

II-113 不飽和鉛直浸透に関する研究

京都大学防災研究所 正員 工博 石原 安雄
 京都大学 工学部 正員 工修 ○高木 不折

不飽和浸透現象は、固相・液相・気相の三相が共存したきわめて複雑な現象であり、多くの問題が未知のまま取り残されている。筆者らはこうした問題を実験的に研究し、その一部はすでに発表したが、本研究では、砂層内部における不飽和浸透現象の機構を実験的に検討し、基礎方程式についての検討を行なった。

一般に不飽和鉛直浸透を拡張された Darcy 則に従うものとする、断面平均的意味における基礎方程式は $\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \{ k \frac{\partial \psi}{\partial x} \}$ …… (1), $\psi = -x + p + \theta$ …… (2) と与えられる。ここに、 θ : 含水比, ψ : 全ポテンシャル, p : 圧力ポテンシャル, θ : 毛管ポテンシャル (ポテンシャルはすべて水柱の高さで表わす), k : 不飽和透水係数であり、 x 軸は鉛直下方向きにとられ、 t は時間とする。

〈実験装置と方法〉 実験装置は鉛直に立てた長さ 3m 直径 4 cm^m の細管に試料砂を一樣につめたものを用いた。使用砂は 2 種類の木津川砂 (A 砂: $d_{10} = 0.76$, $d_{60} = 1.30$ $k_s = 1.01$ cm/s , B 砂: $d_{10} = 0.19$ $d_{60} = 0.35$ $k_s = 0.24$ cm/s) である。実験は上部より一定強度の降雨形式で水を供給した場合 (rain) と、実験開始と同時に砂表面に湛水させた場合 (flood) の 2 種類行なった。ポテンシャル測定にはマンメーターを用い、飽和度は

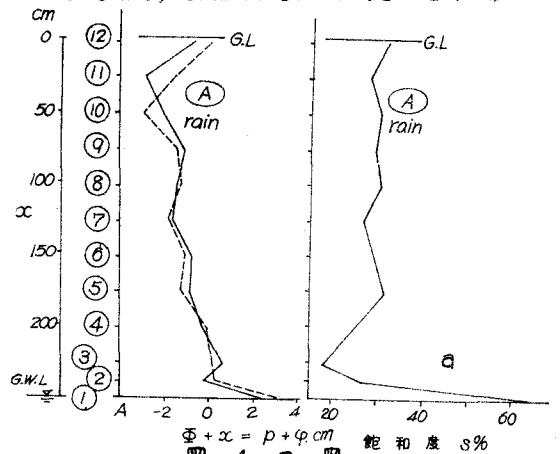


図-1. a

試料砂中に入れられた電極の抵抗の変化として測定した。実験は A 砂 10 ケース、B 砂 15 ケースである。

〈考察〉 浸透が進行し定常状態となった場合の測定結果の例を図-1 に示す。

A 砂の結果を観察すると $p+\theta$, 飽和度 S および圧力の分布は、上下の境界を除いた中央

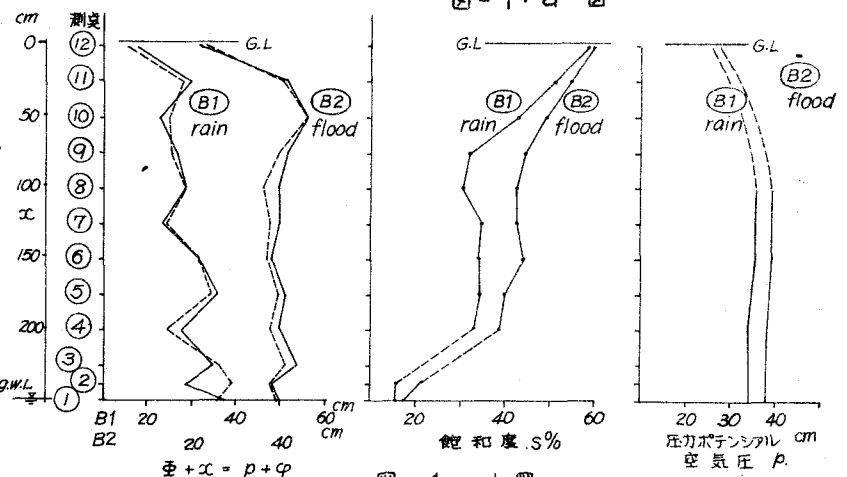


図-1. b

の部分では鉛直方向にほぼ一定であって、上部より下部までほぼ同じ状態で浸透が起きていることが推察される。この場合、すべての実験でポテンシャルの勾配は上方より下方までほとんど-1であるが、定常状態であることを考慮すると浸透水は飽和度（または含水比）によって定まった透水係数と等しい速度で浸透しているものと考えてよい。（図- 参照）また、圧力ポテンシャルがほとんど0であって内部空気が圧縮されておらず、このような粗砂の場合には、水と空気の置換が砂表面をこえてきわめて容易であり、圧力ポテンシャルを無視した解析を行なってよいことを示している。

B砂では、ここにあげた例はいずれも湛水を生じたものであるが、各測定値は、上下の境界付近を除くと、A砂の場合とほぼ同じ傾向を示している。他方、注目されるのは砂表面より測点⑩~④までの部分で測定値が大きく変化しており、飽和度は表面ほど大きく、 $p+\phi$ の絶対値は表面に向かって減少している。したがって空気圧は図中の破線のように小さくなり、砂面で上部の湛水深に接続していると考えられる。ポテンシャル勾配も絶対値が大きい。また浸透時の湿润前線の進行速度の測定結果によると、前線が測点⑩に達するまでは速度は徐々に減少するが、測点⑩以下ではほぼ一定となる。

こうしたことから、B砂のような細砂では、地表面下ある程度の部分に大きく変化する遷移区域が形成され、この部分が空気と水との交換を許しながら中間気帯に空気を閉塞し、その圧力を支える役割をしている。

つぎに、B砂の場合には底部で飽和度が減少し、A砂の場合には増加している。これはB砂のとき空気が下部に逃げやられ円筒の下部（地下水面より下方）に貯えられ、砂表面とともに下方からも空気が逃げ去っているのに対し、A砂ではそのようにはならず砂表面（上方）のみから空気が逃げ出していることによる。なお、この定常浸透実験より算出した透水係数と飽和度の関係は図- のとおりであって、 p の変化にかかわらず、ほぼ1対1の対応があるといえよう。

以上の実験結果を総合して考えると、本研究では吟味できなかったが、 θ , ϕ の関係が今後の課題ではあるが、(1)および(2)式によって少なくとも定常状態の砂層内の浸透状態は計算することができるといえる。ただし、砂層の上面および下面での境界条件の設定法の問題は、 p , θ , ϕ の関係と関連して今後の問題として残される。

今後、これらの諸性質についてより検討していきたい。

最後に、本研究を行なうにあたり、実験その他に労をわづらわした学部学生・石井健吾君に謝意を表わす次第である。

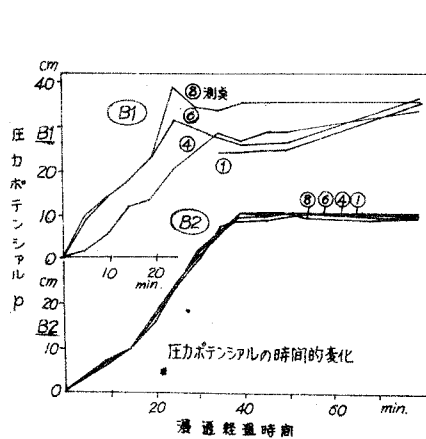


図- 2

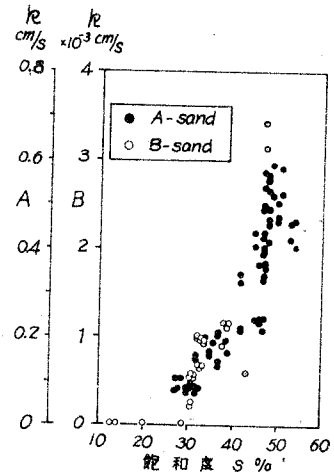


図- 3