

DRIMを用いた3次元の漂砂制御に関する研究 — DRIMの応用配置法 —

STUDY OF THE CONTROL OF THREE-DIMENSIONAL SEDIMENT TRANSPORT USING 'DRIM' — LAYOUT METHOD FOR APPLICATION —

山口洋¹・小野信幸²・入江功³・村瀬芳満⁴・渡部耕平⁵

Hiroshi Yamaguchi, Nobuyuki ONO, Isao IRIE, Yoshimitsu MURASE and Kohei WATANABE

¹正会員 工博 若築建設(株) 技術研究所 (〒153-0064 東京都目黒区下目黒2-23-18)

²正会員 工博 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工修 東亜建設工業(株) 大阪支店 (〒592-0005 大阪府高石市千代田2-2-24-325)

⁵若築建設(株) 名古屋支店 (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦1-11-20)

A method to control sediment transport by using DRIM has been examined through three dimensional movable bed experiments and numerical simulations. DRIM is short for the 'Distorted Ripple Mat', the surface profile of which is of distorted sinusoidal curve, and can control sediment transport in one direction under waves. The effective layout of DRIM installation is examined through movable bed experiments. In addition, the numerical model is improved to reproduce the phenomenon observed in the experiments. As the result of the examinations, it is confirmed that the layout of DRIM where the additional unit (called offshore-tail) is attached is quite effective to increase the effect of controlling sediment transport.

Key Words : control of sediment transport, countermeasure of beach erosion, ripple, vortex, experiment on the 3-dimensional movable bed, 3-dimensional beach evolution model

1. 緒言

自律的防災機能を持ち、貴重な環境資源でもある砂浜は、白砂青松の言葉に代表されるように日本の海岸の原風景として人々に親しまれてきた。しかし、河川からの供給土砂の減少や沿岸域の開発に伴い、日本の海岸は全国的な侵食問題に直面している。また、新海岸法において「環境」と「利用」がその目的に加わり、砂浜が防災施設として認められたことにより、質の高い海岸整備への要請が高まっている。これを受けて著者らは、安価で景観・環境・利用面に優れたDRIM(ドリム)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方向に歪ませた形状のブロックで構成されており、波動下において任意の方向に漂砂を制御できる。DRIMは、海底面にできる砂れんに基づく形状とスケールを持つので、景観を含む周辺環境に与えるインパクトが小さく、柔軟な適用性を持つ。その基本的な機能、効果については、入江ら^{1,2)}小野ら^{3,4,5)}、武若ら⁶⁾山口ら⁷⁾

による研究など、詳細に検討されている。さらに、養浜砂流出対策^{5,8)}、沿岸漂砂制御⁹⁾や航路埋没対策¹⁰⁾など、実際の適用を視野に入れた研究を含めた多数の研究結果が蓄積されてきた。しかし、DRIMの平面的配置法やDRIMの効果を考慮できる海浜変形モデル⁹⁾の適用性については、単純なケースの検討にとどまっている。そこで本研究では、海岸侵食対策工としてDRIMの特徴を利用した平面配置法を提案し、3次元移動床実験により検討した。さらに、山口ら⁹⁾によるDRIMの効果を考慮した3次元海浜変形モデルを用いて実験の再現計算を実施し、複雑な配置条件におけるモデルの適用性を調べた。



図-1 DRIM(ドリム)

2. 3次元移動床実験

著者らは、これまでの研究における実験中、特に波がDRIM設置方向に対して斜めに入射する時に、DRIM側方端部より多量の底質がDRIM上へ流入し、制御方向に輸送される現象を観察している。本研究では、この現象を利用した海岸侵食対策工を考案した。

(1) 海岸侵食対策工におけるDRIMの配置案

実際の海浜において海岸侵食対策としてDRIMを配置することを考えた時、DRIMはある面積をもつUNIT単位で沿岸方向に間隔をおいて配置することになる。しかし、暴浪時など激しい侵食が起きた場合には、底質がDRIM UNIT間の開口部から沖側へと流出してしまう。また、短期的な激しい侵食によりDRIMが完全に埋没した場合にも、底質は沖側へ流出する。沖へ流出した底質に対して、DRIM上への底質流入を促進させて、漂砂制御効果により効率よく岸側へ戻すことができれば、海浜安定化に寄与できると思われる。そこで、以下の指針にしたがい、図-2のような平面配置による海岸侵食対策工を考案した。

- 岸側のDRIMは、岸側から沖側へと流出する底質を抑えるために、沿岸方向に幅広く設置する。
- 沖側のDRIMは、沖側の底質を岸側へ輸送するために、岸沖方向に長く設置する。

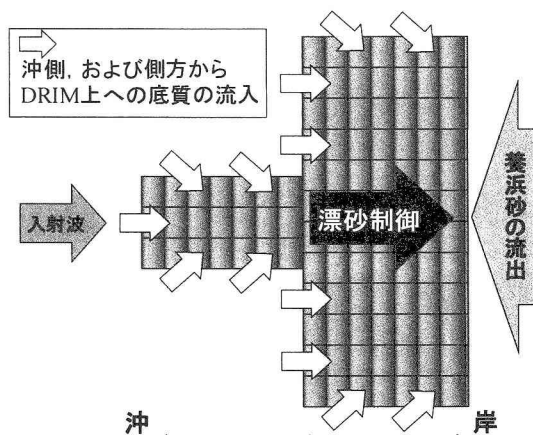


図-2 DRIM配置案(海岸侵食対策工)

この配置法では、沖側に狭幅延長部(以下テイル)を加えて側方端部延長を延ばすことで、DRIM上への底質流入を促進し、暴浪時に沖に流出した底質を岸に輸送する効果が期待される。

(2) 3次元移動床実験

a) 実験の概要

実験では、長さ28m、幅9m、深さ0.5mの平面水槽内に図-3に示すような幅4m、長さ4.35m、勾配1/15の固定床スロープを作成し、底質(軽量物質メラミン、 $d_{50}=0.2\text{mm}$ 、比重1.5、沈降速度 0.91cm/s)を厚さ0.1mで敷きつめたモデル海浜を用いた。

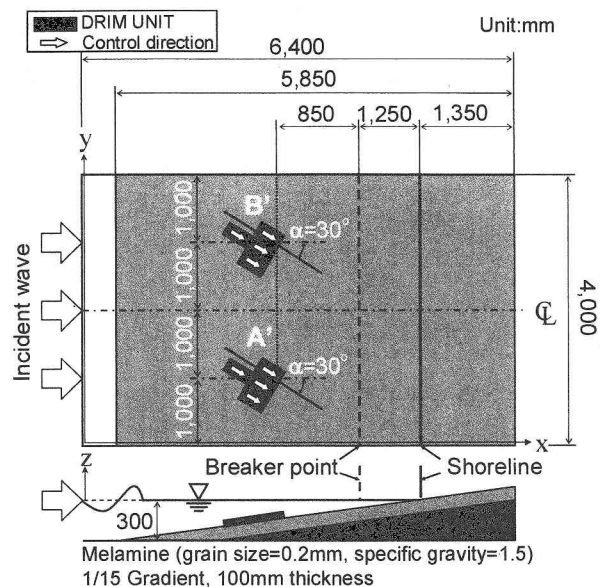


図-3 実験装置の概要とDRIM設置位置

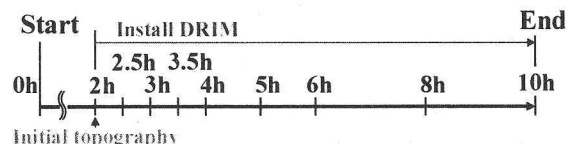


図-4 実験の手順と地形測定時刻

実験の手順は、図-4に示すようにまず何も置かない状態で規則波($H_0=5\text{cm}$ 、 $T=1\text{s}$ 、沖側水深 $h=0.3\text{m}$)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を設置してさらに8時間波を作用させた。なお、この条件では実験中常に沖向き漂砂が卓越していた。またその間、図-4に示す時刻においてレーザー変位計により詳細に地形を測定した。実験は、底質の流入効果の違いを見るために、表-1のように配置法を変えた3ケースを実施した。DRIMは、波長4.8cm、幅6cmのブロックを沿岸方向に12個、岸沖方向に7個並べたものを岸側に配置し、沿岸方向に3個、岸沖方向に7個並べたものをテイルとした。設置位置は、波向に対して回転していない状態で岸側先端の中央部を初期汀線位置から2.1m(碎波点より0.8m~1m沖側)に設定した。波向に対して設置角を持つ場合は、テイル岸側中央部を中心として 30° 回転させた。また、DRIMを設置しない条件における地形はほぼ左右対称な形となっていたので、DRIMを左右対称に2基設置した。

表-1 実験ケース

	設置角	テイル
Case1	0°	有
Case2	30°	有
Case3	30°	無

b) 実験結果

まず、DRIM端部からの底質流入がDRIMの漂砂制御効果に及ぼす影響を検討する。Case1におけるDRIM設置後4時間の地形変化量を、図-5に示す。黒塗りの矩形はDRIM設置領域、白抜き矢印は漂砂制御を意図した方向を示している。沖側に移動しようとする底質がDRIMの漂砂制御効果によりDRIM岸側に局所的堆積領域を作っており、沖への流出を抑えられている様子がわかる。また、DRIM沖側、側方端部に見られる侵食領域からはDRIM上に底質が供給されていたと思われる。図-6はDRIMを波向に対して斜めに設置したCase2の同時時間帯における地形変化量である。図中のDRIM設置領域を囲んだ円内を見ると、波向に対して斜めに置いたことで、岸沖方向だけでなく、沿岸方向にも漂砂制御効果が現れていることがわかる。また、Case1と比較するとDRIM岸側の局所的堆積量が多く、全体的な地形変化も侵食傾向が弱い。Case1は、漂砂制御方向が岸側からの底質の流出方向に対して真直ぐに向いている分、沖へ流出する底質を抑える力はCase2よりも強いと思われるため、DRIM岸側の堆積量が多いことが予想されるが、実験結果はこれに反する結果となっている。しかし、Case2のDRIM端部周辺の侵食領域がCase1よりもかなり広がっていることから類推されるように、波がDRIM側方端部に斜めに入射することにより、Case2ではDRIM端部周辺から相当量の底質がDRIM上に流入し、岸側へ輸送されていたものと考えられる。現地波浪は多方向不規則波であるので、実際の海浜におけるDRIM側方端部からの底質流入の形態はCase2に近いものと思われる。

次に、テイル(沖側延長部)の効果について検討する。図-7はテイルをつけない条件のCase3における図-6と同様の時間帯の地形変化量である。DRIM沖側の侵食領域がCase2に比べて小さく、主に岸側からの底質の沖への流出を抑えるように働いていることが予想される。そこで、テイルの底質流入促進効果を定量的に見るために、DRIM岸側の矩形領域(31.3cm×71.2cm)において土量変化の計算を実施した。その結果を図-8に示す。図中のA、A'、B、B'は、図-6、図-7中のDRIMに対応している。これによると、DRIM設置直後はテイルのないCase3のA、B領域の土量の増加がテイルのあるCase2のA'、B'の土量を上回っている。実験中の観察から、DRIM設置直後にはDRIM沖側端部においてDRIMの後流渦により局所洗掘が起き、一定の時間が過ぎるとこの洗掘はあまり進行しなくなることが確認されている。Case2はテイルがあるため、最も沖側のDRIM端部の水深がCase3の沖側端部より深い。したがって、その部分におけるDRIM後流渦の規模がCase3よりも小さく、巻き上がって流入する底質量が少なかったものと思われる。これに対し、DRIM設置後2時間前後からは左右どちらのDRIMにおいても、テイルのあるCase2のA'、B'の土量がテイルのないCase3のA、Bを上回っていることがわかる。これは、DRIM沖側端

部における後流渦による底質の巻き上げ、流入がある程度落ち着いた後も、Case2においてはテイルのDRIM側方端部からの底質流入が続いたためと考えられる。

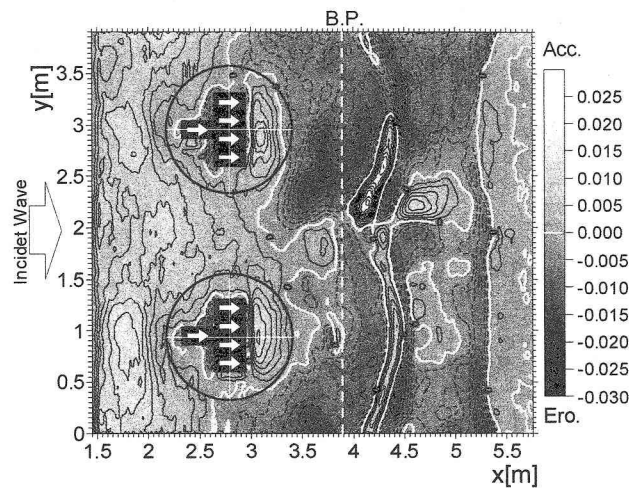


図-5 地形変化量(Case1, DRIM設置直後～4時間)

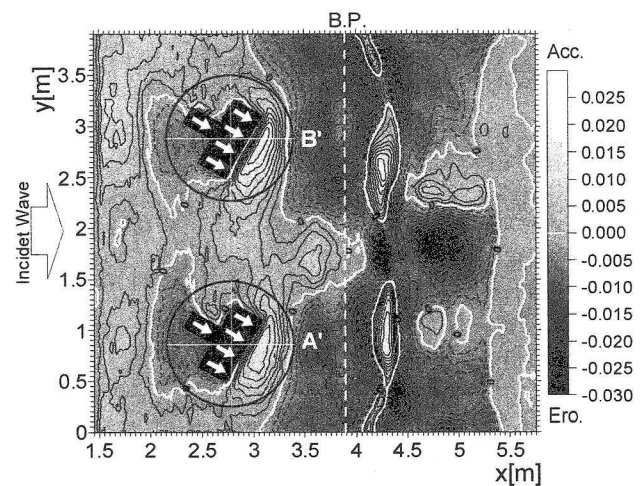


図-6 地形変化量(Case2, DRIM設置直後～4時間)

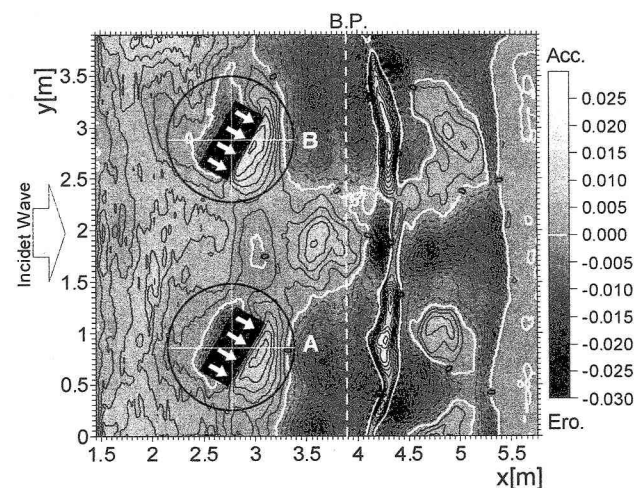


図-7 地形変化量(Case3, DRIM設置直後～4時間)

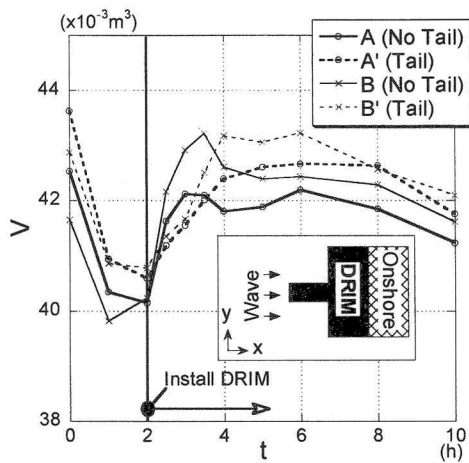


図-8 DRIM岸側の土量変化の比較 (Case2, Case3)

3. 数値モデルによる実験結果の再現

次に、山口ら⁹⁾により提案された海浜変形モデルがこのような配置案の比較検討で妥当な結果を与えることを検証するために、実験と同様の条件における再現計算を実施した。

(1) モデルの概要

本モデルは、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^{3,5)}を用いた3次元海浜断面変形モデルで、DRIMの効果を検討できる。モデルは図-9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。

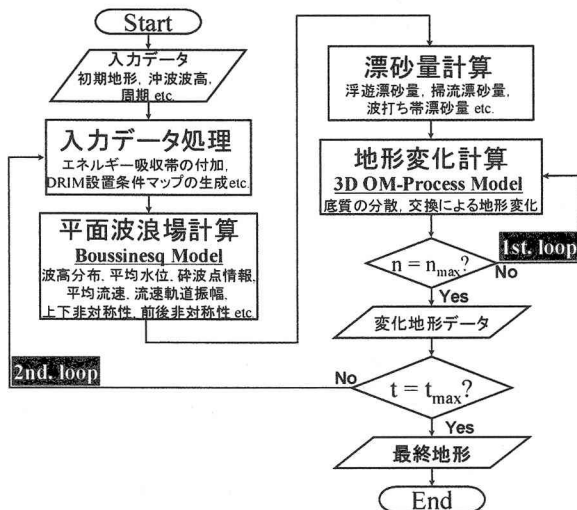


図-9 計算フロー

まず、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¹¹⁾を用いた。

漂砂量の算定では、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_i と総体的移動速度 V_{ig} を用いてモデル化している(図-10)。ある砂れんより移動する底質の総量 Q_i 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。

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

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。

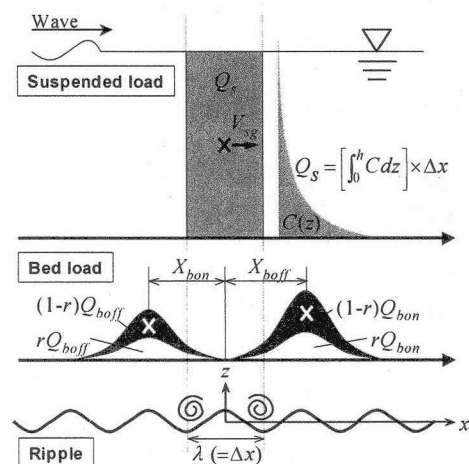


図-10 掃流砂と浮遊砂の分離の概念⁵⁾

Q_i を輸送する速度 V_{ig} 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_i で除して求める。

$$V_{ig} = \frac{(1-r)(Q_{bon}V_{bon} + Q_{boff}V_{boff}) + Q_s(V_{sg} + \alpha_l U)}{Q_i} \quad (2)$$

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⁵⁾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、 α_l は戻り流れが浮遊砂輸送に及ぼす寄与率である。

地形変化の計算では、山口ら⁹⁾が提案した3D OM-Processと呼ばれる手法を用い、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-11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_0 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_{rg} 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。

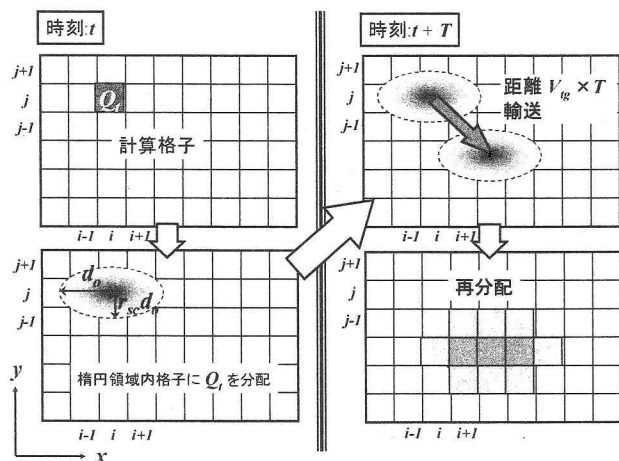


図-11 底質の分散移動モデル

楕円状の分布範囲計算においては、山口ら⁹⁾では幾何学計算により大小2つの楕円領域を決定後、それぞれの楕円領域に一樣に Q_i を分配していた。この計算手法では、特に広い領域を計算する場合に幾何学計算の計算量が大きくなり、計算時間の面で不利であった。また、楕円領域内にほぼ一樣に Q_i が分布するため、底質の分散効果を若干過大評価する傾向にあった。そこで、計算の高精度化、計算速度の向上のために、以下の関数を分配率として用いることで、中央部の底質濃度が高い状況を模擬しつつ、幾何学計算なしに Q_i の分配量を決定できるようにした。

$$f(x, y) = e^{-\left\{\frac{2(x'-x_0)^2}{a}\right\} - \left\{\frac{2(y'-y_0)^2}{b}\right\}} \quad (3)$$

$$\text{ただし, } \begin{cases} x' = x \cos \theta + y \sin \theta \\ y' = x \sin \theta - y \cos \theta \end{cases}$$

ここで、 x_0, y_0 は計算対象格子中央の座標値、 x, y は移動先の座標値、 θ は波向、 a, b は分配範囲となる楕円の長径と短径であり、波の底面軌道振幅により決定される。

(2) 計算結果

計算は、実験に対応する条件においてそれぞれ実施した。まず、波向に対して斜めに置いた場合のDRIM端部からの底質供給効果の再現性を検討する。

図-12はCase1、図-13にCase2の実験の再現計算結果を示す。漂砂量に関して定量的な再現が困難であったため、計算では波の作用時間を30分としているが、定性的にはDRIM岸側の堆積、底質供給場所の

侵食などのDRIMの漂砂制御効果を再現している。DRIM岸側の堆積域の広がりに着目すると、Case1に比べてCase2では堆積領域が沿岸方向に広がりを見せている。DRIM沖側の侵食域を比較すると、Case2のほうが若干広く分布している。また、斜めに設置したことにより、漂砂制御を意図した方向に堆積領域が広がっており、設置角の影響が反映されている。これらの結果から、本計算モデルは設置角の違いによるDRIM周辺の地形変化の違いを概ね再現していると思われる。

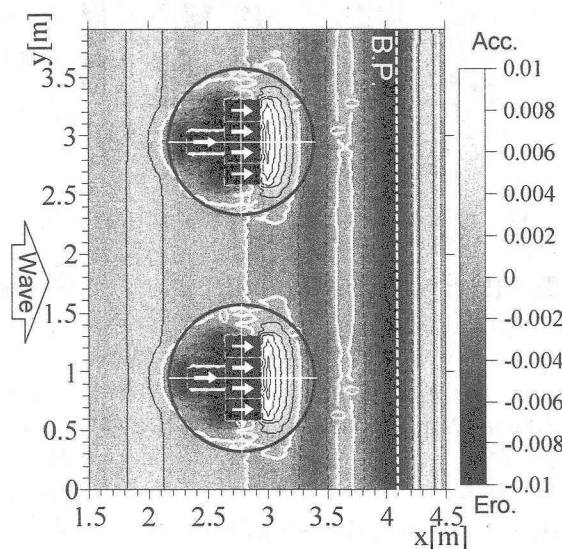


図-12 地形変化量 (Case1 再現計算, 波作用30分)

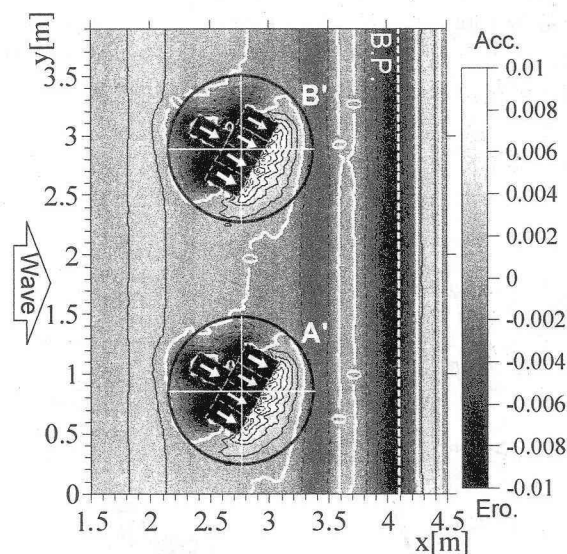


図-13 地形変化量 (Case2 再現計算, 波作用30分)

次に、テイルの底質供給効果について検討する。図-14はテイルのない場合の計算結果である。DRIM沖側の侵食領域の広がりが若干過大評価されているが、図-13同様、DRIMによる特徴的な地形変化、および漂砂方向制御効果が再現されており、図-7の実験結果との対応も概ね良好である。

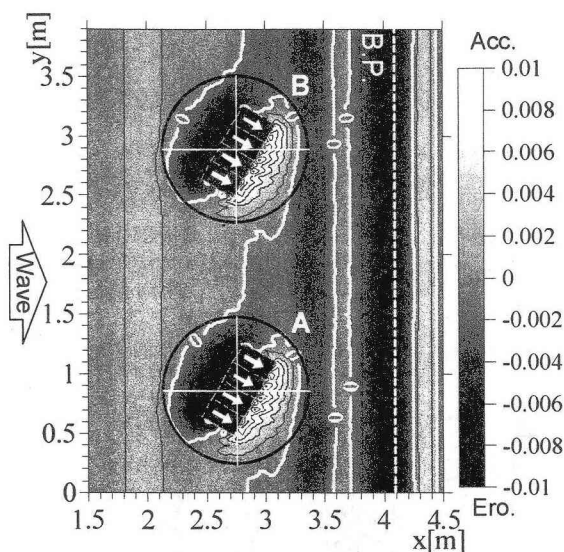


図-14 地形変化量(Case3 再現計算, 波作用30分)

図-15は、図-8同様に、DRIM岸側の矩形領域における土量の変化を計算した結果である。A、A'、B、B'は、図-14、図-15中のDRIMに対応している。図より、計算開始(DRIM設置)後から徐々にテイルのあるCase2の土量がCase1の土量を上回っていることがわかる。これは、実験においてもDRIM設置後に見られた傾向で、テイルから供給された底質が岸側に輸送された結果生じたDRIM岸側の局所的堆積現象が、計算においても再現された結果であると考えられる。しかし、実験では初期段階でDRIM沖側からの底質供給量が多く、DRIM設置直後はCase3の土量がCase2の土量を上回っていたが、計算ではこの現象が見られない。これは、実験ではDRIM沖側端の底質の大半がDRIMの後流渦に巻き上げられてDRIM上に供給されていたが、計算ではこの現象を考慮していないことから、結果に差異が生じたものと考えられる。

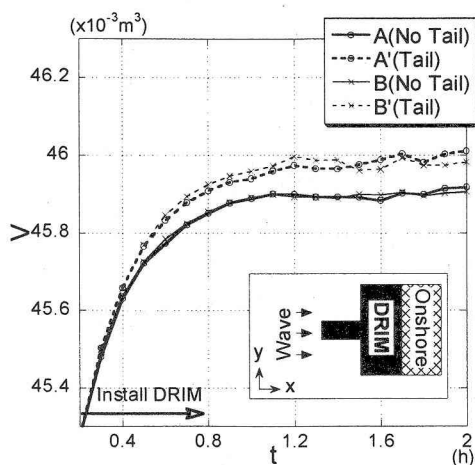


図-15 DRIM岸側の土量変化の比較(再現計算)

4. 結語

DRIMの機能を応用した新しい平面配置法による海岸侵食対策工を提案し、その有効性を3次元移動床実験により確認した。また、DRIMの配置案を比較検討する際に有用となるDRIMの効果を考慮した海浜変形モデル²⁾に若干の改良を加え、その適用性を調べるために実験の再現計算を行った。DRIM端部の境界処理に若干の課題が残るものの、DRIM岸側の堆積効果やテイルの底質供給効果など、実験において見られたDRIMの漂砂制御効果による現象に関して概ね良好な計算結果が得られた。これらの結果は、DRIMの応用的な適用法を提案・開発していく上で有用な知見となるものと考えられる。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 小野信幸・入江功・武若聡：漂砂対策検討のための2次元海浜変形予測システム，海岸工学論文集，第44巻，pp.501-505, 1997.
- 4) 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.
- 5) 小野信幸：岸沖漂砂制御による海浜の安定化に関する研究，九州大学学位論文, 2003.
- 6) 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.
- 7) 山口洋・小野信幸・入江功・村瀬芳満：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，海洋開発論文集，第18巻，pp.443-448, 2002.
- 8) 小野信幸・入江功・緒方菊・山口洋：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, 2002.
- 9) 山口洋・小野信幸・入江功・渡部耕平・村瀬芳満：歪み砂れんマット(DRIM)による3次元の漂砂制御に関する研究，海岸工学論文集，第50巻，pp.601-605, 2003.
- 10) Yamaguchi, H. I. Irie, S. Shin, Y. Murase: A study to control 3-dimensional sediment transport by a distorted ripple mat (DRIM), Proceedings of Techno Ocean 2002 International Symposium, 2002.
- 11) Madsen, P.A. and O.R. Sorensenn: A new form of the Boussinesq equations with improved linear dispersion characteristics Part2, Coastal Engineering, Vol. 18, pp.183-204, 1992.