1. 緒言

液封式ポンプとは、ケーシング内の液体を羽根車に よって回転させ、その液体がピストンの役割をして羽 根車内の気体を圧縮する作用により気体の圧送や輸 送を行う装置である.このポンプは、構造上内部で気 体と液体が共存していて互いに影響を及ぼしあうた め、完全な特性傾向についてはあまり知られていない. 液封式ポンプに関する報告は古くからあるが、ポンプ 内部において作動流体である液体の流れの様相、およ びその流体と圧送される気体との界面を可視化し議 論している報告はほとんどないのが現状である.

そこで本研究では、ポンプ内部において液体の流れ の様相と気液界面を可視化して議論することは、液封 式ポンプの特性を解明するうえで意義のあることで あると考え、種々の条件を考慮し可視化実験を行い検 討した結果を報告する.⁽¹⁾⁽²⁾

2. 実験装置および実験方法

Fig.1に実験装置の概略図を示す.実験に使用した 液封式ポンプ(④)は、羽根車が一回転する間に気体の 吸い込み, 圧縮, 吐き出しを一回ずつ行う一作動形液 封式ポンプと呼ばれるもので,ポンプ側面には内部の 様相を可視化するために厚さ 30mm のアクリル樹脂板 を設けてある. 圧縮作用および潤滑作用をする作動流 体として水を使用し、これを封液と呼ぶ.ポンプの回 転数はインバータ(①)で1200rpm 一定に制御した.封 液補給量は流量を制御する流量計(⑦)で0.33×10-³,0.42×10⁻³,0.50×10⁻³(m³/s)の3段階に調節した. 吸い込み空気量は、ポンプ本体の吸い込み口から内径 60mm, 長さ 2m のパイプを配管し, 空気流量計(⑨)を 設置して測定した. また, 配管の中央部に吸い込み空 気量,吸い込み圧力を任意に変えられるようにバルブ (⑧)を設置した. 駆動モータ(②)と液封式ポンプの間 には軸動力を測定するためにトルクメータ(③)を設 置した.

Fig.2に液封式ポンプの断面図を示す.羽根車は左 方向に湾曲した厚さ7mmの羽根18枚で構成されてお り,羽根車外半径142mm,羽根車内半径62mm,羽根車 幅122mmである.液封式ポンプは,羽根車が矢印方向 に回転するとポンプ内部に封満たされた液が遠心力 によりケーシング内壁面にそって液膜を形成する.円 筒状のケーシング内部に羽根車を偏心して配置する ことによって液膜と羽根車で囲まれた空間の容積は 羽根車の円周方向に添って変化する.したがって,羽 根車が矢印方向に回転すると,吸い込み口より気体が 吸い込まれ羽間通路の容積の変化によって気体は圧 縮され,吐き出し口より大気に放出される.

なお,吐き出し過程が終わるとすぐに次の吸い込み 始めとなるのではなく,気体の一部が吐き出されずに 羽根間通路に残って,それが次の吸い込み口まで繰り 越される過程がありこれをキャリーオーバ過程と呼



Fig.2 Sectional view of the pump

ぶことにする.

気体が吸い込まれてから吐き出されるまでの一連 の過程は、吸い込み始めを 0°とすると吸い込み過程 0~135°, 圧縮過程 135~270°, 吐き出し過程 270 ~308°, キャリーオーバ過程 308~360°である. ケーシング直径Dを 331mn, 335mn, 339mn, 344mn と異 なるものに変えて実験を行った.また,羽根車は羽根 先端傾斜角度 α が 50°, 40°, 20°, 10°の4 種類の 羽根車を使用した.吸い込み圧力は吸い込み口に設け たバルプによって任意に8段階に調節する.気液界面 の様相の撮影にはデジタルカメラ(⑤)を使用した.カ メラの有効画素数は2560×1920pixelである.アクリ ル板からカメラまでの距離を650mmとし,照明は気液 界面を可視化する実験では部屋の照明のみで行った.

A Method of the Flow Visualization of inside a Single Action Type Liquid Ring Pump

Takeshi KOMIYA, Masaru FUJITA and Susumu ISHII

回転数の測定はレーザー式の非接触回転計を用いて 行う.軸動力はトルクメータからアンプを介して電圧 を取り出し、トルクに変換する.また、羽根車外側通 路の封液の流れの様相の可視化にはタフトを用いた. 封液の通路に細い金属の丸棒を差し込み、それにタフ トを取り付け、吸い込み圧力、羽根角度、封液補給量 を変化させたときタフトの様相がどのように変わる かを撮影した.封液の可視化実験では 500W のハロゲ ンライトをカメラの後方に左右1つずつ設置した.

3. 実験結果および考察

3-1. 気液界面の可視化

実験で撮影した画像を Fig.3 に示す。これは D=339mm, α=50°, P_s=94.7kPa abs の条件の下で撮影 した気液界面の様相である.撮影条件は焦点距離 40mm,絞り値 F1.8,シャッタースピード 1.0s, ISO 感度 151 ですべて同じ条件で撮影している.白い帯 を境にして内側に気体,外側に封液に分かれていて, 気体の吸い込み,圧縮,吐き出しの一連の過程が行わ れている様子が確認できる.白い帯には幅があるが, 帯の内側を気液界面として定義する.気液界面の幅は, ストロボスコープを用いて撮影し詳しく見てみると, 気体と封液が混ざり合って霧状になっていることが 確認できた.この霧状の界面が絶えずわずかながら上 下に動いているため白い帯状になって見えると考え られる.

Fig.4 は D=335mm, $\alpha = 40^{\circ}$, $q_s = 0.50 \times 10^{-3}$ m³/s でバルブの開度を全開から全閉まで変えていって吸 い込み圧力を変化させたときの気液界面の形状を撮 影して可視化し, グラフにしたものである.縦軸と横 軸はそれぞれ羽根車の中心からの距離を表している. 吐き出し過程の途中から吸い込み過程の途中までは 気液界面が確認できないので記していない.また, Fig.5 にこの条件での性能曲線を示す.これらを見る と,気液界面の半径は吸い込み過程から圧縮過程の途 中までは吸い込み圧力が高い(大気圧に近い)ときほ ど若干小さくなる傾向を示している.圧縮過程の途中 から吐き出し過程にかけては吸い込み圧力が低いと きのほうが気液界面の半径は若干小さくなる傾向を 示している.この傾向は羽根角度の差異, ケーシング 径の差異にかかわらず同じであった.

ポンプの性能は吸い込み圧力によって変化するが, 等温効率は P_s=40~50kPa ads で最大となる.吸い込 み圧力が高いときは軸動力が小さく,また吸い込み空 気量が多いにも関わらず等温効率は小さくなる.これ は羽根車内の空気がうまく吐き出されず繰り越され る空気の量がより多くなるためではないかと考えら れる.このことはFig.4より吸い込み圧力が高いとき は吐き出し口付近においても気液界面が外側にあり, 羽根車内に多くの空気が残っていることが視認でき ることからも推察できる.

Fig. 6 に D=335mm, q_s=0. 50×10^{-3} m³/s, P_s=43. 1kPa abs に一定にして,羽根角度を変化させたときの気液界面 の形状と性能曲線(Fig.7)を示す.吸い込み過程か ら圧縮過程の途中までは羽根角度が大きいほど半径 は大きく,圧縮途中から吐き出し過程においては羽根 角度によらず気液界面の形状はほぼ同じになってい く.このときの吸い込み空気量は羽根角度が大きいも のほど多くなるため,気液界面の半径が大きくなっ



Fig.3 Air-Water Interface





 $(D=335mm, P_s=43.1kPa abs, q_s=0.50 \times 10^{-3}m^3/s)$



Fig.7 Performance Curve(D=335mm,q_s=0.50×10⁻³m³/s)

た事で吸い込み空気量も増大したことがわかる.しか し、羽根角度が大きくなると吸い込み空気量だけでな く、軸動力も大きくなる.この理由については羽根角 度が大きいと封液を回転させるとき 封液による抵抗 が大きくなるため、軸動力が増大したと考えられる. よって、吸い込み空気量と軸動力のバランスの良い羽 根角度が高い等温効率を示すことがわかった.

Fig. 8 に D=355mm, α =40°, P_s=95. 1kPa abs に一定 にして,封液補給量を変化させたときの気液界面の形 状とそのときの性能曲線 (Fig. 9)を示す.これらを見 ると気液界面の形状,性能曲線ともほとんど差異が見 られない.吸い込み圧力や羽根角度を変えたときと比 べるとその変化は微小なため,今回設定した封液補給 量の範囲ではその増減は気液界面の形状,

ポンプ性能ともにあまり影響を与えないことがわ かった.





3-2. タフト法による封液の流れの様相の可視化

封液の流れの様相の可視化はタフト法により行った. 封液の通路に吸い込み過程から吐き出し過程にかけて 20°間隔でケーシング壁面の 11 ヶ所に φ1.0 の 金属棒を差し込み, その棒にタフトを取り付け実験を行った. タフトの取り付け位置は羽根の先端から 7mm, ケーシングの壁面から 3mm, その 2 つのタフトの中間 点の 3 ヶ所とした. ケーシング直径 D=344mm 一定にして吸い込み圧力, 羽根角度, 封液補給量を変化させて可視化実験を行った.

撮影した画像を Fig. 10 と Fig. 11 に示す. それぞれ の条件は Fig. 10 が α =50°, P_s=93. 8kPa abs, q_s=0. 50 ×10⁻³m³/s で Fig. 11 が α =50°, P_s=41. 6kPa abs, q_s=0. 50×10⁻³m³/s である. これらを見ると, ケーシン グの壁面近くに取り付けたタフトは可視化できたが, 羽根の先端に取り付けたタフトや圧縮過程における 気液界面の半径が一番大きくなる位置での真ん中の タフトは、気液界面の白い帯の中に入り込んでしまい 可視化することができなかった.また、Fig.11 では 金属棒の後方が白くなっているが、これはバルブを閉 めていき、吸い込み圧力を下げていくとポンプ内部の 圧力がより低くなり、気液界面が外側に膨らむため、 気液界面に混在している空気の一部が金属棒の抵抗 により引っ張られているためであると考えられる.







Fig.11 The flow of the sealing water (Taft method) $(\alpha=50^\circ, P_s=41.6 \text{kPa abs}, q_s=0.50 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s})$

Fig. 12 はα=50°, q_s=0.50×10⁻³m³/s でバルブの開 度を全開から全閉まで変えていき吸い込み圧力を変 化させたときのタフトの様相を撮影して可視化し, グ ラフにしたものである. グラフ中の点は軸心を表して おり, 斜線部分は羽根車を表している. 吸い込み圧力 が低くなると, 圧縮過程から吐き出し過程においてわ ずかながらタフトが内側に向かって切れ込む傾向が 見られた. これは Fig. 3 からわかるように, 吸い込み 圧力が低くなるに従い気液界面の半径が大きくなり 外側に膨らむことで, 封液の流れの方向がこの影響を 受けて羽根車の回転方向から中心方向に向かうため ではないかと思われる.

Fig. 13 は P_s=41. 6kPa abs, q_s=0. 50×10⁻³m³/s で羽根 角度を変化させたときのタフトの様相のグラフであ る.吸い込み過程,吐き出し過程ではあまり変化は見 られないが,圧縮過程においては羽根角度が大きくな るとタフトが内側に向かう傾向を示す.これも羽根角 度が大きくなると気液界面が外側に膨らむため封液 がこの影響を受けて,流れの方向が内側に向かうため であると考えられる.

Fig. 14 は α =50°, P_s=93. 8kPa abs で封液補給量を 変化させたときのタフトの様相のグラフである. どの 過程においてもタフトとの向きに違いは見られない. 封液補給量の増減は気液界面の形状とポンプの性能 にほぼ影響を与えないため,封液の流れも封液補給量 の影響は受けないことがわかった.



Fig.12 The flow of the sealing water (Taft method) (α =50°,q_s=0.50×10⁻³m³/s)



Fig.13 The flow of the sealing water (Taft method) (P_s=41.6kPa abs,q_s=0.50×10⁻³m³/s)



Fig.14 The flow of the sealing water (Taft method) $(\alpha=50^\circ, P_s=93.8 \text{kPa abs})$

4. 結言

液封式ポンプ内部の気液界面およびタフト法を用 いた封液の可視化実験を行い,以下の結論を得た. (1)気液界面の半径は吸い込み圧力,羽根角度の影響 を受けて変化し,気液界面の形状が変わると軸動力, 吸い込み空気量も変動するためポンプの性能に影響 を及ぼすことがわかった.

(2)封液は羽根車の回転方向へ流れているが、気液界 面が大きくなると封液の通路が狭くなり、ケーシング 壁面付近の封液の流れの方向がより中心方向へ向か うことがわかった.

参考文献

(1)藤田, 岡崎, 機論, 52-479, B(1986), 2607-2611.(3)鳥居 脩, 機論, (1967), 171-174.