

開水路粗面浸透層上の乱流構造について

京都大学工学部 正員 中川博次
 京都大学工学部 正員 祢津家久
 関西電力 正員 藤原吉美

1. まえがき

壁面を通して流体の流出入が存在する流れの研究は、航空工学、機械工学、化学工学等の分野ではかなり進められ、吹き出し (injection) による高温主流からの壁面保護法や、吸い込み (suction) による剝離防止法などの実際的な応用がはかられている。しかし、水工学の分野では、このような研究はほとんどないのが現状であり、著者らはこれまで開水路乱流における流出入の影響を系統的に研究してきたが、昨年度の滑面浸透層での研究に続いて、今回は粗面浸透層の場合の平均流特性について報告する。

2. 理論的考察

運動方程式から混合距離理論を用いて、流出入の流速 v_0 と相等粗度 k_s を導入して得られる壁法則は、

$$(3/4v_0^+)(\sqrt{1+v_0^+U^+}-1) = (1/k_s) \ln(\eta/k_s) + D \quad (1)$$

で与えられる。ここで、 $v_0^+ = v_0/u_*$ 、 $U^+ = U/u_*$ 、 $k_s = 0.4$ 、 $D = 8.5$ (完全粗面) 8.7 (不完全粗面、 $k_s^+ = 43$)、 u_* は摩擦速度である。式(1)を変形すれば次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} U^+ &= (1/k_s) \ln(\eta/k_s) + B \\ \text{ここで} \\ \eta/k_s &= (1/k_s)(1 + Cv_0^+) \\ B &= D\{1 + (1/4)v_0^+\} \\ C &= D/2 + (1/4k_s) \ln(\eta/k_s) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

著者の行なった実験の粗度範囲 ($0.44 < k_s < 1.98 \text{ cm}$) では、 C の値はほとんど定数で、完全粗面では 4.25、不完全粗面では 4.35 ととるから、不浸透層 ($v_0^+ = 0$) の従来の対数則に見かけ上一致し、係数 k_s 及び B に流出入 v_0^+ の効果を含めればよいことがわかる。

3. 実験的考察

長さ 15 m、幅 50 cm の水路に上流端から約 9 m の位置に、長さ 95 cm、幅 4 cm、厚さ 1.5 cm のポーラス板を水路床にはめ込み、その上に長さ 9 m、幅 49.5 cm の金網を設置して粗面浸透層を形成し、一様な

mesh	I	J	K
diameter (cm)	0.0808	0.203	0.392
size (cm)	0.307x0.307	0.755x0.755	1.562x1.562
k_s (cm)	0.437	1.154	1.975

表-1

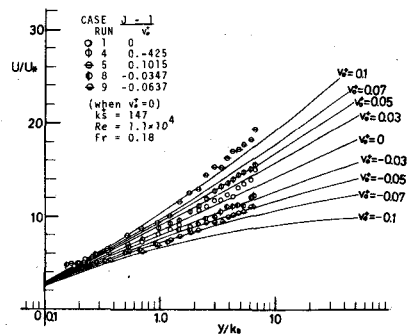


図-1

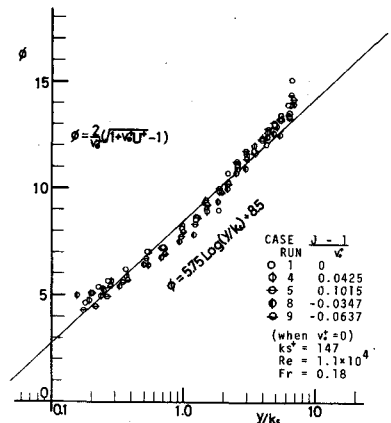


図-2

吹き出し及び吸い込み実験を行なった。金網の種類は表-1に示される。なお、水深の原点位置は $v_0^*=0$ の場合の流速分布が対数則に一致するものとし、その結果金網の頂部から金網高の $1/4$ 下った点に決定された。

図-1は完全粗面上の流速分布であり、式(2)と良好に一致している。流出入の効果によって扇形の分布を示すが、その広がり滑面上での場合より小さく、粗度が大きいほどこの効果は減少した。

図-2は流出入がある場合の壁法則を普遍表示したものである。実験結果はほぼ式(1)と一致し、他のケースでも良好な一致が見られた。すなわち、混合距離理論を用いた壁法則は流出入がある粗面乱流にも適用されることがわかる。

図-3は速度欠損則を普遍表示したものであり、式(1)から

$$(\frac{1}{2}v_0^*)(\sqrt{1+v_0^*U_{max}^*} - \sqrt{1+v_0^*U^*}) = -(\frac{1}{2}k_s) \ln(\frac{y}{h}) \quad (3)$$

で示される。実測の最大流速値 U_{max} は式(1)より大きく、実験値は若干差異を生じている。 U_{max} を修正すれば粗度 k_s や流出入流速 v_0 に無関係に速度欠損則を表示することができた。

図-4は摩擦損失係数 f の流出入による変化を示したものである。式(2)から

$$\sqrt{f/2} = U_m/v_* = B - 1/k_s + (1/k_s) \ln(\frac{y}{k_s}) \quad (4)$$

ここで、 U_m は平均流速である。実験値は式(4)と良好に一致している。吹き出しによって f の値は減少し、逆に吸い込みでは増加することが知られ、流出入による壁面摩擦の制御が可能であると推測される。

図-5は摩擦速度 u_* の変化を示したものである。図中に示した曲線はKinney²⁾が滑面境界層で得た理論式であるが、本実験の結果もこれとよく一致した。

4. あとがき

本実験では、不完全粗面の実験データが少なく、滑面から粗面への流出入の効果の変化を系統的に結論づけることは困難であるが、粗面乱流に及ぼす流出入の効果に関して興味深い結果が得られた。実河川が浸透層上の乱流であることから、流出入を与えることにより、この構造を好ましい姿に制御できるものと考えられ、今後の課題としたい。

〈参考文献〉 1) 中川ら, 土木学会関西支部年講, 1976, II-30 2) Kinney, R.B., AIAA Jour., vol. 5, 1967, pp.624-630

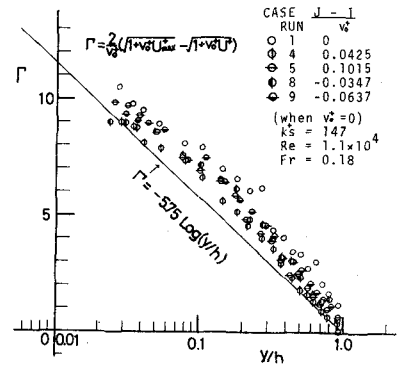


図-3

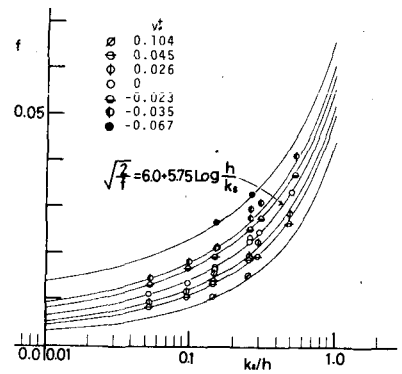


図-4

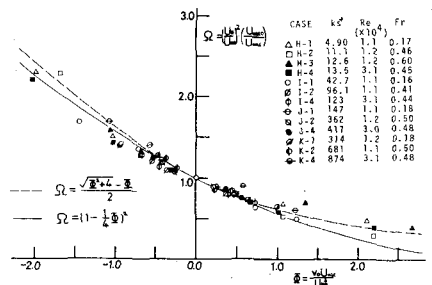


図-5