



①サンゴの座りが良い場所を選定し、ハンマーやワイヤーブラシで付着生物を除去する



②付着生物を除去した状況



③岩盤側に水中バンドを付ける



④移植サンゴ側に水中バンドを付ける



⑤岩盤と移植サンゴを押し付けて固定する



⑥群体の一部が直接岩盤に触れる部分を設ける（活着の促進を期待する）

【使用する道具】

水中バンド、ワイヤーブラシ、ハンマー、タガネ



図-3. 3. 7 水中バンドを用いたサンゴ類の固定の手順

3.3.2 大型サンゴ類の移築方法

大型サンゴ類の移築工程は、「移築元での採取」、「移築元から移築先への運搬」及び「移築先での据付」の3工程に分割するものとし、以下に各工程について示す。なお、移築先での工程については、大型サンゴ類では固定作業を行わず、自重で安定するように海底に静置する計画であることから、「据付」としている。

大型サンゴ類には、様々な付着動植物や穿孔性の動物が生息・生育していることが多い。移築作業では、それらの動植物も含めて移築できるよう、採取、運搬、据付の過程において注意を払うものとする。

(1) 採取

大型サンゴ類の採取は、サンゴ類の規模（形状、重量）により、人力による施工と大型機械を用いた施工方法が考えられる（表-3.3.1）。

表-3.3.1 大型サンゴ類の採取作業の分類

	人力施工	機械施工
採取	<p>○人力と小規模な機械で施工</p> <p>使用機材</p> <ul style="list-style-type: none"> ・バール、大型ハンマー ・削岩機（高圧空気を動力として） 	<p>○大型機械を使用して施工</p> <p>使用機材</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水中バックホウ ・水中ワイヤーソー

大型サンゴ類の重量が1.0t程度以下であれば、人力と小規模な機械で対応可能であり、大型のバールやハンマー、図-3.3.8に示す高圧空気を動力とする削岩機等を用いて、岩盤との接合部分を破壊してサンゴを採取する。



図-3.3.8 削岩機を用いた採取のイメージ

水中重量が1.0～3.0t程度のサンゴ類の場合、図-3.3.9に示す水中バックホウや、図-3.3.10に示す水中ワイヤーソーなどの大型機械を用いて、岩盤からサンゴ類を採取する。特に、重量が3tを超えるような大規模なサンゴ類の場合、ワイヤーソーを水中作業用に改良して実施した事例がある。具体的には、海底に固定したワイヤーソー本体を台船上の油圧エンジンユニットで駆動させ、ワイヤーソーに一定のテンションを与えながら切り進むものである。

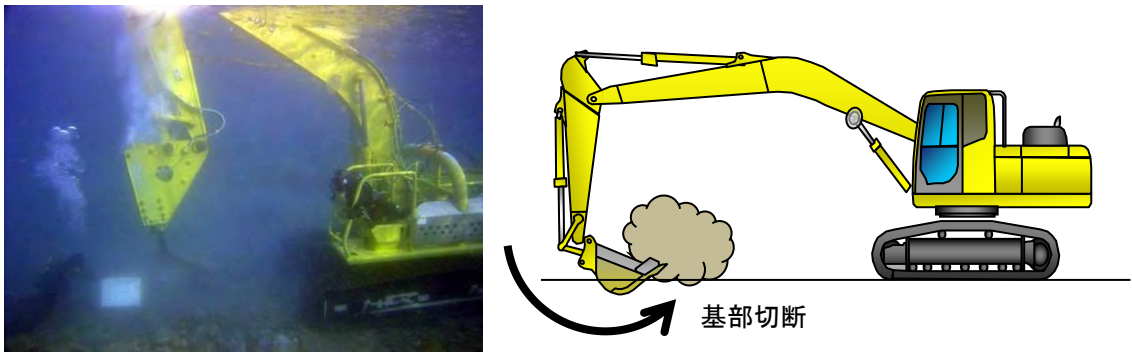


図-3.3.9 水中バックホウによる採取のイメージ

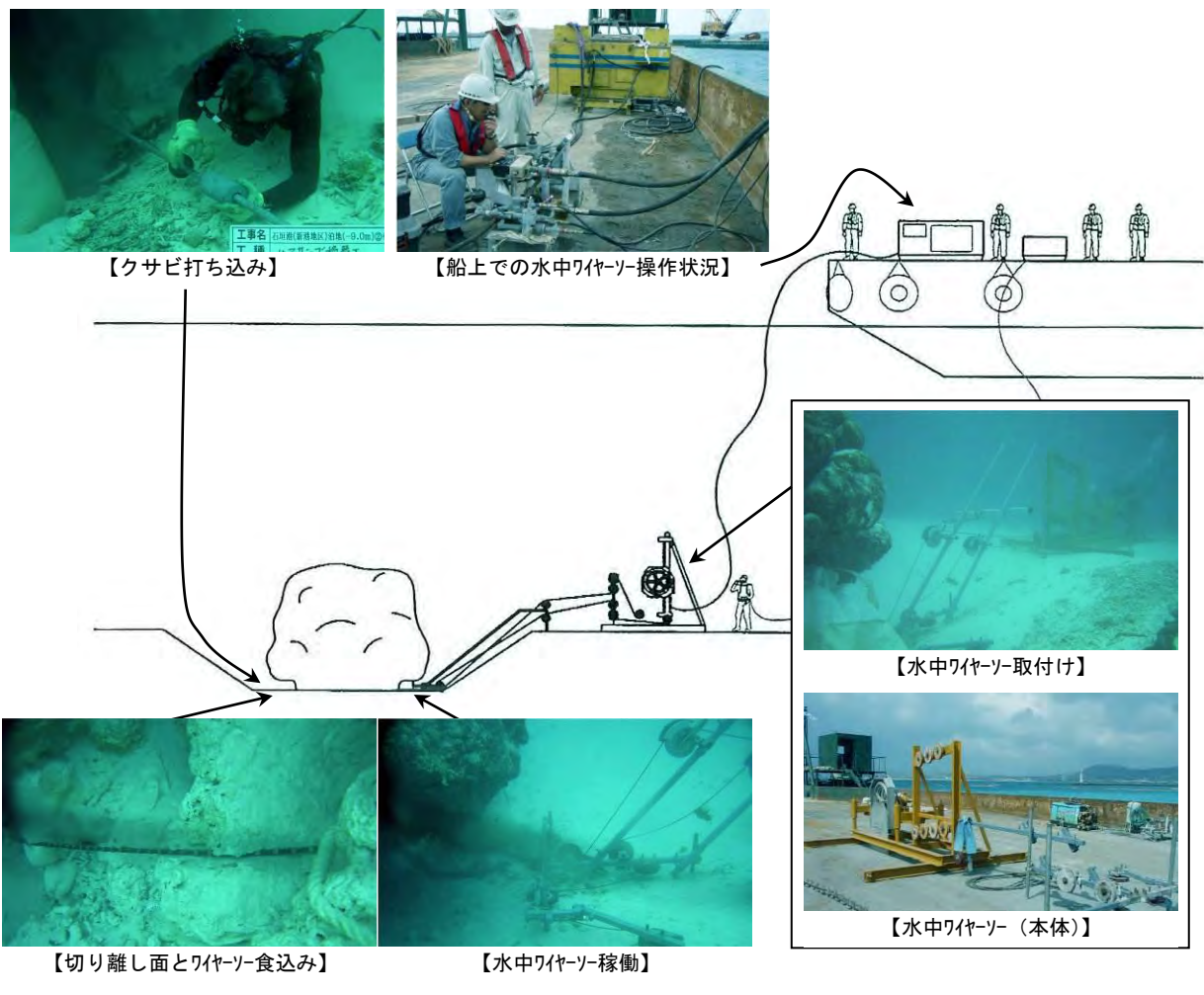


図-3.3.10 水中ワイヤーソーによる採取のイメージ

(2) 運搬

大型サンゴ類の運搬は、サンゴ類の規模（形状、重量）により、エアリフターを用いる方法と、クレーン付き台船等を用いる方法が考えられる（表-3.3.2）。

表-3.3.2 大型サンゴの運搬作業の分類

	エアリフター	クレーン台船等
運搬	○人力または、船舶で曳航 使用機材 ・規格の異なるエアリフター ・吊ベルト等	○水中に吊った状態で曳航 使用機材 ・潜水士船、揚錨船、クレーン台船 などの船舶 ・水中バックホウ ・吊冶具、吊架台

エアリフターは、様々な浮力の製品が市販されている。ここで、移築サンゴが縦 1.0 m・横 1.0m・高さ 0.8mの半楕円体で密度を 2 と仮定すると、体積は 0.4m²で水中重量は約 0.4 t となる。また、縦 1.4m・横 1.4m・高さ 1.1mの半楕円体で密度を 2 と仮定すると、体積は約 1.1m²で水中重量は約 1.1 t となる。この程度の重量のサンゴであれば、浮力が 2 t 程度のエアリフターで浮かせた状態とし、図-3.3.11 に示すように近距離であれば人力で運搬し、遠距離であれば船舶で曳航する。

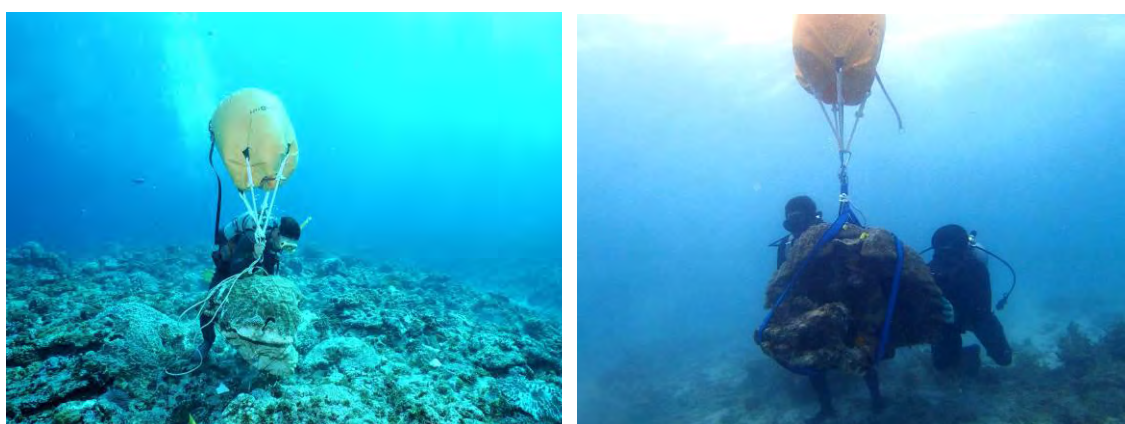


図-3.3.11 エアリフターを用いた人力運搬のイメージ

水中重量が 1 t 以上の大型サンゴ類では、サンゴ類の水中重量に対応した吊上げ能力を擁するクレーン等を有した潜水士船、揚錨船、クレーン台船等を配備する。吊上げ及び運搬は、図 3-3-12 に示す吊冶具または吊架台を準備し、水中に吊ったまま、海面上に揚げることなく運搬する。

なお、水中バックホウを用いてサンゴ類を採取し、吊架台に乗せて運搬する場合等は、図-3.3.13 に示す水中バックホウを用いた小運搬（採取場所から吊架台への至近距離の移動）を行うことも可能である。

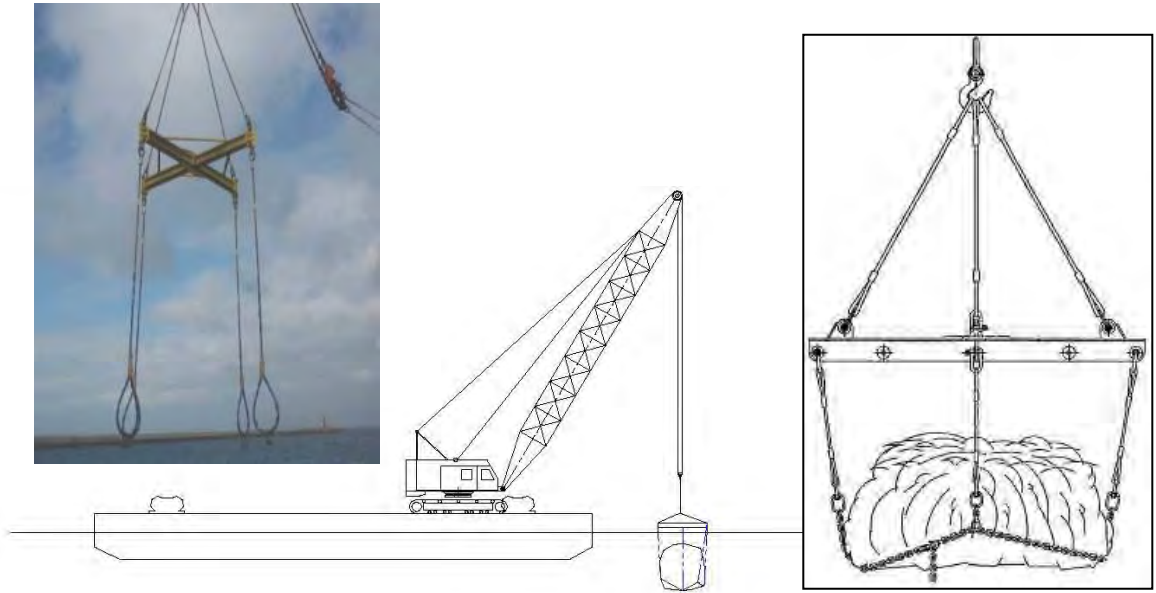


図-3.3.12(1) 吊治具を用いた運搬のイメージ

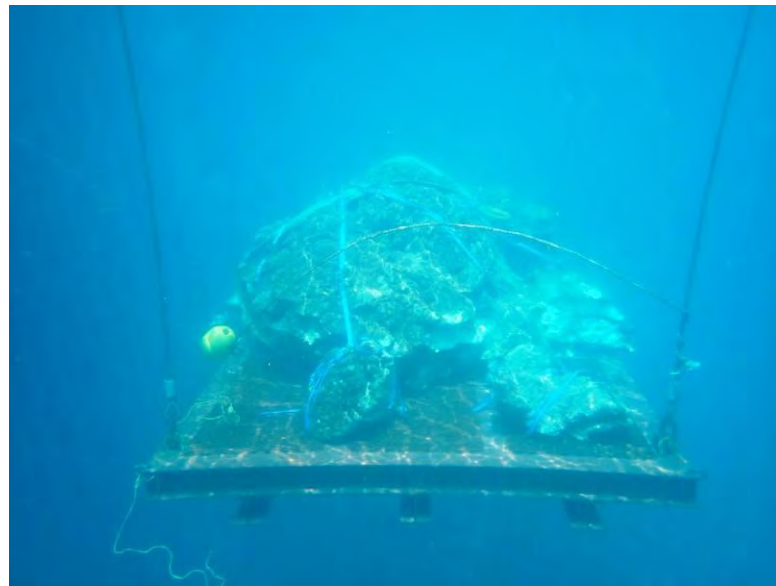


図-3.3.12(2) 吊架台を用いた運搬のイメージ

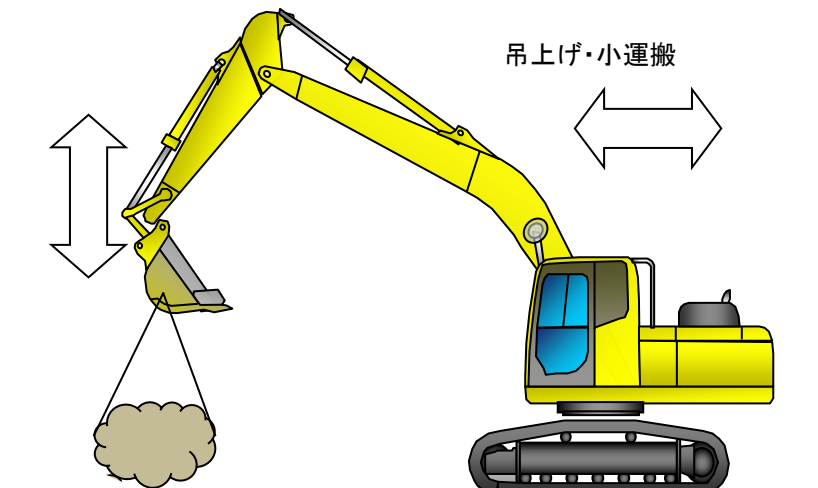


図-3.3.13 水中バックホウを用いた小運搬のイメージ

(3) 据付

大型サンゴ類の移築では、水中ボンドなどを用いた固定作業は行わず、自重で安定するように海底に静置する。

サンゴ群体の転倒や流出防止対策としては、群体同士を連結したり、石材やブロック等を利用して安定するよう配慮することが想定される。また、砂礫底に置く場合は、洗掘による転倒を防止するために、図-3.3.14 に示すように碎石（石材）でマウンドを作ることも検討する。

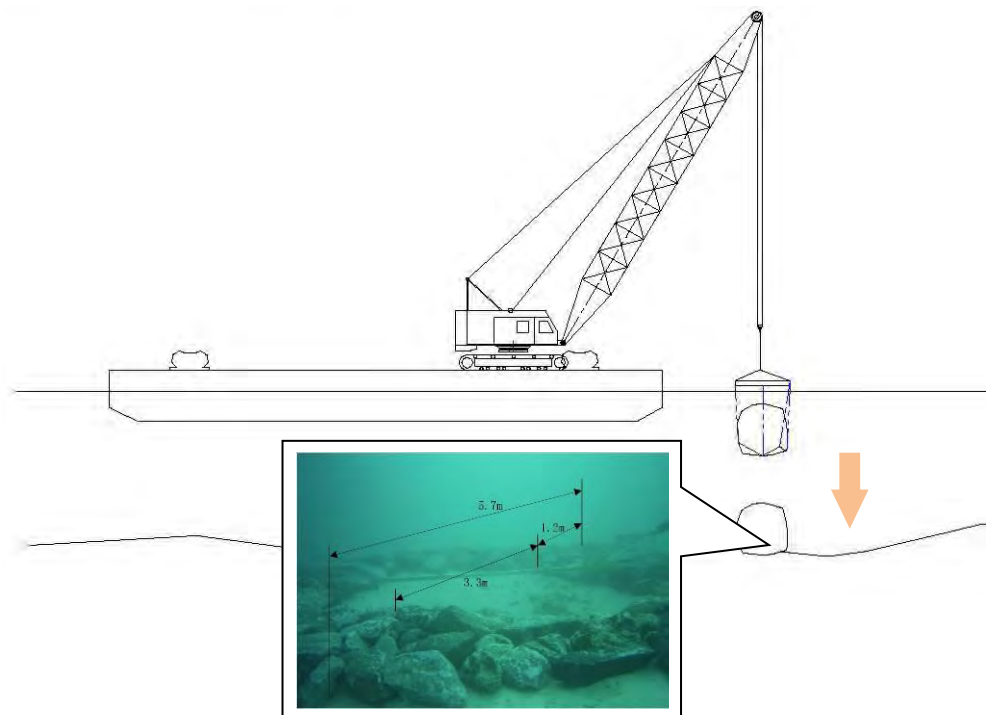


図-3.3.14 石材を用いた据付用のマウンドのイメージ

(4) 移築工程の施工パターン

大型サンゴ類の移築について、対象とするサンゴ類の規模（大きさ、重量）から、複数の施工パターンを想定した。表-3.3.3 に移築工程の施工パターンを示す。

表-3.3.3 移築工程の施工パターン

工程	パターン① (水中重量 1 t 程度以下)	パターン② (水中重量 1~3 t 程度)	パターン③ (水中重量 3 t 以上)
採取	<ul style="list-style-type: none"> 大型バール、ハンマーを用いて人力で採取する。 削岩機等を用いて人力で採取する。 	<ul style="list-style-type: none"> 水中バックホウを用いて採取する。 	<ul style="list-style-type: none"> 水中ワイヤーソーを用いて採取する。
運搬	<ul style="list-style-type: none"> エアリフターを用いて水中に吊り上げる。 基本的に船舶で曳航するが、至近距離であれば人力で運搬する。 	<ul style="list-style-type: none"> 水中バックホウによる小運搬を行う可能性がある。 吊架台に乗せ、クレーン等で水中に吊り上げる。 船舶で曳航する。 	<ul style="list-style-type: none"> 吊架台または吊冶具に乗せ、クレーン等で水中に吊り上げる。 船舶で曳航する。
据付	<ul style="list-style-type: none"> 砂礫地に静置する。 砕石でマウンドを製作することも検討する。 	<ul style="list-style-type: none"> 砂礫地に静置する。 砕石でマウンドを製作することも検討する。 	<ul style="list-style-type: none"> 砂礫地に静置する。 砕石でマウンドを製作することも検討する。








表-3.3.4 及び表-3.3.5 に、移築対象とする大型サンゴ類を半楕円体と仮定した場合の水中重量と、想定される施工パターンを示す。なお、サンゴ類の比重は 2 とし、海水の比重は 1 とした。

施工パターン①では水中重量 1.1 t までの 7 群体が、施工パターン②では水中重量 3 t までの 7 群体が、施工パターン③では水中重量 3 t 以上の 9 群体が、それぞれ対象となる。

表-3.3.4 移築対象とする大型サンゴ類の施工パターン

No.	長径 (m)	短径 (m)	高さ (m)	体積 (m ³)	水中重量 (t)	施工パターン	No.	長径 (m)	短径 (m)	高さ (m)	体積 (m ³)	水中重量 (t)	施工パターン
1	1.8	0.8	1.0	0.8	0.8	①	13	4.0	3.0	1.4	8.5	8.5	③
2	2.0	1.8	1.6	3.0	3.0	②	14	3.0	2.5	1.6	6.3	6.3	③
3	1.8	1.8	1.0	1.7	1.7	②	15	3.5	1.6	1.8	5.3	5.3	③
4	2.2	1.2	1.0	1.4	1.4	②	16	3.1	1.2	1.9	3.7	3.7	③
5	2.8	0.4	1.4	0.8	0.8	①	17	2.5	2.3	1.3	3.9	3.9	③
6	1.1	0.6	0.7	0.2	0.2	①	18	1.4	1.0	0.8	0.6	0.6	①
7	1.5	1.3	1.3	1.3	1.3	②	19	2.1	1.4	1.1	1.7	1.7	②
8	1.2	1.0	1.3	0.8	0.8	①	20	2.0	1.6	1.0	1.7	1.7	②
9	1.7	1.2	1.0	1.1	1.1	①	21	3.2	2.5	1.3	5.4	5.4	③
10	2.2	2.2	1.8	4.6	4.6	③	22	1.7	1.6	0.9	1.3	1.3	②
11	1.2	0.6	1.1	0.4	0.4	①	23	5.2	3.7	2.9	29.2	29.2	③
12	3.0	2.5	1.5	5.7	5.7	③							

表-3.3.5 移築対象とする大型サンゴ類の状況と施工パターン

No.	1	2	3	4	5	6	7	8
サイズ	1.8×0.8×1.0m	2.0×1.8×1.6m	1.8×1.8×1.0m	2.2×1.2×1.0m	2.8×0.4×1.4m	1.1×0.6×0.7m	1.5×1.3×1.3m	1.2×1.0×1.3m
水中重量	0.8t	3.0t	1.7t	1.4t	0.8t	0.2t	1.3t	0.8t
状況								
施工パターン	①	②	②	②	①	①	②	①
No.	9	10	11	12	13	14	15	16
サイズ	1.7×1.2×1.0m	2.2×2.2×1.8m	1.2×0.6×1.1m	3.0×2.5×1.5 m	4.0×3.0×1.4m	3.0×2.5×1.6m	3.5×1.6×1.8m	3.1×1.2×1.9m
水中重量	1.1t	4.6t	0.4t	5.7t	8.5t	6.3t	5.3t	3.7t
状況								
施工パターン	①	③	①	③	③	③	③	③
No.	17	18	19	20	21	22	23	
サイズ	2.5×2.3×1.3m	1.4×1.0×0.8m	2.1×1.4×1.1m	2.0×1.6×1.0m	3.2×2.5×1.3m	1.7×1.6×0.9m	5.2×3.7×2.9m	
水中重量	3.9t	0.6t	1.7t	1.7t	5.4t	1.3t	29.2t	
状況								
施工パターン	③	①	②	②	③	②	③	

※サイズ：長径×短径×高さ(m)

【注意】ここで行った施工パターン分けは、机上検討であり、詳細な工法については別途検討が必要である。

3.4 モニタリング調査の実施方法

3.4.1 目標達成基準の設定

移植・移築を実施したサンゴ類及び周辺の環境についてモニタリング調査を行い、目標達成基準と照らした上で、移植の成果及び妥当性について評価を行う。

表-3.4.1 に目標達成基準（目標レベル）を示す。

表-3.4.1 目標達成基準

指標項目	基準
サンゴ群集の成育状況 (総被度、種類名)	移植・移築したサンゴ群集の総被度、種類数が、移植直後の状況に比べて著しく減少していないか。
生物生息状況 (魚類・大型底生生物の種類別個体数)	移植・移築したサンゴ群集に集まる魚類・大型底生生物の種類数、個体数が、事前調査で調査した移植・移築前（移植・移築元）の状況に比べて著しく減少していないか。
サンゴの再生産 (バンドルの有無など)	造礁サンゴの骨格中に成熟したバンドル（ミドリイシ属等）、プラヌラ幼生（ハナヤサイサンゴ属等）がみられるか。

3.4.2 調査手法

(1) 移植サンゴのモニタリング

移植サンゴのモニタリング調査は、移植直後に主に固定状況を確認する調査と、1ヶ月以降の生存・死亡状況、成長状況の確認等に区分できる。

移植直後の調査では、移植した全群体（約 75,000 群体）を対象として、表-3.4.2 に示す項目について、観察及び記録を行う。

また、1ヶ月以降のモニタリングでは、移植した全群体の10%（約 7,500 群体）の移植サンゴを対象に表-3.4.3 に示す項目について、観察及び記録を行う。なお、1ヶ月以降のモニタリング調査を行うために、移植時に5m×5mの範囲に約 200 群体を移植することで、合計 38 枠程度のモニタリング枠（全体枠）を設定する。さらに、各全体枠の中に2m×2mの観察枠（詳細枠）を設定するものとする。

モニタリング枠については、移植直後のモニタリング調査においても、1ヶ月以降の調査と比較検討するために表-3.4.3 の調査項目について、観察及び記録を行う。

また、モニタリング調査結果から、移植サンゴの生存率等を評価する上で、周辺の自然環境及びサンゴの分布状況を把握することが重要である。したがって、移植先の4地区において5m×5mの観察枠を各2地点程度設定し、表-3.4.4 に示す項目について、観察及び記録を行う。

表-3.4.2 移植直後のモニタリング調査項目

調査項目	調査内容	備考
移植サンゴ	<ul style="list-style-type: none"> ・固定状況の確認 ・移植群体生残・死亡・消失の群体数 	<ul style="list-style-type: none"> ・固定が不十分な群体は、再固定する。
写真撮影	<ul style="list-style-type: none"> ・1群体ずつの固定状況 	

表-3.4.3 移植後1ヶ月以降のモニタリング調査項目

調査項目	調査内容
全体枠調査 (5m×5m)	<ul style="list-style-type: none"> ・移植サンゴの生残・死亡・消失の群体数 ・死亡サンゴの状況（食害、白化、折損、消失 等） ・サンゴの食害生物（オニヒトデ、レイシガイダマシ類等） ・サンゴの病気、腫瘍、藻類等の発生状況 ・ソフトコーラル、海藻草類の分布状況 ・生物謂集状況（魚類、大型底生生物） ・その他：浮泥、赤土の堆積状況 ・写真撮影：1m×1m×25枚
詳細枠調査 (2m×2m)	<ul style="list-style-type: none"> ・マッピング（移植前の自然着生サンゴ、移植サンゴ、移植後の加入サンゴを区分する） ・枠内の全サンゴの生残・死亡・消失の群体数 ・移植サンゴの成長状況（群体ごとの面積計測） ・写真撮影：1m×1m×4枚

表-3.4.4 移植サンゴ周辺環境の観察項目

調査項目	調査内容
枠内調査 (5m×5m)	<ul style="list-style-type: none"> ・サンゴの生残・死亡・消失の群体数 ・死亡サンゴの状況（食害、白化、折損、消失 等） ・サンゴの食害生物（オニヒトデ、レイシガイダマシ類等） ・サンゴの病気、腫瘍、藻類等の発生状況 ・ソフトコーラル、海藻草類の分布状況 ・生物謂集状況（魚類、大型底生生物） ・その他：浮泥、赤土の堆積状況 ・写真撮影：1m×1m×25枚

(2) 移築サンゴのモニタリング

移築サンゴのモニタリング調査は、移築直後に主に海底への静置安定状況を確認する調査と、1ヶ月以降の生存・死亡状況の確認等に区分できる。

移築直後の調査では、群体ごとに、目視により滑動、転倒の可能性が無いことを確認する。また、移築による損傷部分の有無を確認し、記録する。表-3.4.5に調査項目を示す。

また、1ヶ月以降のモニタリングでは、移築サンゴの周囲に5m×5mの観察枠を設定し、表-3.4.6に示す項目について、観察及び記録を行う。なお、移植直後のモニタリング調査においても、1ヶ月以降の調査と比較検討するために、表-3.4.6の調査項目について、観察及び記録を行う。

表-3.4.5 移築直後のモニタリング調査項目

調査項目	調査内容	備考
移築サンゴ	<ul style="list-style-type: none"> ・静置安定状況の確認 ・生存部、死亡部の比率 ・移築時の損傷状況の確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・目視による滑動、転倒の可能性判断
写真撮影	<ul style="list-style-type: none"> ・全景、上方、四方から撮影 ・損傷部分の撮影 	

表-3.4.6 移築後1ヶ月以降のモニタリング調査項目

調査項目	調査内容
移築サンゴ	<ul style="list-style-type: none"> ・移築サンゴの生残・死亡状況 ・生存部、死亡部の比率 ・損傷部の変化状況 ・サンゴの食害生物（オニヒトデ、レイシガイダマシ類等） ・サンゴの病気、腫瘍、藻類等の発生状況 ・その他：浮泥、赤土の堆積状況 ・写真撮影：全景、上方、四方から撮影、損傷部の撮影
周辺環境 (5m×5m)	<ul style="list-style-type: none"> ・ソフトコーラル、海藻草類の分布状況 ・生物謂集状況（魚類、大型底生生物） ・写真撮影：全景

(3) モニタリング調査期間及び頻度

表-3.4.7にモニタリング調査期間及び頻度（案）を示す。ここで示す調査期間及び頻度は、「沖縄の港湾におけるサンゴ礁調査の手引き」（沖縄総合事務局、平成19年）及び「サンゴ礁修復に関する技術手法 ―現状と展望―」（大森信編著、平成15年）を参考にして検討した。

「海の自然再生ハンドブック 第4巻 サンゴ礁編」（国土交通省監修、平成15年）によれば、那覇港における港湾構造物上のサンゴ類の成長過程では、着生後約9年目までサンゴ被度が上昇を続け、10年目以降では安定する結果が得られていることから、移植・移築実施後10年目までは、1年間隔等の可能な範囲で密に調査を実施することが望ましい。

表-3.4.7 モニタリング調査期間及び頻度（案）

調査期間	調査頻度
移植後1年目	直後、約1、3、6ヶ月後、
2年目～5年目	1回/年
6年目～10年目	隔年（1年間隔）
11年目以降	少なくとも5年間隔

注）突発的な環境変化（大規模白化等）が確認された場合は、上記調査頻度に限らず実施することが望ましい