

II-105 橋脚の洗堀防止の一方

東京工業大学 正員 吉川秀雄
 東京工業大学 正員 福岡捷二
 日本国有鉄道 正員 岩間 汎
 建設省四国地建 正員 ○ 曾小川 久貴

まえがき

橋脚などの局所洗堀の問題については 従来数多くの研究が行われているが¹⁾現象の複雑さのため十分な精度で知ることは困難である。また現実に種々の洗堀防止工法が行なわれているが理論的に明確にできなく経験に頼らなければならぬ状況にある。

本文では非常に単純化して円柱形の橋脚モデルについて洗堀の機構を実験的、理論的に明らかにし一般の橋脚の洗堀を類推するための手掛りとするとともに、その結果に基づいて洗堀防止の有効な方法を見出そうとしたものである。

実験装置と方法

実験水路は、長さ 8m、巾 0.4m、高さ 0.3m の鋼製可傾還流式水路であり、水路中央部には洗堀状態を観察できるように両面ガラス張りとなっている。河床材料として用いた砂は豊浦標準砂であり比重 2.60、平均粒径 0.22mm である。この砂を水路全長にわたり約 15cm の厚さに入れ砂も水とともに還流させた。

橋脚モデルとして用いた円柱は表-1に示すとおりである。

表-1

円柱	直径(cm)	材質	平均流速(%)	水深(ccm)	フィルド数
C1	6.0	アクリル製	18.4~86.4	5.2~13.9	0.177~1.52
C2	2.6	塩化ビニル製	16.0~100.0	4.6~11.5	0.161~1.325
C3	1.8	塩化ビニル製	13.0~118.5	4.5~11.2	0.132~1.35

洗堀深の測定は 図-1 のように円柱に 0.4mm の鋼線をガイド線として用い、これに径 1.0mm の鋼線の両端を内径 2mm の輪をつけたものをつけこの降下量により測定した。測定は十分な時間をかけ水路床が平衡状態に達した後に行った。

実験結果とその考察

円柱 C1, C2, C3 につき表-1 に示す範囲で実験を行った。また洗堀の機構を明らかにする目的で円柱周辺部における砂の移動開始について実験を行った。

円柱周辺部では流水の集中がおこるため河床が限界掃流力以下でも周辺部での砂の移動場所と方向により 2 つの領域にわけられる。最初は流れ方向に対し 40~50° の側面でおこり流速増大のため

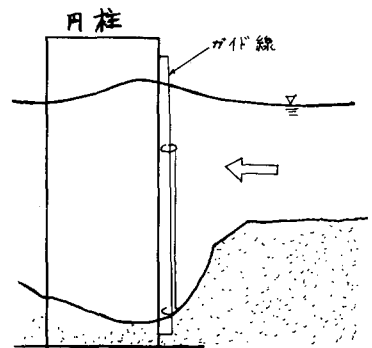


図-1 洗堀深測定装置

めに砂は接線方向に動く。次には円柱前面において法線方向に砂が動く。これは円柱前面に生ずる水平軸をもつ渦によるものである。ポテンシャル理論より得られるように流れに直角の側面において、砂が最初に移動しないことは、流れの鉛直方向の速度勾配が洗堀に重要な意味をもつものと考えることができる。

次に橋脚の設計、保守には最大洗堀深が重要な要素となると考えられる。次元解析によって最大洗堀深と水理量の関係を見出すと

$$\frac{ds_{\max}}{h} = \phi\left(F_r, Re, \frac{D}{h}, \frac{D}{B}, \dots\right) \quad (1)$$

ここに F_r : 流れのフルード数, $ds_{\max}$: 平均河床より測った最大洗堀深, h : 水深, $Re = Du/\mu$, D : 円柱の直径, u : 流速, B : 水路中である。砂粒径は一種であるためその影響を検討できないうが (1) 式のうち最も影響が大と考えられる F_r 数について $ds_{\max}/h$ との関係をとると図-2 のようである。 F_r が 0.25 以上では若干のばらつきはあるが

$$\frac{ds_{\max}}{h} = \alpha F_r^\beta \quad (2)$$

であらわされ $\beta \approx 3/4$, さらに D が大きくなるほど

$ds_{\max}/h$ は大きくなることが認められる。一方 Andru²⁾ は Inglis の資料および模型実験の結果などについて Lacey の bed factor F_b を用いて次の関係式を提案している。

$$\begin{aligned} ds F_b^{1/3} &= 1.35 g^{0.74} \approx 1.35 g^{3/4} & \text{この式を変形すると} \\ ds F_b^{1/3} &= 1.35 g^{3/4} h^{2/3} F_r^{1/3} \quad \text{となる。} \end{aligned}$$

F_b を河床材料にだけ関係するものとするれば F_b は一定であり、又 $h^{2/3} \approx h$ とみなすと上式は (2) 式に一致する。それゆえ $ds_{\max}/h$ は F_r により大略定まると考えられる。

洗堀防止工法

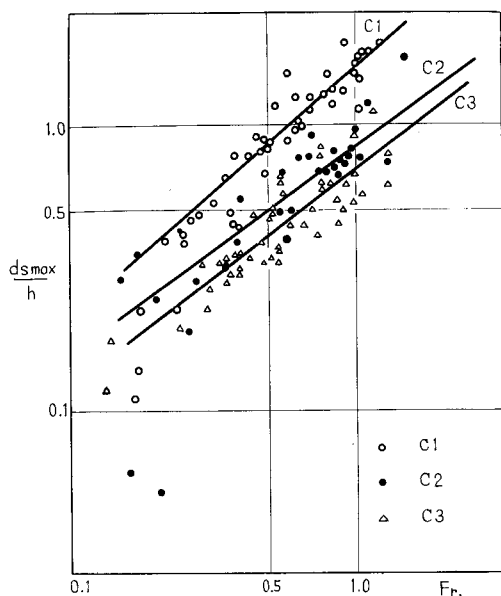
円柱周辺における局所洗堀には流れの鉛直方向の速度勾配が重要であり、これによって円柱前面に下向きの流れが生じ前面に渦ができることがわかった。このため洗堀防止工法としては、橋脚前面における下降流を軽減せねばよいわけである。この目的のために橋脚に薄板のツバをとりつけた。実験には円柱 C1 を用いた。ツバの水理学的効果としては

1) 下降流に対し粗度としての役目をもつ。

2) 円柱周辺の流れを鉛直速度勾配のある場合も二次元流に近づける

の2つの大きな要素があると考えられる。円柱につけるツバは厚さ 2mm のプラスチック製の板を円柱と同じ円状に切り抜いたもので幅を A , ツバとツバの間隔を B とし、これらを種々に変化させてツバのない場合と同様の実験を行ない、洗堀防止効果を調べた。結果はツバなし円柱の場合と同様

図-2 $ds_{\max}/h$ と F_r との関係



(2) 式の関係が成りたつが α は小さく、 β はほとんど変化せずツバを付けたことによる洗掘減少効果が確認された。実験結果より $Fr=0.5$ および 1.0 のケースを取りだしてツバなしに対する洗掘減少効果を示せば図-3に示す如く $B/A=3$ で最も効果があらわれ、又広いツバほど防止効果は著しいことがわかる。

一樣流中に円柱が置かれた場合には円柱に沿った流線が曲げられ円周周囲で圧力変化が起るが円柱軸方向には圧力勾配が生ぜず流れも起さない。一方円柱軸方向に速度勾配がある場合には、軸方向に圧力変化を生じ流れの軸方向への移動が起る。このような軸方向流れをツバによってどの程度防止できるかを考える。

問題を単純化するため各水平面では流れをポテンシャル流れと考へ、ツバなどの程度各層毎の圧力降下量を覆っているのかを計算する。計算には円柱前半面のみを考慮する。Bernoulliの定理より英 (r, θ) の圧力を P_0 とすると

$$\frac{P_0}{\rho} + \frac{\bar{u}^2}{2g} = \frac{P}{\rho} + \frac{1}{2g}(u_r^2 + u_\theta^2)$$

二次元ポテンシャル論より u_r, u_θ を求め上式に代入すれば

$$P - P_0 = \frac{\rho u^2}{2} \left(\frac{2a^2}{r^2} \cos 2\theta - \frac{a^4}{r^4} \right) \quad (3)$$

流水の中に円柱を置いたことによる圧力降下量を円柱前面 $(-\frac{\pi}{2} \leq \theta < \frac{\pi}{2})$ にあつて a (円柱の半径) から R_1 (円柱の影響を無視できると考えられる距離) まで積分して求めると

$$\int_a^{R_1} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} (P - P_0) r dr d\theta = \frac{\rho u^2}{2} \left(\frac{\pi a^4}{2R_1^2} - \frac{\pi a^4}{2a^2} \right) = -\frac{\pi \rho u^2 a^2}{4} \quad (4)$$

である。次にツバ付きの場合ツバの内側の範囲では圧力変化量はツバによって抑えられているので洗掘には影響しないと考へてよく外側での圧力変化量を(4)式と同様に計算する。ここで中心からツバ先端までの距離を $ka = a + A$ (A : ツバ幅) とすると 圧力の総変化量は

$$\int_{ka}^{R_1} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} (P - P_0) r dr d\theta = -\frac{\pi \rho a^2 u^2}{4 k^2}$$

となり圧力の変化量が k^2 に逆比例することがわかる。洗掘深もこれと同様の傾向があると考えられる。ツバなしとツバ付きの場合の洗掘深の比を実験より求め中心からの距離 ka との関係を示すと

図-3 ツバの間隔幅比と減少効果

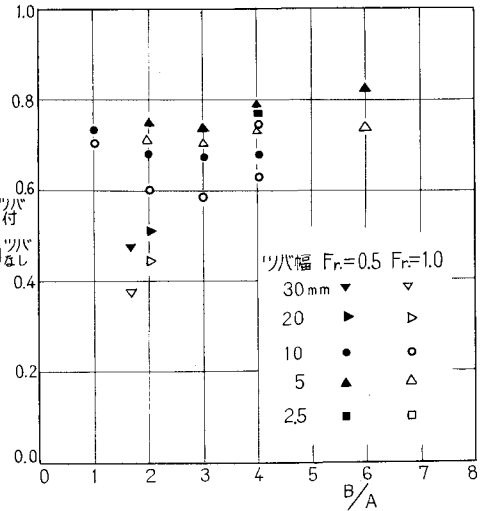


図-4 ツバ幅による洗掘減少効果

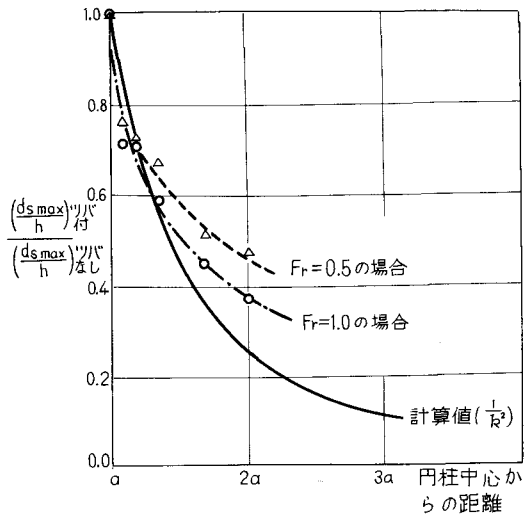


図-4 のようになり 兩者はかなりよく一致している。ただしツバ幅が広くなるとその減少効果は著しくないが これは円柱周囲の流束が二次元流である場合でも円柱に沿った掃流力が増すため洗堀が生ずることに起因していると考えられる。

図-3より一定のツバ幅に對しても最も効果のある間隔があると考えられる。これはツバが下降流に對し粗度の効果をもち、ためであらう。このような突起（ここではツバと呼んでいる）による粗度に関する研究は数多くなされているが、ここでは秋葉²⁾らが行った等角写像による斜水制後ホに生ずる渦領域の計算結果によつて検討した。このためには円柱前面の流線を知る必要があるが、マンガン酸カリウム液を細いガラス管により流して測定したところ流線とツバとのなす角度よりツバ後ホ（下側）に生ずる渦領域は突出長（ツバ幅）の3~4倍になると計算される。これは先に示した $B/A \approx 3$ に一致している。実際には下降流の流向は種々の物理量により若干異なると考えられ、 $B/A = 3$ に限定されるものではないことはいうまでもない。しかし実用的にみれば B/A の変化に對しは浸堀減少効果に及ぼす影響はそれほど顕著でないので $B/A = 3$ 程度にとつてよいと思われる。

結ひ

橋脚のまわりの洗塩量を知るために基本的と考えられる円柱について実験を行い、理論的検討を加えて次のような結論が得られた。

- 1) 最大洗滌深は前面の渦により生じ、 $d_{max}/h = \alpha Fr^{2/3}$ の関係があり α は D/h によって定まるようである。
- 2) 円柱前面の渦は 流れの鉛直速度勾配が重要な意味をもち、これによって生じた下降流とツバにより減少させた洗滌量を抑えることができる。ツバによる減少効果は二次元ポテンシャル理論を用いて説明できる。又一定幅のツバにおいても効果を最も有効にするツバの間隔を斜水割の考え方を導入して定めることができた。

以上の結論を利用して実際河川における種々の形状の橋脚の洗掘深を推定できると考えられるが、なお大型の模型実験による検証および数多くの現場での実測資料にもとずき検討が望まれる。

- 1) 石原藤次郎: 橋脚による河床洗掘に関する実験的研究, 土木学会誌, Vol. 24, No. 1, 1938.
" " Vol. 28, No. 9, 1942.
- 2) Andru, P: Scour at Obstruction in Non-cohesive Beds, Thesis for M.S.,
University of Alberta, 1956.
- 3) 秋草 照, 吉川秀夫, 阪上義次郎, 芦田和男, 土屋昭彦: 水利に関する研究, 土木研究
所報告, No. 107, 1961.