

歪み砂れんによる海浜断面安定化工法に関する研究

小野 信幸*・入 江 功**・横田 雅紀***

1. はじめに

従来, 突堤や離岸堤, 潜堤などの海岸保全施設により海浜の安定化が行われてきた。しかし, 最近の海岸法改正により砂浜が防災施設として位置付けられ, 養浜により環境・利用面に優れた砂浜を保全し, その高い防護機能を生かした海岸整備が今後さらに増えていくものと考えられる。その場合, 砂資源に乏しいわが国では, 如何にして養浜砂の流出を防ぎ, 安定な砂浜を保持するかが重要な課題であると思われる。

自然海浜では, 台風や冬季季節風による暴浪が来襲すると, 戻り流れにより冲向きに運ばれた砂が碎波点付近に堆積して沿岸砂洲が形成される。この沿岸砂洲の形成は, 海浜の安定に大きく関わる要素であり砂浜海岸が防災機能をもつ所以ともされている。また, 沿岸砂洲に貯留された砂は暴浪後の静穏な波により岸側へ移動し, 海浜は元の状態に回復する。このように, 海浜は暴浪時の侵食過程と静穏な通常波浪による回復過程を繰り返しつつ長期的には安定状態にあると考えられるが, 暴浪時に沖側へ流出した大量の砂が元の状態に十分回復しなければ正味として侵食が続くことになる。もし, 沖側への砂流出を一部制御し, より大規模な沿岸砂洲を保持できれば海浜の安定化を増進させることができると考えられる。

著者らは, 沖浜帯の海底に歪んだ砂れん断面を持つコンクリートブロック(歪み砂れんブロック: 以下, 歪み砂れん)を敷き詰めることにより, 砂の沖合への流出を阻止する工法を提案し, その機能が有効に働く条件について検討してきた(入江ら, 1993; 武若ら, 1998)。また, 沿岸砂洲の形成と関連した海浜断面自身の安定化機構として, 図-1 上段のように, 沿岸砂洲の形成により急勾配となる砂洲の沖側斜面上での波形非対称性の変化が, 碎波帯内からの更なる砂流出を阻止する効果をもたらすことを実験的に確認した(小野ら, 1998, 2000)。

本研究で検討する海浜安定化工法は, 図-1 下段のよ

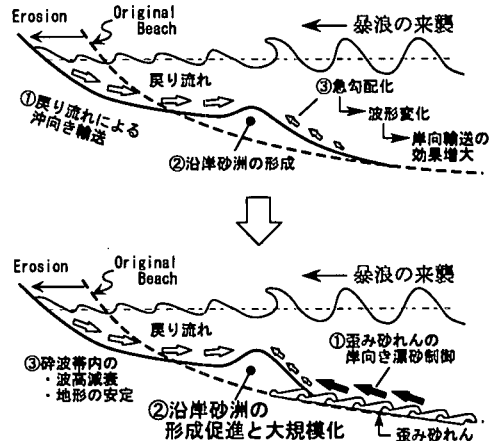


図-1 歪み砂れんによる海浜安定化の概念図

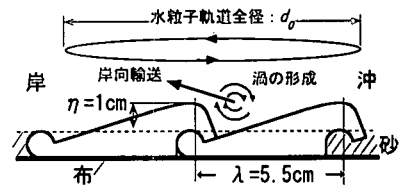


図-2 歪み砂れんブロックの形状

うに沖浜海底に歪み砂れんを設置し, これに海浜が沿岸砂洲を保持する効果を補助する役割を持たせ, 沿岸砂洲の形成促進や大規模化を期待するものである。本研究では, 特に暴浪時における沿岸砂洲の形成過程に着目し, 歪み砂れんが冲向きへの砂流出を阻止する能力やその有効な設置位置について移動床実験により検討した。

2. 実験方法

(1) 歪み砂れんブロック

図-2 に実験で用いた歪み砂れんブロックの形状を示す。歪み砂れんの波長 λ と波高 η は細砂(中央粒径 $D = 0.16 \text{ mm}$) からなる移動床に規則波(水深 30 cm, 波高 8 cm, 周期 1.5 s)を作用させて形成された砂れんの波長・波高と同じである。図-2 は, これと同じ波高・波長をもつ正弦波形に対し, 峰の左右で峰-谷間の水平距離の比

* 正会員 工修 九州大学大学院 助手 工学研究院
** 正会員 工博 九州大学大学院 教授 工学研究院
*** 学生会員 九州大学大学院工学部海洋システム工学専攻

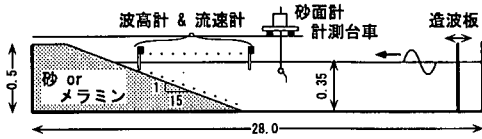


図-3 実験水槽図

表-1 実験条件

Case	初期勾配	底質	波作用時間		歪み砂れんの設置範囲
			侵食性	堆積性	
1	1/15	細砂 $D=0.16\text{ mm}$ $s=2.6$	40 h	40 h	なし
2			40 h	40 h	255~455
3			40 h		300~500
4		メラミン $D=0.2\text{ mm}$ $s=1.5$	40 h		なし
5			40 h		290~490

が1:3となるように歪めた砂れん形状をもとにブロック化したものである。この歪み砂れん上では、波により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一方に制御される。

実験時には、歪み砂れんブロックを図-2のように連結させ、岸沖方向に36列、ブロックの結合部分が砂面下になるように設置した。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た。

(2) 実験条件

実験は、図-3に示すような長さ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。水路の一端に初期勾配1/15の模型海浜を作成し、斜面の沖側端部の水深は35 cmに設定して波を作用させた。実験条件は表-1に示す5ケースである。Case 1~3では、底質に粒径 $D=0.16\text{ mm}$ 、比重 $s=2.6$ の細砂を用い、Case 4, 5では $D=0.2\text{ mm}$ 、 $s=1.5$ のメラミンを用いた。それぞれの底質に対し、表中の設置範囲に歪み砂れんを設置した場合としない場合の条件を設定し、歪み砂れんの効果を読み取れるようにした。

入射波は、細砂に対する侵食性の波(有義波高 $H_{1/3}=7\text{ cm}$ 、有義周期 $T_{1/3}=1.0\text{ s}$)と堆積性の波($H_{1/3}=4\text{ cm}$ 、 $T_{1/3}=2.0\text{ s}$)の2種類を用い、これらは堀川・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をもとに定めた。Case 1, 2では初期勾配1/15の模型海浜に侵食性の波を40時間作用させた後、その最終地形に対しさらに堆積性の波を40時間作用させた。Case 3~5については、侵食性の波のみを40時間作用させた。

測定は、2時間毎に波を止め、砂面計を用いて断面形状の測定を行い、10時間毎に波高計と電磁流速計を用いて水面波形と底面上1.5 cmにおける底面流速波形を測

定した。水面及び流速波形は、砕波帯内から沖浜帯にわたり、水平方向に10 cm間隔で46点測定した。

3. 実験結果

(1) 侵食性の波に対する海浜変形特性

a) 地形変化の特徴

ここでは、底質に砂を用いた場合の実験結果(Case 1, 2, 3)について示す。図-4はCase 1, 2, 3で侵食性の波を作用させた場合の地形変化の様子を示したものである。図は上段から、歪み砂れんを設置しない場合(Case 1)、歪み砂れんを設置した場合(Case 2, 3)で図中にその設置範囲を記した。

まず、Case 1での地形変化の特徴を挙げると、時間の経過とともに砕波帯内が侵食され、最終的に $X=220\sim 435$ の範囲に沿岸砂洲が形成された。砕波点は波作用開始直後は $X=210$ 付近であり、その後2時間ごとに5 cmずつ沖へ移動し最終的には $X=290$ 付近であった。断面内には砂れんが形成され、その平均的な形状は砕波帯内で波長4 cm、波高0.8 cm、沖浜帯では波長3 cm、波高0.6 cmであった。

Case 2, 3における歪み砂れんの設置範囲は、Case 2ではCase 1における沿岸砂洲の形成域をほぼ覆うように設置し、Case 3では砂洲頂部の沖側に位置するように設置した。断面変化は、Case 1と同様に砕波帯内が侵食され、沿岸砂洲が形成された。沿岸砂洲の発達やそれが徐々に沖向きに移動するに従って、歪み砂れん上にも砂が堆積していった。

歪み砂れんの有無に対してCase 1と2, 3を比較すると、バームや沿岸砂洲の位置や規模などの大まかな地形の特徴はほとんど変わらないが、Case 1では砂洲の沖側端が緩やかに裾を広げているのに対し、Case 2, 3ではそれが急勾配に保たれている部分で違いがみられた。

b) 底面流速

図-5はCase 1と3の32時間後の断面について、底面土1.5 cmの流速を測定した結果である。上段から有義流速振幅 $\bar{u}$ 、定常流速 U 、及び32時間後の断面形状である。まず、 $\bar{u}$ については、Case 1, 3でほぼ同じである。 U については、Case 1では沿岸砂洲の頂部より沖側領域に有意な流れは生じていないが、Case 3では岸向きに制御された流れが生じていることがわかる。この岸向き流れは、砕波帯内の戻り流れとほぼ同程度の流速である。ただし、岸向き流れが生じている範囲は歪み砂れんが露出している範囲に対応し、歪み砂れん上に砂が堆積している範囲には制御された流れは生じていない。また、岸沖漂砂に深く関連する流速波形の非対称性についても比較したが、歪み砂れんの有無による違いは認められず、歪み砂れんの設置は波の特性を大きく変化させず、底層

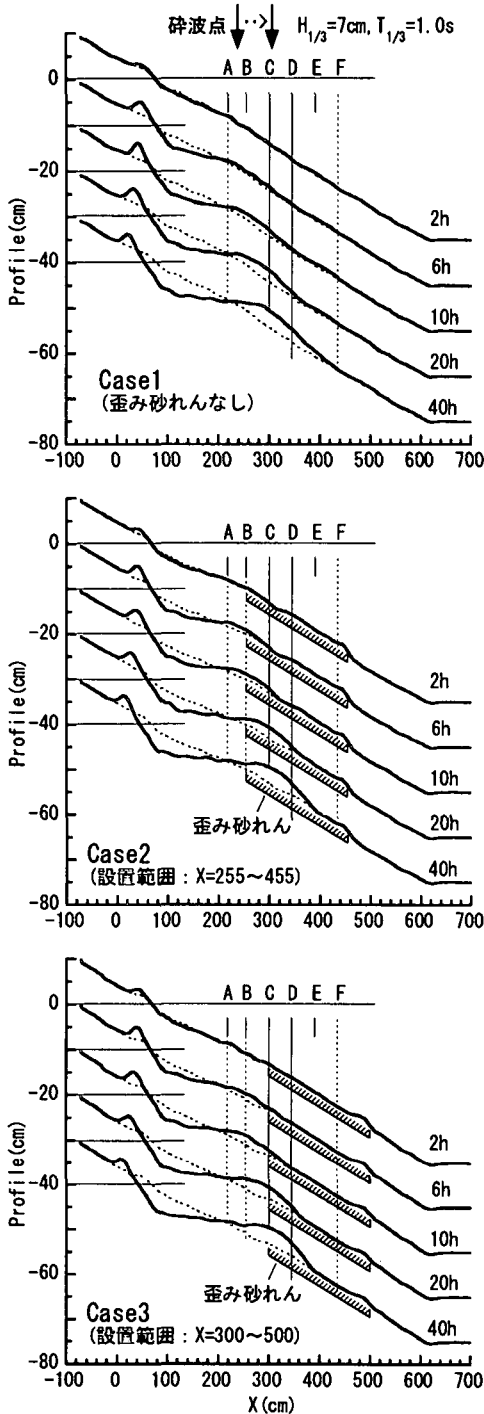


図-4 Case 1, 2, 3 の海浜地形の時間変化

流れのみを制御することがわかる。

c) 断面通過量

図-4 中に示す A~F の位置は、A が Case 1 の最終断面 (40 h) における沿岸砂洲の岸側端 ($X=220$)、F が沖

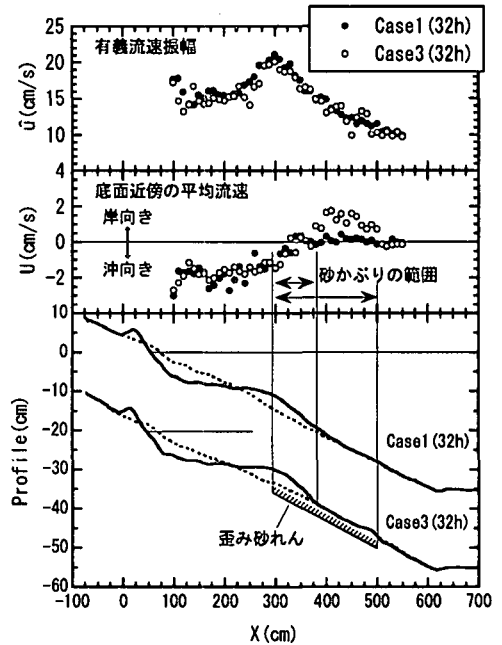


図-5 底面近傍の流速振幅と平均流速 (32 時間後)

側端 ($X=435$) であり、B は Case 2 での歪み砂れんの設置位置の岸側端部 ($X=255$)、C は沿岸砂洲の頂部位置でかつ Case 3 での設置位置の岸側端、D、E は C~F 間を 3 等分する位置でそれぞれ $X=345$, 390 である。

図-6 は測定された地形データに対し、初期断面を基準として水深変化量を沖側から積分し、切断面 A~D を沖向きに通過した土砂量 Q の時間変化を求めたものであり、同一の切断面毎について Case 1~3 を比較した。図より、Case 1 では A~D のどの断面においても波作用直後から沖向きに砂が通過していたことがわかる。歪み砂れんを設置した Case 2, 3 では B, C, D と沖にいくに従って沖向き通過量がほぼゼロである時間が長くなっており、この間では歪み砂れんが沖向き流出を阻止していたことがわかる。最も沖側の D 断面で比較すれば、流出阻止時間は Case 2 で 16 時間、Case 3 は 26 時間であった。現地スケール海浜との時間の縮尺関係はさらに明らかにする必要があるが、単純に波数で換算すると周期 10 s の暴浪が 6 日、及び 10 日間に相当し、比較的長期の暴浪にも十分耐えて流出を阻止するものと考えられる。

設置位置が異なる Case 2, 3 を比較すると、切断面 A では波作用後初期の段階で Case 1 とほぼ同じ流出量であるが、Case 2 では 10 時間以後、Case 3 で 24 時間以後で Case 1 より流出量が小さくなっている。これは、沖側に歪み砂れんを設置した影響が岸側へ伝達していることを示し、海浜の一部を制御した影響が海浜全域へ伝わることを示唆しており、非常に興味深い。また、切断面 D に

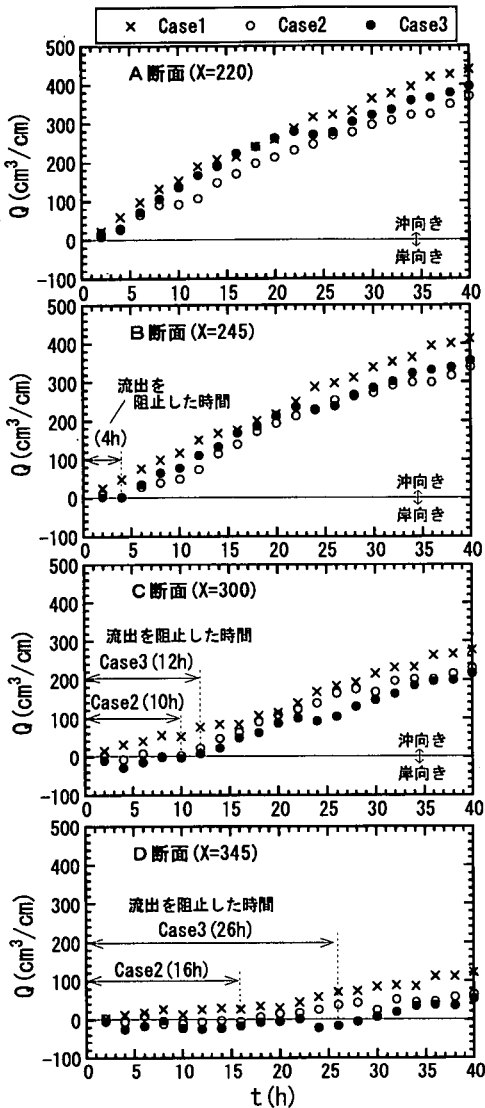


図-6 切断面 A～D の冲向き通過土量の時間変化

において、Case 3 の場合に Case 2 よりも流出阻止効果が持続しているが、これは、Case 3 の方が歪み砂れんの高さ分だけ、歪み砂れんの岸側に沿岸砂洲の形成として貯留可能な砂量が多くなったためと考えられる。

(2) 堆積性の波に対する海浜変形特性

Case 1, 2 において侵食性の波を 40 時間作用させた後、その断面形状に対して更に堆積性の波を 40 時間作用させ、地形が回復の様子について調べた。

図-7 は Case 1, 2 についての堆積性の波を作用させた後の最終断面を侵食性の波による最終断面とともに示したものである。地形変化の特徴は、両ケースとも侵食性の波により形成された沿岸砂洲の頂部付近の砂の一部が岸側へ移動し、バームの形成規模が大きくなっている

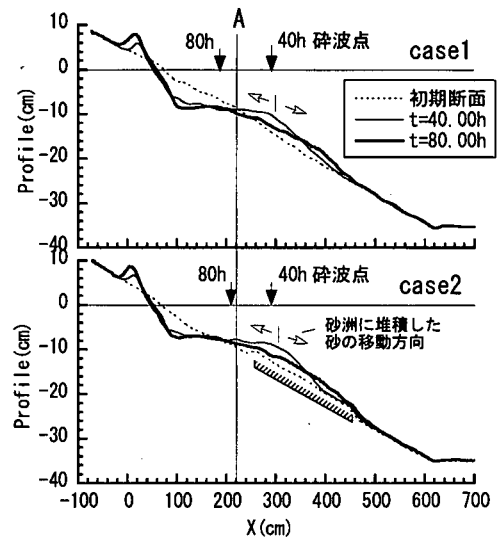


図-7 堆積性の波作用後の地形比較

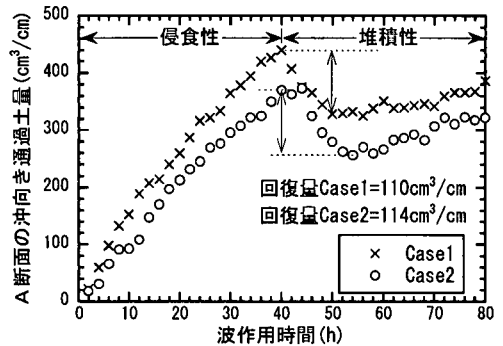


図-8 A 断面を通過する土量の時間変化

が、 $X > 350$ の範囲にも新たな堆積が生じている。実験時の観察によると、波の変更により、砂れんによる砂の巻き上げが生じる範囲が大きく変化し、それが水深の浅い範囲に限られたことや、侵食性の波により急勾配となった沿岸砂洲の沖側斜面が徐々に崩壊していったことで砂洲の一部は冲向きへ流出したものと考えられる。

図-8 は侵食性、堆積性の波を通じ、切断面 A を冲向きに通過する土量の時間変化をプロットしたものである。図より、海浜の回復は堆積性の波に変更後 10 時間程度で生じており、その後再び緩やかな冲向き流出へと転じたことがわかる。断面 A を通過して岸向きに回復した土量は、Case 1, 2 でほとんど変わらないが、侵食性の波作用時に歪み砂れんの効果により減少した冲向き通過土量は、堆積性の波が作用している間中常に維持されていた。このことは、養浜後の海浜断面のように冲向き砂流出が生じる海浜に歪み砂れんを設置した場合には、砂流

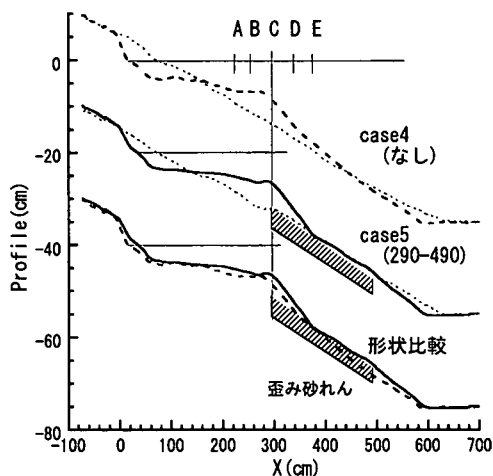


図-9 Case 4, 5 の最終断面形状の比較

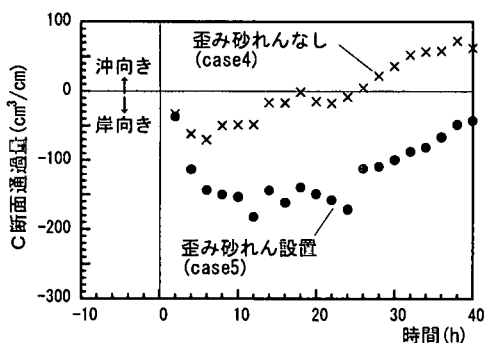


図-10 C断面を通過する土量の時間変化

出を抑制し、かつその効果が持続することを示しており、養浜断面の保全効果が期待できる。

今回の実験では、海浜の回復過程は十分に再現できていないが、実際の海浜における海岸過程を再現しつつ、歪み砂れんの影響を評価するには、先に堆積性の波により準平衡海浜を作り、これを初期断面とした実験を行うことや、侵食性から堆積性へと波を変更する際に砂の移動限界が大幅に変わることがないように、波を段階的に変化させていく等の実験上の工夫が必要と考えられる。

(3) 軽量物質を用いた移動床実験結果

砂を用いた実験では移動限界に問題があったため、Case 4, 5 で軽量物質(メラミン)を用いた実験を行った。この場合、同一の波を作用させても底質の巻き上げ量が大きくなるため、砂の場合より相対的にスケールの大きい現象を観察したことになる。図-9 に Case 4, 5 の最終

断面形状(上, 中)とそれらを比較したもの(下)を示し、図-10 に C 断面(歪み砂れん設置位置の岸側端)の通過量を比較した結果を示す。

形成された地形の特徴は、砂を用いた場合と同様に碎波帯内が侵食され、沿岸砂洲が形成された。砂を用いた場合と異なるのは、バームが形成されないこと、碎波帯内の水深が浅くなっていること及び沿岸砂洲の形成領域($X=240\sim360$)で底質移動がシートフローとなっていたことである。また、図-10 の断面通過量からもわかるとおり、波作用後初期の段階では、Case 4, 5 の両方で切断面 C を岸向きに通過する漂砂が生じていた。

歪み砂れんの影響としては、Case 4 に比べ、Case 5 の方がより沖側の砂が岸側に運ばれており、底質移動が岸向きの条件においても歪み砂れんが岸向きの漂砂移動を阻害することなくその制御効果が働いていたことがわかる。その結果、Case 5 の沿岸砂洲は Case 4 と比べて若干大規模化し、汀線付近の侵食量も少なくなっていた。

4. ま と め

本研究で得られた主要な結論は以下の通りである。

- (1) 歪み砂れんは暴浪時に海浜砂の流出を防ぎつつ沿岸砂洲の形成を促進する効果をもつことを確認した。
- (2) その設置範囲は沿岸砂洲が形成されると予測される範囲の頂部より沖側に設置すると効果的である。
- (3) もともと岸向き漂砂が発生する条件においても、歪み砂れんの設置が底質の岸向き移動を阻害しないことが確認された。そのため、暴浪-静穏の繰り返しの過程において、歪み砂れんは常に岸向きの漂砂へ寄与し、長期的な砂の流出阻止効果が期待される。

謝辞：本研究の遂行において、文部省科学研究費(平成 12 年度奨励研究 A)の補助を受けた。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 入江 功・小野信幸・村上啓介・橋本誠也・中村 聡 (1993): 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.
- 小野信幸・入江 功・高畑栄治 (1998): 海浜断面の安定化機構に関する実験, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp. 501-505.
- 小野信幸・入江 功・大内田佳介・桃岩真悟 (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.
- 武若 聡・入江 功・内田雅洋・坂本寛和・渡辺桂三・小野信幸 (1998): 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.