

1. まえがき 著者は従来から馬蹄型渦の発生にともなう橋脚前面の局所的な流れの特性について検討してきた<sup>1)</sup>。しかし橋脚周辺の局所流を総括的にとらえるには前面だけについてでは不十分であり、橋脚後方に発生するはくり渦も含めて検討する必要がある。本報告は橋脚前面に発生する馬蹄型渦を考慮しつつ橋脚後方に発生するはくり渦の形態についてもあわせて実験的に検討したものである。

2. 実験方法 現象を単純化しその把握を容易にするため層流で実験を行なった。接近流速分布の実測値は図-1に点で示すようであり、図中の実線は放物形流速分布式を図示したものである。この式が成立つと仮定して流体(グリセリンと水の混合物)の動粘性係数を計算すると  $\nu = 2.57(\text{cm}^2/\text{sec})$  となる。橋脚の直径  $D = 2.0\text{ cm}$  と平均流速  $V_m = 4.91\text{ cm/sec}$  を用いて計算した  $Re$  数は 382 となる。流れパターンの測定には水素気泡をトレーサーに用いる Flow Visualization 法によったが、その際陰極の白金線を水路横断方向かつ水平に設置し、そこから発生する水素気泡の列を水路の側面および底面から写真撮影した。その一例を写真1(a)および(b)に示す。

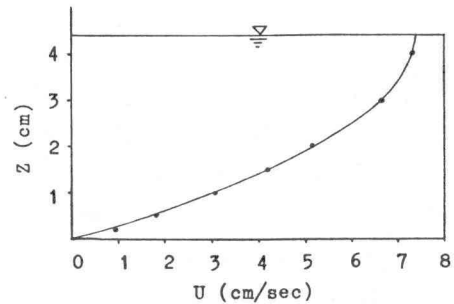


図-1 接近流速分布

3. 実験結果とその考察 円柱橋脚の中心を原点に下流方向に  $x$  軸、水路横断方向に  $y$  軸、そして水路床に鉛直上向きに  $z$  軸をとる。陰極を水路横断方向かつ水平に設置し 5 サイクルのパルス電圧をかけたとき、そこから発生する水素気泡の条線は一つの曲面を決定する。図-2は、陰極を  $x = 2.0\text{ cm}$  の地点で高さ方向に  $z = 0.1, 0.2, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 4.3\text{ cm}$  にそれぞれ設定したとき、それによって決定される曲面の (a)  $x = 0$ , (b)  $x = 2.5$ , (c)  $x = 5.0\text{ cm}$  の断面における形状を示している。本実験条件ではカルマン渦は  $x = 6\text{ cm}$  より下流に交互に発生して下流へ流下している。図-2に示す各横断面はカルマン渦が発生しない領域のものである。この領域については図-2から次のことが言える。(1)円柱橋脚周辺の流れを渦の発生と関連して領域に分類すると三つに分けられる。図-2において A 領域は主流域で、ここでは渦の影響は無視できる程であり、流線もほぼ水路床に平行である。B 領域は橋脚後方ははくり領域であり、立体的な渦軸をもつ複雑な渦を含んでいる。C 領域は馬蹄型渦であり、この渦が橋脚前面の部分の特性については既に明らかにした。(2)接近流のうち河床近傍のもの(本実験条件で  $z = 0 \sim 1.2\text{ cm}$ )は馬蹄型渦にまきこまれ、その上の層(本実験条件で  $z = 1.2 \sim 3.2\text{ cm}$ )のものは後方ははくり渦にまきこまれ、さらにそれより上で水面までの部分( $z = 3.2 \sim 4.4\text{ cm}$ )はいづれらの渦にもほとんどまきこまれることはない。(3)馬蹄型渦の強さは接近流の水路床付近における速度こう配によって主として規定されるのに対し、

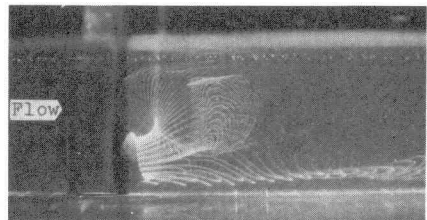


写真-1(a) 後流のパターンの側面からの撮影(陰極は円柱直下流の  $x = 1.5\text{ cm}$ ,  $z = 0.5\text{ cm}$  に水路横断方向かつ水平に設定)

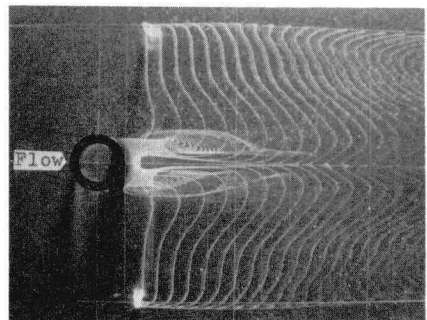


写真-1(b) 後流のパターンの水路底面からの撮影(実験条件は上と同じ。陰極への荷電は 5 サイクル)

後方はくり渦は橋脚前面に発生した降下流の橋脚表面付近の速度こう配によって主として規定されていると考えられる。したがって馬蹄型渦と後方はくり渦とは回転方向が逆になっている。

つぎにカルマン渦の発生領域も含めてそれぞれの渦の形態をみてみる。図-3は渦軸の位置を示した概念図であるが、馬蹄型渦は水路床にはほぼ平行して約0.5cmの高さに発生しているのに対し、はくり渦の方は $x=1\sim3$ cmの所では下流にむかって斜めに立ち上がるような形をしており、この渦の存在にともない図-2(a)でB領域として示された部分のはくり領域内へまきこまれる。この渦が斜めに立っているからのはくり領域内う水路中心断面の近くでかなり強い逆流が発生し、水面では橋脚の後方にゆるい双子渦が認められる。 $x=3\sim6$ cmの周りはくり領域においては渦軸は水面に近づき、その傾斜角度も水平に近くなっている。そこで水路中心断面付近にゆるい上昇流が認められる。 $x=6$ cmより下流にはカルマン渦の発生が認められる。このカルマン渦は、現象の目視観察によれば図-2(c)に示したB領域内にあるはくり渦が水面近くの主流と接する部分で変形を加えられて発生しているようであり、その発生が顕著に認められるのは水面下1~2cmまでの浅い領域においてである。カルマン渦のストラハル数 $St$ は平均流速を用いて計算すると0.234となり、またカルマン渦が水面近傍で顕著に認められることにまつき水面における流速を用いて計算すると0.156となる。 $Re$ 数が $5 \times 10^2 \sim 2 \times 10^4$ の範囲で $St$ 数は約0.2で一定であるといわれている<sup>2)</sup>が、本実験のように $10^\circ$ といった低レイノルズ数の場合でもそれに近い値がでている。また、<sup>3)</sup>剪断乱流中におかれた円柱の後流渦については光安、平城の観測結果があるが、そこでは後流渦の渦軸は円柱表面からはがれること、しかも渦軸は水面から水路床面まで達していることが示されている。 $Re$ 数の変化にともなう後流渦の機構の変化に関する検討が今後必要であると考えられる。

未筆ながら本報告作成にあたり有益な御助言をいただいた石原安雄、京大防災研究所教授に謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 宇民；京大防災研報，12号(昭44)，14号(昭45)，15号(昭44)
- 2) Roshko, A. : J.F.M. No.10. pp 345-356, 1961.
- 3) 光安，平城；九大応力研所報，オ31号，昭44.

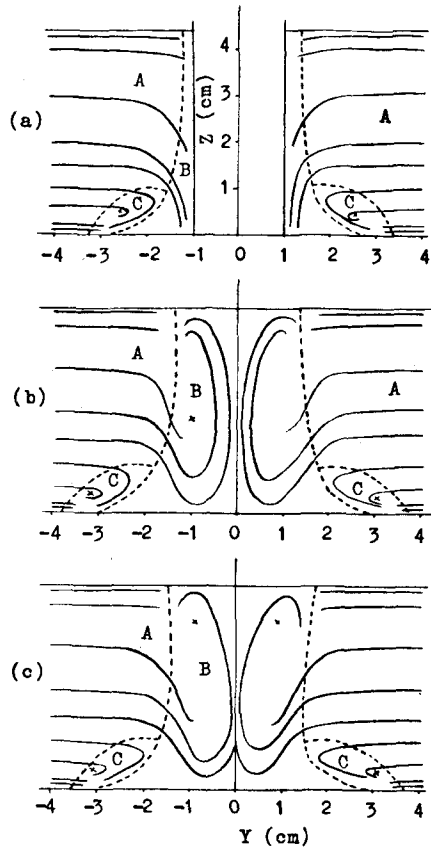


図-2 上流側 $x=2$ cmで水平に挿入されたトレーサの(a) $x=0$ 、(b) $x=2.5$ 、(c) $x=5.0$ cm断面における変形

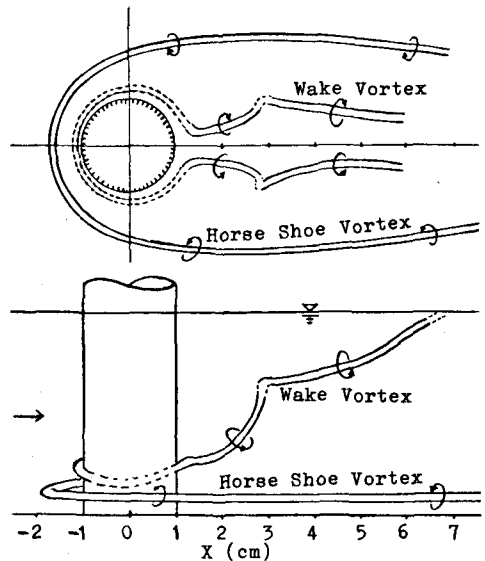


図-3 馬蹄型渦とはくり渦の変形の模様に関する概念図