

1. まえがき.

水域に連続した不圧浸透層中の地下水面は、水域の水位の変動に伴って変動する。この非定常時の自由地下水面の解析結果をモデル実験結果と比較すると、Helo-Shawモデルによる実験結果とは一致するが、砂モデルによる実験結果とは一致しないことが報告されている。^{1), 2)} 本研究は、その要因として有効空隙率に注目して検討しようとするもので、図-1の水位 η_0 を長周期振動させた場合の浸透層内の波動について求めた種々の数値解と砂モデル実験結果との比較を行なったので、ここに報告する。

2. 基礎式

基礎式は、摩擦項にDarcy則を適用し、Z方向に積分した運動方程式に $z=\eta$, $p=0$ を代入した自由地下水面の圧力条件式と、自由地下水面での連続性から導かれる、Z方向に積分した連続条件式であり、透水係数を k , 有効空隙率を λ とすると

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{\lambda} \frac{\partial q}{\partial t} + (H+\eta)g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{g}{k} q &= 0 \\ \lambda \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} &= 0 \quad (q = \int_0^H u dz) \end{aligned} \right\} \quad \dots (1)$$

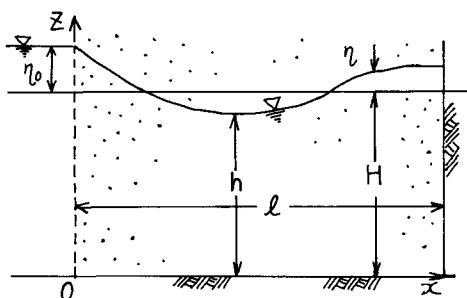


図-1 浸透領域

また第1式の加速度項を無視して整理すると式-2がえられ、さらに高次の項を無視すると式-3をうる。

$$\lambda \frac{\partial \eta}{\partial t} = \frac{k}{2} \frac{\partial^2 (H+\eta)^2}{\partial x^2} \quad \dots (2)$$

$$\lambda \frac{\partial \eta}{\partial t} = k H \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} \quad \dots (3)$$

3. 数値解析

数値計算は差分法で行ない、式-1はTwo-step Lax-Wendroffのスキーム、式-2, 3はLax-Wendroffのスキームを用いて計算した。その際の計算安定条件は、式-1の場合 $\Delta t \leq \Delta x / \sqrt{k_{max} \cdot g}$ を用い、 $k_{max} = 51.7 \text{ cm}$, $\Delta x = 12.5 \text{ cm}$ に対して $\Delta t \leq 0.055 \text{ 秒}$ となるから $\Delta t = 0.05 \text{ 秒}$ とした。また式-2, 3の場合 $\Delta t \leq (\lambda/k)(\Delta x)^2/2H$ を用い、 $H = 42.5 \text{ cm}$, $\Delta x = 10 \text{ cm}$, $k = 0.35 \text{ cm/s}$, $\lambda = 0.43$ に対して $\Delta t \leq 1.45 \text{ 秒}$ となるから $\Delta t = 1.0 \text{ 秒}$ を用いた。

水位 η_0 は実験結果から読み取った値を10秒間隔で与え、その間は内挿法(直線比例)により算出した値を用いて計算した。

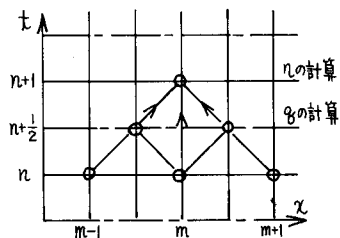


図-2 式-1の計算スキーム

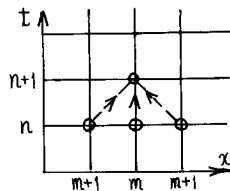


図-3 式-2,3の計算スキーム

4. 砂モデルによる模型実験

実験は、幅20cmの浸透水槽の4.0mの区間に砂($d_{60} = 0.78 \text{ mm}$, 均等係数1.19)を入れて行なった。左端には逆流型の長周期可変水頭装置があり、周期 T が15秒、全振幅18.4cmの水面上下運動を与えた。また砂層内の水面の高さは、図-4の点線で示した位置に直径2.5cm、長さ38cmの円筒状にした金網を設置し、直径8mmのビニールチューブで取り出したマノメーターを写真撮影しておいて、実験後に読み取った。実験は可変水頭装置を最高に上昇させた状態から開始し、10周期目以降の地下水面を測定した。

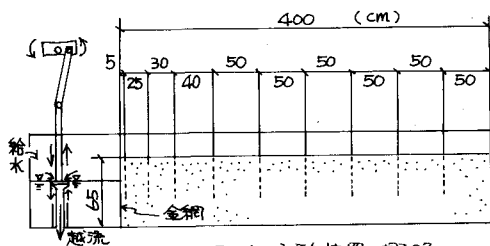
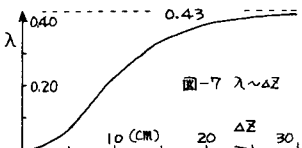


図-4 実験装置の概略

5. 数値解析結果と実験結果との比較

式-1および式-3 の数値解析結果と実験結果の時間的な水面変動曲線を図-5, 6 に示している。これより、まず式-3の解析結果は、 $x=30$ cm の位置においても、水位の差が明瞭に現われ、 $x=100$ cm, 300 cm と水域から離れるに従って、次第に相違が大きくなる傾向を示している。また $x=100$ cm における位相の相違は、ほぼ2分程度になっている。次に式-1の解析結果は式-3の場合ほど相違はないが、やはり $x=100$ cm, 300 cm の位置においては明瞭な水位の差が現われている。また $x=100$ cm における位相の相違は、ほぼ30秒程度になっている。これらの相違の原因については、種々の要素が考えられるが、^{3), 4)} 本報では Hale-Shaw モデル実験と解析結果とがほぼ一致することを考慮して、有効空隙率の評価に注目した。すなわち式-1~3の基礎式は、有効空隙率の値を一定として誘導されたものであり、Hale-Shaw モデルにおいては、砂モデルにおける地下水面付近の空隙内での水の残存に相当する現象は明瞭に起らないと考えられるから、有効空隙率の値はほぼ一定であり、1 に近づいて両結果が一致するものと考えられる。一方、砂層内の有効空隙率の値は、地下水面の移動速度と変化量の関数であることが確かめられており、²⁾ 有効空隙率の変化を無視した結果として、砂モデル実験結果と解析結果の相違が生じたものと考ええる。しかし、有効空隙率の変化傾向は明らかではないので、本報では地下水面の変化量のみを関数として取扱った。こゝに $\lambda \sim \Delta Z$ の関係は、平均粒径 0.85 mm, 均等係数 1.21, 空隙率 36.2% の硝子ビーズによる排水過程の実験結果⁵⁾ を参考にして、図-7 の様に仮定し、基礎式は近似的に式-1を用いた。その結果を図-8 に示す。(なお、 ΔZ の基準面として $x=0$ での地下水面の最高位を用いている。) 実験結果と比較すると、 $x=300$ cm の位置においては一致しないが、 $x=30$ cm, 100 cm の位置においては、図-5, 6 に比べて、ほぼ一致しているといえよう。なお $x=100$ cm の位置の位相の相違はほぼ30秒程度であるが、峯の部分では遅く、谷の部分では遅く計算されている。次に場地的な水面変動曲線を、 $x=0$ の水位の最高時について示すと図-9 の様になる。以上が有効空隙率の変化を考慮して強引に従来の基礎式を解いた結果である。結果は砂モデル実験結果を十分に表現しえてないが、浸透層の入口付近においてはかなり良い結果がえられている。今後さらに検討を加えて精度を高めてゆきたいと考えている。参考文献) 1) 嶋 祐三: 豊方性透水層の移動現象について, 土木学会第28回年次学術講演会講演概要集, 2部, p.313, 昭和48年10月,



2) 杉尾・本柳: 自由地下水の有効非定常浸透流の検討, 九條集理工学研究所報告, 12号, p.30, 昭和50年11月

3) 宇野: 地下水流動の解析等に因る二つの考察, 199回水理講演会論文集, p.103, 昭和50年2月。

4) 尾島, 荒木: 非定常自由地下水の非定常性の評価, 199回水理講演会論文集, p.109, 昭和50年2月。

5) 上田, 杉尾, 生方: シミュレーションによる土の有効空隙率の算定, 九大工学集報, Vol. 45, No. 5, p.343, 1972

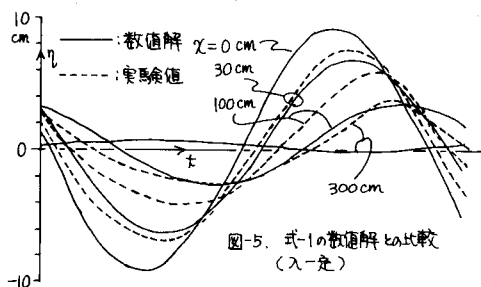


図-5. 式-1の数値解と比較 (λ一定)

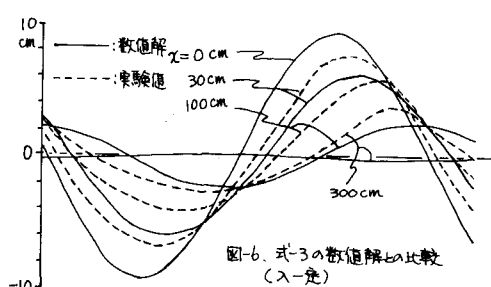


図-6. 式-3の数値解と比較 (λ一定)

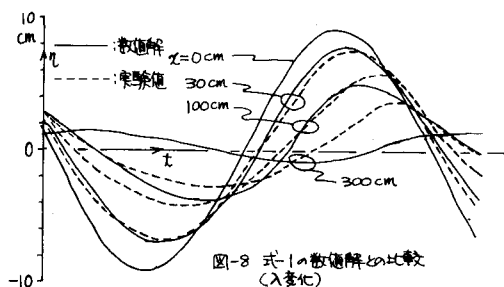


図-8. 式-1の数値解と比較 (λ変化)

