

## 第1節 伝熱

## 1. 熱の移動

水が高い所から低い所に流れるように、熱は常に**高温側から低温側に移動し**、逆方向に流れることはない。

熱移動の基本形態（プロセス）には、**伝導（熱伝導）**、**対流（熱対流）**、**放射（熱放射）**の3つがある。



伝導

対流

放射

## 1 伝導（熱伝導）

熱が**物質**を伝わって、高温側から低温側へ移動する現象。

固体だけでなく液体や気体にも見られるが、密度の高い物質ほど熱を伝えやすいため、伝熱は固体が最も大きく、液体、気体の順に小さくなる。

## 2 対流（熱対流）

熱が気体や液体など、**流体の循環**によって移動する現象。

伝熱の大きさは、水や空気など、流体の種類によって異なる。

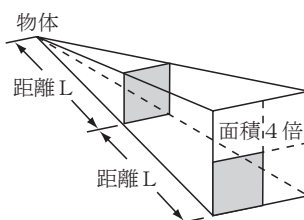
各部に温度差があると、浮力によって流体は移動する。この浮力だけによる流れを**自然対流**、風や送風機・ポンプなど、外部からの力による流れを**強制対流**という。

## 3 放射（熱放射）

熱が物体から他の物体へ直接、**電磁波**の形で移動する現象。

太陽の発する熱（日射）が、空気のない大気圏外を通過して地球に届くように、**真空中でも熱は伝わる**。

放射による伝熱は、熱を発する物体の**温度が高いほど大きく**、伝熱量は**絶対温度の4乗に比例する**。



## 【用語】ステファン・ボルツマンの法則

物体から放射される熱  $E$  は、表面の絶対温度の4乗に比例する。

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

$\varepsilon$ : 放射率

$\sigma$ : ステファンボルツマン定数

$T$ : 物体表面の絶対温度 [K]

放射による伝熱量は、物体からの距離の2乗に反比例して減衰する。たとえば、熱を放射している物体からの距離が2倍になると、同じ量の熱が4倍の面積に拡散するため、単位面積当たりの受熱量は1/4になる。

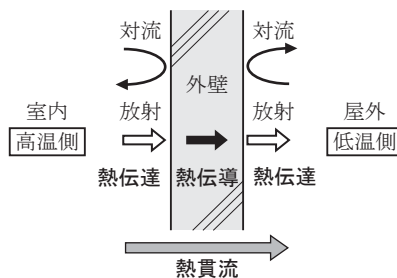
## 2. 壁体の伝熱

環境工学では、建築物の壁体などでの熱移動を、**熱伝達**、**熱伝導**、**熱貫流**<sup>かんりゅう</sup>という3つの過程として考える。

### 1 熱伝達

熱伝達は、空気から壁面、または、壁面から空気という、気体と固体の間の熱移動である。

主に空気の**対流**と、他の物体からの**放射**という2つの要因があり、対流による伝熱を**対流熱伝達**、放射による伝熱を**放射熱伝達**という。



### 2 熱伝導

材料の**高温側表面**から内部を通過し、**低温側表面**へと熱が移動する現象であり、基本的な熱移動の「伝導（熱伝導）」と同じ過程である。

壁体が種類の異なる**複数の材料**で構成されている場合にも、複合した壁体の高温側表面から順に熱が受け渡され、低温側表面へと熱が移動する。

### 3 熱貫流<sup>ねつかんりゅう</sup>

高温側の空気から壁面への**熱伝達**、壁面から反対側の壁面への**熱伝導**、そして壁面から低温側の空気への**熱伝達**という連続した熱移動を、すべて**総合**した過程が熱貫流である。

## 3. 伝熱の指標

### 1 熱伝達率 ( $\alpha$ )

壁表面と空気との間での「熱の**伝わりやすさ**」を示し、値が**大きい**ほど熱が**伝わりやすい**ことを表す。

熱伝達は、対流熱伝達と放射熱伝達の2つに分けられるため、各々を**対流熱伝達率**、**放射熱伝達率**とよび、全体の熱伝達率（**総合熱伝達率**）は2つを合計した値になる。

#### ①単位

熱伝達率は、気温と壁表面温度との差  $1\text{K}$ （ケルビン）当たり、壁の表面積  $1\text{m}^2$  当たり、**1秒間**当たりの熱量（ $\text{W}$ ：ワット）で、単位は  $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ 。

②熱伝達抵抗 ( $1/\alpha$ )

熱伝達率 ( $\alpha$ ) の逆数で、値が大きいほど熱が伝わりにくいことを表す。

単位は、熱伝達率の単位の分母と分子を入れ換えた [ $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ]。

## ③熱伝達率の値

熱伝達率は各種の条件により異なるが、設計段階で一般的に用いられる値を右の表に示す。

|        | 熱伝達率 [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ] |     |
|--------|-------------------------------------------------|-----|
|        | 屋外側                                             | 室内側 |
| 総合熱伝達率 | 23.3                                            | 9.3 |

## ④熱伝達率の特性

熱伝達率の値が大きくなる要因には、次の2つがある。

(1) 壁の表面に当たる風速が大きいほど、大きい。

風速が大きいと、強制対流による伝熱が大きくなる。一般に、風速の大きい屋外のほうが室内よりも熱伝達率の値は大きい。

(2) 壁の表面の凹凸が大きいほど、大きい。

壁表面が粗面で、空気と接する面積が大きいと、熱伝達率の値は大きくなる。

## Check Point

- ①壁体表面の対流熱伝達率は、風速が大きいほど大きくなる傾向がある。
- ②壁体表面の熱伝達率は、一般に、平滑面よりも粗面のほうが大きい。
- ③物体の表面から射出される放射量は、物体の表面の絶対温度を2倍にすると16倍になる。

## 解答

①正 ②正

③正 物体表面の絶対温度の4乗に比例する。

2 熱伝導率 ( $\lambda$ )

壁を構成する各材料の内部での「熱の伝わりやすさ」を示し、値が大きいほど熱が伝わりやすいことを表す。ただし、材料の種類ごとに熱伝導率の値は異なる。

## ①単位

熱伝導率は、壁を構成する各材料の両側の表面温度の差 1K 当たり、表面積  $1\text{m}^2$  当たり、1 秒間あたりに伝わる熱量 (W) である。ただし、材料の厚さが増すほど熱は伝わりにくくなることから、材料の厚さ 1m 当たりの値で表す。そのため、単位は熱伝達率とは異なり、 $[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$  である。

②熱伝導抵抗 ( $d/\lambda$ )

熱伝導率 ( $\lambda$ ) の逆数に材料の厚さ (d) を掛けた値で、この値が大きいほど熱が伝わりにくいことを表す。

材料の厚さを含むため、単位は熱伝達抵抗と同じ [ $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ] になる。

|             | 材料名     | 熱伝導率<br>$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ |
|-------------|---------|----------------------------------------------|
| 金 属         | アルミニウム  | 210                                          |
|             | 鋼材      | 45                                           |
| セメント<br>ガラス | コンクリート  | 1.4                                          |
|             | れんが     | 0.80                                         |
|             | 板ガラス    | 0.78                                         |
|             | ALC     | 0.17                                         |
| 木 材         | 軽量材(杉)※ | 0.14                                         |
| 断熱材         | グラスウール  | 0.05                                         |
| その他         | 水       | 0.55                                         |
|             | 空気      | 0.02                                         |

※気乾状態 (含水率 80%)。

熱伝導率の単位の数値の分母と分子を入れ換えるのではないことに注意する。なお、熱伝導率の逆数 ( $1/\lambda$ ) は**熱伝導比抵抗** (単位:  $\text{m} \cdot \text{K}/\text{W}$ ) という別の名称になる。

③熱伝導率の値

代表的な建築材料の熱伝導率を表に示す。

④熱伝導率の特性

材料の熱伝導率が**大きくなる** (伝熱が大きくなる) 要因には、次の3つがある。

(1) 材料内部に含まれる**空気量が少ないと、大きい**。

前述のように、気体のような密度の低い物質は伝導による伝熱が小さい。身近な生活環境で最も密度の低い物質は空気であり、内部に含まれる空気量が少ないほど、材料全体の熱伝導率は大きくなる。

(2) 材料内部の**空気が流動すると、大きい**。

空気中では、伝導よりも対流による伝熱のほうが大きいため、空気が流動して対流が大きくなると、熱伝導率は大きくなる。

(3) 材料の**温度が高いほど、一般に大きい**。

熱伝導率は温度によって変化し、大部分の材料は温度が高くなると、それに比例して大きくなる。ただし、シリコンゴムなどのように、温度上昇に比例して熱伝導率が小さくなる材料もある。

熱伝導に関する重要事項

●材料が**水や湿気**を吸収すると、熱伝導率が**大きくなる**。

これは、材料内部の熱伝導率の小さい**空気**が、それよりも熱伝導率のはるかに大きな**水** (約 25 倍) と入れ替わるためである。**グラスウール**などの水湿分を吸収しやすい材料は特に影響を受けやすく、**断熱性能**が大きく**低下**する。

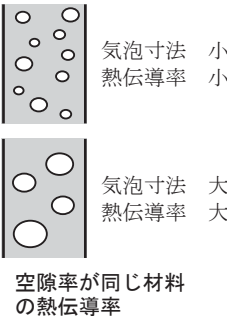
●材料の**かさ比重**が**大きい**ほど、一般に熱伝導率が**大きくなる**。

たとえば、「**金属**>**コンクリート**>**木材**」という大小関係になる。これは、材料内部に含まれる気泡が少ないほど、熱が伝わりやすくなるためである。

ただし、**グラスウール**などの繊維系の断熱材は、建材として使用される範囲では、かさ比重が大きいほど、反対に熱伝導率が**小さくなる**。これは、内部に生じる**空気の流動**の影響が強く現われるためである。

●材料の内部に含まれる空気量の合計が同じ (**空隙率**が同じ) 場合には、**気泡寸法**が**大きい**ほど、熱伝導率が**大きくなる**。

これは、気泡寸法が大きくなるほど、気泡内部の**対流**による伝熱が**大きくなる**ためである。



【用語】かさ比重

内部に気泡を含んだ状態の体積で、質量を割った値。見かけの密度ともいう。

【用語】空隙率

内部に気泡を含んだ状態の体積のうち、気泡の占める割合。

## Check Point

- ① 繊維系の断熱材が結露などによって湿気を含むと、その熱伝導抵抗は小さくなる。  
 ② グラスウールは、一般に、かさ比重が大きくなるほど熱伝導率は小さくなる。  
 ③ 同種の発泡性の断熱材で、空隙率が同じであれば、材料内部の気泡寸法が大きいものほど、熱伝導率は小さくなる。

解答

①正 ②正 ③誤

3 熱貫流率 ( $K$ )

熱貫流率は、高温側の壁表面での熱伝達、壁内部での熱伝導、低温側の壁表面での熱伝達を総合した「壁全体の熱の伝わりやすさ」を示し、値が**大きい**ほど熱が**伝わりやすい**ことを表す。

熱貫流率は、外壁などの断熱性能を示すのに用いられ、値が**大きい**ほど、逆に断熱性能が**低い**ことを表す。

## ①単位

熱貫流率は、壁の両側の気温差  $1\text{K}$  当たり、壁の表面積  $1\text{m}^2$  当たり、1 秒間あたりに壁を通過する熱量 ( $W$ ) で、単位は熱伝達率と同じ  $[W/(m^2 \cdot K)]$ 。

②熱貫流抵抗 ( $R$ )

熱貫流抵抗は、熱貫流率の**逆数** ( $1/K$ ) で、この値が**大きい**ほど熱が**伝わりにくい**ことを表す。単位は、熱伝達抵抗や熱伝導抵抗と同じ  $[m^2 \cdot K/W]$ 。

熱貫流抵抗  $R$  は、次式で求められる。

$$\text{熱貫流抵抗 } R = R_{ai} + (R_{\lambda 1} + R_{\lambda 2} + \cdots + R_{\lambda n}) + R_{ao}$$

$R_{ai}$ : 室内側熱伝達抵抗 ( $1/\alpha_i$ )      $R_{ao}$ : 屋外側熱伝達抵抗 ( $1/\alpha_o$ )

$R_{\lambda 1} \sim R_{\lambda n}$ : 壁体各部の熱伝導抵抗 ( $d/\lambda$ )

※伝熱の抵抗値は、**電気抵抗**を直列に連結したときの、電路全体の抵抗値と同じ考え方をする。

$$\text{全体の電気抵抗値 } R = R_{A1} + R_{B1} + R_{B2} + \cdots + R_{Bn} + R_{A2}$$

## ③平均熱貫流率

部分的に熱貫流率が異なる壁体の平均熱貫流率は、各部の面積から比例配分で求められる。

$$\text{平均熱貫流率 } K = \frac{K_1 \cdot A_1 + K_2 \cdot A_2}{A_1 + A_2}$$

窓の熱貫流率:  $K_2$   
面積:  $A_2$

壁の熱貫流率:  $K_1$   
面積:  $A_1$

④熱貫流量 ( $Q$ )

1 秒間に熱貫流によって壁体を通過する**熱量**。単位は  $[W (\text{ワット})]$ 。

熱貫流量  $Q [W]$  は、次式で求められる。

$$\text{熱貫流量 } Q = KA(t_i - t_o)$$

$K$ : 熱貫流率  $[W/(m^2 \cdot K)]$       $A$ : 壁体の面積  $[m^2]$

$t_i, t_o$ : 室内、屋外の気温  $[K]$

Check Point

- ①断熱材が結露などによって湿気を含むと、その熱貫流抵抗は大きくなる。
- ②単一の材料からなる壁を単位時間に貫流する熱量は、壁体の両側の空気の温度差及び表面積に比例し、必ずしもその厚さには逆比例しない。
- ③単一の材料からなる壁を単位時間に貫流する熱量は、定常状態において、壁体の表面積が2倍になると2倍になり、壁の厚さが2倍になると1/2になる。

解答

- ①誤 ②正
- ③誤 壁の厚さが2倍になっても、熱伝達抵抗が変わらないため熱貫流抵抗は2倍にならず、熱貫流量は1/2にならない。

4. 伝熱の計算

1 熱貫流率 (K) の計算

熱貫流率を求めるには、はじめに、屋外側熱伝達抵抗、室内側熱伝達抵抗、壁体各部の熱伝導抵抗の総和から熱貫流抵抗 ( $R_t$ ) を計算し、次にその逆数を計算する。

熱貫流率  $K = \frac{1}{R_t}$

例題

イ～ハの条件により、厚さ15cmのコンクリートの壁体の熱貫流率を求めよ。ただし、定常状態とする。

- 条件
- イ. コンクリートの熱伝導率  $\lambda = 1.4\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
  - ロ. 屋外側の熱伝達率  $\alpha_o = 23\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
  - ハ. 室内側の熱伝達率  $\alpha_i = 9\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

解答

はじめに熱貫流抵抗を求め、その逆数を計算する。

熱貫流抵抗  $R_t = \frac{1}{23} + \frac{0.15}{1.4} + \frac{1}{9} \div 0.26\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$

熱貫流率  $K = \frac{1}{0.26} \div \boxed{3.8} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \cdots \cdots \text{解答}$

【用語】 定常状態

時間が経過しても、壁体各部の温度や気温が変化せず、熱の流れが常に一定の状態をいう。

2 熱貫流量 (Q) の計算

例題

イ～ヘの条件により、窓のある壁体の熱損失の値を求めよ。ただし、定常状態とする。

- 条件
- イ. 外壁（窓を含む）の面積  $A_1 = 20\text{m}^2$
  - ロ. 窓の面積  $A_2 = 10\text{m}^2$
  - ハ. 居室の温度  $t_i = 25^\circ\text{C}$
  - ニ. 外気の温度  $t_o = 5^\circ\text{C}$
  - ホ. 外壁（窓を除く）の熱貫流率  $K_1 = 0.5\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
  - ヘ. 窓の熱貫流率  $K_2 = 2.0\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

**解答**

熱損失とは室内から屋外に流出する熱貫流量であり、外壁（窓を除く）部分と窓部分の熱貫流量を各々計算し、それを合計することで全体の熱貫流量が求められる。

$$\text{外壁の熱貫流量 } Q_1 = 0.5 \times (20 - 10) \times (25 - 5) = 100\text{W}$$

$$\text{窓の熱貫流量 } Q_2 = 2.0 \times 10 \times (25 - 5) = 400\text{W}$$

$$\text{全体の熱貫流量 } Q = 100 + 400 = \boxed{500}\text{W} \quad \cdots \cdots \text{解答}$$

※居室の温度  $t_i$  と外気の温度  $t_o$  の単位が  $^{\circ}\text{C}$  で与えられているときは、本来は、熱貫流率の単位に合わせて  $[\text{K} (\text{ケルビン})]$  に換算する必要がある。

$$t_i = 25^{\circ}\text{C} \doteq (273 + 25)\text{K} \quad t_o = 5^{\circ}\text{C} \doteq (273 + 5)\text{K}$$

ただし、気温差を求めると単位にかかわらず同じ数値になるため、次のように  $^{\circ}\text{C}$  のままで差を求め、単位を  $[\text{K}]$  に換えればよい。

$$\text{気温差 } t_i - t_o = 25^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C} = 20^{\circ}\text{C} \Rightarrow 20\text{K}$$

## 第2節 結露

### 1. 結露現象

結露は、壁体各部の温度が低下したとき、これに触れた空気が冷却されて露点温度以下になり、空気中の水蒸気が凝縮して水滴に変わる現象である。

#### 1 結露の種類

結露は、発生する部位により、外壁や窓ガラスの表面に発生する**表面結露**と、壁体や材料の内部に発生する**内部結露**とに分けられる。

また、温度低下による一般的な**冬型結露**のほかに、高温多湿の空気が低温の空間に流れ込み、相対湿度を上昇させることによって発生する**夏型結露**がある。この現象は比較的熱容量が大きく、断熱性能の高い建築物で生じることが多く、換気を行うと湿度の高い空気の流入が増加して結露がひどくなることがある。

#### 2 結露の発生条件

##### ① 表面結露

次のような、断熱性能が劣り、表面温度が他より低下する部位に発生しやすい。

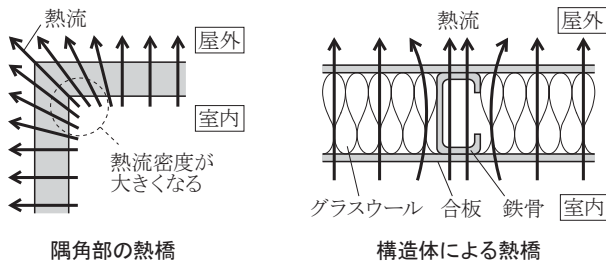
##### (1) 窓まわり

窓ガラスは断熱材を挿入できないので、他の外壁部分と比べて断熱性能が劣る。また、サッシ枠も熱伝導率が非常に大きいアルミニウムが多く用いられることが多いため、窓まわり全体からの熱損失が大きく、結露が発生しやすい。

##### (2) 熱橋（ヒートブリッジ）

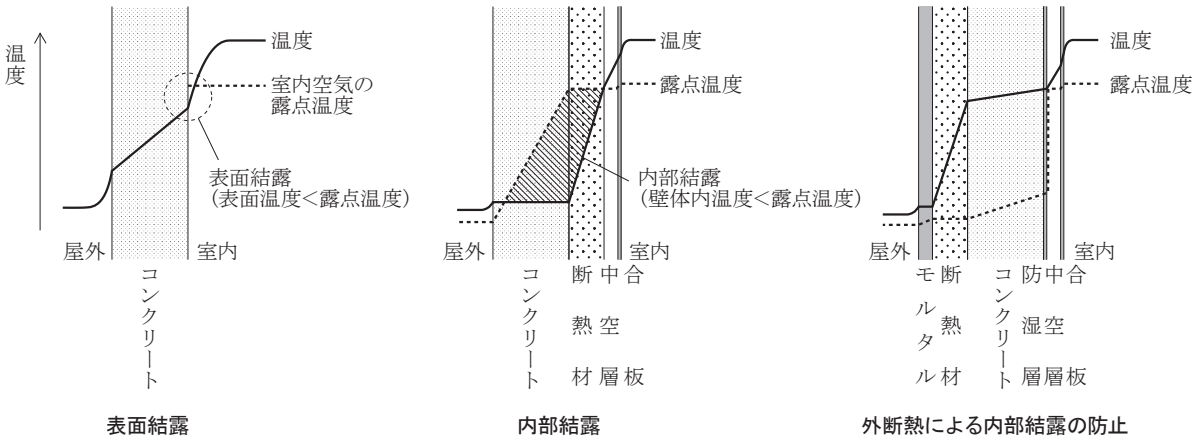
外壁の隅角部<sup>ぐうかくぶ</sup>は、室内側よりも屋外側のほうが表面積が大きいため、一般の

壁面より熱が逃げやすい。また、構造体の一部に極端に熱伝導率の大きな部分があると、その部分に熱が集中して流れ、室内側表面に結露が発生しやすい。このような部分を**熱橋（ヒートブリッジ）**といい、**冷橋（コールドブリッジ）**ということもある。



②内部結露

熱と同様に空気中の湿気（水蒸気）も、壁体を通過して、水蒸気分圧の高い側（高湿側）から低い側（低湿側）へと移動する。  
壁体各部の温度変化に伴って水蒸気分圧も変化し、露点温度以下になると飽和水蒸気分圧をこえて結露する。



3 湿気の移動

内部結露の原因となる材料内部での湿気（水蒸気）の移動は、熱の移動とよく似た性質をもつため、伝熱に類似した指標が用いられ、湿気（水蒸気）の**移動しやすさ**を示す**湿気伝導率（透湿率）**、**移動しにくさ**を示す**湿気伝導抵抗（透湿抵抗）**がある。

湿気伝導率は、材料の両側の水蒸気圧の差 1Pa 当たり、材料の表面積 1m<sup>2</sup>・厚さ 1m 当たり、1 秒間当りに移動する**水蒸気量（kg）**を表す。

単位は、湿気伝導率が kg/(m・s・Pa)、湿気伝導抵抗が m<sup>2</sup>・s・Pa/kg。

## 2. 結露の防止対策

### ①表面結露の防止

表面結露防止の原則は、「空気中の湿度を下げる」と、「壁体各部の温度を下げない」ことの2つに集約され、以下のような対策がある。

- (1) 室内での水蒸気の発生を抑制し、**局所排気**を用いて拡散を防ぐ。
- (2) **換気**によって室内の湿度を低下させる。
- (3) 壁体の**断熱**を強化して、室内側表面温度を下げない。
- (4) **直接加熱**や**気流の促進**によって室内側表面温度を上げる。

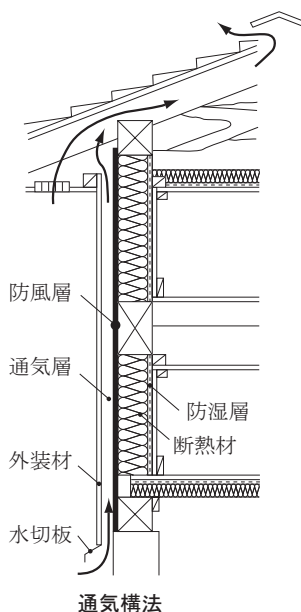
なお、冷暖房時の省エネルギーのため**全熱交換型の換気扇**を採用すると、換気をして室内の水蒸気量があまり減少しないため、水蒸気発生量の多い室では、**顕熱のみを回収**する換気扇を設置するほうがよい。

また、冬期における窓ガラス面での結露防止対策として、窓ガラスの屋内側に**カーテン**を設けることは、効果的ではない。

### ②内部結露の防止

内部結露防止には、「壁体内に水蒸気を侵入させない」と、「壁体内の水蒸気を屋外に排出する」ことが最も重要であり、以下のような対策がある。

- (1) 温度が高い**断熱層の室内側**に、**防湿層**を設置する。
- (2) 壁体内部の水蒸気を屋外に逃がすため、**断熱層の屋外側に通気層**を設ける**通気構法**を採用する。
- (3) **二重サッシ**では、**室内側は気密性を高く**して水蒸気の侵入を防ぎ、**屋外側は反対に気密性を低く**して水蒸気を排出する。



#### Check Point

- ① 表面結露の発生の有無は、「表面近傍空気の絶対湿度から求まる露点温度」と「表面温度」との大小によって判定することができる。
- ② 暖房された室につながる北側の暖房されていない室は、結露しやすい。
- ③ 熱橋部分の室内側表面温度は、一般に、断熱部分の室内側表面温度に比べて、外気温度に近くなる。

#### 解答

①正 ②正 ③正

## 3. 壁体各部の温度分布

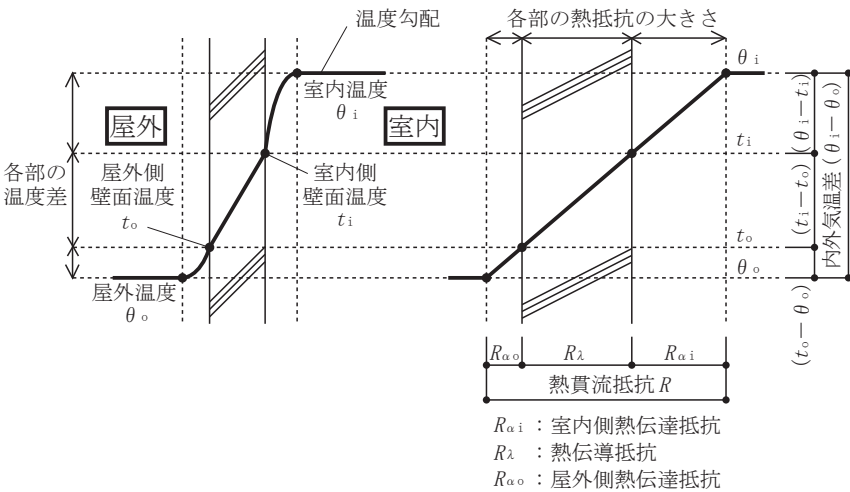
各部の**温度差**と、**熱抵抗**（熱伝達抵抗、熱伝導抵抗）の大きさには次のような関係があり、これによって壁体各部の温度を求めることができる。

各部の温度差

各部の熱抵抗

全体の温度差 (内外気温差)

全体の熱抵抗 (熱貫流抵抗)



- 〔例 1〕  $\frac{\text{室内気温 } (\theta_i) - \text{室内側壁面温度 } (t_i)}{\text{内外気温差 } (\theta_i - \theta_o)} = \frac{\text{室内側熱伝達抵抗 } (R_{ai})}{\text{熱貫流抵抗 } (R)}$
- 〔例 2〕  $\frac{\text{室内側壁面温度 } (t_i) - \text{屋外側壁面温度 } (t_o)}{\text{内外気温差 } (\theta_i - \theta_o)} = \frac{\text{熱伝導抵抗 } (R_\lambda)}{\text{熱貫流抵抗 } (R)}$
- 〔例 3〕  $\frac{\text{屋外側壁面温度 } (t_o) - \text{屋外気温 } (\theta_o)}{\text{内外気温差 } (\theta_i - \theta_o)} = \frac{\text{屋外側熱伝達抵抗 } (R_{ao})}{\text{熱貫流抵抗 } (R)}$

**例題**

0℃の外気に接している壁の熱貫流率が1.2W/(m<sup>2</sup>・K) の場合において、壁の室内側総合熱伝達率が9.3W/(m<sup>2</sup>・K) で、室内気温が20℃であるとき、この壁の室内表面温度を求めよ。

**解答**

室内側壁面温度 (t<sub>i</sub>) は、次の計算式から求められる。なお、総合熱伝達率とは、対流熱伝達率と放射熱伝達率の合計で、一般によぶ熱伝達率と同じ意味である。

$$\frac{\text{室内気温 } (\theta_i) - \text{室内側壁面温度 } (t_i)}{\text{内外気温差 } (\theta_i - \theta_o)} = \frac{\text{室内側熱伝達抵抗 } (R_{ai})}{\text{熱貫流抵抗 } (R)}$$
$$\frac{20^\circ\text{C} - t_i}{20^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}} = \frac{\frac{1}{9.3}}{\frac{1}{1.2}}$$

∴ t<sub>i</sub> ≒ 17.4℃ …… 解答

## 第3節 断熱性と熱容量

### 1. 断熱性

#### 1 壁体の空気層（中空層）

##### ① 空気層の厚さと気密性

空気は熱伝導率が小さく、熱を伝えるにくいので、壁体内に空気層を有効に設けると建築物の断熱性能が著しく向上する。

図のように、空気層の熱抵抗は、2～3cm 程度までは厚

いほど増加するが、それを超えると熱抵抗はあまり変化せず、少しずつ減少する傾向がみられる。これは、空気層内で、対流による伝熱が大きくなるためである。

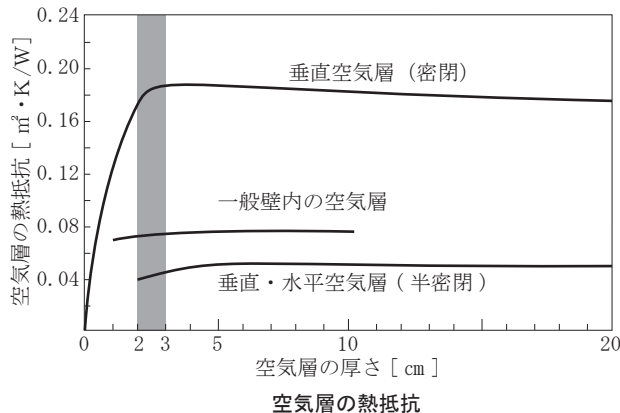
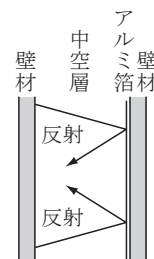
また、熱抵抗は、空気層の気密性が高いほど増加する。図のように、空気が外部と流出入する半密閉状態では、完全な密閉状態のときの  $1/3$  程度に低下する。

なお、二重ガラスなどでは内部の気圧を低くしたものがある。中空層がほぼ完全な真空になったと仮定すれば、対流と伝導による伝熱は生じないが、放射による伝熱があるため、伝熱が完全になくなる（熱貫流率が0になる）ことはない。

##### ② 反射材料の挿入

壁材料の空気層側に、アルミ箔などの反射性の高い材料を張ると、放射による伝熱が減少するため、熱抵抗は約2倍になる。

反射材料は、空気層のどちら側に張っても同じ効果が得られるが、空気層を設けず、材料間に密着して挟むと効果は期待できない。また、空気層を分割する中間部に設けると、対流による伝熱も低減することができる。



##### 【用語】熱抵抗

空気層の伝熱は、主に対流と放射によって生じ、通常の壁材料と特性が異なるため、熱伝導抵抗ではなく、熱抵抗という名称が用いられる。ただし、熱貫流抵抗を計算する場合には、熱伝導抵抗と同様に扱うことができる。単位は  $[m^2 \cdot K/W]$ 。

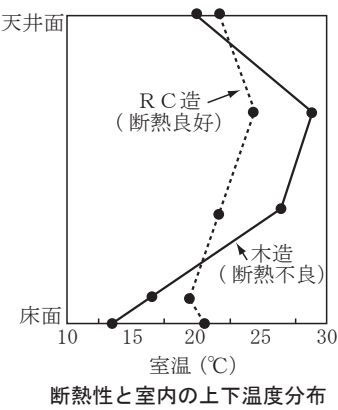
#### 2 室内の上下温度差

断熱の不十分な建築物では、暖房時に加熱された高温の空気が上昇し、壁体などで冷却された低温の空気が下降して、室内の上下温度差が大きくなる。この下降気流をコールドドラフトという。また、室内での上下方向の温度分布を、垂直

温度勾配とよぶことがある。

図は、断熱の良好な RC 造の建築物と断熱の不良な木造建築物について、室内の上下温度分布を比較したものである。

建築物の断熱性を高めると、暖房負荷が減少し、壁体からの放射による温熱環境が改善される。



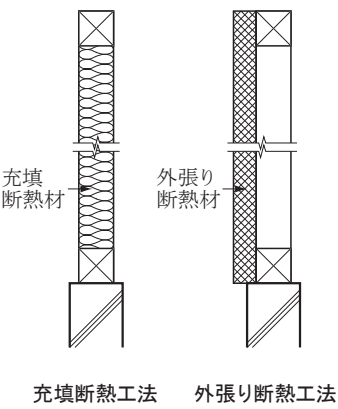
3 木造建築の断熱工法

① 充填断熱・外張り断熱

木造建築の断熱工法は、充填断熱と外張り断熱とに大別される。

充填断熱は、軸組の間、構造空隙に断熱材を充填する工法で、安価ではあるが、間仕切壁の通気止めや防湿気密層の連続性の確保に留意しなければならない。

外張り断熱は、軸組、構造体の外側に断熱層を設ける工法で、技術的な留意点が少なく、安定した断熱気密性能が期待できるが、一般に工費が高く、外装下地工事に注意が必要とされる。

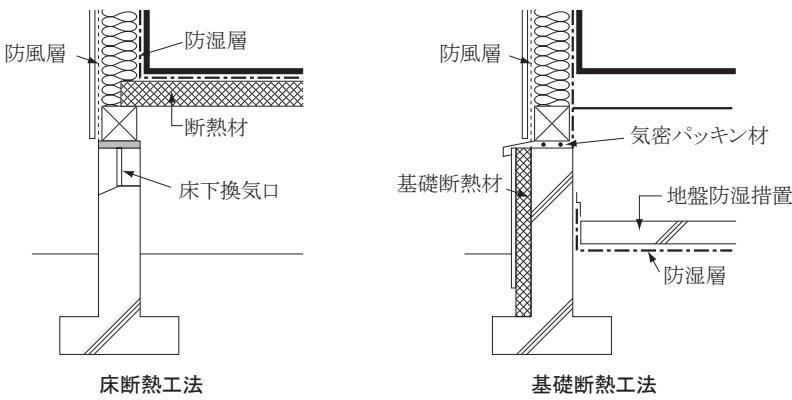


② 床断熱・基礎断熱

床回りの断熱工法には、床断熱と基礎断熱とがある。

床断熱は、断熱材を根太の間に充填するため、床裏に隙間ができないようにしなければならない。

基礎断熱は、床断熱に比べて断熱・気密・防露処理が簡略化され、外壁や間仕切壁の下部の通気止めが不要で、床下の結露防止に有効であり、床下地盤の蓄熱効果が活用できるなどの利点がある。また、基礎断熱では、外気に直接通じる床下換気口を設けない。



## Check Point

- ①断熱性を高めることは、室温と室内表面温度の差を小さくすることにつながり、室内の上下温度差は小さくなる。
- ②二重窓において、ガラス相互の間隔を7cmとする場合の熱抵抗は、ガラス相互の間隔を3cmとする場合の2倍以上となる。
- ③冬期の暖房室において、室内の空気温度が同じであっても、断熱が不十分な場合には、断熱が十分な場合に比べて人体表面からの熱損失が増加する。

## 解答

①正 ②誤 中空層の厚さが2~3cmを超えると、熱抵抗はあまり変化せず、少しずつ減少する。

③正

## 2. 熱容量

屋外の気温や建築物に当たる日射の強さは常に変動しており、それに伴って室内の気温も変動する。このような、温度などが時間によって変化する状態を**非定常状態**という。

建築物の**断熱性**は、壁体の**熱貫流率**（または**熱貫流抵抗**）の大きさや**気密性**に左右されるが、実際の室温の変動は、そのほかに壁体の**熱容量**の影響を受ける。

## 1 壁体の熱容量

物質には熱を吸収して蓄える性質があり、種類ごとに蓄熱しやすさが異なる。

質量1kgの材料の温度を1K上昇させるのに必要な熱量〔単位：J（ジュール）〕を**比熱**〔単位：J/（kg・K）〕という。比熱の大きな金属などの材料は、暖めるのに多くの熱量が必要とされる。

熱容量は、蓄熱の特性を表す数値で、壁体などの温度を1K上昇させるのに必要な熱量〔J〕に相当し、 $\text{比熱} \times \text{質量}$ または $\text{比熱} \times \text{密度} \times \text{容積}$ で求められ、単位は〔J/K〕で表す。例えば、材料としてのコンクリートは、金属などに比べて比熱が小さいが、コンクリート造の壁体は質量が大きいため、熱容量が大きくなる。

熱容量が大きいと、熱の伝わる時間に遅れが生じるが、原則として伝わる熱の総量は変わらないため、熱損失の減少への直接的な効果はない。ただし、この時間の遅れを効果的に利用することで、室内気温の変動を小さくすることができる。

## 2 室内気温の変動

## ①屋外気温の変動の影響

壁体の熱容量が大きいと、熱を吸収して暖まるまでの時間は長いが、放熱も遅いので、周囲の温度が低下しても冷えにくい。そのため、屋外の気温変動の影響が室内に現れるのが遅くなる。

図は、断熱が良好な室内と不良な室内での、屋外の気温変動とともに室内気温が変動する様子を示している。

Aの熱容量の小さい壁体で造られた室では、屋外気温の影響が早く室内に現れる。このとき、断熱が良好であれば、不良な場合よりも室内気温の変動幅

## 【用語】非定常状態

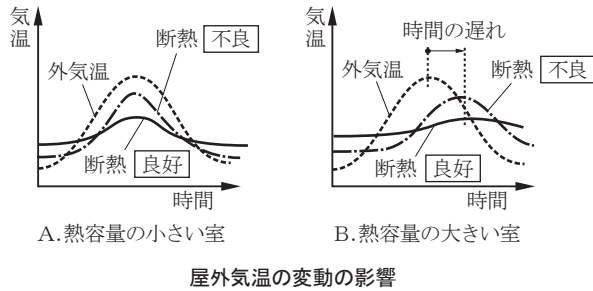
建築での熱移動は、簡略化のため、常に一定に熱が流れ、時間とともに温度などが変化しない**定常状態**を想定することが多いが、現実に近い状態が**非定常状態**であり、高度な理論になる。

## 【用語】比熱

比熱は、一般に質量1kgを基準にするが、**容積**（体積）1m<sup>3</sup>を基準とする場合は**容積比熱**〔単位：J/（m<sup>3</sup>・K）〕とよび、「質量による比熱×密度」で求められる。

が小さい。

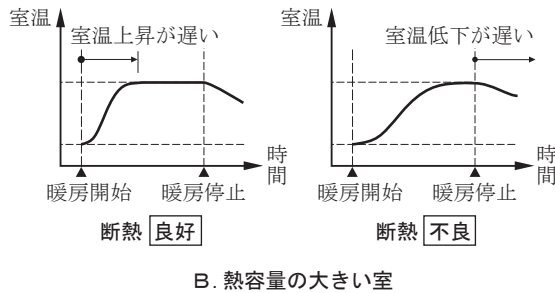
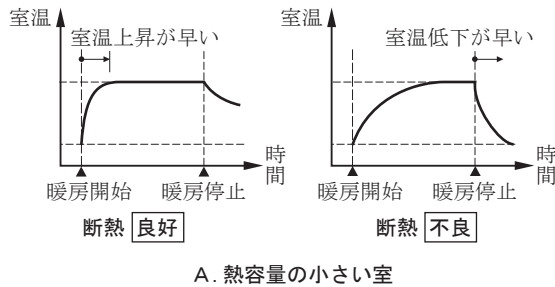
Bの熱容量の大きい壁体で造られた室では、屋外気温の影響が室内に現れるのが遅くなり、室内気温の変動幅は、熱容量の小さい室の場合よりも小さい。このため、夏期の最も屋外気温の高い時間帯にも、室内の気温の上昇が抑えられる。



②暖房時の室内気温の変動

図は、断熱が良好な室内と不良な室内での、暖房時の室内温度の変動の様子を示している。

Aの熱容量の小さい室では、暖房を開始してから室内気温が設定温度まで上昇する時間が短い（**立上がり**が早い）。このとき、断熱が不良であると、熱損失が大きいので、断熱が良好な場合よりも時間が長くなり、暖房停止後の室内気温の低下が速い。



Bの熱容量の大きい室では、暖房を開始してから室内気温が設定温度まで上昇する時間が長い（**立上がり**が遅い）が、断熱が良好であれば、暖房を停止した後も室内気温の低下が遅い。このため、暖房を随時停止する**間欠運転**を行っても、室内気温の変動が小さく、暖房効率が高くなる。

3 外断熱と内断熱

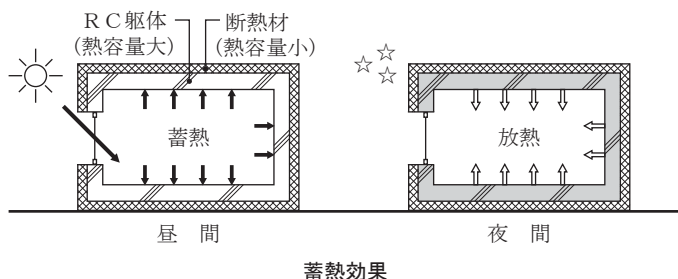
断熱材を、RC造などの**構造躯体**の**屋外側**に設置する構法を**外断熱**、**室内側**に設置する構法を**内断熱**という。

室内に面する壁や床に熱容量の大きい材料を用いると、室内気温の変動を抑制し、蓄熱効果によって暖房効率を向上させることができる。外断熱は、熱容量の大きなRC造などの構造躯体をこれに利用する方式である。

## 4 外断熱の利点

### ①蓄熱効果

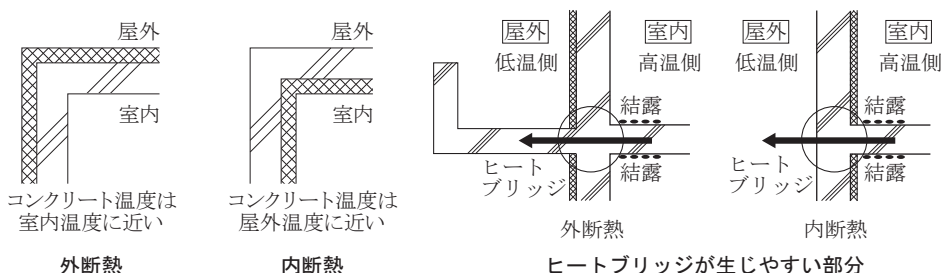
外断熱を行うと、冬期には昼間、室内に差し込む日射熱を躯体に蓄熱し、夜間に放熱することで室内気温の低下を抑制し、暖房負荷を軽減できる。



### ②ヒートブリッジの減少

ヒートブリッジ（熱橋）とは、建築物の出隅などの局部的に熱の通りやすい部分であり、結露しやすい。外断熱を行うと、出隅など両側から冷やされる部分をなくす効果があり、ヒートブリッジとなる部分の数を減らすことができる。

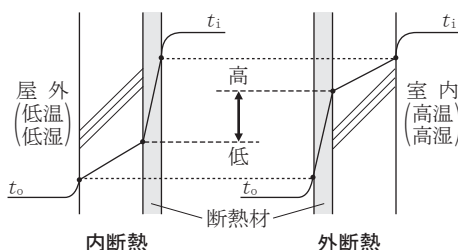
ただし、バルコニーやパラペット部分のように、屋外に突出する箇所では断熱層が分断されるため、内断熱、外断熱ともに断熱補強が必要になる。



### ③内部結露の防止

冬期には、内断熱では、断熱材の屋外側で温度が大きく低下するが、外断熱では、壁体内部の温度が高く保たれるため、内部結露が発生しにくい。

ただし、壁体を構成する材料の種類と厚さが同じであれば、内断熱も外断熱も熱貫流率（熱貫流抵抗）は同じ値になり、室内側表面温度は、原則として変わらない。このため、表面結露の防止にはあまり効果がなく、暖房時に室内側表面温度の上昇が遅いので、表面結露が発生しやすいこともある。



**Check Point** .....

- ①熱容量が同一であれば、断熱性能が異なっても、暖房停止後の室温低下の速さは同じである。
- ②熱容量の大きい材料を室内側に配置する場合のほうが、熱容量の小さい材料を室内側に配置する場合に比べて、冷暖房を開始してからその効果が現れるまでに時間を要する。
- ③壁体などの外側に断熱をすると、室内側に断熱をした場合に比べて、熱貫流率は同じでも熱損失が大きく減少する。

**解答**

①誤 ②正 ③誤