III-1 地下水流出に関する一考察

京都大学防災研究所　正　員　工博　石原安雄
京都大学大学院学生　学生員　○　高木不折

地下水流出は長期間の河水の涵養源であって，河川を利水の立場からみる場合や，洪水時の流出成分の分離を考えるときに，きわめて重要である。本研究は地下水流出問題のうち，その低減特性を水理学的に究明し流出機構を明らかにしようとしたものである。

1．地下水の流出機構：　地下水の流出状況を現象的に考えてみると，地表面や河道に浸み出る状態と湧き出る状態がある。両者の間には当然流出機構のうえから相違があるわけで，少なくとも水の出口近傍においては，前者は自由表面のある不被圧地下水帯（Unconfined aquifer）からの流出であり，後者は自由表面をもたない被圧地下水帯からの流出と考えられる。実際の流域では，これら二つの異なった機構を示す地下水帯が複雑に組み合わさっており，浸出および湧出という形式で河水が涵養されると考えることができる。しかも，地下水帯の形状や透水係数などは流出状況にかなりの影響を及ぼすが，これらの諸要素のほとんどすべてのものが不可測量である。したがって厳密な意味での水理学的解析は不可能であろう。しかし，浸出と湧出とでは流量の低減特性がかなり違うと考えられるから，簡単なモデルについての低減特性を基礎として，実際の地下水流出の低減特性をある程度解明することができるだろう。

2．地下水流出モデルとその低減特性：　さて，浸出および湧出に対応する流出モデルとして，それぞれの成分に対応して図-1に示すものを仮定しよう。こゝに L, ℓ, H_A, H_B, x, A, a は図示のとおりであり，k, k' は透水係数である。ここでは主に地下水流出の低減部の特性を考察するので，地下水帯への水の供給が無い場合を考える。まず図-1(a)の機構に対する基礎方程式は砂層が非圧縮性であるとすると，近似的に

$$\gamma \frac{\partial H_A}{\partial t} = k \cdot H_A \frac{\partial^2 H_A}{\partial x^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

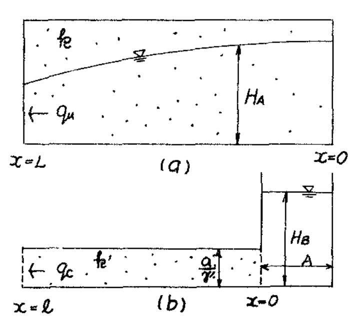

図-1

となる。初期および境界条件を

$$\left.\begin{array}{lll} x=0,\ t=0 & & H_A = H_0 \\ x=L,\ t=0 & & H_A = h_0 \\ x=0, & & \dfrac{\partial H_A}{\partial x} = 0 \end{array}\right\} \quad \cdots\cdots (2)$$

とすると，この場合の解は

$$H_A(x,t) = \frac{1}{\frac{2\beta}{L^2}(H_0-h_0)t+1} \cdot \left\{ -\frac{H_0-h_0}{L^2} x^2 + H_0 \right\},\ \beta = \frac{k}{\gamma} \quad \cdots\cdots (3)$$

となる。したがって流量 q_u は次式で与えられる。

$$q_u = \frac{q_{u0}}{\left\{ \frac{2\beta}{L^2}(H_0-h_0)t+1 \right\}^2} \quad \cdots\cdots (4)$$

ここで q_{u0} は初期流量である。つぎに(b)図の場合を考える。連続の式

$$q_c = av = -A\frac{dH}{dt} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

と Bernoulli 式を用いると，解は

$$-\frac{A\ell}{ak'}\log_e q_c - \frac{A}{a^2 g}\left\{1-\frac{a^2}{A^2}\right\} q_c = t - C \qquad \cdots\cdots\cdots (6)$$

となる。C は初期流量 q_{c0} により定まる積分定数である。さらに(6)式左辺の第2項は近似的に無視できるので

$$q_c = q_{c0}\, e^{-\alpha t}, \quad \alpha = \frac{A\ell}{ak'} \qquad \cdots\cdots\cdots (7)$$

と表わすことができる。したがって，この二つのモデルからの地下水流出流量 q は

$$q = q_c + q_u = q_{c0}\cdot e^{-\alpha t} + \frac{q_{u0}}{(at+1)^2} \qquad \cdots\cdots\cdots (8)$$

となる。ここに

$$a = \frac{2\beta(H_0-h_0)}{L^2} \qquad \cdots\cdots\cdots (9)$$

である。

時間の経過にしたがって q_c, q_u はともに0に漸近するが，この減衰は前者の方がはるかに速やかである。α は(7)式からわかるように形状と透水係数の関数であり，一方 a は H_0-h_0 のみの関数であるが，H_0 および h_0 は初期流量 q_{u0} と関数関係にあるので，a は q_{u0} の関数と考えられる。

3 地下水流出の低減特性の解析例： 実際の河川の地下水流出も近似的に(8)式で表わされると仮定してその低減特性を解析する。この場合(8)式中の諸量は，実河川における総合的表現と考えておく。さて以上の考え方にしたがって解析した一例を図-2に示す。解析は加古川および吉野川について行なったが，図-3から,ある流域では α の値は q_{c0} の値の如何に拘らず，ほぼ一定であることがわかり，図-4からは q_{u0} と a の関係がそれぞれの流域である傾向を持っていることが見られよう。こうした関係は前述の(8)式の特性と全く一致するものであって，われわれの地下水流出機構に対する考え方の妥当性を示すものと考えられる。

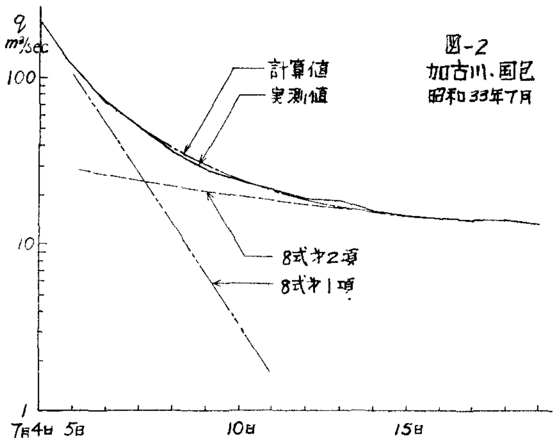

図-2 加古川・国包 昭和33年7月

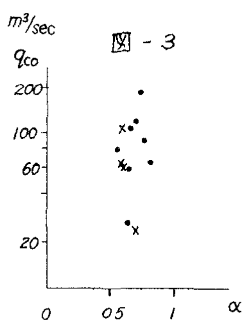

図 - 3

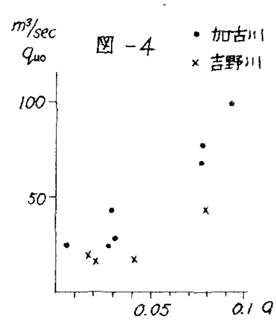

図 - 4