

砂面安定用マット周辺の流れと漂砂

FLOW AND SAND DRIFT AROUND SAND-CONTROL MAT

伊福 誠¹・林 秀郎²

Makoto IFUKU and Hidero HAYASHI

¹正会員 工博 愛媛大学助教授 工学部環境建設工学科(〒790-8577松山市文京町3番)²正会員 工博 (株)大林組 エンジニアリング本部(〒108-8502東京都港区港南2-15-2)

The results of numerical analysis indicated that the velocity inside mat decreases when the velocity at the upper boundary becomes large. A small amount of circulating flow takes place with the occurrence of vertical flow, which seems to relate to the diffusion of suspended sediment. Sediment concentration near the bed, averaged over a wave period, is about 1-40 % of that without mat. The maximum Shields parameters are about 0.16-0.65 and 0.04-0.13 with and without the mats, respectively. The maximum Shields parameter without mats is nearly equal to the critical condition of eelgrass growth obtained by Nakase et al. Meanwhile, with mats it is less than the critical value obtained by Nakase et al.

The sand-control mat presented in this study is demonstrated to be one effective means for the development of eelgrass beds.

Key Words : Eelgrass bed, sand-control mat, sand drift, sediment concentration, local scouring

1. はじめに

近年、瀬戸内海においてはアマモ場の荒廃が指摘されている¹⁾。その原因として、海面の埋め立てあるいは養殖用の稚魚の捕獲のための底引き網の使用等が挙げられているが、確証はないのが実状である。なお、一部では回復しつつあるアマモ場もあることが報告されている²⁾。これらのアマモ場の変化の原因を究明し、アマモ場の回復・増大をはかる目的で様々な切り口を持った研究がなされてきた^{3), 4)}。

海面の埋め立てや海岸構造物の築造が計画されている所でアマモ場の存在が確認されると、その保護のため移植が試みられている。しかしながら、移植後の状況を詳細に追跡調査した報告は、著者らの知り得るところなく、アマモの移植法や増殖法については確立されていないのが現状である。

アマモは、海底の砂泥を生育の基礎とし、しかも草体内の空気により浮力を持っているため、海底から引き剥がされやすい。波・流れが比較的静穏な場所に天然のアマモが生育している事実は、砂の移動量が比較的小ないためであると考えられる。アマモの移植やアマモ場の創出には、海底に到達する光の量というまでもなく、底質の移動を如何に制御するかがその成否を握る鍵であると考えられる。

こうしたことから、著者らは網状構造を有する化学繊維を主材料としたマットを用いて底質の移動を制御

し、実生のアマモを生育させる場の創出を試み、藻場の造成についてのいくつかの知見を得た。しかしながら、アマモの生育を左右する底質中に含まれる栄養塩やマットの底設が流れや漂砂に及ぼす影響についての検討は必ずしも十分ではない。こうした化学繊維を敷設した場合の底面近傍の流れや漂砂について観測現場を想定した数値解析を行い、実用化に向けての基礎的資料を得ようとしたものである。

2. 現地観測

(1) 観測海域および底質

観測対象とした海域は、図-1に示す徳島県鳴門市の櫛木浜である。等深線は汀線とほぼ平行である。なお、

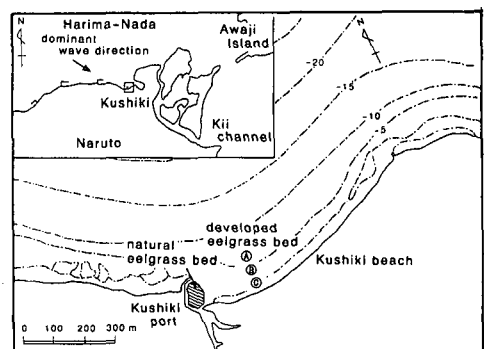


図-1 観測海岸(徳島県鳴門市櫛木浜)

冬期季節風による波浪の入射方向の遮蔽域にあたる櫛木港の防波堤の南側には天然のアマモ場が存在する。網状物体設置付近における底質の中央粒径は0.18-0.27 mm、シルトの含有率は0.3-1.0 %であり岸側ほど少ない。

(2) 砂面安定マットとマット底設領域

図-1中のA～Cの領域に直径1 mmのポリプロピレン繊維を網状構造を有するように加工したマットを敷設した。マットの広さは約1 m²である。マットにはカウンターウェイトとしてエキスパンドメタルを取り付けた。なお、エキスパンドメタルの重量は1 m²当り約20～30 kgである。図-2にマットの配置と底質採取地点を示す。なお、底質採取地点のS-11とS-12には光電式砂面計SPM-VII(三洋測器(株)製)を設置し砂面の変動を調べた。

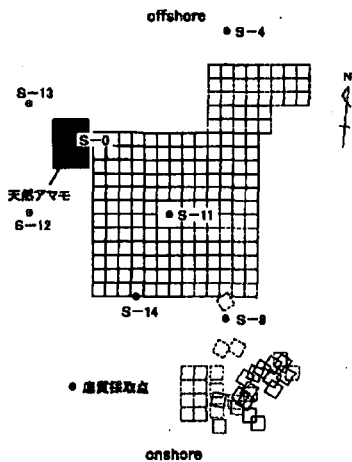


図-2 マットの配置と底質採取点

(3) 砂面変動量

図-3はマット底設領域内外における砂面変動量である。(a)および(b)をみると、12月2日にはマット底設領域外側の砂面変動量が15 cmにも達している。一方、

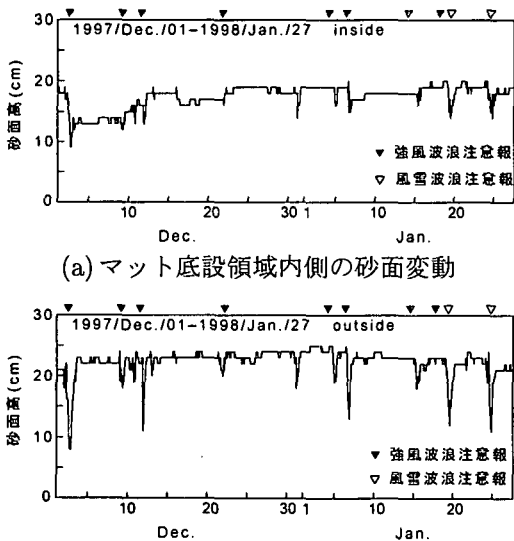


図-3 砂面変動の経時変化

マット底設領域内側における砂面変動量は9 cmである。また、12月11日、1月6日、19日および24日においても砂面変動量はマット底設領域外側では、それぞれ12 cm、11 cm、11 cmおよび13 cmである。なお、マット底設領域内側においては、それぞれ5 cm、5 cm、6 cmおよび6 cmであり、マット底設領域内側の変動量は底設領域外側のその1/2以下である。12月11日においてはマット底設領域外側における1時間当たりの最大変動量は8 cm程度、マット底設領域内側のそれは3 cm程度でありマット底設の効果が顕著である。

(4) 底質の栄養塩濃度

アマモの生育にとって重要な栄養塩には、窒素、リンおよびカリウムなどがあげられる。リン、カリウムについては海底に多量に存在するため、アマモの生育に影響を及ぼすとは考えにくく窒素が生育の鍵をにぎると考えられる。そこで、窒素化合物のうちアンモニア性窒素に着目し、マットの底設が底質内の栄養塩にどのような影響を及ぼしているかを調べた。なお、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素および全窒素の検出は、それぞれアンモニア性窒素測定法(インドフェノール青吸光光度法)、ナフチルエチレンジンアミン吸光光度法および紫外線吸光光度法によった。底質採取は、1997年8月5日、10月7日、1998年1月27日および7月16日の4回行った。ここでは、1998年7月16日の結果について述べる。

a) アンモニア性窒素

図-4～6は、地点別におけるアンモニア性窒素、亜硝酸性窒素および全窒素の濃度を示す。

図-4はアンモニア性窒素の結果である。天然のアマモが生育しているS-0の濃度は2.98 mgN/gであり比較的高い値を示している。最も沖側にあるS-4においては3.00 mgN/gと測点の中で最も高い値を示した。測点S-11の値が1997年8月5日について高い値を示すことを除けば、他の3回の結果と比較すると、各地点とも最高値を示す。この原因としては、夏期はアマモの衰退期にあたり、水温の上昇、衰退期におけるアマモの枯死による植物体由来する有機性窒素であるタンパク質などが水中の微生物により分解されるデトリタス作用、アマモの衰退期の生育抑制によるアンモニア性窒素消費

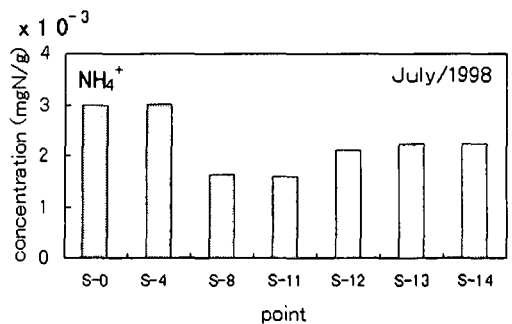


図-4 アンモニア性窒素濃度(1999年7月16日)

量の低下などが考えられる。

b) 亜硝酸性窒素

図-5は亜硝酸性窒素の結果である。S-13において7.40 mgN/gと最も高い値を示している。最も沖側に位置するS-4においては5.83 mgN/gであり比較的高い濃度を示す。また、天然のアマモが生育しているS-0においては、2.87 mgN/gであり比較的低い濃度は低い。なお、最も岸側の測点S-8においては、2.72 mgN/gと比較的低い値を示す。図-4と図-5から、アンモニア性窒素濃度が比較的高い測点では亜硝酸性窒素濃度は比較的低く、逆に、アンモニア性窒素濃度の比較的低い測点では亜硝酸性窒素濃度は比較的高いといった傾向がある。

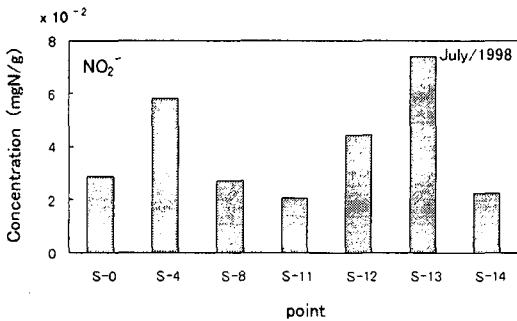


図-5 亜硝酸性窒素濃度 (1999年7月16日)

c) 全窒素

図-6は全窒素の結果である。S-11において0.22 mgN/gと最も高い濃度を示す。S-11はマット底設領域の中央位置であり、1998年7月16日にはアンモニア性窒素および亜硝酸性窒素ともに最も低い値を示す。このことは全窒素濃度が非常に高いことによりアマモの好適な生育条件の供給により可能性を示していると考えられる。天然のアマモの生育しているS-0においては、0.16 mgN/gと低く亜硝酸性窒素濃度も低いが、アンモニア性窒素濃度は4回の観測結果とも比較的高い値を示している。S-0では天然のアマモが生育している地点であり、生育に影響を及ぼす栄養塩はアンモニア性窒素の役割が大きいと考えられる。最も観測領域の岸側に位置するS-8においては、全窒素濃度は0.09 mgN/gで最も低く、亜硝酸性窒素およびアンモニア性窒素の濃度も低い。マットによる底質の制御もされず水深が比較的低く波の影響を受けやすいS-8においては、底質の移動に伴う栄養塩の溶出が大きくアマモの生育に対して良い環境とは言い難い。最も観測領域の沖側に位置するS-4においては、0.11 mgN/gと低いほうであるがアンモニア性窒素および亜硝酸性窒素の濃度はともに高い。また、他の3回の観測結果ではアンモニア性窒素濃度も低い。このことは、S-4付近における生物体量の増加、気象条件など様々な要因が考えられる。マット底設領域外側のS-12においては、0.18 mgN/gと比較的高い値を示しているもののアンモニア性窒素濃度は1998年7月16日を除けば他の3回の観測結果の濃度は低い。

図-4～6から、観測海域ではアンモニア性窒素濃度の低い地点でも全窒素濃度は比較的高い値を示すことが判る。このことは、アマモの栄養塩利用の制限要因であるアンモニア性窒素などの無機体窒素の濃度が比較的低い地点でも有機体窒素は比較的多く存在することを示している。

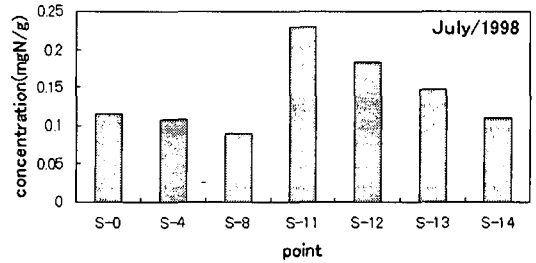


図-6 全窒素濃度 (1999年7月16日)

3. 数値解析

底設したマット内の流れや掃流砂・浮遊砂濃度を測定するのは極めて困難である。そこで、マットの底設が流れや漂砂に及ぼす影響について現地海岸を想定した解析を行い、底質の安定を図るための条件を探ろうとするものである。

(1) 流れ場

流れ場はporous body model(Sha et al., 1978)を用いて解析する。

$$\frac{\partial(\gamma_x u)}{\partial x} + \frac{\partial(\gamma_z w)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\lambda_v \frac{\partial u}{\partial t} + \lambda_x u \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda_z w \frac{\partial u}{\partial z} = -\gamma_v \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial(\gamma_x \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(\gamma_z \tau_{zx})}{\partial z} - F_x \quad (2)$$

$$\lambda_v \frac{\partial w}{\partial t} + \lambda_x u \frac{\partial w}{\partial x} + \lambda_z w \frac{\partial w}{\partial z} = -\gamma_v g - \gamma_v \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial(\gamma_x \tau_{zx})}{\partial x} + \frac{\partial(\gamma_z \tau_{zz})}{\partial z} - F_z \quad (3)$$

ここに、 u , w は x , z 軸方向の流速成分、 ρ は流体の密度、 p は圧力、である。また、

$$\left. \begin{aligned} \lambda_v &= \gamma_v + (1 - \gamma_v) c_M \\ \lambda_x &= \gamma_x + (1 - \gamma_v) c_M \\ \lambda_z &= \gamma_z + (1 - \gamma_v) c_M \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここに、 γ_v は空隙率、 γ_x , γ_z はsurface permeability(流れ方向の全断面積に対する流路面積の比)、 c_M は仮想質量係数、 F_x および F_z は抗力であり次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} F_x &= c_D u \sqrt{u^2 + w^2} / 2l_x \\ F_z &= c_D w \sqrt{u^2 + w^2} / 2l_z \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ここに、 c_D は抗力係数であり、 l_x および l_z は、それぞれ水平方向および鉛直方向の代表長さである。また、 τ_{xx} 、 τ_{zz} および τ_{xz} はレイノルズ応力であり、テンソル表示すると次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \tau_{ij} &= (\nu + \nu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \\ \nu_t &= (C_s \Delta)^2 \left[\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right]^{1/2} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ここに、 ν は動粘性係数、 ν_t は渦動粘性係数、 c_s はSmagorinsky定数、 $\Delta = (\Delta x \Delta z)^{1/3}$ 、 Δx および Δz は、それぞれ水平および鉛直方向の格子間隔である。

(2) 濃度

空隙率 γ_v を有するマットを敷設した場合の乱流拡散方程式は次式で与えられる。

$$\gamma_v \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\gamma_v K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\gamma_v K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + w_0 \frac{\partial C}{\partial z} \quad (7)$$

ここに、 w_0 は底質の沈降速度、 K_x 、 K_z は乱流拡散係数であり、水平および鉛直方向の速度成分に依存すると仮定すると次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} K_x &= a(a_L u^2 + a_T w^2)/q \\ K_z &= a(a_T u^2 + a_L w^2)/q \\ q &= (u^2 + w^2)^{1/2} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

ここに、 a は正の係数、 a_T 、 a_L は拡散係数に寄与する特性長であり、 $a_L = c_1 a_T$ (c_1 :正の係数)である。

(3) 地形変化

底面の変化は漂砂の連続式に従うものとする。

(4) 初期条件および境界条件

a) porous body model

porous body modelによる解析の初期条件および境界条件は以下のように設定する。

初期条件は静水の状態とする。

底面

$$\left. \begin{aligned} u(x, 0, t) &= 0, w(x, 0, t) = 0 \\ 0 &= -\gamma_v g - \gamma_v (1/\rho) (\partial p / \partial z) \\ &\quad + \partial (\gamma_v \tau_{xx}) / \partial x \\ &\quad + \partial (\gamma_v \tau_{zz}) / \partial z \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

上方境界

$$\left. \begin{aligned} u(x, z_b, t) &= u_b(t), w(x, z_b, t) = w_b(t) \\ p(x, z_b, t) &= p_b(t) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

ここに、 z_b は上方境界の高さ、 u_b および w_b は、それぞれ上方境界における x および z 方向の流速成分、 p_b は上方境界における圧力である。なお、 u_b 、 w_b および p_b は

微小振幅波理論より算出する。

岸側

物理量 q はSommerfeldの放射条件に従うものとする。

$$\partial q / \partial t + c(\partial q / \partial x) = 0 \quad (11)$$

ここに、 c は波速である。

沖側

微小振幅波理論によって算出した流速、圧力を与える。

b) 拡散方程式

初期条件は濃度0とする。

底面

$$C(x, 0, t) = C_0(x, t) \quad (12)$$

ここに、 $C_0(x, t)$ は基準点濃度であり計算して得た流速からスプライン補間法を用いて砂粒子頂部の流速を求め、伊福(1986)の方法を用いて算出した。なお、岸側および沖側境界と上方境界における境界条件は以下のように設定する。

上方境界

$$\partial^2 C / \partial z^2 = 0 \quad (13)$$

岸側および沖側

x 軸方向の濃度勾配は一定であることを仮定した次式を設定する。

$$\partial^2 C / \partial x^2 = 0 \quad (14)$$

c) 漂砂の連続式

岸側および沖側

解析領域内の底面の時間変化が岸側および沖側境界にも伝わると考え、以下のように設定する。

$$\partial^2 z_b / \partial x^2 = 0 \quad (15)$$

(5) 解析方法

x 方向の速度成分および濃度は時間微分を前進差分として近似する。porous body modelの解析において、抗力係数および仮想質量係数は1.0とし、式(5)中の l_x および l_z は、榊山・鹿島⁷⁾が透過性防波堤周辺の波浪変形解析から、水平方向および鉛直方向の格子間隔とすると実験結果をうまく再現することを得ていので本研究においても、彼らの結果を援用する。Smagorinsky定数は0.1、砂の沈降速度はRubeyの式で算出する。また、地形変化の計算において、岸沖漂砂量は任意の時刻の濃度と x 方向の速度成分の積を底面から上方境界まで積分して算出する。砂の粒径および占有率は0.094, 0.2, 0.34, 0.63 mmおよび4.2, 72.8, 12.6, 10.4 %の混合砂床を対象とし、マットの空隙率は0.8とする。さらに、水平方向の格子間隔は5 cm、上方境界は底面より0.2 mの高さに取りこれを40等分する。時間刻みは $T/400$ (T :波の周期)である。なお、本研究における解析領域は9 mとし、中央に長さ5 mのマット底設帯を設ける。マットは同一厚さのものとマット底設領域の端部を徐々に薄

くしたものの2通りを対象とした。なお、マットの最大厚さは4 cmである。

4. 解析結果

(1) マット内の流速

図-7は、 x 方向の流速成分の鉛直分布を示したものであり、図中の実線および破線は、それぞれマットの厚さが一定な場合(以後、厚さが一定と記す)および岸側・沖側のマット端部における厚さを徐々に薄くした場合(以後、taperを施すと記す)である。また、流速は岸向きを正、沖向きを負とし、マット底設領域中央位置を波の峯が通過する位相を0とする。

(a)はマット底設領域中央位置より沖側2.5 mの位置におけるものである。 $\sigma t=0$ radの位相では厚さが一定な場合およびtaperを施した場合ともマット上縁付近において流速が増大する。また、 $\pi/2$ および $3\pi/2$ radの位相では上方境界における流速は0であるが、流速は負の値を示し、境界層内の流速の”先走り現象”と似た挙動を示している。さらに、 π radの位相ではマット上縁付近において厚さが一定な場合の流速振幅はtaperを施した場合の1/2程度である。

(b)はマット底設領域中央位置におけるものである。

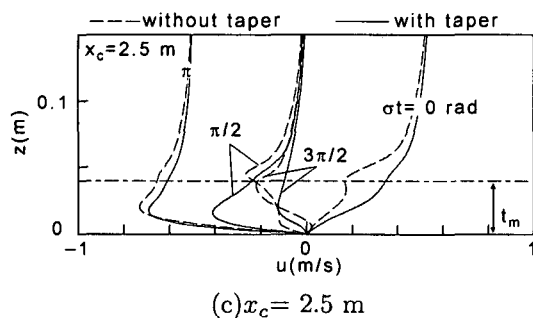
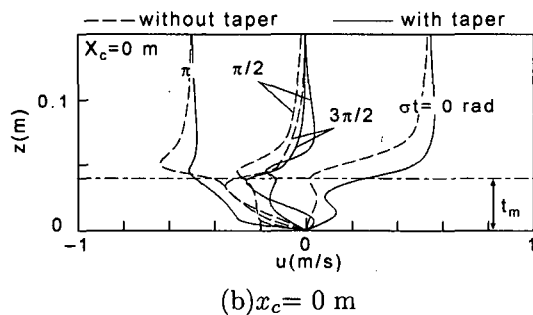
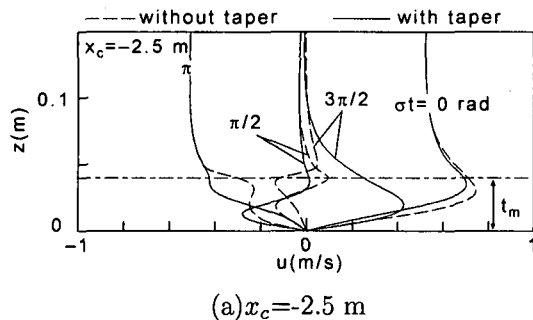


図-7 流速の鉛直分布

$\sigma t=0$ radの位相では厚さが一定な場合およびtaperを施した場合とも(a)にみられるような流速振幅の増大はない。上方境界における流速が0である $\pi/2$ および $3\pi/2$ radの位相における流速は負であり、マット上縁付近において流速振幅は最大となる。また、厚さが一定な場合およびtaperを施した場合ともマット上縁のわずかに上方で流速振幅は最大値を示す。

(c)はマット底設領域中央位置より岸側2.5 mの位置におけるものである。 $\sigma t=0$ radの位相では厚さが一定な場合およびtaperを施した場合のマット上縁における流速は、それぞれ上方境界の70 %および40 %程度であり流速振幅はかなり小さくなっている。 $\pi/2$ および $3\pi/2$ radの位相においては、厚さが一定の場合では底面からの高さが0.02 m付近で流速振幅は最大となるがtaperを施した場合はマット上縁より僅かに上方で最大となる。マット底設領域の端部を除けば、マット内の流速振幅は大幅に提言でき底設の効果が顕著である。なお、厚さが一定の場合およびtaperを施した場合ともマット端部において、上方境界の流速よりも流速が増大する位相が生ずる。このことは、流水断面積の急縮に起因するものであり、局所洗掘の原因となると思われる。

(2) アマモの生育条件

数値解析して得た結果に基づきマット底設領域の中央位置におけるShields数を算出すると、マットがない場合は0.16-0.65程度であるがマットの底設によって0.04-0.13程度にまで減少する。こうした底面せん断応力の大幅な低減は、塚原ら⁸⁾が細粒土砂を対象とし一方流水路において得た結果と似た傾向を示す。なお、Shields数は、底面から0.5 cmの高さの最大流速を用い、摩擦係数は相当粗度を底質の粒径としてSwartの式⁹⁾で算出した。中瀬ら¹⁰⁾は、現地観測に基づきアマモの生育条件に関し、限界Shields数は0.6以下であることを得ている。マットを底設しない場合には、粒径0.094 mmのShields数は中瀬らが観測に基づいて得た値0.6とほぼ等しいが、マットの底設によって1/5以下に減少する。マットの底設によって底面せん断応力を大幅に低減できることからこの方法はアマモの生育にとって有効な手段の一つとなり得ることがわかる。

(3) 平均浮遊砂濃度の鉛直分布

図-8はマット底設領域の中央位置および岸側の端部における平均浮遊砂濃度の鉛直分布である。いずれもマットの厚さが一定の場合であり、比較のために均一砂床(砂の粒径:0.2 mm)の結果も描いている。(a)をみるとマットの底設によって底面のごく近傍では、浮遊砂の濃度は大幅に低くなっている。均一砂と混合砂の間には有意な差はみられない。マットを底設しない場合および底設する場合とも混合砂を対象とした場合の濃度が高いが、これは細粒子の影響である。(b)をみると、底面のごく近傍ではマットの底設によって濃度は1/2程度

に減少する。しかしながら、マット厚さの1/2程度の高さより上方ではマットを底設しない場合の濃度が高くなる。これは図-7でみられたように、マットの底設に起因する流速振幅の増大により移流・拡散の影響が大きくなるためである。

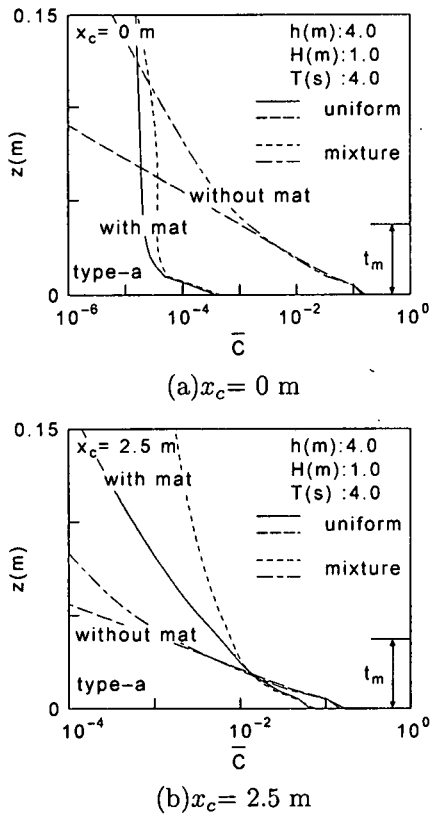


図-8 平均濃度の鉛直分布

(4) 地形変化

図-9にマット底設領域付近の地形変化を示す。なお、 z 軸は地形の変化量を、最大堆積量で無次元化している。マットを底設しない場合には、全領域で洗掘が生じている。一方、マット底設領域の沖側端部においては厚さが一定の場合およびtaperを施した場合とも局所洗掘が生じている。taperを施した場合が洗掘量は僅かに小さい。なお、マット底設領域の岸側端部においては、厚さが一定の場合およびtaperを施した場合とも砂が堆積し、その岸側においては局所洗掘が生じている。マットの端部において局所洗掘がみられるもののマットを底

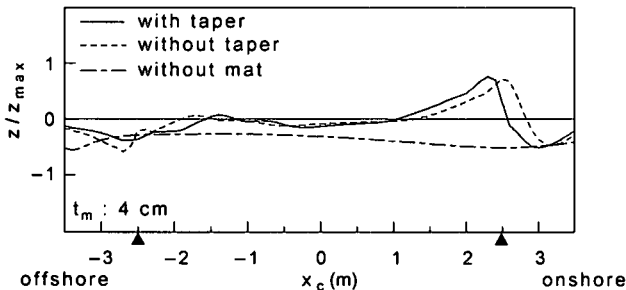


図-9 マット底設領域付近の地形変化

設しない場合と比較すると底質の移動は制御できていると考える。

5. 結 論

- (1) 砂面の変動量は、冬期季節風時や台風通過時などの砂面変動の大きい時期でも、マットを底設することにより1/2以下に制御することができる。
- (2) アンモニア性窒素濃度の比較的高い地点では亜硝酸性窒素濃度は比較的低く、アンモニア性窒素濃度の比較的低い地点では亜硝酸性窒素濃度は比較的高い傾向を示しており、アンモニア性窒素濃度の低い地点でも全窒素濃度は比較的高い値を示している。
- (3) マットの底設によって底面せん断力を1/5以下に低減でき、底質の移動をある程度制御できることからアマモの生育にとって好条件をもたらす得ることがわかる。マットを底設した場合のアマモの生育に対する栄養塩の濃度、流れ、濃度および地形に及ぼす影響についての基礎的資料が得られた。しかしながら、アマモ場の創出にあたっては、アマモの生育条件について生物学的観点から詳細に調べる必要があると考える。

参考文献

- 1) 前川兼佑：瀬戸内海、とくに山口県沿岸における漁業の調整管理と資源培養に関する研究，山口県内海水産試験場調査研究業績，第11巻，第1号，483p., 1961.
- 2) 大島泰雄：瀬戸内海における藻場の消滅あるいは衰退の現状について，さいばい，No.4，pp.4-7, 1972.
- 3) 寺脇利信・飯塚貞二：電源立地点の藻場造成技術の開発第2報 アマモの生育に及ぼす移植条件の影響I，電力中央研究所報告485013，28p., 1985.
- 4) 川崎保夫・飯塚貞二・後藤 弘・寺脇利信・下茂 繁：アマモへの温度の影響。発芽と発芽体の生長，電力中央研究所報告486019，18p., 1986.
- 5) Sha, W.T., H.M.Domanus, R.C.Schmitt, J.J.Oras and E.I.H.Lin: COMMIX-1: A three dimensional transient single-phase component computer program for thermal-hydraulic analysis, Argonne National Laboratory, NUREG/CR-0785, ANL-77-96, 1978.
- 6) Ifuku, M.: Effect of sand grain-size on sediment concentration and transport rate under Stokes wave, Pacific coasts and ports'97, Vol.1, pp.119-124, 1997.
- 7) 榊山 勉・鹿島遼一：透過性防波堤周辺の波動場解析へのポラスボディモデルの適用，電力中央研究所報告，研究報告：U93052，pp.1-45, 1994.
- 8) 塚原隆夫・宇多高明・藤田光一：水路床に敷かれた薄い植生層が細粒土砂堆積に果たす役割，土木学会第51回年次学術講演会 第2部(A)，pp.544-545, 1996.
- 9) Swart, D.H.: Offshore sediment transport and equilibrium beach profiles, Delft Univ. Technology Diss., Delft Hydr.Lab.Publ.131, 244p., 1974.
- 10) 中瀬浩太・田中裕一・檜山博昭：海岸変形予測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, 1996.

(1999.4.19 受付)