

※ 凍結防止時間(内部温度が0℃まで降下するのに要する時間)を算出する ※

【 計算条件 】

初期水温(θ_{im}): 5℃ 外気温度(θ_a): -15℃
管内水の凍結割合(f): 25% 安全率: 25%
表面熱伝達率(h_{se}): 12 W/m²·K
管径(D_i): 32A

[第1層] A種ビーズ法ポリスチレンフォーム保温筒3号 保温厚さ 50mm
熱伝導率=0.0346 W/m·K

【 計算過程 】

管内の水の温度が0℃まで降下するに要する時間を求める。

保温材の内径 $D_i=0.0427$ m

保温材の外径 $D_e=0.1427$ m

管内水の質量 $m_w=1.00098$ kg/m

管の質量 $m_p=3.38357$ kg/m

管内水の定圧比熱 $C_{pw}=4.2$ kJ/kg·K

管の定圧比熱 $C_{pp}=0.46$ kJ/kg·K

初期水温 $\theta_{im}=5$ ℃

t時間後の管内の水の温度(凍結温度) $\theta_{fm}=0$ ℃

外気温度 $\theta_a=-15$ ℃

$CW=m_w \cdot C_{pw} + m_p \cdot C_{pp}$
=5.760575

熱抵抗 $R_l=\ln(D_e/D_i)/(2 \cdot \pi \cdot \lambda)$

=5.54992 m·K/W

凍結を開始するまでに要する時間 t_{wp} は

$t_{wp}=(CW \cdot R/3.6) \cdot \ln((\theta_{im}-\theta_a)/(\theta_{fm}-\theta_a))$
=2.555 時間

管内水の凍結に要する時間は、次式によって求める。

$t_{fr}=f/100 \times (\rho_{ice} \cdot \pi \cdot D_{ip}^2 \cdot h_{fr}) / (q_{fr} \cdot 3.6 \cdot 4) \quad h$
=7.903 時間

$q_{fr}=(-\theta_a) \cdot 2 \cdot \pi \cdot \lambda / \ln(D_e/D_i) \quad W/m$
=2.7 W/m

ここに f : 管内水の凍結割合 25%

D_{ip} : 管の内径 0.0427 m

h_{fr} : 水の凝固熱 334 KJ/kg

ρ_{ice} : 0℃での氷の密度 920 kg/m³

ここで配管系にある弁、栓、継ぎ手などによる管内断面積の減少によって、冷却時間及び凍結時間も減少するため凍結開始までの時間及び凍結に要する時間についても、減少を見込み計算値の75%(安全率として25%)を考慮する。

凍結防止時間 $t=(t_{wp}+t_{fr}) \times 0.75$
=7.8 時間

【 計算結果 】

[第1層] A種ビーズ法ポリスチレンフォーム保温筒3号 保温厚さ 50mm
平均熱伝導率(λ_m)=0.0346 W/m·K
凍結防止時間=7.8 時間