

三井建設 正員 武富幸郎  
 山梨大学工学部 正員 坂本 康  
 山梨大学工学部 正員 竹内邦良

1. 目的

実流域は、性質の異なる複数の層が重なって構成されている。このような場での流れの解析には、層の境界付近の水頭によって境界を横切る流量を推定する必要がある。本研究では、鉛直一次元浸透実験およびシミュレーションで得られた全水頭の鉛直分布を用いて、二層の境界を横切る流量について検討する。

2. 実験方法

装置は、高さ20cm、幅10cm、奥行き0.5cmとした。装置内に各層厚9cmになるように粒径0.5-0.6mm（細）と粒径1.0-1.41mm（粗）のガラス・ビーズを詰め、流出量が定常となった時の装置内の水頭をテンシオメータで観測した。上下層の組合せについては、上層：細、下層：粗と上層：粗、下層：細の二種類とした。降雨強度については300mm/hから900 mm/hの範囲とした。

3. 全水頭の鉛直分布を求めるシミュレーション

実験で得られたテンシオメータの値（全水頭） $\phi$ (cm)と位置水頭Z(cm)より、サクシオン $\Psi$ (cm)を求めこの値を用いて全水頭の鉛直分布を求めるシミュレーションを行った。

基本式は、Richardsの式であり、この方程式中の透水係数とサクシオンの関係をCampbellの式により与えた。基礎方程式を式(1)に示す。

$$q = Ks(\Psi e / \Psi)^{2+2/\lambda} \frac{d\phi}{dZ} \quad (1)$$

ここで、 $q$ ：流量フラックス(cm/sec)、 $Ks$ ：飽和透水係数(cm/sec)、 $\Psi e$ ：bubbling pressure(cm)、 $\lambda$ ：空隙径分布指数(-)である。

境界条件として、実験での最下端のサクシオンの値を与え、 $q$ を降雨強度Rとして、ルンゲ・クッタ法により数値計算して1mm間隔で全水頭を求めた。この時パラメータ $Ks$ 、 $\lambda$ は一定とし、 $\Psi e$ のみ降雨強度ごとに変化させた。

Fig.1 にシミュレーション結果と実験結果の比較の例を示す。

これをみると、どちらのタイプにもよく一致していることがわかる。

4. 境界付近での平均的透水係数・推定流量について

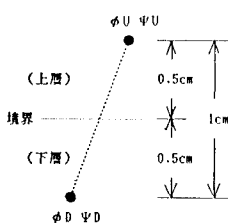


Fig.2 境界付近での水頭

境界部分を鉛直方向に流れる流量フラックスを境界付近の水頭より推定する場合に平均的透水係数（以下、KMと略す）をどのように設定するかが問題となる。ここでは、Fig.2 に示すように二層の境界より上下に0.5cm 離れた位置にある水頭が既知の時、その水頭を用いてCampbellの式より求めた透水係数を使って平均的透水係数を以下のように設定した。

①、②は二つの透水係数の平均のとり方が異なる二種類の平均的透水係数である。

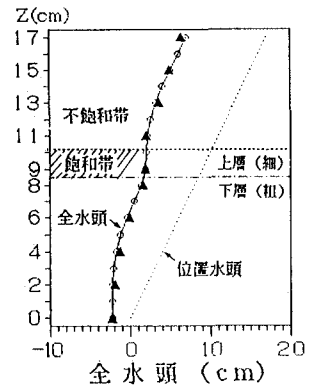
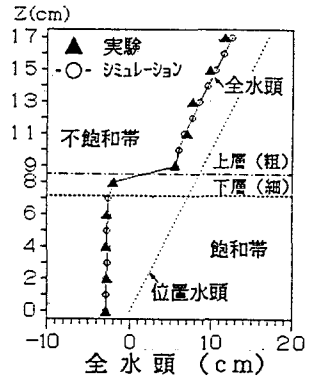


Fig.1 シミュレーション結果

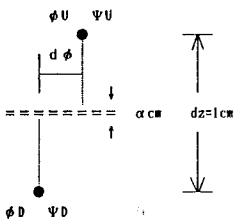


Fig.3 境界での水頭の仮定

$$\textcircled{1} \quad KM1 = \frac{K_{uu} + K_{dd}}{2}$$

$$Q1 = KM1 \frac{d\phi}{dZ} \quad (2)$$

$$\textcircled{2} \quad KM2 = \frac{K_{uu} \times K_{dd}}{K_{uu} + K_{dd}}$$

$$Q2 = KM2 \frac{d\phi}{dZ} \quad (3)$$

ここで、 $K_{uu}$ : 上層の透水係数、 $K_{dd}$ : 下層の透水係数である。

③は、Fig.3 に示すように境界に $\alpha$  cmの薄い層を考え、上下層の水頭がこの層で急激に変化すると仮定する。この時境界での透水係数としては、前述した $K_{uu}$ 、 $K_{dd}$ の他に上層に下層のサクシヨンが入った透水係数 $K_{ud}$ 、その逆の $K_{du}$ が考えられる。この内最も小さい透水係数を $KM3$ とする。

$$\textcircled{3} \quad KM3 = \min(K_{uu}, K_{dd}, K_{ud}, K_{du})$$

$$Q3 = KM3 \frac{d\phi}{\alpha} \quad (4)$$

ここで、 $\alpha$ は、上層粒径が細かく下層粒径が粗い場合には、 $\alpha=0.286$ cm、その逆で、上層が粗く下層が細かい場合には、 $\alpha=0.055$ cmとした。

### 5. 実測流量と推定流量との比較結果

Fig.4 に実測流量(降雨強度)と4. で設定した平均的透水係数を使って求めた推定流量を示す。ここで、縦軸は、推定流量/降雨強度である。

図をみると、上下層の透水係数を単純平均して求めた $Q1$ は、どちらのタイプに対しても、実測よりも非常に大きい。

$Q2$ については、上層が細かく下層が粗いタイプはよく合うが、その逆に対しては、 $Q1$ と同様である。

$Q3$ は、 $\alpha$ を導入したためもあるが、どちらのタイプにもよく合っていると考えられる。

Fig.5 にシミュレーションで求めた境界付近の全水頭を示す。これを見ると、上層が細かく下層が粗い場合には、境界付近の上下で水頭の変化があまりないため、境界上下0.5 cmの水頭から求めた透水係数で流量を推定してもよい推定ができると考えられる。

しかし、上層が粗く下層が細かい場合には、境界付近で水頭が急激に変化するため、境界上下の透水係数では境界での透水係数とはなり得ないと考えられる。

### 6. まとめ

鉛直一次元浸透流実験によって、二層の境界付近での水頭を求めこの値を用いて、境界での流量を推定した結果以下の結論得られた。

境界を挟んで、上下0.5 cm離れた水頭を用いて、境界での流量を推定する場合、上下の透水係数の単純平均 $KM1$ では、平均的透水係数として適さない。

境界付近での水頭の変化が小さい場合には、 $KM2$ を用いることによって境界での流量を推定できる。

境界付近での水頭の変化が大きい場合には、上下層の透水係数は使用できず、境界に薄い層を考える( $KM3$ )ことにより境界での流量を推定できる。

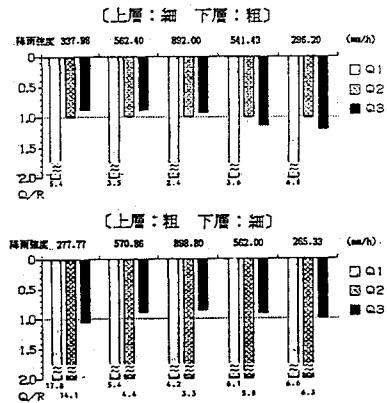


Fig.4 実測流量と推定流量との比較

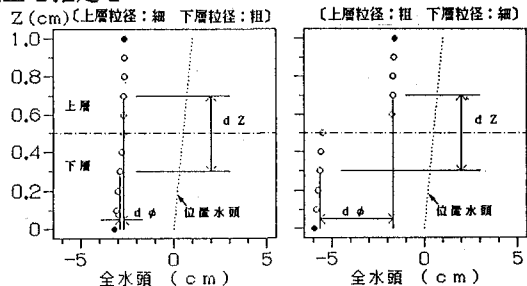


Fig.5 シミュレーションによる境界付近での全水頭の鉛直分布