

京都大学防災研究所	正 員	久 下 俊 夫
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	吉 野 清 文

開水路複断面流れは、高水敷上と低水路内の流れとの間の相互作用により、単断面流れに比しかなり複雑な様相を呈し、その水理特性については不明の点が多い。本報告は、開水路複断面流れの水理特性を解明するための基礎として、流れの内部構造とくにレイノルズ応力について実験的に検討したものであって、実験装置および方法は次のようである。実験水路は幅 $2B=40\text{cm}$ の滑面直線水路であって、高さ $H=20\text{cm}$ の高水敷が水路両岸に接して左右対称に設置されている。高水敷幅 b は $0\sim 18\text{cm}$ にわたり 2cm 間隔で変化されるようになっており、本実験では、流量 $Q=4.13\text{ l/sec}$ 、路床勾配 $I=1/400$ の場合にいて種々の水理量が計測されている。なお、速度計測には 2 成分用 X 型ホットフィルム流速計が用いられ、データ処理はサンプリング周波数 $f_s=20\text{Hz}$ 、データ数 $N=500$ 個について行われている。

1. 開水路複断面流れの内部構造

開水路複断面流れにおける流れ方向の平均速度 U および 2 次流の計測例として、 $b/B=0.6$ の場合について示すと図-1 のようであり、高水敷先端近傍から低水路側へと平均速度の小さな領域が広がるとともに、高水敷の自由表面近傍においては逆に平均速度の大きい領域が低水路から高水敷へと広がっていることが知れる。また、高水敷先端近傍から低水路自由表面に向う顕著な上昇流の存在が認められ、これにかん起されたと考えられる数種の 2 次流が高水敷上に形成されることが知れる。

このような複断面流れの特性をさらに詳細に検討するため、高水敷上の水深の半分の高さでの、平均速度 U 、乱れ速度 u' およびレイノルズ応力 $-\overline{uv}$ の横断分布を示すと図-2 のようである。なお、図における U 、 u' および $-\overline{uv}$ は摩擦速度 $U_{\tau R} (= \sqrt{gRI})$ 、 g : 重力の加速度、 R : 径深、 I : 路床勾配) で無次元化されている。

まず、 U についてみると、 U は側壁から離れるにしたがって増加し、高水敷先端近傍でかなり顕著な極大および極小値を示したのち、低水路内では急激に増加し、低水路中央部ではほぼ一定値となっている。また高水敷上では、やや不明瞭ではあるが、2 次流に対応すると考えられる変動が U 分布に認められる。 u' は高水敷上でかなり複雑な変化を示すが、高水敷先端近傍において明確な極小および極大値を示したのち、低水路中央部では減少している。

また、 $-\overline{uv}$ についてみると、側壁近傍において比較的大きな値を示したのち、側壁から離れるにしたがって減少し、高水敷先端近傍において極小および極大値を示し、低水路内では減少する傾向が認められる。

$-\overline{uv}$ と平均速度勾配 dU/dy の分布形状を比較すると両者はかなりよく類似していることが知れる。一般に、レイノルズ応力と平均流とは

$$-\overline{uv} = \epsilon_y \frac{dU}{dy} \quad (1)$$

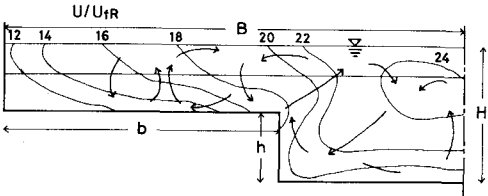


図-1

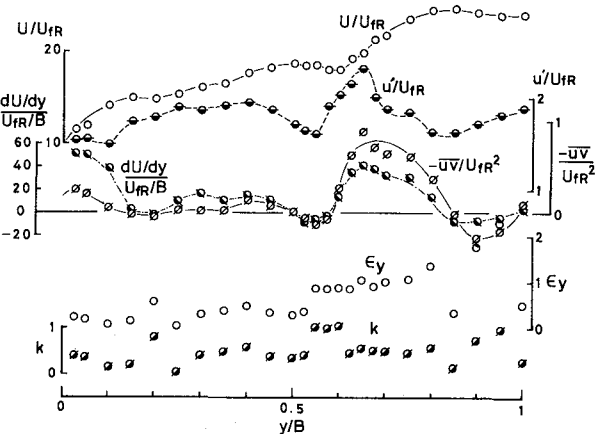


図-2

によって定義される渦動粘性係数 ε_y によって結びつけられるが、Haque¹⁾は長方形単断面流れについてつぎのような仮定を提案している。

$$\varepsilon_y = kDU \quad (2)$$

ここに、 D は路床面から水面までの距離、 k は比例定数である。芦田・高橋²⁾はHaqueの用いた手法を複断面流れに適用しているが、(2)式の適用性については不明の点が多い。

本実験結果より(1)および(2)式を用いて ε_y および k を算定すると図-2のようになる。図に示されるように、 ε_y および k は側壁近傍および高水数先端近傍を除いてほぼ一定とみなされるが、高水数上と低水路内とは異なっており、全領域にわたり k を一定とみなすことはできない。

2. 複断面形状の効果

図-3は、高水数幅を変化させた場合の $-\overline{uv}$ の横断分布の計測例を示したものである。図より知れるように、 $b/B=0$ の単断面流れの場合は側壁近傍で最大値を示し、側壁から離れるにしたがって減少し、0に近づいていくのに対し、複断面流れの場合はいずれの b

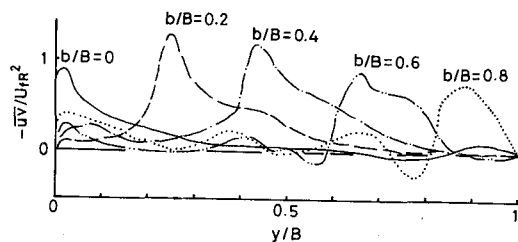


図-3

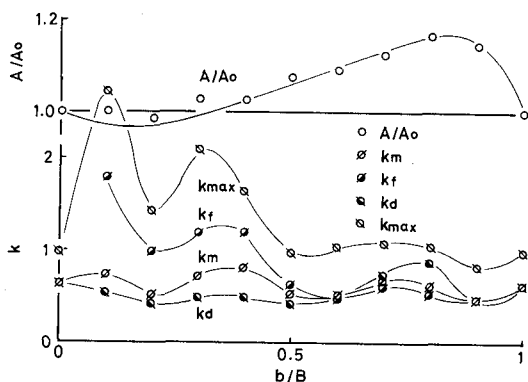


図-4

／ B においても高水数先端よりやや低水路側で最大値を示し、高水数と低水路との境界面近傍において活発な運動量の輸送が行われていることが知れる。また、 b/B が0.6および0.8の場合には高水数先端よりやや低水路側において負の極小値を示すとともに、高水数上で複雑に変動しているのが認められる。これは、既に述べたように高水数先端近傍からの上昇流により高水数上にいくつかの2次流が発生し、その上昇流は b/B が比較的大きい場合に強くなるものと理解される。

また、図-4は、一定流量のもとでの複断面流れと単断面流れとの流水断面面積比 A/A_0 と b/B の関係ならびに k と b/B の関係を示したものである。 A/A_0 と b/B との関係については、 $b/B=0.2\sim 0.4$ における $A/A_0 < 1$ の極小値および $b/B=0.8\sim 0.9$ における $A/A_0 > 1$ の極大値により複断面流れが特性づけられることがすでに報告されているが、³⁾このような複断面形状の効果は2次流の発生により生じるものと考えられる。

一方、図-4には、 k の算定値から種々の平均値が示されている。 k_m は全断面における平均値、 k_f は高水数上での平均値、 k_d は低水路内での平均値である。また、 k_{max} は全断面内での最大値を示したものである。 k_m はばらつきがあるものの b/B に無関係に単断面流れに近い値を示しているが、 k_f および k_d は b/B によって異なる傾向を示している。 k_f は b/B が小さい場合に大きな値を示し、 b/B の増加に伴って減少していくのに対して、 k_d は増加する傾向にあり、 b/B が0.6～0.8では k_d の方が k_f より大きくなっている。

複断面流れにおける運動量輸送による効果は高水数上の流れの流速増加あるいは低水路内の流れの流速減少として握えられるが、 k は運動量輸送の状況を表すパラメータと考えられるから、複断面流れにおいては b/B が小さい場合に運動量輸送の効果は高水数上において顕著であり、低水路内の流れによる高水数上の流れの加速効果が卓越するのに対し、 b/B が大きくなるにしたがって低水路内の減速効果が卓越するようになり、複断面の効果が顕著になるものと考えられる。

以上のように、複断面流れにおける抵抗に対する b/B の効果は k によって説明されるが、今後多くの水理条件のもとで検討を続けたいと考える。

参考文献

- 1) Haque, S. M. A.: J. of Fluid Mech., Vol. 5, 1959.
- 2) 芦田・高橋・竹元: 京大防災研究所年報, 10B, 昭42.
- 3) 今本・久下・吉野: 土木学会第31回年次学術講演会講演集, 昭51.