III—24　雨水流出用演算器について

神戸大学工学部，京都大学防災研究所　正員　石原安雄

河川流出量の推定は治水上，利水上きわめて重要な問題で，多数の研究が行われている。雨水流出は，いうまでもなく水の運動に関連した現象であるから，京大，速水，岩垣両博士の研究のように，雨水が地表や地中を流れてやがて河道に流出するまでの過程を水理学的に考えて，その機構を解明すべきである。

1. 流出方程式

まず，表面流出については，最近多数の研究が行われ注目すべき成果が収められているが，ここでは速水博士の理論を基礎として，一般の河川流域に対する基礎式を求める。いま，任意の河川流域を考え，等高線に沿って l 軸，それに垂直で下流方向に s 軸をとり，l 軸，s 軸方向の流速をそれぞれ v，u とし，水深を h とすると，Δl，Δs で囲まれた部分についての連続條件式は，次式で表わされる。

$$\frac{\partial h}{\partial t}\cdot\Delta l\cdot\Delta s+\frac{\partial}{\partial s}(uh\Delta l)\cdot\Delta s+\frac{\partial}{\partial l}(vh\Delta s)\cdot\Delta l=(Ra-I)\Delta l\cdot\Delta s \quad \text{---------} (1)$$

ここに，Ra は單位面積單位時間当りの純損失を差引いた雨量，I は同じく浸透水量である。ところが，河川流域には，局所的凹凸があり，また，地被状態，降雨量，浸透能なども場所によってかなり変化している。こうした局所的不規則の効果を表わすため，(1)式に含まれるすべての水理量をある面積について平均し，平均値を“—”で表わすと，$h=\bar{h}+\delta h$，$u=\bar{u}+\delta u$，$v=\delta v$，----，と書くことができ，さらに，$\overline{\delta u\cdot\delta l}=0$，$\overline{\delta u\cdot\delta s}=\eta_1$，$\overline{\delta v\cdot\delta l}=0$，$\overline{\delta v\delta s}=\eta_2$　であることを考慮すると，つぎのようになる。

$$\frac{\partial \bar{h}}{\partial t}\cdot\Delta l\cdot\Delta s+\frac{\partial}{\partial s}(\bar{u}\bar{h}\Delta l)\cdot\Delta s=\frac{\partial}{\partial s}\left(\Delta l\cdot\eta_1\frac{\partial \bar{h}}{\partial s}\right)\cdot\Delta s+\frac{\partial}{\partial l}\left(\Delta s\cdot\eta_2\frac{\partial \bar{h}}{\partial l}\right)\cdot\Delta l+(\overline{Ra-I})\cdot\Delta l\cdot\Delta s \quad \text{---------} (2)$$

運動方程式は，一般の開水路と同じであるが，流域の斜面は急こう配でかつ降雨を対象とするときは，$\overline{Ra-I}$，$\partial/\partial t$，$\partial/\partial x$ の効果は微小で，他の項に比して無視してよいと考えられる。そこで，指数型の平均流速公式を用い，斜面こう配を S とすると，近似的に次式となる。

$$\bar{u}=(1/N)h^m S^{1/2} \quad \text{-----------------------------------} (3)$$

ここに，N，m は定数で，マンニング公式のときは　$N=n$，$m=2/3$　である。

つぎに，中間流出については，概念的に，一度地中の浅い部分に浸透した雨水が地中を流れて，再び地表に流出して河道に入ると考えられる。これを平均的にみると，流域全体に広がった現象であるから，水深を仮想すると，表面流出と全く同様に取扱うことができると考えられる。したがって，中間流出に対する基礎方程式は，前と全く同じ形となり，ただ(3)式の N および m の値が異なるだけである。そこで，(2)，(3)式における $\bar{h}$，$\bar{u}$ に中間流出による仮想的な水深および流速を含ませ，浸透能を $I=0$ として，あらためて，これら両式を表面流出および中間流出の基礎方程式としてよいだろう。

地下水流出は，洪水などの比較的短時間の流出に対しては，考慮しなくてもよいといわれているので，ここでは一応除外することとした。

2. 相似電気回路と演算器

(2), (3)式の相似電気回路を求めるために，"—"を省略して，

$$w_1 = \frac{1}{N}h^{1+m}S^{1/2} - \eta_1\frac{\partial h}{\partial s}, \quad w_2 = -\eta_2\frac{\partial h}{\partial l} \qquad (4)$$

とおき，(3)式を(2)式に代入して変形すると，$I=0$ であるから

$$\frac{\partial h}{\partial t}\cdot\Delta l\cdot\Delta s + \frac{\partial}{\partial s}(w_1\cdot\Delta l)\Delta s + \frac{\partial}{\partial l}(w_2\cdot\Delta s)\cdot\Delta l = R_a\Delta l\cdot\Delta s \qquad (5)$$

となる。(4), (5)式は2次元の電気回路で相似できるが，実際には格子状の回路となり，実用上はなはだ不便である。そこで，(2)式を l について積分し，η にそのための効果を含ませ，L を等高線の長さとすると，近似的に，

$$\frac{\partial h}{\partial t}\cdot L + \frac{\partial}{\partial s}(uhL) = \frac{\partial}{\partial s}\left(L\eta\frac{\partial h}{\partial s}\right) + R_a\cdot L \qquad (6)$$

がえられ，一方，運動の方程式は(3)式である。(6)式において，

$$w = \frac{1}{N}h^{1+m}S^{1/2} - \eta\frac{\partial h}{\partial s} \qquad (7)$$

とおき，(3)式を用いると，

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{L}\frac{\partial}{\partial s}(w\cdot L) = R_a \qquad (8)$$

となる。つぎに(7), (8)式に対応する電気系の方程式をうるために，α, β, γ および θ を変換係数として，$h=\alpha v$, $t=\beta\tau$, $s=\gamma\xi$, $Lw=\theta i$, $LR_a=\theta g$ とおいて，(7), (8)式を変形すると，

$$-\frac{\partial v}{\partial \xi} = R(i-i_0), \quad -\frac{\partial i}{\partial \xi} = C\frac{\partial v}{\partial \tau} - \gamma g \qquad (9)$$

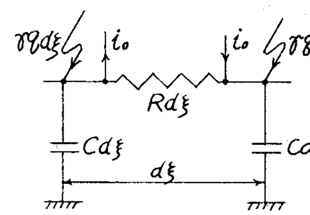

図-1　(8)式で表わされる電気回路

となる。ここに，$R=\theta\gamma/\alpha\eta L$, $C=\alpha\gamma L/\beta\theta$, $i_0=LS^{1/2}\alpha^{1+m}v^{1+m}/N\theta$ であって，(9)式は河道用洪水追跡器の基礎式と同形となり，ただ連続の條件式に γg が加っている。したがって，(9)式で表わされる電気回路は図-1に示すようになり，雨水流出用演算器を構成することができる。

3. 実河川への適用例

実例として，由良川の大野ダムより上流の流域を対象とした。流域面積は約350 km² であり，これを五つのブロックに区切って演算器を試作した。演算に当って，Raのいわゆる有効降雨をいかにとるかが問題となるが，ここでは，本流域について，京大，石原教授の下で行われた研究成果を用い，いわゆるHorton型の浸透能曲線を採用した。適用例が図-2に示されているが，結果はかなり良好であり，この試作演算器が雨水の流出機構の解明および洪水予報，洪水防禦などの重要な課題に大いに役立つものと思う。終りに本研究に当り，御指導を賜った京都大学石原藤次郎教授に深く感謝の意を表するものである。

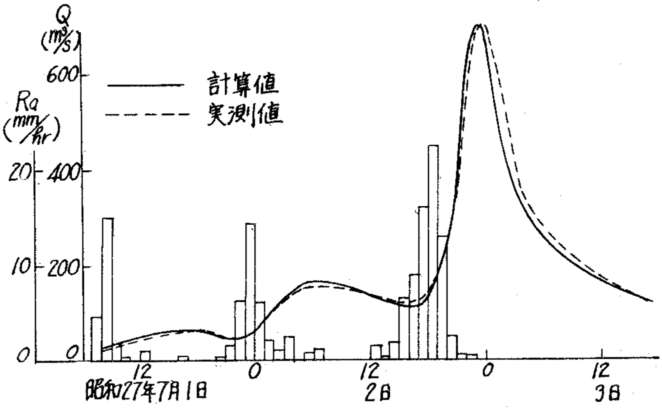

図-2　由良川への適用例