製紙用パルプ液の流動特性に関する研究*

板谷 松樹** 竹中 利夫*** 三条 貞男****
 松岡 義直***** 梶原 滋美***** 川口 利朗*****

A Study of Flow Properties of Paper Stock Suspension

by Shōju ITAYA, Toshio TAKENAKA, Sadao SANJŌ, Yoshinao MATSUOKA,
 Shigemi KAJIWARA and Toshirō KAWAGUCHI

The authors examined the effects of plug stoppage of high consistency pulp suspensions by the flow tests of nozzles using groundwood pulp suspensions which have comparatively stable flow properties, and observed that the suspensions of consistency more than 6% indicate flow patterns of brittle solid.

Moreover, we measured the pipe friction losses up to high consistency of about 6%, using brass pipes with diameters 23.3, 36.6 and 48.8 mm, and galvanized gas pipes with diameters 1", 1 $\frac{1}{2}$ " and 2".

As the results of plotting the pipe friction coefficients vs. a new dimensionless number : $N = 8 \frac{\rho v^2}{\tau_w}$ (N is flow number, ρ : density, v : mean velocity in pipe and τ_w : shear stress at pipe wall) which corresponds to Reynolds number in the case of water, the experimental values coincided well on the line of $\lambda = 64/N$ (λ being the coefficients of pipe friction losses).

At last, the authors gave the calculation formulas of pipe friction losses which are more accurate than previous ones.

1. 緒 言

パルプ液の流動特性を知ること、紙パルプ製造工程上必須のことであるにもかかわらず、従来あまり実験結果が発表されておらず、特に高濃度パルプ液に関する実験結果は非常に少い⁽¹⁾ように思われる。本論文は流動特性の比較的単純な碎木パルプ*を用いて、まず種々の角度の先き絞まりノズルについて12%までのパルプ液のせんへい作用につき調べ、次に管径、管壁のあらさ、流速をかえて、約6%付近までのパルプ液の管摩擦損失を測定し、新しい見地より導いた無次元数を用いて管摩擦損失の実験値を検討し、従来より簡単にパルプ液の管摩擦損失を計算する方法を得た結果について述べたものである。

2. 実験装置および実験方法

(1) ノズルの流出試験 高濃度パルプ液はせんへい(栓塞)作用(管路の曲り角、径違いなどでつまり、圧力を上げれば上げるほどつまる性質)が大きいので、これを調べるため、第1図に示すとき装置を用いて、狭まり角度 α およびノズルの口径 d を種々変化し、濃度0~12%のパルプ液を流出せしめ、その時の圧力および流量を測定した。測定に用いたノズルの寸法を第1表に示す。

第1図 パルプ液のノズル流出試験装置

* 本パルプは松材使用、顕微鏡所見では、単繊維の長さ約0.7mm、太さ30 μ 程度のものである。

* 昭和32年4月4日第34期通常総会講演会において講演、原稿受付昭和32年7月22日。

、* 正員、東京工業大学。

**** 正員、帝国人絹会社(講演当時東京工業大学)。

***** 正員、高崎製紙会社。

***** 正員、荏原製作所。

***** 正員、本州製紙会社。

*

第 1 表 ノズルの寸法

ノズル番号	狭まり角度(α°)	口径比 (d/D)
1	40	1/8
2	〃	2/8
3	〃	3/8
4	〃	3 ⁵ / ₈
5	〃	4/8
6	20	2/8
7	36	〃
8	60	〃
9	80	〃
10	120	〃

(2) 管摩擦損失 測定用管は第 2 表に示すごとき内径 23・5, 36・6, 48・8 mm の黄銅管および 1'', 1¹/₂', 2'' の亜鉛めっきガスを管を使用し, 濃度は重量パーセントで 0 より約 6% 近辺まで, (ガス管に対しては 4% 付近まで) 温度一定のもとに実験を行った. 実験装

第 2 表 測定用管の寸法

管の種類	内 径 D mm ϕ	L_1 cm	L_1/D	L_2 cm	L_3 cm
黄銅管	23・3	35	15	150	20
	36・6	73	20	〃	〃
	48・8	92・5	19	〃	〃
ガス管	(1'') 27・6	89・5	32・5	150	48
	(1 ¹ / ₂ ') 41・6	100	24	〃	〃
	(2'') 52・9	100	19	〃	〃

置の概略図を第 2 図に示す. 液の濃度を变化するごとにパルプ液をよく循環, かくはんし, フリーネス (汚水度) の変化がなくなった後⁽²⁾ 測定を行った. 本実験においてはフリーネスは約 130 S.R. であった. 圧力測定箇所の距離は 1・5 m とし, 圧力取出し穴の詳細は

第 2 図 管摩擦損失測定装置

第 3 図に示すように管とマンメータ間に容器を設け, ダイアフラム (弾性のないビニールの薄膜) によって両室に分け, 一室には管からのパルプ液圧を導き, 他室には水を入れてマンメータにつなぐ. このようにす

* 文献 (2) によれば, 数時間の連続運転後は, フリーネスは一定となり管摩擦損失も一定となる.

ると, ダイアフラムの変位による第 2 室の容積変化は

第 3 図 圧力取出し口

第 1 室のパルプ液圧の変化に比例するから, パルプ液の圧力がマンメータで測定出来る. マンメータには水および水銀を用い, 圧力導管には内径 5 mm の銅管を, マンメータ用ガラス管には内径 3 mm のものをそれぞれ使用し, 圧力変化に対するダイアフラムの移動を極力小さくした. 流量測定は重量法によった.

3. 実験結果

(1) ノズルの流出試験 パルプ液の濃度を变化してノズルより流出させたとき, パルプ液の流出係数と水の流出係数との比を縦軸に, 濃度を横軸にとって示すと第 4 図のごとくなり, これよりパルプ液の流出状態は濃度により, 次の三様に分類されることがわかる.

第 4 図 濃度-流出係数

(i) 0~2・5%まで 水のごとき低粘性流体に類似している.

(ii) 2・5~6%まで 可塑性流体的な性状を示す.

(iii) 6% 以上 固体的に押し出される.

次に流出量を一定に保ったとき, 口径比と吐出し圧の関係は第 5 図に示すごとく, 吐出し圧は各濃度とも口径比の増大につれ直線的に減少する.

(2) 管摩擦損失 黄銅管およびガス管について濃度をパラメータとして管長 1 m 当りの管摩擦損失 $4H$ cm と管内の平均流速 v m/s の関係を示すと第 6 図および第 7 図のごとくなる.

図より, パルプ液の流動状態は濃度により, ほぼ 3

第5図 d/D - ΔH cm 水柱

第6図 黄銅管の管摩擦損失と流速の関係

種類に分かれることが想像される。すなわちまず濃度 1~2% の範囲では、流速が小さい場合管摩擦損失 ΔH は、流速が増してもほぼ一定値となり、かつ水の場合より大きい。流速がある値以上となると ΔH は流速とともに増大する。しかしその値は水の場合より少

第7図 ガス管の管摩擦損失と流速の関係

い。次に濃度 2.5~4.5% までではごく低速の範囲を除けば ΔH は流速が増してもほとんど一定となり、可塑性流体的(降伏点を有する流体)な様相を示すように見える。次に 5.8% においては流速とともに ΔH も増し、管端からの流出状態も固体的なすべり移動のように見える。

次に黄銅管とガス管の管壁のあらさの影響を知るため、水の場合の管摩擦係数 λ を実測した結果、黄銅管の場合は $\lambda = 0.018 \sim 0.023$ 、ガス管の場合 $\lambda = 0.03 \sim 0.045$ となった。この管壁のあらさの違いがパルプ液の場合第 6, 7 図に現われている。

次に管壁のせん断応力

$$\tau_w = 4p \cdot R / 2L \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (1)$$

(ここに $4p$: 管長 L cm 間の管摩擦損失 kg/cm^2
 R : 管半径 cm) と流速 v m/s との関係点を点記すると第 8 図および第 9 図のごとくなり、管径にほとんど無関係で、高濃度 (5.8%) を除いては各濃度とも管壁の粗度によってほぼ一定の傾斜の直線となる。これらの直線は一般に

$$\tau_w = A \cdot v^\alpha \quad (2)$$

で示される。指数 α は実験の範囲内では、4.2% 以下では管壁の粗度によって主として決定されるが、4.2% を越えたある濃度以上では、濃度と粗度との双方に影響されるものと推定しうる。また係数 A も第 10 図に示すようにパルプの状態(濃度・含水度・繊維長等)による関数であると同時に、粗度によっても影響されることがわかる。

第 8, 9 図より

黄銅管の場合

$$2.1 \sim 4.2\%$$

* 本実験においては、これらは一定。

第 8 図 v m/s- τ_w kg/cm² (黄銅管) 第 9 図 v m/s- τ_w kg/cm² (ガス管)

$$\tau_w = 0.46 \times c^{2.8} \times v^{0.2} \times 10^{-5} \text{ kg/cm}^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\tau_w = 0.46 \times c^{2.8} \times v^{0.3} \times 10^{-5} \text{ kg/cm}^2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

ガス管の場合

1.75~3.7%

$$\tau_w = 0.365 \times c^{3.5} \times v^{0.12} \times 10^{-5} \text{ kg/cm}^2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

が得られる。ただし c はパルプ濃度である。

第 10 図 A - c

4. 実験値の一検討法

ニュートン流体の場合、管摩擦係数 λ は層流において $\lambda = 64/Re$ で示されるので、非ニュートン流体の場合である今回の実験においてレイノルズ数に相当するある無次元数 N を考え、これを flow number N として用いた。

N を次のように決める。

$$N = \text{定数} \times \text{慣性力} / \text{粘性力}$$

$$= \text{定数} \times \text{単位体積当りの慣性力} / \text{せん断応力}$$

$$= K \times \rho u^2 / \tau \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここに ρ : 密度 kg-s²/m⁴, u : 流速 m/s, τ : せん断応力 kg/m² であるが、この u に管内平均流速 v m/s, τ に管壁のせん断応力 τ_w kg/m² を用いれば (6) 式は

$$N = K \times \rho v^2 / \tau_w \quad \dots\dots\dots (7)$$

となる。

管摩擦係数 λ は (8) 式で示され、また τ_w は (1) 式を変形して (9) 式のごとく表わされる。

$$\lambda = \frac{4H \cdot D}{L} \cdot \frac{2g}{v^2} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\tau_w = (\Delta H \cdot D) / (4L \cdot \gamma) \quad \dots\dots\dots (9)$$

ここに L : 管長 m, D : 管径 m, g : 重力の加速度 m/s², γ : 液の単位体積重量 kg/m³ である。

(7), (8), (9) 式より τ_w を消去して λ と N との関係を求めると

$$\lambda = 8 K / N \quad \dots\dots\dots (10)$$

が得られる。無次元数 N の定数 K をニュートン流体における式 $\lambda = 64/Re$ に対応させ、 N がニュートン流体における Re 数と同等になるようにえらぶと、当然 $K=8$ になる。ゆえに

$$N = 8 \times \frac{\rho v^2}{\tau_w} \dots\dots\dots (11)$$

が得られる。したがって、この無次元数 N を用いて管摩擦損失を整理することができるはずである。

5. 実験結果の整理

実験結果より明らかなごとく、管壁のせん断応力 τ_w 、管内平均流速 v および濃度 c の間には乱流的流動を示す部分を除くと(2)式で示されるから、 N の値は

$$N = (8 \times \rho v^2) / (A \cdot v^\alpha) \dots\dots\dots (12)$$

となる。

実験値より A および α は

黄銅管の場合

$$A = 0.46 \times c^{2.8}$$

$$\alpha = 0.2 \quad (2.1 \sim 4.2\%)$$

$$\alpha = 0.3 \quad (5.8\%)$$

ガス管の場合

$$A = 0.365 \times c^{3.5}$$

$$\alpha = 0.12$$

.....(13)

である。

(12), (13)式を用いて計算した N と、実験値より(8)式を用いて求めた λ との関係を点記すると第 11 図および第 12 図のごとくなり、乱流的流動を示す部分 ($N > 2000$) を除いて当然のこととは言いながら $\lambda = 64/N$ の直線上によくのることがわかる。

文献⁽⁸⁾によると、同種類のパルプでも処理条件等によって管摩擦損失そのものの絶対値は変化するが、その傾向は類似している。したがって実用上は、使用すべきパルプおよび管の材質ごとに A および α の値を求めておく必要があり、その一般化は今後の課題である。

6. 管摩擦損失の計算法

筆者らの得た実験結果を用いて管摩擦損失を計算する方法について述べる。管摩擦損失は管壁のせん断応力の実験値 (3), (4) および (5) 式を用いて (1) 式よりそれぞれ次のごとくなる。

(黄銅管)

第 11 図 $\lambda-N$ (黄銅管)

第 12 図 $\lambda-N$ (ガス管)

$$c=2.1\sim 4.2\%$$

$$\Delta p=0.46\times c^{2.8}\times v^{0.2}\times \frac{L}{D}\cdot 10^{-5}\text{ kg/cm}^2$$

$$c=5.8\%$$

$$\Delta p=0.46\times c^{2.8}\times v^{0.3}\times \frac{L}{D}\cdot 10^{-5}\text{ kg/cm}^2$$

(ガス管)

$$c=1.75\sim 3.7\%$$

$$\Delta p=0.365\times c^{3.5}\times v^{0.12}\times \frac{L}{D}\cdot 10^{-5}\text{ kg/cm}^2$$

ここに D : 管径 cm.

したがって管長, 管径, 濃度, 速度を与えられれば直ちに管摩擦損失が計算できる.

7. 結 論

パルプ液のノズル流出試験から, 濃度約 6% の前と

後では著しい流動状態の差があることを観察した. そして濃度 6% 以下においては, 新しく導いた無次元数 N を用いれば, ニュートン流体と同様に λ の値を整理することができることを検討し, 碎木パルプ液の管摩擦損失がかなりの正確度で計算しうることを示した.

終りに本研究は文部省科学試験研究費による東京工大, 荏原製作所, 本州製紙の共同研究であることと, 実験に学生小泉高志君の手をわづらわしたことを記し深く謝意を表する.

文 献

- (1) Robert J. Richardson: *Depart. Chem. Eng. M.I.T.*
- (2) Richard E. Durst and L.C. Jenness: *TAPPI*, Vol. 38, No. 4, 193(1955).
- (3) Richard E. Durst: *Pulp & Paper Mag. of Canada*, No. 3(1956).

621.183.38:621.646.4

円 形 弁 の 研 究 第 4 報

安全弁型平面座弁の性能*

沖 巖** 川上幸作***

Experimental Research on Disc Valve

The 4th Report

by Iwao OKI and Kōsaku KAWAKAMI

The characteristics of flat-seated valves provided with guide cylinders as used in some types of safety valve are treated in this paper.

Discharging water through a valve (39 mm in diam.) under a constant head of about 2 meters, either into the air, or into the vessel filled with water, we measured the discharge and lifting force for each valve lift, thus observing the performance of the guide cylinder.

In the next place, to eliminate the effect of the cylinder edge, we kept the guide cylinder always a little higher than the valve, while the water was issued into the air. Under these conditions we measured the discharge and the lifting force as well as the angle of jet for each of the flat-seated valves of nine kinds, widely differing in diameter ratios. The relations between the quantities thus obtained were made clear by the use of the momentum equation.

1. 緒 言

本研究第 1, 2, 3 報⁽¹⁾では直立円筒型弁室内の平面座弁および円すい座弁の基礎的性能を研究したが, 本論文では高圧ボイラ用安全弁と同様な案内筒の作用ある場合と, 案内筒の作用しない空中放出の場合とを 2 m 足らずの水頭で平面座について実験的研究をし

た.

2. 実験装置および測定法

だいたいの装置(第 1 図)は既報⁽²⁾と同じであるが, このたびは上側の弁室を取り除き, その代りに第 2 図 a のごとく弁を囲む 310×400 mm の角型容器 e を設けて, 二つの流出方法で実験した. すなわち i. 空中放出, 水は直接空中に放出させ, 容器の最低部にある第 1 流出口 i から導出して計量し, ii. 水中放出, 第 1 流出口 i を閉じて容器中に満水し, 弁からの水をその

* 昭和 31 年 10 月 2 日 東京秋期講演会において講演, 原稿受付 昭和 32 年 7 月 19 日.

** 正員.

*** 正員, 早稲田大学.