

立命館大学理工学部 正員 大同淳之 学生員○矢野定男 中西史尚

1. はしがき 橋脚周辺の洗堀を防止するため従来から種々の研究がなされてきたが、主に橋脚の形状を変える方法と橋脚に工作物を施す方法とがある。本研究では、まず防止対策を施していない円柱橋脚前面の静的洗堀における最大洗堀深さを考察するとともに、洗堀防止対策として橋脚前面に導流壁および傾斜板を取り付けた方法の洗堀低減の効果を報告する。

2. 防止対策を施さない円柱橋脚前面の洗堀深さ

2.1 はじめに 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。

2.2 静的洗堀における最大洗堀深さの予測

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、循環が保存すると仮定して、

$$\Gamma_0 = k_1 \cdot \Gamma \quad (1)$$

が成り立つものとする。

$$k_1 = f(D/b_0, \tau_*, \beta) \quad (2)$$

は橋脚の形状による補正係数であり、 β は橋脚の形状による洗堀に費やす力の比とする。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、

$$\Gamma_0 = 2\pi r_0 u, \Gamma = 2\pi(r_0 + k_2 Z_s)V \quad (3)$$

とで、(1)式より、

$$V = \frac{r_0 u}{k_1(r_0 + k_2 Z_s)} \quad (4)$$

となる。一方、斜面上に置かれた砂が動き始める限界の流速を V_c とすると、一様な粒径 d で形が球のとき、砂粒に作用する力は図3のとおりであり、 D 、 L 、 W は抗力、揚力、重力である。これらのモーメントのつりあいから、

$$V_c^2 = k_s \cdot s \cdot g d \quad (5)$$

と表され、 $k_s = \frac{8}{3} \cdot \frac{\cos(60^\circ - \theta)}{\sqrt{3} C_D + D_L}$ で、

C_D 、 C_L は抗力係数、揚力係数である。式(4)の流速 V を V_c とおくことで、

$$k_s \cdot s \cdot g d = \left\{ \frac{r_0 u}{k_1(r_0 + k_2 Z_s)} \right\}^2 \quad (6)$$

とで、式(6)から最大洗堀深さ Z_s を求める。と次のようになる。

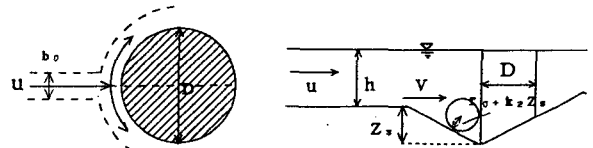


図1 洗堀に影響する流れの幅

図2 橋脚前面の渦

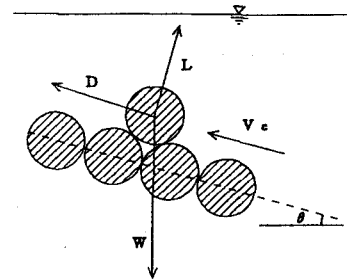


図3 砂粒に作用する力

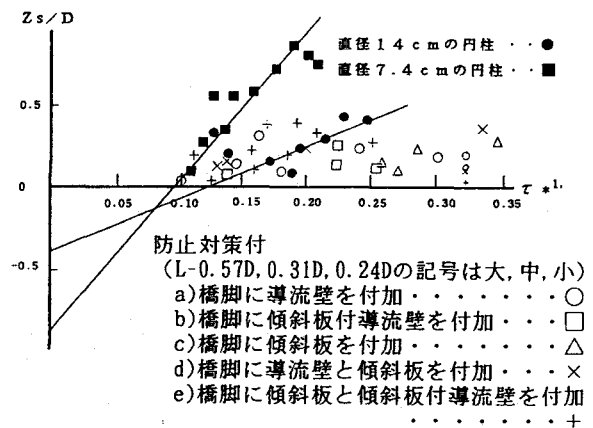


図4 洗堀深さを表すグラフ

$$Z_s/D = \alpha_1 \alpha_2 \eta \sqrt{\tau_*} - \alpha_2 \quad (7)$$

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, $\tau_* (=U_*^2/sgd)$: 無次元掃流力

構造物を施さない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4である。これは式(7)が成り立つことを示している。 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4から $D = 14 \text{ cm}$ の場合、 $\alpha_2 = 0.15$ とわかり、 $\alpha_1 \alpha_2 \eta = 1.15$ から、 $k_1 = 1.5$ を得ることができる。同様に、 $D = 7.4 \text{ cm}$ 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。式(2)で、この実験では τ_* はほぼ一定、 β は一定であるから、 k_1 は D/b_0 に相当することが示された。

3. 導流壁および傾斜板による洗堀低減

3.1 橋脚に工作物を施すことで橋脚前面の洗堀を低減させるため、ここでは導流壁および傾斜板を用いた。橋脚前面に形成される渦が洗堀に影響を与えているので、渦の効果を消すため導流壁を施した。ここで橋脚幅は14 cmのものをを用いたが、導流壁の長さは、字民によると、主渦および微小渦の形成される位置は橋脚前面から $\lambda_1 = 0.15 D$ および $\lambda_2 = 0.5 D$ のところとしているので、導流壁の長さは $L = 5.7 \lambda_1$ 、 $3.1 \lambda_1$ および $2.4 \lambda_1$ のものをを用いた。傾斜板は、橋脚の前後に生じる水位差に伴って流れを斜め 45° 上方へ導き、下方に巻こうとする流下する流れを制御するため導入し、その幅は洗堀深さが式(7)に示すように橋脚幅に比例することから、橋脚幅を越えないように橋脚さらに導流壁にも付加することにした。

3.2 導流壁および傾斜板の効果

5種類の橋脚モデルを用いて実験し、この結果を図4にプロットし、洗堀低減の効果を比較検討した。

この実験の結果から導流壁および傾斜板による橋脚前面の洗堀の低減効果が十分認められる。この中で $\sqrt{\tau_*}$ が0.23(すなわち静的洗堀)までの範囲ではa)およびb)のタイプが洗堀低減の効果を発揮し、 $\sqrt{\tau_*}$ が0.23より大きい範囲では、a)、b)およびe)のタイプが良いとわかる。a)およびb)の効果は導流壁が剥離渦を制御できることを示すもので、導流壁を導入すると導流壁周辺に洗堀が生じるが式(7)が示すように、導流壁の幅 D は小さいのでその洗堀は小さく、先端よりすぐ後ろの壁面には先端で洗堀された砂が砂層面より上に堆積するので、これが橋脚先端の洗堀を防いでいる。橋脚周辺の洗堀の主因は橋脚前面に発生する渦であるから、a)およびb)のタイプが洗堀低減の効果があつた方がより効果が大きいので最良だといえる。

4. むすび

- 1) 図4から洗堀深さを直線で表すことができ、その式に含まれる係数を得ることができる。
- 2) 防止対策を施すことで最終洗堀深さを60%～80%低減できる。
- 3) 橋脚前面に発生する渦を消散される目的から橋脚に傾斜板付導流壁を施すことが良い。

参考文献

- 1) C.J.Baker: Theoretical Approach to Prediction of Local Scour around Bridge Piers, Journal of Hydraulic Research, ppl-pp12 18 (1980) No.1
- 2) 字民 正: 円柱橋脚前方における局所流の研究, 土木学会論文報告集, 第247号, pp61-69, 1976.3

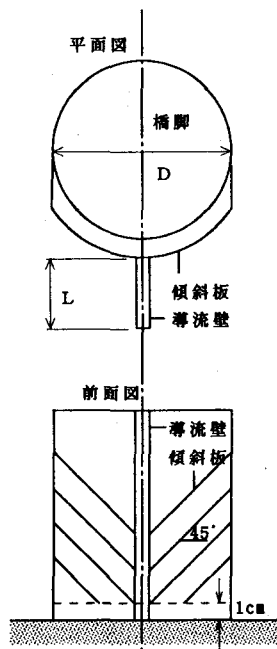


図5 導流壁および傾斜板