

偏心こぶ部つき管路系の水頭損失と こぶ部内の流相について

福田 浩・樋渡 久孝

On the Head Loss of a Pipe with an Eccentric Swelling
Part and Flow Pattern in this Part

Hiroshi FUKUDA and Hisataka HIWATARI

(昭和51年10月30日受理)

1. 緒言

さきに、本研究紀要第7号において、守屋らは、水平におかれた直円管路の途中に、この管路よりも大きい種々の直径と長さをもつ短管を管路の軸心に対して、同心的に取りつけた場合（同心こぶ部つき）の管路系の水頭損失におよぼす影響について詳細な報告をし、実際問題を取り扱う場合の資料を提示している。

ところで、現実には、かならずしも、こぶ部が上記のように管路系の軸心に同心的に取りつけられているとは限らず、大きさや、形状の異なるこぶ部が管軸心に対して偏心的に取りつけられている場合の方が、より多く見受けられる。しかるに、このような管路系についての水頭損失を明らかにした資料は、身近かには見当たらないようである。

このような見地から、本報告では、異径短管を偏心的に取りつけた管路系（偏心こぶ部つき）に対し、水頭損失におよぼす影響について実験するとともに、前記、同心こぶ部つきの場合の結果と比較することを試みた。

なお、一連の実験結果から、こぶ部の寸法や、偏心の度合による水頭損失の変化や差異は、こぶ部内水流の流動模様や変動に起因し、対応するものと推察できたので、こぶ部内の流相を肉眼観察し記録するとともに、圧力分布の違いや、変化を明らかにすることにより、これらの相関関係を確かめた。

2. 実験の装置と方法

本実験の装置および方法は、前報告の同心こぶ部つきの場合とはほぼ同様である。すなわち、図-1において、ポンプPで溢流槽Tに揚げられた水は、偏心こぶ部Eを取りつけた水平管路H・Pに送られ、開口端Nで大気中に吐出される。水量調節はバルブVで行ない、計量は台秤Wで行なった。

昭和52年2月

図において、水平管路部の①と②のほぼ中央にこぶ部を取りつけ、②と③の間は直管部で、両区間の距離は同じで1,800 mmとした。

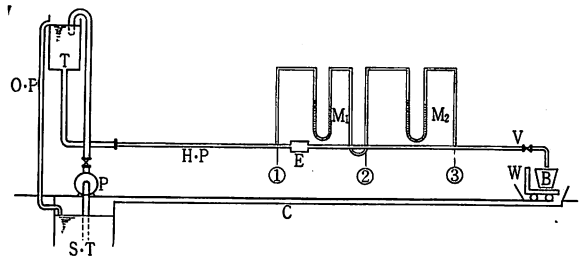


図-1

求める水頭損失は、それぞれの区間での圧力水頭 M_1 と M_2 をU字管マンオメータで読み取り、後述のようにして算出した。

水平管路部は、市販の内径 $d=20\text{mm}$ の塩化ビニール製円管で、こぶ部も同一材料で加工し、図2に示すように取りつけた。

実験に供したこぶ部の内径 D 、長さ L 、および拡大率 $m (=D^2/d^2)$ 、偏心量 $\epsilon (= \frac{D-d}{2})$ の組み合わせは、表-1に示したとおりである。

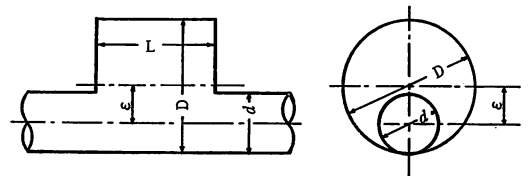


図-2

なお、こぶ部の取り付け方位による差異を確かめるために、上・下・横の三方向にそれぞれ偏心させて比較の実験を行なった。

表一

こぶ部長さ L (mm)	こぶ部径 D (mm)	拡大率 m	偏心量 ε (mm)
20	25.3	1.6	2.6
40	31.0	2.4	5.5
60	41.0	4.2	10.5
80	51.8	6.7	14.9
100	67.2	11.3	23.6

また、こぶ部内の流相は、こぶ部およびその前後の直管部の一部を透明アクリル材で加工し、上流部に取りつけた網糸によって流線の模様および変動を把握するとともに、微細な気泡を混流してその挙動を肉眼観察し記録した。

こぶ部内の圧力分布は、こぶ部壁面より内径 0.7 mm の注射針を挿入し、圧力計、動歪計を径で電磁オシログラフに記録して求めた。

実験の整理方法も前回同様で、ブラシウスの管路摩擦損失係数についての実験的な確かめをした上で、ダルシー・ワイスバッハの円管内乱流水頭損失の理論を適用して、こぶ部つき管路系の水頭損失 h_1 と、同一長さのこぶ部のない直管管路のそれを h_2 とした場合、偏心こぶ部を取りつけたことによって増加した水頭損失を $h = h_1 - h_2$ として求めた。

また、水頭損失係数 K は $K = h \times \frac{2g}{v^2}$ として整理した。

3. 実験の結果と考察

こぶ部の取り付け偏心方向による水頭損失におよぼす影響については、一連の比較実験の結果、本報告の実験範囲においては、その違いによる数値上および傾向に顕著な差異または変化が認められなかったため、図-2 に示したように上方へ偏心させた場合について実験して得られた結果をまとめて記述する。

こぶ部の拡大率が $m = 2.4$ と 6.7 の場合について、それぞれこぶ部の長さ L をパラメータとして、水頭損失 h とレイノルズ数 Re の関係を示すと、図-3 と 4 のようになる。

これらの示す結果から、 h は Re 数の増大につれて L には関係なく一様に増加する。

m の小さい範囲では、 L による影響は小さく、同心こぶ部つきの場合にくらべてやや大きい程度であるが、 m が 6.7 と大きくなると、 L の増大にしたがって h の増加の度合が大きく表われ、同心こぶ部つきの場合のおよそ 7~9 倍にも達する。

図-5 と 6 には、こぶ部長さがそれぞれ $L = 40$ mm と

80 mm 一定した場合、拡大率 m をパラメータとして得られた h と Re 数の関係を示した。

これらの示す結果から、水頭損失 h は Re 数の増大に

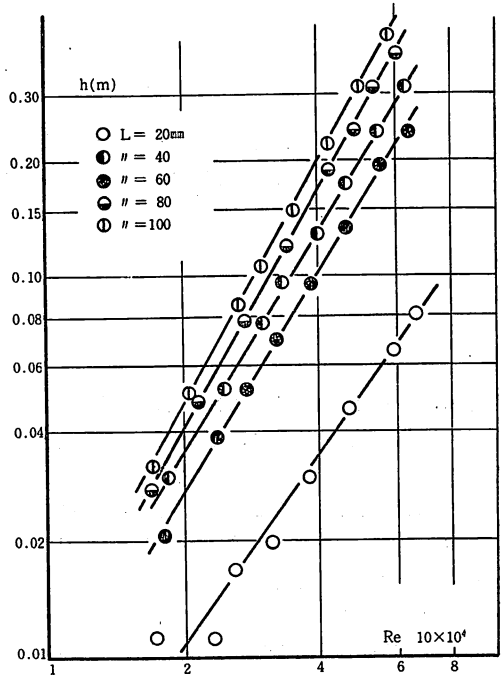


図-3 $m = 2.4$

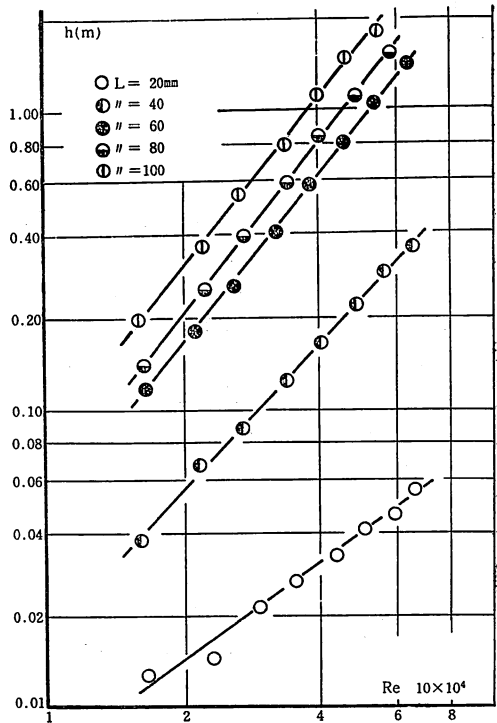


図-4 $m = 6.7$

つれて増加するが、 L の小さい範囲では m の違いによる差異は小さく、その影響の割合も少ないが、 L が大きくなると、 m による影響が大きくなり、しかも、 m の増大するにしたがってその影響の割合が大きくなっている。

同心こぶ部つきの場合とくらべると、同心こぶ部つきでは m の変化は h に直接影響を与えていないという結果が得られていたが、本実験の場合では、 L の大小にか

かわらず m の大きいものほど h の受ける影響の割合は大きく、しかも、 m および L がともに増大するほどこの傾向は顕著に表われる。

つぎに、図-3から図-6までの結果を用いて算出した水頭損失係数 K の値を、 Re 数を横軸に、 m と L をパラメータとして求めたものとして、図-7から図-10に示した。

これらに示された結果から、 K は Re 数にはほとんど関係なく、与えられた L に対してはほぼ一定値を示し、同心こぶ部つきの場合と同じことが言えるが、その数値は大きい。

拡大率 m が小さいときには、長さ L による差異は少ないが、 m が大になるにつれて L の影響が大きくなり表われ

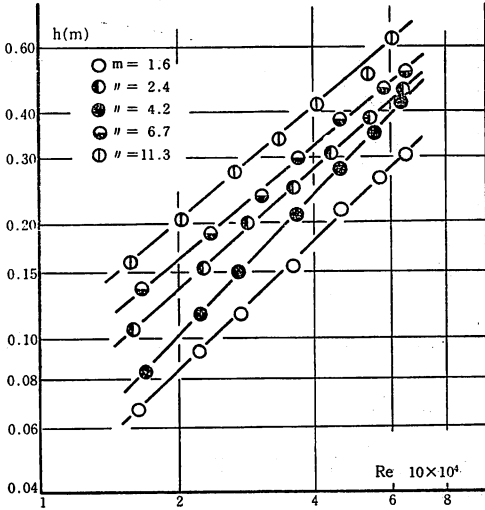


図-5 $L=40\text{mm}$

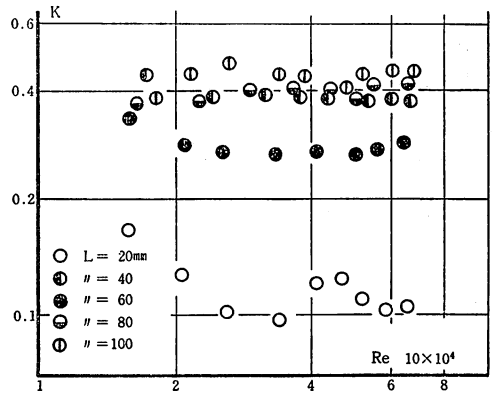


図-7 $m=2.4$

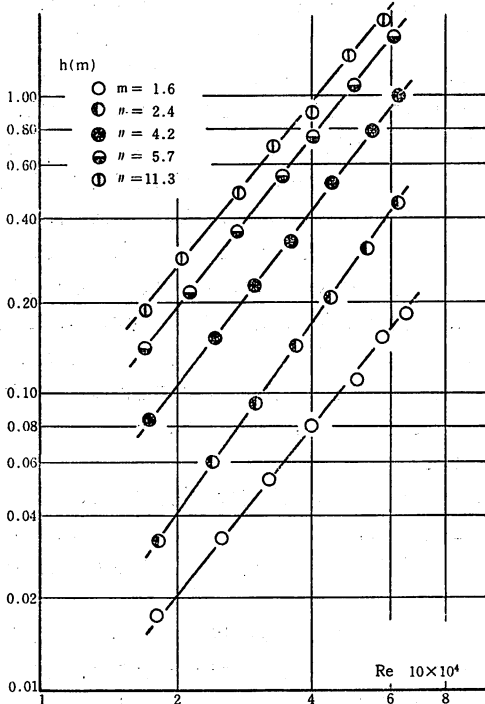


図-6 $L=80\text{mm}$

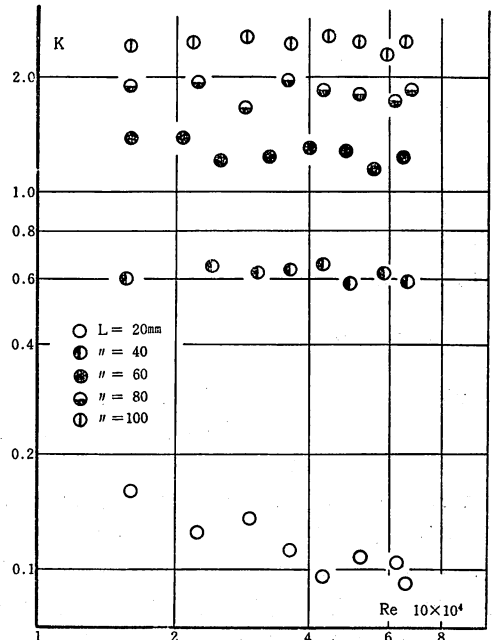


図-8 $m=6.7$

る。

また、長さLが一定の場合には、Lの小さい範囲ではmによる違いは少ないが、Lが大きい範囲では、mによる影響を大きく受け、同心こぶ部つきの場合に比べて、その度合の大きいことがわかる。

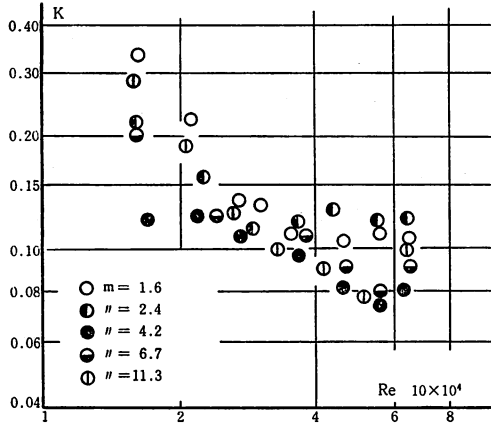


図-9 L=40mm

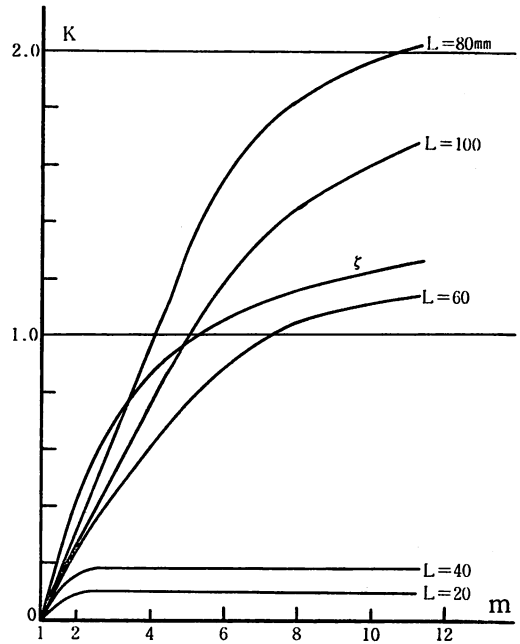


図-11

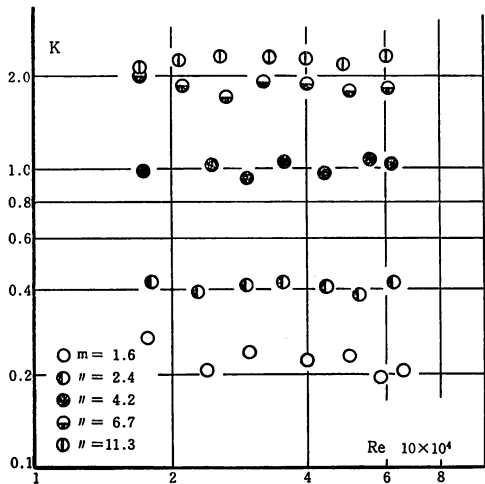


図-10 L=80mm

以上の結果をまとめて、こぶ部の長さLをパラメータとし、水頭損失係数Kを拡大率mの関数として表わすと、図-11に示すようになる。

ここで、ξ曲線は、こぶ部を挿入することにより管路の断面が急拡大と急縮小する部分をもつ一本の管路系を考え、ボルダ・カルノーとワイスバッハが与えている断面の急変する管路流れに対する水頭損失係数の和としてプロットしたもので、本実験で得られた結果を比較検討する際の基準とした。

ここに示された結果からは、Re数の大小による違いはあまり認められない。

こぶ部の長さLが小さく(20mm, 40mm)、拡大率mの小さい場合のKの値は、ξに比べて小さいのは、同心こぶ部つきとほぼ同様に考察することができる。

すなわち、こぶ部内の流相図として揚げた図-12の(a)と(b)に示したように、こぶ部に入った流れは、急拡大以前の流れの状態を維持した噴流状でこぶ部内を通過し、こぶ部全体の流相に大きな変化を与えず、それだけ渦流や衝突による損失が少ないためと考えられる。

また、拡大率mが大となっても損失係数が増大せず、ほぼ一定値となっているのは、図-12(c)に示したように、こぶ部内のほぼ中央に渦流Aが発生するが、この渦流は、主流部(管路軸心に沿う流れ)に影響をおよぼさない安定した領域として存在し、こぶ部内の流相に大きな変動は見受けられず、主流域にもほとんど影響をおよぼさない。

この点については、前報告でも指適されている、いわゆる死水領域で、渦流の発生にとまらぬ損失は生ずるが、この領域分に相当する管摩擦損失が減少するためと考えられる。

こぶ部長さL=60mmの示す結果については、拡大率mの小さい場合、図-13(a)に示したように、死水領域が認められ、損失係数は小さいが、mが大きくなるにつれて図-13(b)に示したように、前後に比較的ゆっくり

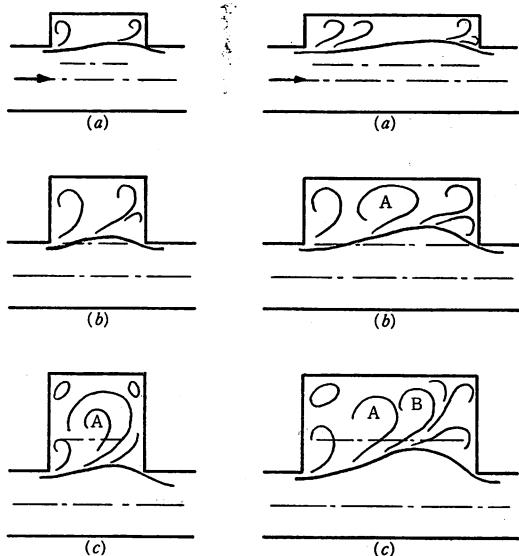


図-12

図-13

と振動する不安定な渦流Aがこぶ部の主流域上方に存在し、この渦流をはきんでこぶ部の前後壁面に衝突する小渦流が生ずるとともに、こぶ部に接する直管路部でははく離渦も見られ、Lの小さい場合に比べ損失が増大する値に近い流れの場が形成されるものと考えられる。

L=80mmの場合のK値は、 ζ 値よりもmの大きくなるにしたがって特段の大きな値を示すが、こぶ部の流相は図-13(c)に示したようになる。

こぶ部内の主流域上方には二つの渦流AとBが発生し、前後に早い周期ではげしく揺動し、ときには合体して一つの大きな渦流部となり、主流部との間での水流の出入りがひんばんで、しかも不規則にくり返えされる。

この渦流の生長と分裂が、こぶ部内の流相を支配し、主流域にも大きな影響をおよぼしている。

このような渦流部の変動は、管路系全体に非定常な脈動流れを形成し、圧力水頭を計測する際に困難さをもたらした。

この現象は、こぶ部の長さL=100mmと大きくなると消滅し、L=60mmの場合とほぼ同様の流相を呈するようになることから、L=80mmのこぶ部寸法に限った特異現象と考えられ、Lの増大につれ、mが大きくなるほど、水頭損失係数Kは ζ 値に近づくと推察される。

以上の流相図は、管路の軸心を含むこぶ部の上下方向の二次元的な観察結果として示したものである。

もちろん、こぶ部において、水平方向にも流相の変化が認められ、同時観察したが、その結果を含む三次元的な表示はきわめて困難であった。

なお、こぶ部の水平方向流相の変様は、上下方向の変態に比べて小さく、水頭損失におよぼす影響の度も小さい。

したがって、上記水頭損失について得られた実験結果を比較考察する上では、前掲二次元表示による流相図でも十分満足すべきものであると考えられる。

つぎに、こぶ部内の圧力分布を、管路の軸心を含む垂直面上のものとして求め、圧力値の等しい点を結んで得られた等圧分布曲線として示すと、図-14のようになる。

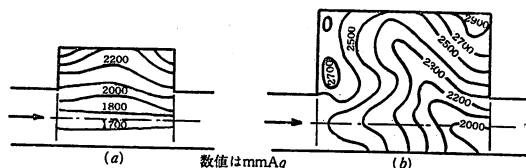


図-14

(a) は、こぶ部の長さ L=40mm、拡大率 m=2.4、Re数 43000 の場合について示したもので、こぶ部内の上流、下流間での圧力分布の不均衡は余り大きくなく、死水領域の存在が認められる。また、死水領域と主流域とが明確に区切られていて、損失の少ない流相を示していることがうかがえる。

(b) は、L=60mm、m=6.7、Re=45000 の場合で、流相図 図-13(b) にほぼ対応するものである。

こぶ部入口上方と出口側上端部の圧力が高いのは、速度の小さい閉じ込められた渦流れの存在を示し、下流部から上流部に張り出した等圧線は、こぶ部中央に大きな渦流を形成していることを示している。

また、出口側から上向きに圧力線が高くなっていることから、入口付近から徐々に上向きに下流側へと進み、下流部端面に衝突し、向きを変えて、一部はこぶ部上壁面に沿い巻き返えす流れを、一部は出口近辺で小渦を形成する流れの存在することがわかる。

なお、L=80mmの場合には、こぶ部内の脈動流のため圧力値が一定せず、等圧分布曲線を得ることができなかった。

4. 結 言

同心こぶ部つき管路系の水頭損失に対する守屋らによる報告に引き続いて、偏心したこぶ部を取りつけた場合について実験し、比較、検討するとともに、こぶ部内の流相の変化を求めて、水頭損失との相関を明らかにすることを試みて得られた結果の中から、主なものをまとめると、つぎのようになる。

1) 同心こぶ部つきの場合と同様、水頭損失 h は Re 数の増大するにつれて増加するが、損失係数 K は、本実験の範囲では Re 数にほとんど関係せず一定値となる。

しかし、それぞれの値は、同心こぶ部つきの場合に比べて、偏心こぶ部つきの方がきわめて大きい。

2) 拡大率 m を一定とした場合、こぶ部の長さ L が大となるほど、 h , K 値ともに増加し、同心こぶ部つきと比べて増加の度合いが大きい。

3) こぶ部の長さ L を一定とした場合、 h は同心こぶ部つきとは違い、 m の増大により増加する。

K 値は、 L の小さい範囲では、 m の増大による影響はほとんど認められないが、 L が大きい範囲では、 m の大きくなるにつれてきわめて大きく表われる。

4) こぶ部の長さ $L=80\text{mm}$ の場合、とくに m の大きい範囲で、管路内の水流に激しく、不規則な変動を生じたが、これは他の L については見受けないことから、こぶ部寸法上からくる特異現象と考えられる。

5) 以上、水頭損失におよぼすこぶ部の影響は、結局のところ、こぶ部内の流相の変化に対応するものと推察し、流相図、圧力分布図を作成して、これらの相関々係を明白にした。

本実験を行なうにあたり、協力の労を惜しまなかった当時学生の大坂邦宏、篠崎久和、中村久俊、西村誠の諸君に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 守屋, 樋渡, 渡辺 秋田工業高等専門学校紀要 7 (1972) 8
- 2) 板谷松樹 水力学 (1967)
- 3) 植松時雄 機論集 2-7 (1936) 254
- 4) 機械工学便覧 第8分冊 JSME. (1976)
- 5) ラウス 水流工学 (1974)