

# 石炭灰造粒物による底質改善手法の手引き

平成25年3月

国土交通省中国地方整備局  
広島港湾空港技術調査事務所



## ( 目 次 )

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 1 手引きの概要 .....                       | 1  |
| 1.1 手引きの目的 .....                     | 1  |
| 1.2 手引きの全体構成 .....                   | 2  |
| 2 石炭灰造粒物の特徴と適用範囲 .....               | 4  |
| 2.1 産業系リサイクル材の種類と特徴 .....            | 4  |
| 2.2 石炭灰造粒物とは .....                   | 6  |
| 2.3 石炭灰造粒物による底質改善により期待される効果と便益 ..... | 7  |
| 3 環境改善目標の設定と施工候補地の選定 .....           | 10 |
| 3.1 既存資料に基づく周辺海域環境の把握 .....          | 10 |
| 3.2 環境改善目標の設定 .....                  | 11 |
| 3.3 施工箇所（候補地）の選定 .....               | 11 |
| 4 施工範囲、施工層厚の検討のための事前調査 .....         | 12 |
| 4.1 事前調査の目的と設計条件の検討方法の選定 .....       | 12 |
| 4.2 事前調査項目の整理 .....                  | 13 |
| 4.3 事前調査方法 .....                     | 13 |
| 4.4 施工範囲、被覆層厚の検討 .....               | 14 |
| 5 施工の計画・実施 .....                     | 18 |
| 5.1 施工の計画段階で検討する内容 .....             | 18 |
| 5.2 石炭灰造粒物の調達 .....                  | 19 |
| 5.3 施工時期の検討 .....                    | 19 |
| 5.4 めり込みによる割増量の検討 .....              | 20 |
| 5.5 圧密沈下の検討 .....                    | 20 |
| 5.6 施工工法の検討 .....                    | 21 |
| 5.7 施工手順の検討 .....                    | 22 |
| 5.8 施工中の環境保全対策の検討 .....              | 22 |
| 5.9 施工に関する評価 .....                   | 23 |
| 6 施工前・後のモニタリング項目と評価 .....            | 24 |
| 6.1 評価の視点 .....                      | 24 |
| 6.2 モニタリング項目の整理 .....                | 25 |
| 6.3 モニタリング評価の初期値としての事前調査の実施 .....    | 26 |
| 6.4 モニタリング方法 .....                   | 27 |
| 6.5 モニタリング結果の評価方法 .....              | 28 |



# 1 手引きの概要

## 1.1 手引きの目的

本手引きは、国土交通省中国地方整備局広島港湾空港技術調査事務所によって、平成 19 年度から平成 24 年度の 6 年間に渡って、広島湾奥部に位置する海田湾において検討・実証された、「石炭灰造粒物による底質改善手法」を適用する際の指針を示すことを目的に作成されたものである。

### 【解説】

広島湾奥部など背後に都市を抱える閉鎖性の強い海域では、様々な物質が流入・集積・滞留しやすいため、貧酸素水塊の発生による水質や底質の悪化が見られる場合が多い。このため、海域全体の環境改善を考える上で、このような閉鎖性海域は、特に優先的な対策が求められる海域と言える。

中国経済産業局(2009)<sup>1)</sup>によると、広島湾奥部では、海域全体の酸素消費のうち底泥の酸素消費が約 50% 近くを占めていることから、広島湾奥部の貧酸素水塊の発生抑制には底質改善が有効である可能性を示している。また、特に貧酸素水塊の発生頻度が高い場所を重点的に底質改善することで、底質改善を行っていない周辺海域の貧酸素水塊の発生が抑制されるなど、波及効果が高いことも示されている。

しかしながら、従来の覆砂や浚渫といった底質改善手法は、新たに沈降してくる有機物によって、その効果が減衰しやすく、長期的に見ると費用対効果が低くなるという欠点がある。さらに、最近では瀬戸内海における海砂採取の全面禁止（平成 20 年）に伴う覆砂材の調達の困難、埋立の減少に伴う浚渫土砂の処分先の確保の困難などの問題が顕在化してきており、今後、従来の底質改善手法を瀬戸内海全体へ展開していくことは現実的ではない。

一方、近年、循環型社会形成推進の一環として産業系副産物の再利用が進められており、石炭灰造粒物や鉄鋼スラグ、カキ殻といった産業系リサイクル材の海域環境改善への活用に向けた実験や検討が進められている。

このような背景の中、国土交通省中国地方整備局広島港湾空港技術調査事務所では、湾奥部における底質改善技術の検討および実証試験を、広島湾奥部に位置する海田湾において、平成 19 年度から平成 24 年度の 6 年間に渡って実施してきた。

実証試験に際して、まず幾つかの産業副産物を比較検討した結果、底質改善に使用する材料として「石炭灰造粒物」を選定した。続いて、石炭灰造粒物を用いた底質改善実証試験箇所を選定に始まり、実証試験区画の設計・施工工法、モニタリングによる評価といった一連の検討が、委員・関係者の方々の助言・協力のもと進められ、瀬戸内海において石炭灰造粒物による底質改善手法を広く展開していく上で重要となる様々な知見や技術が得られた。

本手引きは、これらの検討結果から得られた知見を集約・整理し、実際の事業等へ「石炭灰造粒物による底質改善手法」が適用される際の指針となるようまとめたものである。

1) 中国経済産業局(2009)：閉鎖性水域の海域別調査（瀬戸内海）～最適な費用対効果の水環境改善対策の組合せ調査～報告書，p139。

## 1.2 手引きの全体構成

手引きでは、本技術を事業に適用する際の検討に関する内容を、実際の検討手順を想定し整理を行った。

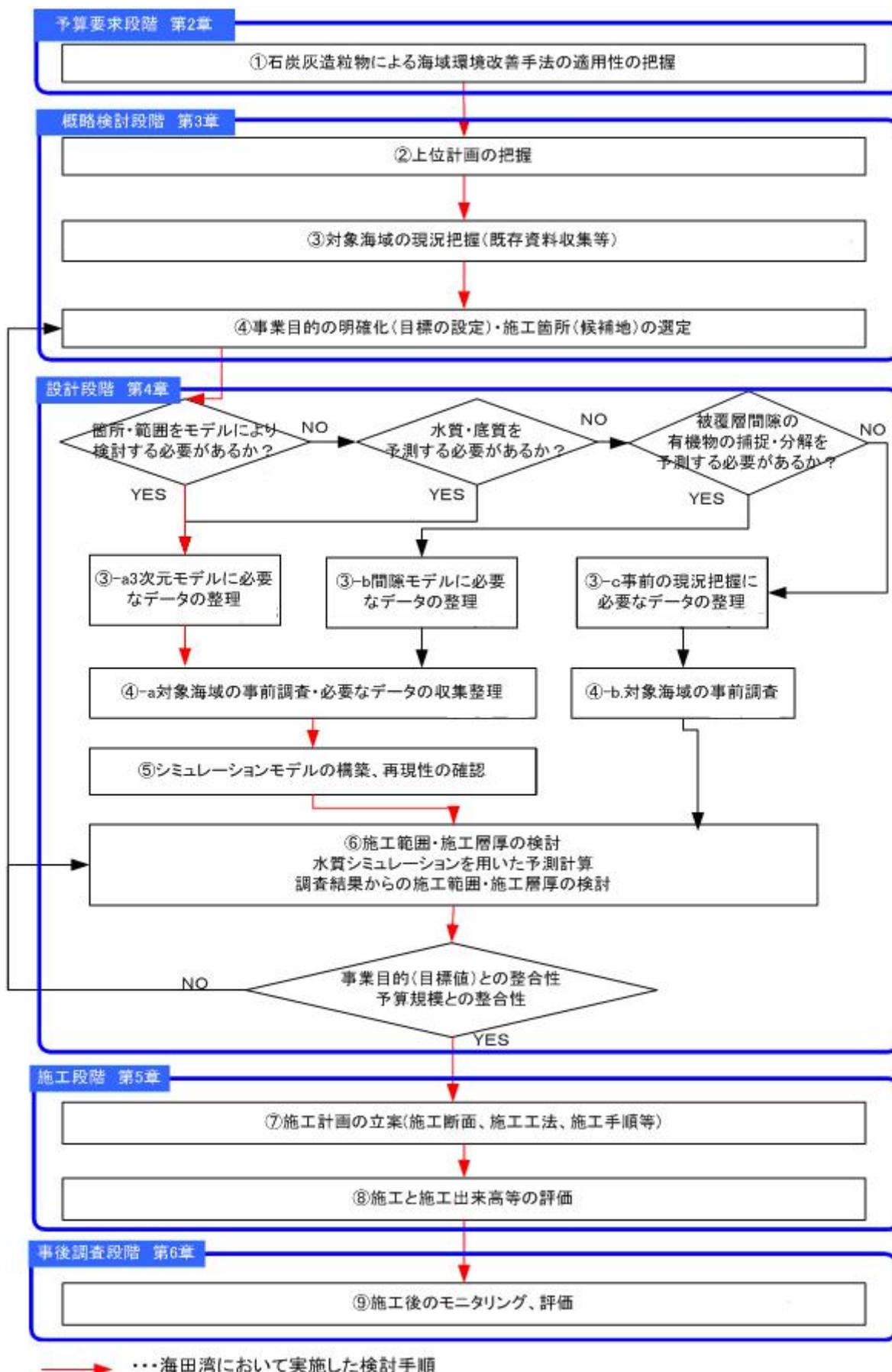
### 【解説】

本手引きは、実際の事業を進める際に想定される手順に沿って構成した（図－ 1.1）。

想定した検討手順は、「予算要求」⇒「概略検討」⇒「設計」⇒「施工」⇒「事後評価」という流れである。各段階において必要と思われる内容について、対応する章において整理を行っている。



図－ 1.1 手引きの全体構成



→ …海田湾において実施した検討手順

図ー 1.2 予算要求から事後評価までのフローチャート

## 2 石炭灰造粒物の特徴と適用範囲

### 2.1 産業系リサイクル材の種類と特徴

産業系リサイクル材のうち、現在、海域環境改善への活用が検討されている材料として、「石炭灰造粒物」、「鉄鋼スラグ」、「カキ殻」などがある。現地調査や室内実験結果から、比較検証した結果、本手引きで対象とした閉鎖性の強い海域における底質改善には「石炭灰造粒物」が適した材料であった。

#### 【解説】

産業系リサイクル材のうち、現在、海域環境改善への活用が検討されている代表的な材料として、「石炭灰」、「鉄鋼スラグ」、「カキ殻」などがある。これらの材料は、それぞれに物理的・化学的特徴があり、適材適所での使用が求められる。

本手引きで検討を行った、海底がヘドロ化した閉鎖性海域における主要な環境問題の一つとして、貧酸素の発生が挙げられる。図- 2.1は、海田湾における調査結果から解析した貧酸素の発生メカニズムに関する模式図である。貧酸素の発生要因としては、①水中で発生した植物プランクトンが海底へ堆積するまでの間の有機物分解に伴う酸素の消費、②海底の泥が潮汐流等で巻き上がることで発生する高濁度層内での有機物分解に伴う酸素消費、③海底泥での有機物分解に伴う酸素消費があることが示された。また、全体の酸素消費に対する寄与率としては、底質付近における酸素消費（②と③の過程）で約6割程度を占めていた。

出水による陸域からの濁水  
(有機物)・栄養塩の供給の増加

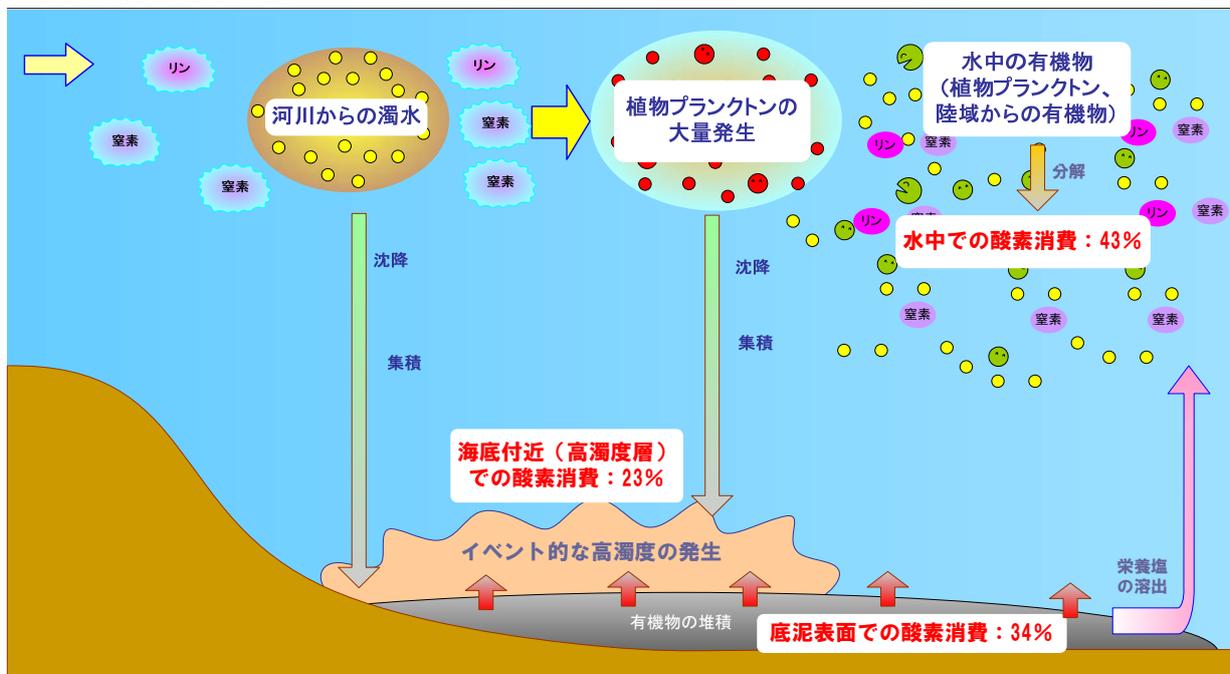
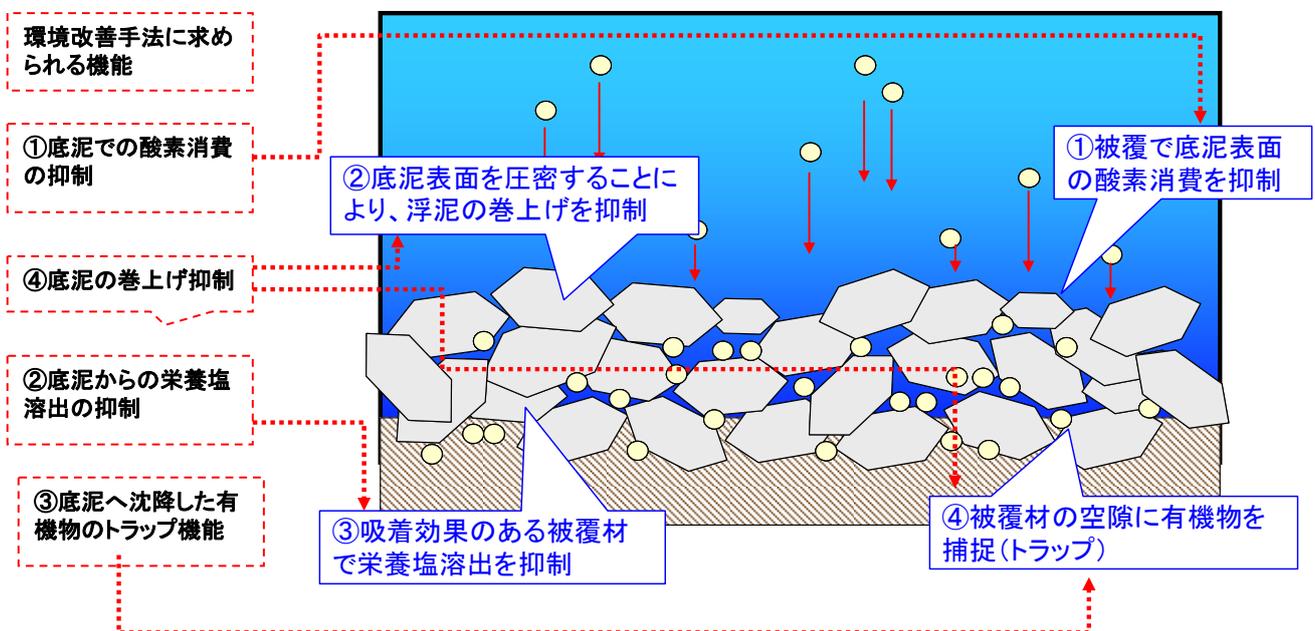


図- 2.1 閉鎖性が強い海域における貧酸素の発生要因の概念図

②高濁度層及び③底泥での酸素消費で全体の酸素消費量の半分以上を占めるため、底質改善により貧酸素の発生が抑制されることが期待される（図－ 2.2中の①、②の機能）。また、底質の改善を行うことで、底泥からの栄養塩溶出量は削減され、植物プランクトン量が減少し、水中での有機物分解量も減少する（図－ 2.2中の③の機能）。一方で、ヘドロ化する海域は海底への有機物の負荷量が多く、これらの有機物を被覆層内で捕捉（トラップ）し、被覆箇所が再ヘドロ化するのを防ぐ工法を適用することが重要である（図－ 2.2中の④の機能）。

海底がヘドロ化した閉鎖性海域において底質改善を行う場合は、以上の①～④の機能を発現可能な材料を選定することが重要である。

既存文献のレビューや室内実験において、比較検証を行った結果、このような機能を発現するのに最も適した材料として、比重が軽く、有機物をトラップ（捕捉）しやすい被覆層を形成可能な石炭造粒物が選定された（表－ 2.1）。



図－ 2.2 閉鎖性海域の底質改善に求められる機能

表- 2.1 産業系リサイクル材料の底泥への被覆材としての適用可能性に関する実験結果のまとめ

|                | 石炭灰造粒物   | かき殻  | スラグ   |
|----------------|--|--|---|
|                |  <br>Φ40mm      Φ2mm   |       |  <br>転炉スラグ    高炉水砕スラグ |
| 巻き上げの抑制効果について  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・多孔質なため水中での単位体積当りの重量が少なく、底泥へのめり込みによる材料の損失を抑えることができ、厚い被覆層が形成可能。</li> <li>・Φ40mmの石炭灰造粒物を用いることで、空隙に新生体積物をトラップ可能。</li> <li>・底泥へのめり込みが少ないため、底生生物へ与える影響が少ない。</li> <li>・Φ40mmの石炭灰造粒物を用いる場合、5cmの層厚で底泥の巻き上げ抑制効果が得られる。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・形状が鱗片状のため、新生体積物をトラップする空隙が形成しにくい。</li> <li>・比重が軽く、且つ扁平な形状のため、流されやすく単体では被覆材に適さない。</li> <li>・石炭灰の下に敷くことで、圧密効果を高めることができる。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・転炉スラグは比重が重いもの、底泥へのめり込み量も多く、材料の損失および底生生物への影響が大きくなると考えられる。</li> <li>※高炉水砕スラグについては比重が軽い(砂と同程度)のもの、水硬性があることが知られている。</li> </ul>                          |
| 栄養塩の溶出抑制効果について | <ul style="list-style-type: none"> <li>・底泥の巻き上げを抑制することで、栄養塩の溶出抑制効果が期待される。</li> <li>・アンモニア態窒素、リン酸態リンは添加により、若干濃度が下がる傾向があったが、明確ではなかった。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・アンモニア態窒素、リン酸態リンは添加により、若干濃度が下がる傾向にあったが、明確ではなかった。</li> <li>・焼却灰によってリン酸の濃度は若干増加する傾向があった。</li> </ul>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・底泥の巻き上げを抑制することで、栄養塩の溶出抑制効果が期待される。</li> <li>・硝酸態窒素濃度は添加により、濃度が高くなる傾向があった。</li> </ul>   |

## 2.2 石炭灰造粒物とは

石炭灰造粒物とは、火力発電所で発生した石炭灰（フライアッシュ原粉）にセメント、水、ベントナイトを加え造粒固化したリサイクル材料である。

### 【解説】

火力発電所で発生した石炭灰は、土木材料など様々な用途で使用されている。特に、フライアッシュ原粉にセメント、水、ベントナイトを加え造粒固化したものは「石炭灰造粒物」と呼ばれ、高いせん断強度と排水性能を有していることから、これまでも SCP や SD 工事などに活用されている。

また、ETV 環境技術実証事業（環境省）において環境再生材としての有効性が実証されている。



図- 2.3 石炭灰造粒物<sup>2), 3)</sup>

2) 株式会社エネルギア・エコ・マテリアホームページ <http://www.energia-eco-materia.co.jp/>

3) 平成 21 年度 広島中央東地区護岸安定化等工事報告書、中国地方整備局広島港湾・空港整備事務所

## 2.3 石炭灰造粒物による底質改善により期待される効果と便益

石炭灰造粒物による底質改善の効果としては、貧酸素水塊の発生抑制、水質改善、悪臭の減少、生物の増加などがあり、水質環境基準の達成への寄与、水産有用種の増加に伴う水産業の活性化、快適な水環境や親水空間の創出など、産業副産物である石炭灰造粒物のリサイクルの促進だけでなく、様々な便益が期待される。

### 【解説】

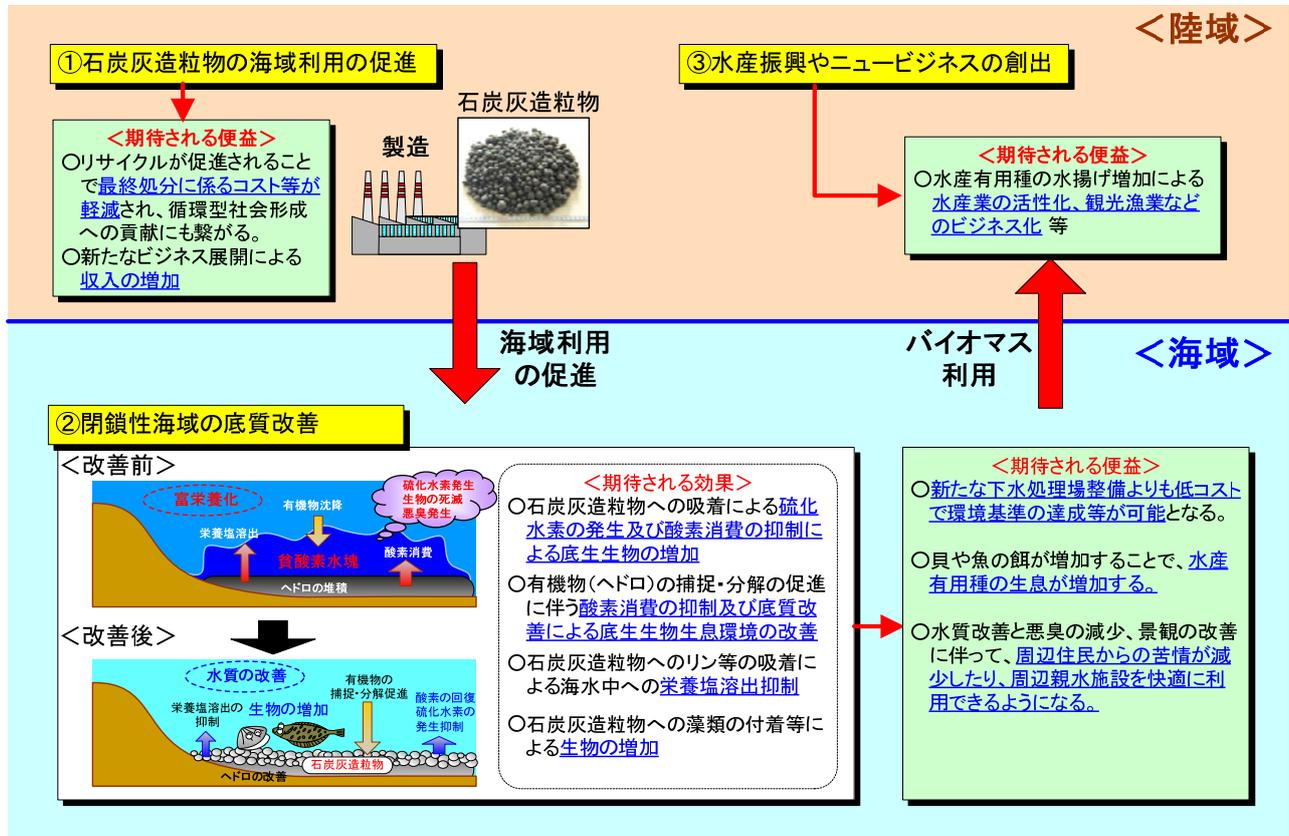
石炭灰造粒物による底質改善を実施することで期待される効果と便益をまとめると、図－ 2.4に示すとおりである。

石炭灰造粒物による底質改善の効果としては、貧酸素水塊の発生抑制、水質改善、悪臭の減少、生物の増加などがある。

これらの効果が得られることによって、下水処理コストの低下や水産有用種の漁獲量が増加することで、それが水産業の活性化や新たな観光漁業などのビジネス展開に繋がるなどの便益が生み出されることが期待される。また、石炭灰造粒物の海域利用が促進されることで、社会全体からみて処分費等にかかるコストが減少することから、循環型社会形成への寄与にも繋がると考えられる。

今後、事業化を検討する場合は、本手引きを参考に、期待される効果や便益をあらかじめ把握した上で、事業の必要性や地域住民との合意形成など、必要な手続きを進めていくことが望ましい。

石炭灰造粒物による底質改善の効果については、以降に具体的な内容を記述した。



図－ 2.4 石炭灰造粒物による底質改善で期待される効果と便益

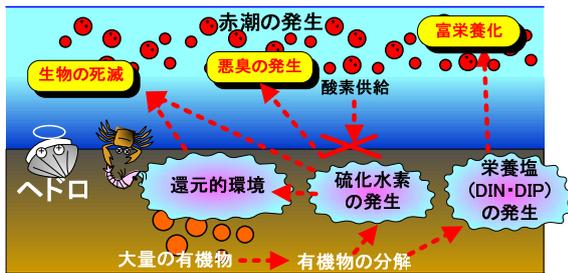
海底にヘドロが堆積しており、富栄養化や貧酸素水塊の発生、硫化水素の発生に伴う生物への影響(死滅)や悪臭の発生などが見られるような閉鎖性海域では、石炭灰造粒物による底質改善により下記のような環境改善効果や便益が期待される。なお、海田湾の実証試験で得られた海域環境改善効果の評価結果は付録に示した。

### 底質の改善効果

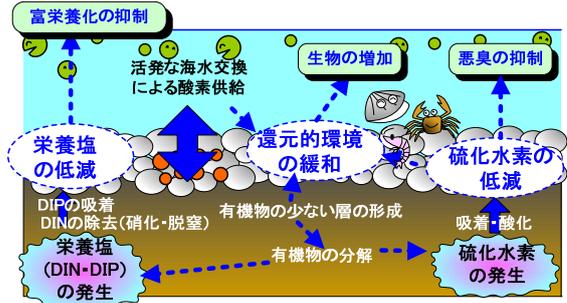
【短期的・長期的効果】：海底での還元的環境の緩和、間隙内の硫化水素濃度および栄養塩濃度の低減効果が得られ、海域の状況にもよるが、これらの効果は概ね3年以上は継続する。

【プロセス】：海底の還元的環境の緩和については、被覆層と直上水間の海水交換や、有機物の少ない層が形成されることによる。硫化水素、栄養塩濃度の低減については、有機物の少ない層が形成されることに加え、石炭灰造粒物が持つ物理的・化学的特性による吸着や酸化による除去効果大きい。

#### <改善前>



#### <改善後>

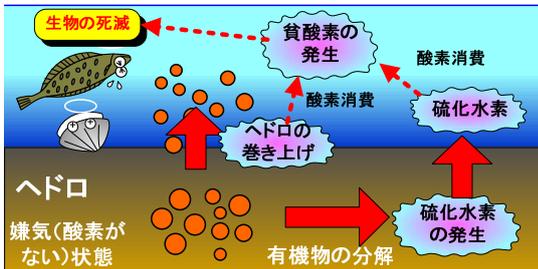


### 水質の改善効果

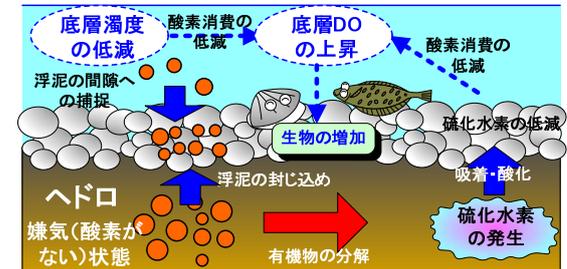
【短期的・長期的効果】：貧酸素の緩和(底層DOの上昇)、底層濁度層の抑制効果が得られ、海域の状況にもよるが、これらの効果は概ね3年以上継続する。

【プロセス】：海底への浮泥の過剰な堆積や海底の被覆により底泥の巻き上げが抑制され、高濁度層が減少する。また、海底付近および海底面での酸素消費量の抑制や、溶出する硫化水素による酸素消費量の減少により、貧酸素は緩和される。

#### <改善前>



#### <改善後>

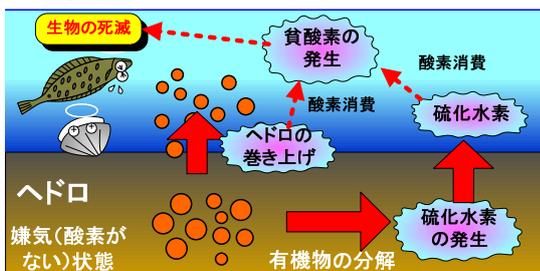


### 底生生物への効果

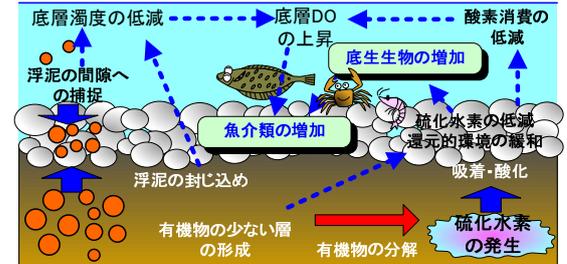
【短期的・長期的効果】：施工直後より、小型の節足動物(コノハエビ)や底魚が増加する。時間の経過とともに、日和見的な小型種から大型の長寿命種(イシガニ等)に種が遷移し、底生生態系が回復し始める。

【プロセス】：水・底質の改善に伴い、底生生物の生息環境が改善されることで底生生物が増加する。海底が砂礫質になることで出現種も節足動物(カニ、エビ類等)に変化する。底生生物を捕食しに、ハゼ等の底魚も増加し始める。

#### <改善前>



#### <改善後>

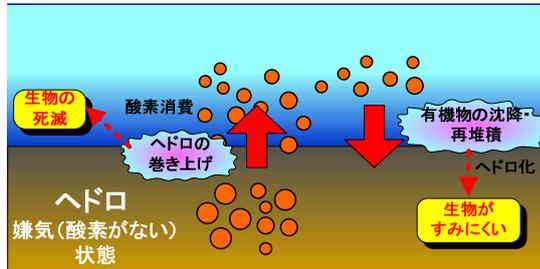


## 底泥への過剰な浮泥の堆積抑制効果(持続性の向上効果)

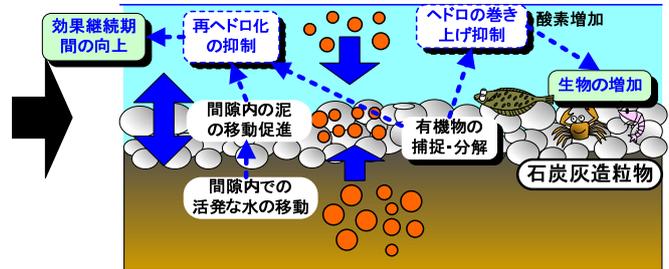
【短期的・長期的効果】：被覆層の間隙への浮泥の捕捉により浮泥の堆積は抑制される。また、海底での浮泥の移動が抑制され、高濁度層の発生と酸素消費が抑制される。海域の状況にもよるが、これらの効果は概ね3年以上継続し、海域環境改善効果の継続期間を向上させる。

【プロセス】：被覆層内での分解促進や被覆層内での海水流動により、被覆層間隙内の浮泥は活発に移動するため、間隙が長期間浮泥で詰まることなく維持され、上記の効果を発現する。

### <改善前>



### <改善後>



## 想定される便益

### 1.生物の増加

#### 1-a:水産資源の増加

- ・生物生産性の高い、湾奥部の生態系が再生することで、水産資源の増加が期待される。



実証試験区で確認されたイシガニ

#### 1-b:多様な生物種の保全

- ・生物生産性の高い、湾奥部の生態系が再生することで、多様な水産動植物種が保全される。

### 2.富栄養化の抑制

#### 2-a:親水性(景観、レクリエーションなど)の向上

- ・富栄養化が抑制され、透明度の向上により景観が改善する、生物の存在によりレクリエーション性が向上するなど、親水公園や海水浴場における親水性が向上する。



#### 2-b:水質の改善

- ・富栄養化が抑制され、生物による水質浄化能力が発揮されることで、水質がより改善される。

### 3.悪臭の抑制

#### 3-a:悪臭被害の低減

- ・悪臭のもととなる硫化水素の発生が抑制されることで、近隣住民の生活環境が改善される。

### 3 環境改善目標の設定と施工候補地の選定

#### 3.1 既存資料に基づく周辺海域環境の把握

海域環境改善を検討する海域では、あらかじめ地形的特徴や水環境の現状、海面および沿岸部の利用状況などについて把握し、海域環境改善に向けた課題を抽出するとともに、施工箇所の選定の基礎資料とする。

##### 【解説】

海域環境改善を検討する海域では、既存資料や過去のモニタリング結果等に基づき、以下のような項目について整理し、海域環境改善に向けた課題を図－3.1のように抽出する。これらを施工箇所の選定のための基礎資料とする。

##### (1) 地形条件・気象・海象

- 1) 地形的特徴・・・最新の海図や深浅測量結果を収集・整理する。
- 2) 気象条件・・・最寄りの気象台の過去5ヵ年程度の気象データを収集・整理する。
- 3) 潮位・潮流・・・最寄りの検潮所等より、対象海域の潮位（平均水面等）を収集・整理する。

##### (2) 水環境等の現状

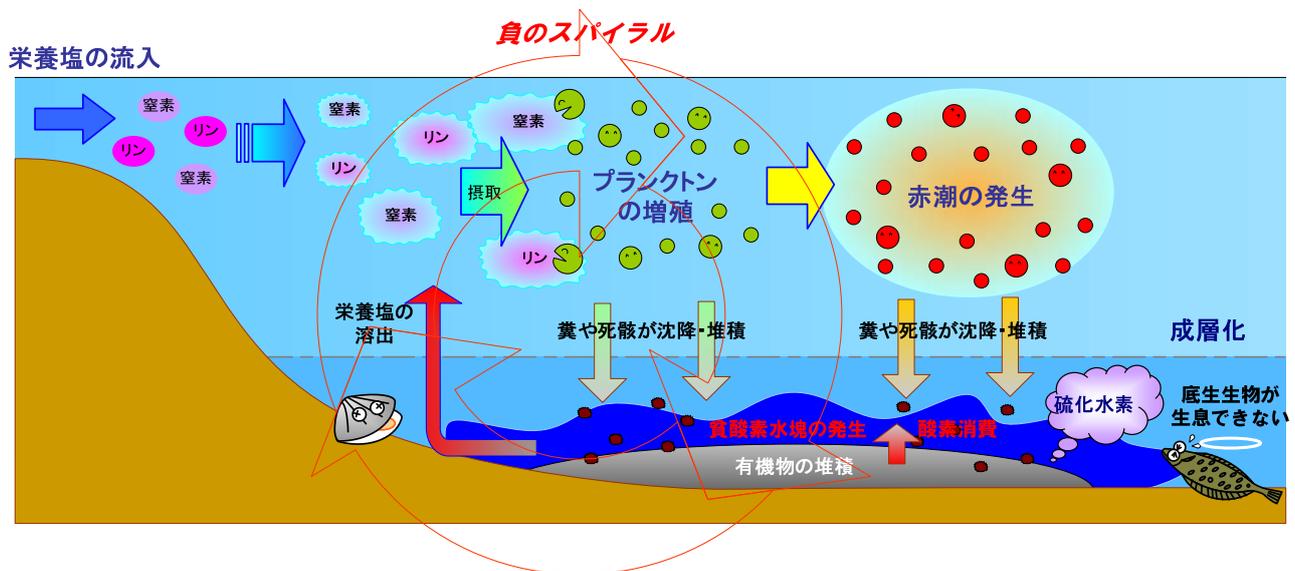
- 1) 流入河川の流量、負荷量・・・流入河川の流量・水質を流量年表や公共モニタリング結果から整理する。
- 2) 海域の水質・底質・・・水温・塩分・DO・クロロフィル等の項目を公共モニタリング結果より整理する。
- 3) 赤潮の発生状況・・・対象海域における赤潮の発生件数や発生海域を公共モニタリング結果等より整理する。
- 4) 干潟・藻場の分布状況・・・対象海域における干潟・藻場の分布状況を公共モニタリング結果等より整理する。
- 5) 生物生息状況・・・対象海域における生物の生存状況を公共モニタリング結果等より整理する。

##### (3) 海面および沿岸域の利用状況

- 1) 港湾区域・漁業区域等の設定状況・・・周辺海域の漁業区域や港湾区域等を既存資料等から整理する。
- 2) 沿岸域の親水利用等の状況・・・周辺海域の親水利用の状況を既存資料等から整理する。
- 3) 海面および沿岸域における法規制等の状況・・・漁業権や国立公園等の設定状況を既存資料等から整理する。
- 4) 漁業・・・漁業操業状況を自治体の漁業担当部署または関連漁業協同組合への聞き取り等により整理する。
- 5) 下水道等の整備状況・・・自治体の下水道計画等に基づき、下水道等の整備状況（整備計画、下水道普及率等）を整理する。

##### (4) 既往のモニタリング調査の実施状況

対象海域周辺で行われている行政や調査・研究機関による定期的なモニタリング調査の実施状況を整理する。



図－3.1 海域環境改善に向けた課題抽出イメージ

### 3.2 環境改善目標の設定

石炭灰造粒物による海域環境改善を行うにあたり、①上位計画や既定計画との整合性、②実現可能性、③現地ニーズ等に配慮した環境改善目標を設定する。

#### 【解説】

石炭灰造粒物による海域環境改善を行うにあたっては、最終的に目指すべきゴール（目標）を明確にした上で、目標達成のために必要な改善範囲・施工方法やモニタリング計画などの具体的な計画を検討する必要がある。

海域環境改善目標の設定については様々な考え方があるが、基本的には、以下の3つの視点に基づき検討するものとする。

視点1：上位計画や既定計画との整合性が図られていること。

（広島湾再生行動計画や瀬戸内海環境修復計画等）

視点2：実現可能性の高い目標となっていること。

視点3：現地のニーズ等に配慮した目標になっていること。

### 3.3 施工箇所（候補地）の選定

既存資料に基づき整理した周辺海域環境の現状、海面や沿岸域の利用状況等を踏まえ、3つの視点に基づき施工箇所（候補地）を選定する。

#### 【解説】

3.1 節で既存資料に基づき把握した対象海域周辺環境の状況（周辺海域環境の現状、海面や沿岸域の利用状況）を踏まえ、以下に示す3つの視点で石炭灰造粒物による海域環境改善の施工箇所（候補地）を選定する。

視点1：環境改善に対する地域のニーズとの整合性がとれているかどうか

視点2：環境改善効果が得られやすいかどうか

視点3：施工にあたり制約条件が少ないかどうか

なお、3つの視点以外に、対象海域で特に留意すべき事項があれば、必要に応じ施工箇所（候補地）の選定プロセスに加えるなど、選定の視点を取捨選択するものとする。また、候補地にする範囲（面積）は目標の設定によって変わってくるため、目標との整合性に留意して選定を行うものとする。

## 4 施工範囲、施工層厚の検討のための事前調査

### 4.1 事前調査の目的と設計条件の検討方法の選定

事前調査は、具体的な施工範囲や被覆層厚といった設計条件を決定するために実施する。

設計条件の検討にあたっては、水・底質モデルもしくは間隙モデルを活用する方法、現地調査結果のみから検討を行う方法などがあり、どの手法により検討を行うかを決定した上で、事前調査項目を整理する。

#### 【解説】

施工範囲や施工厚を検討する上では、大きく、以下の3つの方法がある。これらの方法はそれぞれに一長一短があるので、現地状況に合わせて手法を選定する。3つの手法の特徴は表-4.1に整理したとおりである。なお、これら3つの手法のうちどれか一つを選定しなくてはならないものではなく、現地状況に合わせて併用することも有効である。

表- 4.1 設計条件の検討手法の比較

| 検討方法           | 検討可能な内容  | メリット  | デメリット  |
|----------------|--|---|--|
| ①水質・底質モデルによる方法 | <ul style="list-style-type: none"> <li>施工範囲</li> <li>施工層厚</li> <li>効果（水質・底質）の継続期間</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>水質、底質の変化を3次元的に予測可能であり、施工範囲や設計手順等を詳細に検討可能である。</li> </ul>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>モデルの構築や予測にかかる労力と費用が大きい。</li> </ul>                              |
| ②鉛直1次元モデルによる方法 | <ul style="list-style-type: none"> <li>施工層厚</li> <li>被覆層間隙の維持期間</li> </ul>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>効果の継続期間を被覆層間隙の維持期間に代表させ、被覆層厚を検討するため、比較的容易であり、費用も安い。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>層厚の検討しかできず、また、水質や底質の予測はできないため、施工範囲等の諸条件を決定しておく必要がある。</li> </ul> |
| ③現地調査による方法     | <ul style="list-style-type: none"> <li>施工範囲</li> <li>施工層厚</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>現地での調査結果をもとに、施工範囲や施工層厚を決定するため、安価に計画が可能である。</li> </ul>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>現地調査結果のみからの判断によるため、将来的な見込みは検証できない。</li> </ul>                   |

## 4.2 事前調査項目の整理

事前調査は、選定した検討手法に応じて、項目を整理した上で実施する。水・底質モデルおよび間隙モデルを活用する場合は、モデル計算に必要となる項目について調査を行う。また、現地調査結果のみから検討を行う場合には、予め選定基準を明確にした上で、調査項目を整理する。

### 【解説】

表-4.2に、3つの検討手法それぞれにおいて実施が望まれる調査項目を整理した。実際の検討にあたっては、周辺海域での既存データの存在状況等を踏まえ、調査項目を精査することが肝要である。

表-4.2 3つの検討手法において事前調査が必要な項目の整理

| 調査項目  | 検討手法  |   |  |
|-------|---|---|--|
|       | ①水・底質モデル  | ②間隙モデル  | ③現地調査  |
| 水質    | 水温・塩分・DO・DIN・DIP・POC・DOC・クロロフィル・Mn <sup>2+</sup> 、Fe <sup>2+</sup> 、H <sub>2</sub> S・pH<br>(定点観測)<br>水温・塩分・DO・クロロフィル<br>(貧酸素期の連続観測) | —   | 水温・塩分・DO・pH・濁度・クロロフィル(定点観測)<br>濁度・クロロフィル(海底上0.2mの連続観測) |
| 底質    | 水温・塩分・POC・DOC・DIN・DIP・底生生物・底生微細藻類・間隙率・Mn <sup>2+</sup> 、Fe <sup>2+</sup> 、H <sub>2</sub> S・pH                                       | 含水比、浮泥の湿潤密度<br>底泥内5~20cmと底泥直上10cmの水温・塩分<br>(連続観測) | 含水比・強熱減量・全硫化物(T-S)、<br>・化学的酸素要求量(COD)                  |
| 海底沈降物 | 海底への沈降粒子量<br>沈降粒子中のPOC  | 海底への沈降粒子量<br>沈降粒子中のPOC                            | 海底への沈降粒子量  |
| 流況    | 流向・流速(15昼夜間以上の連続観測)   | —   | —  |

## 4.3 事前調査方法

事前調査の方法は、現地の観測、採取といった方法や、現地に器具等を設置する方法がある。目的とするデータが正確に取得できるよう適切な方法を検討する。

### 【解説】

事前調査の項目の方法は海洋観測では普遍的に用いられるものが多く、現地の状況等に合わせた最適な手法を採用することが望ましい。

## 4.4 施工範囲、被覆層厚の検討

### (1) 施工範囲・被覆層厚に関する基本的情報

施工範囲については、環境改善目標を水質の改善とする場合には、水塊の移流・拡散の影響を考慮し、ある程度広範囲（数～数十 ha 以上）の施工が必要になってくる。

また、被覆層厚については、良好な底質改善効果を得るため有効被覆層厚（材料のめり込みは除外した層）を 10 cm 以上確保することが望ましい。

#### 【解説】

底質改善によって、水質の改善までを目標とする場合、海水は潮汐等による移流・拡散によって効果が見えにくくなることに留意する必要がある。海田湾の実証試験における事例では、奥まった海域で 6ha の施工を行ったが、試験区中央部付近で僅かに（0.5mg/L 程度）底層 DO が回復することが示されたものの、実証試験区の端付近では水質の改善効果は確認できなかった。

また、被覆層厚については 10cm 以上を確保すると、間隙（材料間の隙間）を確保した良好な被覆層が形成され、長期的な効果が得られることが示されている。

### (2) 水・底質モデルを用いた施工範囲、被覆層厚の検討

水・底質モデルを活用する場合、モデルを構築し、現況再現計算でシミュレーションの妥当性を検証した後に、将来予測計算を行う。将来予測計算では、第 3 章で定めた目標に沿った目標値の定め、将来的な目標の達成状況等を、施工範囲・被覆層厚を変化させた複数ケースを実施する。予測結果と、その他の条件（予算規模等）から施工範囲・被覆層厚を決定する。

#### 【解説】

モデルの構築にあたっては、当該海域の地形や流入負荷条件といった境界値に関するデータを取得し（表- 4.2 参照）、モデルを構築する。なお、モデル構築にあたっての基礎式は付録を参照されたい。

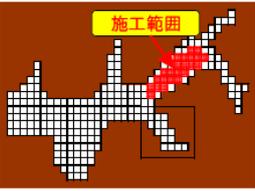
作成したモデルについては、パラメータ等の妥当性を検証するため、現況再現計算を行う。現況再現計算は対照海域で取得されている過去の水質データを用いて、代表的な（効果として重要な）水質・底質項目の再現性の確認を行う。表- 4.3 に海田湾の実証試験で行った再現計算の対象項目を示す。

表- 4.3 再現計算項目の選定例

| 確認されている効果 |  | 対応する計算項目  |
|-----------|--|---|
| 水質        | ・ DO の改善効果   | ・ DO、窒素、リン、有機物量、還元物質（ODU）   |
|           | ・ 濁度の改善効果  | ・ 濁質（SS）  |
| 底質        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 硫化水素の吸着</li> <li>・ リン酸の吸着</li> <li>・ pH の上昇</li> <li>・ ORP の改善</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 硫黄（副次的に鉄、マンガン）</li> <li>・ リン</li> <li>・ pH</li> <li>・ 硫黄、鉄、マンガン</li> </ul> |

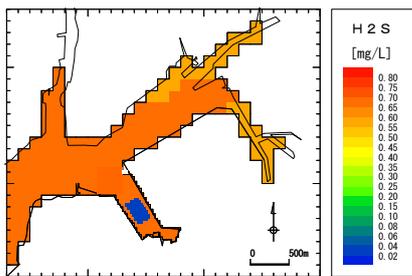
将来予測計算については、施工範囲や層厚を決定する上で判断基準となる項目とその値を明確にし、目標を達成できる面積等の指標から効果を推定する。予測結果を事業の目的および予算規模と照らし合わせ、適切な効果が期待できる施工範囲および施工層について検討を行う。

海田湾実証試験では、底層DO、間隙水中硫化水素濃度を評価項目とし、施工範囲および施工層厚に関する予測計算結果より図-4.1に示すような結果を得ている。この場合、ケース1およびケース2ともに目標である底層DOへの効果に大きな差は無いことから、10cmの被覆で十分であるという結果が得られている。また、施工範囲を広げることで、より効果的に水質の改善が可能であることが示されている(ケース3)。

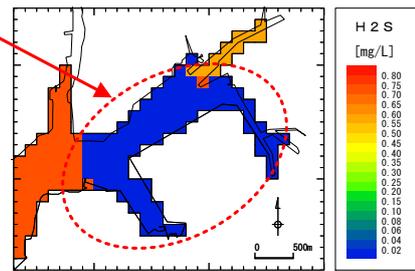
| 項目   | ケース1  | ケース2  | ケース3   |
|------|---|---|--|
| 施工範囲 | 海田湾奥部の底質改善(石炭灰造粒物 20cm層厚で海底を被覆)<br>  | 海田湾奥部の底質改善(石炭灰造粒物 10cm層厚で海底を被覆)<br> | 海田湾奥部の底質改善(石炭灰造粒物 10cm層厚で海底を被覆)<br> |
| 施工範囲 |   | 50.4ha  | 111.0ha  |
| 施工層厚 | 20cm  | 10cm  | 20cm   |
| 施工時期 | 平成25年冬季に施工を行うものと仮定。   |   |  |
| 計算期間 | 10年間  |   |  |
| 境界条件 | 流入負荷条件<br>広島湾再生行動計画の水質シミュレーションで示された～平成28年度までの負荷削減率を適用し、下水道整備の効果も再現<br>気象条件等<br>平成22年度の気象条件、潮位条件を繰り返し使用  |   |  |
| 初期値  | 既存の調査結果に基づき、水質・底質の初期値を設定。なお、現在の実証試験箇所は施工済みとして計算を開始  |   |  |
| 評価方法 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○海田湾奥部全域を石炭灰造粒物で覆砂することにより、夏季底層DOが2mg/L(=広島湾再生行動計画の目標値)を下回る範囲がどの程度改善されるのか? また、効果の継続期間はどのくらいか?</li> <li>○石炭灰造粒物の施工層厚の違いによって、改善効果と継続期間はどの程度異なるのか?</li> <li>○石炭灰造粒物による改善は、どのようなメカニズムで起こっているのか?</li> <li>○石炭灰造粒物による底質改善によって、生物生息環境は改善されるのか? (計算結果と既存資料に基づき、定性的に評価)</li> </ul> |   |  |

<硫化水素の発生抑制>

現況地形



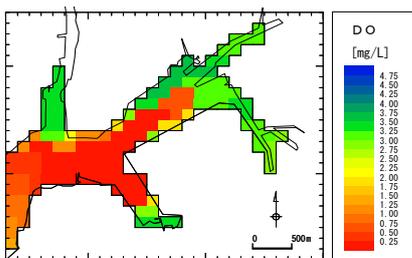
石炭灰造粒物による底質改善後(被覆層厚20cm 面積111ha)



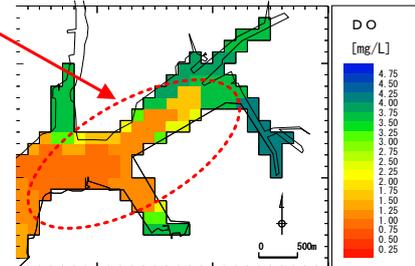
○魚介類の餌となるヨシエビやその他の節足動物が増加  
○ガザミ幼生、稚ガニ等が生育できる場所(ナーサリー)の増加

<底層DOの改善>

現況地形



石炭灰造粒物による底質改善後(被覆層厚20cm 面積111ha)



○貧酸素が改善し、ガザミ等の成体が増加  
○ペンタスを餌とするマハゼ等が増加

○小型の魚介類を餌とする大型の魚介類の増加

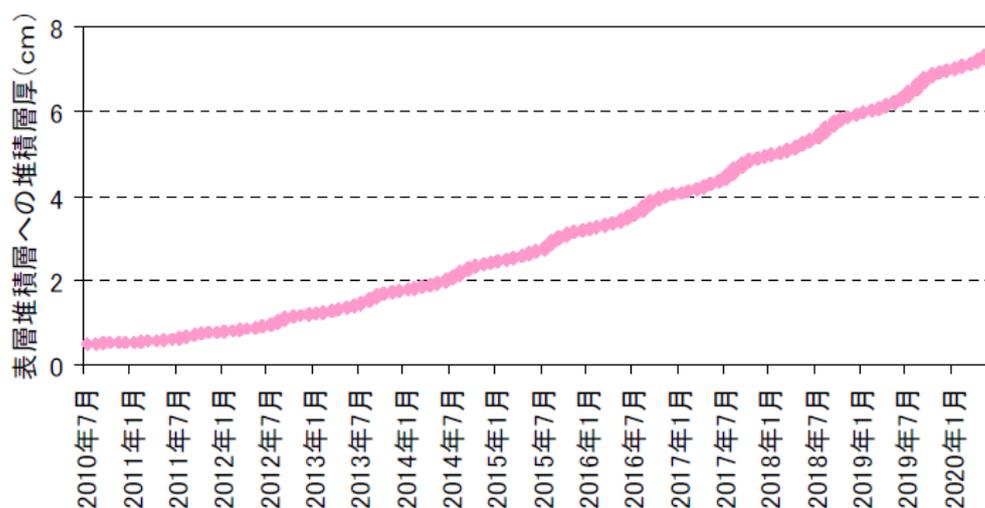
図-4.1 海田湾における将来予測計算の実施例  
(ケース3、左: 予測計算ケースの設定 右: 計算結果)

### (3) 間隙モデルからの被覆層厚の検討

間隙モデルを活用する場合は、事前に施工範囲が概ね決定されていることが前提となる。現地調査から得られた沈降粒子量や底泥の水温等から、被覆層内間隙での粒子の移動を計算し、底泥への浮泥の堆積が顕著（概ね 10 cm）になるまでの維持期間を予測することで、必要な被覆層厚を決定する。

#### 【解説】

間隙モデルを用いた被覆層厚の検討には、まず、モデルを構築する必要がある。その後、現地調査で得られた、施工予定範囲内の沈降粒子量や底泥内の水温を境界条件とし、間隙モデルによる長期計算（10～20年程度）を、被覆層厚を数段階に変更して行う。長期計算結果から施工区のヘドロ化までの期間を把握し、予算規模等と照らし合わせながら、最適な被覆層厚を検討していく。なお、ヘドロ化とは被覆の効果が無くなる浮泥の堆積層厚で定義でき、福山港内港地区での実証試験例から、浮泥の堆積層厚が概ね 5～10cm 以上になると被覆層内の海水流動は減少し、表層へ堆積した浮泥から硫化水素等の発生が生じるなど、被覆の効果が減衰することが示されている。



図一 4.2 間隙モデルを用いた施工区上への浮泥の堆積層厚の予測例

#### (4) 現地調査結果からの施工範囲・被覆層厚の検討

現地調査結果から、施工範囲・被覆層厚を検討する場合には、予め、基準となる考え方を整理し、底質の調査結果等から、施工範囲を決定する。また、海底への沈降粒子の量から簡易的に間隙の保持期間を推定したり、海底での浮泥の輸送状況の解析結果等から、最適な施工層厚を決定する。

##### 【解説】

現地調査結果から、施工範囲を検討する場合には、予め、基準となる考え方を整理しておくことが重要である。施工範囲については、底質の調査結果と底質改善が必要とされる基準値等を参照し、決定する。参考となる報告書については、運輸省港湾局<sup>4)</sup>や東京都港湾局<sup>5)</sup>などでとりまとめられた事例がある。

---

4) 底質浄化事業実施設計調査報告書（運輸省港湾局、平成元年3月）

5) 東京都港湾局底泥評価基準（東京都港湾局、昭和62年4月）

## 5 施工の計画・実施

### 5.1 施工の計画段階で検討する内容

施工範囲・被覆層厚が決定した後に、具体的な施工計画を立案することとなる。施工計画立案にあたっては、以下の8点の検討を行う。

- 1) 石炭灰造粒物の調達
- 2) 施工時期の検討
- 3) めり込みによる割増量の検討
- 4) 圧密沈下の検討
- 5) 施工工法の検討
- 6) 施工手順の検討
- 7) 施工中の環境保全対策
- 8) 施工後の評価（出来高などの検査）

#### 【解説】

施工計画の立案にあたっては、まず、使用する材料の調達について目処をつけておく必要がある。また、施工をどの季節に行うかについても周辺海域の条件等から検討しておく。

具体的な施工計画としては、石炭灰造粒物を軟弱な底泥に散布することで生じる材料の底泥内へのめり込みによる割増量を推定することが重要となる。実際の施工では、計画上の被覆層厚にこのめり込みによる割増量を加算して材料を散布する。

また、超軟弱な底泥を被覆する場合、材料の重みで圧密沈下が生じることもあるため、事前に圧密沈下量を予測し、必要に応じて散布量や散布回数を増やすことを検討する。

さらに、施工工法によって、散布層厚の精度や初期のめり込み量が変化するため、現地条件に合わせて最適な工法を選択することが重要である。

加えて、施工中の周辺環境への影響も考慮し、環境保全対策も検討しておく必要がある。

## 5.2 石炭灰造粒物の調達

石炭灰造粒物は、現状では中国電力グループにより提供されている材料であり、平成 24 年 2 月の段階では、山口県の新小野田リサイクルセンターで製造されている。年間の製造量は約 15 万 m<sup>3</sup> であるが、施工計画段階で必要な材料の確保の目処をつけておく必要がある。

### 【解説】

第 2 章でも示したとおり、石炭灰造粒物は火力発電に伴い発生した石炭灰をセメントで造粒した材料であり、現行では、中国電力の新小野田リサイクルセンターで年間約 15 万 m<sup>3</sup> が製造されている。

材料の調達にあたっては、必要な石炭灰造粒物の量や材料の輸送方法を検討しておく必要がある。



図ー 5.1 新小野田リサイクルセンターの位置<sup>6)</sup>

## 5.3 施工時期の検討

施工時期については、水質・底質の季節変化や周辺海域での海面の利用状況を収集・整理し、最適な施工時期を検討する。

### 【解説】

一般的に湾奥部といった閉鎖瀬海域の環境は水温が上がり、生物の活性が高くなる夏季に悪化する傾向にある。夏季には、頻繁に赤潮が発生し、海底へ大量の有機物の負荷があり、海底付近では高濁度層が形成されることが多い。そのため、石炭灰造粒物の散布時に、周辺の浮泥を間隙に捕捉してしまい、良好な被覆層が得にくい可能性もある。このような点から、施工は、水質・底質が良好な晩秋～初夏にかけて行われるのが妥当と考えられる。

また、当該海域で水産業等が行われている場合は、操業の無い季節に施工を行うなど、海面の利用状況も合わせて施工時期を検討することが重要である。

6) (株) エネルギア・エコ・マテリア 資料.

## 5.4 めり込みによる割増量の検討

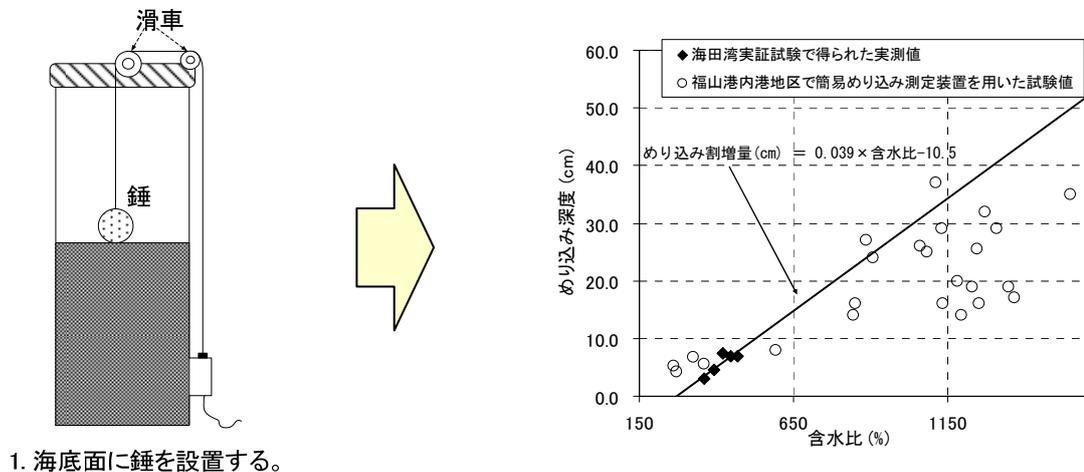
めり込みによる割増量については、現地底泥の含水比や液性指数から推定する方法、簡易なめり込み量測定装置から推定する方法などがある。

現地底泥のデータの存在状況などによっては、施工前に再調査を行い、めり込みによる割増量を決定する。

### 【解説】

めり込みによる割増量については、現地底泥の含水比や液性指数から推定する方法、簡易なめり込み量測定装置から推定する方法がある。

なお、これらの予測手法は、後述する薄層撒きだし工法による施工結果をもとに作成されたものである。ガット船による施工事例との比較より、ガット船による施工では下記の手法の最大で3割程度、めり込み量が大きくなることに留意する必要がある。



図一 5.2 簡易なめり込み量測定装置<sup>7)</sup>の概要と測定例

## 5.5 圧密沈下の検討

圧密沈下の検討には、現地の底泥を用いた圧密試験からの推定や、圧密沈下に関する数値解析手法を用いた検討などがある。

現地底泥のデータの存在状況などによっては、施工前に再調査を行い、圧密沈下量を推定し、散布量および散布回数を決定する。

### 【解説】

超軟弱な底泥を有する海域では、圧密沈下および初期めり込みにより、散布の地盤高が散布前よりも低くなる事も想定される。このようなケースでは、地盤高の変化に伴い周辺の浮泥等が試験区内に流れ込む可能性もある。よって、散布を複数回に分けて段階的に行うなど、圧密沈下に伴う施工区沈み込みと浮泥流入の影響を極力低減できる施工計画を検討することが重要となる。

7) 特願 2011-270554, 復建調査設計株式会社。

## 5.6 施工工法の検討

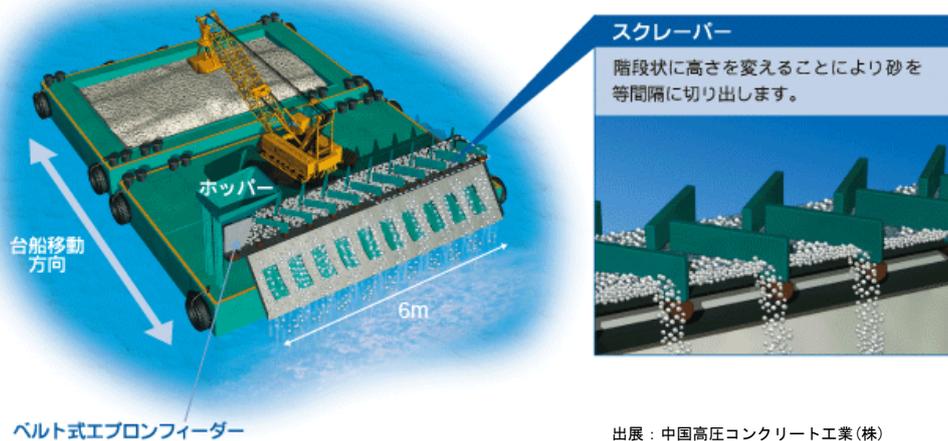
石炭灰造粒物の散布には、特別な重機は必要なく、従来の覆砂工事で用いられてきた手法を使用することが可能である。ただし、設計被覆層厚によっては、薄層での施工が必要な場合もあり、目的や海域条件にあった施工工法を採用することが重要となる。

### 【解説】

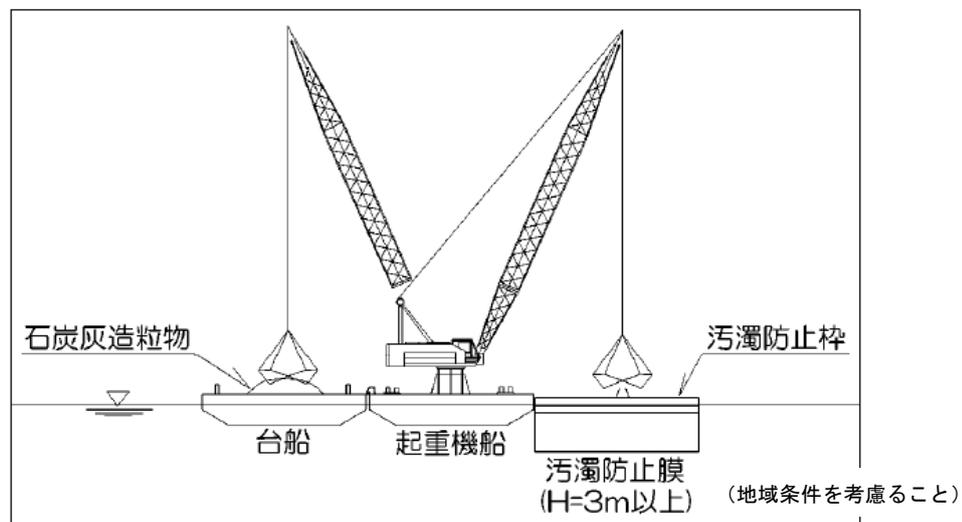
石炭灰造粒物による海底被覆は、通常の覆砂と同様の工法により施工が可能である。ただし、設計被覆層厚によっては、薄層での施工が必要な場合もあり、設計被覆層厚やめり込みによる割増量によって施工工法を選別することが重要である。

現時点では、大きく以下の二つの工法によって石炭灰造粒物による海底被覆工が行われている。

- ①薄層撒きだし工法による施工
- ②起重機船（クラブバケット）による施工



図一 5.3 (1) 薄層撒きだし工法による施工概略図



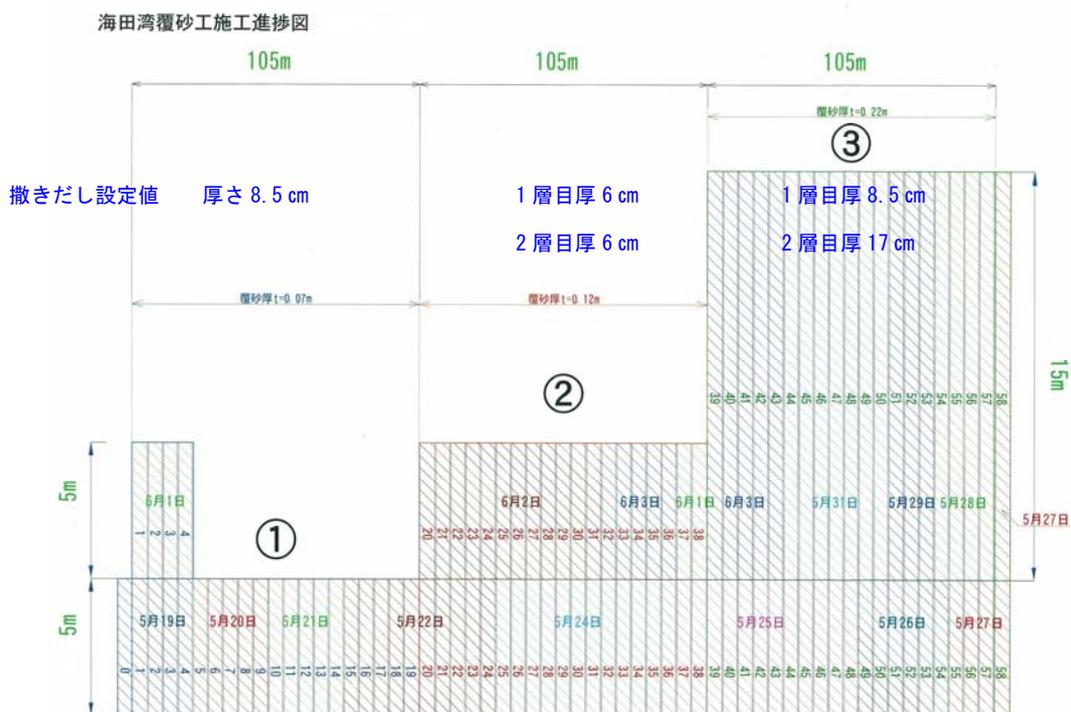
図一 5.3 (2) 起重機船（クラブバケット）による施工概略図

## 5.7 施工手順の検討

初期のめり込み量を最小限に押さえるためには、二度撒きを行うことが有効である。また、圧密沈下が顕著な場合には複数回の散布が必要となる。このような条件を加味して施工手順を決定する。

### 【解析】

底泥への石炭灰造粒物のめり込みは、最初に薄層での散布を行い、ある程度めりこみを生じさせてから残りの層厚を散布することで最小限に抑えられることが室内実験から明らかになっている。これは、2度目以降の散布時には、石炭灰造粒物の海底衝突時の応力が分散されているためと考えられている。このような点から、海田湾の実証試験では、複数回に分けて散布を行い、めり込みが少なく、空隙を保持した良好な被覆層を形成することが可能となった。



## 5.8 施工中の環境保全対策の検討

石炭灰造粒物の散布にあたって、留意すべき環境要因は、濁りの発生、pHの上昇などである。施工時には、濁りの拡散を防止するための汚濁防止柵を使用するとともに、濁りや水質の監視も行うことが肝要である。

### 【解説】

石炭灰造粒物の表面には、細粒分が固着しており、散布時にこれらの細粒分が濁りとして拡散する可能性がある。そこで、施工中には汚濁防止柵を設置するとともに、濁りの発生状況を水質計等により、計測することが望ましい。

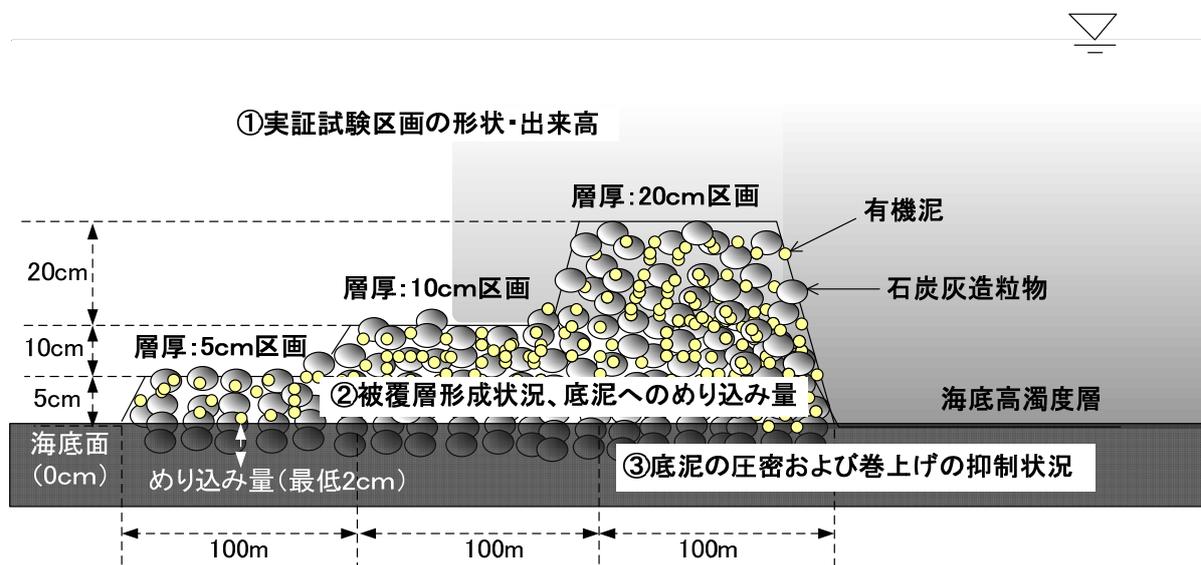
## 5.9 施工に関する評価

施工直後の被覆層厚の状態や出来高は、その後の効果の発現に大きく関わってくるため、施工区の状態を調査し、評価することが望ましい。具体的には以下のような点について評価を行う。

- 1) 施工区画の形状・出来高
- 2) 被覆層の形成状況・底泥への材料のめりこみ状況
- 3) 底泥の圧密・巻上げの抑制状況

### 【解説】

施工直後の被覆層厚の状態や出来高は、その後の効果の発現に大きく関わってくる。そのため、施工直後の施工区の状態として、図－ 5.5の3つの内容について調査を行うことが望ましい。



図－ 5.5 施工に関する評価内容

## 6 施工前・後のモニタリング項目と評価

### 6.1 評価の視点

石炭灰造粒物による底質改善手法では、大きく以下の4つの効果が得られる。モニタリング評価にあたっては、事前に評価の視点（どのような効果を評価するか）を、第3章で設定した目標を念頭に決定する。

- 1) 底泥への浮泥の堆積抑制効果（効果の継続期間の向上効果）
- 2) 底質の改善効果
- 3) 水質の改善効果
- 4) 底生生物への効果

#### 【解説】

評価の視点には、被覆層間隙への浮泥の捕捉・分解効果（浮泥の堆積抑制）、底質の改善効果、水質の改善効果、底生生物への効果といった項目がある。モニタリングにあたっては、本技術の適用によって、具体的にどのような効果を得たいのかを明確にし、目的に沿った計画を立案することが重要である。

なお、これらの効果はそれぞれが独立して発現するものではなく、相互作用を持つものであり、可能であれば、全ての視点を網羅してモニタリングを行うことが望ましい。

## 6.2 モニタリング項目の整理

評価の視点に沿って、直接的に評価を行う調査項目とそれに関連するプロセスに関する調査項目を整理し、モニタリング項目を決定する。

### 【解説】

各評価の視点毎に期待される効果について、直接的に評価する項目、間接的に評価する項目を抽出し、調査項目を整理する。直接的に評価を行う項目は、生物の現存量といった目標とする効果を直接的に評価可能となる項目であり、最低限モニタリングが必要となる項目である。また、間接的に評価する項目は、関連するプロセスに関する項目であり、期待される効果が発現しない場合の原因を解明し、対策を検討する上で重要となるため、可能な限りモニタリングを行うことが望ましい。よって、モニタリング項目の優先順位としては、i 最も得たい評価の視点の直接的評価項目、ii 最も得たい評価の視点の間接的評価項目、iii その他の評価の視点の直接的評価項目、iv その他の評価の視点の間接的評価項目となる。

海田湾の実証試験において、設定された評価の視点とモニタリング項目を表- 6.1にまとめた。

表- 6.1 モニタリング項目の整理例

| 評価の視点          | 調査項目   |                                | 種別 <sup>注)</sup> |   | 評価する内容  | 最終的に期待される効果     |   |
|----------------|--|--------------------------------|------------------|---|---|-----------------|---|
|                |  |                                | 直                | 間 |   |                 |   |
| ①底泥の再ヘドロ化の抑制効果 | 被覆層内調査   | 浮泥の堆積層厚                        | ●                |   | 底泥の再ヘドロ化の抑制状況の評価する。<br>被覆層間隙への有機泥の捕捉・分解過程を評価する。 | 効果継続期間の向上       |   |
|                |  | 間隙に占める有機泥体積の割合                 | ●                |   |   |                 |   |
|                |  | 間隙内粒子の POC・PON・PP、IL、n-ヘキサン    |                  | ● |   |                 |   |
|                |  | 海底付近の水温・塩分                     |                  | ● |   |                 |   |
|                | 海底沈降物調査  | 海底への沈降粒子量、POC・PON・PP、IL、n-ヘキサン | ●                |   | 海底での浮泥の移動抑制効果の評価する。                             | 生物の増加           |   |
| ②底質の改善効果       | 被覆層内調査   | 底質の酸化還元電位                      | ●                |   | 還元的環境の緩和効果の評価する。                                | 生物の増加           |   |
|                |  | 底質の POC・PON・PP、IL、n-ヘキサン       |                  | ● |   |                 |   |
|                | 底質調査   | 間隙水中の硫化水素                      | ●                |   | 硫化水素の低減効果の評価する。                                 | 生物の増加<br>悪臭の抑制  |   |
|                |  | 底質のpH                          |                  | ● | 栄養塩の低減効果の評価する。                                  | 富栄養化の抑制         |   |
|                |  | 間隙水中の DIN・DIP                  | ●                |   |   |                 |   |
|                |  | 底質のpH                          |                  | ● |   |                 |   |
|                | 1) 底泥の再ヘドロ化の抑制効果に関する項目                                     |                                |                  | ● | 上記効果の発現要因を把握する。                                 | —               |   |
| ③水質の改善効果       | 水質調査   | DO、濁度                          | ●                |   | 貧酸素の緩和および海底高濁度層の抑制効果の評価する。                      | 生物の増加           |   |
|                |  | 水温、塩分、pH、クロロフィル                |                  | ● |   |                 |   |
|                | 2) 底泥の再ヘドロ化の抑制効果に関する項目<br>3) 底質の改善効果に関する項目                 |                                |                  |   | ●   | 上記効果の発現要因を把握する。 | — |
| ④底生生物への効果      | 底生生物調査   | 底生生物の種類数・個体数・湿重量               | ●                |   | 生物の生息状況の評価する。                                   | 生物の増加           |   |
|                | 潜水目視観察   | 魚介類の出現状況                       | ●                |   |   |                 |   |
|                | 1) 浮泥の堆積抑制効果に関する項目<br>2) 底質の改善効果に関する項目<br>3) 水質の改善効果に関する項目 |                                |                  |   | ●   | 上記効果の発現要因を把握する。 | — |

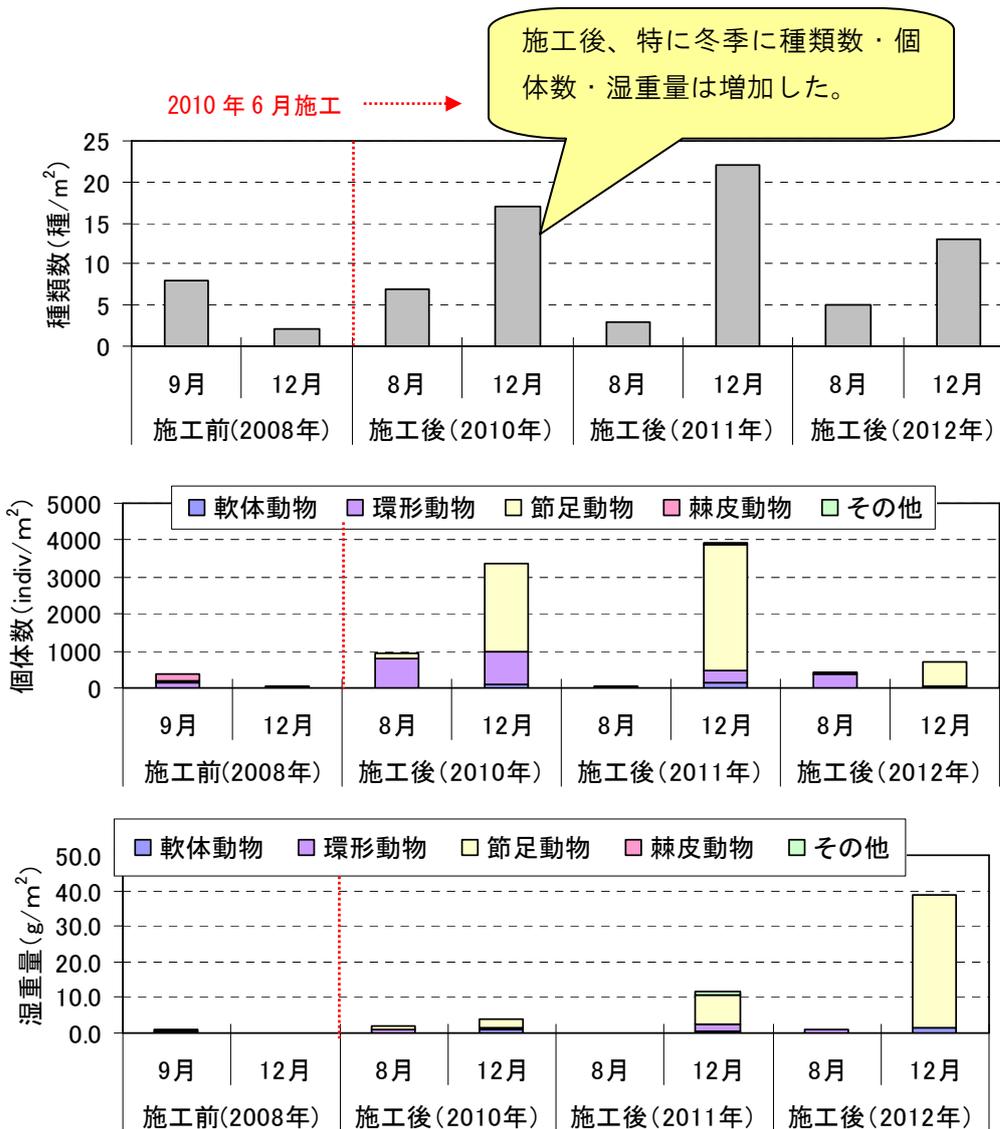
注) 直…直接的評価項目 間…間接的評価項目

### 6.3 モニタリング評価の初期値としての事前調査の実施

事前調査は、施工範囲、施工層厚を検討するためだけではなく、施工後のモニタリング評価の初期値（施工前の値）としての必要性もある。初期データの取得項目は、事後のモニタリング評価と合わせて検討し、施工前後のデータとの比較ができるように実施する。

**【解説】**

評価の方法の一つとして施工前後での底質や生物の生息状況の把握を行うことが有効である。このため、事前調査の計画時には、施工後のモニタリングもある程度考慮しながら、施工前後で連続的なデータが取得できるよう調査項目を選定する。



図一 6.1 海田湾における施工の評価例（底生生物の増加）

## 6.4 モニタリング方法

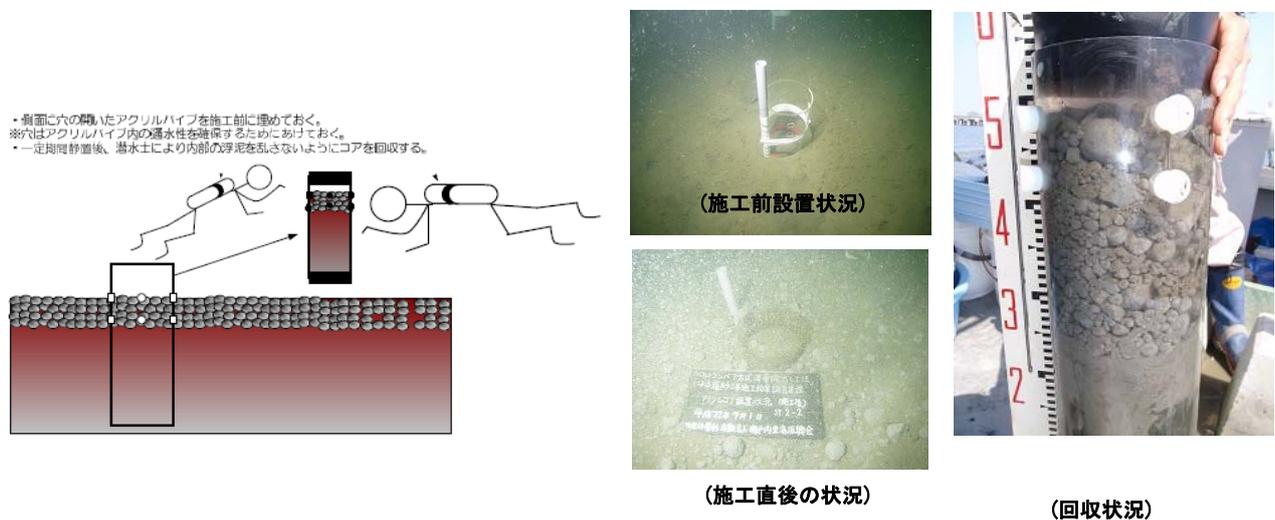
石炭灰造粒物による底質改善手法では、比較的粒径の粗い材料で海底を被覆することになるので、通常の海洋観測で用いられている手法が適用できない項目が多い。これらの項目については、本実証試験で開発された調査手法を用いることで良好なデータを採取することが可能となる。

### 【解説】

通常の海洋調査で用いられている底質に関する調査手法は、軟泥や砂泥を対象としたものが多く、石炭灰造粒物のような砂礫質の海底を調査するには不適なものが多い。

海田湾の実証試験では、6.2節で示したような評価の視点に沿って調査結果を得るために、石炭灰造粒物で被覆した海底での調査手法を多く開発している。

例えば、被覆層間隙へ捕捉された粒子の量等を正確に測定するには、被覆層の不かく乱状態で採取する必要がある。しかしながら、被覆層は砂礫質を呈しているため、通常の潜水士等による柱状採泥では、コアが容易に貫入せず、無理に貫入させると被覆層内の捕捉されている粒子が飛散し、正確なデータの採取ができない。そこで、予め、施工前に海底にアクリルコアをモニタリング計画上の必要本数設置しておき、施工後に一本ずつコアを採取していくことで、限りなく不かく乱に近い状態での被覆層の採取を可能にした（図－6.2）。



図－6.2 被覆層内調査①（柱状採泥）の実施要領

## 6.5 モニタリング結果の評価方法

モニタリング結果の評価方法として、大きく、①目標とする値とモニタリング結果の比較、②対照区と施工区のモニタリング結果の比較、③施工前後でのモニタリング結果の比較、などの方法がある。

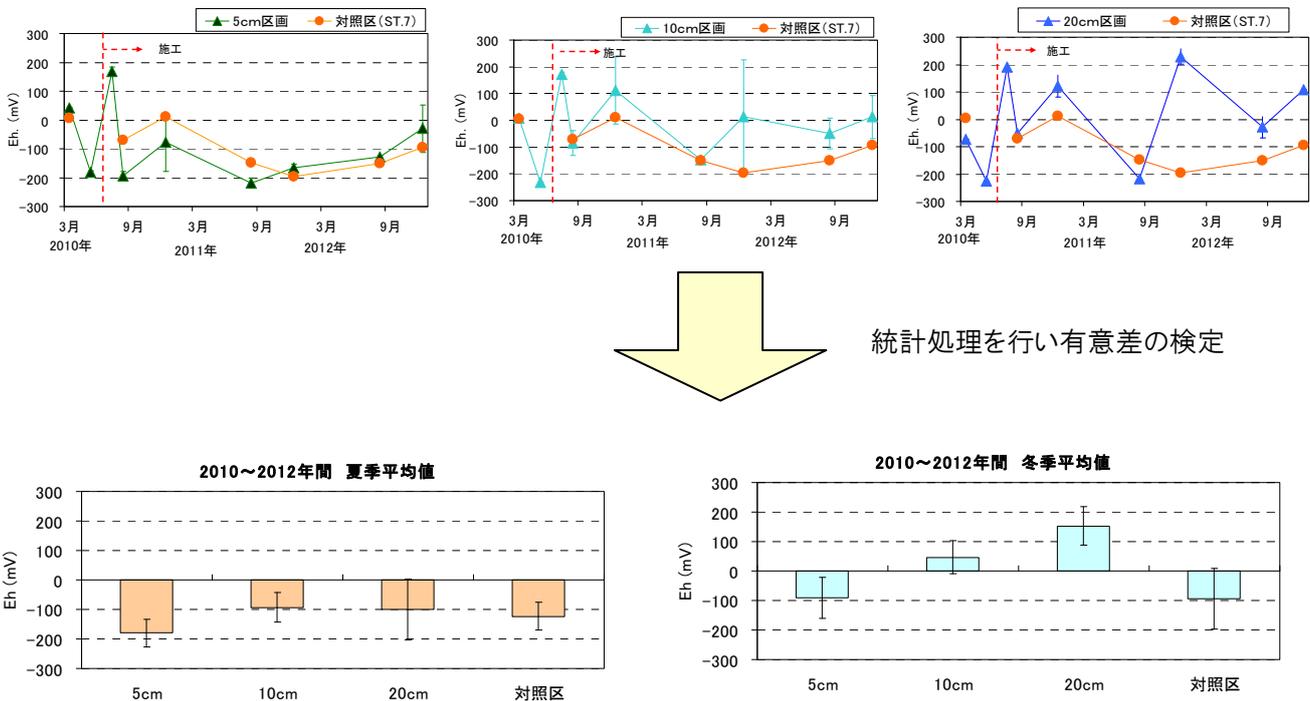
また、得られた特定の結果のみで効果の有無を判断するのではなく、④得られた効果がどのようなプロセスで発現もしくは劣化しているかを解析することが重要である。

### 【解説】

得られたモニタリング結果は、効果を直接的に評価する項目については、①当初の目標に対する現状を評価することが妥当である。また、明確な目標値が無い場合でも既存の文献値や調査結果を参照し、どの程度の値であれば良好な状態であるかの目安を把握し、施工区の状況を評価していくことが重要である。

また、目標値に効果が達していない場合や目安の設定が難しい場合でも、②対照区と施工区の比較により、効果が発現しているか否かを評価することができる。この場合、可能な限り1地点あたり3検体分のデータを取得し、施工区と対照区の差が統計上有為であるか否かといった検証を行うことが重要である。

さらに、施工前後でのモニタリング結果の比較からも効果の有無を判断できるが、気象条件といった外部要因が大きく異なる可能性があることに留意する必要がある。



※柱状採泥した試料より、実証試験区では、被覆層全て(表層からそれぞれ 5cm、10cm、20cm まで)に含まれる泥の Eh を測定。対照区では表層から 2cm までの泥の Eh を測定。

図一 6.3 海田湾実証試験における施工区と対照区の比較による効果の評価例

## 結 言

本手引きは、海田湾において実施された実証試験結果を基にとりまとめられたものである。海田湾における実証試験では、施工計画、施工、モニタリング、評価、モデルの開発と多くの検討を行い、底質改善への再生材の適用の有効性に関する科学的な知見を多く得るとともに、実際の事業にあたっての検討項目を整理し、手引きとして示すことができた。

これらの成果は、検討委員会において審議されてきたものであり、学識委員や関係者の方々のご理解とご協力なくしては得ることのできなかつたものである。

最後に、4年間に渡って開催された検討委員会において、献身的な協力と指導を頂いた広島大学 日比野忠史委員長、同大学 山本民治委員、広島工業大学 今岡務委員および関係者の方々に深く御礼を申し上げます。

## 〈用語集〉

(あ行)

### 赤潮(あかしお)

水中のプランクトン、特に植物プランクトンが大量発生し、水の色が著しく変わる現象のことをいう。プランクトンの増殖に必要な窒素やりんなどの増加に伴う水域の富栄養化が発生の一因と言われている。大量発生したプランクトンが分解すると水中の酸素を大量に消費したり、プランクトンが魚類のエラに詰まるなどし、その水域に棲む魚類などに大きな被害を及ぼす。

### 上げ潮(あげしお)

低潮位から高潮位までの間のこと。

### 一次生産、内部生産(いちじせいさん、ないぶせいさん)

生態系の物質循環の中で無機物から有機物を合成すること。一般の生態系では光合成を行なう緑色植物がこれに相当する。

### 栄養塩類(えいようえんるい)

生物が生活を営むために必要な塩類をいう。植物プランクトンが藻類の体を構成し、その増殖の要因となっている珪素、りん、窒素等の塩類で、珪酸塩、硝酸塩、アンモニウム塩、Co,Zn,Cu,Mn,Fe等の微量元素を含む塩などをいう。植物の生長に欠くことのできない微量元素のうち、特に、窒素、りんは生育の制限因子となりやすく、海水では珪酸も制限因子になりやすいので、窒素、りん、珪酸を特に栄養塩類という。

(か行)

### 下水道、下水処理場(げすいどう、げすいしよりじょう)

主に都市部の雨水及び汚水を、地下水路等で集めたのち、公共用水域へ排出するための施設・設備の集合体のことをいう。また、下水処理場とは下水道の汚水を浄化し、河川、湖沼または海へ放流する施設のこと、下水道法上は、「終末処理場」と呼称し、「下水を最終的に処理して河川その他の公共の水域又は海域に放流するために下水道の施設として設けられる処理施設及びこれを補完する施設」を示す。

### 高濁度層(こうたくとそう)

水中の濁りが多い層。沿岸や湖では底付近に形成されることが多い。

(さ行)

### 下げ潮(さげしお)

高潮位から低潮位までの間のこと。

### 産業副産物(さんぎょうふくさんぶつ)

産業活動に伴い副次的に得られる物品であり、再生資源及び廃棄物等を含む。

### 三次元モデル(さんじげんもでる)

鉛直1次元モデルでは鉛直方向のみを考慮した物理量を取り扱うが、これを水平方向に多層分割して鉛直方向の物理量の分布を取り扱うモデル。

### 酸素消費速度(さんそしょうひそくど)

有機物の分解等の過程によって酸素が消費される速度。単位時間、単位面積もしくは体積あたりに消費される酸素の量として表される。

### 植物プランクトン(しょくぶつぐらんくとん)

水中の生物で遊泳能力を持たずに海中を漂うものをプランクトンといい、その中でクロロフィルを持ち光合成により栄養摂取を行う浮遊生物を植物プランクトンという。光合成に必要な光が届く海表面から水深数m～150mまでのごく限られた水域だけに生息し、生産者として海洋の膨大な生物量を支えている。

### 水質(すいしつ)

水の中に含まれる物質(不純物)の種類、量(濃度)及び存在形態のことをいう。

### 成層(せいそう)

上層に軽い海水、下層に重い海水が存在し、鉛直混合が起こりにくい状態にあること。

### 石炭灰造粒物(せきたんばいぞうりゅうぶつ)

火力発電から生じる石炭灰を、セメントで造粒した材料。環境再生材のほか地盤材として活用が勧められている。

## セディメントトラップ

上方から下方へ輸送される粒子を捕集する器具。

(た行)

## 底質(ていしつ)、底泥(ていでい)

河川、湖沼、海域など水域の底に溜まった表層土などの堆積物のことをいう。

## 底生生物(ていせいせいぶつ)

ベントスとも呼ぶ。海底環境に生息する動植物。河川、湖沼では、昆虫の幼虫、貧毛類、貝類、甲殻類なども含まれる。

(は行)

## 被覆層(ひふくそう)

底泥へ散布された石炭灰造粒物の層のうち、原地盤へめり込んでいない層。分解層。

## 被覆層間隙(ひふくそうかんげき)

被覆層の石炭灰造粒物の間にできる空隙。有機泥を捕捉し、分解することで、底泥の再へドロ化や巻上げを抑制する効果が期待される。

## 広島湾再生行動計画(ひろしまわんさいせいこうどうけいかく)

広島湾の環境修復・保全を推進するため、関係省庁及び関係地方公共団体等が協力して、陸域(流域)と海域(沿岸部を含む)が連携した総合的な広島湾の再生を行うための行動計画。「全国海の再生プロジェクト」の一環として、広島湾再生推進会議により平成19年3月に策定され、10年間で当面の行動計画期間としている。

## 貧酸素水塊(ひんさんそすいかい)

海洋、湖沼等の閉鎖性水域で、魚などが生存できないくらいに水中の溶存酸素濃度が低下した水の水塊のことをいう。いったん貧酸素水塊が発生すると、生物は酸素欠乏状態になり、ひどい場合は窒息死することもある。

## 覆砂(ふくさ)

汚濁の進んだ海底面を良質な砂で覆うことにより、底泥からの栄養塩類の溶出を削減し、底生生物の生息環境を改善するもの。

## 物質収支(ぶつしつしゅうし)

物質循環を定量的に表現し、収支をとらうとすること。

## 物質循環(ぶつしつじゅんかん)

生態系の中で、特定の物質が生物界と非生物界の間を循環することをいう。窒素の循環・炭素の循環などがこの例で、物質循環はかならずエネルギーの流れをとらう。物質は物理的・化学的性質をかえて循環するが、その原動力は生命活動であり、エネルギー源は太陽である。

## フラックス

単位時間内に単位面積を通して輸送される物質やエネルギーなどの量のこと。

## 閉鎖性水域(へいさせいすいいき)

湖沼や内海、内湾のように、外部と水の交換が行われにくい水域のことをいう。汚濁物質が蓄積しやすいため水質汚濁が進みや早く改善しにくいという性質がある。

## 分解層(ぶんかいそう)

底泥へ散布された石炭灰造粒物の層のうち、原地盤へめり込んでいない層。被覆層。

## ボックスモデル

対象の海域を1つまたは複数の箱(ボックス)に分け、その中では物質濃度が均一と仮定したモデル。海域の熱や物質の収支の計算などに用いられる。

(ら行)

## 硫化物質(りゅうかぶつしつ)

硫酸イオンを使う嫌氣的分解過程では一般に硫化物量が多くなるので、その量は酸素不足による嫌氣的分解過程が盛んであることを示す。

### 硫化水素(りゅうかすいそ)

硫黄と水素からなる無機化合物で、無色の気体。化学式  $\text{H}_2\text{S}$ 。腐卵臭(卵が腐ったときに示す独特の臭い)を持つ。海域では、底泥等に大量の有機物が蓄積し、還元的環境した際に硫酸還元菌が硫酸を電子受容体として呼吸することで副産物として発生する。生物に有害であり、大量の硫化水素の発生は青潮の原因にもなる。

### 流入負荷量(りゅうにゅうふかりょう)

負荷量とは単位時間にある断面を通過する物理量を表す。海域の場合、単位時間に対象水域に流れ込む栄養塩やCODなどの重量を流入負荷量と呼ぶ。

(ま行)

### メッシュ(計算格子)

内湾の流動計算等を行なう際に、解析領域を有限個の小さな領域に分割し計算を行なう。この際の小さな領域をメッシュ(計算格子)という。

### モニタリング

環境監視のことであり、事業実施後、その事業が大気質や水質等の環境要素に影響を及ぼしていないかどうか、定期的な調査あるいは自動観測器を用いた調査により監視することをいう。

### めりこみ層(めりこみそう)

底泥へ散布された石炭灰造粒物の層のうち、原地盤へめり込んでいる層。

(や行)

### 溶出量、溶出速度(ようしゅつりょう、ようしゅつそくど)

底泥から物質が溶出する速度のこと。通常、単位時間、単位面積あたりの物質量で表される。

### 躍層(やくそう)

水温や塩分等が急激に変化する層のこと。一般に、海洋では、塩分や水温の躍層は水の密度が急激に変化する層であり、物質の鉛直的な移動に大きな影響がある。

### 有機物(ゆうきぶつ)

炭素を含む化合物。有機物には、生物体内で作られる炭水化物、脂肪、たんぱく質等のほか、無数の人工的に形成された有機化合物がある。通常、有機汚濁という場合は、生物によって代謝分解されやすく、特に毒性のない化合物を対象とし、有機リン系農薬や有機塩素系化合物などのようにそれ自身の毒性が問題となる場合は別に扱う。

(A~Z)

### COD(化学的酸素要求量)

水中の有機物等を酸化剤によって酸化する際に消費する酸素量のことをいう。代表的な海域の水質指標として用いられ、数値が大きくなるほど有機物等が多量に含まれており、汚濁していることを示す。

### DIN(溶存無機態窒素)

水中に溶存して存在する無機態窒素の総量で、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (アンモニア態窒素)、 $(\text{NO}_3^-)\text{-N}$ 硝酸態窒素、 $(\text{NO}_2^-)\text{-N}$ 亜硝酸態窒素の総和である。DINは植物プランクトン等の増殖に必要な栄養塩である。

### DIP(溶存無機態りん)

水中に溶存して存在する無機態りんである。DIPは植物プランクトン等の増殖に必要な栄養塩である。

### DO(溶存酸素濃度)

海水中に溶解している酸素量のことをいう。水生植物や植物プランクトンの多い水域では日中、光合成作用によってDOが供給される。魚などが生存できないくらいに水中の溶存酸素量が低下した水の塊を貧酸素水塊という。

### ORP(酸化還元電位)

酸化性物質と還元性物質の組合せ強度により生ずる電位差。酸化力または還元力の強さを表す値である。正の値が酸化的であることを負の値が還元的であることを表す。

### **pH（ピーエイチ）**

酸性・アルカリ性の程度を表す言葉で、液中の水素イオン濃度の逆数の常用対数で表す。pH7 が中性。pH7 より小さければ酸性、大きければアルカリ性。

### **POC（懸濁態有機炭素）**

水中に浮遊している有機態の炭素である。海域では植物プランクトンやデトリタスとして存在している。

### **T-N(全窒素)、T-P(全りん)**

T-N は、アンモニア、硝酸、亜硝酸など全ての窒素化合物を合わせた窒素の量であり、T-P はリン酸、ポリリン酸その他動植物中のりんなど、水中に存在するりん化合物を合わせたりんの量である。排水などに含まれる窒素やりんが海域や湖沼に過剰に流入すると富栄養化し、赤潮の発生など水質悪化の原因となる。

石炭灰造粒物による底質改善手法の手引き

---

平成25年3月

国土交通省中国地方整備局  
広島港湾空港技術調査事務所

〒730-0051  
広島市中区大手町3丁目13-18 松村ビル  
5階

TEL 082-545-7016

---