

予習確認プリント

学年：_____ 学籍番号：_____ 名前：_____

・熱貫流抵抗とは？

・熱貫流率とは？

・熱貫流量を求める式は？

※予習の段階に比べて、授業を聞き終わった段階では、何がわかりましたか？

- 1 温度と熱移動 (教科書 pp. 36~43)
- 5 熱貫流量 (教科書 pp. 42~43)

外気の気温がある温度の時に、次のようなことを考える。

- ・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？

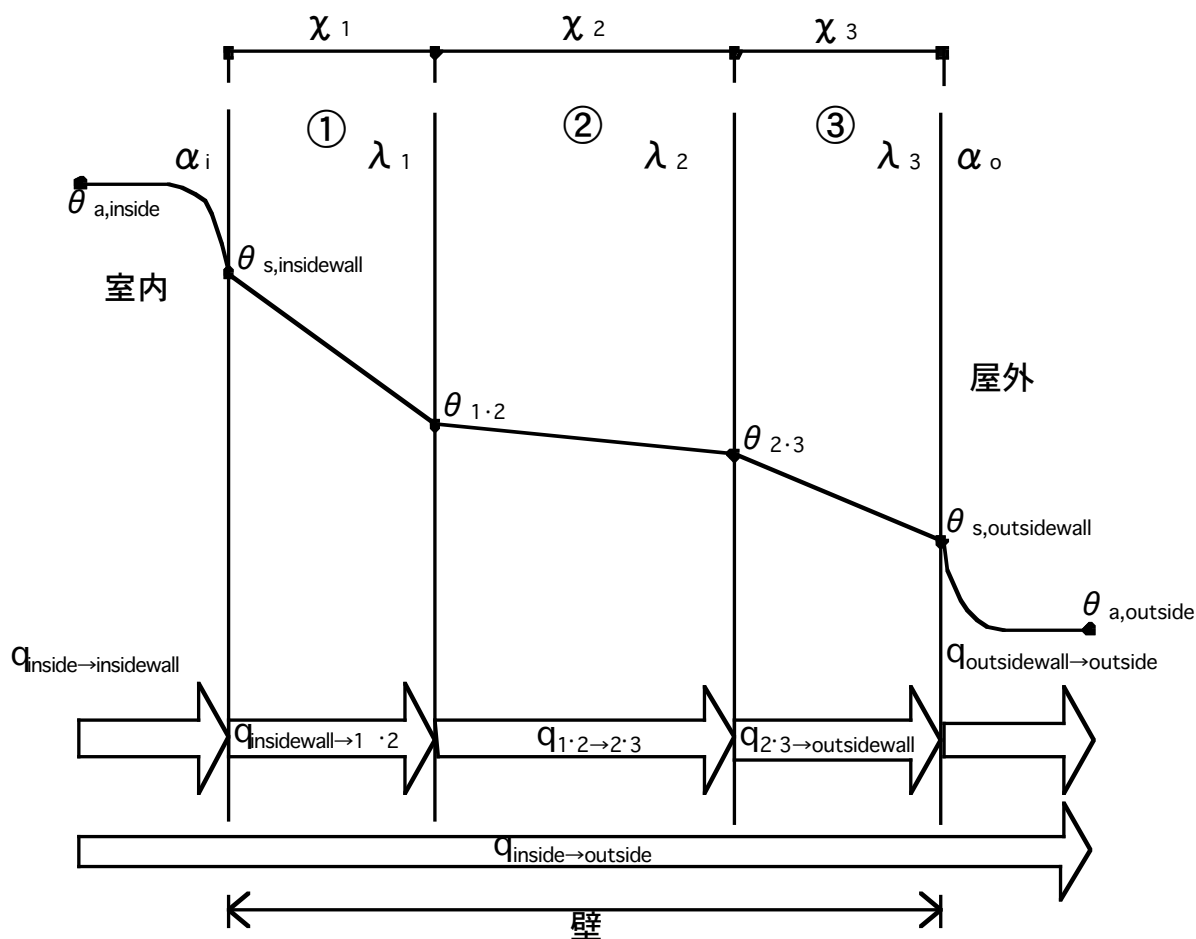


図 熱貫流の計算

図中の記号は、以下の通り。

- x_1 : 1 番目の壁の層の厚さ [m] (2 番目の壁, 3 番目の壁も同様)
- λ_1 : 1 番目の壁の熱伝導率 [W/m·K] (2 番目の壁, 3 番目の壁も同様)
- $\theta_{1,2}$: 1 番目の壁と 2 番目の壁との間での温度 [K] (2 番目の壁と 3 番目の壁との間での温度も同様)
- $\theta_{a,inside}$: 室内側の気温 [K] (その他の温度の表示も同様)
- r_1 : 1 番目の壁の熱伝導抵抗 [(m²·K)/W] (2 番目の壁, 3 番目の壁も同様)

α_i : 室内側の側壁の総合熱伝達率 [W/(m²·K)]

α_o : 屋外側の側壁の総合熱伝達率 [W/(m²·K)]

$q_{1.2 \rightarrow 2.3}$: 1 番目の壁と 2 番目の壁との間から 2 番目の壁と 3 番目の壁との間へ流れる熱量 [W/m²] (その他の熱量の表示も同様)

(1) 室内→側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。

$$\begin{aligned} \rightarrow \{ \text{ } \} &= \{ \text{ } \} + \{ \text{ } \} \\ &= \{ \text{ } \} \\ &\quad \times \{ \text{ } \} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{inside \rightarrow insidewall} &= \alpha_{c,inside} \cdot (\theta_{a,inside} - \theta_{s,inside}) + \alpha_{r,inside} \cdot (\theta_{a,inside} - \theta_{s,inside}) \\ &= (\alpha_{c,inside} + \alpha_{r,inside}) \cdot (\theta_{a,inside} - \theta_{s,inside}) \\ &= \alpha_i \cdot (\theta_{a,inside} - \theta_{s,inside}) \end{aligned} \quad \langle 1 \rangle$$

ここで、

α_i : 室内側の側壁の総合熱伝達率 [W/(m²·K)]

$$(\text{ } \text{熱伝達率}) = (\text{ } \text{熱伝達率}) + (\text{ } \text{熱伝達率})$$

$$\alpha_i = \alpha_{c,inside} + \alpha_{r,inside} \quad \langle 2 \rangle$$

ここで、

$\alpha_{c,inside}$: 室内側の側壁の対流熱伝達率 [W/(m²·K)]

$\alpha_{r,inside}$: 室内側の側壁の放射熱伝達率 [W/(m²·K)]

添え字は、以下の通り

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

注) 「放射による熱移動量」の式については、上記の式は近似式である。すなわち、先週の範囲である教科書 p. 38 の式も近似式である。正しくは、もう少し複雑であるが、簡単のため、もしくは実用上問題のない範囲での式を示している。より詳しく知りたい人は、参考文献[1] ~ [3]などを参照。

(2) 側壁表面→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。

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

$$\begin{aligned} q_{\text{outsidewall} \rightarrow \text{outside}} &= \alpha_{c,\text{outside}} \cdot (\theta_{s,\text{outside}} - \theta_{a,\text{outside}}) + \alpha_{r,\text{outside}} \cdot (\theta_{s,\text{outside}} - \theta_{a,\text{outside}}) \\ &= (\alpha_{c,\text{outside}} + \alpha_{r,\text{outside}}) \cdot (\theta_{s,\text{outside}} - \theta_{a,\text{outside}}) \quad \langle 3 \rangle \\ &= \alpha_o \cdot (\theta_{s,\text{outside}} - \theta_{a,\text{outside}}) \end{aligned}$$

ここで、

α_o : 屋外側の側壁の総合熱伝達率 [W/(m²・K)]

(3) 壁面内の熱移動は、教科書 p. 39 の熱伝導の式のままで、次のようになる。

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

$$q_{\text{insidewall} \rightarrow 1.2} = \frac{\lambda_1}{x_1} \cdot (\theta_{s,\text{insidewall}} - \theta_{1.2}) \quad \langle 4 \rangle$$

$$q_{1.2 \rightarrow 2.3} = \frac{\lambda_2}{x_2} \cdot (\theta_{1.2} - \theta_{2.3}) \quad \langle 5 \rangle$$

$$q_{2.3 \rightarrow \text{outsidewall}} = \frac{\lambda_3}{x_3} \cdot (\theta_{2.3} - \theta_{s,\text{outsidewall}}) \quad \langle 6 \rangle$$

(4) 熱貫流量 (貫流熱量) は以下のように算出する。

注) 熱流の単位

熱流の単位 : [W] (ワット)

注) 1 W = 1 J/s (1 秒間に消費されたり, 使用されたりするエネルギー。J は熱量の単位。)

なお, 「100V40W」と書いてある白熱電球は, 100V で使う時の消費電力が 40W との意味。

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, それぞれの層を通過する熱流は全て等しいので,

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

$$q_{inside \rightarrow insidewall} = q_{insidewall \rightarrow 1.2} = q_{1.2 \rightarrow 2.3} = q_{2.3 \rightarrow outsidewall} = q_{outsidewall \rightarrow outside} = q_{inside \rightarrow outside} \quad \langle 7 \rangle$$

となり, 温度の項を消去すると,

$$q_{inside \rightarrow outside} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{x_1}{\lambda_1} + \frac{x_2}{\lambda_2} + \frac{x_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_o}} \cdot (\theta_{a,inside} - \theta_{a,outside}) \quad \langle 8 \rangle$$

$$= K \cdot (\theta_{a,inside} - \theta_{a,outside})$$

→ [] = [] × []

ただし,

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{x_1}{\lambda_1} + \frac{x_2}{\lambda_2} + \frac{x_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_o}} \quad \langle 9 \rangle$$

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,

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{x_k}{\lambda_k} + \frac{1}{\alpha_o}} \quad \langle 10 \rangle$$

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

$$\begin{aligned} Q_{inside \rightarrow outside} &= q_{inside \rightarrow outside} \cdot S_w \\ &= K \cdot (\theta_{a,inside} - \theta_{a,outside}) \cdot S_w \\ &= \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{x_k}{\lambda_k} + \frac{1}{\alpha_o}} \cdot (\theta_{a,inside} - \theta_{a,outside}) \cdot S_w \end{aligned} \quad \langle 11 \rangle$$

ここで,

S_w : 壁の面積 [m²]

$$\rightarrow [\text{_____} (\text{_____})] = [\text{_____}] \times [\text{_____}] \times [\text{_____}]$$

(5)

ここまでは, 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→側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。

$$\begin{aligned} q_{inside \rightarrow insidewall} &= \alpha_i \cdot (\theta_{a,inside} - \theta_{s,inside}) \\ \rightarrow &= \frac{1}{r_i} \cdot (\theta_{a,inside} - \theta_{s,inside}) \end{aligned} \quad \langle 12 \rangle$$

ここで,

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

・側壁表面→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。

$$\begin{aligned} q_{outsidewall \rightarrow outside} &= \alpha_o \cdot (\theta_{s,outside} - \theta_{a,outside}) \\ \rightarrow &= \frac{1}{r_o} \cdot (\theta_{s,outside} - \theta_{a,outside}) \end{aligned} \quad \langle 13 \rangle$$

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、教科書 p. 39 の熱伝導の式のままで、次のようになる。

$$q_{insidewall \rightarrow 1.2} = \frac{\lambda_1}{x_1} \cdot (\theta_{s,insidewall} - \theta_{1.2}) = \frac{1}{\frac{x_1}{\lambda_1}} \cdot (\theta_{s,insidewall} - \theta_{1.2}) = \frac{1}{r_1} \cdot (\theta_{s,insidewall} - \theta_{1.2}) \quad \langle 14 \rangle$$

$$q_{1.2 \rightarrow 2.3} = \frac{\lambda_2}{x_2} \cdot (\theta_{1.2} - \theta_{2.3}) = \frac{1}{\frac{x_2}{\lambda_2}} \cdot (\theta_{1.2} - \theta_{2.3}) = \frac{1}{r_2} \cdot (\theta_{1.2} - \theta_{2.3}) \quad \langle 15 \rangle$$

$$q_{2.3 \rightarrow outsidewall} = \frac{\lambda_3}{x_3} \cdot (\theta_{2.3} - \theta_{s,outsidewall}) = \frac{1}{\frac{x_3}{\lambda_3}} \cdot (\theta_{s,insidewall} - \theta_{1.2}) = \frac{1}{r_3} \cdot (\theta_{s,insidewall} - \theta_{1.2}) \quad \langle 16 \rangle$$

ここで、

r_1, r_2, r_3 : 各層の _____ [(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、

$$q_{inside \rightarrow insidewall} = q_{insidewall \rightarrow 1.2} = q_{1.2 \rightarrow 2.3} = q_{2.3 \rightarrow outsidewall} = q_{outsidewall \rightarrow outside} = q_{inside \rightarrow outside} \quad \langle 17 \rangle$$

となり、温度の項を消去すると、

$$\begin{aligned} q_{inside \rightarrow outside} &= \frac{1}{r_i + r_1 + r_2 + r_3 + r_o} \cdot (\theta_{a,inside} - \theta_{a,outside}) \\ &= \frac{1}{R} \cdot (\theta_{a,inside} - \theta_{a,outside}) \\ &= K \cdot (\theta_{a,inside} - \theta_{a,outside}) \end{aligned} \quad \langle 18 \rangle$$

ただし、

$$R = r_i + r_1 + r_2 + r_3 + r_o = \frac{1}{K} \quad \langle 19 \rangle$$

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、

$$\begin{aligned} R &= r_i + \sum r_k + r_o \\ &= \frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{x_k}{\lambda_k} + \frac{1}{\alpha_o} = \frac{1}{K} \end{aligned} \quad \langle 20 \rangle$$

(6)

最終的に熱貫流量 (貫流熱量) $Q_{inside \rightarrow outside}$ [W] は, 以下のようにまとめることができる。

$$\begin{aligned} Q_{inside \rightarrow outside} &= q_{inside \rightarrow outside} \cdot S_w \\ &= \frac{1}{R} \cdot (\theta_{a,inside} - \theta_{a,outside}) \cdot S_w \\ &= K \cdot (\theta_{a,inside} - \theta_{a,outside}) \cdot S_w \end{aligned} \quad \langle 21 \rangle$$

【教科書の訂正】

p. 42 「5-1 熱貫流率・熱貫流量の求め方」の「②熱貫流率」

右下「熱貫流率：1m²の壁面の両側の温度差が 1K の場合に流れる熱量」

→「熱貫流率：1m²の壁面の両側の温度差が 1K の場合に流れる熱流」

p. 42 「③熱貫流量」

右側の囲みの図中の「熱量」(合計 4ヶ所)

→「熱流」(合計 4ヶ所)

p. 42 真ん中の「例」

・ガラスウールの熱伝導率「0.40」W/(m²・K) (合計 2ヶ所)

→「0.04」W/(m²・K) (合計 2ヶ所)

・「熱貫流抵抗 $R \doteq 0.393$ したがって 0.39(m²・K)/W」

→「熱貫流抵抗 $R \doteq 1.294$ したがって 1.29(m²・K)/W」

・「熱貫流率 $K = 1/0.39 \doteq 2.5641$ したがって 2.564W/(m²・K)」

→「熱貫流率 $K = 1/1.29 \doteq 0.775$ したがって 0.78W/(m²・K)」

・「熱貫流量 $q = 2.564 \times (25-5) = 51.28$ したがって 51.28W/m²」

→「熱貫流量 $q = 0.78 \times (25-5) = 15.6$ したがって 15.6W/m²」

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

[1] 『環境工学教科書 第二版』(環境工学教科書研究会編著, 彰国社, 2000年8月, ¥3,500+税, ISBN: 4-395-00516-0) [開架 2, 525.1||Ka 86, 0000310578]

[2] 『最新 建築環境工学 [改訂3版]』(田中俊六・武田仁・岩田利枝・土屋喬雄・寺尾道仁, 井上書院, 2006年3月, ¥3,000+税, ISBN: 4-7530-1742-7) [開架 2, 525.1||Ta 84, 0000300425]

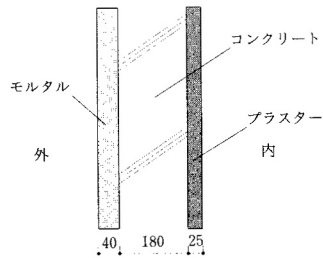
[3] 『エース 建築環境工学 II- 熱・湿気・換気-』(鈴木修一・池田哲朗・新田勝通, 朝倉書院, 2002年3月, ¥3,800+税, ISBN: 4-254-26863-7) [開架 2, 525.1||H 82, 0000263289]

学年：_____ 学籍番号：_____ 名前：_____

— 演習問題 —

〈3-1〉 次の図の外壁 (面積 40 m^2) で、外気温を 0°C 、室内気温を 20°C とした場合の熱貫流量を求めなさい。

| | |
|---|---|
| $\alpha_i = 9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ | $\alpha_o = 23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ |
| モルタル： $\lambda_1 = 1.3 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ | $l_1 = 0.04 \text{ m}$ |
| コンクリート： $\lambda_2 = 1.1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ | $l_2 = 0.18 \text{ m}$ |
| プラスター： $\lambda_3 = 0.62 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ | $l_3 = 0.025 \text{ m}$ |



演習問題

注) 上の問題文中の l_i を、教科書では d_i 、配付資料では x_i としている。