

第5章 サンゴ群集環境修復技術の開発

5-1 はじめに

サンゴ群集に関する従来の環境修復技術としては、主に移植による技術開発が進められている。大久保・大森(2001)には、国内外のサンゴ群集の移植事例(20 事例)がレビューされている。これによると、移植を行う際には各種サンゴの生育環境に類似した場所を選択し、断片の形状に適した固定方法によって移植する必要があることが示されている。また、サンゴの移植に際しては採取される群体やその周りの環境に影響を及ぼさないように注意する必要があることが示されている。

一方、本研究によって人工構造物上のサンゴ群集の成長過程に影響を及ぼす主な環境因子が、光量と流速であることを明らかにした。移植に際してはこれらの環境因子に特に着目することが重要である。さらに、光量・流速等の環境条件が十分な場所では、そのサンゴ群集の成長が速いため移植しなくともサンゴ群集の短期間での成長が期待できる。したがって、サンゴ幼生の着生促進とサンゴ群集の成長促進や剥離防止を目的として、大型海藻が凹凸基盤面上で着生しやすいという綿貫ら(1987)、寺脇(1988)の知見を参考にサンゴ群集着生基盤への「凹凸加工技術」を開発し、海域で実証実験を行うことによりその効果を検証した。

一方、これらの環境条件が十分でない海域ではサンゴ群集の成長がきわめて遅い。したがって、成長の遅いサンゴ群集はその再生にきわめて長期間を有することから、サンゴ群集の「移築技術」を開発し、海域で実証実験を行うことによりその効果を検証した。「移築技術」は従来の「移植技術」の規模を大きくしたもので、防波堤建設予定地等の開発予定空間に生息しているサンゴ群

集を岩盤ごと採取し、既に完成している防波堤のマウンド上等の適地に移設するものである。「移築技術」ではサンゴ群集だけでなく、そこに着生している付着動植物ごと保全することが可能である。

以下においては、サンゴ群集の環境修復技術としての基盤表面への「凹凸加工技術」とサンゴ群集の「移築技術」について、海域における実証実験結果を示す。

5-2 方法

5-2-1 成長の速いサンゴ群集に対する環境修復技術開発

サンゴ幼生の着生促進とサンゴ群集の成長促進や剥離防止を目的としたサンゴ群集着生基盤への「凹凸加工技術」を考案し、人工構造物(異型ブロック)の表面形状とサンゴ群集の着生との関係を把握するための現地実験を実施した(吉見ら, 1998)。

現地実験は、図 5-1 に示す那覇港の新港第一防波堤で実施した。実験条件は図 5-1 および図 5-2 に示すように、第一実験区では異形ブロック表面に一辺が 1cm の四角柱および三角柱の凸部を設けたもので、第二実験区は三角形および台形の凹部を設けたものである。第一実験区では実験海域に設置されている従来型異型ブロックの上向きの平面部分に、コンクリート製の四角柱と三角柱を潜水作業によって水中ボンドで貼り付けることによって凸部を設けた。第二実験区では、陸上での異型ブロック製作段階で、あらかじめ型枠内部に凸型加工を施して凹部を有する実験用異型ブロックを製作し、実験海域に設置した。

第一実験区は 1990 年に施工し、1991 年から 1997 年までの夏季にモニタリング調査を実施した。第二実験区は 1991 年に施工し、1993 年から 1997 年までの夏季にモニタリング調査を実施した。

調査は各実験区におけるサンゴ群集の群体数の推移を潜水目視により観察した。

5-2-2 成長の遅いサンゴ群集に対する環境修復技術開発

サンゴ群集に対する環境修復技術については、福西ら(1998)や財団法人港湾空間高度化センター(1999)がサンゴ礁と共生する港湾整備の計画手法を提案している。

これらを受けて、図 5-3 に示す平良港の下崎西防波堤周辺でサンゴ群集に配慮した港湾整備を進めるための新たな実験的取り組みを行った(石井ら, 2001)。取り組みの一つは、防波堤建設予定地周辺に生息しているサンゴ群集を岩盤ごと採取し、既に完成している防波堤のマウンド周辺に設置する「サンゴ群集の移築」である。

Highsmith(1982)、Kobayashi(1984)は、サンゴ群集は破片化しても生存可能であり、環境条件が適当な場所に再固着した破片はサンゴ群集を再形成して増殖することと、それがサンゴ群集の拡大戦略の一つになっていることを報告している。サンゴ群集のこのような特徴を利用して、サンゴ破片を人為的に移植して増殖する方法が工藤(1991)や山下ら(1996)により報告されている。

サンゴ群集の移築技術は従来のサンゴ群集の移植技術を応用したもので、防波堤建設予定地周辺に生息しているサンゴ群集を岩盤ごと採取し、既に完成している防波堤のマウンド周辺に設置するものである。

図 5-4 に示すように、防波堤の延長予定区域内に、サンゴ群集が着生した 1m×1mの観察範囲を設定し、この岩盤または岩塊を採取し、既に完成している防波堤のマウンド周辺に移築した。移築は3年間に 12 地点ずつ行った。1999 年 1 月に移築したものについては、1999 年 2 月、10 月、2000 年 10 月にモニタリング調査を実施した。

サンゴ群集の移築に際しては他に例がないため、1998、1999 年度は水中バックホウを用い、2000 年度にはエアジャッキ、ウォータージェット等を用いて着

生基盤を掘り上げた。1998年度は岩盤の多くが直径数10cm～1m程度の破片に分割しており、バケットに乗せて水中で運搬した後、マウンド周辺に直接設置した。1999年度は数10cm～1m程度の岩盤はバケット内に固定し、約1mを越える大型の岩盤はマウンド周辺に直接設置した。2000年度には、十分大きな岩塊を移築することが可能となり、港内側のマウンド法先にまとめて移築した。これらにより、移築したサンゴ群集を対象に、サンゴ群集の被度および大型底生動物の種類数、個体数を水中目視観察により記録した。

5-3 結果および考察

5-3-1 成長の速いサンゴ群集に対する環境修復技術

第一実験区における加工区別サンゴ着生状況(1加工区当りの平均着生群体数)の経年変化を図 5-5 に示す。サンゴ群集の群体数は、角材区(四角柱) > 筋区(三角柱) > 平滑区(対照区)の順であり、粗度が大きいほどサンゴ群集の着生数が多い傾向を示し、基盤表面に粗度を設けることによるサンゴの着生促進効果が確認できた。

凹凸の効果については、古川ら(1994)は付着生物の遊走子や浮遊幼生が基質面上の滞留域に補足されやすいと考え、凸部周辺の乱れと滞留域の大きさについて水理模型実験および数値計算による検証を行なっている。寺脇(1988)は、大型海藻のアラメ・カジメ幼体の着生には 90° 以上の稜角を持つ突起物が効果的であることを現地実験により示している。綿貫ら(1987)、Watanuki and Yamamoto (1990)は、基盤表面の凹凸加工が仮根部の大きいツルアラメには有効であるが、仮根部の小さいホンダワラ類には効果が小さいことを現地実験により示している。谷本ら(1994)は、表面積の大きい粗度を持つ異形ブロックは藻食動物が海藻の幼体を採餌しても食べ残しが生じて結果的に海藻を保護することになることを示している。

サンゴ群集についても基質表面の凹凸によって生じる乱れや滞留域がサンゴの幼生の着生を促進させるとともに、凹凸によって生じる隙間がウニや魚類等の生物による捕食から幼体を保護しているものと考えられる。

第二実験区の結果を図 5-6 に示す。施工後 6 年目におけるサンゴ群集の単位面積当りの群体数は、三角(大) > 無加工区 > 台形(大) > 台形(小) > 三角(小)となっている。無加工区における群体数が 2 番目に多く、基盤表面の凹部の効果は明確でない。しかし、加工タイプ別で比較すると、三角(大)や

台形(大)のように溝が深いタイプで溝が浅いタイプと比較すると多い傾向が認められる。寺脇(1988)は、大型海藻のアラメ・カジメ幼体の着生には 90° 以上の稜角を持つ突起物が効果的であることを現地実験により示している。第二実験区は凸型でなく凹型で、稜角が 90° 以下であることが効果を不明瞭にしている原因と考えられる。

このように、光量・流速等の環境因子が十分な場所では、共生する褐虫藻の光合成にとって良好な条件が形成されること等によりサンゴ群集の成長が速いため、サンゴ幼生の着生促進とサンゴ群集の成長促進や剥離防止を目的としたサンゴ群集着生基盤への「凹凸加工技術」はサンゴ群集環境修復技術として有効であると考えられる。

5-3-2 成長の遅いサンゴ群集に対する環境修復技術

図 5-7 に 1999 年 1 月に移築したサンゴ群集 12 地点の被度の経年変化を示す。移築したサンゴ群集は、ハマサンゴ科、ヤスリサンゴ科、キクメイシ科等である。1999 年 1 月の移築サンゴ群集は岩塊が小さく、台風時の波浪等により一部が流失した地点がある。このような地点では被度が低下しているものの、安定している基盤のサンゴ群集はほぼ全て生存している。また、移築先の環境条件による違いもみられず、移築行為のストレスや、移築前後の環境変化により死亡したものはほとんどないことが確認された。なお、2000 年 10 月(21 ヶ月後)の調査では被度が増加した地点もみられる。

さらに、1998 年には Hoegh-Guldberg (2000)等に指摘されているように、沖縄県だけでなく世界的な高水温によるサンゴ群集の白化現象が生じており、平良港で移築したサンゴ群集にも白化したものがあつた。しかし、図 5-8 に示すように 1999 年 10 月(9 ヶ月後)の調査時には回復し生存しているのが確認されており、2000 年 10 月にも白化の影響は認められていないように、移築に伴いサンゴ群集が受けたストレスはきわめて小さいと考えられる。

表 5-1 に 2000 年 11 月の移築直後のサンゴ群集を含む岩塊上で観察された大型底生動物の出現状況を示す。大型底生動物の種類数は 0~11 種、個体数は 0~25 個体である。なお、個体数が計測できない海綿類や群体ホヤ類も着生している。以上の大型底生動物は、移築前から着生していたものが、移築によって岩盤ごと運ばれて来たものである。このように、サンゴ群集の移築技術では、サンゴ群集だけでなくその他の付着動植物もあわせて保全することが可能である。

大久保・大森(2001)にレビューされているサンゴ群集の移植技術や、工藤(1991)や山下ら(1996)に示されているサンゴ群集の移植技術と比較すると、サ

ンゴ群集の移築は、サンゴ群集以外の付着動植物を移築によって保全できる点や、ハマサンゴ等の分割しにくい塊状サンゴの取り扱いが可能なこと等を利点としてあげることができる。

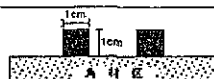
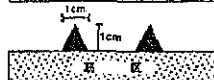

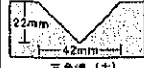

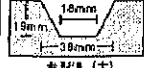


このように、サンゴ群集の移築技術は、図 5-4 に示すように防波堤建設等のような沿岸域開発によって直接的な影響を受けるサンゴ群集をあらかじめ回収してサンゴ群集を保全し、移動させて回復・創造を図る技術として有効であると考えられる。

本工法は、「サンゴ礁の移築方法(特願 2002-87534):前幸地ら(2002)」として特許出願中である。図 5-9 にサンゴ礁の移築手法概要図を示す。

5-4 まとめ

サンゴ群集の成長過程に及ぼす環境因子に着目した環境修復技術の海域における実証実験は初めての取り組みであり、その結果としてサンゴ群集の移築手法に関しては特許を出願することができた。

- 1) 3章と4章の成果により、人工構造物上におけるサンゴ群集の成長過程に影響を及ぼす環境因子として、光量と流速が重要であることを明らかにした。光量・流速等の環境条件が十分な場所では、サンゴに共生する褐虫藻の光合成にとって良好な条件が形成されること等によりサンゴ群集の成長が速いと考えられる。そのような場所における環境修復技術として、サンゴ群集の着生促進効果と剥離防止効果を有する基盤面の凹凸加工技術を考案し、海域での実証実験を行った。その結果、1cm 程度の凹凸加工区では無加工区と比較してサンゴ群集の着生が促進されることが判明した。
- 2) 光量・流速等の環境条件が十分でない場所ではサンゴ群集の成長は遅い。そのような場所における環境修復技術としては、開発予定区域に生息するサンゴ群集を土木的手法により塊のまま採取し、輸送して、適地に固定するサンゴ群集移築技術を開発し、海域での実証実験を行った。その結果、本技術の適用によって開発予定区域に生息するサンゴ群集の保全と移築先における回復・創造の可能性が確認できた。
- 3) 本研究により開発した環境修復技術は、サンゴ群集が優占する海域における具体的な環境修復に関する実用化手法として活用できる知見である。

| | 加工区形状 | 設置水深(D.L.) |
|-----------------------------|---|---------------------------------|
| 第一実験区 1989年設置 1990年加工 |  | 上層：-3 m 下層：-9 m |
| |  | |
| |  | |
| 第二実験区 1991年加工 および設置 |  | 上層：-4 m 中層：-5.5 m 下層：-7 m |
| |  | |
| |  | |
| |  | |
| |  | |

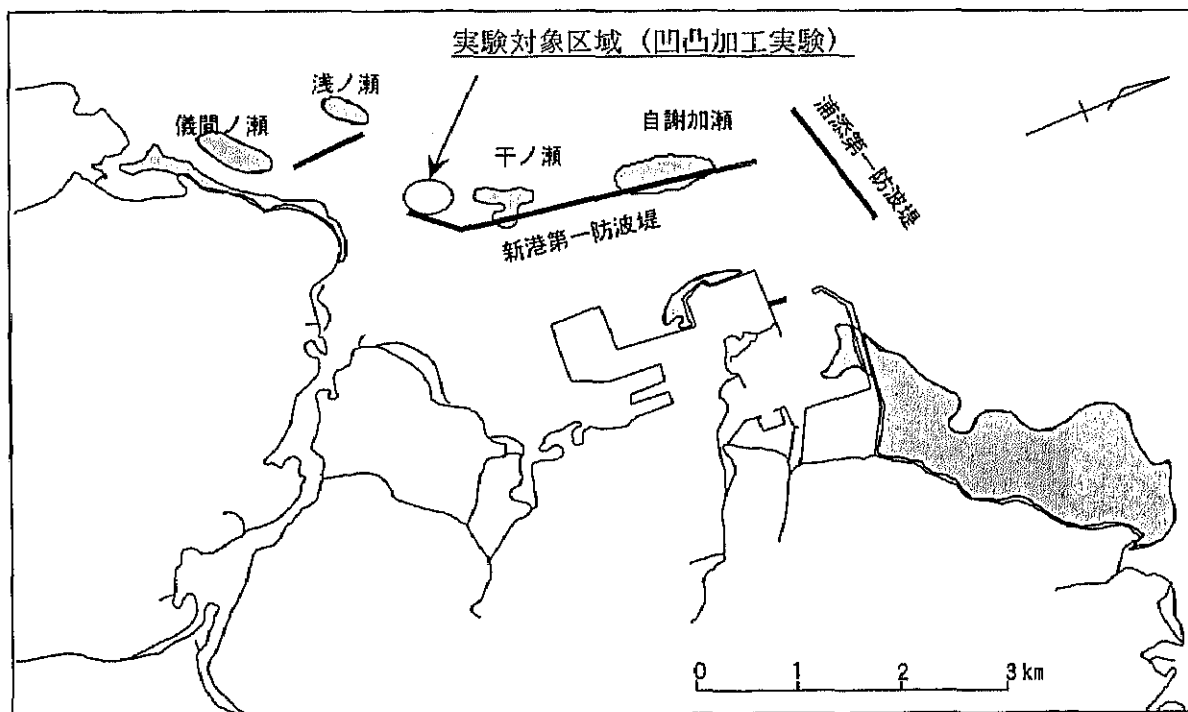


図 5-1 凹凸加工現地実験ケースと実験対象区域

注:凹凸加工技術の現地実験は第一実験区、第二実験区とも那覇港の新港第一防波堤の港外側で行った。



図 5-2 凹凸加工実験区の状況

注: 上は第一実験区(凸構造)の水中での写真,
下は第二実験区(凹構造)の陸上での写真

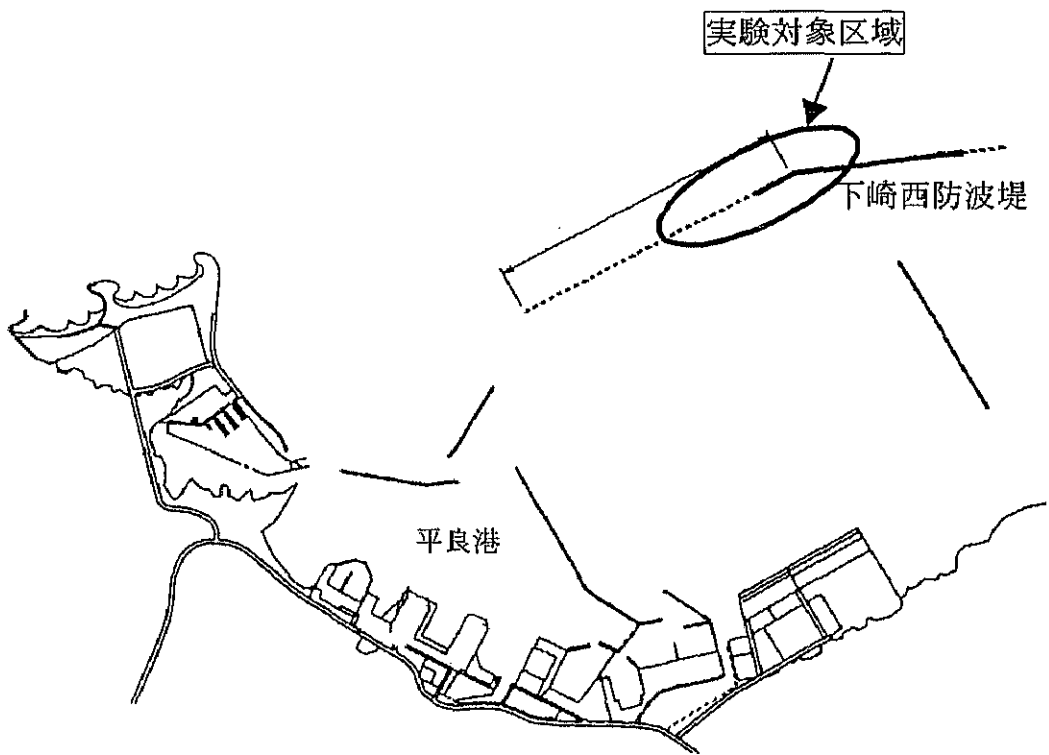


図 5-3 サンゴ群集移築実験対象区域(平良港, 宮古島)

注: 移築実験は下崎西防波堤で行った。実線は既設防波堤、
破線は施工予定の防波堤を示す。

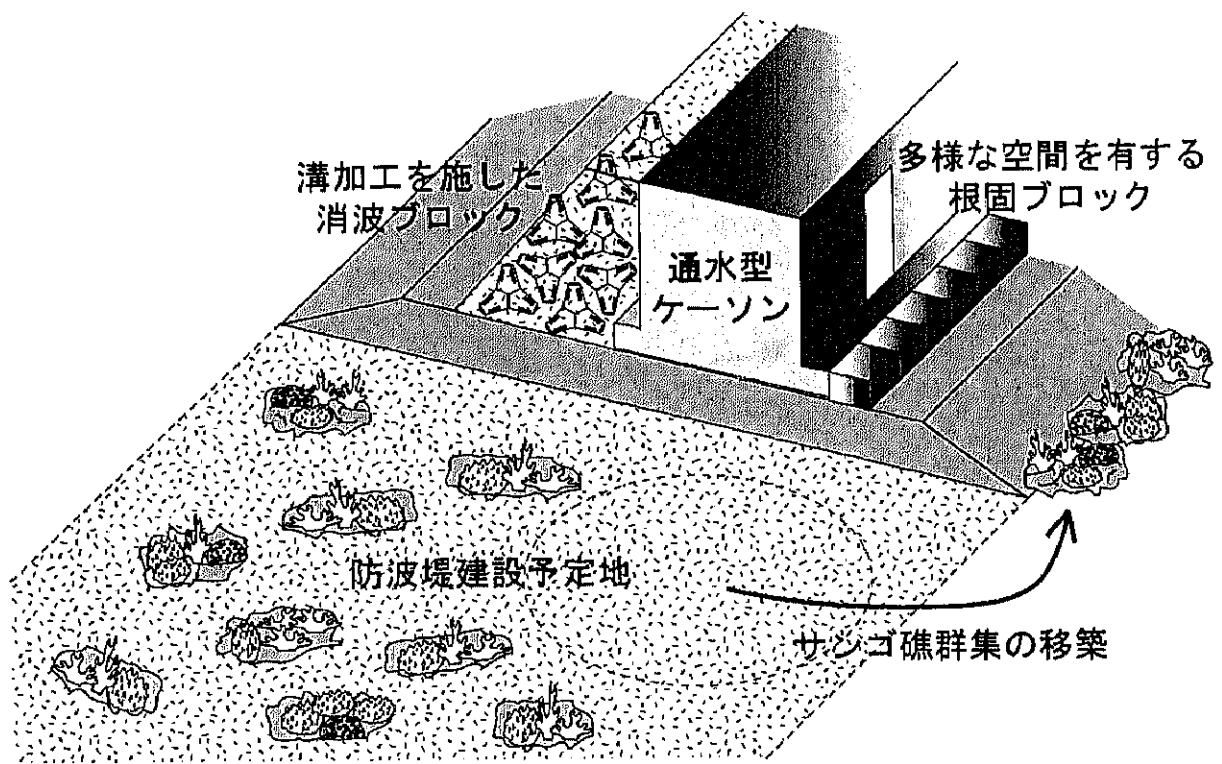


図 5-4 サンゴ礁群集に配慮した環境修復技術(移築工法)

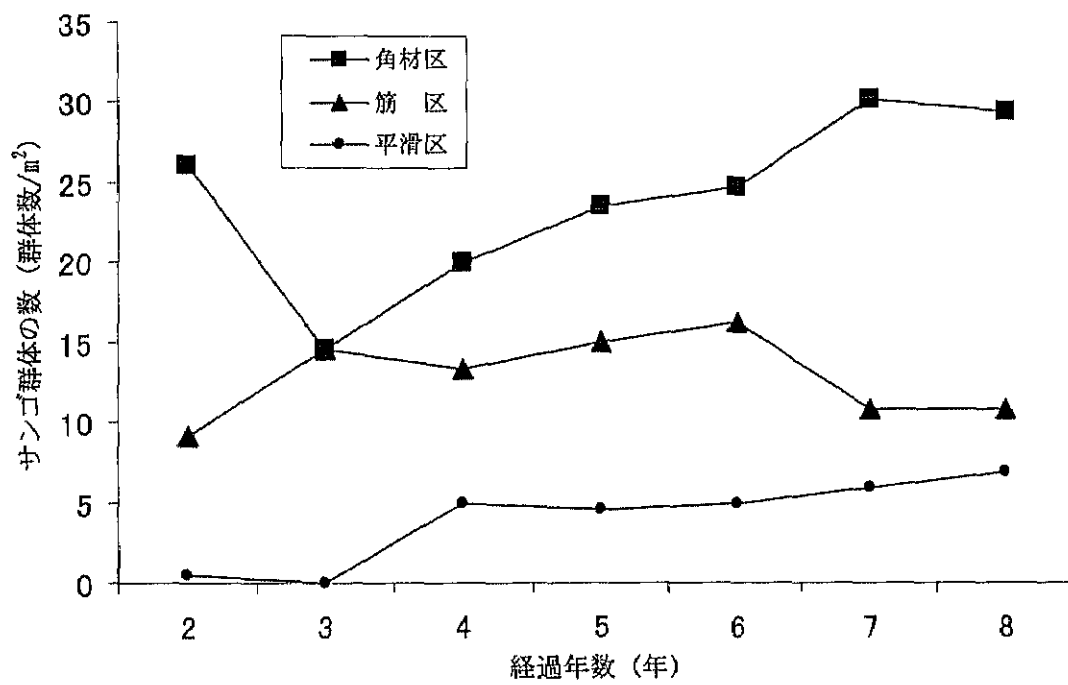


図 5-5 凹凸加工へのサンゴ群集の着生状況(第一実験区)

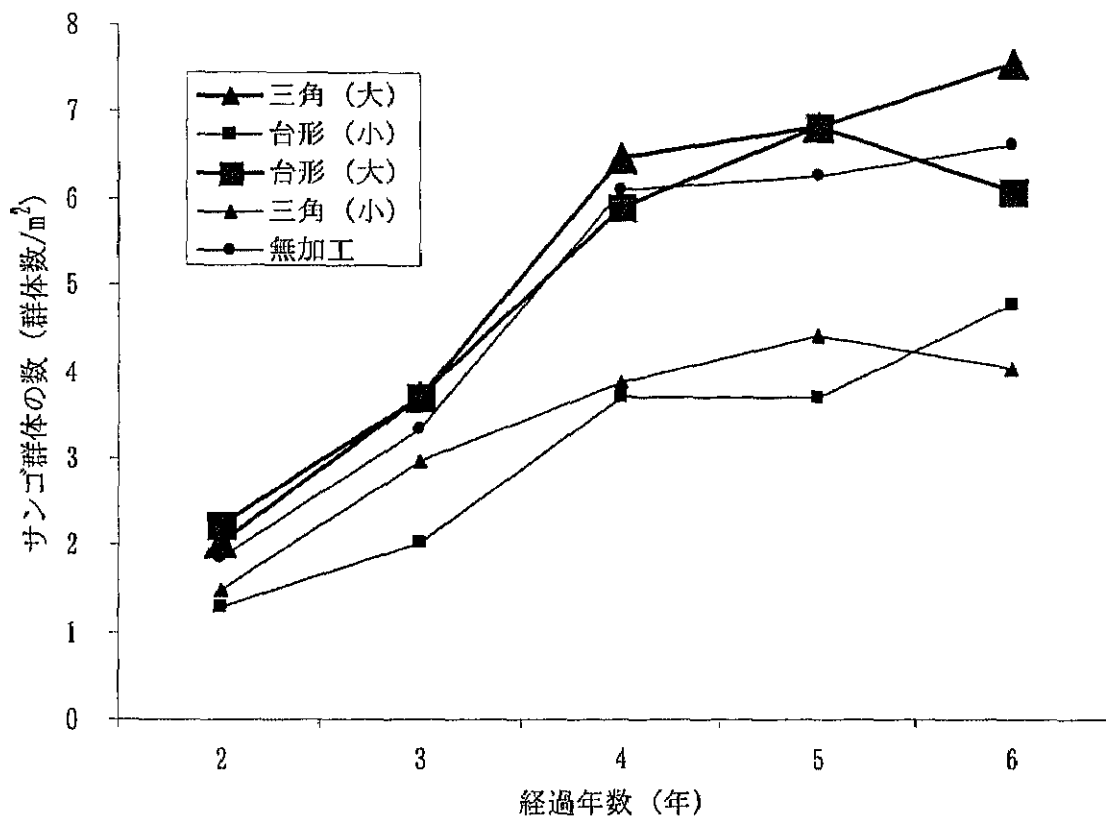


図 5-6 凹凸加工へのサンゴ群集の着生状況(第二実験区)

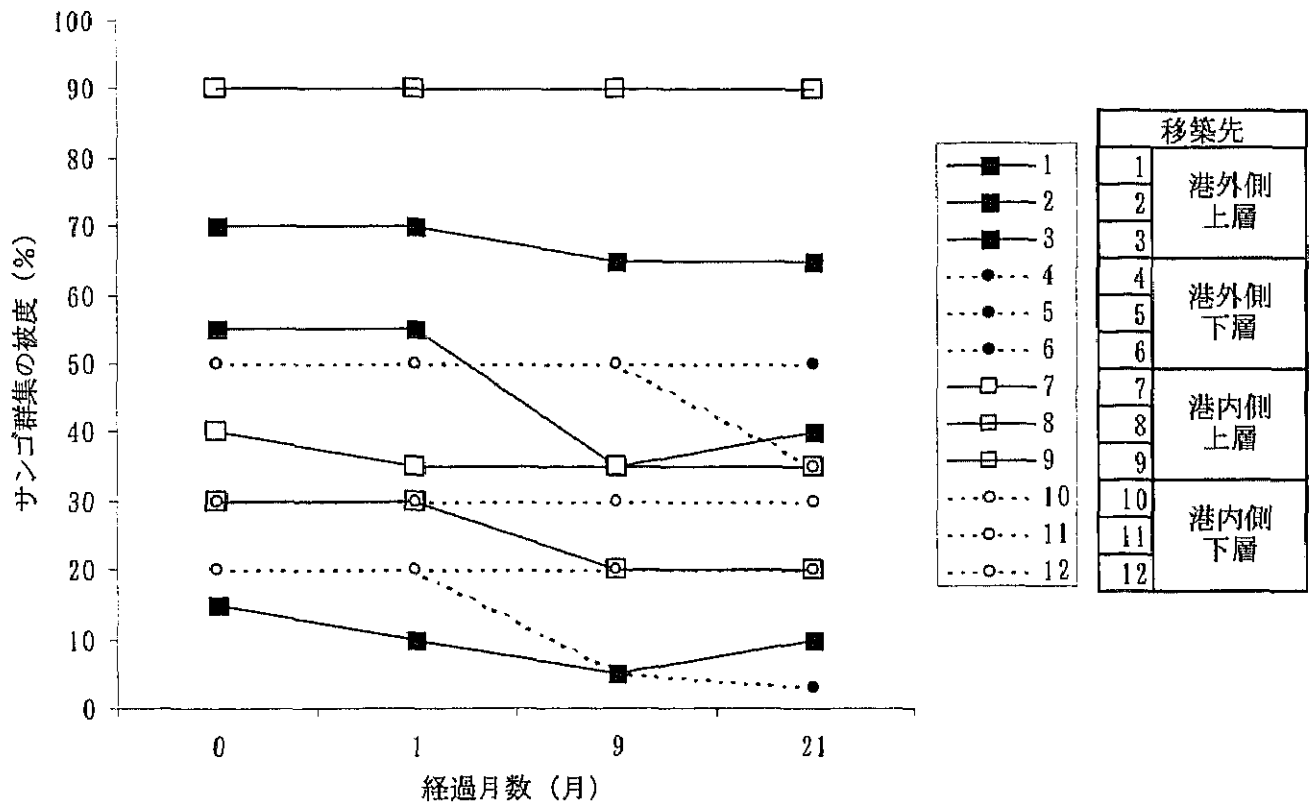


図 5-7 1999 年 1 月に移築したサンゴ群集の被度の変化

表 5-1 サンゴ群集を含む岩塊上の大型底生動物の移築直後の状況

(n=12)

| | 平均 | 標準偏差 | 最小 | 最大 |
|------------------------|-----|------|-----|------|
| 種類数 (/m ²) | 5.0 | 2.7 | 0.0 | 11.0 |
| 個体数 (/m ²) | 7.3 | 8.5 | 0.0 | 25.0 |

注:2000年11月移築直後の調査結果

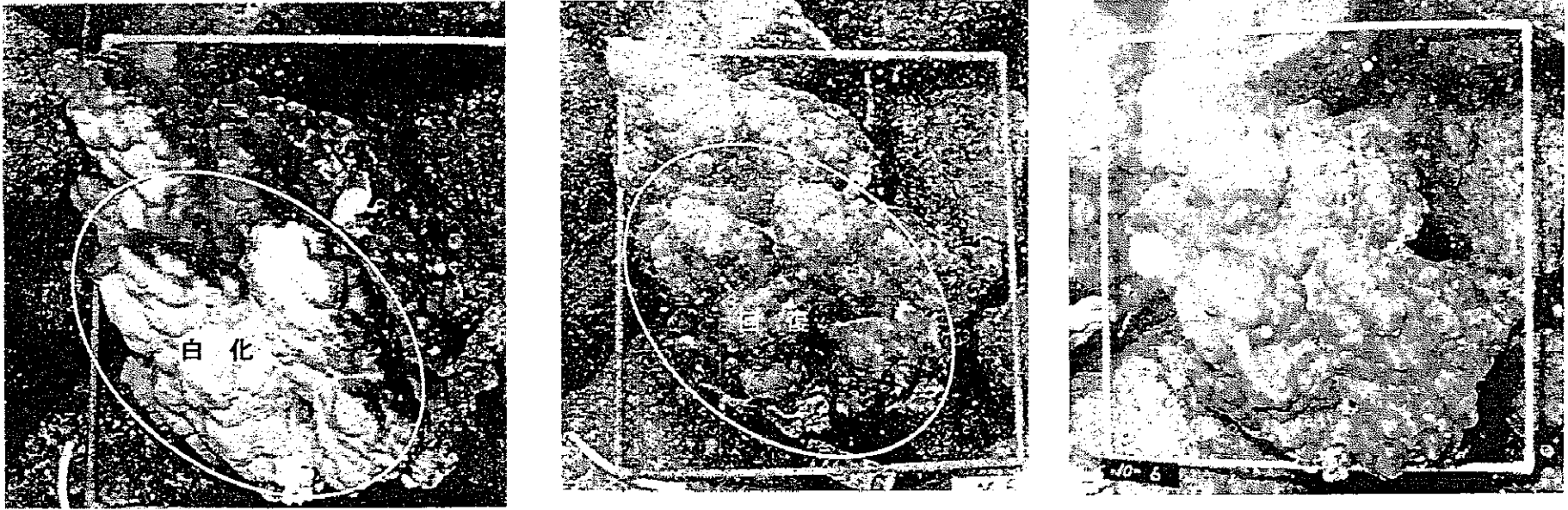
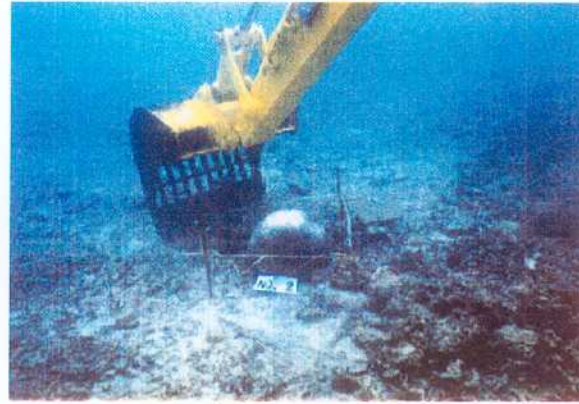


図 5-8 白化した部分の回復状況

左:移築直後(1999.1), 中:移築後9ヶ月(1999.10), 右:移築後1年9ヶ月(2000.10)



バックホウ、母船



採取



バケット積み込み



水中輸送



設置



完了

図5-9 サンゴ群集の移築手法概要図