

大阪大学大学院 学生員 福原 輝幸
大阪大学工学部 正員 室田 明

1. はじめに

開水路流れにおける大規模乱流運動を理解する上において、流下方向流速の横方向分布に見られる非一様性を調べることは必須と考えられる。著者等は前報¹⁾で、この流れの非一様性を表現し得る3つの因子、(i) 高速流体と低速流体の速度差 (ii) 低速端の間隔 (iii) 高速端と低速端の数、の水深方向変化についてそれぞれ検討を行った。本報告は上記の3つの因子の中でも(i)の因子に関連するが、未だ議論されていない高速流体と低速流体の流速に着目して、その諸特性を明らかにしようとするものである。なお、実験方法の選定に際して、両流体の流速が点計測では抽出し難いことから、今回は水素気泡法を用いて情報の収集につとめた。

実験諸元は表-1に示す通りであり、Case Aを滑面、Case Bを粗面と区別する。なお、実験および粗度に関する詳細は既報²⁾のとおりである。

また、ここに高速流体の流速 U_H と低速流体の流速 U_L はそれぞれ高速端と低速端における流速のアンサンブル平均値を表わす。

2. 実験結果およびその考察

図-1は壁法則の表示に従ってCase A-1の流速 U_H 、 U_L および局所平均流速 $\bar{U}$ を整理したものである。同図より、 U_H 、 U_L ともほぼ対数則に従っていることがわかる。

図-2は U_H 、 U_L の水深(y)方向変化を表わす方法として、 $\bar{U}$ で無次元化した $U_H/\bar{U}$ および $U_L/\bar{U}$ と相対水深 y/H の関係を示したものである。以下に、同図の定性的な特徴を列挙する。1) 路床に近づくにつれて、 U_H 、 U_L とも平均流速からのずれは大きくなるが、特に $y/H < 0.2 \sim 0.3$ (yU_*'/L で整理した場合には100~150以下)で、この傾向は顕著となる。これより、流れは路床に向うにつれて次第に非一様となることが推察される。2) 滑面、粗面にかかわらず U_H の方が U_L に比べて $\bar{U}$ に接近しており、特に水面近傍でこの傾向は著しい。従って、高速流体は水面付近ではほぼ平均流的な性質をもつと推察される。3) U_H 、 U_L とも粗面の方が滑面に比べて分布は外側に位置しており、粗度設置に伴う流れの非一様性の増大が認められる。

さらに、 $U_H/\bar{U}$ 、 $U_L/\bar{U}$ の値の水深方向変化をよりわかりやすく観るために、縦軸に y/H の対数をとって表わしたのが図-3である。以下に、同図の特徴を列挙する。

1) 滑面の場合、図中の回歸直線で示すように、 U_L の勾

表-1 実験諸元

CASE	H	U_m	U^*	Re	Fr
A-1	4.97	5.03	0.32	2900	0.072
A-2	4.99	10.02	0.64	5700	0.143
A-3	7.01	9.99	0.61	8000	0.121
A-4	6.98	13.55	0.82	10800	0.164
A-5	10.02	9.98	0.59	11400	0.101
A-6	6.24	10.03	0.62	7100	0.128
B-1	5.01	4.99	0.80	2900	0.071
B-2	4.96	10.08	1.60	5700	0.145
B-3	7.02	9.97	1.53	8000	0.120
B-4	7.01	13.50	1.99	10800	0.163
B-5	9.98	10.02	1.46	11400	0.101
B-6	6.23	10.05	1.50	7100	0.129

c-g-s unit

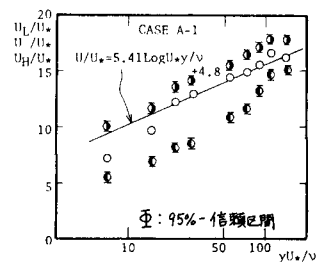


図-1 U_H 、 U_L および $\bar{U}$ の水深方向分布

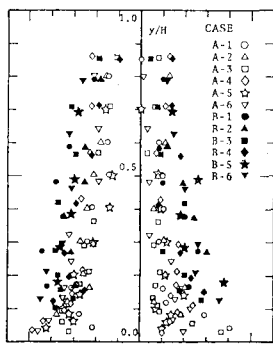


図-2 $U_H/\bar{U}$ および $U_L/\bar{U}$ と y/H の関係

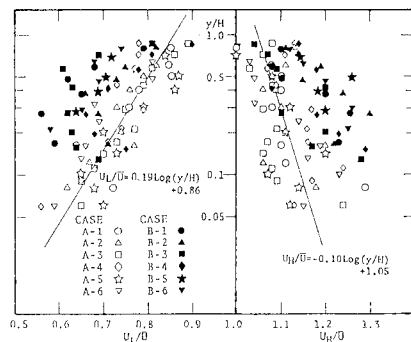


図-3 $U_H/\bar{U}$ および $U_L/\bar{U}$ と y/H の関係

配が U_H の勾配に比べて大きく、低速流体は高速流体に比べて断面内にわたる速度変化が大きい。2) 例えば、滑面の場合、路床付近 ($y/H = 0.06 \sim 0.1$) において $U_H/\bar{U} = 1.1 \sim 1.25$, $U_L/\bar{U} = 0.6 \sim 0.75$, 一方水面付近 ($y/H = 0.7 \sim 0.9$) では $U_H/\bar{U} \approx 1.0 \sim 1.1$, $U_L/\bar{U} \approx 0.75 \sim 0.9$ となる。3) 粗面の場合、路床付近 ($y/H = 0.15 \sim 0.2$) において $U_H/\bar{U} = 1.15 \sim 1.3$, $U_L/\bar{U} = 0.6 \sim 0.75$, 一方水面付近 ($y/H = 0.7 \sim 0.9$) で $U_H/\bar{U} \approx 1.05 \sim 1.15$, $U_L/\bar{U} = 0.7 \sim 0.85$ となる。

次に、高速流体と低速流体の性質を理解するための一つの試みとして、面流体の速度欠損の状態を調べた。その結果が図-4であり、横軸には U_H, U_L をそれぞれの最大流速 U_{Hmax}, U_{Lmax} で無次元化した U_H/U_{Hmax} および U_L/U_{Lmax} を、縦軸には y/H を選んでいる。同図中の回帰曲線から明らかなように、路床に近づくに従って、 y/H の変化に伴う横軸の値の変化は U_H よりも U_L の方が大きくなることわかる。すなわち、面流体の速度欠損の度合いは相対的に低速流体の方が大きいことかうかがえる。これは、高速流体に比べて低速流体の方が壁面の存在に伴う粘性の抵抗、あるいは内部剪断の抵抗を大きく受けることにより、流下方向の流動に対する抑制が低速流体の方で強まるためと推測される。

図-5は高速流体と低速流体の流速比 U_H/U_L の水深方向変化を示す。以下に、同図の特徴を列挙する。1) 滑面の場合、分布は図中の回帰曲線に従っており、路床近傍 ($y/H = 0.06 \sim 0.1$) で $U_H/U_L = 1.8 \sim 2.2$, 水面付近 ($y/H = 0.7 \sim 0.9$) で $U_H/U_L = 1.2 \sim 1.4$ の値をとる。また、図-2からも類推されるように U_H/U_L の変化は $y/H < 0.2 \sim 0.3$ で著しい。2) 粗面の場合、 U_H/U_L は滑面より断面内にわたり大きく、路床近傍 ($y/H = 0.15 \sim 0.2$) で $U_H/U_L = 1.7 \sim 2.0$, 水面付近で $U_H/U_L = 1.25 \sim 1.6$ の値をとる。また、図に記した点はいまほ直線的に分布しているようであるが、路床近傍では流れが非常に複雑であり、 U_H/U_L の測定が困難なため、分布形状から滑面との比較は難しい。しかしながら、路床近傍を除けば U_H/U_L の値に大小はあるものの、滑面と粗面で分布形状にそれほど有意な差異は認められない。

最後に、高速流体と低速流体の速度差 U_s を主流速 U で無次元化した U_s/U に関する水理量を調べた。ここに、 U_s は流れの非一様性の明瞭な領域における平均的な速度差として、 $y/H \leq 0.3$ でのアンサンブル平均値を選んだ。その結果、 U_s/U は断面平均流速と水深を用いたレイノルズ数 Re では一定の傾向は見出し難く、図-6に示すように摩擦速度 u_* を用いたレイノルズ数 Re_* と関連のあることがわかった。なお、その他に水路の形状比についても検討したが、標本の数が少ないために、 U_s/U と関連があるかどうかは判断し難い。また、図中の点にはばらつきのある原因として、 Re に関係なく $y/H < 0.3$ での U_s を採用したことによるとも考えられ、さらに検討するつもりである。

- 1) 室田 明・福原輝幸・古田豊繁・高橋 洋；昭和55年度関西支部年議概要
- 2) 室田 明・福原輝幸；第24回水理講演会論文集

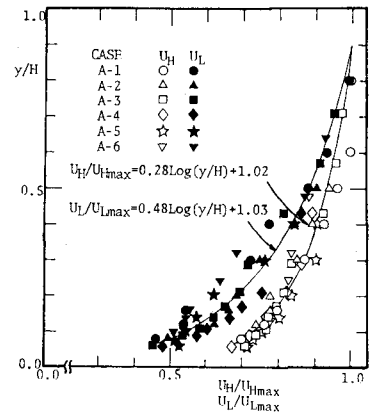


図-4 $\left. \begin{matrix} U_H/U_{Hmax} \\ U_L/U_{Lmax} \end{matrix} \right\}$ と y/H の関係

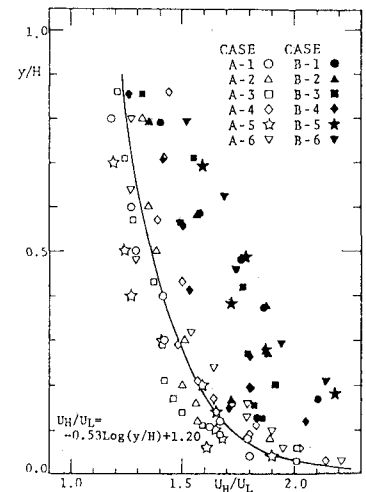


図-5 U_H/U_L と y/H の関係

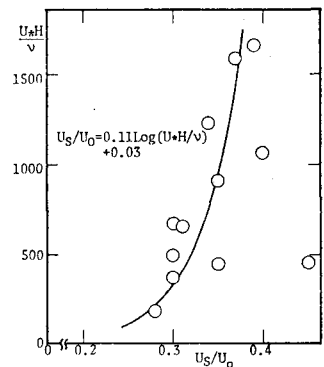


図-6 U_s/U と U_sH/v の関係