

予習確認プリント

学年：_____ 学籍番号：_____ 名前：_____

・熱貫流抵抗とはどのようなものですか？できるだけ詳しく説明して下さい。

・熱貫流率とはどのようなものですか？（熱貫流率と熱貫流抵抗の関係は？）

・熱貫流量を求める式はどのような「かたち」ですか？（熱貫流量と熱貫流率の関係は？）

※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)」の補足

⇒どんな仕組みで、熱貫流率や熱貫流量を求めるのだろうか？

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？

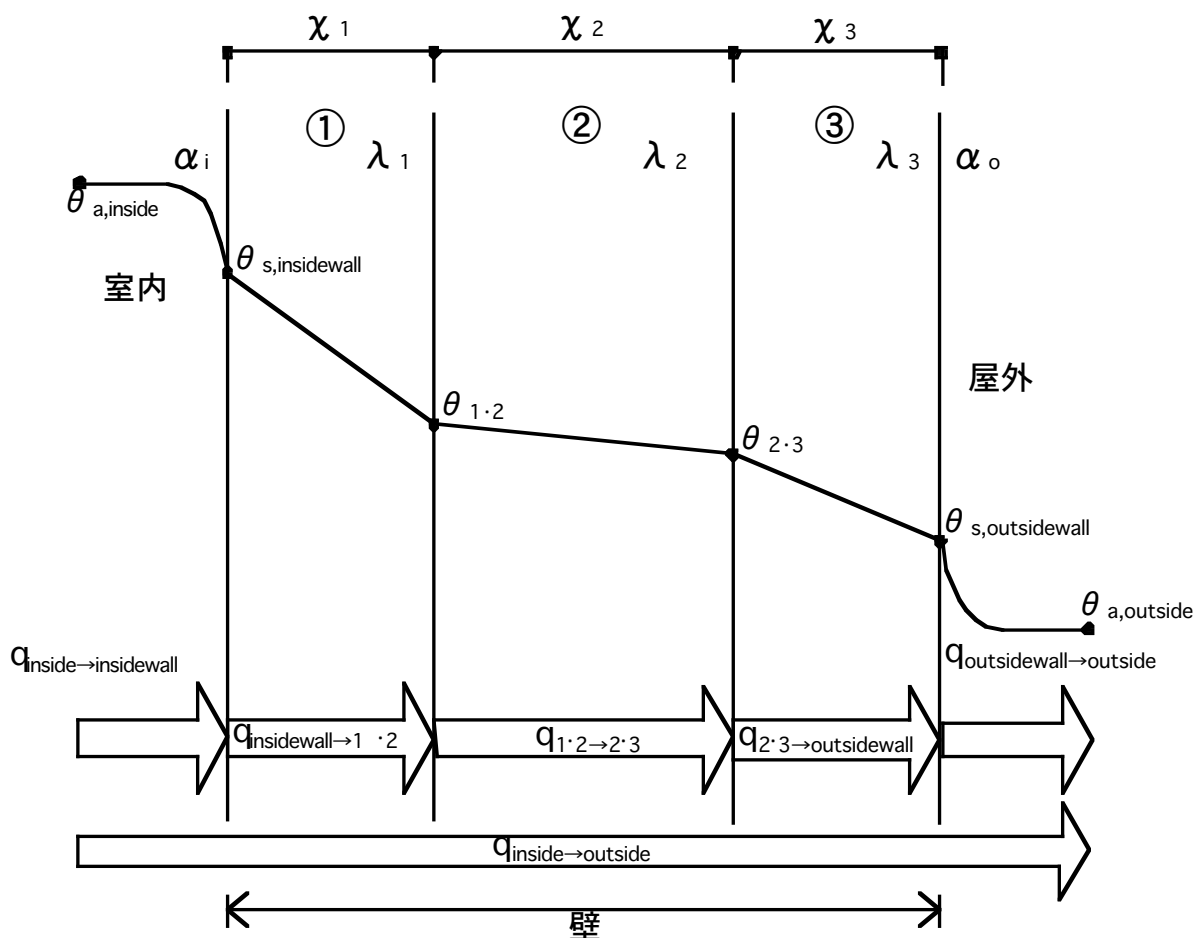


図 熱貫流の計算

図中の記号は、以下の通り。

x_1 : 1 番目の壁材の層の厚さ [m] (2 番目の壁, 3 番目の壁も同様)

λ_1 : 1 番目の壁材の熱伝導率 [W/m·K] (2 番目の壁, 3 番目の壁も同様)

$\theta_{1,2}$: 1 番目の壁材と 2 番目の壁材が接するところでの温度 [K] (2 番目の壁材と 3 番目の壁材が接するところでの温度も同様)

$\theta_{a,inside}$: 室内側の気温 [K] (その他の温度の表示も同様)

r_1 : 1 番目の壁材の熱伝導抵抗 [(m²·K)/W] (2 番目の壁材, 3 番目の壁材も同様)

α_i : 室内側の壁の総合熱伝達率 [W/(m²·K)]

α_o : 屋外側の壁の総合熱伝達率 [W/(m²·K)]

$q_{1,2 \rightarrow 2,3}$: 1 番目の壁材と 2 番目の壁材が接するところから, 2 番目の壁材と 3 番目の壁材が接するところへ流れる熱量 [W/m²] (その他の熱量の表示も同様)

(1) 「室内→室内側の壁表面」での熱移動は, 対流と放射によるものがある。一緒にまとめる。

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

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

ここで,

α_i : 室内側の壁の総合熱伝達率 [W/(m²·K)]

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

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

ここで,

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

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

添え字は, 以下の通り

inside : 室内, *a* : 気温, *s* : 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 番目の壁材と 2 番目の壁材が接するところ (以下同じ)

注)先週の配付プリント p. 10 で補足したとおり, 「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) 「屋外側の壁表面→屋外」での熱移動は、対流と放射によるものがある。一緒にまとめる。

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

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

ここで、

α_o : 屋外側の壁の総合熱伝達率 [W/(m²·K)]

(3) 「壁面内のそれぞれの壁材」での熱移動は、教科書 p. 39 の熱伝導の式のままで、次のようになる。

$$\rightarrow [\quad \quad \quad] = [\quad \quad \quad] \div [\quad \quad \quad] \times [\quad \quad \quad]$$

$$q_{\text{insidewall} \rightarrow 1,2} = \frac{\lambda_1}{x_1} \cdot (\theta_{s,\text{insidewall}} - \theta_{1,2}) \quad \langle 4 \rangle$$

$$q_{1,2 \rightarrow 2,3} = \frac{\lambda_2}{x_2} \cdot (\theta_{1,2} - \theta_{2,3}) \quad \langle 5 \rangle$$

$$q_{2,3 \rightarrow \text{outsidewall}} = \frac{\lambda_3}{x_3} \cdot (\theta_{2,3} - \theta_{s,\text{outsidewall}}) \quad \langle 6 \rangle$$

(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。ちなみに, 座っている人間の発熱量は 1 人あたりおおよそ 100W 程度。

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→室内側の壁表面での熱移動] = [壁面内のそれぞれの壁材での熱移動量] = [屋外側の壁表面→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,

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

※ここまでは, 1 m³あたりの壁の話を考えていることに注意

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]

$$\begin{aligned} \rightarrow [\text{_____} (\text{_____})] &= [\text{_____}] \\ &\quad \times [\text{_____}] \times [\text{_____}] \end{aligned}$$

→→ 「屋外気温」と「室内気温」だけで考えれば良いので便利

注) 定常と非定常:

ストローでジュースを吸い上げる時を想像してみよう。最初は徐々に、ジュースが口に近づく(非定常)が、一旦ジュースが口に入ってしまうと暫く同じ量のジュースが同じスピードで口の中に入ってくる(定常)。

(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→室内側の壁表面」での熱移動は、対流と放射によるものがある。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 : 室内側の壁の総合 _____ [(m²・K)/W] →熱の伝わりにくさを表す。

・「屋外側の壁表面→屋外」での熱移動は、対流と放射によるものがある。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 : 屋外側の壁の総合 _____ [(m²・K)/W] → 熱の伝わりにくさを表す。

・「壁面内のそれぞれの壁材」での熱移動は, 教科書 p. 39 の熱伝導の式のままで次のようになる。

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

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

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

ここで,

r_1, r_2, r_3 : 壁面内のそれぞれの壁材の _____ [(m²・K)/W] → 熱の伝わりにくさを表す。

・定常状態の時には, それぞれの層を通過する熱流は全て等しいので,

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

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。

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

【参考文献】 (順に, タイトル, 編著者名, 出版社, 発行年月, 価格, ISBN。[] 内は熊本県立大学学術情報メディアセンター図書館所蔵情報)。

- [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) [和書(2F), 525.1||Ka 86, 0000275620, 0000308034]
- [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) [和書(2F), 525.1||Ta 84, 0000300425]
- 改訂 4 版もあり (2014 年 2 月, ISBN: 978-4-7530-1757-7) [和書(2F), 525.1||Ta 84, 0000375755]
- [3] 『エース建築工学シリーズ エース建築環境工学 II-熱・湿気・換気-』(鉾井修一・池田徹郎・新田勝通, 朝倉書店, 2002 年 3 月, ¥3,800 + 税, ISBN: 4-254-26863-7) [和書(2F), 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。

$$\alpha_i = 9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\alpha_o = 23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\text{モルタル: } \lambda_1 = 1.3 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

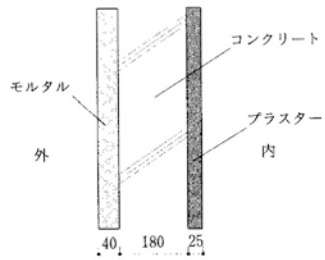
$$l_1 = 0.04 \text{ m}$$

$$\text{コンクリート: } \lambda_2 = 1.1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

$$l_2 = 0.18 \text{ m}$$

$$\text{プラスター: } \lambda_3 = 0.62 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

$$l_3 = 0.025 \text{ m}$$



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。