

II-89

毛管浸透流による多孔体材質の判定に関する研究

甲府市役所

正員 荻原 秀幸

山梨大学工学部

正員 荻原 能男

1. まえがき

一般に多孔体内部の空隙は幾何構造が極めて複雑であり、その空隙間を浸透する水の挙動については未解決の部分がある。そこで、図-1に示すように多孔体の空隙を径の異なる毛細管の集合体としてモデル化し、毛管径の範囲、本数の分布状況の違いによって毛細管内と測定用ガラス管内との水の挙動を数値計算した結果は既に発表している。この結果、多孔体内の空隙状況の違いによって毛細管内、測定用ガラス管内の両方で水位の変化に違いが生ずることが判った。

そこで、本研究では多孔体として砂を用いて実験を行い、砂層内での浸透高、測定用ガラス管での水位をもとにして解析した結果について報告する。

2. 数理モデルと基礎方程式

図-1に示すように多孔体内部の空隙が n 種類の毛細管から成るものとし、毛管径 d_i に対して本数が f_i ($i=1, 2, \dots, n$)としたものが複数径毛細管モデルであり、各毛細管には図-2に示すように表面張力、抵抗力、重力、圧力が働く。従って、運動方程式は式(1)となり図-1の部にベルヌーイの定理を適用して水圧 p を消去し、慣性項は微少であるため無視すると式(2)を得る。

$$\rho \frac{\pi}{4} d_i^2 Z_i \frac{d^2 Z_i}{dt^2} = T \pi \cos \theta + p \frac{\pi}{4} d_i^2 - 8 \pi \mu Z_i \frac{dZ_i}{dt} - \rho g \frac{\pi}{4} d_i^2 Z_i \dots (1)$$

運動方程式

$$\frac{dZ_i}{dt} = \frac{D_i}{Z_i} \frac{C_i}{Z_i} \left\{ h - \frac{A_0}{g} \left(\frac{dh}{dt} + \frac{\alpha}{2g} \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 \right) - C_i \right\} \dots (2)$$

連続の式 $d_o^2 (h_o - h) = \sum f_i d_i^2 Z_i \dots (3)$

ただし、 $C_i = \rho g d_i^2 / 32 \mu$, $D_i = T \cos \theta d_i / 8 \mu$

$A_0 = 32 \mu / \rho d_o^2$ である。

また、毛管径を全て等しく d_i として、本数を f_i としたものが単一径毛細管モデルであり、浸透高と水位が最終に達して安定した状態が図-3である。

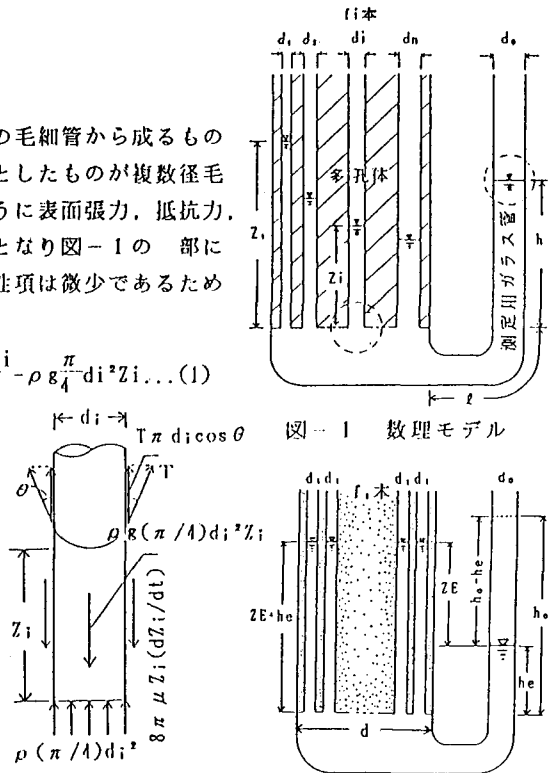


図-1 数理モデル

3. 単一径毛細管モデルによる解析

図-2 毛細管に働く力

図-3 最終安定状態

毛管径が複数になると基礎方程式は非線形の連立微分方程式となり解析解は得られないが、一種類の場合には解が求まるので、まず単一径モデルを用いる。一般に多孔体内の浸透高の実測は困難と思われるため式(3)を Z_i について解き式(2)に代入して初期条件： $t=0$ で $h=h_o$ の下で積分すると式(4)を得る。

$$h - h_o - (h_o - h_e) \ln \left(\frac{h - h_e}{h_o - h_e} \right) = \frac{f_i d_i^2}{d_o^2} C \left(1 - \frac{f_i d_i^2}{d_o^2} \right) t \dots (4)$$

また、図-3に示す各量と理論式 $ZE = 4T \cos \theta / \rho g d_i$ を用いると毛管径は式(5)で求まる。

$$d_i = \left\{ \frac{\rho g}{4T \cos \theta} \left(\frac{1}{\lambda r} (h_o - h_e) - h_e \right) \right\}^{-1}, \quad \lambda: \text{空隙率}, \quad r = (d/d_o)^2 \dots (5)$$

さらに、空隙率 λ より本数 f_i を決め式(4)により計算した結果が図-4であるが、基準量である最終水位 h_e が一致しているに過ぎない。そこで、式(2)に実測した水位 h 、時間 t を用いてルンゲ・クッター法で浸透高 Z を求め連続の式(3)より最小自乗法で本数 f_i を決めて、理論式(4)を描いたものが図-5で、 $h \sim t$ 曲線は良く合うが、 $Z \sim t$ 曲線は一致しない。また、砂の粒径が小さいものほど毛管径 d_i と

本数 n から計算される空隙率が小さくなり、 $z \sim t$ グラフにおいて実測値からのズレが大きくなることから、連続の式に制約されているのが判る。そこで、空隙率が過小評価されているのを補正するため、図-6のようにモデルの修正を行い、このモデルによる解析結果が図-7である。

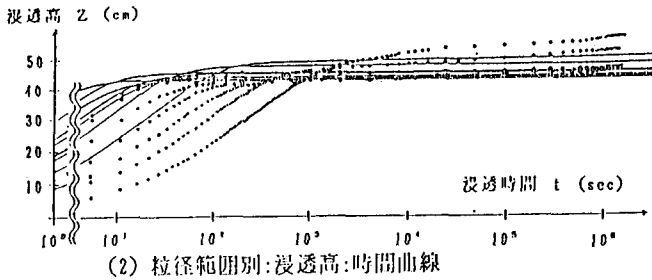
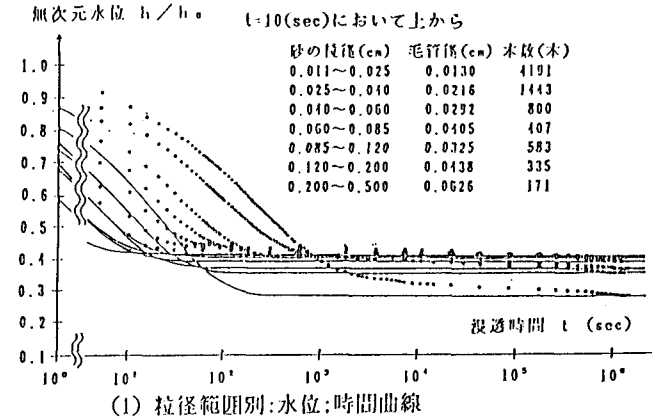


図-4 最終状態による解析結果

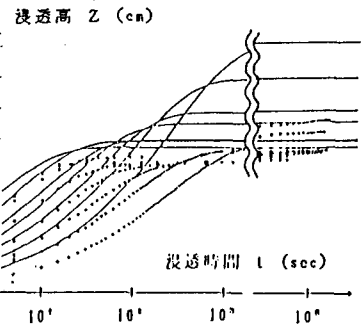
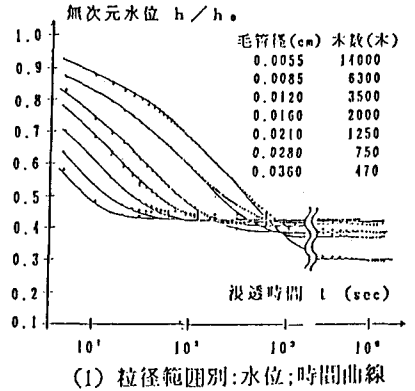


図-5 浸透過程による解析結果

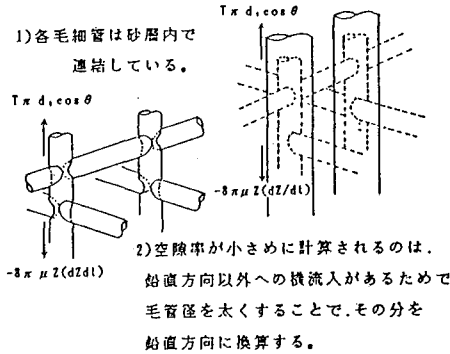


図-6 修正したモデル

4. あとがき

以上の結果をまとめると次のようになる。

- (1) 砂層内を浸透する水の挙動に対して毛細管モデルで近似するためには、横流入分を考慮するためモデル修正し、表面張力、抵抗力を補正したモデルを使用するのが望ましい。
- (2) 複数径毛細管モデルによる解析の結果はページ数の関係で省略したが、多孔体内の浸透現象を説明するには、このモデルが、より現実的と思われる。

今後の課題は、多孔体の材質を判定するのに基準となるような毛管径分布効果を指標化することである。

参考文献

- 1) 荻原, 宮沢, 荻原: 毛管浸透実験による多孔体材質の判定方法, 土木学会水理講演会(56), 1986

図-7 修正モデルによる浸透高;時間曲線

