（Ａ－１）　河川の降雨流出に対するコンピューターの利用

北海道大学工学部　岸　　力

1. 緒　言

河川の降雨流出の解析方法のうち，岩垣が開発した水理法は解法の水理学的意義が明確であり，今後大いに発展が期待される方法の一つである。　ただこの方法はできるだけ忠実に流域内の流れを追跡しようとするものだけに，計算の煩雑さは止むを得ないものがあった。　この難点を改良するため，岩垣・末石による図式解法や上田による近似解法など多くの研究が行こなわれ計算の簡易化が計かられているが，なおかつ計算の手間は少ないとは云えない。

そこで本研究においては，水理法の計算を計算機で行こない，本方法の難点を取除くことを考える

2. 基本式

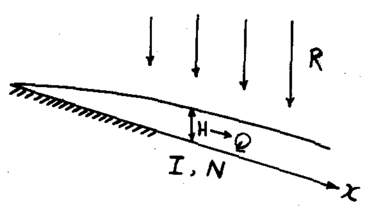

Fig. 1.

Fig.1 に示すように，勾配Ｉ，粗度係数Ｎの流域の斜面に降雨Ｒがあるときの斜面上の流れを考えると，連続の式および運動の式はそれぞれ(1)，(2)式で与えられる。

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = R(t) \quad \cdots\cdots \quad (1)$$

$$H = K' Q^{p} \quad \cdots\cdots \quad (2)$$

ここに　Ｈ：水深

Ｑ：単位巾当りの流量

Ｒ：降雨量

また，流れが Manning の平均流速式にしたがうものとすれば，(2)式中のＫ'，ｐはそれぞれ（３－１），（３－２）式で与えられる。

$$K' = (N/\sqrt{I})^{p} \quad \cdots\cdots \quad (3-1)$$

$$p = 0.6 \quad \cdots\cdots \quad (3-2)$$

ここに　Ｎ：流域斜面の粗度係数

Ｉ：流域斜面の勾配

(2)，(3)式を(1)式に代入すれば

$$0.6 K' Q^{-0.4} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = R(t) \quad \cdots\cdots \quad (4)$$

(4) 式の特性方程式は

$$\frac{dt}{0.6K'Q^{-0.4}} = \frac{dx}{1} = \frac{dQ}{R(t)} \quad \cdots\cdots (5)$$

(5) 式から次の(6)および(7)式が得られる。

$$dt = dx / (Q^{0.4}/K) \quad \cdots\cdots (6)$$

$$\int_{\tau}^{t} R(t)dt = \frac{K}{0.6} (Q_t^{0.6} - Q_{\tau}^{0.6}) \quad \cdots\cdots (7)$$

ここに　$K = 0.6K'$

3. 数値計算法

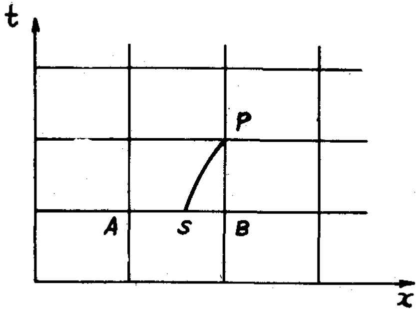

Fig. 2.

流域斜面を Δx 毎の区間に分割し，時間の刻みを Δt として（6）および（7）式を計算する。以下の計算においては場所の Suffix を m（1,2,…… m），時間の Suffix を n（1,2,…… n）とし，任意の格子点での値を例えば $Q_{m,n}$ のようにあらわす。

Fig. 2 において，時刻 n の流量が判ったとして，時刻 n + 1 における P 点の流量を求める。P 点を通り（6）式で定まる特性曲線を描き，それと時刻 n の格子線との交点を S とする。P 点と S 点との間には（7）式の関係が成り立ち，しかも Δt の間では雨量は平均強度で与えられるのが普通であるから，（7）式は（8）式のように書き変えられる。

$$Q_{m,n+1} = \left(\frac{0.6R(t)\Delta t}{K} + Q_S^{0.6} \right)^{1.667} \quad \cdots\cdots (8)$$

一方（6）式の特性曲線 $\widehat{PS}$ を直線で近似し，さらに P と S との間の Q を $Q_B = Q_{m,n}$ で近似すれば

$$SB = dx = \Delta t \, Q_{m,n}^{0.4} / K \quad \cdots\cdots (9)$$

したがって，（8）式における Q_S を A，B 点における Q の値，Q_A, Q_B から内挿すれば

$$Q_S = Q_B \left\{ 1 - \left(\frac{\Delta t}{\Delta x} Q_B^{0.4} / K \right) \right\} + Q_A \left(\frac{\Delta t}{\Delta x} Q_B^{0.4} / K \right)$$

or

$$Q_S = Q_{m,n} (1 - SP_{m,n}) + Q_{m-1,n} \cdot SP_{m,n} \quad \cdots\cdots (10)$$

ここに　$S = \Delta t / \Delta x$

$P = Q^{0.4} / K$

すなわち（10）式で Q_S を求め，その Q_S と時刻 n ～ n+1 間の平均雨量強度 R（t）とを（8）式に代入すれば $Q_{m,n+1}$ が計算される。

この場合の計算の安定条件は S 点が A，B の間に入ることで $dx < \Delta x$ すなわち（9）式から

$$S\,P_{max} < 1 \quad \text{or} \quad S < 1/P_{max} \quad \cdots\cdots (11)$$

である。

4. 計算のプログラム

計算には北海道大学計算センター所属のHIPAC103 を用いた。計算に用いたHARP103のプログラムの一例をFig. 3に示す。

```
#     TŌYŌHIRA RIVER, FLŌŌD NŌ. 5   Sept. 25 - 26,  K = 0.453, 0.501, 0.554
      TYPE  51,
51    FŌRMAT (8H TŌYŌHIRA, 2X, 5H RIVER, 2X, 2Hat, 2X, 11H CHŌSHIGUCHI//)
      TYPE  52,
52    FŌRMAT (30H FLŌŌD NŌ. 5 Sept. 25 - 26, 1957//)
      DIMENSIŌN  R(200), Q(7), QX(7)
100   FŌRMAT (3X, 2Hdt, 6X, 2Hdx, 7X, 1Hm, 6X, 1HK, 9X, 1 HB)
101   FŌRMAT (F7·1, F8·1, F7·1, F8·3, F11·1//)
102   FŌRMAT (4X, 1HT, 6X, 2HRe, 8X, 1HQ/)
103   FORMAT (I5, F9·1, F9·1)
70    READ  1, DT, DX
      READ  1, B
      READ  2, (RCK),  K = 1, 30)
71    READ  1, A
      S = DT/DX
      DŌ 40  K = 31,200
40    R(K) = 0.0
60    TYPE   100,
61    TYPE   101, DT, DX, S, A, B
62    TYPE   102,
      DŌ   10  I = 1, 7
10    Q(I) = 0.0
      DŌ   30  K = 1,200
      DŌ   20  I = 2, 7
      IF  (Q(I))  11, 12, 11
12    QX (I) = (0.6*R(K)*DT/A) ↑ 1.667
      GŌ TO 20
11    P = Q(I) ↑  0.4/A
      QS = Q(I)* (1.0 - S*P) + Q(I - 1)*S*P
      QX(I) = (0.6*R(K)*DT/A + QS ↑ 0.6 ↑ 1.667
20    CŌNTINUE
      QY = B*QX(7)
      RE = R(K)*3.6 E 6
63    TYPE  103, K, RE, QY
      DŌ  30  I = 2, 7
30    Q(I) = QX(I)
      PAUSE  7                                  August 12, 1963
      GŌ TŌ  71                          Written by Tsutomu Kishi
      END (2, 2, 2)
```

Fig. 3.

5. 計算の結果

Fig. 3に示したプログラムで計算した結果の一例をFig. 4に示す。　計算に用いた条件は次の通りである。

地点名	豊平川本流地点C
斜面流下長	L = 2,400 m
流域面積	F = 188.6 Km²
斜面勾配	I = 0.164
粗度係数	N = 0.299
係数	$K = 0.6(N/\sqrt{I})^{0.6} = 0.50/$
⊿T	1800 sec
⊿X	400 m

⊿T，⊿xの選定は(11)式によった。　この出水のPeak流量が200m³/secを超えないことが他の資料からわかっているので，Peak流量を200m³/secにとってみれば，単位巾当りの流量Qの最大値は $Q_{max} = 25.4 \times 10^{-4}$ m²/sec となる。　この値を(11)式に代入すれば

$$S(\Delta t/\Delta x) < 6.9$$

となる。

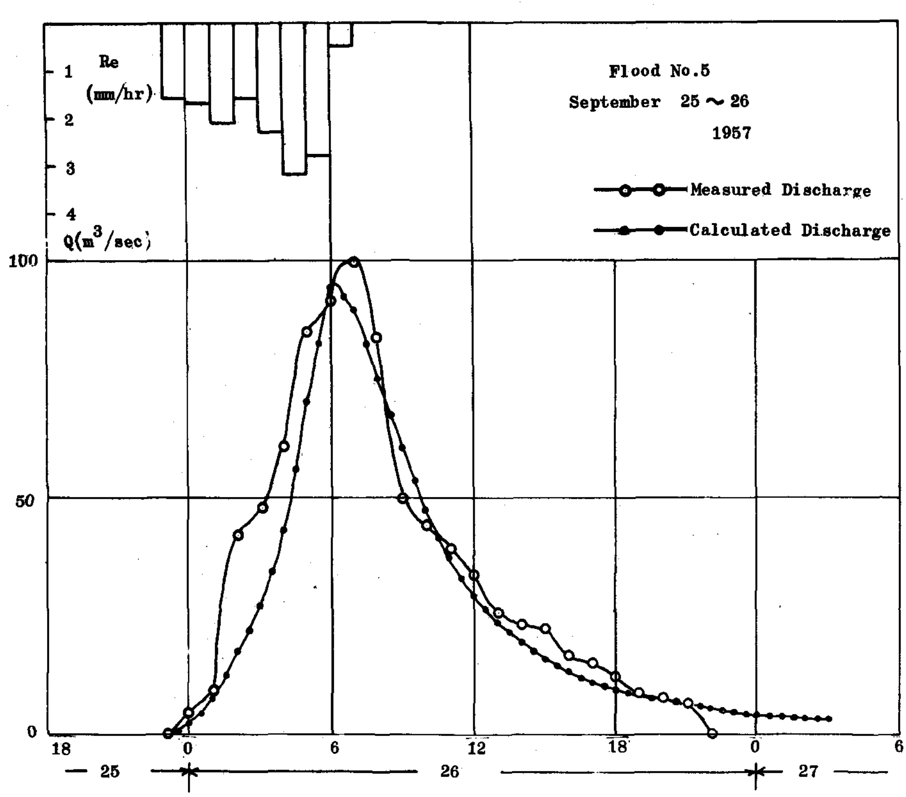

Fig. 4.