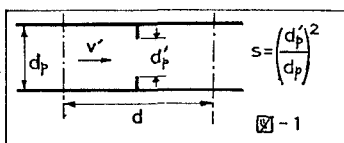
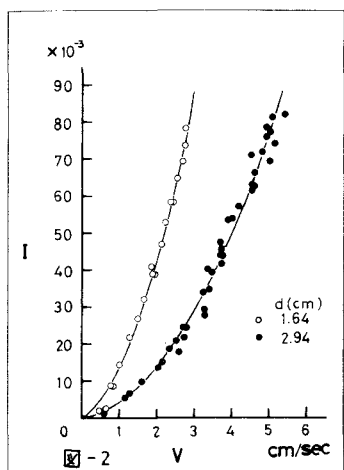


東京工業大学 学生員 〇中沢 均
同 上 正 員 山田 正
同 上 正 員 吉川 秀夫

1. はじめに: 実際河川の抵抗係数は数多くの要因に支配されており, 底面の粗滑, あるいは水路床形態によるもの, 粒子を浮遊することによる乱流構造の変化によるものなどが考えられている。しかしながら Lovera らによると平坦な実際河川の抵抗係数は Nikuradse による粗面乱流値の値よりかなり大きいことを報告しているところから, 中川・津津らは水路床の浸透性による浸透流と主流との動的相互作用を考慮して新たな理論を導き, 誘導応力を評価している。本研究は浸透性開水路流れの抵抗則に焦点を絞り, 浸透性水路床を有する開水路流れの基礎的な実験および若干の理論的考察を行ったものである。

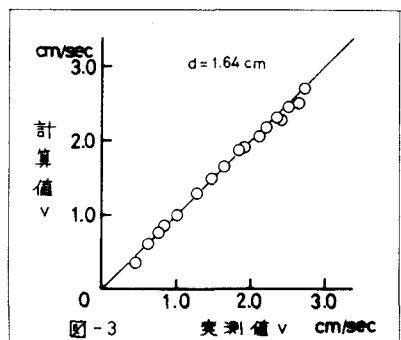


2. 浸透性開水路流れの実験と解析: 長さ 5 m, 幅 20 cm の水路床に直径 2.94 cm と 1.64 cm のガラスビーズ球をそれぞれ 5 層と 9 層に積み上げ, これを case I, II とした。これらの配列は case I, II とともに同じであり底面, 側面の効果を考えると空隙率は case I で 0.338, case II で 0.321 である。



(i) 水面が浸透層中にある場合の実験

このときのレイノルズ数 $Re(vd)$, v はみかけの速度, d は粒径) は, case I では 390 ~ 1700, case II では 90 ~ 530 である。従来までの実験と同様に Re が十分大きくなると $I = av + bv^2$ の関係が成立している。



(ii) 浸透流のモデル化

上述の抵抗則を導くために次の 2 つのモデルを構成した。

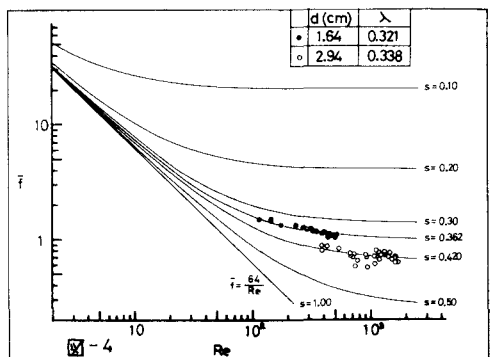
(a) 球に働く抵抗モデル (b) 狭窄のある管路モデル

(a) のモデル化では, 浸透流全体に働く抵抗は一樣流中に存在する 1 個の球の受ける抵抗に球の個数をかけたものと考えており式を得る。

$$I = \frac{3C_F(1-\lambda)}{4d\lambda^3g} v^2 \quad \text{--- (1)}$$

ここに, $v = Q/Bh$, Q : 流量, B : 水路幅, h : 等流水深, C_F : 球の抗力係数, λ : 空隙率, d : 球の直径, g : 重力加速度である。

(1) 式と実験データと比較すると C_F が case I では 0.708, case II では 1.120 となり, この場合の流れのレイノルズ数からすると一樣流中の球の抗力係数と比較して C_F は大きめになっている。この理由としては, 接近した球による水流の干渉, それにともなう水流の曲り, さらに球の後ろの流れの剥離による有効空隙率の減少等が考えられる。(b) のモデル化は浸透層を空隙体積と総表面積が等しくなるような n_p 本の直径 d_p の滑面の管路に置き換え, さらに球の直径に等しい距離に 1 個の



合で図-1に示すような狭窄を設けたものである。狭窄による圧力低下は急峻のある管路と同様に考え、全体の抵抗を表わした場合、抵抗係数 $\bar{f}$ と U の関係は次の(2),(3)式となる。

$$\bar{f} = \frac{3\bar{f}(1-\lambda)}{4d\lambda^3g} U^2 \text{ --- (2)} \quad \bar{f} = f + \frac{d_p}{d} \left(\frac{1}{S} - 1 \right)^2 \text{ --- (3)}$$

ここに、 f :直径 d_p のモデルの背面管路の抵抗係数、 S :狭窄部の断面積の比、図-3は(3)式で適当な S を評価することにより得られた $\bar{f}$ とcase IIの実験とを比較したものであり、図-4は S をパラメータとしたときの $\bar{f}$ の図である。今後はこの S の評価方法について研究すべきものと考えている。

(iii) 水面が浸透層上にある場合の実験

浸透性水路床を持つ開水路流れの抵抗則を考える前に、水路の鉛直方向の流速分布を測定したのが図-5である。流速は浸透層より上部はピトー管で測り、浸透層内は2本の電導度計を上流と下流に20cm離して設置し、その上流側より塩水を流し濃度のピーク出現時間の遅れを読み取るにより流速を測った。図よりガラスビーズ球の一層目付近に局所的にかなり流速の大きい部分が存在することがわかるが、このことは移動床における砂の掃流を効果的にしているものと考えられる。次にプラントルの混合距離理論では $l = U_\tau / (du/dz)$ であるが、この式を用いて実験のデータから l を計算したものが図-6である。カルマン定数 K は混合距離 l の傾きであるが図より従来から言われている $K=0.4$ の定数ではなく、流れによって変化するようであり、 $U_\tau d/\nu$ のレイノルズ数によって得られた K を図示したものが図-8である。さらに l の乙切片(鉛直方向座標 z はガラス球の最上端より上向きに取っている)を Δh とし同様のレイノルズ数によって図示したものが図-9である。これも同様に流れによって決ってくるものようである。このことにより得られた流速分布をlog法則に乗るように図示したものが図-7である。このように浸透性水路床の場合にも底面付近の代表流速として摩擦速度 U_τ を用いることの当否は考えねばならないが、底面の特性による流速分布の変化を全て K と Δh の変化に押し込めて議論することも可能となろう。

3. おわりに: 浸透性水路床を有する流れの抵抗則を研究する第一歩として基礎的な実験を行った。今後は、この様な浸透性水路床上での乱流構造についても研究する予定である。

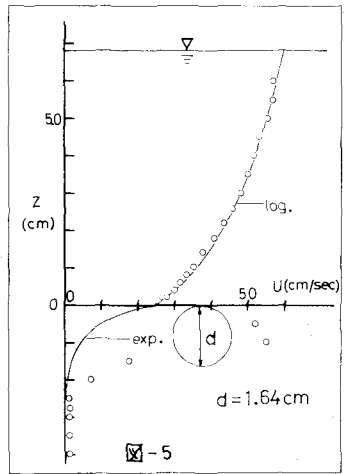


図-5

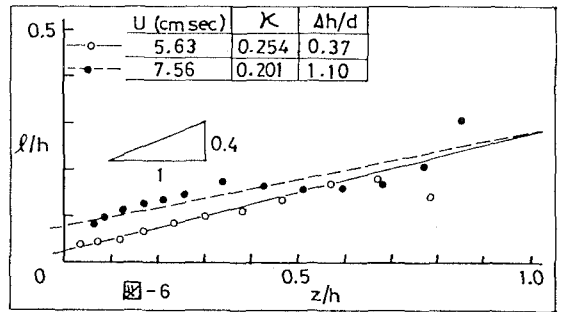


図-6

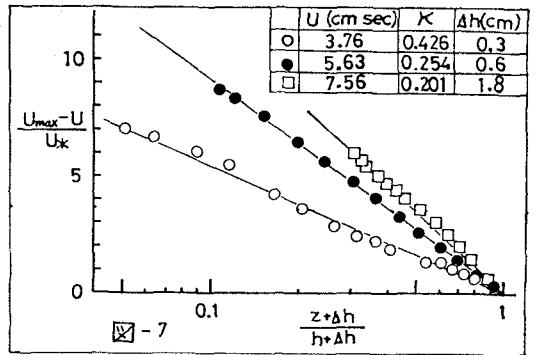


図-7

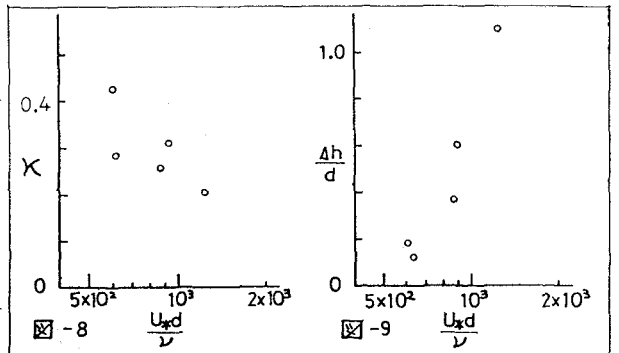


図-8

図-9

参考文献 (1) 中川・祿津: 土木学会論文報告集 第244号, 1975 (2) 佐藤・室田: 第10回水理講演会論文集, 1966
3) 首藤: 第16回海岸工学講演会講演集, 1969 4) Bear, J.: Dynamics of Fluids in Porous Media, Amer.elsevier pub. comp.