

II-49 等価粗度係数を用いた雨水流出量算定法について

京都大学工学部 正員 工博 末石 富太郎

1. 概説 合流式下水道の計画に際しては、単に管きよ断面を決定するための最大雨水流出量のみならず、合理的な放流量の設計・管理あるいは処理場の計画規模の決定などに対し、流出量曲線の形そのものをも正確に把握しておかなければならない。しかし従来用いられてきた実験公式は次元的にも正しくなく、実測された土地と同条件のもとでないと適用できないし、合理公式においても推定による要素が多いうえ、その成立根拠が

連続方程式 $\partial A / \partial t + \partial Q / \partial x = q$ (1), 運動方程式 $Q/A = \text{const.}$ (2)

にもとづくものと解釈でき、(2)式が不十分であることが欠点である。ただし q は管きよ単位長当りの降雨による流入量、 A は流水断面積、 Q は流量、 x は距離、 t は時間である。

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や等価粗度係数の導入について発表した。本研究はこの方法を市街地における下水道管きよに適用したもので、横行の合理公式を使用するにあたり、流出係数、流入時間、流下時間、降雨の継続時間などに対する水理学的な考え方を明確にするとともに、等価粗度係数の求め方などについても言及したものである。

2. 対数図式法による標準特性曲線 通常の下水管きよは比較的急勾配の開水路として設計することができる。さらに管きよの径深 R が次の(3)式を満たすことから(4)式が成立する。

$$R = \alpha_0 A^{Z_0} \text{(3), } A = \alpha Q^Z, \text{ ただし } Z = 3/(2Z_0 + 3), \alpha = \{\eta_M / (\sin \theta)^{1/2} \alpha_0^{2/3}\}^Z \text{(4)}$$

ここに α_0 , Z_0 は常数、 η_M は管きよの粗度係数、 θ は管きよ傾斜角である。(4)式を用いると

$$t = \alpha Q^Z / q \quad \text{および} \quad t = \alpha x Q^{Z-1} \text{(5)}$$

が標準特性曲線上で成立し、 q の変化を与えれば(5)式を利用して管きよ下流端 $x=L$ における Q の変化を求めうる。有効降雨強度 i から q を求めるには、 x の代りに x' と書いて、

$$t = \{n_e q / (\sin \theta')^{1/2}\}^{3/5} / i \quad \text{および} \quad t = \{n_e / (\sin \theta')^{1/2}\}^{3/5} x' q^{-2/5} \text{(6)}$$

が(5)式に対応してえられるから、(6)式を用いると排水区域幅を B として $x'=B$ における q を計算すればよい。 n_e が排水区域の等価粗度係数で、 θ' はその傾斜角である。

3. 流入時間と流下時間 合理公式の適用に際しては一般に流入時間と流下時間の和を降雨継続時間 T とするような有効降雨強度 i をとり、そのとき最大流量を $Q_{L,max} = iBL$ とする。上の方法によれば、 $t=0$ に降雨が開始したとして、 $x'=B$ における q は $t \geq t_B$ において一定値 iB となり、 $x=L$ では $t=T=t_B+t_{LS}$ において上述の $Q_{L,max}$ を出現することがわかる。 t_B は $x=0$ から B まで標準特性曲線が到達するに要する時間、 t_{LS} は $t=t_B$ に $x=0$ を出発した特性曲線が $x=L$ に到達するに要する最小時間で、これらがそれぞれ流入時間、流下時間に相当する。(5), (6)式によって t_B および t_{LS} は次のように計算される。

$$t_B = \{n_e B / (\sin \theta')^{1/2} i^{2/3}\}^{3/5} \text{(7), } t_{LS} = \alpha L^Z / (iB)^{1-Z} \text{(8)}$$

4. 等価粗度係数の変化と流出係数との関係 もし等価粗度係数が $n_{e1} > n_e$ なる n_{e1} となったものとし、同じ T に対する i を考えると、いわゆる遅滞現象を生じ、 $t=T$ には q は iB

に達せず、 $t=T+t_{ax}$ までは $i(B-\Delta x')$ を保つことになる。 $\Delta x'$, t_{ax} は次式から求められる。

$$\Delta x' = B - (\sin \theta')^{1/2} i^{2/3} T^{5/3} / n_{e1}, \quad t_{ax} = n_{e1} \Delta x' / (i T)^{2/3} (\sin \theta')^{1/2} \quad (9)$$

$t_{LS} < t_{ax}$ の場合には、最大流出量は $t=T+t_{LS}$ において $Q_{L,max,1} = i(B-\Delta x')L$ となり、結局

$$Q_{L,max,1} / Q_{L,max} = (B-\Delta x') / B = (n_e / n_{e1}) (T / t_B)^{5/3} \quad (10)$$

とかけるから、最大流出量は等価粗度に逆比例するといえる。一方流出係数 C の定義には、

$$C = \int_0^T Q_L dt / i' T B L \quad (11), \quad C = Q_{L,max} / i' B L \quad (12)$$

のごとき2つの考え方がある。ただし i' は実際降雨強度である。(10)式の結果を参照すれば(12)式の C が等価粗度係数と同意義のものと考えられるが、粗度が n_{e1} のときにもし流入時間を延長し降雨継続時間を長くとして i を減じてあれば、さらに(12)式のような C を乗ずることは矛盾である。従って等価粗度係数を用いて(10)式によるか、あるいは(7)式によって t_B を求め T を延長して計画降雨強度を低くするかのいずれかの方法によるべきである。

5. 降雨強度公式と計画降雨継続時間との関係 上述の計算法選択の問題は次のようにして決定できる。等価粗度 n_{e1} の排水区域で遅滞を生じないようにするには、流入時間 t_{B2} と流下時間 t_{LS2} の和 T_2 の継続時間に対する降雨 i_2 をとればよく、 T_2 は(7),(8)式をもとにして、

$$T_2 = t_{B2} + t_{LS2} = (n_{e1} B)^{3/5} / (\sin \theta')^{3/10} i_2^{2/5} + x L^Z / (i_2 B)^{1-Z} \quad (13)$$

と計算できる。この場合の最大流出量 $Q_{L,max,2} = i_2 B L$ が $Q_{L,max,1}$ より小すなわち $B-\Delta x' \geq i_2 B / i$ と仮定すれば、この関係を(9)の第1式に代入し、(13)式と組み合わせることにより、

$$i_2 T_2 \leq i T + x (i_2 L)^Z / B^{1-Z} \quad (14)$$

の関係を得る。従って降雨強度公式の式形によって、 T_2 より短い継続時間 T の降雨 i によって、たとえ遅滞を起していても $Q_{L,max,1}$ が遅滞のない場合の $Q_{L,max,2}$ を卓越しうることになる。損失降雨を一歩と考えるとこの傾向はより顕著となるので、設計時に注意を要する。

6. 等価粗度係数の合成 以上の考察は最も上流端の排水区域に限って論じたのであるが、上述の各結果は、漸次下流側の管きよを取り扱う場合にも適用できる。しかし数式表示が複雑となるので、むしろ等価粗度係数の考え方をもちと拡張し、側溝、支線きよさらにある程度の幹線きよをも一括した大きな排水区域を考えれば、流出量の実測によって等価粗度係数を逆算しうる。しかしここでは上流端の n_e をもとにして理論的に大きな区域の粗度 N_e を求める式を示しておく。右図のごとく幅 L/n 、長さ B の上流端排水区域 n 個を包含して新たに1つの排水区域とすると、 $x=L$ における最大流出量 $i B L$ が、計算を分割しても一括しても降雨開始後の同時刻に現われるものとする、(7),(8)式を利用しかつ Z の実際値を考慮すると、次の近似式を得る。

$$N_e^{3/5} = (n_e L / n B)^{3/5} + n_m^Z (n / L)^{1-Z} / x_0^{2Z/3} \quad (15)$$

n/L は単位面積あたりの管きよ線密度を示し、(15)式を用いて図のような合成をくり返してゆけば、さらに大きな排水区域を一括して取り扱える。従って n_e さえわかっておれば、実際の管きよ敷設状況を調べて図のように系統化しさえすればよい。また、円形管きよを用いるときには、(15)式右辺の分母が口径にほとんど無関係となるため、管きよ経路さえ決定すればただちに流出量が計算でき、最後に口径を決定できるので、きわめて便利となる。

