

2. 3 中間育成

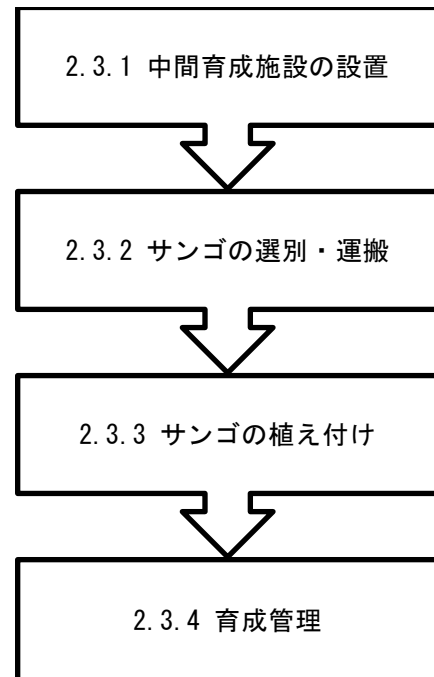
海域での中間育成では、現地に設置したコンクリート製中間育成施設に、陸上の種苗生産施設より運搬した稚サンゴを植え付けて、移植適正サイズとなるまで育成管理を行う。

【解説】

サンゴは、サイズが小さいほど移植後の成長率は高いが、生残率が低いため、移植適正サイズに成長させてから予定海域へ移植する必要がある。中間育成には、図Ⅱ.2-30に示す中層網の方法、あるいはカキ養殖のように筏養殖の方法等で行われている（【コラム】中間育成を伴う無性生殖を利用した種苗生産と移植のサンゴ増殖技術を参照）が、沖ノ鳥島のように育成管理のしにくい場所では、厳しい波浪条件下でも安定性に優れたコンクリート製中間育成施設を設置して行う。



図Ⅱ.2-30 中層網による中間育成
Rinkevich (2006)



図Ⅱ.2-31 中間育成の作業フロー

沖ノ鳥島における中間育成の作業フローは図Ⅱ.2-31のとおりである。あらかじめ中間育成施設を設置した上で、陸上の種苗生産施設から育成の良好な稚サンゴを選別し、これを運搬する。運搬されたサンゴは、状態を確認しながら中間育成施設に植付ける。また、その後は、モニタリングやメンテナンスを行い移植適正サイズとなるまで育成管理する。

2. 3. 1 中間育成施設の設置

波浪条件の厳しく管理し難い場所では、長期的にサンゴの育成阻害要因の影響を受けにくいコンクリート製中間育成施設を設置する。

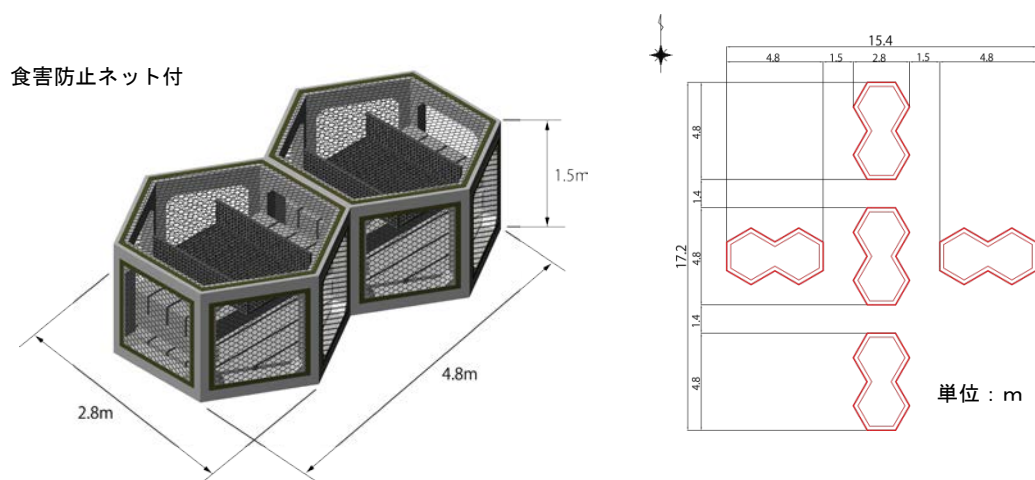
【解説】

サンゴの生残・育成のためには、安定した基盤が必要であり、中間育成するための基盤が不足している場合はコンクリート製中間育成施設を設置する必要がある。

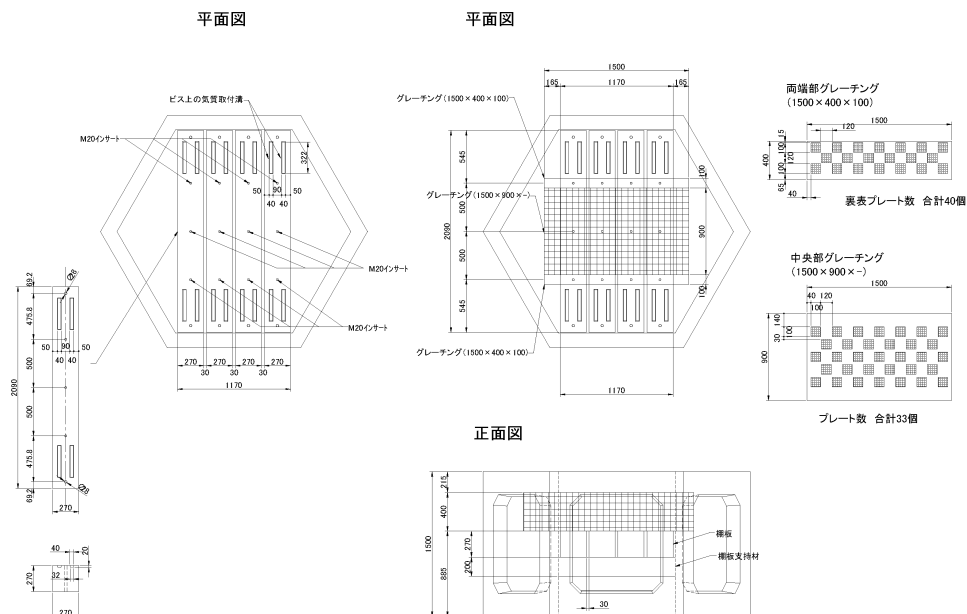
コンクリート製中間育成施設を設置するにあたっては、周辺環境に配慮するとともに、設置後の移植時期を考慮した工程管理が必要である。また、関係省庁への書類の提出や

届出、その他必要な書類の提出が必要となるので、余裕のある施工計画を策定しておくことが望ましい。また、施工方法については、藻場礁等の着定基質の設置を参考にすることができる。ただし、中間育成施設を設置する礁内は、水深が浅く、所々に暗礁が存在することが想定されるため、途中で瀬取り（航路上で水深が浅くて大型の船が入って来られない場合に、小型の船に荷物を移し替えて運搬すること。）を行わざるを得ないことがある。したがって、施工計画では、船団構成、使用する作業機械、人員配置、航路設定などについて入念に行う必要がある。

沖ノ鳥島の事例では、調査で明らかとなったサンゴの生残・育成にとって必要な機能を持つように工夫した中間育成施設（図Ⅱ.2-32）を設置している。



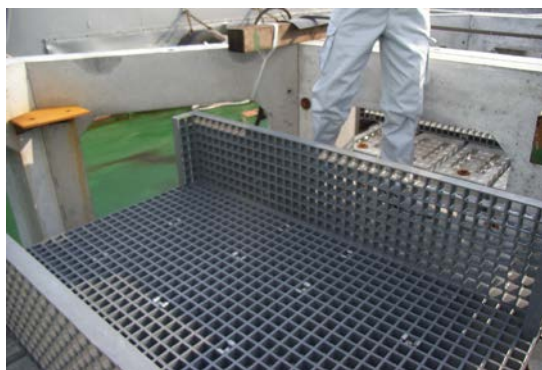
図Ⅱ.2-32 沖ノ鳥島の中間育成施設の姿図と配置図



図Ⅱ.2-33 沖ノ鳥島の中間育成施設の構造図

沖ノ鳥島の間育成施設で工夫した点は下記のとおりである。

- 強い流れに対して自重で安定させる構造とする。
- 移設や増設も可能な組立式とし、部材はボルトで取り付けて水中でも分解が可能な構造とする。
- 植付け面は、通水性および浮泥の堆積防止のため格子構造とする（図Ⅱ.2-34）。
- 砂礫の移動や漂砂の影響を軽減するため、底面から 50cm 以上の高さに植付け面を設ける（図Ⅱ.2-35）。
- 魚類による食害を防止するため、天端部と側面にネットが取り付けられる構造とする（図Ⅱ.2-36）。
- 植え付け作業がしやすいように、ネットの着脱を可能とし内部空間を広く確保する（図Ⅱ.2-37）。



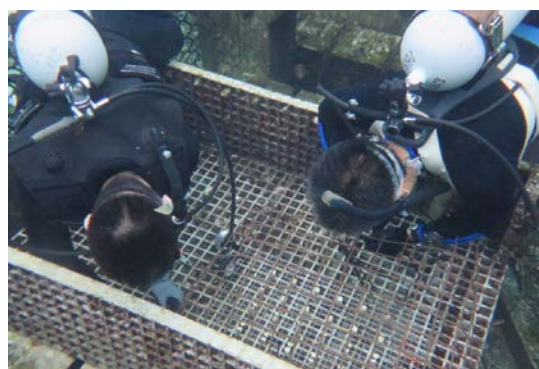
図Ⅱ.2-33 通水性と浮泥堆積防止の格子



図Ⅱ.2-34 高い位置の植付け面



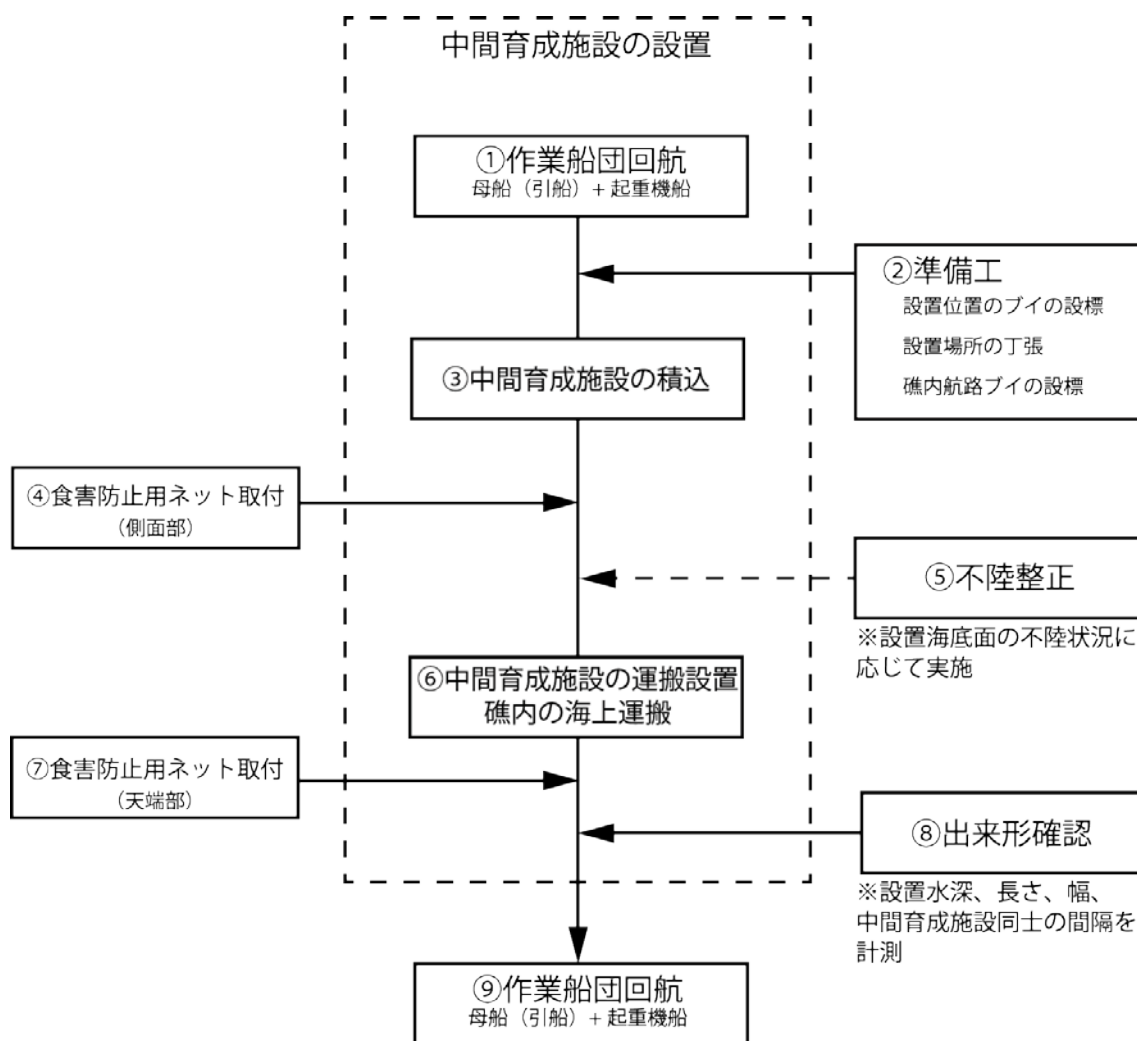
図Ⅱ.2-35 食害防止用ネット



図Ⅱ.2-36 広い内部空間

沖ノ鳥島での施工に関しては、礁内が浅く、所々にノル（凸状地形）が存在することから、喫水の浅い小型の自航式起重機船（260t、1,000PS）を調達し、事前に航路上と設置個所に竹旗を設標した。これにより、起重機船の移動や中間育成施設の設置をスムーズに行うことができる。

施工フローは図Ⅱ.2-38 に示すとおりである。



図Ⅱ.2-38 沖ノ鳥島の中間育成施設の施工フロー



図Ⅱ.2-39 沖ノ鳥島の中間育成施設工事の作業状況

2. 3. 2 サンゴの選別・運搬

種苗生産した稚サンゴを選別し、船上水槽で飼育管理しながら沖ノ鳥島まで運搬し、現地に仮置きして植え付け先の環境に馴致させる。

【解説】

1) 選別

種苗生産した稚サンゴに対して状態の確認を行い、植え付けに使用できる稚サンゴを選別し、大量運搬するための梱包作業を行う。

使用する資材は、使用前に海水で洗い、サビ、破損、汚れ等がないことを確認する。なお、稚サンゴへ悪影響を与える可能性があるため、洗剤の使用は避ける。

梱包前の確認として、目視観察により稚サンゴの状態の確認を行い、観察時に白化や粘液の放出等の状態悪化がみられる稚サンゴを取り除く（図Ⅱ.2-40）。また、付着生物や藻類など、運搬中に稚サンゴに悪影響を与える可能性のある生物をピンセット等で除去する。作業時は、稚サンゴに素手で直接触れて人体の熱がストレスにならないように、手袋を着用するなどして選別作業を行う。

健全な稚サンゴは、通水性のある運搬容器に梱包する。沖ノ鳥島の事例では、梱包用の塩ビ製台座（特注品）に健全な稚サンゴを敷き詰め、メッシュ状のカゴに塩ビ製台座を収納し、結束バンドで固定した（図Ⅱ.2-41）。この方法により、1カゴあたりに稚サンゴ約200個を収容した。



梱包用の資材



稚サンゴの選別

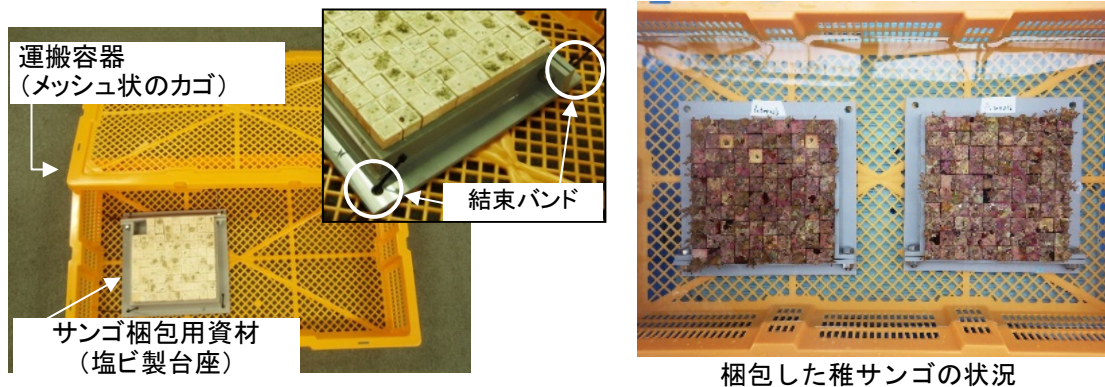


健全な稚サンゴ



不健全な稚サンゴ

図Ⅱ.2-40 稚サンゴの状態確認・選別



図Ⅱ.2-41 稚サンゴの梱包例

稚サンゴの選別・梱包にあたっては、表Ⅱ.2-6 に示す資材・機材を準備し、作業の規模に応じて必要な作業員を配置する。

表Ⅱ.2-6 選別・梱包に必要な資材・機材

項 目	資 材 ・ 機 材
選別	野帳・筆記具、ピンセット、手袋など
梱包	通水性のある運搬容器（蓋付きのメッシュ状カゴ等）、サンゴ梱包用資材（塩ビ製の台座等）、結束バンド、ピンセット、手袋など

2) 運搬

(1) 陸上の種苗生産施設から港までの運搬

梱包した稚サンゴは、発泡スチロール箱等の容器に海水に浸した状態で収容し、大型船舶が停泊する港まで運搬する（図Ⅱ.2-42）。大型船舶上には、稚サンゴ運搬用飼育水槽を準備する（第Ⅱ編.2.1.1 親サンゴの採取を参照）。稚サンゴの船上水槽への収容は、稚サンゴを極力空气中に曝さないようにし、速やかに行う。運搬容器が水槽内で動揺する恐れがある場合は、水槽内に設置した固定用資材に運搬容器を固定する。

沖ノ鳥島の事例では、1回につき最大約6,000個の稚サンゴを運搬した。大型船舶（約500t）には、1t水槽（W845×L1565×H450mm）を4槽設置し、水槽1槽あたり運搬カゴ（200群体/カゴ）を8カゴ収容した。

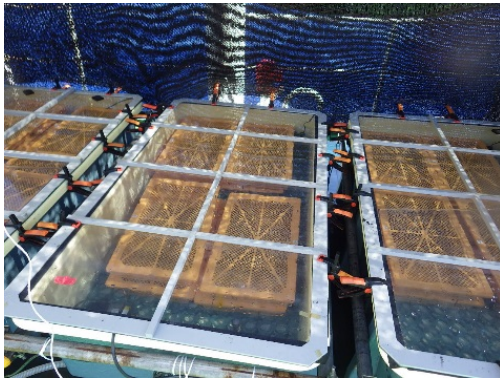


図Ⅱ.2-42 港までの稚サンゴの運搬

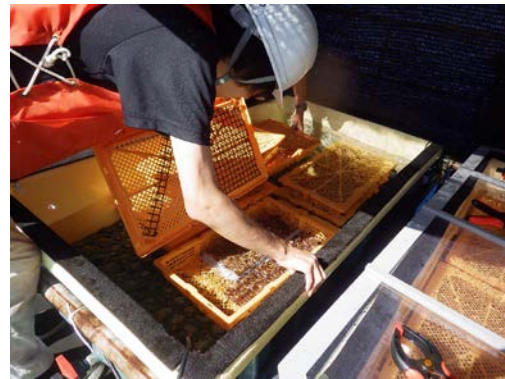
(2) 長距離運搬中における稚サンゴの飼育管理

稚サンゴを大型船舶により沖ノ鳥島まで運搬するには数日を要するため、運搬中は船上水槽で稚サンゴを飼育管理する必要がある（図Ⅱ.2-43）。

稚サンゴの飼育管理方法は、基本的に沖ノ鳥島から沖縄まで親サンゴを運搬する際の飼育管理方法と同様である（第Ⅱ編.2.1.2 親サンゴの運搬を参照）。



船上水槽への収容状況

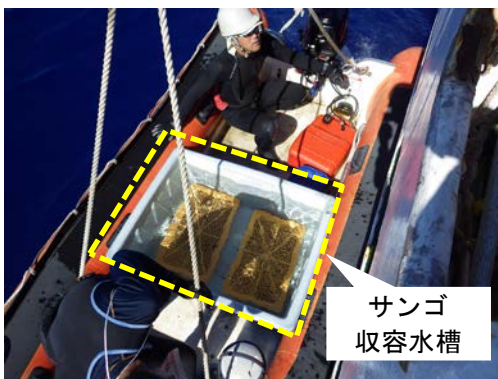


状態確認

図Ⅱ.2-43 稚サンゴの飼育管理

(3) 中間育成施設までの運搬

沖ノ鳥島に到着後、船上水槽から小型船舶に稚サンゴを積替え、中間育成施設まで運搬する（図Ⅱ.2-44）。小型船舶での運搬中は、稚サンゴは海水に浸した状態にして、遮光ネット等で遮光し、運搬が長距離の場合はバケツで適宜散水や海水交換を行う。



小型船舶への稚サンゴ積み込み



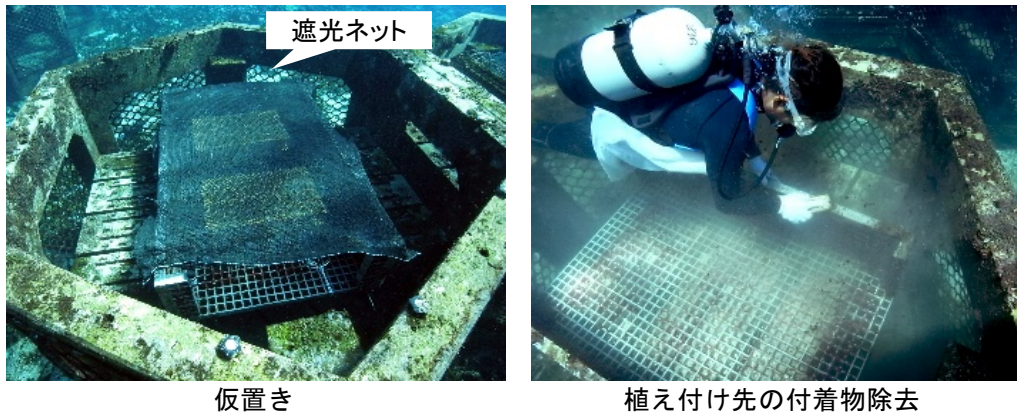
小型船舶での稚サンゴ運搬

図Ⅱ.2-44 稚サンゴの中間育成施設までの運搬

(4) 仮置き

効率的に作業を進めるため、稚サンゴは運搬後に中間育成施設内で仮置きする。仮置き中は、稚サンゴの運搬容器は波浪等の外力により転倒・移動しないようにロープで固縛し、強光の場合は遮光ネットを取り付けて遮光する（図Ⅱ.2-45 左）。

稚サンゴの仮置き中に、植え付け先の海藻等の付着物を、ブラシ等を用いて除去する（図Ⅱ.2-45 右）。



図Ⅱ.2-45 稚サンゴの仮置きと付着物除去

稚サンゴの運搬にあたっては、表Ⅱ.2-7に示す資材・機材を準備し、作業の規模に応じて必要な作業員を配置する。

表Ⅱ.2-7 運搬に必要な資材・機材

項 目	資 材 ・ 機 材
陸上の種苗生産施設から港までの運搬	サンゴ収容容器（発泡スチロール箱等）、運搬車など
長距離運搬中における稚サンゴの飼育管理	水槽、水槽用の透明蓋、クッションテープ（防水性）、蓋留め用クリップ、サンゴ固定用資材（水槽内の底敷き）、結束バンド、単管やぐら、遮光ネット、撒水ホース、揚水ポンプ、揚水ポンプ用ホース、流水ポンプ、水温計、野帳・筆記具、水産用薬剤（ニフルスチレン酸ナトリウム）、スポイト、手袋など
中間育成施設までの運搬	小型船舶、潜水器材、サンゴ収容水槽、遮光ネット、バケツなど
仮置き	ロープ、遮光ネットなど
付着物除去	ブラシ、ワイヤーブラシ、スクレーパーなど

2. 3. 3 サンゴの植え付け

稚サンゴを中間育成施設へ植え付ける際は、様々な成育阻害要因の影響を低減するための植え付け方法で行い、作業時に稚サンゴにストレスを与えないように留意する。

【解説】

稚サンゴは仮置き後、中間育成施設への植え付けを実施する。

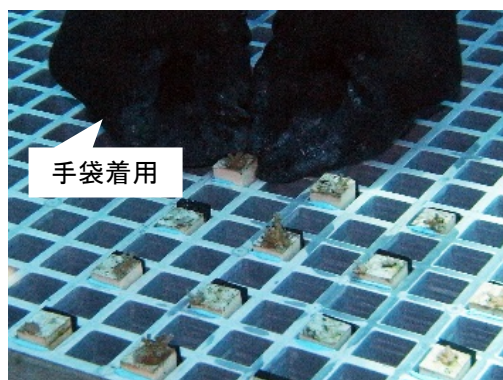
稚サンゴの植え付け場所は、付着物除去を行った中間育成施設の格子構造部とする。

稚サンゴの植え付け方法は、堆積物の影響低減のため、稚サンゴの着生面が海底面に対して垂直方向になるように植え付ける。また、高波浪による消失を防ぐため、植え付けには水中エポキシ樹脂接着剤を使用する。

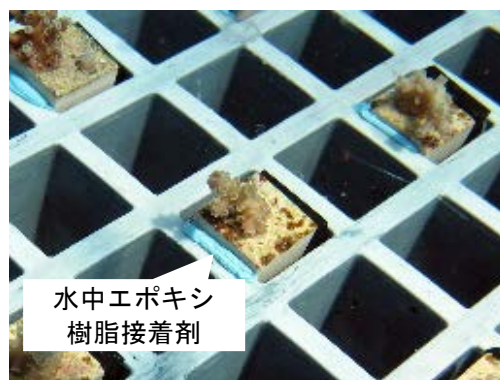
植え付けた稚サンゴには、食害防止ネットを取り付ける。ネットの目合いは、サンゴを齧る大型魚類の侵入を防ぎ、かつ付着物による目詰まりを起こさない6cmとする。

植え付け作業にあたっての主な留意点を以下に示す。

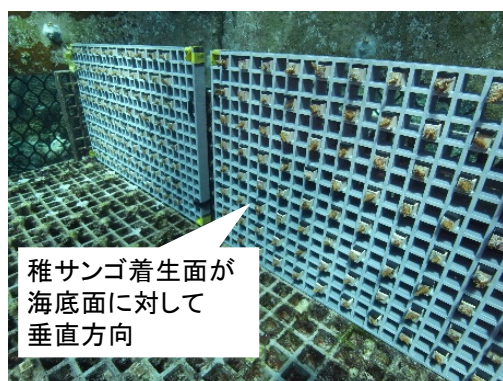
- 植え付け時に稚サンゴの状態確認を行い、白化等の状態悪化がみられる稚サンゴを取り除く。
- 作業時には、稚サンゴを素手で直接触れないように、手袋を着用する。
- 水中エポキシ樹脂接着剤を取り扱う際には、接着剤を可能な限り稚サンゴに付着させないように留意する。



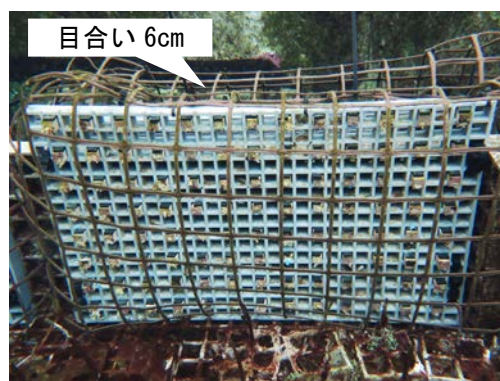
植え付け作業



植え付けした稚サンゴ（近景）



植え付けした稚サンゴ（遠景）



食害防止ネット

図Ⅱ.2-46 稚サンゴの植え付け

沖ノ鳥島の事例では、稚サンゴ付着床具（1.5cm×1.5cm×3.0cm）を、片側にゴム板を挿し込み、もう片側は水中エポキシ樹脂接着剤で補強して、2cm マスの格子にはめ込むようにして固定した。このように固定すると、移植時にサンゴを取り外しやすいという利点がある。また、水中エポキシ樹脂接着剤は主剤と硬化剤の2つを海中で混合することで使用できるものであるため、混合が容易なガン式接着剤充填機（特注品、図Ⅱ.2-47）を使用することで効率よく植え付けを行うことができ、作業効率は約 200 個/人日であった。



図Ⅱ.2-47 ガン式接着剤充填機

稚サンゴの植え付けにあたっては、表Ⅱ.2-8 に示す資材・機材を準備し、作業の規模に応じて必要な作業員を配置する。

表Ⅱ.2-8 植え付けに必要な資材・機材

項 目	資 材 ・ 機 材
稚サンゴの 植え付け	手袋、水中エポキシ樹脂接着剤など
食害防止ネットの 取り付け	食害防止ネット（目合い6cm）、結束バンドなど

2. 3. 4 育成管理

中間育成施設へ植え付けた稚サンゴに対し、定期的にモニタリングを行い、サンゴの生残・成長状況や、サンゴに影響する周辺環境の変化を把握する頻繁な管理が難しい場合は、機器観測等による方法が有用である。問題が確認された場合は、必要に応じて育成管理を行い適切に対応する。

【解説】

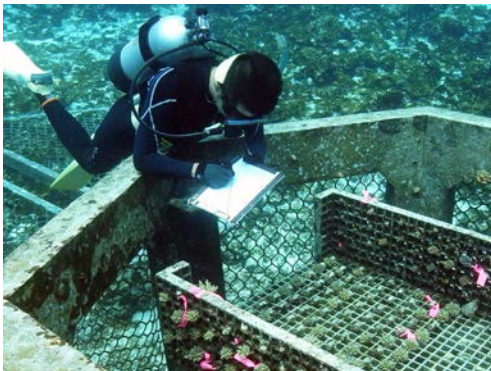
1) モニタリング

(1) 中間育成施設内のモニタリング

中間育成施設へ植え付けたサンゴに関するモニタリング項目は、表Ⅱ.2-9に示すとおりである。これらの状況を経年的に確認し、どのような環境条件で、生残率や成長率が向上するかを確認し、以降の植え付け手法等に反映させることが重要である。

植え付けしたサンゴの本数が多い場合は、全数を把握するのに多大な労力を必要とするため、全数の一部をモニタリング対象に設定する。

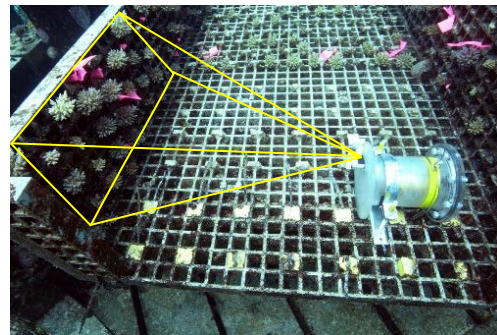
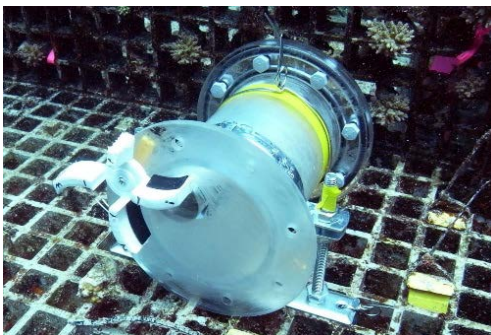
沖ノ鳥島では頻繁な管理が難しいため、サンゴや周辺状況をより詳しく把握したい場合は、機器等を用いて調査期間外に観測・観察ができる方法を用いるとよい。例えば、小型メモリ式水温計を用いて中間育成場所の水温の連続観測を行う方法（図Ⅱ.2-49）や、インターバルカメラによるサンゴの長期連続撮影により植え付けたサンゴの死亡・消失時期や成育阻害要因の概略を把握する方法（図Ⅱ.2-50、詳細はコラムを参照）がある。



図Ⅱ.2-48 サンゴのモニタリング



図Ⅱ.2-49 メモリ式水温計の設置



図Ⅱ.2-50 長期インターバルカメラによるサンゴの連続撮影

表Ⅱ.2-9 植え付けたサンゴのモニタリング項目

項目・内容		方法
①生存・死亡状態の観察（群体の生残状況の把握）		
a．生存	群体全体が生存している	目視観察
b．部分死亡	群体のうち、一部分が生存している（観察時に可能な範囲でその程度を把握することが望ましい。）	
c．全部分死亡	白化して骨格のみ、骨格が消失	
②成育状態の観察（群体の健全度の把握）		
a．健全	正常な外観色、粘液なし、触手を伸長	目視観察
b．弱っている	外観色が薄い、粘液あり、群体の一部に藻類の付着あり	
c．死亡	＊) 生存・死亡状況の死亡と同等	
③群体サイズの計測（成長量の把握）		
a．長径	生きた部分の長さ	簡易計測
b．面積	生きた部分の被度・面積	目視観察、画像解析※
④食害状況の観察（食害防止ネットの効果の確認）		
a．魚類	骨格が齧られた、折られた痕跡	目視観察
b．貝類	共肉部が消失した痕跡、周辺に貝類確認	
c．ヒトデ類	同上	
⑤藻類の被覆状況の観察（競合生物からの保護対策の検討）		
a．被覆なし	藻類被覆なし	目視観察
b．部分被覆	一部分が被覆されている（観察時に可能な範囲でその程度を把握することが望ましい。）	
c．全部分被覆	全被覆	
⑥観測（成育環境の把握）		
a．水温	水温変動（特に夏季の高水温期）の確認	機器連続観測

※成長量の把握は、サンゴの成長に問題がないか即時に把握するため、基本的には現場で確認可能な目視観察や簡易計測を行うとよい（画像解析について、第Ⅲ編技術ノート1 中間育成中のサンゴの成長面積の簡易算定手法を参照）。

モニタリングにより確認された課題は、得られたデータをもとに、植え付けや育成管理の手法に対し必要に応じて改善を加えていく。

改善にあたっては、以下に示す内容について検討する。

- 植え付けたサンゴの種類と生残率・成長量の関係
- 食害状況（食害防止ネットの効果）と生残率・成長量の関係
- 藻類の被覆状況と生残率・成長量の関係
- 水温変動と生残率・成長量の関係

(2) 周辺海域のモニタリング

周辺海域の天然サンゴの増減等の生息状況の変化を把握することにより、植え付けたサンゴの生残・成長の変化が、植え付け手法によるものか、周辺環境の変化によるものかを判断する。

周辺海域の天然サンゴの増減等の生息状況や水温等の生息環境の変化を把握する調査としては、サンゴの分布調査や環境調査を実施するとよい。具体的なモニタリング項目は表Ⅱ.2-10に示すとおりである（第Ⅰ編 2.2 現況把握を参照）。

調査方法については潜水目視観察が一般的であるが、衛星画像や航空写真、水中ビデオの画像解析による方法で代替することも可能である。サンゴの種類、食害、環境要素に関する調査は、可能な限り熟練したダイバーによる潜水目視観察や水温連続観測により行う。

これらの調査結果より、対照区とした海域のサンゴの分布状況や生息環境の変化の有無を確認する。

表Ⅱ.2-10 周辺海域のモニタリング項目

環境要素等	確認項目	調査方法
サンゴの 生息状況	天然サンゴの被度・種類 食害状況の推移	潜水目視観察 画像解析※
水温	場所や水深別の経時的な水温変化 水温データから経年的な DHW の推移	水温連続観測
気象・海象	台風の経路・勢力 波浪・流況	気象庁観測データ、 波浪・流況観測
食害動物	サンゴ礁内の食害動物の種・個体数の推移	潜水目視観察
競合生物	サンゴと競合する海藻類の被度の推移	潜水目視観察、 画像解析※

※サンゴの被度や競合する海藻類の被度について、写真やビデオ撮影から把握することも可能である（画像解析については、第Ⅲ編 技術ノート 3 水中ビデオ画像によるサンゴ自動判読手法を参照）。

2) 植え付けたサンゴの育成管理

沖ノ鳥島においては、頻繁な育成管理の実施が難しいため、植え付けたサンゴの種類、水温の変動、食害防止ネットの適切な目合いに関しては、モニタリング結果より植え付けたサンゴの生残率・成長量との関係を解析して、次の植え付けや育成管理までに対策を検討することで順応的に管理する。

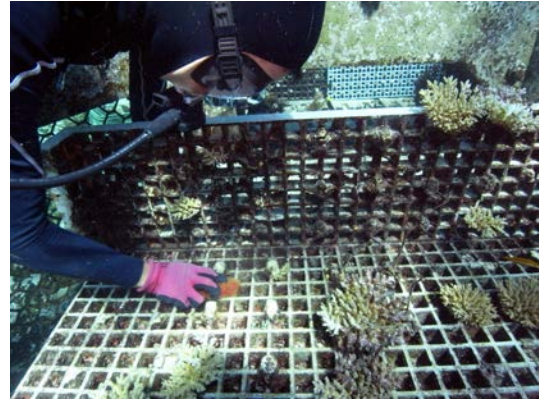
ここでは、モニタリング時に現場で対応できる管理について示す。

(1) 死亡サンゴの除去

サンゴは死亡して腐敗すると、周囲の水質悪化や病気の蔓延等を招く恐れがあるため、死亡したサンゴは必ず除去する。群体の一部に状態悪化や死亡がみられる場合は、その一部の枝状骨格を折るなどしてできるだけ除去することが望ましい。

(2) 付着生物の除去

サンゴやその周辺が海藻などの付着物に覆われている場合は、サンゴを傷つけないようにブラシやピンセット等で確実に除去する（図Ⅱ.2-51）。



図Ⅱ.2-51 植え付けたサンゴ周辺の付着物除去

(3) 食害防止ネットの点検

サンゴの食害が確認され、取り付けた食害防止ネットの破損や消失が確認された場合は、ネットを交換もしくは修繕・補強する。

稚サンゴの育成管理にあたっては、表Ⅱ.2-11 に示す資材・機材を準備し、作業の規模に応じて必要な作業員を配置する。

表Ⅱ.2-11 植え付けたサンゴの育成管理に必要な資材・機材

項 目	資 材 ・ 機 材
付着生物の除去	ブラシ、スクレーパー、ピンセットなど
食害防止の点検	取替え用の食害防止ネット（目合い6cm）、結束バンドなど
死亡サンゴの除去	タガネ、ハンマーなど

【コラム】長期インターバルカメラを用いた移植サンゴの解析

長期インターバルカメラ（図1）を用いることにより、サンゴについて経時的な変化を確認し、生残率の低下時期の把握と、サンゴの死亡と環境因子との関係についての推察が可能になった。

従来のサンゴの現況調査や移植サンゴのモニタリングでは、年に数回程度のスポット的な調査が行われるが、沖ノ鳥島のような遠隔地では頻繁なモニタリングの実施が難しいため、詳細なサンゴの死滅・消失時期や原因が特定できず、的確な対応策が検討できない場合が多い。そこで、連続撮影が可能な長期インターバルカメラを用いて、1時間間隔で1年間、沖ノ鳥島に植え付けたサンゴを撮影し、撮影画像から生残・成長過程について解析を試みた。

撮影の結果、サンゴの枝状骨格が開始後2ヶ月間に徐々に消失していく過程を確認し（図2、図4）、同期間中にサンゴ周辺を遊泳する中型魚類を多数確認した。そのほか、期間中は高水温を記録しており、勢力の強い台風の通過もみられた（図3）。

サンゴはストレス下で粘液放出量を増加させるため（中嶋・田中 2014）、撮影対象のサンゴは高水温や台風の影響でストレスを受けて衰弱したことで粘液放出量を増加させ、粘液に誘引された魚類の食害を受けたものと推察している。

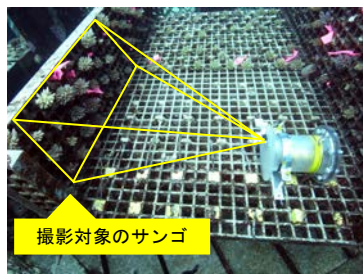
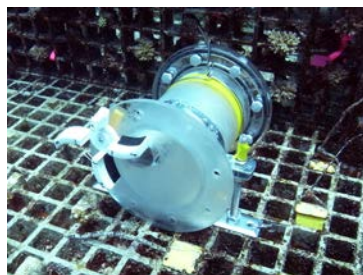


図1 長期インターバルカメラ設置状況

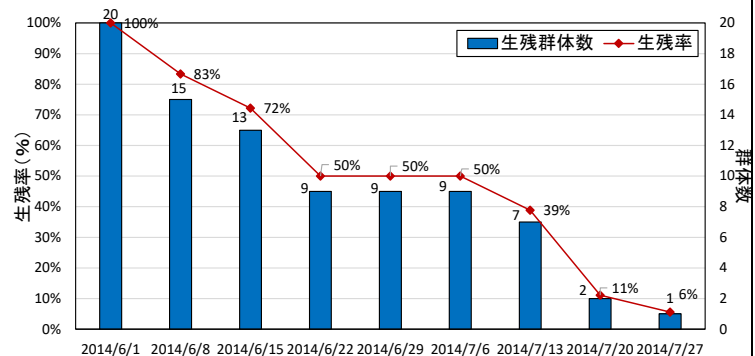


図2 サンゴの2ヶ月間の週別生残率と生残群体数

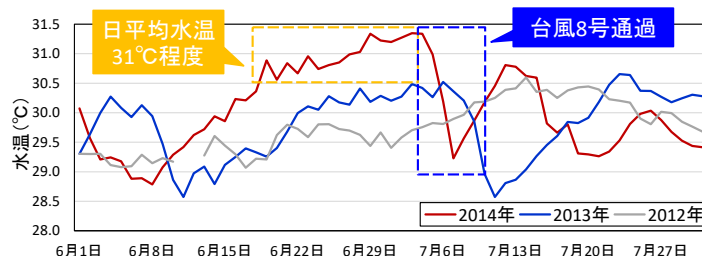


図3 2ヶ月間の水温変動（3ヶ年分の比較）

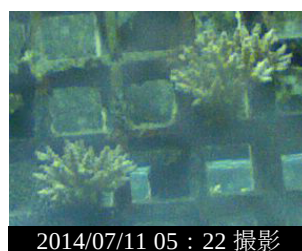


図4 撮影画像例（左：全景 右：枝状骨格の消失時）