

平良港におけるサンゴ礁群集に配慮した環境修復技術

石井正樹* ・前幸地紀和** ・大村 誠***
山本秀一**** ・高橋由浩***** ・田村圭一*****

1. はじめに

近年, 自然環境の維持・回復・創造に関する関心が高まっている。港湾構造物の建設に際しても, 周辺の生態系への配慮が望まれるようになってきている。運輸省(現国土交通省)港湾局では1994年3月に「環境と共生する港湾<エコポート>」の形成を目指した新たな港湾政策を策定した(運輸省港湾局, 1994)。さらに2000年3月には港湾法を一部改正し, 港湾整備において港湾本来の機能に加えて, 生物群集の生息への配慮の必要性を示した。

平良港が位置する宮古島は, 沖縄本島の南西320 km, 台湾の東350 kmに位置し, 亜熱帯圏に属している。亜熱帯圏の沿岸域を代表する生物群集はサンゴ礁群集(サンゴ類を含む生物の集合)である。サンゴ礁群集が有する生物生産機能や環境浄化機能, 景観形成機能等の役割とその資産的な価値は全世界的にもきわめて重要であることが指摘されている(土屋, 1996; Costanza et al., 1997; Moberg and Folke, 1999)。

したがって, 亜熱帯圏から熱帯圏における沿岸域整備においては, サンゴ礁群集に配慮した環境修復技術の開発が重要な課題である。

港湾におけるサンゴ群集(多数のサンゴ類の集まり)については, 那覇港において吉見他(1998)が異形ブロック上でのサンゴ群集の成長過程や着生促進実験結果を報告している。それらをもとに福西他(1998)や財団法人港湾空間高度化センター(1999a)がサンゴ礁と共生する港湾整備の計画手法を提案している。

これらを受けて, 図-1に示す平良港の下崎西防波堤周辺でサンゴ礁群集に配慮した港湾整備を進めるための新たな実験的取り組みを行った。

取り組みの一つは, 防波堤建設予定地周辺に生息しているサンゴ礁群集を岩盤ごと採取し, 既に完成している防波堤のマウンド周辺に設置する「サンゴ礁群集の移築」である。もう一つは, 防波堤整備に際し構造物本来の機

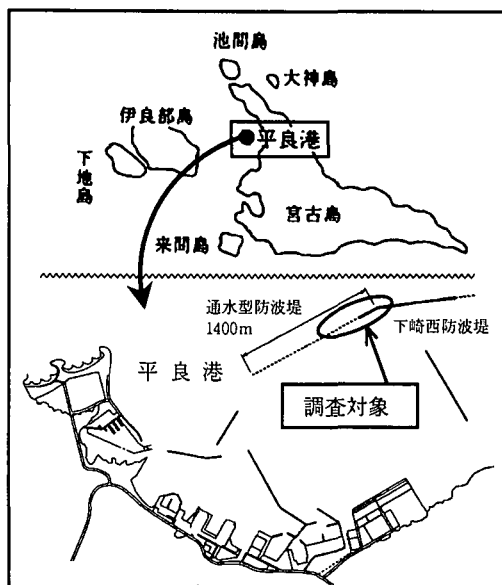


図-1 平良港位置図

能に加え海域環境やサンゴ礁群集を含む生物相に配慮した「環境・生物共生型防波堤」である。配慮した部分は, 多様な空間を有する根固ブロック, 溝加工を施した消波ブロック, 港内の海水交換の促進に配慮した通水型ケーソンである。

本報は, 平良港において実験的に実施しているサンゴ礁群集に配慮した各種の環境修復技術について紹介するとともに, 1998年度から2000年度にそれらの効果把握することを目的に行った各種モニタリング調査結果を示すものである。

2. 調査内容

(1) サンゴ礁群集の移築

Highsmith (1982), Kobayashi (1984) は, サンゴ群集は破片化しても生存可能であり, 環境条件が適当な場所に再固着した破片はサンゴ群集を再形成して増殖することと, それがサンゴ群集の拡大戦略の一つになっていることを報告している。サンゴ群集のこのような特徴を利用して, サンゴ破片を人為的に移植して増殖する方法が

* 前沖縄総合事務局平良港湾工事事務所所長
** 沖縄総合事務局平良港湾工事事務所工務課長
*** 前沖縄総合事務局平良港湾工事事務所第二工務係長
**** 正会員 (株)エコー環境・計画部
***** (株)エコー環境・計画部

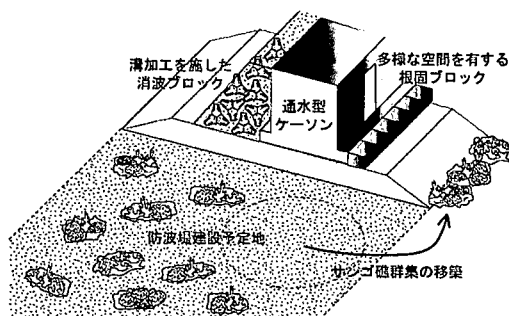


図-2 サンゴ礁群集に配慮した環境修復技術

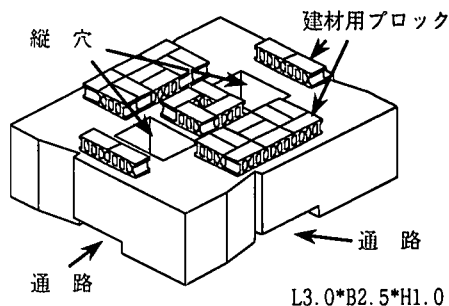


図-3 凹凸加工根固ブロックの概観

工藤 (1991) や山下他 (1996) により報告されている。

サンゴ礁群集の移築技術は従来のサンゴ群集の移植技術に応用したもので、防波堤建設予定地周辺に生息しているサンゴ礁群集を岩盤ごと採取し、既に完成している防波堤のマウンド周辺に設置するものである。

図-2 に示すように、防波堤の延長予定区域内に、サンゴ礁群集が着生した $1\text{m} \times 1\text{m}$ の観察範囲を設定し、この岩盤または岩塊を採取し、既に完成している防波堤のマウンド周辺に移築した。移築は3ヶ年に12地点ずつ行った。

サンゴ礁群集の移築に際しては他に例がないため、1998、1999年度は水中バックホウを用い、2000年度にはエアジャッキ、ウォータージェット等を用いて着生基盤を掘り上げた。1998年度は岩盤の多くが直径数 $10\text{cm} \sim 1\text{m}$ 程度の破片に分割しており、パケットに乗せて水中で運搬した後、マウンド周辺に直接設置した。1999年度は数 $10\text{cm} \sim 1\text{m}$ 程度の岩盤はパケット内に固定し、約 1m を越える大型の岩盤はマウンド周辺に直接設置した。2000年度は、十分大きな岩塊を移築することが可能となり、港内側のマウンド法先にまとめて移築した。このようにして、移築したサンゴ礁群集を対象に、サンゴ群集の被度および大型底生動物の種類数、個体数を水中目視観察により記録した。

(2) 環境・生物共生型防波堤

環境・生物共生型防波堤として配慮した部分は、図-2 に示すように多様な空間を有する根固ブロック、溝加工を施した消波ブロック、港内の海水交換の促進に配慮した通水型ケーソンである。これらの類似事例については、他の港湾でも報告されている (財団法人港湾空間高度化センター, 1999b)。

多様な空間を有する根固ブロックは、1998年3月に施工しており、図-3 に示すように従来型の根固ブロック (有孔タイプ) の天端面、側面、底面に凹凸、穴、通路を設けたもので、付着生物相の多様化と現存量の増加が期待できる。

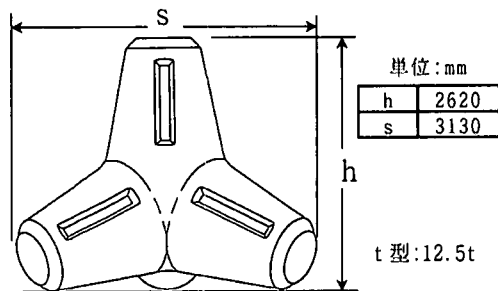


図-4 溝加工消波ブロックの概観

その効果を把握するために、付着生物相のモニタリング調査を実施した。調査は加工したブロックと無加工の従来型根固ブロック各3個について、サンゴ群集の群体数および大型付着動物の種類数を水中目視観察により記録した。

溝加工を施した消波ブロックは、1998年6月に施工しており、吉見他 (1998) でも報告されているように、サンゴ群集の着生促進効果が期待できる。図-4 に示す溝加工消波ブロックに、加工区27地点、無加工区27地点の付着生物相のモニタリング調査地点を設定した。各調査地点は $25\text{cm} \times 100\text{cm}$ の調査範囲とし、サンゴ群集の群体数を水中目視観察により記録した。

通水型ケーソンは1998年3月に施工しており、港外の海水を港内に導入することにより港内の水質を向上しようとするものである。吉見他 (1998) は防波堤通水部近傍では、多様な生物生息機能を有する立体的な群体形 (テーブル状、樹枝状等) のサンゴ群集の比率が高いことを報告しており、通水効果により形成される流動場に応じたサンゴ群集を含む付着生物相の多様化が期待できる。

通水型ケーソンの構造およびモニタリング調査地点を図-5 に示す。通水部により形成される流動場が付着生物相に及ぼす影響を把握するために、1998年に施工した区域について港内側直立壁面に水深と通水部からの距離との条件から15の調査地点を設定し、付着生物相のモニ

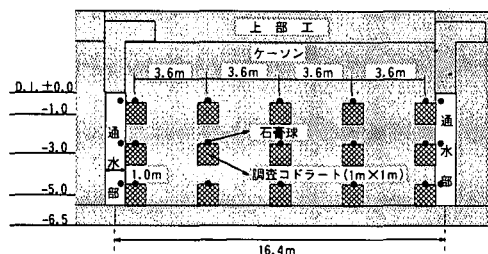


図-5 通水型ケーソンの調査地点

タリング調査を実施した。各調査地点は1m×1mの範囲とし、付着生物の着生状況を水中目視観察により記録した。

また、各点における流動環境を把握するために、図-5に示す通水部および各調査地点上の計21地点に石膏球を設置し、37時間後に回収した。設置前後の石膏球の重量を測定し、その減少量から期間平均流を求め壁面上の平面的な流速分布を求めた。

3. 調査結果および考察

(1) サンゴ礁群集の移築

図—6 に 1999 年 1 月に移築したサング群集 12 地点の被度の経年変化を示す。移築したサング群集は、ハマサング科、ヤスリサング科、キクメイシ科等である。1999 年 1 月の移築サング群集は岩塊が小さく、台風時の波浪等により一部が流失した地点がある。このような地点では被度が低下しているものの、安定している基盤のサング群集はほぼ全て生存している。また、移築先の環境条件による違いもみられず、移築行為のストレスや、移築前後の環境変化により死亡したものはほとんどないことが確認された。なお、2000 年 10 月の調査では被度が増加した地点もみられる。

さらに、1998 年には Hoegh-Guldberg (2000) 等に指摘されているように、沖縄県だけでなく世界的に高水温によるサンゴ群集の白化現象が生じており、平良港で移築したサンゴ群集にも白化したものがあつた。しかし、写真一1 に示すように 1999 年 10 月(9 ヶ月後)の調査時には回復し生存しているのが確認されており、2000 年 10 月にも白化の影響は認められない。

表一に 2000 年 11 月の移築直後のサンゴ群集を含む岩塊上で観察された大型底生動物の出現状況を示す。大型底生動物の種類数は 0~11 種、個体数は 0~25 個体である。なお、個体数が計測できない海綿類や群体ホヤ類も着生している。以上の大型底生動物は、移築前から着生していたものが、移築によって岩盤ごと運ばれて来たものである。

工藤 (1991) や山下他 (1996) に示されているサンゴ

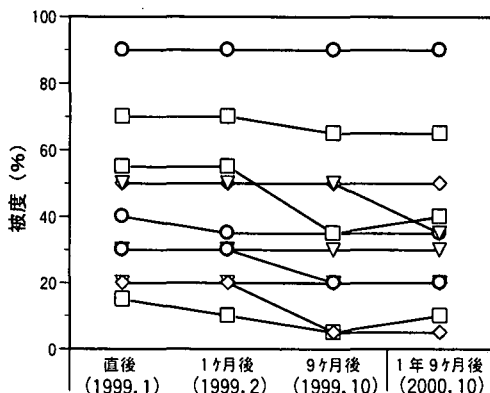


図-6 1998 年度移築サングの被度経年変化
(下表は記号の凡例及び移築先の環境条件)

		波浪条件	
		港 外	港 内
水深条件	上層	□	○
	下層	◇	▽

群集の移植技術と比較すると、サンゴ礁群集の移築は、サンゴ群集以外の動植物を移築によって生存させられる点や、ハマサンゴ等の分割しにくい塊状サンゴの取り扱いが可能なこと等を利点としてあげることができる。

このように、サンゴ礁群集の移築は、防波堤建設等のような沿岸域開発によって直接的影響を受けるサンゴ礁群集をあらかじめ回収することによってサンゴ礁群集を維持し、新たに形成された空間に移動させることによってサンゴ礁群集を回復・創造する技術として有効であると考えられる。

(2) 環境・生物共生型防波堤

1998年3月に施工された根固ブロックについて、表-2にサンゴ群集の群体数の経年変化、表-3にサンゴ群集以外の大型底生動物の総出現種類数の経年変化を示す。サンゴ群集の群体数は1999年10月から差がみられ、2000年10月の調査では加工区で43群体のサンゴ群集が確認されたのに対し、無加工区では7群体と大きな違いがみられる。サンゴ群集の群体数に大きな差が現れたのは、加工根固ブロック表面にある大小の凹凸がサンゴ群集の着生促進効果を有することによると考えられる。

サンゴ群集以外の付着生物の種類数は、1998年9月か

表一1 サンゴ群集を含む岩塊上の大型底生動物の着生状況 ($n=12$) (2000 年 11 月移築及び調査)

	平 均	標準偏差	最 小	最 大
種類数 (/m ²)	5.0	2.7	0	11
個体数 (/m ²)	7.3	8.5	0	25

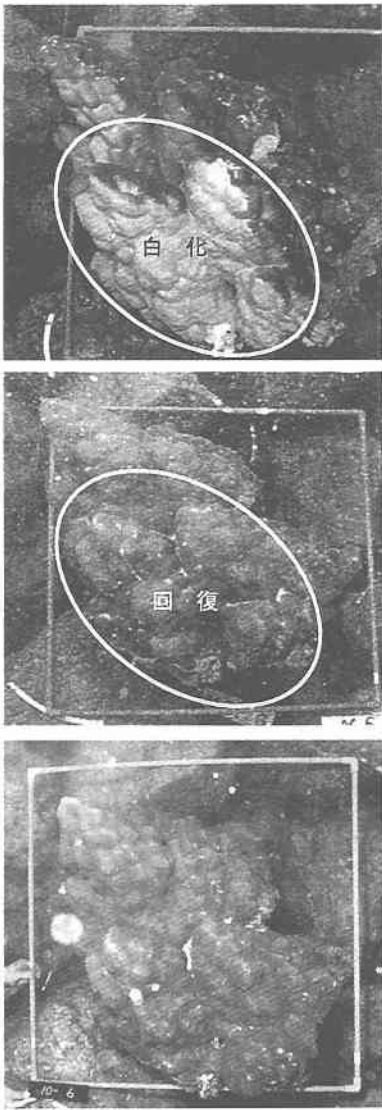


写真-1 白化した部分の回復状況
上段：移築直後 (1999. 1)、中段：移築後9ヶ月 (1999. 10)、下段：移築後1年9ヶ月 (2000. 10)

ら差がみられ、2000年10月でも加工区で23種類、無加工区で13種類と加工区の方が多い。

なお、加工区の下面の通路部にはイセエビ類が生息している他、魚類が加工区の縦穴から通路に逃げ込む様子も確認されている。無加工区の根固ブロックは底面とマウンドとの隙間がなく、イセエビ等の生息場としての機能が無い。しかし、通路を設けることにより、隙間を好むイセエビ類等の生息が可能となっている。

以上のように、加工根固ブロックは多様な生物の着生基盤、生息場、隠れ場等として機能しており、無加工区と比較してその生物共生効果が顕著である。

1998年6月に施工された溝加工を施した消波ブロックにおけるサンゴ群集の群体数経年変化を表-4に示す。サンゴ群集の群体数は1999年10月から差がみられ、2000年10月でも加工区で31群体、無加工区で18群体と加工区の方が多い。加工区でサンゴ群集の群体数が多いのは、加工根固ブロックと同様に凹凸部分がサンゴ群集の初期着生に効果的に作用しているものと考えられ、吉見他 (1998) と同様の効果が確認された。

1998年3月に施工された通水型ケーソンについては、付着生物の着生環境条件として、壁面上の流速分布を求めた。期間平均流速の最大値は、北側通水部内 (図-5の右側) のD.L. -3m地点である。この地点の流速を100とした通水部周辺の相対流速分布図を図-7に示す。通水部内および通水部近傍での流速が速く、通水部から離れるほど、また、水深が深くなるほど、流速が遅くなっていることがわかる。

一方、このような流速分布に対応した付着生物の着生状況の関係を検討した結果、通水部からの距離および水深とサンゴ群集の着生状況との関係は明確ではなかった。吉見他 (1998) では防波堤通水部周辺において立体的な群体形のサンゴ群集の比率が高いことを報告しているが、平良港では1998年に施工された通水型ケーソンをモニタリングしているため、サンゴ群集の初期着生期に相当しており、立体的な群体形を形成するに至っていない。今後、サンゴ群集の成長に伴い、流速分布とサンゴ群集の群体形との関係等が確認できるものと考えられる。

表-2 根固ブロックのサンゴ群体数 (群体/22.5 m²)

調査年月	1998. 09	1999. 10	2000. 10
加工の有無			
加工区	0	8	43
無加工区	0	0	7

表-3 根固ブロックのサンゴを除く大型底生動物の総出現種類数 (種/22.5 m²)

調査年月	1998. 09	1999. 10	2000. 10
加工の有無			
加工区	13	25	23
無加工区	8	10	13

表-4 消波ブロックのサンゴ群体数 (群体/6.75 m²)

調査年月	1998. 09	1999. 10	2000. 10
加工の有無			
加工区	0	3	31
無加工区	0	1	18

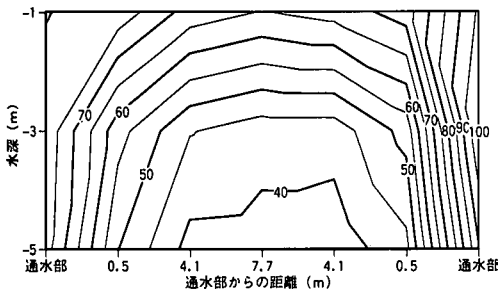


図-7 通火部周辺の相対流速分布図
(最大流速を100とした相対流速値)

4. おわりに

本調査により、サンゴ礁群集を岩盤ごと移築することが、サンゴ群集に与える影響は小さいことが確認された。さらに岩盤ごと移築することから、サンゴ群集以外の付着生物も生かすことができる。これにより、沿岸域開発においてサンゴ礁群集への影響が避けられない場合、サンゴ礁群集が着生している岩盤を移築することで、サンゴ礁群集の一部を維持・回復・創造することが可能であると考えられる。

また、環境・生物共生型構造物の整備により、構造物本来の機能に加えて、サンゴ礁群集を含めた多様な生物群集の生息空間を形成する効果についても有効性が確認された。

今後もモニタリング調査を継続し、調査結果から得た知見を基に新たな環境・生物共生手法を提案する等、海域環境に配慮した港湾整備における技術の検討を進める予定である。

なお、初めての試みであるサンゴ礁群集の移築に際し、工事の遂行に協力していただいた佐伯建設工業(株)、若

築建設(株)、(株)テトラ、三井不動産建設(株)の関係者の皆様に謝意を表する。

参考文献

- 運輸省港湾局(編)(1994): 環境と共生する港湾—エコポート—新たな港湾環境政策, 大蔵省印刷局, 85 p.
- 工藤君明(1991): サンゴ礁造園技術, 海洋科学技術センターニュース, No. 112, pp. 16-23.
- 財団法人港湾空間高度化センター港湾・海域環境研究所(編)(1999a): サンゴ礁と共生する港湾整備マニュアル案, 財団法人港湾空間高度化センター港湾・海域環境研究所, 99 p.
- 財団法人港湾空間高度化センター港湾・海域環境研究所(編)(1999b): 自然と生物にやさしい海域環境創造事例集, 財団法人港湾空間高度化センター港湾・海域環境研究所, 249 p.
- 土屋 誠(1996): サンゴ礁の生態系機能とその保全, 海洋と生物, Vol. 18, No. 3.
- 福西 謙・与那覇健次・森田 整・山本秀一・高橋由浩(1998): サンゴ礁と共生する港湾整備計画手法について, Techno-ocean '98 International symposium, proceedings, pp. 181-184.
- 山下孝男・西平守孝・土屋義人・スワンディー(1996): サンゴの移植によるバリ島サヌール海岸の保全について, 海岸工學論文集, 第43巻, pp. 1281-1285.
- 吉見昌宏・与那覇健次・片岡真二・山本秀一・高橋由浩・田村圭一(1998): サンゴの人工構造物への着生状況-3, 海岸工學論文集, 第45巻, pp. 1111-1115.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Pauelo, R. G. Raslin, P. Sutton and M. van den Belt (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital, Nature, Vol. 387, pp. 253-260.
- Highsmith R. C. (1982): Reproduction by fragmentation in corals, Mar. Ecol. Prog. Ser, 7, pp. 207-226.
- Hoegh-Guldberg O. (2000): Global climate change and the thermal tolerance of corals, Galaxea, JCRS, 2, pp. 1-11.
- Kobayashi A. (1984): Regeneration and regrowth of fragmented colonies of the hermatypic corals *Acropora formosa* and *Acropora nasuta*, Galaxea, 3, pp. 13-23.
- Moberg F., C. Folke (1999): Ecological goods and services of coral reef ecosystems, Ecological Economics, 29, pp. 215-233.