

2 砂層地盤における降雨浸透と地下水流出について

九州産業大学工学部 正会員 細川 土佐男

1.はじめに 降雨が地表面に降ったとき、雨水は地盤中の不飽和帯を浸透して地下水面に到達する。このときの降雨と地下水流出の応答関係に地質構造が及ぼす影響を知ることは、地下水の涵養機構や地下水流出現象を解明する上で重要であると考えられる。そこで本報では、粒径の異なった2種類の砂により、単一砂層地盤と2砂層地盤を構成し、降雨の鉛直浸透実験を行い、地下水流出量の時間的変化状態について基礎的検討を行った。また、鉛直一次元不飽和浸透流の数値計算を行い、実験結果と比較した。

2.実験砂の水分特性曲線の測定 実験には、平均粒径 $d_m=0.57\text{mm}$ の相馬砂と $d_m=0.165\text{mm}$ の豊浦標準砂を使用し、実験砂の水分可動特性を知るために土柱法¹⁾により水分特性曲線を測定した。土柱法における砂柱は、内径 5.0cmの塩ビパイプを長さ2 cmに切断した円筒カラムを積み重ね、連結部分を粘着テープとチューブで密閉して製作した。なお、排水および吸水過程とも水分平衡期間は一週間である。図-1に結果を示す。図中の記号は実測値を示し、曲線はVan Genuchtenの理論式(1)を適用した計算値である。

$$S_e = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r), \quad S_e = [1 / \{1 + (\alpha |h|)^n\}]^m \quad \dots (1)$$

ここに、 θ : 体積含水率、 θ_s : 飽和体積含水率、 θ_r : 残留体積含水率、 $n, m=1-1/n$, α : 定数である。図において、粒径の小さい標準砂の方が相馬者に比べて毛管作用が大きいため水分特性曲線が上部にある。また、相馬砂および標準砂とも排水曲線が吸水曲線の上にあるヒステリシス現象が発生している。

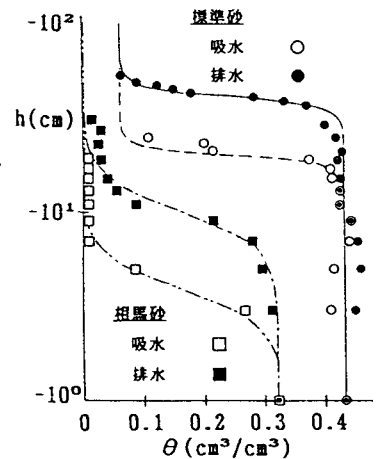


図-1 水分特性曲線

3.実験装置と方法 降雨を15~150mm/hrの範囲で自由に発生できる本学降雨実験施設内(文部省私立学校施設整備費補助金による)に、図

表-1 砂層地盤の種類

-2のような大きさ(52.8 cm × 39.6 cm × 120 cm)の砂タ

ケース	C-1	C-2	C-3	C-4
上層	相馬砂	標準砂	標準砂	相馬砂
下層	相馬砂	標準砂	相馬砂	標準砂

ンクを作り、それに表-1に示す4ケースの砂層地盤を構成し、上から降雨強度が $r_1=30\text{mm/hr}$ および $r_1=70\text{mm/hr}$ の人工降雨を降らせ8ケースの実験を行った。浸透には初期水分量の分布が大きく影響するので、各実験で初期条件を一定にする為に、まず水位調節装置を上昇させて地盤内を飽和状態にした後に、地下水面を所定の位置まで下げて20時間放置した状態から実験を開始した。また、各実験とも地下水流出量が一定になった時に降雨を停止し、その後流出量が一定量に減少するまで測定した。

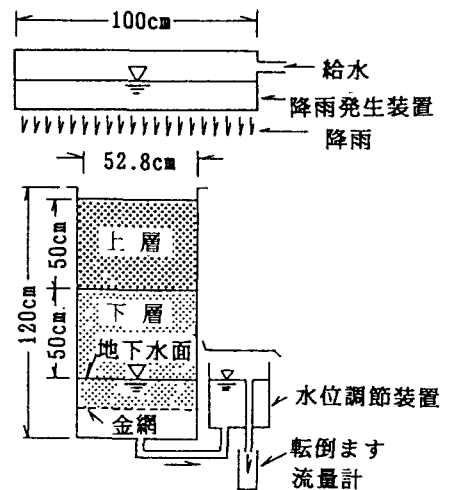


図-2 実験装置の概略

4.数値計算 鉛直一次元の不飽和-飽和領域の浸透を支配する基礎式は、鉛直下向きにz軸をとると次式で示される。

$$(C_w + \alpha S_s) \partial h / \partial t = - \partial h / \partial z \quad \dots (2)$$

$$v = -k(\partial h / \partial z - 1) \quad \dots (3)$$

ここに、 t : 時間、 S_s : 比貯留係数、 C_w : 比水分容量、 h : 圧力水頭、 k : 透水係数、 v : z 方向のDarcy流速であり α は、不飽和領域では0、飽和領域では1の値をとるダミー変数である。

数値計算は、式(2)を陰形式で差分法により行った。なお、不飽和領域の地盤の特性は、次の Van Genuchtenの式を式(1)の他に適用した。

$$K_r = k/k_0 = S_e^{1/2} [1 - (1 - S_e^{1/m})^m]^2 \quad \dots (4) \quad , \quad C_u = \alpha m (\theta_s - \theta_r) S_e^{1/m} (1 - S_e^{1/m})^m / (1 - m) \quad \dots (5)$$

5. 結果と検討 図-3に降雨強度が $r_i = 70\text{mm/hr}$ の場合の地下水流出量 q の時間変化について、実測値を実線で計算値を破線で示す。まず、実測値について検討を加えると次のようになる。

(1) 降雨開始後から土壌の自然保水量を超過して重力作用で下の方へ流下して地下水流出が始まるまでの所要時間は、単層ではC-2の方がC-1の方よりも若干長く、2層ではC-3、C-4ともほぼ同じである。しかし、単層よりも2層の方が短い。

(2) 流出開始後から一定流量になるまでの流出曲線の変化を見てみると、C-1、C-2およびC-4はほぼ一定の傾きで流出量が増加している。C-3は、まず上層で重力の作用が吸着作用と毛管作用に打ちかって降雨量と等しい流量を流下させるに必要な水分量になる。その後で下層が必要な水分量になるために傾きが階段的に変化していると考えられる。このことから、2砂層地盤の流出量の時間変化には、上層に細粒砂があるときには上、下層がそれぞれ影響し、上層に粗粒砂があるときには上層のみが影響するのではないかと推測する。

(3) 降雨停止後、流出量曲線は土壌水分が自然保水量になるためにある程度の時間がかかるため指数曲線のような減衰をしている。

次に、C-1、C-2およびC-4の計算値は実測値をよく再現しているが、C-3は十分に再現していないので、不飽和特性の計算への取入れ方を検討する必要がある。なお、降雨強度 $r_i = 30\text{mm/hr}$ については、 $r_i = 70\text{mm/hr}$ の場合と定性的に同じ結果が得られている。

6. おわりに 本報では、地盤の地質構造が鉛直浸透や地下水流出に及ぼす影響について室内実験と数値計算で検討を行い、基礎的な浸透および流出特性が明らかになった。今後、本報で得られた知見を基に不飽和・飽和領域における塩分などの物質輸送問題の研究を進めたい。

謝辞 本研究を行うにあたり、九州産業大学工学部奥蘭英明助教授および九州大学工学部神野健二助教授に有益な御助言、御協力を頂きました。ここに記して感謝致します。

参考文献 1) 土壌物理性測定法委員会編：土壌物理性測定法、養賢堂、pp.137-140、1982。

2) Van Genuchten, M.T.: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, Soil Sci. Soc. Am. J., 44, pp.892-898, 1980.

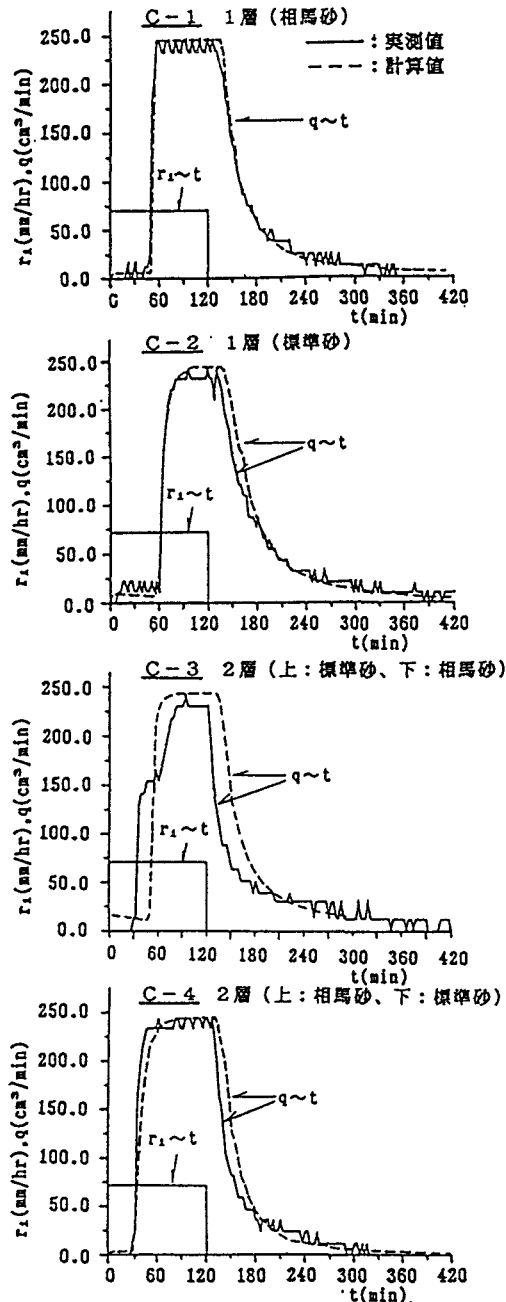


図-3 地下水流出量の時間変化