

九州産業大学 正会員 杉尾 哲
学生会員 ○ 木野治輝

1. はじめに

近年、不圧浸透層中の非定常浸透流に対する Darcy 則の適用性が疑問視されているが、筆者等はこの問題を有効空隙率を一定とする従来の解析法の妥当性に重点を置いて検討しようとするものである。

本報では、二次元矩形堤体内の非定常浸透を対象として、Darcy 則を用いて導びかれている基礎式を差分化し、有効空隙率を一定とした数値解を電算により求め、この結果を粘性流体を用いた Hele-Shaw モデルによる実験結果と、砂モデルによる実験結果と比較した上でここに報告させて頂きたい。

2. 基礎式及び理論数値解と実験結果との比較

この場合の基礎式は、Laplace の方程式と自由地下水面の方程式

$$\frac{m}{R} \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial H}{\partial x} \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\partial H}{\partial z}$$

であり、両式を連立して

$$t=0: \psi(x, 0) = H_0$$

$$t>0: \psi(x, t) = \psi, \quad 0 \leq x \leq L$$

$$H = R_0, \quad x=0, \quad 0 \leq z \leq R_0$$

$$H = \psi, \quad x=0, \quad R_0 \leq z \leq \psi(0, t)$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} = 0, \quad x=L, \quad 0 \leq z \leq \psi(L, t)$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} = 0, \quad 0 \leq x \leq L, \quad z=0$$

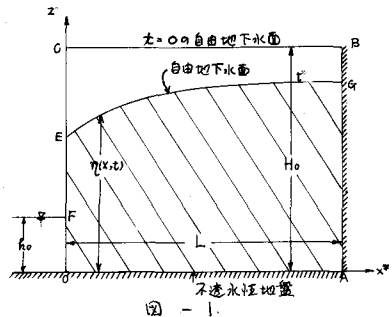


図-1.

の条件について解けば、各時刻毎の自由地下水面の形状がえられる。ここに H は非定常速度ポテンシアル、 m は有効空隙率、 R は透水係数である。

基礎式の差分化、および境界条件の処理についてはすでに詳しく発表しているが¹⁾、ここでは省略するが、その後、数値計算の安定条件に $\Delta t / \Delta x < 1/2$ 、 $\Delta t = 0.005$ 、 $\Delta x = 1/3$ を用いて計算をやり直し、さらに Hele-Shaw モデルの実験も 1/60 秒計ストップウォッチを用いて実験をやり直した上で、その結果を示すと、図-2, 3 のようになる。これより数値解と Hele-Shaw モデルの実験結果とは、多少の差違はあるが、全体的には非常によく一致することがわかる。また Hele-Shaw モデルでは、有効空隙率は常に $m=1$ の一定値であるから、この結果より数値解の妥当性が確かめられたものと考えすることもできる。

次に、図-2, 3 と同様の実験を砂モデルについて行なった、この実験値と数値解と比較する際の R と m の値は、まず透水係数の値としては、別に行なう実験的検討の結果、比較的によく合うことが確かめられている Slichter 式、Terzaghi 式、佐々木式、Kozeny、Donat 式による空隙率 42.77% の場合の算定結果の平均値 $R = 0.29735 \text{ cm/s}$ を用いた。次に問題となるのが有効空隙率 q の値であるが、水理公式集によれば、(有効空隙率 = 空隙率 - 保水率) であり、実験に用いた程度の砂 ($d_{50} = 0.72 \text{ mm}$) であれば、保水率は 5~10% 程度とされている。(したがって、空隙率 (42.77%) から保水率として 10% を減じた値 $m = 0.32$ を用いると、図線は図-4, 5 の破線のようになる。これを実験結果 (実線) と比較すると両者にはかなりの相違があることがわかる。そこで保水率を 20% とかなり大きな値を与えてみたが、一重鎖線のようになり、やはりかなりの相違がみられる。

次に実験結果と数値解が等しくなるように有効空隙率の値を連立してみると表-1, 2 のようになる。これを見れば、まず、有効空隙率はすでに知られていたように³⁾、もとの地下水面からの砂の量の関数であることがわかる。

次に同じ低下量について調べると、図-4の0断面の2.3秒後の地下水面の位置と13断面の20秒～48秒の位置とが同じ低下量であるが、表-1より有効空隙率の値は異なっていることがわかる。このことから有効空隙率の値は時間の関数であることが確かめられたものと考えられる。以上のことを考慮して今後、有効空隙率などのような関数で表わすかを検討して行きたいと考えている。

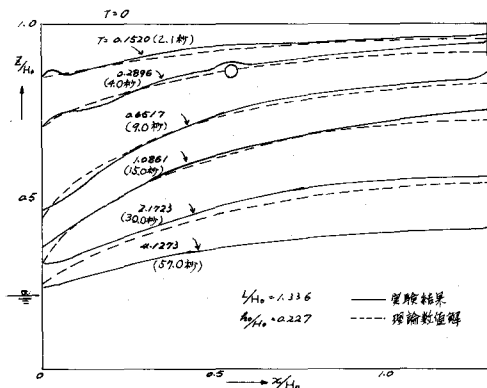


図-2 Hele-Shawモデル実験との比較

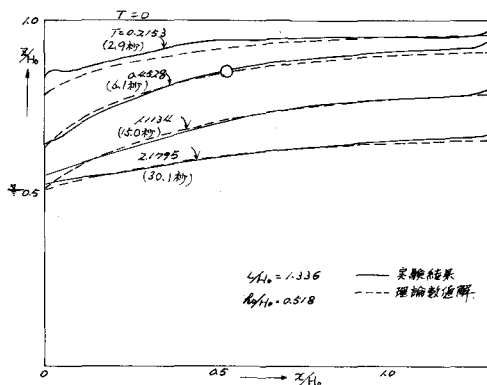


図-3 Hele-Shawモデル実験との比較

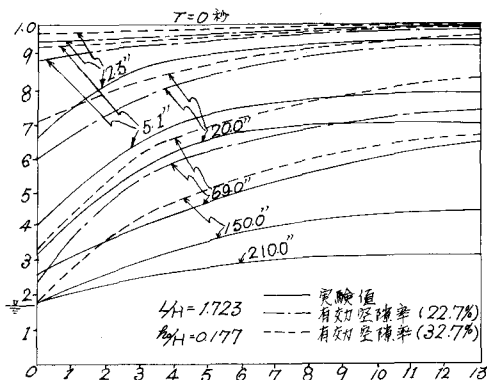


図-4 砂モデル実験との比較

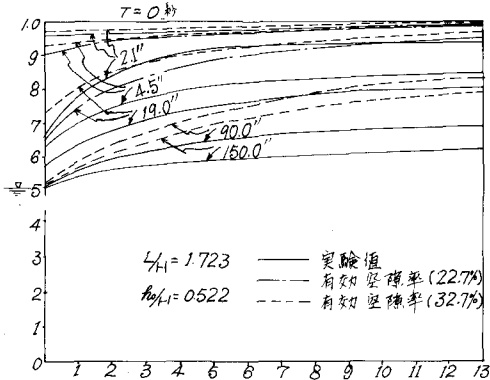


図-5 砂モデル実験との比較

断面 時間(秒)	n ₀	n ₆	n ₁₃
2.3''	3.2%	3.9%	3.1%
5.1''	3.2%	2.6%	2.0%
20.0''	12.2%	7.2%	5.5%
48.0''	20.7%	10.1%	10.4%
69.0''	26.0%		

表-1. $n_0 = 0.177$ の場合の有効空隙率

断面 時間(秒)	n ₀	n ₆	n ₁₃
2.1''	2.6%	3.3%	2.1%
4.5''	5.0%	2.5%	1.7%
19.0''	6.4%	7.5%	5.6%
49.0''	38.2%	18.9%	

表-2. $n_0 = 0.522$ の場合の有効空隙率

- 参考文献 1) 杉尾 哲, 本岡 治輝: 非定常浸透流の数値解析, エネルギー学会第29回学術講演要集 Vol. II, PP. 223~PP. 224
 2) 杉尾 哲: 各種決定法による透水係数の検討, 用水と廢水 1971年(12) PP. 1480~PP. 1486
 3) 上田 比呂, 杉尾 哲, 土方 敬博: シミュレーションによる工の有効空隙率の算定, 土木工学集報 Vol. 45, No. 5, PP. 593~PP. 598