

平成 21 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) 港湾空間高度化環境研究センター

環境技術開発者 : J F E スチール (株) ・ J F E ミネラル (株)

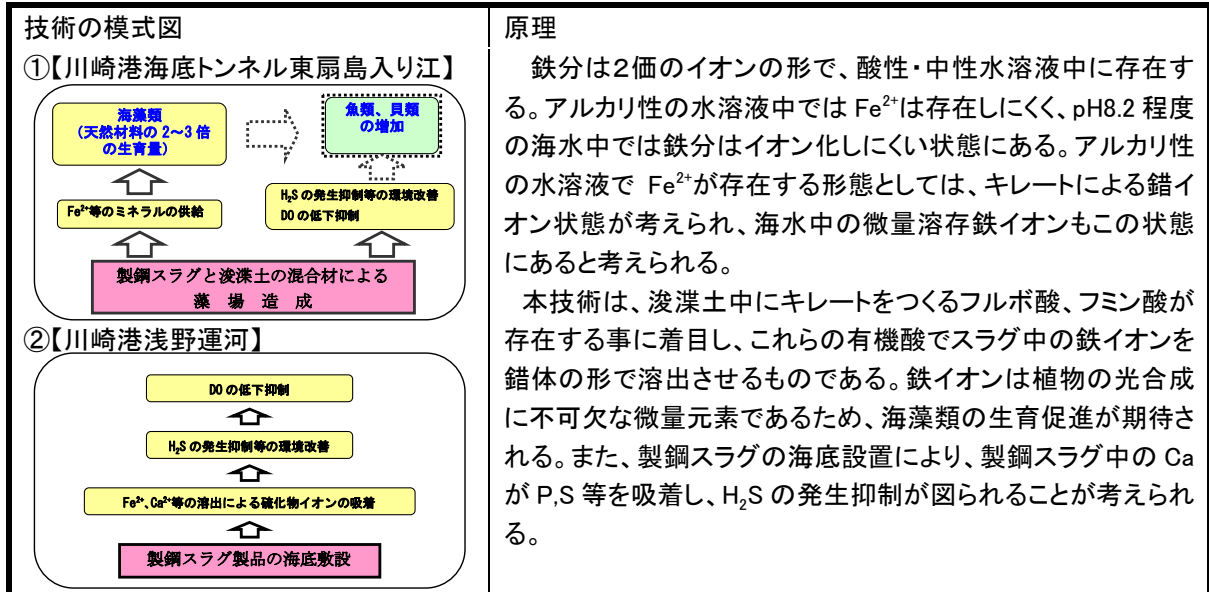
技術・製品の名称 : 製鋼スラグを用いた藻場造成・水質改善技術

1. 全体概要	1
2. 導入と背景	9
3. 実証対象技術及び実証対象技術の概要	10
3.1 実証対象技術の原理と目的	10
3.2 実証対象技術の原理	11
4. 実証試験実施場所の概要	12
4.1 海域の概況	12
4.2 実証試験実施場所の状況	13
4.3 実証対象技術の配置及び試料採取位置	16
5. 実証試験の方法と実施状況	21
5.1 実証試験工程	21
5.2 目標及び調査項目	21
5.3 実証試験の方法	24
6. 実証試験結果	34
6.1 水質調査	34
6.2 溶出試験等	59
6.3 混合材強度試験	75
6.4 海藻類生育状況調査	76
7. 実証試験の評価と結論	101
7.1 目標項目別の評価	101
7.2 実証試験の結論	105
8. 実証試験についての技術実証委員会の見解	106
9. 付録	107
9.1 参考情報	107
9.2 鉄分に関する文献情報	107

1. 全体概要

実証対象技術／環境技術開発者	製鋼スラグを用いた藻場造成・水質改善技術/JFE スチール(株)・JFE ミネラル(株)
実証機関	(財)港湾空間高度化環境研究センター
実証試験期間	平成 21 年 5 月 21 日 ～ 平成 22 年 3 月 31 日
実証の目的	製鐵スラグと浚渫土の混合材を浅場造成への基盤としての利用、鉄分等のミネラルの供給及び硫化水素の溶出抑制効果による DO の回復を通じて、これらの複合効果による生物生息環境の改善

1. 実証対象技術の概要



2. 実証試験の概要

○実証試験実施場所の概要

海域の名称 主な利用状況 規模	川崎港海底トンネル東扇島入り江 実証試験実証海域は神奈川県川崎市東扇島の海底トンネル東扇島入り江に位置し、一方は京浜運河に接する小規模な水域である。交通船の往来は少なく、比較的静穏な水域である。 実証試験実施場所の規模は、面積約 10,000m ² 、水深 3～4m 程度である。
海域の課題	実証試験場所が位置する川崎市東扇島の海底トンネル東扇島入り江周辺水域は、河川などからの陸上起源の流入負荷による水質の変化や赤潮等の影響を強く受けるため、水質や底質が悪化しやすい状況にあり、効果の確認にあたってはこの点を十分に留意する必要がある。
海域の状況	水質 京浜運河内の海域は閉鎖性が強く、海水交換は良い状況にあるとはいえない。H.20 年度神奈川県の公共用水域、水質測定結果(京浜運河千鳥町)による DO は夏季(8月)の上層で 9.8mg/L、下層で 0.2mg/L、COD は環境基準値(8mg/L)を下回る 4.2mg/L(上層)となっている。
	底質 神奈川県の調査で、京浜運河千鳥町地点の夏季調査では、泥分(0.063mm 以下)が 97.4%以上であった。COD は 37mg/g(基準値 20mg/L)、強熱減量 12.2%、硫化物量 0.323mg/g(基準値 0.2mg/g)となっており、東京湾奥部の典型的な底質環境下にある。
	生物生育環境 【海生生物】川崎港港湾計画資料(その2)によれば、川崎港及び周辺海域の海生生物としては、潮帯間生物では軟体動物のムラサキガイ、節足動物の <i>Melita</i> sp. (ヨコエビ類)、底生生物の <i>Sigambra tentaculata</i> (ゴカイ類)等が、魚類等の遊泳動物では、ボラ、スズキ、サヨリ、コノシロ、カタクチイワシ、アイナメ等が出現している。 【海藻藻類】実証試験海域における生息は確認されていない。

<p>海域の名称 主な利用状況 規模</p>	<p>川崎港浅野運河 実証試験実証海域は神奈川県川崎市浅野町と扇町間の浅野運河の扇橋側に位置し、JFE スチール(株) 東日本製鐵所に面する水域である。、比較的静穏な水域である。 実証試験実施場所の規模は、面積約 900m²、水深 5m 程度である。</p>
<p>海域の課題</p>	<p>実証試験場所が位置する川崎市浅野町の浅野運河、扇橋周辺は、二つの運河が交わる水域であると同時に河川などからの陸上起源の流入負荷による水質の変化が大きく、また、赤潮等の影響を強く受けるため、水質や底質が悪化しやすい状況にあり、効果の確認にあたってはこの点を十分に留意する必要がある。</p>
<p>海域の状況</p>	<p>水質</p> <p>浅野運河内の海域は、海水交換が良い状況にあるとはいえない。H.20 年度川崎市の定期的な水質測定結果(桜堀運河地先)による DO は夏季(8月)の上層で 5.0mg/L、下層で 0.8mg/L、COD は環境基準値(8mg/L)を下回る 3.8mg/L(上層)となっている。</p>
	<p>底質</p> <p>川崎市の定期調査においては底質調査は実施されていないが、底質環境は京浜運河千鳥町地点の状況と類似していると考えられる。</p>
	<p>生物生育環境</p> <p>近隣の地点における調査結果は下記よりもより閉鎖性に富むことが予想される。 【海生生物】川崎港港湾計画資料(その2)によれば、川崎港及び周辺海域の海生生物としては、潮帯間生物では軟体動物のムラサキガイ、節足動物の <i>Melita</i> sp. (ヨコエビ類)、底生生物の <i>Sigambra tentaculata</i>(ゴカイ類)等が、魚類等の遊泳動物では、ボラ、スズキ、サヨリ、コノシロ、カタクチイワシ、アイナメ等が出現している。 【海藻類】実証試験海域における生息は確認されていない。</p>

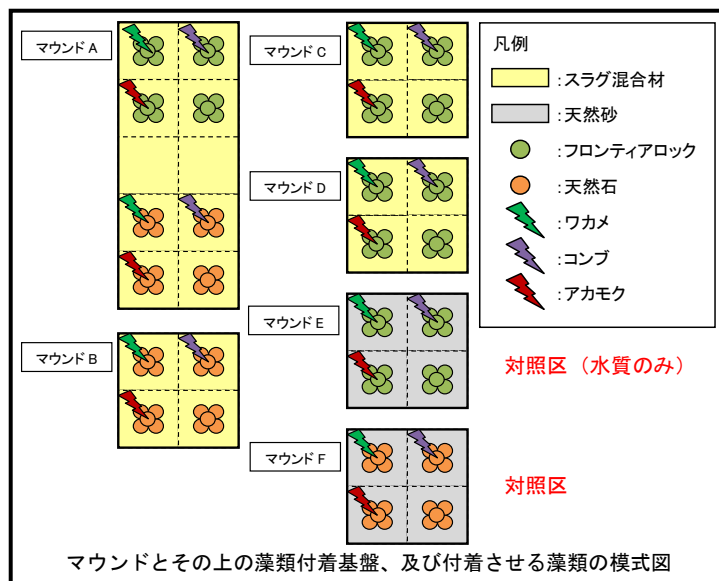
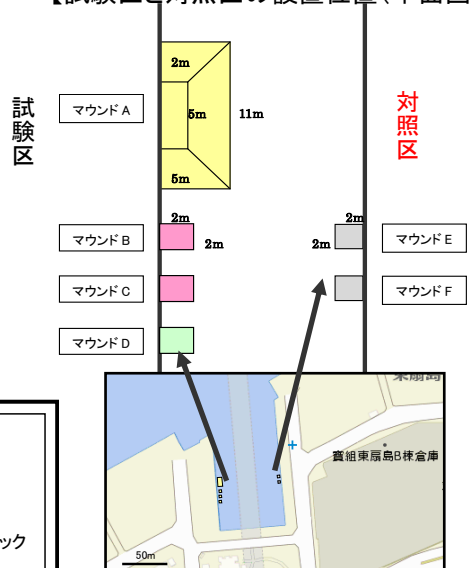
○ 実証対象技術の設置後の状況

川崎港海底トンネル東扇島入り江

【実施場所】



【試験区と対照区の設置位置(平面図)】



【藻場造成モデル事業の施工ケース】

マウンド	盛土部	海藻類移植基盤	マウンドサイズ(m)	土量(m ³)	備考
A	スラグ混合材Ⅰ(黄)	人工割石 (フロンティアロック) 天然石	11×5×1	32.5	法勾配 1:3
B	スラグ混合材Ⅱ(ピンク)	天然石	2×2×1	4	大型コンテナ 2 個
C	スラグ混合材Ⅲ(ピンク)	人工割石 (フロンティアロック)	2×2×1	4	〃
D	スラグ混合材Ⅳ(緑)	人工割石 (フロンティアロック)	2×2×1	4	〃
E	天然砂	人工割石 (フロンティアロック)	2×2×1	4	〃
F	天然砂	天然石	2×2×1	4	水質項目では 対照区 対照区 大型コンテナ 2 個

川崎港浅野運河

【実施場所】

【試験区と対照区の設置位置(平面図)】



【水質改善モデル事業の施工ケース】

ケース	製鋼スラグ製品	サイズ(m)	土量(m ³)	備考
ケース 1	製鋼スラグ製品 1	2×1×0.5	1	
ケース 2	製鋼スラグ製品 2	〃	〃	
ケース 3	製鋼スラグ製品 3	〃	〃	
ケース 4	製鋼スラグ製品 4	〃	〃	
ケース 5	天然砕石	〃	〃	対照区

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	—	消耗品及び電量使用量はない
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

特になし

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
水質調査	水質汚濁に係る環境基準を満たすこと又は対照区、周辺水域データと比較して同等であること

調査項目	目標水準
溶出試験	海洋汚染及び海上災害防止に関する法律に準拠して水底土砂の海面埋立処分に係る基準に適合すること
溶出速度試験	鉄分の供給効果が認められること りん酸態りん、硫化物等で溶出抑制または吸収効果が認められること
混合材強度試験	マウンドが崩れない(目視)100kN/m ² 程度の固化強度を維持できること
生物調査	生育数や生長量が対照区と比較して同等、もしくはそれ以上であること

(1) 水質調査

① 東扇島入り江(直上水)

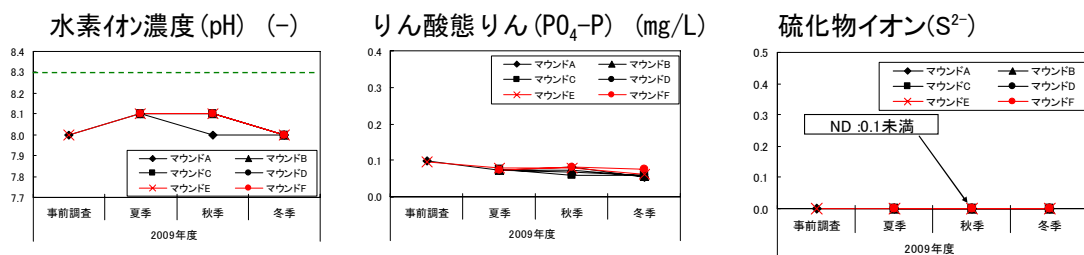
試験区: マウンド A、B、C、D (盛土部にスラグ混合材を使用)

対照区: マウンド E、F (盛土部に天然砂を使用)

○直上水の調査結果では、pH、D₀、COD、T-N、T-P、Zn について環境基準値をほぼ満足し、対照区との比較において大きな差は認められなかった。

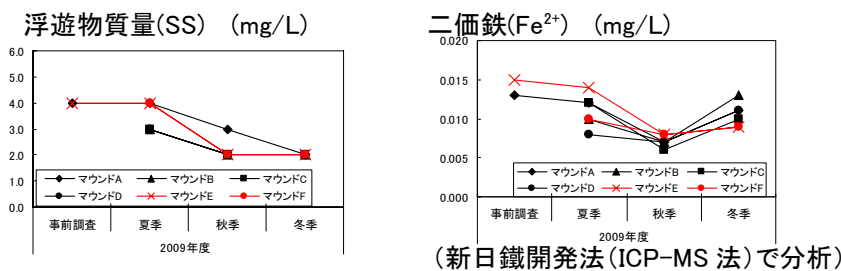
○試験区と対照区の比較において

- ・水素イオン濃度 (pH) は調査期間を通じ全点で 8.0~8.1 程度で推移し、環境基準の範囲内 (海域 C 類型: 7.0~8.3) であった。試験区、対照区とも同様に推移し、ほとんど差は認められなかった。スラグ製品中の石灰分の水和化に伴う上昇は認められなかった。
- ・りん酸態りん (PO₄-P) は調査期間を通じ全点で 0.07~0.1mg/L 程度で推移し、試験区、対照区でほとんど差は認められず、吸着効果の確認には至らなかった。
- ・硫化物イオンは調査期間を通じ全点で不検出であった。



..... は水質環境基準 (海域 C 類型) の上限を示す

- ・浮遊物質 (SS) は調査期間を通じ全点で 2~4mg/L 程度で推移し、試験区と対照区でほとんど差は認められなかった。石灰分の水和反応 (Mg(OH)₂ の生成) による白濁の影響は認められなかった。
- ・二価鉄 (微量分析) は 0.006~0.015mg/L で推移し、夏季から秋季にかけて低下し、冬季に上昇する傾向を示した。夏季及び冬季に対照区 (鉄分の供給効果がないマウンド F) に比して試験区でやや高い傾向が認められたが、供給効果の確認には至らなかった。



② 浅野運河(直上水・間隙水)

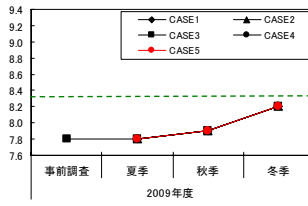
試験区: ケース 1、2、3、4 (製鋼スラグ製品を設置)

対照区: ケース 5 (天然碎石を設置)

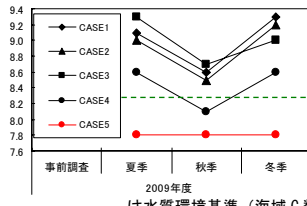
○直上水の水素イオン濃度 (pH) は環境基準値を満し、対照区との比較で差は認められなかった。間隙水における pH の上昇は直上水に影響を及ぼさなかった。

○間隙水のりん酸態りん (PO₄-P) は夏季に一部の試験区で対照区より低下する傾向があり、りんの吸着効果が示唆されたが、秋季、冬季においてはその傾向はなかった。

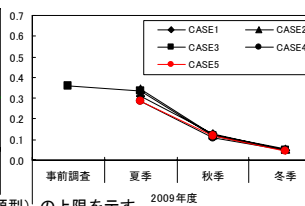
pH(-) 直上水



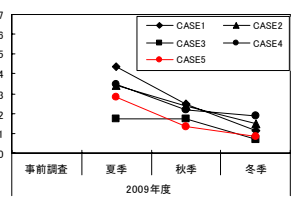
間隙水



りん酸態りん (PO₄-P) (mg/L) 直上水



間隙水

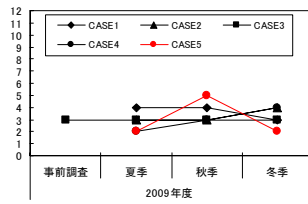


.....は水質環境基準（海域C類型）の上限を示す

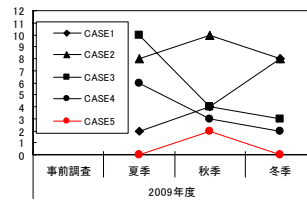
○間隙水の浮遊物質量は試験区では季節別、地点間で変動が大きく、対照区よりも明らかに高値を示した。しかし、直上水に対する影響は認められなかった。

○直上水の試験区と対照区の比較において、夏季、試験区のD0がやや高く目標水準を満足した。しかし、硫化物イオンは両区ともに検出されず、明確なD0低下の抑制効果の確認には至らなかった。

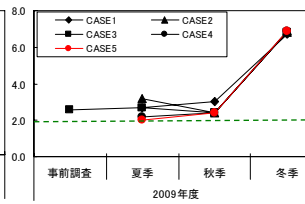
浮遊物質量(SS) (mg/L) 直上水



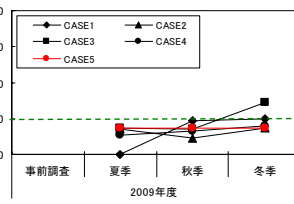
間隙水



溶存酸素量(DO) (mg/L) 直上水



間隙水



.....は水質環境基準（海域C類型）の上限を示す

(2) 溶出試験

東扇島入り江：試験区(マウンドA) | 浅野運河：試験区(ケース1)

○対象とした重金属類 10 成分については水底土砂の判定基準を満足しており、事前に実施した混合材の各材料（製鋼スラグ製品及び浚渫土）の試験結果を裏付ける結果であった。

(3) 溶出速度試験

【東扇島入り江】

試験区：マウンドA（スラグ混合材盛土部基材のテストピースを使用） | 対照区：マウンドF（天然砂盛土部を使用）

○鉄分の供給効果については、試験区で若干の溶出が認められ供給能が示唆された。しかし、対照区においても同程度あるいはそれ以上の溶出が認められ、バックグラウンドレベルに埋没する結果となって、明確な効果確認には至らなかった。

○PO₄-P および硫化物の溶出抑制効果については、嫌気条件下でも PO₄-P、硫化物の溶出が認められず、抑制効果が示唆された。しかし、PO₄-P については、対照区においても吸着効果が認められたこと、硫化物についてはうわ水中から検出されなかったことから明確な効果確認には至らなかった。

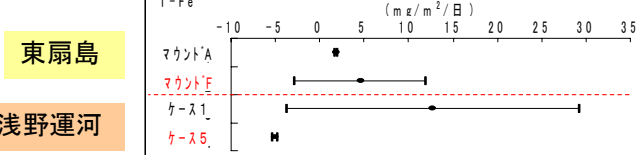
【浅野運河】

試験区：ケース1(製鐵スラグ製品を使用) | 対照区：ケース5(天然砕石を使用)

○PO₄-P の吸着あるいは抑制効果については、対照区に比して試験区での減少速度が速く、PO₄-P の吸着あるいは抑制効果が認められた。硫化物については東扇島入り江と同様な結果であった。

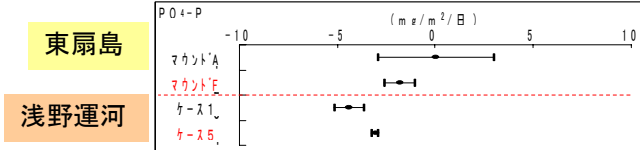
○鉄分の供給効果については、対照区に比して試験区での溶出が高く、鉄分の供給能が認められた。

【鉄分の供給】



試験区では鉄分の供給が認められたが、対照区と有意な差は認められなかった。
試験区では対照区より鉄分の増加速度が速く、有意差が認められた。(分析方法：ICP-AES 発光光度法 JIS K 0102 (2008))

【りん酸態りんの吸着効果】



試験区と対照区における明確な効果確認には至らなかった。
試験区では、対照区よりも減少速度が速く、有意差が認められ、吸着、抑制効果が確認された。

(4) 混合材強度試験

東扇島入り江：マウンドA、マウンドD

○マウンド A 及びマウンド D の強度試験において、両方ともに 100kN/m² を超える強度を示し、施工の目安となる強度を保持している事が確認された。施工後、マウンドは安定的に形状を保つ事が確認された。

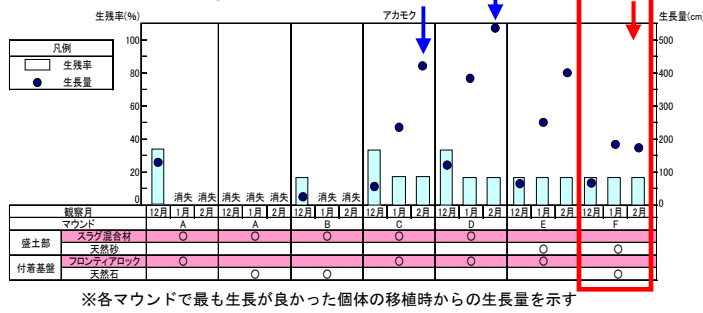
(5) 生物調査

東扇島入り江

試験区: マウンド A、B、C、D、E (盛土部にスラグ混合材を使用)	対照区: マウンド F (盛土部に天然砂を使用)
-------------------------------------	--------------------------

○スラグ混合材とフロンティアロックで構成される試験区 (C, D) でアカモクが対照区と比較して 3.2 倍の生長が確認された (図 1)。

○海底よりロープを立ち上げる方法で試験を行ったワカメにおいて、海底上 0.8m 層でスラグ混合材とフロンティアロックで構成される試験区 (C, D, E) で対照区 (F) とほぼ同等、あるいはそれ以上の生長が確認された (図 2)。



※各マウンドで最も生長が良かった個体の移植時からの生長量を示す

図 1 アカモクの生残率と生長量

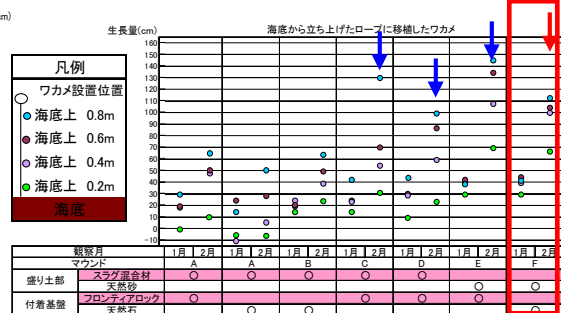


図 2 海底よりロープを立ち上げて移植したワカメの生長量



海藻生育調査においては、底生生物による障害が認められた。移植藻類中ではアカモクの成績が良かった。スラグ混合材とフロンティアロックで構成される基材から供給される鉄分が海藻類の生育の一要因となった可能性が示唆された。

○実証試験の結論

- ①【製鋼スラグを用いた藻場造成水質改善技術 鉄イオンの溶出 (東扇島入り江)】
製鋼スラグと浚渫土の混合材による複合的效果については、設置による水環境の悪化は認められず、浚渫土の強度増強効果が確認され、りん酸イオンの吸着効果と硫化物イオンの捕捉効果が示唆された。また、冬季の試験区で二価鉄が高くなる傾向となり、大型海藻類のアカモクやワカメの生長促進効果が限定的に確認された。
- ②【製鋼スラグを用いた藻場造成水質改善技術 D0 の低下抑制 (浅野運河)】
製鋼スラグ製品を閉鎖性海域の海底に設置した場合、直上水の pH に影響を及ぼしていないことが確認された。また、水質調査、溶出試験により、製鋼スラグ製品によるりん酸イオンの吸着効果と硫化物イオンの捕捉効果が示唆されたが、明確な D0 の低下抑制効果の確認には至らなかった。

○ 実証試験についての技術実証委員会の見解

- ①【製鋼スラグを用いた藻場造成水質改善技術 鉄イオンの溶出 (東扇島入り江)】
鉄分の供給による海藻類の生長促進効果は限定的であったが、鉄分が枯渇する海域等に展開した場合、報告書の鉄分に関する文献情報に示されるように、藻類の生長に寄与することが本実証事業においても示唆された。
○技術的課題や改善の方向性 特になし
○他の実水域への適用可能性を検討する際の留意点
藻場造成材として本技術の効果を発揮させるためには、鉄分濃度等の海域の環境特性を考慮して適用すべきであると評価される。
- ②【製鋼スラグを用いた藻場造成水質改善技術 D0 の低下抑制 (浅野運河)】
りん酸イオンの吸着効果、硫化物イオンの捕捉効果による D0 の低下抑制効果が発揮された場合、富栄養化した海域における水質改善に適用できる技術であると評価される。
○技術的課題や改善の方向性 特になし
○他の実水域への適用可能性を検討する際の留意点 特になし

(参考情報)

注意:このページに示された技術情報は、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。

○技術データ

項目		環境技術開発者 記入欄		
技術名称		製鋼スラグを用いた藻場造成技術・水質改善技術		
企業名		JFEスチール株式会社、JFEミネラル株式会社		
連絡先	TEL/FAX	JFEスチール株式会社 TEL(03)3597-3635 / FAX(03)3597-3293		
	Web アドレス	JFEスチール株式会社 http://www.jfe-steel.co.jp/		
	E-mail	JFEスチール株式会社 mi-suzuki@jfe-steel.co.jp		
設置方法		製鋼スラグと浚渫土の混合材:船上または陸上で混合後、打設船からトレミ 一等で設置 製鋼スラグ人工石:ガット船等から投入、設置 粒度調整製鋼スラグ:ガット船等からの投入、設置		
設置・調整期間		—		
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	通常工法と同じ		
	資材費	天然石材等と同等またはそれ以下		
	()			
	ランニングコスト(月間)			0
	薬剤費			0
	その他消耗品費			0
	生成物処理費・販売収入			0
	電力使用料			0
維持管理人件費			0	
円/(1m ³ ・1m ²)あたり			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、コストの考え方の補足 等)

- ◆導入実績:各々単独、組合せで実績(15件)ある。
- ◆受賞歴:平成21年度国土技術開発賞(国土交通大臣賞)
- ◆特許:特開2001-2526094 水底構造および底質・水質浄化法
特開H10-152364 製鋼スラグを利用した水和硬化体
など
- ◆その他:港湾関連民間技術確認審査・評価 第07001号(沿岸技術研究センター)

2. 導入と背景

環境技術実証モデル事業は、既に適用が可能な段階にありながら、環境保全効果等について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先進的環境技術について、その環境保全効果等を第三者が客観的に実証する事業をモデル的に実施することにより、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を促進することを目的とする。

本実証試験は、東京湾の奥部に位置し、常に富栄養化している神奈川県川崎市の京浜運河内の2箇所において、製鋼スラグ製品、製鋼スラグと浚渫土の混合材を浅場造成への基盤としての利用、鉄分等のミネラルの供給及び硫化水素の溶出抑制効果によるDOの回復を通して、これらの複合効果による生物生息環境の改善を図ると共に、環境技術実証の手法・体制の確立及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的として実施した。

3. 実証対象技術及び実証対象技術の概要

3.1 実証対象技術の原理と目的

3.1.1 目的

製鋼スラグ製品、製鋼スラグと浚渫土の混合材を浅場造成への基盤としての利用、鉄分等のミネラルの供給及び硫化水素の溶出抑制効果による DO の回復を通して、これらの複合効果による生物生息環境の改善を図ると共に、環境技術実証の手法・体制の確立及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的とした。

実証対象技術の模式図を図 3-1-1 に示す。なお、本技術の成果目標においては、魚類、貝類の増加については除外する。

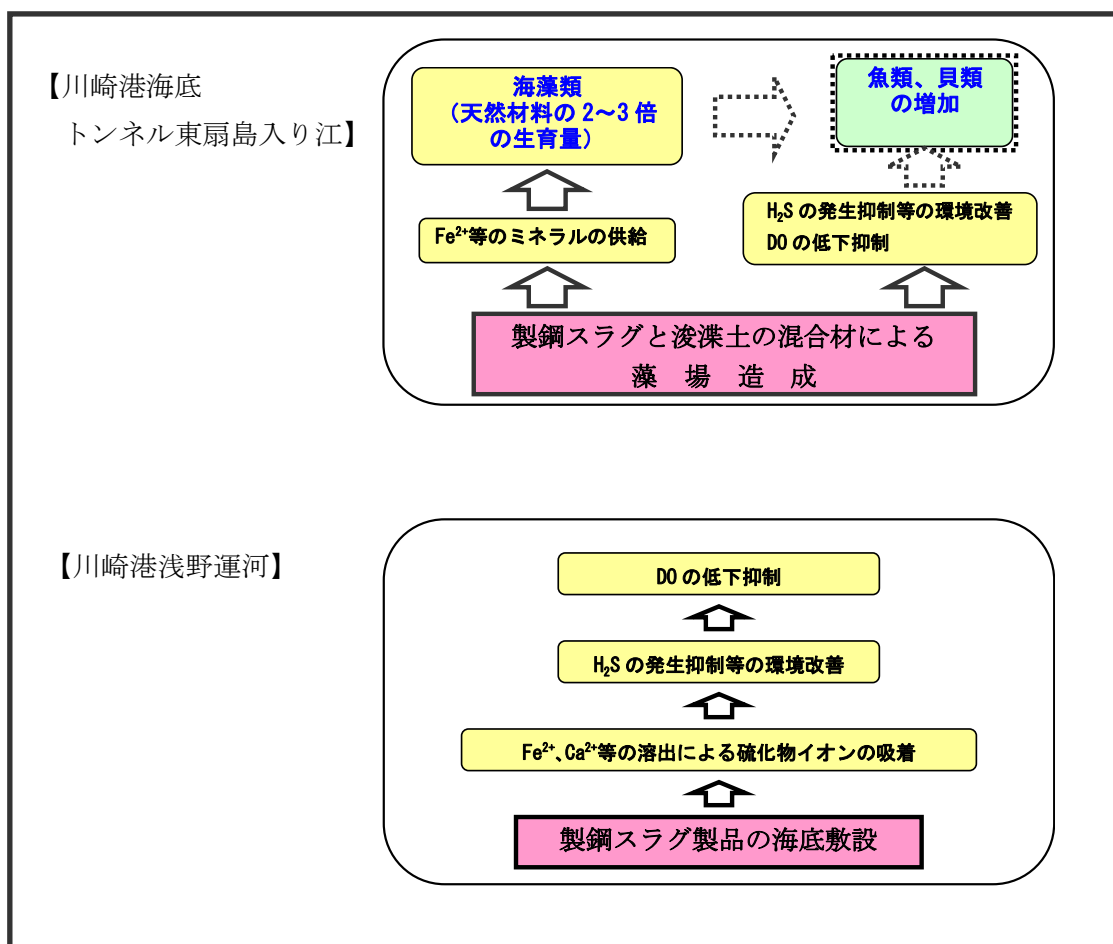


図 3-1-1 実証対象技術の概要

3.2 実証対象技術の原理

3.2.1 科学的機構

(1) Fe^{2+} （二価鉄）の溶出

鉄分は二価のイオンの形で、酸性・中性水溶液中に存在する。アルカリ性の水溶液中では、 Fe^{2+} は存在しにくく、pH8.2程度の海水中では鉄分はイオン化しにくい状態にある。アルカリ性の水溶液中で Fe^{2+} が存在する形態としては、キレートによる錯イオン状態が考えられ、海水中の微量溶存鉄イオンもこの状態にあると考えられる。

本技術は、浚渫土中にキレートをつくるフルボ酸、フミン酸が存在することに着目し、これら有機酸でスラグ中の鉄イオンを錯体の形で溶出させるものである。なお、鉄イオンは植物の光合成に不可欠な微量元素である。

(2) DO の低下抑制

製鋼スラグからの鉄（Fe）イオン、カルシウム（Ca）イオンは硫化物を吸着し、化合物を形成する。又、カルシウム（Ca）イオンによるアルカリ化は、硫酸還元菌の活動を抑制する。これらの結果、海底部における硫化水素の発生が抑制され、硫化水素による底層部の溶存酸素の消費が減少し、DO が改善される。

3.2.2 期待される効果

(1) 浚渫土と製鋼スラグを混合してつくった浅場において、 Fe^{2+} の溶出、DO の低下抑制、 H_2S の発生抑制機能が通常の海底に比べ向上し、海藻類の成長が進むことが期待されている。北海道におけるコンブ実験では、 Fe^{2+} を供給することにより、磯焼けが回復するとともに、通常の2~3倍の収量が確認されている。

(2) 製鋼スラグを加工した DO 改善用製鋼スラグ製品を海底部に敷設することにより、間隙水の H_2S 発生が抑制され、DO 等の水質が改善されることが期待される。また、これによって底生生物の生育環境が改善されることが期待される。

4. 実証試験実施場所の概要

4.1 海域の概況

実証試験実施場所の名称、所在地、管理者を下記に示す。また実証試験場所を図 4-1-1 に示す。

実証試験実施場所 1

- (1) 名称 神奈川県川崎港海底トンネル東扇島入り江（図 4-1-1 参照）
- (2) 住所 神奈川県川崎市川崎区東扇島
- (3) 管理者 川崎市港湾局

実証試験実施場所 2

- (1) 名称 神奈川県川崎港浅野運河（図 4-1-1 参照）
- (2) 住所 神奈川県川崎市川崎区浅野運河内（扇橋付近）
- (3) 管理者 川崎市港湾局

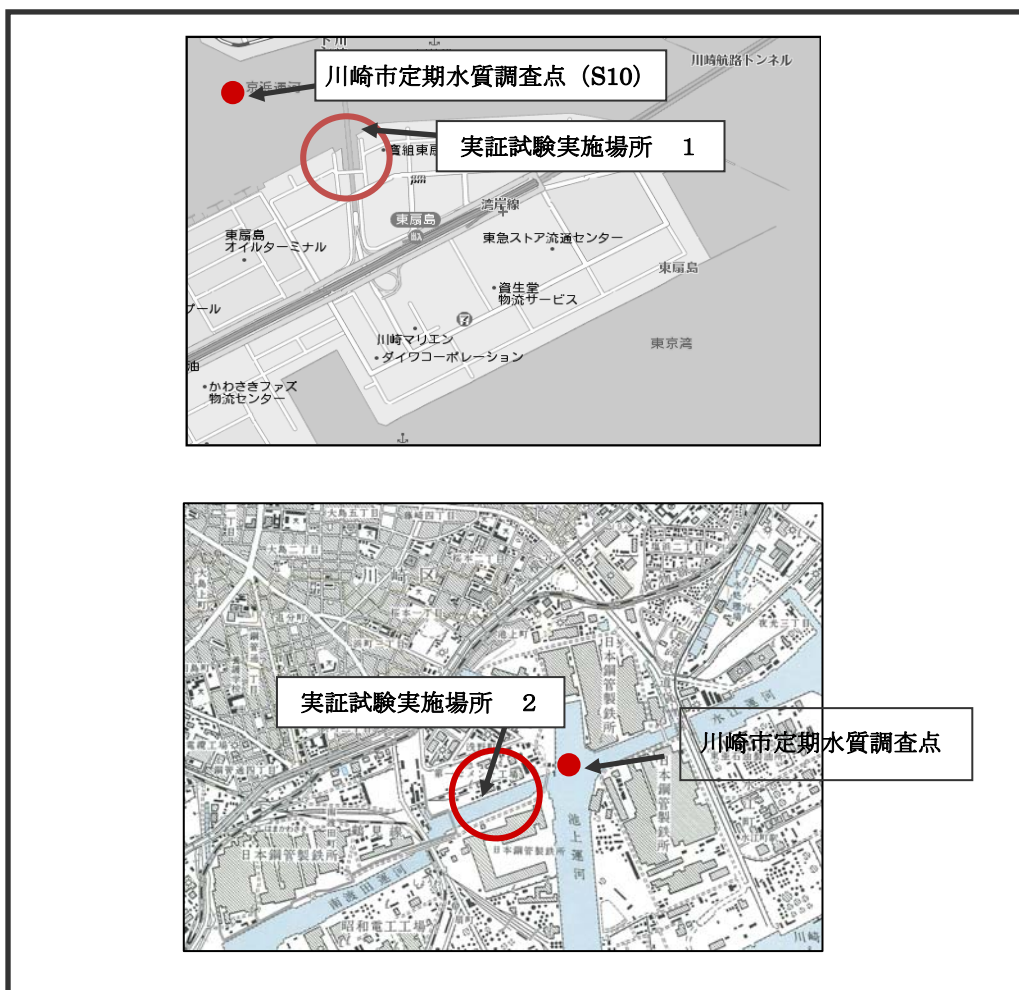


図 4-1-1 実証試験実施場所 位置図

4.2 実証試験実施場所の状況

4.2.1 実証試験実施場所周辺海域の概要

実証試験実施場所周辺海域の概要を表 4-2-1 に示す。なお、水質、底質環境については、次頁以降に示す。

表 4-2-1(1) 実証試験実施場所周辺海域の概要 (川崎港海底トンネル東扇島入り江)

海域の主な利用状況 規模	実証試験実証海域は神奈川県川崎市東扇島の海底トンネル東扇島入り江に位置し、一方は京浜運河に接する小規模な水域である。交通船の往来は少なく、比較的静穏な水域である。
実証試験場所の規模	実証試験実施場所の規模は、面積約 10,000m ² 、水深 3~4m 程度である。
水質の状況	京浜運河内の海域は閉鎖性が強く、海水交換は良い状況にあるとはいえない。H20 年度神奈川県の公共用水域、水質測定結果(京浜運河千鳥町)による DO は夏季(8月)の上層で 9.8mg/l、下層で 0.2mg/l、COD は環境基準値(8mg/l)を下回る 4.2mg/l(上層)となっている。(※1)
底質の状況	神奈川県の調査で、京浜運河千鳥町地点の夏季調査では、泥分(0.063mm 以下)が 97.4%以上であった。COD は 37mg/g(基準値 20mg/l)、強熱減量 12.2%、硫化物量 0.323mg/g(基準値 0.2mg/g)となっており、東京湾奥部の典型的な底質環境下にある。(※1)
生物生育環境	【海生生物】川崎港港湾計画資料(その2)によれば、川崎港及び周辺海域の海生生物としては、潮帯間生物では軟体動物のムラサキイガイ、節足動物の <i>Melita</i> sp. (ヨコエビ類)、底生生物の <i>Sigambra tentaculata</i> (ゴカイ類)等が、魚類等の遊泳動物では、ボラ、スズキ、サヨリ、コノシロ、カタクチイワシ、アイナメ等が出現している。【海草藻類】実証試験海域における生息は確認されていない。(※2)
海域の課題	実証試験場所が位置する川崎市東扇島の海底トンネル東扇島入り江周辺水域は、河川などからの陸上起源の流入負荷による水質の変化や赤潮等の影響を強く受けるため、水質や底質が悪化しやすい状況にあり、効果の確認にあたってはこの点を十分に留意する必要がある。
実証試験環境	【実証試験場所】小型船舶を使用する。 【試料採取・観察】潜水士が行う。

(※1) 平成 19 年度 川崎市 公共用水域調査による

(※2) 平成 12 年度 川崎市 川崎港港湾計画資料(その2)による

表 4-2-1(2) 実証試験実施場所周辺海域の概要 (川崎港浅野運河)

海域の主な利用状況 規模	実証試験実証海域は神奈川県川崎市浅野町と扇町間の浅野運河の扇橋側に位置し、JFE スチール(株) 東日本製鐵所に面する水域である。比較的静穏な水域である。
実証試験場所の規模	実証試験実施場所の規模は、面積約 900m ² 、水深 5m 程度である。
水質の状況	浅野運河内の海域は、海水交換が良い状況にあるとはいえない。H20 年度川崎市の定期的な水質測定結果(桜堀運河地先)による DO は夏季(8 月)の上層で 5.0mg/l、下層で 0.8mg/l、COD は環境基準値(8mg/l)を下回る 3.8mg/l(上層)となっている。
底質の状況	川崎市の定期調査においては底質調査は実施されていないが、底質環境は京浜運河千鳥町地点の状況と類似していると考えられる。
生物生育環境	【海生生物】川崎港港湾計画資料(その 2)によれば、川崎港及び周辺海域の海生生物としては、潮帯間生物では軟体動物のムラサキイガイ、節足動物の <i>Melita</i> sp. (ヨコエビ類)、底生生物の <i>Sigambra tentaculata</i> (ゴカイ類)等が、魚類等の遊泳動物では、ボラ、スズキ、サヨリ、コノシロ、カタクチイワシ、アイナメ等が出現している。【海草藻類】実証試験海域における生息は確認されていない。
海域の課題	実証試験場所が位置する川崎市浅野町の浅野運河、扇橋周辺は、二つの運河が交わる水域であると同時に河川などからの陸上起源の流入負荷による水質の変化が大きく、また、赤潮等の影響を強く受けるため、水質や底質が悪化しやすい状況にあり、効果の確認にあたってはこの点を十分に留意する必要がある。
実証試験環境	【実証試験場所】小型船舶を使用する。 【試料採取】潜水土が行う。(間隙水)

(※1) 平成 20 年度 川崎市 公共用水域調査による

(※2) 平成 12 年度 川崎市 川崎港港湾計画資料(その 2)による

4.2.2 水質の状況

平成 19 年度公共用水域の水質測定結果において、実証試験実施場所付近の測定結果は以下の表 4-2-1 のとおりである。京浜運河千鳥町地点の調査期間の平均値は、水温で 17.6℃、塩分で 30.1、D0 で 6.3mg/l、COD で 2.3mg/l であった。

また、桜堀運河の調査期間の平均値は、水温で 18.0℃、塩分で 27.3、D0 で 4.6mg/l、COD で 2.6mg/l であった。

表 4-2-1 水質調査結果

実証試験場所		東扇島入り江	浅野運河
測定地点		京浜運河千鳥町	桜堀運河
測定年度		平成 19 年度	平成 20 年度
頻 度		12 回 / 年	4 回 / 年
項 目	層	調査期間値 (最小値～最大値)	
水 温 (℃)	上層	18.6 (11.5 ~ 28.5)	19.0 (13.4 ~ 23.1)
	下層	16.6 (11.1 ~ 20.6)	17.0 (13.0 ~ 23.1)
	平均	17.6 (11.3 ~ 24.6)	18.0 (13.2 ~ 23.1)
塩 分 (-)	上層	28.3 (23.9 ~ 31.6)	23.8 (20.4 ~ 30.2)
	下層	31.9 (30.2 ~ 33.4)	30.8 (28.7 ~ 32.0)
	平均	30.1 (28.2 ~ 31.7)	30.8 (28.7 ~ 32.0)
D0 (mg/l)	上層	8.1 (5.2 ~ 9.8)	5.5 (3.7 ~ 7.8)
	下層	4.5 (0.2 ~ 8.8)	3.6 (0.8 ~ 7.7)
	平均	6.3 (3.2 ~ 8.9)	4.6 (2.3 ~ 7.8)
COD (mg/l)	上層	3.0 (1.4 ~ 7.3)	3.3 (2.3 ~ 4.0)
	下層	1.5 (0.9 ~ 2.0)	1.9 (1.5 ~ 2.2)
	平均	2.3 (1.3 ~ 4.4)	2.6 (2.1 ~ 2.8)

4.2.3 底質の状況

運河内における川崎市の底質環境データの公表は見当たらない。

4.3 実証対象技術の配置及び試料採取位置

4.3.1 配置と試料採取位置

(1) 神奈川県川崎港海底トンネル東扇島入り江での藻場造成(図 4-3-1)

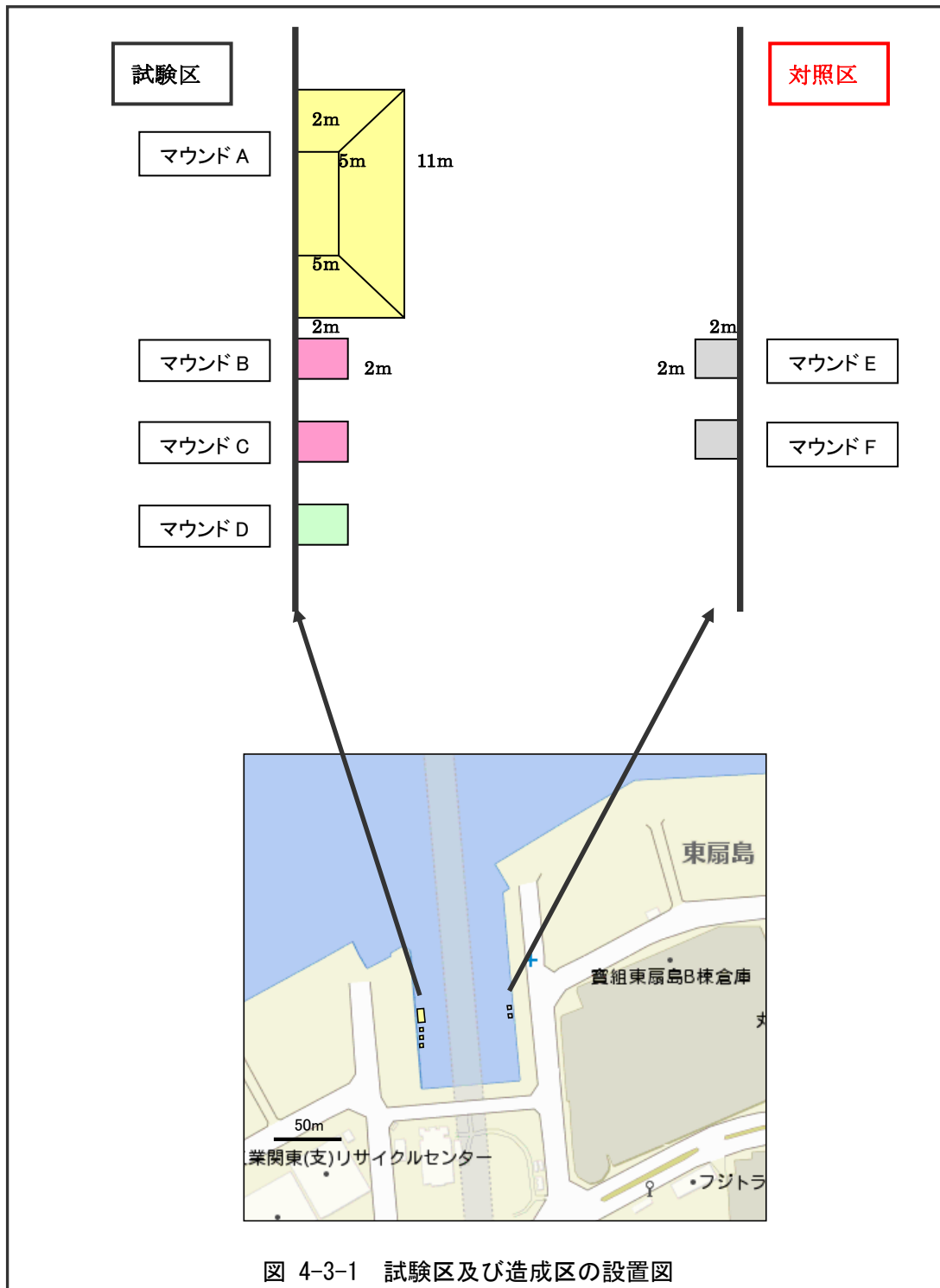


図 4-3-1 試験区及び造成区の設置図

(川崎港海底トンネル東扇島入り江)

(2) 神奈川県川崎港浅野運河での水質改善 (図 4-3-2)

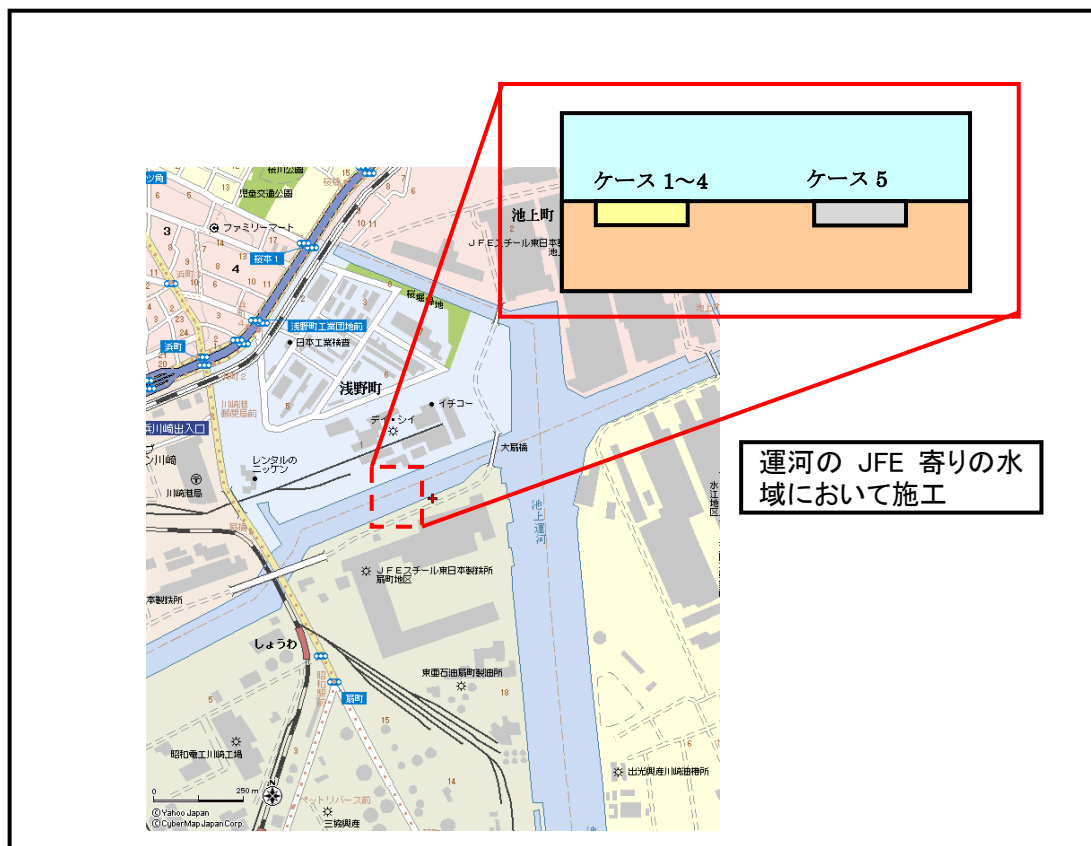


図 4-3-2 試験区及び造成区の設置図
(川崎港浅野運河)

4.3.2 試験区及び対照区の詳細

(1) 神奈川県川崎港海底トンネル東扇島入り江での藻場造成

図 4-3-1 に示す川崎市東扇島の海底トンネル東扇島入江において、スラグ混合材を材料とした藻場造成材を敷設する。

所定の位置において浚渫を行い、そこで得られた浚渫土と製鋼スラグを土運船内でバックホウ等を用いて混合し、混合材を作成し、土運船内で養生させる。

試験区は表 4-3-1 に示すとおり、マウンド A~F の 6 試験区とする。マウンド A の規模は 11m×5m×1m 程度とし、試験海域において、グラブ船を用いてスラグ混合材を投入し、ダイバーにより形状を整える。

マウンド B~F の規模は、2m×2m×1m 程度とし、それぞれ約 2m×1m×1m の大型コンテナ 2 個を用いて 1 つのマウンドとする。地上部においてコンテナ内にスラグ混合土等を投入し、クレーン付台船を用いて対象海域に設置する。なお、大型コンテナには混合土投入前に通水用の穴を開け、さらに、それらの穴から混合土等が

流出しないよう、コンテナ内側に砂防シートを貼る。

いずれのマウンドも図 4-3-3 に示すように、上部に鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材（フロンティアロック）または天然石を設置し、それらの上にダイバーにより海藻類（ワカメ、アカモク、コンブ）の幼体を付着させる。海藻の付着は11月に実施する。

敷設後は、海藻類等の生物の付着状況の観察を行う。

表 4-3-1 川崎港海底トンネル東扇島入江での藻場造成モデル事業の施工ケース

マウンド	盛土部	海藻類移植基盤	マウンドサイズ(m)	土量(m ³)	備考
A	スラグ混合材Ⅰ (黄)	フロンティアロック 天然石	11×5×1	32.5	法勾配 1:3
B	スラグ混合材Ⅱ (ピンク)	天然石	2×2×1	4	大型コンテナ 2 個
C	スラグ混合材Ⅲ (ピンク)	フロンティアロック	2×2×1	4	〃
D	スラグ混合材Ⅳ (緑)	フロンティアロック	2×2×1	4	〃
E	天然砂	フロンティアロック	2×2×1	4	〃 (水質調査の場合 は対照区)
F	天然砂	天然石	2×2×1	4	対照区 大型コンテナ 2 個

注) 本ケースは、現時点で想定しているケースを示している。ケース数、設計規模については、若干の変更もしくは削減の可能性がある。



マウンド A
投入状況



マウンド B、C
スラグ混合材料



マウンド F
天然砂
対照区

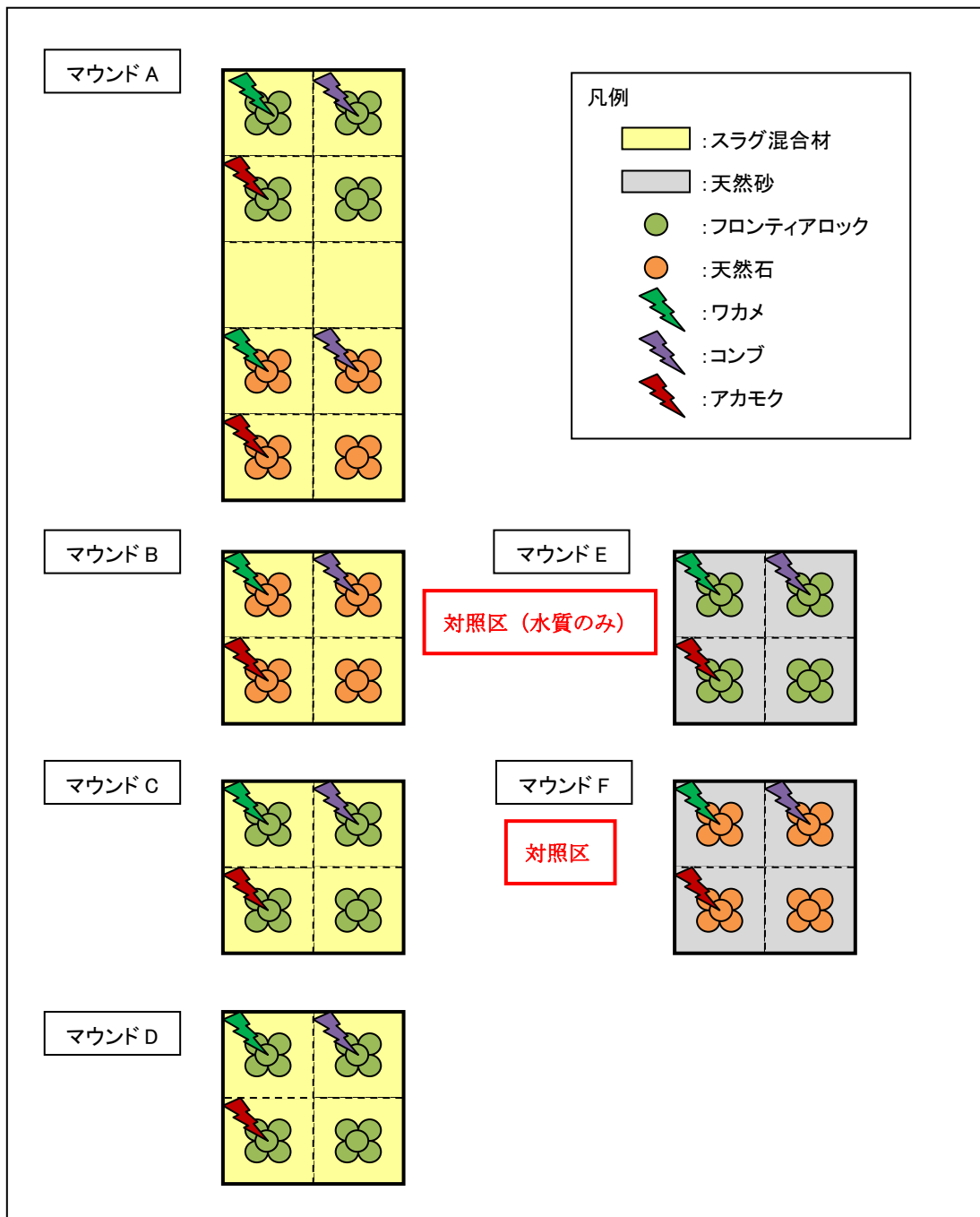


図 4-3-3 マウンドとその上の藻類付着基盤、及び付着させる藻類の模式図

(2) 神奈川県川崎港浅野運河での水質改善

平成 21 年 7 月下旬に、2m×1m（高さ 0.5m）程度のじゃかご内に D0 改善用製鋼スラグ製品を充填し、図 4-3-2 に示す川崎港運河において、クレーン付台船を用いて海底に静置する。（自重により、海底底質中に沈下し、現地底質と自然混合させる）

底質間隙水等の水質の改善状況（D0 の低下抑制効果や硫化水素・リン等の発生抑制効果等）について、モニタリング調査を行う。

施工ケースは表 4-3-2 に示す 5 ケースを設定する。

表 4-3-2 川崎港運河での底質環境改善モデル事業の施工ケース

ケース	製鋼スラグ製品	サイズ(m)	土量(m ³)	備考
ケース 1	製鋼スラグ製品 1	2×1×0.5	1	
ケース 2	製鋼スラグ製品 2	〃	〃	
ケース 3	製鋼スラグ製品 3	〃	〃	
ケース 4	製鋼スラグ製品 4	〃	〃	
ケース 5	天然碎石	〃	〃	対照区



蛇籠(A, B) ケース 1, 2
製鐵スラグ製品 1, 2



蛇籠 C ケース 3
製鐵スラグ製品 3



蛇籠 E ケース 5
天然碎石
対照区

5. 実証試験の方法と実施状況

5.1 実証試験工程

本実証試験工程を表 5-1-1 に示す。

表 5-1-1 実施工程

項目	月	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
1. 準備工 実証試験計画 調査準備・関係機関調整・保安部等申請 (施工：JFE殿)		—									
2. 川崎港海底トンネル東扇島入り江 水質調査 混合材強度試験 溶出試験(底質) 溶出実験(擬似現場法) 海藻の生育状況調査			施工前	直後	2ヶ月後			5ヶ月後		7ヶ月後	
			—	—	—			—		—	
				—	(実験)			—		—	
				—	(実験)		— (種付け)	— (再設置)	— (追加観察)	—	— (水温連続測定)
3. 川崎港浅野運河 水質調査 溶出試験(底質) 溶出実験(擬似現場法)			—	—	—					—	—
				—	(実験)						
4. 報告書作成											
実証委員会		●					●				●

5.2 目標及び調査項目

5.2.1 目標

本実証試験は、製鋼スラグ製品、製鋼スラグと浚渫土の混合材を浅場造成への基盤としての利用、鉄分等のミネラルの供給及び硫化水素の溶出抑制効果による DO の回復を通して、これらの複合効果による生物生息環境の改善を図ることを目標とした。

実証試験項目の要点

- ① 浚渫土と製鋼スラグの混合材料が周辺環境に悪影響を及ぼすことなく、藻場造成基盤として使用可能であること
- ② 製鋼スラグ製品による水質改善効果
(リン吸着・硫化物発生抑制による水質改善等)
- ③ 転炉系製鋼スラグ製品からの鉄分等の供給による生物生息改善効果

調査項目及び目標は以下の通りである。

調査項目	目 標 水 準
水質調査	水質汚濁に係る環境基準を満たすこと又は対照区、周辺水域データと比較して同等であること
溶出試験	海洋汚染及び海上災害防止に関する法律に準拠して水底土砂の海面埋立処分に係る基準に適合すること
溶出速度試験	鉄分の供給効果が認められること りん酸態りん、硫化物等で溶出抑制または吸収効果が認められること
混合材強度試験	マウンドが崩れない（目視）100kN/m ² 程度の固化強度を維持すること
生物調査	生育数や生長量が対照区と比較して同等、もしくはそれ以上であること

5.2.2 調査項目

各実証試験における具体的な調査項目、方法、位置等について目標項目と目標水準と共に表 5-2-1 に示した。

表 5-2-1 実証試験の目標項目・目標水準及び方法等一覧

実証目標	目標項目	実証意義	目標水準	手法	調査項目	調査時期・頻度	採取位置	備考			
1. 基材機能効果 DO改良用スラグ製品による間隙水中の硫化水素の発生抑制機能の効果を実証する	水質調査	環境改善効果	直上水及び間隙水の H ₂ S の発生抑制と DO 等の水質改善効果の検証	水質汚濁に係る環境基準を満たすこと (COD、T-N、T-P、Zn について) 昭和 46 年環境庁告示第 59 号別表 2.2 ア、イ及びウ参照 期待される効果に挙げる DO、硫化物、Fe ²⁺ 等の濃度が対照地区又は周辺海域よりも良好であること	現地調査 ダイバー等による直上水の採取、水質室内分析	DO、pH、COD、SS、PO ₄ -P、硫化物、T-N、T-P、Zn、Fe ²⁺	4 回/年 H21 年 7 月 H21 年 8 月 H21 年 9 月 H21 年 12 月	川崎港海底 トンネル東扇島 入り江	<ul style="list-style-type: none"> マウンド A~D 中央部各 1 点 (スラグ混合材盛土部) マウンド E~F 中央部各 1 点 (対照区：天然砂盛土部) 	事前調査 (H.21 7 月) はマウンド A, D の 2 箇所を実施	
				現地調査 ダイバー等による直上水及び間隙水の採取、水質室内分析	Fe ²⁺ を除く上記項目	4 回/年 H21 年 7 月 H21 年 8 月 H21 年 9 月 H22 年 2 月	川崎港 浅野運河	<ul style="list-style-type: none"> ケース 1~4 中央部各 1 点 (製鋼スラグ製品) ケース 5 中央部各 1 点 (対照区：天然砕石) 	間隙水は底泥採取後遠心分離又は現地にてダイバーにより採取する 事前調査 (H.21 7 月) はケース 3 の 1 箇所を実施		
	溶出試験等	海洋汚染防止法に基づく試験	環境影響	スラグ混合材及び製品よりの溶出物質の検証	海洋汚染及び海上災害防止に関する法律に準拠して水底土砂の海面埋立処分に係る基準に適合すること (告示 14 号試験の金属 10 項目について) (昭和 48 年総理府令第 6 号別表第 1 参照)	現地調査 東扇島：試験区は施工時に設置したテストピースをダイバーにより回収し、室内分析を行う	総水銀、カドミウム、鉛、六価クロム、銅、亜鉛、ベリリウム、クロム、ニッケル、バナジウム	1 回/年 21 年 12 月	川崎港海底 トンネル東扇島 入り江	<ul style="list-style-type: none"> テストピースの回収 マウンド A~D の内、代表するスラグ混合材盛土部基材とする (代表の 1 種類) マウンド A で実施 	
					浅野運河：蛇籠内よりスラグ製品を採取し、室内分析を行う	浅野運河：蛇籠内よりスラグ製品及び天然砕石を採取する 試験は嫌気状態の条件で行う	1 回/年 H22 年 2 月	川崎港 浅野運河	<ul style="list-style-type: none"> ケース 1~4 の内、代表の 1 種類 (製鋼スラグ製品) ケース 1 で実施 		
	溶出速度等試験	環境改善効果	スラグ混合材及び製品による鉄、栄養塩類、硫化物の溶出、吸収等の効果の把握	基材の性能、機能について各測定項目を対照区と比較し、抑制、吸収及び溶出効果の評価を行う	現地調査及び室内試験 東扇島：試験区は施工時に設置したテストピースをダイバーにより回収し、対照区は簡易式グラブ型採泥器等で採泥し、室内試験を行う 試験は嫌気状態の条件で行う	pH、DO、T-Fe、Fe (II)、NH ₄ -N、NO ₂ -N、NO ₃ -N、PO ₄ -P、硫化物	1 回/年 H21 年 8 月	川崎港海底 トンネル東扇島 入り江	<ul style="list-style-type: none"> テストピースの回収 マウンド A~D の内、代表するスラグ混合材盛土部基材とする (代表の 1 種類) マウンド A で実施 マウンド F 1 点 (対照区：天然砂盛土部) 	試験海水として現地の中層より、160 リットル (20 リットルポリタンクで 8 本) を採水	
				浅野運河：蛇籠内よりスラグ製品及び天然砕石を採取する 試験は嫌気状態の条件で行う	浅野運河：蛇籠内よりスラグ製品及び天然砕石を採取する 試験は嫌気状態の条件で行う		川崎港 浅野運河	<ul style="list-style-type: none"> ケース 1~4 代表点 1 点 (製鋼スラグ製品) ケース 1 で実施 ケース 5 1 点 (対照区：天然砕石) 	原地盤の底質 (簡易式グラブ型採泥器で 3 回程度) 及び現地の中層より、160 リットル (20 リットルポリタンクで 8 本) を採水		
2. 混合安定効果 混合基材が藻場造成用基盤として、機能面で有効であることを実証する	混合材強度試験	施工後の形状安定性	スラグ中の石灰分と浚渫土中のシリカ分の水和反応による固化状態の検証	マウンドの形状が崩れない 100kN/m ² 程度の固化強度を維持できていること	現地調査 施工時に設置したテストピースをダイバーにより回収し、強度試験を行う	一軸圧縮強度試験	1 回/年 H21 年 12 月	川崎港海底 トンネル東扇島 入り江	<ul style="list-style-type: none"> テストピースの回収 マウンド A~D の内、代表するスラグ混合材盛土部基材とする (代表の 2 種類) マウンド A、マウンド D で実施 		
3. 生物生息環境の改善効果 期待される Fe ²⁺ の溶出、DO の低下抑制、硫化水素の発生抑制等の機能が海藻類の生育に効果的であることを実証する	海藻類生育状況調査	海藻類生育状況	海藻類生育状況を把握	実証試験における現存量が対照区と比較して同等もしくはそれ以上であること	現地調査 ダイバーにより移植した海藻類の目視観察	葉長 (最大、最小計測)、被度、光量子量 写真撮影 水温	2 回/年 H21 年 12 月 H22 年 2 月	川崎港海底 トンネル東扇島 入り江	<ul style="list-style-type: none"> マウンド A~E の各付養基盤 マウンド F (対照区) の付着基盤 	日射条件を把握し考察する 光量子量の測定を行う 海藻類の種付けは 11 月に実施 種付け後水温連続測定を実施	

5.3 実証試験の方法

5.3.1 水質調査

環境影響に係る調査のサンプリング方法及び分析方法を表 5-3-1 に示す。

表 5-3-1 水質調査方法

調査時期	平成 21 年 7 月、平成 21 年 8 月、平成 21 年 9 月、 平成 21 年 12 月（東扇島のみ） 平成 22 年 2 月（浅野運河のみ）	
調査場所	川崎港海底トンネル東扇島入り江 マウンド A～D（スラグ混合材盛土部） 各中央部 マウンド E～F（対照区：天然砂盛土部） 各中央部 川崎港浅野運河 ケース 1～4（スラグ混合材盛土部） 各中央部 ケース 5（対照区：天然砕石） 各中央部	
サンプリング方法	各調査場所の中央部 1 点において、ダイバーにより海底上の直上水及び間隙水を採取する。ただし、東扇島では直上水のみを採取する。 間隙水の採取方法としては、①サンプリングして室内で間隙水を採取する方法と②半透膜利用の間隙水採取器を設置する方法のいずれかで実施する。	
サンプリング数	各調査場所の測点において直上水、間隙水としてそれぞれ分析に必要な試料量として 1 検体を採取する。（東扇島では直上水のみ採取）	
分析項目	水温	現地機器計測（実証試験項目にないが、基本項目として実施）
	塩分	現地機器計測（実証試験項目にないが、基本項目として実施） （間隙水は電気伝導率を測定）
	DO	現地機器計測（間隙水は JIS K 0102）
	pH	現地機器計測（間隙水は JIS K 0102）
	COD	JIS K 0102
	PO ₄ -P	海洋観測指針
	硫化物	JIS K 0102
	SS	昭和 46 年環境庁告示第 59 号付表 7
	T-N	JIS K 0102
	T-P	JIS K 0102
	全亜鉛	昭和 46 年環境庁告示第 59 号付表 8、JIS K 0102
	Fe ²⁺	新日鐵開発法（ICP-MS 法、微量分析）

5.3.2 混合材料強度試験

混合材料強度試験のサンプリング方法及び分析方法を表 5-3-2 に示す。

表 5-3-2 混合材強度試験方法

調査時期	平成 21 年 12 月	
調査場所	川崎港海底トンネル東扇島入り江 マウンド A~D (スラグ混合材盛土部) の内、代表するスラグ混合材盛土部基材のテストピースを作製し、施工時に海底に設置する。	
サンプリング方法	ダイバーにより、テストピースの回収を行う。	
サンプリング数	1 基材について、3 本のテストピースを回収する。	
分析項目	一軸圧縮 強度 (kN/m ²)	土質試験方法

5.3.2 溶出試験

(1) 海洋汚染防止法に基づく溶出試験

溶出試験のサンプリング方法及び分析方法を表 5-3-3 に示す。

表 5-3-3 溶出試験方法

調査時期	平成 21 年 12 月（東扇島） 平成 22 年 2 月（浅野運河）	
調査場所	川崎港海底トンネル東扇島入り江 マウンド A～D（スラグ混合材盛土部）を代表する場所（1 種類） 川崎港浅野運河 ケース 1～4（製鉄スラグ製品類）を代表する場所（1 種類）	
サンプリング方法	東扇島 マウンド A～D を代表する混合材盛土部基材 1 種類を選び、テストピースを作製し、施工時に試験区に設置する。テストピースをダイバーにより回収し、溶出試験を実施する。 浅野運河 ケース 1～4 を代表する 1 種類の製鋼スラグ製品を現地採取し、溶出試験を実施する。	
サンプリング数	溶出試験：各調査点 1 検体	
分析項目	総水銀 カドミウム 鉛 六価クロム 銅 亜鉛 ベリリウム クロム ニッケル バナジウム	昭和 48 年環境庁告示 14 号に基づき検液を調整し、JIS K 0102 により測定する。

(2) 疑似現場法による溶出速度等試験

① 試験方法概要

溶出速度等試験の実施概要を図 5-3-1～図 5-3-4 及び表 5-3-4 に示した。

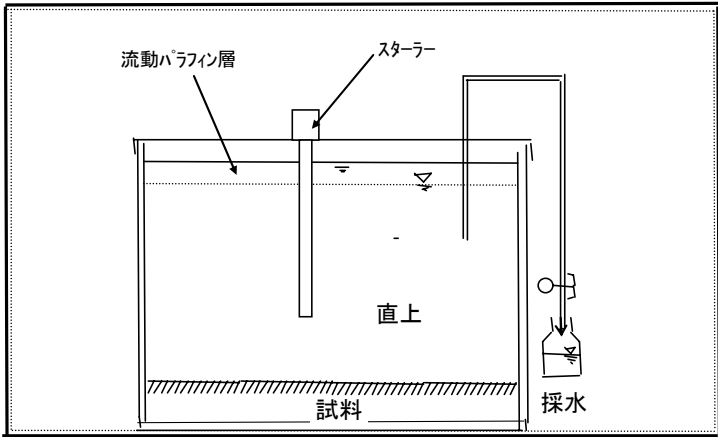
実験概要	
<p>製鋼スラグによる水質改善効果—具体的には、鉄、栄養塩類、硫化物の溶出（供給）・吸着（抑制）効果を把握するため、試験区（東扇島：マウンドA及び浅野運河：ケース1）と対象区（東扇島：マウンドF及び浅野運河：ケース5）の4試料につき施工素材（東扇島のマウンドAはテストピースを成型、他は施工した素材）を採取、下図に示す実験系をセットして、固体-液体間のフラックスを測定するため、うわ水の濃度を経時的に測定した。</p> <p>各試料を試験水槽に入れ、別途採取した直上水を調整（ろ過、貧酸素、水温近似）した海水で満たした後、流動パラフィンで密閉し、現場水温に近似状態を保ち、経時的に採水し所定の測定・分析を行った。</p> <p>なお、試験は最も水質条件が厳しいと考えられる夏季、貧酸素状態を想定し、また、光合成による効果を除くため暗条件で行なった。</p>	
項目	仕様
実施場所	暗状態とした恒温室内で実施
コアサイズ	430mm×275mm×高さ250mm（容量30L）、ガラス水槽
試料厚さ	約5cm
水温	現場水温に近似（25℃） ※恒温室内で実施
DO	貧酸素条件を維持（<0.5mg/L） ※流動パラフィンで外気から隔離
試験数	各調査点2
攪拌方法	スターラーにより攪拌（試料が巻き上がらない程度）
直上水	約20L ※現地の直上水を別途採取し、0.45μmメンブレンフィルターでろ過後、窒素ばっ気して貧酸素状態に調整して、注入
測定期間	0～30日（平成21年8月19日～9月18日に実施）
採水回数	7回（0、1、3、5、10、20、30日後） ※400ml/回採取
分析項目	pH,DO,NH ₄ -N,NO ₂ -N,NO ₃ -N,PO ₄ -P,硫化物,全鉄,2価鉄
<p>（恒温室内、暗条件）</p> 	
<p>試験結果の解析 試験結果の解析に際しては、施工素材とうわ水の溶出（濃度増加）-吸着（濃度減少）過程を、単位面積、単位時間当たりの変化量に標準化し、その変化量を試験区と対照区と比較することによりスラグ製品等の効果を評価した。</p>	

図 5-3-1 溶出速度試験の概要

表 5-3-4 測定・分析法一覧

項目	分析方法		
	概要	出典	
溶出実験	pH	ガラス電極法	JIS K 0102 (2008) に準拠
	DO	隔膜電極法	JIS K 0102 (2008) に準拠
	NH ₄ -N	モリブデン青吸光光度法	海洋観測指針(1990)に準拠
	NO ₂ -N	ナフチルエチレンジアミン吸光光度法	海洋観測指針(1990)に準拠
	NO ₃ -N	銅・カドミウム還元-ナフチルエチレンジアミン吸光光度法	海洋観測指針(1990)に準拠
	PO ₄ -P	モリブデン青吸光光度法	海洋観測指針(1990)に準拠
	硫化物	メチレンブルー吸光光度法	JIS K 0102 (2008) に準拠
	全鉄	ICP-AES発光光度法	JIS K 0102 (2008) に準拠
	2価鉄	1, 10-フェナントリン吸光光度法	JIS K 0102 (2008) に準拠

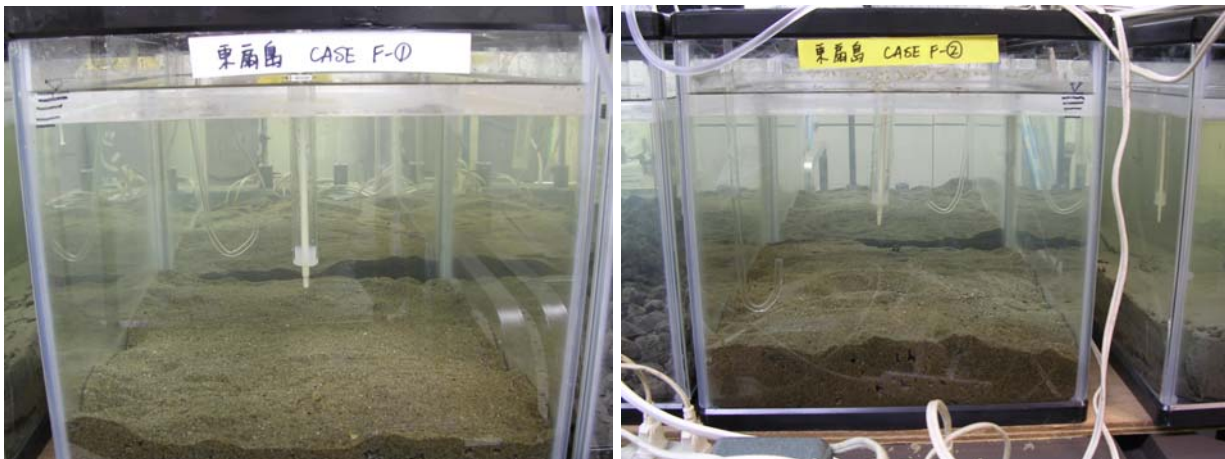
※溶出実験の鉄分析（全鉄、2 価鉄）に関しては、水質で実施した Fe²⁺（微量分析）とは分析法が異なり、対象となる化学種も若干異なることに留意



図 5-3-2 溶出速度試験の実施状況



東扇島：マウンドA（試験区）

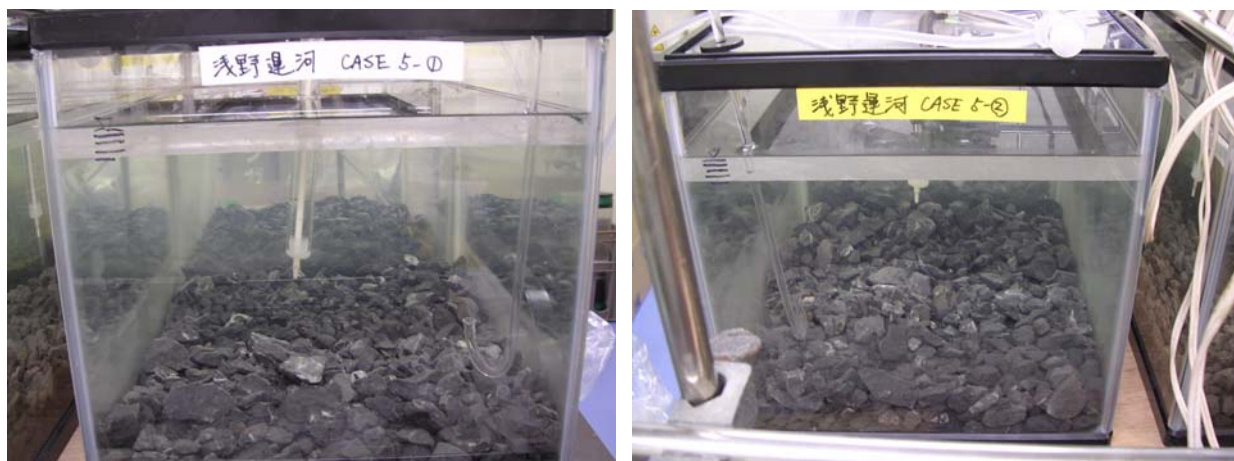


東扇島：マウンドF（対照区）

図 5-3-3 溶出速度試験の実施状況



浅野運河：ケース 1（試験区）



浅野運河：ケース 5（対照区）

図 5-3-4 溶出速度試験の実施状況

5.3.4 生物調査

(1) 海藻類育成状況調査

海藻類育成状況調査のサンプリング方法及び分析方法を表 5-3-5 に示す。

表 5-3-5 海藻類育成状況調査方法

調査時期	平成 21 年 12 月、平成 22 年 2 月
調査場所	川崎港海底トンネル東扇島入り江 マウンド A~E の各マウンド上の藻類付着基盤 マウンド F (対照区) のマウンド上の藻類付着基盤
調査方法	各調査点でダイバーにより、藻類付着基盤上の海藻類育成状況の観察と写真撮影を行う。また、必要に応じて、水中にて本数、葉長の最大、最小を計測する。同時に光量子計を用いて、水中の光量子量の測定を行う。 種付け後、マウンド A の平均水深 にボタン式水温計を設置し、水温連続測定を実施する。
サンプリング数	なし
分析項目	— なし

なお、ワカメについては平成 21 年 12 月 日に試験基盤より立ち上げたロープに種糸を付ける方法により、また、アカモクについては同じ方法で追加調査を行った。

5.3.5 計測機器の仕様

連続計測の使用計測機器を以下に示す。

水温計 ティドビット V2 (米国オンセットコンピューター社製)

仕様	ティドビット V2
モデル	UTBI - 001
耐圧深度 (水中)	300m
内臓バッテリー寿命	5 年 (交換不可)
メモリー容量	42,000 サンプル
計測範囲	水中 : -20°C ~ +30°C 空気中 : -20°C ~ +70°C
精度	±0.2°C (0°C ~ +50°C)
計測間隔設定	1 秒 ~ 18 時間
寸法 (mm) / 重量 (g)	30 × 41 × 17mm / 23g
バッテリー残量チェック	○
分解能	12bit



ティドビットV2

5.3.6 維持管理

施設が試験機関を通じ効果を維持するために、調査実施時には施設の設置状況や周辺の状況を確認する。試験の継続に問題や課題が生じた場合は速やかに実証機関、環境技術開発者に連絡を取り、協議の上、措置を決定する。

5.3.7 品質管理

本実証試験の品質管理は調査分析機関（再委託）への聞き取り等を行い、以下の書類の確認をもって品質を担保する。

調査分析機関(再委託)においては以下の社内規定に従って実施する。

○現場測定、調査に関する事項

「環境調査業務手順書」及び「環境調査器材管理手順書」

○化学分析試料の採取、分析に関する事項

「化学分析に係る業務規定」

○生物分析試料の採取、分析に関する事項

「生物分析標準作業手順書」

6. 実証試験結果

6.1 水質調査

1) 川崎港海底トンネル東扇島入り江における結果

直上水の調査結果を表 6-1-1～表 6-1-4 及び図 6-1-1～図 6-1-6 に示した。また、調査点近傍の公共用水域における水質測定結果の推移を図 6-1-7 に示した。

水素イオン濃度 (pH) は、

調査期間を通じ全点で 8.0～8.1 程度で推移し、環境基準の範囲内 (海域 C 類型 : 7.0～8.3) であり、また、近傍の公共用水域における変動 (7.8～8.2) の範囲内であった。

試験区、対照区とも同様に推移し、ほとんど差は認められなかった。

溶存酸素量 (DO) は、

調査期間を通じ全点で貧酸素化せず 4～7mg/L 程度で推移し、環境基準を満たして (海域 C 類型 : 2mg/L 以上) おり、また、近傍の公共用水域における変動の範囲内 (0～8mg/L) であった。

試験区と対照区の比較では、夏季に試験区 (マウンド A、B、C) で対照区に比してやや低いデータが観測されたが、試験区の測定深度が対照区より約 1m 深いことから、DO の鉛直分布の異なる位置を観測した結果と考えられ、試験区の影響によるものではないと推測される。

化学的酸素要求量 (COD) は、

調査期間を通じ全点で 2～4mg/L 程度で推移し、環境基準を満たし (海域 C 類型 : 8mg/L 以下)、また、ほぼ近傍の公共用水域における変動の範囲内 (1～4mg/L) であった。

試験区、対照区とも同様に推移し、ほとんど差は認められなかった。

りん酸態りん ($\text{PO}_4\text{-P}$) は、

調査期間を通じ全点で 0.07～0.1mg/L 程度で推移し、試験区、対照区でほとんど差は認められなかった。

硫化物イオン (S^{2-}) は、

調査期間を通じ全点で不検出であった。

浮遊物質量 (SS) は、

調査期間を通じ全点で 2～4mg/L 程度で推移し、試験区、対照区でほとんど差は認

められなかった。

全窒素 (T-N) は、

調査期間を通じ全点で 0.8~1.2mg/L 程度で推移した。秋季調査以外では環境基準値を超過（海域Ⅳ類型：1.0mg/L 以下）したが、近傍の公共用水域における変動の範囲内（0.5~1.2mg/L）であり、また、試験区、対照区とも同様に推移していたので、水域全体の推移が反映された結果と判断される。

全りん (T-P) は、

調査期間を通じ全点で 0.09~0.15mg/L 程度で推移した。調査期間を通じほぼ全点で環境基準値を超過（海域Ⅳ類型：0.09mg/L 以下）したが、近傍の公共用水域における変動の範囲内（0.05~0.2）でありまた、試験区、対照区とも同様に推移していたので、T-N と同様に水域全体の推移が反映された結果と判断される。

全亜鉛 (Zn) は、

一部を除き 0.02mg/L 以下で推移し環境基準値を満たしていた（海域生物特 A：0.02mg/L 以下）。秋季調査において、マウンド A で他の地点に比してやや高いデータが観測されたが、他の時期においては基準値以下なので、一時的な現象と思われる。他の点では、試験区、対照区とも同様に推移し、ほとんど差は認められなかった。

二価鉄（微量分析）は、

0.006~0.015mg/L で推移し、概ね夏季から秋季にかけて低下し、冬季に上昇する傾向を示した。夏季及び冬季結果では対照区（鉄分供給効果がないマウンド F）に比して試験区で高い傾向が認められた。ただし、事前調査において最高値が観測されていることが示すように、現地水域における二価鉄のバックグラウンド濃度は比較的高いものと推測され、マウンドからの供給効果に起因する濃度上昇がやや不明確になっていることが推測される。

水温及び塩分については、

試験区、対照区とも同様に推移し、ほとんど差は認められず、外的要因（潮流や陸水の流入など）による各調査点間の水質勾配は小さいと判断された。

2) 川崎港浅野運河における結果

直上水の調査結果を表 6-1-1～表 6-1-3、表 6-1-5 及び図 6-1-1～図 6-1-6 に示した。また、間隙水の調査結果を表 6-1-6～表 6-1-9 及び図 6-1-9～図 6-1-11 に、調査点近傍の公共用水域における水質測定結果の推移を図 6-1-8 に示した。

水素イオン濃度 (pH) は、

直上水は、調査期間を通じ全点で 7.8～8.2 程度で推移し、環境基準の範囲内 (海域 C 類型: 7.0～8.3) であり、また、近傍の公共用水域における変動の範囲内 (7.6～8.2) であった。試験区、対照区とも同様に推移し、ほとんど差は認められなかった。

間隙水は、試験区では 8.0～9.3 で推移し対照区が 7.8 程度でほとんど変動しないのに対して明らかに高値を示した。スラグ製品中の石灰分の水和化に起因すると考えられるが、上記のように直上水に対する影響は認められなかった。

溶存酸素量 (DO) は、

直上水は、夏季～秋季調査時には 2～3mg/L と貧酸素で推移し、冬季調査時には 7mg/L 程度に上昇した。ただし、調査期間を通じ全点で無酸素化せず、環境基準を満たし (海域 C 類型: 2mg/L 以上)、近傍の公共用水域における変動の範囲内 (0～8mg/L) であった。試験区と対照区の比較では、夏季から秋季にかけて試験区で対照区に比してやや高濃度で推移した。

間隙水は、ほぼ無～貧酸素状態で推移したが、対照区が夏季～冬季まではほぼ一定であったのに対し、試験区では若干の変動が認められ、ケース 1、ケース 3 では DO の上昇傾向が認められた。

化学的酸素要求量 (COD) は、

直上水は、調査期間を通じ全点で 2～5mg/L 程度で推移し、環境基準を満たしていた (海域 C 類型: 8mg/L 以下)。近傍の公共用水域における変動の範囲内 (1～3mg/L) よりやや高値を示した点もあったが、対照区も同様に推移しており、現地の水質の推移が反映された結果と判断される。

間隙水は、直上水よりやや狭い範囲で推移し、試験区は対照区に比してわずかに高い傾向を示した。

りん酸態りん ($\text{PO}_4\text{-P}$) は、

直上水は、全点で夏季に高く、秋季、冬季にかけて低下する傾向を示し、0.05～0.35mg/L 程度で推移した。また、試験区、対照区とも同様に推移し、ほとんど差は認められなかった。なお、夏季調査時に高値を示したのは、全りん中の組成の大部分

が無機態で占められていたことから、周辺水域の貧酸素化による底泥からの回帰の影響を受けていることが考えられる。

間隙水は、直上水とほぼ同様の推移を示した。試験区と対照区の比較では、ケース3において夏季調査時に対照区に比して低値を示した。他の試験区では同様の現象は確認できず不明確ではあるが、製鋼スラグ製品によるりんの吸着効果を示唆している。夏季調査時のケース3においてはpHが全点で最高値を示しており、スラグ製品中の石灰分が遊離、水和化する過程で不溶性のりん酸アパタイトの生成によりりんの吸着を示したことが考えられる。

硫化物イオン (S^{2-}) は、

直上水は、調査期間を通じ全点で不検出であった。

間隙水は、冬季調査時のケース2でわずかに検出されたが、ほぼ不検出であった。

浮遊物質量 (SS) は、

直上水は、調査期間を通じ全点で2～5mg/L程度で推移した。試験区に比して、対照区では変動がやや大きかったが、顕著な変化ではなく、ほぼ同程度で推移したと判断される。

間隙水は、試験区では季節別、地点間で変動が大きく、2～数十mg/Lの範囲で推移しており、対照区が2mg/L以下の低濃度で推移したのに対して明らかに高値を示した。スラグ製品中の石灰分の水和化による白濁に起因する可能性が考えられるが、上記のように直上水に対する影響は認められなかった。

全窒素 (T-N) は、

直上水は、事前調査を除き全点で0.8～1.2mg/L程度で推移した。ほぼ環境基準値と同程度（海域Ⅳ類型：1.0mg/L以下）であったが、近傍の公共用水域における変動の範囲内（0.5～1.4mg/L）であり、また、試験区、対照区とも同様に推移していたので、水域全体の推移が反映された結果と判断される。

間隙水は、直上水とほぼ同様の推移を示した。試験区と対照区の比較では、ケース4において3季とも対照区に比して低値を示したが、理由は不明である。

全りん (T-P) は、

直上水は、全点で夏季に高く、秋季、冬季にかけて低下する傾向を示し、0.1～0.4mg/L程度で推移していた。また、冬季を除き全点で環境基準値を超過（海域Ⅳ類型：0.09mg/L以下）していた。近傍の公共用水域における変動の範囲（0.08～0.22mg/L）より高値を示したが、試験区、対照区とも同様に推移していたので、T-Nと同様に水域全体の推移が反映された結果と判断される。

間隙水は、直上水とほぼ同様の推移を示したが、調査点別の濃度差はやや大きかった。試験区と対照区の比較では、ケース 3 において夏季調査時に対照区に比して低値を示した。りん酸態りんと同様の過程において低値を示したものと思われる。

全亜鉛 (Zn) は、

直上水は、調査期間を通じほぼ全点で環境基準値を超過 (海域生物特 A : 0.02mg/L 以下) した。点別の変動はやや大きいですが、試験区と対照区の推移はほぼ同様の傾向を示し、水域全体の推移が反映された結果と判断される。

間隙水は、直上水とほぼ同様の濃度の推移を示した。試験区と対照区の比較では、夏季調査と冬季調査においては試験区に比して対照区が高い傾向を示した。理由は不明であるが、対照に用いた天然砕石中に亜鉛を溶出する鉱物などの混入があった可能性が考えられる。

水温及び塩分については、

試験区、対照区とも同様に推移し、ほとんど差は認められず、外的要因 (物理物理的要因や陸水の流入など) による各調査点間の水質勾配は小さいと判断された。

表 6-1-1 水質調査結果および分析結果（海底直上水） 【事前調査：2009年7月】

調査日：平成21年7月27日

調査地点		川崎港海底トンネル 東扇島入り江		川崎港 浅野運河	
		マウンドA	マウンドE	CASE3	
現 地 測 定 項 目	水深	m	4.2	3.7	4.4
	透明度	m	2.2	1.9	2.1
	採水水深	m	3.7	3.2	3.9
	水温	℃	25.7	25.8	25.4
	塩分		28.03	27.61	27.55
水 質 分 析 項 目	pH		8.0	8.0	7.8
	DO	mg/L	4.3	3.8	2.6
	COD _{Mn}	mg/L	4.3	4.6	4.3
	PO ₄ -P	mg/L	0.098	0.094	0.362
	硫化物	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1
	SS	mg/L	4	4	3
	T-N	mg/L	1.24	1.23	1.93
	T-P	mg/L	0.139	0.139	0.398
	全亜鉛	mg/L	0.009	0.008	0.018
	Fe ²⁺	mg/L	0.013	0.015	—

表 6-1-2 水質調査結果および分析結果（海底直上水）

【夏季調査：2009年8月】

調査日：平成21年8月13、14日

調査地点		川崎港海底トンネル東扇島入り江						川崎港浅野運河					
		マウンドA	マウンドB	マウンドC	マウンドD	マウンドE	マウンドF	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5	
		スラグ混合剤			天然砂			製鋼スラグ				天然砕石	
現地測定項目	水深	m	3.0	3.7	3.1	2.9	2.7	2.5	4.9	5.4	5.5	5.7	5.8
	透明度	m	3.1	3.0			3.3		3.0				
	採水水深	m	2.8	3.5	2.9	2.7	2.5	2.3	4.7	5.2	5.3	5.5	5.6
	水温	℃	26.4	26.1	26.4	26.5	26.3	26.7	25.8	25.2	25.1	24.4	24.4
	塩分		24.09	25.53	24.55	24.37	25.01	23.76	27.67	28.28	28.14	29.04	29.05
水質分析項目	pH		8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8
	DO	mg/L	4.9	4.3	4.7	6.8	7.3	6.8	2.7	3.2	2.7	2.2	2.0
	COD _{Mn}	mg/L	4.1	4.3	4.1	4.4	4.2	4.7	3.9	3.6	3.7	4.5	4.6
	PO ₄ -P	mg/L	0.074	0.074	0.075	0.072	0.077	0.074	0.313	0.343	0.337	0.288	0.288
	硫化物	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	SS	mg/L	4	3	3	3	4	4	4	3	3	2	2
	T-N	mg/L	1.05	0.98	0.99	1.04	1.03	1.02	1.16	1.13	1.14	0.94	0.93
	T-P	mg/L	0.111	0.108	0.108	0.119	0.111	0.114	0.378	0.407	0.403	0.344	0.338
	全亜鉛	mg/L	0.006	0.008	0.007	0.007	0.006	0.005	0.13	0.093	0.058	0.073	0.076
Fe ²⁺	mg/L	0.012	0.010	0.012	0.008	0.014	0.010	—	—	—	—	—	

表 6-1-3 水質調査結果および分析結果（海底直上水） 【秋季調査：2009年9月】

調査日：平成21年9月10、11日

調査地点		川崎港海底トンネル東扇島入り江						川崎港浅野運河					
		マウンドA	マウンドB	マウンドC	マウンドD	マウンドE	マウンドF	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5	
		スラグ混合剤			天然砂			製鋼スラグ				天然碎石	
現地測定項目	水深	m	3.3	3.6	3.4	3.1	2.9	2.9	4.9	5.4	5.4	5.7	5.8
	透明度	m	4.8	4.8			4.9		5.0				
	採水水深	m	3.1	3.4	3.2	2.9	2.7	2.7	4.7	5.2	5.2	5.5	5.6
	水温	℃	24.2	24.3	24.3	24.3	24.4	24.4	23.4	23.2	23.2	23.2	23.2
	塩分		28.94	28.45	28.26	28.83	28.18	28.42	29.96	29.92	29.88	30.02	29.90
水質分析項目	pH		8.0	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9
	DO	mg/L	5.6	5.2	5.3	5.6	5.6	5.6	3.0	2.4	2.4	2.4	2.4
	COD _{Mn}	mg/L	3.7	3.4	3.5	3.4	3.7	3.5	3.3	3.0	2.8	3.0	3.4
	PO ₄ -P	mg/L	0.082	0.072	0.058	0.068	0.078	0.080	0.127	0.124	0.118	0.109	0.117
	硫化物	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	SS	mg/L	3	2	2	2	2	2	4	3	3	3	5
	T-N	mg/L	1.01	0.78	0.81	0.86	0.92	0.91	0.96	0.89	0.85	0.88	0.88
	T-P	mg/L	0.116	0.101	0.102	0.106	0.112	0.114	0.165	0.166	0.156	0.154	0.160
	全亜鉛	mg/L	0.039	0.011	0.002	0.002	0.003	0.003	0.029	0.020	0.020	0.019	0.039
	Fe ²⁺	mg/L	0.007	0.007	0.006	0.007	0.008	0.008	—	—	—	—	—

表 6-1-4 水質調査結果および分析結果（東扇島：海底直上水） 【冬季調査：2009年12月】
調査日：平成21年12月16日

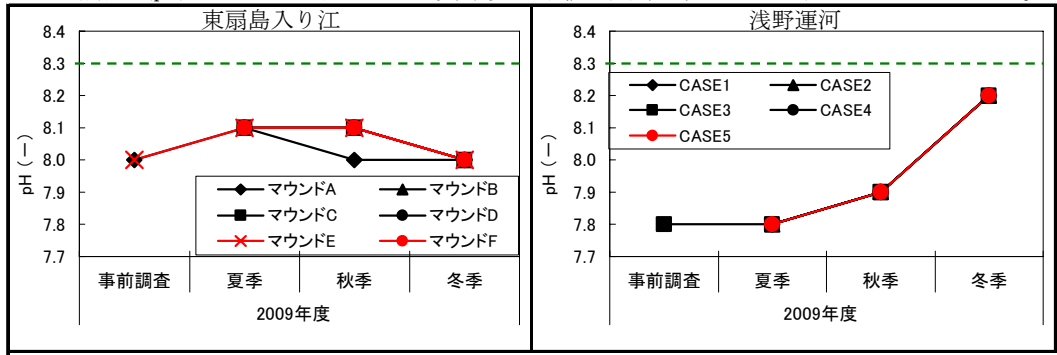
調査地点		川崎港海底トンネル東扇島入り江						
		マウンドA	マウンドB	マウンドC	マウンドD	マウンドE	マウンドF	
		スラグ混合剤			天然砂			
現地測定項目	水深	m	2.4	2.8	2.4	2.2	2.9	2.8
	透明度	m	>4.7	5.0			5.0	
	採水水深	m	2.2	2.6	2.2	2.0	2.7	2.6
	水温	℃	16.5	16.5	16.5	16.3	16.0	16.0
	塩分		30.64	30.77	30.67	30.63	30.49	30.50
水質分析項目	pH		8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
	DO	mg/L	7.1	7.0	7.0	7.0	7.0	7.1
	COD _{Mn}	mg/L	2.1	2.4	2.2	2.4	2.0	2.1
	PO ₄ -P	mg/L	0.054	0.055	0.060	0.060	0.061	0.075
	硫化物	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	SS	mg/L	2	2	2	2	2	2
	T-N	mg/L	1.15	1.07	1.14	1.09	1.13	1.23
	T-P	mg/L	0.074	0.075	0.079	0.078	0.082	0.095
	全亜鉛	mg/L	0.012	0.018	0.015	0.020	0.013	0.015
Fe ²⁺	mg/L	0.011	0.013	0.010	0.011	0.009	0.009	

表 6-1-5 水質調査結果および分析結果（浅野運河：海底直上水） 【冬季調査：2010年2月】

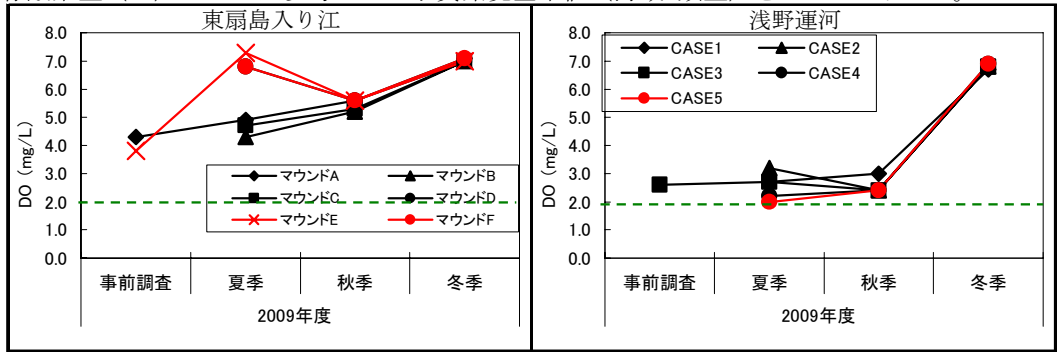
調査日：平成22年2月9日

調査地点		川崎港浅野運河				
		CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5
		製鋼スラグ				天然碎石
現地測定項目	水深 m	4.9	5.6	5.5	5.7	5.9
	透明度 m	5.2				
	採水水深 m	4.7	5.4	5.3	5.5	5.7
	水温 °C	12.3	12.3	12.4	12.2	12.2
	塩分	31.79	31.51	31.74	31.63	31.77
水質分析項目	pH	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
	DO mg/L	6.7	6.8	6.8	6.9	6.9
	COD _{Mn} mg/L	2.2	2.0	2.2	2.0	1.9
	PO ₄ -P mg/L	0.049	0.053	0.047	0.049	0.045
	硫化物 mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	SS mg/L	3	4	3	4	2
	T-N mg/L	0.87	0.90	0.79	0.79	0.75
	T-P mg/L	0.072	0.081	0.072	0.075	0.070
全亜鉛 mg/L	0.025	0.028	0.025	0.025	0.020	

直上水 水素イオン濃度 (pH) ※参考として水質環境基準値 (海域C類型の上限) を - - - で示した。



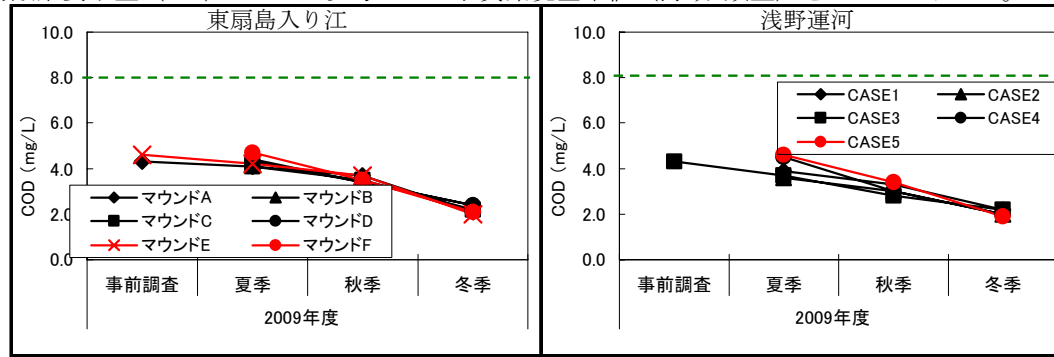
直上水 溶存酸素量 (DO) ※参考として水質環境基準値 (海域C類型) を - - - で示した。



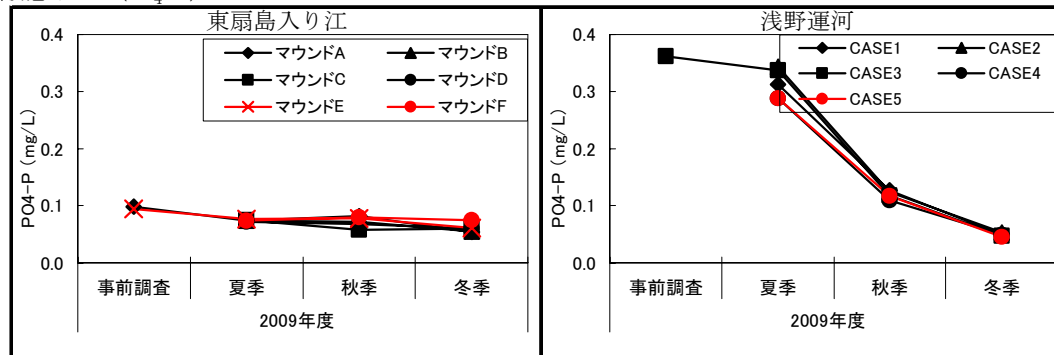
川崎港トンネル東扇島入り江				浅野運河			
マウンド	盛土部	海藻類移植基盤	調査点概略図	ケース	製鋼スラグ製品	調査点概略図	
試験区	A	スラグ混合材Ⅰ (黄)	人工割石 天然石	試験区	1	製鋼スラグ製品 1	
	B	スラグ混合材Ⅱ (ピンク)	天然石		2	製鋼スラグ製品 2	
	C	スラグ混合材Ⅲ (ピンク)	人工割石		3	製鋼スラグ製品 3	
	D	スラグ混合材Ⅳ (緑)	人工割石		4	製鋼スラグ製品 4	
対照区	E	天然砂	人工割石	対照区	5	天然砕石	
	F	天然砂	天然石				

図 6-1-1 水質分析結果(海底直上水) 水素イオン濃度 (pH)、溶存酸素量 (DO)

直上水 化学的酸素要求量 (COD) ※参考として水質環境基準値 (海域C類型) を --- で示した。



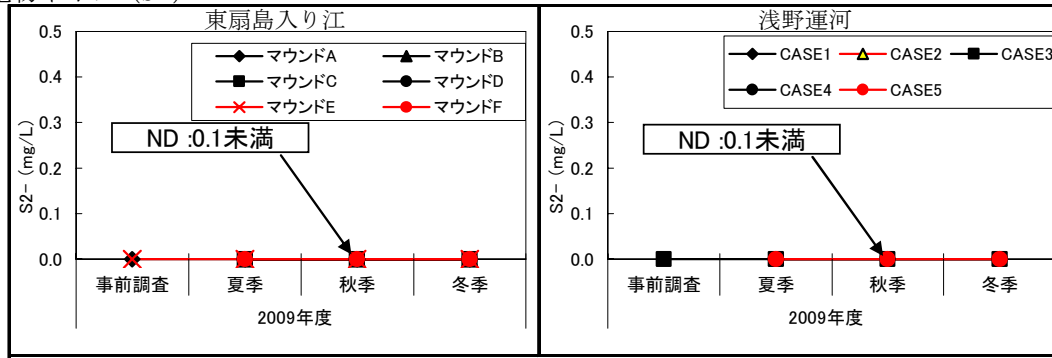
直上水 リン酸態りん (PO₄-P)



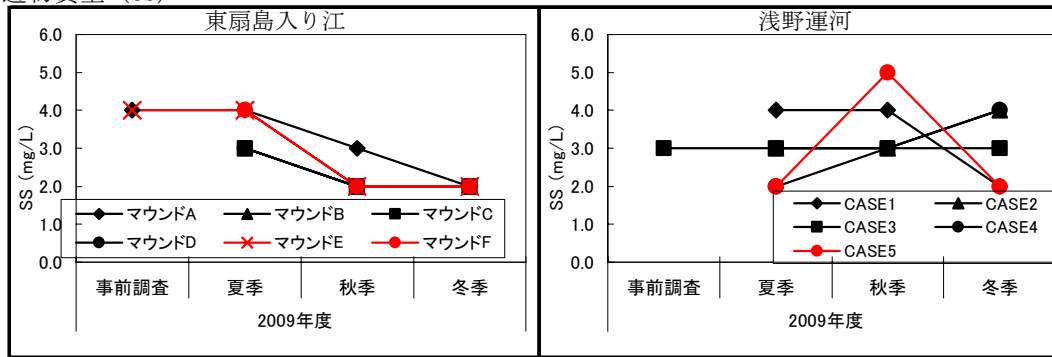
川崎港トンネル東扇島入り江				浅野運河			
マウンド	盛土部	海藻類移植基盤	調査点概略図	ケース	製鋼スラグ製品	調査点概略図	
試験区	A	スラグ混合材Ⅰ (黄)	人工割石 天然石	試験区	1	製鋼スラグ製品 1	
	B	スラグ混合材Ⅱ (ピンク)	天然石		2	製鋼スラグ製品 2	
	C	スラグ混合材Ⅲ (ピンク)	人工割石		3	製鋼スラグ製品 3	
	D	スラグ混合材Ⅳ (緑)	人工割石		4	製鋼スラグ製品 4	
対照区	E	天然砂	人工割石	対照区	5	天然砕石	
	F	天然砂	天然石				

図 6-1-2 水質分析結果 (海底直上水) 化学的酸素要求量 (COD)、リン酸態りん (PO₄-P)

直上水 硫化物イオン (S²⁻)



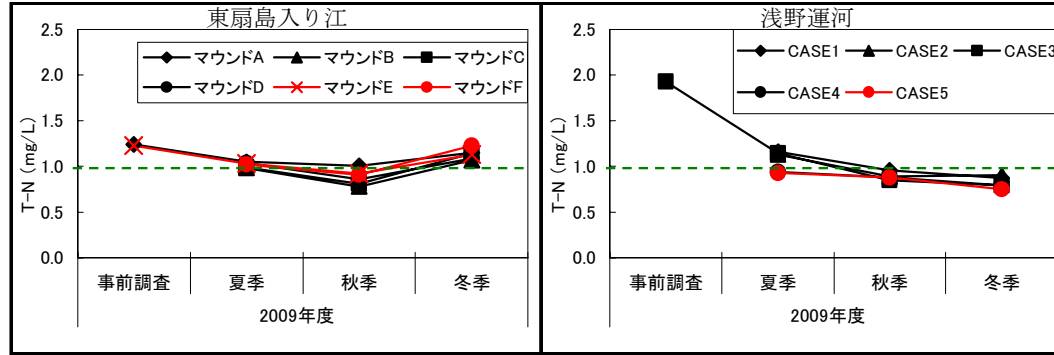
直上水 浮遊物質 (SS)



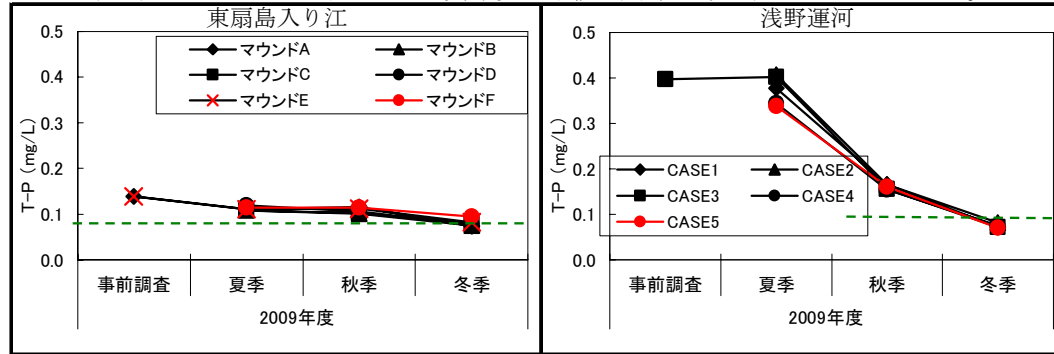
川崎港トンネル東扇島入り江				浅野運河			
マウンド	盛土部	海藻類移植基盤	調査点概略図	ケース	製鋼スラグ製品	調査点概略図	
試験区	A	スラグ混合材Ⅰ (黄)	人工割石	試験区	1	製鋼スラグ製品 1	
	B	スラグ混合材Ⅱ (ピンク)	天然石		2	製鋼スラグ製品 2	
	C	スラグ混合材Ⅲ (ピンク)	人工割石		3	製鋼スラグ製品 3	
	D	スラグ混合材Ⅳ (緑)	人工割石		4	製鋼スラグ製品 4	
対照区	E	天然砂	人工割石	5	天然砕石		
	F	天然砂	天然石				

図 6-1-3 水質分析結果 (海底直上水) 硫化物、浮遊物質 (SS)

直上水 全窒素 (T-N) ※参考として水質環境基準値 (海域IV類型) を---で示した。



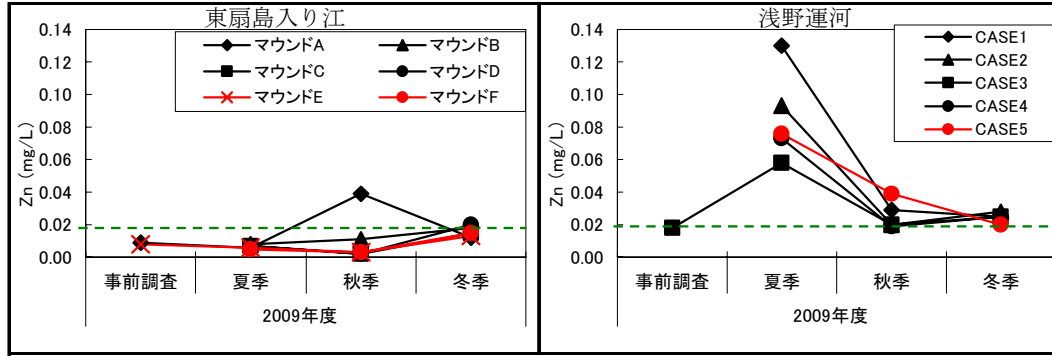
直上水 全りん (T-P) ※参考として水質環境基準値 (海域IV類型) を---で示した。



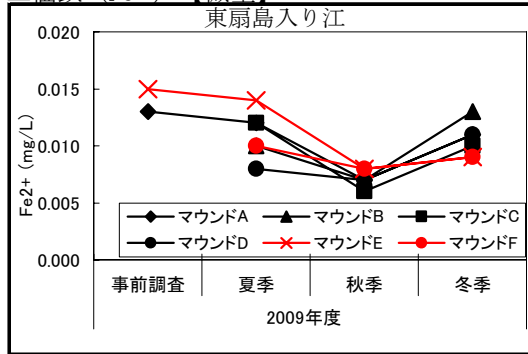
川崎港トンネル東扇島入り江				浅野運河			
マウンド	盛土部	海藻類移植基盤	調査点概略図	ケース	製鋼スラグ製品	調査点概略図	
試験区	A	スラグ混合材Ⅰ (黄)	人工割石	試験区	1	製鋼スラグ製品 1	
	B	スラグ混合材Ⅱ (ピンク)	天然石		2	製鋼スラグ製品 2	
	C	スラグ混合材Ⅲ (ピンク)	人工割石		3	製鋼スラグ製品 3	
	D	スラグ混合材Ⅳ (緑)	人工割石		4	製鋼スラグ製品 4	
対照区	E	天然砂	人工割石	対照区	5	天然砕石	
	F	天然砂	天然石				

図 6-1-4 水質分析結果 (海底直上水) 全窒素(T-N)、全りん(T-P)

直上水 全亜鉛 (Zn) ※参考として水質環境基準値 (海域生物A) を - - - で示した。



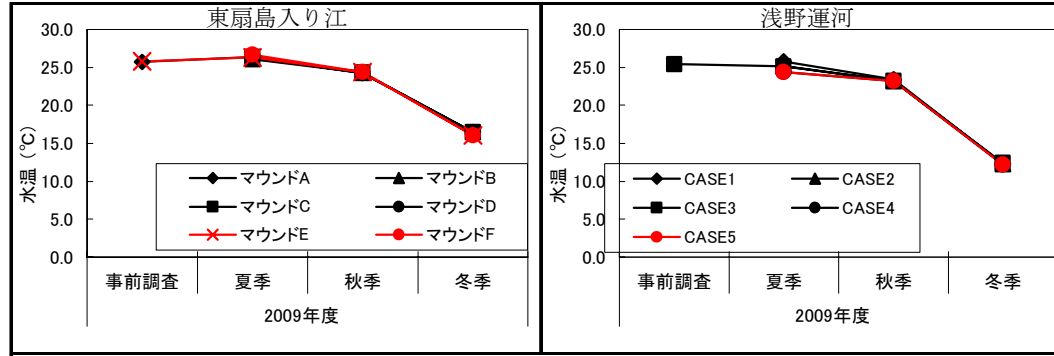
直上水 二価鉄 (Fe²⁺) 【微量】



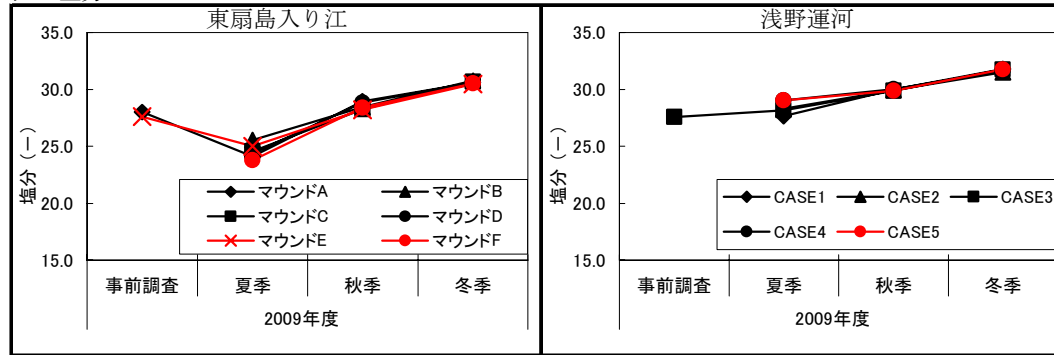
川崎港トンネル東扇島入り江				浅野運河			
マウンド	盛土部	海藻類移植基盤	調査点概略図	ケース	製鋼スラグ製品	調査点概略図	
試験区	A	スラグ混合材Ⅰ (黄)	人工割石 天然石	試験区	1	製鋼スラグ製品 1	
	B	スラグ混合材Ⅱ (ピンク)	天然石		2	製鋼スラグ製品 2	
	C	スラグ混合材Ⅲ (ピンク)	人工割石		3	製鋼スラグ製品 3	
	D	スラグ混合材Ⅳ (緑)	人工割石		4	製鋼スラグ製品 4	
対照区	E	天然砂	人工割石	対照区	5	天然砕石	
	F	天然砂	天然石				

図 6-1-5 水質分析結果 (海底直上水) 全亜鉛 (Zn)、二価鉄 (Fe²⁺)

直上水 水温



直上水 塩分



川崎港トンネル東扇島入り江				浅野運河			
マウンド	盛土部	海藻類移植基盤	調査点概略図	ケース	製鋼スラグ製品	調査点概略図	
試験区	A	スラグ混合材Ⅰ (黄)	人工割石	試験区	1	製鋼スラグ製品 1	
	B	スラグ混合材Ⅱ (ピンク)	天然石		2	製鋼スラグ製品 2	
	C	スラグ混合材Ⅲ (ピンク)	人工割石		3	製鋼スラグ製品 3	
	D	スラグ混合材Ⅳ (緑)	人工割石		4	製鋼スラグ製品 4	
対照区	E	天然砂	人工割石	対照区	5	天然砕石	
	F	天然砂	天然石				

図 6-1-6 水質分析結果 (海底直上水) 水温、塩分

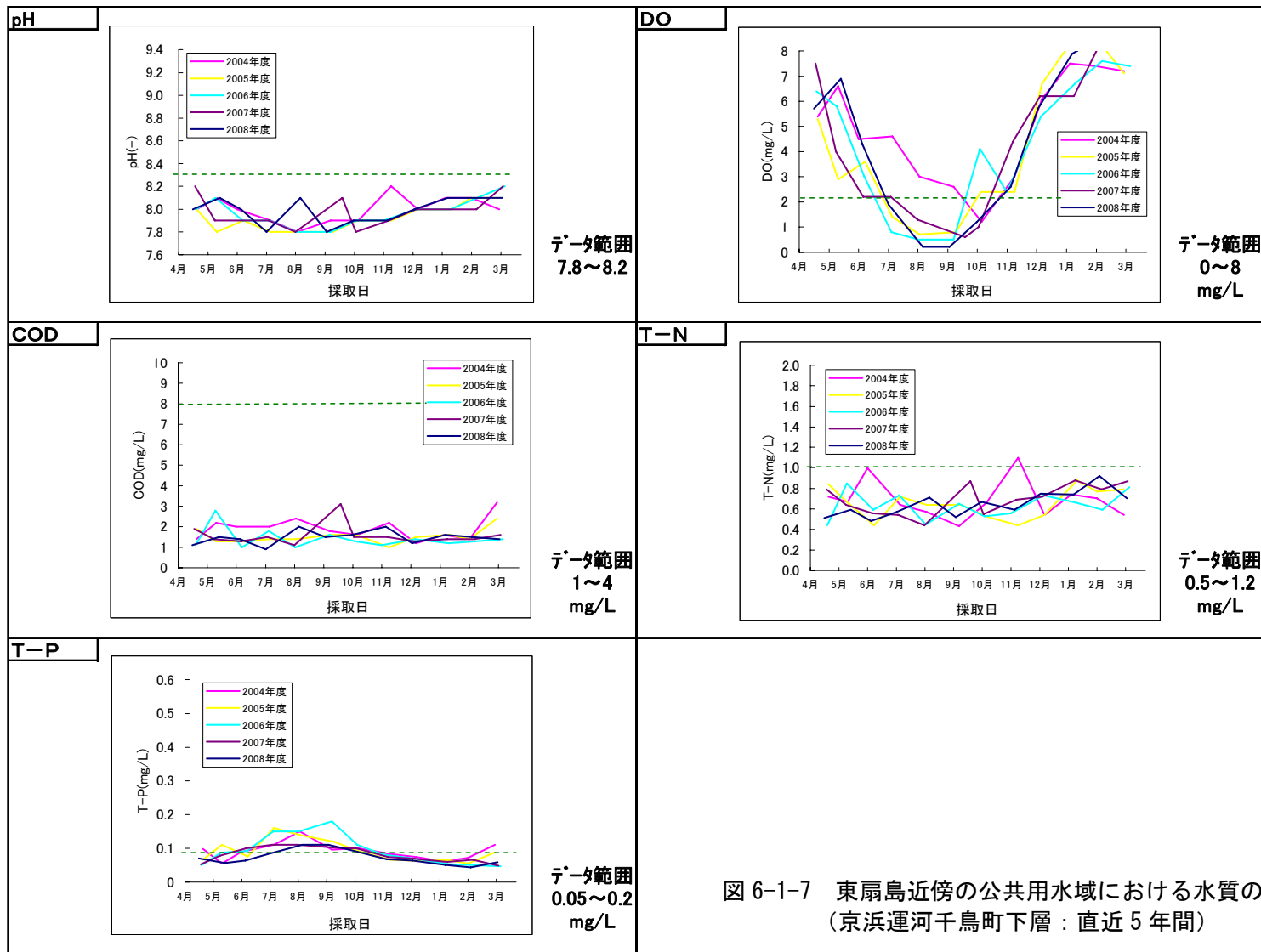


図 6-1-7 東扇島近傍の公共用水域における水質の推移 (京浜運河千鳥町下層：直近 5 年間)

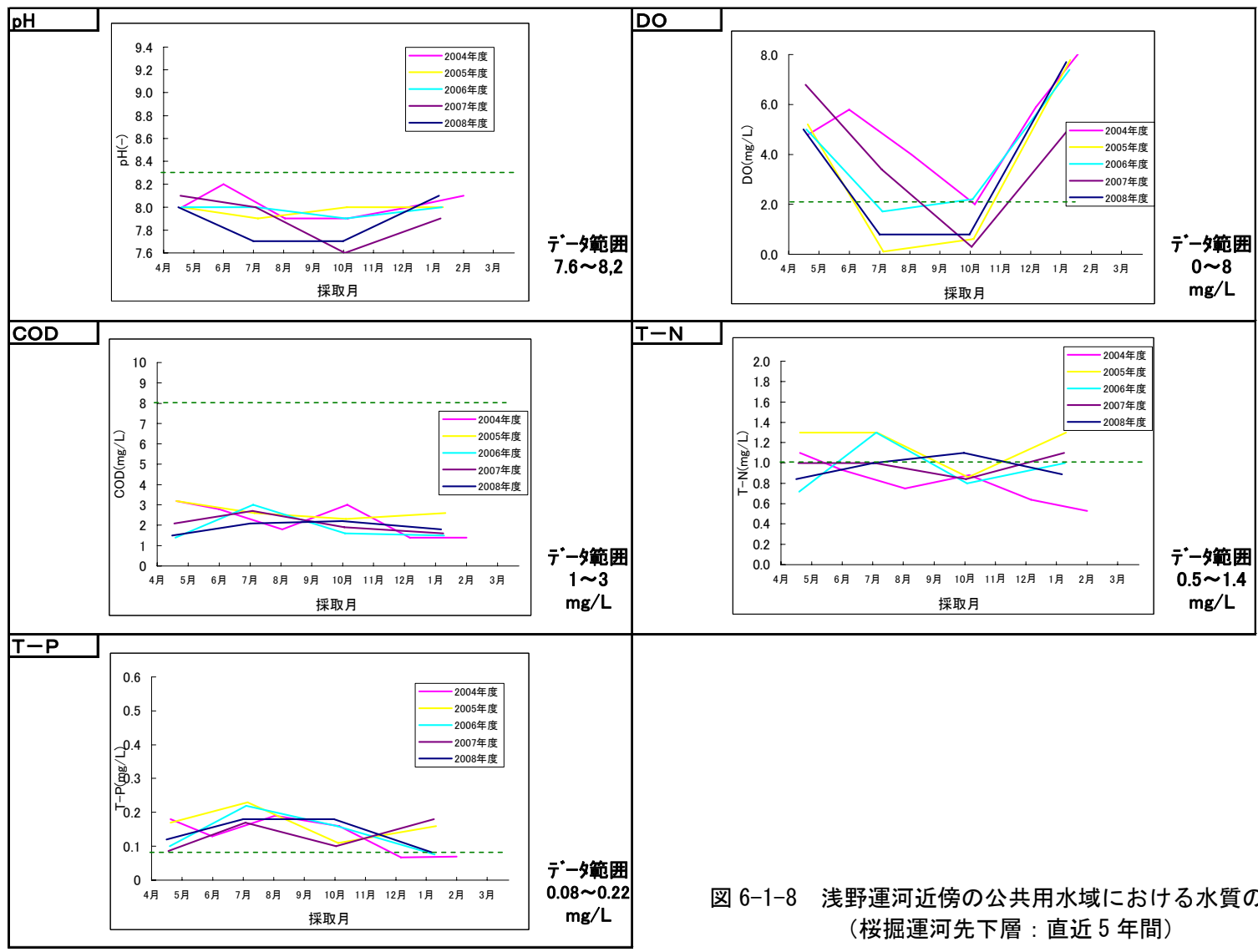


図 6-1-8 浅野運河近傍の公共用水域における水質の推移 (桜掘運河先下層：直近5年間)

表 6-1-6 間隙水分析結果 【事前調査：2009 年 7 月】

調査日：平成 21 年 7 月 27 日

調査地点		川崎港 浅野運河
		CASE3
水 質 分 析 項 目	pH	7.8
	電気伝導度 mS/cm	46.5
	DO mg/L	<0.1
	COD _{Mn} mg/L	25
	PO ₄ -P mg/L	1.23
	硫化物 mg/L	0.5
	SS mg/L	82
	T-N mg/L	7.02
	T-P mg/L	1.69
	全亜鉛 mg/L	1.4

※間隙水は海底土から強制的な抽出法（遠心分離）により採取した。

表 6-1-7 間隙水分析結果 【夏季調査：2009年8月】

調査日：平成21年8月14日

調査地点		川崎港浅野運河				
		CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5
		製鋼スラグ				天然碎石
水 質 分 析 項 目	pH	9.1	9.0	9.3	8.6	7.8
	電気伝導度 mS/cm	47.0	47.9	47.0	45.9	43.4
	DO mg/L	<0.1	1.4	1.5	1.1	1.5
	COD _{Mn} mg/L	3.7	4.2	3.8	3.2	3.0
	PO ₄ -P mg/L	0.436	0.344	0.176	0.348	0.282
	硫化物 mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	SS mg/L	2	8	10	6	<1
	T-N mg/L	1.20	1.26	1.09	0.77	1.15
	T-P mg/L	0.471	0.398	0.233	0.406	0.316
全重鉛 mg/L	0.054	0.12	0.11	0.084	0.23	

表 6-1-8 間隙水分析結果 【秋季調査：2009年9月】

調査日：平成21年9月10、11日

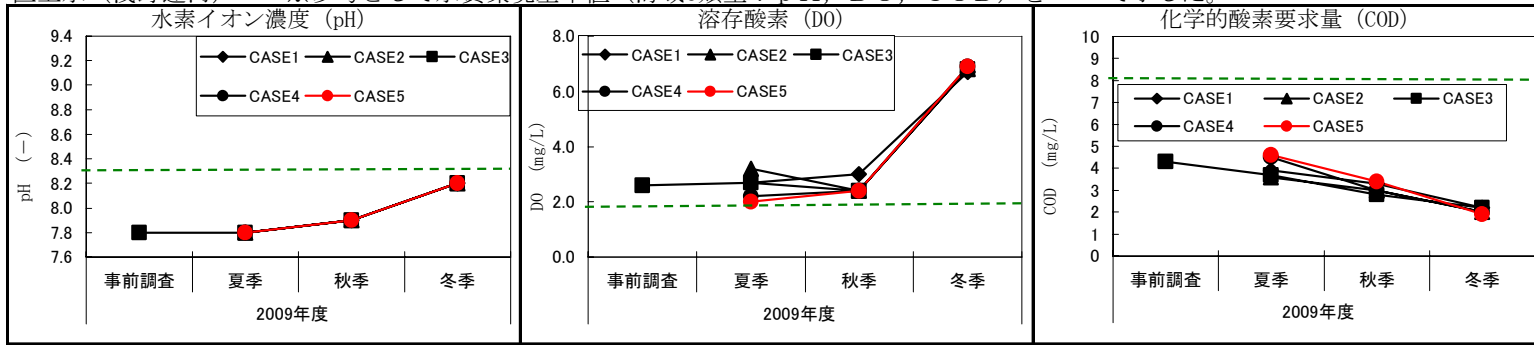
調査地点		川崎港浅野運河				
		CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5
		製鋼スラグ				天然碎石
水 質 分 析 項 目	pH	8.6	8.5	8.7	8.1	7.8
	電気伝導度 mS/cm	49.2	49.1	49.0	49.7	49.6
	DO mg/L	1.9	0.9	1.4	1.3	1.5
	COD _{Mn} mg/L	3.0	3.8	3.0	2.8	2.8
	PO ₄ -P mg/L	0.247	0.240	0.173	0.220	0.133
	硫化物 mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	SS mg/L	4	10	4	3	2
	T-N mg/L	0.74	0.79	0.74	0.66	0.74
	T-P mg/L	0.280	0.276	0.193	0.239	0.148
	全亜鉛 mg/L	0.051	0.051	0.025	0.026	0.044

表 6-1-9 間隙水分析結果 【冬季調査：2010年2月】

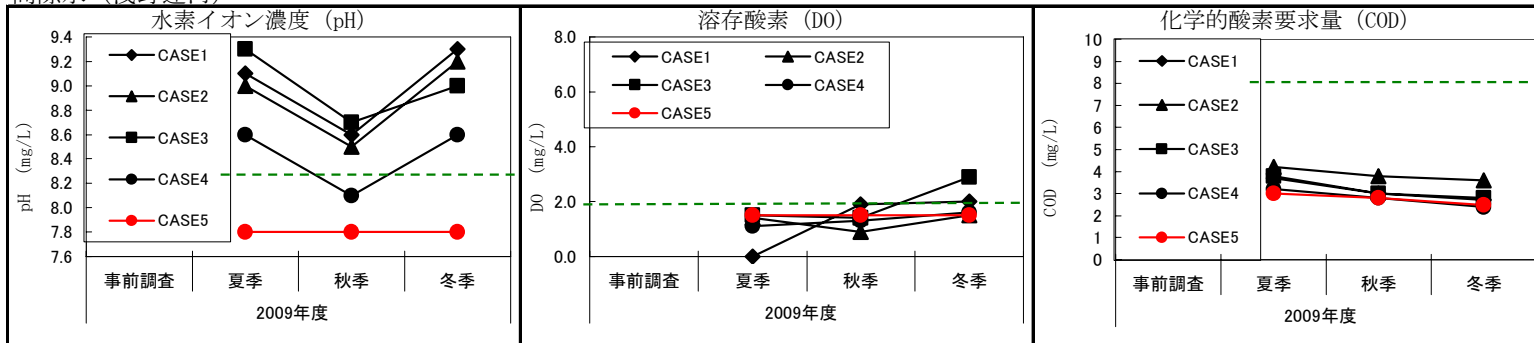
調査日期日：平成22年2月9日

調査地点		川崎港浅野運河				
		CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5
		製鋼スラグ				天然碎石
水 質 分 析 項 目	pH	9.3	9.2	9.0	8.6	7.8
	電気伝導度 mS/cm	48.5	51.7	51.3	52.1	51.9
	DO mg/L	2.0	1.5	2.9	1.6	1.5
	COD _{Mn} mg/L	2.7	3.6	2.8	2.4	2.5
	PO ₄ -P mg/L	0.115	0.148	0.068	0.190	0.083
	硫化物 mg/L	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	SS mg/L	8	8	3	2	<1
	T-N mg/L	0.73	0.72	0.90	0.32	0.61
	T-P mg/L	0.134	0.172	0.112	0.208	0.092
	全亜鉛 mg/L	0.028	0.037	0.014	0.015	0.11

直上水（浅野運河） ※参考として水質環境基準値（海域C類型：pH、DO、COD）を---で示した。



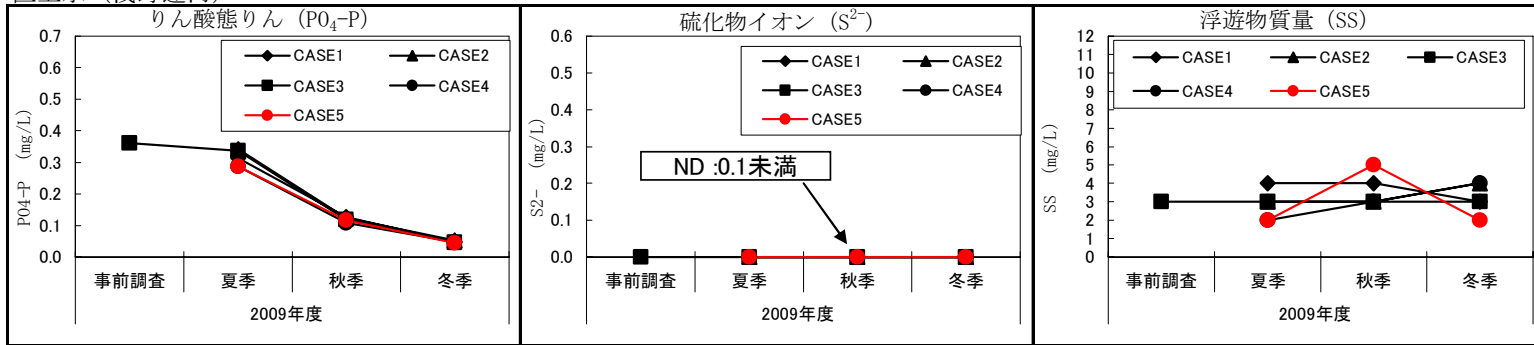
間隙水（浅野運河）



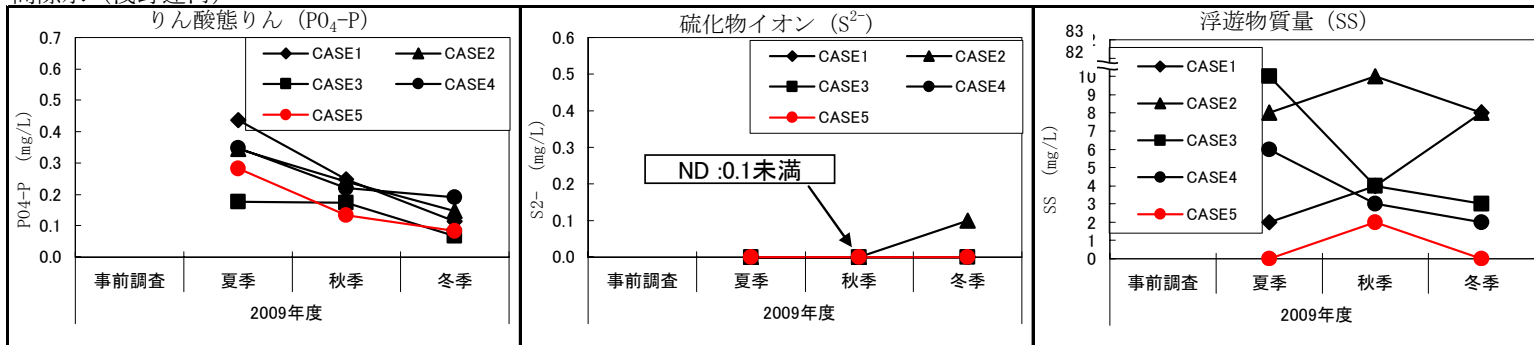
浅野運河		
ケース	製鋼スラグ製品	調査点概略図
試験区	1	
	2	
	3	
	4	
対照区	5	

図 6-1-9 直上水と間隙水の結果 水素イオン濃度 (pH)、溶存酸素 (DO)、化学的酸素要求量 (COD)

直上水 (浅野運河)



間隙水 (浅野運河)



57

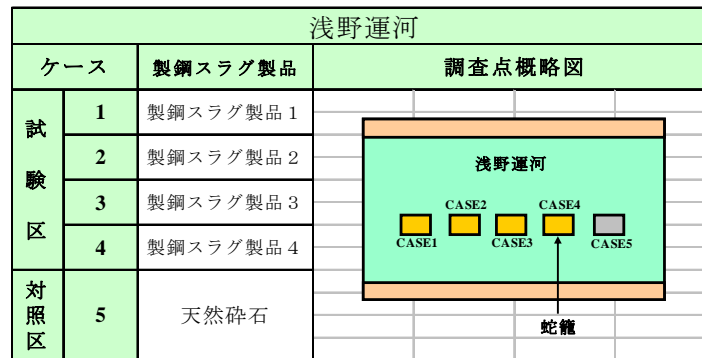
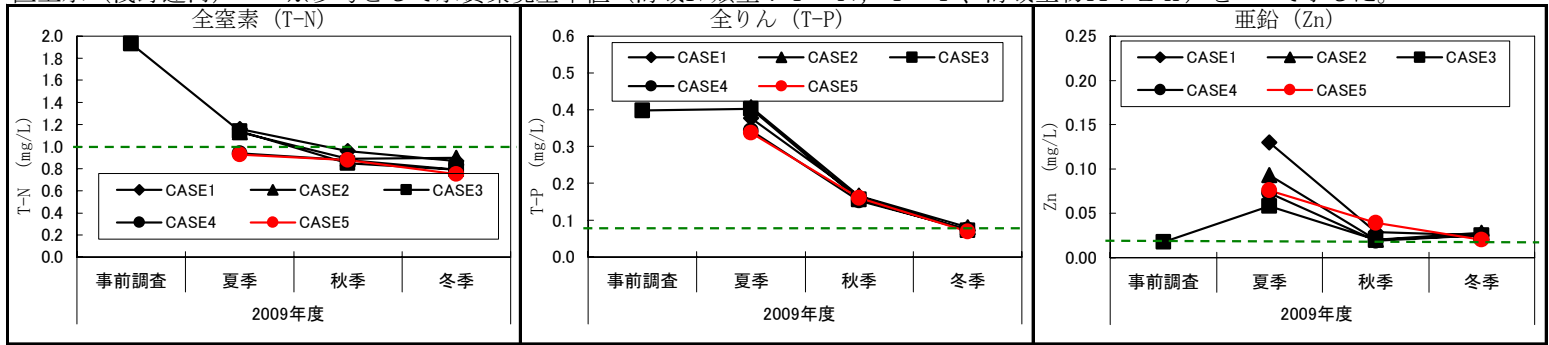


図 6-1-10 直上水と間隙水の結果 りん酸態りん (PO₄-P) 硫化物イオン (S²⁻)、浮遊物質量 (SS)

直上水（浅野運河） ※参考として水質環境基準値（海域Ⅳ類型：T-N、T-P、海域生物A：Zn）を---で示した。



間隙水（浅野運河）

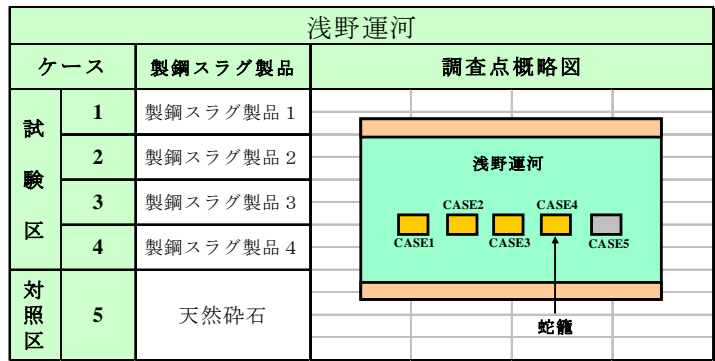
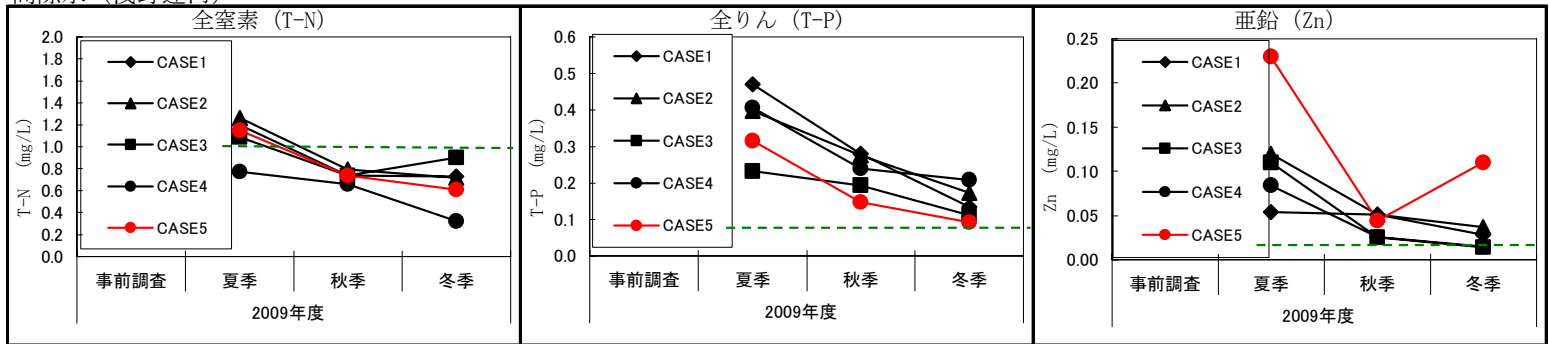


図 6-1-11 直上水と間隙水の結果 全窒素 (T-N)、全りん (T-P)、亜鉛 (Zn)

6.2 溶出試験等

6.2.1 海洋汚染防止法に基づく試験

1) 川崎港海底トンネル東扇島入り江

東扇島における海洋汚染防止法に基づく試験の結果を表 6-2-1 に示した。

対象とした 10 成分については水底土砂の判定基準を満足しており、事前に実施した混合材の各材料（製鋼スラグ製品および浚渫土）の試験結果と整合する結果であった。（付録 表 9-1-1 参照）

表 6-2-1 海洋汚染防止法に基づく溶出試験の結果【東扇島】

試料採取日：平成 21 年 12 月 16 日

項目	単位	マウンドA	水底土砂の判定基準
水銀又はその化合物	mg/L	<0.0005	0.005
カドミウム又はその化合物	mg/L	<0.01	0.1
鉛又はその化合物	mg/L	<0.01	0.1
六価クロム化合物	mg/L	<0.05	0.5
銅又はその化合物	mg/L	<0.1	3
亜鉛又はその化合物	mg/L	<0.1	2
バリリウム又はその化合物	mg/L	<0.1	2.5
クロム又はその化合物	mg/L	<0.1	2
ニッケル又はその化合物	mg/L	<0.1	1.2
バナジウム又はその化合物	mg/L	<0.1	1.5

2) 川崎港浅野運河

浅野運河における海洋汚染防止法に基づく試験の結果を表 6-2-2 に示した。

対象とした 10 成分については水底土砂の判定基準を満足しており、事前に実施した混合材の各材料（製鋼スラグ製品および浚渫土）の試験結果と整合する結果であった。（付録 表 9-1-1 参照）

表 6-2-2 海洋汚染防止法に基づく溶出試験の結果【浅野運河】

試料採取日：平成 22 年 2 月 4 日

項目	単位	浅野運河 ケース1	判定基準
水銀又はその化合物	mg/L	<0.0005	0.005
カドミウム又はその化合物	mg/L	<0.01	0.1
鉛又はその化合物	mg/L	<0.01	0.1
六価クロム化合物	mg/L	<0.05	0.5
銅又はその化合物	mg/L	<0.1	3
亜鉛又はその化合物	mg/L	<0.1	2
バリリウム又はその化合物	mg/L	<0.1	2.5
クロム又はその化合物	mg/L	<0.1	2
ニッケル又はその化合物	mg/L	<0.1	1.2
バナジウム又はその化合物	mg/L	<0.1	1.5

6.2.2 溶出速度等試験

1) 試験結果（うわ水の濃度変化）

溶出速度等試験の結果を表 6-2-3、表 6-2-4 及び図 6-2-1 に示した。

【水温、DO のモニター】

実験期間を通じ、全ての試験ケースで目標とした水温（現地近似：25°C±1°C）、DO（嫌気状態：ほぼ ND）を保持できた。

【pH の推移】

試験区では、マウンド A 及びケース 1 とも、スラグ由来と思われる水和反応の過程を反映して pH が徐々に上昇し、最終的には 9~10 程度を示した。

これに対して対照区では、マウンド F、ケース 5 とも、徐々に低下し最終的には 7 程度まで低下した。

直上水の調査結果では、通常海水と大差なく、環境への影響は少ないと思われたが、バッチ式の実験においては、間隙水の測定で得た結果と同様の濃度まで上昇したものと思われる。従って、水-固体間の鉄分、栄養塩類等の吸・脱着を評価する上では、実験初期の水質の変化が小さい時期を対象に評価することが妥当と思われた。特に鉄分の吸・脱着は、pH 変化に対する感受性が強く、実験開始直後の収支が重要と推測されたので、0 水（実験に供給した原水）と 1 日後の変化から溶出速度を算出した。

表 6-2-3 溶出速度等試験結果 【東扇島】

試験期間：平成 21 年 8 月 19 日から 9 月 18 日

試料名	実験槽	経過日数	水温	DO	pH	T-Fe	Fe(Ⅱ)	NH4-N	NO2-N	NO3-N	PO4-P	硫化物	
			℃	mg/L		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
東扇島	マウンドA 試験区	①	0	25.1	<0.5	8.9	0.01	<0.05	1.36	0.327	0.078	0.045	<0.1
			1	25.3	<0.5	9.0	0.02	<0.05	1.77	0.001	<0.005	0.051	<0.1
			3	25.2	<0.5	9.1	0.01	<0.05	2.18	0.001	<0.005	0.041	<0.1
			5	25.0	<0.5	9.0	<0.01	<0.05	2.81	<0.001	<0.005	0.035	<0.1
			10	24.7	<0.5	9.1	<0.01	<0.05	3.48	0.001	<0.005	0.026	0.1
			21	25.2	<0.5	9.5	<0.01	<0.05	3.82	<0.001	<0.005	0.012	<0.1
			30	24.9	<0.5	10.0	<0.01	<0.05	3.90	0.001	<0.005	0.005	<0.1
		②	0	24.8	<0.5	8.7	0.01	<0.05	0.716	0.135	0.272	0.045	<0.1
			1	24.7	<0.5	8.7	0.02	<0.05	0.877	0.239	0.010	0.050	<0.1
			3	25.0	<0.5	8.8	0.01	<0.05	1.07	0.002	<0.005	0.056	<0.1
			5	24.9	<0.5	8.8	<0.01	<0.05	1.29	0.001	<0.005	0.044	<0.1
			10	24.8	<0.5	8.8	<0.01	<0.05	1.84	0.001	<0.005	0.031	<0.1
			21	24.9	<0.5	8.8	<0.01	<0.05	2.12	<0.001	<0.005	0.043	0.1
			30	25.0	<0.5	8.8	<0.01	<0.05	2.09	<0.001	<0.005	0.011	<0.1
	マウンドF 対照区	①	0	24.9	0.8	8.3	0.01	<0.05	0.168	0.044	0.437	0.059	<0.1
			1	24.8	<0.5	8.1	0.02	<0.05	0.167	0.052	0.389	0.048	<0.1
			3	24.9	<0.5	8.0	0.02	<0.05	0.198	0.199	0.112	0.043	<0.1
			5	25.2	<0.5	7.8	0.01	<0.05	0.232	0.132	0.005	0.042	<0.1
			10	24.9	<0.5	7.4	<0.01	<0.05	0.233	<0.001	<0.005	0.038	<0.1
			21	24.9	<0.5	7.0	0.07	0.06	0.182	<0.001	<0.005	0.019	<0.1
			30	25.1	<0.5	7.0	0.10	0.09	0.106	<0.001	<0.005	0.016	<0.1
		②	0	24.7	0.9	8.3	0.01	<0.05	0.115	0.042	0.449	0.052	<0.1
			1	24.7	<0.5	8.1	0.05	<0.05	0.109	0.053	0.413	0.043	<0.1
			3	25.0	<0.5	7.9	0.02	<0.05	0.157	0.234	0.074	0.039	<0.1
5			25.3	<0.5	7.7	0.01	<0.05	0.196	0.059	0.005	0.041	<0.1	
10			24.8	<0.5	7.4	<0.01	<0.05	0.231	<0.001	<0.005	0.035	<0.1	
21			25.0	<0.5	7.0	0.04	<0.05	0.223	<0.001	<0.005	0.018	<0.1	
30			25.2	<0.5	6.9	0.06	0.06	0.071	<0.001	<0.005	0.005	<0.1	

表 6-2-4 溶出速度等試験結果 【浅野運河】

試験期間：平成 21 年 8 月 19 日から 9 月 18 日

試料名	実験槽	経過日数	水温	DO	pH	T-Fe	Fe(Ⅱ)	NH4-N	NO2-N	NO3-N	PO4-P	硫化物	
			℃	mg/L		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
浅野運河	ケース1 試験区	①	0	24.7	0.9	8.7	0.09	<0.05	0.590	0.047	0.192	0.299	<0.1
			1	24.8	<0.5	8.9	0.13	<0.05	0.516	0.106	0.134	0.275	<0.1
			3	25.2	<0.5	9.2	0.13	<0.05	0.460	0.177	0.007	0.247	<0.1
			5	25.5	<0.5	9.3	0.12	<0.05	0.436	0.029	<0.005	0.204	<0.1
			10	24.8	<0.5	9.4	0.08	<0.05	0.366	<0.001	<0.005	0.125	<0.1
			21	24.9	<0.5	9.4	0.03	<0.05	0.200	0.004	<0.005	0.040	<0.1
			30	25.1	<0.5	9.5	0.02	<0.05	0.124	0.001	<0.005	0.018	<0.1
		②	0	24.8	0.8	8.7	0.09	<0.05	0.591	0.044	0.200	0.313	<0.1
			1	25.1	<0.5	8.9	0.19	<0.05	0.514	0.094	0.147	0.306	<0.1
			3	25.0	<0.5	9.2	0.22	<0.05	0.470	0.228	0.010	0.281	<0.1
			5	25.0	<0.5	9.3	0.21	<0.05	0.454	0.173	0.005	0.228	<0.1
			10	24.9	<0.5	9.4	0.10	<0.05	0.382	0.083	<0.005	0.144	<0.1
			21	25.0	<0.5	9.4	0.06	<0.05	0.194	0.017	<0.005	0.049	<0.1
			30	24.9	<0.5	9.5	0.04	<0.05	0.031	0.005	<0.005	0.023	<0.1
	ケース5 対照区	①	0	24.7	0.8	8.2	0.09	<0.05	0.465	0.051	0.124	0.259	<0.1
			1	24.8	<0.5	8.0	0.06	<0.05	0.378	0.104	0.085	0.241	<0.1
			3	24.9	<0.5	7.9	0.04	<0.05	0.321	0.129	0.006	0.225	<0.1
			5	25.1	<0.5	7.8	0.03	<0.05	0.264	0.040	<0.005	0.208	<0.1
			10	24.5	<0.5	7.5	0.09	0.07	0.189	<0.001	<0.005	0.180	<0.1
			21	25.0	<0.5	7.3	0.35	0.32	0.110	<0.001	0.007	0.106	<0.1
			30	24.7	<0.5	7.2	0.27	<0.05	0.020	<0.001	<0.005	0.028	<0.1
		②	0	25.0	0.8	8.2	0.09	<0.05	0.460	0.053	0.121	0.257	<0.1
			1	24.7	<0.5	8.0	0.06	<0.05	0.387	0.108	0.073	0.239	<0.1
			3	25.1	<0.5	8.0	0.04	<0.05	0.402	<0.001	<0.005	0.224	<0.1
			5	24.9	<0.5	7.8	0.08	0.05	0.406	<0.001	<0.005	0.205	<0.1
			10	24.9	<0.5	7.5	0.24	0.22	0.385	<0.001	<0.005	0.175	<0.1
			21	25.1	<0.5	7.2	0.13	<0.05	0.181	0.002	<0.005	0.055	<0.1
			30	24.8	<0.5	7.2	0.09	<0.05	0.020	0.001	<0.005	0.028	<0.1

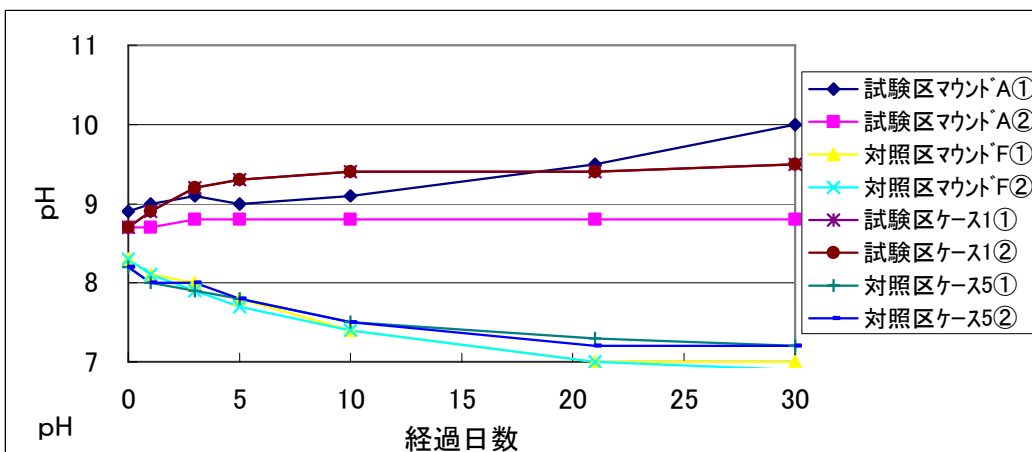
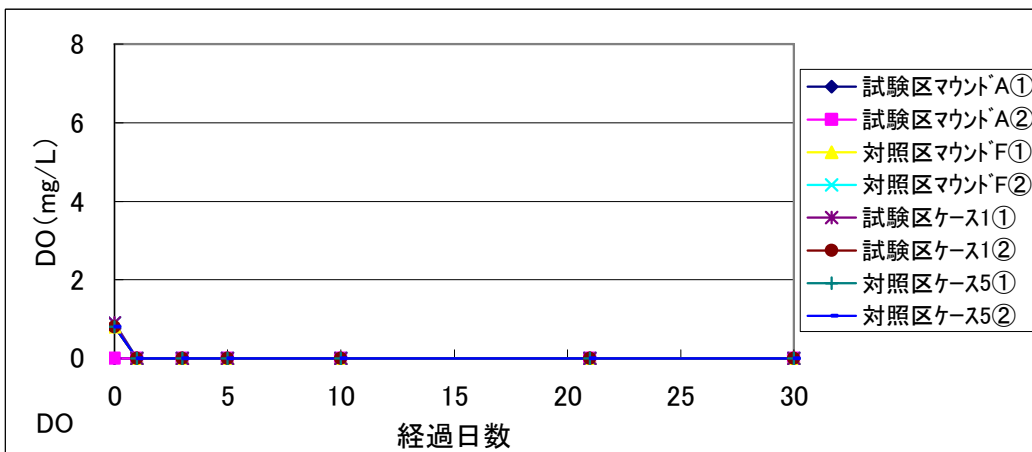
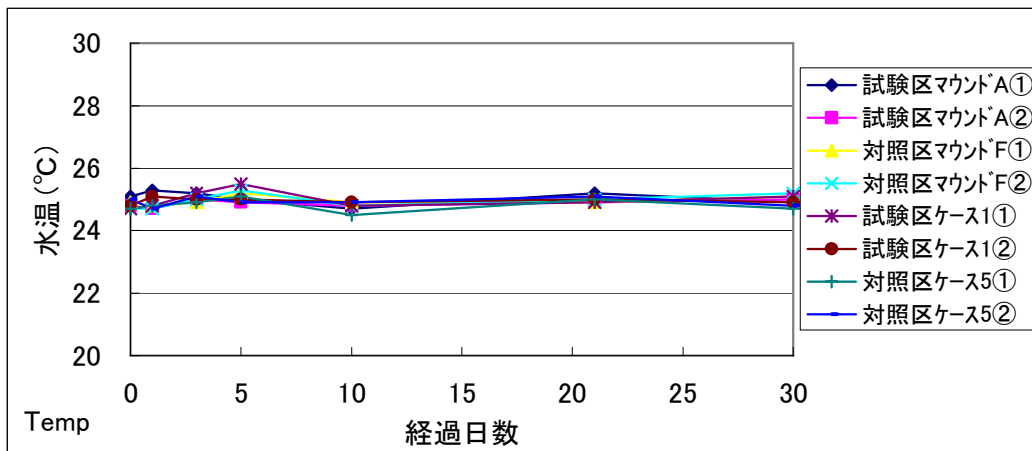


図 6-2-1 溶出速度等試験結果（水温、DO 及び pH の推移）

2) 溶出速度の結果

底泥等とうわ水との溶出（濃度増加）-吸着（濃度減少）過程を、単位面積、単位時間当たりの溶出（又は吸着）量に標準化して取りまとめ、表 6-2-5、表 6-2-6 に示した。また、標準化の過程を示した計算表を表 6-2-7～表 6-2-10 に、各項目の単位面積当たり変化量を散布図として図 6-2-2、図 6-2-3 に示した。

【単位時間・面積当たりの溶出-吸着量の計算】

前項に示したうわ水の濃度変化より、概ね 3～5 日目までは $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ などが直線的に増加（または減少）する傾向が認められたので、各項目の単位面積、時間時間当たりの変化量（ $\text{mg}/\text{m}^2/\text{日}$ ）をもとめ 5 日目までの最大値（絶対値で）を採用して、結果を解析した。ただし、鉄分については前述のように初期値の重要性（pH 変化に対する感受性）を考慮して、0 水～1 日目の変化量を採用した。

吸着-脱着の定性的評価を実施した項目及び評価の基準は以下の通りである。

- ・鉄分の供給効果
（対照区に比して、試験区の Fe 増加速度が大きい場合に効果有とする）
- ・ $\text{PO}_4\text{-P}$ の吸着または溶出抑制効果
（対照区に比して、試験区の $\text{PO}_4\text{-P}$ 減少速度が大きいか、同程度の場合に効果有とする）
- ・硫化物の溶出抑制効果
（対照区に比して、試験区の硫化物増加速度が同程度以下の場合に効果有とする）

また、副次的効果として無機窒素についても検討した。

- ・ $\text{NH}_4\text{-N}$ の溶出抑制効果
（対照区に比して、試験区の $\text{NH}_4\text{-N}$ 増加速度が同程度以下の場合に効果有とする）
- ・脱窒素効果
（対照区に比して、試験区の $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 減少速度が大きい場合に効果有とする）

3) 試験区と対照区の比較結果

表 6-2-5、表 6-2-6 に、各項目の単位面積、時間時間当たりの変化量とともに、試験結果のばらつきを示し、試験区と対照区の比較結果をまとめて示した。なお定性的に効果ありと認められた項目については、評価を青字で示した。また、有意差の検定（母集団の差の検定【t 検定】）を行なった。

【東扇島では】

効果が期待された鉄分の供給効果、 PO_4 -P および硫化物の吸着あるいは溶出抑制効果について、

鉄分の供給効果については、試験区で若干の溶出が認められ供給能が示唆された。しかし、対照区においても同程度の溶出が認められ、バックグラウンドレベルに埋没する結果となって、**明確な効果確認には至らなかった（有意差なし）**。

PO_4 -P および硫化物の吸着あるいは溶出抑制効果については、嫌気条件でありながら PO_4 -P、硫化物とも溶出が認められず、**抑制効果が示唆された（有意差なし）**。

副次的な効果として、

NH_4 -N については、試験区の溶出速度が高い傾向を示したが、偏差が大きく試験区と有意な差は認められなかった。製鋼スラグと混合した浚渫土（マウント A の原材料）は、実証海域に近傍で浚渫された細粒分の多い軟質泥であり、直接的ではないが**抑制効果が示唆された（有意差なし）**。

硝酸塩の変化については、対照区と試験区で差は認められず、脱窒素効果は認められなかった（有意差なし）。

【浅野運河では】

効果が期待された PO_4 -P および硫化物の吸着あるいは溶出抑制効果について、

PO_4 -P の吸着あるいは抑制効果については、対照区に比して明らかに試験区での減少速度が速く、 PO_4 -P の吸着あるいは抑制効果が認められた（有意差あり）。

硫化物の溶出抑制効果については、嫌気条件でありながら硫化物とも溶出が認められず、**抑制効果が示唆された（有意差なし）**。

浅野運河に関しては主目的ではないが、Fe の供給効果について、

対照区に比して試験区での溶出速度が高く、**鉄分の供給が認められた（有意差あり）**。

副次的な効果として、

NH_4 -N については、対照区と試験区で差は認められず、**抑制効果が示唆された（有意差なし）**。

硝酸塩の変化については、対照区と試験区で差は認められず、脱窒素効果は認められなかった（有意差なし）。

表 6-2-5 試験結果の評価（鉄と硫化物）

T-Fe								T-Fe (mg/m ² /日)		
エリア名	調査点	変化量(mg/m ² /日)			標準偏差	CV (%)	90%信頼区間 mg/m ² /日	評価(対照区との比較) 【Fe供給】	有意差 危険率	
		①	②	平均値						
東扇島	マウントA	1.70	1.76	1.73	0.04	2	1.64 ~ 1.82	試験区ではFeの供給は認められたが、対照区と有意な差は認められなかった。	無	—
	マウントF	1.92	6.97	4.44	3.57	80	-2.93 ~ 11.81			
浅野運河	ケース1	7.00	18.27	12.63	7.97	63	-3.81 ~ 29.08	試験区では、対照区よりFe増加速度が速く、有意差が認められた。	有	10%
	ケース5	-5.30	-5.10	-5.20	0.14	3	-5.50 ~ -4.90			

硫化物								S ²⁻ (mg/m ² /日)		
エリア名	調査点	変化量(mg/m ² /日)			標準偏差	CV (%)	90%信頼区間 mg/m ² /日	評価(対照区との比較) 【硫化物抑制】	有意差 危険率	
		①	②	平均値						
東扇島	マウントA	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00 ~ 0.00	試験区と対象区で差は見られなかった。	—	—
	マウントF	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00 ~ 0.00			
浅野運河	ケース1	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00 ~ 0.00	試験区と対象区で差は見られなかった。	—	—
	ケース5	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00 ~ 0.00			

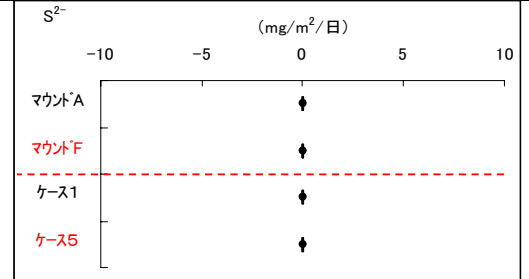
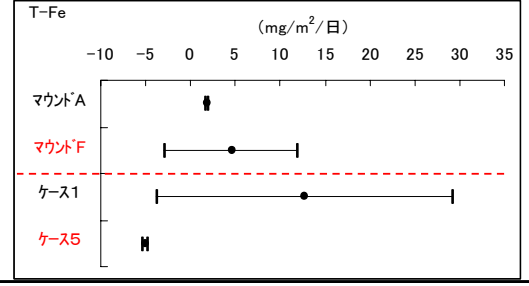


表 6-2-6 試験結果の評価（栄養塩類）

PO4-P										
エリア名	調査点	変化量(mg/m ² /日)			標準偏差	CV (%)	90%信頼区間 mg/m ² /日	評価(対照区との比較) 【PO4-P吸着又は抑制】	有意差	
		①	②	平均値					危険率	
東扇島	マウンドA	1.02	-1.02	0.00	1.44	-	-2.98 ~ 2.98	試験区と対象区で差は見られなかった。	無	-
	マウンドF	-2.11	-1.57	-1.84	0.38	21	-2.63 ~ -1.05			
浅野運河	ケース1	-4.20	-4.71	-4.46	0.36	8	-5.20 ~ -3.71	試験区では、対照区よりPO4-P減少速度が速く、有意差が認められた。	有	5%
	ケース5	-3.18	-3.06	-3.12	0.08	3	-3.30 ~ -2.94			

NH4-N										
エリア名	調査点	変化量(mg/m ² /日)			標準偏差	CV (%)	90%信頼区間 mg/m ² /日	評価(対照区との比較) 【NH4-N溶出抑制】	有意差	
		①	②	平均値					危険率	
東扇島	マウンドA	69.7	28.3	49.0	29.3	60	-11.4 ~ 109	試験区は、対照区よりNH4-N増加が速い傾向が見られたが、偏差が大きく有意な差は認められなかった。	無	-
	マウンドF	3.11	4.08	3.60	0.69	19	2.18 ~ 5.01			
浅野運河	ケース1	-13.0	-14.1	-13.6	0.78	6	-15.2 ~ -11.9	試験区と対象区で差は見られなかった。	無	-
	ケース5	-15.4	-12.4	-13.9	2.12	15	-18.3 ~ -9.52			

NO2, N03-N										
エリア名	調査点	変化量(mg/m ² /日)			標準偏差	CV (%)	90%信頼区間 mg/m ² /日	評価(対照区との比較) 【脱窒素】	有意差	
		①	②	平均値					危険率	
東扇島	マウンドA	-68.7	-27.8	-48.3	28.9	60	-108 ~ 11.5	試験区では、対照区より硝酸減少速度が速い傾向が見られたが、偏差が大きく有意な差は認められなかった。	無	-
	マウンドF	-15.9	-20.2	-18.1	3.0	17	-24.3 ~ -11.8			
浅野運河	ケース1	-13.1	-5.33	-9.22	5.49	60	-20.6 ~ 2.13	試験区と対象区で差は見られなかった。	無	-
	ケース5	-8.03	-15.0	-11.5	4.93	43	-21.7 ~ -1.34			

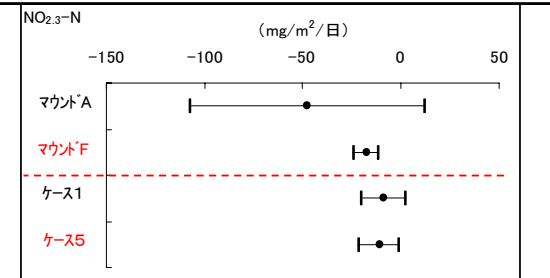
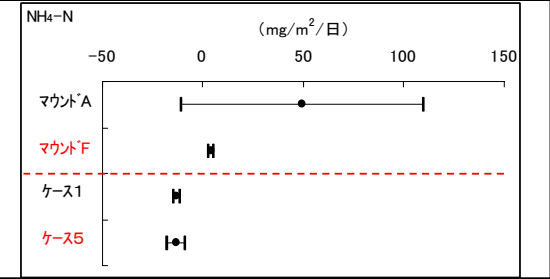
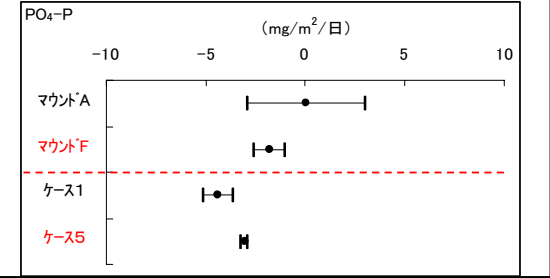


表 6-2-7 単位面積、単位時間当りの変化量計算表 【栄養塩類、東扇島】

調査点	水量 (ℓ)	NH ₄ -N (mg/ℓ)	変化量				NO ₂ -N+	変化量				NO ₃ -N (mg/ℓ)	変化量				PO ₄ -P (mg/ℓ)	変化量			
			絶対値 mg-N	単位面積 当り mg-N/m ²	単位面積・ 時間当り mg-N/m ² /日	5日までの 最大値		絶対値 mg-N	単位面積 当り mg-N/m ²	単位面積・ 時間当り mg-N/m ² /日	5日までの 最大値		絶対値 mg-P	単位面積 当り mg-P/m ²	単位面積・ 時間当り mg-P/m ² /日	5日までの 最大値					
マウントA (試験区) 25℃ 0%	20.5	1.360	0.00	0.00	-		0.405	0.00	0.00	-		0.045	0.00	0.00	-						
	20.1	1.770	8.24	69.69	69.69	69.7	0.001	-8.12	-68.67	-68.67	-68.7	0.051	0.12	1.02	1.02	1.02					
	19.7	2.180	16.32	138.00	34.15		0.001	-8.12	-68.67	0.00		0.041	-0.08	-0.65	-0.83						
	19.3	2.810	28.48	240.82	51.41		0.000	-8.14	-68.83	-0.08		0.035	-0.19	-1.63	-0.49						
	18.7	3.480	41.01	346.77	21.19		0.001	-8.12	-68.68	0.03		0.026	-0.36	-3.05	-0.28						
	18.3	3.820	47.23	399.39	4.78		0.000	-8.14	-68.83	-0.01		0.012	-0.62	-5.22	-0.20						
	18.0	3.900	48.67	411.57	1.35		0.001	-8.12	-68.68	0.02		0.005	-0.74	-6.28	-0.12						
	21.2	0.716	0.00	0.00	-		0.407	0.00	0.00	-		0.045	0.00	0.00	-						
	20.8	0.877	3.35	28.32	28.32	28.32	28.32	0.249	-3.29	-27.79	-27.79	-27.8	0.050	0.10	0.88	0.88					
	20.5	1.070	7.31	61.78	16.73		0.002	-8.35	-70.61	-21.41		0.056	0.23	1.92	0.52						
	20.1	1.290	11.73	99.17	18.70		0.001	-8.37	-70.78	-0.08		0.044	-0.01	-0.12	-1.02	-1.02					
	19.6	1.840	22.51	190.34	18.23		0.001	-8.37	-70.78	0.00		0.031	-0.27	-2.27	-0.43						
	19.3	2.120	27.91	236.04	4.15		0.000	-8.39	-70.95	-0.01		0.043	-0.04	-0.32	0.18						
	18.9	2.090	27.34	231.24	-0.53		0.000	-8.39	-70.95	0.00		0.011	-0.64	-5.43	-0.57						
	マウントF (対照区) 25℃ 0%	23.1	0.168	0.00	0.00	-		0.481	0.00	0.00	-		0.059	0.00	0.00	-					
		22.7	0.167	-0.02	-0.19	-0.19		0.441	-0.91	-7.68	-7.68		0.048	-0.25	-2.11	-2.11	-2.11				
		22.2	0.198	0.67	5.63	2.91		0.311	-3.79	-32.08	-12.20		0.043	-0.36	-3.05	-0.47					
		21.6	0.232	1.40	11.84	3.11	3.11	0.137	-7.55	-63.87	-15.89	-15.9	0.042	-0.38	-3.23	-0.09					
21.2		0.233	1.42	12.02	0.04		0.000	-10.46	-88.43	-4.91		0.038	-0.47	-3.95	-0.14						
20.7		0.182	0.37	3.09	-0.81		0.000	-10.46	-88.43	0.00		0.019	-0.86	-7.28	-0.30						
20.3		0.106	-1.18	-9.96	-1.45		0.000	-10.46	-88.43	0.00		0.016	-0.92	-7.79	-0.06						
20.9		0.115	0.00	0.00	-		0.491	0.00	0.00	-		0.052	0.00	0.00	-						
20.6		0.109	-0.12	-1.05	-1.05		0.466	-0.52	-4.36	-4.36		0.043	-0.19	-1.57	-1.57	-1.57					
20.1		0.157	0.84	7.11	4.08	4.08	0.308	-3.69	-31.21	-13.43		0.039	-0.27	-2.25	-0.34						
19.6		0.196	1.61	13.58	3.23		0.064	-8.47	-71.65	-20.22	-20.2	0.041	-0.23	-1.92	0.17						
19.0		0.231	2.27	19.20	1.12		0.000	-9.69	-81.94	-2.06		0.035	-0.34	-2.88	-0.19						
18.7		0.223	2.12	17.94	-0.12		0.000	-9.69	-81.94	0.00		0.018	-0.66	-5.57	-0.24						
18.2		0.071	-0.65	-5.46	-2.60		0.000	-9.69	-81.94	0.00		0.005	-0.90	-7.57	-0.22						

表 6-2-8 単位面積、単位時間当りの変化量計算表 【栄養塩類、浅野運河】

調査点	水量 (ℓ)	NH ₄ -N (mg/ℓ)	変化量				NO ₂ -N+ NO ₃ -N (mg/ℓ)	変化量				PO ₄ -P (mg/ℓ)	変化量			
			絶対値 mg-N	単位面積 当り mg-N/m ²	単位面積・ 時間当り mg-N/m ² /日	5日までの 最大値		絶対値 mg-N	単位面積 当り mg-N/m ²	単位面積・ 時間当り mg-N/m ² /日	5日までの 最大値		絶対値 mg-P	単位面積 当り mg-P/m ²	単位面積・ 時間当り mg-P/m ² /日	5日までの 最大値
ケース1 (試験区) 25℃ 0%	21.0	0.590	0.00	0.00	-		0.239	0.00	0.00	-		0.299	0.00	0.00	-	
	20.7	0.516	-1.53	-12.95	-12.95	-13.0	0.240	0.02	0.18	0.18		0.275	-0.50	-4.20	-4.20	-4.20
	20.3	0.460	-2.67	-22.57	-4.81		0.184	-1.12	-9.44	-4.81		0.247	-1.07	-9.01	-2.40	
	20.0	0.436	-3.15	-26.63	-2.03		0.029	-4.22	-35.65	-13.11	-13.1	0.204	-1.93	-16.28	-3.64	
	19.6	0.366	-4.52	-38.23	-2.32		0.000	-4.78	-40.46	-0.96		0.125	-3.47	-29.38	-2.62	
	19.3	0.200	-7.72	-65.32	-2.46		0.004	-4.71	-39.81	0.06		0.040	-5.11	-43.25	-1.26	
	18.9	0.124	-9.16	-77.47	-1.35		0.001	-4.76	-40.29	-0.05		0.018	-5.53	-46.76	-0.39	
	22.0	0.591	0.00	0.00	-		0.244	0.00	0.00	-		0.313	0.00	0.00	-	
	21.6	0.514	-1.66	-14.07	-14.07	-14.1	0.241	-0.06	-0.55	-0.55		0.306	-0.15	-1.28	-1.28	
	21.3	0.470	-2.60	-21.99	-3.96		0.238	-0.13	-1.09	-0.27		0.281	-0.68	-5.78	-2.25	
	21.0	0.454	-2.94	-24.83	-1.42		0.178	-1.39	-11.74	-5.33	-5.33	0.228	-1.80	-15.19	-4.71	-4.71
	20.7	0.382	-4.43	-37.44	-2.52		0.083	-3.36	-28.37	-3.33		0.144	-3.54	-29.90	-2.94	
	20.3	0.194	-8.24	-69.71	-2.93		0.017	-4.70	-39.70	-1.03		0.049	-5.46	-46.21	-1.48	
	20.0	0.031	-11.50	-97.28	-3.06		0.005	-4.94	-41.73	-0.23		0.023	-5.98	-50.60	-0.49	
ケース5 (対照区) 25℃ 0%	21.3	0.465	0.00	0.00	-		0.175	0.00	0.00	-		0.259	0.00	0.00	-	
	20.9	0.378	-1.82	-15.38	-15.38	-15.4	0.189	0.29	2.47	2.47		0.241	-0.38	-3.18	-3.18	-3.18
	20.5	0.321	-2.99	-25.26	-4.94		0.135	-0.81	-6.89	-4.68		0.225	-0.70	-5.96	-1.39	
	20.0	0.264	-4.13	-34.90	-4.82		0.040	-2.71	-22.95	-8.03	-8.03	0.208	-1.04	-8.83	-1.44	
	19.5	0.189	-5.59	-47.27	-2.47		0.000	-3.49	-29.55	-1.32		0.180	-1.59	-13.45	-0.92	
	19.0	0.110	-7.09	-59.96	-1.15		0.007	-3.36	-28.43	0.10		0.106	-3.00	-25.34	-1.08	
	18.8	0.020	-8.78	-74.27	-1.59		0.000	-3.49	-29.54	-0.12		0.028	-4.46	-37.74	-1.38	
	20.5	0.460	0.00	0.00	-		0.174	0.00	0.00	-		0.257	0.00	0.00	-	
	20.1	0.387	-1.47	-12.41	-12.41	-12.4	0.181	0.14	1.19	1.19		0.239	-0.36	-3.06	-3.06	-3.06
	19.6	0.402	-1.17	-9.92	1.24		0.000	-3.41	-28.81	-15.00	-15.0	0.224	-0.66	-5.55	-1.24	
	19.3	0.406	-1.10	-9.27	0.33		0.000	-3.41	-28.81	0.00		0.205	-1.02	-8.65	-1.55	
	18.7	0.385	-1.49	-12.59	-0.66		0.000	-3.41	-28.81	0.00		0.175	-1.58	-13.39	-0.95	
	18.2	0.181	-5.20	-43.99	-2.85		0.002	-3.37	-28.50	0.03		0.055	-3.77	-31.86	-1.68	
	17.9	0.020	-8.08	-68.36	-2.71		0.001	-3.39	-28.65	-0.02		0.028	-4.25	-35.95	-0.45	

表 6-2-9 単位面積、単位時間当りの変化量計算表 【鉄と硫化物、東扇島】

調査点	水量 (ℓ)	T-Fe (mg/ℓ)	変化量				Fe(Ⅱ) (mg/ℓ)	変化量				硫化物 (mg/ℓ)	変化量				
			絶対値	単位面積 当り	単位面積・ 時間当り	1日後の 変化量		絶対値	単位面積 当り	単位面積・ 時間当り	1日後の 変化量		絶対値	単位面積 当り	単位面積・ 時間当り	5日までの 最大値	
			mg	mg/m ²	mg/m ² /日			mg	mg/m ²	mg/m ² /日			mg	mg/m ²	mg/m ² /日		
マウントA (試験区) 25℃ 0%	20.5	0.010	0.00	0.00	-		0.000	0.00	0.00	-		0.000	0.00	0.00	-		
	20.1	0.020	0.20	1.70	1.70	1.70	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00		
	19.7	0.010	0.00	0.03	-0.83		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00		
	19.3	0.000	-0.19	-1.60	-0.82		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	
	18.7	0.000	-0.19	-1.60	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00		0.100	1.87	15.81	3.16		
	18.3	0.000	-0.19	-1.60	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.04	0.34	-1.41		
	18.0	0.000	-0.19	-1.60	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.04	0.34	0.00		
	21.2	0.010	0.00	0.00	-		0.000	0.00	0.00	-		0.000	0.00	0.00	-		
	20.8	0.020	0.21	1.76	1.76	1.76	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00		
	20.5	0.010	0.00	0.03	-0.87		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00		
	20.1	0.000	-0.20	-1.67	-0.85		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	
	19.6	0.000	-0.20	-1.67	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00		
	19.3	0.000	-0.20	-1.67	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00		0.100	1.93	16.32	1.48		
	18.9	0.000	-0.20	-1.67	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.04	0.34	-1.78		
	マウントF (対照区) 25℃ 0%	23.1	0.010	0.00	0.00	-		0.000	0.00	0.00	-		0.000	0.00	0.00	-	
		22.7	0.020	0.23	1.92	1.92	1.92	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	
		22.2	0.020	0.23	1.92	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00	
		21.6	0.010	0.01	0.09	-0.91		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
21.2		0.000	-0.20	-1.70	-0.36		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00		
20.7		0.070	1.25	10.55	1.11		0.060	1.24	10.50	0.95		0.000	0.00	0.00	0.00		
20.3		0.100	1.86	15.70	0.57		0.090	1.85	15.65	0.57		0.000	0.00	0.00	0.00		
20.9		0.010	0.00	0.00	-		0.000	0.00	0.00	-		0.000	0.00	0.00	-		
20.6		0.050	0.82	6.97	6.97	6.97	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00		
20.1		0.020	0.22	1.87	-2.55		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00		
19.6		0.010	0.03	0.21	-0.83		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	
19.0		0.000	-0.17	-1.40	-0.32		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00		
18.7		0.040	0.58	4.93	0.58		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00		
18.2	0.060	0.95	8.01	0.34		0.060	1.09	9.23	1.03		0.000	0.00	0.00	0.00			

表 6-2-10 単位面積、単位時間当りの変化量計算表 【鉄と硫化物、浅野運河】

調査点	水量 (ℓ)	T-Fe (mg/ℓ)	変化量				Fe(Ⅱ) (mg/ℓ)	変化量				硫化物 (mg/ℓ)	変化量			
			絶対値 mg	単位面積 当り mg/m ²	単位面積・ 時間当り mg/m ² /日	1日後の 変化量		絶対値 mg	単位面積 当り mg/m ²	単位面積・ 時間当り mg/m ² /日	1日後の 変化量		絶対値 mg	単位面積 当り mg/m ²	単位面積・ 時間当り mg/m ² /日	5日までの 最大値
ケース1 (試験区) 25℃ 0%	21.0	0.090	0.00	0.00	-		0.000	0.00	0.00	-		0.000	0.00	0.00	-	
	20.7	0.130	0.83	7.00	7.00	7.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	
	20.3	0.130	0.83	7.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00	
	20.0	0.120	0.63	5.31	-0.85		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
	19.6	0.080	-0.16	-1.32	-1.33		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00	
	19.3	0.030	-1.12	-9.48	-0.74		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00	
	18.9	0.020	-1.31	-11.08	-0.18		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00	
	22.0	0.090	0.00	0.00	-		0.000	0.00	0.00	-		0.000	0.00	0.00	-	
	21.6	0.190	2.16	18.27	18.27	18.3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	
	21.3	0.220	2.80	23.67	2.70		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00	
	21.0	0.210	2.59	21.89	-0.89		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
	20.7	0.100	0.31	2.64	-3.85		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00	
	20.3	0.060	-0.50	-4.23	-0.62		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00	
	20.0	0.040	-0.90	-7.61	-0.38		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00	
ケース5 (対照区) 25℃ 0%	21.3	0.090	0.00	0.00	-		0.000	0.00	0.00	-		0.000	0.00	0.00	-	
	20.9	0.060	-0.63	-5.30	-5.30	-5.30	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	
	20.5	0.040	-1.04	-8.77	-1.73		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00	
	20.0	0.030	-1.24	-10.46	-0.85		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
	19.5	0.090	-0.07	-0.57	1.98		0.070	1.37	11.54	2.31		0.000	0.00	0.00	0.00	
	19.0	0.350	4.87	41.21	3.80		0.320	6.12	51.71	3.65		0.000	0.00	0.00	0.00	
	18.8	0.270	3.37	28.49	-1.41		0.000	0.10	0.84	-5.65		0.000	0.00	0.00	0.00	
	20.5	0.090	0.00	0.00	-		0.000	0.00	0.00	-		0.000	0.00	0.00	-	
	20.1	0.060	-0.60	-5.10	-5.10	-5.10	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	
	19.6	0.040	-1.00	-8.41	-1.66		0.000	0.00	0.00	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00	
	19.3	0.080	-0.22	-1.89	3.26		0.050	0.97	8.16	4.08		0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
	18.7	0.240	2.77	23.42	5.06		0.220	4.14	35.04	5.38		0.000	0.00	0.00	0.00	
	18.2	0.130	0.77	6.49	-1.54		0.000	0.14	1.18	-3.08		0.000	0.00	0.00	0.00	
	17.9	0.090	0.05	0.43	-0.67		0.000	0.14	1.18	0.00		0.000	0.00	0.00	0.00	

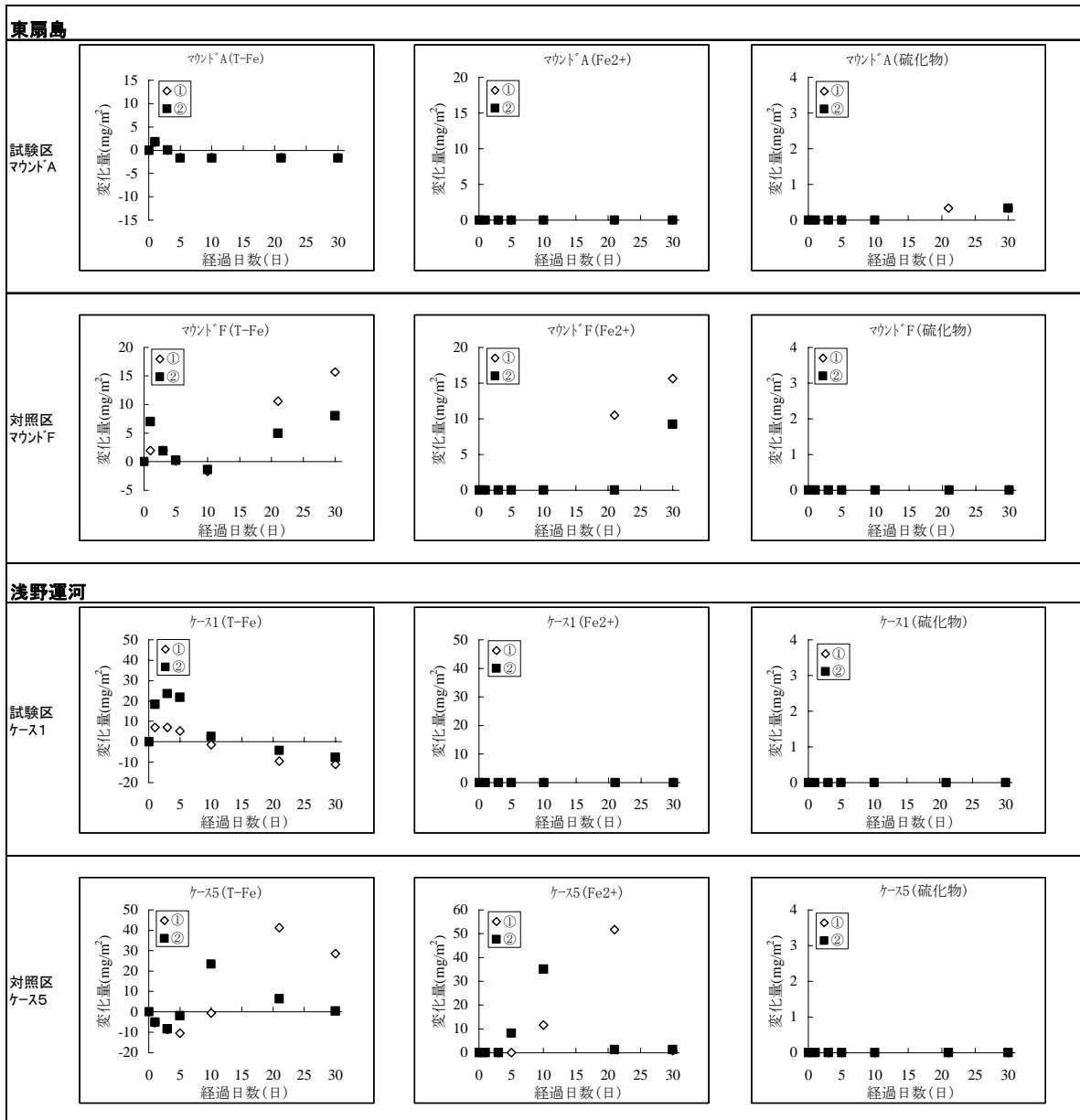


図 6-2-2 各項目の単位面積当たり変化量の散布図（鉄、硫化物）

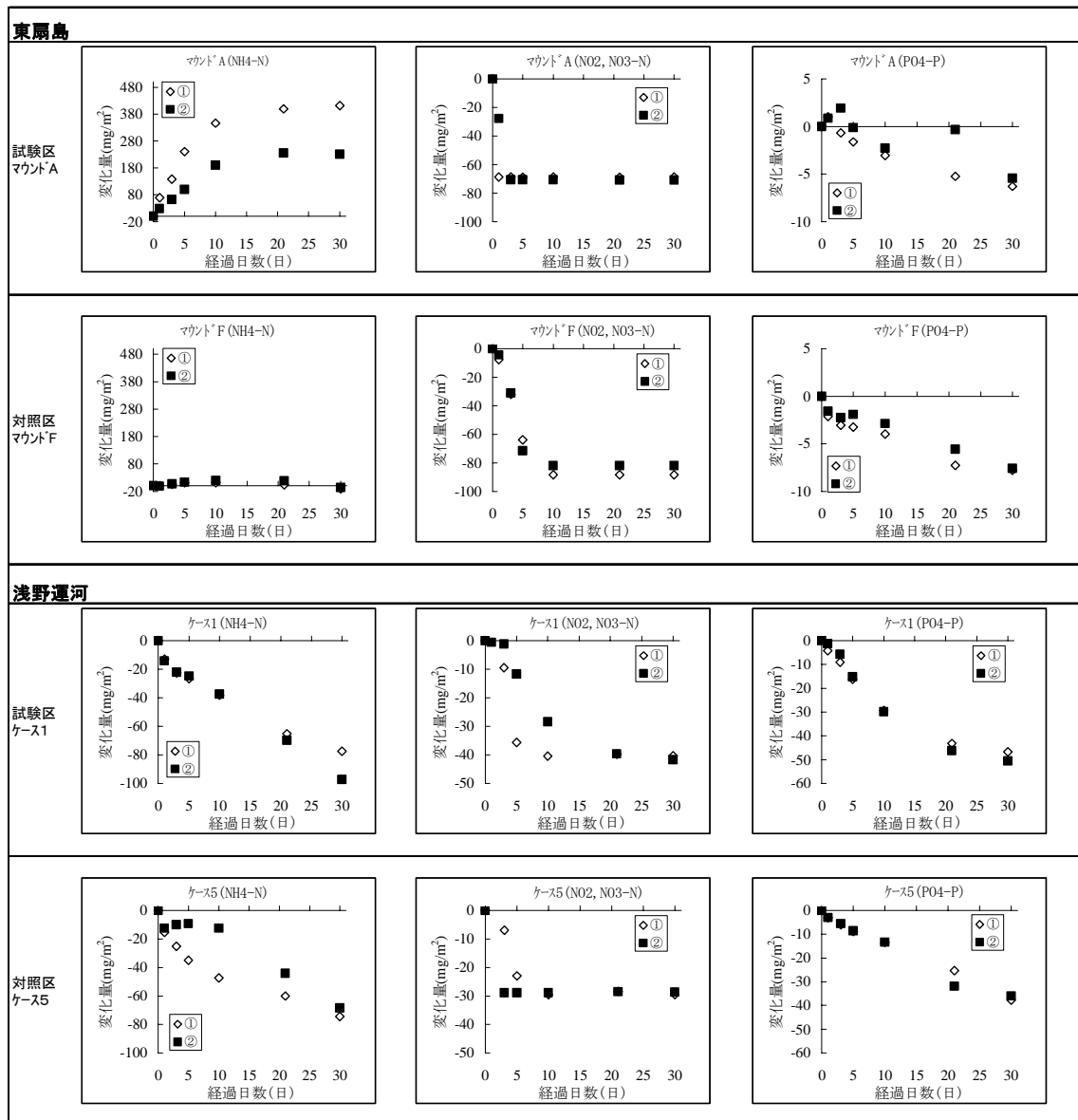


図 6-2-3 各項目の単位面積当り変化量の散布図（栄養塩類）

6.3 混合材強度試験

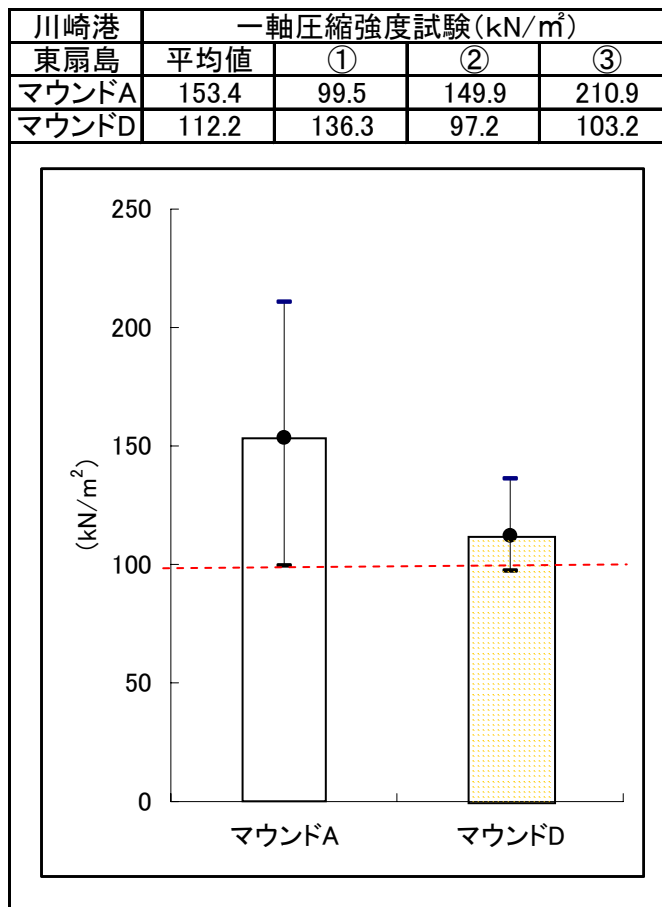
東扇島における混合材強度試験の結果を表 6-2-11 に示した。

マウンド A の一軸圧縮強度は、99.5～210.9 kN/m²の範囲で平均値は 153.5 kN/m²、マウンド D は、97.2～136.3 kN/m²の範囲で平均値は 112.2 kN/m²であった。マウンド A は製鋼スラグの粒径が細かいためかばらつきが大きい、平均的には両方とも 100 kN/m²を越える強度を示し、施工事の目安とした強度を保持していることが確認された。

また、マウンド A の形状についてダイバーによる目視観測の結果では、設置時の形状を保持しており（設置後半年経過）、盛土部の安定性が確認された。

表 6-2-11 混合材強度試験の結果【東扇島】

試料採取日：平成 21 年 12 月 16 日



6.4 海藻類生育状況調査

①移植・設置状況

平成21年11月6日にアカモク、11月22日にワカメおよびコンブの移植を行った。

○アカモク

横須賀地先で採取した幼体（最大57.0cm、最小10.0cm、平均16.3cm）を付着基盤（フロンティアロック、天然石）に固定し（図6-4-1）移植した。



図6-4-1 アカモク移植状況

なお、アカモクについては、12月17日に追加移植を行った。

○ワカメ

横須賀地先から入手したワカメの種糸を使用した。種糸に付着したワカメの幼体は最大5.0cm、最小2.0cm、平均2.9cmであった。この種糸をロープに固定してから付着基盤に固定して（図6-4-2）移植した。

なお、ワカメについては、12月17日の観察により、ヒトデなどの大型底生生物による匍匐障害、腐泥堆積と考えられる影響が認められたため、12月25日にこれらの影響を回避する目的で、各マウンドより立ち上げたロープに種糸を取り付ける方法で再移植を実施した。

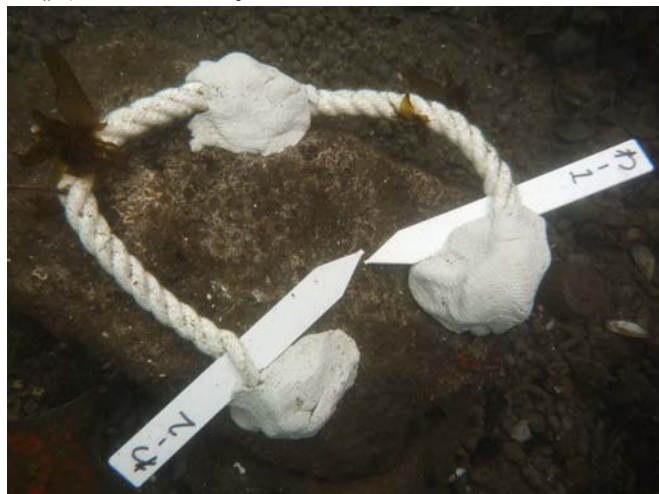


図6-4-2 ワカメ設置状況

○コンブ

横須賀地先から入手したコンブの種糸を使用した。種糸に付着していたコンブの幼体は、最大6.0cm、最小1.0cm、平均2.0cmであった。この種糸をロープに固定してから付着基盤に固定して（図6-4-3）移植した。



図 6-4-3 コンブ設置状況

②生育調査実施日

第1回目：平成21年12月17日

臨時：平成22年1月17日

第2回目：平成22年2月9日

③海藻類生育状況調査結果

アカモクの生育状況結果を表 6-4-1、生残率および生長量を図 6-4-4 に示した。ワカメの生育状況結果を表 6-4-3、生残率および成長量を図 6-4-6 に示した。また、コンブの生育状況結果は表 6-4-5、生残率および生長量を図 6-4-8 に示した。

なお、追加移植したアカモクの生育状況結果を表 6-4-2、生残率および生長量を図 6-4-5 に示した。ロープを用いて追加移植したワカメの生育状況結果を表 6-4-4、生残率および生長量を図 6-4-7 に示した。

○アカモク

生残率はスラグ混合材とフロンティアロックから構成される試験区のマウンド C、D と天然砂とフロンティアロックから構成される試験区のマウンド E において、対照区のマウンド F で 17% と同等であった。一方、生長量はスラグ混合材とフロンティアロックから構成される試験区のマウンド D が全マウンド中で最大の 544cm であり、生長量においては対照区の 3.2 倍であった (図 6-4-4)。

12 月の追加移植では、対照区で移植した 2 本が消失したのに対して、試験区のマウンド B、C で各 2 本ずつの生育が確認された。生長量はスラグ混合材と天然石から構成される試験区のマウンド B で 196cm であった (図 6-4-5)。

○ワカメ

対照区のマウンド F の生残率は最終的に 66% であり、スラグ混合材とフロンティアロックから構成される試験区のマウンド A 及び天然砂とフロンティアロックから構成される試験区のマウンド E とほぼ同程度であった。(図 6-4-6)。生残率の低い原因は移植後に大型底生生物(ヒトデ等)が出現し、匍匐等の影響であることが推測され、潜水観察においてもこれらの生物が観察されている(図 6-4-9、図 6-4-10)。

12 月 15 日に匍匐等の影響を考慮した方法による移植結果では、海底上 0.8m 層において、スラグ混合材とフロンティアロックで構成される試験区(マウンド C、D) は、対照区(マウンド F) とほぼ同等、あるいはそれ以上の生長量となった。一番生長量の大きかったのは天然砂とフロンティアロックで構成される試験区(マウンド E) であった。また、対照区を含めた各試験において、海底から離れるほど生長量が大きくなる傾向があった(図 6-4-7)。

○コンブ

マウンド A、B の生残率は、17% であったが、他のマウンドは対照区、試験区共に全て消失した(図 6-4-8)。生長はほとんど認められなかった。



アカモクの生長状況
(マウンド C 1月15日)

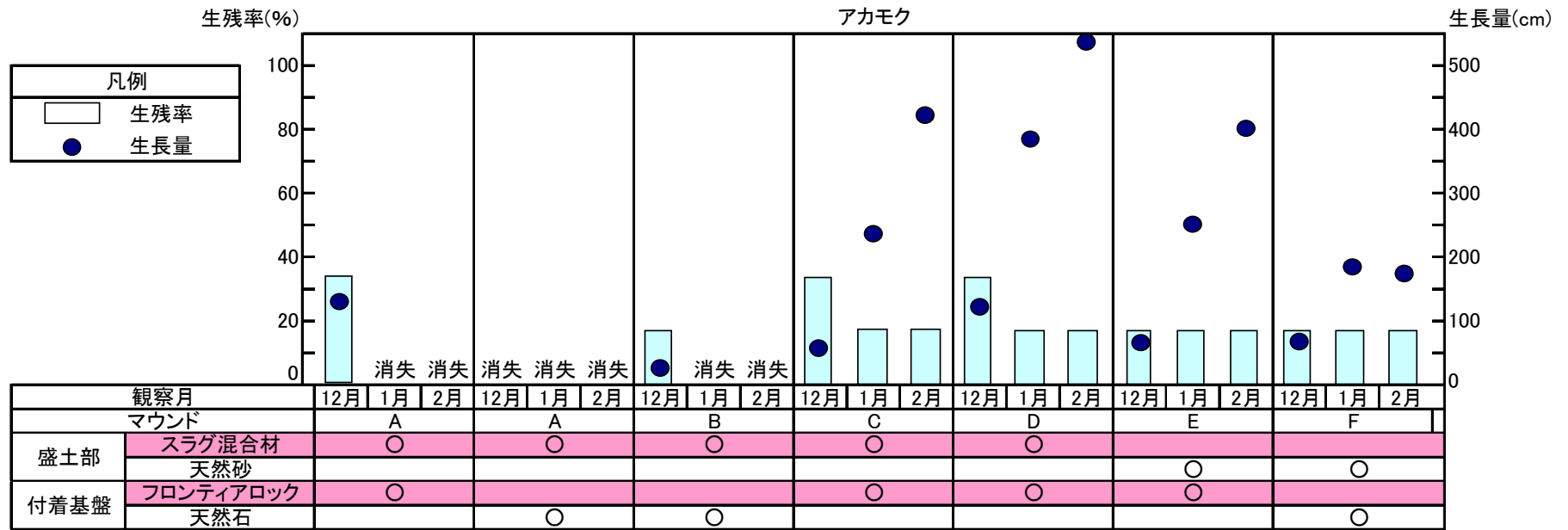


ワカメの生長状況 (ロープ立ち上げ法)
(マウンド C 1月15日)

表 6-4-1 アカモクの生育状況結果

	No.	平成21年11月6日		平成21年12月17日		平成22年2月4日	
		活性	長さ(cm)	活性	長さ(cm)	活性	長さ(cm)
東扇島入江 マウンドA	1	○	13	×		×	
	2	○	10	×		×	
	3	○	16	○	144	×	
スラグ混合材 フロンティアロック	4	○	15	×		×	
	5	○	10	×		×	
	6	○	16	○	60	×	
東扇島入江 マウンドA	7	○	21	×		×	
	8	○	13	×		×	
	9	○	17	×		×	
スラグ混合材 天然石	10	○	57	×		×	
	11	○	36	×		×	
	12	○	17	×		×	
東扇島入江 マウンドB	13	○	19	×		×	
	14	○	13	×		×	
	15	○	12	×		×	
スラグ混合材 天然石	16	○	13	×		×	
	17	○	14	×		×	
	18	○	10	○	31	×	
東扇島入江 マウンドC	19	○	18	×		×	
	20	○	18	×		×	
	21	○	12	○	45	○	440
スラグ混合材 フロンティアロック	22	○	11	○	66	×	
	23	○	12	×		×	
	24	○	13	×		×	
東扇島入江 マウンドD	25	○	16	○	127	○	560
	26	○	18	×		×	
	27	○	13	×		×	
スラグ混合材 フロンティアロック	28	○	12	○	135	×	
	29	○	25	×		×	
	30	○	15	×		×	
東扇島入江 マウンドE	31	○	13	×		×	
	32	○	18	×		×	
	33	○	14	×		×	
天然砂 フロンティアロック	34	○	18	○	87	○	420
	35	○	10	×		×	
	36	○	13	×		×	
東扇島入江 マウンドF	37	○	13	×		×	
	38	○	23	×		×	
	39	○	15	×		×	
天然砂 天然石	40	○	14	×		×	
	41	○	12	×		×	
	42	○	17	○	90	○	187

海藻類の活性は、○:良好、△:やや良好、×:枯死または消失を示す。



※ 各マウンドでもっとも成長がよかった個体の移植時からの成長量を示す

図 6-4-4 アカモクの生残率および生長量

表 6-4-2 追加移植したアカモクの生育状況結果

	No.	平成21年12月25日		平成22年1月15日		平成22年2月4日	
		活性	長さ(cm)	活性	長さ(cm)	活性	長さ(cm)
東扇島入江 マウンドA スラグ混合材 フロンティアロック	43	○	17	×		×	
東扇島入江 マウンドA スラグ混合材 天然石	44	○	20	×		×	
	45	○	26	×		×	
	46	○	16	○	44	○	95
東扇島入江 マウンドB スラグ混合材 天然石	47	○	20	○	55	○	216
	48	○	17	○	52	○	209
東扇島入江 マウンドC スラグ混合材 フロンティアロック	49	○	20	○	50	○	115
	50	○	17	○	31	○	81
東扇島入江 マウンドD スラグ混合材 フロンティアロック	51	○	16	×		×	
東扇島入江 マウンドE スラグ混合材 フロンティアロック	52	○	18	○	42	○	148
	53	○	18	○	53	○	125
東扇島入江 マウンドF 天然砂 天然石	54	○	25	○	68	×	
	55	○	26	○	71	×	

海藻類の活性は、○:良好、△:やや良好、×:枯死または消失を示す。

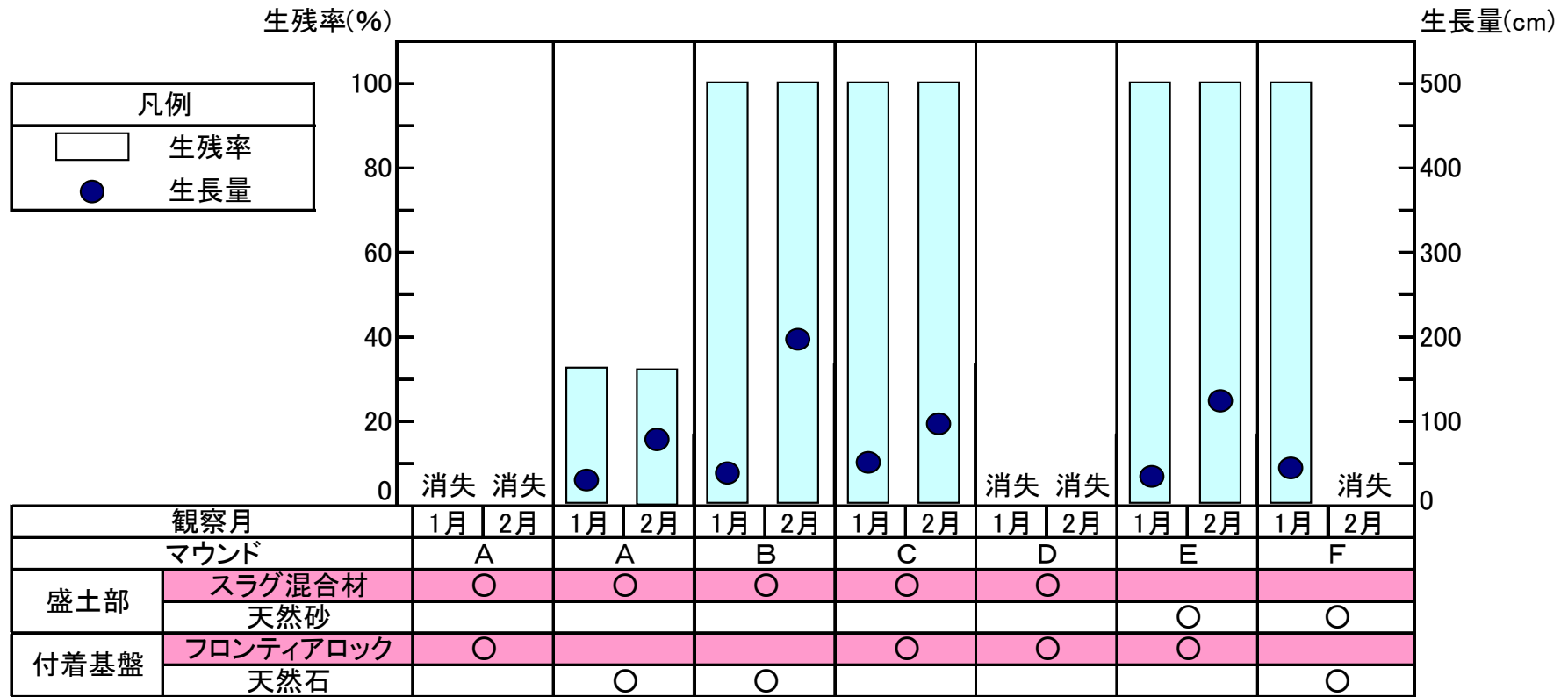
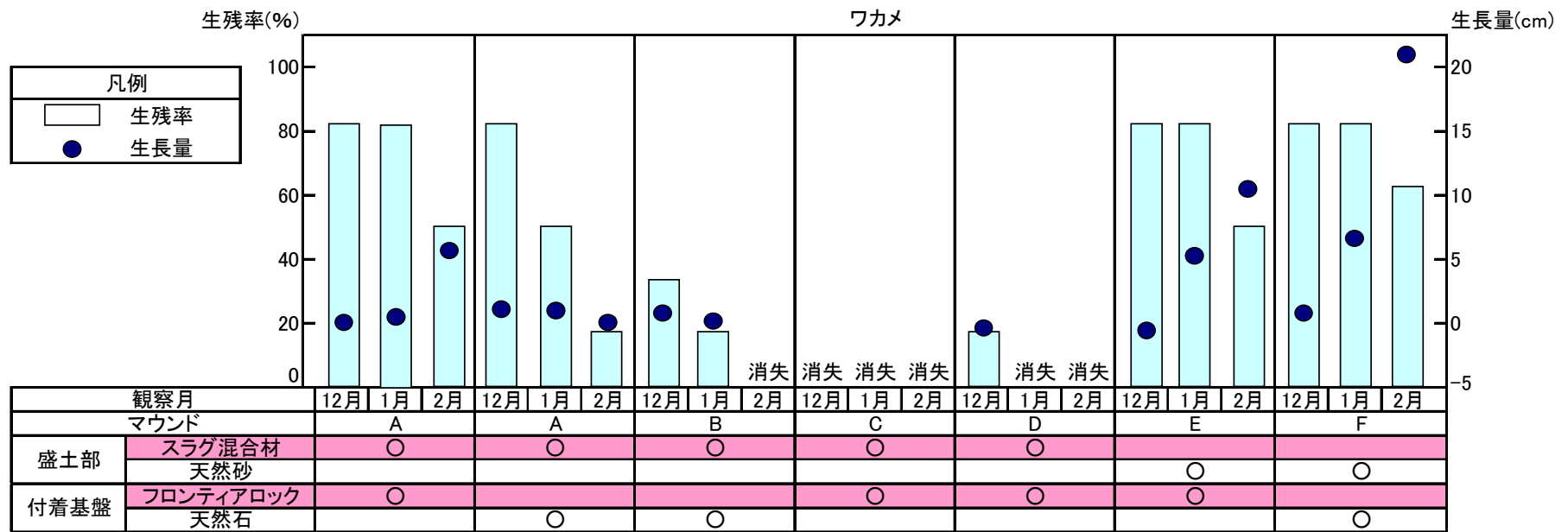


図 6-4-5 追加移植したアカモクの生残率および生長量

表 6-4-3 付着基盤を用いて移植したワカメの生育状況結果

	No.	平成21年11月22日		平成21年12月17日		平成22年1月15日		平成22年2月4日	
		活性	長さ(cm)	活性	長さ(cm)	活性	長さ(cm)	活性	長さ(cm)
東扇島入江 マウンドA	1	○	3	○	2	△	2	△	9
	2	○	5	○	2	△	2	△	4
	3	○	3	△	1	△	1	×	
スラグ混合材 フロンティアロック	4	○	2	×		×		×	
	5	○	3	○	3	○	4	○	8
	6	○	2	×		×		×	
東扇島入江 マウンドA	7	○	3	○	4	○	4	×	
	8	○	2	×		×		×	
	9	○	4	△	1	×		×	
スラグ混合材 天然石	10	○	3	×		△	1	×	
	11	○	5	△	1	×		×	
	12	○	3	○	2	○	3	△	3
東扇島入江 マウンドB	13	○	3	△	1	×		×	
	14	○	2	×		×		×	
	15	○	3	×		×		×	
スラグ混合材 天然石	16	○	2	×		×		×	
	17	○	2	△	1	△	<1	×	
	18	○	3	×		×		×	
東扇島入江 マウンドC	19	○	3	×		×		×	
	20	○	3	×		×		×	
	21	○	2	×		×		×	
スラグ混合材 フロンティアロック	22	○	3	×		×		×	
	23	○	3	×		×		×	
	24	○	3	×		×		×	
東扇島入江 マウンドD	25	○	2	×		×		×	
	26	○	2	×		×		×	
	27	○	2	△	<1	×		×	
スラグ混合材 フロンティアロック	28	○	3	×		×		×	
	29	○	4	×		×		×	
	30	○	3	×		×		×	
東扇島入江 マウンドE	31	○	2	△	1	△	2	×	
	32	○	4	△	1	△	3	×	
	33	○	3	△	1	△	5	○	9
天然砂 フロンティアロック	34	○	3	△	1	△	6	○	11
	35	○	3	×		×		×	
	36	○	3	△	1	○	8	○	14
東扇島入江 マウンドF	37	○	3	×		×		×	
	38	○	3	○	2	○	9	○	25
	39	○	3	○	2	△	4	×	
天然砂 天然石	40	○	4	△	1	△	2	△	11
	41	○	3	△	1	△	3	△	4
	42	○	2	○	3	△	9	○	17

海藻類の活性は、○:良好、△:やや良好、×:枯死または消失を示す。



※各マウンドでもっとも成長がよかった個体の移植時からの成長量を示す

図 6-4-6 ワカメの生残率および生長量

表 6-4-4 ロープを用いて移植したワカメの生育状況結果

	No.	平成21年12月25日		平成22年1月15日		平成22年2月4日	
		活性	長さ(cm)	活性	長さ(cm)	活性	長さ(cm)
東扇島入江 マウンドA スラグ混合材 フロンティアロック	底上0.8m	○	15	○	45	○	81
	底上0.6m	○	16	○	37	○	68
	底上0.4m	○	14	○	32	○	61
	底上0.2m	○	16	△	16	○	27
東扇島入江 マウンドA スラグ混合材 天然石	底上0.8m	○	23	○	38	○	75
	底上0.6m	○	44	△	70	○	72
	底上0.4m	○	12	△	3	△	18
	底上0.2m	○	16	△	10	△	10
東扇島入江 マウンドB スラグ混合材 天然石	底上0.8m	○	10	○	30	○	74
	底上0.6m	○	13	○	35	○	62
	底上0.4m	○	11	○	38	○	49
	底上0.2m	○	10	○	24	○	34
東扇島入江 マウンドC スラグ混合材 フロンティアロック	底上0.8m	○	30	○	73	○	162
	底上0.6m	○	20	○	45	○	91
	底上0.4m	○	13	○	37	○	68
	底上0.2m	○	22	△	38	△	54
東扇島入江 マウンドD スラグ混合材 フロンティアロック	底上0.8m	○	20	○	64	○	123
	底上0.6m	○	11	○	42	○	98
	底上0.4m	○	15	○	45	○	75
	底上0.2m	○	17	○	27	○	41
東扇島入江 マウンドE 天然砂 フロンティアロック	底上0.8m	○	18	○	58	○	164
	底上0.6m	○	17	○	60	○	152
	底上0.4m	○	15	○	57	○	124
	底上0.2m	○	12	○	42	○	82
東扇島入江 マウンドF 天然砂 天然石	底上0.8m	○	19	○	62	○	133
	底上0.6m	○	18	○	64	○	124
	底上0.4m	○	12	○	51	○	112
	底上0.2m	○	11	○	41	○	78

海藻類の活性は、○:良好、△:やや良好、×:枯死または消失を示す。

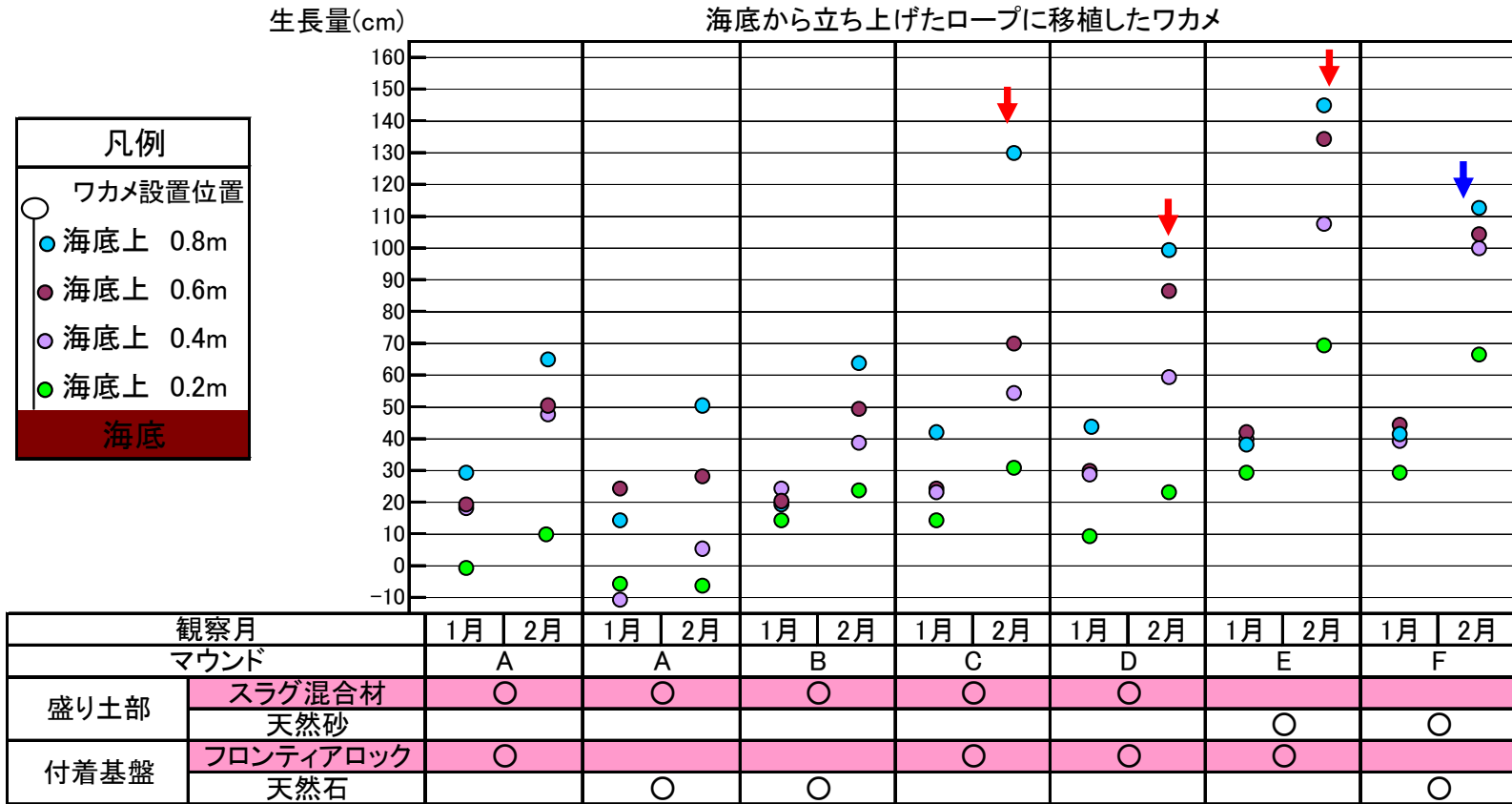
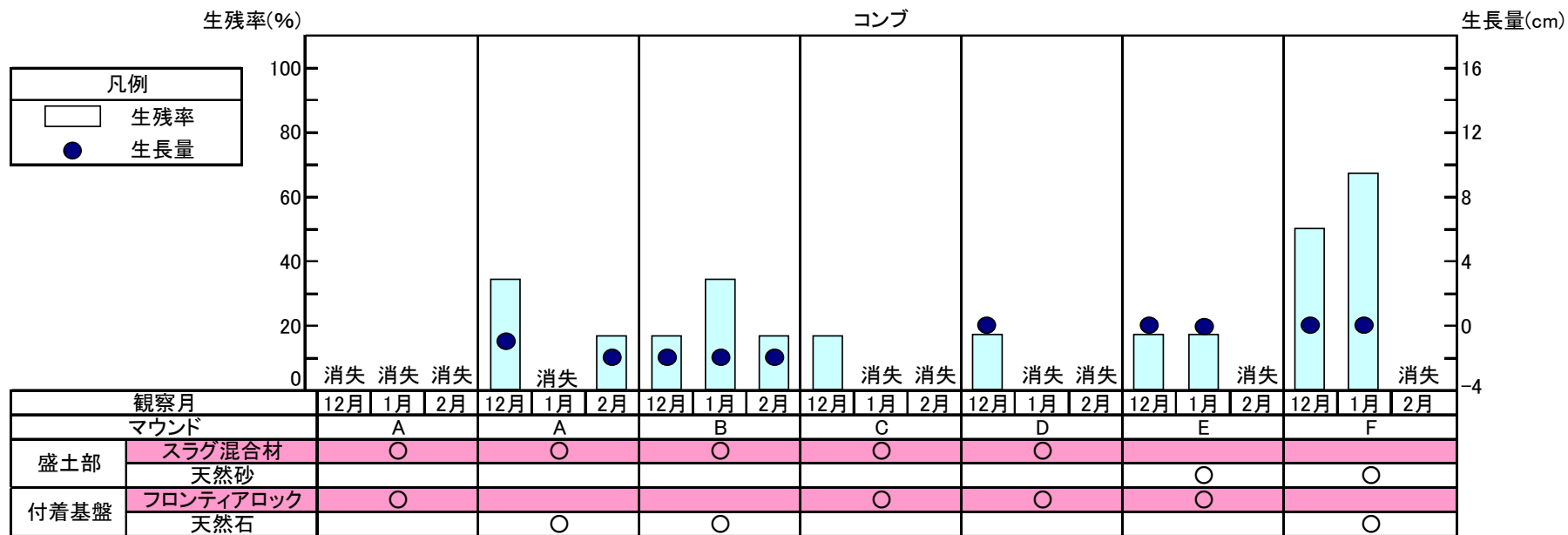


図 6-4-7 海底よりロープを立ち上げて移植したワカメの生長量

表 6-4-5 コンプの生育状況

	No.	平成21年11月22日		平成21年12月17日		平成22年1月15日		平成22年2月4日	
		活性	長さ(cm)	活性	長さ(cm)	活性	長さ(cm)	活性	長さ(cm)
東扇島入江 マウンドA	1	○	<1	×		×		×	
	2	○	3	×		×		×	
	3	○	3	×		×		×	
スラグ混合材 フロンティアロック	4	○	<1	×		×		×	
	5	○	2	×		×		×	
	6	○	<1	×		×		×	
東扇島入江 マウンドA	7	○	2	×		×		×	
	8	○	<1	×		×		×	
	9	○	3	△	1	×		×	
スラグ混合材 天然石	10	○	2	△	1	×		×	
	11	○	6	×		×		×	
	12	○	<1	×		×		△	2
東扇島入江 マウンドB	13	○	3	×		△	<1	×	
	14	○	<1	×		×		×	
	15	○	2	×		×		×	
スラグ混合材 天然石	16	○	<1	×		×		×	
	17	○	6	×		×		×	
	18	○	3	△	<1	△	<1	△	<1
東扇島入江 マウンドC	19	○	2	×		×		×	
	20	○	2	×		×		×	
	21	○	2	△	<1	×		×	
スラグ混合材 フロンティアロック	22	○	1	×		×		×	
	23	○	1	×		×		×	
	24	○	2	×		×		×	
東扇島入江 マウンドD	25	○	1	×		×		×	
	26	○	1	△	<1	×		×	
	27	○	1	×		×		×	
スラグ混合材 フロンティアロック	28	○	1	×		×		×	
	29	○	1	×		×		×	
	30	○	4	×		×		×	
東扇島入江 マウンドE	31	○	1	×		×		×	
	32	○	2	×		×		×	
	33	○	1	△	1	○	1	×	
天然砂 フロンティアロック	34	○	1	×		×		×	
	35	○	2	×		×		×	
	36	○	1	×		×		×	
東扇島入江 マウンドF	37	○	3	△	<1	○	<1	×	
	38	○	2	△	1	○	<1	×	
	39	○	<1	△	<1	×		×	
天然砂 天然石	40	○	1	×		△	<1	×	
	41	○	1	×		△	1	×	
	42	○	1	×		×		×	

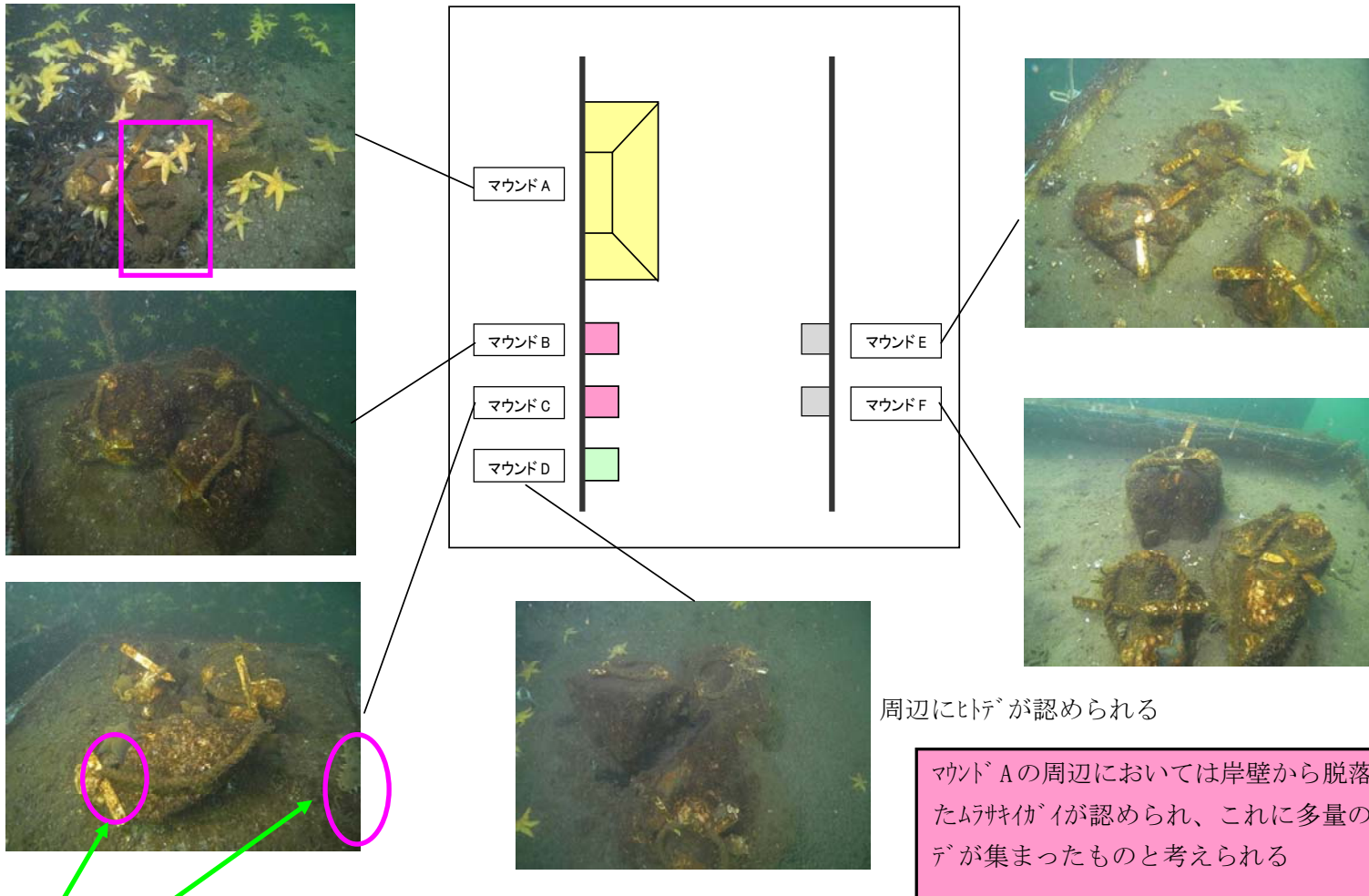
海藻類の活性は、○:良好、△:やや良好、×:枯死または消失を示す。



※ 各マウンドでもっとも成長がよかった個体の移植時からの成長量を示す。

図 6-4-8 コンブの生残率および生長量

対岸のマウンド上部においてもヒトデが認められる



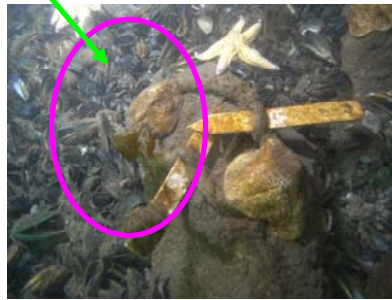
ヒトデ、ナマコが認められる

周辺にヒトデが認められる

マウンドAの周辺においては岸壁から脱落したコンクリートが認められ、これに多量のヒトデが集まったものと考えられる

図6-4-9 12月17日の状況

ムラサキイガイに集まるヒトデが認められる



ヒトデやナマコが認められる

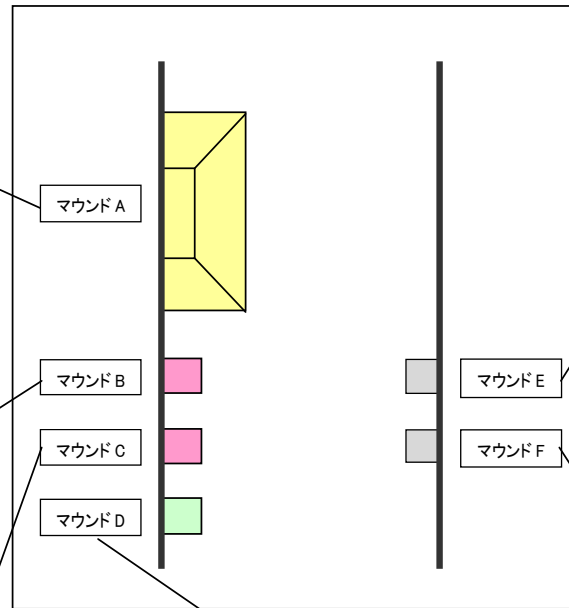


図 6-4-10 平成 22 年 1 月 17 日の状況

④生育環境条件

実証試験海域における光量子量と水温連続計測の結果を表6-4-6及び図6-4-11に示した。また、移植に用いたワカメ、コンブ及びアカモクの生育環境条件と実証試験海域の測定値を表6-4-7に整理した。移植藻類の生育条件は以下の通りである。

<コンブ>

- ・葉体期の成長水温は上限の16°Cに対して、移植直後に一時的に約4°C高い20°Cを上回る環境があった。12月調査まで16°C以上となるケースが多かった。12月調査以降は生育条件内にあった。
- ・試験期間中の塩分は23~29で低めに推移していた。
 - ・光量子量は冬季において試験区(直上水)で44~317 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{S}$ 、対照区(直上水)で39~357 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{S}$ で推移し、生長に必要な光量子量である37 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{S}$ 以上の条件を満たす環境にあった。

<ワカメ>

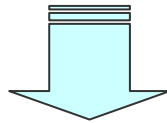
- ・葉体期の成長水温は上限の16°Cに対して、移植直後に一時的に約4°C高い20°Cを上回る環境にあった。12月調査まで16°C以上となるケースが多かった。12月調査以降は生育条件内にあった。
- ・試験期間中の塩分は、23~29で低めに推移していた。冬季塩分で生育条件を下回る環境となる場合があった。
- ・光量子量は冬季において試験区(直上水)で44~317 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{S}$ 、対照区(直上水)で39~357 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{S}$ で推移し、移植直後、試験区において、一時的に底層部で生長に必要な光量子量である66 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{S}$ 以上の条件を満たさない環境にあった。

<アカモク>

- ・藻体の成長水温は上限の19°Cに対して、移植直後に一時的に約1°C高い20°Cを上回る環境にあったが、その後は生育条件内にあった。
- ・試験期間中の塩分は、23~29で低めに推移していた。冬季塩分で生育条件を下回る環境となる場合があった。
- ・光量子量は冬季において試験区(直上水)で44~317 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{S}$ 、対照区(直上水)で39~357 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{S}$ で推移し、移植直後、一時的に底層部で生長に必要な光量子量である82.5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{S}$ 以上の条件を満たさない環境にあった。

このような条件下における海藻類生育状況調査の結果についての評価は以下のようにまとめられる。

- 試験に用いた藻類(幼体)の生育条件から、コンブ・ワカメ(葉体期)及びアカモクでは高温側の成長限界水温を超える場合があり、葉体の成長に大きな影響があったものと推察される。
- 塩分は低塩分環境にあり、移植藻体には良い条件であるとは言えない。
- 光量子量は移植直後の12月のコンブを除き、不足する環境にあった。1月以降は生長条件の範囲内にあった。



閉鎖性海域における試験

底生生物の匍匐障害、生物付着、浮泥堆積に加え、水温、塩分、光量子量において、藻類の生育には厳しい環境条件があったが、アカモク、ワカメにおいては生長が認められ、スラグ混合材とフロンティアロックで構成される基材から供給される鉄分等が海藻類の生育要因となった可能性が示唆される。

⑤開放系海域における実証試験例（表 6-4-7）

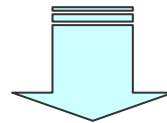
○ワカメ

千葉県千倉地先において、鉄分施肥剤を用いて、ワカメの生長試験を行った。鉄分を施肥した試験区と無施肥のワカメで、平均増量で、施肥をした試験区において1.5～2.0倍多かった。（岡本・堀田 2002）

○コンブ

北海道増毛町の沿岸における藻場造成を目的に、二価鉄を含んだ製鋼スラグと廃材チップを発酵させた人工腐食土からなる施肥ユニットを設置し、藻類への効果を調査した結果、試験海域の単位面積あたりのコンブの生育量が対照区の約226倍となった。また、施肥ユニットと基質ブロックを海域に沈設した試験では、基質ブロックのみの場所よりも双方を沈設した試験区でコンブの着生量が18.5倍となった。（木曾 他 2008）

製鋼スラグと腐植物質の組み合わせで二価鉄を供給し、ホソメコンブの室内培養試験を行った結果、雄雌配偶体への成熟にキレート化させた二価鉄濃度が0.5mg/l以上の時に成熟する事、遊走子-配偶体成熟-受精-孢子体へ変化する時にキレート化させた二価鉄の効果が大きい事、及び孢子体が成長する夏季は製鋼スラグのみより、人工腐食物質や発酵魚粉を添加した方で成長が良い事が判明した。（堤 他 2008）



開放系海域における試験

開放系海域における、製鋼スラグと他物質との組み合わせによる試験において二価鉄がワカメやコンブの成長に効果的であることが実証されている。また、室内試験においても性成熟に寄与している事が判明している。

表 6-4-6 光量子量の変化（直上水）

	8月	9月	11月	12月	1月	2月
マウンドA	106	386	42	56	120	122
B	117	291	37	46	100	116
C	97	373	37	54	117	152
D	146	416	46	62	124	146
E	251	340	144	39	185	357
F	277	457	165	44	110	317

※測定は同時に行っていないため、各マウンドでの測定時刻は異なる。

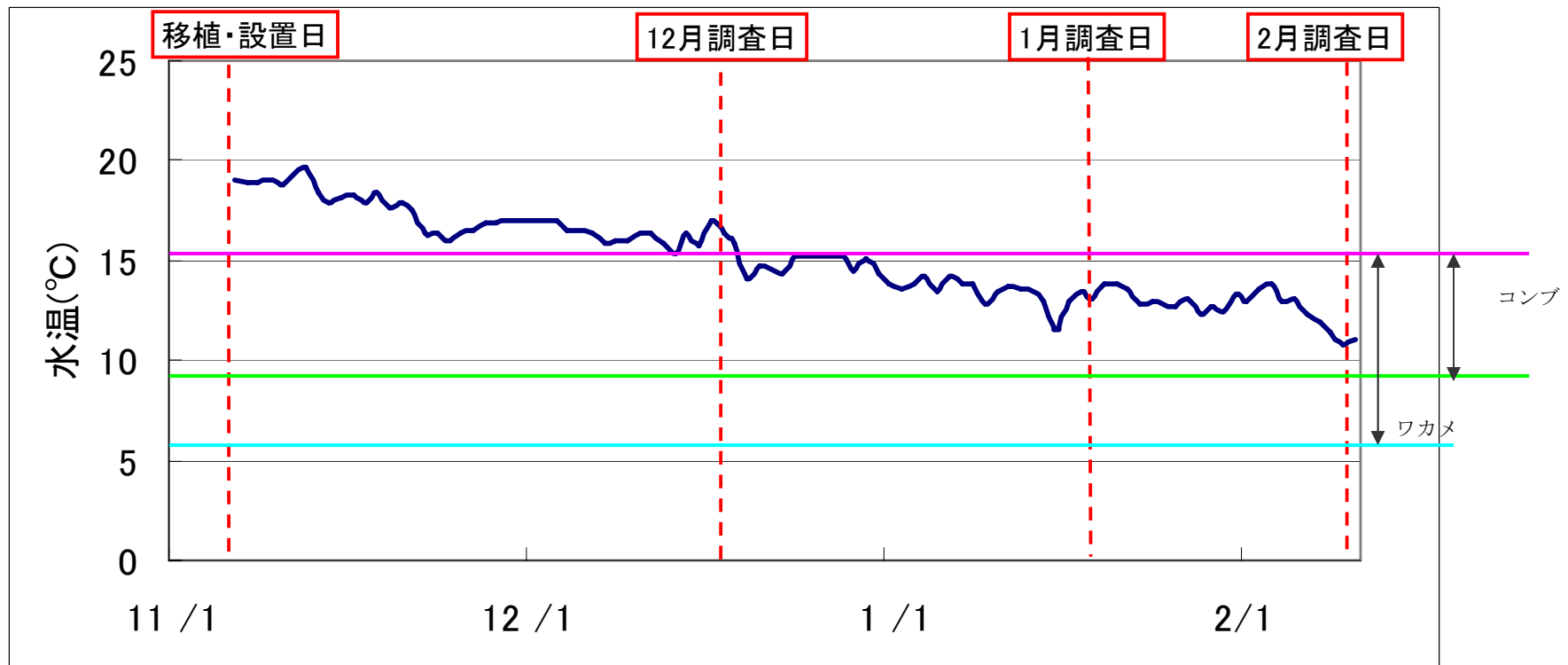


図 6-4-11 マウンド A における水温連続測定結果とワカメ、コンブの水温適性範囲

表 6-4-7 ワカメ、マコンブおよびアカモクの生育条件と鉄分効果の実証例

種類	生育条件 (既存資料の値)		実証試験海域 測定値	鉄分の効果実証事例	
				鉄分供給の効果	出典
ワカメ	生長水温 (°C)	6.0~16.0 ¹⁾ (葉体期)	10.0~19.7 11月6日~2月8日	千葉県千倉町において行った実験的研究によると、鉄分を施肥した試験区のワカメと無施肥のワカメで平均増加量を比較した実験では、施肥をした試験区のワカメで1.5倍~2.0倍多かった。	岡本 強一, 堀田 健治(2002) 「鉄分施肥による藻場造成に関する実験的研究 その2 ワカメの生長に与える鉄の影響」 学術講演梗概集. 構造系 (A-2), p393-394,
	塩分	>23.7 ²⁾	23.79~28.94 8月、9月測定		
	光量子量 ($\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$)	>66 ²⁾	試験区(直上水): 44~317 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{S}$ 対照区(直上水): 39~357 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{S}$		
マコンブ 注3)	生長水温 (°C)	9~16 ¹⁾ (葉体期)	10.0~19.7 11月6日~2月8日	北海道増毛町舎熊の海岸に施肥ユニットを埋設した事例では、埋設した海域の沖合いにコンブの藻場が形成され鉄分が好影響を与えた。	木曾英滋、堤直人、渋谷正信、中川雅夫(2008) 「海域施肥時のコンブ等の生育に関する実海域実験—転炉系製鋼スラグを用いた藻場造成技術開発(1)」 第20回海洋工学シンポジウム 平成20年3月18、19日 日本海洋工学会・日本船舶海洋工学会
	塩分	—	23.79~28.94 8月、9月測定		
	光量子量 ($\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$)	>2 klux (>37 ^{注1)})	試験区(直上水): 44~317 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{S}$ 対照区(直上水): 39~357 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{S}$	腐植産鉄抽出物を添加してホソメコンブ胞子体の培養実験を行ったところ、コントロールに比べ、著明な成長の差が見られた。	堤 直人・加藤敏朗・本村泰三・中川雅夫 「海域施肥時のコンブ等の生育に関する水槽実験結果—転炉系製鋼スラグを用いた藻場造成技術開発(3)」 第20回海洋工学シンポジウム 平成20年3月18、19日 日本海洋工学会・日本船舶海洋工学会
アカモク 3)	生長水温 (°C)	4.0~19.0 (冬季)	10.0~19.7 11月6日~2月8日		
	塩分	>26.6	23.79~28.94 8月、9月測定		
	光量子量 ($\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$)	幼体: 82.5 成体: 82.5 ~165	試験区(直上水): 44~317 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{S}$ 対照区(直上水): 39~357 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{S}$		

注1: 照度(klux)を光量子($\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$)に換算した値。昼間の光(太陽と青空)における照度を、次式³⁾により光量子に換算した。(光量子)=(照度)/54

2: 既存資料はマコンブの生息条件

出典

1) 社団法人日本水産資源保護協会 昭和56年3月 水産生物生態資料

2) 国土交通省中部地方整備局名古屋港湾空港技術調査事務所 平成14年度名古屋技調報告より作成 <http://www.meigi.pa.cbr.mlit.go.jp/index.html>

3) 海の再生ハンドブック その計画・技術実践 第3巻 藻場編、p81、ぎょうせい、2003

4) Photometric radiometric and quantum light units of measure: a review of procedures for interconversion, Thimijan R.W., Heins R.D., Vol.18, No.6, pp.818-822, 1983.

付表 1 アカモク生育状況結果

ウンド	移植時(11月22日)			調査(12月17日)			調査(1月15日)			調査(2月9日)			
	数量	葉長(cm)		数量	葉長(cm)		数量	葉長(cm)		数量	葉長(cm)		
		最小— 最大	平均		最小— 最大	平均		最小— 最大	平均		最小— 最大	平均	
A	①	6	10-16	13.3	2	60-144	102.0	0	—	—	0	—	—
	②	6	13-57	26.8	0	—	—	0	—	—	0	—	—
B	6	10-19	13.5	1	31	31	0	—	—	0	—	—	
C	6	11-18	14.0	2	45-66	55.5	1	243	243.0	1	440.0	440.0	
D	6	12-25	16.5	2	127— 131	131.0	1	398	398.0	1	560.0	560.0	
E	6	10-18	14.3	1	87	87.0	1	268	268.0	1	420.0	420.0	
F	6	12-23	15.7	1	90	90.0	1	193	193.0	1	187.0	187.0	

付表 2 ワカメ生育状況結果(付着基盤)

マウンド	移植時(11月22日)			調査(12月17日)			調査(1月15日)			調査(2月9日)			マウンドの材質				
	数量	葉長(cm)		数量	葉長(cm)		数量	葉長(cm)		数量	葉長(cm)		盛土部		付着基盤		
		最小- 最大	平均		最小- 最大	平均		最小- 最大	平均		最小- 最大	平均	スラグ 混合材	天然砂	フロン ティア ロック	天然石	
A	①	6	2-5	3.0	4	1-3	2.0	4	1-4	2.3	3	4-9	7.0	○		○	
	②	6	2-5	3.3	4	1-4	2.0	3	1-4	2.7	1	3	3.0	○			○
B	6	2-5	2.5	2	1	1	1	<1	-	0	-	-	○				○
C	6	2-3	2.8	0	-	-	0	-	-	0	-	-	○			○	
D	6	2-4	2.7	1	<1	-	0	-	-	0	-	-	○			○	
E	6	2-4	3.0	5	1	1	5	2-8	4.8	3	9-14	11.3		○		○	
F	6	2-4	3.0	5	1-3	1-3	5	2-9	5.4	4	4-25	14.3		○			○

付表3 ワカメ生育状況結果(ロープ移植)

マウンド	調査(12月17日)				調査(1月15日)			調査(2月9日)			マウンドの材質			
	数量		葉長(cm)		数量	葉長(cm)		数量	葉長(cm)		盛土部		付着基盤	
			最小— 最大	平均		最小— 最大	平均		最小— 最大	平均	スラグ 混合材	天然砂	フロン ティア ロック	天然石
A	①	4	14-16	15.3	4	16-45	32.5	4	27-81	59.3	○		○	
	②	4	12-44	24.0	4	3-70	36.5	4	10-75	43.8	○			○
B	4		10-13	11.0	4	24-38	31.8	4	34-74	54.8	○			○
C	4		13-30	21.3	4	37-73	48.3	4	54-162	93.8	○		○	
D	4		11-20	15.8	4	27-64	45.0	4	41-123	84.3	○		○	
E	4		12-18	15.6	4	42-60	54.3	4	82-164	130.5		○	○	
F	4		11-19	15.0	4	41-64	54.5	4	78-133	111.8		○		○

付表4 コンブ生育状況結果(ロープ移植)

マウンド	移植時(11月22日)			調査(12月17日)			調査(1月15日)			調査(2月9日)			マウンドの材質				
	数量	葉長(cm)		数量	葉長(cm)		数量	葉長(cm)		数量	葉長(cm)		盛土部		付着基盤		
		最小	最大		平均	最小		最大	平均		最小	最大	平均	数量	種類	数量	種類
A	①	6	<1-3	2.7	0	0	-	0	-	-	0	-	-	○		○	
	②	6	<1-6	2.5	2	<1-1	-	0	-	-	1	2	2.0	○			○
B	6	1-2	2.7	1	<1	<1		2	<1	<1	0	-	-	○			○
C	6	1-2	1.7	1	<1	<1		0	-	-	0	-	-	○		○	
D	6	1-4	1.5	1	<1	<1		0	-	-	0	-	-	○		○	
E	6	1-2	1.3	1	1	1		1	1	1	0	-	-		○	○	
F	6	<1-3	1.5	3	<1-1	<1		4	<1-1	<1-1	0	-	-		○		○

7. 実証試験の評価と結論

7.1 調査項目別の評価

実証試験は1. 基材機能効果、2. 混合土安定効果及び3. 生物生息環境の改善効果を目標とし、水質調査、溶出試験、強度試験、海藻類生育調査を行った。それぞれの項目における評価について、表 7-1-1(1)、(2)にまとめた。

項目別評価については以下のようにまとめられる。

<項目別評価>

【製鋼スラグを用いた藻場造成・水質改善技術 鉄イオンの溶出（東扇島入り江）】

[水環境について]

○スラグ混合材を使用した盛土部の直上水の pH、D0、硫化物は環境基準をほぼ満足し、天然砂を使用した盛土部（対照区）との比較において、大きな差は認められず、かつ周辺水域の環境のレベルを保っており、水質環境の維持が図られた。スラグ混合材を使用した盛土部においても、pH の上昇は認められなかった。浮遊物質量は試験区と対照区でほとんど差は認められなかった。

○スラグ混合材を使用した盛土部の二価鉄は天然砂を使用した盛土部（対照区）よりも高い傾向が認められた。

[溶出速度等試験について]

○現地に設置したスラグ混合材盛土部基材のテストピースを試料とした疑似現場法による溶出速度試験において、硫化物とりん酸態りんの抑制が認められた。また、鉄分の溶出についてはバックグラウンドと同じレベルであった。

○スラグ混合材盛土部基材のテストピースを 5 ヶ月後に回収した試料からの溶出物質（重金属類 10 成分）については水底土砂の判定基準を満たしており、安全性が確認された。

[強度試験について]

○スラグ混合材を使用した盛土部の強度は一定レベル以上の基準を満足し、十分な強度を保持している事が確認された。

[生物生息環境について]

○スラグ混合材とフロンティアロックで構成される試験区でアカモクが天然碎石の対照区よりも 3.2 倍の生長となった。

○スラグ混合材とフロンティアロックで構成される試験区でワカメが天然碎石の対照区と同等、あるいはそれ以上の生長となった（海底上 0.8m 層）。

<項目別評価>

【製鋼スラグを用いた藻場造成・水質改善技術 DOの低下抑制（浅野運河）】

[水環境について]

- 製鋼スラグ製品の直上水の pH は環境基準を満たし、対照区と同等であった。間隙水中の pH は上昇するが、対照区も同じ傾向であった。間隙水中の pH の上昇は直上水に影響を及ぼさなかった。
- 間隙水のりん酸態りんは夏季に対照区よりも低下し、吸着効果が示唆された。
- 間隙水の浮遊物質量は試験区で季節別、地点間で変動が大きく、対照区が低濃度で推移したのに対して明らかに高値を示した。しかし、直上水に対する影響はなかった。
- 夏季に試験区において DO でやや高い傾向が認められた。

[溶出速度試験]

- 施工した製鋼スラグ製品を採取し、溶出試験を行った結果、りん態りんについては吸着、抑制効果が認められた。硫化物については抑制効果が示唆された。製鋼スラグ製品からの鉄分の供給効果が示唆された。
- 試験区設置 7 ヶ月経過後の製鋼スラグ製品からの溶出物質（重金属類 10 成分）については水底土砂の判定基準を満たしており、安全性が確認された。

表 7-1-1(1) 実証試験の目標項目別評価

実証目標	目標項目	実証意義	目標水準	評価				
1. 基材機能効果 (盛土部の効果確認)	水質調査	環境改善効果	直上水及び間隙水の H ₂ S の発生抑制と DO 等の水質改善効果の検証	<p>期待される効果に挙げる DO 等の水質改善、硫化物の抑制、Fe²⁺の供給について、対照区との比較により有効性が認められることまた、原理上悪化の可能性のある pH 等について、水質汚濁に係る環境基準を満たすこと (昭和 46 年環境庁告示第 59 号別表 2.2 ア、イ及びウ参照)</p> <p>東扇島入り江 (直上水)</p> <table border="1"> <tr> <td>試験区: マウンド A、B、C、D (盛土部にスラグ混合材を使用)</td> </tr> <tr> <td>対照区: マウンド E、F (盛土部に天然砂を使用)</td> </tr> </table> <p>○pH、DO、硫化物等の測定項目については、環境基準値をほぼ満足し、対照区との比較において大きな差は認められなかった。水質環境の維持が図られたものと考えられる。(P. 44 図 6-1-1~P. 50 図 6-1-7)</p> <p>○試験区と対照区の比較において</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ pH は調査期間を通じ全点で 8.0~8.1 程度で推移し、環境基準の範囲内 (海域 C 類型: 7.0~8.3) であった。試験区、対照区とも同様に推移し、ほとんど差は認められなかった。スラグ製品中の石灰分の水和化に伴う上昇は認められなかった。(P. 44 図 6-1-1) ・ DO は調査期間を通じ全点で貧酸素化せず 4~7mg/L 程度で推移し、環境基準を満たして (海域 C 類型: 2mg/L 以上) いた。(P. 44 図 6-1-1) ・ リン酸態りんは調査期間を通じ全点で 0.07~0.1mg/L 程度で推移し、試験区、対照区でほとんど差は認められず、吸着効果の確認には至らなかった。(P. 45 図 6-1-2) ・ 硫化物イオンは調査期間を通じ全点で不検出であった。(P. 46 図 6-1-3) ・ 浮遊物質量は調査期間を通じ全点で 2~4mg/L 程度で推移し、試験区と対照区でほとんど差は認められなかった。石灰分の水和反応による白濁の影響は認められなかった。(P. 46 図 6-1-3) ・ 二価鉄 (微量分析) は 0.006~0.015mg/L で推移し、夏季から秋季に低下し、冬季に上昇する傾向を示した。夏季及び冬季に対照区 (鉄分供給効果がないマウンド F) に比して試験区でやや高い傾向が認められた。(P. 48 図 6-1-5) <p>浅野運河 (直上水・間隙水)</p> <table border="1"> <tr> <td>試験区: ケース 1、2、3、4 (製鋼スラグ製品を設置)</td> </tr> <tr> <td>対照区: ケース 5 (天然砕石を設置)</td> </tr> </table> <p>○直上水 pH は環境基準値を満たし、対照区との比較で差は認められなかった。間隙水では環境基準値を上回る傾向にあり対照区との比較でも高かったが、pH の上昇は直上水に影響を及ぼさなかった。(P. 56 図 6-1-9)</p> <p>○間隙水のりん酸態りんは夏季に一部の試験区で対照区より低下する傾向があり、りんの吸着効果が示唆されたが、秋季、冬季においてはその傾向はなかった (P. 57 図 6-1-10)</p> <p>○間隙水の浮遊物質量は試験区では季節別、地点間で変動が大きく、対照区よりも明らかに高値を示した。しかし、直上水に対する影響は認められなかった。(P. 57 図 6-1-10)</p> <p>○直上水の試験区と対照区の比較において、夏季に試験区において DO でやや高い値が認められた。(P. 44 図 6-1-1)</p> <p>○その他の項目において、対照区との比較で大きな差は認められなかった。(P. 56 図 6-1-9~P. 58 図 6-1-11)</p>	試験区: マウンド A、B、C、D (盛土部にスラグ混合材を使用)	対照区: マウンド E、F (盛土部に天然砂を使用)	試験区: ケース 1、2、3、4 (製鋼スラグ製品を設置)	対照区: ケース 5 (天然砕石を設置)
	試験区: マウンド A、B、C、D (盛土部にスラグ混合材を使用)							
対照区: マウンド E、F (盛土部に天然砂を使用)								
試験区: ケース 1、2、3、4 (製鋼スラグ製品を設置)								
対照区: ケース 5 (天然砕石を設置)								
溶出試験等	海洋汚染防止法に基づく試験	環境影響	スラグ混合材及び製品の安定性の確認 (溶出物質の検証)	<p>東扇島入り江 試験区 (マウンド A)</p> <p>浅野運河 試験区 (ケース 1)</p> <p>○対象とした重金属類 10 成分については水底土砂の判定基準を満足しており、事前に実施した混合材の各材料 (製鋼スラグ製品及び浚渫土) の試験結果を裏付ける結果であった。 (P. 59 表 6-2-1、P. 60 表 6-2-2、別添資料)</p> <p>海洋汚染及び海上災害防止に関する法律に準拠して水底土砂の海面埋立処分に係る基準に適合すること。スラグ製品の製造過程より、含有の可能性のある重金属類 (告示 14 号試験) 10 項目について実施。 (昭和 48 年総理府令第 6 号別表第 1 参照)</p>				

表 7-1-1(2) 実証試験の目標項目別評価

実証目標	目標項目	実証意義	目標水準	評価				
1. 基材機能効果 (盛土部の効果確認)	溶出試験等	環境改善効果	スラグ混合材及び製品による鉄分の供給、リン酸溶出及び硫化物発生の抑制効果の確認	<p>基材の性能、機能について各測定項目を対照区と比較し、鉄分の供給、リン酸、硫化物の抑制又は吸収効果の評価を行う。</p> <p>東扇島入り江</p> <table border="1"> <tr> <td>試験区：マウンド A (スラグ混合材盛土部基材のテストピースを使用)</td> </tr> <tr> <td>対照区：マウンド F (天然砂盛土部を使用)</td> </tr> </table> <p>○鉄分の供給効果については、試験区で若干の溶出が認められ供給能が示唆された。しかし、対照区においても同程度あるいはそれ以上の溶出が認められ、バックグラウンドレベルに埋没する結果となって、明確な効果確認には至らなかった。(P. 67 表 6-2-5)</p> <p>○PO₄-P および硫化物の溶出抑制効果については、嫌気条件下でも PO₄-P、硫化物の溶出が認められず、抑制効果が示唆された。しかし、PO₄-P については、対照区においても吸着効果が認められたこと、硫化物についてはうわ水中から検出されなかったことから明確な効果確認には至らなかった。(P. 67 表 6-2-5、P. 68 表 6-2-6)</p> <p>浅野運河</p> <table border="1"> <tr> <td>試験区：ケース 1 (製鋼スラグ製品を使用)</td> </tr> <tr> <td>対照区：ケース 5 (天然砕石を使用)</td> </tr> </table> <p>○PO₄-P の吸着あるいは抑制効果については、対照区に比して試験区での減少速度が速く、PO₄-P の吸着あるいは抑制効果が認められた。(P. 68 表 6-2-6)</p> <p>○硫化物の溶出抑制効果については、嫌気条件下でも硫化物の溶出が認められず、抑制効果が示唆された。しかし、硫化物はうわ水中から検出されなかったことから明確な効果確認には至らなかった。(P. 67 表 6-2-5)</p> <p>○鉄分の供給効果については、対照区に比して試験区での溶出が高く、鉄分の供給能が認められた。(P. 67 表 6-2-5)</p>	試験区：マウンド A (スラグ混合材盛土部基材のテストピースを使用)	対照区：マウンド F (天然砂盛土部を使用)	試験区：ケース 1 (製鋼スラグ製品を使用)	対照区：ケース 5 (天然砕石を使用)
試験区：マウンド A (スラグ混合材盛土部基材のテストピースを使用)								
対照区：マウンド F (天然砂盛土部を使用)								
試験区：ケース 1 (製鋼スラグ製品を使用)								
対照区：ケース 5 (天然砕石を使用)								
2. 混合土安定効果 (盛土部の効果確認)	混合材強度試験	施工後の形状の安定性	スラグ中の石灰分と澱土中のシリカ分の水和反応による固化状態の検証	<p>マウンドの形状が崩れない(目視) 100kN/m² 程度の固化強度を維持できていること</p> <p>東扇島入り江 (マウンド A 及びマウンド D で実施)</p> <p>○マウンド A 及びマウンド D の強度試験において、両方ともに 100kN/m² を超える強度を示し、施工の目安となる強度を保持している事が確認された。施工後、マウンドは安定的に形状を保つ事が確認された。(P. 75 表 6-2-11)</p>				
3. 生物生息環境の改善効果 (盛土部と移植基盤の効果確認)	海藻類生育状況調査	海藻類生育状況	海藻類の生育状況を把握	<p>実証試験における生育数や成長量が対照区と比較して同等、もしくはそれ以上であること</p> <p>東扇島入り江</p> <p>○スラグ混合材とフロンティアロックで構成される試験区 (C, D) でアカモクが対照区と比較して 3.2 倍の生長が確認された。(P. 75 図 6-4-4)</p> <p>○海底よりロープを立ち上げる方法で試験を行ったワカメにおいて、海底上 0.8m 層でスラグ混合材とフロンティアロックで構成される試験区 (C, D, E) で対照区とほぼ同等、あるいはそれ以上の生長が確認された。(P. 81 図 6-4-7)</p> <p>○付着基板上に移植したコンブ、ワカメについてはほとんど生長することなく、消失してしまう個体もあった。原因としては底生生物による匍匐障害、生長環境条件が考えられた。(P. 84 図 6-4-6、P. 88 図 6-4-8)</p> <p>→閉鎖性海域において、スラグ混合材とフロンティアロックで構成される基材から供給される鉄分が海藻類の生育要因となった可能性が示唆された。</p>				

7.2 実証試験の結論

本実証試験の結論は以下の通りである。

【製鋼スラグを用いた藻場造成水質改善技術 鉄イオンの溶出（東扇島入り江）】

製鋼スラグと浚渫土の混合材による複合的効果については、設置による水環境の悪化は認められず、浚渫土の強度増強効果が確認され、りん酸イオンの吸着効果と硫化物イオンの捕捉効果が示唆された。また、冬季の試験区で二価鉄が高くなる傾向となり、大型海藻類のアカモクやワカメの生長促進効果が限定的に確認された。

【製鋼スラグを用いた藻場造成水質改善技術 DOの低下抑制（浅野運河）】

製鋼スラグ製品を閉鎖性海域の海底に設置した場合、直上水のpHに影響を及ぼしていないことが確認された。また、水質調査、溶出試験により、製鋼スラグ製品によるりん酸イオンの吸着効果と硫化物イオンの捕捉効果が示唆されたが、明確なDOの低下抑制効果の確認には至らなかった。

8. 実証試験についての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、技術的課題や改善の方向性及び他の実水域への適用可能性を検討する際の留意点を以下にまとめた。

【製鋼スラグを用いた藻場造成水質改善技術 鉄イオンの溶出（東扇島入り江）】

鉄分の供給による海藻類の生長促進効果は限定的であったが、鉄分が枯渇する海域等に展開した場合、報告書の鉄分に関する文献情報に示されるように、藻類の生長に寄与することが本実証事業においても示唆された。

○技術的課題や改善の方向性

特になし

○他の実水域への適用可能性を検討する際の留意点

藻場造成材として本技術の効果を発揮させるためには、鉄分濃度等の海域の環境特性を考慮して適用すべきであると評価される。

【製鋼スラグを用いた藻場造成水質改善技術 DOの低下抑制（浅野運河）】

りん酸イオンの吸着効果、硫化物イオンの捕捉効果によるDOの低下抑制効果が発揮された場合、富栄養化した海域における水質改善に適用できる技術であると評価される。

○技術的課題や改善の方向性

特になし

○他の実水域への適用可能性を検討する際の留意点

特になし

9. 付録

9.1 参考情報

本実証試験に使用した浚渫土及び各種製鐵スラグの海洋汚染防止法、水底土基準等の分析一覧を表 9-1-1 に示した。

9.2 鉄分に関する文献情報

本実証試験においては、スラグ混合土より供給される鉄分の効果がひとつのポイントであるため、鉄分の効果等に関する既存資料について整理を行った。結果を 109 頁以降に示した。

表 9-1-1 安全性確認データ比較一覧表

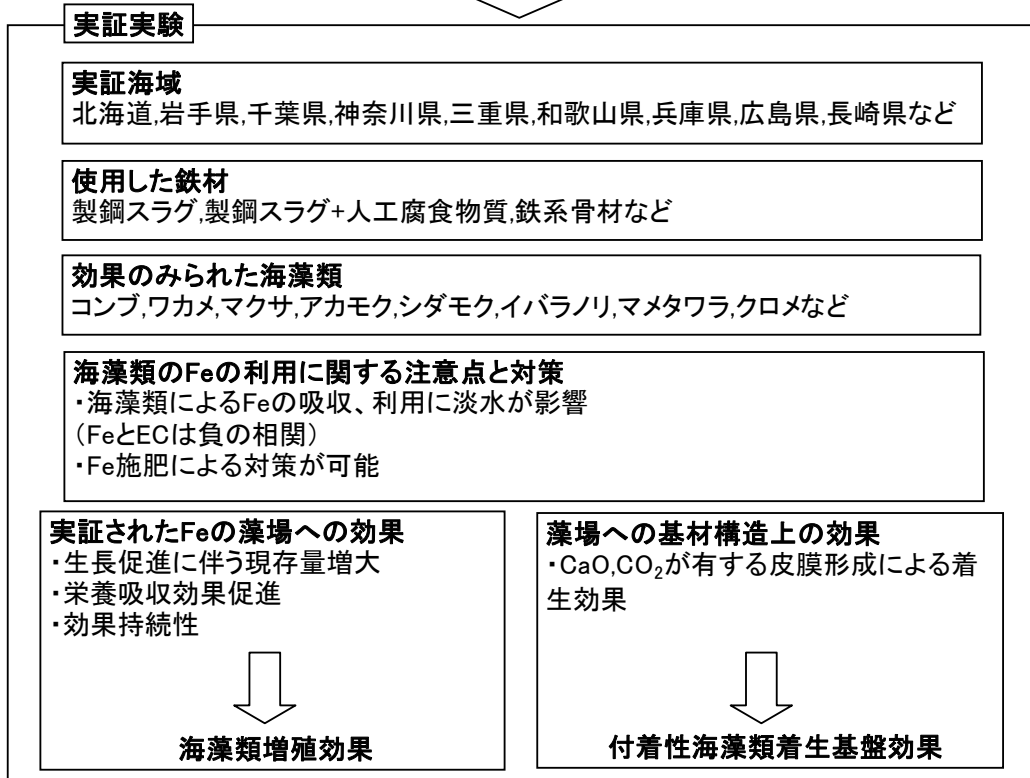
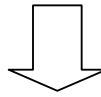
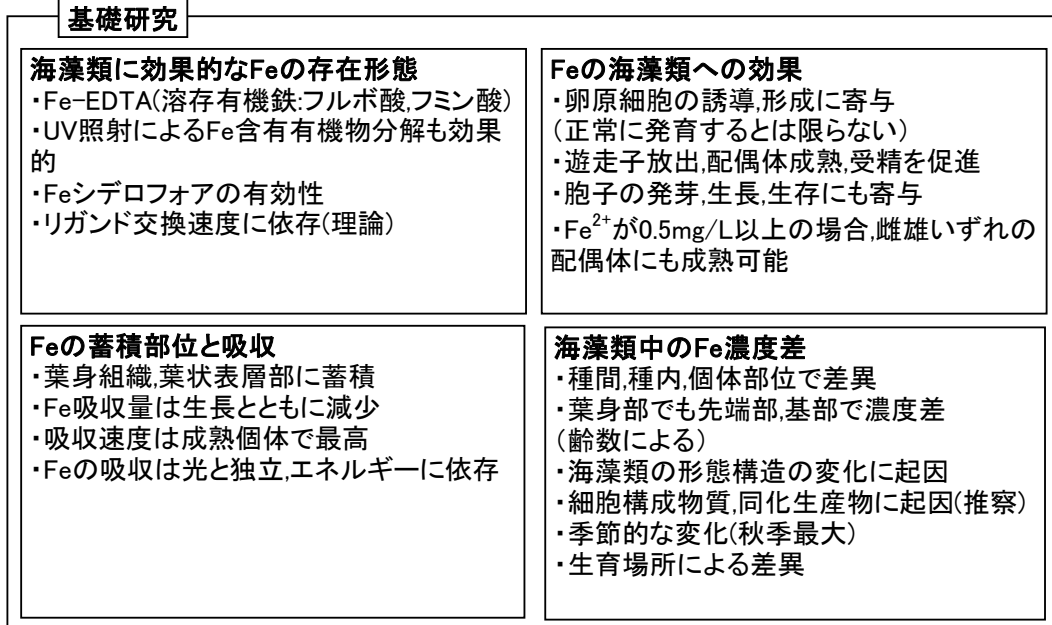
安全性確認データ比較一覧表(JFEスチール・JFEMィネラル)

項目	海洋汚染防止法 (水底土砂) 水底土砂基準 総理府令第6号	土壌汚染対策法 特 定有害物質及び指定 基準 土壌環境基準	産業廃棄物処理法 海洋投入処分 建設汚泥 建設汚泥基準 総理府令第5号	混合土	製鋼スラグ単体 (京浜製炭スラグ)		製鋼スラグ単体 (京浜NRPスラグ)		製鋼スラグ単体 (千葉製炭スラグ)		製鋼スラグ単体 (千葉製炭スラグ)		製鋼スラグ人工石 (水と固化体ブロック)		
				水底土砂基準 データ	土壌環境基準 データ	水底土砂基準 データ	土壌環境基準 データ	水底土砂基準 データ	土壌環境基準 データ	水底土砂基準 データ	土壌環境基準 データ	水底土砂基準 データ	土壌環境基準 データ	水底土砂基準 データ	土壌環境基準 データ
1 アルキル水銀	検出されないこと	検出されないこと	検出されないこと	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満
2 総水銀	0.005 mg/l	0.0005 mg/l	0.0005 mg/l	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満
3 カドミウム	0.1 mg/l	0.01 mg/l	0.01 mg/l	0.01未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満
4 鉛	0.1 mg/l	0.01 mg/l	0.01 mg/l	0.01未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満
5 有機りん	1 mg/l	検出されないこと	検出されないこと	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満
6 六価クロム	0.5 mg/l	0.05 mg/l	0.05 mg/l	0.05未満	0.02未満	0.02未満	0.02未満	0.02未満	0.02未満	0.02未満	0.02未満	0.02未満	0.02未満	0.02未満	0.04未満
7 砒素	0.1 mg/l	0.01 mg/l	0.01 mg/l	0.01未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満
8 シアン	1 mg/l	検出されないこと	検出されないこと	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満
9 PCB	0.003 mg/l	検出されないこと	検出されないこと	0.0005未満	—	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満
10 有機塩素化合物	40 mg/kg	—	1 mg/l	4未満(含有量試験)	—	1未満(含有量試験)	—	1未満(含有量試験)	—	1未満(含有量試験)	—	1未満(含有量試験)	—	1未満(含有量試験)	1未満(含有量試験)
11 銅	3 mg/l	—	0.14 mg/l	0.05未満	—	0.007	—	0.008	—	0.005	—	0.009	—	0.009	0.05未満
12 亜鉛	5 mg/l	—	0.8 mg/l	0.05未満	—	0.009	—	0.009	—	0.011	—	0.009	—	0.009	0.005未満
13 トリクロロエチレン	0.3 mg/l	0.03 mg/l	0.03 mg/l	0.03未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満
14 テトラクロロエチレン	0.1 mg/l	0.01 mg/l	0.01 mg/l	0.01未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満
15 ベリリウム	2.5 mg/l	—	0.25 mg/l	0.05未満	—	0.005未満	—	0.005未満	—	0.005未満	—	0.005未満	—	0.005未満	0.005未満
16 クロム	2 mg/l	—	0.2 mg/l	0.1未満	—	0.04未満	—	0.04未満	—	0.04未満	—	0.04未満	—	0.04未満	0.04未満
17 ニッケル	1.2 mg/l	—	0.12 mg/l	0.1未満	—	0.008	—	0.008	—	0.008	—	0.008	—	0.008	0.005未満
18 バナジウム	1.5 mg/l	—	0.15 mg/l	0.2未満	—	0.05未満	—	0.05未満	—	0.05未満	—	0.11	—	0.11	0.05未満
19 ジクロロメタン	0.2 mg/l	0.02 mg/l	0.02 mg/l	0.02未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満
20 四塩化炭素	0.02 mg/l	0.002 mg/l	0.002 mg/l	0.002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満
21 1,2-ジクロロエタン	0.04 mg/l	0.004 mg/l	0.004 mg/l	0.004未満	0.0004未満	0.0004未満	0.0004未満	0.0004未満	0.0004未満	0.0004未満	0.0004未満	0.0004未満	0.0004未満	0.0004未満	0.0004未満
22 1,1-ジクロロエチレン	0.2 mg/l	0.02 mg/l	0.02 mg/l	0.02未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満
23 1,2-ジクロロプロパン	0.4 mg/l	0.04 mg/l	0.04 mg/l	0.04未満	0.004未満	0.004未満	0.004未満	0.004未満	0.004未満	0.004未満	0.004未満	0.004未満	0.004未満	0.004未満	0.004未満
24 1,1,1-トリクロロエタン	3 mg/l	1 mg/l	1 mg/l	0.3未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満
25 1,1,2-トリクロロエタン	0.06 mg/l	0.006 mg/l	0.006 mg/l	0.006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満
26 1,3-ジクロロプロパン	0.02 mg/l	0.002 mg/l	0.002 mg/l	0.002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満
27 テトラム	0.06 mg/l	0.006 mg/l	0.006 mg/l	0.006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満
28 シマジン	0.03 mg/l	0.003 mg/l	0.003 mg/l	0.003未満	0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満
29 チオベンカルブ	0.2 mg/l	0.02 mg/l	0.02 mg/l	0.02未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満
30 ベンゼン	0.1 mg/l	0.01 mg/l	0.01 mg/l	0.01未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満
31 セレン	0.1 mg/l	0.01 mg/l	0.01 mg/l	0.01未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.005
32 フェノール類	—	—	0.2 mg/l	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05未満
33 硝酸性窒素等(注1)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
34 フッ素	15 mg/l	0.8 mg/l	3 mg/l	0.5未満	0.2未満	0.2未満	0.2未満	0.2未満	0.2未満	0.2未満	0.22	0.2未満	0.42	0.58	—
35 ホウ素	—	1 mg/l	—	—	0.2未満	—	0.2未満	—	0.2未満	—	0.2未満	—	0.2未満	—	—
36 ダイオキシン類(注2)	10 pg-TEQ/l	—	—	0.059	—	0.000079	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0012
備 考	海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律施行令第5条第1項に規定する埋立場所等に排出しようとする廃棄物に係る判定基準を定める総理府令(昭和46年2月17日)	土壌汚染対策法施工規則(平成14年12月26日、環境省令第29号)特定有害物質及び指定基準	金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める総理府令(昭和48年2月27日)[海洋投入処分に係る判定基準][建設工事に伴って生じた汚泥、非水溶性の無機性汚泥]		⑬	⑤、⑩	⑬	⑬、⑭データ該当	⑬データ該当	⑬、⑭データ該当	⑭データ該当	⑬、⑭データ該当	⑭データ該当	⑤~⑦データ該当	

(注1)正式名称は、「アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物及び硝酸化合物」
(注2)ダイオキシン類特別措置法(平成11年法律第105号)第7条の規定に基づく環境基準(環境庁告示第68号)

藻場に与えるFeの影響に関する既存知見の概要

Fe:光合成系や呼吸系の電子伝達、クロロフィル生成に関与し、海藻類の生長、増殖の効果が期待




No.	タイトル	文献・雑誌名	収録	著者	発行年	分野
1	海産生物中の微量元素の定量-I 微量元素濃度の変動要因について	Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries	Vol. 44 (2), pp. 155-162	石井紀明 他	1978	Feと海藻との関係についての基礎研究
2	海産生物中の微量元素の定量-II アカモクの生長段階と鉄濃度との関係について	Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries	Vol. 45 (4), pp. 459-464	石井紀明 他	1979	
3	海産生物中の微量元素の定量-III 藻体における微量元素の分布について	Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries	Vol. 46 (2), pp. 185-184	石井紀明 他	1980	
4	海藻中の有用微量元素に関する研究 -マコンブ藻体中のヒ素および鉄の分布と変動-	微量元素栄養研究	第6集, pp. 129-133	福永健治 他	1991	
5	Uptake rate of iron by Macroalgae from the sea of Japan (Laminaria religiosa Miyabe and Undaria pinnatifida)	Bull. Japan. Soc. Fish. Oceanogr.,	Vol. 55, No. 4, pp. 349-353	K. Matsunaga et al.	1989	
6	Bioavailable iron species in seawater measured by macroalga (Laminaria japonica) uptake	Marine Biology	Vol. 123, pp. 173-178	Y. Suzuki et al.	1995	
7	Effect of Chelated in Culture Media on Oogenesis in Laminaria angustata	Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries	Vol. 47 (12), pp. 1535-1540	T. Motomura and Y. Sakai	1981	
8	Iron Uptake and Translocation by Macrocytis pyrifera	Plant Physiology	Vol. 68, pp. 914-918	S. L. Manley	1981	
9	沿岸域の生物多様性を修復するボ-ラスコンクリートに関する研究	コンクリート工学年次論文集	Vol. 23, No. 1, pp181-186	吉田宗久, 玉井元治	2001	藻場造成に対するFeを用いた実証実験
10	海域施肥時のコンブ等の生育に及ぼす施肥原料成分の影響に関する水槽実験結果 -転炉系製鋼スラグ等を用いた藻場造成技術開発(3)-	第20回海洋工学シンポジウム	-	堤直人 他	2008	
11	基長講演 海洋施肥と海の森づくり -施肥剤使用による課題と方策-	平成21年度「海の森づくり」シンポジウムVI海洋施肥と海の森づくり 要旨集	pp. 8-9	堀田健治	2009	
12	循環型社会に貢献する鉄鋼スラグの利用技術	JFE 技報	No. 6, pp. 24-29	藪田和哉 他	2004	
13	製鋼スラグによる海域の底質改善	JFE 技報	No. 19, pp. 1-5	宮田康人 他	2008	
14	製鋼スラグ等の海域施肥試験における海域Fe濃度分布に関する検討 -転炉系製鋼スラグ等を用いた藻場造成技術開発(2)-	第20回海洋工学シンポジウム	-	加藤敏朗 他	2008	
15	藻場造成用鉄鋼スラグブロックへの海藻着生	海洋開発論文集	Vol. 20, pp. 887-892	宮田康人 他	2004	
16	多様化するニーズに貢献する製鋼技術	NKK技報	No. 179, pp. 14-21	田辺 治良, 中田 正之	2002	
17	鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材「フロンティアロック™」	JFE 技報	No. 19, pp. 18-22	宇多田悦郎, 松永久宏	2008	
18	鉄鋼スラグによる沿岸環境改善技術	NKK 技報	No. 177, pp. 47-51	沼田哲始 他	2002	
19	鉄鋼スラグを利用した藻場再生試験	平成21年度「海の森づくり」シンポジウムVI海洋施肥と海の森づくり 要旨集	p10	中川雅夫	2009	
20	鉄鋼副産物が地球温暖化を防ぐ	JRCM NEWS	No. 265, p1	林明夫	2008	
21	鉄分施肥による藻場造成に関する実験的研究 その1 カジメの生長に与える鉄の影響	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp. 391-392	秋田明家 他	2002	
22	鉄分施肥による藻場造成に関する実験的研究 その2 ワカメの生長に与える鉄の影響	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp. 393-394	岡本強一, 堀田健治	2002	
23	「海の森を再生」 鉄鋼スラグとバイオマスによる焼却回復プロジェクト	知恵の環ねっと	Vol. 36, p. 1	山本光夫	2009	
24	熔融スラグの多角的有効活用について	岩手県工業技術センター研究報告	Vol. 13	菅原龍江	2006	
25	フルボ酸第二鉄錯体とシデロフォアDesferrioxamine Bのリガンド交換速度論モデルの構築	水環境学会誌	Vol. 32, No. 10, pp. 557-564	伊藤統晃 他	2009	

藻場に与える Fe の影響に関する既存知見

要旨	資料名	発行年																																																																																																																																																																																																																																																										
<p>Feの定量を原子吸光分析法,放射化分析法により試み,生育場所,部位,生長段階,生育時期等の相違に基づく濃度変動の要因を検討した.</p> <p>この結果,種による形態構造,細胞の構成物質,同化生産物等の相違のためか,海藻の生育場所によるFe濃度の違いは,オオバモクとウミトラノオとの間で10倍の濃度差であった.また,ヒジキの部位別では濃度差はなく,アカモクでは葉状部が高かった.これを生長に伴う重量パーセントの推移でみると,生長に伴い体内のFe濃度に対する寄与率は低下し,Fe濃度は生長と逆比例の関係を示した.以上から,生長に伴う濃度変動は,海藻自身の形態構造の変化に起因して起こるものと推定された.次に,1975年1月から6月にウミトラノオ中のFeの季節変動をみると,顕著な季節変動を示した.3月と6月の平均濃度を比較すると,5倍近い差異が認められた.</p> <table border="1" data-bbox="598 660 1053 985"> <caption>Concentration of trace elements in marine algae (µg/g dry weight)</caption> <thead> <tr> <th>Species</th> <th>Dry weight (%)</th> <th>Mn</th> <th>Fe</th> <th>Co</th> <th>Ni</th> <th>Cu</th> <th>Zn</th> <th>Rb</th> <th>Cs</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Anaosa</td><td>18.5</td><td>18</td><td>590</td><td>0.17</td><td>2.3</td><td>12</td><td>19</td><td>11</td><td>0.046</td></tr> <tr><td>Uta periss</td><td>16.5</td><td>24</td><td>410</td><td>0.18</td><td>—</td><td>—</td><td>20</td><td>16</td><td>0.037</td></tr> <tr><td>Aonori</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr> <tr><td>Enteromorpha sp.</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr> <tr><td>Tsunomata</td><td>13.5</td><td>26</td><td>81</td><td>0.36</td><td>6.9</td><td>14</td><td>170</td><td>19</td><td>0.048</td></tr> <tr><td>Cladus acellatus</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr> <tr><td>Hijikite</td><td>38.1</td><td>8.4</td><td>170</td><td>—</td><td>3.9</td><td>9.4</td><td>26</td><td>11</td><td>0.037</td></tr> <tr><td>Alveflia paradoxa</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr> <tr><td>Wakame</td><td>10.0</td><td>9.5</td><td>54</td><td>0.16</td><td>4.6</td><td>3.4</td><td>—</td><td>41</td><td>0.047</td></tr> <tr><td>Undaria pinnatifida</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr> <tr><td>Arauc</td><td>17.4</td><td>4.9</td><td>35</td><td>0.12</td><td>2.5</td><td>4.0</td><td>39</td><td>26</td><td>0.061</td></tr> <tr><td>Eisenia bicyclis</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr> <tr><td>Hijiki</td><td>11.5</td><td>10</td><td>77</td><td>0.14</td><td>4.6</td><td>3.0</td><td>16</td><td>52</td><td>0.060</td></tr> <tr><td>Hizikia fusiforme</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr> <tr><td>Unitoranoo</td><td>15.1</td><td>41</td><td>430</td><td>0.36</td><td>2.8</td><td>5.9</td><td>38</td><td>28</td><td>0.071</td></tr> <tr><td>Sargassum thunbergii</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr> <tr><td>Nejsumoku</td><td>23.0</td><td>7.9</td><td>78</td><td>0.17</td><td>2.4</td><td>6.9</td><td>15</td><td>20</td><td>0.037</td></tr> <tr><td>Sargassum azumicum</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr> <tr><td>Obamoku</td><td>15.9</td><td>8.1</td><td>47</td><td>0.23</td><td>2.1</td><td>9.9</td><td>27</td><td>28</td><td>0.042</td></tr> <tr><td>Sargassum ringoldianum</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr> <tr><td>Hatakinoku</td><td>18.5</td><td>36</td><td>320</td><td>0.43</td><td>3.2</td><td>10</td><td>—</td><td>24</td><td>0.043</td></tr> <tr><td>Sargassum Ajellmanianum</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr> <tr><td>Akamoku</td><td>14.5</td><td>8.2</td><td>98</td><td>0.12</td><td>2.2</td><td>1.9</td><td>13</td><td>32</td><td>0.049</td></tr> <tr><td>Sargassum horneri</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr> </tbody> </table>	Species	Dry weight (%)	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Cs	Anaosa	18.5	18	590	0.17	2.3	12	19	11	0.046	Uta periss	16.5	24	410	0.18	—	—	20	16	0.037	Aonori	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Enteromorpha sp.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Tsunomata	13.5	26	81	0.36	6.9	14	170	19	0.048	Cladus acellatus	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Hijikite	38.1	8.4	170	—	3.9	9.4	26	11	0.037	Alveflia paradoxa	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Wakame	10.0	9.5	54	0.16	4.6	3.4	—	41	0.047	Undaria pinnatifida	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Arauc	17.4	4.9	35	0.12	2.5	4.0	39	26	0.061	Eisenia bicyclis	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Hijiki	11.5	10	77	0.14	4.6	3.0	16	52	0.060	Hizikia fusiforme	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Unitoranoo	15.1	41	430	0.36	2.8	5.9	38	28	0.071	Sargassum thunbergii	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Nejsumoku	23.0	7.9	78	0.17	2.4	6.9	15	20	0.037	Sargassum azumicum	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Obamoku	15.9	8.1	47	0.23	2.1	9.9	27	28	0.042	Sargassum ringoldianum	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Hatakinoku	18.5	36	320	0.43	3.2	10	—	24	0.043	Sargassum Ajellmanianum	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Akamoku	14.5	8.2	98	0.12	2.2	1.9	13	32	0.049	Sargassum horneri	—	—	—	—	—	—	—	—	—	<p>No. 1</p> <p>海産生物中の微量元素の定量-I 微量元素濃度の変動要因について</p> <p><i>Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries</i> Vol. 44(2), pp. 155-162</p> <p>石井紀明 他</p>	<p>1978</p>
Species	Dry weight (%)	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Cs																																																																																																																																																																																																																																																			
Anaosa	18.5	18	590	0.17	2.3	12	19	11	0.046																																																																																																																																																																																																																																																			
Uta periss	16.5	24	410	0.18	—	—	20	16	0.037																																																																																																																																																																																																																																																			
Aonori	—	—	—	—	—	—	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																			
Enteromorpha sp.	—	—	—	—	—	—	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																			
Tsunomata	13.5	26	81	0.36	6.9	14	170	19	0.048																																																																																																																																																																																																																																																			
Cladus acellatus	—	—	—	—	—	—	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																			
Hijikite	38.1	8.4	170	—	3.9	9.4	26	11	0.037																																																																																																																																																																																																																																																			
Alveflia paradoxa	—	—	—	—	—	—	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																			
Wakame	10.0	9.5	54	0.16	4.6	3.4	—	41	0.047																																																																																																																																																																																																																																																			
Undaria pinnatifida	—	—	—	—	—	—	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																			
Arauc	17.4	4.9	35	0.12	2.5	4.0	39	26	0.061																																																																																																																																																																																																																																																			
Eisenia bicyclis	—	—	—	—	—	—	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																			
Hijiki	11.5	10	77	0.14	4.6	3.0	16	52	0.060																																																																																																																																																																																																																																																			
Hizikia fusiforme	—	—	—	—	—	—	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																			
Unitoranoo	15.1	41	430	0.36	2.8	5.9	38	28	0.071																																																																																																																																																																																																																																																			
Sargassum thunbergii	—	—	—	—	—	—	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																			
Nejsumoku	23.0	7.9	78	0.17	2.4	6.9	15	20	0.037																																																																																																																																																																																																																																																			
Sargassum azumicum	—	—	—	—	—	—	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																			
Obamoku	15.9	8.1	47	0.23	2.1	9.9	27	28	0.042																																																																																																																																																																																																																																																			
Sargassum ringoldianum	—	—	—	—	—	—	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																			
Hatakinoku	18.5	36	320	0.43	3.2	10	—	24	0.043																																																																																																																																																																																																																																																			
Sargassum Ajellmanianum	—	—	—	—	—	—	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																			
Akamoku	14.5	8.2	98	0.12	2.2	1.9	13	32	0.049																																																																																																																																																																																																																																																			
Sargassum horneri	—	—	—	—	—	—	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																			
<p>1977, 78年,茨城県五浦海岸において,アカモクの生長に伴う形態変化と濃度変動との関連を調べることを目的とした.なお,葉状部,気胞,茎状部に分け,Feは原子吸光分析法で定量した.</p> <p>この結果,Feの体内濃度分布についてみると,藻体中のFe濃度は体高の増加と共に指数的に減少する傾向にあった.次に,生長に伴う各器官の藻体に対する構成比の変化をみると,葉状部上部,下部で2~3倍の濃度差で不均一分布を示し,生長によりFe濃度は減少した.生長段階にける各器官の濃度差は2~4倍であった. Fe濃度の減少要因として,①生長に伴う藻重量の増加によるFe濃度の希釈,②生長段階におけるFe代謝の相違,③各器官の重量構成比の変化によるFe濃度の寄与率の推移,が推察された.体内Fe濃度に対して,気胞,生長に伴う主枝葉状部の形成や脱落も濃度変動に寄与していた.</p> <p>また,1~7月に採取分に関して,生長とFe濃度の季節変化の影響について,各生長段階群別の平均Fe濃度と群別鉄濃度をみると,どの時期でも生長段階が低いと高濃度で,春期に最高濃度を示す季節変動であった.これは形態変化や代謝活性の相違と推察された.</p> <div data-bbox="135 1601 534 1937"> <p>Relationship between body size of <i>Sargassum horneri</i> and concentration of iron (N=45).</p> </div> <div data-bbox="566 1601 997 1937"> <p>Seasonal variation of concentration of iron in <i>Sargassum horneri</i> with different body sizes. ○—○ 0~50 cm, △—△ 100~150 cm, □—□ 100~150 cm, ×—× 150~300 cm.</p> </div>	<p>No. 2</p> <p>海産生物中の微量元素の定量-II アカモクの生長段階と鉄濃度との関係について</p> <p><i>Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries</i> Vol. 45(4), pp. 459-464</p> <p>石井紀明 他</p>	<p>1979</p>																																																																																																																																																																																																																																																										

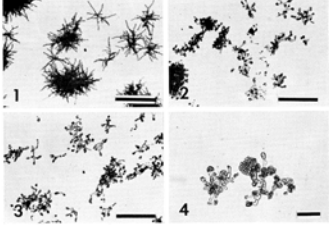
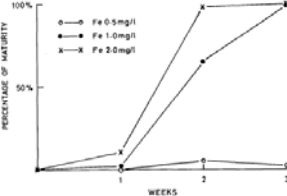
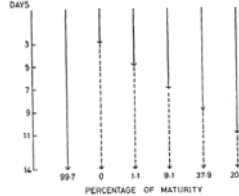
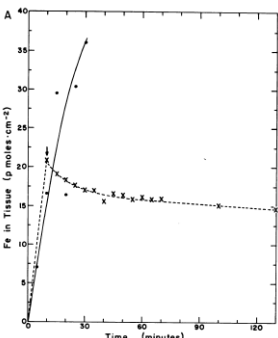
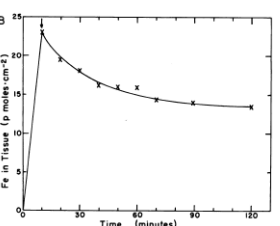
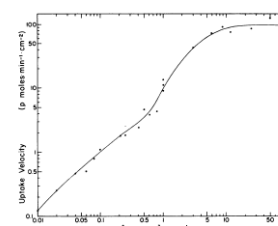
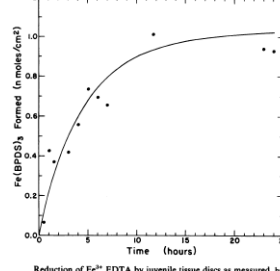
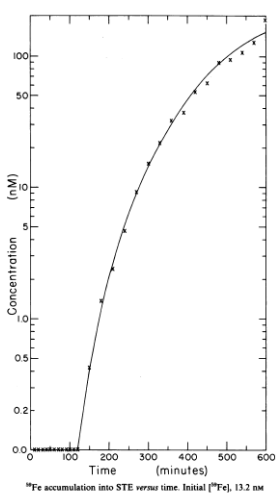
藻場に与えるFeの影響に関する既存知見

要旨	資料名	発行年																																																																													
<p>1979年春期に茨城県沿岸の褐藻ホンダワラ科ネジモクとコンブ科アラメを用いて、器官および部位別ならびに組織別の微量元素の分布を調査した。</p> <p>この結果、Feは葉状部に偏在し、茎状部と比べて8倍の濃度であった。アラメの葉状部から生長段階の相違を区別した結果、Fe濃度は生長段階が高くなると共に漸増傾向を示した。また、Fe濃度は生長点の存在する葉状部の基部からの距離に従って高くなる傾向がみられた。</p> <p>次に、微量元素の器官、組織別の分布との関係について検討した結果、表層中にFeは高濃度に蓄積される不均一分布が観察された。ネジモク表層中のFe濃度は非常に高く500~1,500 μg/g乾であり皮層、髄層の25 μg/g乾と比較すると40倍高い濃度であった。</p> <p>以上から、葉状部中のFeの90%以上は表層において蓄積されていることになる。また、アラメもFeの表層への偏在が観察され、葉状部および茎状部の表層中のFe濃度は約300 μg/g乾であり、皮層、髄層の30倍程度高くFeが濃縮されていた。3個体の分散を考慮した結果、1) Fe濃度は葉状部先端ほど高い値を示すが基部の2倍を越えない、2) 同一個体の葉状部間の濃度差は小さい、3) 表層中のFe濃度は概ね200~400 μg/g乾の範囲であった。</p>	<p>No. 3</p> <p>海産生物中の微量元素の定量-III 藻体における微量元素の分布について</p> <p><i>Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries</i></p> <p>Vol. 46(2), pp. 185-184</p> <p>石井 紀明 他</p>	<p>1980</p>																																																																													
<p>Feは、藻体中における存在形態、生理機能、体内分布について、いずれも不明である。そこで、1986年10月に青森県大間町産の一年生および二年生の天然藻体のマコンブ (<i>Laminaria japonica</i>) を用いて、Feの藻体内分布について調べた。Fe分析用の試料を3分割し、湿式分解後フレームレス原子吸光光度計を用いて定量した。</p> <p>この結果、Fe含有量は一年生藻体の先端部に高く、中央部、葉柄部付近と下部になるにしたがい著しく減少し、葉柄部付近は先端部の約1/8であった。二年生藻体では、葉柄部付近では先端の10倍以上の含有量が認められた。</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <table border="1" data-bbox="399 1814 1053 2060"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="7">Inorganic elements of Kombu (<i>Laminaria japonica</i>)</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="7">mg% on dry basis</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>K</th> <th>Na</th> <th>Ca</th> <th>Fe</th> <th>Cd</th> <th>Cu</th> <th>Mg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Annual</td> <td>blade A</td> <td>7,600</td> <td>3,100</td> <td>960</td> <td>21.6</td> <td>≤ 1</td> <td>≤ 1</td> <td>600</td> </tr> <tr> <td>blade B</td> <td>8,300</td> <td>3,100</td> <td>720</td> <td>11.3</td> <td>≤ 1</td> <td>≤ 1</td> <td>610</td> </tr> <tr> <td>blade C</td> <td>6,500</td> <td>2,700</td> <td>550</td> <td>2.7</td> <td>≤ 1</td> <td>≤ 1</td> <td>600</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Biennial</td> <td>blade A</td> <td>5,300</td> <td>2,800</td> <td>1,050</td> <td>2.8</td> <td>≤ 1</td> <td>≤ 1</td> <td>620</td> </tr> <tr> <td>blade B</td> <td>3,800</td> <td>2,100</td> <td>840</td> <td>6.0</td> <td>≤ 1</td> <td>≤ 1</td> <td>510</td> </tr> <tr> <td>blade C</td> <td>3,100</td> <td>1,700</td> <td>660</td> <td>30.4</td> <td>≤ 1</td> <td>≤ 1</td> <td>430</td> </tr> </tbody> </table> </div>			Inorganic elements of Kombu (<i>Laminaria japonica</i>)									mg% on dry basis									K	Na	Ca	Fe	Cd	Cu	Mg	Annual	blade A	7,600	3,100	960	21.6	≤ 1	≤ 1	600	blade B	8,300	3,100	720	11.3	≤ 1	≤ 1	610	blade C	6,500	2,700	550	2.7	≤ 1	≤ 1	600	Biennial	blade A	5,300	2,800	1,050	2.8	≤ 1	≤ 1	620	blade B	3,800	2,100	840	6.0	≤ 1	≤ 1	510	blade C	3,100	1,700	660	30.4	≤ 1	≤ 1	430	<p>No. 4</p> <p>海藻中の有用微量元素成分に関する研究-マコンブ藻体中のヒ素および鉄の分布と変動-</p> <p><i>微量栄養素研究</i></p> <p>第6集, pp. 129-133</p> <p>福永 健治 他</p>	<p>1989</p>
		Inorganic elements of Kombu (<i>Laminaria japonica</i>)																																																																													
		mg% on dry basis																																																																													
		K	Na	Ca	Fe	Cd	Cu	Mg																																																																							
Annual	blade A	7,600	3,100	960	21.6	≤ 1	≤ 1	600																																																																							
	blade B	8,300	3,100	720	11.3	≤ 1	≤ 1	610																																																																							
	blade C	6,500	2,700	550	2.7	≤ 1	≤ 1	600																																																																							
Biennial	blade A	5,300	2,800	1,050	2.8	≤ 1	≤ 1	620																																																																							
	blade B	3,800	2,100	840	6.0	≤ 1	≤ 1	510																																																																							
	blade C	3,100	1,700	660	30.4	≤ 1	≤ 1	430																																																																							

藻場に与えるFeの影響に関する既存知見

要旨	資料名	発行年
<p>Feは大型藻類の光合成において重要である。そこで、⁵⁹Fe-EDTAによる大型藻類の、Feの新しい摂取速度を求めるために、細胞破壊なしに生体中の鉄を十分に吸収できるアスコルビン酸を用い、藻類表面に吸着したFeを除去した。なお、成体の藻類を日本海近海より採集した。</p> <p>この結果、不溶性Feの存在で酸による細胞破壊が起きなかったためか、⁵⁹Fe濃度は実験開始後20分で増加し、6時間を経過しても維持されていた。また、ホソメコンブ、ワカメによるFeの摂取速度はそれぞれVmax=2.7, 6.4p moles Fe/(cm²·h)であった。また、Vmax/2のときのKsは、それぞれ54, 98nMであった。日本海における20nMの粒状鉄の溶解速度と、実験で得られた摂取速度を比較したところ、大型藻類は粒状鉄から溶解する溶存Feの100倍以上のFeを接取することができた。このことから、Feイオンの人為的供給は質的に優れた大型藻類を生産できる可能性がある。</p> <p>Fig. 2. Adsorption and uptake of iron by adult <i>Laminaria religiosa</i>. ○: 180 nM Fe; ●: 54 nM Fe</p> <p>Uptake and uptake rate of iron by adult <i>Undaria pinnatifida</i>. ○: 180 μM Fe; ●: 54 nM Fe</p>	<p>No. 5</p> <p>Uptake rate of iron by Macroalgae from the sea of Japan (<i>Laminaria religiosa</i> Miyabe and <i>Undaria pinnatifida</i>)</p> <p><i>Bull. Japan. Soc. Fish. Oceanogr.</i>, Vol. 55, No. 4, pp. 349-353</p> <p>K. Matsunaga et al.</p>	<p>1991</p>
<p>海中には生物が利用可能な0.025 μm以下の鉄が含まれている。そこで、海藻類が利用できる鉄形態を探し、マコンブによる鉄の吸収を把握するために、⁵⁹Feの水酸化二価鉄の錯体である[am-Fe(III)]と溶解性Fe(III)-EDTAを用いて、また有機物分解のためのUV処理の有無による鉄濃度の変化の観測を実施した。なお、1993年に北海道日本海側より採取し、生長部を含む、基部から20 cmまでの葉身を用いた。</p> <p>この結果、Fe(III)-EDTAが有効で、鉄とEDTA比で効果が変わることがわかった。陸からの流入が少ない場所では、鉄粒子の濃度は2~10nMであった。また、UV照射による有機物質の分解後、55%の鉄が、大型藻類によって吸収されており、UV照射していないものと比べ、4倍もの差があった。このため、陸からの流入に影響されない沿岸の海水中に、有機的な鉄錯体のような形態の溶存鉄(<0.025 μm)など、利用可能な鉄が少しだけ存在していると考えられた。</p> <p><i>Laminaria japonica</i>. Iron uptake rate (pmol cm⁻² h⁻¹) as a function of EDTA:Fe molar ratio in soluble Fe(III)-EDTA media. Continuous line represents standard model (offered by R. Hudson) observed from diatoms and other phytoplankton (Anderson and Morel 1982; Hudson and Morel 1990)</p> <p><i>Laminaria japonica</i>. A Time-course of iron concentration (nM) during 48 h cultivation in 0.025-μm filtrate medium prepared from the UV-irradiated coastal seawater. B Mass of intracellular iron (nmol) after 48 h cultivation.</p>	<p>No. 6</p> <p>Bioavailable iron species in seawater measured by macroalga (<i>Laminaria japonica</i>) uptake</p> <p><i>Marine Biology</i> Vol. 123, pp. 173-178</p> <p>Y. Suzuki et al.</p>	<p>1995</p>

藻場に与えるFeの影響に関する既存知見

要旨	資料名	発行年												
<p>マコンブの雌性配偶体は、10°C、14L:10D、2,000-3,000luxの条件下、PSEI培地で卵原細胞を形成した。しかし、ASP12NTA培地ではほとんど形成しなかった。ただし、鉄はマコンブの卵原細胞の形成を強く誘導しているため、雌性配偶体は2週間後に、キレート化したFe-EDTA (2.0mg/L)の下で卵原細胞を形成した。このときにはすでにほとんどの雌性配偶体は卵になっていた。これらの卵は異常な形態の単為発生胞子体に発達した。</p>  <p>Fig. 1. <i>L. angustata</i> female gametophytes in ASP₁₂ NTA medium after 2 weeks from inoculation. Scale=500 μm. Fig. 2. <i>L. angustata</i> female gametophytes bearing oogonia in PSEI medium after 2 weeks from inoculation. Scale=500 μm. Fig. 3. <i>L. angustata</i> female gametophytes in ASP₁₂ NTA medium containing 2.0 mg/l EDTA chelated iron after 2 weeks from inoculation. Scale=500 μm. Fig. 4. Parthenogenetic sporophytes of <i>L. angustata</i> in ASP₁₂ NTA medium containing 2.0 mg/l EDTA chelated iron after 3 weeks from inoculation. Scale=100 μm.</p> <p>Oogonium formation of <i>L. angustata</i> female gametophytes in ASP₁₂ NTA medium and PSEI medium</p> <table border="1" data-bbox="502 667 821 750"> <thead> <tr> <th>Medium</th> <th>Total gametophytes counted</th> <th>Mature gametophytes Number</th> <th>Percentage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ASP₁₂ NTA</td> <td>713</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>PSEI</td> <td>878</td> <td>806</td> <td>91.8</td> </tr> </tbody> </table>   <p>Relation between concentration of EDTA chelated iron and culture periods of oogonium formation of <i>L. angustata</i> female gametophytes.</p> <p>Percentages of oogonium formation of <i>L. angustata</i> female gametophytes which were transferred from ASP₁₂ NTA medium containing 2.0 mg/l EDTA chelated iron to normal ASP₁₂ NTA medium after 3, 5, 7, 9 and 11 days from inoculation.</p>	Medium	Total gametophytes counted	Mature gametophytes Number	Percentage	ASP ₁₂ NTA	713	0	0	PSEI	878	806	91.8	<p>No. 7</p> <p><i>Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries</i></p> <p>Vol. 47 (12), pp. 1535-1540</p> <p>T. Motomura and Y. Sakai</p>	<p>1981</p>
Medium	Total gametophytes counted	Mature gametophytes Number	Percentage											
ASP ₁₂ NTA	713	0	0											
PSEI	878	806	91.8											
<p>ジャイアントケルプのFe吸収の要素として、葉身組織が決め手となる。そこで、その葉身組織に関して、Fe濃度、光、抑制物質、葉身型の影響の可能性があったため、人工海水培地Aquil中で実験を実施した。</p> <p>この結果、⁵⁹Feの自由相からの交換は、成熟した葉身組織は未成熟個体や幼個体と比べて遅かった。Feの吸収速度は葉齢によって異なった (未成熟, 0.96±0.13 (標準偏差); 成熟, 2.11±0.04; 老齢, 1.50±0.23 pmol/min/cm²)。また、Feの吸収は光と独立し、エネルギーに依存的であった。また、Fe²⁺はAquil中で即座にFe³⁺になることがわかった。また、(a)沿岸部の海水の利用可能な鉄濃度は35nMであるが不変ではない、(b)海水中で利用可能なFeの接取能はAquil中のFe-EDTAの場合と類似、(c)流動特性はケルプ礁で常に飽和状態、(d)ケルプ組織中のtotal-Fe平均値は78.12 μg Fe·g·d.w. ということがわかった。</p>      <p>Iron uptake into tissue discs in Aquil versus time. A, juvenile plant tissue, total Fe, 350 nM; x-x 10 min uptake followed by wash (1) to remove free space iron; (●-●) uptake after 30 min wash. B, adult blade tissue total Fe, 250 nM; 10 min uptake followed by wash (1).</p> <p>Uptake rate versus iron concentration in Aquil for juvenile plant tissue discs.</p> <p>Reduction of Fe³⁺ EDTA by juvenile tissue discs as measured by the appearance of Fe²⁺ BPDFS, with time. Initial FeEDTA, 350 nM; BPDFS, 1 μM.</p> <p>⁵⁹Fe accumulation into STE versus time. Initial [⁵⁹Fe], 13.2 nM in offshore surface water.</p>	<p>No. 8</p> <p>Iron Uptake and Translocation by <i>Macrocystis pyrifera</i></p> <p><i>Plant Physiol.</i> Vol. 68, pp. 914-918</p> <p>STEVEN L. MANLEY</p>	<p>1981</p>												

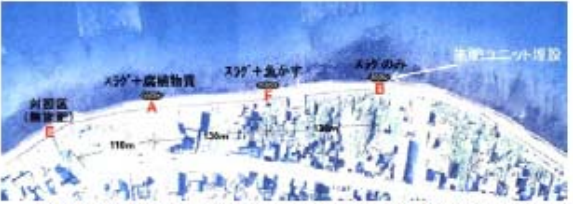
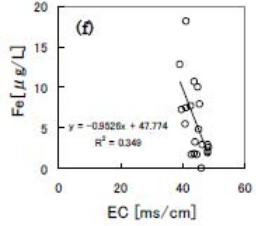
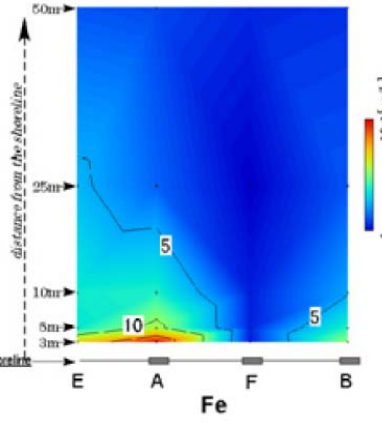

藻場に与えるFeの影響に関する既存知見

要旨	資料名	発行年																																																																		
<p>生物の多様性を修復するためには、沿岸域の藻場造りが重要である。この藻場造りや、貧栄養化で磯焼けした海域において、転炉スラグや鉄鉱石を配合し栄養強化したポーラスコンクリート(EPOC)は、適度な肥料成分を溶出させることで、早期の藻場の回復が期待できる。このため、カジメの群落が存在する兵庫県瀬戸内海のサイトAと、ガラモ、カジメ群落が存在する三重県英虞湾のサイトBで、海藻胞子が自然着生する9月に設置し、3カ月後、5カ月後、1年後の計3回、肉眼で観察可能な全ての生物の種類と被度を調査した。</p> <p>この結果、1年後にはサイトAではカジメが、サイトBではサガラメ、マクサなどが観察され、普通コンクリートよりも被度が大きかった。また、A,Bともに鉄系骨材を配合した場合に現存量が大きくなる傾向にあることがわかった。</p> <table border="1" data-bbox="103 651 635 797"> <caption>供試体の配合表</caption> <thead> <tr> <th rowspan="2">タイプ</th> <th rowspan="2">構成</th> <th rowspan="2">W/C (%)</th> <th colspan="6">単位容積質量 (kg/m³)</th> </tr> <tr> <th>W</th> <th>C</th> <th>S</th> <th>G</th> <th>Sp</th> <th>Gcs</th> <th>Gio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P0</td> <td>POC</td> <td>24</td> <td>62</td> <td>261</td> <td>0</td> <td>1489</td> <td>2.6</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>P2</td> <td>POC+肥料</td> <td>24</td> <td>62</td> <td>261</td> <td>0</td> <td>1489</td> <td>2.6</td> <td>52.2</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>F2</td> <td>POC+肥料+鉄鉱石</td> <td>24</td> <td>62</td> <td>261</td> <td>0</td> <td>1043</td> <td>2.6</td> <td>52.2</td> <td>760</td> </tr> <tr> <td>S2</td> <td>POC+肥料+スラグ</td> <td>24</td> <td>62</td> <td>261</td> <td>0</td> <td>1043</td> <td>2.6</td> <td>52.2</td> <td>612</td> </tr> <tr> <td>NC</td> <td>普通コンクリート</td> <td>63</td> <td>161</td> <td>256</td> <td>822</td> <td>1019</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> <p>POC：ポーラスコンクリート、W：水、C：セメント、S：細骨材、G：粗骨材、Sp：混和剤、Gcs：転炉スラグ、Gio：鉄鉱石</p>	タイプ	構成	W/C (%)	単位容積質量 (kg/m ³)						W	C	S	G	Sp	Gcs	Gio	P0	POC	24	62	261	0	1489	2.6	0	0	P2	POC+肥料	24	62	261	0	1489	2.6	52.2	0	F2	POC+肥料+鉄鉱石	24	62	261	0	1043	2.6	52.2	760	S2	POC+肥料+スラグ	24	62	261	0	1043	2.6	52.2	612	NC	普通コンクリート	63	161	256	822	1019	0	0	0	<p>No. 9</p> <p>沿岸域の生物多様性を修復するポーラスコンクリートに関する研究</p> <p>2001</p> <p>コンクリート工学 年次論文集 Vol. 23, No. 1 , pp181-186</p> <p>吉田宗久, 玉井元治</p>	
タイプ				構成	W/C (%)	単位容積質量 (kg/m ³)																																																														
	W	C	S			G	Sp	Gcs	Gio																																																											
P0	POC	24	62	261	0	1489	2.6	0	0																																																											
P2	POC+肥料	24	62	261	0	1489	2.6	52.2	0																																																											
F2	POC+肥料+鉄鉱石	24	62	261	0	1043	2.6	52.2	760																																																											
S2	POC+肥料+スラグ	24	62	261	0	1043	2.6	52.2	612																																																											
NC	普通コンクリート	63	161	256	822	1019	0	0	0																																																											
<p>藻類の生育には、溶存Fe(II)の安定的な増加が重要である。そこで、Fe²⁺を多く含む転炉系製鋼スラグや人工腐植土を混合した藻場造成材料の施肥が、コンブ生育促進の効果を持つか、Fe濃度ないし施肥ユニット原料の組み合わせによるコンブ生育実験を行った。</p> <p>(1) 室内培地実験による北海道増毛産ホソメコンブの配偶体成熟に及ぼす鉄濃度の影響</p> <p>Feフリー培地でFe(II)の濃度を変えて、遊走子を14℃、14 L:10Dで1か月間培養し、配偶体の成熟状況を観察した結果、鉄濃度がフリーの場合に配偶体の成熟が進行せず、Fe(II)濃度が0.5mg/L以上で雌雄いずれの配偶体にも成熟することが確認された。</p> <p>(2) 遊走子放出～胞子体発生期における水槽実験</p> <p>①製鋼スラグ+人工腐植物質、②製鋼スラグ、③腐植物質、④ブランク+施肥材料、の4水槽に11月から約50日目のコンブ生長量を比較した結果、①のみ1m以上に生長した。Fe(II)の添加、特に腐植物質との混合で、遊走子放出から配偶体成熟～受精～胞子体の発生が促進される施肥効果が確認できた。</p> <p>(3) コンブの胞子体の生長に及ぼす施肥原料の影響について</p> <p>(2)と同様の組み合わせで、製鋼スラグを含む(5月7日～29日)系と製鋼スラグを含まない系(6月20日～8月10日)で生育状況を調べた結果、1回目は施肥した場合のみ生長し、(製鋼スラグ) < (製鋼スラグ+人工腐植物質) < (製鋼スラグ+発酵魚粉)であった。2回目は、7月の高水温で生長が厳しく、無施肥および腐植物質でほとんど生長せず、発酵魚粉を添加した場合のみ生長が維持された。このため、胞子体の生長には、製鋼スラグを含む施肥で栄養吸収促進効果が高いことがわかった。</p> <div data-bbox="810 920 1061 1122"> <p>Effects of Fertilizing Unit Combination on the sporophyte of <i>Laminaria</i> after 150 days.</p> </div> <div data-bbox="135 1839 459 2018"> <p><i>Laminaria</i> female and male gametophytes in ASP2NTA medium containing several concentration of EDTA-chelated iron after one month.</p> </div> <div data-bbox="486 1832 734 2033"> <p>Relation between culture periods and growing ratio of <i>Laminaria</i> under with several fertilizing unit (test-2)</p> </div> <div data-bbox="774 1832 1021 2033"> <p>Relation between culture periods and growing ratio of <i>Laminaria</i> with several fertilizing unit (test-1)</p> </div>	<p>No. 10</p> <p>海域施肥時のコンブ等の生育に及ぼす施肥原料成分の影響に関する水槽実験結果 - 転炉系製鋼スラグ等を用いた藻場造成技術開発(3) -</p> <p>第20回海洋工学シンポジウム</p> <p>堤直人 他</p> <p>2008</p>																																																																			

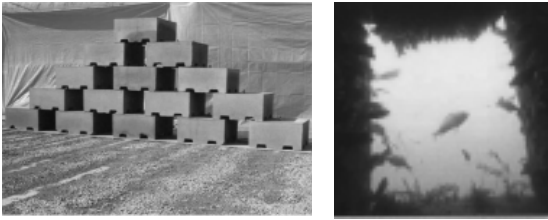
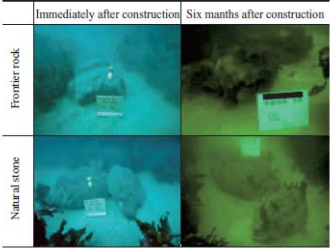
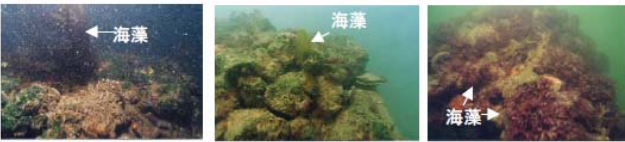
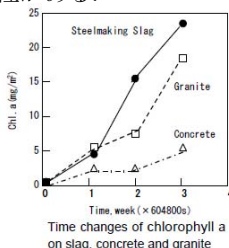
藻場に与える Fe の影響に関する既存知見

要旨	資料名	発行年
<p>近年、海洋の基礎生産力の向上を、鉄分散布により効果を挙げようと試みられている。鉄は多くの酵素やたんぱく質に含まれ、光合成系や呼吸系の電子伝達、クロロフィルの生合成、硝酸と亜硝酸の還元、窒素固定、活性酵素など種々の分解に使われる。低酸素濃度ではFe²⁺として大量に存在するが、光合成による酸素濃度増加によりFe(III)に酸化されることで水酸化沈殿として除かれ、生物は鉄を効果的な摂取が困難であるとされる。</p> <p>海水中の鉄濃度は微量（10⁻⁹ mol/l =56ppt）で、計測も困難である。Redfieldratioの計算法では、リン1に対して、鉄10⁻³~10⁻⁴の鉄が必要とされ、表層では常に鉄不足が起きている可能性がある。一般に鉄分は河川等を通じ海に供給されるが、外洋までは運ばれない状況にある。</p> <p>これまで世界各地で鉄散布による微小藻類の増加に関する実験や大型藻類に施肥剤として投与する実験が行われ、いずれも効果があったことが報告されている。底生生物でも増加の傾向を示す結果が報告されている。</p>	<p>No. 11</p> <p>基長講演海洋施肥と海の森づくり—施肥剤使用による課題と方策—</p> <p>平成21年度「海の森づくり」シンポジウムVI 海洋施肥と海の森づくり 要旨集 pp. 8-9</p> <p>堀田 健治</p>	<p>2009</p>
<p>製鋼工程から発生するスラグを原料として成型し、これにCO₂を吹き込むことにより製造された藻場造成礁「マリブロックTM」は、珊瑚や貝殻と同じ炭酸カルシウムを主成分とする被膜が存在し、組織がネットワーク状に広がっている構造である。1997年より、全国10か所の海域で、コンクリートブロックと比較した結果、マリブロック表面の炭酸カルシウムの生物親和性が大きいためか、どの海域でもコンクリートブロックを上回る藻の着生効果が認められた。</p> <p>特に、2002年3月に広島県因島市棕浦地区を試験海域とし、マリブロックを沈設した結果、アカモク、ボウアオノリ、フクリンアミジなど計12種類の海藻が観察され、2003年2月には、アカモク、シダモク、タマハハキモクが水面上から容易に観察できるほど生長した。2004年2月では、アカモク、シダモクなどが再生産され、多年生の大型褐藻類のノコギリモク、クロメも確認された。</p>	<p>No. 12</p> <p>循環型社会に貢献する鉄鋼スラグの利用技術</p> <p>JFE 技報 No. 6, pp. 24-29</p> <p>藪田 和哉 他</p>	<p>2004</p>
<p>2002年3月の広島県因島で、新たな自然破壊に繋がらないよう、鉄鋼スラグ（粒径80mm以下の塊状）を用いた潜堤材の生物着生特性について検証するため、浅場モデルの造成を行った。</p> <p>造成後、海藻類の製鋼スラグへは、設置4か月後にボウアオノリ、イバラノリなどが、11か月後にはホンダワラ類や紅藻類などが、着生・繁茂していた。</p> <p>また、製鋼スラグ潜堤から同定された珪藻類細胞数は、浅場外の天然転石より多く、潜堤材表面の微細な凹凸が多いこと、Fe、PおよびSiなどの供給が珪藻類着生を促した可能性が推察された。このことから、製鋼スラグ潜堤材は浅場の構成材として有用であることが明らかになった。</p>	<p>No. 13</p> <p>製鋼スラグによる海域の底質改善</p> <p>JFE 技報 No. 19, pp. 1-5</p> <p>宮田 康人</p>	<p>2008</p>

藻場に与えるFeの影響に関する既存知見

要旨	資料名	発行年																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
<p>磯焼けの要因として報告される鉄濃度について、施肥と実験海域における鉄濃度との関係を明確するために、(1)2007年6月に、北海道増毛町舎熊海岸の汀線部における実海域施肥実験水質調査を実施した(試験区A;人工腐植土+転炉系製鋼スラグ,B;転炉系製鋼スラグ,F;発酵魚かす+転炉系製鋼スラグ,対照区;E)。この結果,A近傍で18.1μg/Lのピークが,B近傍で10μg/Lのピークとなり、沖合への濃度勾配から、溶出Feの広範囲への拡散が示唆された。しかし,FはFeの供給よりも藻類の消費が多く濃度が低下したと推測された。</p> <p>次の(2)海水採取および水質調査では、4試験区および対照区の汀線部からそれぞれ沖に向けて3~50m,水深50~100cmの20箇所海水を採取した結果,Fe(定量下限:1μg/L)はECと負の相関がみられたが、淡水流入以上に施肥供給の影響が推定された。</p>   	<p>No. 14</p> <p>製鋼スラグ等の海域施肥試験における海域Fe濃度分布に関する検討 -転炉系製鋼スラグ等を用いた藻場造成技術開発(2) -</p> <p>第20回海洋工学会シンポジウム</p> <p>加藤 敏朗 他</p>	<p>2008</p>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
<p>マリブロック™に求められる、「鉄鋼スラグを用いた浅場造成」の構成材および海藻着生基盤としての機能を検証することを目的とした。そこで、2002年3月、広島県因島の海域にマリブロックを設置し、2002年7月、2003年2月、12月、2004年2月の4回の、マリブロックに着生する生物相の追跡調査を行った。</p> <p>この結果、海藻類に関して、2003年2月は、アカモク、シダモクなどの一年生ホンダワラ類の着生が顕著で、2003年12月はクロメ、マメタワラなどの一年生や、カバノリやフシツナギなどの多年生紅藻類がみられた。2004年2月はアカモクやシダモクの数個体に生殖器床が形成されていた。設置マリブロック合計種数は、で、6, 19, 30種と推移した。</p>  <p>設置4か月後にマリブロックに観察された海藻</p> <table border="1" data-bbox="119 1736 359 2038"> <thead> <tr> <th>綱</th> <th>種名</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">緑藻</td> <td>シオゲサ属の1種</td> </tr> <tr> <td>アオサ属の1種</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">褐藻</td> <td>ボウアオノリ</td> </tr> <tr> <td>クロメ</td> </tr> <tr> <td>フクロノリ</td> </tr> <tr> <td>フクリンアミジ</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">紅藻</td> <td>アカモク</td> </tr> <tr> <td>マメタワラ</td> </tr> <tr> <td>ホンダワラ属の1種</td> </tr> <tr> <td>カギケノリ</td> </tr> <tr> <td>ヒラツツナギソウ</td> </tr> <tr> <td>イギス科の数種</td> </tr> <tr> <td>アヤニシキ</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" data-bbox="367 1534 1077 1982"> <caption>マリブロックおよび浅場周辺の転石帯で観察された海藻類 (2003年2月, 12月, 2004年2月調査)</caption> <thead> <tr> <th rowspan="2">観察時期</th> <th colspan="5">2003年2月**</th> <th colspan="5">2003年12月**</th> <th colspan="5">2004年2月**</th> </tr> <tr> <th>e</th> <th>f</th> <th>g</th> <th>h</th> <th>i</th> <th>e</th> <th>f</th> <th>g</th> <th>h</th> <th>i</th> <th>e</th> <th>f</th> <th>g</th> <th>h</th> <th>i</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>観察した固着体/地点</td> <td>1.5</td> <td>2.1</td> <td>2.7</td> <td>3.1</td> <td>3.8</td> <td>1.5</td> <td>2.1</td> <td>2.7</td> <td>3.1</td> <td>3.8</td> <td>1.5</td> <td>2.1</td> <td>2.7</td> <td>3.1</td> <td>3.8</td> </tr> <tr> <td>固着体上面の水深(cm)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>種数%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>個体数%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>全長(cm): 最小-最大</td> <td>22-65</td> <td>90-280</td> <td>110-320</td> <td>65-170</td> <td>50</td> <td>15-50</td> <td>10-40</td> <td>10-30</td> <td></td> <td></td> <td>60-350</td> <td>10-320</td> <td>8-280</td> <td>180-350</td> </tr> <tr> <td>種数%</td> <td>60</td> <td>30</td> <td>30</td> <td>30</td> <td>5</td> <td>30</td> <td>30</td> <td>+</td> <td></td> <td></td> <td>50</td> <td>5</td> <td>30</td> <td></td> </tr> <tr> <td>個体数%</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>8</td> <td>36</td> <td>21</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td>4</td> <td>3</td> <td>20</td> <td></td> </tr> <tr> <td>全長(cm): 最小-最大</td> <td>140-320</td> <td>350</td> <td>370</td> <td>390</td> <td>15-70</td> <td>5-60</td> <td>2-125</td> <td>10-20</td> <td></td> <td></td> <td>190-520</td> <td>4-90</td> <td>3-530</td> <td></td> </tr> <tr> <td>種数%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>個体数%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>全長(cm)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>種数%</td> <td>10</td> <td>10</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>+</td> <td>+</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>30</td> <td>+</td> <td>+</td> <td></td> </tr> <tr> <td>個体数%</td> <td>-</td> <td>-</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>3</td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>9</td> <td>1</td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>全長(cm): 最小-最大</td> <td>140-320</td> <td>40-120</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>3-40</td> <td>1-25</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>30-170</td> <td>80</td> <td>90</td> <td></td> </tr> <tr> <td>種数%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>個体数%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>全長(cm)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>種数%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>個体数%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>種数合計</td> <td>6</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>12</td> <td>10</td> <td>11</td> <td>8</td> <td>16</td> <td>19</td> <td>18</td> <td>16</td> <td>16</td> <td>11</td> </tr> </tbody> </table> <p>注*1 比較的着生が良好な部位の25cm×25cm型枠内について測定 注*2 炭酸固着体の上面および側面について測定 注*3 炭酸固着体については上面および側面について測定。周辺については、測定点の1m²当たりの本数を測定。</p>	綱	種名	緑藻	シオゲサ属の1種	アオサ属の1種	褐藻	ボウアオノリ	クロメ	フクロノリ	フクリンアミジ	紅藻	アカモク	マメタワラ	ホンダワラ属の1種	カギケノリ	ヒラツツナギソウ	イギス科の数種	アヤニシキ	観察時期	2003年2月**					2003年12月**					2004年2月**					e	f	g	h	i	e	f	g	h	i	e	f	g	h	i	観察した固着体/地点	1.5	2.1	2.7	3.1	3.8	1.5	2.1	2.7	3.1	3.8	1.5	2.1	2.7	3.1	3.8	固着体上面の水深(cm)																種数%																個体数%																全長(cm): 最小-最大	22-65	90-280	110-320	65-170	50	15-50	10-40	10-30			60-350	10-320	8-280	180-350	種数%	60	30	30	30	5	30	30	+			50	5	30		個体数%	-	-	-	-	8	36	21	3			4	3	20		全長(cm): 最小-最大	140-320	350	370	390	15-70	5-60	2-125	10-20			190-520	4-90	3-530		種数%															個体数%															全長(cm)															種数%	10	10				+	+				30	+	+		個体数%	-	-				3	2				9	1	1		全長(cm): 最小-最大	140-320	40-120				3-40	1-25				30-170	80	90		種数%															個体数%															全長(cm)															種数%															個体数%															種数合計	6	3	2	2	12	10	11	8	16	19	18	16	16	11	<p>No. 15</p> <p>藻場造成要鉄鋼スラグブロックへの海藻着生</p> <p>海洋開発論文集 Vol. 20, pp887-892</p> <p>宮田康人 他</p>	<p>2004</p>
綱	種名																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
緑藻	シオゲサ属の1種																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	アオサ属の1種																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
褐藻	ボウアオノリ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	クロメ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	フクロノリ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	フクリンアミジ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
紅藻	アカモク																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	マメタワラ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	ホンダワラ属の1種																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
カギケノリ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
ヒラツツナギソウ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
イギス科の数種																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
アヤニシキ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
観察時期	2003年2月**					2003年12月**					2004年2月**																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
	e	f	g	h	i	e	f	g	h	i	e	f	g	h	i																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
観察した固着体/地点	1.5	2.1	2.7	3.1	3.8	1.5	2.1	2.7	3.1	3.8	1.5	2.1	2.7	3.1	3.8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
固着体上面の水深(cm)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
種数%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
個体数%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
全長(cm): 最小-最大	22-65	90-280	110-320	65-170	50	15-50	10-40	10-30			60-350	10-320	8-280	180-350																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
種数%	60	30	30	30	5	30	30	+			50	5	30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
個体数%	-	-	-	-	8	36	21	3			4	3	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
全長(cm): 最小-最大	140-320	350	370	390	15-70	5-60	2-125	10-20			190-520	4-90	3-530																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
種数%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
個体数%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
全長(cm)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
種数%	10	10				+	+				30	+	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
個体数%	-	-				3	2				9	1	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
全長(cm): 最小-最大	140-320	40-120				3-40	1-25				30-170	80	90																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
種数%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
個体数%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
全長(cm)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
種数%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
個体数%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
種数合計	6	3	2	2	12	10	11	8	16	19	18	16	16	11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					

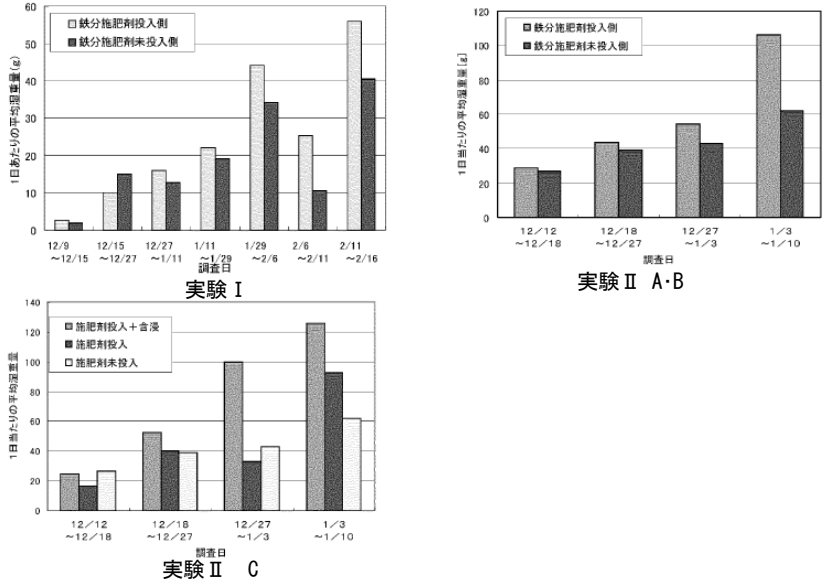

藻場に与える Fe の影響に関する既存知見

要旨	資料名	発行年	
<p>製鋼工程から発生するスラグに含まれる CaO と CO₂ を反応させ生成した炭酸カルシウムは、スラグ粒子を強固に結合、被覆した組織となるため、製鋼スラグの課題であった膨張崩壊や海水の pH 上昇の問題が解決された。そこで、海中で非常に安定な構造体となる、この新しい技術によって製造された、溶銑予備スラグを用いた炭酸固化体の藻場造成礁、マリンプロック™ (底面 1m 角, 高さ 50cm) による藻場造成ができることが期待された。</p> <p>そこで、1999 年 4 月に、この炭酸固化体を海底に積み上げて、大型海藻を含めた藻の植生や生物の状況を調査する試験を実施した結果、海藻が繁殖し、その隙間に魚が多数集まるのを確認することができた。</p> 	<p>No. 16</p> <p>多様化するニーズに貢献する製鋼技術</p> <p><i>NKK 技報</i> No. 179, pp. 14-21</p> <p>田辺 治良 中田 正之</p>	<p>2002</p>	
<p>2006 年 11 月、千葉県南房総において、アワビ、サザエなどの成育に適した藻場の造成試験を行った。人工の藻場内の深さ 11m 地点に、比較材として地元産の硬質砂岩と並べて敷設し、藻類の生育状況の比較を行った。</p> <p>この結果、6 か月経過した 2007 年 5 月には、人工石材は硬質砂岩と比較して藻類の大きさにおいて明らかに優れていることが分かった。</p>	 <p>漁港沖での藻礁敷設 Appearance of the comparison examination of natural stone and Frontier rock™ for the creation of marine forest</p>	<p>No. 17</p> <p>鉄鋼スラグ水と固化体製人工石材「フロンティアロック™」</p> <p><i>JFE 技報</i> No. 19, pp. 18-22</p> <p>宇多田悦郎 松永久宏</p>	<p>2008</p>
<p>鉄鋼生産の副産物である鉄鋼スラグは CaO を多く含み、ヘドロが堆積した海底の浄化効果を有している。そこで、鉄鋼スラグを組み入れた沿岸海域環境の改善修復技術の開発を目的に、静岡県清水市折戸で海域実験を実施した。対象海域は最奥部で、河川からの流入物によって、海底全面がヘドロで覆われ大型海藻がほとんど生息せず、夏期には底層に無酸素の海水層が生成する富栄養化した海域である。</p> <p>海底設置実験では、4 年にわたり製鋼スラグ表面に季節に応じた海藻類が着生し、周辺がヘドロで覆われているにもかかわらず、スラグ表面の隙間は確保され、主にケイ藻とアオサが着生していた。クロロフィル a 量、種数、細胞数はコンクリート、天然石よりもスラグで多かった。このため、製鋼スラグは Fe の海藻類への増殖効果と併せて、付着性海藻類の着生基盤として、コンクリートや天然石以上の機能を有し、富栄養化のヘドロで覆い尽くされた透明度の小さい閉鎖性海域において、有効な環境改善材となる可能性がある。</p>  	<p>No. 18</p> <p>鉄鋼スラグによる沿岸環境改善技術</p> <p><i>NKK 技報</i> No. 177, pp. 47-51</p> <p>沼田哲始 他</p>	<p>2002</p>	

藻場に与える Fe の影響に関する既存知見

要旨	資料名	発行年																																							
<p>製鋼スラグと腐植土を混ぜ合わせたものを、袋に詰め埋設、或は鋼製ボックスに入れ海中沈設することで栄養分を海へ供給し、短時間で藻場造成の効果を発現させることを目的とした。</p> <p>そこで、①Fe・栄養塩の有無によるコンブ生育への影響調査を実施した結果、配偶体の成熟および孢子体の生長における Fe の重要性が判明した。次に、②ビバリーシリーズの海藻育成効果実証実験（腐植物質+製鋼スラグ設置）と無施肥の条件下における水槽実験とビバリーシリーズ設置の実海域実験（北海道寿都町、函館市、和歌山県田辺市）を行った結果、ビバリーシリーズ設置による海藻育成効果が確認され、実海域での Fe 濃度上昇を確認した。</p> <div data-bbox="766 286 1085 392"> </div> <div data-bbox="766 470 1085 728"> </div> <div data-bbox="702 772 1085 929"> </div>	<p>No. 19</p> <p>鉄鋼スラグを利用した藻場再生試験</p> <p>平成 21 年度「海の森づくり」シンポジウム VI 海洋施肥と海の森づくり 要旨集 P10</p> <p>中川雅夫</p>	<p>2009</p>																																							
<p>スラグと腐植土の混合物から溶出する腐植酸鉄が、磯やけ対策に有効とされ、新日鉄が大学等と共同で進めている研究開発で、海中に溶出した Fe^{2+} がコンブの復活に大きな効果があるとされている。</p> <p>スラグの海洋利用への関心が高まる中、日本鉄鋼連盟と鉄鋼メーカー、大学、港湾空港技術研究所、水産総合研究センター、産業技術総合研究所、国・自治体、漁連等の協力のもとに平成 16 年～19 年の 4 年間に亘る研究開発成果を紹介すると、浚渫土と製鋼スラグを混合することで、魚貝藻等の生物への影響については、①毒性のないこと②藻類の生育がスラグパネルではコンクリートパネルに比べ 2～3 倍速かったことが発表された。</p> <p>製鋼スラグには、20%弱の金属鉄や酸化鉄が含まれている。Fe^{2+} が徐々に海中に溶け出し、藻類の生長に寄与していく製鋼スラグは、『海肥』といえるものである。</p>	<p>No. 20</p> <p>鉄鋼副産物が地球温暖化を防ぐ</p> <p>JRCM NEWS No. 265, p1</p> <p>林明夫</p>	<p>2008</p>																																							
<p>Fe 施肥のカジメの孢子、配偶子、幼孢子体の生存、生長への影響を調べるために、千葉県の大岩礁地帯のカジメを、2500～3500Lux, 10L:12D, 20℃に設定した水槽内で 16 日間培養した。また、鉄分施肥区にのみ 40g/100L 投入した。</p> <p>この結果、鉄分施肥で孢子の発芽、生存、生長が促進され、幼孢子体でも生長が促進された。</p> <div data-bbox="103 1702 574 2004"> <table border="1"> <caption>150個での1個あたりの個体数</caption> <thead> <tr> <th>経過日数</th> <th>鉄分施肥区投入側</th> <th>鉄分施肥区未投入側</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3</td><td>32</td><td>18</td></tr> <tr><td>5</td><td>29</td><td>16</td></tr> <tr><td>7</td><td>28</td><td>14</td></tr> <tr><td>9</td><td>27</td><td>12</td></tr> <tr><td>11</td><td>25</td><td>10</td></tr> <tr><td>13</td><td>23</td><td>8</td></tr> <tr><td>15</td><td>21</td><td>6</td></tr> </tbody> </table> </div> <div data-bbox="590 1702 1069 2004"> <table border="1"> <caption>50個あたりの個体数</caption> <thead> <tr> <th>経過日数</th> <th>鉄分施肥区投入側</th> <th>鉄分施肥区未投入側</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>10</td><td>10</td><td>2</td></tr> <tr><td>15</td><td>45</td><td>10</td></tr> </tbody> </table> </div>	経過日数	鉄分施肥区投入側	鉄分施肥区未投入側	3	32	18	5	29	16	7	28	14	9	27	12	11	25	10	13	23	8	15	21	6	経過日数	鉄分施肥区投入側	鉄分施肥区未投入側	0	0	0	5	1	0	10	10	2	15	45	10	<p>No. 21</p> <p>鉄分施肥による藻場造成に関する実験的研究 その1 カジメの生長に与える鉄の影響</p> <p>日本建築学会学術講演梗概集 pp. 391-392</p> <p>秋田明家 他</p>	<p>2002</p>
経過日数	鉄分施肥区投入側	鉄分施肥区未投入側																																							
3	32	18																																							
5	29	16																																							
7	28	14																																							
9	27	12																																							
11	25	10																																							
13	23	8																																							
15	21	6																																							
経過日数	鉄分施肥区投入側	鉄分施肥区未投入側																																							
0	0	0																																							
5	1	0																																							
10	10	2																																							
15	45	10																																							

藻場に与える Fe の影響に関する既存知見

要旨	資料名	発行年
<p>実験 I では、冬季の千葉県千倉漁港内で養殖筏内を Fe 施肥側 (5.5kg×3)、未施肥側に分け、実験 II では、神奈川県金田湾内で施肥剤 (5kg) を設置した A 筏、A と 10m 離れた無施肥の B 筏、さらに 500m 離れ、施肥剤と施肥剤が含浸された幹糸の設置の有無がある C 筏の実験区を設置し、ワカメの平均湿重量/日への影響を調べた。</p> <p>この結果、ワカメの真上からの Fe 施肥で生長が増加し、さらに幹糸の併用で効果が增加することがわかった。</p>  <p>実験 I</p> <p>実験 II A・B</p> <p>実験 II C</p>	<p>No. 22</p> <p>鉄分施肥による藻場造成に関する実験的研究 その2 ワカメの生長に与える鉄の影響</p> <p>日本建築学会学術講演梗概集 pp. 393-394</p> <p>岡本強一 堀田健治</p>	<p>2002</p>
<p>日本や世界各地の沿岸海域において、海藻の群落が消滅する「磯焼け」が生じている。護岸工事や河口堰建設など人為的な原因によって、光合成などに利用される溶存 Fe が減少することで、海藻群落の減少につながると考えられている。Fe 単独では酸化・沈殿しやすいが、土壌中の腐植有機物質 (フルボ酸、フミン酸) と結びつくと沈殿しにくくなり、海藻が吸収できるフルボ酸鉄・フミン酸鉄などの溶存状態で海へと供給されることが知られている。</p> <p>そこで、2004年10月に北海道増毛町舎熊海岸において、鉄鋼製造工程で発生する鉄鋼スラグと廃木材チップから嫌気発酵させた堆肥を混合した鉄分供給ユニットを海岸の汀線に埋設させ、ユニット中に含まれるフルボ酸鉄・フミン酸鉄を波や潮汐によって海水へと供給したところ、翌年にはコンブをはじめとした大型海藻が繁茂し、試験区の実験区は対照区の約 230 倍にもおよび、海藻群落が再生する結果が得られた。また、少なくとも 3 年は効果が持続することが確認された。他にも長崎県大村湾でも藻場再生が確認され、現在では三重県や和歌山県など全国 20 カ所以上で技術の有効性が確認されている。</p>  <p>北海道増毛町舎熊海岸実験 2004</p> <p>2005</p>	<p>No. 23</p> <p>「海の森を再生」 鉄鋼スラグとバイオマスによる磯焼け回復プロジェクト</p> <p>知恵の環ねっと Vol. 36, p. 1</p> <p>山本光夫</p>	<p>2009</p>

藻場に与える Fe の影響に関する既存知見

要旨	資料名	発行年
<p>全国の海域で製鋼スラグの成型体にCO₂を吹き込んで製造される藻場造成礁が設置されている。この藻場造成礁とコンクリートブロックとの比較においては、どの海域でも藻場造成礁により着生効果があることが知られている。この理由として、表面にある炭酸カルシウムや炭酸マグネシウム皮膜の生物親和性が大きいと考えられている。また、岩手県沿岸部では、漁礁を設置する場合には、藻場が形成されることが非常に重要とされている。</p> <p>そこで、本県では、融溶スラグの場合でもコンクリートブロックより早く、炭酸マグネシウム皮膜が形成される可能性が高く、藻場形成に有望であると考えられることから、スラグの成型体にCO₂を吹き込むか、炭酸カルシウムや炭酸マグネシウムを添加することで、藻の着生効果の高い藻場造成礁の開発を目指している。</p>	<p>No. 24</p> <p>溶融スラグの多角的有効活用について</p> <p>岩手県工業技術センター研究報告 Vol.13</p> <p>菅原 龍江</p>	<p>2006</p>
<p>有機態の鉄(Fe(II)-L, Fe(III)-L; Lは有機リガンド)であっても、有機リガンドは分子量が大きく、植物プランクトンはそのまま利用できない。また、シデロフォアによるFeの接取が有効かどうかは、リガンド交換反応(有機リガンドに配位しているFe(III)⇌シデロフォア)に依存している。交換速度が小さければ、シデロフォアはFeシデロフォアを生成する前に細胞表面近傍から拡散してしまう。そこで、本研究では、初期錯体として段戸森林由来フルボ酸、競合リガンドとして菌類由来シデロフォア Desferrioxamine Bを用いて、これらのリガンド交換速度論モデルを構築した。</p> <p>このモデルを基に、フルボ酸のFe結合サイトを強いリガンドL₁、弱いリガンドL₂の2つに分類し、熱力学的に各リガンドクラスに対するFeの結合平衡、K₁、K₂の比を算出した結果、リガンド総量に占めるL₁の割合、α=0.39であり、K₂/K₁=0.039となった。また、この結果と実測データより、k₁=(4.7×10³/ [FA]_T+5.5×10²)M⁻¹・S⁻²と算出された。また、k₁の値に基づいてk₂の値が、≥10⁵M⁻¹・s⁻¹と推定された。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="143 1321 574 1657"> <p>Kinetic model for ligand-exchange between Fe(III)-fulvic acid complex (Fe(III)-L) and desferrioxamine B (DFOB).</p> </div> <div data-bbox="638 1299 1037 1500"> <p>The time courses of Fe(III)-DFOB complex formation under selected experimental conditions. The DFOB stock was added at t = 0 to the NaCl/NaHCO₃ solution containing Fe(III)-FA. The symbols and lines indicate experimental data and model fit, respectively. Stable increase in Fe(III)-DFOB concentration was obtained after 100s.</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="143 1680 478 1926"> <p>Relationship between $[Fe(III)-L_2]_0/[Fe(III)-L_1]_0$ and $[Fe(III)-L_2]_0/[L]_T$. The symbols and line represent experimental data and regression line, respectively.</p> </div> <div data-bbox="638 1680 1037 1904"> <p>Effect of $[L]_T$ on k_1 for Fe(III)-L₁ complex. Solid line, dashed line and dashed-dotted line indicate k_1, k_{2adj} and k_{2disj}, respectively. The approximation used in the model (i.e., eq. 9 to 11) is applicable when $[DFOB]_T$ and $[Fe]_T$ are larger than $1.4[L]_T$.</p> </div> </div>	<p>No. 25</p> <p>フルボ酸第二鉄錯体とシデロフォア Desferrioxamine B のリガンド交換速度論モデルの構築</p> <p>水環境学会誌 Vol. 32, No. 10, pp. 557-564</p> <p>伊藤紘晃 他</p>	<p>2009</p>