II-161 管路の平均流速に関する一提案（第3報）
－摩擦損失と損失係数－

日本大学工学部　正員　安田禎輔
〃　○学生員　古河幸雄
〃　研究生　浦田信一

まえがき，現在，摩擦損失水頭h_Lを計算するには*Darcy-Weisbach*の式が用いられている。この式によると，h_Lは流速vの2乗に比例している．しかし，実際には，h_Lはv^2に比例してない．仮に，*Darcy-Weisbach*の式が成立するとしても，その係数（摩擦損失係数f）は*Reynolds*数や相対粗度ε/dなどの関数すなわち変数となり，その計算式は非常に煩雑であり甚だ不便である．

この損失係数fがReすなわち，管径dやvなどの関数となるのは，実際には，h_Lが速度水頭$v^2/2g$に比例しないにもかかわらず，*Darcy-Weisbach*は比例するものとしたためであり，したがって，fをvやdの関数，すなわち，変数とすることによって補正しているのである．

本報においては，前報までの理論にしたがって，摩擦損失水頭の一般式を示し，滑らかな管の乱流において上式が成立することを示し，かつ管壁や管形，水温などを一定に保てば，dやvに関係なく定数となることを示す．

§-1　摩擦損失水頭と損失係数

平均流速の式は，第1報で示した通り

$$v = k C_k C_s \frac{g^{m'}}{\nu^{2m'-1}} R^{n'} I^{m'} \qquad \text{------}(1)$$

$$n' = 3m' - 1$$

で示される．上式より　摩擦損失水頭h_Lの一般式を求めれば

$$\boxed{h_L = f \frac{\nu^m}{g} \frac{L}{R^{m+1}} v^{2-m}} \qquad \text{------}(2)$$

$$m = \frac{2m'-1}{m'} \quad , \quad f = m'\sqrt{\frac{1}{k C_k C_s}}$$

となり，従来（*Darcy-Weisbach*）のように，h_Lを速度水頭で表わすと次式となる．

$$h_L = f' \left(\frac{\nu}{\sqrt{2g}}\right)^m \frac{L}{R^{m+1}} \left(\frac{v^2}{2g}\right)^{\frac{1}{2m'}} \qquad \text{------}(3)$$

$$f' = 2f$$

上式において，$m' = 0.5$とおけば$m = 0$となり，上式は

$$h_L = f' \frac{L}{R} \frac{v^2}{2g}$$

となる。この式は*Darcy-Weisbach*の式である。しかし，*Chézy*の式（*Darcy-Weisbach*の式より求められる）が成立しないといわれているように，我々もまた$m'=0.5$の流れを実験的には確認していない。

つぎに，摩擦損失係数fは(2)または(3)式より次式となる．

$$\boxed{f = \frac{g R^{m+1}}{\nu^m} \frac{I}{v^{2-m}}} \qquad \text{------}(4)$$

または

$$\boxed{f = m'\sqrt{\frac{1}{k C_k C_s}} = m'\sqrt{\frac{1}{C'}}} \qquad \text{------}(5)$$

$$C' = k C_k C_s$$

(4)式はI，vなどの実測値より求める場合の式であり　(5)式は平均流速の実験式より求める場合の式である。

$$C = \frac{g^{m'} C'}{2^{2n'} \nu^{2m'-1}}$$

とおけば，(1)式は $v = C d^{n'} I^{m'}$ となり，(5)式は

$$\boxed{f = g/2^{\frac{2n'}{m'}} C^{\frac{1}{m'}} \nu^{m}} \qquad \text{------ (6)}$$

となる。

§-2 実験的考察

第1報で示したごとく，$2000 < Re < 100000$，$1.32cm < Re < 4.01cm$（現在は $0.531cm < d < 10.02cm$），$12°C < t < 17°C$ において，$m' = 0.566$，$n' = 0.692$，$C \fallingdotseq 281$ であるから，この場合の f を求めると(6)式より

$$f = \frac{980}{2^{2.44} \times 281^{1.77}} \cdot \frac{1}{\nu^{0.233}}$$

となる。（本報においては，すべてC.G.S単位を使用）

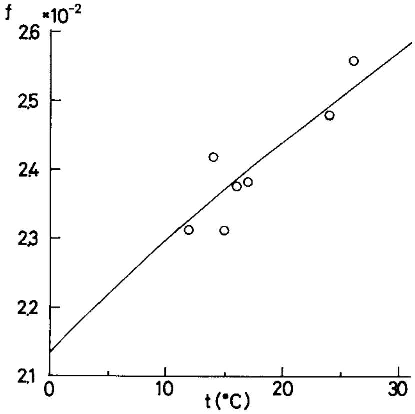

Fig-1 水温とfの関係

Fig-1の実線は上式によるグラフであり，プロットの点は $1.32cm < d < 10.02cm$ の円管（硬質塩化ビニール管）に対する実測値から(4)式により求めた値である。このことがらによる通り，f は t に大きく左右されることはない。したがって，実用的には水温11°C～23°C位と考えられるので，$f = 0.023 \sim 0.025$ の中央値を取り，$f = 0.024$ としても大きな誤差はない。

Fig-2は，管径 d と f との関係であり，f は d に左右されないことが分る。

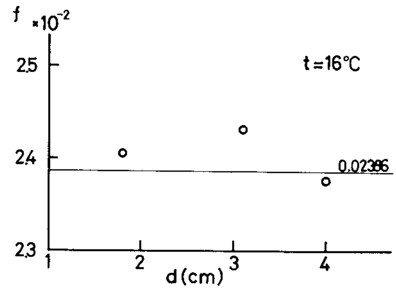

Fig-2 dとfの関係

Fig-3は，同一管路における v，I の測定値と，これに対応する f との関係である。これより f の値は v や I の値によって変化しない。

以上のことがらより，摩擦損失係数 f を(2)式で定義し，(4)～(6)式で表わせば，管の形や壁面，水温などを一定に保もてば，従来用いられていたDarcy-Weisbachの係数と異なり，v や I，あるいは d や R に関せず定数となる。また(2)，(3)式の成立することは前報までに示した通りである。

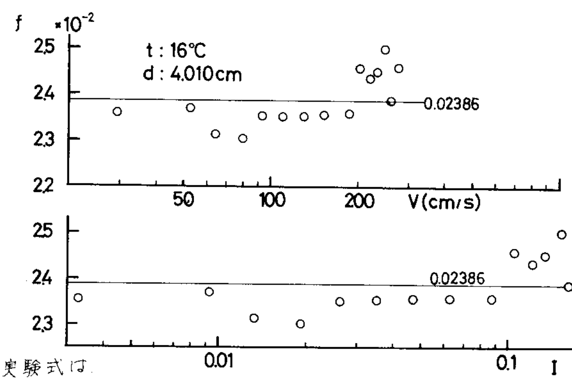

Fig-3 V及びIとfとの関係

なお，今回得られた摩擦損失水頭及び損失係数の実験式は

$$h_L = \lambda \frac{\nu^{0.233}}{g} \frac{L}{d^{1.233}} v^{1.77}$$

$$f = 0.00837/\nu^{0.233}, \qquad f = \lambda/2^{1.233}$$

であり，ただし，$2000 < Re < 100000$，$1.32cm < d < 10.02cm$，$12°C < t < 27°C$ の場合である。

なお，(2)式における $f\nu^{m}/g$ を損失係数と定義するならば，以上の式はさらに簡単になるが，従来の式とも関係づけて論じたかったため，あえて f を損失係数と定義した。