

緩傾斜一層被覆ブロックの被害機構に関する 実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON DAMAGE STRUCTURE OF A LAYER ARMOR BLOCK OF GENTLE SLOPE-TYPE COASTAL DIKE

太田 恵子¹
Keiko OHTA

¹ 共和コンクリート工業株式会社 技術研究所（〒061-1405 北海道恵庭市戸磯385-36）

The report shows the damage structure of a layer armor block of gentle slope-type coastal dike by the model tests on stability. According to the experimentation this time, it has been found that there is a difference of tendency between Hudson's experimental results and a layer armor block's experimental results.

Key Words: A layer armor block, gentle slope-type coastal dike, lift force

1. はじめに

一般にマウンド被覆材の重量算定式として広くハドソン公式が用いられている。ハドソン公式¹⁾は捨石に関しての広範囲な実験結果に基づいており、捨石及び異形ブロックのいわば立体とみなせる形状の被覆材安定重量算出公式としては実績も多く信頼されている。ところで、昨今、海辺・川辺の親水性機能が謳われ、緩傾斜堤が広く普及するようになって、その堤体被覆に適する偏平なブロックが多く用いられるようになってきた。現在、この偏平なブロックの設計についてもハドソン公式が用いられている。しかしながら、その適応性を評価した文献²⁾は殆どない。そこで緩傾斜堤一層被覆に関して水理安定性実験を行い、ハドソン公式との適合性を検討し相違点を明確にした上で偏平なブロックの被害機構について取り纏めを行い、新たなブロック安定重量算定式を算出する方向性を示す。

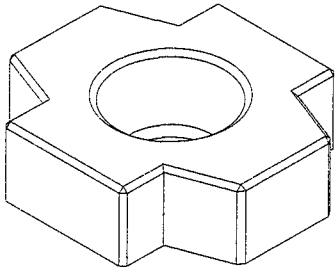


図-1 ブロック形状図

表-1 ブロックの諸元（現地換算）

体積 (m ³)	0.8857
重量 (t)	2.037
投影面積 (m ²)	1.822

2. 実験方法

実験は、長さ45.0m、幅0.8m、深さ1.0mの2次元造波水路で行った。ピストン型造波装置より岸側に36.5mの位置に水路床より高さ0.5mの水平部を設け、そこに碎石でマウンドを作成しその上を偏平なブロックで被覆した。マウンド表法面勾配は1:3.0、1:4.0、1:5.0の3種類とした。堤体前面には1:30の一樣海底勾配を設けた。実験に用いたブロック模型は孔を有した平面的な形状であり、実験縮尺を1/40

表-2 実験波浪ケース（現地換算）

周期 (sec)	8.94 , 10.73 , 12.52 , 16.10
波高 (m)	3.2 , 4.0 , 4.4 , 4.8 , 5.2 , 5.6

とした。相似則はフルード相似則を用い、長さの縮尺は1/40、時間縮尺を(1/40)^{0.5}で設定した。ブロック形状図を図-1に、ブロック諸元を表-1に示す。また、実験波浪ケースを表-2に示す。実験波浪はブレッドシュナイダー光易型のスペクトルを持つ不

規則波を用い、実験波浪ケースは、堤脚水深1種類、周期4種類、波高6種類の組み合わせとした。実験は、それぞれ堤体に各波浪を300波以上作用させ、作用中目視によりブロックの被害状況を確認した。また、波の入射状況を確認するため側面側よりビデオ撮影を行った。

3. 実験結果及び考察

(1) 1層被覆ブロックにおけるダメージパラメータの取り扱い

1層被覆法面での被覆ブロックの挙動に関しては、法面直角方向のかみ合わせがないため、1箇所でもブロックが抜けるとそこから被害は広まっていく恐れがあり、実際今回の実験でもそのような状況が確認された。そのため、被害率の算定では、安定とみなす範囲についてハドソンの様に 1.0 (%) 未満＝無被害とせず、0.0 (%) を無被害判定の基準とし、1つでもブロックが移動した場合をダメージと定義した。このため、近年問題とされる波数の効果³⁾がダメージパラメータに含まれる事になった。また、端部の影響を考え、両端部3列は実験対象外とした。

(2) ハドソン式におけるダメージと今回の実験によるダメージ状態の相違

ハドソン式におけるダメージは、被覆材である捨石は球体とみなせ、被覆材の移動は波の流体力のうち慣性力に因るところが大きい。また、式の適応範囲とされる被覆材が2層以上という条件においては、被覆材が相互に噛み合っているため1個所の被覆材の移動が堤体被覆工全体のダメージに与える影響は少ない。従って被害率 $D < 1.0(\%)$ を安定と定義することが可能である。しかし、今回実験に用いたような偏平なブロックを被覆材として用いた場合は、法面直角方向に噛み合わせが全くなく、実験によると、堤体に波が作用する際にブロックが法面直角方向に引っ張られて抜ける状態が観察された。以上のことにより、緩傾斜護岸における1層被覆ブロックの安定性に関する支配要因は波作用時にブロックに働く揚力ではないかと考えた。

(3) 実験結果考察

実験結果を図-2に示す。これはハドソンが K_D 値を示した図と同様の図であり、縦軸は安定係数 N_s 、横軸は堤体法面勾配 $\cot \alpha$ を示す。前述の定義にならないダメージ出現の境界線を引くと図中の直線の通りとなり、ハドソン式が示した結果とは全く逆の状態であることが明確である。この結果について見解を述べると、前項(2)でもふれたが、ハドソンの実験では被覆材が捨石であり形状は球にたとえられ、それら個々の挙動に注目すると、波が堤体に入射した時に捨石は波の動きと共に巻き上げられるようにして転落する。しかし、今回の実験のように偏平な

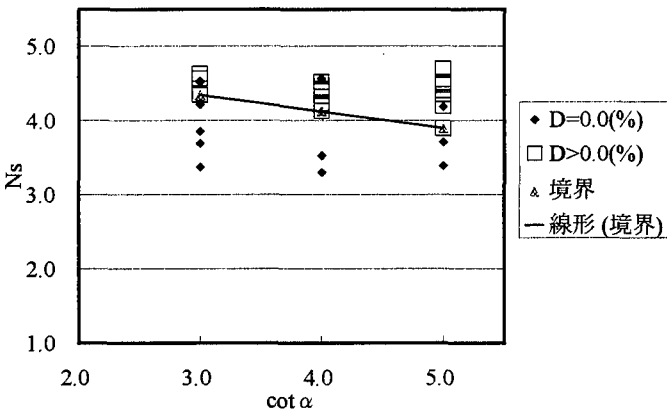


図-2 N_s と $\cot \alpha$ の関係

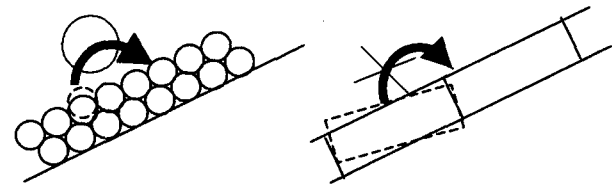


図-3 捨石と今実験模型の相違

被覆材は球にたとえることは出来ず、法面方向に注目すると、ブロックは殆ど隙間なく整然と並び側面同士が面で接している状態にあり、捨石のように点で接しているのではない。図-3に示す通り、点で接している捨石はそこを支点とし捲り上げられるように移動が起こると考えられるが、面で接している今回のブロックは、その面が回転移動の妨げとなり、波と共に不意にブロックが巻き上げられるような事はない。実験中にブロックの動きを観察していても、ダメージは必ず1度法面垂直方向にブロックが浮き上がることによって起こる。浮き上がり、隣り合うブロックとの面的接触範囲が狭まり、また、浮き上がることにより波の進行方向に対し垂直で無防備なブロック側面が晒されることとなり、一気にブロックは移動する。このように、ブロックが移動する瞬間に焦点を当てると、球に見せる捨石と偏平なブロックとは全くダメージ開始状況が違うことが判る。この違い及び今実験でのブロックの浮き上がりに注目し、偏平な形状のダメージにとって揚力が最も重要な因子であると考えた。ダメージ状態の相違により、今実験結果を緩傾斜堤法面上で波浪が流れることに着目すると、流水による釣り合いの式は、宇多ら⁴⁾に従い堤体法面角度を α とした時次式で表わされる。

$$(W - B) \cos \alpha > P_L = \rho_w C_L A u^2 \quad (1)$$

$$W = \rho_s g V$$

$$B = \rho_w g V$$

ここに、 W : ブロック自重、 B : 浮力、 P_L : 揚力、 C_L : 揚力係数、 u : 流水の流速、 A : 孔部を抜いたブロック1個あたりの斜面法面方向の投影面積、 ρ_s : ブロックの密度、 ρ_w : 海水 (今実験では水)

の密度、 g :重力加速度、 V :ブロックの体積である。緩傾斜堤法面変化に伴う流速 u の変化について、実験で計測していなかったため、堤脚における波高 H_* を用い $u_* = \sqrt{g H_*}$ として算出し図-4を示した。

図中の直線はダメージパラメータが0を超えた限界流速を示す。この図によると、堤体法面勾配が1:3.0~1:5.0の範囲における移動限界流速 u_* と法面勾配 $\cot \alpha$ の関係は、

$$u_* = -0.1924 \cot \alpha + 7.8753 \tag{2}$$

と表され、緩勾配になるに従って小さい u_* でダメージが現われることが判る。これより、今回の実験では緩勾配ほど揚力の影響を受けやすかったといえよう。ここで用いた波高 H_* は実験中に測定した有義波による入射波高であり、堤体法面による波の反射や減衰を包含したものとなっている。そこで反射率 K_r に注目すると、図-5に示す通り緩勾配で波形勾配が大きい程 K_r が低くなる傾向があり、その分被覆材に波のエネルギーが作用し、ダメージが増えたと考えられる。

(1)式により、形状及び法面勾配を考慮した揚力係数 C_L' は、ブロック単体の体積 V を用いて、

$$C_L' = \frac{gV(\rho_s - \rho_w)\cos \alpha}{\rho_w A u_*^2} \tag{3}$$

と表される。この式に今実験結果を代入して C_L' を算出し、(1)式を参照して流速による重量算出式を定義する事が可能であると考え。前述の通り、ここで用いた波高 H_* は実験中に測定した有義波による入射波高であるため、実際の現場において安定重量を算出可能にするには、設計波高 H と H_* の関係式を示す必要があると考える。

今回、実験ケースが少なく、また被覆材の重量に関しても1種類だったため、設計波高 H と H_* の関係及び C_L' を一般的な数式として表すことが出来なかったが、関係式は勾配の影響を考慮し得るものになると推察される。波高、周期、ブロック重量等条件を増やし様々な実験結果を採取する事でこれらの関係についての把握が可能であると考え。

4. おわりに

今回の実験により、緩傾斜堤一層被覆ブロックの被害機構はハドソンが行った捨石を用いた実験結果とは違う傾向を示すことが明確となった。これは、条件が異なるため当然の結果であると考え。被覆材の形状から推察された通り、堤体法面一層被覆に

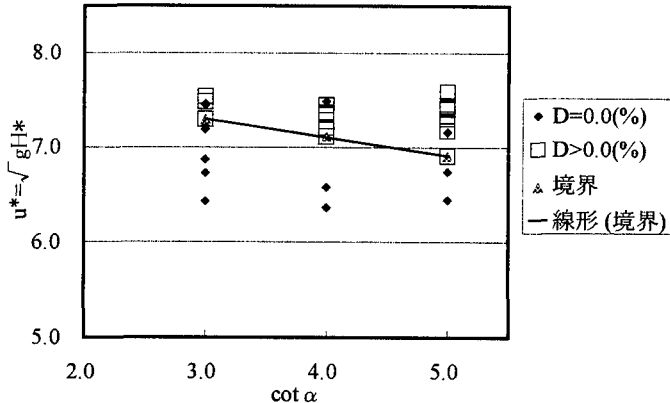


図-4 u_* と $\cot \alpha$ の関係

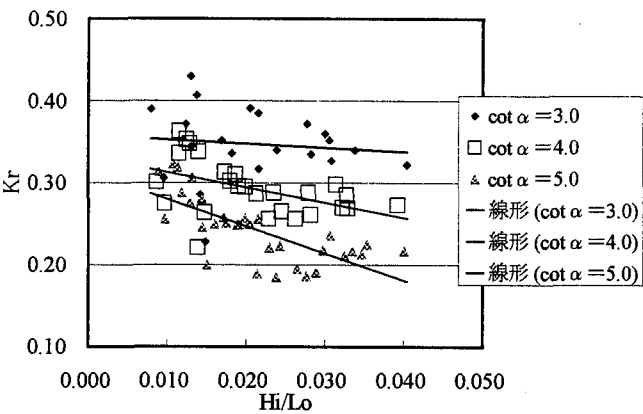


図-5 $\cot \alpha$ 別 K_r

適する偏平なブロックについて、模型実験からブロックの移動状況を観察し、被災における支配的要因は流水による揚圧力ではないかとの考えを強めた。しかしながら、残念な事に今実験では流速を実測していなかったため、今後同様の実験を行い流速を実測し確認を行う必要がある。

参考文献

- 1) Hudson, R. Y.: Laboratory Investigation of rubblemound breakwater, Proc. ASCE, Vol. 85, WW3, pp. 93-121, 1959
- 2) 齋藤正文, 小林一光, 錦織和紀郎: 海岸工学論文集, 第45巻 pp. 811-815, 1998年
- 3) J. W. van der MEER: Stability of Cubes, Tetrapods and Accropode, Proc. Conf. Breakwaters'88, pp. 71-80, 1988
- 4) 宇多高明, 小俣篤, 齋藤友伸: 土木研究所資料, 第2893号 p. 12, 1990年8月

(1999. 4. 19受)