

管路における平均流速式の諸係数の問題点

日本工学会 正会員・藤田 豊
日本工学会 正会員 安田 稔 輔

よえがき いま、管路などの流量を計算しようとして、水理公式集や参考書などをひもといてみると、その適用限界があるにしても必ずしも明確ではなく、経験式や合理式と称される式が数多くあり、市町村の初級技術者にとってほどの式を使用すべきが大変困ってしまう。また、よしなば専門分野や管轄官庁あるいは役所によって使用するべき式と指定されるとしても、正しい設計計算とすることになるのだからという疑問が残るはずである。よさか、物理的条件やその他の条件の等しい水路に、やはり管轄する官庁や役所などの違いによって、実際にそこを流れる流量や流速が異なるとは考えられない。にもかかわらず、この事実にはほとんど触れようとせず、「C」や「n」の値を適当に選り、式の適用に際しても、凡数などの適用範囲を誤らなければ適合性が良い。」と述べられているのが現状である。

上述しているように、はたして目下市町村に与えられている資料などから正しいCやnなどを選り、適用限界を誤らず諸式を運用できるのかどうかということと資料をながめながら考えよう。

1. 平均流速式の適用条件について

まず、市町村の初級者が水理学的問題を解こうとして、諸平均流速式などを調べようとするとき、最も一般的で信用できる文献の一つとして「土木学会編・水理公式集」を挙げることはできる。本報では、主にこれを参照し、管路の平均流速式の適用限界を調べ列記する。注) 以下の参照箇所は主として、昭和46年度版第4編 上下水・水質保全編 2・1 平均流速式(379~385頁)

a) Hazen-Williams:

$$V = 0.34935 C R^{0.63} I^{0.54}$$

上水道送配水管設計用(米国、日本)

- $D=300 \sim 1200 \text{ mm}$, $I=(0.2 \sim 2) \times 10^{-2}$, $C > 100 \sim 120$
..... (条件1)

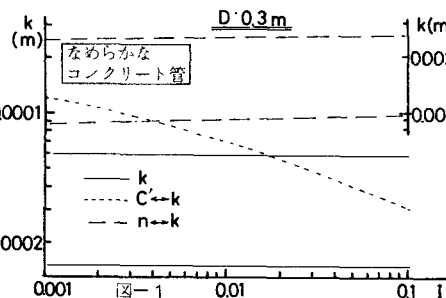
- 塩化ビニール管 $V \geq 1.5 \text{ m/sec}$ } (条件2)
- $C=145 \sim 152$ なら $D < 50 \text{ mm}$ まで可

- きわめてなめらかな管, $C=150$ (条件3)
- $R \leq 0.1 \text{ mm}$ の滑らかな管 (条件4)

b) Manning: $V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$

河川・開水経路設計用の代表的な指数型式

- 本式の適用範囲に促進すべきである(382頁, 上3行)
- 上水道管にも使用すべきである(382頁, 上5行)
- 尾が太かつ粗面管
..... (条件1)
- $R \leq 0.1 \text{ mm}$
..... (条件2)



D=0.3m

なめらかな
コンクリート管

なめらかな
コンクリート管

図-1

代表的管種	C, n, k の値	取 の 状 況
新しい塩化ビニール管	$C' = 145 \sim 155$ $n = 0.009 \sim 0.012$ $k = 0 \sim 2 \times 10^{-6} \text{ m}$	きわめて平滑
なめらかなコンクリート管	$C' = 140$ $n = 0.012 \sim 0.014$ $k = (15 \sim 6) \times 10^{-5} \text{ m}$	(コンクリート管の最大値) スチールフォーム使用 粗目平滑

表-1 (水理公式集 p.384 より抜粋)

係数 C', n の決定法		
C'	$\bar{k} = 0.0000375 \text{ m (平均値)}$ $\bar{D} = 0.6 \text{ (中央値) m}$ $\bar{V} = 1.65 \text{ m/sec (平均値)}$	$\Rightarrow \bar{\lambda} = 0.0131 \Rightarrow \bar{C}' = 147$ (C-W)
$\bar{n}$	$\lambda = \frac{V^2}{R} \Rightarrow \bar{n} = \sqrt{\frac{\lambda D^{13}}{12.7 g}}$ N: 個数	(例) $D: 0.3 \text{ m}$ $\bar{\lambda} = 0.0165$ $\bar{n} = 0.00942$

表-2

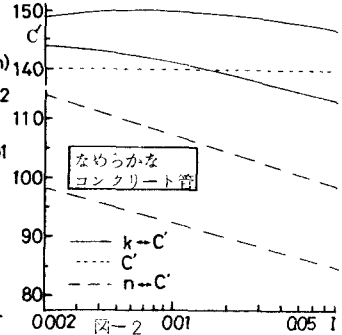


図-2

c) Moody 線図などの利用

理論的な対数式 $\left\{ \begin{array}{l} \text{なめらかな円管の式} \\ \text{粗い円管の式} \end{array} \right.$

Colebrook-White: $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1.14 - 2 \log \left(\frac{k}{D} + \frac{0.35}{D^{1.25} \sqrt{\lambda}} \right)$
対数式の間遷移領域

Moody, Rouse 線図: Colebrook-White 式のノモグラム化

c)の方法が最も合理的かつ理論的である(382頁)

§2. 理論的考察および問題点

表-1および前号のa)~c)までの事項から、はたして適用限界を誤らず、かつ妥当な係数を定め式の正しい運用が可能なのだろうか。表-1には同一条件の水路に対する C 、 n 、 k の値が示されている。これらの係数を用い、同一条件下の水路の流量を各式で求めてみると以降に示すように差異が生じる。

図1~3は、表-1の各係数の相互の換算を比較したものであるが、これより諸係数間にはあまり関連性はなく定められていることが分かる。ちなみに、表-1の諸係数を用い、 $D=0.3$ mのなめらかなコンクリート管の流速を求め比較すると図-2となりかなり差異が生じる。さて、 k を用いるc)の方法が最も理論的かつ合理的な計算方法であると云われているので、これを認め、 k の平均値を用いColebrook-Whiteの式による流速 V_{c-w} を正しいものと仮定し、表-1あるいは表-2の計算方法により、流速の実用範囲(0.3~3.0 m/s)における V_{n-w} 、 V_{C-w} と V_{c-w} との相対誤差を示すと図-4,5(表-1:実線、表-2:破線)となる。

図-4より、Hazen-Williamsの式は表-1あるいは2のいずれの方法で計算しても、実用範囲においてほぼ5%以内の誤差にあるが、表-2の方がより精度の高いことが分かる。

図-5より、Manningの式は表-1による計算値は大きい誤差を生じ、表-2の計算方法によっても10%以内におさめるのがせいっぱいである。

図-6は、表-1の係数を用いて計算したI-V、図-7は表-2の計算法によるI-Vの

関係である。これらの図から、表-2の計算方法によるものは、従来の表-1による値より精度が高く、H-W式は直径32~150 mm位のコンクリート管に適用できることが分かる。また V_M は10%の誤差は免れないようであり、今後、さらに検討しなければ相対係数 n よりの計算値は信ぴょう性が乏しくであろう。

<参考文献> i) 土木学会編(昭和46年改訂版): 水理公式集

ii) 安田積頼・藤田 豊: 管路の諸平均流速式と諸係数について、日本工学会第20回学術研究報告会概要集, 昭52.12.

