

アマモ場適地選定手法

——岸側の砂移動限界——

丸山 康樹*・五十嵐由雄**・石川 雄介***

1. はじめに

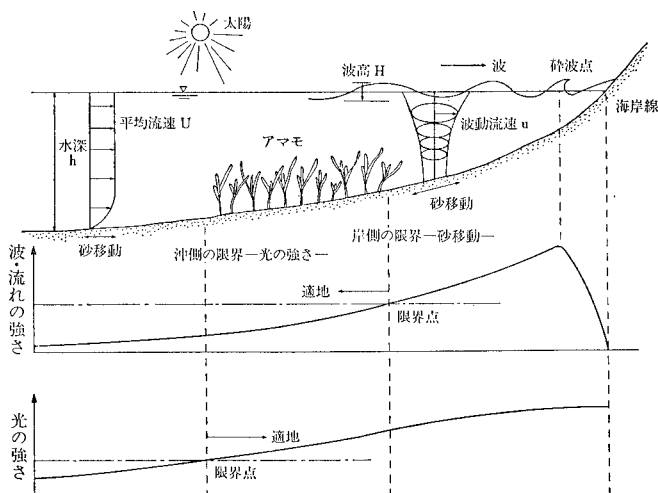
将来沿岸域に発電所海岸構造物を建設する場合、地元水産業においては200海里等の問題から沿岸域の利用が重大な関心事になりつつあるため、これまで以上に水産業との協調が重要になるものと予想される。

沿岸域に目を向けると、内湾などの静穏な浅海砂泥域には海草の一種であるアマモ(*zostera marina* L.)が生育している場所がある。このアマモの群生地(アマモ場)は、有用魚介類の幼稚子の生育場としての役割を担っており、生態系ならびに水産両面における資源として貴重な存在である。しかしながら、近年の沿岸域の埋立や水質汚濁に伴う透明度の低下などによって、アマモ場の面積は次第に減少しつつある。このため、海岸構造物の建設に当たっては、周辺海域に生育するアマモ場への影響に十分配慮するとともに、場合によっては藻場の修復や代替藻場の造成等の措置を講ずることが求められる趨勢にある。

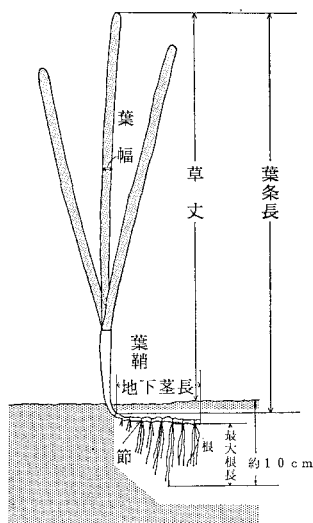
以上のような観点から、当研究所では昭和57年以来、浅海砂泥域に存在するアマモ場の造成技術の開発を進め、生物学的知見を蓄積してきた^{1)~4)}。この研究過程において、移植種苗の波や流れによる流失や埋没等が生じ、その現象の解明と対応が藻場造成の成否を左右する一因となることが次第に明らかになってきた。すなわち、藻場造成を行うにあたっては、想定海域の海象条件と底質条件などから造成に適した場所を選び出すなんらかの判定手法が必要になってきた。本論文は、このような手法確立の第一歩として、アマモ場適地の岸側の限界を現地調査ならびに水理実験により検討した結果を述べるものである。

2. アマモ場の2つの生育限界

一般に、アマモ場は海岸線に沿って帯状に分布する例が多く見られる。言い換えると、岸側と沖側に2つの生育限界が存在する。アマモの生育に影響する因子は複雑であるが、これまでに得られた生物学的知見ならびに海底の砂移動に関する海岸工学的知見とを総合すると、こ



図—1 アマモ場適地判定の模式図



図—2 アスモ (*zostera marina* L.) の模式図

* 正会員 工博 電力中央研究所 我孫子研究所 水理部

** 電力中央研究所 我孫子研究所 水理部

*** 農修 電力中央研究所 我孫子研究所 生物部

の2つの境界の支配因子は図一1に示したように、沖側では光合成に影響する光の強さ、岸側では砂移動に影響する外力の強さ(波、流れ)と考えられる。本論文ではこのうち、岸側の境界について検討する。

なお、アマモについては一般になじみが薄いと思われるので、その生物的特徴を簡単に紹介しておく。アマモは図一2のような形態をした顕花植物で、二種類の増え方をする。すなわち、一つは春に花が咲き、その種子が冬に発芽して新しい株に生長する形式で、もう一つは秋に枝分かれして生長する形式である。草丈は季節的に消長し、6月ごろに最大(120 cm程度)となり、夏になると次第に枯れ、冬から春にかけて再び生長するというサイクルを繰り返す。葉幅は、生長段階によって異なるが、だいたい0.5~1.0 cm程度、地下茎ならびに根の最大深度は海底面から下方に約10 cm程度である。

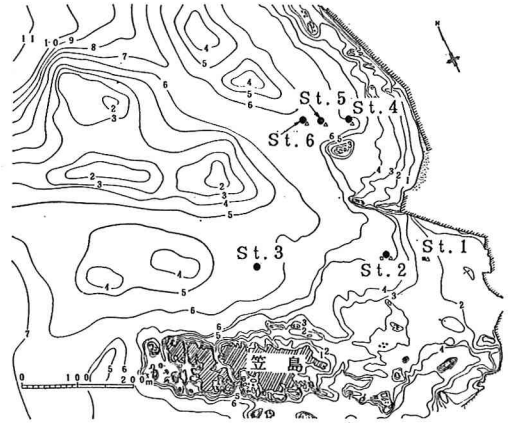
3. 現地調査

岸側の生育限界に関する前述の考え方の妥当性を確認するため、現地における実態調査を行うことにした。調査地点としては、図一3に示したように神奈川県三浦半島西岸の小田和湾を選び、アマモ種苗の移植実験が継続的に実施された笠島背後の海域において、2回(昭和60年9月~10月、昭和61年4月)の調査を実施した。図一4は第1回目の観測点配置と笠島周辺の地形を示したもので、各測点には波高計(超音波式、浅海では水压式)と電磁流速計ならびに砂面計とを適切に組み合わせ、底面変化と外力(波、流れ)との関係ならびに砂移動によるアマモの洗掘・埋没状況、底質の粒度・比重分布などを調査した。

笠島背後には、水深5m前後のフラットな海域が広く見られ、これは海食台(泥岩および凝灰岩の混層)の上に砂が薄く堆積したものと想定される⁵⁾。底質の粒度は、St. 1~St. 3で $D_{50}=0.22\sim0.33$ mm, St. 4~St. 6で $D_{50}=0.13\sim0.16$ mm程度で、後者の粒径が細かいもののアマモ生育域の底質はほぼ砂と考えてよい。比重は各

測点でほとんど変わらず、平均的には2.79程度である。

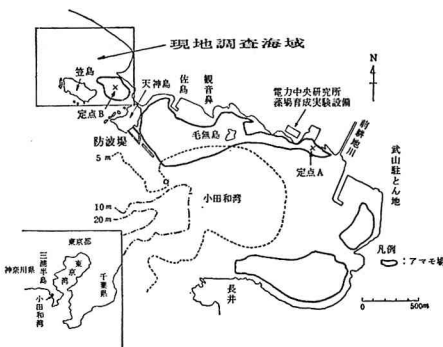
写真一1は、アマモの洗掘状況を示したもので、アマモはこの例のようにパッチ状に群生し、高波浪になると周辺部から洗掘を受けて流失することがわかった。また、図一5は第1回観測におけるSt. 6の測定例を示し



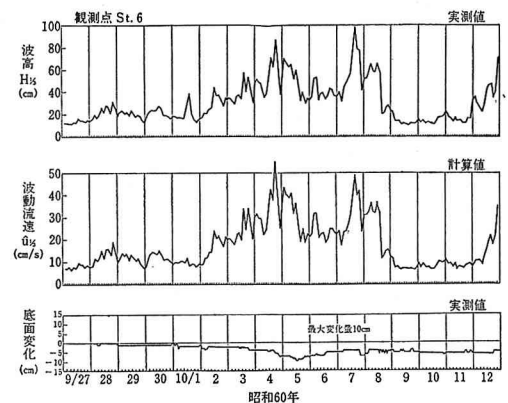
図一4 笠島周辺地形と観測点配置(昭和60年9月~10月)



写真一1 アマモの洗掘状況



図一3 現地観測地点



図一5 底面変化の現地調査結果(昭和60年9月~10月)
観測点 St. 6, 最大底面変化量 10 cm

たもので、台風の接近に伴う波高の時間変化とそれによって侵食を受けた海底面の変動を示してある。この測定点にはアマモは生育しておらず、底面変化量にして約 10 cm 程度がアマモの岸側の生育限界に相当することがわかった。これは、図-2 に示したようにアマモの根の深さを考えれば、当然とも言える結果である。また、アマモの生育している St. 2 周辺は笠島の遮蔽効果で台風の接近にもかかわらず波高が小さく、底面変化量も小さい (5 cm 以下) が確認できた。

なお、図-5 の中段に示した流速は有義波高 $H_{1/3}$ 、有義波周期 $T_{1/3}$ から微小振幅波理論により計算した底面流速振幅で、電磁流速計による測定値と比較すると、若干の過大傾向があるものの両者は良く一致することがわかった⁶⁾。

4. 水理実験

小田和湾の例では、波が主要な外力で、流れ (潮流) はほとんど存在しない。しかし、アマモの生育環境としては瀬戸内海のように潮流の寄与が大きい地点もあるため、生育限界を一般化して論ずるには波と流れの様々な組合せに対して砂移動量と外力との関係を調べておく必要がある。既往の知見からでは、この関係を詳しく知ることができず、これは主に次のような理由による。

- (1) 流れと波による砂移動量を同一の実験方法で測定した例は少ない。
- (2) 砂移動量を無次元化するに当たって、流れでは摩擦速度と粒径の積を用いる例が多いが、波の場合では通常沈降速度と粒径の積を用いるため、波・流れ共存時では無次元化に問題が生ずる。

このような問題点から、水理実験を行うことにした。使用した水路の諸元は長さ 25 m、幅 0.5 m、深さ 0.7 m で、造波機により波を、環流ポンプにより流れをそれぞれ単独にも同時に発生することが可能である。移動量の測定には、粒度の均一化を図りやすいガラス砂 (比重 2.65) を用い、粒径区分はふるい分けにより 10 ランク (粒径 $D=2.38\text{ mm} \sim 0.074\text{ mm}$) とした。

また、移動量は砂村⁷⁾の提案したトレイ方式により測定することとし、実験効率を上げるため水路を隔壁により 2 分し、その両側に長さ 100 cm × 幅 25 cm × 深さ 4 cm のトレイを 2 個設け、移動量を測定した。実験条件としては、波高 (規則波) $= 5 \sim 15\text{ cm}$ 、流れ $= 30 \sim 50\text{ cm/s}$ 、水深 $= 20 \sim 40\text{ cm}$ とし、それらの様々な組合せに対して合計 90 ケースの実験を実施した⁶⁾。ただし、流れの向きは波に対して順流とした。

実験結果を整理した結果、次のようなことがわかった。ネットの漂砂量を Q 、沈降速度を w 、粒径を D とすると、波、流れを区別せずに、無次元漂砂量 Φ を

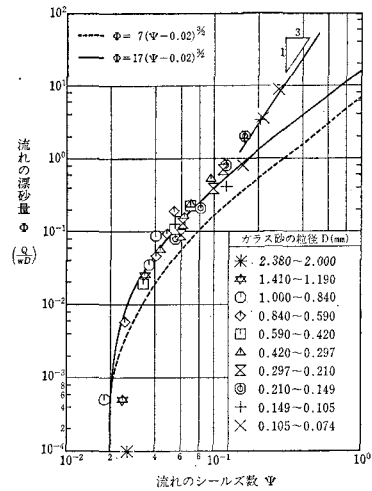


図-6 (1) 流れ単独の漂砂量実験結果

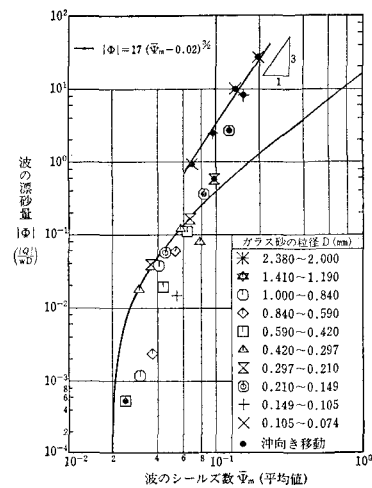


図-6 (2) 波単独の漂砂量実験結果

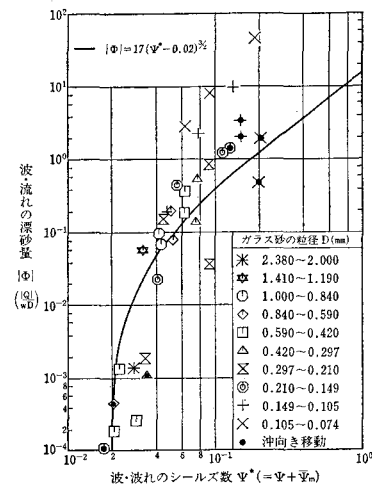


図-6 (3) 波・流れ共存時の漂砂量実験結果

$$\Phi = |Q|/wD \dots\dots\dots (1)$$

とすれば、実験結果のまとまりがよい。同式で、絶対値を用いているのは、波の進行方向とは逆に沖側へ砂が移動する場合があるためである。また、このような場合、流れが加わると、ガラス砂の移動量はむしろ減少し、田中・首藤⁹⁾の波・流れ共存場の摩擦速度を用いても、現象をうまく説明できない。

そこで、波、流れならびに両者の共存時の漂砂量を連続的に表現できる方法として、シールズ数を次のように簡便に与える方法を考えた。

a) 流れ単独の場合

$$\left. \begin{aligned} \Psi &= u_*^2/(s-1)gD \\ U/u_* &= 5.75 \log(h/D) + 6 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

b) 波単独の場合

$$\left. \begin{aligned} \bar{\Psi}_m &= 0.5\Psi_m, \quad \Psi_m = u_*^2/(s-1)gD \\ u_* &= \sqrt{0.5f_w \hat{u}_b^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

c) 波・流れ共存の場合

$$\Psi^* = \Psi + \bar{\Psi}_m \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 s はガラス砂の比重、 g は重力加速度、 h は水深、 f_w は Jonsson の摩擦係数、 $\hat{u}_b$ は底面流速振幅である。

図-6 (1)~(3) に、式 (1) の Φ を式 (2)~(4) のシールズ数で整理した結果を示した。図によると、波、流れの区別なく、漂砂量は一つの関数形

$$|\Phi| = 17(\Psi^* - 0.02)^{3/2} \dots\dots\dots (5)$$

でほぼ表現できることがわかる。ただし、波・流れ共存時において、砂が波とは逆行する場合、式 (4) のかわりに $\Psi^* = |\Psi - \bar{\Psi}_m|$ としてもデータのバラツキは改善されず、この点についてはさらに詳しく検討する必要がある。なお、図-6 において、最小の粒径ランクである $D = 0.105 \sim 0.074$ mm については、漂砂量は明らかにシールズ数の3乗に近づき、粒径が細かい場合は式 (5) の適用性に問題がある。

5. アマモ場の岸側限界値

以上の検討の総括として、アマモ場適地の岸側限界を判定する際の外力限界を具体的に推定することにする。まず、図-5 に示したように 10 cm 程度の地形変化が生ずるときの底面流速 $\hat{u}_{1/3}$ は平均的には 30 cm/s 程度で、そのときのシールズ数は $\Psi^* = \bar{\Psi}_m = 0.08$ となる。このシールズ数に相当する砂移動量が生ずると、アマモが生育できなくなると仮定する。水理実験結果から、波、流れならびに両者の共存時の砂移動量は同一の関係式 (5) で表現できることがわかっているから、結局アマモの生育限界はシールズ数で表わすと、波、流れの区別なく $\Psi^* = 0.08$ となることになる。もちろん、これは2つの点で厳密さを欠く。一つは、現地の不規則波と実験室

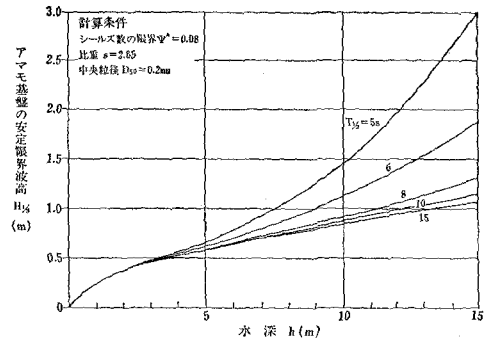


図-7 (1) 波によるアマモ基盤の安定限界

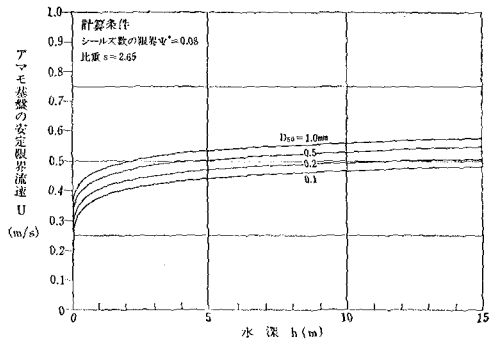


図-7 (2) 流れによるアマモ基盤の安定限界

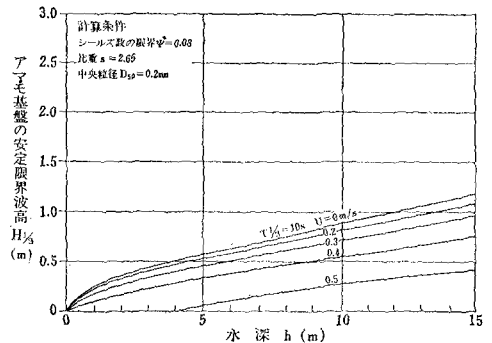


図-7 (3) 波・流れによる安定限界 (周期 10 s)

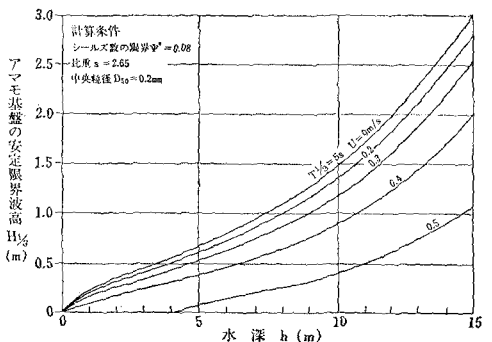


図-7 (4) 波・流れによる安定限界 (周期 5 s)

の規則波の対応関係が漂砂量に関してあまり良くわかっていない点である。ここでは、限界を危険側に評価するという観点から有義波相当の底面流速 $u_{1/3}$ を用いたが、この値が規則波の底面流速 u_b に相当するかどうかは議論の余地がある。また、もう一つは、砂移動があったとしても底面変化が直ちに生ずるわけではない。底面変化量として 10 cm を生育限界とすると、それに相当する外力条件を求めるには平面的なシミュレーションが必要で、残念ながら現在の筆者らのモデル^{9),10)}ではそこまでの精度は保証されない。

以上のような点に問題が残るが、 $\Psi^*=0.08$ という値はアマモの岸側の生育限界を示す一つの指標として有効と考えてもよいであろう。このように判断し、式 (2)～式 (4) の関係を用いて、波・流れの様々な組み合わせに対し、具体的な外力値を逆算し、結果を図—7 (1)～(4)に示した。これらの図から、例えば水深 5 m の地点にアマモ場を造成しようと計画した場合、波高では約 0.6 m 以下、流れでは約 0.5 m/s 以下が適地となることがわかる。波、流れが共存する条件では、当然のことながら波高の限界値は同図 (3), (4) のように低下することになる。

6. おわりに

浅海砂泥域に存在するアマモ場を修復するあるいは代替地に新たに造成すると言った場合を想定し、その際にアマモが流出・埋没しない外力（波、流れ）の限界を現地観測ならびに水理実験の結果を総合して具体的に明らかにした。今後は、光合成ならびに補償深度の関係から決まる沖側の限界について検討し、両者を統合してアマ

モ場の適地選定手法を確立して行く予定である。

なお、水理実験を行うにあたり、筑波大学地球科学系砂村継夫助教授からは懇切な助言を得た。ここに記し、謝意を表する。また、アマモ関連の生物研究については、今回紹介したものに加えて通産省資源エネルギー庁から委託を受けて詳しい研究が実施された。本論文はこれらの研究を工学面から支援する目的で実施した成果の一部である。

参 考 文 献

- 1) 寺脇利信・川崎保夫・飯塚貞二： アマモの移植適期について，電力中央研究所 研究報告：484011，1984 年 9 月。
- 2) 渡辺康憲・寺脇利信・菊池弘太郎： アマモの苗齢および底質の栄養条件と移植後のアマモの生長，電力中央研究所研究報告：486004，1986 年 5 月。
- 3) 菊池弘太郎・寺脇利信・佐藤秋生： 小田和湾におけるアマモ炭水化物量の季節変化，電力中央研究所 研究報告：486003，1986 年 6 月。
- 4) 川崎保夫・寺脇利信・飯塚貞二・後藤 弘： アマモへの温度の影響 I. 発芽と発芽体の生長，電力中央研究所 研究報告：485028，1986 年 4 月。
- 5) 鈴木隆介・高橋健一・砂村継夫・寺田 稔： 三浦半島荒崎海岸の波蝕棚にみられる洗濯板状起伏の形成について，地理学評論 第 43 巻 第 4 号，pp. 211～222，1970。
- 6) 丸山康樹・五十嵐由雄・石川雄介・川崎保夫： アマモ場適地選定手法——岸側の砂移動限界——，電力中央研究所研究報告（準備中）。
- 7) 砂村継夫： 浅海域の岸沖漂砂に関する実験的研究，第 29 回海岸工学講演会論文集，pp. 214～243，1982。
- 8) 田中 仁・首藤伸夫： 波・流れ共存場の抵抗則と境界層の区分，土木学会論文報告集，No. 342，pp. 10～254，1984。
- 9) 清水隆夫・丸山康樹： 岸沖海浜変形予測モデルと実規模データによる適用性の検討，第 34 回海岸工学講演会論文集，1987。
- 10) 丸山康樹： 海底地形変化予測モデルの現地適用性，電力中央研究所 研究報告：U87012，1987 年 9 月。