II-148

平行平板間の乱流の水平混合特性について

東工大　正員　田中昌宏
東工大　正員　石川忠晴
間　組　正員　木村　聡

1　はじめに

複断面河道や合流部などの河道計画上重要な区間では、横断方向の流速変化を考慮できる二次元解析法が必要となる。しかし、二次元解析法において最も重要な水平混合特性については不明な点が多く、この手法は未だに確立されていない。理論解析において、水平混合特性は水平渦動粘性係数 ϵ に集約される。ϵ は通常次の様に表わされる。

$$\epsilon = \gamma U L \qquad (1)$$

ここに、U、Lはそれぞれ混合領域の代表流速及び代表長さスケールであり、γ は比例定数であるが、最終的には γ の値が問題となる。河川の様に川幅に較べ水深の小さい流れにおける γ の値についてはほとんど検討されていない。

そこで、本研究では図1に示すような基本的な流れにおける γ の値について理論解析と実験によって検討した。本研究では基本的な水平混合特性のみに注目していることから、水面の影響をなくすために実験は風洞において行った。

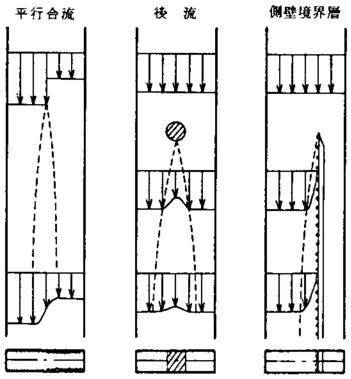

図1　対象とする流れ

2　基礎方程式

本解析で用いる基礎方程式は次式である。

$$u_0 \frac{\partial u}{\partial x} = \epsilon \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{2f}{H} u_0 u \qquad (2)$$

ここに、u_0；等流流速、u（$=u(x,y)$）；鉛直平均流速，f；抵抗係数、H；水深である。(2) 式は通常の浅水流方程式を δ/l（δ；混合層の横断方向の長さスケール、l；主流方向の長さスケール）をパラメータに摂動展開した1次のオーダーの方程式であり、0次の式は等流を表す。

(2) 式は自由乱流の基礎方程式に底面摩擦項が加わったものである。自由乱流の場合には混合層は無限に広がっていくが、ここで対象としている流れでは底面摩擦の効果によって混合層の広がりが抑制され、最終的には右辺の1項、2項が釣合った定常状態に達っし、混合層の幅は一定となると考えられる。

3　理論解析

(2) 式はuと ϵ を未知数とする偏微分方程式であり、このままでは原理的に解けない。そこで、本解析では次の様な方針をとる。まず、uの横断方向分布は流下方向に相似形で変化すると考え、uの分布形を仮定し、ϵ は(1) 式の様に表現できるとして(2) 式をx方向の常微分方程式の落とす。得られた常微分方程式はU，Lを未知パラメーター、γ を未知量とするものとなる。そこで、実験から未知パラメーターを決定し、理論値と実験値が最も合うような γ を求め、その値を対象とする流れの γ と考える。

この方針は、本研究で対象としている三つの流れに対して基本的に変わらないので、以下平行合流について解析手法を説明する。

①流速分布形の仮定・・・流速分布形は、流下方向に相似形で変化すると考えられるため、定常状態の分布形に一致しなければならない。そこで、座標系を図2に示すようにとり、(2) 式の左辺＝0としたときの解析解が二つの領域の境界面で連続する条件から、次の様な分布形が得られる。

$$u_i = v_{0i} \mathrm{EXP}(-y/b_i) \quad i=1,2 \qquad (3)$$

② εの仮定・・・εは混合部分の水平方向の物理量のよって表わされると考え、Uに欠損流速 v_{0i} の境界面での値、Lに排除厚 b_i をとる。

$$\varepsilon = \gamma v_{0i} b_i \qquad i=1,2 \tag{4}$$

③重み付き残差法の適用・・・境界面での流速値は変化しないとし、(3) 式を試験関数としてガラーキン法を適用すると、最終的に次の様な式が得られる。

$$b=b_\infty\{1-\mathrm{EXP}(-\frac{4f}{H}x)\}$$

$$b_\infty = \frac{\gamma}{2}\left(\frac{1}{\sqrt{f_1}} - \frac{1}{\sqrt{f_2}}\right)\left(\frac{1}{\sqrt[4]{f_1}} + \frac{1}{\sqrt[4]{f_2}}\right)^2 H \tag{5}$$

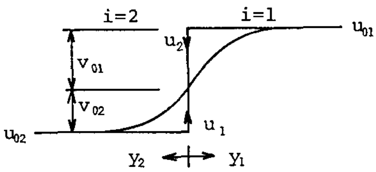

図２　座標系

f_1，f_2は既知であるから、γを与えるとb_∞とｂ～ｘの関係が決定される。したがって、ｂ～ｘの関係を実験から求め、理論値と実験値が最も合う様にγの値を求めれば、平行合流のγの値が決定できる。

4　実　験

実験は幅25cm，高さ1.8cm(H=0.9cm)，長さ4mの風洞で行った。流速測定には径2mm のピトー管及びゲッチンゲン型マノメーターを使用した。風路の上下面には粗度として砂がはりつけてある。平行合流の場合には風路中心線を境に両側に相当粗度ｋにして0.07cmと0.052cm の砂が敷つめられている。測定領域入口でシャープな流速差をつけるため、上流に金網を数枚設置し、金網のます目を調節することによって、流速差及び分布を調整した。

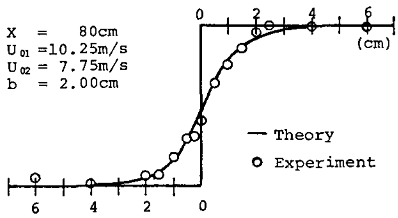

図３　発達過程の流速分布

5　結果及び考察

混合層発達領域における実験値と理論曲線を図３に示す。理論曲線はほぼ実験値と一致しおり、流速分布の相似形の仮定が妥当であることがわかる。図４はｂ～ｘの関係を示しており、理論曲線はほぼ実験結果を説明していると言える。理論上 b_∞ が求まるので、ｘ＝135cm におけるｂと比較するとｂは b_∞ の９７％になっており、この時点でほぼ定常状態に達っしているものと考えられる。

表１にはγの値が後流及び側壁境界層の値と伴に示されている。さらに、自由乱流と開水路流の値も示されている。γの値はどの流れパターンにおいてもほぼ同程度であり、流れパターンごとにみると見事に一致している。このことは、εを水平混合特性量のみで表現した本解析の考え方が妥当であったことを示している。

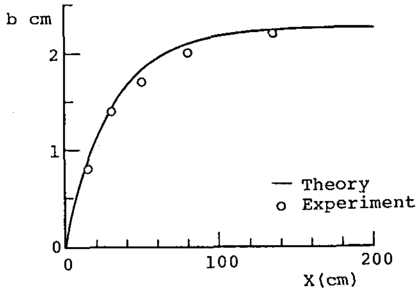

図４　排除厚ｂの流下方向変化

6　結　論

以上から、底面摩擦という拘束を受ける場合にも水平混合特性は、ε＝γｖｂの形で表現でき、γの値は水理条件の違い、底面摩擦の有無によらずほぼ一定であり、流速分布形によって多少変化（γ=0.03 ～0.04）する程度である。

表１　γの値

γ	平行合流	後　流	側壁境界層
自由乱流	０．０３３	０．０４	────
本研究	０．０３０	０．０４	０．０４５
開水路流	０．０３０*)	────	０．０２７

*) 山崎ら[1)]

参考文献

1)山崎真一・石川忠晴・金丸督司：土木学会第39回年講概要集，pp.473-474,1984.