

熱帯性海草類の生育場創出による藻場造成の実証実験

與儀成也¹・當銘須賀子¹

¹ 那覇港湾・空港整備事務所中城湾港出張所（〒904-2162 沖縄県沖縄市海邦町3-25）

中城湾港泡瀬地区では埋立事業によって海草藻場の一部が消失することから、残される海草藻場を保全するとともに生育場が消失する海草の環境保全対策の一環として海草藻場造成に取り組むことで、事業に伴う影響低減を図ることとしている。

そこで、当該地区に分布している熱帯性海草類に関する生育条件を把握し、海草の試験移植や海草藻場造成の実証実験を行い、恒常的に海草の生育を維持できる藻場造成技術の確立に向けて検証した。

キーワード 热帯性海草類、海草藻場造成、低天端堤、砂層

1. はじめに

沖縄本島東海岸に位置する中城湾港では、港湾整備や地域振興のための人工島整備等が計画されている。事業実施にあたっては、周辺自然環境への影響を低減させるために各種環境保全措置に取り組むこととしている。

その中の泡瀬地区埋立事業箇所には、当該地区的生態系に重要な役割をもつ海草藻場があり、埋立工事により一部が消失があるため、事業者として実行可能な範囲内で埋立により消失する被度50%以上の海草藻場（密生・濃生域）のうち主要な構成要素の大型海草ができる限り疎生域に移植し、海草藻場全体として生態系の保全に努めることとした。

平成13年2月28日に学識経験者を中心とした検討委員会を設置、平成13年度より大型海草の移植実験を開始し、平成16年度からは海藻草類の生育環境の保全・創出（海草藻場造成）に取り組んできた。

琉球列島には、リュウキュウアマモ、ボウバアマモ、ベニアマモ、リュウキュウスガモなどの熱帯性海草類が生育しているが、生理・生態等に関する知見が乏しく、これらの種によって構成される海草藻場の環境条件等が未解明である。これらの課題を解明し、今後の海草藻場造成における技術的手法を現地実証実験で確立することを目的に実施した。

2. 実験の内容

(1) 海草移植に関する実験

まず、海草移植の適地やその環境条件を把握するため、平成13年11月から平成14年2月にかけて試験移植を行った。その際、試験範囲が広域であることから、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）を採用した（図-1）。



写真-1 実験箇所の位置

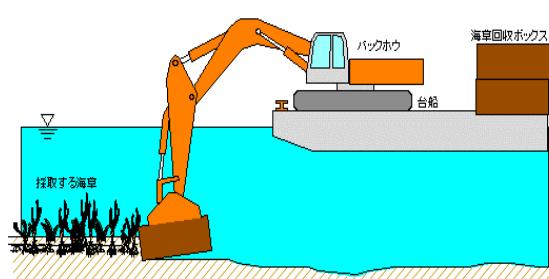


図-1 機械化移植工法による移植イメージ

しかし、試験移植の半年後（平成14年7月）に台風が襲来し、移植した海草の生育面積は、台風通過前の半分以下となった。減耗要因としては、海草ブロックの縁辺が波浪や流れの作用を受け、移植範囲の砂が徐々に流出し、根が露出して海草が流出したと考えられた。

これより、移植後の初期減耗や台風対策としては、砂が流出しにくいようにできるだけ平坦に、間隔を詰めて配置することを考え、平成15年1月にダイバーによる直接手植え移植を実施した。その結果、この海草藻場は7年以上も維持されている（写真-2）。

また、平成16年3月に環境省より「藻場復元に関する配慮事項」¹⁾が発行され、その中で、藻場復元の際の海草の生育制限要因（干出、堆積物の安定性（砂面変動）、光、底質等）が明らかにされ、生育基盤の整備などによってこれらの制限を緩和して、海草が生育できる状況を作り出す取組みの必要性が示された。

（2）生育制限要因を特定するための事前調査

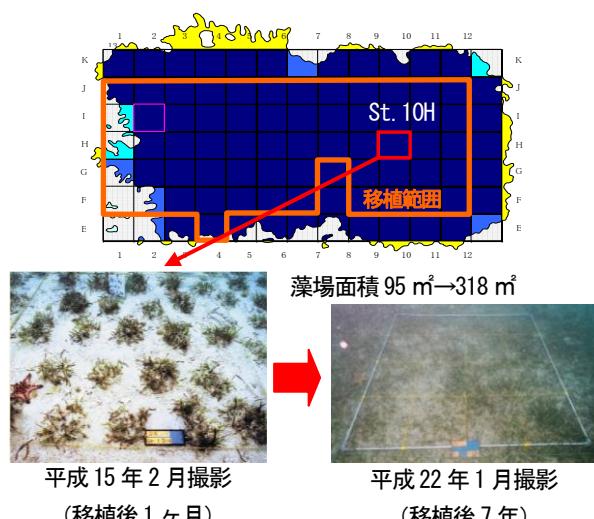
海草が生育できる環境に整備するために、「場」の生育制限要因の特定を試みた。

まず、近傍の自然藻場内の海草生育域と非生育域において、波浪、流況、水深、水中光量、粗度組成、底質貫入深度等を調査し比較した。

その結果、底質貫入深度のみで差が見られ、生育域では貫入深度は平均15cm以上であったが、非生育域では貫入深度は平均5cm程度と浅かった。

海草は砂中に地下茎を伸ばして生育するため、砂層の厚さや砂中に岩や転石が少ないと根の伸長には重要な条件であると考え、「砂層厚の不足」が直接的な生育制限要因と推察した。

また、砂層厚が不足する原因として、台風等の高波浪時の外力による砂層の流出が主要因と想定されることから、あわせて「高波浪時の外力」の制御が重要と考えた。



（3）生育制限要因を緩和した海草類の生育場創出の実証実験

生育制限要因（砂層厚の不足）を緩和するには、砂層厚を確保するための「盛砂」と、その盛砂を安定させるための「外力制御構造物」の設置について検討した。

a) 外力制御構造物

外力制御構造物は、背後の底質が安定し海草が生育できるように規模を検討した。これまでの調査結果から、台風時に底面せん断力が 40dyn/cm^2 を越える場所では藻場の減耗が顕著であり、 $15\sim20\text{dyn/cm}^2$ のあたりに自然藻場が広く分布していることを確認している。これより、構造物背後域の底面せん断力が、高波浪時でも概ね 20dyn/cm^2 以下となるように天端高や天端幅を決め、また景観面や漁業者の海面利用等も考慮し天端高を極力低くすることとした。

実験海域は、潮汐により水深が概ね1.0~3.0mに変化する浅海域で、沖側に防波堤があることから台風時でも波高1m程度である。常時海面下に没する潜堤では波浪制御効果が低いため、干潮時のみ海中から干出する低天端堤（天端高2.6m、天端幅10m）にすることにした。

また、低天端堤の材料については、実験期間中に周囲への影響が確認された場合、速やかに撤去が出来るよう根固め工用の袋型フィルターユニット（高さ0.5m、直径2.5m）を積み上げて設置した。

なお、実験海域における波浪は外洋からの直接波ではなく既設の防波堤を回折するため、西向きの波向が卓越していることを考慮して波向に直角となるよう低天端堤を南北方向に設置した（写真-3、図-2）。

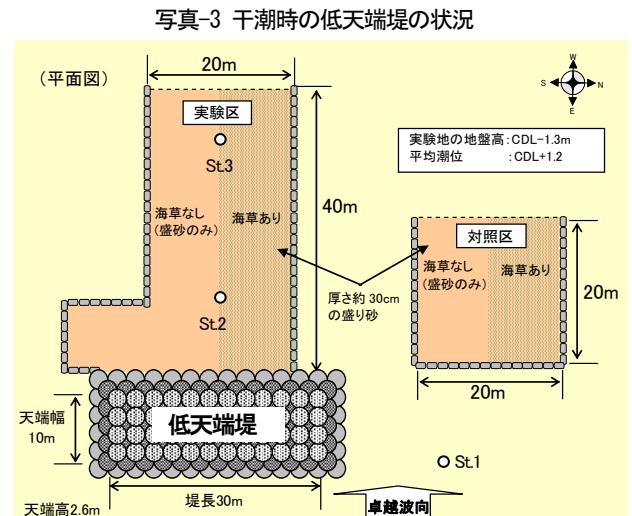


図-2 実証実験施設の模式図

b) 盛砂

「高波浪時の外力」の有無による砂層厚の変化を比較するために、実験施設内を①低天端堤のある実験区と②低天端堤のない対照区に分けて、盛砂を行った。さらに、①②の両区それぞれに海草を移植したエリアと盛砂のみのエリアを設けた。

盛砂の高さは、海草類の伸長の妨げにならない高さ30cmとした。平均中央粒径は約1.0mmであった。

c) 海草の移植

平成18年2月、実験施設内に海草を移植した。移植海草は、埋立てによって消失する藻場に生育するリュウキュウスガモ、リュウキュウアマモ、ベニアマモ、ボウバアマモなどが混生している藻場から採取して移植した。

移植工法は、過去の試験移植を踏まえて、海草ブロックを従来よりも平坦かつ密に置けるようにバックホウ先端部のバケットを改良し、海草の根を含む砂層ごと採取し、根崩れのないよう移植した(図-3)。また、海草ブロック間にできた隙間は、ダイバーが手作業で砂を詰めて海草の地下茎や根の洗掘を防ぐこととした。

移植から平成19年12月までの約2年間、波浪観測、底質の安定性(砂面変動量)、移植海草の生育状況等について調査した。

波浪観測は、構造物前後の3地点(St.1～St.3)で、台風期を中心に平成18年7月5日から10月19日の106日間、平成19年7月11日から9月19日の70日間連続観測を実施した(図-2)。

砂面変動量については、海草を移植した範囲、盛砂のみの範囲、その周囲の原地盤の砂面レベルを読み取ることとし、目盛り入り鉄筋棒($\phi=20\text{mm}$)計226本を砂面30cm上に出るように打ち込んだ。

移植海草の生育状況については、実験区、対照区ともに台風後などを含めて1～4ヶ月に1回の頻度で、海草の生育面積、被度、生育している海草種を記録した。

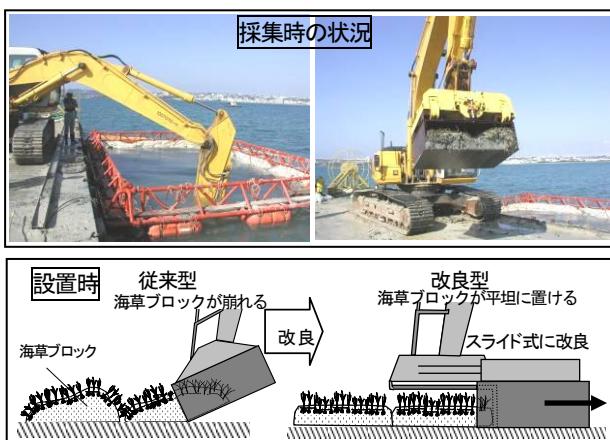


図-3 機械化移植工法の改良内容

3. 実証実験結果

(1) 波高の観測

実験期間中の平成18年、平成19年に、沖縄本島には台風が7回接近し、そのうち平成19年の台風4号接近時には、全国港湾海洋波浪情報網(NOWPHAS)の中城湾において波高13.61m、周期14.9sが観測され、同地点の既往最大有義波高を更新した。

その既往最大クラスの台風4号接近時(平成19年7月12日)には、外力制御構造物のないSt.1において波高1.35mが記録された(図-4)。

(2) 底質の安定性(砂面変動量)

底質の砂面変動量については、主に台風襲来時に顕著な変動が観測された。特に既往最大クラスの平成19年の台風4号時には、砂面レベルが最も変動した。

低天端堤のない対照区や突出部では平均変化量がそれぞれ17.9cm、25.9cmと顕著な変化が生じたが、低天端堤背後の実験区では平均変化量3.4～5.3cmと変化が少なかった(表-1)。

ただし、構造物のすぐ背後(低天端堤から1m程度)に限っては侵食傾向がみられた(図-5)。

底質の粒度組成は、盛砂設置時は平均中央粒径約1.0mmであったが、台風来襲後には一部の地点においては2.0mmを超えることもあったが、その後徐々に1.0mm程度に戻る傾向がみられた。

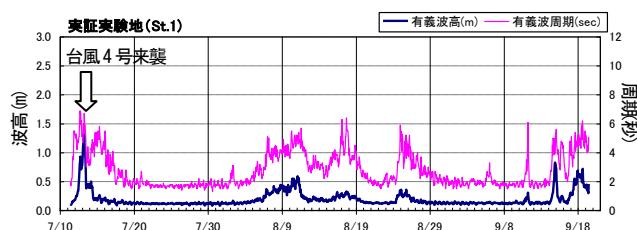


図-4 波高観測結果(平成19年)

表-1 台風4号前後の砂面の変動量(平均値)

エリア区分		変動量(cm)			
		平均	最大	最小	絶対値の平均
①	実験区の東側	海草あり 3.3	6	-2	3.5
	海草なし	0.5	7	-10	3.3
③	実験区の西側	海草あり -2.2	18	-18	8.2
	海草なし	-1.5	2	-10	2.4
⑥	突出部	-33.3	-4	-57	25.9
	海草あり	-14.3	25	-39	17.3
⑦	対照区	海草なし -10.7	24	-36	9.2
	海草あり	-17.9			

[別紙-2] 論文

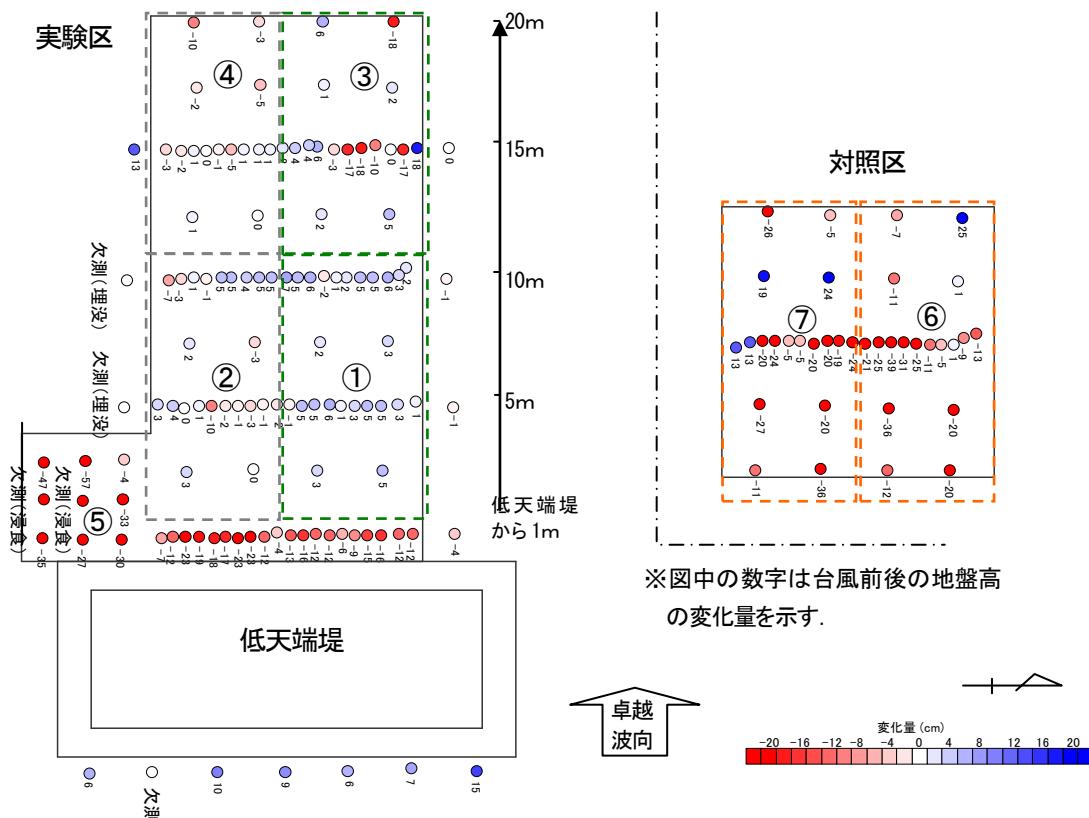
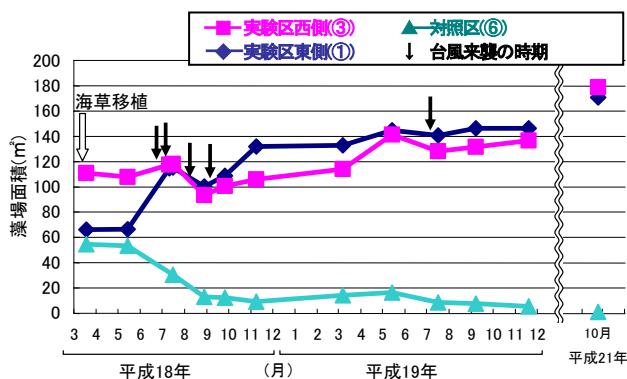


図-5 既往最大クラスの台風4号通過前後の地盤高の変化（平成19年5月8日～7月17日）



[別紙一 2] 論文

4. 実証実験で得られた知見

低天端堤周辺における約2年間のモニタリング調査により実海域における貴重なデータが多数得られた。

移植海草については、約3年8カ月後においても面積が増加し維持されていたことが確認された。

これらに基づいて、実証実験によって得られた知見を以下に整理する。

(1) 低天端堤による波浪低減効果

本実験期間の約2年間の調査において、平成18、19年の台風期の観測で30年に1度の確率波に相当する波高実測データが得られた。

また、低天端堤前後の波高比が潮位の関係について整理したところ、波高比が潮位によって連続的に変化することが確認され、本実験で波高は最大60%減衰した(図-8)。

これにより、任意の潮位条件に対する波高減衰率を推定することが可能となった。

(2) 盛砂の安定範囲の予測手法

底質の安定性に関して、ある条件下における底質の安定範囲を予測することができれば、より良好な藻場を効率よく造成することが可能になると想い、盛砂の安定範囲の予測手法を検証した。

a) 全面移動限界水深の算出

全面移動限界水深(海底面上の表層粒子がほとんど動き出す限界水深)について、波高、周期、水深、底質粒径により求めることができるので、算出した。

b) 全面移動限界水深と盛砂高の変化量との関係

全面移動限界水深と盛砂高の変化量の関連性について整理したところ、全面移動限界水深が実際の水深を超えると面的に1cm以上の地盤高変化が生じることが確認できた(図-9)。

このことから、実際の水深が「全面移動限界水深」に達しないこと(図-9の横軸が1.0未満)を安定条件としてすることで、盛砂の安定範囲を予測できるようになった(図-10)。

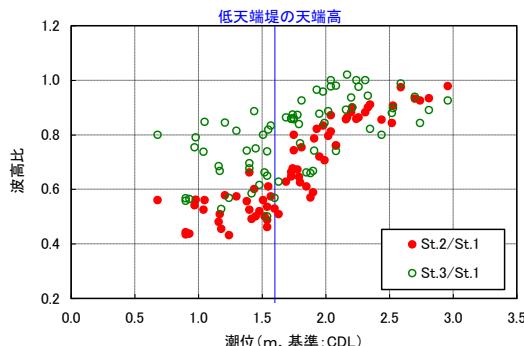


図-8 低天端堤の波高低減効果

(3) 移植した海草の生育状況に関する知見

外力制御した移植海草は、期間中、台風襲来などあつたものの、移植3年8カ月後の平成21年11月においても藻場の拡大は確認されていることから、今回の平坦かつ密に移植を配慮した機械化移植(改良)工法は、目立った初期減耗もみられず、移植方法として有効であった。

また、海草の移植を行わなかった盛砂のみの範囲には、移植した区画から海草の地下茎が伸長する状況は確認されたが、周囲の自然藻場から種子や株が加入して生長する状況は確認されなかった。

このことから、熱帶性海草類の場合、底質環境の提供だけでは藻場形成は確認できなかったことから、海草藻場の早期形成には移植は有効な手段であると考えられる。

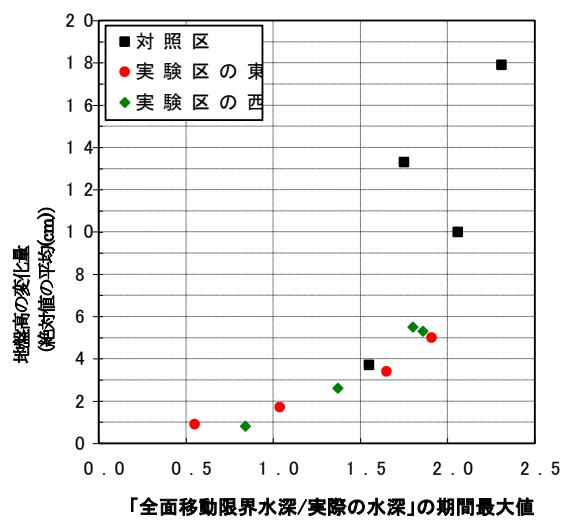


図-9 安定指標と地盤高の変化量の関係

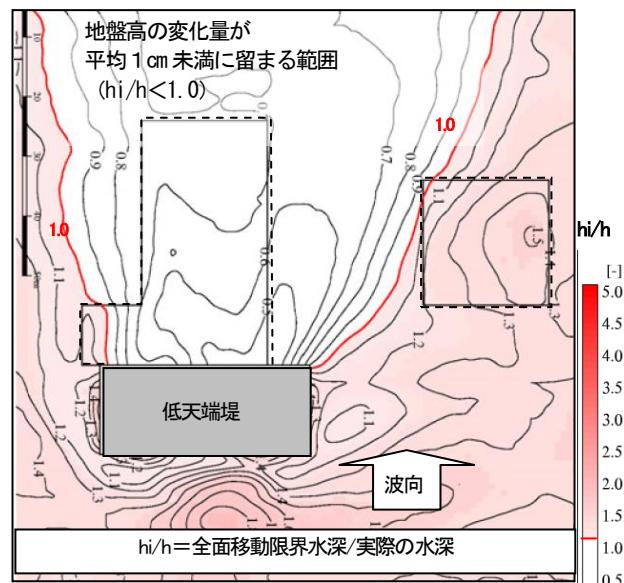


図-10 盛砂安定範囲の予測図

(4) 外力制御構造物背後の侵食特性

低天端堤の背後1m程度においては、侵食傾向が確認された。浸食要因としては、通水性のある根固め工用の袋型フィルターユニットを使用したこと、波による浸食が考えられる。

今後は、使用材料の見直し若しくは構造物近傍には移植しないなど配慮が必要であることが確認された。

(5) 低天端堤の魚礁効果

低天端堤周辺においては、多くの魚類や大型底生生物が集まっていることが確認された。

低天端堤は波浪を抑えるだけではなく、魚礁効果もあり、豊かな生物生息環境の創出になることを副次的に確認した（写真-6）。



シラヒゲウニ
平成19年8月



ハナヤサイサンゴ
平成19年8月



ハタンボ属
平成18年8月



オキザヨリ
平成19年8月

写真-6 低天端堤周辺の生物生息状況

5. まとめ

この実証実験により、当該海域における生育制限要因を緩和するための盛砂と構造物設置による藻場造成手法の有効性を実証することができ、また実際に遭遇した台風時の外力の大きさや頻度からみても造成藻場の恒常的維持が可能なことが検証できた。

これを踏まえ、今後はより規模の大きな藻場造成を効率よく進めることができた。

ただし、海草の生育条件は未解明な点もあり、生育制限要因の更なる検討を含めた精査が必要と思われる。

本実証実験は、当初目的を達せられたことから、平成22年3月に低天端堤を撤去している。

低天端堤の撤去後、平成22年夏季に3個の台風（台風7号、9号、14号）が沖縄本島に接近、台風規模は海草移植直後に襲来した台風とほぼ同程度のものであった。

しかし、今回は海草藻場は流出せずにほぼ同範囲に維持されていた。流失した当時と違う点としては、移植してから時間が経ちしっかりと根が張り、低天端堤を撤去して多少の外力が増しても、藻場は流出せずに維持されたと考えられる。

今後も現在維持されている造成藻場が、低天端堤がなくても維持されることが確認できれば、外力に対して弱い移植直後だけ構造物で外力を制御し、根が張ってからは、構造物を撤去もしくは小型化する整備手法も考えられ、藻場推移に注目していきたい。

参考文献

- 1) 環境省：藻場の復元に関する配慮事項, pp. 45–46, 2004.