

山梨大学工学部 正会員 宮沢 直季
山梨大学工学部 正会員 萩原 能男

1. はじめに

多孔材料にはコンクリート、多孔セラミックス、砂層土壌などがあり、その性質を表す物性値には密度、空隙率、圧縮強度等がある。そのうち多孔材料中の浸透流に関する物性値では、低圧でダルシー則の透水係数が支配的であり、水圧の増加とともに拡散係数も重要な要素となる。表面張力による流れ（毛管浸透流）では、従来透水係数とキャピラリー定数をその流れを定める物性値としていた。しかし、著者らは多孔材料中の毛管浸透流を管径一様な毛細管の集まりと考え単純モデルを提案し、上述に答える2つの物性値が最終浸透高 ZE と平均浸透速度 V_0 （透水係数と同等）であることを述べた。¹⁾さらに数値モデルの妥当性を検証するために砂を用いた基礎的実験を行なったが、一定の物性値を与えないことがわかった。²⁾そこで本報告では、砂層中の毛管浸透流が2つの物性値のほか他に他の物性値が関与しているものと考え、その物性値を明らかにしようとしたものである。

2. キャピラリー定数と最終浸透高との関係

キャピラリー定数とはコンクリート等の多孔材料中における毛管力に関する物性値であり、(1)式のように表わされる。

$$K_c = \rho g d_p r_s / \sigma \cos \alpha \quad (1)^{3)}$$

ただし、 ρ : 流体の密度 g : 重力加速度 d_p : 多孔材料の有効径

r_s : 平均飽和域高さ σ : 表面張力 α : 接触角

この式より明らかのように K_c は多孔材料の有効径、液体との接触角などに関係する物性を表すものであり、多孔材料中を浸透する液体の径路の幾何学的形状に関係する物性値である。Fig-1に示す一様断面毛細管モデルでは $K_c = 4$ となり、毛細管の内径とは関係なく定数である。そこで、本報告では最終浸透高 ZE を新たに物性として加えた。この ZE は r_s と(2)式のように対応している。

$$ZE = (4/K_c) \cdot (d_p/d) \cdot r_s \quad \text{ただし、} d: \text{内管径} \quad (2)$$

3. 実験資料の解析方法

Fig-1に示すように、管内径を d 、液体の密度を ρ 、動粘性係数を ν 、表面張力を T 、接触角を α 、毛管浸透高を Z 、時刻を t とすると基礎方程式は、

$$d^2 Z / dt^2 + A dZ / dt - B(Z + Z_0) + Z(Z + Z_0) \cdot g = 0 \quad (3)$$

となる。砂層中の毛管浸透流では、慣性項 $d^2 Z / dt^2$ の影響が小さいことが確認されたので無視して解くと

$$\theta = -\left\{ \xi + (1 + \xi_0) \ln |1 - \xi| \right\} \quad (4)$$

が得られる。無次元浸透速度 $\frac{d\xi}{d\theta}$ を求めると

$$d\xi / d\theta = (1 - \xi) / (\xi + \xi_0) \quad (5)$$

となる。ただし、 $\theta = t/t_0$ 、 $t_0 = A \cdot B / g^2$ 、 $\xi = Z / ZE$ 、 $\xi_0 = Z_0 / ZE$

$ZE = B/g$ 、 $A = 32\nu/d^2$ 、 $B = 4T \cos \alpha / \rho d$ であり、 t_0 を代表浸透時間、 ZE を最終浸透高、 Z_0 を表面浸透高、 V_0 を平均浸透速度と呼ぶ。

著者らは、今まで $Z_0 \approx 0$ としたが、浸透の初期状態の乱れを Z_0 が示すと

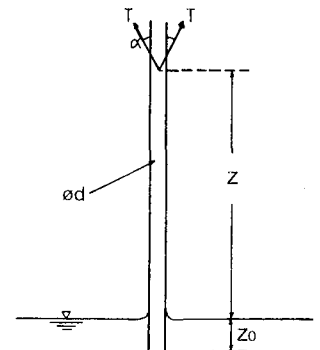


Fig-1 一様断面毛細管モデル

に対する浸透高 Z_i が n 組のデータとして得られている。このデータから i 番目の浸透速度 V_i は前後の浸透速度の平均を取った。得られたデータ (Z_i, V_i) から式 (5) を式 (6) に書き換えて最小自乗法を用いて物性値 ZE, V_0, Z_0 を求めた。

$$V_i \times Z_i + V_0 \times Z_i + Z_0 V_i - X_0 = 0 \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad \text{ただし, } X_0 = ZE \times V_0 \quad (6)$$

4. 計算結果および考察

代表的な種類の砂(砂ふるい分け範囲 $d=0.11\sim0.25\text{ mm}$ $0.6\sim0.85\text{ mm}$, $2.0\sim5.0\text{ mm}$)に対して、実験データに合うような平均浸透速度 V_0 、最終浸透高 ZE 、表面浸透高 Z_0 を最小自乗法により計算し、浸透速度に対する浸透高を図示したものを Fig 2~Fig 4 に示す。図中の丸印は実験結果であり、実線が Z_0 を考慮した解析結果、破線が $Z_0=0$ として解析した結果である。また Table-1 ではそれらの結果をまとめたものである。これらの結果より考察すると、ふるい分け範囲が $0.11\sim0.25\text{ mm}$ では本報告で提案した Z_0 を含むモデルの方が、浸透速度の大きい範囲では Z_0 を考慮しないものと比べて、比較的良く合っている。しかし、浸透速度が小さい範囲 ($\times 10^{-5} \text{ cm/s}$ 以下) では、最終浸透高に比べて浸透高が高いという矛盾も生じた。また、ふるい分け範囲が $0.85\sim0.60\text{ mm}$, $2.0\sim5.0\text{ mm}$ では解析結果と実験結果は合わない。この原因として、実験値に対するバラツキやこの現象に関与する他の物性値が関係していると思われる。特に $2.0\sim5.0\text{ mm}$ のふるい分け範囲で顕著である。さらに Table-1 より砂層に適用した本浸透モデルに対する各物性値の効果は、最終浸透高 ZE よりも平均浸透速度 V_0 の方が大きいものと思われる。

5. おわりに

以上より、砂層中の毛管浸透流において2つの物性値のほか浸透の初期乱れ効果を示すと思われる表面浸透高 Z_0 も加えて解析も行なったが、まだ浸透流に関する物性値がこの他にあることが予想される。今後の方針としては、この物性値を究明することが重要な課題であると思われる。

なお、本報告に対して協力していただいた卒論生渡辺利夫君に感謝の意を表わす。

参考文献

- 1) 萩原、伊藤 多孔材料中の毛管浸透流モデルに対する一提案 第37回年次講演会 1982
- 2) 萩原、伊藤 他 毛管浸透流における物性値の考察 第38回年次講演会 1983
- 3) 近藤通一編 多孔材料 技術図書出版

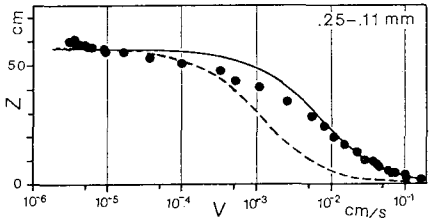


Fig-2 浸透速度と浸透高の関係
実線: Z_0 考慮あり 破線: 考慮なし

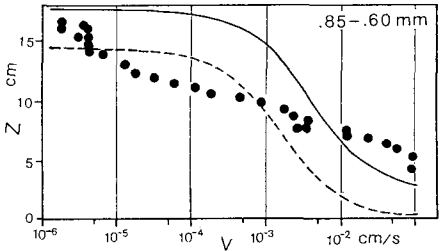


Fig-3 浸透速度と浸透高の関係
実線: Z_0 考慮あり 破線: 考慮なし

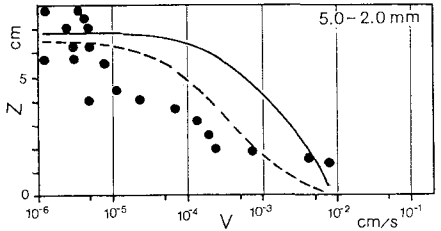


Fig-4 浸透速度と浸透高の関係
実線: Z_0 考慮あり 破線: 考慮なし

砂ふるい分け範囲 mm	単位容積重量 gf/cm ³	平均水温 °C	ZE cm	V ₀ cm/s	t ₀ sec	Z ₀ cm
.25 - .11	1.417	10.7	56.6	0.067	8474	0.6
			57.1	0.011	52239	
.85 - .60	1.443	10.7	17.7	0.042	4262	-2.4
			14.3	0.017	8527	
5.0 - 2.0	1.411	9.0	6.8	0.014	4739	-0.2
			6.5	0.003	21393	

Table-1 砂のふるい分け範囲に対する ZE, V_0, t_0, Z_0 の値