

不等流における主流速・Reynolds 応力分布の非定常流との比較

九州工業大学大学院 学生員 ○松岡定和 鬼東幸樹
九州工業大学工学部 正 員 浦 勝 秋山壽一郎
九州工業大学工学部 学生員 岡本智和

1. はじめに

開水路不等流の水利特性は、圧力勾配によって影響を受けることが Kironoto¹⁾や瀬津ら²⁾によって示されている。また、開水路非定常流についても圧力勾配の影響を受けることが Tu & Graf³⁾や Nezu & Nakagawa⁴⁾によって指摘されている。本報告は、開水路不等流の流速測定によって得られた主流速分布および Reynolds 応力分布を、圧力勾配をパラメータとして非定常流の結果と比較検討したものである。

2. 実験方法および実験条件

実験用水路は、図-1 に示すように長さ 2050cm、幅 60cm の可変勾配水路の上流端より 1200cm の区間において、高さ t の底上げを行い、その後部に長さ ℓ の漸変部を接続したものである。

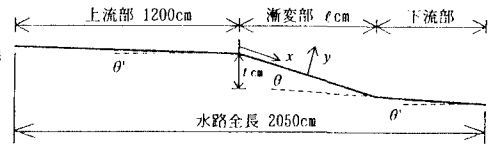


図-1 実験用水路

表-1 に実験条件を示す。ここに、 $\sin \theta$ は漸変部の水路床勾配、 $\sin \theta'$ は上流部および下流部の水路床勾配、 h は水深、 Q は流量である。座標系は、漸変部入口から流下方向に x 軸、 x 軸に直角上向きに y 軸をとった。流速測定は X 型 Hot-film 流速計を使用し、 y 軸方向に 12~20 点、 x 軸方向に 14~17 断面で行った。

表-1 実験条件

Exp. No.	ℓ (cm)	t (cm)	$\sin \theta'$	$\sin \theta$	h (cm)		Q (ℓ/s)
					$x=0$	$x=\ell$	
C2-15	200	3.0	1/1500	1/64	6.17	9.62	14.7
C2-25	200	3.0	1/2500	1/65	6.53	9.75	11.5
C2-50	200	3.0	1/5000	1/66	6.71	9.77	8.0
C3-15	300	3.0	1/1500	1/94	6.01	9.66	14.8
C3-25	300	3.0	1/2500	1/96	6.49	9.76	11.2
C3-75	300	3.0	1/7500	1/99	6.72	9.80	6.5
C4-15	400	3.0	1/1500	1/122	5.72	9.66	14.5
C4-25	400	3.0	1/2500	1/127	6.04	9.63	11.5
C4-50	400	3.0	1/5000	1/130	6.21	9.85	8.1

3. 実験結果および考察

図-2 に主流速分布の x 軸方向変化の一例を○印で示す。すべての断面の内層 ($50 < yU_* / \nu, y/h \leq 0.2$) において流速分布形状は、図中点線で示した対数則とよく一致する。一方、外層においては対数則からズレが生じている。外層における主流速分布を次式の log-wake 則によって評価し、図-2 中に曲線と併示した⁶⁾。

$$\frac{U}{U_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{yU_*}{\nu} + A + \frac{2\Pi}{\kappa} \sin^2 \left(\frac{\pi y}{2h} \right) \quad (1)$$

ここに、 $\kappa (=0.412)$ は Karman 定数、 $A (=5.29)$ は積分定数、 U_* は内層の主流速分布に対数則を適用して算出した摩擦速度、 Π は Wake strength parameter である。図中に Π と式(2)で定義される無次元圧力勾配 β の値を示した。

$$\beta = \frac{\delta_*}{\rho U_*^2} \frac{dp}{dx} \quad (2)$$

ここに、 δ_* は排除厚である。

このようにして求めた Π と β の関係を図-3 に○印で示す。図中の実線は Kironoto¹⁾が粗面不等流における

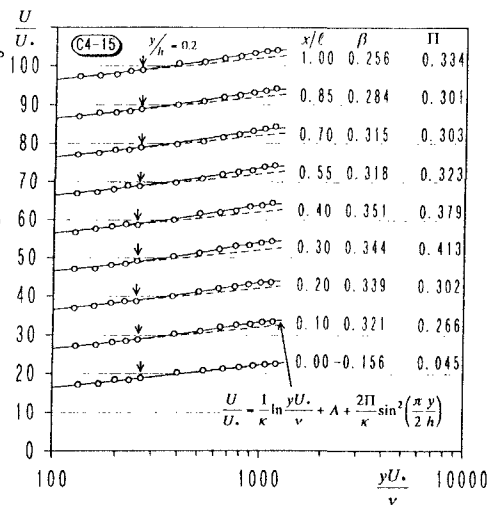


図-2 主流速分布の x 軸方向変化

Π と β の関係式として提案した、

$$\Pi = 0.75(\beta + 0.5)^{0.75} - 0.22 \quad (3)$$

であり、点線は瀬津ら²⁾が滑面不等流実験に基づいて提案した、

$$\Pi = 0.47\beta + 0.28 \quad (4)$$

である。ところで、非定常流においても外層における主流速分布が対数則からズレる傾向が観察されており、著者らはこの場合も Π は圧力勾配に支配されると考えた。そこで、図-3 に瀬津ら⁴⁾の非定常流における測定結果を▲印で、Tu & Graf⁵⁾の粗面上の非定常流における測定結果を◆印で示した。

以上の結果、非定常流における β の範囲は $0.03 \leq \beta \leq 0.23$ と小さいが、不等流で得られた Π と β との関係式にかなり一致しており、不等流、非定常流の主流速分布が無次元圧力勾配 β によって統一的に表示できるといえる。

次に、Reynolds 応力分布に着目してみる。図-4 に本実験における不等流の Reynolds 応力分布の一例を○印および△印で、Tu & Graf³⁾による粗面非定常流における Reynolds 応力分布を◆印で示し、等流で成立する Reynolds 応力分布を実線で示す。

非定常流では不等流と比較して、三角形分布からのズレが小さいが、これは無次元圧力勾配が併示した不等流のものより小さいことが原因であると考えられる。また、三角形分布からのズレが大きくなる領域は、不等流では水深付近に現れ、非定常流では水表面付近に現れるが、非定常流においても不等流と同様に、逆圧力勾配が生じると Reynolds 応力は三角形分布からはずれ、膨らむ傾向が見られる。

4. おわりに

開水路不等流の主流速分布および Reynolds 応力分布を、無次元圧力勾配 β をパラメータとして非定常流と比較した結果、以下のことが示された。Wake strength parameter Π は、不等流、非定常流ともに β によって支配され、 Π と β の関係は非定常流においても不等流と同様な傾向を示す。また、Reynolds 応力分布は不等流と非定常流ではその分布形状は多少異なるが、逆圧力勾配によって三角形分布より膨らむという同様な傾向を示す。

参考文献

- 1) Kironoto, B. A. : Doctral Dissertation No.1094, Ecole Polytechnique Federale, Lausanne, Switzerland, 1993.
- 2) 瀬津家久, 門田章宏, 戸田孝史, 中川博次 : 土木学会論文集, No.509/II-30, pp.89-87, 1995.
- 3) Tu, H. and Graf, W. H. : *Proc. Instn Civ. Engrs Wat., Marit. & Energy*, pp.63-69, 1992.
- 4) Nezu, I. and Nakagawa, H. : *Flow Meas. Instrum.*, Vol.6, No.1, pp.49-59, 1995.
- 5) Tu, H. and Graf, W. H. : *JHHE*, Vol.10, No.1, May, pp.11-25, 1992.
- 6) 鬼束幸樹, 浦 勝, 秋山壽一郎, 松岡定和 : 水工学論文集, 第 39 巻, pp.391-396, 1995.

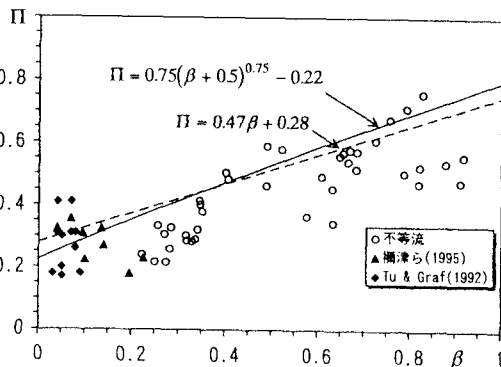


図-3 Π と β の関係

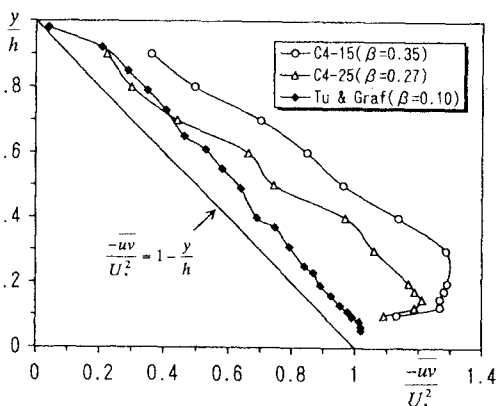


図-4 Reynolds 応力分布