

波・流れ共存場における DRIM の漂砂制御効果に関する研究

山口 洋* ・小野 信幸**・入江 功***
村瀬 芳満****・松本 亮介*****

深刻化する漂砂問題に対し著者らは, DRIM の利用を提案している. DRIM は波動下で漂砂を一方方向に制御する機能を持つが, 潮流などの流れは DRIM 上への砂供給量を増加させ, 漂砂制御効果に影響すると考えられる. そこで本研究では, 波に加えて流れのある場合の DRIM の効果を検討した. まず, DRIM の効果を考慮した 3 次元海浜変形モデルを流れの効果を考慮できるように拡張し, その結果の妥当性を 3 次元移動床実験により地形的に確認した. さらに, 本モデルの地形変化計算の特長を利用した蛍光砂移動モデルを組み込み, 流れの有無による砂の分散移動状況の違いを計算し, 3 次元移動床実験における蛍光砂の追跡結果によりモデルの妥当性を確認した.

1. はじめに

深刻化する漂砂問題に対し著者らは, 安価で景観・環境・利用面に優れた歪み砂れんマット (以下 DRIM) の利用を提案している. DRIM は砂れん形状を人工的に 1 方向に歪ませた断面形状を持つブロック (図-1) で構成され, 波動下で漂砂を一方方向に制御する. その岸沖漂砂制御機能及び沿岸漂砂制御機能について, これまで波のみが作用する場合において検討し, その有効性を確認してきた (小野ら, 2001, 2002; 山口ら, 2002, 2003). また, 様々な配置条件を数値シミュレーションにより検討できるように, DRIM の効果を考慮した海浜変形モデルを構築した (小野, 2003; 山口ら, 2003).

DRIM の漂砂制御機能は, 周辺から DRIM 上に供給される砂に対して及ぶ. したがって, DRIM 設置範囲に潮流などの流れがある場合は流れによる DRIM 上への砂供給量が増加し, DRIM の漂砂制御効果に影響すると考えられる. しかし, 既存の検討には流れの影響を考慮したものではなく, その必要がある場合は水理実験による検討が必要となるのが現状である. ただし, 波と流れを同時に起こす実験, 特に移動床実験はその手間と費用, 初期条件の再現性の問題もあり, 配置案の比較検討などに用いるのは現実的ではない.

そこで本研究では, 流れのある条件において数値シミュレーションによる DRIM の検討を可能とするため



図-1 Distorted Ripple Mat (DRIM)

に, 山口ら (2003) のモデルを流れの影響を考慮できるように拡張し, さらに, 蛍光砂移動モデル (小野ら, 1996) を組み込み, 本モデルの特徴である準ラグランジュ的な砂移動のシミュレーションを行った. また, 計算結果の妥当性については, 計算と同様な条件において実施された 3 次元移動床実験の結果を用いて検証した.

2. 3 次元海浜変形モデルの拡張

(1) 計算の流れ

計算の流れを図-2 に示す. 計算は, まず沖波波高, 周期, 初期地形形状, DRIM 設置情報を入力し, 図-2 に示す 3 つのプログラムを用いて以下のように計算を行う.

1. 平面波浪場は, Boussinesq モデル (Madsen ら, 1992) を用いて計算し, 波高, 底面流速, 波形の非対称性など, 漂砂量の計算に必要な諸量を算出する.
2. 上記外力データに基づいて各格子の漂砂量を算定する.
3. 漂砂量に基づく砂の移動・分配計算を行い, 地形変化量を求める. 新たに得られた地形に対して再び外力計算を行い, 地形変化の影響を漂砂量に反映させる. これを所定の回数繰り返す, 得られた結果を出力する.

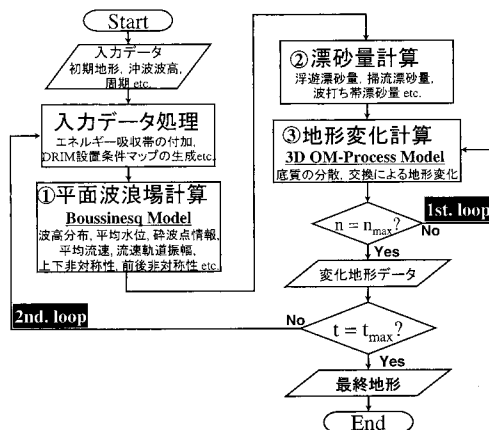


図-2 計算フロー

* 正会員 博(工) 若築建設(株) 技術研究所

** 正会員 博(工) 九州大学助手大学院工学研究環境都市部門

*** 正会員 工 博 九州大学名誉教授

**** 学生会員 修(工) 東亜建設工業(株) 大阪支店

***** 学生会員 筑波大学大学院理工学研究科

(2) 砂移動モデルの特徴

モデルは、各計算格子点において波の一周期間の運動による結果として移動に寄与する砂の体積 Q_t を算定し、それを平均移動速度 $\bar{V}_{tg}$ で岸沖・沿岸方向に分散しつつ移動させるものである。その詳細は既に山口ら (2003) が述べているので、そちらに譲ることにする。

砂の移動・分散を計算する際には、図-3のように、まず時刻 t において、格子点における Q_t を中央の濃度の濃い状態を模擬した関数分布 (山口ら, 2004) に従って分配し、その形状を保ったまま速度 $\bar{V}_{tg}$ で移動するものとする。次に1周期後 ($t+T$) に移動した先の各格子に再分配する。この一連の操作を、乱数を用いて重複することなく全格子に施し、波の1周期分の地形変化とする (3D OM-Process)。この計算手法を用いることにより、砂の平均的な移動と分散過程を同時に評価できる。また、DRIM の効果は $\bar{V}_{tg}$ の算定時に評価される。

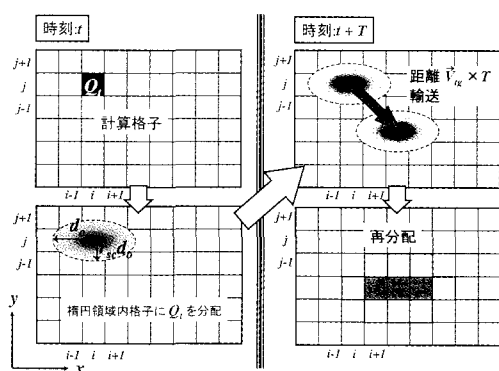


図-3 3D OM-Process

(3) 流れの効果の組み込み

本研究では、汀線と平行な流れにより DRIM 上に乗る砂の量が増えた場合の影響について検討を行う。そこで、流れによって砂が沿岸方向に輸送される効果を再現するために、図-4のように波による砂移動速度 $\bar{V}_{tg}$ (波向きに平行な成分) に流れの成分を加えたベクトル和 $\bar{V}_t$ で砂が移動するものとした。 $\bar{V}_t$ は、海底勾配の影響を考慮した以下の式により算定される (小野ら, 2004)。

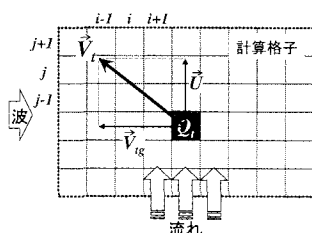


図-4 流れ $\bar{U}$ が砂の総体的移動速度に及ぼす効果

$$\bar{V}_t = \bar{V}_{tg} - J|\bar{V}_{tg}|\bar{i} + \alpha_d \frac{Q_s}{Q_t} (\bar{V}_{sgd} - \bar{V}_{sg}) + \bar{U} \quad \dots (1)$$

ここで、 J は場所により変化する海底勾配係数、 $\bar{i}$ は海底勾配、 α_d は DRIM 上の砂量に応じて変化する係数 (0~1)、 Q_s は浮遊砂量、 $\bar{V}_{sg}$ は浮遊砂の重心移動速度、 $\bar{V}_{sgd}$ は DRIM 上の浮遊砂の重心移動速度、 $\bar{U}$ は流速である。

(4) 蛍光砂の移動モデル

本モデルの砂移動計算手法 (3D OM-Process) は、ある1つの砂れんより移動する砂を準ラグランジュ的にモデル化しているため、地形変化の計算と同時に格子単位の砂移動の追跡が可能である。本研究では、これを利用して蛍光砂の分散移動モデルを組み込んだ。モデルでは、砂移動計算ステップ毎に各格子に含まれる蛍光砂の割合を計算し、蛍光砂の分散移動状況を求めた。また、蛍光砂が分散移動するときに元の砂と混合していく過程を小野ら (1996) の手法により考慮した。実際の計算では、蛍光砂投入点の格子に $Q_{in} = h_f dx dy$ の量の蛍光砂があるものとし、それが分散・移動していく様子を追跡した。 h_f は鉛直混合層厚である。本研究では、 $h_f = 1$ cm、投入点における蛍光砂の含まれる割合を1.0、鉛直混合率は0.2とした。

3. 計算結果

モデルの妥当性を調べるために試計算を実施し、同様の条件の移動床実験によりその結果を検証した。計算と実験には、図-5に示す幅4m、勾配1/15のモデル海浜 (軽量物質メラミン；比重1.5、粒径0.2mm、沈降速度

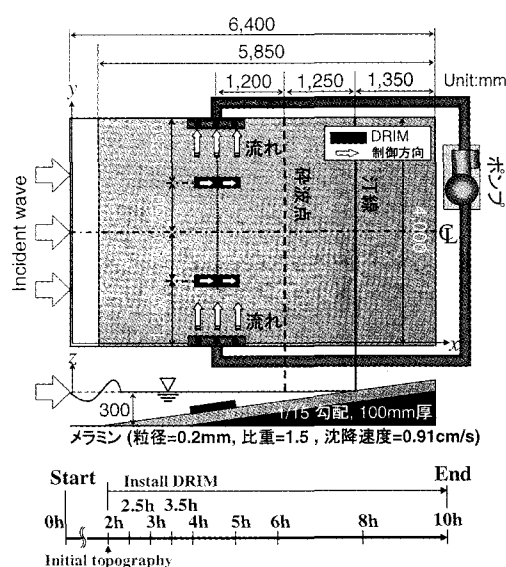


図-5 実験と計算の条件

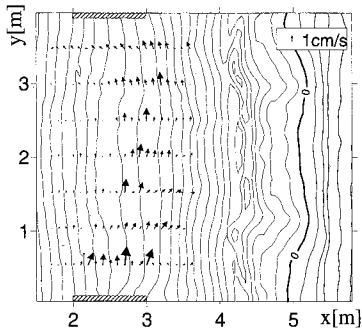


図-6 実験における流速分布

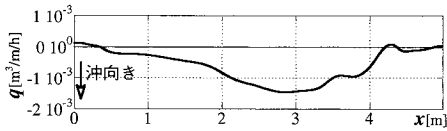


図-7 岸沖漂砂量分布

0.91 cm/s)を用いた。実験では、初期勾配の海浜に侵食性の波(規則波, $H_0=5$ cm, $T=1$ s)を2時間作用させ、その後DRIMを設置し、さらに波を作用させた。実験における流れは、循環ポンプにより図-6に示す分布を持つ流れ(平均流速1 cm/s)を発生させた。計算では、実験で有意な流れが観察された $1.5\text{ m} < x < 3.5\text{ m}$ の領域で実験と類似の分布を持つ流れを数値的に与えた。計算の初期地形には、実験におけるDRIM設置直前の地形を沿岸方向に平均したものをを用いた。なお、この条件のDRIMが影響しない場所の岸沖漂砂量は図-7に示すようにほぼ全域で沖向きである。

(1) 流れの影響に対する地形変化の特徴

波と直交する流れが存在する場合における地形変化の特徴を見るために、漂砂制御方向を岸向きとしたDRIM UNIT(ブロック波長4.8 cm, 14×3 個, 岸側端部 $x=3$ m)を左右対称に2基設置し、波を30分作用させる計算

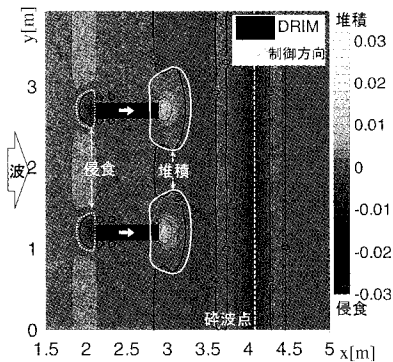


図-8 計算結果(流れなし, 波作用後30分)

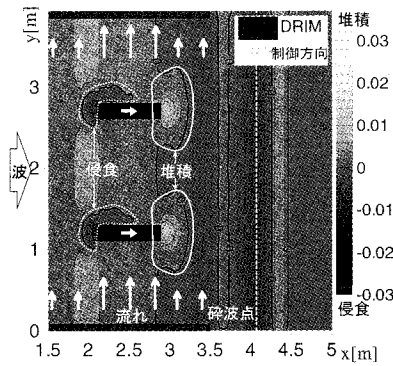


図-9 計算結果(流れあり, 波作用後30分)

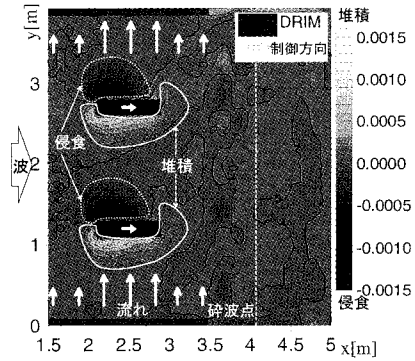


図-10 計算結果(流れの効果の抽出)

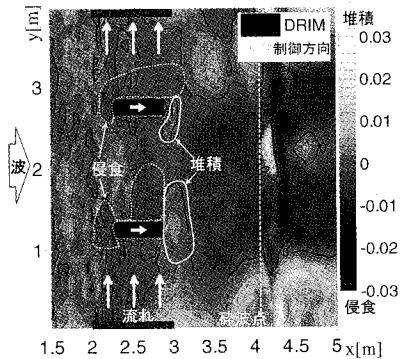


図-11 実験結果(流れあり, DRIM設置後60分)

を実施した。外力更新間隔は6分である。図-8は流れなし, 図-9は流れ($1.5\text{ m} < x < 3.5\text{ m}$, 沿岸方向)の影響を考慮した計算結果で、DRIM設置直後から波作用後30分までの地形変化量を示している。両ケースでDRIM岸側の堆積領域の広がりやDRIM沖側の侵食など特徴的現象が計算されている。流れの効果を加えた場合は、計算時間が短いためDRIMの岸側の堆積形状に大きな違いは見られないものの、DRIMの沖端付近に流れの下流側に伸びる侵食域が現れている。図-10は、図-9と

図-8の差をとり、両ケースにおける流れの効果による違いのみを抽出したものである。これを見ると、DRIMよりも流れの上流側で堆積、下流側で侵食の傾向が見られる。これは、流れがない場合はDRIMを中心に沿岸方向にほぼ対称な地形変化となるのに対して、流れのある場合は流れの上手側から供給される砂がDRIM上で岸側に輸送され、流れの下手側に供給される量が少なくなり、地形変化に沿岸方向の偏りが生じた結果と思われる。図-11は流れのある場合の実験結果で、こちらはDRIM設置後60分波を作用させた。実験結果は、実験特有の乱れなどの要因が重なり複雑なパターンを示しているものの、DRIM周辺では、計算結果とほぼ同様な傾向が見られる。これらの結果より、本モデルは流れのある場合においてもDRIM周辺部の基本的な地形変化を妥当に評価できるものと考えられる。

(2) 蛍光砂の移動パターンの計算

波と直交する流れが存在する場合における砂の移動状況をより詳しく調べるために、蛍光砂移動の数値シミュレーションを行った。まず、DRIMを設置しない状態で、流れのない場合と流れのある場合について蛍光砂の分散

移動を計算した。蛍光砂は、中央部の10 cm四方の領域に投入した。図-12は流れなしの結果、図-13は流れのある場合 ($1.5\text{ m} < x < 3.5\text{ m}$, 沿岸方向)の結果である。計算では、外力更新間隔を6分とし、波を30分作用させた。図-12(a), 図-13(a)に波作用後6分、図-12(b), 図-13(b)に波作用後30分の時刻における蛍光砂の分布を白線にて示している。図-12の波のみが作用する場合には、蛍光砂は分散しつつも正味の漂砂移動方向である沖向きへと移動していることがわかる。これに対して、図-13の流れがある場合においては、流れの効果によっても砂が輸送され、分布形状が流れの下流方向へと傾いている状況が計算されており、蛍光砂の分散移動モデルが流れのある場合においてもその影響を妥当に評価していることがわかる。

次に、DRIMを設置した状態における計算とその検証実験を実施した。これまでと同様の条件のモデル海浜中央部に、DRIM(ブロック波長4.8 cm, 14×7 個, 岸側端部 $x=3\text{ m}$)を設置し、その側方部にDRIMから沿岸方向に20 cm離れた10 cm四方の領域に蛍光砂を投入した。図-14は流れなし、図-15は流れ ($1.5\text{ m} < x < 3.5\text{ m}$,

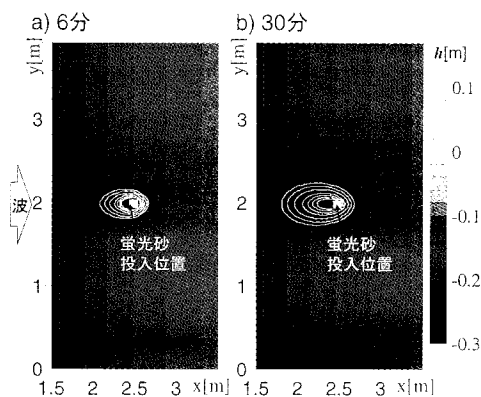


図-12 蛍光砂分散範囲の推移 (波のみ)

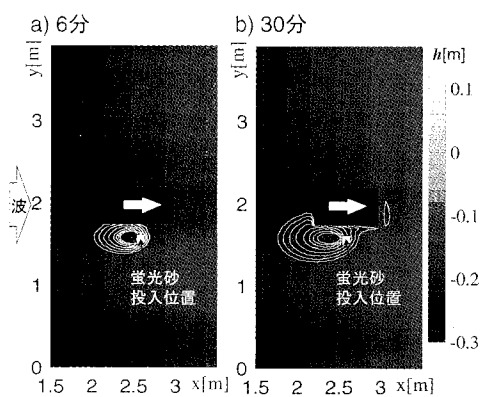


図-14 蛍光砂計算結果 (流れなし, 波作用後 30 分)

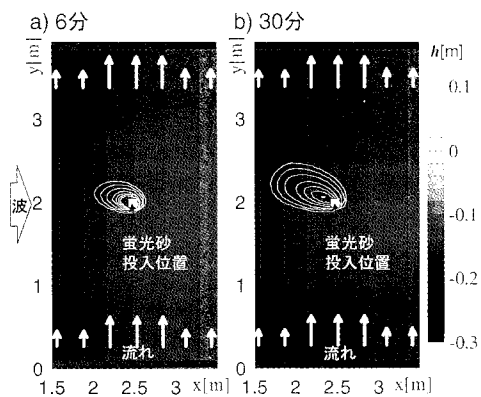


図-13 蛍光砂分散範囲の推移 (波+流れ)

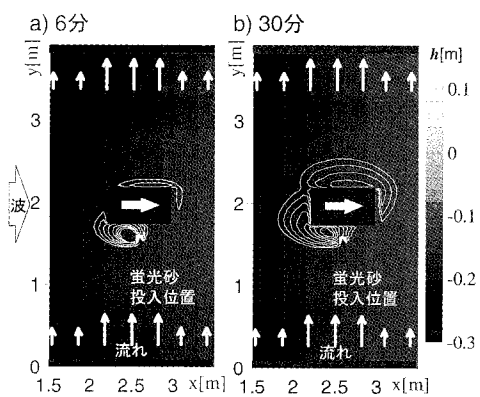


図-15 蛍光砂計算結果 (流れあり, 波作用後 30 分)

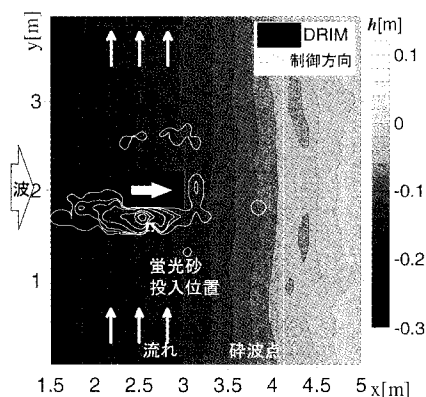


図-16 蛍光砂実験結果（流れあり，DRIM 設置後 30 分）

沿岸方向)のある場合の計算結果である。等深線は水深、白線は蛍光砂の分布を示している。図-14(a)，図-15(a)は波作用後6分，図-14(b)，図-15(b)は波作用後30分の時刻の結果である。流れの影響による地形変化については、前節と同様な傾向が現れていた。蛍光砂の分布については、流れのない図-14では図-12とほぼ同じ挙動を示しているが、若干 DRIM の岸側に蛍光砂が運ばれていることが確認される。これは、モデル上で砂の分配計算を行っているため、沿岸方向へ分散した蛍光砂の一部が DRIM 上に乗って岸向きへと輸送されたためである。流れのある図-15では図-14と比較して明らかに DRIM の岸側への蛍光砂の分布量が増えていることがわかる。これは、流れの効果によって DRIM 上に側面から供給される砂の量が増加し、その結果岸向きに輸送される砂の量が増加したためと考えられる。また、流れに乗って DRIM よりも流れの下流側へも蛍光砂が輸送されていることがわかる。

さらに、計算と同じ条件の移動床実験における波・流れ作用後30分の地形と蛍光砂の分布状況を図-16に示す。実験特有の複雑さが見られるが、蛍光砂の移動状況については、DRIM のない場所 ($1.5\text{ m} < y < 1.75\text{ m}$) では沖方向に、DRIM のある場所 ($1.75\text{ m} < y < 2.25\text{ m}$) では DRIM の岸側に分布しており、図-15の計算結果と同様の傾向が見られる。これは、本研究においてモデル化に用いた手法の妥当性を示す結果であると考えられる。

4. 結 論

DRIM の効果を考慮できる3次元海浜変形予測モデルを拡張し、沿岸方向の流れの効果を組み込むことで、流れがある場合の基本的な地形変化を数値シミュレーションにより再現することができた。また、蛍光砂の分散移動状況を計算するモデルを組み込んでシミュレーションを行ったところ、実験結果のおおよその再現と共に、本モデルの特徴である、準ラグランジュ的な砂移動が追跡できるようになった。また、汀線と平行な流れによって DRIM 上により多くの砂が運ばれた場合、DRIM による漂砂制御の影響がより大きくなることが確認された。

これらの結果から、本研究において提案した海浜変形モデルの妥当性が示され、流れが DRIM の漂砂制御機能に及ぼす影響の一部が明らかになった。

参 考 文 献

- 小野信幸・入江 功・中野 優・武若 聡 (1996): 海底の傾斜に伴う砂れん間の砂分散量の差を考慮した底質移動モデル, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 466-470.
- 小野信幸・入江 功・横田雅紀 (2001): 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.
- 小野信幸・入江 功・緒方 菊・山口 洋 (2002): ビーチサイクルを考慮した養浜断面の安定化に関する研究, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 626-630.
- 小野信幸・緒方 菊・山口 洋・入江 功 (2004): 平衡断面条件を導入した海浜縦断面変化モデル, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 411-415.
- 小野信幸 (2003): 岸沖漂砂制御による海浜安定化に関する研究, 九州大学学位論文, 148 p.
- 申 承鎬 (2000): 沖合構造物背後の海浜変形機構とそのモデル化に関する研究, 九州大学学位論文, 190 p.
- 山口 洋・小野信幸・入江 功・申 承鎬・村瀬芳満 (2002): 歪み砂れんマットによる3次元的漂砂制御機能に関する実験, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 621-625.
- 山口 洋・小野信幸・入江 功・渡部耕平・村瀬芳満 (2003): 歪み砂れんマット (DRIM) による3次元的漂砂制御に関する研究, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 601-605.
- 山口 洋・小野信幸・入江 功・渡部耕平・村瀬芳満 (2004): DRIMを用いた3次元的漂砂制御に関する研究—DRIMの応用配置法—, 海洋開発論文集, 第20巻, 印刷中.
- Madsen, P.A. and O.R. Sørensen (1992): A new form of the Boussinesq equations with improved linear dispersion characteristics Part 2, Coastal Engineering, Vol. 18, pp. 183-204.