

サンゴ着生促進技術を利用した港湾整備におけるサンゴ礁との共生指針

港湾計画課

1. サンゴ着生促進技術について

1990年代の環境現況調査において、防波堤の消波ブロック上にサンゴの自然着生が確認され、港湾等構造物がサンゴの新たな生息場として機能する可能性が見出された（森田ら，1992）¹⁾。その後、サンゴ群集の成長プロセスをモニタリング調査した結果、比較的短時間で自然のサンゴ礁と同等以上の生息分布になることが明らかとなった。

このことを受け、より効果的にサンゴ群集を加入・着生させることを期待して、サンゴが着生し易いようブロック基盤表面に凹凸加工を施す実験を試みた。その結果、無加工区に比べて凹凸加工区でサンゴ群集の被度（単位面積あたりにサンゴが占める割合）が高くなることが確認され、「サンゴ着生促進技術（エコブロック）」の開発、事業化に至っている（例えば、三宅ら，2006）²⁾。

本技術は構造物本来の機能を損なわず、安価でかつ効果的にサンゴ群集の加入・着生を促進できるため、サンゴ礁と共生する港湾等整備を推進するための実用的な技術の一つである。



図-1.1 凹凸加工部分へ集中的に加入・着生したサンゴ群集（那覇港，2007）

1-1. サンゴの加入・着生メカニズム

本技術がサンゴ群集の加入・着生を促進すると考えられるメカニズムを図-1.2に示す（三宅ら，2006）²⁾。サンゴの生息には、卵と精子による有性生殖で生まれたサンゴの幼生が基盤に加入・着生する段階と、着生した後に分裂を繰り返して群体の面積を広げる無性生殖の段階がある。本技術はこれらの両方の段階で効果があると考えられ、図-1.3のように無加工区よりも効果的にサンゴ群集の加入・着生が促進される。

①幼生加入段階

加工部付近で渦流が形成され、幼生がトラップされる効果

②着生初期段階

稚サンゴが隙間で成長し、サンゴ捕食者による影響が軽減される効果

③着生後期段階

凹凸部の着生面積の増大による離脱防止（摩擦力増大）効果

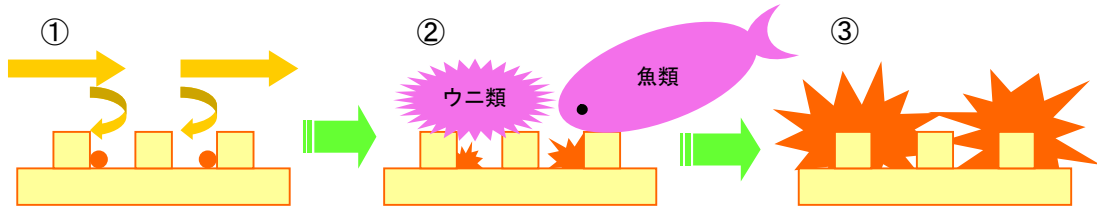
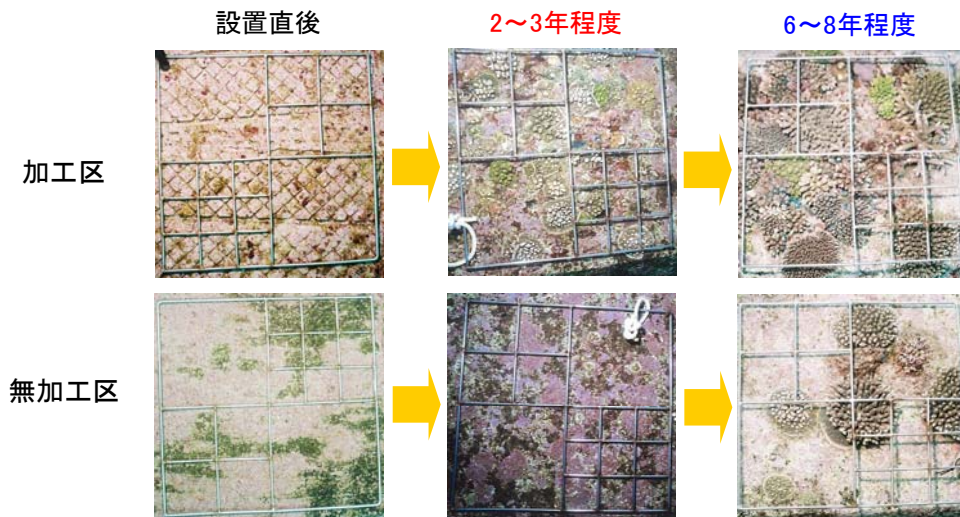
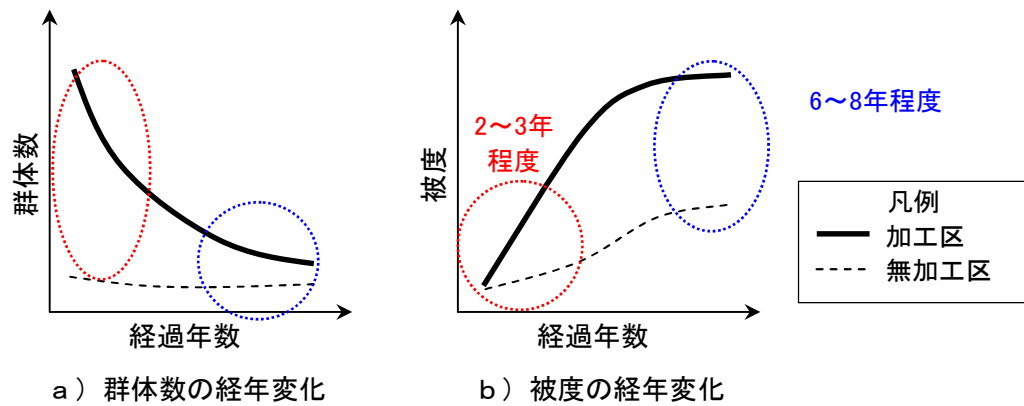


図-1.2 本技術がサンゴの加入・着生，成育を促進すると考えられるメカニズム



※着生したサンゴ群体が成長し、被度が増加する。
 成長の過程で隣り合ったサンゴ群体同士が融合または一方が淘汰されて群体数が減少する。

図-1.3 本技術によるサンゴの加入・着生促進イメージ ²⁾をもとに作成

1-2. 本技術の位置づけ

図-1.4 にサンゴ礁と共生する港湾整備における本技術の位置づけを示す。

本技術は、防災機能と環境配慮機能を両立することのできる、環境配慮の標準化（国土交通省監修，2007）³⁾に寄与する実用的な手法の一つである。

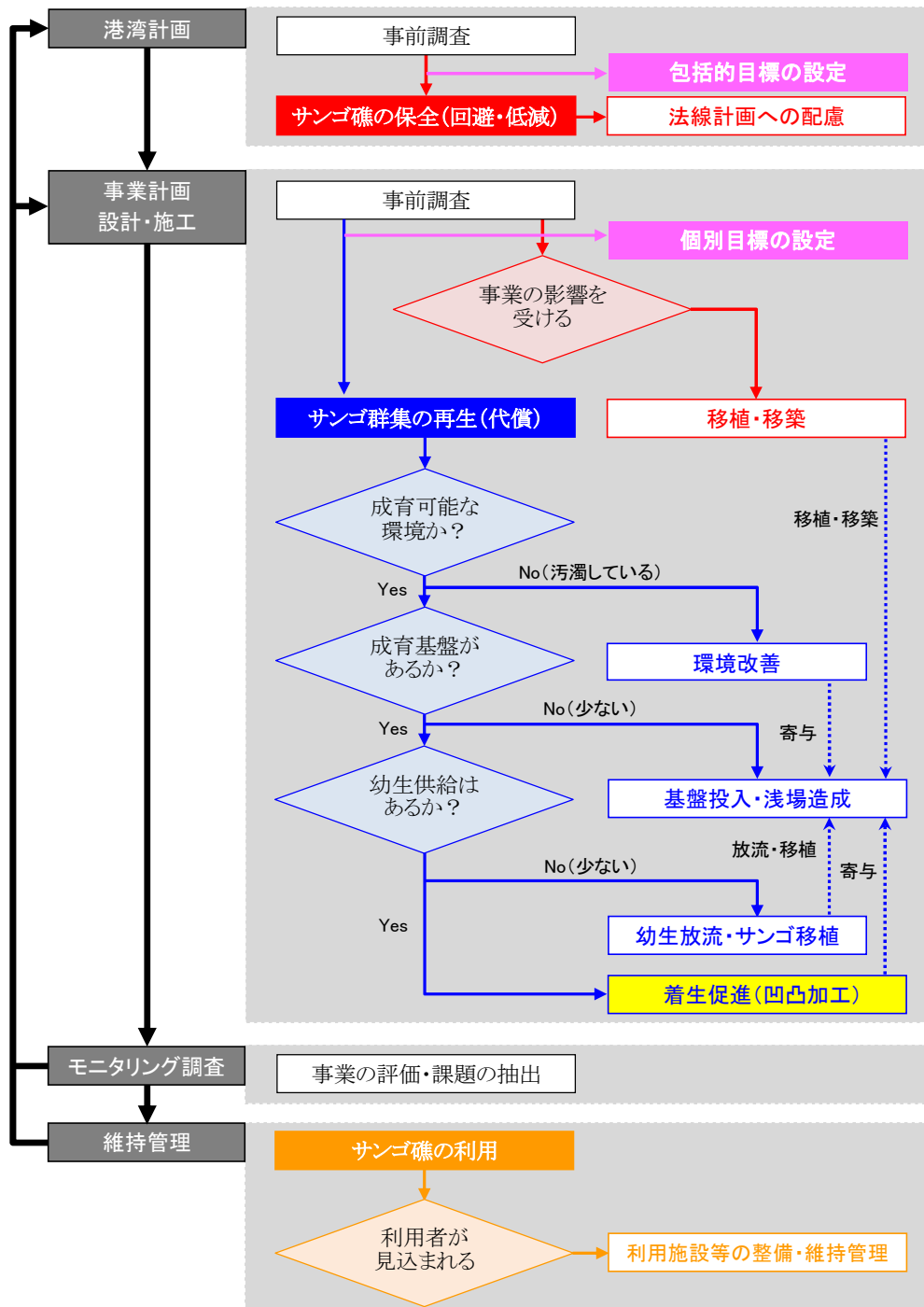


図-1.4 サンゴ礁と共生する港湾整備における本技術の位置づけ

1-3. 本技術の適用箇所イメージ

図-1.5 に本技術の適用箇所イメージを示す。構造物本来の機能を損なわない範囲で港湾，漁港，海岸・海洋の防波堤，護岸，離岸堤，潜堤，突堤等の構成部材（ケーソン，根固・被服ブロック等）の表面に適用する。

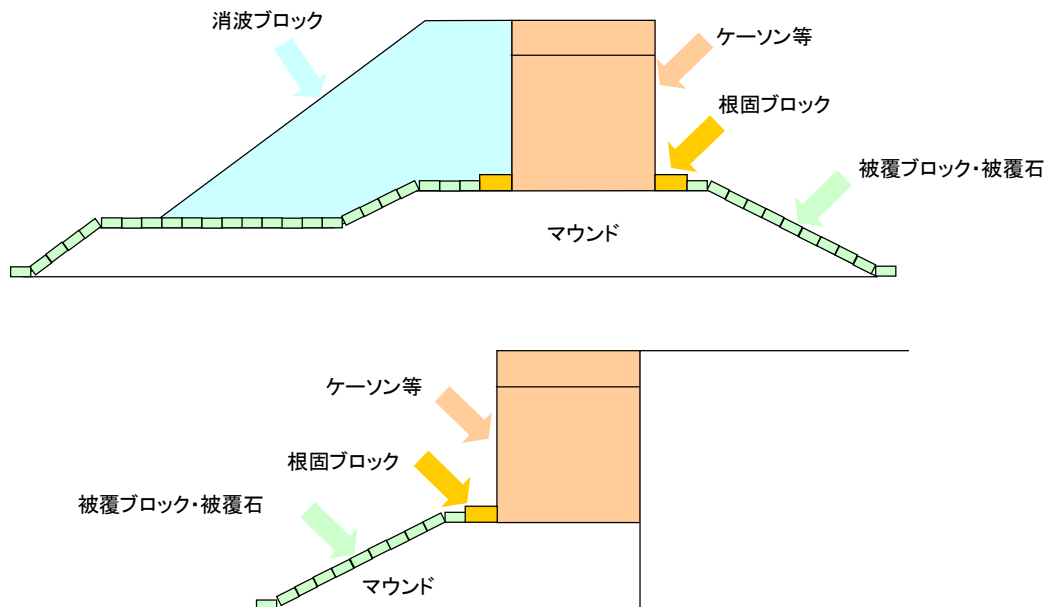


図-1.5 本技術の適用箇所イメージ

2. サンゴ着生促進技術を利用した港湾整備におけるサンゴ礁との共生指針

2-1. 本指針の位置づけ

本指針は，沖縄総合事務局の港湾整備事業等において，土木技術者や環境関連技術者が，構造物へのサンゴの着生を促進する「サンゴ着生促進技術」を適用するうえでの計画・設計・施工等に役立てるものである。

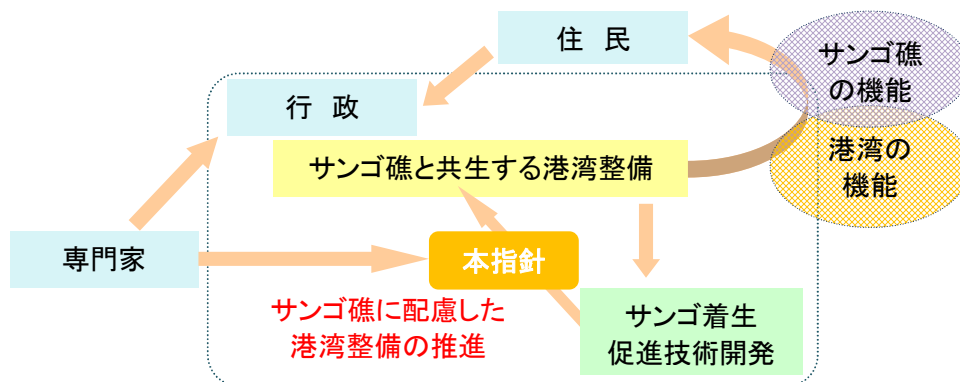


図-2.1 本指針の位置づけ（概念図）

2-2. 適用範囲

本指針は、土木技術者や環境関連技術者が本技術を構造物に適用するにあたってのプロセスに適用する。サンゴ群集の加入・着生の促進が期待できる場合には、経済性、施工性等に配慮して本技術を積極的に適用する。

2-3. 構成

図-2.2 に指針の構成（本編）を示す。本編のほかに、ケーススタディー編として那覇港、平良港の事例を本指針に沿って整理した。また、環境に関する用語集等を添付した。

3. 適用の流れ

3-1. 適用計画の策定

対象海域における上位計画等の社会条件・海域環境条件に関する資料を収集・整理し、適用計画を策定する。指針には、社会条件、海域環境条件の把握に必要な具体的資料のリストと入手方法の例を示した。

下記には、適用計画策定のポイントである、本技術の適用性の判断と適用成果の目標の考え方を示す。

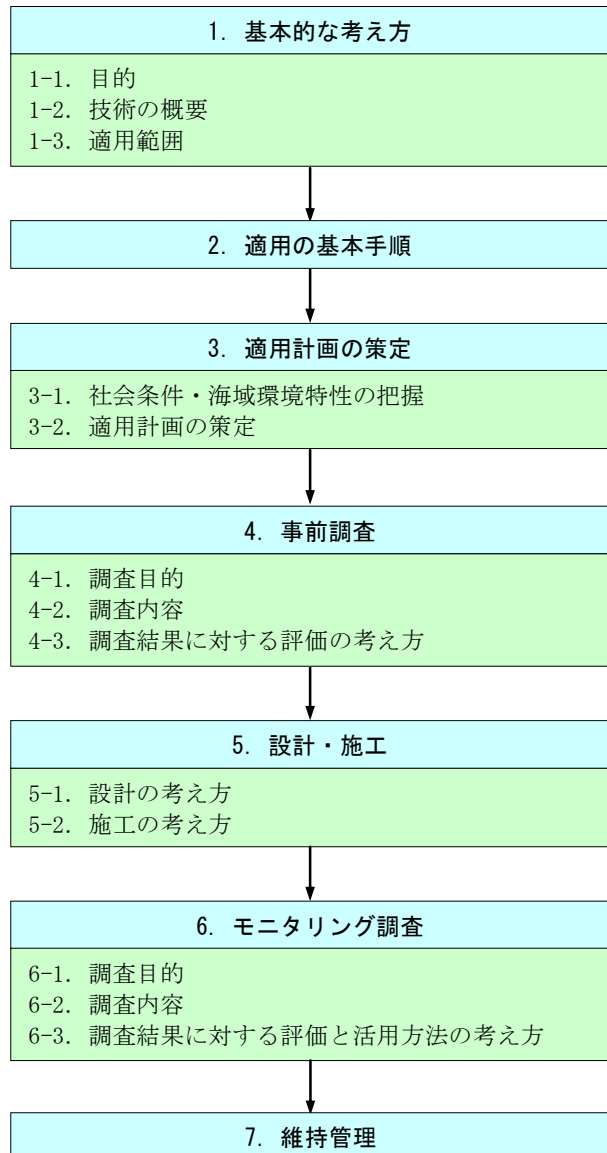


図-2.2 本指針の構成

(1) 技術適応性の判断

本技術の適用にあたっては、サンゴが生息できる基盤があることを前提として、「サンゴが生息可能な環境条件であること」と「サンゴ幼生が自然に供給されること」の要件を満たしている必要があるため（図-3.1）、収集・整理した資料に基づき、本技術の適用性を判断する。指針には、参考として、適用性の判断材料となる水質からみたサンゴ生息の不適正条件の例や SPSS（底質中懸濁物質含量）とサンゴの生息状況の関係を示した。

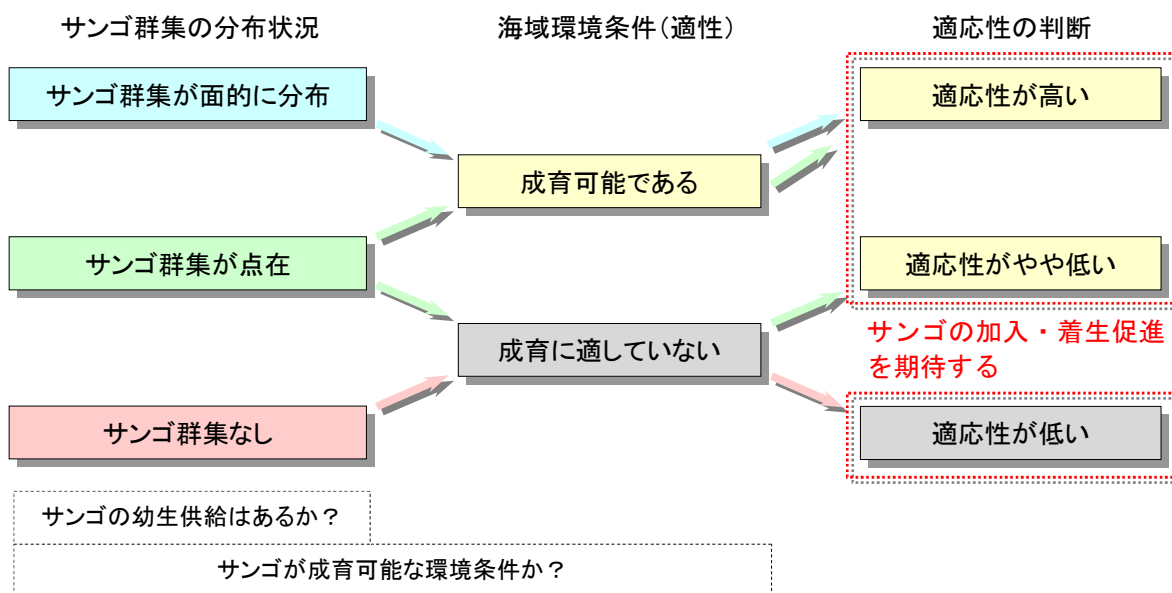


図-3.1 本技術の適応性の判断の考え方

(2) 適用成果の目標の設定の考え方

サンゴ礁の保全・再生技術の適用にあたっては、立案した目標のもと継続的なモニタリングを行って技術を評価し、その結果を踏まえて技術を改善していく順応的管理が重要である（国土交通省監修，2007）³⁾。本指針では、「順応的管理による海辺の自然再生（国交省港湾局監修，2007）」に従って、過去の事例を踏まえて①包括的目標、②行動計画・事業実施方針、③サンゴ着生促進技術の目標達成基準（指標項目、目標レベル、目標達成年次）を検討し、具体的に示した（表-3.1）。

表-3.1 本技術の適用成果の目標の考え方

①包括的目標	②行動計画・事業実施方針	③サンゴ着生促進技術の目標達成基準		
		指標項目	目標レベル	目標達成年次
港湾整備等とサンゴ礁との共生を図ること	各種サンゴの保全・再生技術を適用し、可能な限りサンゴ礁を保全・再生すること	サンゴの群体数	短期的評価： 本技術を適用していない部分より多くのサンゴが加入すること	3年目までに評価
		サンゴの被度	長期的評価： 近傍の天然礁におけるサンゴの被度に近づくこと	8年目まで継続的に評価

3-2. 事前調査

「本技術を適用する際の設計条件を検討すること」と「環境の現況を把握すること」を目的として、既往のデータで不足するものがあれば事前調査を行う。設計条件の要素は、「海域環境条件」、「水深条件」、「凹凸加工の規模」がある（表-3.2）。凹凸加工の規模については、既往の知見に基づいて適切な条件を設定する（3-3. 設計・施工）。

例えば、サンゴの生息に適した水深条件については、サンゴの被度を図-3.2のように図化して被度の高い水深帯を見極める。

表-3.2 設計条件の考え方

要素	設計条件の考え方	計画上の対応	備考
海域環境条件	サンゴの生息の不適正条件でないこと。	平面配置で対応	既往の知見および事前調査結果から判断する。
水深条件	サンゴの生息に適した水深であること。	断面形状で対応	
凹凸加工の規模	サンゴ幼生の加入、サンゴの着生促進に適した形状・寸法であること。	凹凸幅・深さ・稜角で対応	既往の知見を参考にする。

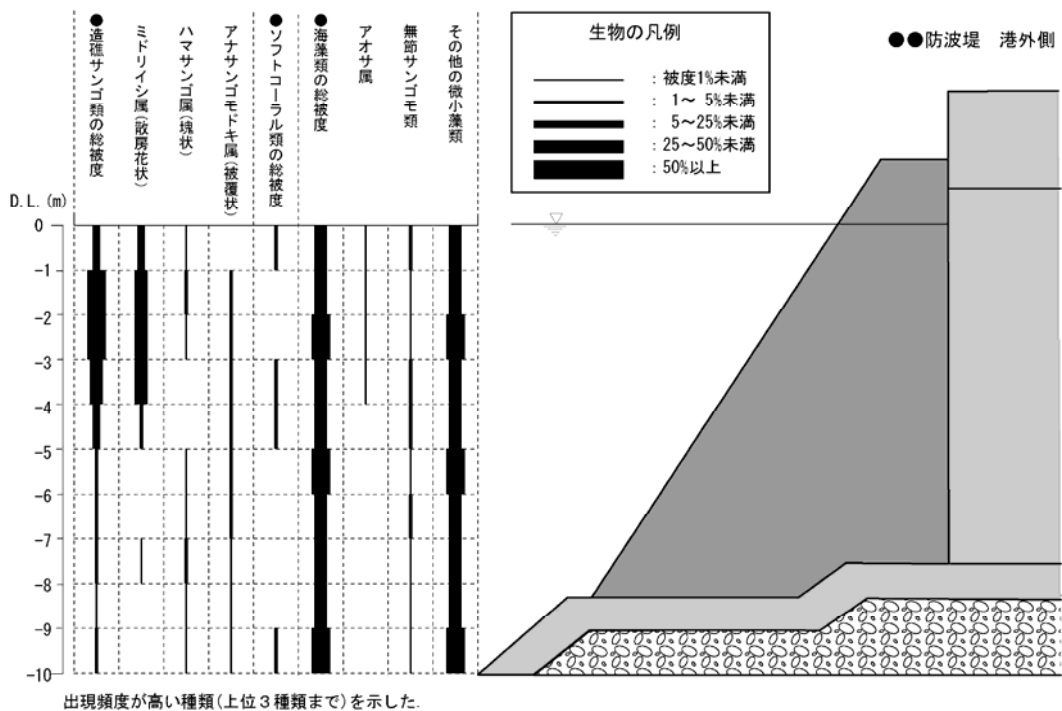


図-3.2 作図による水深別のサンゴの生息状況の把握

3-3. 設計・施工

(1) 設計の考え方

構造物本来の機能を損なわないことを前提として、凹凸加工上の留意点、凹凸加工の適用水深、凹凸加工の形状に配慮した設計を行う。指針では、コンクリートブロックに適用した事例として、①型枠を加工しない場合（那覇港のエコブロック タイプ）と②型枠を加工した場合（平良港の溝加工ブロック タイプ）の設計の考え方を示した。

1) 留意点

設計上の留意点は下記の通りである。

①型枠を加工しない場合（那覇港のエコブロック タイプ）

- ・打設口を対象としてコンクリートが固化する前に適切な形状（後述）に加工する
- ・打設後のコンクリートブロックやケーソンの直立面に、凹凸加工したサンゴ着生基盤（プレート等）を実験的に取り付けた実績があるが、その際には波浪等により外れないように固定する
- ・ブロックの転置、仮置等のワイヤー掛けによって加工部分が著しく破損しないよう、加工位置に配慮する

②型枠を加工した場合（平良港の溝加工ブロック タイプ）

- ・凹凸加工を行う場合、ブロックの体積が減少するため、所要質量を満足しているか確認する
- ・凹凸加工によるブロック強度の低下に留意する
- ・有筋のコンクリートブロック等では、所定のかぶりを確保できるような溝の形状・位置とする
- ・コンクリート打設型枠の脱型などの施工性に配慮した形状とする

2) 凹凸加工の適用水深

本技術は、対象海域においてサンゴの被度が深い水深帯に適用する。過去のモニタリング調査結果を踏まえ、例として那覇港では、D.L. ±0～-5m の範囲が基本とした。

3) 凹凸加工の形状

過去のモニタリング調査結果および他の研究事例の成果を踏まえ、本技術における凹凸加工の形状は、凹凸の深さ（高さ）・幅が5mm から30mm であり、90° 程度の稜角部を有する表面構造とすることを基本とした（図-3.3）。なお、材質（性状）の違いがサンゴの着生・成育状態に与える差は小さいと考えられるため、本指針では特に考慮しないものとした。

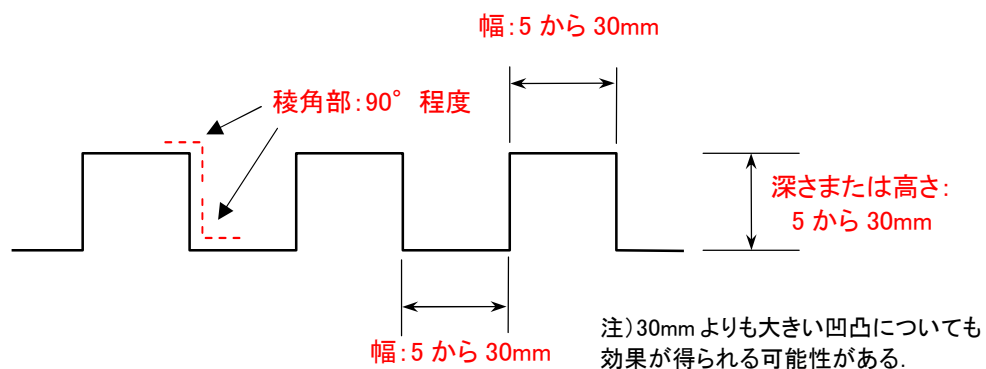


図-3.3 サンゴの着生・生息を促進する凹凸規模の範囲の考え方

(2) 施工の考え方

対象とする構造物の特徴を考慮して、適切な凹凸の形状（凹凸高さまたは深さ、幅）を施工性・経済性・機能性を考慮して施工する。

コンクリートブロックへの凹凸加工方法には、①打設口部分の加工、②凹凸加工した部材の貼り付け、③鋼材の溶接加工、④その他の取付加工がある。施工に際しては、対象海域で用いるコンクリートブロックやケーソンなどの構造物の特徴を考慮して、施工性・経済性・機能性の観点から適切な工法を選定する。図-3.4に基本構造物の特徴に応じた凹凸加工方法選択の考え方を示す。

また、①～④についての方法の概要と施工性、経済性、機能性に関する方法別のメリットとデメリット（表-3.1）のほかに、一般的な施工の各段階における留意点を整理した。

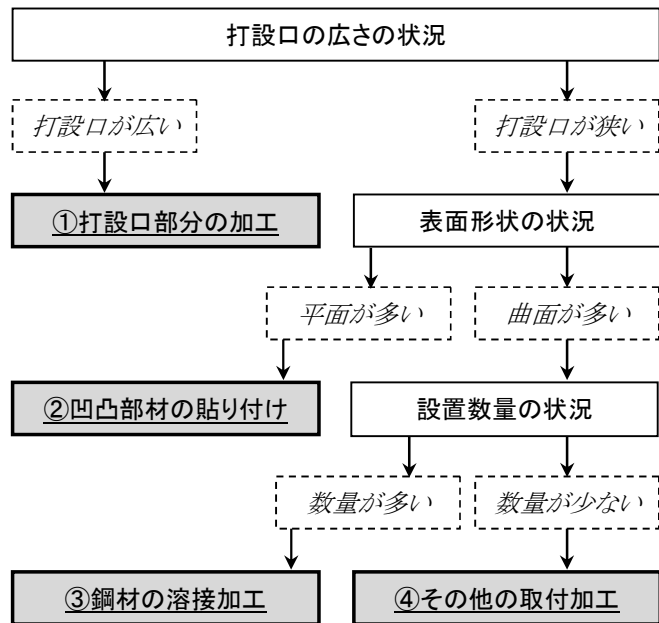
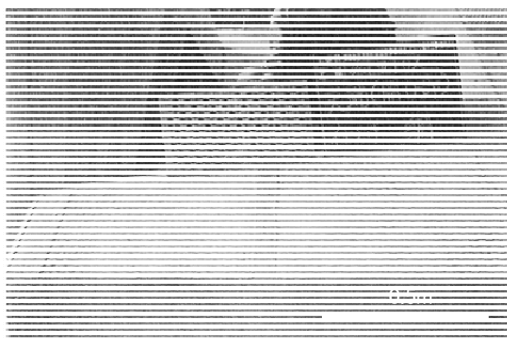
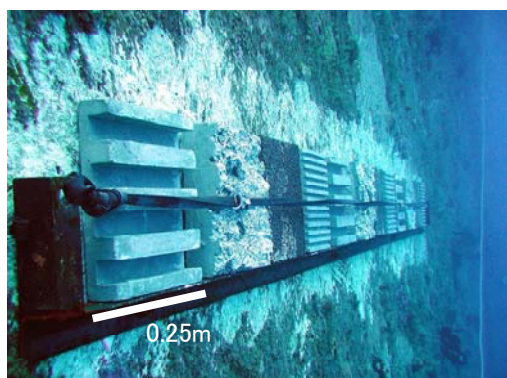


図-3.4 凹凸加工方法選択の考え方



(1) 打設口部分の凹凸加工イメージ：那覇港のエコブロック



(2) ケーソンへの凹凸加工部材の貼り付けイメージ：那覇港



(3) 型枠による凹凸加工のイメージ：平良港の溝加工ブロック

図-3.5 凹凸加工のイメージ

表-3.1 コンクリートブロックへの凹凸加工方法の概要

工法		型枠を加工しない		型枠を加工する	
		①打設口部分の加工	②凹凸部材の貼り付け	③鋼材の溶接加工	④その他の取付加工
施工方法	概要	コンクリート硬化前に、打設口の開口部分へ、凹凸形状を有する道具を押し付けるなどして凹凸加工を施す。	コンクリート硬化後に、凹凸加工した部材を張り付ける。	既存の型枠に鋼材を溶接した型枠を用いて凹凸加工を施す。	既存の型枠に鋼材や木材やゴム等を仮止めした型枠を用いて凹凸加工を施す。
	参考	図-3.5(1)	図-3.5(2)	図-3.5(3)	—
メリットとデメリット	施工性	・単純な作業のため、施工性は高い。 ・打設口が狭いタイプのブロックでは加工範囲が狭い。	・事前に凹凸加工した部材を準備し、固定する作業が必要。 ・平面には貼り付けが容易だが局面では難しい。	凹凸加工した型枠の準備と、凹凸に留意した脱型作業が必要。	凹凸加工した型枠の準備と、凹凸に留意した脱型作業が必要。
	経済性	凹凸加工用の道具の費用のみで追加予算がほとんど発生しない。	上記に関する追加予算が必要。	・上記に関する追加予算が必要。 ・大量生産が可能。 ・④に比べて転用可能回数が多い。 ・型枠の転用回数が少ない場合割高になる。	・上記に関する追加予算が必要。 ・型枠の転用回数が少ない場合割高になる。 ・④よりも耐久性が弱く、転用可能回数が少ない。
	機能性	・多様な凹凸が形成可能 ・凹凸加工箇所が打設口などの開口部分のみになり、加工面積が限られる。	・打設口の小さいタイプのブロックにも適用可能。 ・凹凸規模は①よりも多様性が低い。	・打設口の小さいタイプのブロックにも適用可能。 ・凹凸規模は①よりも多様性が低い。	・打設口の小さいタイプのブロックにも適用可能。 ・凹凸規模は①よりも多様性が低い。
工費の増加について		道具の費用を要するものの、通常行う表面均しの代わりに、凹凸加工を施すだけであり、作業に伴う工費の増加はない。	凹凸加工した部材の作成と貼り付け作業分の費用が増加する。	・材料費、型枠の加工費が必要である。 ・型枠の数量、転用回数により、工費の割増率が変動する。	・材料費、型枠の加工費が必要である。 ・型枠の数量、転用回数により、工費の割増率が変動する。
適用実績とコスト		・那覇港でエコブロック事業として実績あり。 ・追加コストは発生していない。	・那覇港で現地実験実績あり。 ・追加コストが多少発生した。	・平良港で溝加工ブロック事業として実績あり。 ・追加コストが発生した。	・那覇港で現地実験実績あり。 ・追加コストが多少発生した。

3-4. モニタリング調査

本技術の適用後は、あらかじめ設定した目標レベル（表-3.1）の達成状況を評価する。また、事業の成否の理由を考察して改善策を検討し、継続的に技術を向上させていくことが重要である。指針では、必要なモニタリング調査の内容と、評価方法の考え方等を具体的に示した。

基本的には、本技術を適用した対象構造物および対照区としての従来型既設構造物および天然礁において海域環境条件、サンゴの成育状況を把握し、比較、評価する。

①本技術を適用していない部分より多くのサンゴが加入すること（短期的評価）

本技術を適用した構造物上の凹凸加工部分を「加工区」、同じ構造物上の無加工部分を「無加工区（対照区）」として、サンゴ幼生の加入状況の指標項目である「群体数」を比較する。比較する水深帯、基盤の傾きについては、可能な限りで同じ条件とする。

②近傍の天然礁におけるサンゴの被度に近づくこと（長期的評価）

本技術を適用した構造物上の凹凸加工部分を「加工区」、近傍の天然礁の地点を「天然礁区（対照区）」としてサンゴ幼生の加入後の成長度合いの指標項目である「被度」を比較する。①と同様に、比較する水深帯、基盤の傾きを可能な限りで同じ条件とする。

3-5. 維持管理

本技術は構造物を対象としたものであり、施工後の構造物の表面形状を改変することは現実的でないため、基本的に維持管理を行わない。

したがって、本指針に従って作成した凹凸加工ブロック等において期待した効果が得られなかった場合には、調査結果を分析して技術の改善に関する知見を集積する必要があることを示した。

4. 今後の展望

これまで、技術者の経験則に基づいて検討されてきたサンゴ着生促進技術を本指針により体系化したことにより、汎用化に寄与すると期待される。今後は、本指針を積極的に運用してサンゴ礁と共生する港湾整備を一層推進するとともに、知見を集積して技術の向上を図っていく。

「参考文献」

- 1) 森田 晋・田淵郁男・前原弘海・進 明男・児玉理彦・山本秀一（1992）：サンゴの人工構造物への着生状況，海岸工学論文集，Vol. 39，pp. 1001-1005.
- 2) 三宅光一・甲斐広文・宮里高広・國吉啓太・山本秀一・田村圭一・岩村俊平（2006）：人工構造物の表面加工によるサンゴ群集着生促進効果の評価，海岸工学論文集，Vol. 53，pp. 1106-1110.
- 3) 国交省監修（2007）：順応的管理による海辺の自然再生，294p.