

DRIM の耐波浪安定性と質量算定法に関する研究

STUDY ON STABILITY OF 'DRIM' UNDER WAVES FOR PRACTICAL DESIGN

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 フェロー 博(工) 東亜建設工業株式会社 土木事業本部エンジニアリング事業部
(〒102-8451 東京都千代田区四番町5)

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 埼玉県ふじみ野市霞ヶ丘3-1-21-506)

DRIM(Distorted Ripple Mat) blocks are placed in the flat to work as a unit which controls sediment transport. For practical design of DRIM, it is necessary to examine the stability of both block and unit. In this paper, three series of physical model test are conducted. Firstly, the stability of DRIM is examined and stability number, N_s , is shown. Secondly, both rotation of start block and local scour around the outer perimeter of the unit are key phenomenon to discuss the deformation of DRIM. Finally, it is confirmed that rubble blocks show high performance to increase the stability of both block and unit.

Key Words : DRIM, stability, scour, DRIM block, DRIM unit

1. はじめに

防護・環境・利用の調和した質の高い海岸整備要求に応える技術の1つとして、任意方向に漂砂を制御できるDRIM (Distorted Ripple Mat) 工法が提案されている。実海域での試験報告により、現地レベルでの漂砂制御機能(山口ら¹⁾)および耐波安定性(清水ら²⁾, 以下「前報」)について確認がなされる一方で、機能を維持する上で長期の安定性に関する設計手法を確立するなどの課題が挙げられている。

DRIM工法は、砂漣の1単位をなすDRIMブロック同士のかみ合わせと平面的な連続性によって、DRIMユニットとして漂砂制御機能を発揮させようとするものである。構造的には、岸沖方向前後に隣接するブロック間で回転の自由度を持つかみ合わせ形式を採用している点が大きな特徴となっている。前報でも報告したようにDRIMユニット周辺では常に砂の移動と地形変化が存在することから、周辺地盤変動への追従性などに配慮する必要がある。そのため、

DRIMブロックの所要質量算定にあたっては、単一ブロックとしての安定性と同時にユニットとしての変形の特長やメカニズムにも言及しつつ定式化していく必要がある。

そこで、本研究では、DRIMブロック、DRIMユニットに大別して安定性について検討した。DRIMブロックについては、波浪条件や潮位条件を数種類に変化させて安定実験および波力実験を行い、DRIMブロックに作用する外力の特性や被災メカニズムを把握し、安定数や既往の所要質量算定法の適用性について考察した。また、前報でも触れた実海域に設置されているDRIMユニットのその後の変形を照査し、あわせて移動床での洗掘実験を実施することによってDRIMユニットとしての安定性の考え方について言及した。

2. DRIMの安定性の考え方

(1) 機能と安定性の関係

図-1は、芦屋海岸に設置したDRIMユニットの構

成を部分的に示したものである²⁾。DRIM ブロックの諸元は、波高 $\eta=0.27\text{m}$ 、波長 $\lambda=1.5\text{m}$ 、幅 $B=1.0\text{m}$ であり、これを沿岸方向に12個、岸沖方向に15個並べて1つのユニットとしている。また、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種類である。

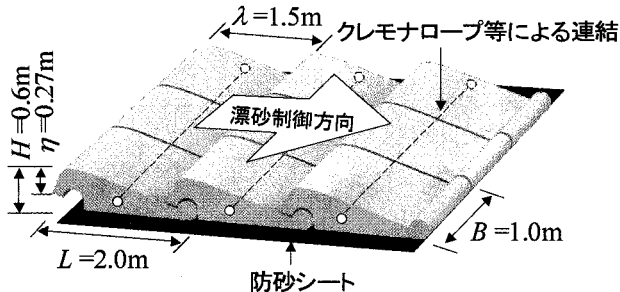


図-1 芦屋海岸での DRIM 仕様

こうした DRIM ブロックならびにユニットの諸元は、基本的に DRIM の機能と安定性から決定される。基本量となる DRIM ブロックの波長 λ は、当該位置の波浪ならびに漂砂特性を考慮して、DRIM の機能が発揮される $d_0/\lambda = 0.5 \sim 3.0$ (最適値1.7, ここで d_0 : 水粒子の水平軌道直径)を指針としている³⁾。しかしながら、機能および安定性照査の設計波が異なる場合には、両者から要求される諸元ならびに質量を相互に比較しながら検討を進めることとなる。そのためにも、既往の消波ブロックや被覆ブロックと同様、安定数などの設計値を明らかにする必要がある。

(2) DRIM ブロックの安定性

ブロック単体としての安定性については、ブロック形状によって確保されるかみあわせを維持しつつ海底に設置する構造であることから、以下に示すような2つの考え方ができる。

①層積、乱積の消波ブロックと同様に、単一ブロックの抜け出し、散乱等の被災度から安定数を決定していく考え方。

②初期変形からの被災の伝播・拡大状況を勘案して安定数を決定していく考え方。

本研究では、後述する水理実験の考察の中で両者について言及する。

(3) DRIM ユニットの安定性

一方、DRIM ユニットとしては、上述のブロック単体としての安定性と同時に、ユニット全体により形成されるマット状の砂堤形状を維持する必要がある。そのため、不等沈下防止を目的としたブロック目地からの砂の流出対策、かみあわせのない横方向の一体化方策、ユニット縁辺部での洗掘対策などが必要となる。芦屋海岸の事例では、横方向6個の DRIM

ブロックを1組として透水性防砂シートをブロック底面に接着させ、伸縮性を有するスパンエステルロープを用いて6個のブロックを連結し、洗掘が予想された沖側に石かごを置く対策を行っている。

本報では、前報の後に実施した2005年4月13日、2005年6月15日、2006年6月15日の深淺測量結果および上述の安定実験と同一条件で実施した移動床実験の結果を用いてユニットとしての安定性について考察する。

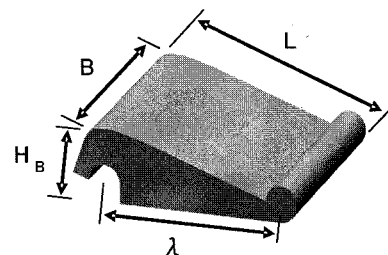
3. DRIM ブロックとしての安定性

(1) 水理実験

水理模型実験は長さ50m、幅1.0m、高さ1.2mの2次元造波水路に1/30勾配の固定床を設置して行った。使用した DRIM 模型の諸元は表-1に示すとおりであり、あわせて縮尺1/24の場合の現地量も示している。DRIM ブロックは、岸沖方向15個、沿岸方向19個の計285個を固定床上に設置した。

表-1 DRIM 模型諸元

縮尺 1/24 の場合	模型量	現地量
波長 λ	5.0cm	1.2m
高さ H_B	2.0cm	0.48m
長さ L	6.3cm	1.5m
幅 B	5.0cm	1.2m
質量 M		
スタートブロック	99.1g	1.37t
標準	86.3g	1.19t



安定実験はすべて不規則波で行い、一波群を1000波とした。入射波高 $H_{1/3}$ は8~17.4cm、周期 $T_{1/3}$ は2.31~3.15s、岸側端部水深 h は14.6~30.5cmの間で変化させた。ブロック同士のかみあわせがはずれた場合やブロック長さ L の1/2以上移動したものを被害と定義し、波群の波高レベルを順次上げながら被害の累積値を求めた。被害の程度は被害率 D (=被害ブロック個数/設置ブロック個数)で表した。

また、従来にないかみあわせ構造を有することから、図-2に示すようにブロックの前面、上面およびスポンジを取り付けた下面に波圧計を各1台取り付けて、水平波力および揚圧力(上下面の差)を直接測定し、DRIM ブロックに作用する波力特性を検討した。また、波圧測定位置における水位、水平、鉛直流速を測定するとともに、ブロックの挙動を目視観察した。ここでの実験波は規則波とし、入射波高 H は

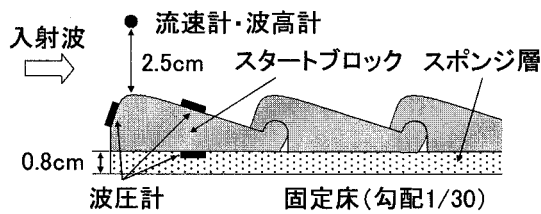


図-2 計器設置状況

8~16cm, 周期 T は 2.04~2.88s, 岸側端部水深 h は 14.6~25.4cm の間で変化させた。

(2) DRIM ブロックの安定性

写真-1 は、水深 20.4cm, 周期 2.65s, 有義波高 16cm ($H_{1/3}/H=0.78$, $h/L=0.056$) での波作用後の被災状況である。最も被害率が高い条件のものであり、沖側、岸側での回転・散乱から徐々に被災が拡がることが確認されている。

また、図-3 は同じ水深条件での波高水深比 $H_{1/3}/h$ と被害率 D の関係を示したものである。初期被災は $H_{1/3}/h=0.5$ を超えてから生じ、相対水深 $h/L_{1/3}$ が小さいほど安定限界波高が小さく、かつ被害が進みやすい傾向がある。

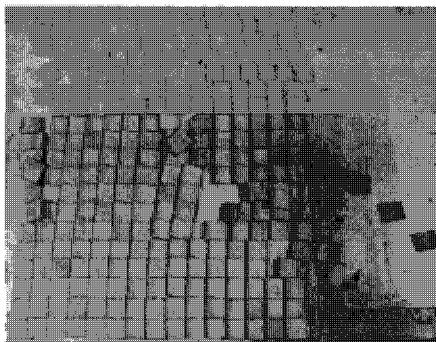


写真-1 被災状況の一例

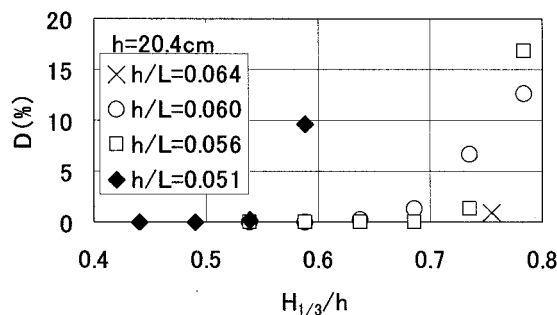


図-3 波高水深比と被害率の関係

(3) DRIM ブロックの安定数

一般に、異型消波ブロックの所要質量はプレブナー・ドネリー式により求められ、ブロックごとに安定数 N_s が決定される。その際、基準となる被災度については、施設の耐用年数と重要度ならびに 2. で述べたような被災形態などを考慮しながら設定する。

DRIM ブロック単体の場合には、写真-1 にも示したように端部から徐々に被災が伝播していく可能性があることから、ここでは被災度 0% を基準に N_s を算定する。

図-4 は $D=0\%$ に対する N_s と $h/L_{1/3}$ の関係であり、岩谷ら⁴⁾による海底勾配 1/10 の実験結果もあわせて示している。勾配条件にかかわらず、 $h/L_{1/3}$ が小さいほど N_s は小さくなる傾向がある。また、緩勾配よりも急勾配のほうが N_s は小さい。岩谷らが指摘するように、急勾配条件では巻き波による衝撃的な碎波力がブロックに直接作用しやすいためと考えられる。

図-5 は、 N_s の平均的な傾向に着目し、DRIM 設置位置の干潮時水深を 3m, 潮位 2m として試算した所要質量の計算例である。比較的小さい波高で短周期の条件に対しては、 $\lambda=1.0$ m 型や 1.2m 型といった小質量のブロックで安定性が確保される。こういった波浪条件は、例えば閉鎖性の強いポケットビーチや人工海浜において、養浜砂流出防止工としての適用を想定したような場合に相当する。一方、外洋に面した海岸での設置を想定した場合には、暴浪やうねりの来襲が考えられることから、質量の大きい $\lambda=1.5$ m 型が推奨される。ただし、2. でも述べたように、ブロックの波長 λ は漂砂制御機能と密接な関係にあるため、機能設計の結果も考慮して使用ブロックの諸元と質量を設定する必要がある。

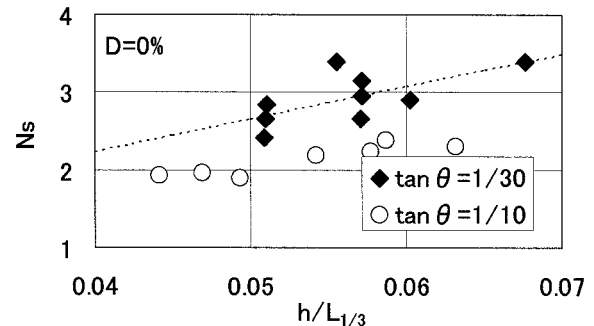


図-4 波高水深比と安定数の関係

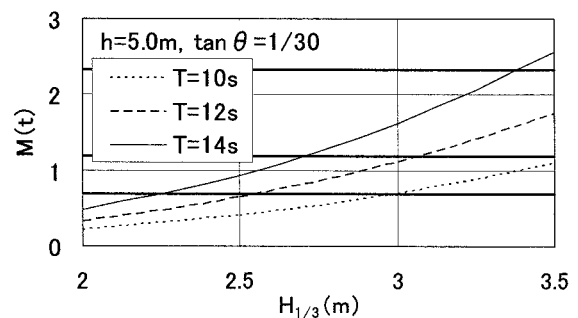


図-5 有義波高と必要質量の関係

(4) DRIM ブロックの波力特性

図-6 は、図-2 に示す計測から得られた DRIM スタートブロック (最も沖側のブロック) 上の水位変動、

水平波圧，上部波圧，下部波圧，上部下部差圧の経時変化の一例（ $h=20.4\text{cm}$ ， $H=7\text{cm}$ ， $T=2.88\text{s}$ ）を示したものであり，DRIM ブロックの初期変形である微動や浮上のない条件のものである．波の峰が通過する際の加速度による仮想質量も重要であるが，水位の最大最小の時刻と各波圧波形との位相差からブロックに作用する水平，垂直波圧の同時性が確認される．

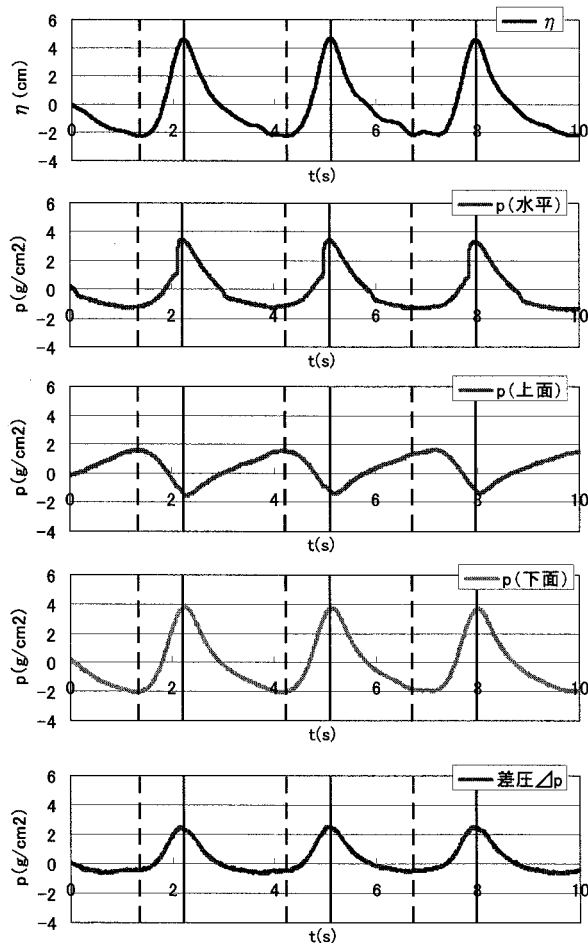


図-6 DRIM ブロックに作用する水平，垂直波圧

また，図-7 および図-8 は，それぞれ水平波圧および底面に作用する垂直上向き波圧のピーク値を示したものである．波高水深比 H/h が大きいほど，また水深波長比 h/L が小さいほど，DRIM ブロック各部に作用する波圧は増大する傾向がある．

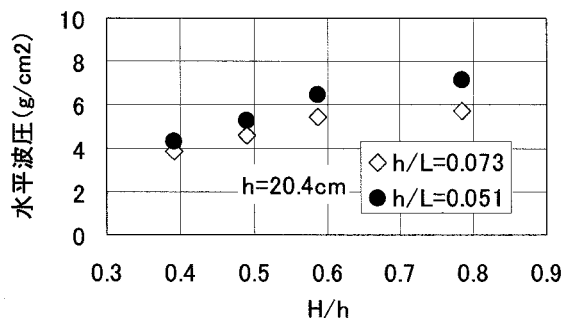


図-7 波高水深比と水平波圧の関係

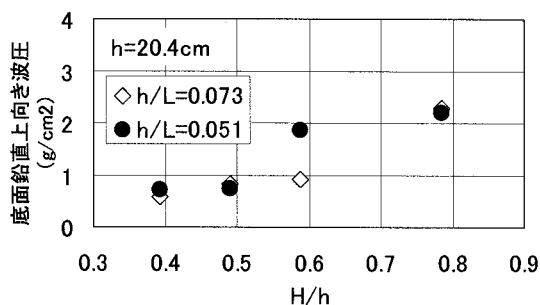


図-8 波高水深比と底面上向き波圧の関係

入射波高，波長に対して相対的に短い高さとし，また得られた波圧は DRIM ブロックの各部に作用する平均的なものと仮定し，受圧面積を考慮して波力換算してスタートブロックの転倒安全率を次式により評価した．

$$\text{転倒SF} = \frac{W_t' - M_V}{M_H} \quad (1)$$

ここに， W_t' ：ブロックの水中重量によるモーメント， M_H ：水平波力によるモーメント， M_V ：垂直波力によるモーメントである．図-9 は転倒に対する安全率の算出結果であり， $H/h=0.6$ 程度以上の場合にブロックが不安定になる傾向が見られ，(1)式の安全率が 1.0 を下回ると回転が発生している．

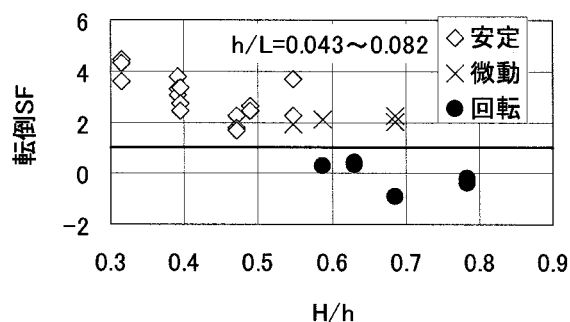


図-9 波高水深比と転倒安全率の関係

また，定量的な評価はしていないが，上述の安定実験においてブロックの岸沖方向の設置向きを逆にすると沖側スタートブロックの安定性が大きく向上することを確認している．写真-2 は，設置方向を変えて，水深 20.4cm，周期 2.88s，有義波高 14cm の条件で波を作用させた後の状況であるが，その相違は顕著である．これは，歪み砂澁形状を特徴とする DRIM ブロックの前方ブロック高が大きいことに起因しており，沖側端部での水平作用波力を低減することで安定性が増すことを示唆している．

4. DRIM ユニットとしての安定性

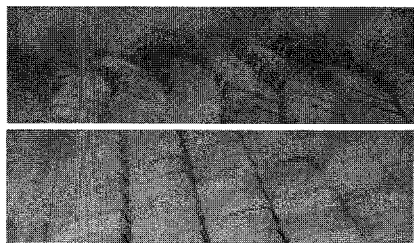


写真-2 DRIMブロックの設置向きの違いによるスターブロックの安定性比較

(1) 現地実証実験からの考察

図-10 は、図-11 のように配置した DRIM ユニットの横断、縦断方向の変形状況を示したものであり、設置後約2年が経過している。中央 $x=0\text{m}$ における横断方向の断面形状からわかるように、両端で沈下が見られ、周辺の地形変化の大きい東側 ($y=5\text{m}$ 付近) でより大きな変形となっている。また、中央 $y=0\text{m}$ における縦断方向の断面形状からは、岸側の周辺地盤の変形とそれによる DRIM 岸側端部の沈下が生じていることがわかる。図-11 に示すように、周辺海底地盤の洗掘への対策は、沖側端部に施工したふとんかごのみである。こうした対策の違いにより、ふとんかご ($x=10.5\sim12$) に隣接する DRIM ブロックの沈下は端部の1個にとどまり、ふとんかごの変形とあわせて周辺地盤に追従している状況がわかる。これより、DRIM ユニット端部における侵食および周辺地盤への追従性を確保する対策としてふとんかごの有効性が確認された。

一方、図-12 は、芦屋海岸に設置されている DRIM ユニット岸側の地形を示したものである。図は左から設置直後、1年後、2年後の地形であり、図中に太線で示した -4m の等水深線で囲まれる深みが DRIM 岸側を沿岸方向に移動していることがわかる。過去の深浅測量結果から、この現象は当該海岸において見られる特徴であることがわかっており、設置後1年目に DRIM 岸側直背後で生じたブロックの沈下に大きく影響を及ぼしているものと思われる。

また、沿岸方向端部での沈下に伴い隣接するブロック間の目地が空く状況が確認されているが、施工時に設置したロープの断線はなく、ブロックの連結保持に寄与している状況がうかがえる。

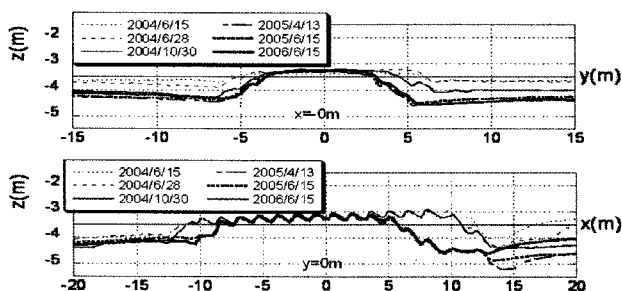


図-10 芦屋海岸における DRIM ユニットの变形の経時変化

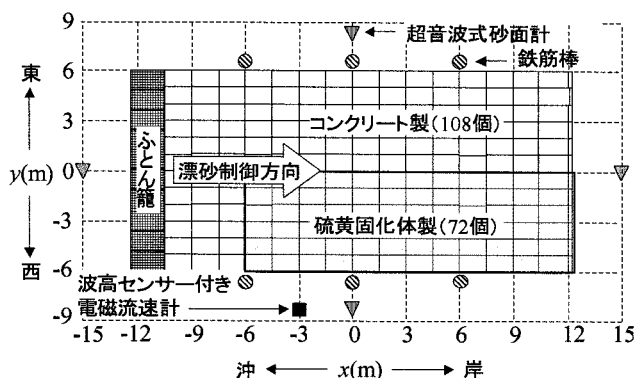


図-11 芦屋海岸における DRIM ユニットの設置状況

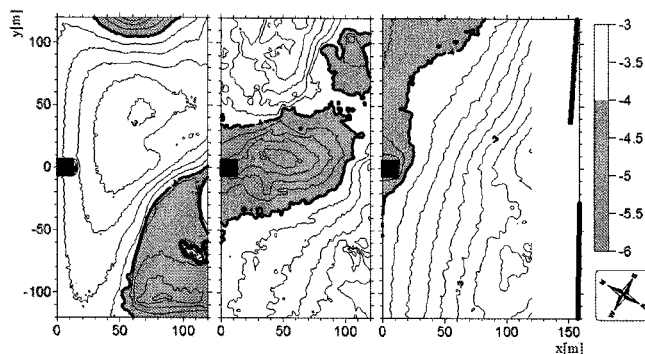


図-12 DRIM ユニット岸側の地形変化

(2) 移動床実験による洗掘対策の検討

DRIM 岸側端部で沈下が顕著となるような移動床および規則波条件で、洗掘対策実験を実施した。図-13 に、対策の一例としてふとんかごを1列、2列設置した断面および計測した物理量を、図-14 にその結果を示す。対策を施した場合には、沈下は大幅に減少し DRIM ブロック高さ以下に抑制されていることがわかる。

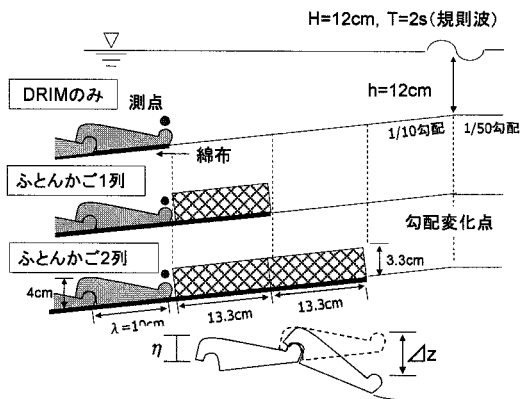


図-13 洗掘対策実験の検討断面

(3) 洗掘対策工の DRIM ユニットの耐波安定性への寄与

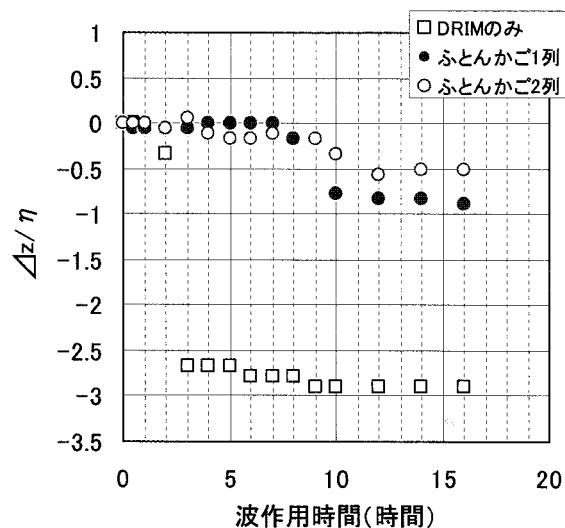


図-14 洗掘対策工の効果

(1), (2)での考察から DRIM ユニット周囲の洗掘対策の有効性が示された。波力実験からは、DRIM スタートブロック前側での波力低減が安定性向上に寄与する可能性が指摘されたことから、上述の安定実験と同一の条件で、DRIM ユニットの岸沖側それぞれにふとん籠を設置した条件で安定実験を行った。図-15は結果の一例を示したものであるが、被災限界波高が大きくなるとともに、被災の規模が小さくなっていることがわかる。これより、洗掘対策を伴う DRIM ユニットでは、DRIM ブロックの安定性が向上しているものと推定される。

5. おわりに

DRIM 工法における安定性について、DRIM ブロック、DRIM ユニットの2つに大別し検討した。DRIM ブロックの被災や波力特性を示すとともに、安定数を算出し所要質量の算定例を示した。また、DRIM ユニットについては、前報でも示した芦屋海岸のその後のモニタリング結果と移動床実験などにより、洗掘対策の必要性和周辺地盤変化への追従性、ユニット内の DRIM ブロックの安定性の向上効果を明らかにした。

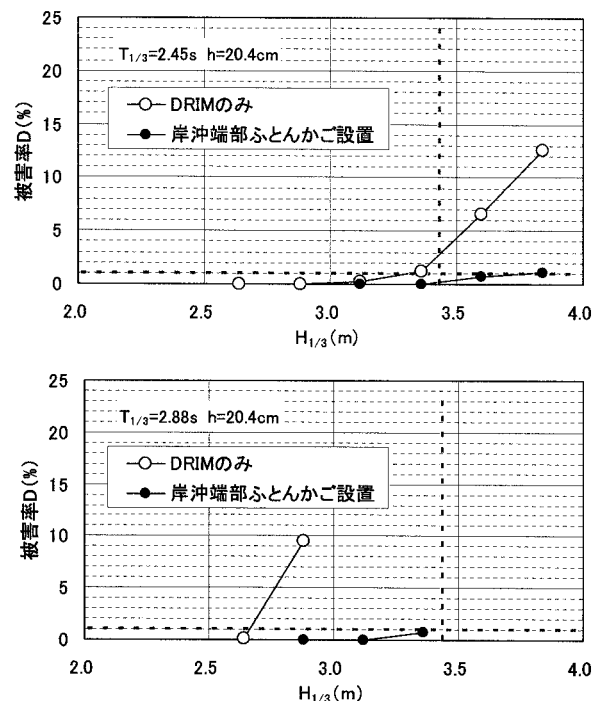


図-15 洗掘対策による安定性の向上

なお、DRIM ユニット内での安定数については、今後引き続き検討したいと考えている。

参考文献

- 1) 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: 芦屋海岸における DRIM の漂砂制御機能に関する現地試験, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp. 646-650, 2005.
- 2) 清水雄平, 五明美智男, 山口洋, 藤村貢, 児島和之, 入江功: 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, 2005.
- 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) 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.