地下水が遮断された河口干潟での アサリ育成場の構築

藤原 哲宏¹・中本 健二²・日比野 忠史³・齊藤 直⁴

¹正会員 広島大学大学院 工学研究科 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1)

E-mail:fujiwara@cecnet.co.jp

²正会員 中国電力株式会社 流通事業本部 (〒730-8701 広島市中区小町4-33)

E-mail:264905@pnet.energia.co.jp

³正会員 広島大学大学院准教授 工学研究院 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1)

E-mail:hibinot@hiroshima-u.ac.jp

⁴正会員 中国電力株式会社 電源事業本部 (〒730-8701 広島市中区小町4-33)

E-mail:355606@pnet.energia.co.jp

広島デルタ河口域に形成された河川干潟では、ヘドロ化が進みアナジャコ等が優占する泥干潟になり、アサリ漁獲量は種苗放流の効果も少なく激減している。また、河川護岸の防災機能強化を目的とした護岸法尻への鋼矢板の打設により、護岸堤内側から河川干潟の地下に流出していた地下水が遮断され、干潟環境が変化していると想定される。

泥化が進行し地下水が遮断された河川干潟内の滞筋において、石炭灰造粒物を0.3m厚の覆砂状に敷設することによるアサリ育成場の構築を試みた。造粒物の散布により造粒物層および散布境界部での生物相が変化し多様な生物の生息環境が形成されつつある。造粒物散布12ヶ月後には定着したアサリの生息が確認され、石炭灰造粒物による覆砂によりアサリの生息が可能な環境を創出できる可能性が確認された。

Key Words : *ruditapes philippinarum, tidal flat, permeable layer, groundwater, granulated coal ash*

1. はじめに

広島市沿岸域のアサリ漁獲量は1970頃から激減し、広島デルタの河口域に形成された河川干潟のアサリ漁獲量も同様に減少している¹⁾。広島デルタ市内派川河口域の河川干潟では人口(生活排水)の増加によりヘドロ化が進みアナジャコ等が優占する泥干潟となっている。アサリ漁場再生のために種苗放流が継続されているがその効果も小さく、アサリの生産は期待できない状況にある。

一方、太田川市内派川では、河川護岸の耐震化が進められている。市内派川の本川(旧太田川)においても護岸の河川側法尻や堤内側法尻に鋼矢板が打設され、堤内地からの地下水が遮断された(写真-1)。写真に示す広島デルタでは沖積粘性土層がT.P.-10~30 m付近に堆積し不透水層を形成している²⁾。このため不透水層以深には被圧透水層、上層には不圧透水層が存在している。護岸堤内側から河川干潟の地下に流出していた地下水は鋼矢板により遮断され、干潟環境が大きく変わることが予想される。

著者らは、泥化が進み、かつ護岸堤内側との地下水流

動が遮断された河口干潟におけるアサリ育成技術構築の試みとして、石炭灰造粒物を用いた透水層の設置による干潟の底質環境改善機能の検証を目的とした現地実証試験とモニタリング調査を実施した。

本実証試験の概要は図-1の平面図に示すとおりであり、護岸法尻に鋼矢板が打設される直前の2010年1月~4月の間に実施した干潟環境の事前調査結果を踏まえ、不足環境条件の要因分析と対策工の検討を行い、鋼矢板打設後の2011年8月に覆砂(0.3 m厚)と床掘置換(0.3 m厚)による実証試験区域を造成した。

写真-1 護岸堤内側から不圧地下水が護岸法尻と鋼矢板の間に流出し滞水する様子

図-1 アサリ育成場構築実証試験の概要

図-2 実証試験対象地区の位置図

図-3 試験地区周辺の地形および干潟底質分類図

図-4 試験対象地区の地層断面図²⁾

2. 広島デルタの地層と地下水

(1) デルタ地下の不圧透水帯と被圧透水帯

図-2には実証試験対象地区の位置図、図-3には試験地区周辺の地形図、図-4には試験地区の地層断面図を示す(断面位置は図-3)。試験対象地区の地層は、沖積粘性土層(TP-10～30 m)上にデルタが形成された頃から堆積した沖積砂質土層および沖積粘土質砂層から成っている。沖積粘性土層(不透水層)の下層は沖積砂質土層、洪積砂礫層が透水層を形成しており、河川上流側のデルタ扇頂から海域に向かって被圧透水層が広がっている。河床は沖積粘性土層上層の沖積砂質土層等に位置しており、不透水層の上部には河道に直結する不圧透水層が形成されている。

(2) 鋼矢板による地下水の遮断

鋼矢板の打設により干潮時の堤内側地下水位は河川水位よりも高く維持され、鋼矢板(上端TP+1.1～1.2 m)と護岸法尻の間に堤内側の地下水が湧昇した(写真-1)。この流出水は鋼矢板が打設される以前には地下水として河川干潟地盤内に浸透していたデルタ不圧透水層から流出した地下水である。鋼矢板によってデルタ地下水が河川に流出する水道(不圧透水層)が遮断され、干潟地下での地下水の流出は期待できない状態にある。なお、鋼矢板の総打設延長は約1.1 kmであり、上流側の矢板打設端がアサリ育成場の構築上流端と一致している。

写真-2 試験対象地区の外観(鋼矢板打設後、2011年7月)

3. アサリ育成場の設計と造成

(1) 干潟環境の事前調査(鋼矢板打設前)

不足環境条件の要因分析及対策方策を検討するため、鋼矢板打設前の2010年1月～4月に事前調査を実施し干潟環境の現況把握を行った。

a) 干潟の地形と表層の性状

対象干潟は、広島デルタを貫流する太田川水系の本川(旧太田川)河口に位置している(図-2)。左岸の護岸法尻付近には、合流式下水道雨水放流口から続く滞筋を形成している。この滞筋は護岸法尻への鋼矢板の打設(2011年3月打設終了)により、河川中央側に5m程度移動した。写真-2は鋼矢板打設後に滞筋が移動した状況を示している(撮影位置は図-1)。

干潟表層の性状は層厚0.05 m以下の砂泥の占める割合が多く、左岸護岸際と河川中央付近では部分的に層厚0.1～0.2 mの泥質が堆積している。左岸護岸際の滞筋に

図-5 河川水位変動に伴う干潟地下水質の変化

図-6 干潟表面（滞筋）の低層流の流向と流速

は層厚が0.2~0.5 mを超える泥質が堆積している。また、滞筋では干潮時にも下流方向に緩やかな流水が継続している。

b) 河川水位変動に伴う干潟地下水質の変化 (図-5)

干潟（砂州）地盤地下（図-3, No.7地点, 深度0.5 m）と河床（No.11地点）に小型メモリー水温深度計COMPACT-TDおよび同水温塩分計COMPACT-CT（以上JFEアドバンテック社製）を設置し、河川水位変動に伴う干潟砂層地下水の塩分および水温の変動を10分間隔で22時間連続測定した。干潟地盤地下水の塩分および水温は、共に河川水位の変動に応答しておらず、河道中央に広がる干潟地盤内での地下水の流動性は、鋼矢板打設前の段階でも小さいことがわかる。見かけ上では、河道内に広がる砂州がアサリ育成場として最適と考えられるが、砂州地盤内に地下水流動を生起させるためには浸透溝³⁾の設置等大規模な工事が必要になると考えられる。

c) 干潟表面（滞筋）の低層流の流況 (図-6)

滞筋内（No.3地点）の地表から+0.3 mの位置に小型メモリー流速計COMPACT-EM（同社製）を設置し、干潟地表面の流況を10分間隔で28日間連続測定した。鋼矢板打設前の滞筋内干潟表面の低層流は流速0~0.27 m/s（平均流速：0.036 m/s）で滞筋に沿って流れている。滞筋には干潮時においても0.01~0.15 m/sの流れがあり、大規模な工事を必要とせず、地下水流れのある干潟（アサリ育成場）を滞筋内および滞筋周辺に構築できる可能性が高い。

d) 干潟表層泥の底質性状 (図-7, 鋼矢板打設前)

図-7 干潟表層泥の底質性状（2010年3~4月）

干潟内の底質の粒度分布は、細粒分（シルト・粘土分）が20~60 %を占め、左岸側滞筋(No.3,13)と河道中央の干潟水際(No.11)で細粒分の含有率が高い。強熱減量は、滞筋内(No.3,9,13)が4.3~5.2 %と高い傾向にある。酸化還元電位は、地盤標高の高い干潟中央部(No.8)を除き負値を示しており、細粒分含有率の高い左岸護岸際は還元状態にあると考えられる。

さらに、滞筋内では硫化物が0.05~0.06 mg/g, n-ヘキサン抽出物質が200~300 mg/kgであり、干潟中央や水際と比較して高い。これは雨水放流口からの排水により滞筋が形成されているためであり、放流された有機泥が左岸側滞筋の地盤性状に強い影響を及ぼしている。

PONおよびPOPは左岸護岸際で高いが、POCは左岸護岸際に加えて、干潟中央の砂泥質部でも高い。有機泥のPOC/PONは10~20程度で分布しており、試験地区周辺に排水起源と考えられる有機泥が堆積している。

セジメントトラップにより捕捉したSSフラックスは、左岸護岸際(No.3)よりも河川中央(No.11)で多いが(24 g/m²/hour), 含有成分に位置的な差異はない。

e) 干潟表層の生物相 (図-8, 鋼矢板打設前)

本干潟の底生生物はスピオ科やイトゴカイ科の環形動物の占める割合が高く、アナジャコの巣穴が168個/0.0625m²の平均密度で存在しており、泥化の進んだ典型的な市内派川河口の生物相を示している。図-8には、(1)全生物と(2)アナジャコ以外の生物の湿重量が示され

ている。細粒分含有率の高い滞筋では干潟中央に比較して生息個体数は少ないが、単体重量の大きい紐形動物門、アラムシロ（軟体動物門）、テッポウエビ（節足動物門）が確認されている。

(2) アサリを育成する場の考え方

河道内に広がる干潟では地下水流動の滞留域が形成され、地盤内に侵入した有機泥が土壌内の還元状態を形成し、二枚貝の生息を阻害している。さらに、干潟背後護岸法尻への鋼矢板（深度T.P.-15～-28 m）の打設により、河道内へのデルタ地下水の流動も期待できない。

デルタ地下水に依存しない間隙水流動場の構築には、干潮時にも流水が継続する雨水放流口から続く左岸護岸際の滞筋がアサリ育成場に適すると考えた。一方、滞筋の河床には雨水放流口方向から流下し還元化した有機泥が数10 cm以上堆積しており、継続的に滞筋への有機泥の供給があることからアサリ育成場の構築には有機泥の浄化機能も必要となる。

(3) 対策工（アサリ育成場の構築方法）の検討

アサリ育成場の構築には、①育成層内の地下水循環（DOの供給）および②流入下水（有機泥）の浄化の機能を向上させることが必要である。

a) 地下水流動場（DOの供給と保持）の構築

地下水の循環は、透水性の高い層（透水性を維持できる透水層）を滞筋に敷設し、滞筋の流水を利用して間隙水の流動を形成させる。さらに、礫状材料によって形成される間隙には干潮時に間隙内に取り込んだ大気により十分な酸素供給が可能となる。

b) 有機泥の浄化機能

透水層設置による底質改善メカニズム（イメージ図）を図-9に示す。空隙率の大きい透水層を設置することにより、①有機泥による目詰まり防止（滞留域の解消）、②間隙内への大気を取り込みと間隙水によるDOの供給（酸化状態の確保）、③下水成分の分解（餌への再生）が可能となる。また、透水層内の透水性の向上により周辺底泥内でも間隙水の循環が促進され、DO供給量の増大による周辺域での酸化状態の維持³⁾と緩い地盤状態の保持⁴⁾の効果が期待され底質改善が図られる。

(4) 実証試験育成場造成の概要（図-1 参照）

a) 施工面積

覆砂区：10 m×140 m＝1,400 m²

床掘置換区：2箇所×5.5 m×8.25 m＝90 m²

b) 施工期間

2011年7月26日～8月2日（含、測量作業）

c) 施工内容（アサリ育成場の造成手順）

本試験では透水性の高い材料として、廃棄物リサイク

図-8 干潟表層での底生物量と種類

図-9 石炭灰造粒物の覆砂による底質改善メカニズム

ル砂代替材の石炭灰造粒物（粒径：3～40 mm）を用いた。透水層の設置は、滞筋の窪み10 m幅を覆砂範囲とし、平均覆砂厚を0.3 m、施工延長を140 mとした。また、覆砂内の水循環を促進させるために滞筋覆砂隣接部に厚0.3 mの床掘置換(45 m²)を2箇所施工した。

覆砂区の施工は容量2.0 m³のコンクリートバケットに覆砂材を入れ、スパット台船搭載のクローラークレーンで吊上げて、作業員と潜水士の誘導により所定の位置に投入した。覆砂は幅10 m×延長140 mの造成範囲を2.5 m間隔に分割して、設計覆砂厚0.3 m相当量(1.9 m³)の覆砂材を小山状に投入した（写真-3）。石炭灰造粒物の単位体積重量(16.7 kN/m³)は天然砂利に比べて軽く⁵⁾、波浪や流水によって移動し時間経過とともに平坦になっていくと考えて敷き均しを省いた。実際には橋脚工事用の作業台船により場が荒らされ、施工7ヶ月後の2012年3月には強制的に概ね平坦になった。

床掘置換区は干潮時にクローラークレーンで吊り下げたグラブにより0.3 m深の床掘後、グラブにより石炭灰造粒物を敷設し人力により敷き均した。

写真-3 覆砂材（石炭灰造粒物）の小山状投入状況

図-10 覆砂材投入後4ヶ月の間隙水の流動状況

図-11 覆砂材投入後12ヶ月の育成場の底質性状

図-12 造粒物の散布前（滞筋堆積泥質）と散布後12ヶ月の干潟表層の底質性状変化

4. 実証試験結果の検証・評価

(1) 間隙水の流動状況

造粒物の散布後4ヶ月（2011年12月）の覆砂区、床掘置換区および両区に挟まれた中間地点（干潟砂泥中）の河川水位変動に伴う間隙水質の変動を造成育成場上流滞筋内での水位・水温とともに10分間隔で連続測定した結果を図-10に示す（観測位置は図-11の試験区周辺）。

水位の変動に伴い水温の変動は確認されたが、塩分はほぼ一定であった。水温・塩分の変動幅は造粒物を人為的に敷き均した床掘置換区で大きい。DOは各観測地点ともに約6 mg/l付近で変動しており、干潮後から上げ潮時に大幅な上昇と低下が確認された。敷設した造粒物内および中間地点の干潟砂泥内では、水位変化に伴った水温・DOの変動があり、干潟地盤表層付近の間隙水の浸透とDOの供給が想定される。なお、間隙水の流動改善範囲は造粒物敷設地点付近に限られると考える。

(2) 底質性状の改善効果

図-11には覆砂材投入後12ヶ月（2012年8月観測）の実証試験育成場周辺の底質性状を示した。また、造粒物の散布前（2010年3月）と散布後12ヶ月（2012年8月）の底

質性状の変化を図-12に示す（観測位置は図-11）。散布後の粒度分布は造粒物を除く粒度組成で示している。造粒物の散布により滞筋堆積泥質(No.3,9,13)と比較して強熱減量値は減少し、酸化還元電位値も改善の傾向にある。pH～ORP関係から本河口は硫化水素の発生が抑制できる場であることがわかる。また、対照区と図-7の事前調査結果との比較から鋼矢板打設による干潟全体に影響する環境変化は顕在化していないと考えられる。

(3) 底生生物の生息状況の変化

散布後12ヶ月の底生生物量と種類を図-13に示す（調査位置は図-11）。造粒物の散布により生物相が大きく変わったことがわかる。個体数の優占種は環形動物であるが、造粒物層および境界部では節足動物の個体数が増加している。節足動物の優占種もアナジャコからニッポンドロソコエビ、ドロクダムシ科、カギメリタヨコエビなどに多様化している。湿重量的には、大型のイトゴカイ科やアナジャコが減少し、二枚貝綱（アサリ等）の増加により軟体動物が優占している。造粒物の散布後に多様な生物の生息環境が形成されつつある。

(4) アサリ生息調査

造粒物散布前の2010年3月の底生生物調査では、全6地点でアサリの生息を確認できていない。2012年8月の造

粒物散布後12ヶ月の調査で、0.25 m方形枠（1 mm目篩）での底生生物調査に加えて、0.50 m方形枠（5 mm目篩）によるアサリ生息調査を実施した結果が図-14に示されている。造粒物層および境界部（図-11, No.C,E,F）において、0.25 m方形枠調査で5個体、0.50 m方形枠調査で10個体のアサリの生息を確認した。殻長は0.25 m方形枠で5.1~21.8 mm, 0.50 m方形枠で12.3~23.8 mmであり、2011年春と秋に産卵され造粒物の散布後に定着したアサリと推定される。石炭灰造粒物による覆砂によりアサリの生息が可能な環境を創出できる可能性が確認された。

5. おわりに

泥化が進み、かつ地下水の遮断された河川干潟にアサリ育成場を構築する試みで滞筋への覆砂と隣接する床掘置換により実証試験区を造成し、モニタリングを実施した。以下に本実証試験の検討結果をまとめる。

- (1) 造粒物の散布により間隙水の流動が改善し、底質の強熱減量は減少し酸化還元電位も改善の傾向にある。
- (2) 造粒物の散布により造粒物層および境界部での生物相が変化し多様な生物の生息環境が形成されつつある。
- (3) 造粒物散布後に定着したアサリの生息が確認され、石炭灰造粒物による覆砂によりアサリの生息が可能な環境を創出できる可能性が確認された。

なお、成貝への成長・生残率などの中長期的な生息環境の改善効果を把握する継続的な調査検討が必要である。

参考文献

- 1) 農林水産省中国四国農政局広島地域センター・福山地域センター：広島農林水産統計年報
- 2) 広島高速道路公社：高速3号線Ⅲ期（渡河部外）地質調査業務報告書，pp.29,2008.
- 3) 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, I, pp.505-510,2011.
- 4) Touch Narong, 中下慎也，小枝豪志，日比野忠史：砂層内における有機泥の輸送に及ぼす浸透流量と間隙体積の効果，土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.67, No.2, pp.L971-L975, 2011.
- 5) 港湾・空港等リサイクル推進協議会：港湾・空港等整備におけるリサイクル技術指針，pp.3-106,2004.

CONSTRUCTION OF THE SHORT-NECKED CLAM FISHERY GROUNDS IN THE ESTUARY TIDAL FLATS WHERE GROUNDWATER WAS STOPPED

Tetsuhiro FUJIWARA, Kenji NAKAMOTO, Tadashi HIBINO and Tadashi SAITO

The catches of the short-necked clam decrease for sedimentation of the sludge remarkably in the estuary tidal flats of the Hiroshima delta. On the other hand, a steel sheet pile is set up for revetment to prepare for a disaster. The groundwater which flow out underground of the tidal flats was stopped at the landside by a steel sheet pile. And it is assumed that the environment of the tidal flats changes.

The fishery grounds of the short-necked clam spread a granulated coal ash (GCA) on thickness of 0.3m in the ebb water route of the tidal flats and built it. By laying of the GCA, the biota is turning into the environment where various creatures inhabit. 12 months after laying of the GCA, the habitation of the short-necked clam was confirmed. It was confirmed that the overlaying sand of the GCA might build the environment where the habitation of the short-necked clam was possible.

図-13 造粒物散布後12ヶ月の干潟表層での底生生物量と種類

図-14 造粒物散布後12ヶ月のアサリの生息状況