

天端の低い海岸構造物に用いる被覆ブロックの被災形態と安定数

松田 節男*・錦織和紀郎*・松本 朗*・田安正茂*

1. ま え が き

海浜の安定化工法として突堤やヘッドランドなどがある。また、近年では海岸景観や建設コストなどの問題から、天端高と計画高潮位がほぼ等しい低天端離岸堤が実際に建設され始めている。

これらの低天端構造物に用いられる被覆ブロックの所要質量の算定には、従来 K_D を一定としたハドソン式が便宜的に用いられてきた。 K_D を用いたハドソン式は、斜面に設置された被覆材の安定性について提案されたものである。

低天端構造物のように構造上弱いとされる天端肩部分が低い場合に、 K_D を一定としてハドソン式を適用出来るか疑問であるが、これら低天端構造物の被災形態について詳細に検討された研究は少ない。Vidal ら (1992) は捨石式の低天端傾斜堤の安定性について、前方斜面・天端・背後斜面に区域分けをしてそれぞれの範囲について、天端高を基準に安定数を評価しているが、ブロックで被覆した場合については検討していない。また、福島ら (1999) は、平型の被覆ブロックで被覆された低天端離岸堤の被災機構について、規則波を用いて実験的に研究しているが、設計に資するに至っていない。

本研究では、低天端構造物の被覆に平型ブロックを使用した場合の被災形態および所要質量算定法を検討することを目的として、天端高やのり面勾配等を組み合わせた条件で、不規則波による水理模型実験を実施し、解析を行った。

2. 実験方法

実験には長さ 50 m、幅 1.0 m、高さ 1.3 m の 2 次元造波水路を用いた。水路内に勾配 1/30 の固定床を造り、その斜面上に基礎捨石および被覆ブロックから成る構造物模型を作製した。以下に実験条件を、図-1 に実験断面を示す。

- ・基礎マウンドには質量 1~4 g 程度の砕石を使用
- ・被覆ブロックは以下の相似形の 2 種類を使用

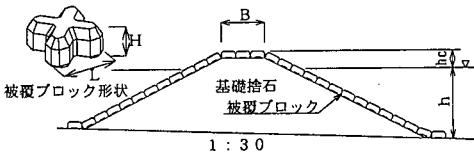


図-1 実験断面

表-1 実験断面条件

のり面勾配	ブロック天端高 h_c (cm)
1:1.5	6.0
1:2	-4.0, -2.0, 0.0, 1.25, 4.0, 6.0, 10.0
1:3	0.0, 1.25, 4.0, 6.0, 10.0
1:5	0.0, 1.25, 6.0

- ① 質量 83.9 g ($L=4.83$ cm, $H=2.27$ cm)
- ② 質量 123.6 g ($L=5.50$ cm, $H=2.59$ cm)
- ・天端はブロック 3 個並び
- ・設置水深 h (のり先位置水深) は 24 cm に固定

本研究は、主に突堤やヘッドランドのように比較的天端の低い構造物の被覆ブロックを対象としているが、さらに静水面と天端がほぼ等しいような低天端離岸堤を被覆した場合のブロックの安定性についても検討するため、天端高やのり面勾配は表-1 の通りに設定した。

実験波浪には修正ブレッグシュナイダー・光易型の周波数スペクトルを持つ不規則波を用いた。周期 $T_{1/3}$ は 1.41, 1.98, 2.26 s の 3 種類とした。同一の断面に対して周期ごとにブロックの動揺が全く見られないような小さい波高から作用させ、被害が生じるまで概ね 1 cm ビッチで波高を増加させた。その間ブロックの並べ替えは行わないこととした。作用波は波高ランク毎に約 1000 波とし、目視にてブロックの挙動を観察した。

ブロックの被害の定義は、裏返りや転落、ブロック基本長の 1/2 以上移動したものは被害とみなしたほか、隣接したブロックに脚をかけた場合も浮き上がりの被害とみなした。浮き上がりの場合、一度脚をかけたが波の作用中に元に戻るものや、波高の大きい波が作用したとき瞬間的にブロック高さ程度浮き上がりすぐに元に戻るも

* 正会員 (株)テトラ 環境事業本部 技術部

のもみられたが、これらも脚をかけたものと同程度の浮き上がりが生じたものとして被害とみなした。

実験結果ではのり面で被災したケースもあったが、多くは沖側の肩部分で被害が生じたため、本研究では、天端ブロックに適用できる N_s を用いたハドソン式 (1) を用いてブロックの安定性を評価した。

$$M = \frac{\rho_s \cdot H_{1/3}^3}{N_s \cdot (S_r - 1)^3} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 M はブロックの所要質量、 ρ_s はブロックの密度、 $H_{1/3}$ は堤体位置での有義波高、 N_s は安定係数、 S_r はブロックの比重である。

なお、実験に際して、断面実験であるために生じる堤体岸側の水位上昇を抑えるために、堤体岸側の水を堤体沖側の造波板付近に循環させた。これにより堤体背後での過度の水位上昇による実験への影響を軽減した。

3. 実験結果および考察

3.1 被災形態

本研究の対象である平型の被覆ブロックは、かみ合わせを有する消波ブロックとは異なり、ブロック単体の重量と隣接ブロックとの摩擦、いわゆるせり持ちで安定性を確保する。構造的な不連続点となる肩の部分は、のり面などに比べてせり持ちの効果が少ないため、被害が生じやすいといえる。

図-2 に各ケースにおいて被害が生じ始めた時の被害箇所の一覧を示す。塗りつぶしている部分が最初に被害が生じた箇所であり、複数の範囲にまたがっている所は

同時期に被害が生じたケースである。平型の被覆ブロックは、1個が被災するとそこから捨石が吸い出される等して周辺の被覆ブロックの安定性が著しく劣るようになり、急激に被害が拡大する傾向が見られた。このため、本研究では被害が生じ始めた時の被害箇所に着目した。

本実験範囲において、のり面勾配 1:1.5 および 1:2 のケースでは天端付近で、1:5 の場合はのり面で被害が生じている。1:3 の場合は天端が高いケースではのり面で、低い場合には天端で被害が生じる傾向にある。これは、勾配が緩くのり面が長い場合には、のり面上で変形した波が直接のり面に作用するため、そこで被害が生じるが、急勾配でのり面が短い場合には、波が十分に変形する前に天端に達するため、のり面よりも構造的に弱い肩付近が被災したためだと考えられる。

実験時に観察されたブロックの移動状況を図-3 に示す。のり面勾配 1:1.5 から 1:3 では主に天端沖側肩部分 (図-3(a)) および沖側のり面最上部 (図-3(b)) が被災した。ブロックの移動状況は、浮き上がりによって隣接しているブロックに脚をかけた後に移動するケースと、ブロックの岸側部分を軸に回転し飛散するケースが見られた。これらの移動状況は同一の有義波周期、有義波高でも個々の波の作用の仕方が異なるため、同一のケースの中に混在している。

岸側の肩部分に設置されたブロックが被災する場合は、図-3(c) のように岸側に押し出されるように転落した。

図-3(d) に示すように、沖側のり面に設置されたブ

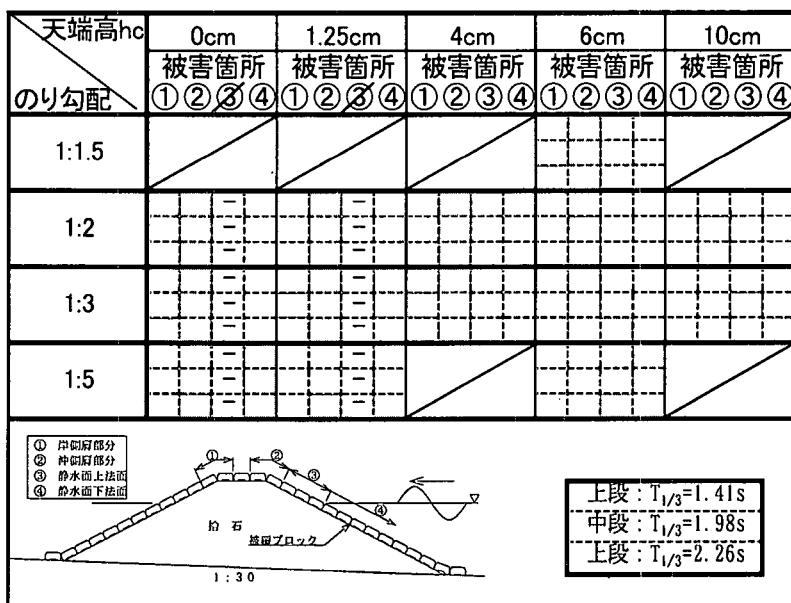


図-2 被害が生じ始めた箇所

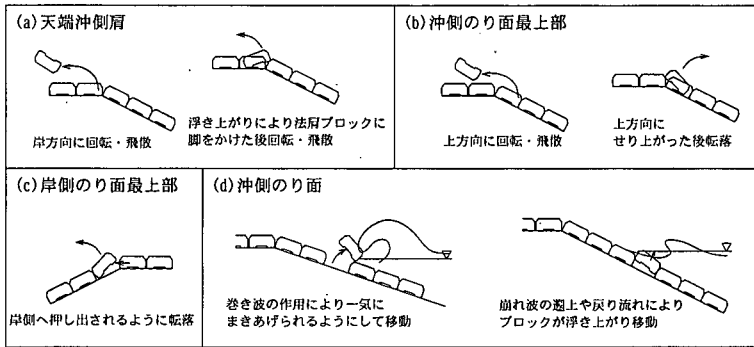


図-3 ブロックの移動状況

ロックが被災する場合は、砕波形態によって概ね2通りの移動の状況が観察された。のり面の被災が見られたのはのり面勾配1:3の比較的天端の高いケースおよび1:5のケースに集中しており、その大半は巻き波砕波の作用によって捲きあげられるように移動した。このような結果は、齋藤ら（1998）による緩傾斜堤の被覆ブロックの移動状況と同様の傾向であった。

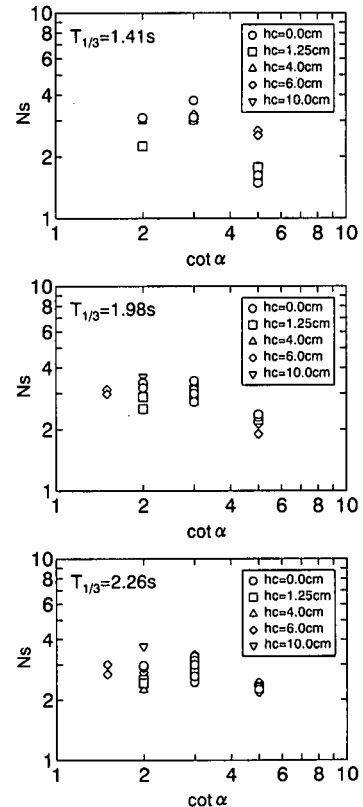
以上により、不規則波の波浪諸元を用いて被災の形態を系統的に分類し、それを考慮した上でブロックの安定性を評価するのは実用的ではないと考えられる。したがって、本研究では被災形態によらずに被害・無被害を基準にブロックの安定性を評価するものとした。

3.2 傾斜堤被覆に用いる算定法の適用性の検討

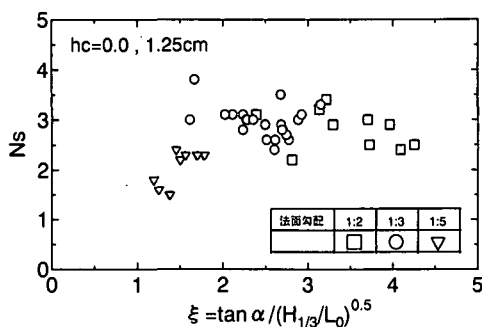
図-4に実験より得られたのり面勾配 $\cot \alpha$ と安定数 N_s の関係を示す。図は両対数軸で表している。 K_0 値を一定としてハドソン式によって被覆ブロックの安定性が評価できるのであれば、 $\cot \alpha$ の増加にともない N_s も直線的に増加傾向を示すはずであるが、実験結果は $\cot \alpha$ が3以下ではほぼ一定で、 $\cot \alpha$ が5のときにそれらよりもやや小さな値となった。前述したように低天端構造物の場合、構造的に弱い肩部分から被害が生じる傾向があり、斜面に設置されたブロックの安定性を対象としたハドソン公式は低天端構造物には適用できないと考えられる。

また、図-4はそれぞれ有義波周期別に表示しているが、データのばらつきが見られるものの、それぞれがほぼ同様の傾向を示す結果となった。個々の条件を詳しく解析すると同一断面で同一波高でも周期によってブロックの安定性が異なることは観察され、構造物の条件等によっては安定数 N_s が周期依存性を有することは十分に考えられるが、実験条件の範囲全体をみたとき、安定性の周期依存性は明瞭でなかった。

図-5は、本実験範囲から特に低い天端であるケースについて砕波相似性パラメータ ξ と安定数 N_s の関係を調べたものである。齋藤ら（1998）によれば傾斜堤の被覆ブロックの安定数は巻き波や巻き寄せ波が作用する

図-4 のり面勾配と N_s

<3程度の範囲において増加傾向にあるとされているが、本研究の対象である低天端構造物については、 $\xi < 2$ の範囲であるのり面勾配1:5と1:3の一部分でのみ増加傾向を示し、 $\xi > 2$ の範囲では、ほぼ一定となった。これにより、1:5のように勾配が緩く、低天端であっても直接のり面に波が作用するような場合は傾斜堤被覆時と同様の傾向を示すが、1:3よりも急な勾配で天端が低い場合には、構造上弱い肩付近が被災するため、砕波形態の影響は少なくなるものと考えられる。

図-5 低天端のケースでの ξ と N_s の関係

以上により、低天端構造物の被覆ブロックの所要質量を便宜的に傾斜堤被覆時の考え方で算定すると、実際とは異なる安定数が算定される可能性があり、ブロックの質量不足をまねく恐れがある。したがって、低天端構造物の被覆ブロックの所要質量算定には、天端高の影響を考慮した算定方法が必要であると考えられる。

3.3 低天端構造物被覆の安定性評価方法

本研究の対象である低天端の海岸構造物は、天端が静水面以上の高さであるが、その断面形状は傾斜堤よりもむしろ人工リーフに近い形状である。また、被災箇所も天端もしくはのり面の肩部分が多く、そのような傾向も人工リーフに類似している。本研究では、人工リーフ被覆時の所要質量算定法に基づいた考え方で、低天端構造物被覆ブロックの安定性を評価できるか検討した。

人工リーフ被覆ブロックの所要質量算定方法として多く用いられている方法は、天端水深 R と波高 $H_{1/3}$ の比 ($R/H_{1/3}$) と個々の実験条件に対応した N_s の関係から設計に用いる N_s を判定し、(1) 式を用いて所要質量を算定する方法である(全国漁港協会, 1996; 浅川ら, 1992)。

図-6 に、のり面勾配ごとの相対天端高 ($h_c/H_{1/3}$) と N_s の関係を示す。構造物の条件等によっては安定数 N_s が周期依存性を有することは前述したが、本研究においてはそのような傾向は見られなかったため、ここでは周期による分類はせずに安定数 N_s をとりまとめた。図中のプロットは被害あり・なしに関わらずすべてのデータを表記した。図中の被害あり・なしの境界によって現れる傾向がブロックの安定性を示すものと考えられる。

図-6 より、勾配 1:2 の場合は、 $h_c/H_{1/3}$ が大きくなるほど安定数 N_s が大きくなっており、相対天端高の変化にともなう N_s の変化は著しい。すなわち被害の生じ始める位置が沖側の肩部分に集中している 1:2 の場合は、安定数が相対天端高に大きく影響されることがわかる。

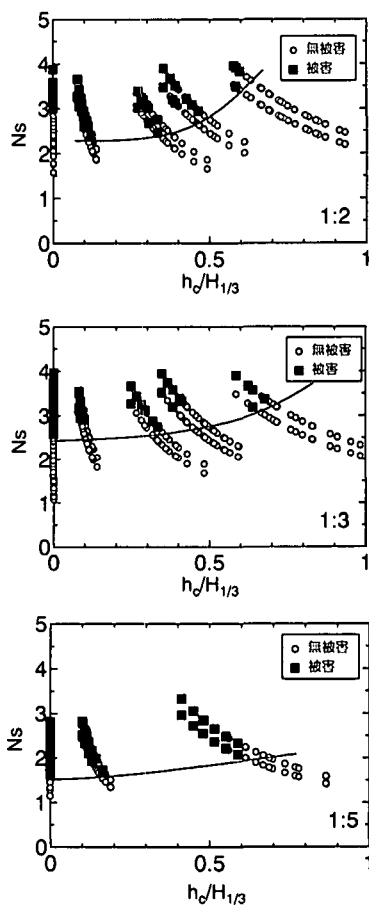
勾配 1:3 の場合の安定数も、 $h_c/H_{1/3}$ が大きくなるほど N_s が大きくなるが、1:2 に比べて相対天端高の影響は小さくなっている。勾配 1:3 の場合はのり面のブロッ

クも被災しているため、1:2 の場合よりは相対天端高の影響が小さくなると考えられる。

ほとんどのブロックがのり面で被災した勾配 1:5 の場合は、相対天端高の変化にともなう N_s の変化はわずかである。

以上により、天端の低い海岸構造物に用いる被覆ブロックは、天端高やのり面勾配により被害特性が異なるため、所要質量の算定には図-6 のように、のり面勾配ごとに $h_c/H_{1/3}$ の影響を取り入れて N_s を評価し、 N_s を用いたハドソン式を適用すべきと考えられる。図-6 を基にして、低天端の海岸構造物の被覆ブロックの所要質量の算定が可能である。

図-7 は、のり面勾配 1:2 での $h_c/H_{1/3}$ と N_s の関係を天端が没水している形状まで含めて示したものである。本研究の条件では天端が没水している部分は沖側の肩部分が被災するような天端水深が小さい形状のみ対象としているものの、天端が静水面上にある低天端の範囲と N_s の傾向がよくつながっている。これは人工リーフ被覆か

図-6 $h_c/H_{1/3}$ と N_s の関係

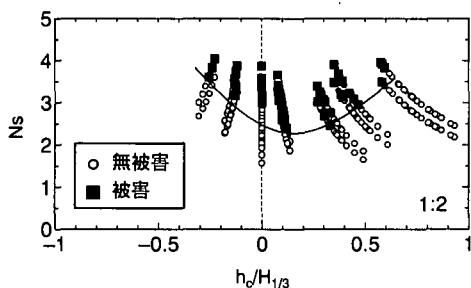


図-7 $h_c/H_{1/3}$ と N_s の関係 (1:2)

ら低天端構造物の被覆まで、同一の指標で安定数を評価することの可能性を示唆していると思われる。

安定数 N_s は、天端が静水面に等しいときに下限となることが予想されたが、本研究の範囲では勾配 1:2 の場合は静水面より少し高い天端のときに下限となった。この原因は不明であるが、波のエネルギーが越波によって堤体背後へ伝搬してしまう等の要因が考えられる。

4. あとがき

天端の低い海岸構造物に用いる平型の被覆ブロックの安定性について、天端高やのり面勾配等を組み合わせた条件で、不規則波による系統的な水理模型実験を実施し、本実験の条件下では以下のような結果を得た。

(1) ブロックの被災状況はのり面勾配や天端高、波浪諸元によって異なり、天端が低くてものり面上で波が変形し直接のり面に作用する場合は傾斜堤被覆時のような

傾向を示すが、のり面勾配が急になると、碎波形態によらず構造上弱い天端あるいはのり肩で被災するようになる。

(2) 低天端の海岸構造物の被覆ブロックの所要質量を便宜的に傾斜堤被覆時の考え方で算定すると、実際とは異なる安定数が算定される可能性があり、ブロックの質量不足をまねく恐れがある。

(3) 低天端の海岸構造物の被覆ブロックの安定性は、天端高やのり面勾配により被害特性が異なるため、所要質量の算定にはのり面勾配ごとに安定数を評価し、 N_s を用いたハドソン式を適用すべきだと考えられる。ブロックの安定性は相対天端高 ($h_c/H_{1/3}$) と N_s の関係によってよく表され、これを用いて所要質量の算定が可能である。

参考文献

- 浅川 勉・佐藤和弘・口ノ町誠・野口正昭 (1992): 人工リーフ被覆材の安定性に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp. 656-660.
- 齋藤正文・小林一光・錦織和紀郎 (1998): 緩傾斜堤に用いる被覆ブロックの安定性に関する研究, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp. 811-815.
- 全国漁港協会 (1996): 漁港海岸事業設計の手引, 全国漁港協会, 平成 8 年度版, 296 p.
- 福島雅紀・山本幸次・佐藤慎司・山本吉道 (1999): 低天端離岸堤の被覆ブロック被災機構に関する研究, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp. 896-900.
- Vidal, C., M. A. Losada, R. Medina, E. P. D. Mansard and G. Gomez-Pina (1992): A universal analysis for the stability of both low-crested and submerged breakwaters, Coastal Engineering, 23, pp. 1679-1692.