

硬質塩化ビニール(PVC)製曲がりダクトの 圧力損失

産業医学総合研究所 岩崎

毅* 小嶋

純*

1. はじめに

前報ではPVC製直線ダクトの摩擦損失を測定し、現場におけるダクト系の設計に必要な摩擦損失線図¹⁻²⁾を系統的にまとめた。その結果、PVC製直線ダクトの摩擦損失は、亜鉛引き鉄板製ダクト³⁻⁵⁾の摩擦損失に比べると、ほぼ $\frac{1}{3}$ の値であることが認められた。直線ダクトに関する摩擦損失に関しては、他にも R.Sprenger⁶⁾の報告がある。

しかし、現場における局所排気装置のダクト系には、直線ダクトだけでなく曲がりダクトも多数用いられている。曲がりダクトは、気流の方向を変える際に利用され、直線ダクトとほぼ同じ頻度

で使用される。一般に、曲がりダクトの曲率半径(R)は、小さすぎると圧力損失が増加し、内部に粉じんが堆積する原因にもなることから、ダクト径(d)の2倍程度が適当とされている⁷⁾。しかし、今回の供試曲がりダクト(JIS K 6739)⁸⁾の曲率半径は、既製の規格品であるため、 $R/d=0.55\sim 1.30$ の範囲に限定された。

そこで本報では、未だ詳細な報告がなされていない曲がりダクトの圧力損失を測定し、現場におけるダクト系の設計に有用な曲がりダクトの圧力損失線図をまとめた。

2. 実験装置と方法

局所排気装置のダクト系に使用されるPVC製曲がりダクトは、直線ダクトと同じように排水設備および下水道などのDV継手として用いられている。写真1は、実験に使用した小曲がり管(D

* 人間工学特性研究部

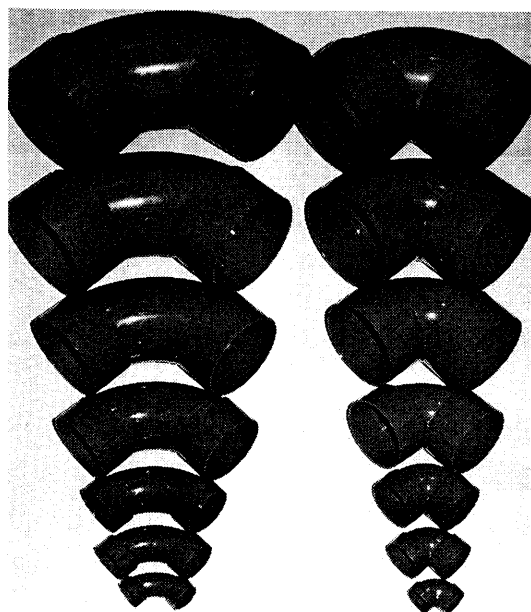


写真1 供試PVC曲がりダクトの全景
(左: LL型 右: DL型)

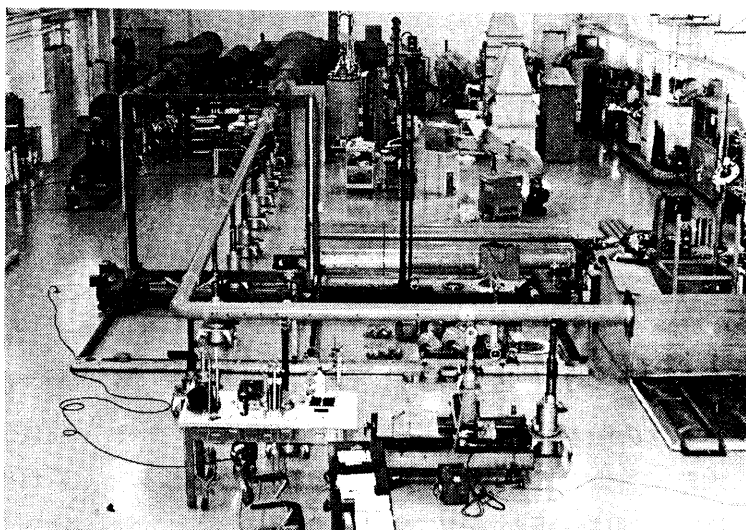


写真2 実験装置の全景

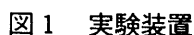
面から下流側へ10 d 以上、および曲がりダクトから下流側へ30 d 以上の距離において直線的に降下することが判った。また、静圧降下が10 d 以上で直線的に降下するのは、前報で示した直線ダクトの実験結果¹⁻²⁾、と同じ現象であることが明らかとなった。

伊藤⁹⁾によれば、曲がりダクトからの助走距離は50 d 相当以上の距離とされている。本実験では、呼び径50mm, 75mm, 100mm, 150mmおよび200mmの曲がりダクトに対して、測定位置は曲がりダクトから下流側54~86 d の距離としている。したがって、この場合の測定位置（助走距離）は、伊藤による助走距離を満足していることがわかる。しかし、呼び径250mm, および300mmの曲がりダクトに対して、測定位置（助走距離）が37~44 d にあることは、伊藤による助走距離を満していない。これは前報でも述べたように、曲がりダクトの呼び径の増大に応じて助走距離も長くなるため、下流側の測定位置はすべて12mにしたことによる。しかし、呼び径250mm, および300mmの曲がりダクトの圧力損失係数に顕著な影響は認められなかった。

以上の結果より、各供試曲がりダクトにおける

3.1 フランジ付き円形開口と曲がりの下流側における静圧降下現象

PVC製曲がりダクトの上流と下流において静圧が直線的に降下する二つの区間、入口長さおよび曲がりダクトからの助走区間を測定した。その結果を図2に示す。図2は、呼び径150mm(内径154mm)の曲がりダクト前後において発達した流れの静圧降下分布を速度別に示したものである。図2から、フランジ付き円形開口の場合、静圧はダクト内速度が10.38m/s~32.96m/sの範囲で、開口



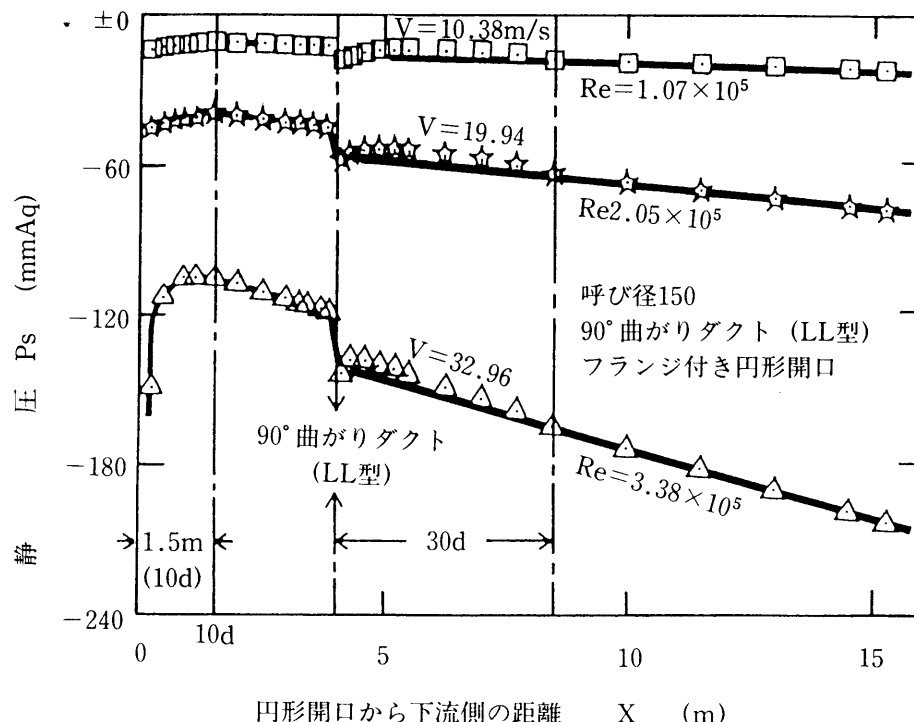


図2 フランジ付き円形開口と曲がりの下流側における静圧降下現象

測定位置は、直線的な静圧降下が保たれるフランジ付き円形開口から15d下流位置（測定位置1）および曲がりダクトから37d～86d下流位置（測定位置2）の二点に定めた。

3.2 曲がりの圧力損失と圧力損失係数

一般に、曲がりダクトの下流では、曲がりによる流れのじょう乱により、速度分布が変形し、元の速度分布に回復するまでには相応の距離を必要とする。この距離は、曲がり角度、および曲率半径により著しく変化する。これらを考慮して曲がりの圧力損失を求めると、ダクト系の設計は著しくはん雑となる恐れがある。

また、曲がりダクトにおける全圧力損失は、流れの曲がりによる圧力損失と曲がりダクトの内壁における流体摩擦損失の合成と考えられる。しかし、曲がりダクト内部では、速度分布が乱れているため、曲がりダクトの全圧力損失から曲がり内壁における流体摩擦損失を差引いて、曲がりの圧力損失を求めることは正しい意味を有するものではない。

本研究では、ダクト内の空気を等温流れと仮定し、曲がりダクトの中心軸の区間内に損失が集中

するものとして、曲がりダクトの全圧力損失を次式によって表した。

測定位置1, 2間の圧力損失 H は、

$$H = P_{T1} - P_{T2} = (P_{S1} + P_{V1}) - (P_{S2} + P_{V2}) \dots (1)$$
 また、測定位置1, 2におけるダクト断面積は等しいから、

$$P_{V1} = P_{V2} \\ \therefore H = P_{S1} - P_{S2} \dots (2)$$

次に、曲がりの圧力損失 ΔP は、

$$\Delta P = [(P_{S1} - P_{S2}) - \text{上流側及び下流側測定直管の圧力損失}] \dots (3)$$

一方、ベルヌイの定理から、曲がりの圧力損失 ΔP を管内の速度水頭で表すと、

$$\Delta P = \xi \cdot \gamma / 2g \cdot V^2 = \xi \cdot P_v \dots (4)$$
 となる。

ここで、

H	: 測定位置1, 2間の圧力損失	(mm Aq)
ΔP	: 曲がりの圧力損失	(mm Aq)
P_{T1}	: 測定位置1における全圧	(mm Aq)
P_{T2}	: 測定位置2における全圧	(mm Aq)
P_{V1}	: 測定位置1における動圧	(mm Aq)
P_{V2}	: 測定位置2における動圧	(mm Aq)
P_{S1}	: 測定位置1における静圧	(mm Aq)

表1 曲がりダクトの圧力損失係数 (D L 型)

90°曲がり (D L 型)					
呼び径	R/d (—)	V (m/sec)	Q (m³/min)	ξ (—)	$\bar{\xi}$ (—)
50	0.65	10.47	1.55	0.961	1.00
		17.56	2.59	1.022	
		24.77	3.66	1.004	
75	0.62	10.02	3.25	0.980	0.98
		20.59	6.68	0.977	
		30.35	9.85	0.986	
100	0.63	10.18	5.42	1.065	1.07
		19.86	10.71	1.074	
		30.15	16.26	1.082	
150	0.60	5.49	6.13	1.142	1.15
		10.38	11.60	1.152	
		14.83	16.57	1.155	
		20.16	22.52	1.173	
		32.96	36.82	1.145	
200	0.56	9.80	18.83	1.012	1.02
		19.51	37.49	1.021	
		30.09	57.83	1.029	
250	0.56	10.28	30.26	1.020	1.03
		20.44	60.17	1.034	
		30.86	90.84	1.024	
300	0.55	9.98	41.74	1.059	1.05
		20.58	86.08	1.046	
		30.22	126.40	1.041	

表2 曲がりダクトの圧力損失係数 (L L 型)

90°曲がり (L L 型)					
呼び径	R/d (—)	V (m/sec)	Q (m³/min)	ξ (—)	$\bar{\xi}$ (—)
50	1.29	10.70	1.58	0.242	0.24
		17.42	2.57	0.231	
		25.65	3.79	0.249	
75	1.30	9.83	3.19	0.228	0.23
		20.23	6.57	0.225	
		30.50	9.90	0.223	
100	1.30	10.23	5.52	0.241	0.24
		20.49	11.05	0.238	
		30.22	16.30	0.236	
150	1.17	5.91	6.60	0.316	0.32
		10.38	11.60	0.313	
		14.78	16.51	0.320	
		19.94	22.28	0.310	
		32.96	36.82	0.315	
200	0.97	10.10	19.41	0.350	0.35
		20.19	38.80	0.338	
		30.36	58.35	0.347	
250	0.90	10.45	30.76	0.492	0.50
		19.80	58.28	0.507	
		30.93	91.05	0.502	
300	0.84	10.69	44.71	0.623	0.63
		20.35	85.12	0.633	
		29.90	125.06	0.618	

P_{s2} : 測定位置 2 における静圧 (mm Aq)

ξ : 曲がりの圧力損失係数 (—)

γ : 曲がり管内の空気 の 比重 量 (Kg/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

V : 曲がり管内における空気 の 平均 速度 (m/s)

P_v : 曲がり管内における空気 の 平均 速度 圧 (mm Aq)

(4)式から求めたPVC製曲がりダクトの圧力損失係数を表1および表2に示す。これより各呼び径の曲がりダクトの圧力損失係数は、管内速度、および処理風量に依存せず、ほぼ一定の値となることが認められた。そこで、各呼び径ごとの曲がりの圧力損失係数は、すべての管内速度および処理風量について求められた圧力損失係数の平均値とした。この平均圧力損失係数が、局所排気装置のダクト系を設計する際の設計資料となる。

3.3 曲がりの圧力損失係数とレイノルズ数との関係

曲がりの圧力損失係数とレイノルズ数との関係を管径別に示したのが図3である。ただし、本研

究では実験装置の都合上、層流から遷移流へ遷移する付近のレイノルズ数における圧力損失は得られなかった。図3から、PVC製曲がりダクトの圧力損失係数は、それぞれの管径に対して $Re=3.38 \times 10^4 \sim 5.96 \times 10^5$ の各範囲でほぼ一定であることが認められた。

曲がりダクトの圧力損失は、直線ダクトの圧力損失と同様に粘性流と乱流でその様相を異にする。H.Richter¹⁰⁾によれば、レイノルズ数がごく小さいときには直管の圧力損失に等しく、レイノルズ数が大きくなるにつれて曲がり管の圧力損失が直管の圧力損失よりも大きくなり、あるレイノルズ数を超えると急激に増大する。このときのレイノルズ数が粘性流から乱流へ遷移するときの臨界レイノルズ数である。C.M.White¹¹⁾によればこの遷移点は、曲がりの曲率半径に関係なく摩擦係数 $\lambda=0.036$ のときに起こり、臨界レイノルズ数は、 R/d の値によって異なるが直管の場合よりも大きい値である。

本実験では、実験装置の都合で粘性流から乱流

への遷移する付近のレイノルズ数で測定することが出来なかった。しかし、もし、このレイノルズ数の範囲における実験が出来たととしても、その領域の圧力損失係数は、実際のダクト系の設計には役立たない。

3.4 曲がりの曲率半径と圧力損失係数との関係

曲がりダクトの曲率半径 R/d は、メーカー公称値と実測値がほぼ一致した。曲がりの圧力損失係数と曲率半径との関係を示したのが図4である。図4から、呼び径50mm, 75mm, および150mmの小曲がり管(DL型)の曲率半径は、呼び径200mm, 250mm, および300mmの曲率半径よりわずかに大きい。したがって、前者の方が圧力損失は小さいことが予想されるが、実験ではわずかに大きい値を示した。

曲がりダクトの圧力損失係数に関してPVC製と金属(Stamped)製の比較を示したのが図5である。図5から、金属(Stamped)製曲がり管の圧力損失係数は、曲率半径 R/d が大きくなるにしたがって小さくなる。これより、PVC製曲が

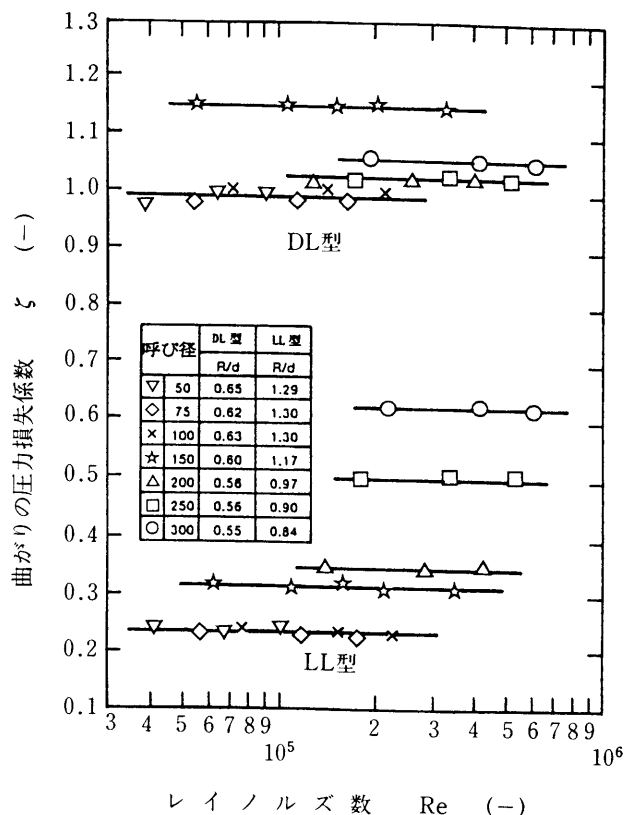


図3 曲がりダクトの圧力損失係数とレイノルズ数との関係

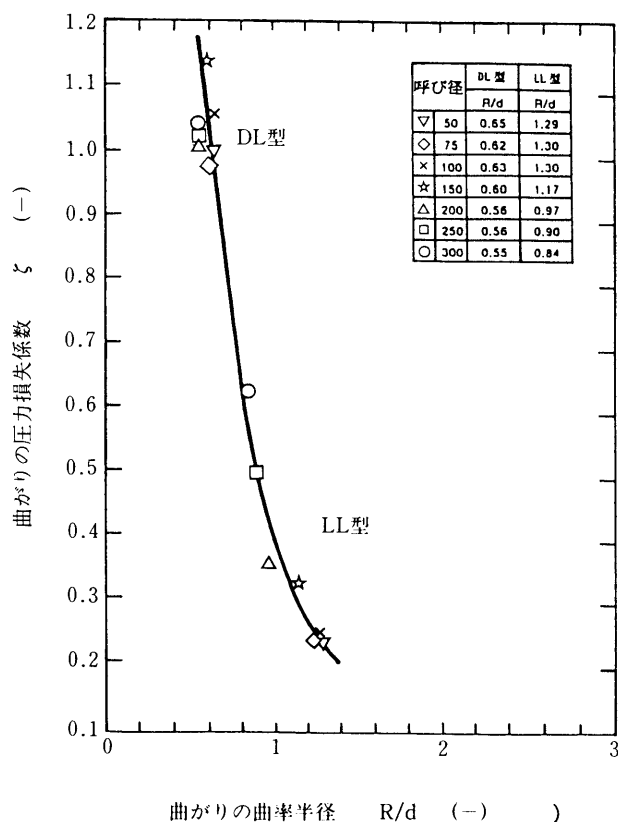


図4 曲がりダクトの圧力損失係数(DL型・LL型)

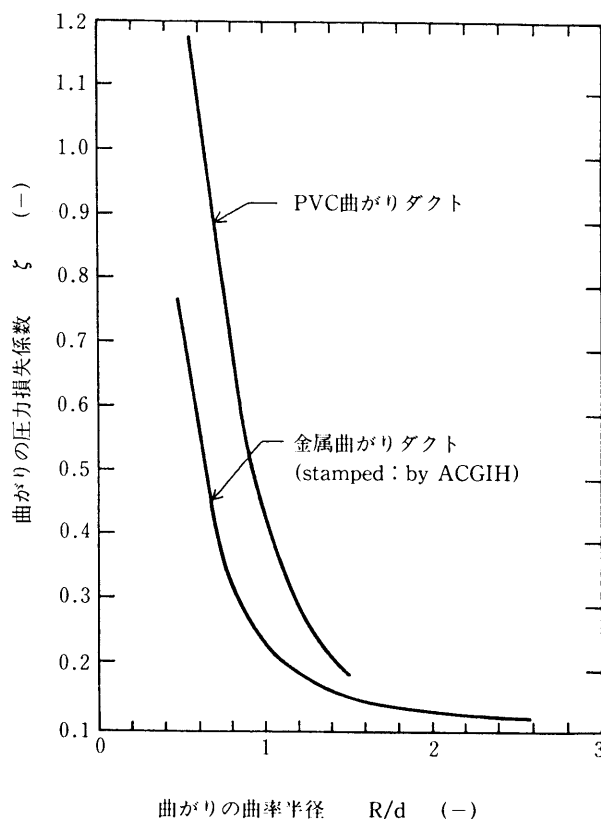


図5 PVC曲がりダクトと金属(Stamped)曲がり管との比較

図4は局所排気装置におけるダクト系の設計時に用いられるPVC製曲がりダクトの圧力損失線図¹³⁾である。ただし、この線図は、曲率半径 $R/d = 0.55 \sim 1.30$ の範囲でのみ有効である。

4. お わ り に

PVC製ダクトの流動特性に関して、直線ダクトの摩擦損失および曲がりダクトの圧力損失を連載で報告した。直線ダクトの摩擦損失は、亜鉛引き鉄板製ダクトの摩擦損失より小さく ($\Delta P_{PVC} = \frac{2}{3} \Delta P_{galva}$)、曲がりダクトの圧力損失は、VU管との連結部の施工を工夫することで金属

本報および前報で示した実験結果が技術情報として多くの労働衛生コンサルタントの諸氏に活用されることを期待する。

文 献

- 1) 岩崎 毅, 小嶋 純 (1999) 硬質塩化ビニール製直線ダクトの摩擦損失, 安全衛生コンサルタント, Vol.19, No50, 46-52
- 2) Iwasaki T.Ojima J.(1996)Friction loss in straight pipes of unplasticized polyvinyl chloride.Ind. Health 34,245-56.
- 3) 井上宇市 (1980) ダクト設計便覧, 丸善, 25.
- 4) ASHRAE(1985)Fundamentals handbook.33,12-16.
- 5) ACGIH (1992)Industrial ventilation.21nd Ed. 5(37-8)
- 6) Sprenger R.(1974)Taschenbuch fur Heizung Luftung.Klimatechnik,Oldenbourg
- 7) ACGIH(1995)Industrial ventilation.22nd Ed.5-36
- 8) JIS.(1986)Unplasticized polyvinyl chloride (PVC) pipes fitting fordrain.JIS.K6739,4-5.
- 9) 伊藤英寛 (1959) 曲管内の流れとその損失, 日本機械学会誌, 第62巻, 第490号, 1634-43.
- 10) Richter H.(1930)Forschungsheft 338.
- 11) White CM.(1929)Proc.Roy.Soc.,Series A 123.
- 12) JIS.(1984)Unplasticized polyvinyl chloride (PVC) pipes.JIS.K6741,1.
- 13) Iwasaki T.Ojima J.(1996)Pressure loss in elbow pipes of Unplasticized polyvinyl chloride.Ind. Health,34,389-401

安全管理者能力向上教育講師養成研修会のお知らせ

期日 東京会館

平成11年11月25日(木)～26日(金)

平成11年12月16日(木)～17日(金)

名古屋会場

平成11年12月 7 日(火)～ 8 日(水)

大阪会場

平成11年12月13日(月)～14日(火)

福岡会場

平成11年11月30日(火)～12月1日(水)

受講料 (1) 25,000円 (中災防賛助会員)

(2) 27,000円 (非会員)

問合わせ先：中災防教育部 TEL03-3452-6841