

東北大学大学院 学生員 ○ 藤間 功司
東北大学工学部 正 員 首藤 伸夫

1. 序

著者らは、ドライバッド上を進行する波の抵抗則を求める目的で底面走行式水路を用いた実験を行っている。しかし、従来の研究では、運動量方程式中で無視している項が本当に無視し得るかという検討に欠けていた。無視している項とは、 x 方向の式の $\partial \overline{u'^2}/\partial x$, y 方向の式の $D\overline{w}/Dt$, $\partial \overline{u'w}/\partial x$, $\partial \overline{v'^2}/\partial y$ である。そこで、今回LDV(15mW, 1方向)を用いた乱流計測を行い、検討を加えた。また、広い適用範囲を持った抵抗則を算定するためには、 $\overline{u'w}$ を主流と結びつけるモデル化や、 $\overline{u'w}$ の分布を考慮してのエネルギー方程式の適用などが必要と考えられ、そのためにも乱流特性を把握することは重要である。

2. 実験

実験はバルト速度 U_B を変えて2種類(ケースA: 320 cm/s, ケースB: 245 cm/s)行った。底面は滑面で、底面勾配 $\theta = 6.26^\circ$ である。また、ケースAは後方散乱, ケースBは前方散乱式で計測した。判定項目は $\overline{u'^2}$, $\overline{v'^2}$, $\overline{u'w}$ である。 $\overline{u'w}$ は、1方向LDVを使ったため、 x 方向, y 方向, 45° 方向のデータから計算される。

3. 実験結果

実験によって得られた $\overline{u'^2}$, $\overline{v'^2}$, $\overline{u'w}$ の分布を図1に示す。図中の記号 η は無次元高さ, U_S は水表面流速を表わし、それぞれ次式で表わされる。

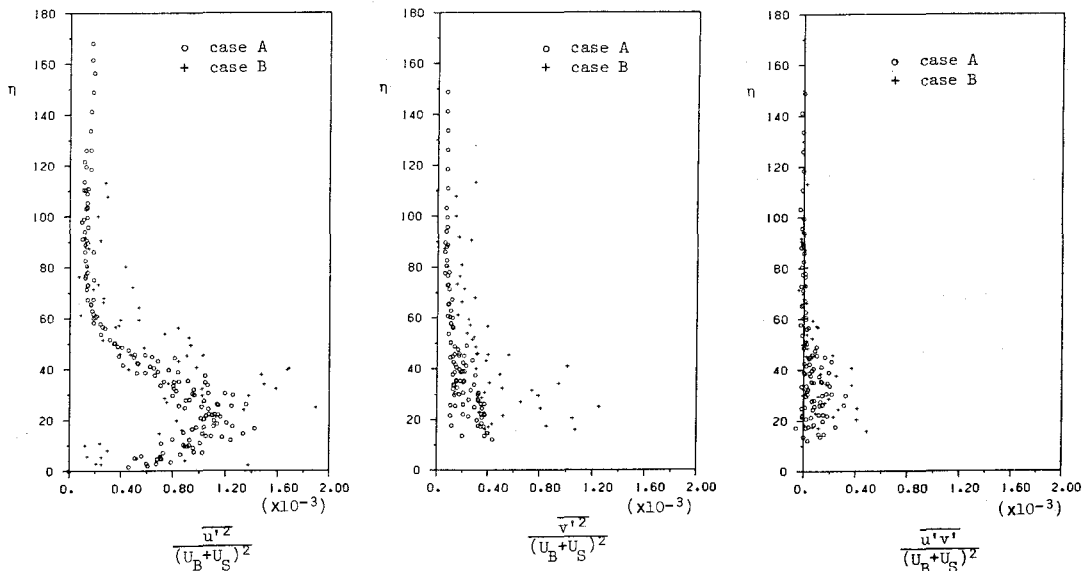


図1 実験結果

$$\eta = y \sqrt{\frac{U_B}{\nu x}} \quad (1)$$

$$\frac{U_s}{U_B} = 0.06 \left(\frac{U_B}{g x} \right)^{0.7} \quad (2)$$

図1から、以下のことが分る。

- (1) 平均流速分布が一樣な水深付近の領域では、 $\overline{U}^{1/2}$, $\overline{v}^{1/2}$ もほぼ一樣で、 $\sqrt{\overline{U}^{1/2}}$ は U_s に対して約15~25%の大きさである。 $\sqrt{\overline{v}^{1/2}}$ は $\sqrt{\overline{U}^{1/2}}$ の50~80%になる。また、 $\overline{U}\overline{v} \sim 0$ である。
- (2) $\overline{U}^{1/2}$, $\overline{v}^{1/2}$ が一樣でなくなる高さは $\eta \sim 60$ 程度である。これは、平均流速が一樣でなくなる高さ ($\eta \sim 50$) の近くであるが、乱流は平均流速がまだ一樣な位置から増大しはじめる。
- (3) 式(1)の η でほぼ相似則が成り立つことから分る通り、底面境界層厚は $\sqrt{\nu x / U_B}$ に比例して増加する。
- (4) $\overline{U}^{1/2}$ は、底面境界層内でピークを持った分布になる。 $\overline{v}^{1/2}$ は底面近くでデータがとれていないため定かでないが、 $\eta < 20$ では減少すると思われる。

4. 運動量方程式の各項のオーダー比較

本実験の判定範囲 ($x = 10 \sim 50 \text{ cm}$) では、流速分布の相似則から、

$$\frac{\partial}{\partial x} = \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \eta} = -\frac{y}{2x} \sqrt{\frac{U_B}{\nu x}} \frac{\partial}{\partial \eta}, \quad \frac{\partial}{\partial y} = \frac{\partial \eta}{\partial y} \frac{\partial}{\partial \eta} = \sqrt{\frac{U_B}{\nu x}} \frac{\partial}{\partial \eta}$$

$$\therefore \left| \frac{\partial}{\partial y} \right| / \left| \frac{\partial}{\partial x} \right| \sim 2 \frac{x}{y} \sim O(Re^{0.5}) \quad (3)$$

となり、 y による微分と x による微分の大きさの比は $Re^{0.5}$ のオーダーであり、今回の実験では 10^3 程度であることが分る。(ただし、今回の判定範囲を越えた $x < 10 \text{ cm}$ の領域では、 x の微分と y の微分が同程度の大きさになると考えらる。) また、図1から $\overline{U}^{1/2}$, $\overline{v}^{1/2}$, $\overline{U}\overline{v}$ は $(U_B + U_s)^2$ の高々 10^{-3} のオーダーであることが分る。これらの情報から、次の様にオーダー比較できる。

$$\underbrace{U \frac{\partial U}{\partial x}}_{10^{-3}} \sim \underbrace{g \sin \theta}_{10^{-3}} - \underbrace{\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P}{\rho} \right)}_{10^{-6}} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial x} (-\overline{U}^2)}_{10^{-6}} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial y} (-\overline{U}\overline{v})}_{10^{-3}}, \quad \underbrace{U \frac{\partial v}{\partial x}}_{10^{-6}} \sim \underbrace{-g \cos \theta}_{1} - \underbrace{\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{P}{\rho} \right)}_{10^{-6}} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial x} (-\overline{U}\overline{v})}_{10^{-6}} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial y} (-\overline{v}^2)}_{10^{-3}} \quad (4)$$

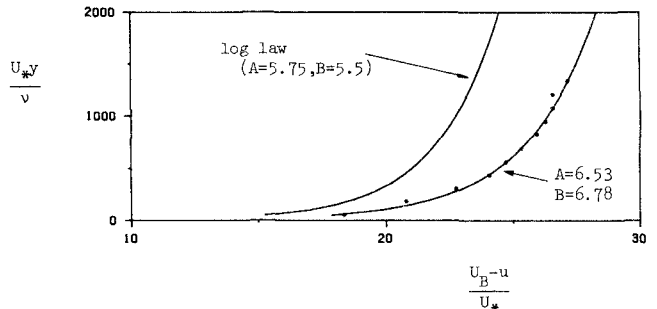
従って、全体的に見れば、従来用いていた境界層近似が妥当であることが示された。

5. 対数則との比較

底面境界層内での流速分布と対数分布則との比較の一例を図2に示す。比較に用いた対数則は

$$\frac{U_B - U}{U_*} = A \log \frac{U_* y}{\nu} + B, \quad U_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}, \quad A = 5.75, \quad B = 5.5 \quad (5)$$

である。実験値は、対数則よりも大きな傾きを持っており、式(5)の形で実験値を説明するためには、 $A = 6.0 \sim 8.0$ としなけりばならない。



6. 結論

従来から用いていた境界層近似が妥当であることが示された。また、乱流の大きさは、底面境界層内でピークを持つことなど、実験的に明らかになった。

図2 対数則との比較