

京都大学 工学部 正員 ○鈴木 幸一
 “ “ 学生員 河村 康
 “ “ “ 吉舎 廣幸

1. まえがき 橋脚周辺の洗掘には、橋脚側面における一次元的掃流によって説明されるものと、前面における渦が支配的な洗掘力となるものとがあることは既に指摘してきたが¹⁾、ここでは最終状態で最大洗掘が生じる橋脚前面の渦による洗掘について論じる。橋脚周辺で生じるいわゆる馬蹄形渦は古くから洗掘力として注目されているが、非常に複雑な三次元的挙動を示すので定量的にはとり扱えず、わずかに Shen が定性的に論じたものがあるにすぎない。²⁾ 本研究はこの渦による洗掘特性を実験的に考察したものである。

2. よどみ面内の渦特性 図-1のように円柱前面底部に発生する渦の大きさを測定した結果、図-2の記号を用いて、 L/D , H/D は図-2に示すように、 Re 数に対してほとんど変化しないことが認められた。 $Shen$ によると円柱前面よどみ面内における循環は円柱があるために

$$\Gamma_1 = -U_0 D / Z \quad (1)$$

だけ変化する³⁾。いま図-1においてこの渦を三角形 OS に内接する半径 l 、角速度 ω で回転している円 $\odot$ で代表せるとする。この円の外縁での速度を v とすると、循環は、

$$\Gamma_2 = \oint v ds = -\int_0^{2\pi} l \omega \cdot l d\theta = -2\pi \omega l^2 \quad (2)$$

となるが、上に述べたように $l = k_1 D$ (k_1 : 定数) とおくことができ、また円柱があるための循環の変化とこの渦とは密接な関係があるから、 $\Gamma_1 = k_2 \Gamma_2$ とすると、(1), (2) 式より、

$$v = k_3 \cdot U_0 \quad (3)$$

ただし、 $k_3 = 1/4 k_1 k_2 \pi$ となり、洗掘力に密接な関係がある渦外縁の速度 v は U_0 に支配され、したがって渦による前面の洗掘も U_0 に支配されると考えられる。

3. 実験結果と考察 実験は全長 14m、幅 98cm、深さ 30cm の水路で行ないその実験条件は表-1に示すとおりである。 U_0 は一様流の平均流速、 d_0 は砂の平均粒径である。また問題を簡単にするために、局所洗掘のみが生じ河床全体は静止しているいわゆる clear water scour の状態で実験を行った。図-3は円柱前面の洗掘深さの時間変化を示したものである。横軸は時間を表わす無次元量 $U_0 t / d_0$ 、縦軸は洗掘

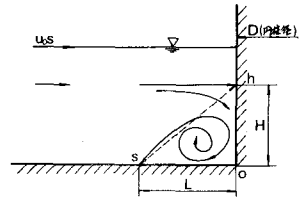


図-1 記号

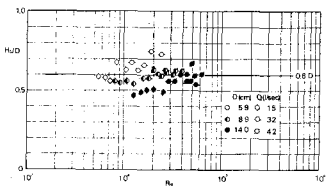
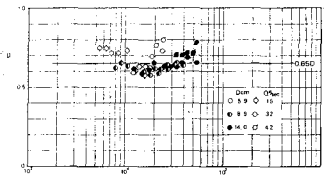


図-2 渦のスケール

表-1 実験条件

No.	Q (lit/sec)	D (cm)	d_0 (cm)	h (cm)	U_0 (cm/sec)	U_0^* (cm/sec)	U_0^*/U_0	Re ($=U_0 D/\nu$)
1	42.94	5.9	0.193	9.72	45.08	3.26	17.70	2.54
2	42.94	5.9	0.193	11.87	36.91	2.08	2.18	2.18
3	42.94	5.9	0.193	13.97	30.88	1.79	1.82	1.82
4	32.22	5.9	0.193	8.25	39.85	2.25	2.35	2.35
5	32.22	5.9	0.193	10.10	32.56	1.83	1.92	1.92
6	22.22	5.9	0.193	12.00	27.40	1.54	1.62	1.62
7	15.63	5.9	0.193	6.46	24.72	1.40	1.46	1.46
8	43.09	8.9	0.193	9.81	44.82	2.53	3.99	3.99
9	42.94	5.9	0.193	12.27	35.98	1.89	3.15	3.15
10	42.94	5.9	0.193	13.65	31.91	1.80	2.94	2.94
11	32.60	5.9	0.193	8.72	40.22	2.27	3.58	3.58
12	35.48	5.9	0.193	9.58	37.04	2.09	3.30	3.30
13	32.60	5.9	0.193	12.00	27.72	1.56	2.47	2.47
14	36.08	5.9	0.193	13.62	26.05	1.47	2.35	2.35
15	15.92	5.9	0.193	5.75	28.25	1.69	2.51	2.51
16	42.72	14.0	0.193	9.90	44.04	2.46	6.17	6.17
17	41.88	5.9	0.193	11.68	36.59	2.06	5.12	5.12
18	41.69	5.9	0.193	13.95	30.72	1.75	4.30	4.30
19	31.88	5.9	0.193	8.35	38.96	2.20	5.45	5.45
20	35.48	5.9	0.193	9.58	37.04	2.09	5.19	5.19
21	32.15	5.9	0.193	11.59	28.30	1.60	3.96	3.96
22	35.48	5.9	0.193	13.62	26.05	1.47	3.65	3.65
23	15.51	5.9	0.193	5.35	28.52	1.67	3.99	3.99
24	35.48	8.9	0.083	13.62	26.05	1.47	2.32	2.32
25	35.48	5.9	0.193	17.06	20.80	1.19	1.79	1.79

深を表す Z_s/D と U_0/V_s の関係は両対数紙上にとっている。 Z_s/D の最終的な平衡状態は得られていないが、洗掘が急激に進み以後非常に緩慢になることより曲線の变化率からわかる。いま、曲線の傾きが急に変化する点(洗掘の進行速度が急に緩慢になる点)をばらばら平衡状態にな、たとえ、かりにこれを遷移洗掘深 Z_{st} と名づける。図-3によらず Z_{st}/D は $U_0/V_s (= \sqrt{10g\tau_b/\rho\omega})$ と分けられることがわかり、いま Z_{st}/D と U_0/V_s の関係を図-4に示す。 Z_{st}/D は 1966年に Carstens が名づけたいわゆる sediment number

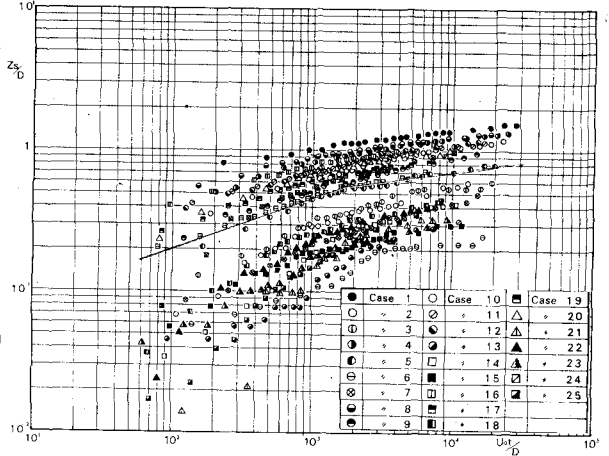


図-3 洗掘深の時間変化

U_0/V_s によって支配されることとわかるが、 U_0 は流れの掃流力を代表し、 V_s は土砂の限界掃流力と代表すると考えられ、 U_0/V_s は掃流力と限界掃流力の比を表わすものと考へてよい。なお図-4の直線は、

$$Z_{st}/D = 1.14 (U_0/V_s) - 1.64 \quad (4)$$

である。図-5は遷移洗掘深に到達するまでの無次元時間 $U_0 t_{st}/D$ と U_0/V_s の関係を示しており、 U_0/V_s が大きいほど平衡状態に達するまでの時間 $U_0 t_{st}/D$ は短かいことがわかる。いま U_0 のかわりに平均流速 U_0 を用いることにすれば、円柱前面の渦による洗掘においても側面の一次的掃流と同じく、(3)式に示すように平均流速 U_0 が支配的であることがわかる。このことは側面の洗掘の影響のないように円柱前面のみスリット状に移動床にした前面の洗掘の実験結果も図-4に黒丸で示されており、 U_0/V_s が支配的であることによって裏付けられている。

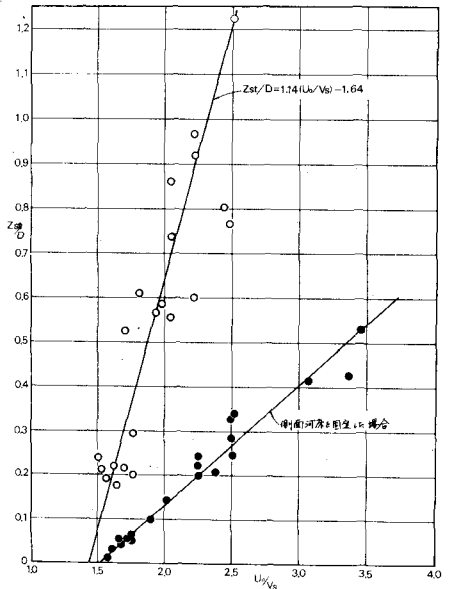


図-4 遷移洗掘深と sediment number

4. あとがき 本研究では円柱前面での渦による洗掘深 Z_s/D も sediment number U_0/V_s によって現象が統一的に説明できることを示したが、実験はあくまで clear water scour についてのみ行われたものであり、また平衡状態を代表させた遷移洗掘深の決め方に若干の誤りが残っている。

<参考文献>

- 1) 中川・鈴木：円柱橋脚周辺の流れと局所洗掘について、
第16回水理講義集 1972, 2
- 2), 3) Schneider, R.A. & Shen, H.W. : Analytical approach to local scour, Proc. IAHR Vol. 3 1967
- 4) Carstens, M.R. : Similarity laws for localized scour, Proc. ASCE Vol. 92 Hy 1966

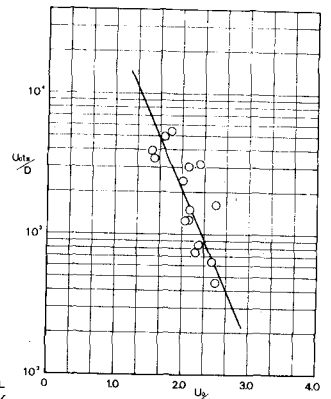


図-5 遷移洗掘深到達時間と U_0/V_s