533. 691. 01 : [621. 67-253+621. 635-253]

うず巻形流体機械の羽根車内の流れについて*

(第 5 報, 中間羽根をもった羽根車)

松 岡 祥 浩**

On the Flow in the Impeller of Centrifugal
Type Hydraulic Machinery

(5th Report, The Impeller with Splitter Vanes)

by Yoshihiro MATSUOKA

This paper deals with the flow in the impeller with splitter vanes of centrifugal type hydraulic machinery. Splitter vanes are of partial blades which do not extend to the inlet of blade row.

In this investigation, 4 kinds of impellers with splitter vanes and 4 kinds of impellers without splitter vanes were used, and then the head, flow quantity and the pressure distribution along the surface of the vane were measured. Moreover, for the purpose of analyzing the blade-to-blade flow, their stream lines were photographed.

この報告はうず巻形羽根車において, 中間羽根をもたない羽根数が 4, 6, 8, 12 枚の羽根車および主羽根が 4, 6 枚でその間にそれぞれ長さの異なった中間羽根をそう入した羽根車について実験を行ない, それらの流量-揚程曲線, 水力効率, トルク, 羽根面圧力分布などを求め, さらに羽根車内部の流動状態を明らかにするために写真撮影を試み, これらの羽根車を比較検討したものである。

1. 緒 言

一般に羽根数の多い羽根車を用いる場合に, 羽根入口において羽根の厚みによる阻害の影響が大きく, また羽根車を回転するのに多くの動力を必要とする。しかし中間羽根を主羽根のかわりに適当な位置にそう入することによってこれらの欠点を除き得る利点があると考えられる。しかしながら, 従来中間羽根をもった羽根車内の流れについての理論的, 実験的な研究はあまりなされておらず, したがって中間羽根の羽根数, 位置, 形状, 大きさなどを系統的に変えた実験を行ない, 定量的にも, 定性的にもそれらの特性を知ることが有意義なことである。

そこで著者は第 3 報⁽¹⁾に報告した羽根車と同じ形状, すなわち羽根車内外径比 0.6, 羽根角 30° の対数

うず線状の羽根を持ち, 羽根幅が一定なものについて, 羽根数が 4, 6, 8, 12 枚の羽根車, および主羽根が 4, 6 枚でそれぞれ主羽根の $2/3$, $1/3$ の長さを持つ中間羽根をそう入した羽根車について流量, 揚程, 回転中の羽根面の圧力分布などを測定している。またこの種の羽根車内の流れはきわめて複雑であって, さきの実験だけでは容易に解明することができないので, 8 種類の羽根車のうち 4 種類のものについては羽根車内の流れの写真撮影をも行なっている。わが国においても, すでに羽根車内の流れを写真撮影した実験結果が発表されているが⁽²⁾, 本実験においては流量を測定し, さらに各流量に対する揚程, 水力効率, 羽根面圧力分布などを測定しているので, より正確に, しかも容易に羽根車内の流れを解析することができる。

2. 実験装置と実験方法

羽根車の特性, 羽根面の圧力分布を測定するための実験装置および実験方法はすでに第 3 報⁽¹⁾に発表済みであるので省略することにする。

写真撮影にはその装置をそのまま利用することにし, ただ回転軸に取付けられた羽根面圧力測定用ガラス管を取りはずし, 写真機を軸に取付けて羽根車軸とともに回転させることにより相対的な流れの写真を撮った。羽根車, ケーシングなどはすべて透明なアクリル樹脂で作られているので水中にアルミニウム粉を混ぜることによって容易に撮影することができる。実験に用い

* 昭和 34 年 3 月 20 日 関西支部第 34 期定時総会議演会および昭和 35 年 5 月 9 日 九州支部久留米地方講演会において講演, 原稿受付 昭和 35 年 12 月 20 日。

** 正員, 近畿大学理工学部(布施市小若江)。

た羽根車は第1図(a), (b)に示すように、羽根車外径 200 mm, 内径 120 mm, 車幅 15 mm, 羽根角 30° の対数うず線であって、主羽根、中間羽根の腹面、背面の中央部にそれぞれ圧力測定用の小穴があげられている。このうち (b) 図の羽根車4種について

(a)

(b)

第1図

は流れの写真撮影を行なっている。なお羽根車回転数は 200 rpm であって、 Re 数は 1.6×10^5 前後である。

3. 実験結果

実験結果の表示法もすでに第3報⁽¹⁾に発表済みであり流量、揚程、および羽根面圧力などはすべて無次元の形で表わし、それぞれ φ , ψ , $\Delta H/(u_2^2/g)$ の記号を用いる。また羽根車を回転するに要するトルクを無次元の形で表わし、これを μ とすると

(a)

(b)

第2図

$$\mu = \frac{M}{\rho u_2^2 r_2^2 b_2} = N \int_{r_1/r_2}^1 \left(\frac{\Delta H}{u_2^2/g} \right) \left(\frac{r}{r_2} \right) d \left(\frac{r}{r_2} \right) \quad \dots\dots\dots (1)$$

で求まる。ここに

M : 羽根車を回転するに要するトルク

ρ : 流体の密度

u_2 : 羽根車出口における周速度

r_1 : 羽根車入口半径

r_2 : 羽根車出口半径

b_2 : 羽根車出口幅

r : 羽根車回転中心から羽根面上の任意の点までの距離

N : 羽根枚数

である。

また理論的には水力効率 $\eta_{th}=1$ であるから

(a)

$$\eta_{th} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_{th}}{M \omega} = \frac{2\pi \cdot \varphi \cdot \psi_{th}}{\mu_{th}} = 1$$

より

$$\mu_{th} = 2\pi \cdot \varphi \cdot \psi_{th} \quad \dots\dots\dots (2)$$

で求まる。

ここに

ω : 羽根車の回転角速度

Q, φ : 流量およびその無次元量

H_{th}, ψ_{th} : 二次元理論 (羽根数有限な理論) による揚程およびその無次元量

である。

i) 特性曲線 以上の表示法により求められた羽根車の特性曲線を第 2 図 (a), (b), 第 3 図 (a), (b) および第 4 図 (a), (b) に示す。第 2 図は揚程-流量曲線を示しており、羽根数が 4, 6, 8, 12 枚

(b)

第 3 図

(a)

(b)

第 4 図

のものについては Busemann⁽³⁾ の二次元理論による理論特性曲線をもあわせ示している。また第3図は水力効率-流量曲線を示している。一般に中間羽根をもった羽根車は高い揚程を望むときに用いられるものであって、これらの特性曲線から正規運転状態、すなわち

効率の高い付近(斜印で示す)ではそれぞれ4枚, 6枚の羽根車より高い揚程を示していることがわかる。また二次元理論では羽根数が多いほど同一流量に対する揚程が高くなっているが、実験では顕著にあらわれず流量の多いところでは8枚, 12枚のものは他の

(a)

(b)

(c)

(d)

第 5 図 (その 1)

羽根車に比してかえって低い値を示している。これは羽根数が多いために、羽根の厚みが羽根入口付近で占める面積が大きく流量が多いときにはさらに粘性の影響が増大するためであって、12枚の羽根車のごときは効率がことに低い値を示している。

また中間羽根をもった羽根車の効率はあまり良好ではないが、これは実験に使用した羽根車は主羽根、中間羽根の形状がともに羽根角 30° の対数うず線を用いたために、主羽根入口で無衝突に近い流れで流入したとしても中間羽根の入口では羽根角に沿って流入しな

第 5 図 (その 2)

いことが大きな原因であると考えられ、後述の写真撮影の結果からもほぼ解明することができる。つぎに第4図にはトルク-流量曲線を示している。(a)は実験結果を(b)は Busemann の理論特性曲線から(2)式により求めたものである。羽根数8枚の場合を除い

て傾向としてはいちおう理論曲線と似ている。所要の流量、揚程を出す場合において、8枚の羽根車のように羽根車を回転するに要するトルクが少ないときには明らかに効率が良くなっている。

ii) 翼面圧力分布 つぎに羽根面上の圧力分布を

(a)

(b)

(c)

(d)

第 5 図より第 9 図までに示す。横軸に羽根面上の各測定孔の位置を無次元の形 (r/r_2) で示し、それぞれ測定点の圧力係数を縦軸にとっている。流量係数を種々変えて腹面の圧力分布を実線で、背面のそれを破線で示している。第 5 図 (a)~(h) には各羽根車につい

て種々の流量係数における圧力分布を示している。

羽根数の少ない羽根車ほど圧力分布の囲む面積が大きく、羽根 1 枚当りの仕事量が大いことがわかる。また羽根数が多いほど羽根入口と出口の圧力差が大きくなっている。これは羽根数が多いほど減速比が大き

(a)

(b)

(c)

(d)

いことを示すものであって、羽根車入口と出口の流路面積の比は羽根の厚みの影響によって小さくなることから理解できる。また第6図から第9図までは中間羽根を持った4種の羽根車の羽根面圧力分布を各流量係数ごとに示している。第5図(e), (g), 第6図およ

び第8図に示す1/3の中間羽根をもつ羽根車の主羽根において、腹面の圧力が $r/r_2=0.7\sim0.75$ 付近において不連続な曲線となっているが、これは中間羽根の前縁付近背面側の速度が速くなり、そのために圧力が低下し、その影響が主羽根の $r/r_2=0.7\sim0.75$ 付近に

(a)

(b)

(c)

(d)

あらわれたものである。これに対して $2/3$ の中間羽根をもった羽根車においては主羽根の前縁からすでに影響を受けており途中には急激な圧力の変化は見られない。そして圧力分布の形はそれぞれ 8 枚および 12 枚の羽根車と近似している。これも後述の流線写真から容

易に理解することができる。

第 6～9 図のうち (c) 図は、それぞれの中間羽根をもった羽根車のなかで、水力効率の最も良好な付近における圧力分布であって、一般に流量の少ないときには中間羽根はほとんど有効に働かず、流量が多くな

(a)

(b)

(c)

(d)

るにしたがって有効に作用していることがわかる。効率の良好な流量においては、主羽根、中間羽根の両者がそれぞれ分に応じて無理なく作用している。しかしその流量においてもなお中間羽根の前縁の圧力が急に低くなっていることは、流れが中間羽根の入口において沿っていないことを示すものであって、中間羽根の羽根角を主羽根とは異なった適当な形状にすることに

よってより効率の高い羽根車を得ることができよう。

iii) 流線写真 第6図(a), (b), (c), (d)の各羽根車について流量係数を6種類ずつ変えて写真撮影した結果を第10図に示している。(a)は羽根数が6枚のもの、(b)は主羽根が6枚でその間に1/3の長さをもつ中間羽根をそう入したもの、(c)は同じく2/3の長さの中間羽根をそう入したもの、(d)は羽根

第10図 (a)

数 12 枚の羽根車である。いずれの羽根車においても流量の多いときは羽根腹面にはく離を起し、流量が少なくなるとつれてそれが減少し、さらに流量が少なくなると羽根背面の後縁近くにはく離が起る。流量が 0 近くまたは 0 になれば羽根車内に幾つかのうずの発生を見るに至る。

水力効率曲線と比較するとき、羽根背面にはく離が

起り始めたときはすでに効率が低下しており、腹面に幾分はく離が起っているときのほうが効率は良好である。また羽根数の多い 12 枚羽根、中間羽根をもった羽根車などはく離による損失が大きく効率は良くない。また羽根数 12 枚の羽根車は羽根車入口の流路面積に対して羽根の占める割合が大きいため、6 枚羽根と流量が同じであっても半径方向の速度が大きくなり、流

第 10 図 (b)

入角度が大きくなっている。このため無衝突流入における流量係数は二次元理論値とは逆に6枚羽根のものより小さい値になっている。またさきに述べた中間羽根の主羽根におよぼす影響も(b)図からわかるように中間羽根の岐点にあたった流れが前縁をまわるときに、その部分の速度が速くなるために主羽根の $r/r_2 = 0.7 \sim 0.75$ 付近の圧力が低くなったものである。しか

し(c)図の羽根車は中間羽根が長いために主羽根の前縁付近からすでに影響を受けていることがわかる。また流量が少ないとき、主羽根の後面ではく離が大きく起っているが、中間羽根ではほとんどく離が見られない。ゆえに圧力分布の形も主羽根と中間羽根とで大分異なった結果、すなわち中間羽根の腹面、背面の圧力差が少なくなっている。これは主羽根の背面がは

第 10 図 (c)

く離れたことによって流路がせまめられ、中間羽根前面の流れが速くなったためであると考えられる。

4. 結 言

中間羽根をもった羽根車は一般に羽根車外径に対して内径が小さい場合に有効な働きをするが、本実験では装置の関係で内外径比が 0.6 の割合大きい値を持つ

羽根車について実験したので、中間羽根の効果はあまりあらわれなかった。しかし内外径比が大きくても、羽根数が多い場合には、12枚の羽根車より主羽根 6 枚の間に中間羽根をそう入した羽根車を使用するほうが羽根車入口における阻害による損失を防ぐことができ、また所要動力を少なくすることができ効率が良好であることがわかった。なお今後羽根の位置、形状、

第 10 図 (d)

大きさなどを種々与えた実験を行なうとともに、中間羽根の理論的な研究を行なうことによりさらに効率の高い中間羽根をもった羽根車が得られることと思う。

文 献

- (1) 神元, 松岡, 白井, 機械学会論文集, 25, 153(昭34-5), 383.
 (2) 山根, 機械学会誌, 56, 414 (昭 28-7), 564.
 (3) A. Busemann, Z. AMM, 8(1928), 372.

533. 691. 01: [621. 67-253+621. 635-253]

うず巻形流体機械の羽根車内の流れについて*

(第6報, 三次元羽根車について)

松 岡 祥 浩**

On the Flow in the Impeller of Centrifugal
Type Hydraulic Machinery

(6th Report, The Three-Dimensional Impeller)

by Yoshihiro MATSUOKA

This paper deals with the theory and the experiment of the three-dimensional impeller, that is the impeller with blades of inconstant height, of centrifugal type hydraulic machinery. The theory is developed by using conformal mapping under the assumption that the flow does not differ much from a two-dimensional potential one, and assuming that the displacement flow is not affected by the inconstant blade height, but the through flow is affected by it.

The calculated results of this theory and two-dimensional one were compared with their respective, experimental results, proving good agreement among them.

1. 緒 言

うず巻形流体機械の羽根車内の流れを二次元的に取扱った理論的, 実験的な研究は内外の多くの人々によってなされているが, 三次元的な羽根車内の流れに関する研究は Wu⁽¹⁾, J. D. Stanitz⁽²⁾ ら少数の人によって発表されているのみであり, なおこれらの数値計算は容易ではなく, しかも厳密な意味での三次元理論ではない. この報告においてはうず巻形の二次元羽根車における理論計算式⁽³⁾を適用して三次元的な羽根車内の流れを理論的に補正する方法を試みている. この方法もごく近似的なものであって, 羽根車中心からの距離 r に対する流路高さ b の変化の割合があまり大きくない二次元羽根車に近い形状にのみ適用できるものである.

一般にうず巻形の羽根車内の流れは吹出し流れと押除け流れの両者を考えなければならないが, 押除け流れについては二次元流れの場合と同じであるという仮定, すなわち流路高さの変化による影響は受けなくても

のとして二次元理論をそのまま適用し, 吹出し流れのみが影響を受けるという考えで理論式を導いている.

なおこの理論は羽根車流路高さ b と羽根車中心よりその点までの距離 r との間に $r \cdot b = \text{一定}$ の関係, すなわち羽根車半径方向の速度がどの場所においても一定であるという特定の形状の羽根車にのみ適用できる式と, 流路高さ b と半径 r との間に任意の関数関係があるという一般性のある羽根車に適用できる式の二つの方法について導いている. なお第1図に示す羽根車について, 二つの方法による数値計算および実験を行ない, さらに羽根数, 羽根形状が全く同一の二次元羽根車の数値計算結果と実験結果を示し, これらをそれぞれ比較している. なおかつ第5報に報告したものと同じ方法で三次元羽根車内の流れの写真撮影を行なっている.

2. 羽根車流路高さ半径の積が一定の場合

第2図(a)のごとく座標の原点に吹出し Q をおくと, 原点より r の距離にあるP点の速度は $Q/2\pi r b$ となる. 羽根車出口の半径 $r_2=1$, 出口の流路高さ $b_2=1$ とすると, $r \cdot b = r_2 \cdot b_2 = 1$ となり, Z-平面上の

* 昭和 35 年 3 月 18 日 関西支部第 35 期定時総会議演会において講演, 原稿受付 昭和 35 年 12 月 20 日.

** 正員, 近畿大学理工学部 (布施市小若江).