

石炭灰造粒物による環境改善手法の手引き  
感潮河川域編  
(技術資料編)

平成30年3月

広島県土木建築局河川課

第1章 技術資料編の概要	
1.1 技術資料編の概要	1-1
1.2 技術資料編を活用する上での留意事項	1-2
第2章 石炭灰造粒物による河川環境改善手法の適用性の把握	
2.1 広島湾市内派川における河岸干潟の特性	2-1
2.2 石炭灰造粒物の実用事例	2-2
2.2.1 石炭灰造粒物	2-2
2.2.2 施工実績	2-3
2.2.3 有効活用の現状	2-3
2.3 石炭灰造粒物による環境改善により期待される効果と便益	2-6
2.3.1 富栄養化の抑制	2-7
2.3.2 ODUの溶出抑制	2-8
2.3.3 硫化水素の吸着と発生抑制	2-9
2.3.4 石炭灰の灰としての効用	2-10
2.3.5 底質環境改善の経済評価	2-13
2.4 石炭灰造粒物層の河岸干潟での効用	2-18
2.4.1 藻類の着生	2-18
2.4.2 有機物の分解性	2-20
2.4.3 間隙水の流動性	2-21
第3章 環境改善目標の設定と施工候補地の選定	3-1
3.1 既存資料に基づく周辺環境の把握	3-1
3.1.1 地勢などの概要	3-1
3.1.2 水域環境の経年的変化と概要（既存調査）	3-2
3.1.3 堆積有機泥の掃流特性	3-8
3.1.4 底質環境	3-9
3.1.5 底質の間隙水	3-11
3.1.6 沈降浮遊物質の状況	3-12
3.2 環境改善目標の設定	3-13
3.2.1 上位計画	3-13
3.2.2 底質環境改善目標とする指標	3-15
3.3 施工箇所の選定	3-16
3.3.1 干潟部周辺の護岸構造	3-16
3.3.2 河床部の構造物	3-17
3.3.3 施工に係る制約条件	3-17
3.3.4 環境改善に対する地域のニーズと改善効果の有無	3-17

第4章 適用する石炭灰造粒物層の構築方法、施工方法検討のための事前調査 .....	4-1
4.1 事前調査の目的と設計条件の検討方法の選定 .....	4-1
4.1.1 石炭灰造粒物を用いた底質環境の改善機構 .....	4-1
4.1.2 底質環境改善手法の施工 .....	4-7
4.2 事前調査項目の整理 .....	4-11
4.2.1 河岸干潟底質改善実証試験の目的 .....	4-11
4.2.2 事前調査の段階において調査が必要な項目の整理 .....	4-11
4.3 事前調査方法 .....	4-13
4.3.1 干潟環境の事前調査 .....	4-13
4.3.2 事前調査に係る現況評価 .....	4-18
4.4 施工範囲、石炭灰造粒物層の構築方式の決定 .....	4-19
4.4.1 構築方式の検討 .....	4-19
4.4.2 実証試験の施工 .....	4-21
4.4.3 実証試験の検証・評価 .....	4-22
第5章 施工の計画・実施と施工出来高等の評価 .....	5-1
5.1 施工の計画段階で検討する内容 .....	5-1
5.1.1 大規模実証試験の目的 .....	5-1
5.1.2 対象へドロ干潟の概要と事業範囲の検討 .....	5-2
5.1.3 石炭灰造粒物による透水層の機能 .....	5-2
5.1.4 施工の計画段階で検討する項目 .....	5-2
5.2 石炭灰造粒物の調達 .....	5-3
5.2.1 進入方針の設定 .....	5-3
5.2.2 進入路の検討 .....	5-4
5.3 施工時期の検討 .....	5-10
5.4 施工範囲と構築方式の組み合わせ、B/C を考慮した施工要領の検討 .....	5-11
5.5 工事可能な時間、作業拠点の確保 .....	5-12
5.5.1 干潟上での施工可能日の抽出 .....	5-12
5.5.2 作業拠点の確保 .....	5-17
5.6 施工方法の検討 .....	5-18
5.6.1 施工技術の検討と事業費用低減策 .....	5-18
5.6.2 実証試験区設計時の地盤評価 .....	5-19
5.7 施工手順の検討 .....	5-20
5.8 施工中の環境保全対策の検討 .....	5-22
5.9 施工に関する評価 .....	5-23
5.9.1 石炭灰造粒物透水層の支持力評価 .....	5-23
5.9.2 干潟再生材の透水機能評価 .....	5-25
5.9.3 石炭灰造粒物への藻類付着と生物相の多様化 .....	5-27

第6章 施工前・後のモニタリング項目と評価 .....	6-1
6.1 評価の視点 .....	6-1
6.1.1 河岸ヘドロの有機物特性評価の概要 .....	6-1
6.1.2 有機泥を構成する有機物の概要と分析法 .....	6-2
6.1.3 河岸堆積泥の特性 .....	6-3
6.1.4 石炭灰造粒物の散布効果とその機構 .....	6-7
6.2 モニタリング項目の整理 .....	6-11
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 .....	6-20
6.4 モニタリング方法 .....	6-25
6.4.1 河床調査 .....	6-25
6.4.2 底質調査 .....	6-26
6.4.3 セジメントトラップ調査 .....	6-27
6.4.4 水質調査 .....	6-27
6.4.5 底生生物調査 .....	6-28
6.4.6 二枚貝生息環境調査 .....	6-28
6.5 モニタリング結果の評価方法 .....	6-30
6.5.1 pH と ORP の関係 .....	6-30
6.5.2 細粒分割合（シルト・粘土分）と含水比の関係 .....	6-31
6.5.3 強熱減量（600℃）と強熱減量（300℃）の関係 .....	6-32
6.5.4 炭素と全窒素の関係 .....	6-33
6.5.5 n-ヘキサン抽出物質と強熱減量（300℃）の関係 .....	6-34
6.6 モニタリング結果の簡易評価方法 .....	6-35
6.6.1 親水性向上 .....	6-35
6.6.2 底質改善 .....	6-36
6.6.3 生物生息環境改善 .....	6-36
第7章 協働による水辺の活用・管理等の運営 .....	7-1
7.1 水辺機能の活用 .....	7-1
7.1.1 親水性が向上した河岸干潟の活用 .....	7-1
7.1.2 都市河川に堆積したヘドロの状況 .....	7-1
7.1.3 親水性の高い都市河川での楽しみ方 .....	7-2
7.1.4 石炭灰造粒物によって形成された地盤の使い方 .....	7-2
7.2 水辺の環境管理 .....	7-4



## 1.1 技術資料編の概要

手引きは、広島市内派川の1つである京橋川において検討・実証された「石炭灰造粒物による河岸堆積泥の改善手法」について、今後河川の環境改善事業へ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。

技術資料編では、手引き（本編）の記載内容のバックグラウンドデータや調査方法等の具体的な内容を取りまとめたものである。また、事業検討にあたっては、必要な予算も想定できるように概算費用を主要な検討内容について記載している。

### 【解説】

技術資料編の構成は、手引本編と同様であり、本編の流れに沿って、具体的な内容が追記される形で取りまとめられている。

また、事業検討の際に役立つよう、調査に掛かる概算費用（平成29年3月時点）を当該箇所に、参考値として記載している。

## 1.2 技術資料編を活用する上での留意事項

技術資料編は、手引き（本編）と同様に幾つかの事業パターンを想定して取りまとめられており、事業の検討段階に合わせて該当箇所を参照されたい。また、本資料は広島市内派川における実証試験および事業結果をもとにまとめられており、他水域への適用に際しては、地域特性を十分に把握し検討を行う必要がある。

### 【解説】

本手引きは、環境改善事業を進める際に想定される手順に沿って構成した（図-1.2.1、図-1.2.2 参照）。

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」⇒「利用」という流れとなっている。各段階において必要と思われる内容について、対応する章で整理している。

なお、本編については上記手順の概要を整理しており、詳細な内容は技術資料編を参照されたい。また、各段階を実施していくうえで必要な概算予算（平成29年3月時点での想定概算額）についても技術資料編の各章内で整理しているので、事業計画立案時に参照されたい。

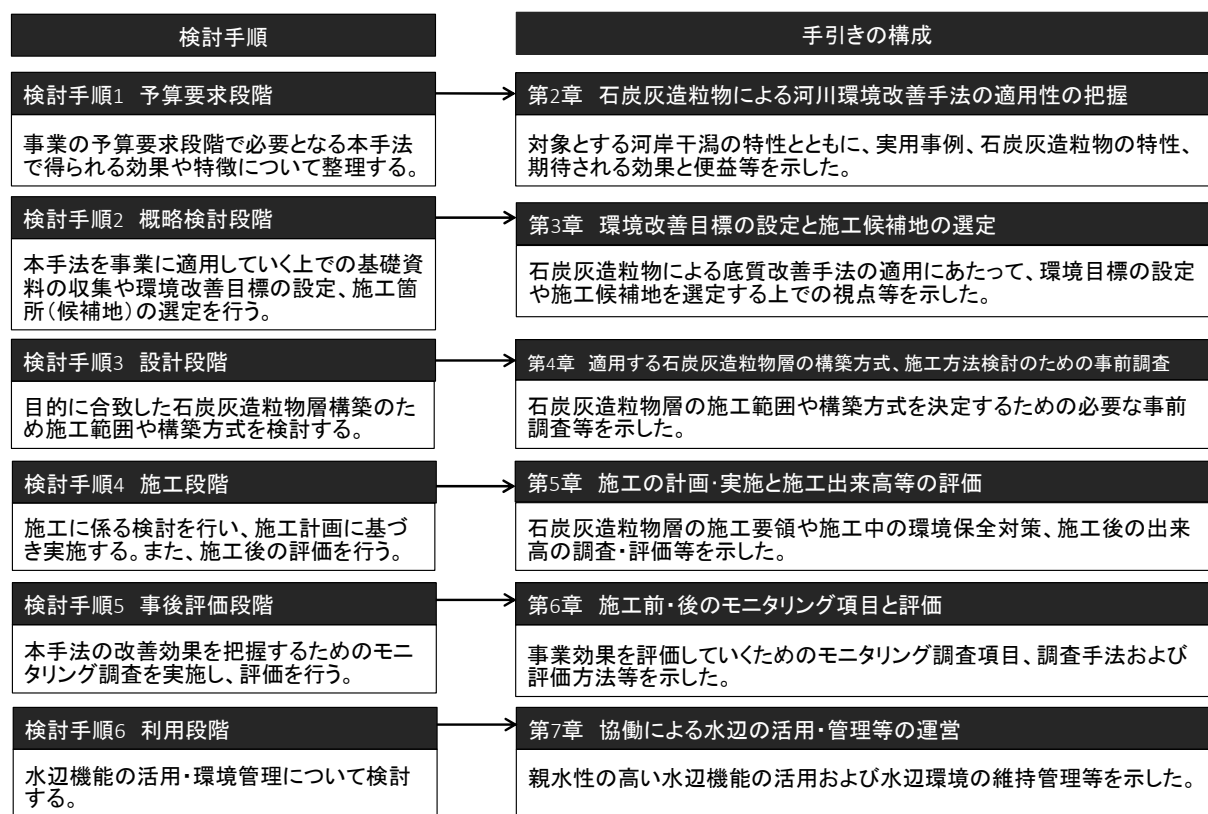
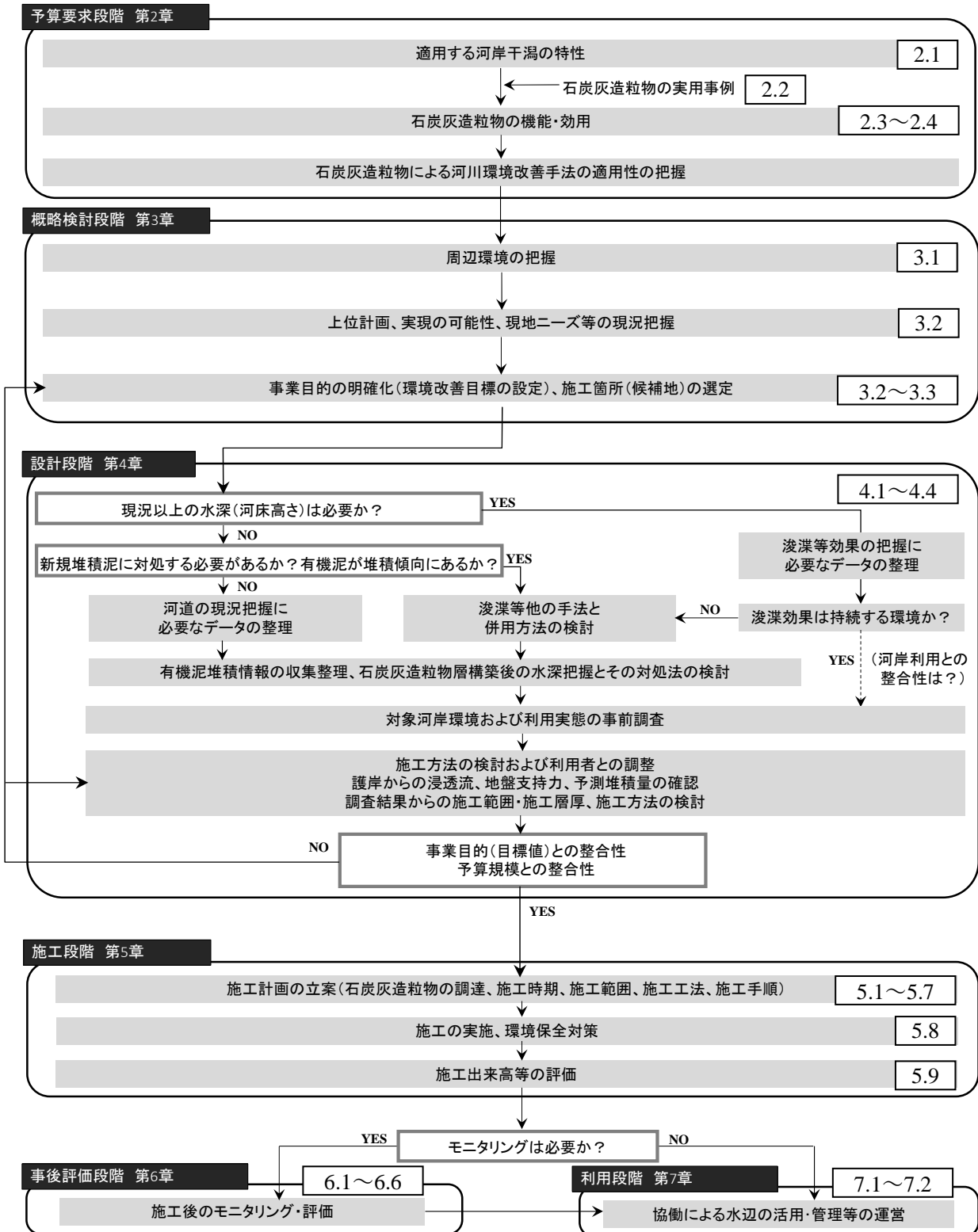


図-1.2.1 技術資料編の全体構成



※チャート中の番号は技術資料編に対応している。

図-1.2.2 予算要求から事後評価までのフローチャート

本手引きの対象とする河岸干潟の特性を示すとともに、石炭灰造粒物の実用事例や環境改善により期待される効果と便益、河岸干潟での効用について示す。

## 2.1 広島湾市内派川における河岸干潟の特性

### 【解説】

広島市街地の形成は、1589年、深い入り江に小島や砂州が点在する太田川河口三角州に、毛利輝元が着手した城と城下町の建設に始まる<sup>1)</sup>。平地が少ない広島においてその後の城下町は、中心部から海に向かって干拓され、新開と呼ばれる埋立地を形成した。

近代広島における太田川治水の要である放水路事業は1932年に着手し、太田川市内7川の内、山手川と福島川を統合する形で放水路が整備され1967年に完成した。吉島、江波および観音の3地区の埋立土地造成は、放水路計画と一体の事業であり、河川土砂の浚渫により1947年に埋立が竣工している<sup>2)</sup>。また、太田川放水路の竣工により、放水路と市内5派川（天満川、本川（旧太田川）、元安川、京橋川、猿猴川）による広島市街地の外郭が形作られた。

広島湾北部海域（厳島および能美島・倉橋島以北）では、その後も臨海工業地帯の建設に合わせた土地造成が続き、1990年までに坂、海田湾、東部浄化センター、仁保沖（マツダ工場）、出島、空港延伸、広島市西部開発などの規模の大きい埋立事業が竣工した<sup>2)</sup>。1990年以降は、港湾整備や廃棄物最終処分、都市開発などの目的で、ベイサイドビーチ坂、宇品内港、出島沖、吉島沖、観音、五日市などの臨海部開発が進められている。

放水路竣工後の太田川は、河口から約10km上流で放水路と市内派川に分岐しており、平水時の流量は水門操作により、概ね放水路へ1割、市内派川に9割が分派されている<sup>3)</sup>。また、広島湾における潮差は年間を通じて約4mあり、この潮差と河川の緩やかな地形勾配によって河道内に干潟地形が形成されている。

干潟・浅海域は、魚介類の産卵場、稚仔魚の育成場であり、多くの魚介類にとって生活する上で不可欠な場である。さらに、バクテリアなどの微生物から鳥類などの大型動物に至るまで多種多様な生物の生息場としての機能や生物の働きにより有機物および栄養塩を貯留・吸収し、沖合海域への負荷を軽減する浄化機能を有しており<sup>4)</sup>、干潟・浅海域は水系毎に不可欠で、その規模に関わらず重要な役割を担っている。

しかし、近年、異常降雨や人口増に伴う生活排水の増加により、陸域から河川へ汚濁物質の流入負荷が発生している。特に、合流式下水道が整備された都市域では、処理不可能な汚水が放流され河道内に有機泥として蓄積され、底質環境の悪化を招いている。太田川三角州（広島デルタ）では、当初計画を越える生活排水等の放出により河道内に形成された干潟のヘドロ化（有機泥の還元的堆積）が進行し生態系が大きく変化している。感潮河川では上げ潮とともに河口から有機泥が運ばれると干潟部には高塩分の吸着水を持つ有機泥が沈降・堆積する。海水環境下で堆積した有機泥は海水によって掃流され難く、淡水が流れる機会の少ない干潟上には有機泥が堆積しやすい状況にある。

## 2.2 石炭灰造粒物の実用事例

### 2.2.1 石炭灰造粒物

海砂の採取禁止などの天然資源の積極的な保全および循環型社会形成への意識の高まりと建設資材の需要低迷などを背景として、水域環境改善分野においても石炭灰、鉄鋼スラグ、貝殻などの産業系リサイクル材の積極的な活用が試みられている。石炭は、日本の一次エネルギーの20%を賄い、発電電力量の1/4を占める基幹エネルギーであるが、石炭には5~30%程度の灰分を含み、石炭火力発電所などで燃焼した後に石炭灰が発生する。

石炭灰は、電気事業の石炭火力発電所の他に一般産業（化学、パルプ産業など）からも発生しており、2009年度の日本の石炭灰の発生量は10,952千tonである。そのうち、公有水面埋立用材を含めて10,668千ton（97.4%）が有効活用されている。石炭灰の有効利用分野と2009年度の構成比は、セメント分野（67%）、土木分野（15%）、建築分野（3%）、農林水産分野（1%）、公有水面埋立を含むその他（14%）であり、セメント分野67%のうち約96%がセメントの粘土代替材として使用されている。セメントの生産量がピーク時の60%を割り込む水準にある現在では、セメント原料としての石炭灰の供給は飽和状態に近づいていると考えられる。

石炭灰造粒物は、火力発電所から発生する石炭灰を主材料とするリサイクル品であり、環境に優しい海砂代替材として開発された。中国電力の石炭灰造粒物（Hi ビーズ）は、2001年2月に“Hi ビーズ／石炭灰再生資材（海砂代替材）”の名称で山口県認定リサイクル製品（認定 No.14）<sup>5)</sup>に登録され、2002年のサンドドレーンおよび敷砂ならびにサンドコンパクションパイル用砂代替材としての供給<sup>6)</sup>により、インフラストラクチャー分野での利用が始まった。

石炭灰および石炭灰造粒物の土木・建築分野ならびに環境分野での利用は、リサイクル材の有効活用促進の観点から有意であるとともに、石炭灰は、建設資材および環境資材として有意な化学的・物理的特性を有しており、総合的な環境保全の観点からも利用の拡大が望まれる。

干潟・浅海域の底質環境の改善は、生態系の自律的な改善の手助けとなる手法が望ましく、またその改善策が水域全体の修復に繋がるのが理想的である<sup>7)</sup>。主な改善手法は、①浚渫による底質の域外搬出、②覆砂による底質の封じ込め、③物理・化学的な作用による底質還元層の酸化促進である。浚渫には浚渫土の処分場の確保、覆砂には覆砂材の確保と新生堆積物による改善効果の低下、物理・化学的な酸化促進には、限定された適用環境やランニングコストなどの課題があり、各所で手法の改善に向けた研究や実証試験が続いている。

石炭灰造粒物の水域環境改善分野での利用は、2002年2月に山口県熊毛郡田布施町馬島東部地先海域において、漁場環境改善を目的とした試験覆砂が施工され<sup>8)</sup>、長期的な底質改善効果のモニタリングが開始された。石炭灰造粒物の窒素およびリンの吸着効果は天然砂に比較して高く<sup>9)</sup>、石炭灰造粒物は、環境修復に係る利用技術の拡大と確立により、水域環境の改善と水産業の振興に貢献することができる。

## 2.2.2 施工実績

石炭灰造粒物の施工実績を表-2.2.1に示す。主に環境修復用の覆砂材として活用されている。2005年より、国土交通省中国地方整備局での活用に始まり、その主な施工場所は中国地方の瀬戸内海沿岸域および山陰地方の汽水湖である中海となっている。

表-2.2.1 石炭灰造粒物（環境修復用）の施工実績

No.	発注機関	施工時期	施工場所	概略数量 (m <sup>3</sup> )	備考
1	国土交通省中国地方整備局 (出雲河川事務所)	平成17～継続	中海 (島根県・鳥取県)	210,000	環境修復
2	山口県	平成18～20年	埴生沖、小野田沖	37,000	水産事業
3	島根県	平成22～23年	安来沖	14,000	環境修復
4	国土交通省中国地方整備局 (広島港湾事務所)	平成22年	広島湾(海田)	9,400	環境修復
5	国土交通省中国地方整備局 (太田川河川事務所)	平成20年	広島市内 (一級河川)	100	河川浄化
6	国土交通省中国地方整備局・広島県・福山市	平成23年	福山港	5,500	環境修復
7	広島県	平成23年	京橋川(広島市内)	2,700	環境修復
8	広島高速道路公社	平成23年	本川(広島市内)	590	環境修復
9	国土交通省中国地方整備局 (太田川河川事務所)	平成23～24年	天満川(広島市内)	435	環境修復
10	松江市	平成25年	松江城 堀川	実証試験	水質浄化

出典) 港湾工事推奨用リサイクル製品便覧(平成25年度版)(p.136、リサイクルポート推進協議会技術開発部会循環資源利用促進分科会、3/2014。) <sup>10)</sup> 掲載表を転載

## 2.2.3 有効活用の現状

石炭灰造粒物の活用状況の現状を概説する。石炭灰を産出する中国電力(株)では、瀬戸内海における海砂の採取禁止・規制が進められる中、海砂に替わる新たな材料が求められ、石炭灰を造粒し、砂の代替材となる石炭灰造粒物を2000年(平成12年)から製造している<sup>11)</sup>。石炭灰(フライアッシュ)を造粒・固化した材料で、覆砂材等の環境改善材および地盤改良材として活用されている。粒径は概ね0～40mm程度で、10N/mm<sup>2</sup>程度の強度を持った材料としている。

以下では、石炭灰造粒物の活用にあたり、参考資料となり得る技術認証やマニュアル、手引き等の整備の現状を示す。

### (1) NETIS への登録

石炭灰造粒物は、国土交通省新技術情報提供システム (NETIS) に登録されている。登録 No.SKK-120002-A「環境修復用の砂代替材」<sup>12)</sup>、登録 No.SKK-120003-A「Fine ビーズ (地盤改良、臭気成分の除去)」<sup>13)</sup> として登録されている。NETIS 掲載情報は、当該技術に関する証明、認証その他何ら技術の裏付けを行うものではなく、新技術活用にあたっての参考情報となっている。申請情報は、技術開発者からの申請に基づく情報のため、その内容について、国土交通省が評価しているものではない。また、評価情報も活用等を行った結果に基づき評価を行うものであり、個々の現場の条件その他により評価は変わりうる性格を有するものとしている。なお、石炭灰造粒物は、2016 年 3 月末の時点で評価情報は登録されていない。

### (2) 環境技術実証事業 (ETV) による技術認証

石炭灰造粒物は、「環境省環境技術実証事業 (ETV)」において、平成 22 年度に閉鎖性海域における水環境改善技術分野について実証されている<sup>14)、15)</sup>。本事業では、「石炭灰造粒物による硫化物イオン、DIN および DIP の吸着による底質・水質の改善とこれに伴う底生生物の生息環境の改善効果の検証」を目的としている。

実証対象技術の概要では、その効果を①へドロ層への圧密沈下抑制、②間隙水浸透場の形成、③へドロからの栄養塩類・硫化物の封鎖・吸着、④生物生息環境の改善、⑤循環資源の再利用としている。実証試験は、短期的な効果を広島県広島市南区丹那町 (大河漁協)、長期的な効果を山口県熊毛郡田布施町馬島東部地先海域で設置後 8 年経過した場所において効果を検証している。

実証試験についての技術委員会の見解では、水質および底質の改善について、石炭灰造粒物の覆土は、短期的な効果として「DIN、DIP、硫化物イオンの溶出抑制及び ORP の低下抑制による水質および底質改善が期待できる技術である。」とし、長期的な効果としても「DIP、硫化物イオンの溶出抑制および ORP の低下抑制による水質および底質改善が期待できる技術である。」としている。

また、生物生息環境の改善について、短期的な効果として「原地盤や砂利区と比較して数ヶ月でより多くの種類が出現するなど、生物生息環境の改善において短期的効果が期待できる技術である。」とし、長期的な効果としても「敷設後 8 年を経過しても原地盤より種類数が多いことから、生物生息環境の長期的改善効果が期待できる技術である。」としている。

### (3) 地方自治体でのリサイクル認定

石炭灰造粒物は地方自治体において、「山口県認定リサイクル製品<sup>16)</sup>」、「しまねグリーン製品<sup>17)</sup>」に認定されている。

山口県では、リサイクル製品の利用促進及びリサイクル産業の育成を図るため、山口県内で発生する循環資源を利用して、県内で製造加工されるリサイクル製品を認定している。認定されたリサイクル製品は、山口県の公共工事地産地消推進モデル事業の選定対象になる。この公共工事地産地消推進モデル事業は「県内産の新製品・新技術・新工法等を積極的に公共工事へ利活用することにより、開発促進へのインセンティブを与え、販路拡大を支援すると共に、建設産業の経営多角化をも促し、もって雇用創出と県経済の活性化を図ることを目的」としている。山口県で

は「山口県ふるさと産業振興条例」の趣旨をふまえ、より一層の県内産業の振興を図るため、公共工事においても地産地消に取り組んでいる。

島根県は、循環型社会の実現を目指して、島根産の優れたリサイクル製品を「しまねグリーン製品」に認定し、資源の循環的な利用の促進とリサイクル産業の育成を図っている。しまねグリーン製品は、県の定める認定基準を満たしたリサイクル製品である。しまねグリーン製品の認定期限は、認定を受けた日から3年を経過する日の属する年度の末日まで（更新可能）となっている。なお、石炭灰造粒物の最新認定日は、平成29年4月1日（更新可能）である。

認定されたリサイクル製品には次のメリットがある。①島根県知事から認定証が交付され、しまねグリーン製品認定マークを製品やパンフレット等に使用することができる。②島根県より認定製品と事業者を紹介する製品カタログが作成・配布される。③島根県のホームページや新聞広告等で紹介される。④環境関連イベントでの認定製品の展示・紹介のほか、県内外の製品展示会への出展支援を受けることができる。⑤販促支援補助金として、グリーン製品の販売促進に要する経費の一部補助を受けることができる。

#### (4) 技術指針とマニュアル類の整備

「港湾・空港等整備におけるリサイクル技術指針<sup>18)</sup>」が平成16年3月に制定（平成24年3月に一部改訂）され、建設・産業副産物等からなる各リサイクル製品（無機系循環資源）の特徴や適用性と利用上の留意点が体系的に整理された。石炭灰造粒物は、本技術指針に、適用先「藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等」において覆砂材としての適用性があることが示されている。

近年、リサイクルに係る技術開発及び各種材料の利用マニュアルやガイドライン類等の整備が進められていることから、最新の技術情報を反映するとともに、実務者にとって解りやすく使いやすいものとするため、リサイクル材料の利用手続きや関係法令を整理した「港湾・空港等整備におけるリサイクルガイドライン（平成13年3月）」及びリサイクル技術指針（平成16年3月、平成24年3月に一部改訂）を見直し、「港湾・空港等整備におけるリサイクルガイドライン（改訂<sup>19)</sup>」として統合（平成27年12月）されている。石炭灰造粒物は、このガイドラインで技術評価が上がり、「品質の評価基準」において「A：既に当該用途を想定した品質基準が設けられている」、「実績の評価基準」において「a：利用実績が多いもの、または汎用性が高いもの」と整理されている。また、品質と実績の両評価基準を併せて、「すでに当該用途を想定した品質基準が設けられる等、利用が可能」と評価されている。

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、平成19年度から平成24年度の6年間に亘って、広島湾奥部に位置する海田湾において「石炭灰造粒物による底質改善手法」が検討・実証された。この手法を実際の事業等へ適用する際の指針を示すことを目的<sup>20)</sup>に、平成25年3月に、「石炭灰造粒物による底質改善手法の手引き」が発行・公開されている。手引きでは、石炭灰造粒物による底質改善技術を事業に適用する際に検討に係る内容が実際の検討手順を想定してまとめられている。また、技術資料編に、手引きのバックグラウンドデータや調査方法等の具体的な内容が整理されている。



## 2.3 石炭灰造粒物による環境改善により期待される効果と便益

本章では、石炭灰造粒物を用いた有機泥の浄化機構を造粒物の特性と機能の面から整理した上で、石炭灰造粒物を用いた底質環境の改善機構について概説する。

微粉炭燃焼方式のフライアッシュを主原料とする石炭灰造粒物は、石炭灰にセメントを加えて加水混合することで、概ね球形の粗砂～礫相当（40mm以下で平均粒径7.5mm程度）の造粒物を製造する。この造粒物はフライアッシュにセメントを混合するので、フライアッシュの化学成分である二酸化ケイ素（ $\text{SiO}_2$ ）および酸化アルミニウム（ $\text{Al}_2\text{O}_3$ ）にセメントの主要成分である酸化カルシウム（ $\text{CaO}$ ）が合わさった化学成分組成である。

様々な酸化物を溶出する石炭灰造粒物は、有機物を含む底質の環境修復に用いられている。例えば酸化カルシウムは、水中で水和反応を起こして水酸化カルシウム（ $\text{Ca(OH)}_2$ ）を生成してpHを上昇させる。石炭灰造粒物は、有機泥の浄化（有機物の分解や硫化水素の吸着など）を促進して、有機泥の還元化（へドロ化）を抑制する特性を持つ。

次節では、石炭灰造粒物による有機泥の浄化機能を概説する。

図-2.3.1では、石炭灰造粒物による有機泥の浄化機能の概要を覆砂の事例で示しており、石炭灰造粒物は、硫化物の吸着、大きな粒子間空隙によるトラップ効果（捕捉効果）や通水効果、間隙内の酸性化防止、生物による効率的な有機物の分解などの機能を有している。

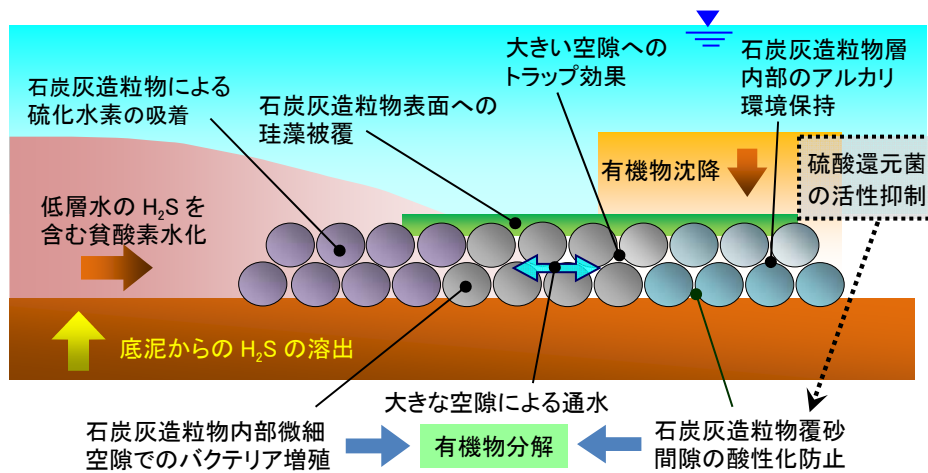
### 2.3.1 富栄養化の抑制

アルカリ化合物は様々な酸化物を溶出し、有機泥の堆積する場の環境修復技術に用いられている。本研究の対象である石炭灰の化学成分の中では、酸化カルシウム (CaO)、酸化マグネシウム (MgO)、酸化ナトリウム (Na<sub>2</sub>O)、酸化カリウム (K<sub>2</sub>O) がリン酸と反応すると考えられる。特に酸化カルシウムは、難溶性のリン酸カルシウム (Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>) を生成していると推測される (図-2.3.2 参照)。

杉本行弘ら (2009)<sup>21)</sup>は、化学組成の異なる複数のフライアッシュを用いた試験により、酸化カルシウムの含有率が大きい方がリンの吸着能が高いことを報告している。

また、杉本行弘ら (2009)<sup>21)</sup>は、フライアッシュには中空穴あき二重構造の粒子が含まれており、蛍光 X 線および電子顕微鏡マッピングなどで、中空穴あき二重構造粒子の内面にリン酸カルシウムが存在することを確認している。

石炭灰造粒物による有機泥の被覆は、底泥の間隙水から溶出するリン酸を吸着して低層水への溶出を低減することで、水域の富栄養化を抑制する機能を有している。



出典) 環境修復用の砂代替材-石炭灰を使用した環境修復用砂代替材- (Hi ビーズ/新技術情報提供システム[NETIS]、国土交通省、中国電力株式会社)<sup>12)</sup> 掲載図を転載

図-2.3.1 石炭灰造粒物の覆砂効果の概要

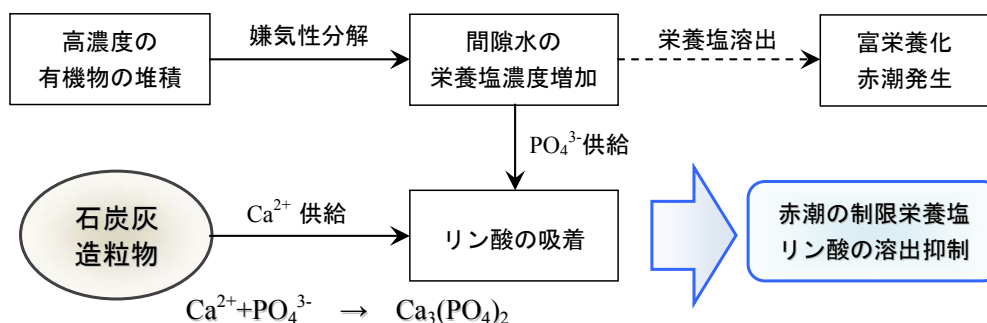


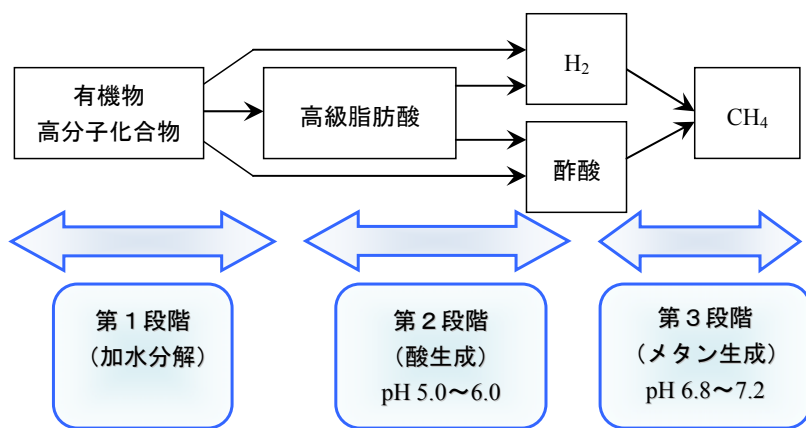
図-2.3.2 石炭灰造粒物の富栄養化の抑制機能

### 2.3.2 ODU の溶出抑制

嫌気的環境下での有機物からメタンガス (CH<sub>4</sub>) への分解経路は、図-2.3.3 に示す3段階の嫌気性代謝によって進行する<sup>22)</sup>。第1段階では複雑な有機物を加水分解によって可溶化・低分子化し、第2段階では低分子物質の酸発酵により脂肪酸やアルコール類を生成する。第3段階では酢酸や水素と二酸化炭素によりメタンガスを生成する<sup>22)</sup>。至適 pH は、酸生成菌で pH 5.0~6.0、メタン生成菌で pH 6.8~7.2 であり、メタン生成菌は pH への依存性が高く、pH 6.0 以下または pH 8.0 以上では急激に活性が低下する<sup>22)</sup>。また、酸生成速度はメタン生成速度よりも大きいので、易分解性有機物が大量に投入される場では、有機酸が蓄積してメタン生成反応を阻害する<sup>22)</sup>。酸生成過程では酢酸などの有機酸の生成に伴って、H<sup>+</sup>を生成して pH が低下する。

底泥還元層において有機物の嫌気分解で生成される還元物質 (ODU : Oxygen Demand Unit、H<sub>2</sub>S や Mn<sup>2+</sup>、Fe<sup>2+</sup> など) の底泥の間隙水からの溶出は、低層における還元物質の酸化に伴い DO を消費し低層水の更なる貧酸素化に繋がる。

石炭灰造粒物から溶出する CaO などの酸化物は、底泥内に蓄積された電子および H<sup>+</sup>を消費して底泥内の還元状態を緩和するとともに弱アルカリ環境を形成することで、ODU の溶出を抑制する機能を有している (図-2.3.4 参照)。



出典) 嫌気性生物処理技術の特徴と発展の流れ (図1 嫌気性処理における有機物の嫌気分解経路)<sup>22)</sup> を参考に描写

図-2.3.3 有機物の嫌気分解過程と至適 pH

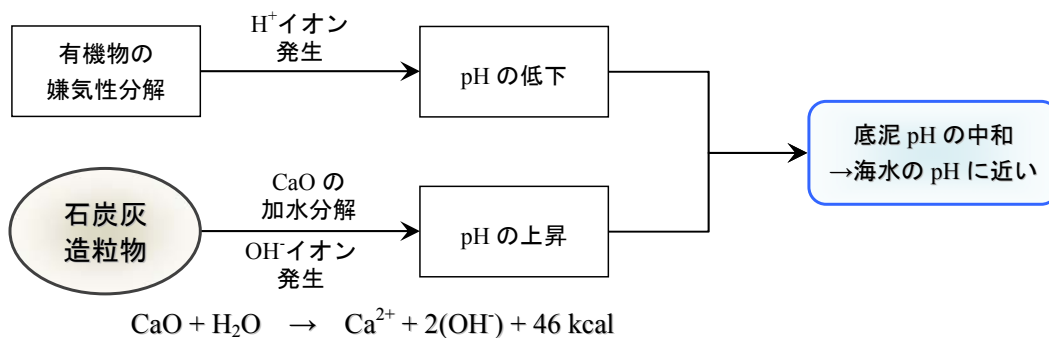


図-2.3.4 石炭灰造粒物の中和機能

### 2.3.3 硫化水素の吸着と発生抑制

嫌気的環境下では、硫酸還元菌が硫酸イオン ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) を還元し、生物にとって有毒な硫化水素 ( $\text{H}_2\text{S}$ ) を生成する。硫化水素は DO を消費し強い毒性を持つので、底生生物に壊滅的な打撃を与えて生態系を破壊する。

浅岡聡ら (2009)<sup>23)</sup>は、高濃度領域における石炭灰造粒物の硫化物イオン ( $\text{S}^{2-}$ ) 低減機構は吸着だけではなく、黄鉄鉱 ( $\text{FeS}_2$  : パイライト(pyrite)) の形成や硫黄 (S) の生成であることを室内実験で明らかにするとともに、石炭灰造粒物の飽和吸着量を 108 mg-S/g と算定している。さらに、石炭灰造粒物に含まれる酸化マンガン ( $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ) などのマンガン酸化物は、硫化物イオンを主に硫黄に酸化して吸着することを明らかにしている<sup>24)</sup> (図-2.3.5 参照)。また、好気的環境と嫌気的環境が季節などで交番する場では、石炭灰造粒物表面の還元されたマンガン化合物の一部が好気的環境下で酸化され、硫化物イオンの吸着能が再生されて、石炭灰造粒物の硫化物イオンの吸着効果が長期的に持続することを示している<sup>25)</sup>。

さらに、硫酸還元菌の至適 pH は 6.6~8.0 程度であり、石炭灰造粒物の敷設により底泥表層の pH を上昇させて、海水の pH に近い弱アルカリ状態に維持することで硫酸還元菌の増殖を抑制して、硫化水素の発生を低減することができる (図-2.3.5 参照)。また、石炭灰造粒物は硫化水素のみならず、アンモニア ( $\text{NH}_3$ ) や硫化メチル ( $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ ) の除去能力も高いことが室内実験で明らかにされている<sup>26)</sup>。

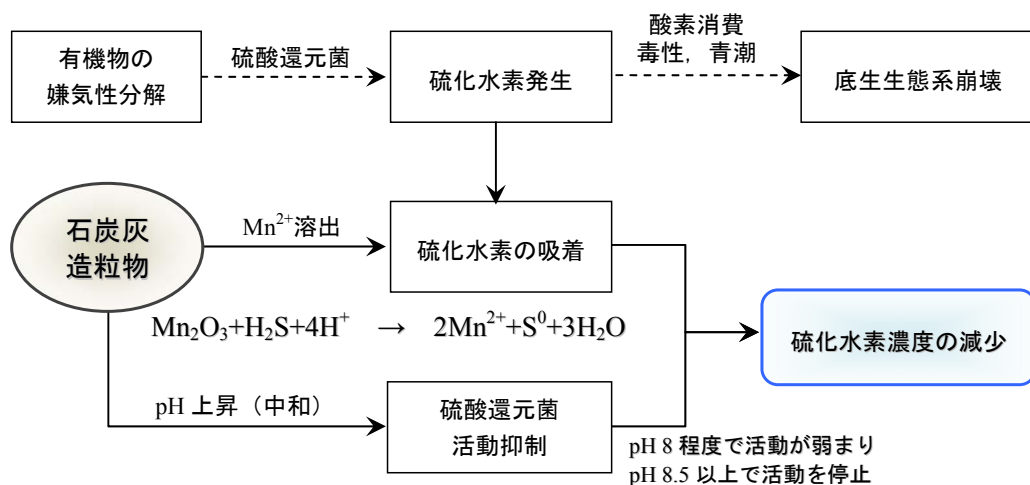


図-2.3.5 石炭灰造粒物の硫化水素の吸着と発生抑制機能

### 2.3.4 石炭灰の灰としての効用<sup>27)、28)</sup>

生活の中で生産された灰はミネラルを効率的に溶出し、生態系の再生に寄与している。前述のように灰から放出されるミネラルは硫化水素、貧酸素化の抑制、有機物の循環、地盤の通水性の向上など生物の生息を助けている。灰の働きを利用することで、還元化・酸性化した土壌の修復を効率よく実施できるようになる。

#### (1) 還元化・酸性化した土壌の修復

図-2.3.6には有機物が堆積しヘドロ化した底泥に対して灰が散布され、有機物の循環と減量が促進していく過程が示されている。堆積有機物のヘドロ化は地盤の通水性や微生物活性が低下し、有機物循環が滞ることが原因である。還元化、酸性化した土壌環境を自己浄化する生態系の再生は有機汚泥を浄化すること、放流された有機汚泥を過度に堆積させないことにより達成される。そのために、堆積有機物を生物が活用できる形に変える。すなわち、継続的にヘドロの形成を抑制し、生物が棲みやすい環境を作ることが土壌を修復することになる。

ミネラルによるヘドロ浄化は生物が生息する環境を創り、生物の力を借りて有機物を分解、循環させることであり、動植物が継続的に有機物を利用できる環境を作ることである。通水性、微生物活性が向上し有機物の減量・分離が進めば、有機物の堆積量が低減し、生物の生息環境が維持される。ヘドロに浸入していくミネラルは有機物の過剰な堆積により崩壊した生態系を再生させるサプリメントとしての機能を有している。ミネラルの供給は生態系の再生があきらめられた水域環境を古き良き環境に近づける有効な手段である。

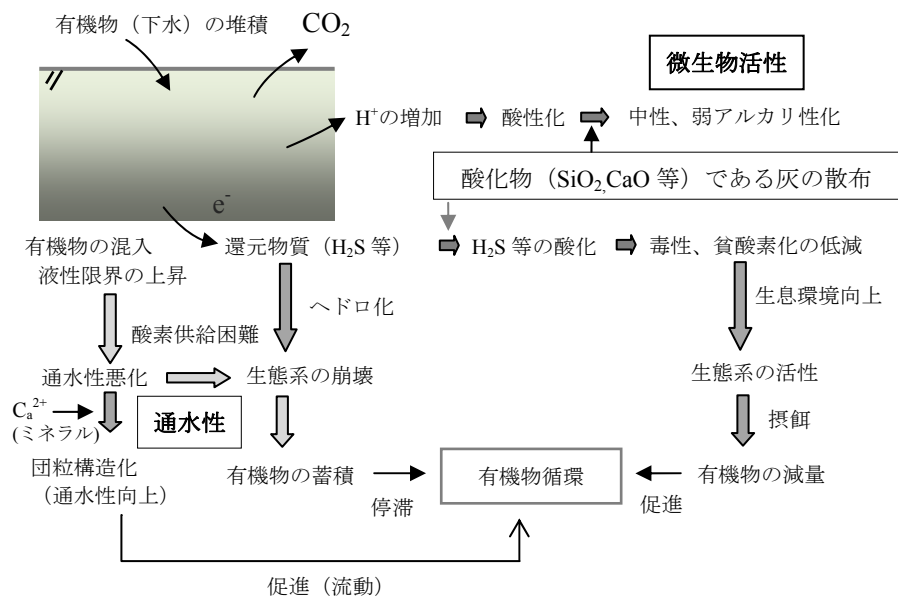


図-2.3.6 ヘドロ化した底泥の浄化と生態系の崩壊と回復 (有機物循環の停滞と促進) 過程

## (2) 石炭灰と草木灰の比較

灰が循環できなくなった現代では、石炭灰は貴重なミネラル源である。石炭は植物が炭化して硬化した植物化石である。土中で炭化した石炭には、砂等の鉱物も混入している。石炭が燃焼して残った石炭灰には植物と鉱物由来の灰が含まれている。石炭は植物が枯死して堆積した後、土圧や地熱を受けて石炭化（炭化）したものである。石炭化は脱水、脱炭酸、脱メタン反応により、酸素、水素が減って炭素濃度が上がる過程を意味している。生木が燃える、木炭が燃える、石炭が燃える、どれも燃えても残る無機物が灰分である。ただし、植物によって必要なミネラルは異なることにより灰分の成分量に植物の特性が現われる。

表-2.3.1には植物として稲ワラ、もみ殻、楠木科のタブと白樺の樹皮粉が原料の線香、草木灰として備長炭、竹炭の燃焼灰の成分と石炭灰の成分が比較されている。石炭灰とよく似てSiO<sub>2</sub>を主成分とするのがワラ灰ともみ殻灰である。CaOを主成分とするのが備長炭、線香、K<sub>2</sub>Oを主成分とするのが竹炭である。その他、灰にはMgO、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MnO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等の人間にとって必須のミネラルが含まれており、成分はどの灰も変りはない。ただし、各々の灰で含有量が異なり草木灰ではK<sub>2</sub>O、石炭灰ではAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が多く含まれている。これらのミネラル化合物は便宜上、酸化物として記述しているが、ミネラルの多くは結晶質として安定な形で存在している。例えば、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>はワラではKAICl<sub>2</sub>O（ポタジウムアルミニウムシクロライド）、石炭灰ではAl<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>13</sub>（ムライト）として存在している。どちらも結晶質であり、溶解し難いため、成分量と溶出量は比例しない。草木の成分に依存して異なる温度で燃焼するため、灰は草木によって異なる結晶構造をもっている。SiO<sub>2</sub>を主成分とするワラ、もみ殻、石炭灰においてもSiO<sub>2</sub>が存在する形である結晶質が異なり、ワラや石炭灰では石英（クリスタル）、もみ殻ではクリストバライトが作られる。

表-2.3.1 灰分に含有されるミネラル (%)

構成元素	石炭灰	稲ワラ	もみ殻	線香	備長炭	竹炭
SiO <sub>2</sub>	73.40	76.10	92.10	15.50	3.00	7.85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.10	1.44	0.04	5.47	0.26	0.16
CaO	1.40	1.74	0.60	52.80	56.00	2.07
MgO	0.31	1.19	0.27	7.18	6.40	2.83
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.01	0.68	0.08	3.78	0.22	0.17
SO <sub>3</sub>	0.41	0.50	0.11	3.10	2.56	4.81
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.29	1.11	0.52	2.09	2.02	2.39
K <sub>2</sub> O	1.15	14.70	5.90	7.27	24.40	75.50
MnO	0.04	0.35	0.12	0.43	3.54	1.22

### (3) 造粒による効果の向上

石炭灰を造粒し作られた石炭灰造粒物には、10 $\mu$ m 程度の細かな空隙（内部細孔）が体積の30～40%形成されている。また直径が1cm～4cm程度の球状に造粒されるため、散布することで造粒物間に40%程度の間隙が形成される。造粒物の細孔は、除去の難しいアンモニア等の物質を造粒物内部に吸着することができる。石炭灰造粒物層の間隙と溶出ミネラルは有機泥の流動性（通水性、通気性）を高め、有機物の分解を助長する。さらに、造粒物表面は藻類の付着基盤や生物の生息場として有用である。石炭灰造粒物およびその周辺には珪藻が付着し易い特性があり、付着藻類の繁茂量とミネラルの溶出量には因果関係が見出されている<sup>29)</sup>。底泥に溶出したミネラル、および有機物が分解し、生成された栄養塩は地盤表面において植物（付着藻類）に消費されている。

### (4) 石炭灰造粒物からのミネラル溶出

灰が水と接触することにより酸化物が水和してイオン（ミネラル）を溶出する。非晶質のガラス相（SiO<sub>2</sub>）からはSiO<sub>2</sub>が溶出されやすい特性がある。多くが非晶質ガラス相からなる石炭灰から溶出するイオンは生物が容易に取り込める構造を持っており<sup>29)</sup>、生活の中で生産された灰と同様に石炭灰はミネラルを効率的に溶出することで、生態系の再生に寄与できている。

10日毎に溶媒を全て入れ替えて行った石炭灰造粒物からの溶出試験では、300日経過した時点で5.5 mg/gのSiO<sub>2</sub>と19 mg/gのCa<sup>2+</sup>の溶出があった。この結果は1kgの石炭灰造粒物から0.8 mg/時のSiO<sub>2</sub>と2.6 mg/時のCa<sup>2+</sup>の溶出があることを示している<sup>30)</sup>。さらに、ミネラルとしてFe、Mn 酸化物（電子を伝達できる物質）を含む場合には強い還元状態の泥中においても底生生物の生息が確認されており<sup>31)</sup>、灰分からのイオンの溶出と生物の生息の関係についての実証実験も行なわれている<sup>32)</sup>。

### (5) 造粒された石炭灰の活躍

石炭灰造粒物による間接的、直接的な環境再生は様々な実証事業に現れている<sup>33)~37)</sup>。親水性や生態系が崩れた沿岸域に石炭灰造粒物が散布されて生態系が再生された例や親水性が向上した例から、石炭灰造粒物の不思議を見ることができる。堆積有機泥中に石炭灰造粒物層が構築されると石炭灰が溶解されて有機泥内にミネラルが浸入する。この現象は野に散布された灰分が河川に流出し、堆積泥にミネラルを供給することに似ている。

石炭灰造粒物のヘドロ上への散布は堆積泥に蓋をする覆砂としての効果を期待するのではなく、新しく沈降堆積する有機泥のミネラルによる浄化を期待している。ミネラルによる浄化は生物の力を借りて有機物を分解、循環させることであり、動植物が有機物を利用できる環境を作ることである。浄化により有機物の減量・分離が進めば、有機泥の堆積量が低減し、親水性が維持される。ヘドロ上に散布された石炭灰造粒物は有機物の過剰な堆積により崩壊した生態系を再生させる等、まさに枯れ木に花を咲かせる灰の役目を果たしている。

## 2.3.5 底質環境改善の経済評価

### (1) 環境修復施策と事業評価の現状

近年の環境に対する国民意識の高まりを受けて、河川法、海岸法および港湾法は、その目的の中に環境への配慮を盛り込む改正が行われ、2003年1月には、過去に損なわれた生態系その他の自然環境を取り戻すことを目的とした自然再生推進法が施行された。さらに、2005年2月には、瀬戸内海にふさわしい環境を確保し維持することおよびこれまでの開発などに伴い失われた良好な環境を回復することを基本理念した瀬戸内海環境修復計画が策定された。

また、広島湾では、沿岸域の開発などによって失われた良好な環境の再生と現存する良好な環境の保全のために取り組むべき課題が多く残されている状況の中で、2006年3月に広島湾再生推進会議を設置し、総合的な施策展開により広島湾の保全と再生を図る広島湾再生行動計画を2007年3月に策定した<sup>38)</sup>。

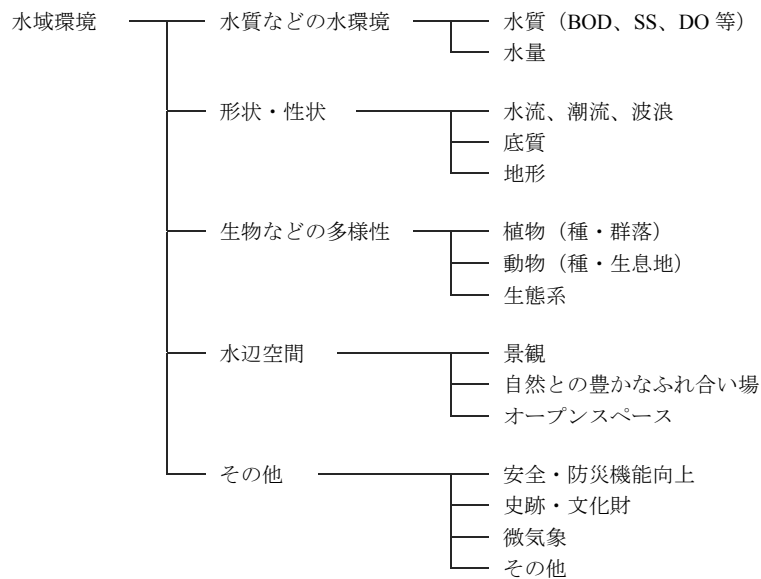
このように法的・施策的な整備が進む一方で、少子高齢化社会の進展とそれに伴う投資余力の減少が進む中、環境再生においても効率的かつ効果的な施策展開が重要になっている。また、施策に関する理解の増進と社会的な合意形成が不可欠であり、各事業の推進に際しては、事業の一層の透明性と客観性の確保に向けて、事業の経済効果を適切な手法で評価・公表することが求められる。しかし、市場の存在しない環境はいわゆる非市場財であり、また、公共財としての性格も有するので、環境に関する経済評価には間接的手法を用いることになる。その具体的な方法は、現在までに様々な評価手法が提案されてはいるが、確立されたものはなく、各手法はそれぞれ技術的課題を有している<sup>39)</sup>。

### (2) 水辺環境の便益

一般的な公共事業の便益は、事業実施による新たな効用あるいは増加する効用を貨幣換算して捉える。一方で水辺環境は、図-2.3.7に示すように複数の環境要素によって形成されている。水域環境の経済評価に際しては、評価の対象となる環境を財（公共財）として捉え、この財による効用の変化を貨幣換算することになる。

この各環境要素の質的または量的な変化を人々は財による効用の変化として捉え、人々はそれらの環境に接するまたは利活用する活動、あるいは人間の五感を介して、効用の変化として認知する。水遊びや散策に代表されるレクリエーション活動から、静かな環境による心の安らぎに代表される心理的なものまで多様な効用として認知される。したがって、環境の便益は、事業実施による各効用の変化分を貨幣換算して捉えることになる。さらに、干潟・浅海域の環境改善便益には、水産有用種の漁獲量増加に伴い市民が広く公平に享受できる便益を加算することができる。漁獲量増加に伴う便益には、市場魚価の低廉化に伴い市民が直接享受する便益、漁業者の収入増による税収増などがある。なお、漁獲量増加に伴う便益は、流域全体を対象とした水環境改善施策の便益計測において、社会経済システム全体への影響便益として捉えた事例<sup>40)</sup>やダム建設により喪失する生態系の価値を算定した事例<sup>31)</sup>があるが、河川整備事業や港湾環境整備事業における生態系全般に亘る便益は、一括して間接的手法により計測されている<sup>41)~44)</sup>。





出典) 河川に係る環境整備の経済評価の手引き【本編】(図 2.3 河川に係る環境の要素/国土交通省河川局河川環境課)<sup>45)</sup>に加除修正して作図

図-2.3.7 水辺環境の要素

### (3) 経済評価における便益計測の方法

事業の経済評価は、事業によりもたらされる便益 (Benefit) と事業に必要な費用 (Cost) との比または差により行われる。また、公共事業の便益は、事業の実施により変化する個人または世帯単位での効用の変化を貨幣換算して捉える。便益は事業の有る状態と無い状態とを比較する有無比較法 (With and Without Comparison Method) により計測される。

環境整備がもたらす便益は一般の商品や財産と異なり、直接売買することができず市場価格が存在しないので、便益 (価値) の計測には間接的な手法が用いられる。代表的な便益計測手法には、CVM (Contingent Valuation Method : 仮想的市場評価法)、TCM (Travel Cost Method : 旅行費用法)、代替法がある。この手法の概要を表-2.3.2に示す。また、環境整備の効果と計測手法の適用性の関係を表-2.3.3に示す。水辺環境の経済評価には、水質改善や生態系の保全など非利用の効果を含むので、非利用価値と利用価値を一括して評価することが可能な CVM 手法による計測が適している。

表-2.3.2 環境整備の便益を計測する代表的手法<sup>46)</sup>

手法	概要	特徴・長所	課題・短所
CVM 仮想的 市場評価法	・アンケート調査により事業効果に対する住民等の支払意思額を把握し、これをもって便益を計測	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事業の便益を非利用価値も含めて一括計測することが可能</li> <li>・適用範囲が広く、歴史的、文化的に貴重な施設の存在価値をも含むあらゆる効果を計測の対象にすることが可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・質問方法やサンプル特性によってバイアスが生じ推計精度が低下する</li> <li>・仮想的な状況に対する回答データなので、結果の妥当性の確認が難しい</li> <li>・負の支払意思額を推計することができない</li> </ul>
TCM 旅行費用法	・対象施設等を訪れる人が支出する交通費や費やす時間の費用を求め、これをもって便益を計測	<ul style="list-style-type: none"> <li>・客観的なデータ（来訪者数や旅行費用など）を用いて分析するので、分析方法や結果の妥当性を確認し易く、恣意性が少ない</li> <li>・レクリエーション行動に基づく分析手法なので、レクリエーション的利用の価値の分析に適する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・利用実態に関するデータの入手が困難な場合がある</li> <li>・レクリエーション行動と関連しない価値（歴史的・文化的に貴重な施設の存在価値）の計測は困難</li> <li>・非利用価値は評価困難</li> </ul>
代替法	・評価対象とする事業と同様な便益をもたらす他の市場財で代替する場合に必要な費用をもって当該事業のもたらす便益を計測	<ul style="list-style-type: none"> <li>・直感的に理解しやすい</li> <li>・データ収集が比較的容易</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・経済理論的裏付けが希薄</li> <li>・適切な代替財が想定できない場合は評価できない</li> </ul>

表-2.3.3 環境整備の効果と計測手法の適用性の関係<sup>46)</sup>

効果		CVM	TCM	代替法
水質の改善	非利用	○	△ レクリエーション行動との関連が弱い	× 適切な代替財が設定できない
生態系の保全・多様性	非利用	○	△ レクリエーション行動との関連が弱い	× 適切な代替財が設定できない
景観の改善	非利用	○	△ レクリエーション行動との関連が弱い	× 適切な代替財が設定できない
水辺利用の場の提供	利用	○	○	× 適切な代替財が設定できない
教育の場の提供	利用	○	○	× 適切な代替財が設定できない
総合評価		非利用価値と利用価値を一括して評価することが可能	利用価値のみ評価可能	適切な代替財が設定できる効果のみ評価することが可能

#### (4) 費用便益分析による投資効率性の評価

事業の評価は、費用便益分析により事業の投資効率性が評価されている。公共事業の費用便益分析の評価指標には、一般的に純現在価値 (NPV: Net Present Value)、費用便益比 (CBR: Cost Benefit Ratio、「B/C」と表記されることが多い)、経済的内部収益率 (EIRR: Economic Internal Rate of Return) が用いられている。表-2.3.4 に費用便益分析の主な評価指標と特徴を示す。

社会資本整備事業の場合には、費用ならびに便益の発現が長期間に亘るので、過去および将来に亘って発生する費用（建設費＋維持管理費）ならびに便益は、社会的割引率を用いて現在価値に換算する必要がある。現行の社会的割引率は、市場利子率を参考に設定されている。具体的には国債などの実質利回りを参考値として、社会的割引率が4%に設定されている<sup>46)</sup>。

公共事業の費用便益分析結果は、費用としての基準年に換算した現在建設価格 (Cost: 建設費＋維持管理費)、便益としての基準年に換算した現在便益価値 (Benefit) とともに、NPV、CBR (B/C)、EIRR を示して事業投資の妥当性が評価されている。

表-2.3.4 費用便益分析の主な評価指標と特徴<sup>46)</sup>

評価指標	定義式	特徴
純現在価値 (NPV: Net Present Value)	$\sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^{t-1}}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事業実施による純便益の大きさを比較することができる</li> <li>・社会的割引率によって現在価値が変化する</li> </ul>
費用便益比 (CBR: Cost Benefit Ratio 「B/C」)	$\frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+i)^{t-1}}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^{t-1}}}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事業の投資効率性を比較できる</li> <li>・社会的割引率によって便益比率が変化する</li> </ul>
経済的内部収益率 (EIRR: Economic Internal Rate of Return)	$\sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i_0)^{t-1}} = 0 \quad \text{となる } i_0$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・社会的割引率との比較によって事業の投資効率性を判断できる</li> <li>・社会的割引率の影響を受けない</li> </ul>

ただし、 $n$ : 評価期間、 $B_t$ :  $t$ 年次の便益、 $C_t$ :  $t$ 年次の費用、 $i$ : 社会的割引率 (現在価値への換算率)

#### (5) 水域環境整備の便益

仮想的市場評価法 (CVM) による水域環境整備の便益計測結果の事例を表-2.3.4 に示す。平均支払意志額 (WTP: Willingness to Pay) は、無作為抽出アンケート調査結果であり、1世帯あたりの年間支払意志額で表している。緑地整備を含む環境整備全般での1世帯あたりの支払意志額は、3,500～20,000円/年であるが、水質・底質改善や干潟環境保全への支払意志額は、3,500～7,000円/年程度で緑地などの施設整備と比較して低い。緑地などの整備に対する支払意志額が比較して高いのは、身近での具体的な存在感や利用機会の頻度によるものと推察される。

また、公共施設整備の場合の基本的な評価期間 (受益期間) は50年<sup>46)</sup>であるが、水質・底質改善や干潟環境保全などの場合には、改善効果の継続期間を評価期間とすることになる。アオサの回収による干潟環境の保全に係る評価期間は次繁茂期までの1年間であり、覆砂や底泥除去は有機泥の再堆積により浄化機能や栄養塩の溶出抑制機能などを失うまでの期間で評価することになる。さらに、浸透柱や浸透溝ならびに浅場造成などの場合には、干潟での生物生息環境を徐々に

改善し、改善効果に持続性があるので評価期間を一律に設定することは困難であるが、投資効率性の評価において評価期間の設定は重要な要素である。

なお、表-2.3.5 に示す太田川市内派川の底質改善事業等（浸透柱、浸透溝など）<sup>44)</sup>、中海宍道湖の水質改善事業（浅場造成、覆砂）<sup>43)</sup>、千代川水系の水環境整備事業（植生・底泥除去）<sup>47)</sup>、阿蘇海海域環境創造・自然再生等事業（浅海域覆砂）<sup>48)</sup>では、評価期間を50年間として、関連他事業と一括して投資効率性が評価されている。

さらに、便益の母数に大きく影響する要素に受益範囲対象世帯数の設定がある。事例に見る具体的な受益範囲は、中海宍道湖の水質改善事業で概ね20km圏内の6市2町、千代川水系の水環境整備事業で事業個所から3km圏内、千代川水系の自然再生事業（魚道整備）で事業個所から6km圏内の世帯としている。また、阿蘇海（天橋立）海域環境創造・自然再生等事業では、対象水域に接する1市1町（宮津市、与謝野町）の現存世帯数を受益範囲世帯としている。

評価期間の50年の間には、受益範囲の世帯数や人口に変動があることは容易に想定できる。また、社会的割引率や維持管理費率などの設定値も変動する。このような将来の不確実性への対応策として感度分析に基づく事業評価が行われている<sup>46)</sup>。

表-2.3.5 仮想的市場評価法による水域環境整備の便益計測結果の事例

事業名・事業内容	平均支払意志額 (円/世帯/年間) [円/世帯/月]	対象世帯数 (世帯)	便益 (千円/年)	備考 出典
太田川市内派川の底質改善事業等 (浸透柱、浸透溝など)	3,492 [ 291 ]	他の便益を含み内 訳不詳	他の便益を含み内 訳不詳	44)
中海宍道湖の水質改善事業 (浅場造成、覆砂)	3,948 [ 329 ]	219,654	867,000	43)
利根川流域の河川環境保全 (多自然型川づくり)	11,000	年間のWTPのみ 公表	年間のWTPのみ 公表	41)
海域環境創造・自然再生等事業 (6プロジェクトの集計結果)	9,109 ~19,700	年間のWTPのみ 公表	年間のWTPのみ 公表	42)
千代川水系の水環境整備事業 (袋川：植生・底泥除去)	6,024 [ 502 ]	31,991	193,000	47)
千代川水系の自然再生事業 (千代川：魚道整備)	4,500 [ 375 ]	18,241	82,000	47)
阿蘇海海域環境創造・自然再生等事業 (浅海域覆砂)	5,938	16,659	99,000	48)
宿毛湾港湾環境整備事業（修景・休息緑地）	8,184	2,911	24,000	49)
宿毛湾港湾環境整備事業（緩衝緑地）	15,372	2,130	33,000	49)
福岡市和白干潟の環境保全（アオサの回収）	7,257	世帯数は未公表	107,000	50)

## 2.4 石炭灰造粒物層の河岸干潟での効用

### 2.4.1 藻類の着生

樋野和俊ら (2010)<sup>51)</sup>は、フライアッシュを主原料とする石炭灰造粒物の細孔径を水銀圧入法により測定している (表-2.4.1、図-2.4.1 参照)。石炭灰造粒物の平均細孔半径は 0.011 $\mu\text{m}$  で、メソポア (メソ細孔、直径 2~50nm の細孔) 範囲の細孔が多く、細孔容積も 0.29ml/g と大きく、細孔を含めた比表面積が大きいので、硫化物イオンの吸着能およびケイ酸イオンやカルシウムイオンの溶出特性に優れていると推察される。

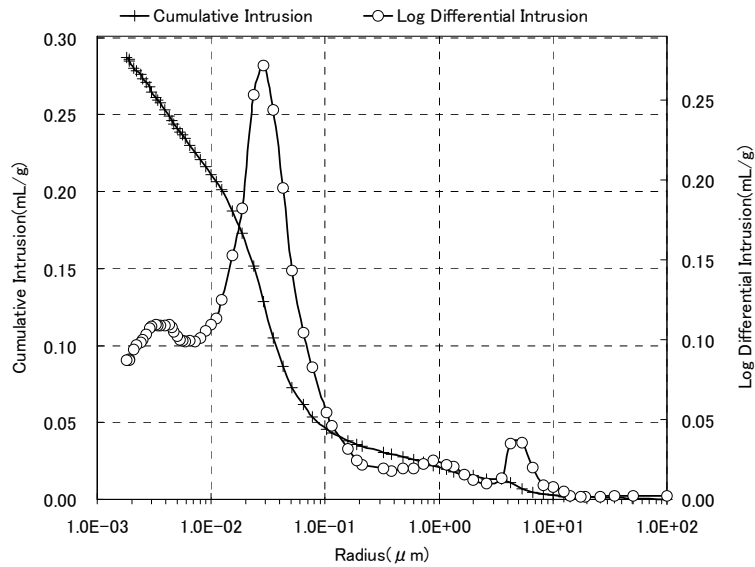
図-2.4.2 に石炭灰造粒物への藻類の付着過程を示す。石炭灰造粒物の投入により有機泥の堆積する水底では、硫化水素やリン酸の造粒物への吸着が始まるとともに、石炭灰造粒物内の微細な空隙には、栄養分を得たバクテリアなどの微生物が増殖して有機物の分解が活性化される。また、石炭灰造粒物の含有する可溶性シリカの溶出によりシリカを取り込んで被殻を形成する珪藻類が卓越して造粒物表面に着生・繁茂する。造粒物を被覆する珪藻類は窒素やリンを吸収して増殖するとともに、光合成による酸素放出を活性化させて、好気性バクテリアによる有機物の分解をさらに促進する。

汚濁水は造粒物層内の間隙を通過する際に、造粒物表面に形成された生物膜によって汚濁物質が付着・ろ過・分解される。造粒物内およびその周辺に生息する底生性小動物 (ゴカイ類、貝類、カニ類など) は、水中の汚濁物質を吸水ろ過するだけでなく、生物膜に付着した汚濁物質を生物膜とともに摂取・除去する。これらにより、魚類から鳥類へと繋がる食物連鎖による有機物や栄養塩類などの物質循環が回り出す。

表-2.4.1 石炭灰造粒物の細孔径測定値 (水銀圧入法)

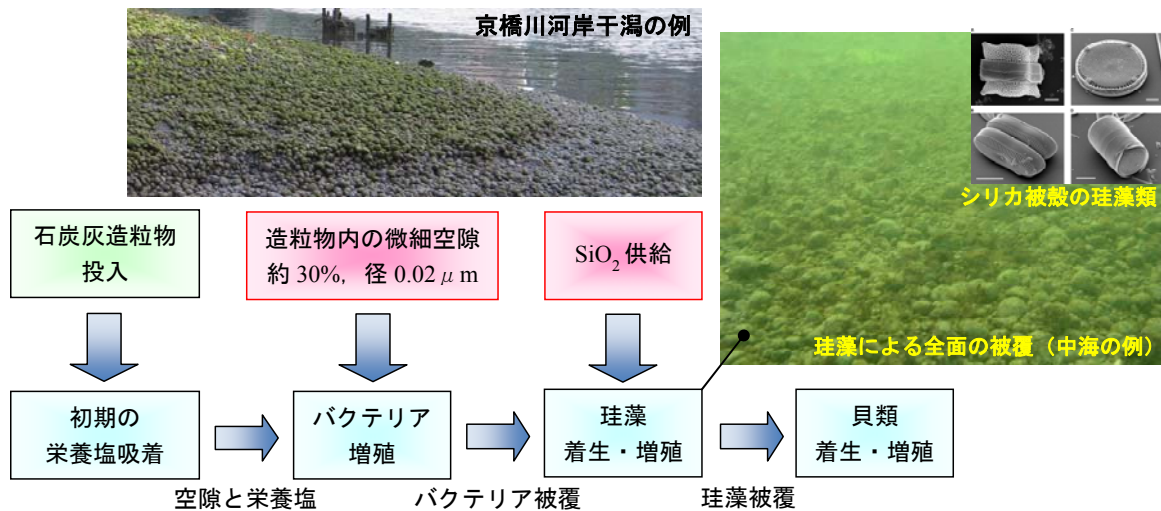
累積細孔容積 (ml/g)	平均細孔半径 ( $\mu\text{m}$ )	気孔率 (%)	かさ密度 (g/ml)	真密度 (g/ml)
0.29	0.011	40	1.4	2.34

出典) 石炭灰造粒物の環境改善効果に係る基礎的性状 (表-3、樋野和俊ら、土木学会第 65 回年次学術講演会、9/2010.)<sup>51)</sup> 掲載表を転載



出典) 石炭灰造粒物の環境改善効果に係る基礎的性状 (図-2、樋野和俊ら、土木学会第 65 回年次学術講演会、9/2010.)<sup>51)</sup> 掲載図を転載

図-2. 4. 1 石炭灰造粒物の細孔径分布



出典 (珪藻写真) Jane Bradbury : Figure 1. Scanning Electron Micrographs of Diatoms, Nature's Nanotechnologists: Unveiling the Secrets of Diatoms. PLoS Biol 2/10/2004: e306. doi:10.1371/journal.pbio.0020306.

図-2. 4. 2 石炭灰造粒物への藻類の付着過程

## 2.4.2 有機物の分解性

図-2.4.3には、広島湾奥部に位置する海田湾の海底でセジメントトラップにより捕捉された沈降泥（浮遊物質）を写真-2.4.1に示すように、石炭灰造粒物層（間隙率約40%）内で（a）好氣的、（b）嫌氣的条件下で7～21日間静置した後に測定された強熱減量値（IL）の変化を示している<sup>52)</sup>。造粒物層内では好気、嫌気条件に関わらずILが減量し、有機物の分解が進行していることがわかる。ただし、ILの変化が有機物の分解を直接表す指標ではなく、有機物の種類と分解状態によって有機物の分解量は異なるため、分解量を定量的に決めることはできない。

図-2.4.4には、泥層内での有機物の分解系統図を示す。泥内の有機物が分解すると $H^+$ が発生し、電子が蓄積するために酸化体（最終電子受容体（TEA）、Terminal Electron Acceptor）の還元物質（ODU）化が進行する。一方、主要な成分が酸化物（ $SiO_2$ 、 $Fe_2O_3$ 、 $CaO$ など）の石炭灰を材料とする石炭灰造粒物は、接触する泥層間隙水内に酸化物を溶出する。間隙水内に溶出した酸化物は、泥内に蓄積した電子および $H^+$ を消費して泥内の還元状態を緩和するとともに弱アルカリ環境にする。

また、アルカリ化合物である石炭灰造粒物の有機泥への混入により、泥内に含有される鉄、マンガン、硫黄などのイオンは、Mediator（電子伝達物質）として電子の伝達距離を延長する。有機泥内の電子を強制的に放出させることにより、硫化水素の生成や酸素の消費が抑制され生物の生息環境が改善する<sup>53)</sup>。無害化された有機物が栄養分として底生生物に利用されることで、生物の自助による長期的な生態系の多様性への転換が期待される。



写真-2.4.1 石炭灰造粒物層内に泥が堆積した様子  
(実験開始から3時間後)

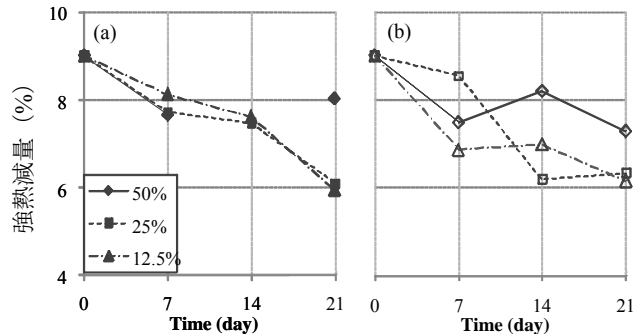
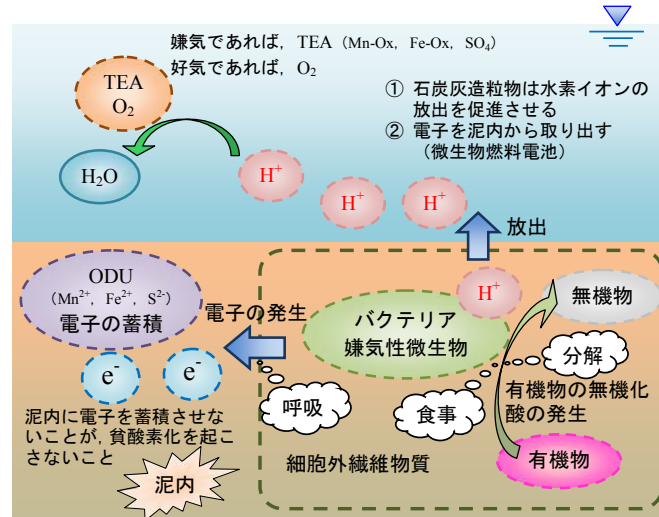


図-2.4.3 造粒物層（間隙率約40%）内で（a）好氣的、（b）嫌氣的条件下で7～21日間静置した後の強熱減量値<sup>51)</sup>



出典) 石炭灰造粒物の組成とヘドロ浄化機能 (図-5、上野耕平ら、土木学会第 63 回中国支部研究発表会発表概要集、5/2011.)<sup>54)</sup> 掲載図を転載

図-2.4.4 泥層内での有機物の分解系統図

### 2.4.3 間隙水の流動性

陸上の植物の成育に適した土の物理的性質は、土の団粒化による保水性、透水性、通気性の向上であり、植物は有機物の分解特性に優れた土壌において健全に育つ。底生生物の生息場である水底においても間隙水の流動性に優れ、有機物の分解特性に優れた環境において生物相が多様化する。

土粒子は表面にマイナス (-) の荷電をもっており、プラス (+) の荷電をもつ  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  などの陽イオンを吸着保持している (図-2.4.5 参照)。石炭灰造粒物は粒子間の空隙が多いため造粒物層内部での間隙水の流動性が高いだけでなく、石炭灰造粒物から溶出する二価陽イオンの  $\text{Ca}^{2+}$  などは、土粒子表面に吸着している一価の  $\text{Na}^+$  などの交換性陽イオンとイオン交換により置き換わる。土粒子表面の拡散層 (弱吸着水) の水膜は電氣的引力の強い (和水度の低い)  $\text{Ca}^{2+}$  などの吸着により、水分子のインターカレーション (Intercalation) が制限され水分子層厚を減少させる。

弱吸着水厚の減少は液性限界や塑性指数 (可塑性) の低下や微細粒子の凝集 (団粒化) を促し、土粒子の粘性や水に対する鋭敏性を低下させ、土粒子の流動性を増大させる効果を有している。すなわち、 $\text{CaO}$  を含む酸化物を溶出する石炭灰造粒物は、有機泥粒子のコンシステンシーを変化させて、泥層内の間隙水の流動性を向上させる。

また、石炭灰造粒物層には干出時に層内間隙に大気を蓄えて、冠水後も造粒物層間隙内に大気が残留する機構が形成されている。写真-2.4.2 は、河岸干潟での石炭灰造粒物による覆砂部の表面から気泡が出ている状況である。造粒物層内では間隙水と空気の流動性が高く、大気は干出時に石炭灰造粒物層下部まで入り込み、間隙水が造粒物層内を上向きに流れる干出前まで間隙の一部に残留する。この機構により、造粒物層内に捕捉された有機泥は嫌気性分解だけでなく、好氣的な分解過程を有すると想定することができる。さらに、造粒物層下の有機泥に対しても大気との接触距離を短縮し、接触時間を拡大することで酸化的状態の形成を助長していると考えられる。



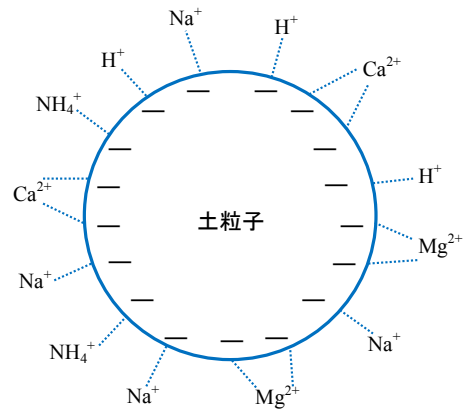


図-2.4.5 陽イオンと負荷電の結合



写真-2.4.2 石炭灰造粒物による覆砂部からの発泡状況（干出前）

## 第2章 関連参考文献

- 1) 財団法人広島市未来都市創造財団：読んでわかる広島城のあゆみ（概要），8/2013.
- 2) 網干寿夫：広島埋立史，報文 2095，土と基礎（公益社団法人地盤工学会），Vol.39, No.1, pp.46-50, 1/1991.
- 3) 日比野忠史，松本英雄，水野雅光，福岡捷二，保光義文：河口干潟での棲息生物種を特定するための土壌および水質変動特性の把握，海洋開発論文集，Vol.22, pp.589-594, 7/2006.
- 4) 大谷壮介：1.緒論，河口部泥質干潟に生息するヤマトオサガニの生物攪拌による炭素・窒素循環の定量化，2008年度河川整備基金助成事業報告書，公益財団法人河川財団，pp.1-2, 10/2009.
- 5) 山口県廃棄物・リサイクル対策課：山口県認定リサイクル製品一覧表，山口県 HP，  
<http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a15700/22zeroemi/r-ichiran.html>, 5/2013
- 6) 株式会社エネルギー・エコ・マテリア：Hi ビーズ（製品パンフレット），9/2004.
- 7) 水産庁：5章 改善のための具体的対策手法，干潟生産力改善のためのガイドライン，pp.105-135, 2/2008.
- 8) 特定非営利活動法人瀬戸内里海振興会：底質改良材（Hi ビーズ）による漁場環境改善実証試験，瀬戸内里海振興会 HP，<http://www.satoumi.org/report/report.htm>, 5/2013.
- 9) 池田陵志，齊藤直，松崎和征，車田佳範：Hi ビーズによる環境改善効果について，土木学会年次学術講演会講演概要集，第7部門，Vol.58, pp.623-624, 9/2003.
- 10) リサイクルポート推進協議会：港湾工事推奨用リサイクル製品便覧（平成25年度版），pp.134-140, 3/2014.
- 11) 中国電力株式会社：Hi ビーズ（製品パンフレット），9/2015
- 12) 国土交通省：NETIS 新技術情報提供システム，環境修復用の砂代替材－石炭灰を使用した環境修復用砂代替材－（Hi ビーズ）  
[http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG\\_NO=SKK-120002](http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG_NO=SKK-120002), 4/2016.
- 13) 国土交通省：NETIS 新技術情報提供システム，Fine ビーズ～石炭灰を活用した締固め改善材～，[http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetailPreview.asp?REG\\_NO=SKK-120003](http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetailPreview.asp?REG_NO=SKK-120003), 4/2016
- 14) 一般財団法人広島県環境保健協会，株式会社エネルギー・エコ・マテリア：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，平成22年度環境技術実証事業（環境省），pp.13-14, 5/2011.
- 15) 環境省：閉鎖性海域における水環境改善技術分野平成22年度実証試験結果報告書の概要
- 16) 山口県廃棄物・リサイクル対策課：山口県認定リサイクル製品一覧表，山口県 HP，  
<http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a15700/22zeroemi/r-ichiran.html>, 5/2013.
- 17) 島根県環境生活部環境政策課：しまねグリーン製品のご紹介（パンフレット），3/2014.
- 18) 国土交通省港湾局：港湾・空港等整備におけるリサイクル技術指針，5/2004.  
<http://www.mlit.go.jp/kowan/recycle/>
- 19) 国土交通省港湾局 航空局：港湾・空港等整備におけるリサイクルガイドライン，12/2015.  
[http://www.mlit.go.jp/kowan/kowan\\_fr5\\_000054.html](http://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_fr5_000054.html)

- 20) 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：石炭灰造粒物による底質改善手法の手引き，3/2013.
- 21) 杉本行弘，村牧義之，別森敬一：石炭灰の水質浄化への利用研究ーリン吸着と吸着材料の再利用ー，北陸電力株式会社技術開発研究所研究開発年報，Vol.43, pp.93-97, 1/2009.
- 22) 片岡直明：嫌気性生物処理技術の特徴と発展の流れ，エバラ時報，No.229, pp.27-38, 10/2010.
- 23) 浅岡聡，山本民次，早川慎二郎：石炭灰造粒物による硫化物イオンの除去，水環境学会誌，Journal of Japan Society on Water Environment, Vol.32, No.7, pp.363-368, 7/2009.
- 24) 浅岡聡，森澤亮介，岡村秀雄，片山真祥，稲田康宏：リサイクル底質環境改善材表面での硫化物イオン吸着サイト再生機構の解明(1)，立命館大学SRセンター先端研究施設共用促進事業，採択課題成果報告（2012年），R1224，文部科学省研究施設共用ナビゲーションサイト，6/2013.
- 25) 浅岡聡，岡村秀雄，齊藤直，片山真祥，稲田康宏：リサイクル底質環境改善材表面での硫化物イオン吸着サイト再生機構の解明(2)，立命館大学SRセンター先端研究施設共用促進事業，採択課題成果報告（2012年），R1225，文部科学省研究施設共用ナビゲーションサイト，6/2013.
- 26) 上野耕平，日比野忠史，齊藤直，吉岡一郎：石炭灰造粒物の組成とヘドロ浄化機能，土木学会第63回中国支部研究発表会発表概要集，VII-11, 5/2011.
- 27) 日比野忠史：石炭灰の灰としての効用ー石炭灰は草木灰を超えるか？ー，電力土木7月号（No.384），一般社団法人電力土木技術協会.
- 28) 日比野忠史：沿岸域の健康を取り戻すー知っておきたいミネラルのはなしー，ヘドロ No.131, 2018-1.
- 29) 森本優希，中本健二，中下慎也，日比野忠史：堆積泥への灰分（ミネラル）の供給と消費機構，土木学会論文集 B3（海洋開発），特集号，Vol. 72, No. 2, pp.658-663, 2016.
- 30) 中本健二，松尾 暢，樋野和俊，日比野忠史：海砂代替材に活用される石炭灰造粒物の長期的な物理化学特性評価，土木学会論文集 B3（海洋開発），特集号，Vol. 72, No. 2, pp.940-945, 2016.
- 31) 日比野忠史，金城信隆，TOUCN NARONG，福岡捷二：還元化した下水系土壌での生態系の再生，土木学会論文集 B3（海洋開発），特集号（Vol.71,No.2）,pp.910-915,2015.
- 32) 日比野忠史，中本健二，宮田康人，三戸勇吾：下水系土壌が堆積する内港の干潟域における底生動植物の初期再生過程，土木学会論文集 B3（海洋開発），特集号，Vol. 73, No. 2, CD, 2017.
- 33) 正田 武，卜部憲登，平田正浩，三戸勇吾，中本健二，日比野忠史：過栄養な内港域における再生資源を用いた底質改善手法の提案，土木学会論文集 B3(海岸開発)特集号（Vol.71,No.2），pp.880-885, 2015.
- 34) 越川義功，日比野忠史，中下慎也，吉岡一郎，中本健二，山木克則：石炭灰造粒物を用いた生育基盤におけるアマモ場の形成過程と維持機構，土木学会論文集 B3(海岸開発)特集号，pp.1072-1077.2013
- 35) 中本健二，弘中伸孝，樋野和俊，日比野忠志：ヘドロ堆積での石炭灰造粒物による大規模底質改善施工技術の開発，土木学会論文集 B3(海洋開発)，特集号（Vol.71,No.2）,pp.808-813.2015
- 36) 玉井和久，小畑健二，芳倉勝治，日比野忠史，山本裕規，三戸勇吾：石炭灰造粒物の海底被覆による中・長期的な海域環境改善効果，土木学会論文集 B3（海洋開発） pp.892-897.2013

- 37) 日比野忠史、高橋敦嗣、福井勝吾、二瓶昭弘：不安定な有機物を含んだガレキ泥の再資源化手法の確立、土木学会論文集 B3（海洋開発） pp.25-30, 2013
- 38) 広島湾再生推進会議：広島湾再生行動計画， pp.1-3, 3/2007.
- 39) 国土交通省河川局河川環境課：河川に係る環境整備の経済評価の手引き【本編】，はじめに， 3/2010.
- 40) 高木朗義：水環境改善政策が社会経済システムに及ぼす影響の分析，システム農学， Vol.17, No.1, pp.25-32, 1/2001.
- 41) 玉井信行，白川直樹，松崎浩憲：自然復元を目指す河川計画における費用・便益分析について，水工学論文集， Vol.42, pp.271-276, 2/1998.
- 42) 酒井敦史，米澤泰雄，酒井康彦，盛岡通：港湾環境整備事業に係る費用便益評価手法及び評価事例について，環境システム研究論文発表会講演集， Vol.33, pp.73-78, 10/2005.
- 43) 国土交通省中国地方整備局：斐伊川水系河川整備計画（案）における費用便益分析について（環境），第7回斐伊川河川整備懇談会，資料-4-3, 5/2010.
- 44) 国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所：太田川水系河川整備計画（案）における費用便益分析について【環境】，第9回太田川河川整備懇談会，資料-3-3, 2/2011.
- 45) 国土交通省河川局河川環境課：河川に係る環境整備の経済評価の手引き【本編】， pp.8-9, 3/2010.
- 46) 国土交通省河川局河川環境課：河川に係る環境整備の経済評価の手引き【本編】， pp.15-33, 3/2010.
- 47) 国土交通省中国地方整備局：河川事業の再評価項目調書，千代川総合水系環境整備事業－再評価・事後評価に準ずるフォローアップ－， pp.9-16, 10/2011.
- 48) 京都府土木建築部港湾課：地方港湾宮津港（阿蘇海）港湾関係事業再評価審査表，宮津港海域環境創造・自然再生等事業の費用対効果分析説明資料， pp.4\_10-4\_11, 1/2008.
- 49) 高知県土木部港湾課：平成20年度公共事業再評価委員会資料，宿毛湾港新田地区・池島地区港湾環境整備事業， 4/2008.
- 50) 棧敷孝浩：アオサ回収による干潟の環境保全効果に対する経済評価，独立行政法人水産総合研究センター中央水産研究所，平成22年度中央水産研究所主要研究成果集，研究のうごき， No.9, p.4, 10/ 2011.
- 51) 樋野和俊，柳楽俊之，福間晴美，齊藤直：石炭灰造粒物の環境改善効果に係る基礎的性状，土木学会第65回年次学術講演会， II-168, pp.335-336, 9/2010.
- 52) 藤原哲宏，日比野忠史，吉岡一郎，田多一史：砂層河岸に堆積した有機泥の浄化技術の評価，土木学会論文集 B1（水工学）， Vol.69, No.4, pp.I\_1405-I\_1410, 3/2013.
- 53) 日比野忠史：アルカリ材造粒物を利用したヘドロの資源化に関する研究，一般財団法人国土技術研究センター，第13回 JICE 研究開発助成成果報告会概要書，(3)-9, 助成受付番号第11009号， <http://www.jice.or.jp/josei/jisseki/pdf/h23-09g.pdf>, 6/2013.
- 54) 上野耕平，日比野忠史，齊藤直，吉岡一郎：石炭灰造粒物の組成とヘドロ浄化機能，土木学会第63回中国支部研究発表会発表概要集， VII-11, 5/2011.

本章では、石炭灰造粒物による底質改善手法の適用にあたって、周辺環境の把握、環境改善目標の設定や施工箇所を選定する上での視点などについて、具体例を踏まえて示す。

### 3.1 既存資料に基づく周辺環境の把握

#### 3.1.1 地勢などの概要

図-3.1.1 に広島湾の海域と流域を示す。広島湾は流域面積 3,743km<sup>2</sup>、海域面積 1,043km<sup>2</sup> の閉鎖性の海域であり、北部海域と南部海域に区分される<sup>1)</sup>。広島湾の流域は広島県の 7 市 6 町、山口県の 4 市 2 町に跨り、北部海域には一級河川太田川、二級河川瀬野川、八幡川が流入する。太田川の流域面積 1,710km<sup>2</sup> は広島湾流域全体の約 45% を占める。流域人口は 1920 年の約 80 万人から 2005 年の約 180 万人に 85 年間で倍増し、現在の流域人口は広島県および山口県の総人口の約 42% を占める<sup>2)</sup>。

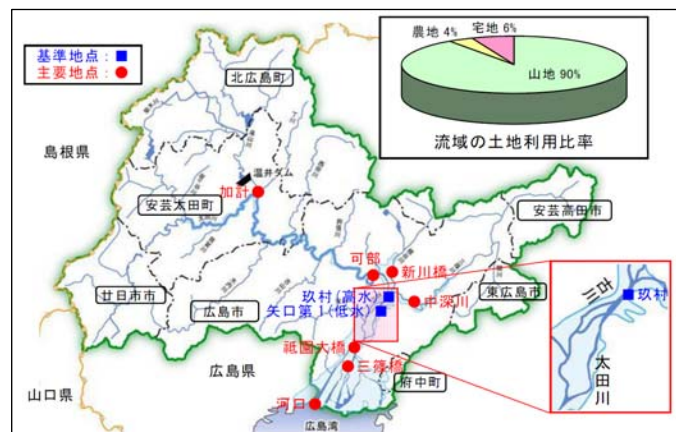
図-3.1.2 に太田川水系流域図を示す。太田川は広島県の西部に位置する幹川流路延長 103km、流域面積 1,710km<sup>2</sup> の一級河川で、廿日市市吉和の冠山（標高 1,339m）を源とし、中上流部で柴木川などの支川を集めて流下し、広島市安佐北区可部町付近で根谷川と三篠川を合流する。その後、平地部を南南西に流れ、広島デルタの扇頂部に達し旧太田川を分流して太田川放水路となる。放水路建設以前に本川であった旧太田川は、広島市街地内で京橋川、猿猴川、天満川、元安川を分流する。広島市他 4 市 3 町に跨る太田川の流域の土地利用は山地等が約 90%、農地が約 4%、宅地等の市街地が約 6%（河川現況調査：基準年 2000 年）となっている<sup>3)</sup>。

太田川計画高水流量配分を図-3.1.3 に示す。太田川の基準地点玖村における基本高水のピーク流量 12,000m<sup>3</sup>/s に対して、流域内洪水調整施設における調整量を 4,000m<sup>3</sup>/s とし、基準地点玖村の計画高水流量を 8,000m<sup>3</sup>/s としている。このうち、4,500m<sup>3</sup>/s を太田川放水路で処理し、3,500m<sup>3</sup>/s を市内派川 5 河川の河道で分担処理する計画となっている<sup>4)</sup>。



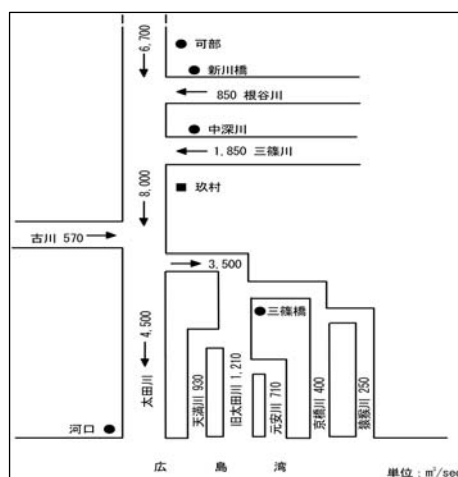
出典) 広島湾再生プロジェクトホームページ  
(広島湾再生推進会議)<sup>1)</sup> 掲載図を転載

図-3.1.1 広島湾の海域と流域



出典) 太田川水系河川整備計画、2.1 流域及び河川の概要  
(国土交通省中国地方整備局)<sup>3)</sup> 掲載図を転載

図-3.1.2 太田川水系流域図



出典) 太田川水系河川整備基本方針—基本高水等に関する資料— (国土交通省河川局) 4) 掲載図を転載

図-3.1.3 太田川計画高水流量配分図

### 3.1.2 水域環境の経年的変化と概要 (既存調査)

広島市内を流下する太田川および広島湾北部海域奥部の水質、底質、底生生物、親水利用について既存の調査結果に基づいて水域環境の経年的変化と概要を整理した。

#### (1) 水質

表-3.1.1 に太田川および広島湾北部海域奥部における環境基準類型指定状況を示す。また、表-3.1.2 には水質汚濁に係る環境基準 (生活環境の保全に関する環境基準) を示す。太田川水系では国土交通省管理の太田川放水路と広島県管理の猿猴川が B 類型 (BOD : 3mg/l 以下)、他の 4 派川が A 類型 (BOD : 2mg/l 以下) に指定されている。一方、広島湾北部海域奥部では海田湾が B・III 類型 (COD : 3mg/l 以下)、他の海域が A・III 類型 (COD : 2mg/l 以下) に指定されている。

表-3.1.1 太田川および広島湾北部海域奥部における環境基準類型指定状況<sup>5)</sup>

水系・海域名	類型指定水域名	該当類型	利用目的の適応性
太田川	太田川放水路 (全域)	B	水道 3 級、水産 2 級
	旧太田川 (全域)	A	水道 2 級、水産 1 級、水浴
	京橋川 (全域)	A	水道 2 級、水産 1 級、水浴
	天満川 (全域)	A	水道 2 級、水産 1 級、水浴
	元安川 (全域)	A	水道 2 級、水産 1 級、水浴
	猿猴川 (全域)	B	水道 3 級、水産 2 級
広島湾北部海域奥部	広島市地先海域	A・III	水産 1 級、水浴
	海田湾	B・III	水産 2 級
	金輪島・似の島周辺海域	A・III	水産 1 級、水浴

表-3.1.2 水質汚濁に係る環境基準<sup>6)</sup>

項目	河川 (除、湖沼)		海域		
	A	B	A	B	III
水素イオン濃度 (pH)	≧6.5~≦8.5	≧6.5~≦8.5	≧7.8~≦8.3	≧7.8~≦8.3	-
溶存酸素量 (DO)	≧7.5 mg/l	≧5 mg/l	≧7.5 mg/l	≧5 mg/l	-
生物化学的酸素要求量 (BOD)	≦2 mg/l	≦3 mg/l	-	-	-
化学的酸素要求量 (COD)	-	-	≦2 mg/l	≦3 mg/l	-
浮遊物質量 (SS)	≦25 mg/l	≦25 mg/l			-
全窒素 (T-N)	-	-	-	-	≦0.6 mg/l
全リン (T-P)	-	-	-	-	≦0.05 mg/l



太田川、海田ふ頭地先（海田湾）と江波沖海面（広島湾）の公共用水域の水質調査結果（河川：1971年～2011年、海域：2001年～2011年）より、DO、BOD、COD、SS、全窒素および全リンの経年変化を整理した。図-3.1.4に水質調査位置、図-3.1.5に水質調査結果（経年変化）を示す。

DOは微増の傾向にあり、いずれの水域においても7～11mg/lで推移しており、概ねA類型の環境基準値を満足しているが、太田川放水路（旭橋）および京橋川（御幸橋）で比較的低い値を示す傾向にある。BODは微減の傾向にあり、2003年以降0.5～1.9mg/lで推移しA類型の環境基準を満足している。

海域環境基準のCODは2001年以降、海田ふ頭地先（海田湾）が2.4～3.6mg/l、江波沖（広島湾）が1.9～2.6mg/lで推移し、いずれも該当類型の環境基準を超過している。SSは減少傾向で、1980年代後半以降は概ね10mg/l以下で推移し環境基準（ $\leq 25\text{mg/l}$ ）を満足している。

全窒素は経年的に横ばいの傾向にあり、海田ふ頭地先（海田湾）では0.6～0.9mg/lで推移し環境基準（ $\leq 0.6\text{mg/l}$ ）を常に超過しているが、江波沖（広島湾）では0.35～0.45mg/lで推移し、Ⅲ類型の環境基準を満足している。一方、全リンは経年的には減少の傾向にあるが、海田ふ頭地先（海田湾）では0.06～0.09mg/lで推移して環境基準（ $\leq 0.05\text{mg/l}$ ）を常に超過し、江波沖（広島湾）では0.03～0.04mg/lで推移してⅢ類型の環境基準を満足している。

公共用水域の水質調査結果より、太田川の水質はいずれの河川においても概ね環境基準値を満足しているが、海田湾では流入栄養塩の負荷軽減に向けた取り組みが必要である。

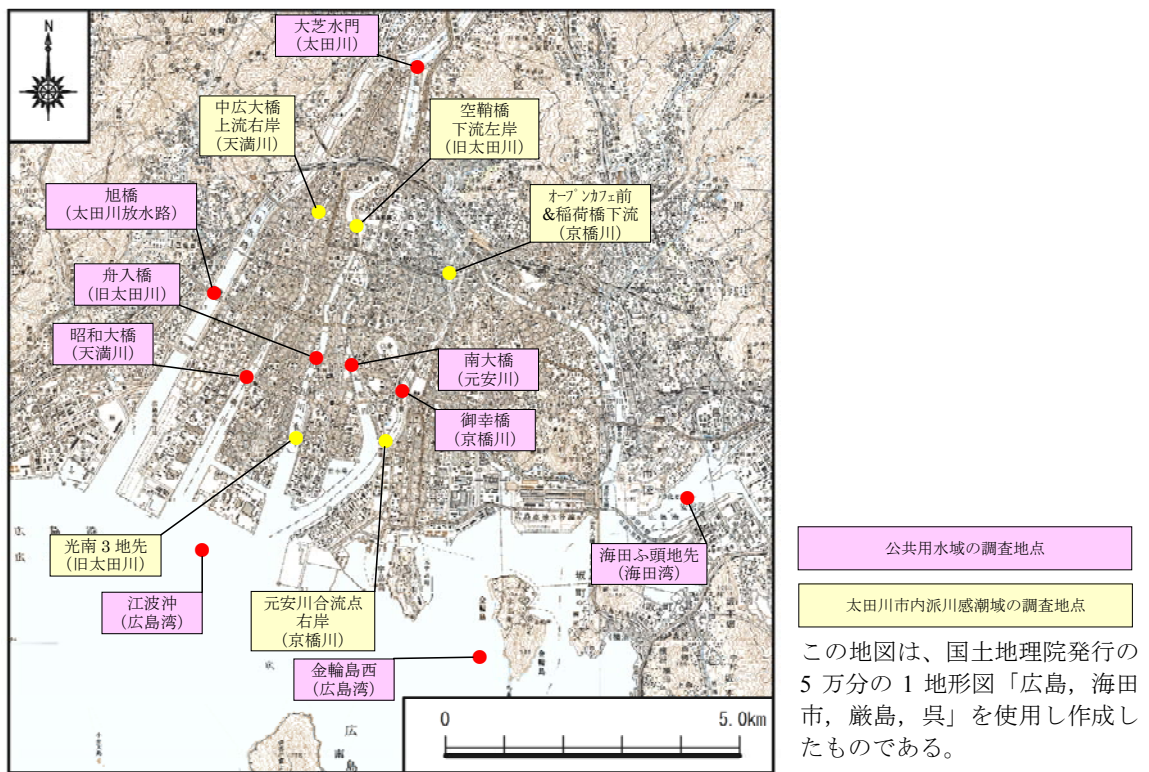


図-3.1.4 水質および底質の調査位置

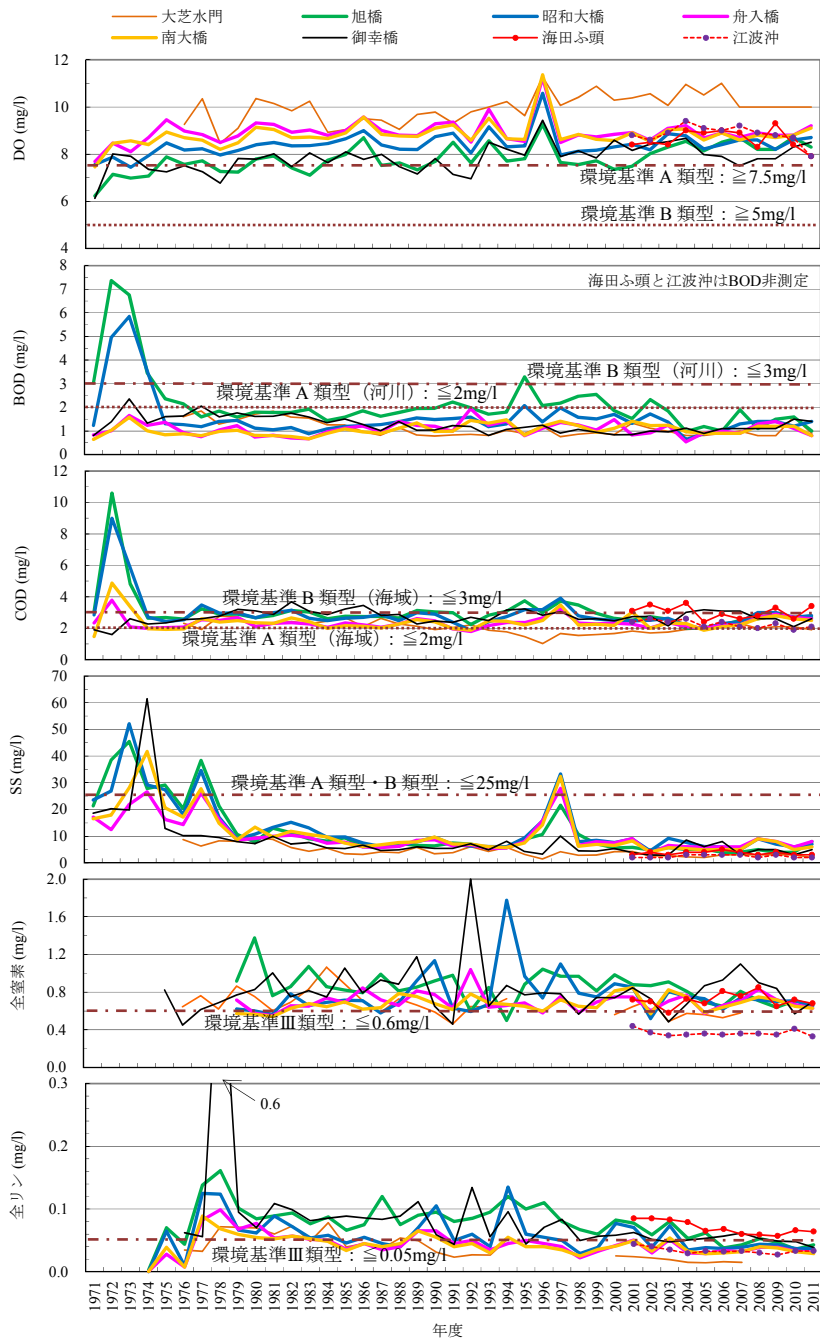


図-3.1.5 公共用水域の水質調査結果（経年変化）<sup>7)</sup>



## (2) 底質

太田川と金輪島西海面（広島湾）の公共用水域の底質調査結果（河川：1976年～2011年、海域：2001年～2011年）より、COD、強熱減量、硫化物および酸化還元電位の経年変化を整理した。図-3.1.4に底質調査位置、図-3.1.6に底質調査結果（経年変化）を示す。

CODは、京橋川（御幸橋）および広島湾（金輪島西）において、他の調査地点と比較して高い傾向にある。京橋川を除く4河川においては近年概ね5mg/g以下で推移している。

強熱減量は、CODと同様に京橋川（御幸橋）および広島湾（金輪島西）において、他の調査地点と比較して高い傾向にある。京橋川を除く4河川においては近年概ね4%以下で推移している。

硫化物も同様に、京橋川（御幸橋）および広島湾（金輪島西）において、他の調査地点と比較して高い傾向にある。京橋川を除く4河川においては近年概ね2005年版水産用水基準の0.2mg/g以下で推移している。

酸化還元電位は、京橋川（御幸橋）および広島湾（金輪島西）において、他の調査地点と比較して低い傾向にある。京橋川を除く4河川においては-200～400mVで推移している。京橋川（御幸橋）では1990年代以降マイナス値を示すことが多く、嫌氣的な底質環境になっていると予想される。

水底に堆積した有機泥が嫌氣的環境の場合には、自然浄化機能による底質環境の改善に期待できないので、人為的な対応による底質改善が必要となる。

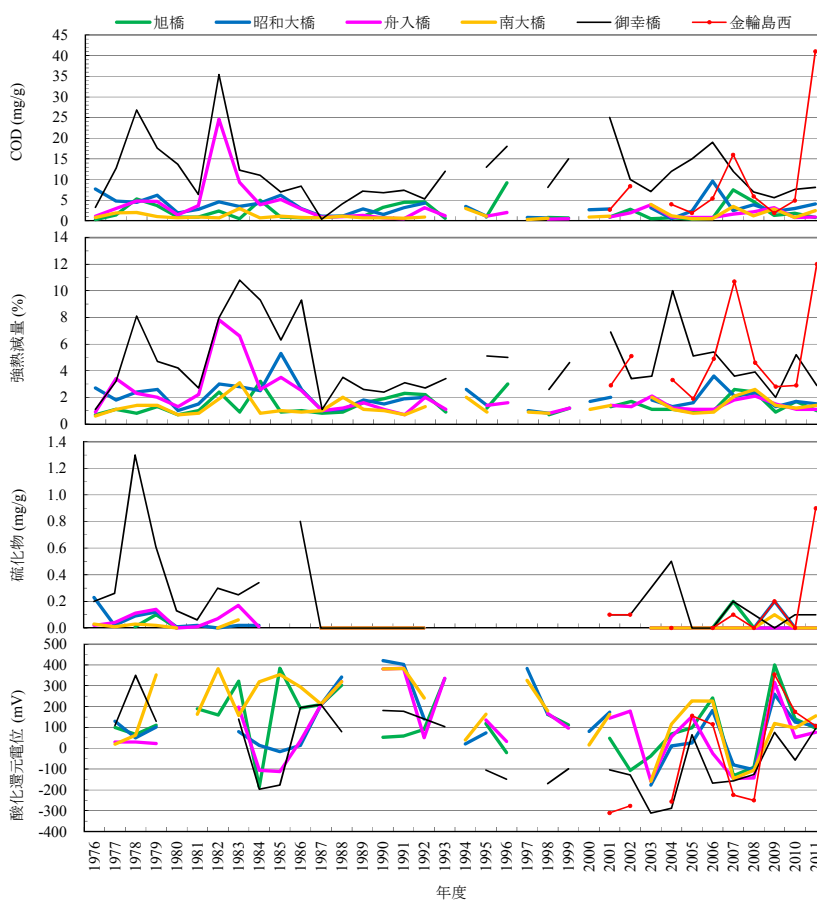


図-3.1.6 公共用水域の底質調査結果<sup>7)</sup>

### (3) 底生生物相

表-3.1.3 および図-3.1.7 に太田川における底生生物の調査位置を示す。地点番号①～⑬は、広島市衛生研究所が 1990 年 6 月 12 日に実施した調査位置である。広島市衛生研究所の調査（①～⑬）<sup>8)</sup>は、調査地点の流心の底泥をエクマンバージ型採泥器（0.20m×0.20m）により採取して、1mm 目ふるいに残った底生生物を同定している。地点番号 A～E は、2006 年から 2012 年に実施した調査位置である。地点番号 A～E の調査は、干潮時に河岸干潟が干出した時に方形枠（0.25m×0.25m）の試料を移植ゴテにより採取した。採取試料は現地ですり（目合い：1mm）がけし、ふるいに残った試料を室内で同定した。同定項目は種の査定、生物種類別個体数および湿重量である。

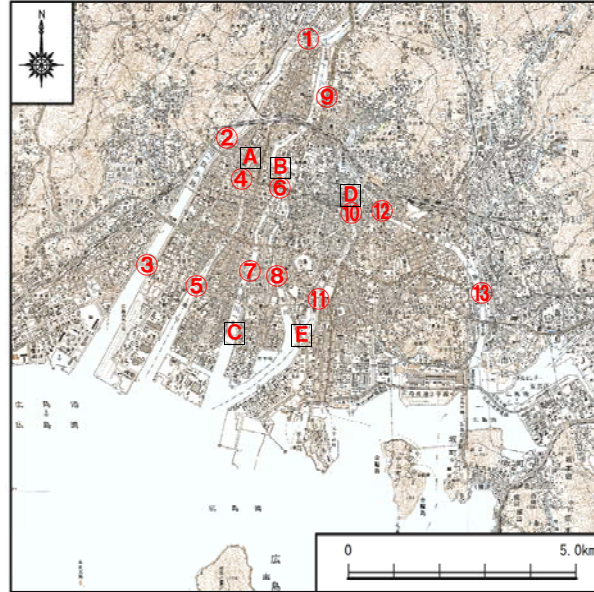
底生生物の調査結果を表-3.1.4 および図-3.1.8 に示す。地点番号①～⑬の調査結果のうち、個体数は 0.040m<sup>2</sup>（0.20m×0.20m エクマンバージ型採泥器）あたりの調査数を 0.0625m<sup>2</sup>（0.25m×0.25m 方形枠）に換算している。また、地点番号 A～E の調査結果は 4～13 回/個所の調査結果の単純平均値である。

1990 年の①～⑬の調査結果より、いずれの河川でも軟体動物門のヤマトシジミやアサリなどの砂質に多く生息する生物と比較して、環形動物門のゴカイ科やヤマトスピオ、ならびに節足動物門のニホンドロソコエビやドロクダムシ科などの泥質に多く生息する生物の出現個体数が多い。また、出現種数は 4～16 種で環形動物門と節足動物門がほぼ同程度出現し、軟体動物門がやや少ない種構成となっている。2006 年～2012 年の A～E の調査結果においても環形動物門のヤマトスピオや *Heteromastus* sp.（イトゴカイ科）の個体数が多い。また、出現種数も 10～16 種で環形動物門が多く軟体動物門が少ない種構成であり、1990 年の調査結果と顕著な差異はない。

河川水質の経年的な動向は、DO の微増と BOD、SS および全リンの減少傾向から、汚濁が減少している傾向にあるが、底生生物の生息に影響する程度ではないと想定される。現状の底質は、泥質の有機泥が堆積し多様な底生生物相となるような底質環境にはないので、多様な生物が生息できる底質への改善が必要となっている。

表-3.1.3 底生生物の調査位置と試料採取方法

調査年	河川名	地点番号	地点名	試料採取方法
1990 年 6 月 12 日 <sup>8)</sup>	太田川放水路	①	祇園大橋	エクマンバージ型採泥器 (0.20m×0.20m)
		②	山手橋	
		③	庚午橋	
	天満川	④	広瀬橋	
		⑤	昭和大橋	
	旧太田川	⑥	相生橋	
		⑦	舟入橋	
	元安川	⑧	南大橋	
	京橋川	⑨	こうへい橋	
		⑩	稻荷大橋	
		⑪	御幸橋	
	猿猴川	⑫	大正橋	
		⑬	仁保橋	
2006 年～2012 年	天満川	A	中広大橋上流右岸	方形枠 (0.25m×0.25m)
	旧太田川	B	空鞆橋下流左岸	
		C	光南 3 地先	
	京橋川	D	オープンカフェ前	
		E	元安川合流点右岸	



この地図は、国土地理院発行の5万分の1地形図「広島、海田市、厳島、呉」を使用し作成したものである

図-3.1.7 底生生物の調査位置

表-3.1.4 底生生物の調査結果

		太田川放水路			天満川			旧太田川			元安川	京橋川					猿猴川				
		①	②	③	A	④	⑤	B	⑥	⑦	C	⑧	⑨	D	D	⑩	⑪	E	⑫	⑬	
個体数 (個体/0.0625m <sup>2</sup> )	紐形動物	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	軟体動物	2	56	238	117	44	34	7	127	2	4	25	95	20	5	100	2	11	6	41	
	環形動物	666	230	20	318	14	381	205	159	31	210	41	98	63	37	164	123	196	388	19	
	節足動物	88	292	842	136	11	80	16	30	39	14	164	5	16	10	16	145	17	228	6898	
	計	756	578	1100	571	69	495	228	316	72	229	230	198	100	52	280	270	224	622	6958	
種類数 (種類/0.0625m <sup>2</sup> )	紐形動物	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	軟体動物	1	3	4	2	1	1	2	1	1	2	4	1	3	2	2	1	3	3	1	
	環形動物	1	4	4	5	3	3	5	3	3	9	3	1	6	5	5	4	10	6	5	
	節足動物	6	8	5	6	2	4	4	3	7	4	9	2	3	3	4	4	2	5	4	
	計	8	15	13	13	6	8	11	7	11	16	16	4	12	10	11	9	15	14	10	
最多出現種		ゴカイ科	ニホンドロソコエビ	ドロクダムシ科	チゴガニ、ヤマトスピオ、ヤマトシジミ、ムロミス、ヤマトシジミ、ムロミス	ヤマトシジミ	スピオ科	ヤマトスピオ	ヤマトシジミ	ヤマトスピオ	Heteromastus sp.	ニホンドロソコエビ	ゴカイ科	Heteromastus sp.	ヤマトスピオ	ヤマトシジミ	ヤマトスピオ	Heteromastus sp.	ドロクダムシ科	ドロクダムシ科	

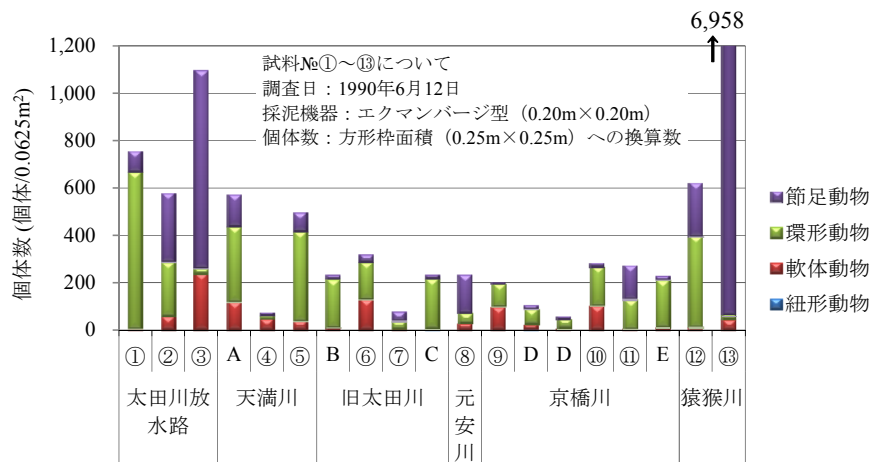


図-3.1.8 底生生物の調査結果

### 3.1.3 堆積有機泥の掃流特性

太田川市内派川とは、太田川により運ばれた砂礫で形成されたデルタを流れる 5 本の河川である。高度成長期以降には多量の有機物が河道に流出し、河岸には数 10cm～1m 近くまで有機泥が堆積していた。また、市内派川は海域と同様の潮汐変動を受けており、その干満差は大潮時に約 4m、小潮時にも約 2m ある。市内派川に発達する河岸干潟では、洪水を経験しない場合は、河川上流のみならず海側から運搬される有機泥が遡上・沈降し、河岸干潟には高潮時に堆積する。海水中で沈降した有機泥の掃流実験結果（縦軸；掃流量、横軸；底面せん断応力）は図-3.1.9 である<sup>9)</sup>。調査位置は図-3.1.4 の太田川市内派川感潮域の調査地点に示すとおりである。図は掃流流体の塩分濃度の変化に対するせん断応力～掃流量関係を示している。掃流実験から高潮時に海水中で有機泥が沈降・堆積すると、淡水の流れない場では海水による有機泥の掃流は困難になり、干潟の泥化が進行することを明らかにしている。有機泥の一方的な堆積により干潟の泥化が進行すると、底質内部の水循環が阻害され、栄養塩の蓄積、硫化水素などの有害物質の発生など、河川浄化能力が低下し、生物生息環境が悪化するだけでなく、水辺景観価値の大いなる損失に繋がる。

本節では 2006 年から 2012 年の間に実施した太田川市内派川感潮域干潟での調査結果に基づいて、河岸干潟に堆積した有機泥の性状と底質環境を整理した。

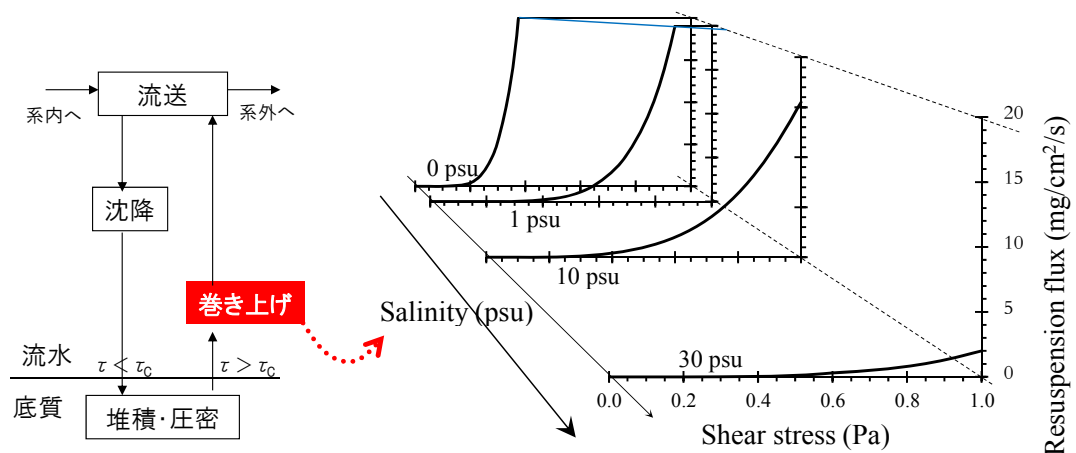


図-3.1.9 海水中で沈降した有機泥の掃流実験結果<sup>9)</sup>

### 3.1.4 底質環境

表-3.1.5 に干潟底質の好適生息環境に関する知見、表-3.1.6 に太田川市内派川感潮域干潟の底質調査結果、図-3.1.10 に干潟底質の粒度分布を示した。調査データは、本研究に関連した 2006 年から 2012 年に実施した調査結果であり、4~13 回/個所の調査の単純平均値である。

強熱減量と硫化物は、含泥率（シルト・粘土分含有率）と相関があり、市内派川河口よりも数 km 上流側で高い値を示した。強熱減量は、天満川上流（中广大橋上流右岸：5.1%）、旧太田川上流（空鞆橋上流左岸：5.0%）、京橋川上流（オープンカフェ前：7.9%、稲荷大橋下流左岸：9.9%）で好適生息環境値（2~4%）を超過していた。硫化物についても、天満川上流（0.29mg/g）と京橋川上流（0.35~0.36mg/g）で水産用水基準値（0.2mg/g 以下）を超過していた。

酸化還元電位は、200~-250mV 程度の範囲で低く、嫌気的な底質環境にあった。

土粒子密度ならびに単位体積重量は、強熱減量や含泥率と負の相関があり、土粒子密度と単位体積重量は上流域で低かった。含水比は、強熱減量や含泥率と相関があり上流域で高かった。

n-ヘキサン抽出物質は、下水処理場放流渠に近接した京橋川の元安川合流点右岸での値が高く、放流渠から離れた旧太田川の光南 3 丁目地先左岸での値が低かった。

含泥率（シルト・粘土分）は河口域で低く、上流域で高かった。平均的含泥率は、京橋川の河口に近い元安川合流点右岸では 17%と好適生息環境の範囲にあるが、旧太田川の光南 3 丁目地先左岸で 32%、旧太田川上流域で 42%、天満川上流域で 52%、京橋川上流域で 60%といずれも好適生息環境を超過する含泥率であった。

表-3.1.5 干潟底質の好適生息環境に関する知見

項目	好適生息環境	対象生物	備考
強熱減量 (%)	≦4	干潟水産有用種 <sup>注1)</sup>	砂質系干潟の健全度評価手法マニュアル <sup>10)</sup>
	2~4	全生物個体数	三番瀬干潟での 1987~1997 年調査 <sup>11)</sup>
	2~4	アサリ個体数	三番瀬干潟での 1987~1997 年調査 <sup>11)</sup>
	<5	ヤマトシジミ密度	宍道湖での 1982~1983 年調査 <sup>12)</sup>
シルト・粘土分 (%)	≦25	干潟水産有用種 <sup>注1)</sup>	砂質系干潟の健全度評価手法マニュアル <sup>10)</sup>
	5~10	全生物個体数	三番瀬干潟での 1987~1997 年調査 <sup>11)</sup>
	≦30	アサリ個体数	三番瀬干潟での 1987~1997 年調査 <sup>11)</sup>
	<10	ヤマトシジミ密度	宍道湖での 1982~1983 年調査 <sup>12)</sup>
COD <sub>OH</sub> (乾泥 mg/g)	≦20	有用水産動植物	水産用水基準(2005 年版) <sup>13)</sup>
硫化物 (乾泥 mg/g)	≦0.2	有用水産動植物	水産用水基準(2005 年版) <sup>13)</sup>
n-ヘキサン抽出物質 (%)	≦0.1	有用水産動植物	水産用水基準(2005 年版) <sup>13)</sup>

注 1)：対象種は、アサリ、ハマグリ、バカガイ、マテガイおよびサルボウの 5 種

表-3.1.6 太田川市内派川感潮域干潟の底質調査結果

項目		天満川	旧太田川		京橋川			
		中広大橋 上流右岸	空鞆橋 下流左岸	光南3 地先左岸	オープン カフェ前	稲荷大橋 下流左岸	元安川 合流点右岸	
データ数	N	4	6	7	8	4	13	
強熱減量	%	5.1	5.0	3.4	7.9	9.9	2.3	
硫化物	mg/g	0.29	0.05	0.04	0.35	0.36	0.07	
酸化還元電位	mV	-40	105	-102	-249	-103	178	
粒子性有機体窒素	mg/g	1.2	0.6	0.81	ND	ND	0.49	
粒子性有機体炭素	mg/g	24	16	11.5	ND	ND	9.2	
粒子性有機体リン	mg/g	0.6	0.3	0.29	ND	ND	0.24	
C/N		20.0	26.7	14.2	ND	ND	18.8	
土粒子密度	g/cm <sup>3</sup>	2.593	2.606	2.633	2.606	2.562	2.629	
単位体積質量	g/cm <sup>3</sup>	1.63	1.64	1.73	1.565	1.459	ND	
含水比	%	67.1	68.0	46.8	75.1	91.1	ND	
粒度分布 (表層)	礫分(≧2mm)	%	6.5	2.1	3.3	6.2	1.9	0.3
	粗砂分(≧0.425mm)	%	23.0	10.2	19.0	19.6	10.3	14.6
	細砂分(≧0.075mm)	%	18.7	45.6	45.5	18.4	23.5	67.8
	シルト分(≧0.005mm)	%	33.6	25.0	22.0	34.3	42.7	10.0
	粘土分	%	18.2	17.2	10.2	21.5	21.7	7.3
n-ヘキサン抽出物質	mg/kg	550	800	167	700	700	1,500	

ND：観測値なし

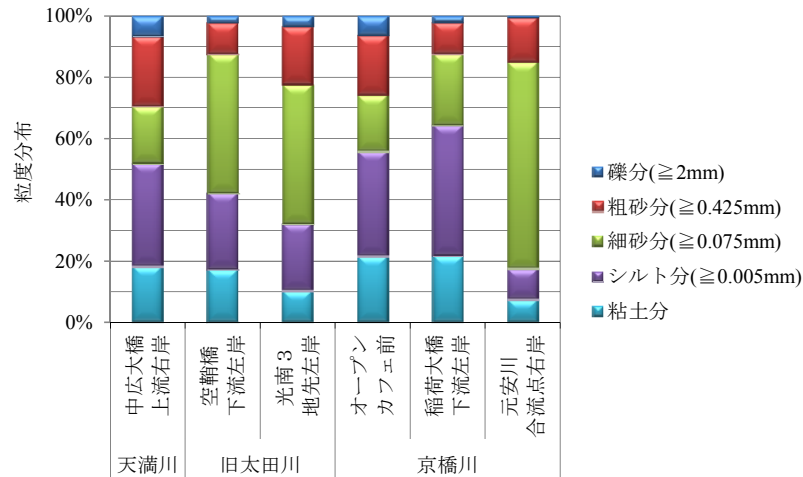


図-3.1.10 太田川市内派川感潮域の干潟底質の粒度分布

### 3.1.5 底質の間隙水

底質泥粒中の窒素やリンは間隙水と触れ合って、アンモニアやリン酸などの栄養塩の形で溶出する。間隙水に溶出した栄養塩はさらに直上水に溶け出すので、富栄養化した内湾域などでは、底泥からの栄養塩の溶出が水質に対して大きな影響を及ぼす。巻き上がりのない場での底泥からの栄養塩の溶出速度は、水温、直上水中ならびに間隙水中の溶存酸素（DO）、底泥内含有栄養塩量、生物の作用などに左右され、季節的・場所的に変化している。

アンモニアおよびリン酸の溶出速度は水温および DO と相関があり、温度が上昇するほど溶出速度が増大する<sup>14)</sup>。リン酸態リン（PO<sub>4</sub>-P）および全リン（T-P）は、間隙水中の DO 濃度が高いと溶出しにくく、逆に DO 濃度が低いと溶出しやすい。アンモニア態窒素（NH<sub>4</sub>-N）の溶出速度は、強い嫌気条件下では大きくなるが、リン酸と比較して DO との相関は小さい<sup>17)</sup>。広島湾の底泥の場合、DO：2mg/l 以下を嫌気域、5mg/l 以上を好気域、2～5mg/l を過渡域とされている<sup>14)</sup>。

表層間隙水中の DO 濃度が低下し表層付近の底泥が嫌気状態になると、有機物の嫌気分解が生じて溶解性の有機炭素（TOC）濃度が上昇する。有機炭素の生成による還元力によってリン酸の金属塩が還元されて、リン酸態リンが溶出する<sup>15)</sup>。間隙水中のリン酸態リン濃度が上昇しても直上水中に硝酸態窒素（NO<sub>3</sub>-N）が存在すると、底泥の表面が還元状態にならず、リン酸態リンは金属酸化物などに吸着されて直上水への溶出が抑制される<sup>15)</sup>。

間隙水中のアンモニア態窒素濃度は、水温が上昇すると有機物の分解により増加し、拡散により直上水に輸送される。アンモニア態窒素の濃度は、深部において高い傾向にあり、底泥深度 15cm 位から表層かけて減少する濃度勾配がある<sup>15)</sup>。底泥表層の間隙水に DO が存在する場合には、硝化反応によって硝酸態窒素が生成され、底泥の深部に向かって拡散する。

底泥からの栄養塩の溶出に影響を及ぼす干潟地盤表層数 cm 内の間隙水の DO は、直上水と同程度であるが、直上からの水の浸透が少ない場の 5cm 以深の DO は 1mg/l 程度になる<sup>16)</sup>。

表-3.1.7 に太田川市内派川感潮域干潟の底質間隙水の調査結果を示す。間隙水の採取方法は、底質試料からの分離（表層から深度 15cm 程度までの混合試料）と現地での吸引採水（深度 10～15cm）である。溶存酸素は 2mg/l 以下で嫌気域にあり、一般魚類の生息範囲（6mg/l 以上）より低い<sup>17)</sup>。アンモニア態窒素は 1～3mg/l で水産用水基準（淡水域：0.01mg/l、海域：0.03mg/l）を超過するが、コイやフナの生息範囲内にある<sup>17),18)</sup>。亜硝酸態窒素は 0.03mg/l 以下、硝酸態窒素は 0.3mg/l 以下であり、水産用水基準の範囲内にある。富栄養化現象の直接的な原因物質であるリン酸態リンの地点毎の平均的な濃度は、0.05～0.5mg/l 程度であるが、観測時期による変動が極めて大きい。

表-3.1.7 太田川市内派川感潮域干潟の底質間隙水調査結果

項目		天満川	旧太田川	京橋川		
		中広大橋 上流右岸	空鞆橋 下流左岸	オープン カフェ前	稲荷大橋 下流左岸	元安川 合流点右岸
データ数	N	4	4	8	4	11
溶存酸素(DO)	mg/l	1.7	1.4	ND	ND	1.7
アンモニア態窒素	mg/l	0.77	1.35	3.1	3.3	0.808
亜硝酸態窒素	mg/l	0.008	0.006	0.003	0.002	0.024
硝酸態窒素	mg/l	0.297	0.074	0.015	0.006	0.131
リン酸態リン	mg/l	0.043	0.179	0.495	0.154	0.125
溶存無機態窒素	mg/l	1.075	1.430	3.118	3.308	0.963

ND：観測値なし

### 3.1.6 沈降浮遊物質の状況

表-3.1.8 に太田川市内派川感潮域干潟でセジメントトラップにより捕捉した沈降浮遊物質の調査結果、図-3.1.11 に沈降浮遊物質の粒度分布を示す。表-3.1.8 及び図-3.1.11 の調査データは本研究に関連した 2006 年から 2012 年に実施した調査結果であり、2~7 回/個所の調査の単純平均値である。

浮遊物質の沈降速度は上流域が 20~30g/m<sup>2</sup>/h、下流域が 7~17g/m<sup>2</sup>/h であり上流域が大きい。また、干潟堆積泥と同様に、沈降浮遊物質の強熱減量と硫化物は、含泥率と相関があり、天満川の上流域に位置する中広大橋上流右岸で高い。平均的な含泥率は 70%以上であり、天満川中広大橋上流右岸では 90%を超える。C/N 比は 14~18 程度の値を示し分解の進んだ有機物が沈降している。また、河口域での C/N 比が高いことから沈降と巻き上がりの繰り返しにより分解の進んだ有機物がトラップされたものと考えられる。n-ヘキサン抽出物質は観測した上流域の 2 地点とともに 1,000mg/kg を超えており、下水起源の有機物が連続的に供給されている。

表-3.1.8 太田川市内派川感潮域干潟の沈降浮遊物質調査結果

項目		n	天満川	旧太田川		京橋川
			中広大橋 上流右岸	空鞆橋 下流左岸	光南 3 地先左岸	元安川 合流点右岸
データ数	n		4	7	2	3
浮遊物質(SS)	g/l		26.8	44.4	51.5	20.0
堆積量	g		92.4	139.1	762.2	272.5
沈降速度	g/m <sup>2</sup> /h		22.4	30.4	16.73	7.2
強熱減量	%		14.5	6.1	ND	7.7
硫化物	mg/g		0.96	0.07	ND	ND
粒子性有機体窒素	mg/g		ND	1.4	2.0	1.6
粒子性有機体炭素	mg/g		ND	19.8	31.5	28.0
粒子性有機体リン	mg/g		ND	0.6	0.62	0.59
C/N				14.1	15.8	17.5
粒度分布 (表層)	礫分(≧2mm)	%	0.0	0.0	ND	0.0
	粗砂分(≧0.425mm)	%	0.0	0.6	ND	2.4
	細砂分(≧0.075mm)	%	7.8	22.9	ND	26.9
	シルト分(≧0.005mm)	%	72.5	60.9	ND	54.7
	粘土分	%	19.7	15.6	ND	16.1
n-ヘキサン抽出物質	mg/kg		1,500	1,100	ND	ND

ND：観測値なし

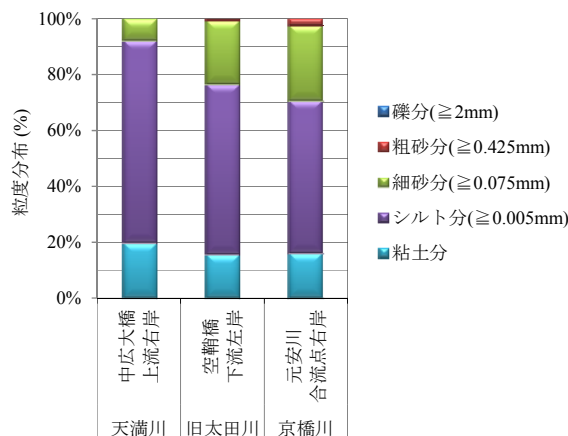


図-3.1.11 太田川市内派川感潮域干潟で捕捉した沈降浮遊物質の粒度分布



## 3.2 環境改善目標の設定

### 3.2.1 上位計画

広島市は、太田川派川によって形成された三角州上に発達し、生活の身近に水辺があり、古来より“水の都”として栄え、日本の主要都市に類例のない特徴的なウォーターフロント空間を創り出している。その優れた景観資源を生かし、まちづくりと一体となった魅力ある水辺空間をつくることを目標とした“水の都整備構想”は、太田川と河口臨海部ならびに隣接市街地を対象区域として、水域管理者の国土交通省と広島県および都市景観形成を誘導する広島市によって1990年3月に策定された。

さらに、“水の都整備構想”を策定した3者は、基本方針の3本柱を①つかう（市民による水辺の活用）、②つくる（水辺空間の整備とまちづくりとの一体化）、③つなぐ（水辺のネットワークと水の都の仕組みづくり）とした発展的改訂版の“水の都ひろしま”構想を2003年1月に策定した（図-3.2.1 参照）<sup>19)</sup>。

このような都市づくりの一環として、太田川市内派川では、河岸に多数ある雁木を乗り場とした雁木タクシーが運行され、広島平和記念公園周辺の元安川や旧太田川ではリバークルーズが運行されている。河川水際の利用では京橋川右岸の河岸緑地および元安川において、水辺における都市の楽しみ方の創出や水辺と市街地の一体化を目的としたオープンカフェが設置されており、京橋川独立店舗型オープンカフェ3店舗の利用者は、年間約5万人（2006年度、2007年度）と賑わいの場として広く利用されている<sup>20)</sup>。また、太田川市内派川全川では河川景観に配慮するなど、治水と環境機能との整合を図った環境・親水護岸が整備されており<sup>21)</sup>、人々に親しまれ憩いの場としての利用がなされている。一方で、河床への有機泥の堆積などの親水性を阻害する要因を改善して、河川に近づき、親しめる河川環境への改善が求められている。



図-3.2.1 “水の都ひろしま”構想の基本方針（3つの柱）の概念

また、広島湾流域の広島県7市6町および山口県4市2町の人口が、1920年の約80万人から2005年の約180万人に85年間で倍増<sup>22)</sup>する一方で、広島湾北部海域では、1950年時点で2.92km<sup>2</sup>の干潟が1990年には38%の1.12km<sup>2</sup>に縮小し<sup>22)</sup>、同様に藻場は、1973年時点の7.01km<sup>2</sup>から1990年時点には6%の0.43km<sup>2</sup>に減少している<sup>22)</sup>。広島湾では、関係行政機関や民間企業などの環境改善の努力により、陸域からの汚濁負荷量の削減などについて一定の成果は見られるが、過去の沿岸域の開発などによって失われた良好な環境の再生および現存する良好な環境の保全のために取り組むべき課題が多く残されている。

このような状況の中で国土交通省は、2004年6月に“国土交通省環境行動計画”を策定し、閉鎖性海域の水質を改善するための行動計画の策定と推進を位置付けた<sup>23)</sup>。また、2005年1月には、国土交通省中国地方整備局と水産庁漁港漁場整備部により、瀬戸内海の環境保全と修復を進めるための“瀬戸内海環境修復計画”が策定された<sup>24)</sup>。

さらに、広島湾には多くの行政機関が関係しており、広島湾の環境の保全と再生には、関係行政機関の連携と協力ならびに地域住民や地域社会の参加と協力が不可欠であることから、2006年3月に国土交通省他関係省庁地方部局および広島県や広島市などの関係地方公共団体が“広島湾再生推進会議”を設置し、総合的な施策展開により広島湾の保全と再生を図る“広島湾再生行動計画”を2007年3月に策定した。

広島湾およびその背後流域では“広島湾再生行動計画”に基づき、広島湾の環境の保全と再生に係る施策が総合的かつ計画的に推進されている。海田湾では底質改善の試験施工により底生生物の増加効果が確認されている<sup>25)</sup>。五日市人工海浜では飛来鳥類の経年的な増加が観測されるとともに<sup>24)</sup>、広島湾周辺での住民参加による自然景観、歴史・文化的資源の保全への取り組みが増加している。しかし、水域環境は気象を含む周辺環境の影響を受けやすいので、長期的なモニタリングによる動静の把握が必要である。

### 3.2.2 底質環境改善目標とする指標

干潟・浅海域は、生物に直接関係する生物生息機能、物質循環機能および生物生産機能と、親水機能・景観形成機能などのその他の機能を有している。これらの機能を円滑に保持するための基本的な条件は、水域全体で浮遊系も含めた多様な生物が豊かに生息していることである。底生生物相が貧弱な水域では、底生生物を餌にする魚類などが生息することができずに系全体が崩壊する<sup>26)</sup>。したがって、干潟・浅海域の健全度の指標は「多様な生物の豊かな生息」である<sup>27)</sup>。具体的には、懸濁態有機物の捕食や水産資源の観点および漁獲による有機物の水系外への持ち出しの視点で、アサリなどの二枚貝<sup>27)</sup>やクルマエビなどの水産有用種<sup>28)</sup>を指標対象種としている。

環境変化の視点として、水域の有機汚染の進行とベントス群集の変化に関する知見<sup>28)、29)</sup>を表-3.2.1に示す。また、水産庁は干潟の生産力を改善する視点で、干潟の物理化学的環境状態や生物の状態に関する診断基準を示している<sup>30)</sup>。主な診断基準と関連する調査項目を表-3.2.2に示す。

干潟・浅海域の環境は激しく変動するので、生物が減耗する環境要因を解明することは非常に困難である。干潟・浅海域の底質改善は、生物の状態と干潟の状態を総合的に判断して、生物が自らの活動で生息環境を改善する手助けをすることであり、環境改善スパイラルの再生スイッチを入れるための物理的な機会の付与である。

すなわち、有機物分解、外観・物理性状変化、栄養塩削減、生物生息環境改善などの低層水・底質・間隙水に係わる物理・化学的な分析値により、改善効果と現象を定量的に把握・評価するとともに、底生生物相の変化とその継続性が底質環境の改善を判断する指標となる。

また、干潟・浅海域での時間的・空間的な改善効果の有効性は、維持管理状況にも左右される。当初の目標に沿った生物相や生産力の維持には、定期的なモニタリングと状況変化に応じて維持管理施策を改変するフィードバック管理の「順応的管理」<sup>31)</sup>が重要である。

表-3.2.1 有機汚染の進行と底生生物の変化<sup>28)、29)</sup>

- |                                     |
|-------------------------------------|
| ① 多毛類（環形動物）の増加と甲殻類（節足動物）・棘皮動物の減少・消滅 |
| ② 種類数の減少と多様度の低下                     |
| ③ 年齢の高い個体の減少、消滅                     |
| ④ 小型個体の増加                           |
| ⑤ 有機汚染指標種の増加                        |
| ⑥ 生物貧困域または無生物域の出現                   |

表-3.2.2 干潟状態の主な診断基準と調査項目<sup>30)</sup>

診断基準	調査項目
無酸素水の発生	水質（溶存酸素、COD）
有機泥の堆積	底質（還元層、硫化水素、強熱減量、間隙水性状）
生物量が 10g/m <sup>2</sup> 以下	底生生物相、底質（生活基質、粒度分布）
大型底生生物が不在（特に甲殻類）	底生生物相、水質（水温、溶存酸素、塩分）
浮遊幼生稚貝の来遊・着底	底生生物相、浮遊幼生、底質、地形、流れ
有害・競合生物	底生生物相、底質、地形、流れ
赤潮の発生	水質（栄養塩）
底質の生物生息適性	泥分、有機泥堆積、地盤硬度、硫化水素、還元土
食害痕跡	食害生物
地形・底質の急変	波浪、出水

### 3.3 施工箇所の選定

#### 3.3.1 干潟部周辺の護岸構造

干潟部付近の標準横断面図は図-3.3.1、横断面図は図-3.3.2に示すとおりである。

これらの横断面図より、干潟背後の護岸には、耐震矢板が設置されており、太田川デルタにおける地下水の流動を阻害している可能性が考えられる。

したがって、干潟表層部分だけでなく下層まで一様に環境悪化（嫌気化）していることが予想されるため、底質の層厚・干潟形状等を考慮した対策工の検討が必要である。

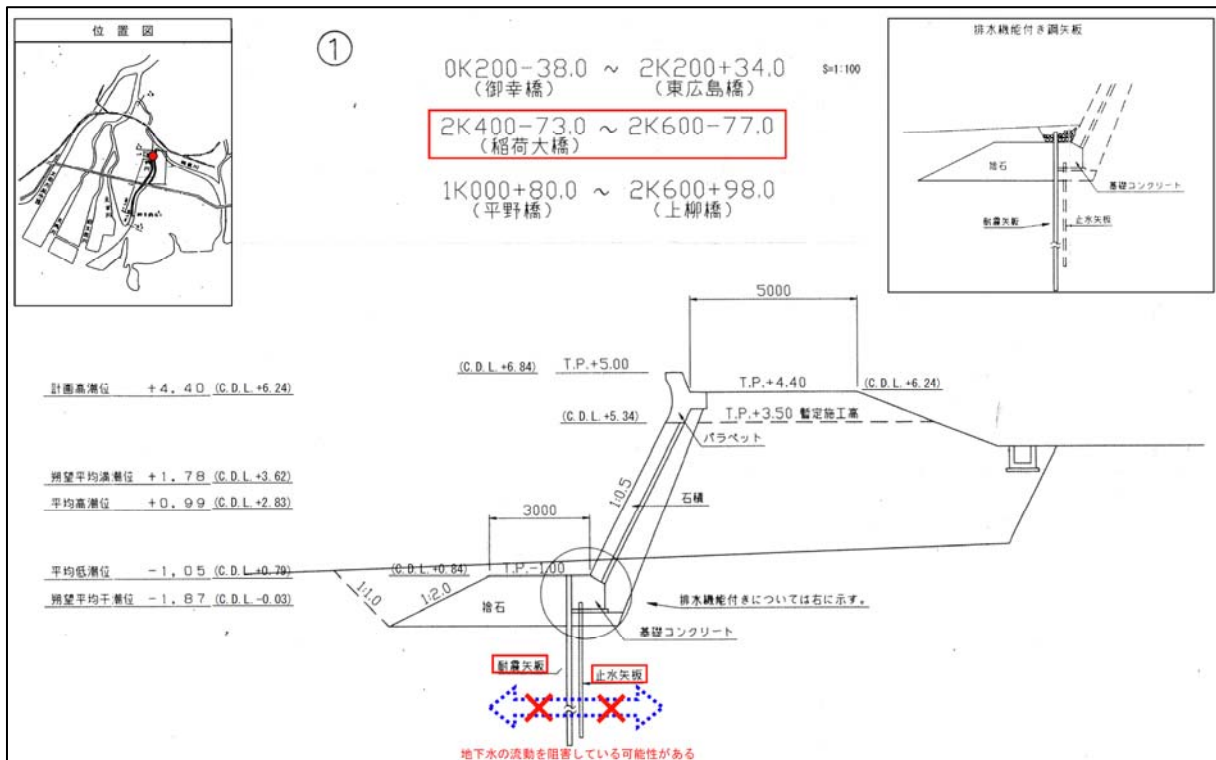


図-3.3.1 標準断面図

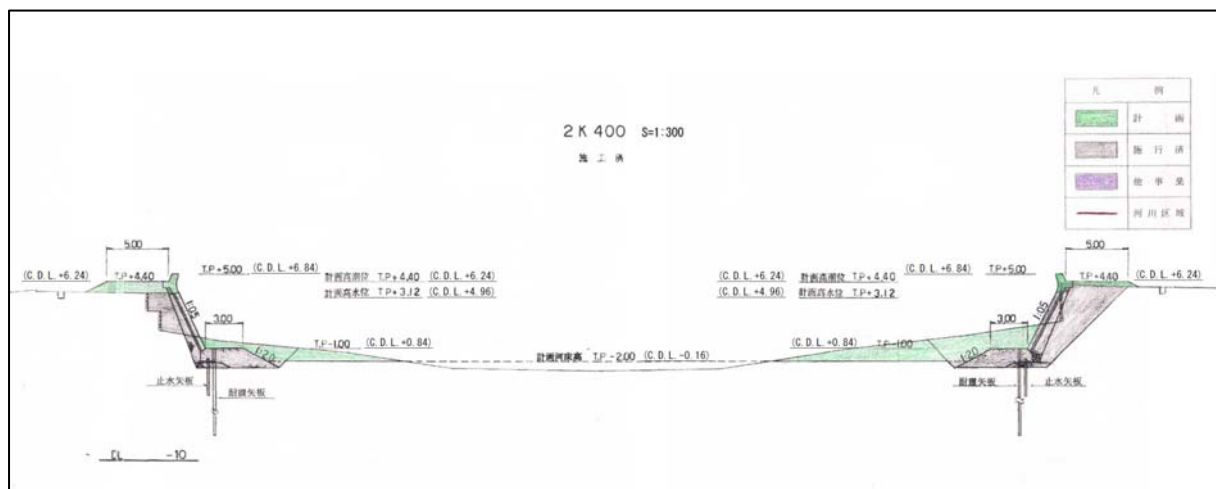


図-3.3.2 横断面図

### 3.3.2 河床部の構造物

当該区域において、施工上問題となる河床部の構造物は確認されなかった。

### 3.3.3 施工に係る制約条件

実証試験を行うにあたり、施工条件としては以下の内容が挙げられる。

- ①広島市内派川にかかる橋脚の桁下高さが低いため、台船を曳航しにくく、海上からの施工が困難である。
- ②当該干潟では、ヘドロが多く堆積しており、非常に軟弱な地盤であることから、敷き板の敷設は不可欠である。
- ③当該干潟では、ヘドロが多く堆積しており、足場が悪いことから人力施工は困難である。
- ④実証試験の施工区域は、潮間帯を想定していることから、潮間の作業となる。
- ⑤当該干潟の護岸背後には、京橋川オープンカフェや市杵島神社があり、人通りも多いことから工事の際には配慮が必要である（夜間工事等）。
- ⑥施工時期は、ヘドロによる悪臭の著しい影響が考えられる夏季以外が望ましい。

### 3.3.4 環境改善に対する地域のニーズと改善効果の有無

#### (1) 当該干潟に求めるニーズ・機能

当該干潟に求めるニーズ・機能は図-3.3.3 に示すとおり、(1) 底質改善、(2) 親水性の向上、(3) 生物生息環境の改善である。

〈機能(1)〉 底質改善 →有機物・栄養塩の削減、ヘドロの除去
〈機能(2)〉 親水性の向上 →景観（見た目・臭い・歩きやすさ等）の改善
〈機能(3)〉 生物生息状況の改善 →生物の多様性の改善、二枚貝等の増加

図-3.3.3 当該干潟に求めるニーズ・機能

## (2) 環境改善効果の有無

当該干潟の欠落する環境条件とその対策工の検討は、図-3.3.4に示すとおりである。

当該干潟の欠落する環境条件として、「(a) 干潟内へのDO(溶存酸素)の供給不足」及び「(b) 地盤の軟弱性」の2点が主に考えられる。したがって、対策工としては、「(a) 干潟底泥内の水循環の形成」及び「(b) 地盤の硬化・安定性の向上」の検討が必要であると考えられる。

### <当該干潟の欠落する環境条件>

#### (a) 干潟内へのDO(溶存酸素)の供給不足・水循環の未形成

当該干潟部では、底質環境の悪化が進んでいることから、DO(溶存酸素)の供給が不足していることが考えられる。また、干潟内への地下水の流動は、ほとんど見られなかった。(水循環は形成されていなかった)。

#### (b) 地盤の軟弱性・親水性の阻害

干潟全面において、土壌硬度は $0.0\sim 0.1\text{kg/cm}^2$ であり、非常に軟弱性の高い干潟地盤であった。また、数十cmの厚さで有機泥が堆積していること(有機泥厚の厚い箇所では1m以上)から、親水性が阻害されている状況にある。

### <対策工の検討>

#### (a) 干潟内へのDO(溶存酸素)の供給・水循環の形成

廃棄物リサイクル品(石炭灰造粒物:Hiビーズ等)を利用し、透水層を設置することにより、干潟内の水の流れを生起させるような環境に改善する。流況の改善効果としては、水循環の形成による底泥内へのDO(溶存酸素)の供給等の改善が期待される。

#### (b) 地盤の硬化・安定性・親水性の向上

廃棄物リサイクル品(石炭灰造粒物:Hiビーズ等)を利用し、現地土と混合した「混合土」のマウンドを造成することにより、地盤の硬化・安定性の向上が期待される。また、人が入り易くなることにより、親水性の向上にも繋がると考えられる。

図-3.3.4 当該干潟の欠落する環境条件とその対策工の検討

### 第3章 関連参考文献

- 1) 広島湾再生推進会議：広島湾とは，広島湾再生プロジェクト HP，<http://www.cgr.mlit.go.jp/chiki/hiroshimawan/what/index.html>, 6/2013.
- 2) 広島湾再生推進会議：広島湾再生行動計画，2.1 広島湾の現状，pp.4-18, 3/2007.
- 3) 国土交通省中国地方整備局：太田川水系河川整備計画，2.1 流域及び河川の概要，<http://www.cgr.mlit.go.jp/oitagawa/plan2/plan.htm>, pp.4-9, 5/2011.
- 4) 国土交通省河川局：太田川水系河川整備基本方針－基本高水等に関する資料－，第 59 回河川整備基本方針検討小委員会，参考資料 5-1，pp.12-13, 1/2007.
- 5) eco ひろしま～環境情報サイト～：生活環境の保全に関する環境基準類型指定状況，広島県 HP，<http://www.pref.hiroshima.lg.jp/site/eco/e-e4-kokyo-sokutei-gaiyo-no09.html>, 6/2013.
- 6) 環境省：水質汚濁に係る環境基準について，昭和 46 年 12 月 28 日環境庁告示第 59 号（最終改定平成 25 年 3 月 27 日環境省告示 30 号），<http://www.env.go.jp/kijun/mizu.html>, 6/2013.
- 7) eco ひろしま～環境情報サイト～：公共用水域等の水質調査結果，広島県 HP，<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/site/eco/e-e4-kokyo-index.html>.
- 8) 尾川健，松木司，尾花裕士，亀井且博，坂井主動，岡新：感潮河川の底生動物相と生物学的水質評価法の検討（第 5 報），広島市衛生研究所年報，No.10, pp.58-63, 12/1991.
- 9) 阿部真己，今川昌孝，駒井克昭，日比野忠史：河川感潮域での有機泥輸送における塩分の働き，水工学論文集，Vol.54, pp.1645-1650, 2/2010.
- 10) 水産庁，一般社団法人マリノフォーラム 21：砂質系干潟の健全度評価手法マニュアル，5-5 評価方法，pp.17-24, 3/2007.
- 11) 高山百合子，上野成三，湯浅城之：底生生物の出現特性から見た人工干潟の最適底質条件，大成建設技術センター報，Vol.38, pp.08\_1-08\_6, 11/2005.
- 12) 中村幹雄：宍道湖におけるヤマトシジミ *Corbicula japonica* PRIME と環境との相互関係に関する生理生態学研究，第 2 章生態分布，第 2 節ヤマトシジミの分布と底質環境，島根県水産試験場研究報告，Vol.9, <http://www.pref.shimane.lg.jp/suigi/publish/kenkyuhou/kenkyu09/>, 3/1998.
- 13) 公益社団法人日本水産資源保護協会：水産用水基準(2005 年版)，[http://ay.fish-jfrca.jp/kiban/kankyou/hourei/yousui/suisan\\_kijyun.html](http://ay.fish-jfrca.jp/kiban/kankyou/hourei/yousui/suisan_kijyun.html), 3/2006.
- 14) 細川恭史，三好英一，堀江毅：栄養塩溶出速度の温度・DO 存在性について，港湾空港技術研究所資料，No.0405, pp.16-36, 12/1981.
- 15) 鈴木穰，阿部千雅：底泥－水間の物質移動に関する調査，平成 17 年度土木研究所成果報告書，I 環境（水循環・生態系・地球温暖化対策・環境汚染対策など），No.26, pp.381-422, <http://www.pwri.go.jp/jpn/seika/report-seika2005.html#01>, 3/2006.
- 16) 日比野忠史，駒井克昭，福岡捷二，水野雅光：河口干潟地盤内水循環に及ぼす浸透河川水の影響，水工学論文集，Vol.52, pp.1309-1314, 2/2008.
- 17) 国土交通省都市・地域整備局下水道部，財団法人下水道新技術推進機構：生態系にやさしい下水道の促進に向けた手引書（案），Ⅲ資料編，11.生息生物からみた理化学指標の目安，[http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/info/ecosystem/eco\\_download.html](http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/info/ecosystem/eco_download.html), pp.III\_19-III\_25, 9/2002.

- 18) 横浜市公害研究所（現、横浜市環境科学研究所）：魚の死亡事故の原因究明に関する研究報告書、4 酸素欠乏等の魚への生理学的影響  
<http://www.city.yokohama.lg.jp/kanky/mamoru/kenkyu/shiryo/pub/pub0091/>, pp.76-78, 3/1991.
- 19) 国土交通省，広島県，広島市：“水の都ひろしま”構想・概要版，pp.5-9, 1/2003.
- 20) 水の都ひろしま推進協議会：河川空間利活用のリーディングプロジェクト，水辺のオープンカフェ（京橋川オープンカフェ事業概要パンフレット），3/2009.
- 21) 国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所：太田川水系河川整備計画（案）における費用便益分析について【環境】，pp.1-4, 2/2011.
- 22) 広島湾再生推進会議：2.1 広島湾の現状，広島湾再生計画，pp.4-18, 3/2007.
- 23) 国土交通省：Ⅲ健全な自然環境の確保・水循環系の構築，国土交通省環境行動計画，一国土交通行政のグリーン化を目指して一，pp.29-35, 6/2004.
- 24) 国土交通省中国地方整備局，水産庁漁港漁場整備部：瀬戸内海環境修復計画の概要，一自然と共生する恵み豊かな瀬戸内海の修復を目指して一，1/2005.
- 25) 国土交通省中国地方整備局，第六管区海上保安本部：「広島湾行動再生計画」の中間評価について，pp.5-8, 8/2011.
- 26) 山本民次，橋本俊也，松田治，郷秋雄，中口和光，原口浩一：広島湾と周防灘の底質の比較一とくに季節変動と各項目間の関係について一，日本水産学会誌，Vol.74, No.6, pp.1037-1042, 11/2008.
- 27) 水産庁，一般社団法人マリノフォーラム 21：砂質系干潟の健全度評価手法マニュアル，pp.2-3, 3/2007.
- 28) 江崎恭志，江藤拓也：マクロベントス群集から見た福岡湾底質環境の現状と経年変化，福岡県水産海洋技術センター研究報告，No.20, pp.47-52, 3/2010.
- 29) 玉井恭一：第 9 節マクロベントスの分布と生態，第 3 章沿岸生態系を構成する生物の分布と動態，沿岸の環境圏，平野敏行監修，フジ・テクノシステム，pp.244-253, 8/1998.
- 30) 水産庁：4 章干潟及び二枚貝状態診断指針，干潟生産力改善のためのガイドライン，pp.73-104, 2/2008.
- 31) 水産庁：5 章改善のための具体的対策手法，干潟生産力改善のためのガイドライン，pp.105-135, 2/2008.



本章では、石炭灰造粒物を用いた底質改善手法の決定と構築方法、施工方法を検討する手法と必要な事前調査内容等について、具体事例を踏まえて示す。

## 4.1 事前調査の目的と設計条件の検討方法の選定

### 4.1.1 石炭灰造粒物を用いた底質環境の改善機構

石炭灰造粒物を用いた底質環境の改善手法は、間隙水の流動改善を目的のための「透水層の構築」と「覆砂状の被覆」に分類される（図-4.1.1 参照）。透水層構築手法の期待効果は、DO 供給による酸化状態の維持と有機物の分解ならびに栄養塩の削減などであるが、生物種の増加と多様化も含まれ、栄養塩を生物生産に継続的に有効利用する抜本的改善方法に該当する。また、動植物の育成基盤の創造は「透水層の構築」や「覆砂状の被覆」を応用している。

本節では、図-4.1.1 に示す構造的な手法ごとに石炭灰造粒物を用いた底質環境の改善機構を概説する。

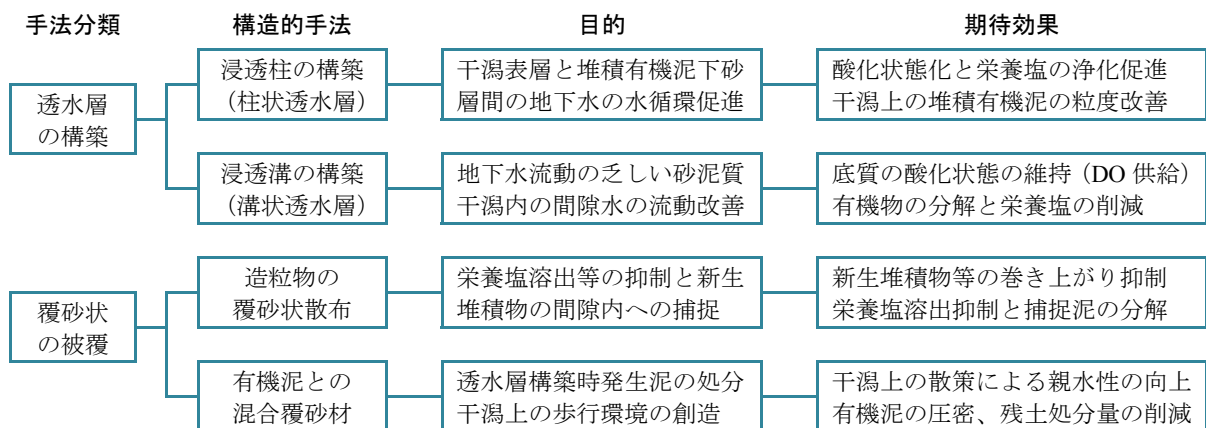


図-4.1.1 石炭灰造粒物を用いた底質環境の改善手法の体系

#### (1) 浸透柱（柱状透水層）手法

浸透柱（柱状透水層）による底質環境の改善手法は、浚渫、覆砂や底質改良剤の散布とは異なり、潮汐干満による干潟地下水の循環を利用して、干潟に堆積する有機泥内に酸素を供給することで、有機物の嫌気性分解を減らして、干潟の泥化の悪循環を断ち切り、生物生息環境の改善を目指すものである。

浸透柱の築造は、先ず干潟表層に 0.5m 程度の厚さで堆積したシルト・粘土層（有機泥）を直径 0.4m 程度の円柱状に掘削廃土して、その下層にある砂層まで達する円柱状の穴を削孔する。この円柱状の空隙に礫状の石炭灰造粒物を投入することで、周囲のシルト・粘土層に比べて透水性が高く、干潟表面と下部の砂層を繋ぐ「浸透柱」が築造される。

浸透柱は、潮汐の干満により上下動する直上水位（河川水位）と堤内地下水位との水頭差によ

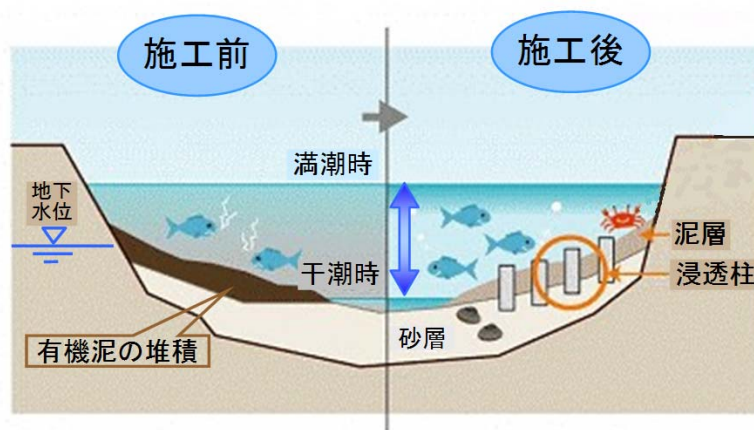
る干潟表層と堆積有機泥下砂層の間の地下水流を利用して、浸透柱周辺の水循環を促進させる。その結果、干潟堆積有機泥への酸素供給が促進され、有機物の分解により有機泥の細粒分が減少するなど、干潟における生物の生息環境が改善される。浸透柱による底質改善技術のイメージを図-4.1.2に、底質改善機構の概要を図-4.1.3に示す。石炭灰造粒物により構成された浸透柱は水循環による酸素の供給だけでなく、接触する泥層間隙水内に酸化物を溶出して、泥内の還元状態を緩和するとともに泥内土粒子と間隙水の流動性を向上させる。

また、写真-4.1.1には直径約0.4mの浸透柱単体、写真-4.1.2には旧太田川空鞆橋下流左岸で1.5m間隔に設置した浸透柱を示す。なお、写真-4.1.1の浸透柱単体は施工後21ヶ月の撮影（施工：2005年12月、撮影：2007年9月）であり、干潟有機泥表面の低下（細粒分の掃流）により数cm表面に突出した状態になっている。

石炭灰造粒物を用いた浸透柱などの透水層は、3ヶ年程度の経過後も造粒物層内の間隙水の流動性が継続しているが、一部の浸透柱において、造粒物と間隙に入り込んだ泥との凝結により流動性に支障をきたした事例が確認されている。その要因の一つは施工時における細粒の造粒物の混入である。細粒分を多く含んだ石炭灰造粒物を投入した場合には、細粒が沈降泥を捕捉しながら凝結して塊状になる現象が起こる（写真-4.1.3参照）。

次の要因は浸透柱下端の砂層への未到達にある。浸透柱内に入り込んだ沈降泥は、粒径の大きい粒子が浸透柱上層で捕捉され、分級されながら細粒が下層まで到達する<sup>1)</sup>。浸透柱内の間隙水は、潮汐の干満により流向が下向きと上向きに交番する。下向きの流れにより浸透柱下端では沈降泥細粒による目詰まりが発生するが、上向きの流れにより目詰まりを抑制している<sup>1)</sup>。浸透柱内に間隙水の流動がない場合には、沈殿・滞留した沈降泥が圧密されて造粒物と固結する現象が起こる。

したがって、石炭灰造粒物を用いた透水層の構築に際しては、細粒物を分級除去するとともに、浸透柱の場合には下端を砂層に着底させるなどにより、間隙水を滞留させないことで凝結現象を防止できる。また、造粒物層内に捕捉された有機泥は、造粒物層間隙水の流動により分解が促進されることで、造粒物層は間隙を保持していると考えられる。



出典) 浸透柱による河川底質改善技術 (中国電力株式会社、2010 エネルギアグループ CSR 報告書、pp.46、8/2010) 掲載図を加筆転載

図-4.1.2 浸透柱による底質改善技術のイメージ

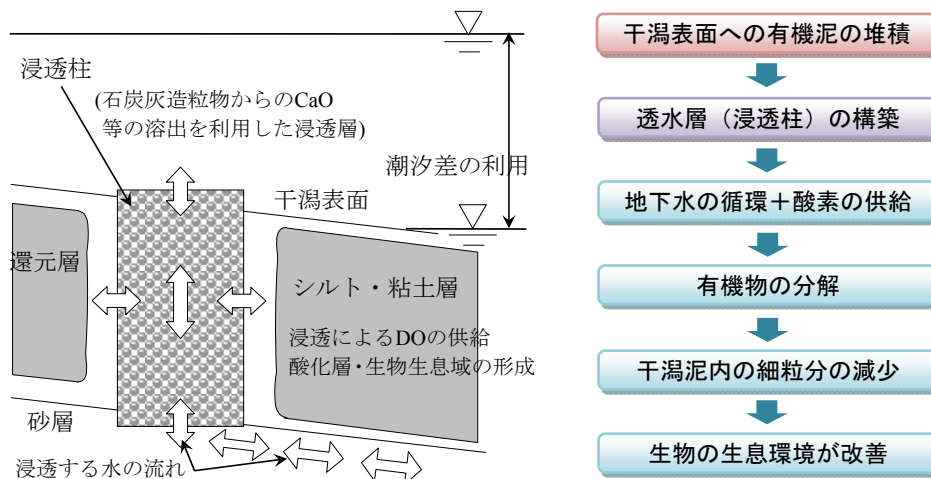


図-4.1.3 浸透柱（柱状透水層）による底質改善機構の概要<sup>2)</sup>



(直径約 0.4m、2007 年 9 月撮影)

写真-4.1.1 施工後 21 ヶ月の浸透柱



(直径約 0.4m、2007 年 9 月撮影)

写真-4.1.2 干潟に 1.5m 間隔で設置した浸透柱<sup>3)、4)</sup>



写真-4.1.3 微細粒子による石炭灰造粒物の凝結状況



## (2) 浸透溝（溝状透水層）手法

護岸の耐震強化を目的とした干潟背後護岸への鋼矢板の設置などにより地下水の流動が乏しい河口部の干潟では、堆積した有機泥の影響や水位変動に伴う底泥内への DO の供給不足によって、底質悪化がさらに進行することが予想される。一方、浸透柱（柱状透水層）による水循環の促進は、干満により上下動する干潟直上水位と堤内地下水位との水頭差による表層と地下砂層の間の地下水流を利用する機構であり、地下水流動（干潟地層の間隙水流動）の乏しい干潟への適用には間隙水の流動を確保する機能の付加が必要となる。具体的には、干潟内の間隙水の流動を改善させるために、透水性の高い材料（透水層）を溝状に敷設し、干潟地形の勾配や水位の変動を利用することによって水循環を形成させることが必要である。この間隙水の流動改善によって、底泥内への DO の供給、底質環境の酸化状態の維持、緩い地盤状態の保持などの効果が期待される。

溝状の透水層設置による底質改善機構（イメージ図）を図-4.1.4 に示す。また、写真-4.1.4 は溝状透水層の施工状況写真である。砂泥質（細粒分が 20%程度以下）干潟に溝状透水層を設置することにより、干潮時には空隙率の大きい（透水性の高い）透水層の方が底泥内よりも水位の低下が大きく、大気中からの DO の供給量が底泥内よりも増加することが期待される。また、透水層内の水位変動幅は底泥より大きく、透水層と周辺底泥内での水位差に起因した水循環が促進される。さらに、透水層の構成材料に石炭灰造粒物を用いることにより、底泥内の還元状態を緩和するとともに泥内土粒子と間隙水の流動性を向上させる。DO の供給量の増大ならびに水循環が促進されると、微生物の活性化により有機物の分解、栄養塩の削減などの底質改善が図られるとともに、生物種が増加・多様化する。

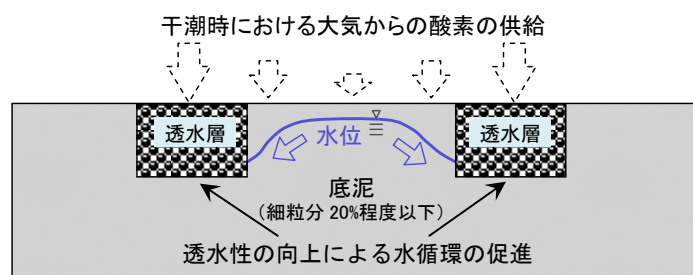


図-4.1.4 浸透溝（溝状透水層）による底質改善機構の概要<sup>5)</sup>

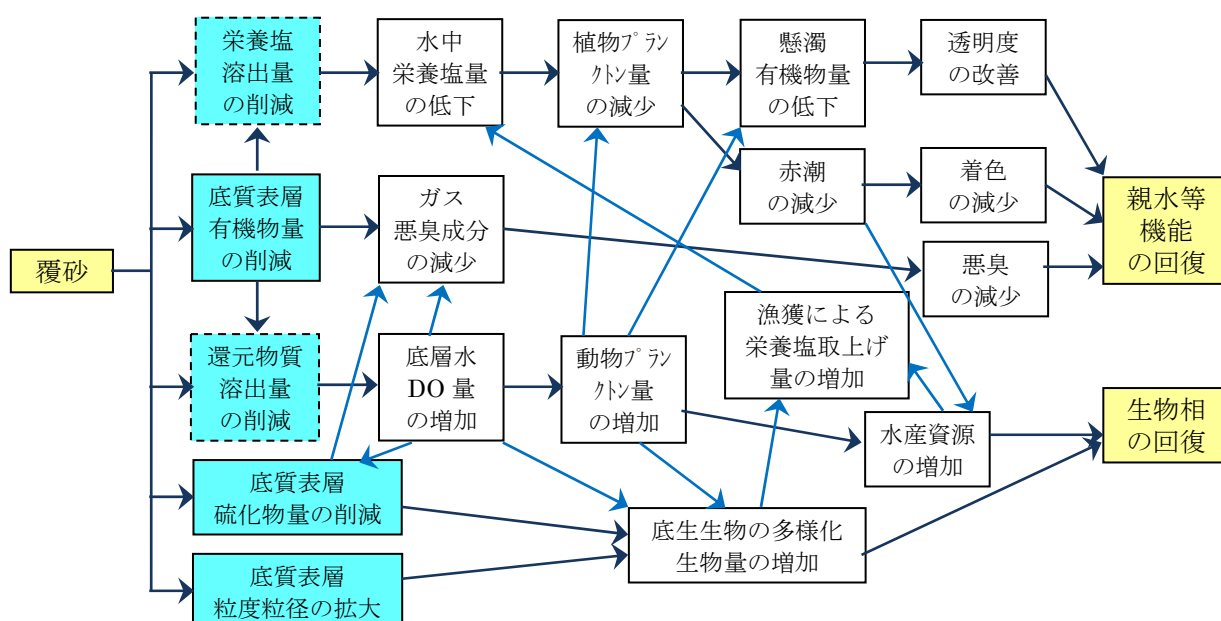


写真-4.1.4 浸透溝（溝状透水層）の施工状況

### (3) 覆砂状散布手法

底泥を被覆する覆砂は在来底泥と低層水の接触を断つことにより、底泥の巻き上げ抑制、栄養塩の溶出抑制、低層水の酸素消費速度の抑制（還元物質の溶出抑制）や底質表層の粒度を改善し、親水等機能と生物相を回復する効果を有する（図-4.1.5 参照）。一方で水底に散布される覆砂には、浮遊有機泥の再堆積（新生堆積物）による覆砂機能の経年的低下の課題がある。

これに対して間隙の大きい石炭灰造粒物による覆砂は新生堆積物を造粒物間の空隙に捕捉して層表面への堆積を抑制する。さらに、石炭灰造粒物は酸化物を溶出して、造粒物間隙内に捕捉した堆積泥および底泥から溶出する栄養塩や硫化水素を吸着するとともに、泥内に蓄積された電子および  $H^+$  を消費して還元状態の緩和と弱アルカリ環境の形成により、ODU や硫化水素の溶出を抑制する。また、造粒物表面に珪藻類の生物膜を形成して、食物連鎖による有機物や栄養塩類などの物質循環を形成する（図-4.1.6 参照）。



出典) 覆砂の効果・影響範囲の概念フロー（福岡市港湾局、エコパークゾーン香椎地区[御島]シーブルー事業効果把握調査報告書、pp.17、6/2004）掲載図を参考に作成

図-4.1.5 覆砂の効果（一般的効果）

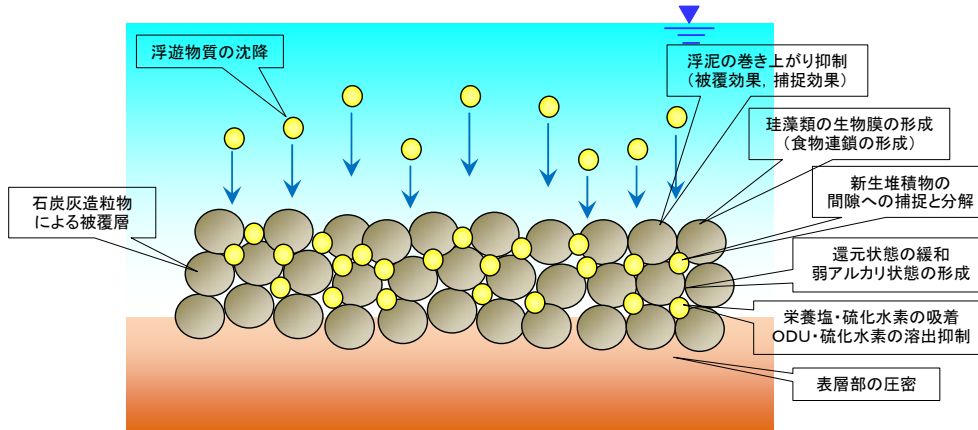


図-4.1.6 石炭灰造粒物による覆砂効果の概要

#### (4) 混合覆砂材手法

広島市街地に近接する太田川市内派川感潮域干潟の表層に堆積する有機泥は、50%程度の細粒分と5~10%の有機物を含むので、60~90%程度の高含水比状態を維持し地耐力を有しておらず親水性の阻害要因の一つとなっている。また、浸透柱などの透水層の設置に伴い発生する残土は高含水比の有機泥であり、未処理での再利用は難しい性状である。

細粒分割合の高い有機泥は石炭灰造粒物の添加により、液性限界 ( $w_L$ ) が低下する一方で、塑性限界 ( $w_P$ ) が高くなるので、塑性指数 ( $I_P$ ) が低下して吸水時の強度低下傾向が改善される。2mm以下に分級した石炭灰造粒物を用いた混合試験では、石炭灰造粒物の体積比50%の混合により塑性指数は混合前の40程度から10程度まで低下している<sup>6)</sup>。

また、石炭灰造粒物の含水比は造粒時点で11~16%、出荷時平均含水比で23%であり、石炭灰造粒物混合土の最適含水比である30~40%と比較して低いので、乾燥状態の石炭灰造粒物の混合には含水比低下による強度増加の即効性がある。

石炭灰造粒物混合土の養生環境が気中の場合には、養生日数とともに含水比が低下し強度が増加する。一方、水中養生や乾湿交番養生の場合には、含水比が概ね一定で乾燥しないので、養生日数に関わりなく一軸圧縮強度の変動が小さいが<sup>6)</sup>、干潟の歩行を可能にする程度の強度を有するとともに、カニなどの巣の造穴を妨げない程度に固結する有機泥と石炭灰造粒物が主材料の改質土を得る。

石炭灰造粒物混合土は軟弱な干潟上に“散策道”や“テラス”を構築して、干潟上の歩行散策が可能な環境を整える(図-4.1.7参照)。さらに、干潟有機泥の巻き上がり量の低減や造粒物からの酸化物の溶出により、周辺の水域環境を改善する効果も有すると考えられる。写真-4.1.5は混合後4年半経過した固結有機泥の状況である。微細粒子は凝集(団粒化)して砂礫土の外観を呈している。



図-4.1.7 混合覆砂材による散策道構築の概要



写真-4.1.5 混合後4年半経過した固結有機泥(天満川)

## 4.1.2 底質環境改善手法の施工

### (1) 浸透柱（柱状透水層）の施工方法

浸透柱（柱状透水層）の施工フローを図-4.1.8に示す。浸透柱の施工は、先ず有機泥下の砂層までケーシングを建てこみ掘削に伴い干潟表層に堆積した有機泥が掘削孔内に崩壊するのを防ぐ。次にケーシング内の有機泥を砂層まで掘削排土し、空隙に石炭灰造粒物を投入・充填した後、ケーシングを引き抜いて浸透柱の築造を完了する。

浸透柱を施工する感潮域の干潟では、干潟の水没時の作業や重機施工の可否を考慮した施工法の選定が必要である。本項では既に実用化されている2種の掘削・排土工法を概説する。

#### a) 円柱半割バケット工法

円柱半割バケット工法は、先端がやや細くなった円柱半割バケットを回転させながら穴を掘り進め、所定の深さに達した後、バケットを閉じながらバケット先端部分に圧縮力を作用させて、バケット内に閉じ込めた土砂を取り出す工法である。円柱半割バケット工法の概要を図-4.1.9に示す。

ケーシング内の掘削土を取り出す際には、バケットの先端部分に圧縮力を作用させるので、粘着性のある土であれば確実に取り込める。本工法では1工程で1本の掘削が可能となる。バケット内の土の排土は、バケット自体が大きく開くので、粘着力の強い泥でも容易に排土できる。また、このバケットはバックホウアタッチメント方式であり、取り外しも可能で利便性に優れている。

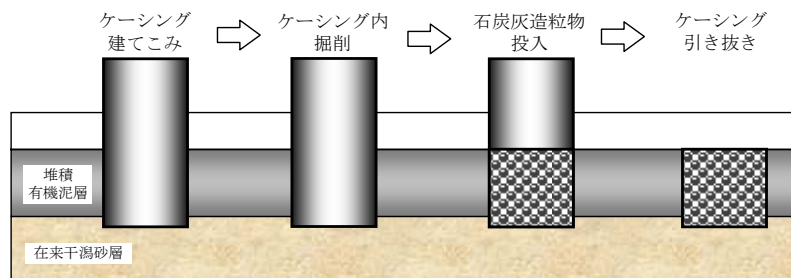


図-4.1.8 浸透柱の施工フロー図<sup>7)</sup>

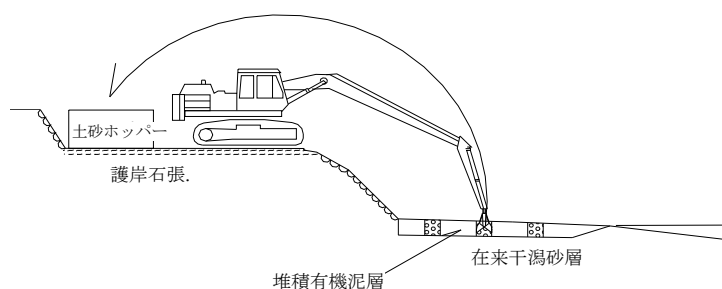


図-4.1.9 円柱半割バケット工法の概要<sup>7)</sup>



## b) 真空ポンプ工法

真空ポンプ工法では、ケーシングを設置し、ケーシング内の有機泥をウォータージェットで乱しながら、真空ポンプにより排土する工法である。真空ポンプ工法の概要を図-4.1.10に示す。

真空ポンプ工法は、重機の搬入が困難な場所での施工や干潟表面が水没した状態での施工を容易する特徴を有する。一方で排出された有機泥は高含水比の攪拌土になるので、再利用などに際しては中間処理が必要になる。

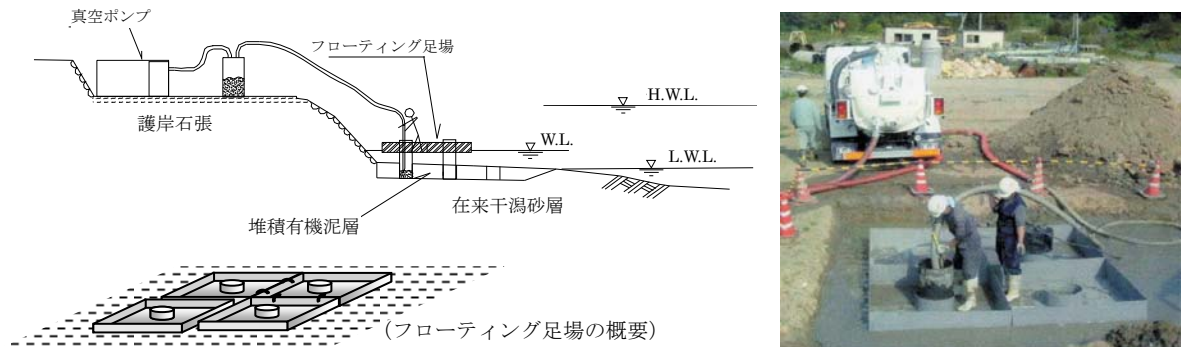


図-4.1.10 真空ポンプ工法の概要<sup>7)</sup>

## (2) 浸透溝（溝状透水層）の施工方法

浸透溝の施工は、潮待ち作業として干潮時に実施する。広島市中区南千田東町7番地地先（元安川と京橋川の合流点）での施工状況を写真-4.1.6に示す。

### a) トラフィカビリティの確保

軟弱な干潟上に型枠合板を敷き並べてトラフィカビリティを確保する。型枠合板によるトラフィカビリティの確保が難しい程に干潟表面が軟弱な場合には、石炭灰造粒物を敷き均す方法もある。敷き均した石炭灰造粒物には、次節で論ずる覆砂の効果が期待できる。

### b) バックホウによる溝の掘削

透水層を設置する溝は、干潟地盤を河川横断方向（河川中心部方向）に干潟勾配に沿って掘削する。南千田東町7地先では、小型バックホウ（バケット容量：0.022m<sup>3</sup>、重量：0.7t）を用いて、幅0.5m、深0.3mの溝を掘削した。また、透水層を設置する地盤高は、満潮位と干潮位間の潮感帯となる。

### c) 石炭灰造粒物の溝内敷き均し

掘削した溝内に石炭灰造粒物を投入・敷き均して透水層を構築する。南千田東町7地先では、ゴムクローラキャリア（エンジン出力：10.5PS、重量：0.9t）を用いて、石炭灰造粒物を運搬・投入し、人力により敷き均した。

### d) 成形と整地

河川水の滞水を防止するための不陸整正と掘削残土の搬出・敷き均しを行う。南千田東町7地先では、ナルトビエイやチヌ（クロダイ）によるアサリの食害痕が多数確認されているので、防護ネット（網目間隔約14mm）で覆い、アサリの稚貝の着生と生育状況の観測に供した。

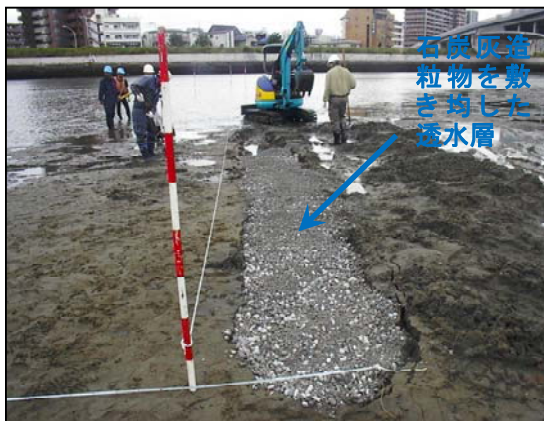




(バックホウによる溝の掘削)



(石炭灰造粒物の溝内投入・敷き均し)



(バックホウによる透水層周辺の成形・整地)



(完成写真、計測機器の設置状況)

写真-4.1.6 浸透溝の施工手順 (広島市中区南千田東町7番地地先での施工例)<sup>8)</sup>

### (3) 覆砂状散布の施工方法

#### a) 施工機械の概要

石炭灰造粒物を用いた覆砂の施工機械には、中央粒径が 20mm 程度の覆砂材を均一な薄層に散布する施工能力が求められる。2009 年 5 月～6 月に実施された海田湾 (水深 7～10m) での試験施工では、敷き均し作業が不要な“ベルトコンベア方式薄層撒出し工法 (NETIS 登録 No.CGK-070001-V)”が採用された<sup>9)</sup>。本薄層撒出し工法は、図-4.1.11 の概念図に示すように、覆砂材をベルトコンベアのホッパーから定量に切り出し、ベルトコンベア上のスクレーパにより、横方向に均一な滝 (俗称ナイアガラの滝) のような状態で落下させることにより撒出し。撒出し厚は、ベルトコンベア速度および作業台船の移動速度を変えることにより、覆砂層 5cm～50cm 程度までを自由に設定することが可能で、均一な撒出しにより均し作業が不要となる<sup>10)</sup>。

作業能力は、施工可能水深：1.5m～10m 程度、施工可能覆砂材粒径：細粒～40mm 程度である。作業限界は、波高 ( $H_{1/3}$ )：0.7m、風速：10m/sec、潮流：0.3m/sec (水深 ≤ 3m) ～0.1m/sec (水深 ≥ 3m) 以下である<sup>10)</sup>。

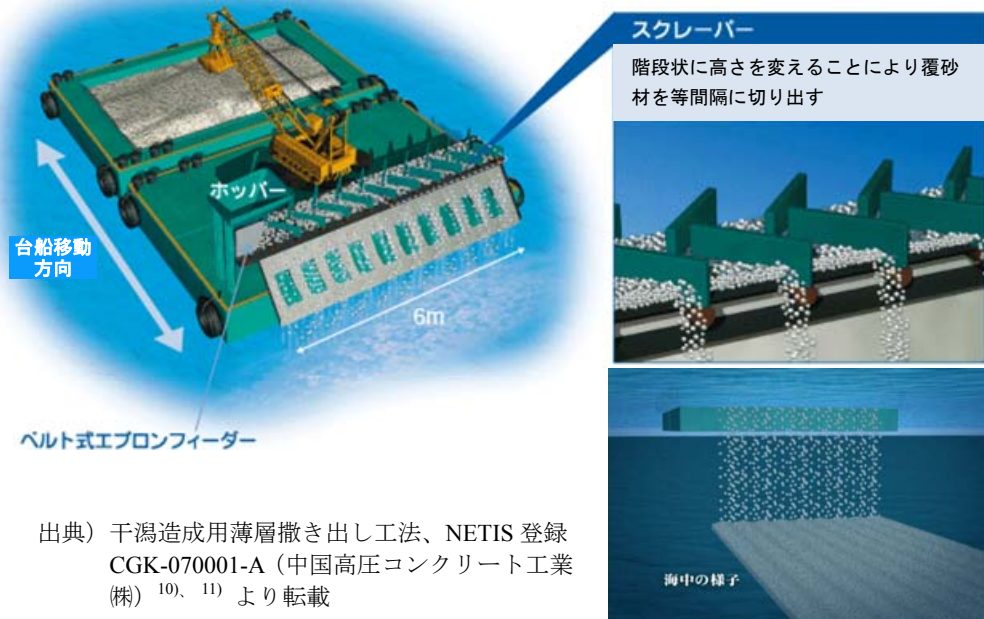


図-4.1.11 スクレーパ付きベルトコンベア方式薄層撒出し工法の概念図

#### b) 試験施工の概要

試験施工は、約 6ha の海域を設計覆砂厚が 5cm、10cm、20cm の 3 区画に分割して行われた。設計散布量は、各区画ともに 2cm 相当のめり込みによる割り増しを加えて、7cm、12cm、22cm に設定された。石炭灰造粒物の散布は、先ず全域（3 区画）に 7cm 厚で撒出し、その後に所要の層厚分を撒出すことで、散布量の最小化が図られた<sup>9)</sup>。散布量の設計値に対する平均厚さ誤差は+23%～+24%で、標準偏差は中央粒径の 2cm 以下であり、高い施工精度が確認されている<sup>9)</sup>。

#### c) 施工時のめり込み量

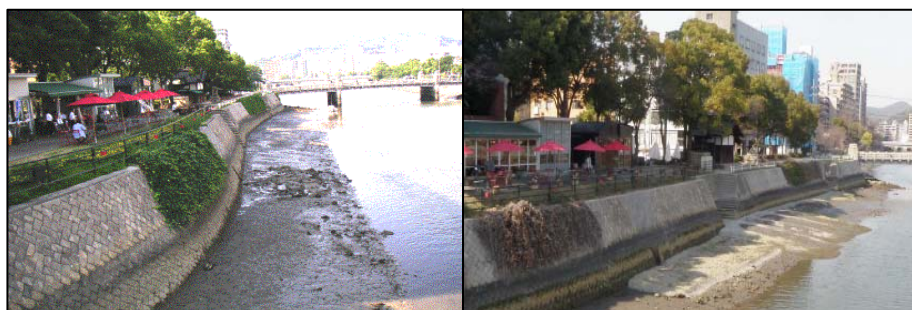
石炭灰造粒物の底泥へのめり込み量は 3～7cm 程度で、7cm 厚の一層目の薄層撒出し時に著しいめり込みが生じている。二層目の撒出し時には、海底面への衝突応力が分散することでめり込みが殆ど生じず、薄層分割撒出しは二層目の散布量の多少に係わらずめり込み量を最小限に留めることが可能なことを明らかにしている。また、試験施工の結果から、覆砂材散布の施工前の底泥の表層 0～2cm の含水比分布とめり込み量の分布に良い一致が見出されて、めり込み量の関係式が導かれている<sup>9)</sup>。

## 4.2 事前調査項目の整理

### 4.2.1 河岸干潟底質改善実証試験の目的

都市を流れる河道の環境再生を目的に、広島デルタを貫流する太田川水系の京橋川河岸干潟(写真-4.2.1)を環境改善対象として石炭灰造粒物を用いた底質改善実証試験事業(産官学プロジェクト)が進められた。

本節の研究目的はヘドロ堆積干潟において安全で費用対効果の高い作業場を石炭灰造粒物により構築し、作業場そのものも底質改善を促進する手法を開発することである。提案する作業場は施工後に仮設作業床の撤去が不要で、遊歩道等に活用でき、底質改善事業のB/C向上が望める新たな作業場構築技術を検討した。事業実施に必要な作業場構築技術を開発するため、事前調査による干潟の詳細評価、作業場構築技術の検討、実証試験区の設計と構築を行なった。そして、実証試験区のモニタリング調査により干潟再生と作業場構築技術の検証・評価を実施した。



(実証試験前 2009年12月)

(実証試験区構築後 2011年3月)

写真-4.2.1 京橋川オープンカフェ沿い干潟<sup>12)</sup>

### 4.2.2 事前調査の段階において調査が必要な項目の整理

当該干潟において、底質環境等の現況を把握するとともに、環境改善の方法を検討する上での基礎データ収集を目的として事前調査を実施した。事前調査の段階において調査が必要な項目の整理は、表-4.2.1に示すとおりである。

表-4.2.1 (1) 事前調査の段階において調査が必要な項目の整理 (地盤状態)

地盤状態	段階		
	事前 (机上検討)	①現地踏査	②現地調査
調査項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>地形図から流れの特性、利用できる地物の確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地耐力・有機泥堆積厚 (ポール等の貫入)</li> <li>地盤高 (水位との関係、可能であれば潮位変化に依ずる干潟地形の確認)</li> <li>改善対象範囲の設定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地形測量</li> <li>泥厚分布測量</li> </ul>
選定基準	<ul style="list-style-type: none"> <li>全ての対象箇所において事前の机上検討が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>机上検討では分からない現地情報がある場合、上記項目を実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>具体的に環境改善手法の選定・設計を行う上で必要な項目を実施</li> </ul>
京橋川実証試験の実施項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>当該地区の測量成果 (地形データ)</li> <li>河床部の構造物</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>有機泥堆積厚 (ポール等の貫入)</li> <li>地盤高</li> <li>改善対象範囲の設定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>干潟平面分布</li> <li>干潟コア断面 (コア採取)</li> <li>土壌硬度</li> </ul>

表-4.2.1 (2) 事前調査の段階において調査が必要な項目の整理（水質、流況）

水質、流況	段階		
	事前（机上検討）	①現地踏査	②現地調査
調査項目	・洪水履歴、洪水流下能力、擾乱の有無の確認	・護岸等からの地下水（浸透水）の流出状況	・塩分・水温・栄養塩（定点観測） 水温・塩分・DO・COD（貧酸素期の連続観測）等
選定基準	・全ての対象箇所において事前の机上検討が必要	・机上検討では分からない現地情報がある場合、上記項目を実施	・具体的に環境改善目標を設定する上で必要な項目を実施
京橋川実証試験の実施項目	・当該干潟・水域の環境調査結果 ・当該干潟部周辺の護岸構造	・干潟地盤内にパイプを押し込むことによる地下水の湧き出し状況	・塩分・水温・pH・DO・クロロフィルa・濁度

表-4.2.1 (3) 事前調査の段階において調査が必要な項目の整理（底質、生物生息）

底質、生物生息	段階		
	事前（机上検討）	①現地踏査	②現地調査
調査項目	・下水の放流状態、臭気の起源の確認	・臭気の確認 ・底生動物の生息状況 ・底生藻類の繁茂状況	・含水比、有機物の含有量（燃烧特性、底生動物・底生微細藻類、底泥内5～20cmの水温・塩分クロロフィルの連続観測）
選定基準	・全ての対象箇所において事前の机上検討が必要	・机上検討では分からない現地情報がある場合、上記項目を実施	・具体的に環境改善目標を設定する上で必要な項目を実施
京橋川実証試験の実施項目	・当該干潟・水域の環境調査結果	・現地での臭気の確認 ・底生動物・底生藻類の目視確認	・硫化物、強熱減量、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素、リン酸態リン、粒度組成 ・底生生物（個体数、湿重量及び出現種類数）

表-4.2.1 (4) 事前調査の段階において調査が必要な項目の整理（輸送沈降物量（堆積速度））

輸送沈降物量（堆積速度）	段階		
	事前（机上検討）	①現地踏査	②現地調査
調査項目	・堆積速度の推定	—	・河川への輸送・沈降有機泥量 ・沈降有機泥中の有機物量とその性状
選定基準	・全ての対象箇所において事前の机上検討が必要	—	・具体的に環境改善手法の選定・設計を行う上で必要な項目を実施
京橋川実証試験の実施項目	・当該干潟・水域の環境調査結果 ・既往研究を参考	—	—



## 4.3 事前調査方法

### 4.3.1 干潟環境の事前調査

図-4.3.1 に実証試験対象地区の位置図、写真-4.3.1 に施工前の干潟の状況を示す。対象干潟には高有機質の微細泥（有機泥）が還元的に堆積し親水性は低い状況にある。親水性、多様性の高い干潟再生に必要な要因分析と対策方針を検討するため、2009年12月～2010年2月に干潟環境の事前調査（干潟の地形・性状、地下水流動、河川水質、底質、生物調査等）を行った。

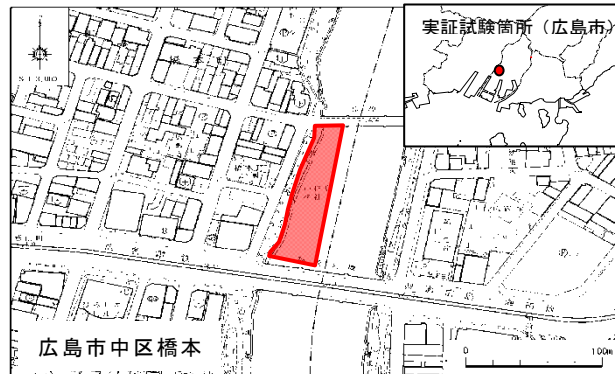


図-4.3.1 京橋川オープンカフェ前面 干潟再生実証試験位置図<sup>12)</sup>



写真-4.3.1 京橋川オープンカフェ沿い干潟の状況(2009年12月)<sup>12)</sup>

## (1) 干潟の地形と表層の性状

干潟上を踏査し、干潟の平面分布状況の観察・写真撮影等を行った。併せて、干潟のコア採取を行い、底質の各層を確認した。

河床調査イメージ図は、**図-4.3.2**に示すとおりである。

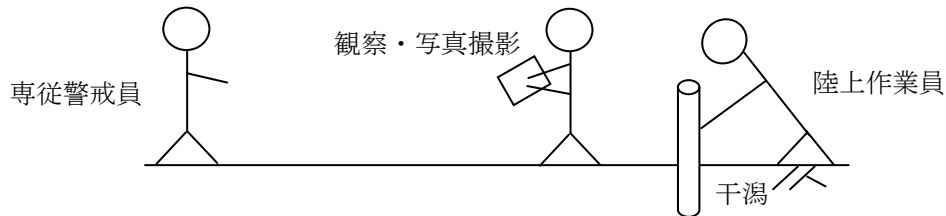


図-4.3.2 河床調査イメージ図

対象地域では塑望時潮位差が4mあり、大潮干潮時には河岸に幅15m程度の干潟が出現する。干潟地盤上には河口から運ばれた有機泥が最大で1m程度堆積し超軟弱な地盤となっている。

有機泥の堆積状況を**図-4.3.3**と**図-4.3.4**に示す。

干潟地盤には、数十cmの厚さで有機泥が砂層上に堆積していた。有機泥厚の厚い箇所では1m以上、深度約0.5m以深では護岸整備時からあると考えられるガレキの占める割合が多くなっている。

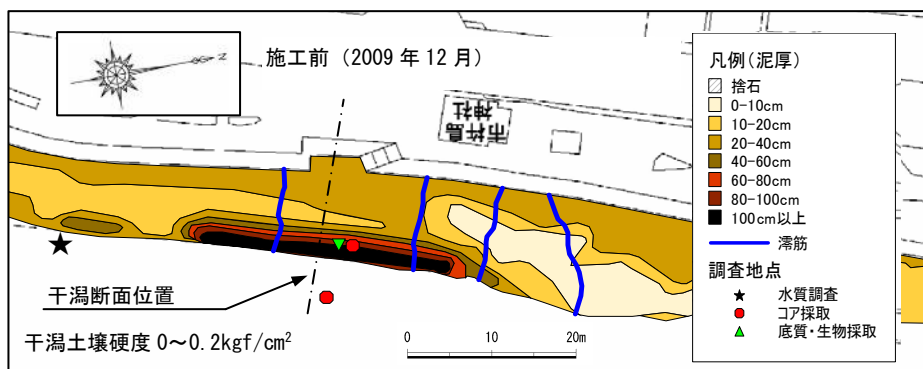


図-4.3.3 事前調査時の干潟のヘドロ（高有機泥）堆積状況<sup>12)</sup>

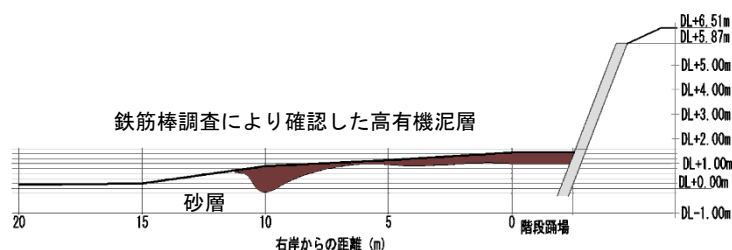
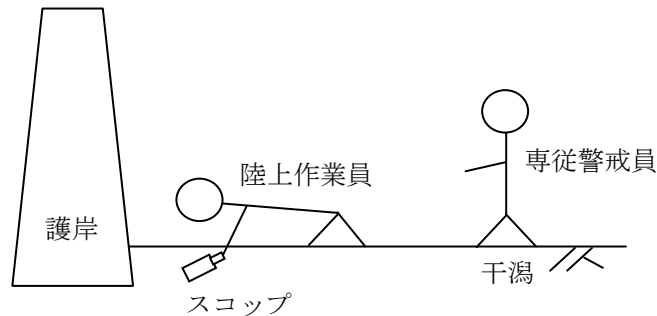


図-4.3.4 対象干潟断面図（**図-4.3.3**の干潟断面位置）<sup>12)</sup>

## (2) 地下水流動の状況

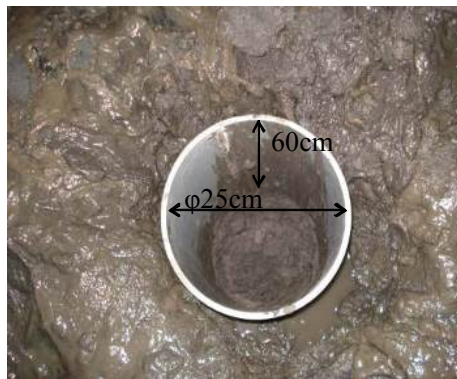
スコップで護岸際付近の底泥の掘削を行い、泥厚や護岸背後からの水の湧き出し状況の確認を行った。

掘削調査イメージ図は、**図-4.3.5** に示すとおりである。



**図-4.3.5** 掘削調査イメージ図

広島デルタ河川では潮汐変動によりデルタ地下と河道内には水位差が生じデルタ地下から河道内に地下水が流出している。対象域における地下水の流入を調査した。護岸際付近では、深度約0.4 m 付近の砂層から地下水の湧出があり、護岸背後からの流出水も確認された。しかしながら干潟地盤内に挿入したコアパイプでは、地下水の流動状況は確認できず（**写真-4.3.2** 参照）、干潟有機泥層には、地下水の水循環は形成されていなかった。



**写真-4.3.2** コアパイプによる地下水流動状況確認<sup>12)</sup>

## (3) 底質と土壌硬度

干潟上の底泥をスコップで2リットル程度採取し、試験室に持ち帰って底質の分析を実施した。底質調査イメージ図は、**図-4.3.6**に示すとおりである。

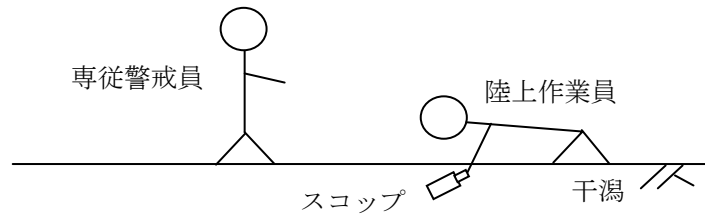


図-4.3.6 底質調査イメージ図

底質調査結果を**表-4.3.1**に示した。底質の強熱減量値は8.4%、シルト・粘土分が約8割を占めており、広島湾沿岸域に堆積する有機泥に近い特性であると考えられる。干潟土壌硬度は0.0～0.2 kgf/cm<sup>2</sup>（土壌硬度計による測定）であり、超軟弱地盤である。土壌硬度の分布は一様に小さい傾向を示しており区域ごとによる違いは把握できなかった。

表-4.3.1 底質調査結果<sup>12)</sup>

項目	京橋川右岸地区 代表地点
硫化物(mg/g)	0.02
強熱減量(wt)%	8.4
アンモニア態窒素(mg/l) <sup>※</sup>	1.54
亜硝酸態窒素(mg/l) <sup>※</sup>	0.005
硝酸態窒素(mg/l) <sup>※</sup>	0.022
リン酸態リン(mg/l) <sup>※</sup>	0.073
粒4.75mm以上の粒子	0.1
度 細礫分	0.3
組 粗砂分	3.9
成 細砂分	16.5
% シルト分	51.8
粘土分	27.4

※ 底泥中の間隙水について採取・分析



(4) 生物調査

干潟上の底泥をスコップで2リットル程度採取し、試験室に持ち帰って生物の分析を実施した。生物調査イメージ図は、図-4.3.7に示すとおりである。

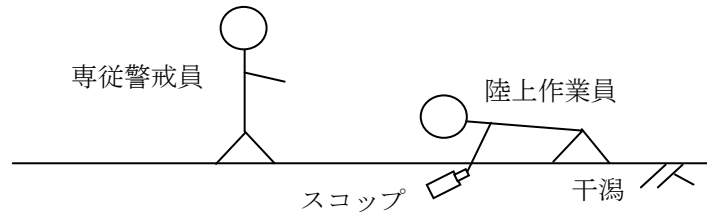


図-4.3.7 生物調査イメージ図

コドラート (0.25 m×0.25 m) を用いて深さ 5 cm までの干潟泥を採取した結果 (図-4.3.8 参照)、軟体動物 2 種、環形動物 7 種、節足動物 3 種の計 12 種を確認した。環形動物 (ゴカイ類) が主な生息種であり、Heteromastus 属 (イトゴカイ) の生息が多く干潟の生物相は貧弱であった。

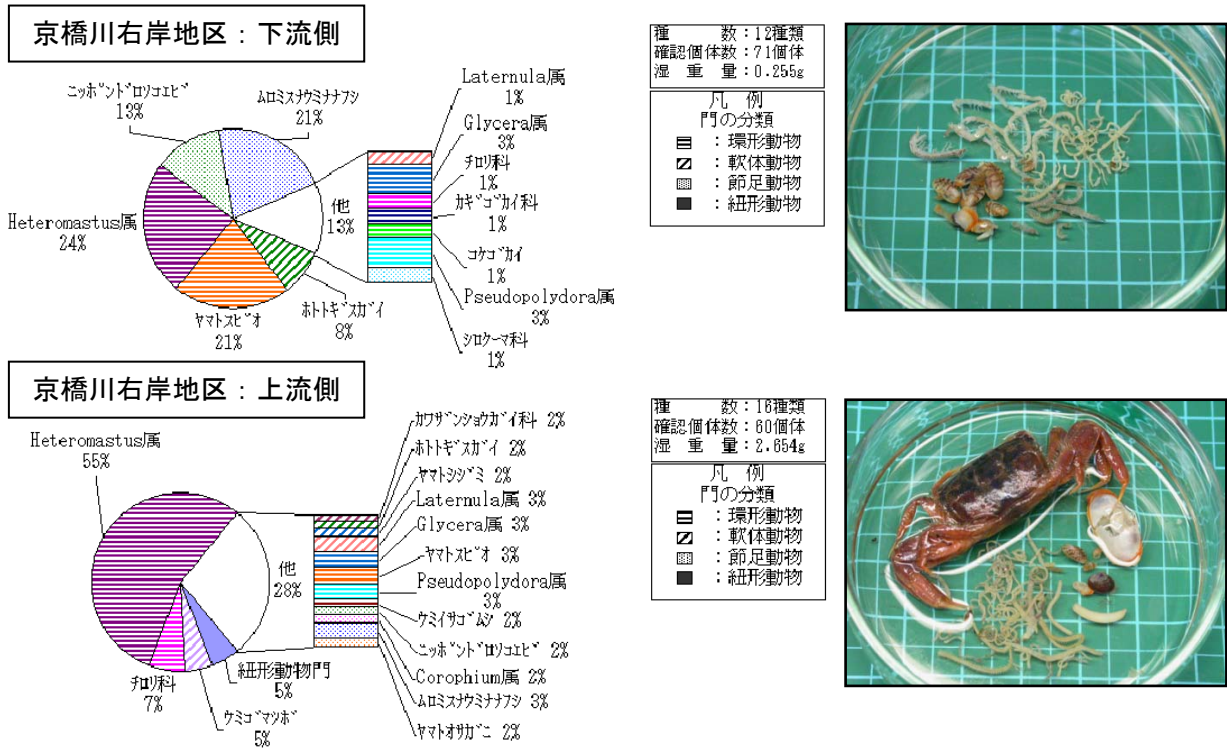


図-4.3.8 生物調査結果

#### 4.3.2 事前調査に係る現況評価

既存資料及び事前調査を踏まえた現況評価は、表-4.3.2に示すとおりである。

当該干潟では、有機泥が厚く堆積しており、底質が悪化している状況にある。また、地下水の流動も乏しく、地盤内の水循環が形成されていない状況にあると考えられる。

表-4.3.2 現況評価

項目		現況
1.既存資料	a.水質 (市内派川全域)	近年では水質汚濁が進んでおらず、安定傾向にある。
	b.底質 (市内派川全域)	近年では安定傾向にある。 (京橋川域では、有機物含有量等が高い傾向であった)
	c.生物 (市内派川全域)	平成2年調査では、ヤマトシジミ等が確認されている。
	d.干潟付近の護岸構造 (当該箇所)	耐震矢板が設置されており、地下水の流動を阻害している可能性が考えられる。
2.現況調査	a.干潟基盤 (当該箇所)	数十 cm の厚さで有機泥が堆積していた。 (有機泥厚の厚い箇所では 1m 以上) 深度約 0.5m 以深では石の占める割合が多くなった。 深度約 1.1m 以深では若干の砂層が確認された。
	b.地下水の流動状況 (当該箇所)	当該干潟部において、地下水の流動は、ほとんど見られなかった。 (水循環は形成されていなかった) 一方、護岸際付近では、深度約 0.4m 付近の砂層から湧き水が発生し、護岸背後からの流入水も確認された。
	c.水質 (当該箇所)	上げ潮期に塩分・クロロフィル a の遡上が確認されていることから、有機泥も浮遊・輸送され、干潟上に沈降・堆積していることが予想される。
	d.底質 (当該箇所)	有機物の含有量(強熱減量)が多く、シルト・粘土分が約 8 割を占めていたことから、底質環境は悪化していると考えられる。
	e.生物 (当該箇所)	全般的に環形動物(ゴカイ類)が多く生息しており、生物相は貧弱であることが考えられる。

## 4.4 施工範囲、石炭灰造粒物層の構築方式の決定

### 4.4.1 構築方式の検討

#### (1) 干潟機能再生の考え方

大潮干潮時に出現する 15m 程度の干潟を再生対象として実証試験区を設定した。干潟機能再生のため、①干潟堆積ヘドロ層内の水循環（底層還元化の抑制）および②親水性機能を向上させる歩行可能地盤を構築する。

①の手法として河岸堆積泥内と表層に透水性の高い浸透層を構築する。浸透層での地下水の循環機構は広島デルタ河川の特徴であるデルタ地盤方向から流水部への地下水の流出機構を利用する。ただし、本護岸では干潟背後護岸の法尻には鋼矢板（止水矢板、耐震矢板）が打設されており、河道内へのデルタ地下水の流動を阻害しているため（図-4.4.1 参照）、事前調査時に確認された護岸付近からの湧出水を利用する構造を検討した。②の手法として超軟弱泥層硬化・安定化により干潟地盤の支持力を向上させる。市民が干潟上を散策できる親水性の高い河岸構造を浸透層に付与する。

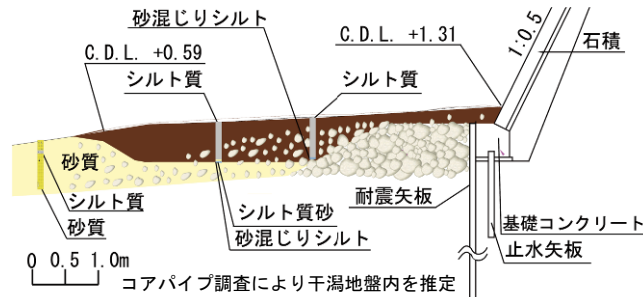


図-4.4.1 コアパイプ調査による干潟推定断面および護岸構造図<sup>12)</sup>

#### (2) 干潟再生透水層の検討

干潟再生透水層として構築する透水溝の検討図および底質改善メカニズムを図-4.4.2、図-4.4.3に示す。酸化物を溶出する空隙率の大きい透水溝を設置することにより、①堆積泥による目詰まり防止（イオン交換による透水性の同上）、②間隙内への大気を取り込みと流れによる DO の供給（酸化状態の確保）、③有機泥の分解と流出による有機泥の減量が可能となる。

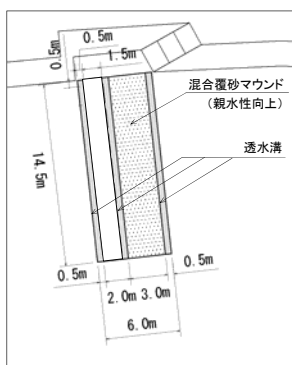


図-4.4.2 実証試験区検討図<sup>12)</sup>

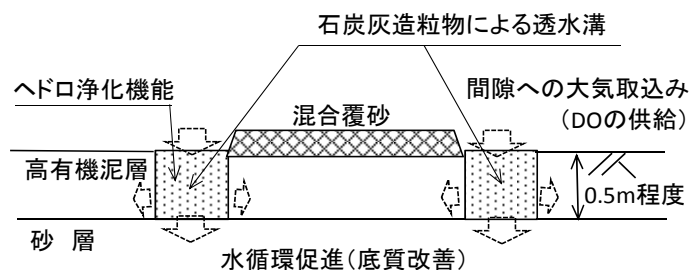


図-4.4.3 透水溝による環境改善メカニズム<sup>12)</sup>

また、透水溝の掘削により発生したヘドロ残土を石炭灰造粒物細粒分と混合固化し混合覆砂マウンドを構築することで、残土処分と親水性向上を図る<sup>12)</sup>。

### (3) 超軟弱地盤上での作業場構築技術の検討

一般的に超軟弱地盤上での重機作業は鉄板等を用いて行われる。鉄板等の敷設、撤収には、大規模な仮設工事が必要となるばかりでなく、敷設、撤去に作業時間を要するため、施工時の作業効率が大きく低下し、事業費が増大する課題がある。この課題を解決するために、石炭灰造粒物を敷設して作業場を構築する方法（図-4.4.4 参照）を検討した。造粒物を活用することにより、施工機械の交通荷重を利用して散布造粒物を地盤表層へ強制置換させることで、透水層の機能を確保するとともに、ヘドロの掘削が不要なため建設残土の発生を大きく抑制できる。

本技術が実施工に適用できれば、施工後に足場の撤収を必要とせず、短時間に作業場を構築できると同時に敷設した作業場自体がヘドロを浄化する機能を有する透水層となる。作業終了後には作業場透水層は石炭灰造粒物による透水溝と同様にヘドロ浄化を促進しつつ、遊歩道等の構造物（透水層）として活用できる。

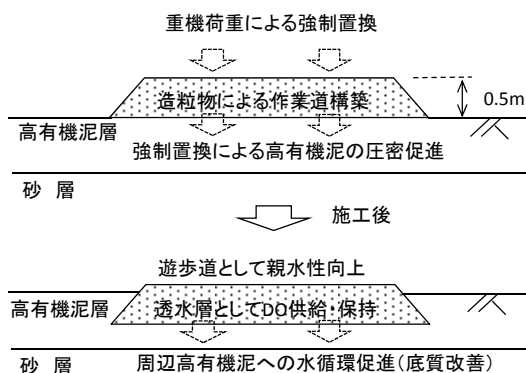


図-4.4.4 石炭灰造粒物による作業場（作業道）構築技術<sup>12)</sup>

### (4) 作業場（透水層）の設計

作業場（透水層）の敷設厚は、交通荷重および敷設材料自重に対し、河床地盤の支持力が確保できる深度（厚さ）により検討した。河床地盤の支持力は Terzaghi の式に基づき算定した。せん断抵抗角  $\phi=0^\circ$  と評価し、粘着力は、Terzaghi and Peck の推定式と粘性土のコンシステンシーの関係より  $12.5 \text{ kN/m}^2$  と評価した。使用する最大重機（本実証試験では、クローラキャリア 1t 級）が 2 台並列した場合を荷重条件として、石炭灰造粒物敷設厚さごとの支持力を照査した結果、45 cm の敷設厚で、安全率 1.3 を確保できる設計となった。現地での施工性を考慮し設計敷設厚を 50 cm とした。作業場構築の検討モデルを図-4.4.5 に示す。なお、石炭灰造粒物の単位体積重量（ $13 \text{ kN/m}^3$ ）は、一般の碎石等（ $18 \text{ kN/m}^3$ ）に比べ軽いため、設計上も有利になる。

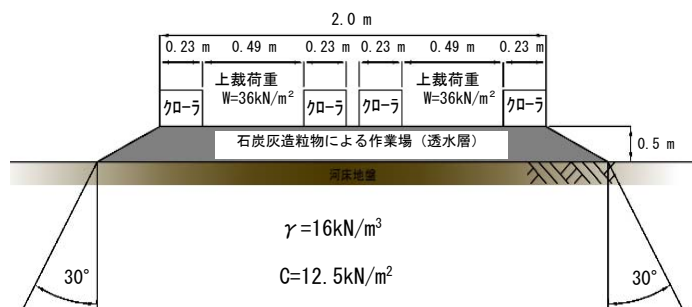


図-4.4.5 作業場構築の検討モデル図<sup>12)</sup>

#### 4.4.2 実証試験の施工

施工平面図を図-4.4.6 に、施工完了時の状況を写真-4.4.1 に示す。

- a) 施工場所  
広島市中区橋本町（京橋川右岸：京橋川オープンカフェ前）
- b) 施工面積 施工範囲：約 480m<sup>2</sup> 施工延長：約 70m
- c) 施工期間 2011 年 2 月～3 月（準備工を除く）
- d) 施工方法

敷鉄板による仮設作業場に代わり石炭灰造粒物を層状に敷設することで作業場を構築した。石炭灰造粒物の粒径は 3～40 mm で、施工必要量は約 200 m<sup>3</sup> であった。ヘドロ上での作業に小型バックホウおよびキャリア（約 1.0t）を用いた。作業場厚は 50cm で計画したが、実績のない工事のため安全性を考慮し着工時は 70 cm 厚とした。ただし、作業開始後、安全性が確認された後は 50 cm 厚で構築した。トン袋に詰めた石炭灰造粒物をクレーンで吊り、河道内に散布した。クレーンの作業範囲外へは 1t のキャリアにより 0.5 t の石炭灰造粒物を運び、小型バックホウで層状に敷設（写真-4.4.2 参照）した。混合覆砂層は、透水溝の施工で発生した底泥残土と 3mm 以下の石炭灰造粒物を約 1:1 となるようにバックホウで混合し、混合覆砂（底泥残土＋細粒石炭灰造粒物）を作り、親水性向上施設とし、残土の発生量無しで干潟再生事業を施工した。

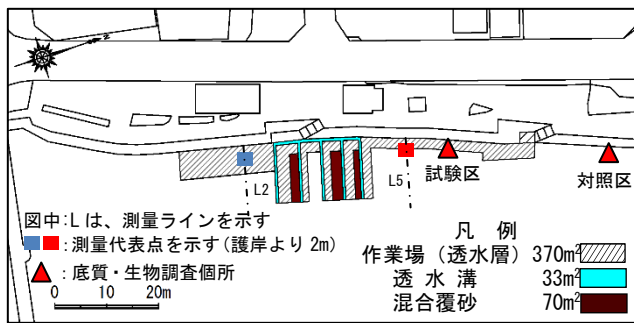


図-4.4.6 実証試験区の施工平面図<sup>12)</sup>



(施工完了時 2011 年 3 月)

写真-4.4.1 実証試験区の構築<sup>12)</sup>



写真-4.4.2 作業場施工状況および構築した作業場<sup>12)</sup>

#### 4.4.3 実証試験の検証・評価

##### (1) 作業場構築の施工効率

作業場および実証試験区構築に係る施工実績を表-4.4.1に示す。感潮河川干潟のため、施工可能時間は干潮時の4時間程度である。小規模な施工機械にも関わらず、23 m<sup>2</sup>/hr程度（表-4.4.2参照）の高い施工効率で作業場を構築できることが確認された。石炭灰造粒物による作業場構築は、高有機泥を掘削後に設置する透水溝工（施工効率1.4 m<sup>2</sup>/hr）と比較し、施工効率は16倍程度向上する。一方で、作業場は透水溝と構造が異なるため、底質改善機能の確認が必要となる。

表-4.4.1 試験区および作業場構築に係る施工実績<sup>12)</sup>

工 法	施工面積	施工時間	石炭灰造粒物量
透水溝工	33.1m <sup>2</sup>	6日×4hr	29m <sup>3</sup>
混合覆砂工	70.4m <sup>2</sup>	3日×4hr	30m <sup>3</sup>
作業場(散布工含)	371.1m <sup>2</sup>	4日×4hr	154m <sup>3</sup>
計	474.6m <sup>2</sup>	13日×4hr	213m <sup>3</sup>

##### (2) 干潟再生事業の費用便益比 (B/C) 向上

環境再生事業では便益を数値として表すのは複雑となるため、ここでは底質改善範囲のみを便益 (Benefit)、仮設備を含めた施工総額を費用 (Cost) として B/C を検討した。本作業場構築技術を活用することにより、当初計画していた100m<sup>2</sup>程度の実証試験検討案（図-4.4.2参照）と比較し、同規模の予算で約480m<sup>2</sup>の試験区が施工可能となった。また、作業場を撤去せずに透水層として底質改善事業に活用することで、従来の仮設作業床と比較して高い施工効率を確保できた。その結果、実証試験区の底質改善範囲は4.8倍（実証試験区:480m<sup>2</sup>/検討案:100m<sup>2</sup>）となり、B/Cは相対的に向上した。

また、軟弱干潟上での敷鉄板による仮設作業床と施工単価を比較するために、作業サイクルに基づき概算施工費を算出した。作業条件により施工費用は異なるため、実証試験で稼働した重機、稼働作業員および必要資材を調達可能額により算出（表-4.4.2参照）した。造粒物作業場の施工単価(2.4千円/m<sup>2</sup>)は、敷鉄板による仮設作業床の施工単価(5.0千円/m<sup>2</sup>)と比較し、1/2程度に低減された。なお、現場状況により変動する作業場以外の仮設工および資機材の現場への運搬費は考慮していない。

表-4.4.2 作業場構築に係る施工費用および施工効率<sup>12)</sup>

工 法	石炭灰造粒物作業場	仮設作業床 (敷鉄板設置・撤去)
日施工費	22.3万円/日	32.5万円/日
日施工数量	92.8m <sup>2</sup> /日(4hr/日)	65.0m <sup>2</sup> /日(4hr/日)
時間施工効率	23.2m <sup>2</sup> /hr	16.3m <sup>2</sup> /hr
1m <sup>2</sup> 当り施工費	2.4千円/m <sup>2</sup>	5.0千円/m <sup>2</sup>
撤去作業	不要	必要(上記施工費に含)
施工規模	100~500m <sup>2</sup>	
施工条件	軟弱干潟作業、材料工事費共(資機材運搬費除)	



### (3) 底質および生物生息環境の改善効果と親水性向上

構築した作業場による底質および生物生息環境の改善機能を評価するためモニタリング調査を行った。実証試験区と対照区の底質性状を調査（観測位置は図-4.4.6）した結果、作業場構築（透水層）により水循環が形成され強熱減量、n-ヘキサン抽出物質、硫化物は試験区で低い値（図-4.4.7 参照）を維持しており、底質性状が改善されていることが確認された。底質の酸化還元電位は対照区に比べ試験区で高く酸化状態が維持されていた。また、作業場の透水層機能維持を確認するため、透水層（作業場）の一部を掘削調査した。表層から 15cm 程度の造粒物間隙に有機泥がトラップされていたが、嫌気状態になっておらず 15cm 以深の造粒物層空隙は保たれ透水層の機能維持が確認された。さらに、作業場を構築した造粒物層境界部において生物量が増加しており（図-4.4.8 参照）、透水層の効果により生物生息環境が改善されていると考えられる。

実証試験区の土壌硬度および地盤形状のモニタリングにより造粒物作業場の親水性機能向上を評価した。中山式土壌硬度計により実証試験区の構築 18 ヶ月後の土壌硬度分布（図-4.4.9 参照）を調査した結果、作業場において遊歩道等に必要の硬度（1～5 kgf/cm<sup>2</sup>）の維持が確認された。作業場構築によるヘドロ堆積厚ごとの土壌硬度変化（図-4.4.10 参照）を確認した。ヘドロ堆積厚が 100cm 程度であっても造粒物により安定した土壌硬度が維持されている。

遊歩道の形状維持を評価するため定期的の実証試験区の水準測量を行った。作業場地盤高の経時変化（観測位置は図-4.4.6）を図-4.4.11 に示す。当初の形状、地盤高が維持されており、新たなヘドロ堆積による地盤高の変化も確認されなかった。実証試験前と比較し親水性向上が図られていることが確認された。

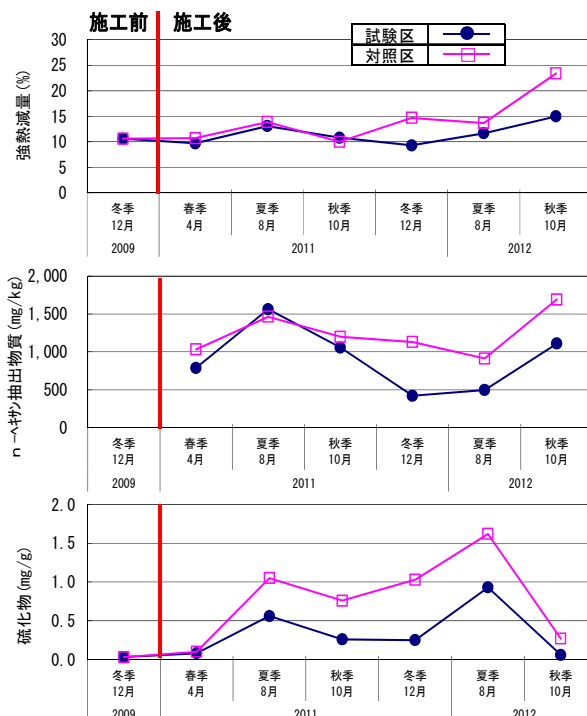


図-4.4.7 干潟表層泥の底質性状<sup>12)</sup>

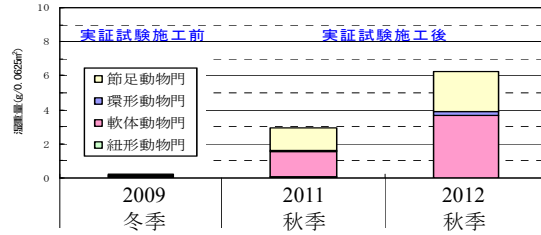


図-4.4.8 造粒物層境界部の干潟底生生物調査結果<sup>12)</sup>

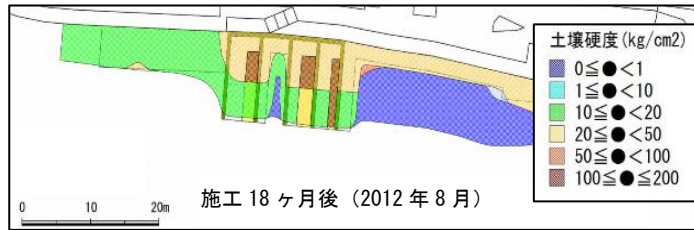


図-4.4.9 実証試験区の土壌硬度分布図<sup>12)</sup>

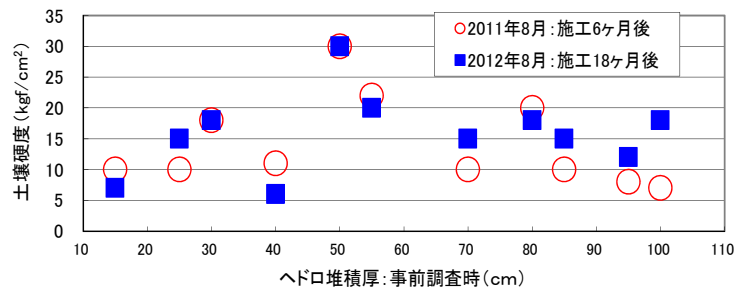


図-4.4.10 遊歩道の機能維持を示す土壌硬度の変化<sup>12)</sup>

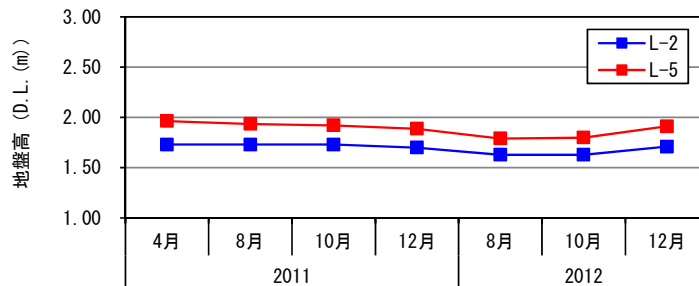


図-4.4.11 造粒物作業場盤高の経時変化<sup>12)</sup>



#### 第4章 関連参考文献

- 1) 西浦大貴, 池原貴一, 日比野忠史, 横田英嗣: 浸透柱内における浸透流による細粒分の挙動に関する研究, 土木学会第61回中国支部研究発表会発表概要集, II-13, 5/2009.
- 2) 藤原哲宏, 日比野忠史, 吉岡一郎, 田多一史: 砂層河岸に堆積した有機泥の浄化技術の評価, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.69, No.4, pp.I\_1405-I\_1410, 3/2013.
- 3) 藤原哲宏, 日比野忠史, 吉岡一郎, 田多一史: ヘドロが堆積する河岸での浸透柱の敷設による水循環の形成, 海洋開発論文集, Vol.24, pp.651-656, 7/2008.
- 4) Tetsuhiro FUJIWARA, Kyunghoi KIM, Narong TOUCH and Tadashi HIBINO: Formation of the water circulation by construction of infiltration-pillar in the riverbank that sludge deposits, Proceedings of the 7th International Conference on Civil and Environmental Engineering, p.52, 10/2008.
- 5) 日比野忠史, 藤原哲宏, 田多一史, 中川保夫: 廃棄物リサイクル品を用いた底質改善手法の検討, 土木学会論文集 B3 (海洋開発) Vol.67, No.2, pp.I\_505-I\_510, 6/2011.
- 6) 藤原哲宏, 西浦大貴, 日比野忠史, 吉岡一郎: 河口堆積ヘドロと石炭灰から造る地盤改良材の物理特性, 海洋開発論文集, Vol.26, pp.105-110, 6/2010.
- 7) 日比野忠史, 末國光彦, 山田恭平, 田多一史, 富田智, 水野雅光: 有機泥の堆積した河岸の親水性向上のための施工技術の検証, 海洋開発論文集, Vol.22, pp.939-944, 6/2006.
- 8) 日比野忠史, 藤原哲宏, 田多一史, 中川保夫: 廃棄物リサイクル品を用いた底質改善手法の検討, 土木学会論文集 B3 (海洋開発) Vol.67, No.2, pp.I\_505-I\_510, 6/2011.
- 9) 末次弘道, 三戸勇吾, 木村道夫, 日比野忠史: ヘドロ化した海域における石炭灰造粒物の海底散布時のめり込み量の評価と予測, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.67, No.2, pp.523-528, 6/2011.
- 10) 国土交通省: 技術名称 スクレーパ付きベルトコンベア方式薄層撒出し工法, 登録 No.CGK-070001-V, NETIS 新技術情報提供システム (New Technology Information System), 新技術概要説明情報, <http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/>, 8/2013.
- 11) 中国高圧コンクリート工業株式会社: 干潟造成用薄層撒き出し工法, NETIS 登録 CGK-070001-A, <http://www.gr.energia.co.jp/kouatsu/kankyo/ocean.html>, 8/2013.
- 12) 中本健二, 廣中伸孝, 樋野和俊, 日比野忠史: ヘドロ堆積干潟での底質浄化能力を持つ作業場構築技術の開発, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.70, No.2, I\_1104-I\_1109, 2014.

本章では、石炭灰造粒物の構築要領や施工時の留意事項、施工後の出来高の調査方法について具体事例を踏まえて示す。

## 5.1 施工の計画段階で検討する内容

### 5.1.1 大規模実証試験の目的

ヘドロが厚く堆積する河岸干潟の底質環境を改善するため、底質浄化能力を持つ石炭灰造粒物による作業通路構築技術（図-5.1.1 参照）を 2011 年からの小規模（475 m<sup>2</sup>）実証試験により確立した。<sup>1)</sup>

本節では、開発技術を実事業で活用するため大規模（7,296 m<sup>2</sup>）実証試験により、①施工性能、事業コストを評価し、②地盤支持力 0 kN/m<sup>2</sup> のヘドロ堆積干潟において B/C 向上が望める安全な重機作業を可能とする造粒物の敷設厚を評価できる設計用データの蓄積を図り、③干潟再生材としての酸素（底質 DO）供給機能、および造粒物の生物親和性を検証することで干潟再生事業に必要な大規模底質改善施工技術を確立する。

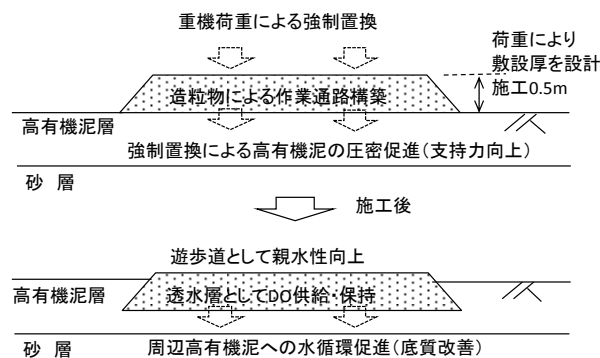


図-5.1.1 石炭灰造粒物による作業通路構築技術<sup>2)</sup>

### 5.1.2 対象ヘドロ干潟の概要と事業範囲の検討

2012年に対象干潟を詳細に調査（干潟性状、土壌硬度、底質等）し、底質改善が必要な箇所を選定した（図-5.1.2参照）。干潟上には還元有機泥が最大で1m程度堆積し歩行困難であった。微硫化水素臭が発生し、底泥は広島湾沿岸に堆積する有機泥に近い特性であった。

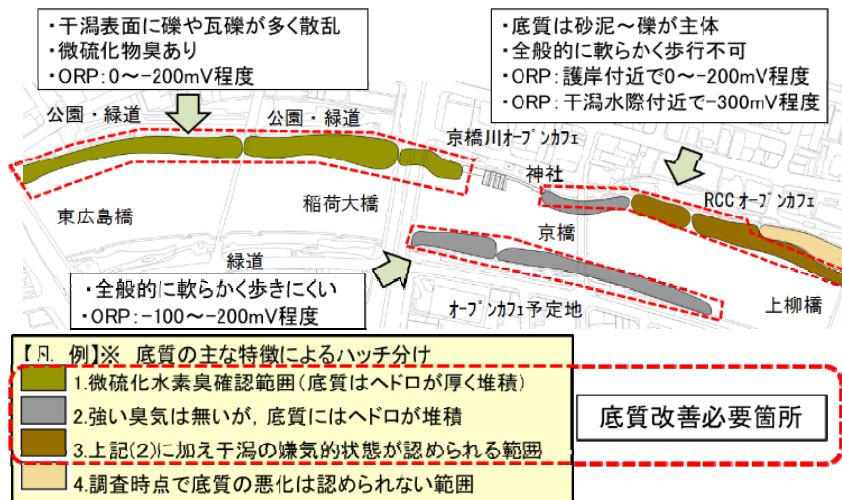


図-5.1.2 対象干潟の底質状況概要図（2012年調査結果）<sup>2)</sup>

### 5.1.3 石炭灰造粒物による透水層の機能

石炭灰造粒物は、火力発電所から発生するフライアッシュを造粒・固化した海砂代替材である。礫状材料であり、覆砂材として硫化水素の発生抑制・吸着およびリン酸（栄養物質）の吸着効果が確認されている。干潟再生材として酸化物を溶出する空隙率の大きい石炭灰造粒物透水層を設置することにより、①堆積泥による目詰まり防止（イオン交換による透水性の向上）、②間隙内への大気を取り込みと流れによるDO供給（酸化状態の確保）、③有機泥の分解と流出による有機泥の減量が期待される。施工後は遊歩道となる作業通路も透水層として同様な干潟再生機能が期待される。

### 5.1.4 施工の計画段階で検討する項目

目的・施工範囲・構築方式が決定した後に、具体的な施工計画立案にあたっては、以下の8点の検討を行う。各項目の詳細は、5.2以降に記載する。

- ① 石炭灰造粒物の調達（輸送経路を含める）
- ② 施工時期の検討
- ③ 施工範囲と構築方式の組み合わせ、B/C（費用対効果）を考慮した施工要領の検討
- ④ 工事可能な時間、作業拠点の検討
- ⑤ 施工方法の検討
- 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）

## 5.2 石炭灰造粒物の調達

材料調達の一例として、石炭灰造粒物は中国電力グループにより提供されており、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。

### 5.2.1 進入方針の設定

京橋川で計画されている底質改善実証試験区において、試験区造成に必要な資機材の搬入出方法あるいは施工方法の検討に当たっては、以下の課題や問題点があった。

- 陸上からの作業を想定した場合、護岸背後の土地利用（オープンカフェ、植樹、公園等）や隣接する建物の存在、護岸背後の道路高等により、進入路として使用可能な場所が限られる。
- 作業船を用いた方法を想定した場合、資機材搬入出時において、作業船の幅（柳橋を通過するためには10m未満）や水面からの高さ（桁下クリアランスが最大時に4m）、航行時の喫水（作業船の最小喫水として1.5m以上は必要）の全てにおいて航行安全が確保される作業船を選定する必要があり、組立台船などの低喫水タイプの作業船を確保する必要がある（図-5.2.1参照）。

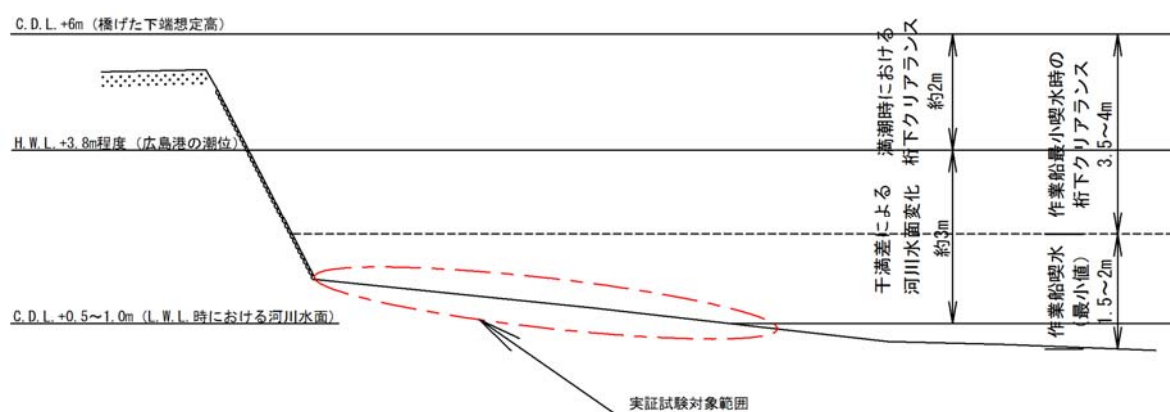


図-5.2.1 河川断面と橋げた（京橋、柳橋を想定）、潮位（水深）の関係

- また、干潮時には、河川流心部でも水深が1mに満たない。そのため、船舶によっては、干潮前に水深の確保できる場所へ毎回待避する可能性がある他、仮に作業場所に停留しても、船底が河床に干渉し、作業船が移動できないために作業範囲に限られるだけでなく、河床に点在する岩石により船底を破損する恐れもある。

これらの課題や問題点を踏まえ、京橋川での底質改善実証試験区の造成にあたっては、必要な資機材の搬入出あるいは試験区造成の施工については、陸上からの進入を基本とした。

## 5.2.2 進入路の検討

進入路として使用可能な場所について現地調査により確認した。

進入路の検討結果は図-5.2.2に示し、現地写真は写真-5.2.1に示すとおりである。

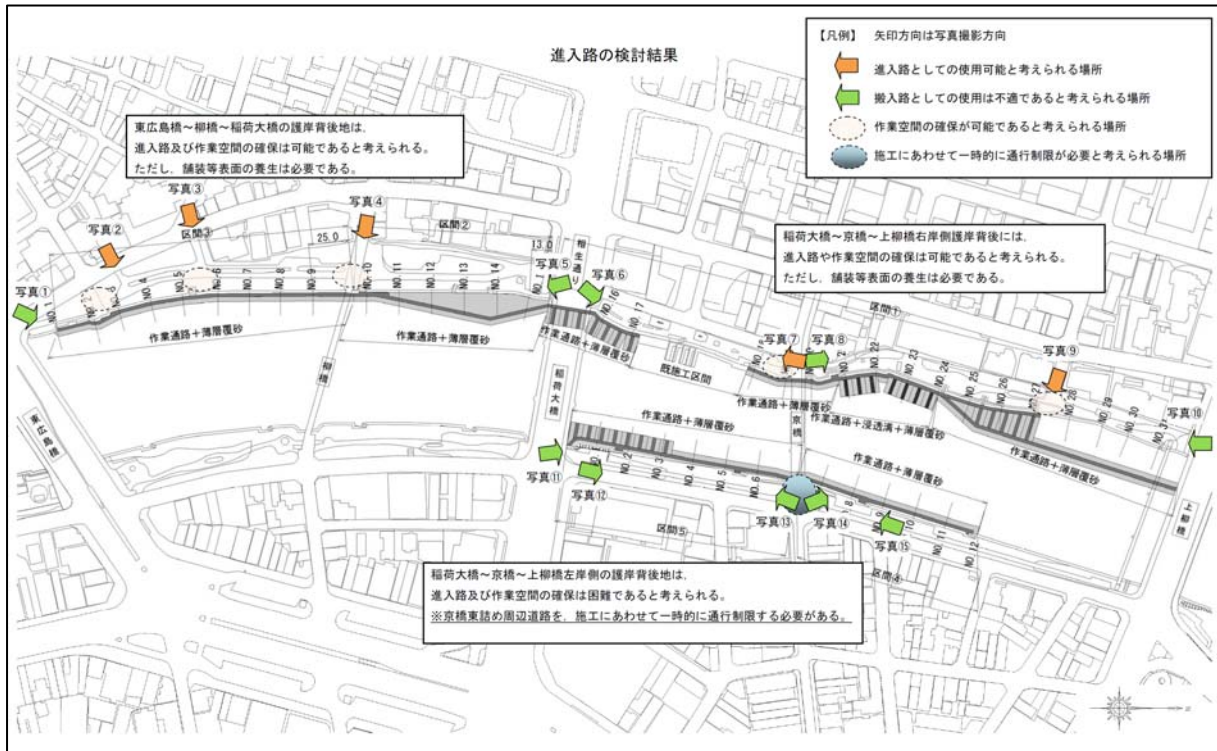


図-5.2.2 進入路の検討結果





NO.	①
<東広島橋西詰め>	
出入口に欄干，車止め（固定）	
植樹帯があり，進入路として	
の使用は不適。	



NO.	②
<東広島橋～柳橋間>	
（東広島橋寄り）	
車止め（移動可能）を引抜き	
進入路として使用が可能。	
護岸際の作業空間もあり。	
ただし，舗装表面の養生は	
必要。	



NO.	③
<東広島橋～柳橋間>	
（柳橋寄り）	
車止め（移動可能）を引抜き	
進入路として使用が可能。	
護岸際の作業空間もあり。	
ただし，舗装表面の養生は	
必要。	

写真-5.2.1 (1) 進入路の検討に係る現地写真





NO.	④
<柳橋西詰め>	
車止め（移動可能）を引抜き	
進入路として使用が可能。	
護岸際の作業空間もあり。	
（東広島橋～稲荷大橋間で最も広い）	
ただし、舗装表面の養生は	
必要。	



NO.	⑤
<稲荷大橋西詰め>	
（柳橋側）	
樹木や街路灯が多い。	
クレーン作業が困難。	
進入路としての使用は不適。	



NO.	⑥
<稲荷大橋西詰め>	
（京橋側）	
オープンカフェが立地しており	
進入路としての使用は不適。	

写真-5.2.1 (2) 進入路の検討に係る現地写真



NO.	⑦
<京橋橋西詰め>	
(稲荷大橋側)	
H23年3月施工時に進入路として使用実績あり。	
進入路としての使用は可能。	



NO.	⑧
<京橋橋西詰め>	
(上柳橋側)	
植樹帯があり、また、護岸法線が変化大きく変化しており、作業空間が狭いため進入路としての使用は不適。	



NO.	⑨
<京橋～上柳橋(右岸側)>	
車止め(移動可能)を引抜き進入路として使用が可能。	
護岸際の作業空間もあり。	
ただし、舗装表面の養生は必要。	

写真-5.2.1 (3) 進入路の検討に係る現地写真





NO.	⑩
<上柳橋西詰め>	
樹木や街路灯が多い。	
また、上柳橋に隣接して	
水道橋もあることから、	
クレーン作業が困難。	
進入路としての使用は不適。	



NO.	⑪
<稲荷大橋東詰め>	
植樹帯や樹木、街路灯が多い	
ため、クレーン作業が困難。	
歩道幅も狭く、車両の進入が	
困難。	
進入路としての使用は不適。	



NO.	⑫
<稲荷大橋～京橋間>	
(左岸側護岸背後道路)	
植樹帯、樹木が密集している	
ため、クレーン作業が困難。	
進入路としての使用は不適。	

写真-5.2.1 (4) 進入路の検討に係る現地写真





NO.	⑬
<京橋東詰め>	
(稲荷大橋側)	
植樹帯や樹木、街路灯が多い ため、クレーン作業が困難。 歩道幅も狭く、車両の進入が 困難。 進入路としての使用は不適。	



NO.	⑭
<京橋東詰め>	
(上柳橋側)	
植樹帯や樹木、街路灯が多い ため、クレーン作業が困難。 歩道幅も狭く、車両の進入が 困難。 進入路としての使用は不適。	



NO.	⑮
<京橋～上柳橋>	
(左岸側護岸天端)	
植樹帯、樹木が密集している ため、クレーン作業が困難。 進入路としての使用は不適。	

写真-5.2.1 (5) 進入路の検討に係る現地写真

### 5.3 施工時期の検討

施工時期の検討に際しては、出水期を除いた時期に潮汐の状況、作業可能となる潮位、周辺での河川の利用状況（オープンカフェ）等を勘案し、「平成25年1月～平成25年4月」の時期で設定した。

詳細な工事可能な時間等の抽出については、「5.5 工事可能な時間、作業拠点の確保」で記載する。

#### 5.4 施工範囲と構築方式の組み合わせ、B/C を考慮した施工要領の検討

実証試験区構築で得られた詳細データから今後の事業化検討のために施工速度、事業コストを定量的に評価した（表-5.4.1 参照）。環境再生事業では便益を数値として表すのは複雑となるため、ここでは底質改善範囲のみを便益（Benefit）、造粒物の搬入費用を含めた施工総額を費用（Cost）としてB/Cを検討した。小規模施工時データと比較し事業コストの低減（1 m<sup>2</sup>当り 56 %低減）、施工効率の向上（小規模施工の 4.3 倍）が確認された。薄層覆砂（厚さ 10 cm）を主とした施工により、小規模施工時の平均層厚 42 cm は、大規模施工時では平均層厚 35 cm に低減可能となった。これにより単位（1 m<sup>2</sup>）当り施工量は 83 %に低減されている。なお、施工箇所が都市部でない場合はダンプトラックによる直接搬入が可能となり、大型土嚢での積み込み、荷卸し作業が不要となり施工費用は更に低減可能となる。

表-5.4.1 石炭灰造粒物層の施工速度と施工費用の低減効果<sup>2)</sup>

項目	大規模試験施工	小規模試験施工
河川底質改善範囲	7,296m <sup>2</sup>	475m <sup>2</sup>
造粒物施工数量	2,584m <sup>3</sup>	200m <sup>3</sup>
施工期間（施工時間）	47日（191hr）	13日（52hr）
1日当り施工速度	160m <sup>2</sup> /日	37m <sup>2</sup> /日
施工速度の向上率	小規模施工の4.3倍	1倍
実証試験費用	54.0百万円	8.0百万円
1m <sup>2</sup> 当り施工費用	7,400円/m <sup>2</sup>	16,800円/m <sup>2</sup>
1m <sup>2</sup> 当り造粒物使用量	0.35m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.42m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
1m <sup>2</sup> 当り施工費低減	小規模に比較し56%減	-

## 5.5 工事可能な時間、作業拠点の確保

### 5.5.1 干潟上での施工可能日の抽出

底質改善実証試験の試験区造成範囲は河川干潟であることから、作業実施には、潮汐が大きく影響してくる。

当該範囲において作業可能となる潮位は、概ね C.D.L+1.0m 程度であった。

ここでは、現地における作業開始時期考慮し、平成 25 年 1 月から平成 25 年 4 月までの潮汐表を基に、潮位が 100cm 以下となる時間を算出し、施工可能日を抽出するとともに、作業日ごとの作業可能時間を算出した。

施工時期の検討結果は、表-5.5.1 に示すとおりである。

表-5.5.1 (1) 施工可能日の抽出と作業時間の整理 (平成25年1月)

調査予定日		1月																														
		1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	31日
潮		火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木
干潮			1:03	2:02	2:54	3:43	4:26	5:08	5:48	6:26	7:02														2:35	3:11	3:45	4:19	4:53	5:27	6:02	
潮位 (cm)			31	4	-18	-31	-34	-25	-7	21	54														36	19	7	0	-2	3	16	
時刻			22:39	23:24	0:11	0:56	1:47	2:36	3:27	4:19	5:21														0:21	0:51	1:21	1:55	2:28	3:06	3:49	
100cm以下			3:06	4:12	5:10	5:57	6:38	7:16	7:47	8:12	8:31														4:34	5:14	5:49	6:21	6:51	7:19	7:46	
作業時間			4:27	4:48	4:59	5:01	4:51	4:40	4:20	3:53	3:10														4:13	4:23	4:28	4:26	4:23	4:13	3:57	
干潮			13:50	14:44	15:32	16:16	16:57	18:01	18:17	18:56	19:56														15:10	15:41	16:12	16:44	17:17	17:51	18:27	
潮位 (cm)			122	104	88	75	66	61	60	64	73														113	98	85	72	61	54	49	
時刻					14:40	15:14	15:50	16:22	16:59	17:35	18:22																15:18	15:37	15:59	16:22	16:50	
100cm以下					16:11	17:09	18:01	18:46	19:30	20:09	20:47																	17:00	17:45	18:24	19:17	19:50
時間					1:31	1:55	2:11	2:24	2:31	2:34	2:25																1:42	2:08	2:25	2:55	3:00	
日出					7:17	7:17	7:16	7:16	7:16	7:16	7:15															7:12	7:11	7:11	7:10	7:10	7:09	7:08
日入					17:19	17:20	17:21	17:22	17:22	17:23	17:25															17:33	17:34	17:35	17:36	17:35	17:38	17:39

■ : 作業可能4h以上  
■ : 作業可能3.5h以上  
■ : 作業可能3.5h未満

表-5.5.1 (2) 施工可能日の抽出と作業時間の整理 (平成25年2月)

		2月																												
調査予定日		1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	
		金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	
潮		中	小	小	小	長	若	中	中	中	大	大	大	中	中	中	小	小	小	小	長	若	中	中	中	中	大	大	中	
夜	干潮	6:39	7:18					0:49	1:54	2:46	3:32	4:13	4:51	5:26	6:00	6:32								2:13	2:50	3:25	4:00	4:34	5:09	
	潮位 (cm)	37	65					43	17	-6	-20	-14	4	28	58									51	30	14	4	2	8	
	時刻	4:40	5:44					22:30	23:22	0:13	1:00	1:47	2:32	3:17	4:08	5:00								0:12	0:41	1:06	1:45	2:21	3:04	
	100cm以下	8:12	8:32					2:49	4:00	4:57	5:42	6:19	6:51	7:18	7:40	7:53								4:00	4:43	5:21	5:53	6:23	6:53	
昼	作業時間	3:32	2:48					4:19	4:38	4:44	4:42	4:32	4:19	4:01	3:32	2:53								3:46	4:02	4:15	4:08	4:02	3:49	
	干潮	19:05	19:47					13:45	14:37	15:20	16:00	16:38	17:14	17:49	18:22	18:55								14:47	15:17	15:48	16:20	16:53	17:28	
	潮位 (cm)	50	55					125	99	75	56	42	35	34	39	49								105	83	63	45	30	21	
	100cm以下	17:22	18:01							14:18	14:41	15:09	15:37	16:07	16:37	17:13											14:26	14:46	15:09	15:29
日出	時刻	20:35	21:20							16:16	17:13	18:01	18:41	19:20	20:00	20:30											17:01	17:41	18:22	19:03
	時間	3:13	3:19							1:58	2:32	2:52	3:04	3:13	3:23	3:17											2:35	2:55	3:13	3:34
日入	時刻	7:08	7:07					7:02	7:02	7:01	7:00	6:59	6:58	6:57	6:56	6:55										6:46	6:45	6:44	6:43	6:40
	時間	17:40	17:41					17:47	17:47	17:48	17:49	17:50	17:51	17:52	17:58	17:54										18:01	18:02	18:03	18:04	18:05

■ : 作業可能4h以上  
■ : 作業可能3.5h以上  
■ : 作業可能3.5h未満



表-5.5.1 (3) 施工可能日の抽出と作業時間の整理 (平成25年3月)

調査予定日		3月																																
		1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	31日		
潮		金	中	中	小	小	火	水	小	長	木	金	土	日	月	火	水	小	小	火	水	小	長	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日
干潮		5:45	6:22								1:43	2:33	3:15	3:54	4:29	5:03	5:34	6:05	6:35								2:21	2:59	3:35	4:12	4:49	5:27	6:06	
潮位 (cm)		22	45								38	18	8	7	15	30	50	72	97								51	34	24	22	29	44	66	
時刻		3:47	4:40								23:38	0:24	1:09	1:53	2:34	3:15	4:02	4:51									0:30	1:08	1:40	2:21	3:08	3:58	4:53	
100cm以下		7:19	7:46								3:33	4:28	5:08	5:44	6:12	6:34	6:57	7:10									3:54	4:36	5:15	5:45	6:17	6:46	7:10	
作業時間		3:32	3:06								3:55	4:04	3:59	3:51	3:38	3:19	2:55	2:19									3:24	3:28	3:35	3:24	3:09	2:48	2:17	
干潮		18:03	18:40								14:21	15:01	15:38	16:13	16:47	17:18	17:49	18:18	18:49								14:46	15:19	15:53	16:28	17:03	17:40	18:19	
潮位 (cm)		17	21								85	59	38	24	18	17	23	34	50								68	43	21	4	-5	-5	5	
時刻		15:57	16:29								13:31	13:40	14:05	14:27	14:56	15:20	15:48	16:18	16:58								13:25	13:39	13:59	14:20	14:48	15:16	15:57	
100cm以下		19:43	20:26								15:10	16:16	17:09	17:52	18:28	19:19	19:35	20:05	20:35								15:58	16:46	17:29	18:13	18:54	19:34	20:15	
時間		3:46	3:57								1:39	2:36	3:04	3:25	3:32	3:59	3:47	3:47	3:37								2:33	3:07	3:30	3:53	4:06	4:18	4:18	
日出		6:39	6:38																															
日入		18:06	18:07																															

: 作業可能4h以上  
 : 作業可能3.5h以上  
 : 作業可能3.5h未満

表-5.5.1 (4) 施工可能日の抽出と作業時間の整理 (平成25年4月)

調査予定日		4月																													
		1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日
		月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火
潮		中	中	小	小	小	長	若	中	中	大	大	大	大	中	中	中	小	小	小	長	若	中	中	中	大	大	大	大	中	中
夜	干潮	6:49	7:39						2:12	2:54	3:31	4:06	4:39	5:10	5:41	6:13	6:48								2:29	3:10	3:50	4:31	5:12	5:55	6:42
	潮位 (cm)	92	121						54	48	48	54	65	77	92	108	125								64	54	53	58	70	86	105
	時刻 100cm以下	6:11							0:36	1:19	2:03	2:43	3:24	4:10											1:06	1:45	2:27	3:15	4:08	5:13	
昼	作業時間	7:22							3:39	4:20	4:55	5:20	5:47	6:07											3:39	4:23	5:04	5:37	6:08	6:30	
	干潮	1:11							3:03	3:01	2:52	2:37	2:23	1:57											2:33	2:38	2:37	2:22	2:00	1:17	
	潮位 (cm)	19:02	19:53						14:36	15:12	15:46	16:19	19:49	17:19	17:48	18:19	18:53								14:46	15:24	16:03	16:42	17:22	18:05	18:52
夜	干潮	24	49						48	30	18	13	13	19	29	44	63								29	6	-10	-17	-14	0	23
	時刻 100cm以下	16:43	17:50						13:04	13:25	13:51	14:13	14:40	15:09	15:43	16:22	17:11								12:51	13:12	13:40	14:12	14:52	15:37	16:35
	時間	21:00	21:47						16:05	16:52	17:31	18:08	18:40	19:11	19:41	20:06	20:27								16:25	17:11	17:56	18:40	19:25	20:08	20:48
日出	4:17	3:57						3:01	3:27	3:40	3:55	4:00	4:02	3:58	3:44	3:16								3:34	3:59	4:16	4:28	4:33	4:31	4:13	
日入	5:57	5:56						5:49	5:48	5:47	5:45	5:43	5:42	5:40	5:39	5:38								5:28	5:27	5:26	5:25	5:24	5:23	5:21	
	18:31	18:32						18:36	18:37	18:37	18:38	18:40	18:40	18:41	18:42	18:43								18:49	18:50	18:51	18:51	18:52	18:53	18:54	

■ : 作業可能4h以上  
■ : 作業可能3.5h以上  
■ : 作業可能3.5h未満

### 5.5.2 作業拠点の確保

現地作業に際し、次に示すような準備を行った。京橋川における作業拠点は、図-5.5.1 に示すとおりである。

- ① 工事にあたり各種届出を行う。
- ② 関係先（河川管理者、漁業者、遊覧船及びその他船舶所有者等）との連絡・調整を行う。
- ③ 歩道に進入路を設置し、歩道、公園内を養生する。
- ④ 河川内を移動するための作業道を敷設する。
- ⑤ バックホウ（0.1m<sup>3</sup>）の移動範囲に作業場を敷設する。
- ⑥ 作業員が移動できるように足場板を設置する。

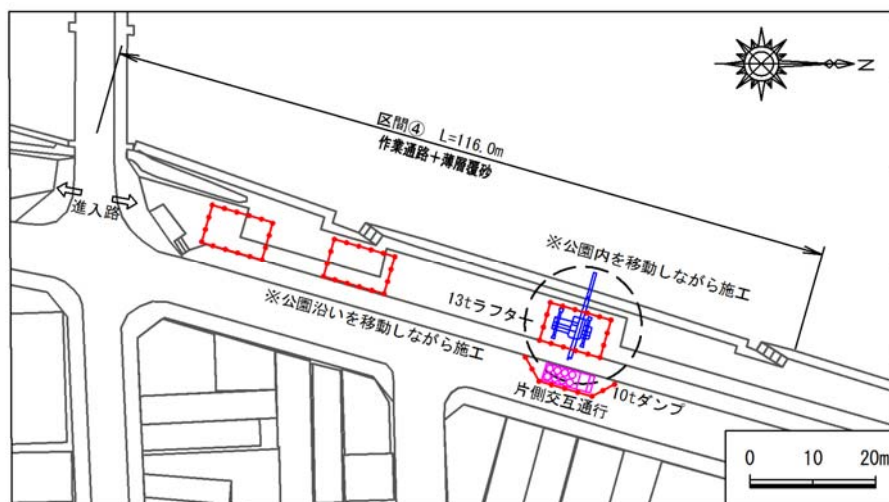


図-5.5.1 京橋川における作業拠点

## 5.6 施工方法の検討

### 5.6.1 施工技術の検討と事業費用低減策

底質改善が必要な事業範囲に対して、石炭灰造粒物透水層の施工を検討した。対象干潟の上下流には道路橋が架橋されており、現場への作業船の入域は困難であった。また、干潟の土壌硬度は、人が歩行可能となる  $50 \text{ kN/m}^2$  (土壌の表面硬度を貫入により測定) 以下であり、重機作業に必要な支持力は確保されていなかった。このため、造粒物を陸上作業により敷設するには、ヘドロ堆積干潟上に重機作業が可能となる作業道の構築が必要であった。さらに、仮設作業道を設置撤去するには多額のコストがかかるため、石炭灰造粒物を敷設することで地盤の適度な安定化を図り、施工時の重機作業を可能とした。施工後は干潟上を散策できる遊歩道とするとともに、透水層として底質への DO 供給・保持による底質改善を目指した。大規模実証試験での透水層施工技術の概要を図-5.6.1 に示す。2012 年の調査結果より、図-5.6.2 に示す箇所を大規模実証試験範囲とした。施工数量が増加するため、施工単位当りの費用が低減されることは明らかである。しかし、干潟へ覆砂するためのアプローチとなる作業通路の施工量も同様に増加するため、小規模施工と同じ工法ではコスト低減額は限られてしまう。そこで小規模実証試験時において、底質改善効果が確認された敷設厚さ 10 cm の薄層覆砂を基本とする工法(図-5.6.3 参照)を採用した。地盤へのめり込みが大きく覆砂機能の確保が困難な箇所は、覆砂厚を 20 cm に増加して、機能を確保しつつ平均厚を減少させることにより、施工速度向上とコスト低減を図った。

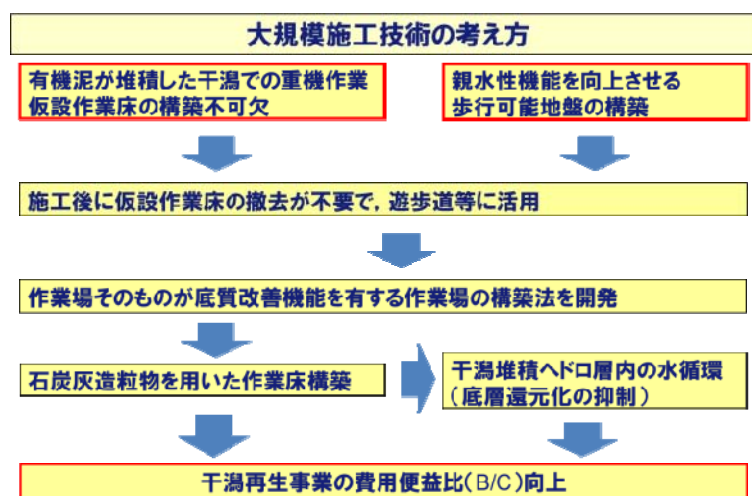


図-5.6.1 大規模実証試験による透水層施工技術の概要<sup>2)</sup>

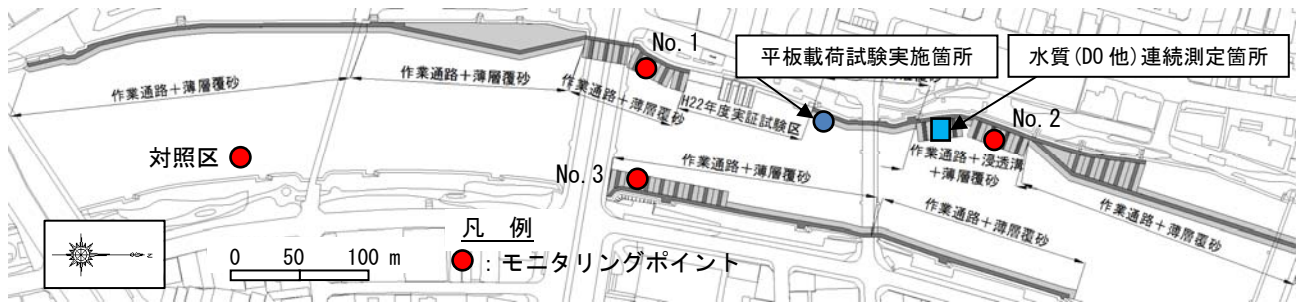


図-5.6.2 大規模実証試験施工平面図および調査箇所<sup>2)</sup>

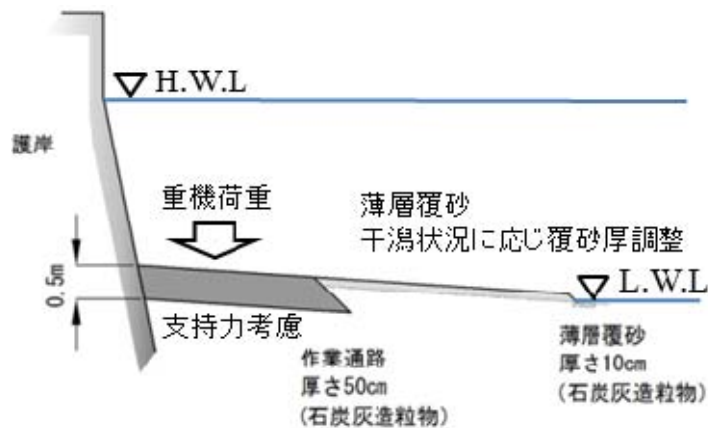


図-5.6.3 石灰灰造粒物作業通路および薄層覆砂の概要<sup>2)</sup>

### 5.6.2 実証試験区設計時の地盤評価

作業場（透水層）の敷設厚は、交通荷重および敷設材料自重に対し、河床地盤の支持力が確保できる深度（敷設厚）を算出することで設計した。河床地盤の支持力は、Terzaghi の式に基づき算定した。せん断抵抗角  $\phi=0^\circ$  と評価し、粘着力は Terzaghi and Peck の推定式と粘性土のコンシステンシーの関係より、粘着力  $c=12.5 \text{ kN/m}^2$ （非常に柔らかい）と評価した。実際の干潟は歩行さえ出来ず、支持力は  $0 \text{ kN/m}^2$  であるが、施工時に造粒物および重機荷重により、地盤全体が強制的に置換・圧密され、造粒物と在来干潟の 2 層地盤が形成されると仮定した。本設計計算に基づく干潟地盤の許容支持力は  $63 \text{ kN/m}^2$  となり、造粒物敷設厚 30 cm で施工重機（1 t 積キャリア）走行時の安全を確保できる設計となった。ただし、施工時の安全性を考慮して、50 cm 厚での施工とした。なお、敷設する材料の自重も载荷荷重となり、石灰灰造粒物の単位体積重量（ $13 \text{ kN/m}^3$ ）は、一般の砕石等（ $18 \text{ kN/m}^3$ ）に比較し軽いため、軽量盛土材と同様に設計上も有利になる。本手法で算出した地盤支持力の妥当性を検証するため、施工後に平板載荷試験による支持力試験により評価した。



## 5.7 施工手順の検討

大規模実証試験区の施工は、7,296 m<sup>2</sup>のヘドロ干潟を対象とし2013年5月に施工完了した（写真-5.7.1、写真-5.7.2 参照）。都市部干潟での施工のため、造粒物を大型土嚢に積めて搬入する必要があった。4 t積トラックに1 t大型土嚢4袋を積載して現場搬入した。大型土嚢に詰めた石炭灰造粒物は13 t級クレーンで吊り、河道内に敷設した。クレーンの作業範囲外へは1 t積キャリアにより石炭灰造粒物を運び小型バックホウで層状に敷均した。敷設後は、施工機械の交通荷重を利用して散布造粒物を地盤表層へ強制置換させることで、作業通路を構築し透水層の機能を確保するとともに建設残土の発生を抑制した。施工箇所は、潮位の影響を受けるため作業時間は4 hr/日であった。

施工フローは、図-5.7.1 に示すとおりである。



写真-5.7.1 対象干潟の外観<sup>2)</sup>  
(施工前2009年12月)



写真-5.7.2 大規模試験区構築<sup>2)</sup>  
(施工後2013年5月)

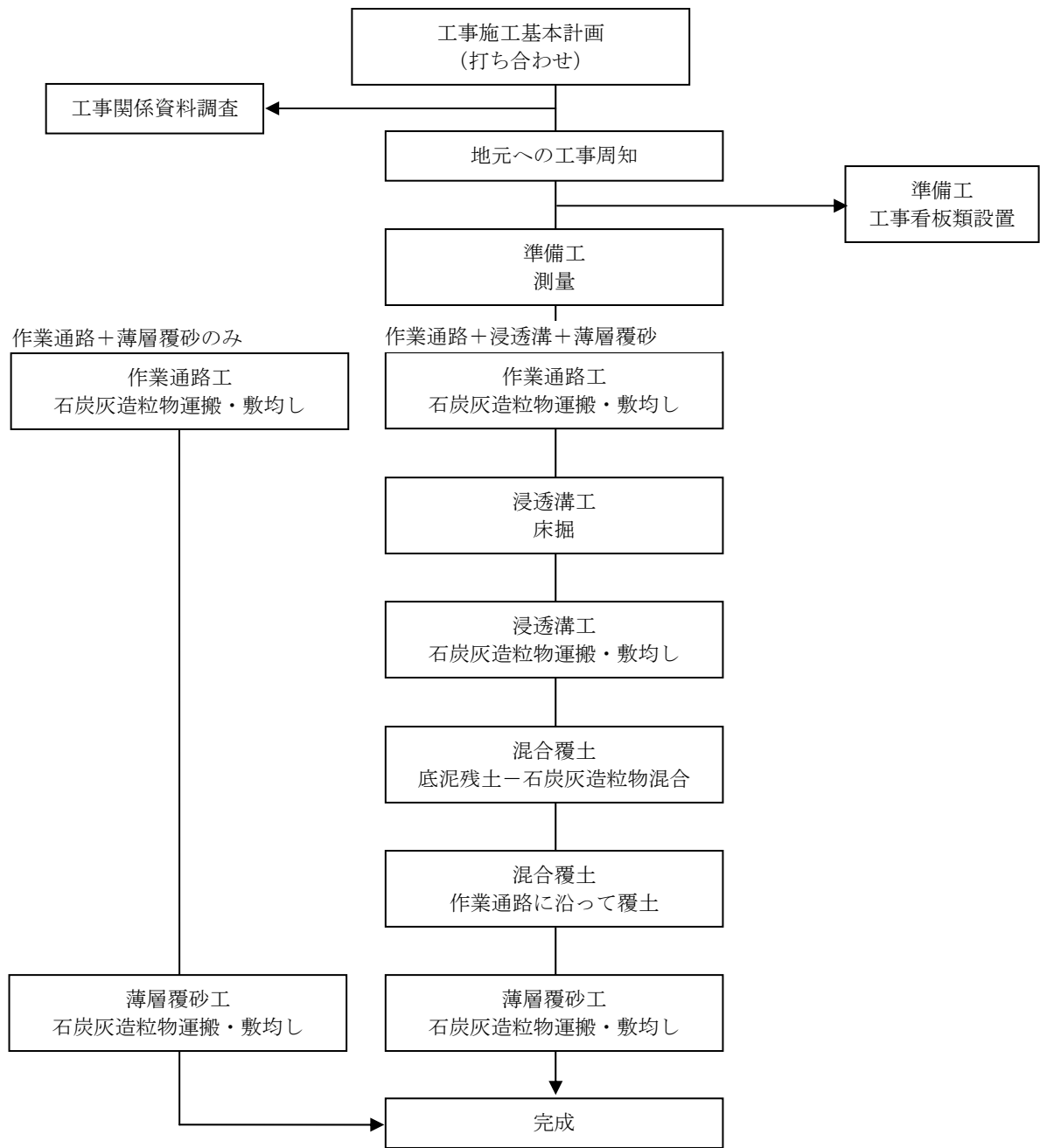


図-5.7.1 施工フローチャート



## 5.8 施工中の環境保全対策の検討

環境対策計画を立案し、下記に示す項目について遵守した。

### ①基本事項

- a.建設工事に伴う騒音、振動の発生をできる限り防止することによって、生活環境の保全と工事の円滑な実施を図る。
- b.振動、騒音について十分理解し、騒音規制法及び振動規制法等を遵守する。
- c.騒音、振動対策の計画、設計、施工にあたっては、施工方法、建設機械の騒音、振動の大きさ、発生実態、発生機構について十分理解する。
- d.騒音、振動対策については、騒音、振動の大きさを下げるほか、発生期間を短縮するなど全体的に影響の小さくなるよう検討する。
- e.エコアクションを実施し、環境保全を行う。

### ②作業日

基本は月曜日から金曜日を作業日とする。ただし、河川内敷き均し作業は、潮間作業のため休日作業も行う。この場合は、関係者に事前連絡・周知し、近隣住民の環境災害防止に細心の注意を払う。

### ③作業時間

9:00 (22:30) から 16:00 (6:00) とする。ただし、準備・片付け作業は時間外とする。潮間作業、施工段取り等により、時間外作業をする場合は、近隣住民への環境災害（騒音・振動・照明等）に充分注意を払う。

※河川内作業は潮間の作業となるため、時間外作業となる。

### ④騒音・振動対策

- a.工事の円滑化を図るとともに現場管理に留意し、不必要な騒音、振動を発生させない。
- b.建設機械などは、整備不良による騒音、振動が発生しないように点検や整備を行う。
- c.作業待ち時間には、建設機械のエンジンを出来る限り止めるなどして騒音、振動を軽減させる。

### ⑤周辺住民への周知

毎週月曜日に今週の工事予定表を現場の出入り口に掲示し、作業内容等が分かるようにすると共に、大量の資材搬入は予定を早めに掲示板に記入する。

周辺住民への工事協力と理解を求めため、工事着工のお知らせを回覧板を通じて報告する。

### ⑥エコアクションの実施

環境保全を目的にエコに関する様々な取り組みを行っていく。「アイドリングストップの推奨」として、休憩時などにはこまめに作業車のエンジンを停止する。

## 5.9 施工に関する評価

### 5.9.1 石炭灰造粒物透水層の支持力評価

#### (1) 平板載荷試験による作業通路の支持力評価

ヘドロ堆積干潟において、安定した重機作業に必要な作業用通路の設計データを蓄積するために、施工後に造粒物敷設厚毎の支持力を図-5.6.2に示す箇所で、現場実験の平板載荷試験により評価した。試験箇所は、在来ヘドロ干潟と施工時に干潟上へ実験的に敷設した厚さが異なる4箇所（5 cm、10 cm、20 cm、50 cm）とした。

造粒物は礫状材料であるため、ポータブルコーン貫入試験等の簡易試験では粒礫状の造粒物が貫入の支障になり、適切な支持力評価が困難なため、平板載荷試験（写真-5.9.1参照）により測定した。干潮時の干潟上での作業となり安定した試験反力の確保が困難なため、試験は、「JIS A 1215 道路の平板載荷試験方法」に準拠し、試験条件を次の通り設定した。一般的な平板載荷試験の載荷盤はφ30 cm であるが、これは粒状材料を対象にしているケースである。本試験では造粒物を対象とするため、載荷盤の径は造粒物径を考慮し、大型のφ45 cm とした。変位は4箇所のダイヤルゲージにより測定し、荷重は重量を測定してある錘を人力により載荷した。載荷パターンは「段階式載荷」とし、初期荷重を載せて載荷盤を十分に馴染ませた後に、錘を段階的に載せて沈下の進行が止まるのを待って載荷荷重と変位計を読み取り記録した。所定の載荷継続時間中に変位量が急激に増大、荷重保持や荷重載荷が困難になったなど地盤が破壊状態に達したと判断できる時は試験を終了することとした。試験後は造粒物の敷設厚を確認するため、載荷箇所を試掘し敷設厚を確認した。

平板載荷試験により得られた造粒物敷設厚毎の荷重強度と沈下量の関係を図-5.9.1に示す。道路舗装路盤（コンクリート舗装）、鉄道路床、空港滑走路床などと同様に、地盤反力係数を算定する沈下量  $S=1.25$  mm として地盤の支持力を評価（図-5.9.2参照）した。

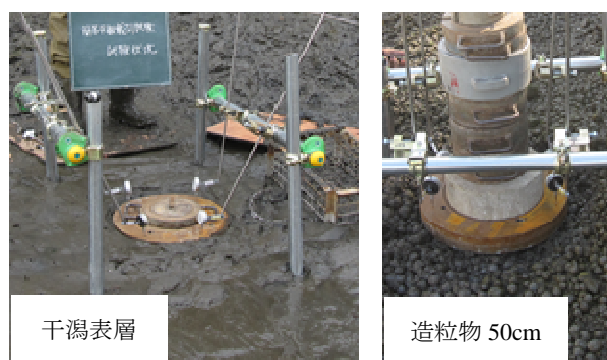


写真-5.9.1 石炭灰造粒物層の平板載荷試験状況<sup>2)</sup>

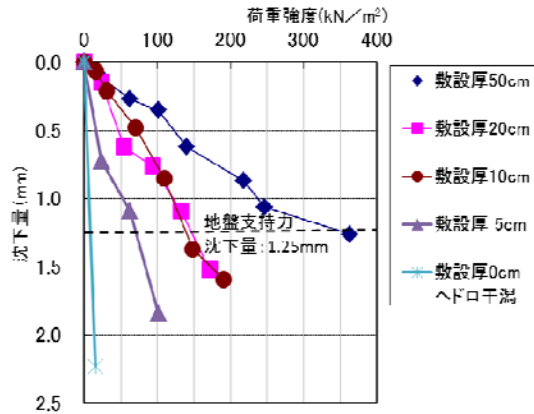


図-5.9.1 造粒物敷設厚毎の荷重強度と沈下量の関係<sup>2)</sup>

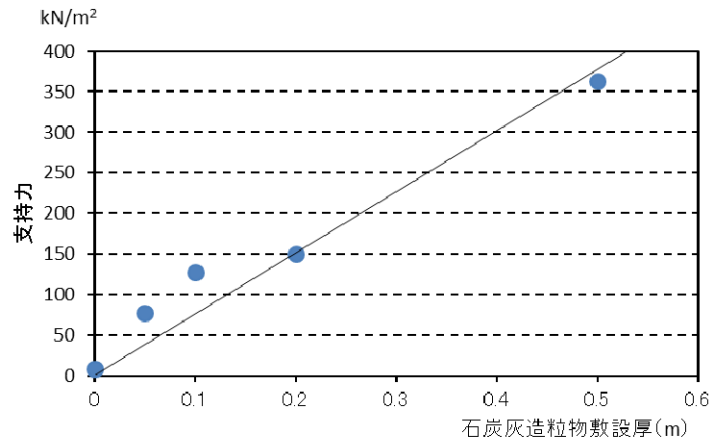


図-5.9.2 石炭灰造粒物敷設厚と支持力の関係<sup>2)</sup>

## (2) 石炭灰造粒物作業通路の設計方法

敷設した造粒物（透水層）を新たな支持層と評価し重機荷重を支持させる場合、支持力は弱い下層地盤（干潟地盤）の影響を受けるため地盤の多層性を考慮する必要がある。弱層（干潟地盤）が全体の支持力値を支配するのか、あるいは作業通路（透水層）を含む層状地盤全体の破壊によって支持力が決定されるか検討が必要である。平板載荷試験結果より、 $0 \text{ kN/m}^2$ の干潟地盤支持力は、造粒物  $5 \text{ cm}$  厚の敷設により  $77 \text{ kN/m}^2$ に向上している。下層地盤の影響は受けるものの、層状地盤全体で荷重を支持していると評価できる。よって、ヘドロ干潟であっても、石炭灰造粒物による強制置換、圧密促進により造粒物と在来干潟の2層地盤が形成され、弱層への応力分散を考慮して河床地盤の支持力が確保できる深度（厚さ）を算出することで作業用通路の設計が可能となる。平板載可試験結果より許容支持力を評価すると造粒物敷設厚  $30 \text{ cm}$  では、約  $210 \text{ kN/m}^2$ の極限支持力となり安全率を3とすれば、許容支持力は設計値とほぼ同様の  $70 \text{ kN/m}^2$ （設計値  $63 \text{ kN/m}^2$ ）と評価できる。

## 5.9.2 干潟再生材の透水機能評価

### (1) 透水層の機能性確認

施工した透水層（作業用通路）の透水機能を評価するため、施工前後の干潟にメモリー式水質計（図-5.9.3 参照）を図-5.9.4、図-5.9.5 に示す設置高に埋設し、1ヶ月間（大潮期～大潮期）の連続観測により、透水層内の水循環の形成および底質 DO の供給機能を確認した。施工前の高有機泥層内 DO（図-5.9.4 参照）は、1~2 mg/L 程度であった。干出時においても DO は 3.8 mg/L 以下であり干潟は還元的な状況であった。透水層（作業通路）施工後の DO（図-5.9.5 参照）は、上下層内ともに 6 mg/L 以上が観測されており、水位（潮位変化）に追従した水循環機能が確保されていることが検証された。対象干潟は干潮河川であり、塩分濃度も水位変動に追従して干潮時は河川水の影響を受け、満潮時は海水の影響を受けることが確認された。このことから作業用通路は透水層としても十分に機能していることが確認された。

	施工前	施工後
期間	2012年 11~12月 (1ヶ月連続)	2013年 11~12月 (1ヶ月連続)
箇所	泥層内 干潟深度 10cm	造粒物層内 透水層上層 下層
項目	水位, DO 塩分, 水温	水位, DO 塩分, 水温

**干潟表層**

↑↑

石炭灰造粒物層  
上層(約10cm)

↓

水温・溶存酸素

↓

下層(約30~40cm)

水位・塩分・水温・  
溶存酸素

↓

T.P.-0.35m: 水質計

↓

高有機泥層

T.P.-0.60m: 水質計

↑

↓

図-5.9.3 水質計設置・測定概要<sup>2)</sup>

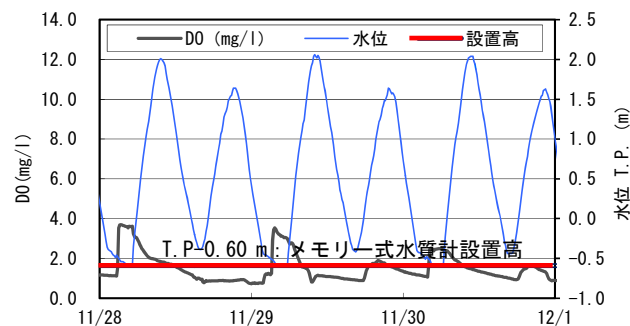


図-5.9.4 高有機泥層内（施工前）の DO 評価<sup>2)</sup>

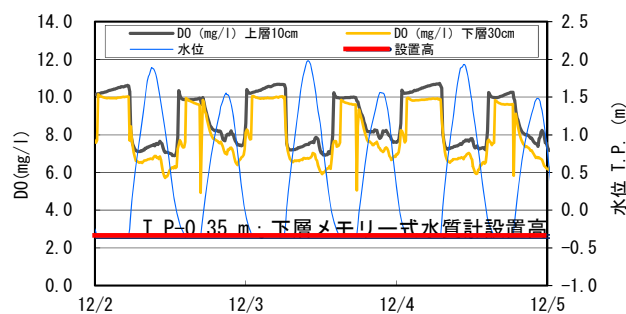


図-5.9.5 石炭灰造粒物層内（施工1年後）の DO 評価<sup>2)</sup>

## (2) モニタリングによる改善効果の確認

施工後モニタリングにより底質の改善、親水性の向上、生物生息環境の改善について評価した。

干潟の歩行可否を指標とする親水性機能の向上は、干潟表層の土壌硬度を測定することにより評価した。施工 15 ヶ月後（2014 年 8 月）においても歩行に必要な  $50 \text{ kN/cm}^2$  以上の土壌硬度が干潟全体で維持されている。

底質改善効果は、対照区および施工範囲 3 ヶ所（図-5.6.2 参照）のモニタリングポイントで評価した。施工 15 ヶ月後においても硫化水素の発生抑制が確認されていた。

### 5.9.3 石炭灰造粒物への藻類付着と生物相の多様化

敷設した造流物へ施工数日後から藻類の付着が確認（写真-5.9.2 参照）された。対照区の有機泥表層では、目視で藻類の付着は確認されず、モニタリング箇所（図-5.6.2 参照）で藻類の付着状況（図-5.9.6 参照）を調査した。

確認された藻類は主に珪藻類で、優占種は特殊なものではなく干潟の一般的な種であった。干潟再生材として造粒物を用いることで、これら従来優先種により、ヘドロ干潟を従来の環境へ改善できる可能性が示唆された。また、生物相については、施工前後の調査により、泥質を好む生物から砂礫質を好む生物へと干潟生物相の変化（表-5.9.1 参照）が確認されている。



(a) 石炭灰造粒物への藻類付着(水没時)<sup>3)</sup>



(b) 石炭灰造粒物への藻類付着(干潮時)<sup>4)</sup>

写真-5.9.2 干潟へ敷設した石炭灰造粒物への藻類付着状況

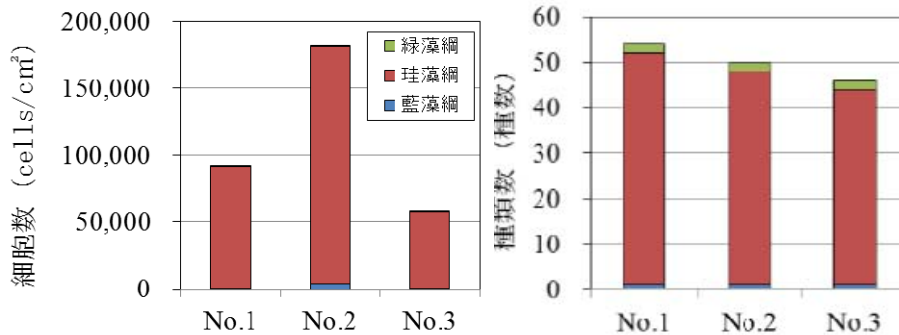


図-5.9.6 造粒物表層の珪藻類付着量評価<sup>4)</sup>

表-5.9.1 施工前後で確認された生物相の変化<sup>4)</sup>

箇所	施工前(2012.11)	施工後(2013.11)	施工後(2014.8)	凡例
No.1	△ Heteromastus属 (環形動物)	△ ヤマトスピオ (環形動物)	◎ 好ジマツホ (節足動物)	◎ 岩などに付着して生息
	□ ウミコマツホ (軟体動物)	○ ケサイリガニ (節足動物)	○ チゴガニ (節足動物)	○ 礫混じりの環境に生息
	□ ムロスナウミナナシ (節足動物)	○ シマトロコエビ (節足動物)	○ シマトロコエビ (節足動物)	□ 砂泥環境に生息
No.2	△ チゴガニ (節足動物)	-	□ ムロスナウミナナシ (節足動物)	△ 泥環境に生息
	- ハエ目 (節足動物)	-	- マリヨコエビ属 (節足動物)	- 不明
	△ Heteromastus属 (環形動物)	△ Heteromastus属 (環形動物)	△ Heteromastus属 (環形動物)	
No.3	□ ウミコマツホ (軟体動物)	□ ムロスナウミナナシ (節足動物)	△ ヤマトスピオ (環形動物)	
	-	-	△ ケヤムシ科 (環形動物)	

## 第5章 関連参考文献

- 1) 中本健二, 廣中伸孝, 樋野和俊, 日比野忠史: ヘドロ堆積干潟での底質浄化能力を持つ作業場構築技術の開発, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.70, No.2, I\_1104-I\_1109, 2014.
- 2) 中本健二, 廣中伸孝, 樋野和俊, 日比野忠史: ヘドロ堆積干潟での石炭灰造粒物による大規模底質改善施工技術の開発, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.71, No.2, I\_808-I\_813, 2015.
- 3) 中本健二, 及川隆仁, 樋野和俊, 日比野忠史: 還元有機泥が堆積した海域の底質改善に用いられる石炭灰造粒物の生物親和性評価, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.71, No.2, I\_1459-I\_1464, 2015.
- 4) 中本健二, 廣中伸孝, 樋野和俊, 日比野忠史: ヘドロ堆積干潟での石炭灰造粒物による大規模底質改善施工技術の開発, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.71, No.2, I\_808-I\_813, 2015.



本章では、事業の効果を評価していくためのモニタリング調査の項目と調査手法および評価方法について、広島市内派川での実施例を踏まえて示す。

## 6.1 評価の視点

### 6.1.1 河岸ヘドロの有機物特性評価の概要

太田川市内派川では人口増に伴う生活排水の増加により、しばしば未処理下水が放流され、河岸のヘドロ化が進んでいる。広島市内中心を流れる京橋川河岸においても、上げ潮により河口から浮遊物質が輸送され1cm/年程度の有機泥の堆積がある。このため、アルカリ剤造粒物である石炭灰造粒物を利用し、市内派川河岸に堆積したヘドロの浄化と生態系の再生を行ってきた。この底質改善技術を適用した1つとして、京橋川での改善効果の評価を行っている。

石炭灰造粒物のように酸化物（ $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$  等）を材料として造粒されたアルカリ剤造粒物がヘドロ上に散布されると、造粒物を構成する酸化物から泥層内間隙水に陽イオンと  $\text{OH}^-$  が溶出するため、 $\text{pH}$  が上昇する。さらに、アルカリ剤造粒物から溶出する水和  $\text{Ca}^{2+}$  は、土粒子表面に弱吸着水として吸着している水和イオン（海水と接する粒子では主に水和  $\text{Na}^+$ ）と交換して水分子層厚（含水比）を減少させ、弱吸着水厚の減少は土のコンシステンシー特性の変化（液性限界、塑性指数の低下）を促すと想定される。これらのコンシステンシーの変化は土粒子の粘性や水に対する鋭敏さを低下させ、微細粒子の団粒構造化や粒子の流動性を増大する効果を有している。すなわち、 $\text{CaO}$  を含む酸化物を溶出するアルカリ剤造粒物は、ヘドロ内に蓄積する還元物質の酸化（還元状態の緩和）や有機泥粒子のコンシステンシーの変化等を生起させて、ヘドロ層の浄化（硫化水素の発生や貧酸素化抑制、地下水の流動性向上等）を促進し、生物棲息場の再生を可能にする機能を有している。

本節では、ヘドロ化が進んだ河岸干潟に1km以上にわたって散布した石炭灰造粒物によるヘドロ地盤の浄化量を評価するための調査法、分析結果についてとりまとめた。

## 6.1.2 有機泥を構成する有機物の概要と分析法

### (1) 有機物の嫌気性消化過程

嫌気性消化過程では、易分解性である不安定な有機物（多糖類、タンパク質、脂質等）は低分子化され、最終的に二酸化炭素やメタンに無機化される<sup>1)</sup>。また、嫌気性消化過程では、ATP（アデノシン三リン酸）の生産等が行なわれ、微生物体内にエネルギーとして蓄えられている。有機物の分解では消化過程で生成される電子と  $H^+$  は微生物の活動（ATP 生成等）に利用されるが、利用後に電子は酸化物の還元（ODU：oxygen demand unit の生成）に用いられ、 $H^+$  と共に泥層内に蓄積される。堆積泥中で起こるこれらの過程が有機泥のヘドロ化（還元化、酸性化）である。一方、不安定有機物を材料として<sup>2)</sup>、または植物プランクトン中の不飽和脂肪酸が酸化することによって<sup>3)</sup>、フミン酸、フルボ酸、ヒューミン等の腐植性有機物の生成が行なわれる。腐植性有機物は土壤の陽イオン交換容量（CEC）を増大させる等の働きを有しており、腐植性有機物の存在はアルカリ剤造粒物の浄化効果を助長している。

### (2) 有機泥の採取と分析方法

堆積有機泥の採取は京橋川に加えて福山港、広島湾奥部（呉湾、海田湾）で行われた。福山港では下水放流口（内港）から約 2 km と 10 km 以上離れた有機物含有量の少ない地点で採取した。

#### a) アルカリ剤造粒物散布後の底泥採取

アルカリ剤造粒物として石炭灰をセメントで造粒した石炭灰造粒物が 2013 年 5 月に 10 cm～40 cm 厚で河岸に散布された。試料採取は散布地点と未施工地点で行なわれた。未施工地点での底泥の採取厚は 10 cm、上層は地盤表層、中層は 10 cm 深、下層は 20 cm 深を基準面とした。散布地点では上層は表面造粒物、または泥表面から 5 cm 厚で採取し、中層・下層は未施工地点の中層、下層に対応させて採取した。

#### b) 有機泥に含まれる元素および油脂成分の分析

採取した有機泥の含有元素（C、N）、n-ヘキサン抽出物質、粒度組成を測定した。ここで、n-ヘキサン抽出物質にはフェノール類、アミン類等が含まれるが、これらを含めて油脂類として扱った。有機泥は 110°C で炉乾燥させ、CHN 分析装置により含有元素量を測定した。なお、CHN 分析により測定された C は全炭素（T-C）を表している。

#### c) 泥の燃焼特性試験

燃焼試験では電気マッフル炉（Yamato 科学機器社製、FO510）を用いて、有機泥を 110°C で乾燥（含水比測定）後、200°C から 600°C までに温度を変えて 4 時間燃焼し、燃焼量に対する減少量（mg/g）を測定した。燃焼温度は IL の添え字として、例えば 400°C までの燃焼量は IL400 のように標記した。一般的に海底泥を対象とした有機泥分析では有機物量として IL600 が利用されているが、600°C の燃焼では粒子に吸着する構造水（強吸着水）の蒸発による質量減少が含まれることから、本解析では 400°C の燃焼による減量分 IL400 を全有機物量としている<sup>4)</sup>。したがって、IL600 と IL400 との差は構造水量として考えることができる。また、不安定有機物は易燃性有機物であることから<sup>5)</sup>、IL300 を不安定有機物量として用いている。

### 6.1.3 河岸堆積泥の特性

#### (1) 不安定有機物の堆積状態

図-6.1.1には有機物の特性として、(a) 全有機物量 (IL400) と不安定有機物量 (IL300)、(b) IL400 と T-C、(c) 構造水 (IL600-IL400) と吸着水 (含水比-構造水)、図-6.1.2には微細粒子の物理・化学特性として、細粒分含有率 (シルト+粘土成分) に対する(a)含水比、(b)全炭素量、(c)油脂類 (n-ヘキサン抽出物質) の各々との関係が示されている。なお、セジメントトラップは河岸に15日間設置し捕捉された有機泥を河岸に輸送されて沈降する有機泥として分析した。

#### a) 不安定有機物の含有割合

不安定有機物には高分子のタンパク質、炭水化物、脂質および、それらの低分子化した炭素化合物が含まれる。不安定有機物は易分解性であるため、含有量の多い有機泥は還元化し易い。

図-6.1.1(a)ではIL比(=IL300/IL400)は0.6~0.8程度の値をとっており(図-6.1.4の横軸にIL比が示されている)、不安定有機物の含有量が多い傾向にある。0.7を越えるIL比を持つ有機泥は下水処理場に集積された未処理汚泥(下水汚泥)と同程度の不安定有機物を含む可能性がある。自然由来の有機物であれば、易燃性有機物は不安定な有機物として扱うことができる。しかし、対象域は様々な起源の有機物が流入する河岸であり、易燃性有機物が全て不安定有機物として扱うには問題がある。本書では、比較的解析容易なn-ヘキサンで抽出される油脂類をIL300とともに分析することで、有機物の起源を議論する。

下水汚泥では油脂類が不安定有機物に占める割合が大きいが、京橋川の干潟泥(京橋泥)では堆積泥、捕捉泥がともに1/4以下の含有量である(図-6.1.4参照)。植物プランクトンを主に起源とする広島県呉湾の堆積有機泥(呉泥)では油脂類量はIL比が同程度である広島県福山港内港の堆積泥(福山泥)の1/5程度の値を有している。京橋泥は一次生産を起源とした有機泥と同オーダの油脂分量となっている。一方、セジメントトラップ捕捉泥は堆積泥と同程度のIL比で、かつ堆積泥に比べ有機物含有量が多く粒子が細かい特性がある(図-6.1.2(b)参照)が、捕捉泥においては0.5~1.1 mg/g程度の油脂量でしかない。既往の調査において、京橋泥には1mg/gを越える油脂類がしばしば検出されており、流況によって対象域への輸送量は変化すると考えられる。干満を繰り返す感潮河川では放流口からの流路が長くなるために放流下水を起源とした高級脂肪酸は対象域に輸送される間に分解し、低級化した脂肪酸は可溶性となり水中へ分離され易い特性がある。

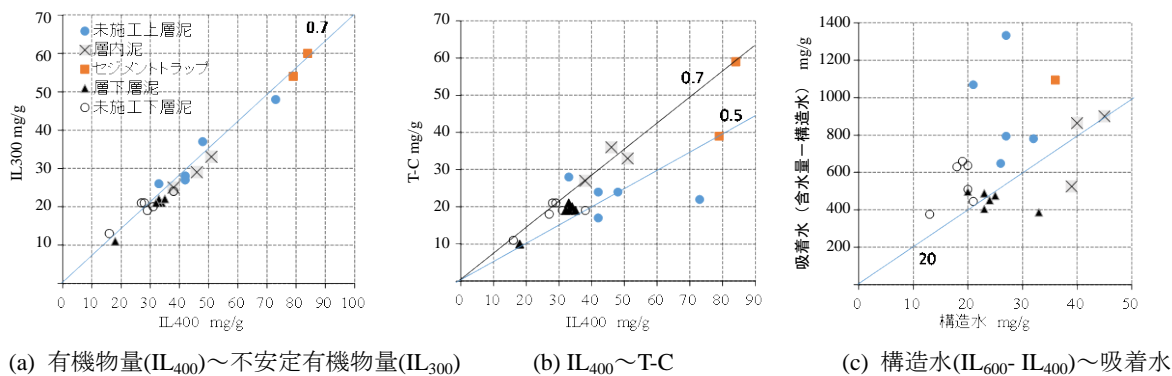


図-6.1.1 有機泥に含まれる有機物と微細粒子の特性<sup>6)</sup>

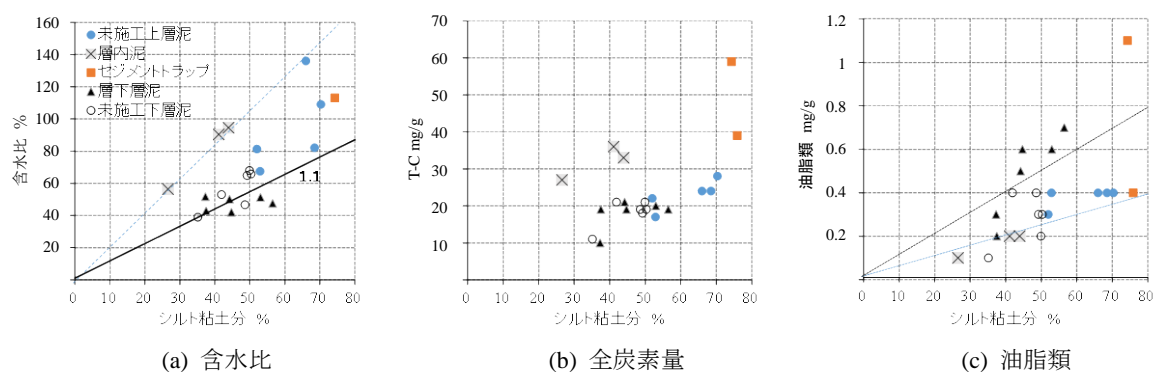


図-6.1.2 細粒分(シルト・粘土分)の物理・化学特性(点線は補助線)<sup>6)</sup>

## b) 炭素、窒素含有量

全有機物(IL<sub>400</sub>)に含まれる全炭素量(C/IL比)は、0.5～0.7の広範囲に及ぶとともに(図-6.1.1(b)参照)、Steutelら<sup>7)</sup>の示した0.58を中心に分布している。C/IL比は炭素化合物である有機物の炭素組成率を示している。なお、C/IL比の高い不安定有機物は高級脂肪酸に代表される(75%程度)。京橋泥ではC/IL比が70%を越える有機物を含んでいるのに対して(図-6.1.1(b)参照)、不安定有機物に対する油脂類含有量は2%程度であり、油脂類がC/IL比の高い要因になっていない。不安定有機物ではない可燃性の高分子炭素化合物が含まれていると考えられることから、対象泥ではIL<sub>300</sub>を無条件で不安定有機物量とすることには問題がある。また、窒素の含有量は少ない(C/N>20)ことを合わせて考察すると、タンパク質(アミノ酸)の含有は少なく、掃流されてきた不安定有機物の分解が終了段階にある、または陸域土壌起源の有機物が多く含まれると考えられる。

c) 水分保持能力

有機泥の水分保持能力は微細土粒子と細粒分に付着する有機物が担っており、通常の堆積泥の含水比は細粒分の含有割合に比例している。微細土粒子には構造水（500°C程度以上で蒸発）と水和した陽イオン（水和イオン、100°Cで蒸発）が電氣的に吸着しており、水和イオンの作る水分子層厚が粒子の保水能力の大きさに比例している。有機泥粒子に保持される水分は吸着水の外側には有機物に起因する重力水、または膨潤水（含水量－構造水－吸着水）が存在する。有機物の付着により粒子の表面積が増えること等によって水分保持能力は増大すると考えられる。太田川河岸泥では概ね細粒分（重量比）の1.1倍が含水比になっている<sup>8)</sup>。京橋泥もこの値を中心にプロットされる（図-6.1.2(a)中の実線）が、上層泥の含水比は高い傾向にある。未施工上層泥の重力水は構造水の20倍を越えていることから（図-6.1.1(c)）、上層泥の含水比が高いのは有機物が緩い状態で付着しているためと考えられ、水分は重力水として保持され易い粒子構造になっている。

(2) 堆積泥および沈降泥の酸化還元状態

図-6.1.3に堆積泥のpHとORPの関係を示した。図中の実線は上からMnOx/Mn<sup>2+</sup>、Fe(OH)<sub>3</sub>/Fe<sup>2+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/H<sub>2</sub>Sの酸化還元平衡線を表している。pHとORPの関係はSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/H<sub>2</sub>Sの平衡線よりも上側にプロットされており、河岸干潟ではFeイオン（Fe<sup>2+</sup>、Fe<sup>3+</sup>）を主体とした酸化還元反応が起こっていると推定される。また、酸素の供給が制限されるセジメントトラップ内に捕捉された有機泥では、有機物分解やODUの酸化による酸素消費能力が高いために、一般的に捕捉泥は強い還元状態を示す。しかし、本調査結果では15日間の捕捉期間にも関わらずORPが高い状態で維持されており、有機泥の掃流時間が長く酸素消費能力が小さい有機物状態で捕捉されていることが予想される。捕捉泥の酸化還元状態は油脂含有量が少ないことと連動していると考えられ、京橋河岸には下水成分の多くが中間体程度にまで分解が進んだ有機物、または易粘性の高分子炭素化合物である有機物が掃流されてきたと推定される。

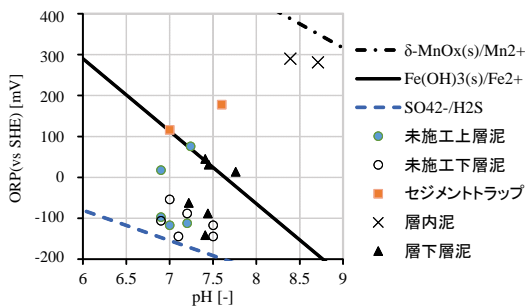


図-6.1.3 京橋泥の酸化還元状態 (pH~ORP 関係)<sup>6)</sup>

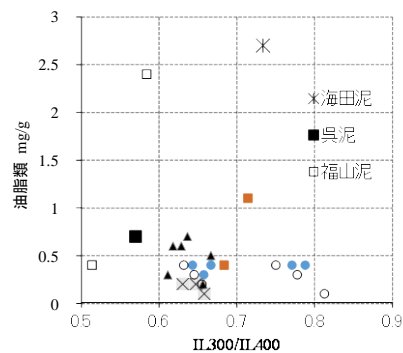


図-6.1.4 油脂類含有状態の比較<sup>6)</sup>  
(京橋泥の凡例は図-6.1.1に同じ)

### (3) 京橋泥と下水汚泥、海底堆積泥との比較

図-6.1.4では河岸に堆積する京橋泥と海域に拡散した後に堆積して湾奥海底泥と同じレベルの油脂類含有状態にある下水汚泥混入泥(福山泥)、および広島湾奥に堆積する湾奥海底泥(海田泥、呉泥)の性状が示されている。図では全有機物に占める不安定有機物量比(II比)と油脂類含有量との関係が比較されている。未処理下水が継続的に供給される場ではII比が低下しても主要素である油脂類の含有割合の減少は少ない(油脂類の残存比が高い)傾向にある。広島湾奥域は下水起源の有機物の他に一次生産起源の有機物が堆積する環境にあり、下水が主な起源である有機泥と比較して油脂類の含有率は低い状態にある。一方、他時期での調査においては海田泥と同程度の油脂含有量であったが、本期間では京橋泥への油脂類の含有率は広島湾奥泥よりも低い状態にあり、新たな下水起源泥の有機物の堆積が少なかったと判断できる。有機泥に含まれる有機物の種類は有機泥の形成、起源に強く依存するが、これらの結果は下水起源泥の輸送経路、放流からの経過時間等の有機泥の受けた履歴に対する依存度が高いことを示している。

京橋泥の油脂類含有量の変動が海底堆積泥に比較して大きいのは、混入した下水起源泥の放流から堆積に至るまでに受ける履歴、すなわち海水、淡水との接触時間、回数にも強く依存すると考えられる。下水汚泥に存在する易燃性有機物の多くは不安定な有機物として扱えるが、浮遊、沈降を繰り返して堆積する有機物には、様々に異なる濃度のイオンとの接触がある。有機泥粒子での陽イオン交換や不安定有機物の分解は有機泥粒子の物理的特性を変化させるため不安定有機物の分離が促進されれば、安定な易燃性有機物が選択的に残存していくと考えられる。さらに、京橋泥では干潟の特性である藻類等を起源にもつ不安定有機物が新たに生産されることも、油脂含有率が少なく不安定有機物量の多い状態を形成する要因として考えられる。



## 6.1.4 石炭灰造粒物の散布効果とその機構

### (1) 造粒物層内での有機物性状変化

石炭灰造粒物層内、または層上に堆積した有機泥（事後層内泥と呼ぶ）の分析値は図-6.1.1～図-6.1.6中に×で示されている。全ての図において層内泥は未施工（または施工前）上層泥の値とは異なる位置にプロットされており、石炭灰造粒物から間隙水に溶出したイオンの影響を受けて層内泥の性状を変化させたことがわかる。

#### a) 造粒物層に形成される間隙

写真-6.1.1は造粒物散布後3年を経た造粒物層内の断面写真である。対象断面は約70cm厚で散布した後、施工時に作業道として利用しているため、数10回の重機（約1t）の通行により造粒物層表層と泥層は締め固められている。このため造粒物層上層では間隙が小さくなるが、それ以深では間隙率が高い状態にある。有機泥の堆積は表層の10cm程度に限られ、有機泥の堆積した上層においても空気や水が上下に貫通するため、堆積した有機泥が圧密されることはない。造粒物層への有機泥の堆積状態は造粒物の設置法、有機泥との接触割合に依存して変化するが、表層下数10cmにあっても層内の浸透性は高く、写真-6.1.1にあるように干出時に地下水が造粒物層内に停滞することはない。



写真-6.1.1 石炭灰造粒物層の断面写真<sup>9)</sup>



写真-6.1.2 干出前に造粒物層内から気泡が浮出する状況（層内に常時空気が保持されている）<sup>9)</sup>

## b) 造粒物層内に堆積した有機泥の性状

粘土粒子表面で $\text{Na}^+$ から $\text{Ca}^{2+}$ への陽イオン交換が起これば水和イオン径が小さくなり有機泥の含水比（土粒子吸着水量）は低下するはずであるが、本調査結果では造粒物層が設置されていない干潟表面に堆積する有機泥（未施工上層泥）よりも含水比が高くなっている（図-6.1.2(a)参照）。しかし層内泥に含まれる細粒分含有率は少ない状態にあることから（図-6.1.2、未施工上層泥の約60%に対して約40%）、有機泥粒子の団粒構造化が予想できる。石炭灰造粒物自体に0.2g/g程度の吸水能力があり、吸水した造粒物を試料として混入することにより高含水比の特性が現われることも考えられるが、層内泥のC/IL比が大きいことから有機物の付着が多いことが原因と考えるのが妥当である。さらに、含水比の測定は採取方法、分析までの保管要領によって大きく値が変化する。干出後約4時間経過した後に採取した層内泥は88%、未施工上層泥は128%の含水比であり、造粒物層内では土粒子への吸着水量が低下していると推定できる。このことは図-6.1.1(c)において層内泥では吸着水量が多く、未施工地点では吸着水の20倍を超える重力水が含まれていることにも裏付けられている。

また、有機泥が石炭灰造粒物と接触することにより易燃性有機物に含まれる油脂類量は未施工域の1/2レベルに低下しており、選択的に脂肪酸が分解、分離（液化・けん化）、または腐植傾向化（脱水等による安定化）し易い環境が形成されている可能性がある。これまでの現地実験でも石炭灰造粒物層設置場では油脂類の減量が起こっており、本結果においても同様の効果が現われている。COOH基はアルカリ層内において $\text{H}^+$ が $\text{Ca}^{2+}$ 等の金属イオンに置換され不溶性の脂肪酸塩に中和される（けん化）。造粒物層内にできる間隙内では脂肪酸の金属石鹸化等、pHの上昇に伴った金属イオンの結合が起こり易い場が形成されている可能性が高いことがわかる。

## c) 造粒物層内、層下に形成される酸化還元状態

層内泥のpH~ORP関係が $\text{MnOx}/\text{Mn}^{2+}$ の酸化還元平衡線に近づき、層下にある堆積泥においても $\text{Fe}(\text{OH})_3/\text{Fe}^{2+}$ の平衡線付近に変化しており（図-6.1.3参照）、造粒物層による還元性の弱化、さらに酸化的状態への傾向が顕著に現われている。造粒物層内には干出時に層内に空気が蓄えられ、冠水後も層内に空気が残留する機構が形成されている（写真-6.1.2参照）。造粒物層内に堆積する有機泥は嫌氣的分解（電子の蓄積、還元化）のみならず、好氣的な分解（電子の消費、呼吸）が行われていることが考えられる。

## (2) 石炭灰造粒物層内で起こる物理・化学現象

造粒物層内では生物の棲息環境が向上されることがこれまで行なった全ての現地実験で実証されている。生物の棲息環境の向上は酸化物の溶出に引き続いて造粒物層内の浸透性が向上することによって考えられる。造粒物層内の化学的特性は、浸透性に起因する以下の層内泥の物理性状変化を引き起こす役割を担っている。

### a) 液性限界の低下（粒子粘着性の低下）

石炭灰造粒物からは酸化物（ $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Si}^{2+}$ 等の陽イオン）の溶出があり、造粒物層内では  $\text{Ca}^{2+}$  の濃度上昇が顕著に現れる。河口干潟では堆積有機泥が接するのは海水であることが多いことから有機泥には主に水和  $\text{Na}^+$  が吸着していると考えられる。干潟に設置された造粒物層内へは海水の浸入が多いが、造粒物からの  $\text{Ca}^{2+}$  の溶出により造粒物層内の  $\text{Ca}^{2+}$  濃度が上昇するため有機泥に吸着する水和  $\text{Na}^+$  が水和  $\text{Ca}^{2+}$  と交換される機会が多くなる。 $\text{Na}^+$  は  $\text{Ca}^{2+}$  に比較して水和数が低いために粒子の保水能力の低下による粒子表面への吸着水層厚の減少が起こる。吸着水層厚（含水比）の減少は有機泥粒子の粘着性低下として現われる。

### b) 酸素消費量の低下

図-6.1.5 に示した層内泥と未施工上層泥の酸素消費試験結果では層内泥の酸素消費速度は1/3程度に低下しており、造粒物層内での ODU の生産量が少ない、または消費量が多いことがわかる。酸素消費試験に用いた有機泥の pH、ORP は層内泥が 6.7 と 124mV、未施工上層泥が 6.3 と -63mV であり、ORP 値と酸素消費速度が連動している。速度の速い酸素消費は主に ODU が行なっていることから、造粒物層内では電子が蓄積されない状態が形成されている（図-6.1.3 参照）ことがわかる。造粒物層では干出中に流入した空気を保持する構造、酸化物を溶出する能力を有しており、有機物の分解により生産された電子を電子伝達物質を介して酸素、または酸化物に受け渡すこと（ODU の酸化）ができています。

### c) 団粒構造化（泥粒子の団粒化）

土粒子の団粒構造化は通気性、透水性、保水性を向上させることが知られている。石炭灰造粒物が乾燥状態にない造粒物層内では  $\text{Ca}^{2+}$  を介して細粒有機泥相互の結合が起こる。図-6.1.6 には京橋泥を構成するシルト粘土分（ $74\mu\text{m}$  以下）と礫分（2mm 以上）との関係が示されている。ここで扱う粒度区分は粒径を示すために用いられている。層内泥では、シルト粘土分に対する礫分の含有量が高く、未施工上層泥と比較すると礫分の含有率が 10 倍以上高くなっており、造粒物により微細有機泥の団粒構造化が進んでいることが推定できる。図-6.1.2(b) で示したように、未施工上層泥では有機物（T-C）がシルト粘土分に含有しているのに対して、層内泥に含まれる有機物は礫分にも多く付着しており、微細な有機泥が相互に結合し、団粒構造化していることが裏付けされる。

#### d) 層内泥の化学的状態と粒子付着

有機泥の性状は粒子周辺の陽イオンの状態、酸化還元電位に依存している。対象干潟に浸入する水は海水であり  $\text{Na}^+$ 濃度（海水では  $10000\text{mg/L}$  オーダ）は  $\text{Ca}^{2+}$ 濃度の 25 倍程度ある。石炭灰造粒物の単位  $\text{cm}^2$  当りの  $\text{Ca}^{2+}$ の脱イオン水への溶出量は約  $200\text{mg}/10$  日である。 $\text{Ca}^{2+}$ 濃度の増加によって造粒物層内で  $\text{Na}^+$ と  $\text{Ca}^{2+}$ のイオン交換が起こり易くなれば、造粒物層内は有機泥の含水量（吸着水）を低下させる場に変化していく。前述したように有機泥粒子が  $\text{Ca}^{2+}$ 濃度の高い造粒物層内に侵入し有機泥粒子に吸着している水和  $\text{Na}^+$ が水和  $\text{Ca}^{2+}$ に交換されると、有機泥の粘着性が低下し、粒子相互の結合力を弱める。

有機泥粒子が乾燥状態にある石炭灰造粒物に接する場合には重力水が吸引され陽イオンを介した有機泥と造粒物との間に結合強度（サクション）の増大が得られるが、石炭灰造粒物が湿潤状態にある場合には造粒物の吸水力が無くなり、有機泥粒子の造粒物への付着力が小さくなる。さらに有機泥粒子の吸着水層厚の減少（粘着性の低下）により粒子の相互脱着が引き起こされる。すなわち、有機泥層に構築された石炭灰造粒物層内では造粒物から溶出した  $\text{Ca}^{2+}$ が層内泥の粘着性を低下させ流動性を向上させていると推定される。

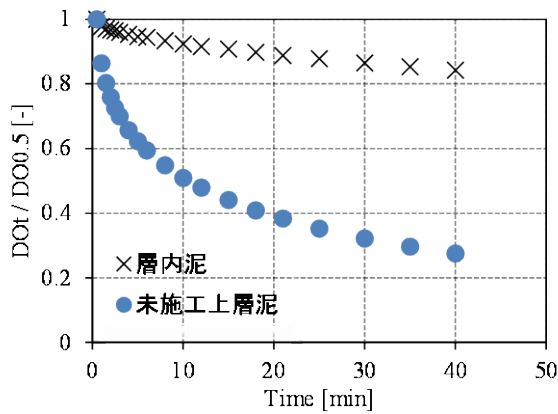


図-6.1.5 層内泥と未施工表層泥の酸素消費速度<sup>6)</sup>

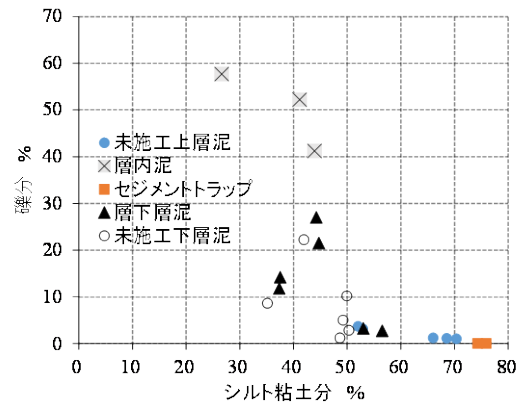


図-6.1.6 層内泥の団粒構造化<sup>6)</sup>

## 6.2 モニタリング項目の整理

底質改善実証試験の施工後の底質改善状況を把握することを目的として、河床調査、底質調査、水質調査および生物調査を行った。

河床調査は表-6.2.1、底質調査は表-6.2.2、水質調査は表-6.2.3、生物調査は表-6.2.4、小規模実証試験区調査（底質調査、生物調査）は表-6.2.5、二枚貝生息環境調査は表-6.2.6に示すとおりである。また、現地調査位置は図-6.2.1に示すとおりである。

表-6.2.1 河床調査内容

調査項目	調査箇所	調査時期
平面分布（干潟範囲） （底質性状、色調、臭い等）	全域	3回/年 春季 夏季 秋季
泥厚（へドロ層厚）	代表箇所 （調査区域全体の性状を把握した後に、代表箇所を複数選定し調査を行った。）	
景観（定点写真撮影）		
地盤高測量（横断測量）	代表断面	1回/年 秋季
土壌硬度、歩き易さ	代表箇所 （調査区域全体の性状を把握した後に、代表箇所を複数選定し調査を行った。）	2回/年 夏季 秋季
底生生物の生息状況		
ORP（酸化還元電位）		
pH（水素イオン濃度）		

表-6.2.2 (1) 底質調査① (試験区)

調査項目	検体数 (1回当たり)	調査方法	調査 箇所	調査 時期
泥温	9	ポータブル測定器 (ORP 測定時)	3 箇所 ×3層/箇所  (柱状コア採取) 上層：表面 中層：造粒物直下 下層：在来層  <調査地点> No. 1 No. 2 No. 3	2 回/年  夏季  秋季
強熱減量 燃焼温度 3 パターン (300、400、600℃)	27 (3×3×3)	底質調査方法 (平 24) II 4. 2 に準拠		
ORP (酸化還元電位)	9	ポータブル測定器		
pH (水素イオン濃度)	9	ポータブル測定器		
硫化物	9	底質調査方法 (平 24) II 4. 6		
C	9	CHN コーダー法		
N	9	CHN コーダー法		
H	9	CHN コーダー法		
全リン	9	底質調査方法 (平 24) II 4. 9		
n-ヘキサン抽出物質	9	底質調査方法 (平 24) II 4. 13. 1		
含水比	9	JIS A 1203 (2009)		
粒度組成	9	JIS A 1204 (2009)		
硫化水素	9	ガスクロマトグラフ-FPD 法		
Si	9	ICP 発光分光分析法		
Ca	9	ICP 発光分光分析法		
底質中の脂肪酸濃度 (9 項目) Myristic acid (ミリスチン酸) Pentadecanoic acid (ペンタデカン酸) Palmitic acid (パルミチン酸) Heptadecanoic acid (ヘプタデカン酸) Stearic acid (ステアリン酸) Nonadecanoic acid (ノナデカン酸) Eicosanoic acid (エイコサン酸) Linolenic acid (リノレイン酸) Linoleic acid (リノール酸)	2	GCMS による分析	2 箇所 ×1層/箇所  <調査地点> No. 1 No. 2	1 回/年  夏季



表-6.2.2 (2) 底質調査② (対照区) 内容

調査項目	検体数 (1回当たり)	調査方法	調査 箇所	調査 時期
泥温	1	ポータブル測定器 (ORP 測定時)	1 箇所 (表層採取)  〈調査地点〉 対照区	2 回/年  夏季  秋季
強熱減量 燃焼温度 3 パターン (300、400、600℃)	3 (1×3×1)	底質調査方法 (平 24) II 4.2 に準拠		
ORP (酸化還元電位)	1	ポータブル測定器		
pH (水素イオン濃度)	1	ポータブル測定器		
硫化物	1	底質調査方法 (平 24) II 4.6		
C	1	CHN コーダー法		
N	1	CHN コーダー法		
H	1	CHN コーダー法		
全リン	1	底質調査方法 (平 24) II 4.9		
n-ヘキサン抽出物質	1	底質調査方法 (平 24) II 4.13.1		
含水比	1	JIS A 1203 (2009)		
粒度組成	1	JIS A 1204 (2009)		
硫化水素	1	ガスクロマトグラフ-FPD 法		
Si	1	ICP 発光分光分析法		
Ca	1	ICP 発光分光分析法		
底質中の脂肪酸濃度 (9 項目) Myristic acid (ミリスチン酸) Pentadecanoic acid (ペンタデカン酸) Palmitic acid (パルミチン酸) Heptadecanoic acid (ヘプタデカン酸) Stearic acid (ステアリン酸) Nonadecanoic acid (ノナデカン酸) Eicosanoic acid (エイコサン酸) Linolenic acid (リノレイン酸) Linoleic acid (リノール酸)	1	GCMS による分析	1 回/年  夏季	

表-6.2.2 (3) 底質調査③（作業通路、浸透溝）内容

調査項目	検体数 (1回当り)	調査方法	調査 箇所	調査 時期
泥温	2	ポータブル測定器 (ORP 測定時)	2 箇所 (側面)  〈調査地点〉 No. 1 (作業通路横)  No. 2 (浸透溝横)	1 回/年  夏季
強熱減量 燃焼温度 3 パターン (300、400、600℃)	6 (2×3×1)	底質調査方法 (平 24) II 4. 2 に準拠		
ORP (酸化還元電位)	2	ポータブル測定器		
pH (水素イオン濃度)	2	ポータブル測定器		
硫化物	2	底質調査方法 (平 24) II 4. 6		
C	2	CHN コーダー法		
N	2	CHN コーダー法		
H	2	CHN コーダー法		
全リン	2	底質調査方法 (平 24) II 4. 9		
n-ヘキサン抽出物質	2	底質調査方法 (平 24) II 4. 13. 1		
含水比	2	JIS A 1203 (2009)		
粒度組成	2	JIS A 1204 (2009)		
硫化水素	2	ガスクロマトグラフ-FPD 法		

表-6.2.2 (4) 底質調査④ (セジメントトラップ)

調査項目	検体数 (1回当たり)	調査方法	調査 箇所	調査 時期
強熱減量 燃焼温度 3 パターン (300、400、600℃)	3 (1×3×1)	底質調査方法 (平 24) II 4.2 に準拠	1 検体	2 回/年  夏季  秋季
硫化物	1	底質調査方法 (平 24) II 4.6		
C	1	CHN コーダー法		
N	1	CHN コーダー法		
H	1	CHN コーダー法		
全リン	1	底質調査方法 (平 24) II 4.9		
n-ヘキサン抽出物質	1	底質調査方法(平 24) II 4.13.1		
含水比	1	JIS A 1203(2009)		
粒度組成	1	JIS A 1204(2009)		
水位	1	メモリー水温水深計による連 続測定	4 検体	
ORP (酸化還元電位)	4	ポータブル測定器		
pH (水素イオン濃度)	4	ポータブル測定器		
セジメント量 (=浮遊物質/容積)	4	環告第 59 号(昭 46) 付表 9 に準拠		

- セジメントトラップは、4 箇所に約 1 ヶ月間設置した。
- セジメントトラップは、径 10cm×高さ 40cm の塩ビパイプを使用し地表面から 10cm 程度突出させ、箇所に 2 本を基本として設置した。

表-6.2.3 水質調査

調査項目	検体数 (1回当たり)	調査方法	調査箇所	調査時期
水位	3	メモリー水温水深計による連続測定	1箇所  〈調査地点〉 No. 2'	1回/年  夏季
水温	3	メモリー水温水深計による連続測定		
塩分	3	メモリー水温塩分計による連続測定		
溶存酸素	3	小型メモリーDO計による連続測定		

表-6.2.4 生物調査

調査項目	検体数 (1回当たり)	調査方法	調査箇所	調査時期
底生生物	5	コドラート (25cm×25cm) 法	5箇所  〈調査地点〉 No. 1~3 施工箇所 対照区	2回/年  夏季  秋季

表-6.2.5 小規模実証試験区調査 (底質調査、生物調査)

調査項目	検体数 (1回当たり)	調査方法	調査箇所	調査時期	
底質調査	粒度分布	1	JIS A 1204(2009)	1箇所  〈調査地点〉 小規模 試験区	2回/年  夏季  秋季
	強熱減量	1	底質調査方法 (平 24) II 4. 2		
	硫化物	1	底質調査方法 (平 24) II 4. 6		
	n-ヘキサン抽出物質	1	底質調査方法 (平 24) II 4. 13. 1		
	COD	1	環水管第 127 号 (昭 63) II・20		
	含水比	1	JIS A 1203(2009)		
	湿潤密度	1	JIS A 1225(2009)に準拠		
	アンモニア態窒素※	1	JIS K 0102(2008)42. 2		
	硝酸態窒素 d※	1	JIS K 0102(2008)43. 2. 3		
	亜硝酸態窒素※	1	JIS K 0102(2008)43. 1. 1		
リン酸態リン※	1	JIS K 0102(2008)46. 1. 1			
生物調査	底生生物	1	コドラート (25cm×25cm) 法		

○ 小規模実証試験区調査の初回において、現況 (覆砂形状・生物巣穴分布状況・藻類繁茂状況等) の確認を行った。

※ 底泥中の間隙水について採取・分析

表-6.2.6 (1) 二枚貝生息環境調査 (生息状況)

調査項目	回数	調査方法	調査箇所	調査時期
試験区設定	1	160 cm×160 cmの区画設定	3箇所 〈調査地点〉 試験区① 試験区② 試験区③	秋季
二枚貝散布	1	各区画に宍道湖産のシジミ (2kg) を散布 メモリー水温塩分計による連続測定 (1.0ヶ月設置)		秋季
追跡調査 (生残率)	6	各区画でコドラート法 (14.4cm×14.4cm×3枠)		秋季

○二枚貝散布の実施日 (試験回ごと) は、以下のとおり。

第1回目：宍道湖産散布

第2回目：宍道湖産散布

○追跡調査の実施日 (試験回ごと) は、以下のとおり。

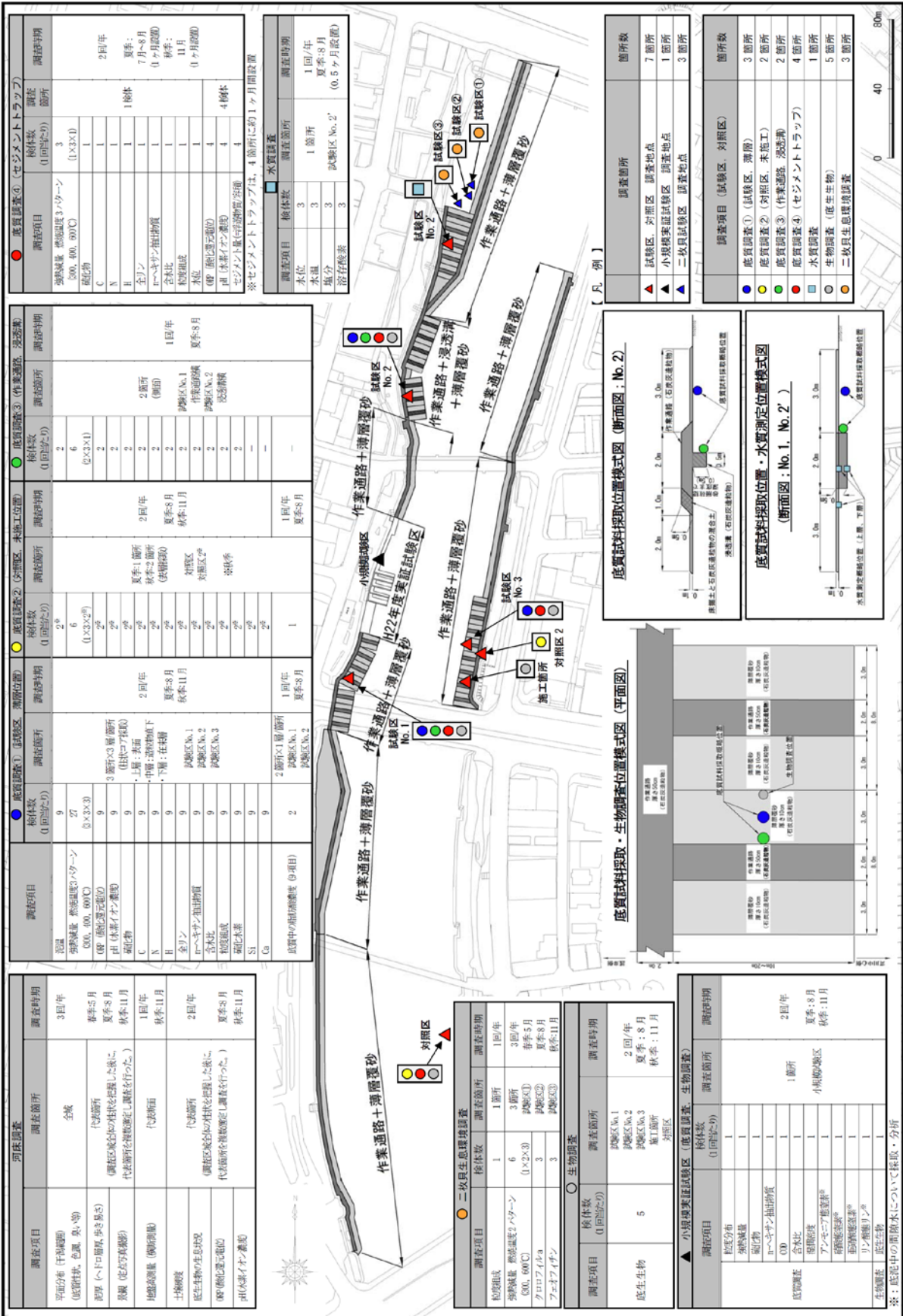
第1回目：1日後・2日後・3日後

14日後・31日後

第2回目：3日後・16日後・29日後

表-6.2.6 (2) 二枚貝生息環境調査 (底質)

調査項目	検体数 (1回当たり)	調査方法	調査箇所	調査時期
粒度組成	1	JIS A 1204(2009)	1箇所	1回/年
強熱減量 燃焼温度 2パターン (300、600℃)	6 (1×2×3)	底質調査方法 (平 24) II 4.2 に準拠	3箇所 〈調査地点〉 試験区① 試験区② 試験区③	3回/年
クロロフィル a	3	JIS K 0400-80-10(2000)		春季
フェオフィチン	3	JIS K 0400-80-10(2000)		夏季 秋季



● 底質調査④ (セジメントトラップ)

調査項目	調査箇所	調査時期
強熱減量 燃焼温度3ハウン	3箇所 (1×3×1)	2回/年
pH	1箇所	7月~8月 (1ヶ月設置)
C	1箇所	夏季: 8月 秋季: 11月 (1ヶ月設置)
N	1箇所	
H	1箇所	
全リン	1箇所	
トヘキサン抽出物質	1箇所	
鉛	1箇所	
クロム	1箇所	
銅	1箇所	
亜鉛	1箇所	
水質調査	4箇所	
ト(有機イオン濃度)	4箇所	
セジメント量(汚濁物質)	4箇所	

● 底質調査③ (作業通路、浸透溝)

調査項目	調査箇所	調査時期
強熱減量 燃焼温度3ハウン	2箇所 (1×3×1)	1回/年
pH	6箇所	夏季: 8月 秋季: 11月 (1ヶ月設置)
C	2箇所	
N	2箇所	
H	2箇所	
全リン	2箇所	
トヘキサン抽出物質	2箇所	
鉛	2箇所	
クロム	2箇所	
銅	2箇所	
亜鉛	2箇所	
水質調査	2箇所	
ト(有機イオン濃度)	2箇所	
セジメント量(汚濁物質)	2箇所	

● 底質調査① (試験区、初期位置)

調査項目	調査箇所	調査時期
強熱減量 燃焼温度3ハウン	9箇所 (1×3×3)	2回/年
pH	27箇所	夏季: 8月 秋季: 11月 (1ヶ月設置)
C	9箇所	
N	9箇所	
H	9箇所	
全リン	9箇所	
トヘキサン抽出物質	9箇所	
鉛	9箇所	
クロム	9箇所	
銅	9箇所	
亜鉛	9箇所	
水質調査	9箇所	
ト(有機イオン濃度)	9箇所	
セジメント量(汚濁物質)	9箇所	

● 底質調査② (試験区、未施工位置)

調査項目	調査箇所	調査時期
強熱減量 燃焼温度3ハウン	2箇所 (1×3×3)	1回/年
pH	6箇所	夏季: 8月 秋季: 11月 (1ヶ月設置)
C	2箇所	
N	2箇所	
H	2箇所	
全リン	2箇所	
トヘキサン抽出物質	2箇所	
鉛	2箇所	
クロム	2箇所	
銅	2箇所	
亜鉛	2箇所	
水質調査	2箇所	
ト(有機イオン濃度)	2箇所	
セジメント量(汚濁物質)	2箇所	

● 水質調査

調査項目	調査箇所	調査時期
水位	3箇所	1回/年
水温	3箇所	夏季: 8月
塩分	3箇所	夏季: 8月 (0.5ヶ月設置)
溶存酸素	3箇所	

● 底質調査③ (試験区、初期位置)

調査項目	調査箇所	調査時期
強熱減量 燃焼温度3ハウン	9箇所 (1×3×3)	2回/年
pH	27箇所	夏季: 8月 秋季: 11月 (1ヶ月設置)
C	9箇所	
N	9箇所	
H	9箇所	
全リン	9箇所	
トヘキサン抽出物質	9箇所	
鉛	9箇所	
クロム	9箇所	
銅	9箇所	
亜鉛	9箇所	
水質調査	9箇所	
ト(有機イオン濃度)	9箇所	
セジメント量(汚濁物質)	9箇所	

● 底質調査② (試験区、未施工位置)

調査項目	調査箇所	調査時期
強熱減量 燃焼温度3ハウン	2箇所 (1×3×3)	1回/年
pH	6箇所	夏季: 8月 秋季: 11月 (1ヶ月設置)
C	2箇所	
N	2箇所	
H	2箇所	
全リン	2箇所	
トヘキサン抽出物質	2箇所	
鉛	2箇所	
クロム	2箇所	
銅	2箇所	
亜鉛	2箇所	
水質調査	2箇所	
ト(有機イオン濃度)	2箇所	
セジメント量(汚濁物質)	2箇所	

● 底質調査① (試験区、初期位置)

調査項目	調査箇所	調査時期
強熱減量 燃焼温度3ハウン	9箇所 (1×3×3)	2回/年
pH	27箇所	夏季: 8月 秋季: 11月 (1ヶ月設置)
C	9箇所	
N	9箇所	
H	9箇所	
全リン	9箇所	
トヘキサン抽出物質	9箇所	
鉛	9箇所	
クロム	9箇所	
銅	9箇所	
亜鉛	9箇所	
水質調査	9箇所	
ト(有機イオン濃度)	9箇所	
セジメント量(汚濁物質)	9箇所	

● 二枚貝生態環境調査

調査項目	調査箇所	調査時期
種分布	1箇所	1回/年
強熱減量 燃焼温度3ハウン	6箇所 (1×2×3)	3回/年
pH	3箇所	夏季: 5月
トヘキサン抽出物質	3箇所	夏季: 5月
鉛	3箇所	夏季: 5月
クロム	3箇所	夏季: 5月
銅	3箇所	夏季: 5月
亜鉛	3箇所	夏季: 5月
水質調査	3箇所	秋季: 11月

● 小規模実証試験区 (底質調査、生物調査)

調査項目	調査箇所	調査時期
種分布	1箇所	2回/年
強熱減量 燃焼温度3ハウン	6箇所 (1×2×3)	3回/年
pH	3箇所	夏季: 5月
トヘキサン抽出物質	3箇所	夏季: 5月
鉛	3箇所	夏季: 5月
クロム	3箇所	夏季: 5月
銅	3箇所	夏季: 5月
亜鉛	3箇所	夏季: 5月
水質調査	3箇所	秋季: 11月

● 底質調査③ (試験区、初期位置)

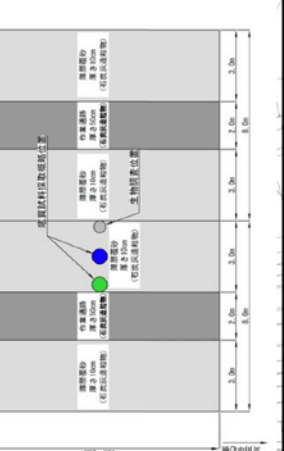
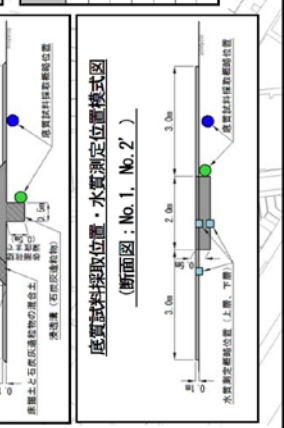
調査項目	調査箇所	調査時期
強熱減量 燃焼温度3ハウン	9箇所 (1×3×3)	2回/年
pH	27箇所	夏季: 8月 秋季: 11月 (1ヶ月設置)
C	9箇所	
N	9箇所	
H	9箇所	
全リン	9箇所	
トヘキサン抽出物質	9箇所	
鉛	9箇所	
クロム	9箇所	
銅	9箇所	
亜鉛	9箇所	
水質調査	9箇所	
ト(有機イオン濃度)	9箇所	
セジメント量(汚濁物質)	9箇所	

● 底質調査② (試験区、未施工位置)

調査項目	調査箇所	調査時期
強熱減量 燃焼温度3ハウン	2箇所 (1×3×3)	1回/年
pH	6箇所	夏季: 8月 秋季: 11月 (1ヶ月設置)
C	2箇所	
N	2箇所	
H	2箇所	
全リン	2箇所	
トヘキサン抽出物質	2箇所	
鉛	2箇所	
クロム	2箇所	
銅	2箇所	
亜鉛	2箇所	
水質調査	2箇所	
ト(有機イオン濃度)	2箇所	
セジメント量(汚濁物質)	2箇所	

● 底質調査① (試験区、初期位置)

調査項目	調査箇所	調査時期
強熱減量 燃焼温度3ハウン	9箇所 (1×3×3)	2回/年
pH	27箇所	夏季: 8月 秋季: 11月 (1ヶ月設置)
C	9箇所	
N	9箇所	
H	9箇所	
全リン	9箇所	
トヘキサン抽出物質	9箇所	
鉛	9箇所	
クロム	9箇所	
銅	9箇所	
亜鉛	9箇所	
水質調査	9箇所	
ト(有機イオン濃度)	9箇所	
セジメント量(汚濁物質)	9箇所	



● 底質調査③ (試験区、初期位置)

調査項目	調査箇所	調査時期
強熱減量 燃焼温度3ハウン	9箇所 (1×3×3)	2回/年
pH	27箇所	夏季: 8月 秋季: 11月 (1ヶ月設置)
C	9箇所	
N	9箇所	
H	9箇所	
全リン	9箇所	
トヘキサン抽出物質	9箇所	
鉛	9箇所	
クロム	9箇所	
銅	9箇所	
亜鉛	9箇所	
水質調査	9箇所	
ト(有機イオン濃度)	9箇所	
セジメント量(汚濁物質)	9箇所	

※: 底泥中の間隙水について採取・分析

図-6.2.1 現地調査位置(平面図)



#### 【調査地点設定根拠】

No. 1 : 底質改善実証試験範囲右岸のうち、泥厚が大きく、還元状態である上、微硫化水素臭が確認されており、底質改善効果が期待される地点として選定した。

No. 2 : 護岸背後からの湧水が確認されており、石炭灰造粒物の覆砂、浸透溝による更なる透水性の向上による底質浄化効果を確認するために選定した。

No. 3 : 底質改善実証試験範囲左岸のうち、泥厚が大きく、還元状態であることが確認されており、底質改善効果が期待される地点として選定した。

対照区 : 底質改善実証試験施工後に得られるモニタリング結果を基に、底質改善効果の検証を行う際の、河川干潟の底質そのものの性状の変化の有無を確認するための地点として選定した。

### 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

底質改善実証試験の対象予定区域の施工前の底質状況を把握することを目的として、底質調査、水質調査および生物調査を行った。柱状コア採取による底質調査は表-6.3.1、表層採泥による底質調査は表-6.3.2、セジメントトラップによる底質調査は表-6.3.3、水質調査は表-6.3.4、生物調査は表-6.3.5、底質中の脂肪酸濃度は表-6.3.6に示すとおりである。

また、現地調査位置は、図-6.3.1に示すとおりである。

表-6.3.1 柱状コア採取による底質調査（3層（上層、中層、下層）に層切りして分析）

調査項目	検体数	調査方法	調査箇所	調査時期
泥温	9	ポータブル測定器（ORP 測定時）	3 箇所 No. 1 No. 2 No. 3	秋季
強熱減量 燃焼温度 5 パターン (200、300、400、500、600℃)	45 (3×5×3)	底質調査方法（平 24）II 4.2 に準拠		
ORP（酸化還元電位）	9	ポータブル測定器		
pH（水素イオン濃度）	9	ポータブル測定器		
硫化物	9	底質調査方法（平 24）II 4.6		
全リン	9	底質調査方法（平 24）II 4.9.1		
C	9	CHN コーダー法		
N	9	CHN コーダー法		
n-ヘキサン抽出物質	9	底質調査方法（平 24）II 4.13.1		
含水比	9	JIS A 1203(2009)		
底質中の脂肪酸濃度（9 項目） Myristic acid（ミリスチン酸） Pentadecanoic acid（ペンタデカン酸） Palmitic acid（パルミチン酸） Heptadecanoic acid（ヘプタデカン酸） Stearic acid（ステアリン酸） Nonadecanoic acid（ノナデカン酸） Eicosanoic acid（エイコサン酸） Linolenic acid（リノレン酸） Linoleic acid（リノール酸）	9	ガスクロマトグラフ-FID 法		
硫化水素	9	ガスクロマトグラフ-FPD 法		
粒度組成	9	JIS A 1204(2009)		

表-6.3.2 表層採泥による底質調査

調査項目	検体数	調査方法	調査箇所	調査時期
泥温	1	ポータブル測定器 (ORP 測定時)	1 箇所 (対照区)	秋季
強熱減量 燃焼温度 5 パターン (200、300、400、500、600℃)	5 (1×5×1)	底質調査方法 (平 24) II 4. 2 に準拠		
ORP (酸化還元電位)	1	ポータブル測定器		
pH (水素イオン濃度)	1	ポータブル測定器		
硫化物	1	底質調査方法 (平 24) II 4. 6		
全リン	1	底質調査方法 (平 24) II 4. 9. 1		
C	1	CHN コーダー法		
N	1	CHN コーダー法		
n-ヘキサン抽出物質	1	底質調査方法 (平 24) II 4. 13. 1		
含水比	1	JIS A 1203(2009)		
底質中の脂肪酸濃度 (9 項目) Myristic acid (ミリスチン酸) Pentadecanoic acid (ペンタデカン酸) Palmitic acid (パルミチン酸) Heptadecanoic acid (ヘプタデカン酸) Stearic acid (ステアリン酸) Nonadecanoic acid (ノナンデカン酸) Eicosanoic acid (エイコサン酸) Linolenic acid (リノレイン酸) Linoleic acid (リノール酸)	1	ガスクロマトグラフ-FID 法		
硫化水素	1	ガスクロマトグラフ-FPD 法		
粒度組成	1	JIS A 1204(2009)		

表-6.3.3 セジメントトラップによる底質調査

調査項目	検体数	調査方法	調査箇所	調査時期
強熱減量 燃焼温度 5 パターン (200、300、400、500、600℃)	5 (1×5×1)	底質調査方法 (平 24) II 4. 2 に準拠	4 箇所 (12 本)  <内訳> No. 1 : 6 本 No. 2 : 2 本 No. 3 : 2 本 対照区 : 2 本	1 ヶ月 設置
硫化物	1	底質調査方法 (平 24) II 4. 6		
全リン	1	底質調査方法 (平 24) II 4. 9. 1		
C	1	CHN コーダー法		
N	1	CHN コーダー法		
n-ヘキサン抽出物質	1	底質調査方法 (平 24) II 4. 13. 1		
含水比	1	JIS A 1203 (2009)		
粒度組成	1	JIS A 1204 (2009)		
水位	1	メモリー水温水深計による 連続測定		
底質中の脂肪酸濃度 (9 項目) Myristic acid (ミリスチン酸) Pentadecanoic acid (ペンタデカン酸) Palmitic acid (パルミチン酸) Heptadecanoic acid (ヘプタデカン酸) Stearic acid (ステアリン酸) Nonadecanoic acid (ノナンデカン酸) Eicosanoic acid (エイコサン酸) Linolenic acid (リノレイン酸) Linoleic acid (リノール酸)	1	ガスクロマトグラフ-FID 法		
ORP (酸化還元電位)	4	ポータブル測定器	4 検体	
pH (水素イオン濃度)	4	ポータブル測定器		
セジメント量 (=浮遊物質/容積)	4	環告第 59 号 (昭 46) 付表 9 に準拠		

表-6.3.4 水質調査

調査項目	検体数	調査方法	調査箇所	調査時期
水位	1	メモリー水温水深計による連続測定	1 箇所 (No. 1)	1 ヶ月連続測定
水温	1	メモリー水温塩分 (水深) 計による 連続測定		
塩分	1	メモリー水温塩分計による連続測定		
溶存酸素	1	小型メモリーDO 計による連続測定		

表-6.3.5 生物調査

調査項目	検体数	調査方法	調査箇所	調査時期
底生生物	4	コドラート (25cm×25cm) 法	4 箇所 (No. 1、No. 2、No. 3、対照区)	秋季

表-6.3.6 底質中の脂肪酸濃度

調査項目	調査地点	検体数	採取位置	調査時期
ガスクロマトグラフ (FID) による分析方法 【分析対象】 Myristic acid (ミリスチン酸) Pentadecanoic acid (ペンタデカン酸) Palmitic acid (パルミチン酸) Heptadecanoic acid (ヘプタデカン酸) Stearic acid (ステアリン酸) Nonadecanoic acid (ノナデカン酸)	No. 1	3	上層、中層、下層	秋季
	No. 2	1	上層	
	No. 3	1	上層	
	対照区	1	上層	
	セメントトラップ 4箇所分	1	4箇所の捕捉試料を混合 (No. 1、No. 2、No. 3、対照区)	
Eicosanoic acid (エイコサン酸) Linolenic acid (リノレン酸) Linoleic acid (リノール酸)	※他地区 試料	3	福山、呉、海田地区	試料は 別途入手

<参考-ガスクロマトグラフについて>

ガスクロマトグラフィーは、クロマトグラフィーの一種であり、気化しやすい化合物の同定や定量に用いられる機器分析の手法である。サンプルと移動相が気体であることが特徴である。ガスクロマトグラフィーに用いる装置のことをガスクロマトグラフという。

・水素炎イオン化検出器 (FID)

本調査では、底質中の脂肪酸濃度の測定に用いた。

当該検出器は、可燃性の有機化合物を水素炎中で燃焼させたときに生成されるイオンと電子により、流れる電流を検出しコレクターによりイオンを捕集する。

・炎光光度検出器 (FPD)

本調査では、硫化水素の測定に用いた。

当該検出器は、物質を水素炎中で燃焼することによって発生する光を検知するものである。

FIDと原理は似ているが、FPDは燃焼によって発生する特定波長の光を検知することによって検知する。

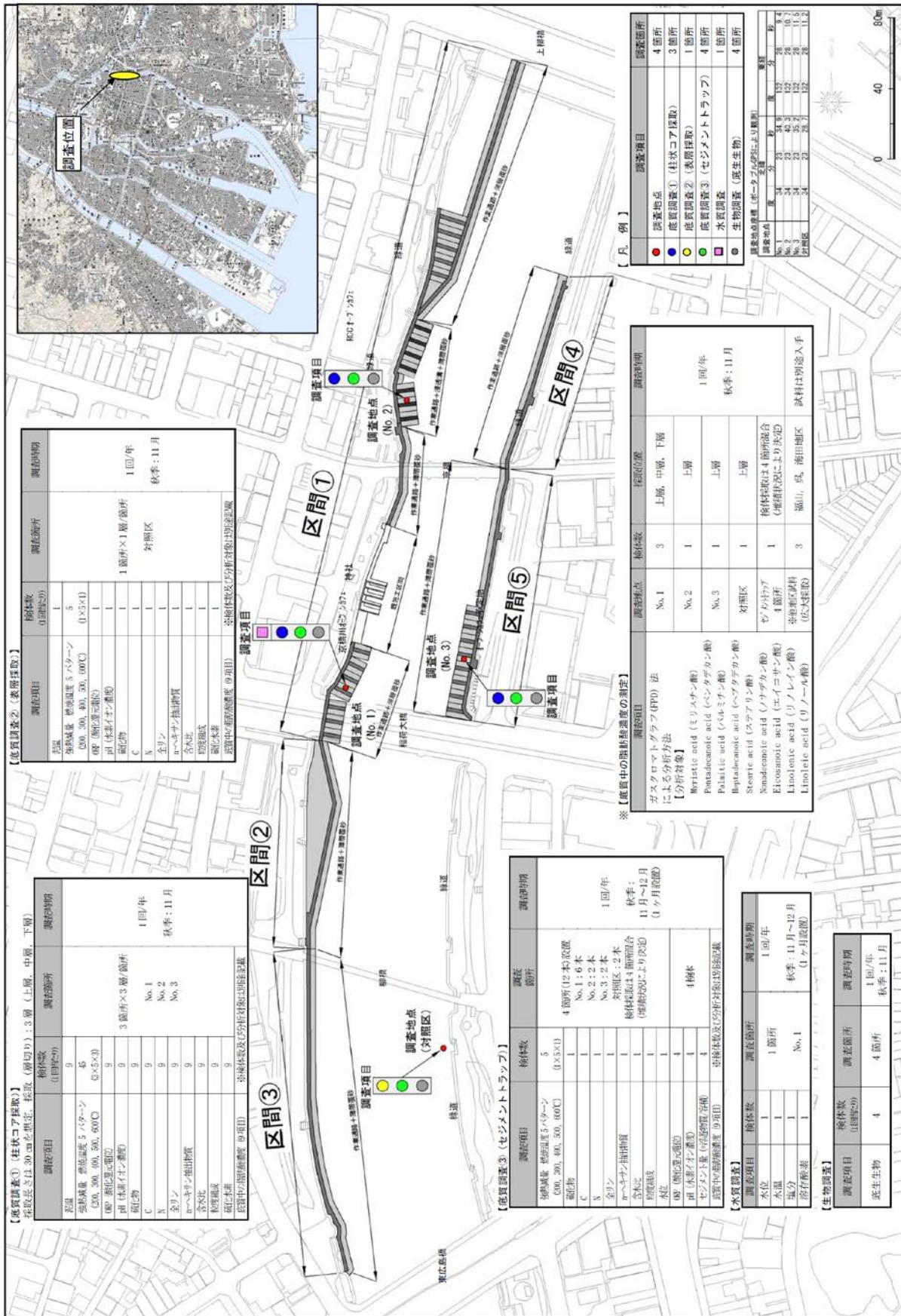


図-6.3.1 現地調査位置 (平面図)



## 6.4 モニタリング方法

### 6.4.1 河床調査

河床調査では干潟上を踏査するとともに、干潟の平面分布状況の観察、写真撮影等を行った。併せて、干潟表面の硬度、泥厚、ORP、pHを測定し、生物の生息状況を確認した（写真-6.4.1参照）。

また、干潟の形状を把握するため、地盤高測量（横断測量）を行った（写真-6.4.2参照）。測量範囲は、河川縦断方向に20mピッチ、護岸肩から河川中央方向に約15mを1測線とすることを基本とし、現地の干潟形状により適宜範囲を設定した。

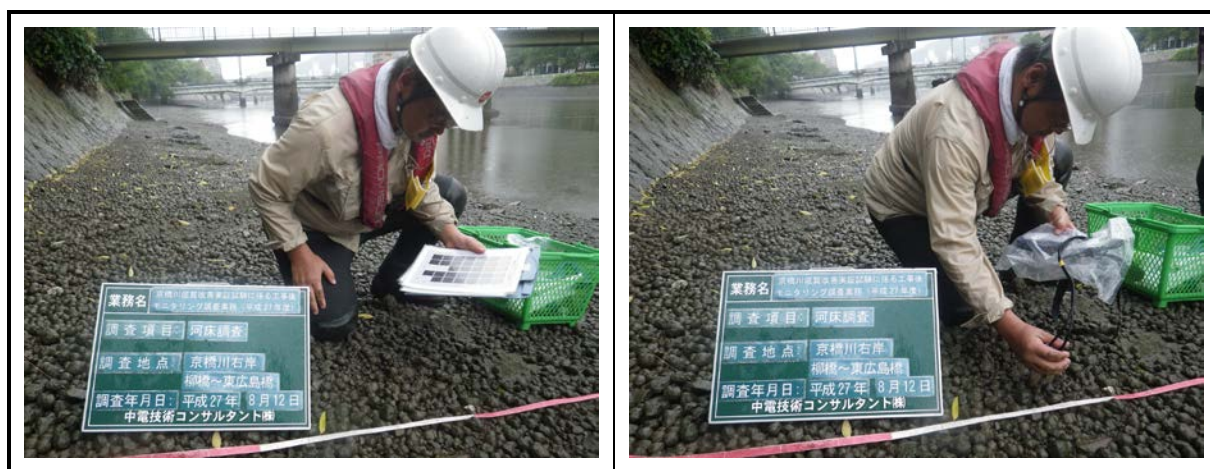


写真-6.4.1 河床調査状況



地盤高測量状況

BM位置（遠景）

BM位置（近景）

写真-6.4.2 地盤高測量（横断測量）状況



## 6.4.2 底質調査

試験区の底質調査は、河川干潟上の調査地点（No. 1～No. 3）において、干潟表面から深度 50cm 程度の底質を対象とした。対照区の底質調査は、干潟表面から深度 10cm 程度の底質を対象とした。採泥は、アクリルコア（直径 100mm×長さ 1,000mm 程度）を用いた柱状コア採取、もしくはスコップを用いた表層採取により行った（写真-6.4.3 参照）。

分析検体について、上層（石炭灰造粒物層の表面～深度 5cm）、中層（在来地盤層の深度 0cm～深度 10cm）および下層（在来地盤層の深度 10cm～深度 20cm）の 3 層に層切りして採取した。なお、上層（石炭灰造粒物層の表面～深度 5cm）については、分析検体を大量に必要とするため、1m×1m の範囲で、表面から深度 5cm をスコップで採取し、試料に供した。採泥後、泥温、ORP および pH をポータブル測定器により現地計測した。他の底質調査項目については、柱状コア採取および表層採取した試料を速やかに容器に分取し、冷蔵状態で室内に持ち帰り分析を行った。

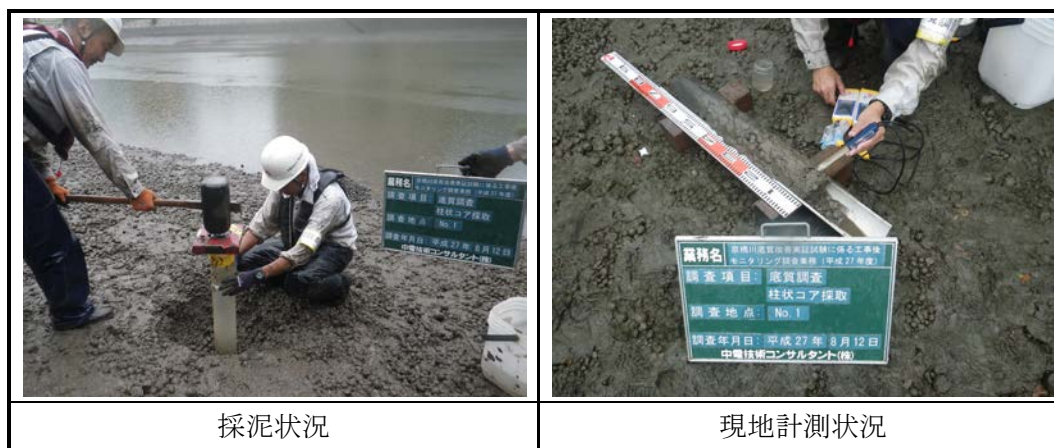


写真-6.4.3 底質調査状況

作業通路および浸透溝の底質調査は、各々に近接する（作業通路横・浸透溝横の）底質を対象とした（写真-6.4.4 参照）。

採泥後、泥温、ORP および pH をポータブル測定器により現地計測した。他の底質調査項目については、採取試料を速やかに容器に分取し、冷蔵状態で室内に持ち帰り分析を行った。



写真-6.4.4 底質調査状況（作業通路、浸透溝）

### 6.4.3 セジメントトラップ調査

セジメントトラップ調査では、調査地点にセジメントトラップを設置後、約1ヶ月間でセジメントトラップ内に捕捉された堆積物を室内に持ち帰り、分析を行った。

セジメントトラップは、径10cm×高さ40cmの塩ビパイプを使用した。設置高は、セジメントトラップを設置する際に乱された周辺地盤から巻き上がった浮遊物を補足しないよう、干潟表面から20cm程度の高さとした。設置本数については、現状の底質状況よりNo.1に重点的に6本設置し、その他の3地点（No.2、No.3、対照区）にも2本ずつ設置した（写真-6.4.5参照）。



写真-6.4.5 セジメントトラップの設置状況

### 6.4.4 水質調査

底質改善実証試験範囲の水位・水温・塩分およびDOの変動について把握するために、水温深度計、水温・塩分計およびDO計を約0.5ヶ月設置して計測した。

各種水質計は、調査地点No.2'に設置し、干潟表面から深度50cm程度の底質内（石炭灰造粒物層と在来地盤層の境界）および干潟表面から深度10cm程度の2層に設置した（写真-6.4.6参照）。



写真-6.4.6 機器の設置状況



#### 6.4.5 底生生物調査

底生生物は、コドラート（25cm×25cm）を用いて、干潟表面から深度 20cm 程度の底質を対象として実施した。採取試料は現地で 1mm 目合いのフルイにかけて残留物を容器に分取し、ホルマリン固定を行った後、試験室に持ち込み室内分析を行った（写真-6.4.7 参照）。



写真-6.4.7 底生生物採取状況

#### 6.4.6 二枚貝生息環境調査

太田川派川のシジミに対し、底質環境がシジミの生育にどのように影響しているかについて検証を行った。なお、シジミの生育に与える要因は、底質環境以外にも河川の塩分変化（高塩分）、水温、食害等も考えられるが、まずは石炭灰造粒層と在来ヘドロ層との相対比較を行うことで、底質環境がシジミ育成に与える要因を分析した。

##### 1) 試験区設定・二枚貝散布

既設の区画（1.6m×1.6m）：3箇所（①石炭灰造粒物、②砂＋石炭灰造粒物、③比較対照区）を河川の流れに対して直行方向に2分割し（各1.6m×0.8m）、分割した各区画にシジミ2kgを散布した（写真-6.4.8参照）。

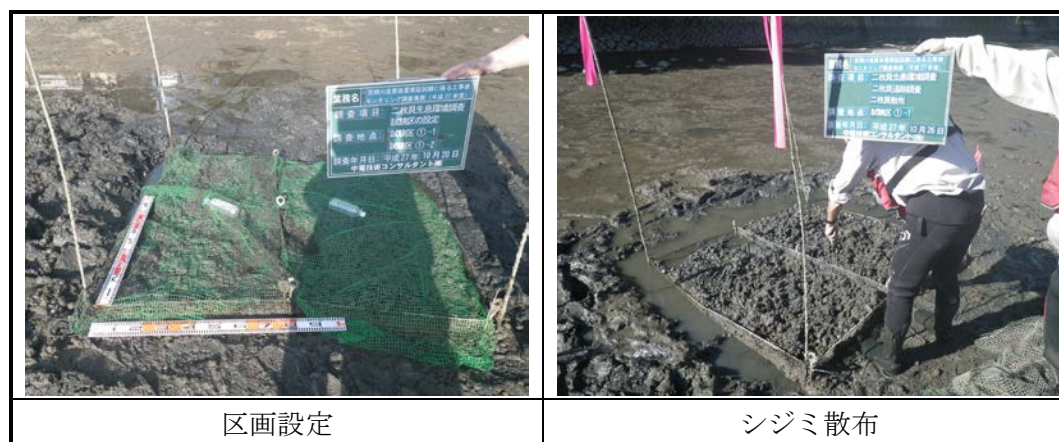


写真-6.4.8 試験区設定・二枚貝散布状況

## 2) 追跡調査（生残率）

各区画で0.1442m×0.1442mコドラートで3回の採取（計：0.0625㎡相当）を行い、シジミの生残率を記録した。また、各区画ともにpHとORPを測定した（写真-6.4.9参照）。

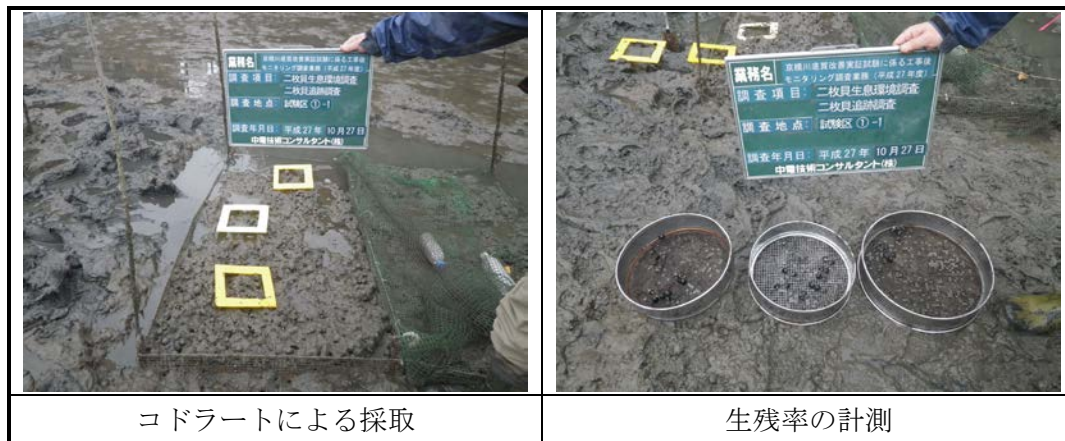


写真-6.4.9 追跡調査状況

## 3) 直上水質・底質調査

直上水質調査は、干潟表面から直上10cm程度の水質を対象とした。また、底質調査は干潟表面から深度5cm程度の底質を対象とした（写真-6.4.10参照）。

採取試料については、速やかに容器に分取し、冷蔵状態で室内に持ち帰り分析を行った。



写真-6.4.10 直上水質・底質調査状況

## 6.5 モニタリング結果の評価方法

### 6.5.1 pHとORPの関係

#### 1) 一般的なpHとORPの関係

pHとORPには比例関係があるが、底質に含まれる元素（鉄、硫化物）によりpH-ORPの関係は異なり、それぞれの関係はネルンストの式により推定することができる。

(I) : 鉄の標準酸化還元電位

(II) : 硫化物の標準酸化還元電位

#### 2) 評価の視点

鉄の標準酸化還元電位（I）式より上部に位置していれば、生物が生息するのに適した底質環境（好氣的環境）であると考えられている。

#### 3) 調査結果の評価

非施工箇所（施工前）のpHとORPの関係を図-6.5.1(1)、施工箇所のpHとORPの関係を図-6.5.1(2)に示す。

非施工箇所（施工前）は、概ね鉄（I）周辺に分布しており、酸化還元の境界環境にある。

施工箇所については、（I）より上部に分布しており、酸化環境に推移したことが推察され、底質改善（好氣的環境）の効果が現れているものと考えられる。

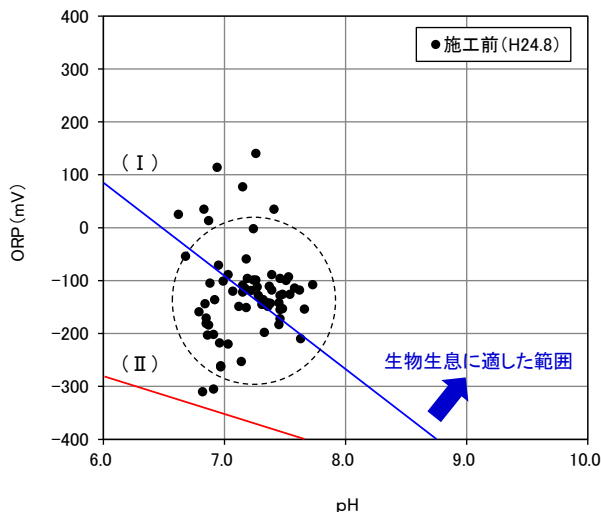


図-6.5.1 (1) pHとORPの関係（非施工箇所）

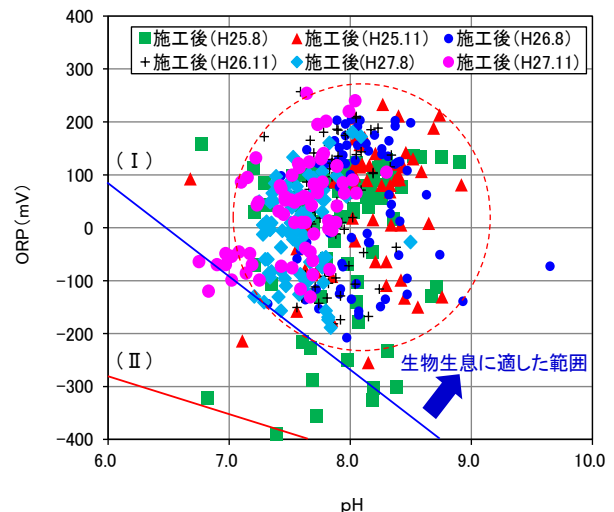


図-6.5.1 (2) pHとORPの関係（施工箇所）

## 6.5.2 細粒分割合（シルト・粘土分）と含水比の関係

### 1) 細粒分割合と含水比の関係

太田川における既往の調査結果では、細粒分(粒径  $75\mu\text{m}$  未満)割合と含水比は  $1:1.1$  と報告されている<sup>6), 8)</sup>。

### 2) 評価の視点

細粒分の割合（シルト・粘土分）に対する含水比が高ければ、粘着性の高い底質、低ければ粘着性の低い底質と考えられている。一般的に、富栄養化した水底の底質（有機汚泥）の特徴として、細粒分を多く含み、含水比が高く、粘着性が高いという性質がある。

### 3) 調査結果の評価

細粒分割合（シルト・粘土分）と含水比の関係は、図-6.5.2 に示すとおりである。

施工箇所については、一般的な関係（ $1:1.1$ ）よりやや高い（粘着性が高い）結果となっている。

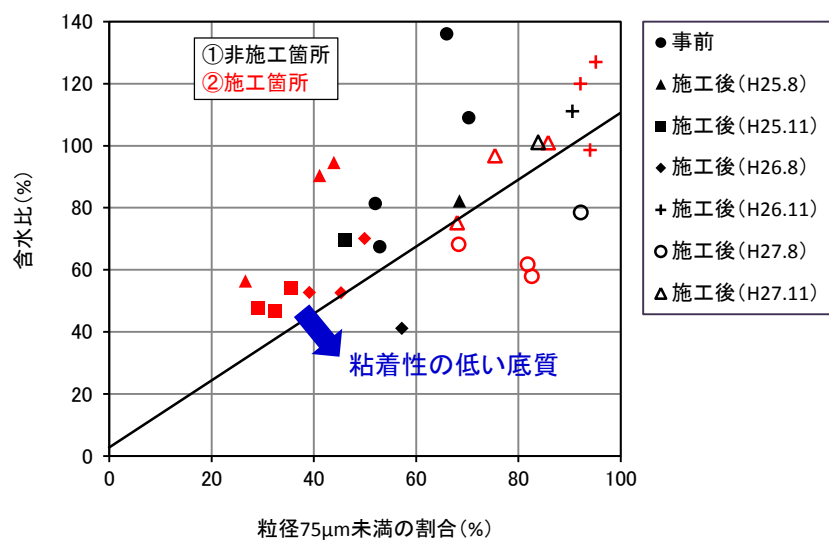


図-6.5.2 細粒分割合（シルト・粘土分）と含水比の関係

### 6.5.3 強熱減量（600℃）と強熱減量（300℃）の関係

#### 1) 評価の視点

強熱減量（300℃）の割合が高ければ、不安定性の有機物が多く、強熱減量（600℃）の割合が高ければ安定性（腐植性）の有機物が多い底質と考えられている。

有機物の分解は、まず不安定性の有機物から分解されるため、底質改善が進んだ底質は、不安定性より安定性の有機物が多い底質であることが予測される。

#### 2) 調査結果の評価

強熱減量（600℃）と強熱減量（300℃）の関係は、図-6.5.3に示すとおりである。

施工箇所では、非施工箇所と比較して、強熱減量（600℃）の割合が高く、施工箇所では安定性（腐植生）の高い底質に変化しており、底質改善の効果が現れていると評価できる。

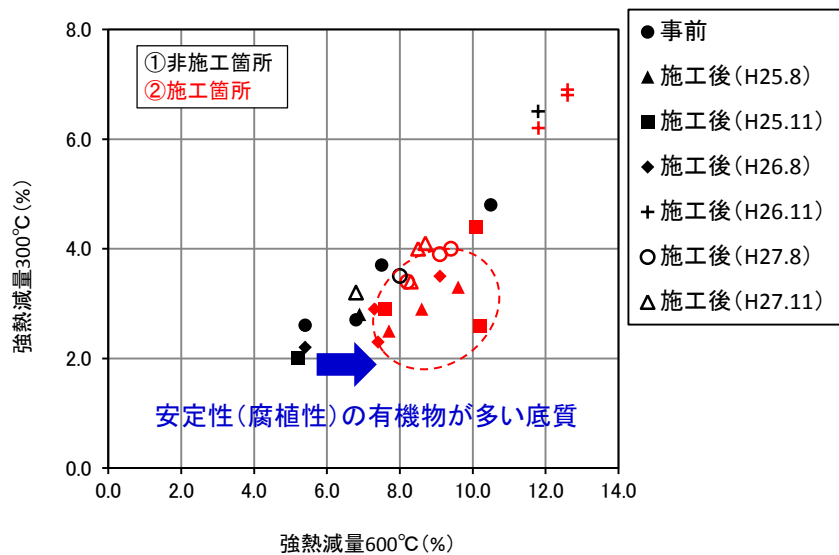


図-6.5.3 強熱減量（600℃）と強熱減量（300℃）の関係



## 6.5.4 炭素と全窒素の関係

### 1) 一般的な炭素と全窒素の関係

一般的な有機物の炭素 (TC) と全窒素 (TN) には以下の関係が成り立つ。

$$TN=0.1 \times TC$$

### 2) 評価の視点

炭素に対する全窒素の割合が低ければ、底質内で有機物の分解が進んでいると考えられる。

### 3) 調査結果の評価

炭素 (TC) と全窒素 (TN) の関係は、**図-6.5.4** に示すとおりである。

全調査地点において炭素に対する全窒素の割合が低い結果となり、事業対象区域の底質は、比較的有機物の分解が進んでいると確認できる。特に、施工箇所において有機物の分解が活発であると推察される。

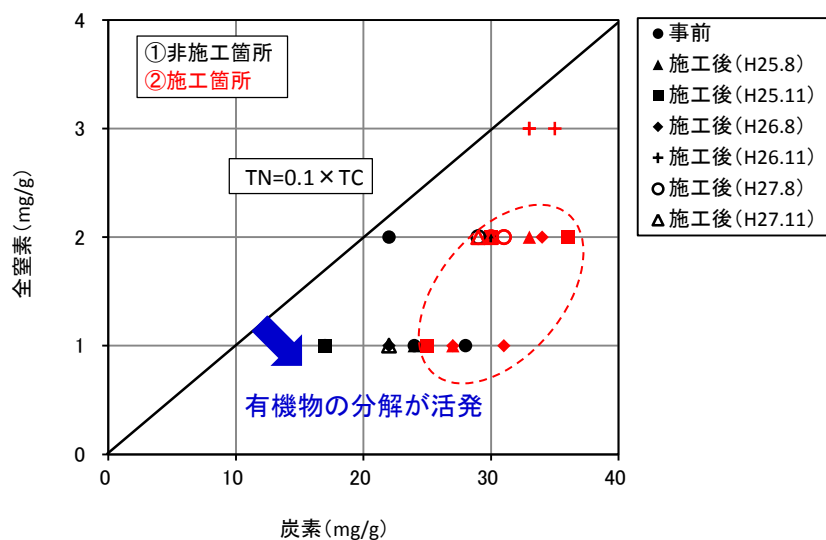


図-6.5.4 炭素 (TC) と全窒素 (TN) の関係

### 6.5.5 n-ヘキサン抽出物質と強熱減量（300℃）の関係

#### 1) 評価の視点

強熱減量（300℃）に対するn-ヘキサン抽出物質の割合が低ければ、不安定性（脂肪性）の有機物が少なく、良質な土質と考えられている。

#### 2) 調査結果の評価

n-ヘキサン抽出物質と強熱減量の関係は、図-6.5.5に示すとおりである。

施工箇所では、非施工箇所と比較して強熱減量に対するn-ヘキサン抽出物質の割合が低く、不安定性の有機物が少なく底質改善の効果が現れていると評価できる。

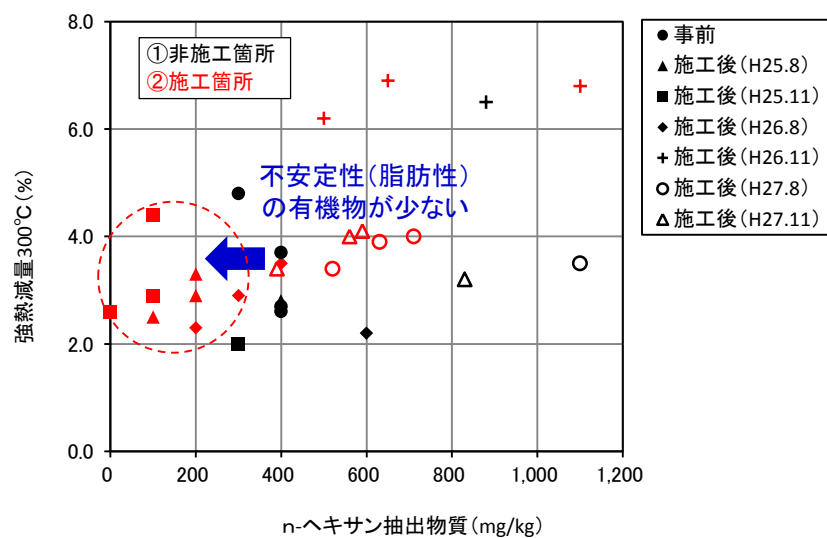


図-6.5.5 n-ヘキサン抽出物質と強熱減量の関係

## 6.6 モニタリング結果の簡易評価方法

施工箇所における各項目の調査結果に対し、施工前の調査結果を参考に、環境改善の評価を行った。

### 6.6.1 親水性向上

施工前と比較して、「見た目」、「臭い」や「歩き易さ」に関して改善効果が見られ、干潟の広い範囲で歩行可能な状態となり、親水性の向上が確認された（表-6.6.1 参照）。

表-6.6.1 親水性向上の評価

調査項目	評価項目	評価の考え方	評価
河床調査	底質性状 色調 臭い等	施工前調査結果との対比  ・底質性状；泥範囲の減少 ・色調；変化の有無 ・臭い；臭いの低減	・施工前と比較して、施工箇所において、泥範囲と臭いの減少及び色調の変化が確認された。 ・泥の範囲の減少が確認された。
	泥厚 歩き易さ	施工前調査結果との対比  ・調査項目より総合的に歩き易さを評価	・施工前と比較して、施工箇所では概ね泥厚が薄く維持されており、歩きやすい範囲の拡大が図られた。
	景観	施工前調査結果との対比  施工後の経時変化	・施工前と比較して、瓦礫などの埋没やヘドロ堆積範囲の減少が確認された。

### 6.6.2 底質改善

各項目の調査結果による評価では、「水循環の形成」や「好气的環境」に関して改善効果が見られた。各項目間の関係性を分析したところ、施工箇所では有機物の分解が進んでいる結果が得られ、底質の改善効果が確認された（表-6.6.2 参照）。

表-6.6.2 底質改善の評価

調査項目	評価項目	評価の考え方	評価	
底質調査	pH、ORP 硫化水素	好气的環境	施工前調査結果との対比	・施工前と比較して、施工箇所では ORP のプラス方向への推移、硫化物の減少と好气的環境が確認された。
	粒度組成	細粒分の減少	同上	・施工前と比較して、細粒分の減少、砂分・礫分の増加が見られた。

### 6.6.3 生物生息環境改善

前述の底質改善により、生物生息環境の改善にも寄与していると考えられる。京橋川底質の生物は、優占種が礫や砂混じりの環境を好む種に変遷しており、これは、底質改善により生息環境の向上や多様な生息環境の形成など生物生息環境が改善されたものとして評価できる（表-6.6.3 参照）。

表-6.6.3 生物生息環境改善の評価

調査項目	評価項目	評価の考え方	評価	
底生生物調査	個体数	生物生息環境の向上	施工前調査結果との対比	・「泥環境を好む種の減少」、「礫・砂混じりを好む種の増加」が確認された。
	湿重量	同上	同上	・「泥環境を好む種の減少」、「礫・砂混じりを好む種の増加」が確認された。
	種数	同上	同上	・「泥環境を好む種の減少」、「礫・砂混じりを好む種の増加」が確認された。
	優占種	同上	同上	・施工箇所では、施工前と施工後で変遷し、礫混じりの環境を好む種が増加した。

## 第6章 関連参考文献

- 1) 片岡直明：嫌気生物処理技術の特徴と流れ：エバラ時報，No.229, pp.27, 2010.
- 2) Yamamoto, S., Ishiwatari, R.: A Study of the Formation Mechanism of Sedimentary Humic Substances-II. Protein-based Melanoidin Model, *Organic Geochemistry*. Vol.14, No.5, pp. 479-489, 1989.
- 3) 石渡良志：現世堆積物の地球化学的研究，地球化学，Vol.44, pp.31-41, 2010.
- 4) Mitchell, J.: The origin, nature, and importance of soil organic constituents having base exchange properties, *J. Am. Soc. Agron.*, Vol. 24, pp. 256-275, 1932.
- 5) Cuypers, C., Grotenhuis, T., Nierop, K.G.J, Franco, E.M., Jager, A.D. and Rulkens, W.: Amorphous and condensed organic matter domains: the effect of persulfate oxidation on the composition of soil/sediment organic matter, *Chemosphere*, Vol.48, pp.919-931, 2002.
- 6) 日比野忠史，中本健二，廣中伸孝，樋野和俊：アルカリ剤造粒物により浄化された河岸へドロの有機物特性評，土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.70, No.2, I\_1110-I\_1115, 2014.
- 7) Steutel, S., Neve, S. D., Singier, B. and Hofman, G.: Quantification of organic carbon in soils: A comparison of methodologies and assessment of the carbon content of organic matter, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Vol. 38, pp. 2647-2657, 2007.
- 8) 西村尚哉，駒井克昭，今川昌孝，日比野忠史:有機懸濁物質の形成に関する基礎研究 -有機物の付着特性-, 海岸工学論文集，第55巻(2)，pp.1056-1060,2008.
- 9) 日比野忠史，中本健二，廣中伸孝，樋野和俊：アルカリ剤造粒物により浄化された河岸へドロの有機物特性評，土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.70, No.2, I\_1110-I\_1115, 2014.

本章では、水辺機能の活用や管理等の運営について、具体例を踏まえて示す。

## 7.1 水辺機能の活用

### 7.1.1 親水性が向上した河岸干潟の活用

広島市街地を流れる太田川は「水の都」を象徴する水辺であり、広島市街地ならではの都市河川の利用が期待されている。中でも京橋川、猿猴川は広島駅に面し、多くの人々が行きかう空間である。満潮時には河川一杯に水をたたえ、水の都の象徴となり、干潮時には干場が現われ生態系を育んできた。昭和30年代、こうした景観や流れの機能を持つ市内派川は人々の楽しみと和らぎを身近に感じさせていた。しかし、近年では太田川市内派川では人口（生活排水）の増加により、しばしば未処理下水が河口付近で放流され河岸のヘドロ化が進んでいる。ヘドロ化が進むにつれ人々の川への親しみは徐々に薄らいできているようにも思われる。本書では「都市河川を利用した地域づくり」を実現するため都市河川を楽しむことについてまとめた。

### 7.1.2 都市河川に堆積したヘドロの状況

広島湾での潮位差は約4mあり、河川に生じる水位差は景観を一変させている。広島市内派川は大潮で±2m、小潮で±1mの干満差があり、広島駅周辺（京橋川、猿猴川河岸）では10m規模の干潟が形成されている。河口から5km以上上流にある京橋川河岸においても、上げ潮により浮遊物質が輸送され有機泥の堆積がある。河岸に堆積した過剰の有機泥は生態系を劣化させ、景観の低下をまねいており、現状河岸は「水の都ひろしま」を実感できる状況にあるとは言えない（写真-7.1.1参照）。

広島県は京橋川河岸での親水性の向上、底質浄化、生態系の再生を目的として石炭灰造粒物を河岸干潟上に散布して造粒物層を構築した。石炭灰造粒物は酸化物（ $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 等）からなる石炭灰とセメントを材料として造粒させたアルカリ剤造粒物である。2010年2月に小規模（約50m区間）実験区を構築し、その成果を受け2012年10月に約1kmに拡張している。



写真-7.1.1 広島京橋川(猿猴川分派部)干潟に堆積したヘドロ



### 7.1.3 親水性の高い都市河川での楽しみ方

河川の水辺空間が魅力的であれば都市河川の価値はさらに高まる。石炭灰造粒物によって形成された干潟はヘドロ空間を魅力ある空間へと変貌させた。魅力的な空間には人が集まり、親しみ、利用し、そしてにぎわいが生まれる。都市河川の大きな利点として、交通の利便性がある。これに加え、舟運が盛んであった広島市内河川には雁木と呼ばれる舟着場（河岸に降りる階段）が設置されている。これらの利点を活用して、新しくできた水辺空間を十分に活用することを考えた。人々が河川に対して抱く意識や関心を高め、更なる都市河川の魅力を向上させる利用を考えることも技術者としての目的である。市民が楽しめる都市河川の魅力の実戦として、河岸干潟での集いを実施した。「干潟を楽しむ集い」は2015年11月23日に参加人数は23名で行い、座席はブルーシート（1.8m×3.6m）と折畳椅子10脚、荷物置き場としてゴザ（1畳）と折りたたみテーブル1卓（1.2m×0.7m）を用意した。

開始時間は干潟が現われた11時であり、座席等の準備に約30分を要し、集いの開始は11時40分であった。「干潟を楽しむ集い」の状況を写真-7.1.2、写真-7.1.3に示す。河岸干潟について市民の関心が薄れているなか、このような集いを行ったところ、周辺を散策されている方々からも注目（写真-7.1.2 (c) 参照）されていた。



(a) 集いに向けた準備状況



(b) T.P.0m付近での干出域



(c) 稲荷橋からの眺め

写真-7.1.2 石炭灰造粒物干潟での集い

### 7.1.4 石炭灰造粒物によって形成された地盤の使い方

#### (1) ヘドロ上への石炭灰造粒物の散布

ここ京橋川河岸干潟では、厚く堆積したヘドロ上に10cm～40cmの厚さで造粒物が散布されている。軽量の石炭灰造粒物を敷設することで、施工直後から歩行可能な状況になるとともに、悪臭の原因である硫化水素の発生も抑制されており、石炭灰造粒物干潟は川辺に近づける親水性干潟となっている。

## (2) 造粒物が散布された干潟の地形とその使い易さ

干潟場を集いの場とするための主な制約条件は干出時間と面積である。今回は中潮の時期に実施し干出時間は約4時間であった。このため、干出時間を考慮したタイムスケジュール（設置～集会～撤去・清掃）を事前に詰めておく必要がある。今回は石炭灰造粒物上に直接ブルーシートを設置した場所と椅子・テーブル設置を行ったが、通常の砂地と同程度の安定感であり、座り心地への違和感はなかった。一部に大雨等による土砂供給による石炭灰造粒物上に土砂の堆積が見られる箇所はあったが、堆積土砂も日数の経過とともに減少していく事が確認されており、次の集いまでには土砂堆積も解消されているものと考えている。集いの終りには参加者で一斉清掃を行った。ヘドロ干潟では容易にゴミは回収できないが、当該石炭灰造粒物干潟は清掃も容易であった。これは、常日頃河川清掃ができる環境にあるともいえる。

都市河川の干潟の利用を考える上で、今回関係者が集い河川干潟の楽しみ方を実践した。見慣れない川辺からの景色を楽しみ、川辺の生き物たちを観察する等など、それぞれが楽しみ活気ある集いが実践できた。参加者からは次回の集いも熱望され、今後も継続的に集いを開催する予定である。今回以上に市民の関心が高まる集いとなるよう検討している。一層、地域の人々の河川への親しみが向上することを期待している。



写真-7.1.3 干潟を楽しむ集い

## 7.2 水辺の環境管理

自然再生に向けた取り組み手法として順応的管理では、場の理解や社会的ニーズ等に基づく包括的な目標設定を行うレベル1、実現可能なメニューを設定し具体的な行動計画を策定するレベル2、目標達成基準による管理を行うレベル3といった多重構造の実施が提言されている。

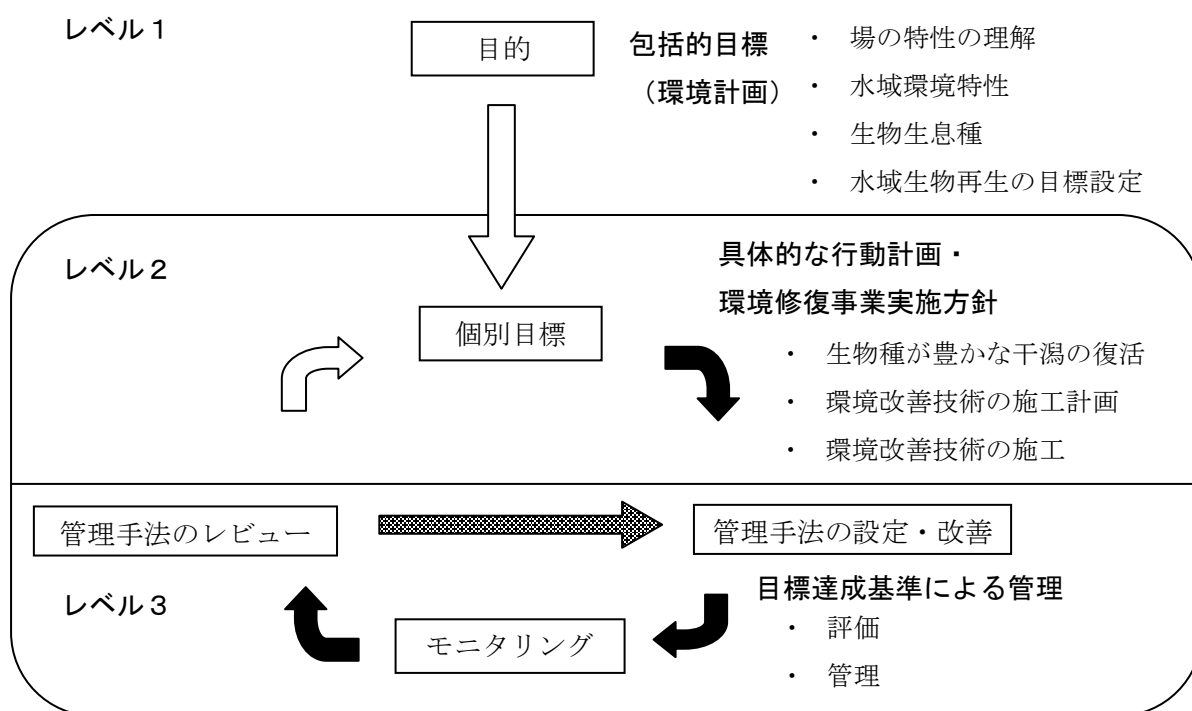


図-7.2.1 順応的管理手法の定義

図-7.2.1には、環境改善技術の施工後における管理の在り方（ルールづくり）、実施主体、管理手法（モニタリング、調査、評価等）といった「仕組みの構築」が重要であると考えられる。目標達成基準による管理を行うレベル3について「評価」および「管理」の観点から検討を行った。

### [評価]

生物の目標達成基準としては、専門家以外でも評価しやすい生物に設定し、出現の有無と個体数の確認程度による評価が妥当であると考えられる。設定した目標生物の特性は、食物連鎖上の上位にあるものとした方が良い。その理由として、生息場の状況が変化し、連鎖下位の生物群の生息に適性を欠き現存量が減少すると、目標生物の出現・個体数が左右されるため、場としての代表的な指標となるからである。

達成基準を設定する場合には、3～5年の観察・調査指標を基に1m<sup>2</sup>あたり個体数、成長、肥満度などの定量的な基準が必要となる。

また、このことは場の環境条件についても同じであり、環境改善技術を施工したエリアにおいて、環境条件の達成基準を達しない状況が生じ、モニタリング結果により原因が有機泥の堆積にあった場合は、その対策として、有機泥の直接的な除去、新たな施工の実施（浸透柱の増設、混合覆砂材の投入）等の措置を講ずることが、生物と環境条件の順応的管理になると考えられる。

#### [管理]

継続的な管理を行う上で、やはり重要となるのはルールづくりである。目標生物種や環境条件を達成基準と設定し、これを対象にした評価を加え、その結果を組み込んだ全体の管理システム化を確立する必要があると考えられる。

管理・利用の主体は、将来的に地域、学校やNPO等が協力し行う方向になると考えられるが、軌道に乗るまでの主導的な管理を民間機関または行政により行う必要がある。

管理システムを構築する上の第1歩として、地域の住民代表、学校関係者、行政担当者、NPO、研究者、漁業関係者、関係する民間機関等が、干潟の意義から水辺の利用形態、地域が求める場づくりの検討について、勉強会、意見交換会、シンポジウム等を行うことによって、地域に根づく方向に向かうと考えられる。

これまでは、河岸環境改善技術の開発とメカニズム検討を行ってきたが、今後はこれらの事業評価と今後の管理を含めたシステムづくりの検討が求められている。

---

石炭灰造粒物による環境改善手法の手引き 感潮河川域編（技術資料編）

平成 30 年 3 月

広島県土木建築局河川課

〒730-8511

広島県広島市中区基町 10-52

TEL : 082-513-3929

---