高濃度パルプポンプの揚送実験*

木田和夫・北山 要**

Experimental Studies on Pumping up of High Consistency Paper Stock

Kazuo Kida and Kaname Kitayama

(Dengyosha Machine Works Ltd., Tokyo, Japan)

In this paper, a centrifugal pump which is designed especially for high consistency paper stock is studied experimentally. It shows that the paper stock of 9.5 per cent consistency (bone-dry) can be handled by this pump with more excellent results than those ever obtained by other similar pumps. Such excellent results seem to depend upon the wide passage of pump impeller and sufficient suction pressure by the large chest with an agitator. This report describes how the characteristics of the pump are influenced by the consistency of paper stock and suction pressure.

The results obtained are mainly as follows:

- (1) The efficiency and head of centrifugal pump with an open impeller increase with paper stock consistency for a limited extent, because the leakage through the running clearance between impeller blades and casing wall becomes negligible at high consistency.
- (2) In order to pump up high consistency paper stock, the suction pressure must be increased linearly with the consistency ranging from per cent to 9.5 per cent.

1 緒 言

近時紙パルプの製造工程が高濃度化される傾向にあり、これにともない高濃度パルプポンプの要求が高まっている。現在では、パルプポンプは特殊なもの¹⁾を除き渦巻ポンプが用いられており、吸込側に特別なフィーダ装置を持ったもので約8%、持たないものは6~7%まで揚送可能とされている^{2)~5)}。筆者らはフィーダ装置を有しない高濃度パルプポンプを試作し、実際の生産設備*を用いて実験した結果、最高9.5%(B. D; 以下略す)まで揚送することが出来た。また6%以上の高濃度パルプ液を取扱う渦巻ポンプにおいては、濃度によるポンプ性能の変化ならびに押込高さの選定などが重要な問題となるが、これらに関して研究公表されたものは少ない。本報告ではこれらの点についても明らかにした。

* 本実験は本州製紙株式会社のご厚意により同社富士工場で行った。

2. 実験用ポンプ

Fig. 1. Testing pump (paper stock pump)

実験用ポンプは吐出口径 125 mm, 吸込口径 200 mm, 回転数 1,720 rpm の渦巻ポンプであってその構造を第1図に示す。羽根車は開放型で羽根数は3枚、羽根出口角度は小さくとってあるが、羽根相互の重なりはない。したがって羽根車内の通路は十分広い。羽根開放端とケーシングとの隙間はパルプ繊維のつまりを考慮して1 mm とした。また羽根の反対側に放射状の裏羽根を設け軸封部へパルプが浸入することを防ぎ、あわせて軸推力をバランスさせるようにしてある。次

* 原稿受付 36. 6. 1 (当協会 36. 5. 25. 第8回研究発表会講演)

** 電業社機械製作所

に主軸は振動を考慮して両端支持を採用した。ケーシングは前後(垂直)に二つ割りとしアームでカバーを手前に移動することによって配管に関係なく簡単に回転部分を取り出し得る構造とした。なお羽根車直前(第1図B部)にプスター羽根を取りつけ得るようにしてある。

4. 実験装置および方法

実験装置の概略を第2図に示す。パルプ槽として 33 m^3 のチェスト2個を用いた。実験用ポンプはチェスト(A)からパルプ液を吸込み、チェスト(B)に吐出する。なおパルプ液をチェスト(B)から(A)へ戻すには別のポンプを用いた。

高濃度パルプポンプの性能は吸込状態が良好であるか否かによって非常に左右される。本実験では特に濃度の大きいパルプ液を揚送することを目的としているため、吸込条件をよくすることに特別の考慮をほらった。すなわちチェストは十分深いものを用い、ポンプ中心からパルプ液面まで3 m以上の押込高さをとることが出来るようにした。チェストの下部にはプロペラ

式アジテータがあり、パルプ液をよく混合攪拌出来るようになっている。実験用ポンプは円錐管によってチェストから一様にパルプ液を吸込むようにし、また吐出管はチェストの液面の下まで入れることによって、パルプ液がチェストに吐出される際に空気をまき込まないようにした。パルプ液中に含まれている空気は清水ポンプにおけると同様パルプポンプの性能をいちじるしく低下せしめることは言うまでもない。

ポンプの吐出側と吸込側には仕切弁を設け、揚流量およびポンプの吸込圧力を加減した。揚流量はチェスト内の液面が200~300 mm 変化する時間(約1分間)を測定して求めた。なお液面の位置とチェストの容量の関係はあらかじめ検定してある。圧力は隔膜式圧力計を用いて測定した。電動機は効率を検定したものを、その入力測定してポンプの軸動力を求めた。

使用したパルプは亜硫酸パルプ(SP)で原木を亜硫酸で蒸解した後塩素で漂白したものである。本実験はパルプ濃度4.75~9.5% (BD), フリーネス720~420の範囲で行った。濃度、フリーネスおよび比重は実験のつど採取した2個のサンプル(チェスト, A, Bより)

Fig.2. Testing installation

Fig. 3(a) The aspect of testing

各1個)の平均値をとった。第3図(a)は実験用ポンプの据付状態、(b)はパルプ液の吐出状況である。

Fig. 3(b) Discharging of paper stock (pulp)

(consistency: $C=8.5\%$)

4. 実験結果及び考察

まず清水を用いたときのポンプ性能を第4図に示す(H_0 : 全揚程, Q_0 : 揚液量, η_0 : ポンプ効率)。

図には羽根開放端とケーシングとの隙間 $\varepsilon=1.0$ mm (正規寸法) のもののほか比較のため $\varepsilon=0.3$ mm とし

Fig. 4. Characteristic curves for water
(The effects of clearance: ε)

た場合の性能も示した。図から明らかなように $\varepsilon=1.0$ mm の場合は $\varepsilon=0.3$ mm のものにくらべて性能がいちじるしく低い。これは $\varepsilon=1.0$ mm のときはこの隙間を通して多量の水が羽根車の吸込側にもれるためである。したがって清水用ポンプとしては $\varepsilon=1.0$ mm は過大であるが、パルプポンプではこの隙間の広い方が繊維やノットが入り込んでスチックすることがないため安定した運転が可能であり、しかも後述するようにポンプ性能もパルプ液の方がよくなることから本実験は $\varepsilon=$

1.0 mm のものについて行った。

(1) 濃度によるポンプ性能の変化

パルプ濃度 C を 4.75% から 9.5% まで変えてポンプ性能を測定した結果を第5図に示した (H : 全揚程, Q : 揚液量, η : ポンプ効率)。このときチェスト(A)内の押込高さは 2~3 m である。図中点線で清水を用いたときの性能 (第4図 $\varepsilon=1.0$ mm のもの) も示し比較してある。濃度が約 8% までは吐出流れは一樣であって順調な運転を行うことが出来た。しかしそれ以上の

Fig. 5 Characteristic curves for various pulp consistency. (C: pulp consistency, f: freeeness)

濃度では押込高さが不足するため長く運転すると流れが断続的となり不安定になった。なお第5図で濃度に対してパルプのフリーネス f が一定していないが、フリーネスは大幅に変化しないかぎりほとんどポンプ性能に影響しないといわれており⁶⁾ 筆者も実験的にその影響の少ないことを確かめている。したがってフリーネスが一定していないことによる影響は極めて少ないものと思われる。

濃度 C が増大するほど揚液量 Q 、揚程 H 、効率 η とも低減するというのが普通の考え方である。^{4) 5)}。しかるに第5図の結果によれば濃度約6%まではそれらはむしろ増大しており、 $\varepsilon=0.3\text{mm}$ の清水における性能(第4図)とはほぼ同一となる。これは濃度が増大するとパルプ液の流動性が悪くなり、ポンプ内の損失を増加せしめるが、一方隙間を通るもれが減少することによる影響が大きく性能が向上するものと思われる。しかしながら濃度^{7) 8)} がそれ以上になると前者の影響が増大し性能は低下する。

このことを明らかにするために、濃度 C を横軸にとり、縦軸には各濃度における最高効率 $\eta_{\max}$ ならびにその点の揚液量 $Q_{\eta\max}$ 、揚程 $H_{\eta\max}$ の清水でのそれらの値 ($\eta_{0\max}$, $Q_{0\eta\max}$, $H_{0\eta\max}$) に対する比, $\eta_{\max}/\eta_{0\max}$, $Q_{\eta\max}/Q_{0\eta\max}$, $H_{\eta\max}/H_{0\eta\max}$ をとって、濃度により性能がどのように変るかを示したのが第6

Fig. 6 The effects of pulp consistency on head, capacity and efficiency. (①~③: correspond to those shown in Handbook of hydraulic machine²⁾)

図である。なお図には従来知られている低減曲線⁵⁾ (揚液量と揚程の低減曲線; ①~③)も同時に示し本実験の結果と比較してある。第6図で明らかなように、従来ポンプ性能は濃度の増大とともに単調に低下すると考えられていたが、本実験のように開放型羽根車を用い隙間 ε を比較的大きくとると、これと傾向が異なり、濃度の増大によって性能は一たん向上する。すなわち濃度が6%近くでは $\eta_{\max}/\eta_{0\max}$, $Q_{\eta\max}/Q_{0\eta\max}$, $H_{\eta\max}/H_{0\eta\max}$ とも1.0をかなり上廻っている。濃度がさらに増大して8%近くになると $\eta_{\max}/\eta_{0\max}$ はほぼ1.0となるが $Q_{\eta\max}/Q_{0\eta\max}$ および $H_{\eta\max}/H_{0\eta\max}$ はなお1.0より大きい。もちろんこれらの値を $\varepsilon=0.3\text{mm}$ の清水性能と比較してみても従来公表された低減曲線を上廻っているので、かなりの好成績であるように思われる。また高濃度のパルプ液では隙間 ε を通るもれが無視出来る程度に減少するから ε の大小は性能上重要な問題とならない。

(2) 吸込圧力が性能におよぼす影響

高濃度のパルプ液は流動性が悪く、吸込管の摩擦損失が大きいため十分な押込高さを与えないと、ポンプ入口の吸込圧力が低下しパルプ繊維の間に含まれている空気が膨張して羽根車入口をふさぎ、流れが断続的となる。したがって高濃度のパルプ液を揚送するためには押込高さを適当にとり、吸込圧力がある値以上に保つことが重要である。本実験の場合には濃度8.5%

でチェスト内の液面高さがポンプ中心から 1.5 m のとき (押込高さ 1.5 m) ポンプ入口の圧力はほぼ 0 であった (吸込弁全開)。

ポンプの全揚程を一定に保ちつつ、押込高さを変化させるか、または吸込弁の操作によりポンプの吸込圧力を低下させてゆくと、揚液量は漸減し遂には突然揚液量が激減する。これは羽根車入口が低圧となって流れがと切れるためである。このような実験を各濃度について行った結果を第 7 図に示した (全揚程 $H=30\text{m}$ 一定)。これらの関係は清水ポンプのキャビテーション

Fig 7 Variation of capacity performance by suction pressure (C: Pulp consistency)

ンによる性能低下に似ている。濃度が比較的小さいときには吸込圧力の低下によって揚液量は徐々に減少してゆき、最後に急に減少し (曲線が垂直に立つ) 揚送不能となる。しかし濃度が大きい場合には吸込圧力の

Fig 8 Relation between pulp consistency and critical suction pressure

低下によって揚液量は漸減する傾向を示さず、ある吸込圧力になると突然揚送不能の状態となる。したがってこれらの曲線が垂直に立つ点が限界吸込圧力 h_{sc} と考えられる。第 7 図から濃度を横軸にとり吸込圧力を縦軸にとって両者の関係を求めると第 8 図のようになる。本図より限界吸込圧力はほぼ濃度に比例して増加するが、相当高濃度のものまで吸上揚程であっても、十分揚送可能であることがわかる。なお図には揚液量がその濃度での正常揚液量の 90 % に減少する吸込圧力も記入してある。限界吸込圧力と揚液量が 90 % に減る吸込圧力はパルプ濃度の大きいところで一致する傾向にあるが、これは第 7 図で説明したように濃度が大きいと揚液量が漸減する傾向を示さないで急に揚送不能になるからである。

しかしながらこれらの関係はもちろんパルプ液中の空気保有量に左右されるものであるため、空気を保ち易い条件のもとではポンプに入る前に空気を取除く方法を講じなければならない。このようなことから実際の設備では、吸込圧力にいくらか余裕をとるのが安全であろう。

(3) アジテーターの影響

すでに述べたようにパルプポンプの性能は吸込状態の良否に左右されるところが大きい。本実験ではチェスト内を攪拌し濃度を均一にするためにアジテータ (プロペラ型 3 枚羽根) を用いているので、これがポンプへの流入状態を良くし、したがってポンプ性能を高める原因の一つと考えられる。そこでアジテータがどの程度ポンプ性能に影響するかを知るため、アジテータを停止したままポンプを運転し、その結果をアジテータが回転しているときの結果と比較した。第 9 図

Fig 9 The effect of agitator (propeller type)

は各濃度にわたり、全揚程 $H=30\text{m}$ のもとで、アジテータが回転しているときと停止しているときの各々の場合につき、揚液量と効率を求めたものである。この

結果よりアジテータを停止すれば約4%効率が低下することが明らかである。また運転状態も不安定になり易い。次にアジテータが吸込性能におよぼす影響を明らかにするため、アジテータが停止している状態についても前記(2)項と同様な実験を行い、その場合の濃度による限界吸込圧力の変化状態を第8図に併記してある。第8図からアジテータを停止した場合には限界吸込圧力は濃度6%付近で約1m増大するが、濃度がさらに大きくなるとアジテータが回転している場合との差は少なくなる傾向を示すことがわかる。

(4) ブスター羽根について

パルプ液の濃度が増大すると羽根車の吸込作用がわるくなるのでこれを助けるために、羽根車の前方に同軸のブスター羽根を設けたものがときに用いられるようである^{2) 3)}。ブスターを取付けた場合の性能変化について検討するため、筆者らは通常用いられているようなスクリー型ならびにプロペラ型の2種のブスタ

結果であった。本図によればどのブスターを用いた場合にもポンプ性能はかなりの低下を示しており、運転状態も不安定になり易い傾向があった。したがってこれらのブスターはむしろ吸込側の流れの障害になったものと考えられる。もちろん回転数やブスターの位置などの影響もあるであろうからこの実験結果のみでブスターの有効性を論ずることは危険であるが、通常採用されているような形式のブスターを用いることはさらに検討を要する問題のように思われる。そして現場において十分な吸込圧力あるいは押込高さをとることが出来る場合にはブスターがなくても十分良い性能が得られることはすでに述べた通りである。

5. 結 論

吸込側にフィーダ装置を持たない渦巻ポンプを用いて紙パルプ(SP)を揚送する実験を行い、濃度9.5%(BD)まで揚送可能であり、8%までは一様な吐出流れが得られることを確かめた。このような高濃度のパルプ液を揚送出来た理由として

- (1) 羽根車の水路幅が十分広くなるように羽根の形状を定めたこと。
- (2) ポンプの吸込側に十分な吸込圧力(押込高さ)を与え、且つアジテータを用いてポンプへの流入状態を良好にするとともに空気を含み難い方法を講じたこと。

があげられる。

次にポンプの性能がパルプ濃度、吸込圧力、チェスト内のアジテータならびにポンプ羽根車前方のブスター羽根の有無によりどのように変るかを示した。これらのうち主な結果として次の各項をあげることが出来る。

- (1) 羽根車が開放型である場合はパルプ濃度が増大すると、ある濃度まではポンプ性能がむしろ向上する。これは羽根開放端とケーシングとの隙間を通るものが減少するためである。しかしながらそれ以上の濃度ではポンプ内の損失が増加するためポンプ性能は低下する。
- (2) 濃度が4.75~9.5%の範囲では、ポンプの吸込圧力をほぼ濃度に比例して増大しなければならない。
- (3) チェスト内にアジテータを設けることによってポンプ性能を向上することが出来る。

おわりに、本実験を行うにあたり終始ご指導とご鞭撻を賜った本州製紙株式会社市川常務取締役、当時の原施設部長(同社富士工場)をはじめ土屋、山本の各氏に深く感謝の意を表す。(754頁へつづく)

Fig. 10 The effect of booster
(C Pulp consistency, f, free water)

ーを取付けて実験した。第10図は濃度約6%において行ったブスター付きの実験結果をブスターのない場合と比較したものである。他の濃度についても同様な

取のコストは償却費も高く、大体52～53磅（1kg当り52～53円）見当である。しかし国内販売価格はkg当り77円であるから利潤は充分ある。ただ外貨の乏しい国だけに輸出となるとコストを割っても出す。品質が良いだけに脅威である。

帰途、私はバンコックに寄り、此处でこの広葉樹87～88%の新聞用紙が日本商社を困らせている現場に遭った。泰国の一手輸入業者である「泰国紙業」では、日本に対してパキスタン物が CIF バンコックで52磅だから、日本物は51磅にせよと言う。日本側はパキス

タン物とは品質の面でも比較にならぬと断ったが、逆に先方ではパキスタンの方が良質だと言って譲らないので東京の本社に相談中とのことだった。東京に帰ってから Khulna 工場の新聞用紙をメーカーや商社の専門家にお見せしたら、日本の一流品に較べて遜色ないと皆一様に驚いておられた。私は今更しながら世間は広いと感じると共に、米国あたりが広葉樹パルプを本格的に利用しはじめたら（すでにその徴候は顕著であるが）、日本の製紙、パルプ業界は、はたして如何なる方法で死活の道を開くべきやと不安に駆られた。

故 紙 類 の 統 計

(752 頁より)

故 総 協 会 員 の 消 費 規 模 別 企 業 数

規模別 年 月		7 千 t 以 上	6 千 t 以 上	5 千 t 以 上	4 千 t 以 上	3 千 t 以 上	2 千 t 以 上	1 千 t 以 上	1 千 t 以 下	合 計	備考 (1 千 t 以下内訳)	
											500 t 以上	500 t 以下
33年	3 月					2	3	9	58	72	9	49
	6 月						3	11	59	73	15	44
	9 月					2	4	10	60	76	11	49
	12 月					4	6	9	57	76	19	38
34年	3 月					4	4	9	60	77	17	43
	6 月				2	2	4	9	60	77	19	41
	9 月				2	2	4	9	60	77	19	41
	12 月			1	2	4	4	9	59	79	19	40
35年	3 月			1	2	2	8	9	57	79	17	40
	6 月				4	2	5	11	60	82	22	38
	9 月			1	4	1	3	12	62	83	21	41
	12 月	1	1	1	3	2	5	12	60	84	20	40
36年	3 月			2	2	6	3	12	58	84	18	40
	6 月			4	2	3	5	15	56	85	18	38
	9 月											
	12 月											

高 濃 度 パ ル プ ポ ン プ

(738 頁より)

文 献

- 1) 例えば、酒井：紙パ技協誌 Vol. 13, No. 98
- 2) 梶原：日本機械学会，第 93 回講習会教材
- 3) 佐々木：日本機械学会第 125 回講習会教材
- 4) Tyler G. Hicks; Pump Selection and Application

- 5) 水力機械工学便覧；コロナ社，p. 705
- 6) 福田；エハラ時報 Vol. 2, No. 3
- 7) 西川ほか；日本機械学会東京秋期講演大会前刷（昭 34～10）
- 8) A. J. Stepanoff; Centrifugal and Axial Flow Pumps p. 313