

〈 沖縄におけるサンゴ・マングローブ等の自然環境に 配慮した漁港構造物について 〉

Eco-friendly technologies for fishing port facilities improvement in Okinawa regarding to coral, mangrove, etc.

業務名	沖縄における自然環境に配慮した漁港施設整備のあり方調査 (14-382, 15-382)
委託者	内閣府沖縄総合事務局
担当者	(我原弘昭), 山本秀一, 田村圭一

Reviewing past examples of eco-friendly technologies, as well as findings from field surveys, we applied those results for improvement works of fishing port facilities in Okinawa.

In regard to coral reservation and restoration for the project of constructing outskirts structures such as breakwaters, it is advisable to employ the existing methods of transplanting or relocating coral reefs, or the methods expediting coral larvae settlement by uneven-surfaces on substrate. The newly conducted field survey of the waterway in Tonosiro Fishing Port indicates that adopting gently inclined slopes in waterways is considered to be a feasible option for coral reestablishment and it is desirable to install stable substrata on the bottom of waterways. Regarding to mangrove restoration on and around fishing port structures, it is necessary to take into consideration the fact that the settlement and growth of seedlings can be affected by waves.

Key words : Eco-friendly technologies, fishing port facilities, coral reservation and restoration, waterways, gently-inclined slopes, mangrove restoration

1. 調査の目的

近年、自然海浜、藻場・干潟、サンゴ礁等の自然環境への国民的関心が高まる中、漁場環境の保全・創造と沿岸域の高度利用を図るため、漁業の根拠地である漁港整備においては、周辺海域の波・流れ、地形、水質等に加え、水産動植物の環境を把握するとともに、これらの自然環境に配慮した「自然調和型漁港づくり」が求められている。このような状況の中で、沖縄県は日本でも数少ない熱帯海域に属し、サンゴ礁が発達して広大な浅海域が形成される沿岸域は、水産生物の産卵場や幼魚の育成場となっている。また、河口や海岸付近の干満のある一帯は、マングローブ林に特徴づけられる浅場が広がり、水産資源涵養の場として重要な役割を担っている。

本研究は、関連する既往事例や新たな現地調査結果を分析・評価し、沖縄県のサンゴやマングローブ等熱帯海域の特性に適した自然調和型漁港構造物について提案することを目的とする。

2. 調査の内容および方法

沖縄県の環境特性を踏まえた自然環境に配慮した漁港構造物の建設技術としては、サンゴ群集の保全・再生に関する技術、マングローブ植栽に関する技術、藻場の保全・再生技術、海水交流技術等があげられる。これらを対象とし、関連する既往実施事例の収集・ヒアリングや新たな現地調査を行い、技術の適用性について検討した。サンゴ群集に関する技術としては、漁港の特徴としてリーフ内に航路や泊地等水域施設を浚渫により整備することが多いことから、2003年9月に石垣島に位置する登野城漁港の開削航路における現地調査を実施し、新たな技術的知見を得た。サンゴ群集の移植・移築による直接的影響区間の保全技術や、基質の凹凸加工や基盤整備による着生促進技術については、既に実績のある既往の知見による

こととした。マングローブ植栽に関する技術については、1993年以降漁港等で試験的に実施されてきた事例や、「自然調和型漁港づくり推進事業」により整備してきた宮古島に位置する川満漁港における植栽地帯（1995～1997年植栽）の形成状況を2004年2月に現地調査により把握した。

このように分析・評価した技術について、その適用と基本方針等を整理するとともに、具体的にモデル漁港に適用しケーススタディを行った。

3. 沖縄県における自然環境特性と環境創造技術について

3.1 沖縄の自然環境特性

沖縄県は、琉球列島からなり、生息生物は列島形成などの地史に関係し、海洋によって隔離された島嶼環境と亜熱帯・海洋性気候という環境条件の影響を受け、生物地理学的にも貴重な生物が生育・生息し、多種多様な生物相を創り出している。沖縄県における漁港施設整備においては、サンゴ礁等の分布および変遷の状況を前提条件として自然環境への配慮のあり方について検討することが必要である。

漁港周辺の浅海域に生息する水産動植物のうち、自然環境に配慮することで増養殖の促進が期待されるものには、ヒトエグサ、オキナワモズク、ハマフエフキ、ノコギリガザミ、シラヒゲウニ等がある。

戦後の開発に伴い、沿岸域の赤土汚染が広がり、また家庭雑排水の流入などにより、藻場やサンゴ礁の消滅、漁場の喪失等が生じており、漁業や観光にも大きな影響を与えている。海域環境の悪化、オニヒトデによる食害、1998年に世界的規模で発生した白化現象¹⁾などによりサンゴ群集が衰退し、磯の機能低下の範囲が広がっている。

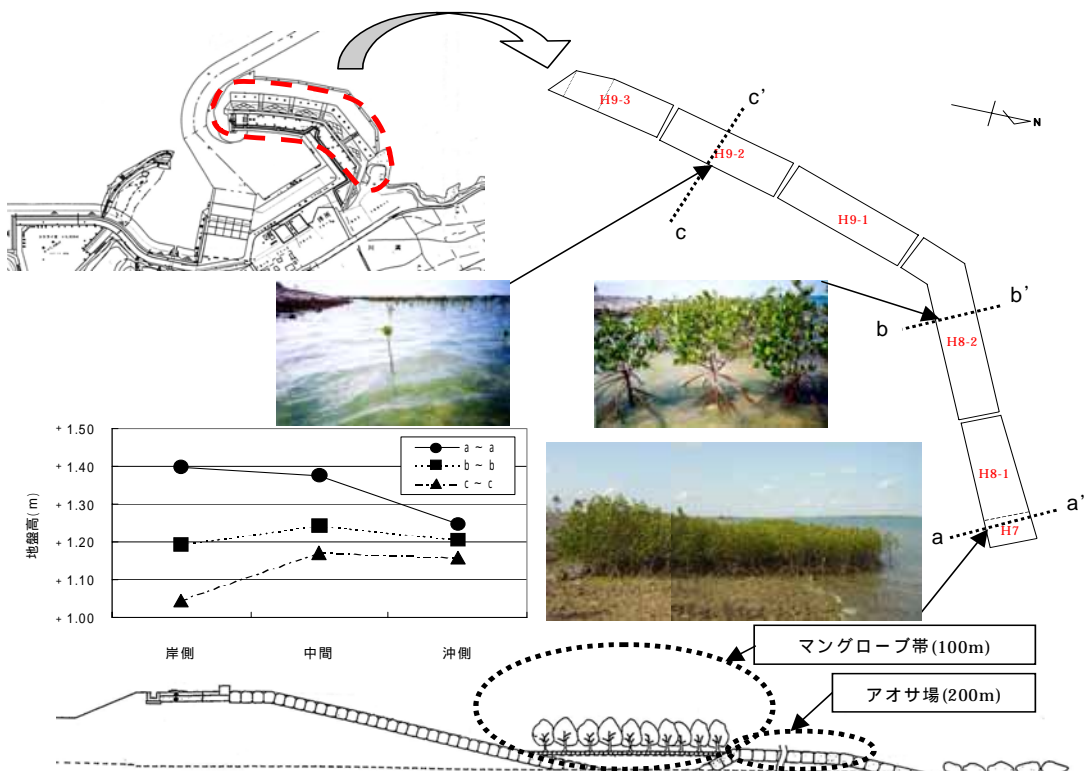


図-1 川満漁港におけるマングローブ植栽の平面図と断面図(2004年2月)

3.2 マングローブ植栽に関する技術事例

(1) 植栽樹工法（漁港および海岸）

マングローブ植栽は漁港や海岸の護岸・防波堤において1992年以降現在までに主に修景を目的として実

施されている^{2), 3), 4)}。これらの多くは閉鎖したコンクリート柵に土を入れて蓋をしたものに植樹する植栽柵工法が採用されているが、単木での移植と比較して定着の可能性が高いためである。生残率は静穏な場所が高いようで、台風時の葉へのダメージが問題となっている。

マングローブ種苗が定着できる条件は、枝葉のある部分は水没しないか、水没しても短時間であること、波浪によって枝葉のすべてが破壊されないこと、根もとが洗掘されないこと、養分が供給できる基盤であることである。具体的な設計条件については既往の資料に整理されているが、昨今の実験等に関するヒアリングでは、植栽柵の表面高さは、M.W.L.からM.W.L. + 0.5mの範囲が望ましいこと、マングローブは、周辺部の個体が中央部の個体を守るような配置にすることで群集構造を維持することができること、H.W.L.以上にはモンパノキ等が植栽対象となりうることなどが明らかになっている。

(2) マングローブ(実生)の直植え(川満漁港)

川満漁港では、護岸前面にアオサ用の平場を形成し、その背後にマングローブ種苗(ヤエヤマヒルギの実生)を直植えしている。図-1に2004年2月の川満漁港におけるマングローブ植栽の平面図と断面図を示す。構造物の基部にあたるH7地区では良好に生育しているが、H9地区では明らかに生育が悪い。地盤高を見ると、H7地区で全体的に高くD.L.+1.2mから+1.4mであり、H9地区で低くD.L.+1.0mから1.2mである。岸沖方向断面で見ると、H7地区では岸側から沖に向けてなだらかに傾斜しているのに対し、H9地区では岸側でくぼんでおり、沖側が高くなっていることなどから、地盤高とマングローブの生育との関係が考えられる。また、H7地区と比較してH9地区では台風等の暴浪時に防波堤の天端面まで波が遡上することが確認されており、波浪の影響が大きい。つまり、波当たりの弱いH7地区ではマングローブの生長は良好だが、波当たりの強いH9地区ではマングローブが直接的に波浪の影響を受けたり、洗掘により地盤高が低下することなどによって生長が遅いものと考えられる。生長の良いH7地区でも、図-1の写真に示すように外側よりも内側のマングローブの方が大きく、マングローブ同士が守り合うことによって、波浪の影響を直接受けない場所ほど生長が速くなるものと考えられる。

なお、ごみが枝葉に絡まるのも生長を妨げることから、地元住民や小学生が、ごみの回収や新たな実生の植付けを続けており、自然再生における海の教育の場としても評価できる。

3.3 サンゴ群集の保全・再生に関する技術事例

(1) サンゴの移植・移築等

サンゴ礁の保全技術としては、サンゴが十分に成育している海域から、サンゴが荒廃した海域にサンゴ片を移植することが行われている⁵⁾。また、防波堤建設などで消滅する海域では、サンゴが着生した岩盤や岩塊を塊のまま移動する移築技術によって、サンゴ以外の生物も保全することも実施されている⁶⁾。その他、ブロック表面の凹凸加工技術、基質投入技術がある⁷⁾。

(2) 航路におけるサンゴ群集(登野城漁港)

登野城漁港の航路底面の底質は岩礁の破碎屑や死サンゴから成る砂礫であり、水深は8mである。航路沿いの礁原では卓状・散房花状ミドリイシ類が優占する高被度のサンゴ群集が形成されている。斜面部には、ミドリイシ類が多くみられ、底面部付近ではサンゴ群集の被度は低い。サンゴ群集の被度は、岩盤上で高く砂礫質地盤上では低い。砂礫質地盤上に安定した基盤が存在する場所ではサンゴ群集が分布している。

このようなサンゴ群集の成長は、主に流速と光量に依存する。航路部は、流速が極めて速く、上げ潮時、下げ潮時には潮汐流によって0.5m/sec以上にも達するが、水深による変化は小さい。光量は水深と傾度(基盤面の傾き)によって減衰することから、浅くて傾度が低い部分で成長が速いのは、主に光量に依存しているためと考えられる。調査結果をもとに重回帰分析を行った結果、式-1によってサンゴ群集の被度は水深と傾度で説明することができた。式-1を検証するために、実測した水深と傾度をもとに算出した計算値(X軸)と実際に計測されたサンゴ群集の被度(Y軸)の関係を求め図-2に示す。

$$Y = 6.44X_1 - 0.34X_2 + 81.2 \quad (\text{式-1})$$

Y : サンゴ群集の被度

X₁ : 水深 (m:D.L.基準)

X₂ : 傾度 (°)

図-3, 4および写真-1によると、サンゴ群集の被度は水深D.L.0mからD.L.-4m程度で高く、傾度は0°から45°で高い。したがって、航路を開削する場合、図-5に示すようにサンゴ群集の被度の高い範囲は緩勾配で掘削し、サンゴの着生面積を拡大することが望ましい。また、航路部の底部については、可能な範囲で安定した基盤を設置することによりサンゴ群集の修復に寄与できるものと考えられる。

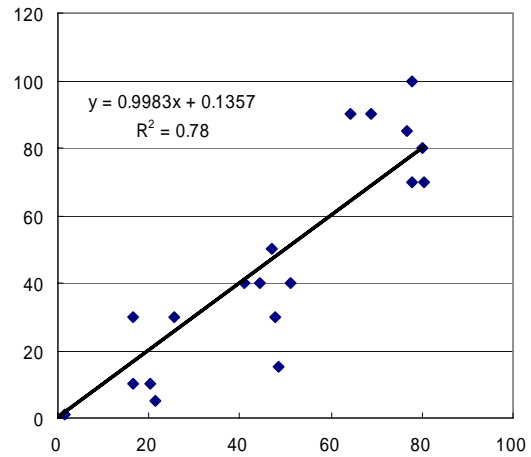


図-2 計算値と計測値の相関

X軸：計算値、Y軸：計測値

3.4 藻場・干潟造成に関する技術事例

藻場については、投石等による藻場造成が行われている⁸⁾。既存資料等や自然調和型漁港づくり推進地区におけるモニタリング結果より、藻場の形成水深帯は、主に波浪・流動、水質、着生基盤によって決定されるため、事前に対象とする海藻類の水深帯を明らかにして着生基盤を整備することが必要である。沖縄県内では、川満漁港におけるアオサ場造成の事例（図-1）がある。高さD.L.+1.0mから+1.2mの潜堤上にはアオサ（ヒトエグサ）が繁殖し、地域住民の採捕場となっている。潜堤前面の捨石の隙間は稚エビや稚ガニの生息場ともなっている。

3.5 海水交流に関する技術事例

昨今の事例としては、港奥部の水質環境を保全するため、防波堤に通水部を設けているものがある。登野城漁港では、防波堤堤体ケーソン同士に一定の間隔を確保している。また、宮古島に位置する保良漁港では、ヒューム管で港外と港内をつなげている。いずれの場合も、リーフ上の波浪による水位上昇や潮汐による港内外の水位差を活用して港内へ導水するというものである。港内には海水が導入され、良好な水質環境を維持している。

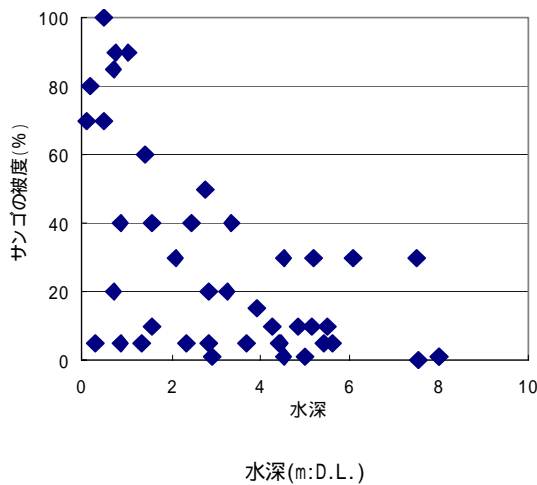


図-3 水深とサンゴの被度の関係

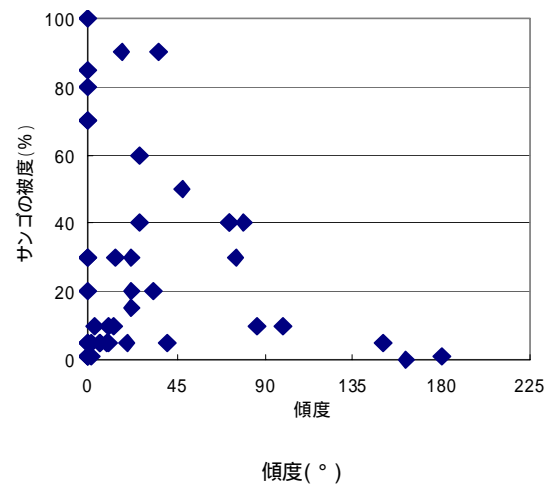


図-4 傾度とサンゴの被度の関係

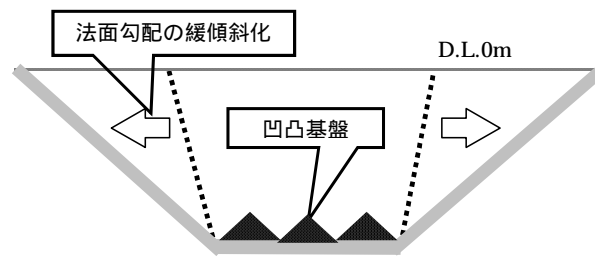


図-5 航路計画上のサンゴ群集への配慮



写真-1 傾度の違いによるサンゴ群集の状況 (左：傾度0°，中：傾度45°，右：傾度90°)

4. 自然環境に配慮した漁港施設整備の基本方針等について

4.1 防波堤・護岸等外郭施設

港内を蓄養殖や中間育成に利用，荷捌き所や市場での洗浄水として利用，都市漁村交流など海辺空間の利用の観点から，水域環境を良好に維持する必要がある⁹⁾。沖縄における漁港はリーフ内に防波堤を築造して漁港内の航路・泊地の水域施設を浚渫して整備する機会が多いため，主に潮汐の干満差とそれに起因する潮汐流によって海水交流を促進する必要がある。このとき，潮流調査・潮流シミュレーションを行い，流動場の状況を把握した上で適正な位置と規模の通水部を配置する。

周辺に良好な天然藻場・サンゴ群集が形成されている場合には，原則として天然藻場やサンゴ群集に配慮した構造とすることが必要である。具体的な基本構造としては，捨石マウンドの幅を延伸した防波堤や広幅潜堤などにより海藻やサンゴ群集の着生面積を拡大することができる。サンゴ群集については，構造物表面を凹凸加工することによる着生の促進や海水交流によるサンゴ群集の成長に適した環境条件の形成などの技術が適用できる。また，施工計画区域に分布しているサンゴ群集は，影響のない区域に移植・移築することで保全するとともに新たな場所での再生を促進することができる。

4.2 航路・泊地等水域施設

漁港内の航路・泊地は浚渫して整備することが多いことから，サンゴ群集や藻場等の自然環境に配慮して整備する必要がある。具体的には，生物の生息に適した地盤高を開削する場合，その影響範囲を最小化するとともに，生育している生物を移動（移植・移築）する。生物の生息に適していない地盤高を開削する場合には，生物の生育に適した水深帯の面積を拡大するように，航路の法面勾配を可能な範囲で緩勾配にする。また，航路底面に砂泥が堆積するとサンゴ群集が生息できないことから，可能な範囲で航路底面に安定基盤を配置することによりサンゴ群集の着生基盤とすることが可能である。

4.3 植栽等環境施設

漁港における景観を保持し、快適で潤いのある漁港環境の創出および労働環境向上等を図るため、漁業活動状況、地域特性、自然環境との調和等に考慮する必要がある。さらに、沖縄の漁港では、観光や環境教育の拠点としての機能も期待されていることから、景観面での沖縄独自の自然環境との調和は特に重要である。景観を形成する植栽には、沖縄には独自の植生（マングローブ・モンパノキ等）があり、これらを活用することが考えられる。防波堤における植栽の状況を写真-2に示す。



写真-2 防波堤における植栽事例

5. 自然環境に配慮した漁港構造物整備計画の策定フロー

自然環境に配慮した漁港構造物の整備計画の策定フローを図-6に示す。

計画対象地区周辺の藻場・干潟・サンゴ礁・海浜植生の現況および推移について既往資料や現地分布状況調査により把握する。計画が周辺環境へ及ぼす影響が想定される項目については、その程度を予測・評価する。影響の程度が大きいものについては、これを回避・最小化する方策を講じるとともに、環境創造技術の適用を検討することになる。

計画対象地区の自然環境と社会環境を考慮して、環境創造の基本方針を設定するとともに、環境創造技術を設定する。次に、計画対象地区をいくつかのゾーンに区分し、各ゾーンに環境創造の基本方針を設定し、それぞれ環境創造技術を適用する。各技術を具体的に適用する際の留意事項を図-7に示す。

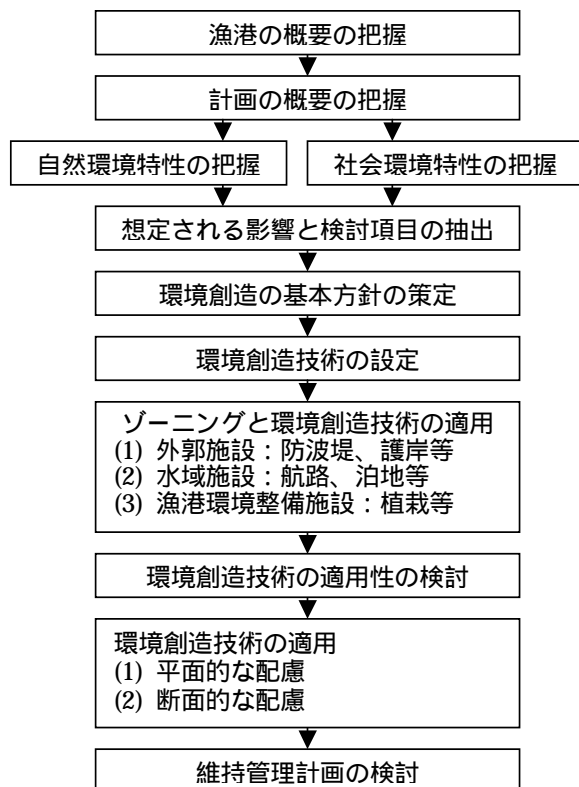


図-6 沖縄における藻場・サンゴ群集型防波堤の整備計画フロー

基本方針の例	適用技術	留意事項	
サンゴ群集の保全・再生	サンゴ群集の保全再生技術	移植・移築 航路法面緩勾配化	水深・光量 採取・輸送 技術等
景観の保全	マングローブ植栽技術	修景・植栽	周辺植生 管理体制等
多様な生物相の保全・再生	藻場の保全・再生技術	アオサ場、 大型藻場造成	水深・光量等
環境教育の場の形成	海水交流技術	海水交換防波堤	水質・流速等
	その他	タイドプール	管理体制等

図-7 適用技術と留意事項

6. 環境創造技術の適用に関するケーススタディ

6.1 A漁港整備における環境創造基本方針等

(1) 漁港周辺の環境特性

A漁港の整備計画区域には大小さまざまなタイドプールが形成されている。礁池内にはハマサンゴが分布し、マイクロアトール（小環礁）を形成し小型魚介類の成育場となっている。礁斜面は、サンゴ群集の被度が極めて低いが、これは、サンゴ種苗の供給不足や食害動物や1998年の世界的な白化現象の影響等によるものと考えられる。また、周辺にはモンパノキ群集等岩礁海岸植生が形成されている。防波堤建設に伴う礁池内の流況の変化と水質、水生生物、景観等への影響が懸念される。

(2) 環境創造基本方針等

ケーススタディとしての環境創造の基本方針は、自然環境条件と社会環境条件を考慮して、多様な生物相の保全・再生、環境教育の場の形成とする。対象漁港は、防波堤、護岸、泊地・航路、潮どおしゾーンに区分し、環境創造技術を適用する。

なお、以下の内容は各技術の適用性について検討したもので、実施の是非については今後の検討課題である。

6.2 環境創造技術の配置・構造上の適用

既往調査における流況変化に関する数値計算による予測結果によると、ビーチと陸域（既存道路部）を通水することで漁港内の海水交流がかなり広い範囲で改善される。また防波堤建設予定箇所は、藻場やサンゴ群集の保全・再生には適さない地盤高である。以上より想定される環境創造技術の適用を図-8に示すとともに以下に概説する。

(1) 修景・植栽への配慮

- ・防波堤では、現地盤高がD.L. -0.5mから+0.2mの浅瀬に計画天端高D.L. + 8.4mの構造物が計画されており、良好な自然景観を有していることから、景観への配慮が重要である。
- ・防波堤・護岸では、マングローブやモンパノキ等による植栽、修景岩や自然石による修景を行う。

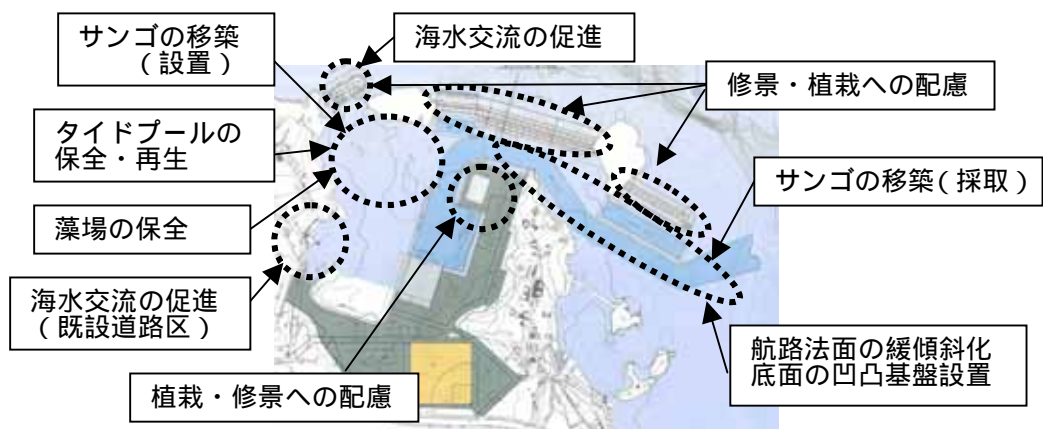


図-8 A漁港における環境創造技術適用のイメージ

(2) 海水交流による港内水質環境保全

- ・ビーチと陸域をつなぐ既設道路区は、通水することで漁港内の海水交流がかなり広い範囲で改善されることが判明しており、港内の藻場・サンゴ群集を保全するため、通水型の構造に改良する。
- ・防波堤についても可能な範囲で透過型の構造や天端高の低減を図る。

(3) タイドプールの保全・再生

- ・航路や泊地計画のない場所に存在するタイドプールは可能な範囲で保全・再生する。

(4) 藻場の保全

- ・ 航路や泊地計画のない場所に存在する海藻類は可能な範囲で保全する。

(5) サンゴ群集の保全・再生

- ・ 航路や泊地計画のない場所に存在するサンゴ類群集は可能な範囲で保全する。
- ・ 航路や泊地計画に存在するハマサンゴ等の群体は、現存するタイドプール等に移築する。
- ・ 航路や泊地の法面を緩勾配にしてサンゴ群集の再生を図る。
- ・ 航路や泊地の底面は、サンゴ群集の着生に配慮し、安定した岩盤状の凹凸基盤を配置する。

7. おわりに

本研究では、関連する既往事例や新たな現地調査結果を解析し、サンゴ礁やマングローブ等に代表される沖縄県の特性に適した自然調和型漁港構造物の計画に必要な適用技術の提案を行うとともに、計画手順や各種技術適用の際の留意事項を示した。さらに、ケーススタディを礁池内に外郭施設、水域施設等を計画している漁港について行い、沖縄の自然環境に適した漁港構造物について具体的検討を行った。

これら技術の実施とモニタリング調査によるフィードバックおよび技術蓄積が今後の課題である。

参考文献

- 1) 土屋誠：サンゴ礁からの警告-最大規模の白化現象は何を意味するか-，GALAXEA，pp.27-29，1999.
- 2) 佐藤一紘：沿岸での防災・修景へのマングローブの利用に関する研究()～()，マングローブを中心とした生態系の解明に関する研究，科学技術庁.
- 3) 福屋正嗣：マングローブを利用した漁港構造物緑化に関する研究，日本水産工学会学術講演会講演集，第10巻，1996.
- 4) (財)漁港漁村建設技術研究所：階段式護岸および被覆石積み防波堤の緑化のためのマングローブの利用に関する研究，沖縄マングローブ工学研究会，1995.
- 5) 大久保奈弥，大森信：世界の造礁サンゴの移植レビュー，GALAXEA，pp.31-40，2001.
- 6) 石井正樹，前幸地紀和，大村誠，山本秀一，高橋由浩，田村圭一：平良港におけるサンゴ礁群集に配慮した環境修復技術，海岸工学論文集，第48巻，pp.1301-1305，2001.
- 7) (財)港湾空間高度化環境研究センター：サンゴ礁と共生する港湾整備マニュアル案，1999.
- 8) 水産庁：藻場造成型漁港構造物調査・設計ガイドライン，2003.
- 9) 水産庁：海水交換を考慮した防波堤の構造形式・特性等，漁港漁村整備技術調査委託報告書，pp.109-113，2000.