

興津海岸におけるアマモ分布条件について

島谷 学* ・中瀬浩太** ・岩本裕之*** ・中山哲厳****
月舘真理雄***** ・星野高士***** ・内山雄介***** ・灘岡和夫*****

興津海岸を対象に波浪・流況観測, アマモ場調査及び数値計算を行った。アマモ分布と外力の関係に着目し検討した結果, 当海岸はアマモの衰退期において高波浪時に底質がシートフロー状態になりやすく, さらに発芽前の期間で常時に種子の埋没条件を満たすアマモの生育に適した環境であることが確認できた。また, 人工リーフの設置によりアマモの分布に適した環境になったものの, 一部浮泥が滞留し分布に不適な領域も見られた。これは常時波浪作用下における底面波動流速に起因するものと推察された。今後アマモ場を造成する際には, 秋季における Shields 数の評価に加え, 造成地点周辺の流況評価を行い浮泥の滞留を避けるよう注意する必要がある。

1. はじめに

千葉県勝浦市興津海岸では, 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-1)。その結果, 人工リーフ背後域の外力場が変化したことにより, 当海岸の一部に点生していたアマモ (*Zostera marina*) がこの領域全体に密生するようになった。島谷ら(2001)は Shields 数を指標として, どのような外力場の変化でアマモ群落が拡大するに至ったかを検討した。しかしながら, この検討は短期間の波浪データによる評価であること, アマモ分布調査と波浪観測との調査年度に相違があること, アマモの有無の評価が Shields 数からのみであることなど, 当該地点のアマモ分布条件を詳細に抽出するには不十分であった。

そこで本研究では, 続報として当該地点で継続中の波浪・流況観測, 最新のアマモ分布調査及び数値計算により, 当海岸におけるアマモ分布条件を外力面から考察した。さらに, 人工リーフ背後のアマモが分布していない

領域についてその要因の抽出を試み, アマモ場を造成する際の留意点を考察した。

2. アマモのライフサイクルと検討時期

アマモ場における波浪・流況観測は, 高波浪の来襲する頻度が高い期間に行われることが多い。これは, アマモ場が浅海砂泥域に分布し物理的外力の影響を受けやすいことを考えると非常に重要なことである。他方で, アマモは季節的に消長し衰退期には地上の草体部が枯れ, 被度が著しく低下する。被度が低下すると海底面が外力の影響を強く受けるため, アマモ場と物理的外力との関係を検討する上ではアマモのライフサイクルも考慮する必要があると考えられる。

当海岸におけるアマモのライフサイクルを図-2に示す。アマモは春から初夏にかけて繁茂期を迎え, 高水温期となる夏から秋にかけて衰退する。この時期は被度が著しく低下し, アマモ草体の存在による底質の安定性向上効果が期待できない。外洋に面した当海岸において, 衰退期は年最大級の高波浪の原因となる台風の来襲時期とも重なり, アマモ場の成立条件を検討するのに適した時期と言える。また, 初夏に放出された種子が冬季に発芽するという生活史を持つため, 秋季は発芽の前提となる種子埋没条件を検討するにも適した期間である。

そこで, 本研究では以上のことを考慮し, 沖波及びアマモ場周辺の波浪場, 流況場の観測を9月から11月にかけて実施することとした。

また, アマモは春から初夏にわたって繁茂することから, この時期の分布範囲はアマモの生育に好適な範囲で

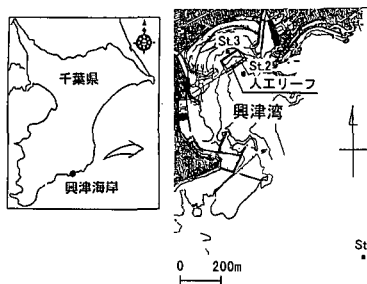


図-1 興津海岸位置図

* 正会員	工 修	横浜国立大学助手 大学院工学研究院
** 正会員		五洋建設(株) 環境・エンジニアリング本部
***		五洋建設(株) 環境研究所
**** 正会員	工 修	(独法)水産工学研究所
*****		(株)水棲生物研究所
***** 正会員		国際気象海洋(株)
***** 正会員	博(工)	(独法)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

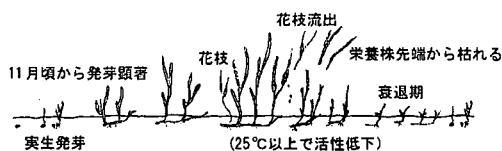


図-2 アマモのライフサイクル

あると判断できる。よって、アマモの分布調査は繁茂期である6月に実施することとした。

3. 波浪・流況観測

波浪・流況観測は2001年9月16日～同年11月26日に実施した。観測においては、沖側水深20m地点(St. 1)に超音波式波高計(アイオーテック製, WaveHunter Σ94)を、人工リーフの前後(St. 2, 3)に水圧式波高計(同社製, WaveHunter)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)及び流速を測定した。

St. 1及びSt. 3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。

沖測点のSt. 1では、観測期間中に2.0mを越える有義波高が5回観測されている。その時の周期は様々であるが、波向は高波浪時にやや南寄りになる傾向が見られ

た。常時においては平均有義波で $H_{1/3}=0.92\text{ m}$ 、 $T_{1/3}=7.7\text{ s}$ であり、2000年同時期の観測結果である $H_{1/3}=0.97\text{ m}$ 、 $T_{1/3}=7.8\text{ s}$ (島谷ら, 2001)とほぼ同値であった。

また、観測期間中において高波浪が観測された図中①～⑤における地上天気図を図-4に示す。①においては沖合に存在する台風18号や東西に長く伸びる前線の影響を、②～⑤においては前線を伴った低気圧の影響を強く受けていると推察される。

日本近海に接近する台風や前線を伴った低気圧による高波浪は、秋季における典型的な現象であると言え、年最大級の高波浪もこの時期に発生することが多い。観測期間中の高波浪は、気圧配置に関わらず共に同程度の波高を有していることから、当海岸における秋季の高波浪は通常、有義波高で2.5m程度であると考えられる。

一方、アマモ場内である人工リーフ背後のSt. 3においては、人工リーフの効果によって波高が著しく低減され、観測期間中のほとんどが0.4m以下であった。波高の時系列は沖波とは異なり周期的な変動を繰り返している。これは潮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で波高伝達率が変化し、潮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。

しかし一方で、高波浪時の①～⑤では相対的に波高が高く、人工リーフ背後に波浪が伝播している様子が窺える。人工リーフ背後域での静穏度は、潮位が低下している時には人工リーフの効果によって一時的に高まるものの、高波浪が数日間継続する場合には入射波高に大きく依存することが確認された。

また、定常流速の時系列変化から高波浪時に海浜流が

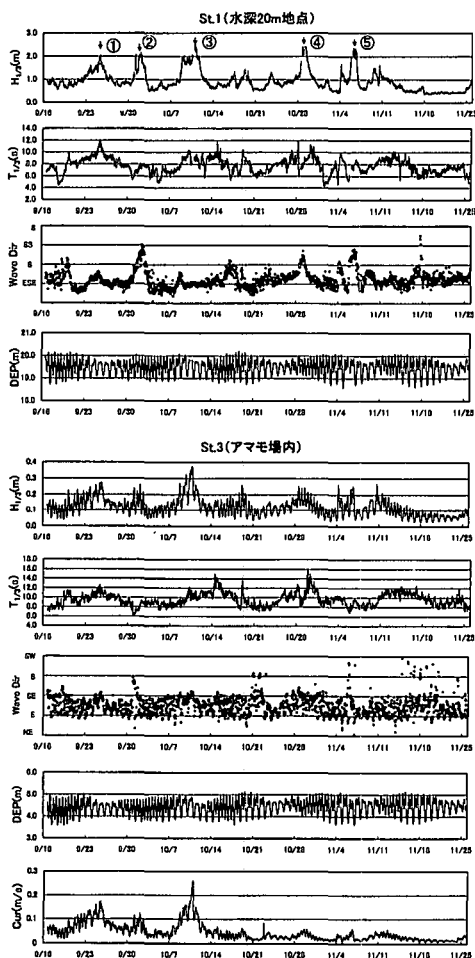


図-3 観測結果の時系列変化

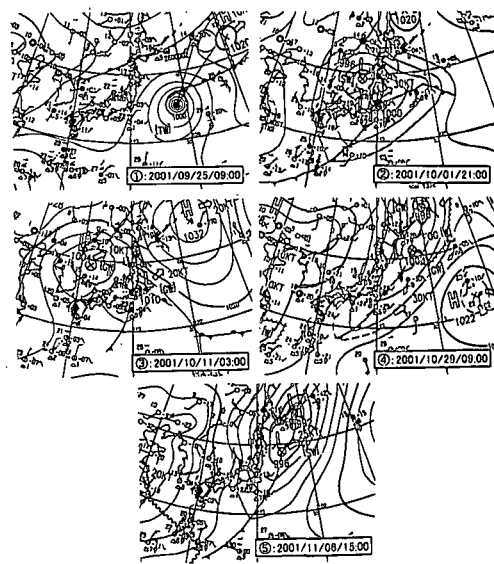


図-4 高波浪時における地上天気図

卓越している様子がわかる。当海岸のアマモ場における外力場を評価する際には、波浪場だけでなく海浜流場も考慮して検討する必要がある。一方、海浜流が卓越していない時の定常流速は5 cm/s以下と非常に小さく、潮流の影響は小さいことが認められた。

4. アマモ場調査

島谷ら(2001)によるアマモ分布調査の結果は主として1998年度のものであり、現在のアマモ分布範囲とは異なる可能性があるため、改めてアマモの分布調査を行った。アマモの繁茂期にあたる2001年6月29日において、マンタ法により観測を実施した。観測結果を図-5に示す。この分布範囲はアマモの生育に適した領域を示していると考えられる。アマモは両岸から延びる突堤と人工リーフによって遮蔽された領域に幅広く分布している。左岸突堤を巻き込むようにしてアマモが分布しているのは、その沖側にもう1つ突堤が存在するためである。なお、人工リーフ背後域の一部に広くアマモが分布していない領域が見られるが、この理由については後述する。

写真-1は繁茂期における当海岸のアマモ場の状況である。当海岸のアマモ場は繁茂期になると草丈約2mにも及び、密に群落を形成する。

5. Shields数によるアマモ分布条件

アマモ分布と外力条件との関係を解明する指標として

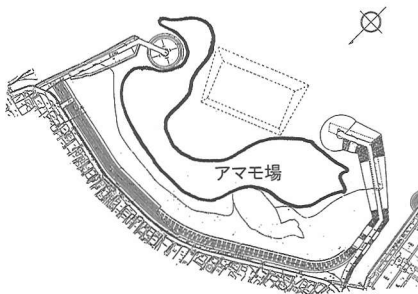


図-5 アマモ分布調査結果

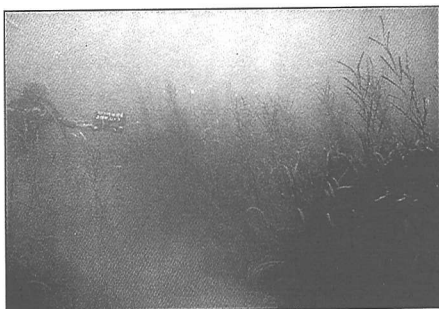


写真-1 繁茂期における当海岸のアマモ場

Shields数を採用するケースが多く、成果も納められている(例えば丸山ら, 1987; 中瀬ら, 1992; 森口ら, 1999)。本研究においても同様に、Shields数を用いて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適切な摩擦係数の評価である。当海岸においては高波浪時に海浜流が卓越する場合があるので、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な田中・SANA(1996)による算定方法を採用した。潮流については実測値より影響が小さいことが明らかのため、計算では考慮していない。

波浪場の算定については、両岸から延びる突堤や人工リーフからの回折波の影響が予想されるので、高い精度で回折波の算定が可能な放物型波動方程式を用いた。また、入射波にはSt.1において観測された沖波諸元を使用した。本研究では、常時作用する波浪と擾乱の大きい高波浪の影響を評価するため、観測期間中における平均有義波と図-3中①～⑤で観測された有義波の双方を用いることとした。この①～⑤の諸元については波浪・流況観測の項で述べたように、秋季において通常来襲する高波浪と判断すれば良いと考えられる。

計算条件をまとめたものを表-1に、計算領域を図-6に示す。Shields数の算定には2000年度の現地調査で得られた底質の諸元を用いた。また、図-3中St.3の波高時系列を見ても分かるように、アマモ場での波浪は潮位変動に大きく影響される。しかし、高波浪の来襲する期間は干満の潮位変動が生じる6～7時間以上継続することがほとんどであるため、本研究では常時、高波浪時共に潮位をM.W.L.で代表することとした。

表-1 計算条件

波浪条件および潮位条件	
①波浪条件	
・常時(平均有義波)	$H=0.92\text{ m}$, $T=7.7\text{ s}$, $\text{Dir}=\text{ESE}$
・高波浪時	①: $H=2.04\text{ m}$, $T=12.1\text{ s}$, $\text{Dir}=\text{SE}$
	②: $H=2.01\text{ m}$, $T=8.1\text{ s}$, $\text{Dir}=\text{SSE}$
	③: $H=2.48\text{ m}$, $T=9.2\text{ s}$, $\text{Dir}=\text{ESE}$
	④: $H=2.41\text{ m}$, $T=9.2\text{ s}$, $\text{Dir}=\text{SSE}$
	⑤: $H=2.34\text{ m}$, $T=8.1\text{ s}$, $\text{Dir}=\text{SSE}$
②潮位条件	
潮位	=M.W.L.
波浪場解析条件	
①基礎式	放物型波動方程式
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	radiation stressの空間勾配を外力とした水平二次元平均流に関する連続式・運動方程式
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 $\rho=2.66\text{ g/cm}^3$

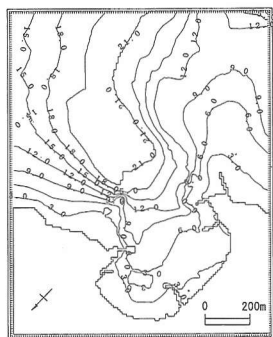


図-6 計算領域

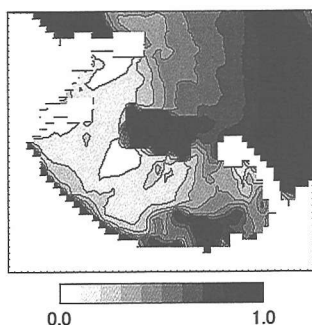
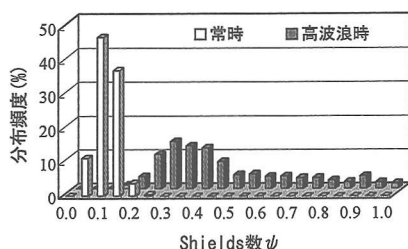


図-7 Shields数の算定結果(図-3中①の時)

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。例として高波浪時である図-3中①における Shields 数の平面分布を図-7に示す。突堤や人工リーフの効果により, 高波浪による擾乱が著しく抑えられている様子が確認できる。

そして, この Shields 数の算定結果とアマモ場調査により把握されたアマモの分布との比較を試みた。アマモ分布域における常時および高波浪時の Shields 数の階級別分布頻度を図-8に示す。高波浪時は図-3中①~⑤における算定結果の合計値である。

常時においては種子埋没条件(島谷ら, 2000)である $0.1 < \psi < 0.3$ を高い頻度で満たしており, 同時に高波浪時の Shields 数の多くが 0.5 以下と既往の研究での知見(例えば中瀬ら, 1992)と良く一致していた。当海岸は,

図-8 Shields数 ψ の階級別分布頻度

アマモの衰退期において高波浪時にアマモ場の底質がシートフロー状態にならないこと, さらに発芽前の期間において常時に種子の埋没条件が満たされていることから, アマモの生育に適しているものと考えられる。昨年度も同様の結果が得られているが, 本研究では継続して実施している現地調査や精度の高い外力場の評価を行い, その結果を再確認することができた。

6. アマモが分布しない要因について

一方で, 人工リーフ背後域の一部にアマモが分布しない領域が存在する。この原因を解明するため, このアマモが分布していない箇所と分布している箇所それぞれ2カ所から底質をコアサンプルし, 粒度及び強熱減量の分析を行った。底質の採取位置を図-9に, 分析結果を図-10に示す。アマモの有無によって強熱減量に大きな差は見られないものの, アマモが分布しない箇所での粒径は著しく小さい。No. 3, 4のシルト分は70%を超過しており, 調査時には浮泥が溜まっている様子が確認されている。コアサンプルによって浮泥の堆積厚を調べると厚さ10~13 cmにも及んでいた。浮泥が滞留するような場所は, 地下茎によって草体を支持できないだけでなく, 葉上に堆積物が付着しやすいのでアマモの生育には適していない。

この浮泥滞留の原因は流れの淀みにあると考え, この状況を調べるため潮流計算を行った。潮流計算は鉛直平均流速に関する連続式ならびに運動方程式に基づき, 開

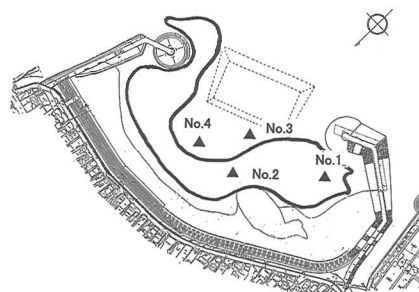


図-9 底質採取位置

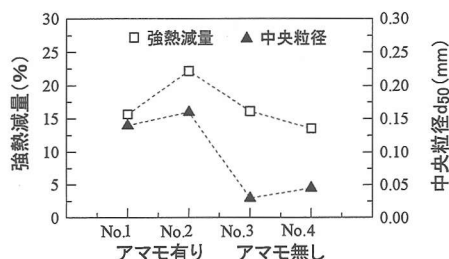


図-10 各測点での強熱減量及び中央粒径

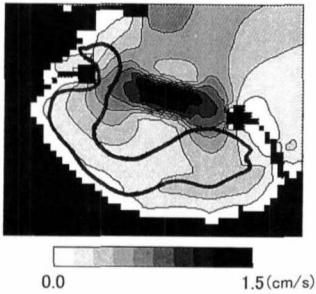


図-11 潮流による流速の最大値とアマモ分布

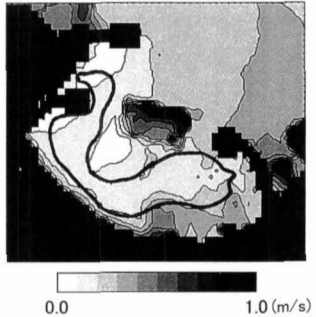


図-12 底面波動流速の最大値とアマモ分布

境界で時々刻々潮位変動を与えて計算を行った。潮汐は M_2 分潮と S_2 分潮の和を与えた。図-11 は流速の最大値を示したものである。計算領域は波浪場解析と同様であるが、ここでは人工リーフ周辺のみを表現した。現地流況観測結果と同様流速は 1 cm/s 程度と非常に小さく、またアマモ有無の領域で有意な差は見られなかった。

淀みの原因は潮流からでは判断できないため、潮流のような定常流ではなく、波動による振動流速を用いた検討を試みた。常時（平均有義波作用時）における底面波動流速の最大値を図-12 に示す。アマモ非分布域においては明らかに流速が周囲より相対的に小さく、流速が 0.1 m/s 以下の領域ではほとんどアマモが分布していない。このことから、人工リーフ背後の浮泥の滞留は、常時波浪作用下における底面波動流速に起因しており、この影響でアマモが分布していないものと推察された。

当海岸は人工リーフの設置によってアマモの分布に適した場所へと変化した。しかし、静穏度が過剰に高まった領域では浮泥が滞留し逆にアマモに分布に適さなかった。アマモ場を造成する際には静穏な海域を選定することは重要であるが、浮泥が滞留するような海域を選定することや、人工構造物建設によって過剰な波浪制御を行うことは極力避けるよう留意しなければならない。

7. おわりに

興津海岸を対象として波浪・流況観測、アマモ分布調

査及び数値計算を実施した。アマモのライフサイクルを考慮しながらアマモ分布と外力場の関係に着目し、様々な側面から検討を行った結果、以下の主要な結論を得た。

- 1) 当海岸はアマモの衰退期において高波浪時に底質がシートフロー状態になりにくく、さらに発芽前の期間（秋季）において常時に種子の埋没条件を満たすアマモの生育に適した環境であることが確認できた。
- 2) 人工リーフの設置によってアマモの分布に適した環境になったものの、一部浮泥が滞留し分布に不適な領域も見られた。これは、潮流でなく常時波浪作用下における底面波動流速に起因し、流速 0.1 m/s 以下の領域の多くにはアマモの分布が見られなかった。
- 3) アマモ場を造成する際には、秋季における高波浪時及び常時の Shields 数による評価に加え、造成地点周辺の潮流や波動流速などの流れに関する検討などを行い、浮泥の滞留を避けるよう注意する必要がある。

なお、3) については、造成地点においてある閾値を満たす流れが存在すれば良いというものではなく、海中の懸濁物質量や周辺に既存するアマモ場での値なども考慮した詳細な検討が必要である。また、今後は他地点においても同様な評価を行うと共に、今回沖波諸元として観測された高波浪が統計的にどのような意味を持つか評価し、アマモ場造成時に用いる沖波の統計値（例えば未超過確率何%の波浪であるなど）を適切に設定できるよう検討を続けることも重要である。

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漁業者、勝浦漁協興津支所ならびに千葉県港湾課の皆様に対し謝意を表する。

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.
- 島谷 学・中瀬浩太・中山哲蔵・太田雅隆・月館真理雄・星野高士・内山雄介・灘岡和夫 (2001): 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, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 1156-1160.
- 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.
- 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・團 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.