

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

平成29年3月

広島県土木建築局河川課

はじめに

広島市は、中心部に太田川をはじめとする6本の川が流れ、美しい水辺に恵まれ、「水の都」と呼ばれております。この水辺の魅力をより一層引き出すため、2003年1月に国・県・市・市民との協働により、広島市の太田川デルタを対象とした「水の都ひろしま」構想を策定し、水の都づくりのための取り組みを行ってきました。

広島県では「ひろしま川づくり実施計画 2016」に基づき、「河川環境の保全と川らしさの復元」や「水辺空間を利活用した賑わいづくり」といったチャレンジプランにより、水辺の魅力復元と多自然川づくり、水辺空間の利活用の促進などを目指しています。

広島湾と接続している広島市内派川では、有機泥が河床に堆積しやすく、生物生息環境や水辺景観を保全していくためには、河川環境の改善に取り組む必要があります。また、既存の階段護岸や河畔緑地等の多目的利用を促進し、水辺の魅力を活かした観光資源や集客の場の創出など、賑わいづくりを支援する必要があります。

そこで、河川環境整備の一環として底質の悪化した河川の再生を図るために、2011年から広島市内派川の1つである京橋川のオープンカフェ周辺をフィールドとして、環境改善技術の開発に取り組んできました。

この取り組みにあたっては、国立大学法人 広島大学、中国電力株式会社、広島県との産学官連携体制を構築し、関係者間の密接な連携・技術共有を図ったうえで検討・実証が進められました。

この度、広島大学 日比野忠史准教授のご指導の下、約6年間の技術成果について、今後の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「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」を作成しました。

なお、本手引きは、国土交通省中国地方整備局 広島港湾空港技術調査事務所が港湾環境再生事業を対象として編集した「石炭灰造粒物による底質改善手法の手引き」にならい、感潮河川域編として編集したものです。

今後、本手引きが十分に活用され、感潮域における河川環境の保全と水辺空間の利活用が推進され、「水の都ひろしま」として一層発展することを祈念いたします。

末筆ながら、産学官連携によるこの取り組みの中で技術協力いただいた、国立大学法人 広島大学、中国電力株式会社をはじめとする多くの関係各位に心より感謝申し上げます。

平成 29 年 3 月

広島県土木建築局長 三上 幸三

(目 次)

1.手引きの概要	1
1.1 手引きの目的	1
1.2 手引きの全体構成	2
2.石炭灰造粒物による河川環境改善手法の適用性の把握	4
2.1 広島市内派川（京橋川、猿猴川）における河岸干潟の特性	4
2.2 石炭灰造粒物の実用事例	5
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	6
2.4 石炭灰造粒物層の河岸干潟での効用	9
3.環境改善目標の設定と施工候補地の選定	12
3.1 既存資料に基づく周辺環境の把握	12
3.2 環境改善目標の設定	13
3.3 施工箇所（候補地）の選定	13
4.適用する石炭灰造粒物層の構築方式、施工方法検討のための事前調査	14
4.1 事前調査の目的と設計条件の検討方法の選定	14
4.2 事前調査項目の整理	15
4.3 事前調査方法	15
4.4 施工範囲、石炭灰造粒物層の構築方式の決定	16
5.施工の計画・実施と施工出来高等の評価	17
5.1 施工の計画段階で検討する内容	17
5.2 石炭灰造粒物の調達	18
5.3 施工時期の検討	18
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	19
5.5 工事可能な時間、作業拠点の確保	21
5.6 施工方法の検討	22
5.7 施工手順の検討	24
5.8 施工中の環境保全対策の検討	24
5.9 施工に関する評価	25
6.施工前・後のモニタリング項目と評価	26
6.1 評価の視点	26
6.2 モニタリング項目の整理	27
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	28
6.4 モニタリング方法	29
6.5 モニタリング結果の評価方法	30
6.6 モニタリング結果の簡易評価方法	31
7.協働による水辺の活用・管理等の運営	35
7.1 水辺機能の活用	35
7.2 水辺の環境管理	35

1 手引きの概要

1.1 手引きの目的

本手引きは、広島市内派川の1つである京橋川で検討・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。

【解説】

京橋川では「水の都ひろしま」推進計画を踏まえ、干潟沿いのオープンカフェによる賑わい場の提供と共に、河岸の親水性向上等を目的とした河川干潟環境改善事業が進められている。

広島県による京橋川河岸での①親水性の向上、②底質改善、③生物生息環境の改善を目的として行った河川環境改善事業においては、主に石炭灰造粒物を用いたヘドロ浄化層が構築されている。当初2011年3月に小規模（約50m区間、475m²）試験区を設置し、石炭灰造粒物層の構築においてB/Cを向上させるための施工方式として、浸透溝（置き換え方式）や作業道（被覆方式）等の工法が採用された。その評価¹⁾を受け、2013年1月～5月に大規模試験区として約1km（7,296m²）に拡張された。

大規模（7,296m²）実証試験（図-1.1参照）では、①作業能力や事業コストを評価し、②地盤支持力が非常に小さいヘドロ堆積干潟においてB/C向上が期待できる作業場の構築を検討し、③安全な重機作業を可能とする石炭灰造粒物の被覆厚を決定するための設計用データの蓄積を図り、④干潟再生材としての酸素供給機能、および石炭灰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石炭灰造粒物を用いた大規模底質改善施工技術を確認した²⁾。

本手引きでは、河川環境の改善を目的とした事業において石炭灰造粒物の使用法を示した。なお、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が港湾環境再生事業を対象として編集した「石炭灰造粒物による底質改善手法の手引き」にならい、感潮河川域編として編集したものである。河岸堆積泥の改善事業の検証結果から得られた知見を集約・整理すると共に、環境改善事業へ石炭灰造粒物が適用される際の指針となるようまとめている。

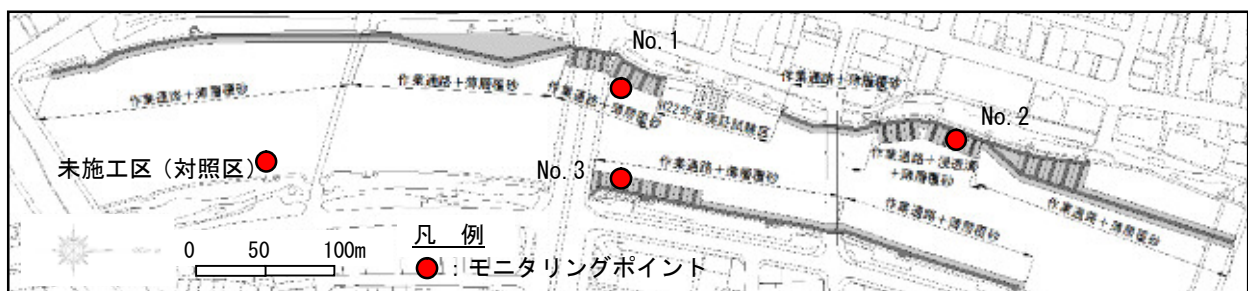


図- 1.1 京橋川に構築された石炭灰造粒物層（施工図）

- 1) 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ヘドロの有機物特性評価, 土木学会論文集 B3 (海洋開発) 特集号 (Vol.70, No.2), pp.I_1101-I_1115, 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) 特集号 (Vol.71, No.2), pp.I_808-I_813, 2015.

1.2 手引きの全体構成

手引き（本編）では、石炭灰造粒物を環境改善事業に適用する際の検討事項や手法を、実際の検討手順を想定しながら整理を行った。なお、本編では検討内容の概要を整理しており、詳細な内容については技術資料編を参照されたい。

【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 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。

検討手順	手引きの構成
検討手順1 予算要求段階 事業の予算要求段階で必要となる本手法で得られる効果や特徴について整理する。	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 対象とする河岸干潟の特性とともに、実用事例、石炭灰造粒物の特性、期待される効果と便益等を示した。
検討手順2 概略検討段階 本手法を事業に適用していく上での基礎資料の収集や環境改善目標の設定、施工箇所(候補地)の選定を行う。	第3章 環境改善目標の設定と施工候補地の選定 石炭灰造粒物による底質改善手法の適用にあたって、環境目標の設定や施工候補地を選定する上での視点等を示した。
検討手順3 設計段階 目的に合致した石炭灰造粒物層構築のため施工範囲や構築方式を検討する。	第4章 適用する石炭灰造粒物層の構築方式、施工方法検討のための事前調査 石炭灰造粒物層の施工範囲や構築方式を決定するための必要な事前調査等を示した。
検討手順4 施工段階 施工に係る検討を行い、施工計画に基づき実施する。また、施工後の評価を行う。	第5章 施工の計画・実施と施工出来高等の評価 石炭灰造粒物層の施工要領や施工中の環境保全対策、施工後の出来高の調査・評価等を示した。
検討手順5 事後評価段階 本手法の改善効果を把握するためのモニタリング調査を実施し、評価を行う。	第6章 施工前・後のモニタリング項目と評価 事業効果を評価していくためのモニタリング調査項目、調査手法および評価方法等を示した。
検討手順6 利用段階 水辺機能の活用・環境管理について検討する。	第7章 協働による水辺の活用・管理等の運営 親水性の高い水辺機能の活用および水辺環境の維持管理等を示した。

図- 1.2 手引きの全体構成

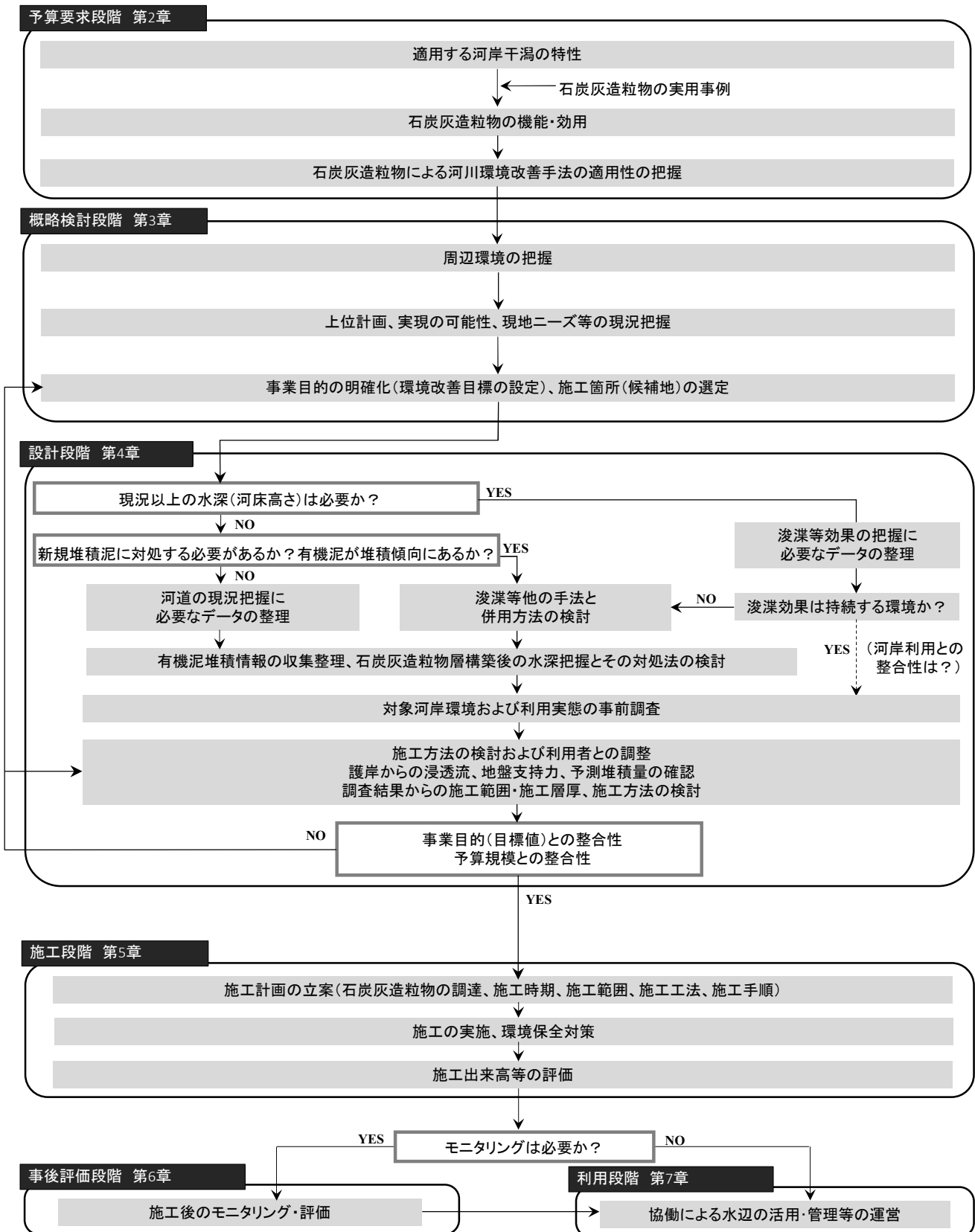


図- 1.3 予算要求から事後評価までのフローチャート

2 石炭灰造粒物による河川環境改善手法の適用性の把握

2.1 広島市内派川（京橋川、猿猴川）における河岸干潟の特性

広島市内派川では、大潮期 4m および小潮期 2m の潮汐があり、上流だけでなく河口からも細粒分が輸送され河岸に堆積する。河岸に沈降した有機泥は、淡水と接触する機会が少なく堆積しやすい。

【解説】

高度経済成長期を経て生活様式は大きく変化して、生活様式の変化は河川生態系に甚大な影響を与えている。人間活動に起因するヒートアイランドによる異常降雨や使用水量の増大は、未処理で放流される下水量を増大させている（図-2.1 参照）。早期に下水処理場が整備された都市では合流式下水道であることが多く、上記の理由により下水が未処理のまま放流されることがある。また、土砂崩れ等によって土砂が流下する場合においても河口（デルタ）域まで流下する土砂は細粒分であることが多い。河口から海水遡上し、上流から運ばれる細粒分が沿岸に堆積して、現在の京橋川や猿猴川河岸をヘドロ化させている（図-2.2 参照）。広島駅周辺を流れる京橋川や猿猴川河岸には、上流からの土砂流出に加えて上げ潮による海側の河口方向からの浮遊有機物質が輸送されている。有機物は河岸に有機泥として 1cm/年を越える速度で堆積するため、ヘドロ化（堆積有機泥の還元化）が進み、親水性の低下が顕著である。

上流から輸送される土砂の堆積事例として、2014 年 8 月に大規模な土砂流出（8.20 広島豪雨災害）が発生した。この土砂流出により 2014 年 11 月には 10cm を超える泥の河岸への堆積があり、土砂流出による河岸への細粒分の堆積は、河口からの輸送に比較して短時間でインパクトが非常に強かった。

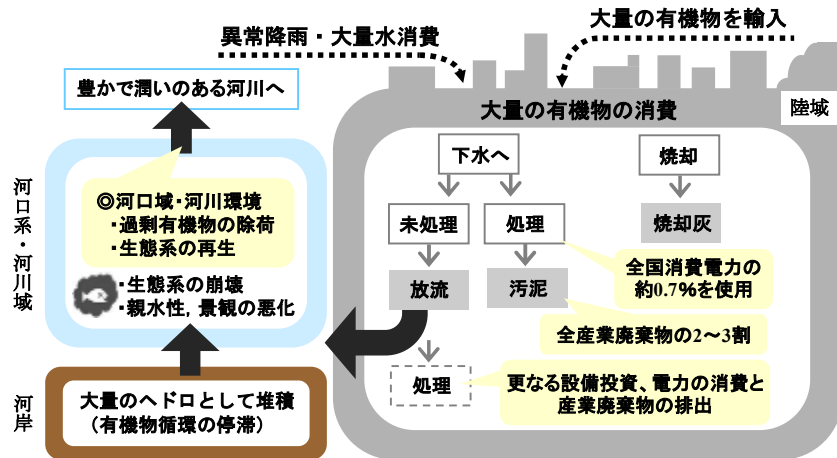


図- 2.1 下水処理の過程、放流下水の河川域での処理

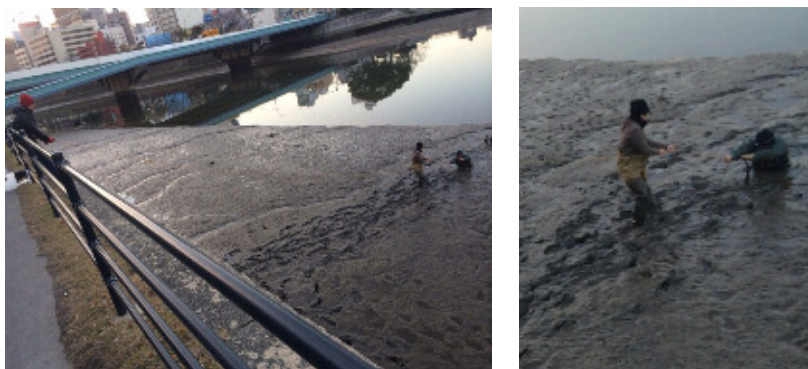


図- 2.2 京橋川河岸（猿猴川との分派地点）への有機泥堆積状況

2.2 石炭灰造粒物の実用事例

国土交通省中国地方整備局 広島港湾空港技術調査事務所により広島湾奥部の閉鎖性水域において、海域環境の改善を目的とした石炭灰造粒物による底質改善事業（実証試験）が実施され、その成果が「石炭灰造粒物による底質改善手法の手引き」としてまとめられており³⁾、その後、福山港内港地区で広島県によって海域環境改善事業が実施されている。また、広島市内派川の河岸域では国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所等によって、天満川や旧太田川を対象とした河岸環境改善が先行的に行われている。

【解説】

都市化が進んだ地域を流下する河口や閉鎖性水域に発達する浅場において、ヘドロ化の問題を根本的に解決する代表的な技術として、石炭灰造粒物を環境修復材として用いる技術が利用されている。アサリの生息場の再生、河岸や海底に堆積するヘドロの浄化に関する実証実験の結果から、石炭灰造粒物のもつ材料特性が生態系やヘドロ浄化に有効な働きをすることが明らかになっている。石炭灰造粒物による直接的・間接的な環境再生は様々な事業で実証されている。図- 2.3 には、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、親水性が向上した例や生態系が再生された例が示されている。



(a) 福山内港（広島県）での生態系の再生⁴⁾



(b) 中川昭和用水路（東京都）での川のせせらぎ再生



(c) 中海（島根県・鳥取県）⁵⁾



(d) 京橋川（広島県）での親水性の向上

図- 2.3 石炭灰造粒物を用いた環境改善事業の一例

3) 国土交通省中国地方整備局広島港湾技術調査事務所，石炭灰造粒物による底質改善手法の手引き，2013.3.

4) 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（海洋開発）特集号（Vol.71,No.2），pp. I_880- I_885,2015.

5) 福間晴美，日比野忠史，山本民次，斉藤直：石炭灰造粒物覆砂による環境修復効果—汽水域をフィールドとして—，土木学会論文集 B2（海岸工学）特集号（Vol.65,No.1），pp. 1026- 1030,2009.

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

石炭灰造粒物は、ミネラルである石炭灰を造粒して作成された高空隙のアルカリ剤造粒物である。石炭灰造粒物の原料である石炭灰とセメントは、酸化物（ SiO_2 、 Fe_2O_3 、 CaO 等）からなる材料である。石炭灰造粒物による環境改善の効果としては、底質改善、泥の堆積抑制、悪臭の減少等の親水性向上効果、透水性の改善、貧酸素水塊の発生抑制、柔軟性のある生態系の構築（生物の増加・多様性）等の効果がある。また、水質環境基準の達成への寄与、快適な水環境や親水空間の創出に伴う観光産業の活性化などの様々な便益が期待される。

【解説】

石炭灰造粒物に期待される底質改善効果と便益について、図- 2.4 にまとめられている。また、ETV環境技術実証事業（環境省）において、環境再生材としての有効性が実証されている。

石炭灰造粒物による底質改善の効果としては、底質改善、悪臭の減少、赤潮や貧酸素水塊の発生抑制、生態系の向上（生物の増加・多様性）等が挙げられる。生物の増加は底質改善に繋がることで、環境改善の好循環が形成され、親水性の向上が図られる。また、下水処理コストの低下も図れることから、新しい河川の利用や観光ビジネスなどの展開に繋がるなどの様々な便益が期待される。

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

石炭灰造粒物による底質改善の具体的な効果については、次ページ以降に記載した。

河岸のヘドロ化が進むと、親水性の低下と共に、硫化水素の発生に伴った生態系の崩壊や悪臭の発生などが誘引される。石炭灰造粒物には、下記のような環境改善効果と改善に伴う便益が期待されている。

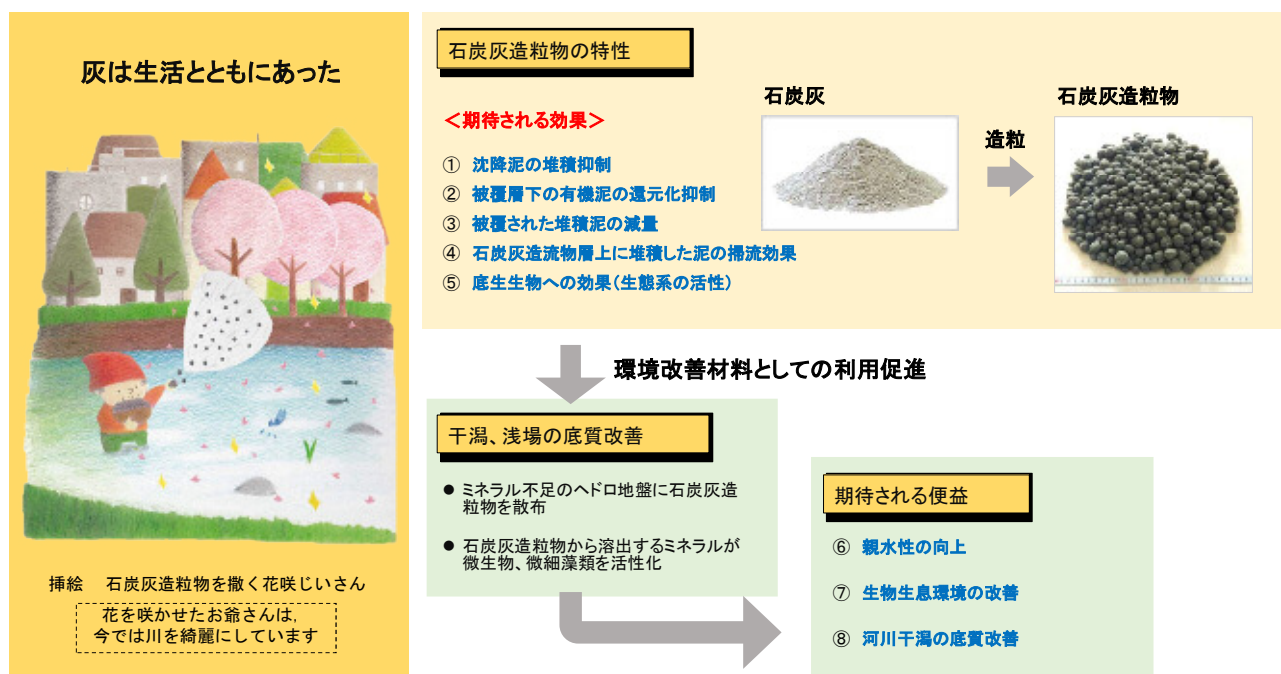


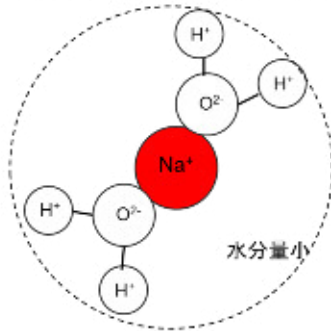
図- 2.4 石炭灰造粒物による底質改善で期待される効果と便益

①沈降泥の堆積抑制

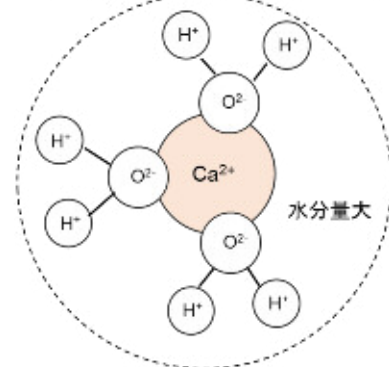
【効果】：有機泥の粘性を低下させ、掃流されやすい泥に性状を変化させる。

【プロセス】：石炭灰造粒物層の間隙内および表層で、液性限界を低くするとともに、有機物中の油分の分解・けん化や粒子の団粒構造化を起こして泥の粘性を小さくする。

べとべとの水和Na⁺(液性限界高 → 粘性大)



あっさりなCa²⁺(液性限界低 → 粘性小)



石炭灰造粒物層内でのCa²⁺の溶出
Na⁺がCa²⁺にイオン交換

Ca²⁺(水和イオン)に吸着する水分子の数は多く粘土分子に吸着すると泥の液性限界(含水量)が大きくなる。

団粒構造化(土粒子間の架橋効果, 土壌の通水性を確保)

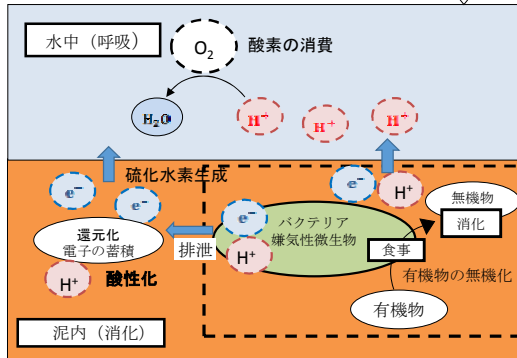
掃流され易い土粒子の形成

②被覆層下の有機泥の還元化抑制

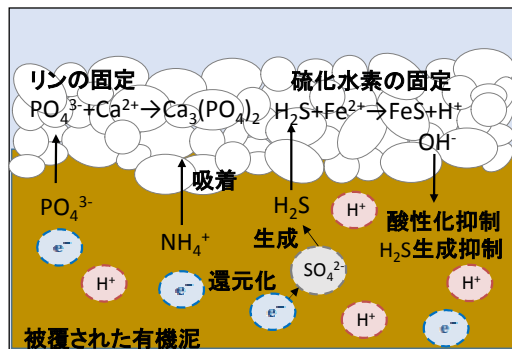
【効果】：ヘドロ化(還元化)した地盤を石炭灰造粒物で被覆することにより、ヘドロ(被覆された有機泥)による悪影響(硫化水素、栄養塩等の発生)の低減効果が得られる。砂による被覆と異なり、ヘドロの還元的環境の緩和も期待できる。

【プロセス】：砂による被覆では被覆された泥への酸素の供給は起こらないが石炭灰造粒物層を通した河川水交換や干潟時の酸素供給が起こり、還元的環境が緩和される。硫化水素、栄養塩濃度の低減については石炭灰造粒物が持つ物理的・化学的特性による吸着や酸化による除去効果が大きい。

<ヘドロ化機構(図-2.6参照)>



<構築後の被覆層下の有機泥に対する効果>

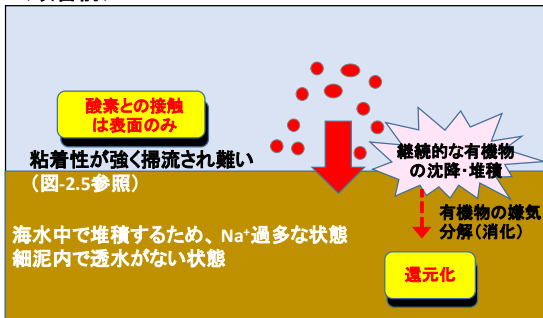


③被覆された堆積泥の減量

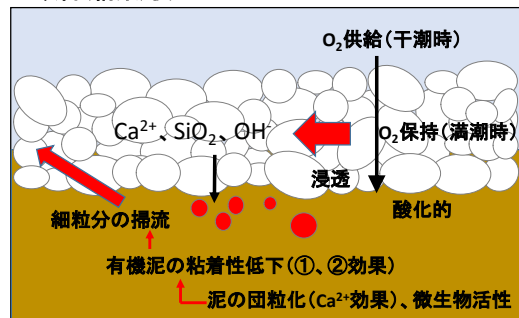
【効果】：被覆層下にある有機泥においても、有機物の性状変化(被覆層下の有機泥の還元化抑制)が生じて、層下堆積泥の減量が促進する。

【プロセス】：被覆層下に堆積するヘドロ(被覆された有機泥)は石炭灰造粒物に覆われることになるが、被覆層内が干出し、冠水後も空気が被覆層内に保持されるため、層下堆積泥表面への酸素供給の機会は無の場合よりも多くなる。さらに、石炭灰造粒物からのミネラル供給により、有機泥の性状変化が起こり、細粒分の掃流が促進される。

<改善前>



<改善(構築)後>



④石炭灰造粒物層上に堆積した泥の掃流効果

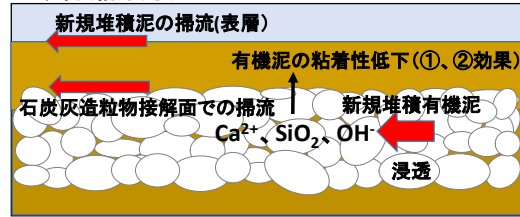
【効果】：石炭灰造粒物層上に新たに堆積する有機泥(新規堆積有機泥)にも、石炭灰造粒物層下に堆積した有機泥と同様に有機物の性状を変化させ(③効果)、新規堆積有機泥の掃流を促進させる。

【プロセス】：石炭灰造粒物層内～上部に堆積することになるが、干満に伴って被覆層内に浸透が生じるため、新規堆積泥の表面のみならず下部からも掃流される。この時、石炭灰造粒物層から溶出したミネラルを含む浸透水が、堆積有機泥の粘着力を低下させている。

<改善前>



<改善(構築)後>

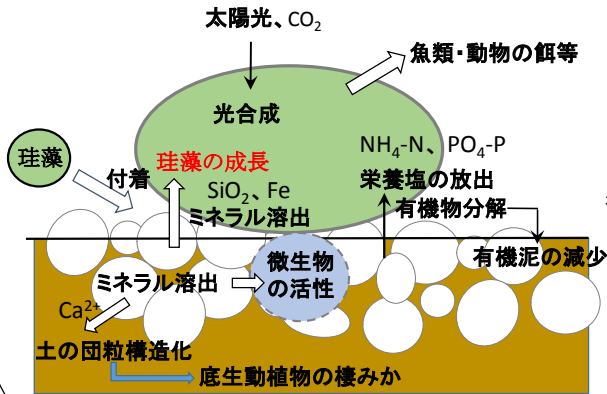


⑤底生物への効果(生態系の活性)

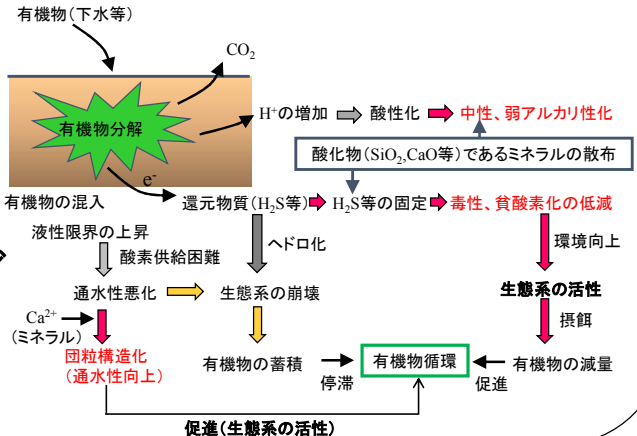
【効果】：珪藻が石炭灰造粒物表面に付着し、層状にアオリ等が繁茂する(図-2.9参照)。底生藻類は石炭灰造粒物層上に薄く堆積した泥上に多く繁茂する。底生藻類は魚類の餌等としても活用される。

【プロセス】：石炭灰造粒物から溶出するSiO₂が珪藻の増殖を助ける。石炭灰造粒物層でSiO₂濃度が高くなった間隙水が上層に薄く堆積した泥内に浸透し藻類の繁茂率の高い場を形成している。藻類の繁茂は栄養塩の吸収、酸素の生成、動物の餌等になり生態系の向上に結びついている。

<ミネラルの溶出と珪藻の成長>



<有機物循環の停滞と促進・ミネラルの散布との関わり>



想定される便益

⑥親水性の向上

a 散歩、レクリエーションなどの場

・河岸の環境改善により水辺に人々が戻ってくる。

b 都市河川は憩いの場

・水辺は本来人々が好む場所である。



⑦生物生息環境の改善

a 藻類の繁茂

・生物の存在はレクリエーション性が向上するなどの親水性の向上にも寄与する。

b 水産資源の増加

・底生生物による水質浄化能力は高く富栄養化が抑制されることで、生態系がより改善される。



⑧河川干潟の底質改善

a 景観の改善、悪臭の抑制

・干潮時に水辺からの都市の眺め、底生藻類が繁茂する等の景観が楽しめる。
・悪臭のもととなる硫化水素等の発生が抑制されることで、ヘドロの臭気が低減される。

b 観光材料としての利用

・暑い夏に涼感がある水辺、舟運との連携、花見等での活用が望まれる。



2.4 石炭灰造粒物層の河岸干潟での効用

河岸干潟での石炭灰造粒物による効用は、干潮時の酸素供給や冠水時の酸素保持といった機能がある。ヘドロ化した干潟地盤上に構築された石炭灰造粒物層では、高間隙中に酸化物（ミネラル）が溶解し溶出イオンの機能により地盤内の透水性が高まり、干潮時には地盤内が空気で満たされる。この様に地盤内に容易に酸素供給が起こることで、細粒分の掃流が加速されるといった効果が発揮される。

【解説】

海域環境改善事業で効用が実証されてきた石炭灰造粒物について、河岸干潟での物理的・化学的な効用を示し、その使用法についてまとめた。

ヘドロ化した河岸における主要な環境問題として、親水性の低下、干潟での浄化能力の低下、生態系の貧相化が挙げられる。図- 2.5 は河岸に有機泥（底泥）が堆積するメカニズム、図- 2.6 は感潮河川における堆積有機泥のヘドロ化メカニズムの模式図を示している⁶⁾。ヘドロ化は過剰な有機物が微細土粒子（粘土分）に付着し、河岸に堆積・嫌気分解することによって起こる。有機泥が過剰に堆積する要因としては、①河口に堆積した有機泥が上げ潮により海水遡上してくる（図- 2.5(a)参照）こと、②上げ潮時に海水中で堆積した有機泥の粘着性が強い（図- 2.5(b)参照）こと、③京橋川や猿猴川では小潮期に河川水が滞留し易く、躍層の存在によって成層が発達し、河床付近で高濁度層が形成される（広島市内派川の特長）ことがある。有機泥が堆積し易い広島市内派川の特長から、対象河岸では10cm~100cmの範囲で有機泥が広く堆積しており（図- 2.2参照）、極端な親水性の低下が起こっている。

堆積泥のヘドロ化は、泥内で有機物が嫌気性微生物により分解され電子（e⁻）と水素イオン（H⁺;プロトン）が蓄積した結果（図- 2.6参照）であることから、電子とプロトンを利用できる酸化物（ミネラル）がヘドロ状態を緩和することができる。また、継続的に堆積し続ける有機泥に対しても有機泥の除去（分解促進と団粒構造化）が期待でき、有機泥の堆積を抑制することができる。さらに、干潟に構築された石炭灰造粒物層では、次の効用がある。

- ・石炭灰造粒物層内は透水性が高く下げ潮時に間隙水が流出し、層内は空気で満たされる（図- 2.7(a)参照）。
- ・冠水時にも層内に空気が保持され、堆積泥が空気と接触する機会が多くなる（図- 2.7(b)参照）。
- ・干満に伴った石炭灰造粒物層内での浸透と共に、冠水中の空気の保持や有機泥の粘着性の低下により、有機泥の堆積抑制（掃流）が促進される（図- 2.8(c)参照）。
- ・石炭灰造粒物表面では珪藻が増殖し易く、石炭灰造粒物層周辺には多くの底生藻類が繁茂する（図- 2.9参照）。
- ・石炭灰造粒物層内に溜まった空気は好气的環境をつくり、好気性微生物による有機物分解や嫌気分解で生産された電子とプロトンの消費を促進する。

河岸干潟では透水性の維持が良好な生態系を創造するための必須の条件であり、高間隙の被覆層は透水性・好気性環境をつくるために優位であり、石炭灰造粒物はこれらの環境形成を補助する働きを有している。

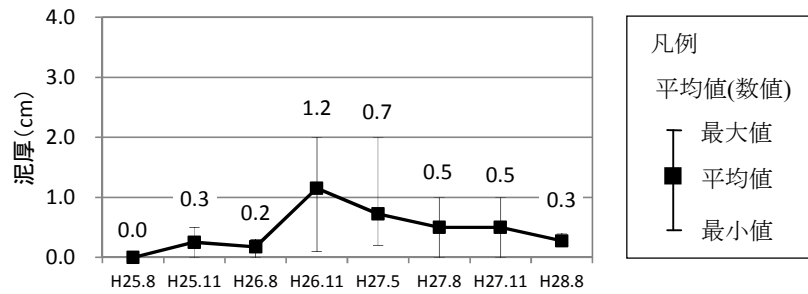
6) 阿部真己, 今川昌孝, 駒井克昭, 日比野忠史: 河川干潮域での有機泥輸送における塩分の働き, 第54巻, 水工学論文集, pp.1645-1650, 2010.3.



(a) H26年11月の堆積状況

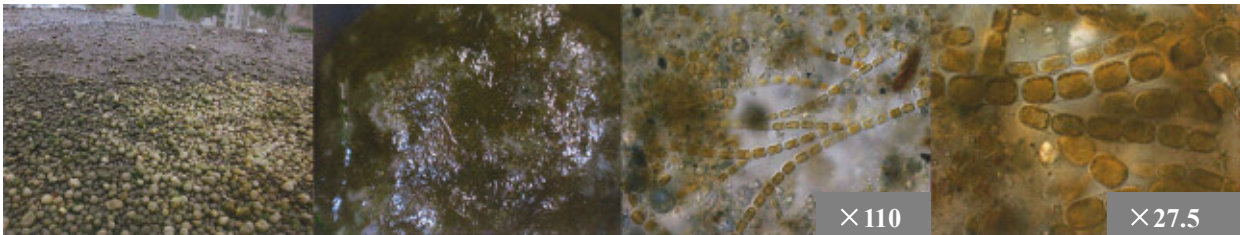


(b) H28年11月の堆積状況



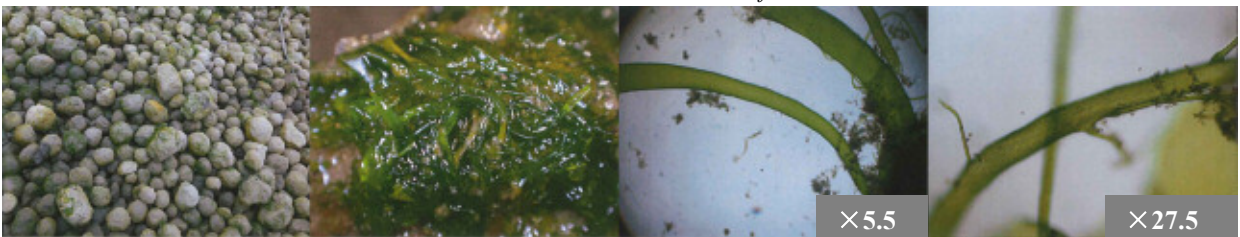
(c) 有機泥堆積厚さの経時変化

図- 2.8 石炭灰造粒物への有機泥の堆積と掃流



(a) 石炭灰造粒物付着珪藻

(主にメロシラ属 *Melosira* からなる。*M.unmmloides*, *M. moniliformis* のいずれかあるいは両者が混在)



(b) 石炭灰造粒物付着アオノリ

(アオノリ的一种で、スジアオノリ *Ulva prolifera* の可能性が高い。分類学的にはアオサ属に含まれる)



(c) 護岸付近の石炭灰造粒物層上に堆積した薄い土層上の濃緑色のマット状藻類

(フシナシミドロの一種 *Vaucheria* sp. 一般的に見られるが干潟の減少で絶滅危惧種に指定されているものもある)

図- 2.9 石炭灰造粒物層上に繁茂した底生藻類 (植物マット)

3 環境改善目標の設定と施工候補地の選定

3.1 既存資料に基づく周辺環境の把握

環境改善を検討する河川において、必要に応じて地形的特徴や護岸、堆積泥（不透水層）を含めた水循環の現況、河川および河岸部の利用状況などについて把握し、環境改善に向けた課題を抽出すると共に、施工箇所の選定の基礎資料とする。

【解説】

環境改善を検討する対象河川では、必要に応じて護岸整備等の既存資料や過去のモニタリング結果等に基づき、以下のような項目について整理し、環境改善に向けた課題を抽出する。これらを施工箇所の選定のための基礎資料とする。

(1) 地形条件・気象・海象

- 1) 地形的特徴・・・最新の河川測量結果、工事台帳等を収集・整理して、河道断面、施工状況、工事期間を明らかにする。
- 2) 気象条件・・・最寄りの気象台の過去5ヵ年程度および特異な気象データを収集・整理する。
- 3) 潮位・流況・・・最寄りの水位観測所等より、対象河川または上流河川、河口域での水位を収集・整理する。

(2) 水環境等の現状

- 1) 河川の流量、流入負荷量・・・流入河川の流量・水質を流量年表や公共モニタリング結果等から整理する。
- 2) 河岸の水質・底質・・・水温・塩分・DO・クロロフィル・T-N・T-P等の項目を公共モニタリング結果等より整理する。
- 3) 下水排出状況・・・対象域における下水の放流状態を公共モニタリング結果等より整理する。
- 4) 干潟上への有機泥の堆積状況・・・対象域における堆積泥の分布状況を現地踏査等により整理する。
- 5) 生物生息状況・・・対象域およびその周辺における生物の生存状況を現地踏査等により整理する。

(3) 河川および河岸域の利用状況

- 1) 漁業区域等の設定・NPOの活動状況・・・周辺海域の漁業等の関係者を既存資料等から整理する。
- 2) 対象域（作業拠点を含む）における法規制等の状況・・・漁業権や水域の管理状況を既存資料等から整理する。
- 3) 漁業・・・自治体の漁業担当部署または関連漁業協同組合への聞き取り等により、漁業操業状況を整理する。
- 4) 下水道等の整備状況・・・自治体の下水道計画等に基づき、下水道等の整備状況（整備計画、下水道普及率等）を整理する。

(4) 既往のモニタリング調査の実施状況

- 1) 対象河川周辺で行われている行政や調査・研究機関による定期的なモニタリング調査の実施状況を整理する。
- 2) 河川整備台帳から堆積泥の堆積速度の推定、護岸の構造等の確認を行う。

3.2 環境改善目標の設定

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

【解説】

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

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

視点1：上位計画や既定計画との整合性が図られていること。

（河川整備計画や河川維持管理計画等）

視点2：実現可能性の高い目標となっていること。

視点3：現地のニーズ等に配慮した目標となっていること。

3.3 施工箇所（候補地）の選定

既存資料に基づき整理した有機泥の堆積状況（分布）、水面や河岸域の利用状況等を踏まえ、3つの視点に基づき施工箇所（候補地）を選定する。

【解説】

3.1節に示した既存資料に基づき把握した対象河川周辺環境の状況（有機泥の堆積状況、水面や河岸、護岸域の利用状況）を踏まえ、以下に示す3つの視点で石炭灰造粒物による環境改善の施工箇所（候補地）を選定する。

視点1：環境改善に対する地域のニーズ（具体的な個別の目標設定との整合性がとれているか）

視点2：環境改善効果の有無

視点3：施工に係る制約条件

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

4 適用する石炭灰造粒物層の構築方式、施工方法検討のための事前調査

4.1 事前調査の目的と設計条件の検討方法の選定

事前調査は、具体的な施工範囲や石炭灰造粒物層の構築方式等の設計条件を決定するために実施する。設計条件の検討にあたっては、親水性や生態系の向上、底質改善およびそれらを達成するために必要な有機物循環の促進、水質底質浄化等の目標を決定する。いずれの目標を設定する場合においても地盤高の設定は重視する項目である。地盤高は地盤材料、被覆層厚、置き換え量（地盤掘削量）および作業道構築の有無等、石炭灰造粒物層の構築方式の組み合わせによって決定される。目標に応じた河床高を決定した上で、事前調査項目を整理し施工前河床高と施工後に期待される河床高との関係を明確にする。

【解説】

干潟地形における地盤高さ（流れ方向の高低差）は底生藻類の繁茂量や新しく輸送された有機泥の堆積厚を左右するため、目標に合わせて施工断面を決定する。親水性の向上を重視する場合には、堆積泥量を制限する必要がある、生態系の向上（多様な底生生物の生息）を重視する場合には適度の有機泥の堆積が必要となるため、目的・目標によって設計する地盤高が異なる。表- 4.1 には石炭灰造粒物層の構築方式を整理した。石炭灰造粒物層の構築方式には、地盤を掘削後に石炭灰造粒物を埋設・被覆する置き換え方式、および地盤上に石炭灰造粒物を直接散布する被覆方式がある。置き換え方式では、掘削分が処理泥量となる。置き換えを行わない場合でも透水が確保できれば、被覆された堆積泥に対して十分な効果が得られるため、被覆方式を選択することが望ましい。

表- 4.1 石炭灰造粒物層の構築方式と効果

施工方式		効果の期待できる地盤特性等	効果
置き換え方式	浸透柱	有機泥層下に砂層（透水層）が存在する。潮汐変動内に堆積泥厚が含まれる。干潟面積が少ない、断面勾配が緩い場でも有効である。	置き換え土量を少なくして処理泥を減量する。浸透柱内の流れによって周辺堆積泥の減量を行う。発生泥は細粒径の石炭灰造粒物を混合して遊歩道の材料（混合方式）として利用可能である。
	浸透溝	下層に透水層が存在しない条件であっても可能であるが、ない場では側方浸透があることが望まれる。干潟面積が少ない、断面勾配が緩い場でも有効である。	溝状に置き換え量を多くして浸透柱の効果を増大させる。早い段階で現堆積泥を減量可能。発生泥は細粒径の石炭灰造粒物を混合して遊歩道の材料（混合方式）として利用可能である。
	全面置換（浚渫）	必要な河床高に対して、石炭灰造粒物層厚により河床高を確保できないと考えられる場において、現堆積泥を除去して河床高を確保する。	当初から河床高を確保可能。透水層上に被覆できる場合には、石炭灰造粒物層に新規堆積泥を捕捉して有機泥の堆積を効率的に制限する。
被覆方式	作業場（道）構築	水上作業が困難で地耐力が少ない場で、かつ干潟に十分な作業空間（時間）が作れる干出場がある。	石炭灰造粒物層を作業拠点、または作業道として利用可能。作業終了後は浄化層（浸透溝）として機能發揮できる。
	陸上散布	作業場との併用が望ましい。作業場を構築しない時には構築箇所周辺に陸上作業が可能な干出場がある。	作業道と併用することで浄化層厚、形状を自由に決定できるため、微地形の構築に有利である。
	水上散布	水上作業可能であれば水上作業を追求する。	超軟弱泥では細粒径の石炭灰造粒物から散布することで施工時の巻き上げや石炭灰造粒物の埋設を抑制できる。
混合方式		地盤改良を目的とする場、または掘削泥の処理が困難である（堆積泥をその場で利用）。	細粒径の石炭灰造粒物を混合して地盤材料（地盤改良）として利用可能である。
礫間接触方式		石炭灰造粒物を敷き詰めた水路に汚れた水が通ることで、汚濁物が間隙に沈殿するとともに、好気性微生物による有機物分解を進める。	袋状の物であれば、設置・撤去も容易である。

4.2 事前調査項目の整理

事前調査は、目視を中心として行う現地踏査と物質量を測定する現地調査から成る。選定した設計方針（改善目標）に基づいて、目標達成に必要な構築方式を整理した上で必要な事前調査を実施する。現地踏査時に河岸の状態を視察し検討すべき項目を明確にすると共に、浸透、泥厚分布等、重要な特記事項を整理する。現地踏査結果により改善目標を明確にした上で、調査項目を整理する。

【解説】

現地踏査は、目標達成の基本となる要点を明らかにするために行う調査である。このため、踏査後には設計方針が策定される必要がある。現地踏査と調査の段階で実施が望まれる調査項目について、表-4.2 に整理した。具体的な設計の検討ができるように、周辺での既存データの存在状況等を踏まえ、調査項目を精査することが肝要である。あわせて、現地踏査時での気付きの具体化（写真等で記録）、既成概念にとらわれない現地調査の計画検討についても留意する必要がある。

各段階における調査項目の選定基準等は技術資料編に示す。

表- 4.2 事前調査の段階において調査が必要な項目の整理

調査項目	段階		
	事前（机上検討）	①現地踏査	②現地調査
地盤状態	地形図から流れの特性、利用できる地物の確認	地耐力・有機泥堆積厚（ポール等の貫入） 地盤高（水位との関係、可能であれば潮位変化に応ずる干潟地形の確認） 改善対象範囲の設定	地形測量、泥厚分布測量
水質、流況	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
底質 生物生息	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（燃焼特性、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）
輸送沈降物量 （堆積速度）	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

4.3 事前調査方法

目的とするデータが正確に取得できるよう適切な方法を検討する。事前調査方法の決定のため、目視、足跡形状等、踏査で得られる情報が極めて重要である。調査時に行う水質センサー等による分布観測、採水・採泥といった方法や現地に器具等を設置する調査は、踏査の結果を補完するものである。

【解説】

有機泥の性状を特定するための方法が確立されていないため、一般的な土質試験や水質測定法を準用する場合が多い。一般的に有機物、海水で構成される有機泥に対して不具合な測定を用いるのではなく、有機泥の性状に適合する手法を用いることが必要である。現地の状況、堆積泥の性状等に合わせて最適な手法を採用することが望ましい。事前調査の具体的な方法や調査費用は技術資料編に整理した。

4.4 施工範囲、石炭灰造粒物層の構築方式の決定

(1) 施工範囲、石炭灰造粒物層の構築方式に関する基本的情報

施工範囲（被覆量、置き換え量、形状）は、有機泥の堆積状態と改善目標に基づいて決定される。使用する石炭灰造粒物量を決定しつつ、現況（護岸方向からの透水状態、有機泥の堆積厚・被覆範囲、砂層の有無）を考慮して施工目標（親水性の向上、生物生息環境の改善等）に応じた施工範囲を検討する。

施工範囲の概観が決定した後、構築方式（表- 4.1 参照）を検討する。構築方式は現況（特に地下流動を含めた流れ場）を十分に利用することを重視して検討する。

【解説】

河川への流入水は河道のみならず、護岸を含む地下からも流入する。広島市のようなデルタ地形の都市では地下水の流れが干潟生態系を育んできた。しかし、都市化に伴って生物による浄化量よりも有機泥堆積量が卓越してきた。この結果、河岸に有機物が過剰に蓄積し、堆積泥のヘドロ化が進み干潟生態系を脆弱化させている。

置き換え方式は干潟地盤内に流れを誘引する手法であり、干潟地形の持つ有機物の浄化効果を早期に取り戻すことを目標にした手法である。被覆方式は施工範囲を増大し、B/C（費用対効果）を向上させることができる。被覆方式では、有機泥が石炭灰造粒物層下に残るが、石炭灰造粒物層下の有機泥の消化は石炭灰造粒物層の効果によって促進する。どちらの方式においても、新しく堆積する有機泥の消化は石炭灰造粒物層内で行われることから、被覆層厚は十分に厚くとることが望ましい。

(2) 石炭灰造粒物層の構築方式決定のための検討項目

将来にわたる目標の達成状況を考慮して、①従来堆積泥の処理、②透水状態、③有機泥の堆積厚・分布、④必要な施工範囲等を検討項目とする。

【解説】

石炭灰造粒物層の構築にあたっては、当該海域の地形や透水状況等の利用可能な外力、有機泥の堆積速度等の対処すべき懸案事項を明確にし（表- 4.2 参照）、構築方式を決定する。構築方式は一つの方式に固執せず、組み合わせて用いることで効果の発現が容易になる。表- 4.3 に京橋川での実証試験で行った検討項目を示す。

表- 4.3 構築方式決定のための検討項目例

期待する効果		検討項目
親水性の向上	<ul style="list-style-type: none"> 有機泥の堆積抑制 水際へのアプローチ 	<ul style="list-style-type: none"> 地盤高さ（置き換え量、被覆厚） 被覆範囲
生物生息環境の改善	<ul style="list-style-type: none"> 有機泥の適度な堆積 有用藻類の定着 	<ul style="list-style-type: none"> ミネラル（CaO, SiO₂等）の供給経路
河川干潟の底質改善	<ul style="list-style-type: none"> 透水性の確保 ORPの改善 	<ul style="list-style-type: none"> 地盤高さ（置き換え量、被覆厚） 被覆層の干出、護岸～中央に向かった浸透量

5 施工の計画・実施と施工出来高等の評価

5.1 施工の計画段階で検討する内容

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

- 1) 石炭灰造粒物の調達（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）

【解説】

施工計画の立案にあたっては、まず、石炭灰造粒物の調達（輸送ルート、手段等）について目処をつけておく必要がある。また、河川内での施工となるため出水期を除くと、潮汐の関係から夜間作業となる場合が多い。感潮河川域では大潮干潮期間を中心とした作業工程となるため、時間管理を潮汐の条件等から検討しておく。

具体的な施工計画としては、必要施工範囲、期待する効果から B/C を最大にする石炭灰造粒物層の構築方式（表- 4.1 参照）を決定する。置き換え方式を採用した場合には発生泥量を推定しつつ、構築方式の組み合わせを決定する必要がある。発生泥は需要がない場合は適正に処分するが、細粒径の石炭灰造粒物は地盤改良材としての機能を有しており、発生泥を地盤材料として改良することもできる。

また、超軟弱な底泥上で作業場を構築する場合、重機の重みで過度の埋設が生じることもあるため、事前に圧密沈下量を予測し、必要に応じて被覆厚を増やすことを検討する。

さらに、目的・目標によって、必要な地盤高さが異なるため、現地条件に合わせて最適な施工方式の組合せを決定することが重要である。

加えて、施工中の潮汐の影響も考慮し、可能作業時、環境保全対策と同時に安全対策も検討しておく必要がある。

5.2 石炭灰造粒物の調達

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、平成26年度までは山口県の新小野田発電所構内で製造していた。平成28年度からは製造拠点を三隅発電所構内に移して製造されている。三隅発電所での石炭灰造粒物年間の製造量は約6万m³であるが、施工計画段階で必要な材料の確保の目処をつけておく必要がある。

【解説】

石炭灰造粒物は、石炭を燃焼した際に残った石炭灰をセメントで造粒した産業副産物である。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、平成26年度までは山口県の新小野田発電所構内で製造されていたが、平成28年度からは島根県の三隅発電所構内に移し、年間約6万m³製造されている。

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



図- 5.1 石炭灰造粒物製造拠点位置図⁷⁾

5.3 施工時期の検討

施工時期は、出水期を除いた大潮干潮時を中心に必要な作業時間、工程を設定する。潮汐の季節的変化（大潮干潮期は夏季には昼間、冬季には夜間となる）や周辺での河川の利用状況を収集・整理し、最適な施工時期を検討する。

【解説】

最適な作業期間は昼間に長時間干出する春～初夏が最適である。しかし、春～初夏には、出水期があり、施工は困難である。そのため、施工は冬季の夜間作業となる場合が多い。

また、河川の利用がある場合は、極力、利用の無い季節に施工を行うなど、河川周辺の利用状況も合わせて施工時期を検討することが重要である。

7) 中国電力㈱ 資料.

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

石炭灰造粒物層の構築方式は表- 4.1 にまとめたが、施工区域の地形特性を踏まえ、施工方法によっての効果の特性やB/Cが大きく変化することを理解して、構築方式を決定する。

【解説】

石炭灰造粒物層の設置（施工）の方式には、図- 5.2 に示す①浸透柱（旧太田川空鞆橋付近）、②③浸透溝（京橋川宇品橋付近、京橋川オープンカフェ前）、④作業道（京橋川オープンカフェ前）、石炭灰造粒物の散布要領として⑤水上散布（旧太田川広島高速3号線付近）、⑥⑦陸上散布（福山、中川）、⑧干潟作業道散布（京橋川オープンカフェ前）等がある。

これらの方式は、作業の干出場、石炭灰造粒物輸送の容易性、施工の容易性、施工箇所に至るまでの橋等の構造物、捨土容量、施工規模、施工期間、潮位変化、干潟地形を考慮して決定する必要がある。



①浸透柱（旧太田川空鞆橋付近）



②浸透溝（京橋川宇品橋付近）



③浸透溝（京橋川オープンカフェ前）



④作業道（京橋川オープンカフェ前）



⑤水上散布（旧太田川広島高速3号線付近）

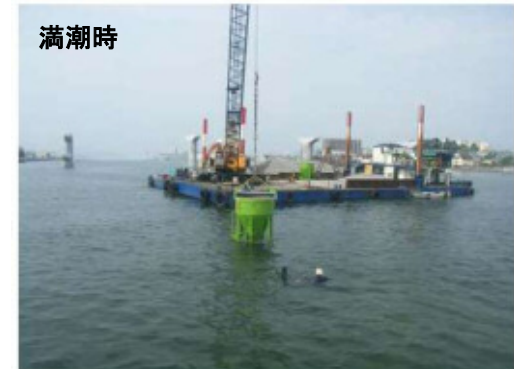


図- 5.2 (1) 石炭灰造粒物層の構築方式での施工状況



⑥陸上散布（福山）



⑦陸上散布（中川）



⑧干潟作業道散布（京橋川オープンカフェ前）

図- 5.2 (2) 石炭灰造粒物層の構築方式での施工状況

5.5 工事可能な時間、作業拠点の確保

河岸干潟に構築した作業道からの石炭灰造粒物の散布や浸透溝の掘削作業は干潮時に限定されるため、工事可能時間は潮汐によって決定される。作業時間を多く取れる大潮干潮時間帯は、季節によって変化することに注意を要する。非出水期である冬季では、大潮干潮は夜間に現れる。干潟における施工可能時間は、潮汐（干満水位）に依存することを理解しておく必要がある。

都市河川においては、作業拠点を確保することが困難であることも少なくはない。作業効率を向上させるために、必要な作業拠点を計画時に決定しておく。やむを得ない場合は、作業拠点を河道内に設定することも可能である。ただし、有機泥の混合材料として細粒径の石炭灰造粒物を用いる場合には、石炭灰造粒物を水浸しさせないことが重要である。

【解説】

干潟上への石炭灰造粒物の設置では、施工方法（構築方式）によっては冠水時に作業ができない場合がある。浸透溝や作業道の設置作業のように重機の足場を直接干潟上に置く場合には、冠水時の作業が不可能となる。表- 5.1 に干潟での重機作業の工程の目安（京橋川での例）を記述している。図- 5.3 は京橋川作業で利用した陸上作業拠点を示している。

表- 5.1 干潟での重機作業場の工程の目安（京橋川での例）

重点工種	12月		1月			2月			3月			4月			5月				
	26	31	10	20	31	10	20	28	10	20	31	10	20	30	10	20	31		
準備工		●	●																
左岸工区																			
磁気探査工				●		●													
作業通路工						●		●											
薄層覆砂工							●	●											
右岸工区																			
作業通路工									●									●	
薄層覆砂工									●									●	
浸透溝工									●	●									
片付け・清掃																		●	●
使用機械			ラフタークレーン 13t、キャリア BH.1			ラフタークレーン 13t、キャリア BH.1			ラフタークレーン 13t、キャリア BH.1			ラフタークレーン 13t、キャリア BH.1							

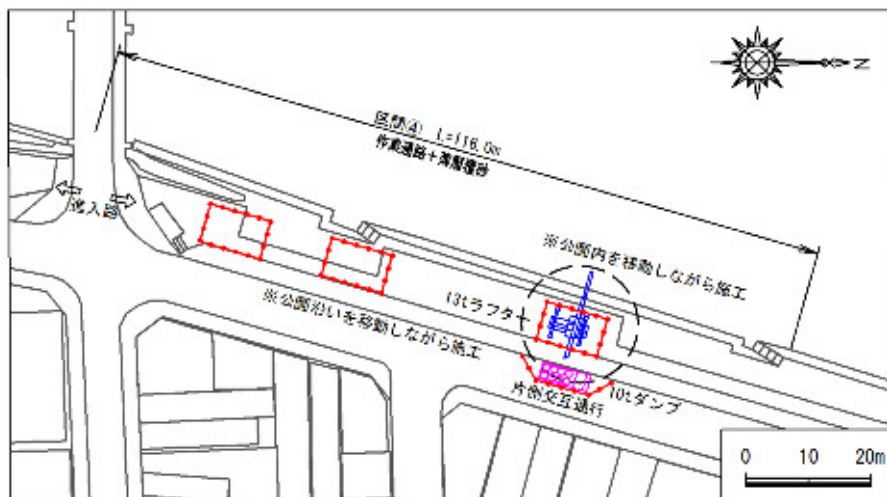


図- 5.3 京橋川作業で利用した陸上作業拠点

5.6 施工方法の検討

石炭灰造粒物層の構築には、特別な重機は必要なく、従来の道路工事等で用いられている機械を使用することで可能となる。ただし、地盤の掘削や石炭灰造粒物の散布に工夫を行うことによって、効率的でかつ効果の高い石炭灰造粒物層の構築が可能になる。

【解説】

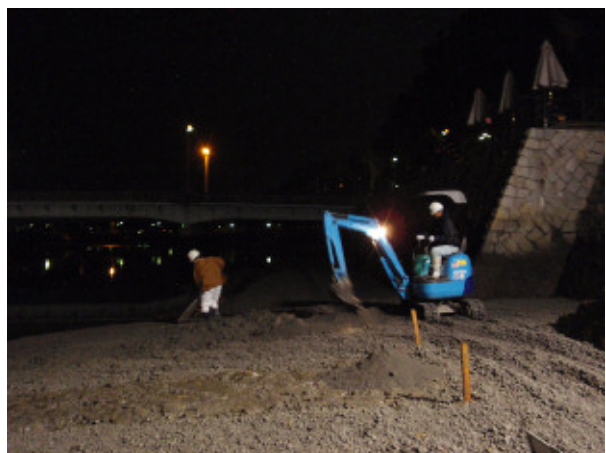
図- 5.2 に示したように構築方式によって用いる施工法が異なる。河岸干潟において規模の大きな施工を行う場合、構築方式を組み合わせることにより B/C の高い石炭灰造粒物層を構築できる。京橋川での施工では、石炭灰造粒物で造った作業道により作業拠点を確保して、浸透溝と作業道の構築が同時に行われた（図- 5.4(a) 参照）、作業道下に浸透溝。これは作業道上からの薄層散布（10cm 厚）を行うことにより、石炭灰造粒物層の構築が容易に行われた。石炭灰造粒物の輸送や置き換え方式、被覆方式には、クレーン、バックホウ、キャリアが用いられた（図- 5.4(b) (c) 参照）。作業拠点は護岸上であったため、クレーンによって護岸から河岸に石炭灰造粒物を降した。作業道の設置は軟弱地盤で必要であるが、砂の含有率が 50% を越える場合には作業道を用いなくてバックホウを運用することもできる（図- 5.5 参照）。浸透柱の構築では、クラブバケットに円柱半割バケット（アタッチメント）が使われている（図- 5.6 参照）。



(a) 浸透溝を掘削しつつ作業道を構築



(b) 完成した作業道（奥は作業拠点）

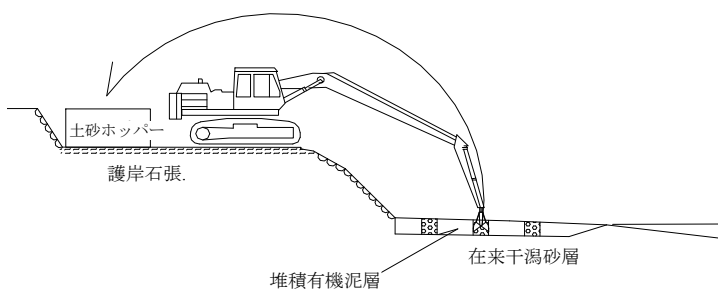


(c) 陸上拠点からクレーンによって石炭灰造粒物を干潟上に降ろす状況、奥はバックホウによるならし作業

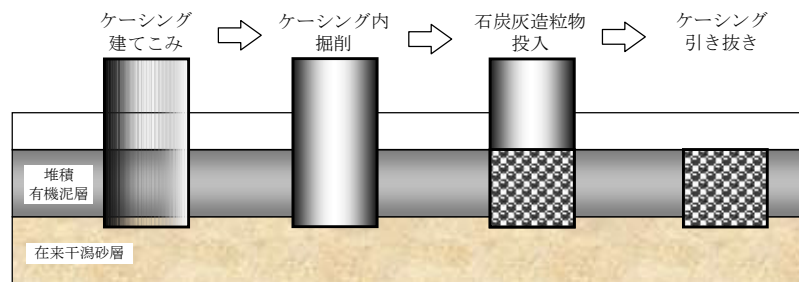
図- 5.4 護岸上を作業拠点とした時の作業の状況



図- 5.5 安定（歩行可能）地盤上での掘削作業



(a) 円柱半割バケット工法の概要⁸⁾



(b) 浸透柱の施工フロー図⁸⁾

図- 5.6 浸透柱構築工法による施工概略図

8) 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, 第22巻, pp.939-944, 2006.

5.7 施工手順の検討

目的・目標を複数設ける場合には置き換え方式と被覆方式を組み合わせる必要があるため、潮待ちが必要な作業、作業拠点の干出場が制限される作業では工程が複雑になる。効率的に作業が実施できるように施工手順を決定する。

【解説】

干潟地形では浸透溝の設置を適切に行うことで、親水性や生態系の向上が期待される。浸透溝の構築方法を組み合わせる場合には作業拠点の確保、掘削・土砂の発生、石炭灰造粒物の運搬・散布等の作業に加え、夜間作業、潮待ち条件等が重なると、工程が複雑になる。京橋川では①作業拠点の設置、②石炭灰造粒物の輸送、③河道内作業拠点の設置、④作業道構築、⑤浸透溝構築、⑥石炭灰造粒物層構築（被覆）、⑦発生泥処理（細粒径の石炭灰造粒物との混合利用）と敷きならし、⑧図面作成が行われた。これらを最適に行うための施工手順を決定する。

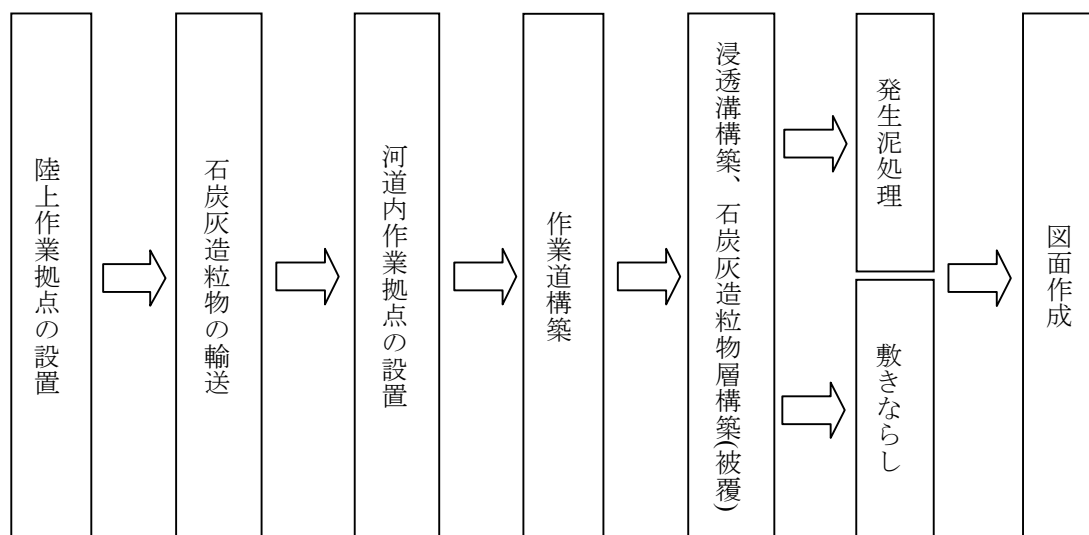


図- 5.7 京橋川の実証試験における施工手順

5.8 施工中の環境保全対策の検討

石炭灰造粒物層の構築にあたって留意すべき環境要因は、処理土の発生、濁りの発生、過度の擾乱などである。施工時には濁りの拡散を防止するため、掘削箇所には石炭灰造粒物を散布した状態で冠水を迎える等の配慮を行う。

【解説】

掘削した堆積泥が冠水時に作業地点に残された場合には、濁りが拡散する可能性がある。そこで、施工内容と水位変化との関係を把握して、濁りの発生を起ささないように石炭灰造粒物の散布で冠水を迎えるように配慮する。石炭灰造粒物の被覆による底生生物への影響は限定的であるため、生物量が多い場合には被覆を中心とした工法を選択することが望ましい。

5.9 施工に関する評価

施工の出来高は、散布した石炭灰造粒物量によって評価することが望ましい。施工直後の施工範囲や被覆層厚の状態は堆積泥厚によって変化するため、当初の計画を変更せざるを得ない場合が生じる。さらに、粉体の石炭灰造粒物の有無は被覆層の効果の発現に大きく関わってくるため、施工区の状況を調査し、評価することが望ましい。具体的には以下のような点について評価を行う。

- 1) 施工区画の形状・出来高（面積、被覆厚）
- 2) 被覆層の形成状況・底泥への材料のめり込み状況（めり込み層、分解層）
- 3) 被覆層内を含めた水の動き（河川水位と石炭灰造粒物層内水位との関係）

【解説】

地盤高（被覆層厚の状態）は、新しく堆積する有機泥厚に大きく関わってくる。高い地盤では有機泥の堆積は制限され、地盤高が低くなるにつれ有機泥の堆積量は厚くなる。親水性、生態系の向上は有機泥厚さに関連するため目標と地盤高（出来高）の関係を評価しておく。ただし、過剰な有機泥の堆積は生態系の向上を阻むものであり、有機泥の堆積は数 cm 以内に抑えることができる地盤高とする。粒造物から発生する粉体が有機物、海水と混合すると固化することがあり、被覆層内で浸透性を確保するために発生した粉体は有機泥の硬化（地盤改良）等に用いる。作業道施工に関する評価の一例として、図-5.8 に示す内容について調査を行うことが望ましい。

【透水機能の評価】

- ・メモリー式水質計を設置し、水位・塩分・水温・溶存酸素等について、約1ヶ月間の連続観測を実施する。

【施工にあたっての評価】

- ・平板載荷試験より、荷重強度と沈下量の関係を把握するとともに、安全率を考慮した許容支持力の算出により、地盤支持力を評価する。

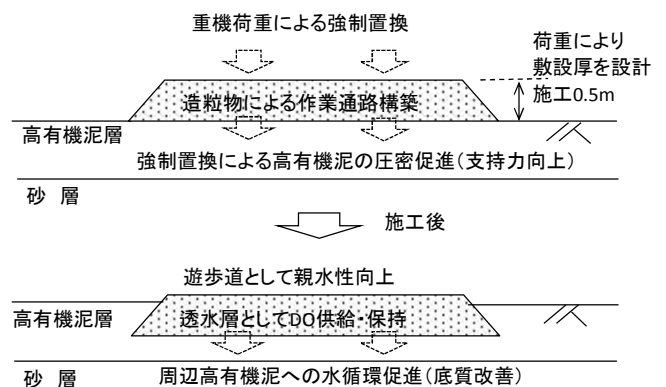


図- 5.8 作業道施工に関する評価内容の一例

6 施工前・後のモニタリング項目と評価

6.1 評価の視点

石炭灰造粒物による環境改善では、大きく以下の3つの効果が得られる。モニタリング方法の決定にあたっては、事前に評価の視点（どのような効果を評価するか）を、第3章で設定した目標を念頭に検討する。

- 1) 親水性の向上（有機泥の継続的な堆積抑制）
- 2) 底質改善（新堆積泥および被覆層内、下層堆積泥の改善）
- 3) 生物生息環境の改善（底生生物の生息改善）

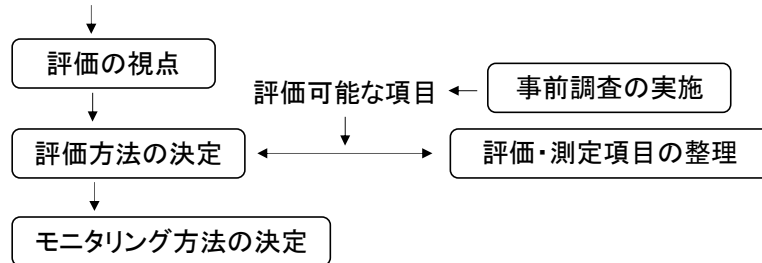
【解説】

評価の視点には、被覆層間隙への輸送・沈降泥の捕捉・分解効果に引き続く有機泥の堆積抑制（掃流効果）、底質（新堆積泥および被覆層内、下層堆積泥）の改善、底生生物（動植物）の生息改善といった項目がある。モニタリングでは、本技術の適用によって、具体的にどのような効果を得たいのかを明確にし、目的（効果の組み立て）に沿った計画を立案することが重要である。

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

底質改善の目標

効果の総合作用(効果の組み立て)



モニタリングは底質改善の目標を達成の有無を評価するために行うためのプロセスである。

6.1～6.5節の関連を明確にしてモニタリング方法を決定する。

6.2 モニタリング項目の整理

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

【解説】

各評価の視点毎に期待される効果と効果を直接的に評価する項目、間接的に評価する項目を抽出し、調査項目を整理する。直接的に評価を行う項目は、泥の堆積量や生物の現存量といった目標とする効果を直接的に評価可能となる項目であり、最低限モニタリングが必要となる項目である。また、関連するプロセスに関する調査項目は、期待される効果が発現しない場合の原因を解明し、対策を検討する上で重要となるため、可能な限りモニタリングを行っておくことが望ましい。よって、モニタリング項目の優先順位としては、①最も得たい評価の視点の直接的評価項目、②最も得たい評価の視点の間接的評価項目、③その他の評価の視点の直接的評価項目、④その他の評価の視点の間接的評価項目となる。京橋川での環境改善事業において、設定された評価の視点とモニタリング項目を表- 6.1 にまとめた。

表- 6.1 モニタリング項目の整理例（注）直…直接的評価項目 間…間接的評価項目）

評価の視点	モニタリング（調査）項目		種別		評価する内容
			直	間	
■親水性の向上	河床調査	泥厚（有機泥の堆積層厚）、地盤高測量	●		干潟に沈降・堆積する有機泥の堆積泥厚の低減効果を評価する。
		平面分布（底質性状、色調、匂い等）、歩き易さ、景観（定点写真撮影）、土壌硬度、底生生物の生息状況、ORP、pH		●	
■底質改善	底質調査	ORP、pH	●		被覆層内および下層の酸化・還元状態を評価する。
		IL（燃焼特性）		●	
		セジメントトラップ調査による沈降泥量	●		対象期間内での沈降泥量を把握する。
		セジメントトラップ調査によるIL（燃焼特性）、硫化物、POC、PON、CHNS、T-N、T-P、n-ヘキサン抽出物質、含水比、硫化水素、粒度組成		●	
		間隙に占める有機泥の体積割合	●		被覆層間隙への有機泥の捕捉・分解過程を評価する。
		間隙内粒子のIL（燃焼特性）、硫化物、POC、PON、CHNS、T-N、T-P、n-ヘキサン抽出物質、COD、含水比、湿潤密度、硫化水素、粒度組成		●	
		硫化水素	●		
		間隙水中のDIN、DIP	●		栄養塩の低減効果を評価する。
■生物生息環境の改善	底生生物調査	底生生物の種類数・個体数・湿重量	●		底生生物の生息状況を評価する。
		付着藻類の種類数・細胞数		●	

6.3 モニタリング評価の初期値としての事前調査の実施

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

【解説】

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

表- 6.2 施工前モニタリング調査項目の選択例（注）直…直接的評価項目 間…間接的評価項目）

評価の視点	モニタリング（調査）項目		種別		評価する内容
			直	間	
■親水性の向上	河床調査	泥厚（有機泥の堆積層厚）、地盤高測量	●		干潟に沈降・堆積する有機泥の堆積層厚の低減効果を評価する。
		平面分布（底質性状、色調、匂い等）、歩き易さ、景観（定点写真撮影）		●	
■底質改善	底質調査	ORP、pH	●		被覆層内および下層の酸化・還元状態を評価する。
		間隙内粒子の IL（燃焼特性）、硫化物、n-ヘキサン抽出物質、COD、含水比、湿潤密度、粒度組成		●	被覆層間隙への有機泥の捕捉・分解過程を評価する。
		間隙水中の DIN、DIP	●		栄養塩の低減効果を評価する。
■生物生息環境の改善	底生生物調査	底生生物の種類数・個体数・湿重量	●		底生生物の生息状況を評価する。

6.4 モニタリング方法

石炭灰造粒物による底質改善手法では、比較的粒径の粗い材料で干潟地盤を被覆することになるので、通常の採泥手法が適用できない。さらに、様々な有機物を含む主に細粒分を対象とした分析となるため、通常の分析が困難な項目が多い。これらの項目については、本実証試験で開発された調査手法を用いることで良好なデータを採取することが可能となる。

【解説】

通常の干潟調査で用いられている底質に関する調査手法は、有機物の分解にまで評価することは少なく、石炭灰造粒物による底質改善効果を評価するには不適なものが多い。

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

例えば、被覆層内での透水性、間隙水水質、間隙へ捕捉された粒子の量等を測定するために被覆層へのセンサーの設置には透水性を確保した塩ビパイプを埋設することにより、正確なデータの採取を行っている（図-6.1参照）。また、有機泥の性状変化は燃焼温度を変えて減量を測定して有機物の性状を特定する方法、酸素消費速度から性状変化を推定する方法等を提案している。

その他の調査項目における調査の目的および調査方法、概算単価については技術資料編に示した。



図- 6.1 被覆層内調査（柱状採泥）の実施要領

6.5 モニタリング結果の評価方法

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

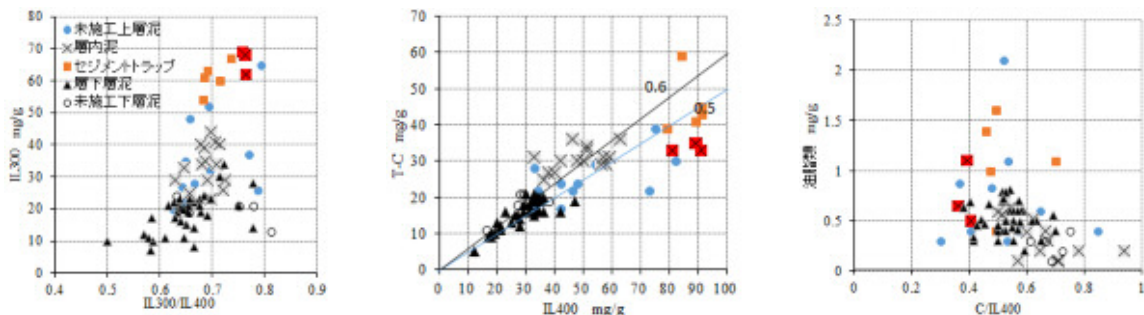
また、得られた特定の結果のみで効果の有無を判断するのではなく、④得られた効果がどのようなプロセスで発現もしくは低下しているかを解析することも重要である。

【解説】

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

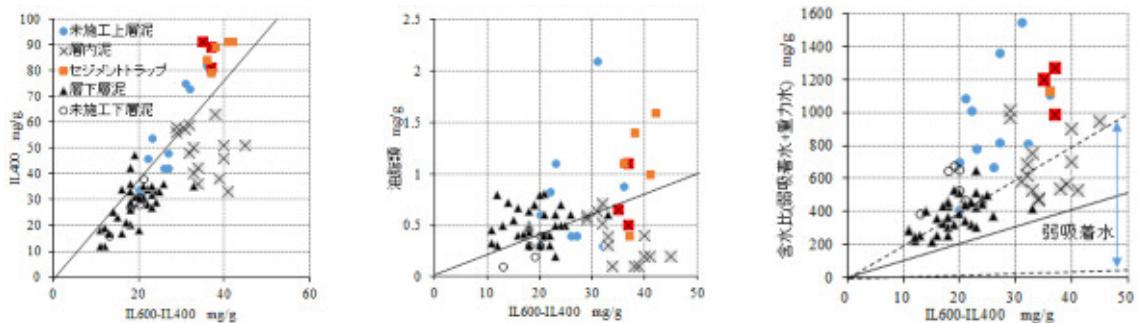
また、目標値に効果が達していない場合や目安の設定が難しい場合でも、②施工区と対照区の比較により、効果が発現しているか否かを評価することができる。この場合、可能な限り1地点あたり3検体分のデータを取得し、施工区と対照区の差が統計上有為であるか否かといった検証を行うことが重要である。

一方で、モニタリング結果を時系列で比較することにより効果の有無を判断できるが、気象条件や土砂流出等の外部要因が調査時点において大きく異なる可能性があることに留意する必要がある。効果を明確に評価するためには単一の分析項目を時系列で比較するのではなく、関連のある2つの項目の関係から効果を明らかにすることが望ましい。図- 6.2 に評価の例を示している。



(a) IL比 (IL₃₀₀/IL₄₀₀) ~不安定有機物量 (b)有機物量~T-C (c) 炭素組成比~油脂類

[有機泥に含まれる有機物と微細粒子の特性]



(a) 有機物量 (b) 油脂類 (c) 含水比

[粘土鉱物(構造水; IL₆₀₀-IL₄₀₀)への有機物附着特性(実直線は未施工上層泥の近似線)]

図- 6.2 京橋川実証試験における施工区と対照区の比較による効果の評価例

6.6 モニタリング結果の簡易評価方法

代表的な調査項目ごとにチェック項目や留意点を記載したモニタリングチェックシートを活用することにより、モニタリング結果を簡易的に評価することが可能である。

[モニタリングチェックシート 1]

調査項目	チェック項目	評価	留意点
泥厚 概観	写真の比較により、経時的変化を捉える。 目標（京橋川では新規堆積泥厚）とのズレをチェックする。		潮位を考慮した定点写真の利用、新規泥の堆積状況等を踏査により数値化。

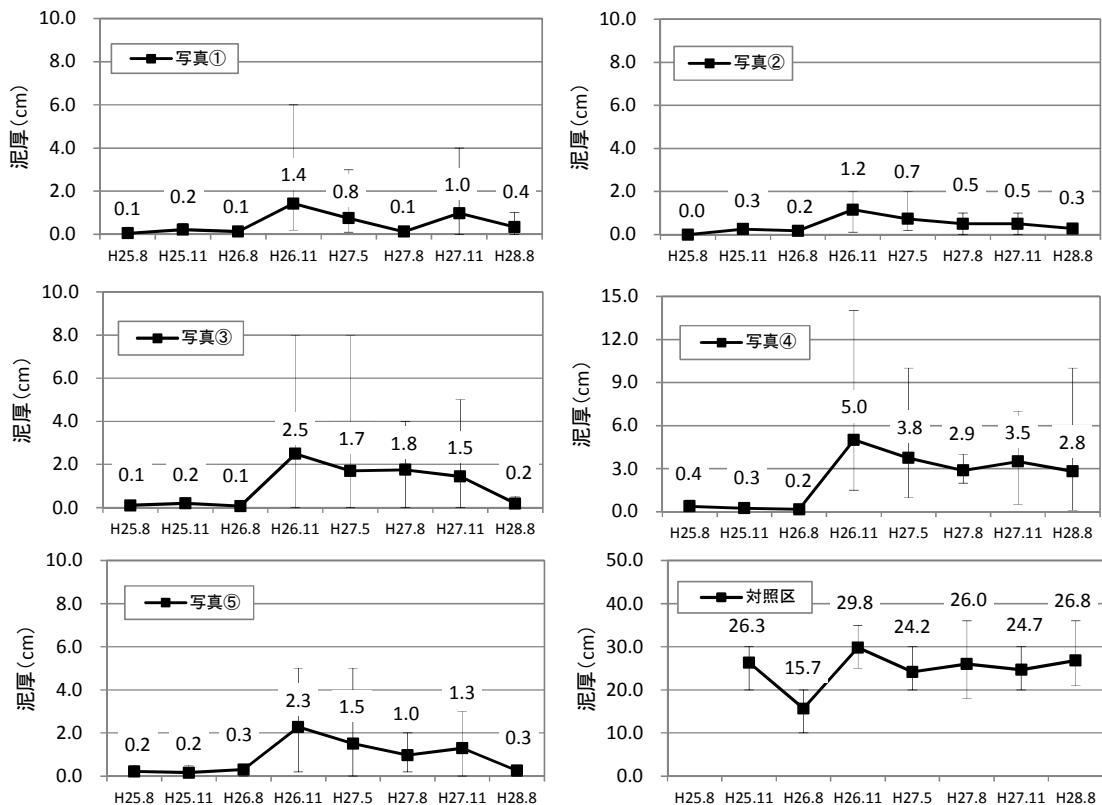


図- 6.3 写真撮影箇所における泥厚の経年変化

[モニタリングチェックシート 2]

調査項目	チェック項目	評価	備考
硫化水素	石炭灰造粒物層内に水が停滞化していない。		還元的状態が形成されている条件を推定。
	臭気の有無を確認する。		

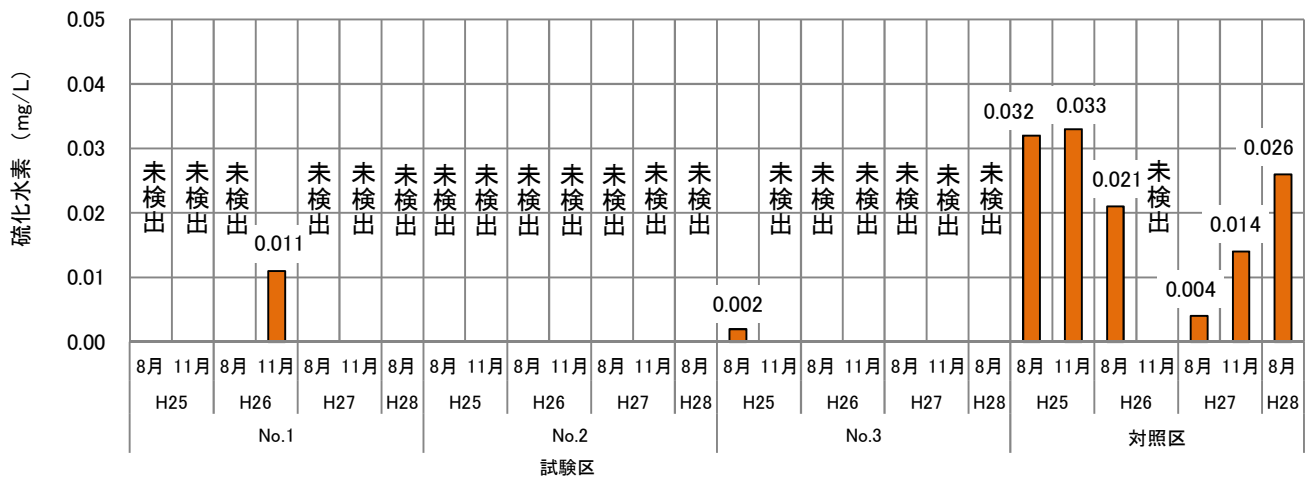
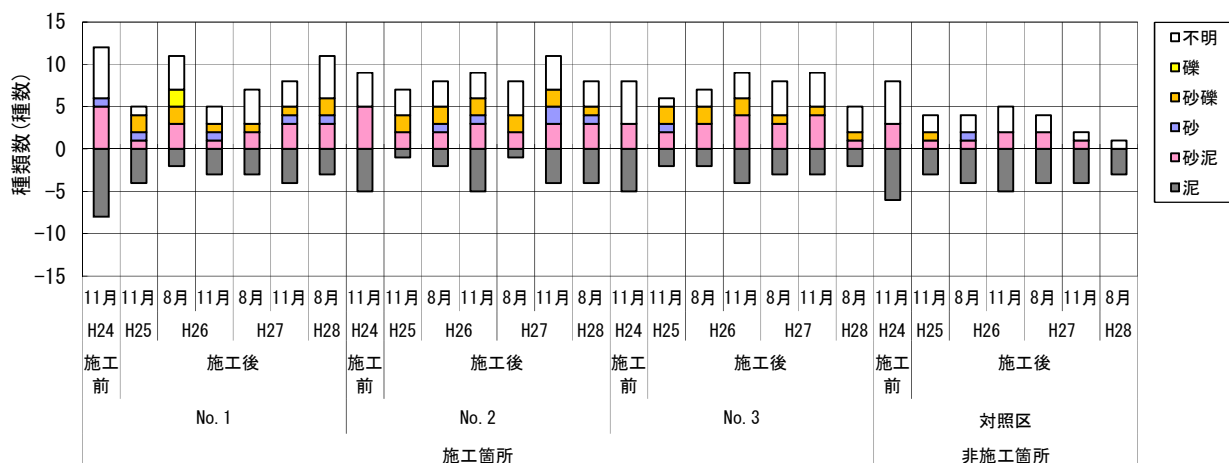
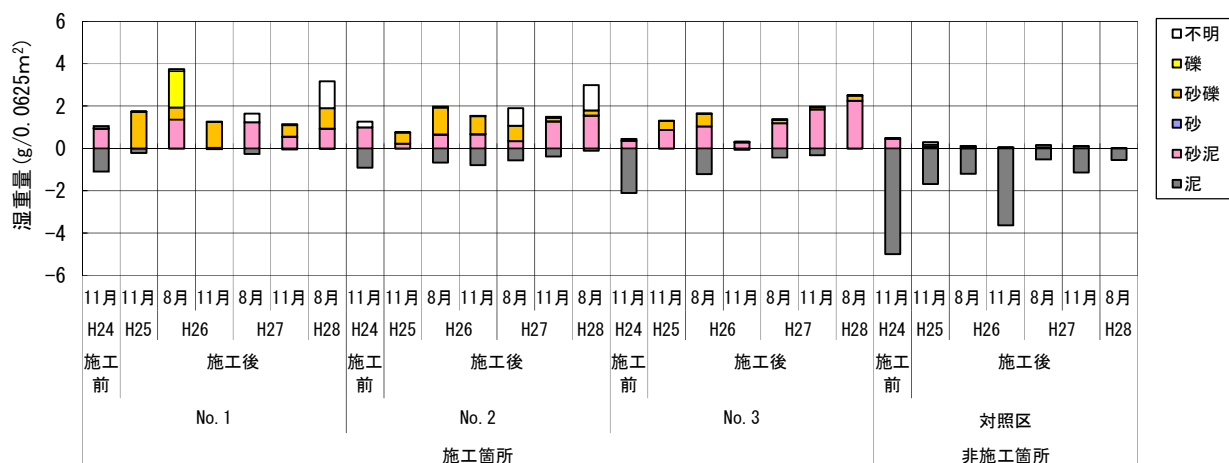
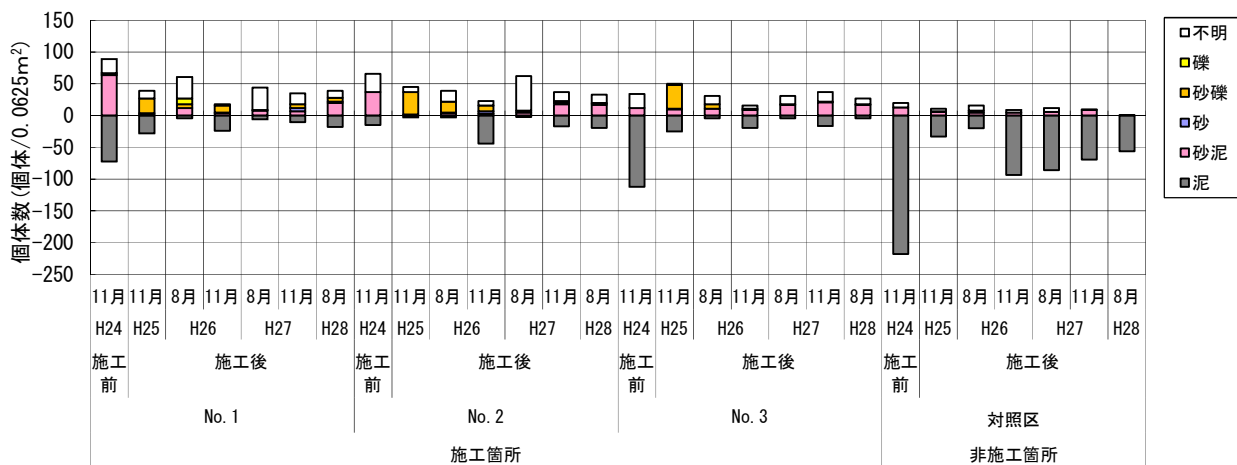


図- 6.4 硫化水素の経年変化 (上層)

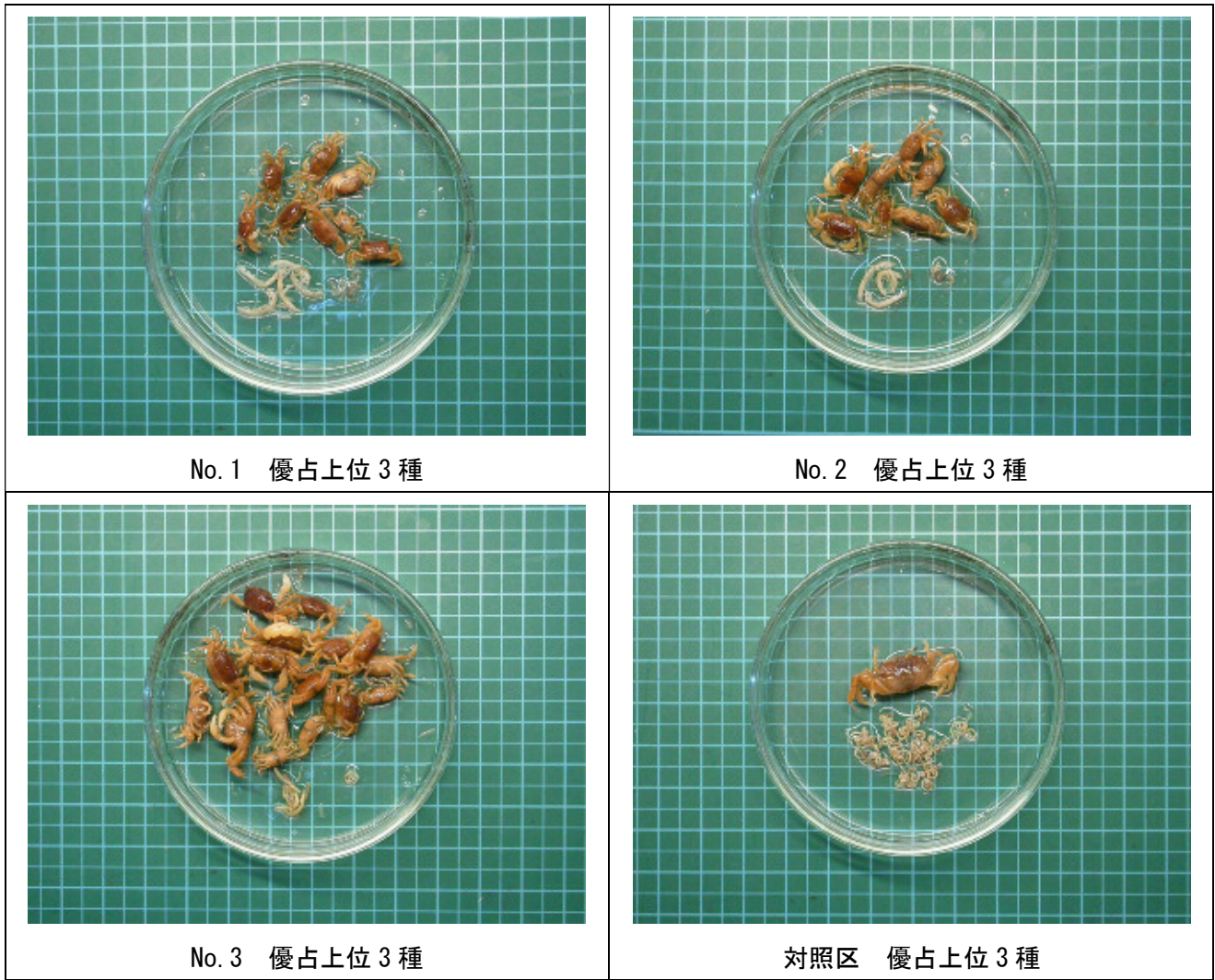
[モニタリングチェックシート 3]

調査項目	チェック項目	評価	備考
底生生物	付着藻類の状況（水位との関係、石炭灰造粒物の色）を確認する。		調査時に結果の推定。
	底生生物の生息状態と周辺の堆積泥、水循環の状況を確認する。		
	間隙層内の空気の量（干出前の層内の状況、図- 2.7 (b)）を確認する。		



※本チェックシートでは、生息環境改善の指標として泥を好む生物種のみマイナス表記と設定した。

図- 6.5 生息環境ごとの底生生物の経年変化



No. 1 優占上位 3 種

No. 2 優占上位 3 種

No. 3 優占上位 3 種

対照区 優占上位 3 種

表- 6.3 底生生物結果の例

分 類					No. 1		No. 2		No. 3		対照区		
門	綱	目	科	種 名	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	
紐形動物				NEMERTEA	紐形動物	1	0.001			1	0.001	1	0.005
軟体動物	二枚貝	イガイ	イガイ	<i>Xenostrobus securis</i>	ユロインカクヒバ'リガ'イ								
環形動物	多毛	サハ'ゴ'カイ	ゴ'カイ	<i>Ceratonereis erythraeensis</i>	ユカ'ゴ'カイ	2	0.005	2	0.006				
				<i>Hediste</i> sp.	カ'ゴ'カイ属	1	0.237	1	0.431				
		スビ'オ	スビ'オ	<i>Prionospio japonica</i>	ヤマトスビ'オ	5	0.002	7	0.003	1	+	4	0.001
		イト'ゴ'カイ	イト'ゴ'カイ	<i>Heteromastus</i> sp.	Heteromastus属	6	0.013	8	0.025	3	0.003	51	0.139
		ケヤリムシ	ケヤリムシ	Sabellidae sp.	ケヤリムシ科	2	0.003	5	0.107	1	0.002		
節足動物	顎脚	無柄	フジ'ツボ'	<i>Balanus albicostatus</i>	シロス'フジ'ツボ'								
	軟甲	端脚	ユンホ'ソコエビ	<i>Grandidierella fasciata</i>	シマ'ロコエビ'	3	0.001						
			ユンホ'ソコエビ	<i>Grandidierella</i> sp.	ド'ロコエビ'属	7	0.007	3	0.001				
			ド'ロク'タムシ	<i>Sinocorophium</i> sp.	Sinocorophium属								
			メリ'タコエビ'	<i>Melita</i> sp.	メリ'タコエビ'属	2	0.001						
		等脚	スナ'ウミナガ'	<i>Cyathura muromiensis</i>	ムロ'スナ'ウミナガ'	11	0.076	8	0.043				
		十脚	ハサ'ミヤコエビ'	<i>Laomedea astacina</i>	ハサ'ミヤコエビ'			1	0.078				
			モク'ス'ガ'ニ	<i>Hemigrapsus penicillatus</i>	ケ'フサイ'ガ'ニ								
				<i>Hemigrapsus takanoi</i>	タ'カノ'フサイ'ガ'ニ	3	0.963	1	0.230	1	0.252		
				<i>Hemigrapsus</i> sp.	イ'ガ'ニ属	5	1.267	3	1.089				
			ス'ガ'ニ	<i>Macrophthalmus japonicus</i>	ヤマト'サ'ガ'ニ							1	0.405
			コ'メ'ツ'ガ'ニ	<i>Ilyoplax pusillus</i>	コ'メ'ツ'ガ'ニ	8	0.617	8	1.080	17	2.237		
	昆虫	ハエ		DIPTERA	ハエ目	1	+	5	0.005	7	0.025		
総 個 体 数 (inds./catch)、総 湿 重 量 (wet wt. g/catch)					57	3.193	52	3.098	31	2.520	57	0.550	
種 類 数					14		12		7		4		

*湿重量0.001g未満の場合は + と示した。

7 協働による水辺の活用・管理等の運営

7.1 水辺機能の活用

水辺機能には①生物生息機能、②水質浄化機能、③生物生産機能等がある。水辺機能が整った水辺は付着藻類や底生生物の生息を育み富栄養化（悪臭）を抑制して親水性を向上させる。

【解説】

人は水辺を中心に生活の場を創造してきた。水辺は古来から賑わいの中心であり、人々の安らぎの場であった。現在でも水辺機能の高い河川では、河川を前面にした人々の往来がある。水辺景観を楽しむオープンカフェは水辺を活用する代表的な例である。親水性は水辺へのアプローチ（歩行の容易性）のみならず、ヘドロからの臭気の有無、人と生物の共生や河川水から受ける雰囲気によって評価される。ただし、親水性の高い水辺は水辺機能の高い場を提供するが、例えば、コンクリート被覆等の過度の親水性は細粒分の堆積を促進することが多い。水辺は本来人々によって活用されるべき空間である。都市化が進む近年では活用される機会が少なくなっているが、水辺機能の高い空間の創造と利用を一体とした水辺活用事業が望まれる。

7.2 水辺の環境管理

水辺の環境管理においては、利用目的、利用形態に応じて管理することが必要であり、造成した石炭灰造粒物層がその機能を維持し、かつ生物の生息、生育が十分に維持されるように努める必要がある。また、その維持管理においては、市民のボランティア活動や体験・学習の場として提供し、協力を得ることも考慮する。

【解説】

石炭灰造粒物層の構築によって親水性が向上した水辺（干潟）がその機能を発揮するためには、市民が水辺を自然や生物とふれあう場所として活用することが重要である。そのため、景観を楽しむ場として、あるいは生物を観察する場として利用する干潟散策などの他、市民が水辺の環境を体験、学習できるような場や機会を提供し、そのような活動を通じて水辺環境のモニタリングや維持管理に係わる作業に対して市民のボランティア活動による協力が得られるよう努めることが望ましい。

〈用語集〉

(あ行)

赤潮(あかしお)

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

上げ潮(あげしお)

低潮(干潮)から高潮(満潮)までの間、河口(河川下流)から上流に向かう流れを起こす。⇔下げ潮

浅場(あさば)

太陽光が届く程度の深さの水域をいう。

圧密沈下量(あつみつちんかりょう)

石炭灰造粒物層の設置により、軟弱泥から排水が起こり、原地盤から沈下する厚さのことである。

アルカリ剤(あるかりざい)

石炭灰、草木灰等、水酸基(OH⁻)や酸素(O²⁻)を結合したミネラルから成る物質のこと、水に溶解すると水溶アルカリ性を示す化合物総称である。

アルカリ剤造粒物(あるかりざいぞうりゅうぶつ)

アルカリ剤の粉末原料を固めて粒状に加工したものである。石炭灰造粒物はアルカリ剤である石炭灰を造粒して作成したアルカリ剤造粒物である。

一次生産(いちじせいさん)

生態系の物質循環の中で光合成により無機物から有機物を合成される過程。一般の生態系では植物プランクトンが生成される過程これに相当する。

栄養塩(えいようえん)

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

大潮・小潮(おおしお・こしお)

新月、または満月の期間に起こる潮位の最も大きな潮汐を大潮という。一方で、月が上弦または下弦の期間に起こる潮差の小さい潮汐を小潮という。また、秋分、春分に起こる大潮の頃の潮汐を彼岸期という。日本では、彼岸期の頃の干満差が年間で最も大きくなる。

オープンカフェ(おーぷんかふえ)

河川に面して開いたカフェ(飲食店等)であり、河川空間を楽しむことができる。

(か行)

海水遡上(かいすいそじょう)

上げ潮により、海水が河川上流方向に流れることである。

河岸干潟(かがんひがた)

干潮時に現れる陸地を干潟という。朝夕による水位変動の影響を受ける河川の河岸に形成される干潟を河岸干潟と呼ぶ。

架橋効果(かきょうこうか)

負に帯電した土粒子をカルシウム等、複数の価数を持つイオンが複数の土粒子を連結させて団粒構造化させること。団粒構造化することにより水はけ等を良好にするような性質に変化する。

還元(かんげん)

有機物が分解される時に放出された電子(e⁻)が、鉄イオン(Fe³⁺)や硫酸イオン(SO₄²⁻)等の酸化イオンと反応して、電価を下げることである(Fe³⁺+e⁻→Fe²⁺)。Fe³⁺を酸化物質、Fe²⁺を還元物質という。広義には電子が付加される反応を指している。⇔酸化

感潮河川(域)(かんちょうかせん(いき))

扇状地にある河川や河口水位は潮位によって定まるので、潮汐の影響を受け、水位が変動する区間を感潮河川、または汽水域という。流れや水質が河川順流域とは異なることから、生物相が特異となっている。

クロロフィル(くろろふいる)

光合成により糖を生成し、葉緑体を構成する物質のことである。クロロフィル-*a* は生きた植物プランクトンや藻類の指標として用いられる。

下水道、下水処理場(げすいどう、げすいしよりじょう)

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

けん化(けんか)

カルボシル基(-COOH)からH⁺が取れNa⁺やK⁺が代わって結合すること。油脂(カルボシル基を持つ有機物)にアルカリ(NaOH、KOH 水溶液)を加えるとけん化により乳濁する。熱すると容易に加水分解し、生じた脂肪酸は中和されてアルカリ塩となる。

嫌氣的・好氣的(けんきてき・こうきてき)

酸素の無い状態を嫌気、酸素の有る状態を好気という。酸素は有機物の分解で生成される電子を消費(酸化)する役割を担っている(呼吸)。

嫌気性微生物(けんきせいびせいぶつ)

酸素の無い状態で活動できる微生物。⇔好気性微生物

嫌気分解(けんきぶんかい)

酸素の無い状態で有機物が嫌気性微生物によって分解(消化)されること。酸化物に電子が渡されて還元物質が生成され、還元化する。=消化

高間隙、高空隙(こうかんげき、こうくうげき)

石炭灰造粒物等の礫状の物体が散布されて構築される層内では高い空隙状態の層が形成される。

好気性微生物(こうきせいびせいぶつ)

酸素の有る状態で活動する微生物。呼吸のため酸素を必要とする。⇔嫌気微生物

高濁度層(こうだくどそう)

水中の濁りが多い層であり、河川では流水部に形成されることが多い。

呼吸(こきゅう)

有機物からエネルギーを獲得後に排出される電子を酸素に渡す過程。嫌気性微生物では電子を酸化物に渡すことで電子を消費している。

(さ行)

作業道(さぎょうどう)

河岸で石炭灰造粒物を運搬し、散布作業を行うために臨時に設けられる簡易な構造の作業用通路のことである。

下げ潮(さげしお)

高潮(満潮)から低潮(干潮)までの間、河川上流から下流に向かう流れを起こす。⇔上げ潮

産業副産物(さんぎょうふくさんぶつ)

産業活動に伴い副次的に得られる物品であり、再生資源、石炭灰等は産業副産物である。

酸素消費速度(さんそしょうひそくど)

有機物の嫌気分解等の過程によって、酸素が消費される速度のことである。単位時間、単位面積もしくは体積あたりに消費される酸素の量として表される。還元的な底泥の酸素消費速度は高い値を有する。

出水期(しゅつすいき)

梅雨期や秋雨期など降雨量が多く、河川水量が多い期間のことである。

擾乱(じょうらん)

水域においては流れが乱れる現象のことであり、擾乱が大きい流れでは土砂が掃流され易くなる。

植物プランクトン(しょくぶつぷらんくんとん)

浮遊性の微細藻類の総称、単細胞～複細胞の微細藻類であり、光合成により栄養摂取する。富栄養化した水域では爆発的に増殖し赤潮となる。

植物マット(しょくぶつまつと)

底生藻類が高密度化で繁茂する状態である。

浸透(しんとう)

土中の水の運動形態の一つで、流れが連続している状態のことである。浸透する水の流れを浸透流、その水を浸透水という。浸透流において、流れの中の各点の流速が大きさや方向を時間的に変えない状態を定常浸透、変化する場合を非定常浸透という。

浸透柱(しんとうちゅう)

石炭灰造粒物を堆積泥層内に砂層まで柱状埋設し、柱内の流れを促進させる技術である。

水質(すいしつ)

水の中に含まれる物質(不純物)の種類、量(濃度)を指標として表わされた水塊(例えば河川水、海水)の状態のことをいう。

水素イオン(すいそいおん)

陽子 1 個のみからなるイオンのことである($H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$)。水素イオンは陽子 1 つから成ることからプロトンとも呼ばれる。

水和イオン(すいわいおん)

水分子(H_2O)は負の極性を持つために正イオンや他の分子に付着する。この状態を水和という。正イオンによって水和の強さが異なる。 Na^+ は水和性が強く、多数の水分子を付着する。水分子の付着した Na^+ を水和 Na^+ という。

成層(せいそう)

上層に軽い低塩分海水、下層に重い高塩分海水が存在し、鉛直混合が起こりにくい状態にある。特に、水温によって密度層が生じる状態では温度成層(躍層)という。=躍層

生物親和性(せいぶつしんわせい)

人と生物が共生を可能にする状態、またはその度合のことである。

石炭灰造粒物(せきたんばいぞうりゅうぶつ)

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

石炭灰造粒物層(せきたんばいぞうりゅうぶつそう)

石炭灰造粒物の散布により構築された層である。

セジメントラップ調査(せじめんとらっぷちようさ)

河川内で輸送される有機泥の粒子の捕集器具を用いて捕捉することで、その性状を調査するものである。

掃流(そうりゅう)

流れによって底面に作用するせん断応力(掃流力)が、河床面にある物質(土砂等)に作用する。この流水による力が物質の底面との摩擦力よりも大きくなると、土砂は河床面上を滑動や転動を繰り返しながら移動するようになることをいう。

(た行)

炭素組成比(たんそそせいひ)

有機物を構成する水素、酸素、窒素、硫黄、炭素の全量に対する炭素量のことである。

団粒構造(化)(だんりゅうこうぞう(か))

粘土粒子が凝集し、微小団粒が結合して形成された団粒の配列状態のことをいい、団粒結合因子として粘土、コロイド状鉄水酸化物、有機物等がある。団粒のサイズが 0.5～5mm のものを特にクラムといい、保水、排水機能に優れている。

潮汐(ちようせき)

主として月および太陽の引力に起因する海水面の周期的な昇降、すなわち潮の干満現象のことである。また、気象による海面の昇降と区別するために天文期ともいう。海面が最も上がりつめた状態を満潮または高潮(こうちよう)といい、最も下がりつめた状態を干潮または低潮(ていちよう)という。一日 2 回の満潮、干潮の高さおよび時間間隔は等しくなく、その差異を日潮不等という。

底質、底泥(ていしつ、ていでい)

河川、湖沼、海域など水域の底に溜まった表層堆積土などの物質(不純物)の種類、量(濃度)及び存在形態のことをいう。

底生生物(ていせいせいぶつ)

海底環境に生息する動物のことであり、ベントスとも呼ぶ。刺胞動物、軟体動物、環形動物は、節足動物に分けられ、昆虫の幼虫、貧毛類、貝類、甲殻類などが含まれる。

電子(でんし)

元素の構成物質のことであり、電子の出入りによって原子の結合や分解が起こる。有機物を無機化すると、電子や水素イオンを排出する。電子は単体で存在することはできないので正に帯電したイオン等と反応する(還元反応)。

(は行)

ヒートアイランド(ひーとあいらんど)

人工密度の高い都市で起こる現象。生活に利用されるエネルギー(ガソリン、電気等)が熱に交換されて、居住空間の気温が上昇し、高温の空間が島のようになることをいう。また、ゲリラ豪雨のような強い雨の原因となる。

被覆層間隙(ひふくそうかんげき)

構築された石炭灰造粒物層にできる空隙のことである。この間隙が有機泥を捕捉・分解することで、底泥の再ヘドロ化や巻き上げを抑制する効果が期待される。

広島市内派川(ひろしましないはせん)

広島市内を分派している川のことであり、太田川の枝川である天満川、旧太田川(本川)、元安川、京橋川、猿猴川の5つの河川を総称して広島市内派川という。

貧酸素水塊(ひんさんすずいかい)

海洋や湖沼等の閉鎖性水域で、魚などが生存できないくらいに水中の溶存酸素濃度が低下した水の塊のことをいう。通常2mg/L以下を貧酸素状態という。一旦、貧酸素水塊が発生すると、生物は酸素欠乏状態になり、ひどい場合は窒息死することもある。

不安定有機物(ふあんていゆうきぶつ)

構造が不安定であり、分解が容易に起こる有機物である。炭水化物、脂肪、タンパク質は不安定有機物である。

富栄養化(ふえいようか)

下水等が放流され、過剰に堆積した有機物が分解して栄養塩が豊富にある状態のことである。多量の栄養塩を含有する水質状態では植物プランクトンが異常に増殖して赤潮が発生する。

覆砂(ふくさ)

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

フシナシミドロ(ふしなしみどろ)

岩やコンクリート壁に附着して生息する微細藻類である。黄緑藻に属する糸状藻類の一つである。枝分かれした細長い藻体には、隔壁が無い。

附着藻類(ふちやくそうい)

底質等に附着して生息する藻類(藍藻、珪藻、緑藻等)のことである。一方で赤潮の原因である植物プランクトンは、浮遊性藻類である。

物質循環(ぶつじつじゅんかん)

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

フロック化(ふろっくか)

凝集作用によって生成した大きな粒子のことで、浮遊物の集合体になることをいう。

プロトン(ぷろとん)

水素イオンのことである。プロトンは陽子の意味であるが、水素イオンと同じ構造であるので、水素イオンをプロトンという。

分解層(ぶんかいそう)

底泥へ散布された石炭灰造粒物の層のうち、原地盤へめり込んでいない層(被覆層)のことである。⇔めり込み層

ヘドロ化(へどろか)

有機物は粒径の細かい土粒子(シルト、粘土)と付着する。一般的に有機物の堆積する地盤は泥状である。堆積状態で有機物が分ると、地盤は酸性化・還元化する。

(ま行)

「水の都ひろしま」推進計画(「みずのみやひろしま」すいしんけいかく)

質の高い水辺空間や魅力的な水都文化が形成された「水の都ひろしま」を実現するために、市民や企業等の協働のもと、様々な取り組みを計画的に、また効果的に進めるための実施計画として策定された。

ミネラル(みねらる)

動植物が生きるために必要な無機物の総称である。⇔有機物

めり込み層(めりこみそう)

底泥へ散布された石炭灰造粒物の層のうち、原地盤へめり込んでいる層のことである。⇔分解層

メロシラ属(めろしらぞく)

微細藻類である珪藻を分類した属、リンネ式階級分類における珪藻綱円心目に属している。

属は生物分類の基本的階級の1つであり、属は科の下・種の上に位置する。

モニタリング(もにたりんぐ)

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

(や行)

躍層(やくそう)

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

有機物(ゆうきぶつ)

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

溶解(ようかい)

石炭灰造粒物を構成するシリカ(SiO_2)や酸化カルシウム(CaO)等が水中にイオン化することをいう。

溶出イオン(ようしゅついいおん)

石炭灰造粒物を構成するシリカ(SiO_2)や酸化カルシウム(CaO)等が水と反応して生成されたイオンのことであり、 CaO が水に反応すると Ca^{2+} と OH^- が生成(溶出)する。

(ら行)

硫化水素(りゅうかすいそ)

硫黄と水素からなる無機化合物(H_2S)で無色の気体であり、腐卵臭(卵が腐ったときに示す独特の臭い)を持つ。海域では、底泥等に大量の有機物が蓄積し、還元的な環境では硫酸還元菌が硫酸を電子受容体として呼吸することで、副産物として発生する。大量の硫化水素の発生は、生物に有害であり、青潮の原因にもなる。また、嫌氣的分解過程が盛んであることも示している。

硫化物質(りゅうかぶつしつ)

2価の硫黄(S^{2-})の化合物の総称、硫化水素(H_2S)、硫化鉄(FeS)等は硫化物質である。

流況(りゅうきょう)

流量によって変化する河川の流れの状況、または状態のことである。年間の日流量値を大きい順におおむね4分割し、豊水、平水、低水および渇水と区別している。渇水流量を1とすると、低水1.7、平水2.5、豊水は3.5倍程度となっている。

流入負荷量(りゅうにゅうふかりょう)

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

(A～Z)

B/C(費用:Coast, 効果:benefit)

事業のコストパフォーマンスを表わす指標のことである。

Ca²⁺(カルシウムイオン)

CaO が溶解すると、Ca²⁺と OH⁻が溶出する(CaO + H₂O → Ca(OH)₂ → Ca²⁺ +2 OH⁻)。

CaO(酸化カルシウム)

酸化カルシウム(Calcium oxide, quick lime)は化学式 CaO で表される化合物である。慣用名として、生石灰(せいせつかい)とも呼ばれる。

CHNS

有機物を構成する燃焼原素である炭素(C)、水素(H)、窒素(N)、硫黄(S)を総称して CHNS と呼ぶ。

COD(化学的酸素要求量)

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

DIN(溶存無機態窒素)

水中に溶存して存在する無機態窒素の総量で、NH₄⁺-N(アンモニア態窒素)、(NO₃⁻-N)硝酸態窒素、(NO₂⁻-N)亜硝酸態窒素の総和である。DIN は植物プランクトン等の増殖に必要な栄養塩である。

DIP(溶存無機態りん)

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

DO(溶存酸素濃度)

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

ETV 環境技術実証事業(環境省)

環境技術の開発者でも利用者でもない信頼できる第三者機関が環境技術を実際の現場等で実証し、その結果を環境省ウェブサイト等で広く公表することにより、環境技術の普及を支援するものである。

Fe₂O₃(酸化鉄)

酸化鉄(さんかてつ)は、鉄の酸化物の総称である。酸化数に応じて酸化鉄(II) (FeO)や酸化鉄(III) (Fe₂O₃)など組成が異なるものが知られる。いずれも鉄の酸化物であり、水酸化鉄と並んで錆を構成する成分である。

IL(強熱減量)

土に含まれる有機物の指標である、試料を 100℃で乾燥後、600℃で燃焼させた時の減少量のことである。ただし、有機物以外に 600℃で燃焼(原量)する物質として水分、炭酸カルシウム等が含まれる。

IL₃₀₀-IL₄₀₀

300℃で燃焼した量(不安定有機物量)と 400℃で燃焼した量(全有機物量)の差であり、腐植性有機物量として用いられる。

n-ヘキサン抽出物質

油脂量の指標のことであり、この量が多いと下水成分が多いと判断できる。

NPO

「Non profit Organization」又は「Not-for-Profit Organization」の略で、広義では非営利団体のことである。

OH⁻

水酸化イオンのことであり、OH⁻が H⁺の濃度(数)よりも高くなるとアルカリ性となる。CaO のような酸化物が溶解すると、OH⁻が溶出しアルカリ性となる。

ORP(酸化還元電位)

水分に溶解したイオンの持つ電位のことであり、HS⁻、Fe²⁺等の還元物質を含む水溶液の電位は低くなっている。正の値は酸化的事であること、負の値は還元的であることを表している。

pH(水素イオン指数)

酸性・アルカリ性の程度を表しており、液中の水素イオン濃度の逆数の常用対数で示している。pHが7であれば中性、pHが7より小さければ酸性、大きければアルカリ性を示している。有機物が分解し水素イオンが蓄積された土壌は、酸性化しやすい。

POC(懸濁態有機炭素)

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

PON(懸濁態有機窒素)

水中に浮遊している有機態の窒素量である。POCと同様に、海域では植物プランクトンやデトリタスとして存在している。

SiO₂(シリカ)

二酸化ケイ素(SiO₂)、もしくは二酸化ケイ素によって構成される物質の総称である。シリカという呼び名のほかに無水ケイ酸、ケイ酸、酸化シリコンと呼ばれることもある。

T-C(全炭素)

全ての炭素量のことである。

T-N(全窒素)、T-P(全りん)

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

結 言

本手引きは、京橋川において行われた石炭灰造粒物による親水性や生態系の向上を目的とした河川環境改善事業の実証試験結果を基にとりまとめたものである。本手引きに先立って作成された海田湾の実証試験での施工計画、施工、モニタリング、評価手法をまとめた「石炭灰造粒物による底質改善手法の手引き」の感潮河川域編として作成した。

本手引きにおいて、河川干潟の環境改善に向けた石炭灰造粒物の適用の有効性に関する科学的な知見を多く得るとともに、実際の事業実施にあたっての諸検討項目について詳細に整理しているため、今後同様の事業に取り組むにあたっては参考にされたい。

最後に約6年間に渡って行った実証試験において、献身的な協力と指導をいただいた広島大学 日比野忠史准教授、中国電力株式会社 電源事業本部の関係者の方々に深く御礼を申し上げます。

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

平成 29 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
