

福山内港の環境再生に向けた取り組み

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○加納一成 中本健二，
広島大学 工学部 学生会員 森岡 廉 水元健太
広島大学大学院工学研究院 正会員 日比野忠史

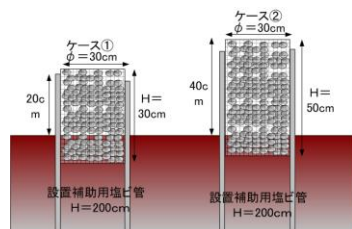
1. はじめに

昭和30年代に整備された合流式下水道は近年の水需要の拡大や集中豪雨等により下水処理能力が充分でない地域が増加している。福山内港では年間の未処理下水放流回数は60回を数えることもあった。放流された未処理下水は内港に堆積し、スカムの浮上、臭気の発生、魚の斃死など水環境の悪化が深刻化していた。当然、海底にはベントスの生息は確認できず（写真-1），汚泥中でのベントスの生息は不可能な状態にある。このような水・底質環境の悪化した内港においては石炭灰造粒物の散布によって海域環境改善を目的とした実証実験（図-1）が行なわれている。本実証実験では①スカム（悪臭）の発生抑制を第一の目的として行われたが、併せて、②下水汚泥によって形成される還元、酸性（低い酸化還元電位，pH）条件下での石炭灰造粒物の安全性，③浚渫土と同等以上に強い還元状態にある汚泥の処理法，④生態系の再生についても検討されている。改善評価を行うために3年間（夏期，冬期）の現地調査が実施され、スカムの発生を抑制できていること，石炭灰造粒物の安全性が確認されている。生態系の再生については，図-2に示す石炭灰造粒物を充填した籠を海底に設置してベントス生息の可能性が実証された。上面が海底上20cmと30cmになるように籠が設置され，設置高が30cmにある籠では現状の水質においても生態系の再生ができることが確認された。2013年からはベントスの生息不可能な底泥においても石炭灰造粒物を混入させることでベントスが生息し始めることを実証実験から確認できしており，内港底泥レベルにある汚泥の有効利用にも見通しが立ってきている。

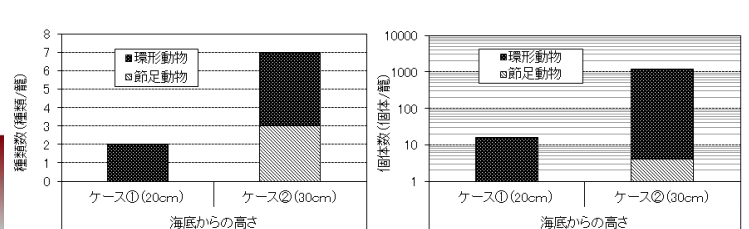


図-1 内港の概略地形と実証試験範囲

2013年度までは福山内港への未処理下水の放流が継続されてきたが，2014年度からは雨水滞水地等が整備され，放流量は1/2以下になることが期待されている。これを受け広島県，福山市は内港での水・底質環境の再生を計画している。本報告では福山内港泥を利用した生態系再生法の検討および，生態系の再生による福山内港環境改善について考察した。



(a) 石炭灰造粒物の設置要領



(b) 造粒物層内に生息した生物の種類と個体数

図-2 籠試験による生物の生息可能性調査結果 (st.6)

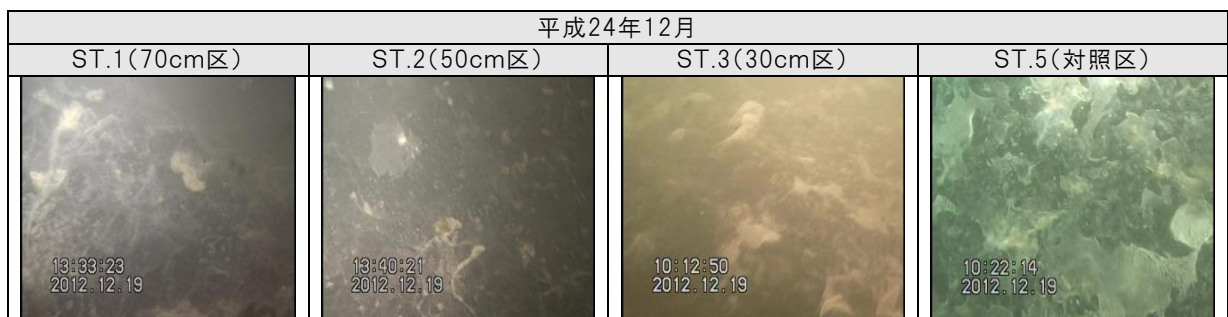


写真-1 各試験区の海底の状況（潜水目視観察）

2. 生態系による自浄作用をより高めるための対策

内港では下水負加量が1/2以下になるように計画されているが、引き続き未処理下水が放流されるため、下水処理施設の整備のみでは抜本的な環境対策になる可能性は高くない。沿岸域の環境は本来、生態系によって支えられるべきであり、内港においても生態系による自浄作用により水底質の環境再生が行われることが望まれる。

(1) アルカリ剤による底泥毒性の抑制（底生生物の棲息可能場の再生）

下水汚泥堆積の毒性（酸性化、還元化）を抑制するためには、アルカリ剤造粒物を構成する酸化物からのイオンの溶解特性を利用することが確実性の高い毒性抑制方法として考えられる。酸化物が溶解するために電子（低い酸化還元電位）が使われ実質的な酸化還元電位（ORP）は高くなる（水のpH変化に依存したORP低下よりも小さい）。溶出したOH⁻は弱アルカリ場を形成する他、Ca²⁺、Fe²⁺等の陽イオンはカチオン交換（粒子のコンシステンシーの変化）、硫化水素の低減等により生物の棲息環境が改善される。酸化物の溶解効果を効率的に得る方法として海底被覆、礫質材料の海底面設置がある。海底被覆による効果は図-3に示すスカムの抑制、悪臭の抑制、生物棲息環境改善がある。また、海底面設置には図-4に示すように海底付近での流れの乱れを多く生じさせ、浮泥を極力拡散させ、浮泥が堆積していない面に生物を着生させる効果が期待される。

(2) 生物の棲息可能な浅場創り

生態系による自浄作用を内陸全域に広げるには、底質改善とともに生物生息の可能性が高くなる浅場の造成を行うことが最も有効と考えられる。生物再生を促進する浅場構築物の例として図-5に示すような生物共生型護岸がある。内港での浅場には①青潮に耐性があること、②継続的に放流され堆積する下水汚泥の毒性を低下できること、③地盤の透水性を維持できること、④生物棲息場、海草藻類の繁殖場の地盤として適していることの各要件を満たすことが必要である。アルカリ剤（酸化物が材料）である石炭灰造粒物は①硫化水素の除去（発生抑制、および固定）、②電子伝達機構の構築、③間隙水の流動性維持性能に優れ、④ヘドロ地盤でのアサリ再生、アマモ繁殖場の構築材料として実績がある材料である。図-6に海岸に散布された造粒物層によって期待される生物生息環境の改善効果を示した。上述の①～③の効果により、底生生物・魚介類の増加→水質浄化機能の発現→浮泥堆積の緩和が期待される。当概海域では有機物量の堆積が極めて多く有機物の分解で生産されるH⁺と電子（ODU；酸素消費物質）の全てに対処するためには多量の石炭灰造粒物の投入が必要となる。造粒物の利用した生物の再生場では石炭灰造粒物の投入量を少なくし、生物の生息を可能にし、内港全域に効果が波及できる小規模の構築物が望ましい。

図-6に海岸に散布された造粒物層によって期待される生物生息環境の改善効果を示した。上述の①～③の効果により、底生生物・魚介類の増加→水質浄化機能の発現→浮泥堆積の緩和が期待される。当概海域では有機物量の堆積が極めて多く有機物の分解で生産されるH⁺と電子（ODU；酸素消費物質）の全てに対処するためには多量の石炭灰造粒物の投入が必要となる。造粒物の利用した生物の再生場では石炭灰造粒物の投入量を少なくし、生物の生息を可能にし、内港全域に効果が波及できる小規模の構築物が望ましい。

(3) 下水汚泥の堆積が減少することによる効果

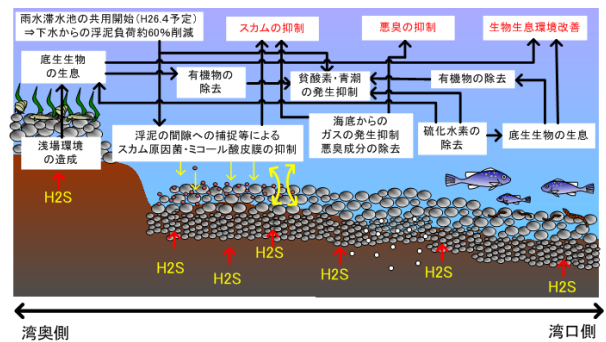


図-3 石炭灰造粒物を用いた海域環境改善で期待される効果

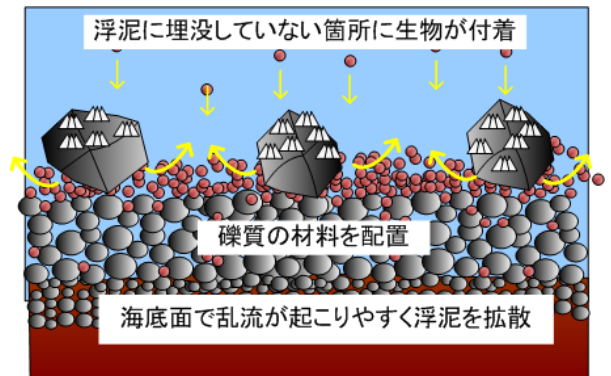


図-4 浮泥堆積の影響を抑制するための対策

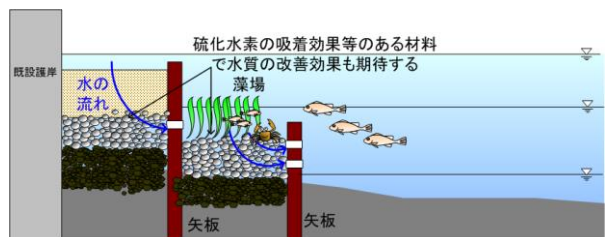


図-5 再生材を活用した生物共生型護岸のイメージ

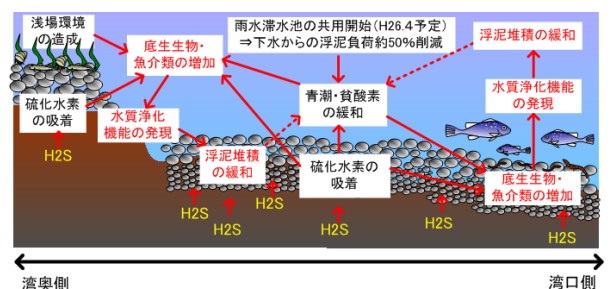




写真-2 親水公園前面の内港

(奥が水路出口，右側奥の建物は福山市立大学，2014.4.7)

実証試験では下水が放流される水路から急拡部水路側に石炭灰造粒物が散布された（図-1）ため，放流下水は水路流軸方向に集中したことにより浅場側（親水公園前，st.6）方向への下水の流出量，堆積量は低下したことにより底泥の性状は大きく異なってきた（図-2）．この結果は下水成分の堆積量が低減すれば過去に堆積した下水起源の有機物の分解速度を速くする環境が作られることを示している．一方，st.6地点において底生生物の再生も確認できており，石炭灰造粒物は生物の再生できる浅場材料として適した材料であり，直接原地盤上に散布することで生態系再生が期待できる．さらに，透水性等の特性から散布面が平均水面と同じレベルにあれば干潟として十分機能できる可能性が高い．

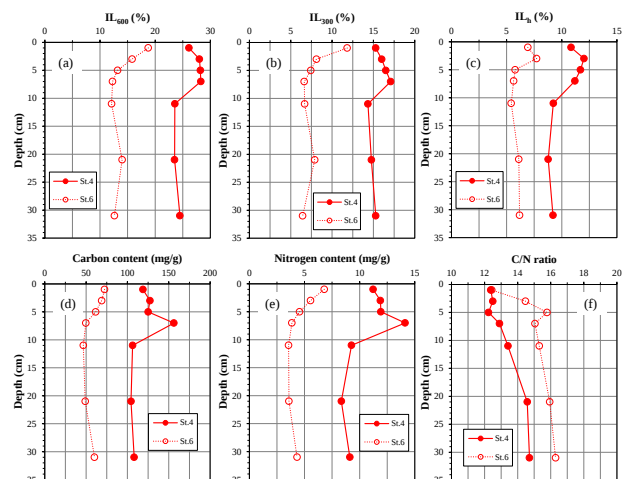
3. 本来あるべき「親水公園」を実現するために

河川の水辺環境が甦り，多くの市民が公園を利用できる内港環境を生物による自浄作用を持つ浅場の構築によって実現したい．本来あるべき「親水公園」の実現は生態系を再生できる場を構築することと同意義として考えるべきである．底生生物，および魚類は高有機質の下水汚泥を直接，餌とすることができ，生物の棲息を促進することにより下水成分である高有機物の消化を迅速に行なうことが期待される．生態系を迅速に再生するには再生場は広域に構築することが望ましいが，局所的な構築によっても確実に再生できると考えられる．写真-2に親水公園から水面方向への景観を示した．内港奥部ではスカムの発生は限定的になったが，現在も青潮が発生し海底への光量子量は極めて少ない状態にある．しかしながら，親水公園前面は，①下水の流下路からはずれていること，②汚濁が最も厳しい水域と面していること，③公園前面から浅場を観察し易いこと等から生態系の再生場として適していると考えられる．さらに，親水公園前面は内港での塑望時の潮位差は約4mであり，大潮干潮時に海底面が露出する時があることから，施工費用を抑えつつ浅場造成による生物着生の可能性が高い場であると考えられる．浅場において持続的な生物の生産が可能場を構築するための基本的決定事項は以下になる．

- i)干潟（浅場）地盤高，ii)地下水を停滞させない浸透機構，iii)動植物の生長に適した地盤材料，iv)生態系内における酸素の供給機構

4. おわりに 社会資本投資のあり方が問われる中，水・底質環境修復という目的に適した素材・構造を使用し，水辺に関わる市民が参加していく息の長い事業の姿が今後の新しい事業の姿と筆者らは考えている．今後，生態系による自浄作用による「親水公園」の再生が大きな流れとなり，市民が公共と一体となって実施していく環境再生事業に発展していくよう願っている．

謝辞 本報告は福山港内港地区の海環境改善方策に係る検討委員会（広島県，福山市，国土交通省中国地方整備局，委員長 日比野忠史，事務局 復建調査設計株式会社）の報告書を引用しまとめたものである．関係者の協力に記して謝辞を表す．



(a) IL₆₀₀ (b) IL₃₀₀ (c) IL_h
(d)炭素濃度 (e)窒素濃度 (f) C/N 比
図-7 福山底泥の有機性状の鉛直変化