

九州産業大学 正員 崎山 正 常
 総合技術コンサルタント 〃 〇 新見 文 彦
 九州産業大学 学生員 中田 欣 也

1. まえがき 降雨流出計算の方法には、周知のごとく、合理式法、単位図法、貯留関数法、タンクモデル法、等価粗度法（特性曲線法）および流出関数法などがあるが、現在わが国の大中河川では主に貯留関数法が用いられていると聞いている。それぞれの方法には、それぞれの長短があげられるが、ここで取りあげる特性曲線法は、斜面および流路における流下現象を、運動の方程式と連続の条件を用いて水理学的に解析するものであり、その理論的根拠には他の方法のそれに対するよりも理解できる必然性があると考えている。しかし、従来この方法を用いる場合には、煩雑な図式解法によっており、他の方法のように容易には電算機利用のプログラムが開発されなかったところにこの方法が他の方法に比べて用いられる機会が少なかった原因があったのではなかろうか。そこで、著者らは、従来の解析解のもとで図式解法の手順の全てを大型電算機に処理させるプログラムの開発を行ない、かなり満足できる結果をえたのでここにのべることにする。なお、特性曲線法の特性を考慮して微分方程式の差分化による解析はこれまでも紹介されている。¹⁾

2. 解析 特性曲線法では、図-1(A)のような実流域を(B)のようにモデル化している。まず、通常の記号に従い、所要の算式を列挙すると、斜面では

$$q = (\sigma r t / K')^{1/p'} \quad \text{----- (1)} \quad , \quad x = t / (K' g^{p'-1}) \quad \text{----- (2)}$$

また、 $r = 0$ の場合には $x = (5/3)(\sqrt{I}/N)^{3/5} g^{3/5} t \quad \text{----- (3)}$ である。

次に、河道では $t = K Q^p / g \quad \text{----- (4)}$, $t = K x \cdot Q^{p-1} \quad \text{----- (5)}$ である。

そこで、たとえば、図-2のような有効降雨が与えられた場合、まず、斜面流出量は次のようにして求められる。すなわち、式(1)において $t_1(3600 \text{ sec})$ が与えられれば、

$$q_1 = (\sigma r_1 t_1 / K')^{1/p'} \quad \text{----- (6)} \quad \text{より } q_1 \text{ を求め、式(2) より}$$

$$x_1 = t_1 / (K' g_1^{p'-1}) \quad \text{----- (7)} \quad \text{を求める。この } x_1 (= \Sigma x_1) \text{ が } B/2 \text{ より}$$

り小さいならば、この場合の q_1 を用いて

$$t_2' = K' g_1^{p'} / (\sigma \cdot r_2) \quad \text{----- (8)} \quad , \quad t_2 = t_2' + 3600 \quad \text{----- (8')}$$

$$q_2 = (\sigma r_2 t_2 / K')^{1/p'} \quad \text{----- (9)}$$

$$x_2 = t_2 / (K' g_2^{p'-1}) \quad \text{----- (10)}$$

$\Sigma x_2 = x_1 + x_2$ を求める。この Σx_2 がまだ $B/2$ よりも小さければ、式(8)

と同様にして t_3' 、 $t_3 = t_3' + 3600$ を求め、以下同様にして $\Sigma x_i = B/2$ となるまで

以上の手順を進める。そうするとこの時刻 j の q は q_j となる。また、最初の $q \sim t$ カーブの立ち上りの q はその時刻までの q_j を採ればよい。次に、このようにして j を進めてゆく過程で $\Sigma x_n > B/2$ 、 $\Sigma x_{n-1} < B/2$ となる場合には、図-4に示すような補正を行えばよい。

その算式は $x_a = \Sigma x_n - B/2$, $q_a = g_n - \sigma r_n (x_n - x_a)$, $t_a = t_n - K' (\sigma r_n)^{p'-1} (x_n - x_a)^{p'}$ ----- (11) となる。次にまた、 $\Sigma x_{i-1} < B/2$ で $j \geq 2$ が出現したならば、 $x' = B/2 - \Sigma x_{j-1}$

$t' = (3/5)(N/\sqrt{I})^{3/5} \cdot g_{j-1}^{-2/5} \cdot x' \quad \text{----- (12)}$ を求める。これが図-2に示す t_{ro} よりも小さければ、図-5②のA点に示しているように g_{j-1} は t_{ro} のはじまる時刻より t' だけ進んだ時刻の q とみなす。また $t' > t_{ro}$ ならば、次の降

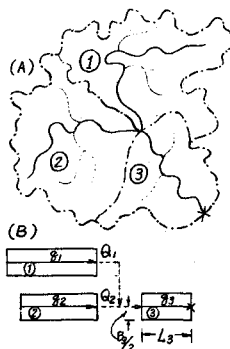


図-1 流域形状とそのモデル化

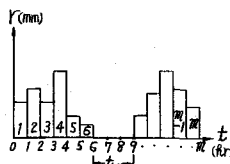


図-2 有効雨量

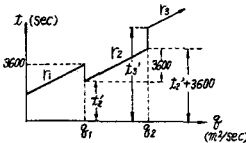


図-3 t' の説明図

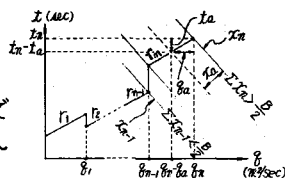


図-4 補正の説明図

雨がはじまる時刻までは t_{ro} の区間は $\delta = \text{const.}$ となり、次に

$$x_{tro} = (5/3)(I/N)^{3/5} \delta_i^{-2/5} \cdot t_{ro} \quad \text{----- (13)}, \quad \Sigma x = \Sigma x_{i-1} + x_{tro} \text{ を求めて、次にはじ$$

まる降雨から採用して $\Sigma x_i = B/2$ となるまで同様に δ を進めることになる。このような演算の結果、最初の $\Sigma x_i = B/2$ となる δ (式(11))による時間補正により必ずしももうウンドナンバーではないを見つけたら、次ははじまりの時間を1時間ずらし、つまり $\delta=2$ の降雨をはじめとして、同様な演算を行なう。その結果、有効降雨が連続する場合、あるいは一時的断続時間が長い場合や短い場合などあらゆる降雨パターン出現の可能性を考慮した $\delta \sim t$ 曲線は図-5 ①~⑤に示すようなものとなる。なお、図-5 ③および⑤に示している補正は、図示のA点およびB点の (δ_A, t_A) および (δ_B, t_B) によって比例配分で行えば充分であると考えられる。次に、河道流出量の算定には、上流端からの流入量がある場合とない場合とがある。まず、上流端よりの流入量がない流域①、②の河道流出 δ

計算についてのべる。斜面流出解析の結果えられた $\delta \sim t$ 曲線が図-6 のようであるとする。これらの点群の時間間隔はがなり粗であるので、柱状化にあたって便利のように時間間隔をさらに小さく(1分間隔)し、図示の

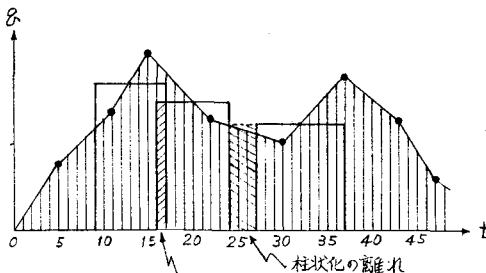


図-6 $\delta \sim t$ 曲線柱状化の説明図

ように分割する。そこで、任意の時刻 i に対応する δ_i で柱状化を試みるわけであるが、この場合 L を河道長として $Q_i = \delta_i \cdot L$ ----- (14), $t_i = K Q_i^p / \delta_i$ ----- (15) を求めれば、この場合の Q_i は t_i 秒間の平均流入量が δ_i である場合の河道下流端の流出量となる。 $\delta \sim t$ 曲線の柱状化にあたっては図-6 に示しているような柱状化の重なりあるいは離れが充分許容できる量(0.01分)以下になるようにしている。次に、河道上流端雨量よりの流入量がある流域③の河道流出計算についてのべる。すなわち

$$t_{1,i} = K(Q_{1,i} + Q_{2,i})^p / \delta_{3,i} \quad \text{---- (16)}, \quad Q_{123} = Q_{1,i} + Q_{2,i} + \delta_{3,i} \cdot L \quad \text{--- (17)}$$

$$t_{2,i} = K Q_{12,i}^p / \delta_{3,i} \quad \text{---- (18)}, \quad t_i = t_{2,i} - t_{1,i} \quad \text{---- (19)}$$

を求め、この t_i を時刻 i を中心とした柱状化の幅としている。この柱状化にあたっては、その重なりあるいは離れは充分許容できる量(0.01分)以下になるようにしている。

3. 流出計算の結果 計算結果の一例を図-7 に示している。なお、同図には、利根川における経験公式による定数を用いた貯留関数法による結果と中安博士の総合単位図法による結果も示している。これらの差をピーク流量についてみると、本報の解析手法を用いた結果は単位図法による結果に近く、貯留関数法による結果とはかなり相違している。

4. あとがき 本報の研究により、従来、煩雑であった特性曲線法による図式解法の過程は、電算機に処理させることができるようになった。本報が流出解析の場合にさまざまな資料となれば幸いである。参考文献 1) 建設省河川局: 建設省河川砂防技術基準(案) 調査編 昭和57年6月

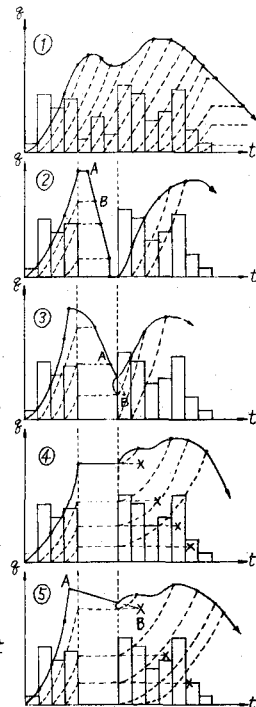


図-5 種々な $\delta \sim t$ 曲線の例

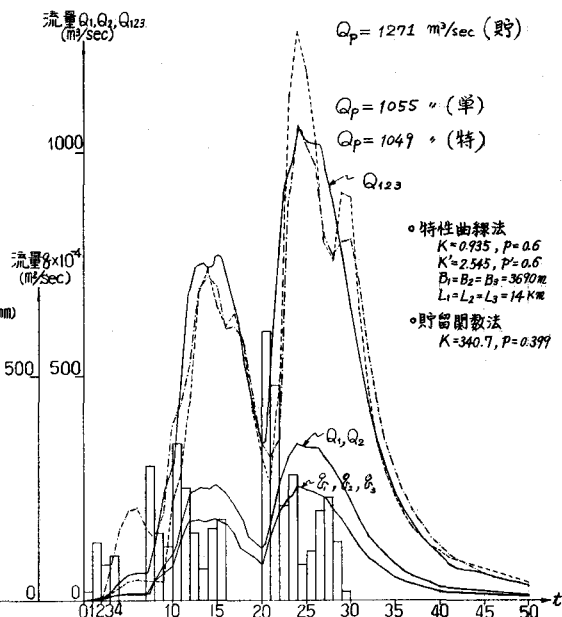


図-7 流出解析結果(断続降雨)