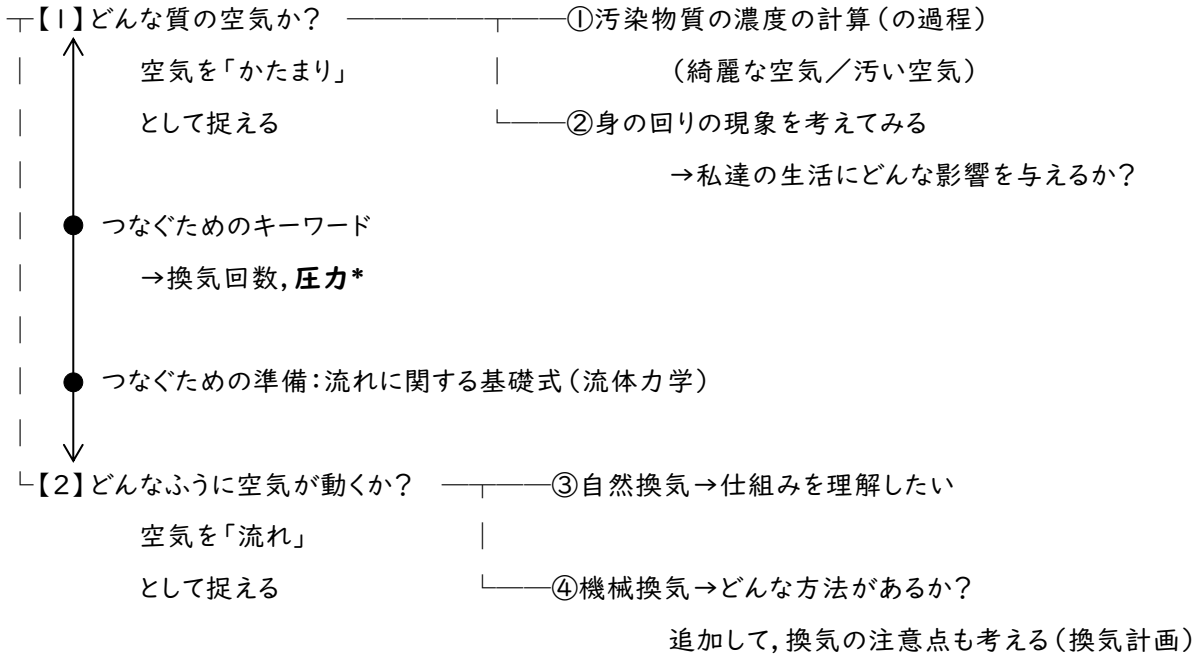


第4回 自然換気 (教科書 pp.97~101)

◎ 空気環境の全体像



圧力\*\*

空気を移動させるための駆動力: 圧力差 ⇔ 熱エネルギーを移動させるための駆動力: 温度差

0 今日の内容

1 自然換気のポイント 3つ!!

2 温度差による換気

3 風圧力による換気

⇒ 2と3の仕組みをしっかりと理解したい (3は2の特殊な事例と考えてよさそう)

参考資料1 「風圧係数」の補足

4 開口部の扱い

参考資料2 直列の際の開口部の合成の式を導いてみよう

**I 自然換気のポイント 3つ!!**

**(1) 自然換気には次の2種類があり(考える対象は主に室内)**

- ①温度差による換気(温度差が圧力差を生む)(原因(換気の駆動力):室内と屋外の温度差)
- ②風圧力による換気(原因(換気の駆動力):屋外の風)

注)実際には両方同時に生じていることもあり,判別がつきにくいこともあり

**(2) 換気量は圧力差に関係する**

→換気の駆動力は圧力差(圧力差が大きいと,換気量も大きい)

ベルヌーイの式(ただし,位置圧は省略)

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_1^2 + P_1 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_2^2 + P_2$$

$V_2 \cong 0$ となるような開口部から遠く離れたところを基準に考えると,

$$V_1^2 = \frac{2 \cdot (P_2 - P_1)}{\rho} \text{ と書ける。}$$

したがって,  $V = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}}$  ←風速と圧力の関係がわかる式

$$Q = A \cdot V = \alpha \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}}$$

**(3) では, 圧力差とは何か?どこの圧力とどこの圧力の差か?基準はどこか?**

→空気の圧力の差

身近な例: 天気予報でよく聞く, 「高気圧」と「低気圧」

※1000hPa だから「高気圧」, または「低気圧」ではない。相対的なもの。周囲より気圧が高いと「高気圧」, 周囲より低いと「低気圧」。

注) 高度が 10m 高くなると, 1hPa (ヘクトパスカル) ずつ, 気圧が減少する

1hPa = 1m<sup>2</sup> の面積に 100N の力が働く  $\approx$  10kgf

hPa: 小文字のエイチ, 大文字のピー, 小文字のエー

## 2 温度差による換気

(1) 温度差換気のイメージ (とても重要!!)

気球全体の動きではなく, 気球の中の空気について着目する ← これが温度差換気と対応する

◎ 室内の温度と屋外の温度の「差」 ← 室内ではどこも同じ温度 (分布なし) なので

×× 室内 (建物) の中での空気の上下の温度差 (室内の気温に「分布あり」ではない)

(2) 圧力と空気の温度(気温)の関係(高校の物理や化学の復習)

①大気圧はその上にある空気の重量による圧力

$$\text{大気圧} = \text{空気の密度} [\text{kg/m}^3] \times \text{高さ} [\text{m}] \times \text{重力加速度} [\text{m}^2/\text{s}^2]$$

②空気の密度は空気の絶対温度に反比例する(ボイルシャルルの法則)

つまり, 高温の空気は密度が小さい

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{T_0}{T}$$

ここで,

$\rho$ : 室内の空気の密度 [ $\text{kg/m}^3$ ],  $\rho_0$ : 屋外の空気の密度 [ $\text{kg/m}^3$ ]

$T$ : 室内の空気の絶対温度 [K],  $T_0$ : 屋外の空気の絶対温度 [K]

つまり, 温度の差は, 密度の差!!

※絶対温度では, 絶対零度 [K] を  $-273.15^\circ\text{C}$  と考えればよい。

③密度の小さい空気, つまり高温の空気による大気圧は小さい

(3) どんな圧力(どこの圧力)を考えるのか?

1) まず, 屋外と室内を別々に考える

気球

屋外 (の大気圧)

建物(室内)

地上に近づくほど圧力は大きい

(低温で密度が大きいので)

→気圧の変化も大きい(傾きは緩やか)

室内の空気の温度が高い

→室内の空気の密度は屋外に比べて小さい

→全体的には空気は軽い

→上方と下方で重さの変化が小さい

→気圧の変化の勾配も小さい(傾きは急)

## 2) 次に, 屋外と室内の圧力の差を考える

屋外での圧力の変化と

室内での圧力の変化を重ねる

⇒

基準を屋外に変更

### 冬の場合

→熱取得が大きい場合はこのような状態になる→年間を通して結構よくある

注) 開口部が接近すると圧力差は小さくなる

### 夏の場合

→冷房を入れたときぐらい→年間を通してでは少ないケース

3) 数式で考えてみると

$$\boxed{\text{上}} \text{の開口部: } \rho_i \cdot g \cdot h_2 - \rho_o \cdot g \cdot h_2$$

$$\boxed{\text{下}} \text{の開口部: } \rho_o \cdot g \cdot h_1 - \rho_i \cdot g \cdot h_1$$

→これらの圧力差が換気の駆動力

$$\boxed{\text{下}} - \boxed{\text{上}}$$

$$= \Delta P = (\rho_o - \rho_i) \cdot g \cdot h_1 - (\rho_i - \rho_o) \cdot g \cdot h_2$$

$$= (\rho_o - \rho_i) \cdot g \cdot (h_1 + h_2)$$

換気量  $Q$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] は,

$$Q = \alpha \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}}$$

$$= \alpha \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (\rho_o - \rho_i) \cdot (h_1 + h_2) \cdot g}{\rho_o}}$$

$$Q = \alpha \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (T_i - T_o) \cdot (h_1 + h_2) \cdot g}{T_o}}$$

→温度差が大きい方が換気量も大きい

⇒温度差による換気に話が戻る

(※圧力差が大きい方が換気量も大きい)

なお,

$T_i$ : 室内の空気の絶対温度 [K],  $T_o$ : 屋外の空気の絶対温度 [K]

$\rho_i$ : 室内の空気の密度 [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],  $\rho_o$ : 屋外の空気の密度 [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] のとき,

$$\frac{\rho_i}{\rho_o} = \frac{T_o}{T_i} \text{ から } \frac{(\rho_o - \rho_i)}{\rho_o} = 1 - \frac{\rho_i}{\rho_o} = 1 - \frac{T_o}{T_i} = \frac{T_i - T_o}{T_i}$$

※室内と屋外の温度差が大きい方が, 換気量も大きい

なぜなら, 室内と屋外の温度の差が大きいと, 屋外と室内の密度の差が大きいから

※※室内へ給気する開口部と室内から排気する開口部の高さの差が大きい方が, 換気量も大きい

上記の換気量の式を確認すれば, 自ずとわかる

**3 風圧力による換気** (上流側の大気圧と下流側の大気圧の差で生じる換気)

風圧力の求め方 (公式みたいなもの)

$$P = \text{風圧係数} \times \text{空気}の\text{密度} \times \text{風速}^2 \times 1/2$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C \cdot V^2 \text{ (ニュートンの風圧式)}$$

C: 風圧係数 (下図参照), 実験で決められた定数 [単位なし]

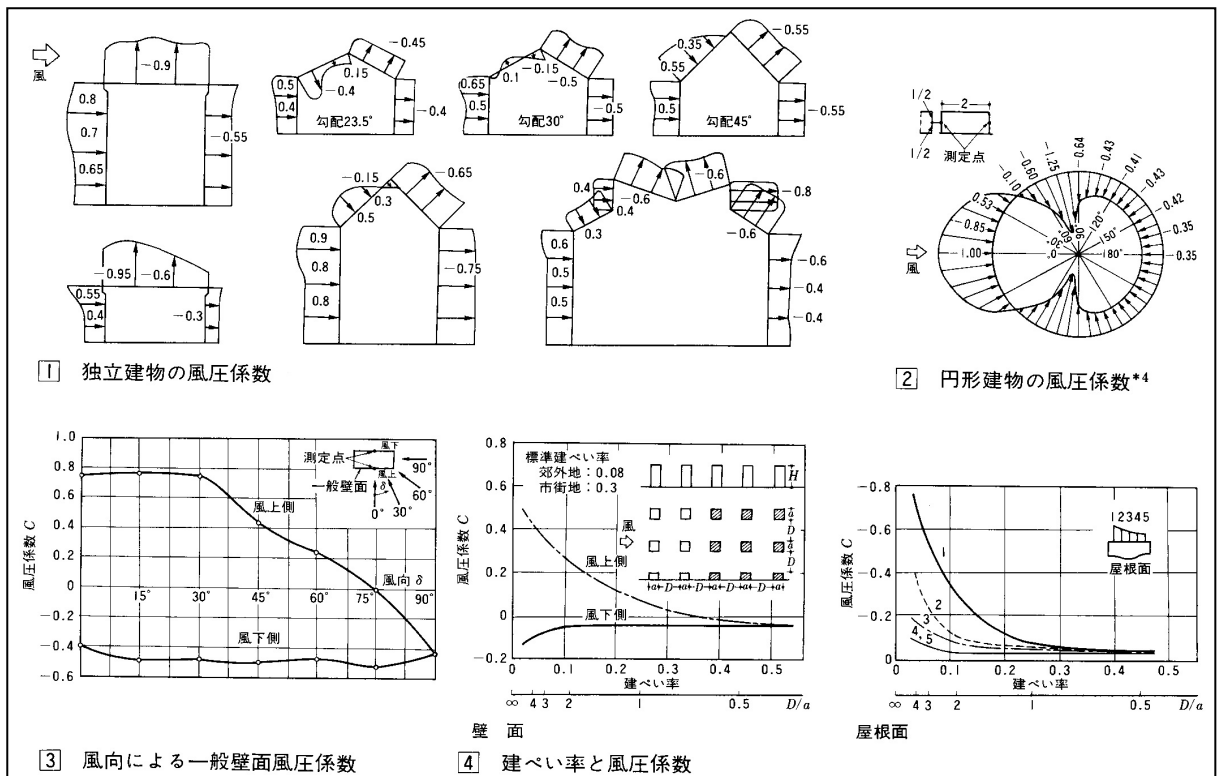
$$\text{換気の駆動力: } \Delta P = P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (C_1 - C_2) \cdot V^2$$

※符号は空気が動く向きを「正」とする

$$\text{換気量: } Q = \alpha \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} = \alpha \cdot A \cdot V \cdot \sqrt{(C_1 - C_2)}$$

**参考資料 1 「風圧係数」の補足** (参考文献[1], p.74)

風圧係数は, 建物の形状, 表面の位置, 風向によって異なる値を取る。通常は, 風洞を用いた模型実験によって決める。



**4** 開口部の扱い (次ページの参考資料2も参照)

実際に空気が入り出る開口部の面積:  $\alpha \cdot A$  (相当開口面積) ( $\alpha$ は流量係数で0.65~0.7程度)

つまり、開口部そのものの面積よりも少し小さくなる

◎開口部の合成 (中学の時に勉強した電気回路を思い出す。直列回路に流れる電流と並列回路に流れる電流のお話を思い出す。)

①同じ面にあり、かつ空気の流れる方向が同じ時:

そのまま、開口部の面積を足す (入口は入口で、出口は出口でそれぞれ足す)

→開口部は大きくなる (並列)

$$\alpha \cdot A = \alpha_1 \cdot A_1 + \alpha_2 \cdot A_2 + \alpha_3 \cdot A_3$$

②入口から出口への経路上にある開口部:それぞれの開口部での換気量が同じ

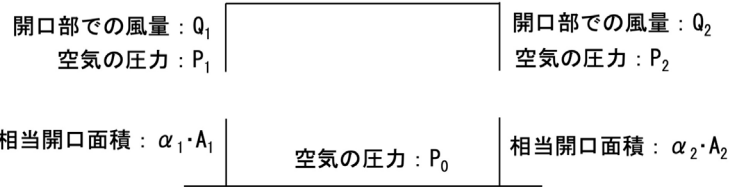
→直列 (少し複雑な式になる)

$$\left(\frac{1}{\alpha \cdot A}\right)^2 = \left(\frac{1}{\alpha_1 \cdot A_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{\alpha_2 \cdot A_2}\right)^2 + \left(\frac{1}{\alpha_3 \cdot A_3}\right)^2$$



**参考資料2** 直列の際の開口部の合成の式を導いてみよう (※一度は必ず自分で導いておこう)

右図のように建物の左右に開口部がある  
場合を考える。



空気の密度を  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>],  
全体での流量を  $Q$  [m<sup>3</sup>/s],  
全体での (合成した後の) 相当開口面積を  $\alpha \cdot A$  [m<sup>2</sup>], 圧力を  $P$  [Pa] などとすると,

$$Q = \alpha \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2(P_2 - P_1)}{\rho}}$$

と表せる。

左の開口部を通過する流量について屋外と室内の圧力差を考え、右の開口部を通過する流量について屋外と室内の圧力差を考えれば、それぞれの開口部を通過する流量は、次のように表せる。

$$Q_1 = \alpha_1 \cdot A_1 \cdot \sqrt{\frac{2(P_0 - P_1)}{\rho}} \quad Q_2 = \alpha_2 \cdot A_2 \cdot \sqrt{\frac{2(P_2 - P_0)}{\rho}}$$

それぞれ, 変形すると,

$$P_2 - P_1 = \frac{\rho \cdot Q^2}{2 \cdot \alpha_2^2 \cdot A_2^2} \quad P_0 - P_1 = \frac{\rho \cdot Q_1^2}{2 \cdot \alpha_1^2 \cdot A_1^2} \quad P_2 - P_0 = \frac{\rho \cdot Q_2^2}{2 \cdot \alpha_2^2 \cdot A_2^2}$$

さらに,  $P_1 = P_0 - \frac{\rho \cdot Q_1^2}{2 \cdot \alpha_1^2 \cdot A_1^2}$  と  $P_2 = \frac{\rho \cdot Q_2^2}{2 \cdot \alpha_2^2 \cdot A_2^2} + P_0$  を  $P_2 - P_1 = \frac{\rho \cdot Q^2}{2 \cdot \alpha^2 \cdot A^2}$  に代入すると

$$\frac{\rho \cdot Q^2}{2 \cdot \alpha^2 \cdot A^2} = \left\{ \left( \frac{\rho \cdot Q_2^2}{2 \cdot \alpha_2^2 \cdot A_2^2} + P_0 \right) - \left( P_0 - \frac{\rho \cdot Q_1^2}{2 \cdot \alpha_1^2 \cdot A_1^2} \right) \right\} \quad \text{なので, } \frac{\rho \cdot Q^2}{2 \cdot \alpha^2 \cdot A^2} = \left\{ \frac{\rho \cdot Q_2^2}{2 \cdot \alpha_2^2 \cdot A_2^2} + \frac{\rho \cdot Q_1^2}{2 \cdot \alpha_1^2 \cdot A_1^2} \right\}$$

結局,  $\frac{Q^2}{\alpha^2 \cdot A^2} = \left\{ \frac{Q_2^2}{\alpha_2^2 \cdot A_2^2} + \frac{Q_1^2}{\alpha_1^2 \cdot A_1^2} \right\}$  となり, 流量はどこでも同じで,  $Q = Q_1 = Q_2$  であるから

$$\frac{1}{\alpha^2 \cdot A^2} = \frac{1}{\alpha_2^2 \cdot A_2^2} + \frac{1}{\alpha_1^2 \cdot A_1^2} \quad \text{となる。}$$

※他にも, 導き方はありそうだが。

【参考文献】(順に, タイトル, 編著者名, 出版社, 発行年月, 価格, ISBN。[])内は熊本県立大学図書館所蔵情報。)

[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) [和書(2F), 525.1||N 77, 0000236338]  
→第4版にも同じ図表あり((2011年3月, ¥1,900 + 税, ISBN:978-4-8189-2223-5) [和書(2F), 525.1||N 77, 0000346944])。

復習プリント

学年: \_\_\_\_\_ 学籍番号: \_\_\_\_\_ 名前: \_\_\_\_\_

今日の講義の内容を, 自分なりに, 整理してください。まとめてください。

学年: \_\_\_\_\_ 学籍番号: \_\_\_\_\_ 名前: \_\_\_\_\_

【演習問題】単位に注意して, 下記の問いに答えよ。

(1) 図1の室の1時間当たりの風力換気による換気量を求めよ。各開口の相当開口面積と風圧係数は, 次の通りとする。

$$\text{開口1: } \alpha_1 \cdot A_1 = 0.03 [\text{m}^2] \quad C_1 = 0.7$$

$$\text{開口2: } \alpha_2 \cdot A_2 = 0.01 [\text{m}^2] \quad C_2 = 0.7$$

$$\text{開口3: } \alpha_3 \cdot A_3 = 0.02 [\text{m}^2] \quad C_3 = -0.55$$

(2) 図2の室の1時間当たりの温度差換気による換気量を求めよ。ただ

$$\rho = \frac{\rho_0 T_0}{T}, \quad (T_0: \text{屋外の気温の絶対温度 [K]}, T: \text{室内の気温の}$$

絶対温度 [K]) の関係を用いよ。なお, 重力加速度を,  $g = 9.8$  [m/s<sup>2</sup>] とする。

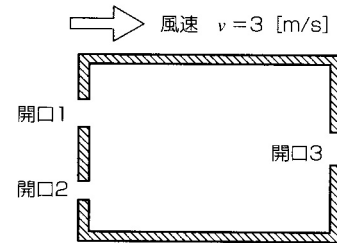


図1

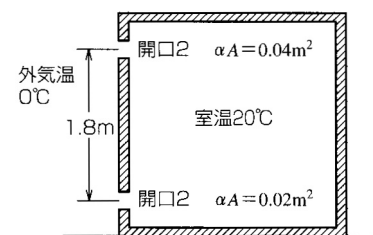


図2