

徳島大学工学部 正員 ○尾島 勝
 運輸省オ一港建 正員 足立一美
 徳島大学大学院 学生員 西内剛三

① まえがき 本研究は、低平地自由地下水の挙動を非定常浸透流として微視的に捉え、その変動特性の定式化を試みたものである。従来、報告にひき続いて、今回、数値解析的検討より非定常応答を無次元表示して非線形性を定量評価するとともに砂層モデル実験結果より透水係数および有効間隙率の変化特性の解明を試みた。

② 砂層モデルと基礎方程式 本研究では、基本的特性を明らかにするため、準一次元の流れとしてモデルを単純化して取り扱う。図-1が解析および実験に用いた砂層モデルである。

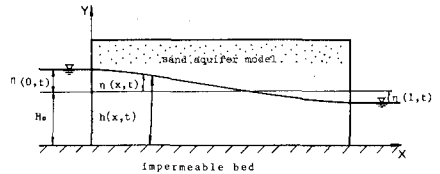


図-1 砂層モデル

非定常浸透現象を記述する基礎式は、次式のように誘導される。

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

透水係数および有効間隙率を一定とすれば、次のようになる。

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{k}{\lambda} \left(H_0 \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \phi^2}{\partial x^2} \right) \quad (2) \quad \frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{k H_0}{\lambda} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \quad (\phi \ll H_0) \quad (3)$$

③ 基礎方程式の非線形性の評価 式(2)の非線形性を一般的に論じるため、 $U = \phi/H_0$ 、 $X = x/L$ 、 $T = k H_0 t / \lambda L$ 、とにおいて、式(2)、(3)を無次元表示すれば、それぞれ次のように書ける。

$$\frac{\partial U}{\partial T} = \frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + U \frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \left(\frac{\partial U}{\partial X} \right)^2 \quad (4) \quad \frac{\partial U}{\partial T} = \frac{\partial^2 U}{\partial X^2} \quad (5)$$

式(4)の差分解を U_n 、式(5)のそれを U_L とし、外水位の最大変動量を A_2 として、 $(U_n - U_L)/A_2$ (6) で非線形性を評価することにする。

図-2は一端ステップ上昇、すなわち、次の初期条件・境界条件を与えたときの式(6)の計算値を横軸に T をとり、 U_0 と X をパラメータとして示したものである。

$$U_i(X, 0) = 0; \quad U_0(0, T) = \phi_0/H_0; \quad U_0(1, T) = 0 \quad (7)$$

図-3は、両端ステップ上昇の一例として、 $U_i(X, 0) = 0$; $U_0(0, T) = \phi_0/H_0$ 、 $U_0(1, T) = \phi_0/H_0$ (8) を与えたときの計算結果である。

図-2から明らかなように、無次元時間 T の小さい浸透の初期に非線形性が強く、ある時刻において最大値を示した後、定常状態に至るまで漸次で減する。この場合、 $T = 0.7$ 以後は $(U_n - U_L)/A_2$ の値にはほとんど変化がなく、定常状態に達していると考えられる。

外水位変動量の大きさの影響についてみれば、 $\phi_0/H_0 = 0.3$ 以上では式(6)が正の値となり、 ϕ_0/H_0 が増すほど非線形性も増大することがわかる。ここに示した最大の変動条件 $\phi_0/H_0 = 1$ では最大14%にも及ぶが、 $\phi_0/H_0 = 0.2$ 以下のいわゆる深い流れでは±3%以下で比較的小さい。また、非線形性は外水位変動端($X=0$)から遠ざかるほど小さく、最大値を示す時刻も遅れることがわかる。図-3に示した結果においても浸透の初期に非線形性が強く、滞水層のどの位置にお

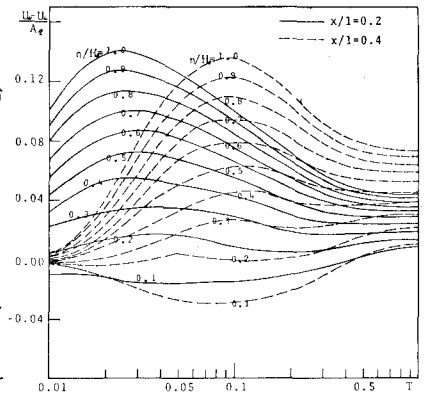


図-2 一端ステップ上昇の非線形性

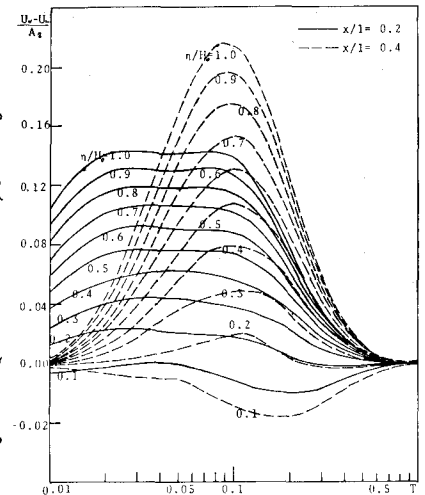


図-3 両端ステップ上昇の非線形性

いても z_b/h_0 の値にかかわらず、 $T=0.1$ 以前に最大値を示し、 $T=0.4$ 以後は非線形性は小さく、現象はほぼ定常浸透に達しているとみなしてよからう。

図-2と図-3を比較して特異な点を挙げれば、両端ステップ上昇の場合は1)一端ステップ上昇の場合と異なり外水位変動端付近よりも滞水層中央部で非線形性が大きくなり、他端からの影響(干渉効果)が顕著に現われていること、2) T が小さい浸透初期の非線形性は総じて一端ステップ変動のそれよりも大きいこと、しかし定常状態に達したとみなされる時刻以後は、3)逆に一端ステップ上昇の非線形性が消失することなく残ること、4)しかも変動端より遠いほど残存非線形性が大きいこと、などである。

図-4は、一端周期変動の最も単純な例として、境界条件；

$$U_b(0, T) = \begin{cases} A \sin \omega T & (T \leq T_b) \\ 0 & (T > T_b) \end{cases} \quad U_b(1, T) = 0 \quad (9)$$

$\omega = 2\pi/T_p, T_p = 0.88$

を与えた場合の計算結果である。図-4において、 $T=0.22$ と 0.66 で外水位はそれぞれ山と谷になるが、非線形性もこれに対応して2つの極値を示す。ところで、この2つの時刻で z_b/h_0 は等しいが、 $T=0.66$ 付近で非線形性が $T=0.22$ 付近に比して倍ほど大きいのは、 z が負となり相対的に不透水性基盤上の浸透に近くなるためである。

以上のように、非線形性を定量評価できたが、単に z_b/h_0 の値のみに支配されるのではなく、外水位の変動型式によっても異なるものであることは十分注意する必要がある。

4 干渉効果に占める非線形性の評価 式(1)で表現されるべき実際の非定常浸透現象を、式(2)あるいは式(3)を用いて解析するときの近似精度、すなわち適用限界を明らかにしておく必要がある。前回の報告でも述べたように、個々の一端外水位変動による応答水位を重ね合わせた(z_1+z_2)から両端外水位変動による応答水位(z_{12})を差し引いた量を外水位最大変動量(A_2)で除した無次元量($0.3A_2$)を干渉効果と定義し、干渉効果に占める非線形性を検討した一例を図-5に示した。図から明らかなように斜線部分の干渉効果は式(3)の適用によっても説明できない。もちろん、巨視的立場からたかだか10数%以下の干渉効果を見逃すというとはみなせば、式(3)の適用も許される。

5 透水係数(k)および有効間隙率(λ)の変化を考慮した定式化

式(3)の適用を許すとして、 k, λ の値を種々変化させてできる限り実験結果に一致させるよう試みた一例を示せば図-6のようである。良い一致を示しているとはいいがたい。そこで、式(1)に立ちかえり、 k, λ の変化をも考慮した定式化を試みた。図-7は有効径 0.58mm 、均等係数 2.16 、定常時の $k_s=0.43\text{cm/sec}$ 、 $\lambda_s=0.40$ の一端ステップ降下の砂層モデル実験結果から、式(1)を差分化して求めた k, λ の変化を示したものである。図-8は、図-7に示した実験の水位応答を k, λ を一定とした場合と、図-7に示す直線で仮に k, λ を時間 t のみの関数として近似した場合の適合性を比較するために示したものである。

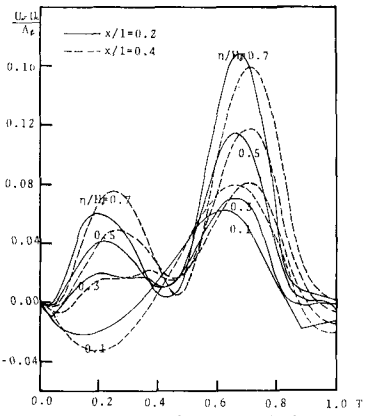


図-4 一端周期変動の非線形性

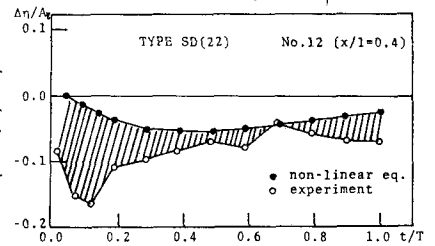


図-5 干渉効果に占める非線形性

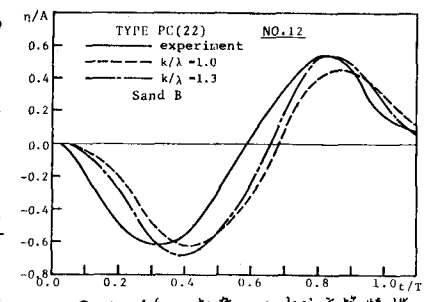


図-6 k/λ の相違による水位応答特性

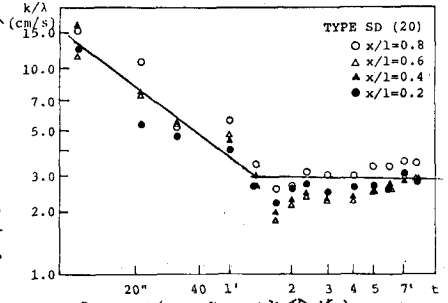


図-7 k, λ の変化(実験値)

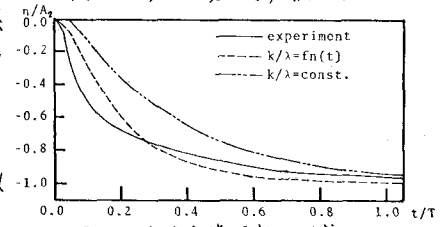


図-8 水位応答特性の比較