

うず巻ポンプのキャビテーションに及ぼす 羽根車羽根入口先端形状の影響

Effect of the Tip Shape of Impeller Vane on Cavitation in Centrifugal Pump

横山重吉*
Shigeyoshi Yokoyama

内容梗概

実験用ポンプは透明側壁付の羽根車を有し外部よりキャビテーションの発生状況を観察しうるようになっており、またポンプとともに回転するU字形水銀圧力計により羽根車の羽根入口付近の羽根表面の静圧を測定できる。このポンプにおいて羽根入口先端の形状の異なる3種の羽根車につきそのキャビテーションの発生状況および羽根表面の静圧につき比較した。それにより次の結果をえた。

(1) 無衝撃流入においては羽根先端の半径がほとんど0に等しい、とがった形状のもの(0^r羽根車)がキャビテーション初生にもっとも有利であり、羽根先端の半径が2.5mmのずんぐりした形状(2.5^r羽根車)のものがもっとも早くキャビテーションを初生する。

羽根表面の圧力降下も2.5^r羽根車がもっとも大であり、0^r羽根車がもっとも小でキャビテーション発生状況と一致する。

(2) 次に無衝撃流入が行われない場合は迎え角が等しければキャビテーション初生は各羽根車につき同一の相対流速 W_{Q1} にておこる。

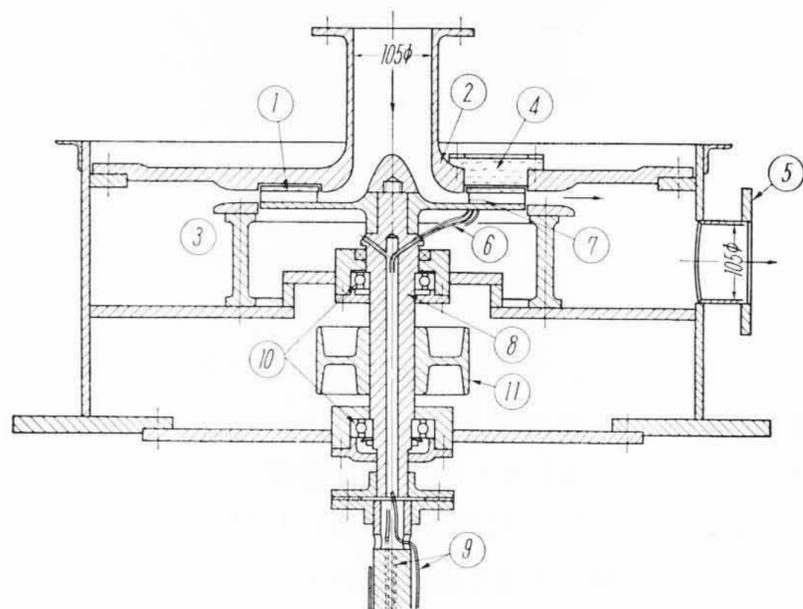
迎え角により初生の W_{Q1} は異なり、迎え角が正の場合(キャビテーションが羽根前面に発生する)のほうが負の場合よりキャビテーションに対して不利となった。

1. 緒言

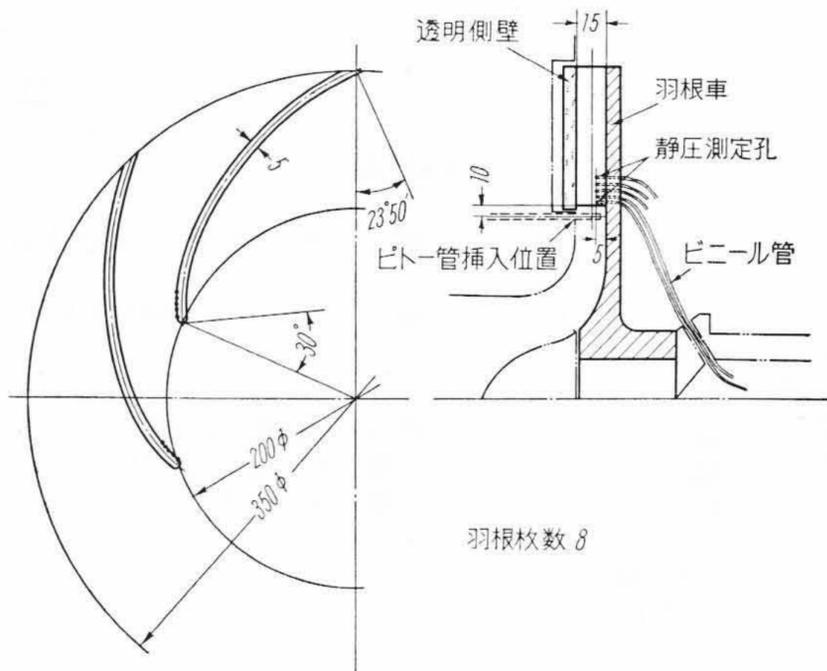
うず巻ポンプのキャビテーションについて従来行われた研究⁽¹⁾は少なくないが、ポンプ各要素、たとえば羽根車のほか、案内羽根、吸込管などの構造、寸法などがキャビテーションに、いかに影響するかを組織的に研究したものは筆者の知る範囲ではないようである。よって筆者は各要素ごとにそれらの構造、寸法などを変えこれらがキャビテーションにいかに影響するかを調べる目的で実験に着手した。その研究の第一段階として羽根車羽根入口先端形状の相違がキャビテーションに及ぼす影響について一部実験を終ったのでここにその結果につき報告する。

2. 実験用ポンプ

実験用ポンプは第1図に示すようなたて形うず巻ポンプである。図において①は組立式羽根車であって、その側壁は合成樹脂製の透明体である。②は透明体の窓④を有し吸込管と一体をなし、さらに羽根車の出口以後は③と対になって拡大水路の一部をなしている。羽根車を出た水は拡大水路を経て円形タンク内に放出され、さらに吐出管⑤を経て外部に導かれる。⑥はビニール製細管でその一方は羽根車に設けた静圧測定孔⑦に連結している。細管の他方は中空軸⑧を経て水銀柱圧力計⑨に導かれている。この水銀柱圧力計はポンプの回転軸の外周に14個取付けられており、ポンプとともに回転するようになっている⁽²⁾。中空軸⑧は軸受⑩によってささえられ、動力は⑪なるプーリを経て伝達される。水銀柱圧力計を取り付けたポンプ回転軸の下端は軸受によってささえら



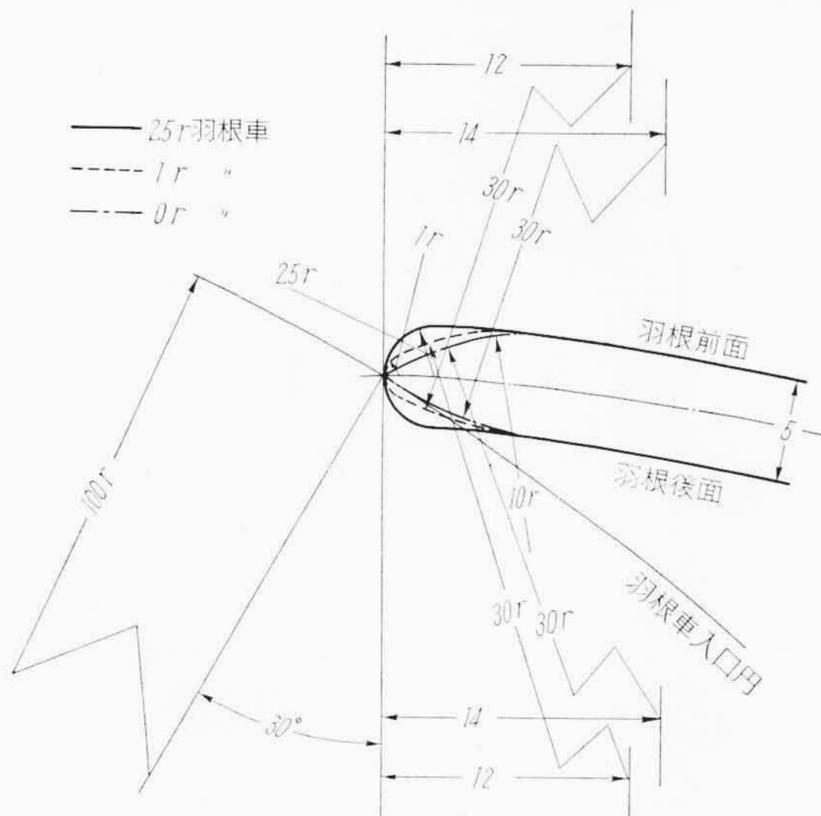
第1図 実験用ポンプ



第2図 実験用羽根車

れており、さらに回転数を測定しうるよう少し下方に延長されている。

* 日立製作所亀有工場

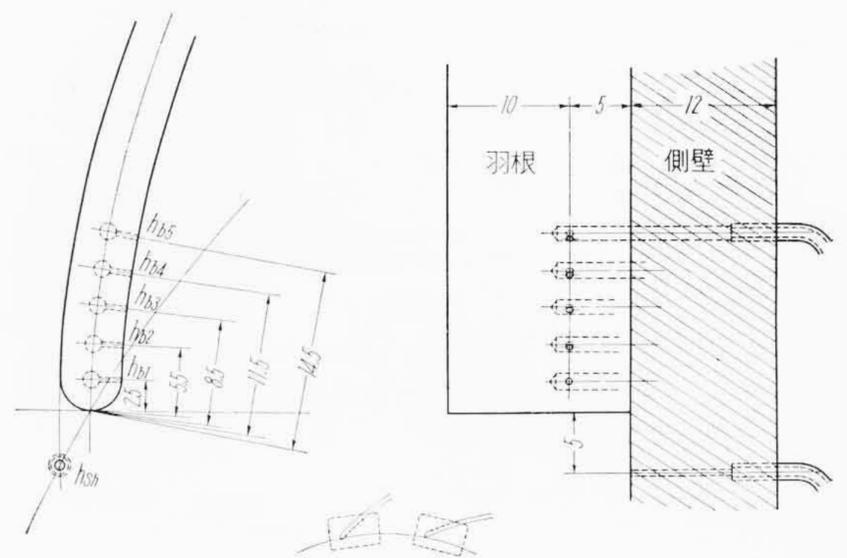


第3図 羽根車羽根入口先端形状

実験に用いた羽根車は第2図に示すように外径 350 mm, 内径 200 mm である。その側壁は透明体にて作製し, さらに小ネジにて羽根車に固定した。羽根の入口角は 30° であり, 出口角は $23^\circ 50'$ となっている。羽根の厚さは 5 mm とし, 羽根枚数は 8 である。羽根の幅は入口出口とも等しく 15 mm である。羽根入口直前における流れがなるべく均一な二次元流れに近づくよう入口の曲りからの距離を大きくとった。そのため羽根車外径に比し羽根入口径が大となっている。

この羽根車の羽根入口先端の形状を第3図に示すとおり3種類に変えた。羽根の先端の形状を変えるのには, はんだにて先端部分を盛金し, 所要の形状に成形した。3種類の羽根車を区別するには先端の半径によることとしそれぞれ 2.5r 羽根車, 1r 羽根車, 0r 羽根車と名付ける。2.5r および 1r 羽根車の羽根先端は羽根車の先端と同一の点にあるようにした。そのため 2.5r および 1r 羽根車の羽根後面はわずかに羽根車入口円(第3図参照)内に突出している。その量は 2.5r 羽根車の場合, 半径において 1.25 mm である。先端の形状が相違するので隣り合せの2枚の羽根間の通路面積が少しく異なる。その通路面積は 2.5r 羽根車が最小で $4,250 \text{ mm}^2$ であり, 0r 羽根車が最大で $4,320 \text{ mm}^2$ となる。しかしこのため羽根通路における平均流速は 1.2% の差を生ずるだけである。よって本実験ではこれを無視して先端の形状の比較を試みた。

羽根表面の静圧を測定しうるよう第4図に示すように隣り合せの2枚の羽根によって作られる流路において1枚の羽根にはその前面に, ほかの1枚の羽根にはその後面にそれぞれ5個合計して10個の測定孔(直径 0.5 mm)を設けた。これらの各測定孔の位置を羽根先端からの距離で表わすと第1表のようになる。測定孔は羽根幅の中



(2.5r 羽根車の場合)

第4図 羽根表面静圧測定孔の位置

第1表 羽根先端から各静圧測定孔までの距離

(単位 mm)

| 測定孔記号 | 2.5r羽根車 | 1r羽根車 | 0r羽根車 | |
|---------|----------|-------|-------|------|
| 羽根前面測定孔 | h_{f1} | 2.5 | 2 | 2 |
| | h_{f2} | 5.5 | 5.2 | 5 |
| | h_{f3} | 8.5 | 8.5 | 8.5 |
| | h_{f4} | 11.5 | 11.5 | 11.5 |
| | h_{f5} | 14.5 | 14.5 | 14.5 |
| 羽根後面測定孔 | h_{b1} | 2.5 | 2 | 2 |
| | h_{b2} | 5.5 | 5.2 | 5 |
| | h_{b3} | 8.5 | 8.5 | 8.5 |
| | h_{b4} | 11.5 | 11.5 | 11.5 |
| | h_{b5} | 14.5 | 14.5 | 14.5 |

心より少しくずれた位置, すなわちボス側の側壁面より 5 mm の位置に設けた。これらの測定孔は羽根面に直角にあけられている。また羽根先端より少し離れた側壁上にも静圧測定孔を設けてある。これら合計12個の孔は細管と羽根車側壁内にて連結し, その細管は前述のビニール管によって中空軸を経て下部の水銀圧力計に導かれている。

3. 記 号

本報告中に用いる記号の説明を次に述べる。

H : ポンプの総揚程 (mAq)

Q : ポンプの揚水量 (m^3/min)

N : ポンプの回転数 (rpm)

H_s : ポンプの吸込水頭 (mAq)

$$H_s = \frac{p_s}{\gamma} + \frac{v_s^2}{2g}$$

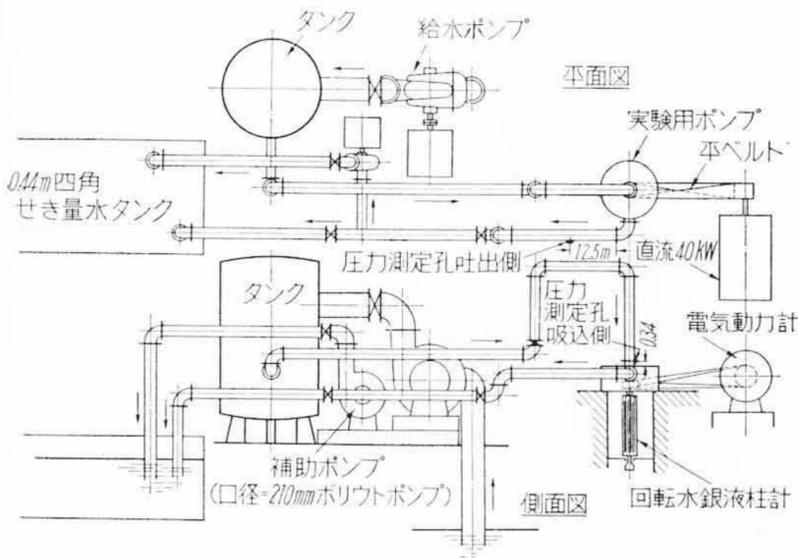
p_s/γ : 基準面に換算した吸込管における静圧 (mAq)
(基準面は羽根入口端の中心を含む面とした)

v_s : ポンプの吸込管における平均流速 (m/s)

p_0/γ : 基準面に換算した吐出管における静圧 (mAq)
(基準面は吸込管の場合と同一にとった)

v_0 : ポンプの吐出管における平均流速 (m/s)

p_1/γ : 羽根車直前 (羽根入口縁より上流側 10 mm の



第5図 実験装置

点)における静圧 (mAq)

v_1 : 同上における絶対流速 (m/s)

α_1 : v_1 の方向と円周方向とのなす角度

v_{Q1} : Q より算出した羽根車入口における絶対流速 (m/s)

$$v_{Q1} = \frac{Q}{\pi D_1 b_1 \times 60} \quad (\alpha_{Q1} = 90^\circ \text{と仮定した。})$$

D_1 : 羽根車入口直径 (m)

b_1 : 羽根車羽根入口幅 (m)

u_1 : 羽根車入口における円周速度 (m/s)

α_{Q1} : u_1 と v_{Q1} とのなす角度

w_{Q1} : 羽根車入口における相対流速 (m/s)

β_{Q1} : u_1 と w_{Q1} とのなす角度

β : 羽根入口角度

λ : キャビテーション発生により羽根前面にできるほうき状気泡群の長さ (mm)

λ' : キャビテーション発生により羽根後面にできるほうき状気泡群の長さ (mm)

h_f : 羽根前面における静圧水頭 (mAq)

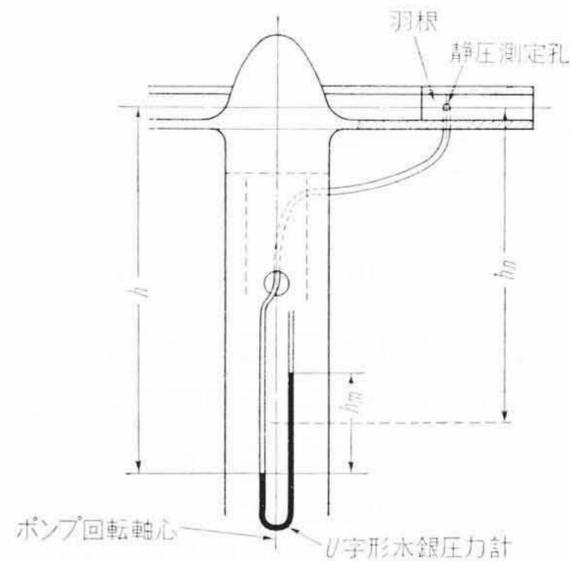
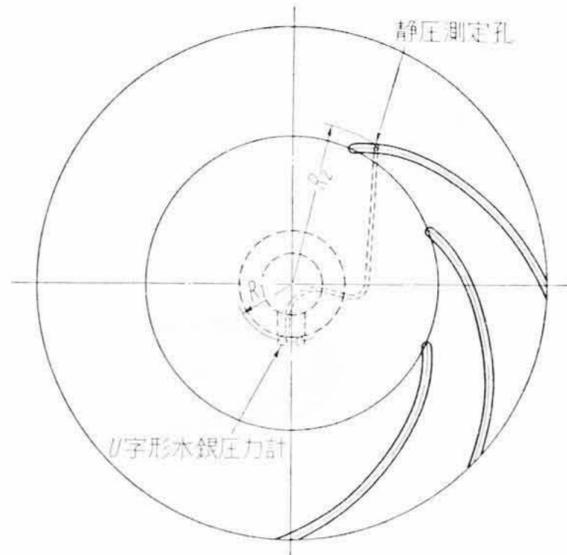
h_b : 羽根後面における静圧水頭 (mAq)

h_f, h_b には添字 1, 2, ……5 を付し, それぞれ各測定孔における値なることを示す。

4. 実験装置

実験装置を第5図に示す。実験用ポンプは給水ポンプによってタンクを介して所要の吸込水頭を与えられる。ポンプの駆動は横軸直流電気動力計(容量40kW)によって行った。吸込側および吐出側圧力は図示の各位置においてU字形水銀圧力計にて測定した。羽根入口直前の位置(羽根入口縁より10mm上流側)にはピトー管その入孔を設け, この点において流速の大きさ, 方向および静圧を三孔円筒ピトー管で測定した。

次に羽根前後面における静圧は前述の回転水銀柱圧力



第6図 回転水銀圧力計配管要領図

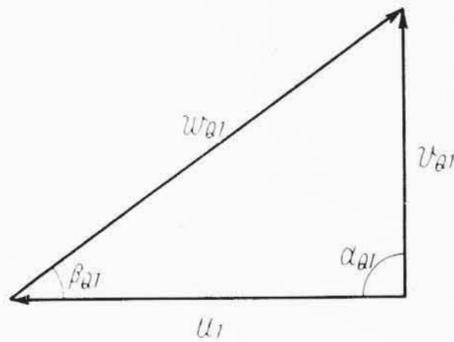
計によってポンプの運転中測定した。このU字管水銀圧力計はそのそばに目盛板をはり付けてあり, その読みをとるときはポンプの回転と同調したストロボライトにより照射した。回転水銀圧力計は遠心力のためその読みに補正を要する。第6図にこの圧力計の配管要領図を示す。図において R_1 はポンプ軸心から回転水銀圧力計のU字管までの半径距離を示し, R_2 は h_f 測定孔とポンプ軸心との半径距離, U_1 は軸心から R_1 にある水銀柱の円周速度, U_2 は軸心から R_2 にある静圧測定孔における円周速度, h は測定孔を通る水平線とU字管の圧力側水銀面との距離, h_n はこのU字管圧力計の圧力側が大気圧に連結されたとき, すなわちU字管の両側の圧力が平衡したときの水銀面と測定孔を通る水平線との距離, h_m はこの圧力計の読みである(図には羽根面における静圧水頭 h_f もしくは h_b が大気圧以上である場合を示した)。水銀柱の両側における圧力の平衡から次式が成立する。

$$h_f(\text{あるいは } h_b) - \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} + h = \gamma h_m \quad (\gamma: \text{水銀の比重})$$

これより h_f (あるいは h_b)を求めると

$$h_f(\text{あるいは } h_b) = \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} + (\gamma h_m - h)$$

上式中の h は次式で計算される。



第7図 羽根入口速度線図

$$h = h_n + \frac{h_m}{2 \times 1,000} \quad (\text{単位 m})$$

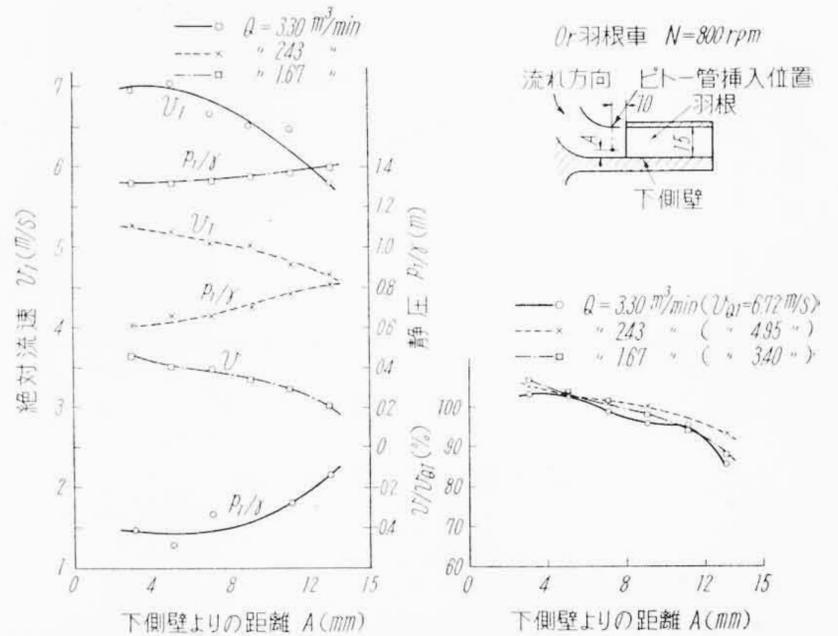
羽根に生ずるキャビテーションは前述の窓を通してストロボライトを用いて観測し、そのおり気泡群のなすほうき状の長さおよび発生箇所などを記録した。別にこの発生状況を瞬間写真によって撮影した。

ポンプの揚水量は量水タンクに設けた四角せきによって測定した。また吐出管の一部に口径 210 mm ポリウトポンプを設け(第5図参照), このポンプによって吐出管系の抵抗を負担させ総揚程が零に近い点までの実験を可能ならしめた。

5. 実験方法

従来キャビテーション実験においてはある一定の回転数にてポンプを運転し, 吸込水頭をある範囲に変えてキャビテーション発生状況または性能曲線の変化を測定している。かかる実験では性能曲線上の各点にて羽根入口における迎え角が種々変化すると同時に相対流速の大きさも変化して一般の翼形実験のごとく, 迎え角を一定にしておいて流速を種々変化させるということとはできない。よって本報告では実験方法を変え, 次の二通りの実験方法, すなわち(1)迎え角を一定として流速を種々変化させる方法, (2)流速を一定として迎え角を種々変化させる方法を選んだ。

最初の方法では羽根直前における相対流速の方向と円周方向とのなす角度 β_{Q1} を $36^\circ 30'$, 30° , $15^\circ 30'$ の3種類(迎え角 $\beta_{Q1} - \beta$ は $6^\circ 30'$, 0° , $-14^\circ 30'$ となる)にほぼ一定に保ち, それらの各角度において相対流速の大きさ w_{Q1} を後述するような方法にて種々変えて(約 2~11 m/s の範囲), そのときのポンプ揚水量, 総揚程, キャビテーション発生状況, 羽根表面における静圧などを測定した。この場合吸込水頭も種々変えた。角度を一定にして w_{Q1} を変えるのには次のようにした。羽根入口における速度線図を第7図のようにとり, $\alpha_{Q1} = 90^\circ$ と仮定すると $\beta_{Q1} = \tan^{-1} v_{Q1}/u_1$ となる。 β_{Q1} を一定として w_{Q1} , すなわち v_{Q1} を種々変えるには上式より u_1 , すなわちポンプの回転数 N を種々変えればよい。実際には N を 200~1,000 rpm の範囲に変えた。



第8図 羽根入口における流速および静圧

第2の方法として相対流速 w_{Q1} を一定 ($w_{Q1} = 10.45$ m/s) とし, β_{Q1} を $36^\circ \sim 10^\circ$ (迎え角 $\beta_{Q1} - \beta = 6^\circ, \sim -20^\circ$) の範囲に変えそのときのポンプ揚水量, 総揚程, キャビテーション発生状況, 羽根表面における静圧などを測定した。その実験方法は次のようにした。第7図において $w_{Q1} = \sqrt{v_{Q1}^2 + u_1^2}$ となる。この式を用い w_{Q1} を一定とするように u_1 (すなわち N) および v_{Q1} (すなわち Q) を調節した。実際には $N = 800 \sim 980$ rpm の範囲に変えた。

6. 実験結果

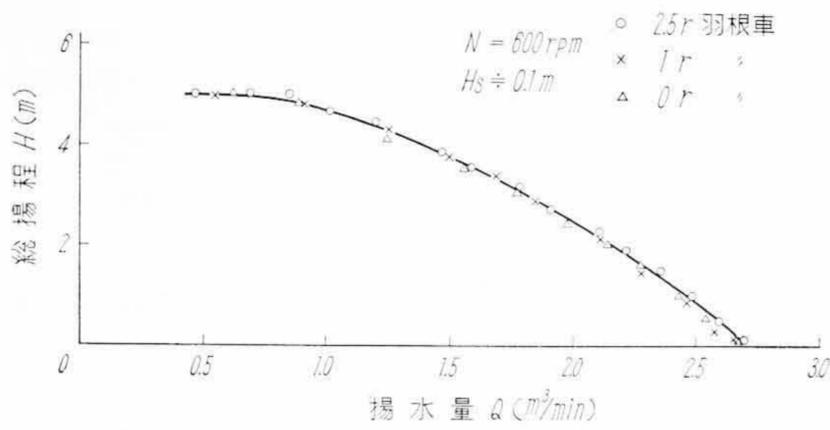
6.1 羽根入口直前における流速および静圧

羽根入口直前の位置(羽根入口縁より 10 mm 上流側)において流速の大きさ, 方向, 静圧を実測した。第8図は 0° 羽根車の $N = 800$ rpm における結果を図示したものである。図の横軸には羽根車下側壁よりの距離 A mm をとり, 縦軸には絶対流速 v_1 , 静圧 p_1/γ および v_1/v_{Q1} をそれぞれとってある。

揚水量 Q を 1.67, 2.43, 3.30 m³/分の3種類に変化してあるが, いずれの場合でも v_1 は下側壁に近づくと高速となり, また Q が大なるほど v_1 曲線の勾配は急になっている。これは羽根入口の曲りの影響により上側壁にて流れのはく離が起るためと思われる。

静圧 p_1/γ は下側壁のほうが低圧となり, Q が大なるほど減圧の程度が多い。したがって羽根幅の中央より下側壁に寄ったほうにキャビテーションが発生しやすいと思われる。

第8図の右側の図は Q から求めた v_{Q1} と v_1 との比を示してある。羽根幅の中央においては $v_1/v_{Q1} = 100\%$ を示している。流速の方向 α_{Q1} は羽根幅方向の各測定点においていずれもほぼ 90° となった。すなわち流れは半径方向であると見なせる。



第 9 図 H-Q 曲 線

6.2 H-Q 曲 線

各羽根車の $N=600$ rpm における $H-Q$ 曲線を図示すると第 9 図のようになる。 H_s は約 0.1 m の場合である。 $H-Q$ 曲線には各羽根車により確然たる区別はつけられない。

6.3 羽根への迎え角とキャビテーション発生状況

前述した実験方法のうち第 2 の方法により、 w_{Q1} を一定の状態 ($w_{Q1}=10.45$ m/s) にして N を $800\sim 900$ rpm の範囲に変化することにより β_{Q1} を種々変えそのときのキャビテーションによる気泡群の長さ λ および λ' を測定した。この場合の H_s は 2.2 m に定めた。

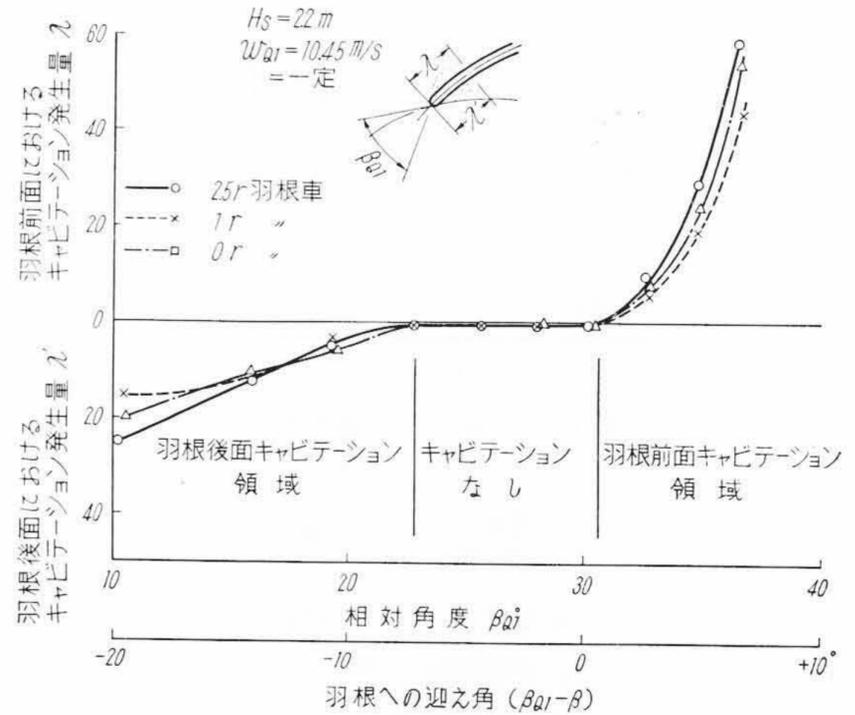
実験結果を図示すると第 10 図のとおりである。図の横軸には相対角度 β_{Q1} または羽根への迎え角 ($\beta_{Q1}-\beta$) をとり縦軸には λ および λ' をとってある。

各羽根車とも無衝撃流入 ($\beta_{Q1}-\beta=0$) のときはキャビテーションの発生は見られない。それより大なる迎え角では角度が少し増加すると敏感にキャビテーションが羽根前面に発生し、その長さはかなり大である。無衝撃流入より迎え角が小となると、かなりの間 ($\beta_{Q1}-\beta=0\sim -7$) までキャビテーションの発生はない。それ以下の迎え角になってはじめてキャビテーションが羽根後面に発生している。しかしその長さは -20° になっても前面ほどの発生長さに到達していない。

羽根前面のキャビテーション発生長さは $2.5r$ 羽根車が最大であり、次に $0r$ 羽根車の発生長さが大であり、 $1r$ 羽根車の発生長さが最小である。羽根後面のキャビテーション発生長さは前面の場合ほど各羽根車間にはっきりした差は見られないが、 β_{Q1} が $10\sim 14^\circ$ の範囲では前面における順位と同一になり、 $2.5r$ 羽根車が最大で $1r$ 羽根車が最小となる。また全般的に各羽根車とも前面における発生長さが後面のそれに比較して大となっている。

6.4 種々な流速 w_{Q1} におけるキャビテーション発生状況

第 1 の実験方法により各羽根車において β_{Q1} を一定として w_{Q1} を変化させその場合のキャビテーションの発生状況について観察した。 H_s は 2.2 m と一定に保った。



第 10 図 $H_s=2.2$ m における各羽根車キャビテーション発生状況

実験の結果を図示すると第 11 図のようになる。図は $\beta_{Q1}=36^\circ 30'$, 30° , $15^\circ 30'$ の各場合の w_{Q1} とキャビテーションの発生長さ λ , λ' との関係を図示したものである。図の左上は $\beta_{Q1}=36^\circ 30'$ の場合であり、図の左下は $\beta_{Q1}=30^\circ$ の場合である。これらの場合は羽根前面にのみキャビテーションが発生している。図の右上は $\beta_{Q1}=15^\circ 30'$ の場合であり、羽根後面にのみキャビテーションが発生している。

羽根入口先端の形状の差が発生量に与える影響について考える。 $\beta_{Q1}=36^\circ 30'$ の場合 ($\beta_{Q1}-\beta=6^\circ 30'$) $2.5r$ 羽根車では $w_{Q1}=6.5$ m/s に至るとキャビテーションを発生する。初生後のキャビテーション発生長さは本実験の全範囲にわたって $1r$ 羽根車より長い。

$1r$ 羽根車は $2.5r$ 羽根車と同様に $w_{Q1}=6.5$ m/s においてキャビテーションを初生する。初生後の発生長さはこの羽根車が最小である。

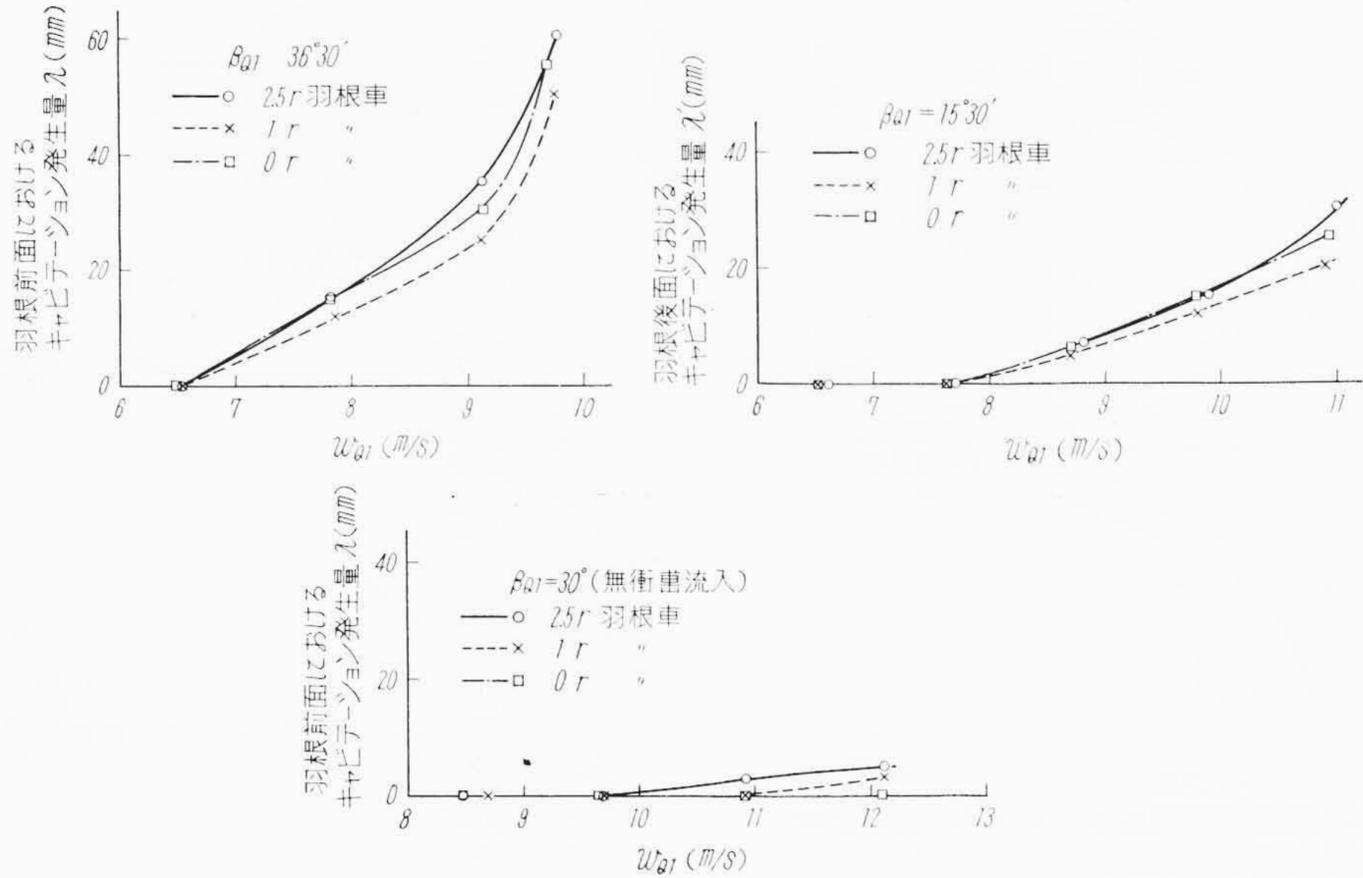
$0r$ 羽根車のキャビテーションは初生の w_{Q1} は前と同様に $w_{Q1}=6.5$ m/s である。初生後は $2.5r$ 羽根車と大差のない発生長さを示している。

次に $\beta_{Q1}=15^\circ 30'$ の場合も各羽根車の初生の w_{Q1} は同一でその値は $w_{Q1}=7.6$ m/s でそれ以上の w_{Q1} においては $1r$ 羽根車の λ の値が最小で $2.5r$ 羽根車、 $0r$ 羽根車は λ の値に差が見られない。また $\beta_{Q1}=30^\circ$ においては各羽根車の初生の w_{Q1} が異なる。 $2.5r$ 羽根車は $w_{Q1}=9.7$ m/s において、 $1r$ 羽根車は $w_{Q1}=10.9$ m/s において初生し、 $0r$ 羽根車は本実験の範囲内ではキャビテーションの発生はなかった。

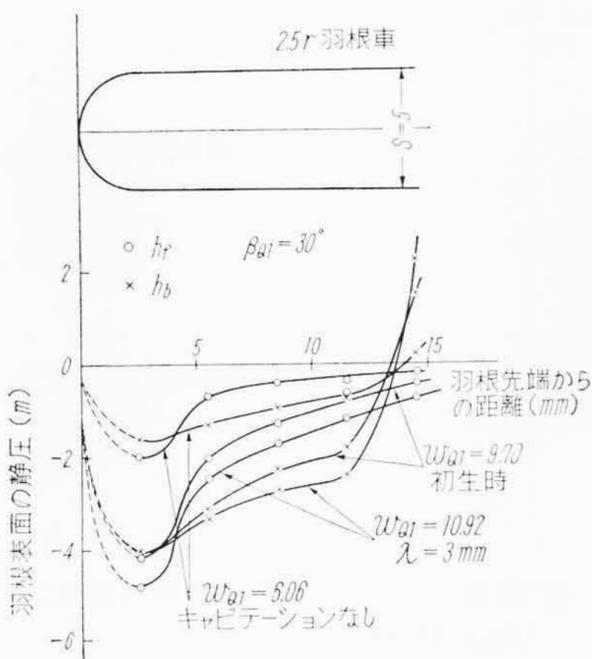
6.5 種々な流速 w_{Q1} における羽根表面の静圧

6.5.1 $\beta_{Q1}=30^\circ$ (無衝撃流入) の場合

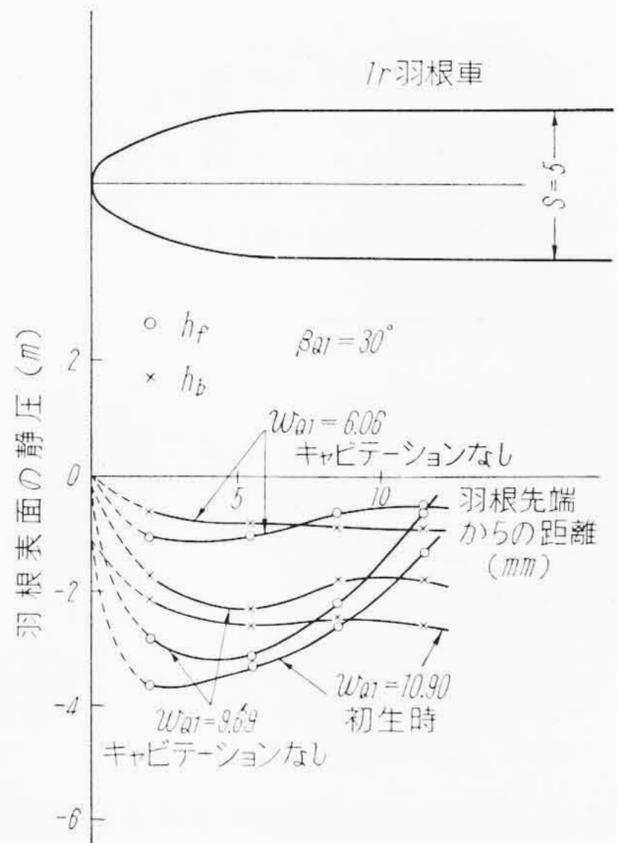
第 12-I, 12-II, 12-III 図に各羽根車の $\beta_{Q1}=30^\circ$



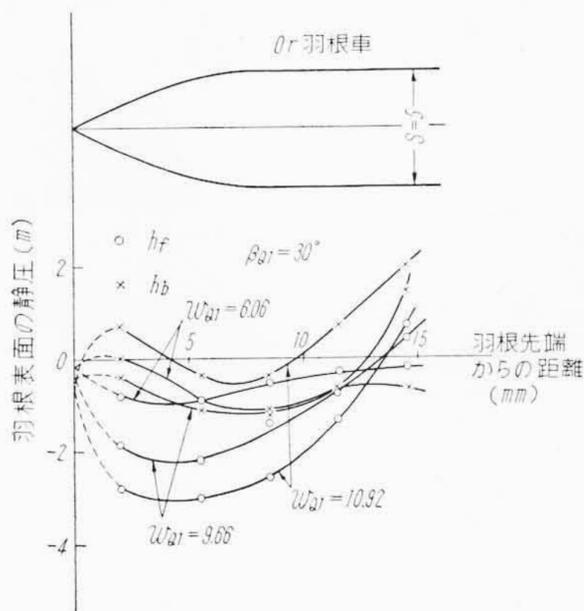
第11図 各羽根車における $w_{Q1}-\lambda, \lambda'$ 曲線



第12図—I 2.5r 羽根車羽根表面静圧 ($\beta_{Q1} = 30^\circ$)

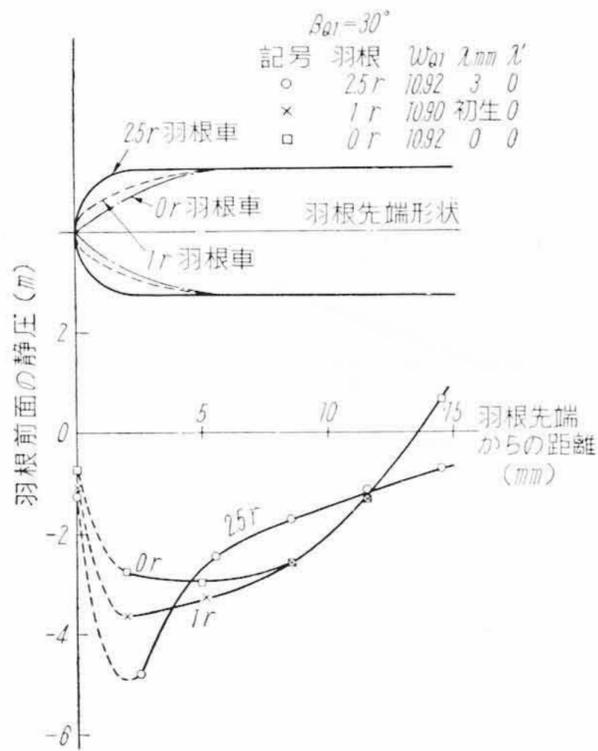


第12図—II 1r 羽根車羽根表面静圧 ($\beta_{Q1} = 30^\circ$)

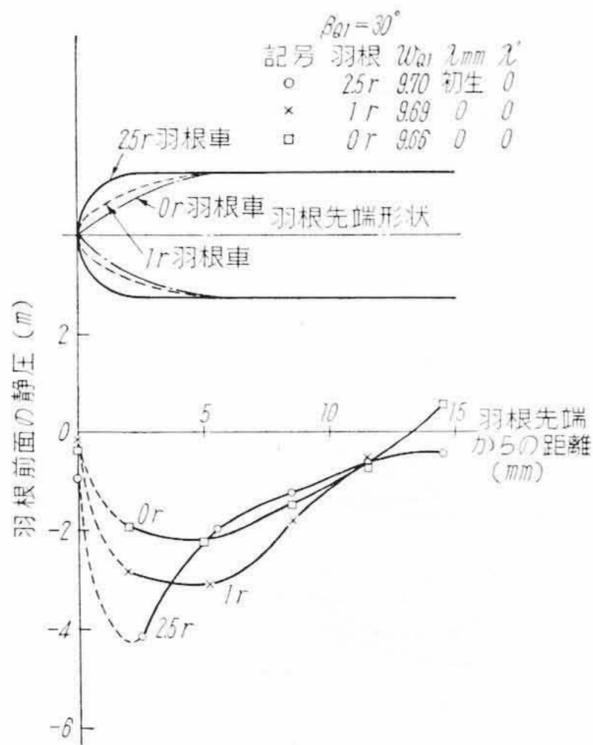


第12図—III 0r 羽根車羽根表面静圧 ($\beta_{Q1} = 30^\circ$)

における羽根表面の静圧分布を示す。図の横軸には羽根入口先端より羽根中心線に沿って静圧測定孔までの距離をとり縦軸には羽根表面の静圧 h_f, h_b をとっている。羽根先端においては h_f と h_b とは一致すべきであるが、これは測定が困難であるから、先端に近い側壁上の静圧を測定してこれをもって羽根先端の静圧と見なして図にプロットした。(静圧はいずれもゲージ圧にて表わす) 第12—I 図は 2.5r 羽根車, 第12—II 図は 1r 羽根車, 第12—III 図は 0r 羽根車の場合であってそれぞれ w_{Q1} を 6.06, 9.7, 10.92 m/s にした場合

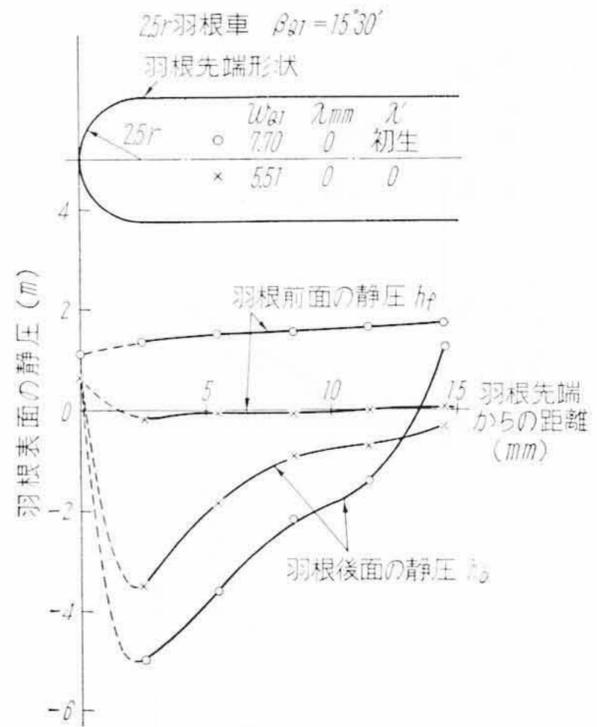


第13図 各羽根車羽根前面における静圧の比較 ($\beta_{Q1} = 30^\circ, w_{Q1} \doteq 10.9$ m/s)

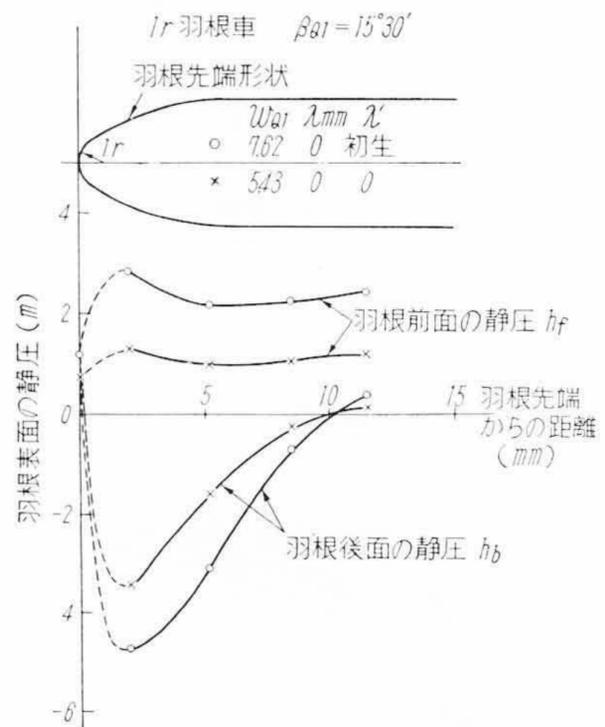


第14図 各羽根車羽根前面における静圧の比較 ($\beta_{Q1} = 30^\circ, w_{Q1} \doteq 9.7$ m/s)

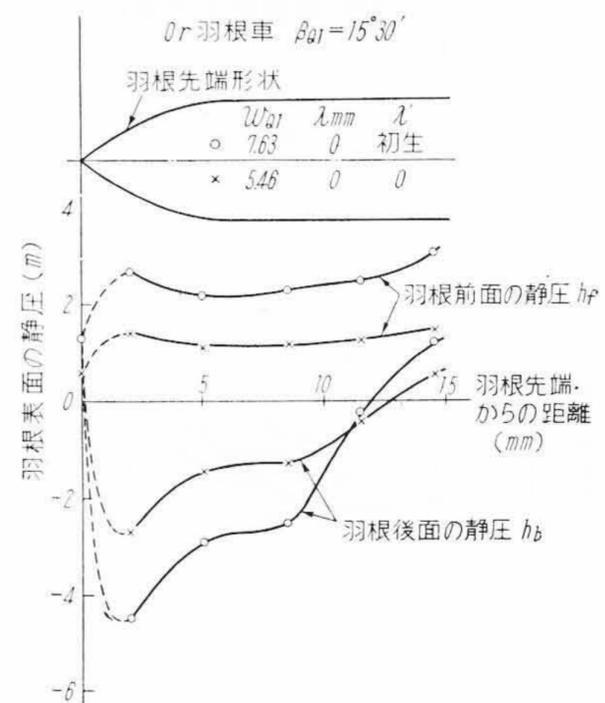
につき図示してある。第11図につきすでに述べたごとく、 $\beta_{Q1} = 30^\circ$ においてはいずれの羽根車も羽根後面にキャビテーションの発生はないので、羽根前面の静圧 h_f について各羽根車を比較してみると第13, 14図のようになる。第13図は $w_{Q1} \doteq 10.9$ m/s の場合、第14図は $w_{Q1} \doteq 9.7$ m/s の場合である。これら両図より各羽根車の最低圧およびその位置 x/s (x : 羽根先端より最低圧の点までの距離, s : 羽根の入口厚さ) を求め、これを第2表に掲げる。 $w_{Q1} = 10.9$ m/s (第13図) においては羽根前面の最低圧 $h_f \text{ min}$ は 25r 羽根車 < 1r 羽根車 < 0r 羽根車の順となり、25r 羽根車において羽根車表



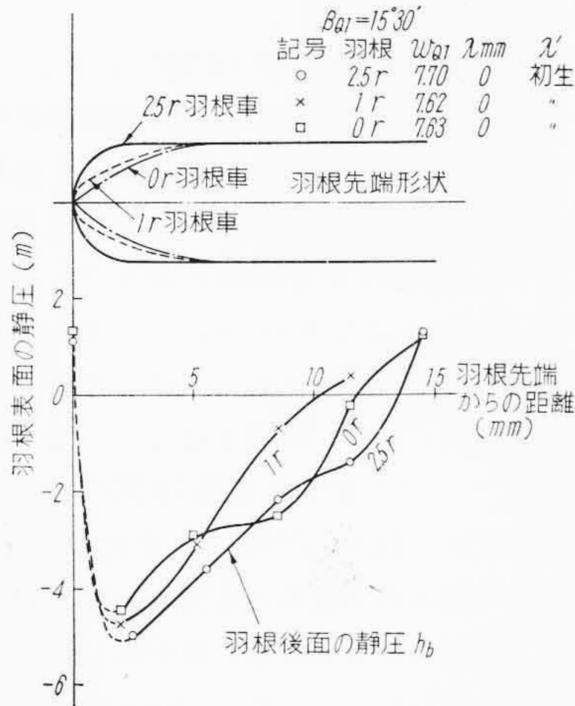
第15図-I | 25r 羽根車羽根表面静圧 ($\beta_{Q1} = 15^\circ 30'$)



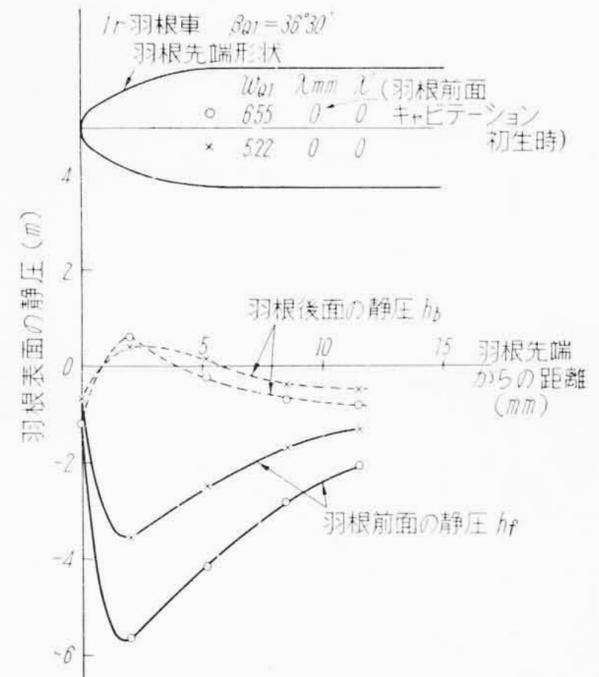
第15図-II | 1r 羽根車羽根表面静圧 ($\beta_{Q1} = 15^\circ 30'$)



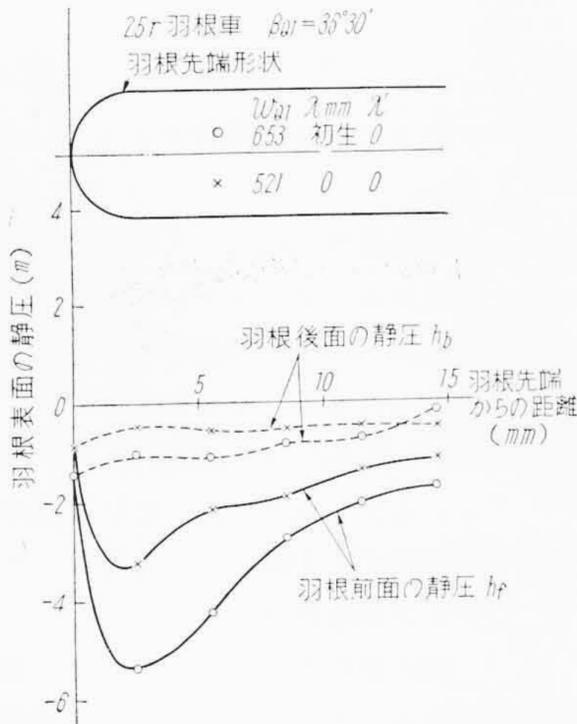
第15図-III | 0r 羽根車羽根表面静圧 ($\beta_{Q1} = 15^\circ 30'$)



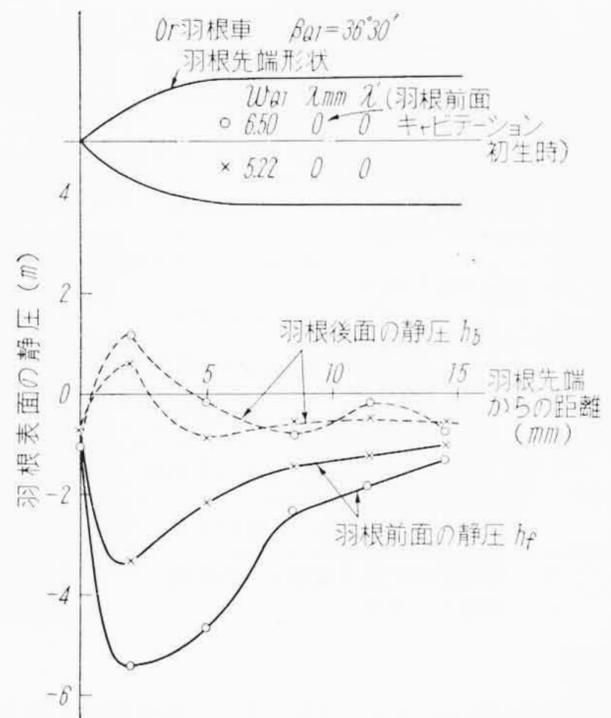
第16図 各羽根車羽根後面における静圧の比較 ($\beta_{Q1} = 15^\circ 30'$, $w_{Q1} \div 7.7$ m/s)



第17図-II 1r羽根車羽根表面の静圧 ($\beta_{Q1} = 36^\circ 30'$)



第17図-I 2.5r羽根車羽根表面の静圧 ($\beta_{Q1} = 36^\circ 30'$)



第17図-III 0r羽根車羽根表面の静圧 ($\beta_{Q1} = 36^\circ 30'$)

面の圧力降下はもっとも大である。一方2.5r羽根車においてはキャビテーションは初生の範囲をこえてかなりの発生長さを示し、1r羽根車においてはキャビテーション初生時であり、0r羽根車はキャビテーションなしの状態であり、各羽根車のキャビテーション発生状況は羽根表面の静圧の圧力降下の順と一致している。 $w_{Q1} = 9.7$ m/sにおいてもこの事実はなりたっている。Pötter⁽³⁾氏およびWeinig⁽⁴⁾氏は摩擦なき二次元流れ中に置いた種々な形状の先端部を有する半無限板上の圧力分布(無衝撃流入時)を理論的に求めている。Weinig氏の計算結果によれば本報告中の2.5r羽根車に相当するずんぐりした先端形状は圧力降下がかかり多く、0r羽根車と類似した先のすどい先端形状では

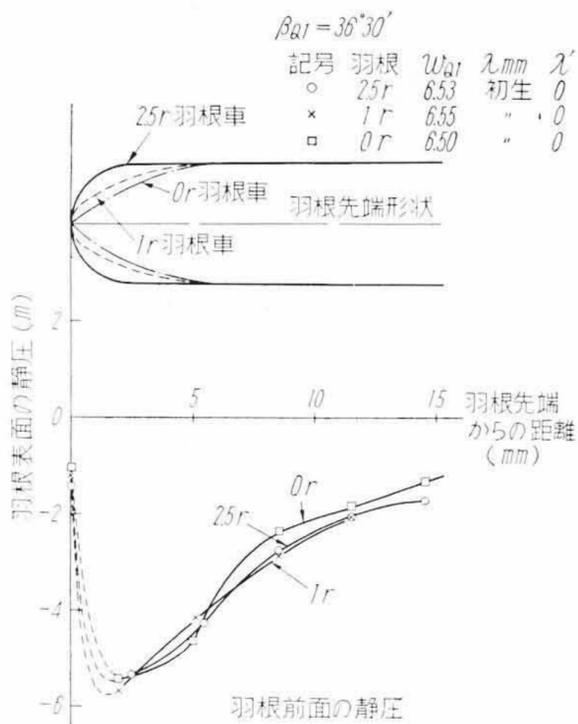
それに比して圧力降下が少ない。これは本報告の結果と一致している。

最低圧の位置は本報告においては第2表に示すように先端の形状によって異なり各羽根車とも曲率の変化する付近にあると思われる。(ただし1r羽根車の $w_{Q1} = 10.9$ の場合はそれと異なる)

Weinig氏の結果によると2.5r羽根車相当のものでは $x/s = 0.43$ であるが、本実験では $x/s = 0.5$ でありかなりこれに近い値を示している。0r羽根車では本実験においては $x/s = 1.0$ なる結果をえているが、Weinig氏のこれに類似したものでは $x/s = 1.26$ となっている。

6.5.2 $\beta_{Q1} = 15^\circ 30'$ ($\beta_{Q1} - \beta = 14^\circ 30'$) の場合

$\beta_{Q1} = 15^\circ 30'$ における各羽根車の羽根表面の静圧を



第18図 各羽根車羽根前面における静圧の比較 ($\beta_{Q1} = 36^\circ 30'$ ($w_{Q1} \doteq 6.5$ m/s))

第2表 羽根表面最低圧およびその位置

| 羽根車種類 | | 2.5r羽根車 | 1r羽根車 | 0r羽根車 |
|-----------------------------|---------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| $\beta_{Q1} = 30^\circ$ | $w_{Q1} = 10.9$ m/s | $h_{f \min} = -4.7$ m $x/s = 0.5$ | $h_{f \min} = -3.65$ m $x/s = 0.4$ | $h_{f \min} = -3.0$ m $x/s = 1$ |
| | $w_{Q1} = 9.7$ m/s | $h_{f \min} = -4.2$ m $x/s = 0.5$ | $h_{f \min} = -3.1$ m $x/s = 1$ | $h_{f \min} = -2.3$ m $x/s = 1$ |
| $\beta_{Q1} = 15^\circ 30'$ | $w_{Q1} = 7.7$ m/s | $h_{b \min} = -4.95$ m $x/s = 0.5$ | $h_{b \min} = -4.75$ m $x/s = 0.4$ | $h_{b \min} = -4.45$ m $x/s = 0.4$ |
| | | $h_{f \min} = 5.4$ m $x/s = 0.5$ | $h_{f \min} = -5.7$ m $x/s = 0.4$ | $h_{f \min} = -5.45$ m $x/s = 0.4$ |

x : 最低圧の位置 (先端よりの距離) $h_{f \min}$: 羽根前面最低圧
 s : 羽根入口厚さ $h_{b \min}$: 羽根後面最低圧

図示すると第15-I, 15-II, 15-III図のようになる。第15-I図は2.5r羽根車, 第15-II図は1r羽根車, 第15-III図は0r羽根車の場合であってそれぞれ $w_{Q1} \doteq 5.5$ m/s および 7.7 m/s にした場合につき図示してある。

第11図につきすでに述べたとおり $\beta_{Q1} = 15^\circ 30'$ においては羽根前面にキャビテーションの発生はないので, 羽根後面の静圧 h_b について比較すると第16図のようになる。これより最低圧およびその位置を求め第2表に掲げてある。この場合の最低圧は各羽根車とも大差ない値となり, 一方キャビテーション発生状況は各羽根車とも等しくちょうど初生の状態である。すなわち $\beta_{Q1} = 15^\circ 30'$ においては羽根表面の圧力降下がほぼ同一でありそのキャビテーション発生状況もまた同一になり各羽根車間に優劣はつけにくい。

最低圧の位置は2.5r羽根車においては $\beta_{Q1} = 30^\circ$ の場合と同様であるが, 1r羽根車および0r羽根車はか

なり先端に近い ($x/s = 0.4$)。

6.5.3 $\beta_{Q1} = 36^\circ 30'$ ($\beta_{Q1} - \beta = 6^\circ 30'$) の場合

$\beta_{Q1} = 36^\circ 30'$ における各羽根車の羽根表面の静圧を図示すると第17-I, 17-II, 17-III図のようになる。第17-I図は2.5r羽根車, 第17-II図は1r羽根車, 第17-III図は0r羽根車の場合であってそれぞれ $w_{Q1} \doteq 5.2$ m/s および 6.5 m/s にした場合につき図示してある。 $\beta_{Q1} = 36^\circ 30'$ においては前述のように羽根後面にキャビテーションの発生はないので, 羽根前面の静圧 h_f について比較すると第18図のようになる。これより最低圧の値および位置を求め第2表に掲げた。最低圧の値は各羽根車とも大差ない。一方キャビテーション発生状況も大差ない値を示し, 各羽根車間に相違は認められない。しかし $\beta_{Q1} = 15^\circ 30', 30^\circ$ の場合に比し低圧の程度はさらに大となっている。また最低圧の位置は各羽根車ともほぼ等しくかなり先端近くにある。

7. 結 言

以上の結果を要約すると次のようになる。

無衝撃流入においては先の鋭い0r羽根車がキャビテーション初生にもっとも有利であり, 次に1r羽根車がよく, 2.5r羽根車はもっとも早くキャビテーションを初生する。羽根表面の圧力降下も2.5r羽根車をもっとも大であり, 次いで1r羽根車, 0r羽根車の順に圧力降下が小となり, キャビテーション発生状況と一致する。

次に無衝撃流入が行われない場合は迎え角が等しければキャビテーション初生は各羽根車につき同一の流速 w_{Q1} にておこる。迎え角が相違すれば初生の w_{Q1} の値は異なり, 迎え角が $6^\circ 30'$ の場合のほうが迎え角が $-14^\circ 30'$ の場合よりキャビテーションに対して不利である。羽根表面の圧力降下についてもキャビテーション発生状況と同様各羽根車とも大差ない。また迎え角が $6^\circ 30'$ の場合が迎え角 $-14^\circ 30'$ の場合より圧力降下量は多くなっている。

終りに臨み本研究に対し終始ご指導をいただいた日立製作所亀有工場小堀博士に深甚なる謝意を表し, あわせて実験に従事された同工場井上幸作君に謝する。

参 考 文 献

- (1) たとえば G. F. Wislicenus, R. M. Watson, I. J. Karassik: Trans. ASME 61-1 17 (1939)
C. A. Gongwer: Trans. A. SME 63-1 29 (1941)
- (2) A. J. Acosta: Trans. A. SME 76-7 749 (1954)
- (3) H. Pötter: Z. AMM 9-2 85 (1929-4)
- (4) F. Weinig: Z. AMM 13-3 224 (1933-6)