

IV 空気環境 3 換気と通風の力学（教科書 pp. 138～143）

1. 今日の目標

- 1) 流れの基礎式を知ろう。
- 2) 風力換気と温度差換気の仕組みを理解しよう。
- 3) 換気風量を計算しよう。

2. 流れの基礎式（教科書 pp. 138～139）

時間が経っても流量が変化しない定常流の流れの場合、流れの中に、下図のような想像上の管（流管と言う）を設定することができる。

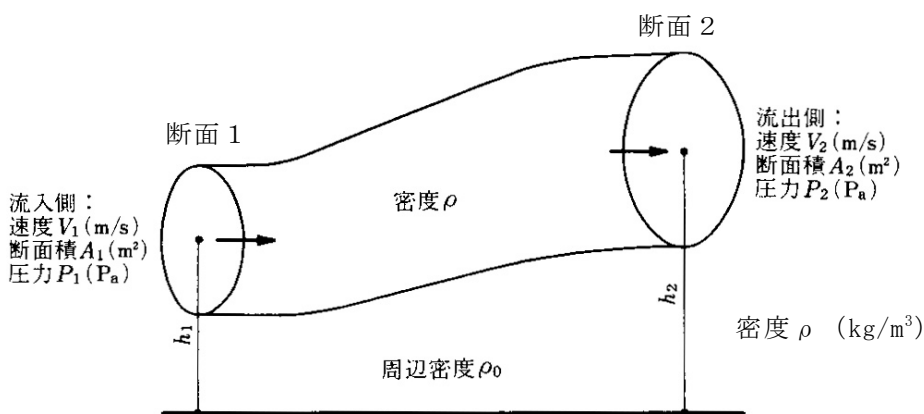


図 連続式とベルヌーイの式の説明（教科書 p. 139 の図 3-3）

以下では、この流管について考える。

- 1) _____の式

定常状態では、流管の両断面から流入もしくは流出する単位時間当たりの _____ は等しいので、下記の様に見える（記号は、前ページの図の中を参照）。この式を _____ の式と言う。

$$\rho \cdot V_1 \cdot A_1 = \rho \cdot V_2 \cdot A_2 \quad (1) \text{ (教科書 p. 139 の (3.5) 式)}$$

2) _____ の式

断面 1 と断面 2 の間にある水の持つエネルギーはエネルギー保存の法則から一定で、等しいので、下記のように書ける。

$$(\rho \cdot V_1 \cdot A_1) \cdot \frac{V_1^2}{2} + (\rho \cdot V_1 \cdot A_1) \cdot g \cdot h_1 + P_1 \cdot A_1 \cdot V_1 = (\rho \cdot V_2 \cdot A_2) \cdot \frac{V_2^2}{2} + (\rho \cdot V_2 \cdot A_2) \cdot g \cdot h_2 + P_2 \cdot A_2 \cdot V_2$$

(2) (教科書 p.139 の (3.6) 式)

→ [_____] + [_____] +
 [_____] = [_____] +
 [_____] + [_____]

参考) 高校の物理では、力学的エネルギー保存則として、外力の仕事が 0 の時、

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_A^2 + m \cdot g \cdot h_A = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2 + m \cdot g \cdot h_B = const$$

[速度エネルギー] + [位置エネルギー] = [一定]

を使っていたはず。

***** ヌ 毛 *****

3) _____ の式

(1)式を用いて(2)式を変形すると下記の様に見える。この式を、完全流体における Bernoulli (1700～1782, オランダ生まれ, スイスの物理学者・数学者) の式という。

$$\frac{\rho \cdot V_1^2}{2} + P_1 + \rho \cdot g \cdot h_1 = \frac{\rho \cdot V_2^2}{2} + P_2 + \rho \cdot g \cdot h_2 = const \quad (3) \text{ (教科書 p. 139 の (3.7) 式)}$$

→ [_____] + [_____] + [_____] = [_____] = 一定

→→エネルギーを圧力で表している (次ページ以降では、圧力の視点から考えている)。

ただし、実際は、

$$〔動圧 1〕 + 〔静圧 1〕 + 〔位置圧 1〕 = \quad \quad \quad 〔動圧 2〕 + 〔静圧 2〕 + 〔位置圧 2〕 + [\quad]$$

となる。この圧力損失は、 _____ 抵抗と _____ 抵抗などにより失うエネルギーを圧力に換算したものである (詳細は、教科書 pp. 141～142 の「3.4 ダクト系の圧力損失と圧力分布」などを参照)。

4) 層流と乱流

_____ 流：層をなして整然と流れる流れ

_____ 流：大小様々な渦が入り混じって不規則に流れる流れ

→私たちが目にする流れのほとんどが乱流

→→平滑な壁体表面近傍の温度境界層で、表面に極めて近いところでは、空気の流れは壁面に拘束されて層流となるが、表面から離れると乱流になる。

***** ヌモ *****

3. 風力換気（教科書 pp. 140～141）

_____換気：

_____から空気が流入し，_____から空気が流出する現象。風上側（風の当たる側）では，建物の_____から_____に_____がかかり，風下側（風の当たらない側）では，建築物の_____から_____に_____が加わる（教科書 p. 140 の図 3-5 を参照。）。

この時の_____ p_w [Pa] は，（3）式の動圧の項 $\frac{\rho \cdot V^2}{2}$ に比例し，以下のように表される。

なお，この式をニュートンの風圧式と言う。

$$p_w = C \cdot \left(\frac{\rho \cdot V_r^2}{2} \right) \quad (4) \text{ (教科書 p. 140 の (3.11) 式)}$$

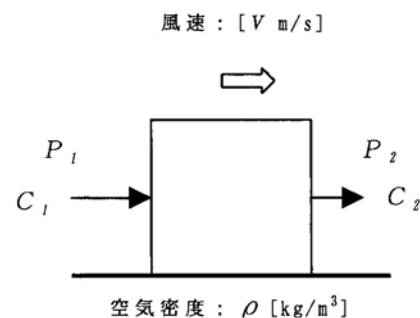
ここで，

C : _____ [単位なし] (実験により決める。

次のページの図を参照。出典：参考文献 [1]，p. 74)

ρ : 密度 [kg/m³] (ρ : ロー)

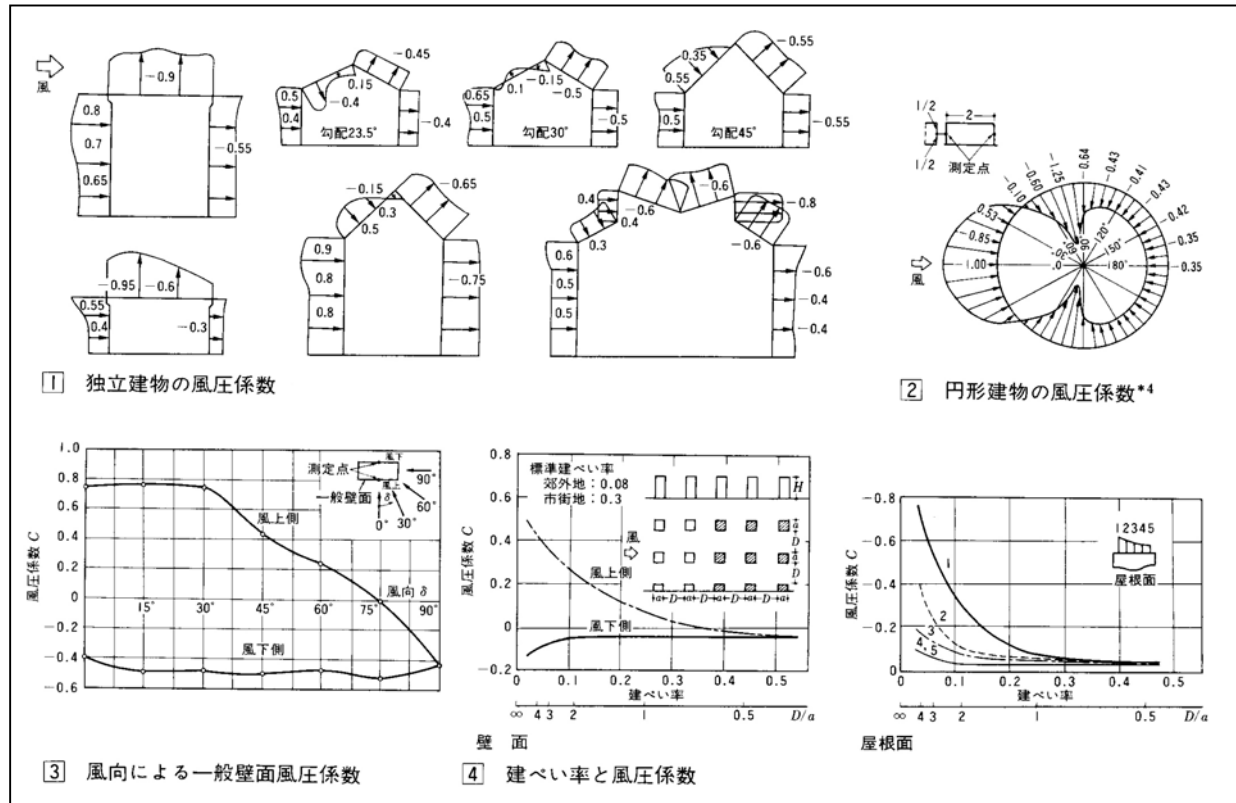
V_r : (建物軒高における上流側の点の) 風速 [m/s]



したがって，風上（地点 1）と風下（地点 2）の圧力差は，

$$p_{w1} - p_{w2} = \frac{(C_1 - C_2) \cdot \rho \cdot V_r^2}{2} \quad (5) \text{ (教科書 p. 140 の (3.12) 式)}$$

となり，これが風力換気の駆動力となる。



***** ヌ 厶 *****

4. 温度差換気（教科書 pp. 140～141）

_____換気：

室温と外気温に_____があるとき、空気の_____が異なるために、室周壁の内外に_____が生じる。この_____により、室内の方が屋外よりも温度が高い場合（冬季など）、室の上部では_____から_____に向かって空気が流れ、室の下部では、_____から_____に空気が侵入する現象。

_____換気とも言う。

注）比重：ある物質の質量と、それと同体積の基準物質の質量との比。普通、基準物質として摂氏 4℃の純水をとる。

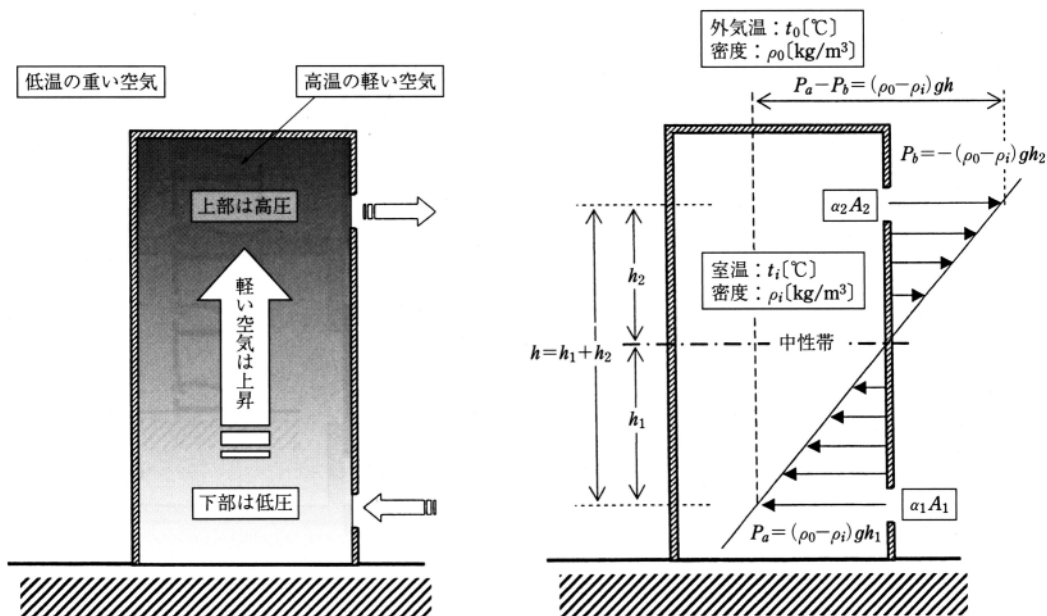


図 暖房状況での温度差による換気の原理と圧力差（出典：参考文献 [2]，p. 76）

下部の開口部では内部の圧力は外部の圧力より低く、上部の開口部では外部の圧力よりも高い。そのため、上下の開口部の間に室内外の圧力差が 0 となる部分が生じ、この部分を_____と言う。_____では、例え開口部を開けても換気は行われない。

開口部に作用する圧力差は、内外の空気の密度の差と中性帯の距離に比例して増加し、下部の開口部における内外差圧は、外気の密度を ρ_0 、室内の空気の密度を ρ_i として、

$$p_a = (\rho_0 - \rho_i) \cdot g \cdot h_1 \quad (6) \text{ (教科書 p. 141 の (3.13) 式の変形)}$$

上部の開口部における内外差圧は、

$$p_b = -(\rho_0 - \rho_i) \cdot g \cdot h_2 \quad (7) \text{ (教科書 p. 141 の (3.13) 式の変形)}$$

とかける。

これらの差が，温度差換気の駆動力となる。

$$p_a - p_b = (\rho_0 - \rho) \cdot (h_1 + h_2) \cdot g \quad (8) \quad (\text{教科書 p.141 の (3.14) 式})$$

(注)

なお，教科書の場合（教科書 p.140 の図 3-6）は，中性帯の高さを地表面から h_N [m] としているので，室内の空気の密度を ρ とし，下部の開口部における内外差圧は，

$$p_{b1} = (\rho_0 - \rho) \cdot (h_1 - h_N) \cdot g \quad (6)' \quad (\text{教科書 p.141 の (3.13) 式の変形})$$

上部の開口部における内外差圧は，

$$p_{b2} = (\rho_0 - \rho) \cdot (h_2 - h_N) \cdot g \quad (7)' \quad (\text{教科書 p.141 の (3.13) 式の変形})$$

となるので，温度差換気の駆動力は，次のようになる。

$$p_{b2} - p_{b1} = (\rho_0 - \rho) \cdot (h_2 - h_1) \cdot g \quad (8)' \quad (\text{教科書 p.141 の (3.14) 式})$$

・ 中性帯と開口部の大きさ

上下の開口部の大きさが等しい場合は，下図の (a) のように，中性帯は上下の開口部の中間となる。

一方，上下の開口部の大きさが異なる場合は，下図の (b) のように，中性帯は開口部の大きさが大きい方に近づく。

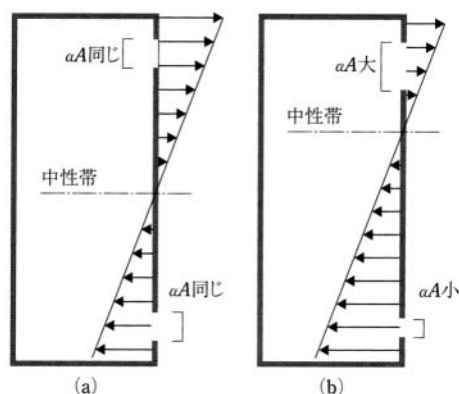


図 開口部の大きさと中性帯の位置（出典：参考文献 [2]，p.77）

5. 換気風量の計算（教科書 pp. 142～143）

面積 A [m^2] の開口を通過する空気の流量 Q [m^3/s] は、

$$\underline{\hspace{15em}} \quad (9) \text{ (教科書 p. 142 の (3.22) 式)}$$

ここで、

V : 開口を通過する風速 [m/s]

α : $\underline{\hspace{2em}}$ [単位なし] (普通の開口では, 0.65～0.7 程度)

Δp : 開口前後での圧力差 [Pa]

ρ : 空気の密度 [kg/m^3]

$\alpha \cdot A$: $\underline{\hspace{2em}}$ [m^2] → どれだけ隙間があるかを表す。

→ 誘導の仕方は, 教科書 p. 142 の右側の欄を参照。(3.20) 式の誘導については, (3.17) 式の誘導も参照。

◇ 風力換気の場合は, (9) 式の Δp に (5) 式を代入すれば良いので,

$$\underline{\hspace{15em}} \quad (10)$$

となり,

温度差換気の場合は, (9) 式の密度 ρ を外気の密度 ρ_0 として, (9) 式の Δp に (8) 式を代入すれば良いので,

$$\underline{\hspace{15em}} \quad (11)$$

となる。

なお, 教科書の場合 (教科書 p. 140 の図 3-6) は,

$$Q = \alpha \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (\rho_0 - \rho) \cdot (h_2 - h_1) \cdot g}{\rho_0}} \quad (11)'$$

となる。

▽開口部の合成

壁面に開口部が複数ある場合は、それらを合成する必要がある。

1) 並列合成

下図の (a) のように、同一壁面内に 2 つ以上の開口部があるときは、壁面を通過する風量はそれぞれの開口を通過する風量の和に等しい。

_____ (12) (教科書 p.143 の (3.29) 式)

2) 直列合成

下図 (b) のように、いくつかの開口部を順次通過するときは、各開口部を通過する質量は等しい。

_____ (13) (教科書 p.143 の (3.28) 式)

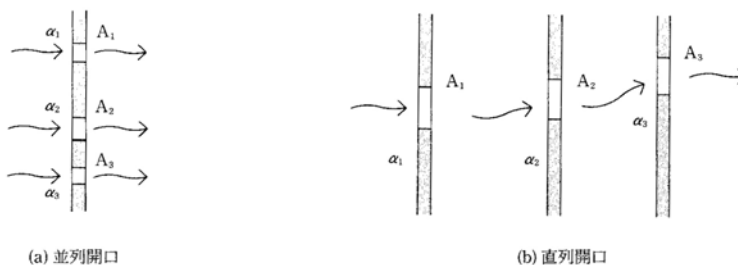


図 開口部の合成 (出典：参考文献 [3], p.69)

*****メ*****

6. 参考文献（〔〕内は、熊本県立大学附属図書館所蔵情報）

- [1] 『建築環境工学用教材 環境編 第 3 版』（日本建築学会，日本建築学会（丸善），1995 年 2 月，¥1,845+税，ISBN：4-8189-0442-2）〔開架 2，525.1||N 77，0000236338〕
- [2] 『初学者の建築講座 建築環境工学』（倉渕隆，市ヶ谷出版社，2006年10月，¥2,700+税，ISBN：4-87071-198-2）〔開架 2，525.1||Ku 51，0000308131〕
- [3] 『初めての建築環境』（〈建築のテキスト〉編集員会編，学芸出版社，1996 年 11 月，¥2,800 +税，ISBN：4-7615-2162-7）〔開架 2，525.1||Ke 41，0000216584，0000216585，0000216586〕

7. 参考 URL

- [1] 講義資料のダウンロード
<http://www.pu-kumamoto.ac.jp/~m-tsuji/kougi.html/genron.html/setubigen.html>

▽次回の講義予定

- IV 空気環境 6 換気の計画（教科書 pp. 153～157）
- IV 空気環境 7 通風の計画（教科書 pp. 158～161）
- IV 空気環境 8 気密性能と換気（教科書 pp. 162～164）
- IV 空気環境 9 高層建物と煙突効果（教科書 pp. 165～166）