

歪み砂れんマットによる 3 次元的漂砂制御に関する実験

山口 洋* ・小野 信幸** ・入江 功***
申 承 鎬**** ・村瀬 芳満*****

全国的に発生している海岸侵食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 (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 1 方向に制御する。本研究では、平面水槽を用いて底質の拡散移動実験と 3 次元移動床実験を行い、DRIM の 3 次元的漂砂制御機能を検証した。底質の拡散移動実験では、波向に対して斜めに設置した DRIM 上で、底質が DRIM 設置方向に支配されつつ拡散移動した。3 次元移動床実験では、意図した方向への移動堆積に加え、制御効果がモデル海浜上の広範囲に及ぶことを確認した。

1. 緒 言

全国的規模で発生している砂浜海岸の侵食問題は、年々深刻化している。これに対して、これまで護岸、突堤、離岸堤などを用いた対策が行われてきた。また最近では、景観を考慮した人工リーフ、潜堤など、様々な構造物による対策が施され、成果をあげている。

しかし、これらは主に大規模な構造物で構成され、海岸における景観を阻害する、レクリエーション活動に制約を与える、海亀の産卵などの生物環境に悪影響を与えるなどの側面も持っている。また、これらの構造物の施工により、新たな海岸侵食問題が発生することも少なくない。また、1999 年の海岸法の改正においては、その目的に、「海岸の防護、国土の保全」に加えて「海岸環境の整備と保全」および「公衆の海岸の適正な利用」が追加され、環境に配慮した海岸整備技術が求められている。

これらの背景に対して著者らは、安価で景観・環境・利用面に優れた歪み砂れんマット (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、漂砂を 1 方向に制御する。その 2 次元的漂砂制御機能は、これまでの研究(小野ら, 2001 など)において、断面実験や数値計算を用いて、多くの研究成果が蓄積されてきた。しかし、3 次元的漂砂制御機能については、入江ら (1992) が小型平面水槽において DRIM 上の底層流に関する検討を行うにとどまっております。3 次元移動床実験などの砂浜海岸における漂砂を想定した検討は、未だ十分に行なわれていない。そこで本研究では、中型平面水槽において DRIM を使用した底質の拡散移動実験と 3 次元移動床実験を行い、DRIM の 3 次元的漂砂制御に関する基礎的機能を検証し、より具体的な問題に対処するための DRIM 工法について検

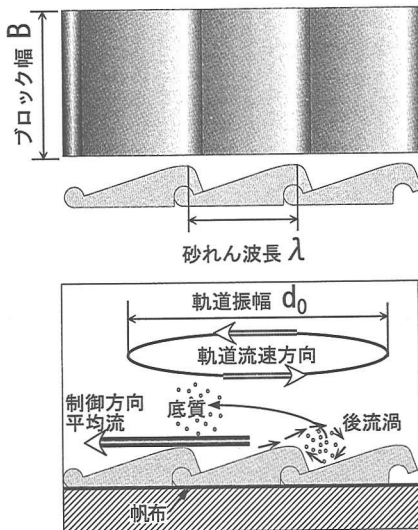


図-1 DRIM 概念図

討を行なった。

2. 研究 内 容

2.1 DRIM による漂砂制御

DRIM 上では、波の通過に伴い、DRIM の峰の両側において形成される渦の規模が非対称となることにより、図-1 のように底層の流れが一方に制御される。一方制御とは、図-1 において右左どちらから進行してくる波に対しても、同じ方向に底層流を制御できることを示している。武若ら (1998) によると、波の軌道振幅 d_0 に対する DRIM の波長 λ の比 d_0/λ が 1.7 の時、DRIM の底層流制御効果は最大になるとしている。

さらに、DRIM 急勾配斜面側に形成される後流渦は DRIM 峰線方向を軸に回転し、渦と DRIM 表面とが力を及ぼしあう。したがって、図-2 のように、DRIM の峰線が入射波の波峰線に対して斜めになっている場合においても、DRIM 上では後流渦が DRIM 峰線に直角な面に沿って回転し、DRIM 峰線に直角な方向に正味の底層流

* 正 会 員 工 修 若築建設(株) 技術本部 技術研究所
** 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
**** 正 会 員 工 博 (独法) 港湾空港技術研究所 海洋・水工部
***** 学生会員 九州大学大学院工学府 海洋システム工学専攻

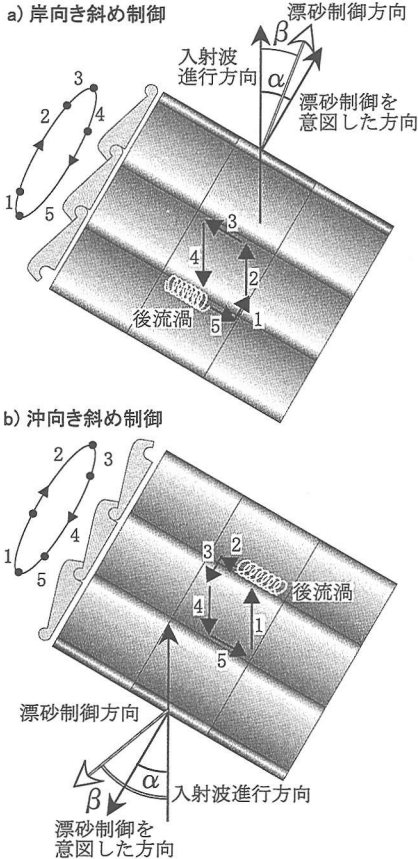


図-2 漂砂方向制御

が発生する。入江ら (1992) によると、DRIM が底層流を一方方向に制御できるのは、波の入射角 α が $\pm 50^\circ$ の範囲である。

DRIM の持つこれらの機能により、漂砂の存在する場所において任意の方向への漂砂制御効果が期待できる。なお本研究では、漂砂制御を意図する方向 α を図-2 上段のように波の進行方向に沿うように設置する場合を岸向き (斜め) 制御、図-2 下段のように波の進行方向に対して逆らうような方向に設置する場合を沖向き (斜め) 制御と呼ぶ。

2.2 固定床実験

DRIM を波向に対して斜めに配置した場合、DRIM の設置方向に沿って斜めに漂砂を制御する機能が期待される。これを検証するため、固定床において DRIM 上の底質の移動方向を調べる実験を行なった。

a) 実験条件

実験には、図-3 のような長さ 20 m、幅 9 m、高さ 0.5 m、水深 0.25 m の平面水槽内に、幅 4 m、勾配 1/15 の固定床スロープを作成したものを使用した。

実験に用いた DRIM は、波長 4.8 cm、幅 6 cm のブ

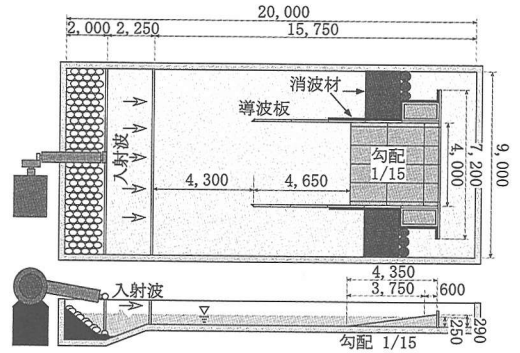


図-3 実験水槽

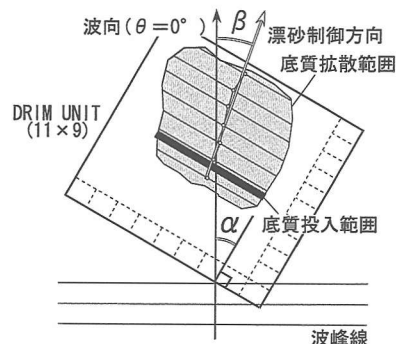
ロック 9×11 個で構成される UNIT となっており、これを波向に対して 30° 傾けて設置した。実験では、まず DRIM 中央部に底質 (軽量物質メラミン、比重 1.5、粒径 0.2 mm) を一定量投入した後、波を作用させて底質が分散する様子を VTR 撮影した。実験は、図-2 のような岸向き斜め方向 ($H_0=5$ cm, $T=1$ s, 規則波) と、これを反転した沖向き斜め方向 ($H_0=3$ cm, $T=1.3$ s, 規則波) について、設置水深を変化させて行なった。

b) 実験結果

実験結果の解析は、まず、VTR 画像から読み取った 1 波毎の底質分散範囲をプロットし、次に、その範囲において DRIM 峰線に平行な複数本の直線を引き、各線分の中間点を結んだ平均線と波向のなす角度を求めた。さらに、この作業を数波分繰り返して求められた角度を平均することにより、漂砂制御角 β を求めた (図-4)。

図-5 に β の測定結果を示す。図-5 右縦軸には、制御角 β と波向きに対して漂砂制御を意図した方向のなす角 α の比 β/α をとっている。 β/α が 1 であれば、意図した方向に底質を制御したことになる。図-5 によると、岸向き斜め制御の場合は設置水深にかかわらず $\beta/\alpha \approx 0.5$ となっており、沖向き斜め制御の場合は設置水深の増大に応じて β/α が 0.4~1.4 へと変化している。

波の作用方向により、特性の違いが認められるが、漂

図-4 制御角 β の解析手法

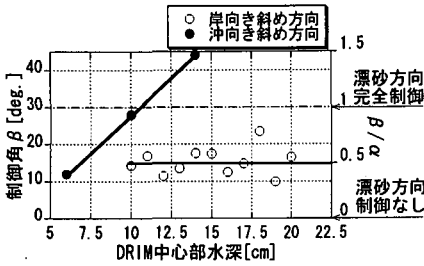


図-5 制御角

砂の制御される方向は概ね意図した方向に向いていると言えてよい。したがって、DRIM を入射してくる波に対して斜めに設置した場合に、DRIM 上に投入した底質は、設置した方向に応じて移動していると思われる。岸向き、沖向きにおける β/α の不一致は、図-2 に示す波の1周期間における5段階の底質輸送過程のうち、DRIM の後流渦発生側を底質が移動する5の過程での移動状況の違いによるものである。この移動状況については、山口ら (2002) が詳細を述べている。

2.3 3次元移動床実験

次に、移動床における DRIM の漂砂制御機能を検証するため、3次元移動床実験を行なった。

a) 実験条件

実験装置には、固定床実験と同じ勾配 1/15 のスロープ上に、底質(軽量物質メラミン、比重 1.5、粒径 0.20 mm)を 0.1 m 厚で敷きつめ、沖側水深を 0.3 m としたモデル海浜を用いた。実験の手順は、図-6 に示すように、まず何も置かない状態で波(波高 $H_0=5$ cm, 周期 $T=1$ s, 規則波)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 を設置して同じ波をさらに8時間作用させた。その間、図-6 に示す時刻において地形を詳細に測定した。

実験中は常に水路中央 ($y=2$ m) 付近に離岸流が発生していたが、この部分を除き、DRIM を設置した範囲における初期地形の岸沖方向断面の2次元性(沿岸方向にほぼ同一の断面形状)は良好であった。図-7 に、Case 1 における初期地形の水深を沿岸方向に平均して求めた平均断面を示す。モデル海浜の変形過程の特徴として、図-7 のように、岸沖方向の全体的地形変化において、碎波点付近より岸側の Bar を除く範囲が侵食傾向で、沖側では堆積傾向であったことが挙げられる。この傾向は、

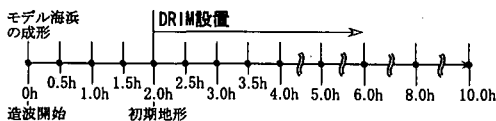


図-6 実験手順

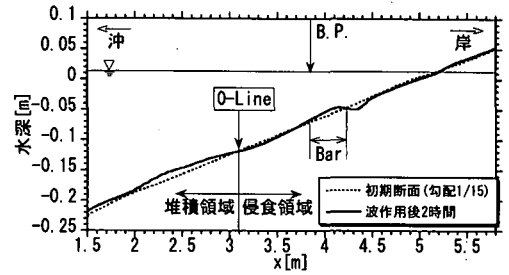


図-7 初期地形の平均断面

表-1 実験ケース

実験ケース	漂砂制御方向
Case 1	岸向き制御 ($\alpha=0^\circ$)
Case 2	沖向き制御 ($\alpha=0^\circ$)
Case 3	岸向き斜め制御 ($\alpha=30^\circ$)
Case 4	沖向き斜め制御 ($\alpha=30^\circ$)

実験開始から終了時まで、基本的に変化しなかった。

実験は表-1 に示す漂砂制御方向について、4 ケースを行った。それぞれのケースにおいて、波長 4.8 cm, 幅 6 cm のブロック 9×11 個, 3×11 個で構成される2種類の幅の DRIM UNIT を用いた。

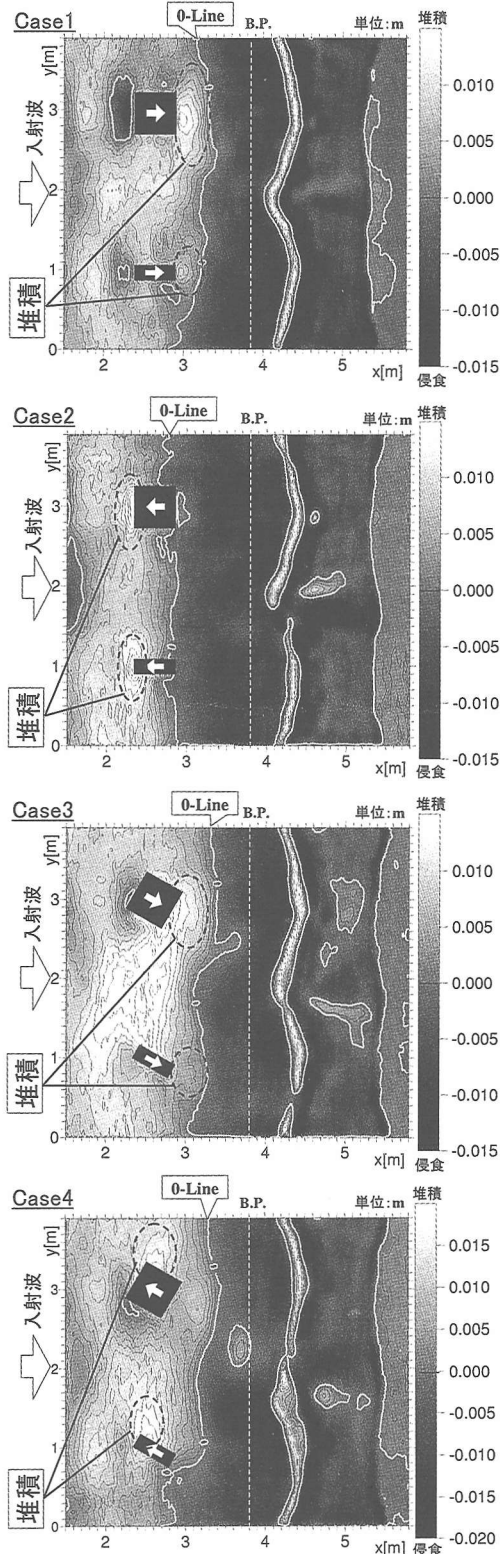
b) 実験結果

図-8 は Case 1~Case 4 における DRIM 設置直後から4時間後の侵食堆積平面図、図-9 は Case 1 における同時間帯の沿岸方向幅の広いほうの DRIM 周辺部での侵食堆積立体図である。黒い長方形は DRIM 設置領域を、白い矢印は漂砂制御を意図した方向を示す。図-8 中の 0-Line は、侵食領域と堆積領域の境界にあたる場所を示している。図-8 によると、全体的な地形変化傾向は、どのケースにおいても図-7 に示したような、0-Line より岸側が Bar 形成域を除き侵食傾向で、沖側が堆積傾向であり、すなわちこの海浜では、全体的に沖向きの漂砂が存在する。

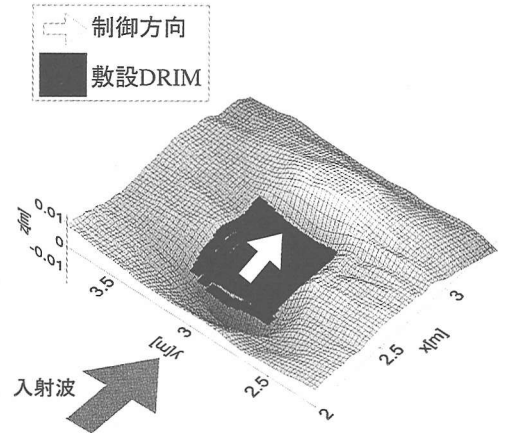
i) 局所的漂砂制御効果

図-8 の DRIM 周辺に着目すると、全ての Case で、制御を意図した方向の下流側に局所的な堆積が認められる。さらに、沿岸方向に幅の広い DRIM は、図-8 に示すように狭いものに比べ堆積域が沿岸方向の広い範囲に及んでいる。その堆積域は、DRIM 設置幅 B よりも広い範囲 (Case 1 ではおよそ $2B$) に及んでおり、DRIM の設置間隔をある程度空けて設置した場合においても、沿岸方向に連続的な堆積効果が得られると思われる。

DRIM の制御方向上手側に、局所的洗掘領域が認められるが、これは DRIM 急勾配斜面側における後流渦によるものである。実験では、この局所洗掘域の深さがおよそ DRIM の波高 η の2倍程度となった時点から、洗掘は

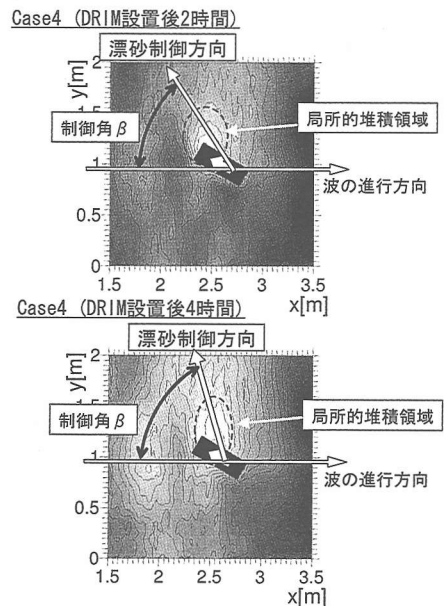


図—8 侵食堆積図



図—9 侵食堆積立体図

ほとんど進行しないことが確認された。Case 1とCase 2で、局所洗掘域の規模が異なっているが、この理由を、次のように考察した。DRIMを設置した位置は、図—7の $X=3.15\text{ m} \sim X=3.65\text{ m}$ の位置で、岸側で侵食された底質が供給される場所にあたる。したがって、Case 1の岸向き制御では、DRIMは沖に向かう漂砂を阻止するため、局所洗掘域にはほとんど底質が供給されない。これに対し、Case 2の沖向き制御では、沖方向への漂砂を助ける働きをしているものの、この局所洗掘域には常に岸側から底質が供給されている。このため、Case 1とCase 2のDRIM上手側の局所洗掘規模に違いが生じたものと思われる。



図—10 制御角

図-8のCase 4をみると、局所的堆積領域は、波の入射方向に対して、DRIMのほぼ真横にあるように見える。この現象には、DRIMの漂砂制御方向下手側における堆積の進行過程が関係していると思われる。図-10に、斜め方向制御であるCase 4の沿岸方向幅の狭いDRIMの周辺部における侵食堆積図を示す。上段は、DRIM設置直後からDRIM設置後2時間、下段は、DRIM設置直後からDRIM設置後4時間の時間帯における侵食堆積状況である。図中のDRIMによる局所的堆積領域(破線で囲まれた部分)からおおまかに制御角を取ってみると、制御角 β は、DRIM設置後2時間よりも、DRIM設置後4時間のほうが大きくなった。これは、局所的堆積領域の中心がDRIM設置後2時間から4時間の間に岸方向に移動したためである。この原因を以下のように考察した。実験中の観察では、沖向き斜め制御の場合、制御角 β が、固定床における底質の拡散移動実験時以上に大きいと思われた。したがって、波の作用時間が長くなると、DRIMは沖側の側壁側端部($Y=3.3$ m, $X=2.5$ m)付近から徐々に埋没していった。DRIMは、埋没した部分においては漂砂制御効果を発揮できないので、埋没が進行するにつれ、DRIMの漂砂制御効果の現れる場所が徐々に岸側に移動し、局所的に堆積する部分も岸側に移動していったものと思われる。

ii) DRIMが海浜全体へ及ぼす漂砂制御効果

DRIMの局所的漂砂制御効果は、底質の分散に伴い、制御を意図した方向に直角な方向に広がっていくと思われる。その結果として、DRIMは沿岸方向に広く漂砂制御効果を及ぼすことができると考えられる。図-8のCase 1とCase 2を比較すると、0-Lineは、岸向き制御のCase 1は $X=3.2$ m付近、沖向き制御のCase 2はさらに沖側の $X=2.8$ m付近にあり、全体的な堆積領域がDRIMの制御方向に応じて岸沖方向にずれていることがわかる。

岸向き斜め制御のCase 3、沖向き斜め制御Case 4では、次のように考えられる。図-8の斜め岸方向制御のCase 3における0-Lineは、2つのDRIMの斜め制御方向に向かって岸側に膨らんだような形状をしている。特に、Case 3における $Y=2.3$ m付近の0-Lineの形状は、斜め岸向き制御効果の広範囲の伝播を示しているものと思われる。また、0-Lineの平均的岸沖方向位置は、 $Y>2$ mの範囲では $X=3.4$ m付近、 $Y<2$ mの範囲では $X=3.2$ m付近にあり、DRIMの幅が違うことにより、その制御効果の伝播範囲も異なっている。

一方、斜め沖方向制御のCase 4においては、 $Y<0.7$ mの範囲の0-Lineが、他の場所に比べて沖方向に移動している。これは、 $Y=1$ mに設置したDRIMが、この付近の底質を意図した斜め沖方向に輸送し続けた結果であ

ると考えられる。しかし、 $Y=3$ mに設置した幅の広いDRIMは、沖向きの漂砂制御効果が大きいにもかかわらず、その周辺の0-Lineにこのような影響が見えにくい。これは、 $Y=4$ mの位置にある側壁のため、底質が岸沖方向に広く分散移動できなかったためと思われる。

3. 結 語

DRIMの3次元の漂砂制御に関する基礎的を検証するため、中型平面水槽を用いて、DRIMを使用した底質の拡散移動実験と3次元移動床実験を行なった。底質の拡散移動実験では、波の入射方向に対して斜めに配置したDRIM上で、その設置方向に応じた底質移動が確認された。3次元移動床実験では、底質の拡散移動実験で得られた結果と同様の制御効果が地形変化として現れた。また、幅の違う2種類のDRIMを設置したところ、DRIMの設置幅に応じて漂砂制御の範囲が広がることが確認された。さらに、間隔を空けて設置したDRIM間においても漂砂制御効果と思われる地形の特徴が確認され、DRIMの漂砂制御効果が広範囲に伝播することが示された。これらの結果より、DRIMは、現実の漂砂場における任意方向への漂砂制御ができる可能性を持つと考えられる。これは、様々な漂砂問題(養浜砂流出、航路埋没、港口埋没など)に対する対策工として、DRIM工法が応用できる可能性を示すものである。

参 考 文 献

- 入江 功・辻 利徳・村上啓介・藤井研一・牛房幸光 (1992): 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.
- 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・武若 聡 (1997): 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.
- 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・西岡悟史 (1999): 砂れん上の底質移動に及ぼす海底勾配の効果と海浜の安定化機構, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 591-595.
- 小野信幸・入江 功・大内田佳介・桃嵩真悟 (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): 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.
- 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.
- 山口 洋・小野信幸・入江 功・村瀬芳満 (2002): 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.