

九州大学 正員 藤野 和徳  
九州大学 学生員 〇 高木 友久

### 1. はじめに

海岸地域での地下水流動の解析は、潮汐等のため一般には非定常浸透流として取り扱うことになる。本報は図-1に示すような砂層モデルを考え、潮汐を無視した場合の解析解を導き、また考慮した場合には、数値解析を行い、それぞれの計算値と実験結果の比較を行ったものである。また実験結果より、潮汐による地下水位、塩分濃度の挙動の特性と相互相関関数を求めることにより解明を試みたものである。

### 2. 基礎式 (図-1 参照)

(1) 定常解 ダルシー則より  $Q = -\alpha \{ k(\phi + \beta) \partial \phi / \partial x \} / \partial x$  (1)

ここで、 $\beta$  は定数である。  $\phi = \frac{1}{2} k (\phi + \beta) x^2 + C$  (2)

と定義すると連続の式は  $\partial \phi / \partial x^2 = 0$  (3)

領域1では  $\phi = \frac{1}{2} k \beta / (p_s - p_f) \cdot (\phi - H_s) + C_1$  領域2では  $\phi = \frac{1}{2} k \phi^2 + C_2$

と表わせ塩水楔先端で  $\phi_2 = \phi_1$  より  $C_1 = 0$ ,  $C_2 = -\frac{1}{2} k H_s^2 p_s / p_f$  が求

まる。よって領域1  $\phi = \frac{1}{2} k \beta / (p_s - p_f) (\phi - H_s)^2$  (4)

領域2  $\phi = \frac{1}{2} k \phi^2 - \frac{1}{2} k H_s^2 p_s / p_f$  (5)

なお楔先端での  $\phi$  は  $\phi = \frac{1}{2} k H_s^2 R / q (p_s - p_f) / p_f$  (6) となる。

式(3)と境界条件  $x=0$  で  $\phi=0$ ,  $x=l$  で  $\phi = \frac{1}{2} k (H_s^2 - H_s^2 p_s / p_f)$  より  $\phi = \frac{1}{2} k (H_s^2 - H_s^2 p_s / p_f) x$  (7)

式(7)と楔先端の条件式(6)で判定すれば、式(4)、(5)より定常流が求まる。

(2) 非定常解 連続の式は淡水層について  $(n_f / k) \cdot \partial (h_f - h_s) / \partial t = \partial h_f / \partial x (\partial h_f / \partial x - \partial h_s / \partial x) + \partial h_s / \partial x^2 (h_s - h_f)$  (8)

塩水層について  $(n_s / k) \partial h_s / \partial t = (p_s / p_f) \{ (\partial h_f / \partial x) \cdot (\partial h_s / \partial x) + h_s \partial h_s / \partial x^2 \} + \partial p / p_f \cdot \{ (\partial h_s / \partial x)^2 + h_s \cdot \partial h_s / \partial x^2 \}$  (9)

となる。式(8)、(9)を連立させて解を求めるにあたり、差分法としてExplicit法を用いる。なお塩水楔先端位置の決定方法は、 $h_s$ の値が負又は0となる一ヶ所の格子点で、塩水流速が等しいという条件

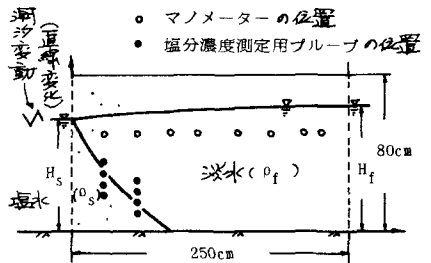
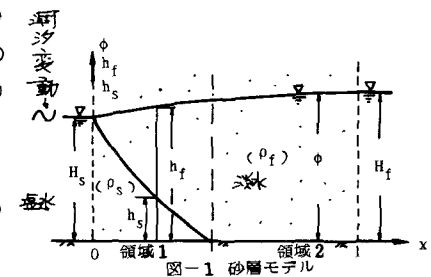
$(\partial p / p_f) \cdot k \cdot (-h_{si}) / (Y - x_{si}) = (\partial p / p_f) k (h_{si} - h_{s(i-1)}) / \Delta x$  (10)

ここでY、塩水楔先端位置、i、格子番号、 $\Delta x$  差分間隔を用いて決定した。

なお記号については以下に示す通りである。 $k$ : 透水係数,  $n$ : 空けき率,  $H_s$ : 塩水ヘッドタンクの水位,  $H_f$ : 淡水ヘッドタンクの水位,  $h_f$ : 淡水位,  $h_s$ : 塩水位,  $p_s$ : 淡水密度,  $p_f$ : 塩水密度,  $\partial p = p_s - p_f$

### 3. 実験装置

実験装置は図-2に示すように、左右にヘッドタンクを設けた長さ250cm、幅40cm、高さ80cmの長方形水槽であり、塩水側のヘッドタンク内に潮汐発生装置をつけてある。また水頭測定のためのマノメータは塩水ヘッドタンクより30, 60, 90, 115, 150, 180, 210, 225cmの奥に設けてあり、以後図-2の左のマノメータよりM1, M2... M8と呼ぶ。塩分濃度測定のためのブルーブは塩水側より30, 60cmの奥にあり、30cmの奥では上面よりC1~C4とし5cm置きに設置しており、60cmの奥では上面よりC5~C8とし、これも5cm置きに設置している。実験は水槽内に、平均粒径  $d = 0.8mm$  程度の砂をつめて行い、この場合、測定により透水係数  $k = 0.305 cm/sec$ , 空けき率  $n = 0.4$  であつた。また淡水、塩水の



密度は  $\rho_1 = 1.0 \text{ g/cm}^3$ ,  $\rho_2 = 1.025 \text{ g/cm}^3$  を用いた。

実験としてはまず、塩水位  $H_3 = 51.0 \text{ cm}$ 、淡水位  $H_5 = 53.0 \text{ cm}$  の定常状態を形成させ、地下水位、塩水楔形状を測定し、次に淡水位を  $H_5 = 53.0 \text{ cm}$  と一定に保ち、潮汐発生装置により、振幅  $4.65 \text{ cm}$  周期  $474 \text{ sec}$  で塩水位  $H_3 = 46.7 \sim 56.0 \text{ cm}$  の範囲で変動させ地下水位、塩分濃度はともに  $10 \text{ 秒}$  間隔で測定を行った。

#### 4. 実験結果

図-3に塩水位の水位変動量  $H_3 - \bar{H}_3$  (平均値) と  $M1 - \bar{M1}$  (平均値) ~  $M8 - \bar{M8}$  (平均値) の相互相関関数を示す。また図-4に無次元量で表わした  $\tau = t / (k/nH_5)$  と  $x/\bar{H}_5$  の関係を示す。図-3, 4より位相の遅れは、図-1に示す領域1, 2の区別なく、ほぼ塩水ヘッドタンクからの距離に比例していると思われる。この際、各マノメータの水位変動周期は潮汐の周期と一致していることを確認した。図-5は  $H_3 - \bar{H}_3$  と濃度変動量  $C2 - \bar{C2}$  (平均値),  $C3 - \bar{C3}$  (平均値),  $C7 - \bar{C7}$  (平均値) との相互相関関数を示す。この図より  $C2$  と  $C3$  の相関の強いとは一致しており  $C7$  に比べて小さく、塩分濃度についても距離と関係をもっていることがわかる。図-6は、塩水ヘッドタンクより等距離にある  $M1$  と  $C2, C3$ ,  $M2$  と  $C7$  のそれぞれの変動量の相互相関関数を示すもので、これより相関関数のピークをとるとは三者ともほぼ同じ値であり、等距離にある地下水位と濃度の変動量の相関はある一定値をもつものと思われる。

#### 5. 計算値と実験値の比較

図-7に非定常時の塩水楔形状を示す。実線は実験値であり、塩水はウランを用いて着色しており、この着色水の上端を示したものである。一実、二実線は数値計算値で、それぞれ  $H_3 = 56.0 \text{ cm}$ ,  $46.7 \text{ cm}$  の場合である。また破線は参考のため、 $H_3 = 51.46 \text{ cm}$  (平均値) として求めた解析値を示している。なお実験値は数値計算値と異なり顕著な変動は見られず、これは拡散現象によるものと思われる。

#### 6. 考察

位相の遅れは距離  $x$  に比例しており、また等距離にある2つの変動量の相関のピークはある一定をもつものと思われる。また、定常解、非定常解はともにほぼ現象を表わしえると思われるがこれらの解では準一様を仮定しているため、適用範囲に限界があると思われ、今後周期と位相速度の関係を求める上にも、種々の周期・振幅で実験を行い、検討してゆきたい。

#### 参考文献

- 1) Strack, O. D. L.: A Single-Potential Solution for Regional Interface Problem in Coastal Aquifers, Water R. R., 12(6), 1976.
- 2) 尾島勝: 外水位変動による自由地下水の非定常流に関する研究 第33回年報

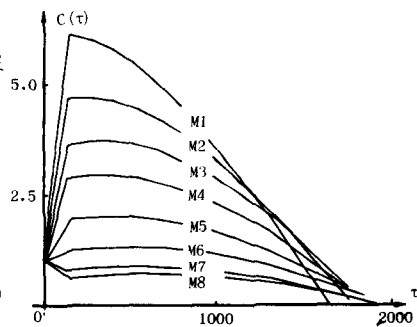


図-3  $H_3$  と  $M1 \sim M8$  の相関関数

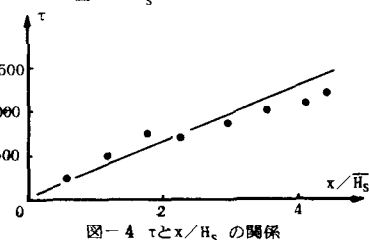


図-4  $\tau$  と  $x/H_5$  の関係

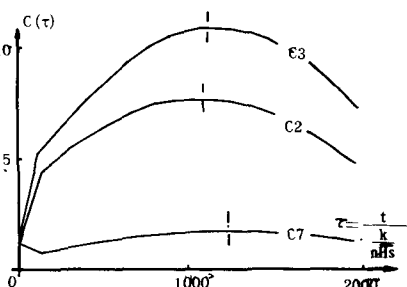


図-5  $H_3$  と  $C2, C3, C7$  の相関関数

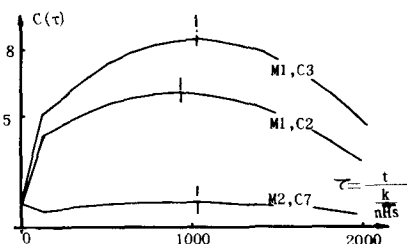


図-6  $M1$  と  $C2, C3, M2$  と  $C7$  の相関関数

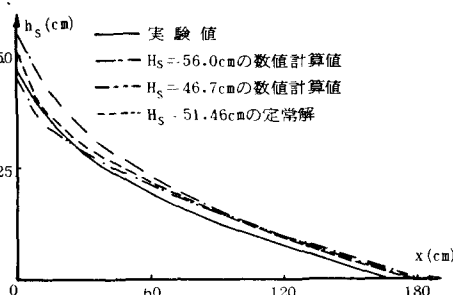


図-7 実験値と計算値の比較