

九州大学 工学部 正員 篠原 謹爾

九州大学 工学部 正員 平野 宗夫

九州大学 大学院 学生員 〇木川 良二

1. はじめに

Kinematic Wave法の解法として差分法を用い、その自然河川への実用化を吟味した例が少ない。Explicit差分法をもちいて、都市域の斜面で流路が整理された実験流域での短時間散水実験（長くて30分程度）において、その実験値とExplicit差分解からの計算値は、かなりの精度が期待できうというbackground^(1,2)から、本文では、この方法を一般自然河川の流出解析にどの程度適用できるかを究明した。またここでは岡山県竜の口山森林治水試験地での出水を対象に、差分格子間隔(mesh)を求め、そのmeshを用いた流出解析適用例を示す。

2. 基本式の差分化

1) 基本式 斜面について、単位幅あたりの雨水流の運動がマンニングの等流運動に従うとして(1)式、連続の式として(2)式を基本式とする。

$$H = KQ^P \quad (1)$$

$$(\partial H / \partial T) + (\partial Q / \partial X) = g \quad (2)$$

ただし、H：水深(m)、T：時間(sec)、X：斜面上の距離(m)、Q：流路に沿う単位長さあたりの斜面上の流量($m^3/sec/m$)、g：有効雨量(m/sec)、KおよびP：斜面の特性を示す定数である。流路についても同様式がえられる。

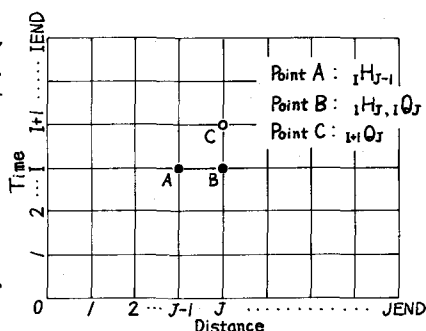


Fig-1 Grid System for Finite Differences

2) 差分化 差分のとり方はFig-1のようにXは上流から下流へ向かって後方差分し、Tは過去から未来へ前方差分にとると、(1)式は(3)式となり、(2)式は(4)式となる。

$${}_{I+1}Q_J = \left(\frac{{}_{I+1}H_J}{K} \right)^{(1/P)} \quad (3), \quad \frac{{}_{I+1}H_J - {}_IH_J}{\Delta T} + \frac{{}_I Q_J - {}_I Q_{J-1}}{\Delta X} = {}_I g_J \quad (4)$$

過去の水深をH1 (Fig-1中のA, B点)、未来の水深をH2 (Fig-1中のC点)とし(3)と(4)式を次の(5)、(6)、(7)式に変形する。

$$Q(J) = (H1(J)/K)^{(1/P)} \quad (5)$$

$$H2(J) = H1(J) - (\Delta T / \Delta X) \cdot (Q(J) - Q(J-1) - g(J) \cdot \Delta X) \quad (6)$$

$$H1(J) = H2(J) \quad (7)$$

(5)、(6)、(7)式をJENDまで計算し、H1とH2のおき換えをIENDまでくり返し計算をおこなった。計算は九州大学大型電子計算機FACOM 230-60によった。

3) 差分解の安定条件 計算として追跡して行く領域の広がりやすさ($\Delta X / \Delta T$)は、Kleig-Seddonの公式でいわれる洪水波の伝播速度より速くなければならない。長方形水路で、Manningの公式を用いると次式となる。

$$(5/3)v < (\Delta X / \Delta T) \quad (8)$$

3. 竜の口流域(面積約0.5 Km²)への適用

1) 実用的 mesh (精度、経済性を考慮した最大 ΔX , ΔT 値をいう) 単位降雨R(mm/hr)とKとを組み合わせシミュレーションをやり、ピーク流量 Q_p を求め(1)式とManning公式からピーク水位 H_p 、流速 V_p の順に計算した。この V_p 値と($\Delta X / \Delta T$)値とを比較した結果、次の(9)、(10)式を満足する($\Delta X / \Delta T$)値が実用的

mesh になりうるということがわかった。

$$R \geq 50 \text{ mm/hr or } K \leq 0.5 : (5/3)v_p \leq (\Delta X/\Delta T) \quad (9)$$

$$\text{otherwise} : (5 \sim 10) \times (5/3)v_p \leq (\Delta X/\Delta T) \quad (10)$$

2) $\Delta X, \Delta T$ の間の性質 (i) ΔX を一定にし (9), (10) 式を満たしながら ΔT を変化させた。Table-1 のように ΔT を大きくしても精度が悪くならないという有利なことがわかった。

(ii) ΔT を一定にして、 ΔX を変化させたものが Fig-2 である。図からわかるように ΔX の大きさが精度に大きく影響を与えている。

(iii) 次に $(\Delta X/\Delta T)$ 値を一定にして $\Delta X, \Delta T$ を同時に変化させたものが Fig-3 である。

3) 竜の口の实用 mesh 一覧表 前述 1), 2) の $\Delta X, \Delta T$ の性質を考慮に入れて、实用 mesh ($\Delta X/\Delta T$) 値を求め、その値を Table-2 に示す。ここで R は一雨の最大降雨強度 (mm/hr) である。

4. 竜の口流域への適用結果

本流域における 1948 年 9 月 26 日の降雨流出を Table-2 を用いて解析した 1 例を Fig-4 に示す。ただし斜面において K は 4.0, $R < 20 \text{ mm/hr}$ から $(\Delta X/\Delta T) = 0.13$ とし、 $\Delta X = 2 \text{ m}$, $\Delta T = 15 \text{ sec}$ を用いた。流路では $K = 0.33$ から $(\Delta X/\Delta T) = 1.0$ とし $\Delta X = 15 \text{ m}$, $\Delta T = 15 \text{ sec}$ とした。また比較の為に特性曲線法で求めた計算値を図中に示した。さらに筑後川上流の杉立川流域 (282.6 Km^2) についても試算中である。

5. 考察

同一の水利モデルを使う特性曲線法と比較すると、差分法は指定された時刻の計算流量が得られるので、流域を分割解析しても合成が容易である。反面 ΔT のとり方次第では計算時間が膨大となり経済性が失われる。

6. おまけ

本文では簡単な Explicit 差分法が自然河川の流出解析に適用できることが判明したが、 $(\Delta X/\Delta T)$ の決定に一般性をもたせる問題が今後に残されている。最後に本研究を進めるにあたり、惜しまぬ協力を提供して下さった小川滋氏に感謝します。

参考文献

- 1) 伊藤 剛：数値解析の応用と基礎、アテネ出版。
- 2) 吉川 秀夫：流出機構モデルの総合化に関する研究、文部省 科研報告書、1970.3。
- 3) 篠原連蔵 小川：雨水流出のモデルによる山地小流域の流出解析、新砂防、1972.4。
- 4) 黒木 一實：特性曲線法による筑後川上流域の流出解析、九大学集論文、1971.3。
- 5) 上田 篤比呂：降雨流出に関する基礎的研究、九大学集論文、1967。
- 6) D.L.Brakensick: Kinematic Flood Routing, Transaction of ASAE, 1967。

Table-1 $K=3.0 \Delta X=4 \text{ m } RE=2.196 \text{ m}^3$

DT (sec)	$\Delta X/\Delta T$ (m/sec)	Total Q (m^3)	TQ/RE (%)
10	0.40	2.1678	98.733
15	0.26	2.1679	98.737
20	0.20	2.1678	98.733
25	0.16	2.1688	98.773
30	0.13	2.1679	98.737

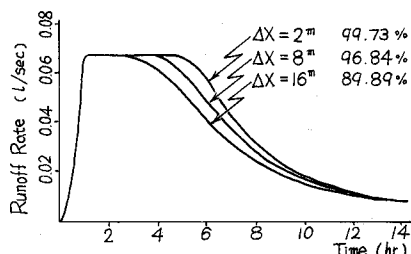


Fig-2 $K=3.0 R=10 \text{ mm/hr } \Delta T=10 \text{ sec}$

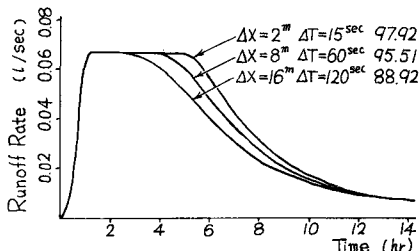


Fig-3 $K=3.0 R=10 \text{ mm/hr } (\Delta X/\Delta T)=0.13$

Table-2 Value of $(\Delta X/\Delta T)$ TASTUNOKUCHI
 $L=234 \text{ m } P=0.6 \text{ (TOTAL Q/RE) = UPPER 90\%}$

K	R mm/hr	0~20	20~40	40~80	80~
6~		0.09	0.13	0.13	0.13
3~6		0.13	0.13	0.20	0.20
1.5~3		0.13	0.20	0.20	0.40
0.5~1.5		0.13	0.20	0.40	0.40
0.3~0.5		1.00	1.00	1.00	1.20
0.15~0.3		1.20	1.20	1.20	1.20
0~0.15		1.20	1.50	1.50	2.00

