

非凍結破損管に関する研究

続報：発泡材および同材ライニング管の諸物理的特性

Study on Water Pipe Free from Fracture by Water Freezing
Further report: Physical Characteristics of Foamed Material and its Lining Pipe

藤井石根 *¹ 阿部裕亮 *² 安藤寛之 *³ 石沢賢二 *⁴
Iwane FUJII Hiroaki ABE Hiroyuki ANDO Kenji ISHIZAWA

Abstract

In our previous paper a modified water pipe free from the fracture by its freezing was proposed together with several testing results indicating availability of the pipe for the faced problems. After then, to make its utility more practical some physical characteristics for the pipe have been investigated to know effects mainly by lining of the foamed material. Concretely speaking, lining effect for thermal insulation, residual strain of the lining material induced by its compressive deformation and fluid friction factor of the modified pipe for water flow became typical subjects of this investigation, whose achievements can be seen in this paper.

Here, summarizing the main results, the following items can be derived;

- Small thermal conductivity of the foamed material contributes to increase thermal resistance of the pipe wall, especially for no water freezing condition.
- Due to compressive load application, there observed marked strain of the lining material at the beginning. Consequently, however, residual strain of about 10% by successive load application can be seen after all under pressure of 3kgf/cm²(0.29MPa).
- As for friction factor there is practically no big difference between the present pipe and the conventional one, regardless of fluid flow pattern.

キーワード：水管系,発泡材,流体摩擦係数,管壁熱抵抗,ライニング材永久歪

Key Words : Piping System, Foamed Material, Fluid Friction Factor, Thermal Resistance of Pipe Wall, Residual Strain of Lining Material.

1. はじめに

前報(1)では太陽熱温水器等の導水管を主たる対象として当該管の冬期凍結による破損の問題をとり挙げ、その対策としての「凍結破損防止管」なるものを提案した。この管は水管内壁に無数の微細な独立気泡を有する発泡材シートをライニングしたもの(以下ライニング管と略称)で、これによりたとえ管内水が凍結し、その体積が増加したとしても、この体積の増加分は十分にライニング層の収縮で吸収できる為、結果的には管材そのものに

は水の凍結による応力は付加されず管の破損には至らないというものである。事実、管破損の回避は金属管ならびに塩ビ管を試料に数種類の管径について実験し、当該の目的が達成されることを実験は元より理論的にも既に確認している。⁽¹⁾

そこで次の段階として、もしこうした管を実用に供する際に問題になると考えられる次なる項目、すなわち、

- 管内壁の発泡層の付加による管壁の熱抵抗の変化とその挙動
- 発泡材を圧縮した際に残る永久歪が圧縮の度合や圧縮期間の長さ等によってどう変わるか
- 管路における水流の圧力損失はどれ程のものか等について実験を主に調査、検討した。

本報では得られたこうした事項の結果を明らかにすると共に、必要に応じて考察・検討を加えられている。

2. ライニング材の熱物性とライニング管の断熱効果

2.1 熱物性値の計測

種々の材料が次々と開発されてくる中で、たとえそれ

*¹ 明治大学理工学部教授
(〒214-8571 川崎市多摩区東三田 1-1-1)
*² Continental Teves Corporation
(〒289-2505 千葉県旭市鎌数 9163-13)
*³ 明治大学理工学研究科博士前期過程 1 年
(〒214-8571 川崎市多摩区東三田 1-1-1)
*⁴ 国立極地研究所 所員
(〒173-8515 東京都板橋区加賀 1-9-10)
(原稿受付：2004年12月22日)

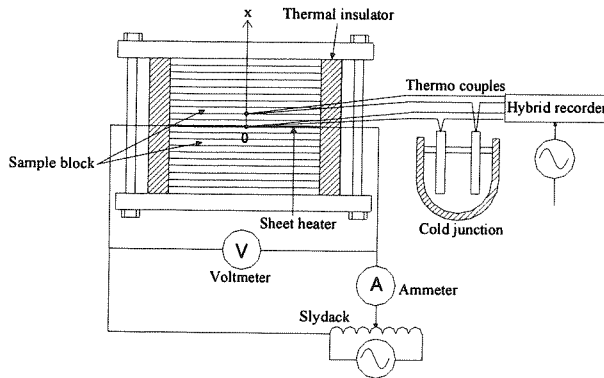


Fig.1 Apparatus for measuring thermal properties of the lining material

らを用いるにしてもそれらの諸物性が必ずしも明らかにされているとは限らない。また、その利用に際しての性能等をあらかじめ評価するにしても必要な諸物性が判らなければ難しく、本研究に於いても用いたライニング材の熱物性値が明らかにされていない為それらの計測が行われた。

図1は、このために製作した熱物性値を知るための実験装置の概略を示したもので、試料として用いたシート状の発泡ライニング材の寸法は一边の長さ100(mm)の正方形状で、その厚みは自然の状態で5(mm)である。このような試料を10枚重ねたものを1つのブロックとしたものを2個用意し、同図に示すようにこれらを箔状電熱発熱体を厚さ1(mm)の銅板を介してはさんで重ね合わせ、隙が無い程度に上下より押さえ板を用いて密着させてある。また、この状態での試料の前後左右の4つの面は熱流の方向が極力上下方向のみになるよう断熱材(発泡スチロール)で覆うとともに発熱体に面している試料表面とこれより1だけ離れている処[試料が圧縮されていない状況での1の値は10(mm)]の二個所に熱電対が埋め込まれている。なおヒータ[厚さ:1(mm),材質:シリコンゴム被覆,ニッケルクロム系合金箔発熱体]の電気抵抗は100(Ω)であり、かつ銅板の存在によって試料加熱面での温度のむらは30~40(°C)の加熱温度に対し、精々0.5(°C)以内に収まっていることが別の実験で確かめられている。

いま、同装置のヒータに接している試料表面を原点とする試料の厚さ方向(図1の上方向)に座標xを設け、試料の加熱前の一様温度 T_0 を基準温度として、ある時刻 $t=0$ よりヒータに通電[加熱量は 532W/m^2]、試料加熱開始以後のそこに形成される非定常温度分布[最高温度100(°C)程度]を計測する。この場合、同温度分布 $T(°C)$ は加熱を始めてからそれほど時間が経過していない段階では、半無限固体内のそれと同一であることから、 q は熱流束を表すものとして

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} &= a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \\ T &= 0 \quad (t=0) \\ q &= -\kappa \frac{\partial T}{\partial x} \quad (x=0 \text{ かつ } t>0) \\ T &= T_0 \quad (x \rightarrow \infty, t>0) \end{aligned} \right\} (1)$$

なる基礎式が与えられる。ここで κ は試料の熱伝導率、 a は試料の熱拡散率である。そして、 T について解くことにより

$$T = \frac{2q}{\sqrt{\kappa c \rho}} \sqrt{t} \cdot \text{ierfc} \frac{x}{2\sqrt{at}} \quad (2)$$

なる結果を得る。ここで c および ρ は各々、試料の比熱および密度である。故に、 $x=0$ における T すなわち $T_{x=0}$ の遷移は式(2)において $x=0$ とおくことにより

$$T_{x=0} = \frac{2q}{\sqrt{\kappa c \rho}} \cdot \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{\pi}} \propto \sqrt{t} \quad (3)$$

となつて \sqrt{t} に比例することがわかる。また $T_{x=0}$ を \sqrt{t} で微分することによって式(3)から次式を得る。

$$\frac{dT_{x=0}}{d\sqrt{t}} = \frac{2q}{\sqrt{\kappa c \rho} \sqrt{\pi}} \quad (4)$$

さらに $x=l$ における温度 $T_{x=l}$ と $T_{x=0}$ との関係については式(2)で $x=l$ とおくことにより次式が与えられる。

$$\frac{T_{x=l}}{T_{x=0}} = \sqrt{\pi} \cdot \text{ierfc} \frac{l}{2\sqrt{at}} \quad (5)$$

このような理論解析結果の下に先の試料内に埋め込まれた熱電対により計測された温度経過の様子から、この試料の諸物性値を決定することができる。そこでまず計測された $T_{x=0}$ の値と t との関係を調べるために横軸に \sqrt{t} 、縦軸に $T_{x=0}$ をとったグラフ上にこれらの計測された値をプロットすればそこで得られる直線関係のグラフの勾配がわかるので式(4)より $2q/(\sqrt{\kappa c \rho} \sqrt{\pi})$ の値が求まる。また熱流束 q は試料の寸法ならびにヒータの発熱量を印加した電流と電圧の大きさから求まるので計算でき、先の $2q/(\sqrt{\kappa c \rho} \sqrt{\pi})$ の値も既知なので結局 $\sqrt{\kappa c \rho}$ の値もわかることになる。

他方、系の温度分布が半無限固体のそれと一致しているとみなし得る状態下での任意の時刻 ζ を選び、同時刻での $T_{x=0}$ 、 $T_{x=l}$ の値を計測すれば式(5)の左辺の値が求まり、このことからこのような関数値 $\sqrt{\pi} \cdot \text{ierfc} \sigma (= T_{x=l}/T_{x=0})$ を与える σ の値が求まる。故に、 $\sigma = l/(2\sqrt{a\zeta})$ ということになり、この場合には $l=10(\text{mm})$ と値がわかっているので a の値も求まる。

したがって $c\rho$ 、 κ の値は $a=\kappa/c\rho$ なる関係により

$$\left. \begin{aligned} \kappa &= \sqrt{\kappa c \rho} \cdot \sqrt{a} \\ c\rho &= \sqrt{\kappa c \rho} / \sqrt{a} \end{aligned} \right\} (6)$$

として表示でき、この段階では $\sqrt{\kappa c \rho}$ および a の値は既に判っているので別途 ρ の値を求めておけば c の値も定まる。このようにして求めた試料の圧縮されていない自然の状態での熱物性値は

$$\sqrt{a} \doteq 0.0192 \left[\frac{\text{m}}{\text{h}^{0.5}} \right] \quad (7)$$

$$\sqrt{\kappa c \rho} \doteq 16.7 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5} \cdot \text{K}} \right] \text{なる計測値より}$$

$$a = 0.000369 \left[\frac{\text{m}^2}{\text{h}} \right] = 1.03 \times 10^{-6} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right] \quad (8)$$

$$\kappa = \sqrt{a} \sqrt{\kappa c \rho} = 0.321 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K}} \right] = 0.089 \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right] \quad (9)$$

$$c\rho = \sqrt{\kappa c \rho} / \sqrt{a} \doteq 870 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}} \right]$$

となり、 ρ は別の測定から平均で $\rho \doteq 180[\text{kg/m}^3]$ なる値を得ているので

$$c = 4.8[\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})] \quad (10)$$

となる。

同様にライニング材を半分まで圧縮した状態では

$$\left. \begin{aligned} \sqrt{a} &= 0.0139 \left[\frac{\text{m}}{\text{h}^{0.5}} \right], \quad \sqrt{\kappa\rho} = 26.7 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5} \cdot \text{K}} \right], \\ \rho &= 360 [\text{kg}/\text{m}^3] \text{として} \\ a &= 0.000193 [\text{m}^2/\text{h}] = 5.36 \times 10^{-8} [\text{m}^2/\text{s}] \\ \kappa &= 0.103 [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})] \\ c &= 5.3 [\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})] \end{aligned} \right\} (11)$$

となる。

このように圧縮しても κ の値はそれ程大きくならないが、この程度の圧縮ではライニング材の気泡による断熱性がなお支配的であることを伺わせる。なお、この方法によって幾度となくアクリル材を試料とした熱物性値の計測を学生実験で行わせているが、そこで得られる結果は同材の公表されている値と大差ない値であることから推しても妥当なものと考えられる。

2.2 ライニング材の当該管への断熱効果

上で既に見たようにライニング材の熱伝導率は通常の断熱材のそれにも匹敵する程度の小さな値のものである。したがってライニング材の厚みは薄いとは言え同物質を水管の内壁にライニングすることで同壁を通して管内水から外気への熱漏洩はより小さくなり、管内水の凍結に至るまでの時間はライニング層の無い場合に較べて延長されることが想像される。他方、管内水が凍結している状態でこれが外気の熱など逆に管外から加熱されて融解させる場合にも当然の事ながら時間がより長く要することになるが、ライニング層の厚みは氷の存在の度合いで必ずしも一定でない。当然、この事が管内水の相変化に必要な時間にどう影響するか、この辺の動向もあらかじめ確認しておくことは実用上、必要との考えの下にこの辺についての実験も試みられた。

実験にはライニングを施した呼び径（以下 ID と略記）が異なる 7 種類の長さ 200(mm) の塩化ビニール管（以下 A タイプ管と略記）と、これらと性能比較するために ID は同一かつ管肉厚もほぼ同一で、ライニング層の無い別の管群（以下 B タイプ管と略記）も用意された。そして、これら全ての管内に水道水を満たした後、両端にキャップをかぶせてその水を封入した。しかし B タイプの管群に対しては管内水の凍結による管の破損を避けるため、満水状態での水の封入は避け若干の空隙を残している。加えて管内水の温度変化の様子を知るため、管の長手方向中央、管断面の中心部に熱電対が取り付けられた。こうして用意された実験用水管の仕様は表 1 に示される通りである。そしてこれらは庫内温度が約 $-20(^{\circ}\text{C})$ になるように設定された恒温槽内に収められ、その後の各管内水の温度 T が時間 t の経過に対しどのように変わるかを熱電対で計測、かつ同管内水が全て凍結したことを見計らった上で、今度は同実験用水管を温度が約 $20(^{\circ}\text{C})$ の外気に恒温槽の扉を開けてさらに同温度変化の様子も確認した。

図 2 から図 4 の各図はこうした得られた T に関する結果を示したものでこれらを見る限り、ライニング層の存在は各管の壁面の断熱効果の大きさに少なからざる影響を与えていることが分かる。そこで ID の値が同じ管でライニング層の有無による差異を見るため便宜上、先ず各管群の冷却開始時から熱電対による温度計測場所での水の温度が $0(^{\circ}\text{C})$ 以下になり始めるまでの A タイプ管に対する時間を t_{A1} , B タイプ管に対しては t_{B1} として表す。同様に管内水が凍結状態にある各々の管群の加熱開始時間から、この熱電対で計測される温度が $0(^{\circ}\text{C})$ より高くなり始めるまで

の時間を各々 t_{A2} , t_{B2} として、それらの値を表にまとめると表 2, 表 3 のようになる。これについては次のような見解を述べる事ができる。

Table 1 Testing specimen

Sample name	ID	Presence of lining	Lining sheet thickness [mm]	Inner diameter of pipe [mm]	Pipe thickness [mm]	Symbol
ID13A	13	yes	1	13	2.5	■
ID13B	13	no	—	13	2.5	+
ID20A	20	yes	1	20	3.0	▲
ID20B	20	no	—	20	3.0	△
ID25A	25	yes	2	25	3.5	■
ID25B	25	no	—	25	3.5	□
ID30A	30	yes	2	31	3.5	⊗
ID30B	30	no	—	31	3.5	×
ID40A	40	yes	2	44	2	●
ID40B	40	no	—	44	2	○
ID50A	50	yes	3	56	2	⊗
ID50B	50	no	—	56	2	×
ID65A	65	yes	3	71	2.4	◆
ID65B	65	no	—	71	2.4	◇

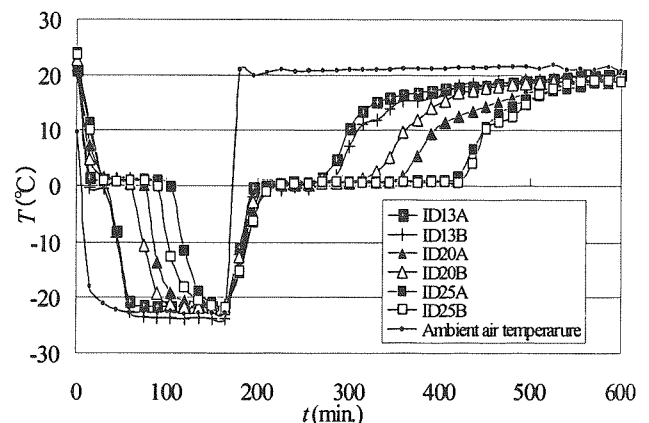


Fig.2 Water temperature transition measured at inner central position of the pipes (Part 1)

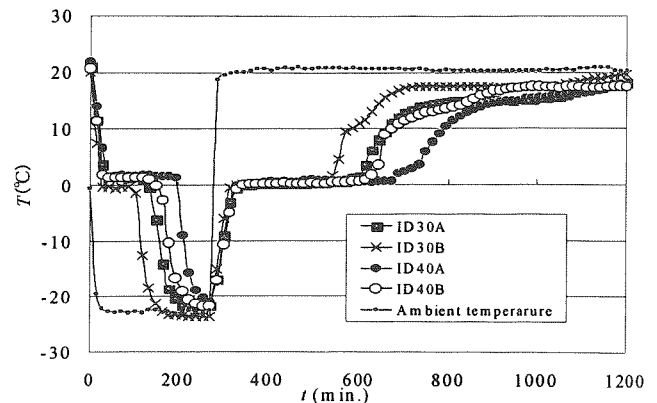


Fig.3 Water temperature transition measured at inner central position of the pipes (Part 2)

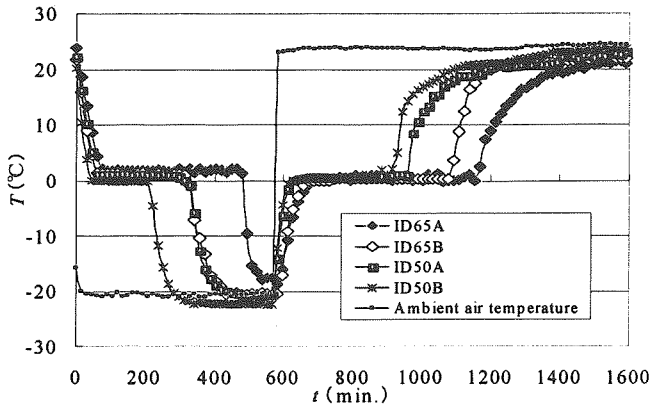


Fig.4 Water temperature transition measured at inner central position of the pipes (Part 3)

Table 2 Measured values for t_{A1} and t_{B1}

ID[mm]	t_{A1} [min.]	t_{B1} [min.]	$t_{A1}-t_{B1}$ [min.]
13	30	30	0
20	75	62	13
25	105	85	20
30	135	90	45
40	195	135	60
50	320	220	100
65	480	310	170

Table 3 Measured values for t_{A2} and t_{B2}

ID[mm]	t_{A2} [min.]	t_{B2} [min.]	$t_{A2}-t_{B2}$ [min.]
13	100	100	0
20	175	135	40
25	250	250	0
30	310	245	65
40	405	335	70
50	360	300	60
65	570	495	75

- (1) t_{A1} の時間は t_{B1} の値に比して概して大きいことからライニング層は少なからず管壁の熱通過率の減少に寄与している。この傾向は t_{A2} と t_{B2} の関係についても見られる。
- (2) ($t_{A1}-t_{B1}$)の値と($t_{A2}-t_{B2}$)の値を比較すれば一見、前者の方が大きい様に映るが、そうなることの物理的必然性は必ずしも見当たらず、ほぼ同一になるべきものと解釈され、これに対する更なる考察は今後の課題と考えられる。しかしライニング層の初期の熱伝導率が小さな状態での冷却と、同熱伝導率が若干大きくなっている状態での加熱との違いの影響が考えられるかも知れない。
- (3) IDの値が同じ各管に於いて t_{A2} は t_{A1} に対し、また t_{B2} は t_{B1} に比して大きな値を示しているが、これは恒温槽の扱い方から生じる管外の熱伝達の差すなわち冷却の場合は強制対流、加熱の場合は自然対流の影響が出ているものと推察される。

3. ライニング材の物性と圧縮残留歪

メーカーが公にしているライニング材の諸物性値は表4の通りで、その測定は JIS K6767 に準拠して行われたとされている。それでもなお、ここでのライニング材の使われ方は厚さ方向全体に圧力が加わる状態であり圧縮歪、とりわけ圧縮永久歪については必ずしも明らかにされていないため、この表とは別途、実測試験が行われた。

図5は今回使用する試験装置の概略を示したものである。この装置はライニング材に均等な荷重がかかるようなガイド部を具備し、上部に錘をのせることで圧縮試験が行える。試験に使われたライニング材は一辺の長さが約32(mm)の正方形板でその元の状態の厚みは4.0(mm),3.1(mm)それに1.8(mm)の3種類で、それらはここでは各々試料A,B,Cとして扱われている。

図6は荷重を加えた後の経過時間 t に対する試料Aの実際に計測された厚み τ (mm)の変化の様子とそれに対する歪 ϵ (%)とを示したものである。ここで加えた荷重の大きさは試験装置の荷台部分の重量も勘案しつつ、結果的に試料が 1kgf/cm^2 (0.098MPa)の圧力を受けるようにしてある。

さてこの図から明らかなように初期の段階で大きな歪の変化が認められるものの次第に時間に対する変化の割合が減少、荷重付加後 2300 時間位になると殆どその変化が見られなくなっている。こうした傾向は他の試料でも同様で歪についての変化の様子はほぼ同一の経過を辿っている。無論、歪の大きさは加えられる圧力の大きさによって変わることは当然で、この場合の ϵ はほぼ 47(%)程度であるが印加圧力が 3kgf/cm^2 (0.29MPa)の場合にはその値は60(%)程度になっている。

図7は印加圧力が 3kgf/cm^2 (0.29MPa)になるようにして同様な試験を実施、歪の変化がほぼ見られなくなった状態で、その後は付加していた圧力を取り去った状態での歪の推移を見たものである。この図の横軸の時間 t の起点は荷重(圧力)除去時となっている。

この図を見る限りでは $t=800$ 時間以降は歪の変化は殆ど見られなくなっており、この時点での歪が永久歪として残ってしまったと言える。この状態で再度、圧力を加えて歪ませ、同様の試験を試みた場合にその永久歪の程はどうかは今後の研究課題になるだろうが、何れにしろ、この場合は試料の種類(厚み)には殆ど関係なく、平均でほぼ9(%)の歪が残ったことになる。

Table 4 Physical properties for the foamed material⁽²⁾

Item	Unit	Quantity
Observed density	g/cm^3	0.195
Tensile strength	MPa	3.51
Elongation	%	379
Tear strength	N/m	1.25×10^4
Compressive hardness	MPa	0.137
Compressive residual strain	%	1.3
Residual strain by repeated compression	%	3.4
Dimensional change by heating	%	-13.6

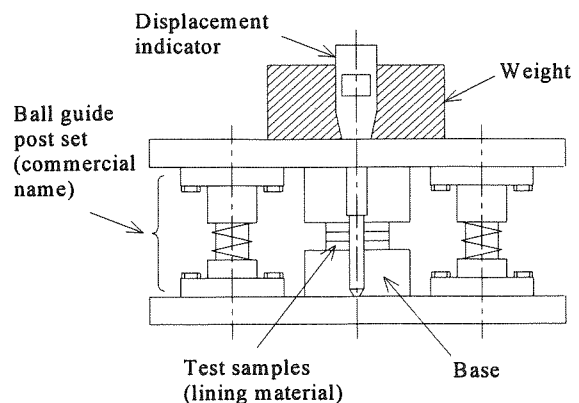


Fig.5 Testing apparatus for compressing the lining material

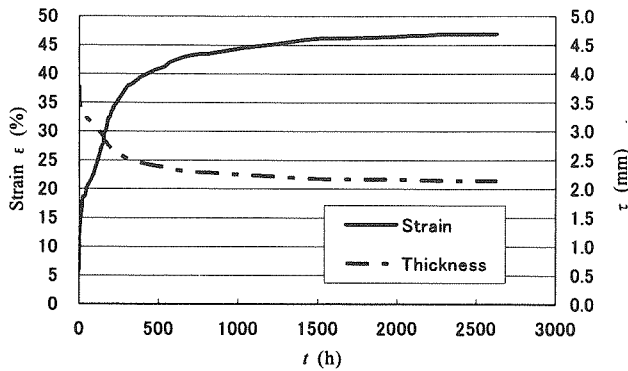


Fig.6 Strain and thickness transition of sample A after giving pressure of 1kgf/cm² (0.098MPa)

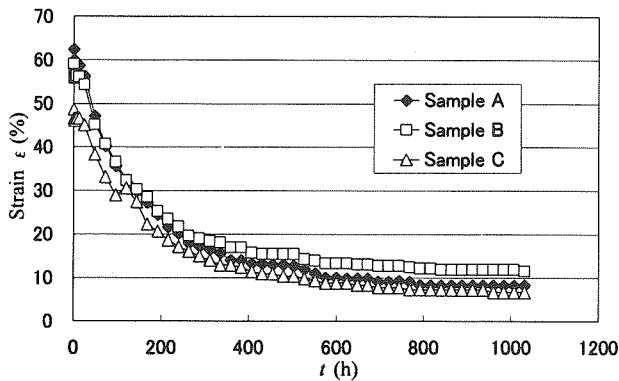


Fig.7 An example of strain recovery behaviour of every sample after load removal of 3kgf/cm² (0.29MPa)

4. ライニング管の管摩擦

通常、管内に流体を流すとき、どの程度の圧力損失が生じるか、その度合をあらかじめ知っておくことは配管系を考える上で必要である。そのため管摩擦係数なるものをはっきりさせておけばシステムの設計上、役立てることができる。そうした観点から提示している管についても、かのライニング層を設けることで同係数が、どう変わるかを実用上、明らかにしておく必要がある。

図8は管摩擦係数を実験により調べるための実験装置の概略を示したもので、実験に供される管は「差圧測定区間」と記されている部分に設置されることになる。ここで使用されている管の内径 d に代表径として 20(mm) を選ぶ。ただしライニング管は、ライニングを施した状態で内径が 20(mm) となっているものが用意された。また非ライニング管の肉厚は 3(mm)、ライニング管ではその肉厚が 3(mm)、ライニング層の厚さが 2(mm) となっている。実験する管に

流入する水流は十分に発達したものにするため、上流側に長さ 4(m) の助走管を設けている。この助走管の長さ、すなわち助走距離 Le については多くの理論的考察や実験研究がなされているが、一般的には Re をレイノルズ数として次式がよく用いられている。⁽³⁾ すなわち

$$\left. \begin{aligned} \text{層流域では } Le &= (0.06 \sim 0.065) Re \cdot d \\ \text{乱流域では } Le &= (25 \sim 45)d \end{aligned} \right\} (12)$$

Table 5 Specification of micro pressure transducer

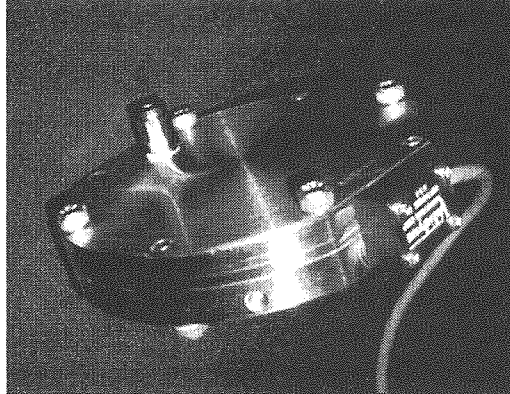
		
Item	Specification	
Overall size	diameter	102mm
	thickness	20mm
Volume of pressure chamber	0.57cm ³	
Mass	1.11kg	
Overall accuracy	±0.25% for full scale of 14mm H ₂ O	
	Working range	-53°C ~ 121°C
Temperature characteristic	Guarantee range	-17.7°C ~ 71°C

Table 6 Specification of flow meter

Item	Specification	
Detectable minimum flow rate	0.3 l/min	
Resolution	0.6 ml/pulse	
Nominal pulse rate	1785 pulse/l	
Accuracy	Linearity	±0.5 %
	Repeatability	±0.1 %
Usable maximum temp.	85 °C	
Usable maximum pressure	1 MPa	

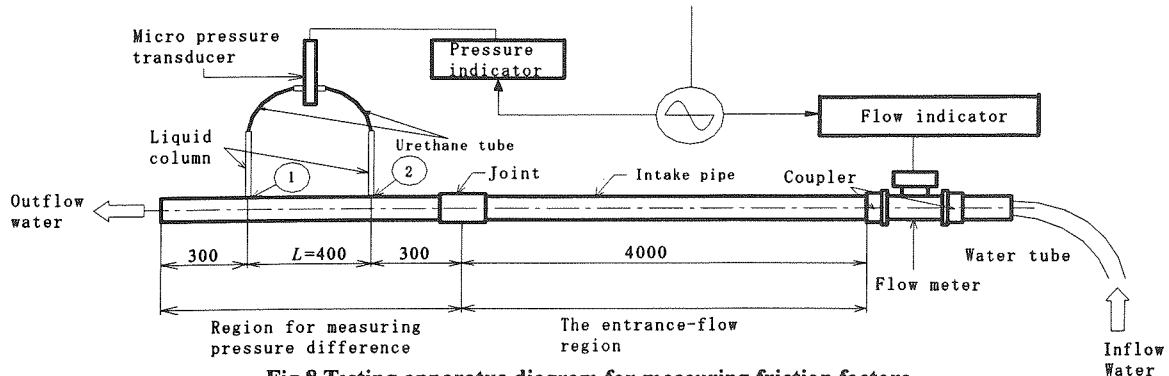


Fig.8 Testing apparatus diagram for measuring friction factors

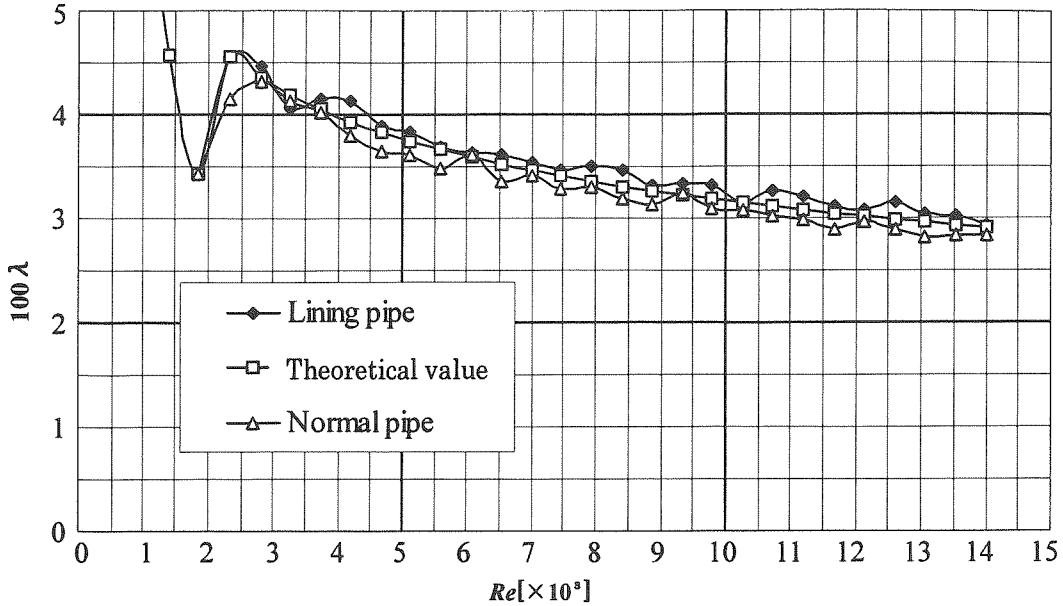


Fig.9 Friction factors of the pipes having lining wall

というものがあるが、限界レイノルズ数 Re_c は約 2300, 本実験で試みられた最大の Re 値は 1.2×10^4 という状況を考えれば、ここで採用された Le の長さは十分な長さを有していると思ふことができる。

管路間隔 $L=400(\text{mm})$ 間の差圧 ΔP の計測には超微差圧トランスデューサ (VALIDYNE 社製) を使用, その大体の仕様は表 5 に示す通りである。流量の計測にはタービン型の流量計を用い, それに対する仕様は表 6 で示す通りである。また流入する水には水道水を用いる。

さて衆知のように図 8 の管内圧力計測点 1, 2 間の圧力差 ΔP は同点間の距離を L , 管内を流れている水の平均流速を \bar{u} , ρ を水の密度, そして λ を管摩擦係数として次式

$$\Delta P = \lambda \frac{d}{L} \cdot \frac{\rho \bar{u}^2}{2} \quad (13)$$

で与えられ, この場合は流れが層流, 乱流に係りなく成り立つとされている。故に, λ の値は ΔP と \bar{u} の値を実験で調べることにより求まることになる。当然, ここでは ΔP はトランスデューサで, \bar{u} の値は流量計で単位時間に流れる水量 Q を計測することで

$$\bar{u} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} d^2} \quad (14)$$

として求まることから λ の値も明らかにすることができる。

図 9 はこうして求めた λ の値をまとめて図示したもので, 比較のために管の内径が等しい発泡材をライニングしていない通例の塩化ビニール管による結果も合わせて示してある。なお, この場合, 層流域に属する Re の値が 2,000 以下の λ の値は発泡材ライニング管および通常の塩化ビニール管共, それらの実験点は

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (15)$$

の線上にほぼ載っているのので表示はここでは省かれている。

他方, $Re > 2000$ の乱流領域での実験点は発泡材のライニングの有無に余り影響されずに両者共, ほぼ似かよった λ の値を示している。しかもそれらの実験点はブラジウスの公式

$$\lambda = 0.3164 / Re^{0.25} \quad (16)$$

で, よく模擬できることが伺える。このような結果から $Re \leq 1.2 \times 10^4$ の範囲で提示されているライニング管はライニング層の有無に拘わりなく, その扱いは圧力損失に関する限り従来の管と同じように扱っても差し支えないものと推察される。

5. おわりに

前報に引き続いて本報では提案している凍結破損防止管の本質と見られる管内ライニング層を対象に, すなわち無数の微細な独立気泡を有する市販の発泡材シートを試料と同物質の実用性の程を見極める意味も兼ねつつその物理的な特性を詳細に検討した。その結果, 具体的には次の事柄, すなわち

- ① 当該材料の熱伝導率や熱拡散率なる熱特性は通常, 見られる断熱材のそれにも近い小さな値を有している。
- ② 管内壁の当該材料の付加に伴う熱抵抗の増大はあまり大きくなく実用上は無視できる程度で, 利用の仕方次第では, その特性を逆に利用できる可能性がある。
- ③ 加わる圧力の大きさにもよるが, $3 \text{kgf/cm}^2 (0.29 \text{MPa})$ 程度の圧力付加の場合, 9% 程度の圧縮永久歪が残る。
- ④ この材料を管内壁にライニングすることによる管内水流に対する圧力損失は殆ど影響されない。

等が明らかになり, 実用の可能性がより増したと判断される。とりわけかかる発泡材によるライニング管内水圧が $1 \text{kgf/cm}^2 (0.098 \text{MPa})$ 程度, もしくはそれ以下の比較的低下力の下での同管の実用の可能性はより高くなったと見られる。しかしこの管を水道管など比較的管内水圧が高い場合には, この発泡材では意図している目的が果たせない可能性が高く, 材料の開発も含めて新たな研究が必要視され, これは今後の課題となろう。

参考文献

- (1) 藤井石根, 阿部裕亮, 石沢賢二: 「非凍結破損管に関する研究」日本太陽エネルギー学会誌 vol.30, No.2 P.51
- (2) 三和化工(株): 「新製品試料～サンベルカ GT グレード」
- (3) E.R.G.Eckert & R.M.Drake; Heat & Mass Transfer, 2nd.Ed (1959), Kōgakusha, McGraw-Hill.