

徳島大学工学部 正員 ○尾島 勝
日本工営 正員 荒木一郎

1. まえがき； 浸透流の非定常性を問題とするとき、浸透流の挙動に影響を及ぼす要因の詳細な分析・評価、さらにその挙動をより正しくより簡単に表わしうる数理モデルの確立が基礎的な課題である。われわれは、低平地自由地下水を対象とした浸透流の非定常性の評価を、砂層モデル実験を中心として水位変動量と流動量の解析により行なっている^{1),2)}。これらの実験でみられる浸透流の非定常現象を、準一次元流の立場にたつて理論的に解析しようとするとき、数理モデルの基礎式に含まれる各項のもつ値の場所的・時間的変化特性以上に、滞水層定数の相違あるいはその変化が非定常性の評価に大きく関与するものと思われる。有効間げき率の場所的変化や遅滞排水を考慮した解析はきわめて少なく、定常時の値を求めめるために行なわれる揚水試験法に Boulton³⁾ や Stallman の遅滞産出率を考慮したものが見出される程度である。したがって本報告では、浸透流の非定常時における滞水層定数について、実験結果あるいは理論解析を用いてその変化特性を考察する。この方法を示すとともに、貯留量あるいは排水量の時間変化と砂層内のみかけの浸透体積の増減との関係から、有効間げき率の時間変化について述べる。

2. 数理モデル； 図-1(a), (b)に示すような滞水層モデルにおいて、準一次元流の仮定のもとで数理モデルを考える。すなわち、 $\beta(x, t) = (k(x, t)/\lambda(t))$ を滞水層定数、 k ；透水係数、 λ ；有効間げき率、 $i \cdot \alpha (= \Delta H / l)$ をそれより不透水層こう配、初期水面こう配とすれば、図-1に対する基礎式は次式のようになる。

$$\frac{\partial^2 \beta(x, t)}{\partial x^2} = \beta(x, t) \left\{ H_0 \pm \gamma + Pl - \alpha(\alpha - i) \frac{\partial^2 \gamma}{\partial x^2} \pm (i - 2\alpha) \frac{\partial^2 \gamma}{\partial x} + \left(\frac{\partial \gamma}{\partial x} \right)^2 + \alpha(\alpha - i) \right\} \\ \pm \frac{\partial \beta}{\partial x} \left\{ H_0 \pm \gamma + Pl - \alpha(\alpha - i) \right\} \left(\frac{\partial \gamma}{\partial x} - \alpha \right) \quad (1)$$

ただし、式中(+符号)は(a)図の浸透過程(TYPE-I・II・V)を示し、このとき $P = \alpha(\alpha - i)$ 、また(-符号)は(b)図の排水過程(TYPE-III・IV・VI)を示し、 $P = -\alpha i$ である。

3. 滞水層定数の算定； まず第1に、概数を知る方法としては、単位時間流量と定常流量との比について理論値と実験値をfittingさせることにより算出するもので定常時に近い値を推定しうる。第2には、実験値を用いた基礎式の項別計算から直接算出することを、また第3には、理論解による水位変動量が実験によるそれと一致するように理論式中の滞水層定数(k/λ)を逆算して推定することを試みるもので、それより場所的・時間的に変動する値を把握することができる。

流動量のfitting法で得た各タイプの平均的な値を右の表に示した。TYPE-V・VIはそれよりTYPE-I・IIIと同様に浸透過程、排水過程の実験であるが、試料砂が異なるものである。TYPE-VIを例にとってその値の妥当性を調べてみればつぎのようである。すなわち、定常時の平均透水係数を定常流量・水位から求めると0.12(cm/s)を得、また砂の有効間げき率を約0.3と考えると、 k/λ の値は約0.4(cm/s)となり表に示した値とオーガー的にほぼ一致する。つぎの方法は、(1)式の右辺第2カッコ(2項)をとりあえず無視した方程式において、 $\beta(x, t)$ の値を任意の場所・時間で求めたもので、TYPE-Vの場合を例にとり図-2に示した。この方法によれば定常時の値

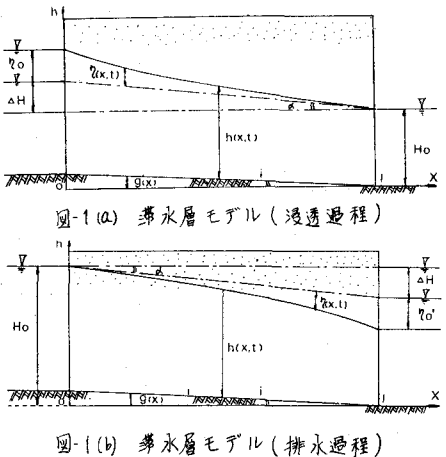


表 k/λ の値

TYPE	k/λ (cm/s)
I ($\Delta H = 0$)	1.91
III ($\Delta H = 0$)	0.84
V ($\Delta H = 0$)	0.81
($\Delta H = 10$)	0.53
VI ($\Delta H = 0$)	0.74
($\Delta H = 10$)	0.50

を知ることはできないが、場所的・時間的変化の著しさを知ることはできる。非定常時の k は定常時の場合より小さいと考えるのが普通であるが仮に等しいと考えても、入は非定常時にはきわめて小さい値であり時間の経過とともに飽和され次第に大きくなることを示すものであること、また距離的な変動の伝播速度の相違に伴って入の値が異なることがあり、浸透過程の物理現象をよく表わしているといえよう。第3の方法は、(1)式の線形化近似式、

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2} = \frac{k}{\lambda} \left[(H_0 + P) \frac{\partial^2}{\partial x^2} \pm (i - 2d) \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right] \quad (2) \quad (P, \text{複号は(1)式に同じ})$$

$(k/\lambda : \text{const.})$

による k の解析値と実験値とが一致する k/λ を求めるもので、図-2と同じ実験から得られた結果を図-3に示した。 k/λ の変化特性は場所的・時間的に図-2とよく相似しているが定常時の値が明確になっていることが注目される。すなわち、非定常浸透流を表わそうとするいすれの式においても k/λ の場所的・時間的変化を無視できないことがわかる。また、定常時の値が表に示した流動量のfitting法により求めた一定値(0.53 cm/s)にほぼ収束していることも注目される。

4. 有効開けき率の時間変化； これまでの考察から知れるように、飽和度が増加し定常状態に近づくにつれ k が増大するにもかかわらず、 k/λ は減少することから入が急激に増大しているものと考えられ、その変化に関してつぎのような考察を行なった。すなわち、1分毎に測定した貯留量あるいは排水量(ΔS)と、10 cm間隔で測定された水頭値を用い台形公式で求積し帯水層幅を乗ずることにより求めた自由水面下の体積の増加あるいは減少量(ΔV)との比($\Delta S/\Delta V$)をとり、その変化を図-4に示した。 $\Delta S/\Delta V$ は単位時間に変動した自由水面はすべて単位時間内に貯留・排水された流量によるものであるという仮定が含まれるため実際の入より過大な数値を与えるが、その変化の様相と各タイプの値の相対関係は入の特性を示すものである。

TYPE V-7・V-4の値がそれよりTYPE V-6・V-3の値より常に大きいことから、初期定常流による影響がわかり表に示した k/λ の値の違いも妥当である。また、TYPE-VIがVよりいすれも小さい値を示すのは浸透・排水過程の相違によるものであって、排水過程では遅延排水の影響が考えられることから $\Delta S/\Delta V$ の値が小さくなるものと思われ、両者の水理機構の違いが明確に表わされている。

5. あとがき； 浸透流を表わす数値モデルにおいて、帯水層定数が浸透流の非定常性を表現する重要なパラメーターであることが認識された。すなわち、帯水層定数の非定常性における変化は著しく、基礎式において一定値としてとり扱えず、さらに有効開けき率の変化は透水係数のそれに比べて大きく、帯水層定数の変化特性は有効開けき率の変化に依存することがわかった。しかし、帯水層定数の変化を準一次元モデルで求めることは困難であり、今後、鉛直および水平一次元の基礎的な実験をふまえて浸透の問題に適用していきたい。

1) 尾島・荒木；低平地自由地下水の非定常性の評価，第29回年次学術講演集(II-74)，1974.10，pp.203-205. 2) 同，第19回水理講演会論文集，1975.2，pp.109-114. 3) N.S.Boulton；Analysis of Data from Non-Equilibrium Pumping Test allowing for Delayed Yield from storage，Inst Civil Engrs. Proc. [British]，Vol. 26，1963，pp.469-482.

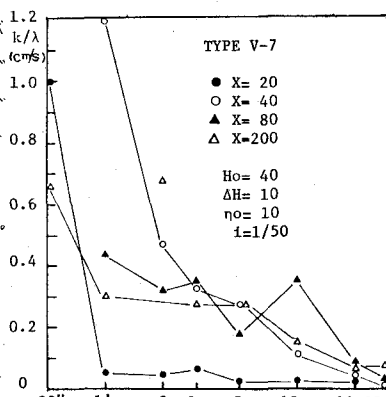


図-2 項別差分計算にもとづく帯水層定数

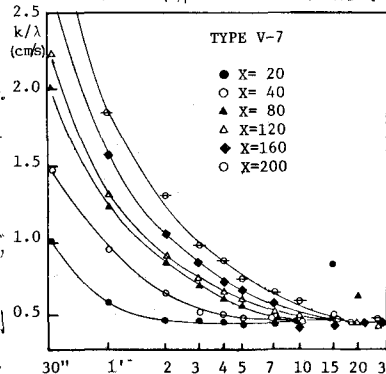


図-3 水位変動量にもとづく帯水層定数

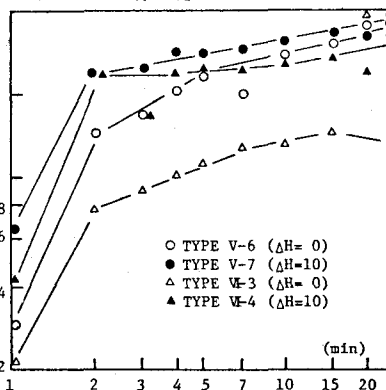


図-4 $\Delta S/\Delta V$ の変化