

II-19 根固め材としての石かごの安定数

東亜建設工業(株)土木本部設計部 正会員 矢内栄二
 東亜建設工業(株)土木本部技術部 正会員 浅田 透
 東亜建設工業(株)東京支店 正会員 足立元良
 東京電力(株)原子力建設部 正会員 今井澄雄
 東京電力(株)常陸那珂火力建設所 矢口真光

1. はじめに

大型の埋立および人工島などにおける混成堤式護岸は、築造時において一時的に防波堤の機能を有する断面が必要とされる場合がある。しかし、防波堤完成後は大きな波は作用しなくなり、防波堤として機能する期間は短いことから、防波堤としては可能な限り経済的な方法を考える必要がある。石かごは、港湾工事では入手が容易である20～50cm径の石材を鉄製のかごに詰めたものであり、これまで仮設防波堤や消波ブロックのマウンドなどにも利用されてきた。

本研究では、常陸那珂港護岸において根固め材料として石かごを使用する場合の設計のために、石かごの安定数について実験的に検討を行う。

2. 実験装置と方法

(1) 実験装置と方法

実験条件を表-1に示す。使用水槽は、吸収式ピストン型任意波発生装置を有する長さ50m、幅1.0m、深さ1.2mの鋼製片面ガラス張りの二次元水槽である。波高の測定には容量式波高計を用い、石かごの移動量の測定には画像解析装置を用いた。実験波は、Bretschneider-光易型のスペクトルを有する不規則波を用いた。入射波高は、3台の波高計により測定した波浪をスペクトル分離法により算定した。

実験は、根固め材料を底面に設置し、上方から撮影した根固め材料の波作用前後の状況を画像解析装置により比較し、根固め材料の移動量を算定した。実験に使用した標準断面を図-1に示す。また、比較のために3.8cm×3.8cmのフーチングを有する堤体について検討した。根固め材料の諸元は表-2の通りである。石かごの置き方は、図-2に示すようにaが高さ、bが堤体直角方向、cが堤体平行方向である。

(2) 被災率の定義および算定法

実験は波高の小さいケースから行い、所定の波を作用させた後の根固め材料の被災個数を数えた。ここで、次の波高条件に変える際に根固め材の並び変えは行わず、それまでの被災個数に当該波高条件で新たに発生した個数を加えた累計数とした。被災率は $D = (n/N) \times 100$ で定義した。ここに、 N は検査域での根固め材料の総数、 n は当該波高条件での累計被災個数である。従来の研究¹⁾では根固め材1個分以上の移動を被災としていたが、本研究では判定基準を厳しくして、マウンド材料の大きさ(≒1cm)まで石かごが移動または浮上したものを被災とした。検査域は、水路幅方向1mには中央70cmの範囲とし、水路方向にはマウンド水平部分の堤体側2列とした。

表-1 実験条件

ケース	材 料	$H_{1/3}$	$T_{1/3}$	備 考
1	方塊	11.3	2.21	
2	石かごA			
3	石かごB	～		
4	石かごC	16.3	(s)	堤体フーチング
5	石かごB'	(cm)		

表-2 模型諸元

根固め材料	方塊	石かご			
		A	B	B'	C
サンプル数	27	107	33	←	155
寸 法 (mm)	a	38	19	19	38
	b	75	38	53	38
	c	75	19	38	53
平均重量(N)	5.00	0.19	0.54	←	0.68
空隙率(%)	0	40	45	←	44
材質	モルタル	砕石+接着剤			

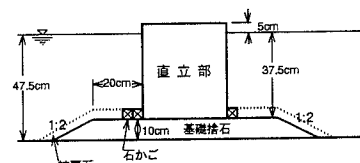


図-1 標準断面

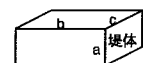


図-2 置き方

3. 実験結果と考察

(1) 安定重量の基本式

被災状況の特色として、方塊および石かごのいずれも、被災は堤体側の1列にのみ発生したことから、根固め材の安定重量の算出には従来の被覆石における水平力に対する安定式でなく、鉛直方向力に対しての安定式が必要であると考えられる。そこで、谷本らの考察を参考に以下のようなモデルを考える。

堤体に接しておかれた根固め材に鉛直流速 $w(x)$ の流れが作用している状態を考えると、空中重量 W 、水中重量 W_w 、および揚力 F_L は式(1)～(3)のように表される。

$$W = \gamma_r k_b k_c a^3 \quad (1) \quad W_w = (S_r - 1) \rho_0 g k_b k_c a^3 \quad (2) \quad F_L = \frac{\rho_0}{2} C_D k_b k_c a^2 \left(\int_0^b w(x) dx \right)^2 \quad (3)$$

ここに、 γ_r ：根固め材の単位体積重量、 S_r ：根固め材の比重、 ρ_0 ：流体の密度、 g ：重力加速度、 C_D ：抗力係数、 k_b 、 k_c ：根固め材の高さ a に対するアスペクト比で、 $k_b = b/a$ 、 $k_c = c/a$ である。水中での根固め材の釣合い状態を考え、根固め材の堤体直角方向長さ b の範囲において流速が等分布で入射波高 H に比例すると仮定し、Hudsonの被覆材の安定式に準じて書き換えると、

$$W = \frac{k_b k_c \gamma_r}{N_s (S_r - 1)^3} H^3 \quad (4) \quad N_s = \frac{C_D}{2gH} f_n(T, H, z, h) \quad (5)$$

と表すことができる。 N_s は安定数と呼ばれ、根固め材の種類、形状、積み方などさまざまな要素によって変化するものである。本実験においては、谷本らと同様に被災率が1%のときの安定数を実験から求めることとする。

(2) 波高と被災率の関係

波高と被災率の関係について示したものが図-3である。図中の実線は、 $D=0$ の最大波高値と $D>0$ によって求められた最小2乗法による直線である。直線の勾配は、石かごの重量に関わらずほぼ同じものとなっている。また、石かごの重量の増加とともに最小2乗直線によって求められる $D=0$ の波高も増加傾向を示している。

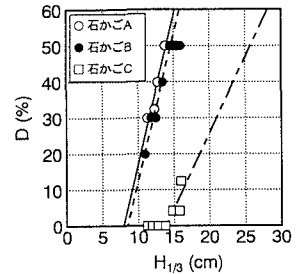


図-3 波高と被災率

(3) 石かごの安定数と置き方の影響

表-3は、式(4)より求めた安定限界有義波高 H および安定数 N_s を示したものである。石かごの安定数は、堤体直角方向のアスペクト比 $k_b < 2$ のAとCは7.6前後であるが、 $k_b \approx 3$ のBが10程度と大きくなった。しかし、堤体直角方向のアスペクト比が大きくなりすぎると堤体側のみが浮上して被災してしまう場合も見られたことから、常陸那珂港においては根固め材としてアスペクト比 $k_b < 2$ 程度の石かごを使用することとした。

表-3 安定数

根固め材		W (N)	k_b	γ_r (kN/m ³)	S_r	H_c (cm)	安定数 N_s
方 塊		4.996	1.974	23.4	2.39	14.7	2.78
石かご	A	0.192	2.000	15.6	1.59	8.1	7.49
	B	0.544	2.789	14.2	1.45	8.6	10.06
	C	0.677	0.921	14.5	1.48	14.1	7.72
石かご (堤体F)	B'	0.544	2.000	14.2	1.45	14.9	17.43

4. 結論

特定の条件ではあるが、実験の結果、根固め材としての石かごは、空隙が揚圧力を上方に透過させるため、効果的であると考えられた。しかし、本実験で使用した石かごは空隙率が40%以上であり、本実験結果を適用する場合にはこの空隙率が保証される必要がある。

参考文献

- 1) 谷本勝利・柳生忠彦・村永努・柴田鋼三・合田良実：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，港湾技術研究所報告，Vol.21，No.3，pp.3-42，1982。
- 2) Hudson, R.Y. : Laboratory investigation of rubble-mound breakwaters, Proc. of ASCE, Vol.85, No.WW3, pp.93-121, 1959.
- 3) Brebner, A. and Donnelly, P. : Laboratory study of rubble foundations for vertical breakwaters, Proc. 8th Coastal Engineering Conference, New Mexico City, pp.408-429, 1962.