

非定常浸透流における滞水層定数のとり扱いについて(Ⅱ)

徳島大学工学部 正員 尾島 勝
徳島大学大学院 学生員 西内 剛三
今治市役所 正員 三品 貴裕
畑中建築設計事務所 中野 和敏

1. まえがき

本研究は、低平地自由地下水の挙動をより厳密に解析するためには、現象の生起場である滞水層の力学的特性の解明が必要であることを示したものである。すでに、透水係数および有効間隙率の変化特性の解明が不可欠であることを指摘した。今回は、透水係数および有効間隙率を場所的、時間的な変数と考え、砂層モデル実験結果にもとづきその一定式化を試みたものである。

2. 数理モデルと基礎方程式

浸透領域として、図-1に示すような両端境界を有する長方形の砂層モデルにおいて、準一次元流の仮定にもとづく数理モデルを考える。初期水位が不透水性基盤上にあるとき、両境界で外水位が変化する場合には、Darcy則および連続の式を用いれば非定常浸透現象を記述する基礎方程式として次式が得られる。

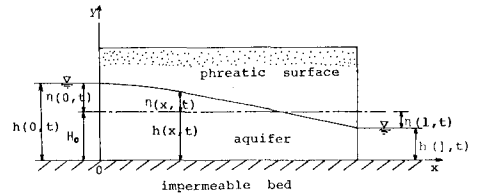


図-1 砂層モデル

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

ここに、 k は透水係数、 λ は有効間隙率であり、一般に場所 x および時間 t の関数と考えている。透水係数および有効間隙率を一定とすれば、式(1)は次式の準線形方程式となる。

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

3. 実験結果にもとづく滞水層定数の算定法

透水係数および有効間隙率の変化特性を解明するためには、 k/λ の値を知る必要がある。そこで、式(1)を差分表示して整理すれば、次式が得られる。ただし、 $\partial \lambda / \partial x = 0$ と仮定する。

$$K_x = \frac{1}{1 - \frac{Q(x, t)}{P(x, t)} \cdot \Delta x} \left(K_{x+\Delta x} - \frac{R(x, t)}{P(x, t)} \cdot \Delta x \right) \quad (3)$$

ここで、 $K = k/\lambda$ 、 $R = (Q_{t+\Delta t} - Q_{t-\Delta t}) / 2\Delta t$

$$Q = (H_0 + \eta_x)(Q_{x+\Delta x} - Q_{x-\Delta x}) / \Delta x^2 + (Q_{x+\Delta x} - Q_{x-\Delta x}) / 4\Delta x^2$$

$$P = (H_0 + \eta_x)(Q_{x+\Delta x} - Q_{x-\Delta x}) / 2\Delta x$$

式(3)から $K = k/\lambda$ を求めるためには、初期条件および境界条件が必要である。そこで、外水位の変動しない滞水層モデルでは K の値は飽和浸透の場合の値のまま不変であると仮定し、以下計算を進める。すなわち、 $k = 0.77 \text{ cm/sec}$ 、 $\lambda = 0.31$ より $K_0 = k/\lambda = 2.48$ として行なった。なお、差分計算における差分間隔として $\Delta x = 30 \text{ cm}$ 、 $\Delta t = 30 \text{ 秒}$ 、初期水深 $H_0 = 40 \text{ cm}$ とした。また、使用した砂の物理諸量としては、有効径 $D_{10} = 0.74 \text{ mm}$ 、均等係数 $U_c = 1.77$ 、比重 $G_s = 2.69$ である。

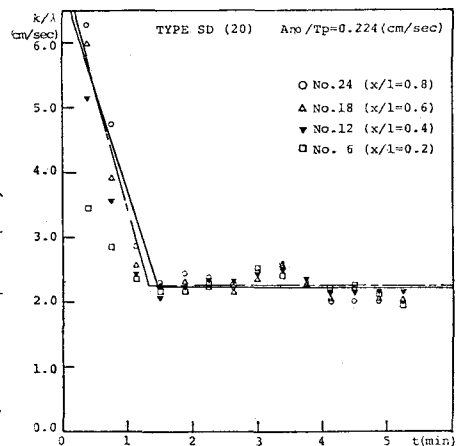


図-2 k/λ の変化特性

図-2, 図-3は, 前述の計算方法によって得られた k/λ の値を明示したものである。図-2は飽和浸透であるSDタイプ(外水位ステップ降下), 図-3は不飽和浸透であるCUタイプ(外水位一定上昇)を示している。図より明らかなように, 両タイプとも外水位変動を開始した直後では k/λ の値は非常に大きな値を示し, その後ほぼ直線的に減少して, 外水位変動停止前後で一定値となって定常状態に達している。その収束値は, 飽和状態における値, すなわち, $K_0 = k/\lambda = 2.48$ 付近におよそ収束している。また, k/λ の値の場所的な変化をみると, 外水位変動パターンのかんにかかわらず変動端側($x/l=0.8$)が非変動端側($x/l=0.2$)に比べて大きくくなっている。しかしながら, SDタイプはCUタイプに比べて全体的にみて場所的な値の差は少ない。以上のことより, k/λ の値に関しては, 飽和浸透の場合と不飽和浸透の場合とに顕著な相違はみられない。

4. 滞水層定数の定式化

前述の図-2, 図-3から滞水層定数(k/λ)の一時的な関数を求めることは困難である。そこで, 場所を固定して時間的な変化を追跡し, k/λ を時間の関数, すなわち, $K_x = (k/\lambda)_x = f_x(t)$ という関数形で表現する。その関数形を表わしたものが図-2, 図-3に示されている実験($x/l=0.8$)と一点鎖線($x/l=0.6$)である。図-4はこれらの関数形を考慮した水位応答図である。すなわち, 図中の実験線は実験値による水位応答であり, 破線は $k/\lambda = 2.48 = \text{const.}$ として求めた水位応答であり, 二点鎖線はNo.18($x/l=0.6$)地点での $k/\lambda = f(t)$ として求めた水位応答を表わしている。 $k/\lambda = f(t)$ と $k/\lambda = \text{const.}$ とを比較すると, 応答初期において前者は後者に比べ実験値により接近している。これはSDタイプに特には, きり現われている。このことは, 実験結果は初期において k/λ の値が定常値に比べてかなり大きくなることを示すものである。応答曲線を全体的にみても, k/λ の変化を考慮すればより良く実験結果を表現していることがわかる。以上のことは, 透水係数および有効間隙率の関数表示の必要性および有効性を示すものである。

5. あとがき

透水係数および有効間隙率の定式化を試み, k/λ を時間 t の1次関数として表現したが, 場所的な相違を定式化するまでには至らなかった。しかし, このような実験手法の積み重ねによる実験精度の向上をはかれば, より高次の関数表現も可能であると思われる。別の機会を得て詳細に報告したい。

参考文献 1) 尾島 荒木「非定常浸透流における滞水層定数のとり扱い」第27回土木学会中四国講演概要

2) 尾島 辰立・西内「不圧滞内における非定常浸透流の変動特性の定式化」第30回土木学会中四国講演概要

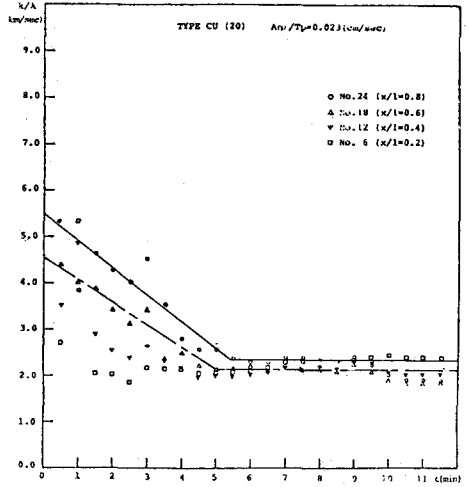


図-3 k/λ の変化特性

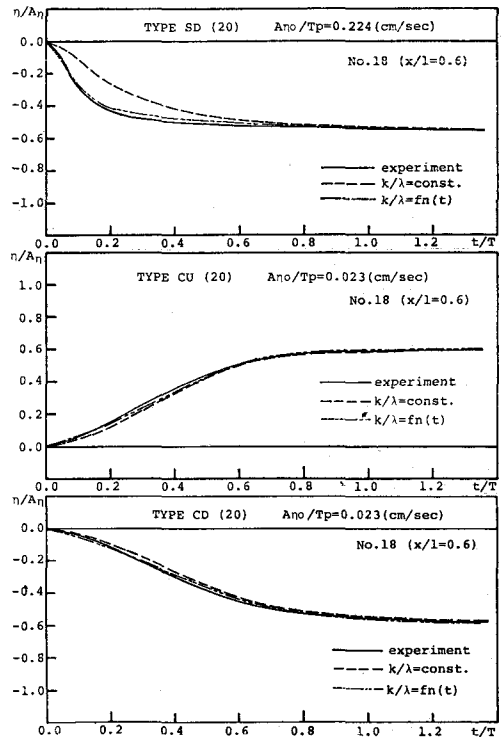


図-4 水位応答図