

表面流れを伴う浸透流の抵抗則について

河床が礫で構成されているような水路や、透水性斜面上の薄層流れでは層内の浸透流と表面流の著しい速度差のために運動量交換などの相互作用が存在する。特にその境界近傍に置かれた礫や砂は大きな速度勾配を持った流れの中にさらされていることになり、浸透流の存在と流砂現象との係わりは大きいと推測される。

本報告は表面流れを伴う浸透流に視点をおき、表面流の水深及び、水路の勾配が浸透流にどのように影響を及ぼしているかを実験的に調べたものである。

実験は長さ5.5 m 幅15cmの可変勾配水路に50%粒径0.62cmの軽量骨材をlooseな状態に深さ7.2cm、長さ5mにつめた状態で水を流した。流れは路床方向(x方向)に二次元流と仮定し、末端部における水路断面(y方向)で圧力水頭が一定になる状態で浸透流と表面流とを薄いアルミ板で分離し、別々に流量を測定した。勾配はレベル測定で設定し、表面流の水深は50cmおきに路床に埋め込んだ静圧管よりマンノメータに導き、読みとって流れ方向に平均化を行なった。図-1に記号図を示す。

図-2は浸透層内断面平均流速の表面流速の存在による変化を示したものである。ここで無次元化で用いている v_0 は別の円筒容器に上と同じ骨材をつめ、通常の透水実験を行なった時、圧力水頭勾配Iで示す円筒内断面平均流速値、いかにえればDarcyの式の示す値である。表面流を伴う場合でも流れ方向にDarcyの式が成立するならば、水深比 h/d の変化にかかわらず $v/v_0 = 1$ となる。図のパターンは勾配Iによる違いはあるが似た傾向を示すことがわかる。つまり表面流がない場合($h/d < 0$)、 $v/v_0 = 0.6 \sim 0.8$ となっているがこれは浸透層内に自由表面が存在する場合で毛管張力による影響が流速を遅くさせていると考えられる。 $h/d > 0$ となり表面流が存在するようになると浸透流速は激増し、 $h/d = 1 \sim 1.8$ においてピークに達し、流速比は2倍にも達する。以後水深比が増えると流速比は激減し、 $h/d = 2.5 \sim 3.0$ 以上で層内のX方向には流れないという状態に達する。 $0 < h/d < 1.0 \sim 1.8$ において浸透流量が増えるというのは次のように説明される。お互いの速度差のために境界面を通して運動量交換が行われ層内に速度分布が生ずる。理論的研究結果によると、

山口大学 正員 〇 深田 三夫
日建工学 山本 陽児
山口大学 正員 斎藤 隆

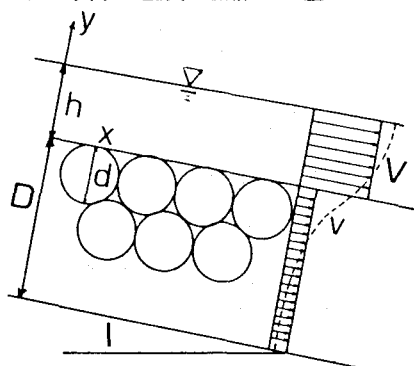


図-1 記号図

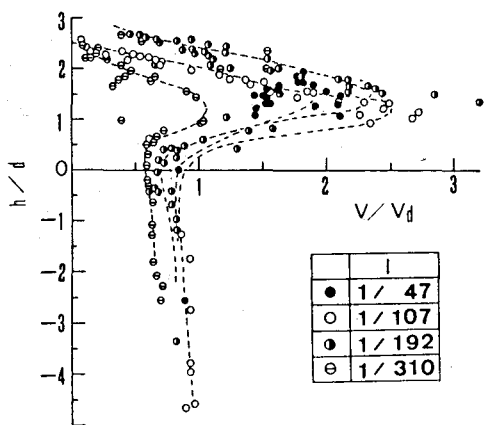


図-2 層内断面平均流速比と水深比の関係

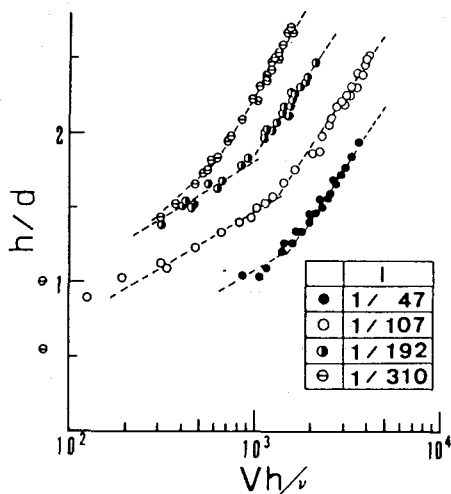


図-3 表面流平均Re数と水深比の関係

この速度分布は砂を密につめ込んだ状態 (Pack) な状態においては境界近傍のただか粒径の程度にしか及ばないとされている。そうすると境界近傍の砂は非常に強いせん断流にさらされていることになる。一方水深比の増大に伴う、X方向の浸透流量の激減の傾向は今まで報告されていない。それは流れの二次元性がくずれるという意味をもつものであり、層内のY方向に流速成分が励起されるということで説明できる。このメカニズムについてはここで議論しないが、次に主流の係わりについてみる。

図-3は表面流のレイノルズ数 ($Re = Q/\nu$, Q : 表面流単位幅流量) と水深比の関係を勾配別に表わしたものである。各勾配において、水深比が1と2の間で表面流の乱流への遷移が行なわれていることが推測される。つまり勾配が急になるにつれ、小さい水深で、また大きなレイノルズ数で遷移が行なわれている。このことから表面流れの状態と図-2に示す傾向とは密接な係わりがあることがわかる。

一方浸透層内の乱流については通常の透水実験で、粒径レイノルズ数 ($Re_0 = v d/\nu$, v : 層内断面平均流, d : 粒径) が1~10で乱流へ遷移が起るとされている。

図-4は粒径レイノルズ数と表面流レイノルズ数との関係を示したものである。図-3の結果と併せて考えれば表面流を伴う流れは、乱流と粘性流の混在した複雑な系と考えることができる。水深比1~1.5で浸透流速が増加しているのは、表面流がまだ粘性の卓越した流れの場合であり、乱流に遷移した状態では何らかの原因で層内にY方向の流速成分が生じ、X方向の流量を激減させている。

図-5は以上の実測値をもとに抵抗係数~粒径レイノルズ数の関係を推測し、水深比でまとめたものである。抵抗係数は次式で算出した。

$$f = \frac{1}{2} \left(\frac{V_{d*}}{V_d} \right)^2 \quad V_{d*} = (g d l)^{\frac{1}{2}}$$

図の□印は、円筒容器による飽和透水実験のデータである。粒径レイノルズ数が大体10を境にして、それ以下では抵抗係数は表面流の影響を受け大きく、10以上では、水深比 $0 < h/d < 2$ において減少し、 $h/d > 2$ になると再び大きな値をとる傾向を示すことがわかる。

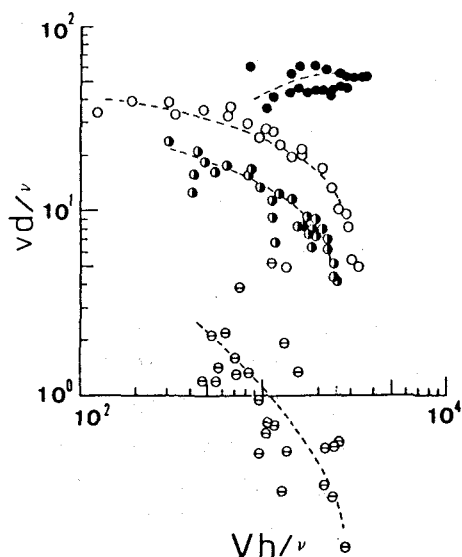


図-4 表面流平均レイノルズ数と粒径レイノルズ数との関係

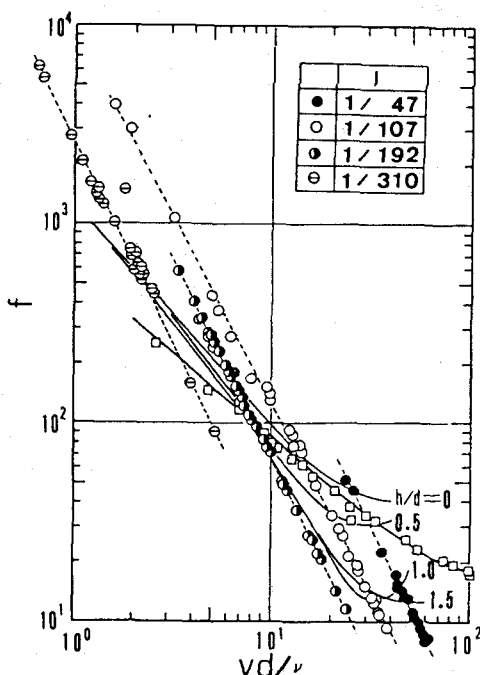


図-5 浸透層内の抵抗係数と粒径レイノルズ数の関係