

日本工芸学部 正会員・藤 田 豊
日本工芸学部 正会員 安 田 禎 輔

まづがき 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 われわれ初級技術者にとってはどの式を使用すべきが大変困ってしまう。また、よしん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を指定されたとしても、正しい設計計算をしたことになるのだろうかという疑問が残るはずである。まさか物理条件やその他の条件の等しい水路にそれを管轄する官庁や役所などの違いによって実際にその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の値を適当に選び式の適用に際しても係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。上述されているように、はたして目下われわれが与えられている資料などから正しいC'やnなどを選び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を資料をながめながら考えてみたい。

と1 平均流速式の適用条件について
まず、われわれ初学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」を挙げる事ができる。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)

代表的管種	C'・n・k の値	壁 の 状 態
新しい塩化ビニール管	C' = 145~155 n = 0.009~0.012 k = 0~2×10 ⁻⁶ m	きわめて平滑
なめらかなコンクリート管	C' = 140 n = 0.012~0.014 k = (1.5~6)×10 ⁻⁶ m	(コンクリート管の最大値) スチールフォーム使用 継目平滑

表-1 (水理公式集 p 384 より抜粋)

- a) Hazen-Williams: $V=0.84935 C' R^{0.63} I^{0.54}$ (H-W式)
上水道配水管設計用(米国 日本)
• $D=300\sim1200\text{mm}$, $I=(0.2\sim2)\times 10^{-3}$, $C'>100\sim120$ ……(条件1)
• 塩化ビニール管 $V\geq 1.5\text{m/sec}$
 $C'=145\sim152$ なら $D<50\text{mm}$ でも可 (条件2)
• 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)

係 数 C n の 決 定 法	
$\bar{k} = 0.0000375\text{ m (平均値)}$ $\bar{D} = 0.6\text{ m (中央値)}$ $\bar{V} = 1.65\text{ m/sec (平均値)}$	$\Rightarrow \bar{\lambda} = 0.0131 \Rightarrow \bar{C}' = 147$ (C-W)
$\bar{\lambda} = \frac{\sum \lambda}{N} \Rightarrow \bar{n} = \sqrt{\frac{\lambda D^5}{12.7 g}}$ N: 個数	(例) $D: 0.3\text{ m}$ $\bar{\lambda} = 0.0165$ $\bar{n} = 0.00942$

表-2

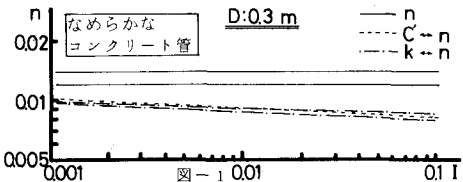


図-1

- b) Manning: $V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$ (M式)
河川・開水路設計解析用の代表的な指数型式
• 本式の適用をさら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)
• 配管がよかつ粗面管……(条件1)
• $R\geq 0.1\text{mm}$ ……(条件2)

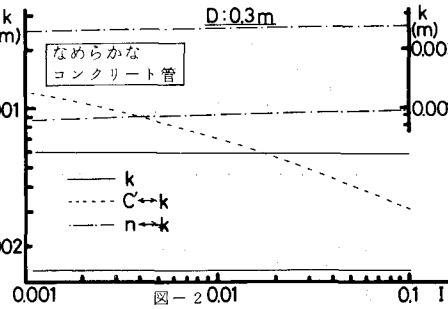


図-2

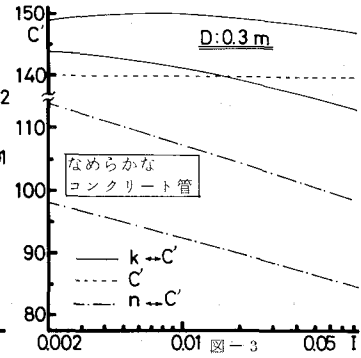


図-3

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: $\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2 \log \left(\frac{k}{D} + \frac{2.35D}{v_* \sqrt{2gI}} \right)$ (C-W式)
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)

ろ2. 理論的考察および問題点 表-1および前らの(a)~(c)の各項からはたして適用限界を越え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, m, R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ると以降に示すように差異を生ずる。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が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=0.3m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4となりかなり差異が生じる。さて我々を用いるC)の方法が最も理論的かつ合理的な計算法であるといわれているのでこれを認め、Rの平均値を用いC-W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(0.3~3.0m/sec)における v_{H-W} , v_M を計算し、 v_{C-W} との相対誤差を示すと図4, 5(表-1:一点鎖線, 表-2:実線)となる。

図4より、H-W式は表-1あるいは表-2のいずれの方法で計算しても実用範囲においてはほぼ5%以内の誤差におさまるが表-2の方がより精度の高いことが分かる。図5より、M式は表-1による計算値は大きい誤差を生じ、表-2の計算法によっても10%以内におさめるのがせいぜいである。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式は管径0.2~1.5m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る。

ろ3. むすび 表-1の諸係数間にはあまり関連性は認められなかった。しかし、C-W式に対してH-W式は滑らかなほど、M式は粗いほど補正し易い。表-2の係数決定法より、H-W式の修正値 $\bar{C}$ を用いた計算値で許容誤差を5%とするならば滑らかなコンクリート管ほど適用できよう粗い管では実用流速範囲内で補正しようとしても誤差が大きくなり補正が困難である。また、M式の修正値 $\bar{m}$ の場合は逆に粗いほど適合性は増し新しい鉄管より粗い管に対して相対誤差4%以内で適用できる。したがって、今後これらの諸係数を用いて水理計算を行う場合、C-W式, M式, H-W式の関連性ならびに諸平均流速式の真の適用限界を究明しなければ安易に表-1中の管種による諸係数の選定では誤った水理設計計算につながる恐れがあるし、また実測値より、これらの諸係数を問いなおさなければならぬと考えられる。〈参考文献〉i) 土木学会編(昭和46年改訂版):水理公式集

ii) 安田植輔・藤田豊:管路における平均流速式の諸係数の問題点, 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要昭53

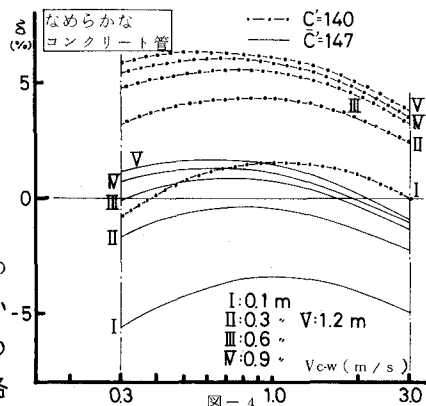


図-4

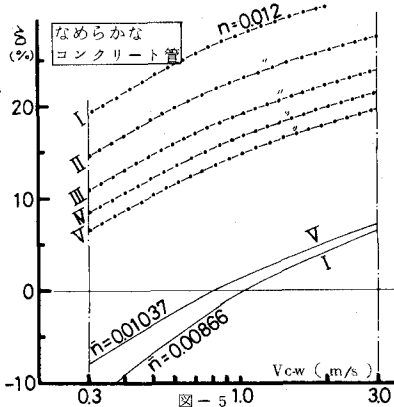


図-5

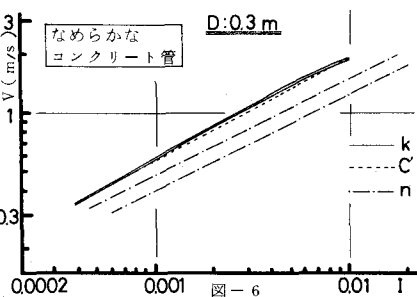


図-6

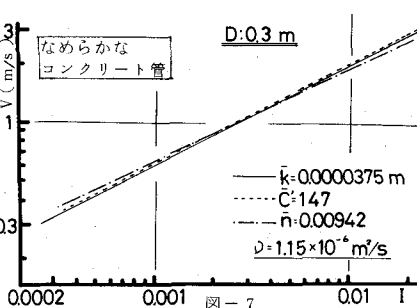


図-7