

II 熱環境 1 温度と熱移動（教科書 pp.40～53）

1. 今日目標

- 1) 熱の移動に3種類+1種類の現象があることを理解しよう。
- 2) 熱貫流量の計算ができるようにしよう。

2. 熱の移動

熱の移動の形態には、_____、_____による熱伝達、_____による熱伝達、_____の4種類がある。

オームの法則を思い出してみよう。

$$\{ \quad \} = 1 / \{ \quad \} \times \{ \quad \}$$

2.1 熱伝導（教科書 pp.41～43）

_____の部分から_____の部分へと、その間に介在する_____を伝わって（隣り合う分子を通じて）熱が移動する現象。

環境工学では主に、_____中の熱移動を扱う。

$$\{ \quad \quad \quad \} = \{ \quad \quad \quad \} \div \{ \quad \quad \quad \} \times \{ \quad \quad \quad \}$$

$$q_k = \frac{l}{x} (q_1 - q_2) \quad (1) \quad (\text{教科書 p.41 の (1.7) 式を書き改めた})$$

ここで、

q_k : 単位面積当たりの熱伝導による熱流 [W/m²]

l : 熱伝導率 [W/(m・K)] 材料の熱の伝わりやすさを示す (l : ラムダ)

x : 材料の厚さ [m]

$(q_1 - q_2)$: 温度差 [K] (q : シータ)

- ・比重の_____物質，すなわち，分子数が大きく密度が濃い固体ほど熱を伝え_____ (= 熱伝導率大きい)。教科書 p.42 の図 1-3 もしくは p.43 の図 1-4 を参照のこと。

比重：ある物資の質量と同じ体積の4の純水の質量の比

- ・静止した_____の層があると，熱を伝えにくい。

2.2 対流による熱伝達（教科書 pp.43～45）

_____（_____体や_____体）の_____にのって，_____温の部分から_____温の部分へ熱が移動する現象。浮遊した分子間での熱のやり取りで，真空中ではこのような熱のやり取りはない。

環境工学では主に，_____と_____の間の熱移動を扱う。

$$\{ \text{_____} \} = \{ \text{_____} \} \times \{ \text{_____} \}$$

$$q_c = a_c (q_1 - q_2) \quad (2) \quad (\text{教科書 p.44 の (1.8) 式を書き改めた})$$

ここで，

q_c ：単位面積当たりの対流による熱流 [W/m²]

a_c ：対流熱伝達率 [W/(m²·K)] 熱の伝わりやすさを示す (a ：アルファ)

- ・対流熱伝達率 a_c は，状況に応じて大きく変化する係数。しかし，設計段階では，教科書 p.45 の表 1-1 のように決めてしまうことが多い。

2.3 放射による熱伝達（教科書 pp.45～50）

_____温の物体から_____温の物体へと，_____（_____）の形で熱が移動する現象。真空中でもこのような熱のやり取りはある。

環境工学では主に，固体表面と固体表面の間の熱移動を扱う。

$$\{ \{ \text{_____} \} \} = \{ \text{_____} \} \times \{ \text{_____} \}$$

$$q_r = a_r (q_1 - q_2) \quad (3) \quad (\text{教科書 p.46 の (1.10) 式を書き改めた})$$

ここで，

q_r ：単位面積当たりの放射による熱流 [W/m²]

a_r ：放射熱伝達率 [W/(m²·K)] 熱の伝わりやすさを示す

- ・放射熱伝達の理解はかなり難しいが，興味がある人は，教科書 pp.45～50 を参照。

2.4 物質移動（教科書 p.50）

物質の移動によって熱が移動する現象。

環境工学では主に，水の_____あるいは_____に伴って起こる熱移動を扱う。

< 補足 >

_____：物質の状態を変えずに，_____を変化させるために費やされる熱量。

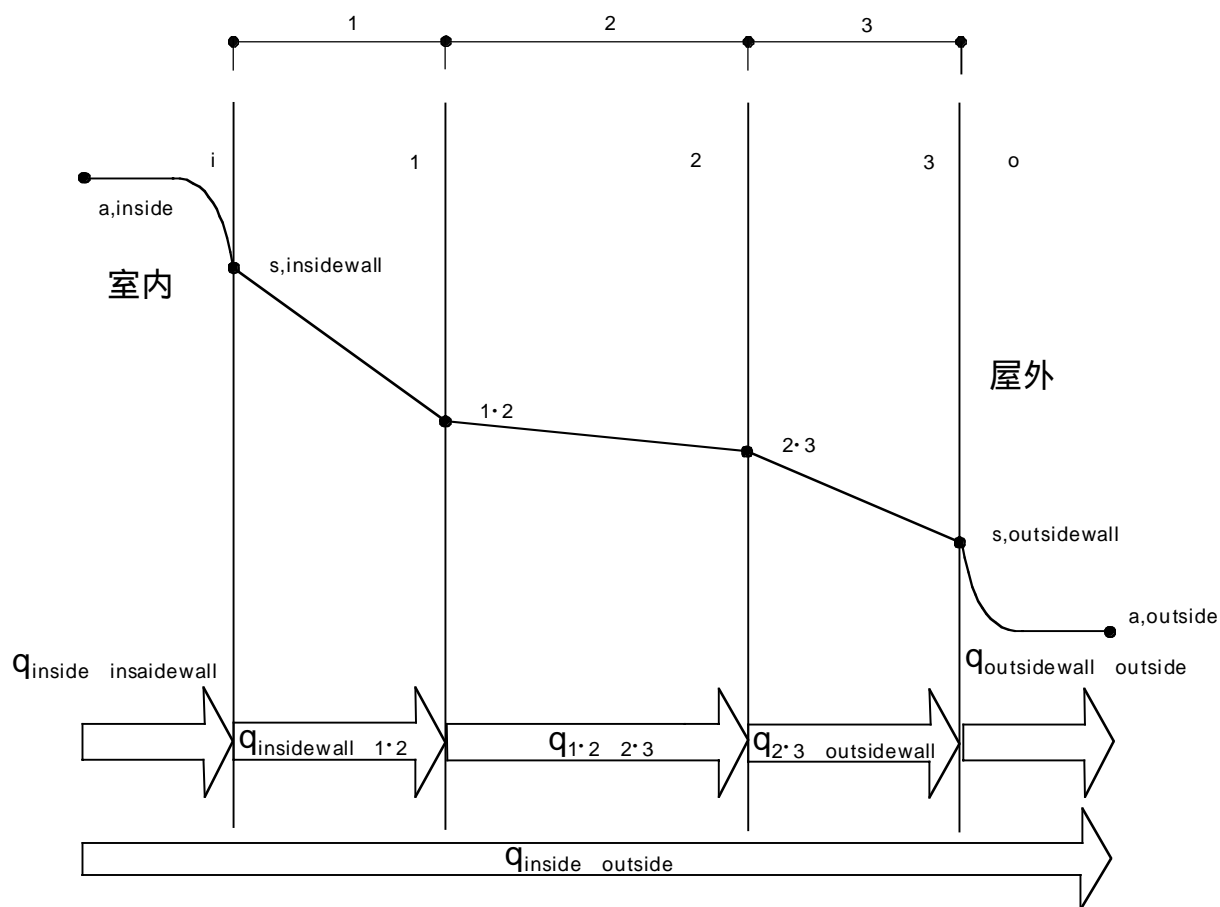
_____：物質の_____のとき，温度の変化を伴わないで吸収または放出される熱量。

3 . 熱貫流（教科書 pp.50～53）

外気の気温がある温度の時に，

- ・ どんな材料の壁を用いれば，要求する室内の気温を実現できるであろうか？
- ・ ある材料の壁を使えば，室内の気温は何度になるであろうか？

注）以下の説明は，教科書を更に簡略化している。教科書では，実際には近似を入れてあるものも，説明の際には断っていないので注意。



(1) 室内 壁表面での熱移動は，対流と放射によるものがあるが，一緒にまとめる。

$$\begin{aligned}
 [\text{ }] &= [\text{ }] + [\text{ }] \\
 &= [\text{ }] \\
 &\times [\text{ }]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_{inside \rightarrow insidewall} &= a_{c,inside} (q_{a,inside} - q_{s,inside}) + a_{r,inside} (q_{a,inside} - q_{s,inside}) \\
 &= (a_{c,inside} + a_{r,inside}) (q_{a,inside} - q_{s,inside}) \\
 &= a_i (q_{a,inside} - q_{s,inside})
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

ここで、

a_i : 室内側側壁の総合熱伝達率 [W/(m²·K)]

([_____ 熱伝達率] = [_____ 熱伝達率] + [_____ 熱伝達率])

添え字は、以下の通り（できるだけ、教科書にあわせています）

inside : 室内, *a* : 気温, *s* : 壁の表面温度, *insidewall* : (室内側の) 壁面, *outside* : 屋外,
outsidewall : (屋外側の) 壁面, 1・2 : 1番目の壁と2番目の壁の間（以下同じ）

(2) 壁表面 屋外での熱移動は、対流と放射によるものがあるが、一緒にまとめる。

$$\begin{aligned}
 [\text{_____}] &= [\text{_____}] + [\text{_____}] \\
 &= [\text{_____}] \\
 &\quad \times [\text{_____}]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_{outsidewall \rightarrow outside} &= a_{c,outside} (q_{s,outside} - q_{a,outside}) + a_{r,outside} (q_{s,outside} - q_{a,outside}) \\
 &= (a_{c,outside} + a_{r,outside}) (q_{s,outside} - q_{a,outside}) \\
 &= a_o (q_{s,outside} - q_{a,outside})
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

ここで、

a_o : 屋外側側壁の総合熱伝達率 [W/(m²·K)]

(3) 壁面内の熱移動は、2・1の熱伝導の式のままで、次のようになる。

$$[\text{_____}] = [\text{_____}] \div [\text{_____}] \times [\text{_____}]$$

$$q_{insidewall \rightarrow i12} = \frac{l_1}{x_1} (q_{s,insidewall} - q_{12})
 \tag{6}$$

$$q_{i12 \rightarrow i23} = \frac{l_2}{x_2} (q_{12} - q_{23})
 \tag{7}$$

$$q_{i23 \rightarrow outsidewall} = \frac{l_3}{x_3} (q_{23} - q_{s,outsidewall})
 \tag{8}$$

(4) 貫流熱量(熱貫流量)は以下のように算出する。

1) 定常状態(時間とともに変化しない, 安定した状態)の時には, 各層を通過する熱流は全て等しいので,

[室内 壁表面での熱移動] = [壁面内の熱移動] = [壁表面 屋外での熱移動]

$$q_{inside \rightarrow inside\ wall} = q_{inside\ wall \rightarrow 1 \ 2} = q_{1 \ 2 \rightarrow 2 \ 3} = q_{2 \ 3 \rightarrow outside\ wall} = q_{outside\ wall \rightarrow outside} = q_{inside \rightarrow outside} \quad (9)$$

となり, 温度の項を消去すると,

$$q_{inside \rightarrow outside} = \frac{1}{\frac{1}{a_i} + \frac{x_1}{l_1} + \frac{x_2}{l_2} + \frac{x_3}{l_3} + \frac{1}{a_o}} (q_{a,inside} - q_{a,outside}) \quad (10)$$

$$= K (q_{a,inside} - q_{a,outside})$$

$$[\text{ }] = [\text{ }] \times [\text{ }]$$

ただし,

$$K = \frac{1}{\frac{1}{a_i} + \frac{x_1}{l_1} + \frac{x_2}{l_2} + \frac{x_3}{l_3} + \frac{1}{a_o}} \quad (11)$$

K : _____ [W/(m²·K)] 熱の伝わりやすさを表す。

この熱貫流率を, もっと一般的に書くと

$$K = \frac{1}{\frac{1}{a_i} + \frac{x_k}{l_k} + \frac{1}{a_o}} \quad (12)$$

2) 結局, 最終的に _____ (_____) $Q_{inside \rightarrow outside}$ [W] は,

$$Q_{inside \rightarrow outside} = q_{inside \rightarrow outside} S_w$$

$$= K (q_{a,inside} - q_{a,outside}) S_w \quad (13) \text{ (教科書 p.53 の (1.26) '式)}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{a_i} + \frac{x_k}{l_k} + \frac{1}{a_o}} (q_{a,inside} - q_{a,outside}) S_w$$

(ただし, 教科書 p.53 の (1.26) '式の $\frac{x_i}{l_i}$ を, (13) 式では $\frac{x_k}{l_k}$ としている。)

ここで,

S_w : 外壁の面積 [m²]

$$\{ \text{_____} (\text{_____}) \} = \{ \text{_____} \} \\ \times \{ \text{_____} \} \times \{ \text{_____} \}$$

(5)

ここまででは、全て熱の伝わり「やすさ」で考えてきたが、
 逆に「熱の伝わり「_____」」=「_____」で考えるとどうなるか？

- ・室内 壁表面での熱移動は、対流と放射によるものがあるが、一緒にまとめる。

$$q_{\text{insidewall}} = a_i (q_{a,\text{inside}} - q_{s,\text{inside}}) \\ = \frac{1}{r_i} (q_{a,\text{inside}} - q_{s,\text{inside}}) \quad (14)$$

ここで、

r_i : 室内側の _____ [(m²·K)/W] 熱の伝わりにくさを表す。

- ・壁表面 屋外での熱移動は、対流と放射によるものがあるが、一緒にまとめる。

$$q_{\text{outsidewall}} = a_o (q_{s,\text{outside}} - q_{a,\text{outside}}) \\ = \frac{1}{r_o} (q_{s,\text{outside}} - q_{a,\text{outside}}) \quad (15)$$

ここで、

r_o : 屋外側の _____ [(m²·K)/W] 熱の伝わりにくさを表す。

- ・壁面内の熱移動は、2 . 1 の熱伝導の式のままで、次のようになる。

$$q_{\text{insidewall}} = \frac{l_1}{x_1} (q_{s,\text{insidewall}} - q_{12}) = \frac{1}{\frac{x_1}{l_1}} (q_{s,\text{insidewall}} - q_{12}) = \frac{1}{r_1} (q_{s,\text{insidewall}} - q_{12}) \quad (16)$$

$$q_{12} = \frac{l_2}{x_2} (q_{12} - q_{23}) = \frac{1}{\frac{x_2}{l_2}} (q_{12} - q_{23}) = \frac{1}{r_2} (q_{12} - q_{23}) \quad (17)$$

$$q_{23} = \frac{l_3}{x_3} (q_{23} - q_{s,\text{outsidewall}}) = \frac{1}{\frac{x_3}{l_3}} (q_{s,\text{insidewall}} - q_{12}) = \frac{1}{r_3} (q_{s,\text{insidewall}} - q_{12}) \quad (18)$$

ここで、

r_1, r_2, r_3 ,: 各壁の _____ [(m²·K)/W] 熱の伝わりにくさを表す。

・定常状態の時には、各層を通過する熱流は全て等しいので、

$$q_{inside \rightarrow inside\ wall} = q_{inside\ wall \rightarrow 1\ 2} = q_{1\ 2 \rightarrow 2\ 3} = q_{2\ 3 \rightarrow outside\ wall} = q_{outside\ wall \rightarrow outside} = q_{inside \rightarrow outside} \quad (20)$$

となり、温度の項を消去すると、

$$\begin{aligned} q_{inside \rightarrow outside} &= \frac{1}{r_i + r_1 + r_2 + r_3 + r_o} (q_{a,inside} - q_{a,outside}) \\ &= \frac{1}{R} (q_{a,inside} - q_{a,outside}) \\ &= K (q_{a,inside} - q_{a,outside}) \end{aligned} \quad (21)$$

ただし、

$$R = r_i + r_1 + r_2 + r_3 + r_o = \frac{1}{K} \quad (22)$$

R : _____ [(m²・K)/W] 熱の伝わりにくさを表す。

_____ は、_____ の逆数。

この熱貫流抵抗を、もっと一般的に書くと

$$\begin{aligned} R &= r_i + r_k + r_o \\ &= \frac{1}{a_i} + \frac{x_k}{l_k} + \frac{1}{a_o} = \frac{1}{K} \end{aligned} \quad (23)$$

・最終的に貫流熱量（熱貫流量） $Q_{inside \rightarrow outside}$ [W] は、

$$\begin{aligned} Q_{inside \rightarrow outside} &= q_{inside \rightarrow outside} S_w \\ &= \frac{1}{R} (q_{a,inside} - q_{a,outside}) S_w \\ &= K (q_{a,inside} - q_{a,outside}) S_w \end{aligned} \quad (24)$$

p.11 の(13)式と同じこと。

4. 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>