

建設省 土木研究所 正員 吉野 文雄
 “ 正員 田子 秀徳
 東大生産技術研究所 正員 岡 泰道

1. はじめに 雨水の浸透機構ならびに地下水涵養機構は不飽和帯の物理的特性と深い関係をもつが、不飽和帯内の吸引圧あるいは含水率を測定する手法が確立されていないため、これらの機構も十分に解明されていないのが現状である。本研究では、細砂と関東ロームを用いて二種の鉛直浸透実験を行い、不飽和帯内の吸引圧変化、地下水流出の発生状況を把握するとともに、不飽和帯土壌の特性を示す ψ - θ 関係と K - ψ 関係に着目して、鉛直一次元浸透解析を行い、実験結果との比較を試みる。

2. 実験装置および実験方法

1) 実験装置 a) 砂層 (図1): 粒径は 0.05 mm 以下の細砂で水締めにより充填した。不飽和帯内の吸引圧を測定するためのテンシオメータは、 $10\sim 80\text{ cm}$ の 8 深度に埋設した。 b) 関東ローム (図2): 土は茨城県内の科学万博会場のもので、人力で締め固めながら詰め込んだ。テンシオメータは $20, 40, 60, 80, 100, 140, 180\text{ cm}$ の 7 深度である。

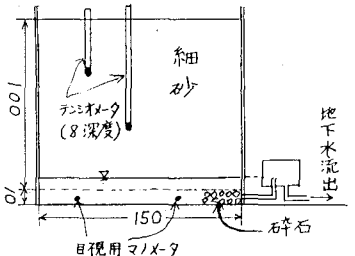


図1 実験装置Ⅰ (砂層) 単位 cm

2) 実験方法 降雨は 2 時間、降雨強度は $30\sim 60\text{ mm/hr}$ として、側面の 4 個の雨量計の平均値を用いた。地下水位は 4 本の目視用マノメータで、地下水流出量は転倒マス型雨量計で測定した。

3. 実験結果と考察

1) 砂層: 実験結果の一例を図 3 (a) に示す。降雨強度は 50 mm/hr で、降雨に伴い表層から順に吸引圧 ψ が低下していくことがわかる。また、 40 cm 以浅の吸引圧変化をみると、浸潤前線通過後の吸引圧は -30 cm $\sim -40\text{ cm}$ ($pF 1.5$ 前後) で安定し、降雨終了とともに回復に向う。一方、後述するように、この砂層の飽和毛管水帯が約 40 cm であり、初期地下水位が地表面から 90 cm 程度であるため、埋設深 50 cm 以深のテンシオメータはこの影響を受けている。深度 50 cm 以深の吸引圧の低下は地下水位の上昇に伴うものである。

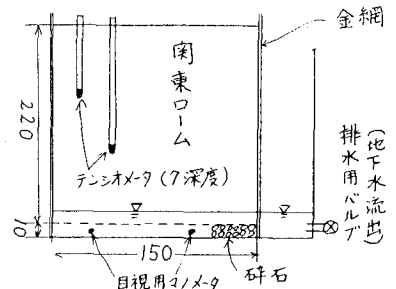


図2 実験装置Ⅱ (関東ローム層) 単位 cm , I, II とともに幅 100 cm

地下水流出は最深部のテンシオメータが正圧に転じた後に始まる。この実験では地下水流出口が大きさが十分でなかったこと、および目づまりを起こしていたことなどのため、地下水位を一定に保つことが不可能であった。したがって地下水流出量、流出の低減速度等を次に述べる関東ロームと直接比較することはできない。

2) 関東ローム層: 実験結果の一例を図 3 (b) に示す。砂層の場合と同様、降雨に伴って表層から吸引圧が低下していくが、降雨強度が砂層に比べて小さい (40 mm/hr) にもかかわらず、吸引圧の低下速度が大きい。浸潤前線通過後の吸引圧は $pF 1.0\sim 1.3$ に安定する。この値は降雨強度に依存すると考えられるが、本実験の降雨強度の範囲内では差はみられなかった。また降雨後の回復速度は全般的に砂層より遅いようである。地下水流出は最深部のテンシオメータの吸引圧が低下し、安定した時刻あたりから始まる。実験中地下水位は一定にしたため、地下水面に到達した水はすべて地下水流出となっているが、降雨継続時間内で定常になるまでには至っていない。

4. 鉛直浸透解析の方法

基本式は一次元不飽和浸透方程式 $\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} (k_z \frac{\partial \psi}{\partial z}) - \frac{\partial K}{\partial z}$ --- (1) を用いた。境界条件は、上面では $q = -k_z (\frac{dh}{dz} + 1) = \text{rain}(t)$ 、下面では各実験の地下水面の挙動に応じて、 $\theta = \theta_s$ ($\psi = 0$) で規定

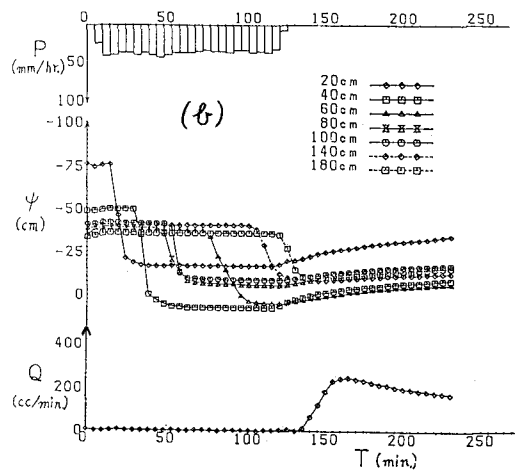
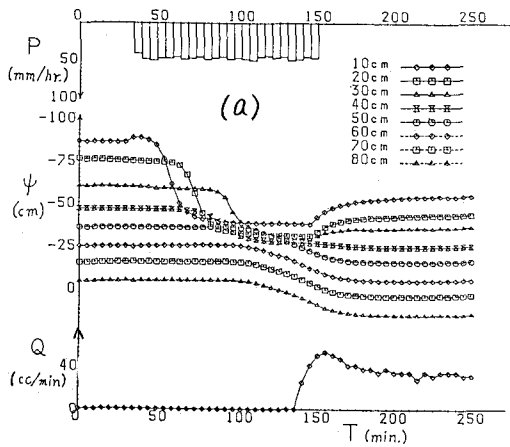


図3 降雨時の不飽和帯内の吸引圧 ψ の変化と地下水流出量 Q

(a) 砂層 (b) 関東ローム層

する。初期条件としては降雨前の各深度のテンシオメータの値を用いた。

①式により解析を行う場合、 $\psi-\theta$ 、 $K-\psi$ 関係が重要な問題となるが、本研究では以下のように決めた。

a) $\psi-\theta$ 関係：一般的には土壌の小サンプルを用い、土柱法・吸引法等の各種試験により決定することができる。関東ロームについては不攪乱試料によるこの試験結果を用いた(図4)。また細砂については試験が困難なため、高

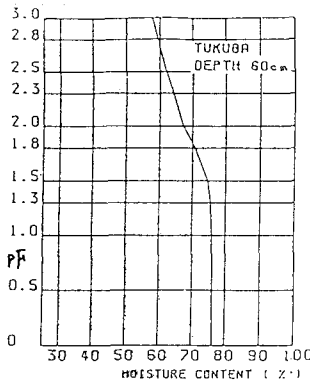


図4 関東ローム層の $\psi-\theta$ 関係

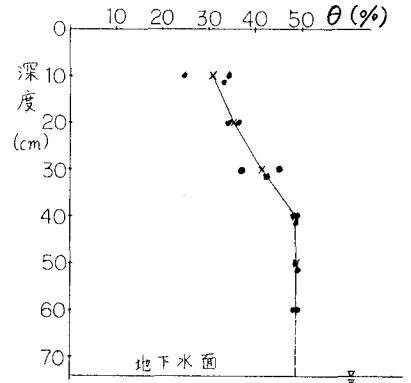


図5 砂柱内の含水率分布

さ80cmの砂柱を用意し、砂柱内の排水が終了して平衡状態に達した時点の鉛直方向の含水率・吸引圧分布をもって $\psi-\theta$ 関係とした(図5)。図5から、この細砂の飽和毛管上昇高が約40cmであることがわかる。 $\psi-\theta$ 関係の定式化については従来さまざまな方法が提案されているが、関東ロームでは図6に示すように、 $\log(\theta/\theta_0) \propto \log(\psi/\psi_{cr})$ の関係が認められるため、 $\theta/\theta_0 = (\psi/\psi_{cr})^{-1/b}$ ②を採用した。ただし θ_0 は飽和含水率、 ψ_{cr} は飽和毛管上昇高である。また細砂では ψ に閉して広範囲の値を得ることができなかったため、図5の結果を②式にあてはめた。実験の範囲内での ψ の変動が $-100 < \psi < -30$ 程度なので問題はないと考えられる。

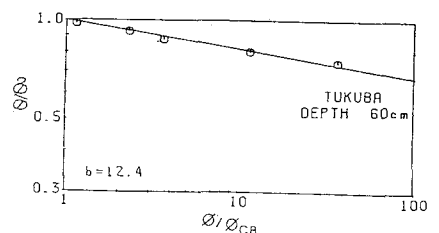


図6 関東ロームに対する②式の適用例

b) $K-\psi$ 関係：加圧型不飽和透水係数測定装置などにより決めることができるが、筆者らの経験では熟練と長期間を要し、しかも得られる結果にはかなりのばらつきがみられる。しかし関東ロームの試験では、 $\psi < \psi_{cr}$ において $\log(K/K_0) \propto \log(\psi_{cr}/\psi)$ の傾向があった。したがって、ここでは細砂・関東ロームとも $K/K_0 = (\psi_{cr}/\psi)^{\eta}$ の関係を仮定した。Campbell¹⁾の理論によれば η は②式の b と $\eta = 2 + 2/b$ の関係にあることが示されるが、本研究ではその検証ができないため、 η を一つのパラメータとし、同定の仮定で決定した。

5. 解析結果：シミュレーションの結果については講演時に述べる。

<参考文献> 1) Campbell, G.S.: A simple method for determining Unsaturated Conductivity from Moisture Retention Data, Soil Sci., 117, pp 311~314