

圧力勾配が急変する開水路流れの実験的研究

九州工業大学工学部

学生員 ○山田弘明

九州工業大学工学部

正 員 浦 勝 秋山壽一郎

九州工業大学大学院

学生員 竹本憲允

1. はじめに

本研究は、瀬の流れが淵の流れに変わる流れ場を対象としている。すなわちそこでは加速の履歴を受けた減速流の場であり、順圧力勾配から逆圧力勾配の流れに変わる。このように加速の履歴を受けた開水路減速流について二次元的に流速測定を行い、加速の履歴を受けない開水路減速流と比較検討を行い、圧力勾配急変による乱流構造の変化を検討したものである。

2. 実験装置および実験方法

実験に用いた水路は長さ20.5m、幅60cm、高さ60cmの可変勾配式直線水路であり、図-1に加速の履歴を受けない減速流(C1)を示し、図-2に加速の履歴を受けた減速流(C2)の場を示した。C1, C2共に100cmの減速部区間を有し、その上流側がC1では等流区間であるのに対し、C2では長さ50cmの接続部を挟んで長さ200cmの加速部区間となっている。減速部入り口に座標原点をとり流下方向にx軸、x軸より垂直向上向きにy軸をとる。加速部水路床勾配を $\sin\theta_1$ 、減速部水路床勾配を $\sin\theta_2$ 、上流部および下流部の水路床勾配を $\sin\theta'$ 、水深をh、減速部長さを ℓ とした。

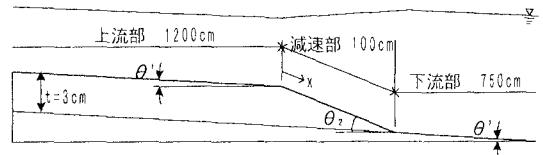


図-1 C1 実験装置

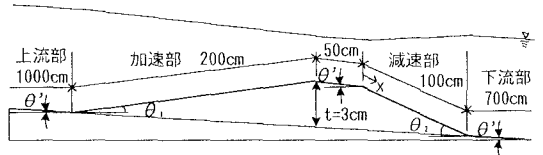


図-2 C2 実験装置

表-1 実験条件

Exp. No.	ℓ (cm)	$\sin\theta'$	$\sin\theta_1$	$\sin\theta_2$	x=0 (cm)							
					h_0 (cm)	Fr_0	$Re_0 \times 10^4$	h_1 (cm)	Fr_1	$Re_1 \times 10^4$	x=100 (cm)	
C1-15	100	1/1500	—	1/33	5.82	0.56	2.44	9.37	0.28	2.60		
C1-25	100	1/2500	—	1/33	6.21	0.40	2.65	9.46	0.21	2.61		
C1-50	100	1/5000	—	1/33	6.44	0.26	1.37	9.55	0.15	1.40		
C1-75	100	1/7500	—	1/33	6.51	0.21	1.20	9.64	0.12	1.33		
C2-40	100	1/4000	1/68	1/34	5.90	0.64	2.99	9.40	0.32	3.02		
C2-50	100	1/5000	1/68	1/34	5.79	0.53	2.76	9.50	0.28	2.51		
C2-75	100	1/7500	1/67	1/34	8.18	0.37	2.79	11.57	0.22	2.64		

表-1に実験条件を示す。測定はHot-film流速計を用いて、水路中央線上の時間平均流速 u, v を流下方向に17もしくは18断面について行った。

3. 実験結果および考察

はじめに、減速部における流れが剥離を伴うか否かを調べた。これを定性的に知るパラメータとして、式(1)で定義される形状係数 H_{ij} および式(2)で定義される修正形状係数 H を導入する。

$$H_{ij} = \delta_i / \delta_j \quad (1)$$

ここに、 δ_1 : 排除厚, δ_2 : 運動量厚, δ_3 : エネルギー厚

$$-\frac{dH}{H} = \frac{dH_{32}}{h_2} = \frac{dH_{23}}{h_3} \quad (2)$$

ここに、 $h_2 = -(H_{12} - 1)H_{32}$ 、 $h_3 = -(H_{12} - 1)H_{23}$

さらに吉川(1990)らは流速分布にベキ乗則を仮定し

て式(2)を解き次式を求めた。

$$H = aH_{23} \sqrt{H_{23} / (H_{23} - 0.5)} = a \frac{1}{4} \left(3 - \frac{1}{H_{12}} \right) \sqrt{\frac{3H_{12} - 1}{H_{12} - 1}} \quad (3)$$

$$\text{ただし、} a = H_{32\infty} \sqrt{1 - 0.5H_{32\infty}} \quad (4)$$

なお、 $H_{32\infty}$ はゼロ圧力勾配の乱流境界層で成立するBlasiusの $1/7$ 乗則を適用すると、1.8になる。

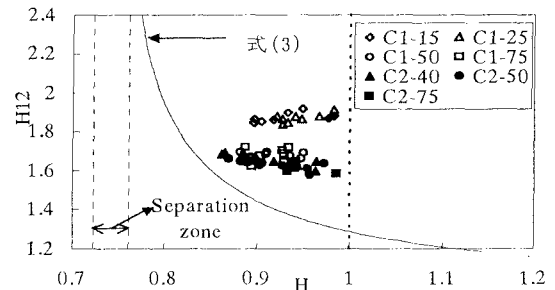


図-3 修正形状係数 H

そこで式 (3) より求まる値と実験結果の修正形状係数 H と形状係数 H_{12} の関係を図-3 に示す。図中の $0.723 \leq H < 0.761$ で表した Separation Zone は瀬津らの考察により剥離が生じる場合の H の値の範囲を示したものである。よって図-3 より C1、C2 の減速流はともに剥離を伴った流れではないことが確認できる。つまり、流れがおよそ内部乱流境界層を持つ流れとして特徴付けられる。

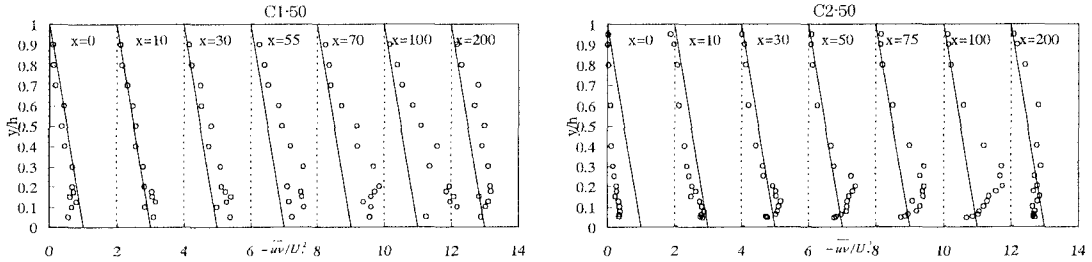


図-4 Reynolds 応力分布

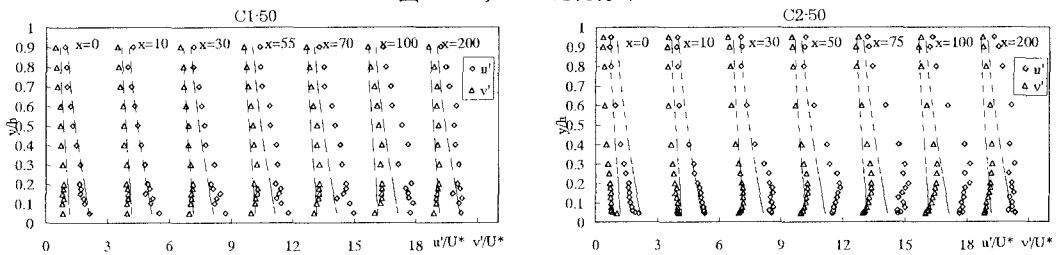


図-5 乱れ強度分布

実験 C1, C2 のうち C1-50, C2-50 についての各断面における Reynolds 応力の水深方向変化を図-4 に示す。ここでは、直線は等流時の全せん断応力分布を、各断面の分布形は x 軸方向に 2 単位だけずらして表示した。実験 C1, C2 ともに底辺周辺で大きな値を示し、それが流下するとともに水表面方向へと分布形が広がる傾向が見られる。しかし、C2 では分布形の膨らみが C1 と比べて遅れて下流側で始まり、減速部において水表面近くでは等流時の全せん断応力分布とほぼ同じ分布形状を示している。これは C2 が加速後の減速であるためその履歴が働き、C1 と比べて Reynolds 応力が減速部入り口で小さくなっているからであると考えられる。しかし、流下するにつれ C2 の分布形は C1 に近づいてるため、減速部で十分な長さの流下距離が得られれば同様の分布をなすであろうと予測される。

図-5 は Reynolds 応力の考察に用いたケースについて、各断面の摩擦速度によって無次元化した乱れ強度 u' , v' の水深方向変化を y/h に対して表示したものである。ここでは、波線は等流時に成立する分布形を、各断面の分布形は x 軸方向に 3 単位だけずらして表示した。Reynolds 応力同様に乱れ強度 u' , v' についても、実験 C1, C2 ともに流下方向に減速され乱れのピーク値をすぎると、分布形の膨らみが鉛直上方に伝わっている。また、実験 C2 においては減速部入り口ではそれまでの加速の履歴の影響により乱れ強度が多少実験 C1 より小さいが、実験 C1 の流速分布が平衡状態になる減速距離が流入水深の 10 倍を越えるところでは明瞭な差がみられなくなり C1 と C2 は同様の分布をなしているといえる。

4. おわりに

Reynolds 応力、乱れ強度共に減速部入り口においては加速の履歴により履歴を受けない減速流より小さい値をとっているが、減速距離が流入水深の 10 倍を越えると、加速の履歴を受けた減速流も加速の履歴を受けない減速流と同じ乱れ強度分布を示すようになる。それに対し、Reynolds 応力分布は同じ分布形になるには伝わりの遅れが見られるため乱れ強度より流下距離が必要となる。

参考文献

- 1) 古川恵太, 吉川秀夫, 土木学会論文集, No.417/II-13, pp.63-71, 1990. 2) 瀬津家久, 戸田孝史, 土木学会論文集, No.558/II-38, pp.103-112, 1997. 3) 瀬津家久, 中川博次, 土木学会論文集, No.509/II-30, pp.89-97, 1995.