

DRIM工法の実海域における試験施工と安定性

FIELD TESTS ON THE CONSTRUCTION PERFORMANCE AND STABILITY OF 'DRIM'

清水雄平¹・五明美智男²・山口洋³・藤村貢⁴・児島和之⁵・入江功⁶
Yuhei SHIMIZU, Michio GOMYO, Hiroshi YAMAGUCHI, Mitsuru FUJIMURA,
Kazuyuki KOJIMA and Isao IRIE

¹正会員 工修 東亜建設工業株式会社 技術研究開発センター
(〒230-0035 神奈川県横浜市鶴見区安善町1丁目3)

²正会員 博(工) 東亜建設工業株式会社 技術研究開発センター(同上)

³正会員 博(工) 若築建設株式会社 東京本社 技術研究所
(〒153-0064 東京都目黒区下目黒2-23-18)

⁴正会員 若築建設株式会社 東京本社 技術部(同上)

⁵正会員 水工技研株式会社(〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-6-28)

⁶正会員 工博 九州大学名誉教授(〒356-0006 埼玉県上福岡市霞ヶ丘3-1-21-506)

The capability of DRIM (Distorted Ripple Mat) to control sediment transport has been confirmed through field tests. DRIM is installed in the offshore zone of Ashiya coast, Fukuoka Prefecture since June, 2004. As the result of field tests, it is confirmed that the method of connecting blocks of 6 pieces by a rope is quite effective to improve construction performance. It is also confirmed that DRIM blocks have enough stability against both waves and scours caused by many typhoons in 2004.

Key Words : control of sediment transport, DRIM, field tests, construction performance, stability

1. はじめに

海岸侵食問題への対策工として、これまで主に突堤や離岸堤、潜堤などの大規模な海岸構造物が用いられ、これらは海岸の防災、防護および保全に優れた実績を残してきた。しかしながら、1999年の海岸法改正に伴って海岸の有効利用や環境保全が強く求められるようになり、海岸整備における新たな要素技術の1つとしてDRIM (Distorted Ripple Mat) 工法が提案されている。

DRIMは、図-1に示すように砂れん形状を人工的に一方方向へ歪ませたものであり、波動下において一方方向に漂砂を制御することを目的としている。また、その低天端構造により、波浪や景観などの周辺環境に与えるインパクトが小さいこと、船舶の航行や海洋レクリエーションを阻害しないことなどが大きな特徴である。

DRIMの漂砂制御機能については、これまでに数多くの固定床、移動床実験や数値計算により確認されているが

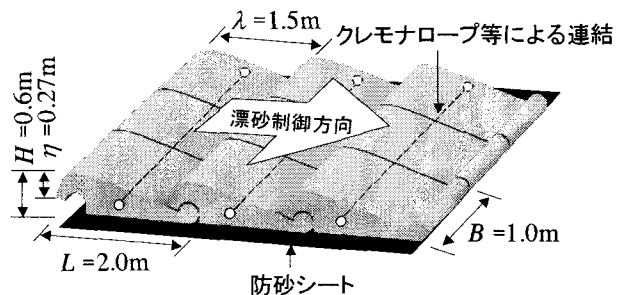


図-1 DRIMの構成

(たとえば入江ら^{1) 2)}、武若ら³⁾、小野ら^{4) 5)}、山口ら^{6) 7)}など)、実海域での検証は行われていなかった。一方、漂砂制御機能の発揮に不可欠な要素である波浪に対するDRIMの安定性に関しては、岩谷ら⁸⁾や高田ら⁹⁾による水理模型実験において基礎的な検討がなされているものの、実海域での安定性の確認や局所洗掘の度合いなどは不明であった。

こうした中、福岡県芦屋海岸浜崎地区において、2004

年6月から総合的な調査を伴った初めての実海域試験が行われた。その目的は現地レベルでの漂砂制御機能の検証、施工性の確認と施工上の問題点の抽出、波浪に対する安定性の検討、局所洗掘などの地形変化が安定性に与える影響の把握などである。本報では、特に施工性と安定性について得られた知見を報告する。

2. 試験概要

(1) 設置位置および設置諸元

DRIMの設置位置は、図-2に示すようにNo. 2, No. 3の離岸堤開口部の沖側、離岸距離およそ300mの海域である。水深は-3.0~-3.5m、海底勾配は1/50程度となっている。ここに波高 $\eta=0.27\text{m}$ 、波長 $\lambda=1.5\text{m}$ 、幅 $B=1.0\text{m}$ のDRIMブロック（図-1）を沿岸方向に12個、岸沖方向に15個並べ（図-3、以下ではDRIMユニットと呼ぶ）、漂砂の移動方向を岸側へ制御するように設置した。また、DRIMユニット沖側には法先の局所洗掘を防止するために高さ0.5m、長さ2.0m、幅1.2mのふとん籠を10個設置した。

なお、ブロックの材質としてはコンクリート（108個、1.519t/個、比重2.3）および産業副産物（石油精製リサイクル材）である石炭灰や鉄鋼スラグと硫黄を混練後に固化した硫黄固化体（72個、1.783t/個、比重2.7）の2種類を用いている。

(2) 調査方法

調査機器の配置状況を図-3に示す。海象調査および砂面変動調査については、波高センサー付き電磁流速計をDRIMユニットの西側に1台、超音波式砂面計を4辺に1台ずつ設置し、6月16日から10月29日まで連続して観測を行った。深浅測量はGPS、ナローマルチビーム測深ソナーおよび動揺補正センサーにより構成される地形計測システムを用い、DRIM設置1週間後の6月15日、最初の大きな時化であった台風6号後の6月28日、台風時期終了時の10月30日に行った。沈下調査は、鉄筋棒をDRIMユニットの東西側に各3本ずつ、ブロックから0.5mの距離に設置して行った。鉄筋棒の仕様は根入れ部分2m、水中部分1mであり、鉄筋棒先端を高さの基準としてDRIM天端との相対的な高さを測定した。また、沈下調査と同時にDRIMユニット全体の変状状況の把握を目的として、潜水土による水中撮影を行った。

3. DRIMの施工

(1) 施工内容およびフロー

DRIMの施工は図-4に示す施工フローに従って実施した。製作工場から作業ヤードへの搬入時における荷卸しおよび仮置き作業では、専用の吊り金具を用い、安全性の確保および作業効率の向上を図った。

組立は、転置や据付け作業の効率化を図るために、6

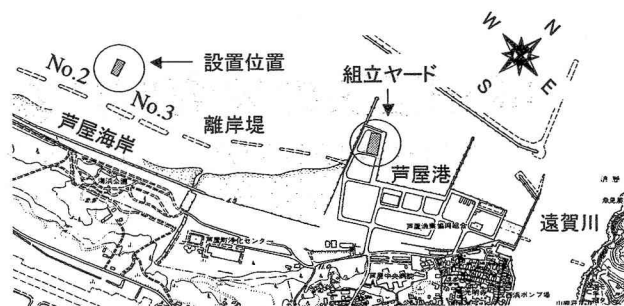


図-2 設置位置

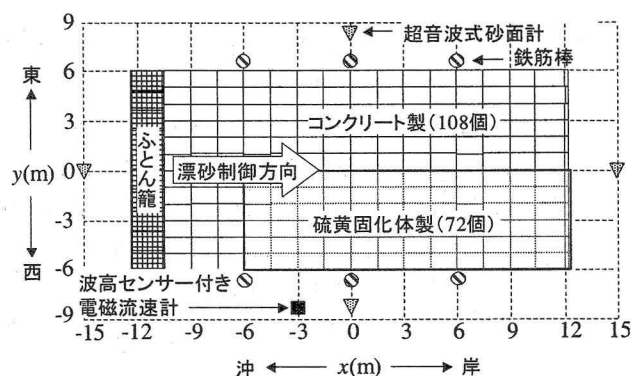


図-3 調査機器の配置状況

搬入



組立

- ・防砂シート敷設
- ・未加流ゴム貼付
- ・ブロック接着
- ・ロープによる連結



据付け

- ・ブロック、ふとん籠積み
- ・海上運搬
- ・据付け

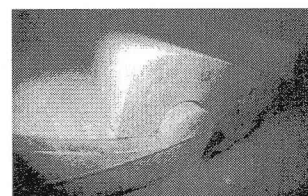
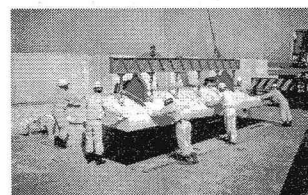


図-4 施工フロー

個のブロックを1組とするもので、砂の吸出し防止を目的とした透水性の防砂シートを平坦面に敷設し、接着剤として未加流ゴムを貼付した後、ブロックを接着させた。そして、若干の伸縮性を有するスパンエステルロープを用いて、6個のブロックを横方向に連結した。陸上における合計30組の組立には約1日を要した。

据付けは、最も沖側のブロックから行い、岸沖方向で

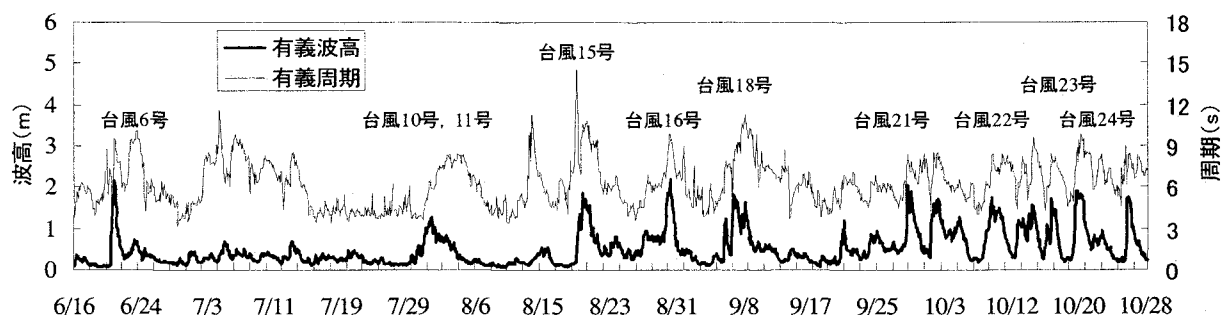


図-5 DRIM設置位置の有義波の経時変化

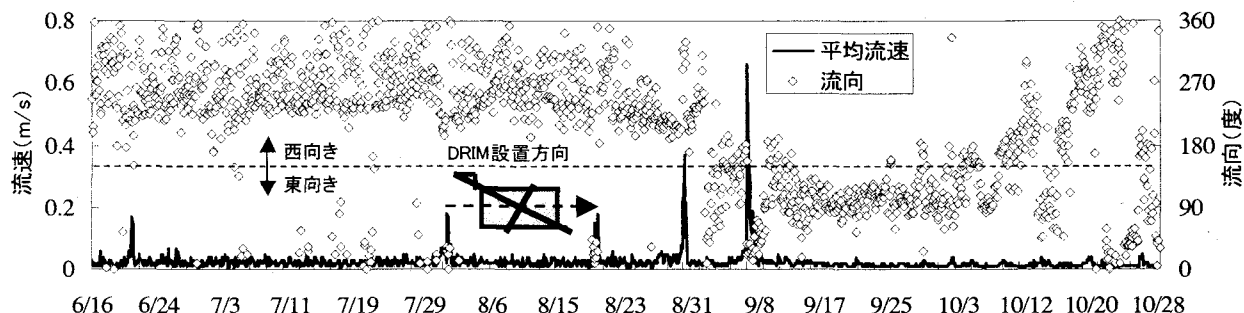


図-6 平均流速および流向の経時変化

ブロック間目地が連続しないように（芋目地防止），沿岸方向へ互い違いに10cmずつずらしながら順次岸方向へ据付けた。そして全ブロック据付け後にふとん籠を据付けた。なお，海底面には砂れんが形成されていたが，ブロックと比較して非常に小さなスケールであったため，均し作業は行っていない。事前にブロックとふとん籠を台船に積み込み，据付けは1日で完了した。

(2) 施工性

ロープと防砂シートにより6個のブロックを一体化したこと，取り扱いが容易な専用吊り金具を用いたこと，さらに天候に恵まれたこともあり，良好な施工性が確認された。また，施工計画に必要な各工程のサイクルタイムを概略把握することができた。ただし，ブロックのかみ合わせを確保するためには，据付け中の海底面の変動ができるだけ小さい方がよいことから，1日で据付け可能な個数によりDRIMユニットを構成することが望ましい。したがって，実施工時には今回と同程度の規模のDRIMユニットを1つの単位とし，適切な間隔で複数設置するような施工方法が適切であると考えられる。

4. 波浪に対する安定性

(1) 海象条件

図-5は，調査中全期間の有義波の経時変化である。観測期間中には，近年稀に見る数および規模の台風による高波浪が来襲した。有義波高の最大値は，台風16号来襲時の8月30日21:00に観測された2.2mで，そのときの有義波周期は9.9sであった。また，平均波向きは60%以上がNNWであり，これはほぼDRIMユニットの設置方向（図

-3の漂砂制御方向）に沿って入射していることになる。高波浪時には特にこの傾向が顕著であった。

図-6は平均流速および流向の観測結果である。平均流速の最大値は，台風18号来襲時の9月7日15:00に観測された0.66m/sであった。流向については6月から8月末までは西向きであり9月から10月初旬までは逆方向の東向きにシフトしている。しかし，その後は再び西向きに変化する傾向を示しており，観測期間中における平均流の卓越方向としては概ね西向きである。

(2) DRIMブロックの安定性

コンクリートブロックの所要質量の算定には，以下に示すブレブナー・ドネリー式が一般的に用いられる。

$$M = \frac{\rho_r H^3}{N_s (S_r - 1)^3} \quad (1)$$

ここで， M はブロックの所要質量， ρ_r はブロックの密度， H は設置位置の波高， N_s は安定数， S_r はブロックの水に対する比重である。

ここでは，岩谷ら⁸⁾，高田ら⁹⁾が実施したDRIMブロックの実験結果を整理し，安定性について検討する。なお， N_s の算定にあたり，DRIMブロックの被害率を設定する必要がある。従来，異型消波ブロックでは1%程度の被害を許容しているが，平型被覆ブロックの場合には1個の移動から被害が急速に進行する恐れがあるため，被害率を0%とすることが標準とされている。DRIMブロックの場合は，1個の飛散が漂砂制御機能の低下につながることから，平型被覆ブロックと同様，想定被害率を0%として議論を進める。

図-7は，実験結果で被災の見られた海底勾配1/10の結果を抽出し，縦軸に N_s ，横軸にDRIM設置位置における

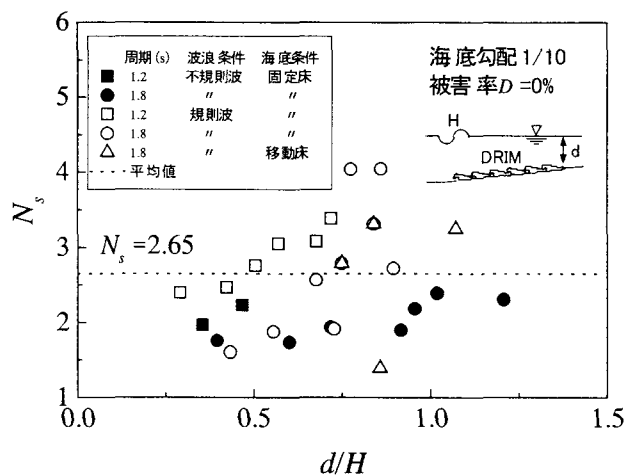


図-7 N_s と d/H の関係

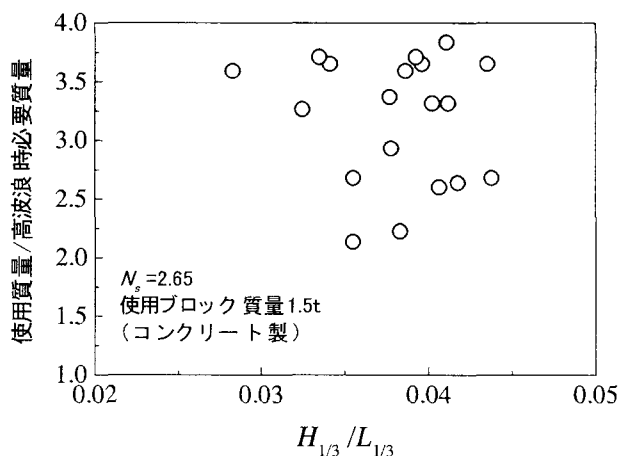


図-8 高波浪時の安全率

波高 H と岸側端部水深 d との比 d/H をとったものである。 d/H が大きいほど N_s は大きくなる傾向が認められるものの、実験条件の違いにより N_s はばらついており、全データの平均値は2.65となる。なお、巻き波砕波が直接作用するような1/10勾配条件でDRIMブロックが不安定となるのに対し、比較のために実施された1/30勾配では、崩れ波砕波となることから完全に安定であることが報告されている。

(3) 現地における安定性の照査

上記 N_s 値を用い、台風来襲時の波高に対し必要質量を式(1)より求め、実際に使用したブロック質量との比により安全率を算定した。図-8は波形勾配 $H_{1/3}/L_{1/3}$ と安全率の関係を示したものであり、安全率は最小でも2.1となった。

上述の模型実験条件に対し、現地の海底勾配は1/50程度とさらに緩い条件となることから、実際の N_s 値は上記の値を大きく上回るものと推測される。そのため、ここでの安全率はより安全側の照査結果となっており、今回用いたDRIMブロックは、観測期間中に重ねて来襲した台風時の波浪に対し十分に安定であったと考えられる。

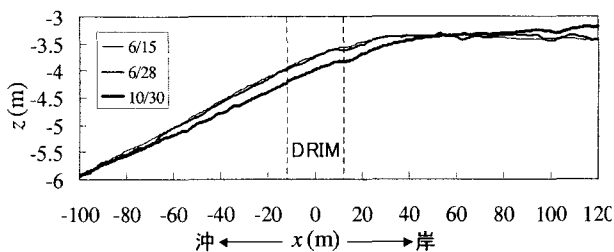


図-9 東側120m平均断面

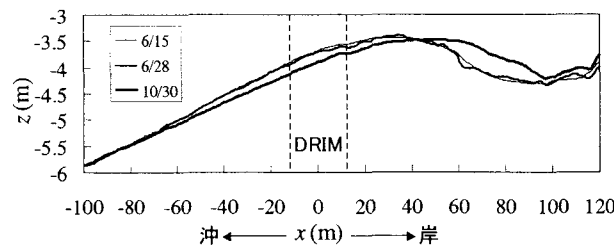


図-10 西側120m平均断面

5. 地形変化が安定性に与える影響

(1) DRIMユニットを含む広域の地形変化特性

図-9および図-10は、それぞれDRIMユニット東側および西側における沿岸方向120mの平均断面を示したものである。まず東側については、6月15日から6月28日においてはほとんど変化がないものの、6月28日から10月30日にかけては、 $-50\text{m} < x < 60\text{m}$ の範囲でほぼ一様に0.2m程度侵食されており、 $x \geq 60\text{m}$ で砂が堆積している。

西側についても東側と同様に、6月28日から10月30日にかけて $-50\text{m} < x < 40\text{m}$ の範囲で侵食される一方、 $x > 50\text{m}$ では大量に砂が堆積している。これらの結果より、観測期間の初期を除き、DRIMユニットを含む海域全体における岸沖漂砂の卓越方向は岸向きであり、 $x=40\text{m}$ 付近(水深-3.5m程度)を頂部とする沿岸砂州が徐々に岸側へ移動していったものと推測される。

(2) DRIMユニット近傍の地形変化特性

図-11はDRIMユニット近傍4辺における砂面変動量の経時変化を示したものである。6月16日を初期値として、堆積した場合を正、侵食を負で表している。

まず台風6号が来襲したDRIM設置後初期においては、計測位置によって砂面変動状況に大きな違いがある。沖側ではわずかに堆積しており、ふとん籠による局所洗掘防止効果を示している。一方、岸側では0.4m程度侵食されている。この原因としては、DRIMによって岸側へ輸送された砂がすぐに沈降、堆積せずに遠くまで運ばれたため、岸側端部への砂の供給が少なかったこと、およびDRIMのすぐ岸側に後流渦が発生したことが考えられる。

東側および西側ではどちらも侵食されており、特に西側の侵食量が多い。平均流の上手側からDRIM上に乗った砂は、漂砂制御機能により岸側へ運ばれ、平均流の下

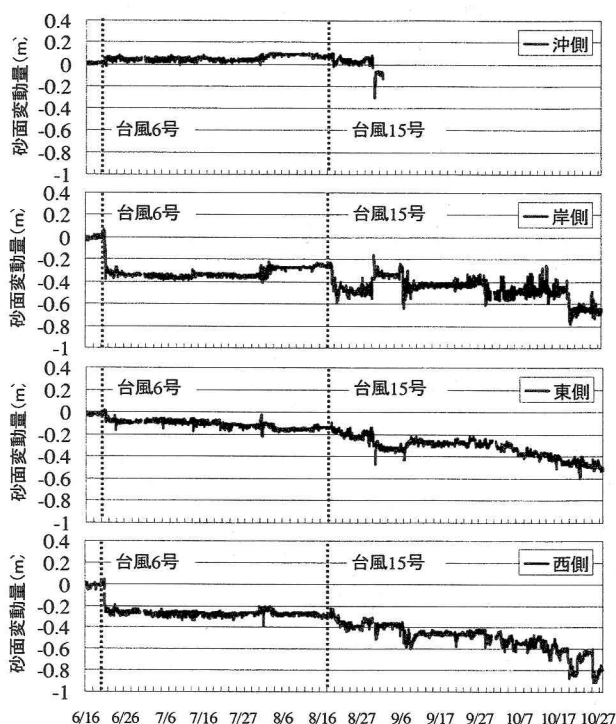


図-11 砂面変動量の経時変化

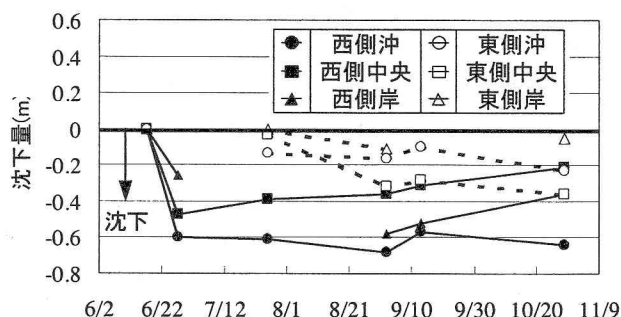
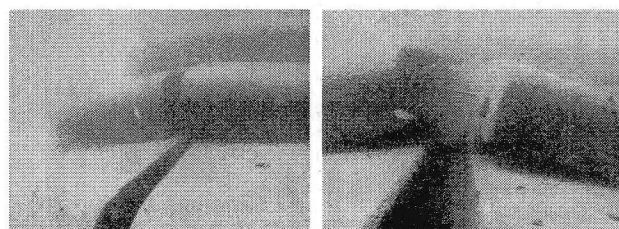


図-12 沈下量の経時変化

手側にあたる西側には砂が供給されにくい状況であった。

次に、8月中旬までは比較的静穏な時期であったことから、どの計測位置においても台風6号後の砂面高さから大きな変動は認められない。しかし、8月中旬の台風15号以降は高波浪が連続して来襲したことで、計測位置によらず侵食されている。図-9、図-10で示したように、この期間においては沿岸砂州の岸方向への移動に伴い、海域全体が侵食傾向を示しており、DRIMユニット近傍においてもその影響を強く受けていると考えられる。

このような海底洗掘に伴って、DRIMユニット端部ではブロックの沈下が観察された。図-12は、沈下量の経時変化を示したものであり、第1回調査時を基準として、沈下した場合を負で表している。東側では徐々に沈下が進行する傾向を示し、西側では設置後初期における沈下量が多い。写真-1 (a), (b) に6月27日におけるブロックの沈下状況を示す。



(a) 東側 (b) 西側

写真-1 端部の沈下状況

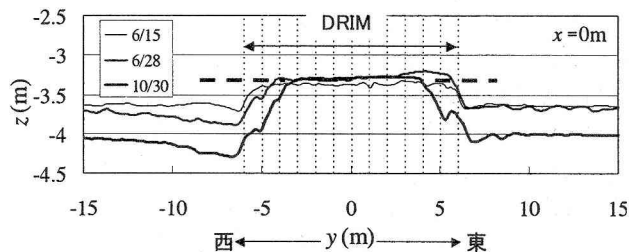


図-13 沿岸方向断面変化

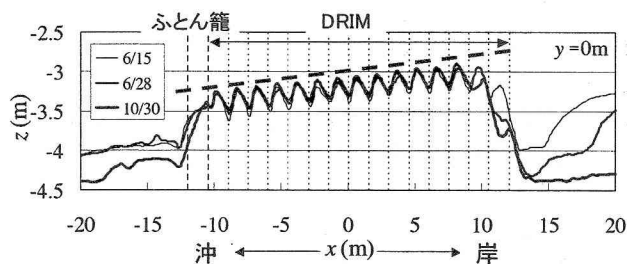


図-14 岸沖方向断面変化

(3) 局所洗掘と安定性の関係

図-13、図-14は図-3に示した座標系に準じ、それぞれ3回の深浅測量時における沿岸方向断面 ($x=0$) および岸沖方向断面 ($y=0$) の変化を示したものである。

図-13からは、DRIMユニット端部では局所洗掘に伴うブロックの沈下が徐々に進行していること、6月28日においては東側と比較して西側の洗掘量が多いことなどがわかる。また、6月28日以降は周辺砂面がほぼ一様に侵食され、10月30日においては西側端部の極近傍を除き、砂面高さは-4.0m程度で左右均等になっている。

次に図-14からは、沖側において初期の砂面変動量が非常に小さく、局所洗掘対策として設置したふとん籠が有効に機能したことがわかる。一方で洗掘対策を施さなかった岸側端部においては、6月28日に0.4m程度洗掘され、ブロックが大きく沈下した。ただし、10月30日を見ると洗掘深さは6月28日以降ほとんど変化しておらず、局所洗掘はある程度収束しているものと考えられる。 $x \geq 14$ mにおける砂面の低下は、図-9および図-10で示したような、海浜全体における砂面侵食を示している。

なお、図-13、図-14中の破線で示すように、DRIMユニット中央部に関しては、沈下することなく設置時の高さを保持していることが明らかである。これは、ブロックが高波浪時においても安定であったことを裏付ける結

果である。また、施工の効率化を主目的とした横方向の結束ロープによる連結・伸張効果やかみ合わせ部分の可動性によって、端部のブロックが沈下しつつも局所的な地形変化に追従したことも安定性の向上に寄与していたと思われる。しかし、ロープの耐久性には限界があり、長期間の安定性の向上を目的とした横方向の連結方法については、今後の検討課題である。

(4) 局所洗掘対策工の検討

DRIMユニット外側1列程度のブロックは沈下しつつも局所洗掘に対する緩衝部として働き、ユニット全体の安定性を高めていたことが明らかとなった。しかし、長期間にわたる漂砂制御機能の発揮および構造物としての安定性の確保を実現するためには、局所洗掘対策が不可欠であると考えられる。

今回採用したふとん籠は、局所洗掘対策工として十分な効果を発揮していた。また、本報では記述していないが、蛍光砂調査の結果によると、ふとん籠により砂の移動が大きく阻害されることはないということがわかっていいる。したがって、現時点において有効な対策工は、DRIMユニット4辺すべてにふとん籠を設置する方法であると考えられる。しかしながら、対策工の決定にあたっては、それ自体の耐久性や期待する効果の大きさ、施工性、コストなどを総合的に検討する必要がある、今後の課題である。

(5) 設置時期の検討

これまでの調査結果から、荒天時の波により周辺の高地地盤高が変化しても、DRIMユニット本体はほとんど影響を受けないことがわかった。すなわち、DRIMの設置高は、設置時の海底地盤高で決定され、DRIMによる制御を意図する海底地盤高と密接な関係があるものと思われる。今後、DRIMと周辺地形変動に伴う相対的な高さ関係を把握し、漂砂制御機能を十分に発揮させるための最適な設置時期を検討することが必要である。

6. まとめ

福岡県芦屋海岸浜崎地区においてDRIM工法の実海域試験を実施し、その施工性と安定性について検討した。得られた結論は以下のとおりである。

- ① DRIMはロープや防砂シートにより一体化させて取り扱うことが可能であるため、良好な施工性を確保できる。
- ② 高波浪時においてもブロックは飛散することなく、実用に耐えうる十分な耐波安定性を有していることを確認した。
- ③ DRIMユニット近傍においては局所洗掘が発生し、端部のブロックが沈下した。しかし、沿岸方向結束

ロープの伸張効果やかみ合わせ部分の可動性などにより地形変化に対して柔軟に追従することで、構造物としての大幅な機能低下には至っていない。

これらの結論は5ヶ月程度の試験期間において得られたものである。DRIM工法の実用化にあたっては、引き続き現地調査を実施するとともに、水理模型実験により局所洗掘対策工の検討を進め、長期間の安定性を明らかにする必要がある。

謝辞：本論文の取りまとめに際しては、九州共立大学小島治幸教授よりご助言をいただきました。また、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。ここに記して謝意を表します。なお、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ており、ここに付記して謝意を表します。

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) 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.
- 4) 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.
- 5) 小野信幸, 入江 功, 横田雅紀：歪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, 2001.
- 6) 山口 洋, 小野信幸, 入江 功, 村瀬芳満：Distorted Ripple Mat (DRIM) を用いた3次元の漂砂制御に関する実験的研究, 海洋開発論文集, 第18巻, pp. 443-448, 2002.
- 7) 山口 洋, 小野信幸, 入江 功, 村瀬芳満, 渡辺耕平：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-, 海洋開発論文集, 第20巻, pp. 533-538, 2004.
- 8) 岩谷 理, 迫田 史顕, 小野信幸, 入江 功：DRIMブロックの耐波安定性に関する実験的研究, 平成15年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 第2分冊, pp. B14-15, 2004.
- 9) 高田和幸, 岩谷 理, 小野信幸, 山口 洋：DRIMブロックの耐波安定性に関する実験的研究, 平成16年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, CD-ROM, pp. 271-272, 2005.