

4. サンゴ産卵ファームづくりの主要な技術

サンゴ産卵ファームは、その規模が1 ha 以上となることもある大規模な親サンゴ群集からなることが想定されている。そのため、効率的にサンゴ産卵ファームを創出するために活用が強く推奨される技術を以下で紹介する。

4. 1 サンゴ幼生収集技術

バンドルを一箇所に収集することで有性生殖による受精率を向上する。着生能力を有するまで保持することで多くのサンゴ幼生を収集、拡散する。

【解説】

サンゴの増殖・再生手法の一つとして、サンゴ幼生収集技術がある。この技術は、ミドリイシ属のように同一種のサンゴが同時期に一斉に産卵し、卵と精子を内包したバンドルを放出する種を対象として開発されてきた。従来は、海域でバンドルを収集した後、種苗生産施設において受精・飼育・着生を経て種苗を作成し、これを移植することでサンゴの増殖・再生を図ってきた。しかし、種苗生産施設が整備されていない環境ではサンゴの増殖・再生ができないため、施設に依存しない方法としてバンドル収集から種苗生産までを一貫して海域で行うことが可能な幼生収集装置を開発した。

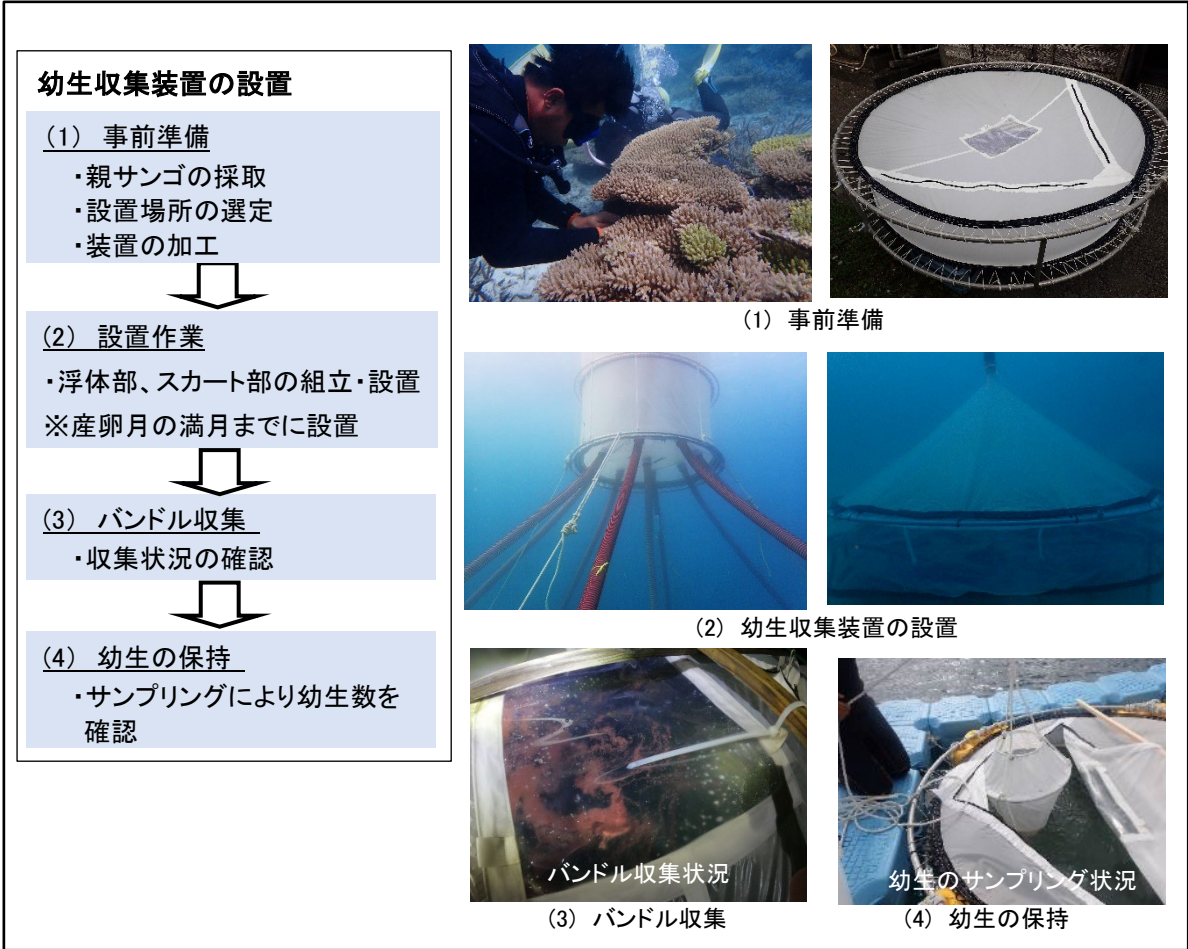
種苗の移植は小規模でのサンゴ増殖においては十分な手法である。一方で、大規模かつ広範囲で衰退したサンゴ群集を増殖・再生することは難しい。そこで大量のサンゴ幼生を効率的に収集し着生期に放流することで、面的な増殖・再生ができるよう、幼生収集装置の高度化を図った。

1) 幼生収集装置の高度化

これまでの幼生収集装置は、装置内部で種苗生産を行うことを主目的として設計されており、親サンゴ用架台 1 箇所から 100 万個体規模のサンゴ幼生を収集する構造であった（Ⅱ編 1 章 1.2 節参照）。しかし、サンゴ産卵ファームのように広域を対象としてサンゴ幼生を供給する拠点を形成するためには、より大量の幼生を収集し装置を用いて効果的に放流することが求められる。この要件に対応するため、幼生収集装置を分離式構造に改良し、高度化を行った。

高度化した装置は、浮体型部分（以下浮体部）と幼生供給基盤（親サンゴを設置する基板、以下基盤）を覆う囲い膜（以下スカート部）とを分離した構成とし、複数基盤から放出されるバンドルを集約できる構造とした。また、沖縄海域沿岸での実証実験においては、高度化した装置により、最大約 1000 万個体のサンゴ幼生を着生期（産卵から 4 日目）まで保持した実績が得られている。

高度化した幼生収集装置による幼生収集の作業フロー及び完成イメージを図Ⅱ. 4-1 に示す。



図Ⅱ. 4-1 高度化した幼生収集装置による幼生収集の作業フロー及び完成イメージ

2) 複数基盤からの集約的なバンドル収集手法

複数基盤を用いた幼生収集装置の構造・材質の概要を図Ⅱ.4-2及び表Ⅱ.4-1に示す。

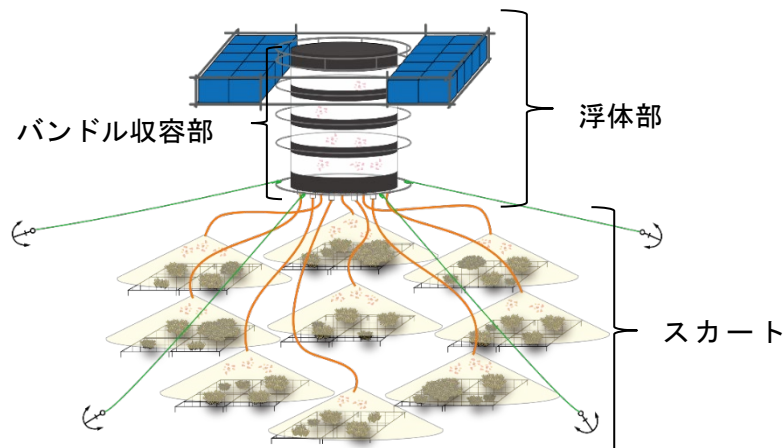
(1) 浮体部の構造・材質

浮体部はサンゴ幼生を収集・保持する部分であり、直径 1.7m、高さ 4m のナイロンメッシュ製の円筒形（バンドル収容部）とした。円筒をステンレス枠で形状保持し、円筒上部を浮体に固定して海面上に浮かせ、円筒内上部に水面を確保する構造とした。これは、サンゴの卵・精子が正常に受精し、プラナリア幼生が発生する過程において水面が必要なためである。バンドル収容部の底面には、複数基盤からサンゴ幼生を収集するため、収集用ホースの挿入部を最大で 9 つ設けた。バンドル収容部の大きさは、1L あたり 1500 個体以下※の幼生飼育数となるように調整すれば幼生収集数や設置水深によって変更しても構わない。底面の挿入部においても同様である。

※幼生飼育密度は、1L あたり 2,000～4,000 個体程度であれば着生期まで高い生残率で生残することが確認されている（服田ほか 2003, Petersen et al. 2005）。ただし、サンゴ幼生は水質（水温・塩分・溶存酸素量など）や物理的衝撃の影響を受けやすく、これらが原因となって斃死が発生しやすい。斃死が生じた場合には、水質の悪化を引き起こし、連鎖的な斃死へと繋がるおそれがあるため、適宜清浄な海水に交換する必要がある。一方で、大量のサンゴ幼生を飼育するバンドル収容部では海水交換が容易ではない。このため、斃死が発生した場合でも水質悪化による連鎖的な斃死を抑制できるよう、飼育密度は低めになるようにサンゴ幼生を飼育することが望ましい。

(2) スカート部の構造・材質

スカート部は直径 3m、高さ 1m の円錐形とし、2m×2m の基盤を覆うことができる構造とした。材質は塩化ビニルを使用し、サンゴ幼生の浮体部への通り道となるホースの接続具を円錐の頂点部に取り付けた。スカート外縁には形状を保持するための枠（以下形状保持枠）を取り付けた。使用した形状保持枠は運搬や保管の利便性、耐久性を考慮し、ステンレス製で分割可能な構造とした。高度化した幼生収集装置では、1 基の浮体部につき最大 9 基の基盤（36m²程度）を覆うスカートを設置することが可能となった。



図Ⅱ.4-2 複数基盤を用いた幼生収集装置のイメージ

表Ⅱ.4-1 幼生収集装置の材質の概要

部位	材質		
	従来版	高度化版	
浮体部	バンドル 収容部	<ul style="list-style-type: none"> 胴体部：ナイロンメッシュ 目合い30μm (ϕ 1.7m) \times 3.8m 胴体部の6箇所：アイメッシュ 目合い2~3cm 底面部+底面部付近：キャンパス 天井部+底面部：ファスナー 	<ul style="list-style-type: none"> 胴体部：ナイロンメッシュ 目合い30μm (ϕ 1.7m) \times 4m 胴体部の6箇所：アイメッシュ 目合い2~3cm 底面部+底面部付近：ナイロンタフタ 天井部+底面部：ファスナー ホース挿入部：ナイロンタフタ+樹脂製パイプΦ 12cm
	形状 保持枠	<ul style="list-style-type: none"> 強化プラスチック複合管 (外径 ϕ 14mm・内径 ϕ 4mm) その他、複合管の連結用部材など 	<ul style="list-style-type: none"> 直径ϕ 2.0m ステンレス製の分割式円形枠 上段 2 段：SUS32mm 中段 3 段：SUS24mm 下段 1 段：SUS32mm 分割部：M18 ネジ 単管パイプ
	浮体 (水面)	<ul style="list-style-type: none"> 浮力 4kg \times 16 個 = 64kg 	<ul style="list-style-type: none"> 浮力 100kg \times 8 個 = 800kg 以上
装置固定具	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋棒 4 本 ロープ ϕ 10mm \times 5m \times 4 本 = 20m 	<ul style="list-style-type: none"> 20kg ダンホースアンカー \times 4 本 ロープ ϕ 10mm \times 10m \times 4 本 = 40m 	
スカート部	—	<ul style="list-style-type: none"> 収集用ホース：カナパイプ NS ϕ 75mm ホース接続部：ナイロンタフタ、ϕ 75 の塩ビソケット 収集用ホースとスカートの接続：カムロック スカート本体：ナイロンメッシュ 目合い 30μm ϕ 3.0m スカート形状保持枠：直径 ϕ 3.0m ステンレス製の分割式円形枠 	

3) 幼生収集装置の設置

(1) 事前準備

親サンゴの採取

ウスエダミドリイシの場合、直径 30cm の群体で約 24 万個の卵を産卵する知見があり、群体の直径 (x) から 1 群体あたりの卵数 (y) は $y=0.62x^{3.78}$ で求めることができる (北田 2002)。装置内の生残率は着生期までに最大 81% 程度であり、幼生供給基盤上に成育している親サンゴの成熟度と直径を計測し、収集目標であるサンゴ幼生数より必要な親サンゴの群体数を算定する。なお、最終的にバンドル収容部の容積に対し、1L あたり 1500 個体以内の幼生飼育密度となるように留意すること。

幼生収集装置の設置箇所の選定

装置の設置箇所を事前に選定する。複数基盤から集約する場合、ホース内を浮上するバンドルの移動を妨げないホースの角度となる水深を確保することが重要である。また、親サンゴの群体数に応じて必要な数のスカートが設置できる箇所を選定し、装置を固定するためのアンカーとロープはスカート部に接触しない位置に設置する。

幼生収集装置の加工

確実にサンゴ幼生を収集し、かつ水中作業が簡易になるよう、バンドル収容部底面のホース挿入部及びスカート天頂部のホース連結部に部材を取り付ける。

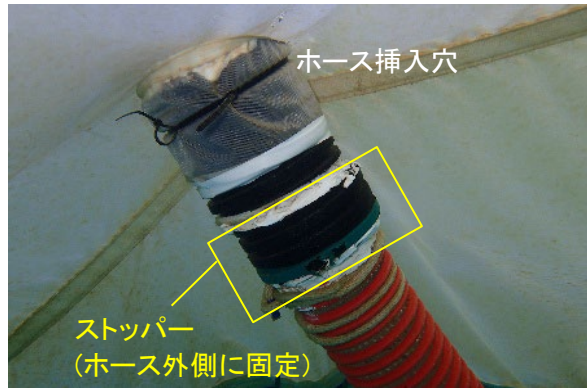
バンドル収容部底面のホース挿入部には、ホースが潮汐にあわせて移働しやすいよう 10cm 程度に切断したパイプを結束バンド等で取り付ける。このとき、可能な限り軽くて強度のある素材で、サンゴ幼生の漏洩を防止できる蓋を取り付けられる部材が好ましい。

スカート部には、ホースが簡易に接続できるようカムロックのメネジ等を取り付ける。メネジを取り付ける場合はバルブソケットを接着剤で固定する。このとき、バンドルやサンゴ幼生が部材の隙間に入り斃死しないよう、生地と部材の隙間をシリコーン等で埋める。



図 II. 4-3 加工イメージ

ホース長は設置水深及びスカート位置に応じて決定し、ホース上端が干潮時に水面から干出せず、満潮時にバンドル収容部から抜けない長さとする。設置期間中で最も高い潮位及び低い潮位に合わせて良い。バンドル収容部のホース挿入口の位置が、装置の中心か周囲かによってもホース長が異なるため、ホース長を決定する際に注意する必要がある。水深が浅い場合や流れがある海域では、潮位差あるいは流れによってホースが抜ける可能性がある。抜け防止のためにホース長を伸ばす場合は、干潮時にバンドル収容部上面にホース上端が接触してバンドル収容部が破損しないように、図Ⅱ.4-4に示すようなストッパー等を取り付けると良い。



図Ⅱ.4-4 ストッパーのイメージ

幼生収集装置の陸上組立

陸地から設置地点まで装置の曳航が可能な場合は、陸上で組み立てることで設置作業を効率よく行うことができる。陸上での組み立てや船舶での曳航が難しい場合は、設置海域で組み立てることも可能である。組立手順は以下のとおりである。

- ① 浮体を組み立てる。幼生保持状況を確認する際に作業がしやすいよう、浮体上での作業場を確保できる形とすると良い。
- ② バンドル収容部にステンレス枠を結束バンドや紐等を用いて取り付ける。このとき、バンドル収容部の上面の張りが弱いと生地が海面に接触し、サンゴ幼生が張り付いて斃死する原因となるため、海面に接触しない程度に張る必要がある。なお、波浪による水面の上下変動でバンドル収容部内は収縮と膨張を繰り返し、上面の生地を張りすぎると破損する可能性があるため、張り過ぎにも注意する。
- ③ スカートの形状保持枠を組み立てて、結束バンドや紐等を用いて取り付ける。



①浮体



②バンドル収容部



③スカート

図Ⅱ.4-5 陸上組立部位

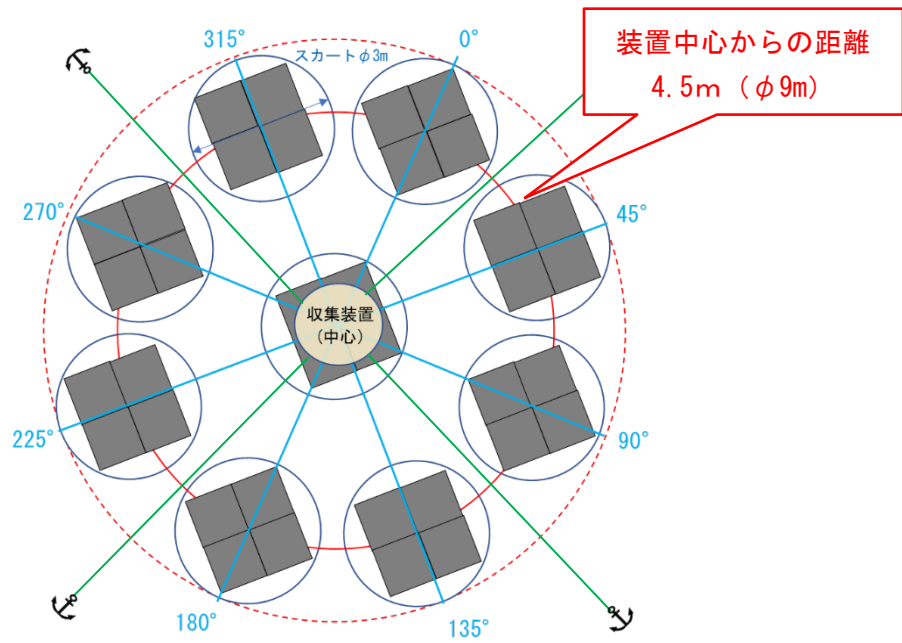
(2) 設置作業

- ① スカート設置場所に架台（事例では 2m×2m の格子基盤）等を設置し、サンゴを配置する。装置固定部用のロープを固定するため、設置地点の底質に合わせたアンカーを設置場所の周囲（事例では 4 方向）の海底に設置する。このとき、ロープとスカート部とが接触しないような位置にアンカーを設置する。
- ② 組立済の浮体部（浮体、バンドル収容部）、スカート部（加工済スカート、ホース）を曳航する。曳航時はバンドル収容部を折りたたんで抵抗を減らす等の対応により破損防止を図る。
- ③ 設置地点にて浮体をアンカーとロープで仮固定し、バンドル収容部を浮体に固定する。
- ④ スカートをサンゴ架台上に設置する。スカート設置時にサンゴに接触しないよう、スカート天頂部に浮きをつけて作業を行うことが望ましい。上から見てサンゴがスカートの範囲からはみ出ないようにスカートの位置を調整して固定する。
- ⑤ バンドル収容部を展開する。展開後に下方向への負荷がバンドル収容部へかかると破損する確率が高まるため、負荷がかからないようにステンレス枠同士をロープで固定する。このとき、ステンレス枠間の長さよりも短い長さ（ステンレス枠間が長さ 1000mm なら 900mm 程度）になるようにする。

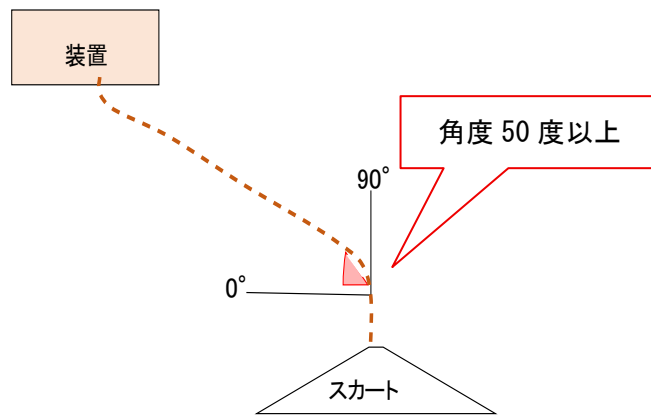
浮体部の位置を決定する。ホースの挿入が円滑になるよう、バンドル収容部のホース挿入口の中心と装置直下に配置されているスカート天端部とが一直線になる位置になるように調整する。調整できたら、バンドル収容部一番下のステンレス枠にロープを固定する。
- ⑥ ホース下端をスカート部に接続し、ホース上端をバンドル収容部内へ挿入する。産卵時にバンドルがホースに滞留するのを防ぐため、浮体部の直下を除くスカートからのホース角度は水平方向に対して 50 度以上を保つことが望ましい。ホース角度を 50 度以上に保つため、必要に応じてホースに浮き等をつけて調整する。



図Ⅱ.4-6 幼生収集装置の設置手順



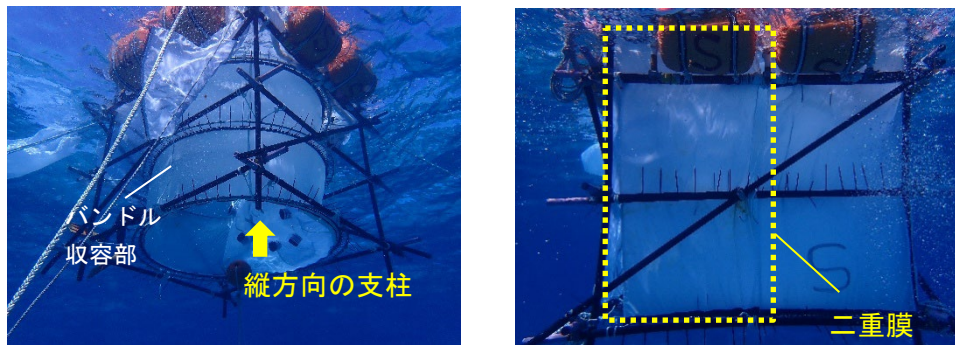
図Ⅱ.4-7 スカート及びアンカーロープの配置平面図



図Ⅱ.4-8 ホースの理想角度

破損リスク軽減策

バンドル収容部は、風・流れの影響を受けやすいため、風向と潮流の向きが対向する条件では、ねじれが発生する。また、流れが強い環境では、一方向へ負荷がかかる。これらの要因により、バンドル収容部は破損することがあるため、あらかじめ対策を講じることで、破損リスクを低減することができる。外海に面し、風や流れが強い沖ノ鳥島では、ねじれ対策として枠組みを作成し、流れによる負荷対策のためバンドル収容部生地（ナイロンメッシュ）よりも強度の高いナイロンタフタ生地を枠組みに固定した。ねじれ対策では、バンドル収容部に対して縦方向の支柱、流れによる負荷対策では、ナイロンタフタのような軽量かつ強度のある生地でバンドル収容部を覆う二重膜構造にすることで破損リスクに対する効果がある。加えて、二重膜を水面に突出している部分にも使用することで風波対策としても有用となる。なお、流れが強い環境では、支柱などの固定に使う固定具の突起に生地が接触し生地が破断するおそれがあるため、固定具を使用する場合は突起部分にカバーを取り付けるなどの工夫をすることが望ましい。



図Ⅱ.4-9 沖ノ鳥島での破損リスク軽減策（沖ノ鳥島での事例）

(3) バンドル収集

幼生収集装置が対象としているミドリイシ属は、沖縄本島周辺では概ね 18:30~19:30 頃に産卵する。産卵の可能性のある期間は、可能な限り毎日、バンドル収容部へバンドルが収集されているかどうかを確認することが望ましい。静穏環境下では、バンドルがバンドル収容部水面に収集されているので、目視で確認することが可能である。バンドルの収集が確認されたら、ホースをバンドル収容部より引き抜く。引き抜いた後はバンドル収容部のホース挿入口にフタを取り付ける等の対応を行

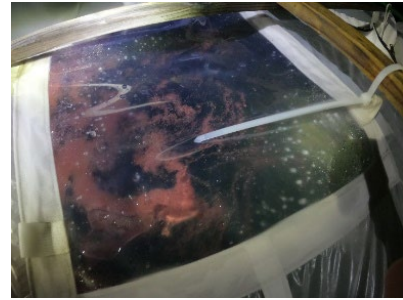


図 II. 4-10 バンドルが水面に収集されている様子

い、受精卵やサンゴ幼生の漏洩を防止する。これらの作業は可能な限り産卵直後、遅くとも産卵翌日の午前中までに実施する。流れやうねりが強い環境では装置内部の揺動により、バンドルが水面に滞留していない可能性もある。収集状況確認を産卵翌日に行う場合は、水面だけでなく装置内部を目視確認することでバンドル収集状況を把握できる。なお、産卵が 2 日以上にまたがる場合は、バンドル収集状況や親サンゴの抱卵状況を確認し、バンドル収集を継続するか否かを判断する。バンドル収集を継続する場合は、未受精卵等の斃死による水質悪化を防ぐため、バンドル収集部内の海水交換を実施し、次の産卵に備える。

産卵量は、群体の直径 (x) から 1 群体あたりの卵数 (y) は $y=0.62x^{3.78}$ (北田 2002) に 1 群体あたりのバンドルセットの割合を乗じることで推定できる。

(4) サンゴ幼生の保持

幼生保持時の工夫

受精時から着生期 (産卵から 4 日目) までバンドル収容部内にてサンゴ幼生を保持する。大雨等によりバンドル収容部内に淡水が滞留すると、サンゴ幼生の生残に影響を及ぼす。特に産卵 1 日目から 2 日目での淡水流入の影響は大きく大量斃死に繋がるため、降水の可能性のある場合は雨除けの設置等の対策をする必要がある。また、短周期の波による装置の揺動で装置側面に接触するサンゴ幼生が擦れて斃死することがある。死骸の腐敗により水質が悪化すると、更なる斃死と水質悪化を招き大量斃死に至るおそれがある。このため、バンドル収容部の外側に木板や強度の高い生地 (ナイロンタフタ等) の波除けを設置し、装置側面での擦れによる斃死を軽減することが望ましい。図 II. 4-11 に対策例を示す。

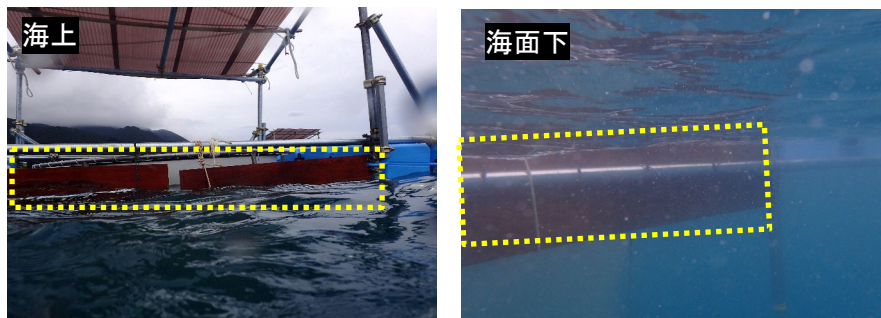


図 II. 4-11 短周期波によるサンゴ幼生の擦れ対策例

サンゴ幼生の生残状況の確認

1日1回は生残状況を確認する。静穏環境下であれば産卵2日目までは多くのサンゴ幼生が表層に滞留しているため、目視により生残状況の確認が可能である。産卵量が多い場合は、産卵から4日目においても表層での目視確認が可能である。流れやうねりが強い環境では、産卵から1日目・2日目であってもサンゴ幼生が表層に滞留していない場合がある。この場合は、潜水により装置内部を確認するか、サンプリングにより生残状況を確認する。

発生が正常に進まなかった卵やサンゴ幼生は斃死するため、産卵から2日目及び3日目は、生残状況を特に注視する必要がある。卵の発生は静穏環境であることが望ましく、流れやうねりが強く装置が大きく揺動するような環境では卵の発生に異常が起こる確率が高くなり、斃死する個体が増加する可能性がある。バンドル収容部

水面のサンゴ幼生が白っぽく油脂のような状態がみられた際は、サンゴ幼生が斃死している証拠である。斃死が少量であれば残存幼生への生残に影響は小さいが、大量の場合は水質悪化を招き、残存幼生のさらなる斃死を招く(図Ⅱ.4-12、図Ⅱ.4-14参照)。そのため、連鎖的な斃死を招かないよう、大量斃死が確認された場合は、斃死個体を取り除き、飼育海水を交換する。なお、幼生保持時は受精時の精子等が高濃度で滞留しているため周囲の海水と比べて濁っていることがある。海水の濁りだけでは大量斃死とは判断できないため、目視確認やサンプリング、水質観測(水温・塩分・溶存酸素量)によって大量斃死の兆候を判断する。

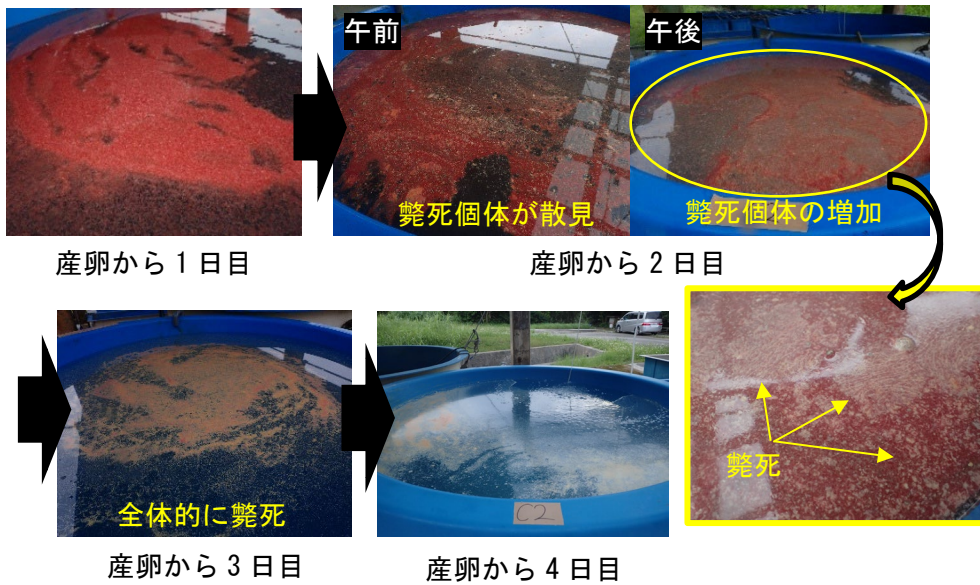
海水交換は、サンゴ幼生の流出を最小限にするため、図Ⅱ.4-13に示すようにプランクトンネット(100 μ m程度のものを使用)を用いて可能な限りサンゴ幼生を回収した後に実施することが望ましい。産卵から2日目までは表層に滞留しているサンゴ幼生が多いため、回収は比較的容易である。産卵から3日目以降は、サンゴ幼生の鉛直運動によりバンドル収容部内にサンゴ幼生が拡散しているため、サンゴ幼生の回収量は2日目までに比べて大きく低下する。全てのサンゴ幼生を回収することは困難なため、海水交換時は一定量のサンゴ幼生が流失するものとして実施する。



図Ⅱ.4-12 生残状況例



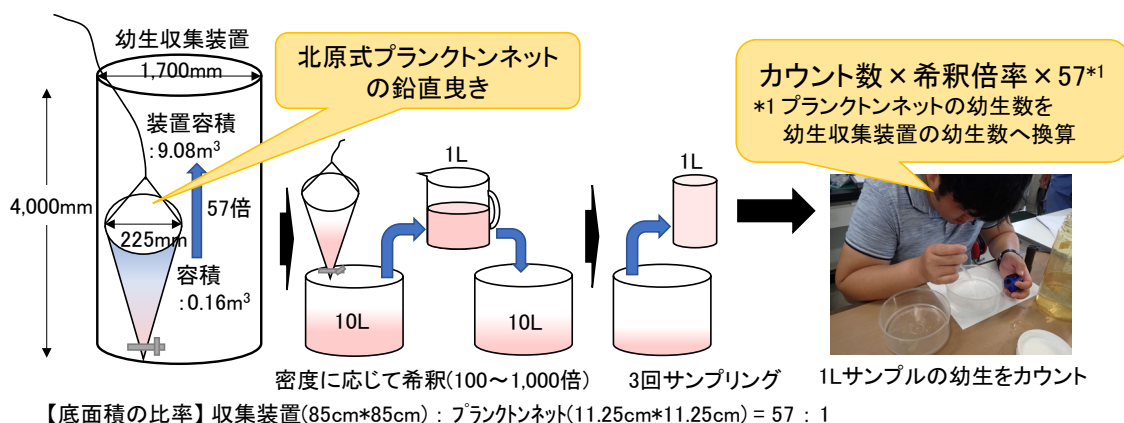
図Ⅱ.4-13 サンゴ幼生回収の様子



※産卵から2日目の変化が最も大きく、確認時間によって斃死状況は異なる場合がある

図Ⅱ.4-14 サンゴ幼生の斃死状況の例

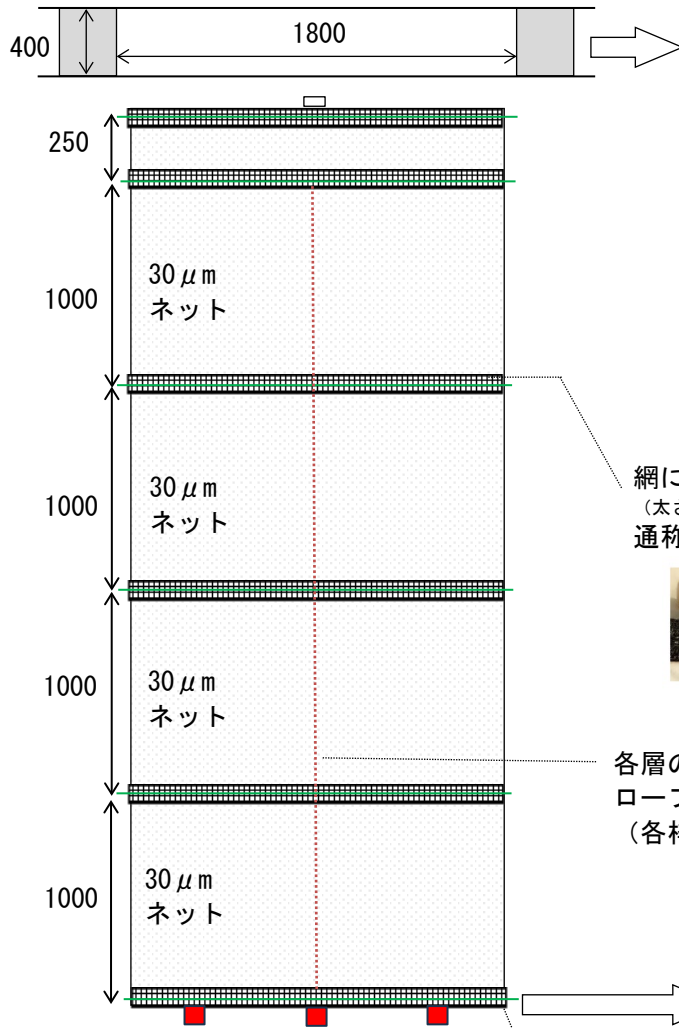
幼生保持時のサンゴ幼生数は、幼生密度と装置の容積より推算する。装置内の海水を攪拌した後、北原式プランクトンネットの鉛直曳きを行い、採取した試料を10Lの海水に入れて攪拌した後、1L測り取る。幼生密度が高い場合は1Lあたり100個体程度になるまで希釈すると計数が容易になる。1L中のサンゴ幼生数を計数し、希釈倍率を元に幼生密度を算出する(図Ⅱ.4-15参照)。なお、産卵から2日目まではサンゴ幼生が表層に浮上し、攪拌しても均一になりにくくサンプリングによる数の推算誤差が大きくなるため、サンゴ幼生の計数は産卵から3日目以降に行う。



図Ⅱ.4-15 サンゴ幼生サンプリング

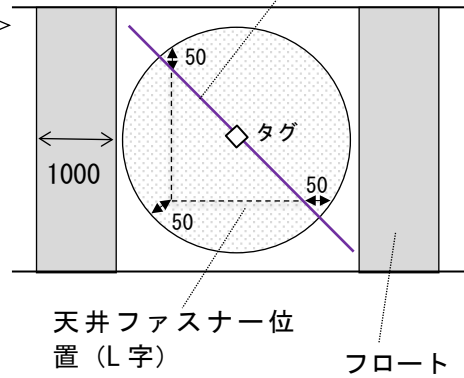
【参考：幼生収集装置図面】

<浮体部>



●平面図

強化プラスチック複合管
(天井中央部のタグに通す)

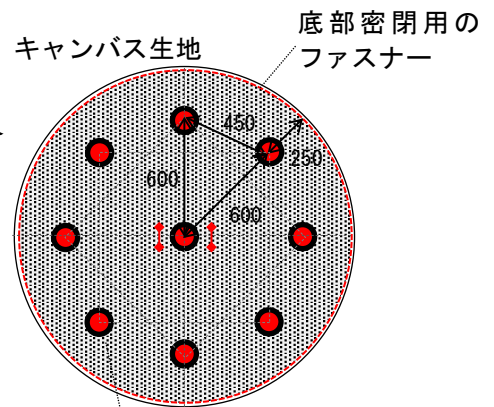


網に縫合されているメッシュ加工
(太さ：2~5mm、目合い：20~30mm)
通称：アイメッシュ加工

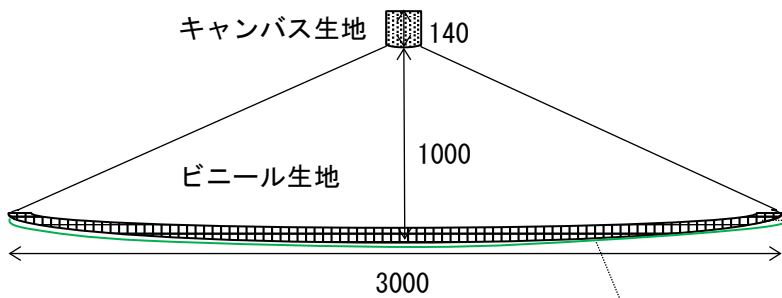


各層のステンレス枠同士を
ロープで固定
(各枠同士を 900mm 程度で固定)

ステンレス枠
(形状保持用)



<スカート部>



ステンレス枠
(形状保持用)

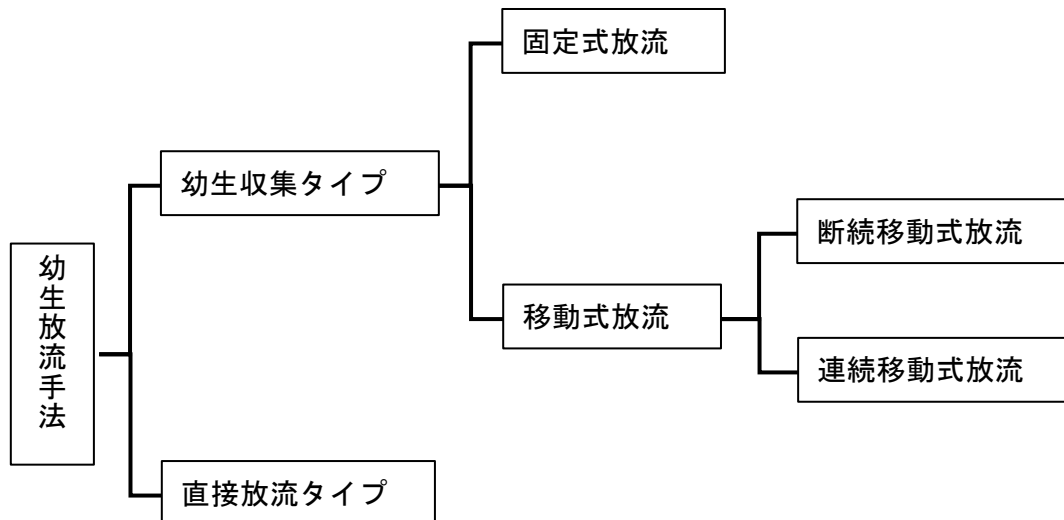
アイメッシュ加工

4. 2 サンゴ幼生放流技術

サンゴ幼生放流技術には、幼生収集タイプと直接放流タイプがあり、幼生収集タイプは、幼生収集装置でサンゴ幼生を収集、保持し放流するタイプで、大別して固定式放流と移動式放流の手法がある。直接放流タイプは、幼生供給基地から産卵直後にサンゴ幼生を放出させ、広範囲に拡散させる手法である。

【解説】

サンゴ幼生放流技術は、大量のサンゴ幼生を収集して、効率的に供給するサンゴ幼生供給手法であり、幼生放流手法は図Ⅱ. 4-16 のように分類される。

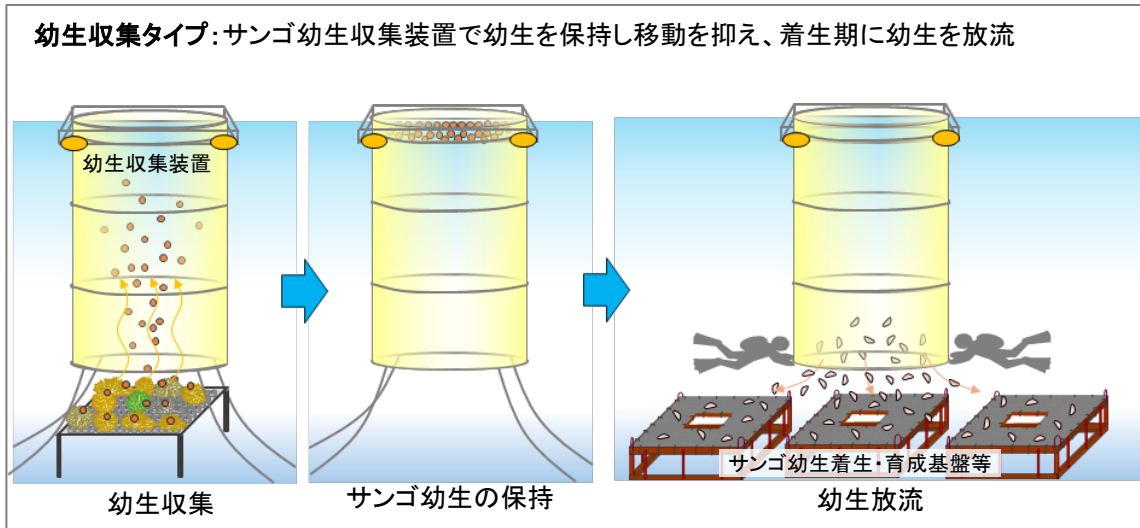
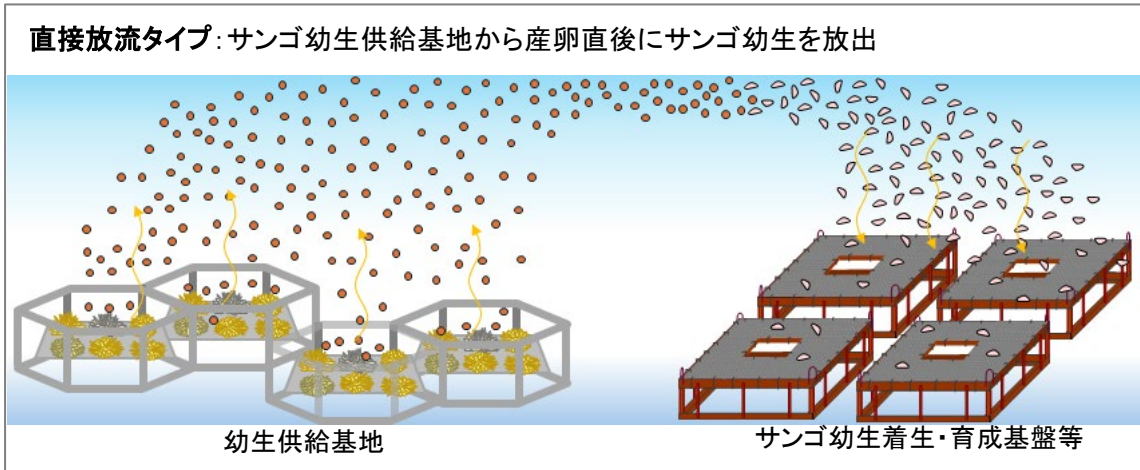


図Ⅱ. 4-16 サンゴ幼生放流技術の種類

「直接放流タイプ」はサンゴ幼生供給基盤から、産卵直後にサンゴ幼生を放出する技術であり、サンゴ幼生が広範囲に拡散するため、着生密度は低くなるが、人力による幼生収集作業の手間が不要な技術である（図Ⅱ. 4-17 上）。

「幼生収集タイプ」はサンゴ幼生収集装置でサンゴ幼生を保持し、サンゴ幼生が着生期になるまで拡散移動を抑えたのち、装置周辺に放出する技術であり、幼生収集作業の手間がかかる一方、拡散範囲が狭いため幼生密度が高く、高確率での着生が期待される（図Ⅱ. 4-17 下）。

沖縄沿岸海域及び沖ノ島島海域において、比較的高確率でサンゴ幼生の着生が期待できる「幼生収集タイプ」の実証試験を事業期間 8 年のうち 7 年間で実施した。「直接放流タイプ」での効果的な幼生拡散においては、平行してシミュレーションを用いた放流範囲予測技術の開発及び直接放流の可能性を検討した（Ⅱ編 4 章 4 節を参照）。



図Ⅱ. 4-17 サンゴの幼生供給力を高める技術のイメージ(2タイプ)

さらに幼生収集タイプには、固定式、移動式放流があり、移動式放流には断続移動式放流及び連続移動式放流がある。

固定式、断続移動式放流は、スポット的に確実に、少ないサンゴ幼生数で高密度に着生させたい場合には有効な手法である。

連続移動式放流は、放流ホースを取り付けた幼生収集装置を移動させながら、短時間で広範囲に放流できる方法である。

以下では、固定式、断続移動式放流と連続移動式放流に分けて解説する。

4. 2. 1 固定式、断続移動式放流技術

固定式、断続移動式放流技術とは、幼生収集装置を海底に固定し、サンゴ幼生を収集、4日齢まで保持し、幼生収集装置の底部を開放して、サンゴ幼生を放流、拡散させて基盤等に着生させる技術である。

【解説】

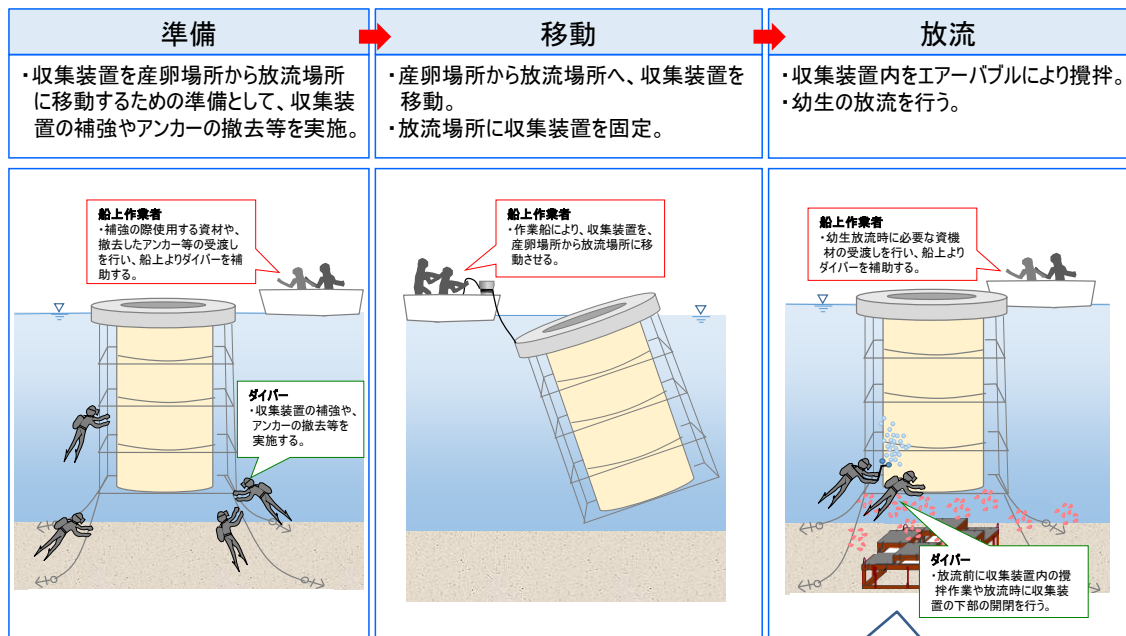
1) 固定式、断続移動式放流の手順

〈放流方法〉

産卵後、4日齢まで保持した幼生収集装置を放流場所へ移動、固定し放流、または次の放流場所に移動、固定し断続的にサンゴ幼生を放流する。

実証結果から、幼生放流量・放流条件と着生率^{注)}の関係を検証した。

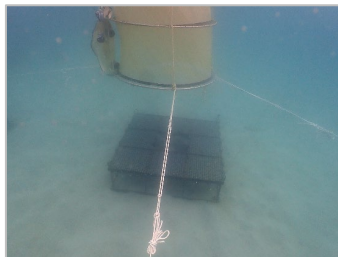
注) 着生率 : サンゴ幼生が着生した数÷幼生放流量



図Ⅱ. 4-18 固定式、断続移動式放流の手順



放流直前の状況



幼生放流状況

固定式は1回のみ放流、断続移動は、移動と放流を繰り返しながら放流。

2) 放流実証試験結果に基づく着生率、拡散範囲、放流方法

沖縄沿岸海域で実施した放流実証試験の結果のまとめを表Ⅱ.4-2に示す。

- 固定式、断続移動式放流の幼生放流量は約19万～960万個体、それに伴い放流密度^{注1)}も67～3,822個体/m²と大きく変動している。なお、ここでは着床具の違いから放流密度が極端に大きい平成30年の結果を除外している。

注1) 放流密度：幼生放流量÷放流面積（実証試験面積）

- 着生率についても3.5～18.9%と変動している。着生率が変動する要因としては以下の点が想定された。

①幼生着生範囲内に設置した着床具^{注2)}の設置面積が小規模

⇒代表的な着生率を取得できていない

注2) 着床具：幼生放流実証試験に用いた、サンゴ幼生を着生させる小型の基盤のこと。実証試験では4cm四方の角筒型の塩ビパイプを9つ束ねて12cm×12cmの格子状とした基盤を着床具とし、実証試験区域内に数m間隔で配置して着生を確認した。



着床具

②サンゴ幼生の健全度に調査年度により差異がある

⇒保持期間中にサンゴ幼生が死滅した年度があるなど

- 放流実証試験結果の着生率は、幼生放流量が20万個体程度以下のときに低い傾向にあり、270万個体以上のときに高い傾向を示したことから、効果的な幼生放流を実施するためには、300万個体程度以上のサンゴ幼生を収集、保持することを計画し、放流することが望ましい。
- 幼生収集装置内でサンゴ幼生を4日齢以上保持していると、サンゴ幼生が装置の底部に塊状となって集積する傾向がある。令和元年度の崎枝湾における放流試験の経験では、塊状のまま放流した結果、サンゴ幼生が放流直下周辺に着生し、幼生が十分に拡散しなかったことから、幼生放流の直前に幼生収集装置内をエアバブル等で良く攪拌して、塊状を解消させ、幼生を装置内に均一にさせておく必要がある。
- 令和2年、3年度の現地実証、令和4年度のウスエダミドリイシを対象とした室内試験結果によると、幼生が装置から放流される時間当たり沈降量、放流後の幼生個々の沈降速度ともに0.2～0.3cm/sと幅をもった値であった。従って、断続移動式放流における1回の放流量を計画するための放流時間の設定は、沈降速度0.2及び0.3cm/sの2ケースで検討し、放流量に幅を持たせた計画を行う必要がある。
- 放流する高さについて、平均流速が1.5～2.5cm/s程度の静穏な海域では、40m四方程度のエリアで幼生を拡散させる場合、放流高さを基盤から1～1.5mにすると着生率が高かった。放流高さと拡散範囲は、現地の流向・流速を予め把握し、沈降速度の関係から、数値計算（例えば「第Ⅱ編 2.4 予測」に示した予測手法）によって設定することが望ましい。
- サンゴ産卵ファームで想定される1ha規模で、1m²あたり100個体の幼生の着生を計画する場合、令和3年度実証試験の結果から、4日齢で1,500万程度の幼生を確保する必要がある、そのための親サンゴと幼生収集装置を準備する必要がある。

表Ⅱ.4-2 固定式、断続移動式放流実証試験の結果のまとめ

試験年度	平成30年	令和元年		令和2年	令和3年
試験場所	崎枝湾	崎枝湾	浦底湾	浦底湾	浦底湾
放流方法	固定式	固定式	固定式	断続移動式	断続移動式
試験規模	10m×10m	直径60m円	直径60m円	直径40m円 ×2	直径40m円 ×4
試験面積(m ²)	100	2,826	2,826	2,512	5,040
放流密度 (個体/m ²)	35,000	708	67	3,822	510
幼生放流量(個体)	約350万	約200万	約19万	約960万	約257万
放流高さ(m)	1	3	3	1.3~1.5	1.2~2.1
着床具への着生数 (個体)	469	16	4	825	360
試験区内幼生 着生数(個体)	293,125	69,778	17,444	1,107,051	484,615
着生率(%)	8.4	3.5	9.2	11.5	18.9
放流時の平均流速 (cm/s)	1	1	2	1.5	2.5
放流幼生に関して 発生したイベント 等	着床具の大きさが他年度と異なり放流密度が極端に高い	放流前に攪拌しなかったため幼生が塊状になっていた	小型の収集装置内で幼生が減少	特になし	特になし

※令和5年度～7年度に沖縄沿岸海域及び沖ノ島島海域で固定式放流の実証試験を行ったが、幼生放流量が少なかったことから、幼生の着生が局所的で着生数が少なく、着生分布の把握が困難であるため、着生数及び着生率として評価せず、表には掲載していない。

3) 検証結果と事業実施への対応

固定式及び断続移動式放流実証試験の結果から得られた検証結果と事業実施への対応のまとめを表Ⅱ.4-3に示し、放流方法の使い分け、メリット・デメリットを表Ⅱ.4-4に示す。

表Ⅱ.4-3 固定式、断続移動式放流実証試験の検証結果と事業実施への対応

検証項目	検証結果	事業実施への対応
①放流手法	<ul style="list-style-type: none"> 令和2年、3年度の実証試験で小型船1隻、ダイバー4人、船上作業2名で、幼生収集～放流まで延べ4日の作業で実施できることを確認。 	<ul style="list-style-type: none"> スポット的かつ確実に、比較的少ない幼生数で高密度に着生させたい場合には有効な手法。
②放流高さ、放流水深	<ul style="list-style-type: none"> 平均流速が1.5～2.5cm/s程度の静穏な海域では、40m四方程度のエリアで幼生を拡散させる場合、放流高さを基盤から1～1.5mにすると着生率が高かった。 放流水深に特に条件はないが、水深約10m以上になると、放流装置の規模が大きくなる。 	<ul style="list-style-type: none"> 流速と放流高さの関係は、流速が小さく、放流高さ低ければ拡散範囲は狭くなり、流速が大きく、放流高さが高ければ拡散範囲は広がる。 水深が深い場所では放流高さを調整するため、スカート取り付け放流する必要がある。
③計画放流量	<ul style="list-style-type: none"> 令和2年、3年度の現地実証、令和4年度の室内試験結果によると、幼生が装置から放流される時間当たり沈降量、放流後の幼生個々の平均沈降速度ともに0.2～0.3cm/sと幅をもった値であった。 	<ul style="list-style-type: none"> 放流量を計画するための幼生の沈降速度について、放流時間の設定は、ウスエダミドリイシの場合、沈降速度0.2及び0.3cm/sの2ケースで検討し、放流量に幅を持たせた計画を行う。
④目標規模 100個体/m ² の着生	<ul style="list-style-type: none"> R3年度の沖縄沿岸海域の静穏な海域での断続移動放流試験では、幼生257万個体の放流で100個体/m²が0.18haの規模で着生した。 	<ul style="list-style-type: none"> 1ha規模で100個体/m²の幼生着生を計画する場合、4日齢で1,500万程度の幼生を確保するための親サンゴ、幼生収集装置を準備する必要がある。

表Ⅱ.4-4 放流方法の使い分け、メリット・デメリット

放流方法の 使い分け	<ul style="list-style-type: none"> 固定式放流：スポット的に限定した場所に放流する場合に適している。 断続式移動放流：水深が一定で広範囲に放流する場合に適している。多くの幼生を放流する場合に適している。
放流方式の メリット	<ul style="list-style-type: none"> 固定式放流：放流する行為が他の放流方法に比べて容易にできる。 断続移動式放流：幼生の放流数を管理しやすいため、多量の幼生を複数回に分けて放流できる。
放流方式の デメリット	<ul style="list-style-type: none"> 固定式放流：放流範囲が限られ、広範囲に放流できない。 断続移動式放流：複数回の放流ごとに装置を移動させるために、他の放流方法よりも手間がかかる。

4. 2. 2 連続移動式放流技術

連続移動式放流技術とは、サンゴ幼生を収集、4日齢まで保持し、幼生収集装置を移動しながら幼生を放流し、拡散させて基盤等に広域に着生させる技術である。

1) 連続移動式放流の作業手順

〈放流方法〉

産卵後、4日齢まで保持した幼生収集装置を放流場所へ移動、幼生収集装置を船舶によって移動させながら幼生を放流する。

実証結果から、幼生放流量・放流条件と着生率の関係を検証した。

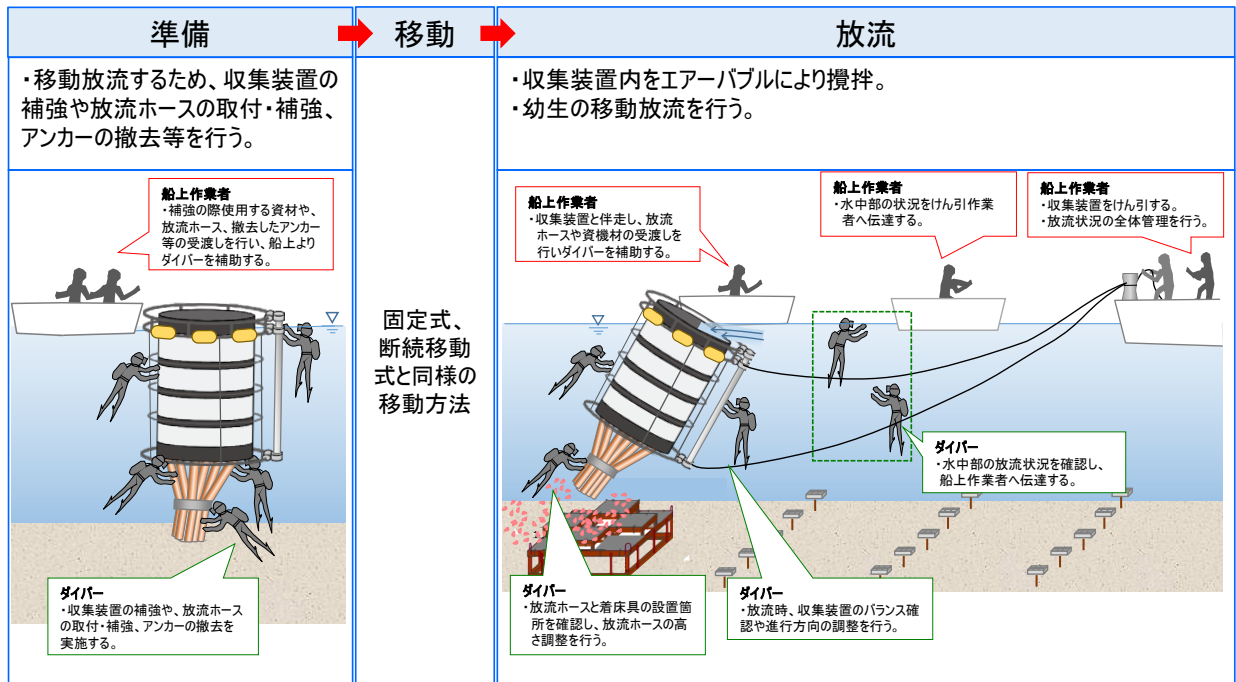
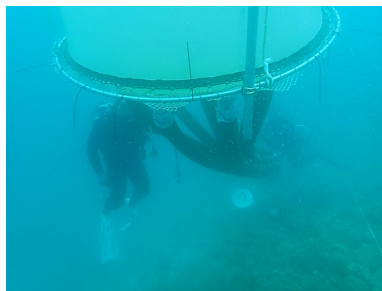


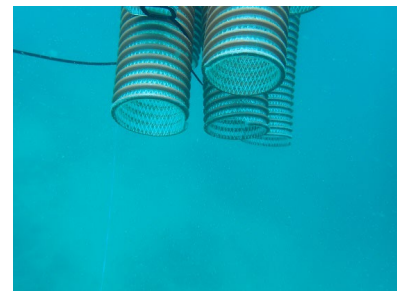
図 II. 4-19 連続移動式放流の作業手順



収集装置の曳航による移動放流状況



移動放流状況



放流ホース先端部からの幼生放流状況

2) 放流実証試験結果に基づく着生率、放流方法

令和2年に沖縄沿岸海域で実施した、連続移動式放流実証試験の結果の概要のまとめを表Ⅱ.4-5に示す。

実証試験に基づく着生率と放流方法の解説を以下に示す。

- 令和2年度の実証試験によれば、約1,000万個体の幼生を放流し、試験区内への着生率は5.9%であった。比較可能な実証例は1例しかないが、固定式、断続移動式放流と比較するとやや低い着生率であった。
- 令和2年度の実証試験例では、放流試験区内の水深5mよりも浅い場所では多くの幼生が着生しており、6mより深い場所では放流ホース先端の放流高さが海底より高くなってしまい、幼生が試験区内から試験区外に逸散して、深い場所での着生率が低下したことが要因と考えられる。このことの改善点としては放流ホースの長さ（放流高さ）を地形（水深）に応じて海底直上から放流できるように改良するか、放流エリアは水深が一定の場所を選定し、海底直上から放流することである。
- 令和3年度及び令和4年度にも実証試験を行ったが、放流幼生数がそれぞれ約38万個体及び26万個体であり、着生が局所的で着生数が少なく、着生分布の把握が困難であるため、試験区内着生数及び着生率として評価できなかった。このことを考えると、効果的な連続式移動放流を行うためには、4日齢で1,000万程度以上の幼生を確保することが望ましい。
- 大量の幼生を放流エリアに計画的に均一に放流する場合には、放流最初の方は多くの幼生が装置内に存在するため、少ない放流孔数で放流し、最後の方は幼生数が少なくなるので、多くの孔数で放流する必要がある。この放流孔の数の設定は、予め試験を行い、曳航速度と放流孔における流量を計測し、曳航1m当たりの放流量を把握する必要がある。
- 令和4年度の実証試験では、収集装置内の幼生量、曳航（移動）速度と放流孔面積による計算式より、計画誤差20%以内で放流できることを確認したことから、実証試験で用いた同じ装置で実施すれば、おおむね計画どおりの放流が可能となる。
- 幼生が装置の底の方に溜まっていると、放流最初のほうで多くの幼生が放流されてしまうため、放流エリアに均一に放流するため、放流前に装置内のエアバブル等を用いて幼生を攪拌し、装置内の幼生を均一に分布させておく必要がある。
- 幼生収集装置を曳航しながらの放流になることから装置に水圧を受ける。実証試験では海域の流速5cm/s以下の条件で、放流移動速度は1ノット程度で実施した。それ以上の流れを受ける場合は、装置の耐久性（装置の破損の有無）を検討する必要がある。
- 連続移動式放流によってサンゴ産卵ファームで想定される1ha規模で1m²あたり100個体の幼生の着生を計画する場合、令和2年度実証試験の結果によれば、4日齢で10,000万程度の幼生を確保する必要があると推測され、そのための親サンゴと幼生収集装置を準備する必要がある。

表Ⅱ.4-5 連続移動式放流実証試験の結果のまとめ

試験年度	令和2年
放流方法	連続移動式放流
幼生放流量	約1,000万個体
放流高さ	0.25m
試験規模、試験場所	10m×200m、浦底湾
試験面積	2,000 m ²
放流密度	5,000 個体/m ²
着床具への着生数	279 個体
試験区内幼生着生数	587,121 個体
着生率	5.9%
放流時の平均流速	2.5cm/s

※令和3年及び令和4年度に連続移動式放流の実証試験を行ったが、幼生放流量が少なかったことから幼生の着生が局所的で着生数が少なく、着生分布の把握が困難であるため、試験区内着生数及び着生率として評価せず、表には掲載していない。

3) 検証結果と事業実施への対応

連続移動式放流実証試験の結果から得られた、検証結果と事業実施への対応を表Ⅱ.4-6に示し、放流方法の使い分け、メリット・デメリットを表Ⅱ.4-7に示す。

表Ⅱ.4-6 連続移動式放流実証試験の検証結果と事業実施への対応

検証項目	検証結果	事業実施への対応
①放流手法、手順	<ul style="list-style-type: none"> 令和2年、3年度の実証試験で小型船2隻、ダイバー4人、船上作業2名で幼生収集～放流までの延べ4日の作業で実施できることを確認。 	<ul style="list-style-type: none"> 短時間で広範囲に放流、着生させたい場合には効率的な方法である。
②放流高さ、放流水深	<ul style="list-style-type: none"> 放流高さは基盤から25cm程度とする。 放流水深は、特に条件ないが、水深5～7m以上は厳しい。 	<ul style="list-style-type: none"> 着生基盤の直上に、放流ホースを這わせるように移動放流させる。 放流水深が途中で変化する場合、移動途中で、放流高さ（放流ホースの長さ等）を調節する作業が生じる。
③計画放流量	<ul style="list-style-type: none"> 令和4年度の実証試験により、収集装置内の幼生量、曳航（移動）速度と放流孔面積による計算式より、計画誤差20%以内で放流できることを確認。 	<ul style="list-style-type: none"> 幼生収集装置の大きさや素材、放流孔の面積により、均等に幼生を放流する量が異なるため、予め幼生放流量、曳航（移動）速度、放流孔の流量の関係の確認を行う必要がある。
④目標規模 100 個体/m ² の着生	<ul style="list-style-type: none"> 令和2年度に1,000万個体の幼生を0.2ha放流し100個体/m²の着生が確認され、計画面積の約半分(0.1ha)に着生した。 	<ul style="list-style-type: none"> 左記の試験結果によれば、1haに100個体/m²の幼生着生を計画する場合、10,000万個体程度の幼生が必要と推測される。

表Ⅱ.4-7 放流方法の使い分け、メリット・デメリット

放流方法の使い分け	<ul style="list-style-type: none"> 帯状に放流するため、地形が複雑でも一定水深に放流する場合（リーフエッジに沿った放流等）に適している。 比較的小さい労力で広範囲に放流する場合に適している。
放流方式のメリット	<ul style="list-style-type: none"> 幼生放流量と放流移動速度の関係が明確であれば、短時間で広範囲に幼生放流が可能。
放流方式のデメリット	<ul style="list-style-type: none"> 実証試験によれば、着生率が固定式、断続移動式放流より低い。 幼生放流量のコントロールは、経験によるところが大きい。 他の方式と比べて、放流用のホース、装置の曳航用の資材の追加が必要であり、その分費用がかかる。
留意事項	<ul style="list-style-type: none"> 実証試験では流速5cm/s以下の条件で、放流移動速度は1ノット程度で実施した。それ以上の流れを受ける場合、装置の耐久性（装置の破損の有無）を検討する必要がある

4. 3 サンゴ幼生着生・育成基盤

「サンゴ幼生着生・育成基盤」は、漁港漁場整備事業で整備されるものとし、「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2023 年版」（公益社団法人 全国漁港漁場協会）に示される施設の中でも、比較的似通った機能が求められる「増殖場」の「藻場礁」内容を参考に設計を行う。

【解説】

1) 設計方針

「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2023 年版」（公益社団法人 全国漁港漁場協会）に準拠して設計を行うものとし、サンゴ幼生着生・育成基盤と比較的似通った環境に設置され、似通った構造になる「藻場礁」を参考とする。設計の手順は右図に示すとおりである。

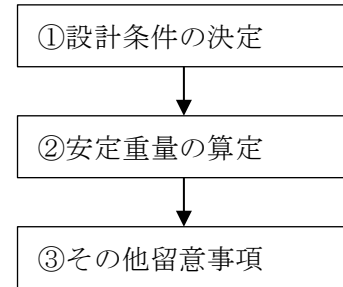


図 II. 4-20 サンゴ幼生着生・育成基盤の設計手順

(1) 設計条件

設計で想定する波動流は、「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2023 年版」（公益社団法人 全国漁港漁場協会）の「第 15 編 2. 4. 2 (2) ② 流体力の算定」に記載される、設計条件下で最大流体力が生じる最大流速波形とすることを標準とする。

(2) 安定重量の算定

安定重量は、「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2023 年版」（公益社団法人 全国漁港漁場協会）の「第 15 編 2. 4. 2 (2) 構造物全体の安全性の照査」に基づき算定するものとする。

(3) その他留意事項

サンゴ幼生着生・育成基盤の設計にあたり、以下の事項に留意し、その形状や資機材等の設定を行う。

①揚力による安定性への影響

- ・藻場礁を始めとした、増殖礁、魚礁などの水産整備事業で整備される施設の設計では、滑動及び転倒に対する安定性の検討により、安定重量を決定する。これら施設は、構造物の形状上揚力の影響を受けにくい構造となっているため、「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2023 年版」（公益社団法人 全国漁港漁場協会）では揚力に対する安定性の検討を行っていない。
- ・サンゴ幼生着生・育成基盤は、基盤の上部の格子状構造の通水性を確保するため、一定の揚力を受ける構造となる。このため、設計段階においても揚力の



サンゴ幼生着生・育成基盤の例

影響を極力低減する構造が求められる。

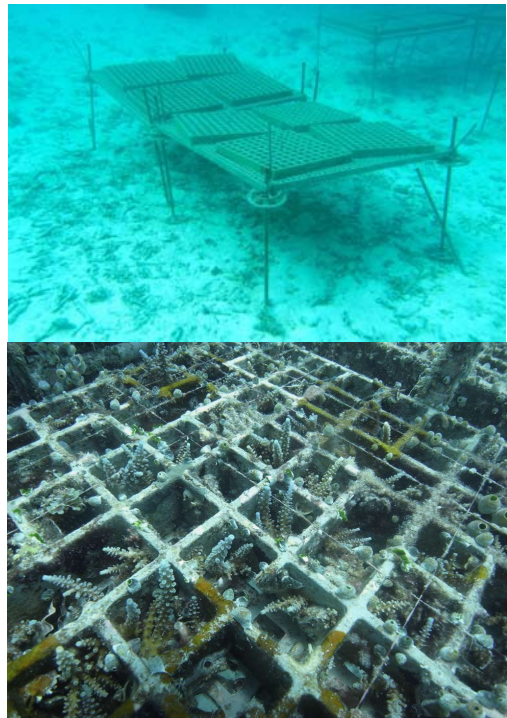
- ・実証実験では、基盤の中央部に格子状基板を設置しないことで、揚力による影響を抑えることとし、モニタリング調査により安定性が確保されていることを確認している。

②施工性

- ・礁池内（リーフ内）に設置する基盤であることから、リーフを越えて（リーフの隙間を通過して）航行、設置を行うクレーン付船舶で施工可能な、重量、大きさである必要がある。
- ・多くの基盤を製作・設置することが考えられるため、製作期間の短縮、経済性を考慮し、できるだけ簡易な構造が望ましい。

③機能性

- ・高波浪時に、砂礫のサンゴへの衝突による減耗に対処するため 50～60cm 程度嵩上げる。
- ・1 基当りの基盤天端の面積は、広い方が効率的であるが、サンゴ養殖漁業者によれば、基盤の端部から 1m 以上入った中央側にあるサンゴ群体は死滅しやすいとの知見を考慮して規模を決定する（実証試験では一辺当たり 2.16m の正方形形状を採用）。
- ・基盤上部のサンゴ着生部は、着生後の稚サンゴの生残率を高めるため、水産総合研究センター(2012)によって開発された「上部グレーチング+下部ネット」の基盤構造（下写真）を参考にする。実証試験では、既製品のグレーチング（FRP 製、40mm 正方形マス、40mm 厚）を採用した。なお、通水性が確保されるため、浮泥等の堆積物抑制の効果も得られる。
- ・基盤上部のサンゴ着生部は、着生基盤の浸漬（石灰藻やバイオフィルムの付着）に 1 ヶ月程度の期間を要するため、架台据付工事に時間的な余裕を確保できること、着生基盤の付着物除去等のメンテナンスが容易なことを考慮すると着脱式が有効と考えられる。



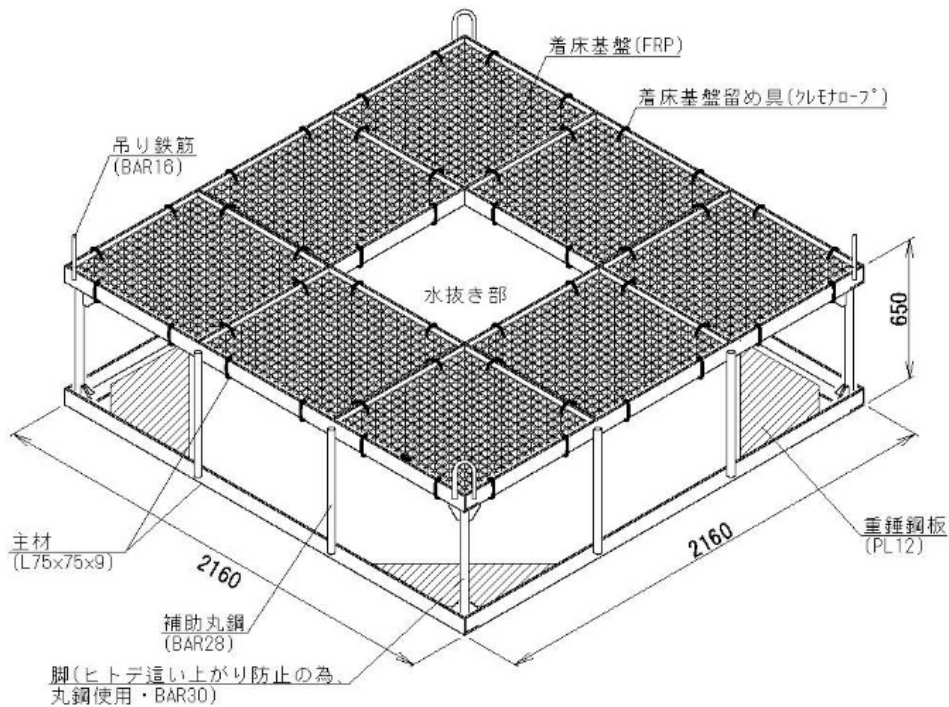
写真出典:独立行政法人 水産総合研究センターHP
<https://www.fra.affrc.go.jp/pressrelease/pr24/241101/>

④白化・食害対策

- ・基盤上部のサンゴ着生部は、幼生加入時に魚類等の食害の影響を抑制するため、前述にも示す通り格子状の基板（40mm 正方形マス、40mm 厚）とする。
- ・オニヒトデ対策として、基盤の脚部からの這い上がりを抑制する必要がある。実証試験では、φ40mm の丸鋼でも這い上がりが確認されたことを考慮し、φ30mm 以下の丸鋼を採用した。

⑤架台の材質

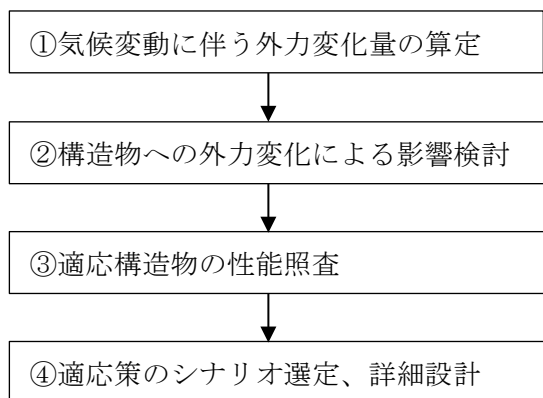
- ・ 基盤の架台の材質は、これまでの沖縄県における検討実績、オニヒトデ対策、施工性等を考慮して、コンクリート製以外の材質とし「鋼製」とする。
- ・ 鋼製基盤の設計に際して、安定性を確保するための重量確保のため、基盤の底部に鋼製板等を必要に応じて設置する。



図Ⅱ.4-21 設計事例

2) 気候変動に伴う対応について

気候変動に伴う海面水位の上昇や波浪の変化などの外力変動に対し、施設がその機能を維持し、安全性を確保するための適応策の検討手順や設計方針について、「漁港施設等における気候変動適応策の設計に係る手引き（暫定版）」（令和5年4月、水産庁 漁港漁場整備部）が示されている。本手引きの対象は、気候変動による影響を直接的に受ける漁港施設等とされており、漁港施設に構造が類似した漁場の施設（魚礁、増殖場、養殖場の構造物）についても適用の対象とするとされている。したがって、サンゴ幼生着生・育成基盤についても本手引きに則り検討を行うものとする。



検討手順は図Ⅱ.4-22に示す通りであり、内容を以下に示す。

図Ⅱ.4-22 気候変動適応策の検討手順

(1) 気候変動に伴う外力変化量の設定

気候変動に伴う外力の将来予測として、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）による第 5 次評価報告書で用いられた代表的濃度経路（RCP）シナリオのうち、RCP2.6 シナリオ（2℃上昇相当）における将来予測の平均的な値を前提とし、平均海面の上昇量を検討とすることを基本とする。また、潮位偏差や波浪の長期変化についても気候変動の影響を勘案する。なお、設計潮位及び設計沖波の設定にあたっては、気候変動予測の不確実性や当該施設の利用状況等を考慮して、総合的に判断して適切に設定する。

(2) 施設への外力変化による影響の検討

サンゴ幼生着生・育成基盤の規模、立地条件等を踏まえ、気候変動に伴う外力変化による基盤の滑動・転倒など安定性への影響を検討する。

(3) 適応構造物の性能照査

供用期間における要求性能に対して、機能面、安全面について照査を実施する。

(4) 適応策のシナリオの選定

気候変動適応策は、安定性の性能照査結果に基づき、適応策の実施時期のシナリオを考慮した上で総合的に検討する。

(5) 気候変動に伴う基盤の機能性への対応

本手引きは、気候変動に伴う物理的な外力による安定性に対する影響を検討するものであり、サンゴ幼生着生・育成基盤の本来の機能に対する対応の有無を別途検討する必要がある。特に基盤の設置場所については、水深や波浪等の外力変化の状況を踏まえ、変更の必要性を検討する。

4. 4 効率的なサンゴ幼生着生のための予測技術

対象海域のサンゴ生息域の回復・拡大を目的として設置したサンゴ産卵ファームからの幼生拡散予測手法として、解析解を用いる方法と面的拡散シミュレーションを用いる方法がある。解析解では大久保・プリチャード式、岩井の解などを用い、拡散係数などを計算条件として与えて計算を行う。面的拡散シミュレーションでは石垣島崎枝湾での計算手法と結果を示した。崎枝湾においては、湾東部のサンゴ生息密度の低い海域に対して、湾南西部の水深 5m～15m の海域からサンゴ幼生が供給された。

【解説】

1) 解析解による浮遊幼生拡散範囲推定手法

海域に適用できる解析解の例として、大久保・プリチャード式、岩井の解（水理公式集，2018）を表Ⅱ.4-8 に示す。これらは、流速・流向が時間的に概ね一定で、空間的にもほぼ一様である流れにおいて、発生源から連続的に物質が発生する場合に適用できる式である。

表Ⅱ.4-8 解析解の手法（例；水理公式集，2018）

予測手法	内容
大久保・プリチャード式	$S(x, y) = \frac{qH^{-1}}{\sqrt{\pi\omega x}} \exp\left(-\frac{u^2 y^2}{\omega^2 x^2}\right)$ <p> <i>S</i> : 予測地点の物質濃度 (g/cm³) <i>x, y</i> : 予測地点 (cm) <i>x</i>: 流れの方向、<i>y</i>: 流れと直角の方向 <i>q</i> : 単位時間の発生量(g/s) <i>u</i> : 流速 (cm/sec) <i>H</i> : 水深 (cm) <i>ω</i> : 拡散速度 (cm/sec) </p>
岩井の解	$S(x, y) = \frac{q \exp\left(\frac{ux}{2K}\right)}{2\pi HK} IK_0 \left[\frac{u}{2K} \sqrt{x^2 + y^2} \right]$ <p> <i>S</i> : 予測地点の物質濃度 (g/cm³) <i>x, y</i> : 予測地点 (cm) <i>x</i>: 流れの方向、<i>y</i>: 流れと直角の方向 <i>q</i> : 単位時間の発生量(g/s) <i>u</i> : 流速 (cm/sec) <i>H</i> : 水深 (cm) <i>K</i> : 拡散係数 (cm²/sec) <i>IK₀</i> : 0 次の第 2 種変形ベッセル関数 </p>

これらの式のうち、流速は対象箇所の平均的な値を入力する（潮流により流れが往復する場合は時間平均して平均流成分とする）。

拡散速度、拡散係数については、既往文献等から設定することも考えられるが、地形、流況等により異なることに留意して選定する必要がある。既往の拡散係数、拡散速度の例を以下に示す。

表Ⅱ.4-9 水平方向の拡散係数

最大流速(m/s)	拡散係数K (cm ² /s)
0～0.3	10 ⁴
0.31～3.0	10 ⁵
3.01以上	10 ⁶

出典：「瀬戸内海環境保全特別措置法施行規則第4条第一項の事前評価について」（環水規則第76号通知）

表Ⅱ.4-10 水平方向の拡散係数、拡散速度

	広島湾	東海村沖	相模灘
拡散係数K (cm ² /s)	9.61×10 ²	7.92×10 ²	2.0×10 ³
拡散係数ω (cm/s)	8.50×10 ⁻¹	1.25	1.61

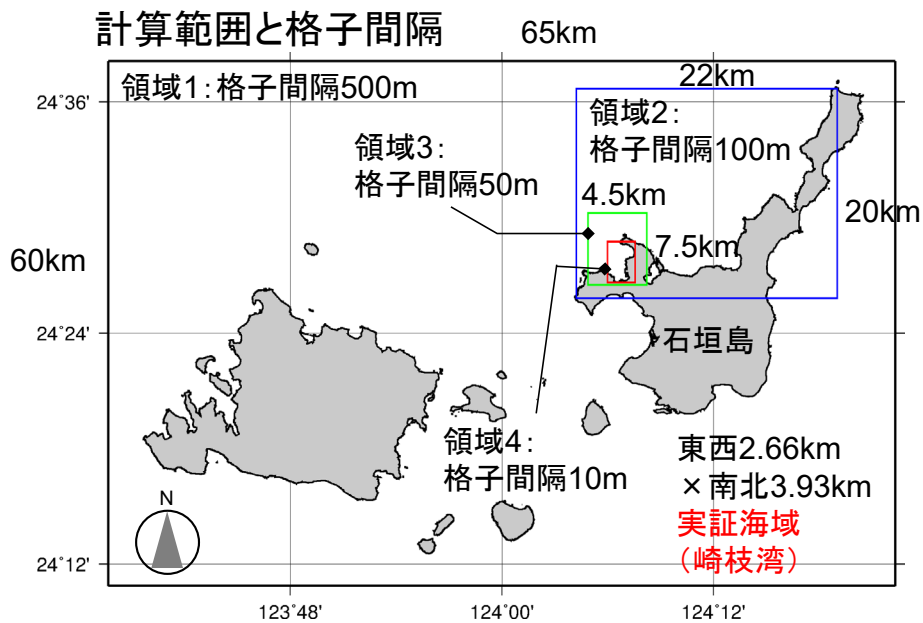
出典：横浜市公害対策局「水質汚濁・土壌汚染に係る環境影響評価、指導・審査マニュアル」1985年

上記の拡散係数、拡散速度の値は目安であり、地形、流況等により異なるためそれらの点に留意して用いる必要がある。現地調査により水平方向の拡散係数が求められている場合には、その値を用いるべきである。

2) 面的拡散シミュレーションの概要

面的拡散シミュレーションによるサンゴ産卵ファームからの幼生拡散予測について、石垣島で行った解析を例として以下に示す。

サンゴ幼生は海域の流れによって移流・拡散するため、年ごとの気象・海象によって着生場が変わると考えられ、特に風向きによって傾向が変化する。そのため、ここでは2010年～2019年の10年間について、NCEP-FNLデータから最頻風向・風速を求め、これを用いてSWAN波浪モデルにより波浪再現計算を行い、radiation stressの計算結果を流動モデルに与えた。再現計算は令和2年5月12日から5月19日を対象に行った。



図Ⅱ.4-23 流動モデルの計算範囲と格子間隔

表Ⅱ.4-11 流動モデルの概要

項目	内容
計算モデル	2次元多層非定常モデル（10層） 運動方程式（ナビエ・ストークスの運動方程式）、質量保存則による連続の式
海浜流	SWAN 波浪モデルにより波浪再現計算を行い、radiation stress の計算結果を流動モデルに与え、海浜流を再現
計算範囲	石垣島周辺（65km×60km）
格子分割・格子間隔	500m（領域1）、250m（領域2）、50m（領域3）、10m（領域4）の可変格子とし、実証試験海域の格子を密に設定
再現期間	令和2年5月12日から5月19日

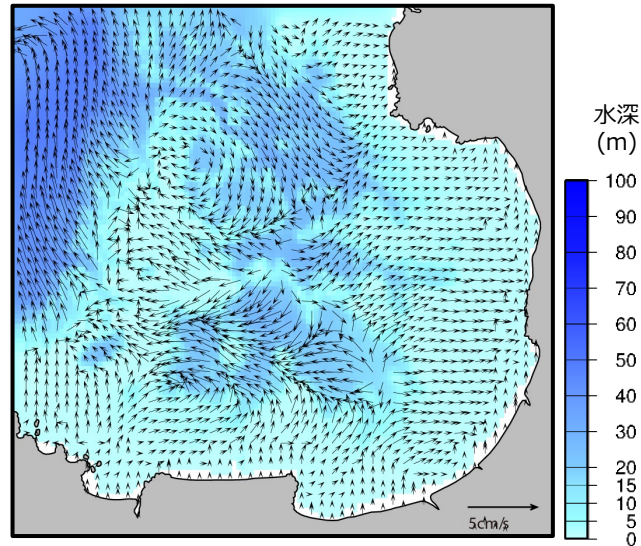
【境界条件】

項目	内容
海底地形	領域1：日本海洋データセンター（JODC） 500mメッシュ水深データ 領域2～4：上記JODCデータに加え、湾内の水深データはALB海底地形データ（アジア航測（株））を各格子のデータに変換
外境界の水位	外洋域の恒流および潮位変動の考慮するため領域1外部境界に水位偏差として与えた
海上風況	・気象庁・伊原間観測所の風況観測データ ・NCEP-FNLデータ（10年間分）

【計算条件】

項目	内容
産卵日	令和2年5月12日
産卵高さ	海底上30cm
産卵数	湾内の水深20m以浅の海域全体を産卵場とし、10m間隔に1個体
着底判定条件	産卵後4日目以降に海底に到達した場合、その場に着生するとした
サンゴ幼生の自律移動	図Ⅱ.4-25参照

図Ⅱ. 4-24 に流動モデルの計算結果の一例として、令和 2 年 5 月 12 日における海面下 1m での日平均流ベクトル分布を示す。流速は概ね 1cm/sec 程度で、渦や流れの収束場がみられるが、全体的には北向きに流れていた。

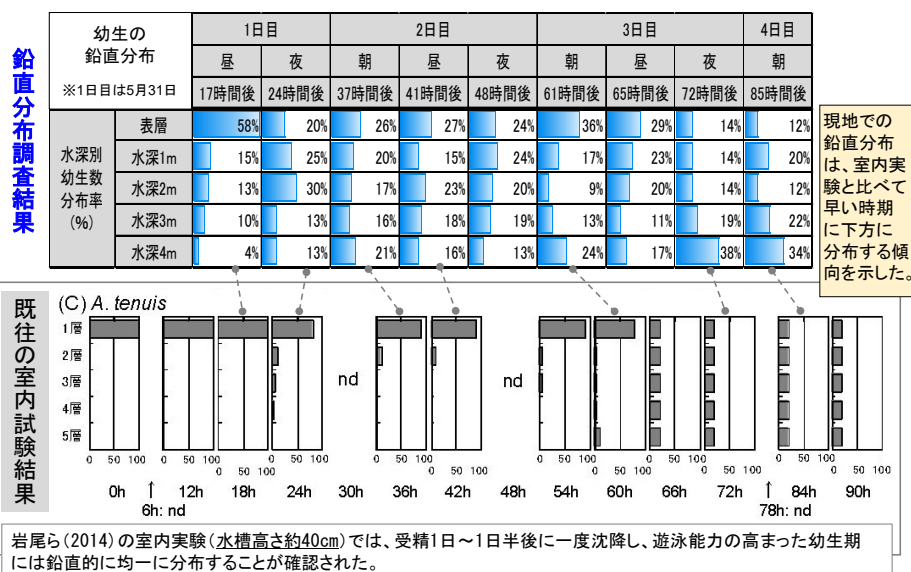


図Ⅱ. 4-24 浦底湾における日平均流計算結果（海面下 1m）

流動モデルの計算結果を浮遊幼生移動モデルに代入し、サンゴの産卵日（令和 2 年 5 月 12 日）から 8 日間の粒子移動計算を行い、サンゴ幼生の到達箇所を予測した。

計算の目的は湾内にサンゴ幼生を供給する場所を抽出することであるため、サンゴが生息可能と考えられる湾内の水深 20m 以浅の海域全体を産卵場（エリアの 10m メッシュに 1 個体）とした。

サンゴ幼生は自律的に鉛直移動することが知られている。そこで、図Ⅱ. 4-25 に示すサンゴ幼生の鉛直分布パターンを定式化してモデルに組み込んだ。



図Ⅱ. 4-25 ウスエダミドリイシ幼生の産卵後経過日数と鉛直分布深度

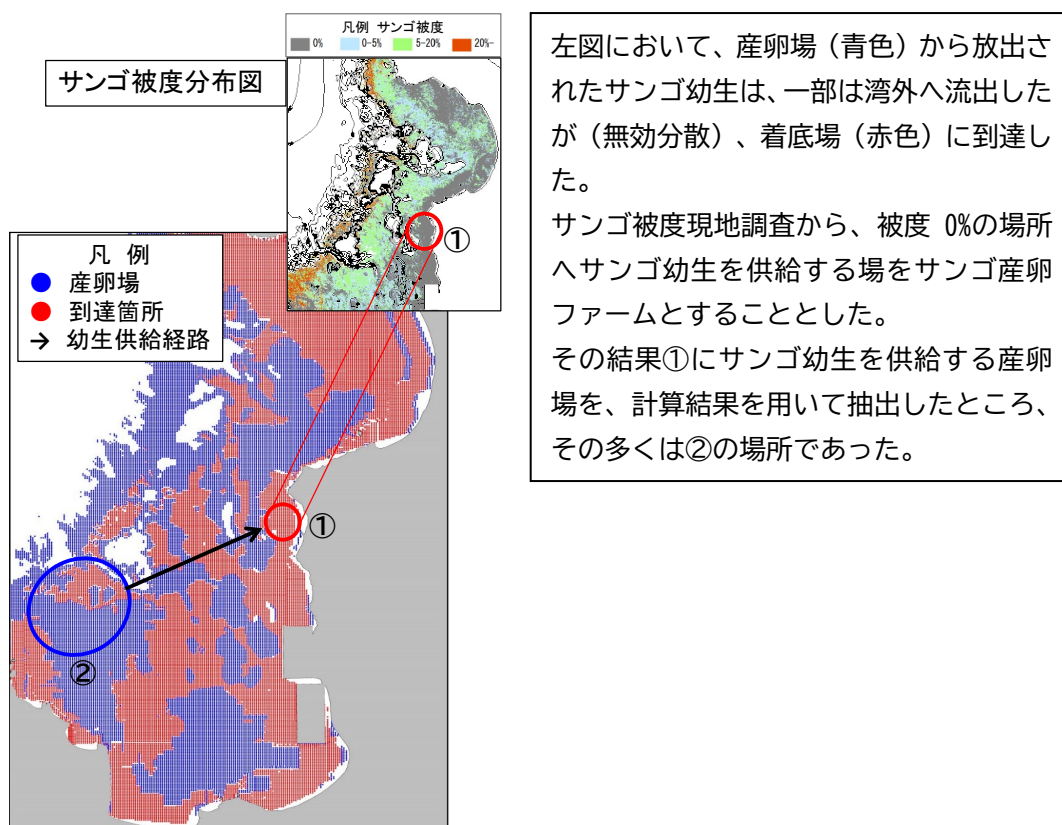
産卵後 4 日目以降に海底に到達した場合（着底）、その場に着生するとした。着底したサンゴ幼生はその後移動しないとした。

崎枝湾での予測結果を図Ⅱ.4-26 に示す。数値シミュレーション計算結果では、サンゴ幼生に模した計算粒子の計算開始位置（産卵場）、時間経過ごとの位置、計算終了時位置（着底場所）が計算粒子ごとに記録されている。このうち、サンゴ幼生に模した計算粒子の計算開始位置（産卵場）、計算終了時位置（着底場所）を使って、「対象海域に広くサンゴ幼生を供給するサンゴ産卵ファーム造成位置」について把握する。

ここでは「対象海域に広くサンゴ幼生を供給するサンゴ産卵ファーム造成位置の把握」が目的であるので、対象海域全域を産卵場として設定する。ただし、水深等の環境的要因により、サンゴの生息が望めない場所はサンゴ産卵ファームとして不適であるので除外する。また、計算結果から、対象海域外へサンゴ幼生を供給（無効分散）する産卵場はサンゴ産卵ファーム候補地から除外する。

残った産卵場のうち、サンゴ幼生の着底場が良好な成育環境かつ比較的広い範囲となるような場所をサンゴ産卵ファーム造成場所候補地として抽出する。また、サンゴ幼生の着底場は次世代のサンゴ産卵場となるため、着底場から放出されたサンゴ幼生が対象海域内にサンゴ幼生を供給するような場所が望ましい。

崎枝湾では、湾東部のサンゴ生息密度の低い海域（図Ⅱ.4-26 赤丸）に対して、湾南西部の水深 5m～15m の海域（図Ⅱ.4-26 青丸）からサンゴ幼生が供給された。



図Ⅱ.4-26 幼生浮遊移動到達箇所の予測結果（崎枝湾）