

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

小野 信幸*・入江 功**・緒方 菊***・山口 洋****

自然の海浜は暴浪時の侵食と静穏な波による回復とを繰り返すビーチサイクルのもとで平均的に安定状態にあると考えられる。しかしながら、人工的に養浜された海岸では、暴浪時の沖側への土砂流出量と静穏時の回復量がバランスせず、結果として侵食が続くため、何らかの砂流出防止対策が必要となる。本研究では、この流出防止対策として、底層の流れを一方方向に制御する機能を持つ歪み砂れん (DRIM) を沖浜帯に設置する工法について移動床実験により検討する。入射波にはより現実的な条件として、波の特性が時間的に変動し海浜断面の侵食と回復が繰り返される場合を対象とした実験を行い、DRIM の設置が養浜断面の安定化に有効であることを確認した。

1. はじめに

近年、離岸堤・潜堤などの海岸環境へ与えるインパクトの大きい構造物に変えて、防災・環境・利用面に優れた海岸整備が望まれるようになってきた。養浜により豊かな砂浜を造成することは、この要望に応え得る有効な海岸整備の方法であるが、砂資源に乏しいわが国の場合、養浜砂の流出を如何にして防止するかが重要な課題である。

通常、海浜は、暴浪時の侵食と静穏な波による回復を繰り返すビーチサイクルの下で、平均的に安定状態にあると考えられる。しかしながら、図-1 のように人工的に養浜された海岸では、断面勾配が元の海浜より急勾配になり、暴浪時の沖側への土砂流出量と静穏時の回復量がバランスせず、結果として侵食が続くことが予想される。

本研究は、養浜砂の流出防止工法として、図-1 のように沖浜帯の海底に歪み砂れんマット (以下、DRIM: Distorted Ripple Mat) を設置し、その砂流出阻止効果を検討するものである。DRIM は、底層の流れを一方方向に制御する機能を持っており、これまで、その機能が有効に働くための設置位置などの条件について検討してきた (入江ら, 1993; 武若ら, 1998; 小野ら, 2001)。ここでは、より現実的な条件として、波の特性が時間的に変化してビーチサイクルをなす場合を対象とした移動床実験を行った。

2. 実験方法

(1) 歪み砂れんマット (DRIM)

DRIM の形状を図-2 に示す。DRIM は、通常の海底に形成される砂れん形状を正弦波形で近似し、その正弦波形に対して隣り合う峰-谷間の水平距離の比が 1:3 になるように歪めた形状をなすようにコンクリートで成型



図-1 DRIM による養浜砂の流出防止対策

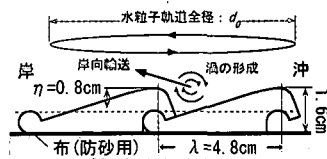


図-2 DRIM の形状と漂砂制御機能の模式図

したものである。DRIM 上は、波によって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を一方方向に制御する機能を持つ。実験では、波長 $\lambda = 4.8$ cm, 波高 $\eta = 0.8$ cm の DRIM ブロックを図-2 のように連結させて岸沖方向に 22 列 (1 m 区間) 設置した。また、ブロックの沈下や下部からの底質の湧き出しがないように、ブロックの下に布を敷いて設置した。

(2) 実験条件

実験は、長さ 28 m, 幅 0.3 m, 高さ 0.5 m の二次元造波水路により行った。水路の一端に勾配 1/15 の固定床スロープを設置し、その上に軽量物質のメラミン砂 (粒径 $D = 0.2$ mm, 比重 $s = 1.5$) を 15 cm 厚で敷き詰めて模型海浜を作成し、斜面の沖側端部の水深は 35 cm に設定した。移動床実験でビーチサイクルを再現した例として、波形勾配が異なる 2 種類の波を交互に作用させた砂村ら (1981), 岡田ら (2000) の実験がある。本研究でもこれらを参考に、入射波には侵食性の波 (有義波高 $H_{1/3} = 8$ cm, 有義周期 $T_{1/3} = 1.2$ s) と堆積性の波 ($H_{1/3} = 4$ cm, $T_{1/3} = 2.0$ s) の 2 種類とし (以下では、それぞれ侵食波、堆積波と呼ぶ)、これらを交互に作用させた。図-3 は、入射波の波形勾配 (H_0/L_0) の時間変化であり、実験は侵

* 正会員 工修 九州大学大学院 助手 工学研究院環境都市部門
** 正会員 工博 九州大学大学院 教授 工学研究院環境都市部門
*** 学生員 九州大学大学院工学府海洋システム工学専攻
**** 正会員 工修 若築建設

表-1 実験条件

case	入射波	DRIM の設置	備考
Case Aw	堆積波のみ	なし	$H_{1/3}=4\text{ cm}$, $T_{1/3}=2.0\text{ s}$
Case Ew	侵食波のみ	なし	$H_{1/3}=8\text{ cm}$, $T_{1/3}=1.2\text{ s}$
Case 1	サイクル A	なし	堆積波を 1.5 h, 侵食波 0.5 h を 10 サイクル
Case 2		$X=300\sim 400\text{ cm}$	
Case 3		$X=300\sim 400\text{ cm}$	7.5 h 後に DRIM を設置
Case 4	サイクル B	なし	堆積波 3.5 h, 侵食波 0.5 h を 5 サイクル
Case 5		$X=300\sim 400\text{ cm}$	

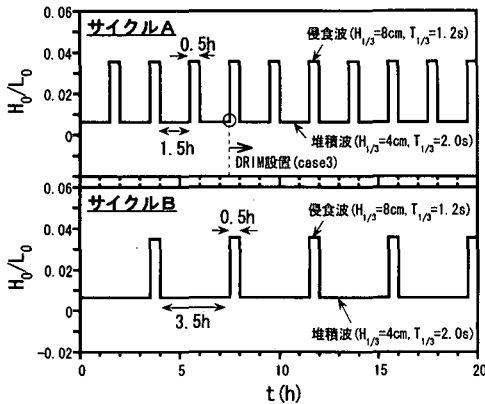


図-3 入射波の波形勾配の時間変化

食波と堆積波の作用時間の間隔を変えた 2 つのサイクル (サイクル A, B) について行った。この波形勾配 (H_0/L_0) が緩・急の 2 種類の波は、堀川・砂村の断面形状分類指標で侵食型及び堆積型の海浜が形成される条件と底質の移動限界がほぼ等しくなる条件を考慮して定めた。

実験条件は表-1 に示す全 7 ケースである。まず、堆積波と侵食波のそれぞれに対する地形の変化傾向の特徴を調べるため、Case Aw と Ew では、堆積波と侵食波のみを 20 時間作用させた。ビーチサイクルのもとでの DRIM 設置の効果を調べる実験では、Case 1~3 はサイクル A (堆積波 1.5 h, 侵食波 0.5 h) を 10 サイクル、Case 4, 5 ではサイクル B (堆積波 3.5 h, 侵食波 0.5 h) を 5 サイクルで、全ケースとも全 20 時間波を作用させた。Case 1, 4 は DRIM を設置しない場合で、Case 2, 3, 5 は DRIM を設置した場合である。Case 2, 5 では初期断面上 (波作用時間 $t=0\text{ h}$) に DRIM を設置し、Case 3 ではビーチサイクルの途中で DRIM を設置した場合の影響を調べるため、4 サイクル目の堆積波終了後 (波作用時間 $t=7.5\text{ h}$) に DRIM を設置した。地形の測定は 30 分間隔でレーザー式砂面計により計測した。

3. 実験結果

(1) 堆積波・侵食波のみ作用させた場合の地形変化
本実験では、室内実験レベルの水槽でより大スケールの現象を再現するため、底質に軽量物質のメラミンを使用した。軽量物質を用いる移動床実験には、底質の移動形態や形成される海浜断面の特徴などが砂を用いた場合と異なるため、その特徴を予め把握しておく必要がある。そこで、堆積波及び侵食波のみを作用させたケースについて、地形変化と底質の移動形態の特徴を以下に述べる。

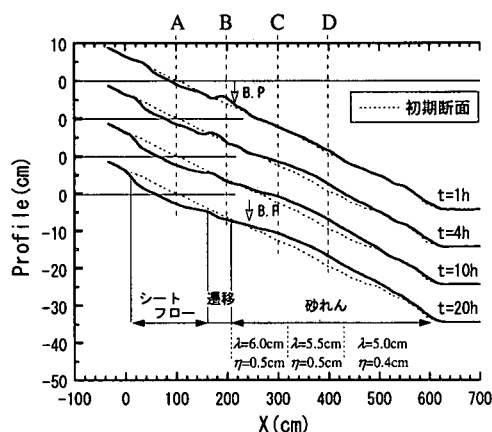
図-4, 5 は、それぞれ堆積波及び侵食波のみを 20 時間作用させた場合の地形変化の様子を示したものである。上段は断面の変化状況、中段は断面変化図における A~D の位置を冲向きに通過した土砂量 Q の時間変化、下段は汀線の後退量である。 Q は、各時刻の断面データと初期断面との水深差を沖側から A~D の各位置まで積分して求めた量であり、 Q が増加する場合は、その位置で冲向きの土砂通過が生じたことを示す。

まず、堆積波の場合の断面変化は、1 時間後で小規模な沿岸砂州が形成され、それが時間の経過とともに規模を縮小しつつ徐々に岸側へ移動し、20 時間後にはほぼ消滅した。しかし、汀線付近は徐々に侵食され、砕波点より沖側の広い範囲で堆積が生じており、堆積波とはいえ正味の漂砂は冲向きであった。そのため、A~D の各位置における Q の変化傾向は時間の経過とともに緩やかに増加しており、冲向きの漂砂が生じたことを示している。また、 Q の変化は 15 時間以降でほぼ平衡となり、これ以後顕著な地形変化は生じなかった。汀線の後退もまた Q とほぼ同様の变化傾向であった。

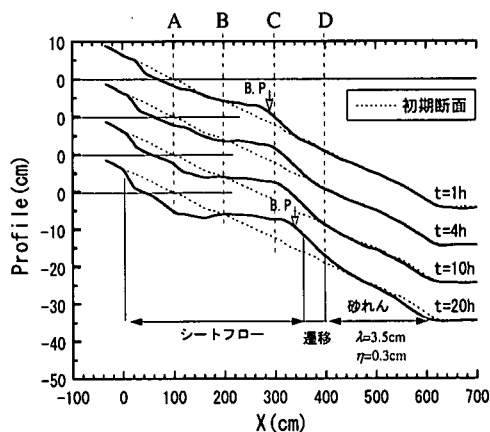
一方、侵食波の場合の断面変化は、1 時間後に $X=200\sim 350$ の範囲に形成されている沿岸砂州が、その規模を拡大しつつ徐々に沖側へ移動した。岸側の A, B 地点での Q 及び汀線の後退は、波作用後 2 時間程度で急激に増加し、5~10 時間の間で一旦平衡になった後、再び冲向きの土砂通過や汀線の後退が生じた。また、D 地点では岸向きの漂砂が生じており、沿岸砂州の形成規模は堆積波の場合よりも非常に大きかった。

図-4, 5 の上段の断面変化図の中には、それぞれの最終地形 ($t=20\text{ h}$) における漂砂の移動形態を併せて示した。図中の λ と η は観察された砂れんの波長と波高である。堆積波・侵食波の両方において、砕波帯内でシートフロー、沖浜帯で砂れんの形成が見られた。ただし、本実験での砂れんの波形勾配の平均値は 0.08 であり、通常の 0.10~0.20 より若干小さめであった。

これらのことから、地形変化が平衡状態へと落ち着く様子や底質の移動形態などの通常観察される漂砂現象はメラミンを用いた実験でも十分再現されていると判断さ



図一 堆積波のみ作用時の海浜地形変化



図二 侵食波のみ作用時の海浜地形変化

れる。ただし、堆積波及び侵食波による地形変化はどちらも侵食性であった。この理由として、波の選定には底質に砂を用いた実験より整理された堀川・砂村の判定指標を用いたが、軽量物質では同一粒径の砂の場合より沈降速度が小さくなるため侵食型の海浜変形が生じやすくなるという性質（河田ら、1992）が影響したものと考えられる。

(2) 波の特性が時間的に変動する場合

a) ビーチサイクルの再現と DRIM の効果 (Case 1 & 2)

入射波を時間的に変化させた場合の実験結果について以下に述べる。図一は DRIM なしの Case 1, 図二は DRIM を設置した Case 2 について、それぞれ最終サイクル ($t=18\sim 20$ h) の地形の変化状況を示したものである。DRIM の設置範囲は、図二中の $X=300\sim 400$ cm である。まず、DRIM なしの場合の地形変化は、9 サイクル後の侵食波終了後 ($t=18$ h) に $X=200\sim 300$ cm の範囲に形成された砂州が、その後の堆積波の作用により規模を縮小しつつ岸側へ移動し、 $X=150\sim 200$ cm の範囲に

小規模の砂州が形成された状態で落ち着いた。その後、 $t=19.5\sim 20$ h で侵食波が作用すると、この砂州が沖側へ移動し、再び $X=200\sim 300$ cm の範囲に砂州が形成された。実験では、このような侵食波で沖向き、堆積波で岸向きといったビーチサイクルが 4 サイクル ($t=8$ h) 以降で再現された。

DRIM ありの Case 2 の場合も砂州の移動は同様の傾向であった。しかし、Case 1 では $X=300$ cm より沖側の広い範囲で堆積が生じているのに対し、Case 2 では DRIM の沖側でほとんど水深が変化していないという点で違いが見られた。Case 1 での沖側の広範囲の堆積は、前節での堆積波のみを作用させた場合の地形と類似しており、堆積波の作用時に徐々に砂が流出したものと考えられる。

図三は断面の変化傾向をより詳しく見るため、図一、二に示す A~D の各位置における沖向き通過土量 Q の時間変化を求めたものである。A, B は碎波帯内, C, D は沖浜帯に位置する図中の縦線でハッチした部分は侵食波を作用させた時間を示している。まず DRIM なしの

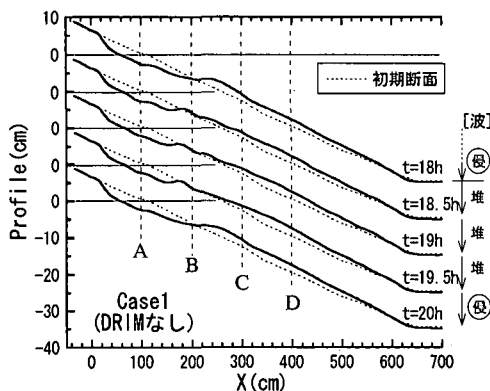


図-6 Case 1 (DRIM なし) における海浜地形変化の様子

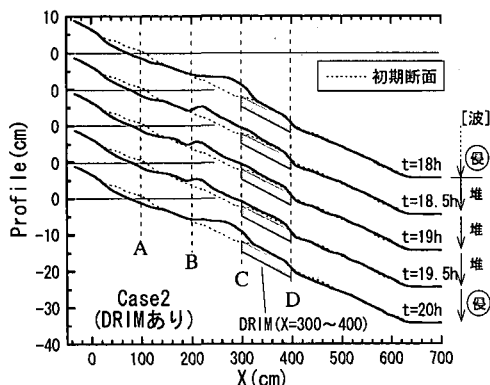


図-7 Case 2 (DRIM あり) における海浜地形変化の様子

場合、図より、A、B の位置では侵食波で沖側へ流出、堆積波で岸側へ回復する傾向にあるが、沖側の C、D では、むしろ侵食波で回復し、堆積波で流出する傾向にあった。また、Case 1 の B 地点の Q の変化に着目すると、侵食と回復を繰り返しつつも平均的には侵食傾向が継続する養浜断面の特性がよく再現されていることがわかる。

一方、DRIM を設置した Case 2 の Q は、全ての地点で Case 1 より小さくなっていた。特に C、D (DRIM 設置の岸・沖端) では冲向きの流出がほぼゼロであり、岸側の A、B では 3 サイクル目以降長期にわたり地形が安定していたことがわかる。このような DRIM の有無による違いが地形にどの程度影響するかを比較したのが、Case 1 と 2 の最終地形同士を比較した図-9 である。図より、Case 2 の DRIM の岸側は Case 1 より多くの砂が貯留されており、DRIM により砂の冲向き流出が有効に阻止されたことがわかる。

実験時の観察では、DRIM 上の底質移動は、堆積波で C 地点を冲向きに通過して DRIM 上の $X=300\sim350$ cm の範囲に砂が堆積し、堆積した砂はその後の侵食波によって岸側へ押しもどされるといった移動をしてい

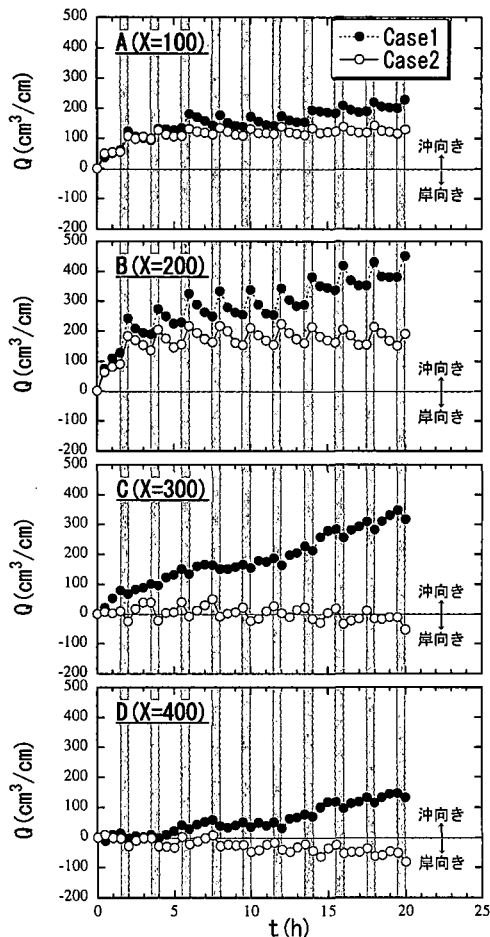


図-8 A～D の冲向き通過土量の時間変化 (Case 1 & 2)

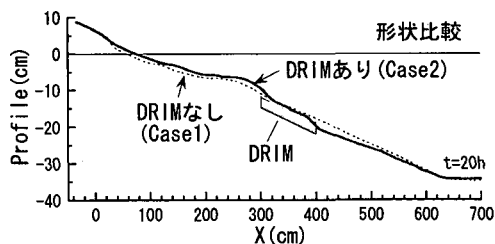


図-9 Case 1, 2 の最終断面形状の比較

た。これは、図-9 の C 地点の Q の変化からも読み取れる。このような堆積波による冲向きの流出は、侵食波で急勾配に保たれた沿岸砂州の沖側斜面が、波が堆積波に変わることにより急勾配を保つ力が弱まるためであり、DRIM はその冲向き流出を阻止するため侵食防止として働くものと思われる。

b) 途中から DRIM を設置した場合 (Case 3)

図-10 は、Case 1 と 3 での Q の時間変化を比較したも

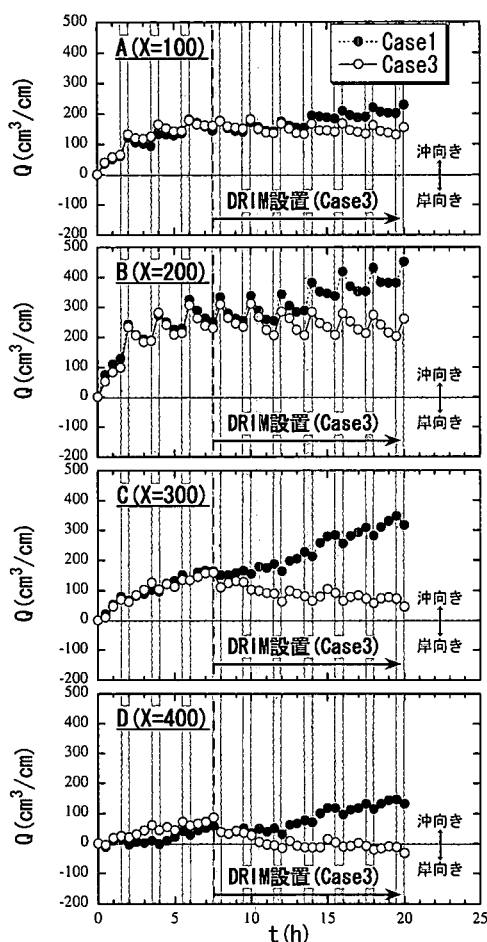


図-10 A～Dの沖向き通過土量の時間変化 (Case 1 & 3)

のである。Case 3では、Case 1における地形変化がある程度落ち着いた後 (7.5時間後) にDRIMを設置した。図より、DRIM設置前の Q は両者とも同様の変化を示し、設置後は時間の経過とともに両者の差が大きくなっていることがわかる。特に、DRIMの設置位置の岸・沖端であるC、Dの位置では、設置直後からDRIMの制御効果が現れているのに対し、Bでは設置後3サイクル目以降、Aでは4サイクル目以降に Q の差が大きくなっている。このことは、沖浜帯の一部で漂砂制御された影響は汀線付近まで徐々に伝わっていくことを意味し、DRIMによる漂砂制御の有効性を示すものと考えられる。

c) 堆積波の作用時間を長くした場合 (Case 4 & 5)

図-11は、B、Dの位置での通過土量 Q の時間変化をcase 4 (DRIMなし) とcase 5 (DRIMあり) で比較したものである。これらは、堆積波の作用時間が長いケースである。Case 1, 2の比較結果と同様にDRIMを設置した

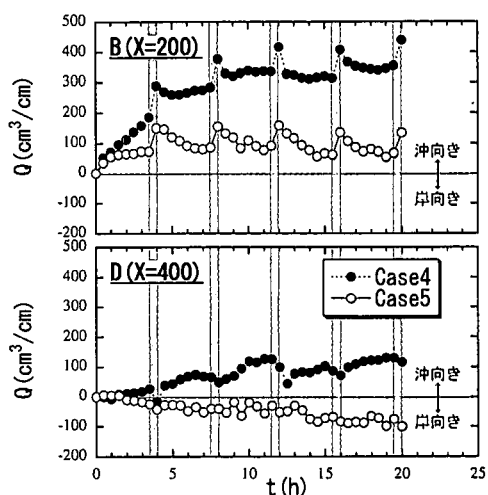


図-11 B、Dの沖向き通過土量の時間変化 (Case 4 & 5)

Case 5の Q はCase 4よりも小さい。また、Case 4, 5の最終的な流出量の差は、Case 1, 2での差に比べて大きくなっている。これは、侵食波の作用が少ないため、沖向きに運ばれる土砂量が相対的に少なく、DRIMの流出阻止効果が有効に働いたためと考えられる。

4. まとめ

堆積性の波と侵食性の波を交互に作用させ、侵食と回復を繰り返しつつも継続的な流出が生じる養浜断面の特徴を想定した実験を行った。この条件において、沖浜帯の一部にDRIMを設置すると、砂の沖向き流出が有効に阻止され、養浜断面が安定に保たれることがわかった。

参考文献

- 入江 功・小野信幸・村上啓介・橋本誠也・中村 聡 (1993): 氈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.
- 岡田 渉・浦南 満・出口一郎 (2000): 沿岸砂州を有する海浜の断面変形に関する研究, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 606-610.
- 小野信幸・入江 功・大内田佳介・桃崎真悟 (2000): 沖浜帯における平衡断面の形成機構に関する研究, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 506-510.
- 小野信幸・入江 功・横田雅紀 (2001): 氈み砂れんによる海浜断面安定化工法に関する研究, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 676-680.
- 河田恵昭・西根秀平・内海泰幸・井上雅夫 (1992): 海浜断面の領域区分と相似則, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 326-330.
- 砂村健夫・倉田雄司 (1981): 時間的に変化する波浪を用いた海浜変形に関する二次元実験, 海岸工学講演会論文集, 第27巻, pp. 222-226.
- 武若 聡・入江 功・内田雅洋・坂本寛和・渡辺桂三・小野信幸 (1998): 氈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.