

京都大学 工学部 正会員 住友 恒
 広島市 荒川 信治
 豊村組 刈谷 哲夫

1. はじめに

降雨の長期間流出については、洪水流出の場合と異なり、その研究は数多くないが、すでにいくつかの研究もある。^{1),2),3)} その研究の遅れている主たる原因は、防災上あまり重要な問題とは存しないという歴史的社会的背景の他に、現象がきわめて複雑で難解であるという莫も否定できない。しかも近年、河川の汚濁問題にも関連して、河川の固有流量を把握するという意味でも、その研究の重要性はきわめて高い。

さて、降雨の長期間流出機構については地下水の流出問題であると同時に、いわゆる活性層からの中間流も関連し、その説明は水文学上きわめて困難な問題の一つである。¹⁾ 既存の研究成果から判断する限り、流出水量のハイドログラフ上に表わされる流量の変動特性から、その流出機構に種々の推論を加えてゆくのが最も一般的な方法といえよう。しかし、本研究では、流量に加えて、同時に水質の変動特性にも注目すれば、その流出機構がさらに明らかになることを指摘するものである。特に中間流出が存続中の流出機構には水質因子が重要な指標となりうることを強調したい。

2. 地下水系からの水質物質の流出について

一般に、地表面から数cmから数十cmにおよぶ活性層では固粒構造が卓越し、空隙率も高く、その以下の地層とは明確に区別されるという。¹⁾ したがって、地表面下に浸透する雨水は、この活性層では粒径の微細な泥質を移流しうるのに対し、その以下の地層内では過濾作用などにより泥質を移流しえないのが特徴であろう。一方、地下水が流下する地層では被圧層である、不被圧層内である、地中より各地相独自の金属イオンなど水質物質を流出させるのが特徴である。たとえば、花崗岩からのケイ酸塩、長石からのカルシウムなどである。⁴⁾ そこで本研究では降雨停止後、比較的時間が経過した後での濁りの度合とカルシウム濃度の低減状況を観察すれば、地下水流出中の中間流出の割合をある程度指標しうるものと考えたことが主要な着眼点である。

3. 理論的考察

ここでは泥質およびカルシウム物質を取り上げ、そのいずれもが流体の掃流作用によって流出してくるものと考えてみる。特にカルシウム物質については種々の形態による溶出を考えると、一概に掃流力のみと関連づけるにはいくつかの問題を残してはいるが、いずれにしても掃流力(τ)と無関係ではありえないものと考え、ひとまず上記のごとく考えて以下考察をすすめる。したがって、中間流および不被圧地層をその水質サマリー式1, 2で表わし、泥質、カルシウム物質をそれぞれ水質物質として次式で考えられる。

$$q_i = a_i \cdot \tau_i^n, \quad q_c = a_c \cdot \tau_c^m, \quad (n, m, a_i, a_c \text{ は定数, } q \text{ は単位面割}) \quad (1)$$

$$\text{ここで, } \tau_1 = \rho g h_1 I_1, \quad \tau_2 = \rho g h_2 I_2, \quad (h \text{ は水深, } I \text{ はエネルギー勾配}) \quad (2)$$

ここで、各 h_i ($i=1, 2$) については $I_i \gg \frac{\partial h_i}{\partial x}$ のとき、次式を基礎式とすることができる。¹⁾

$$q_i \cdot \frac{\partial h_i}{\partial t} = k_i \cdot h_i \cdot \frac{\partial h_i}{\partial x} - k_c \cdot I_c \cdot \frac{\partial h_i}{\partial x} + r_{ci} \quad (3)$$

ここで、 r_{ci} は有効浸透雨量、 k_i は透水係数、 γ は空隙率
 式(3)を拡散項を無視した近似解をつぎのようにえることができる。

$$u_i = \frac{dx}{dt} = \frac{k_i \cdot I_i}{q_i}, \quad \text{上に, } \frac{dh_i}{dt} = \frac{r_{ci}}{q_i}, \quad \text{あるいは, } h_i = \frac{1}{q_i} \int_0^t r_{ci} \cdot dt + h_{i0} \quad (4)$$

理想状態では式(1)の精度を考慮して、式(4)をさらにつぎのように近似表示する。

$$h_i \cong \frac{\bar{v}_e}{v_i} \cdot \frac{l_i}{u_i} + h_{i0} \quad \text{--- (5)}$$

== 2, $\bar{v}_e$ は平均 v_e , u は流速, l は分水嶺(域)からの流下距離, h_{i0} は h_i の初期値。

== 3 で, 流出総流量 Q を測定し, いま Q のうち中間流によるもの Q_1 と地下水からのもの Q_2 を区別し, 両者の比率 α ($\alpha = Q_1/Q_2$) を想定する。また, $\bar{v}_e$ をつぎのように考える。

$$\bar{v}_{e1} = \bar{v}_e - \bar{v}_{e2}, \quad \bar{v}_{e2} = Q_2/LB = Q/(1+\alpha) \cdot LB, \quad (L_1 = L_2 = L) \quad \text{--- (6)}$$

== 4, $\bar{v}_e$ は平均浸透降雨量, B は流域中, ($B_1 = B_2 = B$)。また, u_i, k_i についてはつぎのように考える。

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= \alpha Q / \{ (1+\alpha) \times B \cdot h_1 \}, & u_2 &= Q / \{ (1+\alpha) B h_2 \} \\ k_1 &= \alpha Q / \{ (1+\alpha) B h_1 \cdot I_1 \}, & k_2 &= Q / \{ (1+\alpha) B h_2 \cdot I_2 \} \end{aligned} \right\} \quad \text{--- (7)}$$

したがって, 式(6), (7)を式(5)に代入し, h_i を導定しよう。ただし, 式(6)をとるとき, $h_{i0} = 0$ とおける。式(2)で求めた h_i の比率と式(5)より求めた h_i の比率とは等しいはずであるから, つぎの条件式を立てる。

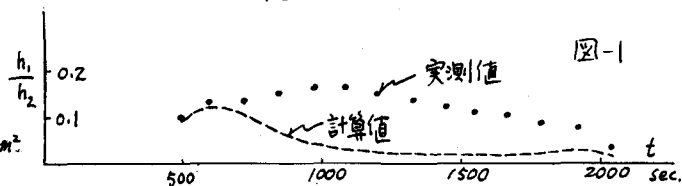
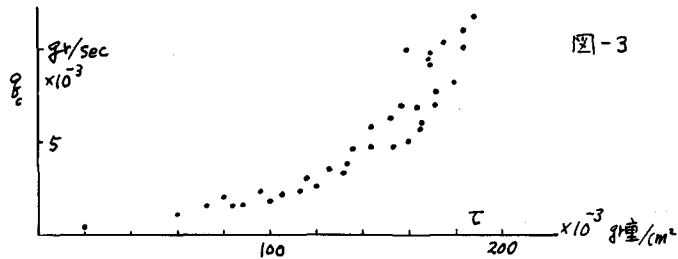
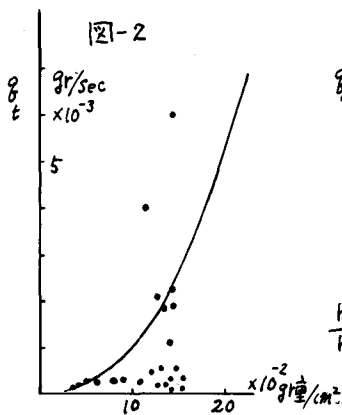
$$\frac{v_i L B (1+\alpha)}{v_i \alpha Q} = \left(\bar{v}_e - \frac{Q}{(1+\alpha) L B} \right) \quad \text{--- (8)}$$

結局, α を池式によって求めることができ, 逆に式(5), (6), (7)より各流動条件を決定しうる。

$$\alpha = \frac{v_i (\bar{v}_e L B - Q)}{v_i Q - L B v_i \bar{v}_e}, \quad \text{ただし, } L = \beta (Q / B \bar{v}_e) \text{ とすれば, } 1 < \beta < \frac{v_i}{\bar{v}_e} \quad \text{--- (9)}$$

4. 実験的検証

中30cm, 高さ32cm, 長さ2mの水陸地地下水実験水槽に有効径0.4mm, 均等係数2.0の砂を1.6mmを境に二層し, 粗粒砂を活性層として上層5cm, 細砂を下層21cmに敷き, 得られた結果と実測値を対比した一例が図-1である。式(1)としては, 図-2, 3に示す流出実験結果を活用した。



5. おわりに

本研究は中間流出量の定量に水質を指標とする一つの新しい方法を提言したものである。木津川流域など実河川の検討をも行なっているが, 未だゆらかしき十分とはいえない。しかし図-3の精度高揚を必要とする。しる後, 一つの有効な方法になりうるものと考えている。なお, 本研究は末石県木部教授との共同研究であり, また, 昭和47年度文部省試験研究705098の結果の一部である。== 謝意を表す。

参考文献: 1) 高橋: 苦位論文, 2) 高橋, 池淵: 京大農研年報(昭44), 3) 高木: 林学会論集(昭41), 4) 北野: 金録;