

多円柱橋脚周辺の水利特性について (3) — 流況特性 —

京都大学防災研究所 正員 今 本 博 健
 京都大学防災研究所 正員 ○大 年 邦 雄
 京 都 大 学 工 学 部 学 生 員 江 幡 光 博

1. はじめに：複数物体周辺の流れ場では、それらの物体の配置や近接の程度によって各物体の後流が複雑に干渉し、単独物体の流れ場とは著しく異なる流況を呈することが知られている¹⁾。著者らは、近接した2円柱周辺の局所洗掘特性について実験的に検討し、主として、種々の配置における円柱間隔と最大洗掘深との関係を明らかにしてきた²⁾。本報告は前報に引続き、2本の直立円柱を並列配置した流れ場を対象として、各円柱より離脱する渦の離脱特性（周波数・位相）および2円柱近傍の後流域における表面流況特性について実験的に検討したものである。

2. 実験の検討：実験に用いた水路は幅100cmで、水路中央に直径 $D = 8.0$ cmの円柱を2本並列配置した（図-1）。対象とした流れは、水深 $H = 5.1$ cm、断面平均流速 $U_m = 20.0$ cm/s、円柱径 D に基づくレイノルズ数は $Re_D = 13,400$ である。離脱渦による流速変動の計測点としては、各間隔 s に対し図-1に示す点A～Cの $z/H = 0.8$ の高さとした。

図-2および3は、それぞれ点Aおよび点Bにおける流速変動時系列データの自己相関係数 $R(\tau)$ を示したものである。間隔比 $s/D = 1.25$ のものをみると、ラグ τ に対してかなり規則的な周期変動を呈しており、この間隔比における離脱渦は単円柱でのものに類似していることが推察される。一方、 $s/D = 0.25 \sim 0.75$ の点Bでは（図-3）、 $R(\tau)$ の顕著な周期変動はみられず、2円柱内側での渦離脱は時間的にかなり不規則であることを示唆している。なお、同一間隔比に対するAとBの $R(\tau)$ を比較すると、2円柱外側Aでのものの方が $R(\tau)$ の規則的周期性は卓越しているようである。

いま、点Aにおいて計測した流速変動の時系列記録より個々の渦離脱の時間間隔 T_i を求め、 $1/T_i$ の平均値を離脱周波数 f_s としてストローハル数 $St = f_s D/U$ を算定し、 s/D に対して示すと図-4のようになる。なお、図中の○に施した縦線Iは $1/T_i$ の標準偏差 σ の $\pm\sigma$ の範囲を示している。 $s/D = 0$ の両円柱を密着させた状態では $St = 0.10$ となっているが D を $2D$ として St を計算すると $St = 0.20$ となり、離脱周波数でみるかぎり直径が2倍の単円柱とほぼ同等である。両円柱の間隔を拡げいくと St は急激に増大し、 $s/D = 0.25$ では $St \approx 0.3$ 程度の極大値を示している。また、 $s/D < 1.0$ における個々の渦離脱の時間間隔はきわめて不規則であり、両円柱の相互干渉が相当複雑であることを推察させる。一方、 $s/D \geq 1.0 \sim 1.25$ においては $St \approx 0.2$ であり、かつ個々の渦離脱の時間間隔もかなり規則的となって単円柱の場合の離脱特性へと漸近している。

次に、点Aおよび点Bにおける流速変動時系列データの相互相関係数 $C_{ab}(\tau)$ を求め図-5に示した。同図より $s/D \geq 1.0$ において周期的な相関が認められ、上述の検討を裏付けている。また、 $C_{ab}(\tau = 0)$ を s/D に対して示すと図-6のようであり、 $s/D \geq 1.25$ において単円柱の特性とほぼ同様になっている。

片側円柱から離脱する渦の位相差について検討するため
 Hirotake INAMOTO, Kunio OHTOSHI, Mitsuhiro, EBATA

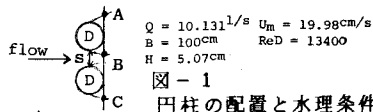


図-1 円柱の配置と水理条件

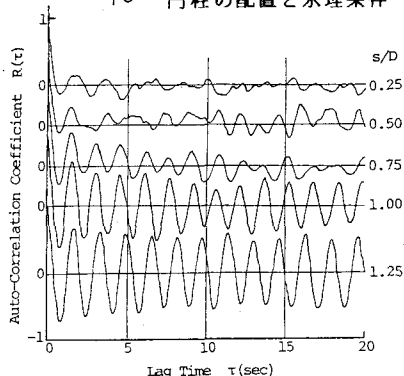


図-2 自己相関係数（点A）

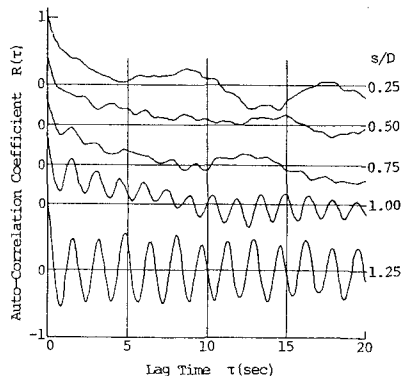


図-3 自己相関係数（点B）

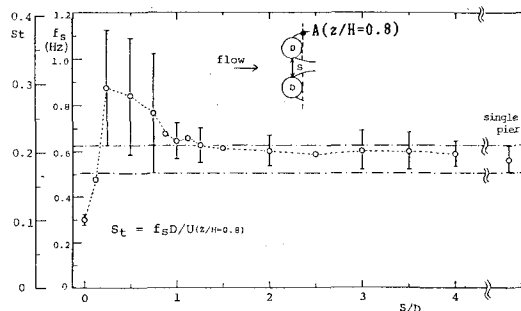


図-4 円柱間隔によるストローハル数の変化

図-5に示した $C_{ab}(\tau)$ の $\tau \geq 0$ における第1ピーク(図中の矢印)までのラグ $\Delta\tau$ を点Aで計測した平均離脱時間間隔で除した $\Phi_s = 2\pi \times \Delta\tau / T$ を位相差と定義し、 Φ_s と s/D の関係を図-7に示した。図には、点Aと点Cに対して同様な操作で求めた位相関係も併示している。

$0 < s/D < 1.0$ における両円柱内側からの渦離脱は、両円柱外側からの渦離脱とその離脱周波数も異なり、後述するように間隙流れの偏流もみられるため、上述の方法で求めた位相差 Φ_s はさほど意味を持たないと考えられ、ここでは $s/D \geq 1.0$ に対して検討することにする。この範囲の s/D に対しては $\Phi_{s ab} \approx \pi$ であり、ほぼ単円柱と同様にほぼ逆位相で渦が離脱しているとみなされる。一方、両円柱外側については $\Phi_{s ac} \approx 0$ であり両円柱外側からほぼ同位相の離脱渦が形成されている点が注目されるが、 $s/D > 3$ ではそのような傾向は崩れて、両円柱はそれぞれ独立した単独の円柱とみなされるようになる。

並列2円柱においては、その間隔が円柱径よりも小さい時、両円柱の間隙流れが左右に偏流する現象が観察される。ただし、その偏流は不安定で右または左に向う2つの状態の間を時間的に不規則に移行する。この偏流は明らかに2円柱近傍後流の相互干渉に起因しており、前述した渦の離脱特性はこの偏流現象に大きく支配されている。そこでこの偏流現象を検討するために、2円柱近傍の後流域における表面流況をパンチ屑をトレーサーとして固定点より35mmスティールカメラで連続撮影した(ビデオ撮影を併用)。ここではそれらの内、単円柱 $s/D=0.5$ および $s/D=1.0$ のものについてその一例を示すと図-8~10ようである。図では露光時間1/16secにおけるトレーサーの軌跡より推定した流線パターンとして表示している。本実験で対象とした $Re_D = 13,400$ 程度の流れで、2円柱間隙流れに偏流が生じている時には、 s/D が非常に小さな範囲を除くと、間隙流れが偏流した方の円柱は活発な渦形成および放出を行うとともに、間隙流れが渦と渦との間へ大きな曲率で連行される現象が共通に観察される。いま、 $s/D=0.5$ に注目すると、非偏り側円柱からの剝離せん断層は偏り側円柱の後流の中へは連行されず非偏り側円柱の背後に明確な渦の形成を行っている。したがって、非偏り側円柱も自身が放出した渦と渦との間へ間隙流れを連行しようとするため、間隙流れの動向に不安定効果を与える作用を及ぼし、その結果左右に偏流する現象が不規則的に継続するものと考えられる。

3. おわりに: 本報告では、並列2円柱における渦離脱の特性についての実験結果を示したが、今後は、上述した間隙流れと個々の渦形成および放出との関係を詳細に検討するとともに洗掘場での流況についても検討してゆく予定である。

参考文献

- 1) Bearman et al. : J. Fluid Mech., Vol. 61, pp. 489-511, 1973.
- 2) 今本, 大年, 竹尾: 関西支部年講, II-73, 昭和58年.

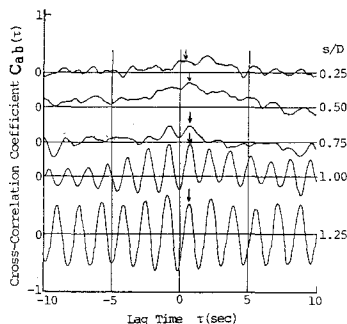


図-5 相互相関係数

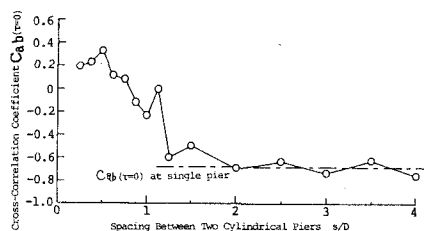


図-6 円柱間隔による位相差の変化

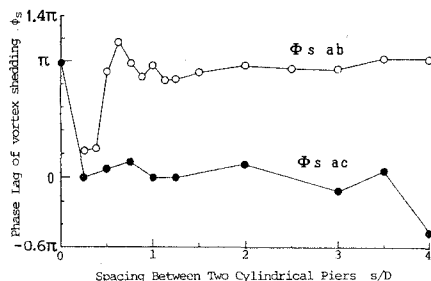


図-7 円柱間隔による相互相関係数の変化

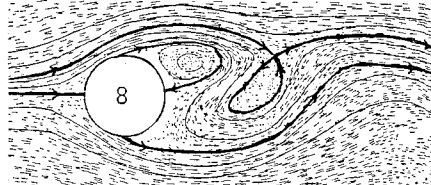


図-8 流線パターン(単円柱)

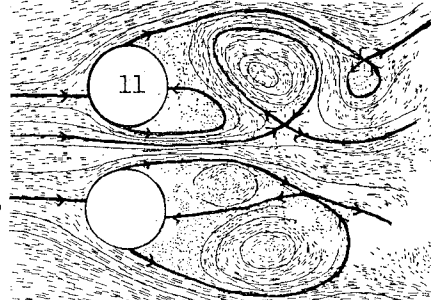


図-9 流線パターン($s/D=0.5$)

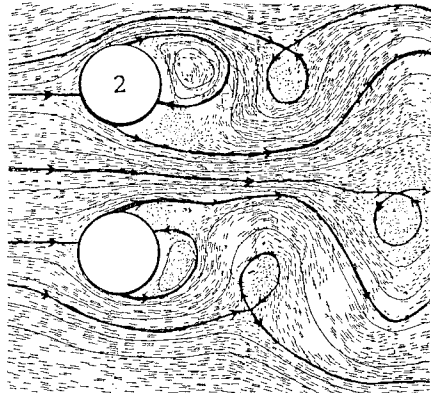


図-10 流線パターン($s/D=1.0$)