

II-161

橋脚周辺の洗掘深さ

立命館大学理工学部 正員 大同淳之 ○ 同 学生員 矢野定男

1. はしがき 橋脚周辺の静的洗掘深さは橋脚前面の循環の速さが、砂粒の移動限界流速に等しい。また動的洗掘深さは流入土砂量と洗掘孔からの流出土砂量が等しいとの考え方に立って予測式を作り、さらに橋脚の形が異なるときは、橋脚前面と衝撃後流れが偏したあととの間の運動量の差が洗掘に費やされる力だとして実験値を整理すると橋脚の形が異なるデータが同じ図表上に表せることを示す。同時に防止対策工を施したとき、その効果を同じ図表上で比較されることを示す。

2. 洗掘深さ

2-1. 静的洗掘深さ 洗掘深さを予測するにあたって、洗掘の仕事をする流れの供給幅と、洗掘幅とは異なるということを解析に導入する。

上流から、剥離渦の形成に寄与する流れの幅を b_0 、橋脚幅を D として

$$b_0 \Gamma_0 = D \Gamma \quad (1)$$

が成り立つとする。 $b_0/D = k$ とする。

$$K_1 = f(N_s = U/\sqrt{sgd}), \text{ 橋脚の形による洗掘に費やす力 } \beta \quad (2)$$

と考えることにする。循環が保存されるとして、

$$\Gamma_0 = 2\pi r_0 K_1 U, \Gamma = 2\pi(r_0 + K_2 d_s) V \quad (3)$$

より、

$$V = k K_1 r_0 U / (r_0 + K_2 d_s) \quad (4)$$

となる。一方図2のような斜面上に置かれた砂が動き始める限界の流速 V_c は、

$$V_c^2 = K_3 sgd \quad (5)$$

と表される。もし一樣な粒径で形が粒径のとき、

$K_3 = (8/3)(\cos(60^\circ - \theta)) / (C_D \sqrt{3} + C_L)$ となる。最終洗掘深さは式(4)の流速 V が V_c とおくことにより、

$$K_3 sgd = (k K_1 r_0 U / (r_0 + K_2 d_s))^2$$

この式から Z_c を求めると次のようになる。

$$Z_c/D = k \alpha_1 N_s - \alpha_2 \quad (6)$$

ここに、 $\alpha_1 = (CK_1/\sqrt{K_3}) \alpha_2$, $N_s = U/\sqrt{sgd}$, $\alpha_2 = r_0/(DK_2)$, $C = U/U_m$ となる。

Bakar にならって、さらに h/D が関係するとして、

$$Z_c/D = (\alpha_1 N_s - \alpha_2) \tanh(\alpha_3 h/D) \quad (7)$$

とする。図3に式(7)の関係を示す。静的洗掘の場合、 $(Z_c/D)/\tanh(h/D)$ と N_s の関係は、式(7)が成り立つことを示している。 β の値は、流れが洗掘に費やす力から考察する。宇民²⁾によると、洗掘に寄与する流れは、橋脚幅の1/5の幅から供給され、それが橋脚のまわりを流下しながら洗掘を起こす。橋脚の先端を 0° とすると、 90° の位置が、流速が速くなるが、実測によるとこの点の流速の増大率は必ずしも大きくないので、同じ流路幅、流速で流下すると仮定する。図1のAとB点の間で、洗掘に費やされる力は

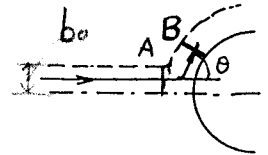


図1 検査面

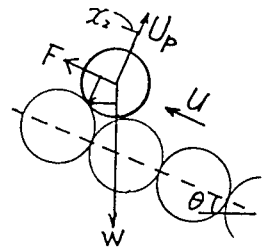


図2 粒子に作用する力

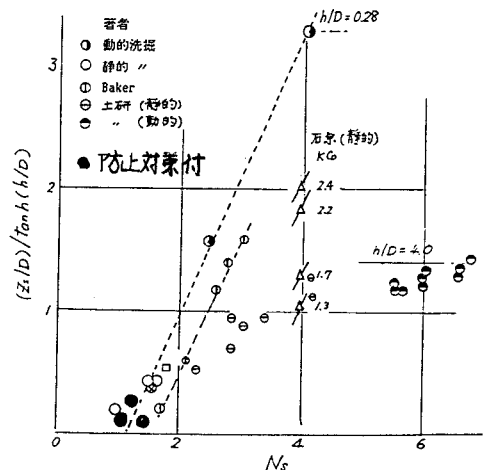


図3 最終洗掘深さ

$$\rho q_1 u_1 \cos \alpha - \rho q_1 u = \text{圧力差-洗掘力} \quad (8)$$

と表せる。ここで、 $q_2 u_2 = q_1 u_1$ 、 $\rho g h_f = \rho f u^2 / 2$ と表す。

このときの損失水頭 h_f は橋脚の抗力によって生じるので、

$$F/A = C_D (\rho / 2) u^2 \quad (9)$$

より、 $f = K_2 C_D$ (10)

と表されよう。 K_2 は比例係数とする。このとき式(8)は次のようになる。

$$\rho q_1 u_1 (1 - \cos \alpha) - \rho K_2 C_D (u_1^2 / 2) (\text{橋脚投影面} / 2) = \text{洗掘力} \quad (11)$$

そこで K の値は、

$$\frac{\{ \rho q_1 u_1 (1 - \cos \alpha) - \rho K C_D (u_1^2 / 4) (\text{橋脚投影面積}) \}}{\{ \rho q_1 u_1 (1 - \cos \alpha) - \rho K_2 C_D (u_1^2 / 4) (\text{橋脚投影面積}) \}} \quad (12)$$

= 洗掘深さ比 β

として、 $K_1 = f(N_s \cdot \beta)$ (13)

と表すことにする。式(13)は、上流からの流速 u_1 が一定のとき、表2

橋脚に衝突したあとの流れの偏奇角 α と橋脚の形による抗力係数 C_D の関係となる。式(13)の基準形として流れに直角におかれた板をとりあげると板の C_D は2とされている。物体の抗力係数は R_e 数の関数で、必ずしも統一されてはいない。著者の実験では表1に示す板のとき、 $\alpha \pm 90^\circ$ において、 $K_2 C_D = 2$ となった。 $K_2 = 1$ としたとき、 $C_D = 2$ で、この値は参考として記載した表2の C_D と一致する。表1の残りは α を与えて、 $K C_D$ を求めた結果で、このようにして求めた $K_2 C_D$ は必ずしも表2の値とは一致していないが、ほぼ近い。表3は石原の実験値への適用である。式(13)で円柱では α を小さくすると、 $K_2 C_D$ は大きくなる。他の形状にくらべて円柱は $K_2 C_D$ が大きくでる。この原因が何に起因するのか、さらに検討しなければならないが、この結果を図3の上に表すとき、おなじ N_s 上において、 $K_2 C_D$ の大きなものほど Z_s/D が大きくでることになる。

事実、表1.3に示されるように、円柱は板よりも $K_2 C_D$ の値が大きいので、同じ N_s ならば、板より円柱のデータが Z_s/D が大きくなるにことが示されている。以上の結果は、橋脚部の形状が異なるときでも、流線の偏角とその形状についての抗力係数 C_D を与えることによって、その洗掘深さを統一的に表せることを示している。

2.2. 動的洗掘深さ 動的洗掘深さは図3において、補給される砂の量と流出する砂の量とが釣り合っている条件で予測する必要がある。式中の係数が決まっていないので、ここでは省略する。

3. 洗掘防止策の効果

著者が提案した導流壁と傾斜粗度をつけた場合の効果をも、図3に示すことによって、その結果を示すことが出来る。

1) Baker. C. J of Hyd Reg. IAHR 1980

2) 宇民 土木論文集 1975 3) 大同 水工論文集 1993

表1

著者の実験値への適用（静的洗掘）

洗掘深さ	洗掘深さ比	$K C_D$
4.09cm	1.0	2.0
3.09cm	0.756	1.8
3.03cm	0.80	2.33
1.61cm	0.394	0.95

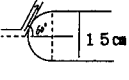
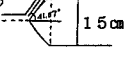
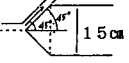
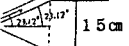
表2

物体の前面形状 ($Re = 10^4 \sim 10^5$)	抵抗係数 C_D
半円 $\rightarrow$	1.16~1.20
60° 角 $\rightarrow$	1.25
90° 角 $\rightarrow$	1.55
平板 $\rightarrow$	1.98~2.05
凹面 $\rightarrow$	2.20~2.30

【亀本 (1976). ターボ流, 4-4, p. 228, 表3】

表3

石原の実験値への適用（静的洗掘）

	洗掘深さ	洗掘深さ比	KC_D
	10.7	1.000	2.0
	10.1	0.944	2.42
	5.3	0.495	1.31
	9.2	0.860	2.16
	6.5	0.607	1.68