

橋脚の局所洗掘防止に関する研究

鳥取大学 大学院 学生員 ○片岡幸三
鳥取大学 工学部 正 員 鈴木幸一

1 はじめに：橋脚周辺部における局所洗掘防止軽減の方法は大別して、橋脚周辺部の掃流力を減少させる方法（補助杭などの設置、橋脚形状の工夫、つばなど）と掃流力に対する河床の抵抗力を増す方法（捨て石工、床固め工など）とがある。本研究では床固め工を取り挙げてその有効な洗掘防止軽減法を考えるが、河川の他の部分への床固めの影響を考慮して、床固めを河床面より下げて設置し、若干の洗掘を認めて、床固めの範囲を極力小さくするという発想のもとに、橋脚周辺の最適床固め範囲およびその河床面下の鉛直設置位置について検討を行なう。

2 モデルによる解析：円柱橋脚周辺の局所洗掘は、橋脚周辺部に発生する馬蹄型渦流および橋脚側面付近では特に著しい縮流による、生じることがあるが、洗掘初期においては、主に縮流の効果が大きく橋脚斜め前面から側面の部分で局所洗掘が進行する。したがって、橋脚側面での砂の移動がなければ、洗掘はあまり大きくはないものと考えられる。いま床固め工の範囲は少なくとも渦流の存在する範囲より大きくすれば、あとは縮流による側面での洗掘が生じるかどうかで決定できる。したがって、洗掘が床固め工の鉛直設置位置に達したとき、橋脚側面の床固め工外縁の縮流による掃流力が、その位置の河床砂の限界掃流力以下であれば、洗掘は生じないということになる。以上のことを考慮に入れて、モデル解析を行なうにあたり以下の仮定をする。

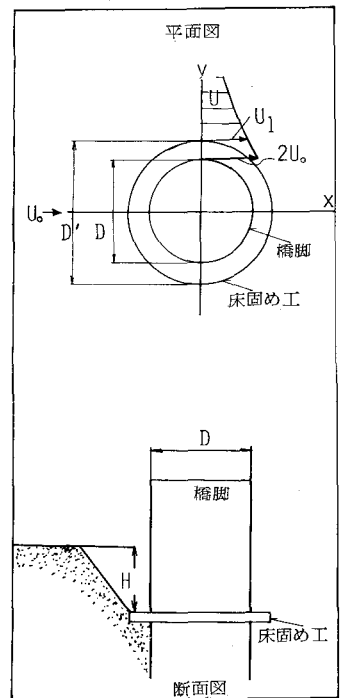


図-1 実験装置および橋脚周辺の流れ

- 1) 洗掘前の円柱橋脚周辺の流れは、ポテンシャル流として表わされる。
- 2) 円柱橋脚側面（図-1の $x=0$ 断面）の単位幅当りを通過する流量は、洗掘前後で変わらない。
- 3) 円柱橋脚側面（図-1の $x=0$ 断面）の河床摩擦速度 u_* は、平均流速 $\bar{U}$ と流速係数 ϕ で表わされる。

仮定1)より、一様流速 U_0 中の直径 D の円柱橋脚周辺の流れは、複素ポテンシャル w で表わすと、

$$w = U_0 \left\{ z + (D/2)^2 / z \right\} \quad (1)$$

ここで、 $z = x + iy$ である。したがって、 w の実部である速度ポテンシャル ϕ は、

$$\phi = U_0 \left\{ x + (D/2)^2 x / (x^2 + y^2) \right\}$$

であり、流下方向 (x 軸方向) の流速 u は、

$$u = \partial \phi / \partial x = U_0 \left\{ 1 + (D/2)^2 (y^2 - x^2) / (x^2 + y^2)^2 \right\} \quad (2)$$

であるから、洗掘進行前の円柱橋脚の床固め工外縁 ($y = D/2$) の流速 u_1 は、

$$u_1 = U_0 \left\{ 1 + (D/2)^2 \right\}$$

一方、仮定2)より、円柱橋脚側面の単位幅当りを通過する流量は一定であるとする、洗掘前の水深を h_0 、洗掘進行後の洗掘深を z とすると、そのときの水深は $z_0 + h_0$ となるから、

$$\bar{U} (z_0 + h_0) = u_1 h_0 = U_0 \left\{ 1 + (D/2)^2 \right\} h_0$$

である、洗掘進行後のこの点 ($y = D/2$, $x = 0$) の平均流速 $\bar{U}$ は、

$$\bar{U} = \frac{U_0}{1 + (z_0/h_0)} \left\{ 1 + (D/2)^2 \right\} \quad (3)$$

と表わされる。また、仮定3)より、流速係数 q_v は、 $q_v = U/u_*$ であるから、円柱橋脚側面の摩擦速度 u_* は、式(3)を用いて、

$$u_* = U/q_v = \frac{1}{q_v} \frac{U_0}{1 + (Z_0/h_0)} \left\{ 1 + (D/b)^2 \right\} \quad \text{---(4)}$$

となる。いま、洗掘深 Z_0 で床固めの元河床からの鉛直設置位置 H 以内で停止するためには、 $Z_0 = H$ で、式(4)で表わされる摩擦速度 u_* が、河床砂の限界摩擦速度 u_{*c} より小さければよい。つまり、

$$\frac{1}{q_v} \frac{U_0}{1 + (H/h_0)} \left\{ 1 + (D/b)^2 \right\} \leq u_{*c} \quad \text{---(5)}$$

と表わされる。つまり、床固め工の鉛直設置位置と水深の比 H/h_0 と円柱橋脚径と床固め工外径の比 D/b の満足すべき関係は、式(5)を変形して、

$$\frac{H}{h_0} \geq \frac{U_0}{q_v u_{*c}} \left\{ 1 + (D/b)^2 \right\} - 1 \quad \text{---(6)}$$

で示される。すなわち、 H/h_0 と D/b が式(6)の関係にあてはまれば、洗掘は床固め工鉛直設置位置までに停止することになる。

3 実験的考察

実験の概要：実験に用いた水路は、全長14m、幅0.6m、深さ0.4mのコンクリート製長方形断面水路である。そして、その中央部には長さ0.6m、幅0.4mの移動床を設け、その中央に直径 $D=5$ cmの円柱模型橋脚を設置し、模型床固め工としては、円形であり直径が $D'=7, 9, 11$ および12cmの4種類のものを用いた。実験条件は、表-1に示すとうり、橋脚の影響のないところでは、砂の移動のなり、いわゆる静的洗掘の水理条件である。なお、実験砂粒径は、上下限がそれぞれメッシュが、0.10mmと0.03mmのフルイで小さい分けられた平均粒径0.056mmのほぼ均一な砂である。また、床固め工の鉛直設置は、河床面上をゼロとして、1.0cmずつ降下させて変化した。

実験結果の検討：図-2の丸印は実験結果をプロットしたものであり、実線はそれぞれに対応する理論曲線である。ここで河床砂の限界摩擦速度は Shields 曲線より求めている。また、理論曲線の未知数である流速係数 q_v は13程度にして計算すると理論曲線は実験値をほぼよく説明できると思われる。斉藤¹⁾によると洗掘がある程度進行した状態での橋脚側面の流速係数 q_v は10前後である。理論曲線を導く過程では渦流のことは考えていないので床固め工の大きさは少なくとも渦流の規模より小さくなければならない。鈴木²⁾によると渦流の円柱半径方向の幅はほぼ kD ($k=0.25$)であるから、渦が直接洗掘する領域の最大径 D' は、

$$D/b = (D + 2kD)/D = 1 + 2k = 1.5$$

であるから、 D/b は1.5以上でなければならない。

4 まとめ：本研究においては、床固めを設置する際、河川の他の部分への影響を少なくするため、床固め工を河床面より下げて設置し、若干の洗掘を認めて、床固め工の規模を極力小さくするという発想で最適床固め工の規模と鉛直設置位置との関係について考察したが、式(6)の関係を満たせば、洗掘は床固め設置位置までに止まることがわかった。ただし、床固めの最小限は D/b が1.5以上でなければならない。

(参考文献)

- 1) 斉藤：山口大学工学部研究報告書 才20巻 1969
- 2) 鈴木：土木学会論文報告集 才272号 1978

表-1 実験条件

Run1	$U_0=28$ (cm/s)	$h_0=12.3$ (cm)	$d_m=0.056$ (cm)
Run2	$U_0=25$ (cm/s)	$h_0=13.5$ (cm)	
Run3	$U_0=23$ (cm/s)	$h_0=15.1$ (cm)	

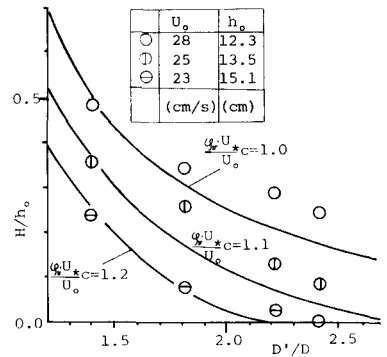


図-2 実験値と理論曲線