

環境配慮型岸壁に形成される生物群集構造の評価

横山 隆 司*・小 國 嘉 之**・藤 原 吉 美***・中 原 紘 之****

港湾整備において機能と環境創造を両立させる一手法として、従来生態系への配慮が希薄であった棧橋式岸壁の下部空間を利用した環境配慮型岸壁を考案した。筆者らは、2種類の実証施設を用いた各2年間の現地調査を行い、そこに形成された生態系の特性について整理した。その結果、環境配慮型岸壁はRC製直立壁に対して付着動物出現種の豊富さ・群集構造の安定性・顕著な魚礁機能が認められ、環境創造機能が確認できた。さらに、ムラサキイガイ群集の脱落個体低減可能な施設における夏季の腐敗による底質環境悪化防止効果や、魚類を軸とする食物連鎖の拡大等による物質循環機構への波及効果の可能性も示唆された。

1. はじめに

沿岸域での海と陸を結ぶ海岸エコトーンは多様な生態系を有し、浄化や物質循環にも重要な役割を果たすが、沿岸開発では海岸エコトーンを分断して生態系に負荷を与えることも少なくはなかった。筆者らは、港湾整備において機能と環境創造を両立させる一手法として、従来生態系への配慮が希薄であった棧橋式岸壁の下部空間に、多様な生物の生息を可能とする環境配慮型岸壁を考案した。これは岸壁と護岸構造の一部を簡易に改良することで、多様な生態系を回復または創出させることを目的としたものである。

そこで、本研究では、環境配慮型岸壁に新たに発生する沿岸生態系について実証施設を用いて現地調査し、形成された生態系の多様度や群集構造を定量的に評価してその特性を明らかにするものである。

2. 調査方法

実証施設は阪南港（大阪府岸和田市）沖合約1.3 kmに位置するケーソン式直立防波堤沿いに設置し、実証施設（以後、試験区と呼ぶ）と近傍のケーソン直立壁面（以後、比較区と呼ぶ）を調査対象とした（図-1）。

実証施設の概要を表-1に示す。一つは棧橋構造を模した天蓋部下の干満帯に勾配の異なる石積み部を有する構造の人工磯場を形成し、飛沫帯から漸深帯に亘る生態系への効果を検証するモデル（以後、Phase-1と呼ぶ）である。もう一つは、Phase-1の結果を基に、石積み部と魚類の蟄集可能な空間を有する新たな構造系とし、岸壁以外の構造物への適用可能性を検証するモデル（以後、Phase-2と呼ぶ）である。Phase-2では、垂直面の表面仕上げ性状を変化させて、群集構造に及ぼす効果を検証した。定量採集調査位置はそれぞれの試験区で上・中・下層の3ヵ所を設定し、同一水深位置での比較区も調査し

た。

3. 調査結果の概要

調査期間中の水質環境は、Phase-1, 2ともに概ね同じであった。いずれの調査でも春から夏に大阪湾奥部の特徴である貧酸素水塊が現われ、水深3 m以深になると急

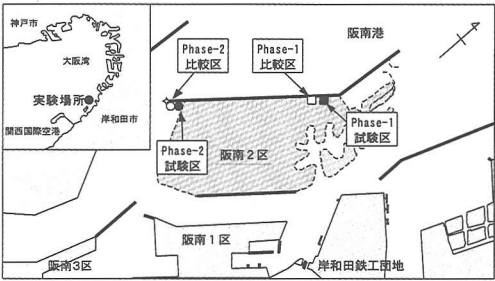


図-1 実験場所

表-1 実証施設の概要

1	構造	天蓋付H型鋼フレーム構造内部に平坦面と2種の勾配(1:2, 1:1.5)を持った石積み部を設置。
	大きさ	幅10m, 奥行き8m, 高さ11.5m
2	設置	1998年11月
	調査	1999年3月~2001年11月
1	構造概要と調査位置	
	構造	表面仕上げ性状の異なるRC製ブロックで、四隅を柱で連結し、相対する側面は壁のない中空構造。床版部はスリット有。
2	大きさ	幅3.3m, 奥行き3m, 高さ7.5m
	設置	2001年2月
2	調査	2001年4月~2003年2月
	構造概要と調査位置	

※) 1はPhase-1, 2はPhase-2を示す。

* 正会員 工修 大阪府港湾局
** 正会員 工修 住友金属工業(株)
*** 正会員 工修 関西電力(株)
**** 理博 京都大学大学院 地球環境学

激に DO が低下していた。以下に調査結果の概要を記す。

(1) Phase-1

a) 海藻類

目視調査により、アオサ類など試験区で 20 種、比較区で 23 種を確認した。定量採集では試験区で 511 g/m²以下であった。

b) 付着動物

目視調査により、試験区で 68 種、比較区で 80 種を確認した。試験区では当初ムラサキガイが全層に多かったが、捕食者であるイボニシ・イソガニ・キヒトデなどが出現して夏季にはほとんどが消失した。その後カンザシゴカイ科が多くみられ、最終的に水面付近にフジツボ・ムラサキガイが、水深 1~3 m に苔虫綱・カンザシゴカイ科が優占する帯状構造を示した。一方、比較区ではムラサキガイが全層に亘って優占していた。

定量採集では、試験区で 234 種、比較区で 125 種を確認した。現存量の変化を図-2 に示す。試験区での出現種数は設置 9 ヶ月後以降、常に比較区よりも多くかつ季節に拘わらずほぼ一定値で推移しており、その豊富さが認められた。また、湿重量は種類数が多くなった夏に最大値を示した後、秋から冬にかけて減少し、2 年目の春から夏にかけて再び増加傾向に転ずるという季節変化がみられた。優占種であるムラサキガイ・エゾカサネカンザシ(固着性懸濁物食者)・ドデカケリア属(潜伏性堆積物食者)の 3 種で総個体数の約 7 割を占めており、当該海域は過・富栄養の状態にあることが確認された。

c) 魚類

試験区で 44 種、比較区で 18 種が確認された。

主な出現種と観察された場所を表-2 に示す。試験区では全層にメバルの成魚や幼魚が観察された。その他に表層でスズメダイの幼魚、中層でウミタナゴ・カワハギ等の未成魚が、下層でクロダイ・ウミタナゴ・スズキ等の成魚が観察され、特に下部空間での蛸集が顕著であった。また、中層でスズメダイ・イソギンポの魚卵を確認した。一方、比較区では魚種も少なく、試験区のように成長段階に応じた層別の棲み分けは明瞭ではなかった。

(2) Phase-2

a) 海藻類

目視調査により、試験区で 16 種、比較区で 12 種を確認した。試験区では当初水面付近の石積み部にアオサ・アオノリが多かったが、最終調査(2003 年 2 月)ではカヤモノリ・フダラク等の種類に遷移し、定量採集では最大で 906 g/m²であった。水深 3 m 以深では両区ともにほとんど観察されなかった。

b) 付着動物

目視調査により、試験区で 27 種、比較区で 32 種を確認した。試験区では上層の石積み部で当初ムラサキガイ

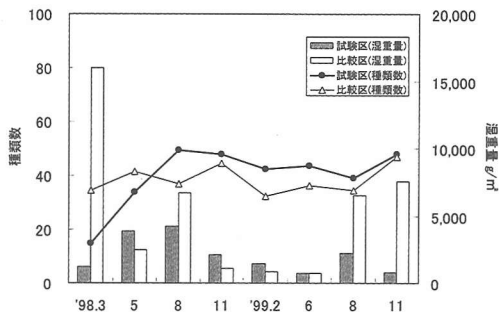


図-2 付着動物の現存量の変化 (Phase-1)

表-2 主な魚類の出現種と生息場所 (Phase-1)

場所	共通種	その他	
表層		スズメダイ, オビツチ, トウゴロウソウ	
中層	メバル	クロダイ, イソギンポ, アヒメ, サバハ, ウミタナゴ, カハギ, アミナギ, キウセン	
		スズメダイ, カサゴ, オビツチ	
下層		ウミタナゴ, アミナギ, クロダイ, カサゴ	
		スズキ, ムツナギ, メジナ	

が優占したが、ヒトデによる被食などで減少し、2 年目以降はマガキ・肉食性のレイシガイ・イボニシ・ムギガイが生息した。中層のブロック表面でも当初ムラサキガイが優占したが、自重増加による落下や夏季の水温上昇による消失以後、シロボヤ・カンザシゴカイ科が優占した。また、中層のブロック床版上では、当初棲管を持つヨコエビ類が付着したが夏から秋にかけて減少し、替わってムラサキガイが優占して冬に最大値を示した。その後はヒトデの被食などで減少し、再びヨコエビ類が優占した。ここでは堆積物捕食者のナマコも秋から冬にかけて出現した。一方、比較区では上・中層でムラサキガイの優占が顕著であり、カンザシゴカイ科は全層に亘って優占していた。

定量採集では、試験区で 163 種、比較区で 132 種を確認した。現存量の変化を図-3 に示す。試験区での出現種数は Phase-1 同様、設置 9 ヶ月後以降、比較区よりも多くかつ季節に拘わらずほぼ一定値で推移しており、その豊富さが認められた。また、湿重量は秋以降比較区よりも多い傾向が認められ、設置 1 年後の冬に最大値を示したが、その後減少し、2 年目の夏から秋にかけて再び回復する傾向を示した。湿重量での優占種は試験区では 1 年目にムラサキガイ、2 年目にシロボヤであった。

c) 魚類

試験区で 43 種、比較区で 20 種が確認された。Phase-1 と同様に試験区での高い蛸集効果が確認され、特に石積み部の空隙や中層に配置した人工海藻部に稚魚の蛸集が顕著であった。RC ブロック間の目地部では、冬季に活動性が低下するメバル・カサゴ等も観察された。また、定

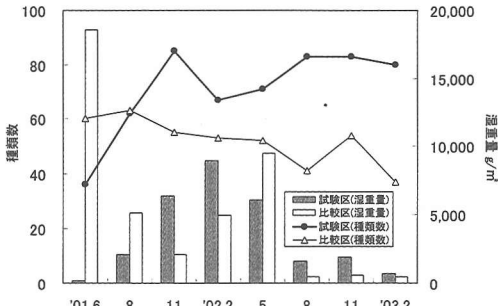


図-3 付着動物の現存量の変化 (Phase-2)

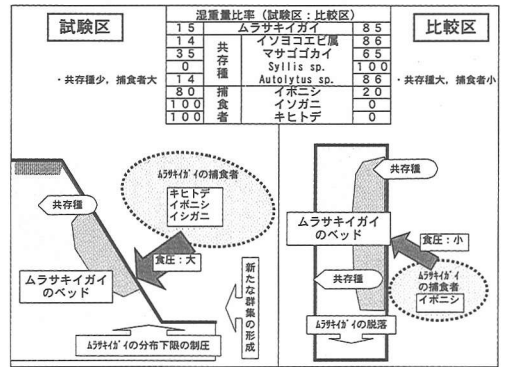


図-4 ムラサキガイに着目した群集構造 (Phase-1)

在性の種類に加えてマアジ・スズキ等の回遊魚が夏から秋にかけて観察された。

Phase-2 では観察魚類の食性調査を目的として試験採取を行い、採取魚の胃内容物を分析した。結果を表-3 に示す。確認された胃内容物はエビ類を除いてすべて試験区に生息している種類であり、施設周辺に蟄集する魚類が試験区の付着生物を捕食している可能性がある。

表-3 魚類等の胃内容物の調査結果 (Phase-2)

種 名	胃内容物
アカオビシマハゼ	多毛類, 甲殻類(消化物), 等脚類, 端脚類, アミ類
メバル	コノハエビ, ヨコエビ類
アイナメ	多毛類, ムラサキガイ, 等脚類, 端脚類, エビ類
アサヒアナハゼ	ムラサキガイ, 等脚類, 端脚類
イシガニ	イガイ科, 魚類(消化物)

4. 群集構造

(1) Phase-1

付着動物の群集構造を捕食者との関わりや多様性の面から捉えて、ムラサキガイを中心にした群集構造を考察し、その現象がもたらす効果を明らかにした。模式図を図-4 に示す。

図には、各試験区におけるムラサキガイの捕食者と共存種の湿重量比率も併せて示したが、試験区では捕食者が、比較区では共存種の存在が卓越する状況であった。

この結果、試験区ではヒトデ等の捕食者がムラサキガイ群集に大きな捕食圧を与え、分布量と分布下限を制圧して単一種による優占を防ぐ主要な要因となっている。一方、比較区では試験区に比べて捕食者がほとんどいないことから、ムラサキガイ群集に及ぼす食圧は小さく、単一種による優占が生じて成長と自重増加等による脱落を繰り返すことになる。

これは試験区の基盤特質が捕食者の加入・定着を促し、ムラサキガイ群集の分布を制限して比較区とは異なる食物連鎖を通じた群集を形成し、磯場にみられる安

定した構造を形成したことによると推察される。

このような群集構造の違いを Shannon-Weaver の多様度指数 (H') を指標として、季節と基質間の相互作用における有意差について、群集がある程度安定した2年目の定量採集結果の付着動物湿重量を基に検定した。結果を図-5 に示す。図より季節および基質と付着動物の多様度指数の間には有意差(1%有意水準)が認められた。特に夏から秋への速い回復傾向は群集の多様性の高さを現し、試験区の方が比較区より多様な種が生息しやすい環境であることを示していた。

また、生物群集の類似性を、基盤の違いや石積み勾配の差異を考慮して木元の類似度指数 ($C\pi$) を用いて検討した結果を表-4 に示す。試験区と比較区では類似性は低く、石積みみ部では勾配に関係なく高い類似性があった。これより傾斜のある石積みと RC 直立壁面では明らかに異なる群集構造が形成されていたと言える。

(2) Phase-2

付着動物の群集構造を、ムラサキガイを中心に魚類まで含めて考察した。模式図を図-6 に示す。Phase-2 では石積みみ部は潮間帯のみに位置し、その表面積は狭い。また、下部空間は RC ブロックの積み重ねにより棚状構造を有しており Phase-1 とは構造が異なる。

試験区の上層石積みみ部では、ムラサキガイは海藻やマガキ等と混生し、イボニシ等による捕食者と夏季の高い水温によって分布量が制限される。下層の棚部分では、床版上面に落下、または着生・成長したムラサキガイ群集はヒトデに被食され、その残りや死骸は堆積物捕食者のナマコによって分解される。また、RC ブロック表面に生息するヨコエビ類は蟄集する魚類に捕食されており、食物連鎖形成が推察される。一方、比較区では Phase-1 と同様にムラサキガイの成長と脱落が繰り返されている。

これは、試験区の上層基盤とブロック垂直面の表面性

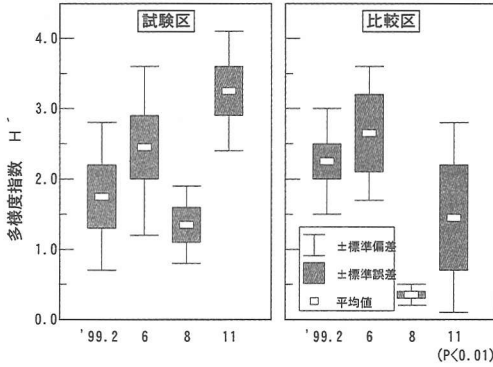


図-5 多様度指数の検定結果 (Phase-1)

表-4 類似度指数 (Phase-1)

中層 $C\pi$	試験区①	試験区②	試験区③	比較区
試験区①		0.82	0.76	0.42
試験区②			0.8	0.31
試験区③				0.4

* 試験区①は勾配が1:1.5, 試験区②, ③は勾配が1:2の測線を示す。

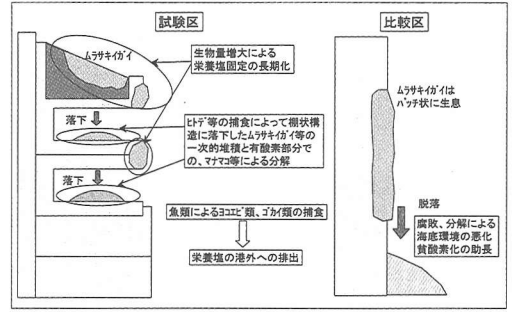


図-6 ムラサキガイに注目した群集構造 (Phase-2)

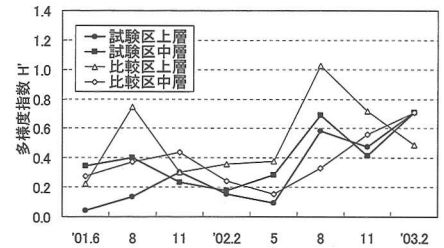


図-7 多様度指数の経年変化 (Phase-2)

状を複雑化することで付着基盤を拡大させた結果、付着動物の着生量が増加したこと、棚状構造物の存在が捕食者の加入や定着を促したためであると推察される。

Phase-1と同様に生物群集の多様性について、Shannon-Weaverの多様度指数 (H') を指標として、その経年変化を検討した。結果を図-7に示す。

試験区での多様度指数は、設置後1年目から2年目にかけて漸増傾向は示しているが、比較区とほぼ同様の経年変化であった。これは、Phase-2ではRCブロック構造としたが、コンクリート表面積に対して石積み部のそれが小さいために、全体として比較区とほぼ同一条件での生物群集構造の多様性を評価することになったことや、湿重量の大きな優占種が存在したためであると思われる。

そこで基盤形状および垂直壁の表面性状の違いに着目した生物群集の類似性について、2年目の夏の定量採集結果を用いて測点間のMorishitaの類似度指数 ($C\lambda$) を求め、デンドログラムによりクラスター解析 (佐見ら1999)を行った。結果を図-8に示す。

図より、付着動物の群集構造の類似性は、上層の石積み部、仕上げ表面が複雑化された中層のコンクリート部、平滑仕上げのコンクリート部に分類され、付着基盤の構成材料と基盤の表面性状に依存して群集構造が変化することが確認された。図-6の結果と併せると、同一海域に付着基盤を設置する場合、その表面性状を複雑化することで良好な群集構造が形成される可能性を示唆している

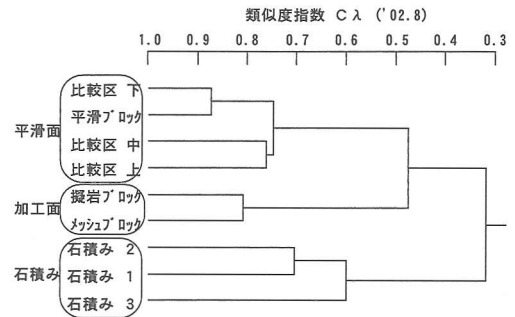


図-8 類似度のデンドログラム (Phase-2)

と考えられる。

(3) 環境配慮型岸壁の生物群集

2種類の実証実験結果から、環境配慮型岸壁の生物群集は、図-9のような模式図に整理できる。施設およびその周辺に形成される生物群集は、上層では磯場に特有の海藻や動物が出現し、付着動物の捕食者であるヒトデがキーストーン種として懸濁物食のムラサキガイ群集の増大を制限している。棚状床版上では堆積物食のナマコが存在し堆積物を分解している。また、付着動物の隙間などに生息する藻食のヨコエビ類・懸濁物食のゴカイ類は魚類に捕食される。このように環境配慮型岸壁ではRC製の垂直壁とは異なる物質循環が行われている。

魚類では、定在性・移動性・遊泳性の各生活行動を有し、種や成長段階に応じたデトリタス食・藻食・動物食

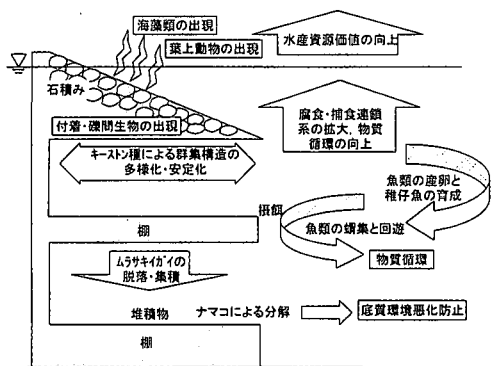


図9 環境配慮型岸壁で期待される効果の模式図

等様々な食性を持つ多種類の成魚や幼魚がみられる。この分布から、稚魚期から数年間をこの場所で過ごし、成長に伴いその行動範囲を拡大して成魚の多くは大阪湾周辺域内を広域的、かつ季節的に移動しながら食物連鎖によって湾内の生態系と繋がっていることが推定され、環境配慮型岸壁は沿岸域エコトーンとしての機能も有していると推定できる。

以上のように、環境配慮型岸壁の構造は、生物の多様性と収容量を増大させ、そこで行われる物質循環を多くの種による食物連鎖によって長期化させることが可能となる。また、構造物の下部空間や複雑な表面形状は多くの行動性を持つ魚類を蟄集することが可能である。

5. まとめ

以下に主要な結論について示す。

a) 試験区では天然の磯場に特有の捕食者のヒトデが出現し、優占種の一つであるムラサキガイの分布拡大を抑制するキーストーン種として働くことで単一種による優占は生じず、比較区と比べて安定した生物群集構造を有する。

b) 群集構造に関する類似度の分散分析より、試験区と比較区では付着動物の多様度指数に明らかな有意差が認められ (Phase-1)、試験区は比較区より多様な種が生息しやすい環境を示していた。また、試験区測点間のクラスター分析より、群集構造は基盤形状やブロックの表面性状に依存する (Phase-2)。

c) 試験区は比較区に比べて明らかな魚類の蟄集効果を有する。試験区では、幼魚群が表層から中層に蟄集して、成魚は施設周辺や下部空間に集まるといった棲み分け状況、付着動物を摂餌する状況および定住性魚類の卵塊が観察されており、棲み場・隠れ場・産卵場としての利用が確認された。

d) 魚類の目視観察と採取魚の胃内容物分析より、試験区の付着生物が摂餌され、施設が餌場として機能していることが確認された。魚類を軸とする食物連鎖の形成が推察できる。

今回考案した環境配慮型岸壁は従来のケーソン岸壁に対して、付着動物出現種の豊富さ・群集構造の安定性・魚礁機能を有していると判断され、環境創造機能の優位性が確認できた。さらにムラサキガイ群集の脱落個体低減により、夏季の腐敗による底質環境悪化防止や、魚類を軸とする食物連鎖の拡大等による物質循環機構への波及効果の可能性も期待される。

参考文献

- 佐見 誠・三橋宏次・鹿田正一・吉村直孝・勝部昌彦・寺島 博 (1999): 藻場造成を考慮した防波堤の効果評価, 海岸工学論文集, 46 巻, pp. 1161-1165.
- 横山隆司・大井初博・小國嘉之・中川憲一・中原紘之 (2000): 環境創造型岸壁 (エコ岸壁) の実証実験その 2, 土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集 (共通セッション), CS-5, pp. 10-11.
- 横山隆司・藤原吉美・小國嘉之・中原紘之 (2002): 環境創造型岸壁 (エコ岸壁) の実証実験その 3, 土木学会第 57 回年次学術講演会講演概要集, pp. 55-56.