

京都大学防災研究所 正員 石垣 泰輔

京都大学防災研究所 正員 今本 博健

京都大学大学院 学生員 梶田 修一

複断面弯曲流では複断面流れに特有な高水敷先端付近における斜昇流と弯曲流れに特有な遠心らせん流とが複雑に干渉しあい、水理学的に不明な点が多く残されている。本報告は、複断面弯曲流の水理特性を解明するための基礎として、トレーサ法を用いて路床および水面付近の流れを可視化し、流れの内部構造および斜昇流によって形成されるボイル状の水面渦について若干の検討を行ったものである。

1. 実験方法

実験水路は、上流直線部(長さ3.1m)、弯曲部(弯曲角 $\theta=180^\circ$ 、中心曲率半径 $r_c=60\text{cm}$)および下流直線部よりなり、水路幅 $B=20\text{cm}$ 、路床勾配 $I=1/500$ であって、左右両岸沿いに幅 $b_f=6\text{cm}$ 、高さ $h_f=1.06\text{cm}$ の高水敷が設置されている。本実験では、流量 $Q=0.644\text{ l/s}$ とし、この場合の上流直線部における低水路水深 $H=2.0\text{ cm}$ 、断面平均流速 $U_0=23.4\text{ cm/s}$ 、レイノルズ数 $Re=U_0 B/\nu=2.3 \times 10^3$ である。流況観測用トレーサとしては電算パンチ屑(直径 0.2 cm)、塩化ビニール粒子(直径 0.01 cm)および磁砂8号(直径 0.006 cm)の3種を適宜使い、水面鉛直上方に設置された固定スチールカメラにより、各断面ごとに2~10枚の撮影が行われている。

2. 複断面弯曲流の内部構造

磁砂8号で可視化された $\theta=75^\circ$ における路床付近の流況を示す写真-1のようであって、内岸向きの流れが卓越していることがわかる。また、同じ付近の水面付近の流況をパンチ屑で可視化したのが写真-2であって、路床付近に比して流向ははるかに複雑となっているものの、外岸向きの流れの卓越していることがわかる。同様の計測を繰り返すと、路床および水面付近における平均的な流向(水路中心線方向からの偏りで表し、外岸向きを正とする)が得られる。

このようにして得られた $\theta=90^\circ$ における流向の横断分布を示したのが図-1であって、次の事項が知れる。すなわち、路床付近では低水路面および左右両岸の高水敷上のいずれにおいても流向は内岸向きであるのに対し、水面付近では流向の符号が横断位置によって変化し、左右両岸高水敷先端付近および外岸付近では流向が内岸向きとなっている。これは高水敷先端付近に形

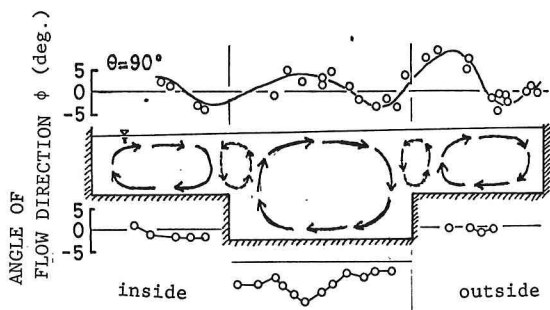


図 - 1

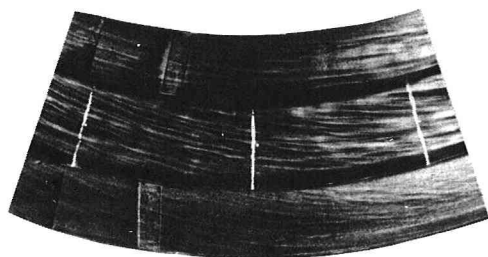


写真 - 1

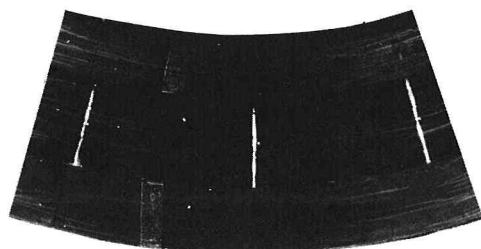


写真 - 2

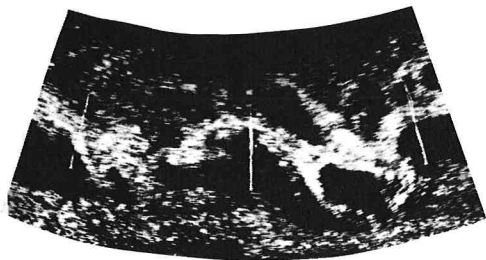


写真-3

成される斜昇流および圧力勾配に基づく外岸付近の離岸流によるものと考えられる。

これらの流向分布特性に基づき、複断面弯曲流の内部構造を推測すると、同図に示された2次流を描くことができる。すなわち、単断面弯曲流では遠心力の作用により断面全体にわたる単一のらせん流が卓越するが、複断面弯曲流では高水敷先端付近に形成される斜昇流により、いくつかのらせん流に分割されるとともに、一部のらせん流は他と逆向きとなる。

3. 水面ボイルの特性

複断面流れでは高水敷先端付近より斜昇流が発生することがすでに知られているが、複断面弯曲流では遠心力効果により斜昇流の発生がさらに顕著となる。写真-3は $\theta=75^\circ$ 付近における水面付近の流況を塩化ビニール粒子で可視化したものであるが、黒く見える部分は斜昇流が水面に達し、ボイル状の渦を形成している部分に相当する。本実験では、同様の写真を各種の断面ごとに10枚づつ撮影し、対象とする断面の上・下流側10m以内の領域に存在する水面ボイルの検出個数、平均検出場所および平均径の縦断分布を示すと図-2～図-4となる。

まず、図-2に示された水面ボイルの検出個数の縦断方向の変化についてみると、上流直線部から弯曲部へと近づくにつれて個数は一旦減少し、弯曲部に流入したのを増加し、外岸側高水敷先端付近のものは $\theta=45^\circ$ 付近で、内岸側高水敷先端付近のものは $\theta=75^\circ$ 付近で個数が最大となるが、さらに θ が大きくなると徐々に減少し直線部での値に近づく。また、内岸側と外岸側の個数を比較すると、 $\theta=15^\circ\sim60^\circ$ では外岸側が、 $\theta=75^\circ\sim120^\circ$ では内岸側が多くっており、水面ボイルの発生は遠心力あるいは剝離効果と密接に関係すると思われる。

水面ボイルの平均的な検出位置は、図-3に示されるように、直線部では左右両岸側とも高水敷先端よりやや低水路内側にあるが、弯曲部では遠心力の効果により外岸側へ移行させられ、内岸側のものが低水路内へ大きく入り込むのに対し、外岸側では高水敷上に押寄せられる形になっている。また、水面ボイルの平均的な大きさる流れ方向の平均径 l_x と横断方向の平均径 l_y との分け、それぞれの縦断変化についてみると図-4のようであって、内岸側の水面ボイルは $\theta=135^\circ$ 付近で、外岸側のものは $\theta=180^\circ$ 付近でそれぞれ最大となるとともに、多くの水面ボイルが見られる $\theta=60^\circ$ 付近では最も小さくになっている。

このような水面ボイルの特性をより明確に把握するには、個々のボイルの発生から発達・消滅への過程を連続的に追跡するとともに、渦の強さについての検討も必要であって、今後の研究課題としてい。

参考文献

- 1) 今本・ス下：複断面流れの水理特性に関する基礎的研究、京大防災研究所年報、第17号、1973

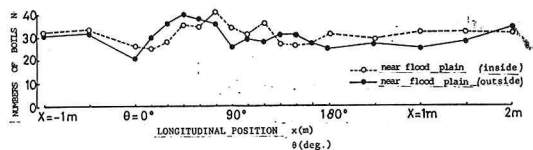


図-2

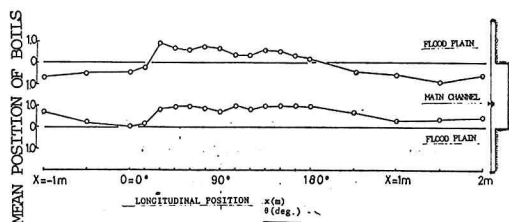


図-3

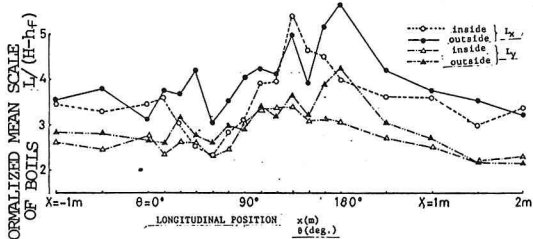


図-4