

模型水車による Index Test 法の一実験

山 崎 卓 爾* 手 島 友 亮**

Index Test Using Model Water Turbines

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

Abstract

It is imperative to determine the characteristics of water turbines to be put in service. There are many cases, however where accurate, absolute values of the characteristics are difficult to obtain on account of the difficulty in measuring the discharge of water. Even in such a case, if the correct trend of characteristics is known, laying their absolute value aside, the improvement of operating characteristics can be made. From this view point, a simple method of discharge measurement known as "Index Test" has come to be used, the most popular system of it lately adopted being Peck's and Winter-Kennedy's. The writers has carried out the study on these methods using model water turbines. They hereunder give out a part of their test results by Peck's method, which they believe, will be serviceable for those who want to carry out Index Test with turbines.

As a result of experiment, it was clarified that it is necessary to select a proper stay vane on which the pressure measuring holes will be made, and also that a careful consideration must be given to determine these holes on the stay vanes, otherwise fully accurate results are difficult to obtaine.

The results of the experiment carried out with the model turbine was quite satisfactory. These results we are sure are useful in the test for similar type of waterwheels used as the model turbine.

[I] 緒 言

実物水車の性能試験を行うに当り、最も問題となる流量測定に関しては、古くから種々の方法が提案され、また実験結果も多いが、その正確な値を求めることは必ずしも容易ではない。また発電所の構造上種々の測定法も適用し得ない場合には水車性能の傾向すらも知り得ないことがある。このような場合、その絶対値はしばらくおいて、性能の傾向を知ることができれば、発電所の運転を有効に実施し得る。また傾向の比較によつて、性能の

良否の大体の見当づけを行い得るわけである。このような目的の下に最近外国では Index Test と一般に呼ばれている簡易測定法を採用している。Index Test については既に多数の文献が発表されており⁽¹⁾、筆者等も最近他の機会に発表する予定であるが⁽²⁾、この方法の目的は水車性能の傾向を知るにあるので、性能の絶対値はあくまでも正確な流量測定法によらねばならない。

Index Test における流量測定の方法としては、従来行われている絶対流量測定法を準用し得る場合はそれでよいわけであるが、特に Index Test のみを目的とした方法として Peck 及び Winter-Kennedy の両方法⁽³⁾

*, ** 日立製作所日立研究所

が近來最も普及しているようである。

筆者等はこれら両方法について目下模型水車によつて検討を進めているが、ここではそのうち Peck の方法について行つた実験結果の一部を紹介することとする。

[II] Index Test の原理

水が機器内を流動する場合には必ず水力損失を伴い、その損失は一般に

$$h = C \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (1)$$

ここに h = 水力損失水頭 C = 損失係数
 v = 流速 g = 重力の加速度

として表わされる。従つて

$$v = C\sqrt{2gh}$$

となり、これを流量 Q で表わせば

$$Q = vA = CA\sqrt{2gh} \dots\dots\dots (2)$$

ここに A = 流水断面積

今 $CA = K'$

$$K' \times \sqrt{2g} = K$$

とおけば

$$Q = K\sqrt{h} \dots\dots\dots (3)$$

K は本質的には常数ではないが、一般に相当広い範囲に亘り常数と見なし得る程度であるから、(3)式は流量 Q がほぼ損失水頭の平方根 $\sqrt{h}$ に比例することを示している。従つて両辺の対数をとれば

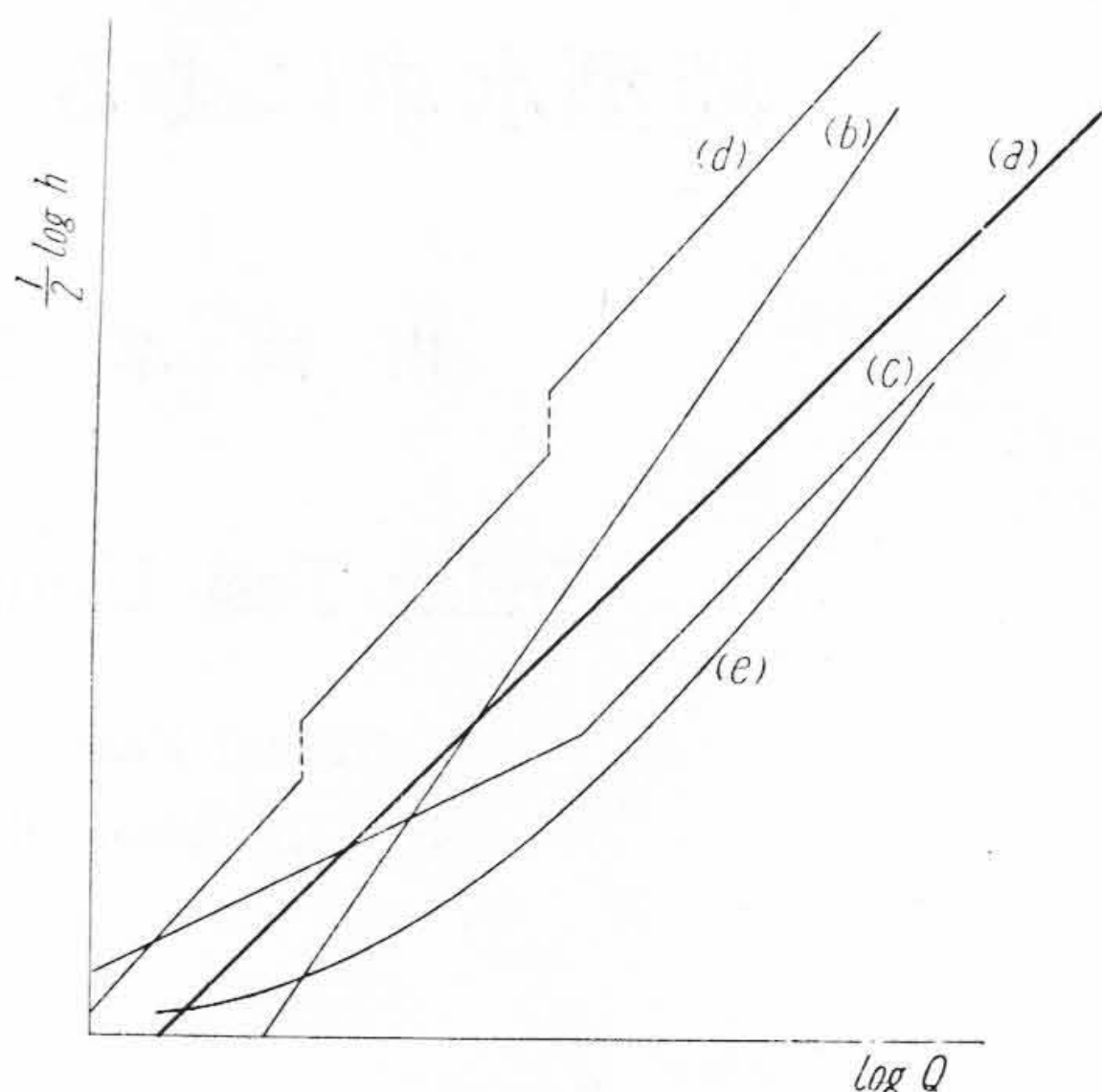
$$\log Q = \log K + \frac{1}{2} \log h \dots\dots\dots (4)$$

となり、 $\log K$ は常数と見なされるから $\log Q$ と $\frac{1}{2} \log h$ とは直角座標線図の上では座標軸に 45° の傾斜を保つ直線で示されることになる。

以上の関係から (4) 式を図示すれば第 1 図の直線 (a) のようになる。即ち一般の概念として水力損失水頭が流速の 2 乗に比例するという通則が行われる限り、多少の差異はあるにしても第 1 図 (a) の関係は保持さるべきである。

もし実験結果が第 1 図 (b) のように傾斜が 45° と異つたり、(c) のように折線となつたり、あるいは (d) のように階段的に変化したり、または (e) のように曲線的な傾向を示したりする場合には、表われた水頭差は水力損失のみでなく、他の原因も混在していると考えらるべきであろう。起り得る原因として考えられることは

1. 測定位置及び測定孔の水力学的な不備から、水頭差が異つた読みを示す場合
2. 流量の多少に応じ、流速分布の状態が急変したり測定位置でキャビテーションが発生したりする場合



第 1 図 種々の $\frac{1}{2} \log h - \log Q$ 想定曲線

Fig. 1. Anticipated $\frac{1}{2} \log h - \log Q$ Curves in Index Test

3. 流量測定が不正確なため真の流量値が得られなかつた場合

等であろう。

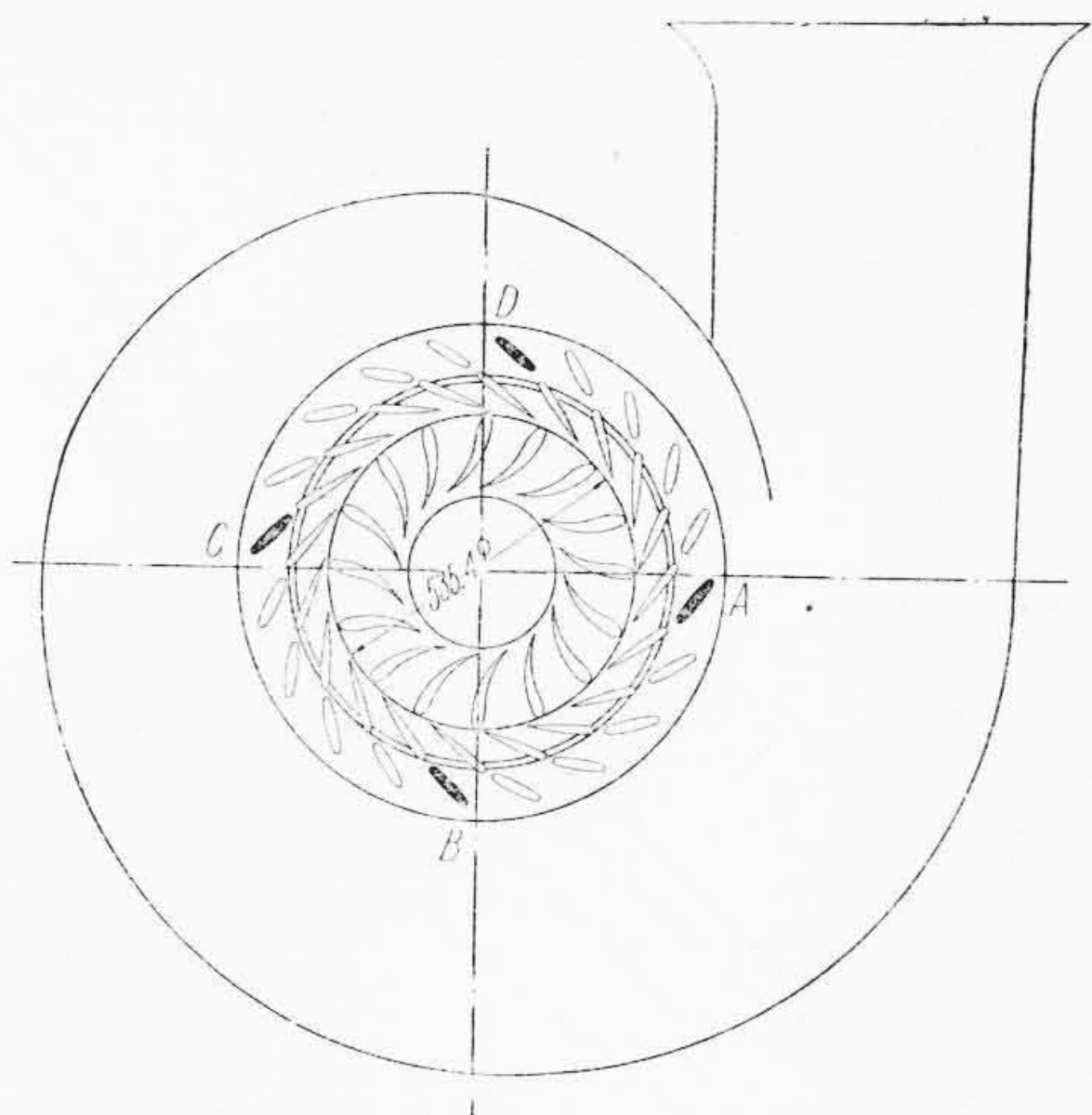
いずれにしても測定結果が 45° の一直線を示さないような場合については広い範囲に亘る Index Test には不適当であることになり、このような結果は時として測定装置の状態によつて変化する可能性があり、正確な結果が得られないことがあることを覚悟しなければならない。しかしあらかじめ正確な流量測定法によつて検討した結果が不変の場合には、その傾向が如何ようであつてもさしつかえないわけである。

以上のようにして正しく 45° をなす傾向を示す水頭差の測定値からは、他の測定値が正しい限り水車性能の妥当な傾向を知り得るが (流量の測定が不可能の場合)、これは単に傾向のみについていい得ることであり、Index Test の意義からはこれで十分であるが、もしこの方法を以て性能の絶対値をも知ろうとするならば、やはり正確な絶対流量測定法によつて傾向を確認するとともに (3) 式の K の値を求めなければならないわけである。

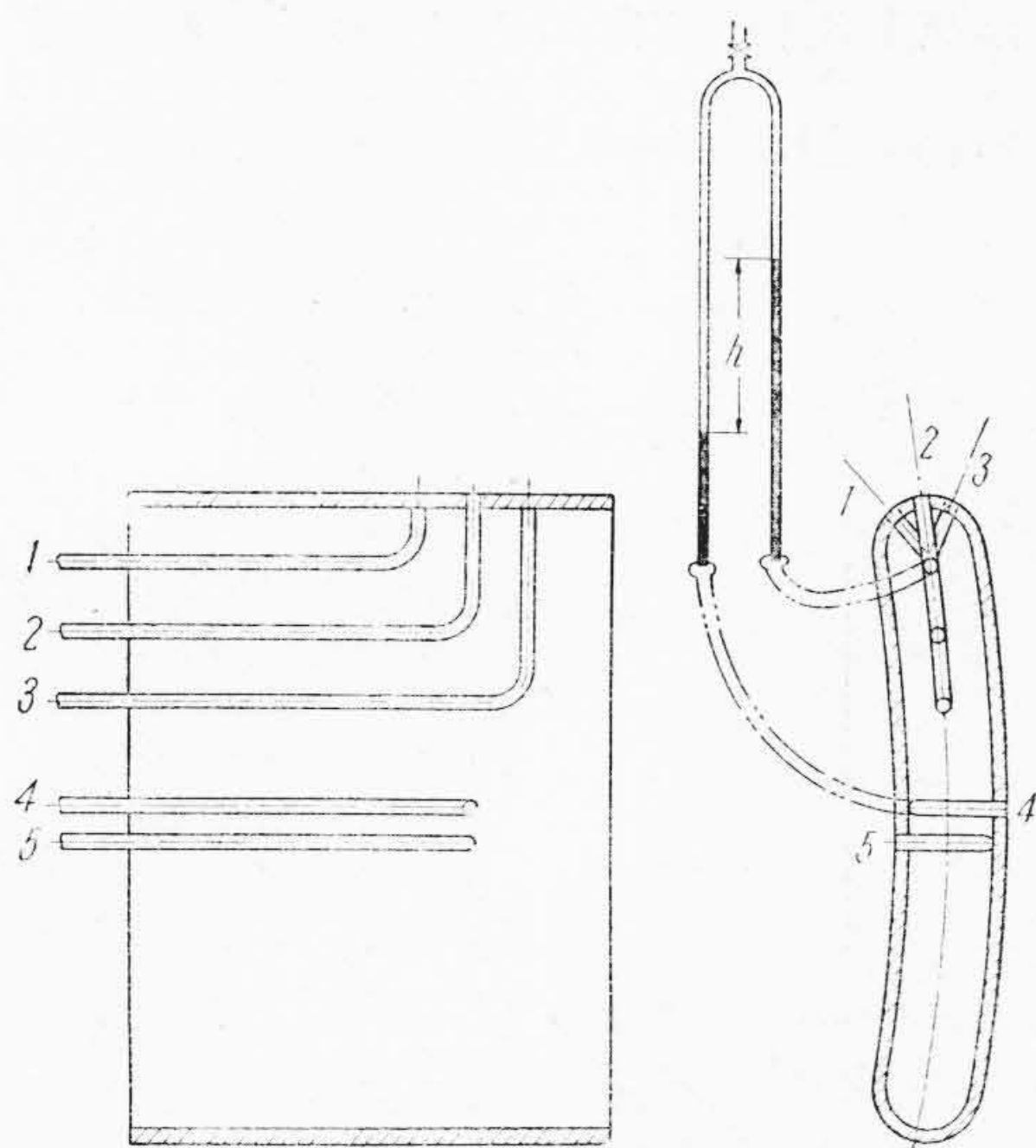
目下筆者等は模型水車について Index Test の流量測定法を研究中であるが、そのうち Peck の方法についての結果の一端をここに述べることにする。

[III] 実験方法

実験は日立研究所水力実験室内模型水車試験装置によつて行われた。元来水車の渦巻室内の流動は比較的単純であるから、その損失も安定していると考えられ、渦巻室内の 2 点における水頭差を測定する Winter-Kennedy



第2図 測圧孔を備えた固定羽根の位置
(図中黒塗の固定羽根がそれを示す)
Fig. 2. Stay Vanes of Model Water Turbine with Pressure Measuring Holes
(Black Vanes in Fig.)



第3図 固定羽根にとりつけた測圧孔の位置
Fig. 3. Positions of Pressure Measuring Hole on Stay Vane

の方法については、特殊な点を過ぎない限りほぼ妥当な結果を示すと考えられるが、この場合は流速が比較的小さいため、マノメーターの読みの差が小さくて読みにくく、正確度の主点はマノメーターの正確な読みにおかれることになる。

Peck の方法は渦巻室と案内羽根の間にある固定羽根上の二点の圧力差をとるものであるから、流速は前者にくらべて比較的大きく、従つて圧力差も大きく表われるのが特長であるが、測定点の選択をあやまると前述の

ような望ましからぬ影響を受けやすい。

筆者等の行つた実験では、第2図に示すような模型水車において、直交する4箇所位置する固定羽根を選びその各々の固定羽根上に第3図のように5箇の測定孔を設け、適当と思われる2孔の組合せに表われるマノメーターの水柱の差を読む方法をとつた。

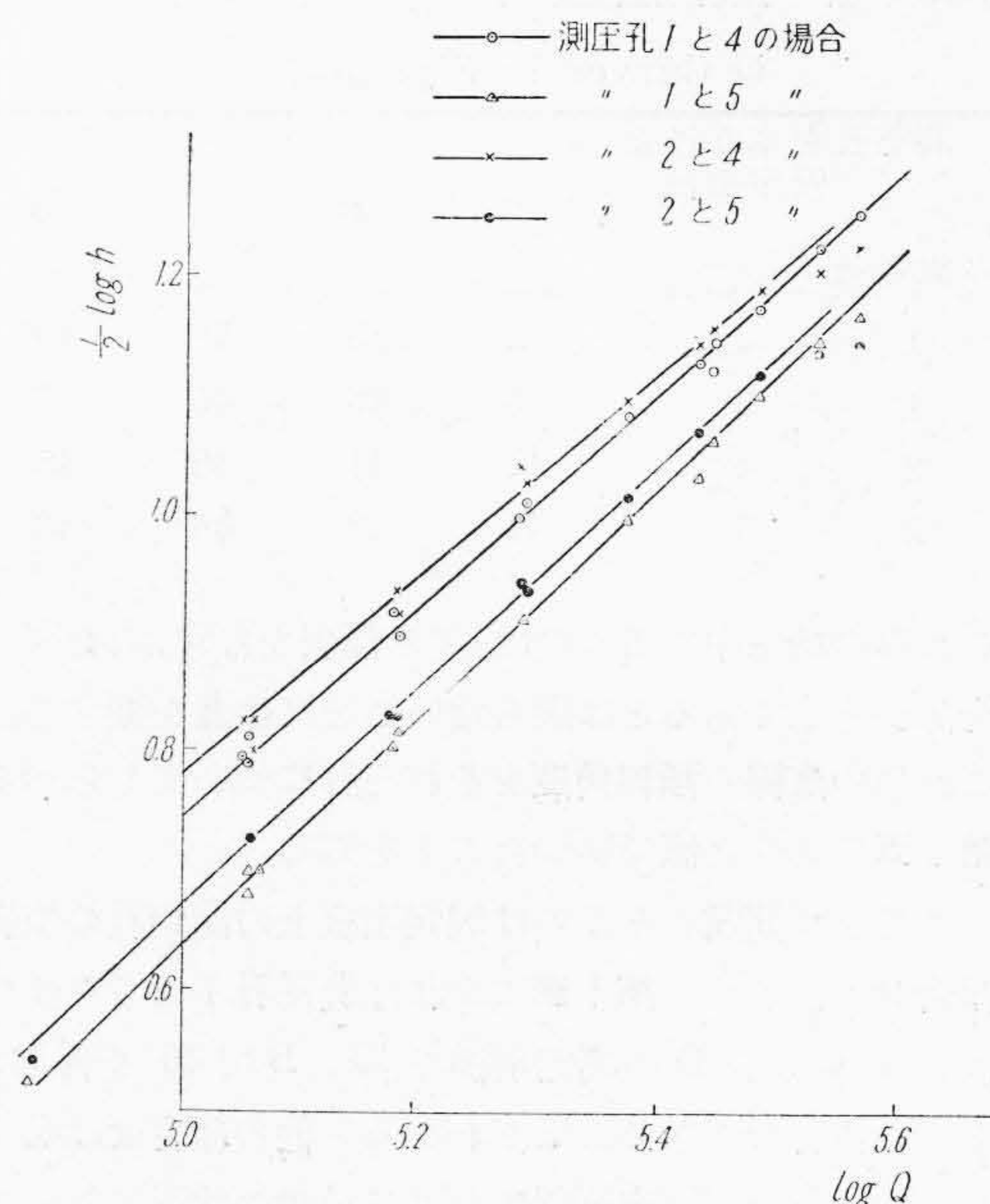
これら5箇の孔のうち、3箇は固定羽根の水の流入端附近に、他の1箇は羽根の背側、もう1箇は腹側に、それぞれ羽根の中央部近くに設けてある。

4枚の固定羽根について測定したのは渦巻室内の位置によつて測定値が如何に変化するかを検討するためである。

なお実験の方法としては、普通の模型試験と同様に、流量の調節は案内羽根によつて行い、水車を実物水車の運転状態に相当する回転速度状態に於て実験した。この実験では落差は約2mに略一定に保ち、流量は標準矩形縮流堰で測定した。

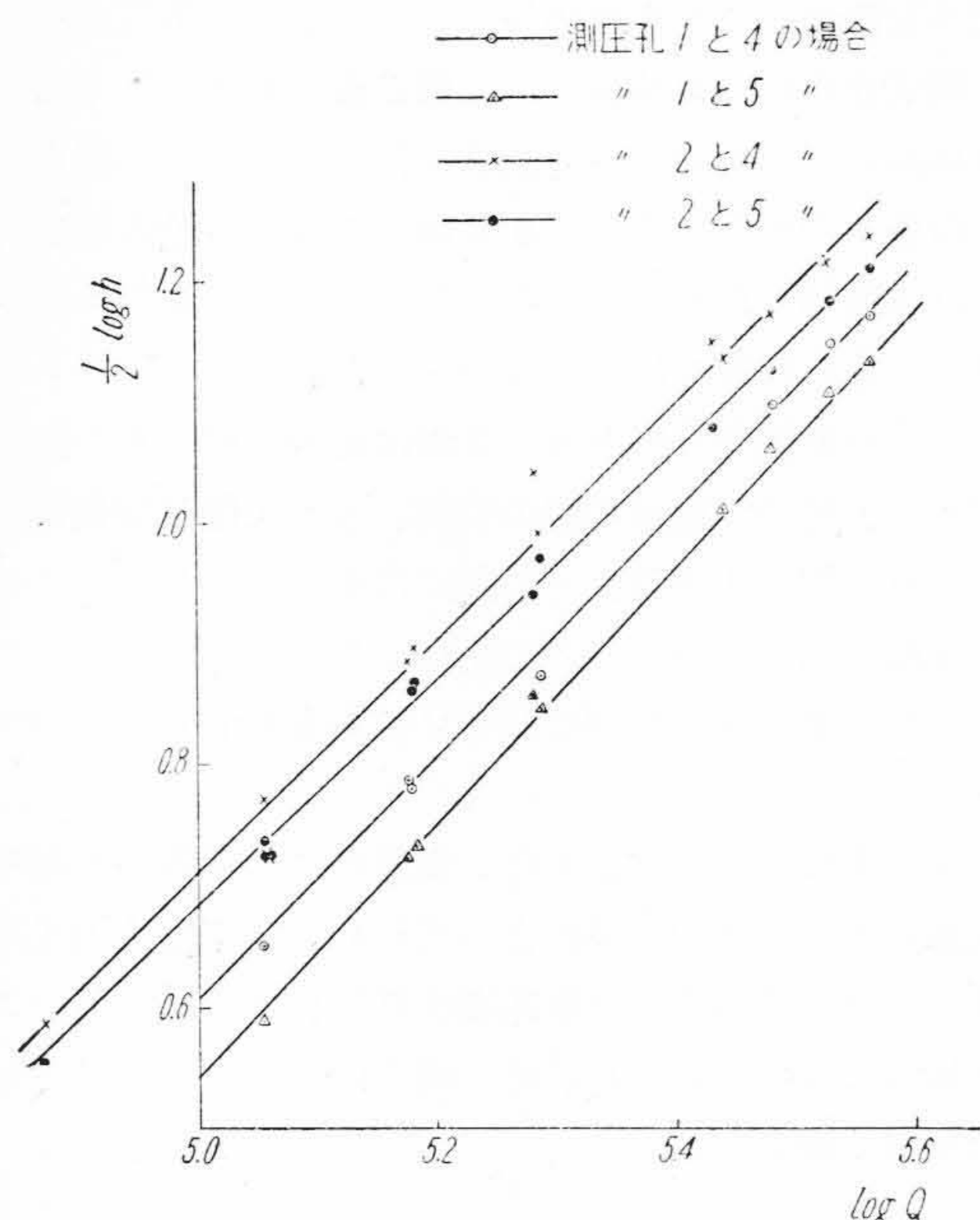
[IV] 測定結果及びその検討

第4図～第7図は模型水車について行つた実物水車の運転と同状態の測定結果を $\frac{1}{2} \log h - \log Q$ で表わしたものである。この場合、 Q は cm^3/sec , h は mm を単位にとつている。第4図は第2図のA固定羽根、第5図はB、第6図はC、第7図はD固定羽根での測定結果を示す。



第4図 A固定羽根における $\frac{1}{2} \log h - \log Q$ 曲線

Fig. 4. $\frac{1}{2} \log h - \log Q$ Curves for A Stay Vane

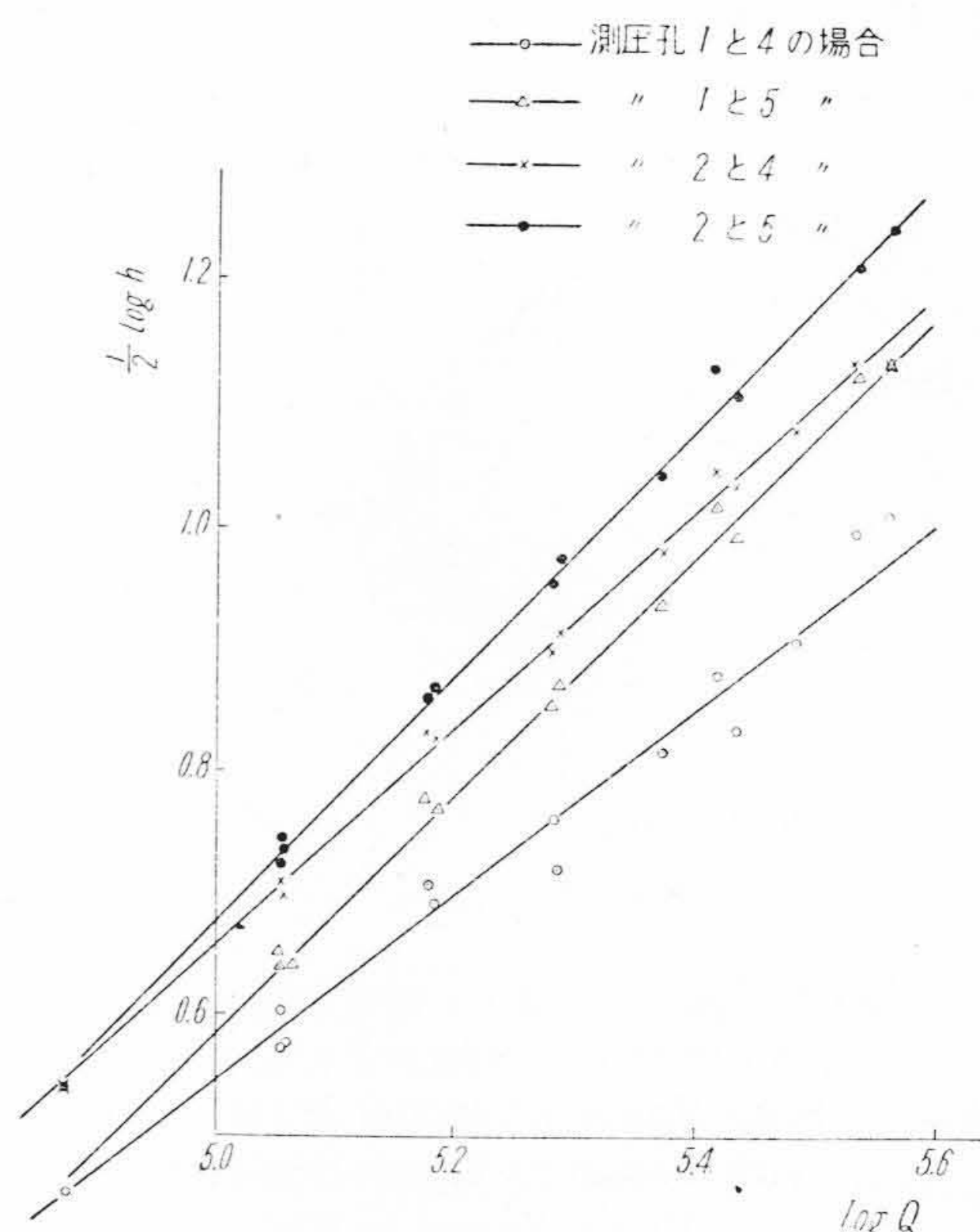
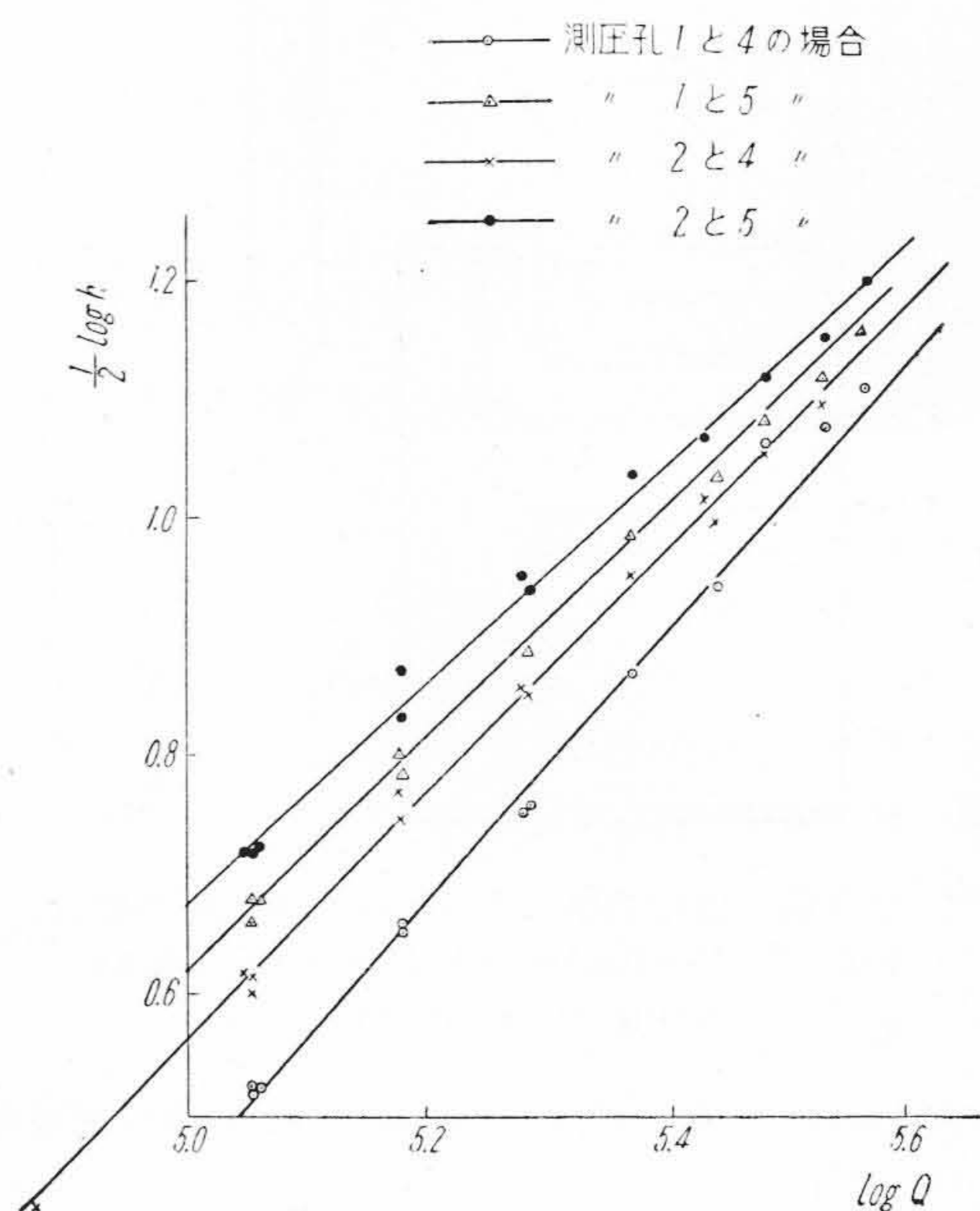
第 5 図 B 固定羽根における $\frac{1}{2} \log h - \log Q$ 曲線Fig. 5. $\frac{1}{2} \log h - \log Q$ Curves for B Stay Vane第 1 表 第 4～第 7 図中の $\frac{1}{2} \log h - \log Q$ 曲線の傾斜角度Table 1. Inclination Tangent of $\frac{1}{2} \log h - \log Q$ Curves in Fig. 4～7

測壁孔をもうけた 固定羽根	A	B	C	D
測圧孔 の組合せ				
1 と 4	42°	45°	38°	49°
1 と 5	45°	46°	45°	45°
2 と 4	41°	44°	42°	45°
2 と 5	44°	43°	45°	43°

これらの結果中あるものは 45° の傾斜をなすが、必ずしも全部がそうであるとは限らないことは注意を要する。

これらの直線の傾斜角度をそれぞれについてしらべると第 1 表のような値であつたことを知る。

ここでまず問題となるのは固定羽根上の測定孔の位置の組合せであるが、第 1 表によれば測圧孔 1 と 5 の組合せは、A、C 及び D の固定羽根で 45°、B で 46° を保ち、最もよい組合せであることがわかる。他の組合せは必ずしも一様でない。固定羽根における流動の状況に対してはこれだけの実験では必ずしもたしかなことはいえないが、1 と 5 の組合せが常にほぼ 45° を与えることから、この附近の位置が Index Test としては最も適当していると考えてよいであろう。

第 6 図 C 固定羽根における $\frac{1}{2} \log h - \log Q$ 曲線Fig. 6. $\frac{1}{2} \log h - \log Q$ Curves for C Stay Vane第 7 図 D 固定羽根における $\frac{1}{2} \log h - \log Q$ 曲線Fig. 7. $\frac{1}{2} \log h - \log Q$ Curves for D Stay Vane

次に固定羽根の位置であるが、これについても既に外国でも検討されておるけれども、おそらく一般的に決定されるにはまだまだ検討を要するところであると考えら

れる。今回の実験からまだはつきりした決断は下し得ないが、実験中の状態の概略を示すと

1. A, B, C, D いずれの固定羽根でも先端背面は剝離を起して測圧孔 3 は非常に低圧となる。又 3 につらなるマノメーターは他の 4 本に比べて甚だしく動揺している。
2. マノメーターの水柱の動揺は A 羽根が最も激しく B, C, D に行くに従つて次第に減少する。
3. 案内羽根開度 $\frac{2}{10}$ 以下では B, C, D 羽根の h が数 mm ~ 10 数 mm 程度になり精度は著しく低下する。
4. $\frac{1}{2} \log h$ 対 $\log Q$ 曲線の傾斜角度は C 羽根では割合に不安定で、第 1 図 (e) のような性質を現わす組合せすら見受けられた。この傾斜角度からみると A, B, 羽根附近が良い性質を示すようである。

以上ならびに第 1 表の結果を総合して、流れの方向形状が全測定範囲に亘り変化し難いところ、即ち

1. マノメーター水柱の動揺が少く
2. 広い範囲の案内羽根開度について適当な水頭差 h を有し、
3. $\frac{1}{2} \log h$ 対 $\log Q$ 曲線が $Q = K\sqrt{h}$ の理論に従うこと、換言すると 45° の傾斜角をもち、しかも直線的なもので、その上 K の値の変動の非常に少いこと等の条件から測圧孔の位置を選定することになり、この模型水車についての試験では A 及び B 固定羽根の中間附近が最も測定上正確な値が得られるのではないかと考えられる。但しこれは今回行つた模型試験について言えることであつて、一般的に必ずしも一致するものとは考えられないが、ほぼ形状の相似したものについては準用しても大きい無理はないであろう。

次にマノメーターの読みから流量を知るためには (3) 式に見るように K の値を知らねばならないが、第 4 図 ~ 第 7 図の結果から 1 と 5 の測圧孔からとつた読みの時には

A で	$\log K = 4.37$
B で	$\log K = 4.44$
C で	$\log K = 4.43$
D で	$\log K = 4.39$

であることを知る。従つて流量 Q は第 (3) 式から

$$\left. \begin{array}{l} \text{A では } Q = 0.0236 \sqrt{h} \\ \text{B では } Q = 0.0277 \sqrt{h} \\ \text{C では } Q = 0.0267 \sqrt{h} \\ \text{D では } Q = 0.0243 \sqrt{h} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

但し $Q = \text{m}^3/\text{sec}$
 $h = \text{mm}$

として求められることになる。この (5) 式の結果をこの

模型と相似な実物水車についてそのまま準用してよいかな否かは検討の余地があり、ことに K の値については十分な検討を要すると考えられる。

模型試験で確められた結果がそのまま実物水車に適用出来るものであれば、実物水車の性能の絶対値は極めて簡単に求め得ることになるが、実際にはそうは行かず、やはり実物水車の正確な流量測定を以てマノメーターの読みを検討する必要がある、今回のような模型試験の結果はその際の測定孔の良好な位置を予め予想するに役立つものである。

なおこのような測定は単に流量測定法としての Index Test 的な意味の他に、固定羽根附近の水の流動状況を知るには極めて便利で、そのために多数の測定孔を取付けてマノメーターに導き検討することは大いに有意義であると考えられる。この試験の水の流動状態は目下検討中である。

[V] 結 言

模型水車についてその流量測定法として Peck 法による Index Test を採用して検定を行つた結果、今回の試験状況では

1. ある特定の固定羽根 A と B の中間附近が最も安定し、また合理的な値を示し、
2. 固定羽根上の測定孔の位置はどこでもよいのではなくて、特定の位置たとえば 1 と 5 測定孔が最も安定であることがわかつた。

以上は単に今回の結果より結論されるところであり、筆者等はおお詳細な検討をつづけているものであるが、実物水車の Peck 法による Index Test を行うに当り、その測定孔を始めに見付けるのについて参考となるものと考え発表した次第である。

実験の実施については兼先日立研究所長、日立工場小森谷部長、深栖課長他水車設計課関係各位の御協力と激励をいただき、また実験に協力された水力実験室各位の御努力に感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) G. H. Voader : Index test of hydraulic turbine Trans. of A. S. M. E. 481 (1951-7)
C. V. Davis : Hand book of applied hydraulics, 656
Water wheel testing and operating Records of plant discharge N. E. L. A. publication 278-34 (1928-3)
- (2) 山崎・手島 : 電気計算 1952 (昭 27-9)
- (3) (1) に同じ

最近登録された日立製作所の特許及び実用新案（その2）

区 分	登録番号	名 称	工 場 名	発 明 考 案 者	登録年月日
実用新案	395464	堅軸型水車分解用門型起重機	日立工場 亀有工場	{堂後寿彦、深栖 俊一、高橋春夫	27. 8. 19
〃	395465	粉体空気輸送機制御装置	川崎工場	酒 井 真 平	〃
〃	395466	洗濯ドラムの扉止め装置	亀戸工場	{石 原 定 男 飯 山 昇	〃
〃	395467	粉体空気輸送機に於ける圧力開閉器の空気導入装置	川崎工場	{酒 井 真 平 西 岡 富士夫	〃
〃	395468	電動洗濯機の駆動部分取付装置	亀戸工場	数 藤 佳 昇	〃
〃	395469	消音風冷式整流器	日立工場	桑 島 千 秋	〃
〃	395470	〃	日立工場	桑 島 千 秋	〃
〃	395471	〃	日立工場	桑 島 千 秋	〃
〃	395472	油浸式整流管の取付装置	日立工場	前 川 愛 一	〃
〃	395473	変圧器室素封入型油保存器	日立工場	{木 沢 修 栗 山 卓	〃
〃	395474	冷蔵庫蒸発器	栃木工場	楠 本 陽一郎	〃
〃	395475	冷蔵庫	栃木工場	楠 本 陽一郎	〃
〃	395476	冷蔵庫用棚網	栃木工場	楠 本 陽一郎	〃
〃	395477	渦巻ポンプ用放熱用逃し弁	亀有工場	寺 田 進	〃
〃	395478	外転型天井扇保護蓋	多賀工場	四 倉 輝 夫	〃
〃	395479	電動スルースバルブの過負荷防止装置	亀有工場	{堀 田 正 雄 原 義 徳	〃
〃	395480	サイドチップラー用フック装置	亀有工場	{大 西 昇 松 崎 忠	〃
〃	395481	〃	亀有工場	{大 西 昇 松 崎 忠	〃
〃	395482	負荷電圧自動調整装置	日立工場	今 尾 隆	〃
〃	395483	サイドチップラー用フック装置	亀有工場	{大 西 昇 松 崎 忠	〃
実用新案	395484	〃	亀有工場	{大 西 昇 松 崎 忠	27. 8. 19

第 34 卷

日立評論

第 11 号

- ◎最近に於ける火力発電所用制御装置……………日立製作所・多賀工場・斎藤
◎IT型直流饋電線保護継電装置……………日立製作所・多賀工場・三田
◎化学工業用 4,640 kW 回転変流機について……………日立製作所・日立工場・木田
◎磁気飽和型直流変成器……………日立製作所・多賀工場・金井
◎高速電車の表定速度と電力消費量及び主電動機容量……………日立製作所・日立工場・平井
◎可飽和リアクトルによつて制御される誘導電動機の特性……………日立製作所・日立工場・桜井
◎R-4 受話磁器気回路の解析……………日立製作所・戸塚工場・二見
◎電気機関車の振動試験結果について……………日立製作所・日立工場 {高小橋
村 泉
◎黒心可鍛鑄鉄に於ける予備加熱の研究……………日立製作所・深川工場・西村
◎電線用塩化ビニル樹脂に関する二三の基礎的問題……………日立製作所・日立電線工場 {鎌田
——熱安定性、低温可撓性と可塑剤の移行について——…日立製作所・日立電線工場 {川和
◎超遠心機による分子量の測定……………日立製作所・中央研究所 {須黒藤
高 崎
◎絶対比色法による鉄鋼の定量分析（第1報）……………日立製作所・安来工場 {高中堂
——チタン及びタングステンの定量分析——……………日立製作所・安来工場 {村 千信

武茂吉延一男郎夫功生郎彦吉夫伸
勝真好憲泰二忠士長七卓重千信

東京都品川区
大井坂下町 2717

日立評論社

誌代一冊¥100 半年分¥430(送料共)
〒 ¥ 12 一年分¥840(送料共)