

山口大学工学部 正 〇 深田三夫
 安倍工業所 正 吉田幹雄
 森本組 正 青木宏文

1. まえがき 多孔性媒質中の流体の挙動については流れの断面平均流速と流れ方向の圧力勾配との間には実験的、あるいは半実験的な線形関係がありそれはDarcy則として知られている。一方これに従わない流れもあり多孔性媒質中の乱流場、高粘性流体流れ、不飽和浸透流などがその例であるが、ここに報告するような自由流れ場と浸透流が共存するような流れ場もその境界での条件をどのように与えるのか定かではなく単純に一次元のDarcy則を用いて浸透層内の流れの挙動をはっきりと予測できるとはいえない。浸透層上の流れについてはその実用的な重要性からすでに幾多の理論、実験的研究があるが浸透層内の流れについては層上層内の流れが完全な乱流場である場合もしくは植物根管内の流れのような粗度スケールの大きい場合について混合距離理論を用いて層内の平均流速分布が指数関数形として求められているにすぎない。本実験は現実の土壌や河床を頭において層内の流れが層上の流れによってどのように影響を受けるのかという観点より特に浸透層内の圧力～流量特性を中心に実験を行なったのでその結果をここに報告する。

2. 実験方法について 装置の概略を図1に示す。浸透層として自然砂($d_{50}=0.186\text{mm}$) 骨材($d_{50}=0.620\text{mm}$)を用いた。またひとつのモデルとして5mm角の棧を流れに直角に等間隔に三層においたものを浸透層として実験も行なった。自由流れ(以下主流と呼ぶ)のすき幅は0.4cm、1.0cm、2.0cmの三種類に変えてすき幅との関係も調べた。流れ方向の圧力分布は主流部浸透層内とも約30cmおきにつけられた圧力端子より管径40mmのマノメーターに導き読み取り顕微鏡にて求めた。そして主流部浸透層内の流れは下流端の断面圧力を一定に保った後、分離された状態でそれぞれの流量を測定した。層内の流量は主流のそれと比べ微弱なので直接重量を測定した。

3. 実験結果について

3-1. 主流部および層内の流れ方向の圧力分布について 図2に圧力分布の一例を示してある。上下流端の圧力水頭を用いて規格化されている。主流部の流れが完全

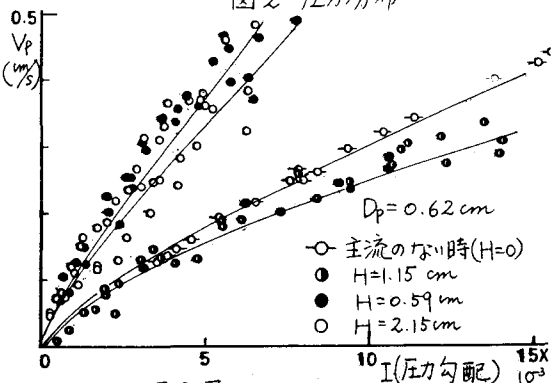
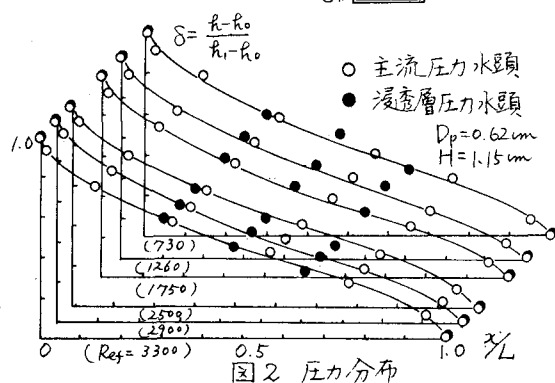
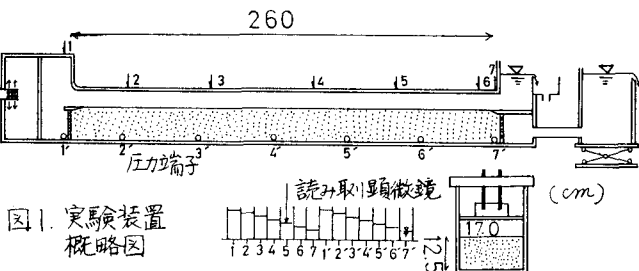
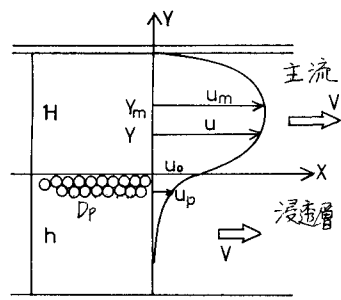


図3 浸透層内圧力勾配～流量関係

に発達するまでは直線分布をしていない。この圧力勾配の変化の大きさは主流のすきま幅が大きいくほど大きく、また同じすきま幅でも粒径の小さい($d_p=0.186\mu m$)の方が $d_p=0.620\mu m$ より大きいことが実験結果より得られた。上下流端付近をのぞいた測定値を用いて平均の圧力勾配とした。

3-2 浸透層内の圧力～流量関係について 図3.図4に粒径 $0.186\mu m, 0.620\mu m$ の場合の断面平均流速と平均圧力勾配との関係を示した。Joseph, Beaversは浸透層との境界面において slip 速度の考えを導入し、境界条件 $\frac{dy}{dx} = \frac{\alpha}{\mu}(u_0 - u_s)$, (α : 浸透層の形状に関する量、 permeability 係数と与え層流流れについて主流の流速分布を求めた。slip 速度の存在により主流の流量は同じ圧力勾配での Poiseuille 流よりも増加することが結論づけられるが浸透層内の流量も slip 速度の存在によって増加する。この場合は主流・浸透流とも層流の場合であるが本実験では図4に示す $d_p=0.186\mu m$ の場合を考えてみると、浸透層内の流量は主流が存在しない時のいわゆる通常の透水実験の結果よりほとんどの範囲で減っていることが示されている。このことを V_p/I と主流レイノルズ数 $Re_p = \frac{V_p H}{\nu} = \frac{Q}{\nu}$ との関係でみると Re_p が 2000 以上では通常の透水率よりも減っている。この時の浸透流の粒径レイノルズ数は $Re_p = \frac{V_p d_p}{\nu}$ は 1 以下であるからほとんどの領域において層流と考えられる。主流・浸透流とも粘性が卓越する範囲においては Beavers の結果から予測できるように粘性によるせん断力によって浸透層内への運動量の伝播が許なわれ層内の流速分布を生じ流量の増加となってあらわれてくる。ところが主流レイノルズ数が増え、主流が乱れてくると層内の流れも変わってくる。一方 $d_p=0.620\mu m$ の場合を考えると、圧力～流量関係は $0.186\mu m$ 場合とはほぼ逆の関係が得られている。すなわち主流の存在しない時と比較して、流量が増加している。この時の浸透流の粒径レイノルズ数は 5~30 で層流ではないと考えられるし、図3の圧力～流量曲線の線形でないことからもうかがえる。主流・浸透流とも乱流の場合に境界面に slip 速度が存在した時と同じ値同とまっていることがうかがえる。

(1) Beavers, G. S & Joseph, D. D., 1967, J. FM 39

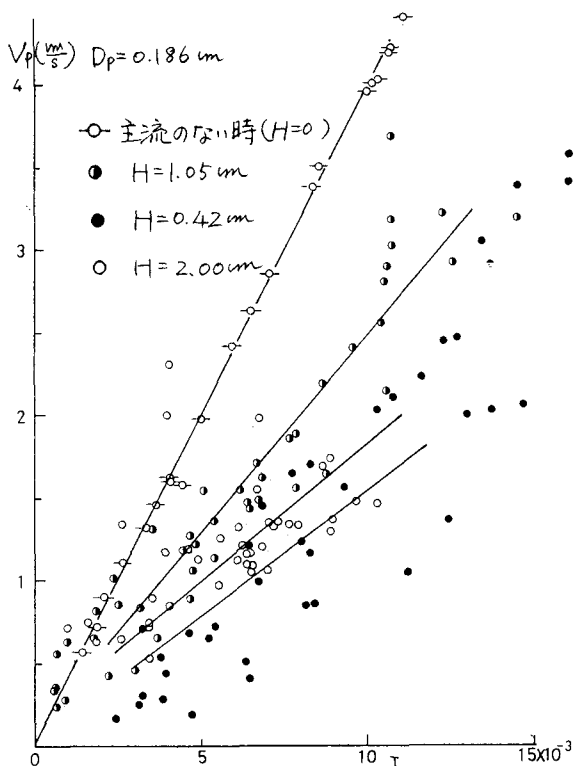


図4 浸透層内 圧力～流量関係

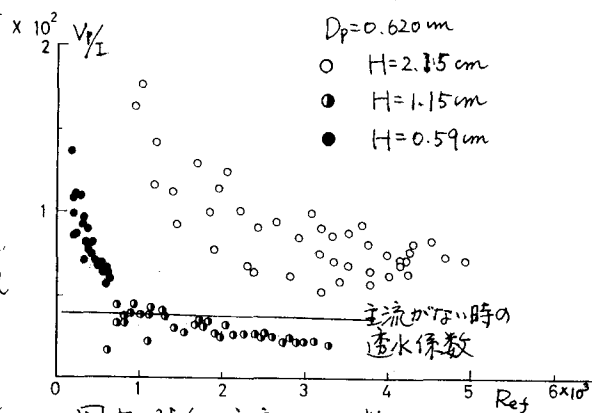


図5 V_p/I と主流レイノルズ数との関係

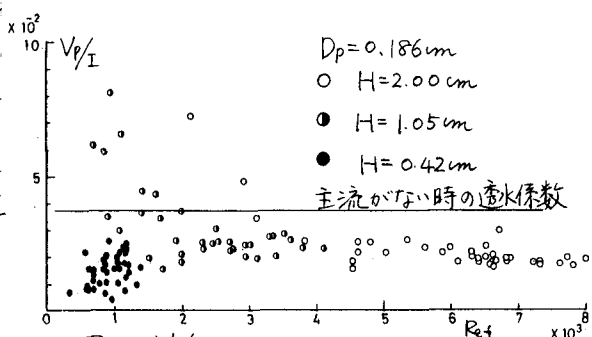


図6 V_p/I と主流レイノルズ数との関係