研 究 報 文

液体サイクロンに関する基礎的研究（第2報） サイクロン内流体のリテンションとショートパス

(株)日本紙パルプ研究所 大竹 利則*, 岡川 章夫

A Fundamental Study of Hydrocyclones Part 2. Measurement of Retention Time and Short Pass

Toshinori Ohtake and Akio Okagawa

Japan Pulp & Paper Research Institute, Inc.

It has been pointed out that one of important factors to increase separation efficiency of vessel elements in pulp by hydrocyclone is to reduce the amount of short pass flow around the vortex finder at the top of hydrocyclone. Measurement of retention time of fluid and the amount of short pass flow has been carried out using techniques of electrolyte tracer method and flow visualization.

With an increase in length of vortex finder the amount of short pass flow decreased to some extent. But if it is too long, it disturbs internal flow pattern. The optimum length of vortex finder is 50 mm for the hydrocyclone used in this experiment, and the amount of short pass flow for this case is about 5% of feed flow. Virtually no effect was observed with the change in under flow tube diameter. Vortex finder of bell bottom shape "SKIRT" did not reduce the amount of short pass flow.

Keywords : Hydrocyclone, Retention time, Short pass flow. Electrolyte tracer method, Vessel elements, Separation.

1. 緒 言

著者らは南洋材ベッセルピクトラブル防止対策の研究において、液体サイクロンによる道管の濃縮分離が有効であることを報告した¹⁾²⁾³⁾。さらに、この液体サイクロンの道管濃縮分離効率を高めることを目的として、サイクロンに関する基礎的研究を進め、流れの可視化法によるサイクロン内流動観察⁴⁾から、効率の高いサイクロンを開発するための重要な要素の1つとして、「サイクロン上部の溢流管 (Vortex finder) 付近のショートパスを減少させること」を指摘した。しかし、流動観察によるショートパスの存在は確認できたものの、その量がどの程度であるかは明確になってない。

本研究では、電解質トレーサ法によりサイクロン内

流体のリテンション（滞留時間分布）を測定し、その結果からショートパスの量を求めた。さらに、ショートパスを防止する対策についても若干の検討を加えた。

2. 実 験

2.1 リテンション測定システム

図1に実験に用いた電解質トレーサ法によるリテンション測定システムを示す。

サイクロンのフィード管からトレーサとして一定量の電解質溶液を打ち込み、オーバーフロー管およびアンダーフロー管から流出する液体中の電解質の濃度を検出した。ここでは電解質として塩化カリウム (KCl) を用いた。

検出部は白金電極（センサ）と簡単な回路からなっており、電解質の濃度変化を電圧変化として取出し、25 msec 間隔でこれをデジタル化し、デジタルメモリ

* 現在、王子製紙商品研究所

Fig. 1 Retention measurement system in a hydrocyclone by electrolyte tracer method.

(オートニクス オートデジタイザ S 210) 中に記憶させた。ただし、トレーサの打ち込みと同時にトリガースイッチを入れることにより、データのメモリへの書き込みを開始させた。

さらに、記憶データをオートデジタイザから GP-IB インターフェイスを介して、コンピュータ (NEC PC-8801) に転送し、計算結果を CRT に表示するとともにフロッピーディスクに保存した。

2.2 測定条件

実験には前報⁴⁾のサイクロン内流動観察と同じアクリル製サイクロンを用いた。また、流体として脱イオン水 (伝導度 $0.2 \mu\text{mho/cm}$ 以下) を用い、リテンションとショートパス量を測定した。以下にその測定条件を示す。

トレーサ (KCl) 濃度	227 g/l
トレーサ打ち込み量	1.0 ml
フィード流量	13.5 l/min
フィード流速	1.7 m/sec
フィード管径 (Di)	13 mm
溢流管径 (De)	13 mm
溢流管長さ (He)	0, 25, 50, 75 mm
下降流排出管径 (Du)	0, 5, 7.5, 10 mm

2.3 検量線

濃度既知の KCl 溶液を測定時と同一条件で流し、オーバーフロー管およびアンダーフロー管に取り付けたセンサ (白金電極) の検量線を作成した。一例としてオーバーフロー管に取り付けたセンサーの検量線を図 2 に示す。デジタルデータと KCl 濃度との関係は、測定時の検出濃度範囲内では二次式で近似できる。

2.4 流れの可視化

前報⁴⁾で述べた墨汁をトレーサとする流れの可視化法により、ショートパスの状態を観察し、観察結果をビデオテープに収録した。

Fig. 2 A working curve of the platinum electrode in overflow pipe.

3. 結果および考察

3.1 リテンション測定データ

図 3, 4 に下降流排出管径 (Du) 7.5 mm, 溢流管長さ (He) 50 mm, 流量比 (フィード流量に対するアンダーフロー流量の比) 0.3 の場合の測定データを示す。横軸はトレーサを打ち込んでからの経過時間であり、縦軸は図 3 では検量線から求めた KCl の濃度、図 4 では KCl 濃度と各出口での水の流量から求めた KCl の流出量 (重量) である。

図に示すようにトレーサ打ち込み後、オーバーフロー側では二つのピークが観察された。最初に検出されたのがショートパスであり、この測定条件では 0.6 秒後にピークが立ち上がり、0.83 秒に最大検出濃度に達する。次にオーバーフローの主流が流出して来る。これは 2.23 秒に最大値があり、トレーサの一部はマントル付近に長く滞留するため、12.3 秒までそれを引いている。一方、アンダーフローは 1.8 秒に最大値を持っており、最終検出時間は 7.6 秒である。このピークにもテーリングが見られ、マントル付近に滞留したト

Fig. 3 Measuring KCl concentration in overflow and underflow effluents.

Fig. 4 Measuring KCl flow rate of overflow and underflow effluents.

レーサの一部はアンダーフロー側にも流出しているものと思われる。

なお、ここでは各出口での KCl の検出濃度が 0 になった時間を流体のリテンションタイムと定義し、それぞれオーバーフローリテンションタイム、アンダーフローリテンションタイムと呼ぶこととした。また、図 4 の斜線部で示すように、ショートパスの量は KCl 流量データのピーク面積から求めた。

3.2 リテンションタイム

図 5 に各測定条件でのオーバーフローリテンションタイムを示す。リテンションタイムが長いほど、内部流動が安定しており、分離分級効率が高いものと考えられる。この実験条件での溢流管長さ (He) の最適条件は 25~50 mm である。また、下降流排出管径 (Du) が大きいほどオーバーフローのリテンションタイムは長くなる傾向にある。Du10 mm では流量比(フィード流

Fig. 5 Effect of underflow nozzle diameter on overflow retention time. Vortex finder lengths (He) are shown in the figure.

Fig. 6 Effect of underflow nozzle diameter on underflow retention time. Vortex finder lengths (He) are shown in the figure.

量に対するアンダーフロー流量の比) はおよそ 0.5 となり、オーバーフローとアンダーフローの流量がほぼ等しくなる。これにより、内部の渦流れ (特にマントル付近の流れ) の安定性が増すものと思われる。図 6 にアンダーフローのリテンションタイムを示す。Du が大きいほどリテンションタイムは短い。これはアンダーフロー流量の増加に起因するものと思われる。しかし、He の影響は小さく、アンダーフローリテンションタイムと内部流量の安定性との関係は薄いものと考えられる。

3.3 ショートパス

図 7 にフィード流量に対するショートパスの量を示す。図から明らかなように、ショートパスは溢流管が長いほど少なくなり、Du 7.5 mm の場合、He 0 mm で 6%であったものが、He 75 mm では 3.8%に減少して

いる。また、Du のショートパス量への影響は小さく、He 50 mm の場合では下降流排出口を完全に閉じた条件 (Du 0 mm, 流量比 0) と Du 10 mm (流量比 0.5) との間でも、ショートパス量の差は 0.5% にすぎない。ただし、Du 7.5 mm でショートパス量が若干少なくなる傾向を示す (図 7)。

Kelsall⁵⁾ はショートパスの量はフィード流量に対し 15% 程度であると報告しているが、われわれの実験では図 7 から明らかなように、その約 1/3 であった。すなわち、これはフィードパルプの約 5% が分離分級作用を受けないで、アクセプト側へ排出される可能性があることを意味している。

図 8 はオーバーフロー流量中のショートパスの割合を示す。ショートパスの量は Du が大きくなるほど多くなる。これは、ショートパス流量としては大きな差

はないが、Du が大きくなるとオーバーフロー流量が減少し、オーバーフロー中に占めるショートパスの割合が大きくなるためである。したがって、オーバーフロー流量が少ない条件で処理する場合には、特にショートパスを減らすよう配慮しなければならない。

以上の結果から判断すると、ショートパス量が少なく、内部流動の安定性が高い条件は He が 50 mm で Du が 7.5 mm である。

3.4 ショートパス防止対策 (スカートの効果)

ショートパス防止対策として溢流管にベル状のスカートを取り付けることが行われている⁶⁾。パルプクリーナーにおいても、Bauer 社がベルオーバーフローノズルと称してセントリクリーナーに採用している⁷⁾。そこで、流れの可視化とリテンションタイム測定 of 2 つの手法を用いてスカートのショートパス防止効果を検討した。図 9 は実験に用いたアクリル製サイクロンにスカートを取り付けけた状態を示す。

図 10 に長さ 50 mm の溢流管にスカートを取り付けけた場合のリテンション測定データを示す (Du は 7.5 mm)。図からは一見ショートパスが無くなったかのように見えるが、ピークの左側に若干の肩があることがわかる。可視化手法を用いて観察した結果、明らかにショートパスの存在が確認でき、スカートはあまり有

Fig. 7 Effect of underflow nozzle diameter on short pass (% of feed). Vortex finder lengths (He) are shown in the figure.

Fig. 8 Effect of underflow nozzle diameter on short pass (% of overflow rate). Vortex finder lengths (He) are shown in the figure.

Fig. 9 Cross section of the hydrocyclone with "SKIRT".

Fig. 10 Effect of "SKIRT" on KCl flow rate data.

効な防止対策になっていないことがわかった。つまり、ピークの肩はスカートにより排出時間が遅れて主流のピークに重なったショートパスである。この場合のショートパスの量は確認できなかったが、肩の位置からするとスカートなしの条件と同程度と推定される。

図 11, 12 にスカートの取り付けによるオーバーフローリテンションタイムとオーバーフロー最大検出濃度への影響を示す。図から明らかなように、スカートの取り付けによりオーバーフローのリテンションタイムは 2～3 秒短くなっており (図 11)、最大検出濃度は 15% 程度低くなっている (図 12)。これはスカートにより内部流動が乱され、サイクロンの分離分級性能が低下する可能性があることを示唆している。

ショートパス防止対策としてはフィードされた流体のサイクロン中心部に向かう速度成分を小さくするこ

Fig. 11 Effect of "SKIRT" on overflow retention time. (Vortex finder length ; $\circ, \bullet$ 25 mm, $\triangle, \blacktriangle$ 50 mm, $\square, \blacksquare$ 75 mm)

Fig. 12 Effect of "SKIRT" on KCl maximum concentration of overflow effluent. (Vortex finder length ; $\circ, \bullet$ 25 mm, $\triangle, \blacktriangle$ 50 mm, $\square, \blacksquare$ 75 mm)

とが要点となるものと考えられる。

4. 結 論

電解質トレーサ法と流れの可視化手法を用いて、サイクロン内流体のリテンションとショートパス量を測定するとともにその防止対策について検討した。その結果、以下の知見を得た。

- (1) 溢流管を長くすることにより、ある程度ショートパスを削減できる。ただし、長くし過ぎた場合には、内部流動を乱すことがあり適正長さを超えるのは好ましくない。本実験での適正長さは 50 mm であり、ショートパス量はフィード流量のおよそ 5% であった。
- (2) 下降流排出管径 (Du) のショートパス量 (対フィード流量) への影響は小さく、Du 7.5 mm で若干少なくなるものの Du 0～10 mm の間では大きな差はない。ただし、オーバーフロー流量が少ない条件では、オーバーフロー流量に対するショートパスの比率が大きくなるので、特に防止対策を考慮しなければならない。
- (3) ショートパス防止対策として、溢流管にベル状のスカートを取り付けるのはあまり有効な手段ではない。

本研究の一部は第 52 回紙パルプ研究発表会 (昭和 60 年 6 月) で報告した。

引 用 文 献

- 1) 大澤純二, 大竹利則, 小松幸正, 米田 豊:
紙パ技協誌 36(10) 975 (1982)
 - 2) 大澤純二, 若井 誠, 小松幸正, 米田 豊, 長沢
武夫: 木材学会誌 30(9) 742 (1984)
 - 3) 向吉俊一郎, 大竹利則, 大澤純二: 紙パ技協誌
40(11) 1049 (1986)
 - 4) 大竹利則, 白田誠人, 門屋 卓: 紙パ技協誌
41(2) 168 (1987)
 - 5) Kelsall, D. F. : Chemical Engineering Science, 2
254 (1953)
 - 6) Bradley, D. : "The Hydrocyclone" , Pergamon
Press Ltd., Oxford, p 116 (1965)
 - 7) 宮永雍孝: 紙パ技術タイムス, 19(8) 37 (1976)
(受理 62.5.1)
-