

軟弱底質固化体のアマモ着生基質としての利用と造成アマモ場維持手法

森口朗彦*・高木儀昌*・山野井英夫**

Utilization of Caked Soft Bottom Sediment as a Substrate for Eel Grass Adhesion and Maintenance Method for Constructed Seagrass Beds.

Akihiko MORIGUCHI*, Norimasa TAKAGI*, and Hideo YAMANOI**

Abstract: Water quality is continuously deteriorating in closed sea regions used as an aquaculture ground. As a remedial measure, dredging muddy materials (soft bottom sediment) abundant with pollutants and nutrients deposited on the sea bottom and their removal out of the system are effective. However, dumping them in the outer sea would be impossible from the viewpoints of regulation as well as environmental conservation. Hence, the authors caked the soft bottom sediment with a caking agent and planted eel grass seeds to devise a recycling technique whereby the seeds germinated in the caked structure and the grass extended out of the structure to grow to an eel grass population. In other words, the technique allowed the caked soft bottom sediment to be recycled as a substrate for eel grass adhesion. A validation test toward practical use in a real sea region demonstrated that the caked structure could be utilized as a substrate for eel grass adhesion. The authors also found the properties of soft bottom sediment applicable to caking, suitable sea conditions, appropriate mixing ratios of the caking agent, and the proper depth for burying the seeds. They also touched on maintenance methods to be practiced until constructed eel grass beds are stabilized.

Key words: bioluminescence, myctophid, electrical stimulation

はじめに

本研究の目的には2つの側面がある。

その1つは養殖場等に利用される閉鎖性水域の水質改善を目的とした底泥浚渫事業を円滑に実施するための支援技術の開発である。養殖魚への給餌残滓や養殖筏に付着した生物の落下・沈降等により養殖場海域の海底には有機物や栄養塩に富むヘドロ状の底泥（軟弱底質）が堆積し、ここからの汚濁物質の溶出や再懸濁が水質悪化の主要因のひとつとなっている。水質改善策としてこの軟弱底質の浚渫がもっとも効果的であり頻繁に実施されているが、浚渫された底質の処分方法が問題となっている。過去に行われてきたような外洋

投棄は、法律上も環境保全の観点からも不可能である。底質を脱水、乾燥して陸上処分する方法が行われているが、大きな処理施設と費用を要している。系内で発生した環境負荷は系内で処理・処分することが住民同意を得られやすいことから、浚渫底質を固化処理し、浚渫海域に再設置する方法が考えられている。この軟弱底質固化体の再汚濁防止機能（大槇ら、2002）や漁港施設としての再利用の可能性（坪田ら、2006）が検討されている。本研究では固化体の硬さを調整し、アマモ着生基質として利用について検討した。固化体内部にアマモ種子を播種し、出芽した草体は上部へ生長し、地下茎のひげ根部分は内部あるいは下方へ生長し、全体として軟弱底質固化体がアマモの着生基質となることを目指し、浚渫底泥の再利用技術について実用化の

検討を行った。

もう一つはアマモ場再生のための造成技術の開発である。天然アマモ場が衰退する原因のひとつに、波浪等による底質の不安定化があるが、このような海域で長期間維持されているアマモ場は地下茎をシート状に張り巡らせることで、自ら底質を安定させている（森口ら，1999）。裸地状の海底でこの状況を再現するためには、海底面に種子を定位させるとともに、地下茎が十分伸長するまで出芽・生長したアマモ草体を海底面に保持する必要がある。著者らは金属網を主要部材としたマット上の構造物を用い、その空隙により海底面付近の流動を低減させるとともにその空隙内に底質を保持するという物理的機構で底質の安定化を図る「鋼製マット」を考案し、実用化を進めた（森口ら，2005）。一方、今回報告する軟弱底質固化体のアマモ着生基質としての利用は、固化剤の化学反応で底質粒子の結合度合いを高める化学的な底質安定工法であると言える。このほかにもアマモ場造成のための底質安定工法は提案されているが（たとえば植木ら，1996，團ら，1998b，棚田ら，2005），海域の波浪等の物理的諸条件や海域利用方法などの社会的条件により適した工法が選択されることから、その選択肢は広範であることが望ましく、その一つを提案するものである。

また当該海域においてアイゴ等の草食魚がアマモを餌料としていることから（寺脇ら，2002），食害防止対策を施した結果について、併せて言及する。

方 法

1 検討概要

検討には、出芽および初期生長の状況を詳細に観察するための水槽内培養試験および機能と効果を実証するための実海域実証試験を併用した。

水槽内培養試験は、岡山県水産試験場に設置されている屋内水槽および山口県周防大島町（旧東和町）逗子漁港岸壁に設置した屋外水槽で実施した。双方とも、水深30cm程度の小型水槽で、汲み上げた外海水を端部より流入させて反対部より排出する、いわゆるかけ流し水槽である。

実海域実証試験は、岡山県水産試験場地先（以降、「試験場地先」）、岡山県備前市日生米子湾内（同、「米子湾内」）山口県周防大島町（旧東和町）逗子ヶ浜地先（同、「逗子ヶ浜地先」）とした（Fig. 1）。試験場地先は南向きに開いた海岸で、比較的透明度は高いが、離岸堤背後域となっているため静穏度が高く、単年生および多年生のアマモが植生する。平均水深は2m程度である。米子湾内は陸域に囲まれた閉鎖性の強い海



Fig. 1 試験等実施地点一覧

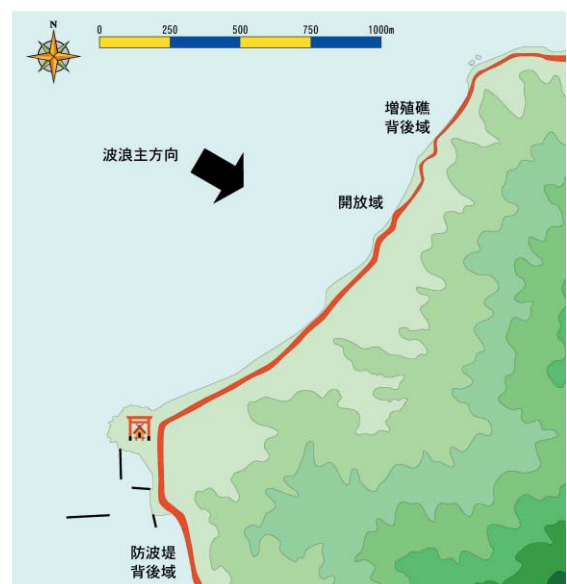


Fig. 2 逗子ヶ浜試験地点

域で、海水は常に濁りを帯びており透明度は低い。平均水深は2m程度であるが潮位差が約2mと大きい。単年生アマモが過去には濃密な群落を形成していたが、現在では衰退が著しい。逗子ヶ浜地先は北向きに開いた比較的波浪条件の厳しい海域であり（森口ら，1999），海水の透明度は非常に高い。当海域では3つの試験地点を設けた。波浪の主方向に対面し、過去に濃密な多年生アマモ場が形成されていたが現在は消失している海域（以降、「開放域」）、開放域の近隣に設置された増殖礁背後にコアアマモ場が形成・維持され続けている海域（同、「増殖礁背後域」）、漁港防波堤背後で静穏度が高く、多年生アマモとコアアマモが混成する海域（同、「防波堤背後域」）である（Fig. 2）。3地点とも平均水深4～6mである。

Table. 1 検討項目と実施年度

検討項目 \ 実施年度	2002	2003	2004	2005
適切な固化剤の配合率				
固化剤の種類と特性				
複数種固化剤の混合の効果				
使用可能な底質の性状				
初期静置培養の必要性および期間				
固化体単体の大きさ				
栄養株伸長の可否				
種子の適切な埋設深さ				
比較的開放域での波浪条件				
閉鎖性の強い内湾域での適正				
群設置による規模の影響				
食害防止対策				

2 実施期間と検討項目

一般的なアマモの生活史は(川崎ら, 1988), 有性生殖過程においては3~6月に花枝(生殖株)を形成して種子を持ち, 花枝が枯死することで種子が海域に放出される。6~12月は種子の状態です眠し, 1~2月に萌芽し生長を始める。単年性アマモは有性生殖過程のみで繁殖するが, 多年生アマモは無性生殖過程も併せている。無性生殖過程においては2~6月に草体が伸長し, 7~9月に衰退するが, 栄養株と呼ばれる地下茎が残り, 10~2月に伸長・分枝し, 分枝した栄養株から草体が伸長することで生息域を拡大する。従って試験実施行程も12月に固化体を製作して水槽内または実海域に設置, 約1年をかけて経過観察調査を行い, その結果を反映させ翌年の試験を行うようになる。本報では2002年度から2006年度にわたり実施してきた検討結果について述べるが, 結果の標記は固化体を製作・設置した年度で示す。

現時点までの検討項目としては,

- 適切な固化剤の配合率
- 固化剤の種類と特性
- 複数種固化剤の混合の効果
- 使用可能な底質の性状
- 初期静置培養の必要性および期間
- 固化体単体の大きさ
- 栄養株伸長の可否
- 種子の適切な埋設深さ
- 比較的開放域での波浪条件
- 閉鎖性の強い内湾域での適正
- 群設置による規模の影響
- 食害防止対策

が揚げられる。年度毎に複数の項目について検討した(Table. 1)。

Table. 2 供試底質組成

区分	単位	日生	黒島泥	黒島砂	東和
含水比	%	177.9	48.2	41.9	40.0
強熱減量	%	10.68	2.65	2.05	1.67
土粒子密度	g/cm ³	2.51	2.51	2.88	2.68
中央粒径	mm	0.005	0.140	0.195	0.375
シルト分	%	53.8	16.9	13.1	2.9
TC	mg/g.dry	8.89	3.64	3.24	2.00
TN	mg/g.dry	22.02	5.45	4.08	2.84
TP	mg/g.dry	0.45	0.23	0.22	0.19
N/P比		48.5	23.7	18.8	15.2
N/C比		2.48	1.50	1.26	1.42
P/C比		0.051	0.063	0.067	0.093

3 供試底質

試験には, 4種類の性状および由来の異なる底質を用いた。採取地点別に, 米子湾内の実証試験を実施した海域の底質(以降, 「日生底質」), 試験場地先のやや沖側の島影域に形成された多年性アマモ場内で泥分が多く含まれる箇所の底質(同, 「黒島泥底質」), 同地点であるが砂分が多い底質(同, 「黒島砂底質」), 逗子ヶ浜地先海域で離れ島状に残存するアマモ場内の底質(同, 「東和底質」)である。標記順に含水比, 泥分含有率, 有機物含有量ともに多く, 軟弱性あるいは泥性が高くなっていた(Table. 2)(森口ら, 2004c)。

4 使用固化剤と固化体作成方法

固化剤には普通ポルトランドセメント(以降, 「セメント系固化剤」)および軽焼マグネシアを主成分とした固化剤(同, 「マグネシウム系固化剤」)(藤森ら, 2000)を用いた。

供試軟弱底質は採取あるいは試験現場へ移送後, 一昼夜以上静置し, 上澄み海水を取り除いた。この湿重量を計測し, 固化剤を配合, 十分混合し, 型枠に打設・形成した。水中への移設は一昼夜静置した後とし

た。

播種するアマモ種子は、岡山県産の多年性種子を用いた。

型枠は、 一体設置鋼製小型型枠、 一体設置鋼製大型型枠、 脱型設置木製小型型枠、 杭固定円筒形容器の4種類を用いた。

一体設置鋼製小型型枠および 一体設置鋼製大型型枠は同構造で、側壁部を鋼板、底面部を鋼網（エキスパンドメタル）とした（Fig. 3）。製作手順としては、固化剤を混和した底質を型枠内に直接打設して表面を成型（Photo. 1）、アマモ種子を上部より所定の深さに孔あるいは溝を設け投入、再度表面を成型する

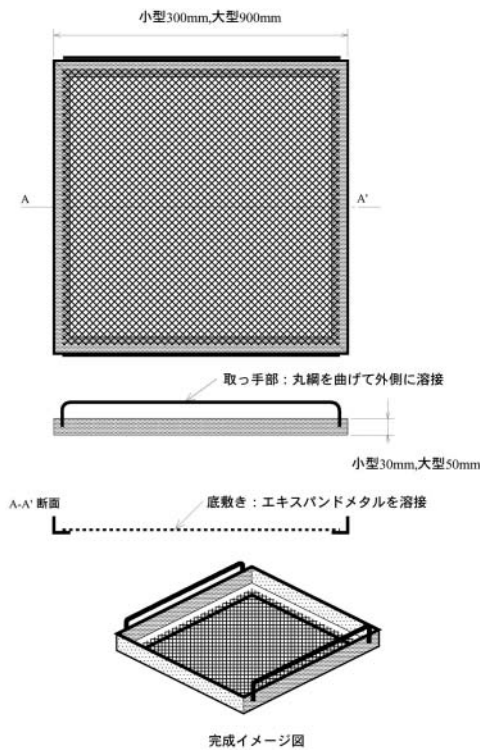


Fig. 3 一体設置型鋼製小型および大型型枠概観



Photo. 1 一体設置型鋼製型枠固化体打設・成型

ことで播種を行った（Photo. 2）。設置は型枠ごと水槽あるいは海底面に定位した（Photo. 3）。この型枠は移設作業、海中での設置位置の確認、底面からの地下茎の生長の観察が容易である等の特徴を持つ。

脱型設置木製小型型枠は、耐水ベニヤ製で、矩形側壁部および蓋部で構成される（Fig. 4）。製作手順としては、蓋部を下にして型枠内に底面の約2倍の面



Photo. 2 一体設置型鋼製型枠固化体アマモ種子播種



Photo. 3 一体設置型鋼製型枠固化体設置

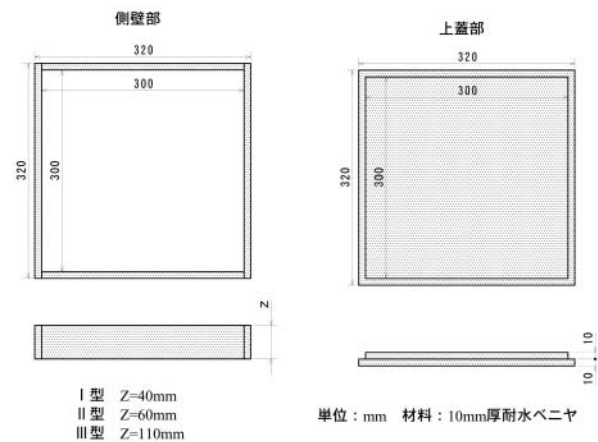


Fig. 4 脱型設置型木製小型型枠概観



Photo. 4 脱型設置型木製小型型枠アマモ種子播種



Photo. 5 脱型設置型木製小型型枠打設・成型

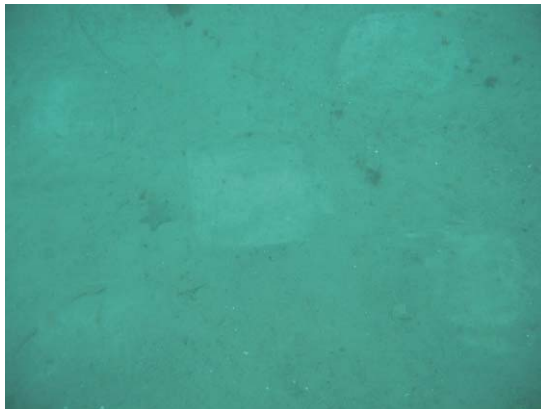


Photo. 6 脱型設置型木製小型型枠設置

積のガーゼをかぶせ、アマモ種子埋設深さ分の厚さ分だけ底質を打設し、その上にアマモ種子を散布した (Photo.4) 後、型枠全体に底質を打設・成型し、ガーゼ布で包み込むように最終成型した (Photo. 5)。設置は、型枠のまま海中に移送し上下を転置して海底面に置き、蓋部・側壁部を持ち上げるように脱型し、固化体のみを海底に定位した (Photo. 6)。この型枠は、環境負荷が小さいこと、アマモの栄養株の固化対外へ



Photo. 7 杭固定式円筒形容器

の伸長を妨げないこと等の特徴を持つ。

杭固定円筒形容器は、直径250mm、高さ250mmの市販ステンレス製容器で、海底に垂直に立てた杭に固定し、固化体を任意の水深に設置する (Photo. 7)。播種方法は、Photo. 4と同じであるが、播種面積が小さいので、播種数は小型型枠の約1/2である。透明度の低い内湾域において、固化体を有光層までかさ上げ設置した際の有効性を検証する目的で使用した。

5 年度毎の試験内容

5.1 2002年度試験

2002年度は岡山県水産試験場屋内水槽および試験場地先、並びに逗子漁港屋外水槽および逗子ヶ浜地先において試験を実施した。

前者においては出芽から初期生長時を屋内水槽で培養し、その後試験場地先に移設した。型枠は一体設置鋼製小型型枠を用い、底質には日生、黒島泥、黒島砂を用いた。固化剤および配合率は、日生底質に対しセメント系2%、マグネシウム系3%、5%、10%、黒島泥底質に対しセメント系2%、マグネシウム系3%、黒島砂底質に対しマグネシウム系3%、5%とした。2002年12月18日に製作、19日に水槽に設置し、5月15日に海域に移設した。

後者では、大部分を逗子ヶ浜地先開放域に設置したが、一部については出芽から初期生長時を屋外水槽で培養し逗子ヶ浜地先開放域に移設した。型枠は一体設置鋼製小型型枠を用い、底質には日生、黒島泥、黒島砂、東和を用いた。固化剤および配合率は、水槽培養分について日生底質に対しセメント系2%、マグネシウム系5%、黒島泥底質に対しセメント系2%、黒島砂底質に対しセメント系2%、マグネシウム系20%、東和底質に対しセメント系2%、海域設置分について日生、黒島砂および東和底質に対してセメント系2%、2.5%、3%、マグネシウム系5%、10%、20%、黒

島泥底質に対しセメント系2%, 3%, マグネシウム系5%, 10%, 20%とした。2002年12月3日に製作, 4日に設置と4日に製作5日に設置の2群があるが, 経過観察は区別しては行わなかった。

5.2 2003年度試験

2003年度は岡山県水産試験場屋内水槽および試験場地先, 並びに逗子ヶ浜地先において試験を実施した。

前者においては, 外海水をかけ流しにする通常屋内水槽での培養試験(以降,「通常水槽試験」), 水温を20℃に保った流水式加温水槽での培養試験(同,「加温水槽試験」), およびかけ流し水槽で出芽まで培養し, 初期生長前に海域に移設する試験(以降,「初期静置試験」)を実施した。型枠は一体設置鋼製小型型枠, 底質には日生を用いた。固化剤および配合率は, 各試験に対しセメント系3%, セメント系2%マグネシウム系1%混合, セメント系1%マグネシウム系2%混合, マグネシウム系3%とした。2003年11月9日に製作, 10日に水槽内に設置した。初期静置試験に供した固化体は, 2004年2月24日に試験場地先に移設した。

後者では, 一体設置鋼製大型型枠と小型型枠を併用した。底質は日生を使用し, 固化剤および配合率は大型型枠でマグネシウム系3%を2基, 2%およびセメント系2%マグネシウム系3%混合を各1基, セメント系3%を3基, 2%および5%を各1基製作した。播種は所定の密度となるよう, 全面に施した。小型型枠では底質は日生を使用し, 固化剤および配合率はセメント系3%を2基, 2%を3基, 2.5%を1基, マグネシウム系3%およびセメント系2%マグネシウム系3%混合各1基を製作した。このうち, 小型型枠のセメント系2%, 2.5%, 3%, マグネシウム系3%, セメント系2%マグネシウム系3%各1基は増殖礁背後域に設置, その他は開放域に設置した。2003年11月18日に製作, 19日に設置した。

5.3 2004年度試験

2004年度は, 米子湾内および逗子ヶ浜地先で試験を実施した。

前者では, 杭設置円筒形容器を使用した。底質は日生を使用し, 固化剤および配合率はセメント系2%マグネシウム系1%混合とした。容器底より170mmの厚さに日生底質を充填し, その上層30mmの厚さに固化体を打設した。設置水深は, 海底より1.5m, 1m, 0.5m, 0mの4カ所とし, 各水深に2器ずつ設置した。2004年12月1日に製作, 2日に設置した。

後者においては, 脱型設置小型型枠と一体設置大型型枠を使用した。底質は日生を使用, 固化剤および配

合率はセメント系3%マグネシウム系1.5%混合とした。小型型枠は, 厚さを30mm, 40mm, 50mm, 100mmの4種類とし, 種子の埋設深さを10mm, 20mm, 30mmとした。一部に安定工としてエキスパンドメタル(XS31規格)および直径約20mmの石材を底部に一体設置した。大型型枠では, 上部にエキスパンドメタル(XS42規格)を一体設置し, 中央部300×300mmの区画にのみ播種した。種子埋設深さ10mm厚さ40mmおよび100mmの2器を増殖礁背後域に設置, その他を開放域に設置した。2004年12月6日に製作, 7日に設置した。

5.4 2005年度試験

2005年度は, 米子湾内および逗子ヶ浜地先で試験を実施した。

前者では, 杭設置円筒形容器を改良して使用した。その他の条件は2004年度試験と同じとした。設置数は各水深に1器とした。2005年11月15日に製作, 16日に設置した。

後者では, 脱型設置木製小型型枠を用い, 厚さ30mmの固化体を80個製作・設置した。底質は日生を使用し, 固化剤および配合率はセメント系2%マグネシウム系1%混合とした。防波堤背後域に全数を設置したが, 地下茎の伸長を期待し各個をやや離れた市松状に配列し, 全体としては外縁が直径5mの円形を呈するよう配置した。2005年12月6日, 7日, 8日に製作し, 翌日7日, 8日, 9日に設置した。製作・設置日の区別はしなかった。その後経過観察を行ったが, 全体を計数するのは困難であることから, 円形を呈した造成区の中央部と汀線を背にして最沖部, 最岸部, 最右部, 最左部に位置する固化体のうちもっとも出芽・生長等の多い固化体を, 順に「中央」, 「外縁沖」, 「外縁岸」, 「外縁右」, 「外縁左」として計数した。また, 食害防止ネットを2006年4月27日の調査を終了後, 造成区の全体を遮蔽するよう設置した。構造は, 太さ1mmの黒色化学繊維ロープで編まれた目合い150mm×50mm程度の網を使用した, 海底面から海表面まで(Photo. 8)を遮断するよう, 試験対象区域の周囲に設置した。

結 果

1 2002年度試験

岡山県水産試験場において実施した試験結果は(Table. 3), 黒島泥底質セメント系2%(Photo. 9), 次に日生底質セメント系2%が出芽数・初期生長量とも多く, 2003年5月15日調査時点で黒島泥底質セメン



Photo. 8 食害防止ネット上部



Photo. 9 岡山水産試験場屋内水槽黒島泥底質セメント系2% (2003/4/17) 出芽・初期生長状況



Photo. 10 岡山水産試験場屋内水槽日生底質セメント系2% (2003/5/15) 型枠底部よりヒゲ根露出

ト系2%では株数42, 最大葉長180mm, 日生底質セメント系2%では株数42, 最大葉長180mmであった。日生底質セメント系2%でヒゲ根状の地下茎が固化体内を伸長し, 裏面に露出している状況が確認された (Photo.10)。海域移設後は日生底質セメント系2%で生長が認められ (Photo.11), 6月17日調査時点で株

Table.3 2002年度試験結果 (岡山)

設置場所	型枠	底質	固化剤	配合率 %	2002/12/18-19	2003/1/28		2003/2/20		2003/3/13		2003/4/17		2003/5/15		2003/6/17		2003/9/11
						株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)	
岡山水産試験場陸上水槽 棧橋 下海域	一体設置 鋼製小型型枠	日生	セメント系	2	12	30	28	80	43	80	40	180	32	120	40	300	全消失	
				3	7	30	5	50	12	50	19	100	6	90				
		5	5	30	5	30	6	50	11	50	13	100	1	60				
		10	2	50	5	50	6	50	6	120	3	120	34	120				
		2	6	50	32	50	46	70	42	160	42	180	1	80				
黒島泥	セメント系	マグネシウム系	3	4	50	9	70	11	70	19	130	11	120	1	80			
			3	2	15	4	30	8	50	12	120	14	100	0				
黒島砂				5	0		0	3	30	4	50	7	60	7	60			
備考																		

印のみ海域移設

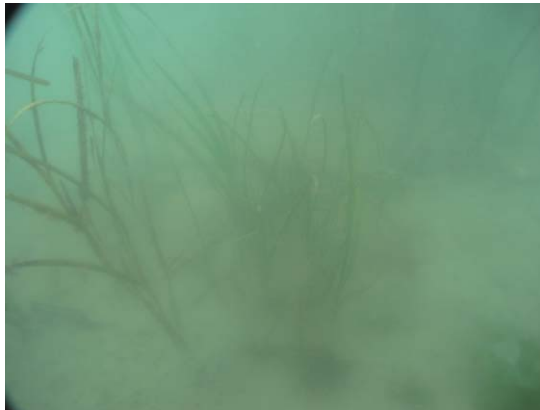


Photo. 11 岡山水産試験場地先日生底質
セメント系2%(2003/6/17)
海域移設後の生長状況



Photo. 12 逗子ヶ浜海域黒島泥底質
セメント系2%(2003/5/20)
出芽・初期生長状況



Photo. 13 逗子ヶ浜海域日生底質
セメント系3%(2003/5/20)
出芽・初期生長状況

数40, 最大葉長300mmとなった。その後, 7~8月に同海域では雑海藻類が大量に繁茂し, 周辺天然アマモ場の衰退とともに試験体アマモも全部消失した。

逗子漁港屋外水槽および逗子ヶ浜地先海域では (Table. 4), 水槽培養分については, 出芽数に関しては黒島泥底質セメント系2%がもっとも多かったが, 初期生長量では黒島砂底質セメント系2%が多く, 2003年5月20日調査時点で黒島泥底質セメント系2%では株数33, 最大葉長100mm, 黒島砂底質セメント系2%では株数23, 最大葉長250mmに出芽・生長していた。海域移設後は黒島泥底質セメント系2%で生長が顕著で, 7月16日調査時点で株数28, 最大葉長200mmとなった。その後, 7~8月に同海域では赤潮が発生し, 周辺天然アマモ場が大きく衰退し, 試験体アマモも衰退したが10月まで残存した。海域設置分については, 出芽数および初期生長に関しては黒島泥底質セメント系2% (Photo. 12) および日生泥3% (Photo. 13) が多く, 2003年5月20日調査時点で黒島泥底質セメント系2%では株数23, 最大葉長280mm, 日生底質セメント系3%では株数24, 最大葉長270mmに出芽・生長していた。一方で, 夏期から秋期にかけての残存状況では, 黒島泥底質マグネシウム系5%, 10%および日生底質マグネシウム系10%が顕著であり, 赤潮発生後も残存した。底質毎の全体的な傾向としては, 日生・黒島泥で出芽数・生長量とも多く, 黒島砂・東和で少なかった。

2 2003年度試験

岡山水産試験場屋内水槽および試験場地先において実施した試験では (Table. 5), 通常水槽試験では, セメント系2%マグネシウム系1%混合が出芽数・初期生長量とも多く, 2004年3月18日調査時点で株数49, 最大葉長150mmであった。加温水槽でもセメント系2%マグネシウム系1%混合が出芽数・生長量とも多く, 3月18日調査時点で株数34, 最大葉長200mmと通常水槽と比較して出芽数では少ないが, 生長量は多かった。5月19日調査時点では, 通常水槽では株数, 葉長ともに衰退したが, 加温水槽では株数は減少するものの葉長は大きくなった。その後全体に衰退し, 岡山水産試験場屋外かけ流し水槽に移設したが, 消失した。初期静置試験に供した固化体は, 通常水槽内での初期培養時における出芽・初期生長の傾向は通常水槽試験と同様で, 2月24日調査時点では双方とも43株の出芽が認められ, セメント系3%では30株, マグネシウム系3%では32株であった。同日, 試験場地先に移設したが, 2003年6月10日には残存数および生長量ともにセメント系2%マグネシウム系1%混合がも

Table. 4 2002年度試験結果(山口)

設置場所	型 枠	底質	固化剤	配合率 %	2002/12/3-5		2003/1/21		2003/2/18		2003/3/11		2003/4/15		2003/5/20		2003/6/19		2003/7/16		2003/9/18		2003/10/26						
					株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)			
逗子漁港陸 上水槽 逗 子ヶ浜地先 (開放域)	一 体 設 置 鋼 製 小 型	日生	セメント系	2	5	18	100	22	140	25	80	150	20	200	14	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
			マグネシウム系	3	30	5	50	11	80	6	80	6	80	20	200	14	250	0	0	0	0	0	0	0	0				
		黒島泥	セメント系	2	14	18	100	34	120	18	120	33	100	33	100	28	200	8	120	2	8	8	120	2	50	50			
			マグネシウム系	2	15	21	100	22	120	25	150	23	250	23	250	12	240	2	70	1	2	2	70	1	50	50			
		黒島砂	セメント系	2	1	30	2	50	2	20	2	80	80	80	80	2	20	2	20	2	20	2	20	2	20	2	20		
			マグネシウム系	2	2	10	2	50	4	40	7	80	80	80	80	2	20	2	20	2	20	2	20	2	20	2	20		
		逗子ヶ浜 地先 (開放域)	一 体 設 置 鋼 製 小 型	黒島泥	セメント系	2	24	70	33	50	26	140	12	270	12	270	2	290	2	290	2	290	2	300	0	0	0	0	
					マグネシウム系	2.5	41	100	53	70	21	170	4	160	4	160	4	160	2	270	2	270	2	300	0	0	0	0	
				黒島砂	セメント系	3	24	90	39	55	30	140	24	270	24	270	24	270	12	260	6	320	0	320	0	0	0	0	0
					マグネシウム系	5	8	50	15	45	6	80	8	100	8	100	8	100	6	50	5	50	0	50	0	0	0	0	0
黒島泥	セメント系			10	17	40	21	45	20	70	20	50	20	50	20	50	19	60	17	40	7	40	7	40	0	0	0		
	マグネシウム系			20	10	60	10	65	7	50	6	50	6	50	6	50	4	60	1	50	0	50	0	0	0	0	0		
黒島砂	セメント系			3	37	60	49	60	33	140	23	280	23	280	23	280	11	350	8	360	0	360	0	0	0	0	0		
	マグネシウム系			5	18	80	21	50	14	60	14	90	14	90	14	90	13	200	14	240	0	240	0	0	0	0	0		
黒島泥	セメント系			10	16	40	18	65	14	40	16	70	16	70	16	70	17	120	16	180	6	180	6	70	4	40	40		
	マグネシウム系			20	15	50	22	78	17	60	16	210	16	210	16	210	18	170	16	120	10	120	10	60	3	50	50		
黒島砂	セメント系	20	2	20	2	25	3	40	0	0	0	0	0	0	1	60	1	50	0	50	0	0	0	0	0				
	マグネシウム系	2	7	70	7	70	1	10	1	30	1	30	1	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
黒島泥	セメント系	2.5	3	40	5	40	1	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	マグネシウム系	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
黒島砂	セメント系	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	マグネシウム系	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
黒島泥	セメント系	20	3	40	6	25	4	40	3	60	4	60	3	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	マグネシウム系	2	14	70	13	60	12	100	10	120	10	120	10	120	10	270	12	300	0	300	0	0	0	0	0				
黒島砂	セメント系	2.5	12	80	13	55	7	120	9	280	9	280	9	280	8	310	9	250	0	250	0	0	0	0	0				
	マグネシウム系	3	12	50	10	50	11	50	9	110	9	110	9	110	8	150	7	100	2	100	2	80	0	0	0				
黒島泥	セメント系	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	マグネシウム系	10	5	40	6	45	7	60	3	50	3	50	3	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
黒島砂	セメント系	20	4	40	5	45	5	50	5	50	5	50	5	50	1	50	1	40	0	40	0	0	0	0	0				
	マグネシウム系	2	4	40	5	45	5	50	5	50	5	50	5	50	2	50	2	40	0	40	0	0	0	0	0				

印のみ海域移設

備考

Table. 5 2003年度試験結果(岡山)

設置場所	型枠	底質	固化剤	配合率 (%)	2003/11/9-10	2004/2/24		2004/3/18		2004/5/19		2004/6/10			
						株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)		
岡山県水産試験場陸上水槽	一体設置鋼製小型型枠	日生	セメント系	3	製作・設置		27	150	40	150	9	100	未計測		
			マグネシウム系	0			48	120	49	150	23	100			
			セメント系	2			46	150	43	120	20	80			
			マグネシウム系	1			30	120	32	100	17	100			
岡山県水産試験場20度加温水槽			セメント系	3			25	150	24	170	17	250			
				マグネシウム系			0	31	150	34	200	18			280
				セメント系			1	31	120	23	150	8			10
				マグネシウム系			2	9	10	11	120	3			10
岡山県水産試験場陸上水槽出芽後海域移設			セメント系	3			30	150	未計測		12	350			
				マグネシウム系			0	42	120	未計測		25			600
				セメント系			2	42	150	未計測		0			
				マグネシウム系			1	32	120	未計測		0			
備考						一部海域移設						後に台風等で消失			



Photo. 14 岡山県水産試験場地先セメント系2% マグネシウム系1%混合(2004/6/10) 海域移設後の生長状況

っとも多く (Photo. 14), 株数25, 最大葉長200mmとなった。セメント系3%も生長していたが、前者ほど顕著ではない。セメント系1%マグネシウム系2%混合, マグネシウム系3%はすべて消失していた。その後, 9月から10月にかけて強い勢力を持った台風が当海域付近に4回来襲し, 周辺の天然アマモともども試験体アマモも消失した。

逗子ヶ浜地先での試験では (Table. 6), 当該試験

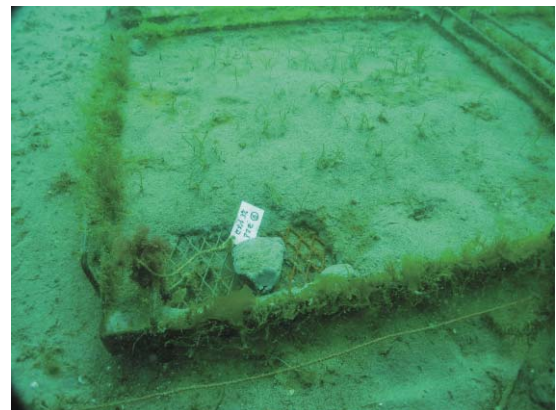


Photo. 15 逗子ヶ浜海域開放域大型型枠セメント系3%(2004/1/21) 固化体剥離状況

の特徴的な現象として大型型枠で固化体の剥離・散逸が生じた (Photo. 15)。この状況は, 2基のマグネシウム系3%で著しく, 次いでセメント系2%および5%で, 2004年2月18日調査時点での打設固化体の残存面積はマグネシウム系3%で10%および25%, セメント系2%で25%, セメント系5%で40%であった。セメント系3%は初期にはこの現象は認められなかったが, 3基のうち2基で次第に剥離・散逸を生じ,

Table. 6 2003年度試験結果(山口)

設置場所	型枠	底質	固化剤	配合率 (%)	2003/11/18		2004/1/21		2004/2/18		2004/3/16		2004/4/20		2004/5/25		2004/6/23		2004/7/21		2004/8/26		2004/9/28						
					株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)	株数	最大葉長 (mm)			
返子ヶ浜 地先(概 放域)	一体 設置 鋼製 大型	マグネシウム系	セメント系	3	10	30	30	50	0	10	0	10	0	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
				2	18	30	95	60	100	80	70	97	180	70	73	230	70	67	200	31	160	6	80	0	0	0			
				3	11	30	33	50	9	70	25	3	40	25	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	日 生	一体 設置 鋼製 小型 殖 後 域)	マグネシウム系	セメント系	2	7	40	53	70	95	80	100	70	100	55	60	100	70	90	100	47	110	24	100	11	80	5	80	
					3	12	40	110	110	140	100	120	220	100	115	250	100	88	300	100	60	290	29	130	3	100	2	80	
					3	16	30	130	80	130	100	105	200	100	45	200	70	22	170	70	8	210	4	60	3	50	0	0	
					3	28	10	135	130	150	180	100	150	90	160	300	90	158	330	90	152	400	75	170	36	150	10	200	
					2	30	50	100	80	60	80	25	40	200	25	25	250	25	23	230	25	23	280	7	150	0	0	0	0
					5	12	50	85	80	80	100	40	60	190	40	53	240	40	48	280	40	35	310	20	150	6	110	3	150
					3	2	30	8	100	9	80	6	150	8	230	7	240	5	250	3	130	0	0	0	0	0	0	0	0
返子ヶ浜 地先(増 殖 後 域)	一体 設置 鋼製 小型 殖 後 域)	マグネシウム系	セメント系	2	2	20	8	60	22	100	9	130	6	200	5	150	4	200	1	90	0	0	0	0	0	0			
				2	1	20	11	70	25	100	23	210	17	220	9	240	6	260	5	110	0	0	0	0	0	0	0		
				2	0	0	6	50	16	90	22	250	25	200	25	200	32	300	16	270	17	300	5	250	5	250			
				2.5	1	30	3	50	26	100	36	280	36	250	38	300	35	420	20	270	16	200	14	200	14	250			
				3	2	45	17	100	36	130	44	140	37	300	39	300	37	440	17	300	18	200	3	150	3	150			
				3	0	0	0	6	50	6	110	12	110	27	100	26	150	18	200	12	200	14	250	0	0	0	0		
				2	0	0	0	20	100	26	240	41	150	20	150	8	170	3	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
備考	後に台風で消失																												

2004年4月20日調査時点で70%および90%の面積が残存していた。セメント系3%の1基およびセメント系2%マグネシウム系3%混合では剥離・散逸はなかった。また、出芽・初期生長後、固化体が剥離した一部のアマモ個体で、型枠底部に設置したエキスパンドメタルにヒゲ根状の地下茎を絡めて草体を定位している状況を確認した (Photo. 16)。小型型枠では、増殖礁背後域に設置した試験体 (Photo. 17) が開放域に設置した試験体よりも出芽数・初期生長量とも多く、2004年5月25日調査時点でセメント系2%では増殖礁背後域設置が株数25、最大葉長200mmであったのに対し、開放域は株数5、最大葉長150mm、セメント系3%では同様に株数39、最大葉長300mmに対し株数7、最大葉長240mmであった。夏期以降の衰退期における残存状況は開放域が比較的早期に消失したが、増殖礁背後域は残存した。残存量が最も多かったのはセメント系2.5%で株数14、最大葉長250mmであった。そ



Photo. 16 逗子ヶ浜海域開放域大型型枠
セメント系3% (2004/4/20)
型枠底部のエキスパンドメタルに地下
茎を絡ませて草体を固定するアマモ



Photo. 17 逗子ヶ浜海域増殖礁背後域小型型枠
セメント系3% (2004/5/25)
出芽・初期生長状況

の後、9月から10月にかけて強い勢力を持った台風が当海域付近に4回来襲、大型型枠が移動するほどの大波浪が生じ試験体アマモはすべて消失した。

3 2004年度試験

米子湾内での結果は、2005年2月2日調査時点で一部出芽が認められたが、4月19日調査時点で1.5mに設置した2器の各2株を残し消失、6月10日時点ではすべて消失した。その際、固化体表面が洗掘された状況を確認した。

逗子ヶ浜地先においては (Table. 7), 種子埋設深さと出芽・生長との関連が認められた。種子埋設深さを30mmとした固化体で出芽数が著しく少なく、出芽した草体も早期に消失した。種子埋設深さ20mmとした固化体では、出芽数が2004年3月15日調査時点の最大値で44株であり、同じ固化体厚さ30mmで種子埋設深さ10mmとした固化体とほぼ同等であったが、生長量および維持数が少なく、6月23日調査時点ですべてが消失した。夏期以降の残存数と安定工の有無との関連も認められ、開放域に設置した固化体で安定工を設けた固化体でやや多く、7月21日調査時点で安定工のない固化体での残存数は3~5株であるのに対し、石材を安定工とした固化体では15株、エキスパンドメタルでは9株が残存していた。また、特記すべき現象として、増殖礁背後域に設置した固化体で、アマモ地下茎の天然地盤上への伸長を6月23日調査時点で確認した (Photo. 18)。また開放域に設置した固化体で7月21日調査時点で固化体上でアマモ地下茎が伸長する状況を確認した (Photo. 19)。7月21日調査時点で残存していたアマモ草体は、開放域に設置した固化体では、根本付近で切断されたような状況を呈していた (Photo. 20)。



Photo. 18 逗子ヶ浜増殖礁背後域 (2005/6/23)
アマモ地下茎の天然地盤上への伸長

秋期の衰退期には次第に減少した。生長量はこれまでの結果よりも全体的に多く、8月24日調査時点の外縁右では1000mmと一連の試験結果のうち最大となった。秋期となっても前年等のように葉体が切断されたような状況は認められず（Photo. 25）、冬期の衰退期においても一部が残存していた。これも一連の調査結果のうち最長である。

考 察

1 固化剤の特性・種類・配合

2002年度に水産試験場屋内水槽および試験場地先、並びに逗子漁港屋外水槽および逗子ヶ浜地先において実施した試験結果より、セメント系、マグネシウム系ともに単独で使用した場合は、双方とも重量比3%を中心に2～5%の範囲の配合率が有効である。単独で用いた場合の特性としては、同試験結果よりセメント系では出芽・初期生長が良く、マグネシウム系では成長期から衰退期にかけての草体の残存状況が良かった。双方の特性を両立させるために混合して使用する場合、その混合比率は2003年度に岡山県水産試験場屋内水槽および試験場地先、並びに逗子ヶ浜地先において実施した試験結果よりセメント系：マグネシウム系重量比で2：1程度、混合固化剤の配合割合は単独で使用した場合と同程度が有効である。

2 底質の種類

2002年度に岡山県水産試験場屋内水槽および試験場地先、並びに逗子漁港屋外水槽および逗子ヶ浜地先において実施した試験結果より、日生、黒島泥の結果が良く、黒島砂、東和で悪かったことから、泥性の強い底質が有効である。組成の近い黒島泥と黒島砂で明確な差異が現れたことから、黒島泥以上に泥性が高い底質が有効である。ただし、黒島砂より東和の方が適性が高い結果が見えることから、一概に泥性が高い方が有効であるとも言えず、固化後の硬度等との関連など、さらに詳細な検証が必要である。

3 固化体の製作・形状・配置

アマモ種子埋設深さは、2004年度に逗子ヶ浜地先で実施した試験結果より、10mm程度が適性であり、それ以上深く埋設すると出芽数が著しく減少する。

固化体面積は、2003年度に逗子ヶ浜地先で実施した試験結果より、固化体面積を大型化すると剥離・散逸が生じることから、比較的小型の固化体を多数設置した方が有効である。これは、砂泥性海域とはいえ海底地形に若干の起伏があり、大型固化体ではその起伏に

追従することができず、固化体が彎曲することにより亀裂等が生じるためと考えられる。

2004年度に逗子ヶ浜地先での結果、アマモ地下茎の天然地盤上への伸長が確認されたことから、地下茎伸長による造成アマモ場の拡大が期待できる。従って、固化体の配置は2005年度に逗子ヶ浜で実施したように、固化体間に間隔を設けた市松状設置が有効である。ただし、効率的な設置間隔は明らかではない。また、同試験のように比較的密な状態で設置すると中央部分で出芽阻害が認められることから、小規模群を散在させることが有効である可能性が示唆される。しかし、出芽阻害を生じた中央部分においても、出芽がなかったわけではなく、時期が遅れた状況であったことから、この現象がアマモ場の形成にどのような影響を及ぼすかを検証する必要がある。

4 造成適地

2004年度に米子湾内で実施した試験において、固化体表面が洗掘され出芽したアマモが流失したが、2005年度に整流工を設けたことで流失が抑制された。これは波浪の小さい海域においても、潮位変動等により水深が小さくなると波の擾乱による流体力が大きく作用することが原因と考えられる。水質汚濁が問題となっている閉鎖性海域における水質改善対策として本手法を適用する場合、水深を大きくとるか、有光層が小さく設置水深が小さくなる場合は波浪制御対策を施す必要がある。

2004年度までの逗子ヶ浜地先開放域での試験において試験体アマモが秋期に消失したが、2004年度に同増殖礁背後域あるいは2005年度の防波堤背後域の秋期から冬期にかけて残存が認められたことから、開放性の高い海域に本手法を底質安定工法として適用するには限界がある。逗子ヶ浜開放域のように年間最大波高が0.8mを超えるような海域においては適用を見合わせるか、前面に消波構造物を設ける等の波浪低減対策が必要と考えられる。適用可能な最大波高について、今後検証する必要がある。

5 食害防止対策

2005年度に逗子ヶ浜地先において実施した試験において、アイゴ等の草食魚類が活発化する時期以降食害防止ネットを設置したことにより、2004年逗子ヶ浜試験結果のPhoto. 20に見られる草体が切断されたような状況を呈する現象が生じず、本報試験期間内最大のアマモ草体生長量と最長期間の維持が達成できた。2006年12月現在でも一部が維持されており、草食魚による食害を排除することでアマモ場の維持が図られた可能

性が高い。本手法は、軟弱底質固化体を用いた造成アマモ場のみならず、他の手法や移植による造成、あるいは衰退の進む天然アマモ場の維持に 응용が可能である。今回は海底面から海表面までをネットにより遮断したが、最大のアマモ草体高さ以上の高さを持った矩形ネットの設置、あるいは音・光等の忌避条件を作り出すことでのアマモ場への進入阻止といった方法も考えられる。

6 軟弱底質固化体のアマモ着生基質としての有効性

種子を内包する物体を用いてアマモを着生させようとする際に必要となる要件は、

種子を所定の場に定位させ、移動・散逸を生じないこと。

外部への出芽および生長を阻害しないこと。

地下茎を保持し、生長した草体の流失を防止すること。

栄養株の伸長を阻害しないこと。

がある。また、工学的手法としては、

資材、機械等の入手が容易であること。

作業が容易であること。

安価であること。

環境に負荷を与えないこと。

が満たされたとき有利となる。

軟弱底質固化体は、外力により容易に浮遊・散逸する泥状の海底質に固化剤を混和し、固化剤の化学的作用により底質粒子間の結合力を高め、安定化した物体である。固化体製作過程で生じる化学反応等の詳細については工学的手法を検討する本報の趣旨ではないので割愛するが、当然、固化剤の配合率を大きくすると固化体の硬度も高くなり、小さくすると低くなる。硬度の高い固化体は、上記 および については有利となるが、 σ 、 ϵ については弊害となる。小さい場合は σ 、 ϵ について有利となるが、 σ および ϵ が満足されない危険が生じる。 σ は固化剤の配合率とは関係が薄い σ 、 ϵ については硬度が著しく低く、容易に破損あるいは流動するようであれば、海底面への設置作業に支障となる。 σ および ϵ については固化剤の種類に大きく関連するところではあるが、固化剤配合率は小さい方が有利である。前述の最も適切として示した固化剤配合率である重量比3%を中心に2~5%の範囲という値は、上記のアマモ着生基質として必要な σ 、 ϵ の要件について満足し、工学的手法として σ 、 ϵ について有利である。

固化剤としては、セメント系およびマグネシウム系固化剤を用いたが、固化剤の混和割合と固化体の強度はほぼ同等であることは既に示されている(藤森ら、

2000)。しかし、今回のように混和割合の低い場合、外力に対する変形・破壊特性に差異が認められた。2004年2月24日、岡山県水産試験場屋内水槽から試験場地先に移設する際に行った触診による感覚ではあるが、セメント系固化剤を用いた固化体は外力に対し変形しながら破壊に至るのに対し、マグネシウム系固化剤を用いた固化体は大きな変形は示さずに突然破壊に至る。この変形・破壊特性の差異により、セメント系固化剤は上記 について、マグネシウム系固化剤は について有効であったと考えられる。適切な混合比2:1という値は、定性的・感覚的表現ではあるが、この両方の特性がうまく平衡した結果であったと推察する。また、セメント系固化剤は市販品、マグネシウム系固化剤は肥料の原料であり、とも入手が容易であったことから、上記 に関して有利である。セメント系固化剤については、六価クロムの溶出の問題があり、上記 について支障となる懸念があるが、一般的なコンクリート構造物に比べ大幅に配合率が小さいことから、問題とはならないと考える。

使用できる軟弱底質の性状の限界値があり、泥性の高い方が有効であること示されたが、存在量が多く採取が容易なのは、開放域天然アマモ場である東和や黒島のような底質ではなく、閉鎖性が高く養殖場として利用される日生のような海域の底質であると考えられる。このことは、上記 に関して有利な結果であるといえる。

最も有効と考えられる工法として、アマモ種子を10mm程度の深さに播種した300×300×30mm程度の座布団状の固化体を製作し、型枠ごと海中に移設し、脱型・設置する方法を提案したが、作業手順や使用機材等は一般的なコンクリート打設作業と同様であり、特殊な技術や機械は必要とはしなかった。上記 ~ について有利な結果である。構成材料は底質、アマモ種子、固化剤およびガーゼ布のみであり、ほぼ天然由来の素材であることから、上記 についても有利である。なお、上記 の機能を向上させるため、アマモが地下茎のヒゲ根状の部分を絡め草体を安定させるための保持部材として固化体下面に鋼網を付帯させる方法が考えられる。この場合も作業工程、構成材料ともに上述の有効性に支障となるものではない。

7 事業化のイメージ

水質汚濁が問題となっている閉鎖性海域における水質改善対策として本手法を適用する場合、海域全体の底質を浚渫し、硬度の高い固化体を陸域近くに人工海底地盤的に再設置し、アマモ着生基質として製作した固化体をその上に敷いていくことを考えている。この

際、沖合の水深が大きくなることで波浪条件が厳しくなるが、人工海底地盤の断面形状を波浪を制御する構造とすることで対処できると考える。また、汚濁物の除去と底質の再懸濁防止効果等から水質が改善されるので透明度が上がり、有光層が大きくなることから、アマモ種子を播種した固化体の設置水深を深くすることができる。この水質改善効果は、2005年度に岡山県米子湾内で実施した試験結果で認められた出芽・生長の若干の阻害を生じさせない効果も期待できる。水質改善効果および水産資源の増殖効果をより高めるには、岩礁性藻場と一体的な造成を行う二相系藻場造成、さらに干潟と組み合わせた三相系藻場干潟造成が考えられる (Fig. 5)。ただし具体的な構造・計画等の確立にはさらなる試験・研究が必要である。

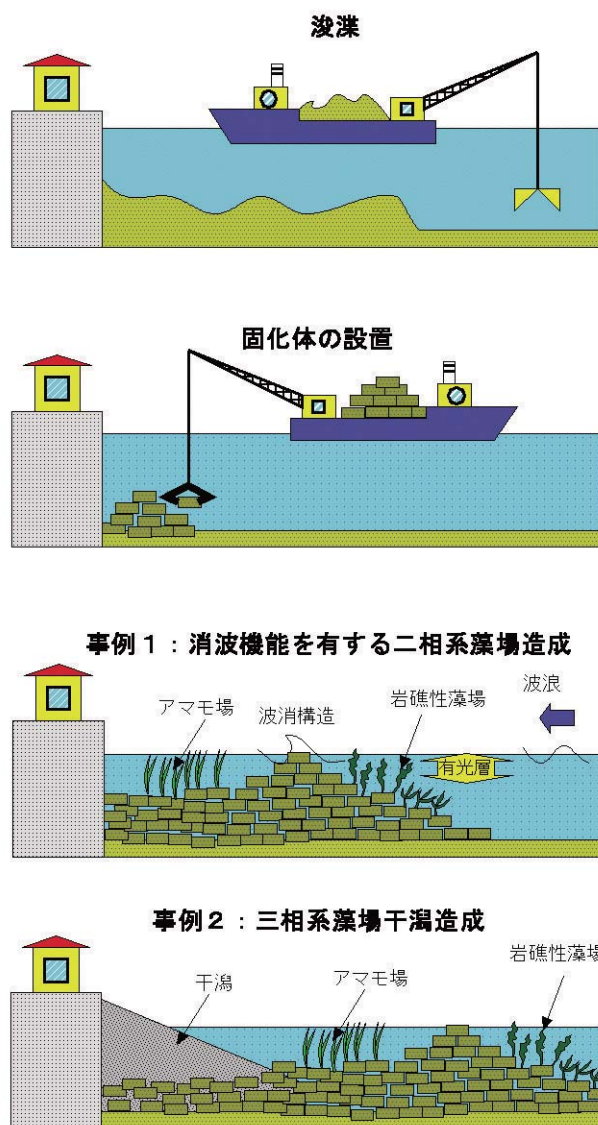


Fig. 5 事業化のイメージ

8 残された課題

軟弱底質固化体をアマモ場造成に用いるための具体的な手法や条件、事業化に向けたイメージ、造成したアマモ場を長期間維持する手法を示すことができた。課題として、前述のように使用可能な底質組成の詳細な検証、適地判定のための定量的な物理環境条件の把握、大規模群設置、小規模群を分散設置のどちらが効率的かの検証が残されている。また、今回の試験期間では検証し得なかった造成アマモ場の有性・無性生殖過程による経年的な維持・拡大、およびアマモ場を造成したことによる周辺海域への環境影響、特に水質改善や水産資源増殖の効果についての実証が必要である。

今後の研究展開としては、事業化のイメージで示した構造物として利用可能な強度を持った固化体との組み合わせによる二相系藻場、三相系藻場干潟を構築するための構造・配置等に関する検討、また二相の藻場あるいは三相の藻場干潟が隣接することによる水質改善や水産資源増殖への相乗効果の可能性について検討すべきであると考えられる。

おわりに

試験海域を所管する岡山県牛窓町漁協、日生町漁協、山口県東和町漁協及び岩国市漁協には、本研究を推進する上で多大なご協力とご支援を頂いた。特に東和町漁協所属の伊藤和宏氏には用船をお願いする一方で、アマモ場の過去の分布状況や生息生物等に関する多様な情報、研究の方向性の示唆等を頂いている。ここに記して謝意を表す。

本研究は水産総合研究センター第1期中期計画課題および農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産バイオリサイクル研究」の一部として実施した。

参考文献

- 和泉安洋, 広沢 晃, 團 昭紀, 森口朗彦, 寺脇利信, 2002: 底質安定化マットによる4年間のアマモの生長と成熟. 水産工学, 39, pp.139-143.
- 植木範行, 光永演允, 1996: 数種の基盤材を用いたアマモ播種方法の開発, 岡山水試報, 11, pp.23-26.
- 大槻正紀, 内藤七絵, 松村 智, 2002: 軟弱底質およびその個化处理土の物理・科学・溶出特性, 平成14年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, pp.157-160.
- 川崎保夫, 飯塚貞二, 後藤 弘, 寺脇利信, 渡辺康憲, 菊池弘太郎, 1988: アマモ場造成手法に関する研

- 究．電力中央研究所報告，U14，pp.1-231.
- 高谷智恵子，斉藤 博，玉置 仁，森口朗彦，吉田吾郎，寺脇利信，2003：広島湾地先における風浪環境の特徴．日本水産工学会学術講演会論文集，pp.151-152.
- 棚田教生，和泉安洋，團 昭紀，広澤 晃，森口朗彦，寺脇利信，2005：冬季波浪条件の比較的厳しい海域におけるガーゼ・礫製マットによるアマモ繁茂への効果と限界．水産工学，42，pp.129-134.
- 團 昭紀，森口朗彦，三橋公夫，寺脇利信，1998a：鳴門地先におけるアマモ場と底質及び波浪との関係．水産工学，Vo.34，pp.299-304.
- 團 昭紀，和泉安洋，森 啓介，広澤 晃，寺脇利信，1998b：底質安定化マットの播種によるアマモの繁茂．水産工学，35，pp.37-42.
- 坪田幸雄，佐伯公康，2006：軟弱底質の個化处理土方塊の作成・設置，平成18年度日本水産工学会学術講演会講演論文集，pp.213-216.
- 寺脇利信，玉置 仁，西村真樹，吉川浩二，吉田吾郎，2002：広島湾におけるアマモ草体中の炭素および窒素総量．水産総合研究センター研究報告，4，pp.25-32.
- 藤森新作，小堀茂次，2000：自然環境にやさしい土壌硬化剤マグホホワイトの開発，農業土木学会誌，68(12)，pp.1297-1300.
- 森口朗彦，高木儀昌，仲宗根琢磨，吉川浩二，團 昭紀，和泉安洋，1999：分布特性の異なる2つのアマモ場における物理環境現地観測，水産工学研究所技報21，pp.1-12.
- 森口朗彦，高木儀昌，寺脇利信，2004a：離れ島状に形成されたアマモ場の経年変化及び季節消長．日本藻類学会大28回大会公開シンポジウム要旨，pp.50
- 森口朗彦，高木儀昌，寺脇利信，2004b：離れ島状に形成されたアマモ場の消長と波浪環境，海洋開発論文集，Vol.20，pp.971-976.
- 森口朗彦，高木儀昌，寺脇利信，小見山秀樹，團 昭紀，棚田教生，2004c：アマモの植生と底質組成．平成16年度日本水産工学会学術講演会講演論文集，pp.115-116.
- 森口朗彦，高木儀昌，2005：山口県大島郡東和町逗子ヶ浜地先のアマモ場の変遷（2001～2003年），水産工学研究所技報，27，pp.43-60.
- 吉田吾郎，寺脇俊信，梶田 淳，新井章吾，森口朗彦，高木儀昌，2005：広島湾の浅所に設置された魚礁沿いの海草・海藻植生の特徴，平成17年度日本水産工学会学術講演会講演論文集，pp.97-98.
- 森口 朗彦・高木 儀昌・山本 潤・大村智宏，吉田吾郎，寺脇利信，2006：激浪下におけるアマモ・コアマモ群落の生残要因に関する現地観察，平成18年度日本水産工学会学術講演会講演論文集，pp.235-238.