

消波ブロック被覆堤の前面マウンド被覆材の耐波安定性

藤池 貴史*・木村 克俊**・林 忠志***・土井 善和****

1. まえがき

消波ブロック被覆堤は浅海域の防波堤や護岸の代表的な構造形式の一つである。最近では、比較的水深が大きい海域においても、反射波や波力の低減を目的として消波ブロック被覆堤が採用される事例が増加しており、こうした場合図-1に示すように捨石マウンド上に消波ブロックを設置する形式が一般的である。これまで消波ブロック被覆堤前面のマウンド被覆材に関しては、通常の混成堤や傾斜堤の安定重量算定法を準用してきたけれども、水深が大きな条件では従来の方法が適用できない場合がある。

また近年、海域環境との調和の観点から、消波ブロック被覆堤の前面マウンド水深を浅くして、藻場機能を持たせる構造が注目されている。北海道の浦河港ではすでに現地施工が行われているが(谷野, 1995), その設計に際してはマウンド部の安定性が問題となり、水理模型実験を行って被覆材の安定重量を決定した。今後こうした環境調和型構造物へのニーズが高まることから、一般的な被覆材重量の算定法を確立する必要がある。

本研究では、まず混成堤のマウンド被覆ブロックの安定重量算定法について検討し、安定数の基本式を各種の被覆ブロックに対応可能な形式に修正する。次に、通常の混成堤と消波ブロック被覆堤を対象として水理模型実験を行い、マウンド被覆ブロックの安定性について検討する。以上の結果に基づいて消波ブロックの効果を考慮したマウンド被覆ブロックの安定重量算定法を提案する。

2. 安定重量算定の基本式

混成堤のマウンド被覆ブロックの安定重量 W は、以下に示す安定数 N_s を用いたハドソン式により算定するのが一般的である。

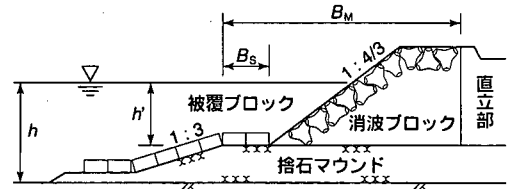


図-1 消波ブロック被覆堤の断面形状

$$W = \frac{\gamma_r H_{1/3}^3}{N_s^3 (S_r - 1)^3} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 $H_{1/3}$ は設計有義波高、 γ_r はコンクリートの単位体積重量、 S_r は海水とコンクリートの密度比である。安定数 N_s は実験によって求められるもので、これまで各種の方法が提案されている。

谷本ら(1982)はマウンド近傍流速に基づいて安定数を定式化し、不規則波による安定実験により、その妥当性を確認している。さらに高橋ら(1990)は、斜め入射条件に適用できるよう拡張している。ここでは各種の被覆ブロックへの適用性を考慮して、安定数の基本式においてブロック固有の係数を分離し、以下のように修正した。

$$N_s = N_{s0} \cdot \max \left\{ 1.0, 0.525 \frac{1-\kappa}{\kappa^{1/2}} \frac{h'}{H_{1/3}} + \exp \left[-0.9 \frac{(1-\kappa)^2}{\kappa^{1/2}} \frac{h'}{H_{1/3}} \right] \right\} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 h' はマウンド基面水深、 κ は無次元流速パラメータである。 N_{s0} は基準安定数で、ブロック固有の値である。一般に高マウンドで被覆ブロックが最も不安定となる条件に対する安定数である。

一般の被覆ブロックについては、以下の関係式を用いて K_D 値から N_{s0} を推定することができる。

$$N_{s0} = (K_D \cot \theta)^{1/3} \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 θ はマウンドの法勾配である。ただし式(3)の適用に当たっては、 K_D 値を不規則波実験より求める必要がある。

* 正会員 北海道開発局香港湾建設事業所 (前開発土木研究所 港湾研究室)
** 正会員 工博 北海道開発局開発土木研究所港湾研究室副室長
*** 工修 北海道開発局開発土木研究所港湾研究室長
**** 北日本港湾コンサルタント(株)環境水理課

3. 実験の方法

(1) 波力実験

水理模型実験は長さ28m, 幅0.8m, 高さ1.0mの2次元造波水路で実施した。波力実験では図-2に示すように実験水路を2分割し, 直方体型のダミーブロックを2分力計で固定して水平波力 F_H および鉛直波力 F_V を測定した。波力測定対象のブロックの直上においては, 水位変化および流速を測定した。

消波ブロック被覆堤の断面形状は, 前出の図-1に示す各部の諸元を $h=22.4$ cm, $h'=13.0$ cm, $B_M=55.5$ cm, $h_c=10.6$ cmとした。消波ブロックの法先部のマウンド小段幅 B_s は標準的な被覆ブロックの2個分の幅とした。通常の混成堤についても, マウンド前肩幅 B_M を変化させて波力測定を行った。

波力実験はすべて規則波で行い, 実験周期は $T=1.64, 2.0$ および 2.4 sの3種類, 波高 H を3~12 cmの範囲で変化させた。有効波数は3波とし, その平均値を示した。

(2) 安定実験

マウンド被覆ブロックの安定実験はすべて不規則波で行った。検討対象としたのは平行の被覆ブロックで, 質量の異なる3種類のモルタル模型(23, 50および100 g)を用いた。実験堤体は $h=30\sim 60$ cm, $h'=19.5\sim 39.0$ cmとした。消波ブロック被覆堤では無次元マウンド前肩幅 B_M/L' を0.25~0.75とし, 通常の混成堤では B_M/L' を0.16~0.28の範囲で変化させた。

実験周期は $T_{1/3}=1.58, 1.90$ および 2.21 sの3種類とし, 1波群500波を標準とした。実験では波高 $H_{1/3}$ を段階的に大きくして行ってブロックの被害傾向を観察した。なお安定数 N_s は被害率1%の条件に着目して求めた。

4. 混成堤のマウンド被覆ブロックに働く波力と安定性

(1) 波力の時間変化

図-3は, 通常の混成堤について, 被覆ブロックに働く波力, ブロック上の水位および水平流速の時間変化を示している。波浪条件は波高 $H=12.2$ cm, 周期 $T=1.64$ sである。水位がピークとなるときにブロックに揚圧力がか働いている。後述する安定実験においては, 揚圧力によってブロックの沖側の端部がいったん浮上し, その後の波向き方向の流れによってブロックが回転する傾向が確認されている。

(2) 前肩幅の影響

図-4はマウンド法肩における発生流速に対する前肩

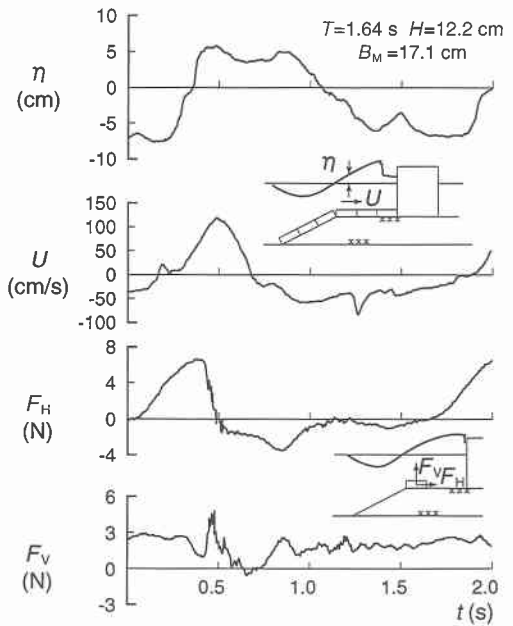


図-3 波力の時間変化

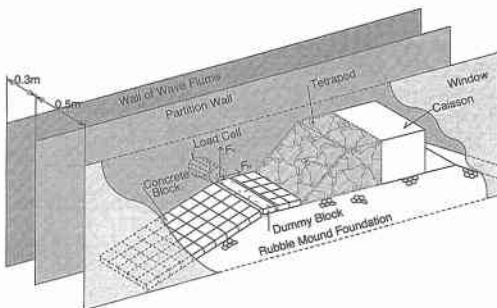


図-2 波力の測定方法

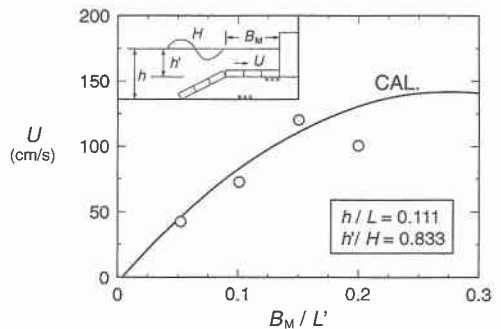


図-4 マウンド近傍流速

幅の影響を示している。無次元マウンド前肩幅 B_M/L' が大きいほど、法肩部が重複波の節に近づくため流速も大きくなる。この傾向は図中に実線で示した谷本ら(1982)による計算曲線とよく一致している。

図-5は揚圧力とマウンド前肩幅の関係を示している。前出の図-4に示した流速特性とは逆に、マウンド前肩幅が小さいほど揚圧力が大きくなる傾向がある。これは直立壁に働く砕波力と同様に、マウンド形状によって変化する現象であり、砕波が生じやすいほどブロックに働く揚圧力が増大する。また石材のように単体が小さい場合は揚圧力が小さいけれども、被覆ブロックのように波向き方向にある程度の長さを有する被覆材の場合、揚圧力が生じやすくなるものと考えられる。

(3) 無次元流速の修正

図-6は、通常の混成堤のマウンド被覆ブロックの安定実験結果に基づいて、安定数比 N_s/N_{s0} と無次元前肩幅 B_M/L' の関係を示している。 $B_M/L'=0.15$ で安定数が極小となっている。これはブロックの被害が、前述したように揚圧力による浮き上がりとその後の流れの複合作用によって生ずるためと考えられる。

こうした傾向をふまえて、マウンド前肩幅が広い条件を含めて混成堤の無次元流速の算定法を以下のように修

正した。

$$\kappa = C_R \cdot \kappa_1 \cdot (\kappa_2)_B \dots\dots\dots (4)$$

$$\kappa_1 = \frac{4\pi h' / L'}{\sinh 4\pi h' / L'} \dots\dots\dots (5)$$

$$(\kappa_2)_B = \begin{cases} \sin^2(2\pi B_M/L') & (B_M/L' \leq 0.15) \\ 1.309 - \sin^2(2\pi B_M/L') & (0.15 \leq B_M/L' \leq 0.25) \\ 0.309 & (0.25 \leq B_M/L') \end{cases} \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 L' はマウンド基面水深における設計波周期に対する波長である。前肩幅の影響を示す $(\kappa_2)_B$ は、図-7に示すように B_M/L' が0.15においてピーク値をとり、 B_M/L' が0.25以上では一定値とした。図中の点線で示す従来の算定式ではマウンドが広い条件で算定値が過大となる傾向が見られたが、式(6)はこれを補正したものである。

式(4)中の C_R は堤体形状係数であり、通常の混成堤の場合 $C_R=1$ とした。消波ブロック被覆堤の場合は消波効果により前面の被覆ブロックが安定になるため C_R の値は1より小さくなる。具体的な C_R の値は安定実験により決定する。

(4) 被覆ブロックの安定数

図-8は、無次元流速 κ のランクごとの安定数を示している。いずれの条件に対しても実験値は計算値とほぼ

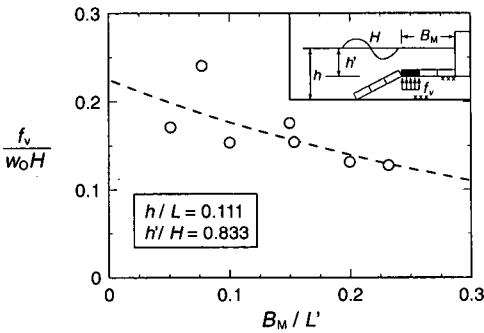


図-5 ブロックに働く揚圧力

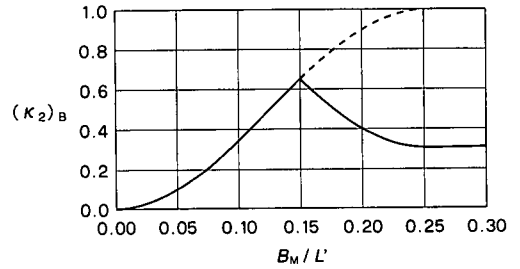


図-7 $(\kappa_2)_B$ の定式化

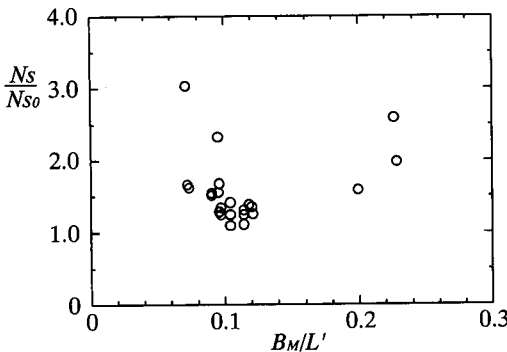


図-6 安定数

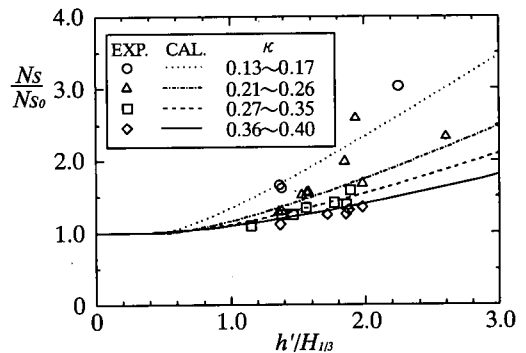


図-8 安定数の計算値と実験値の比較

一致しており、通常の混成堤に対しては、式(1)~(6)を用いてマウンド被覆ブロックの安定重量が算定できることが明らかになった。なお今回使用した被覆ブロックに対しては、高マウンド条件の実験結果に基づいて $N_{so}=2.0$ としている。

5. 消波ブロック被覆堤の前面マウンド被覆ブロックに働く波力と安定性

(1) 波力特性

図-9は、 $T=1.64$ s, $H=12.2$ cmの条件に対して、消波ブロック被覆堤の前面マウンド被覆ブロックに働く波力の時間変化を示している。前出の図-3に示した通常の混成堤と比べると、ブロックに作用する揚圧力に顕著なピークが発生していない。また押し波時の流速は同程度であるが、引き波時の流速が減少している。

図-10は $h/H=1.07$ の条件に対して、マウンド各部におけるブロックに働く揚圧力を比較したものである。

揚圧力は法肩付近で最大で、深い位置のブロックほどその値が小さくなる。

(2) 流速および作用波力

図-11は、横軸に周期の影響を示す h'/L' をとり、縦軸には消波ブロックの有無による引き波のマウンド近傍流速比 U_d/U_c を示している。いずれの周期条件に対しても、消波ブロック被覆堤のマウンド近傍流速は、消波ブロックが無い場合の60~80%程度になっている。

図-12は被覆ブロックに作用する揚圧力について、前出の図-11と同様な比較を行った結果である。消波ブロック被覆堤では通常の混成堤に比べて揚圧力が70~80%となっている。

(3) 被覆ブロックの安定数

消波ブロック被覆堤の前面マウンド水深 h' および前肩幅 B_M を変化させて安定数 N_s を調べた。図-13は $h'/H_{1/3}$ と安定数比 N_s/N_{so} の関係を示している。実験結果にはばらつきが見られるが、 $C_R=0.4$ の計算曲線が実験値の傾向とほぼ一致している。消波ブロック被覆堤では、この値を式(4)に適用して前面マウンド被覆ブロック

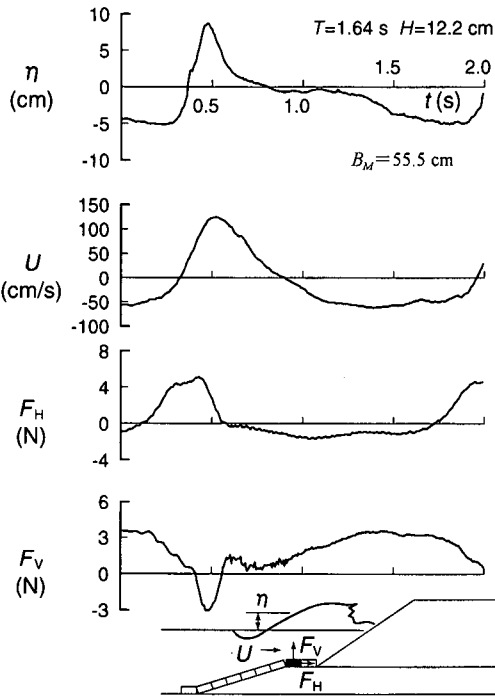


図-9 時系列変化

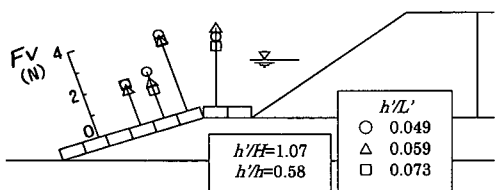


図-10 波力分布

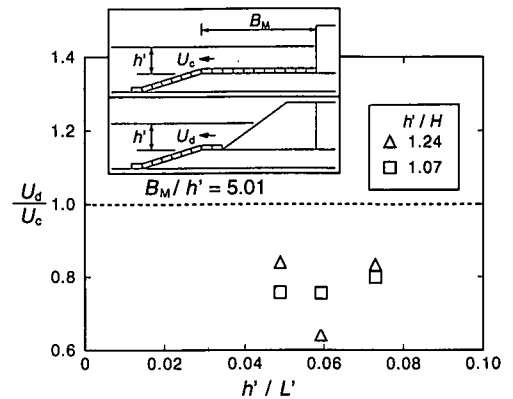


図-11 流速の低減特性

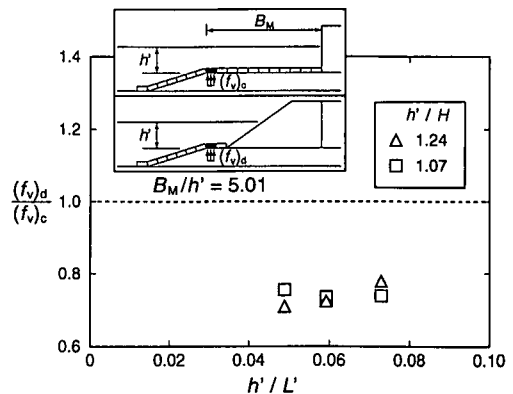


図-12 波力の低減特性

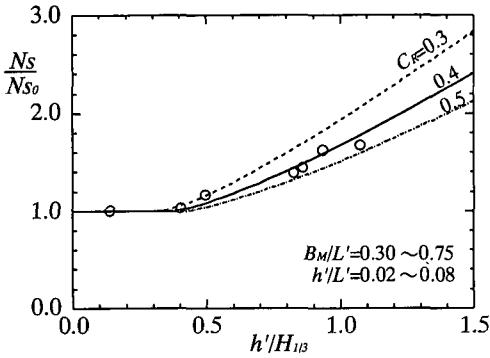


図-13 被覆ブロックの安定数

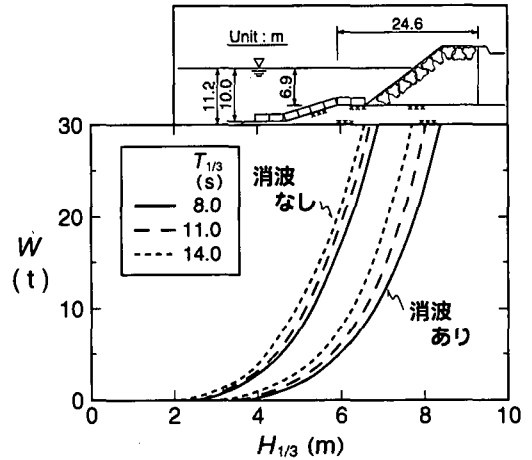


図-14 計算結果

の安定重量の算定を行うものとする。

(4) 安定重量の算定例

水深 h が 11.2 m の海域に建設される消波ブロック被覆堤を対象として、前面のマウンド被覆ブロックの安定重量を計算した。ここでケーソン基面水深 $h' = 6.9$ m、マウンド前肩幅 B_M は 24.6 m とした。

図-14 は 3 種類の周期に対する波高 $H_{1/3}$ と安定重量 W の関係を示している。この構造条件に対しては周期が長いほど安定重量は大きくなる傾向がある。また消波ブロック被覆堤では、同じマウンド形状で消波ブロックが無い混成堤と比較すると安定重量は $1/3$ 程度になることがわかる。

6. まとめ

消波ブロック被覆堤の前面マウンド被覆材の作用波力と安定性について検討した。主要な結論は以下の通りである。

- 1) 消波ブロック被覆堤の場合は、通常の混成堤に比べてマウンド被覆ブロックに働く揚圧力やマウンド近傍流速が小さくなる。この傾向を表わす堤体形状係数 C_R を導入し、安定実験によりその値を決定した。
- 2) 混成堤マウンド被覆ブロックの安定数の基本式において、ブロック固有の係数である基準安定数 N_{s0} を分離した。

- 3) マウンド肩幅の広い混成堤を対象として、マウンド前肩幅の影響を示す係数 $(k_2)_B$ を修正した。

本報告では、消波ブロック被覆堤に対するマウンド被覆ブロックの安定重量算定法を提案したが、この方法は消波型防波堤のひとつである直立消波ケーソン堤にも適用可能と考えられる。ただし、具体的な係数の決定に当たっては水理模型実験による検討が必要である。

本報告で示した算定法の定式化に関しては、運輸省港湾技術研究所水工部耐波研究室の高橋重雄室長のご指導を得た。また水理模型実験の実施に際しては、北日本港湾コンサルタント(株)の伊東雅規氏の協力を得た。ここに記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 高橋重雄・木村克俊・谷本勝利 (1990): 斜め入射による混成堤マウンド被覆材の安定性に関する実験的研究, 港研報告, 第 29 巻, 第 2 号, pp. 3-36.
- 谷本勝利・柳生忠彦・村永 努・柴田鋼三・合田良實 (1982): 不規則波実験による混成堤マウンド被覆材の安定性に関する研究, 港研報告, 第 21 巻, 第 3 号, pp. 3-42.
- 谷野賢二 (1995): 水産資源保全・増殖型沿岸構造物の開発, 土木学会水理委員会水工学シリーズ, B-4-1~13.