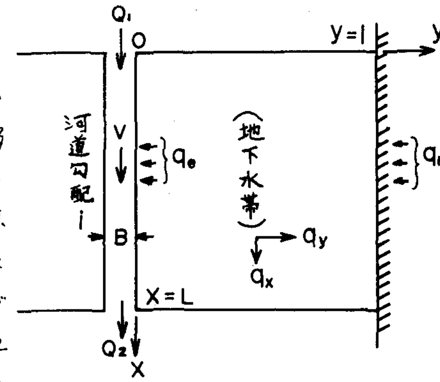
低水流量に対する盆地地下水帯の効果

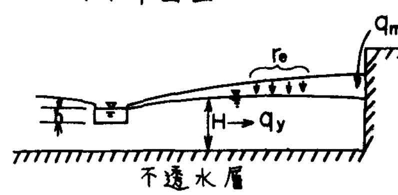
京大防災研　正　石原安雄，　東京都　正　○岩永逸

1. まえがき

河川水が水資源として重要なことはいうまでもないが，これがとくに問題となるのは低水時，すなわち渇水時である。藤野良幸氏によると，淀川では11，12月の渇水期に本川枚方の流量が，木津川・桂川・宇治川から京都盆地への流入量を残流域の面積を考慮して比例的に増大させたものより数 m^3/sec ～十数 m^3/sec 大きいことが指摘されている。この水量は数千万 m^3 の容量の貯水池による補給水量にも匹敵するものであり，土地利用形態が急速かつ大規模に変化しつつある現状において，その機構を知ることは極めて重要である。本報告はこのような盆地地下水帯の渇水補給の機構を検討したものである。



(a) 平面図



(b) 断面図

図−1　記号説明図

2. 理論的検討

図−1に示す単純なモデルについて考える。図示の記号を用いると，近似的に次式が成立する。

河川水に対して：　$v = \frac{1}{n} i^{1/2} h^{2/3}$ ------- (1) ，　$B\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(B \cdot h \cdot v) = q_e$ ------ (2)

地下水に対して：　$q_y = -k \cdot H \frac{\partial H}{\partial y}$ ------ (3) ，　$\gamma \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = r_e$ ------ (4)

ここに，n：Manning の粗度係数，k：透水係数，γ：有効間隙率，また河川は巾 B の広い長方形断面で，地下水の x 方向の流れは無視できるものと仮定している。したがって，これらの式を，河川の上流端からの流入量 Q_1，周辺山地からの流入量 q_m，および浸透水 r_e を与えて解き，盆地地下水帯がない場合と比較することによって，渇水補給の機構が解明される。しかし，(1)～(4)式が線形でないため，つぎの近似的取扱いによって調べることとした。

i) すべての水理量は，平均量（定常解）と変動量の和として与えられ，かつ後者は前者に比して小さいとする。これにより線形化される。

ii) 渇水補給機構は，河川水位の変動，周辺山地部からの地下水補給の変動，および浸透水の変動によると考え，それぞれの解を独立に求めて加え合わせるものとする。

(1) 基礎式の線形化　：　上の仮定によって，(1)～(4)式を線形化し，河川水位に起因するもの，周辺山地からの流入量に起因するもの，浸透水に起因するものを，それぞれ添字1，2，3を付して表わすと，つぎの諸式となる。

$$Q_{1,2,3} = N h_s^{p-1} (h_s + p h'_{1,2,3}) \quad \text{---}(5)_{1,2,3} \qquad B\frac{\partial h'_{1,2,3}}{\partial t} + pN h_s^{p-1} \frac{\partial h'_{1,2,3}}{\partial x} = q'_{e\,1,2,3} \quad \text{----}(6)_{1,2,3}$$

$$\gamma \frac{\partial H'_{1,2}}{\partial t} = k H_s \frac{\partial^2 H'_{1,2}}{\partial y^2} \quad \text{----}(7)_{1,2} \qquad \gamma \frac{\partial H'_3}{\partial t} = k H_s \frac{\partial^2 H'_3}{\partial y^2} + r'_e \quad \text{----}(7)_3$$

ここに，$h = h_s + h'$，$q_e = q_{es} + q'_e$，　$H = H_s + H'$，　$r_e = r_{es} + r'_e$，ただし$h > h'$，$H > H'$，である。

(2)河川水位の変動に対する解

この場合の基礎式は(5)$_1$，(6)$_1$，および(7)$_1$ 式であるが，式中のh_s，H_sはそれぞれx，yの関数であり、関数形は簡単に求められるが、解を求めることはむずかしい。そこでh_sの代りに$x=0$における値h_0，H_sは$y=0$での値H_0を代用することとした。すなわち，(6)$_1$，(7)$_1$式は

$$B\frac{\partial h'_1}{\partial t} + pN h_0^{p-1} \frac{\partial h'_1}{\partial x} = q'_{e1} \quad \text{----}(8) \qquad \gamma \frac{\partial H'_1}{\partial t} = k H_0 \frac{\partial^2 H'_1}{\partial y^2} \quad \text{-----}(9)$$

となり、境界条件は、

$x = 0$ で，　$h'_1 = a_1 \sin \omega t$　　；　　$y = l$ で，$H'_1 = 0$

で与えられる。解を求めるに当っては，まず(8)式の右辺を0とした式から出発して逐次近似法によったが，その結果は次式である。(この解は，$l = \infty$ に対するものであるが，ωが小さく周期が長いときには $y=l$ の場合とほぼ一致するので，簡単のために示した)

$$h'_1 = a_1 \sin\left\{\omega\left(t - \frac{Bx}{C_0}\right)\right\} + a_1 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n!}\left(\frac{\sqrt{\omega k H_0 \gamma}}{C_0}\cdot x\right)^n \cdot \sin\left\{\omega\left(t - \frac{Bx}{C_0}\right) + \frac{5n\pi}{4}\right\} \quad \text{----}(10)$$

この級数は周期が大きいときには収束するが，第1項は地下水帯がない場合を示すので，地下水帯が存在するために変化する流量ΔQ_1は、$x=L$において次式で与えられる。

$$\Delta Q_1 = pN h_0^{p-1} a_1 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n!}\left(\frac{\sqrt{\omega k H_0 \gamma}}{C_0}\cdot L\right)^n \cdot \sin\left\{\omega\left(t - \frac{B\cdot L}{C_0}\right) + \frac{5n}{4}\pi\right\} \quad \text{----}(11)$$

(3)周辺山地部からの流入量q_mの変動に対する解

境界条件を，河道の効果を無視して

$y = 0$ で，$H'_2 = 0$　　；　　$y = l$ で，　$H'_2 = a_2 \sin \omega t$

とすると，河道への流出量は1次元問題となる。よって解は次式で与えられる。

$$q'_{e2} = a_2 \sqrt{\omega k H_0 \gamma}\left\{\frac{2}{\cosh 2Jl - \cos 2Jl}\right\}^{1/2} \cdot \sin(\omega t + \phi)\,;\ \phi = \frac{\pi}{4} + \tan^{-1}\left\{-\frac{\tan Jl}{\tanh Jl}\right\},\ J = \left(\frac{\gamma \omega}{2kH_0}\right)^{1/2} \quad \text{---}(12)$$

したがって，$(H'_2)_{y=l} = a_2 \sin \omega t$に対する山地部からの流入量を$q'_m$とし，$q_m = q_{m0} + q'_m$とおくと，地下水帯があるための変化は形式的に次式で与えられる。

$$\Delta Q_2 = \left\{q_{m0} + q'_{e2} - (q_{m0} + q'_m)\right\}\cdot L = (q'_{e2} - q'_m)\cdot L \quad \text{----}(13)$$

つぎに，浸透水の変動に対する効果，ΔQ_3であるが，これについては次項で述べる。

3．数値的検討

木津川を例にとり，周期1年に対し，$a_1 = 0.18\,m$，$L = 10^4\,m$，$C_0/B = 1\,m/sec$，$B = 10\,m$，$k = 10^{-4}\,m/sec$，$\gamma = 0.2$，$H_0 = 10\,m$と，$(\Delta Q_1)_{max} = 1.1\times10^{-2}\,m^3/sec$であり，$a_2 = 1\,m$とすると$(\Delta Q_2)_{max} = 6.3\times10^{-2}\,m^3/sec$となる。3河川があるので，その合計の3倍しても0.2 m^3/secとなり，前記の量には及ばない。よって，渇水期の補給は主に盆地内の地表面付近が湿潤で浸透による補給が続くためと考えられる。