

## アマモ場造成工法の開発（その4） —移植機械施工法の開発—

今村 均\* 宝蔵寺 保典\*\*  
石井 博\*\*\* 池田 省三\*\*\*\*

### 要旨

埋立等の沿岸開発に伴い消失するアマモ（海草）場を造成・移植するために、機械施工の方法を開発した。開発した方法は、アマモ群落を底泥とともに採取し、所定の場所に運搬移動させ、設置する一連の移植方法である。開発にあたって実施した予備調査、試験施工の主な結果は以下である。

- 採取方法は、バックホウに外・内バケット（地盤切取り、収納機能を設けた装置）を取り付けることによって底泥ごと株を採取する。運搬方法はユニット化した内バケットを台船に乗せて所定の場所に移動する。海底設置は、内バケットを導材アングルに配置し、バケット底盤を抜き取つ後、バケット側枠を回収する方法などによって実施する。
- 一連の開発した機械施工によってアマモ葉体や地下茎にダメージを与えることなく移植することができる。移植初期の固着力があり、移植1カ月後のアマモの生息状況は良好であった。また、移植規模が大きくなれば、船団を複数化することにより施工能力の向上やコストの低減が図られる。
- 本方法は、ペントス（底生生物）も底泥とともに移植されるため、アマモ場の他の生物にとってもやさしい工法である。また、移植先のアマモ生息基質（底質改良）や地盤高制御としても有効な造成工法である。

### 1. まえがき

アマモとは海草の一種で、内湾や河口域の水深0~5m程度の砂泥質に繁茂する海産顯花植物である。外見上は、陸上植物のイネのように葉が細長く、海中で花が咲き種を付ける。生育するには充分な光が必要であるため、分布水深は海域の透明度により異なる。昨今は海域の濁りにより極浅海に移行しているのが現状である。国内ではアマモ以外にもコアマモ、タチアマモなど15種類（アマモ類）があり、比較的静穏な海域の全国各沿岸に分布している。繁殖方法は図-1<sup>1)</sup>に示すように、株による成長、分枝（栄養株）と種（生殖株）による2通りがある。

アマモ場は、前述のように極浅海域で静穏な海域に生息しているため、沿岸開発の対象場所でもあった。そして、これまでのアマモ場に対する印象は、海水浴では足に絡まり気持ちが悪いとか、船のスクリューに絡まり、採貝などの漁業操業の邪魔に扱われてきた傾向がある。全国のアマモ場の現状調査結果<sup>2)</sup>によると、1991年のアマモ場の面積は31,590haであり、1978年以降に1,274haが消滅（13年間に4%）していた。特に、瀬戸内海のアマモ場は7割が消滅している。その主な原因は埋立等による直接的な改変が29%とトップである。

昨今、特にアマモ場が重要視されてきたのは、アマモ場の機能<sup>3)</sup>が再認識されているからである。例えば、栽

培漁業によってカレイやクルマエビなどの稚仔魚の放流が盛んであるが、これらの①魚介類の生息・保育・産卵場として重要な場であること。また、②光合成による炭酸ガスや、成長による有機物の固定などにより、海域浄化に貢献していること。さらに、③群落が波や流れを減衰させるため底質安定（養浜）効果などにも注目されている。このような背景のもと、アマモ場に対しては、環境庁は瀬戸内海の埋立は代替地を考慮することを通達（1994年）している。また、開発事業官庁でもミティ

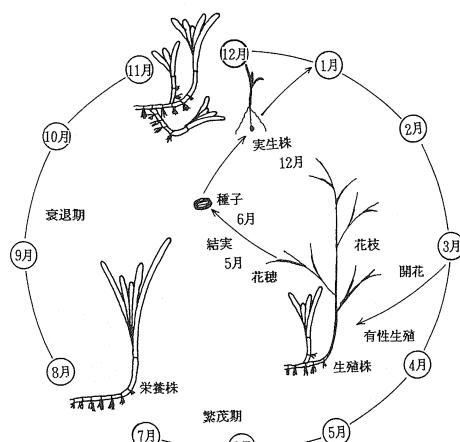


図-1 アマモの生活史・繁殖方法<sup>1)</sup>

\*第一技術部 \*\*中国支店 \*\*\*機械部 \*\*\*\*技術研究所

ゲーション（自然環境への補償）概念の導入に、干潟や藻場と同様にアマモ場を重要な沿岸自然環境の場として位置付けており、アマモ場の造成技術が望まれている。

## 2. 現状の造成・移植技術と本開発の目的

アマモ場の造成技術は、図-2に示すような生息環境の造成、移植、繁殖、調査評価技術に整理される。新たにアマモ場を再生、創造するには適地の選定<sup>4)</sup>や生息場の環境造成の技術が必要である。例えば、波浪・潮流などの流況条件、基質としての底質、水質あるいは光条件（地盤高）についての選定や制御が必要である。そのうえで、条件を満たした場所にアマモの種を播種するか、育成した苗<sup>5)</sup>や、株（栄養株）を移植によって造成することが図られている。

今回の開発で対象とする前提条件は、埋立等によって現存のアマモ場を消滅せざるえない場合に、そのアマモ場を別の場所に復元する場合の移植技術である。これまでに実施されてきた移植方法は、地下茎を付けた株を地中に固定させる方法（粘土結着・ポット・ピン・竹串法など）、無固定（むしろ・プラグ・芝植え法）が行われている。過去にガット船で採取した株をむしろ法で移植した事例<sup>6)</sup>以外は、単株単位での小規模な移植方法であり、大規模（1ha程度以上）な移植事例はなく、また、成功が難しいのが現状である。

そこで、これまでの単株単位での移植方法とは発想を変えて、機械施工により、繁茂しているアマモ群落を生息地盤と一緒にそのままの状態で採取し、移設する移植方法によって、以下のメリットが生かせないかと発想した。  
①採取・設置時にアマモ葉体や地下茎に切断

や損傷などを与えないため活力低下が少ない。  
②アマモ葉体の内部には多数の気泡管があるため浮力が極めて大きい。一方、地下茎が複雑に繁茂している状態はアマモを地盤に固着させるのに重要であるから、物理環境的にも地下茎を存続させることは、移植直後の耐流性の向上に優位であろう。  
③生息地盤ごと採取することは基質（底質）を変えないので移植後の成育にも良好であろうし、④移植と同時に底質改良ができる、もし、採泥厚さを制御すれば、水深が深い所に移植する場合は、盛り土によって浅くなり、成育環境の場の造成も兼ねることができる。アマモ株の採取、海底への植え付け、あるいは地下茎の固定材の取付けには、人力に依存（潜水作業）していたのでこれらの技術と比較して、⑤施工能力（短期間に大規模の移植が可能）の向上が期待できる。  
⑥当然、機械費用がかかるが、移植規模によってはコストの低減が期待できる。その他、⑦アマモ場の生態系として見た場合に、アマモ以外のベントス（底生生物：ゴカイなどの多毛類、カニなどの甲殻類、貝類）も底泥と一緒に移植するため、よりやさしい工法であろう。  
⑧自然のアマモ群落では図-1に示したように栄養株と生殖株、あるいは実生株が混在している。このことは、彼らにとっては環境変化に応じた生存・繁殖戦略として選択性をもっているように想像できる。しかし、これまでの栄養株のみの移植や種だけの播種は、不自然な群落構成からの立ち上げとなる。一方、自然の群落をそのまま移植する方法では、混在しているため移植先の環境変化にも強いであろう。

## 3. 予備試験・調査

機械施工の開発のうえで配慮、要求すべき事項について、また、機械採取方法の基本的な手法について検討するため、瀬戸内海のアマモ場にて予備試験・調査検討を実施した。

### 3. 1 アマモへの損傷などの影響試験

機械施工では、採取段階ではアマモ葉体や地下茎に切断等のダメージを与えることが懸念される。また、一般に地下茎の深さは10~30cm程度であるが、地盤の採取深さはどの程度が必要であるのか。さらに、運搬段階では乾燥によるダメージが、また、設置段階では成長点（地下茎と葉の付け根にある）を土中に埋め込んだり、極端に水中に露出したりすることによる影響が懸念される。但し、乾燥については、散水やシートなどで覆っておくなどの対策ができるので検討の対象外とした。

これまでの室内実験の知見<sup>7)</sup>によると、成長に影響のない範囲は、葉体部の切断については葉体全長の30

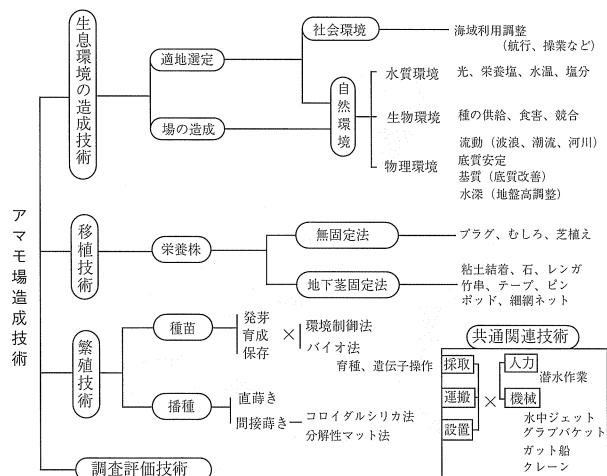


図-2 アマモ場の造成技術

%まで、乾燥は湿重量の50%以内、埋没は葉体全長の20%以内に止めておく、あるいは成長点は完全に覆わざ5mm程度は出す、などが指摘されている。しかし、ほんのある条件下での報告であるため、生息場所、時期、個体差などを考えると、普遍性に不安を感じる。そこで、移植1カ月後に枯れるとか消失するなどの明らかにダメージを受ける影響程度を確認するため、自然生息場においての現地実験をした。移植は、大潮の最干時にスコップで30cm×30cm四方の規模の株を採取した。図-3に示すように、①採取土層の厚さの影響確認として、10cm掘削型、20cm掘削型の2タイプを、②葉体部切断の影響確認として、自然型(完全状態)、50%カット型、100%カット(地下茎のみ)の3タイプを、③成長点の埋込み深さの影響確認として、自然型、埋込み型(10cm覆土)、盛置型(15cm)の3タイプを、実施した。

試験の結果を表-1に示す。なお、実験期間が夏期の衰退期(図-1参照)であるため、結果の判断は、減少傾向を加味すると、①土砂の採取深度は20cm以上あれば十分である。②葉体の切断は、50%で影響があることから、既存の知見のように30%以上は影響がありそうである。よって、できる限り破損の無いように採取する。③設置時には、現地盤に盛置きしてもよいが、成長点が埋まらないようにすることが示唆された。

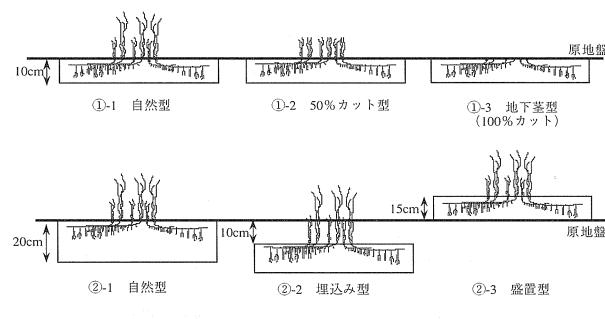


図-3 移植影響実験ケース

表-1 移植実験結果

		初期状況 ('96.7.30)	1カ月後 ('96.8.29)	評価判定結果
対象地点(自然アマモ)		16株、葉長120cm	12株、葉長60-70cm	○(基準)
葉の破損の影響	0%カット ①-1	10株程度、葉長120cm程度	10株、葉長60-70cm	○
	50%カット ①-2		3株、切斷状態のままで存在している	△
	100%カット ①-3		0株、地下茎もなし	×
移設の深さの影響	現地盤(0cm) ②-1	10株程度、葉長120cm程度	10株、葉長60-70cm	○
	埋込み(-10cm) ②-2		3株、葉長60-70cm	△
	盛り置き(+15cm) ②-3		7株、葉長60-70cm	○
掘削の深度の影響	-10cm程度 ①-1		10株、葉長60-70cm	○
	-20cm程度 ②-2			○

### 3. 2 地盤への固着力の検討

アマモ地下茎による地盤への固着力(耐流性)について、自然のアマモ場群落の状態と、移植方法による比較を検討した。固着力の評価は、アマモ葉体の付け根を紐で結び、地下茎ごと引抜けるか、あるいは、地下茎の途中が千切れる力を張力計にて測定(引抜耐性力)を測定した。実施方法は、7月の大潮最干時に、自然アマモ場3箇所、移植方法3通りにて実施した。その他、底質の粒度分析、地盤力(コーン試験器)についても関連を調べた。

結果を表-2に示す。自然群落での固着力は、測定最大2.5kgf、平均0.4~1.2kgfと成育場所によってばらついている。その要因は、底質粒度や地盤強度との関係は明確でなく、成育状況(葉体の長さ・幅や地下茎の長さ・太さ)が良い程、固着力が強いようである。次に、群落の内部の株(平均0.2kgf)と周辺部の株(平均0.5kgf)を比較すると周辺部が強い。また、単体株についての岸側(平均0.7kgf)と沖側(平均1.4kgf)を比較すると、沖側が強いことから、波浪などの流动場に応じた固着力で存在していると推察される。

移植方法の比較では、そのまま株を原地盤に植え付ける敷設方法(約0kgf)や、粘土にて固定する方法(平約0.05kgf、粘土の比重、重量にもよるが、今回は50gfを用いた)に比較して、底泥を乱さずに移植する方法(約0.5~1.0kgf)は、移植直後の固着力が優っている。但し、1年前に粘土結着で移植した場所を測定した結果、周囲の自生アマモと同等の固着力であったことか

表-2 固着力調査結果

	踏査観察	実測定	結果	備考
自然のアマモ場	群落株	個体差があるが約1~2kg程度で抜ける	平均値では、群落と単独を比較すると、単独が強い	波浪や流況環境との関係が推察される。
	単独株	個体差の範囲に含まれるようでは明確ではない	平均値では、群落の中と周辺部を比較すると、周辺部が強い	地盤力(kg/m <sup>2</sup> )との関係はない。
	群落の中の株と外側の株での差	個体差の範囲に含まれるようでは明確ではない	D地区>N地区>O地区	D地区とO地区では生育状態が異なる。D地区は葉や地下茎が長くて太い傾向。
底質による差	底質による差	個体差の範囲に含まれるようでは明確ではない	地盤力(kg/m <sup>2</sup> )との関係はないが、場所による差異はある。何が要因か?	
	引き抜き方向による差	水平方向の方が真上方向に引くより強い傾向	水平>斜め=真上 平均値での傾向は1.1kg>0.7kg	水平方向の方が真上方向に引くより強い傾向である。
移植方法	敷設(単株)	緩い状態	約0gf	単株を埋込む
	粘土結着	粘土の重さ程度	約50gf程度	粘土を付けて埋込む
	泥付(複株)	自然状態に近い状態である	約0.5~1kgf程度	直径30cm程度の範囲を乱さず移植した
移植経過後の観察	粘土結着について調べてみると	・1年以内のものは、自然アマモと遜色ない。粘土は残留していないものと、痕跡があるものと、明確に残留しているものがある。D地区に埋めた粘土は約1カ月後には溶けかかっていた。 ・1年以上のものは、バッチ状に分布している。 ・移植先の環境条件による差は、U地区のように底質が安定していない所では、地下茎ごと流出している状況を確認した。		

ら、移植後の地下茎の成長によって固着力は回復する。つまり、本開発工法はあくまでも移植直後の初期の耐流性効果が最大のメリットであり、そのためには如何に地盤を乱さずに底泥を採取、運搬、設置できるかが重要である。

### 3. 3 機械採取方法の基本検討

採取の方法を開発検討するため陸上で基礎試験を実施した。採取の案として、①すくい取り方式：バックホウで直接地盤をすくい取る方法、②振動方式：採取枠にバイプロハンマーを取り付け、振動によって上部から地盤を切り取り、油圧ジャッキにて側面から底板を貫入させて蓋をする方法(図-4(A)参照)、③押込み引抜方式：前面が開いたバケットを予め掘削しておいた地盤のり面から油圧ジャッキにて押し込むことにより、地盤を切り取り、引抜くことによって採取する方法(図-4(B)参照)について比較検討した。

その結果、地盤を乱さずに原地盤から採取土を切り取るには、振動方式と、押込み引抜方式が有効であったが、切取った地盤を取り上げるには、施工性を考慮すると、押込み引抜方式が良いと判断した。さらに、実際には、水中から海上へ取り上げる時に、バケット内の排水によって、地盤表面が洗い流されることによる搅乱が心配される。そこで、バケットの側板には水抜きの穴を多数設ける改良を施した。また、バケット全体の移動操作は、バックホウに外バケットを取り付けることによって作業性を高めた。

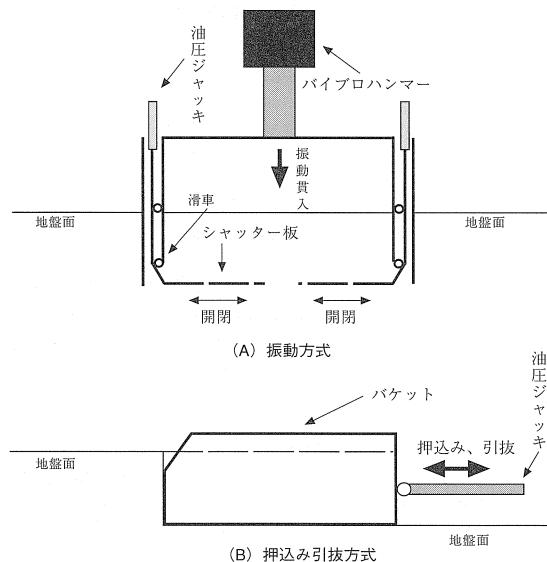


図-4 採取方式案

次に、実海域において、過去に実施された事例のグラブバケットにより採取した後にむしろ上に広げて移植する方法(むしろ法)と、改良した新工法(写真-1参照)との比較実験を実施した。

その結果、固着力の測定結果を図-5に示す。これより、新工法では、グラブバケットで採取しクレーンにて設置したむしろ法に比べて、海底に設置後もほぼ自然の状態のまま移植できていることがわかる。その理由

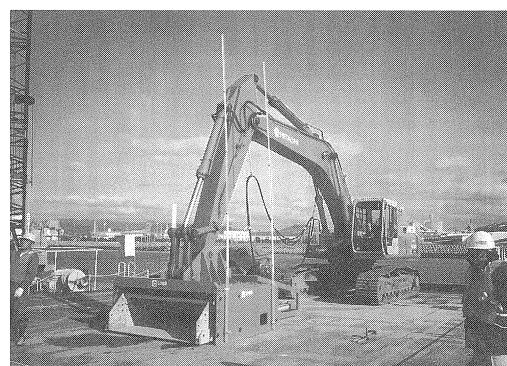


写真-1 新採取工法(特殊バケット)

引抜耐性強度の試験結果

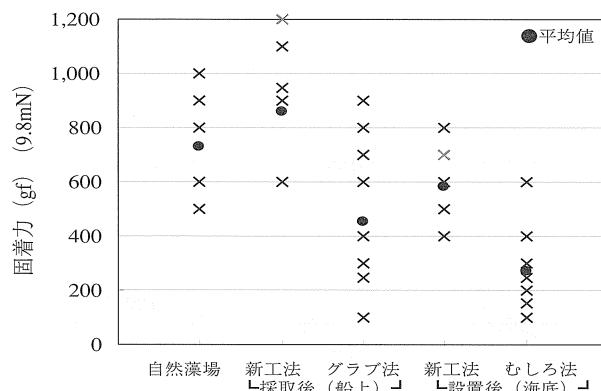


図-5 採取方法によるアマモ株の固着力

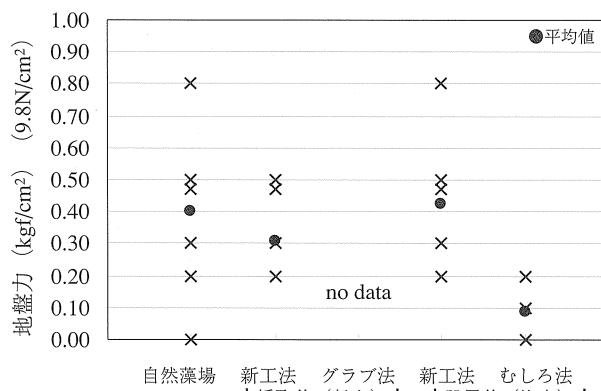


図-6 採取方法による地盤力

として、図-6に示すように地盤力が低減しておらず、底泥地盤を乱さずに採取できていることがわかる。

#### 4. 実施工による施工結果

これまでの基礎的な検討を踏まえて、実工事規模での一連の施工実験を実施し、実用性の検討を行った。実施時期は、アマモが減衰期を越し活力が増加する3月に実施した。使用船舶機械を表-3に示す。また、機械施工のフローを図-7に示す。

採取バケットの規模は、バックホウに取り付けが可能で、作業性の良い規模として奥行き1.5m×幅2.0mの3m<sup>2</sup>で高さ1.0mとした。また、内バケットの個数は一回に台船上に配置できる30ユニット(全90m<sup>2</sup>)を制作した。また、海中部でのバケットの水平レベルが海上からもわかるように、2本の長尺を外バケットに取り付けた(写真-1参照)。また、移動中のアマモ葉体の乾燥を防止するため、濡れた新聞紙で直接アマモ表面を被った後、ビニールシートでバケット全体を被い、適時散水をした。なお、今回は採取から1日後に海底に設置した。海底への設置据え付けは、バケット間の隙間が空かないようするため、図-8に示すような専用の導材アングルをクレーンで海底に設置しておき、5個のバ

表-3 使用船舶機械

船舶機械名	規格	数量	記事
台船	1,000 t	1隻	45m×15m×2.3m
バックホウ	1.2 m <sup>3</sup>	1台	1,000t台船に搭載
採取バケット	3.0 m <sup>3</sup> (2×1.5×1m)	1式	内バケット30組
クレーン台船	45 t	1隻	
引船	300 PS、250 PS	各1隻	
交通船	100 PS	1隻	
警戒船	45 PS	1隻	

ケットを整列配列した後、クレーンでバケット底盤部を抜き取り、その後、側枠を回収する方法を実施した。

施工性の結果は、1バケット(3m<sup>2</sup>)の1サイクル当たり、採取工程で平均14分(11~20分)、設置工程で平均34分(29~39分)であった。

その他の設置方法として、採取と同様にバックホウで実施した場合は、平均13分程度であった。また、予め側枠を外しておき、クレーンで底板を海底で斜めに抜き取ることにより底泥を滑らせて設置する方法では、約10分程度の施工時間であった。今回の土質(シルト分以下が20~50%程度)は、地盤が比較的堅く締まって、土砂のり面が崩壊しないで自立していたため、いずれの方法でも良好に設置が可能であった。

施工コストについては実施場所によって異なるが、ある想定で単位面積単価を試算した結果、単株単位で人力によって移植する方法より2割高であった。しかし、採取、運搬、設置を船舶機械を増やして同時に施工すると、低減化(2割減)が可能であり、単位株数当たりの単価では生息密度が高い場合はより低減が可能である。

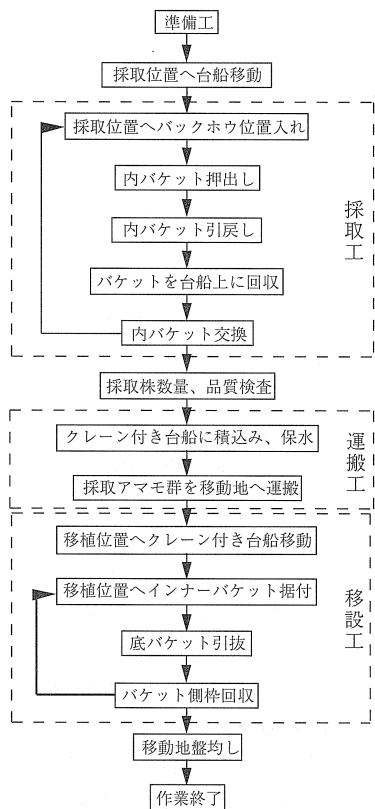


図-7 機械施工フロー

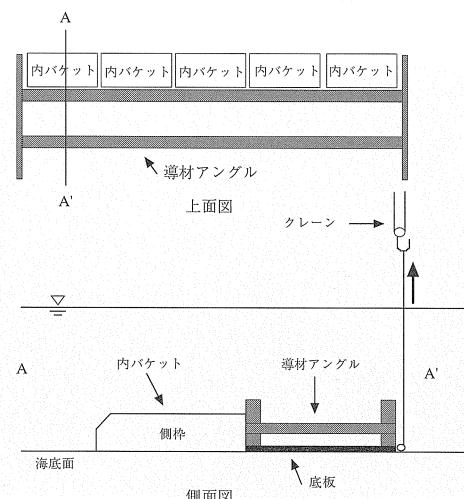


図-8 海底設置方法

## 5. 事後調査と検討

採取された状況を観察すると、発芽した小さな実生株（葉長20cm以下）も混在しているのが確認された。また、底泥中のベントスなどを観察すると、多数のアナジャコ（アマモ株よりも数倍多い生息穴）、ゴカイ・エビ・ヤドカリ・ナマコ・カニ類や、ハゼ類、ハオコゼ、アミメハギ等の生物が生きた状態で採取され（写真-2参照）、設置後の状況ビデオ等からも表面のベントスの生息孔が確認できることから、本工法はアマモ場の他の生物たちにもやさしい工法である。

移植直後（写真-3参照）と、1カ月後の潜水観察によれば、移植株は原地盤との段差がある周辺部（約5%程度）以外は順調に生育しており、初期の段階として、本工法の成果が確認された。しかし、少なくとも1年以上の期間で評価は必要であり、また、移植場所についての成育環境についても十分に検討する必要があり、今後も継続して生育状況と、生息環境をモニタリングする計画である。



写真-2 採取生物（アナジャコ、カニ類）



写真-3 海底設置状況

## 6. まとめ

アマモ群落を底泥とともに採取し、所定の場所に運搬移動させ、設置する一連の移植方法を開発した。実施した予備調査、試験施工の主な結果は以下である。

- 採取方法は、バックホウに特殊なバケット（地盤切取り、収納機能を設けた装置）を取り付けることによって底泥ごと株を採取する。運搬方法はユニット化した内バケットを台船に乗せて所定の場所に移動する。海底設置は、内バケットを専用のアングルに配置し、バケット底板を抜き取った後、バケット側枠を回収する方法などによって実施する。
- 開発した機械施工によってアマモ葉体や地下茎にダメージを与えることなく移植することができ、特に、初期の固着力が図られる。移植1カ月後のアマモの生息状況は良好であった。また、移植規模が大きければ、船団を複数化することにより施工能力の向上やコストの低減が図られる。
- 移植先のアマモ生息基質（底質改良）や地盤高制御としても有効な造成工法と考えられる。また、ベントスも底泥とともに移植されるため、アマモ場の他の生物にもやさしい工法である。
- 今後も継続して、生育状況と生息環境のモニタリングによる評価が必要である。

## 参考文献

- 1) 広島市経済局農林水産部・(財)広島市水産振興協会：栽培漁業開発試験報告書、pp.2、1989
- 2) 環境庁自然保護局自然環境調査室：第4回自然環境保全基礎調査海域生物環境調査の調査結果（速報）について、1992.9
- 3) 相沢啓子：藻場生態系－アマモ場を中心に－、遺伝、50巻7号、pp.24-29、1996
- 4) 中瀬浩太・田中裕一・桧山博昭：アマモ場造成工法の開発（その3）海浜流シミュレーションによるアマモ場成立条件の検討、五洋建設技術研究所年報、Vol.22、pp.159-164、1992
- 5) 中瀬浩太・桧山博昭・田中裕一：アマモ場造成工法の開発（その2）アマモ育成および海底設置実験、五洋建設技術研究所年報、Vol.22、pp.153-158、1992
- 6) 高場稔・米田秀夫：広島県におけるアマモ移植の現状について、南西海区ブロック会議藻類研究会誌、第5号、南西海区水産研究所、pp.3-7、1985
- 7) 寺脇利信・飯塚貞二：電源立地の藻場造成技術の開発、第2報、アマモの生育に及ぼす移植条件の影響、電力中央研究所報告、pp.1-26、1985