

山梨大学大学院 学生員 久納 誠
 大林 道路 小笠 幸雄
 山梨大学工学部 正員 竹内 邦良

1. 実験の目的

地下水と地表における降雨・蒸発現象ならびに地中での植物活動に伴う地中の含水量の非定常変化を追跡することを最終目標として、本実験ではまず地下水と毛管現象の関係を調べた。観察の対象としては砂の粒径・初期含水比と浸注前線の形状ならびに進行速度の関係を重点に置いた。

2. 実験方法

図1に示すような実験装置を用い、浸注前線の時間的進行状況を測定する実験を行なった。この装置は厚さ5mmのアクリル板で作られており図1において、左側の水槽は恒水位の別の水槽とサイフォンでつながっている。右の槽にはふるいを用いて砂を約40cmの等高度差から自然落下させて結めてある。水槽と砂槽とは直径1.0cmの3個の穴で連結してある。

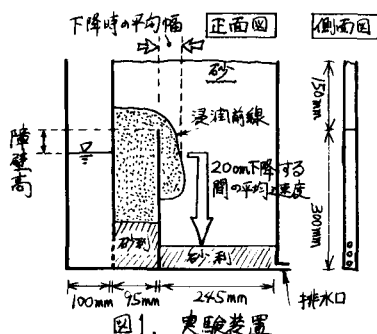
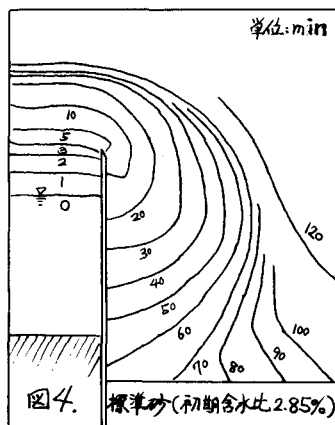
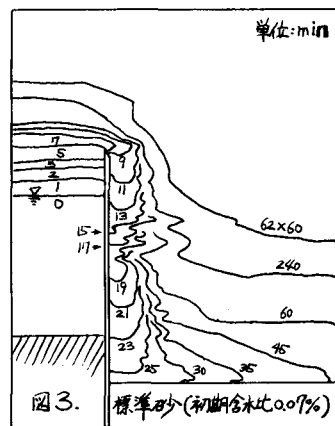
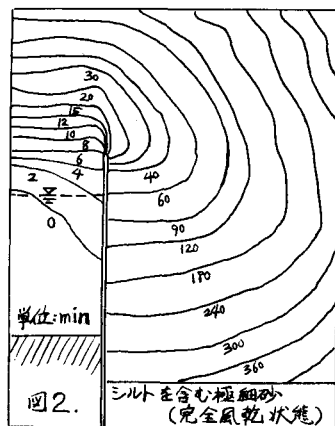
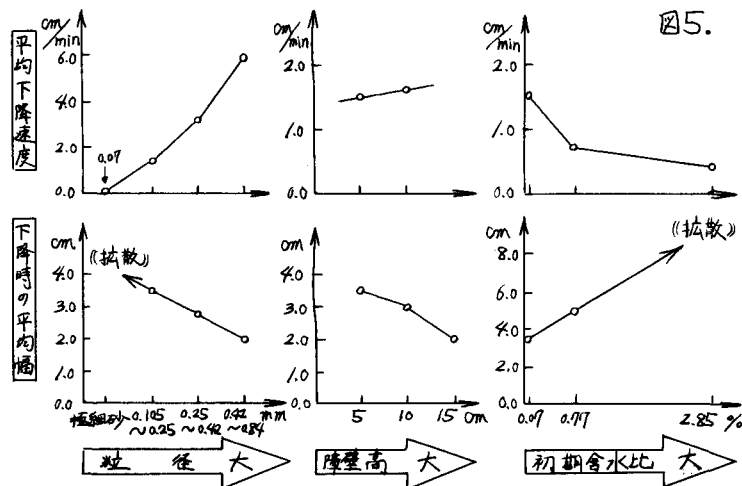


図1. 実験装置



3. 実験結果

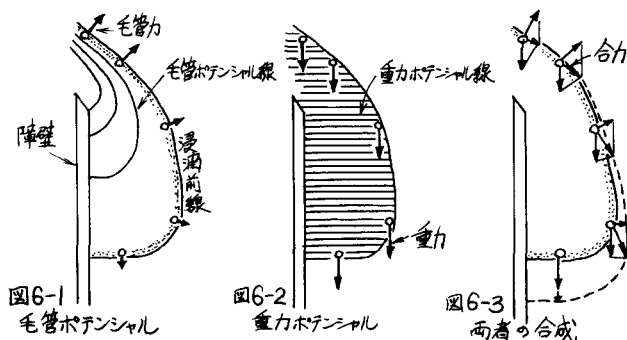
図2, 図3および図4は、砂の粒径・初期含水比ならびに地下水面からの障壁高を変化させて浸注前線の進行状況を記録したものの例である。一般に浸注前線は障壁を越えてからほぼ一定の幅で下降してゆく型(図3)と、おおむね同心円状に拡がってゆく型(図2, 図4)の二者に大別できる。この浸注前線の下降時の平均速度と平均幅については図5の結果を得た。



4. 結果の考察

i) 障壁を越えた後の浸潤前線の形状:

浸潤前線付近の流塊は毛管ポテンシャル勾配と重力ポテンシャル勾配によって図6のような合力を受けその方向に移動する。浸潤前線の横の部分の形はその接線が重力と毛管力の合力と一致するように定まってゆき、障壁を越えた後の浸潤前線の形状は釣鐘型になる。この形状は実験データの随所に見られる。



ii) 下降時の浸潤部の幅(図5下段, 図2);

浸潤前線を水平方向に広げる力となるのは毛管力のみである。粒径及び地下水面からの障壁高が大きくなると、毛管ポテンシャル勾配が小さくなり、下降時の浸潤部の幅が小さくなったと考えられる。逆に極細砂では浸潤前線での毛管ポテンシャルが大きく、従ってその勾配も大きくなるため図2のように幅は広がり拡散型となる。

iii) 下降速度(図5上段); 実験に因ると拡散する型を除いて、浸潤前線はほぼ等速度で下降してゆく。その速度は粒径が大きい程また初期含水比が小さい程速い。まず等速度となる理由は浸潤前線が水源から遠ざかれば遠ざかる程毛管ポテンシャル勾配は小さくなり(図6-1)、浸潤部の最下部では流塊が受ける力は重力と粘性抵抗力のみに見なせるからである。このことから下降速度が障壁高に因らないことも説明できる。また粒径・初期含水比に因る下降速度の差については次のように考えられる。 v を流塊の速度、 ϕ を透水係数、 g を重力加速度とすると、単位質量当りに働く粘性抵抗力は $F_R = -\phi \frac{v}{\phi} \text{ dyne/grm}$, 重力は $F_Z = g \text{ dyne/grm}$ である。

$F_R + F_Z = 0$ とおくと、 $v = \phi \text{ cm/min}$ が得られる。すなわち一定幅で下降してゆく場合の流塊の速度は透水係数(厳密には不飽和透水係数ないしは毛管伝導度)とほぼ同じ大きさということである。

iv) 初期含水比と浸潤形状の定数(図4); 初期含水比が大きい場合には、浸潤前線付近での毛管伝導度が大きく、毛管ポテンシャル勾配が小さくても浸潤前線は進行するため、水平方向に広がりが見られる。一方このような状態では、浸潤前線後方に多くの空気が封入された形で残り下方への水の流動を支配する重力の働きを大幅に阻害するものと考えられる。従って下降速度は著しく低下する訳である。

5. モデル計算の手法

任意時間 t のときの浸潤前線の位置を実験データより読み取り、その Δt 時間後の浸潤前線の位置をポテンシャル理論を用いてLaplaceの方程式の差分計算により解き、推定した。仮定は二次元モデルとし、浸透流にはDarcyの法則が適用できるものとし、透水係数 $\phi(x, y, t) = \text{Const.}$ とする。微小時間内では浸透流を定常運動と見なす。浸潤前線の内側の水圧は大気圧より、 $6T \cdot \frac{1-\lambda}{\lambda} \cdot \frac{1}{\alpha} \text{ dyne/cm}^2$ 低いというKozenyの導いた理論式を用いる。

6. モデル計算の考察

障壁より右側の部分は、計算値が観測値とかなり良く一致している。一様不飽和状態であるにもかかわらずポテンシャル理論が適用できるのはこの部分の含水量がほぼ一定と見なされるからと考えられる。一方、障壁より左側の部分では良好な一致を見なかったが、この部分における含水量の分布はかなり変化しているため、ポテンシャル理論が適用できないからと考えられる。

