

徳島大学工学部 正員 尾島 勝
徳島大学大学院 学生員 ○足立一美

1 まえがき

本研究は、自由地下水の挙動に及ぼす両端境界条件の相違による干渉効果を検討しようとするものであり、浸透流は上・下流端のみの条件によって生じ、滞水層の厚さに比較して水位変動量が小さく浸透距離が長い準一次元の流れとしてモデルを単純化して取り扱う。以上の仮定に適合するような砂層モデルを設定して実験を行い、砂層モデルの両端に与えられた外水位変動による砂層内の応答量を、一端変動による応答の重ね合わせとして表わしうるか否かを検討して、干渉効果の時間的・場所的な相違を評価した。一部は先に発表した¹⁾が、今回さらに多くの実験を行い、あわせて数値解析も行ったので報告する。

2. 砂層モデルと基礎方程式

いま浸透領域として図-1に示す長方形の砂層モデルを考える。初期水位が不透水性基盤上 H_0 にあるとき、両境界で外水位が変化する場合に透水系数を k および有効間げき率 λ を一定として、Darcy 則および連続の式より次の基礎方程式を得る。

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{k}{\lambda} \left(H_0 \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 h^2}{\partial x^2} \right) \quad (1)$$

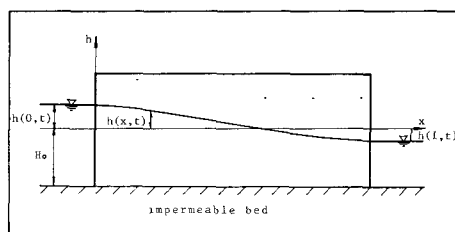


図-1 砂層モデル

とくに、 $h \ll H_0$ のとき式(1)は

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{k H_0}{\lambda} \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \quad (2)$$

となる。したがって両端外水位変動による砂層内の水位は、個々の一端外水位変動による水位の重ね合わせとして得られる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{初期条件 } h(x, 0) = 0 \\ \text{境界条件 } h(0, t) = \psi_1(t), \quad h(l, t) = \psi_2(t) \end{array} \right\} \quad (3)$$

に対して式(2)の解は次式となる。

$$h(x, t) = \frac{2\pi k H_0}{\lambda l^2} \sum_{n=1}^{\infty} n e^{-\frac{n^2 \pi^2 k H_0}{\lambda l^2} t} \int_0^t e^{-\frac{n^2 \pi^2 k H_0}{\lambda l^2} \tau} \{ \psi_1(\tau) - (-1)^n \psi_2(\tau) \} d\tau \sin \frac{n \pi x}{l} \quad (4)$$

この解は $x=0, l$ で境界条件を満足しないが、 $\varepsilon > 0$ なる ε に対して $x=0+\varepsilon, x=l-\varepsilon$ でそれぞれ $\psi_1(t), \psi_2(t)$ に一致する。式(2)は $h \ll H_0$ の場合の近似式であり、この式の妥当性を検討するため、式(2)は両端の外水位変動による砂層内の水位が、個々の一端変動による水位の重ね合わせによって得られることに注目した。すなわち式(2)の近似精度は、両端外水位変動による砂層内の水位と、個々の一端変動による水位の重ね合わせによって得られる仮想的な水位との差によって知ることができる。この方法によれば実験定数である透水系数および有効間げき率を必要としないため、これらの値の実験誤差が介在せず厳密な検証が可能である。

3. 実験諸元および実験結果

実験砂は有効径 $D_{10} = 0.31 \text{ mm}$ 、均等係数 $C_u = 2.26$ 、透水係数 $k = 0.11 \text{ cm/s}$ であり、滞水層の長さ $l = 300 \text{ cm}$ 、初期水位 $H_0 = 40 \text{ cm}$ とした。滞水層の両端に図-2に示すような外水位三角波変動と周期変動とを与えた。外水位の変化型式は凸型と凹型であり前者をAタイプ、後者をCタイプとし、外水位の最大変動量は $5 \text{ cm} \sim 10 \text{ cm}$ である。図-2は模式図であって実際の変動はややフラットな正弦曲線に近い形である。

図-3は外水位変化型式の異なるA12とC12の両タイプについて干渉効果を評価したものであり、縦軸の Δh

は個々の一端外水位変動による滞水層内の水位をそれぞれ加えた仮想的な水位から両端外水位変動による滞水層内の水位を減じた量である。したがって $\Delta h/\eta$ が零に近いほど干渉効果は小さく、同時に式(2)を適用した場合の相対誤差を評価できる。図-2より明らかにA12のほうがC12より干渉効果が大きく、両タイプとも重ね合わせの適用性は認められず、相対誤差は最大15%にも及んでいる。この場合、両タイプとも両端の外水位変動量は等しいが、Aタイプでは浸透の初期に初期水位 H_0 の上部の飽和度の非常に小さい毛管水帯を浸透し、十分飽和されないうちに排水される。これに対してCタイプでは、まず飽和水帯中を排水され、つぎに初期水位の下部が水で満たされているうちに浸透が終了する。このように全過程を通してAタイプのほうが飽和度が小さいために、飽和浸透を対象とする式(2)はAタイプに対して適合性が良くない。

図-4はC'22の場合の滞水層内の水位の実験値と計算値である。計算値は水位の極値が実験値と一致するように λ/α の値を選んだが、位相がかなりずれている。位相を一致させるためには λ/α の値を大きくする必要があるが、そうすると水位の極値が実験値と一致しなくなるため、 λ/α を一定とした場合に実験値と計算値とを全体的に一致させることは不可能である。

4. 非線形項の評価

線形方程式(2)の重ね合わせの原理に基づいて、式(2)の適用限界を論じたが、もともと式(2)は式(1)の近似式であるから式(1)の非線形項を評価しておかなければならない。式(1)では当然重ね合わせの原理は成立せず、それは右辺第2項の非線形項の大きさに依存する。そこで式(1)をCrank-Nicolsonの差分方程式に置き換え、これを解いて非線形項の大きさを評価した。図-5はC'22の場合を示したか、実験値に比較して非線形項は非常に小さい。他の実験タイプについても同様であり極値付近についてみれば、非線形項の占める割合は全体の1/2以下であって、非線形項のみで干渉効果を説明することはできない。

5. あとがき

外水位変動特性の相違による干渉効果について実験的に検討したが、今後実験からえられた干渉効果をすべて説明しうるモデルを確立しなければならない。最後に、ご協力いただいた鳥谷雄二・赤尾篤考の両君に感謝の意を表する。

参考文献；1) 尾島・足立・広井「自由地下水の変動に及ぼす干渉効果に関する実験的考察」第28回土木学会中四国講演概要

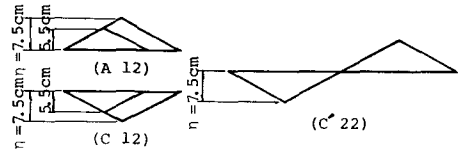


図-2 実験タイプ

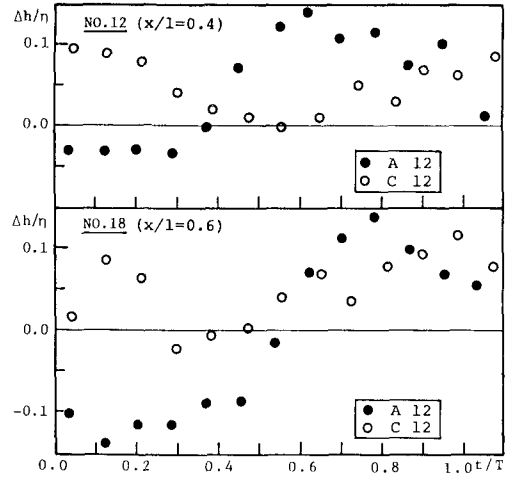


図-3 干渉効果の評価

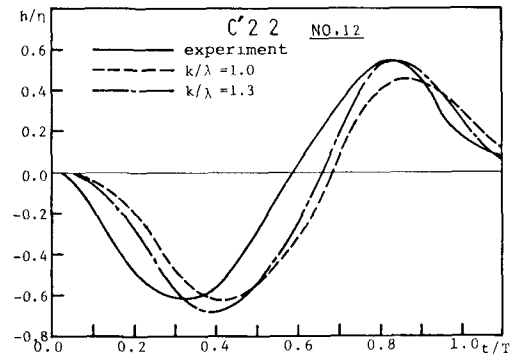


図-4 λ/α の変化による変動特性

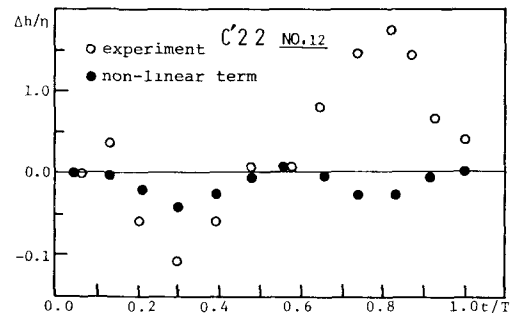


図-5 非線形項の評価