

養殖場底泥固化体のアマモ着生基質としての 再利用工法に関する実海域実証試験

VERIFICATION TEST ON THE REUTILIZATION OF CAKED BOTTOM MUD FROM AQUACULTURE GROUND AS A SUBSTRATE FOR EELGRASS SETTLEMENT IN AN OCEANIC WATER REGION

森口朗彦¹・高木儀昌²・山野井英夫³

Akihiko MORIGUCHI, Norimasa TAKAGI, Hideo YAMANOI

¹ 正会員 工修 (独)水産総合研究センター 水産工学研究所 (〒314-0408 茨城県神栖市波崎 7620-7)

² 正会員 工博 (独)水産総合研究センター 水産工学研究所 (〒314-0408 茨城県神栖市波崎 7620-7)

³ 農博 岡山県水産試験場 (〒701-4303 岡山県瀬戸内市牛窓町鹿忍 35)

In Inner bays used as aquaculture grounds water quality is continuously deteriorating. As a remedial measure, a technique has been proposed and examined to cake dredged bottom mud by mixing with caking agents and further utilize some of the caked bodies by placing them in or near the dredged sea region for eelgrass bed formation, which can be expected to improve water quality in the dredged inner bays. A verification test on the technique to reutilize bottom mud as an eelgrass settlement substrate was carried out in an oceanic water region. Bottom mud with a water content of 50% or higher was mixed with a caking agent at 2-5% in wet weight. The caked bodies did not result in re-suspension. Imbedded seeds were observed to germinate out of the caked bodies for settlement and growth on the caked bodies. An observation revealed that the cement caking agent was good for the germination and initial growth and the magnesium caking agent was relatively good at the declining phase.

Key Words: Eelgrass bed formation, reutilization of bottom mud, verification test

1. はじめに

小規模な漁村が形成される内湾域では、漁業資源の枯渇による水産業の衰退、並びに海域の水質環境劣化による地域の魅力喪失の二重の要因により疲弊が進んでいる。漁業資源枯渇の要因には、陸域埋め立て等による藻場の消失がある。また、外部負荷を削減しても水質環境劣化が改善されない要因には、海底に堆積した軟弱底質からの汚濁成分の溶出と再懸濁がある。これらの対策は各々単独で実施されており、費用および効果の面からも効率的ではない。

著者らは、これらの総合的な対応策を検討している。水質環境悪化が継続する機構としては、堆積した底泥からの汚濁成分の再溶出と再懸濁、および藻場の消滅による水質改善機能が喪失があげられる。底泥の浚渫が有効であるが、浚渫底泥の最終処分が困難である。よって、固化剤を混和して固化処理し、再度近隣海域に設置することを考えた。固化処理により浚渫底泥からの再懸濁・再溶出は減少し¹⁾、固化体を海底面に敷設することにより浚渫残底質の再懸濁が防止される。次に、藻場造成を行うが、この

際も底泥固化体を用い、その強度・構造・設置方法を調整することにより、ガラモ等の岩礫性海藻類およびアマモ等の砂泥性海草類の着生基質として海域に設置することを考えた。まず、海域に強度の高い固化体を人工地盤として積み上げ、その上面を有光層までかさ上げる。この沖側にガラモ、岸側にアマモの着生基質とした固化体を設置し、岩礫性藻場および砂泥性藻場の双方が共存した二相系藻場を造成する。アマモは比較的波浪の影響を受けやすいことから、着生基質設置位置沖側の人工地盤形状を、潜堤状の消波構造とすることも考えられる。ガラモ場は冬、アマモ場は夏に盛期となることから、常時海域に藻場が存在することになり、継続的な水質改善が図られるとともに、藻場を育生場とする水産資源の効率的な増殖場が創出されることが期待される(図-1)。なお、固化体設置海底面は軟弱地盤である可能性が高いことが想定され、地盤の円弧滑り対策等の検討を事前に十分行う必要もあろう。

本報では、これら一連の研究のうち、底泥固化体のアマモ着生基質としての利用に関して、主に実海域試験において検討した結果について報告する。

2. 方法

(1) 供試底泥および試験地点

試験に供した養殖場底泥は、岡山県備前市日生米子湾において採取した（以下、「日生」）。当海域は主にカキ養殖場として利用されており、閉鎖性が高い。対象として、3種類の天然アマモ場の底泥を用いた。岡山県水産試験場地先の開放性の高い海域に位置する黒島の島影域に形成された多年性アマモ場から性状の異なる底泥が2種（同、「黒泥」、「黒砂」）、および山口県周防大島町逗子ヶ浜地先の多年性アマモ場の底泥（同、「逗子」）である。すべてについて、JISに基づく粒度等の組成分析を実施した。

試験は、陸上かけ流し水槽内および実海域において実施した。水槽は、岡山県水産試験場屋内のかけ流し水槽（以下、「試験場内水槽」）を使用した。試験海域は、岡山県水産試験場地先（以降、「試験場地先」）、山口県周防大島町逗子ヶ浜地先（同、「逗子ヶ浜地先」）とした（図-2）。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。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²⁾、海水の透明度は高い。当海域では3つの試験地点を設けた。波浪の主方向に

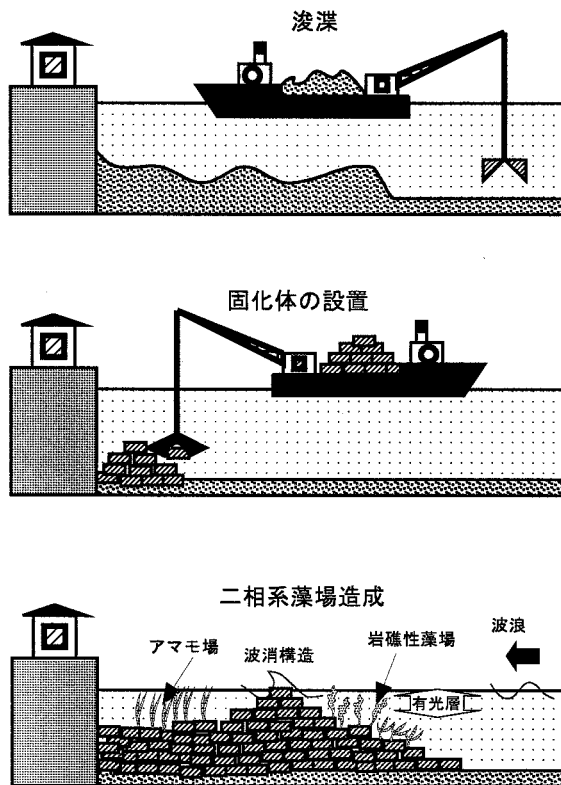


図-1 底泥固化体による二相系藻場造成イメージ

対面し、過去に濃密な多年性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（図-3）⁴⁾。3地点とも平均水深4～6mである。開放域および防波堤背後域において波浪観測を実施した。

(2) 固化体製作手順

固化剤には普通ポルトランドセメント（以降、「S系」）および軽焼マグネシアを主成分とした固化剤（同、「M系」）³⁾とした。前者は工事材料として、

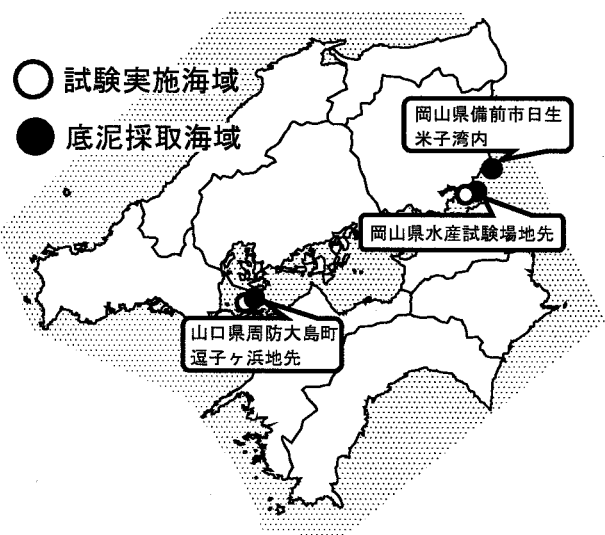


図-2 底泥採取および試験実施海域位置図

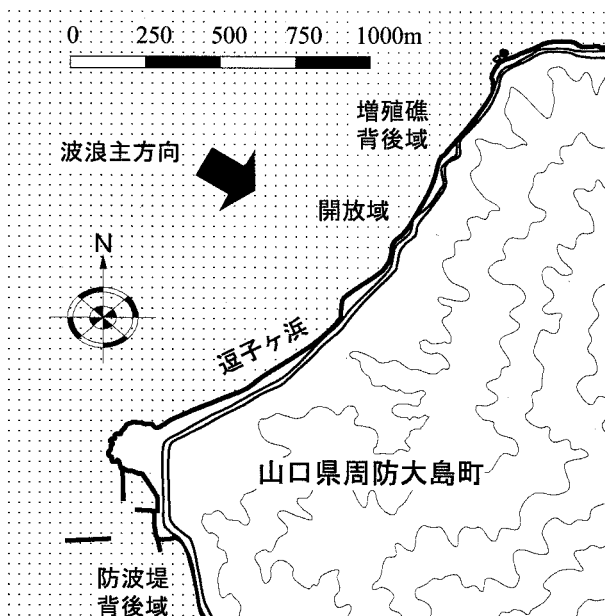


図-3 山口県周防大島町逗子ヶ浜試験海域地形図

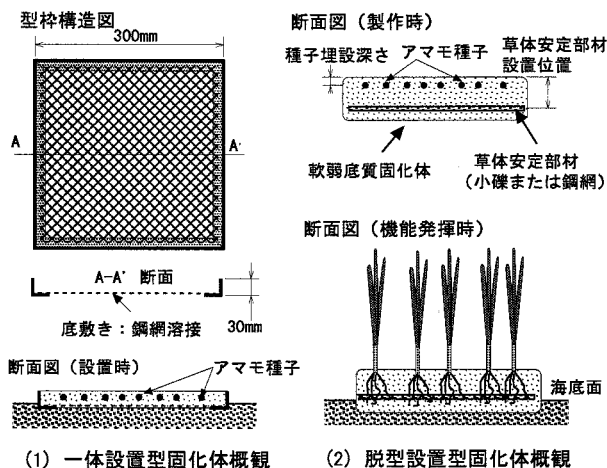


図-4 固化体概観

後者は農業用地盤改良材として入手が容易である。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。一昼夜静置後、水中へ移設した。

アマモ種子は、岡山県産の多年性種子を用いた。型枠への打設作業時に、上面からの深さ（以降、「種子埋設深さ」）がほぼ一定となるよう播種した。埋設深さは10mmを基本とした。播種数は、1,000個/m²が確保されるようにした。

基本的な形状は、300×300×30mmのプレート状としたが、試験の検討内容により厚さを変えた。設置様態としては、側壁部を鋼板、底面部をエキスパンドメタル（以降、「鋼網」）とした型枠に打設した状態で設置した「型枠一体型」、および木製の型枠内において成型した後、脱型して設置した「脱型設置型」の2種とした。なお、後者においては、検討内容に応じ、礫または鋼網を打設作業時に混入あるいは底面に貼り付けた。これは地下茎のヒゲ根の部分を海絡ませて自らを安定するための部材（以下、「草体安定部材」）である（図-4）。

(3) アマモ着生基質としての機能に関する実証試験

a) 単独固化剤配合率と供試底泥組成

供試4底泥について、2種の固化剤を各々単独で用い、その配合率を変化させた固化体を製作し、アマモの出芽・生長状況との関連について検討した。固化剤配合率は、S系2～3%（固化剤乾燥重量底泥湿重量比、以下同）、M系5～20%の範囲とした。形態は型枠一体型とした。試験場屋内水槽および逗子ヶ浜開放域で実施した。2002年12月に製作・設置し、その後経過観察調査を行った。

b) 固化剤混合の効果

2種類の固化剤を混合して使用し、単独で使した場合とアマモの出芽・生長状況を比較した。

固化剤配合率は3%一定とし、固化剤をS系単独、

S系とM系を重量比2:1で混合した固化剤（以降、「2:1混合」）、同1:2混合、M系単独とした。底泥は日生を用い、形態は型枠一体型とした。同一の試験体を各2検体ずつ製作し、全てを試験場屋内水槽に設置した。うち1検体は出芽確認後、試験場地先海域に移設した。2003年11月より試験を開始した。

c) 種子埋設の適正深さ

種子の埋設深さを基本深さの10mmから、20mm、30mmのアマモの出芽・生長状況を比較した。底泥は日生を用い、形態は脱型設置型とした。固化剤および配合率は、2:1混合4.5%とした。逗子ヶ浜開放域において、2003年11月より試験を開始した。

d) 草体安定部材の効果

草体安定部材としては、直径20mm程度の礫材およびXS31規格の鋼網を用いた。礫は固化体下部に埋め込み、鋼網は貼り付けた。使用底泥等の条件は上記dに同じであるが、固化体の厚さを50mmおよび100mmとした。

e) 波浪環境の影響

逗子ヶ浜地先海域の開放域、増殖礁背後域、防波堤背後域で試験を実施した。底泥は日生、固化剤は2:1混合を用い、形態は脱型設置型とした。開放域および増殖礁背後域においては、2004年12月、防波堤背後域においては2005年12月より試験を開始した。固化剤配合率は、開放域で3%と4.5%、増殖礁背後域で4.5%、防波堤背後域は3%とした。なお、防波堤背後域では魚類進入防止網を設置した。

(4) 固化体強度

上記試験に供した固化体のうち、主要なものについてJISに基づく強度試験を実施した。

3. 結果

(1) 供試底泥組成

養殖場底泥の日生が泥性が著しかった。アマモ場底質の3底泥には大きな差異はないが、黒泥、黒砂、逗子の順に泥性が高かった（表-1）。

表-1 供試底泥の組成

	単位	日生	黒泥	黒砂	逗子
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

(2) 逗子ヶ浜開放域および防波堤背後域の波浪環境
2006年の冬期風浪期において、開放域では最大1.3m、防波堤背後域では0.9mの有義波高が発生し

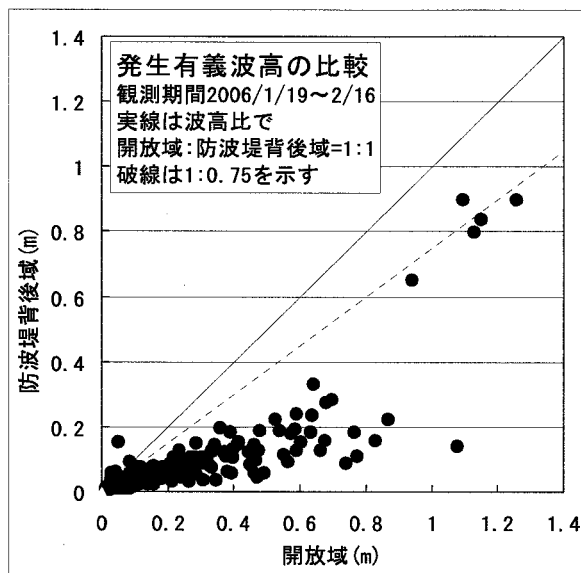


図-5 開放域と防波堤背後域の発生有義波高

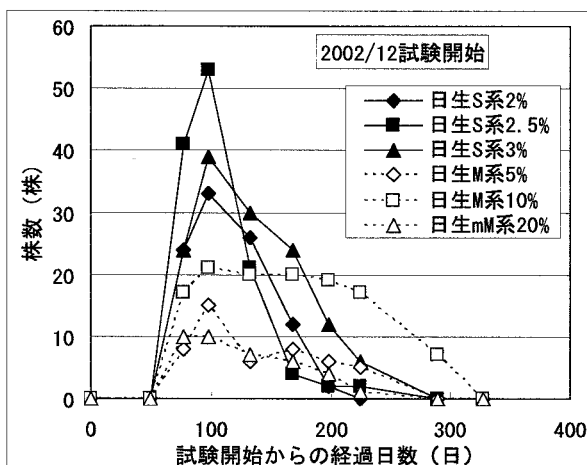


図-6 単一固化剤配合率とアマモ株数の推移

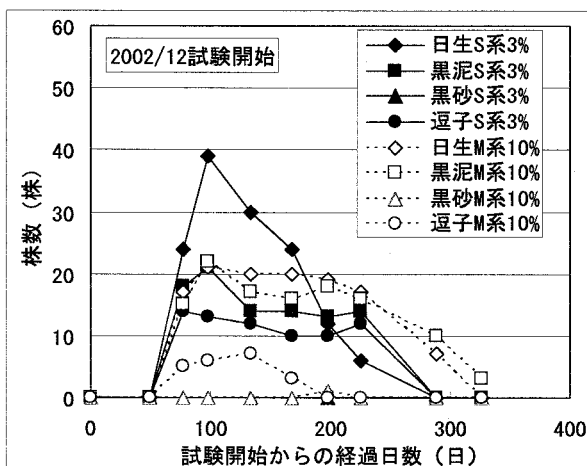


図-7 供試底泥とアマモ株数の推移

た。前者で1m超の時、後者はその75～80%であった(図-5。図中、実線は波高比で開放域:防波堤背後域=1:1、破線は同じく1:0.75を示す)。

(3) アマモ着生基質としての機能に関する実証試験

a) 単独固化剤配合率と供試底泥組成に関する試験

固化体より出芽・生長したアマモの株数は、日生にS系固化剤を用いた場合、配合率2.5%が初期出芽が多いが、残存数は3%が多かった。M系では10%が初期出芽、残存数ともに多かった。S系は初期出芽が多いが、M系は残存数が多い傾向があった(図-6)。供試底泥に関しては、日生、黒泥で出芽・生長が多く認められ、黒砂、逗子で少なかった(図-7)。

b) 固化剤混合の効果に関する試験

アマモ株数の生長後の残存数に特徴が認められ、水槽内設置、海域移設とも2:1混合の固化剤を用いた固化体が多く残存していた(図-8)。最大葉長で示される生長量も、海域移設した2:1混合に良好な生長が認められた(図-9)。なお、海域移設の際の触感では、S系3%は市販油粘土よりやや堅く粘性があり、M系3%はさらに堅く、粘性は感じなかった。また、地下茎のヒゲ根部分が、固化体底面より外部に露出するまでに伸長していた。

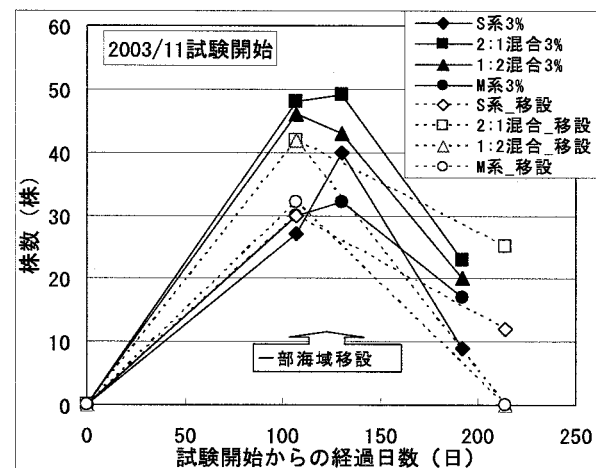


図-8 固化剤混合比とアマモ株数の推移

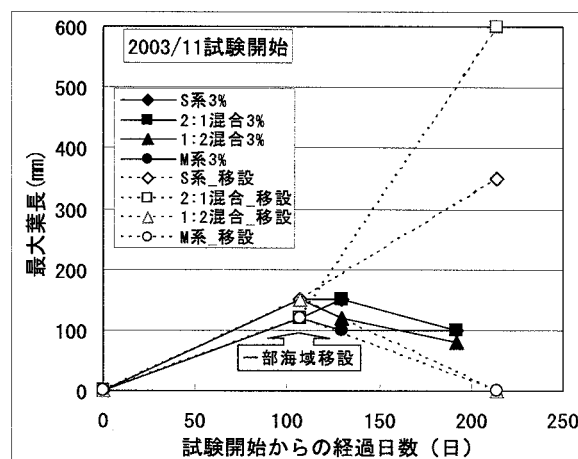


図-9 固化剤比とアマモ最大葉長の推移

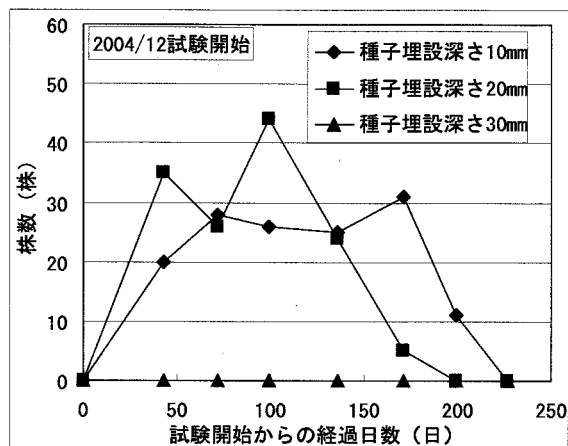


図-10 種子埋設深さとアマモ株数の推移

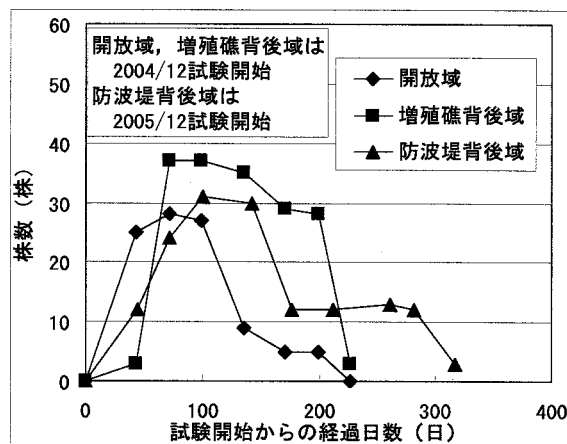


図-13 試験実施地点とアマモ株数の推移

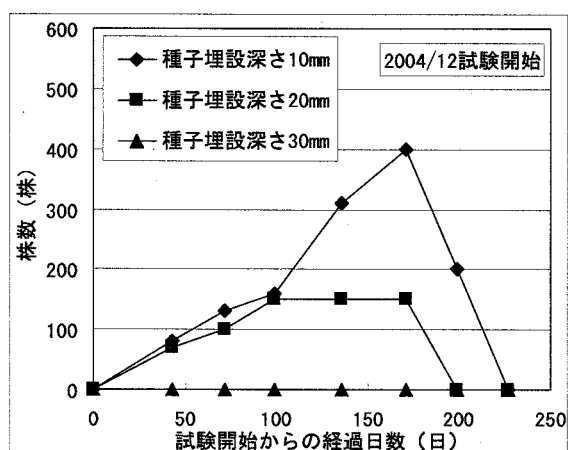


図-11 種子埋設深さとアマモ最大葉長の推移

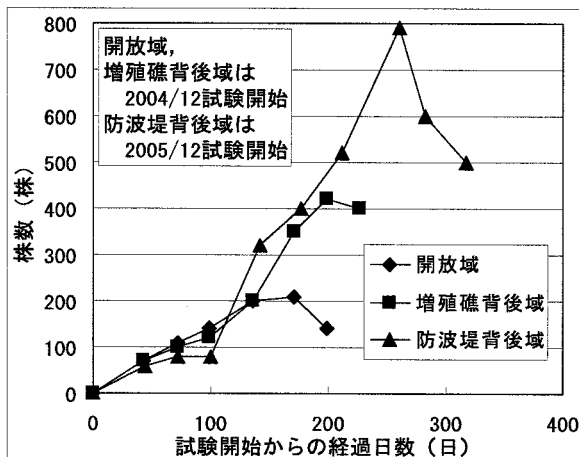


図-14 試験実施地点とアマモ最大葉長の推移

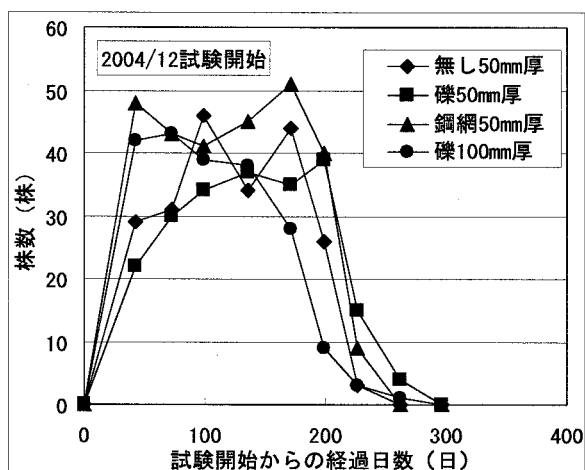


図-12 草体安定部材とアマモ株数の推移

c) 種子埋設の適正深さに関する試験

種子の埋設深さを 30mm した場合、出芽は全く認められなかった。20mm では、初期出芽は多いが、残存数が大きく減少した(図-10)。最大葉長も 10mm は当初より順調に生長したのに対し、20mm の場合は生長期の生長が認められなかった(図-11)。

d) 草体安定部材の効果に関する試験

厚さ 50mm の固化体で、生長後の衰退期における残存数および残存期間の増加が認められた。鋼網より礫で顕著であった。厚さ 100mm の固化体ではこの効果は認められなかった(図-12)。

e) 波浪環境の影響に関する試験

開放域に設置した固化体に比して、増殖礁背後域、防波堤背後域では生長期における株数が多く、さらに防波堤背後域では、衰退期における残存株数も増加した(図-13)。最大葉長についても、同様の傾向であり、特に防波堤背後域ではこれまでの試験結果中最大の葉長となった(図-14)。ただし、防波堤背後域に関しては、試験年次が異なること、魚類進入防止網を設置したことなどから、一概には比較し得ない。なお、増殖礁背後域において、アマモ栄養株の天然地盤および固化体上での伸長が認められた。

(4) 固化体強度試験

S 系 3%混和の 28 日材令固化体強度は、黒砂の強度が最大で、日生、黒泥の順であった。破壊に至るまでのひずみはほぼ同等であった。混合固化剤に関しては、M系固化剤の比率が大きくなると、強度は低下しが、ひずみは増大した(図-15)。

4. 考察

(1) アマモ着生基質としての機能

まず、アマモ着生基質として有効な固化体の仕様について述べる。固化体形態としては、大規模に海域へ適用する場合に余分な物体を海域に持ち込まない脱型設置型が望ましい。固化剤としては 2:1 混合を用い、配合率は重量比 3% を基本に、条件に応じ 2 ~ 5% の範囲が適切である。種子埋設深さは 10mm を基本に 20mm を超えない範囲とする。波浪等の流体力が草体に作用して抜流失が懸念される場合は、礫または鋼網を用いた草体安定部材を設けるが、その設置位置は、固化体上面から安定部材上面までの距離が 30mm を基本に 20 ~ 40mm の範囲とする。安定部材については、50mm 厚さの固化体で礫では効果が認められ鋼網では小さかったが、①安定部材上面の位置は、礫が 30mm であったのに対し鋼網は 50mm であったこと、②ヒゲ根状の地下茎が固化体上面より 30mm の位置にある鋼網を突き抜けるまでに伸長していたこと、③本報で記述し得なかった試験で⁵⁾、900 × 900 × 30mm の大型固化体を用いた試験で、固化体の剥離が生じたが、その部分のアマモは一時の鋼網にヒゲ根を絡ませて草体を底面に保持していたこと、から推定した。

使用可能な底泥として、含水比 45% 以上、シルト分 15% 以上を目安とすることができる。これより砂性が高いと、固化体強度が著しく増大し、出芽・生長の支障となる。

適用可能な海域波浪条件として、年間最大有義波高 0.8m 以下が望ましいと考えられる。しかし、今回評価し得なかった性質や環境要因が寄与している可能性も示唆されることがから、適用する際には、事前試験を実施することが必要である。

今回示した方法は、アマモ場造成手法としては、種子を用いた底質安定工法に分類される。過去に示されてきたいくつかの方法^{6),7),8)}と同等のアマモ群落形成機能を示した。しかし、これらの手法と同様に、形成したアマモ群落の長期維持に課題が残った。

工学的手法としての評価は、①資材、機械等の入手が容易、②製作等の作業が容易、③材料等が安価、④環境に負荷を与えない、等の観点から有効であるといえる。

(2) 混合固化剤がアマモの生長に有利となる機構

底泥固化処理直後の固化体は、S 系単独では強度が大きくひずみが小さいが、M 系単独が強度は著しく小さく、ひずみは大きい。一方、上記 b) の試験で、固化処理 107 日後の触診の感覚から、M 系単独の強度が増加し、ひずみは小さくなっている可能性が示された。従って、M 系固化剤は固化機能を発揮するまでにある程度の時間を要することが推察される。このことは、S 系単独固化体はアマモの初期出芽・生長が良好で、M 系単独は衰退期における残存が良好であったことを説明する。固化体を混合して使用することで、この強度の発生する時間差がアマモの出芽・生長・残存に有利に作用したものの推論している。

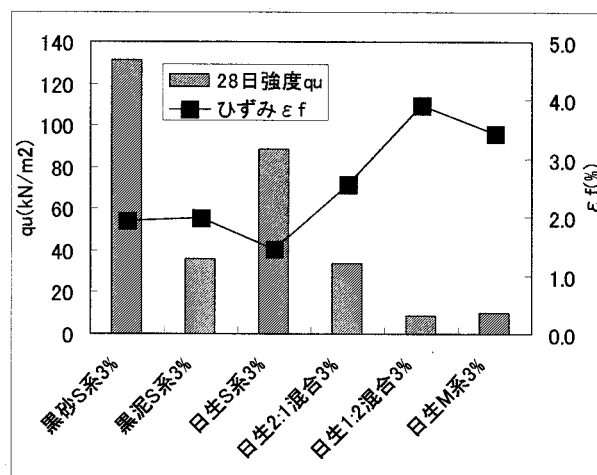


図-15 主要固化体の 28 日材令強度とひずみ

5. 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、多大なご協力とご支援を頂いた。ここに記して謝意を表する。

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

- 1) 大横正紀, 内藤七絵, 松村 智: 軟弱底質およびその個化処理土の物理・化学・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, 2002.
- 2) 森口朗彦, 高木儀昌, 仲宗根琢磨, 吉川浩二, 團 昭紀, 和泉安洋: 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, 1999.
- 3) 藤森新作, 小堀茂次: 自然環境にやさしい土壌硬化剤 マグホワイトの開発, 農業土木学会誌, 68
- 4) 森口朗彦・高木儀昌・山本 潤・大村智宏, 吉田吾郎, 寺脇利信: 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, 2006.
- 5) 森口朗彦・高木儀昌・山野井英夫: 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, 水産工学研究所技報 29, 投稿中, 2007.
- 6) 植木範行, 光永演允: 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, 1996.
- 7) 和泉安洋, 広沢 晃, 團 昭紀, 森口朗彦, 寺脇利信: 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, 2002.
- 8) 森口朗彦・高木儀昌・山本 潤・大村智宏・吉田吾郎・寺脇俊信・棚田教生・山野井英夫: アマモ場造成のための底質安定工法「鋼製マット」の開発, 水産工学研究所技報 28, pp.41-65, 2006.