

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

山口 洋* ・小野 信幸** ・入 江 功***
渡部 耕平**** ・村瀬 芳満*****

砂浜海岸における漂砂問題に対し著者らは、大規模で高価な従来の海岸保全構造物にかえて安価で景観・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で構成され、漂砂を任意の方向に制御できる。本研究では DRIM の実際の応用を考えた配置の一つとして DRIM による沿岸方向の漂砂制御機能を実験的に検討し、その有効性を確認した。さらに DRIM の効果を考慮できる 3 次元海浜変形モデルを構築し、実験結果と比較したところ良好な一致を得た。本モデルは DRIM の平面配置案の比較などに有用であると思われる。

1. 緒 言

砂浜は、貴重な環境資源であるとともに自律的防災機能を持ち合わせた重要な防護施設でもある。しかし、海岸整備による漂砂の連続性の遮断や河川改修による漂砂源からの底質供給の減少などにより、砂浜海岸の侵食問題は全国的に深刻化してきた。これに対し、これまで突堤や離岸堤、人工リーフといった大規模な構造物による対策が行われ、大きな成果をあげてきた。しかし、これらの構造物は非常に高価であり、また景観や利用面において様々な障害をもたらしてきている。

一方、1999 年の海岸法の改正において「環境」、「利用」が海岸整備の目的に加わり、砂浜海岸が防災施設として認められたことで砂浜を主体とした質の高い海岸整備への要請が高まってきた。これを受けて著者らは、従来の海岸保全構造物にかえて安価で景観・環境・利用面に優れた歪み砂れんマット (Distorted Ripple Mat, 以下 DRIM) の利用を提案している。

DRIM は図-1 のように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で構成され、底層流を一定の方向に制御できる。山口ら (2002) は、その 3 次元的漂砂制御機能の基本的特性を 3 次元移動床実験により調べ、DRIM の向きを変えることによる任意方向への漂砂制御が可能であることを示している。本研究では、

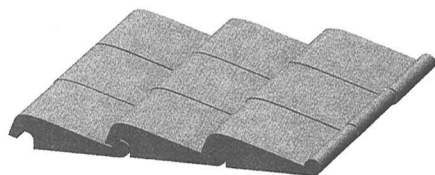


図-1 Distorted Ripple Mat (DRIM)

DRIM の実際の応用を考えた配置の一つとして、DRIM による沿岸方向の漂砂制御機能を実験的に検討した。さらに、様々な平面配置案の比較などに有用なツールとするために、DRIM の漂砂制御効果を考慮できる 3 次元海浜変形モデルを構築した。

2. DRIM による沿岸漂砂の制御

海岸侵食問題は、岸沖漂砂だけでなく沿岸漂砂が大きな要因となる場合が多い。このような海浜を安定化させるには、岸沖方向の漂砂と共に沿岸方向の漂砂を制御する必要が出てくる。そこで、設置方向により任意の方向に漂砂を制御できる DRIM を用いて沿岸漂砂をも制御することを考える。例えば、波向きと漂砂制御方向とをある角度をなして設置した場合、底質はその周辺において岸沖方向だけでなく、沿岸方向にも制御される。さらに、漂砂制御を受けた底質は岸側まで分散するので、長期的には汀線付近にも DRIM の沿岸漂砂制御効果が伝播し、DRIM 岸側の海浜全体が沿岸漂砂制御を受けると考えられる。本研究では、小型平面水槽内の移動床における蛍光砂の追跡実験と大型平面水槽内における 3 次元移動床実験により、DRIM の沿岸漂砂制御機能を検討した。

(1) 蛍光砂トレーサーを用いた実験

a) 実験方法

まず DRIM 岸側の底質の挙動を調べるために蛍光砂の追跡実験を行なった。実験では、長さ 2.5 m、幅 1.65 m、高さ 0.35 m の小型平面水槽に 1/15 のモデル海浜を軽量物質メラミン (比重 1.5、粒径 0.2 mm、沈降速度 0.91 cm/s) を用いて作成し、これに規則波 (沖側水深 0.1 m、 $H_0=3$ cm、 $T=0.9$ s) を作用させた。また、図-2 に示す時間において詳細に地形を測定した。

さらに、波作用 30 分後に沖浜帯に DRIM (波長 4.8 cm、 2×5 個) を波向きに対して 30° 傾けて 12 基設置し、その前面にトレーサーとして蛍光砂を投入した。蛍光砂は、図-2 の実験手順に示すように波作用後 1 時間と 3 時間の時刻においてサンプリングし、サンプルに含まれ

* 正会員 工博 若築建設(株) 事業統括本部 技術研究所
** 正会員 工博 九州大学助手 大学院工学研究院
*** 正会員 工博 九州大学教授 大学院工学研究院
**** 若築建設(株) 名古屋支店
***** 学生会員 九州大学大学院工学府海洋システム工学専攻

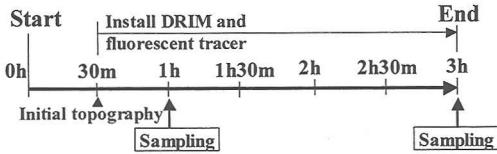


図-2 実験の手順

る蛍光砂の粒を数えた。

b) 実験結果

図-3は、サンプリング時刻における蛍光砂の分布を示している。蛍光砂投入後30分の図-3(a)では、蛍光砂はDRIM岸側近傍において制御を意図した方向に多く分布している。さらに、投入後150分の図-3(b)では、同様の分布を示しつつ汀線付近まで分散している。これは、DRIMの漂砂制御効果が岸側の広い範囲に伝播することを示している。

(2) 大型平面水槽における3次元移動床実験

次に、DRIMの沿岸漂砂制御機能を地形的に調べるために、大型の水槽において3次元移動床実験を行なった。

a) 実験方法

実験には、長さ20m、幅9m、高さ0.5mの大型平面水槽を使用した。また、この水槽内に図-4に示すような幅4m、勾配1/15のスロープを作成し、前述の実験と同

じ底質を10cm厚で敷き詰めたモデル海浜を成型した。実験ではまず、モデル海浜に対してDRIMを設置せずに規則波(沖側水深0.3m, $H_0=5$ cm, $T=1$ s)を2時間作用させて初期地形とした。次に、図-4のようにDRIM(波長4.8 cm, 3×11 個)を波向に対して 30° 傾けて沿岸方向に21基設置した後、さらに波を8時間作用させた。

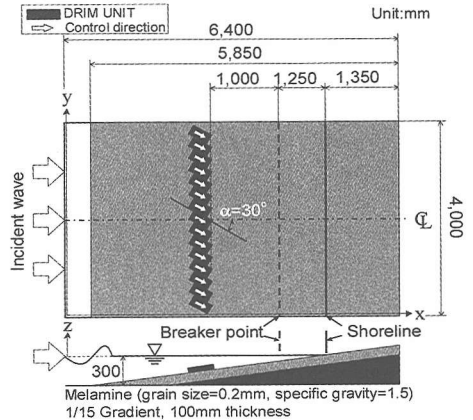


図-4 実験条件

b) 実験結果

図-5はDRIM設置直後から2時間後までの時間帯における水深変化量を示した平面図である。黒い長方形はDRIM設置領域、矢印は漂砂制御を意図した方向を示す。波作用後2時間における初期地形はほぼ左右対称であったが、図-5ではDRIMの沿岸漂砂制御方向の下手側にあたるDRIM岸側 $0.0\text{ m} < y < 2.0\text{ m}$ の領域に広い堆積領域が見られる。この堆積領域は、DRIM近傍にとどまらずDRIM岸側の岸沖方向約1m、砕波点付近にまで及び、沖浜帯に波向きに対して斜めに設置したDRIMの漂砂制御効果がDRIM岸側の広範囲に伝播したことを示している。

図-6は図-5と同時間帯におけるDRIM岸側から砕波点付近まで($2.8\text{ m} < x < 4.0\text{ m}$)の水深変化量を岸沖方向に平均した結果である。水深変化量は、DRIMの沿岸漂砂制御方向下手側の $0.0\text{ m} < y < 2.0\text{ m}$ では増加しているのに対し、 $3.0\text{ m} < y < 4.0\text{ m}$ では減少している。これは、DRIMが沿岸方向に相当量の底質を輸送した結果と考えられる。

3. DRIMの効果を考慮できる3次元海浜変形モデル

DRIMの平面配置案を検討する場合、水理実験では真

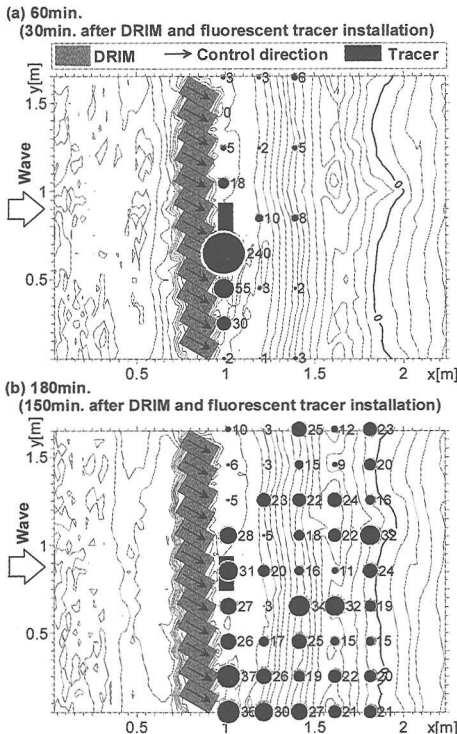


図-3 蛍光砂の分布

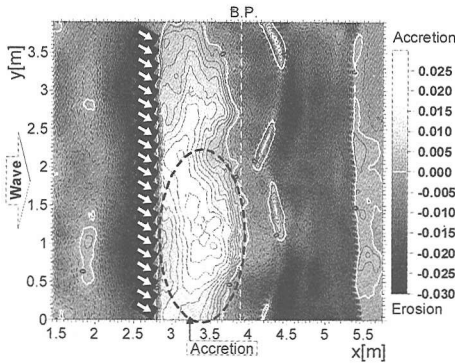


図-5 水深変化量 (DRIM 設置直後～波作用 2 時間)

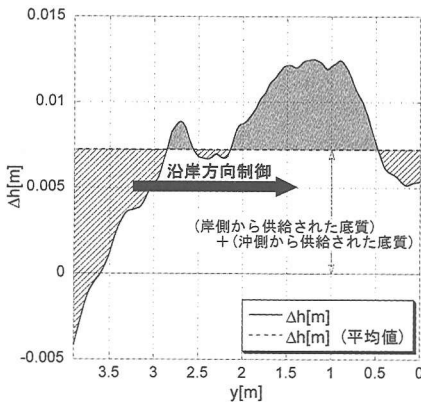


図-6 DRIM 前面における沿岸方向の水深変化量

値が得られる反面、多大な時間と労力が必要となる。一方、数値モデルによって 3 次元的地形変化を再現できれば、完全な真値は得られないが、比較的容易に検討可能となる。しかし、従来の 3 次元海浜変形モデルの大半は、浮遊砂と流れ場によって漂砂量フラックスを評価するので、流れに逆らう方向の漂砂制御も可能な DRIM の効果を再現することは難しい。また、DRIM 上の底質移動には波の非対称性と砂れん断面の前後非対称性の相互作用が関係しており、これを考慮することが重要となる。そこで本研究では、波の非対称性と砂れんの歪みを考慮した漂砂量算定法と砂れん間の底質交換を考慮した底質移動モデルを用いた海浜断面変形モデル (小野, 2003) を 3 次元に拡張し、DRIM の効果を考慮できる 3 次元海浜変形モデルを構築した。本計算モデルは図-7 に示す計算フローのように、いくつかのサブモデルより構成されている。以下にその概要を述べる。

(1) 外力計算

漂砂量の外力となる波浪場の計算には、波の非対称性を計算できるブシネスクモデルによる平面波浪場計算法 (Madsen ら, 1992) を用いた。計算法の詳細については

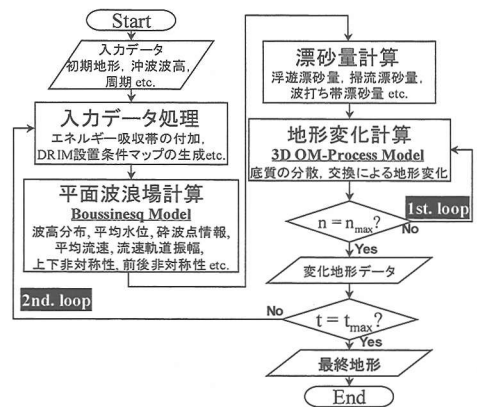


図-7 計算フロー

申 (2002) に詳しいので、そちらに譲ることとする。

(2) 漂砂量の計算

小野 (2003) は、漂砂量の算定において図-8 に示すように、ある 1 つの砂れんに着目し、底質移動を掃流と浮遊の 2 つの移動機構に分離した上で、波の 1 周期間における往復運動の結果として生じる底質移動を総体的移動寄与量 Q_t と総体的移動速度 V_{tg} を用いてモデル化している。

ある砂れんより移動する底質の総量 Q_t は半周期ごとの掃流砂量と浮遊砂量の線形和より、以下のように表す。

$$Q_t = (1-r)(Q_{bon} + Q_{boff}) + Q_s \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 Q_{bon} 、 Q_{boff} はそれぞれ岸向き、沖向き位相時に移動する掃流砂量、 Q_s は浮遊砂量である。掃流移動分については巻き込み率 r を設定し、せん断により移動する底質のうち砂れん後流渦に巻き込まれた底質は浮遊移動分に寄与するものとして掃流砂の過大評価を避けている。

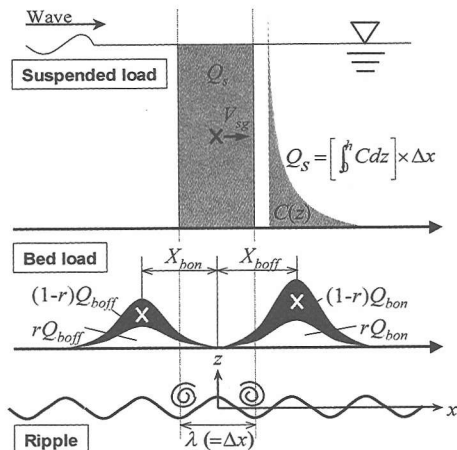
Q_t を輸送する移動速度である V_{tg} は、式 (1) の 3 つの漂砂量とその移動速度の積の線形和を Q_t で除して求める。

$$V_{tg} = \frac{(1-r)(Q_{bon} V_{bon} + Q_{boff} V_{boff}) + Q(V_{sg} + a_U U)}{Q_t} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 V_{bon} 、 V_{boff} はそれぞれ岸向き、沖向き位相時の掃流砂の重心移動速度で、砂雲の重心移動距離 X_{bon} 、 X_{boff} を波の半周期 $T/2$ で除して求める。 V_{sg} は浮遊砂の重心移動速度で、多数の実験結果より求められた回帰式 (小野, 2003) から算定され、波形の上下・前後非対称性と砂れんの歪みの影響が考慮されている。 U は戻り流れの流速、 a_U は戻り流れが浮遊砂輸送に及ぼす寄与率である。

(3) 地形変化の計算

地形変化の計算では、橋本ら (1993)、小野ら (1996)



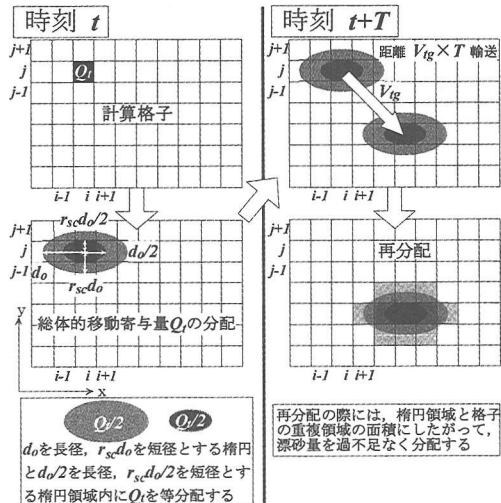
図—8 掃流砂と浮遊砂の分離の概念 (小野, 2003)

が提案した OM-Process と呼ばれる手法を 3 次元に拡張し、底質の平均的な移動と分散、隣り合う砂れん間の底質交換過程の再現を可能とした。この手法の概念は図—9 に示すように、1. 時刻 t においてある格子 (砂れん) 上の総体的移動寄与量 Q_i が計算される。→ 2. Q_i は波の軌道振幅 d_o を基準とした楕円状に分布する。→ 3. 分布形状を保ちつつ相対的移動速度 V_{ig} で輸送される。→ 4. 波の 1 周期後 ($t+T$) に移動先のそれぞれの格子 (砂れん) 上に再分配されるといった一連の操作を、乱数を用いて重複することなく全格子に施し、波の 1 周期分の地形変化計算とする。

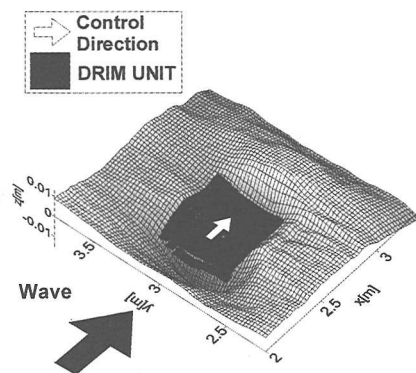
(4) 計算結果

本計算モデルを用いて、山口ら (2002) が行った 3 次元移動床実験と同様の条件において地形変化を計算した。初期条件が実験とほぼ同様の条件となるように、計算の初期地形には、実験において DRIM を設置せずに 2 時間波を作用させた地形を沿岸方向に平均したものを用いた。波は実験と同様の侵食性の波 ($H_0=5$ cm, $T=1$ s) であるので、地形は全体的に岸側が侵食し、沖側に堆積する特徴をもっている。図—10 は山口ら (2002) の実験結果で、岸向き制御の DRIM を設置した直後から波作用 4 時間後の DRIM 周辺における地形変化量を示している。

図—11 は、図—10 と同じ条件である岸向き制御を意図して DRIM を設置した際の地形変化量 (波作用 45 分) の計算結果を示した平面図と鳥瞰図である。実験と計算で波の作用時間に差異があるが、漂砂量の空間的な分布傾向と、その絶対値の両方を合わせることが現時点では困難であったため、空間分布特性を再現することに重点を置き、絶対値については実験値をスケールリングしたものとして考えた。図より、岸向き制御効果による DRIM 周



図—9 3次元 OM-Process

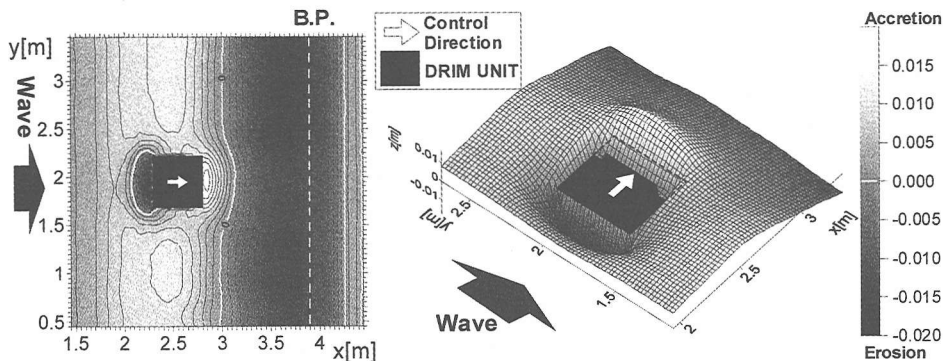
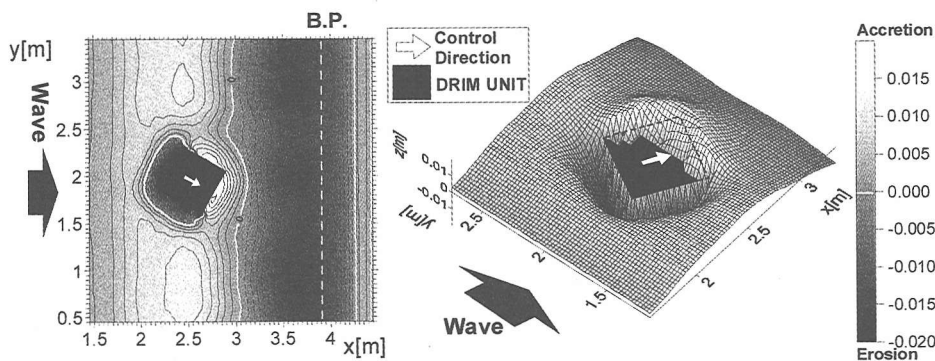


図—10 DRIM 周辺の地形変化量 (山口ら, 2002)

辺の局所的な堆積とこの堆積領域が岸側に伝播している様子がわかる。また DRIM 沖側では底質が DRIM の制御効果により岸側に輸送されるため侵食している。図—12 は DRIM を波向きに対して斜めに設置し、岸向き斜め制御を意図した計算の結果 (波作用 45 分) を示している。図から、DRIM の設置方向に応じて堆積領域が生じており、沿岸方向への漂砂制御効果が計算されていることがわかる。これらの地形変化は実験において見られた現象とほぼ一致しており、本計算モデルの妥当性を示している。

4. 結 語

DRIM を用いて沿岸漂砂制御を意図した 3 次元移動床実験を行なった結果、沖浜帯に設置した DRIM 岸側の広範囲にわたり漂砂制御効果が得られることがわかった。さらに、DRIM の平面配置案を数値モデルにより比較検討できるように、DRIM の効果を考慮できる 3 次元


 図-11 岸向き制御 (DRIM 設置角 $\alpha=0^\circ$) の計算結果

 図-12 岸向き斜め制御 (DRIM 設置角 $\alpha=30^\circ$) の計算結果

海浜変形モデルを構築し、実験における地形変化を再現した。その結果、実験結果と計算結果は良好な一致を示した。

これらの結果は、DRIM を用いた漂砂制御技術を一般化できる有用な知見となり得るものである。

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 (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。

- 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。
- 橋本誠也・入江 功・村上啓介・小野信幸・小島治幸 (1993) モンテカルロ法を用いた海浜変形の数値計算, 海岸工学論文集, 第 40 巻, pp. 366-370.
- 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.
- 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.