

港湾における生物共生型構造物を用いた 環境改善の取り組みについて

IMPLEMENTATION OF ECOLOGICALLY SOUND STRUCTURES AS ENVIRONMENTAL MEASURES IN PORTS AND HARBORS

角浩美¹・馬場智¹・草野真一²・古川恵太³

Hiromi KADO, Satoshi BABA, Shinichi KUSANO and Keita FURUKAWA

¹ 国土交通省 港湾局国際・環境課港湾環境政策室 (〒100-8918 東京都千代田区霞が関2-1-3)

² 国土交通省 道路局環境安全課 (〒100-8918 東京都千代田区霞が関2-1-3)

³ 正会員 博(工) 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋研究部 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

Port constructions for economical developments in enclosed bay have made cumulative footprints on coastal ecosystems. Integration of measures to tackle with the issues is required, and principal of “environmental measures on every action” becomes standards on port constructions and managements. Ecologically sound structures are one of such countermeasures. Recently, the Ports and Harbors Bureau, MLIT has started up feasibility studies on various types of ecologically sound structure for seawall. Strategic target setting based on state-of-the-art situation understanding of ecosystem is a key for the planning followed by specific objective setting. These processes should follow an adaptive management procedure to facilitate feedback from monitoring. The multi scale and temporal monitoring scheme is proposed for implementation of the adaptive management.

Key Words : *Adaptive management, ecosystem based management, port facilities, sea wall, habitat creation, environmental measure, bio diversity*

1. はじめに

港湾における環境政策は、産業公害への対応に始まり、環境アセスメント¹⁾、廃棄物埋立処分²⁾、ウォーターフロントの環境整備、閉鎖性海域の水底質改善³⁾、循環型社会の形成、地球温暖化対策など、その時代に社会が直面する環境問題の変化に伴って変遷してきた。

国土交通省港湾局では、平成12年に「港湾法」を改正して「環境の保全への配慮」を法目的に規定するとともに、「自然再生推進法」(平成14年12月施行)や「生物多様性基本法」(平成20年6月施行)等を踏まえ、港湾のあらゆる機能に環境配慮を取り込んでいくことが不可欠と認識したうえで、良好な環境の積極的な保全・再生・創出策として、シーブルー事業⁴⁾の展開や環境配慮型構造物の導入を図るなど、港湾行政のグリーン化⁵⁾⁶⁾を推進している。

本論文では、上述の背景を踏まえ、平成21年度に実験的に整備した生物共生型護岸に関する取り組み概要を紹介しつつ、その中で提示されている環境改善の考え方(計画・設計)、その実現のための技術(管理・モニタリング)について整理したい。

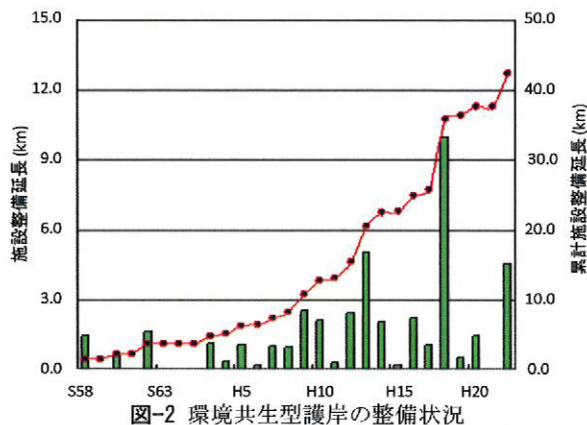
2. 港湾における環境配慮型構造物の整備

(1) 構造物を利用した環境改善施策の現状

環境配慮型構造物は、多様化する環境問題に対応するための環境施策の一つである(図-1)。水質改善や景観との調和など自然環境に配慮した港湾施設は、海水交換による水質改善、水質浄化機能の確保、生物生息空間の確保、周辺漁場との調和、



図-1 多様な環境問題に対応した港湾のイメージ⁶⁾



景観への配慮，自然とのふれあいの場の創出等を目指して，平成20年度の時点で約38kmが整備されている（図-2）。

(2) 生物共生を意識した環境配慮型構造物

環境配慮型構造物の特徴のひとつとして，生物生息空間の確保が挙げられる．古川⁷⁾が整理した東京湾をとりまく護岸に付着する生物の状況によると，動物・植物ともに，現在の東京湾のような富栄養化した閉鎖性海域の環境においても加入・生息が可能であることが示されている．ただし，そうした生物は空間的な環境変動（波浪によるかく乱等）や季節的な環境変動（夏季の貧酸素化等），生活史に対応した増減を繰り返しており，局所的であっても，周年通して環境条件が整う場を作り出すことが付着生物の多様性を高める方法として有効であると指摘されている．

(3) 先端的な試み

そうした環境条件を整える先端的な試みの例として，芝浦アイランドのテラス型護岸^{8,9)}（図-3），横浜技術調査事務所の潮彩の渚^{10,11)}（図-4）等が整備されている．これらの護岸は，航路や泊地の前面に

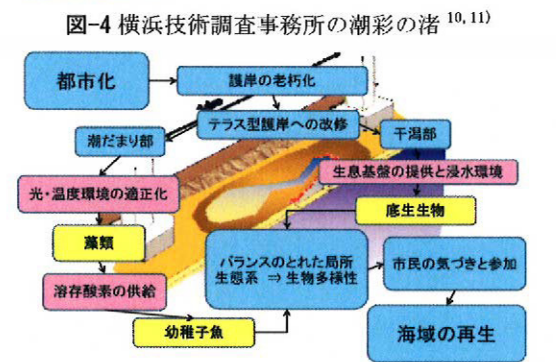
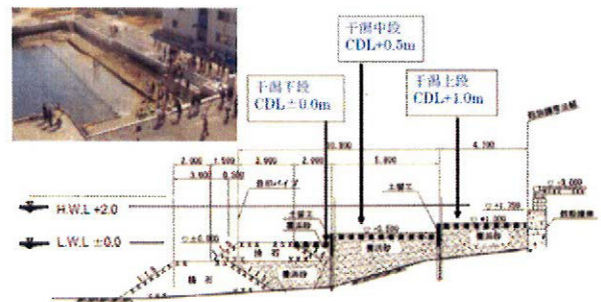
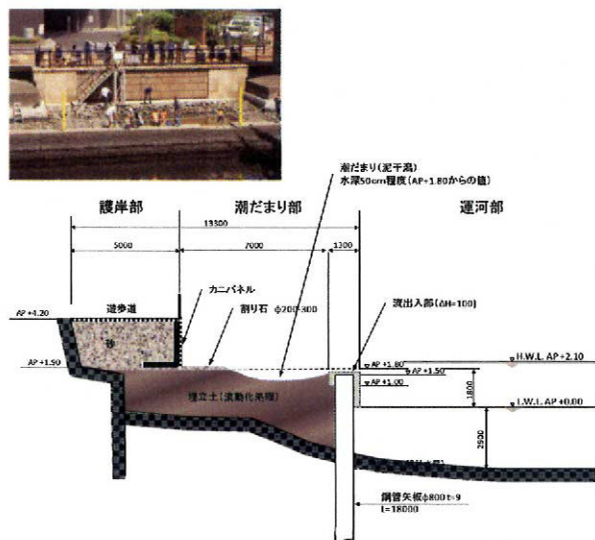


図-5 芝浦アイランドのテラス型護岸の概念モデル¹²⁾

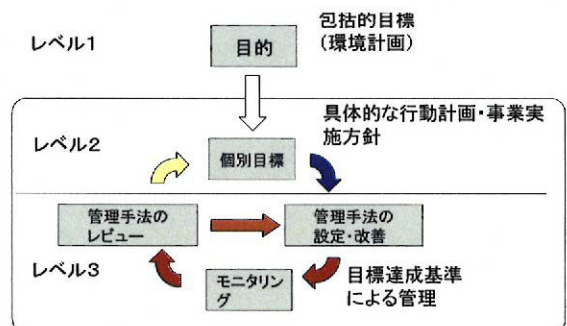


図-6 港湾環境施策における順応的管理の考え方¹³⁾

において，テラス型の構造を持たせることで，浅い潮だまり状の干潟を造成することを可能とし，酸素供給の場，安定した生物生息の場（基盤）となることを期待して造られた¹²⁾（図-5）。

このように，環境配慮型構造物の中で従来の整備目的の一つとされてきた水質改善や景観への配慮だけでなく，生物生息空間の確保や自然とのふれあいの場の創出に重きを置き整備される構造物を，本論文では便宜上，「生物共生型構造物」と呼ぶこととする．こうした構造物の整備目的の多様化に，その計画，施工，モニタリング手法も適応すべきと考えらる．

(4) 自然再生のあり方の指針

そうした計画，施工，モニタリング手法について，国土交通省港湾局は，「順応的管理による海辺の自然再生」というハンドブック¹³⁾をとりまとめ，新たな枠組みを含む海辺の自然再生における順応的な場の自然再生手法，生物の保全・再生手法について提

示した。その中で、包括的な目標の設定（レベル1）、目標を実現するための具体的な行動計画・事業実施方針（レベル2）、そして目標達成基準による管理（レベル3）の3つのレベルからなる手順の適用を謳っている（図-6）。

以下の節では、生物共生型護岸の具体事例を紹介しつつ、レベル1および2に関する計画・設計について第3章に記述し、レベル3に関連する管理・モニタリングについて第4章に記述することとする（表-1）。

3. 生物共生型護岸の計画・設計

(1) 秋田港

秋田港大浜地区における生物共生型護岸は、旧雄物川の河口に位置する静穏な（流動はあるが波浪によるかく乱が小さい）海域に面した護岸の耐震性強化の一環として計画された（図-7）。透明度・栄養塩から海藻（ガラモ）場の造成可能な環境条件であ



図-7 秋田港（大浜地区）生物共生型護岸設置場所（背景：Google Earthより）

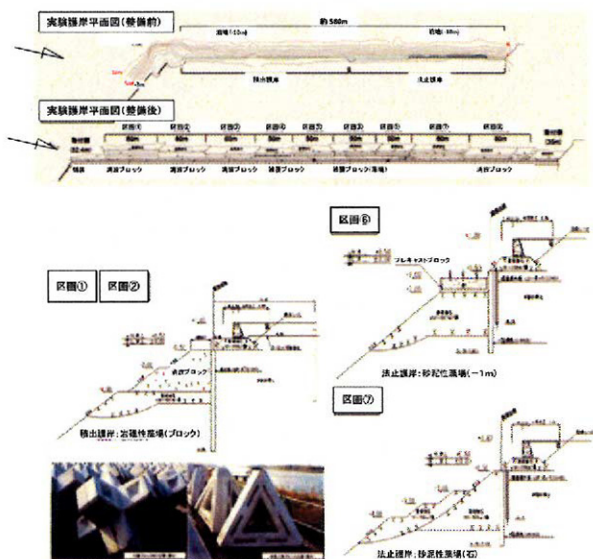


図-8 秋田港（大浜地区）生物共生型護岸平面図および代表断面

表-1 生物共生型護岸のまとめ

	秋田港 (大浜地区)	新潟港 (西港地区)	堺東北港 (北泊地内 南側既設護岸)	北九州港 (洞海湾地区)	石垣港 (新港地区)
レベル1 (包括目標)	ハタハタが産卵する藻場の形成及び砂泥環境の創出	多様な生物生息・生育が可能となる環境の回復と市民が憩える場の創出	人々の心地よい海へのアプローチと多様な生物の生息場の創出	海域における環境改善と、地域住民が水辺に親しむ港湾空間の創出	洗塩対策と、サンゴ保全のための施設整備の両立
レベル2 (個別計画)	岩礁性藻場の造成、砂泥環境の構築	生物生息環境の創出、快適な憩える空間の創出	共生護岸造成技術の確立	干潟の整備、藻場の整備	サンゴ移植基盤・中間育成施設の整備
(対象とする生態系)	岩礁性藻場（ガラモ場）、砂泥性藻場（砂泥環境・アマモ）	共生床（-1m、-2m、-3mの階層）共生材（自然石、砂、力アモ）	緑地、干潟、魚礁	藻場（ガラモ場）、干潟	サンゴ礁
レベル3 (管理)	水質・底質（地形を含む）・生物・生態系についてのモニタリングによる管理				
(実施主体)	地元大学・高専等との連携	市民参加型調査を計画	市民参加型調査を計画	モニタリンググループ（市・大学・NPO）との連携を検討	サンゴ関連の協議会と連携を計画

り、湾口部ではハタハタの産卵も見られるという状況であったことに鑑み、「ハタハタが産卵する藻場の形成及び砂泥環境の創出」が実験のねらい（レベル1の目標）として設定された。具体的には、水中光量の関係から-3mを最深とする岩礁性藻場（ガラモ場）の造成と、静穏性の高い位置における砂泥性藻場造成を意識した砂泥環境の構築をレベル2の個別目標とし、断面が設計された（図-8）。護岸前の地形及び護岸の現状を反映し、約50m程度の区画毎に、岩礁性藻場用の石やブロック、砂泥性藻場用のプレキャストブロック製深さ1mの砂の入れ物が配置された。

(2) 新潟港

新潟西港地区・信濃川河口においては、汽水域としての多様な生物生息が可能である環境を有しているにもかかわらず、生物生息基盤の不足（直立護岸化）、航行する船舶からの航走波の影響といった問題があった。そこで市民が憩える場の創出」をレベル1の目標とし、消波機能を持ち水生生物の生息・生育が可能となる環境の創出と、市民への快適な憩える空間の創出をレベル2の個別目標として共生床型の生物共生型護岸が整備された（図-9, 10）。

航走波は、最大波高70 cm、周期3.3 s 程度であり、塩分躍層は水面下1 m 以下、潮位変化は40-70 cmである。設置を検討した護岸法線の隅角部では、流れが滞留し、シルト・粘土が堆積する環境にあることが事前調査により確認された。冬季（2009年3月）の付着生物調査においては、フジツボ・イガイ類の動物が-3m以深に優先し、波あたりの強い-2mまでの表層には付着生物が見られなかった。既存の調査結果等により、カレイ類・ボラ・ハゼ類の稚魚の生息が期待できることなどを勘案し、-1 m ~ -3 m の範囲において多様な生息基盤を提供する共生床構造を立体的に配置するよう設計された（図-11）。



図-9 新潟港（西港地区）信濃川生物共生型護岸設置場所（背景：Google Earth より）

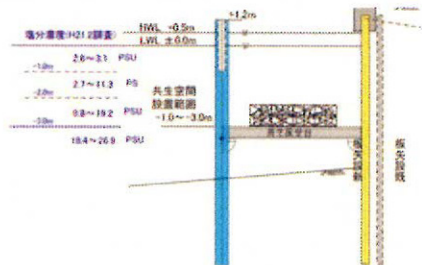


図-10 新潟港（西港地区）信濃川生物共生型護岸の共生床の構造イメージ図

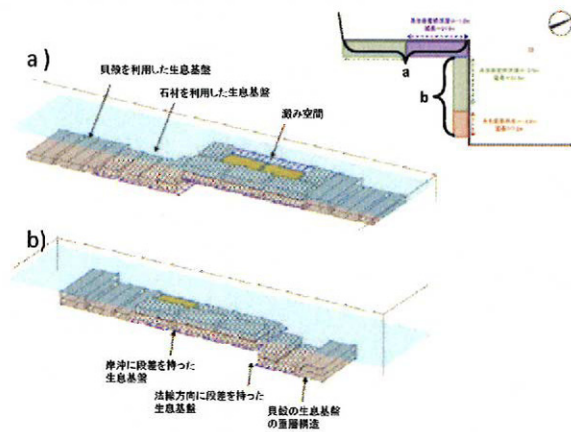


図-11 新潟港（西港地区）信濃川生物共生型護岸の共生床の配置イメージ図

(3) 堺泉北港

堺泉北港北泊地では夏季に底層で貧酸素化し、底生生物が出現しない状況が平成17年、21年の調査結果で得られている。底質はおよそ90%以上がシルト・粘土分であり、泊地中央より奥側では全硫化物が5mg/g、CODが60mg/g、強熱減量が13%を超える値となる。本実験においては、「人々の心地よい海へのアプローチと多様な生物の生息場の創造」をレベル1の目標とした。同海域における礫棚の設置、ミニ干潟の造成などの先行的な実験結果等により、生物の生息場の造成が付着生物の多様性を増加させることや魚礁や緩傾斜護岸部においてクロダイ、メバル、ハゼ類のい集が見られた。そこで、レベル2の個別目標としては、干潟タイプ、捨石緩傾斜タイプ、漁礁ブロックタイプの共生護岸造成技術の確立を目



図-12 堺泉北港（北泊地内南側既設護岸）生物共生型護岸（背景：Google Earth より）

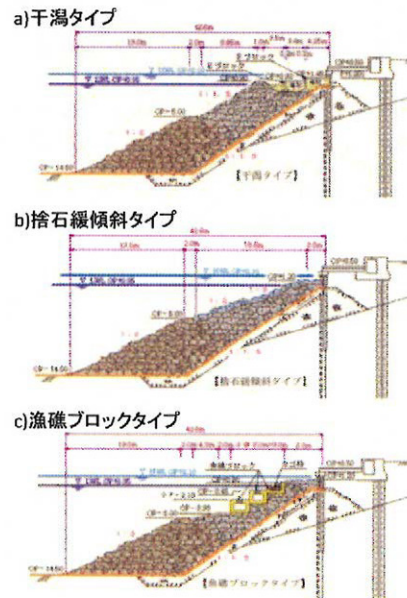


図-13 堺泉北港（北泊地内南側既設護岸）生物共生型護岸の代表断面 a) 干潟タイプ、b) 捨石緩傾斜タイプ、c) 漁礁ブロックタイプ

指した（図-12、13）。

(4) 北九州港

北九州港洞海湾では、湾口から湾奥全域に航路が縦断し、湾奥へ行くほど航路間隔が狭くなり、日30隻の船舶が航行する。この洞海湾において「海域における環境改善と、地域住民が水辺に親しむ港湾空間の創出」をレベル1の目標として、北九州市により先行して実施されていた干潟・藻場を生かした市民参加型の環境修復手法の検討と協働する形で生物共生型護岸を整備した。洞海湾は1970年代までは「死の海」と称されるほどの水質汚濁に見舞われ、その後、排水処理、汚泥浚渫等の努力の結果、1990年代には生態系の再生が確認されるまでになった¹⁴⁾。今後は「富栄養化」を抑制し、生物の「ハビタット」を創出するような生態学的環境修復法¹⁵⁾の適用が必要とされており、レベル2の個別目標としては、二島地区における干潟の整備と戸畑地区における藻場の整備を掲げることとなった（図-14、15）。



図-14 北九州港（洞海地区）生物共生型護岸
（背景：Google Earth より）

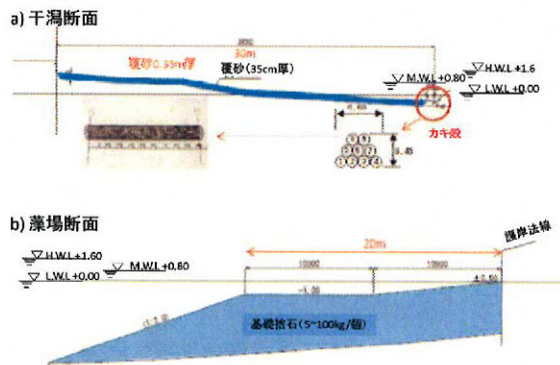


図-15 北九州港（洞海地区）生物共生型護岸
a) 二島地区干潟実験, b) 戸畑地区藻場実験

干潟部における覆砂は、厚さ(35cm)については、先行実験の事例を踏襲することとするものの、水深については、より深い領域(LWL)までを対象とすることとした。また、地形の変化状況(法線方向にのみ流出)を勘案し、干潟部の横側を捨石潜堤で砂止めし、沖側はカキ殻の有効利用の実験も兼ねてカキ殻を用いた砂止め潜堤を設置した。藻場実験部においては、先行実験で生育が良好であった水深-1 mの高さの面積を多く設置できる断面構造とし、浮泥対策として航跡波の波向きに直交する基盤配置となるように三角形の平面形状とした。

(5) 石垣港

石垣港新港地区においては、潮流による護岸基部の洗堀が生じている対象海域において、「洗堀対策と、サンゴ保全のための施設整備の両立」をレベル1の目標(包括目標)、根固マウンド形式のサンゴ移植基盤・中間育成施設の整備をレベル2の個別目標として、生物共生型護岸を整備した(図-16)。

設置場所の詳細な地形・底質調査により、施設東側で粒径が大きく礫を含み、西側でシルト分を含む状況であり、サンゴの成長にも影響が表れることが懸念された。また、周囲の人工構造物へのサンゴ着生の状況を参考に、基盤高さを-3m~-4mとすることが検討された(図-17)。

4. 生物共生型護岸の管理・モニタリング



図-16 石垣港（新港地区）生物共生型護岸
（背景：Google Earth より）

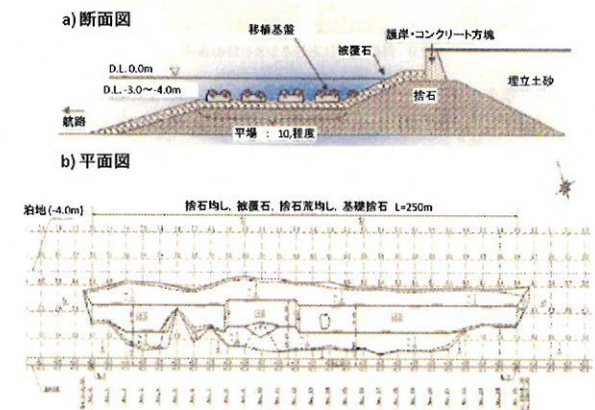


図-17 石垣港（新港地区）生物共生型護岸
a) 断面図, b) 平面図

第2章で紹介した先端的な事例においては、市民協働型の管理・モニタリングが導入されている。その結果、市民調査であっても一定の精度を確保でき、短期的な貧酸素化などが問題となることがあり、連続的な水質観測が重要であること、さらには官民の調査が補完関係となりえる可能性等が示された。それと同時に、調査に関する情報発信と市民意識の醸成などは今後の課題として指摘されている。

第3章で紹介した各事例とも、構想段階であるものの、先端事例での教訓を踏まえ、様々な試みを検討している。

構造物・施設としての管理手法には、順応的管理が明示的に取り入れられ、秋田港、堺泉北港においては、具体的目標達成基準が設定され、対応策の検討・実施へとフィードバックされることとなっている。そうした目標達成基準としては、基盤の安定性、生物の出現状況、利用状況などを設定している。

特筆すべきは、市民への情報提供の戦略作成や、モニタリング結果の検討・発信のロードマップ作成といったソフト対策を計画の中で明示している事例があることである。例えば、新潟港においては、専門的な調査成果と市民をつなぐツールとして、環境マップやニューズレターを位置づけ、各種イベントや定期的な情報発信とリンクさせることにより効果的な市民へのアピール戦略としている。また、北九州港洞海湾においては、図-18に示されるように管

理・モニタリングにおいて、事業者、市民と、その間にモニタリンググループを想定することで、市民のモニタリングへの参加を促すとともに、洞海湾の環境に気づき、考え、行動することを啓発する仕組みを考案している。

こうした管理を支えるモニタリングについては、空間スケール毎（構造物（断面）・港（平面配置）・湾（流域））、モニタリングフェーズ毎（初期（1年目）・中期（3年まで）・長期（その後））に、水質・底質（地形を含む）・生物・生態系についての調査項目を配する重層的な計画となるよう工夫している（表-2）。

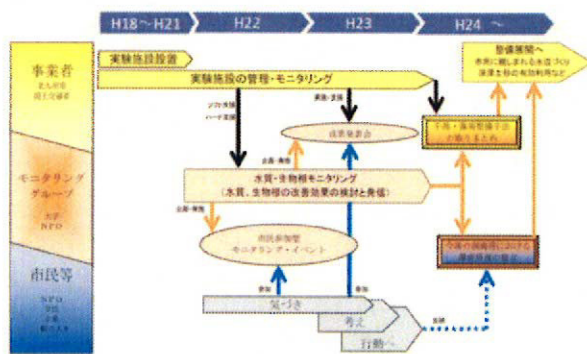


図-18 洞海湾での管理・モニタリングのロードマップ案

表-2 重層的モニタリング計画の例

	構造物スケール	港スケール	湾スケール
着眼点	構造物の局所生態系の形成・生物による場の利用	港域周辺から見た局所滞留、汽水域（淡水・海水混合）環境の形成、生態系ネットワーク	湾全体から見た淡水流入・海水交換といった大きなスケールの現象
調査項目	水質（水温・塩分・DO・濁り・水中硬度）の時間変化・鉛直分布 底質（粒径・粒径・有機物・栄養塩）の局所分布 プランクトン・ベントスの大型生物の生息状況	水質（水温・塩分・DO）の鉛直分布 底質（粒径・有機物）の局所分布 プランクトン・ベントスの生息状況	水質（水温・塩分・DO）の季節変動 底質（粒径）の空間分布
調査配置	①～③対象構造物の異なる水深帯 ④～⑥近隣で同じ水深帯を各点（例として、④M1～M3で1点、M4～M6で1点、M7（水深で1点））	①対象構造物 ②同じ水深の構造物 ③港の奥または淡水環境に近い場所 ④湾口部	①対象港域 ②近隣の河口部等の自然海岸 ③湾奥部 ④湾口部
調査頻度	水質は連続～毎月 底質・生物は毎月～季節	水質は毎月～季節 底質・生物は季節～年毎	水質は季節～年平均 底質は毎年～数年毎

5. おわりに

生物生息空間の確保や自然とのふれあいの場の創出をレベル1の目標（包括目標）とする生物共生型護岸における実験的な取り組みが進行中である。レベル2の個別目標となる具体的な施設の計画・設計段階においては、対象となる生息生物の生活史やその分布、環境条件との対応を把握できる事前調査データが具体的な条件を決定していく。しかし、多くの場合、情報が不足しており、特に港湾区域内およびその周辺での生物情報の継続的な確認、把握の努力が

さらに必要である。

レベル3の管理・モニタリングにおいては、個別目標の成否を判定できる定量的な目標達成基準を設定する順応的管理が有効であるとともに、ソフト的な取り組み戦略の立案が有効であることが示唆されている。今後の進展を注視し、ノウハウとして蓄積していく必要がある。モニタリングについては、そうした取り組み戦略をサポートするための周知な準備が必要であり、今回の一連の実験的な取り組みを通して、具体的な経験知が蓄積されることを期待している。

参考文献

- 1) 港湾分野環境アセスメント技術検討ワーキンググループ：港湾分野の環境影響評価ガイドブック 1999, (財) 港湾空間高度化センター, 316 p., 1999.
- 2) (財) 港湾空間高度化環境研究センター：管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル（改訂版）, (財) 港湾空間高度化環境研究センター, 134 p., 2008.
- 3) 細川恭史：底質浄化事業実施設計調査を振り返って, Coastal Development Institute of Technology, No.7, pp. 16-17, 2002.
- 4) シーブルー・テクノロジー研究委員会：シーブルー計画, シーブルー・テクノロジー研究委員会, 239 p., 1989.
- 5) 運輸省港湾局：環境と共生する港湾<エコポート>, 大蔵省印刷局, 87 p., 1994.
- 6) 国土交通省港湾局：港湾行政のグリーン化, 国立印刷局, 125 p., 2005.
- 7) 古川恵太：土木工学的アプローチ東京湾を例にして一, 山本民治・古谷研編集：閉鎖性海域の環境再生, 恒星社校正閣, pp. 28-43, 2007.
- 8) 榎瀬信夫, 加藤智康, 枝広茂樹, 小林英樹, 古川恵太：都市汽水域の生き物の棲み処づくりにおける順応的管理手法の適用, 海洋開発論文集, Vol.23, pp. 495-500, 2007.
- 9) 早川修, 古川恵太, 川村信一, 井上尚子, 瀬藤一代, 古川三規子：市民協働による生き物の棲み処づくりの実践とその効果, 海洋開発論文集, Vol.24, pp. 771-776, 2008.
- 10) 諸星一信, 鈴木信昭, 今村均, 古川恵太, 亀山豊, 木村尚：自然再生・利用・防災機能の向上のための都市型干潟・磯場の整備計画, 海洋開発論文集, Vol.24, pp. 759-764, 2008.
- 11) 森田健二, 渡部昌治, 古川恵太, 今村均, 亀山豊, 諸星一信：多様な目的を有する環境共生型護岸の整備効果と官民協働による維持管理方策に関する研究, 海洋開発論文集, Vol.25, pp. 987-992, 2009.
- 12) 堀江岳人, 古川恵太, 岡田知也：海辺の自然再生の推進に向けた環境メカニズムの概念モデル化の提案, 海洋開発論文集, Vol.26, 投稿中, 2010.
- 13) 海の自然再生ワーキンググループ：順応的管理による海辺の自然再生, 国土交通省港湾局, 294 p., 2007.
- 14) 山田真知子, 田中和彦, 古川ひろみ：洞海湾の水環境の現状と生態学的環境修復, 全国環境研会誌, Vol. 29, No.2, pp. 95-101, 2004.
- 15) 岡田光正：生態学と生体工学, 岡田光正・大沢雅彦・鈴木基之編著, 環境保全・創出のための生体工学, 丸善, pp.3-18, 1999.