

II-11

河床に置かれた自然石に作用する
流体力に関する実験について

共和コンクリート工業(株)	正 員	高 島 清 光
共和コンクリート工業(株)	正 員	森 英 樹
共和コンクリート工業(株)	正 員	進 藤 邦 雄

1. はじめに

今や全国で「多自然型川づくり」が進められており、様々な川づくりの取組が行われている。護岸も木や石を使い空間を創出することによって植物や魚類の生息に配慮したものが多く見られるようになった。

護岸に石を使用する場合、練石積、練石張は別にして捨石工や巨石による根石工、あるいは転石を配置するときなど石の重量選定は経験的に対象河川の河床構成材料の大きさからなされてきたようである。

ところで、石の使用事例が増えるとともに、現場からは経験的な判断に頼るばかりでなく、水理条件から必要重量を選定することが強く要求されるようになってきている。

護岸材料として用いられる石に作用する流体力としては石単体に働く抗力、揚力ばかりでなく、集合体の個々に働くこれらの値も必要であるが、今回はまず石単体に作用する抗力について少しばかり実験を行ったので報告する。

2. 実験概要

1) 実験装置

実験には、長さ2.5m、幅15cm、高さ45cm、の長方形断面を持つ管水路実験装置(図-1)を製作し、レイノルズ数が 10^4 のオーダーの流れの中で床面に置かれた単体石に及ぼす流体力を測定した。

2) 測定方法

アクリル製の平ばぞ型架台の梁の両面に歪みゲージを取り付け弾性梁の歪みから流体力を算定した(図-2)¹⁾。図-2に示すように、流れにより平ばぞ型架台の梁先に取り付けた石模型に作用する抗力を F_0 、揚力を F_L とし、梁部に作用する流体力を無視すると、抗力により生じる曲げモーメントは次のように表される。

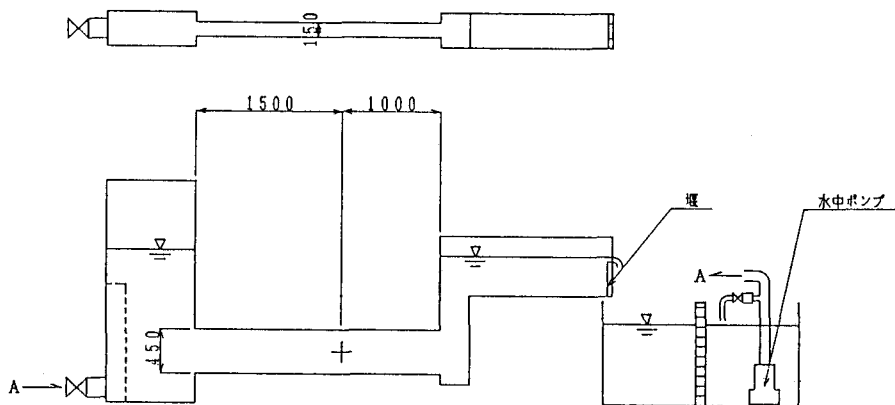


図 - 1

単位 : mm

Drag Force Acting on Stone in River Bed

by Kiyomitu TAKASHIMA, Hideki MORI, Kunio SHINDO

$$M = F_D \cdot y \quad - \quad (1)$$

y : ゲージ中心から石模型重心までの距離

幅 b 、厚さ h の梁に生じる曲げ応力 σ_m は

$$\sigma_m = M / Z \quad - \quad (2)$$

Z : 断面係数 ($= b h^2 / 6$)

であり、また曲げ応力と梁の歪みゲージの歪み ε_b との関係は

$$\sigma_m = E \varepsilon_b \quad - \quad (3)$$

E : 梁の弾性係数

であるから

$$F_D = E b h^2 \varepsilon_b / 6 y \quad - \quad (4)$$

となる。揚力 F_L により梁に生じる軸応力 σ_n は

$$\sigma_n = F_L / b h = E \varepsilon_n \quad - \quad (5)$$

より

$$F_L = b h E \varepsilon_n \quad - \quad (6)$$

となる。梁の前面と後面に取り付けた歪みゲージから測定される歪みを ε_1 、 ε_2 とすると近似的に

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_n + \varepsilon_b$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_n - \varepsilon_b$$

が成り立つ。したがって

$$\varepsilon_b = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) / 2 \quad - \quad (7)$$

$$\varepsilon_n = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) / 2 \quad - \quad (8)$$

(4)、(5) 式から抵抗係数 C_D と揚力係数 C_L は次式となる。

$$C_D = \frac{2 F_D}{\rho A_D U^2} = \frac{E b h^2 \varepsilon_b}{3 \rho A_D U^2 y} \quad - \quad (9)$$

$$C_L = \frac{2 F_L}{\rho A_L U^2} = \frac{2 b h E \varepsilon_n}{\rho A_L U^2} \quad - \quad (10)$$

ρ : 水の密度、 U : 流速、 A_D : 流れ方向の石の投影面積

A_L : 流れと垂直方向の石の投影面積

流体力の算定にあたって、
抗力の作用位置は石の図心
とした。また流速は、管路
横断方向の流速分布をプロ
ベラ式微流速計で測定し、
べき乗曲線をあてはめ石の
高さまでの平均流速を求め
用いた。管水路の断面平均
流速は四角堰を量水して求
めた。通水量は、13.64~30
.03 ℓ/s である。

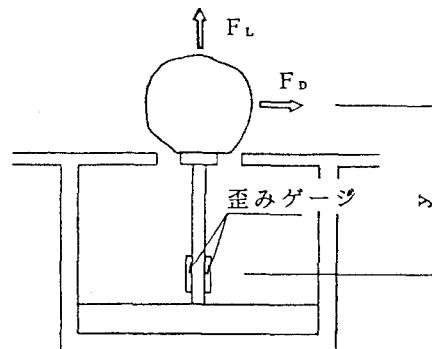


図 - 2

3) 石の形状

実験に使用した石の模型は、川砂利から型を取り、エポキシ樹脂で成形したものである。個々の石の形状は、実用上巨視的に見て概略の形状を把握できる G・Lees の区分法²⁾により、偏平比 (p) と細長比 (q) で分類した (図-3)。

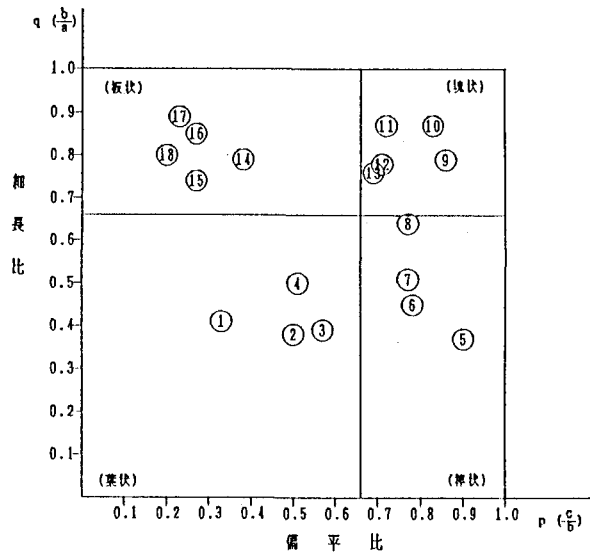


図-3

ここに

$$p = c/b$$

$$q = b/a$$

a : 石の最大長さ、b : 石の中間長さ、c : 石の最小長さ

石模型の向きは、石の最大長さ a が流れの方向と直角になる向きとした。石模型の投影面積 A_0 、 A_L を表-1 に示す。

表-1

NO.	AD	AL	NO.	AD	AL	NO.	AD	AL
1	9.90	24.06	7	17.30	19.30	13	18.69	23.93
2	16.04	26.81	8	20.71	22.04	14	14.30	30.60
3	16.24	21.69	9	18.81	19.82	15	11.86	33.22
4	12.88	18.31	10	20.74	26.21	16	9.85	32.55
5	17.08	18.14	11	15.96	21.44	17	8.92	32.80
6	14.42	20.94	12	17.94	22.77	18	13.09	37.87

単位 : cm^2

3. 結果

石模型単体を流れの中に固定し、歪みゲージの歪み ε_1 、 ε_2 を測定し、今回は (4)、(9) 式から抗力と抵抗係数を算定した。レイノルズ数 R. と抵抗係数 C_D の関係を図-4 (a) ~ (d) に示す。ここでレイノルズ数 $R. = 4UR/\nu$ (R : 動水半径、 ν : 動粘性係数) である。図から R. が 10^4 のオーダーで C_D は一定となっていることがわかる。石の形状ごとに見てみると C_D は塊状の石で安全側の値をとると 0.40、板状の石で 0.50、葉状の石で 0.50 となっている。また棒状の石では、塊状に近い No. 8 が小さめの値となっているが、他は安全側の値を取ると 0.55 となっている。予想される通り石の形状によって C_D に違いはあるがその差は小さい。

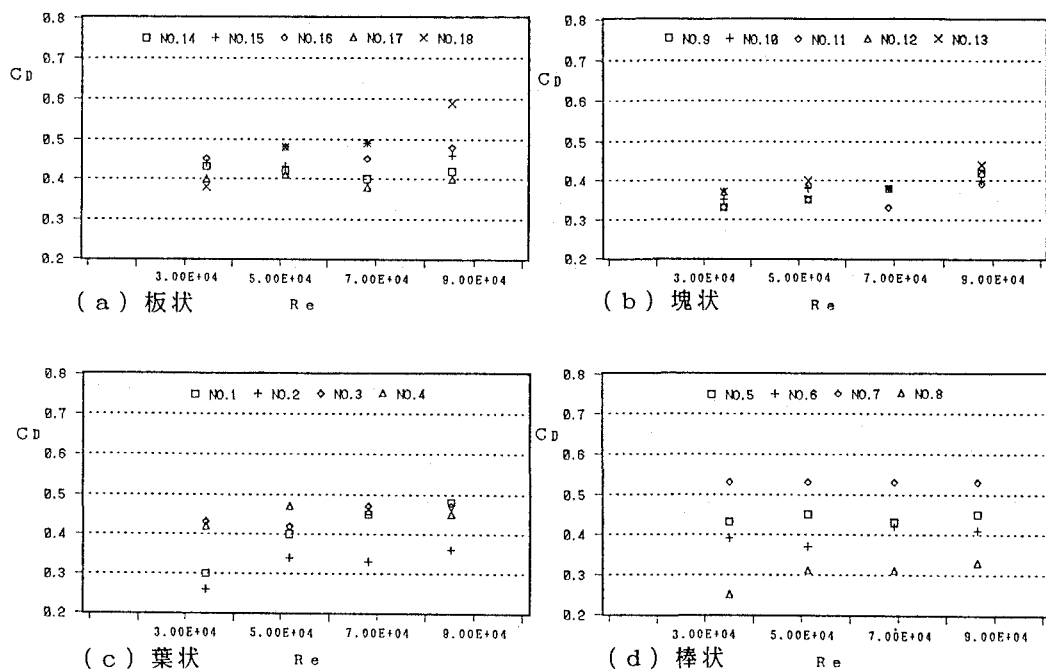


図 - 4

4. おわりに

護岸材料として使用される石を、塊状、板状、葉状、棒状に4分類して、単体で河床に置いた時の抵抗係数を実験的に算定した。石の形状により抵抗係数は異なるが、実用上その差は小さいと言える。石単体の安定性を検討する上では、抗力とともに揚力の評価も重要である。根固ブロック単体を河床に置いた場合、ブロックの抵抗係数よりも揚力係数のほうが大きいことが認められているため¹⁾、石の揚力係数についても解析を進めている所である。

参考文献

- 1) 大西外明、卜部周一：河床人工ブロックに作用する流体力と抵抗に関する実験的考察、水工学論文集、第34巻、1990年2月
- 2) 田口登、辻垣武彦、森田博史：捨石による基礎マウンドの形状および力学的特性に関する考察、港湾技術研究所報告第30巻第1号、1991年3月