

藻場移植における台風対策について

COUNTERMEASURES AGAINST IMPACTS OF TYPHOON ON SEAGRASS BED TRANSPLANTATION

浦辺信一¹・安次嶺正春²・川上泰司³・溝口忠弘⁴・笠原勉⁵・三島京子⁵
Shinichi URABE, Masaharu ASHIMINE, Taiji KAWAKAMI, Tadahiro MIZOGUCHI,
Tutomu KASAHARA and Kyoko MISHIMA

¹ 正会員 工修 内閣府沖縄総合事務局 那覇港湾空港工事事務所(〒900-0001 沖縄県那覇市港町2丁目6-11)

² 内閣府沖縄総合事務局 那覇港湾空港工事事務所 中城湾港出張所(〒904-2162 沖縄県沖縄市海邦町3-25)

³ 工修 内閣府沖縄総合事務局 開発建設部 現) 国土交通省港湾局 環境整備計画室
(〒900-8530 沖縄県那覇市前島2-21-7)

⁴ 正会員 財団法人 港湾空間高度化環境研究センター 港湾・海域環境研究所
(〒108-0022 東京都港区海岸三丁目26-4 パーク芝浦)

⁵ 国土環境株式会社 (〒154-8585 東京都世田谷区駒沢3-15-1)

Since large areas of seagrass beds are due to disappear in the reclamation project at Awase Nakagusuku Bay, the Okinawa General Bureau, Cabinet Office and Okinawa Prefecture are developing transplantation methods of tropical seagrass beds. In regards to the large-scale civil works, the mechanized transplantation method is selected. This method requires countermeasures against typhoon because the transplanted seagrass beds blocks with earth were easily eroded by wave or current. This study was conducted to inspect the effectiveness of the newly devised methods for preventing seagrass beds erosion by typhoon. Results from the monitoring survey showed that pre-excavation of planting area was effective for preventing short-term physical impacts. By laying the seagrass block evenly on the seafloor and by reducing gaps between each block, the erosion process right after planting was reduced. Through these experiments, some suggestions were made for further improving the mechanized transplantation method.

Key Words : Tropical seagrass bed, mechanized transplantation, countermeasure against typhoon

1. はじめに

(1) 中城湾港泡瀬地区の藻場分布と移植の目的

中城湾港泡瀬地区は、沖縄本島東岸の中城湾北部に位置する干潟・浅海域である。岸沿いの干潟の沖に広がる浅海域には、C.D.L.+0.5~-4mの水深帯を中心として、熱帯性の大型海草類（リュウキュウアマモ、ボウバアマモ、ベニアマモ、リュウキュウマガモ）を構成種とする約300haの海草藻場が分布しており（図-1）、泡瀬地区の環境や生態系を特徴づける重要な要素の一つとなっている。

当該地区では国（内閣府沖縄総合事務局）及び沖縄県による埋立事業が実施されており、これに伴って海草藻場の一部が消失することとなる。実施に先立って行った環境影響評価¹⁾の結果では、藻場生態系保全の必要性から、埋立区域内の大型海草藻場（生育被度50%以上の密生・濃生域）について、区域外への移植を行うこととした。

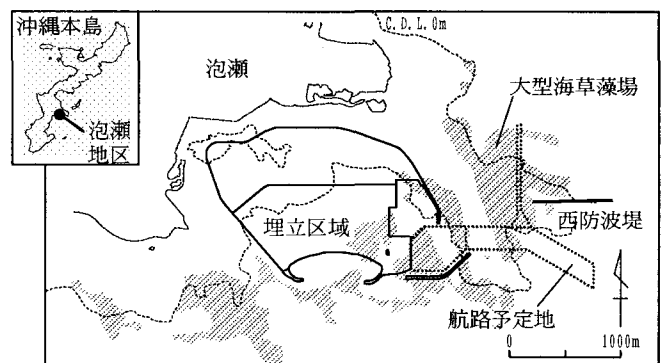


図-1 中城湾港泡瀬地区の位置と大型海草藻場分布

(2) 機械化移植工法の概要と本実験の背景

環境影響評価時において移植対象の藻場面積は約25haであり、移植の手法として大規模な土木的工法が必要と考えられた。そこで、大規模施工への適用性や浅海域での施工性から、図-2に示すバックホウ

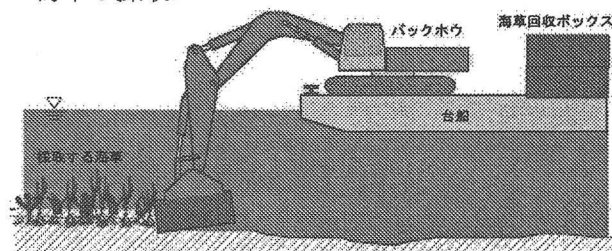
と回収ボックスを用いた工法（機械化移植工法）を選定した²⁾³⁾。この工法は、台船上に設置したバックホウに取り付けた回収ボックス（幅1.5m×奥行き1m×高さ45cm）により、ダイバーの誘導で海草を土壌ごとブロック状に採取、移植するものであり、海草ブロックの入った回収ボックスを斜めに傾け、引き抜くことで、生育基盤である土壌を極力乱さず移植する考えに基づいている。

平成13年11月から14年2月にかけて、この工法の適用性を検証するため、埋立区域内の海草を用いて移植実験を行った。しかし、平成14年7月に来襲した台風5号により、移植した海草はその多くが流失し、台風通過後の生育面積は台風前の半分以上となった（移植藻場内12箇所のモニタリングポストにおける計測結果より）。

実験結果より、機械化移植工法は、大規模施工が可能である一方、ブロック状の土壌付き海草を海底に置いていく方式であることから、ブロック断面が波浪や流れの抵抗を受けやすく、減耗が生じやすいことが課題として考えられた。沖縄地方は毎年のように台風の影響を受ける地域である。そのため、特に台風時の減耗対策は、機械化移植工法を事業に導入するため不可欠と考えられた。

本研究はこうした背景のもと、機械化工法で移植した海草の台風減耗対策を確立するため、その対策工法を考案し、効果の試験、検証を行ったものである。

<海草の採取>



<海草の移植>

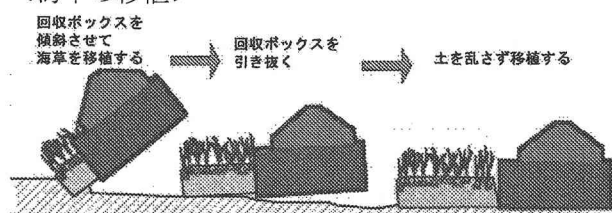


図-2 機械化移植工法の概要

2. 実験方法

(1) 試験工法の概要

機械化工法により移植した海草は、ブロック断面が波浪や流れの抵抗を受けることで減耗すると考えられたことから、対策工法としては、ブロック断面に対する波浪や流れの抵抗を小さくすることが重要

4)と考えた。考案した試験工法は図-3に示す3工法であり、泡瀬地区西防波堤背後域（図-4）において、1工法あたり8m×12mの区画内に、それぞれ50個のブロックを移植した。いずれの工法も移植後にはブロック間に砂を詰めることで、個々のブロックが波浪や流れの影響を受けにくいようにした。さらに、ブロック群全体に対する抵抗の低減を図るため、工法2では移植域周囲を土嚢で囲い、工法3では地盤をあらかじめ20cm程度の深さで掘削した中に移植した。

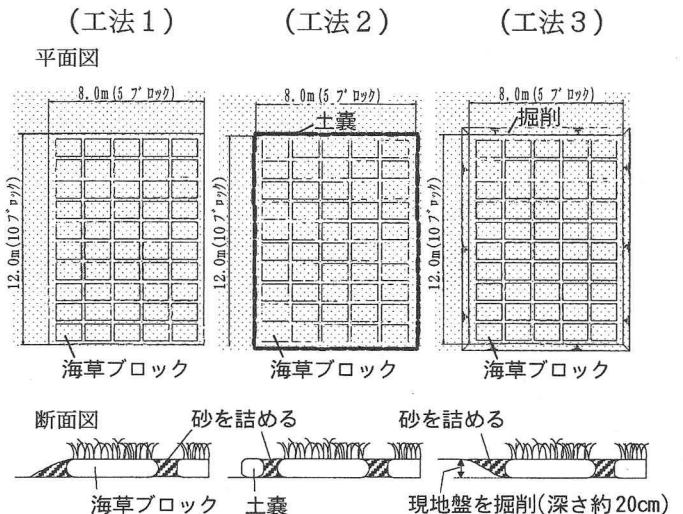


図-3 減耗対策工法の概要

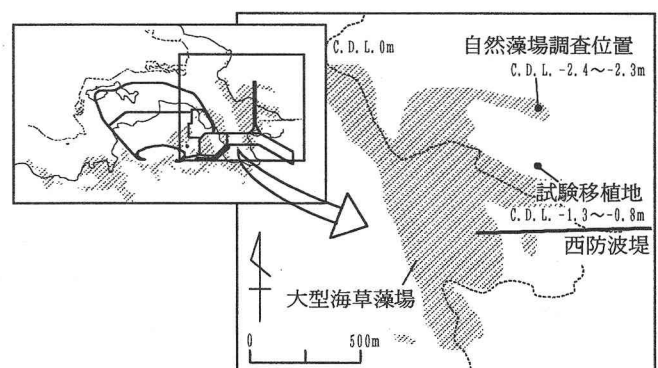


図-4 試験移植地の位置

(2) 移植時の状況と施工法の改良

移植に用いた海草は、埋立区域内の当面の工事予定場所に生育する海草群落から採取したものであり、リュウキュウアマモ、ポウバアマモ、ベニアマモ、リュウキュウスガモの4種から成る混生藻場である。

海草の採取と移植は、平成15年2月8日から3月2日にかけて行った。採取から移植の過程においては、海草が受けるストレスをできるだけ軽減するため、採取当日に速やかに運搬、移植するとともに、運搬中はマットで覆い散水するなどの保護対策を講じた。しかしながら、採取した海草ブロックは土壌

が軟弱であったため、回収ボックスを傾けて移植する際、こんもりとした塚状になるものが多く(図-5)、間に砂を詰める際には、海草の株の一部を埋没させざるを得ない状況となった。また、塚状に移植されたブロックの頂上部は、波浪の影響を受けやすく、移植後に砂が流出して根が露出する状況となった。そこで、ブロックを平坦化するため、鉄板をブロックの下に差し込んで持ち上げたり、ブロック縁辺部をいったん切り取るなどして内部の砂の排出を行った(図-6)。その結果、ブロックの高さについてはほぼ平坦化できたものの、移植海草の生育面積は、修復前に比べて小さくなった(図-7)。

こうした状況に対し、ブロックが塚状に移植されることを防ぐため、移植の途中から工法の改良を行った。改良した工法の概要は図-8 のとおりであり、回収ボックス内に鉄板を差し込み、これをワイヤーで引っ張りながら移植することとした。これにより、海草ブロックは平坦に移植できるようになったが、結果として施工期間の後半に移植した工法1のみが平坦に移植でき、工法2と3では修復は行ったものの当初は塚状に移植されたことにより、海草の流失や埋没が多く生じることとなった(図-9)。

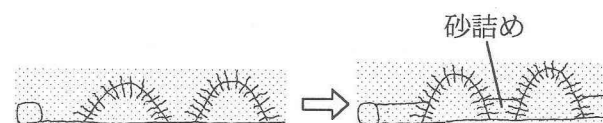


図-5 塚状に移植された海草ブロックの埋没

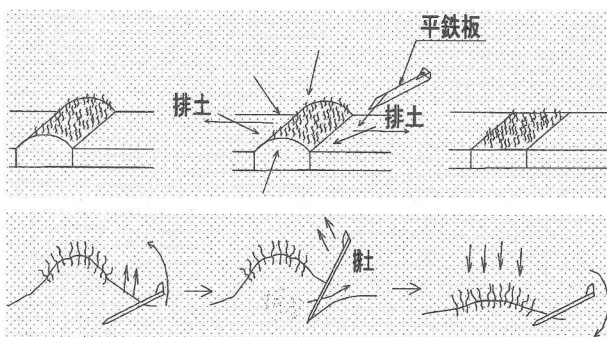


図-6 海草ブロックの平坦化

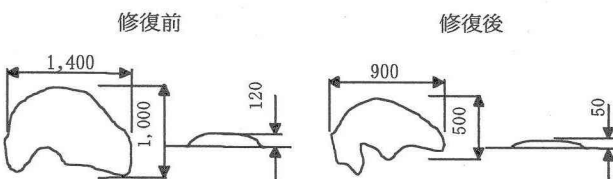
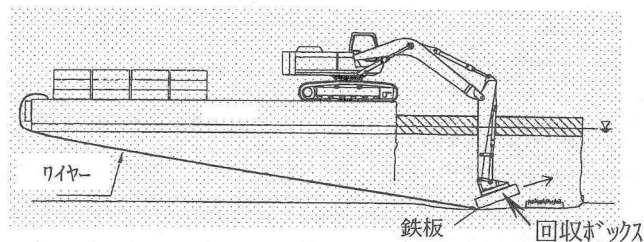


図-7 修復前後の海草ブロック平面断面の例



※回収ボックス内に差し込んだ鉄板をワイヤーで引っ張りながら移植する

図-8 改良後の施工方法

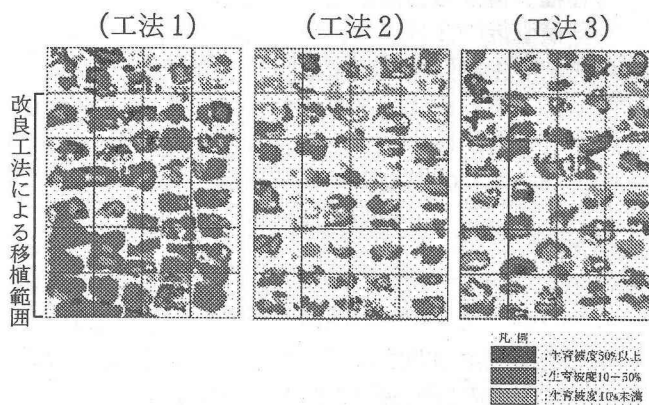


図-9 移植後の海草の被度別分布
(平成15年3月8~9日調査)

(3) 追跡調査方法

移植した海草は、1 カ月ごとにモニタリング調査を行っている。調査項目と方法は以下のとおりである。

a) 移植海草の生育面積・被度

1 工法につき 8m×12mの移植域全体を対象に、ダイバーが水中で移植海草の分布をスケッチするとともに、生育被度を記録した。スケッチは、海底面を真上からみて植生が投影される範囲の外郭を描画することで行った。また、これをもとに画像解析により描画範囲の面積計測を行い、移植海草の生育面積とした。

b) 砂面変動・底質

移植地の物理的な環境条件の指標として、砂面変動と底質(貫入深度、粒度組成)を追跡調査した。

砂面変動は、移植域内の海底に、各工法それぞれ4本の鉄筋棒(太さ12mm、長さ約1m)を、海底上面の高さが30cm程度になるように立て、これに対する海底面の高さを月ごとに記録する方法で計測した。

底質の貫入深度は、海草の根の伸張を阻害する礫や岩の多さを把握するため、直径8mmの鉄筋棒を人力で海底に差し込み、貫入した深さを記録する方法で調査した。貫入深度の測定は、1 工法につき藻場内(移植海草分布域)と藻場外(移植域内の海草非分布域)の2箇所で行い、1 箇所あたり20回測定した。

粒度組成については、移植区域内のそれぞれ一箇所ですコップにより採泥した表層泥を持ち帰り、JIA A 1204(ふるい分け法)により分析した。

3. 実験結果

(1)移植後の海草の変化

各工法により移植した海草の生育面積の変化は図-10 のとおりである。また、比較のため、近隣の自然藻場内(位置は図-4 参照)に10m×10mの定点コードラートを設け、コードラート内の生育面積を計測した結果を図-11 に示した。

a)移植直後から台風前までの変化

移植直後の3月以降、4～6月にかけては、いずれの工法も生育面積が減少傾向となり、移植時のストレスによる初期減耗と考えられた。減少の割合は工法1で最も小さく、さらに、工法1では3月から7月にかけて、50%以上の高被度域の面積の増加がみられたことから、初期減耗の抑制効果の可能性がうかがえた。

工法1, 2では7月、工法3では6月に、それまで減少傾向にあった生育面積が増加に転じ、面積からみた初期減耗期間が終了したものと考えられた。

7月時点の移植海草の被度別分布は図-12 のとおりである。

b)台風時の変化

移植後、比較的規模の大きい台風としては、平成15年8月7日に台風10号が現場付近を通過した(通過時の中心気圧950hPa, 最大風速40m/sec, 中城湾の東海上を北上)。これに伴い、各工法による移植藻場のほか、自然藻場についても生育面積が減少した(図-10, 11)。台風前の面積に対する減少面積の割合(減耗率)を整理すると(表-1), 自然藻場では9%, 試験工法では10～15%の範囲にあった。3工法を比較すると、掘削して移植した工法3で減耗率が最も低く、自然藻場と同程度であった。工法2では、使用した土嚢の袋材(厚さ0.3mm)が予定より早く欠損したことにより、減耗がやや大きくなった。

台風通過後の移植藻場の被度別分布を図-13 に示す。

(2)物理環境の変化

a)砂面変動

観測期間中の砂面変動は、台風前後で最も大きな変動量を記録した。各移植域内における台風前後の砂面変動量を、自然藻場と比較して図-14 に示す。

3工法中、生育面積の減耗率が最も低かった工法3における砂面変動は、自然藻場と同程度の比較的小さい変動量であった。減耗率が最も大きかった工法2では、4測点とも変動量が0またはマイナスの値となっており、砂の流出により海底面が削られたことを示していた。工法1ではマイナスの値とともにプラスの値が観測され、場所によって砂の流出と堆積がそれぞれに生じたことを示していた。

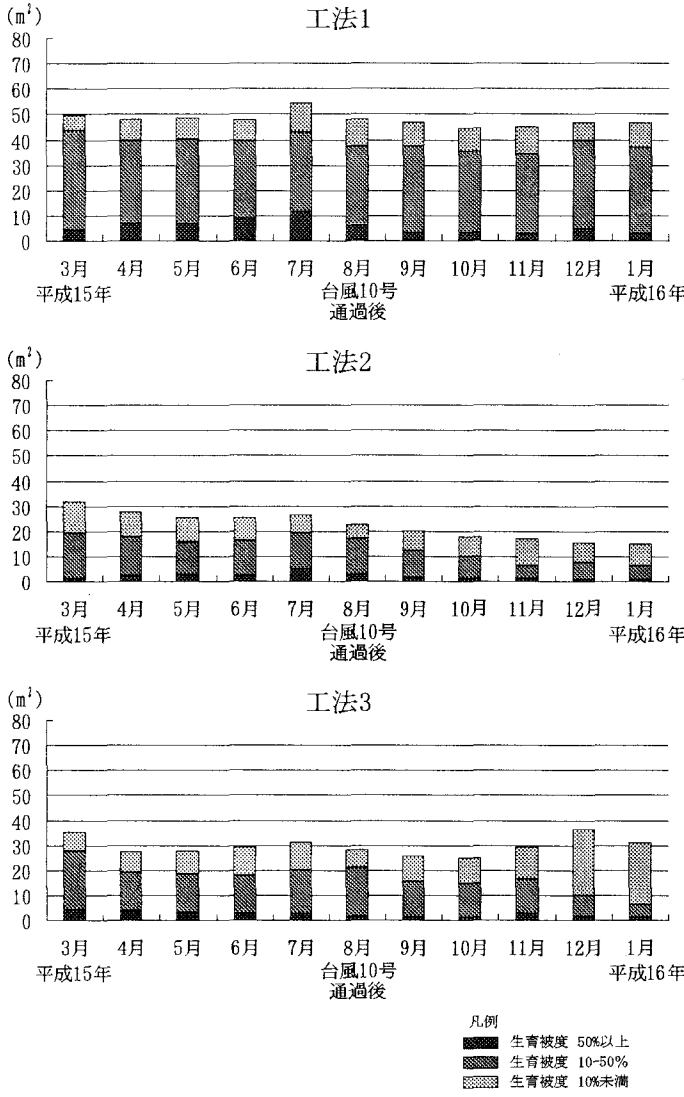


図-10 各工法による移植藻場の生育面積の変化 (8m×12m移植域内)

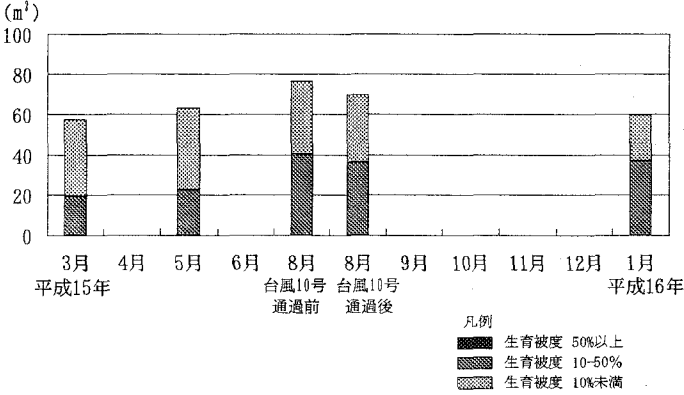


図-11 自然藻場における生育面積の変化 (10m×10mコードラート内)

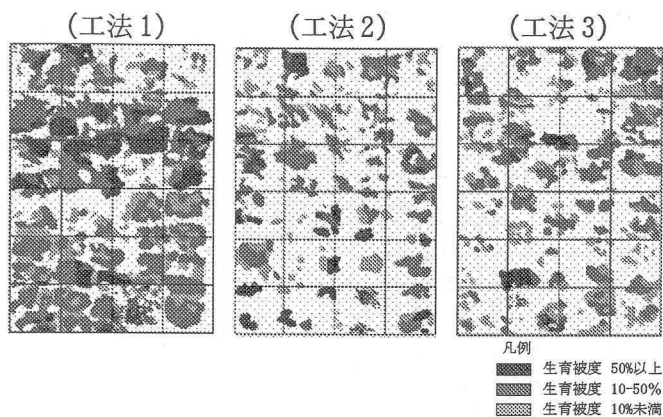


図-12 台風前の海草の被度別分布
(平成 15 年 7 月 14 日調査)

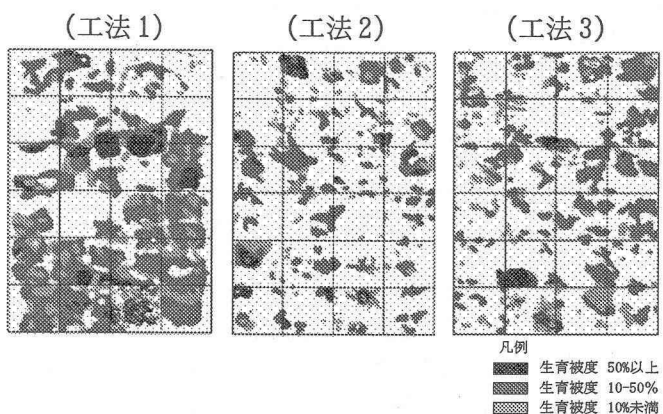
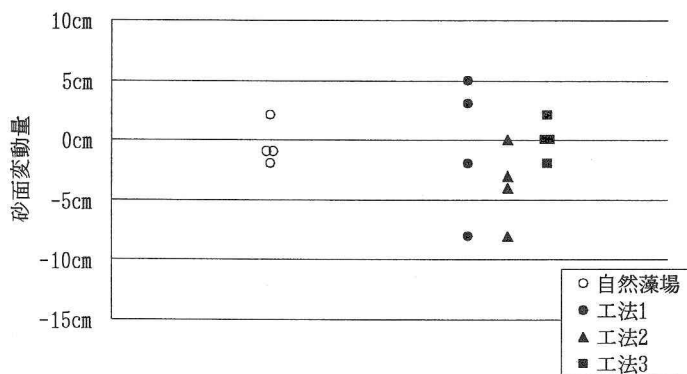


図-13 台風後の海草の被度別分布
(平成 15 年 8 月 15～16 日調査)

表-1 台風前後の生育面積の減耗率

区分	減耗率(%)	水深 (C.D.L.(m))
工法 1	12	-0.9
工法 2	15	-0.8
工法 3	10	-1.3
自然藻場	9	-2.4～-2.3

注) 1. 減耗率(%) = ((台風前の面積) - (台風後の面積)) / (台風前の面積) × 100



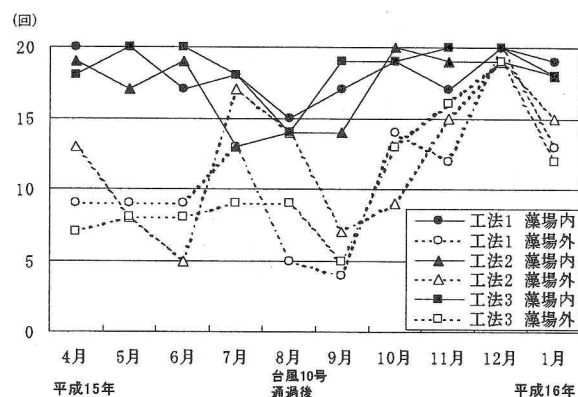
注) 台風前の海底面の高さを 0 としたときの台風後の海底面の高さを示す。

図-14 台風前後の砂面変動

b) 底質貫入深度

海草の根の伸張に適した底質の条件として、底泥表層部に礫や岩盤が少ないことが重要と考えられる。そこで、深さ 5cm までの表層部に着目し、各 20 回行った貫入深度の測定において、深さ 5cm をこえて貫入した回数を整理した (図-15)。

藻場内 (移植海草分布域) と藻場外 (移植域内の海草非分布域) における測定結果では、各工法とも藻場内の方が深く貫入する回数が多かった。また、藻場内では、台風通過後の 8 月に 5cm をこえる貫入回数が減少しており、台風によって礫などが持ち込まれたか、あるいは砂の流出によって、表層部の礫の割合が多くなったことがうかがえた。



注) 各 20 回の測定結果より

図-15 深さ 5cm をこえる貫入深度測定回数の変化

c) 粒度組成

各工法による移植区域内の中央粒径の変化は図-16 のとおりであり、1 カ月間で約 1mm も変化するなど全般に変動が大きかった。これは、藻場内の底質が均一でないことや、サンゴ礫を多く含み、粒径分布に幅のある当該地区の底質特性を反映していると考えられる。

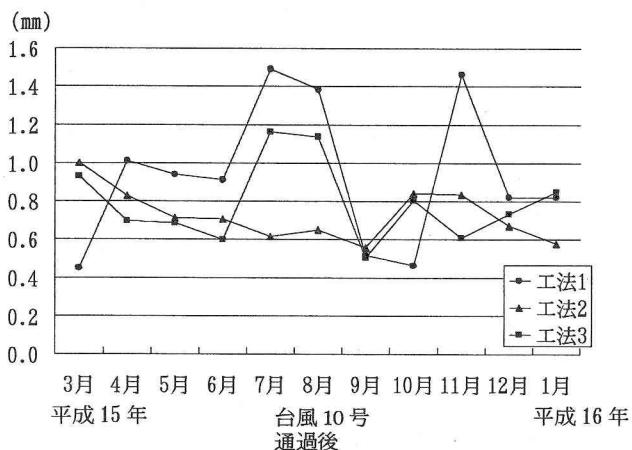


図-16 中央粒径の変化

4. まとめ

(1) 台風対策としての効果について

3つの試験工法のうち、台風前後における生育面積の減耗は、掘削して移植した工法3で最も小さく、自然藻場の減耗と同程度であった。また、砂面変動についても工法3で最も小さく、特にマイナス方向の変動（砂の流出によるとみられる海底面の低下）が他の2工法に比べて小さかった。

台風時の藻場の減耗は、波浪や流れによって海底の砂が移動することにより、海草の根が掘り返され、流出して生じると想定される。工法3では掘削によって現地盤よりも低い位置に移植したため、砂の流出が抑制されたものと考えられ、台風時の物理的な変動を極力抑える観点からは、掘削してから移植する方法が効果的と考えられた。

土嚢で周囲を囲った工法2も、工法3と同様の効果を期待したものであったが、前述のように袋材が予定より早く欠損したことで、期待した効果は得られなかった。

(2) 初期減耗に対する効果について

3つの試験工法による生育面積を比較すると、移植後から数ヶ月間の生育面積の減少は、工法1で最も小さく、生育被度の増加もあり、初期減耗の抑制効果が最も高い結果となった。工法1を設定した目的は、工法2,3における土嚢や掘削の砂面変動抑制効果を検証することにあったが、初期減耗に対する効果が工法2,3よりむしろ大きかった要因としては、本試験直前に施工法を一部改良し、鉄板とワイヤーを用いた改良工法を採用したことによって、軟弱な土壌であっても海草ブロックを乱さず、平坦に移植したためと考えられた。

改良した工法では、移植した海草ブロックの初期面積が大きくなり、ブロック間の間隔を詰めて移植できるため、ブロックが波浪や流れの影響を受けにくくなり、初期減耗が低減されたとみられる。したがって、今後の機械化移植工法では、移植する海草ブロックをいかに平坦に密植するかが重要である。

(3) 今後の課題と提案

海草移植では、初期減耗の抑制とその後の生育の維持・向上が重要な課題であり、これらに対する具体的な対策を講じることが必要である⁹⁾。

初期減耗や生育維持対策としては、海草の生育形態を考慮した上で具体的な手法を立案する必要がある、以下に提案する。

①機械化工法は、ブロック状の土壌付き海草を海底に置いていく方式であることから、ブロック断面が波浪や流れの抵抗を受けることでの減耗が生じやすい。そこで、波浪や流れの抵抗を低減するため、ブロックはできるだけ平坦に、間隔を詰めて移植す

る。

②台風対策工法としては、掘削してから移植することで、台風時の物理的な変動を抑制できると判断される。ただし、移植後の生育に対してより長期的な視点で維持・向上を図る観点からみると、①に示した密植手法により初期減耗が抑制されれば、台風時の短期的な減耗への対策は必ずしも必要でない可能性がある。その場合、移植場所を平坦にする均し程度の作業ですみ、施工コストの低減になる。

③機械化工法に限らず、採取した海草の運搬過程においては、干出が海草にストレスを与える可能性がある。そこで、これを少なくするため、養生マット等にくるみ、海水をシャワー状に吹きかけて乾燥させない対策等を講じる。

④その他、施工法には直接関係しないが、移植した海草の生育維持・向上には、移植する海草の選定が重要である。生育被度が高い大型海草は、地下茎がぎっしり張っているため砂の流出が少なく、生育が維持されやすいと考えられる。したがって、今後の移植においては、採取する際に被度の高い大型海草から選定すれば、移植後の生育維持につながると判断される。

以上のような課題と提案を現時点での判断で述べたが、今後も施工試験の追跡調査を継続し、移植海草の長期的な変化を把握するとともに、機械化施工の有効性を検証しながら、改良を重ねていく方針である。

謝辞：本実験の実施、及び実験結果の分析に際しては、中城湾港泡瀬地区環境保全・創造検討委員会 海藻草類専門部会（座長：鹿児島大学 野呂忠秀教授）の委員の方々に貴重なご意見、ご指導をいただいた。ここに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 沖縄開発庁沖縄総合事務局：中城湾港（泡瀬地区）公有水面埋立事業に係る環境影響評価書，2000。
- 2) 中瀬浩太・百瀬泰彦：アマモの移植技術，電力土木298，2002。
- 3) 沖縄開発庁沖縄総合事務局：中城湾港海藻草類移植調査，2000。
- 4) 中瀬浩太・田中裕一・檜山博昭：海浜変形予測手法を用いたアマモ場成立条件に関する研究，海岸工学論文集39，1992。
- 5) 笠原勉：琉球列島産の海草の形態と生態及び移植手法について，月刊海洋，1997。