金属管から作ったサイクロンの性能*

Characteristics of a Cyclone Collector Made of Metallic Tubular Blank

内海 良治** 山本 博**
Ryoji Utsumi Hiroshi Yamamoto
上田 照守** 上田 康**
Terumori Ueda Kou Ueda

1. 緒 言

固気系の分離器として使用されるサイクロンは、板材から円筒と円錐を作り、これらを接合して本体部分を作り、さらに入口管、出口管などを付け加えて製作する方法と、鋳物で全体を作る方法、あるいは切削加工により棒材あるいはブロックから切り出して製作する方法がある。第三の方法は実験のための装置を作る以外には使用されていない。第二の方法は大型には不向きで、もっぱら小型で多数個使用される場合に限られている。一般的に広く用いられている方法は第一の方法である。

サイクロンの本体は円筒部と円錐部とから成るが、一応管状といえよう。そこで、金属管をふくらませるバルジ加工法¹⁻³⁾により本体を作ることを試みた。この方法によって作ったサイクロンは、継目の溶接部がなく、全

体として滑らかであり、さらに真円度が高く、同軸度もしっかり出ることなどから高性能が期待されるので、一般に使われている板金加工法によって作ったサイクロンと若干の比較検討を試みたのが本報告である。

2. 絞り併用液圧バルジ加工によるサイクロンの試作

2.1 サイクロン本体の成形方法

ここでいうサイクロン本体とは、一般にいう円筒部および円錐部を含めたものである。試作に用いた材料は、機械構造用炭素鋼鋼管 (JIS-STKM11A) およびアルミニウム管 (JIS-A1T100) である。サイクロン本体を成形させる方法は、まず管の両端部直径を絞り加工により縮小させ、次に液圧によるバルジ加工により管中央部をふ

くらませてサイクロン本体を成形しようとするものである。2つの成形方法を組み合わせているのは、現状の絞り加工あるいは液圧バルジ加工だけでは、サイクロンのような膨出比の大きい製品の成形は、きわめて困難なためである。この組み合わせ加工によれば、中間焼なましは不要となる。絞り加工ならびに液圧バルジ加工の方法をFig. 1に示す。図はいずれも中心線より上が加工前、下が加工後を示している。絞り加工は型締めをした状態で、絞りダイスを押し込むことにより、管両端の直径を縮小させるものである。液圧バルジ加工では、絞られた成形品の両端部を端部成型型内に置き、成形品の

Fig. 1 絞り併用液圧バルジ加工説明

内側から高液圧を作用させると同時に、両端部を押し込むことによって、中央部成型型までふくらませる加工法

昭和50年6月4日受理

* 本会昭和49年度秋期例会にて発表 (49 11.14 九工大)

** 名古屋工業技術試験所 〒462名古屋市中区平手町1)

TEL052-911-2111

Fig. 2 サイクロン本体の成形工程

である。サイクロン本体の試作の際の各工程による管素材の成形の順序を、鋼管を管素材とした場合を例として Fig. 2 に示す。まず外径 40mm、肉厚 2 mm、全長が 200mm の鋼管素材の両端部を、4 工程の絞り加工により外径 24mm まで縮小させる (Fig. 2 (a)~(e))。このとき全長は 207mm まで伸びる。絞りに要した圧縮力は、鋼管に対して、第 1 工程 8 ton、第 2 工程 3 ton、第 3 工程 8 ton、第 4 工程 6 ton であった。次に液圧バルジ加工により、円筒部外径が 40mm から中央部成形型の 56mm になるようにふくらませ (Fig. 2 (f))、サイクロン本体ができあがる。この工程では、バルジ液圧が 1500kg/cm²、軸方向圧縮力が約 20ton を要した。試作されたサイクロン本体の形状は、Fig. 2 (f) に示すように、全長 178mm、円筒部外径 56mm、両端部外径 24mm、両端部肉厚 3.0mm 円筒部 1.7mm であった。

2.2 入口管と出口管の接続

ここでは、入口管には外径 21mm、肉厚 1.5mm の鋼管を、サイクロン本体への接続側が、長径 25mm、短径 16mm となるように円管を押しつぶした形の長円形の管を用いた。サイクロン本体円筒部の外周切線方向に、入口管の長円形状に適合した穴をフライス加工により切削し

サイクロン本体へ入口管を溶接することにより切線流入式となるようにした。

また、出口管には外径 19mm、肉厚 1.2mm の鋼管を使用した。サイクロン本体の出口管取付け側の端部内径を、出口管外径と一致するように旋削加工し、出口管をそう入して溶接すればよいが、試作品は出口管のそう入深さが調節できるように、袋ナットで O リングを締付けて固定した。

以上のように、サイクロンを新しい加工方法 (以下ではバルジ加工と略す) で製作した。

3. 集じん性能の試験方法

3.1 試験したサイクロンの仕様

集じん性能試験を行なったサイクロンの特徴を Table 1 に、その実物写真を Fig. 3 に、また、板金加工およびバルジ加工により製作されたサイクロンの寸法を Fig. 4 に示す。Table 1 に示すように、記号 Z のサイクロンは全体を亜鉛引鉄板で製作したもので、その寸法を Fig. 4 - a に示す。記号 BA のものは、サイクロン本体をアルミ管からバルジ加工で成形し、出入口は亜鉛引鉄板を板金加工で製作したものである。したがって、その寸法は本体が Fig. 4 - b、出入口部分が Fig. 4 - a である。記号 BF 1 のものは BA と同様で、ただ本体の材質が炭素鋼であるだけである。BF 4 および BF 5 は、Table 1 および Fig. 3 に示されているように、BF 1 の本体円筒部の変形品で、これはバルジ成形条件を探索中にできたものである。また BF 7 のものは、本体、出入口管共炭素鋼を用いて、前節のバルジ加工の方法で製作したもので

Table 1 供試サイクロンの特徴

記 号	材 質	加工法	形状	備 考
Z	本 体	亜鉛引鉄板	板金加工	図 3 (a)
	出入口	〃	〃	〃 〃
BA	本 体	炭 素 鋼	バルジ加工	〃 (b)
	出入口	亜鉛引鉄板	板金加工	〃 (a)
BF 1	本 体	炭 素 鋼	バルジ加工	〃 (b)
	出入口	亜鉛引鉄板	板金加工	〃 (a)
BF 4	本 体	炭 素 鋼	バルジ加工	〃 (b) 本体円筒部上面にへこみ
	出入口	亜鉛引鉄板	板金加工	〃 (a) へこみ
BF 5	本 体	炭 素 鋼	バルジ加工	〃 (b) 本体円筒部側面にへこみ
	出入口	亜鉛引鉄板	板金加工	〃 (a) へこみ
BF 7	本 体	炭 素 鋼	バルジ加工	〃 (b)
	出入口	〃	プレス	〃 〃

Fig. 3 供試サイクロンの外観

Fig. 4 サイクロンの形状と寸法

あり、寸法はFig. 4—bに示すものである。すでに述べたように、出口管のそう入深さは調節できるようになっている。

3.2 試験の方法

サイクロンの性能試験装置の概略をFig. 5に示す。粉じん試料は電磁フィーダにより、できるだけ均一な濃度になるように供給され、空気吸入口を絞った試料供給口に投下され、そこで分散された。試料供給口からサイクロン入口までの助走区間は、約2.7 mでビニール管を用いた。粉じん試料が管内に付着した時は、同一風量のままで試料供給後ビニール管を押えて部分的に高風速として付着物を吹き飛ばし、管壁への付着による供給粉じん試料のライン中への残留が少なくなるようにした。サイ

クロンの捕集室には、ガラスビンにコルク栓をして用い、サイクロン捕集口が閉そくしていないことを確認しながら試験を行なった。サイクロンを出た空気は、バッグフィルタを通して清浄空気とした後、オリフィスにより流量測定し、ブロワによって排気した。サイクロンの出入口の圧力損失および流量測定用オリフィス前後の圧力は、マノメータにより測定した。

試験用の粉じん試料としては、フライアッシュ（中電興業）および関東ローム粉を用いた。それらの粒度分布をFig. 6に示す。密度はそれぞれ2.26および3.26g/cm³であった。

4. 性能試験の結果と考察

Fig. 5 サイクロンの性能試験装置

4.1 圧力損失

サイクロン入口空気速度 u_i と、サイクロン前後の圧力損失 ΔP との関係を、空気のみを流した場合についてその例をFig. 7に示す。図より板金加工によるZのサイクロンが、他のものよりやや圧力損失が小さいことがわかる。またサイクロン本体をバネ加工で作ったサイクロンでは、円筒部に凹凸をもつBF4が最も圧力損失が高いことがわかる。その原因が、形状の若干の相違にあるのか、あるいは、壁面の凹凸にあるのかなどは、これだけの実験ではまだ明確ではない。なお、空気中に粉じんが入った場合は、空気のみの場合より圧力損失は小さいことが観察できたが、脈動が激しくマンメータでは値

を正確に読みとることができなかった。

サイクロンの圧力損失は、一般に入口空気速度基準で次のように示される。

$$\Delta P = F \frac{u_i^2}{2g} \gamma_a \quad \dots\dots(1)$$

ここで、 F は圧力損失係数、 γ_a は空気の比重量、 g は重力加速度を示している。またサイクロン入口のレイノルズ数 Re_i は、 D_i を入口管の動水半径、 ν を空気の動粘性係数とすると、 $Re_i = 4D_i u_i / \nu$ で表わされる。圧力損

Fig. 6 粉じん試料の粒度分布

Fig. 7 サイクロンの入口空気速度と圧力損失の関係

Fig. 8 サイクロンの圧力損失係数と Reynolds 数の関係

失係数 F とレイノルズ数 Re_i の関係を調べてみると、Fig. 8 のようになった。図からわかるよう板金加工によるサイクロンが最も圧力損失係数 F が小さく、レイノルズ数に対してほぼ一定の値を示している。どのサイクロンもレイノルズ数に対して同じような傾向を示しているが、圧力損失係数の値は若干の差がある。レイノルズ数の範囲をもっと広く変えると、管路における圧力損失係数と同様な形の曲線になるといわれている⁴⁾が、本実験ではそこまで追求することはしなかった。また特性レイノルズ数⁵⁾も提案されているが、実験量も少ないので、従来の方法でまとめた。

4.2 捕集効率

サイクロンの捕集効率は、サイクロンに入った粉じん量に対する捕集された粉じん量の割合で表わされる。したがって、本試験では、粉じんの全供給量を G 、サイクロン捕集室に捕集された粉じん量 G_1 、サイクロン内壁面に付着している量を ΔG_1 、サイクロンまでの輸送管中に付着している量を ΔG とすると、サイクロンの捕集効率 η は

$$\eta = \frac{G_1 + \Delta G_1}{G - \Delta G} \times 100 \quad \dots\dots(2)$$

ここで、 ΔG は供給されなかったもの、 ΔG_1 は遠心力により壁面に押し付けられて付着したもので、本来空気流とは分離しており、捕集されるべきものと考えている。 ΔG は各条件による試験終了後、最高空気速度で試験装置を運転し、サイクロンにより再捕集しているもので、そのときまた捕集効率が関係するが、すでに述べたように ΔG が小さくなるような処理をしているので、 η にはほとんど影響がないと思われる。 ΔG_1 はサイクロン内壁

Fig. 9 サイクロンの捕集効率と空気速度の関係

をハケで掃除して落して測定した。

捕集効率と入口空気速度の関係は Fig. 9 のようになった。フライアッシュの場合は、図でもわかるようにどのサイクロンでもほとんど97%以上の捕集効率を示しており、サイクロンの違いによる差は明確にはできなかった。関東ローム粉で行なった場合には、板金加工製の記号Zのサイクロンに対して、バルジ加工製のBF1、BF4、BF5のものは良い捕集効率を示さなかったが、BF7のものはかなり良い捕集効率を示した。BF4、BF5は変形品であるから、Zに対して良くなることは期待していなかったが、それでもサイクロン本体で正常な形状のBF1と同程度の捕集効率を示した。またBF1と、BF7は本体が同じ形状でありながら、BF7がずっと良い捕集効率を示した。Zに対してもBF7の方が良く、BF1の方は低い捕集効率であった。これらのことから考えると、サイクロン本体のBF4、BF5のような変形よりも、もっと別に捕集効率に大きな影響をもつ要因があり、その要因に着目すれば、板金加工によるもの以上の捕集効率のものを作ることが可能であると思われる。バルジ加工によるものと、板金加工によるものは、若干の寸法差があるが、BF1とBF7の中間に z があることから、小さな寸法差よりもその要因の方が重要な影響をもつのではないと思われる。BF1とBF7の違いをみると、Table 1 でもわかるように、(1) 出入口が亜鉛引鉄板を板金加工したものと、鋼管、(2) 入口断面が矩形と長円形、したがって寸法も若干異なる、ということである。(2)の点については、円形と長方形ではあまり変わらないようである⁶⁾といわれており、あまり問題

Fig. 10 サイクロンの捕集効率におよぼす出口管高さの影響

Fig. 11 サイクロンの捕集効率におよぼす空気湿度の影響

にならないだろうと思われる。(1)の違いによる結果として、BF 1 のものは入口管が図面通り切線方向に付いているか、また出口管が本体と同一の中心軸となっているかという問題となってくる。実際、BF 1 の出口管の中心軸は本体の中心軸と一致していないことが観察された。さらに出口管の径が異なるため、決定的なことはいえず、これらの点についてはさらに今後の検討が必要である。

出口管端の高さの捕集効率への影響は、Fig. 10 のようになった。 $h = 0$ は出口管下端面と入口管下端面の高さ

の等しい場合を、またプラス側は出口管下端の方が低い場合を、マイナス側は高い場合を示す。使用されたサイクロンは、出口管のそう入深さを変えられる BF 7 であるが、 $h = 0$ 付近で最大の捕集効率を示し、マイナス側、すなわちそれより出口管下端面が高くなると、捕集効率は急に低下するが、 $h = -22\text{mm}$ 、すなわち出口管をサイクロンへまったくそう入しないときでも、87%以上の高い捕集効率を示している。 $h = 0$ 付近で $u_i = 16.0\text{m/sec}$ の時、非常に高い捕集効率を示しているのは、微小時間の供給量、すなわち供給速度のバラツキ方が原因となつて、分散の状態に差が生じていたのかも知れないが、その原因について明らかにできなかった。

粉じんが細くなると、気流中で粒子の分散が充分に行なわれず、凝集した二次粒子となっていることが考えられるので、その原因のひとつである空気湿度の影響によって、捕集効率が変わるかどうかを調べてみた。その結果が Fig. 11 で、 h を変えて湿度の影響を調べたところ、どちらの h のときでも、高湿度の方が高い捕集効率を示していて、その影響があることは明らかであった。したがって、Fig. 6 の粒度分布は単なる試料の目安にしかっていないし、また小さな捕集効率の差ではその良し悪しを判定できないと思われる。さらに、もし空気湿度の差の少ないデータを比較したとしても、その粒子がおかれたふん囲気や条件によっても、分散のしかたは異なるものと思われ、凝集・分散の問題は今後の研究を待たねばならない。

5. 結 論

絞り併用液圧バルジ加工法により、金属管からサイクロン本体を成形し、出入口を取り付けて切線流入式サイクロンを試作し、板金加工法によるサイクロンと比較してみたところ、以下のような知見を得た。

(1) 絞り併用液圧バルジ加工法を用いると、金属管からサイクロンを成形できることがわかった。したがって、このような方法によると、品質の良いサイクロンを量産できることが期待できる。

(2) 絞り併用液圧バルジ加工法によるサイクロンは、板金加工によるものと同様、良い性能が期待できる。

本研究では、板金加工の場合の板の継ぎ目や角ばった形状、あるいは加工精度が、性能上どのように影響するかを明確にはできなかった。しかし、出入口管の取付け方などに特に留意して製作されたサイクロン BF 7 が、良い性能を示したことは、これまで問題にされなかったサイクロンの性能に重要な影響をもつ要因を含むものと考えられるので、今後の課題としたい。

本研究の粉じん試料の作製にあたり、多忙中にもかかわらず、大変お世話をいただいた機械技術研究所の山下憲一氏に感謝いたします。

記号

D_i : サイクロン入口管の動水半径	[m]
F : サイクロンの圧力損失係数	[-]
G : 粉じんの全供給量	[g]
G_1 : サイクロン捕集室に捕集された粉じん量	[g]
ΔG : サイクロンまでの輸送管中に付着した粉じん量	[g]
ΔG_1 : サイクロン内壁面に付着した粉じん量	[g]
g : 重力加速度	[m/sec ²]
h : サイクロン入口下端面と出口下端面の高さの差	[mm]

ΔP : サイクロンの圧力損失	[kg/m ² =mmAq]
Re : レイノルズ数	[-]
u_i : サイクロン入口の空気速度	[m/sec]
γ_a : 空気の比重量	[kg/m ³]
η : サイクロンの捕集効率	[%]
ν : 空気の動粘性係数	[m ² /sec]

引用文献

- 1) 上田照守：金属，42，2（1972）
- 2) 上田照守：特公昭，'49—028586
- 3) 上田照守：特許出願中
- 4) 宗像 健，他3名：化学工学，38，9（1974）
- 5) Muschelknautz. E., W. Krambrock : *Chemie-Ing-Tech.*, 42, Jahrg. 1970/Nr. 5
- 6) 井伊谷綱一：“集塵装置”，昭和38年，日刊工業新聞社

Authors' Abstract

Characteristics of a Cyclone Collector Made of Metallic Tubular Blank

by

Ryoji UTSUMI, Hiroshi YAMAMOTO, Terumori UEDA and Kou UEDA
(Government Industrial Research Institute, Nagoya)

It was tried to make a cyclone collector of which body was produced by sinking and liquid bulge forming of metallic tubular blank, and fixed inlet and outlet pipes on the body. This processing method is possible to make a cyclone collector of better working accuracy. In experiments the characteristics of the cyclone collector were compared with those of a cyclone collector by thin plate working. As a result, it was known that a cyclone collector by sinking and liquid bulge forming could have as good collection efficiency as a cyclone collector by thin plate working and have much the same pressure loss.

List of Figures and Table

Fig. 1 Schematic diagram of sinking and liquid bulge forming	air velocity of cyclone collector
Fig. 2 Forming process of main body of cyclone collector	Fig. 8 Relation between pressure loss coefficient of cyclone collector and Reynolds number
Fig. 3 Outside views of experimented cyclone collectors	Fig. 9 Relation between collection efficiency and inlet air velocity of cyclone collector
Fig. 4 Shapes and sizes of cyclone collectors	Fig.10 Effect of outlet pipe hight position on collection efficiency of cyclone collector
Fig. 5 Experimental apparatus of cyclone collector	Fig.11 Effect of air humidity on collection efficiency of cyclone collector
Fig. 6 Size distributions of dust materials	Table 1 Features of experimented cyclone collectors
Fig. 7 Relation between pressure loss and inlet	