

(野) 電力中央研究所 正会員 ○ 尾崎幸男・石橋 毅

1. はじめに

現在、我國のダム貯水池においては全国的に堆砂が進行しており、数十年で満砂状態となっている貯水池も少なくない。そこで、最近ではダム排砂システムに関する研究が活発に進められている。この中で特にダム堤体から下流への排砂に関しては従来の排砂管とは異なる大規模な排砂路をダム堤体下部に設け、出水時を利用して排砂を行う方法が試みられている。この排砂路の設計および運用に当っては水理学上興味ある問題が潜されている。

本研究は排砂路における基本的問題である大粒径自然砂礫の限界掃流力について検討したものである。

2. 自然砂礫の形状係数

砂礫の3軸方向のそれぞれを次のようにおく。まず、長軸を a 、中軸を b 、短軸を c とし、体積等価球径を d_N で表わす。礫を楕円体で近似すると、 $d_N = \sqrt[3]{abc}$ --- (1)
次に、砂礫の形状係数として以下を定義することとができる。

$$\begin{aligned} \gamma_a &= \sqrt{bc}/a \leq 1.0 \quad \text{--- 細長比 (偏長比)}, \\ \gamma_c &= c/\sqrt{ab} \leq 1.0 \quad \text{--- 偏平比}, \\ \gamma_b &= b/\sqrt{ac} \leq 1.0 \quad \text{--- 方形比}. \end{aligned} \quad \text{--- (2)}$$

排砂路においては砂礫の形状は詳されないことより、いかなる形状の砂礫であっても排砂しなくてはならない。ここで、自然砂礫の形状係数の分布を実験に使用した1,210個の砂礫から求めてみたのが図-1から図-3までである($d_N = 10 \sim 180$ mm)。

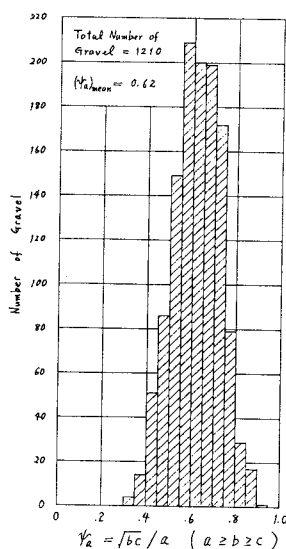


図-1 細長比の分布

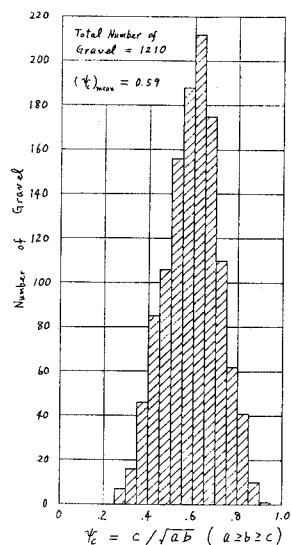


図-2 偏平比の分布

2これらの図から、細長比、偏平比とも加重平均値は約0.6となっており、その分布形も非常に良く似ていることがわかる。また、方形比($\gamma_b = \gamma_a/\gamma_c$)は、0.6 ~ 1.6の範囲で1.0付近に集中していることもわかる。

形状係数は抵抗力に直接的影響を及ぼしており、砂礫の向きによって、あるいは流体の種類によって最も関係する形状係数(γ_a か γ_c)が必ずと定まるものである。この形状係数 γ_a 、 γ_c が小さい程砂礫は移動しにくくなっていくことは直感的にも知ることとができる。これまでの限界掃流力理論では形状係数の違いはデータのバラツキの中に入っており、理論そのものには余り深く考慮されていなかったように思われる。特に、大粒径の砂礫の移動を検討する場合には、砂礫の形状特性を考慮した実験や理論的考察を行うことが重要であらう。

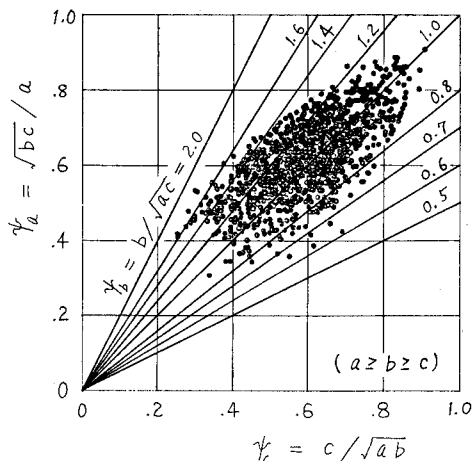


図-3 各形状係数の相互関係と礫の分布

3. 初期移動限界掃流力に関する実験

長さ 39 m, 幅 1 m の固定床滑面の可変勾配水路を用いて実験を行った。使用した砂礫は平均粒径 $d_N = 10 \text{ mm} \sim 180 \text{ mm}$ で色々な形状特性を有する 1,210 個の任意に抽出した自然砂礫である。これらの砂礫には、形状係数 ψ_a (最も動きにくい状態で表す) と ψ_b (最も動きやすい状態で表す) とにペンキで番号を付した。

実験は水路中央付近で、1個ずつ礫を流れの中に最も移動しにくい状態で置き、移動するかどうかの判定をした。水路全体に砂礫を敷き替える方法も行、たが砂礫が向きを変えて移動するなど形状特性をつかみきれないことより、この方法でのデータは用いないものとした。

実験ケースは表-1 に示すとおり合計 23 ケースである。従って、単純に、23 ケース $\times$ 1,210 個 $= 27,830$ 個のデータが取得されたことになる。これらのデータの中から、形状係数 $\psi_a = 0.55 \sim 0.65$, $\psi_b = 0.95 \sim 1.05$ で、そのデータが限界掃流力を示しているものを厳選して図示したのが図-4 である。図中の丸印は砂礫の高さ C が水深 h より大きいもの (○) を示し、四角印は小さいもの、すなわち水没しているもの (□) を示している。また、図-4 には従来の研究成果も併せて示した。

図-4 をみると、 $C \geq h$ の場合と、 $C \leq h$ の場合とでは傾向の異なること、従来の式を大粒径に拡張して用いるには多少の懸念の恐れのあること (実際には最大無次元粒径 $R_* \cong 10^7$, $d_N \cong 1800 \text{ mm} = O(10^3)$ まで検討している) などがわかる。

4. おわりに

本研究により、自然砂礫の形状特性を把握することができた。限界掃流力に関しては、ここでは一部の実験結果しか紹介できなかったが、今後は、形状係数を導入した限界掃流力理論と実験データとの比較から、限界掃流力に与える形状係数の影響を明確にするつもりである。

〔謝辞〕 実験遂行に当り御協力を頂いた電力中央研究所 磯部明久主査研究員、千葉工業大学 4 回生 (当時) 杉浦陽一郎氏に対して深く感謝の意を表します。

参考文献 1) 橋・平野・渡辺：九大工学集報 42 巻 3 号, 1969 年 6 月, 2) Maione: L' Energia Elettrica N.-11, 1964, 3) 芦田・道上：土木学会論文報告集 206 号, 1972, 4) Novak & Nalluri: P. ASCE, vol. 101, Hy. 9, Sept. 1975.

表-1 実験条件

Run No.	Q (l/s)	ν (cm ² /s)	h (cm)	v (cm/s)	$I_e^{(註)}$ (—)	u_* (cm/s)
I-1	3.2	0.0111	0.695	46.0	0.0230	3.96
2	11.3	0.0112	1.42	79.6	0.0265	6.07
3	20.0	0.0112	1.94	103	0.0293	7.46
4	40.3	0.0113	2.92	138	0.0305	9.34
5	59.3	0.0112	3.50	169	0.0359	11.1
6	63.8	0.0115	3.61	177	0.0378	11.6
7	3.2	0.0117	0.790	40.5	0.0150	3.41
8	20.0	0.0116	1.95	103	0.0291	7.46
9	40.3	0.0116	2.88	140	0.0320	9.50
II-1	5.0	0.0129	1.13	44.2	0.0111	3.51
2	10.0	0.0127	1.74	57.5	0.0106	4.25
3	20.0	0.0125	2.92	68.5	0.00751	4.64
4	30.0	0.0125	3.63	82.6	0.00817	5.39
5	40.0	0.0125	4.46	89.7	0.00733	5.66
6	50.0	0.0125	5.14	97.3	0.00713	5.99
7	60.0	0.0125	5.52	109	0.00814	6.64
III-1	5.0	0.0125	2.24	22.3	0.00113	1.57
2	10.0	0.0125	3.35	28.2	0.000781	1.85
3	20.0	0.0126	5.57	35.9	0.000872	2.18
4	30.0	0.0124	7.15	42.0	0.000856	2.45
5	40.0	0.0123	8.55	46.8	0.000837	2.65
6	50.0	0.0123	9.70	50.5	0.000802	2.79
7	60.0	0.0123	11.1	54.1	0.000790	2.93

(脚註) 粗度係数を $n = 0.012$ とし式より求めた。
 $I_e = n^2 v^2 / h^{\frac{2}{3}}$

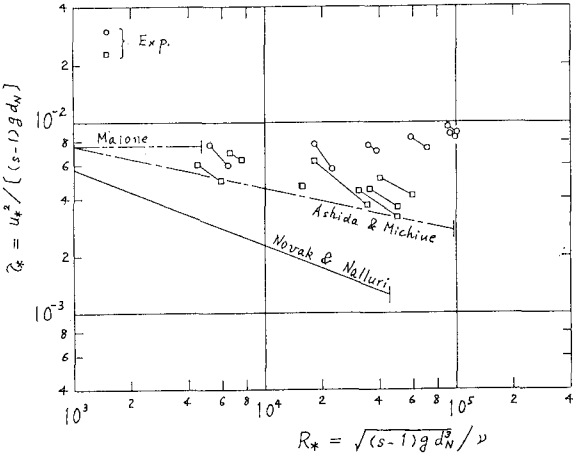


図-4 実験結果 (但し, $\psi_a \cong 0.6$, $\psi_b \cong 1.0$ の場合)