

細管網モデルによる非定常浸透流の実験方法に関する吟味

京都大学工学部 正員 松尾新一郎
同 上 正員 ○河野伊一郎

1. まえがき 前回報告¹⁾した細管網モデルの開発, およびこのモデルを用いた定常浸透流の実験(とくに地中ダム化の実験)につづいて, 今回は非定常浸透流の場合について理論的考察および実験的吟味の1例を報告する。

2. 細管網モデルの原理と特徴 細管網モデルは Viscous model の一種であり, 数多くの利点を有している¹⁾。とくに Hele-Shaw model と比較してみても, 三次元浸透流の定常, 非定常流の実験が可能となり, モデルの製作も簡単で, 境界条件の設置が比較的容易である。

写真-1 は今回の実験でも用いた 2 次元浸透流用のモデルの 1 例である。すなわち図-1 に示すように細管を網目状に接続し, この細管中に粘性液を流して, その流量や圧力(水頭)を測定する。細管中の流れが層流の範囲内にある場合には Poiseuille's law により式(1)となる。

$$v_{av} = (\gamma_f r^2 / 8\mu) \cdot i \quad \text{----- (1)}$$

ここに, v_{av} : 細管内の平均流速, γ_f : 粘性液の単位体積重量, r : 細管の半径, μ : 粘性係数, i : 水頭勾配 写真-1 細管網モデルの 1 例である。式(1)は Darcy's law として知られている飽和浸透流(層流)の関係式と同型である。そこで 1 本の細管中の単位時間当りの流量を q_p , 水頭勾配に無関係な定数を C , 細管の断面積を $a (= \pi r^2)$ として式(2)であらわす。

$$q_p = C \cdot i \cdot a \quad \text{----- (2)}$$

式(1), (2)より, $C = \gamma_f r^2 / 8\mu$ となる。いま図-1 に示すように細管網の横方向の間隔を Δl , 細管の半径をそれぞれ Δl , r , また縦方向の間隔を $\Delta l'$, r' とする。横方向の透水性に関しては, 横方向の細管 1 本がこれを中心軸とした $\Delta l \times 1$ (奥行きを単位 1 とする) の断面を代表するものと考え, 横方向の透水係数 k_h (水頭勾配が 1 のとき単位断面を単位時間に流れる流量) は式(3)となる。

$$k_h = \gamma_f r^2 a / 8\mu \Delta l' \quad \text{----- (3)}$$

$$k_v = \gamma_f r'^2 a' / 8\mu \Delta l \quad \text{----- (3')}$$

同様に縦方向の透水係数 k_v は式(3')となる。

一方, 有効空げき率を β とすると式(4)であらわされる。

$$\beta = (a \Delta l + a' \Delta l') / \Delta l \cdot \Delta l' \quad \text{----- (4)}$$

$a = a'$, $\Delta l = \Delta l'$ の正方形細管網の場合には $\beta = (2a / \Delta l)$ となる。

非定常浸透流の重要なパラメータである (k/β) については, 式(3), (4)より式(5)となる。

$$(k/\beta) = \gamma_f r^2 / 16\mu \quad (= C/2) \quad \text{----- (5)}$$

式(5)の右辺は式(2)の定数 C の $1/2$ 倍となるので (k/β) の算定には好都合である。

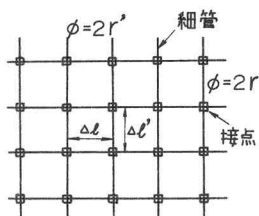
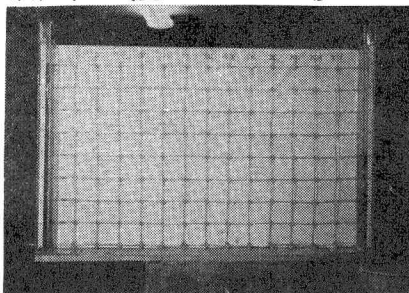


図-1 説明図

3. 本実験に用いた細管網モデル 細管には内径3.0mmのビニール管を、接点には四方から孔をあけたアクリル樹脂の小立方体を用いている。網目の間かく ΔL は10cmの正方形格子とし、高さ90cm、長さ140cmの2次元モデルである。(高さ):(長さ)の比を9:14にした理由は、透水層の厚さの1.5倍以上離れたところではDupuitの仮説が近似的に満足されるようになり準1次元流として取り扱うことが可能と考えられるからである。モデルにおいて地中ダム化の構造とする場合は細管に栓塞をする、あるいは、細管を部分的に細くして流れの規制を行なう。(3次元浸透流モデルでは細管を3次元に組む。)

4. 粘性流体とその検定法

実験に用いている粘性液は数%のCMC溶液である。

非定常浸透流の場合、重要なのは (k/β) であるから、式(5)に示すように定数 C の値を求めればよい。そのために図-2に示すような変水頭透液性試験を行なうのが便利である。すなわち式(2)を積分して得られる式(6)を用いる。

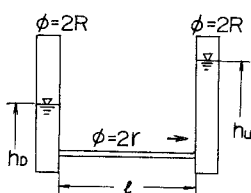


図-2 透液性試験装置

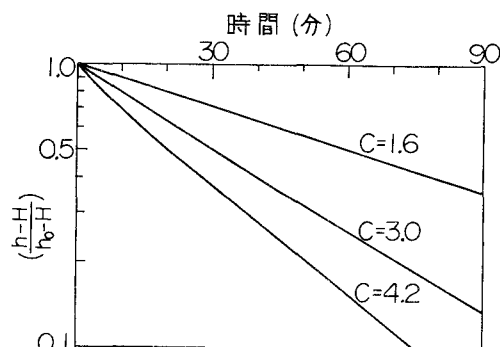


図-3 変水頭透液性試験結果の例

$$C = (2.3 A \ell / 2 \alpha t) \log (h_u - H / h_0 - H) \quad \text{-----(6)}$$

ここに、 $A = \pi R^2$ 、 $H = (h_u + h_0) / 2$ 、

h_0 :初期の h_u の水頭、 t :時間 である。(図-2参照)

式(6)より、半対数紙に $t \sim (h_u - H / h_0 - H)$ の関係をプロットすれば直線となり、その勾配から定数 C の値を求めることができる。1例を図-3に示している。

5. 吟味結果の1例

実験結果の1例として初期水面を一定(40cm)に保ち、一オの水位を20cmに低下させた場合の各オの水位変動の状態を示したものが図-4である。* 図中の数字は下流側から数えた細管の位置を示している。また破線で示しているのは数値解析より求めた水位変動である。

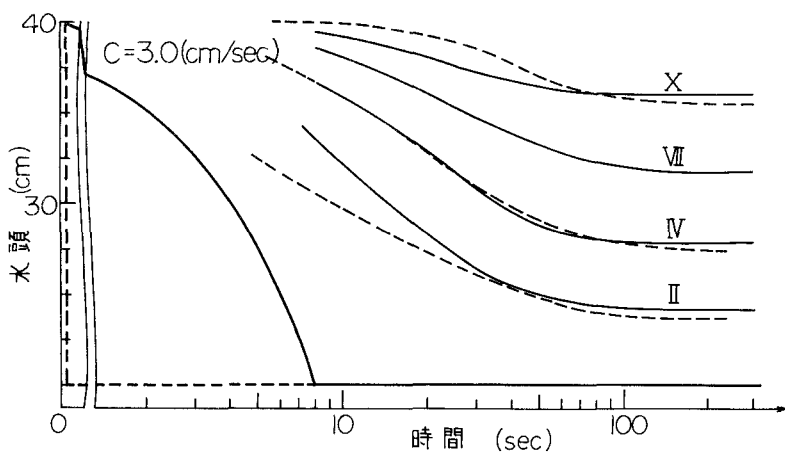


図-4 細管網モデルによる非定常浸透流の実験例

6. あとがき 本報告は細管網モデルを非定常浸透流の実験に用いる方法に関する吟味を理論的考察と実験例によって示した。筆者らは地中ダム化による地下水規制について一連の研究を行なっているが、本モデルはこの実験的研究にも充分用い得ることがわかった。

参考文献 1) 松尾, 河野: 細管網モデルによる地中ダム化の実験, 第22回土木学会学術講演会(1967.5), PP80-1~4