形状の異なる3タイプの生物共生型護岸の 生物相改善効果のモニタリングと評価

井口 薫¹・相馬 昇¹・松崎 忠彦¹・岡田 知也²・細川 恭史³・
藤原 建紀⁴

¹国土交通省 近畿地方整備局 神戸港湾空港技術調査事務所
(〒651-0082 神戸市中央区小野浜町7-30)

E-mail: iguchi-k86s3@mlit.go.jp

²正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋・防災研究部 海洋環境研究室
(〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

³正会員 日本大学非常勤講師 大学院生物資源科学研究科 (〒252-0880 藤沢市亀井野1866)

⁴正会員 京都大学名誉教授 (〒520-0861 大津市石山寺3-24-1,405)

大阪湾奥部に位置する堺泉北港堺2区に、海域の環境改善の一方策として3タイプの生物共生型の護岸を実験的に設置した。水質調査および生物調査を設置後から6年間にわたって実施した。実験海域の水質は8月から9月にかけて底層から水深2 mまで貧酸素化する程、富栄養化が進行していた。実験水域は生物生息には厳しい水環境であるにもかかわらず、生物共生型護岸の設置1年目から生物が加入した。準絶滅危惧種のホソアヤギヌ(海藻)やヤマトシジミ(貝類)、ウナギやアユ等の幼稚魚が加入した。また、6年経過後もその生物生息場としての機能を維持していた。

Key Words: environmentally friendly seawall, artificial tidal flat, fish reef block, gentle slope seawall, Osaka bay

1. はじめに

護岸や防波堤等の港湾構造物は直立壁で整備されているところが多く、砂浜や岩礁と較べると潮間帯に生息する多くの生物が生息しにくい構造となっている。その構造を改善し港湾域における生物生息環境を向上させるために、直立壁前面に泥場、磯場等の微地形要素を取り込んで生物生息機能を高めることが検討されてきた^{1), 2), 3)}。

現在、全国の護岸や防波堤等の港湾構造物において、老朽化対策や耐震性向上を目的とした改修が進められており、この機に護岸や防波堤に生物生息機能を付加することが検討されている。国土交通省では、2009年から全国5港湾(秋田港、新潟港、堺泉北港、北九州港、石垣港)において様々なタイプの生物共生型港湾構造物の現地実験が行われ、港湾構造物と生物生息に関する知見が現在も継続的に調べられている。2014年には、これら5事例および他の先行事例の計画・設計・維持管理に関する基本的な考え方や技術的事項および調査結果の概要について、「生物共生型港湾構造物の整備・維持管理に関するガイドライン」として整理された^{4), 5)}。これら

の事例を総合して、生物共生型港湾構造物の性能比較が望まれるところであるが、まずは個別の事例の調査結果の整理を行うことも重要である。個別の生物共生型護岸の詳細な調査結果は、秋田港についてのみ海洋開発シンポジウムで報告⁶⁾されているものの、その他の事例については報告が待たれているところである。

そこで本報では、堺泉北港の生物共生型護岸の調査結果を報告する。堺泉北港の生物共生型護岸は、河口域かつ富栄養化海域に設置されている。このような環境は全国の港湾に比較的多く存在しており、堺泉北港での調査結果は他の水域における生物共生型港湾構造物の導入の参考になると考えられる。

2. 実験海域の特徴

実験海域である堺泉北港堺2区は、大和川(年平均流量: 22.41 m³/s, 2014年, 柏原観測所)河口部の南に位置した埋立地である(写真-1)。護岸の前面水深は約15 mである。埋立地に囲まれた水域は、かつて大型船の泊地であったため、最大水深は約18 mと深く窪地状になって

いる。この水域では、成層は一年を通じて形成され、貧酸素水塊が春季から秋季に発生する。

実験海域の水質調査位置を図-1に示す。St. 1～St. 13での調査は2015年5月から11月の間に8回実施された。また、モニタリングポスト(M7)では、2010年4月から塩分、光量等が1時間ごとに測定されている。

写真-1 堺泉北港堺2区

図-1 調査地点 (★: 生物共生型護岸)

(1) 塩分の季節変化および塩分成層

モニタリングポスト(M7)における塩分の季節変化を図-2に示す。塩分は、水深2m以浅で変動が大きかった。この変動は、大和川からの河川水の影響であると考えられる。2015年11月末頃から12月には、大きな塩分低下が3回起きた。これは、強い西風によって、大和川から供給された河川水が実験海域周辺に滞留したためと考えられる。

生物共生型護岸の前面に位置するSt. 11の塩分の鉛直分布を図-3に示す。塩分は水深4m以浅で著しく低くなり、表層となっていた。表層下から水深12mまでの海水は西方沖合の海水と共通する水温・塩分を持っており、エスチュアリー循環流で沖合から流入してきた海水と考えられる⁷⁾。水深12m以深は、窪地内の海水である。

(2) 貧酸素水塊

実験海域におけるDO濃度の縦断面分布を2015年5月から11月末までほぼ1ヶ月間隔で測定した。その一部を図-4に示す。水域奥部のSt. 7-13間の窪地内では、2015年5月から10月までDO 3 mg/L以下の貧酸素水塊が常に存在していた。St. 13からSt. 1に向かってDO濃度が上昇しており、この実験水域の貧酸素水塊は、St. 7-13の水域の底層で生成されているものと推測される⁷⁾。

生物共生型護岸の前面に位置するSt. 11付近において、貧酸素水塊は、5月11日の時点で水深5m付近にまで上昇しており、7月3日には一旦水深8mまで下がったもの

の、8月1日、9月4日および10月5日(図省略)には水深2m付近まで上昇していた。10月29日には、貧酸素水塊は水深6m付近にまで下降していた。本実験水域においては、5月から10月にかけては水深5m以深、特に8月から9月にかけては水深2m以深は貧酸素水塊に曝されるため、生物生息にとって厳しい水環境になっている。

図-2 モニタリングポスト(M7)における塩分の季節変化。(2015年、縦軸は反転している)

図-3 St. 11における塩分鉛直分布の季節変化。2015年

図-4 実験海域のDO濃度の縦断面分布。2015年
(等値線間隔: 0.5 mg/L)

3. 生物共生型護岸

形状の普及性等を考慮し、既存護岸の前面に前出しする構造で「魚礁ブロック型」, 「干潟型」, 「捨石緩傾斜型」の3つの護岸タイプを設置した。各タイプの延長は約40～50 mとした⁸⁾。また、貧酸素水塊の発生状況から、魚礁ブロック等の生物生息を期待する空間は、水深5 m程度以浅を目安に設定した。

a) 魚礁ブロック型護岸

魚礁ブロック型護岸の断面形状を図-5に示す。魚礁ブロック(写真-2(a))は、幅3.3m×奥行き3.0m×高さ1.8mの方形のものを2段(2水深)、海岸線に平行に写真

図-5 魚礁ブロック型護岸断面図

図-6 捨石緩傾斜型護岸断面図

図-7 干潟型護岸断面図

写真-2 (a)魚礁ブロック, (b)階段状の干潟

のように10個並べて設置した。各魚礁ブロックには、前面に2.3×0.8 mの開口部1カ所、上面に1.0×0.2 mのスリット開口部5カ所あり、側壁はなく空いている。

b) 捨石緩傾斜型護岸

捨石緩傾斜護岸は、岩礁に近い環境機能を有しており、海藻類や付着動物の生息を期待した(図-6)。

c) 干潟型護岸

潮間帯付近に干潟部を設置することで、砂泥性のゴカイ類、二枚貝類やカニ類などの生息を期待した(図-7, 写真-2(b))。干潟部には海砂を投入し、水深を変化させた3段の階段状にした。

4. 調査結果

(1) 生物共生型護岸の光条件

植物の生息環境を考察するにあたって、光量は重要な指標の一つである。実験海域に隣接して設置されているモニタリングポスト(M7)においては水深1 mごとの光量が1時間間隔で測定されている。このデータを用いて補償深度を求めた。補償深度は、水中光量が海面における光量の1%に減衰する深度とした⁹⁾。2014年の例を図-8に示す。細線は日別値であり、太線は10日間移動平均である。

補償深度は、1月から6月および11, 12月には6 mから12 mの範囲で大きく変動している。7月から10月は変動が比較的小さくなり、4 mから8 mの範囲にある。8月に最も浅くなり深度4 m程度の日が数日間続いている。水深5 m以浅は、一年を通じてほぼ有光層(補償深度の上)に含まれている。

(2) 干潟型護岸の地形変化および底質

「干潟型護岸タイプ」の干潟部に対して、干潟砂面の測量、粒度分布および酸化還元電位の測定を行った。

干潟部は竣工後から上段、中段、下段とも0.1～0.4 m程度、砂面が沈下していた(図-9)。なお、2012年冬と2013年冬の地盤高にはほとんど差がなく図中重なった線となっている。

粒度組成に関しては、粗粒分の割合が増加する傾向が

図-8 補償深度(2014年)

みられた(図-10(a))。この要因としては、砂面が沈下していたことから細粒分の流出が考えられる。酸化還元電位は100 mV以上であり(図-10(b))、生物生息環境としては良好であった¹⁰⁾。なお、酸化還元電位は2015年11月に低い値になっている。藤井ら⁷⁾は、夏季から秋季に窪地内にあった無酸素水塊が晩秋に中層に上昇してくることを指摘している。干潟部においても、DO濃度の低下した海水に一時的に曝され、酸化還元電位が低下したと考えられる。

(3) 生物生息状況

a) 植物

植物の生息状況は3つの護岸タイプ間で差はほとんどみられず、3タイプの護岸ともに投入している巨礫(10~200 kg)部分の水深5 m程度までに10~15種類の植物が出現した(表-1)。植物が出現した層は、概ね有光層に一致した。主な出現種は、珪藻綱、藍藻綱、アオノリ属、シオグサ属やイトグサ属であった。また、準絶滅危惧種である海藻のホソアヤギスもみられた(写真-3)。

b) 動物

動物の生息状況の変遷を図-11に示す。ここで対照区は、生物共生型護岸の設置地点よりも西に20 m離れた既設護岸であり、天端高さOP±0.0の石積みの傾斜護岸の上部は垂直の鋼矢板となっている。また図-11(b)の湿重量の単位は、干潟タイプでは100 g/m²であり、その他では100 g/0.25 m²である。干潟部は、スミス・マッキンタイヤー型採泥器で表層泥を上・中・下段で各3回採取したものの平均である。魚礁部・緩傾斜部・対照区は、50 cm×50 cmのコドラートを用いて表面の付着生物を3水深(OP+0.6 m, -0.45 m, -2.1 m)×3カ所で掻き取ったものの平均である。なお種類数は、いずれの護岸タイプでも各9回採取したサンプル全体の種類数である。

動物の種類数は、いずれのタイプの護岸も完成直後から増加傾向を示し、約2年で対照区に近い値となった。

湿重量は対照区にも大きな変動があり、春に大きく、冬に小さくなる季節変動を示した。魚礁および緩傾斜タイプの湿重量は、完成直後から対照区と類似の変動を示した。一方、干潟タイプの湿重量は、これらとは異なる変動を示し、2013年春には大きなピークを示した。

湿重量の分類群組成を図-11(c)~(f)に示す。ここで、軟体動物は主に貝類、環形動物は主にゴカイ類、節足動物は主にエビ・カニ・フジツボ類である。魚礁および緩傾斜タイプの分類群組成は、完成後1年間は対照区よりも節足動物の割合が大きかったものの、2年後以降はいずれも共通のパターンで変動した。一方、干潟タイプはこれらとは別の組成変動を示し、完成後約2年間は環形動物の割合が大きく、これが徐々に軟体動物に移行していった。

魚礁および緩傾斜タイプの主な出現種は、付着性動物の代表的な種のコウロエンカワヒバリガイ(写真-4(a))、

ヨーロッパフジツボやアメリカフジツボ等であった。一方、干潟タイプではゴカイ類、貝類、エビ・カニ類等の出現がみられ、準絶滅危惧種であるヤマトシジミもみられた(写真-4(b))。

c) 魚介類

春季に干潟部において、小型地曳き網を潜水土により曳網した。9~20種類が出現し、ボラ、クロダイ、マハゼ等が多く採取された(表-2)。この他、個体数は少ないが、アユ、ウナギ(準絶滅危惧種)やイシガレイの幼稚魚も確認され、干潟部を一時的な生育の場として利用している様子がみられた(写真-4(c)~(e))。

図-9 干潟部の地盤高測量結果

(a) 下段における粒度組成 (%)

(b) 酸化還元電位 (mv)

図-10 干潟部の(a)粒度組成, (b)酸化還元電位

表-1 植物の出現種類数

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
種類数	11	15	14	10	12	13

写真-3 植物の出現種の例(緩傾斜部)

図-11 動物の(a)種類数, (b)湿重量 (単位: 干潟部では100g/m², その他では100g/0.25m²), (c)~(f)湿重量の分類群組成

表-2 春季の干潟型の魚類採取調査による出現種類数

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
種類数	17	15	12	9	15	20

写真4 底生動物および魚類の出現種の例。(a)コウロエンカワヒバリガイ, (b)ヤマトシジミ, (c)アユ (稚魚), (d)イシガレイ (稚魚), (e)クロダイ (稚魚)

一方、魚礁および緩傾斜タイプでの小型地曳き網による魚介類採取調査結果では、魚介類の出現は1種類(2013年)、4種類(2014年)、3種類(2015年)とわずかであった。

(4) 各護岸タイプごとの生物生息状況の評価

a) 干潟型護岸

砂質干潟特有の出現生物として、厳しい水環境にもかかわらず、期待どおり、ゴカイ類、貝類、エビ・カニ類等の出現がみられた。また、魚類ではボラ、マハゼ、貝類ではアサリ、ヤマトシジミなどの汽水種もみられた。

干潟型護岸の生物生息機能としては、多くの種類・個体数の魚類に生息の場を提供する機能、とりわけ、幼稚

魚期の魚類に一時的な生息の場を与える機能がみられた。生物共生型護岸で観察会等を行っているNPOや広く市民等に対して、塩分変動が大きく水生生物にとって厳しい水環境下であっても、生物生息の場を技術的に作ることができることを示すことができた。

b) 捨石緩傾斜型護岸

内湾の岩礁性の植物や動物の生息がみられた。捨石緩傾斜型の生物生息状況は、同じ大阪湾内で南へ約25km離れた関西国際空港島の捨石緩傾斜護岸に較べて、生物種の多様性は少なかった。

関西国際空港島は外海に近い海域に位置しており、本実験海域よりも高塩分であり、塩分変動も小さい海域である。一般に、河口域は塩分が低く塩分変動が大きいいため、これに適用できる生物種は少なく、生物種の多様性は低いことが知られている¹⁾。関西国際空港島に比べ本実験の生物種の多様性が少ないのは、河口域に位置する本実験海域の地理的特性によると考えられる。

c) 魚礁ブロック型護岸・捨石緩傾斜型護岸

両型護岸において、内湾岩礁性の植物や動物の生息がみられた。魚礁の魚類調査は、小型地曳き網を潜水士が曳網する魚介類採取調査および潜水士による目視観察によって行われた。この調査では魚礁への魚類の蟄集は明瞭には認められなかった。調査時には魚類の忌避行動(潜水士が近寄ると逃げてしまうなど)が観察されていることから、別の調査方法を工夫する必要がある。

5. 漂着ゴミ対策

生物共生型護岸は大和川河口に位置するため、出水時

には大量の浮遊ゴミが漂着することが懸念された。このため、ゴミ流入防止フェンスを設置した。また、日降水量が50 mmを超えた場合または連続する降水日の累積降水量が80 mmを超えた場合を目安に漂着ゴミを点検管理している。

ゴミ流入防止フェンスの効果によって、生物共生型護岸に漂着するゴミの量は、年に数回の人力での回収作業で処理できる程度で済んでいる(写真-5)。このゴミ流入防止フェンスの設置および降雨時の点検は、生物共生型護岸の機能を支える具体的行動メニューとして、欠かせないものとなっている。

6. おわりに

本研究では、3タイプの生物共生型護岸の有効性を、実証実験のモニタリング結果から述べた。生物の加入は1年目から認められ、準絶滅危惧種の海藻類のホソアヤギヌや貝類のヤマトシジミ、魚類のウナギも出現した。干潟タイプ護岸では、春季にはアユ等の幼稚魚も確認されている。堺2区は大和川の河口に位置していることから、海と川のネットワークが発揮され、アユ等が遡上することを期待したい。

3タイプの護岸はいずれも自然の岩礁地帯あるいは干潟から離れており、かつ小規模であるが生物生息域としての機能を発揮し、6年経過した現在もその機能を維持

している。また、石積み護岸に干潟を作ることによって干潟型の生物が生息できるようになった。

本研究は、大阪湾のなかでも著しく劣悪な水環境と考えられている堺泉北港堺2区における6年間の生物相のモニタリング結果をとりまとめたものであり、当該海域と同様に劣悪な水環境の海域での環境や生物相の改善検討の一助となれば幸甚である。

参考文献

- 1) 岡村知忠, 田中ゆう子, 岩本裕之, 鈴木秀男, 中瀬浩太: 湾奥における生物と共生する護岸の開発, 海洋開発論文集, Vol. 19, 291-296, 2003.
- 2) 佐藤朱美, 足立久美子, 大澤義之, 岡元節雄: 藻場造成機能を付加した沿岸構造物の藻場創出効果について, 海洋開発論文集, Vol. 20, 1007-1011, 2004.
- 3) 西栄二郎, 田中克彦, 坂本昭夫, 下司弘之: 横浜港湾空港技術調査事務所に造成された人工干潟とその周辺における底生生物相, 神奈川自然誌資料, 29, 171-176, 2008.
- 4) 国土交通省港湾局: 生物共生型港湾構造物の整備・維持管理に関するガイドライン, 2014.
- 5) 井芹絵里奈, 岡田知也, 森 信哉, 久保まり, 清水真行: 生物共生型港湾構造物の整備促進に向けたガイドライン策定について, 第27回沿岸域学会研究討論会概要集, 2014.
- 6) 上村了美, 吉田 潤, 岡田知也, 古川恵太: 秋田港生物共生型護岸における生物生息状況, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 68, No. 2, 1250-1255, 2012.
- 7) 藤井智康, 藤原建紀, 鞘師弘一, 湯浅楠勝, 野田 徹, 小野健, 石川泰助: 沿岸海域における窪地の貧酸素水塊の消滅過程, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 71, No. 2, L1285_1290, 2015.
- 8) 高木裕子: 生物共生型護岸による港湾の環境改善について, 2010年度近畿地方整備局研究発表会論文集(調査・計画・設計部門I).
- 9) 徳田 廣, 大野正夫, 小河久朗: 海藻資源養殖学, pp. 356, 緑書房, 1987.
- 10) 風呂田利夫: 干潟生態系の特徴と底生動物調査法, 2001年度第1回日本環境アセスメント協会技術セミナー講演録.
- 11) ポール・R・ピネ(東京大学海洋研究所監訳): 海洋学, pp. 599, 東海大学出版会, 2010.

(2016.2.4 受付)

写真-5 漂着ゴミの状況

EFFECT OF HABITAT IMPROVEMENT BY THREE TYPES OF PORT STRUCTURES SYMBIOTIC WITH NATURAL ENVIRONMENT

Kaoru IGUCHI, Noboru SOUMA, Tadahiko MATSUZAKI, Tomonari OKADA,
Yasushi HOSOKAWA and Tateki FUJIWARA

Three types of port structures that promoted symbiotic relationships with organisms were experimentally constructed at Sakai-semboku Port, which is located in the estuary part of Yamato River in 2009. Field measurements of water quality, seaweeds and creatures have been carried out for six years after the construction. Results of water quality measurements showed that hypoxic water reached up to 2 m below the sea surface from August to September. The biological measurement showed recruitment of *Caloglossa ogasawaraensis*, *Corbicula japonica*, *Anguilla*, *Plecoglossus altivelis* and so on, from the first year, though the water quality condition was highly eutrophic. In addition, they persisted for six years.