

透水性粗面上の開水路乱流の特性について

京都大学工学部 正員 中川博次
 京都大学大学院 学生員 村津家久
 京都大学大学院 学生員 為沢長雄

1. まえがき

自然河川に現われる乱流は、一般に移動床でかつ透水性の粗面を河床として有しており、その流れ構造に関しては、理論的及び実験的な困難さのため、不明な点が現在多い。このことを説明する目的で筆者等は、各種境界面上でかつ次元開水路乱流の乱れ特性を系統的に研究してあるが、本論文では限界掃流力以下の透水性粗面上の乱流を対象にし、流れ構造がどのような影響を受けるかについて研究を行なつたものである。ここでは特に Suction 影響について検討を行なつてゐる。

2. 理論的考察

運動方程式を $y=0$ で $U=U_0$, $V=v_0$ の境界条件で解くと次式が得られる。

$$U_* = \sqrt{gh} \left[\lambda - (1-\beta Fr^2) \frac{\partial \lambda}{\partial x} - (2\beta U_m - U_0) v_0 \right] \quad (1)$$

ここで $Fr = U_m / \sqrt{gh}$, U_m 及び v_0 は平均流速, 及び水深, β は運動量補正係数である。次に混合距離理論を適用すれば

$$U/U_* = B + (1/\chi) \ln y^+ \quad (2)$$

$$1/\chi = 2.5 (1 + C \cdot v_0/U_*) \quad (3)$$

図-1 Suction による U_* 及び χ の変化

であり、 B 及び C は定数である。また式 (1), (2) 及び (3) より

$$U_*/U_{*0} = 1 - 1/4 \cdot (U_{max}/U_{*0}) (v_0/U_{*0}) \quad (4)$$

となる。ここで U_{max} は最大流速, U_{*0} は $v_0=0$ での U_* である。

3. 実験的考察 (i) 平均流特性について

流れ構造を考える上で重要なパラメーターは摩擦速度 U_* である。 U_* の評価方法は $v_0=0$, すなわち不透水層上の乱流では、Reynolds 応力分布から求めるのが最も正確であるが、 $v_0 \neq 0$ のときは簡単に算定できない。水面勾配の計測には若干の誤差を伴うが、ここでは式 (1) を使って

$\beta = 1.03$ とおき評価した。図-1 は U_* を U_{*0} で無次元表示したものである。明らかに $v_0 < 0$ である Suction の時には、 $v_0=0$ の値に比べて増大し、式 (1) あるいは式 (4) によって説明される。すなわち実測値 $U_{max}/U_{*0} = 16.6$ を使った理論式 (4) を図に併示してあるが、実験値と一一致は良好である。また図には滑面境界層上の U_* の変化特性も示してあるが、式 (4) より曲線の傾きが急なうけ、滑面ほど U_{max}/U_{*0} が大きいとためと考えられる。次に上で求めた U_* による χ

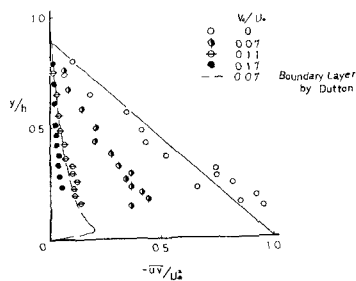
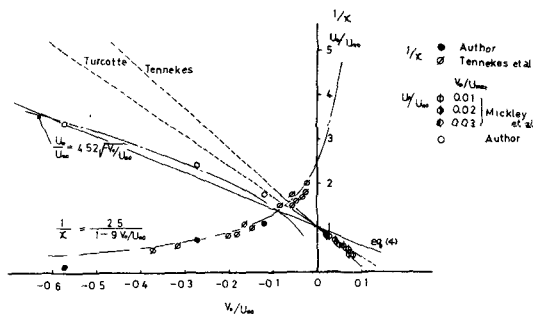


図-2 Suction による Reynolds 応力分布の変化

を決定したのも図-1に併示してある。Suctionが大きい程 χ が増加することが認められ、これは式(3)から予想される結果と一致する。図には $C=9.0$ としたTennekesの実験曲線を示したが、筆者らの値もほぼこの曲線にのるようであり、開水路流でも境界層流とほぼ類似な性質があると推測される。

(ii) 乱れ特性について

Reynolds応力 $-\overline{uv}$ を u_τ で無次元表示したものが図-2である。Suctionのない場合には、自由水面の影響によって水面より下でReynolds応力が零となっており、ほぼ理論直線に一致すると考えられる。一方Suction率 w/u_τ が大きくなるにつれて、 $-\overline{uv}/u_\tau$ は次第に小さくなる値となるが、壁面近くまで直線分布するようである。この特性は併示した境界層流のものと同様な傾向であり、非常に興味ある点、と思われる。壁面近くで生成されたかく乱が浸透層内に吸込まれて、見かけ上乱れの発生が

小さくなったのではないかと推測されるが、今後詳しく研究しなければならぬ。次に乱れ強度について示したのが、図-3,4,5である。いずれも $u' > w' > v'$ であり、Suctionには影響されずに壁面乱れでの大小関係を示すが、Suction率が大きくなるほど乱れ強度が減少する傾向が顕著に現れている。さらに水深方向の変化も小さくなり、壁面近くと水面近くの乱れ強度の差がなくなっている。このこと

は W が大きいために式(1)で求めた u_τ が大きくなり、相対的に差が小さくなったと考えられる。Suctionによって壁面近くで生成された乱れが吸込まれ、さらに高流速の流体が壁面に引き寄せられて速度勾配が小さくなり、乱れの生成が制限を受けるために乱れが小さくなると思える。

滑面ではSuction率が大きい時、乱れの生成に寄与する粘性底層やbuffer zoneが吸込まれ、再層流化するとされているが、粗面の場合には乱れの原因となる粗度があるために、乱れエネルギーの発生機構がSuctionによっていかなる影響を受けるか、今後の研究にしたい。最後に本報告においては、 w の評価に若干の問題が残るために正確な定量的評価は今後の研究に待たなければならないが、定性的には以上述べたような傾向を示すものと考えられる。

(参考文献) 1) Turcotte, D.J.; Jour. Aerospace Sci., 1960, pp 675-678

2) Tennekes, H.; Jour. Fluid Mech., 1965, vol. 21, pp 689-703

3) Dutton, R.A.; R. & M., No. 3155, 1958

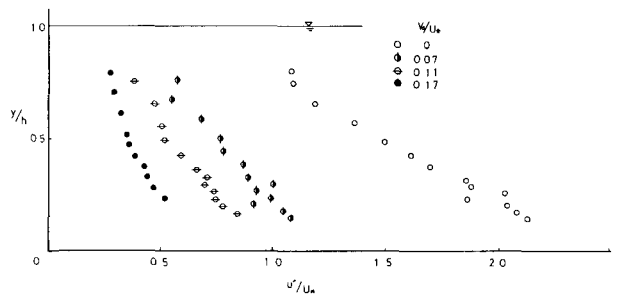


図-3 Suctionによる乱れ強度の変化 (u'/u_τ)

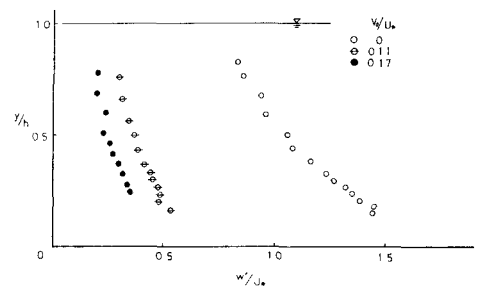


図-4 Suctionによる乱れ強度の変化 (w'/u_τ)

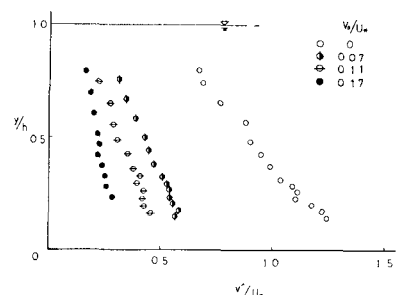


図-5 Suctionによる乱れ強度の変化 (v'/u_τ)