

開水路二次流の可視化

京都大学防災研究所 正員 宇民正、上野鉄男  
 京都大学 学生員 小野田吉恭

1. はじめに: 水深規模の並列らせん流、すなわち二次流が、開水路における大規模乱流構造の重要な形態であり、それらの配置により、流れの構造が非常に異なったものとなることが明らかにされてきた。そこで、本研究では流れの3次元構造を多くに二次流の挙動に注意を払って、可視化の方法を用い動的にとらえようとした。すなわちカメラを流れの構造の輸送される速度とほぼ等しい速度で移動させながら、水平断面・水面・横断面・縦断面の流況の経時変化を連続撮影し、流れの個々の構造が流下しながら変化してゆく様子を観察した。また現象把握を容易にするため水路床に人工粗度要素を配置することによって二次流の配置を制御し、現象を単純化した。

2. 実験方法: (1) 路床形状-路床には、次の3種の粗度を配列して実験を行った。

- Type A (砂粒粗度)- $d_m=6\text{mm}$ の砂粒を砂粒粗度として、平滑な水路床に一層敷きうめたもの。
- Type B (縦棧付砂粒粗度)-Type Aの上に、二次流の位置を規制する目的で、流下方向に平行に細い棧を設置したもの。棧としては、1辺3mmの正方形断面をもつ真ちゅう角棒を用い、その配置方法は、図-1に示すとおりである。
- Type C (V形粗度)-滑面上に、直径2.6mmの針金を1辺 $\times$ 8cmの直角Vの字形に折曲げたものを、縦断方向には3cm間隔で、横断方向には図-2に示される配置で並べたもの。

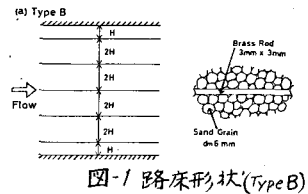


図-1 路床形状 (Type B)

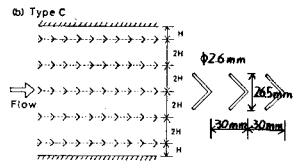


図-2 路床形状 (Type C)

② 水理条件-本実験において、流量は $2.8\text{ l/s}$ と $4.4\text{ l/s}$ の2種を用い、水深は実験部とほぼ $4.0\text{ cm}$ になるように調整し、また路床勾配は $1/1000$ に固定されている。路床形状の各Typeと水理条件の関係は表-1に示されている。

計測断面	Q (l/s)	H (cm)	Um (cm/s)	Re	Type
水平断面	2.8	4.0	17.5	5350	A
	2.8	4.0	17.5	5350	B
水面	2.8	4.0	17.5	5350	A
	2.8	4.0	17.5	5350	B
横断面	2.8	4.0	17.5	5350	A
	2.8	4.0	17.5	5350	B
縦断面	4.4	4.0	27.5	8410	C
	4.4	4.0	27.5	8410	C

表-1 水理条件

上記の実験条件のもとに、35mmモータードライブカメラを用い、スチール写真を連続撮影した。また動的挙動を把握するため16mm映写機をも使用した。

3. 各種断面内の流況特長

① 水平断面内の流況特長-棧を設置しない場合は、低速流の配置は不規則であるが、棧を設置した場合には、低速流のほとんどは棧の上部あるいはその付近で比較的整然と形成されることが認められた。このことから、棧粗度がある場合には比較的二次流は安定しているといえる。

② 水面の流況特長-Type A、Type Bの粗度上の流れの水面の流況の撮影例をPhoto 1, 2に示す。Type Aの場合、水面には渦状の構造と帯状の構造が互いに交錯して複雑なパターンを示している。一方Type Bの場合には、水面には、渦状の構造が棧粗度上に、帯状の構造が棧の間にそれを整然とやらんでいる。このことから棧粗度を適当に配置することにより、二次流

は安定化させられたと言える。

3) 横断面内の流況特性 - Type A、Type B  
の粗度上の流れの横断面内の流況の撮影例を Photo 3, 4 に示す。この場合縦渦の存在は A, B 共に明瞭には認めがたい。そこで、16mmフィルムを用い映画撮影した結果

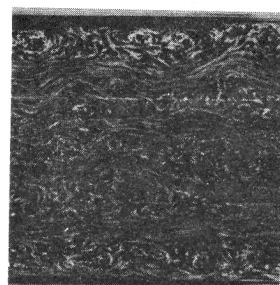
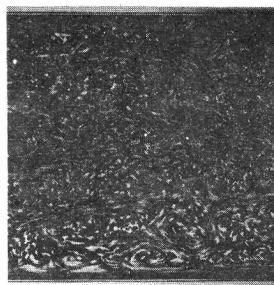


Photo. 1 水面流況 (Type A)

Photo. 2 水面流況 (Type B)

様粗度を置いた場合には、桜の付近から上方に向かって噴出するような粒子の動きとそれに呼応するような流下方向に軸をミソ回転運動とが認められた。Type C の粗度上の流れの横断面内の流況の撮影例を Photo 5 に示す。この場合粗度間に木深規模の強い回転流が存在することが明瞭に確認できる。しかし、予期



Photo. 3 横断面内の流況 (Type A)



Photo. 4 横断面内の流況 (Type B)

に反し、上昇流の領域はスチール写真の個々のコマを観察すると粗度の位置と明確に対峙しておらず、また、存在が確認された回転運動と対をなす回転運動とは明瞭には認めがたい。



Photo. 5 横断面内の流況 (Type C)

4) 縦断面内の流況特性 - Type C の粗度列と粗度列の中間の縦断面内の流況の撮影例を Photo 6 に示す。これらの写真より、粗度列と粗度列の中間の縦断面

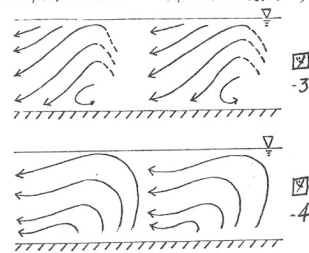


Photo. 6 縦断面内流況 (Type C, 粗度列中間)



Photo. 7 縦断面内流況 (Type C, 粗度列上)

には断続的に配置された回転運動と全般的な下降流が共存していることが認められ、これらの結果この断面内の平均流速と移動する条から見たこの断面内の流況は、図-3 のように模式化されようである。次に、Type C の粗度列を含む縦断面内の流況の撮影例を Photo 7 に示す。この写真から、粗度上にはかなり強い上昇流があることが確認できる。しかしこれらの上昇流は一団をなすような形を形成されており、その一団の流下方向ステールは個々の粗度要素間の流下方向間隔の数倍で、このような一団が断続的に配置されているような流況が認められる。同様にこの場合の流況を模式化すると、図-4 のようになる。



以上の実験より得られた事実を総合すると、二次流とは1つの軸の回りの単純な回転運動ではなく、底面付近の複数の馬蹄型渦の回転運動及びそれによる上昇流が、全体としてある程度の時間平均化操作を通して把握されたものであると言える。この観察結果は、人工的に成型されたウロコ状河床上の流れの三次元的な機構に関する木下<sup>1)</sup>の観察結果と非常によく一致している。

参考文献：リ木下良作：並列ウロコ流に関する実験的研究、河道形状と洪水流に関する検討業務報告書、石狩川開発建設部、1977