

京都大学防災研究所 正員 〇宇民 正
上野鉄男

(1) まえがき 橋脚前面には馬蹄型渦の存在により特徴づけられる三次元的で複雑な局所流の発生が認められる。このような局所流は、移動床の場合には橋脚周辺の局所洗掘の原因となるといって工学的に重要であるし、同時に渦度の集中という流体力学的に興味ある問題を提示している。橋脚周辺の流れはいつでもなく乱流であるが、乱流状態ではこのような局所的な現象の把握が困難なこともあって著者はまず層流状態で実験を行ない、このような流れの機構についていくつもの点を明らかにし、またモデル設定の下で解析を行なうことも試みて来た。ところが最近熱線流速計が流速計測面でも実用化されるにいたり、乱流状態でもかなり正確に流れを計測することが可能になってきた。そこで本報告では、乱流状態の下で円柱橋脚前面の流れの三次元的な機構を熱線流速計を用いて計測した結果について述べる。計測の目的は橋脚前面の平均流の三次元的な特性を明らかにすること、および先に述べた層流についての解析モデルの乱流への応用適否を検討することにある。

(2) 実験条件 実験は幅40cmの透明アクリル樹脂製水路の中央に直径8cmの円柱橋脚を一本設置した場合について行ない、流量は 8.62 l/s に、水路床こう配は $1/500$ に設定した。水路の下流端を若干セマ上げて、円柱橋脚付近で水深が 7.4 cm では一定になるようにした。そうとすると平均流速は 32.5 cm/s で、流れのフルード数は 0.382 である。熱線流速計はその支持棒を鉛直にし、熱線は主流流下方向(x 軸方向)に垂直に設置したりで、設置方向と平均流向とを求めるとなる測定値の修正が必要であり、また乱れの強さの大きな所では実測値は実際の値より大きくなることも考えられるが、ここでは実測値が平均的な絶対流速を意味すると考えて資料整理した。また流向は、測定地点に細管を通してミルを注入し、その平均的な流下方向を読みとった。用いた座標軸は図-1に示すとおりである。

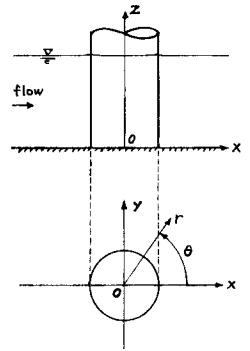


図-1 座標軸

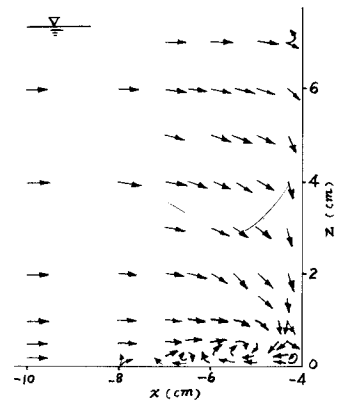


図-2 実測された平均流向

(3) 渦軸の位置と流れの領域区分 流れの対称面における平均流向の実測結果は図-2のようである。乱流の場合、橋脚前面には複数個の渦が存在し、橋脚に最も近い渦が強いの点でも大きな点でも最大であることが認められるが、この渦を主渦とよぶことにする。主渦の外側には比較的小さく不安定な渦が多数存在しているが、これを微小渦とよぶことにする。水路床に細砂をまくと図-3に示されるような渦模様を描かれるが、このうち円柱には同心円状の渦が主渦領域と微小渦領域との水路床面における境界を示すものと考えられる。つぎに図-4は渦軸の平均的な位置(R_0, Z_0)の実測値を示したものである。ただし微小渦については主渦に最も近いものについての示した。この図が

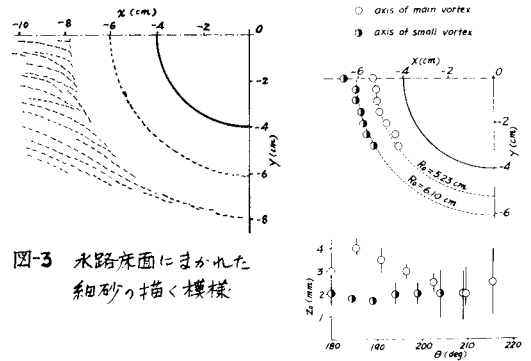


図-3 水路床面にまかれた細砂の描く模様

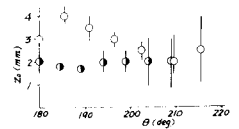


図-4 実測された渦軸の位置

ら、主渦軸も微小渦軸も水路床にはほぼ平行で、円柱橋脚と同心円状であつたといふよう。

(4) 平均流向と平均流速 図-5に平均流向と平均流速の実測例を示した。当然のことながら、馬蹄型渦の存在により、水面近くと水路床近くとは流向変化の状況が著しく異つており、また水路床近くでもかなり大きな流速が生じていることが認められる。 $Z=0.2\text{ cm}$ 断面では、実測された流速の方向成分や流向は、円柱周辺の二次元非回転流のそれとは異つてゐることが上図から明らかである。そこで図-6に流速の方向成分等について実測値と二次元非回転流として計算したものとを比較した。この図から v_θ については二次元非回転流にかなり近いことが認められる。この事実は(3)で述べた渦軸の形状と位置に関する結論と共に重要である。すなわち、解析モデルにおいて流れが主流と二次流とから成るとして、主流は二次元非回転流、二次流は渦軸のまわりの回転運動と考えた訳だが、渦軸が円柱とほぼ同心円状であることから二次流の v_θ は0となるので、主流は二次元非回転流として妥当であると考えられる。

(5) Johnston²⁾の三角形モデルの検討 若干の測定点について Johnston の提案した三角形モデルを検討してみたものが図-7である。ただし図中()内の数字は測定点の x, y 座標 (cm) を示し、流速ベクトルの傍に記した数字は測定点の z 座標 (cm) を示す。本図から流速ベクトルの z 方向の変化の様子は二群に分けられることが明らかになった。すなわち、 z 群は (a) (b) で Johnston の三角形モデルが全く成立っており、 z 群は (c) (d) でそれがほぼ成立している。本図を図-3と照合してみると、主渦領域に含まれる測定点については Johnston のモデルが成立していないことがわかる。

(6) 乱れの相対強さ 乱れ相対強さの実測例を図-8に示す。図から、渦軸に近い $Z=0.2\text{ cm}$ の断面でしかも主渦の発生地点付近でかなり強い乱れがあり、そこから流下するにつれて相対強さの大きな位置が主渦と微小渦との境界あたりへ移動してゐることが認められる。なお、 $Z=1.0\text{ cm}$ の断面では乱れ相対強さが全般的に小さくなることも、等強線が尾根の位置も $Z=0.2\text{ cm}$ 断面とくらべて円柱から遠ざかつてゐることが認められる。さらに $Z=6.0\text{ cm}$ では相対強さはその最大値が0.2にまで減少してゐることが実測された。

参考文献 1) 宇民正: 層流実験に基づく橋脚前面の局所流の研究, 土木学会論文報告集, No. 228 1974-8 (発表予定)。

2) Johnston J.P.: On the three-dimensional turbulent boundary layer generated by secondary flow, Trans. ASME, Ser. D 82, 1960 pp233-250.

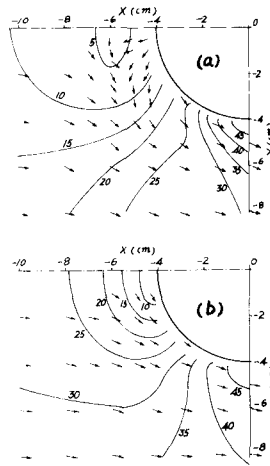


図-5 実測された平均流向と平均流速 (単位: cm/s)
(a) $Z=0.2\text{ cm}$ 断面
(b) $Z=6.0\text{ cm}$ 断面

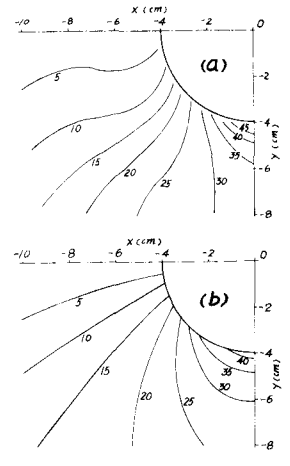


図-6 v_θ の検討 (単位: cm/s)
(a) 実測値
(b) 二次元非回転流としたときの計算値

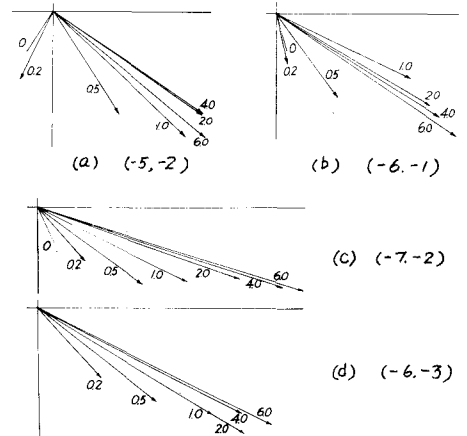


図-7 Johnston の三角形モデルの検討

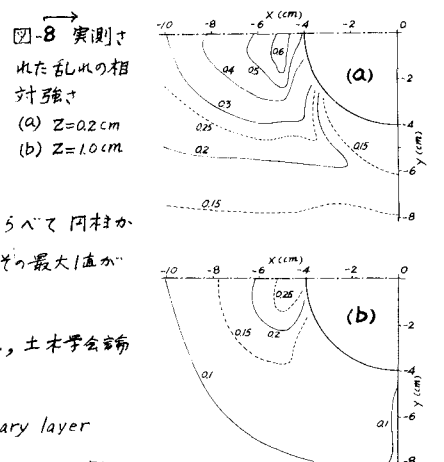


図-8 実測された乱れの相対強さ
(a) $Z=0.2\text{ cm}$
(b) $Z=1.0\text{ cm}$