

5. 管路内の流れと諸損失

5.1 滑らか円管内 層流の場合

$$u_m = \frac{1}{2} u_{max} \quad (5.1)$$

$$Q = \frac{\pi r_0^4}{8\mu} \frac{\Delta p}{l} = \frac{\pi d^4}{128\mu} \frac{\Delta p}{l} \quad (5.2)$$

$$\Delta p = \frac{128\mu l Q}{\pi d^4} = \frac{32\mu l u_m}{d^2} \quad (5.3)$$

ハーゲンポアズイユの式 Hagen-Poiseuille formula という。

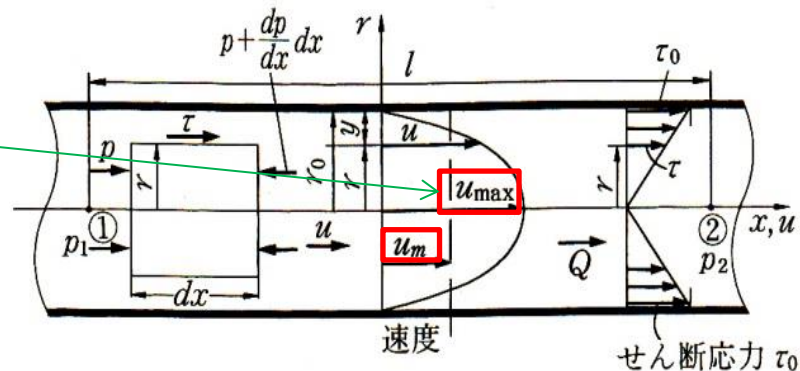


図5.1 円管内の層流

5.2 滑らか円管内 乱流の場合

(a) 速度分布の指数法則

$$\frac{u}{u_{max}} = \left(\frac{y}{r_0}\right)^{\frac{1}{7}} \quad (5.4)$$

1/7乗の指数法則 seventh power law という。

(b) 速度分布の対数法則

$$\frac{u}{u_*} = 5.75 \log \frac{u_* y}{\nu} + 5.5 \quad (5.5)$$

$$u_* = \sqrt{\tau_0 / \rho} \quad (5.6)$$

u_* : 摩擦速度 friction velocity という。

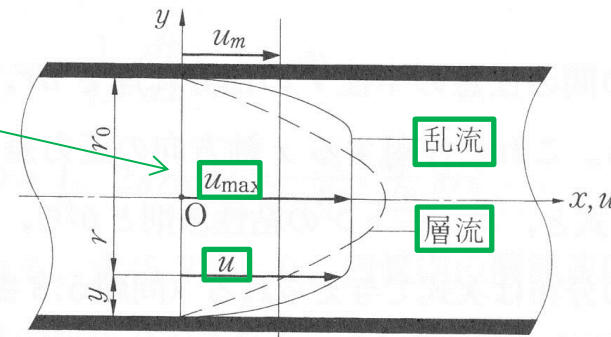


図5.2 乱流の速度分布

5.3 粗面円管の速度分布

$$\frac{u_{max} - u}{u_*} = -2.5 \ln \frac{y}{r_0} = -5.75 \log \frac{y}{r_0} \quad (5.7)$$

5.4 直円管の摩擦損失

5.4.1 ダルシー・ワイズバッハの式 Darcy-Weisbach equation

<圧力損失水頭(圧力ヘッド): h >

十分発達した流れの損失水頭 h は

$$h = \frac{p_1 - p_2}{\rho g} = \frac{\Delta p}{\rho g} = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (5.8)$$

λ : 管摩擦係数 friction factor

(圧力損失 : $p_1 - p_2 = \Delta p$)

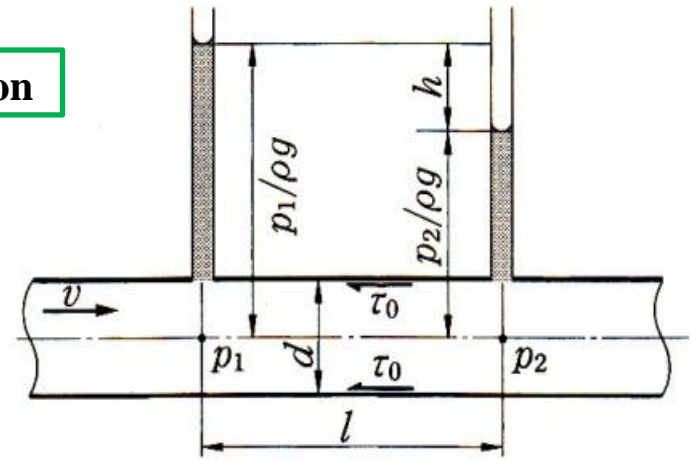


図5.3 管摩擦損失

5.4.2 粗面管の管摩擦係数

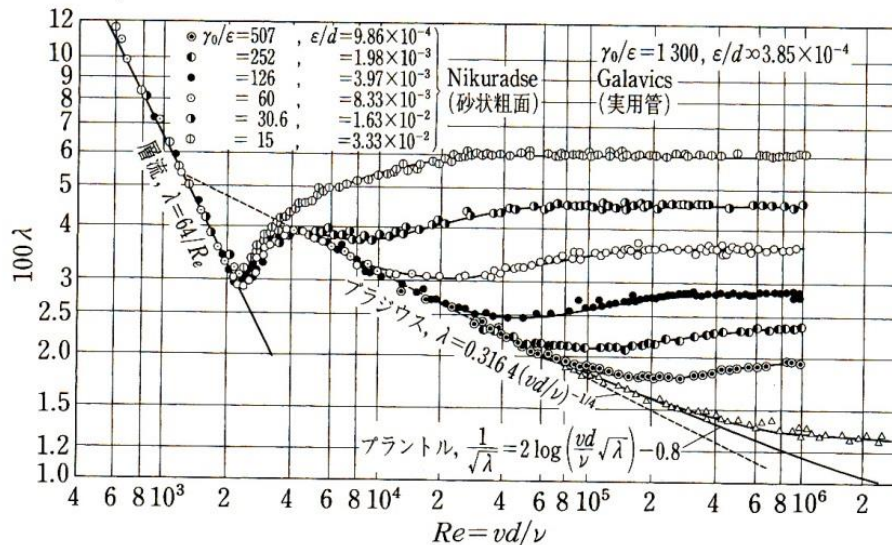


図5.5 粗面円管の管摩擦係数とレイノルズ数の関係
(日本機械学会編「管路・ダクトの流体抵抗」による)

ムーディー線図 省略

5.5 助走区間における流れと圧力損失水頭

助走距離: L_e (助走区間 ポテンシャル領域)
速度分布が流れ方向に不変となるまでの距離

層流では: $L_e = (0.06 \sim 0.065) R_e d$ (5.9)

乱流では: $L_e = (25 \sim 40) d$ (5.10)

助走区間における全損失水頭 H は

$$H = \frac{v^2}{2g} + \lambda \frac{L_e v^2}{d 2g} + k \frac{v^2}{2g} \quad (5.11)$$

入口損失水頭 管摩擦損失水頭 助走区間損失水頭

一般的に、管路の全損失水頭 H は

$1 + k = \zeta$ とすると

$$H = \lambda \frac{L_e v^2}{d 2g} + \zeta \frac{v^2}{2g} = \text{管摩擦損失水頭} + \text{管摩擦損失水頭以外の損失水頭} \quad (5.12)$$

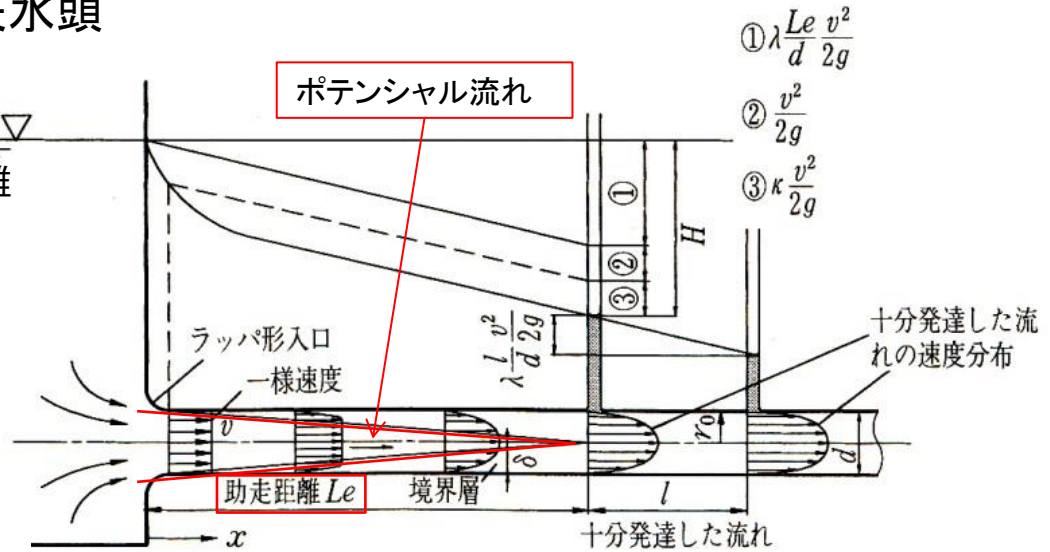


図5.6 助走区間における速度分布および損失ヘッド

5.6 管路入口形状と損失係数

管入口の損失水頭 h は

$$h = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (5.13)$$

ζ : 入口の損失係数

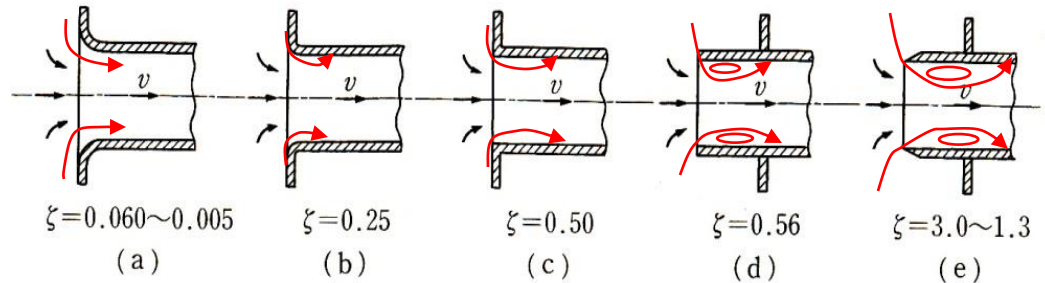


図5.7 管路入口形状と損失係数

5.7 管路内流れの諸損失水頭 : h

<急拡大管の損失水頭 図5.8>

$$h = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \frac{v_1^2}{2g} \quad (5.14)$$

$$h = \zeta_1 \frac{v_1^2}{2g} \quad (5.15)$$

この損失を、**カルノーの損失**(Carnot's loss) という。
急拡大損失係数 ζ_1 は、

$$\zeta_1 = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \quad (5.16)$$

$A_2 \gg A_1$ の場合、 $A_1/A_2 \cong 0$ となり、 $\zeta_1 \cong 1$

<急縮小管の損失水頭 図5.9,表5.1>

縮小部の入口付近に渦域が生じる。⇒損失発生!

$$h = \zeta_2 \frac{v_2^2}{2g} \quad (5.17)$$

$$\zeta_2 = \left(\frac{1}{C_c} - 1\right)^2 \quad (5.18)$$

$C_c = A_0/A_2$: 収縮係数

<ディフューザの損失 図5.10,図5.11>

速度エネルギーを圧力エネルギーに変換!

広がり角度 θ が、おおよそ $5^\circ \sim 6^\circ \Rightarrow$ 損失最小! $\xi \cong 0.135$

⇒ 広がり部の後方に渦領域が発生しない!

<ベンド、エルボの損失 図5.12,5.13>

ベンド(曲管) : 内側と外側の圧力差で、圧力の高い外側から低い内側に流れが生じる。

⇒つまり、**二次流れ**(secondary flow)が

生じる。外側、内側の曲管部に渦が生じる。

エルボ : 外側と内側の角部付近に渦が生じる。

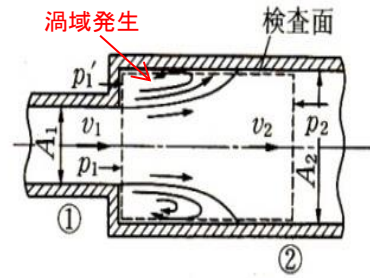


図5.8 面積が急激に広がる場合

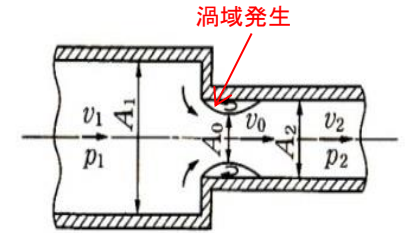


図5.9 断面積が急激に狭くなる場合

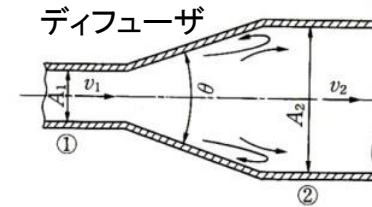


図5.10 断面積がゆるやかに
広がる場合

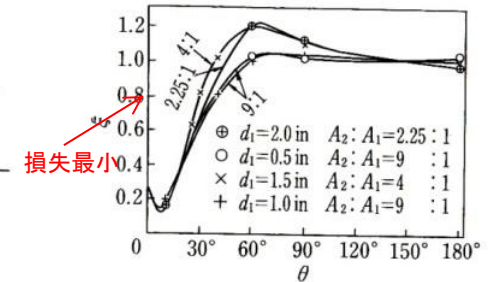


図5.11 円形広がり管の ξ の値
(「機械工学便覧」による)

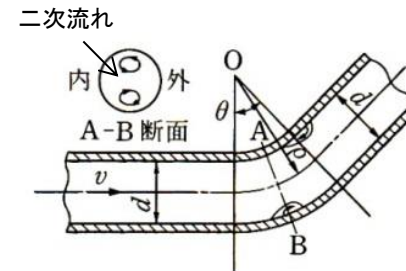


図5.12 ベンド

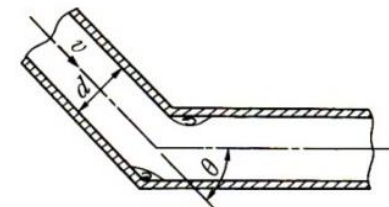


図5.13 エルボ