

II-162 複断面粗面開水路流れの水理学的特性

福井大学工学部 正 員 福原輝幸

大阪大学工学部 正 員 室田 明

建設省 正 員 勢田昌功

大阪府 正 員 高岡和久

1. はじめに : 複断面開水路流れの研究は比較的古くから行われているにもかかわらず、全般的に高水敷と低水路の粗度係数が同じ場合（主に滑面）の実験が先行し、高水敷の粗度係数が低水路のそれに比べて大きいような現実な場を対象とした研究は乏しい。そこで本研究では、高水敷にのみ粗度要素を設置し、粗度係数の違いに伴う流れの変化を調べるとともに、高水敷と低水路間の流れの相互作用について若干の考察を行ったので、ここに報告する。

2. 実験装置 : 実験に用いた水路は長さ20m, 幅0.7m, 高さ0.3mの亚克力樹脂製可変勾配水路であり、水路中央区間で10mの長さにわたり複断面とした。粗度要素は5mm×5mmの亚克力樹脂であり、粗度間隔を2cmとする棧型粗度とし、粗度要素は高水敷全面に貼り付けた。このとき、高水敷の粗度係数は0.023、低水路のそれは0.01となる。流速および乱れの測定には直径3mmのプロペラ流速計および一方用熱膜流速計を使用した。今回の実験では高水敷幅は15cm~25cm, 高水敷高さは3cm~7cmの範囲でそれぞれ変化させた。なお、本論文では高水敷が粗面をType-R, 滑面をType-Sと区別する。

3. 平均流速分布 : 図-1は相対水深 $H/D=2.0$ (H :低水路水深、 D :高水敷高さ)における流下方向流速 U の横方向分布を示す。Type-Sでは高水敷上の流速は接合部付近で一端減少するが¹⁾, Type-Rではそのような傾向はない。また、高水敷と低水路間の速度差はtype-Rで大きくなる。これを図-2に示す。図中、 U_{max} は任意の高さにおける低水路最大流速、 U_f は高水敷で流速が一定となる領域の流速、 $\bar{U}$ は全断面平均流速をそれぞれ表す。Type-Rの方がType-Sに比べて $U_{max}/\bar{U}$ は増大し、 $U_f/\bar{U}$ は減少して、流速比 $\alpha=U_{max}/U_f$ は相対的に1.2~1.8倍程増大する。 α の値は高水敷底部からの距離 z^* ($=z/D, z$:測定高さ)が小さい程大きくなる。これらの結果は高水敷粗度による高水敷流れの遅滞効果に起因すると考えられる。図-3は流速 U の鉛直方向分布 $U(z)$ であり、(a)がType-S, (b)がType-Rである。低水路側壁に近い $U(z)$ (図中○印)に注目すれば、高水敷高さ付近で局所的な流速の減少(速度欠損)が現われType-Rで著しいことがわかる。しかも、鉛直方向にわたる速度欠損の範囲が H/D の減少と共に狭まることから、この流速分布の歪みは高水

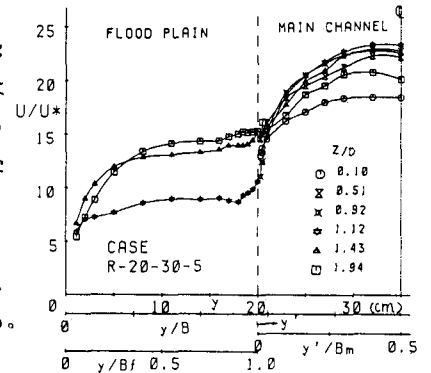


図-1 流速 U の横方向分布

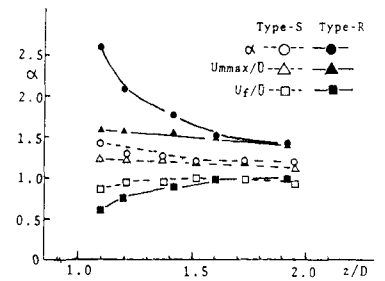
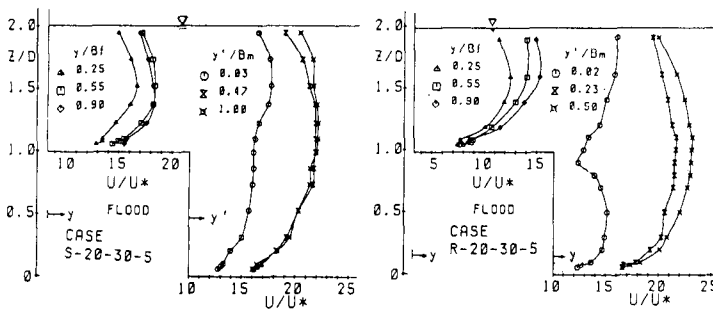


図-2 高水敷と低水路の流速比



(a) Type-S

(b) Type-R

図-3 流速 U の鉛直方向分布

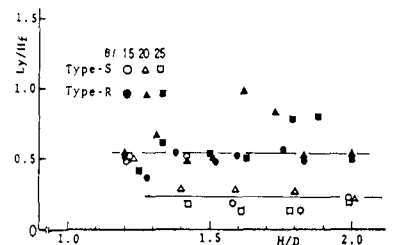


図-4 速度欠損の消滅範囲

敷上の流れに大きく影響を受けていることが知れる。しかしながら、この速度欠損は低水路中央に向かうにつれて不明瞭となり、逆に高水敷高さ付近で流速は最大となる。そこで、高水敷高さ付近の速度欠損が消える範囲を接合部からの水平距離 L_y と表し、 L_y/H_f (H_f :高水敷水深)と H/D との関係を調べた結果を図-4に示す。値にばらつきはあるものの、 $H/D=1.3\sim 2.0$ の範囲ではType-Rで $L_y/H_f=0.5$ 、Type-Sで $L_y/H_f=0.2$ 前後となり、前者の方が2~3倍も大きくなる。

4. 乱れ強度分布 : 図-5は流速 U の乱れ強度 u' の横方向分布を示す。 u' は摩擦速度 $U_* (= \sqrt{gRS}, R=A/P, R$:径深、 A :流水断面積、 P :全潤辺、 S :水路勾配)で無次元化している。Type-Sの結果は示していないが、Type-Rの方がType-Sよりも高水敷上で u' は大きくなり、特に接合部で急増大する。この特性は H/D の減少につれて顕著になる。一方、低水路中央部での分布は両タイプでほとんど差異がなく、結果的にType-Rの方が水路中央に向かったの u' の低減が著しくなる。図-6は u'/U_* の鉛直分布を示す。ここには示されないがType-Sと比較すると、高水敷では底面から自由水面に向かったの u' の減少がType-Rで明確となる。低水路では横方向の位置でその分布形が大きく異なり、接合部に近い所では高水敷高さ付近で u'/U_* の最大値が現れるのに対して、水路中央では底面近傍で最大値をとるようになる。この特性はType-Sでも指摘されているが²⁾、Type-Rの方で一層明確となる。

5. 低水路と高水敷との間の流れの相互作用に関する一考察 : すでに多くの研究者により接合部付近では大規模かつ秩序だった乱れにより、高水敷と低水路間で大規模な流れの出入り(相互作用)が認められている。長時間平均でこの現象を捉えた場合、低水路側壁近傍では図-7に示すように、 $U(z)$ と $u'(z)$ との間には逆位相の関係が成立する。この機構を模式的に示したのが図-8である。同図は低水路内の横方向の位置の変化(Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ)に伴う乱れ強度の鉛直方向分布の違いを表すと共に、接合部付近から発生する(相互作用に起因する)乱れと底面壁面乱流との言うなれば力関係を図上に書き加えたものである。すなわち、接合部付近(Ⅰ)では、高水敷上の高乱れ強度を有する低流速の流体が相対的に高流速かつ低乱れ強度を有する低水路内の流域に侵入するために、 $U(z)$ と $u'(z)$ は互いに逆位相となるが、水路中央(Ⅲ)では相互作用が減衰して底面壁面乱流が卓越するために、矩形水路での乱れ強度分布に近づくと考えられる。以上、高水敷の粗度は流れの相互作用(その強さおよび空間的な広がり)を助長させ、その結果、高水敷と低水路の粗度係数が等しい場合に観られた複断面流れ特有の水理学的特性をより明確にさせる点で、複断面粗面開水路の研究は興味深い。

参考文献: (1)高岡:大阪大学特別研究, 1987
(2)今本、久下:京大防災研年報第17号, 1974

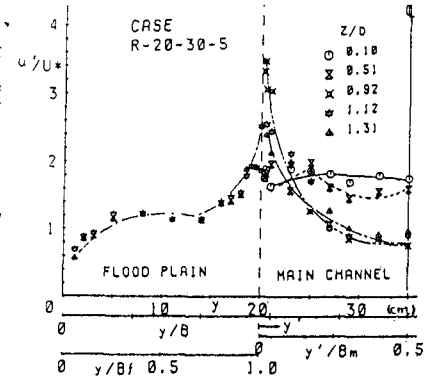


図-5 乱れ強度 u' の横方向分布

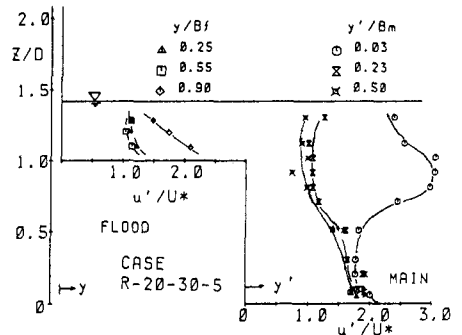


図-6 乱れ強度 u' の鉛直方向分布

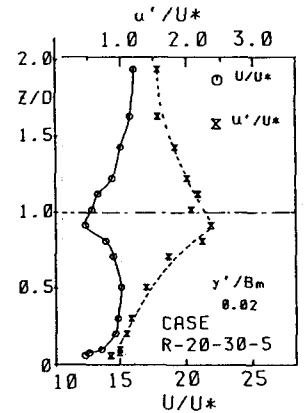


図-7 $U(z)$ と $u'(z)$ との関係

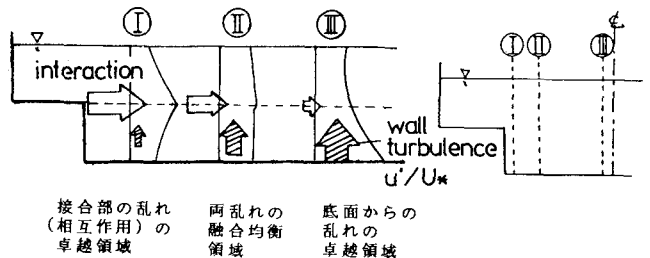


図-8 高水敷と低水路間の相互作用の概念図