

1. まえがき

不圧浸透層内の非定常浸透流の解析は、従来は、浸透層の性質をあらわす諸パラメータを定数として取り扱う手法によって行われていたが、この手法では自由地下水面の動きを表現できない¹⁾。そこで本研究では、諸パラメータのうち、比産出率の値を、自由地下水面の位置によって変るものとして取り扱うことにより、流れを解析しようとするものであり、図-1の外水位 η_0 を長周期振動させた場合の自由地下水面の移動について数値解を求め、これを砂モデルによる実験結果と比較している。

2. 基礎式

比産出率 $(\alpha(z_r))$ は、たとえば図-1の様に自由地下水面が低下したとき、それまで飽和していた斜線の部分から、土の保持力にさかたって、重力排水してくる水の体積の、全体の体積に対する割合で定義されるパラメータであり、本報ではUSGSの定義に従って、飽和水帯内の水の流動に寄与する有効空隙率 (λ) とは区別して使用する²⁾。この場合、運動方程式と、自由地下水面における連続条件式は、透水係数を k とすると、式-1,2の様にあらわされる。

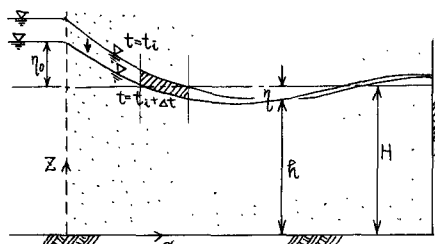


図-1 解析領域

$$\frac{1}{\lambda} \frac{\partial q}{\partial t} + (H + \eta) q \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{q}{k} = 0 \quad (1)$$

$$\beta(z_r) \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0 \quad (q = \int_0^R u dz) \quad (2)$$

3. 比産出率の算定³⁾

簡易な数値モデルを用い、砂の粒径分布と空隙率を使って、比産出率の値を算定する。算定の考え方としては、砂粒の粒径分布を対数正規分布とし、4個の砂粒を配置して構成した平面の空隙部分と等面積の円筒を、空隙相互間を結ぶ流路(直径 d_x)と考え、空隙水の移動は、毛細管について成立する $d = 4T / (\omega \cdot z_r)$ [d: 毛細管の直径, T: 表面張力, ω : 水の単位重量, z_r : 毛管上昇高さすなわち自由地下水面からの高さ]を条件式として、 $d_x \leq d$ の比較により判定されるものとした。この場合の流路の配置は、立体を考慮して、1つの空隙に6ヶ所の流路があるものとし、図-2の様に考えた。またモデルの空隙率は、与えられた空隙率と同じになっているものと仮定した。この様に求めた比産出率の算定結果を図-3に示す。

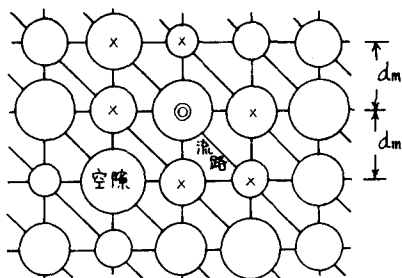


図-2 空隙と流路の配置

◎印の空隙水は、式-3を満足し、X印の隣接する6ヶの空隙のうち、1~5ヶが空であれば排水される。隣接空隙が充滿しているとき、および全て空のときは、式-3を満足しても排水されない。

4. 数値解析⁴⁾

数値計算は、前報と同様に、 q と η を空間的に $\Delta x/2$ 、時間的に $\Delta t/2$ ずらして交互に算定する方法を行なう。ここに計算安定条件として $\Delta t \leq \Delta x / \sqrt{g \cdot k_{\max}}$ を用いれば、 $\Delta x = 12.5 \text{ cm}$ のとき、 $\Delta t = 0.05 \text{ 秒}$ となる。式-1,2を差分表示すると式-4.1の様であり、10ステップ毎に式-6により q の値の平滑化を行なった。

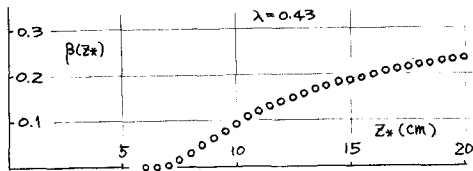


図-3 比産出率の算定結果

$$\left(\frac{1}{\lambda \Delta t} + \frac{q}{R}\right) q_m^{n+1} = \frac{1}{\lambda \Delta t} q_m^n - \left(H + \frac{\eta_m^{n+1/2} + \eta_m^{n-1/2}}{2}\right) q \cdot \frac{\eta_m^{n+1/2} - \eta_m^{n-1/2}}{\Delta x} \quad (4)$$

$$\eta_m^{n+1/2} = \eta_m^{n-1/2} - \frac{q_m^n - q_m^{n-1}}{\Delta x} \cdot \frac{\Delta t}{\beta(z_m^*)} = \eta_m^{n-1/2} - \Delta \eta \quad (5)$$

$$q_m = \alpha \cdot q_m + (1-\alpha) \cdot (q_{m+1} + q_{m-1})/2 \quad [\alpha = 0.8] \quad (6)$$

次に z^* の値は η_{0max} の高さを基準にして、自由地下水面までの鉛直距離を用いている。なお $\beta(z^*)$ の値が過小であると、式-5 の $\Delta \eta$ が過大となり、解が発散する。したがって $\beta(z^*) < 0.01$ の場合は $\beta(z^*) = 0.01$ の一定値と仮定して計算した。また有効空隙率の値は、砂層空隙率と同値と考え $\lambda = 0.43$ とした。

5. 検討

以上の数値解を実験結果と、代表地点において時間的に比較したものを図-4 に示している。実験結果は、奥行き 20 cm の浸透水槽の一端に設けた長周期可変水頭装置により、全振幅 18.4 cm、周期 7 分 15 秒の水面上下運動を与えた場合の、10 周期目以降の水面測定結果である。図-5 の $\beta(z^*) = \lambda$ (一定値) とおいて求める従来の解法による結果と比較すれば、図-4 の数値解は、実験結果にほぼ追従しており、本解法の妥当性がある程度認められると考えられる。数値解は、傾向時には実験結果と比べて、水面上昇時の変化が大きく、下降時の変化が小さい。これは実際の比産出率の値が、浸透過程と排水過程で異なった値を示す(ヒステリシス現象) ことも一因であろう。図-6 以降は、各時刻において、空間的に比較したものである。今後、比産出率のシミュレーションを今一度再検討し、解析値の精度を高めてゆきたいと考えている。

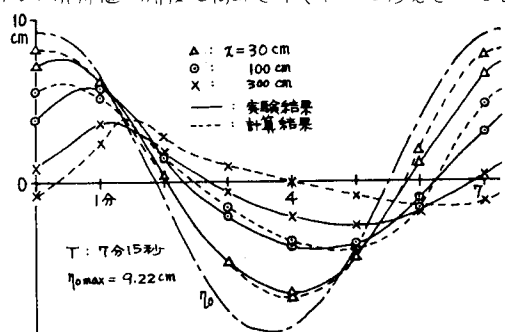


図-4 $\beta(z^*)$ の変化を取り入れた数値解と実験値との比較

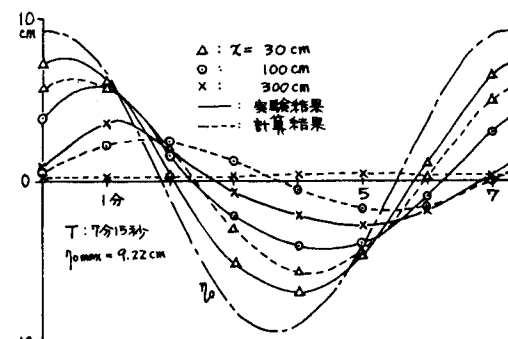


図-5 従来の解法による数値解と実験値との比較

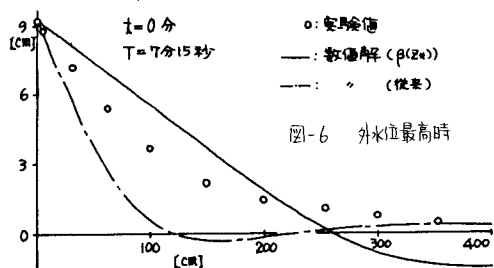


図-6 外水位最高時

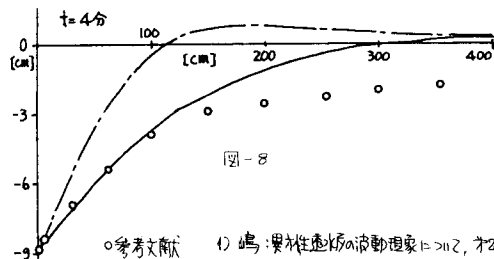


図-8

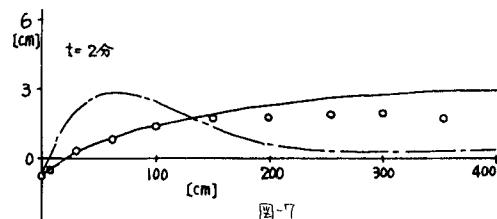


図-7

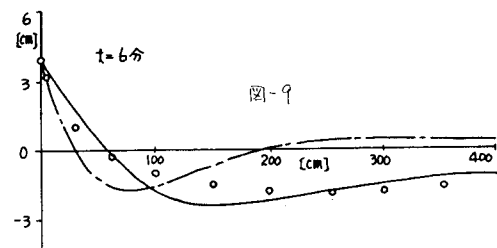


図-9

- 参考文献 1) 堀：異相性流体の流動現象について、才28回年講・Ⅱ・P373, S48, 10, 2) 建設省水研究グループ：最新地下水学, 山崎堂, S.50-11
3) 杉尾：モンテカルロ法による土の比産出率の算定, 西部技術研報, S.53, 2, 4) 杉尾：浸透層内の長周期波動について(予報), 才32回年講・Ⅱ・P485, S52-10