

II-160 管路の平均流速に関する一提案 (第2報)

—層流領域と2, 3の問題点—

日本大学工学部 正 員 ○安 田 禎 輔

〃 〃 藤 田 龍 之

〃 〃 藤 田 豊

まえがき 前報では、乱流における *Reynolds* 数 Re と抵抗係数 ζ が、両対数紙上で直線分布することを実験的に確かめ、この事実より平均流速式の一般式を半理論的に求め、この式が成立することを実験により確かめ、かつ実験式を示した。本報においては、層流においても上記の Re - ζ 関係および半理論式が成立することを示し、また、*Hagen & Poiseuille* の式との比較ならびに、層流、乱流の特性について述べる。

§-1 レイノルズ数と抵抗係数

管路の平均流速に関する安田の半理論式

$$V = k C k C_s \frac{g^{m'}}{2^{2m'} \sqrt{2m'-1}} d^{n'} I^{m'} \quad \text{----- (1)}$$

$$n' = 3m' - 1 \quad \text{----- (2)}$$

の誘導仮定は、レイノルズ数 Re と抵抗係数 ζ との関係が、両対数方眼紙上において直線分布することである。Fig-1 は、 Re - ζ の関係が、両対数紙上で直線分布することを示している。したがって、上記仮定が、層流領域においても正しいことが立証された。ただし、データの整理は、 C, G, S 重力単位を用い、また、 $Re = Vd/\nu$ 、 $C = \frac{1}{2} \frac{g d}{V^2} I$ 、とした。

§-2 動水勾配と平均流速

Fig-2 は、 I と V との測定値であり、 I - V 関係が両対数紙上において直線分布していることが分かる。したがって、 I と V の関係は、次式

$$V = k' I^{m'} \quad \text{----- (3)}$$

で示される。ここで(3)式の m' を最小自乗法により求め、各々の平均値をとると

$$m' = 0.971 \quad \text{----- (4)}$$

となる。

Fig-3 より、 m' は d に無関係であり、流れの領域(目下のところ層流と乱流領域)で固有の値をとることが分かる。

§-3 k' と d との関係

Fig-4 により、 k' と d との関係は次式

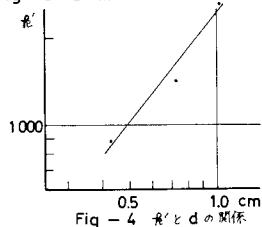
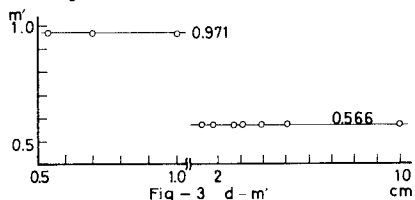
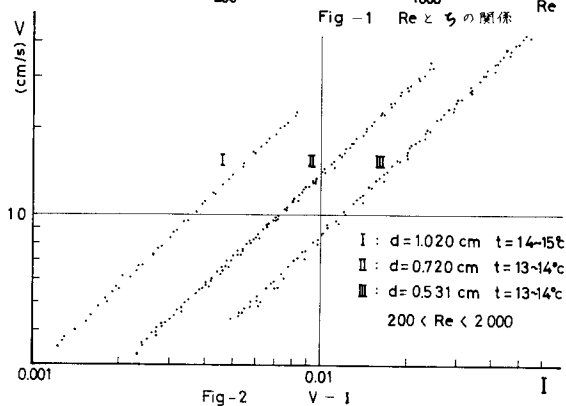
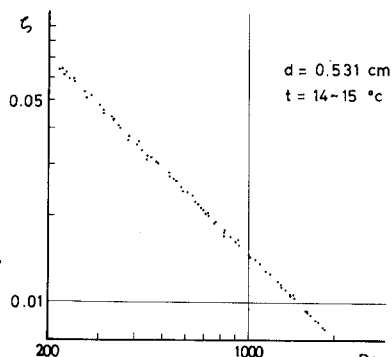
$$k' = C d^{n'} \quad \text{----- (5)}$$

で示される。この関係より、 C と n' を求めれば、 $C = 2327$ 、 $n' = 1.817$ となり、この値と(4)式の値を(2)式に代入して求めた値

$$n' = 3 \times 0.971 - 1 = 1.913 \quad \text{----- (6)}$$

とを比較すると、ほぼ95%の精度で一致し、(2)式の成立することが実証された。

ただし、目下のところ、 k' - d の測定値が少ないため、 n' の値としては、(2)式より求めた(6)式の値を用い、各々の C を求め、この平均値を今回の C の値とした。



§-4 実験式とHagen & Poiseuilleの式との比較

以上のことがらより、本報における実験式としては、C.G.S単位で次式を得た、

$$V = 2327 d^{1.913} I^{0.971} \quad \text{----- (7)}$$

$$200 < Re < 2000, \quad 0.531 \text{ cm} < d < 1.020 \text{ cm}$$

一方、Hagen & Poiseuilleの式は(1)式より求めることができる。すなわち、従来に与えられていた層流の条件 $m' = 1$ を(1)式に代入して

$$V = C' \frac{g}{V} d^2 I, \quad C' = \frac{1}{32} \quad \text{----- (8)}$$

を得る。ここにおいて、 C' は実験定数であるが、Poiseuilleの式においては、 $C' = 1/32$ となる。

Fig-5は、層流における測定値と実験式(7)およびHagen & Poiseuilleの(8)式との比較である、各式とも、測定値と非常によく一致しているが、(8)式の方が、やや測定値より勾配が急であり、 I すなわち Re または V が小さくなると、実測値よりはずれてくる。管径 $d=1\text{cm}$ 付近では、(8)式も測定値と合うが、さらに、 d が小さくなるにしたがって、(8)式は、ますます測定値より小さ目になってくる。現在 $d > 1.02\text{cm}$ の場合の測定値はないが、 $d > 1\text{cm}$ になると(8)式の値は、逆に、大き目になるのではないかと考えられる、と云うのは、 d の指数 $n'=1.913$ のに対し、(8)式においては $n'=2$ となっているから、 $d=1\text{cm}$ においては、(7)式も(8)式も同じような値を示すが、 $d \neq 1\text{cm}$ の場合には、(8)式の値は実測値よりはずれてくるものと推定される。

§-5 層流と乱流の特性

本報および前報により、滑らかな管においては、半理論式(1)および(2)式の成立することが確かめられた。

Fig-6は両領域における I - V 関係であり、Fig-7は、 Re - Re 関係である。また、これらのデーターは共に、 V の小さい方から大きい方へと増加あるいは減少させていった場合の往復に対する測定値である。

従来、往復によって限界レイノルズ数 Re_c には、上限界レイノルズ数と下限界レイノルズ数があり、特に上限界レイノルズ数には一定値なるものがないと述べられていた。このような意味での2つの限界レイノルズ数は、本報においては、認められなかった。どんなに注意深く実験を行なっても、往復路とも同じ路線を通った。

また、従来、層流領域での m' の値は1であり、乱流領域での m' の値は0.5であると考えられていたが、本報までの研究により

$$V = C d^{n'} I^{m'}$$

において、

$$\text{層流領域} \quad m' = 0.971$$

$$n' = 1.913$$

$$\text{乱流領域} \quad m' = 0.566$$

$$n' = 0.698$$

なることを得た。

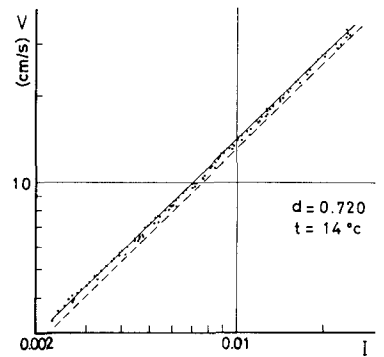


Fig-5: (7)式と Poiseuille 式との比較

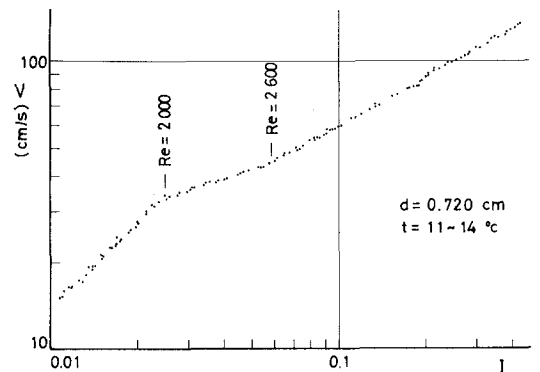


Fig-6 遷移領域

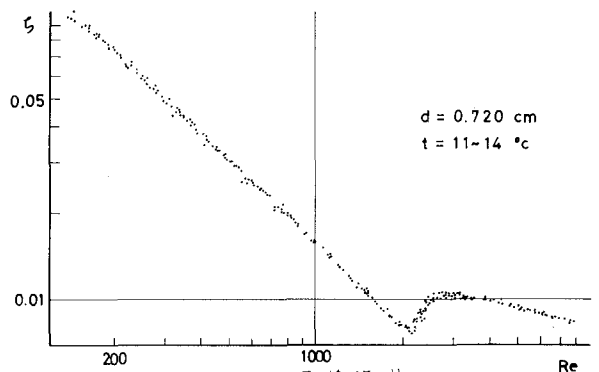


Fig-7 遷移領域