

各種形状橋脚の局所洗掘に及ぼす影響

鳥取大学大学院 〇学生員 渡辺 康二
鳥取大学大学院 学生員 香川 章
鳥取大学工学部 正員 鈴木 幸一

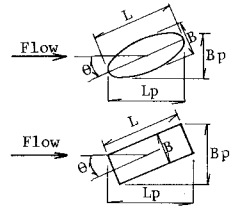
1. はじめに: 河川における橋脚は正常な通水を阻害し, その周辺に急激な局所流を発生させることによって周辺河床を著しく変化させる。従来, この局所洗掘現象に関する研究は数多くなされているが, その多くは円柱橋脚周辺の河床変動に関してであって橋脚形状を系統的に変化させて洗掘に及ぼす橋脚形状の影響は, まだ十分明らかにされていない。本研究では各種形状橋脚に対して河川主流方向と橋脚の軸とのなす角 θ (図-1参照)が変化する場合の局所洗掘特性について実験的考察を行なう。

2. 実験の概要: 実験に用いた水路は, 全長4m, 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, その中央に模型橋脚を設置する。用いた模型橋脚の水平断面は図-2に示すような円(記号: E), 楕円(記号: DI および DII), 矩形(記号: KI, KII および KIII)の計6種類である。実験条件は, 表-1に示すとおりで, 全て橋脚の影響のないところでは砂の移動のない静的洗掘の水利条件である。なお, 砂粒径は, 上限と下限がそれぞれメッシュが0.084cmと0.042cmのフルイでふるい分けられた中央粒径0.063cmのほぼ均一に近い砂である。

3. 洗掘深の時間的変化: 図-3~4に最大洗掘深の時間的変化の一例を示す。

従来の研究によると円柱周辺部での局所洗掘機構は一般に1)主流による掃流過程, 2)馬蹄形渦による洗掘孔の発生過程, 3)安定渦による洗掘過程, 4)堆積による流水の変化過程に分類される。迎え角が 0° の場合(図-3)には, その洗掘速度から1)の洗掘過程が楕円柱橋脚についてはゆるやかに進み $t=10^2$ 秒近くまで“続くのに対し, 角柱橋脚については急激に起こり, その洗掘深も大きく $t=30$ 秒ですでに2)の洗掘過程に移っていることがわかる。また, 2), 3)の洗掘過程に移ると橋脚の流水方向の長さの長い橋脚は比較的早く平衡状態に近付き, DIIについては $t \approx 9000$ 秒から4)の洗掘過程も見られる。迎え角が $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ と増加すると楕円柱橋脚についても1)の洗掘過程で洗掘が急激に生じ, 以後の洗掘過程ではどの洗掘速度もほぼ等しい。しかし迎え角が 45° の場合には1)の洗掘過程で角柱橋脚の場合には洗掘はいくぶんゆるやかになる。以上のことより1)の洗掘過程に大きく影響を及ぼすのが前面形状および河川横断方向の橋脚幅 L_p であり, 2), 3)の洗掘過程においては橋脚の流下方向の長さ L が主に影響するものと考えられる。

4. 洗掘形状: 図-5~11に示すように洗掘形状の特徴は, 一般に迎え角が増加すると洗掘範囲が広くなり橋脚の長さ L (図-1参照)の長いものほどこの現象は顕著である。また, 迎え角が $20^\circ, 30^\circ$ の場合には洗掘孔の斜面が橋脚の右岸側ではゆるやかで, 左岸側では急である。これは, ある程度前面の洗掘が進むと左岸側の堆積砂が流水に抵抗するため流れは右岸側の方に向く。しかし, 右岸



θ: Attack angle
B: Pier width
L: Pier length
Bp: Projection width
Lp: Projection length

図-1

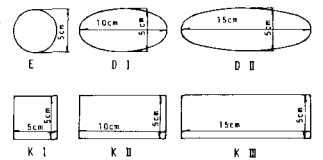


図-2 Types of piers

表-1 Experimental conditions and final maximum scour depth

RUN	TYPE	$\theta(^{\circ})$	d_{50} (cm)	H_o (cm)	U (cm/sec)	Z_s (cm)
1	E	0	0.063	11.7	24.2	5.7
2	K I	0	0.063	11.7	24.8	5.6
3	K I	10	0.063	11.7	24.7	5.3
4	K I	20	0.063	11.7	24.5	5.7
5	K I	30	0.063	11.7	24.6	5.8
6	K I	45	0.063	11.7	24.5	5.9
7	K II	0	0.063	11.7	24.8	4.7
8	K II	10	0.063	11.7	24.5	5.4
9	K II	20	0.063	11.7	24.8	6.7
10	K II	30	0.063	11.7	24.8	8.1
11	K II	45	0.063	11.7	25.3	6.8
12	K III	0	0.063	11.7	24.6	4.7
13	K III	10	0.063	11.7	24.4	5.1
14	K III	20	0.063	11.7	24.6	6.5
15	K III	30	0.063	11.7	24.7	9.4
16	K III	45	0.063	11.7	25.0	8.0
17	D I	0	0.063	11.7	24.7	3.7
18	D I	10	0.063	11.7	24.6	3.7
19	D I	20	0.063	11.7	24.8	4.4
20	D I	30	0.063	11.7	24.7	4.9
21	D I	45	0.063	11.7	24.7	6.8
22	D II	0	0.063	11.7	24.8	2.6
23	D II	10	0.063	11.7	25.0	3.0
24	D II	20	0.063	11.7	24.8	3.9
25	D II	30	0.063	11.7	24.7	5.6
26	D II	45	0.063	11.7	24.8	9.3

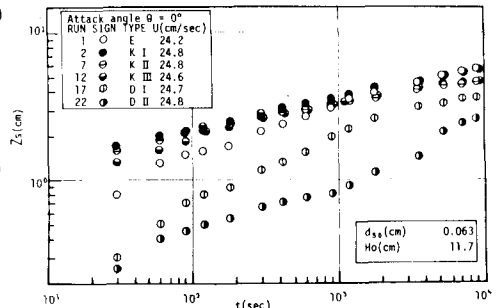


図-3 Relationship between maximum scour depth Z_s and elapsed time t (attack angle $\theta = 0^\circ$)

側の馬蹄形渦は弱いため洗掘深があまり深くなっていないのであろう。
 そのため、KII, KIIIの迎え角が45°の場合には橋脚下流部付近での馬蹄形渦は強いのでこの部分の洗掘深も大きくなっている。

5. 最終最大洗掘深 厳密な意味での平衡洗掘深を求めることは非常に困難である。そこで本研究では、洗掘開始後2時間30分の最大洗掘深を最終最大洗掘深とした。一般に橋脚周辺の局所洗掘は橋脚周辺の局所的な掃流力の増加および渦の発生によって起こる。そして、この二つの現象と関係深い主要要素は水理条件が一定であれば、河川横断方向への橋脚の投影幅、前面形状および橋脚の主流方向の長さであると考えられる。そこで迎え角θが0°~45°の範囲においては図-12からもわかるように橋脚柱橋脚の場合には迎え角が増加すると投影幅Bpも大きくなり、前面形状も流れに対する抵抗の大きな形となり、流れの乱れは大きくなり洗掘深も大きくなる。一方、角柱橋脚の場合には迎え角が増加し投影幅が増加するが前面形状が鋭角となり洗掘深を減少させる作用もある。そして、迎え角が小さいうちは前者が卓越し洗掘深は迎え角の増加とともに大きくなるが、迎え角45°になると後者が卓越し洗掘深は小さくなる。以上のことを考慮に入れ最終最大洗掘深を表すモデルを考える。水理条件が等しい迎え角が0°の場合各形状橋脚の最終最大洗掘深Zs0と円柱橋脚の最終最大洗掘深ZEとの比Zs/Zs0は $Zs/Zs0 = (k/k_E)^m (Bp/B_E)^n$ で表わされている。ここに、B:橋脚(角柱の場合は外接橋脚)の短軸長、k=B/L, kE:円のk(kE=1), BE:円の幅, m, n:水理条件によって定まる定数である。この式で(k/kE)^mは橋脚の流下方向への長さの洗掘深に及ぼす影響を、(Bp/BE)^nは河川横断方向の橋脚幅の影響を大ざっぱに示している。この考えに基づき、ここでは各形状橋脚の最終最大洗掘深Zsとそれぞれの迎え角0°の場合の最終最大洗掘深Zs0との比Zs/Zs0は $Zs/Zs0 = A(k/k_E)^p (Bp/B_E)^q$ で表わされると考えられる。ここにA:各橋脚の迎え角θと0°の場合の前面形状が洗掘深に及ぼす効果の比、k1=Bp/Lp, k=B/L(図-1参照), p, qは定数である。そこで、Aを簡単にA=(1+αθ)(α:角柱の場合、α=0.01程度、橋脚の場合α=0.001程度)とするとZsはZs0と迎え角θとの関数となり計算できる。計算結果と実測値は図-13のよき比較がよく一致する。

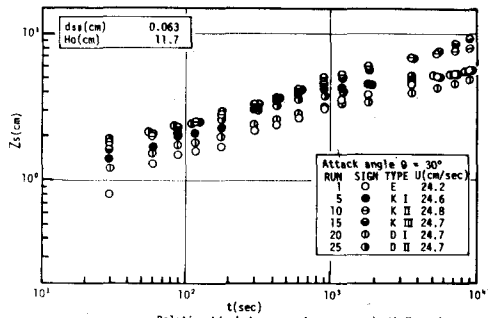


図-4 Relationship between maximum scour depth Zs and elapsed time t (attack angle θ=30°)

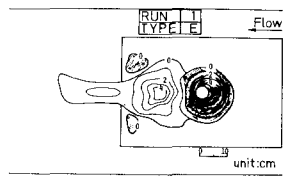


図-5 洗掘形状図

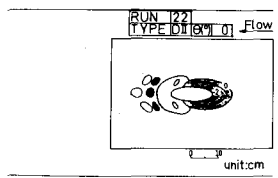


図-6 洗掘形状図

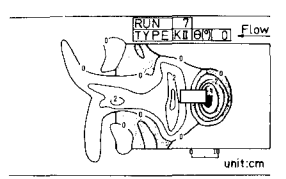


図-7 洗掘形状図

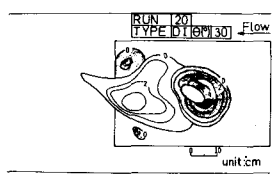


図-8 洗掘形状図

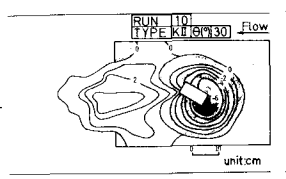


図-9 洗掘形状図

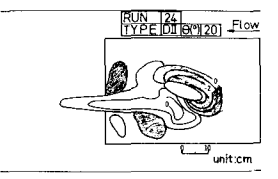


図-10 洗掘形状図

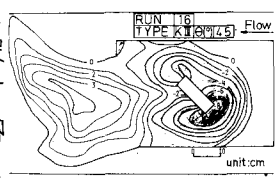


図-11 洗掘形状図

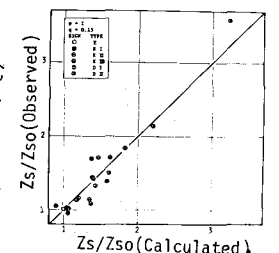


図-13

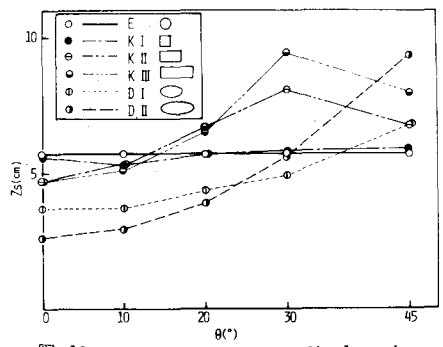


図-12 Relationship between final maximum scour depth Zs and attack angle θ