

アマモ群落における底質輸送機構と底質安定性向上効果について

加藤 大*・島谷 学**・柴山知也***

アマモは群落を形成することにより, 群落内部の流速の低減や波高の減衰を促し, また地下茎や根の存在によって底質の安定性を向上させているものと推察される. 本研究では, 現地のアマモ場にて調査を行い, アマモ群落の存在が底質環境へ与える影響について評価した. また天然のアマモを用いた水理実験を行い, アマモ群落内部の底質輸送機構と地下茎や根の存在による底質の安定性向上効果の評価を行った. その結果, アマモの生育域ではその周辺の非生育域に比べ地盤表層付近の強度が高くなっていること, 及びアマモの地上部よりも地下茎や根の存在が底質侵食の抑制に大きな効果を発揮していることを確認した.

1. はじめに

アマモは浅海砂泥域に生育する海草で, 近年では港湾・海岸事業でもその保全に取り組んでいる. アマモはその生態や生活環境に関して波や流れといった物理的外力の影響を強く受けており, アマモ場を人工的に造成する際にはこれら外力に対する生育条件を明らかにする必要がある.

一方で, アマモは群落を形成することにより群落内部の流速の低減や波高の減衰を促し, また地下茎や根といった地下部の存在の影響によって底質の安定性を向上させているものと推察される. 既往の研究において, ポリプロピレン製の人工海草を用いた水理実験などにより波高減衰効果や乱流・流動構造と漂砂輸送の関係について評価した研究例は数多くあるものの (例えば辻本, 1992; 金澤ら, 2002), 天然の海草を用いた例はほとんど存在しない. また地下茎や根の効果に着目した研究もほとんど行われていない.

効率的にアマモ場を造成するためには, 適切な造成適地の選定が必要である. そのためには物理的外力とアマモの生態との関係に考慮して検討を進めることが必要不可欠であるが, 今後はこのようなアマモ自身が有する効果についても考慮することにより, より信頼性の高い適地選定が可能になると考えられる.

その基礎的な知見を得るため, 本研究ではまず現地のアマモ場にて底質に関する調査を行い, アマモ群落の存在が底質環境へ与える影響について検討を行った. 続いて, 天然のアマモを用いた水理実験を行うことで, アマモ群落内部の底質輸送機構と地下茎や根の存在による底質の安定性向上効果の評価を試みた. なお, 本研究ではアマモの葉体を「地上部」, 地下茎及び根を「地下部」と定義する.

2. 現地調査

(1) 底質の物理諸元

アマモ群落の存在が底質環境に与える影響を把握するため, 2003年6月に千葉県勝浦市興津海岸 (図-1) を対象として底質の物理諸元に関する調査を行った. アマモの生育域及びその周辺の非生育域において底質の表層3cmをそれぞれ数箇所採取し, 物理諸元 (中央粒径, シルト・粘土分, 含水比, 強熱減量) の測定を行った.

各測定項目の結果をアマモ群落の有無で比較したものを図-2に示す. 底質の含水比及び強熱減量に関してはアマモ群落の有無で有意な差は確認できない. しかし, 中央粒径及びシルト・粘土分に関しては明確な差が認められ, アマモの生育域では底質粒径が小さく, またシルト・粘土分の含有率が高くなっている. これは, アマモの葉体によって細粒分が捕捉されやすくなっているものと推察されるが, 地上部の存在による流速の低減効果に起因する可能性もあるため, 水理実験の項で考察を加える.

(2) 地盤強度

アマモ群落の存在が地盤強度に与える影響を把握するため, 2004年9月に千葉県富津市竹岡海岸地先 (図-1)

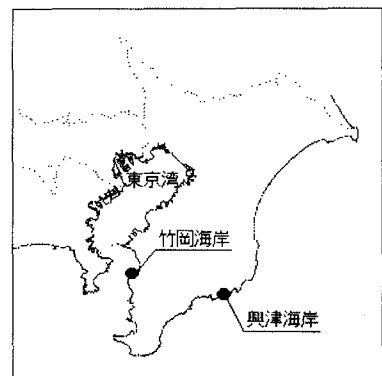


図-1 調査対象地点

* 修(工) 東亜建設工業 (株) 東京支店
** 正 会 員 博(工) 五洋建設 (株) 環境研究所
*** フェロー 工博 横浜国立大学教授 大学院工学研究院システムの創生部門

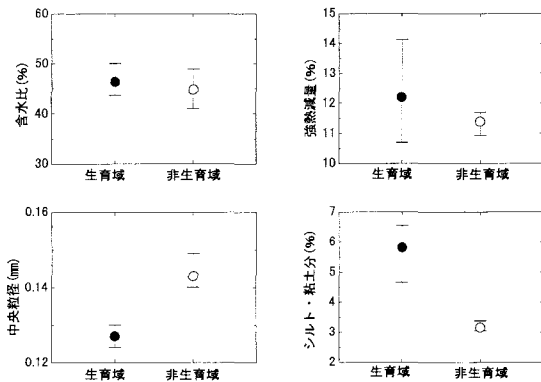


図-2 底質の物理諸元

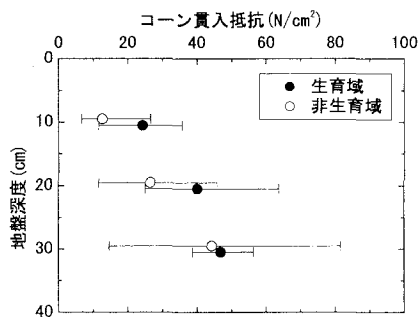


図-3 コーン貫入抵抗

を対象としてコーン貫入試験を行った。本来コーン貫入試験は粘性土を対象としているが、本調査では調査深度が数10 cm と浅いこと、また底質粒径が0.2 mm 程度と小さいことから簡易的に地盤強度を測定できるコーン貫入試験を採用した。試験はポータブルコーン貫入試験機(株式会社誠研舎製, 携帯型単管コーン貫入試験機DO-10)を用い、アマモの生育域及びその周辺の非生育域においてそれぞれ数箇所を対象に行った。

測定結果をアマモ群落の有無で比較したものを図-3に示す。アマモの生育域では、その周辺の非生育域に比べ地盤表層付近において平均値で2倍程度大きな値を示した。その範囲はほぼ当水域のアマモ地下部(地下茎+根)の伸長深度(5~15 cm)に相当しており、その存在によって表層地盤が一体化することで強固になっているものと考えられる。陸上では法面の保護工として植物を用いた植生工が存在するが、上記結果より海中のアマモ群落においても植生工のような地盤の安定性向上効果が期待できるものと推察される。

3. 水理実験

(1) アマモの採取とその諸元

本研究では、地下茎や根といったアマモの地下部にま

表-1 アマモ諸元値

	本数 (本)	草丈 (cm)	草幅 (cm)	湿潤重量(gf/m ²)		
				地上部	地下部	全体
A-1	—	—	—	—	—	—
A-2	—	—	—	—	—	—
A-3	—	—	—	—	—	—
A-4	—	—	—	—	—	—
B-1	58	38.5	0.6	466.7	901.8	1368.9
B-2	58	49.9	0.6	521.3	787.8	1309.1
B-3	37	30.3	0.5	446.9	701.2	1148.6
B-4	49	33.4	0.5	677.9	945.3	1614.4
C-1	64	75.0	0.7	1171.9	1123.0	2294.9
C-2	46	45.8	0.6	350.6	680.5	1031.1
C-3	52	49.2	0.7	920.3	892.5	1812.8
C-4	49	51.3	0.6	461.9	704.3	1166.2

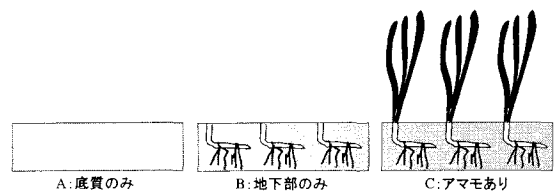


図-4 実験ケース

で着目し、アマモ群落内部の底質輸送機構や底質安定性向上効果を把握することを目的としている。人工海草ではその評価が不可能なこと、また地下茎や根とその周辺地盤の状態を模型によって再現することは困難であることから、水理実験においては天然のアマモ群落を用いることとした。2004年6月ならびに同年9月に東京湾内にあるアマモ場にてアマモを底質ごと採取し、これを実験に使用した。採取したアマモは天然海水を満たしたコンテナに入れ、エアレーション装置と蛍光灯を設置し、常時好気状態及び明条件で保管した。

実験に用いたアマモの諸元値を表-1に示す。ここで本研究においては、実験ケースとしてA:底質のみ、B:アマモの地上部(葉体)を刈り取った地下部のみ、C:アマモありの3ケースを設定し(図-4)、各ケース4回の実験を行った。なお、実験の際には現地アマモ場と同等の含水比となるように調整し、底質の状態が現地と差異のないよう留意した。

(2) 実験装置

本研究では、横浜国立大学水理実験棟内にある長さ17 m、幅0.6 m、深さ0.55 mの二次元造波水槽(図-5)を使用した。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)が装備されており、もう一端には勾配1/20、1/10の斜面及び消波材が設置されている。水槽の1様水深部にアクリル板で作成したマウンドを取り付け、その凹部(長さ592 mm、幅384 mm、深さ100 mm)に現地にて採取したアマモを底質ごと設置した。

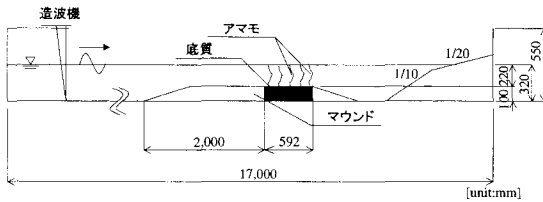


図-5 実験装置

表-2 入射波諸元

	$H(\text{cm})$	$T(\text{s})$	$U_w(\text{cm/s})$
浮遊砂実験	11.9	2.0	29.9
侵食実験	15.9	2.3	48.3

(3) 実験条件

本研究では、アマモ群落内部の底質輸送機構を明らかにするための浮遊砂実験と、地下茎や根の存在による底質の安定性向上効果を評価するための侵食実験を実施するが、浮遊砂実験については、長時間波浪を作用させても地盤が侵食されない程度の波浪を目視にて確認し、入射波の諸元を決定した。また侵食実験では、底面軌道流速をパラメータとし、本実験装置で造波可能な最大流速となる侵食性の波浪を入射波として用いた。それら実験条件を表-2に示す。なお、実験に用いた波浪は全て規則波であり、実験に用いた現地底質の中央粒径は0.22 mm である。

(4) 浮遊砂実験

a) 実験方法

アマモ群落内部における底質輸送機構を明らかにするため、浮遊砂実験として高波浪作用下における3次元流速及び浮遊砂濃度の鉛直分布の計測を行った。流速の計測には3次元超音波ドップラー流速計（SONTEK社製）を使用し、浮遊砂濃度の計測には光学式濁度計（東京計測株式会社製）を使用した。

実験方法はまずマウンド凹部にアマモを底質ごと設置し、その中央から岸沖方向に関して $\pm 15 \text{ cm}$ 、鉛直方向に関して底面を基準として1 cm から1 cm ピッチで7 cm まで各測点120秒間計測した。

b) 実験結果

底面軌道流速のパワースペクトル及びR.M.S. 値をそれぞれ図-6、図-7に示す。どちらも地上部の有無による有意な差は見られず、葉体による流速低減効果は明確には認められなかった。一方で、定常流速についてはアマモの地上部の存在による流速の低減効果が見られた（図-8）。なお、岸向き流れが正方向である。アマモは波とともに揺動するため波動流速の低減にはあまり寄与しないものの、定常流速については葉体の存在により流速低減の効果を発揮するものと考えられる。

また、アマモが存在するケースCにおいて、底質の

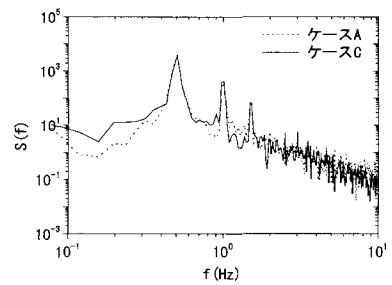


図-6 岸沖方向流速のパワースペクトル

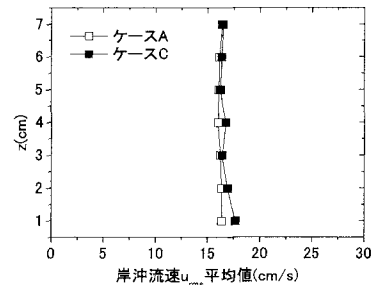


図-7 岸沖方向流速のR.M.S. 値

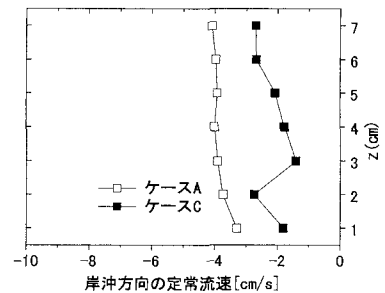


図-8 岸沖方向の定常流速

みのケースA及び地下部のみのケースBに比べ特に鉛直方向流速の乱れ強度が流速反転時に大きくなることが認められた（図-9）。これは、流速の反転時に葉体の揺動と水粒子の運動との間に位相差が生じることによる乱れに起因するものである。また、浮遊砂濃度の鉛直分布を図-10に示す。地上部のあるケースCにおいては底面近傍で高い浮遊砂濃度が観測されており、上述の乱れ成分が底質の巻上げを促進しているものと推察される。しかしながら、流速と浮遊砂濃度から求めた岸沖方向のフラックス値はアマモの有無によって有意な差は認められなかったため（図-11）、乱れ成分によって底質の巻き上げが促進される可能性は唆されるものの、岸沖方向への底質輸送は地上部の存在により抑えられているものと考えられる。

したがって、現地においてアマモの生育域の底質諸元のうち、シルト・粘土分の含有率が高かったことについて

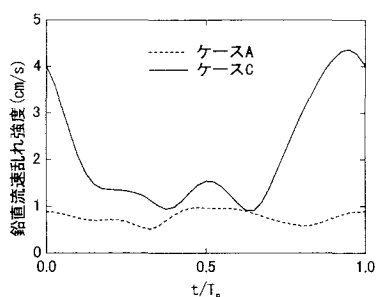


図-9 鉛直方向流速の乱れ強度

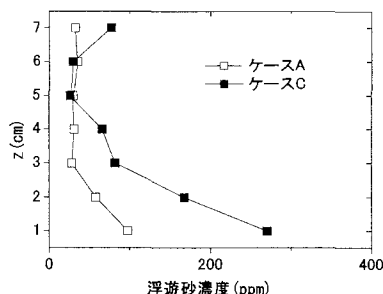


図-10 浮遊砂濃度

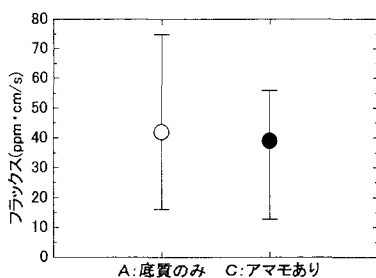


図-11 岸沖方向のフラックス

ては、葉体による細粒分の捕捉効果もさることながら、定常流速の低減効果にも起因しているものと推察される。

(5) 侵食実験

a) 実験方法

アマモの地上部及び地下部の存在による底質の安定性向上効果を明らかにするため、侵食性の高波浪を長時間作用させることによるアマモ群落内部の侵食土砂量の測定を行った。侵食土砂量の測定は初期地盤高と60分間造波後及び120分間造波後の地盤高を比較することで行った。地盤高の測定には、底質の設置領域を5 cm × 5 cmの格子状に分割するように糸を張った地盤高測定器を作成し、その格子点117 (13 × 9) 地点からの下がり距離で行った。

b) 実験結果

実験開始後、底質が侵食され始めると流速計や濁度計

では検出されない高さ (初期地盤高以下) での底質輸送が卓越することが目視で確認された。地盤高計測により算出した侵食土砂量のケース A, B, C の平均値を図-12に示す。まず底質のみ存在するケース A とアマモ地下部のみ存在するケース B を比較すると、ケース A における侵食土砂量は、ケース B に比べおよそ2倍の値を示している。次にケース B とアマモの地上部も存在するケース C を比較すると、同程度の値となっており有意な差は見られない。この結果は波浪の作用時間に関わらず共通である。つまり、アマモ群落内部の侵食土砂量はアマモの地上部ではなく地下部の存在の有無に大きく関わっており、地下部の存在は底質安定性の向上に大きく貢献しているものと考えられる。

また、侵食土砂量と地下部の湿潤重量の関係を図-13に示す。侵食土砂量と地下部の湿潤重量との間に有意な相関は見られなかった。このことより、地下部の湿潤重量換算で700 gf/m²程度のアマモが存在すれば底質の安定性向上効果が期待できるものと考えられる。

既往の人工海草を用いた研究例では地上部の存在による波高減衰効果や底質の巻き上げ抑制効果を示されているが、この実験結果はむしろ地下茎や根の存在が底質侵食の抑制に大きな効果を発揮していることを示唆しており、現地コーン貫入試験結果からも裏付けられるものである。通常、アマモは台風が来襲し高波浪の頻度が高くなる夏から秋にかけて衰退期を迎え地上部は枯れ落ちるが、多年生のものについては地下茎や根が残存している

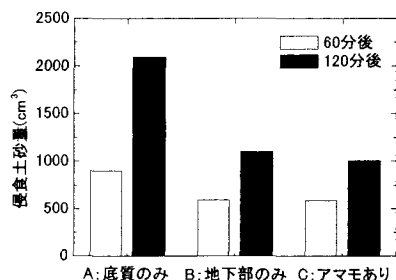


図-12 侵食土砂量

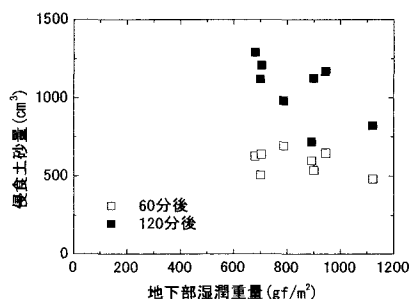


図-13 侵食土砂量と地下部湿潤重量

ため、この地下部による底質安定性向上効果が十分に期待できるものと考えられる。

4. ま と め

現地アマモ場における底質諸元調査とコーン貫入試験による地盤強度調査によって、アマモ群落が底質環境に与える影響の把握を行った。また天然のアマモを用いた水理実験によってアマモ群落内部の底質輸送機構とアマモ地下部の存在による底質の安定性効果の評価を行った。その結果、以下の主要な結論を得た。

- アマモの生育域の底質は、その地上部の存在により周辺の非生育域のそれに比べ中央粒径が小さくシルト・粘土分が多くなっていた。
- アマモの生育域では、その周辺の非生育域に比べ表層付近で2倍程度大きなコーン貫入抵抗値を示した。
- 水理実験の結果、アマモ群落内部では地上部の影響により流速の乱れ強度が大きくなる傾向が見られたが、定常流速については低減効果が見られ、流速と浮遊砂濃度のフラックスについては地上部の有無による有意

な差は認められなかった。

- アマモ群落内部では地下部の存在による底質の侵食抑制効果が確認された。

参 考 文 献

- 浅野敏之・筒井勝治・酒井哲郎(1988)：海藻が繁茂する場の波高減衰の特性，海岸工学論文集，第35巻，pp. 138-142.
- 小田一紀・天野健次・小林憲一・坂田則彦(1991)：硬質型人工海藻の漂砂制御効果に関する基礎的研究，海岸工学論文集，第38巻，pp. 331-335.
- 金澤剛・芳田利春・川崎和俊(2002)：波高減衰および地形変化抑制効果を期待した人工海草設置法に関する研究，海岸工学論文集，第49巻，pp. 1316-1320.
- 菅原一晃・入江 功(1990)：人工海草による底質移動の制御効果について，海岸工学論文集，第37巻，pp. 434-438.
- 田村 仁・瀧岡和夫(2002)：可撓性に着目した藻場キャノピー周辺の流動・乱流構造に関する実験的研究，海岸工学論文集，第49巻，pp. 341-345.
- 辻本剛三(1992)：藻場が存在する場における流れと浮遊砂濃度，海岸工学論文集，第39巻，pp. 276-280.
- 丸山康樹・五十嵐由雄・石川裕介(1987)：アマモ場適地選定手法－岸側の砂移動限界－，海岸工学論文集，第34巻，pp. 227-231.