

雨水の地中浸透に関する実験的研究

京都大学防災研究所 正員 工博 石原安雄
 京都大学大学院 学生員 〇馬場洋二

雨水が浸透する際には、地下水面の存在のために、地中の空隙を満たしていた空気が圧縮されるか、あるいは雨水と交換しなければならぬのであって、従来は数学的取り扱いが困難のために、このような空気の挙動をほとんど無視していたようである。本研究は雨水浸透に関する研究の一環として、こうした空気の挙動が浸透過程に果たす役割を実験的に調べようとしたものである。

1. 実験装置と方法. 図-1に示すように、透明プラスチック製の底のある円筒に、ほぼ一様粒径の砂 ($d_{10}=0.138\text{mm}$, $d_{60}=0.320\text{mm}$, 向隙率 0.45, 飽和透水係数 $k_s=0.15\text{ cm/sec}$) を詰め、上部からスプレーノズルを用いて水の供給を行なった。実験は気乾状態の砂を対象とし、圧力測定は内径 6mm のパイプの先端を金網で蓋ったものを、砂中に挿入して行なった。なお底のある円筒を用いたのは地下水面上にある毛管水帯の影響を除くためである。実験はノズルから水を供給しはじめから、マノメーターは写真観測により *wetting front* の進行および砂の上面の湛水開始は、円筒側面から観察により、湛水後の浸透量は円筒上面より越流する水をメスシリンダーに受けて、測定を行なった。

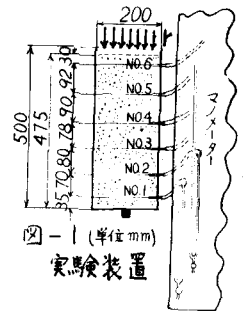


図-1 (単位mm)
実験装置

2. 実験結果. まずこの実験により観測された特徴的な事項を列挙すると、つぎのようである。1) 降雨開始しばらくの間は、円筒内の圧力は上昇を続け、一定時間後(本実験範囲内では1分程度)は、ほぼ一定の値を示すようになる(図-2(a), (b))。2) 上記の一定の値の大きさは、降雨量の大きいものほど大きくなる(図-3)。3) ほぼ一定の圧力を示すような領域では、圧力は変動し(図-2)降雨量が大きなものほど変動の大きさが大きい。4) 各深さごとの圧力の時間的变化は、降雨量の少ない場合には、図-2(a)のようになり、さらに *wetting front* の進行につれて、下部の圧力が上部に比し多少高い値を示すことが、降雨量が大きくなるほど、明確に測定された。5) ある程度以上の降雨量の場合には下部の圧力が急激に上昇し、降雨量の少ない場合とまったく違った現象が現われることがある。上昇した圧力は、ほぼ一定値のまわりを変動している(図-2(b))。6) *wetting front* の進行状況は、水平

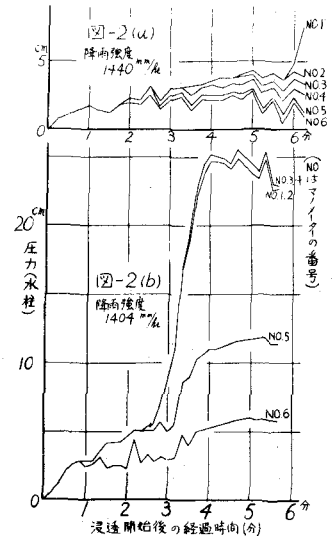


図-2 空気圧の変動

浸透の場合の *fingering* によく似た状態で、早いところと遅いところがあるが、降雨量が大となると全断面一様な進行状況を示すようになる。7) もっとも早い *wetting front* の進行速度は降雨量の増大とともに大きくなる(図-4)。しかし5)の内部圧力が急に上昇する場合には、その時刻後の *wetting front* の進行速度はかなり遅くなる(図-4, 実験番号8)。

8) 砂上面における湛水は、内部圧力が急上昇し、*wetting front* の進行速度が遅くなった時のみ発生する。なお図-2(a)のような場合には、円筒下部より飽和状態となり、全円筒内が飽和したのち湛水がはじまる。

3. 考察. 上述した測定結果は、空気の挙動を無視することができる円筒下部を開放した場合の従来の結果とかなり異っている。不飽和浸透において、平均的な空気圧 P が存在するものとし、鉛直下方に Z 軸をとり、大気圧下の毛管ポテンシャルを ψ , 不飽和透水係数を k であらわすと、Darcy の定義に従う速度 V は次式で与えられる。

$$V = -k(\rho\%_z + \alpha\%_z - 1) \dots\dots\dots (1)$$

さて、降雨開始後のある期間内において、砂の表面付近の状態を考えると、雨水はほぼ均一に浸透し、降雨強度 I が大きいものほど表面付近の含水量 θ が大きくなることが期待される。また湛水がない場合でも、表面付近では深さ方向に θ が減少することが多くの観測によって報告されているが、これは (1) 式において、 P の項を考慮することによって説明される。こうした事実を考慮すると、上記の 1) ~ 4) の現象が説明できる。すなわち含水量が表面ほど大きいといっても、空気が通過できないというわけではなく、常に空気はその層を通して大気中へ逃げる。その際の抵抗は層内の含水量が大きいほど大であって、降雨量が大きいほど含水量が大であるので、円筒内の圧力は、降雨量が大きいほど高くなるわけである。圧力がほぼ一定値となった時の変動は、遷移層を通しての交換が断続的であることを示すものと考えられ、また変動の範囲が、降雨量が多いほど大きくなることも当然といえよう。つぎに、空気が閉じこめられて円筒内の圧力が異常に大きくなる現象については、明確には分らないが、つぎのように考えることができよう。浸透の進行状況は前項 1) のとおりであるが、進行の早いところの含水量が多く、遅いところは少ないと思われる。さらに含水量の少ないところが、空気交換の主なパイプとなっていると考えられる。降雨量が小さい間は、このパイプが最後まで維持されるが、大きい雨量となると、若干のパイプが、途中で閉じられ、その時に、空気が圧縮されて圧力上昇を来し、(1) 式から予想されるように浸透量が減少し、湛水もはじまるものと思われる。

今後、初期含水量、粒径、圧力上昇を来す限界と、その機構等について、研究する予定である。

