II-112　開水路流れにおける乱れの相似性について（第2報）

京都大学防災研究所　正員　今本博健

1. 乱れ特性量の普遍関数表示

前報[1]においては，Reynolds数の十分大きな2次元開水路流れにおける基本的乱れ特性量，すなわち，乱れの強さu'，Euler的平均スケールL_E，エネルギー逸散量ϵに関する普遍関数表示について取り扱い，乱れの強さの普遍関数表示としてつぎの結果を得た。すなわち，Taylor[2]によるこれら3量間の関係式

$$\epsilon \sim \frac{u'^3}{L_E}, \quad \text{i.e.} \quad \epsilon = C_L \frac{u'^3}{L_E} \quad (C_L: \text{universal constant}, \; C_L \approx 1.77) \tag{1}$$

において，L_Eについては Engelund[3]による次元解析的考察より，

$$\frac{L_E}{\left(\frac{u}{u_f}\right) H} = \phi_{LE}\left(\frac{z}{H}\right) \quad \text{or} \quad \frac{T_E}{\frac{H}{u_f}} = \phi_{TE}\left(\frac{z}{H}\right) \tag{2}$$

と表わし，また，ϵについては乱れのエネルギー式における生成項より類推し

$$\frac{\epsilon}{\frac{u_f^3}{H}} = \phi_\epsilon\left(\frac{z}{H}\right) \tag{3}$$

と仮定すると，(2)および(3)式を(1)式に用いることにより，u'に対する普遍関数表示としてつぎの結果が得られる。

$$\frac{u'}{u_f\left(\frac{u}{u_f}\right)^{\frac{1}{3}}} = \phi_{u'}\left(\frac{z}{H}\right) \tag{4}$$

ここに，u：局所的平均流速，u_f：摩擦速度，H：水深，z：路床からの鉛直距離であり，ϕはそれぞれのsuffixに示された乱れ特性量に関する普遍関数である。

Monin-Obukovの相似則において，長さのスケールとして水深を用いると，u'に対する普遍関数はつぎのようになる。

$$\frac{u'}{u_f} = \phi'_{u'}\left(\frac{z}{H}\right) \tag{4'}$$

(4)式と(4')式とを比較すると，(4)式には$\left(\frac{u}{u_f}\right)^{\frac{1}{3}}$がパラメーターとして入っており，流速分布がdefect-lawで表示できても，断面平均流速あるいは最大平均流速と摩擦速度との比，すなわち抵抗係数によって乱れの強さは変化し，$u'/u_f\left(\frac{u}{u_f}\right)^{\frac{1}{3}}$という値が$z/H$のuniversal functionとなるのに対し，(4')式ではこれらの値に関係なく普遍関数表示が可能となることを示している。

(3)および(4')式を(1)式に用いると，L_Eに対する普遍関数はつぎのようになる。

$$\frac{L_E}{H} = \phi'_{LE}\left(\frac{z}{H}\right) \tag{2'}$$

L_Eの測定には計測スケールの効果が著しく，計測スケールの異なる乱れ計測よりもとめられたL_Eを画一的に比較することは困難なため，u'の計測結果について検討することにする。

u'の計測結果を(4)および(4')式にもとづいて整理すると，fig.1のようになる。fig.1によると，u'の普遍関数表示としては(4)式の方が妥当のようであるが，開水路流れの乱れ計測は管水路の場合より，摩擦速度についてすらかなりの誤差が含まれるため，今後さらに詳細な検討が必要である。

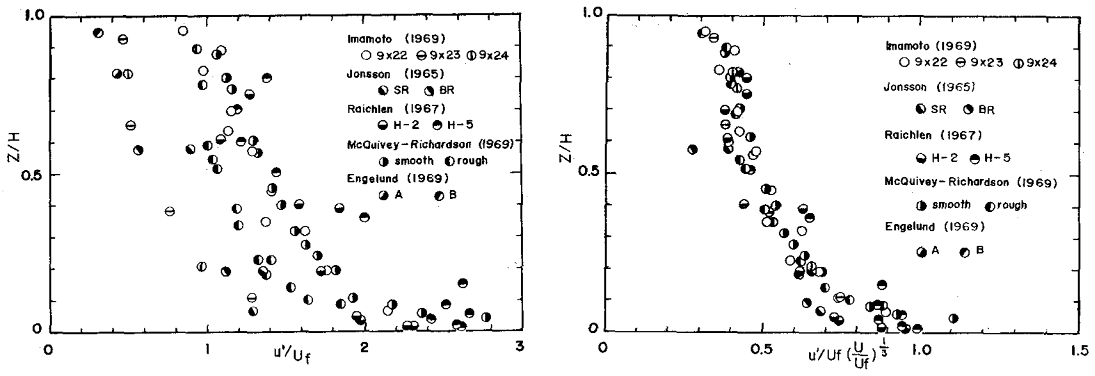

Fig. 1 乱れの強さと相対水深との関係

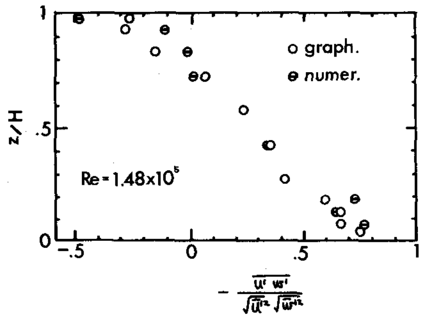

Fig. 2 u'とw'とに関する相関係数と相対水深との関係

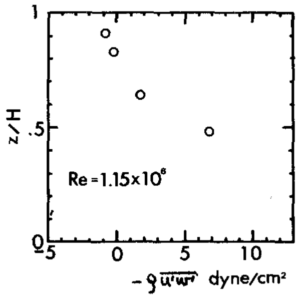

Fig. 3 Reynolds応力と相対水深との関係

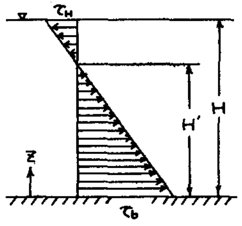

Fig. 4 Reynolds応力の分布形の近似的表示

2. Reynolds応力の分布形による修正

1. においては，乱れ特性量の相似性を規定する水理量として摩擦速度および水深が重要となることが示されたが，実際の開水路流れでは，最大流速点が水面より若干下った点に存在し，水面附近のせん断力が負となる現象がしばしば認められ，Reynolds応力の分布形による修正が必要となる。

Fig. 2 は Smutek[4] による u' と w' との間の相関係数の計測結果を，Fig. 3 は上野[5] による Reynolds応力の計測結果を示したものであるが，これらの結果より，Reynolds応力の分布形を Fig. 4 のように仮定する。すなわち，

$$\tau = \tau_b\left(1 - \frac{\tau_b}{\tau_b+\tau_H}\frac{z}{H}\right) = \tau_b\left(1-\frac{z}{H'}\right) \qquad H' = \frac{\tau_b+\tau_H}{\tau_b}H \tag{5}$$

ここに，τ_b および τ_H は，それぞれ，路床および水面におけるせん断応力である。

この場合の平均流速分布を Zagustin[6] の混合距離理論を用いて求めるとつぎのようになる。

$$\frac{u_{H'}-u}{u_{fb}} = \frac{2}{3}\tanh^{-1}\left(\left|1-\frac{z}{H'}\right|\right)^{\frac{2}{3}} \tag{6}$$

(6)式により，velocity defect-law の表示としては，$\tau_H=0$ の場合と比較して，H を H' に置き換えればよいことがわかる。乱れ特性量の相似性を示す普遍関数表示については，平均流速分布に対するような単純な置き換えが成立するかどうかは，現在のところ，乱れ計測に Reynolds応力の計測を含めたものが余りにも少ないため検討できず，今後の研究に待たねばならない。

参考文献
1) 今本，昭和45年度関西支部年次学術講演会講演概要，II-34，1970-5.
2) Taylor, G. I., Proc. Roy. Soc., A151, 1935.
3) Engelund, F., Jour. Hy. Div., Proc., ASCE, HY4, 1969-7.
4) Smutek, R., Jour. Hy. Div., Proc., ASCE, HY1, 1969-1.
5) 上野，京大修士論文，1969-3.
6) Zagustin, A. and Zagustin, K., La Houille Blanche, No.2, 1969.