

山梨大学工学部 学 員 萩原 秀幸
 山梨大学工学部 正 員 萩原 能男
 山梨大学工学部 正 員 伊藤 強
 前田道路(株) 朝妻 亨

1. はじめに

コンクリートなどの多孔体中を上昇する毛管浸透流において、その流れに関する物性値として従来キャピラリー一定数と透水係数が用いられている。筆者等はキャピラリー一定数にかわり、より物理的に意味が明確で実測可能な最終浸透高を新しく提案した。また、透水係数はその際定義した平均浸透速度と同一であることも確認されている¹⁾。そこで、数理モデルの妥当性を検証するため、供試体の下面を水に浸し毛管力による水の上昇高を測定することにより、その物性値(最終浸透高, 平均浸透速度)を定める方法を提案した^{2), 3)}。その結果空隙が細かいAEコンクリートなどについては、ほぼ良好な値が得られることが、日大生産工学部越川氏の実験により確かめられた⁴⁾。しかし、この方法によると測定時間が長くなるのでこれを改善するため本論文では、図-1のようにU字管により水压を付加し、測定時間の短縮を計ろうとしたものである。

2. 水压を付加した毛管浸透流モデルと基礎方程式

(1) 毛管浸透流モデル

図-1の多孔体内毛管浸透流を図-2のように内径 ε の細管の集合であるとモデル化した。ここで、多孔体を砂層のような平均粒径 d 、空隙率 λ の粒状集合体と考えれば、 $\varepsilon = \sqrt{4\lambda/\pi} \cdot d$ となる。この細管が図-2の多孔体部分(砂層)に $\pi d^2/4$ 本存在することになる。

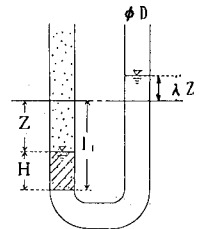


図-1 U字管モデル

(2) 基礎方程式

水の減少量が全て砂層中の空隙部分に入るものとして、浸透高と水位が釣り合う位置 l_1 までの砂層部の長さを Z とすると、図-1のようにモデル化される。また、最終浸透高 ZE は浸透高が最高に達して安定した状態であるから、その状態は図-3に示すようになる。本報告では ZE に相当する物性値として、まず HE を求めることにより ZE を決定する。モデルに作用する力は内径 ε の細管1本につき、重力 $[-\rho g/4 \varepsilon^2 H]$ 、表面張力 $[\pi \varepsilon T \cos \alpha]$ 、粘性力 $[-8\mu \pi H d^4/\alpha t]$ 、底面に働く水压 $[\rho g(l_1 + \lambda Z)\pi/4 \varepsilon^2] = \rho g\{l_1 + \lambda(l_1 - H)\}\pi/4 \varepsilon^2$ 、慣性力 $[\rho H \pi/4 \varepsilon^2 d^4/\alpha t^2]$ である。ここで、 $A = 32\mu/\rho \varepsilon^2$ 、 $B = 4T \cos \alpha/\rho \varepsilon$ とおき、慣性力項を無視すると(1)式となる。

$$\text{すなわち} \quad A \frac{dH}{dt} - \{B + (1 + \lambda) l_1 g\} / H + (1 + \lambda) g = 0 \quad \text{---- (1)}$$

3. 最終浸透高 ZE , 平均浸透速度 V_0 , 代表浸透時間 t_0

ZE , V_0 に相当する物性値として HE , V_R を用いると、 $dH/dt = 0$ のときの $H = HE$, $H = HE/2$ のときの $dH/dt = V_R$ であるから、

$$HE = \{B + (1 + \lambda) l_1 g\} / (1 + \lambda) g, \quad V_R = (1 + \lambda/A) g, \quad t_R = HE/V_R \quad \text{--- (2)}$$

となる。従って

$$ZE = (1 + \lambda)(HE - l_1), \quad V_0 = V_R/(1 + \lambda), \quad t_0 = ZE/V_0 \quad \text{---- (3)}$$

である。測定値 (t_0, H_0) , (t_1, H_1) , ..., (t_n, H_n) から最終浸透高 ZE , 平均浸透速度 V_0 を次式により求めた。すなわち、式(1)を式(2)の関係をを用いて書き直し、 $V = dH/dt$ において

$$V/V_R = (HE/H) - 1 \quad \text{---- (4)}$$

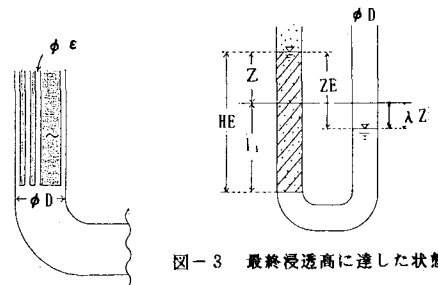


図-3 最終浸透高に達した状態

図-2 仮想毛細管モデル

とし、式(4)の正規方程式を作り、最小自乗法によりHEと $1/V_0$ を求め、さらに式(3)を用いてZE, V_0 , k_0 を計算した。

なお、ZEとキャピラリー定数 k_0 および V_0 と透水係数 k の関係については、昭和47年の年講で発表してある。

4. 実験装置と実験方法

図-1に示すU字管(内径13mm)の一方に砂をつめ、他方にあらかじめ水を注入し、管の上部を閉塞して初期状態に水位を保つようにした。以後この管の上部を開放して実験を行なった。

5. 測定結果

実験より得られた浸透時間(t)と浸透長(H)の関係を図-4に、浸透長と浸透速度(V)の関係を図-5に示した。なお、図-5の中で実線は、それぞれ理論曲線である。

6. 解析結果および考察

実測試料をもとに解析した結果を表-1に示した。(5)は最終浸透高を $ZE = 4T \cos \alpha / \rho g d$ で計算したものである。

表-1 解析結果と参考資料

試料番号	粒径範囲 (mm)	HE (cm)	l_1 (cm)	λZ (cm)	ZE (cm)	V_0 (cm/s)	t_0 (s)	一様断面毛細管モデルでのZE 管径 d =粒径範囲 (5)
1	0.11~0.25	55.70	42.4	5.01	18.91	0.022	858.4	26.82~11.80 (cm)
2	0.40~0.60	51.19	44.3	2.96	9.85	0.181	54.4	7.38~4.92
3	0.85~1.20	47.47	43.5	1.98	5.64	0.543	10.4	3.47~2.46
4	2.0~5.0	32.65	31.5	0.46	1.61	1.78	0.9	1.48~0.59

表-2 透水係数 (参考資料)

	細砂	中砂	粗砂	小砂利
d (mm)	0.10~0.25	0.25~0.50	0.50~1.00	1.00~5.00
k (cm/s)	0.015	0.085	0.35	3.0

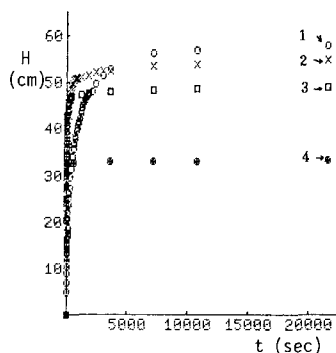


図-4 浸透時間(t)と浸透長(H)の関係(実測値)

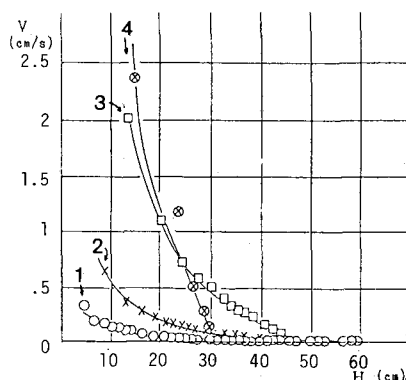


図-5 浸透長(H)と浸透速度(V)の関係

(1) 最終浸透高ZEについて

本実験方法により得られた値は表-1の(5)に示した単一様断面毛細管モデルで管径を粒径範囲とした場合とほぼ同程度の値となった。しかし、従来筆者等が行なっていた供試体底面を水に浸す方法(以下従来の方法とよぶ)と比較すると約 $1/3$ となった。これについてはさらに検討する必要がある。

(2) 平均浸透速度 V_0 、代表浸透時間 t_0 および浸透長と浸透速度の関係について

平均浸透速度は表-2〔新版流量計算法(本岡仁, 荻原能男共著)P225表6-2から引用〕と比較しても、ほぼ妥当な値となった。また、代表浸透時間は粒径が大きくなるとともに減少する傾向がはっきり示されており従来の方法より改善された。なお、浸透長と浸透速度の関係を図-5に示した。試料の粒径が細かくなる程、初期浸透速度が低く圧力の流水におよぼす効果が小さいことを示している。

7. おわりに

本実験方法により粒径の大きな試料で $1/20$ ($1.5 \text{ hr}/24 \text{ hr}$)、細かい試料では $1/4$ ($6 \text{ hr}/24 \text{ hr}$)と測定時間が短縮できた。また、得られた物性値も参考資料と比較してほぼ妥当と思われる値となった。なお、従来の方法では思わしい結果が得られなかった粒径の大きな試料についても本実験方法により改善が見うれた。したがって、本実験方法の方が特に粒径の大きな試料については物性値が妥当な値として求まる可能性が強いものと思われる。最後に本研究に御協力頂きました課長日大生産工学部長、村田二郎都立大教授に深甚なる謝意を表します。

(参考文献) 1) 荻原, 伊藤〔多孔材料中の毛管浸透法モデルに関する一提案(昭和44年講)〕 2) 荻原, 伊藤他〔毛管浸透における物性値の研究(昭和48年講)〕 3) 荻原, 宮沢〔多孔材料中の毛管浸透法に関する基礎的研究(山梨大工学部研究報告 Vol.35 1984)〕 4) 越川, 堀他〔コンクリートのキャピラリーに関する研究(昭和44年講)〕