

# 消波ブロック被覆堤ブロック下部の洗掘量の推定について

鈴木高二朗\* 高橋重雄\*\*

\* 国土交通省 横浜港湾空港技術調査事務所長  
 \*\* (独) 港湾空港技術研究所 理事長

消波ブロック被覆堤は我が国で用いられている一般的な防波堤の構造形式である。しかし、そのブロックの下部で洗掘が発生すると、消波ブロックの沈下やケーソンの滑動に至る場合がある。本稿では、このようなブロックの下部で発生する洗掘量を推定する式を提案し、水理模型実験の結果と比較した。

キーワード：洗掘，消波ブロック被覆堤

## 1. はじめに

消波ブロック被覆堤は捨石マウンドの上に直立壁を設置した混成式防波堤を改良したものであり、直立壁前面に異形ブロックを設置して消波機能を付加したものである。この防波堤は、最初は被災を受けた通常の混成堤前面を異形ブロックで被覆し補強するものであったが、その耐波安定性と消波性能の良さから、1960年代から消波ブロックを持った標準的な断面として設計されるようになった(高橋・下迫, 1996)。現在、消波ブロック被覆堤は我が国の主要な防波堤構造の一つとなっている。

しかし、ブロック下部に適切に洗掘防止工を設置していない場合、洗掘によってブロックが沈下し、時には衝撃波力を誘発してケーソンの滑動やケーソン壁の破壊に至る場合が多い。図-1は1996年にM港で発生した消波ブロックの沈下例であり、ブロック据付20日後に来襲した台風によってブロックが沈下したものである。図-2はT港の被災断面であり、設計波よりも小さな波高の波でブロックが沈下している。図-1、図-2のいずれの場合も、ブロックが沖側へ散乱してはおらず、ブロックの折損も少なく、ブロックの重量不足で説明できるものではなかった。

鈴木・高橋(1998)は移動床模型実験を行い、消波ブロック前面の碎波によってブロック下部で沖へ向かう流れが発生し、浮遊した砂がこの流れによって沖合へ移動するという、洗掘のメカニズムを明らかにした。本稿ではこれらの実験をもとにして、消波ブロック下部の洗掘量の推定式を提案することとした。

## 2. 消波ブロック下部の洗掘

### 2.1 洗掘の特徴

図-3、図-4は移動床実験の結果であり、それぞれ消波ブロックを砂地盤に直接置いた場合(以後、“直置き”とよぶ)と消波ブロックの下に洗掘防止工として石かご



図-1 M港の被災事例

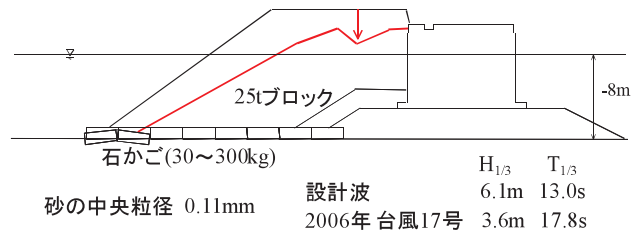


図-2 T港の被災事例

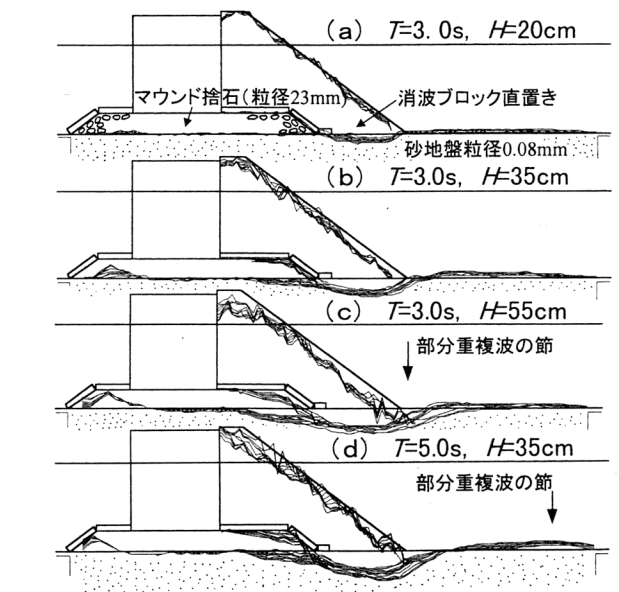


図-3 移動床実験結果，消波ブロックを砂地盤に直接置いた場合(直置き)の洗掘状況

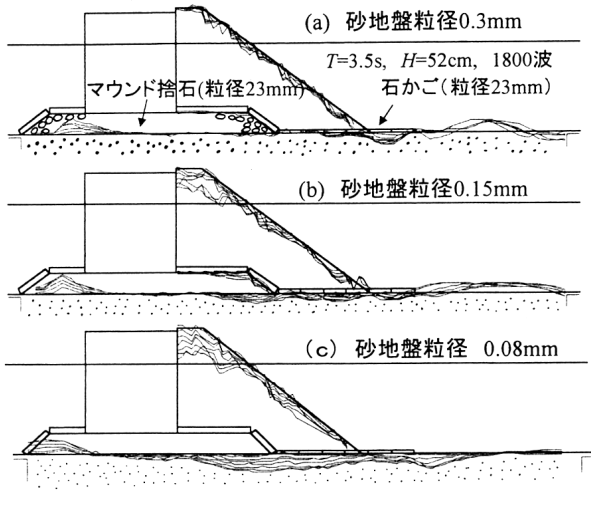


図-4 移動床実験結果、消波ブロックの  
下に石かごを置いた場合の洗掘状況

を置いた場合の実験結果である。実験は(独) 港湾空港技術研究所の105m水路で行ったものであり、周期を1.5~5sec、波高0.1~0.52m、砂地盤の中央粒径0.08, 0.15, 0.3mmとして実験している。詳細は鈴木・高橋(1998)のとおりである。図に示されるように洗掘は消波ブロック下部で発生するため、現地の潜水調査では確認が困難である。

## 2.2 水粒子軌道直径と洗掘量

洗掘量は波高、周期が大きいほど大きくなる。

図-5は消波ブロック下部での水粒子の移動距離(以後、水粒子軌道直径 $D_m$ とよぶ)と洗掘量の関係であり、水粒子軌道直径と洗掘量が比例関係にあることが分かる。

また、洗掘はある水粒子軌道直径(以後、洗掘発生限界水粒子軌道直径とよぶ)よりも大きくなると発生することが分かる。

図中、(a)は中規模実験(105m水路での実験)、(b)は大規模実験(大規模波動地盤水路での実験)の結果であり、 $A_e$ 、 $A_T$ はそれぞれ図-6に示す洗掘量( $m^2$ )とケーソン前面の消波ブロックとマウンドの断面積( $m^2$ )である。また、 $B_{mb}$ はケーソン前面から消波ブロック法先までの距離(m)、水粒子軌道直径は消波ブロック先端部の水粒子の移動距離(m)である。

## 3. 洗掘量の推定式

### 3.1 水粒子軌道直径と洗掘量

洗掘量が水粒子軌道直径に比例すること、また、洗掘発生限界があることを考慮して、洗掘量を式(1)で表わすこととした。

$$A_e / A_T = F_C \cdot D_m / B_{mb} - A_C \quad (1)$$

式中、 $F_C$ は断面形状を示す係数であり、直置きが84、

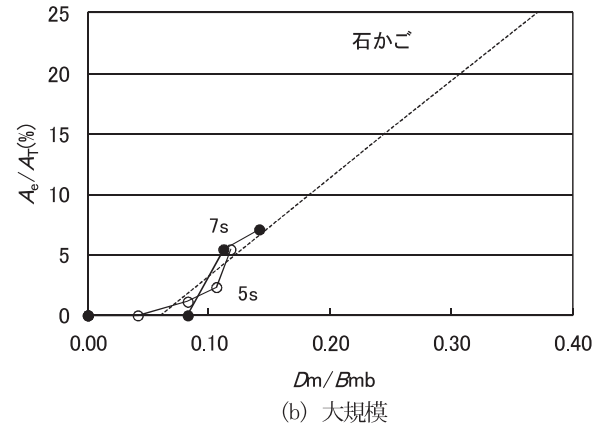
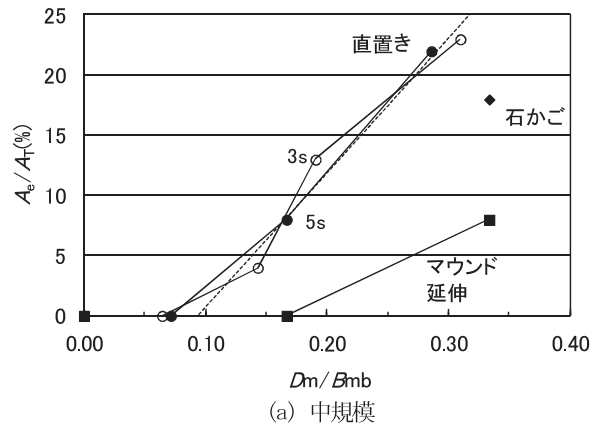


図-5 水粒子軌道直径 ( $D_m / B_{mb}$ ) と洗掘量 ( $A_e / A_T$ )

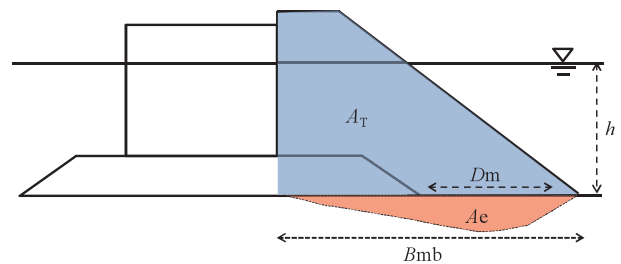


図-6 洗掘量の定義

石かごが64、マウンド延伸が32である。砂地盤が捨石で被覆されているほど洗掘量が小さくなるものと考え、水粒子軌道直径に乗じる比例係数を断面形状で変化させることとした。また、 $A_C$ は洗掘発生限界を考慮した $A_e / A_T$ の切片である。

### 3.2 砂の中央粒径と洗掘量

砂地盤の砂の粒径が小さければ、砂の浮遊量が大きくなり、より洗掘量が大きくなる。図-7は砂の中央粒径 $d_{50}$ と洗掘量 $A_e / A_T$ の関係であり、石かごの実験結果である。砂の粒径が大きくなるほど、洗掘量が小さくなることが分かる。砂の粒径は洗掘発生限界に関係すると考え、式(2)のように、 $A_C$ を中央粒径 $d_{50}$ の関数とした。

$$A_C = C \cdot d_{50} \quad (2)$$

式中、 $C$ は比例定数である。

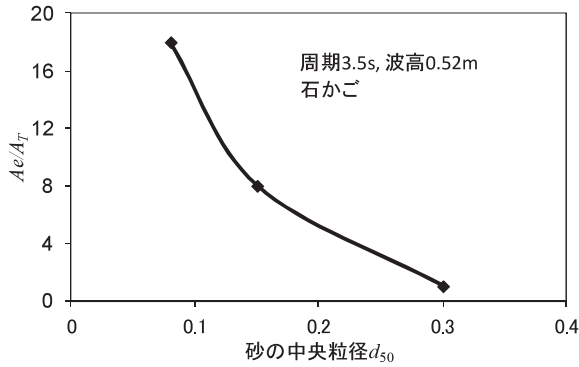


図-7 砂の中央粒径と洗掘量

### 3.3 縮尺効果と洗掘量

防波堤のスケールが大きく、波浪が大きくなると相対的に砂の粒径が小さくなり、浮遊しやすくなる。このような縮尺効果を考慮するため、式(2)をさらに水深  $h^{0.2}$  で除して式(3)のように表現することとした。これにより大水深大波浪ほど、相対的に粒径が小さくなることを表現している。なお、漂砂現象の相似則は砂の沈降速度のパラメーター (Dean Number) で表わす場合が多い (Hughes, 1993)。水深の 0.2 乗はこのような沈降速度の縮尺効果を近似的に表現したものである。

$$A_c = C' \cdot d_{50} / h^{0.2} \quad (3)$$

最終的な洗掘量の推定式は以下のとおりである。

$$\frac{A_e}{A_T} = F_C \left( \frac{D_m}{B_{mb}} - \frac{800d_{50}}{h^{0.2}} \right) \quad (4)$$

なお、砂地盤の中央粒径が大きい場合には式(4)の右辺第2項が第1項よりも大きくなることもあるため、その場合は洗掘量をゼロとする。

### 3.4 実験結果との比較

図-8 は上述の算定式(4)を用いて、洗掘量を実験と比較したものである。中規模実験、大規模実験ともに推定値と実験値がよく一致しているのが分かる。なお、比較したのはブロック直置き、石かご、マウンド延伸の条件である。

## 4. 洗掘量の推定にあたって

本稿では、消波ブロック被覆堤の洗掘量に関する算定式を提案した。算定式を用いる場合には、水粒子軌道直径と海底地盤の中央粒径、および水深等の設計断面が必要となる。水粒子軌道直径は微小振幅波理論から以下の式で求める。

$$D_m = \frac{H}{\sinh(2\pi L / h)}$$

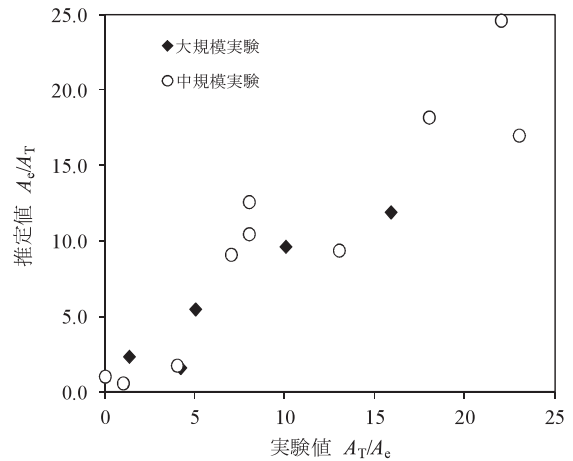


図-8 実験値と推定値との比較

式中、 $H$ 、 $L$  はそれぞれ堤体設置水深での有義波高と波長、 $h$  は水深である。

たとえば、波の厳しい外洋で水深 15m、有義波高 8m、周期 12sec (波長 135m)、 $B_{mb}$  24m、砂地盤の粒径が 0.0002m で、石かごを用いた消波ブロック被覆堤ならば、洗掘量  $A_e / A_T$  は 20.8 となる。

また、閉鎖性内湾で水深 10m、有義波高 2m、周期 5sec (波長 48m)、 $B_{mb}$  20m、砂地盤の粒径が 0.0002m で、石かごを用いた断面ならば、式(4)からの推定値は 2.48 となるため、洗掘量が発生しないことになる。

謝辞：算定式を導出にあたり、沿岸技術研究センター山本修司理事より、貴重なご示唆をいただきました。

### 参考文献

- 1) 鈴木高二朗・高橋重雄(1998)：消波ブロック被覆堤のブロック沈下に関する一実験 —マウンドとブロック下部の洗掘—, 海岸工学論文集第 45 巻, pp. 821-825.
- 2) 高橋重雄・谷本勝利・下迫健一郎(1990)：消波ブロック被覆堤直立部の滑動安定性に対する波力とブロック荷重, 港湾技術研究所報告, 第 29 巻第 1 号, pp. 54-75.
- 3) S. Hughes(1993)：Physical models and laboratory techniques in coastal engineering, World Scientific, 568p.

#### 変数一覧

- $A_e$  [m<sup>2</sup>] : 砂地盤の洗掘断面積
- $A_T$  [m<sup>2</sup>] : ケーソン前面の消波ブロックとマウンドの断面積
- $F_C$  : 断面形状 (直置 84, 石かご 64, マウンド延伸 32)
- $D_m$  [m] : 水粒子軌道直径
- $B_{mb}$  [m] : ケーソン前面から防波堤の法尻までの距離
- $d_{50}$  [m] : 砂地盤の中央粒径
- $h$  [m] : 水深
- $H$  [m] : 堤体設置水深での有義波高
- $L$  [m] : 堤体設置水深での波長