

コアマモ場の干潟地形安定化効果に関する二次元水理実験

湯浅城之¹・上野成三²・高山百合子³・織田幸伸⁴

浅海域に生息している海草のコアマモには、地形を安定させる効果があることが報告されている。そこで、本研究では、コアマモ場を設けた干潟地形を対象として、固定床と移動床の2種類の二次元水理実験を実施し、コアマモ場の有無による流速分布や地形形状および底質粒度の変化を調べた。固定床実験による水平流速の測定結果から、コアマモ場の内部では、海底への作用流速が約 1/3 に低減していることが確認された。また、移動床実験では、コアマモ場が有るケースでは、不規則波作用後においても初期地形をほぼ維持し、底質粒度の岸沖分布は一様化していることから、コアマモ場が干潟の地形形状と底質粒度を安定させる効果を持つことが示された。

1. はじめに

近年、人工干潟の造成事例が増加する中、波浪による侵食を受けて造成当初の地形や底質粒度が大きく変化するという問題が生じている。干潟に生息する底生生物にとって底質環境は重要な因子であり、清浄な砂よりも有機物やシルト・粘土分を適度に含んだ底質の方が種類数および個体数が増加することから、人工干潟の設計・施工の際には、地形だけでなく、底質粒度の安定化対策の必要性が明らかになってきた(上野ら, 2001, 2002; 国分ら, 2004, 2005)。このような観点から、著者らは、干潟を対象とした地形と底質粒度の変化特性について水理実験を行ってきた(湯浅ら, 2005, 2006)。

従来、海岸地形の侵食防止対策には、離岸堤や潜堤などによる対策が主として実施されるものの、景観や生態系に及ぼす影響が指摘されている。これに対してアマモなどの海草(藻)を模倣して作られた人工海草(藻)による地形変化防止対策の検討も一部が進められている。アマモには水域環境の改善に寄与するだけでなく、葉体によって波高や流速を減少させるとともに、砂泥内に張り巡らされた根・地下茎によって地形を安定させる効果があることも報告されており(海の自然再生ワーキンググループ, 2003)、多くの水理実験・モデル化が実施されてきた。例えば、菅原ら(1990)は、人工海草が底質の移動を弱め、岸向き漂砂効果と堆積効果があることを二次元水路実験によって確認し、小田ら(1991)は、硬質型人工海草を用いた実験を行い、漂砂制御と漂砂効果について検討している。辻本(1992)は人工藻場における流れや浮遊砂について実験的・論理的に検討している。また、浅野ら(1988, 1991)や間瀬ら(1989)は藻場群落上の波浪特性についてモデル化し、伊福ら(1994)は人工海草周辺の流れと漂砂に

関する解析を行っている。さらに、加藤ら(2005)は、天然のアマモを用いた水理実験により、アマモ地下部に底質の侵食抑制効果があることを確認している。

しかし、従来の研究では、潮位変動によって汀線が大きく移動する干潟域の特性を考慮し、かつ、地形形状だけでなく底質粒度の変化特性を検討した例はほとんどない。そこで、本研究では、地形変化の激しい潮間帯でも生息可能なコアマモを模倣した模型を作製し、コアマモ場の干潟地形を対象とした二次元水理実験により、地形形状および底質粒度の変化特性を明らかにした。

2. 実験方法

(1) コアマモ場の模型化

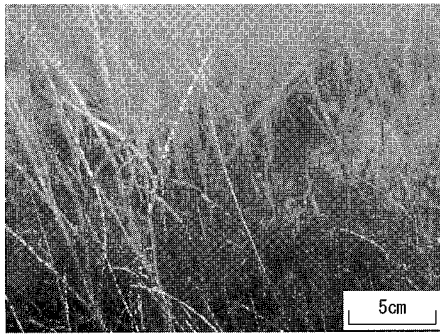
実験は、コアマモ場を設けた干潟地形を対象として、固定床実験と移動床実験を実施した。固定床実験では、水平流速の鉛直分布を測定し、移動床実験では、コアマモ場の地形変化および底質粒度変化を調べた。

コアマモ模型の諸元を表-1に示す。コアマモ模型は、三重県英虞湾内のコアマモ場(写真-1(a))からコアマモを採取し、密度(約 3,700 株/m²)、草丈(約 30 cm)、葉幅(約 3 mm)を計測し、フルード則に基づき実験縮尺の 1/10 相当となるように作製した(写真-1(b))。コアマモ模型は、フルード則に基づく葉数が約 100 枚/cm²と非常に高密度であるため、ここでは、100 本/cm となるようにハケ状に接着したものを作製し、それらを 1 cm 間隔に設置した。模型の材質には、ポリエ

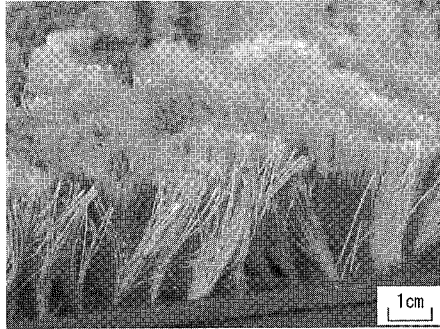
表-1 コアマモ模型の諸元

	現 地	模 型
スケール	—	1/10
密度(株/m ²)	3,733	—
葉数(枚/株)	3	—
葉数(枚/m ²)	約 10,000	約 1,000,000
葉数(枚/cm ²)	約 1	約 100
草丈(cm)	30	3
草幅(mm)	3	0.3

1 正会員 (財)三重県産業支援センター
2 正会員 工博 大成建設(株) 技術センター
3 正会員 大成建設(株) 技術センター
4 正会員 工修 大成建設(株) 技術センター



(a) 天然コアマモ(三重県 英虞湾)



(b) コアマモ模型

写真-1 コアマモの状況

表-2 実験条件

(a) 固定床実験 (小型二次元水槽)

水位 (cm)	16 (固定)		
波高 (cm)	6	4	2
周期 (s)	1.2	1.0	0.8

(b) 移動床実験 (大型二次元水槽)

常時波浪	$H_{1/3} : 5 \text{ cm}, T_{1/3} : 0.9 \text{ s}$
高波浪	$H_{1/3} : 20 \text{ cm}, T_{1/3} : 1.5 \text{ s}$
潮位	LWL : 60 cm, HWL : 70 cm
潮汐変動	振幅 : 5 cm, 周期 : 4.0 h

ステル製の糸を使用した。対象としたコアマモ場は、高密度に群生している状態であり、本実験は密生したアマモ群落における地形変化の再現を目指したものである。

(2) 小型二次元固定床実験による流速変化の計測

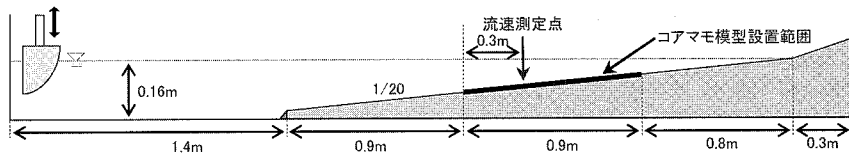
小型二次元水槽 (幅 0.2 m, 長さ 4.3 m) 内の干潟模型上にコアマモ模型を敷設し、規則波作用中における水平流速を計測した。干潟地形は勾配 1/20 の固定床とし、コアマモ模型は、碎波点から沖側 0.9 m の範囲に、固定床から剥がれないように接着させた (図-1(a))。作用波は、表-2(a)に示すように 3 種類とした。流速は、電磁流速計を用いて計測間隔 50 Hz で測定し、コアマモ模型設置範囲内の沖側から 1/3 の地点で測定した。測定層は、底面から表層までの 5 mm ごととし、各層ごとに 20 波の時間平均流速を算出した。

(3) 大型二次元移動床実験による地形・底質粒度変化の計測

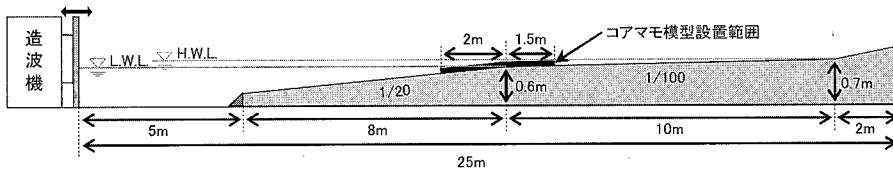
大型二次元水槽 (幅 0.5 m, 長さ 25 m) において、干潟模型を作製し、コアマモ場の有無による地形形状と底質粒度の変化を調べた。実験は、コアマモ場無し (Case1) とコアマモ場有り (Case2) の 2 ケース実施した。

干潟地形を図-1(b)に示す。LWL 時の汀線を法肩 ($x=0 \text{ m}$) とし、沖側法面 ($x<0 \text{ m}$) および潮間帯 ($x>0 \text{ m}$) の勾配は、それぞれ 1/20, 1/100 とした。底質材料には、粒径が約 20~1000 μm の幅広い粒度分布 (中央粒径約 240 μm) を持つ混合砂を用いた。作用波は、表-2(b)に示すように、常時波浪と高波浪の 2 種類の不規則波とし、潮位を変化させながら交互に作用させた。潮位変動は、 M_2 分潮を対象とし、振幅 5 cm, 周期 4 時間とした。

コアマモ模型の設置位置は、天然コアマモの分布域が潮間帯を含む LWL 付近であることから (海の自然再生ワーキンググループ, 2003), 干潟模型上においても LWL 付近 ($x=-2 \sim 1.5 \text{ m}$) とした (図-1(b))。また、



(a) 固定床実験 (小型二次元水槽)



(b) 移動床実験 (大型二次元水槽)

図-1 実験装置

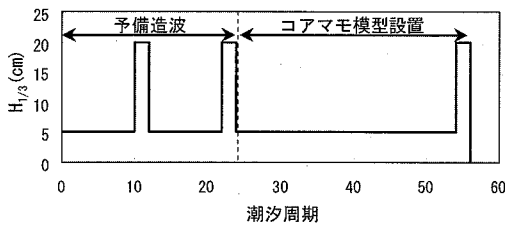


図-2 作用波パターン

コアマモの地下部（地下茎，根）の長さ・体積等も計測し，モデル化と移動床への設置を試みた．しかし，固定床実験および既往研究から大きな地形変化は無いことが推測されたため，本実験では，模型設置範囲で侵食が生じた場合，模型が流出するように針金による固定と模型下部約 1 cm を底質に埋め込むことによって設置した．

なお，干潟地形整形直後は，作用波によって地形が大きく変化することが想定されたため，予備造波として常時波浪（10 周期）および高波浪（2 周期）をそれぞれ 2 回ずつ作用させて変化した状態を初期地形とし，模型設置後，常時波浪（30 周期）と高波浪（2 周期）を作用させた（図-2）．

初期状態および不規則波作用後に，地形計測（岸沖 10 cm 間隔）と底質採取（岸沖 1 m 間隔，表層 5 mm）を行った．採取した底質試料は，レーザ回折式粒度分布測定装置を用いて粒度分布を計測し，中央粒径（ d_{50} ），シルト粘土含有率（粒径 75 μm 以下），均等係数（ d_{60}/d_{10} ）を算出した．

3. 実験結果および考察

(1) 小型二次元固定床実験による流速変化特性

図-3 に 3 種類の作用波における時間平均流速の鉛直分布を示す．コアマモが無い場合は， $H=2, 4, 6$ cm の全ケースにおいて，底層から表層付近までのほぼ全層で沖向きの流れが発生した．また，波高が大きいほど，表層付近で沖向きの流れが大きくなる傾向にあった．一方，コアマモが有る場合の流向は，表層付近で沖向き，コアマモの直上で岸向きとなり，上下層で全く異なる流速分布となり，小田ら（1991）や辻本（1992）の実験結果と同様な結果となった． $H=4, 6$ cm において，コアマモ草丈内 5 点の平均流速は，コアマモ無しに対してコアマモが有る場合では約 1/3 になっており，底質への作用流速が大きく低減することが確認された．

(2) 大型二次元移動床実験による地形・底質粒度変化特性

高波浪作用後におけるコアマモ場の有無による地形変化の比較を図-4 に示す．コアマモが無い場合は（図-4 (a)），常時波浪を作用させると，沖側部（ $x < 0$ m）で

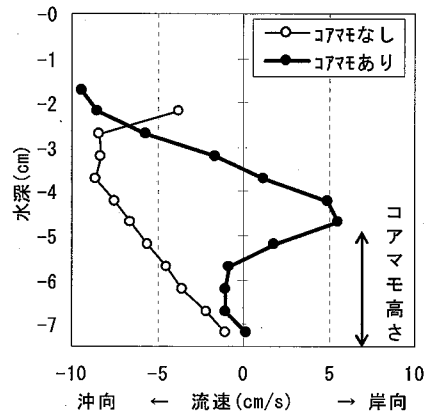
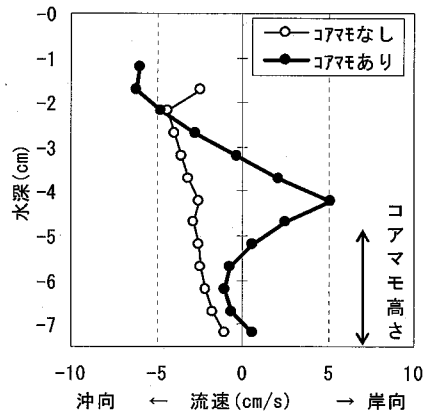
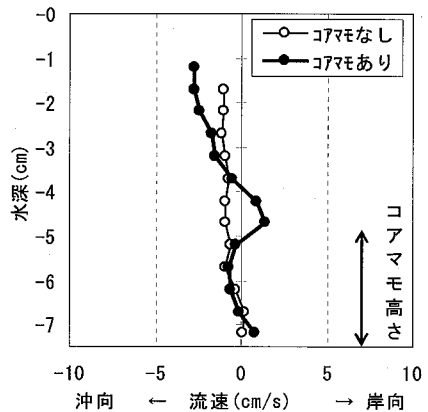
(a) $H=6\text{cm}$, $T=1.2\text{s}$ (b) $H=4\text{cm}$, $T=1.0\text{s}$ (c) $H=2\text{cm}$, $T=0.8\text{s}$

図-3 流速鉛直分布の比較

はやや堆積し，岸側部（ $x=3\sim 4$ m）ではバーム地形を形成した．高波浪作用後には，法肩付近（ $x=-2\sim 1$ m）で大きく侵食し，岸側部のバーム地形は，発達しながら岸側（ $x=4\sim 6$ m）に移動していた．また，テラス部（ $x=1\sim 3$ m）ではほとんど地形変化が見られなかったことから，法肩付近で侵食した砂が，汀線付近のパー

ム地形まで輸送されたと考えられる。

一方、コアマモが有る場合は (図-4(b)), 常時波浪を作用してもほとんど地形変化が見られず、高波浪によっても、コアマモ範囲を境界にして沖側 ($x=-3 \sim -2$

m) で侵食、岸側のコアマモ範囲内 ($x=-2 \sim -1$ m) で堆積が見られただけで、両波浪によってバームは形成されず、初期地形をほぼ維持する傾向となった。

コアマモ場の有無による粒度分布変化の比較を図-5

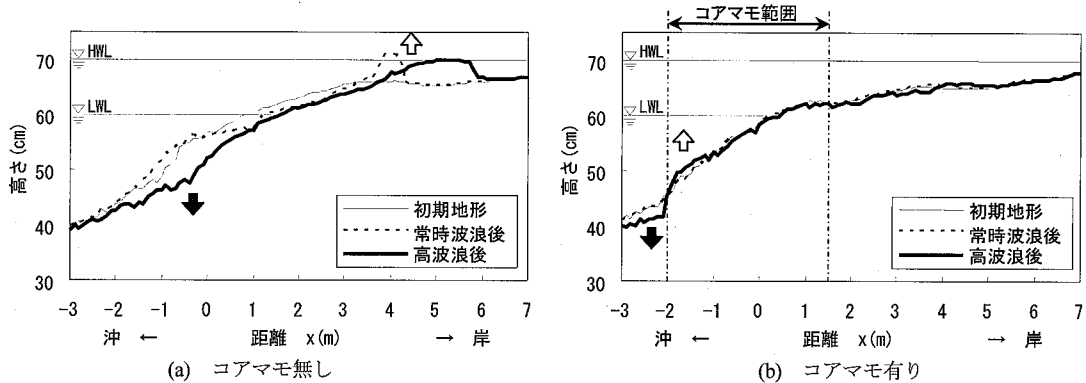


図-4 地形変化状況

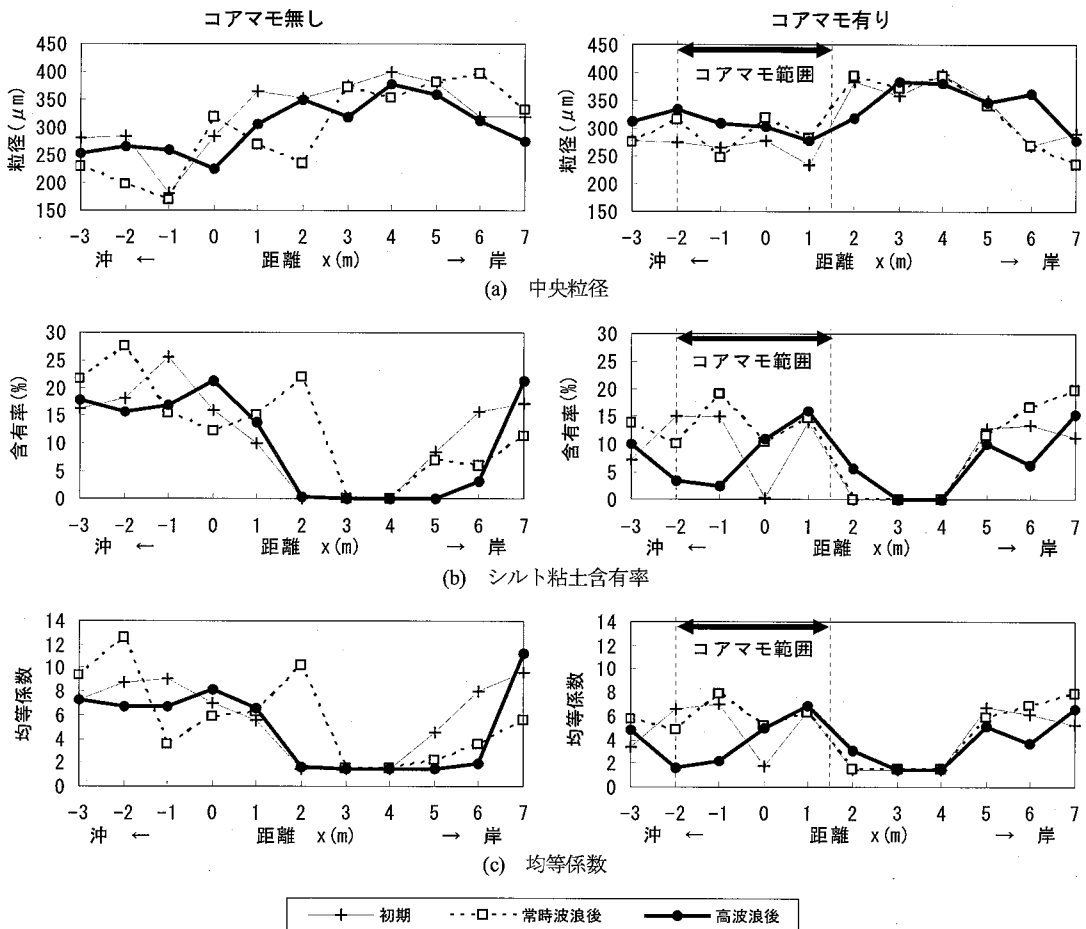


図-5 底質粒度変化状況

に示す。中央粒径の結果(図-5(a))を見ると、コアマモが無い場合は、沖側の侵食域($x=-3\sim-2$ m)で細粒化し、LWL時汀線のやや沖側($x=1\sim2$ m)では、常時波浪で細粒化、高波浪で粗粒化した。これに対してコアマモが有る場合は、コアマモ範囲内の堆積部($x=-2\sim-1$ m)において、高波浪でやや粗粒化しているが、岸側($x=3\sim6$ m)ではバームが形成されなかったことから粗粒化は見られなかった。全体的に初期粒度と大きな変化はなく、粒度の岸沖分布が一様化する傾向となった。

また、シルト粘土含有率、均等係数(図-5(b),(c))とも中央粒径の分布を反映させた結果となっており、コアマモが無い場合は、沖側($x=-3\sim-1$ m)およびバームの岸側($x=7$ m)では含有率、均等係数は大きくなった。コアマモが有る場合、高波浪時にコアマモ範囲内の堆積部($x=-2\sim-1$ m)では小さくなっているが、その他の地点では、初期状態と大きな変化は見られなかった。

以上より、コアマモ場の有無によって不規則波作用後の地形形状および底質粒度分布の変化特性は大きく異なった。広大な潮間帯を有する干潟域において、コアマモ場は、海底への作用流速を低減させ、地形と底質粒度を安定させる効果を持つことが明らかになった。

4. 結 論

本研究では、二次元水理実験を行い、コアマモ場の干潟地形および底質粒度の変化特性を明らかにした。以下に、主要な結論を示す。

- ① 水平流速の鉛直分布特性として、コアマモ場内部の流速は大きく減少しており、海底への作用流速を低減させていることが明らかになった。
- ② 干潟地形の変化特性として、コアマモが有る場合、岸側部でのバーム形成や、沖側での侵食がなくなり、地形変化が抑制されることが示された。
- ③ 干潟底質粒度の変化特性として、コアマモによって岸沖変化が小さくなり、初期粒度から大きく変化せず、底質粒度変化が抑制されることが示された。

謝辞：本研究は、三重県地域結集型共同研究事業の一部で実施された。また、実験にあたり、大成サービス(株)から多大な協力を得た。ここに記して謝意を表す。

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。
- 浅野敏之・出口 浩・間瀬 肇・小林信久(1991)：揺動する海藻群落上を伝播する波の特性，海岸工学論文集，第38巻，pp. 26-30。
- 伊福 誠・岩田充浩・米澤泰雄・坂田則彦(1994)：人工海藻周辺の流れと漂砂，海岸工学論文集，第41巻，pp. 566-570。
- 上野成三・高橋正昭・原条誠也・高山百合子・国分秀樹(2001)：浚渫ヘドロを利用した資源循環型人工干潟の造成実験，海岸工学論文集，第48巻，pp. 1306-1310。
- 上野成三・高橋正昭・高山百合子・国分秀樹(2002)：浚渫土を用いた干潟再生実験における浚渫土混合率と底生生物との関係について，海岸工学論文集，第49巻，pp. 1301-1305。
- 海の自然再生ワーキンググループ(2003)：海の自然再生ハンドブック—その計画・技術・実践—，第3巻，ぎょうせい，110p。
- 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。
- 加藤 大・島谷 学・柴山知也(2005)：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，海岸工学論文集，第52巻，pp. 1001-1005。
- 国分秀樹・奥村宏征・上野成三・高山百合子・湯浅城之(2004)：英虞湾における浚渫ヘドロを用いた干潟造成実験から得られた干潟底質の最適条件，海岸工学論文集，第51巻，pp. 1191-1195。
- 国分秀樹・奥村宏征・上野成三・高山百合子・湯浅城之(2005)：英虞湾における浚渫ヘドロを用いた大規模造成干潟の底質と底生生物の特性について，海岸工学論文集，第52巻，pp. 1196-1200。
- 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。
- 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。
- 間瀬 肇・古田幸也・酒井哲郎・浅野敏之・柳生忠彦(1989)：傾斜海浜に設置した人工海藻による波浪変形解析，海岸工学論文集，第36巻，pp. 90-94。
- 湯浅城之・上野成三(2005)：干潟地形を対象とした地形と底質粒度に関する二次元水理実験，海岸工学論文集，第52巻，pp. 436-440。
- 湯浅城之・上野成三・高山百合子・織田幸伸(2006)：干潟地形を対象とした地形と底質粒度に関する平面水理実験，海岸工学論文集，第53巻，pp. 481-485。