

## ○全体概要

### 1. 実証対象技術の概要

#### 1.1 実証技術の原理

富栄養化した閉鎖性海域では、栄養塩類の濃度が高まることで海中における生産・消費・分解のバランスが崩れ、水質や底質の汚濁を招く。海底の底質が嫌気状態になると、嫌気性のバクテリアによる有機物の分解が進み、硫化水素が発生する。

硫化水素は、生物に対する毒性が高いため、底生生物のへい死を引き起こし、底質環境の悪化をもたらす。

本実証技術は、嫌気性の底泥中にセラクリーンを施用することにより、以下の原理で底質が改善されるという環境技術開発者により立てられた仮説について、検証を行った。

- ① 嫌気化した底質環境にセラクリーンを施用することで、可溶性石灰が溶出し、底質がアルカリ化される。
- ② 底質のアルカリ化により、底質中の硫酸還元菌の活性が低下し、硫化水素の発生が抑制される。
- ③ 硫化水素の発生を抑制することで、底生生物の生息しやすい環境が形成され、生物量や生物の多様性が向上される。
- ④ また、溶出したケイ素は、付着珪藻に取り込まれることで付着珪藻を増加させる。付着珪藻を捕食する底生生物や巻き上がった付着珪藻を捕食する二枚貝などの成長促進が期待される。

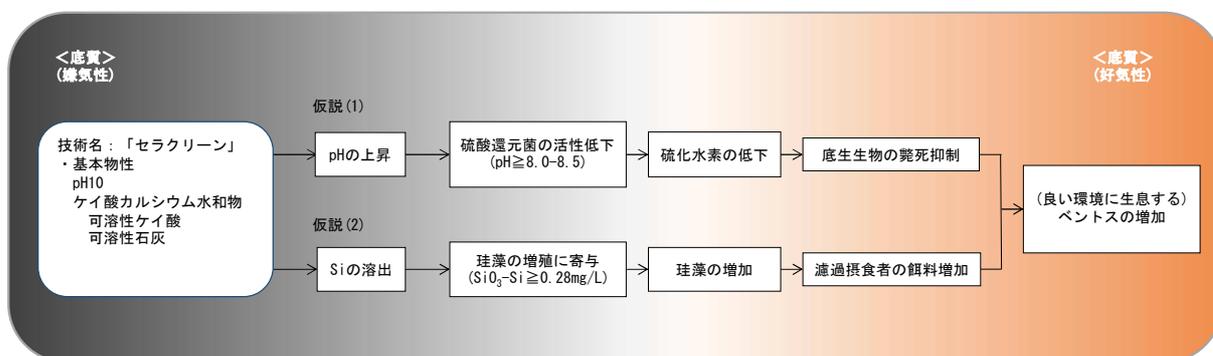


図 1-1 実証対象技術の仮説

## 1.2 実証試験に用いた材料

実証試験で用いたセラクリーンの概要を図 1-2 に示す。

<セラクリーン 顆粒(S)タイプ>

| 商品名  | セラクリーン® 顆粒(S)タイプ   |
|--|--|
|  <p data-bbox="491 913 609 943">パッケージ</p> |  <p data-bbox="1129 913 1182 943">中身</p>   |
| 用途・特徴  | <p>効果：底質土壌の改良</p> <p>基本物性：pH 10.3, EC 1.7mS/cm, かさ比重 0.41g/ml,<br/>水分 30.6%, 比表面積 77m<sup>2</sup>/g, 細孔率 67%</p> <p>成分(%)：SiO<sub>2</sub>(50.8), CaO(26.8), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(3.8), SO<sub>3</sub>(2.7), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1.8),<br/>MgO(0.7), TiO<sub>2</sub>(0.16), その他(1.5), 強熱減量(11.8)</p> <p>資材形状：白色粒状, 1~4mm</p> <p>基本荷姿：20kgビニール袋</p> <p>使用量：1,000m<sup>2</sup>(10a) 当たり2~3袋(40~60kg) ※養殖用途として</p> <p>販売元：太平洋セメント株式会社</p> |

図 1-2 実証試験に用いたセラクリーン物性値

## 2. 実証試験の概要

実証試験の実施概要を図 2-1 に示す。試験方法の詳細は、○本編 5. 実証試験の内容を参照。

### 2.1 実証試験実施場所の概要

実証試験は、青森県むつ市の芦崎湾（海上自衛隊大湊地方隊及び第 25 航空隊 芦崎給油栈橋より北東部の干潟）で実施した。



図 2-1 実証試験場所（青森県むつ市 芦崎湾）

### 2.2 実証試験区の配置状況

実施場所の同程度の地盤高に 2m×3m の試験区を 6 区域設置した（表 2-1）。セラクリーンは、底質に施用後、潮汐による拡散を防ぐため耕耘機によって耕耘して埋設した（耕耘深度 20cm）。なお、硬度等の土質性状を把握し、同一条件の土質で調査を実施した。

表 2-1 試験区一覧

| 試験区  |              |   |   |  |  |
|------|--------------|---|---|--|--|
| 未耕耘区 | 耕耘区<br>(対照区) | セラクリーン<br>300kg/a 区<br>+ 耕耘<br>(以後、<br>300kg/a) | セラクリーン<br>600kg/a 区 +<br>耕耘<br>(以後、<br>600kg/a) | セラクリーン<br>150kg + 耕耘<br>・追加施用 150kg/a 区<br>(以後、150+150kg/a<br>(追肥区)) | セラクリーン<br>300kg/a 区<br>(耕耘なし)※<br>(以後、<br>300kg/a<br>(耕耘なし)) |

※ 自主研究として実施

## 2.3 実証試験の実施工程

実証試験の実施工程を表 2-2 に示す。

表 2-2 実証試験の実施工程

| 項目       | 平成 29 年 |    |    |    |     |     |     |    |    |    |  |  | 平成 30 年 |  |  |  |  |  |  |
|----------|---------|----|----|----|-----|-----|-----|----|----|----|--|--|---------|--|--|--|--|--|--|
|          | 6月      | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 |  |  |         |  |  |  |  |  |  |
| 実証試験     |         |    |    |    |     |     |     |    |    |    |  |  |         |  |  |  |  |  |  |
| 事前調査     |         |    |    |    |     |     |     |    |    |    |  |  |         |  |  |  |  |  |  |
| 底質調査     |         |    |    |    |     |     |     |    |    |    |  |  |         |  |  |  |  |  |  |
| 間隙水質調査   |         |    |    |    |     |     |     |    |    |    |  |  |         |  |  |  |  |  |  |
| 底生微細藻類調査 |         |    |    |    |     |     |     |    |    |    |  |  |         |  |  |  |  |  |  |
| 底生生物調査   |         |    |    |    |     |     |     |    |    |    |  |  |         |  |  |  |  |  |  |
| データ整理    |         |    |    |    |     |     |     |    |    |    |  |  |         |  |  |  |  |  |  |
| 報告書作成    |         |    |    |    |     |     |     |    |    |    |  |  |         |  |  |  |  |  |  |

## 2.4 実証試験の調査項目と調査方法

### 2.4.1 事前調査

試験区と対照区の環境条件が同程度かを確認するために、地盤高（レベルによる横断測量）、土質性状等の底質環境を調査した。また、堆積物による実験結果への影響を除外するために、堆積物が溜まらない場所を試験区と設定し、調査期間中に堆積物の除去等を行った。

### 2.4.2 実証試験

実証試験の調査項目一覧を表 2-3 に示す。

表 2-3 実証試験の調査項目一覧

| 項目             | 調査方法および数量                  | 調査時期  |
|----------------|----------------------------|---|
| 酸化還元電位、pH      | 機器計測（数量：各 n=5）             | 6月（施工時）<br>7月（施工後1ヶ月）<br>8月（施工後2ヶ月）<br>9月（施工後3ヶ月） |
| 硫化水素           | 検知管（数量：各 n=5）              |   |
| ケイ酸            | 室内分析（数量：各 n=5）             |   |
| クロロフィル a, b, c | 室内分析（数量：各 n=3）             |   |
| 底生微細藻類         | コドラートによる定量採集<br>（数量：各 n=3） |   |
| マクロベントス        | コドラートによる定量採集<br>（数量：各 n=3） | 9月（施工後3ヶ月）  |

### 2.4.3 自主研究

自主研究として、アサリの成育試験を表 2-4 のとおり行った。

表 2-4 アサリの成育試験内容

| 項目   | 調査方法および数量                               | 調査時期           |
|------|---|----------------|
| へい死率 | 室内分析                                    | 6月(施工時)        |
| 身入り率 | 室内分析<br>{乾燥剥き身重量/(乾燥剥き身重量+乾燥殻重量)} × 100 | 9月(施工後<br>3ヶ月) |

## 3. 実証試験以外の試験データ（室内実験データ）の活用

### 3.1 実験実施者

太平洋セメント株式会社

### 3.2 実験内容

以下の実験を行った。

- ・ セラクリーンの珪藻培養効果の評価
- ・ アサリに及ぼす影響確認試験
- ・ 干潟での実証試験
- ・ 底質へのセラクリーン施用量の検討

### 3.3 実験結果

#### 3.3.1 セラクリーンの珪藻培養効果の評価

試験海水のケイ酸濃度をみると、珪藻の増殖に伴いケイ酸が無施用区で消費された。一方で、水ガラス区(素材：ケイ酸ナトリウム)とセラクリーン区では、ケイ酸の濃度が保たれていた。また、水ガラスとセラクリーン区は、15日目まで珪藻が確認された。

以上のことから、セラクリーンは、珪藻の増殖に必要なケイ酸量を安定的に供給し続けることができると考えられる。

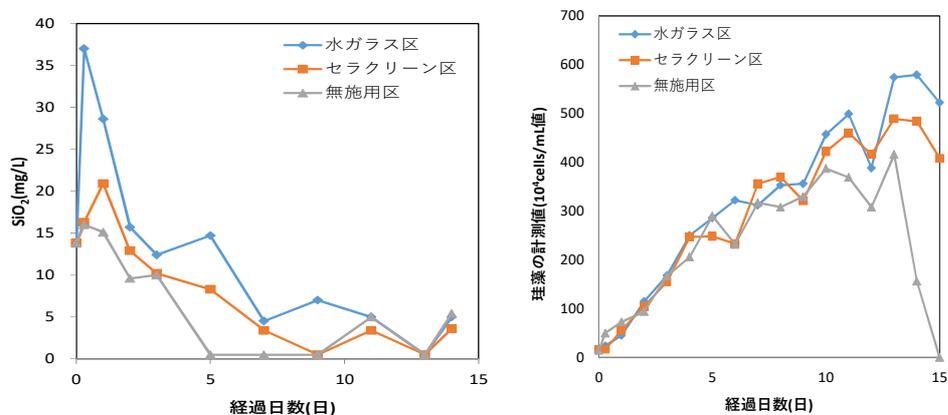


図 3-1 セラクリーン添加に伴うケイ酸濃度と珪藻の変化  
(左図：ケイ酸濃度，右図：珪藻の推移)

### 3.3.2 アサリに及ぼす影響確認試験

生育試験終了時の底質環境は、無施用区の pH が 7.4 であったのに対し、セラクリン区は海水の pH(8.1)と同程度の 8.0 を保っていた。また、ORP も、無施用区で-220mV であるのに対し、セラクリン区は 28mV であった。

次に、アサリの軟体部重量は、無施用区 1.4g であるのに対し、セラクリン区で 1.8g であり、有意に高い値となった。特にセラクリン区のアサリ軟体は、無施用区と比較して色は黄色がかり、体の各組織、特に生殖腺が発達していた。

以上のことから、アルカリ性の資材は底質の酸性化の改善、多孔質の資材は底砂の通水性の確保に寄与し、ヘドロと硫化水素発生の抑制や底生生物の生育環境の改善が期待される。また、ケイ酸溶出効果によりアサリの餌となる珪藻が増殖し、アサリの成長量向上が期待される。

本水槽試験より、セラクリンを底質に混合することで、底質改善やアサリの成長促進に効果を及ぼす可能性が確認された。

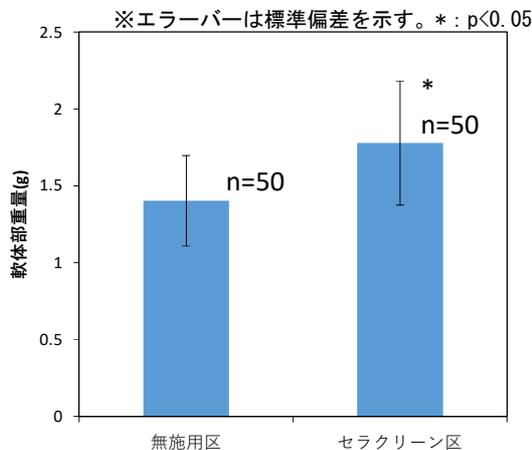


図 3-2 アサリ計測結果

(左図：軟体部重量 右図：セラクリン区アサリ軟体部の状況)

### 3.3.3 干潟での実証試験

セラクリン施用と耕耘を組み合わせることで、酸性化の指標となる pH と、底質の酸化還元率の指標となる ORP が向上し、本技術の底質の酸性化と還元化の抑制効果を確認した。

貫入抵抗値について、セラクリン施用による水硬性がないことを確認した。また、底質中の微生物叢は、未耕耘区と耕耘のみ区で大きな違いはなかったが、セラクリン施用+耕耘区で好気性細菌が増加する傾向にあった。

これらのことから、水硬性の無いセラクリンの施用と耕耘を組み合わせることにより、底質の酸性化と還元化が抑制され、干潟の環境改善に寄与すると考えられる。

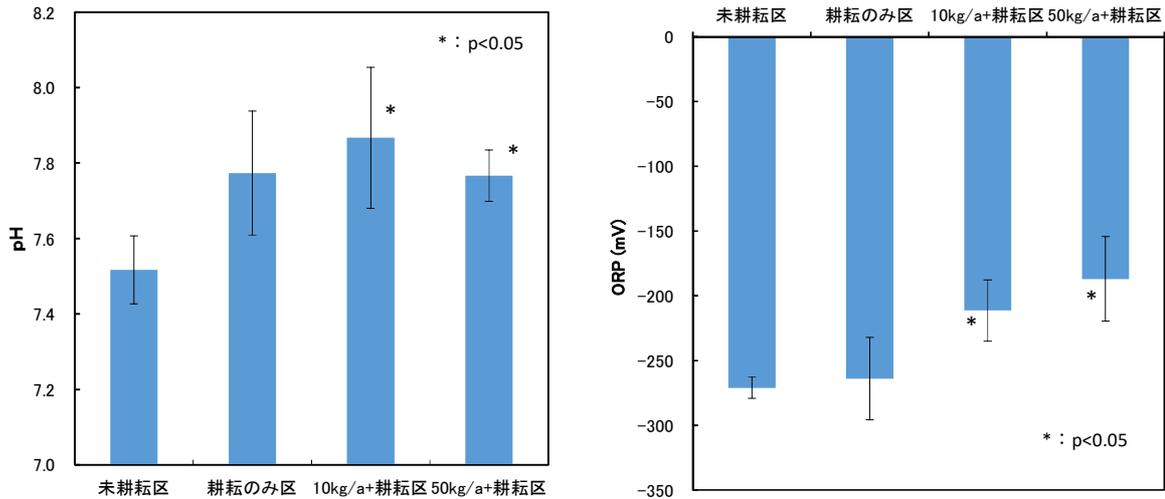


図 3-3 試験開始 4 ヶ月後の底質環境 (左図 : pH, 右図 : ORP)

### 3.3.4 底質へのセラクリーン施用量の検討

セラクリーンの施用量に応じて、底質の pH は上昇し、その効果は 50 日間維持された。また、300kg/a と 600kg/a+耕耘区では、海水の pH(8.1)と同程度の 8.0 まで上昇した。

以上のことから、セラクリーンを施用することで、底質の pH が上昇し、その効果は 50 日間維持することが分かった。本検討結果から、海水の pH(8.1)と同程度の 8.0 まで上昇させるには、セラクリーンを 300kg/a 以上施用させる必要があると考えられる。

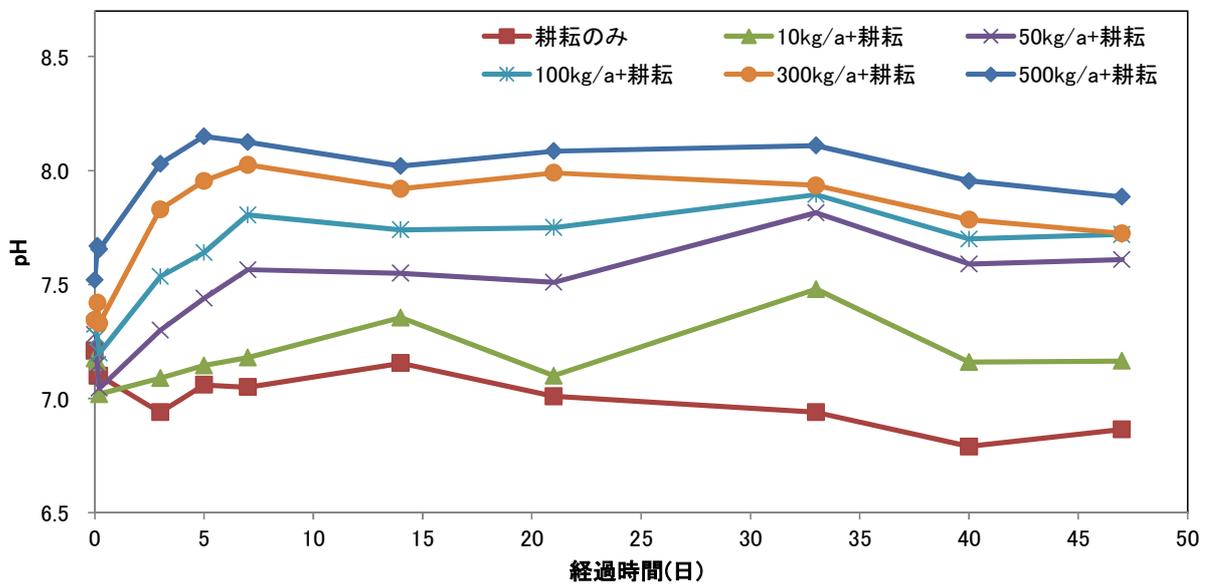


図 3-4 セラクリーン施用量毎の pH の推移

## 4. 実証試験結果

### 4.1 実証項目および目標水準

本実証試験では、セラクリーンを施用することにより、以下の効果を確認した。

- ① 底質をアルカリ化 (pH $\geq$ 8.0) させることで硫酸還元菌の活性を低下させ、硫化水素の発生を抑える。
- ② セラクリーンからケイ素が溶出することで、付着藻類を増加させ、底生生物量を増加させる。

本試験の実証項目と目標水準をエラー！参照元が見つかりません。に示すとおりとし、セラクリーンを施用した試験区と対照区を比較することにより上記の効果を把握した。

表 4-1 実証項目および目標

| 実証項目                 | 目標水準   |
|----------------------|--|
| pH                   | 試験区で pH8.0 以上となること                                       |
| (間隙水中の)硫化水素          | 対照区で H <sub>2</sub> S が発生した際に、対照区と比較して試験区の硫化水素濃度が有意に低いこと |
| 溶存態ケイ素濃度             | 対照区に比べて試験区で有意に高いこと                                       |
| 珪藻(クロロフィル a,b,c の比率) | 対照区と比較して試験区の珪藻(クロロフィル c)の比率が有意に高いこと                      |

### 4.2 実証試験結果と考察

本概要版では、実証項目について述べる。他の項目と詳細については、○本編 5. 実証試験の内容を参照。

#### 4.2.1 底質のアルカリ化について (pH)

pH は、深度 5cm と深度 10cm において、いずれの調査時期においても対照区と比較してセラクリーン施用区でアルカリ化していることがわかった (Tukey' s test、p<0.05、n=5)。また、施工 1 ヶ月から 3 ヶ月にかけて、施用区の pH はアルカリ化効果の判断基準となる 8.0 を超える結果となった。

従って、セラクリーン施用による底質の十分なアルカリ化の効果をとらえることができた。また、その効果が 3 ヶ月間持続することから、底質が悪化する前にセラクリーンを施用することで、底質が酸性化し、硫酸還元菌が活性化する夏季にも効果を発揮すると考えられる。なお、下層への効果を発揮させるためには、耕耘技術との併用が必要である。

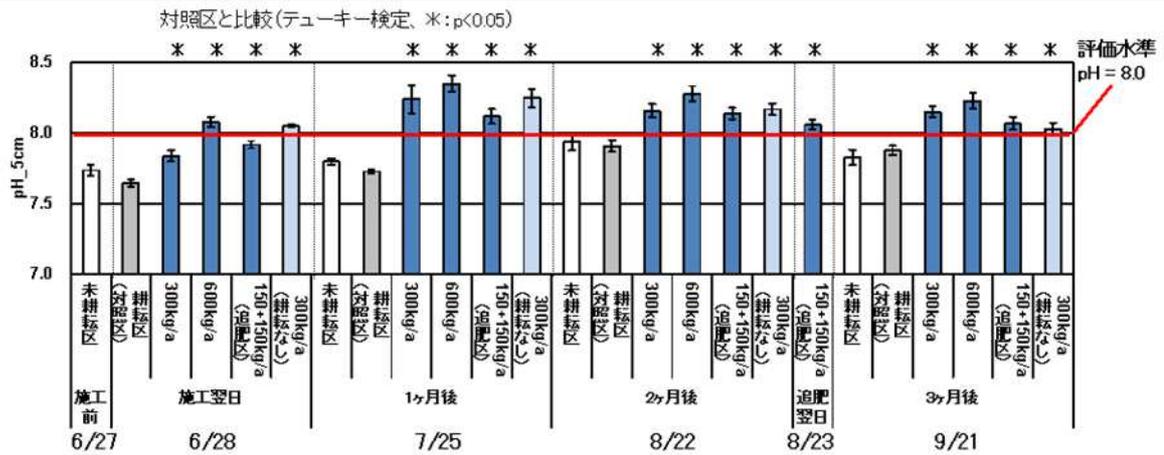


図 4-1 深度 5cm の底質の pH

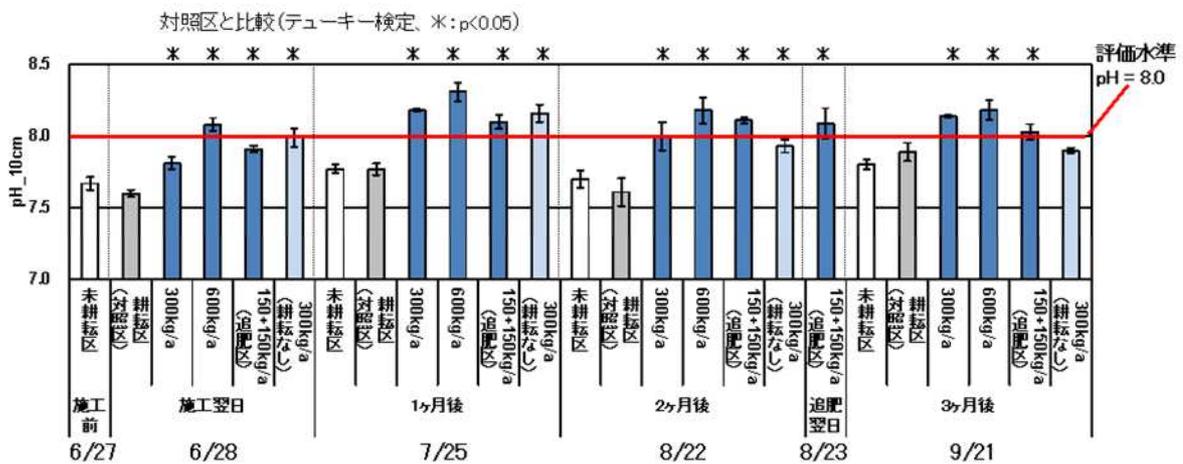


図 4-2 深度 10cm の底質の pH

#### 4.2.2 硫化水素発生抑制について(間隙水中の硫化水素)

試験期間を通じて、硫化水素は施工 2 ヶ月後の未耕耘区で確認されたが、他の試験区では確認されなかった。従って、耕耘区(対照区)で硫化水素が発生しなかったことから、発生抑制効果については評価不能である。

一方で、未耕耘区で硫化水素が発生した際に、同じく耕耘していない 300kg/a(耕耘なし)で確認されなかった。このことから、セラクリーン施用による底質のアルカリ化で硫酸還元菌の活性が低下し、硫化水素の発生が抑制される可能性があると考えられた。

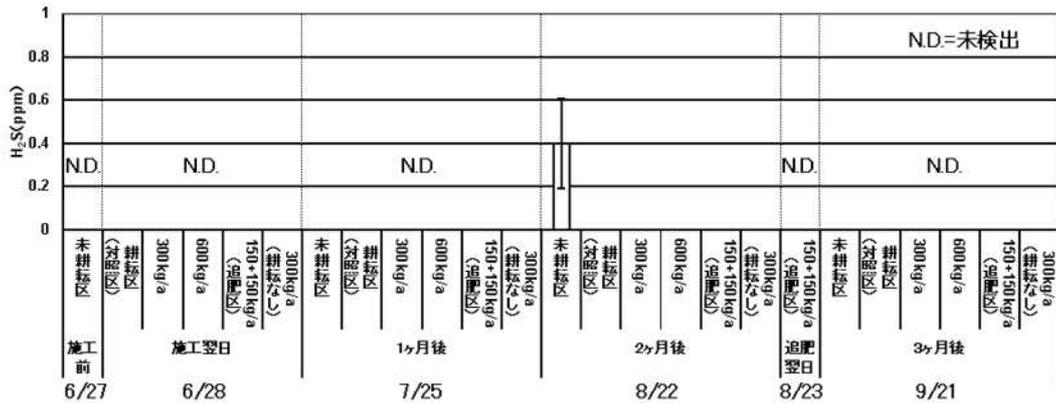


図 4-3 間隙水の硫化水素濃度

#### 4.2.3 ケイ素の溶出効果について(溶存態ケイ素濃度)

対照区と比較してセラクリン施用区の溶存態ケイ素濃度が有意に高く、セラクリンによる溶存態ケイ素の溶出効果が確認された (Tukey's test,  $p < 0.05$ ,  $n=5$ )。また、この効果は、施工3ヶ月調査時でも確認された。

従って、セラクリン施用による底質の十分な溶存態ケイ素の溶出効果をとらえることができた。

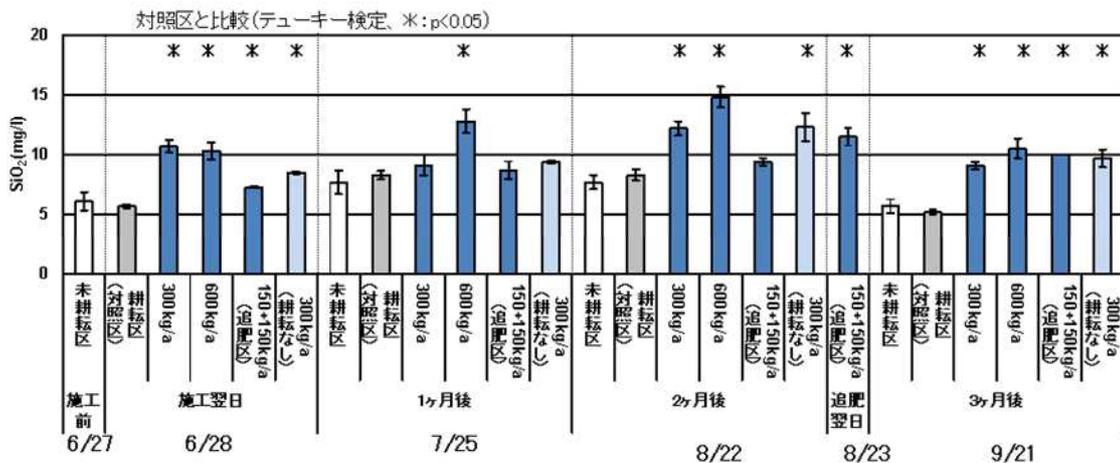


図 4-4 間隙水の溶存態ケイ素

#### 4.2.4 珪藻類の増加効果について(クロロフィル c の比率)

クロロフィル c 比は、対照区と施用区で比較して明瞭な差は認められなかった。また、付着藻類の種組成は、珪藻類の羽状目が 95%以上を占めていた。このことから、試験区域では珪藻が増加しやすい環境下にあることが推察された。

従って、試験区域が珪藻の多い環境であったこともあり、珪藻類の増加効果について対照区と比較して、有意差を確認できなかった。なお、珪藻類に対して、セラクリン施用による悪影響は確認されなかった。

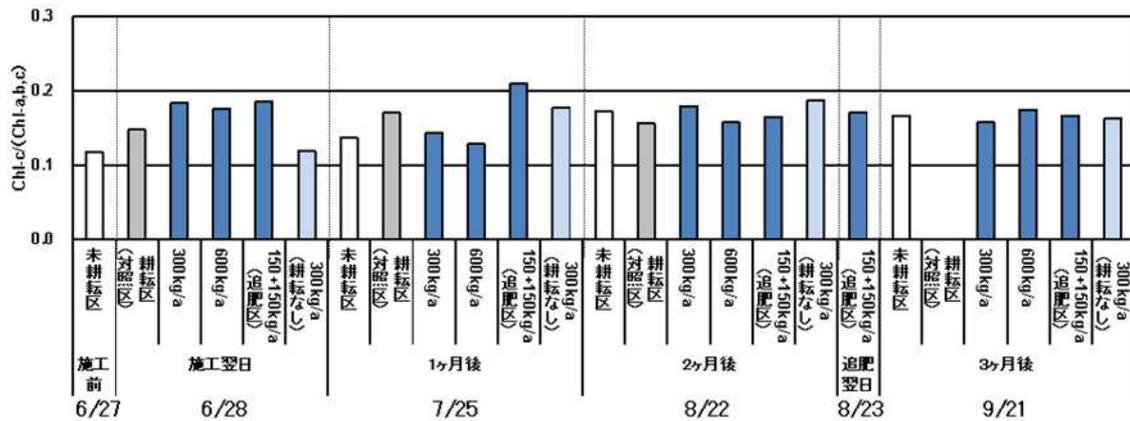


図 4-5 クロロフィル c の比率

### 4.3 普及拡大に向けた課題

本実証試験では、セラクリーンによるアルカリ化と溶存態ケイ素の溶出について3ヶ月間の効果を確認した。効果の継続期間については、長期的な調査の必要がある。長期的な調査により、効果を継続させたい期間に応じた施用量を把握できると考えられる。

本実証試験で評価不能であった「硫化水素の発生抑制効果」と、対照区と比較し、有意な差を確認することができなかった「珪藻の増加効果」を確認するためには、それぞれ硫化水素の発生する場所や、「シリカ欠損」が生じ珪藻が増加しにくい環境下での試験が必要である。

### 5. 参考情報

(※注意：以下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。)

| 項目       |                                     | 実証申請者または開発者 記入欄   |            |          |
|----------|-------------------------------------|---|------------|----------|
| 技術名称     |                                     | セラクリーン®<br>(英文表記: Ceraclean®)   |            |          |
| 企業名      |                                     | 太平洋セメント株式会社<br>(英文表記: Taiheiyo Cement Corporation)  |            |          |
| 連絡先      | TEL/FAX                             | TEL: 03-5531-7416 / FAX: 03-5531-7606   |            |          |
|          | Webアドレス                             | http://www.taiheiyo-cement.co.jp  |            |          |
|          | E-mail                              | shouhei.yanagiya@taiheiyo-cement.co.jp  |            |          |
| 設置・導入条件  |                                     | 1. 特徴: ヘドロの堆積、酸性化、硬化により劣化した干潟や海洋底質の環境を改善し、豊かな沿岸環境を提供する。<br>2. 施工方法<br>・農用トラクターを利用し、ライムソー等の機械で資材を均一に散布した後、ロータリー等で耕耘し混合する。<br>・小規模の施工であれば、資材の手散き、鍬等での手混合により施工する。<br>・沈水域での施工は、ネット等に資材を充填し、海底に置床・固定する。 |            |          |
| 設置・調整期間  |                                     | ・標準施用量は300~500kg/10a。事前に底質を採取し、ビーカー試験等にてpH等を指標に目標値を達成する施用量を決定するのが好ましい。  |            |          |
| 費目       |                                     | 単価(円)   | 数量(10aあたり) | 計(円)     |
| コスト概算    | イニシャルコスト(300kg/10a、年1回手作業での追加散布を想定) |   |            |          |
|          | 土木費                                 | 施工条件による   |            |          |
|          | 薬剤費(セラクリーン)                         | 200円/kg   | 300kg/10a  | 60,000円  |
|          | ランニングコスト(年間)                        |   |            |          |
|          | 薬剤費(セラクリーン)                         | 200円/kg   | 300kg/10a  | 60,000円  |
|          | 其他消耗品費                              |   |            |          |
|          | 生成物処理費/販売収入                         |   |            |          |
| 電力使用料    |                                     |   |            |          |
| 維持管理人員費  |                                     |   |            |          |
| ( )      |                                     |   |            |          |
| 円/10aあたり |                                     |   |            | 120,000円 |

## 正誤表

下記の通り、誤記がありましたので訂正いたします。

### 【誤】 p.11 「5.参考情報」

|            |                                     |  |            |          |
|------------|-------------------------------------|--|------------|----------|
| 項目         |                                     | 実証申請者または開発者 記入欄  |            |          |
| 技術名称       |                                     | セラクリン®<br>(英文表記: Ceraclean®)   |            |          |
| 企業名        |                                     | 太平洋セメント株式会社<br>(英文表記: Taiheiyō Cement Corporation)   |            |          |
| 連絡先        | TEL/FAX                             | TEL:03-5531-7416 / FAX:03-5531-7606  |            |          |
|            | Webアドレス                             | <a href="http://www.taiheiyō-cement.co.jp">http://www.taiheiyō-cement.co.jp</a>  |            |          |
|            | E-mail                              | shouhei.yanagiya@taiheiyō-cement.co.jp   |            |          |
| 設置・導入条件    |                                     | <p>1. 特徴:ヘドロの堆積、酸性化、硬化により劣化した干潟や海洋底質の環境を改善し、豊かな沿岸環境を提供する。</p> <p>2. 施工方法</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・農用トラクターを利用し、ライムソー等の機械で資材を均一に散布した後、ロータリー等で耕耘し混合する。</li> <li>・小規模の施工であれば、資材の手散き、鍬等での手混合により施工する。</li> <li>・沈水域での施工は、ネット等に資材を充填し、海底に置床・固定する。</li> </ul> |            |          |
| 設置・調整期間    |                                     | ・標準施用量は300～500kg/10a。事前に底質を採取し、ピーカー試験等にてpH等を指標に目標値を達成する施用量を決定するのが好ましい。   |            |          |
| 費目         |                                     | 単価(円)  | 数量(10aあたり) | 計(円)     |
| コスト概算      | イニシャルコスト(300kg/10a、年1回手作業での追加散布を想定) |  |            |          |
|            | 土木費                                 | 施工条件による  |            |          |
|            | 薬剤費(セラクリン)                          | 200円/kg  | 300kg/10a  | 60,000円  |
|            | ランニングコスト(年間)                        |  |            |          |
|            | 薬剤費(セラクリン)                          | 200円/kg  | 300kg/10a  | 60,000円  |
|            | その他消耗品費                             |  |            |          |
|            | 生成物処理費/販売収入                         |  |            |          |
|            | 電力使用料                               |  |            |          |
| 維持管理人工費( ) |                                     |  |            |          |
| 円/10aあたり   |                                     |  |            | 120,000円 |

### 【正】 p.11 「5.参考情報」

|            |                                |  |             |          |
|------------|--------------------------------|--|-------------|----------|
| 項目         |                                | 実証申請者または開発者 記入欄  |             |          |
| 技術名称       |                                | セラクリン®<br>(英文表記: Ceraclean®)   |             |          |
| 企業名        |                                | 太平洋セメント株式会社<br>(英文表記: Taiheiyō Cement Corporation)   |             |          |
| 連絡先        | TEL/FAX                        | TEL:03-5801-0404 / FAX:03-5801-0414  |             |          |
|            | Webアドレス                        | <a href="https://www.taiheiyō-cement.co.jp/service_product/ceraclean/index.html">https://www.taiheiyō-cement.co.jp/service_product/ceraclean/index.html</a>  |             |          |
|            | E-mail                         | junji.hamasaki@taiheiyō-cement.co.jp   |             |          |
| 設置・導入条件    |                                | <p>1. 特徴:ヘドロの堆積、酸性化、硬化により劣化した干潟や海洋底質の環境を改善し、豊かな沿岸環境を提供する。</p> <p>2. 施工方法</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・農用トラクターを利用し、ライムソー等の機械で資材を均一に散布した後、ロータリー等で耕耘し混合する。</li> <li>・小規模の施工であれば、資材の手散き、鍬等での手混合により施工する。</li> <li>・沈水域での施工は、ネット等に資材を充填し、海底に置床・固定する。</li> </ul> |             |          |
| 設置・調整期間    |                                | ・標準施用量は <b>3,000kg/10a</b> 。事前に底質を採取し、ピーカー試験等にてpH等を指標に目標値を達成する施用量を決定するのが好ましい。  |             |          |
| 費目         |                                | 単価(円)  | 数量(10aあたり)  | 計(円)     |
| コスト概算      | イニシャルコスト(必要に応じて、年に1回程度追肥しても良い) |  |             |          |
|            | 土木費                            | 施工条件による  |             |          |
|            | 薬剤費(セラクリン)                     | 200円/kg(メーカー希望価格)  | 3,000kg/10a | 600,000円 |
|            | ランニングコスト(年間)                   |  |             |          |
|            | 薬剤費(セラクリン)                     |  |             |          |
|            | その他消耗品費                        |  |             |          |
|            | 生成物処理費/販売収入                    |  |             |          |
|            | 電力使用料                          |  |             |          |
| 維持管理人工費( ) |                                |  |             |          |
| 円/10aあたり   |                                |  |             | 600,000円 |

【修正日時】 2020年9月3日