

レーザー流速計による堰のまわりの流れの測定

長崎大学工学部 学生員 ○ 森元賢哉 前田繁房
松崎大介

長崎大学海洋生産科学研究科 正員 薦田廣章

1. はじめに

剪断流中に置かれた物体のまわりの流れは水理学上重要な分野であるが、まだ未解明なことも多い。さらに、その背後の流れは主流域、混合域、逆流域に大別され、複雑な流況を呈するため、正確な計測には困難を極める。今回、滑面水路内に堰の模型を設置し2成分レーザー流速計を用いて、流下方向xおよび鉛直方向yの流速成分(u、v)を計測し、その結果をもとに乱流諸量を算定した。また、それらの値と数値計算より得られた結果とも併せて比較したので報告する。

2. 実験装置および実験方法

実験は、長さ 5.50m、深さ 0.60m、幅 0.30mの両面がアクリル板の開水路を用いて行った。この水路は、路床面はほぼ水平に設置された固定水路である。上流端のバルブ調節により、一定水量の水を流すことができる。また、水路の下流端に設置されたゲートを上下することで、水面勾配を変えることができる。ゲートを越流した水は流量検定用の四角堰へと流れ込む。四角堰の越流水深と流量との関係は対数則で表すことができる。この水路内の可視化が可能な点に堰の模型(図-1)を設置した。今回行った実験では、下流端のゲートの高さを一定とし上流端のバルブを調節することにより流量を変化させ、四角堰の越流水深より流量を求めた。流速成分を計測した点は堰上の点B、C、D(堰中央点)、E、F(図-1参照)と点Bより20cm上流の点A、および点Fより20cm、40cm下流の点G、Hの計8鉛直断面である。各鉛直断面内では、底面近傍は密に、水面近傍は粗になるように選点した。また逆流を伴う領域はより密に計測した。実験条件を表1に示す。表1からも分かるように一連の実験におけるフルード数は1よりもはるかに小さく、水面変化が小さい常流を対象とした。

Table 1 実験条件

CASE	Q (cm ³ /s)	h (cm)	T (°C)	Re	Fr
1	7,400	12.07	14.0	20,700	0.19
2	6,500	11.85	17.0	20,300	0.18
3	5,000	10.98	18.0	15,800	0.15
4	3,800	10.20	17.5	11,900	0.13
5	2,400	7.31	17.0	6,800	0.08

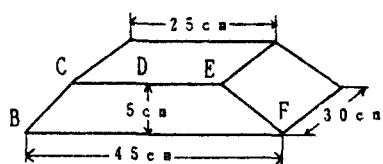


Fig. 1 堰の模型

3. 実験結果および考察

計測した流速成分($\tilde{u}$ 、 $\tilde{v}$)より平均流速成分(U 、 V)、乱れ強度(u' 、 v')、レイノルズ応力 $-\overline{uv}$ および乱流運動エネルギー k ($= 1/2(\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2})$)を計算した。乱流運動エネルギーの算定に際しては、横断方向の流速成分 w は測定していないため、 $w'^2 \approx v'^2$ で近似した。摩擦速度 U_* は主流の流速成分 U の分布から、対数則を用いて求めた。一例として、ケース1の断面Aにおける主流方向の流速分布図を図-2に示す。ここに、 $U^+ = U/U_*$ 、 $y^+ = U_*y/\nu$ (ν :水の動粘性係数)である。図中の実線は壁法則から得られた滑面の流速分布 $U^+ = (1/0.41)\ln y^+ + 5.5$ である。各ケースの初期断面Aにおける主流速分布を図-3に示す。ここに、流速成分は断面平均流速 U_m で無次元化表示した。この断面で、主流速成分を鉛直方向に積分して求めた流量と四角堰で検定した流量との誤差は最大3%以内に収まり、この断面内では2次元流とみなすことが

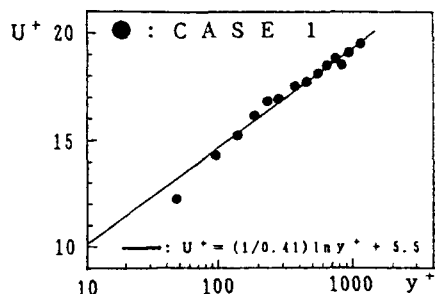


Fig. 2 主流速分布

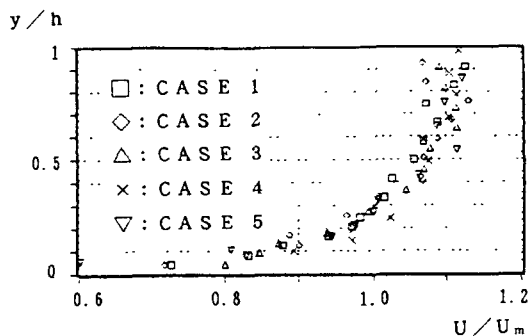


Fig. 3 断面Aにおける主流速分布

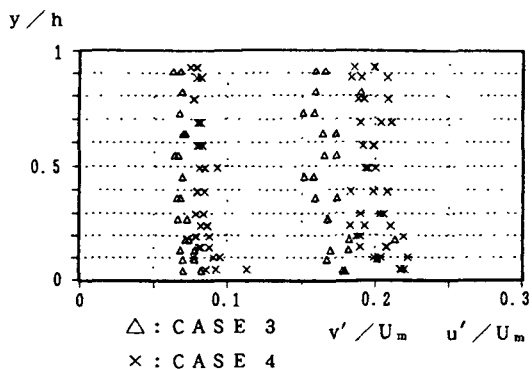


Fig. 4 乱れ強度分布

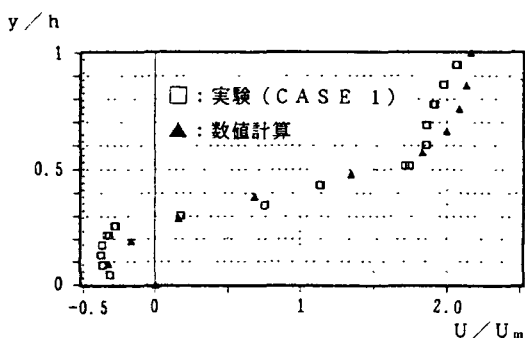


Fig. 5 断面Fにおける主流速分布

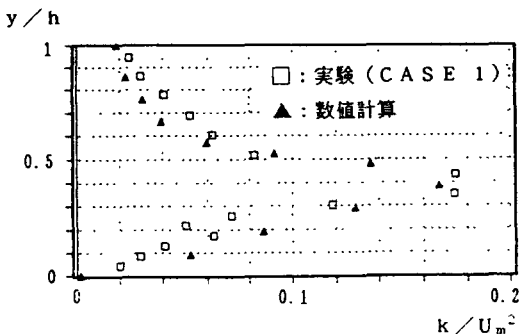


Fig. 6 断面Fにおける乱流運動エネルギーの分布

できる。いずれのケースについても最大流速は水面下1割から2割の所に現れる。また、この断面における乱れ強度 u' の分布はいずれのケースについても v' の2から3倍となった。一例として、ケース2、3の乱れ強度分布を図-4に示す。

各断面における主流速成分の主な特徴としては、断面Cでは路床近傍の流速が著しく大きいこと、断面Fでは逆流が存在することなどである。一例として断面Fの主流速分布を図-5に示す。同図の▲は数値計算より得られた値である。ここに、各流速成分は初期断面Aの U_m で無次元化表示している。この図から数値計算の結果ともよく一致していることが分かる。乱れ強度の各断面における特徴としては、断面Cにおいて路床近傍では u と v はほぼ等しく水面に近づくに従って v は u の $\frac{1}{2}$ から $\frac{1}{3}$ になること、断面Fの混合域と思われる所で両方とも著しく大きいことなどが挙げられる。最後に、 $k \sim \varepsilon$ モデル数値計算から求めた乱流運動エネルギーと実験結果を比較したものを図-6に示す。

5. おわりに

問題点としては以下のようなことがある。①今回の一連の実験では、レイノルズ応力の分布は極めてばらつきが多かった。②現象を2次元問題として捉えている。③流下方向の測定断面が少ない。これらのことについてはこれからの課題である。