

アマモの種子の流失を抑制する 播種材料について

THE LUMPS OF MUD THAT COULD PROTECT
SEDIMENT INCLUDING THE SEEDS FROM WASHING AWAY
BY WAVES AND CURRENTS

伊豫田紀子¹・島谷 学²・岩本裕之³

Noriko IYODA, Manabu SHIMAYA and Hiroyuki IWAMOTO

¹正会員 修(環)五洋建設(株)中国支店(〒730-8542 広島県広島市中区上八丁堀 4-1)

²正会員 博(工)五洋建設(株)環境研究所(〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1)

³正会員 五洋建設(株)環境研究所(〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1)

One of the problems of developing seagrass beds by sowing was the incident that sediment movement washed the seeds away. Therefore, we suggested the method of developing seagrass beds by setting the lumps of mud that could weigh the seeds down and keep them under the sediment. We originated them and tried to prove the availabilities of them by the indoor and the field experiments. As a result, we could decide on the suitable materials, mixing ratio and sowing way for them and show the validities of them.

Key Words: *Zostera marina*, seagrass beds development

1. はじめに

アマモ(*Zostera marina*)群落は、魚介類の産卵場、稚仔魚の生育場となることや、海水中の栄養塩を吸収し酸素を生産するなど、沿岸域生態系の中でも重要な役割を担っている。

海岸法の改正や自然再生推進法の施行により、事業者も積極的にアマモ場の保全・造成に向けた事業に取り組みつつある。また、各研究機関でもアマモ場造成方法の研究・技術開発を行っている。

アマモ場造成方法には、主に播種、株移植、そしてアマモが生育できる環境の整備が挙げられる。近年では、特に播種による造成に関する研究や技術開発が多く行われている。播種によるアマモ場造成方法には、直播する方法や種子を埋め込んだシートやマットを海底に敷設する方法などが実施されている¹⁾。

播種によるアマモ場造成方法の課題の1つに、波や流れによる底質の移動によって、種子や実生株が流失することが挙げられる。そこで著者ら²⁾は、海成粘土に中性固化材を配合してφ=5~15mm程度の粒径の大きい粒状の材料(写真-1参照。以下播種材料とする)を作成し、アマモ場の造成対象地に設置することで波浪や流れなどの物理的外力に対する移

動抵抗力を増大させ、種子や実生株を安定させる方法を考案した。

本研究では、著者ら²⁾による研究結果を踏まえ、播種材料を用いる際にどのような配合がアマモの発芽や生育に適しているか確認するため、①粘土の種類及び固化材の配合と②播種形態(図-1, (a), (b)の2種類)を検討した。播種材料に用いる粘土については、海成粘土と市販の粘土(国産ベントナイト)で実験を行い、アマモの発芽・生育に適する粘土の選定を実施した。

まず、室内実験よりアマモの発芽に適した播種材料の条件を選定し、次に現地実験より室内実験の結果の再評価と実海域における播種材料のアマモの発芽・生育への適性を検討した。

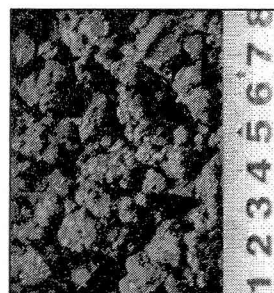


写真-1 播種材料

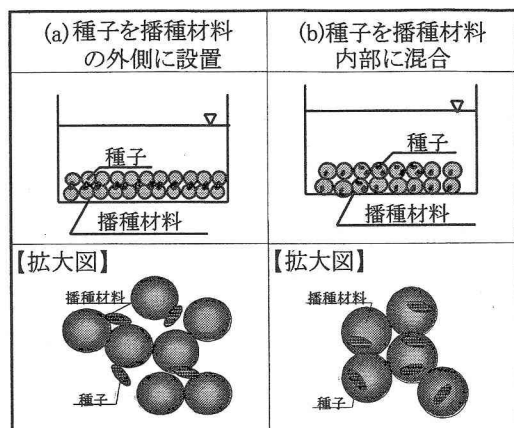


図-1 播種形態

2. 播種材料の作成について

(1) 播種材料の特徴

底質の比重が等しい場合、粒径が大きいほど底質は安定する。播種材料は現地盤の砂や粘土に比べて粒径が大きいため、自重により海底での安定性が高いと考えられる。アマモの種子や実生株は不定根が発達していないため流失しやすいが、播種形態 (b) のように播種材料内に種子を混合した場合、播種材料の安定性により種子の流失が低減されと考えられる。さらに、根が伸長した際には播種材料が支持基盤となるので、実生株の流失を抑制することが可能である。また、種子を播種材料の外側に設置した形態でも (図-1 (a)), 播種材料が安定することにより種子の流失が低減できるものと考えられる。

(2) 播種材料の作成手順

本実験では、塩田ら³⁾の建設汚泥のリサイクル方法を用いて播種材料を作成した。通常の作成方法では固化材にセメントを使用することが多いが、セメントのアルカリ性がアマモの発芽・生育に影響を与えることを懸念し、中性である石膏系固化材を使用することとした。

作成手順を図-2 に示す。まず、粘土が液性限界に近い状態となるように含水比を調整した上で、ポリマーを混合して粘土中の土粒子を凝集させた。さらに、凝集した土粒子に固化材を添加・攪拌してφ=5～15mm の播種材料を作成した後、播種材料が一定の硬さとなるまでの約 0.5 日間大気養生を行った。播種形態 (b) の材料を作成する際には、種子を混合した粘土にポリマーや固化材を混合して作成した。

(3) 種子の発芽促進処理

事前の予備実験として成熟した種子を海成粘土に播種したところ、発芽までに約 1 ヶ月を要した。そ

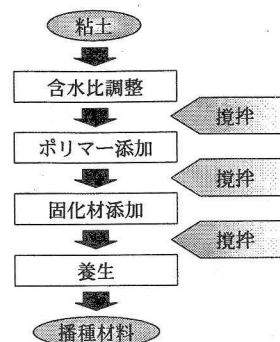


図-2 播種材料作成手順

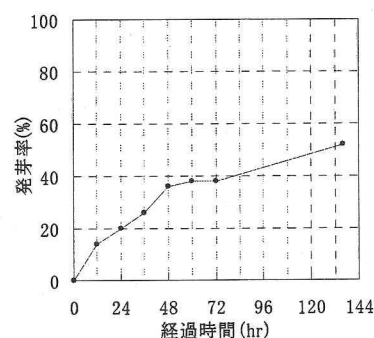


図-3 発芽率の経時変化

こで、早期に発芽を促進させる方法として低塩分による養生を検討した。

低塩分による発芽率向上については、新崎⁴⁾や幡手ら⁵⁾などの報告がある。また、山木ら⁶⁾は淡水処理した種子が 2 週間後に発芽し、低塩分養生により早期の発芽促進が可能であることを報告している。

そこで、蒸留水で満たし密閉した容器を水温 15℃ で保存し、種子の発芽率の経時変化を測定した。その結果、開始 12 時間後に 14%が発芽し、72 時間後 (3 日後) には約 40%の発芽率が確認された (図-3)。よって本研究では、効率的な発芽実験を行うために事前に 12 時間蒸留水に浸漬させた種子を使用することとした。

3. 室内実験

(1) 目的及び実験ケース

アマモの発芽に適した播種材料の条件 (粘土の種類・固化材の配合・播種形態) を把握するため、室内で発芽実験を実施した。実験に使用する粘土の諸元を表-1 に示す。粘土の種類に関しては、海成粘土と Na 型ベントナイト (国産) の 2 種類の粘土を用いた。ベントナイトは一般に流通しており、海成粘土が入手困難な場合の代替材となり得ることから採用した。また、播種形態に関しては、種子が播種材

表-1 粘土の諸元

	海成粘土	Na型ベントナイト
実験含水比(%)	120	100
中央粒径(mm)	0.0064	-
液性限界(%)	111.6	93.6 (塩分濃度3%溶液に対し)
密度(g/cm ³)	2.59	2.60
強熱減量(%)	10.3	-
pH	8.2	9.7~10.7

表-2 実験ケース

	粘土の種類	中性固化材 添加量 (重量比%)	ポリマー 添加量 (重量比%)	播種形態
ケース1	海成粘土	15	0.3	a
ケース2	海成粘土	20	0.3	a
ケース3	海成粘土	15	0.3	b
ケース4	海成粘土	20	0.3	b
ケース5	海成粘土	(比較対照)		
ケース6	Na型ベントナイト	15	0.3	a
ケース7	Na型ベントナイト	20	0.3	a
ケース8	Na型ベントナイト	15	0.3	b
ケース9	Na型ベントナイト	20	0.3	b
ケース10	Na型ベントナイト	(比較対照)		

料内で安定する方法として図-1に示す2つの播種形態を検討した。

固化材の配合の選定に関しては著者ら²⁾の結果を踏まえ、事前に固化材10%、15%、20%添加で作成し、条件の絞込みを行った。その結果、固化材10%では作成・養生後も軟らかく、海水中で攪拌したところ破損した。一方、15%、20%で作成した播種材料は水中投入・攪拌後も崩壊せず、また種子の発芽に対して影響を与えないと考えられる程度の硬さであったため、室内実験では固化材15%、20%添加を採用した。

実験ケースを表-2に示す。実験では各条件(粘土の種類・固化材の配合・播種形態)を組み合わせた全10ケースについてアマモの発芽個体数を計測した。なお、海成粘土やベントナイトに種子を播種したものを準備し、比較対照とした(ケース5及びケース10)。

(2) 実験方法

実験は21.0×13.5×11.5cmの容器を用い、各ケースの材料を設置後、塩分濃度33%程度に調整した大島産天然海水(滅菌ろ過済み)1.2Lを加えて実施した。

水温は予備実験より15℃とした。また、エアレーションは行わず、光条件は発芽するまでは常時暗条件、発芽を確認した後は白色蛍光灯(10W)で常時明条件とした。

実験で使用する播種材料(ケース1~4及びケース

6~9)は、粘土400gと瀬戸内海産アマモ種子100粒を用いて作成した。本実験では、胚軸(種子から最初に伸長する部位)が底質表面より確認された状態を発芽として、5~10日毎に発芽した個体数を計測し、発芽率を算出した。実験は94日間実施した。

(3) 実験結果

図-4に発芽率の経時変化を示す。実験では、開始14日目より複数のケースで胚軸が確認された。そこで、播種材料と比較対照(ケース5またはケース10)での94日後の発芽率を比較した。その結果、各播種材料とも比較対照と比較して同等以上の結果となり、発芽可能であることが確認できた。

また、粘土の種類に着目すると、いずれの条件下でも海成粘土の発芽率が高く、アマモの発芽に適していると考えられた(図-5)。固化材の配合に関しては、粘土の種類によって発芽率の高い条件が異なるため、今回の実験から発芽に適した固化材の配合を選定することはできなかった(図-6)。播種形態に関しては、播種形態(a)の発芽率が若干高かったが、播種形態(b)との差は小さくほぼ同等であった(図-7)。

(4) まとめ及び考察

アマモの発芽に適した播種材料の条件(粘土の種類・固化材の配合・播種形態)を検討するため、室内実験を実施した。その結果、播種材料に用いる粘土には海成粘土の方が適していると考えられた。播種形態については、播種形態(a)の発芽率が播種形態(b)よりも若干高い傾向を示したが、大きな差は

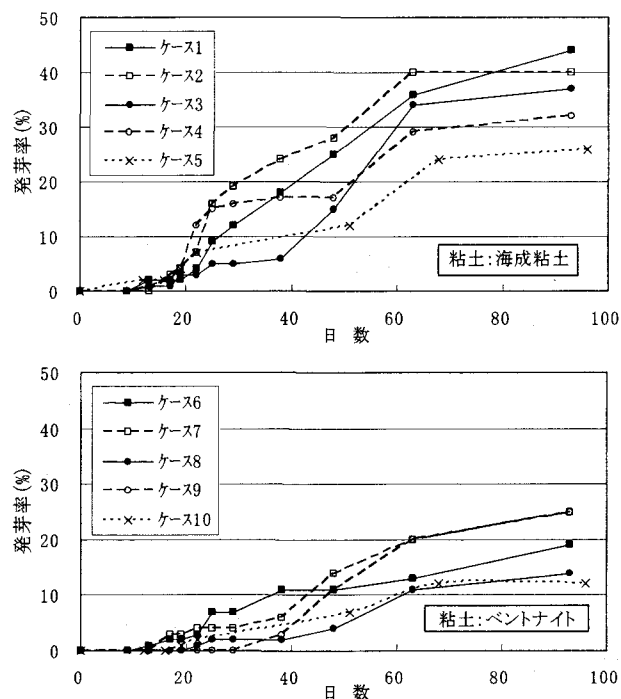


図-4 発芽率の経時変化

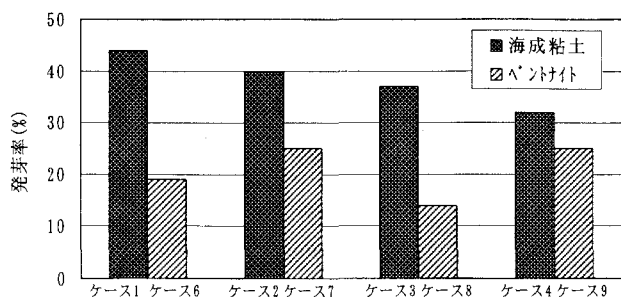


図-5 粘土の種類による発芽率の比較

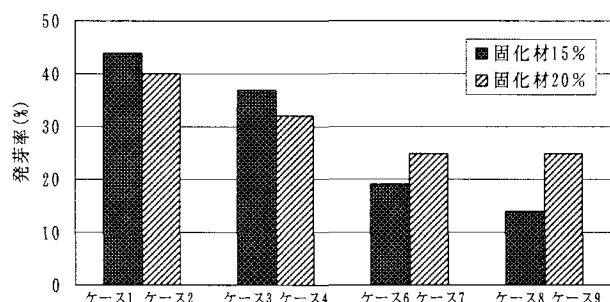


図-6 固化材の配合による発芽率の比較

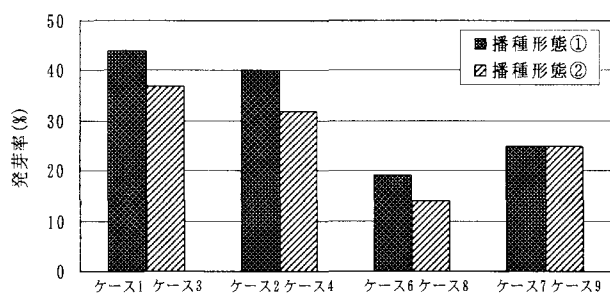


図-7 播種形態による発芽率の比較

表-3 45日後のDO濃度

	DO濃度 (mg/l)	
	海成粘土	ベントナイト
海水	4.96	6.11
播種材料	0.65	4.37

見られなかった。また、固化材の配合に関しては、発芽率の高い条件が粘土の種類によって異なったため、現地実験の結果を踏まえ発芽に適した固化材の配合を選定することにした。

海成粘土と比較してベントナイトを用いたケースでの発芽率が低かった理由として、ベントナイトが無機性粘土であることが考えられた。播種材料の粘土をベントナイトとした場合、無機性粘土であるため、生息する微生物数も少なく微生物の餌となる有機物が含まれていないため、播種材料中の酸素は消費されにくい。その結果、底質中のDO濃度が低下せず、発芽条件である嫌気状態とならないことが考

えられた。そこで、各粘土に固化材15%、ポリマー0.3%を添加して播種材料を作成し、海水(水温15℃)を加えて45日後の播種材料中のDO濃度を計測した。実験では、水槽中の海水のDO濃度をバックグラウンド値とし、播種材料中のDO濃度を計測した。計測結果を表-3に示す。海成粘土のケースでは播種材料内のDO濃度は0.65mg/lであり、海水のDO濃度の約13%まで低下していた。一方、ベントナイトの播種材料内のDO濃度は4.37mg/lであり、海水のDO濃度の約72%であったことから、海成粘土と比較してベントナイトでのDO濃度の低下量が小さいことが確認された。これは、粘土に無機態のベントナイトを用いた上、海水にろ過滅菌済み海水を用いたことにより微生物の増殖が抑えられたものと推測される。この結果、アマモの発芽条件の1つと考えられる嫌気状態とならず、海成粘土と比較して発芽率が低い結果となったと考えられる。

しかしながら、実海域では海水中に微生物群や有機物が存在するため、ベントナイトにおいても嫌気状態が確保できる可能性がある。また海成粘土が入手できない場合にはベントナイトのような一般に流通している粘土の使用が有効であるため、今後も継続して検討を進める予定である。

4. 現地実験

(1) 目的

実海域でのアマモの発芽や生育には、一定条件でコントロールされた室内実験とは異なり、現地の光や水温、塩分濃度などの変動が大きな影響を与えていると考えられる。そこで、室内実験で発芽率が良好であった海成粘土を用いて、固化材の配合と播種形態が異なる播種材料を作成した。そして発芽に適した固化材の配合と播種形態を把握し、アマモの発芽に対する播種材料の適性を実海域で評価することを目的として、実海域における発芽実験を実施した。

(2) 実験場所

現地実験は、東京湾沿岸の外郭施設に囲まれた閉鎖水域で実施した(図-8)。この外郭施設には水門が3箇所があり、潮汐により海水交換が行なわれている場所である。

実験では、水域内のD.L.+0.03~+0.20m地点に4.5×2.5mの実験区域を設け、1ケースあたり0.5×0.5mの実験区画を作成した。各実験区画は、0.5×0.5×0.18mの塩ビ製型枠を固定しており、その中に各ケースの材料を設置した。

(3) 実験ケース

表-4に実験ケースを示す。播種材料の粘土の種類については海成粘土を用いた。室内実験で選定でき

なかった固化材の配合と、実験結果の差が小さかった播種形態については、それぞれ比較できるようにケースを設定した。また、比較対照には現地土と容易に入手できる山砂を使用した。比較対照の底質の諸元を表-5に示す。種子は、2004年6月に実験水域周辺のアマモ群落の生殖株より採取・摘出したものを1ケースにつき300粒用いた。実験中は生育環境を把握するため、実験区域の中央部に水温・塩分計（アレック社製 WinMDS）を海底面より+10cmの位置に設置し、連続計測した。

(4) 実験結果

実験は2004年12月より開始した。モニタリング調査は、設置1ヵ月後（2005年1月）、3ヵ月後（2005年3月）に実施した。調査では、各ケースでの発芽率を計測した。

a) 発芽率

各ケースの発芽率を図-9に示す。設置1ヵ月後では発芽個体が確認されたのは、ケース①、ケース③であった。また、設置3ヵ月後には、ケース①、ケ

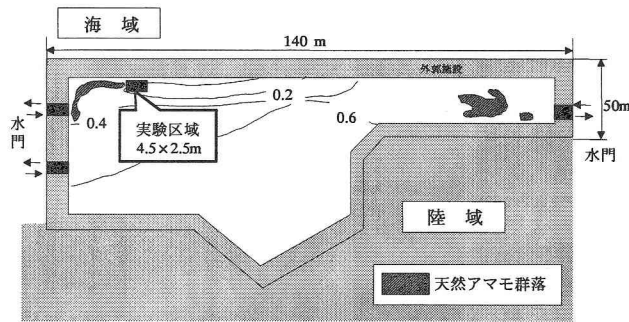


図-8 実験場所

表-4 実験ケース

	粘土の種類	中性固化材 添加量 (重量比%)	ポリマー 添加量 (重量比%)	播種 形態
ケース①	現地土	—	—	—
ケース②	山砂	—	—	—
ケース③	海成粘土	15	0.3	a
ケース④	海成粘土	15	0.3	b
ケース⑤	海成粘土	20	0.3	b

表-5 比較対照の底質の諸元

	現地土	山砂
実験含水比(%)	48.7	—
中央粒径(mm)	0.214	2.06
密度(g/cm ³)	2.75	2.65
強熱減量(%)	7.03	1.02
pH	8.5	6.9

ース②、ケース③で発芽個体を確認した（写真-2）。
b) 水温及び塩分濃度

水温の経時変化を図-10に、塩分の経時変化を図-11に示す。計測期間中の水温は約6～17℃の範囲で推移しており、平均水温は約10℃であった。また、塩分に関しては約31～34‰で推移していた。

(5) 考察

計測期間中の平均水温は約10℃であった。川崎ら⁷⁾の報告では東京湾産のアマモの発芽に適した水温は5～20℃であり、実験区画内はアマモの発芽に適した水温に近い状態であった。モニタリング結果より、播種形態(a)を採用したケース③では、比較対照であるケース①とほぼ同程度の発芽率を確認した。

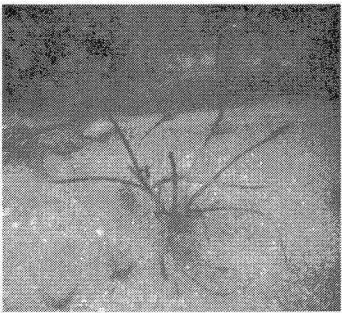


写真-2 設置3ヵ月後の発芽状況

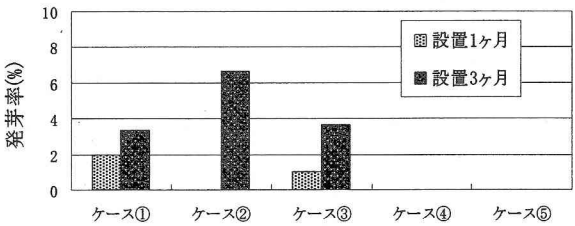


図-9 各ケースの発芽率

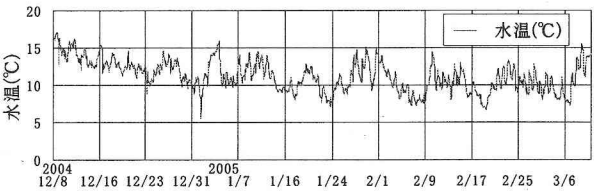


図-10 水温の経時変化

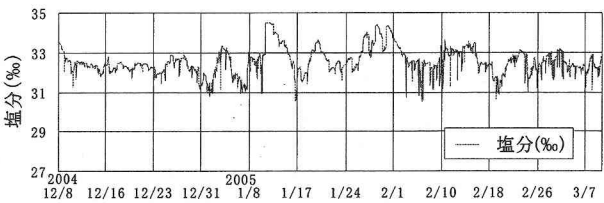


図-11 塩分の経時変化

一方、播種形態(b)を採用したケース④及び⑤で

は発芽個体が確認されなかった。その理由の1つとして、種子の活性低下が挙げられる。これは、室内実験で使用した播種材料は作成後数時間後に実験を開始したのに対し、現地実験では播種材料設置までに約1週間を要したため、種子の活性が低下し、発芽可能な個体が減少したものと考えられる。しかしながら、播種形態(b)は事前に種子を混合することで施工性を高めることが可能であり、作成から材料設置までの時間を短縮すればアマモ場造成方法として有効であると考えられる。今後は材料設置までの時間と発芽率との関係を確認し、発芽可能な材料保存期間の把握や施工方法の検討も実施していく。

5. まとめ

アマモの発芽に適した播種材料の条件(粘土の種類、固化材の配合、播種形態)を把握するため、発芽に関する室内実験と現地実験を実施した。その結果、以下のことを確認した。

(1)室内実験では、各播種材料における発芽率は比較対照よりも良好な結果が得られ、播種材料としてアマモの発芽に有効なことが確認できた。また、粘土の種類は海成粘土の方がベントナイトよりも良好な結果が得られた。播種形態としては、種子と播種材料を別々に設置したケースと種子を混合した播種材料との比較では、同等の結果が得られた。一方、固化材の配合の違いによる発芽率への影響は、使用する粘土の種類によって異なった。

(2)室内実験においてベントナイトの発芽率が低かった理由として、ベントナイトが無機性粘土であることが考えられた。これは、微生物による有機物分解と酸素消費が行われず、ベントナイト内がアマモの発芽条件である嫌気状態とならなかったものと推測される。しかしながら、実海域には微生物群や有機物が存在するため、ベントナイトにおいても嫌気状態が確保できる可能性がある。このことから、今

後もベントナイトを用いた播種材料については継続して検討していく予定である。

(3)現地実験において、播種形態(a)でのケースでは比較対照と同程度の結果が得られ、その有効性が確認された。一方、播種形態(b)で発芽が確認されなかった原因として、播種材料作成から設置まで1週間を要したため、種子の活性が低下したことが考えられる。しかしながら、播種材料作成から設置までの時間の短かった室内実験においては播種形態によって大きな差が見られなかったため、設置までに要する時間が短縮できれば播種形態(b)においても(a)と同等の結果が得られると考えられる。今後は播種材料作成から設置までの時間と発芽率との関係を検討するとともに、播種材料作成から設置までの工程についても検討していく予定である。

参考文献

- 1) (財) 港湾空間高度化センター：港湾構造物と海藻草類の共生マニュアル，1998.
- 2) 伊豫田紀子・齊藤到・塩田耕司：浚渫土を利用したアマモ場造成材料の開発，平成16年度日本水産工学会学術講演会講演論文集，pp.107-110，2004.
- 3) 塩田耕司・高崎三晴・大内仁・古賀大三郎：建設汚泥リサイクルシステムの開発，土木学会年次学術講演会講演概要集第7部，第55巻，pp.410-411，2000.
- 4) 新崎盛敏：アマモ・コアマモの生態Ⅱ，日本水産学会誌，第16巻2号，pp.70-76，1950.
- 5) 幡手格一・上城義信・小川和敏・国武和人：アマモの増殖に関する研究-I 種子の採取とその発芽および生長について，栽培技研，第3巻，1号，pp.123-131，1974.
- 6) 山本克則・小河久朗・難波信由・林文慶・越川義功・田中昌宏：アマモ場造成に向けた新しい種苗生産技術，月刊海洋，Vol.36，No.11，pp.846-850，2004.
- 7) 川崎保夫・石川雄介・丸山康樹：アマモ場造成の適地選定法，沿岸海洋研究ノート，第27巻，第2号，pp.136-145，1990.