

人工リーフ設置による外力場の変化とアマモ分布条件 との関係について

島 谷 学*

太 田 雅 隆****

内 山 雄 介*****

・中瀬浩太**

・月舘真理雄*****

・灘岡和夫*****

・中山哲蔵***

・星野高士*****

1. はじめに

千葉県勝浦市興津海岸(図-1 参照)は、首都圏近傍の海水浴場として多くの人々に利用されている。この興津海岸においては、良好な砂浜を維持するために漂砂制御用の人工リーフが設置された(図-2 参照)。その結果、外力場の変化による副次的効果として、人工リーフの背後域にアマモ(*Zostera marina*)が繁茂するようになった。

アマモの分布と物理的外力との関係解明を試みた研究では、Shields 数を指標とする評価方法を丸山ら(1987)が提案し、その手法の有効性を中瀬ら(1992, 1999)や森口ら(1999)などが確認している。また、島谷ら(2000)は発芽の前提となる種子の埋没条件を、Shields 数を用いた同様の手法によって評価を行っている。

しかしながら、実際に構造物設置によってアマモが繁茂するようになった地点において、外力場の変化とアマモ分布とを関連づけた報告はまだ無い。したがって、当海岸における事例は、外力の制御によってアマモ場を造成する場合の指針に関する貴重な情報を提供していると考えられる。

そこで本研究では、当該地点において波浪・流況観測およびアマモ場調査を実施するとともに、数値計算により人工リーフ設置前後の外力場の変化を評価した。そして、アマモ分布と数値計算結果を比較することで、どのような外力条件の変化がアマモ群落の繁茂に寄与したかを抽出し、アマモ場造成時に外力制御を行う上での留意点を考察した。

2. 波浪・流況観測

当該地点の沖波およびアマモ場周辺の波浪場、流況場を明らかにするため、現地観測を実施した。観測期間は

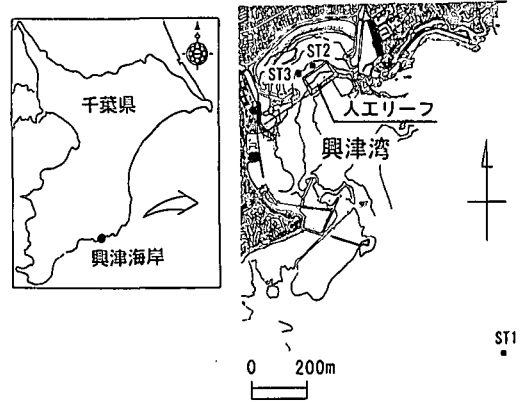


図-1 興津海岸位置図

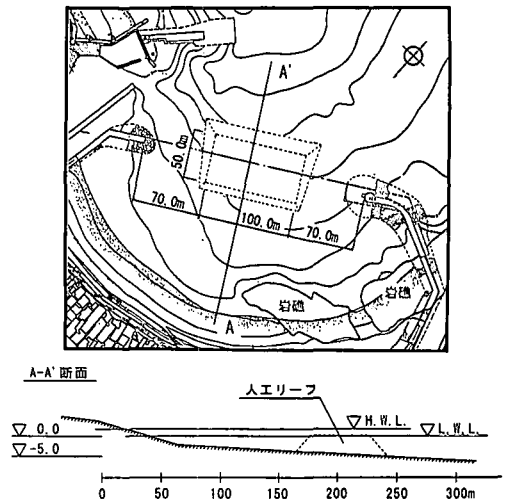


図-2 人工リーフ詳細図

平成 12 年 9 月 26 日～同年 10 月 22 日である。これはアマモが初夏に種子を放出し、初冬に発芽するまでの期間に相当する。観測においては、沖側水深 20 m 地点(ST1)に超音波式波高計を、アマモ場周辺(ST2, 3)に水圧式波高計を設置した(図-1 参照)。どちらの波高計にも 2 成分電磁流速計を併設しており、各測点における水位(一部水圧)および流速の諸元を測定した。

・正 会 員	工 務	五洋建設(株)技術研究所
・正 会 員		五洋建設(株)技術研究所
・正 会 員	工 務	(独)水産総合研究センター 水産工学研究所
・正 会 員	理 博	(財)海洋生物環境研究所 中央研究所
・正 会 員		(株)水棲生物研究所
・正 会 員		国際気象海洋(株)
・正 会 員	工 博	(独)港湾空港技術研究所 海洋・水工部
・フェロー	工 博	東京工業大学教授 大学院情報理工学研究科

ST1 および ST2 における観測結果を図-3 に示す。観測データは1時間毎に統計処理を行った。なお、流速については定常成分と変動成分に分離した。

沖側の測点である ST1 では、観測期間中において $H_{1/3}=0.5\sim1.8\text{ m}$, $T_{1/3}=6.0\sim13.0\text{ s}$ であり、台風の来襲は見られなかった。波向についてはほとんどが SSE 方向で、10月4日前後の高波浪時においてやや西寄りとなった。

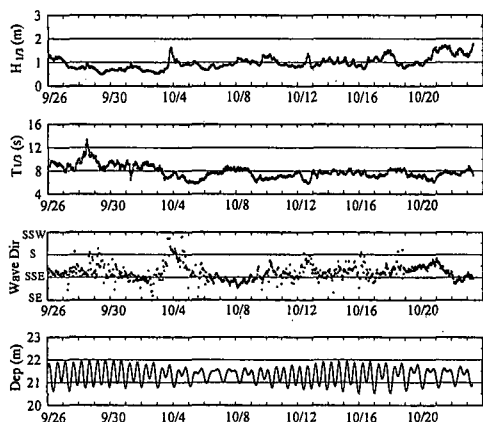
人工リーフ背後の ST2 においては、沖波と比較して波高が著しく低くなり、観測期間中でほとんどが 0.2 m 以下であった。波高の時系列は、沖波のそれと異なり周期

的な変動を繰り返している。これは、水位変動との相関が高いことから、人工リーフの天端水深が変化することによって波高伝達率に変化し、水位と連動して波高が周期変動しているものと考えられる。波向は SE 方向が卓越していた。また、定常流速は観測期間中のほとんどが 0.03 m/s 以下であった。

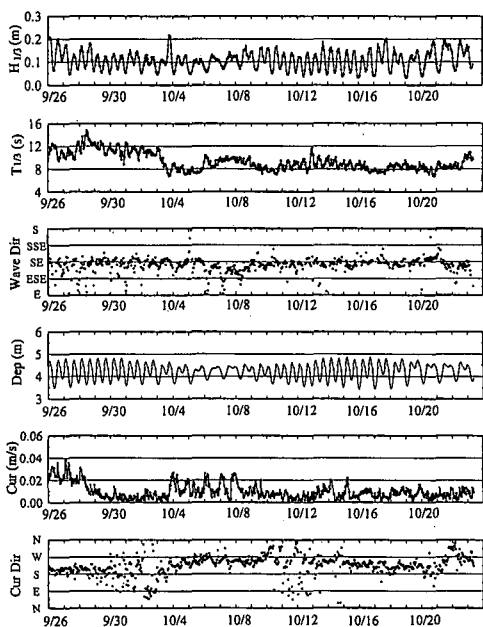
3. アマモ場調査

アマモ場調査は、アマモの繁茂期である平成10年2～7月及び衰退期である平成12年12月に実施した。測線は図-4 に示す通り、平成10年度においては6測線、平成12年度においては1測線で、ライントランセクト法により 10 m 区画毎のアマモの株数を測定した。平成10年度では $0.5\times0.5\text{ m}$ 、平成12年度では $1.0\times1.0\text{ m}$ のコドラートを用いた。なお、アマモ群落の分布範囲調査も併せて実施した。

平成10年度の繁茂期における調査結果を図-5 に示す。本図は離岸距離区間別のアマモ栄養株および実生株（種子発芽体）の株数を表しており、全測線の合計値で示した。なお、汀線は離岸距離 $20\sim30\text{ m}$ 付近である。2月から4月にかけて栄養株が増加し、その後6月にかけてアマモ場が維持されている様子が伺える。また、群落内には実生株が栄養株とほとんど同じ範囲に分布していた。しかしながら、7月においては離岸距離 $40\sim120\text{ m}$ の範囲で栄養株が著しく減少している。これは、海水浴シーズン前にアマモの刈り取りが実施されたためで、アマモ自身の生活サイクルによるものではない。一般的に、アマモは高水温期になると衰退する傾向が見られるが、刈り取りの実施されなかった地点（離岸距離 120 m 以降）ではアマモ群落が維持されていることから、当該地点においては刈り取りが実施されていなければ7月においてもそれ以前と同様な分布を示すことが推察される。



ST1 (沖側)



ST2 (人工リーフ背後)

図-3 測点における各諸元の時系列変化

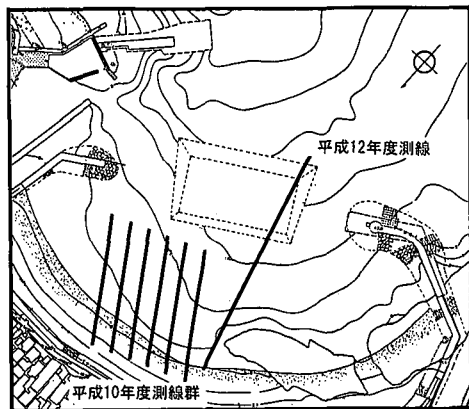


図-4 アマモ調査の実施測線

平成12年12月に実施した調査結果を図-6に示す。調査時期は衰退期であったものの、残存する地下茎から伸びる栄養株や葉丈10 cm程度の実生株も多く、最大で656株/m²が確認された。特に、栄養株が比較的高い被度で確認されたのは、この年の夏期にアマモの刈り取りが実施されなかったためである。栄養株の繁茂状況を写真-1に示す。なお、アマモの分布は人工リーフ背後の広範囲にわたっていた。

このように、夏期の刈り取りが実施されていないながらも翌年にはアマモ群落が維持されていること、また刈り取

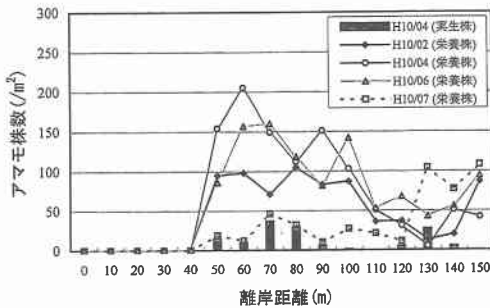


図-5 アマモ分布 (各測線の合計：平成10年度)

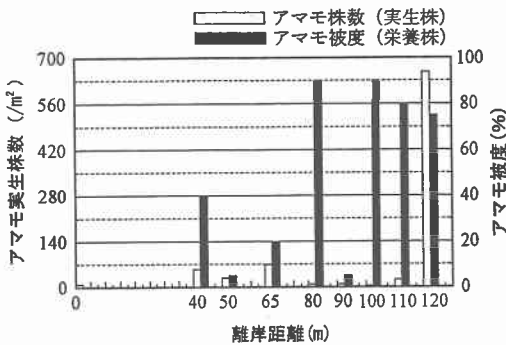


図-6 アマモ分布 (平成12年度)



写真-1 平成12年12月のアマモ分布状況 (離岸距離100 m, 水深3.6 m)

りが実施されなかった場合、比較的被度の高い栄養株が残存していることから、興津海岸のアマモ場は種子の発芽と地下茎の伸長によって群落を維持しているものと考えられる。

なお、人工リーフ背後のST2, ST3において底質を採取し、粒度及び密度分析を行った結果、中央粒径 $d_{50} = 0.10$ mm, 密度 $\rho = 2.66$ g/cm³を得た。

4. 数値計算

前述したように、アマモ分布と外力条件との関係解明の指標として Shields 数を採用するケースが多くなっており、ある程度成果を納めている。本研究においてもこの方法により外力場の評価を行うこととした。Shields 数を算定する上で重要となるのは底面せん断力の算定方法である。そのためには摩擦係数の適切な評価が必要であり、本研究では田中・SANA (1996) による算定方法を採用した。この方法の利点は、任意の交差角を有する波・流れ共存場での摩擦係数が精度良く算定可能であること、完全陽形式であるため計算時間の短縮が図れることである。なお、Shields 数の算定は波浪および海浜流の共存場で行った。

Shields 数の算定においては、人工リーフの効果を明らかにするため、人工リーフ設置前後の双方において行うこととした。また、入射波にはST1において観測された沖波諸元を用いた。

この沖波については、アマモ場の外力評価に対してどのような統計的代表値で評価すべきか、現在のところ明確な指針が存在しないのが現状である。本研究では、常時作用する波浪と擾乱の大きい高波浪がアマモの分布にどのような影響を与えているのか評価するため、観測期間中における平均有義波と最大有義波の双方を用いることとした。ちなみに、当該地点の人工リーフの設計に用いられた波浪諸元は、 $H_0 = 2.0$ m, $T = 10.0$ s (年間数回来襲する高波浪を想定) であった。

計算条件を表-1に、計算領域を図-7に示す。なお、Shields 数の算定には現地調査で得られた底質の諸元を用いた。

波浪場および海浜流場の算定結果をもとに、Shields 数の平面分布を算定した。人工リーフ設置前後の平均有義波作用時 (以下常時) および最大有義波作用時 (以下高波浪時) における Shields 数の平面分布を図-8に示す。実際の人工リーフ天端上は石積みであるが、ここでは便宜上アマモ場の底質が計算領域内に一様分布しているものと仮定した。

人工リーフ設置に伴って、人工リーフ背後域の Shields 数が大きく減少している。その傾向は高波浪時において顕著で、人工リーフの存在は高波浪時におけるアマモ場

表-1 計算条件

波浪条件および潮位条件	
①波浪条件	
・平均有義波 $H=0.97\text{ m}$, $T=7.8\text{ s}$	
・最大有義波 $H=1.80\text{ m}$, $T=7.3\text{ s}$	
・波向 SSE	
②潮位条件	
潮位=M.W.L.	
波浪場解析条件	
①基礎式	エネルギー平衡方程式
②碎波の考慮	磯部 (1986) の碎波変形モデル
海浜流場解析条件	
①基礎式	水平面内の平均流に関する連続式・運動方程式
②計算方法	非定常計算
Shields 数場解析条件	
①底面せん断力の算定方法	田中・SANA (1996) の波・流れ共存場での摩擦係数
②底質条件	
中央粒径 $d_{50}=0.10\text{ mm}$, 密度 $\rho=2.66\text{ g/cm}^3$	

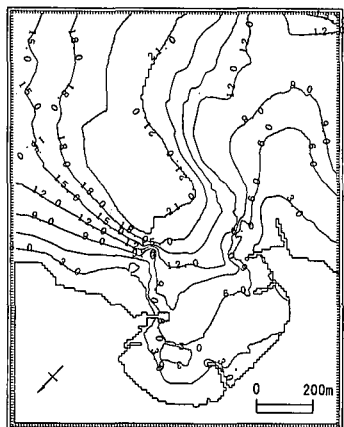


図-7 計算領域

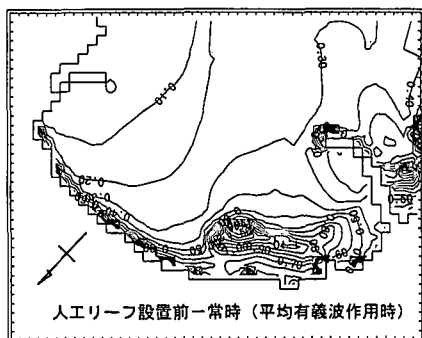
の底質安定性に大きく寄与しているものと考えられる。なお、図中右下の領域で値の大きな領域が見られるが、これは図-1に示したように、この範囲には水深のごく浅い岩礁帯が分布しているためである。

5. アマモ分布と Shields 数分布の比較

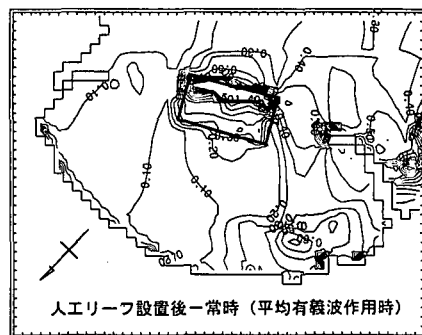
アマモ場調査により把握されたアマモの分布と Shields 数の算定結果との比較を試みた。アマモ分布域における常時および高波浪時の Shields 数 ψ の階級別分布頻度を図-9に示す。

人工リーフ設置前においては、常時の種子埋没条件(発

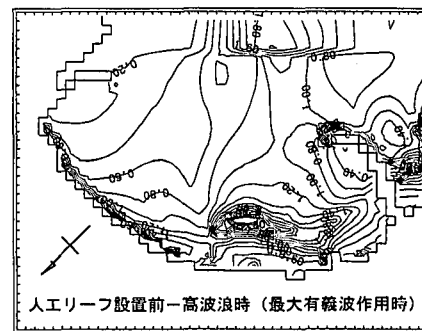
芽の前提条件：島谷ら, 2000) である $0.1 < \psi < 0.3$ を高い頻度で満たしていたものの、高波浪時には $\psi = 0.6$ を超過し、アマモ場の底質がシートフロー状態となる頻度が高かった。一方、人工リーフ設置後においては、常時の種子埋没条件をほぼ満たしつつ、高波浪時に



人工リーフ設置前-常時 (平均有義波作用時)



人工リーフ設置後-常時 (平均有義波作用時)



人工リーフ設置前-高波浪時 (最大有義波作用時)

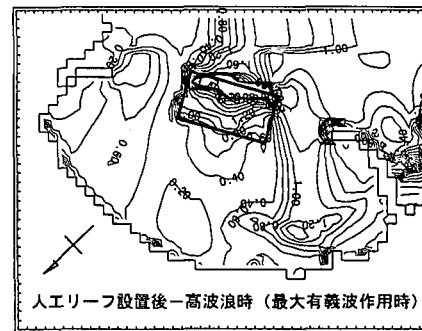


図-8 人工リーフ設置前後の Shields 数分布

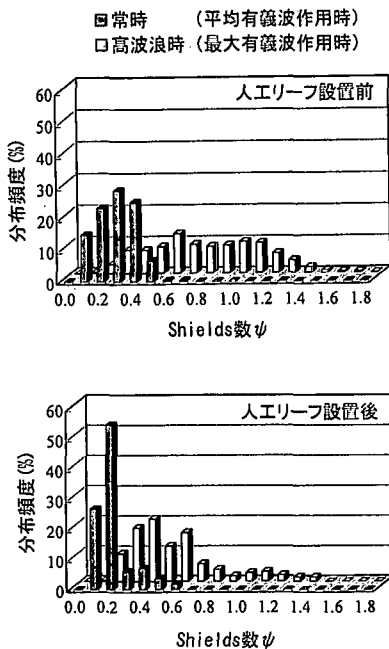


図-9 アマモ分布域における Shields 数の分布頻度

ても Shields 数の多くは 0.6 以下であった。

当該地点では、アマモの種子が放出され発芽・生育するまでの期間において、人工リーフ設置前には月最大レベルの波が来襲した際にアマモ場の底質がシートフロー状態となり、海底に埋没した種子や発芽した実生株が流失していたものの、人工リーフが設置されたことによって底質の安定性が向上し、アマモ場が維持されるようになった可能性が高い。

したがって、今後人工的にアマモ場を造成するには適切な外力制御を施す必要があり、種子が放出され発芽・生長する期間において、常時には上記の種子埋没条件を満たしつつ、高波浪時においてもアマモ場の底質の安定性が保たれるよう留意すべきであることが明らかとなった。

6. おわりに

人工リーフ設置に伴い副次的にアマモ場が繁茂した興津海岸を対象として、現地調査、数値計算を実施した。そして、外力場の変化とアマモ分布の関係に着目して検討を行った結果、以下の主要な結論を得た。

- 1) 興津海岸のアマモ場は、自然状態では種子の発芽と地下茎の伸長によって群落を維持している。
- 2) 人工リーフ設置前においては、高波浪時にアマモ場の底質がシートフロー状態となる分布頻度が高かったが、人工リーフが設置されたことによって底質が安定し、アマモ場が維持されるようになったものと考えられる。
- 3) 人工的にアマモ場を造成する際には、適切な外力の制御を施す必要がある。この際、種子が放出され発芽・生長する期間において、常時には種子埋没条件を満たしつつ、高波浪時においてもアマモ場の底質の安定性が保たれるよう留意すべきである。

今後は他地点においても同様な評価を行い、アマモ場の外力評価をする上での具体的なしきい値を明確にする必要がある。それと同時に、本研究では沖波諸元として観測期間中の平均有義波および最大有義波を用いたが、アマモ場の外力評価に対してどのような統計的代表値で評価すべきか、様々な地点での事例を収集し、詳細な検討を行う必要があろう。

なお、本研究は東京工業大学、水産工学研究所、港湾空港技術研究所、五洋建設㈱の合同調査グループによる、興津海岸を対象とした共同研究の一環によるものである。

参考文献

- 磯部雅彦 (1986): 放物型方程式を用いた不規則波の屈折・回折・碎波変形の計算法, 第 33 回海岸工学講演会論文集, pp. 134-138.
- 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.
- 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・杢山博昭 (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.
- 中瀬浩太・島谷 学・関本恒浩 (1999): 船舶航跡波影響下のアマモ分布条件, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp. 1196-1200.
- 丸山康樹・五十嵐由雄・石川雄介 (1987): アマモ場適地選定手法, 第 34 回海岸工学講演会論文集, pp. 227-231.
- 森口朗彦・高木儀昌・仲宗根琢磨・吉川浩二・國 昭紀・和泉安洋 (1999): 分布条件の異なる 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, 第 21 号, pp. 1-12.