

II-98

水平多層地盤での浸透特性について

芝浦工業大学 正員 菅 和利  
 東京大学 正員 玉井 信行  
 伊奈町役場 正員 安田 昌利

1、はじめに

地中に浸透した降雨水の流出特性に及ぼす水平多層構造の役割についてはそのメカニズムが明らかにされていない為に、地盤の構成法にその機能が十分に生かされているとは言えない。水平に分布する透水性の高い層の存在により生じる不飽和な層による地下水の一時貯留などの効果を利用することにより、流出時間流出量の制御が可能になると考えられる。そこで本研究では実際に近い水平多層地盤を対象として、0.3-2.0mmの砂を種々組み合わせた地層を構成し、浸透、流出実験を行い、浸透特性、流出特性に及ぼす毛管圧の差、先行降雨の影響について検討を行った。又一次元不飽和浸透流の数値計算をおこない、実験結果との比較を行った。

2、実験装置及び方法

図-1に示すような片面アクリル製の水槽に2種類の砂により2層の地盤を構成し、地表面に注射針により、一定強度の降雨を一樣に与え、浸潤面の移動、底面からの流出量を30分間隔で測定した。浸透には初期水分量の分布が大きく影響するので、各実験での初期条件を一定にする為に、連続して24時間降雨を与え、降雨停止後24時間放置した後に実験を開始した。各ケース共1時間降雨を与えた後停止し、24時間後に再び1時間の降雨を与えることを3-4サイクル繰り返し測定した。又降雨開始時間を基準として、30分間の累積の流出量を連続的に測定した。

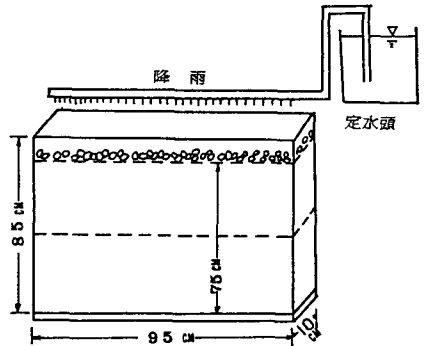


図-1 実験装置

3、浸潤面の移動速度、流出量

不飽和浸透においては、浸透水は空隙に水を供給しながら浸透するが、浸潤面はこのとき飽和面ではなく、又この面での水分量の値も不明であるので、浸潤面の移動速度は正確には浸透特性を表すものではない。しかし、浸潤面の移動特性は大まかな浸透の様子、及び水分量の到着を示しているものと考えられる。又この移動速度の場所的変化より、2層の境界面での滞留の様子を知ることができる。図-2は上層と下層での毛管圧の差(上層の負圧が大)が大きい0.6-2.0mm(A)の組み合わせの場合の浸潤面の各深さへの到着時刻を示したものである。境界面に近くなるに従って、移動速度は小さくなり、毛管圧の差による滞留の様子がわかる。このように境界面での滞留が生じると、上層のこの付近では、飽和度が高くなり降雨水を蓄積して、界面を通過することとなる。この結果、下層の空隙が適度の砂の場合には、下層を速やかに通過することとなり、流出の早期の出現が予想される。しかし、下層の空隙量が降雨水に対して十分に大きい時には、この層に蓄積されるので流出の出現は遅く、又流出は長期に及ぶことが予想される。図-3は毛管圧の差が前記(A)のケースよりも小さい0.6-1.0mm(B)の場合での浸潤面の移動を示したものであり、図-4は毛管圧の差が逆の1.0-0.6mm(C)の場合である。なお図中実線は平均的な値を示したものであり、この実線の傾きが移動速度を表す。(B)、(C)のケースでは(A)のケース程境界面での毛管圧の差による滞留は見られず、ほぼ一樣な速度で移動していることが知られる。しかし、(C)

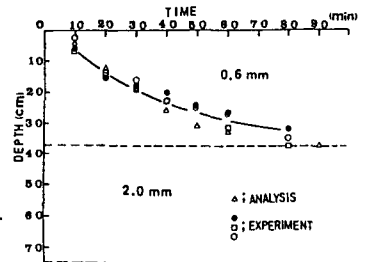


図-2 浸潤面移動速度

のケースの方が移動速度が大きく、又上層の砂の空隙量が大きいため、上層では十分に空隙を水で満たさな  
い浸透して行くので、負飽和の程  
度の減少は小さく、下層の0.6mmの砂  
層への上層よりの浸透水の供給はゆ  
っくりと長期に及ぶこととなる。他  
方(B)のケースでは上層を移動する速  
度は小さく、又空隙が小さいので不  
飽和の程度の減少が大きく、下層に  
対しては浸透水の供給をまとめて行  
う結果となる。図-5、6は(B)、(C)のケースでの底面よりの流出量の時間変化を示したものである。いず  
れのケースも降雨強度は28mm/hrであり、地層の厚さは75cm  
であるが、降雨開始1.5-2時間後より流出が始まりピークは  
3時間後に出現している。(B)のケースは、浸潤面の移動速  
度は(C)のケースより遅いにもかかわらず、前に記したよう  
に上層での一時滞留の効果により流出が始まると大きなピー  
クが出現する。他方(C)のケースでは浸潤面の移動速度は(B)  
に比して大きいにもかかわらず、上層よりの下層への浸透が  
ゆっくりと長期に及ぶため流出量もピークは小さく、長期に  
及んでいる。図-7は図-5、6の流出量の累加量を示した  
ものであり、図中点線は降雨総量である。ケース(B)では6  
時間程度で降雨量に相当する流出量があるが、ケース(C)で  
は貯留効果が大きく流出は長期に及んでいる事が知られる。

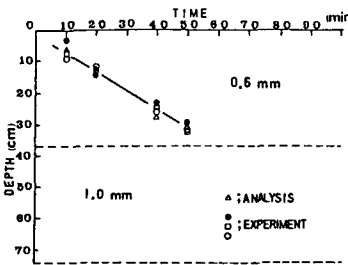


図-3 浸潤面移動速度(0.6-1.0mm)

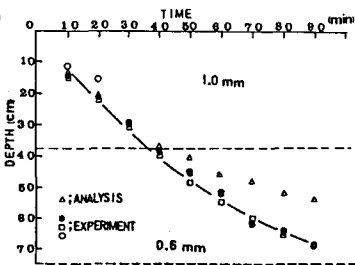


図-4 (1.0-0.6mm)

4、数値計算

不飽和浸透の計算により、鉛直方向の水分移動を計算し、  
実験結果との比較を行った。用いた方程式はRichardsの毛管  
ポテンシャル理論をもととして、開発らによって書き改めら  
れた次式を用いた。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = - \frac{\partial q}{\partial x} \quad q = - K(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial z} + K(\theta)$$

ここに $\theta$ は水分量、 $q$ は水分フラックス、 $K(\theta)$ は不飽和透水  
係数、 $\psi$ は土壌水分圧力水頭である。又 $K(\theta)$ 、 $\psi$ はHillelの  
経験式に倣って  $K(\theta) = K_s S^m$ 、 $\psi = a\theta^{-b}$ とした。 $S$ は飽和度  
 $K_s$ は飽和透水係数である。無降雨状態で水分量が一定となるまで計算し、  
それを初期値として計算を行った。水分量分布形の偏曲点の移動速度を浸  
潤面の移動速度として示したのが図-3、4中の $\Delta$ 印である。又図-5、6  
の点線は計算より求めた流出量である。計算結果と実験結果は定性的には  
良く一致しており、計算結果より水平多層での水分移動、圧力水頭の変化  
特性を推定することができる。

5、結論

水平多層での一時貯留効果は地盤構成法によって異なり、この効果は流  
出ハイドログラフの形状を決定する要因の一つである。この貯留効果を利用  
した構成法により流出ハイドログラフの制御が可能になると思われる。

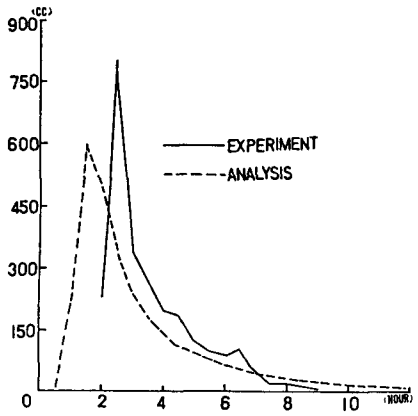


図-5 流出量の時間変化(0.6-1.0mm)

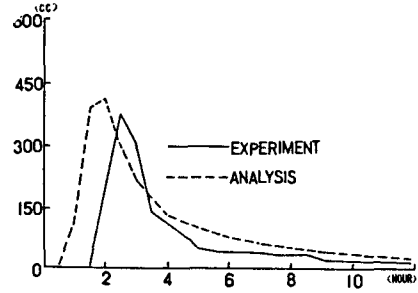


図-6 流出量の時間変化(1.0-0.6mm)

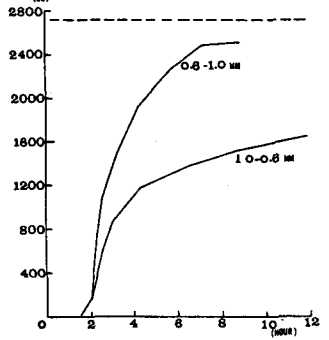


図-7 累加流出量