

【必要熱量の算出】

①計算条件

設計日降雪深	Hs = 6.0 cm/d	気温	T = -0.40 °C
設計時間降雪深	hs = 1.49 cm/h	雪の密度	$\rho s = 0.08 \text{ g/cm}^3$
熱効率	$\eta = 0.9$	風速	u = 4.6 m/s
凍結算定時路面温度	tm = 1.0 °C		

※設計日降雪深 = $0.425 H_c^{0.7}$

②融雪に必要な熱量

$$q_1 = \frac{q_s + q_n}{\eta}$$

q_1 : 融雪熱量 [W/m²]

q_s : 顕熱 [W/m²]

q_n : 融解熱 [W/m²]

η : 熱効率

ここで、 q_s と q_n は次式で表される。

$$q_s = 2.78 \times (C \cdot \Delta \theta \cdot hs \cdot \rho s)$$

$$q_n = 2.78 \times (J \cdot hs \cdot \rho s)$$

C : 雪の比熱 = 2.1 [J/g°C]

$\Delta \theta$: 雪温を0°Cまで高める温度 = 0.40 [°C]

hs : 設計時間降雪深 = 1.49 [cm/h]

ρs : 雪の密度 = 0.08 [g/cm³]

J : 雪の融解潜熱 = 334 [kJ/g]

これより、

$$\begin{aligned} q_s &= 2.78 \times 2.1 \times 0.4 \times 1.49 \times 0.08 \\ &= 0.28 \quad [\text{W/m}^2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_n &= 2.78 \times 334 \times 1.49 \times 0.08 \\ &= 110.68 \quad [\text{W/m}^2] \end{aligned}$$

したがって熱効率を 0.9 とすると融雪に必要な熱量は次のようになる。

$$\begin{aligned} q_1 &= (0.28 + 110.68) / 0.9 \\ &= 123.3 \quad [\text{W/m}^2] \end{aligned}$$

③凍結防止に必要な熱量

$$q_2 = \frac{A_r(q_e + q_i)}{\eta}$$

q_2 : 凍結防止熱量

q_e : 気化熱 (蒸発熱) $[W/m^2]$

q_i : 対流輻射熱 $[W/m^2]$

η : 熱効率

A_r : 路面上に積雪がなく、蒸発と対流輻射熱による熱損失がある部分の面積と全面積の比

降雪が無い時に路面を凍結させないためには、路面温度を 0°C 以上の適切な温度に保つ必要がある。また、凍結防止熱量 q_2 を求める式において、路面全体に雪がないため $A_r = 1$ になり、更に 0°C 付近での気化熱は無視できる程度に小さいため、 $q_e = 0$ とする。したがって凍結防止熱量を求める式は次式のようなになる。

$$q_2 = q_i / \eta$$

q_2 : 凍結防止熱量 $[W/m^2]$

q_i : 顕熱 $[W/m^2]$

ここで、 q_i は次式で表される。

$$q_i = (\alpha_c + \alpha_r) \cdot (t_m - t_a)$$

α_c : 対流による表面熱伝達率 $[W/m^2]$

$\alpha_c = 5.8 + 4.0 u$ (風速 : $u \leq 5 \text{ m/sec}$ のとき)

$\alpha_c = 7.14 u^{0.78}$ (風速 : $u > 5 \text{ m/sec}$ のとき)

α_r : 輻射による表面熱伝達率 $[W/m^2]$

$$\alpha_r = \frac{5.41}{t_m - t_a} \left[\left(\frac{273 + t_m}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + t_a}{100} \right)^4 \right]$$

t_m : 路面温度 $[^\circ\text{C}]$

t_a : 気温 $[^\circ\text{C}]$

これより、

$$\begin{aligned} q_i &= (24.2 + 4.42) \times (1.0 - (-0.4)) \\ &= 40.1 \quad [W/m^2] \end{aligned}$$

したがって熱効率を 0.9 とすると凍結防止に必要な熱量は次のようになる。

$$\begin{aligned} q_2 &= 40.1 / 0.9 \\ &= 44.6 \quad [W/m^2] \end{aligned}$$

以上より融雪熱量 $q_1 = 123.3 \text{ W/m}^2 \geq$ 凍結防止熱量 $q_2 = 44.6 \text{ W/m}^2$ であることから、単位面積当りの必要熱量は

123 W/m^2 とする。