

東京大学生産技術研究所 正員 中明功臣
日本工管(株) 正員 桑原 衛

1. はじめに 都市域における雨水流出抑制策並びに地下水涵養機能の保全策として、住宅・都市整備公団が東京都昭島つつじヶ丘ハイツ内に各種の雨水浸透施設を試験

施工している。筆者らは、その中の地下浸透トレンチを対象に実施した注水実験を基に浸透特性を考察し、第27回水議で報告した¹⁾。本報では、現地で採取した土壌小サンプルの室内試験により浸透を支配する土壌物理パラメータを求め、それを用いた数値解析結果と実験結果を対比することによって、小サンプル試験に基づく浸透特性の評価の可能性を検討する。

2. 注水実験の概要 注水実験の対象とした地下浸透トレンチの諸元を図1に示す。トレンチ設置場所付近の土層は、表層約90cmまで造成工事によって攪乱されたローム質土壌、90~300cmの間が立川ローム層、それ以深は粗粒砂礫よりなる立川礫層であり、地下水位は地表面下10m付近にある。このトレンチの周辺には図2に示すようにテンシオメータを配置し、実験中の土壌の吸引圧の変化を測定している。注水実験開始後トレンチ上面に水位が達すると、その水位が保たれるように注水量を調節し、注水量(=浸透量)がほぼ一定となった時点で注水を停止する。実験はトレンチ周辺の土中水分条件が異なる日を選び1981年8月11日(実験A)、同年12月9日(B)、1982年4月9日(C)、1982年7月8日(D)の計4回行った。

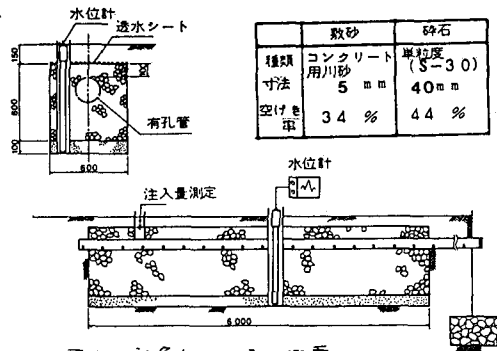


図1. 対象トレンチの概要

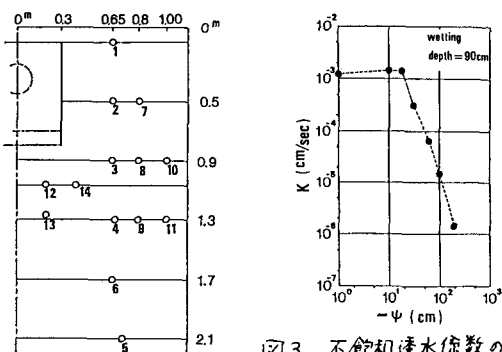


図2. テンシオメータの配置

3. 数値計算 <基礎式> トレンチ横断面における2次元流を考え、横断水平方向にX軸、鉛直方向にZ軸をとり、浸透方程式を吸引圧を陽に含む形で表わすと、

$$f(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ K_z \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right\} \dots (1), \quad f(\psi) = \partial \theta / \partial \psi \dots (2)$$

ここに、 ψ : 吸引圧、 K_x , K_z : それぞれ、Z方向の不飽和透水係数で ψ の関数(ただし今回の計算では $K_x = K_z$)、 θ : 体積含水率、 $f(\psi)$: 水分保持特性曲線より定まる微係数。

(1) 式をADI法により差分化し数値計算を行う。
<K- ψ 関係> 各深度において高さ4cm直径10cmの円筒質料を採取し、加圧型不飽和透水係数測定装置を用いて不飽和透水係数と吸引圧の関係を求めた。この試験には種々の難点が伴ない吸引圧の広い範囲にわたって不飽和透水係数の値が定められた試料は少ないが、良好な結果が得られた例を図3に

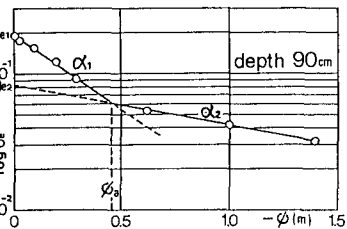


図3. 不飽和透水係数の実測例

表1. θ_e の定式化に用いられたパラメータ

DEPTH (m)	α_1	α_2	θ_{e1}	θ_{e2}	θ_i
0.1	2.25	0.610	0.20	0.10	0.46
0.5	1.77	0.917	0.18	0.12	0.53
0.9	1.85	0.693	0.20	0.12	0.49
1.3	2.54	0.607	0.20	0.08	0.55
1.7	3.44	0.552	0.16	0.05	0.55
2.1	3.07	0.696	0.12	0.05	0.57

示す。これらの結果から $K-\psi$ 関係には次の式形を適用する。

$$K(\psi) = K_0(\psi/\psi_{cr})^{-\beta} \quad \left. \begin{array}{l} \psi < \psi_{cr} \\ \psi \geq \psi_{cr} \end{array} \right\} \quad (3)$$

$$= K_0$$

ここに、 K_0 :飽和透水係数、 ψ_{cr} :土壌間隙に空気が表れる時の ψ の値、 β :土壌の間隙特性等で定まる定数。

試験結果より、 $K_0 = 1.6 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ 、 $\beta = 2$ 、 $\psi_{cr} = 20 \text{ cm}$ とし、全深度についてこの値を用いる。

〈 $\theta-\psi$ 関係〉各テンシオメータ埋設深度において高さ5

cmの100cc円筒土壌サンプルを採取し、土柱法、吸引法および加圧板法において $\theta-\psi$ 関係を求めた。一方、表層を除いて吸引圧はある値(ほぼPF25)を越えることは稀で、トレンチからの浸透現象には ψ がその値以下の間隙が有効に働いていると判断される。そこで有効含水率を次の様に定義する。

$$\theta_e(\psi) = \theta(\psi) - \theta_i \quad (4)$$

ここに、 θ_e :有効含水率、 θ_i :ここではPF25に対する含水率とする。

各深度の吸水過程の $\theta-\psi$ 関係に対して、 θ_e と ψ の関係を調べると次のように定式化できることがわかった。(図4)

$$\left. \begin{array}{l} \log \theta_e = \alpha_1 \psi + \log \theta_{e1} \quad \psi \geq \psi_a \\ = \alpha_2 \psi + \log \theta_{e2} \quad \psi < \psi_a \end{array} \right\} \quad (5)$$

ここに、 ψ_a : θ_e と ψ の値が変化する吸引圧の値、 θ_{e1} :飽和状態の有効含水率、 θ_{e2} : $\psi < \psi_a$ の直線部分を延長した時の θ 軸との交点、 α_1 、 α_2 :図4中の直線の傾き。各深度に対する α_1 、 α_2 、 θ_{e1} 、 θ_{e2} 、 ψ_a の値を表1に示す。

〈初期境界条件〉①各実験の開始時におけるテンシオメータ実測値を基に深度2mまでは水平方向に一樣な初期条件を与え、それ以深では一樣な吸引圧を与える。②地表面下4m、トレンチ中心から水平方向3mに境界を設定し、底部では吸引圧一定、側面では透水係数0。③トレンチ内で水面より上方の部分については、トレンチに流れ込む方向の透水係数を0。

4. 解析結果の再現性 浸透能の時間変化、各測点の吸引圧の時間変化および飽和域の拡大範囲について、実験と数値解析の結果を比較したが、それを用いて図5、6、7である。透水係数は小サンプルによる試験の中でも大きいものを採用しているが、図5によると数値解析結果は実験結果より2~3割小さな値となっている。小サンプル試験に基づく透水係数は現地の透水係数より小さい値を与えるようである。ただし、実験毎の土中水分条件による浸透能の相違はよく再現されている。図6の吸引圧の時間変化は1m以深ではほぼ一致しているが、1m以浅では傾向は表わしているものの値に大きな相違がある。これは、浅層の土壌特性が異なるにもかかわらず透水係数を一様としたためであると考えられる。飽和域の拡大範囲も同様な理由により浅層でかなり隔りがあるが、深層では両者はほぼ一致しており、飽和域があまり拡大しないという実験結果を再現している。

参考文献: 虫明, 桑原: トレンチ型雨水処理施設の浸透特性に関する研究, 第27回水講, 1983.2

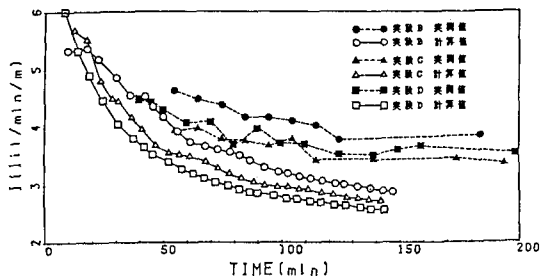


図5. 浸透能の時間変化

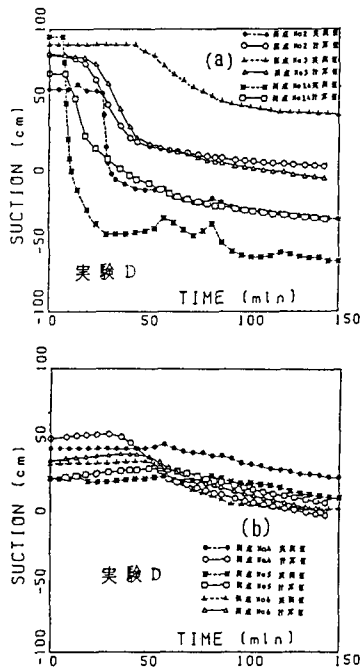


図6. 各測点における吸引圧の時間変化

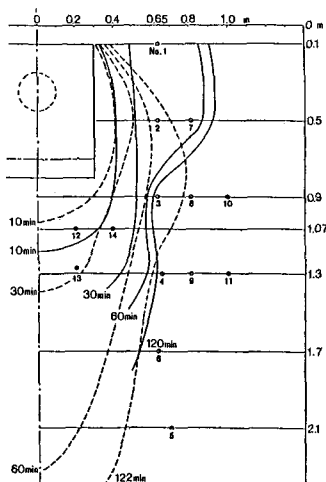


図7. 飽和域の拡大範囲