

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

STUDY ON CONSTRUCTION TECHNOLOGY FOR ENVIRONMENTAL
IMPROVEMENT AT RIVERBED COVERED BY ORGANIC SEDIMENT

日比野忠史¹・末國光彦²・山田恭平³・田多一史⁴・富田智⁵・水野雅光⁶

Tadashi HIBINO, Mitsuhiro SUEKUNI, Kyohei YAMADA,
Kazufumi TADA, Satoshi TOMIDA, Masamitsu MIZUNO

¹正会員 博士(工学) 広島大学助教授 工学研究科 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1)

²正会員 中国電力(株) (〒730-8701 広島県広島市中区小町4-33)

³正会員 中国高圧コンクリート工業(株) 環境事業部 (〒730-0041 広島県広島市中区小町4-33)

⁴正会員 工修 中電技術コンサルタント(株) 臨海・都市部 (〒734-8510 広島県広島市南区出汐2-3-30)

⁵正会員 日本ミクニヤ(株) 環境防災部 (〒734-0015 広島県広島市南区宇品御幸4-4-7)

⁶正会員 国土交通省中国地方整備局 太田川河川事務所 (〒730-0013 広島県広島市中区八丁堀3-20)

The organic sediment moves with water flowing in estuary. It is carried to the river with flood tide from river mouth, and settles on the riverbed at a tidal flat. The organic sediment settled there causes the environment deterioration and loss of waterside scene value. Then, the environmental quality improvement technology was proposed using fly ash for consolidated sediment. We established the construction technology for environmental improvement at riverbed covered by organic sediment. The column bucket method and the vacuum pump method were proposed for the infiltration-pillar installation. The efficient construction method corresponding to riverside could be validated by these constructions. The infiltration-pillar was constructed as a method of supplying oxygen into consolidated sediment by the water movement in the pipe with the ebb and flood tide.

Key Words: column bucket method, vacuum pump method, infiltration-pillar, and stroll road

1. はじめに

国土交通省, 広島県, 広島市は, 一般市民が安心して河川空間を利用できるよう「水の都ひろしま」構想を策定し, 水の都としてより魅力的な都市づくりを進めている。この魅力的な都市づくりの一環として, 太田川の市内派川の親水性を向上させることが望まれている。すなわち, 高齢者から子供までが容易に水面に近づくことができ, 安心して泳げ, 安全に楽しく遊べるような水辺空間づくりを目指している。

タイドプール等の微地形が発達していない市内派川では, 有機泥の生産量(流入量)が消費量を上回り泥化が進行している。干潟の泥化が進行すると, 底質内部の水循環が阻害され, 栄養塩負荷の蓄積, 硫化物などの有害物質の堆積など, 河川浄化能力が低下し, 生物生息環境

の悪化が起こるだけではなく, 水辺景観価値の大いなる損失に繋がる¹⁾。市内派川に堆積する有機泥を減少させるには, 河口域に浮遊する有機泥の処理が最も有効であり, この処理を行うことにより, 河川に遡上する有機泥を漸減することが期待される。また, 既に堆積した有機泥に生物が棲息できる場を拡大させることができれば, 景観も含めた干潟環境の改善が促進される(親水性の向上が期待できる)。

著者らは, 親水性向上を目的として石炭灰を有効利用する「浸透柱による底質改善」(図-1), 及び「石炭灰および河岸堆積有機泥を利用した覆土」(図-2)の技術を提案し, 現地実験でその効果を確認している(詳細は, 2. 親水性向上技術の概要を参照)。

これらの, 施工技術の開発を目的として, 実河川における施工法の確立と効果の定量的な把握を行った。

2. 親水性向上技術の概要

本研究で提案する汚泥改善技術は、従来から用いられている浚渫・覆砂の考え方とは全く異なり、堆積泥内に酸素を供給することで生物生息環境の改善を図り有機泥の低減を目指すものである。

(1) 浸透柱による底質改善

浸透柱による底質改善とは、石炭灰造粒物を用いた浸透柱をシルト・粘土層の下にある砂層まで貫入させることで、潮汐の干満を利用して浸透柱内の水循環を向上させるものである。この技術の概要を図-1に示す。

河岸に浸透柱を設置することによって堆積した有機泥内に酸素を含む河川水等を流入させることにより泥内に酸素が供給される。これによって、堆積泥の生物生息環

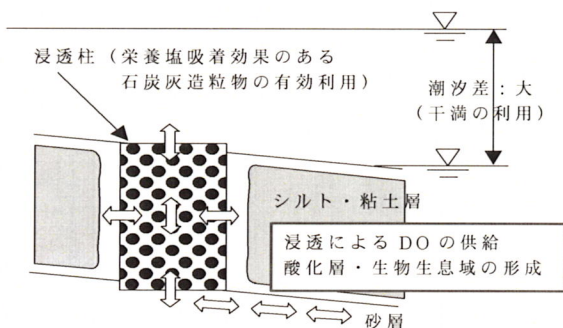


図-1 浸透柱による底質改善技術の概要

境を向上させることが期待できる。すなわち、浸透柱は底生生物の活性を上げることで有機泥の処理を促進させるものである。市内派川（天満川）における事前実験では、約1年間の浸透柱の設置による底質改善の効果（生物量の増加、堆積泥内のDOの改善など）が明らかにされている^{2) 3)}。

(2) 水際へのアプローチ

水際でのアプローチは石炭灰、有機泥を活用した覆土によって行う。浸透柱設置のために排出される有機泥の有効活用法として、有機泥と石炭灰、砂を混合した覆土材を敷設することによって遊歩道を構築する。この技術の概要を図-2に示す。

この覆土材を堆積泥上に敷設することにより、歩行に十分な強度が得られ、水上タクシーの栈橋、水際散策道等への利用が可能であり、親水性の向上が期待できる。

また、浸透柱の設置施工時に発生する残土を覆土材として用いることで、残土の処分を最小にすることができる。

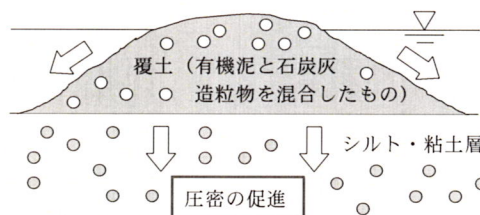


図-2 有機泥を利用した覆土技術の概要

表-1 覆土材の配合検出表

試料番号	体積比			強度 (MPa)		泥色 (乾燥状態)	見た目
	砂	石炭灰	有機泥	混合後	浸水時		
①	4	1	5	0.04	0.14	3G 3.0/0.5	砂混じり粘土
②	2.5	2.5	5	0.04	0.12	3G 3.0/0.5	
③	1	4	5	0.04	0.30	3G 3.0/0.5	
④	5.6	1.4	3	0.34	0.25	5Y 3.0/0.5	シルト混じり砂
⑤	3.5	3.5	3	0.14	0.12	5Y 3.0/0.5	
⑥	1.4	5.6	3	0.53	0.62	5Y 3.0/0.5	
⑦	7.2	1.8	1	0.19	0.06	2Y 4.0/5.5	砂
⑧	4.5	4.5	1	0.08	0.10	4YR 3.0/1.0	
⑨	1.8	7.2	1	0.19	0.16	N3.0	
⑩	5	5	0	0.00	0.14	2Y 4.0/5.5	砂と石炭灰の斑模様

強度 (MPa) 0.1未満: 5cm以上めり込む(歩けない)
0.3程度: 5mm程度の足跡
0.5以上: ほとんど足跡が付かない



図-3 各覆土材の比較

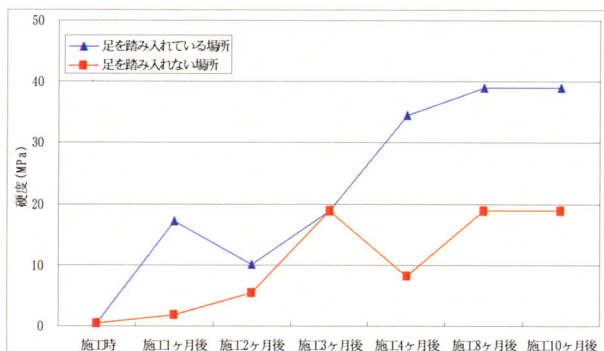


図-4 覆土材の硬度の変化

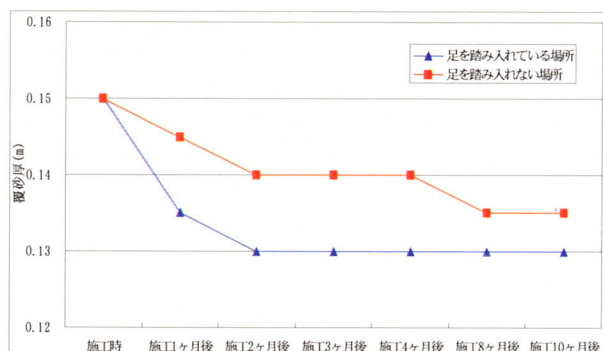


図-5 覆土厚の変化

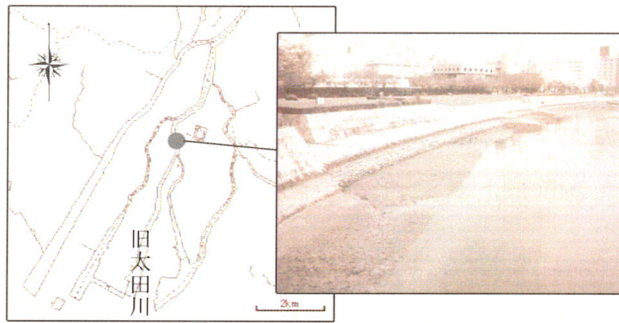


図-6 旧太田川空鞘橋付近の干潟

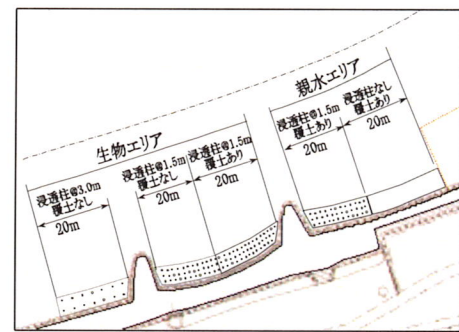


図-7 試験区域の概要

本施工試験の事前調査として、混合覆土材の検討を行った。砂、石炭灰、有機泥を用いて、10種類の体積比の異なる覆土材をつくり、各強度と泥色および目視による質感の比較を行った。覆土材の配合検討表を表-1、各覆土材を図-3に示す。

この10種類の覆土材の中で最も強度があるのは試料番号⑥であり、強度は試料混合後0.53(MPa)、浸水時0.62(MPa)であった。この試料の外観的にはシルト混じりの砂であり、人に不快感を与えるような色ではないこと、景観上の違和感がないことが確認された。

また、この試料番号⑥の混合覆土材を河川感潮域(天満川の距離標3K000地点)に撒き、約10ヶ月間の硬度及び覆土厚の変化について検証を行った。

「足を踏み入れている場所(散策道としての覆土)」と「足を踏み入れない場所(底生生物の棲息環境改善のための覆土)」の2種類の覆土箇所を設けることで、各々の覆土の効果について検証を行った。各場所における地盤硬度の変化を図-4、覆土厚の変化を図-5に示す。

地盤硬度は、施工時から徐々に増加し、施工10ヶ月後に「足を踏み入れている場所」では約40(MPa)、「足を踏み入れない場所」では約20(MPa)まで増加した。覆土厚は、施工時に0.15mであったものが徐々に減少するが約2ヶ月で安定し、「足を踏み入れている場所」では0.12m、「足を踏み入れない場所」では0.13mとなり、大きな減少は見られなかった。また、覆土上にはカニ穴の形成やマトシジミの生息等が確認でき生物の生息に十分耐えうる環境であることが確認された。

これらの結果より、質感が良く地盤が安定して歩きやすい散策道の造成には試料番号⑥の混合覆土材が適切であることが判断できた。混合覆土材を用いて敷設した遊歩道は、敷設後10ヶ月を経た後も遊歩道としての機能を維持できたこと、底生生物の生息を阻害しないこと、河川の自然景観が損なわれないことを確認できたことから、提案する覆土材は堆積泥上での歩行を可能にする遊歩道として実用化が期待できることが確認できた。

3. 施工技術の開発の検討

(1) 施工試験の概要

浸透柱の現地実験²⁾により得られた結果をもとに、浸透柱の実用化に向けた実証試験として、広島市の市街地を貫流する旧太田川空鞘橋(2K880~2K960)付近で平成17年12月に施工を実施した。

旧太田川空鞘橋付近の干潟の様子を図-6に示す。試験区域周辺には、河床(横断形)の約2割程度に干潟が形成されている。この干潟は、約0.5m程度の厚さで有機泥が堆積した泥干潟である。有機泥が堆積している層(シルト・粘土層)の下には砂層が存在しており、浸透柱の設置により底質改善効果が検証された天満川と同様の堆積泥の構造を有している。

図-7に試験区域の概要が示されている。約100m×3mの試験区内に親水エリアと生物エリアの2つのエリアを造成した。親水エリアは水辺への人のアプローチを向上させるエリアであり、覆土による遊歩道の造成を行っている。生物エリアは泥質の改善を目的としたエリアであり、浸透柱設置による底生生物の良好な棲息環境の創造を目指している。

施工試験では、これらのエリアにおいて「浸透柱」、および「覆土」についての施工方法の検討を行う。

(2) 施工方法の検討

本実証試験の施工フローを、図-8、図-9に示す。覆土は浸透柱設置時に発生する掘削泥を利用するため浸透柱設置の後の施工となる。

旧太田川空鞘橋付近は、海の潮汐の影響を受ける河川感潮域であり、満潮時の作業が困難となるため感潮域の特徴を考慮し、以下の様な施工法を提案する。

a) 浸透柱の設置施工

浸透柱の設置について、低潮位時及び中～高潮位時にも施工が可能になるように、2種類の工法を開発した。

① 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力をかけ、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写真と断面図の概要を写真-1と図-10に示す。

掘削の際は、バケットの先端部分に高い圧縮力がかかるため、粘着性のある土であれば確実に取り込める。本

工法により、1工程で1本の掘削が可能となる。

排土の際は、ケーシング自体が大きく開くため、粘着力の強い泥でも容易に排出できる特徴がある。

また、このバケットはバックホウアタッチメントであり、取り外しも可能で利便性に優れている。

②真空ポンプ工法

真空ポンプ工法は、ケーシングを設置し、ケーシング内の土砂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。真空ポンプ工法の写真と断面図の概要を写真-2と図-11に示す。

本工法は、重機の搬入の困難な場所での施工や施工面の干出時間が短い期間での施工が容易となる特徴を有す

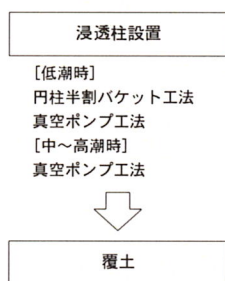


図-8 施工フロー



写真-1 円柱半割バケット工法



写真-2 真空ポンプ工法

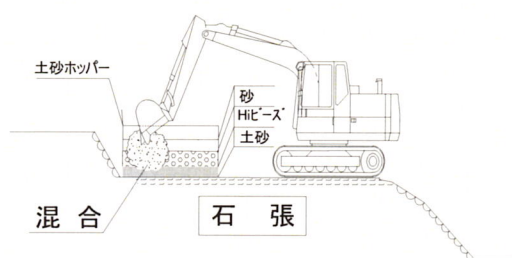


図-12 覆土材混合の断面図

る。

b) 覆土施工

浸透柱設置の後、覆土材の混合と撒き出しを行った。覆土材の混合状況を図-12、覆土施工の概要（断面図）を図-13に示す。覆土材の混合については、重機によりホッパー内で砂と石炭灰（Hiビーズ）と残土砂（有機泥）を攪拌混合した。ホッパーによる攪拌のみによって河川水の混入なしで、所用の混合が可能になることが確認できた。覆土の撒き出しについては、重機による撒き出しと人力による均しを行った。

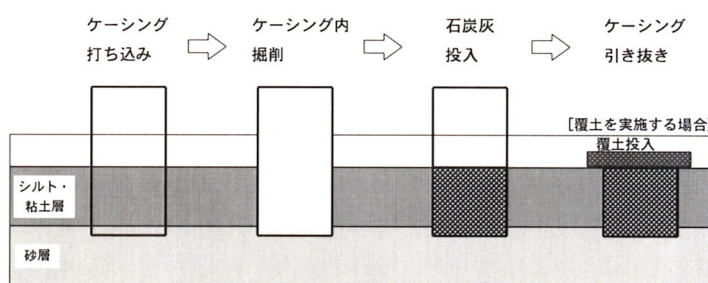


図-9 施工フローの断面図

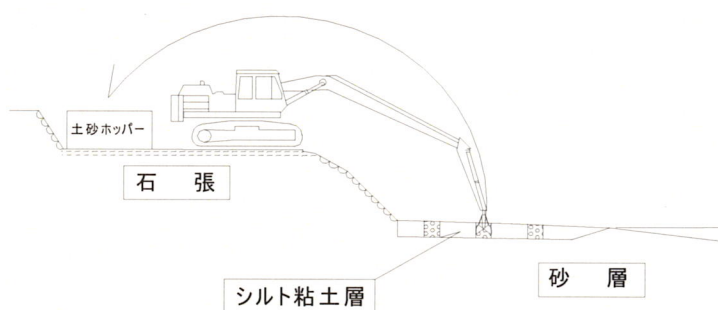


図-10 円柱半割バケット工法の断面図

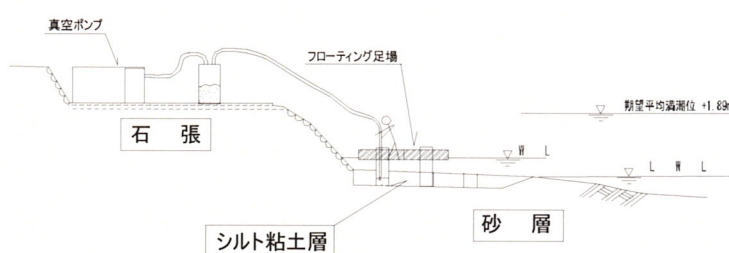


図-11 真空ポンプ工法の断面図

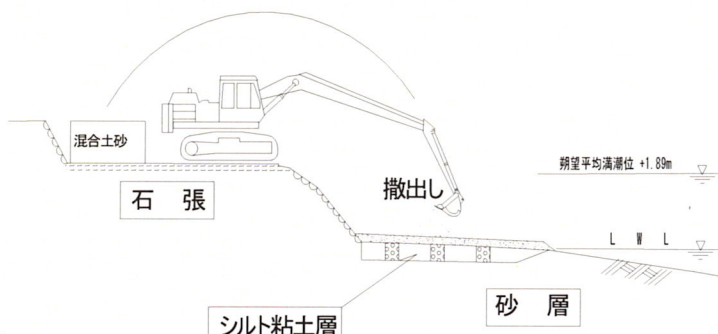


図-13 覆土施工の断面図

4. 浸透柱への酸素供給機構

(1) 検証概要

平成17年12月に施工後、平成18年1月より浸透柱による底質改善効果について、継続的にモニタリングを実施している。

本論文では、「浸透柱内の水流動」及び「浸透柱付近の底質（粒度分布）の変化」から浸透柱による堆積泥内への酸素の供給状況について検証を行った。

a) 浸透柱内の流動調査

浸透柱の流動について、浸透柱内の水温、塩分、水位、DO、濁度の変動から検討を行った。

浸透柱の流動調査の概要（断面図）を図-14に示す。浸透柱の直上、中層、底層に塩分水温計：Compact-CT、

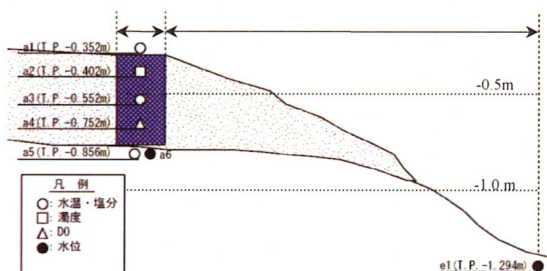


図-14 浸透柱の流動調査の概要（断面図）

浸透柱の上層に濁度計：Compact-CLW、浸透柱の下層にDO計：Compact-DOW、浸透柱の底層に水温水位計：Compact-TDを設置した。また河川内についても、水温水位計：Compact-TD（以上アレック電子社製）を設置した。

浸透柱底層のTD計はT.P.-0.856m、河川内のTD計はT.P.-1.294m地点に設置された。また、これらは10分間隔で連続計測されている（図-14）。

b) 浸透柱内の目詰まり調査

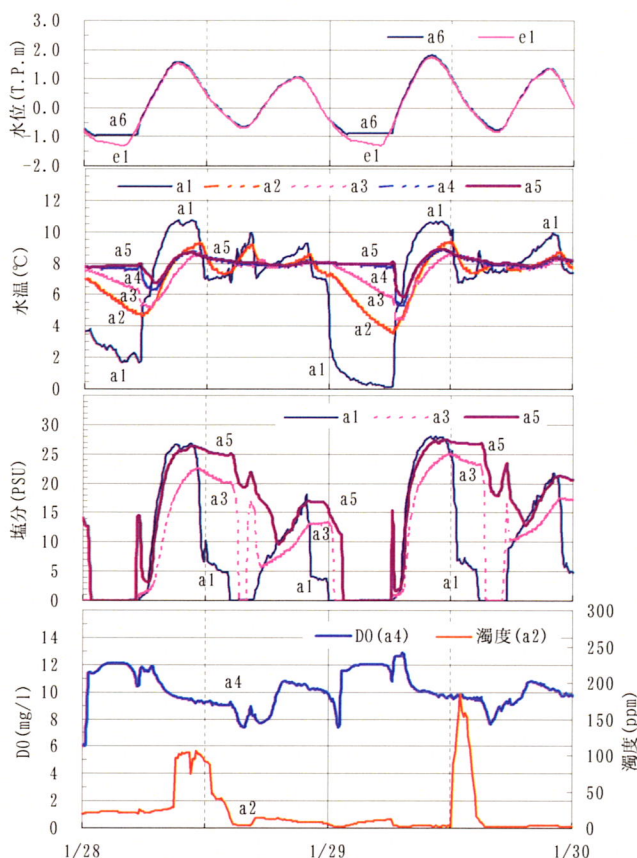
施工前後における浸透柱内に流入・残留した粒子の量および粒度分布（深度0.2m、0.4m）を測定することで、浸透柱の目詰まりについて検討を行った。

採取試料は、室内において粒度分析が行われた。粒径75 μ m以上の試料は日本工業規格JISに準拠し、粒径75 μ m未満の試料はレーザー回折式粒度分布測定装置：SALD-2000J（島津製作所製）によって分析された。

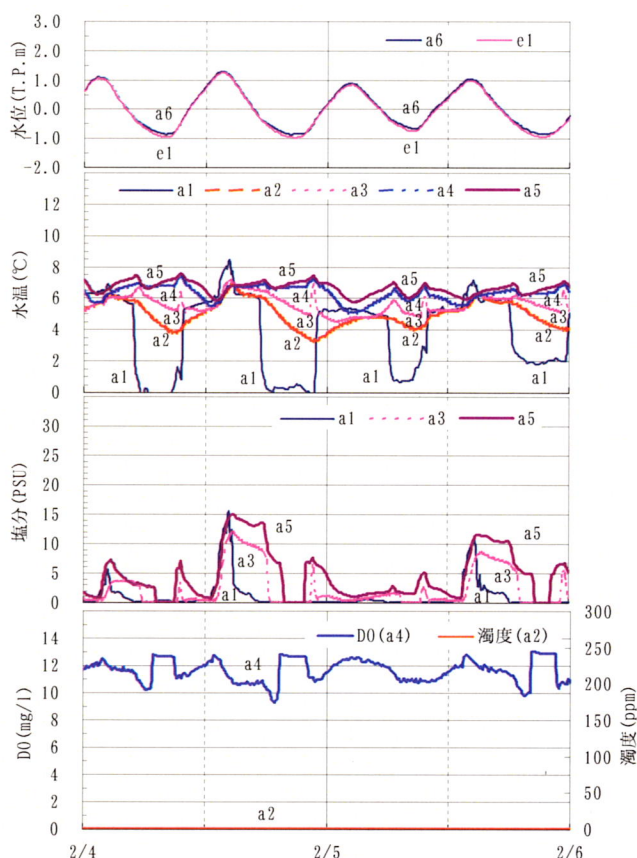
(2) 浸透柱内での流動と酸素の供給

図-15には、(a)大潮期（2006年1月28日～1月30日）、(b)小潮期（2006年2月4日～2月6日）に測定された浸透柱および河川の水位、浸透柱の鉛直5層の水温、浸透柱の鉛直3層の塩分、浸透柱上層での濁度、浸透柱下層でのDOの変動の関係が示されている。

図-15から①この期間の泥内水温は河川水温よりも低く、遡上してくる海水温よりも高くなっていること、②



(a) 大潮期 (1/28～1/30)



(b) 小潮期 (2/4～2/6)

図-15 河川及び浸透柱における水位・水温・塩分・DO・濁度の変動の関係（a1～a6は図-14に対応）

浸透柱内では潮汐に伴った地下水流動があり、地下水位は大潮干潮時に砂層表面よりも低くなる（地下水位と河川水位の差は0.1m以下）こと、③水温変動は水位変動と対応していること、④調査地点には大潮期に25psu、小潮期に10psu程度の海水遡上があること、⑤浸透柱内では常時貧酸素化していないこと、⑥浸透柱内での濁度の上昇は大潮期の満潮位が1.5m程度を超える下げ潮時に限られていることがわかる。

塩分の上昇は、河床上（a1）では海水の遡上とともに起こっているのに対し、浸透柱底層（ab、砂層）では河床上に先行して、水位上昇への転移時にDO低下とともに起こっている（大潮・小潮期とも）。この底層での塩分上昇は数10分程度後に低下に転じ、河床塩分の上昇とともに、再上昇している。この時、浸透柱中央（a3）においても塩分上昇が起こっているが、底層塩分よりも低く、遡上海水、底層水よりも低温の水が流入している。さらに、浸透柱内では高い塩分状態が干潮時まで持続しているが、河床に遡上する海水水温よりも数℃低くなっている。高い塩分塩分状態が継続するのは、干潮位が-1mを下まわらないためであり、下げ潮に伴って河川水は淡水化するが浸透柱内（地盤内）には海水が残留していることがわかる。

浸透柱内のDOの変化は、小潮期に比較して大潮期に数mg/l程度大きくなっているが、生物の棲息に影響を与える程度の変化ではない。DOは潮汐の変動に伴った変化（上げ潮時に上昇）があるのに対し、満潮位が1m程度の時期には水位の上昇初期にDOの上昇した後水位上昇とともにDOが低下する傾向にある。また、干潮時には濁度の上昇があるが、DOの著しい低下は見られず、浸透柱内に堆積している有機泥によるDOの消費が小さいことが推定できる。

浸透柱内における濁度は、大潮（高潮位）期の下げ潮期に100～200ppm程度の上昇が起こっているが、その期間以外は大きな上昇が起こっていないため、浸透柱内で濁質の流動は高潮位期からの水位低下時に限定されて起こっていることがわかる。

これらのことは、本試験地周辺は生物の棲息にとって良好な地下浸透能が高く有機泥の堆積泥内での浸透を促進できれば生物の棲息環境を回復できることを示している。浸透柱の設置によって堆積泥内では上げ潮とともに浸透柱底面（砂層）から海水が浸透し、浸透柱内に酸素を供給する仕組みが作られていることを示している。

なお、施工後浸透柱内へ、土砂が流入しているが、2ヶ月後の時点での混入土砂は細砂以上の粒径土粒子が約8割を占め浸透を阻害する状態にはなっていない（目詰まりはない）。

5. おわりに

「浸透柱による底質改善」および「有機泥を利用した覆土」の技術の実用化に向けて、親水性向上技術の施工

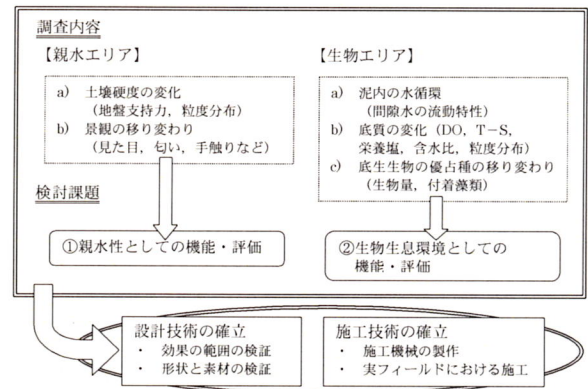


図-16 調査内容と検討課題

法の確立および浸透柱への酸素供給機構についての検証を行った。

(1) 施工法の確立

a) 実規模スケールにおける浸透柱施工例による実証

実証試験区域において浸透柱設置工法として、円柱半割バケット工法及び真空ポンプ工法を実施した。本施工により、本施工法が潮汐や護岸形状に合わせた効率的な施工法であることが確認できた。

b) 河岸堆積泥上への遊歩道敷設技術の開発

水際～アクセス等の親水性の向上を目的として遊歩道の敷設を行った。この際、石炭灰造粒物、浸透柱の施工で発生した有機泥を利用した施工を行い、発生有機泥の混合、撒き出し等施工上の問題点がないことが確認できた。

(2) 浸透柱内への酸素供給機構

施工後約2ヶ月の時点で設置された浸透柱は目詰まりを起こすことなく上げ潮とともに浸透柱底面（砂層）から海水が浸透し、浸透柱内に酸素を供給する仕組みが作られていることが確認できた。

今後とも当施工エリアにおいて、土壌硬度の変化や底生生物の優先種の移り変わり等について検証を行うことにより、さらなる実用化に向けた設計及び施工技術の確立を目指している（図-16）。

謝辞

本実験は、社団法人中国建設弘済会「技術開発支援制度」に基づく助成を受けて実施されたものである。記して、ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 日比野忠史：河口域での有機物の循環と生物生息場の形成、水系環境の保全と創造-自然再生に向けて-講演集, pp. 2-2-1～2-2-12, 2004.
- 2) 富田智, 他：石炭灰造粒物を用いた底質改善技術の検討, 海洋開発論文集, pp. 743～748, 2005.
- 3) 日比野忠史, 他：鉛直浸透を生起させた堆積泥内でのDO変動特性（石炭灰による底質浄化）, 年次学術講演会概要集, pp. 469～470, 2005.