

インデックステスト法の理論と実際 (その 3)

Theory and Practice of Index Test Method (Part 3)

山 崎 卓 爾* 手 島 友 亮*
Takuji Yamazaki Tomosuke Tejima

内 容 梗 概

最近水力発電所の水量の指示記録が仮標流量を使用することにより実現するに至り通称 Index Test 法と呼ばれている運営上の諸試験が急速に普及してきた。筆者らはさきに本文の第 1 篇として Index Test 法の一般的事項について、さらに第 2 篇として Peck 法と呼ばれる仮標流量指示方式について述べてきたが、今回 Peck 法とともに広くわが国で実発電所に適用されつつある Winter-Kennedy 法についてその概念、測圧孔設計にあつての留意すべき事項などについて詳述し、最後にこれから Index Test 法を計画される場合の着目点と発電所に流量計器を取付けるまで実際上の諸注意事項について具体的にその手順を述べ、あわせて流量計取付のための試験結果の判断の方法について詳述する。ここに述べた手続にならつて流量指示計器を取付けると確実な流量標示が得られ、発電所運営上の諸試験を行うための準備が完了することになる訳であり、ここに本文が Index Test 法の本来の使命を完遂する端緒となることを願つてやまないしだいである。

第 3 篇 Winter-Kennedy 法^{(1)~(3)}

[I] Winter-Kennedy 法の基本概念

Winter-Kennedy 法は Peck 法とならんで広く実発電所で実施されつつあるが、その原理は概念的にはよく知れわたつている。すなわち水車外函内の水の流れは、概括的に自由渦巻流をなしているとみてよく、水車中心に近い r_1 のところではその流速が v_1 、圧力が p_1 で、これに比べ水車中心より遠い r_2 のところでは流速が v_2 、圧力が p_2 であるとすれば $v_1 r_1 = v_2 r_2$ であるから、水車中心に近い r_1 のところの流速 v_1 は r_2 のところの v_2 より大きくなる。そこで r_1 と r_2 の 2 点に Bernoulli の定理をあてはめると、

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \dots\dots\dots (1)$$

縦軸水車にあつては $z_1 = z_2$ で

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \dots\dots\dots (1')$$

となり、その圧力差 h は

$$h = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} = \frac{v_1^2}{2g} \left\{ 1 - \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right\} \dots\dots\dots (2)$$

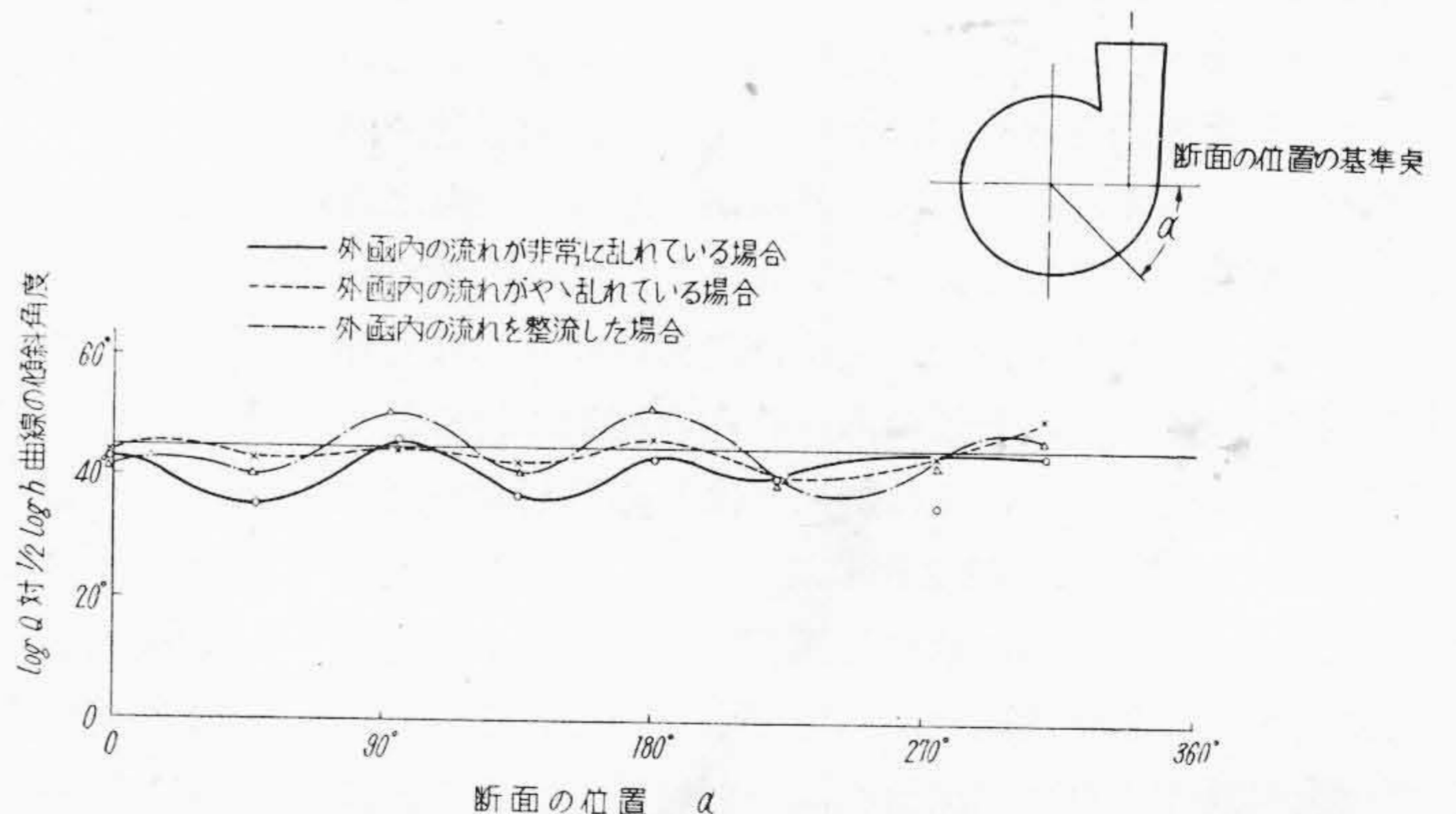
となり、 $h = \xi \frac{v^2}{2g}$ の形をなし、Index Test 法を実施するに理想的な関係式 $Q = K\sqrt{h}$ の形にかきかえられる。したがつて、その圧力差 h を流量指示の標示として利用しようとするのが Winter-Kennedy 法と呼ばれる方法である。しかし水車の渦巻型外函はかならずしも自由渦巻流れの流線と完全に合致しているわけではないので、水流の状態が外函に

よつて制約を受けるため、現実には種々の問題に遭遇し理想的な性質をもつ "仮標流量" を見出すことは容易ではない。

[II] 渦巻型水車外函内の流動状態⁽²⁾

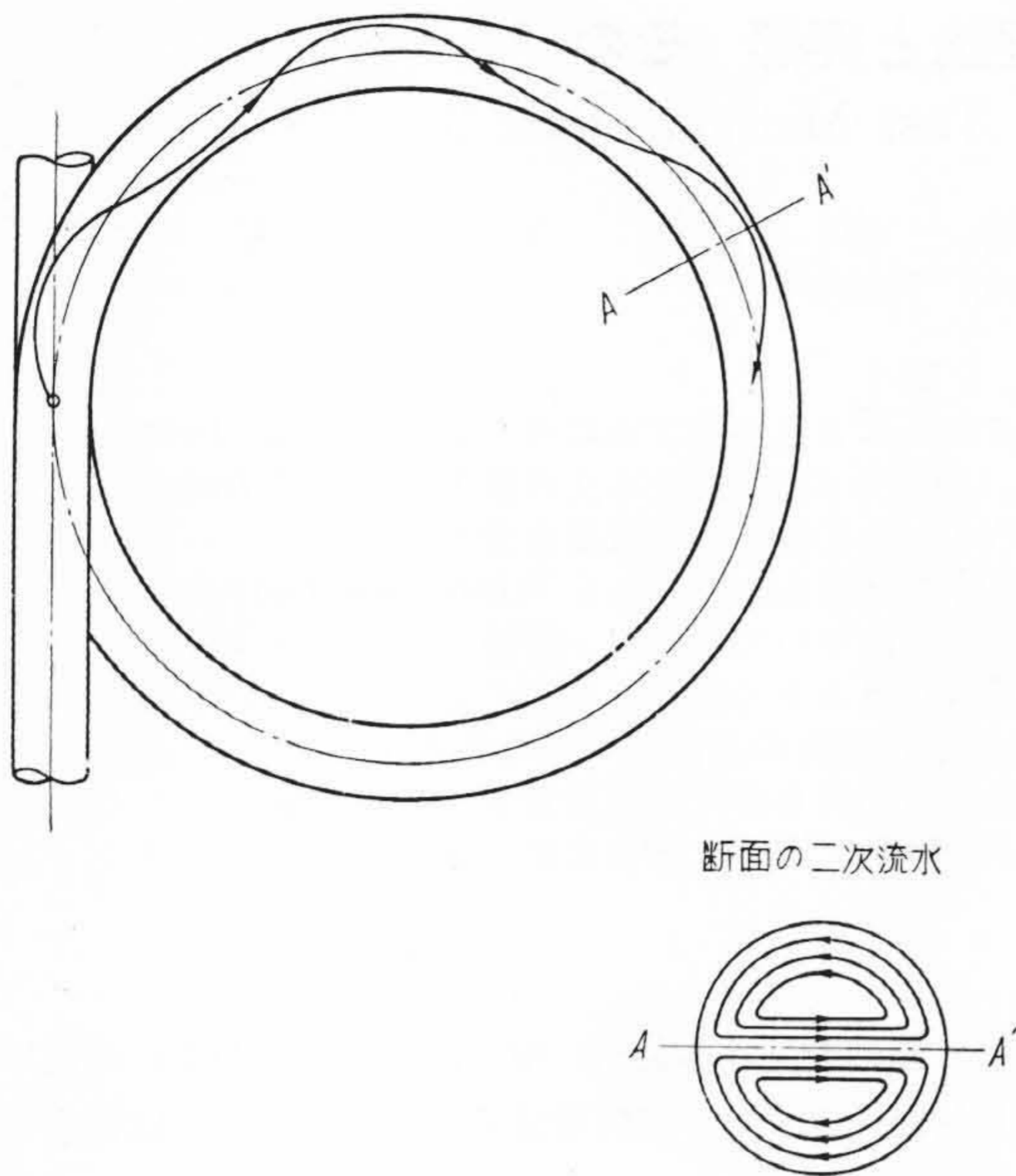
Winter-Kennedy 法の考え方は非常に概念的であり、渦巻型外函のどこの断面で行つてもよいように考えられがちであるが、実際にはさほど容易に好結果が得られない。そこで渦巻型外函内の流動状態について少しくわしく検討を加えてみることにする。

水車外函内の水は本文の第 2 篇(4)の第 1 図に写真で 1 例を示したようになりに複雑な流れをしている。いま模型フランス水車を使つて外函内の円周上にほぼ等間隔に 8 断面をえらんで Winter-Kennedy 法に基づく測圧孔を設け、外函内の流動状態を変化させて、その $\log Q$ と $1/2 \log h$ の関係曲線を書いて、その傾斜角度を求め、外函上の測圧断面の位置と $\log Q$ 対 $1/2 \log h$ 関係曲線の傾斜角度とを拾いあつめ一つの図に取りまとめる



第 1 図 Winter-Kennedy 法の測圧孔を設けた断面の位置と $\log Q$ 対 $1/2 \log h$ 曲線の傾斜角度との関係

* 日立製作所日立研究所

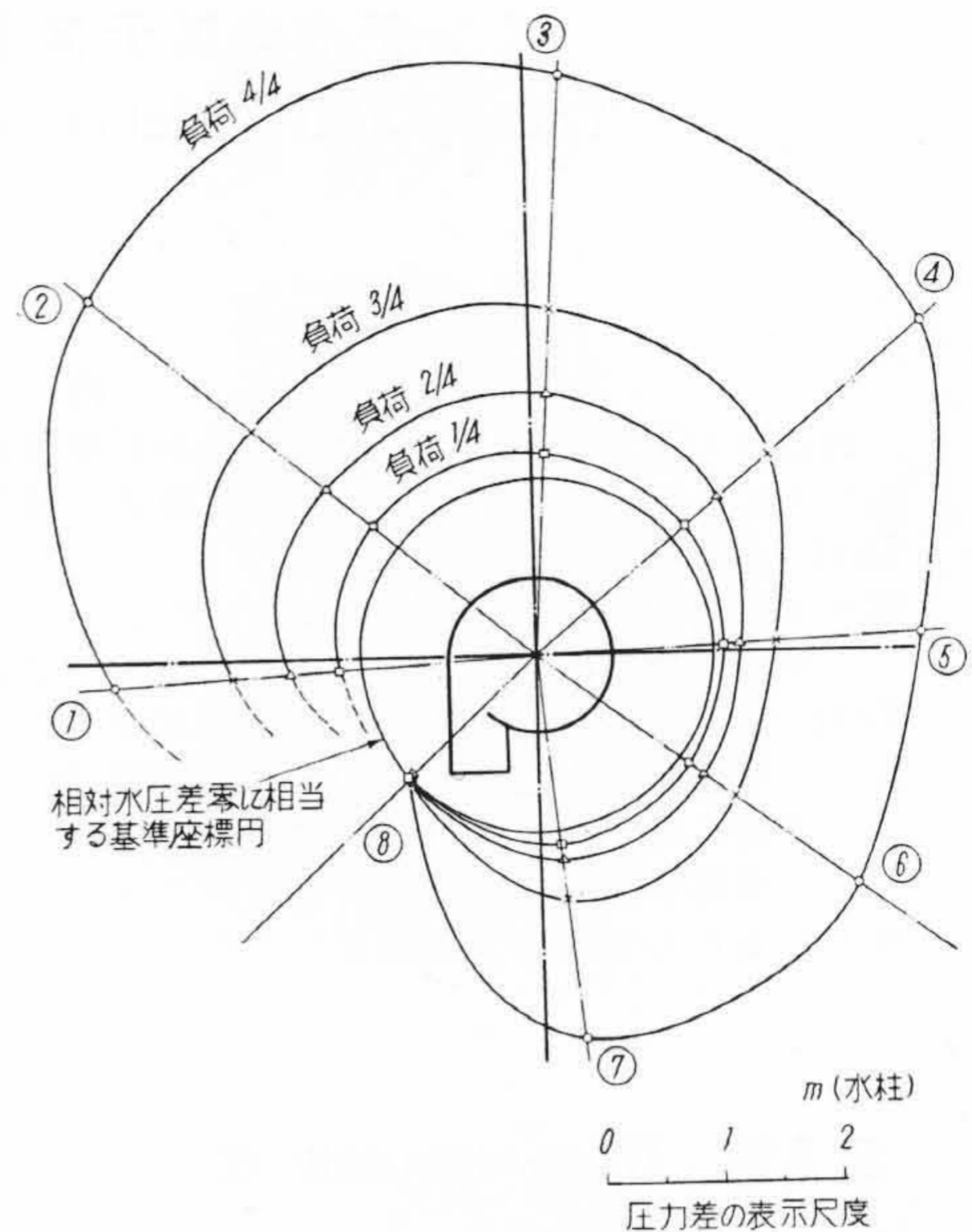


第2図 円形断面の曲管内の流れ

と第1図のようになる。この図で水流が非常に乱れている場合には実線で示すようにどの断面をみてもほとんど傾斜角度は45度以下であり、やや乱れた場合には点線で示すように前者よりも45度線に近づいてくる。さらに整流すると一点破線で示すように凹凸はあるがその平均値はほぼ45度の傾斜角度線上にあることがわかる。

このように同一水車外函を使用して、外函内の水流状態を左右する一要素を変えただけでもこのような差がある。理想としては第1図の $\log Q$ 対 $\frac{1}{2} \log h$ 関係曲線の傾斜角度線は45度線上にあつて、なるべく凹凸のないような外函が Winter-Kennedy 法を実施するには便利であることになる。

次にこの凹凸曲線の起る原因について考えてみると Winter-Kennedy 法は自由渦巻運動の原理に基づいているが水車外函の渦巻き形状はかならずしも自由渦巻流線と合致しておらず、そのために外函内の水流の流線は理論的自由渦巻き流水をしていないと考えられる。すなわち水圧鉄管より外函に流入した水は最初の曲り部分で外周壁に押しつけられ、普通の曲り管内の流動に起るような週期的偏向性を示し、水は旋回しはじめ各断面には二次的な流れを誘起して第2図に示すような性質の流動状態を形成する。さらに水車外函の場合には水が渦巻き中心に向つて放射状内向き流れをともなつているので、各断面上に誘起された二次流れは一層助長されることになる。ここに Winter-Kennedy 法はむしろ各断面に誘起する二次的流水を捕えて流量指示に利用していると解

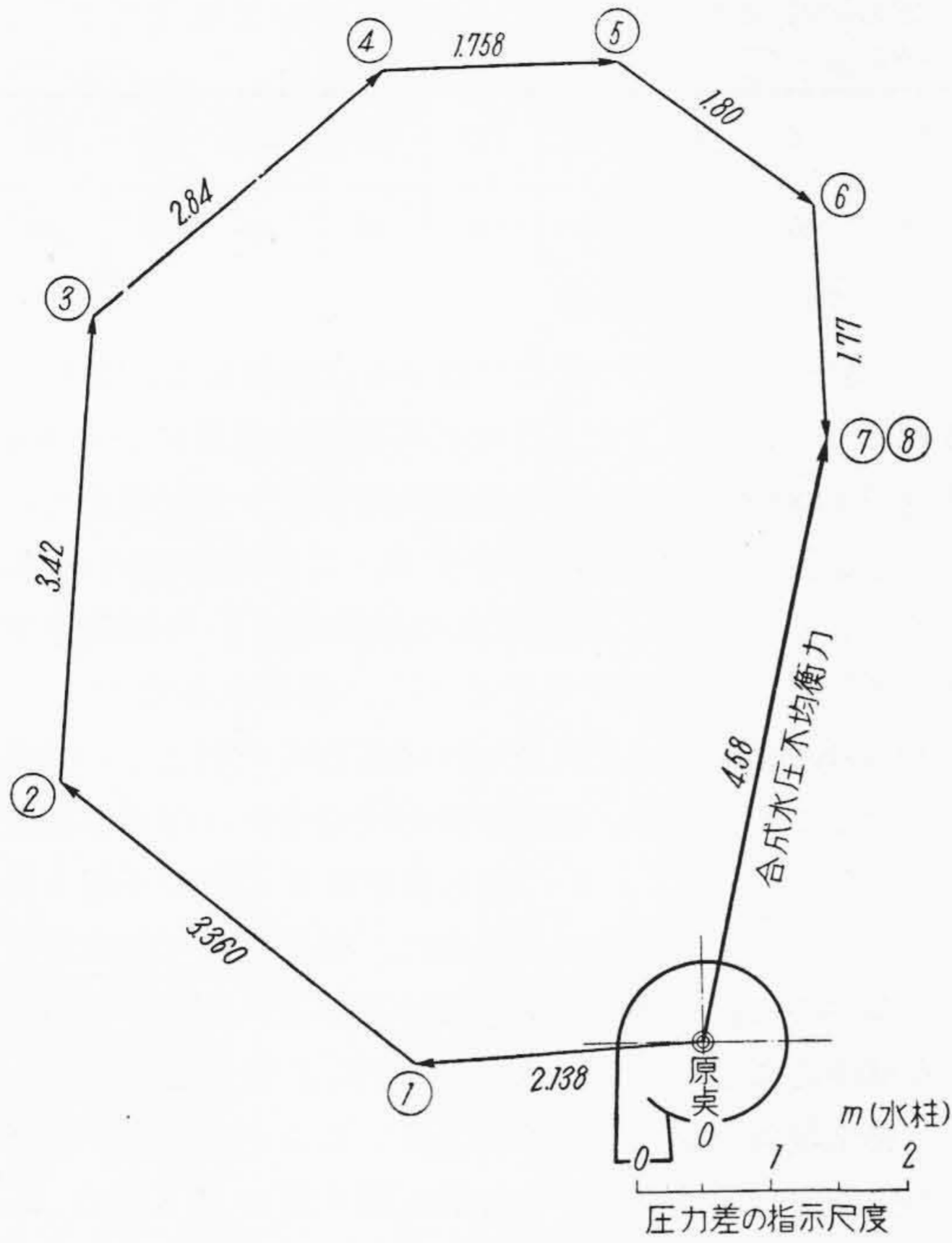


第3図 渦巻型外函の相対的水圧分布の一例

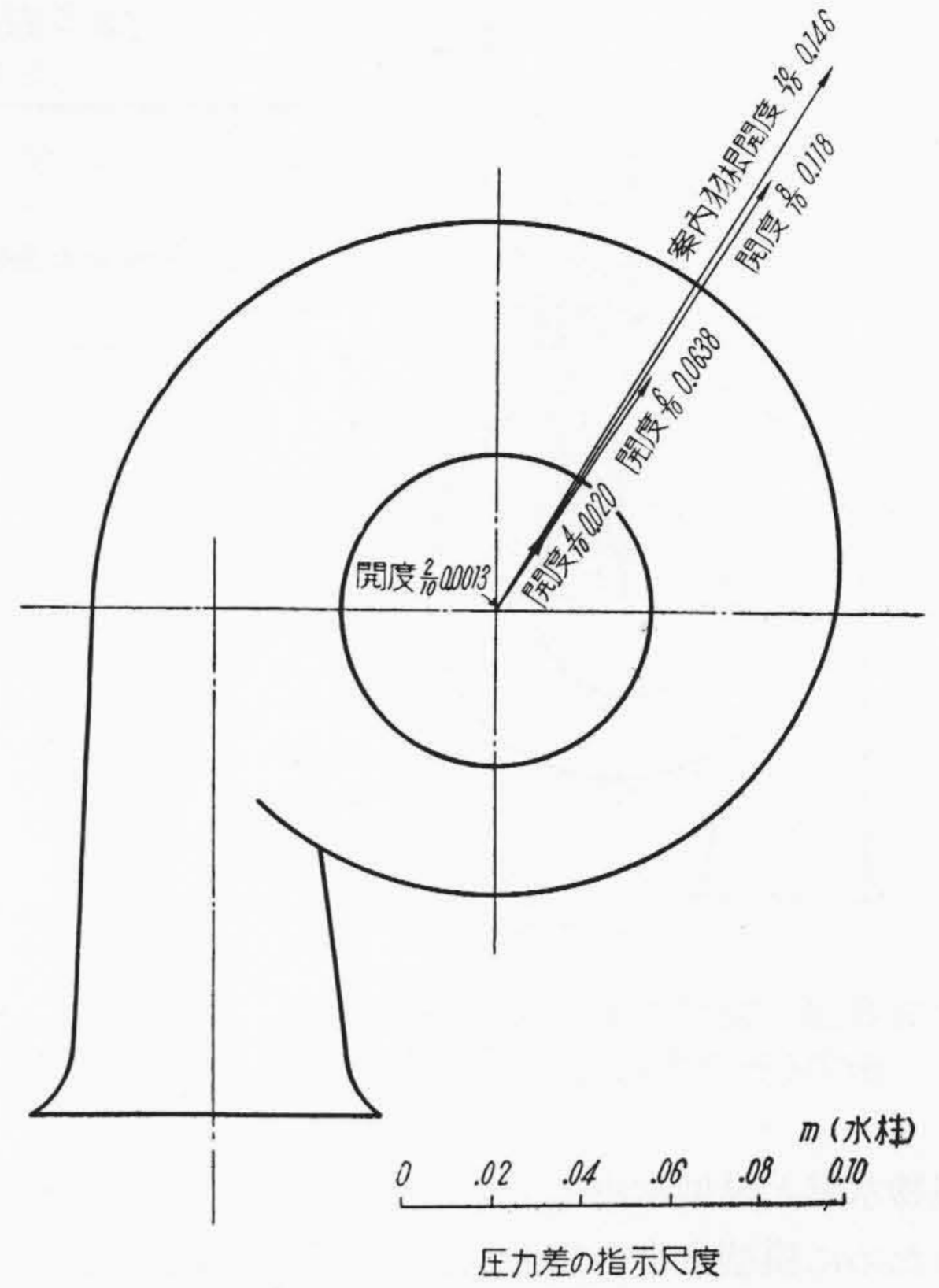
積することもできる。ここに述べた週期的偏向性流水は水圧鉄管を有する水車には必然的に起るもので、第1図に示した凹凸ある $\log Q$ 対 $\frac{1}{2} \log h$ 関係線の傾斜角度線はこの現象によるものと考えられる。しかしこの凹凸曲線の凹凸度の大小は外函の構造のいかんによるもので、個々の水車について十分検討されねばならないことになる。

〔III〕 渦巻型外函の水圧分布と Winter-Kennedy 法の適応性について

いま渦巻型水車外函の性質を検討する一手段として水車外函の水圧分布を測定してみる。ここに実発電所において実測した一例をあげて説明すると、渦巻型水車外函の固定羽根のわずか外側に全円周上にほぼ等間隔に8断面を選んで側圧取出し孔を設けて外函の相対的水圧分布を測定すると、第3図に示すように有効落差に比べればほんのわずかではあるが不平衡水圧分布を示している。第3図は水車外函の平面図上に相対水圧零に相当する基準座標円を画き、測圧孔を設けた位置に放射状にその測点の相対水圧を点記したものである。この図に示した外函の相対水圧分布曲線をもとにして、各点の相対水圧をベクトル合成すると第4図に示すような合成不平衡力が求まる。負荷を変化させてそれぞれの場合の合成不平衡力を求め、これを取りまとめると第5図のような結果となる。同一方針のもとに設計されたほかの仕様の模型水車についてこれと同様な試験を行い第6図の結果を得た。



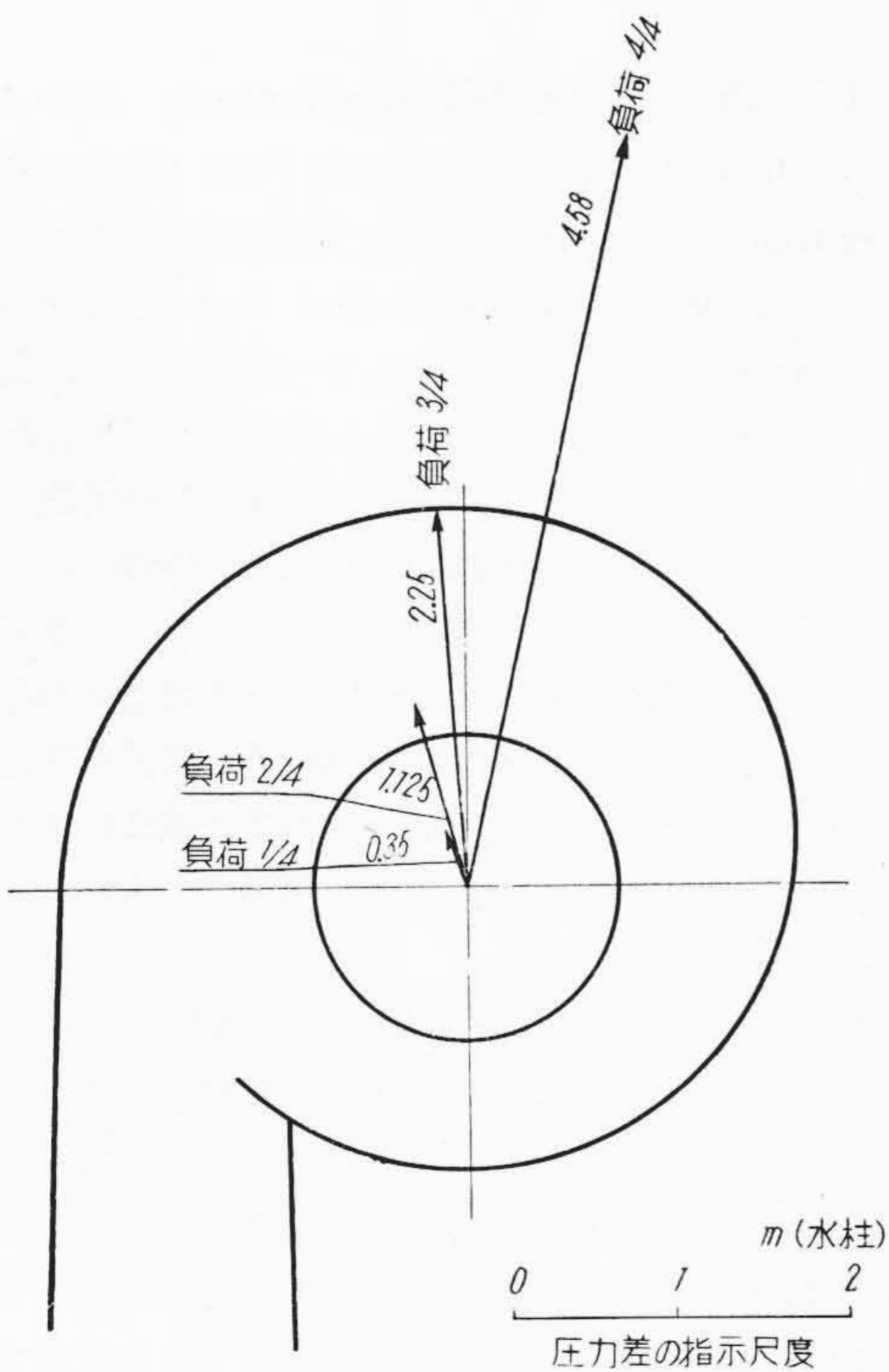
第4図 相対的水圧の合成



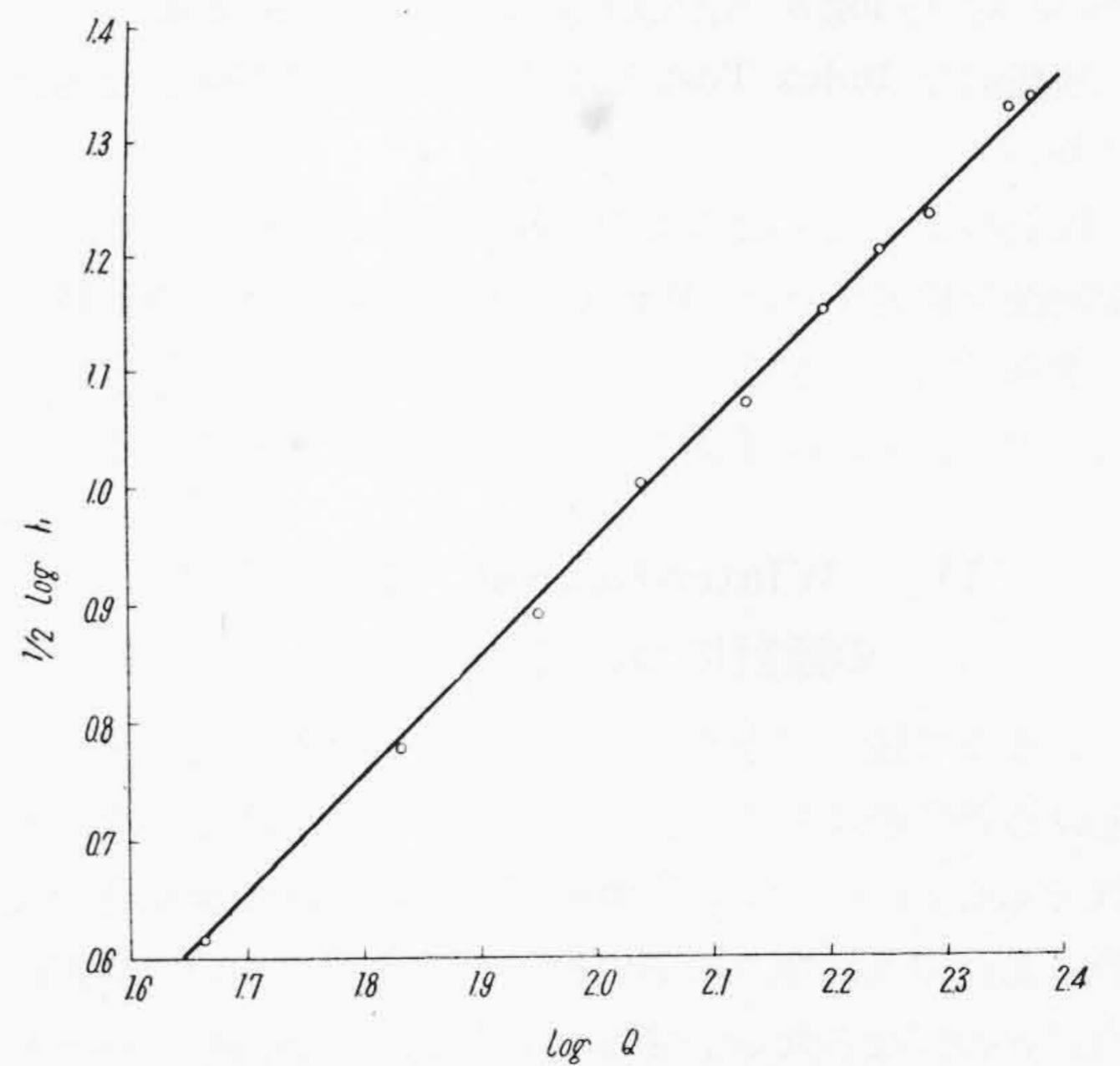
第6図 模型水車外函の合成不均衡力 (合成不均衡力の作用方向不変の場合)

第1表 最大出力時の水圧不均衡力の比較

	実測した水圧不均衡力 (水柱 m)	試験落差 (m)	実物の基準落差 試験時の落差	落差を換算した水圧不均衡力 (水柱 m)
実物水車	4.58	69.5	$\frac{1}{1}$	4.58
模型水車	0.146	2.28	$\frac{30.48}{1}$	4.45



第5図 水車外函の合成不均衡力

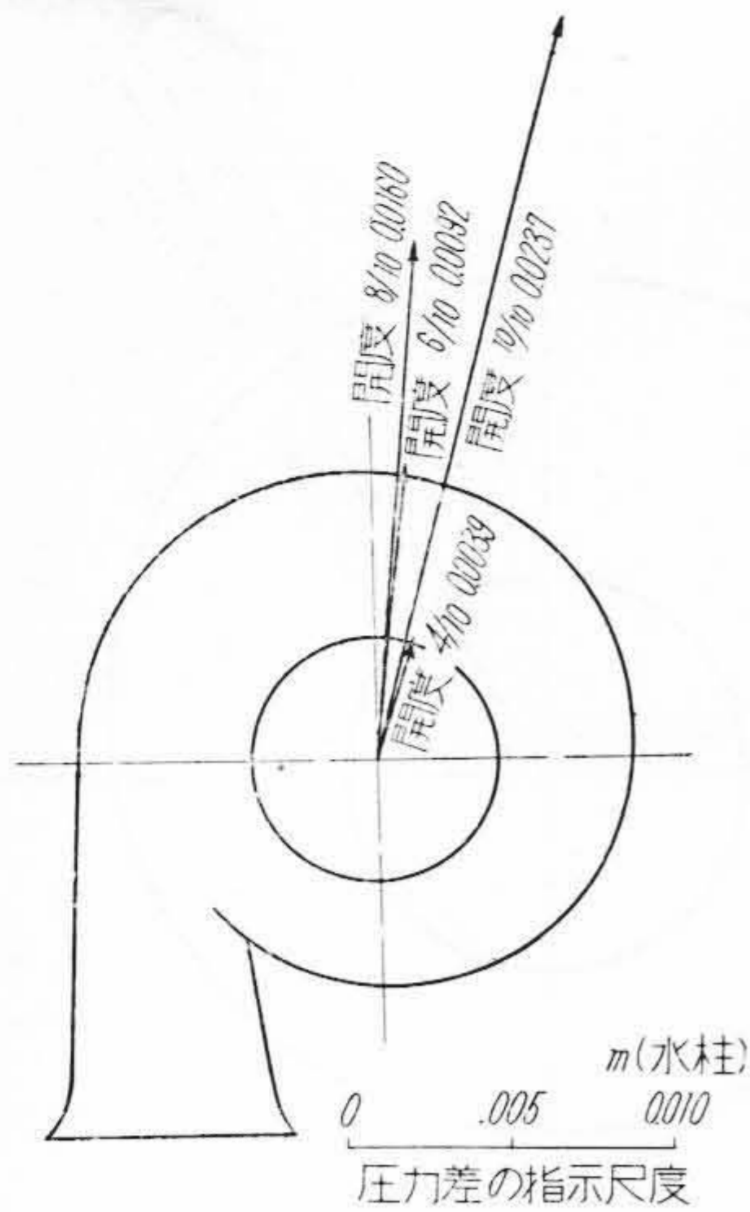


第7図 理想的な $\log Q$ と $\frac{1}{2} \log h$ の関係

第 2 表 合成不平衡力の作用方向の変化する水車についての α と θ との関係を示す一実例

測定断面の位置 α (度)	0	45	90	135	180	225	270	315
$\log Q$ 対 $1/2 \log h$ 曲線の傾斜角度 θ (度)	46	44	41	41	46	44	44	38

ただし α は外函入口軸線に直角な中心線よりの角度



第 8 図 模型水車外函の合成不平衡力(その作用方向の変る場合)

実物水車と模型水車によるこの二つの試験結果を比較するために模型水車の最大水量時の合成不平衡力の値を前記実物水車の落差に換算すると第 1 表のようによく合致した値になる。しかし合成不平衡力の作用方向の変わり方には差違がある。すなわち実物水車においては負荷の変動にともなつてその作用方向が変位するが、後者の模型水車にあつてはほとんど変化しない。この合成不平衡力の作用方向の変位しない水車に Winter-Kennedy 法を適用すると第 7 図に示すような好成绩が広い範囲にわたつて容易に得られる。さらに合成不平衡力の値が極端に小さく、ほとんど完全に平衡した水圧分布を示す外函について同一試験を行い、その作用方向が負荷(または水量)の変化にともなつて変向する第 8 図のような場合について Winter-Kennedy 法を実施すると、その $\log Q$ 対 $1/2 \log h$ 関係曲線の傾斜角度は第 2 表のように理想的な Index Test 法を適用するには不向きな場合が多い。

以上のような手段によつて外函の合成水圧不平衡力の変向性を検討すれば Winter-Kennedy 法実施の難易性が手軽に判定できる。また模型試験結果からその水圧不平衡力の値もほぼ予測できることになり便利である。

〔IV〕 Winter-Kennedy 法の測圧孔の設計について

いままで述べてきたように渦巻型水車外函内の流動状態は複雑多岐にわたり、簡単に論ずることはなかなか困難である。したがつて Winter-Kennedy 法の測圧孔の設計にあつては種々の素因を個々の水車について詳細に検討せねばならない。すなわち外函の渦巻曲線が定まれば従来多くの試験結果から、その水圧分布の移り変わり方

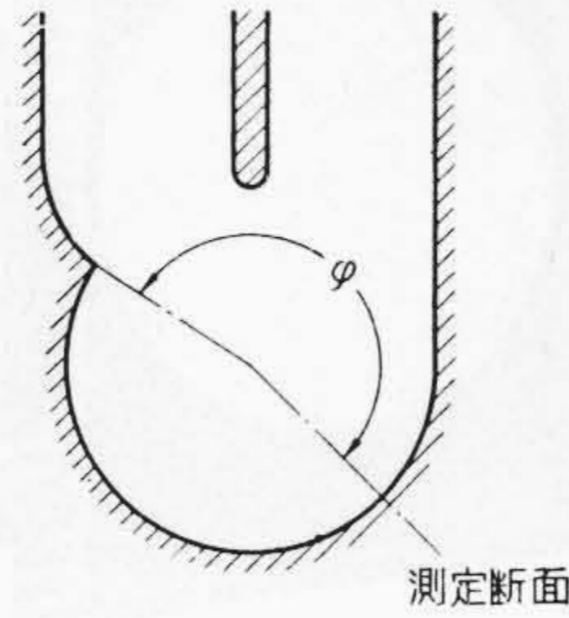
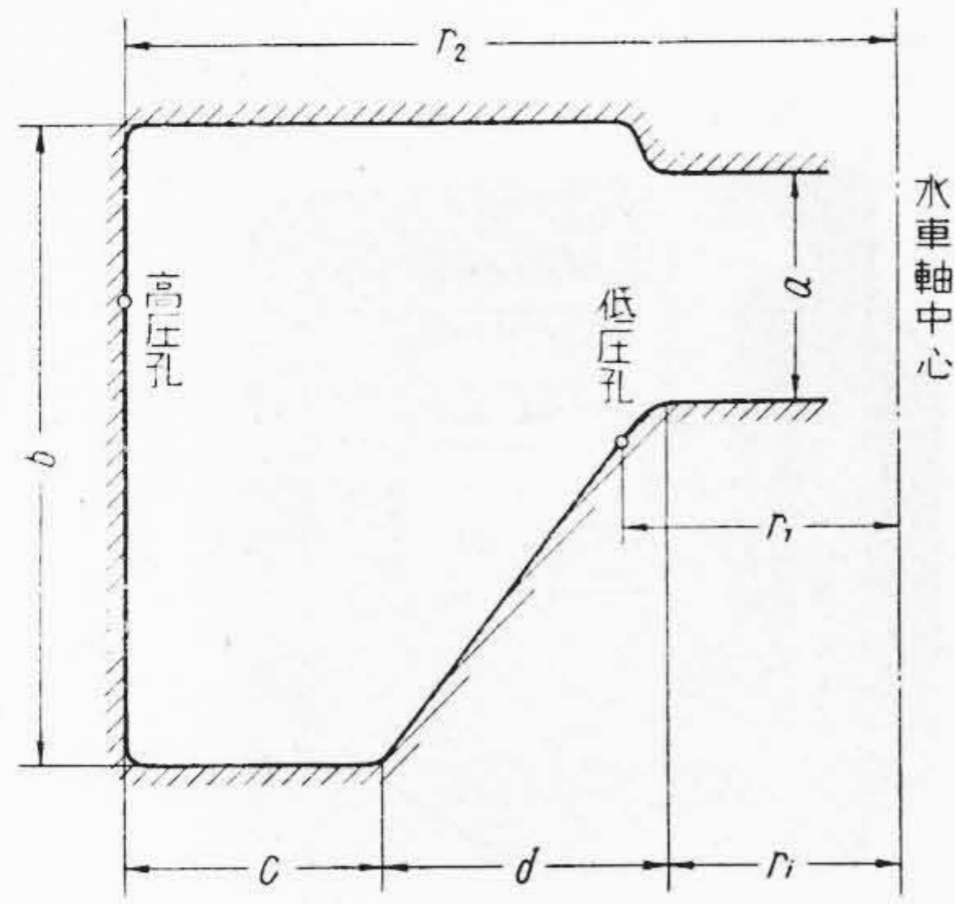
やその水圧不平衡力の変化の様子をほぼ推定し、さらに第 1 図に一例を示したような外函断面の位置による $\log Q$ 対 $1/2 \log h$ 関係曲線の傾斜角度の変わり方を考えて、測圧孔を設ける断面を決定する。この場合第 1 表に実例を示したごとく模型水車の試験成績から実物水車の状態を相当程度推定できるから、模型水車について Winter-Kennedy 法を実施すればさらに一層正しい推定ができることになる。測定断面が決定すれば指示水頭差 h をなるべく大きく、かつ指示水頭差 h の値の予想も容易なために高圧孔は最外周壁面に、低圧孔はできるかぎり水車中心に近い外函壁面に設けるがよい。しかし極端に水車中心に近づけると固定羽根による悪影響が現われ、異常現象を呈することがある。たとえば固定羽根背面の先端附近の壁面に、すなわち第 2 篇の第 2 図の L , M 孔のごとき部分に低圧孔を穿けると羽根背面の剥離現象が影響して好結果が得られない例が往々にしてあるのを経験している。

第 4 篇 Index Test 法の実際

〔I〕 Peck 法か、Winter-Kennedy 法か

一般に Index Test 法を行うには Peck 法がよいか、Winter-Kennedy 法がよいかという質問を受けることがよくあるが、Winter-Kennedy 法は Peck 法に比べその物理的意味の解釈がすつきりしていないだけに、良好な測圧孔の検出方法も多少手ぬるい感があるが現段階ではやむを得ない。実発電所の Index Test の実施にさいして、マノメータの動揺などからして Peck 法より Winter-Kennedy 法が比較的容易であるかのごとき感じを受ける人があるが、Index Test 法を実発電所の運営に活用する場合にもつとも便利な $Q = K\sqrt{h}$ 式を満足する測圧孔を求めることになると、この 2 方法はいずれも同じぐらいの難易性をもつており、簡単にいずれが有利であると判定できない。

前にも述べたように Index Test 法の測圧孔の特質⁽⁵⁾としては研究的見地からは $Q = Kh^n$ ($n \neq 0.5$) でなんら支障はないであろうが、現実に実発電所の計器盤に導いたり、 Kaplan 水車の羽根車羽根角度と案内羽根開度との連動関係を検査したり、発電所の総合運転に活用する段階になると $Q = Kh^{0.5}$ の形のものがもつとも便利で、しかも実発電所の使用者にとつて最も親切な方法であ



r_1 = 低圧孔の水車軸中心からの距離
 r_2 = 高圧孔の " "
 Q = 水車流量

r_1, r_2 : それぞれ水車中心から低圧孔、高圧孔までの距離 (m)
 Q : 指示水頭差 h を示すときの流量 (m³/s)
 ϕ : 渦巻型外函の巻き終りからの角度 (度)
 ρ : 外函の適用断面における曲率半径 (m)
 r_i : 渦巻型外函内側より水車中心までの距離 (m)

第9図 カプラン水車のコンクリート外函の各部寸法の説明

る。この $n=0.5$ の測圧孔の探索となると Peck 法の方が物理的性質の明確なだけ、その研究手段も容易であるとも考えられる。

〔II〕 Index Test 法の指示水頭差の推定

実発電所において Index Test を行う際、計器の容量を定める上に、予想指示水頭差がよく云々されるので Peck 法と Winter-Kennedy 法の各々の場合について考えてみる。

(1) Peck 法の場合

Peck 法の実施にあたってその測圧孔を第2篇第Ⅲ節で述べたような検討を行つて設計されたときには固定羽根周辺の流速があらかじめ設計時に予想できるから

$$h = \xi \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (3)$$

h : 予想指示水頭差 (m)
 v : 固定羽根周辺の流速 (m/s)
 g : 重力の加速度 (m/s²)
 ξ : 係数=1 とみなして概算する

式で h を予想しうる。ただしたびたび述べるように Index Test 法は絶対値の測定法ではないから低圧孔に対して定量的な吟味が行われていないので多少の差違が生ずることは覚悟せねばならない。

(2) Winter-Kennedy 法の場合

この方法は自由渦巻流水を基にしているから渦巻ポンプの外函内の水圧分布を求める方法と類似の方法により、(4)式から指示水頭差 h を推定することができる。

$$h = \frac{1}{2g} \left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2} \right) \left(\frac{Q \times \frac{360-\phi}{360}}{2\rho A} \right)^2 \dots\dots\dots (4)$$

ただし $A = \int_r^\pi \frac{\sin^2 \phi}{m - \cos \phi} d\phi, \quad m = 1 + \frac{r_i}{\rho}$

h : 指示水頭差 (m)

また、これとおなじ考えに基いて導きだしたカプラン水車のコンクリート外函についての次の式がある。

$$h = \frac{1}{2g} \left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2} \right)$$

$$\times \left\{ \frac{Q \times \frac{360-\phi}{360}}{a \log \frac{r_i+c+d}{r_i} + \frac{b-a}{d} (c+d-r_i \log \frac{r_i+c+d}{r_i})} \right\}^2 \dots\dots\dots (4')$$

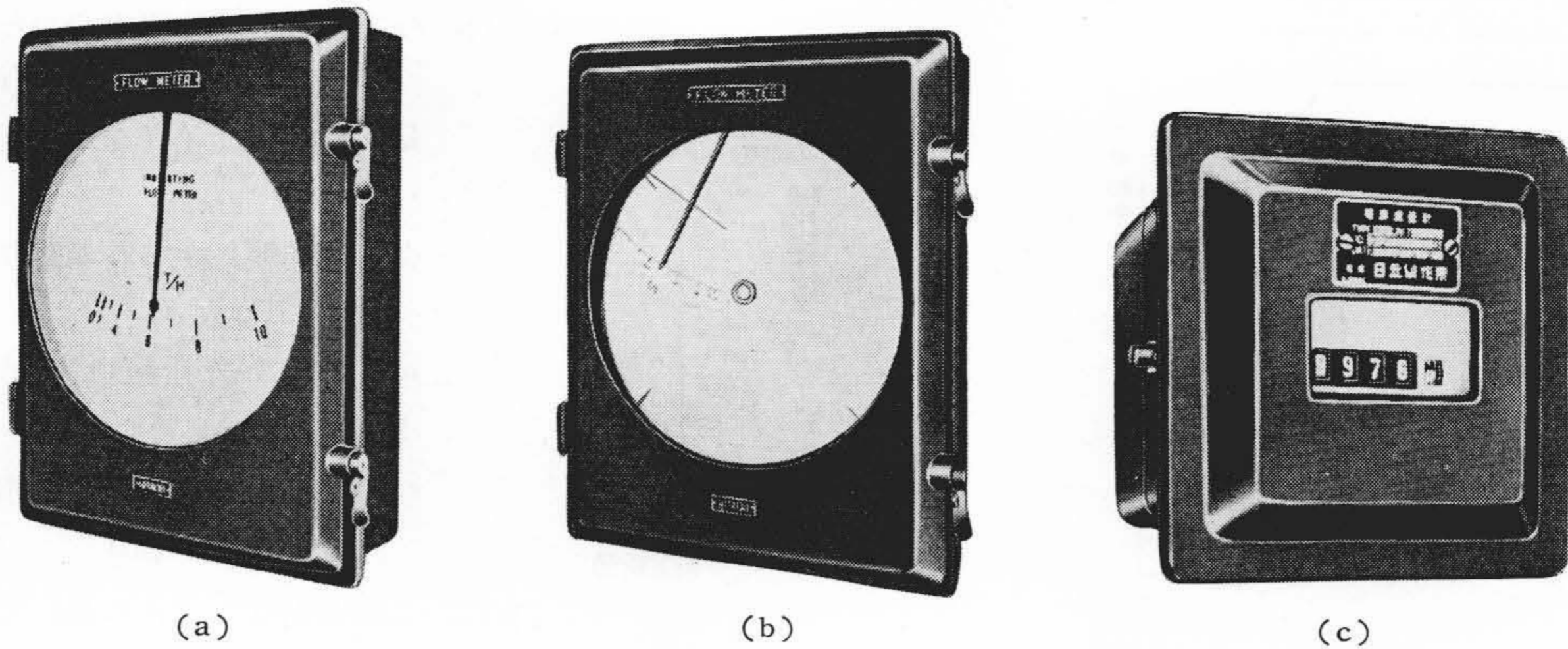
ただし (4') 式中の諸記号は第9図に示してある。この (4') 式は某電力会社で行われた実発電所における試験の結果、実側値とよく合致していることが報告されている。

〔III〕 指示水頭差と水量

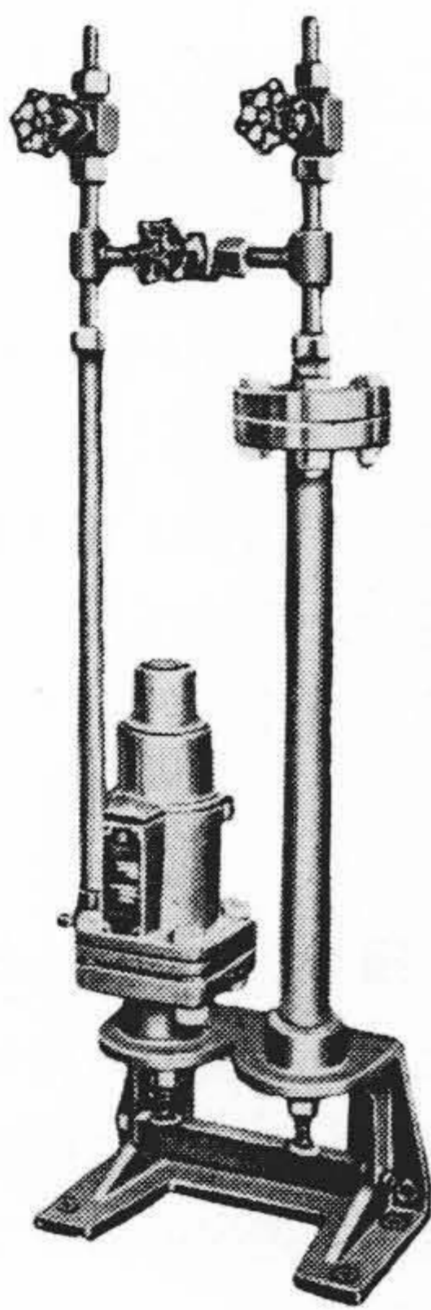
筆者らは発電所における実際の絶対水量をなんらかの方法によつて実測するか、または模型試験結果によつて流量変化の詳細が確実に把握し得る場合について述べてきた。しかし実発電所においては、発電所の構造上絶対流量の実測が不可能であり、または模型試験結果のない場合もありうる。このような場合には前に述べた $\log Q$ 対 $1/2 \log h$ の関係線が書けないわけで、はたして測圧孔の組合せが正確であるか否か不明といわねばならない。

このような場合には、従来行われた例によると多数の測圧孔の組合せを種々変えてマンメータの読み同志を比較し、この曲線上で同一の傾向を有するもののなかに共通の測圧孔があれば、これを一応正しいものとなみし、正しい測圧孔と推定されるもの同志の組合せをもつて Index Test 法を実施している。これも一理あるところであるが、測圧孔として多数のものを取りあげ、また実験結果の整理にもはなはだ多くの手数を要し、しかも最終的には確実というだけの根拠もなく、測定としてはかならずしも成功するとはいえない。

筆者らはこれに対して次のように考える。すなわち第1篇にも述べたごとく管路を利用する Index Test 法は計器取付のためには不便が多いので利用できないが、圧力差の絶対値の小さいという欠点を除いてはその傾向が



第10図 種々の型式の流量計



第11図 流量計の発信器

確実であることはペルトン水車に関する前掲の例を見てもあきらかである。このようなことより、管路中の2点または上水槽と管路途中の1点とのあいだの水頭差が水力学的な損失であるかぎり $\frac{v^2}{2g}$ に比例することは、かくれなき事実であることに着目し、流量の代りにこの圧力差 h' を測定し、 h' と h とを線図に点記してみると、これが正しく45度の傾斜線で示されるか否かを検することにより、流量 Q の代用をなさしめうることになる。この際基準となるべき管路に設けた圧力孔の適否およびその測定値の読みについて十分な考慮と注意とを必要とするが、結果に対しては十分信頼しうるものが得られるはずである。このようにしてえられた関係を利用して検定された測圧孔は十分 Index Test 法に際して仮標流量を与えるものと考えてよい。

〔IV〕 Index Test 法の流量指示計器

Index Test 法に用いる流量指示計器は種々の形式の

ものがあり、外国でも多種多様のものが製作され、研究されているが⁽⁶⁾、原理はほとんど同一とみなされるものが大半である。第10図に示した各種の計器はすでにわが国で実発電所に広く使用されているもので(a)は流量と指示水頭差の関係をそのまま自乗目盛で示してある。(b)は(a)の指針の代りにペンを付け、時計仕掛で記録紙に常時記録できるようになっている、なお指示値を見やすくするためにペンの画く弧に沿って有機ガラス製の目盛板が付いている。(c)は積算流量計である。

なお、これら流量計の発信器(第11図)は水銀U字管の水銀面に浮子を浮べて、水銀面の上下を浮子の動きにかえ、その先端に取付けた鉄心をコイル中で上下させ、コイルのインダクタンスを変化させる方式で構造はきわめて簡単であるからだれでも容易に操作できる。

〔V〕 流量指示計器の取付けに際しての注意事項

実発電所において流量指示計器を取付けるにあたって前節で述べた電気式積算流量計を例にとつて具体的にその取扱い方および注意事項を順を追って説明する。他種計器といえども差圧を利用したほとんどおなじ原理に基づくものであるから、ほぼ同様の事項について検討すればよいことになる。

(1) 高圧、低圧タップの接続

流量指示計器を取付けるにさきだつて Index Test が実施せられその成績がでていから、多数の測圧孔のうちから好成績を示す1組をとりだし発信器(第11図)の高圧、低圧側に接続する。この場合計器の取扱者は Index Test 法の原理をさほど深く知っていない人が多いので、発電所の担当者によく打合せて間違のないよう注意することが必要である。この配管接続にあたっては発信器上部の接続用タップのところに空気抜き用コックを付け十分空気を抜かなくてはならない。配管内に空気が残つていれば計器の指示が狂ってくるから完全に抜くよう努力

しなくてはならない。

(2) 発信器の調整

試験開始前に発信器を確実に所定の状態に調整しておく必要がある。次にその方法について述べる。

(A) 水銀の注入： まず水銀注入口より高圧室に水銀を入れるが、その場合鉄心の上に乗っている浮子押えの棒の標線が調整ネジの上面と一致するまで注入する。注入が終ると浮子押え棒で浮子を押し下げて、適当な位置で放し、標線が最初に確認した位置すなわち調整ネジの上面に戻つて停止するか否か、また浮子の浮き上がりが滑らかに動くかどうか、数回この操作を繰返して確認する。もし水銀を相当量入れても浮子が浮き上らなかつたり、浮子の動きが滑らかでないときは高圧室が錆ているとか、そのほかの機械的な原因によるものであるから高圧室を分解手入れせねばならない。このとき鉄心が曲つていないのかも検査する必要がある。

水銀を入れ終るとその漏洩の有無を確かめ、浮子押え棒を抜き、空気抜きネジで蓋をする。

(B) 空気抜き： 発信器のコックを開くにさきだつて配管に取付けた空気抜きコックを開放したまま発信器の高圧、低圧側両コックを交互に開閉すれば相当量の空気が抜けるから、その後は発信器に付いている空気抜きネジを緩め完全に空気を抜きとる。この際空気抜きネジを開いたまま入口コックを急にあげると、水銀が水とともに流出するからコックは静かに開くがよい。この操作を繰返し完全を期する。この操作が終れば空気抜きコックやネジは堅く閉じておく。

(3) 指示計の零点調整

上に述べた発信器の調整が終れば、発信器と受信器を所定の方法によつて電源に接ぎ、また発信器の高圧、低圧、均圧の三つのコックを開いて発信器の圧力差を零の状態にする。この状態にしたとき指示計の針が零を指示するかどうかを検し、もし零を指さないときには発信器の調整ネジを回して、確実に零を指示するまで調整する。なおこの場合均圧コックを閉じて発信器に適當の圧力差を与えて指示計を振らせ、しかる後均圧コックを再び開いて指針が零に戻るかどうかを確認する必要がある。

この操作を完了し均圧コックを完全に閉じ、さらに発信器各部からの水や水銀洩れを点検し異常がなければ試験準備が完了する。

このほかに電氣的点検箇所があるが実発電所の人々にとつては常識的な事項であるから一応省略する。

ここに述べた方法は一方法で、このほかにも便利な方法もあると思われるが一応の取扱い方を説明するために解説した次第である。

〔VI〕 計器取付試験の実際

実発電所に流量指示計器を取付け終ると目盛校正試験を行うことになるが、すでに Index Test 法により良好な性質を示す測圧孔が決定され、その成績表から指示水頭差と流量の関係がわかっているから、その計器の設計値と照し合わせてみると、水頭差と計器の目盛板上の目盛との関係曲線が求まり、計器の指示値と流量の関係はあきらかになるはずで、流量指示計に表われた指示値が何程の流量に相当するかを検査することができる。

さて現地の発電所の流量計の指示値を読みとる場合には、その測定基準を水車の案内羽根の開度におき、その開度を適当に区分した測定点ごとに読取るのを普通とする(発電機出力を基準にとることもあるが、この場合も同様に考えてよい)。この場合案内羽根開度が同一でも指示水頭差が同じにでるとは限らない、すなわち指示水頭差はほとんど流量の変化にのみ応じて変るものであるが、流量は単に案内羽根開度のみに左右されるものではなく、水車の回転数(周波数)、有効落差によつて変り、 Kaplan 水車の場合にはさらに羽根車の羽根角度が大きく流量を支配する。したがつてこれらの測定値がなければ、求められた指示水頭差がいかなる水車の運転状態に相当するか不明で、計器指示目盛上のどこにこの状態をもつて行くかがわからないから、計器の目盛検定または校正試験を行う場合には水車の運転状態を知るため次に述べる種々の記録をとることが必要である。すなわち試験にあつては案内羽根開度の各開度ごとに流量指示計の読みをとり、同時にならざる水車に作用する落差、水車の回転数または周波数、案内羽根の開度、発電機出力および力率などを測定記録する必要がある。

さて、あらかじめ行つた Index Test の時と計器取付後の目盛校正試験の時とでは水車の運転条件がまったく一致していることはほとんどなく、この両試験の指示水頭差をそのまま直接比較することは正当ではなく往々にしてあやまちを起すおそれがある。このような場合には両者の値をある一定の運転条件に換算して比較しなくてはならない。比較のための状態としては水車の仕様書に記載された基準状態をとるのが普通である。

次にその換算法について説明する。

いま H : 水車の有効落差 (m)
 Q : 水車を流れる流量 (m^3/s)
 N : 水車の回転数 (rpm)
 BKW : 水車の出力 (kW)

とし、基準状態に対しては添符号 O を附し、ほかの状態には ' の添符号をつけて区別する。これらの間には水力学的にはつぎの関係が成立する。

$$\frac{N_0}{\sqrt{H_0}} = \frac{N'}{\sqrt{H'}} \text{ あるいは } \frac{N_0}{N'} = \frac{\sqrt{H_0}}{\sqrt{H'}} \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{Q_0}{\sqrt{H_0}} = \frac{Q'}{\sqrt{H'}} \text{ あるいは } \frac{Q_0}{Q'} = \frac{\sqrt{H_0}}{\sqrt{H'}} \dots\dots\dots (6)$$

いま実物水車の試験によつて得られた値に m の添符号をつけ、これを標準状態に換算する。(5) 式から

$$N' = N_m \times \frac{\sqrt{H_0}}{\sqrt{H_m}} \dots\dots\dots (7)$$

で N' が求まる。この N' は落差 H_m のとき回転数 N_m で運転していたものをほかの条件は全々変えないで有効落差 H_0 なる標準状態にしたときに現われる回転数である(現実にはシステムの周波数に制約されて N' なる状態は普通存在しない)。この N' が N_0 に非常に近くて $N' \doteq N_0$ とみなせれば (6 式) より

$$Q' = Q_m \times \frac{\sqrt{H_0}}{\sqrt{H_m}} \dots\dots\dots (8)$$

となつて、 $Q' \doteq Q_0$ とみなしてさしつかえない。

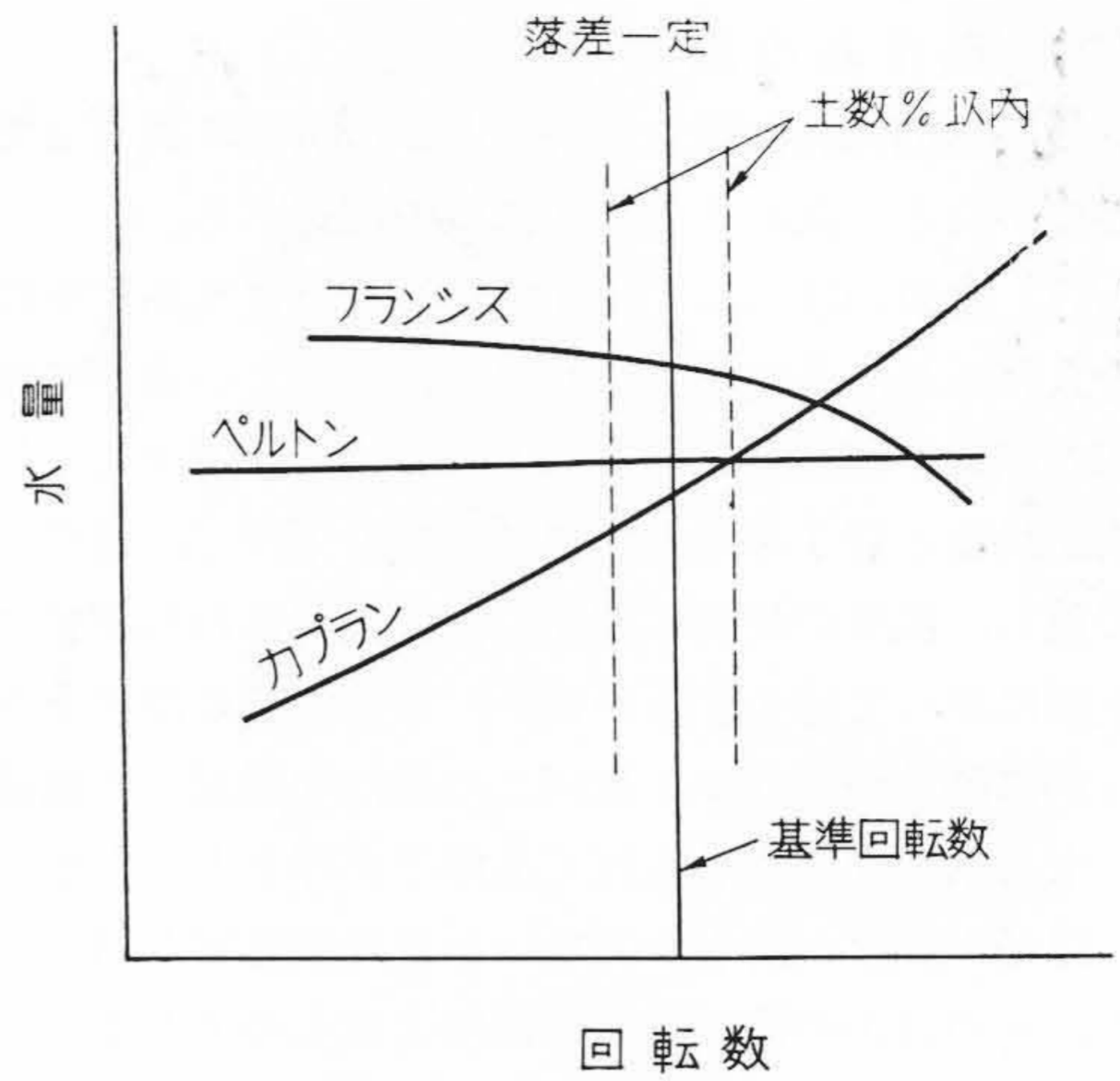
したがつて出力も

$$\begin{aligned} BKW' &= \frac{Q' \times H'}{102} \times \eta' \times 1,000 \\ &\doteq \frac{Q_0 \times H_0}{102} \times \eta_0 \times 1,000 \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

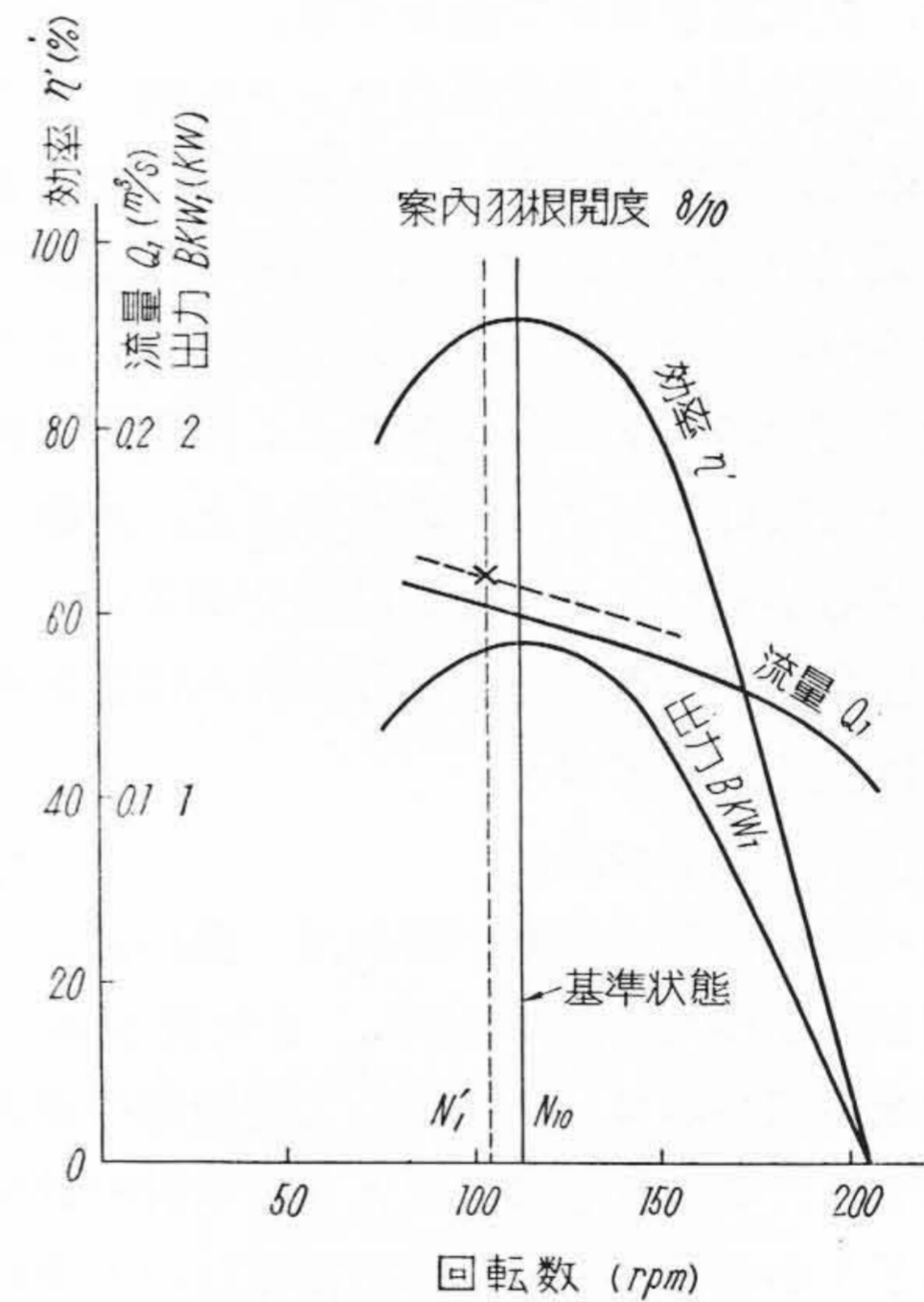
η : 効率

として求められる。もし (7) 式より求めた N' が水車の基準回転数 N_0 とはなはだしく違う場合にはこのように簡単には計算できない。この換算は少し複雑になり、水車の模型試験結果にまでさかのぼつて検討せねばならない。

次にこの方法について説明するが、このような段階にたちいたる場合はきわめて厳密な結果が要求される場合に限るのであつて、一般には前述の概略の方法でよい場合が多い。なんとなれば一般に実発電所の試験では水車発電機は系統に連つているため、回転数は基準回転数の数%以内の差におさまっている場合が多い。しかるに落差が一定の場合(いまの場合多少違つた落差で運転したとして (7) 式により基準落差に換算した回転数が基準回転数と何程違うかということになる) 各種水車の流量曲線は第 12 図にみるように、一般的にはペルトン水車では回転数に無関係に一定、フランシス水車の場合は回転数があがるにしたがつて流量が少くなるものが多く、カプラン水車の場合にはその逆の状態になる。しかしいずれも回転数の数%の範囲内ではその差は小さく、多くの場合流量の差は数%の回転数の変化に対して 1%以内、特別の場合でも 2%以内の差しかないとみてよい。したがつてきわめて厳密な結果を要求されない限り一般に (8) 式で算出した Q' を Q_0 とみなしても大きい違いはないわけである。よつてここに述べる方法は特殊な場合にのみ適用するものと考えてよいが、考え方



第 12 図 種々の型式の水車についての回転数と水量の関係



第 13 図 模型水車の実測特性曲線の例

として参考までに述べる。

模型水車については詳細な性能試験が行われており、一般には各案内羽根開度ごとに回転数を無拘束速度から低速度まで変えてくわしい性能が求められてある。その結果は模型水車の 1 m 落差の場合に換算した値を用い実測特性曲線として取纏めてある。第 13 図はある開度における実測特性曲線の一例である。

この模型水車の性能から実物水車の状態を推定するには、実物水車について考えられる落差および回転数に相当する模型の落差 1 m 当りの回転数 N_{10} を計算で求め、その点の性能を各開度ごとに拾い集め整理すればよい。この N_{10} は次の (10) 式で算出する。

$$N_{10} = \frac{N_o}{\sqrt{H_o}} \times \frac{D}{d} \dots\dots\dots (10)$$

ここに D は実物水車の寸法, d が模型水車の寸法, したがって $\frac{D}{d}$ は模型の寸法比となる。

いまこのようにして求められた実物水車の基準状態に相当する回転数 N_{10} が第13図に縦の実線で表わされたとする。同じ(10)式によつて実測試験状態の N' および H' について算出された N_1' が模型実測特性曲線上に縦の点線で示されるとする。

さきに述べた簡略法ではこの N_1' が N_{10} とあまり違わないから同一とみなしたのであるが, ここには違った場合を論ずることにする。

ここでみると N_{10} と N_1' とでは水量はあきらかに差違がある。現在の運転状態すなわち基準以外の落差での系統周波数に制約された回転数の運転状態は, これを基準落差に直すと N_{10} とは違った N_1' の運転状態にあるわけで, もしこれを基準落差であるうえにさらに基準回転数で運転されたとすれば N_{10} の位置になるはずである。したがって効率も流量も N_{10} の値が, この水車の基準状態のものでなければならない。

また模型と実物の間には前述の回転数の関係以外に次のような関係がある。

$$Q_{10} = \frac{Q_o}{\sqrt{H_o}} \left(\frac{d}{D} \right)^2 \dots\dots\dots (11)$$

$$Q_1' = \frac{Q_m}{\sqrt{H_m}} \left(\frac{d}{D} \right)^2 \dots\dots\dots (12)$$

ここに Q_{10} は模型水車の 1 m 落差に換算した基準状態の水量に相当する値で, Q_1' は試験時の水量に相当する値である。今たとえば Q_1' の値が第13図の N_1' 線上の×印の位置にあるとすると, これを N_{10} 上に換算することはその間の性能曲線が示されていないからできないが, その変化の傾向は図の曲線上の場合と大体一致するとみてよい(もし開度が模型と実物で一致していなければ試験点をはさむ両開度の傾向を参考にするか, または開度とその傾向との関連性をあらかじめ求めておくがよい)。よつて N_1' と N_{10} の両点の Q_1 の値の比を求めて, その割合で×印の点の流量を N_{10} 座標上に換算すれば, これが求まる Q_1 すなわち Q_{10} となる。これより次の(11')式によつて基準状態の流量 Q_o が求まる。

$$Q_o = Q_{10} \times \sqrt{H_o} \times \left(\frac{D}{d} \right)^2 \dots\dots\dots (11')$$

以上のようにしてはじめて基準状態への換算ができるわけで, 流量の比較はこれで行われるべきである。

もし流量の代りに出力を基準にとる場合は水車効率についても同様な手順で模型試験の傾向から実物の傾向を

推定してその補正を行わねばならない。

む す び

以上3回にわたつて水車の Index Test 法ならびに Peck 法と Winter-Kennedy 法と呼ばれている仮標流量指示方法について解説してきたが, 現在 Index Test についても, 流量指示試験の方法についても具体的な解説書があまり見当たらないようで, そのためか Index Test 法についても色々の解釈がなされているむきがある。

一方水力資源の有効適切な活用をはかり, 水力発電所の合理的な経済運営を図るには, 個々の水車はもちろん発電所としての総合的な入出力を完全管理する必要がある。しかし水車流量の掌握のみはその絶対値の測定技術の困難さが主因となつて, 発電力や落差などのほかの諸要素に比べその管理がいちじるしく遅れていた。この難点を避けるために水車の運営上の試験にあつては仮標流量とも称すべき相対流量をもつて代用することを提案し, 実際に採用している。ここに相対的流量すなわち仮標流量としては真の流量と一義的な関連性があればいかなる方法でもよい筈であるが, わが国では Peck 法と Winter-Kennedy 法が非常に普及しており, あたかもこれら2方法による流量指示試験のことを Index Test 法であるかのごとき錯覚を起すほどに普及してきて, 全国各地の発電所にはほとんど流量指示計器が取付けられるに至り, 発電所入出力の完全管理への準備が整えられている。

この機会に望んで Peck 法と Winter-Kennedy 法に主体を置いてその測圧孔の設計にあつての考え方, 計器取付けのための試験方法の実際およびその結果の正確なる判断の方法などについて解説を試み, あわせてその後にくべき Index Test 法と呼ばれている発電所の運営上の諸々の試験法を実例をもとにして紹介した。ここに本文が Index Test 法本来の使命たる発電所の合理的運営に活用される場合の手引ともなれば幸これに過ぐるものはない。

参 考 文 献

- (1) I. A. Winter : Proce A. S. C. E. 59 565 (1933)
- (2) 山崎, 手島 : 日立評論 36 593 (昭 29-3)
- (3) 鈴木, 秋元, 相原 : 電研月報 3 No. 1 の 1 (1953-3)
- (4) 山崎, 手島 : 日立評論 38 1459 (昭 31-12)
- (5) 山崎, 手島 : 日立評論 38 1351 (昭 31-11)
- (6) E. B. Storowger : Proce N. E. L. A. 85 872 (1928)



特許と新案



最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その1)

区 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
特 許	225726	電 気 絶 縁 電 線	日立電線工場	間 瀬 喜 好 荻 野 幸 夫 鶴 田 幸 四 高 野 四 憲	31. 9. 28
特 許	225727	線 条 連 続 巻 取 機	日立電線工場	北 田 附	"
実用新案	451145	前 後 面 テ ー ブ ル 駆 動 装 置	日立工場	神 池 峰 次 郎	"
"	451150	エ レ ベ ー タ 階 床 扉 開 閉 装 置	日立工場	池 田 正 一 郎	"
"	451151	遮 断 器 引 外 作 動 装 置	日立工場	斎 藤 亮 二	"
"	451153	消 弧 線 輪 用 調 比 装 置	日立工場	滑 川 清	"
"	451155	交 流 電 磁 石	日立工場	室 星 務 吉	"
"	451156	可 撓 電 線 端 子 付 装 置	日立工場	照 沼 種 千 吉	"
"	451157	交 流 電 磁 石	日立工場	泉 白 土 品 井 政 義	"
"	451158	可 動 接 触 片 支 持 板 取 付 装 置	日立工場	高 桜 河 須 田 長 夫	"
"	451159	被 調 整 電 圧 検 出 装 置	日立工場	須 田 長 夫	"
"	451160	直 流 電 磁 石	日立工場	須 田 長 夫	"
"	451143	ベ ル ト コ ン ベ ヤ の ベ ル ト ス ク レ ー パ	亀有工場	川 中 勝 沢 嘉 保 留 康	"
"	451144	コ ン ベ ヤ ト ラ フ	亀有工場	氏 原 良 男	"
"	451146	チ ッ プ ラ の 停 止 装 置	亀有工場	田 中 春 雄	"
"	451147	巻 上 機 の 制 御 指 令 装 置	亀有工場	大 島 昭 二	"
"	451152	鋼 板 コ ン ベ ヤ の 衝 合 せ 装 置	亀有工場	亀 飛 知 和 茂 友 明	"
"	451142	チ エ ン ホ イ ス ト	多賀工場	横 内 直 中 郎	"
"	451148	ポ ン プ の 吸 水 管 排 気 装 置	多賀工場	大 内 津 卓 郎	"
"	451154	内 燃 機 関 用 配 電 器 中 心 電 極	多賀工場	瀬 谷 清 一 郎	"
"	449410	ロ ー ラ 型 接 触 子	亀戸工場	山 崎 栄 次 郎	"
"	449421	巻 鉄 心 型 変 圧 器	亀戸工場	浜 田 晴 雄	"
"	449425	熔 接 用 変 圧 器 の 可 動 鉄 心 駆 動 装 置	亀戸工場	鬼 頭 山 国 忠 博	"
"	449426	熔 接 用 変 圧 器 の 振 動 防 止 装 置	亀戸工場	坂 福 部 山 昭 博	"
"	449436	防 湿 型 照 明 器 具	亀戸工場	福 鈴 木 繁 好	"
"	449441	摺 動 型 単 巻 変 圧 器	亀戸工場	鈴 和 小 市 林 川 正 長 義 脩 平 三	"
"	451149	ロ ー ラ 型 接 触 子	亀戸工場	山 崎 栄 次 郎	"
"	451021	ケ ー ブ ル の 分 割 導 体	日立電線工場	大 加 和 子 和 泰 夫 彦	"
"	451022	複 導 体 巻 線	日立電線工場	間 栗 瀬 田 喜 好 健 太 郎	"
"	451023	複 導 体 巻 線	日立電線工場	間 栗 瀬 田 喜 好 健 太 郎	"
"	451024	複 導 体 巻 線	日立電線工場	間 栗 瀬 田 喜 好 健 太 郎	"
実用新案	451025	複 導 体 巻 線	日立電線工場	間 栗 瀬 田 喜 好 健 太 郎	31. 9. 28

(第24頁へ続く)