

早稲田大学理工学部 正会員 鮎川 登
建設省土木研究所 正会員 吉野 文雄
日本電信電話公社 正会員 O加茂 孝之

1.はじめに 昭和30年代後半以降の経済の高度成長に伴う人口の都市集中により都市周辺の河川の流域の市街化が急激に進行した。その結果、洪水ピーク流量が増大し、洪水氾濫の危険性が増大した。このような都市河川の洪水に対する対策の一つとして流域からの流出を抑制することが考えられている。ここでは、流出抑制法のひとつである円筒形浸透樹の浸透特性に関して数値計算により検討した結果について述べる。

2.基礎方程式 円筒形浸透樹からの浸透は軸対称の非定常不飽和浸透流となり、その基礎方程式は、鉛直下向きに z 軸、地表面水平方向に r 軸をとる円筒座標系によると、次式で与えられる。

$$\frac{\partial}{\partial r} (K_r \frac{\partial \psi}{\partial r}) + \frac{K_r}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial z} \{ K_z (\frac{\partial \psi}{\partial z} - 1) \} = n \frac{\partial S}{\partial t} \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (1)$$

ここで、 ψ は毛管圧水頭、 K_r 、 K_z はそれぞれ r 方向、 z 方向の不飽和透水係数、 n は土壌の空隙率、 S は飽和度であり、 K_r 、 K_z および S はそれぞれ ψ の関数として表示されるものとする。不飽和浸透流の流速は次式で与えられるものとしている。

$$v_r = -K_r \frac{\partial \psi}{\partial r}, \quad v_z = -K_z (\frac{\partial \psi}{\partial z} - 1) \quad (2)$$

3.数値計算 基礎方程式(1)を、 r に関する微分を explicit に、 z に関する微分を implicit に差分化し、Gauss-Seidel の反復法により数値的に解き、浸透流量を求めることを試みた。数値計算の妥当性を検証するために、建設省土木研究所で行なわれた実験¹⁾における浸透流量の測定値と計算値を比較した。実験は円筒形浸透樹の底面および側壁から浸透する場合(A型)と底面からだけ浸透する場合(B型)の2ケースについて行なわれている。浸透樹の内径はA型が70cm、B型が69cmで、いずれも地中90cmの深さまで埋設されており、浸透樹内の水深は60cmに保たれている。A型の場合には、図1に示すように浸透樹のまわりに砕石が置かれている。

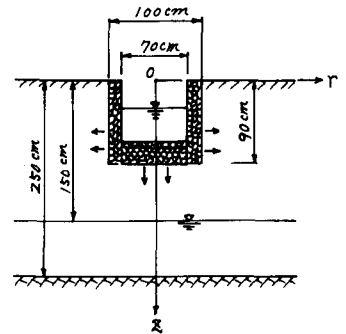


図1. 円筒形浸透樹(A型)

実験地の地質は関東ローム(空隙率0.73)で、地下水面は地表面から約1.5mの深さにある。

数値計算には、 S と ψ の関係および K と ψ の関係が必要である。 S と ψ の関係は測定値に基づいて決定した。 K と ψ の関係については測定が行なわれていないので、Gardnerによる関数形²⁾

$$\frac{K}{K_0} = \frac{b}{|\psi|^a + b} \quad (3)$$

を用いた。ここで、 K_0 は飽和透水係数、 b および a は定数である。実験の K_0 は0.01 cm/s程度と推定されたので、 $a=5$ 、 $b=10^7$ とした。 K_0 の値は浸透流量の測定値と計算値が一致するように決め

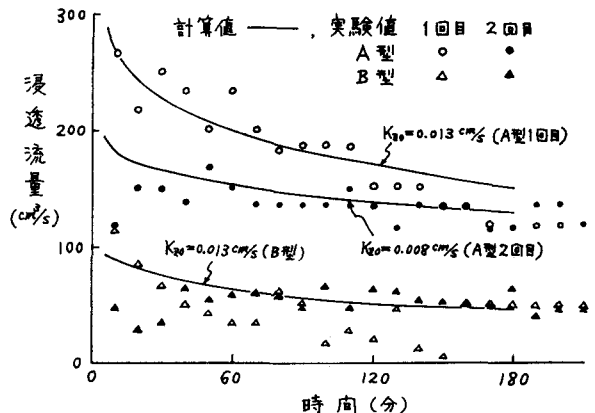


図2. 浸透流量の実験値と計算値の比較

た。 $K_{20}=0.008$ および 0.013 cm/s , $K_{r0}=0.001 \text{ cm/s}$ とした場合の浸透流量の計算値と測定値の比較を図るに示す。この飽和透水係数の値は関東ローム層で得られている値よりも非常に大きい値になっている。

4. 浸透特性 円筒形浸透槽からの浸透には、土壌の透水係数、間隙率、 S と ψ の関係（水分特性曲線）などの土壌の特性、浸透槽の大きさ、水深および降雨や初期の土壌水分状態、地下水などが影響するものと考えられる。ここでは、土壌の条件は実験地のものを用い、 $n=0.73$, $K_{20}=0.01 \text{ cm/s}$, $K_{r0}=0.001 \text{ cm/s}$, $a=5$, $b=10^7$ とし、他の条件が浸透流量におよぼす影響について数値計算により検討した結果を示す。

(1) 初期の土壌水分状態の影響 土壌水分状態を ψ の分布で表現することにし、図3の右上部に示した3ケースの ψ の分布を初期条件としてA型およびB型の浸透槽について計算した結果を図3に示す。初期土壌水分の多い方が浸透流量が約10%大きい結果になった。その理由については検討中である。

(2) 降雨の影響 降雨強度10, 30, 50 mm/hの降雨がある場合のA型浸透槽（初期条件②, 水深60cm, 地下水位 $z_{GT}=150 \text{ cm}$ ）からの浸透流量を計算した結果によると、降雨強度50 mm/hの場合でも3時間後の浸透流量が約5%減少する程度で、浸透流量は降雨の影響をあまり受けないことが示された。

(3) 水深の影響 A型およびB型（初期条件①, 内径100cm, 地下水位 $z_{GT}=150 \text{ cm}$ ）について水深を変えて浸透流量を計算した結果を図4に示す。A型、B型とも浸透槽内の水深が増加するにつれて浸透流量は増加するが、B型は増加のしかたが小さいことがわかる。

(4) 浸透槽断面積の影響 A型およびB型（初期条件①, 水深60cm, 地下水位 $z_{GT}=150 \text{ cm}$ ）について内径を変えて浸透流量を計算した結果を図5に示す。A型、B型とも断面積が大きくなると、浸透流量が増加することがわかる。

(5) 地下水位の影響 A型（初期条件①, 内径100cm, 水深60cm）について地下水位を変えて浸透流量を計算した結果を図6に示す。地下水位が高くなると、浸透流量が減少することがわかる。

5. おわりに 本研究では、一種類の土壌について地下水位が地表から150cm, 浸透槽の底面から60cmと非常に浅い場合の浸透特性に関する検討を行なったが、今後、土壌の条件を変え、また地下水位の深い場合について検討する積りである。

参考文献 1) 吉野文雄・金木誠・斉藤松美・小川良市：浸透型雨水貯留施設による流出抑制効果に関する検討, 土木技術資料, 23-9, 1981.

2) H. Bouwer: Groundwater Hydrology, McGraw-Hill, 1978, p.239.

図3. 浸透流量におよぼす初期条件の影響

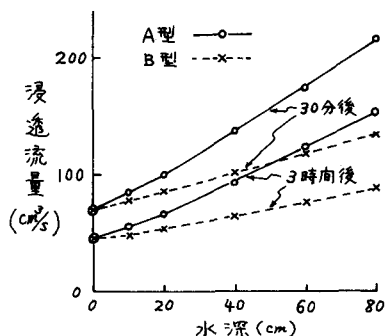
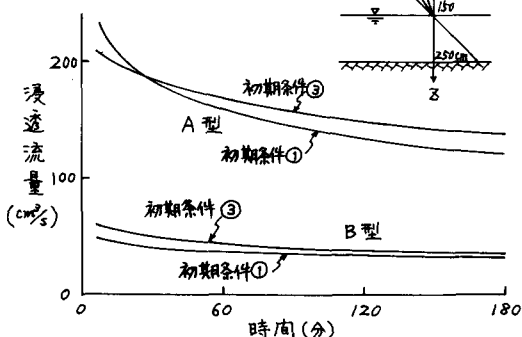


図4. 浸透流量と水深の関係

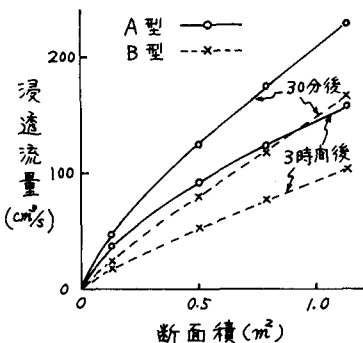


図5. 浸透流量と浸透槽断面積の関係

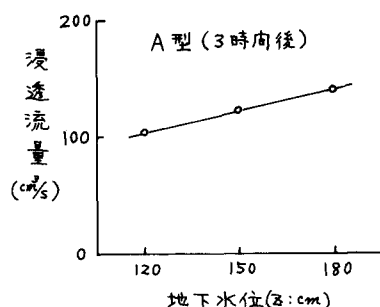


図6. 浸透流量と地下水位の関係