

Ⅱ-112 雨水浸透における間隙空気の役割について

京都大学防災研究所 正員 工博 石原安雄
建設省 正員 工修 馬場洋二

自然の地面の下部は岩盤であったり、また地下水面があったりするもので、雨水が地表から浸透するには土砂の間隙に存在していた空気が圧縮されるか、あるいは地表から大気中に放出され雨水と交換されなければならぬ。すなわち自然界における雨水の鉛直浸透に対しては間隙空気の挙動が大きく影響するはずで、本研究はこうした点に着目して浸透過程における間隙空気圧の変化と、空気と水との交換について実験的に調べたものである。

1. 実験装置と実験方法

図-1に示すように透明な合成樹脂板でつくった底のある円筒に表-1のA、Bの砂を一樣につめ、上部からスプレーノズルを用いて雨滴状で水の供給を行な

表-1 実験砂の特性

砂	粒径 d_{50}	粒径 d_{90}	飽和透水係数 cm/sec (mm/h)	空隙率	比重 土質重/cm ³
A	0.14	0.34	0.15 (5.400)	0.47	19.2
B	0.08	0.13	0.88×10^{-3} (317)	0.53	68.2×10^3

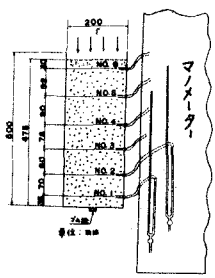


図-1 実験装置(ヤ01)

い、圧力は内径4mmの細い管の先端を金網でおおったものを砂中に埋没し、U字管マンノメーターに連結して測定した。マンノメーターは写真観測、*wetting front*の進行速度と灌水開始時刻は円筒側面からの観察、灌水後の浸透水量は供給水量と円筒上縁からの越流水量との差により、それぞれ測定した。

2. 実験結果

(1) 間隙空気の圧力変動: 図-2および図-3は砂Bに対する測定結果の1例を示したもので、前者は表面に灌水を生じた場合、後者は生じなかった場合である。図-2からわかるように灌水開始の直前より間隙空気の圧力が急激に上昇し始め、若干の時間後は多少の変動はあるがほぼ一定値(矢頭で表わして $p \approx 38 \text{ cm}$)に保たれるようである。したがって、このような期間においては空気と水との交換はほぼ一定の割合で行なわれていることとなる。図-3の場合には灌水を生じた図-2の場合とはその性状がかなり異なり、間隙空気の圧力はあまり大きくならないが、 $p \approx 5 \text{ cm}$ を平均値として激しく変化している。図-4は砂Aの場合に灌水を生じたときのNo.6の測点における圧力変動を16mm撮影機で測定した結果で、圧力変化の極大と極小とをすべて読みとって示したものである。すなわち、内部の灌水がはじまって内部の空気圧が急上昇する頃より激しく変動しているが、他方下部の他の測点では変動は少ない。さらに、このような状態のときには、砂表面より空気が泡状となって、向けつ的に逃

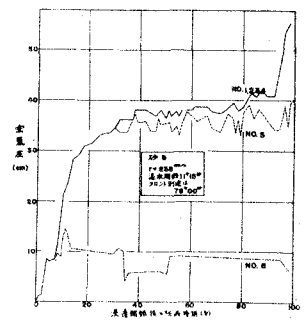


図-2 間隙空気の圧力変動(ヤ01)

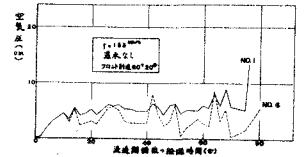


図-3 間隙空気の圧力変動(ヤ02)

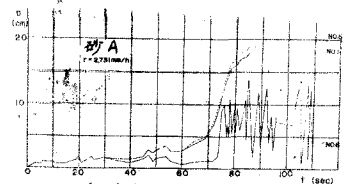


図-4 間隙空気の圧力変動(ヤ03)

げるのが観察されたが、これらの事実は空気と水との交換は砂表面を通して向けつ的に行なわれ、しかも交換にともなう圧力変化は表面近くの砂層内に限られ、内部の圧力はそんなに変化せず、空気交換の機構には直接関与しないことも示すものと考えられる。

(2) *wetting front*の進行速度：図-2の場合に対応して、*wetting front*の進行状況を図示したものが図-5である。図から明らかのように、湛水開始の時刻(内部圧力が急上昇する時刻)より進行速度が急に遅くなり、さらに空気圧がほぼ一定となる期間においてほぼ一定の速度に落着くように見える。なお同図には底部を大気に開放して空気が下部より自由に逃げられるようにした場合の結果をも示した。この場合には向隙空気圧はほぼ大気圧であって、進行状況は砂上面からの距離を x 、飽和透水系数を k 、空隙率を α 、時間を t とすると、ほぼ $x = (k/\alpha) \cdot t$ の関係で示されるようである。こうした関係は前報告(40年度、関西支部講演会)と同様である。

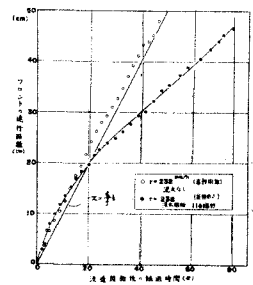


図-5 *Wetting front*進行速度

3. 空気と水との交換機構に關する考察

以上説明した結果を総合すると、向隙空気圧の上昇および空気と水との交換が雨水の鉛直浸透にかなり大きな影響をおよぼしていることは明らかである。その機構を解明するためにつぎの実験的検討を行なった。図-6はその実験装置の概要で、上端を固定したビニールパイプに砂をつめ、その下部を金網でおおいさらにその下部にビニール管を連結したものを水中に立て、丁度砂の下面が水面と一致するようにする。パイプの上端には圧

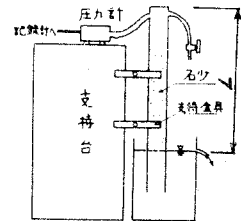


図-6 実験装置(その2)

力計と空気抜のためのコックが設置されている。まずパイプを水中に立てると水が毛管上昇するとともに圧力も高くなるが、ある圧力になると空気が砂中を通して水中にでて、圧力が急に下降する。余分のパイプの中にその空気はたまるが、このときには砂は水と接触していないので、再び毛管上昇は起らない。つぎに上部のコックを開いて減圧すると、下部のパイプ中の空気は砂中を通して上部に流れ、再び水と砂が接触するようになる。そのときコックを閉じると再び上部の圧力が上昇しはじめて前と同じような過程をくり返す。このような手順を何べんくり返して、空気が下部へ流れだす瞬間の圧力とそのときの毛管上昇高との関係を示したものが、図-7である。この範囲の結果によれば、毛管上昇の水の部分が短いときは、空気がすぐ下方に逃げるが、ある程度の長さになると、ほぼ一定の値でバランスがくずれることがわかる。この一定の圧力水頭は砂Aでは約13^{mm}、砂Bでは35^{mm}程度である。この圧力を保持する原因を砂の向隙に形成されるメヌカスによるとし、円形のパイプとして、その直径を逆算すると0.24、0.086^{mm}となり、それぞれ d_{35} 、 d_{10} に対応している。このような実験事実を考慮し、さらに鉛直浸透の場合には、粗い砂ほど、砂表面付近に静水圧的な圧力が加わることも考慮することによって、前項で述べた諸現象をうまく説明することができ

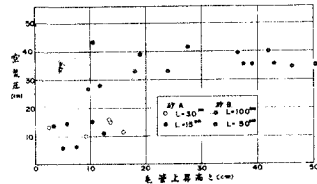


図-7 毛管上昇高と空気圧の関係