

II-261 橋脚前面の形状の違いによる洗堀深さ

立命館大学理工学部 学生員 矢野定男 正員 大同淳之 中西史尚

1. はしがき 橋脚前面の形状によって洗堀深さが異なるが、その違いは現在では実験によらざるを得ないとされている。本文はこの深さを予測するために、流れが橋脚によって流れが偏奇する前後の運動量の差が、洗堀に費やされる力だと考え、予測を試み、この考え方で実験の結果がほぼ説明できることを示す。

2. 橋脚前面の形状による洗堀深さの変化

2. 1 洗堀に費やされる力

橋脚前面の形状が流線形に近いほど洗堀深さは減少するが、形状と洗堀深さの関係は、円柱形以外は、現在では実験による以外にない。そこで、形状と洗堀深さの関係を橋脚前面と側面との間の流れの運動量の差から求める。図1のAB間で流れは、同じ流路幅、流速で流下すると仮定する。図1のAB間の運動量式は、

$$\rho q_2 u_2 \cos \alpha - \rho q_1 u_1 = F \text{ (洗堀に費やす力)} + P \text{ (AB間の圧力差)} \quad (1)$$

と表せる。ここで、 $q_1 u_1 = q_2 u_2$ で、AB間の圧力差を $\rho g h_f = \rho f (u^2/2)$ と表す。圧力差を表す損失水頭 h_f は橋脚の抗力

表1 著者の実験値からの抗力係数

によって生じることから、Aを橋脚投影面積とすると、

$$\frac{P}{A} = -\rho f \frac{u^2}{2} \quad (2)$$

と表せ、

$$f = k_3 C_D \quad (3)$$

と表すと、式(1)は次のようになる。

$$\rho q_1 u_1 (\cos \alpha - 1) + \rho k_3 C_D (u^2/2) A = F \text{ (洗堀に費やす力)} \quad (4)$$

式(4)は洗堀深さを表すものではないので、ある基準の型の洗堀深さに対する任意形状の洗堀深さ比が式(4)で表す洗堀に費やされる力の比に等しいと仮定すると、洗堀深さ比

$$\beta = \frac{\text{任意型}}{\text{基準型}} = \frac{\rho q_1 u_1 (\cos \alpha - 1) + \rho k_3 C_D (u_1^2/2) A}{\rho q_{10} u_{10} (\cos \alpha_0 - 1) + \rho k_{30} C_{D0} (u_{10}^2/2) A} \quad (5)$$

となる。ここで、橋脚先端が平面の場合の洗堀深さを基準深さとする。板以外の形状では洗堀深さ比は、1-軽減率で表される。

2. 2 実験による検証

上流からの流量 q_1 、流速 u_1 および水深 h が一定のとき、上記の式(5)は、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 のみの関数となる。物体の抗力係数は Re 数の関数で、まだ基準化されてはいないが、表2を参考にして $C_{D0}=2$ として、 α と β を与えて $k_3 C_D$ を求め、表2¹⁾の C_D と比較すると $k_2=1$ としてよいことがわかる。表3は石原²⁾の実験値への適用である。式(5)で α を大きく(小さく)すると、 $k_3 C_D$ は大きく(小さく)なるが、他の形状にくらべて円柱は、 $k_3 C_D$ が大きくなるが、これは検査面BをAのごく近傍にとる必要があることを示す。次にLaursenの実験³⁾によって、 α の値が確定し難い楕円形の場合について検査した。この場合、 C_D の値は形状によって異なるはずであるが、明確でないので C_D の値はどの楕円形も同じとして、洗堀深さ比は流線の偏奇角 α のみによると考え、与えられている洗堀深さ比を式

表2 抗力係数¹⁾

物体の前面形状 ($Re=10^4 \sim 10^6$) 抗力係数 C_D			
半円	→ (		1.16~1.20
60°角	→ <		1.25
90°角	→ <		1.55
平板	→		1.98~2.05
凹面	→)		2.20~2.30

表3 石原の実験からの抗力係数²⁾

	洗堀深さ	洗堀深さ比 β	α	$k_3 C_D$
平板	15cm 10.7cm	1.0	90°	2.0
90°角	15cm 9.2cm	0.86	45°	1.3
半円	15cm 10.1cm	0.944	50°	1.5
40°角	15cm 6.5cm	0.607	23°	0.9

(5) に与えて、この式を満たす α を求めた。その結果を表4の右端に示し、その結果を左端に図示した。このように示した α は流線の偏奇角としてほぼ妥当であることを示している。

3. 円柱形との比較

静的洗堀における橋脚前面の最大洗堀深さ Z_s は、橋脚前面に形成される渦の外縁流速 V が砂粒子の移動限界流速以下になった場合に生ずると考える。洗堀を起こす剥離渦を形成するに寄与する流れを図1に示す。接近する流れの中の循環を Γ_0 、洗堀が発達した洗堀内での循環を Γ とするとき、循環が保存すると仮定して、

$$\Gamma_0 = k_1 \cdot \Gamma \quad (6)$$

が成り立つものとする。 k_1 は橋脚の形状による補正係数であり、

$$k_1 = f \{ D/b_0, \tau_* \} \quad (7)$$

とする。図2に示すように橋脚前面での循環は外縁流速 V とし、洗堀深さ Z_s に比例すると考えて、係数

k_2 を用いて、

$$\Gamma_0 = 2\pi r_0 u, \quad \Gamma = 2\pi (r_0 + k_2 Z_s) V \quad (8)$$

とでき、(6) 式より、

$$V = r_0 u / \{ k_1 (r_0 + k_2 Z_s) \} \quad (9)$$

となる。一方、傾面上に置かれた砂が動き始める限界の流速を $V = V_c$ として、 Z_s を求めると、

$$Z_s/D = \alpha_1 \alpha_2 \eta \sqrt{\tau_*} - \alpha_2 \quad (10)$$

ここに、 $\alpha_1 = \frac{1}{k_1 \sqrt{k_s}}, \alpha_2 = \frac{r_0}{D k_2}, \eta = \sqrt{\frac{8}{f}}$,
 f : 摩擦損失係数, $\tau_* = u^2 / s g d$

k_s は、図2に示す。 k_s は、砂礫の移動限界流速 V_c を $V_c^2 = k_s \cdot s g d$ と表したときの係数で、

$k_s = (8/3) \cdot \{ \cos(60^\circ - \theta) / (\sqrt{3} C_D + C_L) \}$ と表される。円柱橋脚における実験結果の Z_s/D と $\sqrt{\tau_*}$ の関係をグラフに表したものが図3である。これは式(10)

が成り立つことを示しておる。 C_D, C_L をともに0.6とし、 $\theta = 45^\circ$ としたとき、 $k_s = 1.6$ で $f = 0.04$ とする。図3から $D = 14 \text{ cm}$ の場合、 $\alpha_2 = 0.15$ となり、 $\alpha_1 \alpha_2 \eta = 1.15$ から、 $k_1 = 1.5$ が得られ、 $D = 7.4 \text{ cm}$ の場合、 $\alpha_2 = 0.8$ とわかり、 $\alpha_1 \alpha_2 \eta = 8.0$ から、 $k_1 = 1.1$ と得られる。円柱以外の形について、これと同様に整理し、 k_1 および β を導入することで、任意の形状の洗堀深さが予測できるものと考えている。石原および著者らの実験値をプロットした結果は妥当な結果を示している。

参考文献

- 1) 亀本：ターボ機械，4-4，p228，表3，1976
- 2) 石原藤次郎：橋脚による河床洗堀に関する実験的研究，土木学会誌，第24巻，第1号，1938.1
- 3) Laursen, e. m. : Scour at bridge crossings, Proc. ASCE, J. of the Hyd. Div., 86, hy2, 39-54, 1960.
- 4) 大同淳之ら：導流壁および傾斜板による円柱橋脚周辺の洗堀防止、土木学会関西支部研究発表会，1994.5

運動量差比と洗堀深さ比^{a)}

長方形の場合に対する 最大洗掘深の軽減率	洗掘 深比	運動量の差を満足 する流線の歪位角	
 長方形 半円形	0%	100%	90
 半円形	10%	90%	65
 長円形	20%	80%	53.2
 両レンズ形	25%	75%	48.2
 両レンズ形 △形	20%	80%	53.2
 両レンズ形 △形	30%	70%	41.6
 心形	85%	15%	8.6

60.0cm

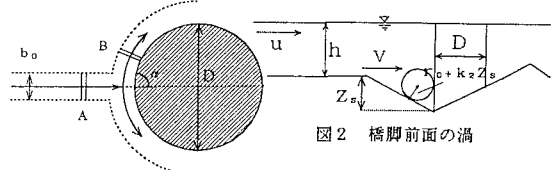


図1 洗堀に影響する流れの検査面

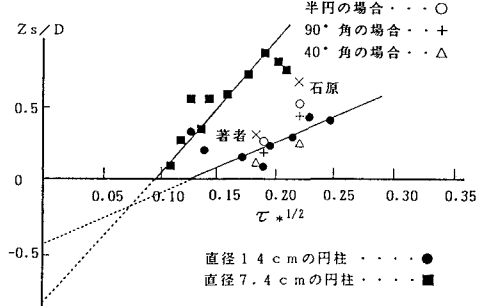


図3 洗堀深さを表すグラフ