

壁面を通しての流出入に伴う開水路乱流の特性

京都大学工学部 正員 中川博次
 京都大学工学部 正員 杯津家久
 水資源開発公団 正員 為沢長雄
 京都大学大学院 学生員 大仁孝太郎

1. まえがき

自然河川での乱流は、浸透層を有しかつ移動床粗面を境界としてものが普通であるが、最初からこの問題を取り扱うことは非常に理論的実験的に困難である。したがって、筆者らは不透透性滑面粗面から浸透層上の流れへと系統的な研究を行なってきており、今回は壁面を通して一様な水流の出入りがある場合の流れを対象にして研究を行なった。ここでは、平均流について興味ある結果が得られたので、報告することにする。

2. 理論的考察

運動方程式から混合距離理論を用いて得られる滑面浸透層上の対数則は次式で表わされる。¹⁾

$$(2/v_0^+) (\sqrt{1+v_0^+ U^+} - 1) = (1/k_0) \ln y^+ + D \quad (1)$$

ここで、 $U^+ = U/U_*$, $v_0^+ = v_0/U_*$, $y^+ = yU_*/\nu$ であり、 v_0 は壁面での水流の出入りの流速、 U_* は摩擦速度である。 k_0 は Kármán 定数で 0.4、 D は 5.5 である。しかし、この式は複雑で実用上問題があるから、筆者らは不透透層上の対数則の係数や定数に吸込み等の効果を入れた次式を式(1)の近似として提案する。すなわち、

$$U^+ = (1/k) \ln y^+ + B$$

ここで、

$$\left. \begin{aligned} 1/k &= (1/k_0) (1 + C_1 v_0^+) \\ B &= D (1 + C_2 v_0^+) \end{aligned} \right\} (2)$$

である。係数 C_1 及び C_2 は、数値計算より $C_1 = 9.19$, $C_2 = -5.5$ となることがわかり、式(2)を利用して摩擦速度の評価を行なった。

3. 実験的考察

本実験は幅 50 cm、長さ 15 m の長方形断面の河床に長さ 95 cm、幅 41 cm、厚さ 1.5 cm のポーラス板を設置し一様な吸込み及び吹出しの実験を行ない、1 成分 hot-film 流速計によって計測を行なった。式(2)の表示を行なったものが図-1 である。 U^+ は吹出しのとき大きくなって勾配も急になり、逆に吸込みでは小さく勾配も緩やかになり、扇形分布することがわかる。図中の実線は、van Driest の damping 関数を用

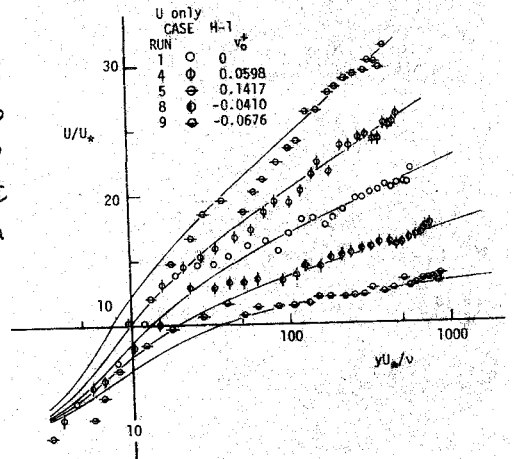


図-1

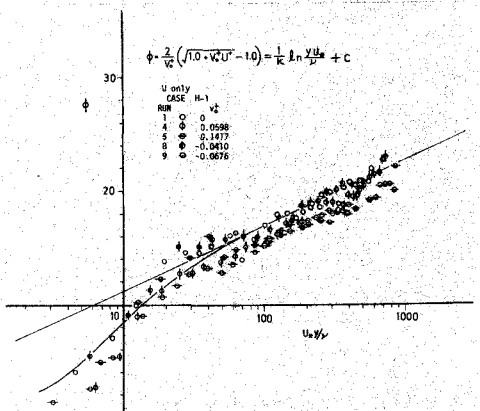


図-2

いた数値計算の結果であり、よく一致している。次に、式(1)の表示を行なったものが図-2であり、水流の出入りの有無にかかわらず普通表示できているものと考えられる。また壁近くではsublayer内の分布曲線によく一致している。実験値は理論曲線より若干小さく、 U^* を大きめに評価しているものと考えられるが、式(2)で流速分布式を与えれば、近似的に妥当であると考えられる。Tennekes²⁾の吸込みの時のsublayer内の流速分布式

$$v_0^+ U^+ = \exp(v_0^+ y^+) - 1 \quad (3)$$

の表示をsublayer外にも拡張して対数則を導き出しているが、これに基づく表示が図-3である。実験値は壁近くでは式(3)の曲線にかなり一致するが、壁から離れるに従ってこの曲線から離れ、勾配のほぼ等しい直線で表わされる。この直線群は y^+ が大きくなる程上方に移り、 U^* が $v_0^+ y^+ = 1$ の切片を通過すると、 v_0^+ に対して $-v_0^+ U^+ = -12 v_0^+$ となりTennekesの結果とも一致した。次に、この表示を吹出しにまで拡張して両対数表示したものが図-4である。この場合でも、ほぼ勾配の等しい直線で表示でき、 $v_0^+ y^+ = 1$ の切片も v_0^+ に対して1次式で表わすことができて、

$$v_0^+ U^+ = 15.7 v_0^+ (v_0^+ y^+)^{1/6} \quad (4)$$

なる指数分布をすることがわかる。すなわち、吹出しの場合には指数表示が妥当であると考えられる。しかし、図-1からも明らかのように、吸込み及び吹出し両方を対象とする時には、対数則表示の方がよいかと考えられる。次に摩擦速度の吸込み等の影響を示したのが図-5である。ここで赤字"0"は不浸透層上での値を示しており、吸込みでは U_m が大きくなり、逆に吹出しでは小さくなる(図-1)がわかる。併示したKinneyの境界層で得られた理論曲線ともよく一致している。

4. あとがき

開水路におけるこの種の研究は、まだ緒についたばかりであり、今後乱れの挙動も対象にした系統的な研究を行ない、さらに詳しく考察してゆきたいと考えている。

<参考文献>

- 1) Dorrance, W. H. et al, Jour. Aero. Sci. 21, 1954, pp.404-410
- 2) Tennekes, H., J. F. I. I. vol. 21, 1965, pp. 689-703
- 3) Kinney, R. B., AIAA Jour. vol. 5, 1967, pp. 624-630

| RUN | v_0^+ | $Re \times 10^4$ | Fr |
|---------|---------|------------------|-------|
| ○ H-1-9 | -0.0676 | 1.06 | 0.153 |
| ○ H-2-9 | -0.0586 | 1.03 | 0.397 |
| ○ H-4-9 | -0.0601 | 3.07 | 0.421 |
| ○ H-1-8 | -0.0410 | 1.10 | 0.156 |
| ○ H-2-8 | -0.0363 | 1.10 | 0.398 |
| ○ H-3-8 | -0.0389 | 1.10 | 0.531 |
| ○ H-4-8 | -0.0370 | 3.14 | 0.425 |
| ○ H-3-7 | -0.0254 | 1.15 | 0.574 |
| ○ H-4-7 | -0.0227 | 3.16 | 0.425 |

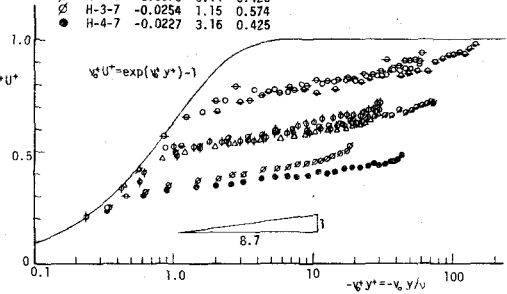


図 - 3

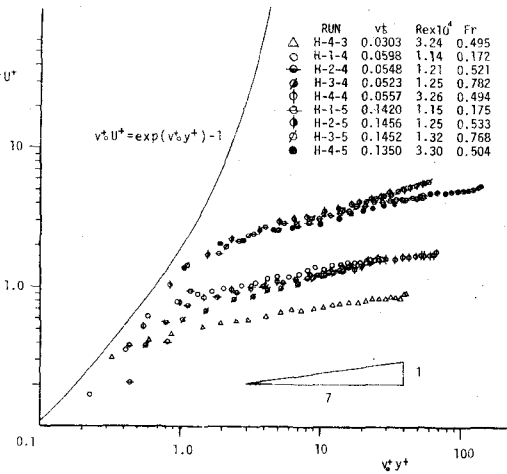


図 - 4

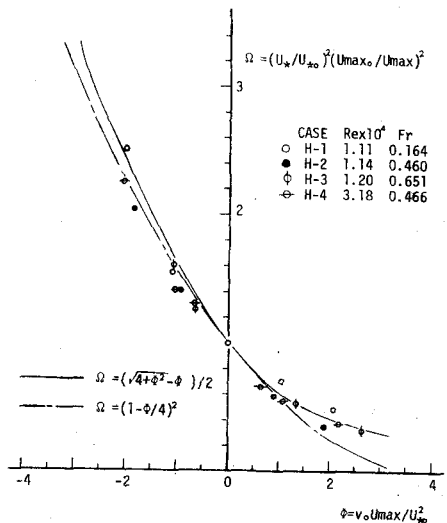


図 - 5