

# 有機泥の堆積する河川護岸の親水性向上技術の提案



所属名：中電技術コンサルタント株式会社

発表者：田多 一史

## 1. はじめに

太田川と瀬戸内海は広島における生活と文化を繋ぐ中心的な役割を担ってきた。広島が今後、水の都として発展していくためには、治水、水辺空間の創出・利用なども含めた総合的な取り組みが必要である。1990年3月には、国土交通省・広島県・広島市の3者が協力して、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きた。このような都市づくりの一環として、太田川市内派川の水辺の整備による親水性の向上が望まれており、干潟に近づきたくするような水辺空間が求められている。

太田川の市内派川に形成された干潟には、広島湾からの海水の遡上に伴って運ばれてきた有機泥が多く堆積しており、有機泥の堆積量が干潟生物等による消費量を上回るために、干潟の泥化が進行している<sup>1)</sup>。干潟在来層(砂層)の上に堆積した有機泥(シルト・粘土)は、太田川デルタの地下水流動による水循環を阻害している。このため、透水性の高い材料(石炭灰造粒物等)を用いて有機泥層内に水循環を生起させることで、干潟泥内に酸素を供給し好气的環境をつくることできれば、生物機能の回復も含めた干潟環境の改善を図ることができる。

本研究グループでは、有機泥の堆積した河岸干潟における親水性向上技術(浸透柱、覆土)を開発し、天満川の現地実験<sup>2),3)</sup>により浸透柱および覆土の効果を把握し、現在、その技術を確立するために実証試験<sup>4),5)</sup>を進めている。広島市街地を貫流する旧太田川空鞘橋下流左岸の試験フィールドにおいて、2005年12月に施工した浸透柱による底質改善機構を把握するために、数値解析と現地調査により浸透柱周辺の水循環の形成と底質改善効果について検証し、この親水性向上技術の提案を行った。

## 2. 親水性向上技術の概要

### 2.1 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、砂層に流れる地下水位と潮汐の干満による河川水位の水位差を利用して、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、干潟泥内の生物生息環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<sup>2),3)</sup>。

### 2.2 水際へのアプローチ

水際へ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。

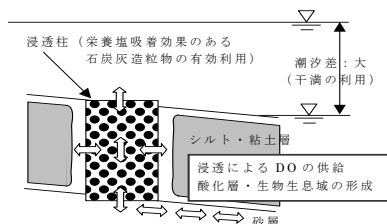


図-1 浸透柱による底質改善技術の概要

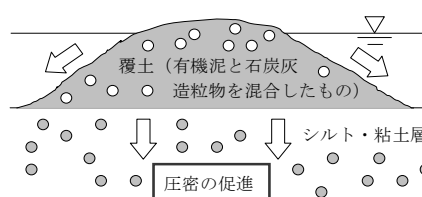


図-2 有機泥を利用した覆土技術の概要



図-3 旧太田川空鞘橋付近の干潟

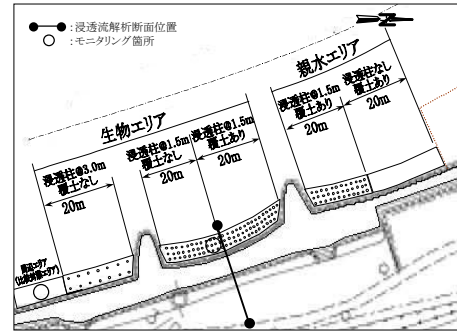


図-4 試験区域の概要

### 3. 実証試験区域の概要

本実証試験は、広島市の市街地を貫流する旧太田川空鞘橋下流（キロ標 2K880～2K960）付近で実施した。旧太田川空鞘橋下流左岸の干潟の外観を図-3 に示す。試験区域周辺の河岸には、河床の約 2 割（横断形）の干潟が形成されている。この干潟は、約 0.5m の厚さで有機泥（シルト・粘土層）が堆積した泥干潟で、堆積有機泥の下には砂層が存在している。

試験区域の概要を図-4 に示す。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物の良好な生息環境の創造を目指している。一方、周辺エリアは、浸透柱等の未施工エリアであり、生物エリアとの比較対照区域である。

### 4. 施工技術の開発の検討

生物エリアおよび親水エリアにおいて、「浸透柱」および「覆土」についての施工手法の検討を行った。本実証試験の施工フローを、図-5、図-6 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。

#### 4. 1 浸透柱の設置施工

##### 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-7 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、その中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-8 に示す。本工法は、重機の搬入の困難な場所や干出時間が短い期間での施工が容易となる特徴を有する。

#### 4. 2 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-9、覆土施工の概要（断面図）を図-10 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、石炭灰造粒物、残土を攪拌混合した。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。

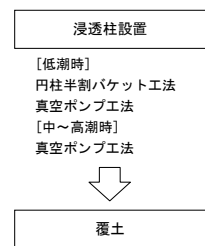


図-5 施工フロー

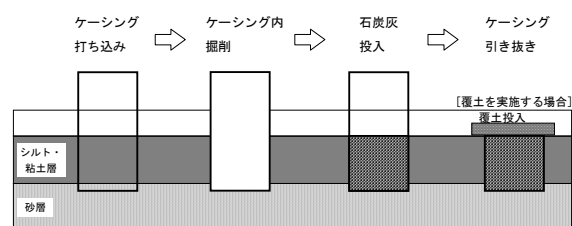


図-6 施工フローの断面図



写真-1 円柱半割バケット工法

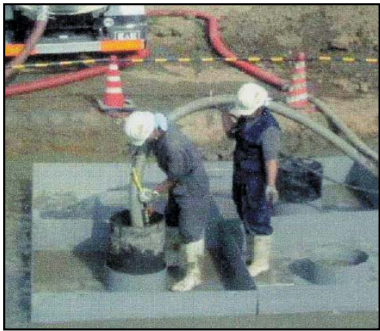


写真-2 真空ポンプ工法

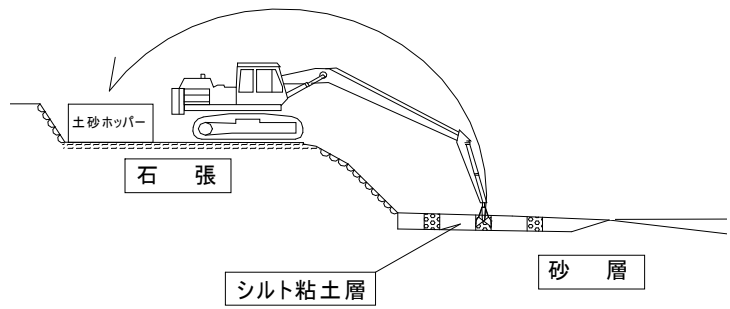


図-7 円柱半割バケット工法の断面図

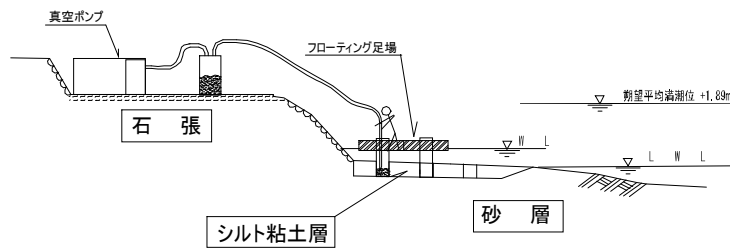


図-8 真空ポンプ工法の断面図

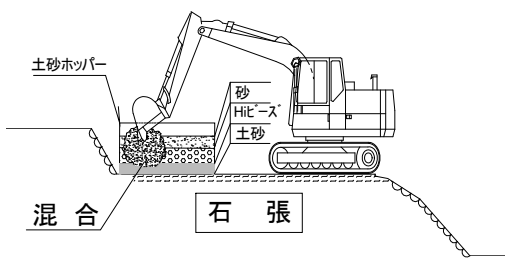


図-9 覆土材混合の断面図

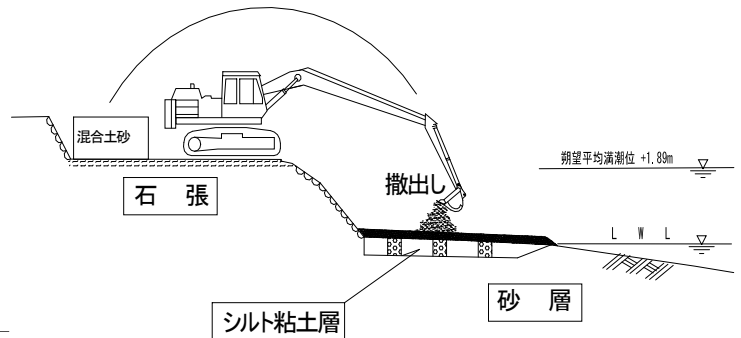


図-10 覆土施工の断面図

## 5. 浸透柱設置による水循環の形成と底質改善効果の把握

### 5. 1 浸透柱周辺の水循環の把握（数値解析）

本検討では、感潮河川域の河川堆積泥干潟内に透水性の高い浸透柱を設置する効果について、定量的に評価するために数値シミュレーション解析を実施した。シミュレーションでは、2次元断面による再現モデルを構築し、浸透流計算により浸透柱並びに地盤内での間隙水の流動を把握した。

浸透流解析には、飽和・不飽和断面2次元浸透流解析プログラム<sup>6)</sup>を用いた。再現モデルを構築した断面位置は、図-4に示す生物エリア中央付近であり、護岸断面は護岸台帳より設定した。解析護岸断面の格子分割を図-11に示す。格子幅は、浸透柱設置位置付近で約0.2mとし、浸透柱から離れるに従って格子幅が粗くなるように分割した。

浸透柱貫入前後の差流速分布を図-12に示す。浸透柱の貫入によって、浸透柱内に流れが生起し、浸透柱底部の砂層に流れが伝播して、浸透柱内の流れが砂層内の流れを生起させたと考えられる。護岸側浸透柱付近では矢板下部からの浸透距離が縮まり、動水勾配が大きくなることから、護岸側浸透柱直下の砂層内間隙水の移動速度が増加している。満潮前1時間の矢板直下の砂層内における差流速は、約 $7.2 \times 10^{-4}$  cm/sである。一方で、堆積泥層下部の砂層の護岸側と河川流水部側の圧力水頭差が縮小し、河川流水部側の間隙水の移動速度は減速している。また、浸透柱内の流動改善によって、浸

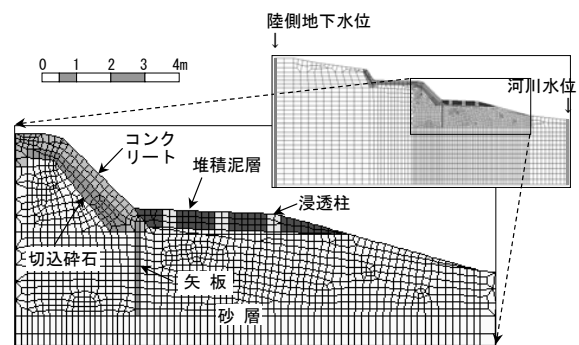


図-11 解析護岸断面の格子分割



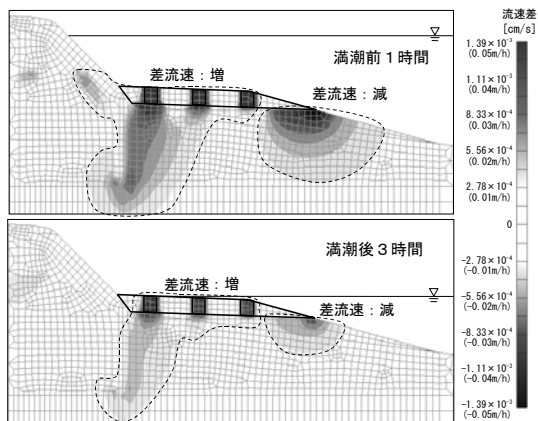


図-12 浸透柱貫入前後の差流速分布

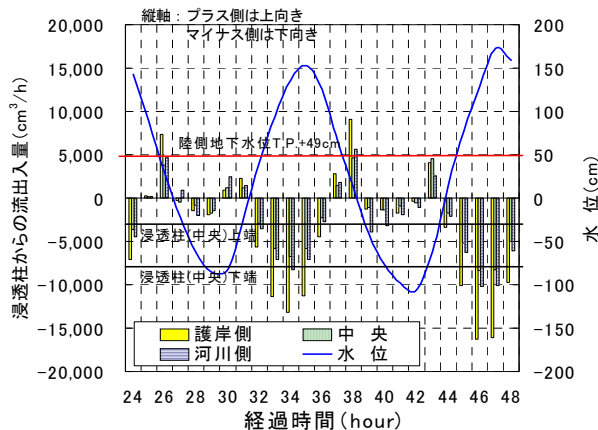


図-13 透柱からの流出入量（計算値）

透柱側に接する堆積泥層においても流動の改善範囲が広がっていることがわかる。

数値解析結果により得られた浸透柱内の流速値から1時間毎の浸透柱内の流入量および流出量を算定した結果を図-13に示す。浸透柱上端より河川水位が低い下げ潮時には下向きの流れであったものが、最干からの上げ潮に伴って上向きの流れになり、陸側地下水位より河川水位が高くなる干潮後3時間から再び下向きの流れになっている。また、下げ潮時には、陸側地下水位より河川水位が低くなる満潮後2時間から上向きの流れになり、河川水位が浸透柱上端より低くなる干潮前3時間から下向きの流れになっている。筆者らは、2006年の実証実験における塩分濃度と間隙水温の観測より、夏季の間隙水の循環は、上げ潮時に浸透柱の下端から河川水が流入し、その後、海水が浸透柱の上端から流入してくることを示しているが<sup>5)</sup>、図-13の流出入の特性と符合している。

### 5. 2 浸透柱周辺の底質改善効果の把握（現地調査）

浸透柱敷設による間隙水の循環特性、有機泥処理および栄養塩の削減効果を物理量的に評価するために現地調査を実施した。計測機器の設置および試料採取等位置は図-14に示すとおりであり、水温・水位計測にはCOMPACT-TDをDO計測にはCOMPACT-DOWを用いた。

浸透柱周辺の水循環を把握するために、浸透柱下端に水温・水位計およびDO計を設置し、2007年9月10日から10月12日の間、浸透柱内のDO、浸透柱内および河川流水部の水位、水温の変動を計測した。浸透柱底面と河川流水部における水位・水温および浸透柱底面のDOの変動を図-15に示す。夏季の浸透柱底面における間隙水は、水位の変動に伴って水温およびDOが変化している。

浸透柱底面で観測される水位（水圧値）は、河川水位が浸透柱上端より低い下げ潮時には河川水位に対して数cm~20cmの水位差での低下が観測（図-15①から②）されている。

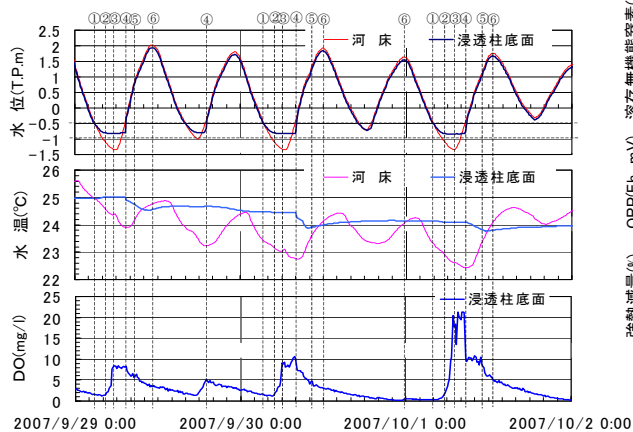


図-15 河川水位の変化に伴う浸透柱内の水位および下端での水温・DOの変動特性（抜粋：2007/9）

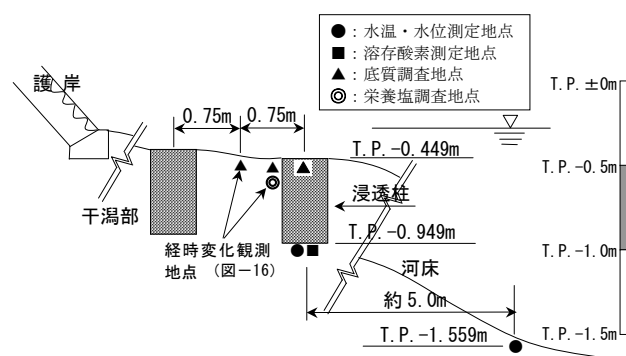


図-14 各計測機器の設置状況

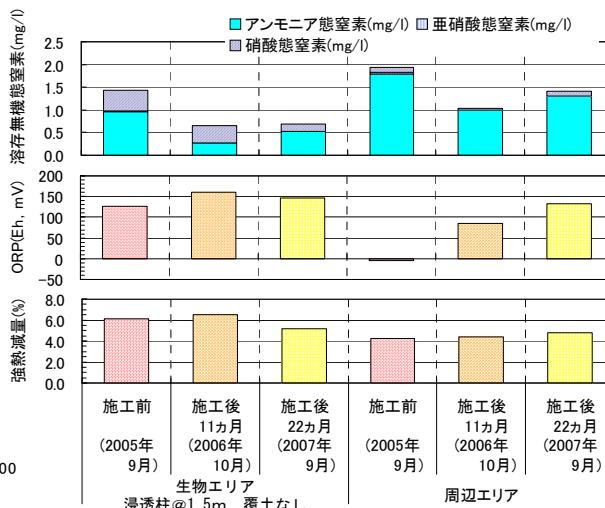


図-16 間隙水質・底質の経時変化

浸透柱底面間隙水温の明確な変動は、水位上昇時に浸透柱上部から河川水が流入する時(図-15④)や満潮前後に浸透柱内の流れが鉛直下向きの時に河川水温との差が縮小する水温変化がある(9/11~9/17の大潮期および図-15⑥前後)。

D0は、河川水位の上下動に伴い、0~20 mg/lの範囲で変動しており、河川水位が浸透柱底面より低くなる大潮期の干潮時(図-15③)および水位上昇時に浸透柱上部から河川水が流れ込む時(図-15④)や満潮前後に浸透柱内の流れが鉛直下向きの時(図-15⑤)にD0が上昇または変動する傾向にある。また、小潮期にはD0が上昇していないが、これは水温の変化と同様に浸透柱底面にD0を含んだ河川水が流入していないためと考えられる。

図-15に示す期間の浸透柱底面のD0変化は、浸透柱底面が干出した後にD0が上昇しており、浸透柱底層の一部干出により大気中の酸素の供給があったものであると考えられる。その後、水温変化が1℃未満の状況下で、水位の上昇とともにD0が徐々に低下し、満潮時にはD0が3mg/l程度の準好気過程にある。また、水位が浸透柱上端付近まで低下した時には、D0が2mg/l以下の嫌氣的過程になっており、一潮汐の間にD0の供給と消費が繰り返されている。好氣的過程では有機態窒素が酸化的に分解・無機化され、無機態窒素として $\text{NH}_4^+$ が放出され、準好気過程では $\text{NH}_4^+$ が $\text{NO}_2^-$ および $\text{NO}_3^-$ に硝化され、嫌氣的過程では $\text{N}_2$ を排出し脱窒が起こっていると考えられる。

2005年12月の浸透柱敷設前の2005年9月、浸透柱施工後11ヶ月(2006年10月)、ならびに22ヶ月(2007年9月)の間隙水質・底質調査結果(代表地点の表層10cm程度で測定)を図-16に示す。施工後約2年が経過した時点において、ORPが両エリアで酸化状態に転換し、底質が改善されつつあることがわかる。強熱減量は、生物エリア(浸透柱間隔1.5m地区、浸透柱間中央部)において若干の減少が見られることから僅かながら有機泥処理が進んでいると考えられる。一方、周辺エリア(比較対照エリア)では横這いから若干の増加傾向にあった。

生物エリア(浸透柱側面部)の溶存無機態窒素(アンモニア態+硝酸態+亜硝酸態窒素)は、施工前の約50%に減少し安定しているが、周辺エリアでは、22ヶ月後に増加の傾向を示している。

## 6. 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法の確立、および浸透柱設置による水循環の形成と底質改善効果の把握を行った。浸透柱と覆土の併用施工法については、室内実験を含めて再検討中であり、実用化に向けて検討を行っている。

### (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

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。

しかし、この施工技術は本試験フィールドでのみ確立されたに過ぎず、今後この技術を普及させていくためには、施工管理方法や底質改善の指標等を確立することが課題となると考えられる。

### (2) 浸透柱敷設による水循環の形成

干潟堆積泥(ヘドロ)を貫入する浸透柱を敷設することにより河川水の循環が生起することが確認された。浸透流解析により計算された流況から、実測された河川水位の変動に伴う塩分および水温の変化を説明できることが確認された。

### (3) 浸透柱周辺の底質改善効果

浸透柱を敷設することによって、周辺地盤内(10cm程度での測定結果)での還元状態の改善、これに伴う有機物量および溶存無機態窒素の減少があり、浸透柱周辺での底質の改善が進行していることが確認された。

#### 《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, 日比野忠史, 末國光彦, 田多一史, 水野雅光：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, 末國光彦, 田多一史, 富田智, 水野雅光：鉛直浸透を生起させた堆積泥内でのD0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.
- 4) 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, pp. 939~944, 2006.
- 5) 藤原哲宏, 日比野忠史, 末國光彦, 末次弘道, 富田智, 水野雅光：浸透柱による水循環の形成と底質改善効果の把握, 海洋開発論文集, pp. 1135~1140, 2007.
- 6) 岡山地下水研究会：プログラム名 Dtransu-2D, [http://gw.civil.okayama-u.ac.jp/gel\\_home/](http://gw.civil.okayama-u.ac.jp/gel_home/)