

I 基礎編

1. ポリブテンとは

ポリブテン管の原料となるポリブテン（PB）樹脂は、1-ブテンを重合することにより製造される合成樹脂で、ポリエチレン（PE）や、ポリプロピレン（PP）と同じポリオレフィン系の樹脂です。

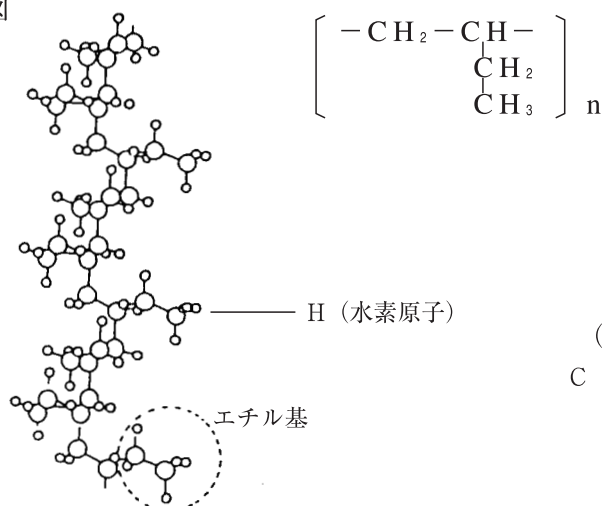
表1-1に示すように分子量が約120万と非常に大きく、耐熱性、クリープ特性に優れます。

表1-1 ポリオレフィン系樹脂の分子量比較

樹脂名	分子式	平均分子量（参考）
ポリブテン	$\left[\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$	120万
ポリエチレン	$\left[-\text{CH}_2-\text{CH}_2- \right]_n$	12～13万
ポリプロピレン	$\left[\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$	20～30万

また、その分子構造は、図1-1に示すように、側鎖に大きなエチル基をもつラセン構造をしていますので、外部からの種々の応力に対しても長期にわたり、高い耐性を示します。

（A）側面図



（B）上面図

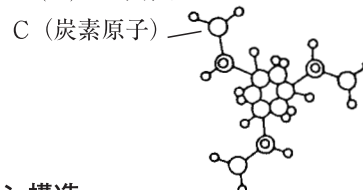


図1-1 ポリブテンのラセン構造

このように分子量が大きいこと、また、上記のように、特殊な分子構造を持つことにより、耐熱クリープ特性、耐ストレスクラック性を示すことになります。

また、ポリブテン樹脂は、超高分子量であるにもかかわらず柔軟性に優れています。これは、結晶化度が55～60%と低く、密度が0.92という低密度に起因しています。

ポリブテン管は、このような多くの特性を持つポリブテン樹脂を、ポリエチレンやポリプロピレン、塩化ビニルなどと同様に、押出成形（継手は射出成形や二次加工）によって製造されるため、均一で安定した品質が得られます。

2. ポリブテン管の特徴と用途

(1) 特 徴

- 1) 高温時でも優れた内圧強度を発揮します。

高温状態で長時間使用しても強度の低下はほとんどありません。

- 2) 衛生的で安心です。

有害物質の溶出や、赤サビ・青サビの発生などによる水質汚濁がなく、衛生的なパイプです。

- 3) 内面が滑らかで流れがスムーズです。

金属管に比べて内面が滑らかで摩擦抵抗係数が小さいため、スケールなどが付着しにくいパイプです。

- 4) 施工性に優れています。

軽量で取り扱いやすく、切断、接合などの施工が簡単です。特に小口径管は、長尺（巻物）のため、エルボ、バンドを使用しない引廻し配管ができます。

- 5) 信頼性の高い接合ができます。

融着接合の場合、接合面が一体化し、十分な強度が得られます。また、小口径管はメカニカル継手を使用して容易に接合できます。

- 6) 保温・保冷効果に優れています。

熱伝導率が銅管の1/250、銅管の1/1700と小さく、管内流体の保温・保冷性に優れています。

- 7) 耐薬品性を有しています。

酸・アルカリ・塩類・アルコール類（特定の薬品を除く）などには高温時でも安定しています。また、不凍液や潤滑剤などにも安定しています。

- 8) 電気絶縁性に優れています。

ポリブテン管は電気絶縁性が良好ですから、金属管とは異なり電気腐食の心配がありません。また、パイプを伝わっての漏電を起こすこともありません。

(2) 用 途

- 1) ビル、建物内の給水・給湯・冷暖房配管
- 2) 戸建住宅、施設物件の床暖房配管及び給水・給湯配管
- 3) 温泉等の引湯管
- 4) 太陽熱集熱器からの温水配管
- 5) 温室、ビニルハウスの暖房配管
- 6) 豚舎、鶏舎の床暖房配管
- 7) 降雪地域のロードヒーティング（融雪）配管

尚、使用に際しては各メーカーに問い合わせください。

3. ポリブテン配管システムの規格

3-1. ポリブテン管の規格

ポリブテン管の寸法や性能は「JIS K 6778 ポリブテン管」に規定されており、工業会会員メーカーのポリブテン管は当規格に適合しております。

(1) 寸法及び許容差

ポリブテン管の寸法及びその許容差は表3-1によります。

(2) 性能

ポリブテン管の性能は表3-2によります。

表3-1 ポリブテン管の寸法及びその許容差

単位：mm

呼び径	外径		内径		厚さ		参考	
	基準寸法	平均外径の許容差	基準寸法	平均内径の許容差	基準寸法	許容差	長さ(m)	質量(kg/m)
10	13	±0.15	9.8	±0.25	1.6	±0.20	120	0.053
13	17		12.8		2.1			0.09
16	22		16.8		2.6			0.146
20	27		21.2	±0.30	2.9			0.202
25	34	±0.25	28.1	±0.40	2.95	±0.25	100	0.265
30	42	±0.30	34.9	±0.80	3.55		60	0.395
40	48	±0.35	39.8	±0.95	4.1	±0.30	5	0.52
50	60	±0.40	49.9	±1.10	5.05	±0.35		0.802
65	76	±0.65	63.2	±1.45	6.4	±0.40		1.287
75	89	±0.80	74.1	±1.70	7.45	±0.45		1.756
100	114	±1.00	94.9	±2.10	9.55	±0.55		2.883

備考1.平均外径の許容差とは、任意の断面における相互に等間隔な2方向の外径測定値の平均値（平均外径）と外径基準寸法との差をいいます。

2.平均内径の許容差とは、平均外径から平均厚さの2倍を差し引いた値と内径基準寸法との差をいいます。

3.厚さの許容差とは、外径の測定個所と同一断面における相互に等間隔な4か所の厚さの平均値（平均厚さ）と厚さ基準寸法との差をいいます。

4.長さは、受渡当事者間の協定によって、変更することができます。なお、長さは参考ですので、実際の長さ等については各メーカーにお問い合わせください。

表3-2 ポリブテン管の性能

性能項目		試験条件			性能
引張降伏強さ		試験温度23±2℃			16.0MPa以上
耐圧性		水圧2.5MPa×2分			漏れその他の異常があってはならない
熱間内圧クリープ性		試験温度(℃)	試験時間(h)	円周応力(MPa)	漏れその他の異常があってはならない
		20	1	15.5	
		95	1	6.9	
			22	6.5	
			165	6.2	
			1000	6.0	
浸出性	濁度	試験温度 95℃			給水装置の構造及び材質の基準に関する省令（厚生省令第14号）の別表第1中の“給水装置の末端以外に設置されている給水用具の浸出液又は給水管の浸出液に係る基準”による
	色度				
	TOC				
	味				
	臭気				
	残留塩素の減量	試験温度 常温			0.7mg/L以下
耐塩素水性		塩素濃度	試験温度	試験時間	水泡発生があってはならない
		2000±100ppm	60±1℃	72h	

3-2. ポリブテン管継手の規格

ポリブテン管継手の種類や性能は「JIS K 6779 ポリブテン管継手」に規定されており、工業会会員メーカーのポリブテン管継手は当規格に適合しております。

(1) 継手の種類

ポリブテン管継手の種類は表3-3によります。

表3-3 ポリブテン管継手の種類

種類		接合方式
M種		メカニカル式
		ワンプッシュ式
		スライド式
E種	A形	電気融着式（定電流方式）
	B形	電気融着式（定電圧方式）
H種		熱融着式

備考 E種の継手は、融着方式の違いからA形とB形の2種類があります。

なお、A形とB形の誤使用防止を目的として、継手の通電端子は異なる外径としています。

（A形は2.0mm， B形は2.5mm）

(2) 継手の形状

ポリブテン管継手の寸法及び形状は、JIS規格において特に規定しておりません。継手を組み込んだ水栓ボックスなども準備しておりますので、品揃えの詳細については工業会会員各社のカタログをご参照ください。また、継手名称については各社異なりますのでご注意願います。

(3) 継手の性能

ポリブテン管継手の性能は表3-4によります。

表3-4 ポリブテン管継手の性能

性能項目		試験条件		性能	適用継手の種類	
気密性		空気圧0.6MPa×5秒		漏れその他の異常があってはならない	M種 E種 H種	
水密性		水圧0.02MPa×2分		漏れその他の異常があってはならない		
耐圧性		水圧2.5MPa×2分		漏れその他の異常があってはならない		
負圧性		－54KPa×2分		空気(または水)の吸い込み その他の異常がない		
熱間内圧クリープ性		試験温度 (℃)	試験時間 (h)	円周応力 (MPa)		漏れその他の異常があってはならない
		20	1	15.5		
		95	1	6.9		
			22	6.5		
			165	6.2		
1000	6.0					
引抜性		呼び径	軸荷重 (N)	抜け出しその他の異常が あってはならない	M種 E種 H種	
		10	520			
		13	920			
		16	1500			
		20	2100			
		25	2700			
		30	4000			
		40	5400			
		50	8300			
		65	13500			
		75	18400			
100	30300					
圧縮はく離性		試験温度 23±2℃		融着接合部のはく離長さ率が15%以下	E種	
浸出性	濁度 色度	試験温度 95℃		給水装置の構造及び材質の基準に関する 省令(厚生省令第14号)の別表第1中 の“給水装置の末端以外に設置されてい る給水用具の浸出液又は給水管の浸出 液に係る基準”による	M種、E種、H種 (ポリブテン成形 部分に適用する)	
	TOC					
	臭気 味					
	残留塩素の 減量					試験温度 常温
		JIS K 6779 JA.4.2による 浸出性	試験温度 95℃		給水装置の構造及び材質の基準に関する 省令(厚生省令第14号)の別表第1中 の“給水装置の末端以外に設置されてい る給水用具の浸出液又は給水管の浸出 液に係る基準”による	M種、E種、H種 (接水部がポリブ テン以外の成形 部分に適用する)

4. ポリブテン管の特性

4-1. 基本物性

ポリブテン管の基本物性を表4-1に示します。また表4-2に、現在使用されている他の管材の物性も併せて示します。

表4-1 ポリブテン管の物性測定値

性	質	単	位	試 験 方 法	物 性 値
物 理 的 性 質	密度	g/cm ³		ISO 1133	0.921
	デュロメータ硬度	HDD		ASTM D2240	66
	吸水率	mg/cm ³		ISO 62	0.01以下
機 械 的 性 質	引張降伏強さ	MPa		JIS K 6778	18.0
	引張破断強さ	MPa			37
	引張破壊伸び	%			255
	引張弾性率	MPa			279～316
熱 的 性 質	線膨張率	1/℃		ASTM D626	1.3×10^{-4}
	比熱	J/gK		三井化学法	1.9
	熱伝導率	W/mK		ホットディスク法	0.2
	融点	℃		DSC法	128

※上記の数値は測定値であり、性能を保証するものではありません。

表4-2 ポリブテン管と他の管材との物性比較

項目	管種 単位	ポリブテン管	銅 管	ステンレス 銅 管	銅 管 (軟質)	H I V P	H T V P
密度	g/cm ³	0.921	7.9	7.9	8.94	1.40	1.48
引張強さ	MPa	18	400	650	235	50	54
伸び率	%	280	55	57	45	120	60
線膨張率	1/℃	1.3×10^{-4}	1.2×10^{-5}	1.7×10^{-5}	1.7×10^{-5}	7×10^{-5}	7×10^{-5}
熱伝導率	W/mK	0.2	45	16	330	0.14	0.11

※ポリブテン管以外のデータは、社団法人日本銅センター「DATA NOTE」によります。

4-2. 一般的物性

(1) 温度と引張強さの関係

ポリブテンの温度に対する強度を図4-1、4-2に示します。

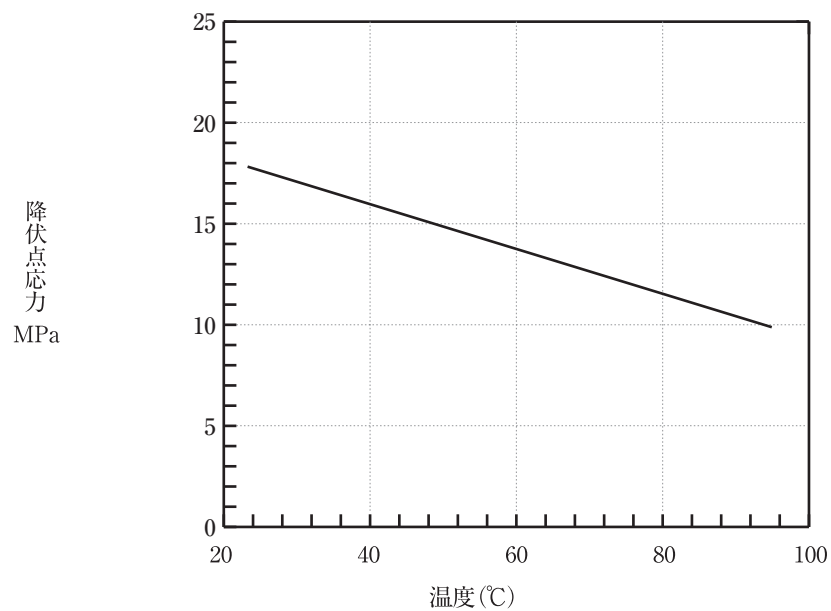


図4-1 温度による引張降伏強さの変化

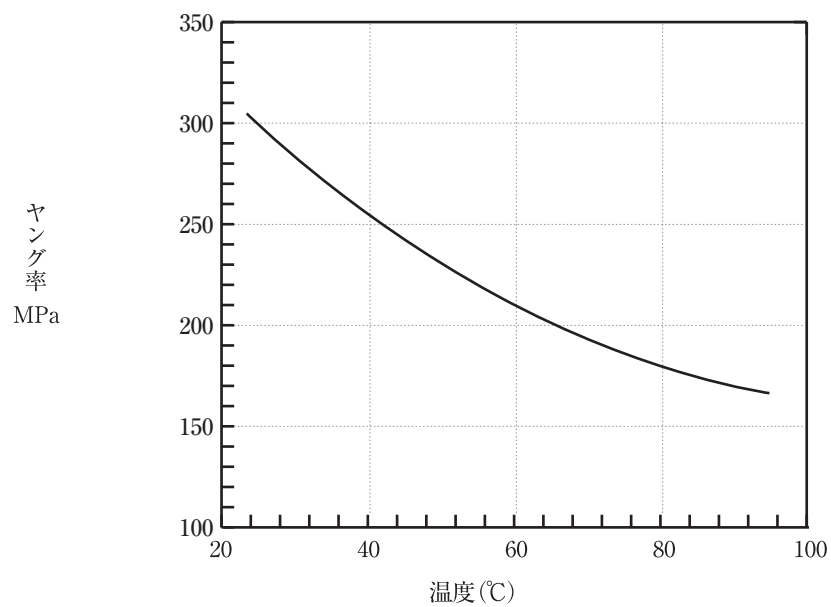


図4-2 温度による引張弾性率の変化

(2) クリープ特性と使用圧力

① クリープ特性

プラスチックパイプの長時間強度を推定する為には、通常内圧クリープ試験が用いられます。

図4-3にポリブテン管の各温度に於ける内圧クリープ曲線を示します。

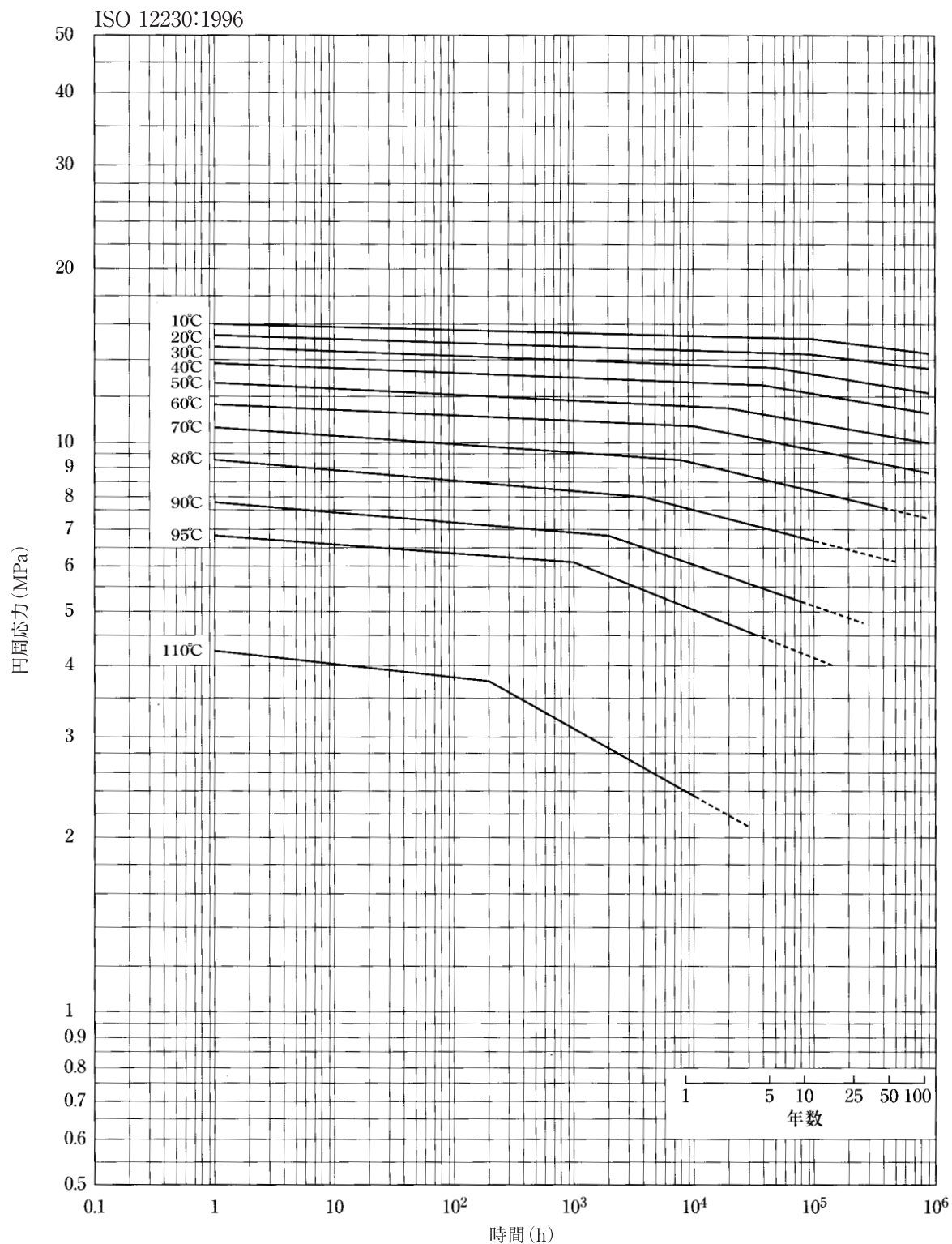


図4-3 ポリブテン管のクリープ曲線

②使用圧力

図4-3に示すクリープ曲線の 3×10^5 時間（約34年）のクリープ曲線の外挿値を安全係数（2）で割って設計応力を求めます。この設計応力を用いて、ポリブテン管の最高使用圧力を次式により算出します。

$$P = \frac{2\sigma t}{D - t}$$

ここに、P：使用圧力（MPa）

σ ：設計応力（MPa）

D：管の外径（基本寸法）（mm）

t：管の厚さ（最小寸法）（mm）

表4-3にポリブテン管の各使用温度に対する使用圧力を示します。

表4-3 管の使用温度及び使用圧力（JIS K 6778）

使用温度 ℃	5～30	31～40	41～50	51～60	61～70	71～80	81～90
使用圧力 MPa	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4

(3) 熱的特性

①熱伝導率

ポリブテン管は表4-4に示すとおり、銅管に比べて熱伝導率が非常に小さく、熱損失が少ないという特長をもっています。

従って、金属管に比べて非常に効率の良い温水輸送が行なえます。

ただし、長距離配管や熱損失を極力避けたい配管では、保温材を使用します。

表4-4 各種管材の熱伝導率

管 材	熱伝導率 W/mK	ポリブテン管を 1としたときの比
ポ リ ブ テ ン 管	0.2	1
ス テ ン レ ス 銅 管	16	80
銅 管	45	225
銅 管	330	1650

②熱伸縮性

(1) 熱伸縮量

温度変化によるポリブテン管の伸縮量は次式で求められます。

$$\Delta \ell = \alpha \cdot \ell \cdot \Delta t$$

ここに $\Delta \ell$: 伸縮量 m
 α : 線膨張率 (1.3×10^{-4}) $1/^{\circ}\text{C}$
 ℓ : 配管長さ m
 Δt : 温度差 $^{\circ}\text{C}$

ポリブテン管の線膨張率は、金属管に比べて大きいため、配管や流体自重の他に熱伸縮によるたわみが管路設計上支障のないように固定支持を行ってください。

(2) 熱伸縮力

ポリブテン管を直線配管し、軸方向の移動を阻止して温度変化を与えると管体に熱伸縮力が働きます。この熱伸縮力は次式で求められます。

$$F = \alpha \cdot E \cdot \Delta t \cdot A$$

ここに F : 熱伸縮力 N
 E : 引張弾性率 (4.8×10^2) N/mm^2
 A : 管の断面積 mm^2

ポリブテン管の熱伸縮力は、金属管に比べて極めて小さく、容易に管の移動を拘束できるため、管のたわみが管路上支障がある場合を除いて、伸縮対策は不要です。

表4-5 各種管材の線膨張率及び引張弾性率

管 材	線膨張率 $1/^{\circ}\text{C}$	引張弾性率 N/mm^2
ポ リ ブ テ ン 管	1.3×10^{-4}	4.8×10^2
ス テ ン レ ス 銅 管	1.7×10^{-5}	2.7×10^5
銅 管	1.2×10^{-5}	2.1×10^5
銅 管	1.7×10^{-5}	1.1×10^5

(4) 耐凍結性

図4-4は、ポリブテン管の凍結解氷の繰返し試験を行なった結果を示したものです。

試験は、供試短管に水を満たし、 $-20^{\circ}\text{C} \cdot 16\text{hr} \leftrightarrow 23^{\circ}\text{C} \cdot 8\text{hr}$ のサイクルで凍結解氷を繰返し行なった際のパイプ径膨張率の変化を示します。

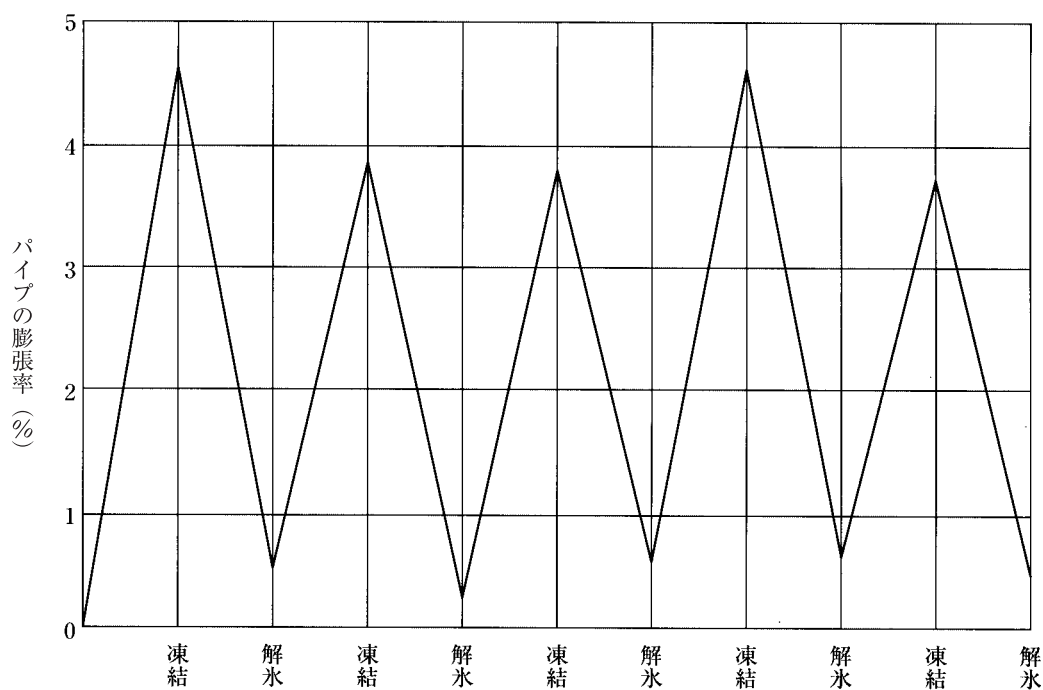


図4-4 凍結解氷繰返し試験結果

試験結果では、ポリブテン管に割れなどの異常がありませんでした。

これは、ポリブテン管が凍結による水の体積膨張を十分に吸収できる柔軟性をもっていることを示します。

しかし、この試験は短管を使用したものであり、必ずしもこの結果を実配管にそのまま適用することは出来ません。

例えば、長い配管経路全体が凍結する時に管路全体が一様に凍結すれば問題はありませんが、凍結による水の体積増加が管の一部に集中した場合には、管が破損するおそれがあります。

従って、ポリブテン管の場合も、凍結のおそれがある配管においては、不凍液の使用や水抜き、あるいは保温などの凍結防止策を施す必要があります。

5. ポリブテン管の保冷保温

5-1. 保冷

配管の表面に結露し、それが管自体及び周辺に悪影響を及ぼすおそれのある場合は、被覆材の表面温度を外部の温度湿度条件における露点温度以下となるように、適切な被覆材を使用して防露措置を行ってください。

(1) 表面温度の計算式

$$T = \frac{q}{h_a \cdot \pi \cdot d_2} + T_o$$

ここに

T	: 被覆材表面温度	℃
h _a	: 熱伝達係数	W/m ² K
d ₂	: 被覆材外径	m
T _o	: 外気温度	℃
q	: 熱損失量	W/m

qは、以下による。

$$q = \frac{T_i - T_o}{\frac{1}{\pi} \left\{ \frac{1}{h_a \cdot d_2} + \frac{1}{2\lambda_1} \cdot \ln\left(\frac{d_1}{d_0}\right) + \frac{1}{2\lambda_2} \cdot \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right) \right\}}$$

λ ₁	: P B管の熱伝導率	W/m K
λ ₂	: 被覆材の熱伝導率	W/m K
d ₀	: P B管内径	m
d ₁	: P B管外径	m
T _i	: 流体温度	℃

(2) 計算例

ポリブテン配管に一般的に使用されているポリエチレンフォーム保温材を使用した場合の被覆材の必要厚さを以下に示します。

なお、ポリエチレンフォーム保温材の熱伝導率は、0.03W/mKとしました。

流体温度及び外気温度湿度条件については、「HASS-010 空気調和衛生設備工事標準仕様書」及び「JIS A 9501 保温保冷工事施工標準」を参考にしました。

(3) 保冷（防露）計算例

①給水配管

1) 屋内空調部分

流体温度	15℃
外気温度	26℃
外気湿度	60%
露点温度	17.6℃

呼び	10	13	16	20	25	30	40	50	65	75	100
保冷厚さ(mm)	5										
表面温度(℃)	22.1	22.0	22.0	21.9	21.8	21.8	21.8	21.9	21.9	22.0	22.1

2) 屋内非空調部分（一般条件）

流体温度	15℃
外気温度	30℃
外気湿度	85%
露点温度	27.2℃

呼び	10	13	16	20	25	30	40	50	65	75	100
保冷厚さ(mm)	20										
表面温度(℃)	28.6	28.5	28.4	28.4	28.3	28.2	28.2	28.1	28.1	28.0	28.0

3) 屋内非空調部分（多湿条件）

流体温度	15℃
外気温度	30℃
外気湿度	90%
露点温度	28.2℃

呼び	10	13	16	20	25	30	40	50	65	75	100
保冷厚さ(mm)	20							25			
表面温度(℃)	28.6	28.5	28.4	28.4	28.3	28.2	28.2	28.5	28.4	28.4	28.4

②冷水配管

1)-1 屋内空調部分

流体温度	5℃
外気温度	26℃
外気湿度	60%
露点温度	17.6℃

呼び	10	13	16	20	25	30	40	50	65	75	100
保冷厚さ(mm)	10					15					
表面温度(℃)	22.0	21.8	21.6	21.5	21.4	22.7	22.7	22.6	22.5	22.5	22.5

1)-2 屋内空調部分

流体温度	7℃
外気温度	26℃
外気湿度	60%
露点温度	17.6℃

呼び	10	13	16	20	25	30	40	50	65	75	100
保冷厚さ(mm)	10										
表面温度(℃)	22.4	22.2	22.1	21.9	21.8	21.7	21.7	21.6	21.6	21.6	21.6

1)-3 屋内空調部分

流体温度	10℃
外気温度	26℃
外気湿度	60%
露点温度	17.6℃

呼び	10	13	16	20	25	30	40	50	65	75	100
保冷厚さ(mm)	10										
表面温度(℃)	22.9	22.8	22.7	22.6	22.4	22.4	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3

2)-1 屋内非空調部分(一般条件)

流体温度	5℃
外気温度	30℃
外気湿度	85%
露点温度	27.2℃

呼び	10	13	16	20	25	30	40	50	65	75	100
保冷厚さ(mm)	20					25					
表面温度(℃)	27.7	27.6	27.4	27.3	27.2	27.7	27.6	27.5	27.5	27.4	27.4

2)-2 屋内非空調部分

流体温度	7℃
外気温度	30℃
外気湿度	85%
露点温度	27.2℃

呼び	10	13	16	20	25	30	40	50	65	75	100
保冷厚さ(mm)	20					25					
表面温度(℃)	27.9	27.8	27.6	27.5	27.4	27.3	27.2	27.7	27.7	27.6	27.6

2)-3 屋内非空調部分

流体温度	10℃
外気温度	30℃
外気湿度	85%
露点温度	27.2℃

呼び	10	13	16	20	25	30	40	50	65	75	100
保冷厚さ(mm)	20										
表面温度(℃)	28.2	28.1	27.9	27.8	27.7	27.6	27.6	27.5	27.4	27.4	27.4

3)-1 屋内非空調部分(多湿条件)

流体温度	5℃
外気温度	30℃
外気湿度	90%
露点温度	28.2℃

呼び	10	13	16	20	25	30	40	50	65	75	100
保冷厚さ(mm)	30					40					
表面温度(℃)	28.6	28.5	28.4	28.3	28.2	28.7	28.6	28.5	28.5	28.4	28.4

3)-2 屋内非空調部分

流体温度	7℃
外気温度	30℃
外気湿度	90%
露点温度	28.2℃

呼び	10	13	16	20	25	30	40	50	65	75	100
保冷厚さ(mm)	30					40					
表面温度(℃)	28.7	28.0	28.5	28.4	28.3	28.3	28.2	28.6	28.6	28.5	28.5

3)-3 屋内非空調部分

流体温度	10℃
外気温度	30℃
外気湿度	90%
露点温度	28.2℃

呼び	10	13	16	20	25	30	40	50	65	75	100
保冷厚さ(mm)	30										
表面温度(℃)	28.9	28.8	28.7	28.6	28.5	28.5	28.4	28.4	28.3	28.3	28.2

5-2. 保温

給湯配管などで人体に配管が接触するおそれのある場合、表面温度が40度以下となるように適切な保温材などを使用して保温被覆してください。

また温泉配管などで温度降下が想定される場合も適切な保温材などを使用して保温被覆してください。

(1) 表面温度の計算式

「1-1.」に示す計算式と同じです。

(2) 表面温度の計算例

1) 高温給湯

流体温度	90℃
外気温度	20℃

呼び	10	13	16	20	25	30	40	50	65	75	100
保温厚さ(mm)	10										
表面温度(℃)	32.6	33.2	33.8	34.2	34.7	35.0	35.1	35.2	35.3	35.2	35.1

2) 一般給湯

流体温度	60℃
外気温度	20℃

呼び	10	13	16	20	25	30	40	50	65	75	100
保温厚さ(mm)	5										
表面温度(℃)	32.8	33.1	33.3	33.5	33.8	33.8	33.8	33.7	33.4	33.2	32.8

(3) 温度降下の計算式

$$t_o = t_a + (t_i - t_a) \cdot e^{-L/R \cdot C_p \cdot Q}$$

ここに	t_o	: 管の出口での流体温度	℃
	t_a	: 外気温度	℃
	t_i	: 管の入り口での流体温度	℃
	e	: 自然対数の底(=2.71828)	
	L	: 配管長さ	m
	R	: 伝熱抵抗	m/W
	C_p	: 水の比熱	kJ/kg K
	Q	: 流量	kg/hr

上式のうち伝熱抵抗Rは、保温材の有無や露出配管又は埋設配管など、種々の配管条件によって異なる。

主な配管条件での伝熱抵抗Rは、それぞれ①～③式で与えられる。

1) 露出裸管の場合

$$R = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{1}{h_a \cdot r_1} + \frac{1}{\lambda_1} \cdot \ln \left(\frac{r_1}{r_0} \right) + \frac{1}{h_w \cdot r_0} \right\} \dots\dots\dots ①$$

2) 露出保温管の場合

$$R = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{1}{h_a \cdot r_2} + \frac{1}{\lambda_1} \cdot \ln \left(\frac{r_1}{r_0} \right) + \frac{1}{\lambda_2} \cdot \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right) + \frac{1}{h_w \cdot r_0} \right\} \dots\dots\dots ②$$

3) 埋設保温管の場合

$$R = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\lambda_1} + \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_3}{\lambda_2} + \frac{\varepsilon_3}{\lambda_3} \right\} \dots\dots\dots ③$$

ただし

$$\varepsilon_1 = \ln \left[\frac{H}{r_0} \left\{ 1 + \sqrt{1 - (r_0/H)^2} \right\} \right]$$

$$\varepsilon_2 = \ln \left[\frac{H}{r_1} \left\{ 1 + \sqrt{1 - (r_1/H)^2} \right\} \right]$$

$$\varepsilon_3 = \ln \left[\frac{H}{r_2} \left\{ 1 + \sqrt{1 - (r_2/H)^2} \right\} \right]$$

ここに

h_a : 熱伝達係数 W/m^2K

h_w : 管内面と水の熱伝導率 W/m^2K

(水の場合 $3,488w/m^2k$ 以上)

r_0 : P B管の内半径 m

r_1 : P B管の外半径 m

r_2 : 保温管の外半径 m

λ_1 : P B管の熱伝導率 W/mK

λ_2 : 保温材の熱伝導率 W/mK

λ_3 : 土の熱伝導率 W/mK

H : 管中心までの埋設深さ m

(備考: $\frac{1}{h_w \cdot r_0}$ の項は、計算する際、無視しても実用上問題はない。)

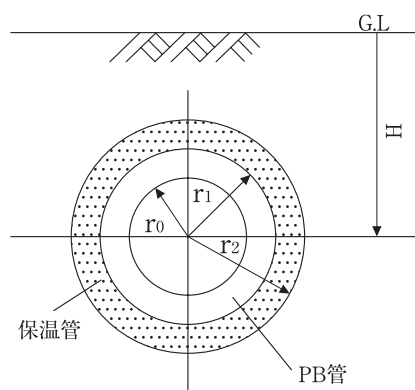


表5-1に各種保温材料の熱伝導率を示す。

表5-1 保温材の熱伝導率

品 名	種 類	熱伝導率 W/mK
けい酸カルシウム	保温筒, 1号-13	0.0407
はっ水性パーライト	保温筒, 4号	0.0483
グラスウール	保温筒	0.0324
ロックウール	保温筒	0.0314
ビーズ法ポリスチレンフォーム	保温筒, 2号	0.0336
押出法ポリスチレンフォーム	保温筒, 2種	0.0310
硬質ウレタンフォーム	保温筒, 1種2号	0.0209
ポリエチレンフォーム	保温筒, 1種	0.0390
フェノールフォーム	保温筒, 2種2号	0.0311

(JIS A 9501-2006 による)

(4) 温度降下の計算例

①露出裸管の場合

ポリブテン管の呼び径50を保温材なしで露出配管したときの温度降下を求めます。

$$\begin{array}{llll} \text{[条件]} & \text{流} & \text{速} & v : 1.5\text{m/sec} & \text{管路長さ} & L : 500\text{m} \\ & \text{温水入口温度} & t_1 : 85^\circ\text{C} & & \text{外気温度} & t_0 : 0^\circ\text{C} \end{array}$$

まず、伝熱抵抗Rを求める。(ただし、 $\frac{1}{h_w \cdot r_0}$ の項は無視するものとする)

$$R = \frac{1}{2\pi} \times \left\{ \frac{1}{10 \times (3 \times 10^{-2})} + \frac{1}{0.2} \ell n \frac{3 \times 10^{-2}}{2.495 \times 10^{-2}} \right\} = 0.667\text{mK/W}$$

流量Qは次のようになります。

$$Q = 1.5 \times \pi \times (2.495 \times 10^{-2})^2 \times 3600 = 10.561\text{m}^3/\text{hr} = 10561\text{kg/hr}$$

従って、管の出口における流体温度 t_0 は次のようになります。

$$t_0 = 0 + (85 - 0) \times e^{-500 / (0.667 \times 10561)} = 79.2^\circ\text{C}$$

すなわち、85℃の温水は管路長500mの間に

$$t = 85 - 79.2 = 5.8^\circ\text{C}$$

だけ温度が降下することになります。

②露出保温管の場合

(1) と同じ条件で、厚さ20mmのポリスチレンフォーム（熱伝導率0.03W/mK）で保温して露出配管したときの温度降下を求めます。

伝熱抵抗Rを求めると次のようになります。

$$\begin{aligned} R &= \frac{1}{2\pi} \times \left\{ \frac{1}{10 \times (5 \times 10^{-2})} + \frac{1}{0.2} \ell n \frac{3 \times 10^{-2}}{2.495 \times 10^{-2}} + \frac{1}{0.03} \ell n \frac{5 \times 10^{-2}}{3 \times 10^{-2}} \right\} \\ &= 3.164\text{mK/W} \end{aligned}$$

また、流量は同じであるため、管の出口における流体温度 t_0 は次のように求めます。

$$t_0 = 0 + (85 - 0) \times e^{-500 / (3.164 \times 10561)} = 83.7^\circ\text{C}$$

すなわち、この時の温度降下は

$$t = 85 - 83.7 = 1.3^\circ\text{C}$$

となります。

③温度降下線図

露出裸管及び、露出保温管の場合について、呼び径50、75、100における温度降下線図を図5-1、5-2、5-3に示します。

条件：保温材：発泡ポリスチレン、厚さ20mm

外気温：-5℃（無風）

流速：1.5m/sec

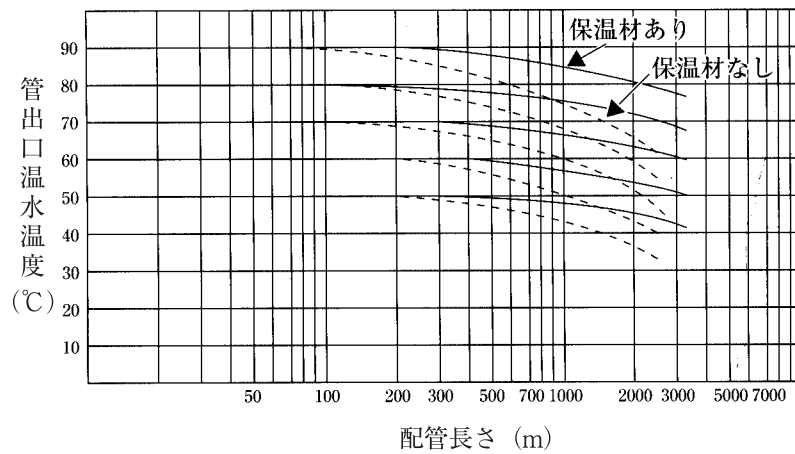


図5-1 温度降下線図 呼び径50

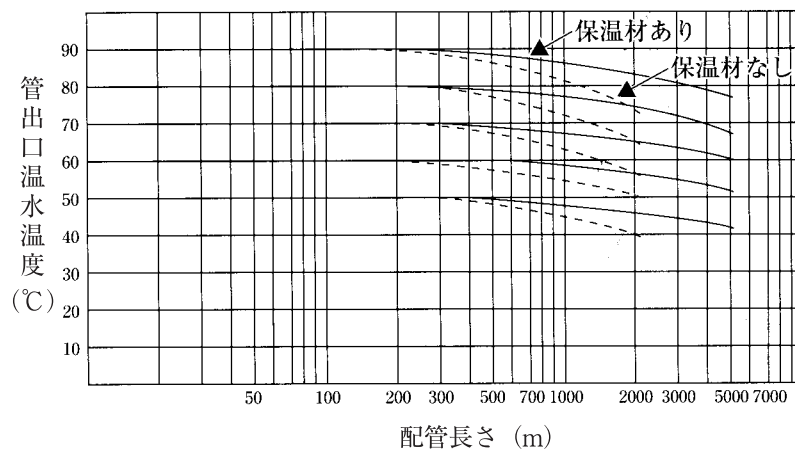


図5-2 温度降下線図 呼び径75

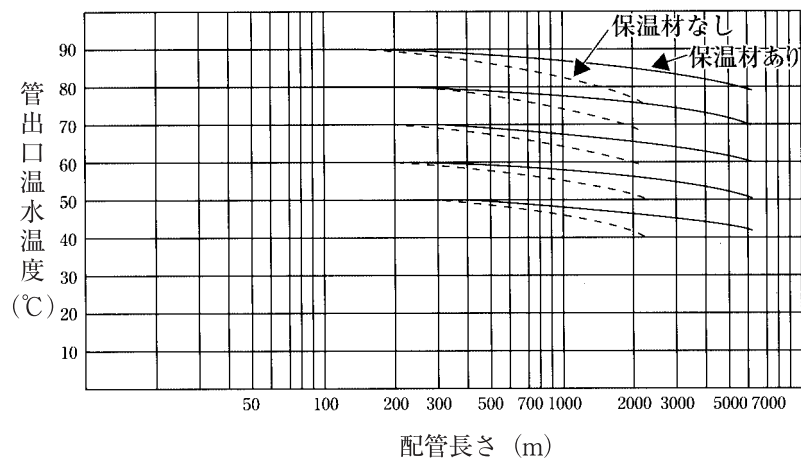


図5-3 温度降下線図 呼び径100