

流砂量に及ぼす壁面浸透流の影響について

京都大学工学部
京都大学工学部
大阪府
ハナ代 エンジニアリング

正員
正員
正員
正員

中川博次
祿津敦久
○大仁孝太郎
井戸清雄

1. まえがき 開水路乱流に及ぼす壁面浸透流の影響を系統的に研究した結果、これによって壁面せん断応力が顕著に変化することが明らかになった。本報はその1つの応用例として開水路の流砂量に及ぼす壁面浸透流(吹出しや吸込み流)の影響を系統的に調べ、その結果について若干の考察を加えたものである。

	d (cm)	σ/ρ
CASE-A	0.200	2.58
CASE-B	0.150	2.61
CASE-C	0.0519	2.62
CASE-D	0.0282	2.71

表 1

2. 実験内容 長さ15m, 幅50cmの水路に上流端より約9mの位置に、一様に床面流入と与えることが可能なタンクを設け、タンク直上に長さ1m, 深さ約3cmに砂を敷きつめ移動床とし、その前後3mにわたり同粒径の砂の固定床を設置した。流砂量 q_b の測定は移動床後方に設けた幅20cm×5cmの堆砂箱で行ない、流出入強度を変化させた各実験ケースごとに5~8回再測定した。使用した均一砂は表1に示す通りである。

3. 実験結果及び考察 壁面流入速度 v_0 を有する滑面乱流の平均流速分布は次式で与えられる。

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

ここで、 $v_0^+ = v_0/U_*$, $U^+ = U/U_*$, $y^+ = Uy_*/\nu$ である。式(1)を水深断面で平均化した後、 $v_0 = 0$ の摩擦速度 U_{*0} で無次元表示すると、

$$\left(\frac{1-\sqrt{2}-1.25\beta \ln \sqrt{2}}{\sqrt{2}} \right) \left(\frac{f_0}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} - \frac{\beta}{\sqrt{2}} \left(\frac{f_0}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} = 2.5 \ln \sqrt{2} + \frac{\beta}{4\sqrt{2}} \{ (2.5 \ln \sqrt{2})^2 + 6.25 \} \quad (2)$$

が得られ、同様に粗面においても、

$$\left(\frac{f_0}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} (1-\sqrt{2}) - \frac{\beta}{4} \left(\frac{f_0}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} = 1.56\beta \quad (3)$$

を得る。ここで、 $\Omega = (U_*/U_{*0})^2$, $\beta = v_0/U_{*0}$, $f_0 = 2(U_{*0}/U_*)^2$ である。式(2)や(3)の妥当性は実験的に確かめられており、流出入のある場合の U_{*0} の値は、 β , $U_{*0} = \sqrt{g h i_c}$, Re を与えて式(2), (3)よりそれぞれ評価した。この U_{*0} から Shields 数 $\tau_* = U_*^2 / Sg d^3$ ($S = \rho/\rho_s - 1$) を求め、実測の流砂量 $q_b / \sqrt{Sg d^3}$ をプロットしたものが、図-1(a)(b)である。粒径の大きなケースAの場合は併示した Einstein の流砂量曲線とほぼ一致するが、粒径の小さなケースDの場合は差異がみられる。次に流砂量 q_b を $v_0 = 0$ での流砂量 q_{b0} で無次元化し、流出

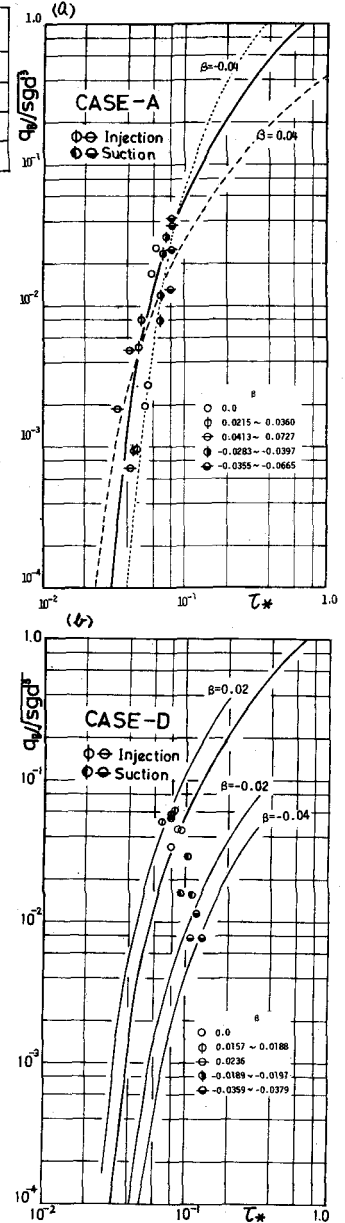


図-1 $\beta \neq 0$ での流砂量(併示線は q_{b0} に Einstein 曲線と併し、各 β に対応する Ω , q_b/q_{b0} を計算した値)

入率 $\beta (=v_0/U_{*0})$ に対して片対数表示したものが、図-2 であり、ケース A の場合、流砂量は吸い込みで増大し、吹き出しで減少するが、粒径がケース B, C とだんだん小さくなっていくと、流出入率 β に対して流砂量の変化が小さくなり、ケース D に至って β に対して流砂量比が逆の関係が得られた。

前述のようにこれまでの理論的実験的研究から、壁面せん断応力は吹き込みで増加するが、一方、 $v_0 < 0$ により、砂粒に鉛直下向きの付加応力が新たに生じ、(吹き出しではその反対となる)砂粒きの掃流に関して相反した影響を与えるから、そのどちらの効果がより強く働くかということによって流砂量の増減が変わるものと考えられる。すなわち粒径の大きなケース A の場合は間げき率も大きく、鉛直方向の付加応力は小さく、流出入速度 v_0 によるせん断応力の増減がそのまま流砂量の増減となるが、ケース D の微細粒子の場合では、わずかな吹き出しや吸い込みによって砂粒状態が過渡的な不安定となったり、河床壁面に吸い寄せられるりするから、せん断応力の増減より、水の流出入による鉛直方向の付加応力の方が強く効いてくると考えられる。

Oldenzien³⁾によれば、この付加応力は次式で近似される。

$$F_s = -C(1+e) \frac{v_0}{K} g d$$

ここで、 K は透水係数、 e は間げき率、 C は実験定数である。この F_s が Shields 数と付加的に変化させると考えると、

$$\tau_{*s} = \frac{\Omega U_{*0}^2}{sgd + F_s} \quad (s \cdot \% - 1) \quad (4)$$

となり、壁面浸透流を含めた、一般的な表現を得る。この実験定数 C は砂の粒径、密度、粒子形状などの影響を受けると考えられ、本実験結果の範囲内では、ケース D で $C=0.45$ であり、粒径が大きくなると減少する傾向が得られた。修正された Shields 数 τ_{*s} を用いて図示した一例が図-3 であり、Einstein の曲線と良好に一致し、この曲線から流砂量を近似的に評価できる。

4. あとがき 本実験では4種類の粒径だけに限られ、普遍的な結論を得るには至らなかったが、壁面浸透流が流砂機構に及ぼす影響に関して興味深い結果が得られた。今後詳細な定量的把握や流砂の制御問題という実際の応用に関して研究してゆきたい。

<参考文献> 1) 祢津, 京都大学学位論文 2) 中川, 関西支部年報, 1977 II-36, II-37

3) Oldenzien, D. M., Influence of suction and blowing on entrainment of sand particle, ASCE, 1972

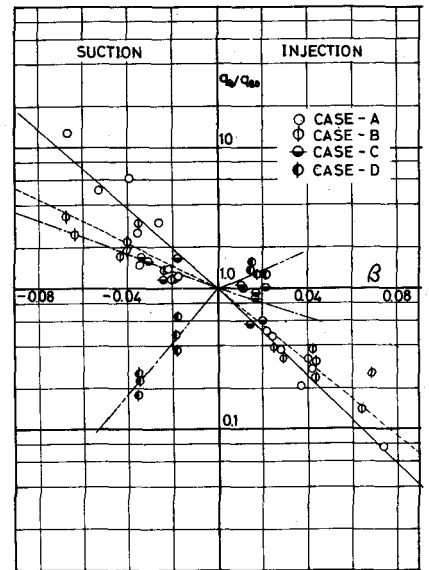


図-2 壁面浸透流が及ぼす流砂特性

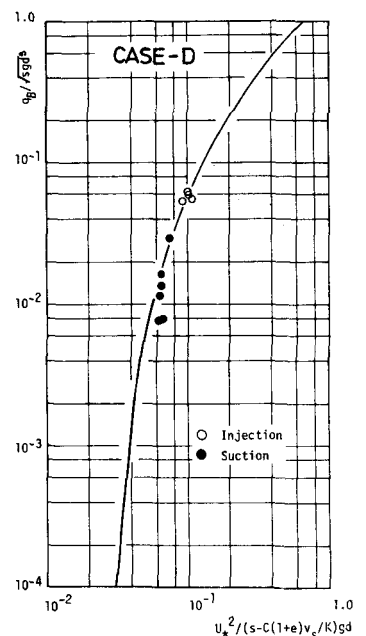


図-3 修正Shields数に対する表示