II-101　沖積地の浅層地下水位の変動について

京大防災研　正員　○　石原安雄
日本工営　正員　清原芳秀

1. 浅層地下水位の実測値

浅層地下水位は利用可能水量の決定や周辺の湖水位・河川水位変化の影響の推定などの目的で各地で実測されている。これらの測定値の多くのものは，季節的な変動とともに降雨ごとのかなり急激な変動を示す。図-1.は，建設省によって実施されたびわ湖周辺の沖積地における浅層地下水位の観測結果の一部を，湖水位，河川水位および日降水量とともに示したもので，その位置は図-2に示されている。図-1.においても，上述のような地下水位の変動特性が明瞭に認められるが，本文はこうした変動が何に起因するか，換言すると，どのような水文量の変化によってもたらされるかを，数値計算によって検討したものである。

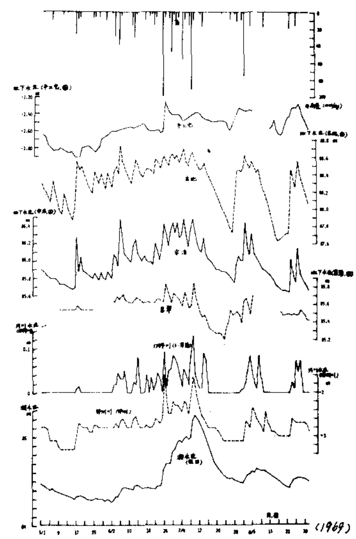


図-1. 地下水位，河川水位，湖水位および降水量の変化

2. 基礎式とその差分表示

図-2.に示すように，湖岸線に沿ってx軸，河川に沿って上流に向ってy軸をとり，不透水層の勾配をI，透水係数をk，空隙率をn，地表面からの浸透強度をω，不透水面からはかった水深をhとすると，基礎方程式が次式で与えられることはよく知られている。

$$\frac{1}{H^{1/2}}\cdot\frac{\partial H}{\partial t}=\frac{k}{n}\cdot\left(\frac{\partial^2 H}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 H}{\partial y^2}\right)+\frac{k}{n}\cdot\frac{I}{H^{1/2}}\cdot\frac{\partial H}{\partial y}+\frac{2\cdot\omega}{n}\quad\cdots\cdots(1)$$

ここに，$H=h^2$

(1)式は2次元非線形であるので，数値計算も容易でない。そこで，地下水位の変動が何に起因するかを調べようとする本文の目的に沿うには，できるだけ非線形の効果が導入されており，しかも計算時間が短かい計算法が有用であると考えて，非線形性を考慮するために，predictor-corrector model※，2次元の計算を簡単化するために，alternated direction implicit method (A.D.I法)※を用い，これらを組み合せてつぎの方法で数値計算を行った。

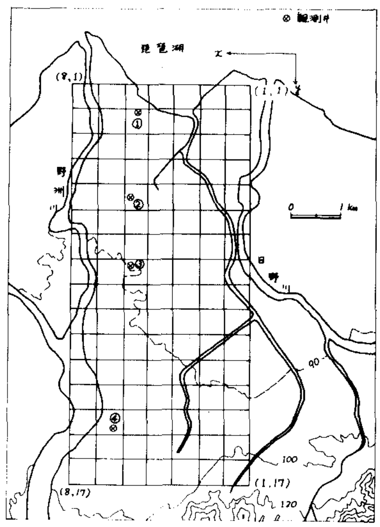


図-2. 位置図

$H(x,y,t)=H_{ijk}$，$x=i\cdot\Delta x$，$y=j\cdot\Delta y$，$t=k\cdot\Delta t$

$(i,j,k=1,2,3,\cdots)$と表現し，A.D.I.法における1st step，すなわちy方向を固定してx方向に計算を進めるとき，predictor-corrector modelを適用して，

$$\text{predictor}:\quad\frac{1}{H_{ij}^{1/2}}\cdot\frac{H_{ijk+\frac{1}{2}}-H_{ijk}}{\Delta t/2}=\frac{k}{n}\cdot\left\{\Delta_x^2 H_{ijk+\frac{1}{2}}+\Delta_y^2 H_{ijk}\right\}+\frac{k}{n}\cdot\frac{I}{H_{ijk}^{1/2}}\cdot\delta_y H_{ijk}+\frac{2}{n}\cdot\omega(ijk)\quad\cdots\cdots(2)$$

※ Irwin Remson and others : Numerical methods in subsurface hydrology with an introduction to the finite element method, Wiley-Interscience, 1971.

corrector：$\frac{1}{H_{ijk+\frac{1}{2}}^{1/2}}\cdot\frac{H_{ijk+1}-H_{ijk}}{\Delta t}=\frac{k}{n}\cdot\left\{\Delta_x^2H_{ijk+1}+\Delta_y^2H_{ijk}\right\}+\frac{k}{n}\cdot\frac{I}{H_{ijk+\frac{1}{2}}^{1/2}}\cdot\delta_yH_{ijk}+\frac{2}{n}\cdot\omega(ijk+\tfrac{1}{2})$ ……(3)

2nd step，すなわち x 方向を固定して y 方向に計算を進めるときは，

predictor：$\frac{1}{H_{ijk+1}^{1/2}}\cdot\frac{H_{ijk+\frac{3}{2}}-H_{ijk+1}}{\Delta t/2}=\frac{k}{n}\cdot\left\{\Delta_x^2H_{ijk+1}+\Delta_y^2H_{ijk+\frac{3}{2}}\right\}+\frac{k}{n}\cdot\frac{I}{H_{ijk+1}^{1/2}}\cdot\delta_yH_{ijk+\frac{3}{2}}+\frac{2}{n}\omega(ijk+1)$ ……(4)

corrector：$\frac{1}{H_{ijk+\frac{3}{2}}^{1/2}}\cdot\frac{H_{ijk+2}-H_{ijk+1}}{\Delta t}=\frac{k}{n}\cdot\left\{\Delta_x^2H_{ijk+1}+\Delta_y^2H_{ijk+2}\right\}+\frac{k}{n}\cdot\frac{I}{H_{ijk+\frac{3}{2}}^{1/2}}\cdot\delta_yH_{ijk+2}+\frac{2}{n}\cdot\omega(ijk+\tfrac{3}{2})$ ……(5)

ここに，$\Delta_x^2H_{ijk}=\frac{H_{i+1,j,k}-2H_{ijk}+H_{i-1,j,k}}{\Delta x^2}$，$\Delta_y^2H_{ijk}=\frac{H_{i,j+1,k}-H_{ijk}+H_{i,j-1,k}}{\Delta y^2}$，$\delta_yH_{ijk}=\frac{H_{i,j+1,k}-H_{i,j-1,k}}{2\Delta y}$ ……(6)

3．境界水文量の変化に対する地下水位の応答とその考察

現地における浅層地下水帯の状態は非常に複雑であって，これを厳密に計算することはむずかしい。本文は，はじめに述べたように，地下水位の変動が主としてどのような境界水文量に起因するかを調べることを目的としているので，簡単な境界を仮定して数値計算を行った。すなわち，図−2に示した格子状の内部に浅層地下水帯が $I=0.00175$ の一定勾配で分布し，格子線1，8に同一勾配の河川があり常に水が存在するとした。$\Delta x=\Delta y=500m$，$\Delta t=1day$ として計算したが，与えた境界水文量としては，A：河川水位，B：湖水位，C：山側からの流入量，D：地表からの浸透水であり，図−3に示したように，定常状態にある地下水帯に，$t=0$ 以降にそれぞれの水文量を別々に変化させてその応答を計算したのである。

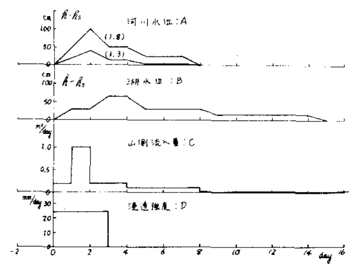
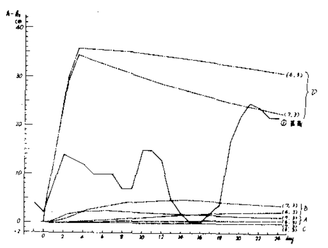
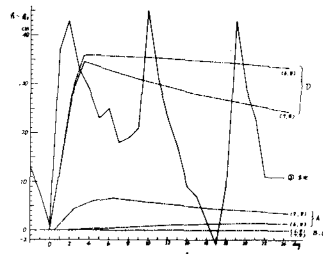


図-3．境界水文量の変化



(a) ① 地点



(b) ③ 地点

図-4．境界水文量の変化に対する地下水位の応答

図−4は，$k=1.5\times10^{-3}m/sec$，$n=0.2$ の場合の応答曲線を，それぞれの格子点近くにある井戸による観測水位とともに示したものである。この場合，$t=0\sim2$ 間に56mm，8〜10間に34mm，17〜19間に48mmの降雨があって，河川水位は約1日遅れて20cm程度の変化，湖水位はこの期間に約30cm漸増している。図−4からはいずれの境界水文量の変化も実測の井戸水位の変化を説明することができるような応答を示しておらず，また，ここで示した $k=1.5\times10^{-3}m/sec$ は揚水試験等によってえられている値の10倍の大きさであることから，観測された井戸水位の比較的急激な変動は，図−3で示したような境界水文量の変化によるものではないと考えられる。ただし，浸透量の変化に対する応答が比較的急激であることから，井戸付近のみに卓越した浸透量の変化があると考え，図−5に示す場合（一次元の場合）の計算を predictor-corrector model によって計算した結果を同図に示した。この図では $k=1.5\times10^{-4}m/sec$ であるにもかかわらず，ほぼ実測の井戸水位の変動を説明できるような変化がみられるので，河川のごく近傍を除き，観測される地下水位の継続時間が数日の比較的急激な変化はこうした局所的な雨水浸透によるものと考えられる。これに対して，地下水位のゆっくりした変動の原因が境界水文量の季節的変動によることは，従来からの数値計算や水収支的研究から明らかにされていることである。

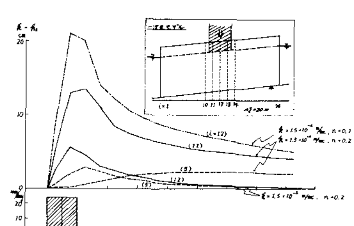


図-5．局所的浸透による応答（一次元）