

港湾施設への生物生息機能付加試験

THE TEST TO MAKE HARVOR FACILITIES IMPROVE THEIR DWELLING CAPACITY FOR VARIABLE SMALL ANIMALS

加村聡¹・藤澤真也²・原茂恭³・鳥井正也⁴

Satoru KAMURA, Shinya FUJISAWA, Shigeyasu HARA and Masaya TORII

¹博（農） 海洋建設株式会社（〒711-0921 岡山県倉敷市 児島駅前1丁目75番地）

²正会員 海洋建設株式会社（同上）

³株式会社大本組（〒700-8550 岡山県岡山市北区 内山下1-1-13）

⁴岡山県農林水産部水産課（〒700-8570 岡山県岡山市北区 内山下2-4-6）

For the purpose of environmental improvement in harbors where easy to become eutrophication because of those closeness, we installed culture substrata made use of waste shells to effectively increase small animals with biodeposition and bioturbation functions. 32-42 species Small animals such as polychaetes, mollusks and arthropods on and in structures have increased 40,500-389,100 individuals m^{-2} ($10.2-55.9kg WW m^{-2}$) by a year and 7months since installed. Compared with the concrete cylinder as assumed plain caisson, those were observed 1.2-2.4 times in the number of species, 6.5-60.0 times in the number of individuals and 13.0-182.1 times in biomass. Making a trial calculation, those small animals' fixing carbon are $1.02-1.05kg m^{-2}$; as 459-474 times as surroundings' soil, and disorganizing are $8.2-12.7g m^{-2} d^{-1}$; approximately 30,000-46,800 times. Therefore, it is concluded significant to make various animals increase with shell substrata on harbor facilities for excess organic matter elimination.

Key Words: *environmental improvement, harbor facilities, culture substrate, waste shell, small animals, biodeposition, bioturbation*

1. はじめに

一般に港湾区域は閉鎖性が強く、海水交換が停滞しがちで富栄養化が進行しやすい状況下であり、また埋立てや護岸整備による海岸線の単純化などから生物多様性が低下し、結果、物質循環の不全に伴う水質、底質の悪化が問題となることが多い。

本試験海域となる岡山県倉敷市玉島地区は特定重要港湾である水島港の西側に位置し、大規模な臨海工業地域を背後に商港として発展しながらも、大小の河川が流れ込み、干潟、砂浜などの自然海岸を比較的多く残してきた。しかしその一方で、1980年代より人工島、離岸堤が着工されたことで閉鎖性が強まったこともあり、底質の細粒化、透明度の低下など環境の悪化が見られるようになっている。

このような海域環境を修復、改善するためには、陸域からの汚濁負荷流入を着実に削減するとともに、長年にわたり積み重なったヘドロや懸濁物を浄化・減少させることが重要であるが、近年広まりつつある環境共生型港湾の実現のためにも、まず多くの生物が棲みやすい生態系の再生・創造を図り、これらの生物による自然な形での浄化が行われることが望ましい。

そこで本試験は、港湾施設基礎のマウンド部等に以下に示す生物培養基質を供試体として設置し、貝殻による生物生産機能、生物多様性の向上を実証

し、港湾部周辺における環境改善への一助としての手法を示すものである。

2. 研究の内容及び方法

(1) 試験対象

本試験に用いる供試体は、直径 15cm、長さ 30cm の 2 種類のメッシュパイプ内にマガキの貝殻を充填した試験片（以下、それぞれ ϕ 30cm、 ϕ 15cm 貝殻テストピース）及び従来の平滑な施設壁面を想定した直径 15cm、長さ 30cm のコンクリートシリンダー（同、平面形状テストピース）である（写真-1）。



写真-1 使用した供試体（ ϕ 30cm、 ϕ 15cm貝殻テストピース、平面形状テストピース）

貝殻を透水性のケースに詰めた生物培養基質は、その複雑でランダムな空隙により小型動物が非常に多く着生・繁殖することが田中¹⁾や野田ら²⁾により解明されており、川口ら³⁾はこれらが有機物負荷を軽減するのに大きく寄与することを明らかにしてい

る。一般に内部空隙のある基質で小型動物などが増加しやすいことは広く知られているが、吉田ら⁴⁾はマガキの貝殻をランダムに充填した直径 15cm、長さ 30cm の基質が空隙率 82%、表面積約 1m² を有することを報告し、140g/個程度の砕石を詰めた場合（同 48%、約 0.7m²）と小型動物の増加量を比較することで、その有効性を指摘している。

一方、貝殻自身もチョーク構造と呼ばれる 2~5 μm 程度の微細な空隙を内部に有し、濾過材として水質浄化や底質改善に用いられることも多い。また、貝殻は水産系副産物として安価で入手可能な上に、有害物質が溶出することのない安全な素材である。

(2) 試験海域

2007 年 8 月、岡山県倉敷市玉島港湾区域内に位置する防波堤北東端部直近のマウンド部天端に、ダイバーにより φ30cm、φ15cm 貝殻テストピース、平面形状テストピースをそれぞれ 8 個（計 24 個）設置した（図-1、写真-2）。

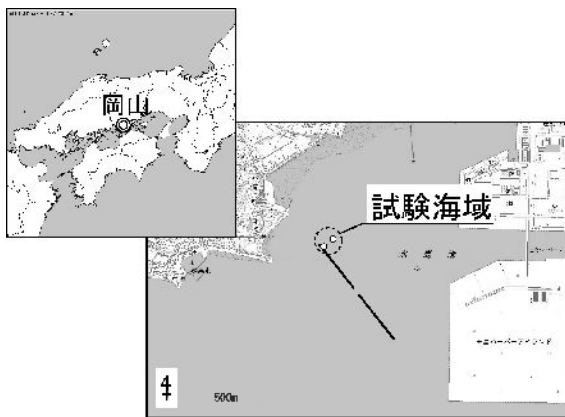


図-1 試験海域（岡山県倉敷市玉島地区）



写真-2 試験実施地点

供試体の概略配置を図-2 に示す。尚、当該防波堤は全長約 1,300m のスリット式ケーソン（昭和 62 年度完成）で、水深 D.L.-2.7m に位置するマウンド部天端は、カキ類やイガイ類の貝殻など、防波堤側面部からの落下物により完全に覆われていた。一方、防波堤より約 5m 離れた水深 D.L.-2.9m の軟泥質の海底が広がっていた（写真-3）。

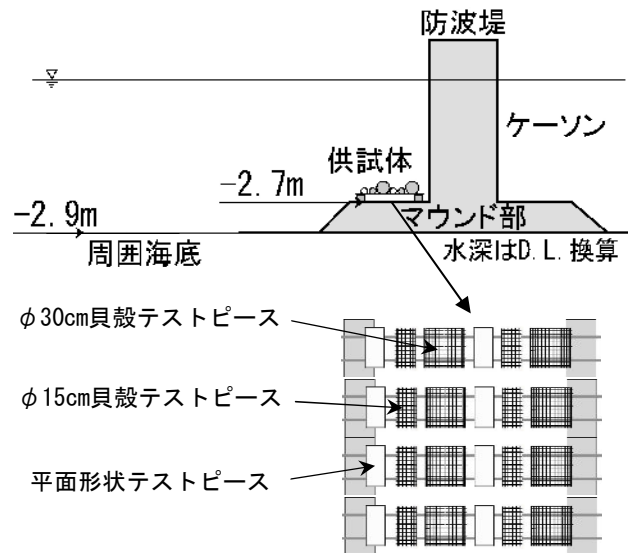


図-2 供試体の概略配置

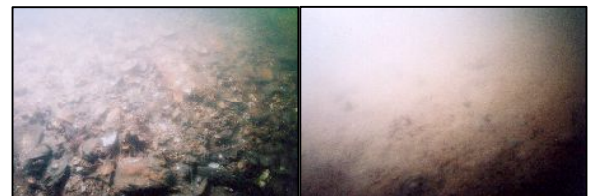


写真-3 供試体を設置したマウンド部(左)及び周囲海底部(右, 2007 年 8 月撮影)

(3) 試験内容及び方法

各試験の実施時期を表-1 に示す。

表-1 試験実施時期

	07年8月	07年12月	08年5月	08年11月	09年3月
供試体設置	○				
付着動物調査		○	○	○	○
底生動物調査			○	○	○

a) 付着動物調査

2007 年 12 月、2008 年 5 月、11 月、2009 年 3 月の計 4 回、ダイバーが貝殻、平面形状の供試体各 1 個（計 3 個）をそれぞれ無作為に選出し、内部の生物が逸散しないように木綿袋に入れて密閉して船上に引き揚げた（写真-4）。供試体表面や内部、間隙部に潜入していた小型動物を、スクレーパーを用いて全て剥がして 10%ホルマリンで固定して試料とし、後日、出来る限り詳細なレベルで同定を行い、それぞれの個体数、湿重量を測定・記録した。尚、これらの比較については、それぞれの上部からの投影面積を求めた上で単位面積当たりで計算した。また、2009 年 3 月の調査においては、類似度算出のために φ30cm 貝殻テストピースについてより詳細な分析を実施した。



写真-4 供試体引き揚げ作業状況(2007年12月)

さらに2009年3月には、新たに取り付けた貝殻テストピースと既設構造物それぞれに固着・潜入していた小型動物を比較するため、防波堤側面(写真-5)に付着していた小型動物の組成の平均的な箇所を目視にて3カ所選出して、20×20cmの範囲内に付着している動物をスクレーパーで全て剥ぎ取った。これらは混合して1個の試料とし(採集面積:0.12m²)、10%ホルマリンで固定した上でφ30cm貝殻テストピースと同様にその種について詳細な分析を実施した。



写真-5 防波堤側面に付着していた小型動物

b) マクロベントス調査

2008年5月, 11月, 2009年3月の計3回, 供試体が設置されているマウンド部天端の堆積物(主に貝殻)に, ステンレス製箱型採泥器(幅0.2m×高さ0.2m×長さ0.3m)を3cmの深さに差し込み, 水平方向に0.5m曳いてこれら堆積物を採取した(採取面積:0.1m²)。また, マウンド部より沖側へ約5m離れた周囲海底でも, 同様に採泥器を用いて底泥を採取した。これらを1mm目合の篩を通し, 残ったマクロベントスを10%ホルマリンで固定して試料として分析に用いた。

3. 結果及び考察

(1) 基質構造による小型動物の差異

設置後計4回の調査を実施した供試体それぞれに固着・潜入していた小型動物の出現種数の推移を図-3に示す。

設置4カ月後となる2007年12月の調査よりそれぞれの供試体で生物の固着・潜入が確認されるようになり, 設置1年7カ月後となる2009年3月の調査においては, φ30cm貝殻テストピースで42種, φ15cm貝殻テストピースで32種, 平面形状テストピースで26種と, それぞれ最大の出現種数となった。また, 両貝殻テストピースは平面形状テストピースと比較して, 調査期間を通じて1.2~2.4倍多い種が出現していた。

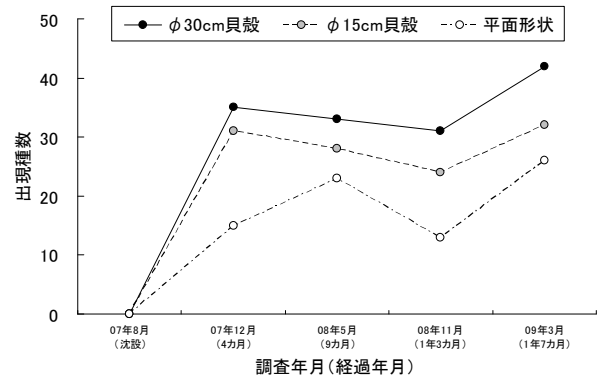


図-3 供試体に固着・潜入していた小型動物の出現種数の推移

両貝殻テストピースで確認された小型動物の個体数は約40,500~389,100個体/m²で, 平面形状テストピース(約2,600~7,600個体/m²)と比較して6.5~60.0倍多かった(図-4)。

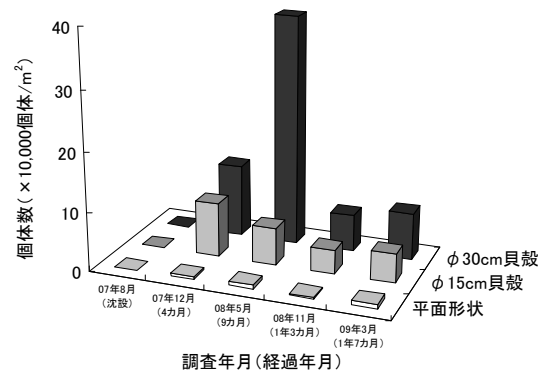


図-4 供試体に固着・潜入していた小型動物の個体数の推移

また, 湿重量に関しては両貝殻テストピースで約10.2~55.9kg/m²となり, 平面形状テストピース(約0.1~1.0kg/m²)と比較して13.0~182.1倍多かった(図-5)。

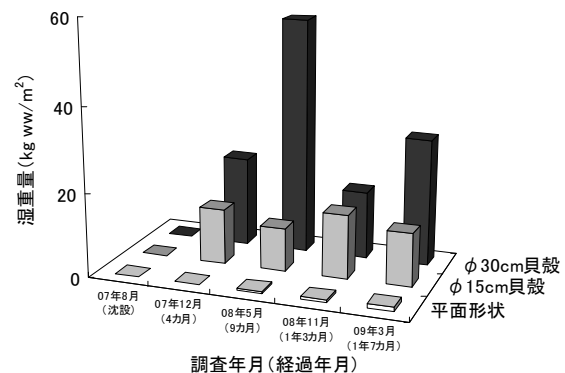


図-5 供試体に固着・潜入していた小型動物の湿重量の推移

その個体数組成に注目すると、調査期間を通して両貝殻テストピースで軟甲類及びニマイガイ綱が優占しており、年月の経過に伴い多毛類が増加した他、11~12月にマキガイ綱が増加する傾向が見られた(図-6)。一方の平面形状テストピースはマキガイ綱などで同様の傾向が表れ、多毛類も増加傾向が見られたものの、軟甲類の出現割合は小さかった。

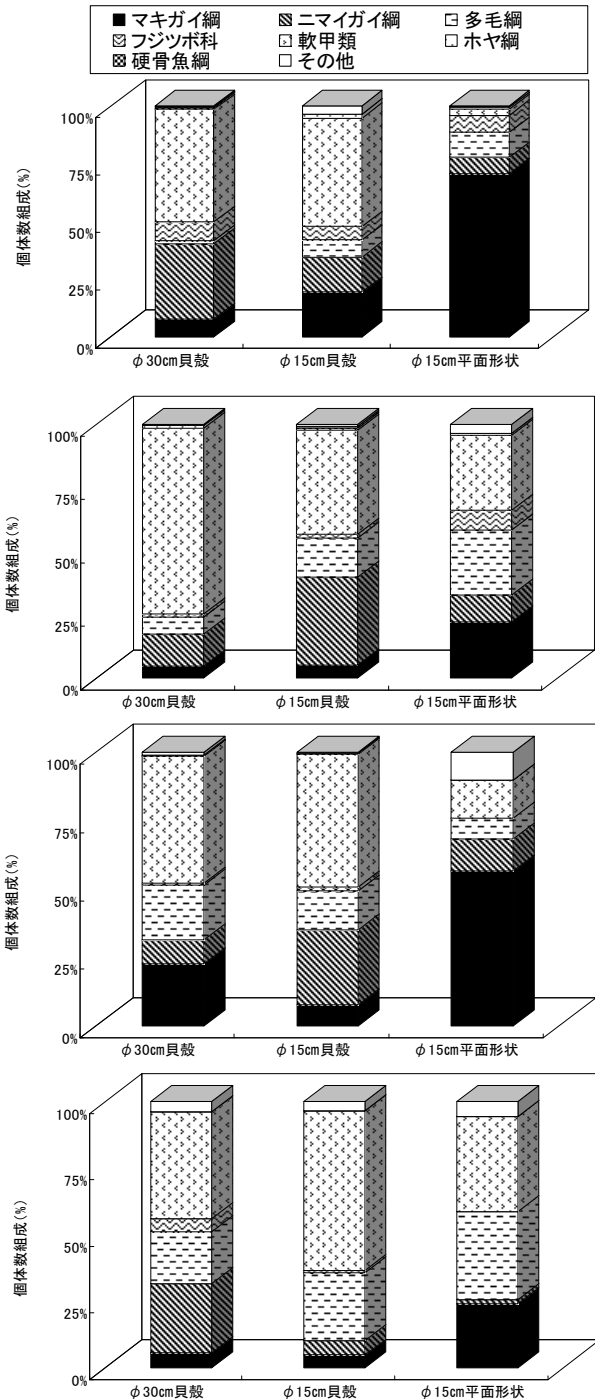


図-6 供試体に固着・潜入していた小型動物の個体数組成(上から2007年12月, 2008年5月, 同11月, 2009年3月)

一方、湿重量組成に関しては、調査期間を通して両貝殻テストピースでニマイガイ綱が優占し、ま

た2007年12月でホヤ綱、フジツボ科、2008年5月の調査でホヤ綱がそれぞれ多く見られるなど、期間を通して固着性の動物がその大半を占めた(図-7)。このような固着性の動物の間隙には、軟甲類、マキガイ綱、多毛類などの増加が確認された。一方の平面形状テストピースもフジツボ科やニマイガイ綱の固着が見られ、多毛類も増加傾向が見られたものの、軟甲類、魚類などはほとんど出現しなかった。

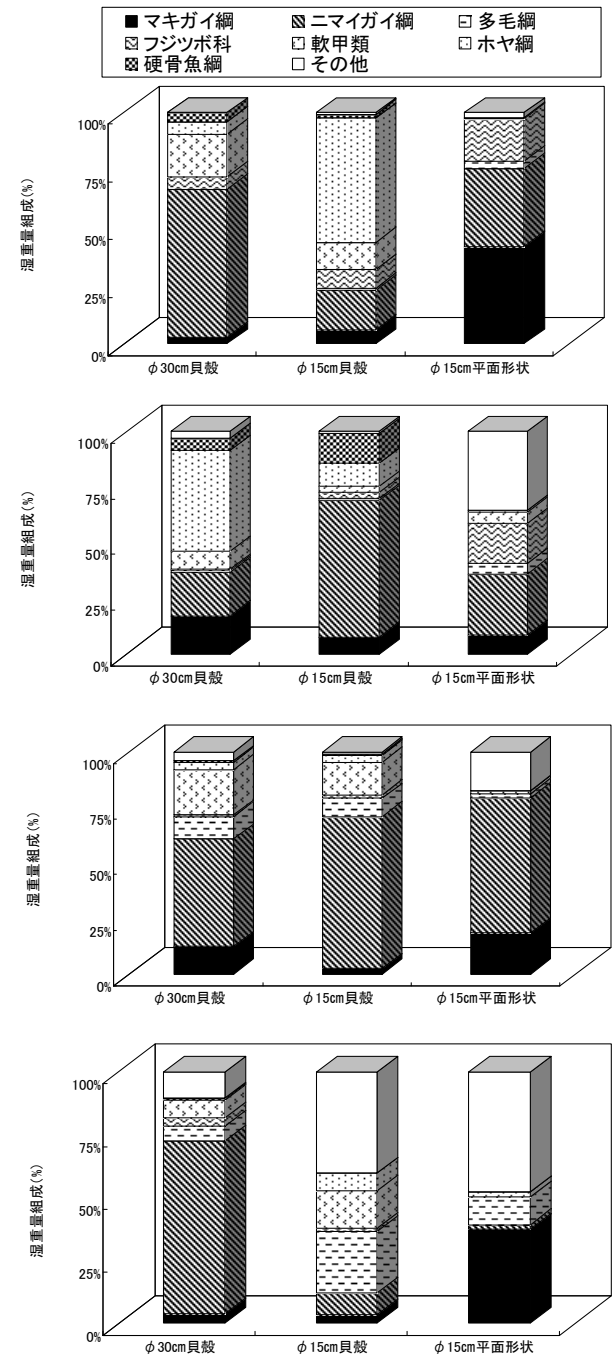


図-7 供試体に固着・潜入していた小型動物の湿重量組成(上から2007年12月, 2008年5月, 同11月, 2009年3月)

2009年3月に引き揚げたφ30cm貝殻テストピースに固着・潜入していた小型動物、マウンド部の堆積物内より採集されたマクロベントス、防波堤側面に付着していた小型動物、周囲海底の底泥より採集されたマクロベントスの出現種組成の類似度をそれぞれ求めたところ、φ30cm貝殻テストピースと貝殻が多くを占めたマウンド部の堆積物内より採集されたマクロベントスとの間で比較的高い類似度 ($C_{\lambda}=0.495$) が見られた他は、概ね $C_{\lambda}=0.015\sim 0.032$ と低く (表-2)、底泥、防波堤側面、貝殻の間にはそれぞれ独自の生物相があるものと判断された。

両貝殻テストピース及び平面形状テストピースそれぞれで多く見られたニマイガイ綱、ホヤ綱、フジツボ科などの小型動物は、周囲の海水中に漂う微小懸濁物を捕捉して摂食する、いわゆる「懸濁物食者」であり、これらを含めた小型動物が発生・増加することは周囲の海水中の有機物を取り込んで固化し、水質を浄化することに繋がる (バイオディポジション)。そこで原口ら⁵⁾の手法を用いて、2009年3月 (設置1年7か月後) においてテストピース上で発生、増加した小型動物の炭素固定量を試算したところ、 $1,019.0\sim 1,052.8\text{ g m}^{-2}$ となり、周囲の泥底 (2.2 g m^{-2}) の約459~474倍、平面形状テストピース (69.7 g m^{-2}) の約15倍であった (表-3)。さらに、呼吸速度を有機物分解量として試算したところ、 $8.2\sim 12.7\text{ g C m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ となり、これは周囲の泥底 ($2.7\times 10^{-4}\text{ g C m}^{-2}\text{ d}^{-1}$) と比較すると約30,000~46,800倍と大きな差を示し、平面形状テ

ストピース ($0.5\text{ g C m}^{-2}\text{ d}^{-1}$) と比較しても約16~25倍を示した。本試験海域は、原口ら⁵⁾が試験を実施した英虞湾とは水深が異なっていたが、貝殻基質を設置することで小型動物が多様化し、またその生物量が大きく増加することは共通しており、周年を通じて有機物分解能が増強されていることが推察された。

これに加えて基質内部に堆積する浮泥は小型動物の運動や堆積物食者の摂食による攪乱、分解作用を受け (バイオターベーション)、これらは貝殻のチョーク構造内部で発生する微生物による好氣的分解を受けることが予想される。

さらに片山ら⁶⁾は、これらを摂餌する魚介類が移動することで、有機物の系外移送が完了することを示唆している。本試験期間中においては、基質間にハゼ類、イソギンポ類、カサゴなどが観察され、近接するケーソン周囲にもメバル、アイナメ、クロダイなどが確認されたが、これらはいずれも小型甲殻類や多毛類など、供試体で増殖していたような小型動物を主に摂餌する魚種である⁷⁾など。また、周囲に多く見られたマナマコも (写真-6)、底泥を直接摂食することで中に含まれる有機物を分解することが知られているが⁸⁾など、貝殻基質がマナマコ増殖施設として適した構造物であることが昨年度の同シンポジウムにおいて報告されており^{9),10)}、これらの有効性を利用することで底質改善への寄与が期待できる。

これらの具体的な蠕集量及び摂餌量については

表-2 小型動物群の出現種数及び類似度 (2009年3月)

分析対象	出現種数	類似度 C_{λ}			
		φ30cm貝殻 小型動物	防波堤側面 小型動物	マウンド部 マクロベントス	周囲海底の底泥 マクロベントス
φ30cm貝殻テストピースに 固着・潜入していた小型動物	133	-	0.032	0.495	0.015
防波堤側面に付着していた小型動物	55		-	0.022	0.016
マウンド部の堆積物 (主に貝殻) 内より 採集されたマクロベントス	73			-	0.072
周囲海底の底泥より 採集されたマクロベントス	45				-

表-3 テストピース及び周囲海底の小型動物群による炭素固定量及び有機物分解量の試算

単位面積当たりの 乾重量 (g DW m^{-2})	換算式 (定数)		φ30cm貝殻	φ15cm貝殻	平面形状	周囲海底	出典
	DW/殻付湿重量						
マキガイ綱	DW/殻付湿重量	0.045	50.4	20.5	13.8	0.2	原口ら ⁵⁾
		0.032	660.3	35.8	0.5	0.6	
		0.259	447.1	813.9	23.0	2.8	
		0.390	401.4	52.3	-	-	
		0.030	4.4	26.5	-	0.0	
		0.295	1,579.9	2,093.6	171.0	3.1	
合計			3,143.48	3,042.60	208.22	6.63	
単位面積当たりの炭素固定量 (g C m^{-2})	炭素固定量/総乾重量	0.3349	1,052.75	1,018.97	69.73	2.22	
呼吸速度 (=有機物分解量) ($\text{g C m}^{-2}\text{ d}^{-1}$)	水温 (°C)	11.0	12.71	8.16	0.51	2.72×10^{-4}	
	呼吸商	0.85					

本論では扱わないが、その蛸集及び成長も物質循環を健全化し水質・底質環境の浄化促進には欠かせない要素となることは間違いない。



写真-6 供試体下部に潜むマナモコ

このような貝殻を使用した基質は、これまで10年以上にわたり魚礁事業の部材として採用されてきた実績を持ち、基質に固着・潜入する小型動物の量については少なくとも5年以上は持続することが過去の調査により実証されている（海洋建設(株)：未発表）。それ以降については、具体的な数値は示せないが、潜水目視観察において引き続き多様な小型動物の固着・潜入が複数の海域で確認されており、今後もデータ収集を継続することで、環境共生型港湾の形成により適したシステムを提案することが出来ると考える。

4. まとめ

- ①貝殻を使用した供試体を港湾施設に設置したところ、表面及び内部に発生・増加した小型動物はコンクリート製の平滑な供試体と比較して、種類数で1.2~2.4倍、個体数で6.5~60.0倍、湿重量で13.0~182.1倍多かった。
- ②その組成について、貝殻テストピースでは個体数、湿重量ともにニマイガイ綱が優占した他、年月の経過に伴い多毛綱の個体数が増える傾向が見られた。一方、平面形状テストピースでは貝殻テストピースと比べ軟甲類の出現が少ないなど、間隙を利用する動物群の出現に差が見られた。さらに既設の防波堤の側面部や周囲の底泥中に生息するマクロベントスとも生物相が異なっており、貝殻基質の付加により港湾施設の生物相が多様化することが明らかとなった。
- ③貝殻が生み出す複雑な構造が懸濁物食者、堆積物食者両方を多く増加させていることが明らかとなり、周囲の海水中の懸濁物を捕捉し水質を浄化させる能力については、周囲海底と比べ約30,000~46,800倍と大きな差を示した。

以上の結果より、形状が比較的単純になりがちなコンクリート構造物に貝殻を使用した構造物を付加、若しくは併設することで、新たな生物相を生み出すとともにその総量を増加させ、バイオディポジション及びバイオターベーションの機能を高めるこ

とで周囲の水質・底質環境の改善が期待出来る。

謝辞：有機物分解量の試算を実施するに当たり指導を賜った熊本県立大学の原口浩一氏に、この場を借りて厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 田中丈裕：カキ殻による漁場環境の改善【1】カキ殻による餌料培養。沿岸の環境圏（平野敏行監修）、フジテクノシステムズ、東京、1226-1243、1998。
- 2) 野田幹雄、田原実、片山貴之、片山敬一、柿元皓：内部空間を持つ管状基質が無脊椎動物、特に魚類餌料動物の加入に与える効果。水産増殖 **50(1)**、37-46、2002。
- 3) 川口修、山本民次、松田治、橋本俊也、高山晴義：人工中層海底を用いたカキ養殖場底質への有機物負荷軽減策の検討。日水誌 **70(5)**、722-727、2002。
- 4) 吉田創、田原実、片山貴之、片山敬一、柿元皓：貝殻を利用した餌料培養基質の特性—基質の表面積、空隙率と着生量との関係—。平成13年度日本水産工学会学術講演会講演論文集、19-22、2001。
- 5) 原口浩一、山本民次、片山貴之、山形陽一、松田治：人工中層海底による養殖場沈降有機物の分解促進。日水誌 **74(3)**、429-431、2008。
- 6) 片山貴之、加村聡、原口浩一、伊藤靖：貝殻魚礁における魚類の摂餌状況。平成20年度日本水産工学会学術講演会講演論文集、83-86、2008。
- 7) 伊藤靖、中野喜央、藤澤真也：人工魚礁の蛸集魚類と摂餌生態—漁場施設の魚類増殖効果に関する研究—Ⅲ—。水産工学 **45(3)**、195-206、2009。
- 8) 倉田健悟、上月康則、村上仁士、仁木秀典、豊田裕作、北野倫生：内湾性水域におけるマナモコを利用した底質改善手法。海岸工学論文集、**47**、1086-1090、2000。
- 9) 藤澤真也、片山真基、村上由香里、山舘忠則、伊藤靖：水産系副産物（貝殻）を利用したマナモコの増殖施設の開発。海洋開発論文集、**25**、455-460、2009。
- 10) 片山貴之、藤澤真也、廣田敏人、前田智彦、柿元皓：港湾施設に設置した貝殻を利用した生物生息施設の効果。海洋開発論文集、**25**、473-478、2009。