2) 生物生息環境の改善効果

①底生生物

- ・貧酸素状態が維持されやすい栈橋 2 (覆土試験) では、石炭灰造粒物区において、底生生物の個体数、湿重量、種類数および多様度指数が高い値を示し、石炭灰造粒物による生物生息環境の改善効果を裏付ける結果が得られた。
- ・干潮時に貧酸素状態の解消が可能な栈橋 1 (コア試験) では、石炭灰造粒物区で平均種類数が最高となり、生息環境の改善効果が確認された。ただし、個体数と湿重量については砂利区 (ホトトギスガイの大量出現) で、多様度指数は対照区 (種類数は最小、優先度の偏り小) で高かった。また、石炭灰造粒物区では、アサリ (対照区でも出現)、マガキ (砂利区でも出現) などの有用魚介類が生息するほか、付着性の生物も確認された。

8.1.2 長期的効果 (馬島沖)

山口県田布施町馬島沖の石炭灰造粒物設置海域は、かつてエビ養殖の排水の影響を受けた海域であり、設置後 8 年を経過していることから、平成 22 年 8 月～11 月にかけて 長期的な効果 の検証を行った。

(1) 水質・底質の改善効果

①溶存態窒素 DIN

- ・直上水の DIN は、8 月調査では改良区で、9 月調査では対照区で高い値を示し ($p < 0.05$, $n=6$)、また間隙水についても 8 月および 11 月に改良区で高い値を示しており ($p < 0.05$, $n=6$)、石炭灰造粒物による溶出抑制効果については確認できなかった。

②溶存態リン DIP

- ・直上水の DIP は、8 月には改良区で高く ($p < 0.05$, $n=6$)、間隙水についても 8 月に改良区で高くなったが、9 月および 11 月には対照区で高い値 ($p < 0.05$, $n=6$) を示したことから、石炭灰造粒物による溶出抑制効果の可能性が示唆された。

③硫化物イオン S^{2-}

- ・直上水の硫化物イオンは検出されず、石炭灰造粒物による溶出の抑制効果については確認できなかった。
- ・間隙水については、8 月と 9 月には検出されてもわずかであったが、11 月調査においては改

良区でおおむね定量下限値を下回るのに対して対照区では 0.10~0.14mg/L を示し、石炭灰造粒物による硫化物イオン発生抑制効果を示唆する結果が得られた。

④ pH

- ・直上水、間隙水ともに改良区と対照区との間で顕著な差はなく、石炭灰造粒物による顕著な pH 上昇については確認できなかった。

⑤酸化還元電位ORP

- ・直上水の ORP 値は、8 月および 9 月には改良区で高く ($p < 0.05, n=6$)、間隙水（底質）についても 9 月および 11 月には改良区で高い値 ($p < 0.05, n=6$) を示したことから、石炭灰造粒物による ORP の低下抑制効果を示唆する結果が得られた。

(2) 生物生息環境の改善効果

①底生生物

- ・個体数、湿重量、種類数および多様度指数は、改良区で高い傾向にあり、特に種類数と多様度指数は改良区で高い値を示した。また、種類数と個体数は、覆土前より増えており、生物生息環境の改善効果を裏付ける結果が得られた。
- ・撒布後 8 年を経過した石炭灰造粒物の状況を見ると、図 8-1 のとおり、覆土された状態を残し、底生生物にとっては、堆積した泥だけでなく、付着基質やその隙間など、多様な生息環境が形成されていた。

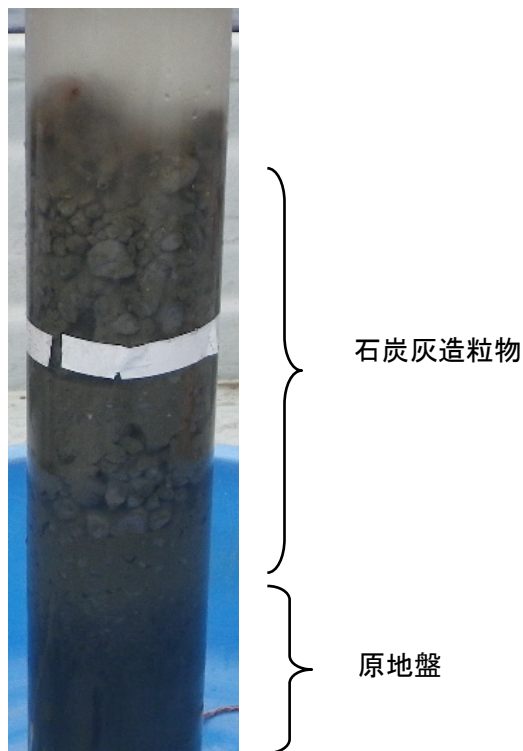


図 8-1 コアの状況（馬島沖：Stn. 4）

8.2 実証試験の結論

本実証試験の結論は、次のとおりである。

なお、個別の目標達成度を表 8-2-1 および表 8-2-2 に示す。

石炭灰造粒物の覆土による海域環境の改善技術	
水質および底質の改善	<p>【短期的効果：設置後 18 日～約 3 ヶ月】</p> <ul style="list-style-type: none"> 石炭灰造粒物の覆土については、DIN、DIP および硫化物イオンの溶出抑制効果が確認された。 ORP の低下抑制効果、pH の顕著な上昇がないことが確認された。 <p>【長期的効果（8 年以上経過）】</p> <ul style="list-style-type: none"> 覆土後 8 年以上経過した改良区では、DIN の溶出抑制効果は確認できなかったが、DIP、硫化物イオンの溶出抑制効果および ORP の低下抑制効果を示唆する結果が得られた。
生物生息環境の改善	<p>【短期的効果：設置後 18 日～約 3 ヶ月】</p> <ul style="list-style-type: none"> 貧酸素状態が維持されやすい試験区(覆土試験区)では、石炭灰造粒物区において、底生生物の個体数、湿重量、種類数および多様度指数が高く、生物生息環境の改善効果が確認された。貧酸素状態の解消が可能な試験区(コア試験区)でも、石炭灰造粒物区で種類数が最高となり、生物生息環境の改善効果が確認された。 <p>【長期的効果（8 年以上経過）】</p> <ul style="list-style-type: none"> 石炭灰造粒物を敷設した海域（改良区）において、底生生物の個体数、湿重量、種類数および多様度指数が高い傾向にあり、生物生息環境の改善効果が確認された。 <p>石炭灰造粒物は、硫化物イオンの発生抑制や酸化還元電位の低下抑制などとともに、多様な生息環境を提供することにより生物生息環境の改善効果が期待できる。</p>

表 8-2-1 短期的効果（大河漁港）の達成度

実証目標	調査項目		調査結果（石炭灰造粒物区）				目標水準
			達成度	対照区との比較	達成度	砂利区との比較	
水質・底質の改善効果	直上水	DIN	○	同水準かわずかに低い	☆	栈橋 1（コア試験）では高く、栈橋 2（覆土試験）では低い傾向	◇ 溶存無機態窒素、リン、硫化物イオンの溶出抑制効果が認められる。 ・試験区の溶存無機態窒素、リン及び硫化物イオン濃度が対照区よりも低い。 (石炭灰造粒物区が砂利区よりも低い。) 参考) ・試験区の酸化還元電位が対照区よりも高い。 (酸化還元電位が砂利区よりも高い。)
		DIP	○	同水準か低い	○	同水準かわずかに低い	
		硫化物イオン	☆	ほぼ ND	☆	ND	
		pH	—	顕著な差なし	—	顕著な差なし	
		酸化還元電位	☆	顕著な差なし（いずれもプラス）	☆	顕著な差なし（いずれもプラス）	
	間隙水	DIN	○	概ね 1/10 以下	○	栈橋 1(コア試験)では、石炭灰造粒物区で高い(9月 5cm 層を除く)が、当該技術を活用した実際の事業に近づけた栈橋 2(覆土試験)では低い(設置間もない8月を除く)。	
		DIP	○	概ね 1/20 以下	○	9月：低い(0.1~0.4)(設置間もない8月を除く) 10月：低いか同水準(0.2~1.0)	
		硫化物イオン	○	概ね 2 オーダー程度低い	○	低い(0~0.8:設置間もない8月を除く)	
		pH	—	やや高いが、8 前後	—	やや高いが 8 前後	
		酸化還元電位	○	高い	○	高い(8月 15cm 層を除く)	
生物生息環境の改善効果	底生生物	種類数	○	多い(栈橋 1:石炭灰造粒物区でもアサリ、マガキ出現、付着生物出現)	○	多い	
		個体数	○	多い	○	栈橋 1(コア試験)では、ホトギズガイが砂利区で大量出現したが、栈橋 2(覆土試験)では石炭灰造粒物区で多い。	
		湿重量	○	大きい	○	栈橋 1(コア試験)では、ホトギズガイが砂利区で大量出現したが、栈橋 2(覆土試験)では石炭灰造粒物区で大きい。	
		多様度指数 (Shannon & Weaver の H' 指数)	○	栈橋 1(コア試験):小さい (優占種の偏りやや大のため) 栈橋 2(覆土試験):高い	○	高い	

凡例) 達成度

○: 目標水準達成もしくは部分達成

☆: 判定困難

×: 未達成

—: 評価対象外

表 8-2-2 長期的効果（馬島）の達成度

実証目標	調査項目		調査結果（改良区：石炭灰造粒物）				目標水準
			達成度	対照区との比較	達成度	改良前（平成 14 年）との比較	
水質・底質の改善効果	直上水	DIN	☆	8 月：改良区で高い (p<0.05, n=6) 9 月：対照区で高い (p<0.05, n=6)	—	—	◇ 溶存無機態窒素、リン、硫化物イオンの溶出抑制効果が認められる。 ・改良区の溶存無機態窒素、リン濃度及び硫化物イオン濃度が対照区よりも低い。 参考) ・改良区の酸化還元電位が対照区よりも高い。
		DIP	×	8 月：改良区で幾分高い (p<0.05, n=6)	—	—	
		硫化物イオン	☆	いずれも ND	—	—	
		pH	—	顕著な差なし（改良区：7.6~8.1、対照区：8.0~8.1）	—	—	
		酸化還元電位	○	8 月、9 月：高い (p<0.05, n=6)	—	—	
	間隙水	DIN	×	8 月、11 月：高い (p<0.05, n=6)	—	—	
		DIP	○	8 月：高い (p<0.05, n=6) 9 月、11 月：低い (p<0.05, n=6)	—	—	
		硫化物イオン	○	11 月：低い	—	—	
		pH	—	顕著な差なし（改良区：7.6~8.0、対照区：7.6~7.7）	—	—	
		酸化還元電位	○	8 月調査：低い (p<0.05, n=6) 9 月、11 月調査：高い (p<0.05, n=6)	—	—	
生物生息環境の改善効果	底生生物	種類数	○	多い	○	多い	◇ 生物生息環境の改善効果が認められる。 ・試験区の底生生物の個体数・種類・多様度指数が対照区と比べて高い値を示している。 参考) ・改良前と比較して種類数、個体数が多い。
		個体数	○	多い	○	多い	
		湿重量	○	大きい	—	—	
		多様度指数 (Shannon & Weaver の H' 指数)	○	高い	—	—	

凡例) 達成度

○：目標水準達成もしくは目標水準部分達成

☆：判定困難

×

—：評価対象外

9. 技術実証委員会の見解

本実証試験についての技術委員会の見解を以下にまとめた。

○実験結果の見解

「水質および底質の改善」

【短期的効果】

- ・本実証対象技術（石炭灰造粒物の覆土）は、短期的な効果として DIN、DIP、硫化物イオンの溶出抑制及び ORP の低下抑制による水質および底質改善が期待できる技術である。

【長期的効果】

- ・本実証対象技術（石炭灰造粒物の覆土）は、長期的効果として DIP、硫化物イオンの溶出抑制および ORP の低下抑制による水質および底質改善が期待できる技術である。

「生物生息環境の改善」

【短期的効果】

- ・本実証対象技術（石炭灰造粒物の覆土）は、対照区や砂利区と比較して数ヶ月でより多くの種類が出現するなど、生物生息環境の改善において短期的効果が期待できる技術である。

【長期的効果】

- ・本実証対象技術（石炭灰造粒物の覆土）は、石炭灰造粒物敷設後 8 年を経過しても対照区より種類数などが多いことから、生物生息環境の長期的改善効果が期待できる技術である。

○技術的課題や改善の方向性

- ・水質及び底質の改善については、効果の持続性をより高めるための技術的検討（覆土厚等）が、今後、必要である。

○他の実水域への適用可能性を検討する際の留意点

- ・本実証対象技術（石炭灰造粒物の覆土）の適用場所については、覆土により海底地形の変化が伴うことを考慮しつつ、比較的栄養塩濃度の高い海域などの環境改善を必要とする場所を慎重に選定する必要がある。

○その他

- ・上記の改善効果については、(株) エネルギア・エコ・マテリアの技術によって造粒固化された石炭灰造粒物（Hi ビーズ）に限定して認めるものである。

参考文献

- 1) 浅岡 聡, 山本 民次, 早川 慎二郎: 石炭灰造粒物による硫化物イオンの除去, 水環境学会誌, 32, 363-368, 2009
- 2) 浅岡 聡, 山本 民次: 石炭灰造粒物による有機質底泥の改善, 用水と廃水, 51, 157-163, 2009
- 3) 池田 陵志, 齊藤 直, 松崎 和征, 車田 佳範: H i ビーズによる環境改善効果について, 土木学会年次学術講演会講演概要集第 7 部, 58 巻, 627-628, 2003
- 4) 藤原 哲宏, 日比野 忠史, 齊藤 直, 阿部 真己: ヘドロが堆積する内湾での人工覆砂材による底質改善効果, 海洋開発論文集, 第 25 巻, 389-394, 2009
- 5) 富田智, 日比野忠史, 末國光彦, 田多一史, 水野雅光: 石炭灰造粒物を用いた底質改善技術の検討, 海洋開発論文集, 第 21 巻, 743-748, 2005
- 6) 藤原哲宏, 日比野忠史, 末國光彦, 末次弘道, 富田智, 水野雅光: 浸透柱による水循環の形成と底質改善効果の把握, 海洋開発論文集, 第 23 巻, 1135-1140, 2007
- 7) 特非営利活動法人瀬戸内里海振興会: 石炭灰を使った漁場環境改善対策に関する調査業務 (平成 18 年秋季) 業務報告書, 1-17, 資料 1-23, 2006