

九州産業大学 工学部 正員 杉尾 哲

学生員 ○矢野 智成

学生員 山脇 長生

山下 義人

1. まえがき

海岸付近の地盤内の地下水面は、境界面での海水位の潮汐による上下運動に伴って、長周期波動を行なっている。この非定常時の地下水面の高さについては、砂モデルによる実験結果と、浸透問題によく用いられる準一様流の仮定による理論解とは、鉛直流速を考慮しても一致しないことが報告されている。本研究はこの点について検討しようとするもので、種々の解析結果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

自由地下水面における基礎式は、摩擦項に Darcy 則を適用した運動方程式に $p = 0$ を代入した圧力条件式と、自由地下水面での連続性から導かれる連続条件式とあり、

$$\left. \begin{aligned} (k/\lambda)(\partial^2 \eta / \partial t^2) + g\eta - g\eta_0 &= 0 \\ \partial \eta / \partial t + (k/\lambda)(\partial \eta / \partial x) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

両式を $x = 0$ で $\eta = \frac{a}{2} e^{i\omega t}$ 、 $x = l$ で $\eta = 0$ の境界条件で解く

$$\eta = -\frac{a}{2} \frac{\sin\{(kr + i k_i)(x-l)\}}{\sin\{(kr + i k_i) \cdot l\}} e^{i\omega t} \quad (2)$$

ここに $\omega = 2\pi/T$ 、 $kr = \sqrt{C_1 - C_2}$ 、 $k_i = -\sqrt{C_1 + C_2}$ 、 $C_1 = (\lambda \omega / 2H) \cdot \sqrt{(\lambda \omega H / 2k)^2 + 1/k^2}$ 、 $C_2 = (\lambda \omega / 2k)^2$

次に式-1のポテンシャルを u で表わし、 x 方向の積分形で表示すると

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{\lambda} \frac{\partial \eta}{\partial t} + (H + \eta) g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{g}{k} \eta &= 0 \\ \lambda \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \eta}{\partial x} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3) \quad \text{ここに } \eta = \int_0^x u \, dx$$

また圧力条件式の加速度項を無視すると式-4がえられ

$$\left. \begin{aligned} u &= -k \frac{\partial \eta}{\partial x} \\ \lambda \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial (k u)}{\partial x} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4) \quad \text{また式-5の高次の項を無視すると}$$

$$\lambda \frac{\partial \eta}{\partial t} = \frac{k}{2} \frac{\partial^2 (H + \eta)^2}{\partial x^2} \quad (5)$$

$$\lambda \frac{\partial \eta}{\partial t} = k H \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} \quad (6)$$

3. 数値計算

以上の式-2, 3, 5および6の解析結果を求める。ここで式-3, 5および6は数値解析によらなければならないが、浸透層両端の境界値が与えられているから、式-3は two-step Lax-Wendroff のスキーム、式-5, 6は Lax-Wendroff のスキームを用いて計算した³⁾。その場合の計算安定条件は式-3の場合 $\Delta t \leq \frac{\Delta x}{\sqrt{k_{\max} g}}$ を使い、 $k_{\max} = 5.7 \text{ cm}$ 、 $\Delta x = 12.5 \text{ cm}$ に対し $\Delta t \leq 0.053 \text{ 秒}$ となるから $\Delta t = 0.05 \text{ 秒}$ 。

また式-5, 6の場合 $\Delta t \leq \frac{1}{2} \frac{\lambda (\Delta x)^2}{k H}$ を使い、 $H = 50 \text{ cm}$ 、 $k = 0.35 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 、 $\lambda = 0.43$ 、 $\Delta x = 10 \text{ cm}$ に対し $\Delta t \leq 1.23 \text{ 秒}$ となるから $\Delta t = 1.0 \text{ 秒}$ を用いた。

4. 砂モデルによる模型実験

模型実験は、幅 20 cm の浸透水槽の 4.0 m の区間に砂を入れて行なった。左端にはオーバーフロー型の長周期可変水頭装置があり、周期 7 分、振幅

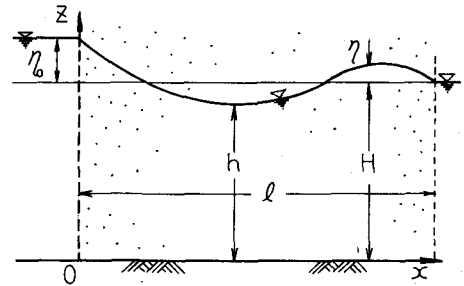


図-1

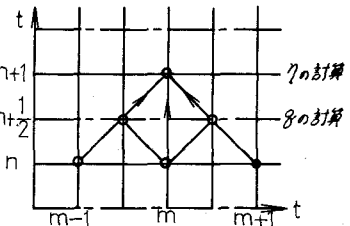


図-2

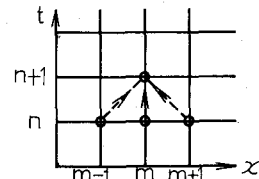


図-3

10.0 cm の水面上下運動を与えた。また右端はオーバーフロー装置により一定水深を保った。砂層内の水面の高さは図-4の印の箇所から取り出した24個のマノメーターによって測定した。

5. 解析結果と実験結果の比較

海水位が最高位を示す瞬間での解析結果と実験結果を図-5に、最低位の場合を図-6に示している。

まず式-2($\lambda=0.43$)、3、5および6の解析結果と比較すると、式-5、6がほぼ同じ値を示し、ほぼ3種類の曲線に分れている。このうち式-2($\lambda=0.43$)と式-5、6の曲線はほぼ100cm~250cmの区間以外で、ほぼ似た値を示している。また式-3の曲線はほぼ150cm~200cmの区間以外でいずれも他の曲線より大きな変位を示していることがわかる。次にこれらの解析結果を実験結果と比較すると、両者はかなり相違した傾向を示しており、実験結果は、ほとんど位相遅れかない程度に、境界での海水面の上下運動に追従して変動している。参考までに、 $\lambda=0.20$ とした式-2の曲線を求めると、実験結果に若干近づくが、それでも、まだかなりの相違がみられる。

ここで、この相違について考えよう。本解析結果は、従来の非定常浸透理論と同様に、いずれも有効空隙率(λ)を一定として求めたものであるが、有効空隙率の値は地下水面の移動速度と場所によって変化することが確かめられている⁴⁾。したがって、有効空隙率の地下水面変動に与える効果を無視した結果として、実験結果と解析結果の相違が生じたものと考えられる。

6. おわりに

有効空隙率を一定とした種々の解析結果を求め、砂モデル実験結果と比較して、従来指道されたように、両者が大きく異なることを確認した。有効空隙率を変数とした理論解の誘導は困難であることから、数値解析によるなければならないが、式-5、6による場合、計算安定条件が有効空隙率の関数であることから、関数関係にならず式-2による解析が妥当と考えられる。また有効空隙率を、地下水面の移動速度と場所の関数として評価することは困難であるから、場所のみの関数として今後検討してみようと考えている。

参考文献

- 1) 嶋裕之: 異方性透水層の波動現象について、土木学会第28回年次学術講演会講演概要集第2部、P.373、昭和48年10月。
- 2) 高永坂和教: 不圧海岸地下水の運動に関する研究、土木学会第24回年次学術講演会講演概要集第2部、P.311、昭和44年9月。
- 3) 土木学会編: 土木工学における数値解析、基礎編、P.50、サイエンス社、昭和49年11月。
- 4) 杉尾本郷: 自由地下水面を有する非定常浸透流の本設計、九州産業大学工学部研究報告、第12号、P.30、昭和50年11月。

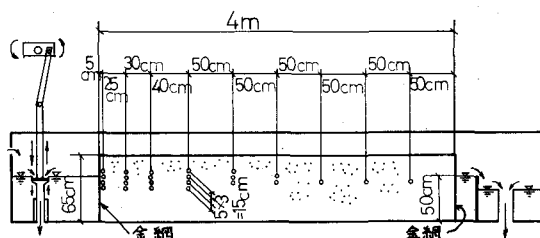


図-4. 実験装置

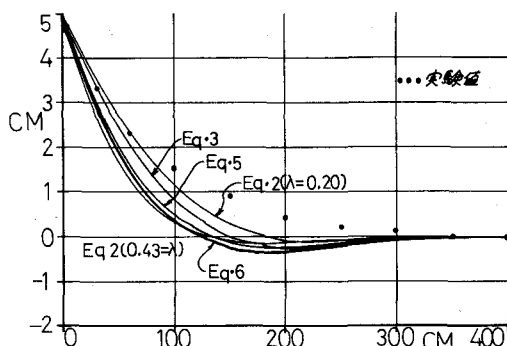


図-5. 実験結果との比較
($T=70$ 分, $\eta_0=5.0$ cm)

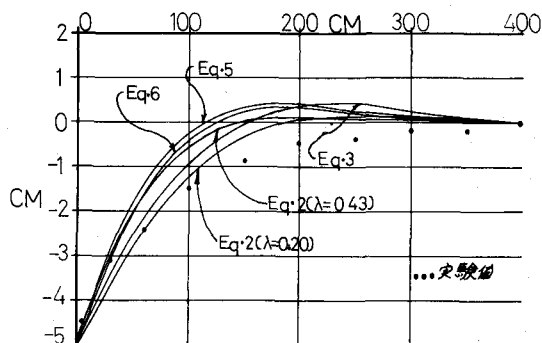


図-6. 実験結果との比較
($T=70$ 分, $\eta_0=5.0$ cm)