

II-91 雨水の浸透に関する実験的研究

京都大学工学部 正負 工博 石原藤次郎

京都大学工学部 正負 工修 高木 不折

雨水の浸透は水文学的循環において大きな役割を果たしているが、地下水への水供給といった観点から考えると、いわゆる地下包気帯 (intermediate zone) における現象が支配的であると思われる。本研究は、このような降雨の浸透現象解明の第一歩として、一様定常状態の現象を観察し、その諸性質について検討しようとするものである。

一般に不飽和透水性物質を通る浸透水は、拡張された Darcy 則に従うが、差温過程の場合には、鉛直上方に x 軸をとり、全ポテンシャルを Φ 、圧力ポテンシャルを p 、毛管力のポテンシャルを ϕ (すべて水柱の高さで表わす)、透水係数を k 、含水比を θ とすると

$$\Phi = x + p + \phi \quad \dots (1) \quad \frac{\partial \Phi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ k \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right\} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ k \frac{\partial (p + \phi)}{\partial x} \right\} + \frac{\partial k}{\partial x} \quad \dots (2)$$

が成立する。さて、この式によって解析をしたものは、近年かなり多くあるが、そのほとんどは、間隙の空気がすべて大気と連続しており、浸透に際して空気がきわめて容易に水と置換されると仮定している。したがって、上式中 p の項が無視されており、実験も砂の下面が大気圧に開放されている場合が多いが、このようなときには、解析結果と実験結果とはかなり一致している。しかし、下方が地下水面で閉塞されていると、 p の効果を無視することはできず、間隙に封じ込められた空気が相当の影響を及ぼすであろう。

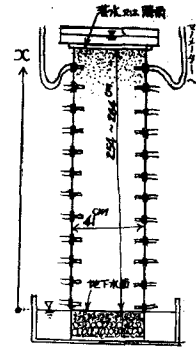


図 - 1

実験装置と実験方法：実験装置としては、地下包気帯が装置内で見られる必要があるのだからかなり高さが必要である。したがって、ここでは長さ 3m、半径 41mm の鋼管を図-1のように鉛直に立て、これに試料砂を一層に入れたものを用いた。使用砂は2種類の木津川砂 (A: 平均粒径 0.2mm, B: 1.5mm) である。実験は上部から一定強度の降雨を供給した場合と、通水開始と同時に砂層上面に湛水を起こす場合について行なった。

実験結果と考察：従来から、 p の効果を無視した解析によると、飽和時の透水係数を k_s 、降雨強度を r とするとき、 $r \leq k_s$ では降雨の浸入は湛水を生ずることなく無限につづき、 $r > k_s$ では有限時間浸入がつづいた後湛水を生ずる」といわれてきた。本実験で行なった浸透流量と湛水の有無の状態を示したのが図-2である。この図によれば、A, B いずれの砂の場合にも k_s よりはるかに小さい流量で湛水を生じていることがわらう。また通水開始直後に湛水させた場合、降雨によって湛水する場合を比較すると、湛水するためには前者より後者の方が大きい流量が必要であることがわかる。すなわち間隙の空気の封じられ方、砂層面での空気と水の置換の難易の程度によって、現象はかなり異なり間隙の空気の及ぼす影響が大きいことがうかがわれる。図-3は実験で得られた $\Phi = x + p + \phi$ の数例である。降雨によって湛を生じない場合には、A, B 砂には定性的には大きな差はみられず、深さ方向ほぼ一定の状態にある。したがって、含水比が増加するほど透水係数が増すことを考慮すると、含水比

も深さ方向にほぼ等しく分布していると思われる。ところで、興味深いのは、降雨強度の如何にかかわらず $\phi - \alpha = \phi + p$ がほとんど違っていないことである。これは透水係数が、したがって含水比が変化することによるが $p + \phi$ が一定となるように含水比が変化することを暗示している。つぎに、砂層上面に湛水が現れたときには、 $\phi - \alpha$ の分布は深さ方向に一様でなくなっている。図-3からわかるように砂層面下 20 cm ~ 60 cm 程度のところと、地下水面より 50 ~ 70 cm のところにおいて、ポテンシャル勾配が急で、透水性が悪く、含水比が低くなっている。これは間隙空気が多く存在することによると思われる。このような空気の分布状態は興味深いが、普通적인ものかどうか、今後検討したいと考えている。さて砂層面のごく近傍では完全飽和で透水性が高いはずで、この砂層面と透水性の悪い砂面下 20 cm までの間には、遷移ゾーンともいふべきものができていると想像される。以上の実験自体にも、その計測方法、条件などに多くの問題があり詳しく検討することはできないが、定性的な観察によっても、降雨の浸透に際して、間隙空気の反ばす影響が非常に大きいと思われ、解析に当って、 p の項を無視しえないことがわらう。

今後、さらに多種の場合の実験を行ない、降雨の浸透過程を把握し、地下水への水供給機構、降雨の損失機構との関係を明らかにしたいと考えている。

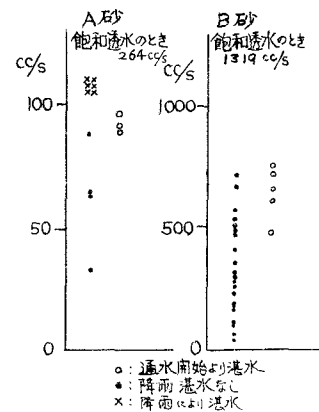


図-2

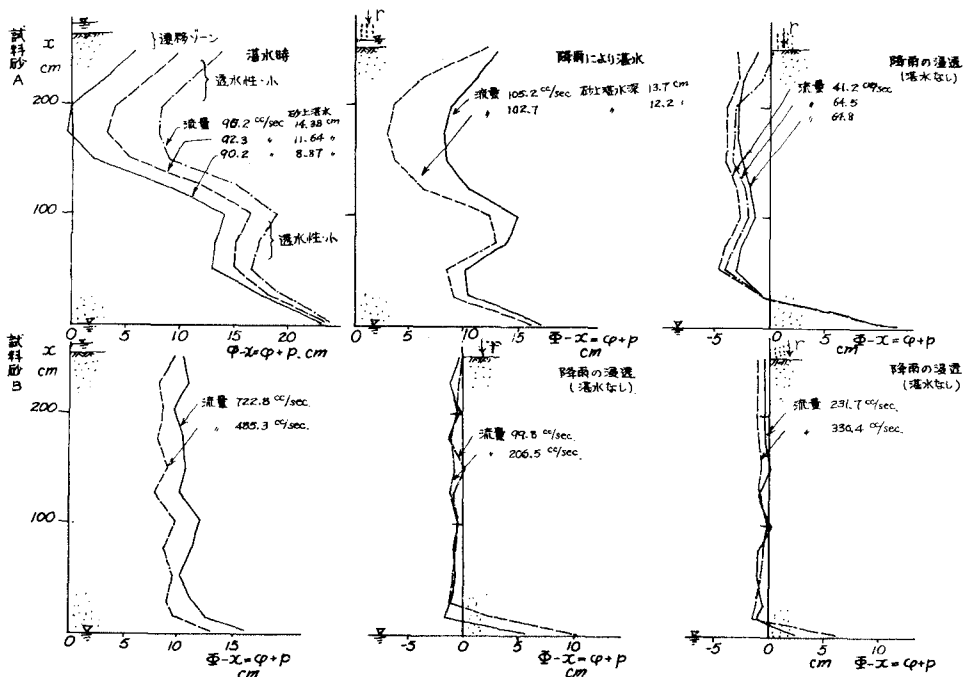


図-3