

## 兵庫県尼崎港

### [概要]

#### 16. 閉鎖性海域における最適環境修復技術のパッケージ化 (環境修復技術のベストミックスによる物質循環構造の修復)

研究開発代表者 上嶋 英機（財団法人 国際エメックスセンター科学政策委員・独立行政法人 産業技術総合研究所産学官連携部門研究コーディネータ）

分野 環境改善修復（水環境） 研究期間 平成13年度～平成15年度  
研究予算総額 179,061千円

#### 研究の背景と目的

人口や産業の集積が著しい大都市に面する内湾では、過大な流入負荷や埋立による浅場の消失によって水質・底質環境の悪化が進み、夏季には貧酸素水塊により海底の生物が生息できない状態にまで至っている。このような内湾における環境を修復するため、藻場や干潟の造成が行なわれているが、その機能については未検証なものが多く、また、単一の技術が適用される場合がほとんどである。加えて海面や岸壁が高度に利用され、水深が深いことなど修復技術を適用する上で多くの制約がある。

本研究では、典型的な富栄養化閉鎖性海域である兵庫県尼崎港を実証実験の場とし、以下の目的で環境修復技術の開発、実用化を進めた。①個別技術の機能を明らかにし物質循環構造の修復効果を実証するとともに、環境修復技術の最適な組合せ（ベストミックス）による相乗効果を明らかにする、②他の富栄養化した閉鎖性海域においてここでの成果が活用されるよう、環境修復のための方法論並びに各技術の機能を「最適環境修復技術のパッケージ」として取りまとめる。③それらの結果に基づき、尼崎港内における環境修復事業を提案する。

#### 研究の成果

##### (1) 環境修復技術のベストミックス検討手順

本研究においては、環境修復技術のベストミックス検討の手順を図1のとおりとし、この方法論を実証・確立すべく、以下のように研究を進めた。

研究の対象とした尼崎港内における環境の変遷及び現状を把握・評価し、環境悪化の原因とその相互関係（環境悪化の連関）を明らかにした。次に、修復目標を設定し、目標達成のための技術を選定した。目標の尺度として水質を取上げ、透明度5m以上（年平均）、溶存酸素（以下DOと記す）3.0mg/L（夏季底層）以上を目標とした。技術の選定に当っては、港内の水質・底質などの自然環境条件、物理的条件を勘案し、環境改善の連関（環境悪化の連関の逆過程）に基づき、①浮体式藻場、②エコシステム護岸、③人工干潟、④礁及び石積堤を用いた閉鎖性干潟（以下閉鎖性干潟と記す）、並びにこれらの機能を向上させるための⑤流況制御を選定した。①～④については尼崎港内に実験施設を新たに建設し、⑤については既存の室内模型を用いて、モニタリング並びに実験を行った。①～⑤の施設の概要是図2に示すとおりである。

モニタリング及び実験の結果に基づき、個別技術の機能を明らかにするとともに、環境修復技術のベストミックスについて検討した。なお、技術の組合せによる相乗効果を定量的に評価するため、生態系モデルを用いたシミュレーションを行なった。これらの技術の組合せを他の海域に適用すべく、各技術の機能、ベストミックスの検討手順・方法論を「閉鎖性海域における最適環境修復技術のパッケージ」として取りまとめた。

##### (2) 個別技術のモニタリングと機能の評価

①～④については現地でのモニタリング調査に基づきそれぞれの機能を検証・評価した。⑤につい

では模型実験によって流況の制御とその効果を評価した。個別の技術に関する研究成果を以下に示す。

<b>①浮体式藻場</b>
(a) 10種の海藻の生育実験を試み、港内での藻場構成最適種がワカメであることを明らかにした。
(b) 単位面積当たりの海藻収量を最大にする方法として浮き流しロープによる増殖方法を採用し、海面 100m <sup>2</sup> 当り 30~100kg(湿重)のワカメの収穫を可能にした。これは窒素量で 0.6~2kg に相当。
(c) 収穫したワカメの循環型利用方法として、堆肥化、超臨界水およびメタン醸酵によるガス化を実証した。その結果、ワカメを用いた堆肥は植物育成促進効果を有することが明らかになり、超臨界水を用いた場合、海藻中の炭素の 7.8%、メタン醸酵の場合、34%がメタンとして回収できることが明らかになった。
<b>②エコシステム護岸</b>
(a) 既設の垂直護岸に比べ、底部では 10 倍以上の堆積物食生物が確認されるなど多種・多量の生物が生息可能であることが明らかになった。
(b) イガイなど壁面の付着動物に由来する有機物を底部で受け止め、堆積物食生物が利用することで、海底への負荷量を従来の垂直護岸に比べ 64%削減することができた。
(c) 海底への有機物負荷を削減することによって、貧酸素の原因となる海底での酸素消費量を 11% 削減でき、このことが港内の底層 DO の改善に寄与することが明らかになった。
<b>③人工干潟</b>
(a) ここで選択した設計手法により、安定した形状の干潟を造成・維持することができた。
(b) アサリが 3 月 ~ 7 月の成長期に、干潟 1m <sup>2</sup> 当り窒素 18.8g、リン 1.86g を固定することができた。これは自然の干潟での生産量に匹敵する。
(c) 静穏性が高い箇所ではイガイ等の二枚貝が干潟表面にマットを形成し、他の生物、特にアサリの分布、生育を妨げることが明らかになった。この対策として一定期間毎に底質に人為的な攪乱を与えることによって、イガイ等のマット形成を防ぐことが可能であることが実証できた。
(d) 貧酸素化によってアサリの生残が激減した後、早期の回復を図るために、種・幼生の保存の場を海藻の増殖浮体に設けることが有効であることを明らかにした。
<b>④閉鎖性干潟</b>
(a) 閉鎖性干潟の石積堤による礫間接触酸化効果により、最大 75% の懸濁物質の除去率が得られ、干潟内部の透明度を高めることができた。ただし、礫間を透過する海水の DO 低下が生じる。
(b) 静穏性並びに透明度が高いため、内部では付着藻類の活性が高くなり、光合成による酸素供給が可能であることが明らかになった。
<b>⑤流況制御</b>
(a) 港内の海水交換を高める方法として、埋立地の一部開削、埋立地内の遊水池造成が有効であることを実証した。
(b) 港内の栄養塩の滞留を改善するためには、下水処理施設からの放流位置を変えることが有効かつ現実的であることを実証した。

### (3) 環境修復技術のベストミックス

モニタリング調査の結果から、それぞれの技術が図 3 に示すような機能の補完関係を有することが明らかになった。また、生態系モデルを用いて、各技術による水質改善効果を定量的に算出した結果、これらの技術を組み合わせて導入することによって、表 1 に示すように、透明度、DO の改善において相乗効果が得られることが明らかになった。尼崎港内のほぼ全域にこれらの環境修復技術を適用し、①浮体式藻場 : 35ha、②エコシステム護岸 : 4,600m、③人工干潟 : 42ha、④磯 : 14ha、⑤下水処理

水放流位置の変更（港内への流入負荷の削減）を行なうことによって、港内の夏季の透明度が約4m（現状年平均2.5m）、底層溶存酸素が約3mg/L（現状0mg/L）に改善されると予測され、目標としたレベル近くまで港内の環境を改善できることが明らかになった。

#### （4）最適環境修復技術のパッケージ

ここで組合せた技術の環境修復機能は図4に示すように表現できる（ただし窒素を指標に表現した）。流況制御は負荷を削減し、浮体式藻場は溶存態の窒素を効率的に吸収・固定する。また、干潟及び閉鎖性干潟並びにエコシステム護岸は懸濁態の粒状窒素を取り込み、固定もしくは無機化する。さらに、それぞれの技術が有する機能は表2に示した値となった。

都市型の富栄養化閉鎖性海域では共通する問題として物質循環の歪みが生じており、ここで組合せた技術は歪みを修復することができる。すなわち、他の海域での環境修復事業の計画・基本設計の段階においては、これらの技術の組合せとその機能の原単位を用いて検討を進めることができる。ただし、事業の実施設計段階においては、地域の環境特性、海面や護岸の利用状況に応じた検討を加え、規模や配置を決定することになる。ここでは「技術の組合せとその機能」並びに「ベストミックスの検討手順」を『最適環境修復技術のパッケージ』としてまとめた。

#### （5）尼崎港内における環境修復事業の提案

環境技術の実用化が本研究の命題である。そこで、本研究の成果を踏まえ、尼崎港内における技術の配置、規模の設定、さらには施工方法に関するケーススタディーを行い、干潟（砂留潜堤を礫として利用）：22ha、浮体式藻場：8ha、エコシステム護岸：1,100mの実施による港内の環境修復事業を港湾管理者である兵庫県に提案した。これらが実施されることによって、港内の透明度が2.2m、底層のDOが約1mg/Lに改善され、修復目標には達しないものの、海底の無酸素状態は解消される。兵庫県では、尼崎市臨海部において、都市再生事業として低木利用地を活用した「21世紀の森づくり」が進められ、水際部の環境修復が課題となっており、現在、環境修復に向けた検討が進められようとしている。

### 研究のまとめ

典型的な都市型の富栄養化した閉鎖性海域である尼崎港において、各種の環境修復技術の実証実験を同海域で並行して実施した。この実験から各技術の個別機能を検証するとともに、組合せによる相乗効果を明らかにし、環境修復技術のパッケージ化を図ることができた。3年間の研究のうち、ほぼ最初の1年は実証実験施設の建設に要したため、実質的なモニタリングが2年となった。海の生物の遷移を把握し、評価するには尚早であるとも考えらえるが、都市の沿岸部では環境修復・再生のための事業が進められようとしており、時代の要請に対して一定の答えを返すことができたと判断している。本研究の実施期間中に大阪湾再生のための行動計画が策定され、そこで環境修復・再生事業に本研究成果が活用されるものと考える。なお、事業コストと効果の評価方法が課題として残される。

ここで実証した機能の組合せは他の海域に適用可能であるとともに、加えて、一連の技術検討・施設建設・効果実証の進め方が環境修復の方法論として活用されるものと判断する。研究成果は瀬戸内海沿岸などの自治体や行政機関、並びに研究機関に配布予定であることからも活用が期待される。なお、尼崎港内に建設した実証実験施設には国及び地方自治体、学会、研究機関、住民団体等計20団体の視察があり、先進的事例として参考にされている。さらに、実証実験施設を利用した環境学習が開催され、延べ1,035人（平成16年9月現在）の小中学生、一般市民が環境修復について学んだことも副次的な効果として挙げられる。