ケーソン背面における貝殻施設の実験について ～細島港ケーソン仮置き場の場合～

足立 吉宏¹・吉栖 伸輔²・中野 公聖³・中村 誉之⁴・片山 貴之⁵

¹正会員 株式会社大本組 技術本部エンジニアリング部 (〒100-0014 東京都千代田区永田町2-17-3)

E-mail:adachi@gw.ohmoto.co.jp

²正会員 株式会社大本組 技術本部エンジニアリング部 (〒100-0014 東京都千代田区永田町2-17-3)

E-mail:yoshizumi@gw.ohmoto.co.jp

³株式会社大本組 九州支店土木部 (〒810-0041 福岡県福岡市中央区大名2-4-30)

E-mail:nakanoks@gw.ohmoto.co.jp

⁴株式会社大本組 土木本部工務部 (〒100-0014 東京都千代田区永田町2-17-3)

E-mail:nakamuraty@gw.ohmoto.co.jp

⁵海洋建設株式会社 水産環境研究所 (〒711-0921 岡山県倉敷市児島駅前1-75)

E-mail:tkatayam@kaiyoh.co.jp

近年,我が国では自然環境に対する意識が高まり,多様化するニーズに対応するとともに,過去に影響を受けた自然環境を少しでも取り戻すことを目的として,港湾施設に環境機能を取り入れていくことが検討されている.

この度,国土交通省九州地方整備局より実海域現場実験の許可を得て,細島港におけるケーソン仮置き場において2010年3月から2011年9月にかけて実験を実施した.本研究では細島港ケーソン仮置き場に設置されたコンクリートケーソンの直立面に貝殻施設を設置し,海藻類,小型動物,魚介類の生息状況の調査を行い,生物多様性の向上など生物生息の改善効果が得られることが確認できた.

Key Words : *Environmental improvement, Habitat creation, Biodiversity, Seashell, Recycle*

1. はじめに

近年,我が国では自然環境に対する意識が高まり,多様化するニーズに対応するとともに,過去に影響を受けた自然環境を少しでも取り戻すことを目的として,港湾施設に環境機能を取り入れることが課題になっている.

例えば,防波堤の延伸整備により設置場所の生息環境が損なわれ,又,港内側が閉鎖性水域となり,水質悪化が進行し,海洋環境が悪化している事例があることが散見されている.そのような悪化を防止するため,廃棄貝殻を利用した貝殻施設を直立した防波堤背面に設置することにより,新たな生物生息環境の創造をもたらすことはできないかと検討している.

当社が加入している貝殻利用研究会では,地元漁業関係者と共同して多年にわたり貝殻施設を海底に設置して海洋実験を実施し,農林水産大臣表彰を受賞するなど既に魚礁としての効果を確認しているが,港湾のケーソン直立面への設置事例はこれまでなかった.

そこで2009年11月に国土交通省九州地方整備局より

実海域現場実験の許可を得て,細島港におけるケーソン仮置き場(環境基準B類型を満足している)にて実験を実施した.2010年3月に貝殻施設を設置し,合計3回のモニタリング調査を行い,海藻類,小型動物,魚介類の着生の向上がみられ,生物生息の改善効果を確認した.安全・安心な防波堤を設置するだけでなく,生物共生機能を付加して設置することで,沿岸域の生態系のバランスを向上させ,より地域社会に貢献できるのではないかと考えている.

本論文では,貝殻施設の技術内容および細島港で行った実験の内容および方法と調査結果について報告する.

2. 貝殻施設

(1) 貝殻施設とは

貝殻は①主成分が炭酸カルシウムであり有害重金属等は含まれない,②多孔質で複雑な形状であるなどの特徴がある.これらの特徴を利用してカキやホタテガイ,ア

コヤガイなどの貝殻を通水性のパイプに充填し、餌料培養基質（以下“貝殻基質”）を製作する。その貝殻基質を複雑に組み合わせてコンクリートや鋼製構造物に組み込むことで貝殻施設を製作している（図-1）。

貝殻施設は、他の一般的なコンクリートや鋼製の魚礁に比べ餌料生物の培養効果が高く、また、これらを餌とする魚介類などに対する増殖効果も高いという特徴がある。貝殻施設はこれまで主に水産庁の実施する水産基盤整備事業などで多く使用されている。以下に貝殻施設の餌料生物培養効果や、生物保護育成効果、藻場造成効果について述べる。

(2) 餌料生物培養効果

貝殻基質は、貝殻の重なりによってできる細かな隙間が魚介類の餌となるエビ・カニ類などの小型甲殻類やゴカイ類、小型貝類の生息場として非常に優れた空間となっている。全国 20 箇所以上の実海域で貝殻テストピース（サンプリング用小型貝殻構造物）を使用した実験を行った結果では、貝殻テストピースが平面形状テストピースの最大 294 倍もの餌料生物培養効果があることが、実証されている。（図-2）。

(3) 生物保護育成効果

貝殻施設は貝殻基質がパネル状に複雑に配置されているため、基質そのものの空隙と併せて多種多様な空間が形成される。このような空間により幼稚魚や小型魚介類が外敵から身を守る隠れ場、保育場、餌料生物が生息する餌場および魚介類の産卵場としても頻繁に利用されている（図-3）。

図-1 餌料培養基質（貝殻基質）

図-2 餌料生物の推移

図-3 貝殻施設に生息するサラサエビ、ヤリイカの卵のう

(4) 藻場造成効果

貝殻基質は、表面付近に水の複雑な流れを形成し、平面的な構造物に比べて海藻の孢子などが着生しやすい構造になっている。さらに小型動物による生物攪拌や有機物の摂食により、孢子の着生を阻害する浮泥の堆積が抑制されている。また、カジメやコンブなどの大型褐藻類などは仮根を貝殻基質に絡ませることで強固に固着でき、波浪などによる流失も抑制することができる。

3. 実験の内容および方法

(1) 実験海域と実験施設

実験を行った調査海域を図-4に示す。宮城県日向市にある細島港の港内域である。

防波堤に据え付ける前の仮置き場にあるケーソンの直立面に2010年3月31日貝殻基質を5種類、各10本、計50本取り付けした（図-5）。設置位置は、貝殻基質が海面上に出現しないように既往最低潮位より下になるようにし、かつ、バットレスの影にならない高さとした。

取り付け方法は、1本の貝殻基質（φ150mm、L=1,000mm）に対して3本の割合でステンレス製のリング（φ155mm）によりケーソン直立面に設置した。リング設置後、貝殻基質をリングに挿入し電線拘束バンドにて固結した。

図-4 実験海域

図-5 貝殻施設の設置位置と設置状況

上下2段で5本ずつのブロックで合計10ブロック設置している。これは貝殻基質に充填する貝殻の種類、充填具合などにより生物の着床具合の違いを比較するためであり、左より隠れ場創出タイプのホタテガイ、ヒオウギガイ、小型生物タイプのヒオウギガイ、カキ、アコヤガイを充填している。隠れ場創出タイプは小さな生物が隠れやすい形状に、小型生物タイプは魚介類の餌となる小型動物が棲みやすい形状にしている。具体的には隠れ場創出タイプは隙間が大きく、小型生物タイプは隙間が小さくなっている。

(2) 調査内容および調査方法

2010年3月31日に貝殻施設を取り付け後、2010年3月から2011年9月までの1年半の期間中に主に表-1に示す調査を実施した。以下に詳細を記載する。

a) 海藻類着生状況調査

貝殻施設に着生する海藻を採取し(採取範囲1.35㎡)、袋に入れて回収した。また対照区として同水深のケーソン直立面の海藻類を採取した(0.5m×1.35m 採取面積0.675㎡)。なお、生産量については、ケーソンに貝殻施設を付加した効果を調査する目的のため、投影面積を基本とすることとした。これら採取した海藻類は、褐藻類、紅藻類、緑藻類に分けそれぞれの海藻について乾燥機(90℃)で乾燥させ、重量を測定した。

b) 生物生息状況調査

①小型動物の生息状況

貝殻施設に生息する小型動物を確認するために、貝殻の種類毎に5種類のテストピースを1種類ずつ生物が逸脱しないように袋に入れて回収した。また対照区として同水深のケーソン直立面の付着動物を剥ぎ取った(0.2m×0.2m 採取面積 0.04㎡)。テストピース表面および内部に固着・潜入していた生物を全て剥ぎ取り、1mm目合いの篩で濾して選別したものを10%ホルマリン溶液で固定して試料とした。固定した試料は、可能な限り種を同定し、個体数と湿重量を測定した。

②魚介類の生息状況

潜水により、5種類の貝殻施設およびその周囲(調査範囲:幅 1.6m×1.95m×2 箇所 6.24㎡)に生息する魚介類の生息状況を調査した。また対照区として同水深の貝殻施設から3m離れたケーソン直立面の同範囲に生息する魚介類の生息状況も併せて目視観察を行った。目視調査は、一人のダイバーが1箇所当たり10分間の時間を定めて実施し、水中写真・ビデオによる検証も行った。

表-1 調査実施期間

項目	2010年		2011年	
	9月8日 (半年経過)	3月25日 (1年経過)	9月8日 (1年半経過)	
海藻類着生状況調査	○	○	○	
生物生息状況調査	○	○	○	

4. 実験結果および考察

(1) 海域環境調査

調査を行った時の海域条件を図-6に示す。その他環境としては、透明度6~8.5 m、透視度5~7 mとなっており、きれいな海域となっている。

(2) 海藻類着生状況調査

2010年9月および2011年9月に行った調査では海藻類はほとんどみられなかったが、2011年3月に行った調査では、フクロノリ、フシツナギ、ムカデノリ、ツノマタ等が着生していた(図-7、図-8)。季節的な要因で、9月は繁茂しないが3月は繁茂するからだと考えられる。

2011年3月に貝殻施設および対照区に着生した海藻類を採取した1㎡あたりに換算した重量を表-2に示す。1㎡当たりの貝殻施設に着生した海藻類の乾重量は18.99g/㎡で対照区の5.99g/㎡の約3.2倍であった。この理由として貝殻施設がケーソン直立面と比較して、貝殻基質をケーソンに取り付けることによる表面積の増大や、根が強固に固着でき波浪などによる流失を抑制するためではないかと考えられる。

図-6 環境調査結果

図-7 海藻類の着生状況

図-8 貝殻施設(左)と対照区(右)の着生状況の違い

表-2 着生する海藻類の1㎡当たりの乾重量の比較

	種	1㎡当たりの 海藻乾重量 (g/㎡)		種	1㎡当たりの 海藻乾重量 (g/㎡)
貝殻施設	褐藻類	14.64	対照区	褐藻類	3.01
	紅藻類	4.34		紅藻類	2.96
	緑藻類	+		緑藻類	0.01
	計	18.99		計	5.99

(3) 生物生息状況調査

設置直後は、貝殻施設に入っている貝殻の存在が明らかに確認できたが、設置半年後で既に貝殻施設表面の生物着生被度は100%であった。設置1年後、1年半後には更に付着生物は増加していた(図-9)。

a) 小型動物の生息状況

①出現種数

5種類の貝殻施設のテストピースと対照区で確認された小型動物の生息状況についての出現種数の推移の比較を表-3、図-10に示す。3回の調査とともに貝殻施設の方が対照区よりも多い値を示した。

各動物群の出現種数については、貝殻施設の方が対照区と比べて特に軟体動物、環形動物、節足動物、脊索動物が概ね多くなる傾向を示していた(図-11~図-13)。

図-9 貝殻施設の生物付着状況 (左上:設置直後, 右上:設置半年後, 左下:設置1年後, 右下:設置1年半後)

表-3 5種類の貝殻施設と対照区の出現種数

調査日	隠れ場創出タイプ					対照区
	ホタテ	ヒオウギ	ヒオウギ	カキ	アコヤガイ	
2010.09.08	81	73	74	82	76	46
2011.03.25	108	131	124	126	154	90
2011.09.08	119	152	141	151	133	81

図-10 5種類の貝殻施設と対照区の出現種数の推移

図-11 貝殻施設と対照区の各動物群の出現種数 (2010年9月)

また5種類の貝殻施設のテストピースと対照区で確認された小型動物の生物多様性について分析する。生物多様性を評価する指標は様々あるが、ここではシャノン・ウィナーの多様度指数 H' (図-14) とシンプソンの多様度指数(1- λ) (図-15) を用いて評価する。

評価した結果を表-4と表-5に示す。

図-12 貝殻施設と対照区の各動物群の出現種数 (2011年3月)

図-13 貝殻施設と対照区の各動物群の出現種数 (2011年9月)

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N} \quad 0 \leq H'$$

S. 種数: n_i , i 番目の種の個体数; N. 全個体数

図-14 シャノン・ウィナーの多様度指数 H'

$$1 - \lambda = 1 - \sum_{i=1}^S \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)} \quad 0 \leq 1 - \lambda < 1$$

S. 種数: n_i , i 番目の種の個体数; N. 全個体数

図-15 シンプソンの多様度指数(1- λ)

表-4 貝殻施設と対照区の小型動物の生物多様度の推移 (シャノン・ウィナーの多様度指数 H')

調査日	隠れ場創出タイプ					対照区
	ホタテ	ヒオウギ	ヒオウギ	カキ	アコヤガイ	
2010.09.08	2.280	2.857	2.548	2.628	2.029	3.356
2011.03.25	4.218	2.608	3.514	3.772	3.045	3.820
2011.09.08	3.314	3.879	4.757	5.423	4.747	4.433

着色部分が対照区より生物多様性が向上していると指標的に評価できた項目である。

シャノン・ウィナーの多様度指数 H' で評価すると設置1年後の隠れ場創出タイプのホタテガイ、設置1年半後の小型生物タイプのヒオウギガイ、カキ、アコヤガイが対照区に比べて生物が多様化していることが伺えた。

シンプソンの多様度指数(1-入)で評価すると設置1年後の隠れ場創出タイプのホタテガイ、小型生物タイプのヒオウギガイ、カキ、設置1年半後の小型生物タイプのヒオウギガイ、カキ、アコヤガイが対照区に比べて生物が多様化していることが伺えた。

両方の評価とも貝殻施設設置1年くらいまでは出現種数が対照区より多いにもかかわらず(表-3, 図-10), 対照区に比べて多様度指数が悪い原因としては、貝殻施設では初期段階においてサンカクフジツボの個体数が爆発的に着生したからではないかと考えられる。サンカクフジツボの着生が収まった1年～1年半後あたりから徐々に両指数が向上していることから読み取れる。

②個体数

5種類の貝殻施設のテストピースと対照区で確認された小型動物の生息状況についての出現種数の推移の比較を図-16に示す。3回の調査ともに貝殻施設の方が対照区よりも多い値を示した。

なお、第3回調査で5種類の貝殻施設のテストピースと対照区ともに個体数が減少しているのは、優先種であったサンカクフジツボ、ドロクダムシ属、オサテワレカラなどが大幅に減少したためである。

③湿重量

5種類の貝殻施設のテストピースと対照区で確認された小型動物の生息状況についての湿重量の推移の比較を

表-5 貝殻施設と対照区の小型動物の生物多様度の推移
(シンプソンの多様度指数(1-入))

調査日	隠れ場創出タイプ		小型生物タイプ			対照区
	ホタテ	ヒオウギ	ヒオウギ	カキ	アコヤガイ	
2010.09.08	0.589	0.687	0.585	0.581	0.473	0.794
2011.03.25	0.896	0.570	0.803	0.847	0.776	0.784
2011.09.08	0.712	0.727	0.912	0.955	0.897	0.859

図-16 5種類の貝殻施設と対照区の個体数の推移

図-17に示す。3回の調査ともに貝殻施設の方が対照区よりも多い値を示した。

湿重量が隠れ場創出タイプの方が小型生物タイプよりも多い傾向がみられるのは、魚類などに餌として摂餌されたか、されなかったかの違いによるものと考えられる。

④貝殻の種類の違いによる生息状況の違い

5種類の貝殻の違いによる生息状況の特徴を述べると、隠れ場創出タイプであるホタテガイ、ヒオウギガイには大型の甲殻類が多くみられ、小型生物タイプであるヒオウギガイ、アコヤガイは微小な甲殻類の増加に優れ、カキは通年的な餌料提供に適していると判断された。結論として、隠れ場創出タイプは生物が隠れやすい形状に小型生物タイプは魚介類の餌となる小型動物が棲みやすい形状になっており、実験前の主旨をよく反映した結果になったのではないかと考えている。

b) 魚介類の生息状況

①出現種数

5種類の貝殻施設と対照区で確認された魚介類の生息状況について出現種数の推移の比較を図-18に示す。漁獲上有用種であるカサゴやサザエ等が貝殻施設の方で観察された。水温が低下した2011年3月に減少がみられるが、3回の調査ともに貝殻施設の方が対照区よりも多い値を示した。

図-17 5種類の貝殻施設と対照区の湿重量の推移

図-18 5種類の貝殻施設と対照区の出現種数の推移

図-19 5種類の貝殻施設と対照区の蛸集生物量の推移

②蛸集生物量

5種類の貝殻施設と対照区で確認された魚介類の生息状況について、蛸集生物量の推移の比較を図-19に示す。出現種数と同様に水温が低下した2011年3月に減少がみられるが、3回の調査ともに貝殻施設の方が対照区よりも多い値を示した。

5. おわりに

(1) まとめ

細島港仮置き場における貝殻施設の設置による実験についてのまとめを記す。

- ①海藻類の着生状況については、2011年3月の調査では、褐藻類、紅藻類、緑藻類の海藻が確認された。ケーソン直立面に貝殻施設を設置することで、より多くの海藻類が着生し、炭素や窒素を固定することによる水質浄化や、海藻類を餌とする魚介類の資源増大につながることを期待できることがわかった。
- ②小型動物の生息状況は、出現種数、個体数、湿重量とも貝殻施設の方が対照区と比較してより多く生息することが確認された。貝殻施設を設置することにより、

小型動物の新しい生物生息環境の創造が期待できることが分かった。また生物多様度については短期的には明白な効果がみられないが、1年半後から特に小型生物タイプにおいて向上することがわかった。

- ③魚介類の生息状況については、出現種数、蛸集生物量とも貝殻施設の方が対照区と比較してより多く生息することが確認された。貝殻施設を設置することにより、魚介類の生息環境の改善が期待できることが分かった。
- ④以上より港湾構造物に貝殻施設を設置することで、生物生息の向上効果が得られることが確認できた。

(2) 今後の課題

仮置き場で得られた生物生息の改善効果が、短期的な調査結果であることを念頭におきながら、長期的な継続効果や、場所を変更した場合でも同様にもしくはより改善された結果が得られるのかどうか確認・検証を試みる必要がある。

謝辞：なお本実験実施に当たり、実海域現場実験の許可および実験場所のご提供をいただいた国土交通省九州地方整備局、宮崎港湾・空港整備事務所及び細島事務所の皆様に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 水産庁資源生産推進部整備課：沿岸漁場整備開発事業費用対効果分析の手引き, 1999.
- 2) 吉田吾郎, 内村真之, 吉川浩二, 寺脇利信：広島湾に生息する海藻類の炭素・窒素含有量とその季節変化, 瀬戸内水研報, pp51~61, 瀬戸内海区水産研究所, 2001.
- 3) 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, p83, 2008.

STUDY ABOUT EXPERIMENTS OF SEASHELL FACILITY ON THE VERTICAL SURFACE OF A CONCRETE CAISSON — CASE OF TEMPORARY STORAGE MOUND OF THE PORT OF HOSOJIMA —

Yoshihiro ADACHI, Shinsuke YOSHIKUMI, Kousei NAKANO,
Takayuki NAKAMURA and Takayuki KATAYAMA

The awareness of natural environment has grown in Japan recently. With a view to respond to diversifying needs and to restore natural environment which has been damaged in the past, various initiatives incorporating environmental functions into port facilities have been examined.

Port and Development department of Kyushu Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism allowed us to carry out an experiment on a temporary storage mound for caissons in the waters of the Port of Hosojima, Miyazaki, Japan from March 2010 to September 2011.

This study researched the inhabiting situation of seaweed, small animals, and fish and shellfish by setting up a seashell facility on the vertical surface of a concrete caisson on the temporary storage mound for caissons in the sea. We have confirmed improvement effects in the habitat including enhancement in biodiversity.