

## 研究

## 歯車ポンプの流体力學的理論

—流體は齒車のまわりをどう動くか  
—だから製作はどうすればよいか—

宮 津 純

教授・工博(機械)

## 1 緒 言

歯車ポンプは流體を齒の間にはさんで、高壓部分へ持ち込み、それを齒のかみ合いによつて、おし出す形式のポンプである。おし出す形式でありながら、ピストンポンプとはちがつて、吐出しに脈動があまりないという利點ももっている。油、水その他各種の液體にたいして廣く用いられ、その性能も實驗的には一通りわかっているが、しかしその理論がまだ流体力學的に確立されていないために、實際の性能のよつてくるところは明らかでない。したがつて製作上の指針となるべき具體的な點になると、ぜんぜん經驗にまかされている現状である。

このポンプにたいする従來の考え方は、齒車の幾何學におわつている。すなわち、流體はあくまで靜止するものとみてただ齒車のかみ合いの關係から、力の關係、吐出量の關係を定めようとするだけである。しかしこのような考えに基く結果は、それが正しい齒形について解析されたものであつても、ただ大體の傾向を説明する程度以上には出られない。

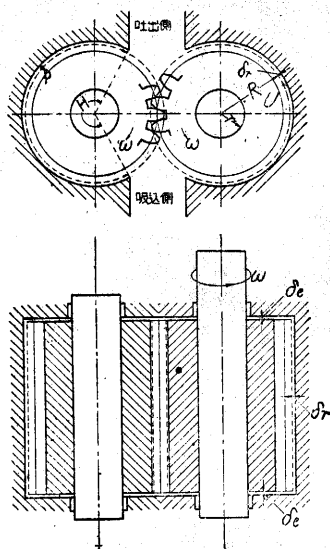
じつさいには、齒車のまわりに生ずる流體の流れを考慮しない限り、作用の具體的内容に觸れることはできない。また實驗の示すところを正しく考察することもできない。本研究は歯車ポンプの設計、および改良に役立つべき具體の方針を見出すために、その理論を流体力學的に確立する目標で、進められつつあるものである。

考察の對象となるべきところはいろいろあるが、齒車に最も近い部分としては、齒と齒とのつくる間隙中の流れ、齒車と胴體とのつくる間隙中の流れがある。これらにたいしてすでに一通りの研究をおえたもの<sup>(1)</sup>のなかから、製作の問題に直接觸れる事項として、齒先と胴體とのつくる間隙、および齒の端面と胴體とのつくる間隙の問題をとりあげ、その影響とそれに附隨する流れの内容とをわかつて述べることにする。

## 2 齒先間隙の問題

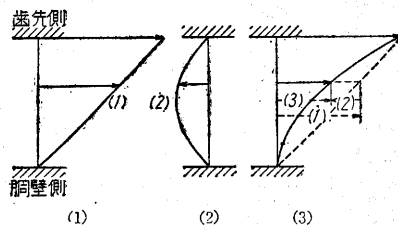
第1圖において、斷續する齒先は高壓の方向へ動き、平滑な胴壁は固定して、その間の流體は、齒先の回轉につれて引きずられながら、前方の壓力によつておし

戻されようとする。この關係を理論的にかんたんにしらべるために、齒先間隙( $\delta_f$ )は一様につながつて、とみなすことにしよう。また、齒先半徑にくらべてこの間隙はきわめて小さいことから、曲率をも無視して、眞直であるとみなすことにする。



第1圖 齒車ポンプの説明圖

もし間隙の兩端、吸込側と吐出側とで、その壓力をひとしいとすると、齒先がまわれば、流體はそれによつて引きずられるだけである。その流速分布は第2圖(1)に示すように直線的である。またもし、間隙の兩端に壓力差が保たれて、しかも齒の回轉がなければ、流體は壓力におされて、高壓の側から低壓の側へ流れるだけである。その流速分布は拋物線狀である。[第2圖(2)]。しかも(1)の流れは、ポンプとして望ましい持込み量をあたえるのに、(2)の流れはそれを減少させる傾向のもの、ある場合には、ポンプの漏洩量ともなるべき流れである。じつさいには兩端に壓力差を保ちつつ齒先が回轉するので、そのときの流速は、上の二つが合成されたものとなり、したがつてその分布は第2圖(3)のごとくなる。



第2圖 齒車間隙における流速構成

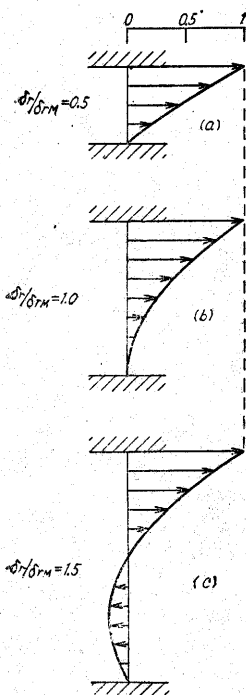
(1)の直線にたいして(2)の拋物線は、間隙によつて廣く變つた形を示す。それにともなつて、この間隙にはポンプとして最も望ましい値が存在するのではないか、ということが考えられる。最良の間隙といえは、それは

いうまでもなく、次の条件に適うものであろう。

(1) 回転にたいして抵抗が最小であること。

(2) 間隙による持込み量が最大であること。したがってこの設問の解決には抵抗力と持込み量との算定がまず必要となり、そのまた前提としては流速分布の解析を行わねばならない。第3, 4図に結果が示されている。

第3図は間隙によつて流速分布の變る状態を示し、同圖(b)は最良間隙の場合にあたる。最良間隙以下では、流れはいたるところで回転の方向にむき〔第3圖(a)〕、最良間隙以上では、胴壁の近くに逆流を生ずることがわかる〔第3圖(c)〕。最良間隙はその限界に相當するものであつて、その流速分布曲線は胴壁に直交する形になる。



第3圖 齒車間隙と流速分布との關係

この圖よりわかるように、 $\delta_r$  にたいして、 $q$  は極大値をもち、 $\tau$  は極小値をもつ それぞれの極値をあたえる間隙は、兩者について共通

第4圖は、持込み量( $q$ )と齒先に加わる抵抗應力( $\tau$ )とが、間隙によつてどのように變るかを示している。もつとも圖示の便宜上、ここでは最良間隙にたいする値を基準にとり、それとの比を示すこととした。すなわち、解析の結果としてえた次式が圖示されているのである。

$$\frac{q}{q_M} = \frac{3}{2} \left( \frac{\delta}{\delta_{rM}} \right) - \left( \frac{\delta}{\delta_{rM}} \right)^3 \quad (1)$$

$$\frac{\tau}{\tau_m} = \frac{1}{2} \left( \frac{\delta}{\delta_{rM}} \right)^{-1} + \frac{1}{2} \left( \frac{\delta}{\delta_{rM}} \right) \quad (2)$$

$\delta_{rM}$  は間隙 ( $\delta_r$ ) としての最良の値、 $q_M$ 、 $\tau_m$  はそれぞれそれに應ずる持込み量( $q$ )と抵抗應力( $\tau$ )である。

この圖よりわかるように、

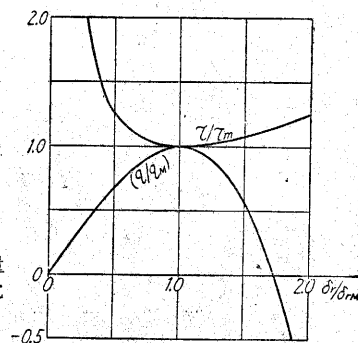
であつて、それが式中の  $\delta_{rM}$  である。しかも  $\delta_{rM}$  自身は次式のごとくなる。

$$\delta_{rM} = \sqrt{\frac{2\nu s U}{gh}} \quad (3)$$

これに應ずる  $q$  と  $\tau$  とは

$$q_M = \frac{1}{3} U b \delta_{rM} \quad (4) \quad \tau_m = 2 \frac{\nu}{g} \frac{U}{\delta_{rM}} \quad (5)$$

となる。 $q_M$  は  $q$  の極大値、 $\tau_m$  は  $\tau$  の極小値である。



第4圖 齒車間隙吐出量と齒車間隙抵抗應力の關係

この大小を考へて接字もとくに變えてある。式中の他の記號は次のようにとつてゐる。 $\nu$  = 流體の動粘性係數、 $s$  = 圓周に沿う間隙の長さ、 $U$  = 齒先速度、 $g$  = 重力加速度、他は前出。

### 3 端面間隙の問題

この間隙 (第1圖の  $\delta_e$ ) は齒車の端面と胴壁とはさまれていて座金狀である。齒先圓に沿つて間隙の端が構成され、そこは吸込側から吐出側へかけて、一定の壓力分布にさらされる。かりに齒車が回転しなくなつても同じ壓力分布が保たれれば、この間隙をぬけて低壓部分へもどる流れができる。これはいうまでもなく、ポンプとして望ましくない漏洩である。しかし流體は齒車の回転にも引かれるから、回転のない場合とは變つた流れになるはずである。ここに回転と漏洩との關係が一つの問題となる。

## 速報 20

### 鐵の安定な防蝕被膜をつくる試み

久松敬弘(冶金)

鐵を濃硝酸の中に入れるといわゆる不働態となつてとけなくなる。稀硝酸の中でも鐵を陽極にして陽極酸化を行うと不働態化することができる。電子廻折の研究によつて不働態化した鐵の表面は  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  という酸化物の薄膜が下地の鐵をすき間なくおおっている事が分つてゐる。一般に金屬合金が耐蝕性をもつのは薄い酸化物の被膜がその表面をおおつてゐることによる。不銹鋼は  $\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$  固溶體、アルマイトは  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

の水和物等々で、耐蝕性を示す酸化物の中でスピネル型と呼ばれる結晶構造をもつたものが多い。 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  もこの結晶構造をもつので、不働態化によつてできる被膜が丈夫であれば鐵のサビ止めに役立ちそうであるが、この場合被膜が非常に弱く、例えば稀硝酸で陽極酸化によつて不働態にしても電流を切ると直ちに鐵がとけ始める。ところがこの陽極酸化を磁場の中で行うと、外部磁場が200エルステッド以上の條件のものでこしらえた不働態酸化物被膜は非常に安定なものになる。こうしてできた強い酸化物被膜と普通のものとの差は電子廻折による研究や電子顯微鏡によつて明らかになる。これが分れば金屬の腐蝕・防蝕の問題にすこしは役立ちはしないかと思つてゐる。(1949.9.28)

齒の側からえいば回轉に抵抗する摩擦モーメントが作用する。それは回轉速度にもよるが一方壓力分布の影響がどう落んでくるかも問題になる。

これらは實際の流れを解析することによつて検討することができる。ここではその方法<sup>(2)</sup>は省略して結果の例だけを示すことにする。この例は、齒先の全圓周に沿う壓力分布がかみ合いの點から、正弦的に一通期間の化をしている、とする場合の例である。

第5、6圖は内部の壓力分布圖と流線圖である。第5圖は齒車が回轉しないとみる場合の等壓線を示している。そしてこの壓力の分布は齒車が回轉する場合にもほとんど變らないという結論になる。

第6圖は一連の流線圖であつて、これらは次のような二つの見方にたいして役に立つ圖である、

(1) 齒車の角速度  $\omega$  を一定として考える場合には、第6圖(a)は固定面での流線を示し、同圖(b)、(c)、(d)は、固定面をより離れた、座金狀断面内の流線を示す。齒車の端面に附着する流線は、いうまでもなく同心圓である。

(2) 間隙中で座金狀の一定の断面をとらえて考える場合には、第6圖(a)は齒が回轉しない場合の流線、同圖(b)、(c)、(d)は、その回轉が次第に高くなつた場合の流線にあたる、回轉とともに流線の形は同心圓に近づく。

この間隙からの持込み量  $q_e$  は一般に次の形に整理することができる。

$$q_e = -cP \frac{\delta_e^3}{\mu} \dots \dots \dots (6)$$

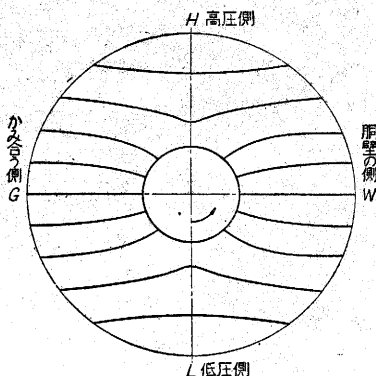
$\delta_e$  は間隙値、 $P$  は齒先圓周上の定まつた2點での壓力差、 $c$  は壓力分布(齒先圓周に沿う)と半径比(齒先圓と軸との)によつて定る常數で、一定の算式であたえられる。 $q_e$  がつねに負となることは、この間隙は、齒先間隙とちがつて、どうきめても漏洩をおこすだけだということである。なお漏洩が回轉に左右されないということは、この結果で注目すべきことである。

回轉にたいする抵抗モーメントは一般に次式であたえられる。

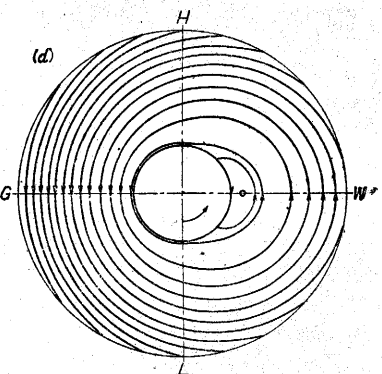
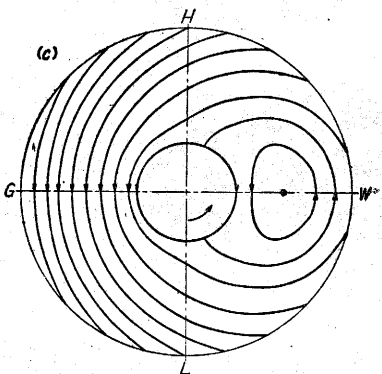
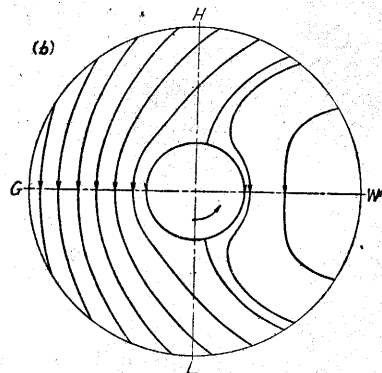
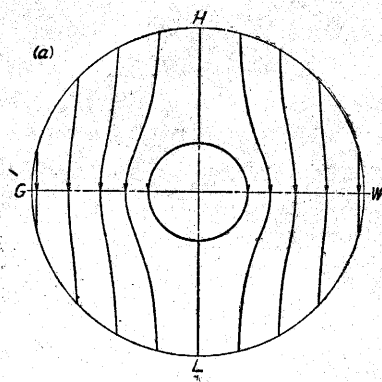
$$M_e = -\frac{\pi \mu \omega}{2\delta_e} (R^4 - r^4) \dots \dots \dots (7)$$

ただし  $M_e$  はこの間隙による抵抗モーメント、 $\omega$  は齒車の角速度、 $R$  は齒先半径、 $r$  は軸半径をあらわす。

一般に壓力分布は端面の抵抗モーメントに影響しないということがわかる。また流體の粘性が増せば漏洩は減つて抵抗は増える。このことは常識でも考えうるところである。漏洩を減らすには、(6) から、間隙をなるべく小さくしなければならないが、すると、(7) から、抵抗モーメントは反對に増加する。したがつてこの間隙には、齒先間隙のような最良値はないということがわかる。この間隙の大きさは、上の二つを考へて適當に定めなければならない、ということになるが、そのことについては、機會をえて改めて述べることにする。



第5圖 端面間隙における壓力分布



第6圖 (a. b. c. d.) 端面間隙における流線

## 4 結 び

本研究は歯車ポンプの理論を流体力學的に検討して、設計、製作については改良上の方針を求めようとする基礎研究である。本文では

(1) 歯先と胴體とのつくる間隙には、ポンプとして望ましい最良値があることを示し、その算式をあたえた。最良の間隙とは、運轉にたいする抵抗が最小で、持ち込む量の最大となるべき間隙である。

(2) 間隙の大小によつて流れの状態がどのように変わるかを示し、その理由を解説した。

(3) 歯の端面と胴體とのつくる間隙には、上述の意味の最良値は存在しないこと、および、ここからの漏洩量は、間隙の3乗に正比例し、抵抗モーメントは、間隙の1乗に反比例することを示した。

(4) 間隙中の壓力分布、流線の形が回轉とともにどの

ように変わるかを示した。

(1), (3) の結論は亂流の場合にも性質的には變らない。數量的なことは例題的扱いになるが、それは次の機會にゆずることとする。ただ(1)の最良間隙値は、實際上、問題となりうる程度に大きい、ということをつけ加えておく。(1949・8・25)

註(1) 詳細は下記題目のもとに日本機械學會論文集において發表の豫定(昭和24年4月同總會講演會において講演)

[i] 齒車ポンプの理論(特に渦流係數とその内容について)

[ii] 齒車ポンプ齒先間隙の最良値

[iii] 齒車ポンプ端面間隙の流體力學

[iv] 齒車ポンプ端面間隙の流線、漏洩および抵抗について

(2) 脚註(1)の論文[3]参照

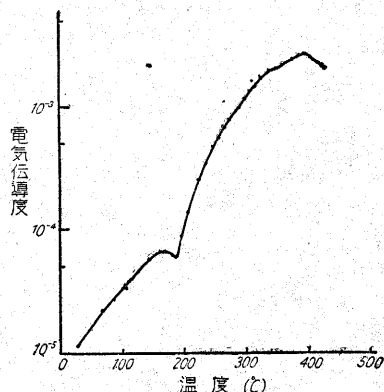
## 速報 21

## PbS Photoconductive Cell の製法

江口雅彦・村上晃・大島裕之助(物工)

鑛石検波器として周知の硫化鉛の結晶體(ガレナ)が光電効果をもつこと、また化學的に精製された硫化鉛は鉛また硫黃の過不足により過剩型或は缺損型半導體となることは古くから知られて研究されている。この硫化鉛に酸化過程を加えて鉛の酸化物との混合體とした場合特殊な光傳導性を示し、時定數小さく、波長 $1\sim 3\mu$ の赤外線に高感度を有し、收斂光に對して有効である等従來の光傳導セルに見られぬ特徴から種々な應用が期待される。(1) 實驗室で行つたこのセルの製作について簡単に御紹介する。

なるべく純粋な硫化鉛を得るため試薬はできるだけ純度の高いものを使った。蓄電池電極用の高純度鉛から硝酸鉛を作り、硫化水素を通じて黒灰色粉狀の硫化



鉛を得、沈澱乾燥して使用した。このままの硫化鉛はガラス面上コロイダルカーボンで作られた電極間に真空蒸着させても非常に高抵抗を示しているが、真空中で徐々に加熱すれば硫黃を失い過剩型半導體となるため良好な電導性を有してくる。しかし光電導効果はあらかさない。また同じく蒸着された硫化鉛を減壓酸素中で加熱處理した場合同様電導度を増すが、不安定な光電導特性を呈するに過ぎぬ。

さて蒸着前に減壓酸素氣體中(約 $10^{-1}$ mmHg)で400乃至500度に加熱處理した硫化鉛を蒸着すれば、光傳導効果はないがかなりの電導性を有する薄膜が得られる。この蒸着薄膜を減壓酸素中でさらに加熱處理

を加えると附圖に示すような電導度の上昇をとり、400乃至450度からやや減少し始める。ここで處理を打ち切りそのまま冷却すれば前述の如き光電導特性を有するセルが得られる。ただし光電導セルとして硫化鉛と酸化鉛の割合を最適にするためのこれらの處理は酸素壓に非常に敏感であつて、電導度曲線はその目安として重要である。こうして作られたセルは安定で現在のところほとんど特性の變化は認められていない。今後波長感度、周波數特性、安定度、Noise Level等の測定と共にセル製作の最適條件を決定して行きたいと思つている。

試料精製に便宜を與えられた應用化學科菊池研究室の方々に深く謝意を表する。(1949・9・28)

1. 江口雅彦;生産研究1月號(1950)豫定「熱線測定とその應用」参照。

## 速報 22

## 點熔接電流の波形制御

澤井善三郎(電氣)

金屬板の點熔接については、我が國では未だ現場技術が確立されず、熔接結果の悪いものも相當に多い。特に輕金屬の點熔接では、材料の熱及び電氣の傳導度が高いため、短時間大電流を通す必要があり、放電管を使う等比較的精密な制御が行われてきた。

同じ點熔接を短時間大電流で行えば、接觸抵抗による發熱をよく利用することになり、熱影響を局部に限るので、材質をいためず、また變形や殘留應力を避け得る利點がある。この意味からアメリカでは、鋼板の點熔接でも、我が國に比べてはるかに大きい電流を短時間通じているのが普通である。

わが國の現状では、鋼板でも輕金屬板でも熔接前に表面處理を行うが、なほ板表面に酸化膜等にもとづく高い抵抗が残存することが多く、これに大電流を通すと、この部分の發熱は著しく急激で、他の部分が未だ軟化せず従つて電極による加壓力が殆ど作用せぬ中に既にこゝが熔融點を越えてしまう。その結果接觸部附近は局部的に過熱され、熔融金屬の飛散、熔接後の金屬組織の劣化等を生ずる。そこで短時間大電流の利點を失わず、しかもこの不都合を除くには、熔接電流波形を制御し、最初小電流を以て熔接を開始し、續いて大電流を短時間通ずることが必要になる。この方法によれば、厚板の熔接が可能となると共に熔接結果は良好且均一になり、又作業も頗る圓滑になる。

熱傳導の計算、接觸抵抗の觀測等から上記の事をたしかめ、現在は電流波形制御の二三の方法を試みてゐる。(1949・10・3)