

MLPA

アルミ複合ポリエチレン管の水理計算

MLPA D020—2012

2012年 9月13日 制定

アルミ複合ポリエチレン管協会

Multi Layer Pipe Association

技術部会 ／ 設計委員会

(部会長) 川田 厚 株式会社 三栄水栓製作所

(委員長) 藤澤 秀樹 株式会社 ハタノ製作所

水野 宏俊 アロン化成株式会社

中倉 光浩 タイフレックス株式会社

坂田 泰博 株式会社 テクノフレックス

関 浩司 株式会社 テクノフレックス

はじめに

アルミ複合ポリエチレン管の水理計算には次のものがある。

1. 管の摩擦損失計算。
2. 継手の圧力損失計算(相当管長)。
3. 水撃圧(ウォーターハンマー)の計算。

管の摩擦損失計算式には、本書の適応範囲(ϕ 25以下)から、次の公式が考えられる。

1. ダルシー・ワイズバッハ(Darcy・Weisbach)の式。
2. ウェストン(Weston)の式。
3. 東京都水道局実験公式。

本書では次に理由により、ダルシー・ワイズバッハの式を使用することとした。

1. 世界的な採用実績が多いこと。
2. 本書では温水も使用範囲であるため、水温の変化による摩擦損失の違い(水の動粘性係数や密度の違い)を反映できること。
他の式では、水温の変化に対応できない。

また、計算に於いてレイノルズ数(Re)が必要となるが、本書では臨界レイノルズ数を 2320 [シラー(L. Schiller)による]とし、層流領域を $Re \leq 2320$ として計算した。

本来、乱流領域は $Re > 4000$ であるが、層流と乱流の遷移領域の計算は一般に管内の流れがほとんど乱流であることから、乱流領域として行った。

継手の圧力損失計算は、一般に本書対象市場では圧力損失を管の長さに換算した“相当管長”で計算するが、管の摩擦損失計算式によって数値が変わるため、ダルシー・ワイズバッハの式を使用した算出根拠を明示した。

水撃圧(ウォーターハンマー)の計算は、ジューコウスキー(N. E. Joukowsky)の理論式により各管材との比較計算を実施した。

目 次

1. 管の摩擦損失計算	1
1. 1 ダルシー・ワイズバッハ(Darcy・Weisbach)の式	1
1. 2 流量線図	3
2. 継手の圧力損失計算	9
2. 1 継手の圧力損失と相当管長	9
2. 2 継手の圧力損失試験方法	10
3. 水撃圧(ウォーターハンマー)の計算	11
3. 1 理論計算式	11
3. 2 各管種の最大水撃圧比較表	12
4. 参考資料	15
4. 1 ウェストン(Weston)の式との比較	16
4. 2 アルミ複合ポリエチレン管の寸法表	18

1. 管の摩擦損失計算

1. 1 ダルシー・ワイズバッハ(Darcy・Weisbach)の式

$$P_f = h_f \cdot \gamma \cdot g$$

$$h_f = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (\text{ダルシー・ワイズバッハの式})$$

管摩擦係数の計算

・ 層流域

$$Re \leq 2320$$

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}$$

・ 乱流域

$$2320 < Re < 10^5$$

ブラジウス (H.Blasius) の式

$$\lambda = 0.3164 \cdot Re^{-0.25}$$

$$10^5 \leq Re < 3 \times 10^6$$

ニクラゼ (J.Nikuradse) の式

$$\lambda = 0.0032 + \frac{0.221}{Re^{0.237}}$$

ここで、 P_f : 摩擦損失圧力 (Pa)

h_f : 摩擦損失水頭 (mAq)

γ : 水の単位体積重量 (kg/m^3) ……表-1による。

λ : 管摩擦係数 (無次元)

L : 管延長 = 1m当り (m)

d : 管内径 (m) 、 V : 流速 (m/s)

Re : レイノルズ数 、 g : 重力の加速度 = $9.8\text{m}/\text{s}^2$

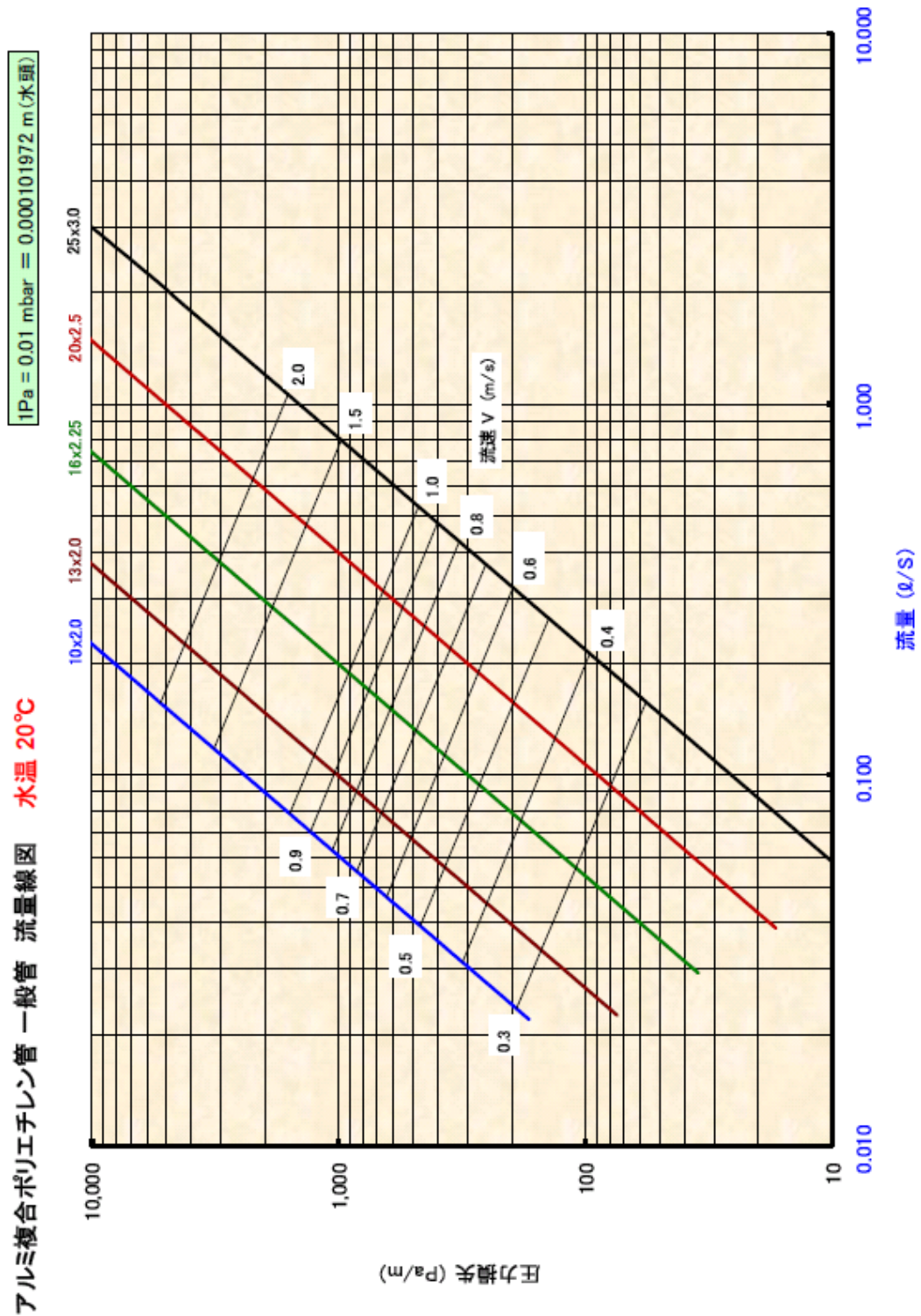
ν : 水の動粘性係数 (m^2/s) ……表-1による。

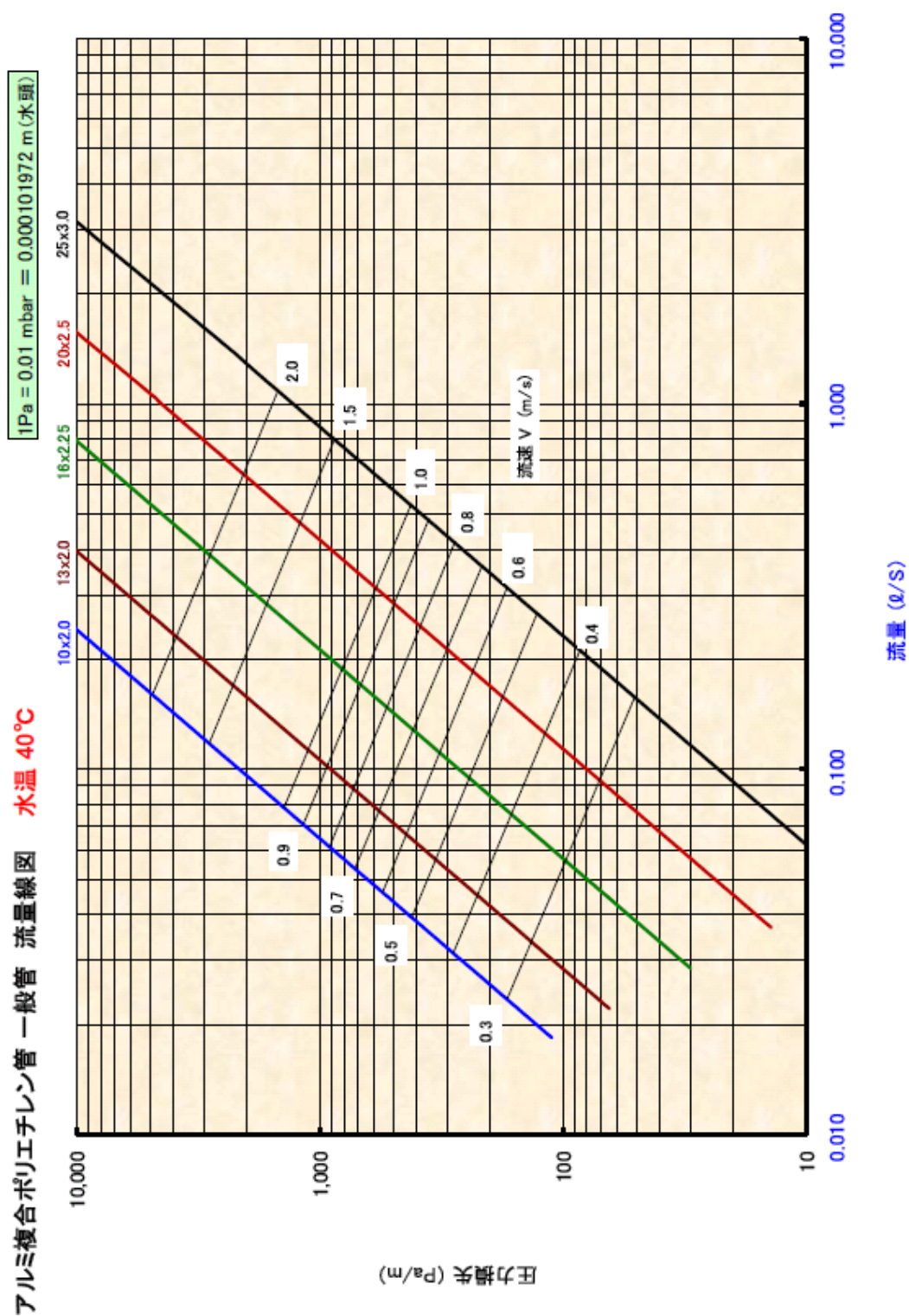
水温 (°C)	水の単位体積重量 γ (kg/m ³)	水の動粘性係数 ν ($\times 10^{-6}$ m ² /s)
0	999.84	1.792
10	999.70	1.307
20	998.20	1.004
30	995.65	0.801
40	992.21	0.658
50	988.05	0.554
60	983.21	0.475
70	977.78	0.413
80	971.80	0.365
90	965.32	0.326

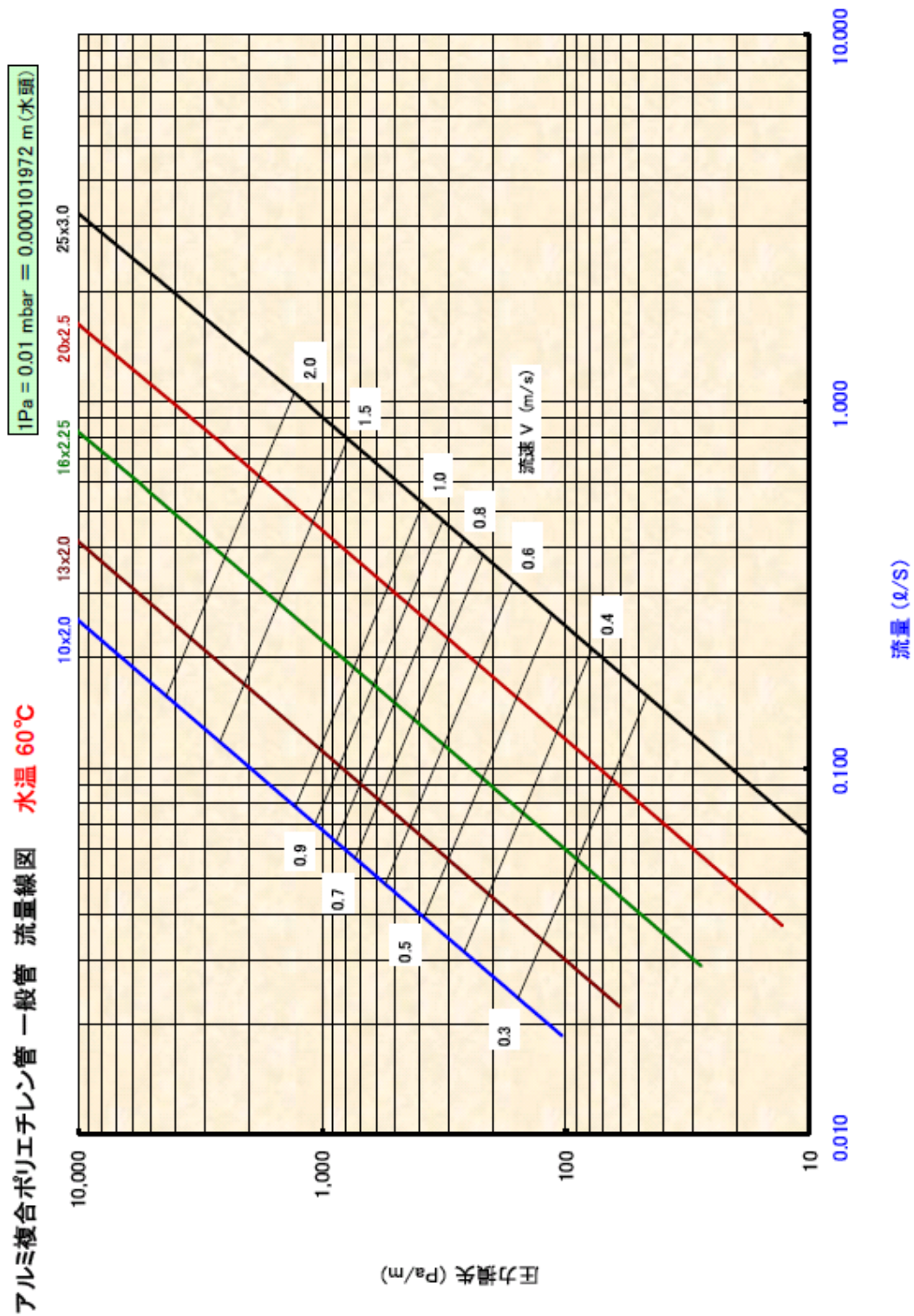
表－1 水温別、水の単位体積重量 及び 動粘性係数

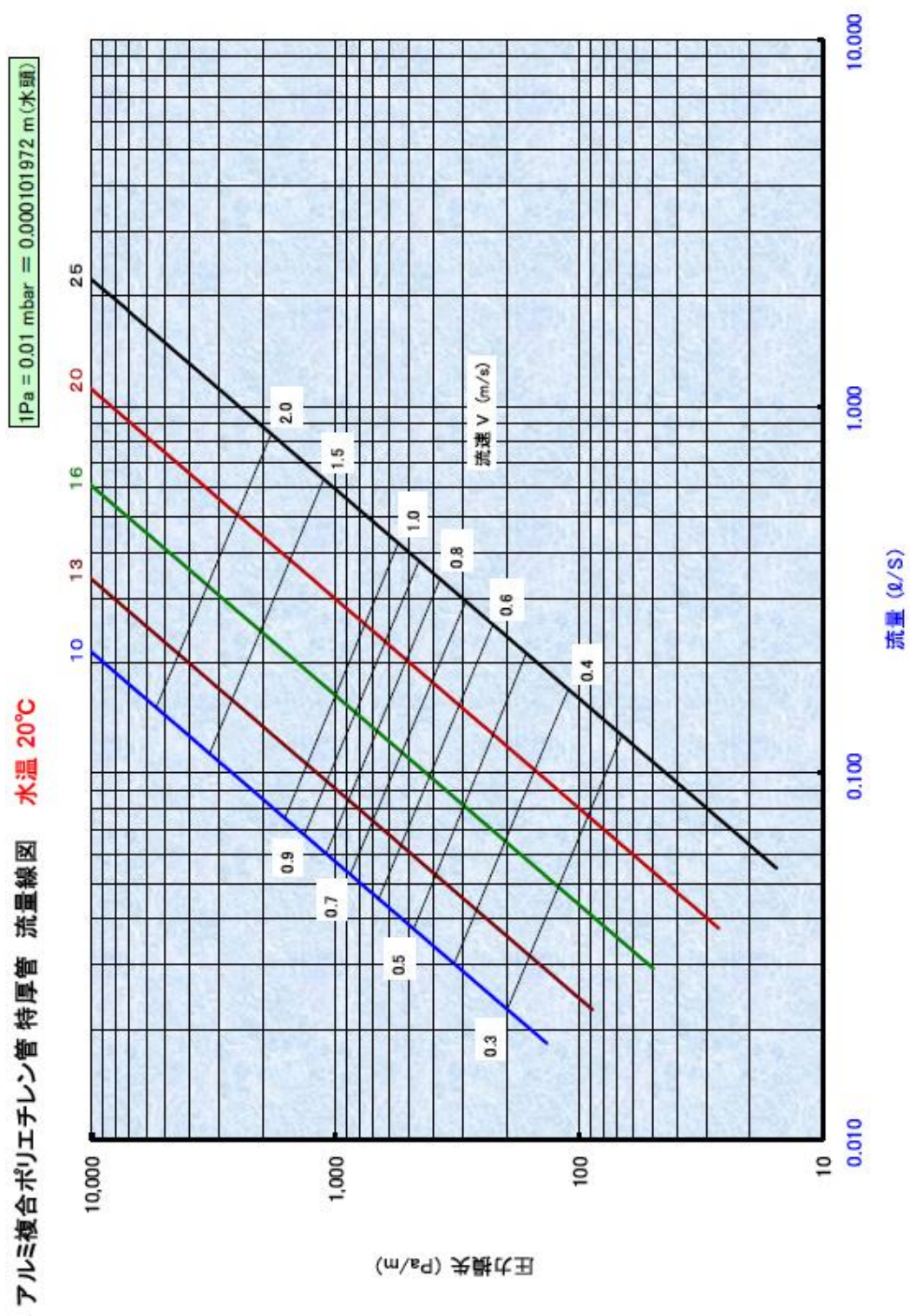
1. 2 流量線図

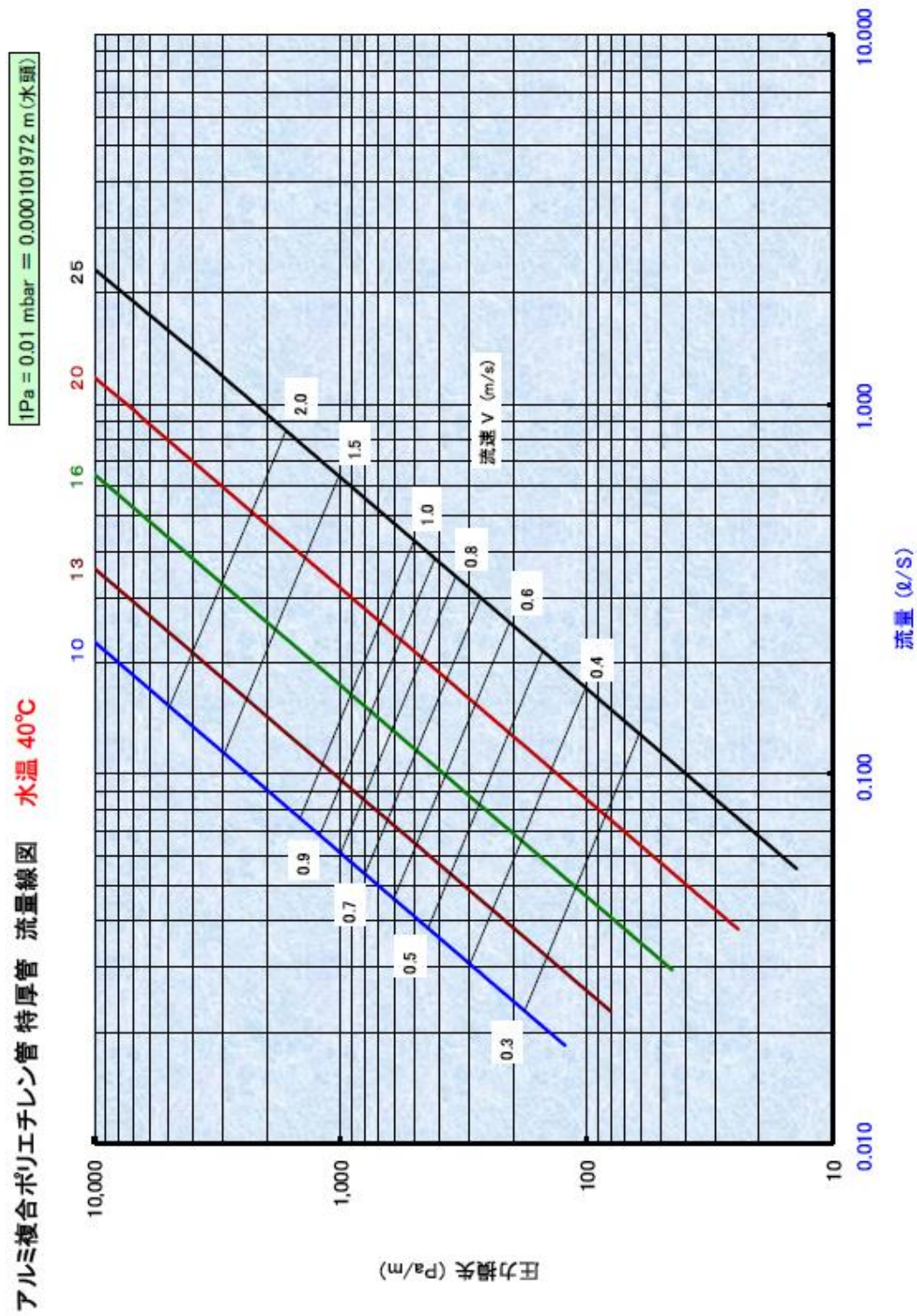
ダルシー・ワイズバッハの式により、アルミ複合ポリエチレン管の流量線図を水温別に作成した。

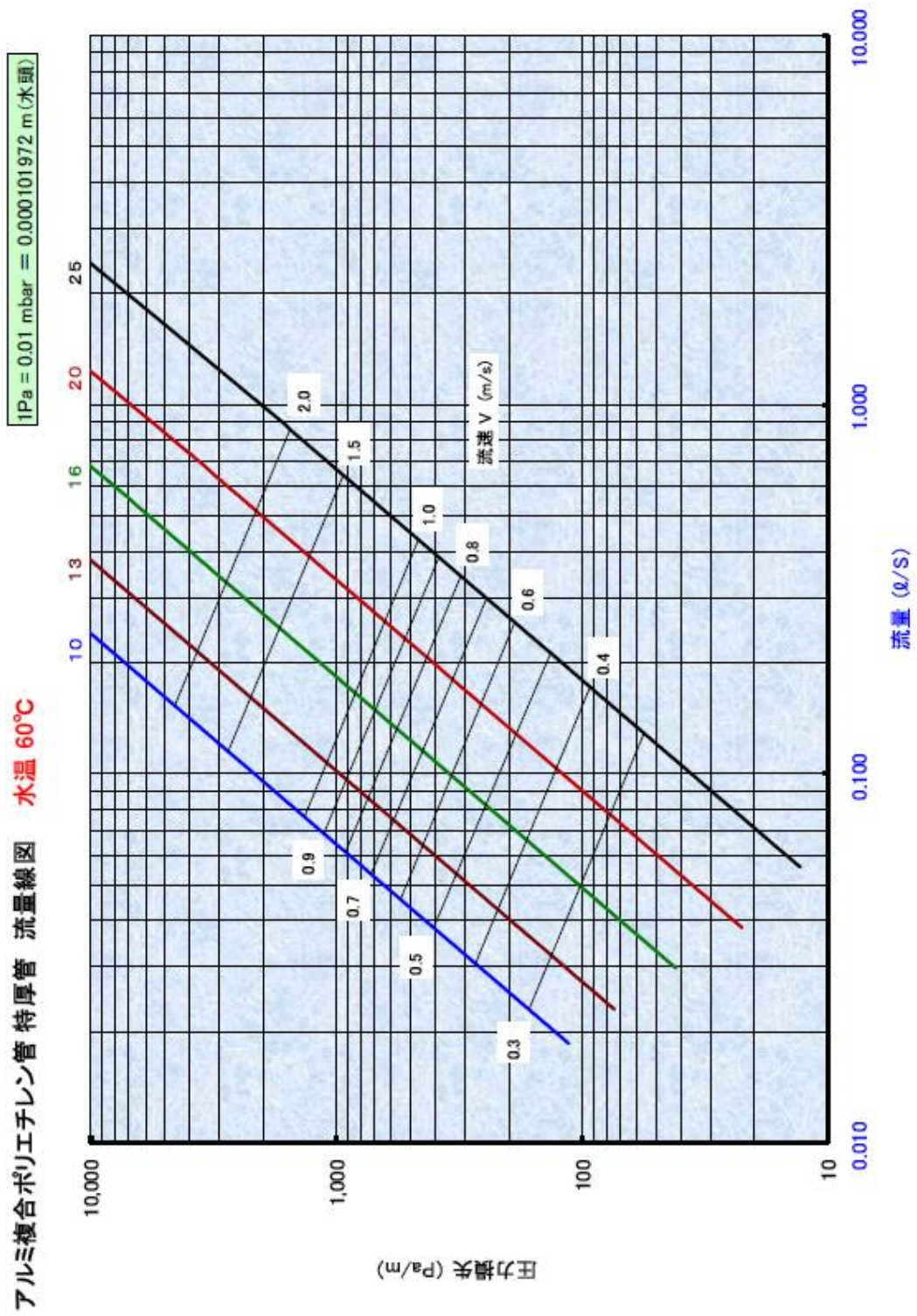












2. 継手の圧力損失計算

2.1 継手の圧力損失と相当管長

各継手の圧力損失(ΔP_F)は、試験により求める。

その試験から得た圧力損失値より、各継手の圧力損失係数(ζ : Zeta Value)を下式①により算出する。

また同時に、継手の圧力損失を同値となる直管の長さ(管の摩擦損失)に換算した相当管長(m)を下式②により算出する。

相当管長の場合、管の摩擦損失算出式により異なるため、本書ではダルシー・ワイズバッハの式を使用し換算することとした。

圧力測定位置にベルヌーイの定理を適用し、測定継手の圧力損失を計算する。

$$\Delta P_F = \Delta P + \frac{\gamma}{2} (V_1^2 - V_2^2) - \Delta P_{\text{pipe}}$$

$$\zeta = \frac{2 \cdot \Delta P_F}{\gamma \cdot V^2} \quad \dots\dots ①$$

$$L = \frac{2 \cdot \Delta P_F \cdot d}{\lambda \cdot \gamma \cdot V^2} \quad \dots\dots ② \quad (\text{ダルシー・ワイズバッハの式})$$

ここで、 ΔP_F : 試験により得られた継手部圧力損失 (Pa)

ΔP : 測定による全差圧 (Pa) …… 差圧測定器データ

V_1 : 測定継手通過前の流速 (m/s)

V_2 : 測定継手通過後の流速 (m/s)

ΔP_{pipe} : 測定区間のパイプの摩擦損失圧力 (Pa)

ζ : 各継手の圧力損失係数 (無次元)

L : 相当管長 (m)

V : 流速 (m/s) 、 d : 管内径 (m)

γ : 水の単位体積重量 (kg/m^3) …… 表-1による。

λ : 管摩擦係数 (無次元)

各継手の圧力損失係数及び相当管長は、本協会正会員が提供する技術データーによる。

また、圧力損失係数を使用して継手の圧力損失水頭(Δh)を求める場合は、ベルヌーイの定理の速度水頭に圧力損失係数を乗じて下式により算出する。

$$\Delta h = \zeta \cdot \frac{V^2}{2g}$$

ここで、 Δh : 圧力損失水頭 (mAq)

g : 重力の加速度 = 9.8m/s^2

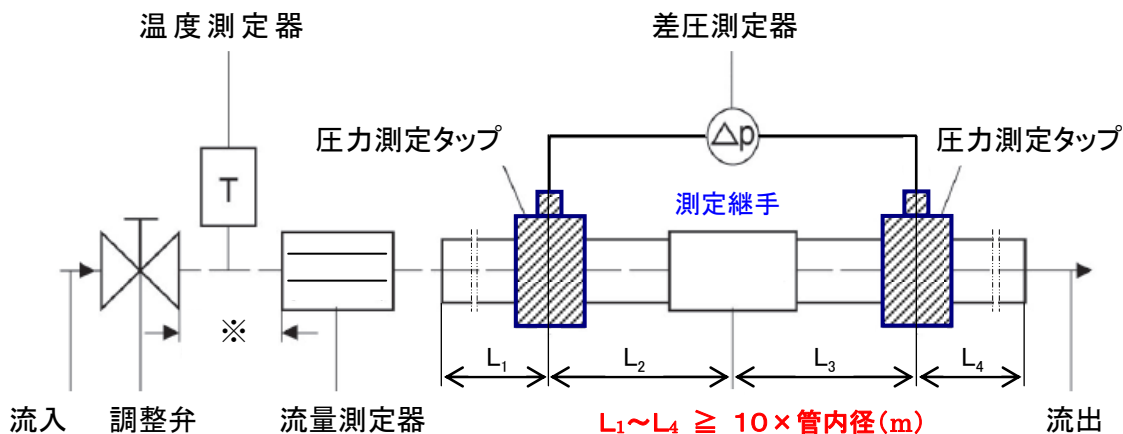
2.2 継手の圧力損失試験方法

(1) 試験規格

本協会では、継手の圧力損失試験方法を、ドイツ ガス・水道協会(DVGW)のDVGW W 575-2012 (Ermittlung von Widerstandsbeiwerten für Form- und Verbindungsstücke in der Trinkwasser-Installation) に則って実施することを基本とした。(試験詳細は、DVGW W 575-2012 参照。)
その概略図を以下に示す。

(2) 試験方法概略図

- ・試験水温は、 $15^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ の間で実施する。
- ・試験流速は、合流タイプの一部のチーズを除いて、 2.0m/s を標準とする。



※ メーカーの指示に応じた測定方法。

図-1 試験方法概要

3. 水撃圧(ウォーターハンマー)の計算

3.1 理論計算式

水撃圧とは、ウォーターハンマーとも言われ、管内を流体(水)が流れるとき、弁(水栓など)によって流れが急に止められると、流体の運動エネルギーは圧力波(圧力エネルギー)となり、管内に急激な圧力変動(上昇／下降)として伝播する。

管及び継手に関する問題点としては、次のことが考えられる。

- (1) 金属管による衝撃音(騒音)や振動の発生する場合がある。
- (2) 架橋ポリエチレン管は配管の蛇行に起因して、床や壁を叩く音(騒音)が発生する場合がある。

一般に、樹脂管は縦弾性係数(ヤング率)が金属管に比べ小さいので、圧力上昇のエネルギーの一部を弾性エネルギーとして吸収するため、金属管より水撃圧は小さくなり、衝撃音も振動も極小となる。

しかしながら、架橋ポリエチレン管のような樹脂単層管は、給湯や季節の温度変化によって管が伸縮して蛇行するため、上述のような音鳴りが発生する場合がある。

このことは、給水・給湯配管に使用する上で致命的な欠陥と言える。

アルミ複合ポリエチレン管は縦弾性係数の小さい樹脂の利点と温度伸縮が少ない金属管の利点を兼ね備えており、いずれの問題点も克服している。

以下に、ジュウコウスキー(N. E. Joukowsky)の理論式を示す。

$$P_{\max} = H_{\max} \cdot \gamma \cdot g \times 10^{-6}$$

$$H_{\max} = \frac{\alpha \cdot V}{g}$$

$$\alpha = 0.32 \times \sqrt{\frac{K \cdot g}{1 + \frac{K \cdot D}{E \cdot t}}}$$

ここで、 $P_{\max}$: 最大水撃圧 (MPa)

γ : 水の単位体積重量 (kg/m^3) …… 表－1による。

$H_{\max}$: 最大水撃水頭 (m)

α : 圧力波の伝播速度 (m/s)

K : 水の体積弾性係数 (N/m^2)

V : 弁閉鎖直前の流速 (m/s)

g : 重力の加速度 = $9.8\text{m}/\text{s}^2$

E : 管の縦弾性係数 (N/m^2)

D : 管内径 (m)

t : 管厚 (m)

3.2 各管種の最大水撃圧比較表

アルミ複合ポリエチレン管 (Type X 一般管)、架橋ポリエチレン管、銅管、鋼管の理論式による最大水撃圧比較を次頁に示した。

計算条件

(1) アルミ複合ポリエチレン管 (Type X 一般管) 寸法

呼び径	外径 (mm)	管厚 (mm)
10	14.00	2.00
13	16.00	2.00
16	20.00	2.25
20	25.00	2.50
25	32.00	3.00

(2) 架橋ポリエチレン管寸法

呼び径	外径 (mm)	管厚 (mm)
10	13.00	1.60
13	17.00	2.10
16	22.00	2.65
20	27.00	3.25
25	34.00	4.00

(3) 銅管寸法

呼び径	外径(mm)	管厚(mm)
10A	12.70	0.64
15A	15.88	0.71
20A	22.22	0.81
25A	28.58	0.89

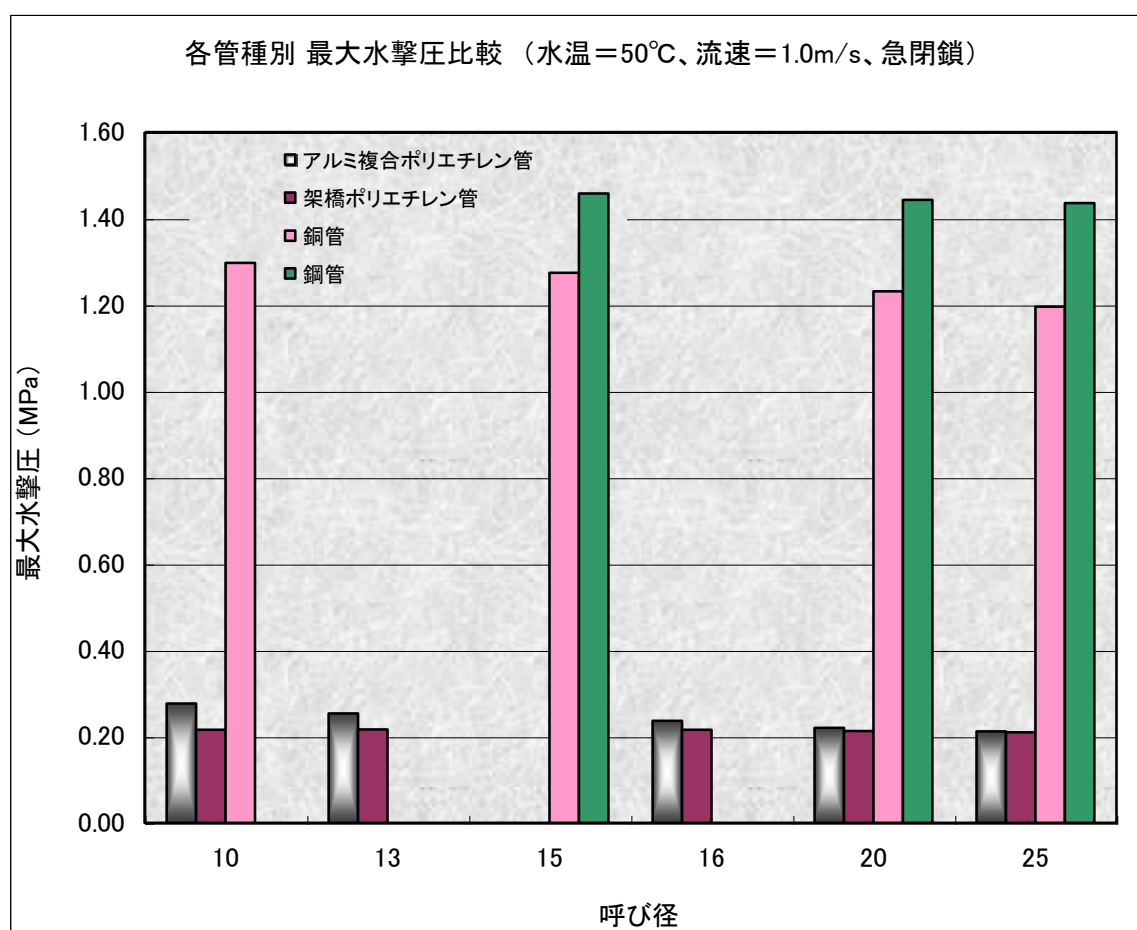
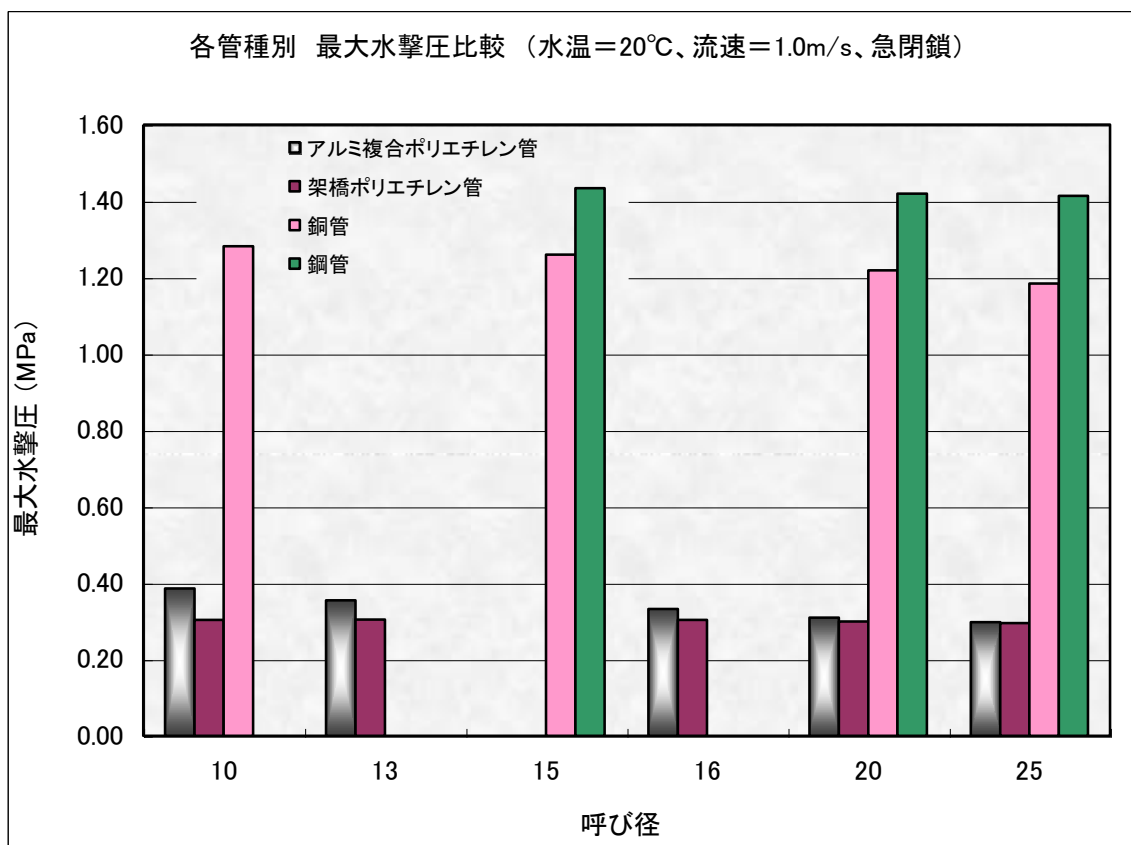
(4) 鋼管寸法

呼び径	外径(mm)	管厚(mm)
15A	21.70	2.80
20A	27.20	2.80
25A	34.00	3.20

(5) その他

水温 (°C)	流速 (m/s)	水の体積弾性係数 K ($\times 10^8$ N/m ²)	
		水温=20°C	水温=50°C
20 及び 50	1.0	21.9	22.9

管の縦弾性係数 E ($\times 10^8$ N/m ²)					
アルミ複合ポリエチレン管 (Type X 一般管)		架橋ポリエチレン管		銅管	鋼管
水温 20°C	水温 50°C	水温 20°C	水温 50°C	水温 20°C、50°C 共通	
8.0	4.0	5.9	2.9	1,200	2,000



4. 参 考 資 料

4. 1 ウェストン(Weston)の式との比較

水道施設設計指針(日本水道協会)で紹介されている、φ 50以下で使用する式としては、以下のウェストン(Weston)の式がある。

$$P_f = h_f \cdot \gamma \cdot g$$

$$h_f = \left(0.0126 + \frac{0.01739 - 0.1087d}{\sqrt{V}} \right) \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

ここで、 P_f : 摩擦損失圧力 (Pa)

h_f : 摩擦損失水頭 (mAq)

γ : 水の単位体積重量 (kg/m^3)

… 表-1 (水温20℃) による。

L : 管延長=1m当り (m)

d : 管内径 (m)

V : 流速 (m/s)

g : 重力の加速度 = $9.8\text{m}/\text{s}^2$

ダルシー・ワイズバッハ(Darcy・Weisbach)の式との計算結果を次頁(表-2、3)に示した。

計算結果は、水温20℃ではどちらの式も大差ない結果となった。

しかしながら、ダルシー・ワイズバッハの式は温度の違いを反映できるため、水温が上昇するにつれ、水の動粘性係数と単位体積重量の変化により、管摩擦損失圧力(Pa)は小さくなる。

一方、ウェストンの式は、水温にかかわらず摩擦損失水頭は同値となる。

ダルシー・ワイズバッハの式 と ウェストンの式 の管摩擦損失圧力計算値比較

呼び径 (内径)	使用 公式	流速 (m/s)									
		0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.5	2.0
10	D	192	318	470	647	847	1,070	1,315	1,581	3,214	5,317
(10.0)	W	190	306	445	605	785	985	1,204	1,443	2,910	4,817
13	D	153	253	374	515	674	852	1,047	1,259	2,559	4,233
(12.0)	W	157	253	368	500	649	814	996	1,193	2,408	3,989
16	D	111	184	272	374	490	619	760	914	1,858	3,074
(15.5)	W	120	193	280	381	495	622	760	911	1,842	3,053
20	D	81	134	198	272	356	450	553	665	1,351	2,235
(20.0)	W	91	146	213	290	376	473	579	694	1,405	2,332
25	D	58	96	142	196	256	324	398	479	973	1,610
(26.0)	W	68	109	159	217	282	355	435	521	1,058	1,758

D=ダルシー・ワイズバッハの式 、 W=ウェストンの式

表－2 アルミ複合ポリエチレン管 **一般管** 管摩擦損失圧力 (Pa) (水温20℃)

呼び径 (内径)	使用 公式	流速 (m/s)									
		0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.5	2.0
10	D	196	324	479	659	863	1,090	1,340	1,611	3,275	5,418
(9.85)	W	193	311	452	614	797	1,000	1,223	1,465	2,956	4,893
13	D	160	264	390	537	703	889	1,092	1,313	2,670	4,417
(11.6)	W	163	262	381	518	672	844	1,032	1,236	2,495	4,131
16	D	122	202	298	410	537	678	833	1,002	2,037	3,371
(14.4)	W	129	209	303	412	535	672	822	985	1,990	3,298
20	D	92	153	225	310	406	513	631	758	1,541	2,550
(18.0)	W	102	164	239	325	422	530	648	777	1,572	2,608
25	D	67	111	164	226	296	374	459	552	1,122	1,857
(23.2)	W	77	124	181	246	320	402	493	591	1,198	1,989

D=ダルシー・ワイズバッハの式 、 W=ウェストンの式

表－3 アルミ複合ポリエチレン管 **特厚管** 管摩擦損失圧力 (Pa) (水温20℃)

4. 2 アルミ複合ポリエチレン管寸法表

(1) 一般管(Type R、Type X共通) 寸法表

呼び径	外径	管厚	標準管長※		参考内径	参考重量
			(コイル)	(直管)		
	(mm)	(mm)	(m)	(m)	(mm)	(kg/m)
10	14.0	2.00	100	4.0	10.00	0.10
13	16.0	2.00			12.00	0.15
16	20.0	2.00			16.00	0.15
		2.20			15.60	0.20
		2.25			15.50	0.20
		2.50			15.00	0.20
20	25.0	2.50	50	4.0	20.00	0.25
	26.0	3.00			20.00	0.30
25	32.0	3.00	25		26.00	0.35

※ 管長は標準長さであり、必要に応じて変更することが可能である。

(2) 特厚管(Type X) 寸法表

呼び径	総外径	ベースパイプ※1		標準管長※2		参考内径	参考重量
		外径	管厚	(コイル)	(直管)		
	(mm)	(mm)	(mm)	(m)	(m)	(mm)	(kg/m)
10	14.0	13.35	1.75	100	4.0	9.85	0.10
	15.0	14.00	2.00			10.00	0.10
13	17.0	16.00	2.20			11.60	0.15
16	21.0	20.00	2.80			14.40	0.20
20	26.0	25.00	3.50	50	4.0	18.00	0.30
25	33.0	32.00	4.40	25		23.20	0.50

※1 ベースパイプとは内層管で、呼び径 10 を除いて、“ISO 5875 / DIN 16893(架橋ポリエチレン管規格)” に準拠している。

※2 管長は標準長さであり、必要に応じて変更することが可能である。

アルミ複合ポリエチレン管協会 正会員名簿

アロン化成株式会社

管材事業部 営業開発グループ

〒105-0003 東京都港区西新橋二丁目8番6号

電話番号 03-3502-1449

ホームページ <http://www.aronkasei.co.jp/>

株式会社 三栄水栓製作所

管工機材部 PM課

〒136-0071 東京都江東区亀戸2丁目7番4号

電話番号 03-3683-7231

ホームページ <http://www.san-ei-web.co.jp>

ジョージフィッシャー株式会社

〒103-0004 東京都中央区東日本橋2丁目8番3号（東日本橋グリーンビル8F）

電話番号 03-3861-7741

ホームページ <http://www.georgfischer.jp>

タイフレックス株式会社

〒578-0901 大阪府東大阪市加納3丁目12番33号

電話番号 072-963-5717

ホームページ <http://taiflex.net>

株式会社 テクノフレックス

〒104-0042 東京都台東区蔵前1丁目5番1号

電話番号 03-5822-3281

ホームページ <http://www.technoflex.co.jp>

株式会社 ハタノ製作所

営業部

〒584-0023 大阪府富田林市若松町東2丁目33 富田林企業団地

電話番号 0721-25-6338

ホームページ <http://hatano-s.com/>

アルミ複合ポリエチレン管協会基準
アルミ複合ポリエチレン管の水理計算

MLPA D020-2012

2012年9月13日 制定

