

11 単位図法の新しい計算法

京都大学工学部

正員 石原藤次郎

京都大学防災研究所

正員 高橋 琢馬

鹿 島 建設

正員 梅田 貞夫

周知のように単位図法は今日の流出解析の基礎的手段となっており、その実際の応用方法については多くの研究が行なわれている。しかしながら、そうした研究の基調が雨水の流れを力学的にみるという立場にたっていないために、得られた結果は普遍性を欠いて多くの水文資料を必要とする難点があり、しかもそうした方法の多くははたはばしく等難であって適用上にも問題がある。

そこでわれわれは、①単位図法の力学的意義を追求して普遍的な解析方法確立の基礎とし、それにもとづいて、②水文資料をなるべく必要としないように、単位図法の統合化をはかり、ついで③簡単、迅速に計算できて単位図法を流出予報の手段にまで高めることに努め、新しい流出解析あるいは予報の方法を組み立てることにした。

本方法によれば、降雨および流出特性を考慮に入れた単位図を作製する場合、一つの降雨記録とそれに対応する流量記録だけあればよく、また計算も極めて簡単であって流出の予報は1時間以内ででき、ことにピーク流量とその発生時刻は10分以内に推定できる。

なお、本方法の基礎となっているのは、われわれの論文「単位図法とその適用に関する基礎的研究」土木学会論文集別冊 60(3-3)であり、また有効降雨は別項「有効降雨の意義と分離方法」によるから、これをともあわせて参照されたい。

1. 単位図の作製方法

(a) 最大流量の伝播時間と降雨および流域特性との関係；単位図を作製するには、最大流量の伝播時間 t_{pc} と t_{pc} 間の平均有効降雨強度 $\bar{r}_m$ との関係を求める必要があり、その関係は近似的に

$$t_{pc} = B_c^P / \bar{r}_m^E \quad (1)$$

で与えられる。ここに、 $P = 0.6$ 、 $E = 0.4$ であり、また $B_c = P K L_0$ であり、 L_0 は流域の代表的な流下距離、 $K = (n / \sin \theta)^P$ であり、 n は Manning の粗度係数、 $\sin \theta$ は斜面の勾配である。 t_{pc} は最大流量の出発時刻 T_p から到達時刻 t_p までの時間であり、

$$\frac{d}{dt} (t - T_p)_{t=t_p} = 0 \quad (2)$$

の関係から、降雨記録とそれに対応する流量記録（最大流量あるいは最大水位の発生時刻さえあればよい）があれば求められる。その方法は簡単であり、最大流量の発生時刻に対応する降雨強度の値（時刻 t_p ）から時間軸に水平に時間進行方向と逆方向の直線を引いたとき、降雨曲線と交わる時刻が T_p であり、これから $t_{pc} = t_p - T_p$ が求められる。 t_{pc} が定まれば、 $\bar{r}_m$ はその間の降雨強度の平均として直ちに求められる。一つの t_{pc} と $\bar{r}_m$ の対応関係が求まれば、(1)式から対象流域の一般的に $t_{pc} \sim \bar{r}_m$ の関係が定まることになる。

(b) 単位図のおくれ；単位図のおくれ t_g は

$$t_g = \{ (1 - \alpha') / (1 - \alpha) \} T_g + \alpha' t_u \quad (3)$$

で表わされる。ここに、 t_u は単位降雨の継続時間であり、また T_g は

$$T_g = (1 - \alpha) t_{pc} \quad (4)$$

であって、 α は降雨曲線の形状によって左右される値、 α' は流域形状によって支配される値であって、平均的にはいづれも0.5としてよい。 t_{pc} は(4)において求めたものを用いるが、 t_{pc} は Γ_{mp} と相関があるから、(3)式は単位図のおくれと降雨および流域特性との一般的関係を示すものである。

(c) 単位図のピーク；単位図のピーク g_p は

$$g_p = p^{\frac{p}{1-p}} A \Gamma_{mp} = 0.4 A \Gamma_{mp} = 0.4 Q_p \quad (5)$$

で与えられる。ここに、 A は流域面積、 Q_p は対象降雨による最大流量であり、また Γ_{mp} は最大流量の伝播時間内の平均降雨強度であるから、(5)式は単位図のピークと降雨および流域特性との相関を表わしている。

(d) 単位図の基底長；単位図の基底長としては、単位図のおくれ t_g に降雨終了時刻 t_d から直接流出の終了する時刻 t_2 （流量 Γ の減曲線の才2変曲点）までの時間を加えたものとする。（ $t_2 - t_0$ ）は一流域においては降雨条件にあまり左右されないから、単位図のおくれやピークのように降雨特性との相関を考慮する必要はなく、わが国では一般に2～3日である。

つぎに、単位図の Γ の減部を指数関数 $g = g_p e^{-\beta(t-t_g)}$ で表わすことにすれば、単位降雨による流出量と実流出量とが等しくならなければならないという条件から、 Γ の減指数 β は

$$\beta = (1.22 t_{pc} - 0.5)^{-1} \quad (6)$$

で表わされる。

2. 流出の計算法

(a) 降雨があつたら、有効降雨を別項“有効降雨の定義と分離方法”にしたがって算出する。この計算はそれほど複雑でないから、観測降雨から容易に算出できる。

(b) 二の有効降雨曲線のピークを中心として時間軸に水平な直線を引き、あらかじめ定めてある $t_{pc} \sim \Gamma_{mp}$ の関係(1)を満足する $t_{pc} = t_p - T_p$ とその間の平均降雨 Γ_{mp} を求める。これは2～3回の計算で簡単に求められ、これから直ちに最大流量の発生時刻 t_p を指定でき、また最大流量 Q_p も $Q_p = A \Gamma_{mp}$ から直ちに算出できる。

(c) 対象降雨の Γ_{mp} が定まれば、(3)式と(5)式から単位図のおくれ t_g とピーク g_p が定まる。

(d) 時間流量曲線を求めるにはつぎのようにすればよい。まず単位降雨の強度 Γ_u と Γ_{mp} および t_{pc} の関係は

$$\Gamma_u = p^{\frac{p}{1-p}} \frac{t_{pc}}{t_u} \Gamma_{mp} = 0.4 \frac{t_{pc}}{t_u} \Gamma_{mp} \quad (7)$$

で与えられ、ここに t_u は単位降雨の継続時間である。 $t_{pc} \sim \Gamma_{mp}$ 関係はすでに求められているから、あらかじめ t_u を決めておけば（わが国では2～4時間）、 t_u 間の有効降雨の強度と単位降雨のそれとの比を単位図の縦距に乘じ、単位時間づつづらして加算すれば流量曲線が得られることになる。

以上の操作は従来の流出計算法よりはるかに簡単であって、迅速に流出の予報ができる。

4. 適用例

由良川大野ダム地奥流域（流域面積350 km^2 ）の流出解析に上述の計算法を適用してみよう。図-1は該地奥の t_{pc} , r_{mp} , q_p , t_g の間の関係であって、この図を用いれば対象降雨から単位図を決定できる。

とくに t_{pc} と r_{mp} の関係が重要であるが、図中には別項“有効降雨の定義と分離方法”に述べた分離方法による有効降雨と Horton 分離による有効降雨を用いた場合の結果をあわせて示してある。いずれの場合にも実測資料と理論曲線はかなり正確に一致していてそれぞれの取扱いの妥当性を示しているが、図からわかるようにそれぞれの分離方法による資料を用いた場合の方が精度が高い。

また図-2は最大流量 Q_p と r_{mp} との関係を示したものであって、実測資料は図中の直線上にのる必要があるが、Horton 分離による資料よりそれぞれの分離

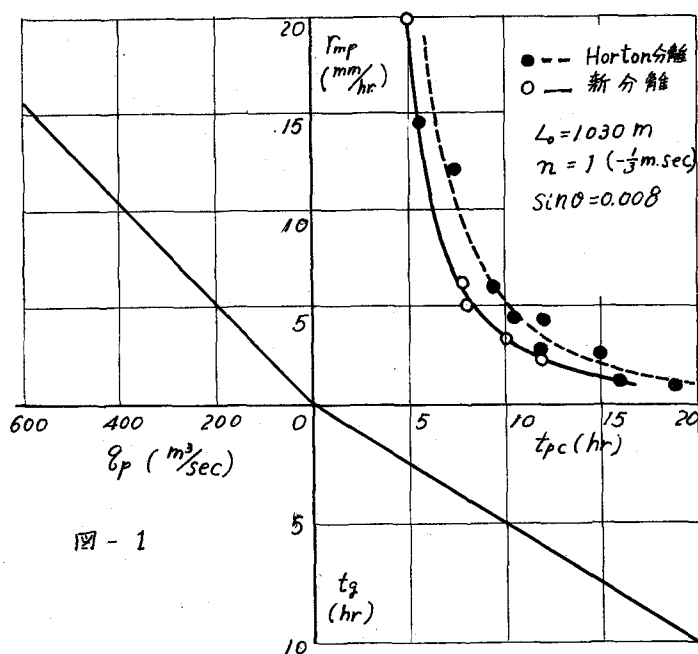


図-1

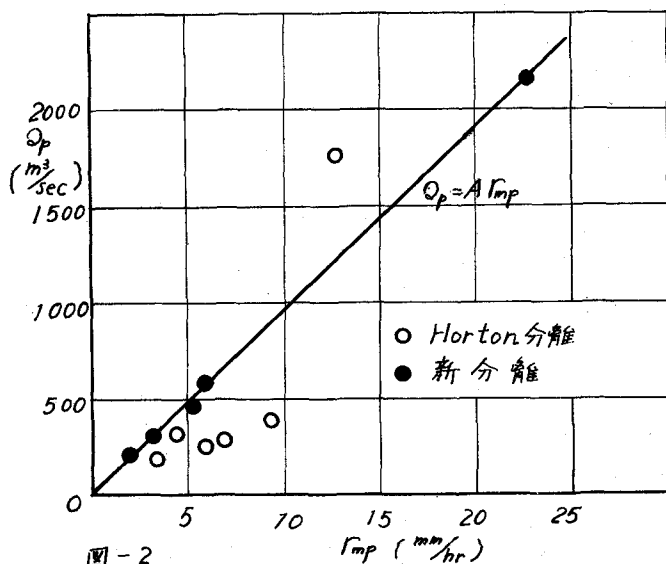


図-2

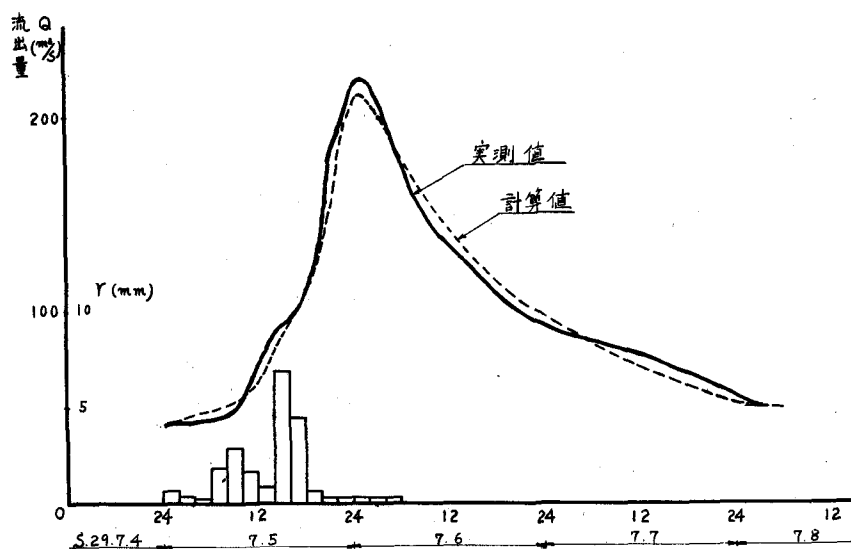


図-3

方法による資料を用いた場合の方が精度がよい。なお容易に推察されるように、 Q_p と t_{pc} の関係は物部公式における降雨強度をいかにとるかという問題に指唆を与える。さらに $t_{pc} \sim t_{mp}$ の関係から該流域の代表的な流下距離 L_0 を算出すると約1000mになるが、これは山地の流出現象は主として山腹斜面の特性によって支配されることを意味している。

昭和29年7月の降雨による出水を本方法によって計算した流量曲線と実測のそれとを示したのが図-3である。本方法の精度のよいことがわかる。

本方法を適用する際の注意や出水現象に付随する工学的問題への応用等の詳細については、講義時に述べることにする。