

# アマモ場造成のための底質安定工法の開発

実施機関及び担当者：水産工學研究所 水産土木工學部  
漁場施設研究室

森口 朗彦  
高木 儀昌

開発システム研究室 仲宗根琢磨

共同調査機関：瀬戸内海区水産研究所 瀬戸内海海洋環境部

藻場・干潟研究室 吉川 浩二  
寺脇 利信

徳島県水産試験場 鳴門分場  
生産科

團 昭紀  
和泉 安洋

岡山県 農林部 水産課

田中 丈裕

調査実施年度：9年～11年

## 調査研究のねらい

アマモは沿岸の砂泥域に繁茂する数少ない海草類であり、その群落であるアマモ場は、アラメ・カジメやホンダワラ類等の岩礁性の藻場と同様、水産生物幼稚仔の保護育成や沿岸域の水質保全等の有用な機能を有している。また他の藻場と同様、主に開発行為により生息域の減少は著しく、回復を望む声は高いが、生息に適した海域は残り少ない。従ってアマモ場の回復には人為的な環境改変技術を用いる必要があり、比較的波浪の強い場を対象に、以下のコンセプトによるアマモ場造成技術の開発を試みた。

- ① 安価で造成でき、施工に特殊な技術を要さないこと（沿整施設の開発であること）。
- ② 周辺環境へ及ぼす藻場造成効果以外の影響（主に波、流れ）を最小とすること。
- ③ 設置に多大な労力と機械を必要としないこと。
- ④ 維持管理の必要がないこと。

## 調査研究方法

調査研究は、現存のアマモ場周辺を対象海域とした物理環境現地調査と、室内模型実験及び現地検証試験を併用した。

物理環境現地調査は、現存するアマモ場内外において波浪、流速、海底面高さ変動等の物理環境を観測し、そこで生じている現象を把握することで開発するアマモ場造成のための底質安定工の基本構造設定のための基礎資料を得ること、アマモの分布特性と物理環境の対比から、アマモ場造成工の適用限界についての目安を得ること等を目的に実施した。

室内実験は、造波水路内に移動床を設け、アマモ場造成工の模型を設置し、波浪場における底質安定機能について検証した。

現地試験では、想定したアマモ場造成工でアマモ場が形成されるかどうかについて実証した。これらの調査研究の流れを図1に示した。

### 1 アマモ場物理環境現地調査

#### (1) 対象海域

調査対象海域は、山口県大島郡東和町逗子ヶ浜地先（以下「逗子ヶ浜」という）及び徳島県鳴門市櫛木浜地先（以下、「櫛木浜」という）とした。位置を図2、3に示した。前者は瀬戸内海区水産研究所、後者は徳島県水産試験場鳴門分場においてアマモ場の分布特性等の調査が進められている場所で、多くの知見が得られている。

#### (2) 海岸の状況とアマモ分布状況

調査フィールドの概要を図4、5に示した。

逗子ヶ浜のアマモ分布状況は、吉川らの報告によると<sup>3)</sup>、ここ数年変化しておらず、水深D.L. -2m 前後を中心に、岸沖方向最大約50m、汀線方向約150mの横長のラグビーボール状のアマモ密生群落が形成されている。しかし、その汀線方向西側には、連続した同様の海岸であるにもかかわらず、アマモが全く生育しない海域が隣接する。外観上、この分布を異にする原因は、アマモ密生区と無生区に地形的な差がなく、目視観察では特定し得ないと考察している。

逗子ヶ浜においては、團らの報告によると<sup>1)</sup>、沖合20～60m、水深はD.L. -4～-5mの範囲にあ

り、数株から数十株からなる群落が散在するパッチ状の生育形態を示す。また、このパッチ状生育形態を出現させる主要因は、隣接の漁港内にはアマモが密生していること等から、波浪にあると考察している。

### (3) 観測項目と観測位置

観測は、アマモの種子の着底から発芽期に当たり<sup>4)</sup>、この期間の物理環境がアマモ群落の形成に大きく影響することや、本調査地点のように北に向いた海岸では冬季に波浪が厳しくなることから、アマモ場形成の鍵となると考えられる冬期（12月末から1月末程度）とした。

観測項目は、波高、流速、水深、海底面の高さを毎正時に観測した。また、底質を採取し、粒土、密度及び強熱源量を分析した。波高・流速・水位の観測には底設型自記式波高・流速計、海底面高さには光電式砂面計を用いた。

観測位置は前出の図4、5内に示している。逗子ヶ浜においてはアマモ密生区内とその極力隣のアマモ無生区内に各1点、櫛木浜においてはパッチ状のアマモ群落が形成されている海域のほぼ中心とその沖合とした。

## 2 室内模型実験

### (1) 実験施設

水産工学研究所増養殖水理実験棟風洞付造波水路（70×0.7×2.2m、水深1.2m）内に勾配1/50のコンクリート床を設け、その一部をポケットとし、実験砂（0.12mm珪砂）を敷き詰めて移動床とした。砂面高さの計測にはレーザー式砂面計と移動台車を導入した。

これらの概要を図6、7に示した。

### (2) 実験条件

実験条件は波高0.125m、周期2.83sec、基準点の水深を0.5mとした。想定縮尺を1/8とすると、実際の海域条件は、波高1m、周期8sec、水深4mである。砂村・堀川の海浜断面のタイプ分けを適用すると<sup>10)</sup>岸側が浸食され沖に堆積するタイプIとなる。

## 3 アマモ場造成現地検証試験

### (1) 対象海域

試験場所は、比較的波浪の厳しい櫛木浜とし、アマモ群落が形成されている場所（D.L.-5m付近）を主に、一部これより波浪条件の厳しくなる岸側約20mの地点（D.L.-3m付近）とした。

### (2) 機能確認

設置した施設の機能を確認するため、潜水作業による施設の設置状況、堆砂状況及び生育するアマモ本数・葉長測定を目視及び水中写真とビデオ撮影により実施した。

## 調査研究結果

### 1 物理環境現地調査の結果

#### 1.1 物理環境現地調査結果の概要

観測結果の概要を表1に示した。シールズ数は丸山ら<sup>5)</sup>の方法に準じて計算した。各地点での代表的な観測地を記述したのは、おおまかな場の特性を示すためと、本報では検討していないが参考文献9)等で示されているアマモの育成指標と比較するためである。

観測期間は逗子ヶ浜で1997年12月12日から1998年1月29日、櫛木浜では1996年12月11日から1997年1月29日までとした。当該海域ではこの時期に発生する冬季風浪がアマモ種子の出芽と同時期であり、これがアマモ群落の形成に大きく影響すると考えられたためである。

#### (1) 波浪

逗子ヶ浜では、アマモが密生している区域のほぼ中心（密生区観測点、基点より沖側45m、D.L.-2.3m）とその近隣、約80m離れた地点でアマモがほとんど見られない地点（無性区観測点、同約50m、D.L.-2.7m）において観測を行ったが、観測期間中、両観測地点ともほぼ同様の波高を示し、有義波高 $H_{1/3}$ が1mを越えることはなかった。有義波高 $H_{1/3}$ の最大値及びその周期 $T_{1/3}$ はアマモ密生区、無生区ともに0.9m、4.0秒であるが、出現は一時的なものであり、継続しない。波向きはNNE方向が卓越した。また、アマモ密生区と無生区では、荒天時に差違は見られないが、静穏時にはアマモ密生区がやや静穏度が高い傾向がみられた。

櫛木浜では、パッチ状のアマモ群落が形成されている区域（アマモ場内観測点、基点より沖側60m、D.L.-5.0m）と調査対象区域の最沖側（沖側観測点、同130m、D.L.-7.6m）で観測したが、両観測地点ともに波高1m以上となる時化は10回観測された。このときの波向きはNNE方向が卓越した。有義波高 $H_{1/3}$ の最大値及びその周期 $T_{1/3}$ は、沖側観測点で2.1m、5.8秒、アマモ場内観測点で1.8m、6.0秒であった。沖側の結果より、波高変化を浅水変形のみと仮定して沖波を逆算すると<sup>4)</sup>、沖波波高 $H_o$ は2.3mとなり、このときの砕波水深 $h_b$ は3.4m程度となる。

相対的に櫛木浜の方が逗子ヶ浜より波浪条件が厳しい海域である。

## (2) 流速

流速の解析は平均流速  $u_{mean}$  と振動流速振幅  $u_{1/3}$  について行った。平均流速は1観測時間に計測された流速全体を平均した値であり、数分や十数分のオーダーでは大きな変化はしない。振動流速振幅は波浪に起因し、数秒から十数秒で流速が振動するように前後に変化する。この振動幅を波浪解析と同様の手法で1/3最大平均処理をしたものである。例えば、直立しようとするアマモを傾がせるよう作用するのが平均流速であり、揺らすのが振動流速振幅である。なお、波浪と同じ機器及び地点で観測した。

逗子ヶ浜では、平均流速においてアマモ密生区とアマモ無生区に顕著な差が見られた。総じて無生区で大きく、最大値では密生区が0.13m/sであったのに対し無生区では0.30m/sと2.3倍の開きがあった。観測期間内全平均値でも0.04cm/sに対して0.05m/sとなった。なお、両地点とも平均流速の大小は周期的に現れ、波浪が激しくなるとやや大きい方にシフトするという出現形態を示した。一方、振動流速振幅では差は見られない。

櫛木浜での平均流速は、波浪の激緩に追従するように生じており、最大は沖側、アマモ場内観測点とも0.1m/secであった。波動流速振幅は、波浪の強弱に伴って変動し、最大は沖側観測点で0.6m/sec、アマモ場内観測点で0.9m/secであった。

平均流速の出現形態から、その機動力として逗子ヶ浜は潮汐が卓越し、櫛木浜は局所的な波浪分布に起因する海浜流系統が卓越していると推察される。

## (3) 海底面変動

櫛木浜では、波浪が大きくなると侵食が生じ、静穏になると元に戻るという動きをした。最大侵食深さはアマモ場内沖側砂面計設置点で12cm（波浪等のアマモ場内観測点より5m程度沖側、D.L. -5.4m）、アマモ場中央砂面計設置点（同5m岸側、D.L. -4.4m）で7cmであった。

逗子ヶ浜では、アマモ密生区と無生区（ともに波浪等の観測点と同）に顕著な差が見られた。密生区では、底質は安定しており、むしろ波浪の出現に伴って微少ではあるが堆積する傾向が見られる。一方、無生区では荒波浪時に急激に侵食される状況が見られ、その深さは最大12cmであった。静穏になると元に戻るが、すぐに回復する場合と時間を要する場合とがあった。

## 1. 2 物理環境特性の比較

底質の不安定性に関する物理環境の厳しさで見ると、シールズ数の計算の際に平均流速の寄与は波浪に比べてきわめて小さかったことから、波高の大きい櫛木浜が逗子ヶ浜に比べて厳しいものとなっている。S.M.B.法による沖波の推算方法や波浪の方向別エネルギー分散性、波の浅水変形等の解析法を用いることにより<sup>7)</sup>これらの海象条件はほぼ同様の気象条件から生じたものであり、両者の差異は沖合の島による遮蔽等の地形的な要因によるものであることを確認している。また、逗子ヶ浜アマモ密生区と無生区では、これらの条件に差は見られない。

底質粒径は、櫛木浜アマモ場中央の砂面計設置位置で中央粒径が大きくなっている他は、全砂面計設置位置で同様の条件である。

海底面侵食量（侵食を正、堆積を負の数値で表示）では、アマモ分布の少ない櫛木浜アマモ場沖と逗子ヶ浜アマモ無生区がほぼ同じ侵食状況を示しているのに対し、パッチ状とはいえアマモが生育する櫛木浜アマモ場中央ではその侵食傾向がやや小さくなり、逗子ヶ浜アマモ密生区ではわずかではあるが堆積している。

底質の不安定性を示す指標であるシールズ数を見ると、櫛木浜アマモ場沖で最も大きく、櫛木浜アマモ場中央及び逗子ヶ浜アマモ密生区でほぼ同等の値を示し、逗子ヶ浜アマモ無生区が最も小さい値を示した。

以上のことから、「海象条件が厳しい（波高）→底質が不安定（シールズ数）→海底面の侵食」という図式がアマモの存在やその分布密度・形態により違ってくるのが感じられる。

## 1. 3 アマモの分布特性と物理環境要因との関連に関する若干の考察

### (1) アマモ群落の維持に関して

逗子ヶ浜のアマモ密生区に密生してアマモ群落が維持される直接的な要因は、海底面位置変動が小さいためであることがわかる。このことは、海水流動により砂泥の移動をアマモが防いでいるとするアマモ場の環境特性と一致する<sup>3)</sup>したがって、アマモの群落の維持に関しての指標としてシールズ数を用いることは妥当であると考えられる。しかしながら逗子ヶ浜のアマモ密生区と無生区のシールズ数を比較すると、密生区の方が大きな値を示した。このことは、密生区の方が底質が不安定であることを意味し、海底面変動位置の観測結果と異なる。これが生ずる原因としては、シールズ数の計算の際、観測機器の流速センサーの位置で計った波動流速振幅を微小振幅波理論に基づきアマモの存在を考慮せず底層流速に換算したためと考えられる。流速計センサー付近では、アマモ草体は振動流の抵抗体となっていないことは、密生区と無生区の波動流速振幅の観測結果に差がないことから分かる。これはアマモが振動流に逆らわずに揺れ動くためであろう。しかし底面付近の茎あるいは地下茎は動かないため、流速に対する抵抗物体となる。これを考慮していないため、実際の底層流速よりも大きく見積もっている可能性がある。加えて、実際の底層流速が小さいことから、粒径の小さい底質がこの場に保持されることも原因して、相乗

的にシールズ数を大きく見積もっていると考えられる。

見方を変えれば、アマモ場にアマモが密に存在することにより底層流速を抑え、アマモが自らの着生基質である底質を安定させることによりアマモ場が維持されていると考えられる。現地調査時に漁業者からの聞き取りによると、逗子ヶ浜周辺海域は過去、海苔網漁業が盛んに行われており、アマモ場が現在よりも広く分布していたとのことであった。海苔網というエネルギー吸収体により冬季には波浪が抑えられ、生育に適した条件が整っていたが、海苔養殖業の衰退に伴い環境条件が厳しくなり、アマモ場は縮小した。そして、アマモ場自体の底質安定機能によりアマモ場が維持できる条件の場所のみが残り残ったものと推察される。

一方、櫛木浜では、前年度の報告でも述べたが、團らの報告によると<sup>2)</sup>、春期にパッチ状に育成したアマモの大部分は秋期の波浪により流出・消滅する。また、数年維持されるアマモ場は、その根を大きな礫や古い根の固まりに絡ませて自身を保持しているとも報告している。このことから櫛木浜の厳しい波浪条件下ではアマモ場の底質安定機能をもってしても底質は安定しないが、他の安定した物体に頼ることで草体を維持することができることが推察される。実際に潜水等により生残したアマモの地下茎部を観察すると、大小不揃いの底質中や障害物に遮られながら伸長した多数の根は相互に絡まり合い、また底質を抱え込んでいるように見え、その効果により自らを安定させているようである。

## (2) アマモ場内の物理環境と造成適地の指標

以上の結果より、アマモは底質が安定していれば櫛木浜のような比較的厳しい条件下でも草体は折れたりちぎれたりすることなく存在しうることから、底質の安定性が群落の維持に大きく関係しており、この底質の安定性を示すシールズ数をこれらの現象を表す指標として用いることの合理性は明らかである。しかし一方で、アマモ場内で求められたシールズ数はアマモ場内の底質の安定性を示していないことも、逗子ヶ浜のアマモ密生区と無生区の観測結果の比較で明らかになった。

これらから言えることは、アマモ場内の物理環境と造成適地の指標とは別個に考えなければならないということである。

類似の研究として、丸山ら<sup>5)</sup>は海底面位置変動量が10cm以下となる条件としてシールズ数が0.08以下の場所が適地であると述べている。また、中瀬ら<sup>6)</sup>は、波浪条件として年間を通じての沖波波浪データの90%超過値を用い、数値シミュレーションより対象とするアマモ場の物理環境特性を推算し、底質粒度の測定結果からシールズ数の平面的な分布を求め、その結果と現存するアマモ場の分布状況、アマモ場のシールズ数が0.11から0.50であったとしている。

中瀬らは、丸山らの提唱したアマモ場造成適地指標としてのシールズ数0.08を自らの観測・調査結果である0.11から0.50と比較し、丸山らの調査フィールドはかなり底質の安定した場所であると評している。しかし、この0.08という値は室内実験等により洗掘深さが10cm以下、これは地下茎が露出し草体が保持できなくなる限界値であるが、それを示したものである。したがって、中瀬らの行った現存のアマモ場における底質粒径と波浪条件から計算した方法による値とは単純に比較できない。

丸山らの値はアマモの無い海域において、工学的な環境改変工法を用いない移植等のアマモ場造成を行う際の指標となるが、アマモ場自身の持つ底質安定機能を評価していないことから、造成適地の基準としてはやや厳しい安全側の値であると考えられる。波浪等の再現確率を十分考慮することにより、さらに厳しい環境条件下でも造成は可能であろう。この値は、アマモ場が完全に形成される前に生じてはならない条件、土木工学的な表現を用いれば施工途中における安全基準として考えることができる。

今回の観測結果等からは、アマモ場自身の持つ底質安定機能を考慮した大規模な工学的環境改変を伴わない造成工法の適地基準として、シールズ数0.12を提案することができる。これは、逗子ヶ浜のアマモ無生区で観測したシールズ数の最大値である。隣接するアマモ密生区と地形的に差はなく、物理環境条件の厳しさは同一と考えられること、この条件が生じた前後で密生区のアマモ育成状況に変化が見られなかったこと、したがってこの無生区に濃密なアマモ場が形成されていれば今回観測したような海象条件が発生してもアマモ場は隣接の密生区同様、維持されるものと考えられるためである。ただし、逗子ヶ浜アマモ無生区のようにこの消失限界付近の条件下では、自然状態でのアマモ場の回復は期待できないことから、再現確率について十分配慮する必要がある。

注意すべきことは、今回の観測は冬季に限定しているため、夏期のアマモが枯れる時期に底質安定機能が発揮するかどうか疑問が残ることである。さらに詳細な知見が得られるまでは、冬季風浪が最も厳しいという条件が成立する北向きの海岸のみに適用すべきであろう。一方で、今回の観測期間内に出現しなかったさらに厳しい条件下でもアマモ場が維持される可能性があることから、この意味ではやや安全側の値であることも示唆しておく。

## 2 アマモ場造成工の設定

アマモ場物理環境現地調査の結果から、底質の安定がアマモの育成にとって重要であることが明らかとなった。アマモの生育サイクルを考えると、波浪の厳しい冬季は種子の着底と発芽の時

期に当たるため、種子と幼生の安定を図る必要があり、また生長した実生が草体を安定するための基質が必要となる。

この機能を発揮し、かつ目的で述べた施設開発の観点から、構造を図8のように設定した。主な材料は、時期が来れば腐食・消失する鋼材とし、部材は上部工、中部工、下部工とした金網状のエキスパンドメタルを加工したものと、安定工とした鋼板、並びにアマモ種子と土をガーゼ袋に詰めた播種袋よりなる。

各部材の機能をは図9に記したとおりである。これを発芽期である冬季に設置するが、図10に示したとおり、設置直後には漂砂をトラップすることにより、種子と幼生を安定を図る。数年を経過した後は、上部工、中部工は腐食により消滅し、藻場拡大の妨げになることを回避、残った安定工が引き続き周辺の洗掘を防止するとともに、底質に埋もれ腐食を免れた下部工に根が絡み、栄養株による拡大が図られることを目指している。

### 3 室内模型実験による底質安定機能検証結果

#### (1) 基本型

まず最初に、施設を置かない状態での海底面変動をみた。8時間経過後、当初目論見通り、岸側が侵食されて沖に堆積する状況が再現された。

次に模型を移動床上に静置し、同様の実験を行った。模型の設置点は、施設のない状態でもっとも侵食量の大きくなった基準点より1.6m岸側の位置とした。目視観察によると、造波開始直後より模型上に砂が堆積し始め、造波1時間後には下部工全体と安定工のほぼ8割程度、及び上部工についても約半分近い面積が砂中に没した。その後、造波終了時まで、この状態が維持された。造波終了後、安定工の角部1部が洗掘されていたが、小規模であり、下部工の部分まで及ぶことはなかった。

8時間波を作用させた後の砂面移動の結果を施設模型無しの場合と対比したものが、図11である。模型より岸側での侵食状況は同様の状況であるが、模型により沖方向への漂砂がトラップされ、沖側の堆積量が少なくなっている状況がわかる。模型の高さは実験開始前と同じ位置であり、沈下、移動はなかった。また、侵食状況が緩和された区間は模型幅の2.5倍程度となった。

また、実験中、施設模型は移動、振動はせず、安定な状態が維持された。

#### (2) 地下茎伸長対応型(台形構造)

アマモは地下茎を伸長し分布範囲を拡大して行く(無性生殖)が、基本型のアマモ場造成工は堆砂性確保のため上面全体をエキスパンドメタルで覆っていることから、この無性生殖行動が阻害されることが懸念された。このため、図12に示すような地下茎の伸長に対応した構造のアマモ場造成工を考案した。特長としては、

- ・ 上部覆工を無くし、代替として安定工の形状を、他で実施した基礎実験により堆砂性が確認されている台形構造とした。

- ・ 堆砂工は従来と同様(並行型)及び一部を切除したもの(千鳥格子型)とした。前者は横方向への地下茎の伸長が期待され、後者はさらに前後方向への伸長も期待される。

これらについて同様の実験を行ったところ、模型上部への砂の堆積状況は並行型で基本型にやや少なく、千鳥格子型ではさらに少ない状況であった。また、沖側端部の洗掘も基本型よりも大きい状況であった。一方、図13に示した砂面全体の状況を見ると、模型設置地点から岸側において、模型のない状態では侵食傾向であったものが堆積傾向に転じている。これは基本型には見られなかった現象で、周辺域へ底質安定機能が及ぶ範囲が広がっている。

### 4 アマモ場造成現地検証試験結果

#### 4.1 第1期試験(1997年1月～)

現地実験での作業はすべて人力で行う必要があることから、試験施設の寸法と構造を図14のように設定した。重さは約30kgである。エキスパンドメタル部分は目合い約40mm×20mm、太さ約4mm×1mm程度のものを用いた。組立はボルト・ナットで行う。また、試験施設の方が一の散逸防止のため、鋼製の杭で砂面上に固定することとした。

種子及び播種袋は徳島県水産試験場より提供いただいた。

組立作業は櫛木漁港岸壁で行った。それを用船した漁船に積み込み、船上よりロープで水中に投入し、潜水作業により所定の位置に設置した。作業は概ね順調に進んだが、エキスパンドメタルにあけた穴にボルトが入りにくい、上部工、中部工が変形・破損しやすい、投入時に播種袋がずれるなどの不具合があった。

設置は平成9年2月に行った。設置位置は水深約5mの地点とし、試験施設10基および周囲洗掘防止の必要の有無を確認するため6mm厚鋼板よりなる洗掘防止工7枚を図15に示す形状に設置した。

設置後1年を経過したところで、洗掘防止工全部と施設本体の安定工の外側周囲部分は完全に砂中に没した。しかし、安定工の内側は一部が露出し、洗掘を受けた状態になった。砂の堆積状況は上部工上までは達しないが全体に薄く堆積している状況であった。また、上部工及び中部工上部はかなり腐食が進み、一部消失していた。

アマモの育成状況は、上部工から突き出て成体なったのはわずかであり、側部から上部工、中部工をかわして生長しているものが見られた。これは、静穏時にある程度生長したものが、波浪により揺れ、上部工により茎が切断されたものか、あるいは設置直後より上部工部に繁茂した付着物が上への生長を阻害したことによるものと考えられた。その後、アマモは全て消失した。

#### 4. 2 第2期試験 (1998年2月～)

##### (1) 構造

第1期の結果を基に、以下の改良を加えた。

上部のエキスパンドメタル部に付着物が密生し網目が詰まることにより、アマモの出芽が抑えられたことから、

- ① 底層漂砂の摩擦により付着物の剥離を促すため、高さを低くする。
- ② 付着物の付着面積を小さくするため、エキスパンドメタルを細いものにする。
- ③ 底質保持機能を確保するため、網目を細かくする。

設置施設の一体化を図るため、

- ④ 両脇の鋼板部を削除する。

陸上での準備作業等の施工性を向上させるため、

- ⑤ 播種袋を挟む作業が円滑に行えるよう、可能な限り工場で一体化とする。
- ⑥ 上部エキスパンドメタル部を保護し、また陸上や船内で一時積み重ねることができるよう上部に枠を設ける。
- ⑦ 荷役が容易になるよう、取っ手を設ける。

図16に構造の概要を示した。用いたエキスパンドメタルは上部覆い工及び漂砂保持工が目合い約20mm×10mm、太さ約2mm×1mm、その他の部分は目合い約40mm×20mm、太さ約4mm×1mmとした。また、④及び⑥、⑦の改良点に関しては、前後の鋼板を棒鋼で連結し、上部工のものを角アーチ状に曲げることで対応した。平面配置を図17に示した。第1期に一部設置した岸沖側の洗掘防止工については、設置の有無によって洗掘状況に差は見られなかったため除去した。

なお、種子は岡山県より提供していただき、播種袋は第1期同様徳島県水産試験場に作成いただいた。

##### (2) 施工性

工場で製作した鋼製マットは、事前に鳴門市内にある徳島県水産試験場鳴門分場に送付し、設置作業当日積み出し場所である櫛木漁港に移送し、そこで組み立て作業を行った。移送作業は2人で円滑に行うことができ、また今回実験に供した8枚の鋼製マットと4枚の洗掘防止工及び固定杭、作業工具等は1500ccクラスのライトバンに若干の余裕を持って積み込むことができた。

播種袋を上部工、下部工で間に入れ鋼製マットを組み立てる作業は、この種の作業には熟練しているとは言いがたい4人の労力とラチェットレンチ、モンキーレンチ、メガネレンチ、スパナ、プライヤ各1個を用いて約1時間で完了した。第1期より枚数が2枚少ないとはいえ、2時間以上要した作業が約半分に短縮され、作業性は飛躍的に向上した。

船上に積み込む作業についても、持ち手がついていることと気軽に積み重ねられることから円滑に作業は進んだ。船上のスペースにも余裕が生じ、潜水作業員の準備や鋼製マットの海中投入作業の安全性も向上した。

海中投入作業は、上部工の両連結工部にロープを通して両端を持ち、垂直に海中に投入、着底後片方のロープをはなしてロープを回収するという手順で行った。比較的無造作に作業を行ったが、鋼製マットに破損等は見られなかった。また、鋼製マットを船上から船外へ出す際も当然船上作業員が人力で行うが、鋼製マットを上下逆さまにし、連結工部を船縁に滑らせる方法が採れたので、安全かつ容易な作業状況であった。

潜水作業員による海中での設置位置への移送と固定杭を打ち込み海底面に設置する作業は、前年度同様、円滑に実施された。

船上への積み込み、海中投入及び海底面への設置の一連の作業は、潜水作業員2名、船上作業員4名、船操作員1名で行ったが、1時間10分ですべての作業は完了した。

##### (2) アマモ場造成機能

設置約2ヶ月後の4月下旬には出芽が確認され、その後順調に生長を続けた。図18は設置後約3ヶ月後に実施した潜水による育成状況観察結果である。図は、上が沖側、下が岸側を示し、鋼製マット上をおおむね2×2の4区画に区分し、そこに育成したアマモ本数と平均葉長を記している。沖側設置、岸側設置で大差は見られず、単位面積当たりに換算すると、沖側設置マットで平均76.5本/㎡、最大177.8本/㎡、岸側で平均67.9本/㎡、最大227.2本/㎡であった。その後、7月8月と本数は変わらないものの、葉長は順調に生長していった(写真1)。

しかし、設置6ヶ月後の9月上旬になると突然枯死が始まり、形成されたアマモ場は急速に衰退、設置8ヶ月半後の11月16日調査時には、沖側に1本を残すだけとなった。この時期は、自然状態においてもアマモの枯死する時期と一致するが、周囲では残存しているものもあり、枯死の状況は鋼製マットほど顕著ではなかった。

##### (3) 海中での鋼製マット本体と堆砂の状況

上部工エキスパンドメタル部には、設置後1ヶ月時点の3月下旬でシオミドロ状の付着物が現れ、1ヶ月半後の4月上旬には上部工エキスパンドメタル部全体を覆うようになった。しかし、マット上に堆砂が進み、天端上まで砂が現れるようになった2ヶ月後4月下旬からはアマモの生長に合わせるように次第に消え始め、4ヶ月後の7月下旬には大半が消失した。

堆砂の状況は、当初は良好な堆砂機能を示し、前述のように設置2ヶ月後4月下旬には天端上に堆積した砂が見え始め、設置約3ヶ月後6月5日時点では端部を除く多くの部分に堆砂が見られた。しかし、9月以降、沖側に設置したものでは沖側から洗掘が生じ、設置8ヶ月半後の11月16日調査時には本体のほとんどが露出し、沖側4分の1程度が中に浮く状況となっている。一方岸側に設置したものは、11月調査時点で全体が砂に埋没している。

腐食は、設置5ヶ月後の7月下旬より上部覆い工及び漂砂保持工の腐食・消失が見られ、11月調査時点では、沖側設置のもので上部覆い工のほとんどと漂砂保持工の7割以上が消失していた。岸側のものは砂に埋没していて確認できないが、やはりほとんど消失しているようである。その他の部分については残存している。

## 摘要

本研究によりアマモ場造成のための底質安定工の基本的な形状が示され、そのアマモ場形成機能についても検証された。また、海象条件による工法に必要な適用限界等についても多くの知見が得られた。

残された課題は、まず第一に形成したアマモ場の維持に関してである。第2期アマモ場造成現地検証試験において形成したアマモ場が維持されなかった主要因は、エキスパンドメタル製の上部覆い工及び漂砂保持工が意外と早く腐食、消失してしまったことによる。これは付着面積を小さくし、付着物の発生を抑えるために部材を細くしたことに起因するが、調査の結果、付着物はやはり発生した。しかし高さを低くしたことにより、漂砂による剥離作用等の働きでその後付着物は除去され、アマモの生長が促されている。従って、部材を太くしてもアマモの生長に影響しないことが予想され、これにより腐食に対する耐性を高めることが可能であると考えられる。また端部の洗掘については、洗掘防止の簡単な構造物を設置することで対処できる。これらの機能を実海域試験で実証する必要がある。

さらに長期にアマモ場を維持していくためには、地下茎の伸長すなわち無性生殖が不可欠である。これに対応した形状では、模型実験の結果、堆砂性がやや劣り、沖側端部の洗掘も大きかったが、周辺への広範囲な底質安定機能を示したことから、これら数基を岸沖方向に組み合わせることや、この広範囲な底質安定機能を応用した沖側端部洗掘防止工を設置することで、機能的なアマモ場造成が可能であると考えられる。これらについてさらに実験を重ねる必要がある。

事業化に向けての最大の課題は造成したアマモ場の機能評価である。アマモ場の増殖機能、魚礁としての機能、あるいは海底の底質安定機能等の副次機能を的確に把握・評価する必要がある。

## 謝辞

現地調査の実施に当たり山口県東和町漁業協同組合及び徳島県北灘漁業協同組合に多大なご協力を頂いた。ここに期して謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 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，1998
- 2) 森口朗彦・高木儀昌・仲宗根琢磨・吉川浩二・和泉安洋：鋼製マットによるアマモ場造成の試み，平成12年度日本水産工学会学術講演会講演論文集，p67-68，2000
- 3) 團 昭紀・森口朗彦・三橋公夫・寺脇利信：鳴門地先におけるアマモ場と底質及び波浪の関係，水産工学，34(3)，299-304，1998
- 4) 吉川浩二・有馬郷司・寺脇利信・吉田吾郎：藻場造成の持続化技術の開発，平成7年度沿岸漁場整備開発事業に関する水産庁研究所研究報告書，水産庁振興部開発課，1997
- 5) 徳田 廣・大野正夫・小河久朗：海藻資源養殖学，緑書房，230-246，1986
- 6) 丸山康樹・五十嵐由雄・石川雄介・川崎保夫：電源立地地点の藻場造成技術の開発第8報－アマモ場造成適地の砂地盤安定度の推定手法－，電力中央研究所報告，U87069，1987
- 7) 中瀬浩太・檜山博昭・田中裕一：アマモ場造成工法の開発（その1），五洋建設技術研究所年報，Vol.20，1991
- 8) 水産庁監修：沿岸漁場整備開発事業施設設計指針（平成4年度版），（社）全国沿岸漁業振興開発協会，16-62，1994
- 9) 日本水産資源保護協会：アマモ類、環境が海藻類に及ぼす影響を判断するための「判断基準」と「事例」，38-47，1992
- 10) 堀川清司：[新編] 海岸工学，東京大学出版会



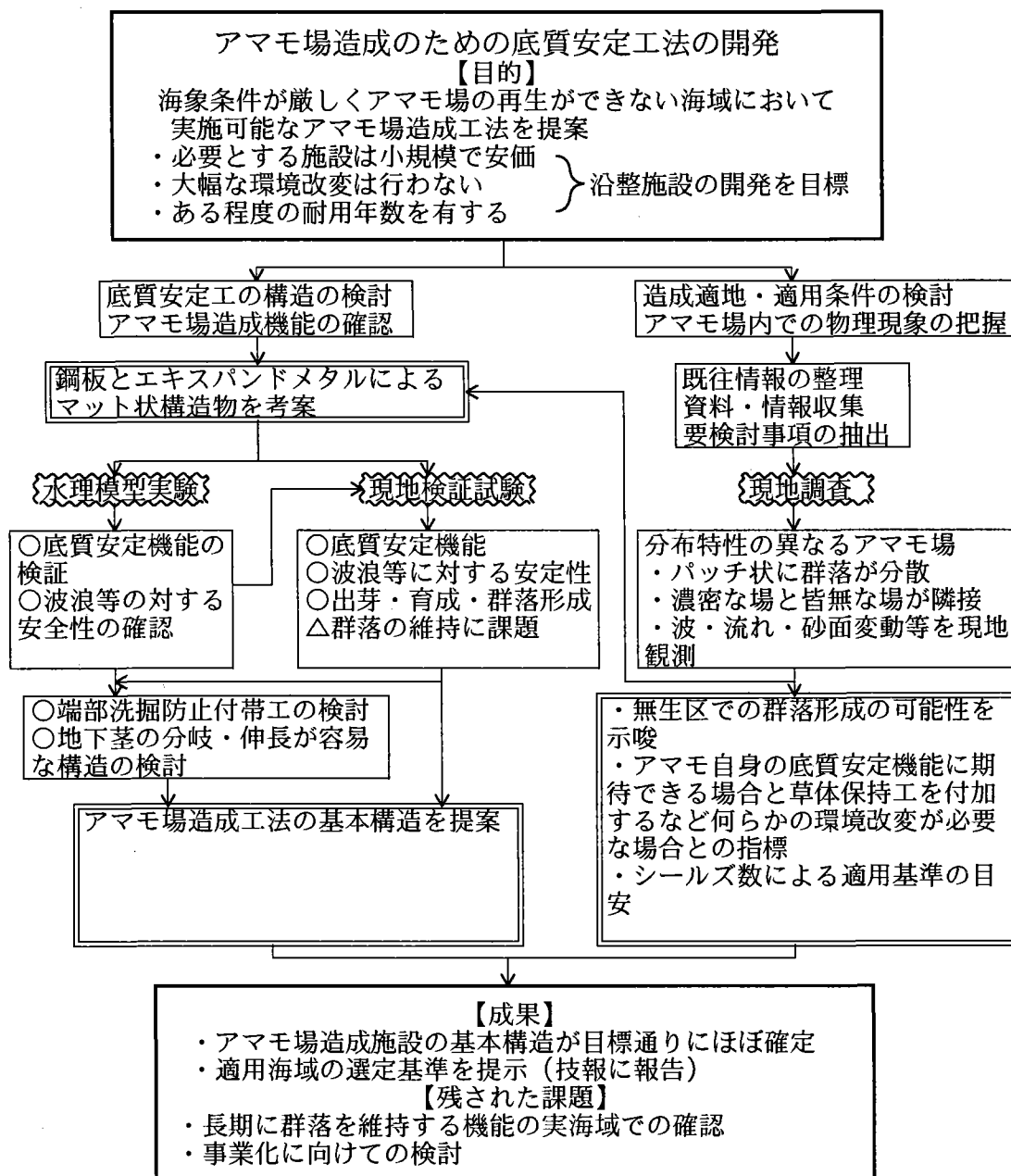


図1 調査研究の流れ



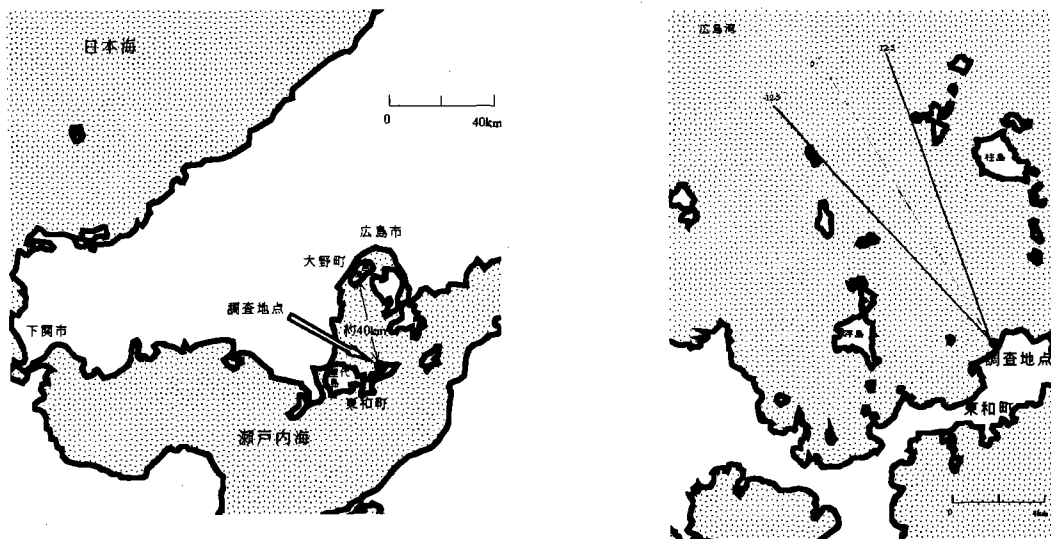


図2 逗子ヶ浜位置図及び地形図

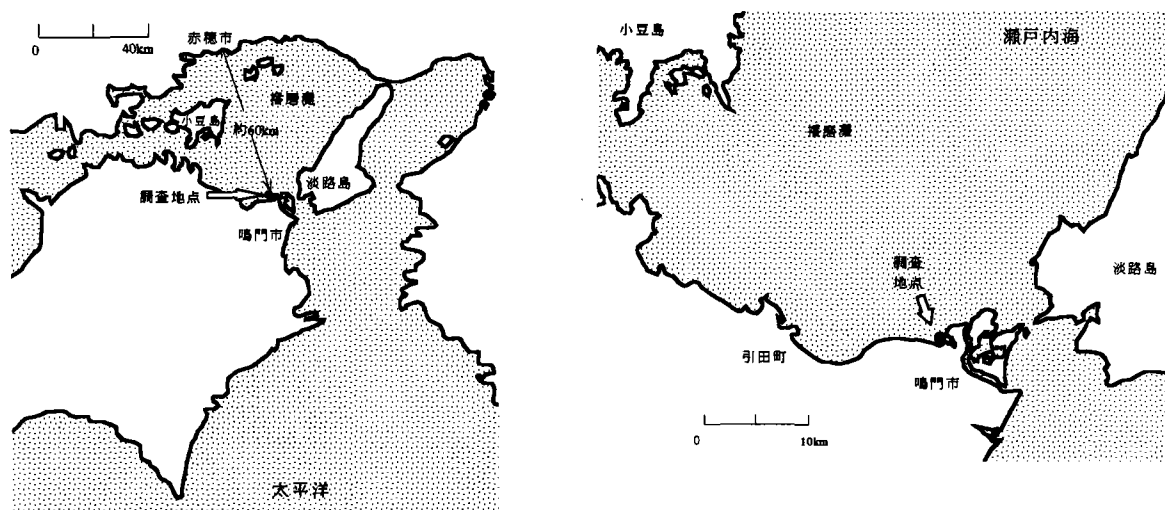


図3 櫛木浜位置図及び地形図

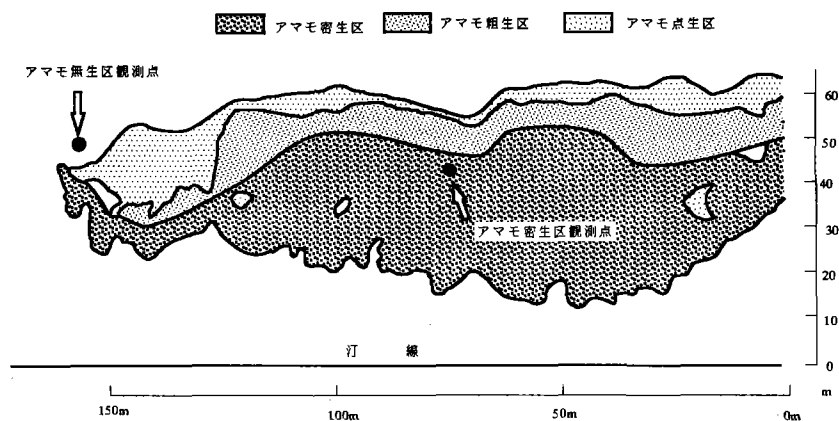


図4 逗子ヶ浜調査フィールドの概要

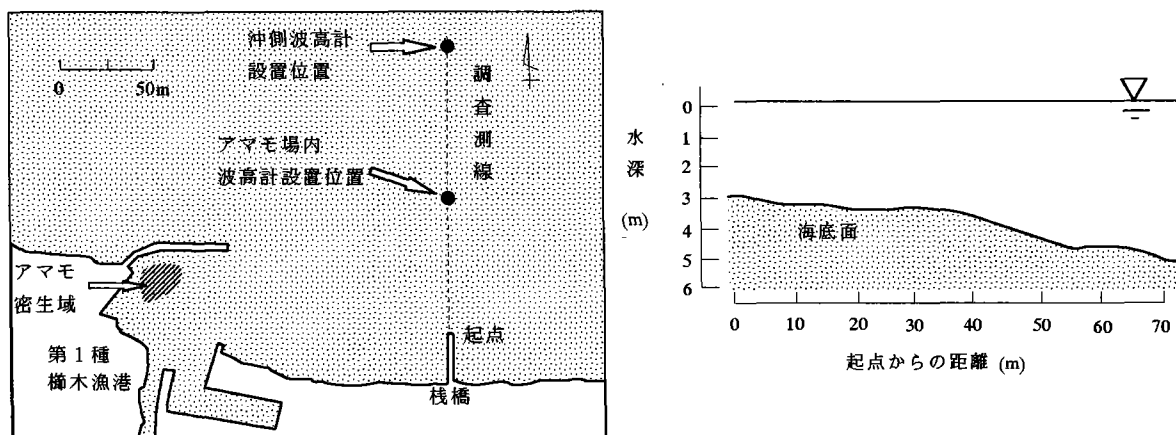


図5 楠木浜調査フィールドの概要

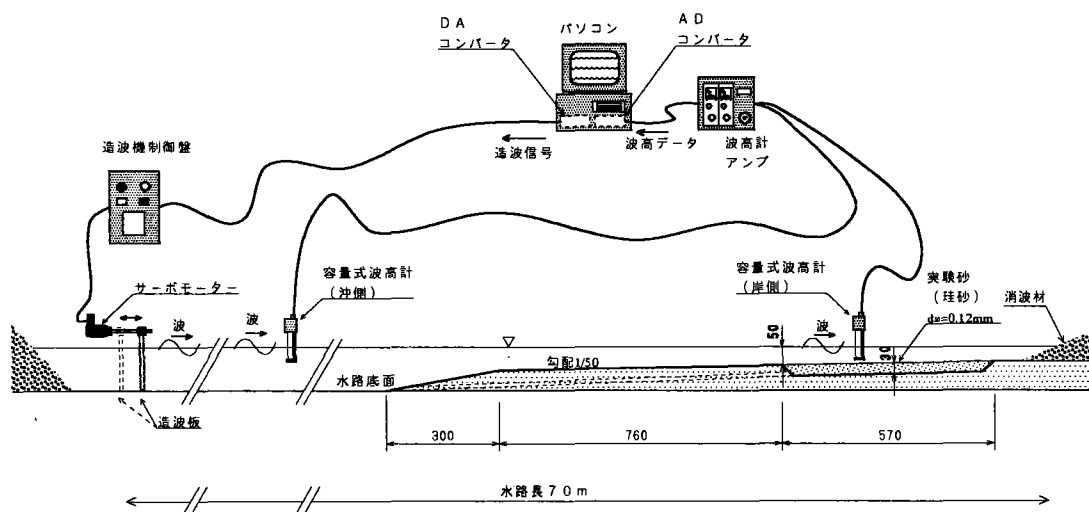


図6 実験水路概観

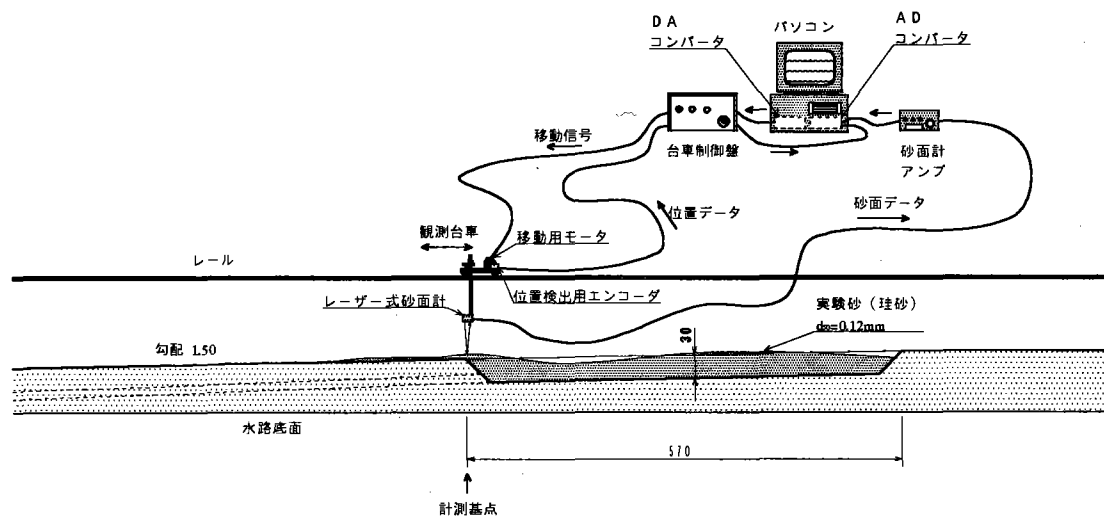


図7 移動床及び砂面計測システム概観

表 1 観測解析結果主要データ

|        | 水深  | 潮位差 | 有義波高             | 周期               | 波動流速<br>振幅         | 平均流速                | 海底面<br>侵食量 | 中央粒径             | 密度                   | シールス数 |
|--------|-----|-----|------------------|------------------|--------------------|---------------------|------------|------------------|----------------------|-------|
|        | (m) | (m) | $H_{1/3}$<br>(m) | $T_{1/3}$<br>(s) | $u_{1/3}$<br>(m/s) | $u_{mean}$<br>(m/s) | (m)        | $d_{50}$<br>(mm) | (g/cm <sup>3</sup> ) | (-)   |
| 【櫛木浜】  |     |     |                  |                  |                    |                     |            |                  |                      |       |
| 沖側     |     |     |                  |                  |                    |                     |            |                  |                      |       |
| 最大     | -   | 2.2 | 2.1              | 5.8              | 0.59               | 0.12                |            |                  |                      |       |
| 10%超過  | -   | -   | 1.2              | 5.2              | 0.22               | 0.04                |            |                  |                      |       |
| 平均     | 8.5 | -   | -                | -                | 0.01               | 0.01                |            |                  |                      |       |
| アマモ場内  |     |     |                  |                  |                    |                     |            |                  |                      |       |
| 最大     | -   | 2.5 | 1.8              | 6.0              | 0.92               | 0.11                |            |                  |                      |       |
| 10%超過  | -   | -   | 1.1              | 5.2              | 0.40               | 0.04                |            |                  |                      |       |
| 平均     | 5.5 | -   | -                | -                | 0.10               | 0.01                |            |                  |                      |       |
| アマモ場沖  |     |     |                  |                  |                    |                     |            |                  |                      |       |
| 最大     | -   |     |                  |                  |                    |                     | 0.12       | -                | -                    | 0.32  |
| 10%超過  | -   |     |                  |                  |                    |                     | -          | -                | -                    | 0.05  |
| 平均     | 5.9 |     |                  |                  |                    |                     | -          | 0.26             | 2.7                  | 0.01  |
| アマモ場中央 |     |     |                  |                  |                    |                     |            |                  |                      |       |
| 最大     | -   |     |                  |                  |                    |                     | 0.07       | -                | -                    | 0.27  |
| 10%超過  | -   |     |                  |                  |                    |                     | -          | -                | -                    | 0.05  |
| 平均     | 6.1 |     |                  |                  |                    |                     | -          | 0.76             | 2.7                  | 0.01  |
| 【逗子ヶ浜】 |     |     |                  |                  |                    |                     |            |                  |                      |       |
| アマモ密生区 |     |     |                  |                  |                    |                     |            |                  |                      |       |
| 最大     | -   | 4.3 | 0.9              | 4.0              | 0.78               | 0.13                | -0.03      | -                | -                    | 0.23  |
| 10%超過  | -   | -   | 0.5              | 3.6              | 0.25               | 0.08                | -          | -                | -                    | 0.03  |
| 平均     | 4.3 | -   | -                | -                | 0.09               | 0.04                | -          | 0.30             | 2.7                  | 0.01  |
| アマモ無生区 |     |     |                  |                  |                    |                     |            |                  |                      |       |
| 最大     | -   | 4.3 | 0.9              | 4.0              | 0.55               | 0.30                | 0.12       | -                | -                    | 0.12  |
| 10%超過  | -   | -   | 0.5              | 3.6              | 0.23               | 0.11                | -          | -                | -                    | 0.03  |
| 平均     | 4.7 | -   | -                | -                | 0.09               | 0.05                | -          | 0.32             | 2.7                  | 0.01  |

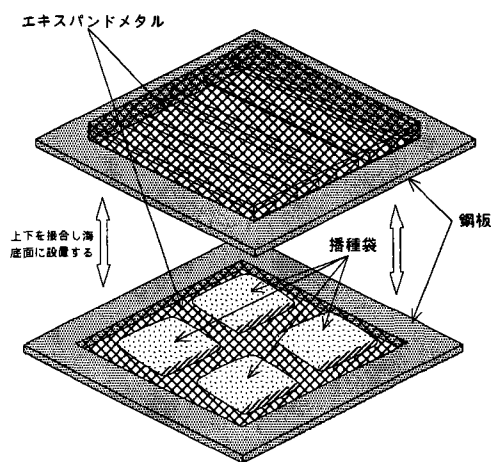


図8 基本構造

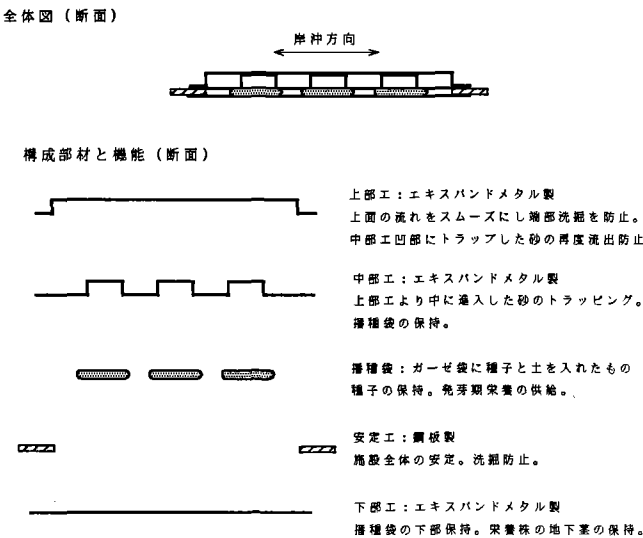
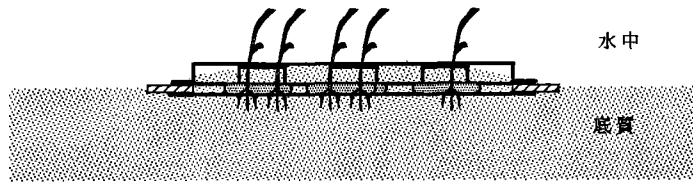


図9 各部材の機能

設置直後の発芽期の状況（目標）



設置数年後の繁茂期の状況（目標）

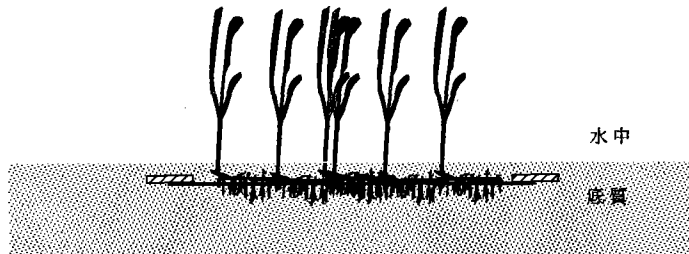


図 10 アマモ場造成工の働き

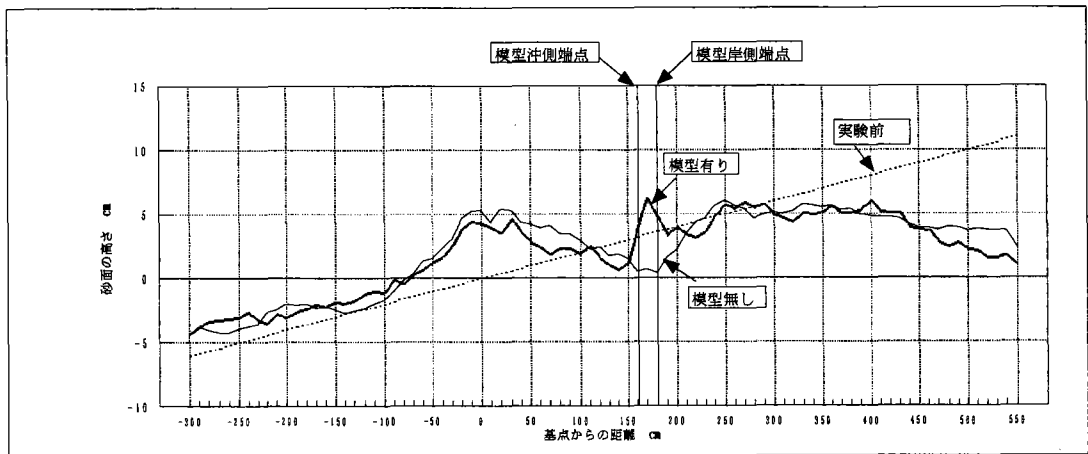


図 1 1 8時間後砂面形状比較（基本型）

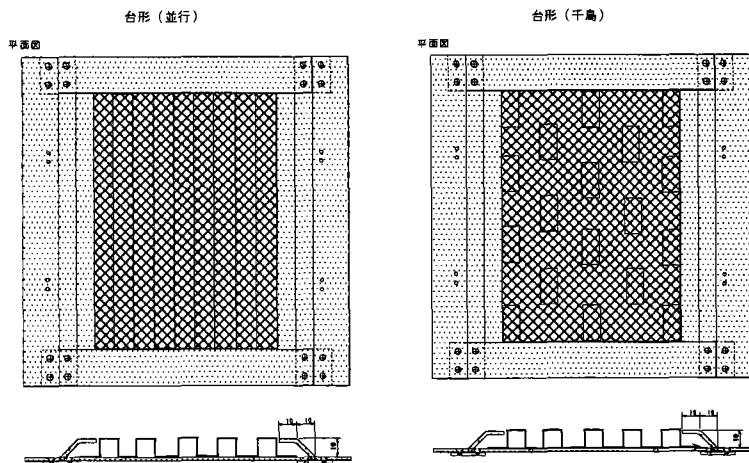


図 1 2 地下茎伸長対応型概観

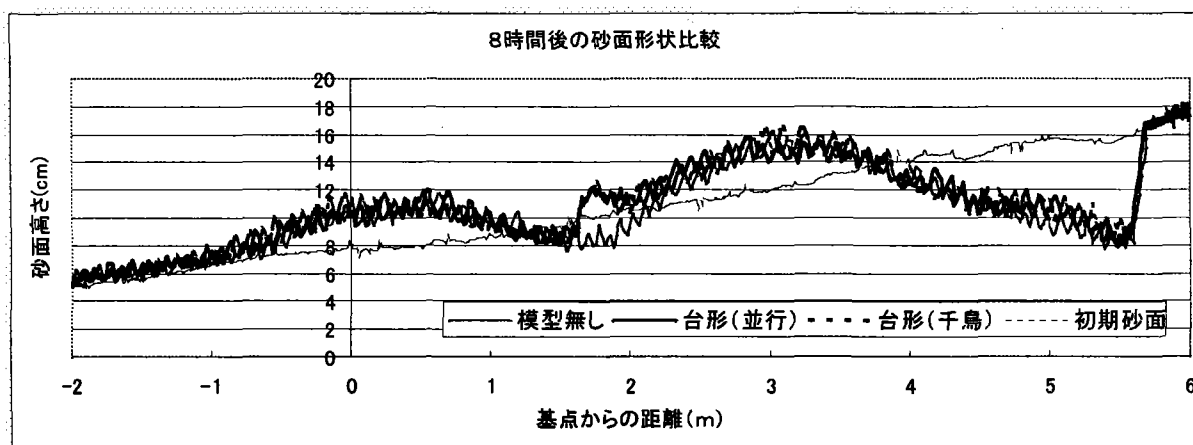


図 1 3 8 時間後の砂面形状の比較 (地下茎伸長対応型)

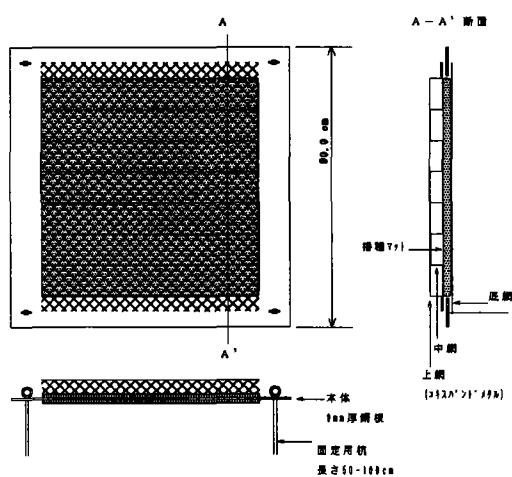


図 1 4 現地試験施設概観 (第 1 期)

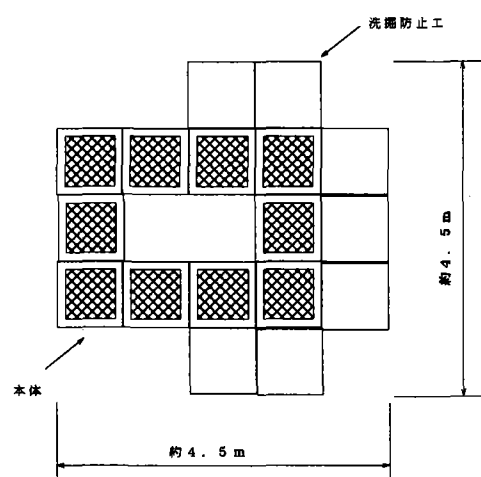


図 15 設置状況 (第 1 期)

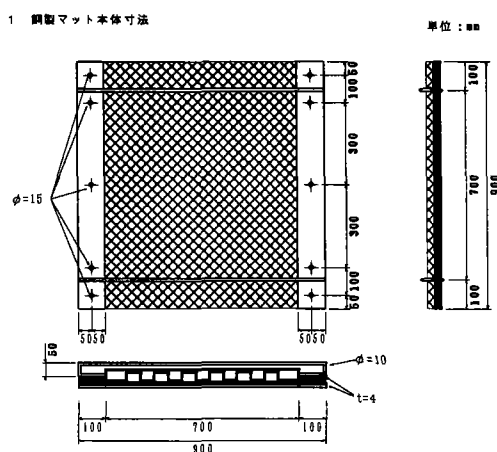


図 16 現地試験施設概観 (第 2 期)

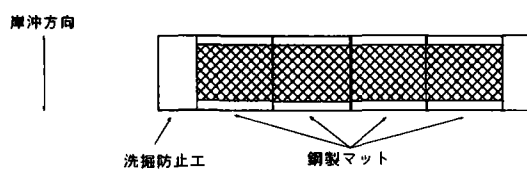


図17 設置状況(第2期)

沖側設置

|             |             |             |             |             |            |             |             |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|
| 12本<br>25cm | 9本<br>20cm  | 8本<br>15cm  | 33本<br>20cm | 11本<br>20cm | 6本<br>15cm | 36本<br>25cm | 16本<br>25cm |
| 21本<br>20cm | 16本<br>20cm | 11本<br>15cm | 18本<br>15cm | 27本<br>25cm | 4本<br>15cm | 7本<br>20cm  | 13本<br>20cm |

岸側設置

|             |            |             |            |             |             |              |            |
|-------------|------------|-------------|------------|-------------|-------------|--------------|------------|
| 46本<br>23cm | 8本<br>15cm | 33本<br>13cm | 9本<br>13cm | 16本<br>23cm | 22本<br>25cm | 20本<br>25cm  | 9本<br>20cm |
| 21本<br>20cm | 7本<br>15cm | 12本<br>10cm | 5本<br>12cm | 10本<br>13cm | 4本<br>27cm  | 13本<br>125cm | 7本<br>12cm |

注) 図上が沖方向を示す。

図 1 8 設置102日後のアマモ育成状況 (第 2 期)



写真 1 アマモ育成状況