

海洋環境との共生を目指した港湾構造物に関する一考察

Research on Port Structures which aimed at Symbiosis for Marine-environment

木俣陽一*・小沢大造**

KIMATA Yoichi and KOZAWA Daizo

* (財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

** (財) 沿岸技術研究センター 理事

The riches of ocean nature especially coral reefs still abound in Okinawa. In the planning and construction of port structures, it is important to minimize the influence of them to the existing coral reefs. The present paper describes the measures for coral reefs in constructing new breakwaters to create coral habitats.

Key Words: coral reefs, habitation of coral, Okinawa, sea water exchange, breakwater

1. はじめに

沖縄県は美しいサンゴ礁を有し、国内有数の観光地としての顔を持つとともに、世界に広がる港湾の拠点として重要な位置を占めている。近年、社会資本整備の一貫として進められる港湾・空港整備に対しても生態系に配慮した環境創造型や生物共生型の整備が望まれている。しかし、サンゴ礁に棲む多様な生態系に対する効果的な対策は、確立されていないのが現状である。

(財) 沿岸技術研究センターでは、沖縄の自然に着目し、土木的な構造物の面から環境に配慮した港湾・空港整備方策の方向性について平成 14 年度から 2 ㄱ年の自主研究を行った。

本論文では、①サンゴ場の保全・創出における考え方、②港湾機能としての視点、③サンゴ（生態系）にとって望ましい環境を考慮し、土木的構造物への配慮で可能となる方策について報告する。

2. サンゴ場について

2.1 サンゴの成育環境

サンゴの成育に影響を与える要因としては、物理・化学要因、地形・地質要因、生物要因および人間活動が有り、これらの要因が複雑に関与している。特に物理・化学要因はサンゴの生存に不可欠な要素により構成され、図-1に示すように波（流れ）、光、水質、水温の4つの要素が挙げられる。これらの要素のサンゴ成育への影響について研究が進められているが、現段階では望ましい形が定性的に示されているだけである。（表-1参照）

サンゴの生息水域が何らかの現象によって外海と遮断されると生息環境は低下し、サンゴの成育に悪影響を及ぼす。これは、波の進入がなくなることで、水域内の流

速・海水交換・上下層の海水の擾乱がなくなり、その結果が、水域内の水温の上昇・水質の低下に繋がるためである。

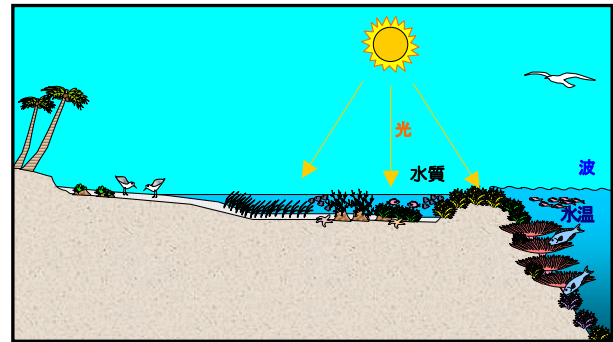


図-1 サンゴの成育に影響を与える物理・化学要因

表-1 サンゴを取り巻く環境要素

要素	望ましい形	備考
波・流れ	広域	・水質を保つ 海水交換量の確保
	局所	・サンゴ自体が破壊されない強さが必要 ・十分に餌が取れる適度な流れが必要 強さによりサンゴの形状が変わる場合がある
光	・光量は、強い方がよい	サンゴの種類によって異なる
水質	・貧栄養できれいな方がよい	褐虫藻の光合成に栄養塩は必要だが、多いと藻類の優占やリン酸による石灰化の阻害が発生
水温	・連続して高水温、低水温にならない	沖縄では水温が 30℃を越えた日が続き白化したことがある

2.2 サンゴ場の流れ

自然のサンゴ礁での海水は、平面的に見ると図-2に示すように礁外から越波により礁峰を越えて礁池に流入し、礁峰に沿って礁峰の切れ目から礁外に流出する循環流となり、海水交換が行われる。礁池内は、この循環流によりサンゴに必要な波・流れおよび良質な海水が供給され

る。このため、水域内でサンゴの成育により望ましい環境を整えようとする場合は、越波により平均的に海水が流入してくるような自然の海水交換機構を考慮した構造やシステムの配置が重要となる。

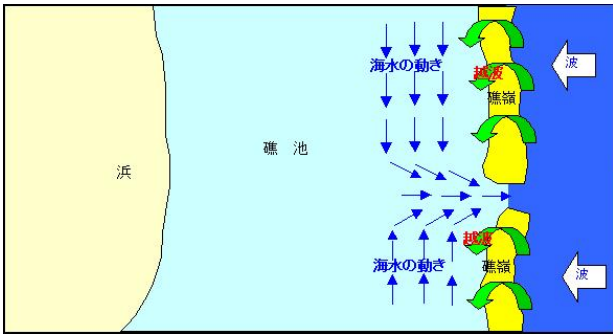


図-2 サンゴ礁での海水流動

2.3 サンゴ場の被度

サンゴ場の状態を評価する手法の一つとして、生息域を被うサンゴ量（被度）がある。観光を目的とした観察では、被度が30%以上あれば感覚的には一面にサンゴが生息していると感じられる。

沖縄のサンゴ場で観測されたサンゴ場の被度は、1998年の大規模な白化以前でも図-3のように多少の変動が認められる。この変動は、サンゴが台風等の自然力により形態を変化させて、自然条件に順応した形態で生息していることを示している。このため、サンゴの被度により水域の環境を論じる場合は、この自然力による変動を考慮した数年間の平均値で考えることも必要である。

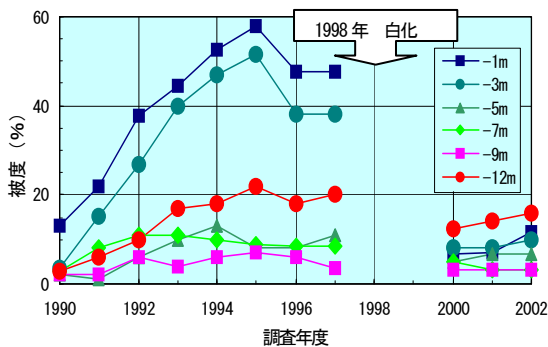


図-3 サンゴの被度の経年変化¹⁾

2.4 サンゴと水温

サンゴは高水温・低水温、高塩分・低塩分などのストレスにより白化することが知られている。白化はサンゴ体内に共生している褐虫藻が抜け出し、サンゴの骨格の石灰質が直接見える現象である。生物であるサンゴは、この後しばらくは生きていけるが、やがて死んでしまう。これは褐虫藻の欠落による栄養源の供給量の低下、高水温下での代謝の活発化による酸素要求量の増加が引き起こす酸欠（窒息）が原因となっている。

沖縄では、1998年に30℃以上の高温の水塊に長期間被われ、多くのサンゴが被害を受けた。特に水深の浅い部分で被度の低下が顕著に現れた。

このため、サンゴの白化を抑止するには、海水温を30℃以下に抑えることと流れによる酸素の供給が重要となる。

3. 土木構造物へ求められる機能

3.1 サンゴ場の保全が求められる理由

沖縄の沿岸域では、サンゴ礁を中心に生態系が形成されている。サンゴ礁では微生物やプランクトン、魚介類から鳥類にいたる食物連鎖が形成されている。この食物連鎖の礎となるサンゴ礁の保全は、言い換えれば沿岸域の生態系の保全であり、重要な位置付けを占めている。また、「交通政策審議会第6回港湾分科会 環境省意見」の中でも「サンゴへの影響については、環境保全ゾーン（仮称）外での代償措置についても検討し、極力その保全を図らねばならない。」という意見が述べられている。

このような背景により、社会資本整備を目的とした開発行為に対しても、環境保全措置は時代の要請といえる。環境保全措置は、①回避、②低減、③代償の順に検討すべき優先順位が付けられている。本研究は、港湾を静穏に保つ防波堤を対象に、可能な代償措置について示す。

3.2 防波堤および生態系からの要求

サンゴの生息環境の整備には、【対象とする港湾機能としての視点】および【生態系にとって望ましい環境】を十分に調査し、両立が可能な対策の検討が必要となる。本研究で考慮した両者からの条件を以下に示す。

(1) 対象とする港湾機能としての視点

防波堤に対しては、後背地に静穏域を確保するという防波堤本来の役割およびコスト削減を求められる社会的な背景により以下の項目が求められる。

- ▶ 静穏度確保のため波を導かない。
- ▶ 防波堤の基本構造は場所ごとに大きく変わらないことが望ましい。
- ▶ 堤体の形状はコスト面から単純な形が望ましい。
- ▶ 堤体法線は応力面から線形が望ましい。

(2) 生態系にとって望ましい環境

生態系にとって望ましい環境としては、良好な水質の確保、生命の基礎となる光環境や多様な生態系の構成のために以下の項目が求められる。

- ▶ 水質悪化防止のため海水交換の確保が必要。
- ▶ 泥土の堆積防止のためある程度の流速確保が必要。
- ▶ 光合成に必要な光量の確保が必要。
- ▶ 複雑な生態系には複雑な物理環境が必要。
- ▶ 機能の配置はより広範囲が望ましい。
- ▶ 白化の原因となる水温上昇の抑止。

3.3 土木構造物で対応可能な技術

【対象とする港湾機能としての視点】と【生態系にとって望ましい環境】は、互いに相反する面があるが、生

生態系の存続に不可欠な要求に対しては、土木的構造物として十分な配慮を行い生態系と共生できる環境を整備する必要がある。

以下に土木構造物で対応可能な対策を示す。

(1) 防波堤構造の工夫による海水交換

港湾整備により、水域が防波堤で囲まれると、一般的には恒流や潮流などによる海水の流入が妨げられ、湾内が閉鎖性水域化（内湾化）することが懸念される。この対策としては、湾内へ直接海水の流入を可能とする図-4に示すような海水交換型防波堤の適用が有効である。

しかし、波による海水交換は港内静穏度の低下、往復流による海水交換は交換率の低下となるため、一方向流による海水交換を可能とする方策を以下に示す。

- ▶ エネルギーを利用した海水の導入。
- ▶ 防波堤に透過機能を付加した堤体の採用。
- ▶ 越波・消波機能の組み合わせによる外海水の導入。

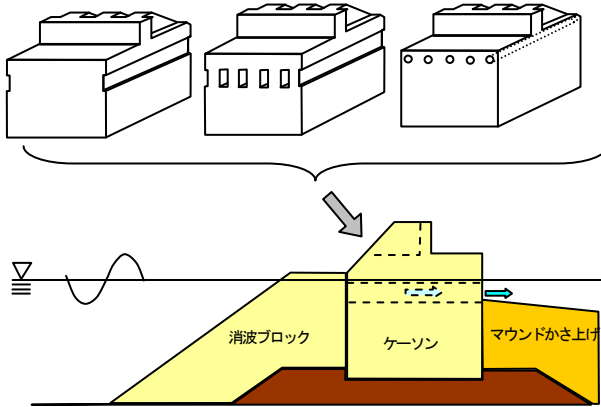
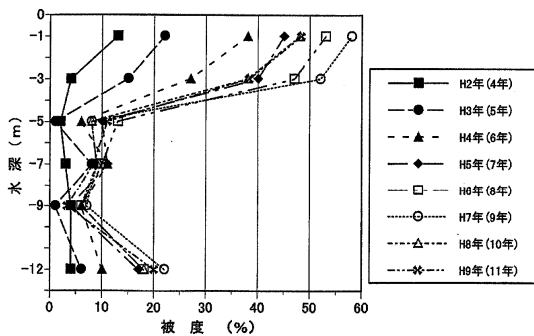


図-4 海水交換型堤体の一例

(2) 浅場としての防波堤背面の活用

那覇港防波堤の調査事例では、防波堤前面に配置された消波ブロックには図-5に示すように水深下 3m程度までは高被度にサンゴが分布している。



(水深はD.L.換算、那覇港ではD.L. 0 m ≒ M.W.L. - 1 m)

図-5 水深とサンゴ被度の関係¹⁾

このことより、サンゴの成育には、光合成に必要な光量の確保が不可欠であり、浅場を造成することが有効な対策となる。しかし、沖縄県の防波堤は外洋に面していることから設計波高が高く、堤前に浅場を造成するには

大型のブロック等の配置が必要となりサンゴの着生基盤としての効果が期待できるが、コストを含めた評価では有効な対策となりにくい。

したがって、本研究では図-6に示すように防波堤背面を嵩上げすることで、サンゴの新たな生息の場を確保することを提案する。

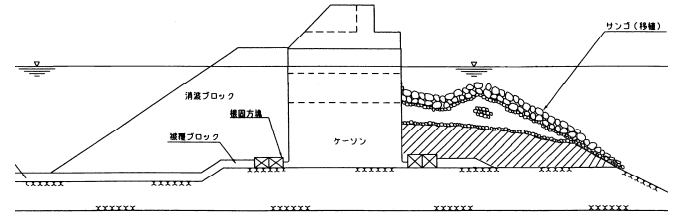


図-6 防波堤背面嵩上げのイメージ図

防波堤背面に浅場を造成することで防波堤構造として期待される効果を以下に示す。

- ▶ 背面の嵩上げによる防波堤の活動・転倒への抵抗力の増大によるケーソンの小型化。
- ▶ 浅場での消波効果による越波起因の伝達波の削減。

(3) 生物共生加工堤体

既存の防波堤内側で観察されたサンゴの付着状況を図-7に示す。図-7より、サンゴの付着位置は、防波堤の接合部付近で外海からの海水の流れが確保され、更に光合成に必要な光が確保される箇所となっていることがわかる。このことは、流れが確保される位置に光が十分に確保できる場を設けることが、サンゴ場の創出につながることを意味している。



図-7 堤内側のサンゴの付着状況¹⁾

サンゴの着生基盤の確保には、光合成に必要な光の確保が可能な南面の直立壁に生物共生加工堤体として図-8に示すような小段を設けることで基盤の投影面積が増加し、直立壁の有効活用が可能になると考える。

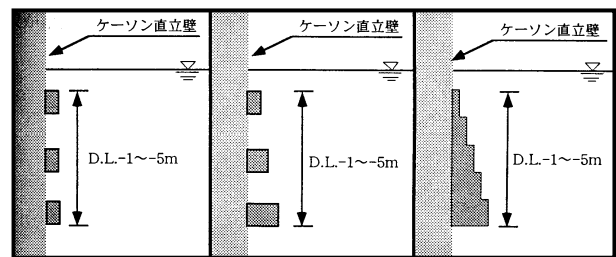


図-8 生物共生加工の一例¹⁾

4. 工学的な知見に基づく提案

4.1 サンゴを取り巻く環境要素に着目した方策

本研究では、サンゴを取り巻く環境要素のうち流れ、光環境および水質に着目し、防波堤背面の活用方策として以下の提案を行った（図-9 参照）。

①流れおよび光環境の確保

防波堤の堤体に海水交換型堤体を採用することで防波堤背面に流れを確保する。さらに、防波堤背面を嵩上げすることで浅場を造成し、光環境を十分確保して新たなサンゴ場を創出する。

海水交換型防波堤による流れは海水交換の効率化の面からは一方向流が望ましく、また、自然材料が不足する環境下では防波堤背面の嵩上げにリサイクル材を使用することも環境の保全という大きな目標から見て有効な対策となる。

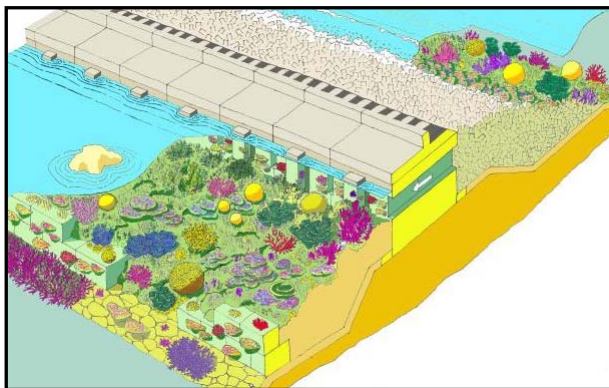


図-9 流れおよび光環境の確保の一例

②良好な水質・環境の確保

局所的にサンゴの生育に対するオアシス的な環境を整備し、高温水によるサンゴの白化やオニヒトデによる食害があった場合にも、卵の供給を可能とする種場を設け、サンゴの再生の足掛かりとする。

環境整備に使用するエネルギーは、風力発電のような自然エネルギーの活用が望ましいが、環境が産み出す価値を含めたトータルコストにより、外部からのエネルギーの活用も視野に入れた検討が必要である（図-10 参照）。

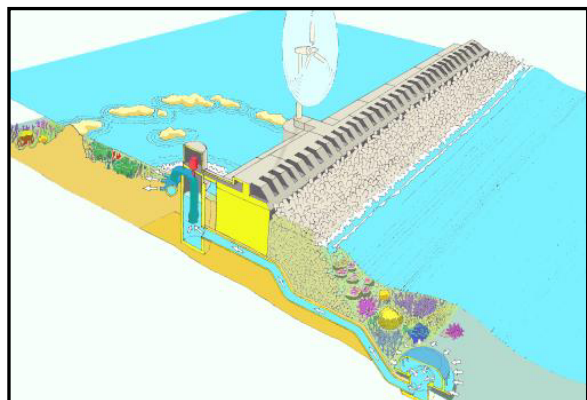


図-10 良好な水質・環境の確保の一例

4.2 サンゴ場に配置可能なゾーン

サンゴ場は、サンゴを中心に多様な生態系により構成され、美しさによる観光資源、多様な生態系としての研究対象、種の保全などの多様な価値が存在する。新たに創出するサンゴ場に、これらの多様な価値を適切に配置するには表-2に示すように機能・活用内容を明確しゾーン化することが有効である。しかし、新たなサンゴ場は、自然の力により創造されるため、当初に概略的な配置を計画することは良いが、詳細なゾーニングは、当初計画の方策に固執せずサンゴ場の創造後に定期的な実施される環境調査結果に基づいたものとしなければならない。

表-2 サンゴ場に配置可能なゾーン

	機能・活用内容	人の立ち入り
サンゴ保全ゾーン	・サンクチュアリ	完全立ち入り禁止
サンゴ鑑賞ゾーン	・グラスボートなどでのサンゴ鑑賞	船舶のみ
自然観察・体験ゾーン	・防波堤上陸からの自然観察 ・シュノーケリングなどのエコツアー	立ち入り可（環境負荷を考慮した人数制限が必要）
種苗生産ゾーン	・サンゴ増殖のための種苗生産	関係者以外立ち入り禁止
研究ゾーン	・サンゴ保全・増殖技術の研究開発	関係者以外立ち入り禁止

4.3 環境に勾配を持たせた段階的な整備

新たな環境の創出に際しては、「環境に勾配を持たせる」がキーワードとなる。これは環境の創出は自然がなせる技であり、技術者は自然が様々な造形を可能とする多様な場を提供し、新たなサンゴ場の創出は自然の意志に任せることを意味する。この整備で重要なことは、整備の段階毎に技術者の工学的・生物学的な判断に基づいた計画の見直しが可能で当初計画を策定することである。

また、ゾーニングは、創出された場の多彩な環境に応じた計画が可能であるが、人為的に必要以上の方策を実施することは避け、自然の造形に任せ自然が創出する場の機能を活用することが、新たに創出した場が安定した機能を長期間発揮できる対策と言える。

5. おわりに

時代の要請は、社会資本を整備においても「環境への配慮」を求め、環境との共生を強く意識した計画策定と事業実施に対する説明責任を求めている。本稿は、沖縄というサンゴの重要性を十分に認識した地域での社会資本整備についての一考察を述べたものであり、今後の社会資本整備の計画策定に活用されることを期待する。

最後に、本稿は、「環境創造・生物共生型港湾整備方策検討委員会」（座長 鶴谷広一 東海大学教授）における検討結果の一部を抜粋したものであり、関係各位に心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 海の自然再生ワーキンググループ：海の自然再生ハンドブック、第4巻 サンゴ礁編、ぎょうせい、103p.、2003.