

Distorted Ripple Mat (DRIM) を用いた3次元の 漂砂制御機能に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON THE CONTROL OF THREE DIMENSIONAL SEDIMENT TRANSPORT USING DISTORTED RIPPLE MAT (DRIM)

山口洋¹・小野信幸²・入江功³・村瀬芳満⁴

Hiroshi YAMAGUCHI, Nobuyuki ONO, Isao IRIE and Yoshimitsu MURASE

¹正会員 工修 若築建設株式会社 技術本部技術研究所 (〒153-0064 東京都目黒区下目黒2-23-18)

²正会員 工修 九州大学大学院助手 工学研究院 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

³正会員 工博 九州大学大学院教授 工学研究院 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

⁴学生会員 九州大学大学院 工学府海洋システム工学専攻 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

A method to control sediment transport by a Distorted Ripple Mat (DRIM) which is the artificial ripples of distorted cross section has been studied through hydraulic experiments. It is confirmed that the DRIM can control the direction of sediment movement either onshoreward or offshoreward by changing the setting direction of the DRIM. It is also confirmed that sediment movement can be controlled diagonally if DRIM is set diagonal to the wave direction.

Key Words : control of sediment transport, landscape, environment, ripple, vortex,
experiment on the 3-dimensional movable bed

1. はじめに

全国的に発生している海岸侵食問題に対して、これまで主に突堤、離岸堤などによる対策工が施工されてきた。さらに近年では、自然環境への関心の高まりから、水質環境、景観面に配慮しつつ背後海浜を保全できる人工リーフ、潜堤など、様々な対策工が提案、施工され、その成果が上がりつつある。しかし、これらの大規模海岸保全構造物は、海岸における景観を阻害すると共にレクリエーション活動に制約を与え、海亀の産卵など生物環境にも悪影響を及ぼすことがある。また、新たな海岸侵食問題の原因となることも少なくない。これに対し著者らは、安価で景観・環境・利用などの面で優れた歪み砂れんマット (Distorted Ripple Mat 以下DRIM) による漂砂制御法を提案している。

DRIMは、砂れん形状を人工的に1方向に歪ませた形状を持つブロックより構成され、漂砂を1方向に制御するものである。その2次元漂砂制御機能については、これまで2次元実験により確認されてきた^{1), 2), 3)}が、3次元漂砂場における漂砂制御機能については未だ十分に検討されていない。

本研究では、平面水槽においてDRIM上の底質拡散実験と3次元移動床実験を行い、DRIMの3次元漂砂

制御機能を検証し、現実の漂砂問題に対処するためのDRIM工法を念頭においた検討を行なった。

2. DRIMの機能と特徴

図-1に、本研究で用いたDRIMの形状を示す。DRIM上では、波の通過に伴い、砂れんの峰の沖側と岸側に形成される渦の規模が非対称となることにより底層の流れが図-1のように一方向に制御される。さらに、波向がDRIM峰線に対して斜めである場合において、DRIM急勾配斜面側に形成される後流渦はDRIM峰線に直角な方向に回転し、その方向に力が作用する。したがって、DRIM峰線に直角な方向に正味の底層流が発生する⁴⁾。これらの機能を利用することで、任意の方向への漂砂制御が期待できる。

DRIMのスケールは、設置場所底面における水粒子軌道 d_0 と砂れんブロック波長 λ との比が $d_0/\lambda \approx 1.7$ のとき、漂砂制御効果が最大であることがわかっている⁵⁾。従って、ブロック単体の大きさを現地スケールで考えると、波長 λ は1~2m、高さは高々50cm程度のブロックとなる。施工時には、底面の起伏に合わせて、非常に柔軟な施工計画が可能となる。さらに、DRIM底面に帆布を敷くことで、下部からの底質の吸い出しを防止することが可能である。

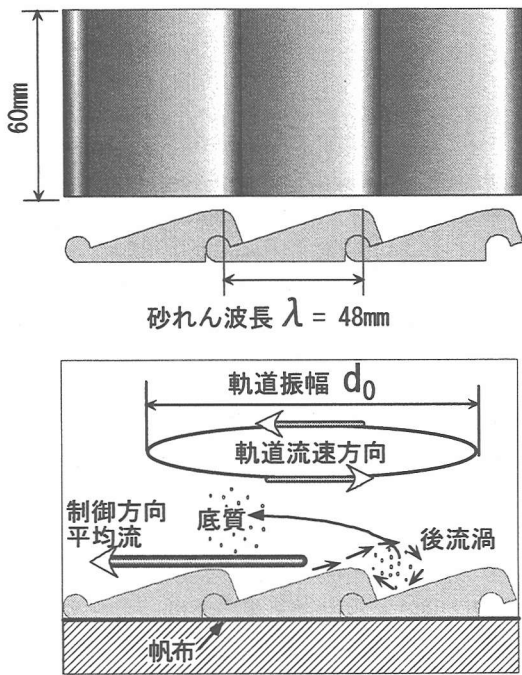


図-1 DRIM概念図

DRIMは基本的に沖浜帯に設置され、前述のように比較的小さなブロックにより構成されるので、景観を阻害することもなく、環境に対するインパクトも小さい。さらに、海水浴など、海岸レクリエーション活動を阻害することもなく、海亀の産卵にも影響はない。

3. 固定床における底質拡散実験

DRIMの3次元的漂砂制御機能として、波向に対して斜めに配置した場合、DRIMの設置方向に沿って斜めに漂砂を制御する機能が期待される。これを検証するため、固定床において、DRIM上に投入した一定量の底質の移動方向を調べる実験を行なった。

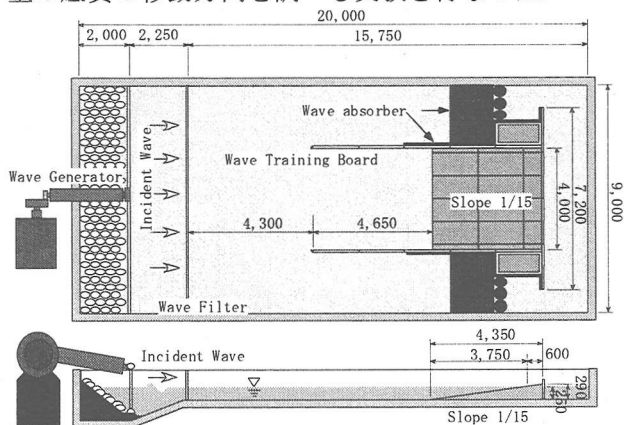


図-2 平面水槽

(1) 実験条件

実験水槽は、図-2に示すような、長さ20m、幅9m、深さ0.5mの平面水槽内に、幅4m、長さ4.35m、勾配

1/15の固定床スロープを作成したもので、沖側水深は0.25mとした。この固定床スロープ上に、幅6cm、波長4.8cmのDRIMブロックを沿岸方向に11個、岸沖方向に9個並べたDRIM UNITを所定の位置に設置した。

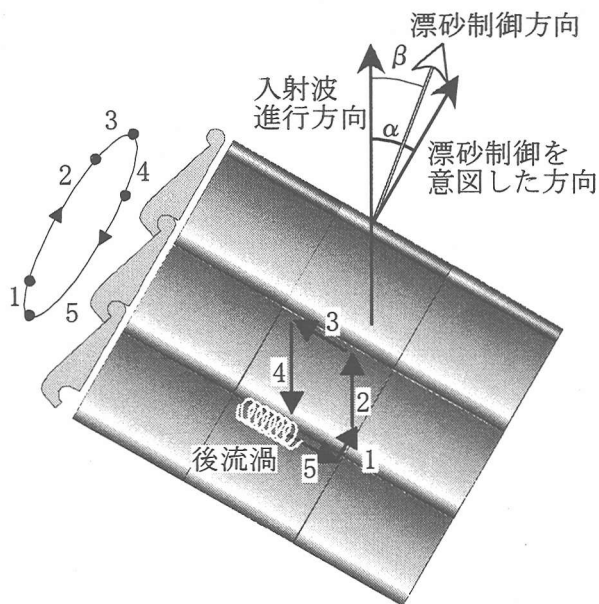


図-3a DRIM設置方向・DRIM上の底質移動状況 (岸向き斜め制御)

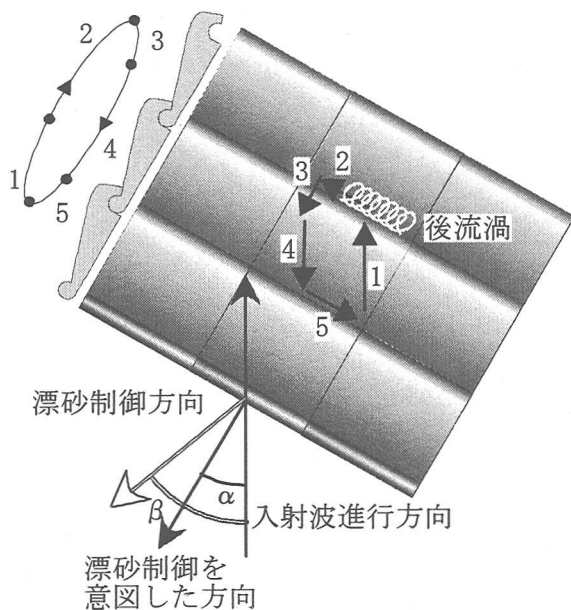


図-3b DRIM設置方向・DRIM上の底質移動状況 (沖向き斜め制御)

実験では、図-3のようにDRIMの設置方向 α (=漂砂制御を意図した方向)を、波向に対して 30° 傾けて設置し、岸向き斜め方向(図-3a)、沖向き斜め方向(図-3b)に漂砂を制御する場合について、設置水深を変化させて実験を行った。この時、DRIM急勾配断面側の後流渦の生成過程観察結果から、岸向き斜め方向については、比較的沖波波形勾配の大きい沖

波高 $H_0=5\text{cm}$ ，周期 $T=1\text{s}$ ，沖向き斜め方向については，沖波波形勾配の小さい $H_0=3\text{cm}$ ， $T=1.3\text{s}$ の規則波を作用させた。UNIT設置後，UNIT中央部に底質（軽量物質メラミン，比重1.5，粒径0.20mm）を投入した後，所定の波を作用させながら真上からVTR撮影を行った。

(2) 実験結果の考察

まず，VTR映像の観察からDRIMが設置方向に漂砂を制御する機能のメカニズムを考察した。DRIM上を波が通過する際の一周期間における底質移動方向は，図-3a，図-3bの中央部に示す矢印のような5段階に分けて考えることができる。実験映像から，以下のような特徴的な現象が観察された。

- A) 図-3aの岸向き斜め制御の場合，波の峰が通過する2のプロセスでは，ブロック形状により後流渦は発生せず，谷が通過する4のプロセスでDRIM急勾配断面側に後流渦が発生しつつ，5の矢印に沿って底質が移動する。
- B) 図-3bの沖向き斜め制御の場合，岸向き斜め制御とは逆位相の現象となる。したがって，波の峰が通過する1のプロセスにおいてDRIM急勾配断面側に後流渦が発生しつつ，2の矢印に沿って底質が移動する。谷が通過する4のプロセスにおいては，後流渦は発生しない。

このうち，漂砂制御角 β に大きく寄与するのは，沿岸方向の底質輸送の生じる後流渦生成時(図-3aの矢印5，図-3bの矢印2)である。VTR画像からは，生成される渦の規模が大きいほど，渦の回転している時間が長いほど，DRIM峰線に沿った方向の底質の移動距離は大きくなるのが観察された。このことから，後流渦生成時の渦の規模は，漂砂制御角 β に大きく影響するものと考えられる。

次に，DRIM上の底質の拡散範囲から底質の主な移動方向を求めた。

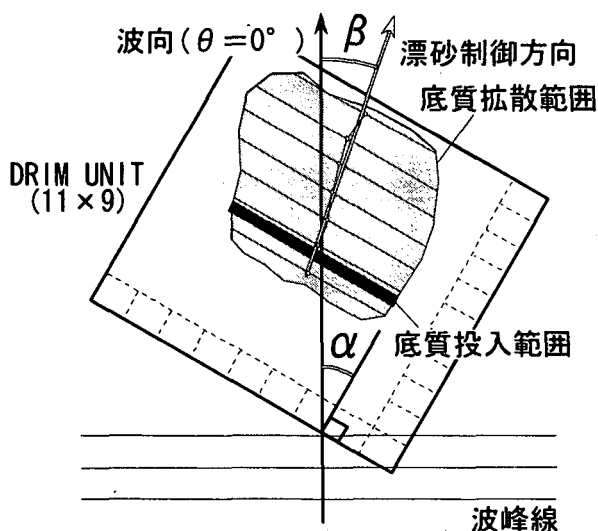


図-4 漂砂制御方向解析手法

解析は，まず，撮影したVTR画像から1波毎の底質の拡散範囲を読み取ってプロットし，次に，その範囲においてDRIM峰線に平行な複数本の直線を引き，各線分の中間点を結んだ平均線と波向のなす角度を求めた。さらに，この作業を数波分繰り返して，求められた角度を平均することにより，漂砂制御角 β を求めた(図-4)。解析結果を図-5に示す。

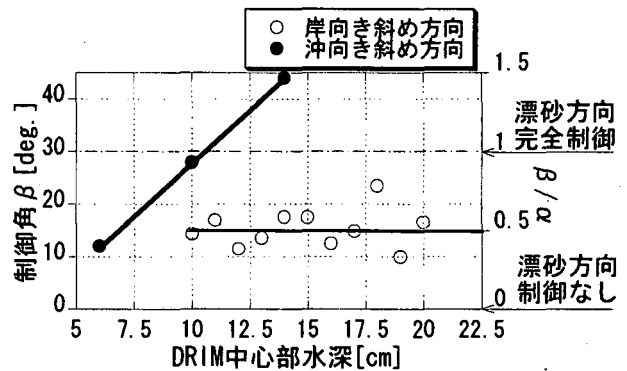


図-5 漂砂制御方向解析結果

図-5の左縦軸には，解析により求められた制御角 β を示し，右縦軸には，制御角 β と波向きに対してDRIM設置方向(漂砂制御を意図した方向)のなす角 α の比(β/α)をとっている。 β/α が1であれば，DRIM設置方向に底質を制御したことになる。解析結果によると，岸向き制御の場合は設置水深にかかわらず $\beta/\alpha \approx 0.5$ となっており，沖向き制御の場合は設置水深の増大に応じて β/α が0.4~1.4へと変化している。岸向きと沖向きで β と α が一致しないのは，後流渦生成時における底質の移動状況の違いによるものと考えられる。岸向き斜め方向の実験では，比較的沖波波形勾配の大きい波を入射させたにもかかわらず，DRIM急勾配断面側における後流渦の規模が沖向き斜め方向の場合と比較して小さかった。これは，スロープ上を波が進行していく過程で波の非線形性が強くなり，波形の上下非対称性が大きくなったことで，後流渦の発達に寄与する沖向き軌道流速が小さくなったためと思われる。今後，このような影響をより詳細に調べる必要があると思われるが，底質は概ね意図した方向に移動しており，波向に対して斜めに配置したDRIM上において，DRIMの漂砂制御機能が確認されたといえる。

4. 3次元移動床実験

底質拡散実験において，DRIM上での漂砂制御機能が確認されたので，次に3次元漂砂場におけるDRIMの3次元漂砂制御機能を検証するため，3次元移動床実験を行なった。

(1) 3次元移動床実験の条件

実験装置には，固定床実験と同じ勾配1/15のスロープ上に，底質(軽量物質メラミン，比重1.5，粒

径0.20mm)を0.1m厚で敷きつめ、沖側水深を0.3mとしたモデル海浜を用いた。

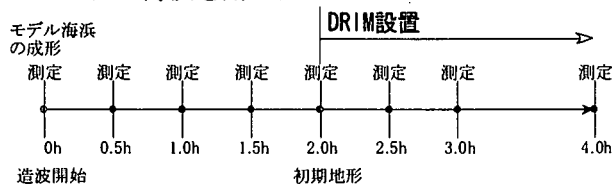
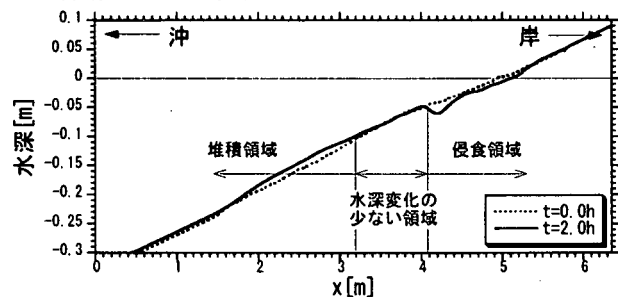


図-6 実験の進行順

(a) 初期地形の平均断面



(b) 初期地形の等深線図とDRIM UNITの配置

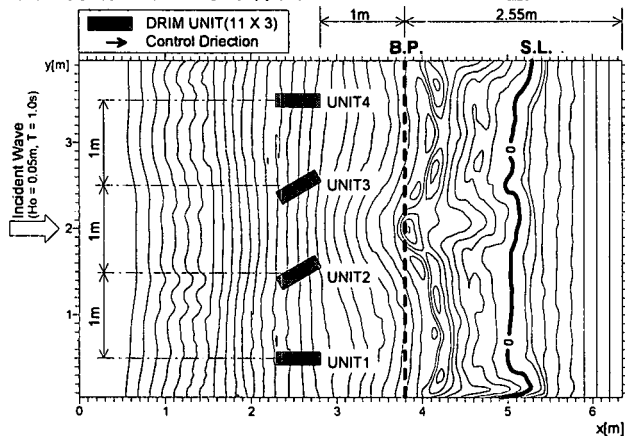


図-7 初期地形とDRIM UNITの配置

実験の手順は、図-6に示すように、まず何も置かない状態で波($H_0=5\text{cm}$, 周期 $T=1\text{s}$, 規則波)を2時間作用させてできた地形を初期地形とし、その後、DRIMを設置して同じ波をさらに2時間作用させた。その間、地形を詳細に測定した。図-7aに、初期地形の水深を沿岸方向に平均して求めた平均断面を、図-7bに、初期地形の等深線図とDRIMの配置状況を示す。DRIMは11個×3個を1UNITとし、碎波点の1m沖側に4列設置した(図中UNIT1~UNIT4)。矢印は漂砂制御を意図した方向である。UNIT間での干渉を極力少なくするため、UNIT1は岸向き制御($\alpha=0^\circ$)、UNIT2は沖向き制御($\alpha=30^\circ$)、UNIT3は岸向き制御($\alpha=30^\circ$)、UNIT4は沖向き制御($\alpha=0^\circ$)とした。このようにDRIMを設置したのは、漂砂制御方向が異なる4つの場合について同時に調べるためである。実験中は常に水路中央($y=2\text{m}$)付近に離岸流が発生していたが、この部分を除き、DRIMを設置した範囲における初期地形の岸沖方向断面の2次元性は良好であった。

(2) 3次元移動床実験の結果の考察

地形変化の特徴をより明確に見るために、測定した地形データを時系列順に並べ、水深変化についてのトレンド計算を行なった。トレンド計算は、ある格子点の水深変化を最小自乗法により、以下の式を用いて直線近似したものである。

$$h(t) = a \times t + b$$

a : 水深, t : 時間

本計算では、水深方向に正の座標を取っているのので、 $a>0$ の時は、計算対象となる格子点における水深は増加していることになり、侵食傾向を示す。 $a<0$ の時は、水深は減少していることになり、堆積傾向であることを示す。計算結果は、水深変化速度に対応する。図-8に、造波開始~初期地形形成まで(0h~2.0h)と、DRIM設置後~2時間後(2.0h~4.0h)の計算結果を示す。黒い長方形はDRIM UNITで、白抜き矢印は漂砂制御を意図した方向である。図-8では、造波開始から2時間後と、2時間後から4時間後の地形変化のトレンド計算結果を、侵食(図-8a、

図-8c)、堆積(図-8b、図-8d)に分けて図示した。黒が濃くなるほど、それぞれの傾向が強い(地形変化速度が速い)ことを示している。図-8a、図-8bの造波開始~2時間後までの結果によると、DRIM設置前の全体的な変化傾向は、図-7aに示す平均断面にも現れているように、碎波点付近より岸側が侵食傾向で、沖側では堆積傾向であった。図-9aにDRIM設置前2時間、図-9bにDRIM設置後2時間における岸沖漂砂量(沖向き正)を示す。岸沖漂砂量 Q は、地形データを沿岸方向に平均した断面の時間的変化量を沖側から岸側に向かって積分して求めたものである。図-9a、図-9bともに傾向は似ており、実験を通して、全体的地形変化傾向が同じであったことがわかる。

したがって、DRIM設置後から波作用2時間後の侵食および堆積を示す図-8c、図-8dにおいても、全体的な地形変化傾向はDRIM設置前に似ている。しかし、堆積を示す図-8dのDRIM UNIT周辺に着目すると、全UNITについて、制御を意図した方向の下流側に局所的に堆積速度の速い場所(破線で囲まれた領域)が認められる。この変化傾向は、全体的地形変化傾向とは異なっており、DRIMの漂砂制御機能が、実際の3次元的漂砂の場においても十分機能した結果であると考えられる。

さらに、波の進行方向とDRIM設置角が同じものと、波の進行方向がDRIM設置角に対して斜めであるUNITどうしを比較してみる。まず、DRIM設置方向を互いに岸沖逆にしたUNIT1とUNIT4を比較すると、UNIT4の堆積傾向領域が広い。これは、波形の上下非対称性の影響により、沖向き制御の場合(UNIT4)において、UNIT1に比べて強い後流渦が発生し、より多くの底質が漂砂制御作用を受けたためと思われる。次に、斜め方向制御であるUNIT2、UNIT3について比較する。

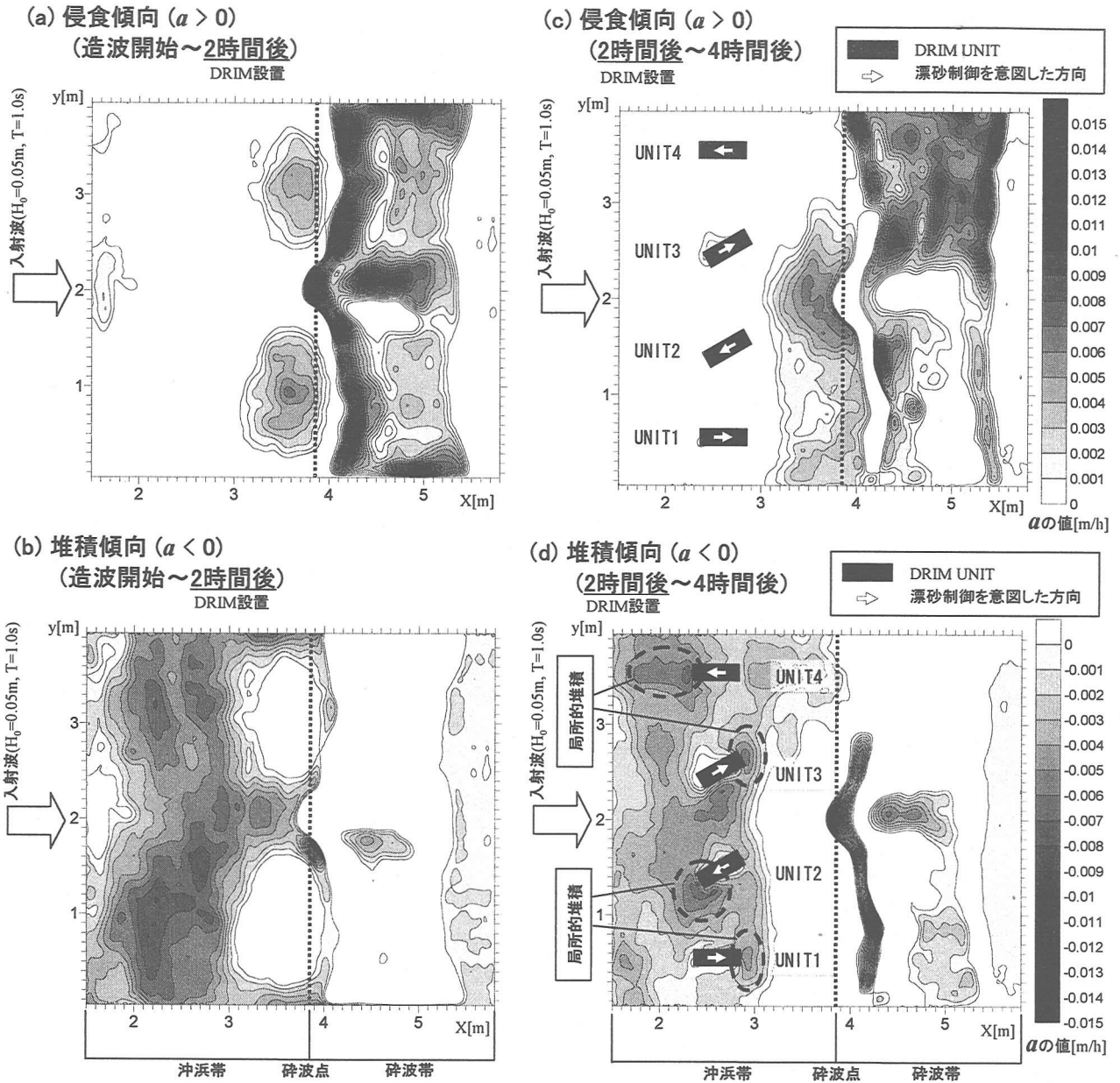


図-8 トレンド計算結果

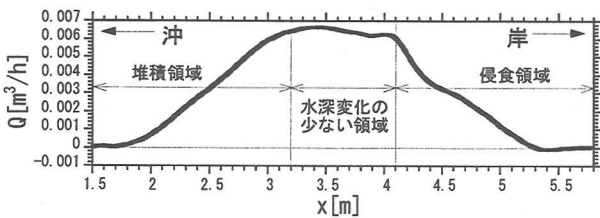


図-9a DRIM設置前の岸沖漂砂量(0.0h～2.0h)

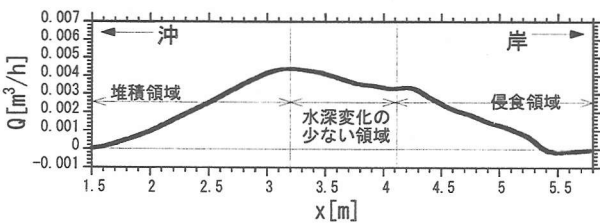


図-9b DRIM設置後の岸沖漂砂量(2.0h～4.0h)

図-10に、UNIT2、UNIT3の周辺部を拡大した図を示す。図中の堆積傾向にある範囲(破線で囲まれた部分)から、おおまかに制御角を取ってみると、UNIT3における制御角 $\beta 1$ は、DRIM設置方向に近い角度となった。ただし、UNIT側方(図-10の実線楕円で囲まれた部分)においても堆積が生じており、これも考慮すると、 $\beta 1$ はもう少し波向に近くなると思われる。

UNIT2における制御角 $\beta 2$ は、波向に対してDRIM設置方向がなす角より大きな角度となった。このように、 $\beta 1 < \text{DRIM設置角} < \beta 2$ となる傾向は、底質拡散実験の結果と同様である。

このように沖側で漂砂を制御した影響は、波の作用とともに岸側へ徐々に伝播するため³⁾、さらに長時間波を作用させることで、これらの効果はやがて岸側へも伝播するものと考えられる。また、図-8b

の碎波点より岸側の範囲では、侵食傾向の領域が沿岸方向に偏って($y > 2m$)分布している。これは、DRIMの設置により沖浜帯の地形が3次元的に変化した影響と考えられる。

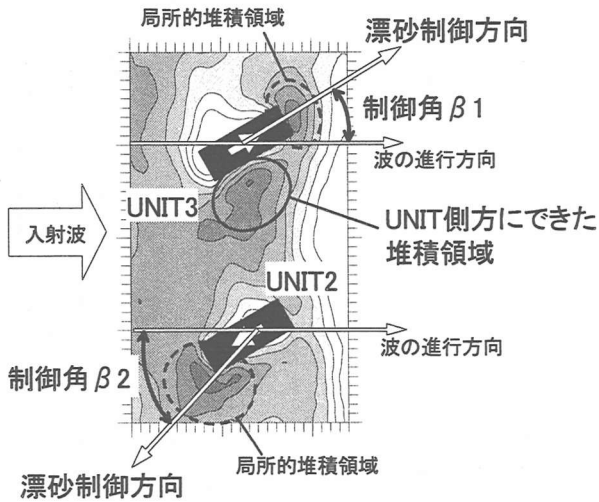


図-10 トレンド計算結果(UNIT3, UNIT4周辺部拡大図)

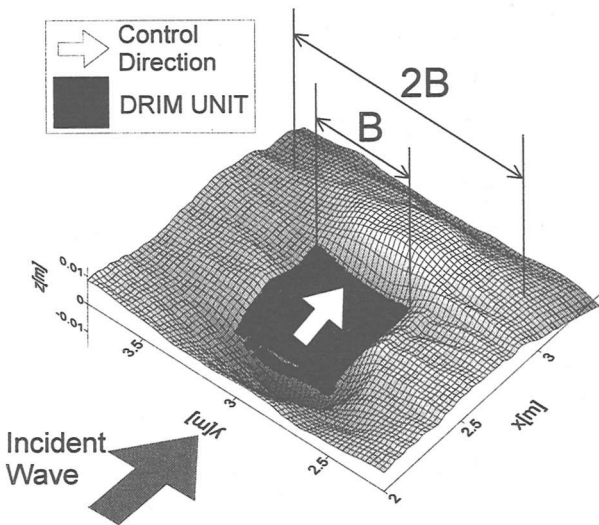


図-11 DRIM周辺の侵食堆積立体図

さらに、局所的漂砂制御効果の影響範囲を詳細に

調べるため、DRIM UNITの幅を大きくし(11個×9個)、漂砂制御方向を岸方向制御のみとした実験を行なった。波の諸元など、他の条件はこれまでと同一である。図-11に示す立体図は、DRIM設置直後～DRIM設置後4時間の侵食堆積量を取り、立体図化したものである。制御を意図した方向の堆積領域の沿岸方向幅は、DRIM UNITの沿岸方向幅Bのおよそ2倍となっており、DRIMの効果が、設置範囲を越えて広範囲に及ぶことがわかる。

5. 結論

平面水槽において、DRIMを使用した底質拡散実験と3次元移動床実験を行った。底質拡散実験により、波の入射方向に対して斜めに配置したDRIM上では、その設置方向に応じた底質移動が生じることを確認した。3次元移動床実験においても、同様の制御効果が地形変化として現れた。これらの結果は、現実の漂砂場においても、DRIMを設置することで漂砂を任意方向に制御できる可能性を示している。したがってDRIMは、様々な漂砂問題(養浜砂流出、港口埋没、航路埋没など)への対策に応用できる可能性があるといえる。

参考文献

- 1) 入江功・小野信幸・村上啓介・橋本誠也・中村聡: 歪み砂れんマットによる沖浜帯の岸沖漂砂の制御, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 561-565, 1993
- 2) 小野信幸・入江功・西岡悟史: 砂れん上の底質移動に及ぼす海底勾配の効果と海浜の安定化機構, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 591-595, 1999
- 3) 小野信幸・入江功・横田雅紀: 歪み砂れんによる海浜安定化工法に関する研究, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 676-680, 2001
- 4) 入江功・辻利徳・村上啓介・藤井研一・牛房幸光: 歪み砂れんマットによる底層流の制御とその応用, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 476-480, 1992
- 5) 武若聡・入江功・内田雅洋・坂本寛和・渡辺桂三・小野信幸: 歪み固定砂れんによる岸沖漂砂の制御とその最適寸法・形状に関する検討, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 506-510, 1998