

II-413 円管内部分流平均流速公式の改良

北海道大学工学部（正）船水尚行，（正）高桑哲男

1. はじめに

下水管きょとして円形管が多用されており，円管の水深と平均流速，流量の関係は下水管きょの設計解析の基礎となる。従来より，円管の水深と平均流速の関係はマンシング式を用い，粗度係数 n を一定として計算されてきた。しかし，粗度係数を一定とした計算による円管の水力特性曲線は実際の円管の特性を正確に表現できないことがCamp¹⁾によって実証され（図-1中○印（マンシング式粗度一定），●印（Camp）），水深によって粗度係数が変化すると説明されてきた。

本報告では壁面の粗度に関する係数は管壁材質によって決まり一定であるべきと考え，径深の表現を改良し，満管から部分流（開水路流れ）状態までを表現できる平均流速公式を求めた結果を示す。

2. 平均流速公式の導出

Chow²⁾ が水深 d と管径 D の比が $1/3$ ， $1/2$ ， $2/3$ の円管内部分流について断面内の流速分布を実測した結果を参考にして以下のように部分流状態の流速分布を近似した。

- (1) 等流速線は管中心を中心とする同心円となる。
- (2) 半径方向の流速分布は粗面域の対数分布則に従う。

この仮定のもとで断面平均流速 V を求めると

$$V = C \cdot U_* \quad \text{----- (1)}$$

$$C = \frac{1}{A} \int [8.5 + 5.75 \log(r/K)] dA \quad \text{----- (2)}$$

ここで A は断面積， U_* は摩擦速度， K は絶対粗度， r は中心からの距離

を得る。 U_* を従来どおり

$$U_* = \sqrt{g R I} \quad (R: \text{径深}, I: \text{勾配}) \quad \text{--- (3)}$$

とし，対数分布則による流速の半径方向分布の計算結果（図-2中破線）とChowの実測結果を比較すると，流速分布を正確に表現できないことがわかる。そこで，粗面開水路の最大流速点は水面より下に位置する³⁾ことを参考にして，流速分布を正確に表現するの新たな径深 R' は，壁面摩擦と表面摩擦の両方を含む形で潤辺 P と水面幅 T によって

$$R' = \frac{A}{P + \alpha T} \quad \text{----- (4)}$$

$$U_* = \sqrt{g R' I} \quad \text{----- (5)}$$

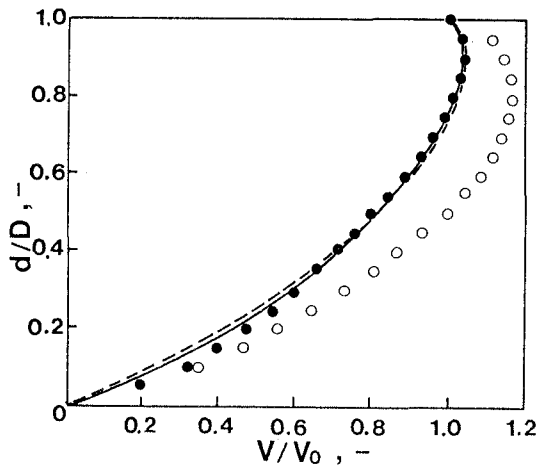


図-1 円管の水力特性曲線

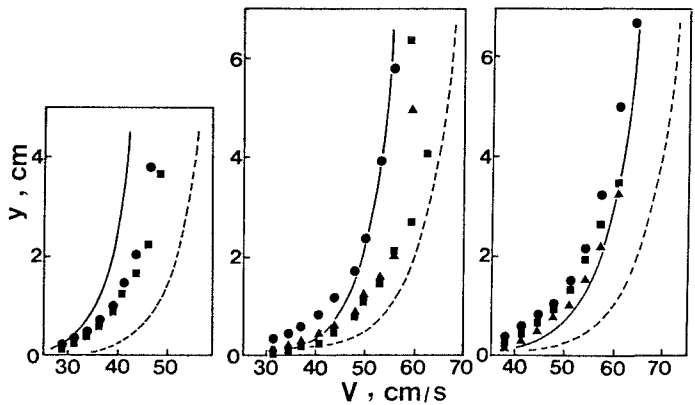


図-2 半径方向の流速分布

のように表現可能と仮定し、式(1), (4), (5)を用いた水理特性曲線の計算結果が図-1のCampの結果と一致するような α を求めたところ

$$\alpha = 0.41 + (d/D)^{-0.47} \quad (6)$$

という近似式を得た。この α の値を用いて半径方向の流速分布を計算した結果を図-2中に実線で示す。実線は式(3)を用いた結果（破線）よりも良い近似となっていることがわかる。また、式(1), (2), (4)~(6)による水理特性曲線は図-1の破線のようになり、Campの得た水理特性曲線の良い近似となっている。

3. 平均流速公式中の係数C

平均流速公式（式(1)）中の係数Cは水深と管径の比（ d/D ）に依存せず、管壁の粗度のみの関数であることが要請される。ここでは式(2)の数値計算により係数Cの表現について検討する。

式(2)による係数Cの計算結果を相対粗度（ K/D ）をパラメータとし、 d/D の関係として示すと図-3のようになる。係数C

の値は d/D の値によって変化しているが、満管時（ $d/D=1$ ）のCの値をすべての水深に適用し、Cを一定と仮定した水理特性曲線の計算結果（図-1中実線）はCの値の変化を考慮した場合（図-1中破線）とほとんど差がなく、満管時のC値を用いても良い近似となることがわかる。したがって、係数Cは水深・管径とは無関係で、相対粗度の関数とみなすことが可能である。

次に、満管時のC値と相対粗度の関係をプロットすると図-4のようになり、Cと相対粗度の関係は

$$C = 6.286 (K/D)^{-0.16} \quad (6)$$

と近似することができる。

4. まとめ

Campが示した円管の水理特性曲線を近似する平均流速公式をChowの実測結果を参考にして導出した。今回得られた流速式の特徴は(1)径深 R' が潤辺と水面幅を用いて表現されている、(2)係数Cは管の相対粗度のみの関数である、ところにあり、マニング式よりも現実に近い値を得ることができる。

おわりに、本研究にあたって大学院学生山下誠一君の多大な協力を得た。記して謝意を表する。

〔参考文献〕(1)T. R. Camp, Sewage Works J., vol. 18, pp. 1-16, 1946

(2)V. T. Chow J. A. Replogle, J. of the Hydraulic Div. ASCE, vol. 92, HY2, pp. 169-191, 1966

(3)V. T. Chow, Open-channel Hydraulics, International student edition, p. 25, McGraw-Hill

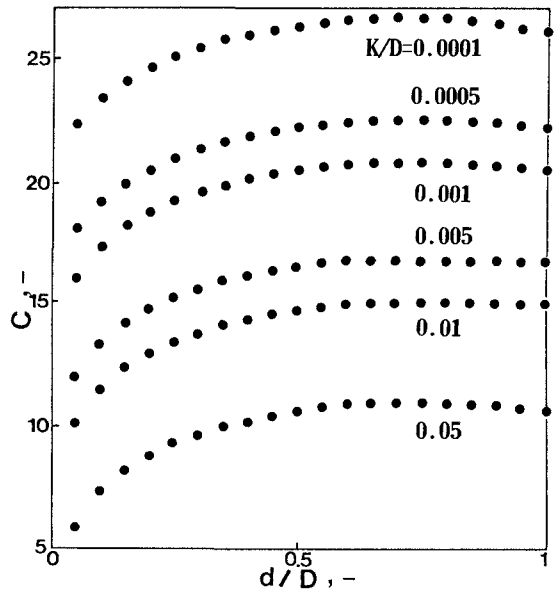


図-3 Cと d/D の関係

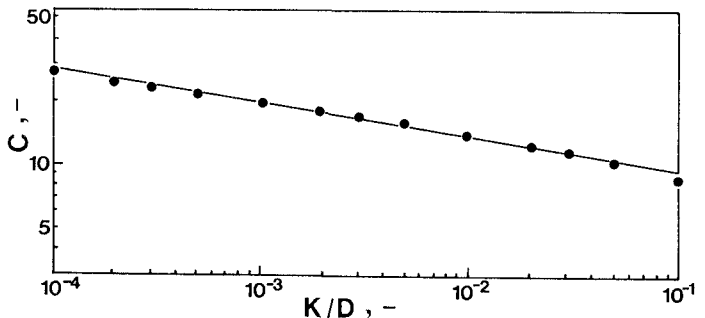


図-4 Cと K/D の関係