高速回転渦巻ポンプのサージングに就て⁽¹⁾

(昭和15年2月3日 日本機械学会、九州機械工業会聯合講演會に於て講演)

正員 生源寺 順⁽²⁾

渦巻ポンプで高い揚程を作らうと思へば、それを数段に分けて作るか、さもなくば高速度回転の一段渦巻ポンプを用ひなければならぬ。所謂多段ポンプでは、全揚程は大きくても、一段の作る揚程は必ずしも左程大きくないから、回転数も甚だしく大きくするを要しない。然るに一段で全揚程を作る場合にはポンプの回転数はその揚程に應じて甚だしく大きいものを必要とすることがある。それは揚程 H_m は羽根車外周の周速度 u_2 m/s に対し大略

$$H = \frac{u_2^2}{2g}$$

の關係にあり、1mm の回転数を n 、羽根車外径を D_2 とせば、

$$u_2 = n\pi D_2 / 60$$

であり、 u_2 を大にするには nD_2 を大にしなければならず、 D_2 を大にすることは、効率を悪くし、価格を増すことになるので、勢ひ n を大きくして、高速度回転の羽根車を用ひなければならぬからである。

材料の強さを考慮して、回転による遠心力から起る應力を例へば 1600 kg/cm^2 に止めんとすれば、 $u_2 = 140 \text{ m/s}$ となる。これで作り得る揚程は大略

$$H = \frac{140^2}{2 \times 9.8} = 1000 \text{ m}$$

である。若し斯る高揚程が僅か一つの羽根車で作ることが出来れば、ポンプは極く小さい大さになり、機械的困難に打勝ち得れば、甚だ便利なものになる。

斯る高速度回転の渦巻ポンプは屢々その運轉に際して振動を引起し、ポンプに連結されてゐる管、その他の部分に激しい振動を生ずることがある。それをポンプのサージングと云ふてゐる。その原因はポンプ特性曲線が所謂不安定性なるに依るといふ事になつてゐる。不安定性の特性曲線とは第1図に示す如く、ポンプ吐出量 Q の横軸に対して表はしたポンプ揚程 H の曲線が、吐出量零から吐出量の増すに従て幾分上り気味になつて、或吐出量で最大になり、それ以上吐出量が増せば、曲線がさがつて来る形の曲線 $CABD$ の如きを云ふのである。斯るポンプに対しては、同一揚程例へば H' に対し二つの異なる吐出量 Q_a 及び Q_b が起り得るので、ポン

プの運轉が不安定になり、サージングを起すと云ふ。

併し乍ら斯る不安定の特性曲線をもつポンプでも、必ず常に振動を引起すとは限らない。唯高速度回転の場合にサージングを起し易いのである。特に羽根車入口で空洞現象の起る時にサージングが起り易い。然し高速度回転ポンプで空洞現象は起つても、サージングは起らない場合がある。サージングの眞の原因は吸込管に水の回転運動が起つて、管の中心部が激しい真空になり、吸込管内に中空部を生ずる如き流れが出来る場合に、この中空部に水の上下運動が起ると考へられる。即ちサージングの起る時には必ず多少の空洞現象が起るが、その空洞現象が單に通路断面の全体に亘つて低圧になつたため、特に中央部が甚だしい低圧になり、中空部を生じたのでない場合には、サージングは起らないやうである。よつてサージングを起らないやうにするには、ポンプの台や、連結されてゐる管、又それ等を支へる物等をなるべく強くして、剛

第1図

性の大きいものにするのは勿論であるが、空洞現象の起らぬやうにし、又吸込管における水の回転運動を起さぬやうにするのが肝要である。

渦巻ポンプ吸込管に水の回転運動の起ることは古から知られたことで、Clinton Brown Stewart が Investigation of Centrifugal pumps, Part II (Bulletin of the University of Wisconsin, Sept. 1909) の中にも、これに関する実験が記してある。而してその原因は羽根車目玉の部分の回転が、水の粘性により水に傳はるためと解してゐる。

然し Cardinal von Widdern⁽³⁾ が Escher Wyss 會社の試験所で実験上から確かめた事によると、水が羽根車へ正規流量以外の流量で入れば、水は羽根車から逆流して、その逆流水は羽根車回転方向の回転速度を有し、水の回転運動を起すものである。Stewart の説明は十分納得しかねるもので、後者の考へ方が當つてゐるかと思ふが、何れにしても羽根車入口附近で出来る水の回転運動は、吸込管中の水にも回転運動を起させ、その周速度は略自由渦巻運動の法則に従て、半径の小さい中央部では大くなり、圧力の低下を来し、場合

(1) On the surging of centrifugal pumps of high revolution.

(2) Kazu SHÖGENJI. The Nagoya Imperial University. 名古屋帝国大学。

(3) H. Cardinal von Widdern. Flow conditions in centrifugal pumps under partial and overload. Escher-Wyss News, July-Aug. 1933, p. 102.

によつては管中央部に真空の中空部を作る。さうなれば水車吸出管におけると同様、この部に水の上下運動が起つて振動を生ずるやうになり、所謂サージングが起ると考へてよいであらう。

斯様に考へれば、サージングを止めるには、この中央部の圧力がさがつても尙真空程度にならぬやう即ち空洞現象を起さぬやう吸込水全体の圧力を或程度まで高くして送込むか、この吸込管における水の回転運動を止めるやうにすればよい。

高速度回転ポンプの吸込側に、圧力を上げた水を送込んで空洞現象を防ぐ最も普通の方法は予圧ポンプを置いて、それで水に圧力を與へるものである。予圧ポンプは大抵一段ポンプで第2図に示す如く、高速度ポンプを動かす原動機で運転されるのが普通である。この際電動機の如く回転の遅いものでは変速機で回転を早くして高速ポンプを廻し、蒸汽タービンの如く回転の速いものでは、変速機で遅くして予圧ポンプを廻す。

第 2 図

変速機を用ひずに予圧ポンプを高速度ポンプと同じ原動機で動かす方法に就て新しい提案がされてをる⁽⁴⁾。それは高速度ポンプの案内羽根を一つの回転車とし、案内羽根を一種の

水タービンとして働かし、その水タービンに依て予圧ポンプの羽根車を廻すやうにするものである。これは独逸で設計だけはされたのであるが、実際に運転した経験に就ては聞かないので、果して実際に都合よく運転出来るかどうかは分からない。然し考案としては甚だ巧妙なものである。

空洞現象防止の他の方法は、噴射ポンプを用ふるもので、これは高速度ポンプ出口近くから管で水を取り、それを噴射ポンプの噴射水に用ひ、水に圧力を與へてポンプ吸込口へ送込むのである。この方法は甚だ簡単ではあるが、噴射ポンプの効率が悪く、概して良くないために、効率の点では恐らく上記の予圧ポンプを用ふる方法に優つてをらぬであらう。

(昭和 15 年 10 月 2 日受付)

管内の境界層の厚さと管壁の粗さとの関係に就て⁽⁵⁾

(昭和 15 年 9 月 20 日 名古屋地方講演會に於て講演)

正 員 山 本 純 如⁽⁶⁾

摘 要

粗い管内の乱流に於て管壁に接する境界層内の理論速度と管壁に近い境界層外の速度の実験式から境界層の厚さを求め、管壁の粗さ即ち管壁の突起の高さが境界層内にある場合及び層外に出る場合に管内の速度、抵抗等に及ぶ影響をかなり明瞭にすることが出来た。

1. 境界層内の速度

乱流をなす円管内に於て管壁に接して存在する境界層内の流れは粘性流動をしてゐると考へられる。この境界層の厚さは極めて薄いものであるから粘性による層内の剪断應力 τ は一定であり管壁における剪断應力 τ_0 に等しいと考へて差支ない。 μ を粘性係数、 y を管壁よりの距離、 u を y 点の速度とすると層内の剪断應力 τ は次式で與へられる。

$$\tau = \tau_0 = \mu \frac{du}{dy} = \mu \frac{u}{y} \quad \dots \dots \dots (1)$$

$c = \sqrt{\tau_0 / \rho}$ を Prandtl の変動の仮説による境界層の境における変動速度とし (ρ は流体の密度)、 ν を運動粘性係数を表はすものとする (1) 式から次の関係が求められる。

$$c^2 = \frac{\tau_0}{\rho} = \frac{u}{\rho} \frac{\mu}{y} \quad \text{或は} \quad \frac{u}{c} = \frac{cy}{\nu} \quad \dots \dots \dots (2)$$

(2) 式は境界層内の速度 u/c を表はす理論式である。

2. 滑かな管内の境界層の厚さ

J. Nikuradse は滑かな管に就て廣範圍に亘る実験の結果を報告⁽⁷⁾してゐる。その中で管壁に近い境界層外の速度 u/c のみを取り出してこれと $\log cy/\nu$ との関係を求めて見ると第 1 図に示す様に一つの直線で表はされる。図中の各点は実験値を示す。即ち

$$\frac{u}{c} = 6.72 + 5 \log \frac{cy}{\nu} \quad \dots \dots \dots (3)$$

第 2 図は境界層内及び層外での速度曲線を示す。この二つ

(4) Ernst Beck, Untersuchung der Möglichkeit einstufiger Hochdruckpumpen. Dissertation, Tech. Hochschule Karlsruhe, 1934.
 (5) On the Relation between the Boundary Layer and the Roughness of Pipe Walls. (6) Tunayuki YAMAMOTO, Member, The Nagoya Technical College. 名古屋高等工業学校. (7) J. Nikuradse, Forschungsheft, 356, 1932.