

[特 集]

閉鎖性海域における環境修復技術の効果検証と 最適技術のパッケージ化

上嶋英機

正会員 工博 (独法) 産業技術総合研究所 産学官連携コーディネータ / 海洋資源環境研究部門 総括研究員
(〒737-0197 広島県呉市広末広 2-2-2) E-mail: h-ueshima@aist.go.jp

本報は、自然再生推進法の実現化に向けて、閉鎖性海域の環境修復事業のための技術選定とその効果検証のために、実海域において、多くの環境修復技術の検証実験を行う研究プロジェクトの概要について紹介するものである。研究の対象海域は、環境悪化の著しい大阪湾奥の尼崎港内であり、環境修復目的としては、流入負荷削減、有機懸濁物削減、海中の栄養塩削減、底質改善、栄養塩の溶出量削減、海水交換の促進であり、このための環境修復技術として、人工干潟、環境配慮型港湾構造物、石積堤堰と閉鎖干潟、筏藻場、アオサバイオマス利用、流況制御技術について特定し、各技術を適用するため尼崎港内に各技術の施設を設置し、そこで技術の効果検証の現地実験を行っている。

Key Words : *artificial tidal flat, artificial lagoon, floating seaweed bed, flow control, inhabitable quaywall, mitigation technology, restoration technology, mitigation*

1. はじめに

沿岸域や湿地帯、河川の自然環境を修復再生するための「自然再生推進法案」が2002年12月に国会で成立した。これまで、日本の沿岸線35,000kmの中で、開発により自然海岸や干潟・浅場がかなり消滅し、閉鎖性海域は著しく汚染されてきた。特に、日本最大の閉鎖性海域である瀬戸内海では6,800kmの海岸線の内、自然海岸は21%しか残されていない事が報告されている¹⁾(1999年)。

瀬戸内海の中でも開発や都市化により自然海岸や浅場を最も消失したのは大阪湾である。この大阪湾は、多くの埋立により河口域は複雑な人工水路に変わり、埋立人工島により囲まれた海域は閉鎖性を強め、陸上から流入する過剰な栄養塩により赤潮や貧酸素水塊が形成され、有機汚泥が海底に堆積する環境問題が継続している。このように人為的に悪化させた海域環境を修復・再生するためには、やはり人の手と自然の力で環境を修復する技術(ミティゲーション技術)の適用が必要である。

これまで実施されてきた、沿岸域の環境修復技術を分類すれば表-1に示されるものとなる。修復技術適用の直接的な目的としては、生物生産や生物多様性の回復・促進、水質改善や底質改善であるが、そ

の方法には生態系機能を活用した「生物利用」によるものと、流動場や地形地質の改変制御を物理的・化学的に行う「生物非利用」の方法がある。

一方、これらはまた手法的分類として①物理的技術、②化学的技術、③生態機能技術に分けられる。

表-1 沿岸域の環境修復技術

方法	目的	環境技術	
生物利用	生物生産 生物多様性	人工干潟・浅場 ヨシ原造成	
		アマモ場造成	
		藻場造成	
	水質改善	人工潟湖 人工エリーフ 傾斜護岸	
		人工砂浜 礫間接触酸化堤	
	底質改善	ベントス利用 微生物利用	
生物非利用	水質改善	透過堤 曝気型護岸 鉛直混合促進 作濤 導流堤	
		エアレーション	
		底質改善	浚渫 覆砂
			底質改良材(剤)投入

これらに該当する具体的な技術としては数多く存在し、古くから使用されている技術や、最近開発された新技術などが含まれる。1955年以降、オランダから持ち込まれた浚渫技術や埋立・干拓技術の他に、導流堤や滞筋、水路開削等の海水交換促進のための流況制御技術が実用化されていた。これらは農水業関連の生産性向上に向けた取り組みの国家事業として使用された。

現代においては、生態系環境が損なわれている沿岸海域の基本的な再生策として環境修復技術が急務となっており、前述した各々の修復目的に対応する技術効果と信頼性の確認が不可欠となっている。

一方、環境修復を必要とする海域の特性は同一ではなく個性が存在する。従って、使用する技術が同じでも海域により効果が異なることがある。また、複合的な環境修復目的に対応し効果を上げるためには、単一技術だけでなく異なる技術の組み合わせが必要となる。そのためには、実海域において修復目的を満足する最適な技術の組み合わせを検討することが重要な課題となっている。

そこで、本研究では、大阪湾奥部に位置する埋め立てにより閉鎖性海域となった汚染海域の尼崎港を実験海域として設定し、港内の物質循環系と生態系を回復するための環境修復技術の最適な組合せとその効果を見出す事と、ここで得られた知見から他の海域に適用する事のできる技術のパッケージ化を図ることを目的として実証実験を行うものである。

2. 研究体制と実験海域

本研究プロジェクトは、2001年度に環境省の環境技術開発等推進事業「実用化研究開発課題」^{2), 3)}に提案応募して採択を受けた課題「閉鎖性海域における最適環境修復技術のパッケージ化」である。即ち、沿岸域における物質循環の歪みを矯正し、より

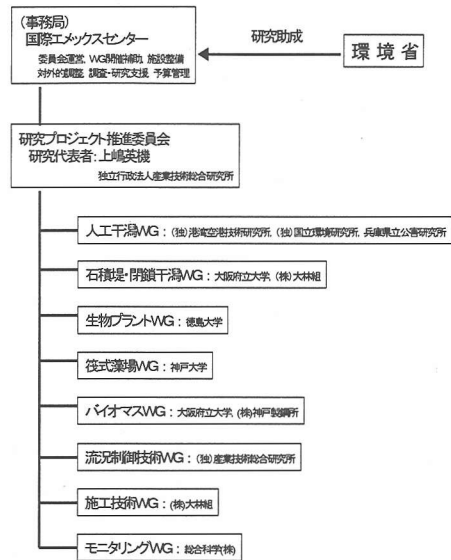


図-1 研究開発実施体制

よい生態系を回復するための最適な環境修復技術の組合せ(ベストミックス)を明らかにするとともに、基本的な技術のセット化(パッケージ化)を図るものである。

この研究プロジェクトの実証実験の場となる尼崎港は、かつては「公害の街・尼崎臨海都市」と言われた都市もとにあり、昭和初期から大規模な埋め立てが進み、閉鎖性の強い海域が形成された。港内には河川や下水処理を通じて、陸域からの負荷が流入し続け、水質、底質が著しく悪化している。更に港内の底層から中層にかけて夏季には強い貧酸素状態が形成され、底生物や底魚が生息できない状態が継続している。

この尼崎港において環境修復技術の効果検証実験を実施するため、図-1に示す産学官連携による研究体制と研究チーム(WG)を構成して、担当技術の実験を行う。

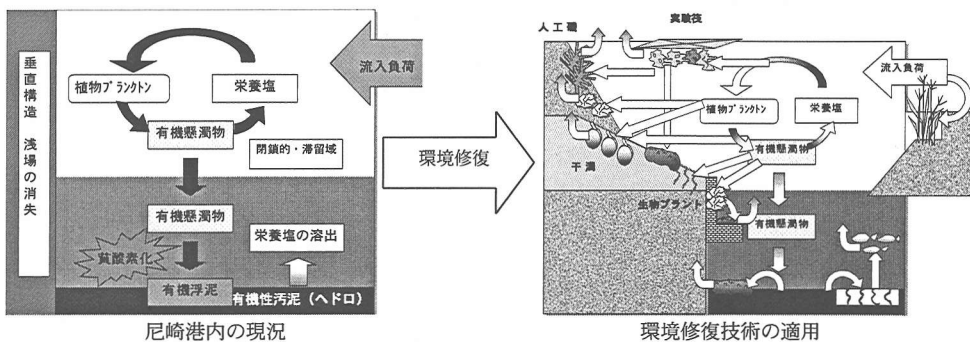


図-2 港内の物質循環の現状と期待される効果の連関図

3. 研究内容と実験対象技術

図-2には、港内における物質循環の現状と期待される効果の関連図を示す。このように尼崎港の悪化した物質循環を修復するための具体的な目的としては、①流入負荷削減、②有機懸濁物削減、③海中の栄養塩削減、④底質改善、栄養塩の溶出量削減、⑤海水流動の改善の5項目である。

上記の目的を達成するための具体的な数値目標としては、夏季底層のDO(溶存酸素)を3mg/l以上(現状は最大3mg/l)、透明度3m以上(現状は年平均2.5m)、総合効果として生物の多様性の確保である。

そこで本実験で使用する環境修復技術をこれまでの各種調査結果や検討に基づき、表-2に示す技術と実験内容を設定した。図-3に研究実施フローを示す。また、各技術の実証実験施設の設置場所については、図-4に示す。

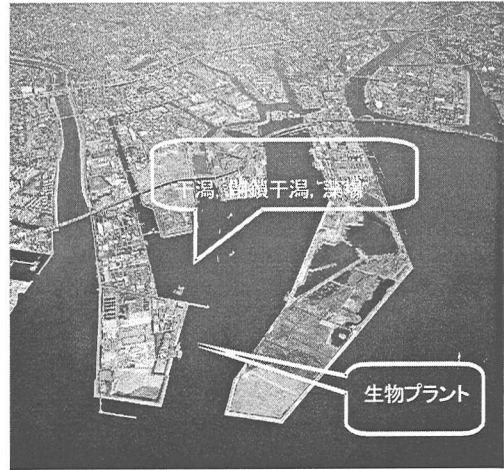


図-4 尼崎港内の現状と実証実験施設の位置

表-2 実験技術と内容

(1) 人工干潟
<ul style="list-style-type: none"> 底質と底生生物を中心とした物質循環の検討 二枚貝による水質浄化 人工干潟の維持管理手法の確立
(2) 石積堤と閉鎖性干潟
<ul style="list-style-type: none"> 生物生息空間と生物多様性の形成 透明度改善等の水質浄化による親水空間の創造
(3) 環境配慮型港湾構造物
<ul style="list-style-type: none"> 直立護岸における生態系の改善 底質への堆積物負荷削減
(4) 筏式藻場
<ul style="list-style-type: none"> 透明度の著しく低い海域における海洋培養 藻体取り上げによる水質浄化, 藻場造成による生物多様性の回復
(5) アオサバイオマス利用
<ul style="list-style-type: none"> アオサの取上げによる水質浄化と陸域での活用
(6) 流況制御技術
<ul style="list-style-type: none"> 生物の生息に適した流れの環境創出 海水交換促進, 貧酸素水塊排除, 透明度改善

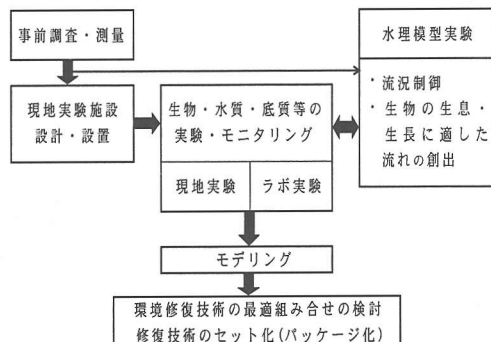


図-3 研究実施フロー

4. 実験施設と研究内容

(1) 人工干潟の施設と現地実験

実験干潟の設置場所においては、干潟機能を満たす安定した地形を検討し、生物生息空間を構築することが重要である。そのためには、実験干潟の空間規模、安定した基礎地盤、干潟勾配、底質を設計した。更に、外的要因として、波浪、潮汐潮流等を考慮し場所の設定を行った。図-5に実験干潟を示す。この実験干潟の配置は、図のように陸側は堤防(コンクリート護岸)と外側の石積みで囲まれており、その規模は、堤防に沿って長さ(陸域から汀線へ)32m、幅16mで、勾配は約1/50の造成である。干潟面積の2/3を潮間帯に、1/3を潮下帯に設定した。この実験干潟は二枚貝の生息環境を満たす条件を確保することを主体とし、アサリの生息環境を満たす底質条件として設計された。現在、施設完成後、実験を開始・継続している。

(2) 石積堤と閉鎖性干潟の施設と実験

水質浄化が期待される修復技術の一つに石積堤を用いた浅場造成がある。この石積堤は、石積堤体の空隙に付着した微生物によって、水質を浄化する機能を有している(赤井ら²⁾)。当然、この機能のエネルギーとなるのは潮流や波浪による自然エネルギーである。この石積浄化堤で囲まれた空間の浅場(干潟)の水質浄化への効果を確認するための実験を行う。

施設の形状・規模については、図-6に示す。施設を構成する石積堤は堤体延長が41m、堤体幅が堤体側前面で4m、堤体側面で1.5~2mである。石積堤

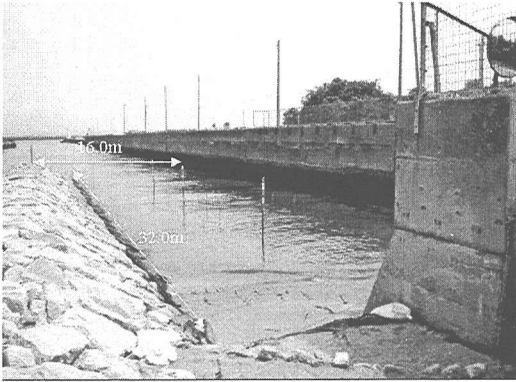


図-5 人工干潟実証実験施設（満潮時）

で囲まれた内水域は、幅 5m×奥行 9m の矩形形状となっている。海水の深さは満潮時には最大 OP+2.1m,干潮時には全域が干出する構造とした。この中で、石積浄化堤による懸濁物質の除去効果を確認するために、水質調査、植物プランクトン濃度、有機物濃度、藻類調査、底質調査を実施する。

(3)環境配慮型港湾構造物と現地実験

環境配慮型港湾構造物（エコシステム護岸）は、貧酸素水塊の発生を抑える事と、直立護岸における生態系の改善と底質への堆積物負荷削減を目的として、湾内の直立護岸に貧酸素水塊の影響を受けない水深まで側面に浅場を敷設され、懸濁物食生物とその排泄物質量に見合った堆積物食生物の生息を促すものである。実験用護岸の設置については、図-7に示すように、既存の護岸に敷設する形式を取る。

形状はL字型をしており、1基の底面は横幅 3.0m、海側に 1.5m の大きさを持つ。この底面の位置は夏季に貧酸素水塊の影響を受けない高さ、DL-0.5m、DL-1.0m、DL-1.5m にそれぞれ 3 基設けている。

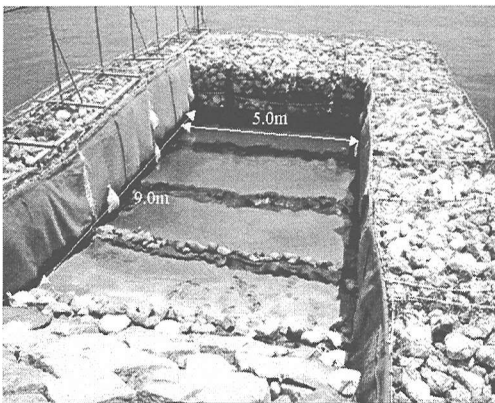


図-6 石積堤磯および閉鎖性干潟実証実験施設

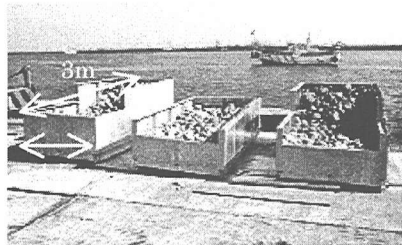
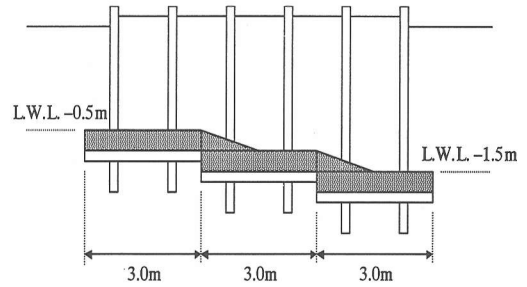


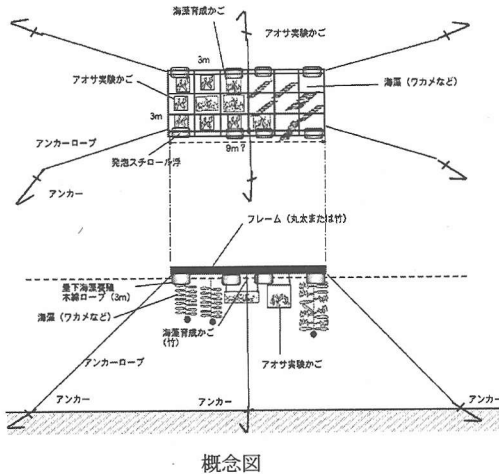
図-7 環境配慮型港湾構造物（エコシステム護岸）施設

プラントの壁面は一区間 1.5m の中に 3 種類の部材を使用した。空隙を有しない普通のコンクリート材料、骨材径 25~35mm のポーラスコンクリート材料、4mm の空隙を持つガラス焼成材料を、各々板状に形成し壁面に使用した。また、底面の中には礫とポーラスコンクリートの重ね合わせを変え、30cm の厚さに敷き詰めて使用した。実験中の観測では、プラントに生息する生物調査、底面の堆積物調査、溶存酸素調査を継続して実施している。

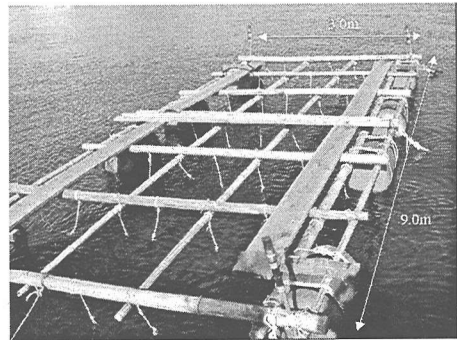
(4)筏式藻場による施設と現地実験

尼崎港のような透明度が著しく低く、懸濁物が多い沿岸海域では、多様な海藻類の増養殖を図ることにより、①海藻自体の繁茂による無機塩類の固定、②海藻類の繁茂に伴い増殖する小型動物類による有機物の固定・消費及び懸濁物の軽減を図ることが出来る。このための生物的環境技術として海底の藻場造成が一般的に考えられるが、透明度が極めて低く、貧酸素水塊の発達する比較的深い海域では効果は期待できない。

そこで、太陽光と表層での容存酸素の期待できる海面において、図-8に示す概念図のように「浮き筏」による筏式藻場を湾内に設置し実験を実施している。筏は長さ 9m、幅 3m 程度の物を 3 基設置し、各種の種苗をしたロープを筏から垂下し、育成を観察している。海藻はワカメ、スサビノリ等の種苗を使用して育成している。また、付着動物の育成も筏で実施中である。状況写真を図-8に示す。



概念図



設置状況

図-8 筏式藻場現地実証実験施設

(5)アオサバイオマス利用の開発・実験

大阪湾奥の尼崎港においてはアオサやアオノリといった短命の緑藻類が優占種となる事が多い。これらの持つ炭素/栄養塩固定効果が非常に大きいことが明らかとなっているが、逆に大発生した後一気に枯死して有機汚泥堆積の原因にもなる。そこで、爆発的にアオサが枯死する前に、何らかの回収と利用をすることが必要である。フレッシュなアオサの利用については健康食品材料や飼料に活用されているが、枯死体や腐敗体のアオサを利用する方法としてはバイオマスガス化による資源生産が上げられる。そこで、アオサを積極的に湾内で増殖することにより炭素・栄養塩回収による水質改善を図ると共に、回収・収穫したアオサをバイオマスガス化等の資源生産として利用するシステムを実験的に開発研究するものである。そこで、本研究では、「アオサを用いたCNPリサイクルシステム」の開発を目的として、アオサ増殖システムとバイオマスガス化システムに重点を置き研究を行っている。

湾内の現地実験として、アオサの繁殖状況を定量的に確認するため、筏式藻場にアオサ藻体を大量に入れた籠を設置し観察を行っている。

(6)流況制御技術の水理実験

停滞性の強い尼崎港の水質改善と貧酸素水塊の解消のためには湾内の海水が流動し、港外の海水と交換することが必要である。海水交換の促進により、栄養塩の調整や透明度の改善に役立てば、自ずと湾内の物質循環の改善と生物生息環境の改善が促進される。このためには、潮流の自然エネルギーを利用して、湾内の流況を制御して海水交換を促進する工学的な環境修復技術を検討する必要がある。

そこで、尼崎港の海水交換を促進するための流況制御技術の適用方法について、尼崎港の地形を再現した水理模型を使い海水交換促進のための工法を開発する水理実験を行うものである。

尼崎港水理模型は、独立行政法人産業技術総合研究所中国センターにある中型平面水槽内に作られたものを用いた。図-9に尼崎港水理模型の外観を示す。水平縮尺1/500で、縦18m、横10mの大きさで、鉛直縮尺は1/63であり、現地の潮汐潮流を再現させる事ができる。

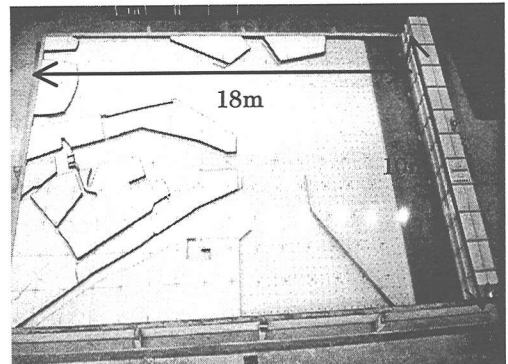


図-9 尼崎港水理模型

実験ケースは図-10に示すように、5ケースの実験を実施している。Case0は現状地形、Case1は尼崎港東部埋め立て地の一部に水路を開削し、水路内の海水の出入りによって海水交換促進する方法である。Case2は、港口部に剥離構造物を設置し、港内に渦を発生させて海水交換を促進させる工法である。Case3は、埋立地の一つの利用法として遊水池を設け、港内に出入りする海水流量を増加させる海水交

換を促進させる方法である。Case 4は港内の一部に浅場を造成して循環流を発生させる方法である。これらの工法を複合的に組み合わせる事によって更なる効果が期待される。

以上の環境修復技術を対象として現場に実験施設を設置し、その効果を検証することにより、尼崎港に適合する技術が定量的に把握出来る。これらの技術の効果検証には、当然現地での詳細な観測（モニタリング）が重要な役割を果たす。

5. おわりに

本研究は沿岸海域の自然再生を目指した環境修復技術の実用化を図る研究であり、国内でも初めての実海域での技術集合による効果検証のための研究プロジェクトである。環境再生を必要とする海域における環境修復技術の適用のためには、対象海域の環境条件や特性をよく把握した上で、修復目的に合った機能を持つ技術を選択し、実際の海域で各々技術の効果を検証し、その結果として最適技術の融合・組合せ（ベストミックス）を決定して、一つのパッケージとして修復事業設計に適用する事が、大規模な環境修復事業のリスクを軽減する。自然再生推進法の実現化のためには、適切な技術選択が事業化への担保となる。事業対象の海域では必ず、事業の前に技術選択のための数年間の実験期間と評価が必要であろう。このような実践的な研究スタイルこそが新たな環境修復技術を創生し、沿岸域環境研究分野の新展開を図るものと期待される。本研究の研究成果については、今回の研究論文として紹介したい。

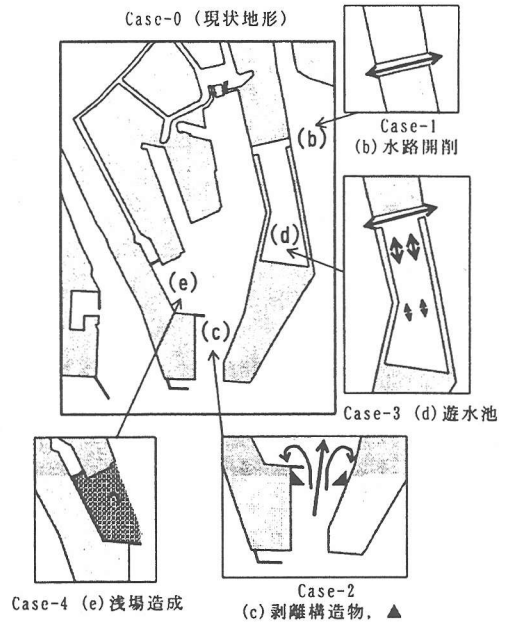


図-10 尼ヶ崎港・流況制御技術の実験ケース

参考文献

- 1) 瀬戸内の環境を守る連絡会：『瀬戸内よ、蘇れ・消えゆく白砂青松の浜』，'98 瀬戸内海沿岸環境調査団編，1999。
- 2) (財) 国際エメックスセンター：閉鎖性海域における最適環境修復技術のパッケージ化，平成13年度環境技術開発推進事業[実用化研究開発課題]研究開発進捗状況報告書，2002。
- 3) EMECS homepage, <http://www.emecs.or.jp>
- 4) 赤井一昭：水域の浄化システム，第11回建設技術発表会論文集，pp.76-79，1984。

(2003.1.20 受付)

PROJECT AIMED AT OPTIMAL ENVIRONMENTAL RESTORATION TECHNOLOGIES

Hideki UESHIMA

This paper presents a methodology to determine the best mix of restoration technologies for enclosed coastal seas, and introduces a case of Amagasaki Harbor project as one example of on-site experiments.

The Amagasaki Harbor project is a typical example of the on-site experiments. In this project, field studies of artificial tidal flat, artificial lagoon, floating seaweed bed, and inhabitable quaywall are performed at one site to estimate their environmental restoration efficiencies. The best mix is determined by the results of case studies, such as field surveys, on-site experiments, and numerical simulations.