

太陽熱を利用した蓄熱壁

図 1 に太陽熱を利用した蓄熱壁を示す。蓄熱壁は建物の外壁の太陽光に当たる面を利用して熱を溜めるものである。昼間に太陽光で壁に蓄熱された熱エネルギーは夜間に室内を暖めるのに回収利用される。ここでは、ある高層集合住宅の一室を想定し、上部は天井を介して上層階と、下部は床を介して下層階と繋がっているとす。こうすると外壁を一次元の熱伝導問題に置き換えることができる。ここでの設計問題はこの蓄熱壁の材料の選定問題として捉えることができる。溜めることのできる熱量の最大化が目的で、有効日照時間 (t)、壁厚 (L) が制約条件でコストも考慮して材料を選定する。

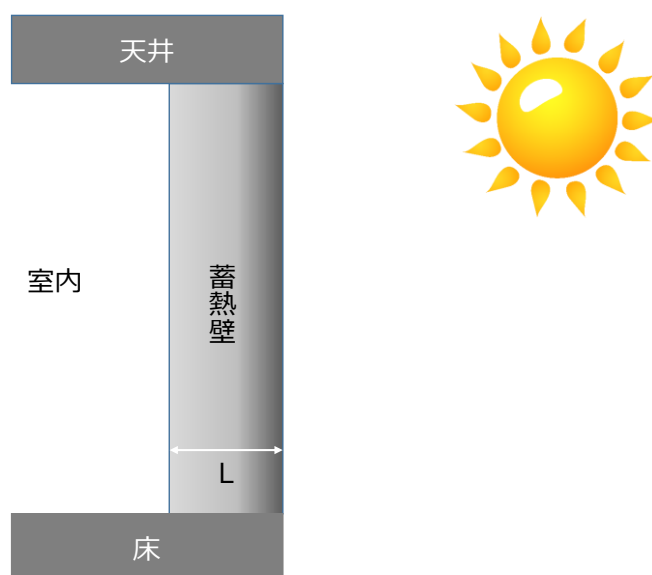


図 1 太陽熱を利用した蓄熱壁

伝熱に関する定式化[2][3]

図 1 の問題は一次元のフーリエの熱伝導問題に置き換えることができる。ここで厚さ方向を x とすると次式が成立する。

$$q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1)$$

ここに、 q は x 方向の熱流束 (単位時間当たり、単位面積を通過する熱量) $[\text{W}/\text{m}^2]$ 、 λ は熱伝導率 $[\text{W}/\text{mK}]$ 、 T は温度 $[\text{K}]$ である。一方、微小部分 dx の前後で熱流の変化 dq によって、温度が dt 時間に dT だけ変化するので、比熱を C_p $[\text{J}/\text{kgK}]$ 、密度を ρ $[\text{kg}/\text{m}^3]$ とすると次式が成り立つ。

$$\frac{\partial q}{\partial x} = -C_p \rho \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

式 (1) と式 (2) から

$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = C_p \rho \frac{\partial T}{\partial t}$$

となり、

$$a = \frac{\lambda}{\rho C_p}$$

とおくと、最終的に次式が求まる。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (3)$$

ここに、 a は温度伝導率 [m^2/s] もしくは熱拡散率と呼ばれる。

太陽熱を利用した蓄熱壁の設計指標[1]

以上の伝熱の定式化の結果をもとに、太陽熱を利用した蓄熱壁の設計指標を導出する。式(2)より、単位面積あたりに外壁に蓄えられる熱量 Q は外壁内外の温度差を ΔT とすると次式で与えられる。

$$Q = LC_p \rho \Delta T \quad (4)$$

一方、式(3)で次元解析 ($x \rightarrow L$) により、

$$L^2 = at \quad (5)$$

が得られる (この導出は正確性には欠けるが定性的な評価として採用する)。式(5)を式(4)に代入して

$$Q = \sqrt{at} C_p \rho \Delta T = \sqrt{t} \Delta T a^{1/2} C_p \rho$$

さらに変形して

$$Q = \sqrt{t} \Delta T \left(\frac{\lambda}{a^{1/2}} \right)$$

となる。ここに

$$M = \frac{\lambda}{a^{1/2}} \quad (6)$$

と置くと

$$Q = \sqrt{t} \Delta T M \quad (7)$$

となり、 M が材料選定の際の設計指標となる。

一方、式(5)より

$$a = \frac{L^2}{t} \quad (8)$$

となり、この式(8)が有効日照時間 (t)、壁厚 (L) に関する制約式となる。

太陽熱を利用した蓄熱壁の設計

以上より導出された指標をもとに作成したのが図2の Ashby マップである。縦軸に熱伝導率 [W/mK]、横軸に温度伝導率 [m^2/s] を取り、図中に式(6)の設計指標 M と制約条件(8)を示す。式(8)は有効日照時間 ($t=6$ 時間)、壁厚 ($L=0.2\text{m}$) の場合の値を示

している。M 値は大きいほど良いので図 2 により、金属が最も良く、次いで非工業用セラミックが良いことが分かる。金属に関して、アルミニウムとチタンを記した。また、工業用セラミックに関しては経験的に壁に使用されている石、コンクリート、煉瓦の位置を示す。また、参考として天然素材の一つである竹の位置も示す。これら 6 つの材料の M 値はアルミニウム、チタン、石、コンクリート、煉瓦、竹の順に高いことが分かる。一方、式 (8) の解釈であるが図では日照時間が 6 時間で壁厚が 0.2m の時の相当温度伝導率 α の値を示した。これはこの値がベストということではなく、日照時間が 6 時間で壁厚が 0.2m という制約条件の下ではこの線より右側の材料を使用しても得られる熱量は同じということの意味している。例えば、日照時間が短く、壁厚がもっと厚くできるのであれば右側の材料の方が良いということになる。

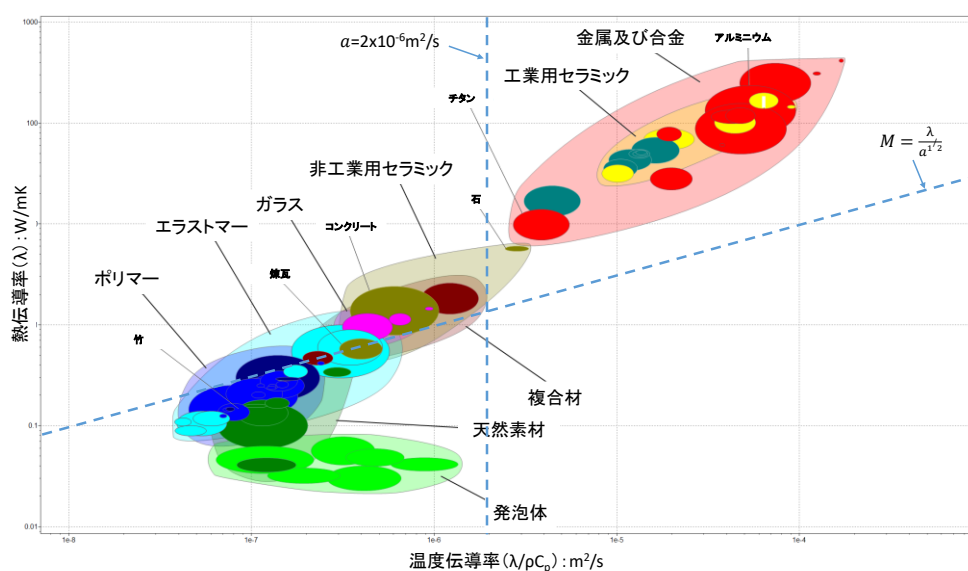


図 2 太陽熱を利用した蓄熱壁の設計指標

一方、実際に材料選定を行う際に重要となるのがコストである。そこで、コストと熱特性の関係を図 3 に示す。縦軸に単位体積当たりのコスト、横軸に温度伝導率を取っている。図 2 と同様に 6 種類の材料の位置を示す。これからコスト的に優れている (安い) のはコンクリート、石、竹、煉瓦、アルミニウム、チタンの順番となる。この結果と図 2 の結果から総合的に材料選定を行うことになるが、コンクリートと石が良さそうで、条件によってはアルミニウムということも考えられる

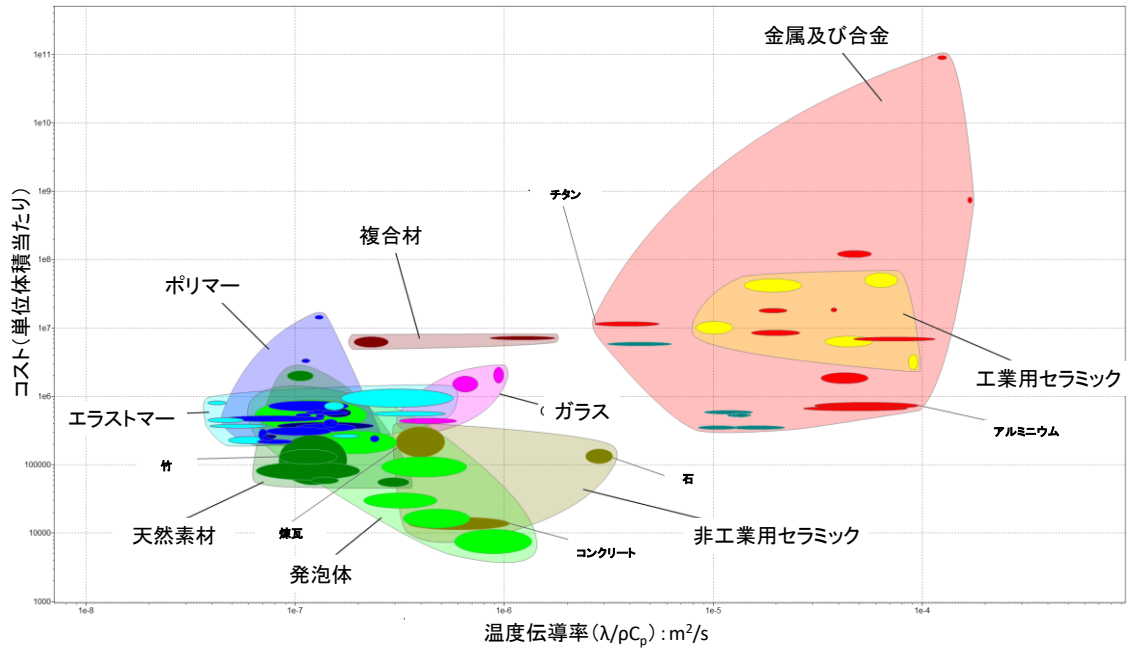


図3 コストと熱特性の関係