

配管系の保温と凍結防止に関する実験的研究

山本 武
(技術研究所)

§ 1. はじめに

凍結事故は、今まで行なわれてきている様々な研究などをまとめてみると、建築設備の中で最も単純な配管系からその問題意識が発生し、徐々に複雑な設備機器への凍結問題へと発展している。

伝熱工学的研究として、水の冷却や氷の成長過程などの研究が以前から行なわれており、現在の保温厚さの算定式は、この伝熱工学的研究から求められたもので、それらの基本式に対して、外表面熱伝達率などを加味し発展させ、近似解¹⁾として一般化されている。

管内水の研究で凍結防止上の立場から研究したものに落藤らの研究²⁾がある。この研究は、氷の冷却過程と氷の成長過程について実験を行ない、冷却時間と凍結時間を求め、従来の近似解と比較している。落藤らの研究は、保温管付きの場合、管の抵抗を無視し、保温筒の温度分布を直線と仮定し、熱容量を集中定数化した式(1)および A. L. London による氷の凍結深度と時間との近似式(式(2))と実験値を比較している。

$$t = \frac{B}{A} \ln \frac{\theta_0 - \theta_r}{\theta - \theta_r} \quad \dots\dots(1)$$

$$\text{ただし、} A = \frac{2\pi\lambda}{\ln(r_2 + \frac{\lambda}{\alpha})/r_1 + c_1 w_1 + h c_2 w_2} \quad B = c w$$

ここで、 t : 0°C になるまでの冷却時間(h)

θ_0 : 初期温度(°C)

θ_r : 恒温室の温度(°C)

r_1, r_2 : 保温筒の内外半径(m)

λ : 保温筒の熱伝導率(kcal/m·h·deg)

α : 外表面熱伝達率(kcal/m²·h·deg)

$c w, c_1 w_1, c_2 w_2$: 水、管、保温筒の熱容量(kcal/m·deg)

$$h = \frac{2r_1 + r_2}{3(r_1 + r_2)}$$

$$\tau^* = \frac{r^*}{2} \ln r^* + \left(\frac{1}{2R^*} + \frac{1}{4} \right) (1 - r^{*2}) \quad \dots\dots(2)$$

ここで、 τ^* : 無次元時間($\theta_r \lambda_i / \gamma L r_0^2$)

r^* : 無次元凍結深度 r/r_0

R^* : 無次元抵抗 λ_i / R_0

r : 凍結半径(m)

r_0 : 管半径(m)

γ : 氷の比重(kg/m³)

L : 氷の融解熱(kcal/kg)

λ_i : 氷の熱伝導率(kcal/m·h·deg)

R_0 : 単位長さ当たりの管、保温筒、外表面の熱抵抗
(m·h·deg/kcal)

その結果、式(1)、式(2)と実験値は良くあっており、近似式による保温厚さ算定は妥当性の高いものであることを実証している。式(1)は、空気調和・衛生工学会の「凍結防止指針」³⁾にも記載されている。

また、一般家庭において被害の多い給水メーターの凍結に関する研究が行なわれている。これは、寒冷地ではなく、1984年に関東を襲った寒波による被害から、東京都水道局が助ベターリビングに依頼して行なったものである⁴⁾⁵⁾。目的は、給水装置の凍結防止設計・施工基準の確立であるため、計算モデルを確立し、シミュレーションと実験値を比較し妥当性の評価も行なっている。計算モデルは、メーターを1質点とみなし単純化した「質点系モデル」を採用し、伝熱非定常基礎方程式⁶⁾、

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

に、相変化を熱移動項に加え、氷の水率変化などの計算を行ない、過冷却部分を除いた三つの温度変化状態(水の冷却、氷の生成、氷の冷却)において検討されている。この結果、断熱性能に関する評価指標の提案と、その妥当性の確認を行ない、基準書をまとめている。

これらの研究を除けば、過去に行なわれてきた研究については、それより以前に行なわれてきた伝熱工学によって提案されてきている一般式(式(1))の妥当性を確認しているものが大半を占めている。

このように既往の研究から、外気温度が想定できれば必要な保温厚さが求められる算定式が、その妥当性が実証され使用されている。しかし、それらの研究及び保温

仕様は、直管を対象として求められたものである。配管系を構成するのは直管だけでなく、継手類やバルブ類なども含まれる。配管系の凍結事故の現状からいえば、その殆どはバルブ類に見られ、そのためバルブメーカーは凍結防止栓などを開発し、機構的に凍結による破損をなくすようにしている。また、電線メーカーでは、テープ状の凍結防止ヒーターを開発、販売し普及に勉めている。

しかしながら、凍結防止のための保温工事の必要がなくなる訳ではない。逆に、凍結防止上必要な保温厚さが提唱されているため、配管系においては、設備機器とは逆に凍結に関する問題意識も少ない。現に、配管系においても凍結事故がなくなっていない。また、凍結防止ヒーターなどの凍結防止装置がどのような状態から必要とするかの目安もはっきりしていない。

配管系の直管部分を対象に求められた保温厚さを配管系全体を対象とすることは、構成部材の性能(構造、材質)が異なるため、凍結に対して部分的に弱い部分を作ることになる。

本研究は、配管系において未だなくならない凍結事故の現状から、バルブ類の必要保温厚さを直管の保温厚さを基準に、どの程度割り増す必要があるかを実験的に求めたものである。

§ 2. 評価方法

配管系の保温厚さの仕様については今まで、管径サイズで決められており、系を構成する部材についても、これに準ずるのが一般的になっていた。しかし、形状の違いから保温のし易さ、熱損失の大小などの差があり、直管と同じに考えることには無理がある。そこで、各部材の形状および材質の違いを熱橋の違いとして捉え、直管と比較することによりパラメータ化し評価する。このときのパラメータを今後「熱橋割増係数」と呼ぶこととする。

熱橋割増係数を求めるために、各部材の凍結のし易さの評価をする必要がある。これは、各部材を1質点とみなし、単純化した質点系モデルとし検討した。伝熱の非定常基礎方程式は、水を含んだ部材の熱容量を $m \cdot c$ で表わすと式(4)となり、式(5)の係数($K \cdot S / m \cdot c$)を評価関数として求める。

$$m \cdot c \frac{d\theta}{dt} = -K \cdot S(\theta - \theta_0) \quad \dots\dots(4)$$

$$\therefore \frac{d\theta}{dt} = \frac{K \cdot S}{m \cdot c}(\theta_0 - \theta) \quad \dots\dots(5)$$

K : 熱通過率(kcal/m²·h·deg)

S : 表面積(m²)

$m \cdot c$: 熱容量(kcal/deg)

θ_0, θ : 外気温度(°C), 管内水温度(°C)

この評価関数を求めるために、外気温度などの不規則な変動が作用している状態での物質の熱的性能の現場測定などについて、より見通しのよい実用的な解決方を示すことが可能な「同定理論」の考え方をを用いて、一括同定の計算式として表わす。

同定のための評価関数は、観測方程式の方程式誤差の時間積分値を用いて求まる⁷⁾。観測方程式(式(6))を方程式誤差 $e(t)$ で表わすと式(7)となる。

$$y(t) = Z(t) \cdot a \quad \dots\dots(6)$$

$$e(t) = y(t) - Z(t) \cdot a \quad \dots\dots(7)$$

ここで、式(5)を方程式誤差で表わすと、右辺を左辺に移行して、

$$e(t) = \frac{d\theta}{dt} - \frac{K \cdot S}{m \cdot c}(\theta_0 - \theta) \quad \dots\dots(8)$$

となり、式(7)の $y(t)$ 、 $Z(t)$ 、 a はそれぞれ、

$$y(t) = \frac{d\theta}{dt}, Z(t) = (\theta_0 - \theta), a = \frac{K \cdot S}{m \cdot c}$$

と置き換えられる。また、その時間積分値としてスカラ量にするのが最も妥当であるから、評価関数 $J_s(a)$ は二次形式の積分量として次式のように定める。

$$J_s(a) = \int_0^T e(t)^2 dt \quad \dots\dots(9)$$

積分区間を p 分割すると、次式となる。

$$J_s(a) = \sum_{k=1}^p \int_{(k-1)\Delta t}^{k\Delta t} e(t)^2 dt \quad \dots\dots(10)$$

ここで、式(7)、(8)より、

$$\begin{aligned} \int_{(k-1)\Delta t}^{k\Delta t} e(t) dt &= \int_{(k-1)\Delta t}^{k\Delta t} \left\{ y(t) - Z(t) \cdot a \right\} dt = \\ &= \int_{(k-1)\Delta t}^{k\Delta t} \left\{ \frac{d\theta}{dt} - (\theta_0 - \theta) \cdot \frac{K \cdot S}{m \cdot c} \right\} dt \\ &= (\theta_k - \theta_{(k-1)}) - \frac{K \cdot S}{m \cdot c} \cdot \frac{\Delta t}{2} \{ (\theta_{0k} - \theta_k) \\ &\quad + (\theta_{0(k-1)} - \theta_{(k-1)}) \} \quad \dots\dots(11) \end{aligned}$$

となる。式(11)での $(\theta_k - \theta_{(k-1)})$ 、 $\frac{K \cdot S}{m \cdot c} \cdot \frac{\Delta t}{2} \{ (\theta_{0k} - \theta_k) + (\theta_{0(k-1)} - \theta_{(k-1)}) \}$ を、それぞれ y_k 、 a 、 Z_k とすれば、次式のようになる。

$$\int_{(k-1)\Delta t}^{k\Delta t} e(t) dt = y_k - a \cdot Z_k \quad \dots\dots(12)$$

式(12)と式(10)から、近似評価関数 $J(a)$ が得られる。

$$J_s(a) = \sum_{k=1}^p \int_{(k-1)\Delta t}^{k\Delta t} e(t)^2 dt$$

$$\begin{aligned} &\cong \sum_{k=1}^p (y_k - a \cdot Z_k) \cdot (y_k - a \cdot Z_k) \\ &= \sum_{k=1}^p (y_k - a \cdot Z_k)^2 \end{aligned} \quad \dots\dots(3)$$

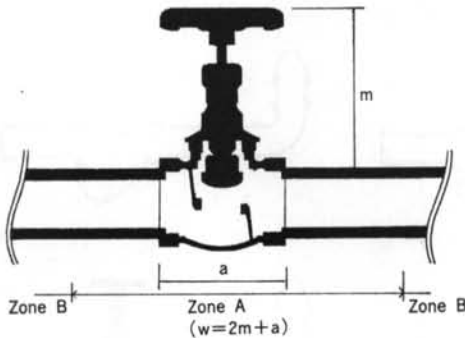
$J(a)$ を最小にする a を求めることを最小二乗法と呼び、これは J を a によって微分し、0 におくことにより行なわれる。ゆえに、式(3)は次式のようになる。

$$\begin{aligned} J(a) &= \sum_{k=1}^p (y_k - a \cdot Z_k)^2 \\ &= \sum_{k=1}^p (y_k^2 - 2a \cdot y_k \cdot Z_k + a^2 \cdot Z_k^2) \\ \frac{\partial J}{\partial a} &= \sum_{k=1}^p -2 \cdot y_k \cdot Z_k + \sum_{k=1}^p 2 \cdot a \cdot Z_k^2 = 0 \\ a &= \frac{\sum_{k=1}^p y_k \cdot Z_k}{\sum_{k=1}^p Z_k^2} \end{aligned} \quad \dots\dots(4)$$

ここで、

$$\begin{aligned} a &= \frac{K \cdot S}{m \cdot c}, y_k = (\theta_k - \theta_{k-1}), Z_k \\ &= \frac{\Delta t}{2} \{(\theta_{0k} - \theta_k) + (\theta_{0(k-1)} - \theta_{k-1})\} \end{aligned}$$

であるから、各部材の a すなわち $K \cdot S / m \cdot c$ は、



図一 熱橋割増区間

	管 径 (mm)				
	50	40	32	25	20
直管の変化率	A_{50}/A_{50}	$A_{40}/A_{50}=a1$	$A_{32}/A_{50}=a2$	$A_{25}/A_{50}=a3$	$A_{20}/A_{50}=a4$
他部材の変化率	B_{50}/B_{50}	$B_{40}/B_{50}=b1$	$B_{32}/B_{50}=b2$	$B_{25}/B_{50}=b3$	$B_{20}/B_{50}=b4$
補 正 値	1	$b1/a1$	$b2/a2$	$b3/a3$	$b4/a4$
熱橋割増係数	N	$N(b1/a1)$	$N(b2/a2)$	$N(b3/a3)$	$N(b4/a4)$

注) 直管の $\frac{K \cdot S}{m \cdot c} = A$, 他部材の $\frac{K \cdot S}{m \cdot c} = B$

表一 直径毎の熱橋割増係数の補正值

$$\begin{aligned} &\frac{K \cdot S}{m \cdot c} \\ &= \frac{\sum_{k=1}^p (\theta_k - \theta_{k-1}) \cdot \frac{\Delta t}{2} \{(\theta_{0k} - \theta_k) + (\theta_{0(k-1)} - \theta_{k-1})\}}{\sum_{k=1}^p \frac{\Delta t}{2} \{(\theta_{0k} - \theta_k) + (\theta_{0(k-1)} - \theta_{k-1})\}^2} \end{aligned} \quad \dots\dots(5)$$

- θ_k : ある時間 STEP の管内温度(°C)
- θ_{k-1} : 一つ前の時間 STEP における 管内温度(°C)
- θ_{0k} : ある時間 STEP の外気(槽内)温度(°C)
- $\theta_{0(k-1)}$: 一つ前の時間 STEP における外気(槽内)温度(°C)
- Δt : 計測時間(min)

となる。

式(5)が一括同定を行なう計算式となり、評価関数 $K \cdot S / m \cdot c$ は実験データを用いて求めることができる。求められた各部材毎の評価関数を、最終的に直管を基準とした「熱橋割増係数」とし、これを用いて必要保温厚さを単純に直管部の何パーセント増しにするかという指標とする。

必要保温厚の割増範囲を「熱橋割増区間」とし、この区間の算定は ASHRAH Hand Book の “Zone Method of Calculation” に準じて求めることとした。この基準は、凸のある部材に断熱を施す場合、凸部分による熱損失の影響が軸方向に及ばないための範囲を規定したもので、それによれば、熱橋割増区間 w は、図一 1 の Zone A を w とすれば $w = 2m + a$ となる。熱橋割増区間における直管の $K \cdot S / m \cdot c$ と各部材の $K \cdot S / m \cdot c$ を比較し、熱橋割増係数を求めるが、 $m \cdot c$ は、それぞれの比熱と重量を実測することにより求めることができる。しかし、 $K \cdot S$ 、特に表面積 S は形状が複雑であるため実測による測定が困難である。このため、「熱橋割増係数」を算定するためには $K \cdot S / m \cdot c$ を一体として取り扱う必要がある。

まず、図一 1 のように各部材についての保温の割増区

間を求めて、割増区間を Zone A、直管と同じ保温厚でよい区間を Zone B とし、個々の熱容量 $m \cdot c$ を実測し、Zone A の $K \cdot S$ が直管の $K \cdot S$ と等しくなるための係数、すなわち熱橋割増係数を求めることができる。

直管と同じ保温厚さのときの $(K \cdot S)$ と変更後の $(K \cdot S)^*$ の比率が、求めるべき熱橋割増係数 N となる。

$(K \cdot S)$ 、 $(K \cdot S)^*$ の違いは、保温材の材質が同じであれば、保温材の厚みの違いによる距離の違いだけであるので、熱橋割増係数 N を保温材の厚さの係数として取り扱うことができる。

本研究では、配管サイズ50Aの実験を行ない、そのデータを用いて各 $K \cdot S / m \cdot c$ を求め、この評価方法の妥当性を検証するが、この評価方法の考え方をいれれば異なる配管サイズにも適用できる。

まず、保温厚さ25mmにおける配管径毎の直管と他部材の $K \cdot S / m \cdot c$ を求め、50Aを基準とした直管の変化率 a を求める。同じく他の部材の変化率 b を求める。同口径の a と b の比率を、求めた熱橋割増係数 N に掛ければ、異口径の場合の熱橋割増係数が求められる。表-1にその関係を示す。

§ 3. 実験方法

実験を行なう供試体モデルは、給水配管系を構成する部材のうち最も一般的な直管、フランジ、玉形弁、仕切

弁、逆止弁、ストレーナーの六種類とし、玉形弁と仕切弁、ストレーナーに関しては、ハンドル部およびかごの掃除口の部分を露出した状態(保温 I)と覆った状態(保温 II)の二種類の保温状態とした。凍結防止の観点からすれば、保温 II の状態が妥当であるが、露出部分がある場合との比較のため保温 I についてもデータを採取した。

管径サイズは、凍結事故の現状を考えればサイズが細いほうが不利であるので、センサーの設置も考慮して塩ビライニング鋼管の50Aを採用し、弁類は日本工業規格(JIS)の10kgf/cm²・脱亜鉛対策品とした。また、保温材については最も一般的なグラスウール保温筒および保温帯で、熱伝導率が0.034kcal/m・h・degのものを用いた。保温厚さは25mmとした。供試体モデルの保温状況を図-2に示す。

恒温槽内部に供試体を設置し温度測定を行なうが、そ

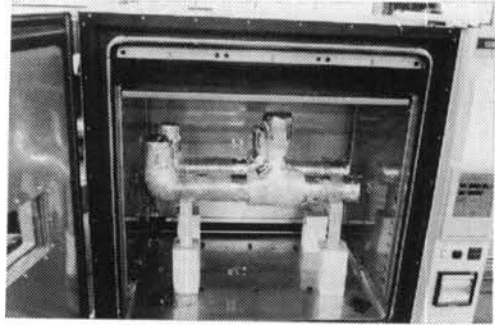


写真-1 供試体の設置状態

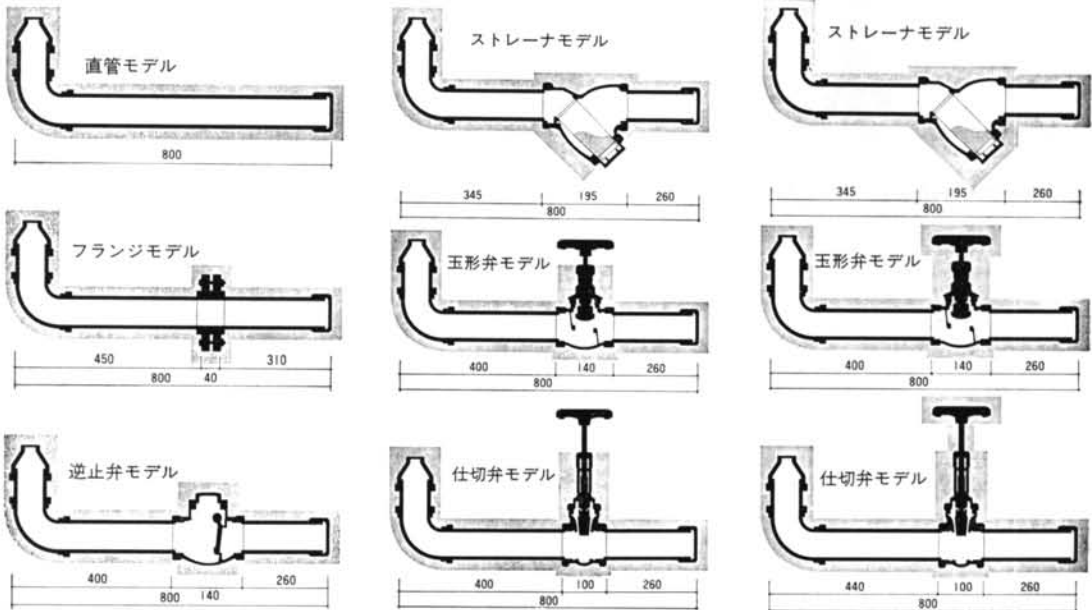


図-2 (a) 供試体の保温状態 (保温 I)

図-2 (b) 供試体の保温状態 (保温 II)

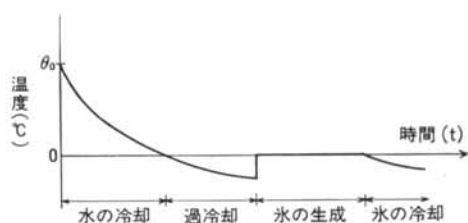


図-3 管内水温の温度降下形態

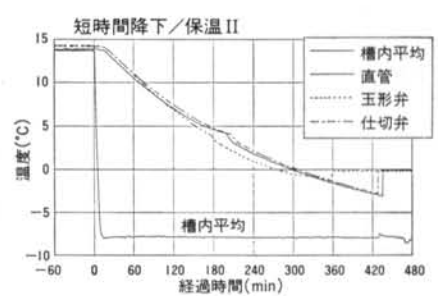
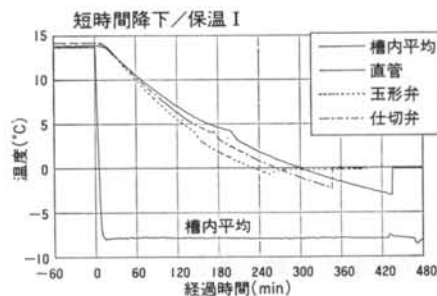
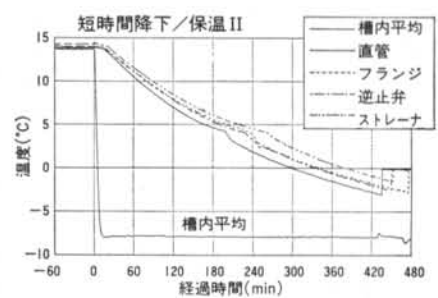
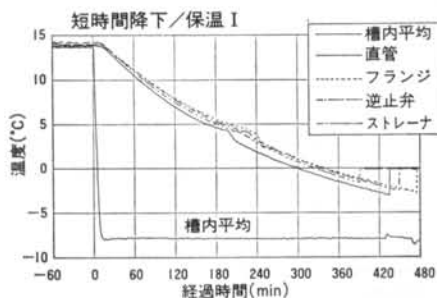
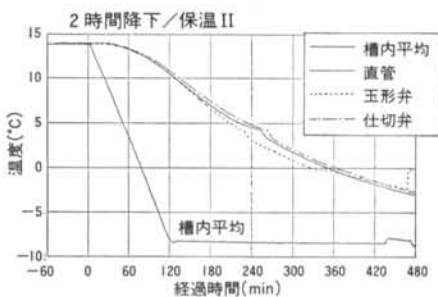
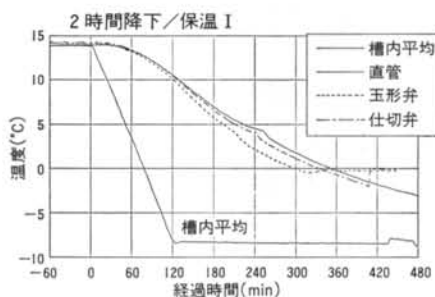
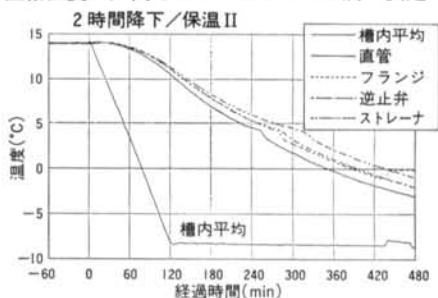
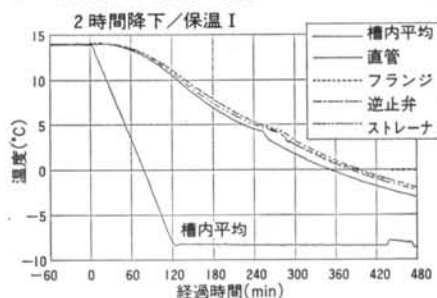


図-4 管内水温の時間変化 (実験値)

のときのモデルの設置状態を写真-1に示す。冷却時間は、外気温度に相当する恒温槽内温度の降下のさせ方であり、温度降下の違いで凍結する順番にどのような影響があるか確認するため、温度変化を二通り設定した。吹出し口温度を $10 \sim -10^{\circ}\text{C}$ に降下するのに2時間かける場合を2時間降下、恒温槽の能力を最大限にして温度降下させた場合を短時間降下とした。

恒温槽温度は、高さ $H=450\text{mm}$ の二カ所で測定し、そ

の平均温度を用いた。この温度を恒温槽の代表温度として扱う。また、槽内温度と供試体内部の温度データの収集は1分間隔で行なった。

水が冷却され氷になるまでの状態は、一般的に水の冷却状態、水の状態で0℃以下になる過冷却状態、氷の生成状態、氷の冷却状態に分けられる。管内の水温と各状態の関係を図-3に示す。研究上、どの時点まで凍結時間として扱うかが問題となるが、管内水を凍らせないことを大前提として考え、水の過冷却状態や潜熱変化などは考慮せず、単純に管内の中心温度が0℃になった時点まで凍結時間として扱うこととした。

各モデルとも、その中心部にシース熱電対を挿入し温度計測を行なった。熱電対の固定は、3mm角のスチロール樹脂の真ん中にセンサー直径約1mmの穴を開け接着剤にて固定した。また、ウレタン樹脂の角材と硬質塩化ビニールライニング鋼管・バルブ類内壁との固定には、接着強度を得るためスチロール樹脂と部材間に5mm×5mmのゴムシートを介して接着剤にて固定した。

§ 4. 実験結果

実験結果を図-4に示す。グラフの横軸は時間で、縦軸はそのときの管内水温を示す。これを、水温が降下し始めたときから0℃になるまでの時間を表わしたのが図-5である。

これによれば、冷却方法、保温仕様による凍結のし易い順序に殆ど変化は見られず、おおむね“玉形弁→仕切弁→直管→フランジ→逆止弁→ストレーナー”の順番であり、玉形弁と仕切弁を除けば、直管より凍結温度(0℃)に達するのに時間がかかることが分かる。

また、冷却方法の違いにより保温Ⅰの玉形弁と仕切弁が、他の部材と比べ短時間降下の凍結時間が短い。これは、ハンドル部分を露出した状態では外気温の影響がかなり大きく、凍結防止上かなり危険な状態といえる。

これらのことから、配管系を構成する部材のうち凍結防止上、直管より不利になる部材は玉形弁と仕切弁の二種類であり、他の部材は直管に比べ熱容量が大きいこともあるが、形状がシンプルであり、内部空間が確保されていることが凍結時間が比較的長い要因と考えられる。

実験により、玉形弁と仕切弁に関して凍結防止上、直管と同じ性能となる保温厚さを求める必要性があることが分かった。

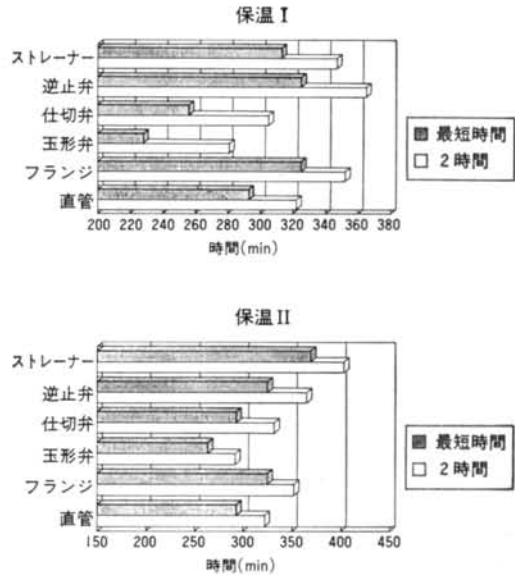


図-5 凍結温度(0℃)に達する時間

供試体モデル	保温仕様	2時間降下		短時間降下	
		対象時間 (min)	$K \cdot S / m \cdot c$ ($\times 10^{-3}$)	対象時間 (min)	$K \cdot S / m \cdot c$ ($\times 10^{-3}$)
直管	保温Ⅰ	322	1.70	293	1.67
フランジ		352	1.50	325	15.2
玉形弁		281	2.19	228	2.13
仕切弁		305	1.90	256	1.92
逆止弁		365	1.47	325	1.48
ストレーナー		347	1.56	313	1.59
直管	保温Ⅱ	322	1.70	293	1.67
フランジ		352	1.50	325	1.52
玉形弁		292	1.92	264	1.84
仕切弁		332	1.66	293	1.68
逆止弁		365	1.47	325	1.48
ストレーナー		403	1.34	369	1.32

注) 保温Ⅱの直管、フランジ、逆止弁のデータは保温Ⅰのデータと同じ。

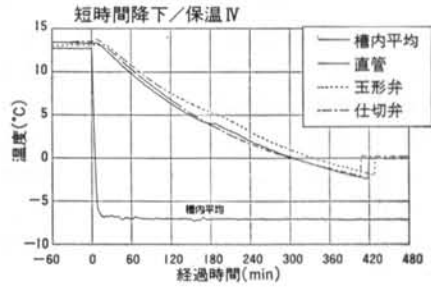
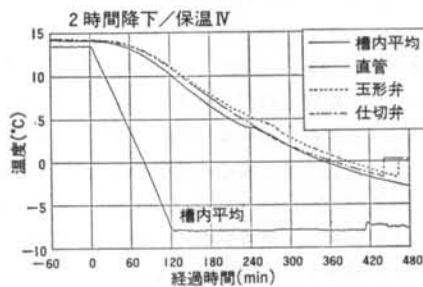
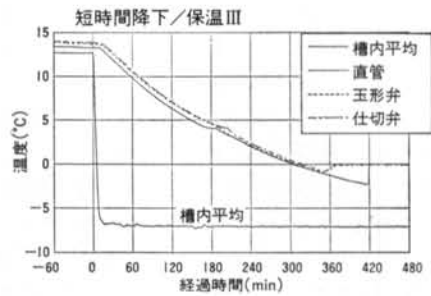
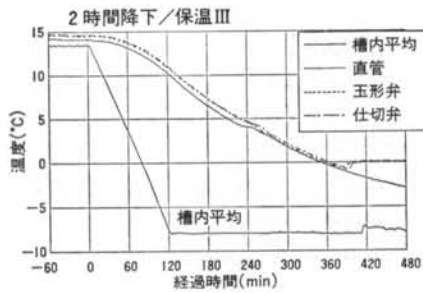
表-2 各モデルの $K \cdot S / m \cdot c$

	直管	玉形弁	仕切弁
保温Ⅰ	1.00	2.00	1.58
保温Ⅱ	1.00	1.5	1.33

表-3 50mmでの熱橋割増係数

§ 5. 熱橋割増係数の算出

実験データを評価関数に用いて得られた各モデルの



図—6 保温補正後の温度降下変化

		管 径 (A)				
		25	32	40	50	
		保 温 厚 さ (mm)				
直 管	保温 I	—	—	—	—	17
	保温 II	—	—	—	—	34
	割増区間	300	330	370	400	440
玉 形 弁	保温 I	—	—	—	—	27
	保温 II	110	85	54	44	26
	割増区間	300	330	370	400	440
仕 切 弁	保温 I	—	—	—	—	27
	保温 II	83	63	42	34	23
	割増区間	340	390	460	530	620

注) 小数点以下は繰り上げ
割増区間の単位はmm

表—4 管径20mm~50mmの保温厚さ

$K \cdot S / m \cdot C$ を表—2に示す。この結果から、保温の割増範囲で直管と同性能となる接続口径50mmの玉形弁と仕切弁についての熱橋割増係数を求めると表—3となる。ここで得られた係数により熱橋割増範囲内で保温厚さを補正し、熱橋割増係数の妥当性を得るために確認実験を行なうこととした。

また、この結果の正当性が実証されることにより、他口径での場合についても、表—1のような関係から各サイズの熱橋割増係数が得られる。

§ 6. 確認実験の結果

供試体の保温 I を熱橋割増係数で補正したものを保温 III、保温 II を補正したものを保温 IV とした。保温材の厚さは、直管25mmの保温厚さが、保温 III では玉形弁50mm・仕切弁40mm、保温 IV では玉形弁40mm・仕切弁35mmとなった。

補正後の管内水温の温度降下状態を図—6に示す。その結果、熱橋割増係数により補正した保温厚さでは、凍結時間が直管と同じかそれ以上となり良い結果を得られた。これにより、熱橋割増係数は、直管と弁類の割増範囲での $K \cdot S / m \cdot c$ の比率により求めることができると実証できた。また、小口径での熱橋割増係数についても、その妥当性を確認できたといえる。

今回の実験と表—1の考え方から得られた、配管サイズ20mm~50mmまでの直管と玉形弁、仕切弁の保温厚さの例を表—4に示す。ここでは、凍結防止という観点から保温 I の状態については現実的でないため検討は行わず、保温 II の状態についての保温厚さを示す。また、このときの直管の保温厚さは管内温度5℃、外気温度-5℃、保持時間5時間という条件で求めた保温厚さである。

§ 7. おわりに

今回の研究により、配管系を構成する一般的な部材の

うち、弱点となる部材（玉形弁、仕切弁）に対して保温厚さを増して補強することにより、配管系全体で凍結防止の保温性能が均一になるための必要な保温厚さを求めることができた。この「熱橋割増係数」による必要保温厚さの考え方は、従来用いられていた理論式を否定するのではなく、従来の保温仕様を使って部分的に凍結防止上不利になる部位を補強し、均一な保温状態にすることを目的としている。そのため、なるべく簡単な形で表わすことで施工管理者のみならず、施工を行なう人にも利用できるように、直管をもとにして何倍の厚さが必要となるかという「熱橋割増係数」という形で表わした。結果として、玉形弁と仕切弁はハンドル部分を含め全体を保温した場合、直管の保温厚さに対して保温厚さをそれぞれ1.5倍、1.33倍、割り増さなければ、直管とは同じ保温性能にならないことが分かった。この値は管径サイズにより若干異なるが、安全側に考え、玉形弁では1.7倍、仕切弁では1.4倍として一般的に使用すれば分かり易いであろう。

「熱橋割増係数」と「熱橋割増区間」を用いて必要保温厚さを求め、その部分の施工方法を考えてもらいたい。特に、管径サイズの細い配管系においては、直管部分で

もかなりの保温厚さを必要とする。このとき、凍結防止上有効な凍結防止ヒーターの採用に関して、必要保温厚さと保温方法を加味しながら、あまりにも保温厚さが厚く保温施工がしにくい場合にヒーターを採用するなどの判断基準として用いることもできると考える。

今回の研究では、その対象として給水配管系でバルブ構造上、管径サイズ50A以下としている。しかし、この評価方法を用いれば、より複雑な部材であっても簡単な実験を行なうだけで、必要な保温厚を求めることが可能であろう。また、熱電対の取付上、20Aや25Aなどのサイズの小さいデータの不足やバルブ（玉形弁、仕切弁）の開度が100%という条件の固定などがあるが、この研究結果より、配管系の保温を凍結防止のために行なう場合、構成する部材により凍結時間が異なり、直管部分の保温厚さでは部分的に凍結の危険が起きることを認識してもらえれば、それは一つの大きな成果であると考え。謝辞 この研究は、筆者が当社関東支店設備部より技術研究所に研修生として席を置き実施したものである。今回、この研究を行なう機会を与えてくれた、関東支店設備部、技術研究所の関係各位に感謝いたします。

<参考文献>

- 1) 渡辺常正：“保温保冷工学” 朝倉書店
- 2) 落藤澄：“管内水の凍結に関する実験” 日本建築学会大会学術講演梗概集（1980年9月）
- 3) 空気調和・衛生工学会編：“凍結防止指針および同解説”（1987年7月）
- 4) ベターリビング：“給水装置の凍結対策に関する研究（その1）”（1989年）
- 5) ベターリビング：“給水装置の凍結対策に関する研究（その2）”（1990年）
- 6) 日本機械学会：“伝熱工学資料” 丸善（1991年9月）
- 7) 奥山博康：“建築物の熱回路網モデルに関する理論的研究” 清水建設研究報告別冊 第26号（1989年6月）