

早稲田大学理工学部 正会員 鮎川 登

三井海洋開発(株) 下村博史, (株) 鴻池組 松本秀司

西松建設(株) 中尾幸久, 新日本製鐵(株) 野崎啓太

1. はじめに 都市河川の治水対策として流域からの流出を抑制する方法が検討されている。著者は流出抑制方法の一つである浸透トレンチの浸透特性について実験的に検討してきた。¹⁾ このことは、浸透トレンチからの浸透量に与える降雨の影響について数値計算を行ない、実験値と比較した結果について述べる。

2. 実験装置と実験方法 実験装置は図-1に示すような、厚さ16 cmの片面ガラス張りの鋼製の箱に砂(間隙率0.45, 飽和透水係数 1.67×10^{-2} cm/s)を入れたものである。装置の右上部には浸透トレンチの模型を設け、また砂の上部には降雨発生装置を置いて、任意の雨量の雨を降らせることが出来るようになっている。砂の中には、22本のテンシオメーターが埋め込まれていて、各地点の毛管圧水頭の測定が可能となっている。実験では砂の上から、降雨強度0, 50, 100 mm/hrの雨が降る場合について、浸透トレンチからの浸透量の時間変化と、各地点の毛管圧水頭の時間変化を計測する。

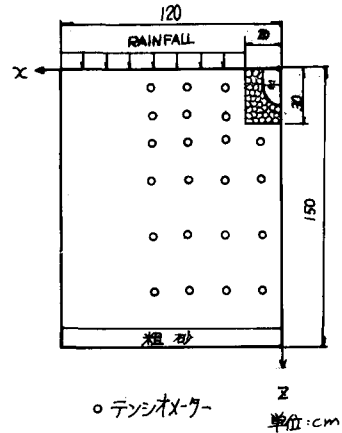


図-1 実験装置

3. 不飽和浸透流の基礎方程式と境界条件

二次元不飽和浸透流の基礎方程式はダルシーの法則と連続方程式を連立させることにより導くことができる。1) 砂が等方性と有し、X方向とZ方向の不飽和透水係数 $k(\psi)$ が等しいとすると、基礎方程式は毛管圧水頭 ψ を未知数として、(1)式のように表される。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ K(\psi) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} - 1 \right) \right\} = n \frac{\partial S(\psi)}{\partial \psi} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (1)$$

ここに、 n は間隙率、 $K(\psi)$ は不飽和透水係数、 $S(\psi)$ は飽和度、 t は時間である。境界条件は次のようである。

(1) トレンチの周辺では、毛管圧水頭がトレンチ内の水圧に等しいとする。

(2) 装置の上端では、浸透流量が降雨量 R に等しい

$$\left. \begin{aligned} & -k(\psi) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} - 1 \right) = R \\ & -k(\psi) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} - 1 \right) = 0 \\ & -k(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial x} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

(3) 装置の下端、左右両端は、不透水面としてこれらと横切る流れはない。

4. 水分保持特性と不飽和透水係数 (1) 式を数値計算で解くためには、水分保持特性 $S(\psi)$ と不飽和透水係数 $K(\psi)$ の関数型を知らなければならぬ。水分保持特性 $S(\psi)$ は、実験砂について PF 試験を行うことにより知ることが出来る。本研究で使用した砂の水分保持特性 $S(\psi)$ は図-2のようである。不飽和透水係数 $K(\psi)$ は次のようにして推定した。図-3には、浸透トレンチからの浸透をなくし、砂の上部から時間雨量50, 80, 100, 120, 150 mm/hrの降雨のみを与えた場合、実験開始後300 min後における、Z方向の毛管圧水頭分布を示してある。この時点では、毛管圧水頭の時間変化がなく、定常状態にある。

不飽和浸透流がダルシーの法則に従うとすれば、砂の上部における毛管圧水頭を ψ 、降雨強度を R とすると、次のような運動方程式が成立している。

$$-K(\psi) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} - 1 \right) = R \quad (3)$$

図-3によると装置の上部では、毛管圧水頭は z 方向に変化しない ($\partial \psi / \partial z = 0$) から

$$K(\psi) = R \quad (4)$$

となる。与えられた降雨強度の下で ψ を求めれば、 $K(\psi)$ の関数型を推定することが出来る。Gardner は不飽和透水係数について、次のような実験式を与えている。

$$\frac{K(\psi)}{K_0} = \frac{B}{|\psi|^N + B} \quad (5)$$

ここに K_0 は飽和透水係数、 N 、 B は定数である。

上記のようにして、降雨実験により求めた不飽和透水係数 $K(\psi)$ と毛管圧水頭 ψ の関係をGardnerの式(5)に従ってプロットすると、図4のようになる。図-4の実線は、最小2乗法により、決定された $N=4.11$ 、 $B=6.5 \times 10^5$ の値を用いて(5)式の関係を示したものである。

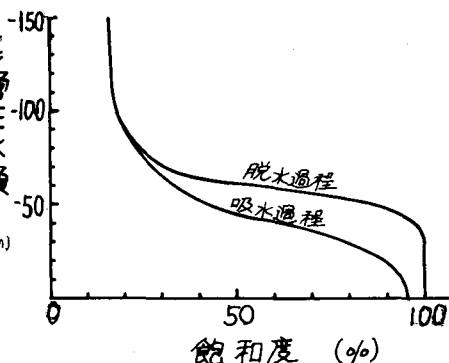


図-2 水分特性曲線

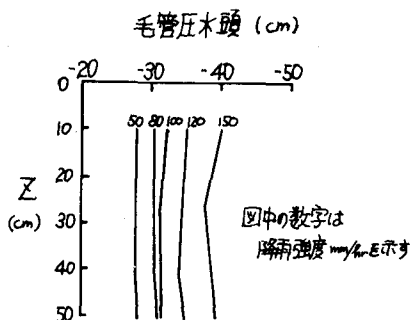


図-3 毛管圧水頭、 z 方向分布 ($t=300 \text{ min}$)

5. 実験結果と計算結果の比較 基礎方程式(1)と、境界条件(2)の下でCrank-Nicholsonの差分スキームにより差分化し、図-2および図-4に示す、水分保持特性 $S(\psi)$ と不飽和透水係数 $K(\psi)$ の関係をを用いて、S.O.R法により毛管圧水頭 ψ の数値解を求め、ダルシーの法則により浸透量を求めた。降雨がない場合と降雨強度100 mm/hrの降雨がある場合の浸透トレンチからの浸透量の時間変化と実験値をプロットと計算値を実線と示すと図-5のようになる。図-5によると計算値がほぼ妥当な値を与えていることが分かる。

なお本研究は文部省科学研究費補助金(自然災害特別研究Ⅱ): 研究代表者早稲田大学理工学部 吉川秀夫 教授)の補助を受けたことを付記し、謝意を表します。

参考文献:

- 1) 鮎川, 坪田, 内田: 浸透トレンチの浸透特性に関する実験的研究, 第38回年次学術講演会講演概要集, 1983.10
- 2) 鮎川, 下村, 坪田: 浸透トレンチの浸透特性に関する実験的研究, 第38回木理講演会論文集, 1984.2

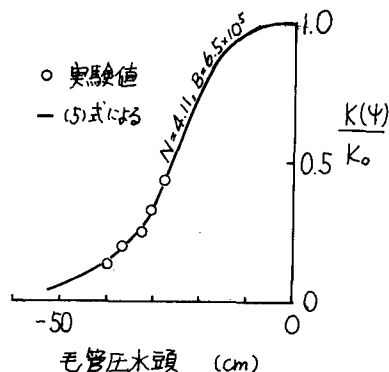


図-4 不飽和透水係数 $K(\psi)/K_0$

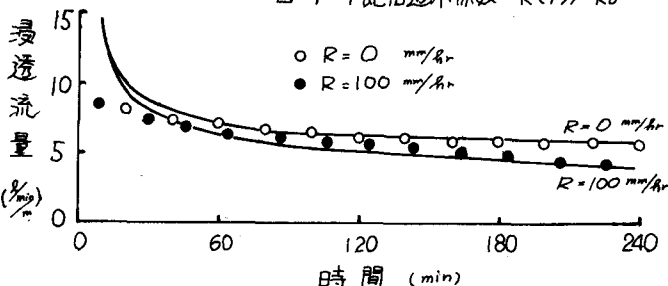


図-5 トレンチからの浸透流量の時間変化