

管内水流の水頭損失におよぼす こぶ部の影響

守屋 格・樋渡久孝・渡辺勇考*

Effect of a Swelling Part on Head Loss of Water Flow
through a Pipe

Satoru MORIYA, HiSataka HIWATARI and Yuko WATANABE

(昭和46年10月28日受理)

1. 緒言

まっすぐに置かれた管路の途中に、この管路の直径よりも大きい直径をもつ短管を挿入するとき、水流がこの短管においてどのような水頭損失を生ずるかは、誠に興味のあることがらであるが、この水頭損失についての研究は身近かなところに見あたらないようである。それ故に、たとえば管路に挿入したこのような短管（ここでは管路のこぶ部と仮称する）の影響をうけて水流に生ずる水頭損失が、こぶ部のない直管路の水流に生ずる水頭損失に比べて、どのように増加するかというような実際問題を取り扱う場合には、これを解決するための資料が得られない。

ところで、こぶ部内を通過する水流の流相はきわめて複雑なものと思像される。したがって、こぶ部における水流が生ずる水頭損失は理論的に求める事はほとんど不可能で、専ら実験的に求める他はないと考えられる。

こぶ部における水流が生ずる水頭損失を実験で求めるには、こぶ部に接続する上流および下流の直管路の中でこぶ部内の水流によって影響をうける領域の範囲を正確に見いだす事が大切である。しかし、その範囲の測定がなかなか容易でない。

そこで、こぶ部における水流が生ずる水頭損失そのものを求める事は後日に譲り、ここではまず、上にあげたような実際上の問題を解こうとするにあたって、ある程度参考になるような資料を得ようとして、管路にこぶ部を挿入する事によって増加する水頭損失の量を種々の管内流速の下で、こぶ部の長さとおび率とを変化させた場合について求め、これをベルヌイの方程式に適用できるような速度水頭の形で表わした。またこぶ部の長さとおび率とを変化させた場合の水頭損失係数を求め、相当管長比との関係について調べてみた。

2. 実験装置および方法

図1は実験装置の概略図を示すものである。

水は渦巻ポンプPで貯水槽S・Tから水槽Tに揚げられる。この水槽には溢水管O・Pが取り付けられてあり、これによって水槽の水位を一定に保つ。水はTから図に示すように途中にこぶ部Eを有する水平管路H・Pに送られ、流量調整弁Vを経て管路の末端Nから大気中に吐出された後、水路Cに流入してS・Tまで流下し、以上の循環をくりかえす。

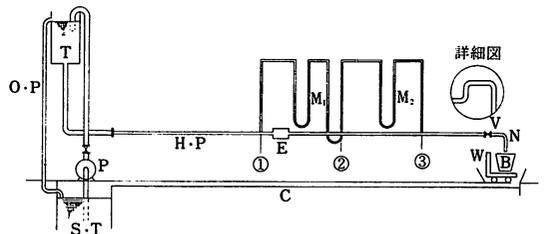


図1 実験装置略図

管路H・Pには途中にこぶ部を挿入した断面①から断面②までの区間と、こぶ部を挿入しない断面③から断面③までの区間を上流から下流に向かって設定した。両区間の長さは同じで1800mmである。こぶ部の挿入によって増加する水頭損失は、この各区間内で水流が生ずる圧力水頭損失を求めるが、 M_1 、 M_2 はそれぞれの水頭損失を測定するための水銀式差圧マンメーターである。マンメーターに通ずる静圧孔は①と③に1つずつ開け、③には位相を変えて2つ開けた。

末端Nは空気が管路内に貯えられるのを防ぐため、詳細図のようにした。

Nの近くには水受けBと台秤Wを置き、Nから大気中に吐出される水を一定時間(30秒とした)の間Bで受け

* 山形大学工学部精密工学科

たものをWで秤量して管路の流量を見だし、これから管内流速を求めた。

実験結果整理のための管路のRe数を求める際に必要な水温としては、Bで受けた水の温度を用いた。

管路とこぶ部は共に硬質塩化ビニール管から成る。またこぶ部の取り付けにあたっては、H・P ①—③の区間をこぶ部の長さLだけ切り取り、図2はその方法を示す。(a)はこぶ部の内径を一定にしてその長さを変化させる場合に用い、(b)はこぶ部の長さを一定にしてその内径を変化させる場合に用いた。

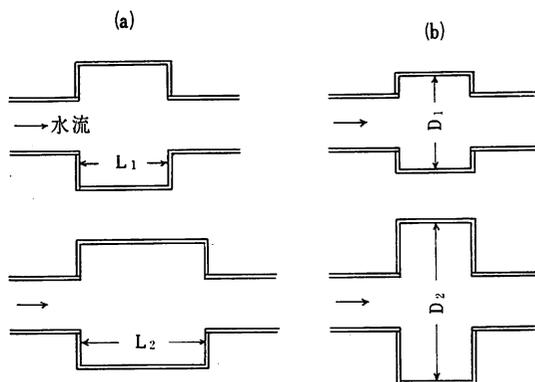


図2 こぶ部の取付方法

なお、こぶ部には空気抜き孔を設け、あらかじめ空気を抜いてから実験を行なった。

実験に使用した管路の内径d、こぶ部の内径D、こぶ部の長さL、こぶ部の拡大率 $m (=D^2/d^2)$ の組み合わせは表1に示すとうりである。

表1 実験に使用したこぶ部
(ただし、管路の内径dは20.0mmである)

こぶ部長さ L (mm)	拡大率 m	こぶ部内径 D (mm)
40	1.6	25.3
	2.4	31.0
	4.2	41.0
	6.7	51.8
80	6.7	51.8
	11.3	67.2
20, 40, 60	2.4	31.0
80, 100	6.7	51.8

3. 実験の整理と結果

今、管路断面①—②間の距離をS、①—②区間でこぶ部内の水流から影響を受ける領域の未知の長さを ℓ と

する。Sは1800mmでd(=20.0mm)の90倍にとってあるので、ニクラゼの乱流における入口区間の長さ(ℓ')についての実験値 $\ell' = (25\sim 40)d$ などから類推すれば、Sは ℓ に対して十分に長く設定してあると考えられる。

したがって、①—②区間で水流に生ずる水頭損失を h_1 とすれば、 h_1 は ℓ の部分内の水流に生ずる水頭損失 h_0 と長さ $(s-\ell)$ の直管の部分内で摩擦により生ずる全水頭損失 h' との和から成る。

すなわち、

$$h_1 = h_0 + h' \quad (1)$$

直管路の摩擦係数 λ を管路の位置に関係なく一定であると仮定すれば、ダルシー・ワイスバッハの式から、

$$h' = \lambda \frac{S-\ell}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

ここで、 v は管路内の平均流速である。

②—③間の距離は①—②間の距離Sに等しくしてあるので、②—③区間で水流に生ずる水頭損失を h_2 とすると、 h_2 は長さSの直管内で摩擦により生ずる水頭損失だけから成る。

したがって、

$$h_2 = \lambda \frac{S}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

式(1)、(2)、(3)から

$$h_1 - h_2 = h_0 - \lambda \frac{\ell}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

すなわち、 $h_1 - h_2$ は λ を前述のように仮定するとき、こぶ部を挿入することによって増加する水頭損失を与える。

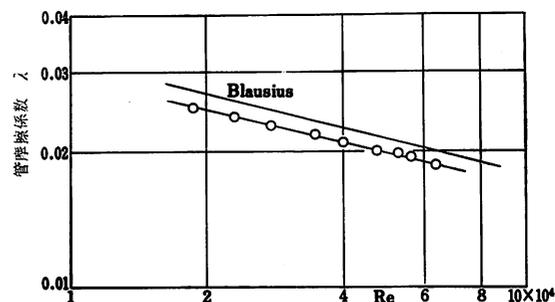


図3 管摩擦係数とRe数との関係

本実験の始めにあたって、管摩擦を測定してみたところ、 λ の値は図3のようになり、ブラジウスの実験値と比較しても満足でき、かつ、 λ は管路の位置によってほとんど変らない結果が得られた。また、こぶ部挿入前の直管路のみの場合の②—③区間の水頭損失 h_2 と、こぶ部挿入後における h_2 とを比較し、①—②間距離Sが1800mmで十分であることを実験的に確かめた。

故に、こぶ部を挿入する事によって増加する水頭損失を h とすると、 h は次式によって求める事ができる。

$$h = h_1 - h_2 \tag{5}$$

図4ないし図7は、 h_1 、 h_2 を測定して求めた h の値を示

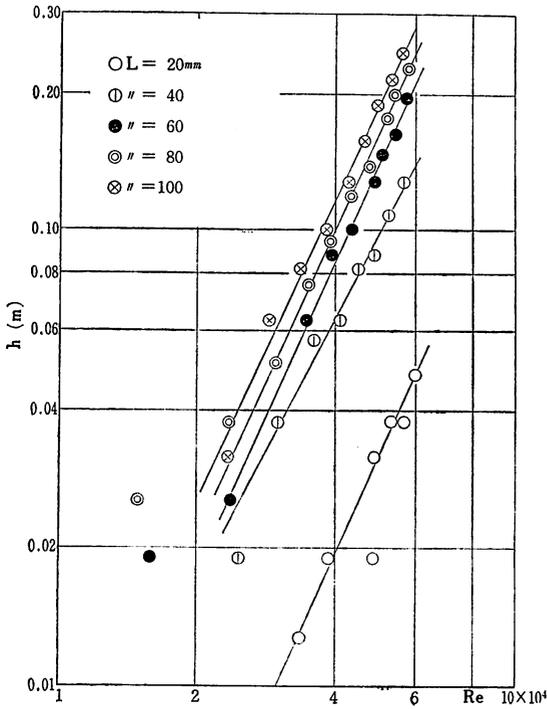


図4 $m = 2.4$

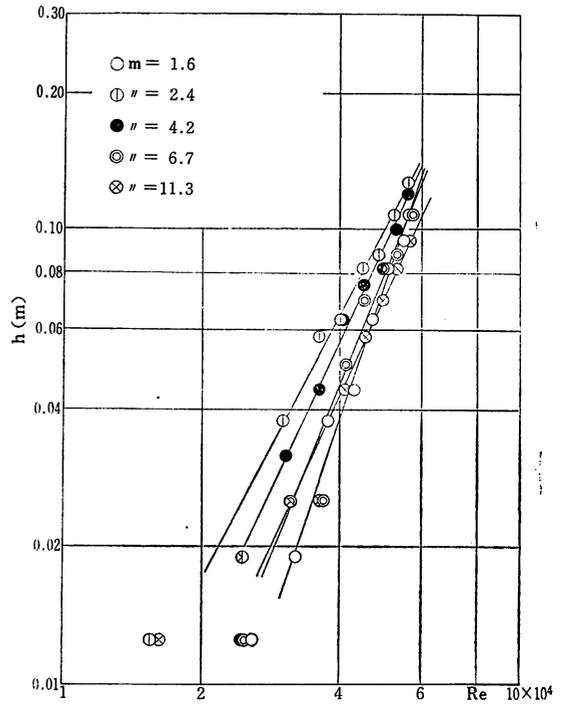


図6 $L = 40 \text{ mm}$

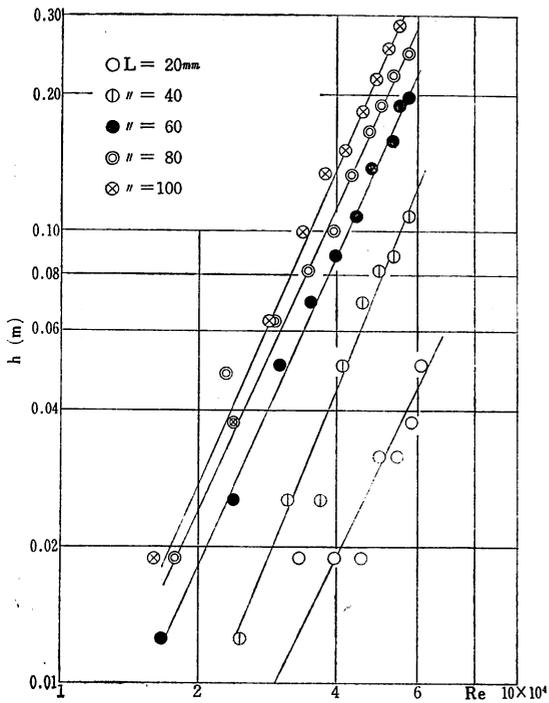


図5 $m = 6.7$

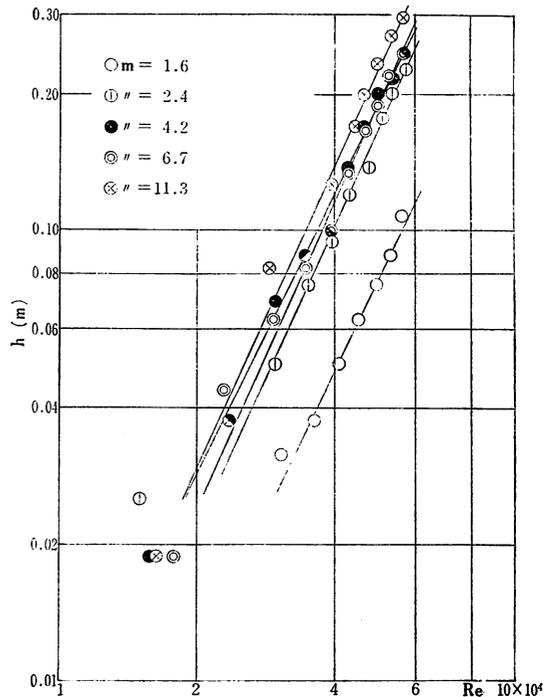


図7 $L = 80 \text{ mm}$

す。図4と図5はそれぞれ $m=2.4$ および $m=6.7$ の場合において、 L をパラメータとした $h-Re$ 曲線であり、図6と図7はそれぞれ $L=40mm$ および $L=80mm$ の場合において、 m をパラメータとした $h-Re$ 曲線である。

これらの結果によれば

- (i) Re 数が増加するほど h は増加する。
- (ii) 拡大率 m が一定の場合、こぶ部の長さ L が大なるほど h は大になる。
- (iii) こぶ部の長さ L が一定の場合、グラフは交錯し拡大率 m の変化は h に直接の影響を与えない。

つぎに、こぶ部を便宜上、管路内に置かれた長さの短かい一般の障害物と同様に取り扱って

$$h_0 = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

と、おいてみる。ここにはこぶ部の全抵抗係数である。

しかるに、式(4), (5), (6)から

$$\begin{aligned} h &= \zeta \frac{v^2}{2g} - \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \\ &= \left(\zeta - \lambda \frac{l}{d} \right) \frac{v^2}{2g} \\ \zeta - \lambda \frac{l}{d} &= K \quad (7) \end{aligned}$$

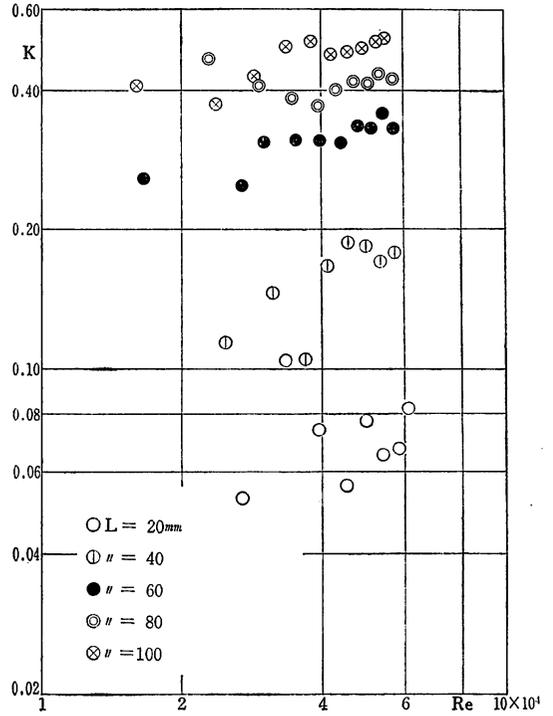


図9 $m = 6.7$

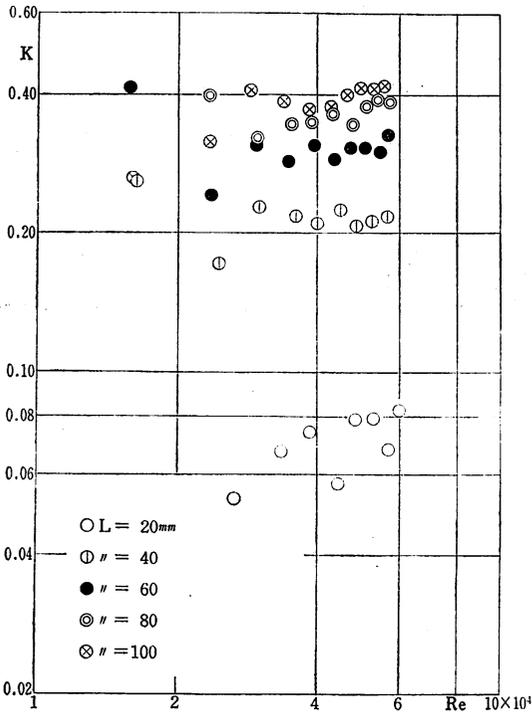


図8 $m = 2.4$

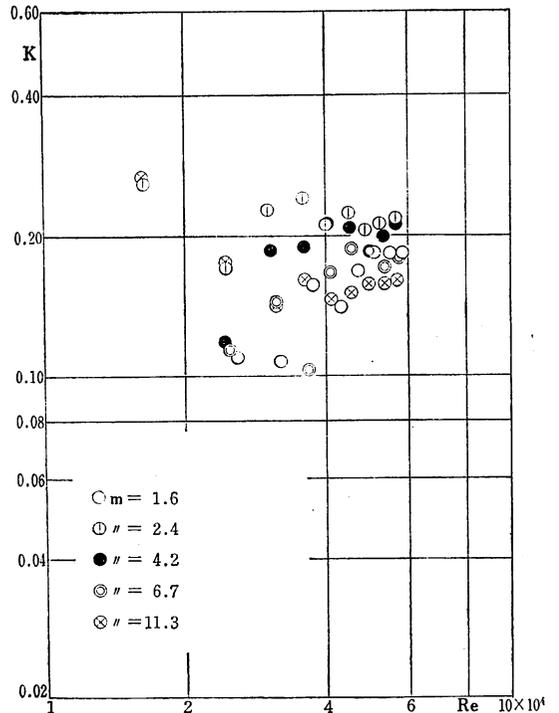


図10 $L = 40 \text{ mm}$

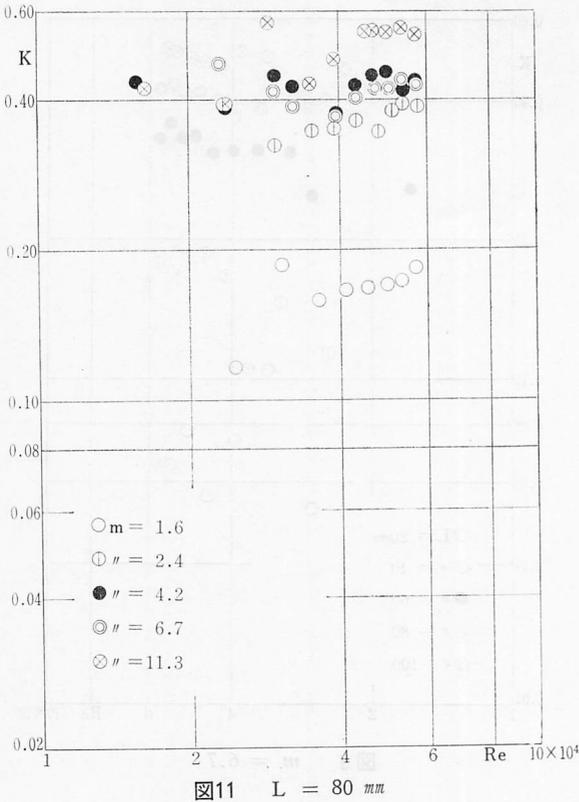


図11 L = 80 mm

と、おけば

$$h = K \frac{v^2}{2g} \tag{8}$$

Kは、無次元量でいわゆるこぶ部による水頭損失係数であり、hは管路内水流の速度水頭の倍数で表わした形となり、Kの値を知れば、これをそのままベルヌイの方程式に入れて実際の水流のエネルギー式をたてることができるから便利である。

図8ないし図11は、それぞれ図4ないし図7の結果を用い式(8)によって算出した損失係数Kの値を示す。

これらの結果によれば、

- (i) 損失係数Kは実用的速度の範囲において、Re数に関係なくほとんど一定である。
- (ii) 拡大率mが一定の場合、こぶ部の長さLが大なるほど損失係数Kは大となる。
- (iii) こぶ部の長さLが一定の場合、L=80mmとLが大きいと、拡大率mが大なるほど損失係数Kも大なる傾向にあるが、L=40mmとLが小さいと、mによる影響がはっきり現われなくなる。

以上のようにして、種々の形状のこぶ部についての損失係数Kを知る事ができたが、このKをもとにしてこの

大きさの程度を推察してみる。

式(7)から

$$\zeta = K + \lambda \frac{\ell}{d}$$

となるが、この式中の ℓ は未知の値であるので、 ζ はこの式によってすぐには求められない。ただ、管内水流はこぶ部に流入する直前で僅かではあるが、ある領域にわたって乱れるため、 ℓ は $L + \ell'$ よりも多少大きく²⁾なるがこの管内水流が乱れる領域を考慮に入れないで、

$$\ell = L + \ell'$$

とし、また ℓ' としては先に引用した $\ell' = (25 \sim 40) d$ を全てのこぶ部に対し適用できると仮定して、 ζ を計算してみれば、

$$\zeta = (K + 25\lambda) \sim (K + 40\lambda)$$

が、得られる。

もとより、この ζ は種々の仮定のもので得たもので、 ζ の真の大きさを与えるものではないが、少なくとも ζ の大きさの程度を推量する際の一つの目安になり得るものと考えられる。

なお、 ζ に関して考えてみたついでに、こぶ部内の水流の流相を類推できるような図12の写真を掲げておく。この写真は、透明アクリル板で作った厚さの薄い長方形断面の流路の中に比重が水より僅かに大きい固形粒子を混合した水を流して撮ったものである。2次元的なものであるが、この写真からこぶ部内水流の流相がほぼ推察できる。

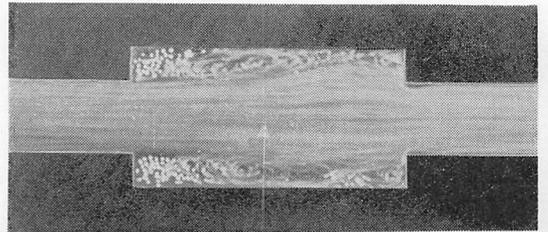


図12

hは、式(8)のように速度水頭の形で表わされたが、別に、式(9)のような相当管長さの関数で表わすこともできる。

$$h = \lambda \frac{\ell e}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \tag{9}$$

ここに、 ℓe はhと同量の水頭損失を生ずる直管路の長さ、すなわち、相当管長さである。

式(8)と式(9)との比較から

$$\frac{\ell}{d} = \frac{K}{\lambda} \tag{10}$$

ℓ/d は、無次元量でいわゆる相当管長比であり、実際問題を取り扱うときに役立つ値である。

表2 拡大率 m と水頭損失係数 ζ' との関係

m	1.0	1.1	1.25	1.43	1.67	2.0	2.5	3.33	5.0	10.0
ζ_1	0	0.01	0.04	0.09	0.16	0.25	0.36	0.49	0.64	0.81
ζ_2	0	0.036	0.089	0.14	0.18	0.24	0.29	0.34	0.38	0.41
ζ'	0	0.046	0.129	0.23	0.34	0.49	0.65	0.83	1.02	1.22

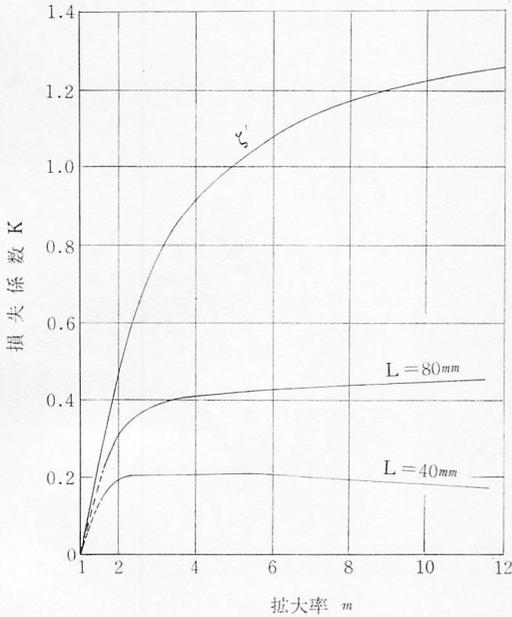


図13

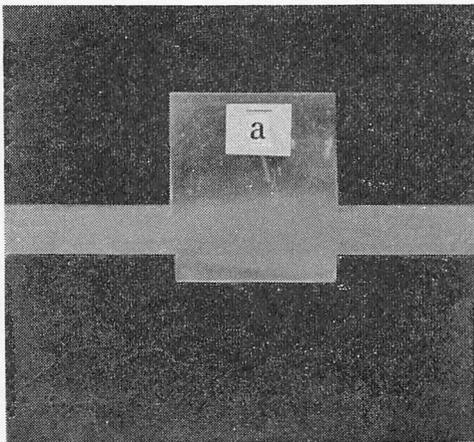


図14

4. 考察

こぶ部を断面積の急変する急拡大部と急縮小部が、相当に接近している管路と考えると、種々の仮定を用いて

求めた損失係数 K を、ボルダ・カルノーの急拡大流れに基く水頭損失係数 ζ_1 とワイスバッハの急縮小流れに基く水頭損失係数 ζ_2 との和 ζ' と比較してみる。

ζ' と拡大率 m との関係は表2に示される通りである。図13はこぶ部による損失係数 K と ζ' との関係を示す。図にみられるように

(i) 損失係数 K は ζ' に比べて小さく、かつこぶ部の長さ L が小さいとより小さくなる。

これは図12、図14で示されるように、こぶ部の長さ L が小なるほど、流れが急拡大以前の流れ状態を維持しながら噴流状態でこぶ部内を通過し、噴流内の速度が維持され、流体内部の衝突損失が減少するためと思われる。

ここで図14は、図12と同様な透明アクリル板で作った流路の中に煙を流して撮ったものであり、こぶ部の長さ L が小さい場合における、拡大率 m が大きいときと小さいときの両方の流相を良く示している。

(ii) こぶ部の長さ $L=40\text{mm}$ のとき、拡大率 m が大になると損失係数 K が減少している。

これは図14に示されるように、拡大率 m が小さいときは、こぶ部内の管摩擦は考えられるが、 m が大きくなるとこぶ部内の噴流とこぶ部の管壁との間(図14の a に示される)に死水領域が生じ、管摩擦が減少するものと考えられる。このように管摩擦が減少しているにもかかわらず式(5)により、 h を求める際に②—③区間内に生ずる水頭損失 h_2 をそのまま差し引いたため減少したと思われる。

(iii) こぶ部の長さ L を十分に大きくすると、損失係数 K は ζ' と同一になるものと考えられる。

また、上述のような死水領域を生ずる拡大率 m は、こぶ部の長さ L が大なるほど大になる。

こぶ部に死水領域ができ、流れが急拡大以前の流れ状態に近い形でこぶ部内を通過するようになると、すなわち、こぶ部の長さ L に比し、拡大率 m がある程度大きくなると、 m を増しても、死水領域が増すだけで損失係数 K は増加せず一定になるものと考えられる。

以上まとめると、本実験における水頭損失係数 K と拡大率 m との関係は図15のようになる。

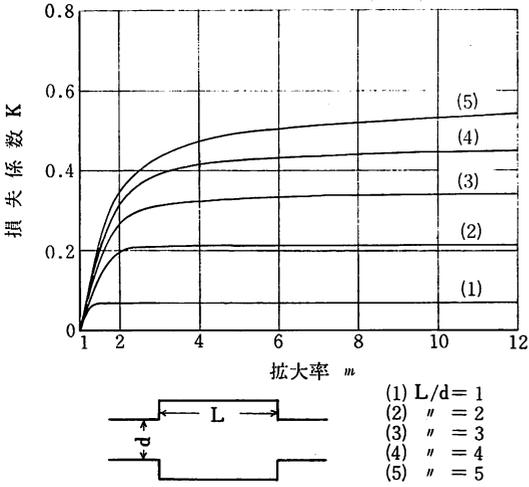


図15 損失係数Kと拡大率mとの関係

5. 結 言

管路にこぶ部を挿入することによって増加する水頭損失について実験を行なった結果、実際上の問題を解こうとするにあたって、ある程度参考になる資料を得ることができた。

それによって増加する水頭損失は

$$h = K \frac{v^2}{2g}$$

で表わされ、水頭損失係数Kは図15に示される通りである。

また

$$\frac{le}{d} = \frac{K}{\lambda}$$

なる関係がある。le/dは相当管長比で実際問題を取り扱うときに役立つ値である。

文 献

- 1) 板谷松樹 水力学 (JSME) (1960)
- 2) 植松時雄 機 論 2—7 254 (1936)