

東京大学大学院 学生員○盛谷明弘
 東京大学工学部 正員 高橋 裕
 東京都立大学工学部 正員 安藤義久

1. はじめに

降雨に対して不圧地下水がすばやく応答し、地下水位が急に上昇することは多くの観測によって示されている。しかし、これと比較すると土壌水の降下浸透速度は著しく遅い。Tominaga¹⁾、佐倉ら²⁾等はカラムを用いた実験によって、ローゼ³⁾が古くから指摘している毛管水帯内の圧力伝播を確認している。一方、不飽和領域での浸透については、Richards⁴⁾の式を用いて解析することが可能となっている。しかし、毛管水帯を考慮して、地下水面を固定して解析した例はあるが、地下水面変化を伴う現象を解析した研究はない。そこで本研究では毛管水帯の影響を考慮して、地下水面変化を伴う鉛直降下浸透による地下水涵養モデルを考案し、土柱を用いた実験との比較を行なった。

2. 実験装置及び方法

(1) 実験装置 実験装置の概要を図1に示す。実験には標準砂を直径30cmのアクリル製円筒カラムに均等に詰め、高さ1mの土柱を使用した。土柱の側面にはマンノメーター、下端には排水口をつけた。この土柱の上端より散水し、地下水位・土柱内の吸引圧・水温を測定した。地下水位はマンノメーターより目視で読み取り、吸引圧は、深さ10～90cmに5ヶ所設置した自記式テンシオメーターで記録した。また散水器内の水温を測定し、解析で使用する透水係数の補正に用いた。

(2) 実験方法 最初に土柱全体を用いて定水位法により飽和透水係数を測定した。次に土柱下端まで水位を下げて十分に排水させ、この状態を初期条件とした。散水継続時間は1時間とし、散水終了後水位の変化が止まった時点で排水させ、散水強度は、この時の排水量を転倒マスを用いて測定して逆算した。

3. 解析モデル

(1) 基本式と土壌物理条件 基本式にはRichardsの鉛直不飽和浸透の式を用いる。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ K(\psi) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right\} \quad (1)$$

θ : 体積含水率, ψ : 吸引圧, K : 透水係数, t : 時間, z : 座標軸 (上向き正)

ψ - θ 関係には図2に示すように排水過程の実験結果と適合性の高いBrooks and Corey⁶⁾の提案した(2)式を用いる。

$$\frac{\psi}{\psi_e} = \left(\frac{\theta - \theta_{\min}}{\theta_{\text{sat}} - \theta_{\min}} \right)^{-\frac{1}{\lambda}} \quad (2)$$

ψ_e : 限界吸引圧, θ_{sat} : 飽和体積含水率, $\theta_{\min}$: 最小体積含水率, λ : 定数

ψ - K 関係も同様にBrooks and Coreyの提案した(3)式を用いる。

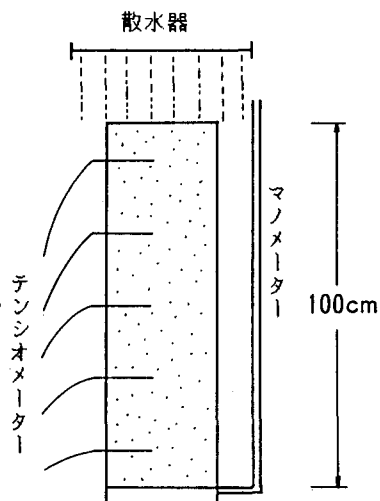


図1 実験装置の概要

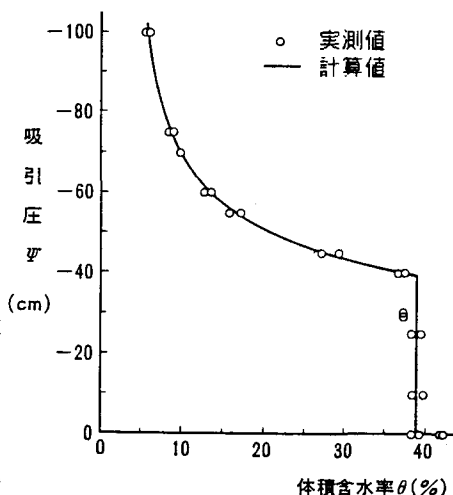


図2 ψ - θ 関係

$$\frac{K}{K_s} = \left(\frac{\theta - \theta_{\min}}{\theta_{\text{sat}} - \theta_{\min}} \right)^{\frac{2}{\lambda} + 3} = \left(\frac{\Psi}{\Psi_e} \right)^{-(2+3\lambda)} \quad (3)$$

K_{sat} : 飽和透水係数

(2) 差分式 (1)式を陽解法を用いて差分化した。

$\Delta t = 0.02 \text{ min}$, $\Delta z = 1 \text{ cm}$ とした。

(3) 初期条件と境界条件 初期条件は、実験の初期条件に合わせて $\psi = -z$ とする。土柱上端には境界条件として、散水継続中には散水強度の、終了後は0の下向きのフラックスを与える。

(4) 水位の変化を考慮した毛管水帯のモデルへの組み込み 毛管水帯内の水圧伝播現象のため、毛管水帯の上端にフラックスが到達すると、直ちに等量が地下水面に流入し、その値を有効間隙率で除しただけ地下水面及び毛管水帯が上昇するとした。毛管水帯に到達する浸透水は不飽和領域下端でのポテンシャル勾配にそこの吸引圧に見合う不飽和透水係数を乗じて求め、有効間隙率はパラメーターとして与えた。

4. 解析結果と考察

(1) 地下水位の上昇 水位の時間変化の実験値と計算値を比較した例が図3と図4である。図3は散水強度 47.6 mm/hr 、図4は 65.3 mm/hr である。有効間隙率は12%とおいた。両者ともに水位上昇の開始時刻はほぼ一致しており、不飽和領域及び毛管水帯の取り扱いが妥当なものであったといえる。また水位の上昇過程もある程度再現できている。

(2) ψ 分布 図4のケースの吸引圧の実験値と計算値を比較すると図5のようになる。吸引圧変化の傾向は計算によって再現されているが、絶対値は異なっている。この差は、 $\psi - \theta$ 関係にヒステリシスが存在するのに、排水過程の $\psi - \theta$ 関係のみを用いて計算したためと思われる。

5. 結論

毛管水帯の影響を考慮した鉛直降下浸透による地下水涵養モデルで、実験での地下水位の上昇をある程度再現できることを示した。

参考文献

- 1) Tominaga, Report of Nat. Res. Center for Disaster Prevention, No.23, pp. 141-184, 1980.
- 2) 佐倉・谷口, 地理評, 56, pp. 81-93, 1983.
- 3) ローゼ (山崎監訳), 土壌と水, 1963.
- 4) Richards, Physics, 1, pp. 318-333, 1931.
- 5) 浦上・高橋・安藤, 第40回年講, 1985.
- 6) Brooks and Corey, Hydrol. Paper No.3 Coro. St. Univ., 1964.

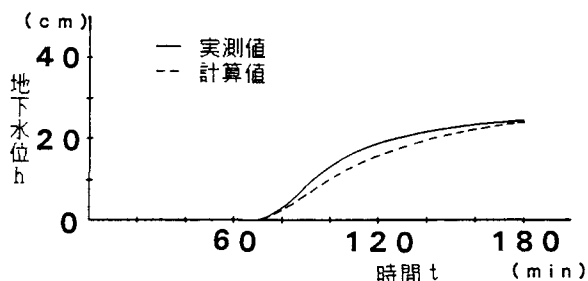


図3 地下水位の実測値と計算値の比較 (No.1)

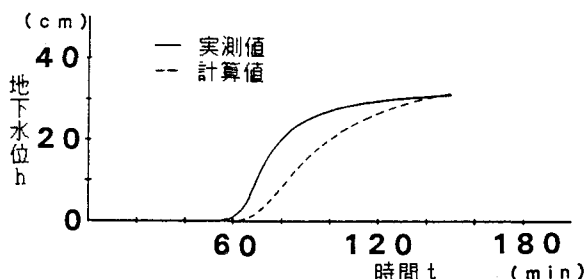


図4 地下水位の実測値と計算値の比較 (No.2)

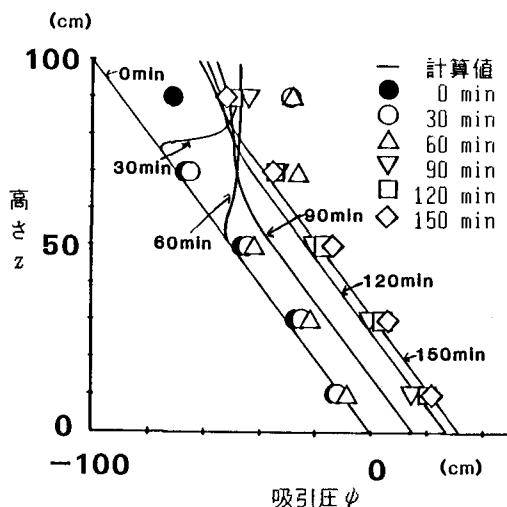


図5 ψ 分布の時間変化 (実測値と計算値)