

成層地盤における不飽和浸透過程に関する解析

名城大学理工学部 正 員 原田 守博
 同 上 田中 伸幸
 同 上 中島 清貴

1. はじめに

河川の中流域における生態系を考えると、植生や溜まりと地中の水分挙動との係わりを検討することが重要である。河道近傍の砂州は、出水時の流路の変遷による複雑な堆積過程を経て、砂礫層とシルト層等が成層化した地層構造となっている。地中水分もそうした地盤構造の影響を受けて、砂州内で複雑に挙動していると考えられる。また、実際の河川敷には、地下水面よりも上に存在するにも拘わらず枯渇しない溜まりが存在し、枯渇しない要因として地盤の成層性が考えられている。本研究では、粗粒土層と細粒土層による成層地盤を想定して、地中の不飽和浸透流について数値解析を行ない、成層構造が地中の水分分布に及ぼす影響について検討した。

2. 数値解析手法

本研究では、河川敷に存在する溜まりから地下水面への不飽和浸透流を対象とし、図-1の枠内における鉛直二次元かつ定常的な流れについて解析した。両端と地表の境界条件は不透水境界とした。不飽和浸透流の基礎式であるRichardsの方程式は、定常二次元の場合、次式となる。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[k(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[k(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial z} + k(\psi) \right] = 0 \quad \dots (1)$$

ここに、 ψ ：圧力ポテンシャル、 z ：鉛直高さ、 t ：時間、 k ：不飽和透水係数である。計算は、上式を差分展開して緩和法により行なった¹⁾。解析の対象スケールは縦3m、横3mで、差分格子はそれぞれ50とした。定常状態を想定して、溜りに相当する左上の湛水域の水位は一定としている。土壌の透水性を表わす ψ と k の関係ならびに ψ と θ の関係には、次のBrooks and Coreyの式を使用した。

$$\begin{aligned} |\psi| < \psi_b : k &= k_o, \quad \theta = \theta_e \\ |\psi| \geq \psi_b : k &= k_o \left(\frac{\psi_b}{\psi} \right)^\eta, \quad \theta = \theta_e \left(\frac{\psi_b}{\psi} \right)^{-1/b} \quad \dots (2) \end{aligned}$$

ここに、 k_o ：飽和透水係数、 ψ_b ：限界毛管圧、 θ_e ：有効含水率であり、 b と η は土壌の粒径分布による定数である。対象とする土壌は、粗粒土から細粒土まで、図-2に示すような水分特性の異なる5種類ものを想定した。対象地盤は、5種類の土壌①～⑤のうち2種類から構成される2層地盤を想定した。ただし、それぞれの層厚は同一とした。

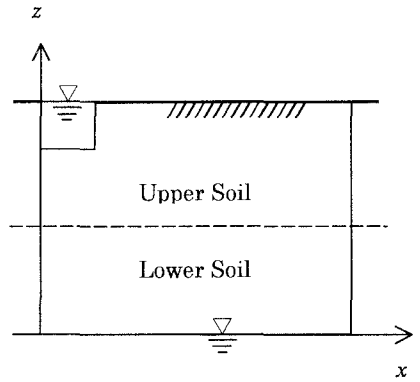


図-1 成層地盤上の溜まりからの浸透過程

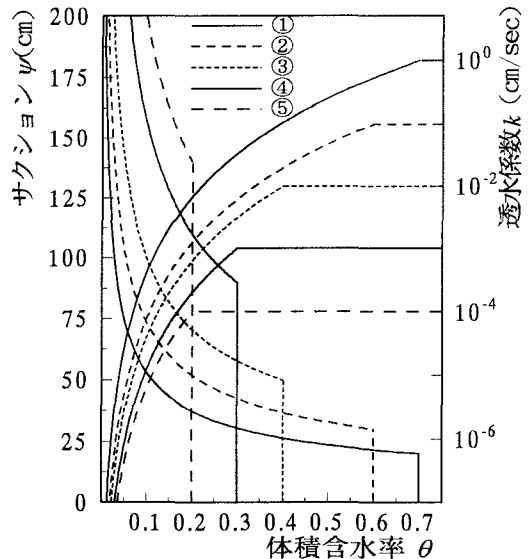


図-2 対象とする土壌の不飽和浸透特性

3. 計算結果と考察

式(1)を差分解析して、湛水域から2層地盤への不飽和浸透状況ならびに地下水面への涵養高 Q を評価した。ここでは、土壌ごとの k_o と ψ_s 、 θ_e の違いによる影響に注目することとして、 b と η については便宜的に細砂と同様な値を設定した。まず、下層土壌の不飽和特性を固定したうえで、上層を粗粒土①から細粒土⑤まで換え、地下水面への涵養高 Q を調べた結果を図-3に示す(実線)。この図によると、下層土壌がどの場合においても、上層の透水性が小さくなるにつれて、地下水面への涵養高 Q は急減することがわかる。

図中の点線は、上層の透水係数 $k_{o,U}$ が0.01のときの結果をつないだものであるが、左方で一定の値を取っていることから、 $k_{o,U}$ が涵養高 Q に大きな影響を与えていることが推察される。なお、図中には、上層の土壌について ψ_s 、 θ_e を固定し、 $k_{o,U}$ のみを1.0から0.0001(cm/sec)まで変化させた場合の結果も併記した(破線)。実線と破線の比較により、パラメータ k_o 、 ψ_s 、 θ_e のうち、 k_o が現象への影響が最も大きいことが理解される。

つぎに、含水率 θ の値をもとに土壌中の有効飽和度 $S_r = \theta / \theta_e$ を計算し、その分布の一例を図-4、5に示す。図-4は、上層が粗粒土①で下層が細粒土③の組み合わせの場合で、土層の境界の直上部で著しい S_r の低下が見られる。その逆の組み合わせである図-5では、境界より直ぐ下の部分で、 S_r の大きな低下が認められる。その他の土の組み合わせについても計算したところ、上層が粗粒土で下層が細粒土という組み合わせでは図-4、その逆の組み合わせでは図-5のような分布となる場合が多く認められる。

4. 終わりに

地盤の成層性により、下層の k_o の値が上層の100分の1ほどの場合、溜りから地下水面への涵養高が1割以下に減少することが分かった。今回の解析では、上下2層の成層地盤について検討したが、実際の地盤はさらに多数の土層が複雑な成層地盤を形成している。今後は、そうした多層地盤のモデル化について検討を続けたいと考えている。

参考文献：

1) 土木研究所水文研究室：地下埋管からの浸透機構とその応用に関する研究，土研資料第2246号，1985。

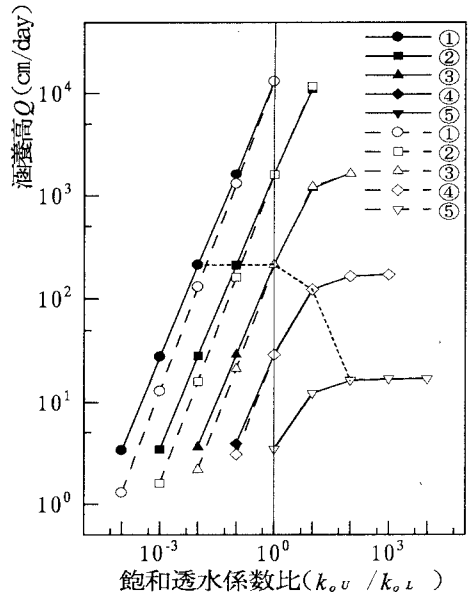


図-3 飽和透水係数と涵養高の関係

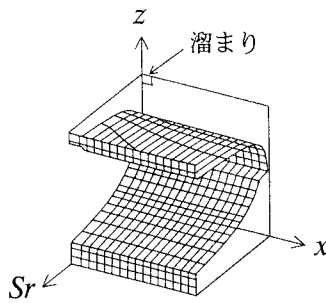


図-4 有効飽和度の分布 (上層が①, 下層が③)

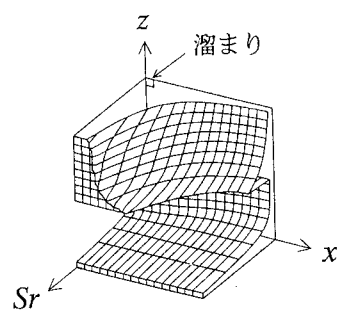


図-5 有効飽和度の分布 (下層が③, 上層が①)