

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ください。

・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？

第 3 回目 熱貫流量 (教科書 pp. 42～43)

※おおよそ板書の 1 面が, 配付資料の半ページに相当

◎ 前期の前半の学修内容

対象: すまい, 住居, 建物そのもの

第 2 回目 熱の動きを知ろう

第 3 回目 簡単な壁を対象に

第 4, 5 回目 建物全体を対象に

□ 0 熱貫流量を理解しよう

□ 1 今日の目標

□ 2

□ 3

□ 4

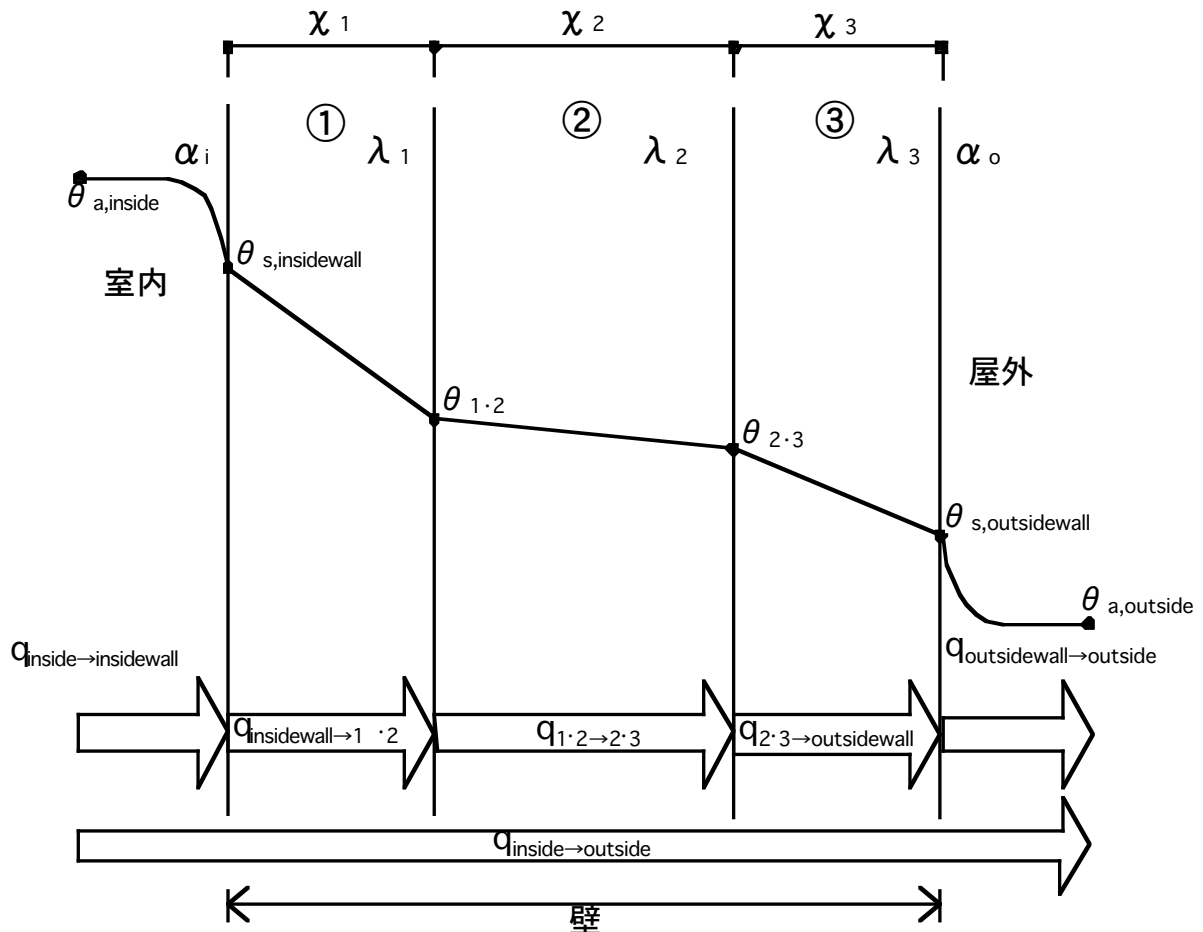
□ 1 今日の目標

※外気の気温がある温度の時,

- ・室内の温度をある温度にするためには, どんな材料の壁にすればよいか?
- ・どんな材料の壁にすれば, 室内の気温は何度になるか?

2 知っているところまで分割しよう

(1) 壁の中の温度変化の図 ←基本の図！！しっかり理解しよう！！



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)

(2) 「室内→室内側の壁表面」での熱移動

→ 「対流 (熱伝達)」と「放射 (熱伝達)」の 2 つあり！！

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

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

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)

- ・先週の配付資料 15 頁の補足のとおり, 「放射による熱移動量」の上記の式は近似式
- ・教科書 p. 38 の式も近似式
- ・正しくは, もう少し複雑であるが, 上記の式で, 実用上は問題ない
- ・詳しく知りたい人は, 参考文献 [1] ~ [3] などを参照

(3) 「屋外側の壁表面→屋外」での熱移動

→ 「対流 (熱伝達)」と「放射 (熱伝達)」の 2 つあり！！

→ (2) と同じ考え方

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

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

ここで,

α_o : 屋外側の壁の総合熱伝達率 [W/(m²·K)]

(4) 「壁の中」での熱移動

→ 固体と固体が接しているのだから、熱伝導のみ！！

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

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

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

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

※ (1) の図の「壁の中」では、3つの材質を考えているので、3つの式が出てくる

3 どうしたら全体を一つにまとめることができるか？

(1) 目標

「1 今日の目標」で考えたとおり、

壁での熱移動量 = () × (温度差) の形にしたい

(2) それぞれの場所での熱移動の量同士の関係は？

定常状態 (時間とともに変化しない, 安定した状態) の時:

(3) 熱貫流率の求め方

[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]

$$q_{inside \rightarrow insidewall} = q_{insidewall \rightarrow 1 \cdot 2} = q_{1 \cdot 2 \rightarrow 2 \cdot 3} = q_{2 \cdot 3 \rightarrow outsidewall} = q_{outsidewall \rightarrow outside} = q_{inside \rightarrow outside} \quad \langle 7 \rangle$$

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

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

→ [] = [] × []

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, 1m²あたりの壁の話を考えていることに注意

(4) 熱貫流量の求め方

※熱貫流量 (貫流熱量) は、壁全体の話なので、

_____ (_____) $Q_{inside \rightarrow outside}$ [W] は、

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

ここで、

S_w : 壁の面積 [m²]

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

※「屋外気温」と「室内気温」だけで考えれば良いので便利

(5) どこでも熱移動量が等しい

4 補足 3 つ

(1) 補足の 1 つ目 ⇒ 「熱の伝わり「にくさ」 = 「抵抗」で考えると

【→補足：配付資料 27~28 頁を参照】

◎熱貫流量 (貫流熱量) $Q_{inside \rightarrow outside}$ [W] は,

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

ここで,

R : 熱貫流抵抗 [(m²・K)/W] →熱の伝わりにくさ。

(2) 補足の 2 つ目 ⇒ 「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)。

(3) 補足の 3 つ目 ⇒ 熱流の単位

熱流の単位: [W] (ワット)

- ・ 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。)
- ・ 「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
- ・ 座っている人間の発熱量は 1 人あたりおおよそ 100W 程度

【【補足】】

1 温度と熱移動 (教科書 pp. 36~43)

5 熱貫流量 (教科書 pp. 42~43)

「①熱貫流抵抗」の補足 (求め方)

- ・「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あり

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

ここで、

r_i : 室内側の壁の総合熱伝達抵抗 [(m²・K)/W] →熱の伝わりにくさ

- ・「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あり

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

ここで、

r_o : 屋外側の壁の総合熱伝達抵抗 [(m²・K)/W] →熱の伝わりにくさ

- ・「壁面内のそれぞれの壁材」での熱移動は、熱伝導のみ

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

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

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

ここで、

r_1, r_2, r_3 : 壁面内のそれぞれの壁材の熱伝導抵抗 [(m²・K)/W] →熱の伝わりにくさ。

- ・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、

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

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

ただし,

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

R : 熱貫流抵抗 [(m²·K)/W] → 熱の伝わりにくさ。

→ 熱貫流抵抗は、熱貫流率の逆数

この熱貫流抵抗を、もっと一般的に書くと、

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

【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]

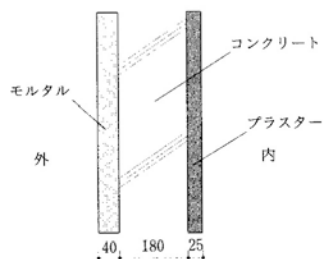
[3] 『エース建築工学シリーズ エース建築環境工学 II-熱・湿気・換気-』(鈴木修一・池田徹郎・新田勝通、朝倉書店、2002年3月、¥3,800+税、ISBN:4-254-26863-7) [和書(2F), 525.1||H 82, 0000263289]

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。

| | |
|---|---|
| $\alpha_i = 9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ | $\alpha_o = 23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ |
| 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。