

# 412 回転円筒と固定平板間の流体の圧力に関する研究

## A Study of the Pressure between a Rotating Roll and a Plate in the Liquid

○正 反町 和則 (新潟工業短期大学) 正 長谷川 富市 (新潟大学)  
正 木口 量夫 (新潟工業短期大学)

Kazunori SORIMACHI, Niigata College of Technology, 5-13-7, Kamishinei-cho, Niigata-city, Niigata  
Tomiichi HASEGAWA, Niigata University  
Kazuo KIGUCHI, Niigata College of Technology

Key Words : Viscoelastic Fluid, Non-Newtonian Fluid, Roll Coating, Lubrication

### 1. まえがき

流体で潤滑された回転ロールと平板の間に発生する圧力は、自動車におけるタイヤと路面の関係やロール・コーティング等の塗装や圧延、歯車のかみ合いなどに関連して重要である。しかし、これらの研究はわずかに行われているにすぎない。異径のロール系について、Doremus<sup>(1)</sup>らが流線と圧力分布について実験を行い、Greener<sup>(2)</sup>, Savage<sup>(3)</sup>, Sinha<sup>(4)</sup>らは、理論的な圧力分布やキャビテーションの発生の検討について報告している。また、ロール・コーティングでは、主に液分配率や液流量、液膜厚さなどの研究がなされている<sup>(5)-(8)</sup>。

本研究では、流体で潤滑された回転ロールと平板が狭いすき間を隔てて平行におかれているとき、そのすき間に発生する圧力を種々の溶液について、ロール回転速度、測定位置を変えて測定した。

### 2. 実験装置と方法

実験装置の概略を図1に示す。使用したロール(円筒)は、半径 $R = 200\text{ mm}$ 、長さ $L = 300\text{ mm}$ であり、リングコン式無段変速機を介してモーターによって回転させた。圧力測定用平板は、縦横 $150\text{ mm}$ 、厚さ $10\text{ mm}$ の真鍮板を用い、水槽(縦 $600\text{ mm}$ 、横 $350\text{ mm}$ 、深さ $150\text{ mm}$ )のほぼ中央に取り付けた。その中心部に直径 $1\text{ mm}$ の圧力測定孔を設け、これに半導体圧力変換器を取り付けて圧力測定を行った。また、この水槽は前後に $60\text{ mm}$ の移動が可能となっている。ロールの周速度 $V$ は、約 $1.0\text{ m/s} \sim 7.3\text{ m/s}$ の間の6種類で行い、これらの各速度における発生圧力を水槽を $5\text{ mm}$ ずつ水平に動かし測定を行った。すき間は、移動距離にわたって平均した値が $0.37, 0.55, 0.87\text{ mm}$ の3種類である。

測定は、まず、液体を水深 $35\text{ mm}$ となるまで水槽に供給し、モーターによってロールを回転させ、ロールと平板のすき間に発生する圧力を平板下の半導体圧力変換器で電気信号に変え、増幅器、A/Dコンバータ、パーソナル・コンピュータを用い測定する。測定位置は、ロール中心前方側 $X = -30\text{ mm}$ から $5\text{ mm}$ 間隔で、ロール中心後方側 $X = 30\text{ mm}$ までの13か所を測定した。使用した流体としては、グリセリン水溶液を重量濃度で、 $100\% \sim 30\%$ および水道水を用いた。粘弾性流体として、グリセリン水溶液にポリアクリルアミド(SEPARAN AP30)を溶かし

たものとポリエチレンオキシド(PEO)水溶液を使用した。

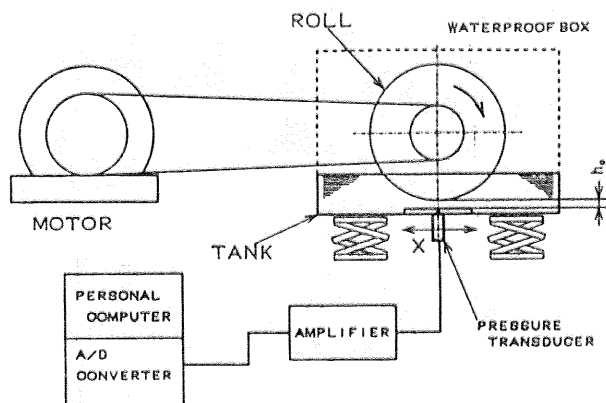


Figure 1. Experimental apparatus.

### 3. 実験結果と考察

圧力変化において、 $P_{\max}$ は測定圧力の最大値を示し、 $X_{\max}$ はその発生位置を示す。また、 $P_{\min}$ は測定圧力の最小値を示し、 $X_{\min}$ はその発生位置を示す。

ロール周速度 $V$ 、最小すき間( $h_0$ )のひずみ速度 $\dot{\gamma}$ および代表長さ $L (= \sqrt{R \cdot h_0})$ とする。測定位置 $X$ は代表長さ $L$ により無次元化し、測定圧力 $P$ については粘性力により無次元化を行った。

$$X^* = X/L, \quad P^* = P \cdot h_0^2 / (\eta \cdot V \cdot L)$$

図2は、縦軸に測定圧力 $P$ (Pa)を、横軸にロール中心から圧力測定孔までの距離 $X$ (mm)をとっている。この図は、回転速度 $N$ が $250\text{ rpm}$ におけるグリセリン水溶液の濃度による測定圧力の変化を示したものである。この図から、グリセリン水溶液の濃度が $70\%$ 以上では、 $X$ が負の値のときは圧力が正の値を示し、 $X = -15\text{ mm}$ 程度で最大値をとる。 $X$ が正の値のときは、圧力は負の値を示し、 $X = 5\text{ mm}$ で最小値となる。しかし、 $50\%$ 以下のグリセリン濃度の溶液と水道水では、圧力は全体的に負の値を示し、 $X = 0\text{ mm}$ で最大の負圧となる。そして、グリセリンの濃度が低くなるほど、発生圧力も低くなる傾向が見られる。

図3は、グリセリン80%水溶液において、回転数を変化させた場合の圧力変化を示したものである。図から、回転数の上昇とともに圧力も大きくなっていることがわかる。圧力は $X = -15$  mmで最大値を、 $X = 5$  mmで最小値を示し、回転数が増加してもその位置はほぼ一定であることがわかる。しかし、グリセリン50%水溶液と水道水の場合には、図3と違い図2に示すように発生圧力は全体的に負の値を取り、 $X = 0$  mmで最大の負圧となっており、その絶対値は回転数の増加とともに大きくなる傾向がある。

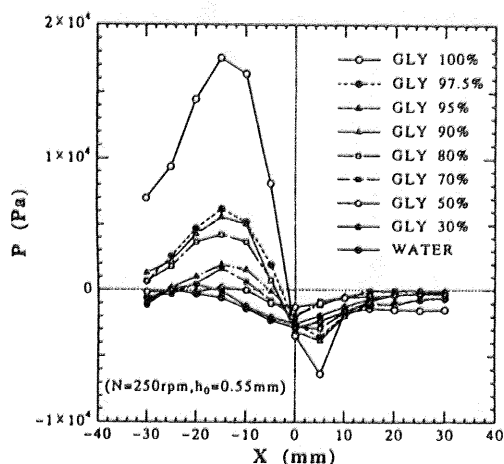


Figure 2. Pressure distribution  $P$  (Pa) for Newtonian fluid.

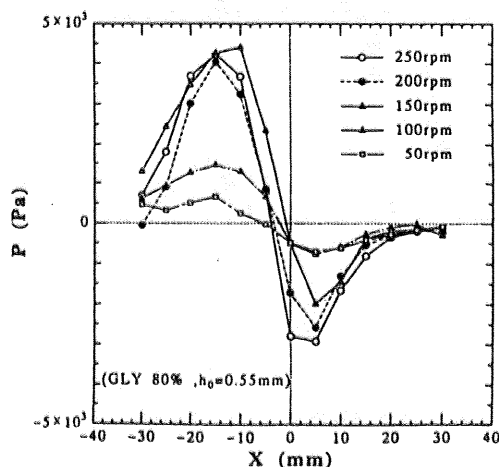


Figure 3. Pressure distribution  $P$  (Pa) for GLYCERINE-80% solution.

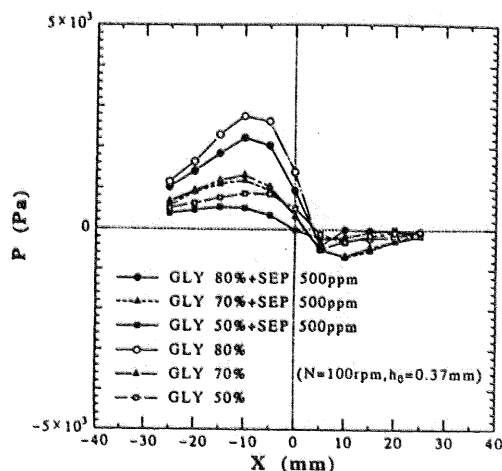


Figure 4. Pressure distribution  $P$  (Pa) for Non-Newtonian fluid.

合には、図3と違い図2に示すように発生圧力は全体的に負の値を取り、 $X = 0$  mmで最大の負圧となっており、その絶対値は回転数の増加とともに大きくなる傾向がある。

図4は、グリセリン水溶液にSEPARANを溶かした場合の圧力変化を示したものである。図から、SEPARANを加えたことによる粘度の増加の影響は、圧力の変化に現れていないことがわかる。

図5は、縦軸には粘性力によって無次元化した圧力 $P^*$ を取り、横軸には代表長さによって無次元化した位置 $X^*$ をとっている。グリセリン濃度が70%以上の $P^*$ 値は、無次元化によって整理されているが、50%以下の $P^*$ 値は、グリセリン濃度が低くなるにつれて、 $P^*$ の絶対値が大きくなる傾向が見られる。

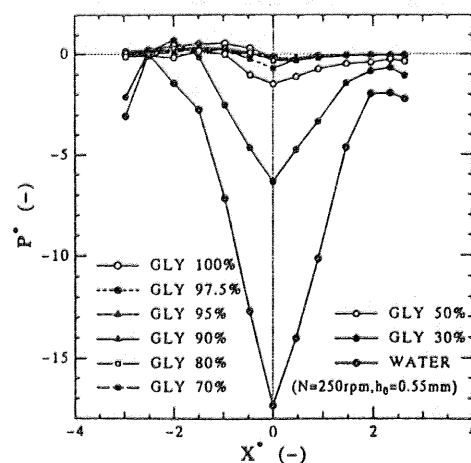


Figure 5. Non-Dimensional Pressure distribution  $P^*$ .

#### 4. 結 論

液体をはさんで回転するロールと平板のすき間に発生する圧力を、溶液の種類、ロール回転速度、測定位置を変えて測定した。その結果、次のことが明らかとなった。

(1) グリセリン水溶液の濃度、ロール回転速度が高くなると発生する圧力は、最大値、最小値の絶対値がともに大きくなる。

(2) 発生圧力は、すき間の前方では正の値を示し、すき間後方では逆に負の値を示すが、グリセリン濃度の低い場合には全体的に負の値となる。

(3) 粘性力によって無次元化した値 $P^*$ は、グリセリン濃度が低い場合を除いて整理されている。

#### 参考文献

- (1) Doremus, P. and Piau, P. M., J. Non-Newtonian Fluid Mech., 13(1983), 79
- (2) Greener, Y. and Middleman, S., Polymer Eng. and Science, 15-1(1975), 1
- (3) Savage, M. D., J. Fluid Mech., 80-4(1977), 743
- (4) Sinha, P. and Singh, C., J. Lubrication Tech, 104 (1982), 168
- (5) 反町, 長谷川, 機械学会論文集 B, 57-542(1991), 3408
- (6) 椿野, 足立, 化学工学講演要旨集, 24(1991), 26
- (7) 田中, 足立, 化学工学講演要旨集, 24(1991), 29
- (8) Hasegawa, T. and Sorimachi, K., J. AIChE, 39-6 (1993), 935