

実物フランシス水車の羽根車出口の水の 流動状態の測定

山崎卓爾* 手島友亮**

The Measurement of the Flow Outgoing the Francis Turbine Runner

By Takuji Yamazaki and Tomosuke Tejima
Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

This report deals with the experimental investigation the writers carried out recently into the behavior of the water flow released from the 16,500 kW Francis turbine runner. There have been a lot of reports available to date which give the theoretical answer to this interesting problem of what pattern would take the water flow after it has come out of the runner. But those reports, being based on the presumption in each researcher's own way, equally have been in lack of backing by actual observation, and this was a reason for the writers' experiment described herein, which ended satisfactory in revealing the qualitative tendency of the flow as summarized below:

- (1) In the loaded condition under which the turbine approaches the maximum efficiency, the flow coming out of the runner shows an almost entirely uniform distribution of axial flow.
- (2) When the above limit of loading is exceeded the whirl is mingled in the flow, spinning in counter direction to the rotating direction of the runner, and when the load falls short of the above limit, the whirl is caused but spinning in the same direction as the runner rotation, increasingly near the turbine center in both cases.
- (3) The increase and the decrease of the water for the turbine with any loads which place the turbine out of the maximum efficiency are handled by the whirl under the lower part of the runner which grows or declines accordingly.
- (4) The water flowing alongside the pipe wall takes axial direction almost uniformly, irrespective of the loading condition.

These results, furthermore, showed a good agreement with those of their previous study conducted in Hitachi Hydraulic Laboratory.

〔I〕 緒 言

フランシス水車の羽根車より出た水の流れに就いては種々理論的な研究^{(1)~(3)}があり、また模型水車に就いて

* ** 日立製作所日立研究所

は数年前より日立製作所日立研究所の水力実験室でかなり詳細な実験的研究⁽⁴⁾を行い相当の成果を収めて来たが、実物水車に関する実験的な研究は非常に乏しく、今井恒三郎氏の実験⁽⁵⁾以外には殆ど見受けられないようである。これは周知の如く羽根車の下部には空洞が発生

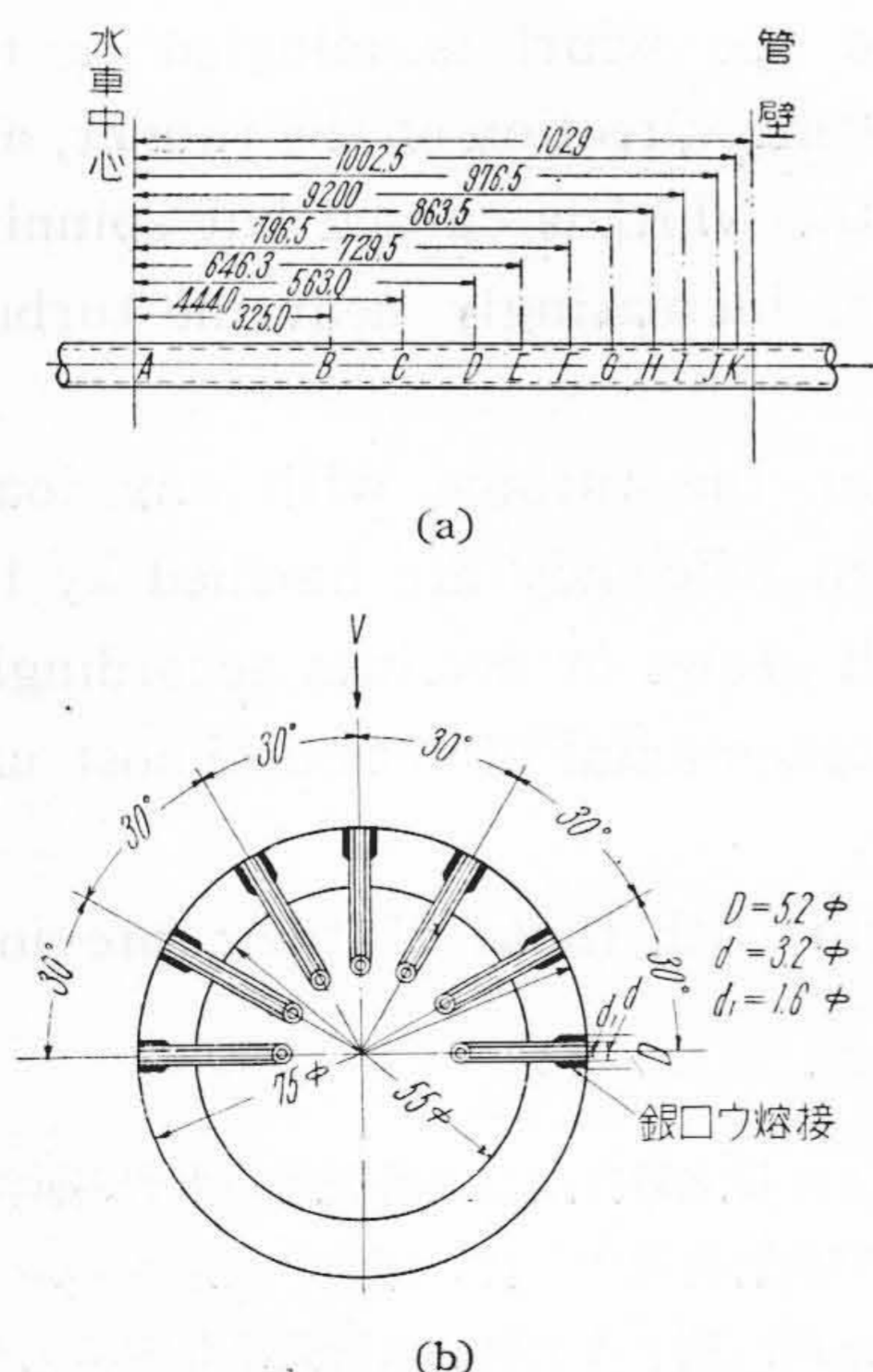
し、そのうえこの空洞が非常に不安定な旋回をなし、水の流れは極めて複雑で測定には相当の困難が伴い、またなかなかこの種の試験をする機会が得られないためと考えられる。たまたま昭和28年の夏に16,500 kW フランス水車⁽⁶⁾に就いて大規模な総合的試験が実施せられ、その一端としてこの試験を行う機会を得た。その結果、羽根車を出た水の定性的な性質を究明することができ、さらにこの結論は実験室の模型水車による試験の結果とよく合致した傾向を示し、こゝにフランス水車の羽根車出口の水の流れの状態を確認するに至った。

〔II〕 試験方法

羽根車直後の吸出管の上部に連るドラフトパイプを利用し、人孔に隣接して第1図のような直径75 mmの円筒型ピトー管^{(7)~(9)}の原理に基いた測定管を第2図の要領で差し込んで、水の旋回角度のvari方及び旋回速度と軸方向速度の分布状態を測定した。

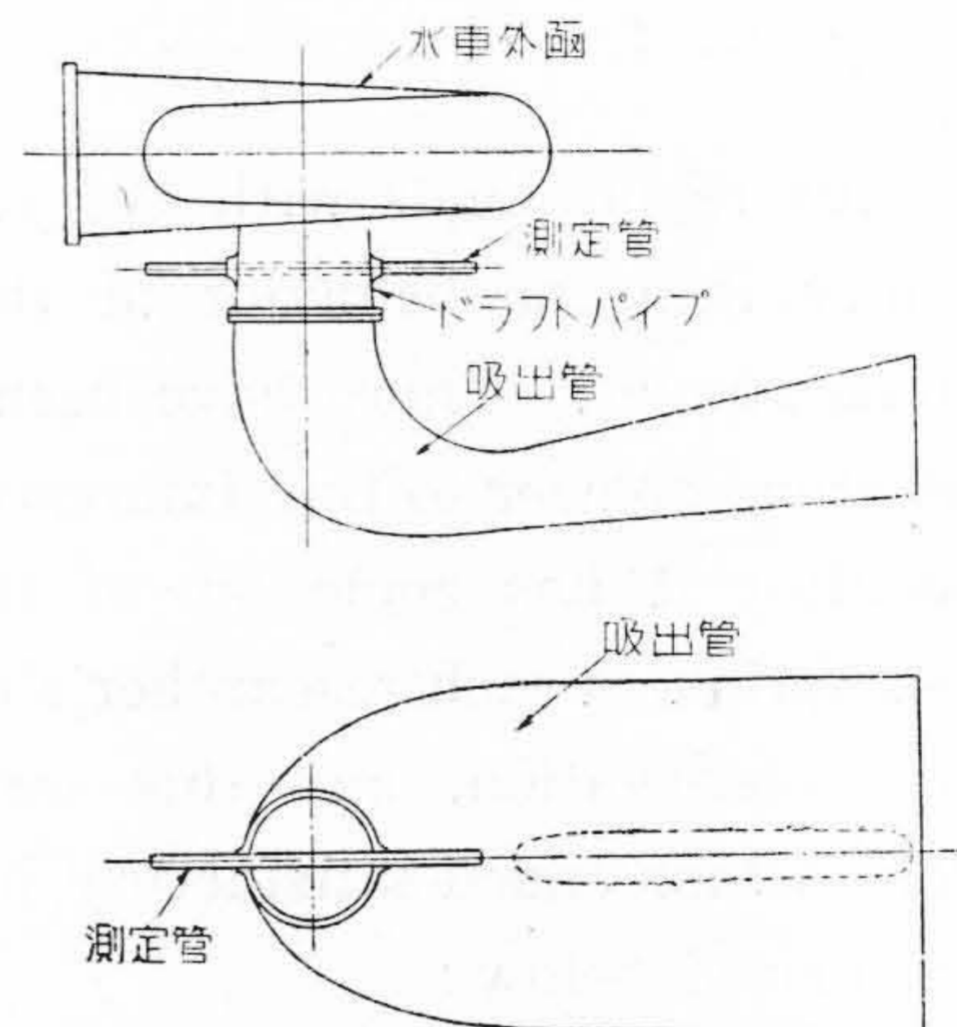
試験は空気弁を閉じた場合と開いた場合の2つの条件のもとで、負荷4/4, 3/4, 2/4, 1/4の4種の状態に就き合計8回の測定を行った。

今回使用した測定管は第1図(a)に示すように、ドラフトパイプの測定断面を5つの環状等面積に分割し、所謂5点法⁽¹⁰⁾に基く測圧位置B, D, F, H, Jに各環状面積の平均流速を求める測圧孔群を設け、更に管壁附近の流速分布を詳細に知るために管壁とJの中間のK, HとJの中間のIにも同様な測圧孔群を設けた。なおA, C, E, Gの4箇所には速度分布を画くうえの参考用として上流側

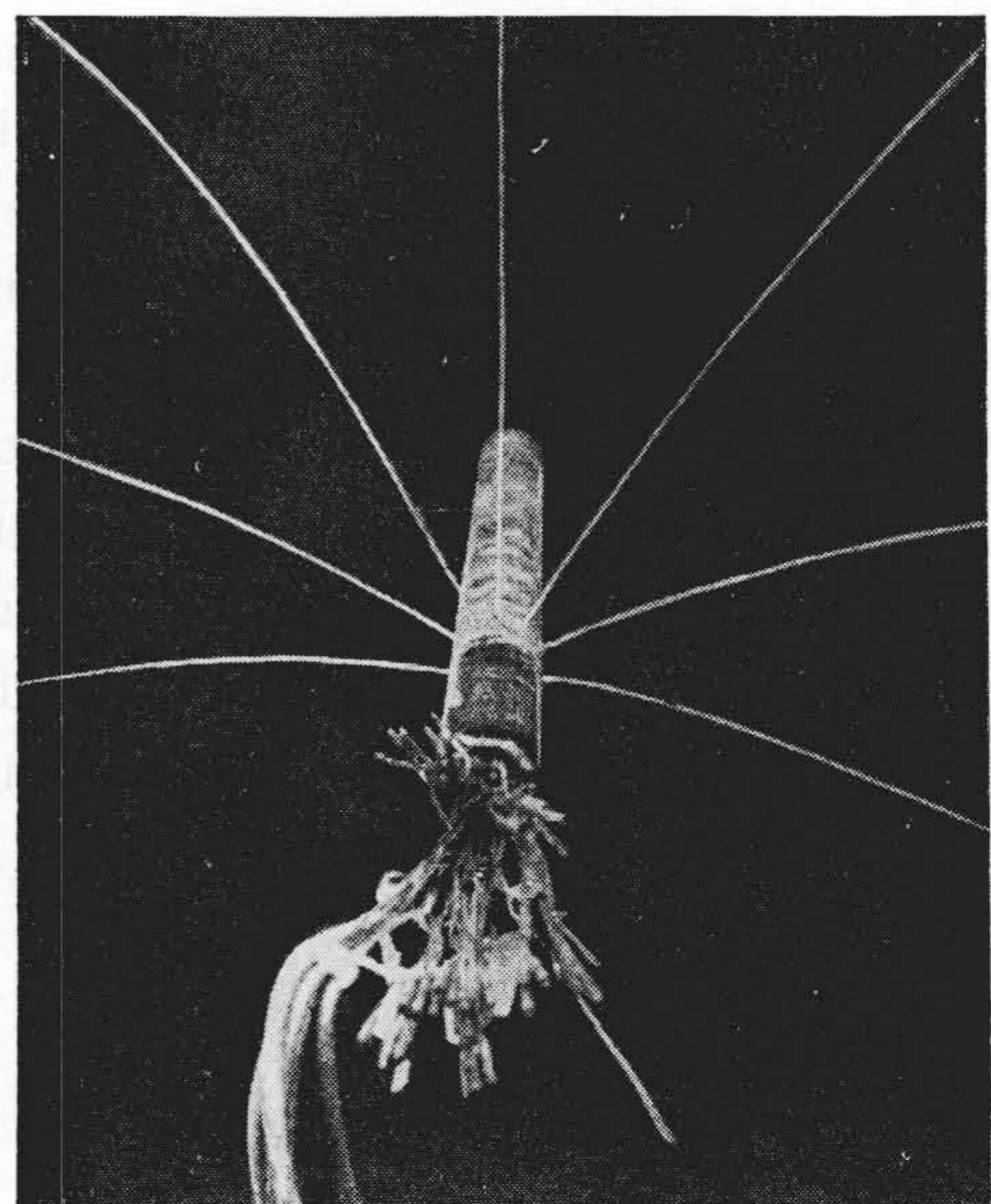


第1図 測定管
Fig.1. Measuring Pipe

に向い頂部に一つの測圧孔を穿けてある。横型水車に就いての経験から各流速の分布状態は水車中心軸に対しほぼ対称であるから、測定管の製作を容易にするために、第1図(a)のように半径上片方側にのみ測圧孔群を設けた。こゝにB, D, F, H, I, J, Kの7断面の測圧孔群は円筒型ピトー管の原理を応用したもので、第1図(b)に示すように、上流側に向う半円周上に30°間隔に直径1.6 mmの測圧孔を20'以内の誤差で7孔設け、測定管をドラフトパイプに装着した場合、外側からながめ右側水平孔から逐次上方を通つて左側水平孔に向い1, 2, 3, 4, 5, 6, 7孔と記号した。この測圧孔群の水圧試験の状況を第3図に示す。



第2図 測定管取付要領
Fig.2. Arrangement of Measuring Pipe



第3図 測圧孔群の水圧試験の模様
Fig.3. View of Water Pressure Test for a Group of Measuring Holes

B, D, F, H, I, J, K の7断面に設けた測圧孔群に就いて、各測圧孔の指示圧力と孔の位置を直交座標軸上に点記すれば、円筒型ピトー管の特性曲線と類似の曲線が求まることになる。但しドラフトパイプ内は真空圧であるから求まった曲線は中凹みのものとなり、中凹みの谷底に相当する位置が流れの方向を示し、この谷底の位置より約 41° 離れた場所が静圧を示すものとすれば B, D, F, H, I, J, K の各場所の旋回流の方向、旋回速度及び軸方向速度も一応推定することができる。

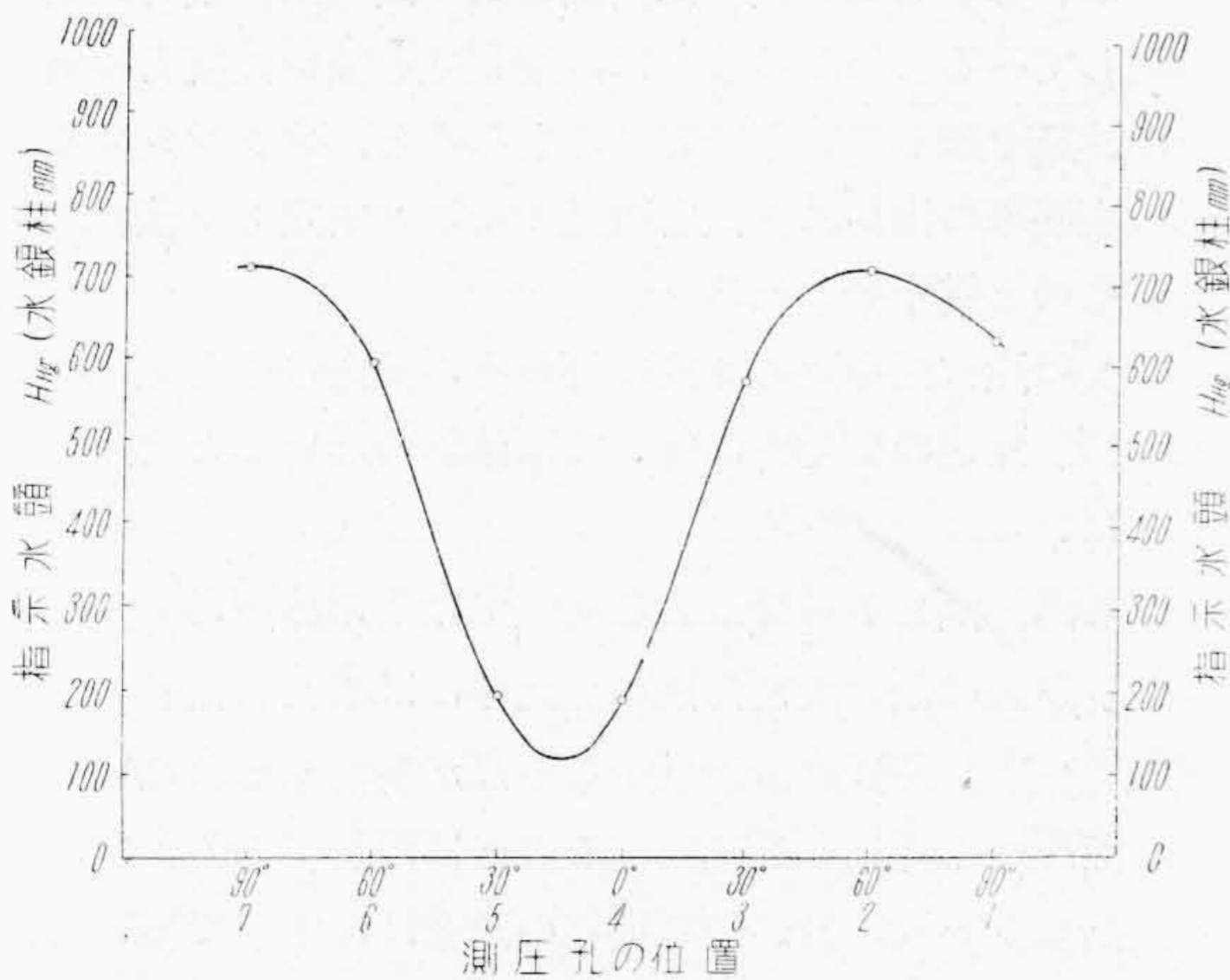
〔III〕 試験結果及び検討

(1) 空気弁を閉じた場合の結果

先づ空気弁を閉じて 4/4, 3/4, 2/4, 1/4 の4種の負荷に就いて B, D, F, H, I, J, K の各測圧孔群の水圧を連通管水銀柱マノメータにより5回づゝ読みとり、その算術平均値を求めて B, D, F, H, I, J, K の各々に就き、測圧孔の位置と指示水頭を点記すると、第4図にその一例を示すような曲線ができる。この中凹み曲線の谷底に相当する位置を求めると旋回角度 α がわかり、これを取纏めると第5図のような旋回角度の変わり方をなしている。更に中凹み曲線の谷底から 41° 離れた場所が静圧を示すものとする、その指示圧と谷底の指示圧との指差 H_{Hg} を水銀柱で読み、水柱 H に換算して更に流速 v を算出し、この流速 v と旋回角度 α とから軸方向速度 $v_a (=v \cos \alpha)$ と旋回速度 $v_w (=v \sin \alpha)$ を計算し、各流速分布を画くと第6図及び第7図となる。

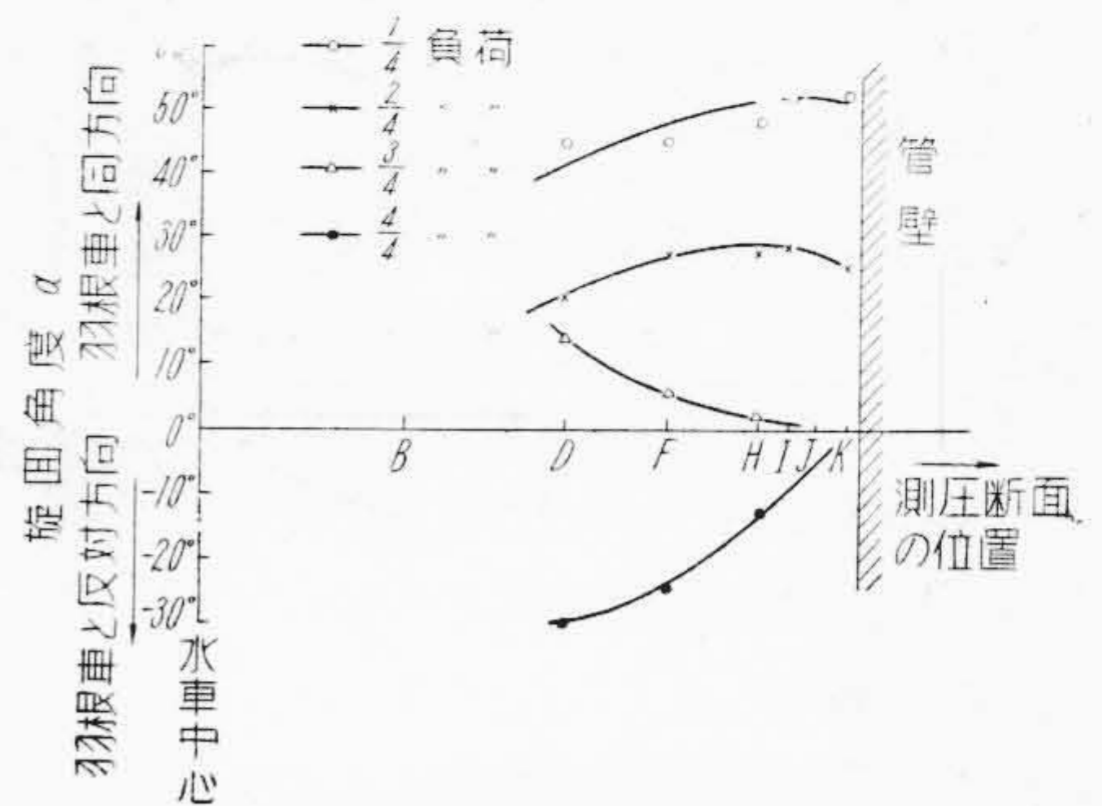
(2) 空気弁を開いた場合の結果

次に空気弁を除いて(1)と全く同様な試験を行つて第8図～第10図(次頁参照)の結果を得た。



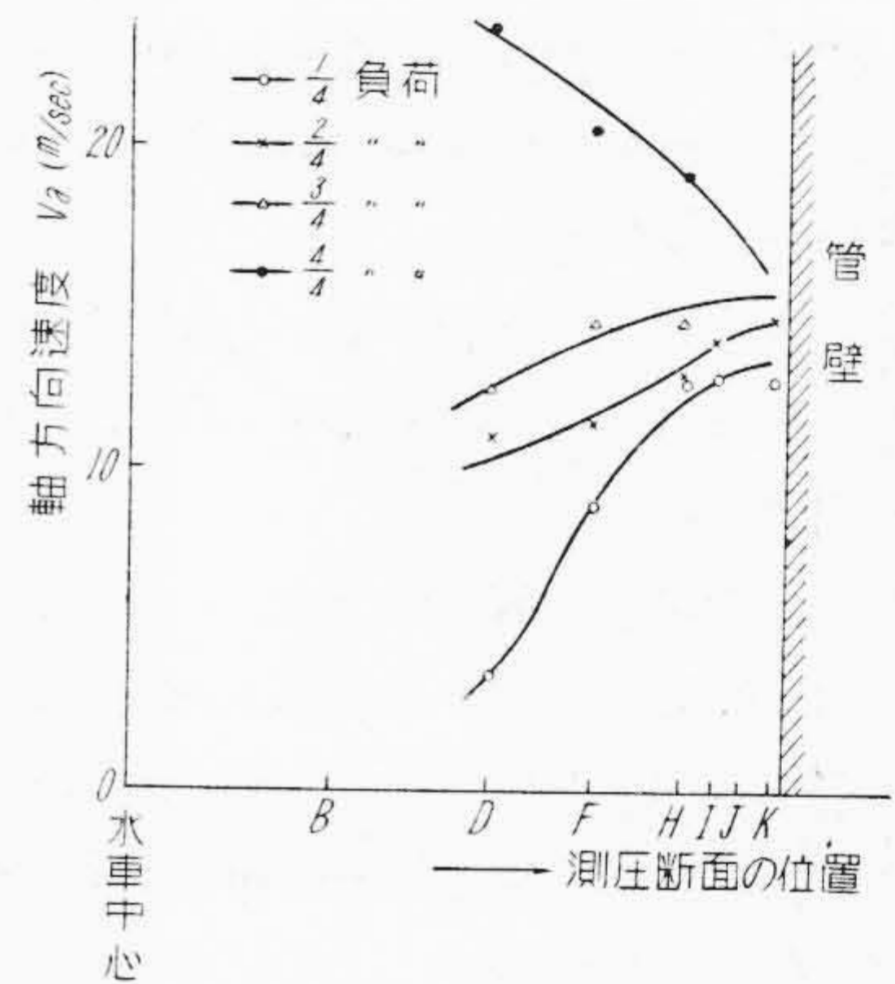
第4図 測圧孔の位置と指示水頭の関係曲線の一例

Fig. 4. One Example of Relation Curves between Position and Head for Measuring Holes



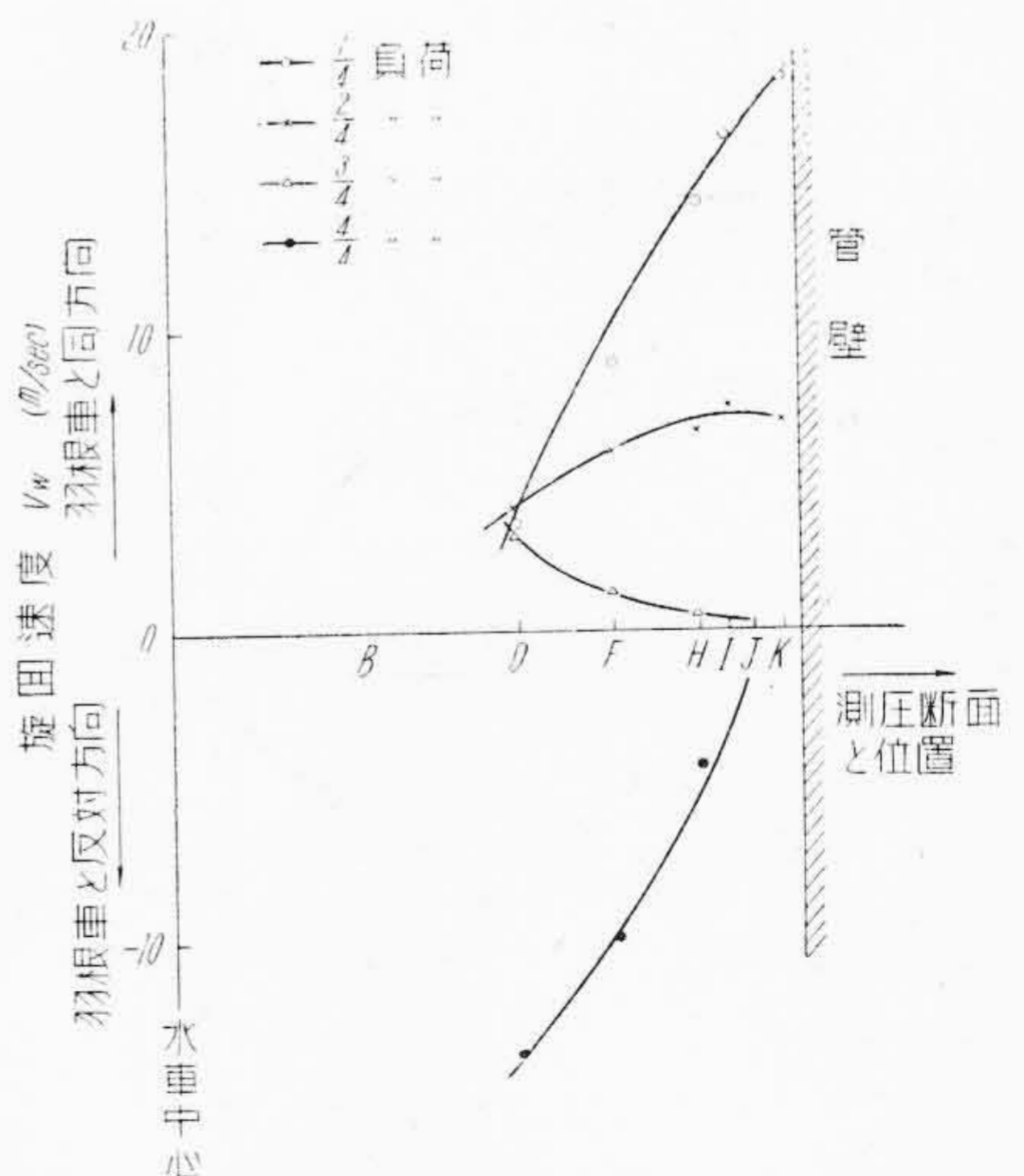
第5図 空気弁を閉じた場合の旋回角度の変わり方

Fig. 5. Whirl Angle Distribution at Air Valve Closed



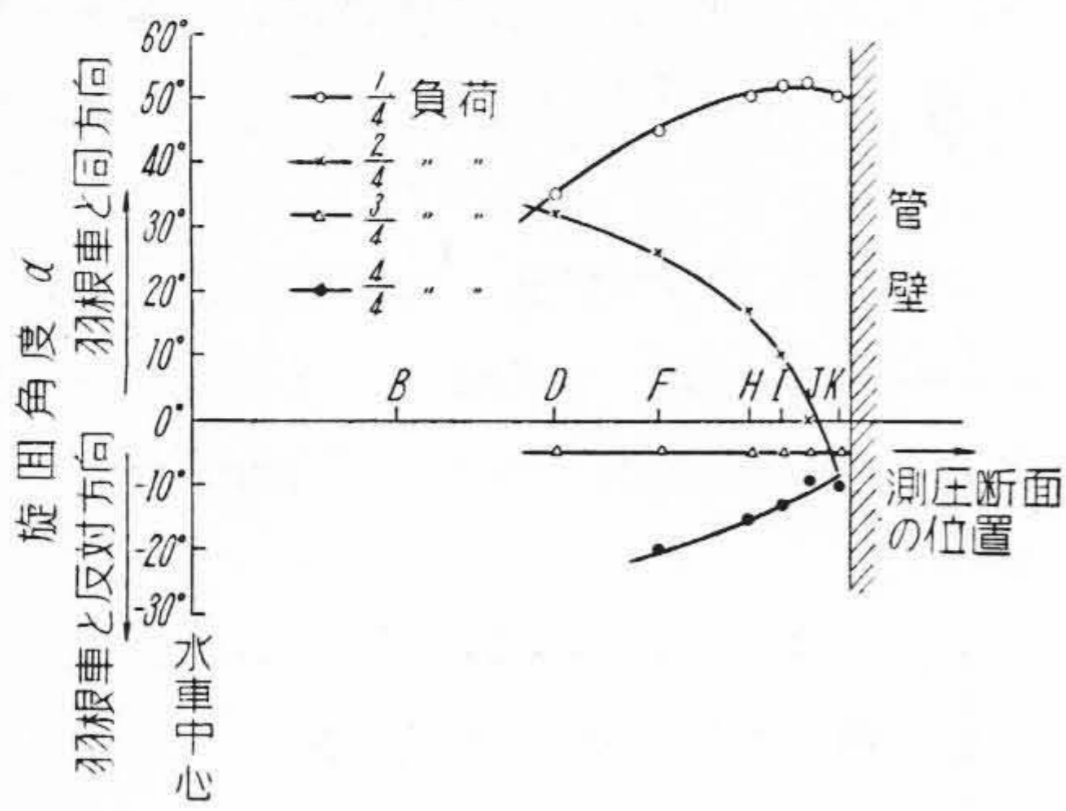
第6図 空気弁を閉じた場合の軸方向速度分布

Fig. 6. Axial Velocity Distribution at Air Valve Closed

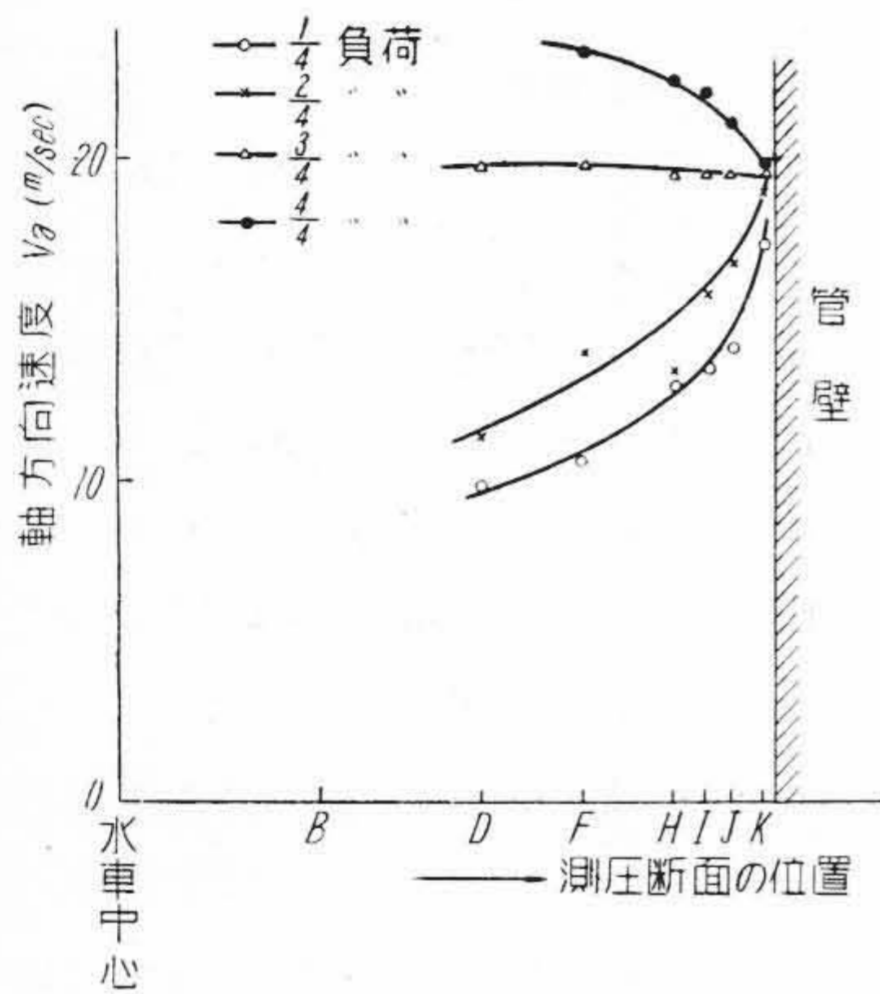


第7図 空気弁を閉じた場合の旋回速度分布

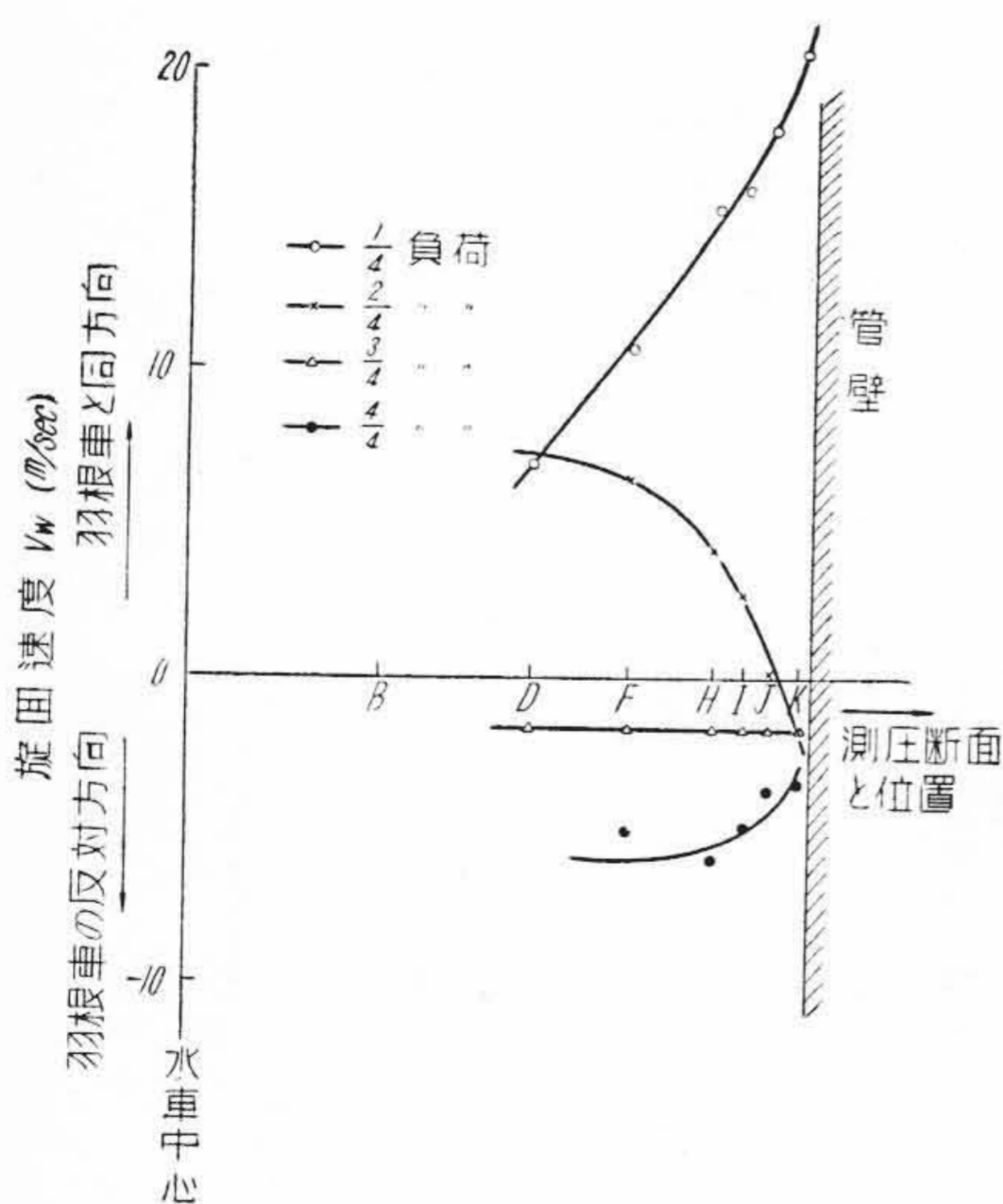
Fig. 7. Whirl Velocity Distribution at Air Valve Closed



第 8 図 空気弁を開いた場合の旋回角度のvari方
Fig. 8. Whirl Angle Distribution at Air Valve Opened



第 9 図 空気弁を開いた場合の軸方向速度分布
Fig. 9. Axial Velocity Distribution at Air Valve Opened



第 10 図 空気弁を開いた場合の旋回速度分布
Fig. 10. Whirl Velocity Distribution at Air Valve Opened

(3) 検 討

第 8 図をみると 4/4, 3/4, 2/4 の 3 種の負荷状態で、水車羽根車の中心より最も遠い管壁附近では水は殆ど旋回していない。4/4 負荷では水車中心に移行するにつれて羽根車の回転と反対方向の旋回が次第に激しくなり、3/4 負荷では半径方向何れの場所も同じ旋回角度で、その値は非常に小さい。更に負荷を減じて 2/4, 負荷になると管壁から水車中心に移行するにつれて、羽根車の回転と同方向の旋回が著しくなる傾向を示している。図中負号の角度で示すものは羽根車の回転と反対方向の旋回角度を意味している。

次に旋回流速分布を示す第 10 図をみると上記の事柄は一層明瞭になり、水車の最高効率附近の負荷では殆ど旋回流はなく、この負荷より大きい負荷では水車中心に移行するにつれて羽根車の回転と反対方向の旋回流が次第に顕著となり、またこの負荷より小さい負荷では羽根車の回転と同一方向の旋回流が著しく成長して来ることがわかる。なお管壁附近では水は殆ど旋回しないで流れるから、フランス水車を出た水は最高効率附近の負荷では殆ど完全に軸方向だけの流れをなし、この負荷状態から遠ざかるに従って水車半径方向の旋回流は中心に近い程増大し、或る限界点以内では水が流れなくなり空洞が生ずるものと推定される。

次に第 9 図の軸方向速度の分布図から管壁附近は負荷の大小にかかわらず一様な値を示し、最高効率附近では半径方向に一様な速度分布になることが明らかとなった。

以上は空気弁を開いた場合に就いて論じたのであるが、空気弁を閉じた場合にも、ほぼ類似した傾向を示している。しかし第 5 図～第 7 図と第 8 図～第 10 図を比較対照してみるとわかるように、空気弁を開いた場合程明瞭な性質を示していないところを見ると、フランス水車の羽根車の出口に空気を吸込ませると安定した流れになるものと推定せられる。

ここに述べた今回の測定は専らその傾向のみを知るにとり、流速の絶対値に就いては確信のないことを付け加えたい。

即ち円筒型ピトー管による測定ではその総圧の測定には余り誤差はないが、静圧の測定値にはまだまだ多くの問題^{(11)~(13)}が残されており、この点が解明せられない限り、流速の絶対値を正確に知ることは無理である。なお円筒型ピトー管に就いての種々の研究は、すべて細い管に就いての結果であつて、今回使用したような太い管に就いての研究は見当らない。これらの諸問題は今後の研究に待たなければならない。また円筒型ピトー管のピトー管係数はその測定部近くに管壁のある場合大きく変化

することが報告⁽¹²⁾されており、この点に就いても相当な疑問がある。

本試験に当つては、これらの事情はすべて仮定しているものであつてピトー管係数は1とし、管壁の影響はないものとし、流れの方向と41°かたむいた場所が静圧を示すものとして測定しているから、如何に正確な実験が行われたものとしても、その絶対値とは程遠いことを覚悟せねばならない。以上の考えから本結果の水速並びに水量の絶対値は論ずることを避け、それにはふれなかつた。

〔IV〕 結 言

実物フランス水車の羽根車出口の水の流れの状態を測定し、その傾向を明らかにし、この結果から次の事項がわかつた。

- (1) 水車の最高効率附近の負荷状態では羽根車を出た水は完全に軸方向に流れ、しかも半径方向の軸方向流速分布は一様であり、旋回流はない。
- (2) 最高効率以上の負荷に対しては羽根車の回転と反対方向の旋回、それ以下の負荷では羽根車の回転と同一方向の旋回流がある。
- (3) 管壁附近の水は負荷の大小に無関係にほぼ一定の軸方向の流速をもっている。
- (4) 最高効率以外の負荷状態では水の増減により羽根車下部の空洞が成衰する。

こゝに述べた諸項目は先般来当水力実験室で模型水車に就いて、かなり詳細に実験して得た結果⁽⁴⁾とよく合致した傾向を示し、模型水車の実験で得た結論を今回実物水車に就いても確認するに到つた。

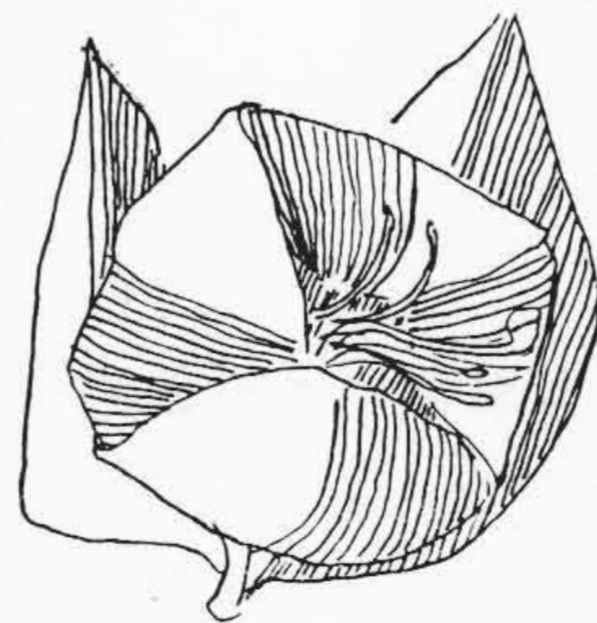
また今回の試験の結果から羽根車下部に空気を吸込ませると水の流れは安定するであろうことが容易に推定される。

以上述べた事柄は従来推定に過ぎなかつたものが多いが、今回実物水車に就いて実験的に究明し、更に模型水車による結果ともよく合致し、こゝに確信を得るに到つた次第である。

終りに臨み本試験の計画実施に当り終始絶大なる御支援を賜つた新潟県電気局田中次長を始め、発電所各位に深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 宮城： 機械学会誌 27 793 (大 13)
- (2) 宮城： 東北大学工学部報告 4
- (3) 宮城： 日立評論 10 87 (昭 2)
- (4) 山崎, 田尻： 日立評論 35 1437 (昭 28)
- (5) 今井： 日立評論 9 775 (大 15)
- (6) 田中, 吉山： 日立評論 34 1367 (昭 27)
- (7) 沼知： 機械学会誌 34 171 (昭 6)
- (8) 沼知： 機械学会誌 34 175 (昭 6)
- (9) 沼知, 淵沢： 機械学会論文集 4 17 (昭 13)
- (10) J.E.C.—117, 49 (1948)
- (11) 井伊谷： 名古屋大学工学部研究報告 III-1, 5 (昭 25)
- (12) 井伊谷： 名古屋大学工学部研究報告 III-2, 95 (昭 25)
- (13) 井伊谷, 木村： 機械の研究 3 600 (昭 26)



特許月報

最近登録された日立製作所の特許及び実用新案

(その2)

(第6頁から続く)

区 別	登録番号	名 称	工場別	氏 名	登録年月日
実用新案	409616	油 面 計 取 付 装 置	日立工場	鈴木正城	29. 1. 14
"	409617	同期変流機の交流自己起動装置	日立工場	木田真吉 梅沢信義	"
"	409618	主軸接手に於けるナット締付及び緩め装置	日立工場	高橋春夫	"
"	409630	耐 熱 電 磁 線 輪	日立工場	白土忠治	"
"	409632	強制送油式内鉄型変圧器	日立工場	阿部春雄	"
"	409636	磁 力 選 別 機	日立工場	鈴木正明	"
"	409637	磁気分離機の分離胴	日立工場	檜垣登治 白土忠	"
"	409638	磁力選鉱機用電磁石密閉装置	日立工場	藤木勝美 戸島	"
"	409643	巻線型回転子接続線輪抑え装置	日立工場	小野崎一男 滑川清	"
"	409644	回 転 子 線 輪 接 続 装 置	日立工場	小野崎一雄	"
"	409646	刷 子 保 持 装 置	日立工場	菅原忍	"
"	409647	電 刷 子 保 持 装 置	日立工場	甲賀正三 桑原繁太郎	"
"	409648	電 機 子 線 輪 接 続 装 置	日立工場	佐藤勝郎	"
"	409649	高速度誘導電動機回転子線輪冷却装置	日立工場	小野崎一男 滑川清	"
"	409650	水 平 切 三 相 断 路 器	日立工場	立川竹雄 沼田明	"
"	409651	締付型断路器鎖錠装置	日立工場	川上政善	"
"	409652	傘 型 発 電 機	日立工場	滑川清	"
"	409654	豎 軸 水 車 発 電 機	日立工場	菊地弥十郎	"
"	409625	液 面 計	笠戸工場	小野栄男 森脇斌	"
"	409614	液 面 計	亀有工場	岸野俊雄	"
"	409635	レ バ ー 装 置	亀有工場	久保沢稔	"
"	409563	巻取紙張力自動調整装置の着脱装置	川崎工場	森久雄	"
"	409610	印 刷 機 胴 掛 外 し 装 置	川崎工場	横沢源郎 大杉好徳	"
"	409611	高 速 二 回 転 凸 版 印 刷 機	川崎工場	横沢源郎	"
"	409639	印刷インキ裏移り防止剤輸送管の掃除装置	川崎工場	鎌田裕之	"
"	409655	ア ン モ ニ ア 凝 縮 装 置	栃木工場	須藤清治	"
実用新案	409566	遠 心 分 離 機 駆 動 装 置	多賀工場	川崎光彦	29. 1. 14

(第30頁へ続く)