

アマモ実生株の生残条件に関する研究

島 谷 学*・河 本 武**・中 瀬 浩 太***・月 館 真 理 雄****

培養したアマモ実生株にて水理実験を行い実生株の流失メカニズムとその条件を解明した。また、実生株の成長期にあたる冬期の波浪を対象とした地形変化量の算定を行い、実生株の生残可能な条件を検討する際に用いる沖波条件の評価を行った。その結果、実生株は底質が種子埋没深度まで侵食されるまで生残可能であることが分かった。また、千葉県竹岡海岸では超過出現確率 2% の波浪が 1 日間作用した時、種子埋没深度まで侵食されずかつ 3 cm 以上堆積しない領域に実生株が生残していることが分かった。今後、造成したアマモ場で発芽による繁殖を期待するためには、上記の波浪統計量を用いた本研究と同様の手法でアマモ場適地の評価を行う必要がある。

1. はじめに

アマモは浅海砂泥域に生育する海草で、沿岸生態系における重要性から近年では様々な事業主体がその保全や育成に取り組んでいる。アマモは物理的外力の影響を受けやすいため、近年では漂砂現象などを取り扱う海岸工学的知見からの研究が数多く行われるようになってきている(例えば中瀬ら, 1992; 島谷ら, 2002)。しかしながら、アマモは季節消長し作用する外力も季節的に変動するにも関わらず、これらの研究の中には外力の季節性とアマモのライフサイクルを考慮したものは数少ない。

一方で、アマモは自身の群落を維持拡大するために、地下茎の伸長と種子の発芽という 2 つの戦略をとることが知られている。特に移動性が高い種子の発芽による繁殖は、生育範囲の拡大に重要な役割を果たしている。

初夏に放出された種子は夏から秋にかけて海底面下に埋没し、水温の低下と共に発芽、春先にかけて伸長する。この株は実生株と呼ばれる。実生株は成長する過程で不定根という細い根を持つようになるが、成長した株のように地下茎が発達しておらず、外力に対する抵抗力が小さいものと推察される。したがって、この実生株が生残できる条件を抽出することは、アマモ場を保全・育成するために重要であると考えられる。

そこで本研究では、培養したアマモ実生株に波浪を作用させる水理実験を行い、実生株が流失するメカニズムと生残可能な条件を明らかにした。そして、この実験結果を考慮してアマモ場の現地調査および実生株の成長期にあたる冬期の波浪を対象とした 3 次元海浜変形モデルによる数値シミュレーションを実施し、実生株の生残可能条件を検討する際の沖波条件の評価を行った。

2. アマモ実生株について

アマモ実生株の概略図を図-1 に示す。冬期に発芽し

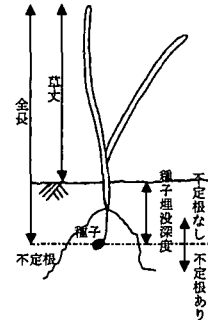


図-1 アマモ実生株概略図

た実生株は草丈 0~200 mm 程度、葉幅 1~2 mm 程度で、種子が埋没した深度までの茎部と不定根によって自立している。生長が進んだ実生株は不定根が長く伸長するが、地下茎はまだ発達していない。

本研究では図のように部位の寸法を定義した。不定根については、不定根が種子埋没深度まで伸長していない株は不定根なし、それ以上伸長した株は不定根ありと定義した。

3. 花枝の採取と実生株の培養

水理実験に用いるアマモ実生株を得るため、2002 年 6 月 22 日に千葉県富津市竹岡地先にてアマモの花枝を採取し、横浜国立大学水理実験棟に運搬した。採取した花枝は現地で採水した海水を満たした 100 l 水槽の中に投入し、常時エアレーションをしながら養生を行った。種子は黒色に成熟したのを確認してから摘出を行った。養生期間は約 40 日間である。

摘出した種子は付着物を取り除き、30% の食塩水に投入して比重選別した。その結果、約 4000 個の種子を得た。

選別した種子は現地底質(中央粒径 D_{50} : 0.18 mm, 含水比: 33.5%, シルト含有率: 7.5%)と現地海水を投入した W 300 × B 300 × H 120 (mm) のアクリル製実験槽に植え付けた。植え付け深度は 1 cm, 2 cm, 3 cm を目安とし、それぞれ 2 鉢ずつ実施した。1 鉢に植え付けた種子の

* 正会員 工 修 横浜国立大学助手 大学院工学研究院
** 修(工) (株)テトラ 土木技術部
*** 正会員 五洋建設(株)環境事業部
**** (株)水棲生物研究所

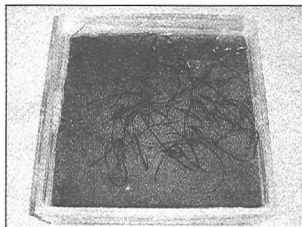


写真-1 培養したアマモ実生

個数は約 300 個である。

そして、この実験枋を低湿恒温器内に設置し、2002 年 8 月 7 日から 2 ヶ月間発芽培養を行った。温度は当初 15°C に設定し、発芽を促進させるため設定温度を 13°C (9 月 3 日), 10°C (9 月 18 日) と徐々に低下させた。

培養開始後 1 ヶ月頃から発芽が見られた。発芽が見られた実験枋は蛍光灯 (3 klux) で常時光を当て、光合成を促進させた。発芽が促進された実験枋については恒温器から取り出し、常温にて実験開始まで培養を行った。このアマモ培養により、草丈 10 cm 程度に育った実生株を 25~49 (個体/枋) 得ることができた (写真-1)。

なお培養後、実験枋中の底質の含水比を測定した結果、31~35%と現地で採取した時とほぼ同等の値を示した。

4. 実生株の引抜抵抗力

水理実験に先立ち、アマモ実生株がどの程度引き抜きに対する抵抗力があるか把握するため、張力計 (SHIMPO 社製) による引抜試験を実施した。まず、実験枋中の試験対象となる実生株の位置と地盤高を測定し、糸の一端を実生株の根元に固定した。もう一端は張力計のセンサー部に固定し、地表から上方 30 度の方向へ引っ張り張力計の計測値を記録した。試験後、実験枋中に残った種子を回収し、種子埋没深度と草丈を記録した。なお、全ケースにおいて実生株は種子と共に引き抜かれることはなく、地中にある種子と引っ張り点の間で切断されていた。

張力と種子埋没深度及び草丈の関係を図-2 に示す。引抜抵抗力と種子埋没深度との関係については明確な関係が得られなかったが、張力と草丈については草丈の増加、すなわち成長と共に引き抜きに対する抵抗力が増加している様子がうかがえた。

今回の試験に用いた実生株 (種子埋没深度 7~38 mm, 草丈 52~230 mm) の引抜抵抗力は 0.101~1.48 N であることが認められた。これは、今村ら (1997) による天然のアマモ成体が持つ引抜抵抗力 0.4~1.2 kgf (3.9~11.8 N) よりも小さいことが確認された。

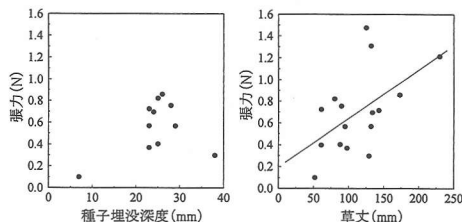


図-2 張力と種子埋没深度、草丈との関係

5. 水理実験による実生株流失条件の検討 (波浪による引抜実験及び侵食実験)

(1) 実験装置

波浪による引抜実験及び侵食実験は、横浜国立大学水理実験棟内にある長さ 17 m, 幅 0.5 m, 深さ 0.55 m の二次元水槽 (図-3 参照) を用いて実施した。

この水槽の一端にはピストン型造波装置 (三井造船株式会社製) が設置してあり、もう一端には 1/20 (法尻部 1/10) の一様斜面が設置してある。水槽の一樣水深部に塩化ビニール及びアクリルで作成したマウンドを取り付け、図中の実験枋設置位置に実生株を培養した実験枋を設置した。この実験枋に波浪を作用させることで実験を行った。

(2) 波浪による引抜実験

まず、波浪の作用による引抜実験を行った。実験に用いた波浪は規則波で、底面流速 30.6 cm/s, 41.8 cm/s, 53.5 cm/s の 3 ケースにて実施した。使用した実験枋は植え付け深度 1 cm, 2 cm, 3 cm の 3 ケースである。波浪の作用時間は底質の侵食による種子埋没深度の変化を防ぐため 10 秒間 (5 波程度) とした。実験枋の設置状況と波浪を作用させた状況を写真-2 に示す。

結果は全ケースとも波浪自体に起因する引き抜きや切断による実生株の流失は見られなかった。今回実験に用

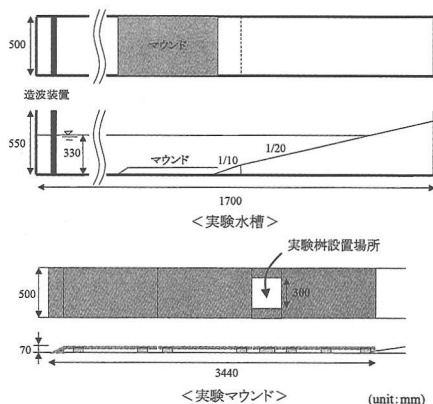


図-3 実験装置

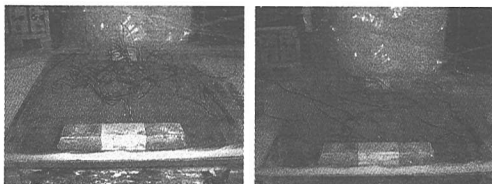


写真-2 実験槽設置状況及び実験状況

いた実生株の種子埋没深度の最小値は 6 mm であった。実生株は葉体が小さいため受ける波力が小さいだけでなく、波と共に揺動することで波力をうまく低減させており、6 mm 以上被砂した種子から発芽した実生株であれば 50 cm/s 程度の振動流では流失しないことが確認できた。

(3) 波浪による侵食実験

波浪の作用のみの引抜実験では実生株が流失しなかったため、底面流速 53.5 cm/s の波浪をそのまま作用することで実験槽中の底質を侵食させ、どの程度の侵食量で実生株が流失するか実験を行った。

まず、アマモ実生株個々の正確な位置と地盤高を測定した。造波開始後、実生株の流失が確認されたら造波を停止させ、流失した実生株を回収した。そして、流失した実生株の位置の地盤高を測定し侵食量を求めた。全ての実生株が流失する、もしくは造波時間が 2 時間 30 分に達するまで繰り返し行った。実験は実験槽 6 基全てを用いた。なお、実験で使用した実生株は計 208 本である。

実生株が流失した時点の侵食量と種子埋没深度の関係を表したものが図-4 である。

不定根がある実生株については底質が種子埋没深度以上侵食されても生残するものも存在したが、不定根がない場合には種子埋没深度と流失時の侵食量の関係はほぼ比例していた。

冬期(実生株成長期)に高波浪に晒される実生株については、全て不定根が種子埋没深度まで伸長しているとは限らない。したがって、種子の埋没深度に関わらず、実生株は底質が種子埋没深度まで侵食され種子が海底面

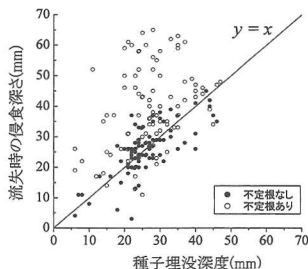


図-4 侵食量と種子埋没深度の関係

上に露出するまで生残できるものと考えられる。

6. 生残条件を検討する際の沖波条件の評価

(1) 検討方法

水理実験により、実生株の生残条件は種子の埋没深度と密接に関係していることが確認できた。現地においても、底質が種子埋没深度まで侵食されない条件が実生株の生残条件と定義することができる。

現在、面的な地形変化量の予測は 3 次元海浜変形モデルを用いて算定が可能であり、清水ら (1992) により現地適応性が確認されている。したがって、現地における種子の埋没深度と 3 次元海浜変形モデルによる地形変化量の算定結果を比較することにより、アマモ実生株が生残できる領域を予測することが可能である。しかしながら、数値解析においては、沖波条件としてどのような統計的代表値を採用するかによって算定結果が大きく異なる。そこで、ここでは実生株の生残条件を検討する際の沖波条件を抽出する。本研究では、千葉県富津市竹岡海岸(図-5)を対象として検討を行った。

検討フローを図-6 に示す。NOWPHAS の浜金谷地点における波浪観測データ(1972 年 9 月～1990 年 9 月: 図-7)を用いて、アマモ実生株が発芽し生長する冬期(12～2 月)における高波浪の任意の沖波条件を設定する。広領域の波浪場の算定結果から狭領域での入射波条件を抽出し、その波浪条件下での当海岸の地形変化量を算定する。この算定結果が実生株の生残条件を満たすかどうか評価し、条件を満たし得る波浪条件が実生株の生残条件を検討する際の沖波条件として適切であるものとする。

(2) 現地における実生株の生残条件

現地において種子がどの程度まで埋没しているのか調

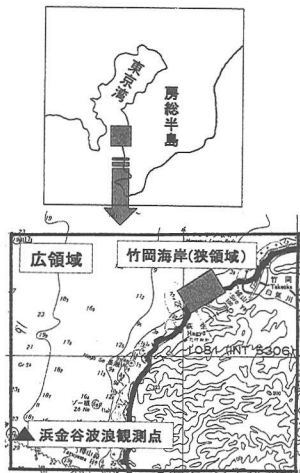


図-5 検討地点(富津市竹岡～金谷)

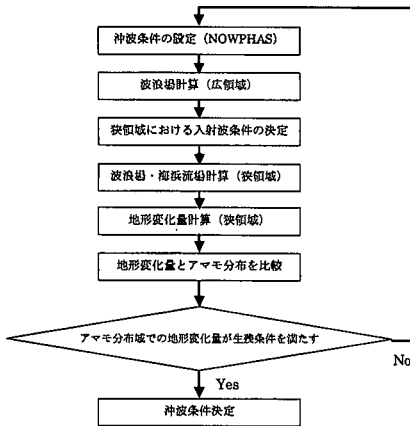


図-6 検討フロー

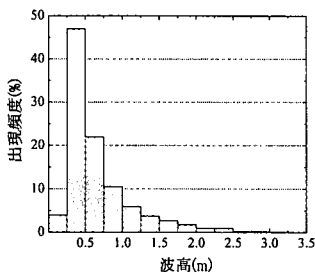


図-7 浜金谷における波高の階級別出現頻度 (冬期)

べるため、成長期にあたる2003年2月25日に実生株を種子ごと採取し、種子の埋没深度を計測した。アマモ分布域内全体をカバーする範囲内からランダムに採取した約30本の実生株を調べた結果、その平均埋没深度は35.0 mmであった。したがって、当海岸においては高波浪時に底質が3 cm以上侵食されない領域にアマモ実生株が生残しているものと推察される。また一方で、川崎ら(1988)は発芽初期の実生株は3 cm以上砂が堆積するような場所では枯死する可能性が高いため生育には不適であるという報告をしている。

これらの結果から、当海岸のアマモ実生株は成長期(冬期)において±3.0 cm以上の砂面変動がない場所において生育しているものと考えられる。

(3) 波浪条件

現地を対象とした地形変化シミュレーションを実施する際、この砂面変動がどの程度の時間スケールによって生じるものなのか調べておく必要がある。

当海岸近傍である千葉県木更津地点での冬期(12~2月)におけるアメダスの風データ(1979年~1990年)のうち、風速4 m/s以上の風が継続して吹いている時間を整理した。その結果、平均継続時間は25.2時間で、40時間未満の出現頻度は全体の88%であった。本研究においては当海岸の強風の継続時間を1日間(24時間)とし、

これを高波浪の継続時間とした。

また、浜金谷におけるNOWPHASデータは波高、周期のみで波向が観測されていないため、このアメダスデータを用いて風向を求めた。その結果、冬期における出現頻度は北方系(N~NW)が56%、南方系(S~SW)が33%であった。当海域は北に富津岬を擁し、外海へは南西方向に向けて開けているため、強風による高波浪はSW方向から来襲する頻度が高いものと推察される。したがって、本検討で用いる波向はSWとした。

波高、周期については浜金谷でのNOWPHASデータ(図-7)を用いることとした。波高については任意で設定し0.5 m刻みで変化させ、周期については波高と周期の結合分布よりその波高の時の周期をそれぞれ設定した。

(4) 計算手法

波浪場、海浜流場、地形変化量の算定方法を表-1に示す。

表-1 各計算の手法

計算格子	・広領域：沿岸×岸沖 91×111 格子間隔 50 m ・狭領域：沿岸×岸沖 65×49 格子間隔 10 m
波浪場の計算	・基礎式：エネルギー平衡方程式 ・砕波の考慮：合田(1975)の不規則波の砕波変形モデル
海浜流場の計算	・基礎式：水平面内の平均流に関する連続式及び運動方程式 ・各項の評価： 1) ラディエーションストレス項 エネルギー平均波高、主波向を用いた規則波近似 2) 水平拡散項(渦動粘性係数の評価) Larson-Kraus(1991) $\epsilon = \Lambda U_w H$ (Λ : 経験定数) 3) 底面摩擦項 田中・Sana(1996)の陽形式近似
地形変化の計算	・基礎式：漂砂の連続式 ・局所漂砂量公式：渡辺ら(1984)のパワーモデル ・戻り流れによる漂砂量フラックス： 佐藤ら(1987)の式を基にしたDibajniaら(1993)による評価式

(5) 計算結果と考察

中瀬ら(1992)による当海岸(狭領域)におけるアマモの分布域を図-8に示す。図中の○がアマモ分布、コンターが水深である。島谷ら(2000)の実生株の分布調査によると当海岸でのアマモ場の分布域は実生株の分布域とほぼ同範囲であることが認められたため、狭領域での地形変化量をこのアマモ分布域と比較した。

広領域での沖波条件が $H=2.0$ m, $T=6.0$ sの時の比較結果が図-9である。この条件下ではアマモ生育域において侵食、堆積限界ともに満たしていることがわかる。波高がこれ以上大きくなると限界値を超え、これ以下だとアマモ分布範囲は限界値の範囲内だった。

この波浪諸元は浜金谷の波浪データによると、超過出現確率が2%の高波浪であることがわかった。よって、当海岸においては超過出現確率が2%の波浪が1日間作用した時、種子埋没深度まで侵食されず且つ3 cm以上堆

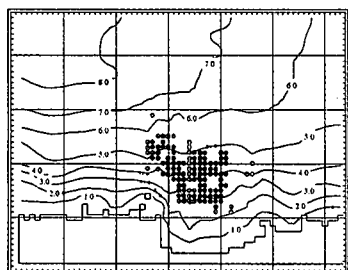


図-8 計算領域(狭領域)でのアマモ分布域

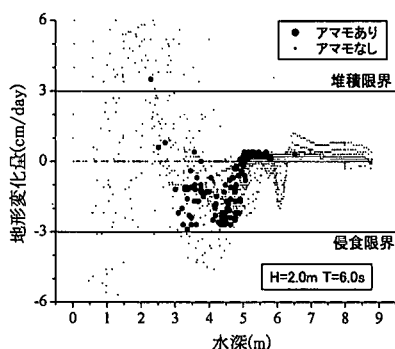


図-9 アマモ分布と地形変化量との関係

積しない領域に実生株が生残しているものと推察される。

ここで得られた沖波条件の統計的代表値は、他地点においても適応できるものと考えられる。したがって、アマモ場を造成し種子の発芽による群落の維持拡大を期待するには、上記の出現確率を有する冬期波浪条件を用いて地形変化量を算定し、現地における種子埋没深度を考慮しながら本研究と同様の手法でアマモ場適地の評価を行うことが重要であると考えられる。

7. おわりに

培養したアマモ実生株を用いて水理実験を行い、実生株が流失するメカニズムとその条件を解明した。また、この実験結果を考慮して実生株の成長期にあたる冬期の波浪を対象とした3次元海浜変形モデルによる数値解析を実施し、実生株の生残可能な条件を検討する際に用いる沖波条件の評価を行った結果、以下の結論を得た。

- 1) アマモ実生株は種子の埋没深度に関わらず、底質が種子埋没深度まで侵食され種子が海底面上に露出するまで流失せずに生残可能であると考えられる。

- 2) 千葉県富津市竹岡海岸においては超過出現確率2%の波浪が1日間作用した時、種子埋没深度まで侵食されず且つ3cm以上堆積しない領域に実生株が生残しているものと推察される。

- 3) アマモ場を造成し種子の発芽による群落の維持拡大を期待するには、冬期における上記の波浪統計量を用いて地形変化量を算定し、現地における種子埋没深度を考慮しながら本研究と同様の手法でアマモ場適地の評価を行うことが重要である。

最後に、調査を行うにあたって快く調査を許可して頂いた天羽漁業協同組合の皆様と、アマモ種子の一部を提供して頂いた神奈川県水産総合研究所の工藤孝浩氏に対し謝意を表する。

参考文献

- 今村 均・宝蔵時保典・石井 博・池田省三 (1997): アマモ場造成工法の開発(その4), 五洋建設技術年報, Vol. 27, pp. 155-160.
- 川崎保夫・山田貞夫・本多正樹 (1988): 播種によるアマモ場造成法, 電力中央研究所報告, U 88030, 21 p.
- 合田良実 (1975): 浅水域における波浪の碎波変形, 港湾技術研究所報告, 第14巻, 第3号, pp. 59-106.
- 佐藤慎司・福澄方哉・堀川清司 (1987): 斜面上における不規則波の碎波変形と底面流速に関する実験的研究, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 36-40.
- 島谷 学・中瀬浩太・熊谷隆宏・月館真理雄 (2000): アマモ種子の埋没機構に関する研究, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 1171-1175.
- 島谷 学・中瀬浩太・岩本裕之・中山哲蔵・月館真理雄・星野高士・内山雄介・灘岡和夫 (2002): 興津海岸におけるアマモ分布条件について, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 1161-1165.
- 清水琢三・水立正人・渡辺 晃 (1992): 3次元海浜変形モデルによる長期的な地形変化予測, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 416-420.
- 田中 仁・Ahmad Sana (1996): 交差する波と流れによる抵抗則の検討, 土木学会論文集, No. 533/II-34, pp. 273-277.
- 中瀬浩太・田中裕一・檜山博昭 (1992): 海浜変形予測手法を用いたアマモ場成立条件に関する研究, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 1006-1010.
- 渡辺 晃・丸山康樹・清水隆夫・榊山 勉 (1984): 構造物設置に伴う三次元海浜変形の数値予測モデル, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 406-410.
- Dibajnia Mohammad・清水琢三・渡辺 晃 (1993): 現地海岸における縦断地形変化の再現, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 406-410.
- Larson, M. and N. C. Kraus (1991): Numerical model of long-shore current for bar and trough beaches, J. Wtrway., Port, Coast. and Oc. Eng., Vol. 117, No. 4, pp. 326-347.