

山梨大学工学部 正員 萩原能男
山梨大学大学院 学生員 〇河西 基

1. はじめに

流出系における表面流出成分は、流域の山腹表面上を流れる地表面流と河道を流下する河道流とに分類される。このような流れを対象とした流出解析法の一つとして、従来流れを等流に近似できると仮定し、特性曲線法に基づいて雨水流を追跡するいわゆる *kinematic wave* 法が慣用されている。本報告では、流入量（浸透能、横流入を含む）、自由表面勾配、底面の勾配と摩擦及び慣性項を考慮した基礎式に関して、特性曲線法を用いる一解析手法を提案している。この着着らの方法は、特性曲線網の乱れによる計算の困難さに対して、特性曲線法上で近似計算を施して特性曲線網の乱れを修正しながら計算を進めるものである。

2. 基礎方程式

第1図のような幅の広い矩形断面水路において、水路勾配が小さく流速分布が一様であると仮定した場合、運動方程式及び連続の方程式はそれぞれ

$$\frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} = (i - f + \frac{2g_y}{b}) \frac{u}{y} - (1 + \frac{2y}{b}) \frac{u}{\rho y} + g\theta \quad (1)$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} + u \frac{\partial y}{\partial x} + y \frac{\partial u}{\partial x} = i - f + \frac{2g_y}{b} \quad (2)$$

とあらわされる²⁾。ここに、 u : 平均流速、
 y : 水深、 i : 降雨強度、 f : 浸透能、
 g_y : 流路の単位長さ当りの横からの流入量、
 b : 水路幅、 τ_b : 底面摩擦応力、 ρ : 水の密度、 g : 重力の加速度、 θ : 水路の傾斜角、 x : 距離、 t : 時間である。

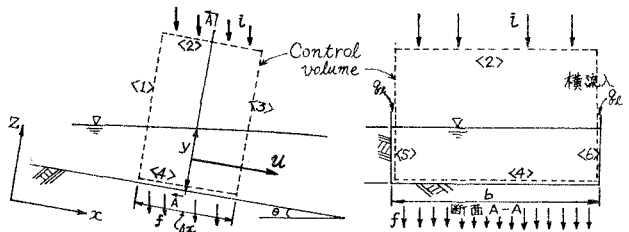


図-1 小河川における流れの Control volume

3. 特性曲線法

(1) 計算基本式 式(1)及び(2)からつぎの特性方程式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} \text{曲線}(C^+): \quad dx/dt = u + \sqrt{g/y} \quad \text{の上で} \\ du = -\sqrt{g/y} \cdot dy + (D + E\sqrt{g/y}) \cdot dt \end{aligned} \right\} (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{曲線}(C^-): \quad dx/dt = u - \sqrt{g/y} \quad \text{の上で} \\ du = \sqrt{g/y} \cdot dy + (D - E\sqrt{g/y}) \cdot dt \end{aligned} \right\} (4)$$

ここに、 $E = i - f + 2g_y/b$, $D = E \cdot u/y - (1 + 2y/b) \tau_b / (\rho y) + g\theta$ (5) である。

初期条件及び境界条件を与えて $x \sim t$ 平面を C^+ , C^- の特性曲線でおおい、差分法を用いて数値計算を行えば、 $x \sim t$ 平面上の各点の u , y 従って流出量などを求めることができる。すなわち、上式の関係より、第2図のように、A及びBの2既知点での諸水理量を用いて未知点Pの諸量は、次式のように求められる。

$$\left. \begin{aligned} u_{(P)} &= (X_{CB} - X_{CA}) / (BU_{(A)} - BD_{(B)}) \\ X_{(P)} &= (BU_{(A)} \cdot X_{CB} - BD_{(B)} \cdot X_{CA}) / (BU_{(A)} - BD_{(B)}) \\ y_{(P)} &= (V_{CA} - V_{CB}) / (\sqrt{g/y_{(A)}} + \sqrt{g/y_{(B)}}) \\ u_{(P)} &= (V_{CA} \sqrt{g/y_{(B)}} + V_{CB} \sqrt{g/y_{(A)}}) / (\sqrt{g/y_{(A)}} + \sqrt{g/y_{(B)}}) \end{aligned} \right\} (6)$$

$$BU_{(A)} = u_{(A)} + \sqrt{g/y_{(A)}}, \quad BD_{(B)} = u_{(B)} - \sqrt{g/y_{(B)}} \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} X_{CA} &= X_{(A)} - BU_{(A)} \cdot t_{(A)} \\ X_{CB} &= X_{(B)} - BD_{(B)} \cdot t_{(B)} \end{aligned} \right\} (8)$$

$$\left. \begin{aligned} V_{CA} &= BU_{(A)} + (D_{(A)} + E_{(A)} \sqrt{g/y_{(A)}}) \cdot (t_{(P)} - t_{(A)}) \\ V_{CB} &= BD_{(B)} + (D_{(B)} - E_{(B)} \sqrt{g/y_{(B)}}) \cdot (t_{(P)} - t_{(B)}) \end{aligned} \right\} (9)$$

(2) 初期条件と境界条件について

こうした数値解法を非定常流れに適用するにあたっては、初期条件及び

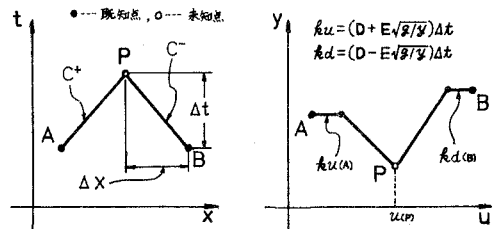


図-2 特性曲線の概略

境界条件が後の水面形あるいは流れの状態に大きく影響すると考えられ、これらの条件をどのように与えるかということがかなり重要な問題となる。上述の方法は、地表面流及び河道流に関して適用されて、例えばつぎのような諸条件を与えることができる。

イ) 上流端境界条件 $x(0) = 0$ における $Q_0(t)$ (基底流量あるいは合流点流入量) が与えられた場合を考える。上流端での水深が常に等流水深の状態であると仮定すると、特性曲線 C^- 上の式 (4) の関係から、

$$t(0) = -XCB/BD(0), \quad y(0) = y_n(0) \text{ (等流水深)}, \quad u(0) = \sqrt{g/y(0)} \cdot y(0) + VCB \quad (10)$$

のように諸水量が得られる。

ロ) 下流端境界条件 $x(m) = L$ (斜面長あるいは河道長) における条件については、堰がある場合や、水深を等流水深あるいは限界水深として与えるか、または水面形を考慮して等流水深、限界水深のいずれかの水深に近いと仮定する場合などが考えられる。例えば、限界水深になると仮定して、特性曲線 C^+ 上の式 (3) の関係から、

$$t(m) = (L - XCA)/BU(A), \quad u(m) = (-1 + \sqrt{1 + 4Z \cdot VCA})/(2Z), \quad y(m) = (VCA - u(m))/\sqrt{g/y(A)} \quad (11)$$

として諸量が得られる。ここに、 $Z = 1/(\cos \theta \cdot \sqrt{g/y(A)})$ である。

ハ) 初期条件 初期流量が与えられた場合、初期水深 $y(x, 0)$ を各点における等流水深に近似できるとする場合あるいは水面形の計算によって決める場合などが考えられる。

4. 特性曲線網の乱れに対する補正について⁴⁾

上述のような特性曲線法上において、特性曲線網が乱れるために計算が困難になる場合が多く、特に流れが射流になればこの傾向が顕著である。そこで、特性曲線法上において隣接する格子点間の諸水量が直線的に変化するものと仮定し、近似計算によって規則的な格子点での諸量を求めながら特性曲線網に再構成を施して計算を進行させる。

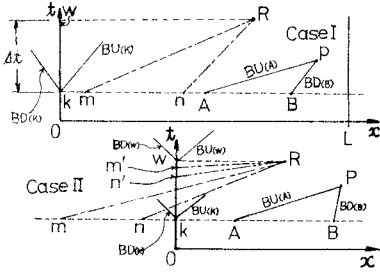


図-3 特性曲線の補正

<中間点補正の例> 既知点A及びBからまず未知点Pが求められたとして、点KあるいはWでの諸量をも用いて、規則的な点Rでの諸水量(ξ)が得られるような点m及びnの座標と諸量を比例計算によって求めた後、これらを用いて点Rでのξを決めることができる。

イ) Case I; $0 \leq (x(m), x(n)) \leq L$ の場合 ($A \rightarrow m, B \rightarrow n$)

$$m \text{ 点: } x(m) = \{x(m) + (BU(A) \cdot x(n) - BU(n) \cdot x(A)) \Delta t / (x(A) - x(n))\} / \{(BU(A) - BU(n)) \Delta t / (x(A) - x(n)) + 1\} \quad (12)$$

ロ) Case II; $(x(m), x(n)) < 0$ の場合、 $x=0$ のt軸上で近似し、 $m'(0, t(m)), n'(0, t(n))$ をとる。

$$n' \text{ 点: } t(m) = \{t(n) + (t(n)/BU(n) - t(m)/BU(m)) \cdot x(n)/\Delta t\} / \{(1/BU(n) - 1/BU(m)) \cdot x(n)/\Delta t + 1\} \quad (13)$$

となり、このとき第4図のような直線的近似によって、 $m(m)$ 点の諸水量は、

$$\xi(m \text{ or } m') = \xi(m) + (x(m) \text{ or } t(m) - x(n) \text{ or } t(n)) \cdot (\xi(n) - \xi(n')) / (x(n) \text{ or } t(n) - x(n) \text{ or } t(n)) \quad (14)$$

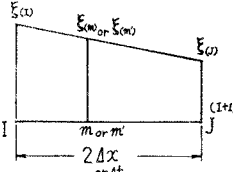


図-4 直線的近似

により与えられる。 n 点についてもAをB、BUをBDと考えればよく、下流端補正は m 点について考えればよい。

5. まとめ

本報における方法を用いて実際の流出解析を行なう場合には、第5図のように流域をいくつかの部分流域に分割して、それらの流域構成の段階的のプロセスを経て、結合された系における最下流端の基準点流量になると考えれば有効的であり、また洪水追跡を一樣に扱うことも可能ではないかと思われる。なお、計算例および流域構成が出水特性に及ぼす影響などについての議論は、講演時に述べる予定である。

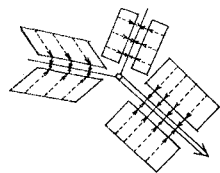


図-5

<参考文献> 1) “水文学”: 朝倉書店, PP.104~112, 2) P.S.Eagleson: “Dynamic Hydrology” McGraw-Hill, PP.325~367, 3) “物部水理学”: 岩波書店, PP.292~301, 4) 萩原・河面・萩原: 波速変化を考慮した水撃圧の検討, 第1回関東支部年次講, 1974.5月, PP.95~98, 5) “土木工学における数値解析-流体解析編”: サイエンス社, PP.98~117, 6) 橋本一郎: “水理学Ⅱ” 森北出版, PP.24~50, 7) 末石富太郎: 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, 昭30.12月, PP.74~87,