

東京都立大学工学部 正員 丸井信雄
群馬工業高等専門学校 正員 ○山本好克

1. まえがき； 流出解析法の簡易化かつ迅速化の面から、急勾配河川において横から流入がある場合の流れを等流と仮定し、基礎方程式から特性曲線式を導き、それによる数値計算法のプログラミングを試みた。また実際の応用例として、鬼怒川上流部において、昭和34年8月14日の台風7号の流出解析を行った。

2. 横から流入のある一様断面水路での定流に対する特性曲線法； 流れを等流とし、横からの流入量は時間的平均値として扱い、流路にそ、こ一様に与えあるとすると、運動方程式と連続式は次のようになる。

$$\sin\theta - \eta^2 v^2 / R^3 = 0 \text{-----} (2.1) \quad \partial A / \partial t + \partial Q / \partial x = q \text{-----} (2.2)$$

こゝに、 q ：流路の単位長さ当りの横からの流入量、 v ：平均流速、 A ：流水断面積、 R ：径深、 Q ：流量、 θ ：流路の勾配、 η ：Manningの粗度係数、 x ：距離、 t ：時間である。

いま断面積 A と径深 R との関係が α, m を定数として、 $R = \alpha A^m$ で表わされるとすると、式(2.1)、(2.2)より次のような特性曲線式を得る。

$$dx/dt = (1 + \frac{2}{3}m)v \text{ において} \text{-----} (2.3) \quad dA/dt = q \text{-----} (2.4)$$

あるいは、

$$dQ/dx = q \text{-----} (2.5)$$

また A, v 及び Q の関係は式によって与えられる。

$$Q = A \cdot v = \frac{1}{\pi} \alpha^{\frac{2}{3}} A^{\frac{2}{3}m+1} \sin^{\frac{1}{2}}\theta \text{-----} (2.6)$$

$q=0$ の場合には、上の各式で $q=0$ とおけばよく、

$$dx/dt = (1 + \frac{2}{3}m)v \text{ において} \text{-----} (2.7) \quad A = \text{const.}, Q = \text{const.} \text{-----} (2.8)$$

となるので特性曲線は直線となる。

3. 基準特性流量曲線の導入と流出計算法；

a) 流路において： 分割した流路の1区間をとりあげて、その上流端を $x=0$ とし、上流端よりの流入がないものとして x へて平面の原点から出る特性曲線を基準特性曲線と呼んでおく。この x へて平面の x 軸のかわりに Q 軸をとると、基準特性曲線上で成立する $Q=qx$ の関係から種々の q に対しての“基準特性流量曲線”が画かれ、その上に x の値に等しい点を結ぶ等距離線が画ける。

そこで式(2.7)を $A = KQ^P \text{-----} (3.1)$ とする。こゝに、 $P = 3/(2m+3)$ 、 $K = (\eta/(\alpha^{\frac{2}{3}} \cdot \sin\theta))^P$ である。

式(2.4)の関係 $A = q \cdot t$ とより、 $t = K \cdot Q^P / q \text{-----} (3.2)$ となり、縦軸に t 、横軸に Q とおけば基準特性流量曲線は q をパラメータとする指数 P の曲線となる。

また式(2.5)の関係 $Q = q \cdot x$ とより、 $t = K \cdot x \cdot Q^{P-1} \text{-----} (3.3)$ となり、基準特性流量曲線に対する Q の等距離線が、 x をパラメータとする指数 $(P-1)$ の曲線として得られる。

b) 流域斜面において： 分割した流路区間において、横からの流入量は流路によって一様であるとするから、その区間の流域を、地形図より数個の谷線長を測定して、その平均値を流域平均幅 B_m とし、流域面積 F とより流路長 $L_0 (= F/B_m)$ の矩形にあきかえる。また流域斜面の粗度と N 、斜面勾配を θ' (数個の谷線の高度差の平均値) 及び有効雨量強度 γ は時間的には階段状に変化し、場所的には一様であるとした場合の斜面上の雨水流の特性曲線式は流路の場合と同じ手法によって得られる。この場合の指数の値 $P' = 0.6$ となる。

4. 数値解析のプログラミングの基本方針； 図-Iに示すように、時間軸に關して Δt ずつ、距離軸に關しては Δx ずつ分割し、初期条件(基底流量)、境界条件(上流端の Hydrograph) 及び平均化した横からの流入量から $t=0$ の x 軸より順次 Δt 間隔ずつ追跡し $x=L$ における流量と時間を求める。また $x(0, \Delta t)$ すなわち各分割時間の

$x=0$ の点についてと同様である。以下手順を具体的に述べれば次のようになる。

- 1) x 軸より等距離で点 $x(L, 0)$ を取る。いまその地点 $x(L, 0)$ を考えると、そこでの初期条件より、図-II 上の点 (x_0, z_0) が求まる。
- 2) 点 (x_0, z_0) より $g=g_1$ の基準特性流量曲線上を Δt だけ進んだ点 (x_1, z_1) における流量 Q_1 と時間 Δt は、図-I における $x(x_1, \Delta t)$ のそれぞれに相当する。また点 $(x_1, 0)$ から $x(x_1, \Delta t)$ まで進んだ距離は $(x_1 - x_0)$ である。
- 3) 点 $x(x_1, \Delta t)$ において横からの流入量は g_2 に変化するので、図-II 上の $g=g_2$ 曲線上の点 (x_2, z_2) を取り、その曲線上を Δt だけ進んだ点 (x_2, z_2) を求める。この点での流量 Q_2 と時間 $2\Delta t$ は図-I の $x(x_2, 2\Delta t)$ のそれぞれに相当する。
- 4) この過程を基準特性流量曲線が $x=L$ 、すなわち下流端に到達するまで繰り返し、その地点での流量と時間を求め計算を打切る。
- 5) 点 $x(L, \Delta t)$ においては、初期条件と境界条件にあきかえて計算し、1), 2), 3), 4) の手順を繰り返す。
- 6) 基準特性流量曲線が max に達した時には、その後の特性曲線は直線とし、 $x=L$ との交点を求め、流量 Q と時間 t を算出する。なお斜面流の場合には、横からの流入量 g と有効雨量強度 r に置きかえることにより、この流路の場合とまったく同じ取扱いができる。

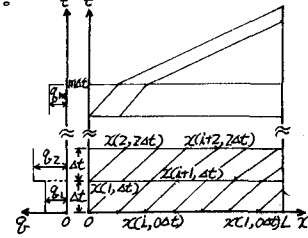


図-I (x, t) 平面上の基準特性流量曲線群

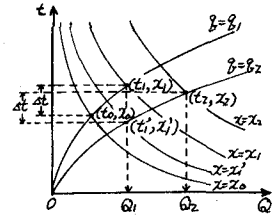


図-II 基準特性流量曲線と等距離線

$x=L$ との交点を求め、流量 Q と時間 t を算出する。なお斜面流の場合には、横からの流入量 g と有効雨量強度 r に置きかえることにより、この流路の場合とまったく同じ取扱いができる。

5. 鬼怒川上流部への適用例;

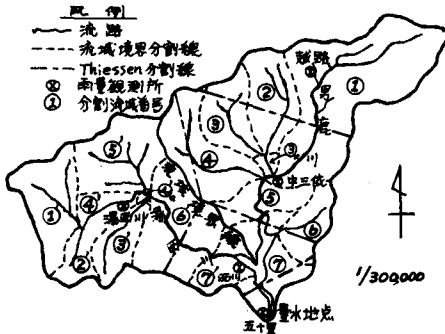


図-III 男鹿川及び湯西川流域平面図

図-III に示すように各々の流域を本流川あわせで 7 流域に分割し、それぞれについてこの流域定数を求めると表-I のとおりである。なお流路の流れにおいて、流路長 L は地形図より実測し、この流路への横流入量 g は斜面長 $Bm/2$ の下流端流量 g' とし、 $g = \frac{L}{2} g'$ を用いた。また横矢降雨は雨量強度に無関係に一定とし、(有効雨量/総雨量) = 0.648 とするよう有効雨量強度分布を定めた。いま流路粗度 n 、斜面粗度 N を仮定し、流出計算を行ない、実測による Hydrograph とのピーク時が一致するように計算により $n=0.07$ 、 $N=0.8$ とした場合の Hydrograph は、実測と比較すると、図-IV のようである。

表-I 流域諸定数

別名	流域番号	流域面積 $F(km^2)$	流路長 $L(km)$	斜面長 $Bm/2(km)$	斜面傾度 θ'	斜面傾度 θ	流域定数 P	流域定数 K
男鹿川	①	57.0	17.4	7.25	0.200	0.044	0.66	1.23
	②	18.0	7.0	1.27	0.211	0.052	0.75	0.98
	③+③'	17.0	6.5+1.9	1.34	0.294	0.062	0.75	0.70
	④	24.0	7.6	1.67	0.263	0.039	0.75	0.72
	⑤	12.0	4.6	2.24	0.233	0.009	0.70	2.08
	⑥	10.0	5.1	1.34	0.311	0.006	0.60	0.72
	⑦	13.0	7.1	1.20	0.167	0.020		
湯西川	①'	12.0	5.8	1.80	0.465	0.094	0.75	0.65
	②'	7.0	3.5	1.30	0.303	0.070	0.74	0.75
	③'	11.0	6.3	1.06	0.335	0.040	0.75	0.81
	④+④'	8.0	6.0+0.7	1.21	0.238	0.013	0.60	0.98
	⑤'	21.0	5.4	3.42	0.198	0.051	0.75	0.80
	⑥'	30.0	8.2	2.50	0.209	0.012	0.60	0.98
	⑦'	8.0	4.0	1.43	0.204	0.020		

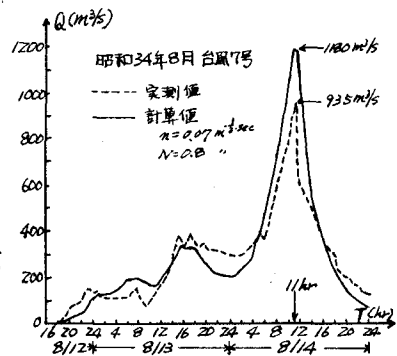


図-IV 五十二里ダム地点における Hydrograph

6. 結論; 電算計算機を用いたこの解析法は、時々刻々の降雨予報とともに、分割した流域から流路への流入量 g が求まり、それによって流路の各地点の Hydrograph が時を追って迅速に求まる点で洪水予報に適しており、また合流時のピーク流量が算出できることにより、全流域断面形の完成、洪水追跡と容易にし、引いては上流部のダム操作の効果を判定を可能にしてくれるであろう。

参考文献; 木石富太郎: "特性曲線法による出水解析について", 土木学会論文集 第29号 S30.12