

橋脚の洗掘防護工に関する実験的検討

京都大学工学部 正員 中川 博次
 京都大学工学部 正員 村上 正吾
 中央復建コンサルタンツ 正員 O 村上 齊

1. まえがき 河川の全体的河床低下と橋脚周辺の局所洗掘との相乗作用により、写真1に見られるように、洗掘の進行とともに、基礎のまわりに矢板を打ち込み、中をコンクリートで固める形式の防護工をとった後、さらに河床低下が進み、その周りにブロックを積むことになっている。このように実際河川の橋脚にはすでに何らかの洗掘防護工が施されており、単一ピアの洗掘特性とは異なっており、理論的にそれらの効果について明らかにすることは洗掘に関連する要素が多いため、実験的な考察を進める。なお、本報では、元の橋脚の周りに施されたコンクリート詰り型式のものを対象とした。

2. 初期洗掘機構 円柱周辺の洗掘機構を明らかにする上においては、円柱前面よじみ面内での馬蹄型剝離渦に着目し、その渦による掃流力の評価をする方法が洗掘現象をとりまく様々な事象を統一的に説明する上で最も有効と考えられる。また、橋脚径Dに対する粒径dの比が小さい円柱橋脚を対象にすると、円柱前面でpick-upされた砂は、渦の集中する領域からすべて系外へ運び出されるものと考えてよい。この時、無次元pick-up rateが知られると、中川らの推定式¹⁾を用いて渦による無次元掃流力 T_{*v} を評価することができる。さらに、 $T_{*v} \sim u_b^2$ (u_b : 渦の外縁流速) であるから、渦流による摩擦抵抗係数 ϕ_r ($\equiv u_b / u_{*v}$; $u_{*v} \equiv \sqrt{T_{*v} / \rho}$) が知られれば、次式によって渦のスケール ω_0 が与えられることが辻本²⁾によって導かれている。

$$\omega_0 = (\phi_s / \phi_r) / (4\pi \sqrt{r_0}) \quad (1)$$

ここで、 $\phi_s = u_{s0} / u_{*0}$, u_{s0} : 円柱の影響を受けない領域での表面流速, $u_{s0} = \sqrt{t_0 / \rho}$ であり、 $r_0 \equiv T_{*0} / T_{*0}$ である。渦の直径Kは洗掘深 Z_0 の関数として表わされるであろうが、Kの変化は Z_0 のそれに対して鈍感であることより、第一次近似としてKは一定とみなせ、この仮定にもとづいて、中川らは初期洗掘過程においては、 Z_0 が $\rho_s t$ に比例し、さらに洗掘が進行した段階では、 $Z_0 \sim \sqrt{\rho_s t}$ となることを明らかにしている。すなわち、流砂の連続式より無次元洗掘深 $Z_{*0} (\equiv Z_0 / D_1)$ は、次式で与えられる。

$$dZ_{*0} / dt_* = A_1 \rho_{*0} (d/b) \quad (2)$$

ここで $t_* \equiv t \sqrt{(\rho_p - 1)g} / d$, $\rho_{*0} \equiv \rho \sqrt{d / (\rho_p - 1)g}$, A_1 : 砂粒の1次元の形状係数, d : 砂粒径, D : ピア径である。したがって、実験的に dZ_0 / dt の時間的変化が知られると、 ρ_s を介して渦による掃流力 T_v が評価可能となる。本研究では、元の円柱 D_1 の外周に径 D_2 の円柱が施された場合の初期洗掘過程の変化を注目しており、直径比 D_2 / D_1 およびその元河床面からの高さ ΔZ による渦の強度とスケール、すなわち渦の外縁流速 u_b と渦径 ω_0 の変化を明らかにすれば十分であると考えられ、次に実験的にその変化を明らかにする。

Hiroji NAKAGAWA, Shogo MURAKAMI, Hitoshi MURAKAMI

3. 実験 実験は、長さ 8.7 m、幅 0.94 m、深さ 0.3 m の木製（一部アクリル製）水路で行った。元の円柱の径 D_1 は 9 cm であり、外周の円柱径 D_2 は 14 cm である。砂は、中央粒径 $d = 0.078 \text{ cm}$ 、比重 $\sigma/\rho = 2.63$ のものを用いた。この砂の無次元限界掃流力 τ_{cc} は、岩垣式を用いて算出すると $\tau_{cc} = 0.034$ であり、各実験ケースの一樣部での τ_{cc} と比較することにより、今回の実験が clear water scour の領域内にあることが知られる。前述した様に、 D_2/D_1 が重要なパラメータの一つと考えられるが、今回の実験ではそれを一定、各実験ケースにおいて水深 h 、路床勾配 I を一定として、 Δz を変化させることにより、pick-up-region の変化をみることにした。図-1 は、 $\Delta z/h$ の変化による洗掘深 z_s/D_1 の時間的变化を示したものであり、外周の円柱が存在しても洗掘の初期においては洗掘深の変化は時間にほぼ比例していることが見うけられる。式(2)を用いて、 p_{**} を求め、さらに中川らの式を用いて τ_{**} を求め、一樣部での掃流力 τ_{cc} との比 τ_{**}/τ_{cc} を示したものが図-2 であり、吉川らの実験値によると $\gamma_0 \cong 1.5$ であり大差なく、渦の強度の変化がこのような方法である程度推測できる。さらに、式(1)を用いて表面流速と外縁流速との比を求めたものが図-3 である。ただし、 $u_b = 0.183$ としている。

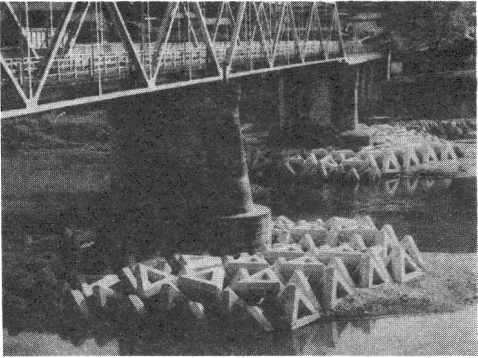
4. 結論 本報では、初期洗掘過程の洗掘深の時間的变化により p_{**} を算定し、渦による掃流力の変化により、元の円柱の外に施された円形の防護工の効果について論じたが、体系的な実験を行なうことによってさらにその効果を明らかにしなければならない。また、さらに洗掘が進んだ段階における洗掘特性の変化も同様の手法により、今後検討を加える予定である。

<参考文献>

- 1) 中川・辻本、土木学会論文報告集、第244号、1975
- 2) 辻本：水上、水理講演会論文集、1985

移動座 (円柱)	I	h (cm)	η (1/s)	u_{*0} (cm/s)	$\Delta z/D_1$	$\Delta z/h$	τ_{**}
0-1	1/2000	9.47	29.61	33.26	-	0	0.033
0-3	1/2000	9.52	30.31	33.87	0.50	0.24	0.033
0-4	1/2000	9.46	29.74	33.44	0.29	0.43	0.033
0-5	1/3000	16.22	50.78	33.31	0.75	0.65	0.034
0-6	1/3000	16.11	50.26	33.19	0.50	0.43	0.036
0-7	1/3000	16.30	50.84	33.18	0.29	0.25	0.036
0-8	1/3000	16.14	50.87	33.53	-	0	0.035

実験条件表



写真

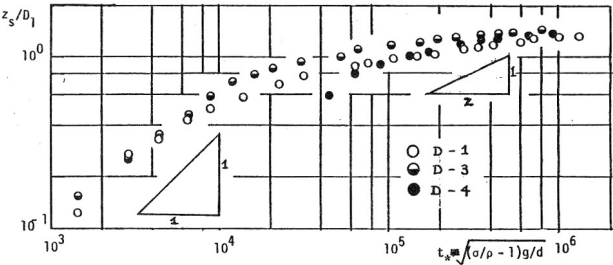


図-1

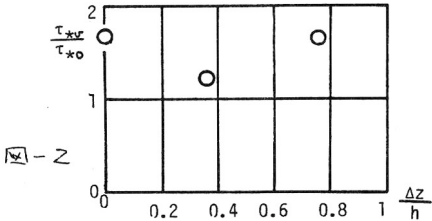


図-2

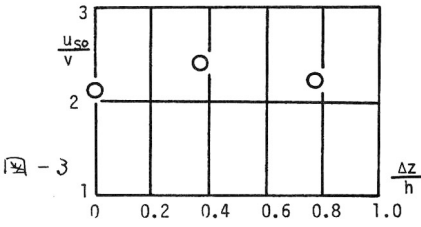


図-3