

建設省土木研究所 正会員 佐々木 重義
建設省土木研究所 正会員 須賀 亮三
建設省土木研究所 正会員 吉野 文雄

複断面水路における代表的な水理特性のひとつに低水路河岸附近に生じる三次元場のセニ断応力がある¹⁾。このセニ断応力は低水路内と高水敷上との速度差によってできるものであり、複断面水路の水理量を決める重要な要因となる。低水路河岸附近の複雑な流れはまた、水表面上に間欠的な縦渦を発生させている²⁾。これらの現象は低水路内と高水敷上との運動量交換現象と呼ばれるものであり、縦渦の特性を調べることにより複断面水路の水理解明が計れるものとする。本報は第1報として、複断面水路におけるエネルギー補正係数等から運動量交換現象を実験的に説明し、低水路河岸部水表面上にできる縦渦の一例を示し若干の考察を行ったものである。

1. 実験方法

実験には可変勾配型の幅3.0 m、深さ0.5 m、長さ50.0 mの矩形断面直線水路を用い、耐水ラワン合板により水路兩岸に高さ9.5 cmの高水敷部を設けた。実験は高水敷幅を変えた対称、非対称断面の2断面について、さらにそれぞれの断面形状に対して高水敷上に砂粒(dm=2mm)のニス付けをした場合と、耐水ラワン合板そのままの場合との2種類について実施した。流速の測定にはプロベラ式流速計を用い、速度勾配の大きいところは鉛直、水平両方に測定した。実験範囲は流量 $Q=70\sim300$ l/sec、水路勾配 $I=1/200\sim1/1000$ 、フルード数 $Fr=0.5\sim1.6$ である。

2. エネルギー補正係数

ここでいうエネルギー補正係数 α は水路横断方向の平均を考え、通常の矩形断面水路で用いる α を1.0としている。横断方向の水位を一定とし、図-1に示す記号を用いると α は次式で表わされる。

$$\alpha = \frac{1}{A} \int \left(\frac{U}{U_0} \right)^3 dA = \frac{1}{A} \left\{ \left(\frac{U_a}{U_0} \right)^3 H_a B_a + \left(\frac{U_b}{U_0} \right)^3 H_b B_b \right\} \dots \dots (1)$$

ここに $A = H_a B_a + H_b B_b$, $U_a = H_a^{3/2} / n_a$, $U_b = H_b^{3/2} / n_b$, $U_0 = Q/A$
 $\delta = H_a / (H_a - H_b)$, $\beta = B_b / B_a$, $\delta = n_b / n_a$ とすると(1)式は(2)式となる。

$$\alpha = \frac{\{1 + \beta(1 - 1/\delta)\}^2}{\{1 + \beta(1 - 1/\delta)^3\}^2} \cdot \left\{ 1 + \frac{\beta(1 - 1/\delta)^3}{\delta^3} \right\} \dots \dots (2)$$

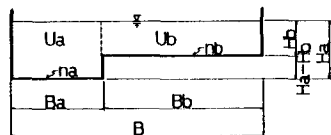


図-1 記号説明

図-2は実験結果を示したものであり、図中の実線は実験を行ったときのそれぞれの β を用い、 $\delta=1.0, 1.2$ としたときの(2)式の計算結果である。同図よりつぎのことがわかる。(2)式では各 β および δ の値に対して、 $\delta \div 1.2$ で α の最大値を示し、その値も β および δ が大きくなるにつれて増大する。 α を最大にする β および δ はそれぞれ $\partial\alpha/\partial\beta=0$ ($\delta=\text{const}$), $\partial\alpha/\partial\delta=0$ ($\beta=\text{const}$)の条件で求められ、 α は無限に大きくなるということが知られている³⁾。 α は最大値を示したのち水位の上昇とともに減少し、最終的には1.0に漸近し矩形断面の場合と同じになる。実験値をみるとそのバラツキはやや大きいが前述の傾向がうかがえる。しかしいずれの場合も α の値は理論値よりも小さめになっており、この原因に運動量の交換現象が考えられる。複断面河道でエネルギー保存則を用いる水理計算ではエネルギー補正係数 α を修正して計算精度の向上を計る必要があるといえよう。

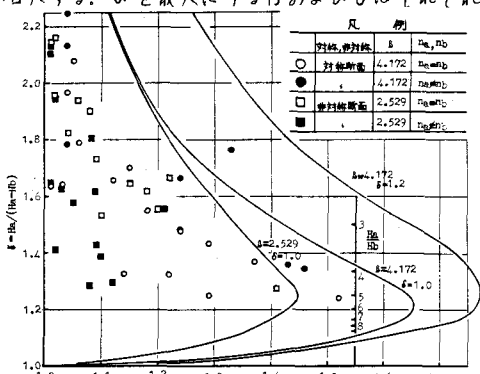


図-2 $\alpha \sim \delta$

3. 断面平均流速 U_0 、低水路内平均流速 U_a 、高水敷上平均流速 U_b

複断面水路における断面平均流速 U_0 と低水路内平均流速 U_a との比および U_a と高水敷上平均流速 U_b との比は(3)式および(4)式で表わされる。

$$\frac{U_0}{U_a} = \frac{(U_a B a H a + U_b B b H b) / A}{U_a} = \frac{1 + \beta(1 - 1/\delta)^{3/2}}{1 + \beta(1 - 1/\delta)} \quad \text{----- (3)}$$

$$\frac{U_b}{U_a} = \frac{1}{\delta} (1 - 1/\delta)^{3/2} \quad \text{----- (4)}$$

図-3は(3)式の関係および実験値を示したものである。同図より高水敷上に水位がやや乗ると U_0/U_a は急激に減少し、 $\delta \div 1.4$ で最小値を与え、水位の上昇とともに徐々に増加することが、また β および δ が大きくなると U_0/U_a は小さくなることわかる。(4)式の関係および実験値をプロットしたものを図-4に示す。(4)式の U_b/U_a は δ に対して漸減的增加傾向を示し、 $\delta=1.0$ とすれば U_b/U_a は1.0に漸近する。また同一 δ に対して δ が大きくなると U_b/U_a は減少するが、 β による影響が小さいことが実験値からも読みとれる。同一条件に対して実験値は理論値よりも常に大きい U_0/U_a 、 U_b/U_a を与えており、エネルギー補正係数の場合と同理由に起因するものと考えられる。複断面河道の合理的な河道設計を行うにあたっては各断面平均流速の増減傾向を把握、考慮し実施すべきと考える。

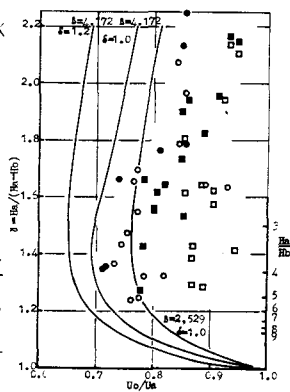


図-3 $U_0/U_a - \delta$

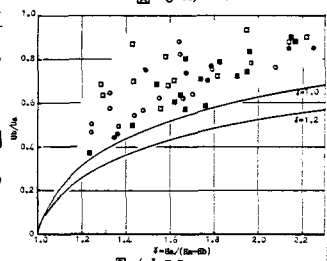
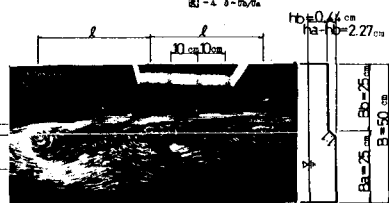


図-4 $U_b/U_a - \delta$

4. 縦渦の一例と今後の研究

右に示す写真は幅0.5mの実験水路で撮影した低水路河岸水面上の縦渦の一例であり、トレーサーにパンチくずを用い低速シャッターにより流し撮りしたものである。写真よりある幅をもつ縦渦が縦断方向に並列的に等間隔で流下していることがわかる。この縦渦は高水敷の流れに対して負のせん断力が働くように回転している。このような低水路河岸水面上に生じる縦渦は低水路内と高水敷上との速度差によって生じるものであり、縦渦の発生間隔は速度差にもとづく斜昇流の存在とその間欠性により定まるものと考えられる。水表面の現象だけをとらえるには斜昇流によって押分けられたトレーサーを高速シャッターで写し出せばよく、こうした渦は実河川の洪水時航空写真からもしばしば観察されるところである。



実験条件($Q=6.70 \text{ l/sec}$, $i=1/200$, $na=nb$, 露出時間 $1/4 \text{ sec}$)

写真 縦渦の一例

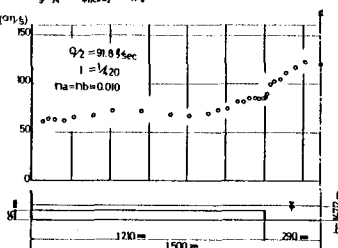


図-5 横断流速分布

図-5は複断面水路における横断流速分布形の一例を示したものであるが、同図より低水路河岸附近に顕著な速度勾配が形成されかつ、低平均流速領域の存在が認められる。この部分では渦動粘性係数が横断的に変化し、大きなせん断応力が生じていることがPrandtlの混合距離論から推察される。このような現象と渦域には密接な関係があるように思われ、今後は F_r 、 δ 、 β 、低水路法面勾配とその粗度、水路のわん曲等により、変化するであろう渦域の特性を調査し、複断面河道の水理的現象の解明を行う予定である。

本研究に当っては、木下良作博士、当研究所、山本晃一、浅野富夫両氏の御指導、御助言を承った。謝意を表す。

参考文献

- 1) 今井博健、久保天、「複断面流れの水理特性に関する基礎的研究」、京都大学防災研究所年報 第17号、昭和49年
- 2) 木下良作、「洪水と流路形態の現地観測」、土木学会水理委員会、第14回水工学に関する夏期研修会講義集Aコース、1978年
- 3) 須賀素三、「複断面水路特性の影響」、土木技術資料 Vol.6, No.5, 1964年