

グラスフレックス・ダクトに対する 設計線図

Design Chart for Glass-Flex Duct

大阪大学工学部 新 津 靖
大阪府立西野田工業高校 大 木 尚 隆

1. 緒 言

最近米国では空気調和装置におけるダクトの湾曲部や、本管とアネモスタットの連結などに、グラスフレックス・ダクト“Glass-Flex Duct”と呼ばれるダクトが広く利用されるようになり、ダクト施工の簡易化、振動の伝達防止、騒音の吸収、耐熱性、保温性などの点から今後急速に普及するものと考えられる。しかし高速ダクトの採用が広まるにつれ、ダクト網の正確な設計に使用するグラスフレックス・ダクト部をとる各種形態に対する正確な圧力損失を知る必要がある。よって筆者は日綿実業株式会社の依頼により、ニューホープ実業株式会社製のグラスフレックス・ダクトについて、空気特性を調べ、実際の設計に役立つような圧力損失線図を作成するとともに、曲がり角および曲がりの曲率半径とダクト内径比を種々に変えたときの圧力損失を測定し、これから曲がりの抵抗係数を求め、かつダクト網の設計に便利なように、曲がりに生ずる圧力損失と等しい損失を与える直線ダクトの相当長さを求める線図を作成したので、この結果を報告する。

2. 実験装置および実験方法

図1はグラスフレックス・ダクトの写真で、内面は亜鉛メッキの軟鋼リボンが、らせん状に等間隔に巻かれ、これがグラスファイバの布の支持となっている。外周は塩化ビニール膜で被覆され、両端は金属性のねじ付き接続金具でつなぎやすいようにできている。2m単位で作られた内径101.6mm(4"), 127.0mm(5"), 152.4mm(6"), 177.8mm(7"), 203.2mm(8"), 228.6mm(9"), 254mm(10"), 304.8mm(12"), 355.6mm(14"), 406.4mm(16")の10種類が市販されているが、そのうち実験に使用したのは101.6mm(4"), 127mm(5"), 203.2mm(8")および254mm(10")の4種類である。

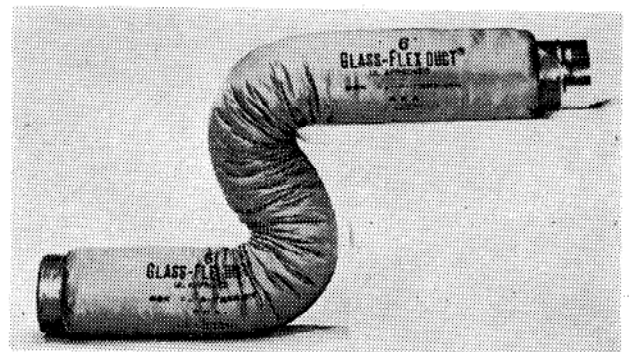


図 1

また実験に際しては、データの精密を期するために、空気漏れがなく、かつ圧力損失に対する影響がないように注意して、10~12mに接続して使用した。図2(A)、(B)は実験装置の概略図で、図3(A)、(B)はこれを写真にとったものである。図に示されるように、ダクトの一端を送風機に連結し、他端にはJIS規定に従って風量測定用入口ノズルを取り付けた。

供試ダクトには、送風機の吸込口および入口ノズルの影響を受けないところに、各測圧点の横断面で互いに直角な位置に、直径2mmの2個の孔をあけ、それぞれの静圧をゲッチングン形微圧計で測定して、両測圧点の平均静圧差をダクト両端の圧力損失とした。この実験では、直線部の圧力損失と曲がり部の圧力損失とを別々に測定したが、前者は図2(A)に示すように、実験ダクトが直線および水平状態を保つよう、木製の案内みぞに導き、風速4~20m/sの範囲に変化させて測定した。また後者では、図2(B)に示すように、実験ダクトを水平に十分な台板上に載せ、入口ノズルからダクト内径の10倍以上の位置で、あらかじめ台板上の案内板に沿って、任意の角度に折り曲げ、曲がりの内側には種々の曲率半径で作られた円筒形の案内を沿わせてこれを固定した。このように種々の曲がり角および曲率半径を与えて、前者と同様に風速を変化させて測定した。

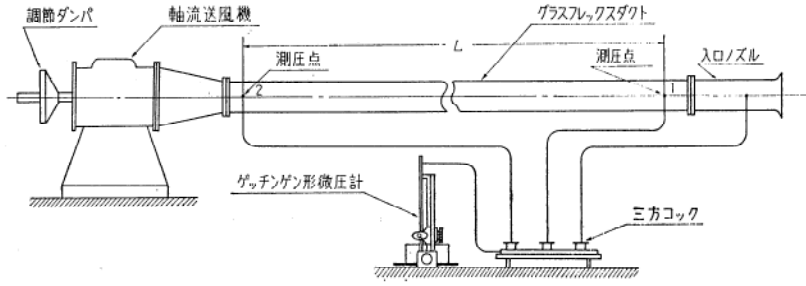


図 2 (A)

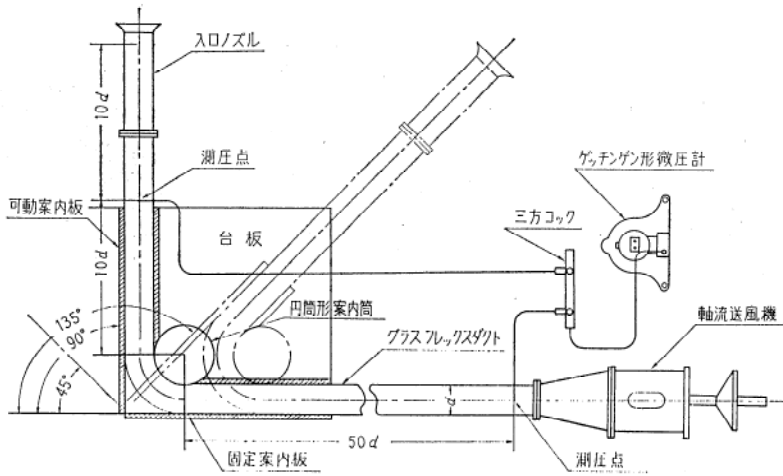


図 2 (B)

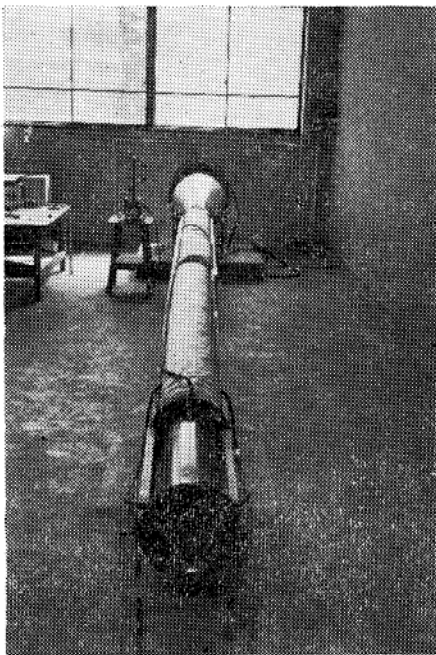


図 3 (B)

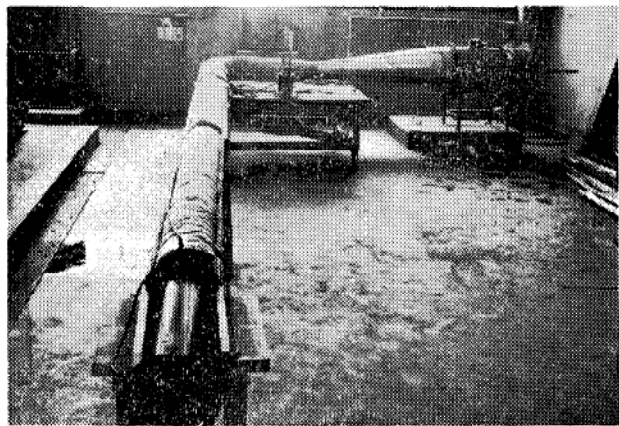


図 3 (A)

3. 実験結果ならびに考察

いま記号をつぎのように定める。

- $\Delta P = P_{m1} - P_{m2}$ = 圧力損失 mmAq
- P_{m1} = 測圧点 1 における平均静圧 mmAq
- P_{m2} = 測圧点 2 における平均静圧 mmAq
- λ = 流体摩擦係数
- ζ_c = 曲がりの抵抗係数
- γ_m = 測圧点 1 および 2 における静圧および温度の平均値を用いて求めた空気の比重量 kg/m^3
- w = ダクト内における空気の平均速度 m/s
- L = 直線時の測圧点間の距離 m
- l = 曲がりダクト測定時の中心軸長さ m
- $L' = L - l$
- D = ダクトの内径 m

(1) 直線の場合

ダクト内における等温流れを仮定し、圧力損失をつぎの式で表わした。

$$\Delta P = P_{m1} - P_{m2} = \lambda \frac{L}{D} \frac{\gamma_m}{2g} w^2 \dots \dots \dots (1)$$

いま Nikuradse⁽¹⁾ の人工粗雑面管に対する実験結果によれば、流体摩擦係数は、粘り流れの部分で管内面のあらさの影響を全く受けないが、臨界レイノルズ数をこえると、面のあらさの影響を受けるようになり、 Re が大きくなるにつれて、 λ は平滑管のときの λ の曲線から離れてゆき、 Re がある程度以上に大きくなると λ の値は一定となる。

本報における実験も、あらかじめ λ が Re に関係なく一定となる Re の限界値のあることを予想して、 $Re = 4 \times 10^6$ 付近まで測定して図 4 のような結果を得た。図からわかるように、 λ が Re に関係なく一定となるとき流速は、一般にダクト網の設計に利用されている範囲内である。

よって各ダクトについて λ が Re に関係なく一定となる範囲の風速で測定することにした。また風速の変化に対する流体摩擦係数を計算図示すれば図 5 のように風

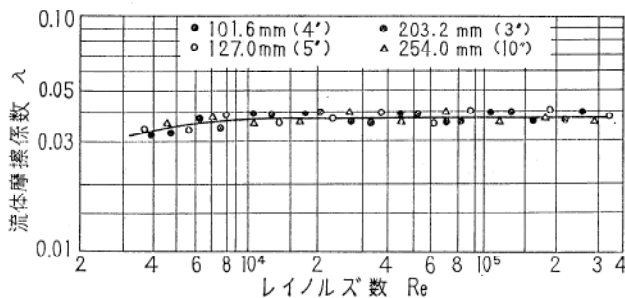


図 4

速に対し一定値となる。

これは内径の異なる他のダクトについても全く同じで、従来の粗雑面管における実験結果とよく一致している。

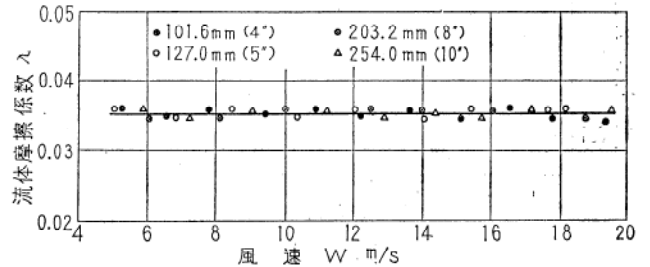


図 5

(2) 曲がりダクトの場合

一般に曲がり管の下流側は、曲がりによる流れのじょう乱の影響を受け、変形した速度分布が上流側のはじめの状態に、回復するまではかなりの距離を必要とする。伊藤⁽²⁾は曲がり角 $\theta = 90^\circ$, $R/D = 1.85$ のノドベの場合に、管軸方向の圧力降下が曲がりと合致するまでに、約 $50d$ の距離を必要とすることを、実験から確かめた。しかしこの距離は θ および R/D のとり方によって、曲がりの中心軸の長さが異なり、これにつれて変わるものであり、これらを厳密に考えて圧力損失を求めても、実際のダクトの設計に対してほとんど影響がない。よって本報では実用的な見地からグラスフレックス・ダクトの曲がり部における圧力損失はつぎの式から求めた。

$$\zeta_c = \frac{2g}{\gamma_m} \frac{\Delta P}{w^2} - \lambda \frac{L'}{D} \dots \dots \dots (2)$$

ここに

ζ_c = 曲がりの抵抗係数

曲がり管における圧力損失は、直管の場合と同じように、粘り流れと乱れ流れとでその様相が異なるが、H. Richter⁽³⁾によれば Re がごく小さい時には直管の圧力損失と等しく、 Re が大きくなるにつれて曲がり管の圧力損失は直管の圧力損失よりも大きくなり、 Re がある値になると急激に増大する。すなわちこのときの Re は粘り流れから乱れ流れに移移するときの臨界 Re であるが、C.M. White⁽⁴⁾によれば、この遷移点は曲がりの曲率半径に関係なく、流体摩擦係数 $\lambda \cong 0.036$ のときに起こり、臨界 Re は R/D の値によって異なり、直管の場合よりもかなり大きな値であるとしている。

本報では 127.0 (5') のダクトについて、できるだけ広い範囲の Re について実験した結果、図 6 のように Re の増大とともに、曲がり抵抗係数が大きくなり、 Re のある値以上では直線ダクトにおける流体摩擦係数と同じように、 Re に関係なく一定となった。しかし一般にダクト網の設計に利用される風速は、この範囲である。

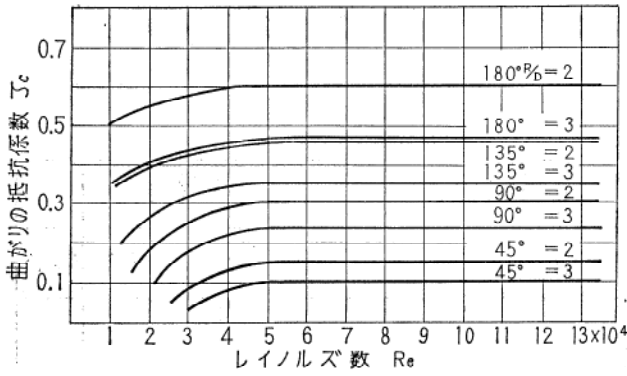


図 6

図7はそれぞれのダクトで、実用範囲の Re に対し、 θ および R/D を変えたときの ζ_c を示したものである。図からわかるように、同じ曲がり角に対する ζ_c の値は R/D の変化に対して、ほぼ同一の曲線上に載っており、また R/D の変化に対して、ほぼ等間隔にずれている。

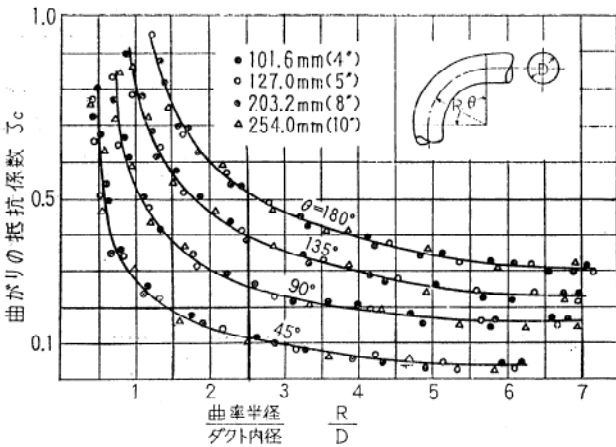


図 7

4. 設計線図の作成

(1) 直線ダクトの圧力損失線図

図8は上に求めた実験結果から、この種のダクト網を設計する場合に利用される圧力損失線図を作製したものである。図において横軸は長さ 100m 当たりの圧力損失である。

なおこの線図は J I S に規定する標準状態（空気温度 20℃，相対湿度 75%，大気圧 760mmHg）に対して作成してあるので、実際の状態に換算するには次式を用いばよい⁽⁵⁾。

$$\Delta P = \Delta P_s \left(\frac{\gamma_a}{\gamma_s} \right)^{0.9} \left(\frac{\mu_a}{\mu_s} \right)^{0.1} \dots\dots\dots (3)$$

ここに

ΔP = ダクトの長さ 100m 当たりの圧力損失 mmAq
 γ = 空気の比重量 kg/m³

μ = 空気の粘性係数 kgs/m²

接尾記号 a : 実際状態, s : 標準状態

(3) 式における空気の粘性係数は、実用温度範囲では温度に比例し、したがって空気の比重量に比例するので、次式によって換算してもさしつかえない⁽⁶⁾。

$$\Delta P_a = \Delta P_s \left(\frac{\gamma_a}{\gamma_s} \right) \dots\dots\dots (4)$$

(4)式による換算法は A・S・H・V・E の新しいダクト線図⁽⁷⁾でも採用している。

(2) 曲がりダクトの設計線図

実験からグラスフレックス・ダクトの曲がりの抵抗係数が求めたので、各種の内径、曲がり角、 R/D に対して曲がり部における圧力損失と等値できる直線ダクトの相当長さ L_e を求める線図を作成すれば、ダクト網の設計に便利である。すなわち、

$$\lambda \frac{L_e}{D} = \zeta_c \dots\dots\dots (5)$$

しかして図7に示したように、曲がりの抵抗係数はそれぞれの R/D に対してはほぼ等しい距離でずれているので、この曲線を基準にして、両曲線間の距離に相当する値だけ増減することによって容易に求めることができる。このようにして図9のようなダクト内径をパラメータとした設計線図が得られた。したがってダクト網の途中で曲がり部がある場合には、まずこの線図から曲がり部の圧力損失に等しいような直線ダクトの相当長さ L_e を求め、ダクト網の直線部分の長ささにこれを加えて、直線ダクトの圧力損失線図に移せば、ダクト網全体の圧力損失を容易に求めることができる。

5. 線図の使用法

〔例題1〕

内径101.6mm(4")のグラスフレックス・ダクト 100m を直線状態に置き、流量 $Q=6 \text{ m}^3/\text{min}$ の標準状態の空気を送るとききの圧力損失を求め。

〔解1〕

図-8を用い、流量を示す縦軸に $Q=6 \text{ m}^3/\text{min}$ の点を取り、これを右方へたどって内径 $D=101.6 \text{ mm}(4")$ の斜線との交点を求め、この交点を通る風速一定線から $w=11.2 \text{ m/s}$ の風速が得られ、さらにこの点から横軸へ垂線を下すとダクト 100m の圧力損失は $\Delta P=300 \text{ mmAq}$ を読みとることができる。

〔例題2〕

内径 254mm (10") のグラスフレックス・ダクトを標準状態で、曲がり角 90°，曲率半径 R を 508mm として用いる場合、この曲がりダクトの相当長さはいくらか。

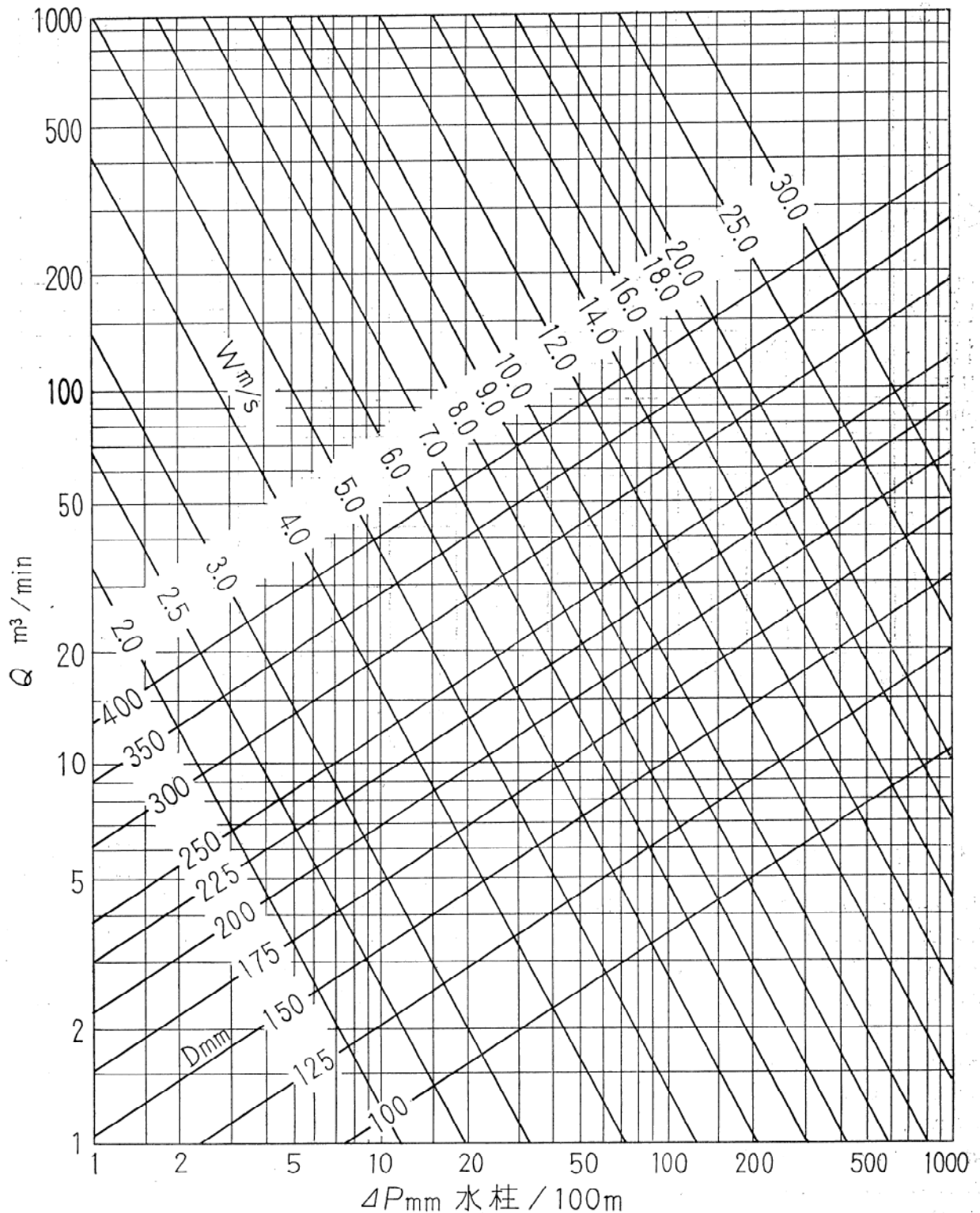


図8 直線部グラスワレックス・ダクトの圧力損失線図

【解2】

曲率半径 R とダクト内径 D との比 $R/D = \frac{508}{254} = 2$

となるから、図9において横軸 $R/D=2$ の点を取り、この点から垂直にたどり、 $\theta = 90^\circ$ の線と交わった点か

ら左方へ、縦軸 $\frac{L_e}{D} = 8$ を読みとると、 $L_e = 8 \times D = 8 \times$

$254 = 2032\text{mm}$ となり、相当抵抗長さ L_e は約 2.03m になることを知る。さらに曲がり部の圧力損失を求めるには、図8を用い、 $L_e = 2.03\text{m}$ に対し与えられた $Q\text{m}^3/\text{min}$ (または $w\text{m/s}$) のときの ΔP_e を求めればよい。

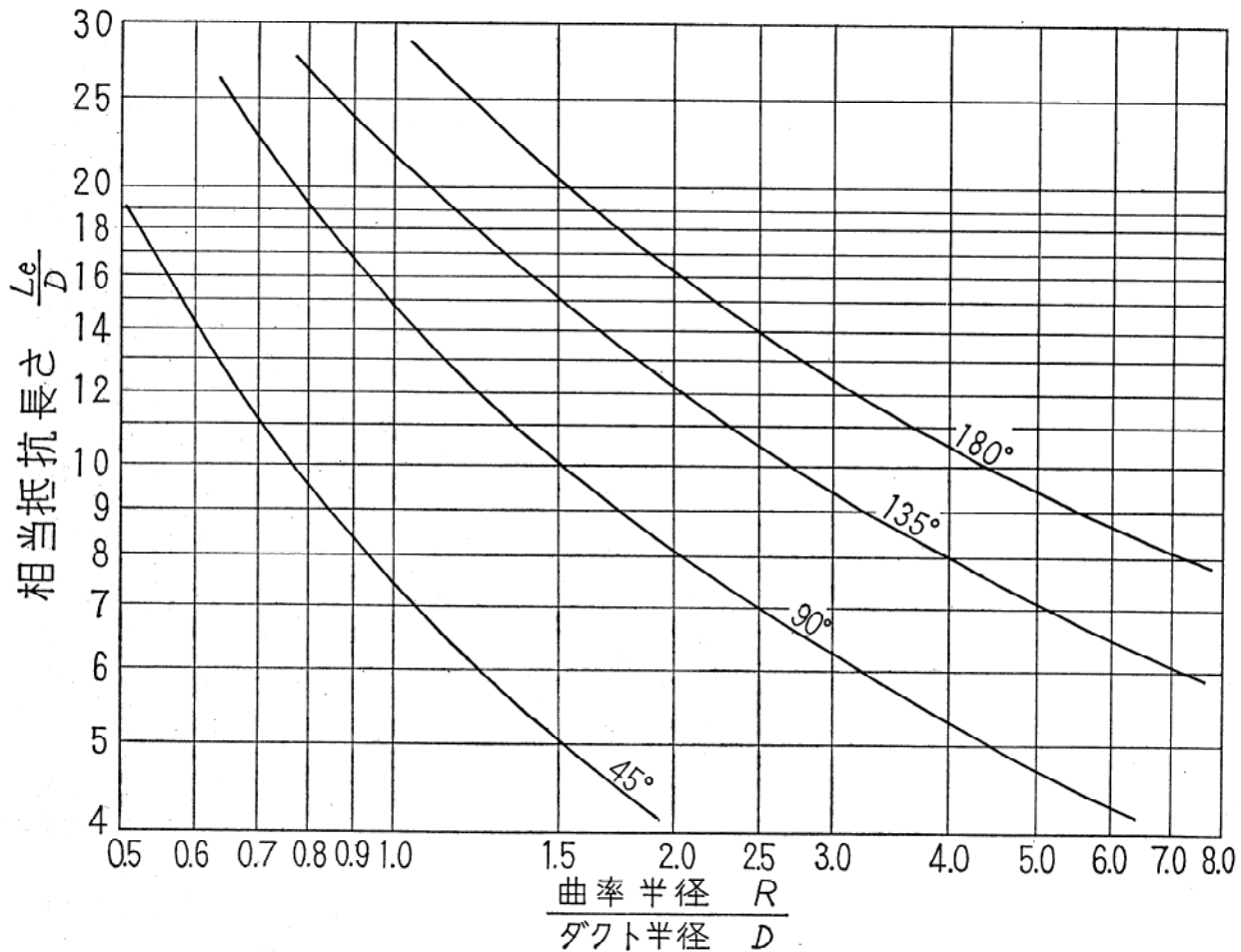


図9 曲がり部グラスフレックス・ダクトの圧力損失線図

6. 結 言

(1) 実験に供したグラスフレックス・ダクトの流体摩擦係数は、ダクトの内面あらかさが一定であるから、 Re のある限界値以上において一般の粗雑面管の場合と同じように、 Re に関係なく一定となる。

(2) グラスフレックス・ダクトの曲がり部の抵抗係数を求めた結果、 Re のある限界以上において直線ダクトの場合と同じように、 Re に関係なく一定であることが確かめられた。

(3) グラスフレックス・ダクトはピッチが等しく製造されているので、ダクトの内径が異なっても R/D が等しければ、それらの曲がりの抵抗係数は等しい値を示し、曲がり角が定まると R/D の変化に対して1本の曲線上に載る。なお内面のあらかさの異なる種々の円管に対する従来の多くの研究結果⁽⁸⁾によれば R/D の変化に対して曲がりの抵抗係数は波状的に変化し、 $R/D=4\sim 8$ 付近で最小値を示しているが、この実験でも同様な結果を得た。

(4) 実験結果から、ダクト網の設計に利用すべき直線ダクトの圧力損失線図および曲がり部における設計線図を作成した。流体摩擦係数および曲がりの抵抗係数が Re に関係なく一定となるような Re の下限値は、一般のダクト網の設計に利用される風速の範囲内にあり、この両線図を用いればダクト網を正しく、かつ容易に設計することができる。

参 考 文 献

1. J. Nikuradse ; Forschungsheft, 361, 1933.
2. 伊藤 ; 日本機械学会誌 62-409(昭34-11)50
3. H. Richter ; Forschungsheft, 338, 1930.
4. C. M. White ; Proc Roy. Soc, series, A 123, 1929.
5. Fan Engineering, 5th Editon, 144,
6. 新津 ; 日本綿業技術研究所報告 No.19, 61
7. A.S.H.V.E, Guide, 783, 1957
8. H. Richter ; Rohrhydraulik 3, Aufl, 181, 1958