Ⅲ—6 特性曲線による斜面流出量算定法の簡易化について

九州大學工學部 正員 上田 年比古

（1）まえがき　特性曲線を利用した出水解析法[1]は非線型の流出現象を近似的に解くもので，かなり良い結果がえられる。[1,2] この方法は図-1のような矩形流域について，まず降雨を集めながら斜面を流下し，流路に流入する流量 q_B を求め，次に q_B を流路にそって集め，矩形流域下流端の流量Qを求める。この方法における q_B の算定は，従来では標準特性流量線と降雨がない場合の標準特性直線とから求めたのであるが，この操作はかなり面倒であるし，また降雨を集めて，斜面流下量 q が大きくなったときに雨量強度の小さい期間がある場合には，標準特性流量線の対数目盛の大きな値の部分を使うことになり，流下距離と流下時間との読取りにかなり大きな誤差を生ずる。[2] 本報告はこの q_B を表式の数値計算から簡単に，かつ誤差少なく求める方法について述べたものである。

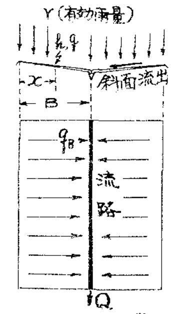

図-1 矩形模型流域

（2）斜面流出の特性曲線表示

流路にそって単位巾をとれば，斜面の水流の方程式は

運動方程式（マンニング式）　$q = \frac{\sqrt{I}}{N} h^{\frac{5}{3}}$ ---------------- (1)

（これは勿論近似的なものであるが，実例についてみると，これで充分なようである。）

連続方程式　$\partial h/\partial t + \partial q/\partial x = r'$ ------------- (2)

こゝに q；単位巾当りの斜面流量 (m^2/s)，h；斜面水深 (m)，x；斜面上流端からの距離 (m)，t；時間 (sec)，N；斜面の等価粗度係数 $(m, s$ 単位$)$，I；斜面勾配，r'；有効雨量強度 (m/s) である。

(1), (2) より q を消去すれば，$\partial h/\partial t + \frac{5}{3} \cdot \sqrt{I}/N \cdot h^{\frac{2}{3}} \partial h/\partial x = r'$ ---- (3)

特性曲線表示すれば，$\frac{dx}{dt} = \frac{5}{3}\frac{\sqrt{I}}{N} h^{\frac{2}{3}}$ 上にて ----- (4)　$\frac{dh}{dt} = r'$ ------ (5)

また (1), (2) より h を消去すれば，同じく特性曲線(4)上にて $\frac{dq}{dx} = r'$ ----- (6)

$r' = 0$ の場合は，特性曲線(4)上にて $h = const$，$q = const$ -------------- (7)

（3）斜面流出量 q_B の算定法

図-2は流域に $r_1, r_2, \cdots$ の有効雨量 $\left(\frac{mm}{hr}\right)$ があった場合，時刻 t_0 に斜面上流端を出発する特性曲線をとったもので，Δt（hr単位）の間 r が一定とすれば，この特性曲線上では，(5), (6) 式より

$$\Delta h/\Delta t = r \times 10^{-3} \text{ --------- (8)}$$

$$\Delta q/\Delta x = r' = r/3.6\times10^{6} \text{ --- (9)}$$

また $r = 0$ の場合は，h は一定となるから(4)式より　$\Delta x = \frac{5}{3}\frac{\sqrt{I}}{N} h^{\frac{2}{3}} \times 3{,}600\Delta t$ ------------ (10)　の各式が成立する。

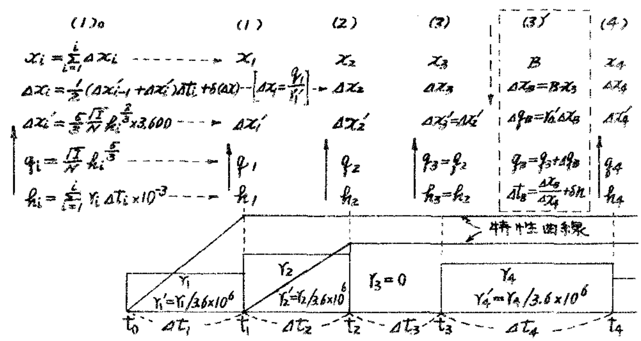

図-2 特性曲線及び斜面流出量算定説明図.

以上 (8)～(10) 式と (1) 式とを用いて，この特性曲線上の各時刻の h, q 及びそれまでの流下距離 x が図-2のように，下から上に順次求められる。図において，特性曲線の始めの Δt hr後

の流下距離 Δx_1 は(9)式より求め，それ以後の時刻（図の時刻 t_2 以後）における Δx は次のようにして求める。

(8),(9)式より
$$\Delta x=\frac{\Delta q}{\Delta h}\times 3{,}600\Delta t=\frac{1}{2}\left[\left(\frac{dq}{dh}\right)_1+\left(\frac{dq}{dh}\right)_2\right]\times 3{,}600\Delta t+\delta(\Delta x)=\frac{1}{2}(\Delta x_1'+\Delta x_2')\Delta t+\delta(\Delta x) \quad \text{----(11)}$$

こゝに $\Delta x'_{1(又は2)}=\frac{5}{3}\frac{\sqrt{I}}{N}h_{1(又は2)}^{\frac{2}{3}}\times 3{,}600$，$\delta(\Delta x)$ は補正量，suffix の1,2は Δt hr の始めと終りの時刻における値を意味する。　いま $\Delta t=1$ hr として，$\delta(\Delta x)$ を求むれば，
$$\delta(\Delta x)=3{,}600\frac{\sqrt{I}}{N}h_1^{2/3}\left[\{(1+\alpha)^{5/3}-1\}\frac{1}{\alpha}-\frac{5}{6}\{(1+\alpha)^{2/3}+1\}\right] \quad \text{-----------------(12)}$$

こゝに $\alpha=\frac{\Delta h}{h_1}=r\times 10^{-3}/h_1$，また h_1 は $\Delta t=1$ hr の始めの時刻における h である。

$N=1.5$，$I=1/10$ とした図表を図-3に示す。

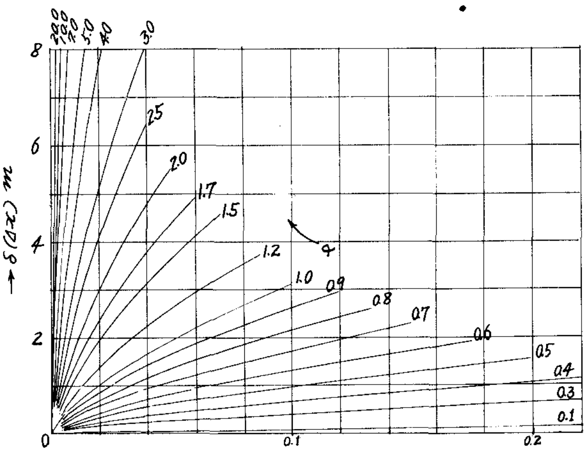

図-3　補正量 $\delta(\Delta x)$ 算定図表（$\alpha=\frac{r\times 10^{-3}}{h_1}$）

次に流路に流入する流量 q_B とその時刻 t_B を求める方法を図-2の Col.(3)′ に示す。図は斜面長が B で，$x_3<B<x_4$ の場合であって，(8)～(10)を用いて　前述と逆に上から下に求めてゆく。図中の $\Delta t_B(=t_B-t_3)$ の求め方を述べると，　(8)式より
$$\Delta t_B=\Delta h_B/r_4\times 10^{-3}=\frac{\Delta h_B}{\Delta h_4}=\frac{\Delta q_B}{\Delta q_4}+\delta n=\frac{\Delta x_B}{\Delta x_4}+\delta n \quad \text{--(13)}$$
この式の補正量 δn を求めると，いま $n=\Delta x_B/\Delta x$ とし，また(12)式と同様に $\alpha=r\times 10^{-3}/h_1$ とすれば，
$$\delta n=\frac{1}{\alpha}\left(\left[n\{(1+\alpha)^{5/3}-1\}+1\right]^{3/5}-1\right)-n \quad \text{----------(14)}$$
これを図示すると図-4のようになる。こうして Δt_B が求められゝば，$t_B=t_3+\Delta t_B$ として t_B をうる。

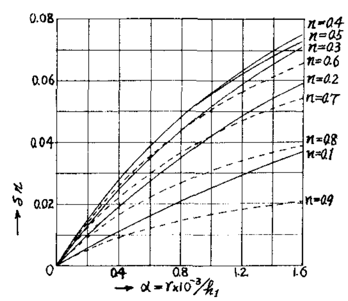

図-4　補正量 δn 算定図表（$n=\Delta x_B/\Delta x$）

またBが図-2の t_2～t_3 間のように $r=0$ の区間にきたときは，$q_B=q_2=q_3$，及び(10)式より $\Delta t_B=\Delta x_B/\Delta x_2'$ として求められる。

以上のようにして，図-2の t_1, t_2, --- の各時刻を出発する特性曲線を求め，Col.(3)′ のように q_B，Δt_B すなわち t_B を求めてゆけば，斜面流出量 q_B の時間曲線が求められる。

なお，降雨の降り始めに，斜面上流端を出発する特性曲線が流路に達しない前の流路への流入量 q_B は，この降雨始めに斜面上流端を出発する特性曲線上の各時刻の q の値をとる。

時間雨量記録を用いると，$\Delta t=1$ hr であるから，図-3,4の補正量算定図を用いて，上述の数値計算を行えば，従来の方法に比べてかなり簡単に，かつ誤差少なく斜面流出量の算定ができる。

本研究にあたって終始御指導下された九大篠原謹爾教授に厚く御礼申上げる。

文献　1) 末石富太郎；特性曲線による出水解析について，土木學会論文集 No.29　昭30.12
2) 篠原謹爾，上田年比古；筑後川上流部の出水解析 第2報（特性曲線法による大山川の出水解析について），九大応用力学研究所々報第13号投稿中