

芦屋海岸における DRIM の漂砂制御機能に関する現地試験

山口 洋* ・小野 信幸** ・入江 功*** ・小島治幸****
茶谷正明***** ・五明美智男***** ・児島和之*****

新たな漂砂制御技術である「DRIM」の現地適用性を調べるための実海域試験が、2004年6月より福岡県芦屋海岸にて開始された。DRIM 設置後の追跡調査より得られたデータを総合的に整理した結果、岸側を除く DRIM の3辺近傍に投入した3色の蛍光砂が高濃度領域ごと漂砂制御方向に移動していること、高濃度領域における土量変化量が著しく大きいことなどから、西向き平均流の影響を受けつつも DRIM が意図した岸向きに漂砂を制御していることを示す結果が得られた。また、調査期間中 DRIM ブロックに著しい飛散・破壊は認められず、2004年の稀に見る規模、数の台風の来襲にも耐える高い安定性が確認された。

1. はじめに

砂浜は貴重な環境資源であり、海岸法では自律的防災機能を持つ防護（防災）施設として認知されている。また、海洋性レクリエーションへの要望も高まっており、防災面だけでなく、環境や利用面にも配慮した質の高い海岸整備が求められている。一方、海岸侵食、航路・港口埋没、河口閉塞などの漂砂に起因する問題は、年々深刻化している。これらの漂砂問題に対して著者らは、安価で景観・環境・利用面に優れた歪み砂れんマット（以下 DRIM）の利用を提案している。DRIM は砂れん形状を一方方向に歪ませた断面形状を持つブロック（図-1）で構成され、波動下で漂砂を一方方向に制御することを目的としている。その漂砂制御機能の有効性はこれまで実験室レベルにおいて確認されている（小野ら, 2002；山口ら, 2002）。また、DRIM の効果を考慮できるシミュレーションモデル（小野ら, 2004；山口ら, 2003）も開発され、実際の適用に必要なツールが揃いつつある。しかし、現地レベルの機能については未だ検討例がなかった。

このような状況の中、2004年6月より福岡県芦屋海岸において詳細な調査を伴う初の現地試験が開始された。この試験は、DRIM の機能や安定性などを総合的に検討し、DRIM の現地適用性を調べることを目的としている。本研究は、2004年10月までの調査データを整理・分析して得られた結果を報告するものである。

2. 調査の概要

DRIM は、図-2 に示す福岡県遠賀郡芦屋地先（芦屋海岸浜崎地区）の7基の離岸堤群の西側2号、3号堤開口部沖側、離岸距離300m、水深-3.0m~-3.5mの位置に、制御方向を岸向きで設置した。設置した DRIM は、図-1 に示す諸元のブロックを用いて岸沖方向15個、沿岸方向12個の計180個を図-3 のように設置し、沖側端には DRIM の生成する後流渦による洗掘対策としてふとん籠を設置した。調査は、図-4 に示す調査項目とフローに従い、深浅測量（2004/6/15, 6/28, 10/30）、波浪、流れなどの海象、砂面変動調査（2004/6/16~10/29）、ブロック沈下量調査（6回）および DRIM 近傍（端部より1m）の沖、東、西の3点に投入した3色の蛍光砂の追跡（3回）を実施した。蛍光砂に関しては、攪乱浮遊した蛍光砂のうち DRIM 上に乗った砂は急速に制御方向に運ばれるため、蛍光砂の移動は DRIM により制御された砂の移動を示すと考えて実施した。

3. 外 力

（1）沖 波

図-5 は、DRIM 設置位置西北西の沖合に位置する大

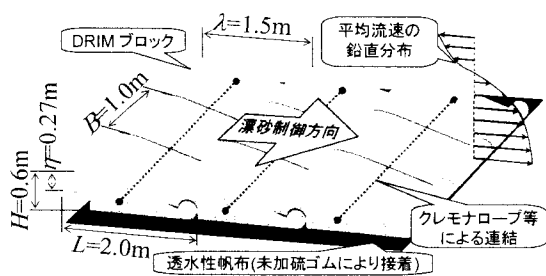


図-1 Distorted Ripple Mat(DRIM)の形状と漂砂制御方向

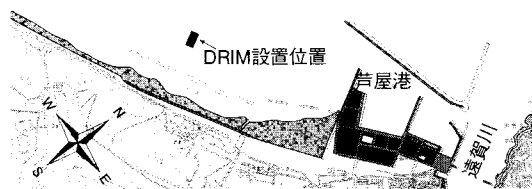


図-2 DRIM 設置位置

- * 正会員 博(工) 若築建設(株) 技術研究所
- ** 正会員 博(工) 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 九州大学名誉教授
- **** 正会員 工博 九州共立大学教授 工学部土木工学科
- ***** 新日本石油(株) 開発部
- ***** 正会員 博(工) 東亜建設工業(株) 技術研究開発センター
- ***** 正会員 水工技研(株) 取締役社長

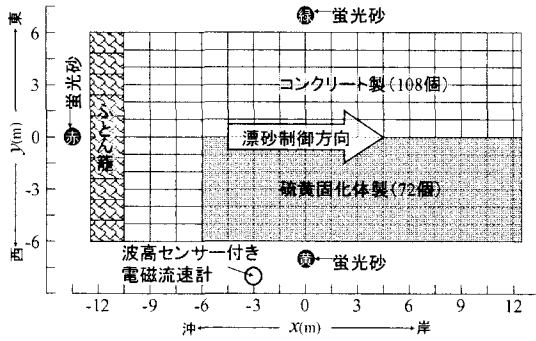


図-3 DRIM ブロック配置と計測器、蛍光砂の投入位置

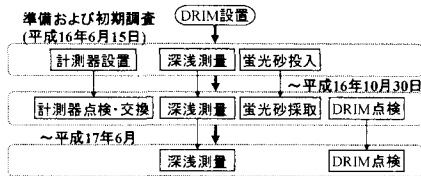


図-4 調査項目およびフロー

島波浪観測所において観測された設置後～10/30までの沖波（有義波）である。図中には来襲した主な台風も示している。台風来襲時の $H_{1/3}$ は3～5m強が観測され、その最大値は台風16号来襲時の $H_{1/3}=5.98\text{ m}$ 、 $T_{1/3}=10.7\text{ s}$ であった。1970～1998のデータを用いた極値統計解析によれば、1年確率波高は4.79m、5年確率波高で6.07mであったことから、台風来襲時の波は最大波を記録した16号来襲時を除けばほぼ1年確率程度であったと思われる。ただし、調査期間中は記録的に多数の台風（日本上陸数10個）が来襲しており、時化の頻度は非常に高かった。

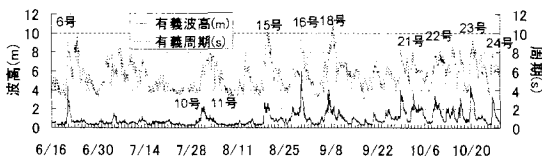
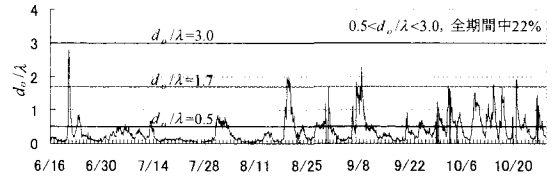


図-5 調査期間中の沖波（有義波、大島波浪観測所）

(2) 漂砂制御機能の有効な期間

DRIM が漂砂制御効果を発揮できる指標として、底面軌道振幅 d_o とDRIM 波長 λ の比 d_o/λ により表示された有効範囲（ $0.5 < d_o/\lambda < 3.0$ ）が提案されている（武若ら、1998）。図-6は、DRIM が恒常的に効果を発揮する条件としてDRIM 近傍で観測された平均波を用いてこの指標を表示したものである。DRIM が有効に働く条件内にあったのは、台風による高波浪時が主で、全観測期間中およそ22%であった。大きな変形は主に高波浪時

に生じることを考えれば、DRIM の漂砂制御効果は海浜変形に対して十分に寄与したものと考えられる。


 図-6 DRIM が有効に機能するための指標 d_o/λ

(3) 平均流

図-7は、DRIM 近傍で観測された平均流の大きさと向きを示している。8月末までとその後の台風18号通過時以降では、流向が西向き（岡垣町側）から東向き（芦屋港側）へと逆転しているが、10月中旬以降は、再び西へと偏向する傾向を示しており、本試験区域における沿岸流の卓越方向は全般的には西向きであったことが予想される。

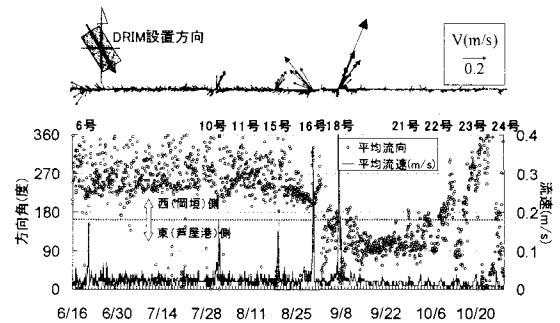


図-7 DRIM 近傍の平均流速

4. DRIM の効果

(1) 地 形

第1回目（DRIM 設置直後、6/15）、第2回目（台風6号通過後、6/28）、第3回目（台風シーズンの終了後、10/30）の測量結果を、図-8(a)、図-8(b)、図-8(c)に示す。

図-8(a)の地形では、2、3号離岸堤岸側に舌状砂州があり、開口部付近は-1.5m以下に掘れているなど、離岸堤の影響を受けた地形の特徴を示している。ただし、離岸堤群は沈下が激しく、満潮かつ高波浪時には常時越波が生じ、開口部からの沖向き流れを伴う潜堤と類似の流れパターンとなるものと思われた。

DRIM を設置した離岸堤沖側では、DRIM 設置位置より沖側はほぼ平行等深線であるが、離岸堤付近では非常に複雑な地形となっている。DRIM 近傍の波浪データによれば、高波浪時には $H_{1/3}=2\text{ m}$ 前後の波が来襲し、

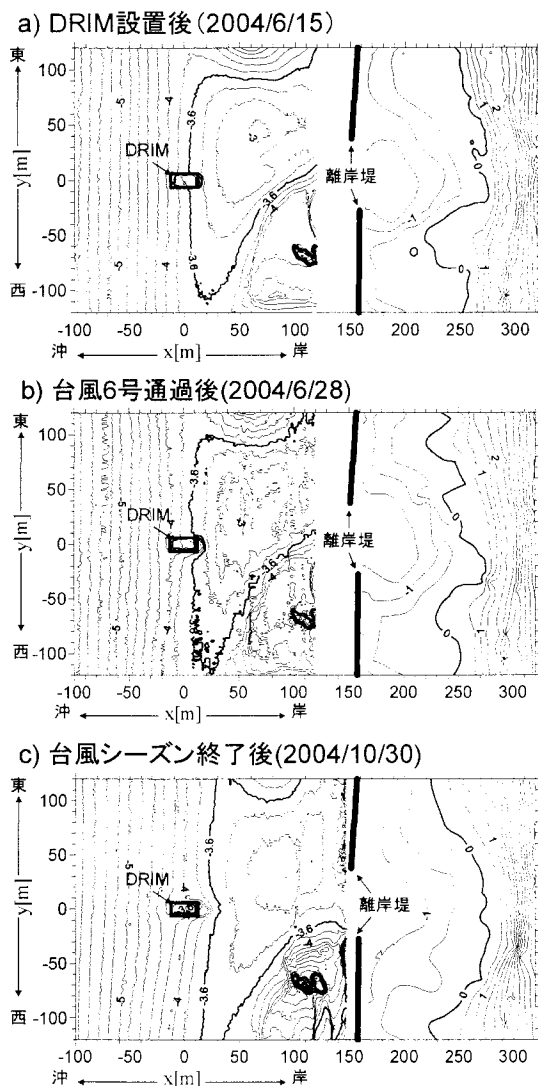


図-8 深浅測量結果

DRIM 設置域より岸側にかけて碎波する波が多いと思われるので、DRIM 岸側の山なりの地形は沿岸砂州であると考えられる。2号離岸堤(図面下側の離岸堤)沖側に西方向に向かう深み($60\text{ m} < x < 120\text{ m}$, $-110\text{ m} < y < -10\text{ m}$)があるが、DRIM 近傍で観測された西向きの平均流の影響を考慮し、高波浪時に離岸堤開口部からの沖向き流れがあると考え、これはその滞筋として発達した可能性がある。また、この深みの中には脱落したブロックと思われるもの($x = 110\text{ m}$, $y = 70\text{ m}$ 付近)が見える。図-8(a)上方の3号堤背後にも同様の深み($x = 60\text{ m}$, $y = 110\text{ m}$ 付近)があることから、沿岸方向に類似の地形が並ぶものと考えられる。

台風6号通過後に実施された第2回目の深浅測量結果

を図-8(b)に示す。第1回目の結果と比較すると、離岸堤岸側の舌状砂州および開口部の侵食域が西方向に移動していること、沖の沿岸砂州が若干大規模化(-3.2 m の等深線など)していることがわかる。また、第1回目ではDRIM 中央部付近にあった -3.6 m の等深線の岸沖方向位置は、第2回目ではDRIM 岸側端部付近にあり、この周辺は深くなっている。暴浪時には、沿岸砂州沖側で岸向き、岸側で沖向きの漂砂が生じ、砂州が発達することが知られているが、本試験においても、台風6号による高波浪の影響により同様の現象が起きたと考えられることができる。

図-8(c)の第3回目の地形の特徴としては、まずDRIM 沖側から周辺付近の水深がさらに深くなっており、離岸堤沖側周辺の沿岸砂州の頂部が岸側に移動していることがわかる。これに伴って2号離岸堤沖側近傍の侵食域がかなりの部分埋没している。離岸堤岸側においては、舌状砂州の位置が西側に移動したように見受けられる。

図-8の全結果において、沖側の $x = -100\text{ m}$ 付近ではほぼ地形変化が起きておらず、この周辺が活発な漂砂帯の平均的限界であることが予想される。10/30までの地形変化では、地形全体が岸側へ寄るような変化が卓越している。ここにはDRIMの岸向き漂砂制御効果も含まれると予想されるが、他の要因も多く、地形データからDRIMの効果のみを抽出することは困難である。そこで、蛍光砂の追跡結果よりDRIMの効果抽出を試みた。

(2) 蛍光砂の追跡

蛍光砂投入1週間後(6/21)に来襲した台風6号通過後の6/28に、深浅測量と蛍光砂のサンプリングを実施した。台風通過時には、最大 $H_{1/3} = 4.41\text{ m}$, $T_{1/3} = 8.8\text{ s}$ の沖波と、DRIM 近傍で西向きの平均流(0.17 m/s)が観測された。サンプリング範囲は、岸沖方向、沿岸方向に 180 m の範囲である。DRIM 周辺は特に詳細にサンプリングを実施しており、DRIM から離れるに従ってサンプリング間隔を $5\text{ m} \rightarrow 10\text{ m} \rightarrow 20\text{ m}$ と広くとった。図-9は蛍光砂の分布を示しており、黒丸の点がサンプリング地点である。蛍光砂のカウント数は、10000を上限として着色した。

図-9(a)に示すDRIM 沖側に投入した赤の蛍光砂は、その岸側にふとんかごが設置されているにもかかわらず相当量が岸側に輸送されており、数日間の高波浪によりDRIM が有効に機能したことを示すものと思われる。また、その分布が西側に引っ張られているのは、ここに存在した西向きの平均流および離岸堤開口部からの沖向き流れの影響によるところが大きいと考えられる。

図-9(b)に示す平均流下手側にあたる場所に投入した

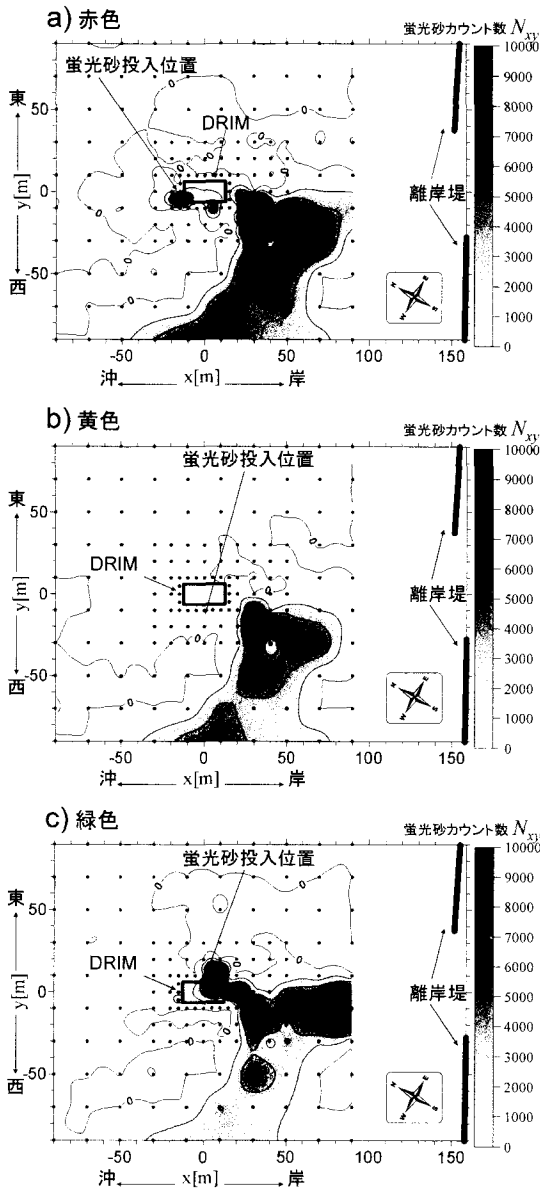


図-9 蛍光砂の分布 (2004/6/28)

黄色の蛍光砂についても、分布の重心は DRIM より岸側にある。調査では黄色蛍光砂投入点の局所洗掘が最も激しかったことがわかっており、投入点付近では相当量の砂が DRIM 上へ乗り、岸側へ輸送されたものと思われる。

図-9(c) に示す緑の蛍光砂は、平均流上手側（東側）に投入されたことから、最も多く DRIM 上へ供給されたと予想される。岸側への分布量は最も多く、分布の重心も DRIM からかなり岸側へ離れた領域にある。ただし、投入点付近に残っている量も最も多い。この原因と

して、投入後の早い段階から平均流により上手から移動してきた砂と蛍光砂が混合したことが考えられる。他の蛍光砂はほぼ全量が早い段階で DRIM の効果を受けて岸側に輸送され、分散したと考えると、緑の蛍光砂は台風通過後も徐々に DRIM 上に供給され、効果を受け続けたと考えることができる。すなわち、緑の蛍光砂は他の蛍光砂よりも長い期間の砂移動状況を含んだ分布を示しているものと思われる。

図-10 は、蛍光砂カウント数 N_{xy} と地形変化量 Δh をそれぞれの最大値で除して無次元化した N'_{xy} と $\Delta h'$ の積の分布で、蛍光砂の移動範囲とその範囲内の地形変化傾向を示している。破線で囲まれた DRIM 岸側法先以外は堆積傾向を示しており、 $N'_{xy} \cdot \Delta h' > 0.01$ の比較的大きな値の堆積域は、DRIM 岸側かつ西方向に分布している。これは DRIM により岸向きに制御された砂が西向きの平均流の影響を受けつつ堆積した結果だと思われる。

これらの蛍光砂追跡の結果は、岸向き漂砂の影響によるところが主で、DRIM の効果が現れたものではないという見方も考えられるが、佐藤 (1963) によれば、本試験のようなトレーサー追跡調査において観測されるトレーサーの分布は、ほぼ投入点を中心に広がって時間が進むにつれて濃度が低下しつつ拡散していくことが確認されており、濃度の中心そのものがこのような距離を移動した例はない。したがって、本試験で投入した3色の蛍光砂においてみられた濃度の中心（重心）の大幅な移動現象は DRIM のない条件では見られない現象で、DRIM の漂砂制御効果の証明であると考えられる。特に、DRIM 岸側40 m 付近は3色とも著しい堆積を示しており、DRIM の制御効果が強く出ていることが伺える。

(3) 土量変化

次に、DRIM 周辺を図-11 に示す4象限（各象限の大きさは、岸沖方向110 m × 沿岸方向120 m）に区分して

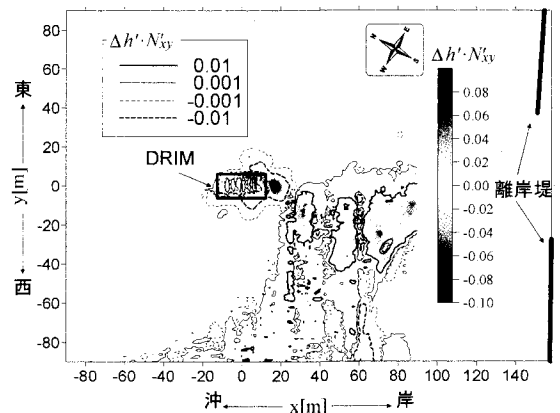


図-10 蛍光砂の分布と地形変化の相関関係

土量変化を調べた。DRIM 沖側では土量は減少傾向にあるのに対して、岸側では第1象限 (DRIM 岸側西方向) のみ非常に大きな堆積量が見られる。

沿岸砂州の岸向き移動による2号離岸堤沖側の深みへの堆積など、DRIM 以外の影響が占める割合が大きいけれども、堆積量は突出しているように思われる。加えて、図-10の蛍光砂移動の分析結果に見られたDRIMの影響範囲とも一致していることから、第1象限の堆積にはDRIMの漂砂制御効果が寄与したと考えてよいであろう。

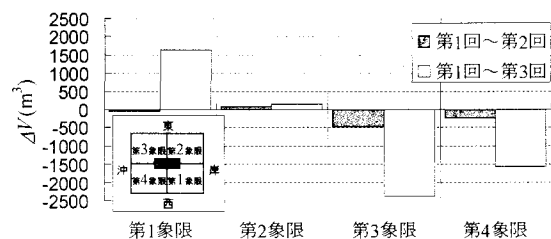


図-11 土量変化量

(4) 安定性

図-12(a), (b)はそれぞれ、3回の深浅測量時のDRIM設置域の沿岸方向および岸沖方向断面図 (清水ら, 2005)である。図より、端部の1, 2ブロックを除くと、天端高さは調査期間中一定であったことがわかる。端部ブロックの沈下は周辺の高底面の低下に追従した結果であり、DRIMの機能を大きく損なうものではなく、むしろDRIM全体の安定性に寄与している。調査期間中は台風による高波浪を何度も受けたにもかかわらずDRIMは安定しており、現地の高波浪にも十分に耐えうる高い安定性を持つことが伺える。なお、DRIMの安定性、施工性については、清水ら (2005) が詳細を述べている。

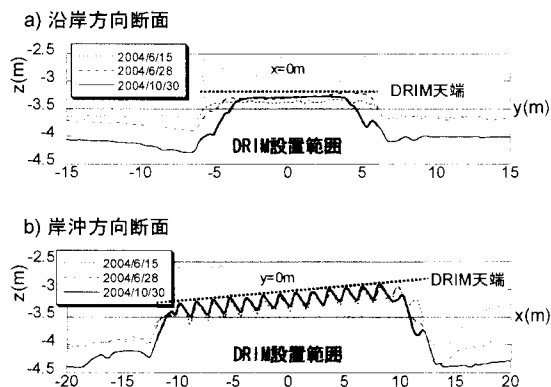


図-12 DRIM近傍の断面変化(清水ら, 2005)

5. 結 論

福岡県芦屋海岸におけるDRIM現地試験の調査データを整理、分析した。岸沖漂砂の方向のトレンドとDRIMの制御方向が一致しており、地形情報から明確にDRIMの効果を抽出することはできなかった。しかし、蛍光砂の分布は西向き流れの影響を受けつつその濃度の中心ごと漂砂制御方向に移動していたこと、土量変化量が蛍光砂濃度の高い領域で著しく大きかったことから、西向きの平均流の影響を受けつつも、DRIMが岸向きに漂砂を制御していることを示す結果が得られた。また、稀に見る規模、数の台風の来襲にも耐える高い安定性が確認された。これらは、今後のDRIMの技術開発において非常に有用な結果である。

謝辞: 本試験におけるDRIMの施工および調査の実施にあたっては、若築建設 (株) 洞海工事事務所の皆様にご協力いただきました。沖合の海象・気象データは国土交通省九州地方整備局博多港湾事務所、白島石油備蓄 (株) のご厚意により提供していただきました。DRIMブロックの製造、施工および海象調査は、新日本石油 (株) の協力の下、(財) 石油産業活性化センターの補助を受けて実施しました。ここに付記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 小野信幸・入江功・緒方菊・山口洋 (2002): ピ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.
- 小野信幸・緒方菊・山口洋・入江功 (2004): 平衡断面条件を導入した海浜縦断面変化モデル, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 411-415.
- 佐藤昭二 (1963): 港湾建設計画に関連した漂砂の研究 - 特にアイソトープによる漂砂調査及び研究 -, 港研資料, No.5, 156p.
- 清水雄平・五明美智男・山口洋・藤村貢・児島和之・入江功 (2005): DRIM工法の実海域における試験施工と安定性, 海洋開発論文集, 第21巻, pp. 915-920.
- 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・申承鎬・村瀬芳満 (2002): 歪み砂れんマットによる3次元の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.
- 山口洋・小野信幸・入江功・渡部耕平・村瀬芳満 (2003): 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.
- DRIM工法研究会 (2005): 芦屋港海岸浜崎地区 DRIM 実海域試験 - 中間報告 -, DRIM工法研究会, 121p.