(Ⅱ－13) 合理公式における流入時間、流下時間、降雨継続時間、流出係数などの水理学的意義について

京都大学工学部　正員　末　石　富太郎

著者はさきに、特性曲線を用いた出水解析法の研究を行ない、特性曲線の近似計算法として対数図式法を提案し、さらに等価粗度係数の導入についても発表した。[1]　本研究はこの方法を市街地の下水道管きよにおける雨水流出量算定法に適用したものであり、従来の算定公式を批判検討するとともに、合理公式を適用するにあたつて、流出係数、流入時間、流下時間、降雨の継続時間などの水理学的意義を明確にしようとしたものである。

§1　従来の雨水量算定公式の検討

従来下水管きよにおける雨水流出量算定公式として用いられてきたうちの

$$Q = CiF\sqrt[4]{\sin\theta'/F} \cdots\cdots (1)$$

などの実験公式は次元的にも正しくないので、実測された土地と同条件のもとでないと適用できないのは当然である。Qは最大雨水流出量、Cは流出係数、Fは排水区域面積、iは降雨強度、θ' は排水区域の傾斜角である。従つて考え方としてはむしろ合理公式

$$Q = CiF \cdots\cdots (2)$$

の方が正しいが、Cによつてある割引きをしても、なお降雨が遅滞なく流出するものとする限り過大な雨水量を与えることになる。また合理公式は、Qを任意流量、Aを流積、Uを平均流速、qを降雨によつて供給される管きよ単位長あたりの流入量、xを距離、tを時間として、連続方程式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \cdots\cdots (3)$$

および運動方程式

$$U = \mathrm{const.} \cdots\cdots (4)$$

を基礎式として組立てられているものと解釈できるが、(4)式が不十分である点が欠点で、やはり厳密な運動方程式を用いる必要がある。

§2　対数図式法による標準特性曲線

通常の下水管きょの設計に際しては、管きょを比較的急勾配の開水路として取扱かうことができる。さらに多くの管きょの径深Rは$\mathcal{K}_0$, Zo を常数として

$$R=\mathcal{K}_0 A^{Z} \cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

なる関係式を満すことから、AとQに対して

$$A=\mathcal{K}_0 Q^{Z},\quad Z=3/(2Z_0+3),\ \mathcal{K}_0=\{n_M/(\sin\theta)^{1/2}\mathcal{K}_0^{\ 2/3}\}^{Z} \cdots (6)$$

を適用することにより、標準特性曲線上で

$$t=\mathcal{K}\, Q^{Z}/q \quad \text{および} \quad t=\mathcal{K}\, x\, Q^{(Z-1)} \cdots\cdots\cdots (7)$$

が成立する。n_Mは管きょ粗度係数、θは管きょの傾斜角である。次に排水区域から管きょへ供給されるqについては、降雨強度iおよび排水区域の等価粗度係数n_eを用い、xの代りにx′と書いて(7)式に対応する次式を得る。

$$\left.\begin{aligned} t&=\{n_e q/(\sin\theta')^{1/2}\}^{3/5}/i \quad \text{および} \\ t&=\{n_e/(\sin\theta')^{1/2}\}^{3/5} x' \; q^{-2/5} \end{aligned}\right\} \cdots\cdots (8)$$

§3　流入時間と流下時間

$t=0$から強度iの降雨が開始するものとする。$t=0$に排水区域上流端を出発した標準特性曲線が$t=t_B$に下流端へ到達すると、qは$t\geqq t_B$において一定値iBとなる。Bは排水区域幅である。従つて$t=t_B$に管きょ上流端を出発した標準特性曲線がその下流端に到達する時刻$t=t_B+t_{LS}$に下流端$x=L$における流量$Q_{L,max}=iBL$の一定値かつ最大となる。すなわち強度iの降雨は$t=T=t_B+t_{LS}$において停止してもよく、逆に降雨継続時間Tに対する強度はiであるとすればよい。t_B, t_{LS}がそれぞれ流入時間、流下時間に相当し、特にt_{LS}は特性曲線の最小到達時間である。(7)、(8)式によつてt_B, t_{LS}は次式によつて求められることになる。

$$B=(\sin\theta')^{1/2}\, i^{2/3}\, t_B^{5/3}/n_e,\quad L=(iB)^{(1-Z)/Z}\, t_{LS}^{1/Z}/\mathcal{K}^{1/2} \cdots (9)$$

§4　等価粗度係数の変化と流出係数

上述の場合等価粗度が$n_{e1}>n_e$なるn_{e1}となつたものとし、同じTに対するiを考えると、$t=T$においてqはiBに達せず$t=T+t_{\triangle x'}$まではi$(B-\triangle x')$を保つ。$\triangle x'$, $t_{\triangle x'}$は

$$B-\triangle x'=(\sin\theta')^{1/2}\, i^{2/3} T^{5/3}/n_{e1},\quad t_{\triangle x'}=n_{e1}\triangle x'/(iT)^{2/3}(\sin\theta')^{1/2} \cdots\cdots (10)$$

によつて求められ、もし$t_{LS}<t_{\triangle x'}$ならばこの場合の最大流出量は$t=T+t_{LS}$における$Q_{L,max,1}=i(B-\triangle x')L$となり、結局

$$Q_{L,max,1}/Q_{L,max}=(B-\triangle x')/B=(n_e/n_{e1})(T/t_B)^{5/3}\cdots(11)$$

となるから、最大流量は等価粗度に逆比例する。流出係数の定義としては、一般河川に用いられているような

$$C=\frac{〔総雨水流出容量〕}{〔総降雨容量〕}\cdots\cdots\cdots(12)$$

と、板倉博士の提唱[2)]のような

$$C=\frac{〔管きよへの最大流入流量〕}{〔降雨強度〕\times〔排水面積〕}\cdots\cdots(13)$$

の2つの考え方がある。上述の結果から、（13）式のCは等価粗度係数と同意義のものと考えられるが、$n_e=n_{e1}$のときは、通常流入時間を延長し、降雨継続時間を長くとつてiを減じてあれば、さらに（13）式のようなCを乗ずることには矛盾がある。従つて等価粗度係数を用いて（11）式によるか、あるいは(9)式によつてt_Bを求めてt_Bを延長し計画降雨強度を低くするかのいずれかでよい。

§5　降雨強度公式による降雨継続時間決定の問題

上述したn_{e1}なる等価粗度の排水区域で遅滞を生じないようにするためには流入時間t_{B2}と流下時間t_{LS2}の和T_2を継続時間とする降雨強度i_2を選べばよく、そのとき最大流量は$Q_{L,max,2}=i_2BL$となる。(9)式から

$$T_2=t_{B2}+t_{LS2}$$

$$=(n_{e1})^{3/5}/(\sin\theta')^{3/10}i_2^{2/5}+K(L^Z/(i_2B)^{(1-Z)},\cdots\cdots(14)$$

また（10）の第1式からは

$$T=\{n_{e1}(B-\triangle x')\}^{3/5}/(\sin\theta')^{3/10}i^{2/5}\cdots\cdots(15)$$

を得る。いま、$Q_{L,max,2}$と$Q_{L,max,1}$とを比較して、

$Q_{L,max,1}\geqq Q_{L,max,2}$すなわち$B-\triangle x'\geqq(i_2/i)B$なる仮定をすると、（14）、（15）式を組みあわせて

$$i_2T_2\leqq iT+K(i_2L)^Z/B^{(1-Z)}\cdots\cdots(16)$$

なる関係を得る。従つて、降雨強度公式の式形によつて、流集時間に等しいT_2より短かい継続

時間Tの降雨iによつて、たとえ遅滞を起していてもその最大流量$Q_{L,max,1}$の方が$Q_{L,max,2}$より大きくなり得ることがわかる。この点を設計時に特に留意すべきである。

以上のように等価粗度係数を用いることによつて、合理公式を適用する際に必要な種々の要素の水理学的意義を明確にし、かつそれらの具体的な計算方法をも明らかにすることができた。

なお本研究に際して御指導をうけた合田健教授に対し謝意を表する。

参 考 文 献

1) 末石富太郎：土木学会論文集、第29号（昭30）

2) 板倉 誠 ：土木学会論文集、第28号（昭30）