

京都大学大学院 正 員 橋津家久
 京都大学大学院 正 員 鬼束幸樹
 新日本技研(株) 正 員 ○藤山知加子

1. はじめに

圧力勾配を有する流れには、順圧力勾配流れ（加速流）と逆圧力勾配流れ（減速流）とがある。順圧力勾配を有する境界層流れについては、これまで主に再層流化やburst現象の変化についての研究がされてきた。しかし、順圧力勾配を有する開水路流れにおいては、そのような現象は今のところ全く解明されていない。本研究では、無次元圧力勾配を系統的に変化させた開水路流れの乱流構造を、レーザー流速計による流速計測や水素気泡法による可視化を行い、実験的に考察した。

2. 実験方法および水理条件

本実験で使用した水路は、長さ9m、幅40cm、高さ50cmの強化ガラス製可変勾配型循環式直線水路である。水路の上流端より約6-7mの地点に、図-1に示したように、鉄板による路床勾配を設置し、計測区間から水路の上流端および下流端までは同様の鉄板を敷き、連続的に加速流に遷移する流れを作った。水理条件を表-1に示す。加速部開始点は、流入時において発達乱流となるよう定めた。また、二次元性を確保するため、常にアスペクト比（水路幅に対する水深の比）が5以上となるよう、流入時の水深は7cmとした。 $\sin \theta'$ は上流部と下流部における水路床勾配、 $\sin \theta$ は加速部における水路床勾配、 Fr はフルード数、 Re はレイノルズ数、 v は断面平均流速、 ν は動粘性係数である。なお、添字0は加速部開始点 $x/L=0$ 、添字1は加速部終了点 $x/L=1$ での諸量を示す。

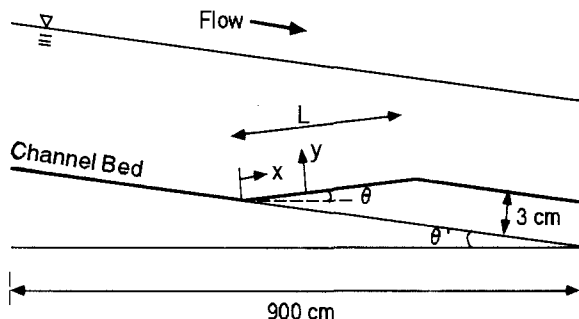


図-1 水路側面図

表-1 水理条件

case	$L(\text{cm})$	$Q(\text{ls})$	$\sin \theta'$	$\sin \theta$	$x=0(\text{cm})$			$x=L(\text{cm})$		
					$h_d(\text{cm})$	$Fr_d(\text{cm})$	$Re_d \times 10^3$	$h_b(\text{cm})$	$Fr_b(\text{cm})$	$Re_b \times 10^3$
A45-1	45	1.6	1/1800	-1/16	7.011	0.0688	3.6	4.142	0.152	3.6
A45-2		3.2	1/1300	-1/16	7.058	0.136	7.2	4.092	0.309	7.2
A90-0	90	0.8	1/2300	-1/32	7.084	0.0339	1.8	4.048	0.0784	1.8
A90-1		1.6	1/1800	-1/32	7.073	0.0679	3.6	3.977	0.161	3.6
A90-2		3.2	1/1300	-1/32	7.109	0.135	7.3	3.830	0.341	7.3
A90-3		4.8	1/1000	-1/32	7.131	0.201	10.9	3.534	0.577	10.9
A135-1	135	1.6	1/1800	-1/48	7.026	0.0686	3.6	3.900	0.166	3.6
A135-2		3.2	1/1300	-1/48	6.994	0.138	7.2	4.090	0.309	7.2
A180-2	180	3.2	1/1300	-1/64	7.032	0.137	7.1	3.649	0.367	7.1

3. 実験結果および考察

圧力勾配の大きさを定量的に示す指標として、本実験で用いた圧力勾配パラメータ p^+ を示す。

$$p^+ = \frac{\nu}{\rho U_*^3} \frac{dP}{dx} \quad (1)$$

ρ は流体の密度、 U_* は摩擦速度、 P は圧力である。図-2に本実験における p^+ の流下方向変化を示す。

図-3に、内部変数 y^+ で表示したA90-2のケースにおける平均流速分布を示す。粘性底層について、分布は点線で示した $U^+ = y^+$ に良好に一致しており（ここで、 $U^+ = U/U_*$ 、 $y^+ = y/\nu$ ）、本実験で用いる摩擦速度は、すべてこのように理論的に求まる粘性底層の流速分布から評価した。

流下に伴う加速の影響によって、バッファ層から内層にわたる流速分布形は、一点鎖線で示したlog則より上方にそれ、外層域ではlog則から離脱

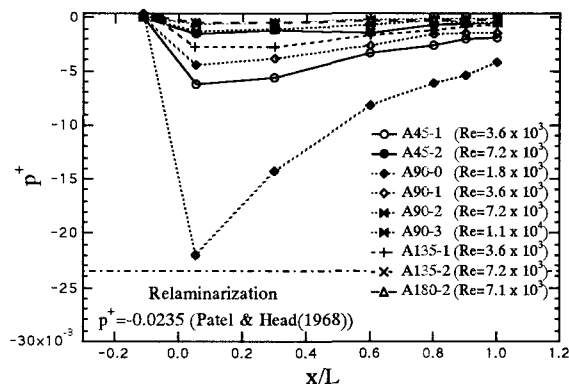


図-2 圧力勾配パラメータ流下方向変化

Iehisa NEZU, Kouki ONITSUKA, Chikako FUJIYAMA

し、流速勾配が一樣に小さくなる傾向が見られる。

流れの状態が乱流から層流へ逆遷移することを「再層流化」と呼ぶが、Patel and Head¹⁾は、境界層流れにおいて、 $p^+ < -0.0235$ で流速分布がlog則からずれることにより、「再層流化」を定義した(図-2)。本研究においてはいずれのケースもPatel and Headの基準を満たしていないが、流速分布は $x/L > 0.6$ の領域においてlog則から離脱しており、再層流化が生じていると思われる。

図-4は乱れ強度の流下方向成分を、A45-2のケースについて、表示したものである。なお、図中の式および曲線は、等流時の層流の普遍分布式を表している。下流側になるほど、分布形は次第に行く層流の普遍関数から下方へそれていく。鉛直方向の乱れ強度成分でも同様の傾向が見られ、全体に、流下に伴う加速の影響によって、乱れ u'/U 、 v'/U が減少することがわかる。

本実験流れにおいて、バッファ層およびlog則領域のスペクトル分布について、Kolmogoroffの-5/3乗則が成立することが認められた。そこで、Kolmogoroffの-5/3乗則より逸散率 ε を求めた。また、発成率 G は次式より求められる。

$$G = -\overline{uv} \frac{\partial U}{\partial y} - (u'^2 - v'^2) \frac{\partial U}{\partial x} \quad (3)$$

図-5に、摩擦速度によって無次元化された発生率および逸散率を示す。乱れの発生率および逸散率は加速の影響によって減少しており、乱れから平均流へエネルギーが逆変換しているためと考えられる。一宮ら²⁾は、境界層流れにおいて、再層流化によって速度変動が減少するとエネルギー逸散も減少すると述べており、本研究でも再層流化が起こっていると考えられる。

4. おわりに

開水路加速流れを対象とした本研究において、境界層流れと同様に、流下に伴う流速分布のlog則からの系統的な離脱や、乱れの逸散率および発生率の減少が観察された。これより開水路加速流においても、加速の効果により再層流化は生じられると思われる。この結果はburstの可視化からも推測された。

参考文献

- 1) Patel, V.C and Head, M. R, *J. Fluid Mech*, Vol.34, pp.371-392, 1968.
- 2) 一宮昌司, 中瀬敬之, 福富純一郎, 藤井新也, 日本機械学会論文集B版, 第61巻, pp.1264-1271, 1995.

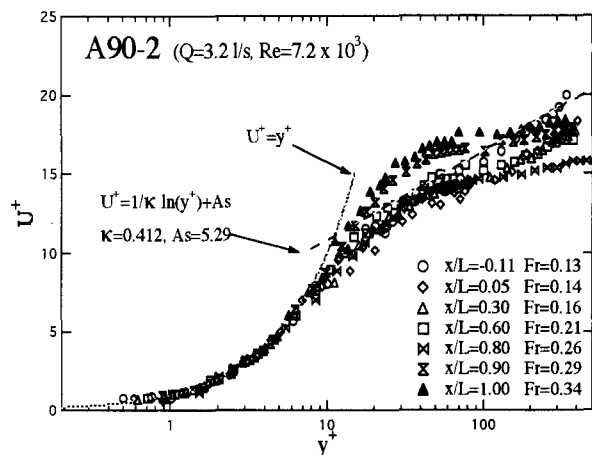


図-3 平均流速分布 (内部変数表示)

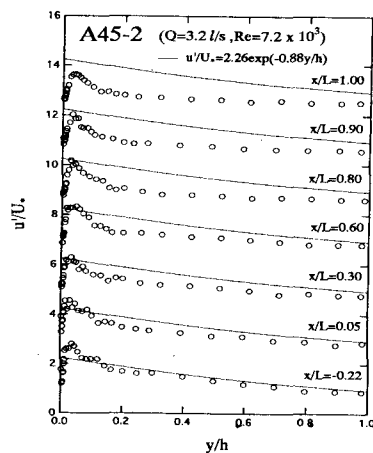


図-4 乱れ強度流下方向成分の分布

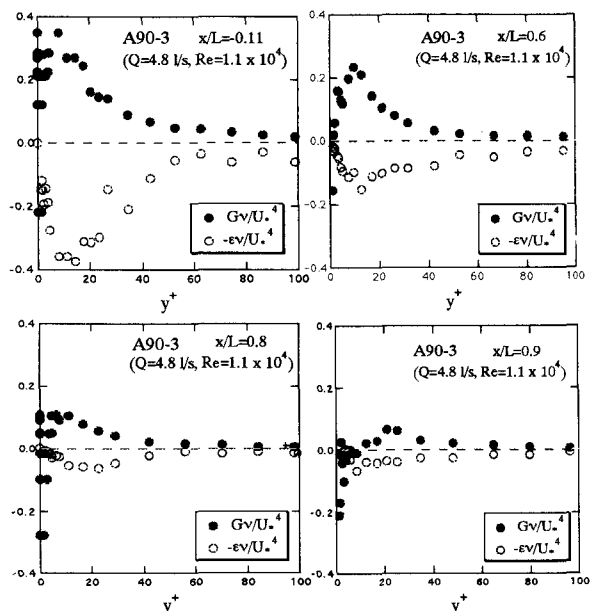


図-5 加速流の乱れエネルギー収支