

京都大学 工学部 正員 ○鈴木 幸一

学生員 河村 康

1. まえがき

河川構造物周辺の局所洗掘は、構造物側面における流速の増加に伴ない掃流力が増し、その結果としておこる洗掘のほか、特に前面における渦の作用による深掘れが特徴となっている。馬蹄形渦と呼ばれるこの渦は複雑な三次元現象であるためその特性は定量的にはほとんどわかっていない。本研究は、よどみ面内の渦による特に河床面付近の流速特性について実験的考察を加えたものである。

2. よどみ面内の渦による河床面付近の流速

図-1の記号を用いて、 OL に沿う河床($z=1\text{mm}$)での流速 U_b と実測した結果を図-2に示す。測定は外径 2mm のしんちゅうパイプを用いて試作されたピトー管で行なった。横軸は円弧中心からの距離を円柱径 D で無次元化しており、縦軸は上流断面で一様流の平均流速 U_m で無次元化して

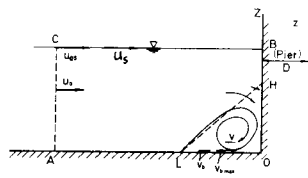


図-1 記号

いる。 $x/D = -0.5$ は円柱端であるが、ここから急激に U_b は大きくなり、ほぼ $x/D = 0.6 \sim 0.7$ 付近でピークを持ち、以下ゆるやかに減少していく特性を示している。ピーク値はほぼ $U_b/U_m = 0.5$ である。実験条件は図-2に示すとおりであるが、特に円柱径 D と水深 h_0 によって U_b の分布特性が変化することは認められない。図-2で明らかになることは、渦による河床付近の流速は円柱から少し離れたところ($0.1 \sim 0.2D$)で最大となり、その値は一様流の平均流速のほぼ半分の大きさであり、河床面せん断応力がかなり大きいことが予想される。また $U_{b\max}$ の断面で河床面近くの流速の鉛直方向分布を示したのが図-3である。河床から水深の0.1倍位置 $z/h_0 = 0.1$ は河床で最大となる直線の流速分布をしていて、 $z/h_0 = 0.10$ で流速は最大流速のほぼ1/2まで減少している。 $z/h_0 > 0.1$ 以上で円柱径による差異がでてくるものと思われるが、 $0 < z/h_0 < 0.1$

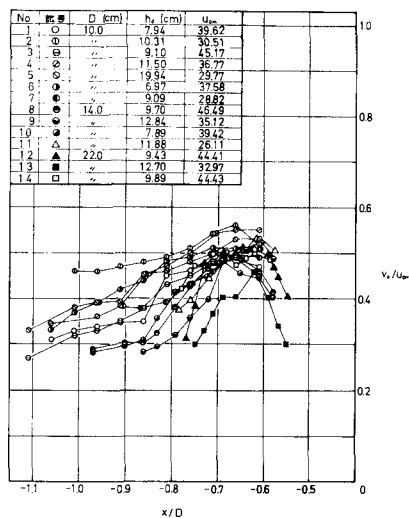


図-2 河床面流速分布

3. $U_{b\max}$ に関する考察

染料によるよどみ面内の剥離域の限界点 L 、 H (図1参照)の観察によると、 L 、 H は図-4のように水理量にほとんど関係せず、円柱径が支配的要素であり、ほぼ $L = 0.65D$ 、 $H = 0.60D$ となることが認められた¹⁾、いさぐく単純に渦のスケールとして L 、 H 、 O に内接する半径 λ の内 (λ は D のみ関数となる)を考へ、

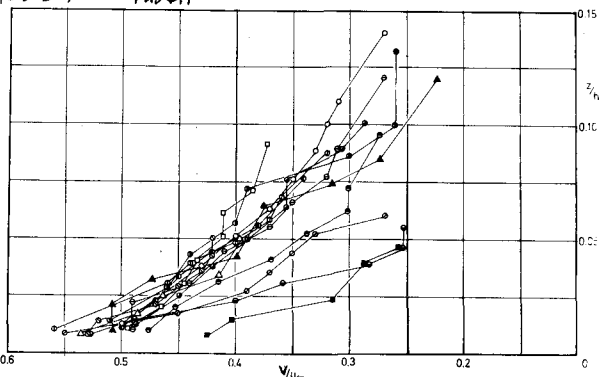


図-3 河床付近の流速の鉛直方向分布

その外周での流速を $U_{\max}$ とすると、この渦のもつ循環 Γ は、

$$\Gamma = \oint U_{\max} ds = -2\pi l U_{\max} \quad (1)$$

となるが、よどみ面内における直径 D の円柱が存在するための循環の変化 Γ_2 は Shen²⁾ が考えているように表面流速 U_s をポテンシャル流速で与え、図1の $A O B C$ に沿う流速の積分と考えると (AC 断面は十分上流、

$$\Gamma_2 = -\frac{D U_{os}}{2} \quad (2)$$

となる。 Γ_1 と Γ_2 が等しいと考えられるから、式(1)および(2)より、

$$U_{\max} = \frac{D}{4\pi l} U_{os} \quad (3)$$

となるが、 U_{os} と平均流速 U_{om} との関係は U_{om} に Manning の平均流速式、速度分布に対数分布則を用いると、

$$U_{os} = U_{om} \left(1 + \frac{n\sqrt{g}}{K h_o^{1/6}} \right) \quad (4)$$

ここで、 n : Manning の粗度係数、 K : Kármán 定数、 g : 重力加速度、 h_o : 一樣流での水深 となり、 $L=0.65D$ 、 $H=0.60D$ とし、 $l=0.77D$ とすると、式(3)は式(4)を用いて、

$$\frac{U_{\max}}{U_{om}} = 0.450 \left(1 + \frac{n\sqrt{g}}{K h_o^{1/6}} \right) \quad (5)$$

となる。 $n h_o^{1/6}/K$ は Chezy 係数 C であるが、式(5)は渦外縁の速度と一樣流での平均流速との比は、Chezy 係数 C のみによることを意味しているが、通常 C はあまり変化せず、変化しても1に対して $n\sqrt{g}/K h_o^{1/6}$ の値が小さいので、式(5)は $U_{\max}/U_{om}$ はほぼ一定ということを意味している。11号の実験では $C=60\sim 80$ の範囲にあり、 $C=70$ とおけば $U_{\max}/U_{om}=0.500$ となる。この値が他の水理量や円柱径に支配されないかどうか知るために、たとえば横軸にピプ・レイノルズ数とって $U_{\max}/U_{om}$ をプロットすると図5のようにほぼモデルで考えた $U_{\max}/U_{om}=0.500$ に近い値をとることが認められる。すなわち円柱径の変化に対しても一定であることがわかる。したがって、渦のスケールが円柱径で決まるものとすれば、上のような考え方で $U_{\max}$ を推定することができる。

4. あとがき

円柱前面の洗掘深は実験によると明らかに円柱径 D に関係しており上に述べた $U_{\max}$ は D に関係しないという実験事実は一見矛盾しているように見えるが、図2に示した分布形が似ていることから、 U_b は D が大きいほど広い範囲にわたることと意味しており、 $U_{\max}$ が大ききよりそれに近い U_b の及ぶ範囲が洗掘特性に影響を及ぼしていると思われる。こういう点および平均的な流速だけでなく不安定な渦の特性によってそれに付加する変動項に注目して渦の洗掘力と河床の洗掘特性との関係についてさらに検討を加えてゆきたい。

<参考文献> 1). 鈴木他: 円柱前面における洗掘機構に関する研究, 昭47年度関西支部講演会 II-28
2) Shen he: Analytical approach to local scour, Proc. IAHR, Vol 3 1967

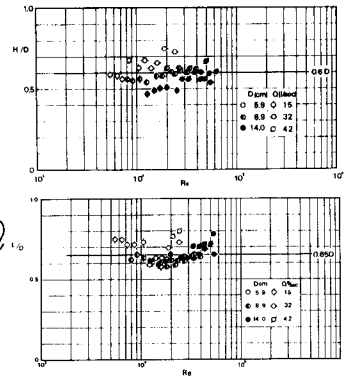


図4 渦のスケール

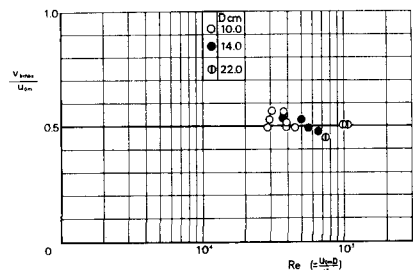


図5 $U_{\max}/U_{om} \sim Re$