

抵抗線歪計を使用したギブソン法による 水車の性能試験

山崎卓爾* 田尻茂治**

Test of Water Turbine by Gibson Method with Electric Resistance Strain Gauge

By Takuji Yamazaki and Shigeharu Tajiri
Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

The Gibson method is currently finding an extensive use in the measurement of large water quantity at power plants. Yet this method admits of improvement in regards to the most important part of the measuring, i.e. the recording of pressure-time diagram. In this respect, Hitachi had hitherto its own system to resort to the use of H-type pressure recording equipment which employs a crystal oscillator to some success in general, but not to entire satisfaction so far as the scrutiny of the absolute value of the water quantity is concerned.

The writers, suggested by the prevailing application of the electric resistance strain gauge in the field of industrial measurement, tried to make use of it. And as a pressure receiving device which is put to strain under hydraulic pressure, the Bourdon tube used in Bourdon tube pressure gauge was utilized as it is able to fulfill most exactly the following requirements:

- (1) A linear relation should be formed between the pressure variation and the strain.
- (2) The device should be easily available.
- (3) The absolute value of strain should be large.

In the recent field test carried out with the Francis turbine of the Yunogami Power Plant of the Showa Electrochemical Industrial Co., the writers' device was able to yield an extremely favourable result except in a part which was one under high humidity in bad weather, thus testifying to the appropriateness of the writers' idea on the improvement of the Gibson method.

〔I〕 緒 言

最近水車の効率に就いて極めて厳密な値が要求されると共に、発電所に於ける実物水車の性能試験が盛んに行われるようになり、実物水車の性能を適確に求めるための性能試験法の確立は水車工学界に於ける最も重要且つ緊急な問題の一つとなつている。

実物水車の性能試験に際して最も問題となるのは水量の測定であつて、性能試験法の確立は水量測定法の確立にあるといつても過言でない。それほどに現地に於ける水車の流量測定には多くの困難な問題を含んでいるが、これに就いては古来多くの測定法が提案されており、その中現在最もしばしば行われているのはギブソン量水法⁽¹⁾、ピトー管法⁽²⁾及び流速計法⁽³⁾である。

ギブソン量水法は筆者の1人が昭和22年行われた日本

* ** 日立製作所日立研究所

機械学会主催の寝覚発電所水車の性能試験⁽⁴⁾に我国に於て最初のギブソン法試験を行つて以来、広く我国に於て採用されるに至り、現在では我国に於ける大水量測定法として重要な地歩をしめるに至つた。

この方法に於て最も問題となる点はその圧力-時間曲線図を得る方法で、従来われわれはH式測圧装置⁽⁵⁾を使用して良好な成績を挙げてきているが、筆者等は更に新しい試みとして歪が直線的であることに着目して、ブルドン管を用いてその歪を抵抗線歪計で測定する方法をとることを提案し、最近2,3の発電所に就いて本方法を使用して実物水車の性能試験を実施する機会を得たので、ここにこれ等の結果の一部を発表する次第である。

〔II〕 圧力-時間曲線記録法としての抵抗線歪計とブルドン管の利用

ギブソン量水法に於て最も重要であり且つ正確を要するのは圧力-時間曲線の記録である。これに就いては発案者ギブソンは水銀柱の動揺を印画紙上に記録する方法をとつているが、この方法は水銀柱動揺の本質上相当の誤差を生ずることが指摘されている⁽⁶⁾。また東京工業大学板谷教授、電機大学池谷教授その他の諸氏はそれぞれ新方法を提案実施されている。

われわれはこれまで圧力上昇によつて生じた受圧板の変形を電氣的容量変化としてH式測圧装置によつてオシログラムに記録するという方法を採用して来た。この方法は寝覚発電所以来多くの発電所の性能試験に使用して相当な成果を収めているが、圧力-電流曲線の直線性並びに安定度に於て必ずしも常に満足すべき性能を発揮するとはいふ得ないうらみがあつた。そこで筆者等は近来広く工学的測定に利用されるようになった抵抗線歪計⁽⁷⁾を圧力-時間曲線の記録法として利用することを提唱して来た。

即ち抵抗線歪計はその感度も極めて高く、安定度も良好なので圧力変動による固体の歪の変換には申し分ないものと考えたわけである。これに基づき受圧板と抵抗線歪計とを併用したものにより各地の発電所に於て既に数回の試験を実施した。

しかしながら受圧板を利用した方式には円板の取付方式やストレインゲージの貼付位置等によつて歪と圧力が必ずしも直線的な関係にない場合もあり得る。そこで筆者等はこの点にさらに改良を加えるために

- (1) 圧力変動と歪との関係が直線的であることが明らかなもの
- (2) 簡単に入手し易いこと
- (3) 歪の絶対量が大いこと

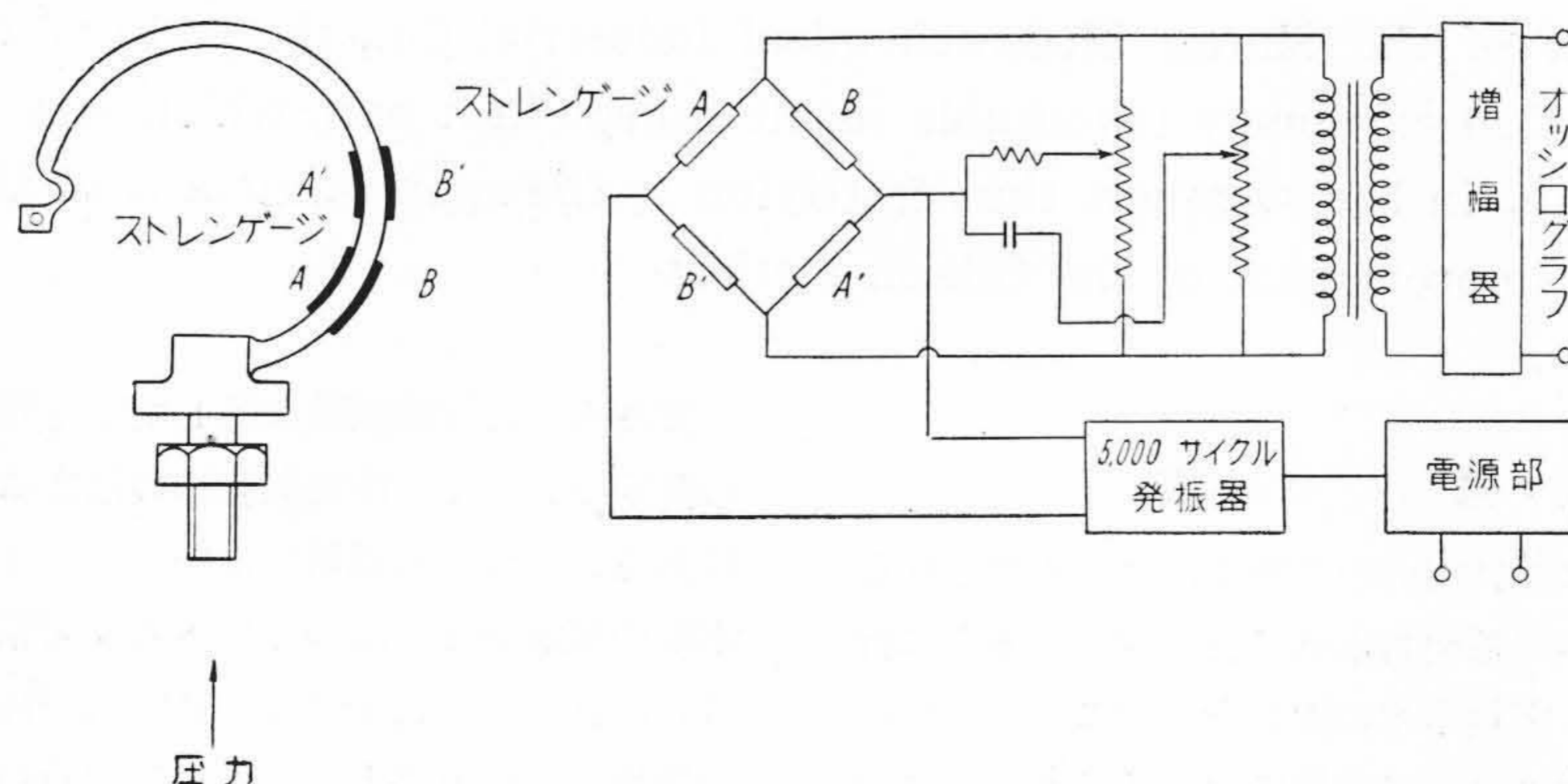
の条件を満足するものとして古くから圧力計として賞用されているブルドン管歪計に着目した。

周知のようにブルドン管歪計は理論的にその圧力による変形がある範囲内では直線的であり⁽⁸⁾、また歪が比較的大きいことも知られている。たゞこれを指示する機構として歯車と針とを使用しているためとかく誤差が生じ、また変動に対する機構の不備からしばしば不評を蒙つたものと思われる。

よつて筆者等はブルドン管自体のみを取出し、これにストレインゲージを貼付して、その歪を測定することによつて圧力上昇を記録しようとして試みたのである。

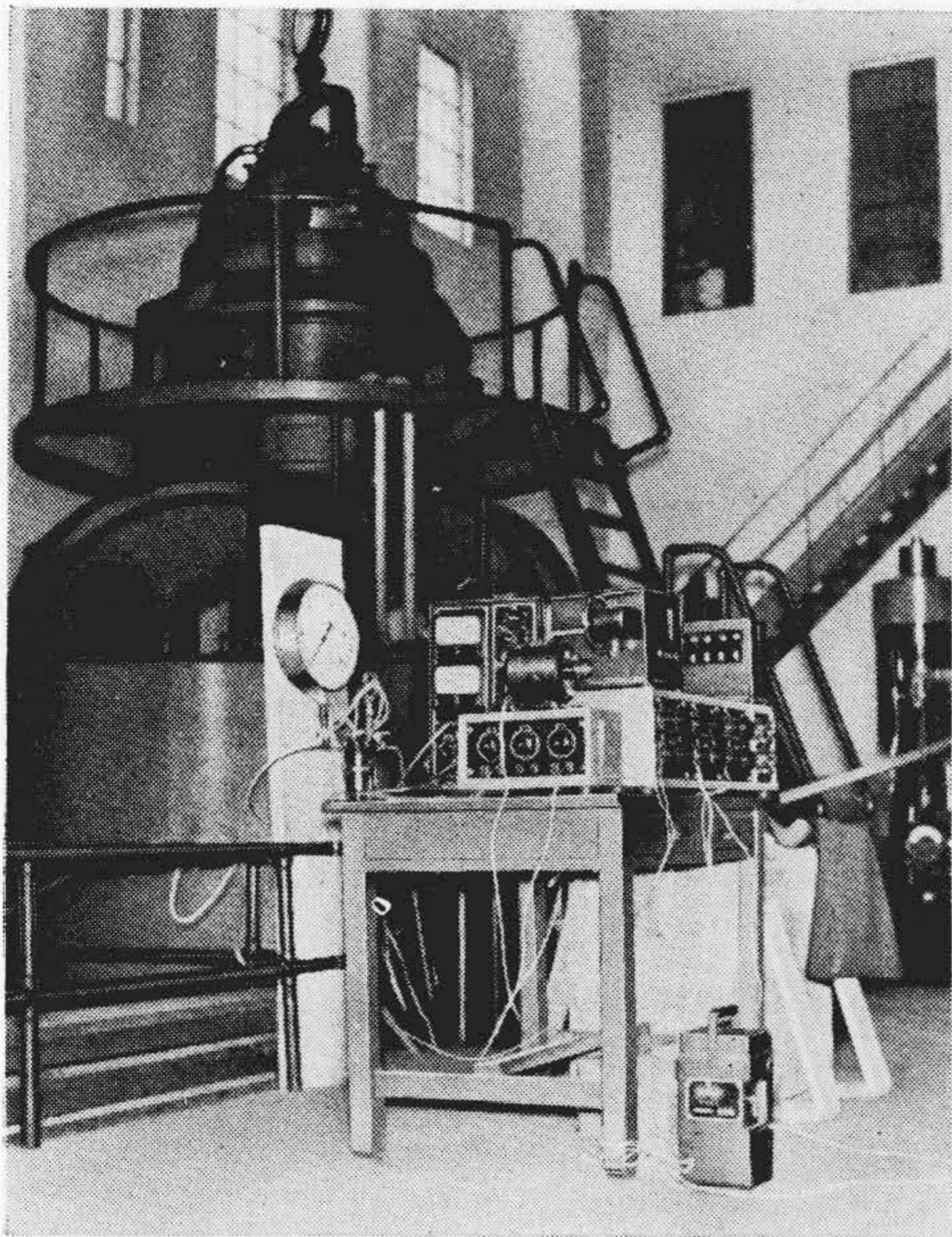
最近この方法を使用して2,3の発電所に於て試験を行う機会を得、良好な成績を収め得たが、ここにその一例として昭和電工湯野上発電所 3,600 kW フランス水車に就いて行つた試験の結果を紹介する。

第1図はブルドン管にストレインゲージを貼付しそれと歪計との配線の関係を図示したものであり、第2図は湯野上発電所に於ける測定装置の設置状況を示したものである。



第1図 ブルドン管及び抵抗線歪計の配線図

Fig. 1. Bourdon Tube and Connection Diagram of Strainmeter



第2図 試験装置の概観
Fig. 2. General View of Pressure-time Diagram Recording Equipment

〔III〕 湯野上発電所水車の概要

当発電所は昭和10年に竣工し、最近羽根車の改造取替を行つたもので、その仕様は次の通りである。

- 最大出力..... 3,650 kW
- 最大水量..... 6.31 m³/sec
- 有効落差..... 68.5 m
- 回転数..... 500 r.p.m.
- 比較回転度..... 153.3 m-kW

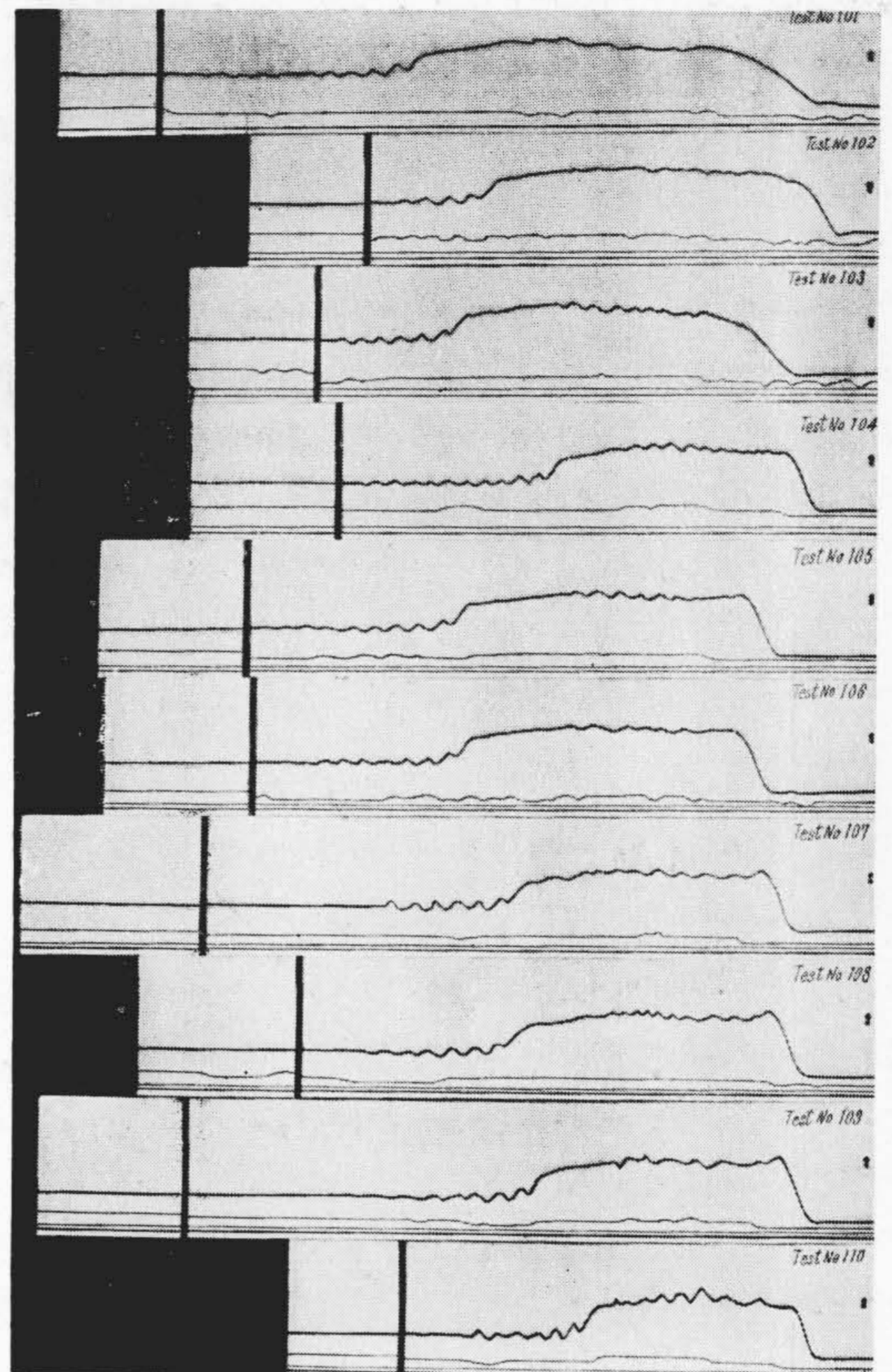
また水圧鉄管は直径約 1.9 m より 1.24 m まで数段階に縮小されており、全長約 120 m である。

〔IV〕 ギブソン法の実施に必要な諸数値の決定

周知のようにギブソン量水法では下の式によつて水量を計算する。

$$Q = \frac{gA_T}{\alpha \cdot S \cdot \sum \frac{L}{F}} \quad (\text{m}^3/\text{sec}) \dots \dots \dots (1)$$

- ここに Q = 求めんとする水量 (m³/sec)
- g = 重力の加速度 9.8 (m/sec²)
- A_T = 圧力時間曲線図に於ける圧力曲線と水頭回復曲線の間包まれた図形の面積 (cm²)
- α = 圧力上昇水柱 1 m に相当する図形上の寸法 (cm)
- S = 時間 1 sec に相当する図形上の寸法 (cm)



第3図 圧力—時間曲線オッシログラムの例
Fig. 3. Example of Pressure-time Diagram

$$\sum \frac{L}{F} = \text{鉄管係数 (m}^{-1}\text{)}$$

このようにして求められた水量に、案内羽根を全閉にした場合の漏洩水量を加えたものが水車に入る全流量となる。次にこれ等の量の決定に必要な諸項を述べる。

(1) 圧力—時間曲線図

第3図は試験結果の圧力—時間曲線を示すオッシログラムの一例であるが、この図で圧力曲線の下方に段階的に連続する線は上水槽水位の変動を示すもので、絶縁棒に 10 cm 間隔に抵抗線を巻きつけた装置を入れ、抵抗線が水に入るか出るかで段階的に抵抗が変化するようにし、計算値の基準安定線の補正に使用した。このようにして補正された基準安定線をもとにして通常行われるように速度及び損失水頭の回復曲線を求め圧力曲線と回復曲線との間に包まれた図形の面積をプランメータで測定して前項の A_T を決定する。

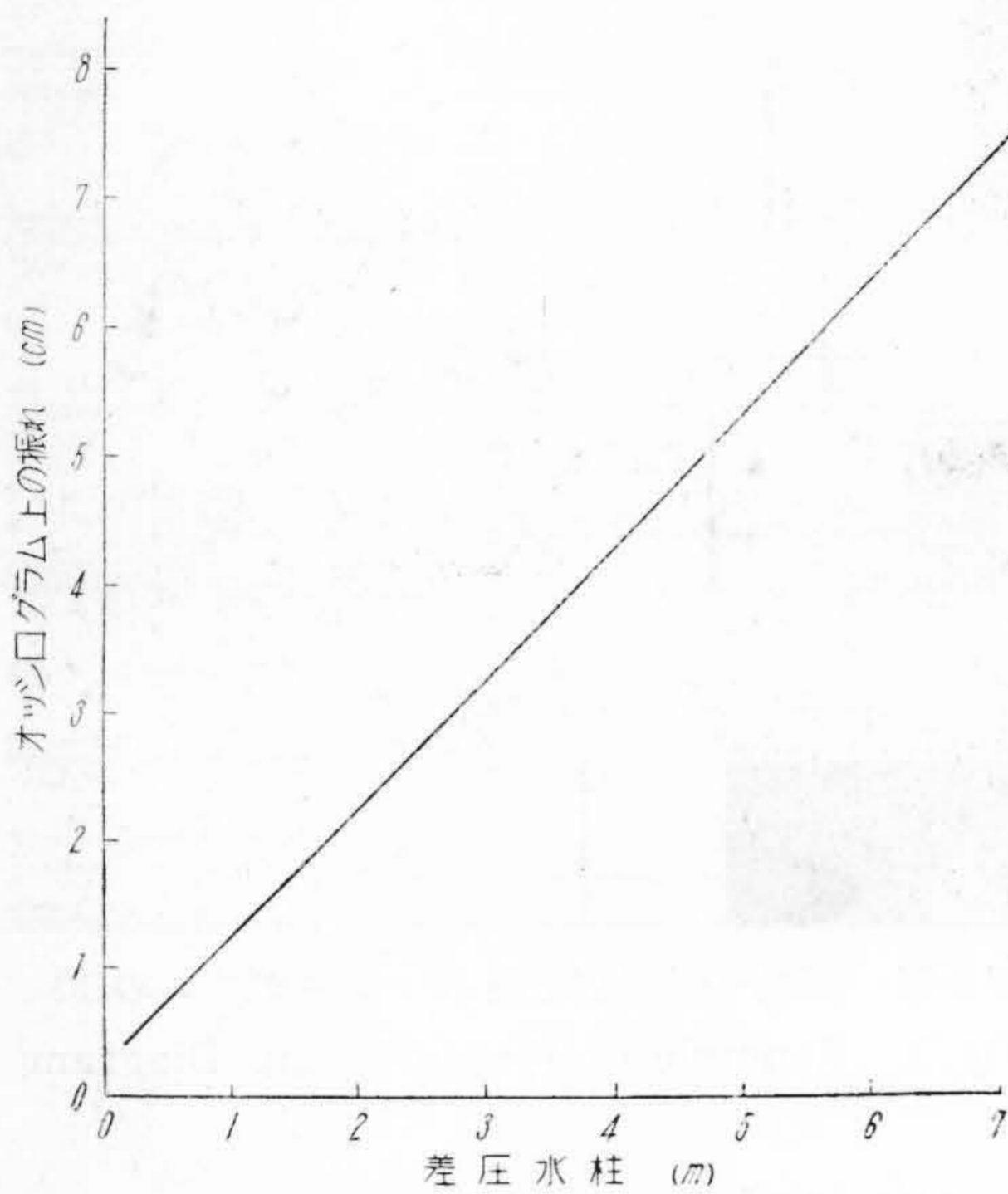
(2) 圧力変化とオツシログラム図形との関連

さきに述べた(1)式のαは圧力変化水柱 1 m に相当する図形上の寸法であるが、これは測定計器の感度や調整によつてそれぞれ異なるものであり、ギブソン法ではこの値が絶対安定であることを必要とする。ギブソン法に

於て種々の方法が考案されるのはすべてこの欠点をなるべく少くしようとしているにすぎない。

従来使用して来たH式測圧装置でもこの点が必ずしも十分でなく、今回の抵抗線歪計とブルドン管の使用を試みた次第である。

試験に際しオッシログラム上に現われた変位と圧力との関係は第4図に示したように殆ど直線的で且つ安定度も極めて良いことがわかった。但し1号機の試験結果のうち初めの方は連日の雨で湿気が多く、ゲージ及び増幅



第4図 圧力変動の較正曲線
Fig.4. Calibration Curve of Strainmeter

器の乾燥不十分のため安定度が悪く、この曲線通りの特性を示さなかつたが、1号機試験の後半及び2号機の試験に際しては連続運転による電流乾燥の結果、殆ど第4図の直線通りの特性を示した。

(3) 鉄管係数 $\Sigma \frac{L}{F}$

第5図はこの発電所の水圧鉄管の寸法図であるが、これより鉄管係数 $\Sigma \frac{L}{F}$ を計算の結果 $\Sigma \frac{L}{F}$ の値は47.482であつた。

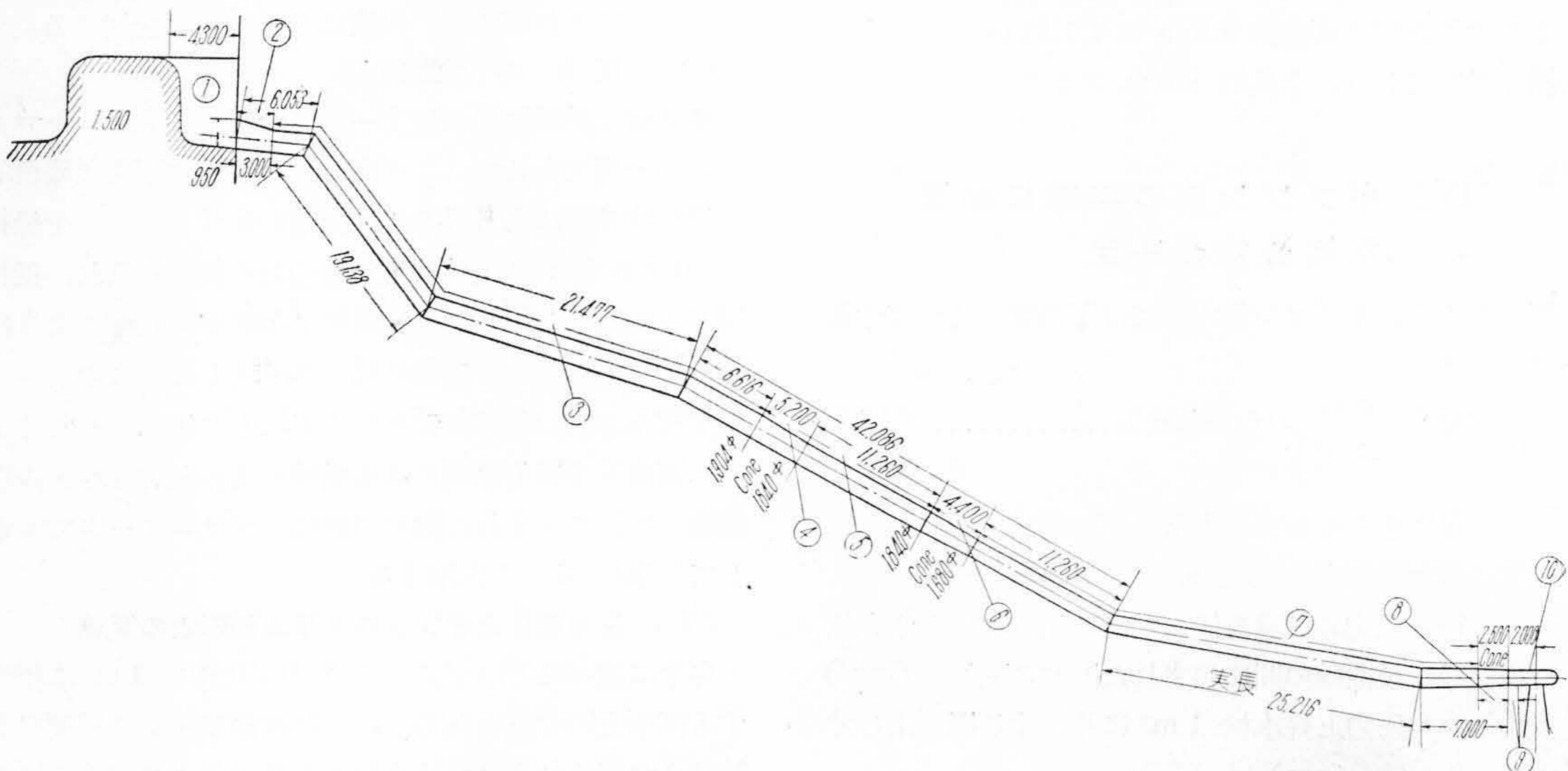
(4) 案内羽根全閉時の漏洩水量

一般に発電所に於ける案内羽根全閉時の漏洩水量を知ることにはむづかしいが、ギブソン法を実施するには是非ともこれを知る必要があり、従来種々の方法が試みられている。

簡単には無水時、案内羽根全閉時の間隙を測定して、それに通水時の落差が作用するとして計算でも求め得るが、水圧による案内羽根間隙の変化も起り得るし、また流出係数も全くの仮定となるのであまり信頼出来ない。上水槽水門が全然漏水がないほど完全に閉鎖し得れば測定は簡単であるが、多くの場合これは望み得ないことである。

このような場合筆者等が常に用いる方法は水門及び入口弁のいずれか小さい量の漏水を実測又は目測で決定し、あとは水門、入口弁及び案内羽根の漏水量の差を測定して、これらの差量より案内羽根の漏水を求める方法である。

今回の試験では、入口蝶弁が比較的漏水が少ないのでこれを実測し、他はいずれか2者の差量を実測して最後に案内羽根の漏水を求めた。



第5図 水圧鉄管の寸法図

Fig.5. Skeleton Diagram of Penstock

測定の結果漏洩水量は1号機に於ては 0.082 m³/sec, 2号機に於ては 0.094 m³/sec の値を得た。

[V] 試験の方法

水量の測定に関しては [IV] で詳細に述べたが、その他の諸量の測定に就いて述べれば次の通りである。

(1) 有効落差の決定

有効落差としては、水車外函入口に取付けた水銀柱圧力計によつてその部の圧力静落差を測定して、これを水車中心位置に換算し、別に放水路水位の位置を巻尺で測定してその水車中心よりの高さを決定し、これらの和に水銀柱圧力計取付部の速度水頭を加えて、これを有効落差とした。

(2) 水車出力の測定

精密級電力計により発電機出力を測定し、同時に測定した力率の値より発電機効率を求め、発電機出力をその効率で割つた値を水車出力とした。

(3) 回転数

水車の回転数はあらかじめ基準周波数計と比較校正した周波数計により周波数を求め、これより回転数を求めた。

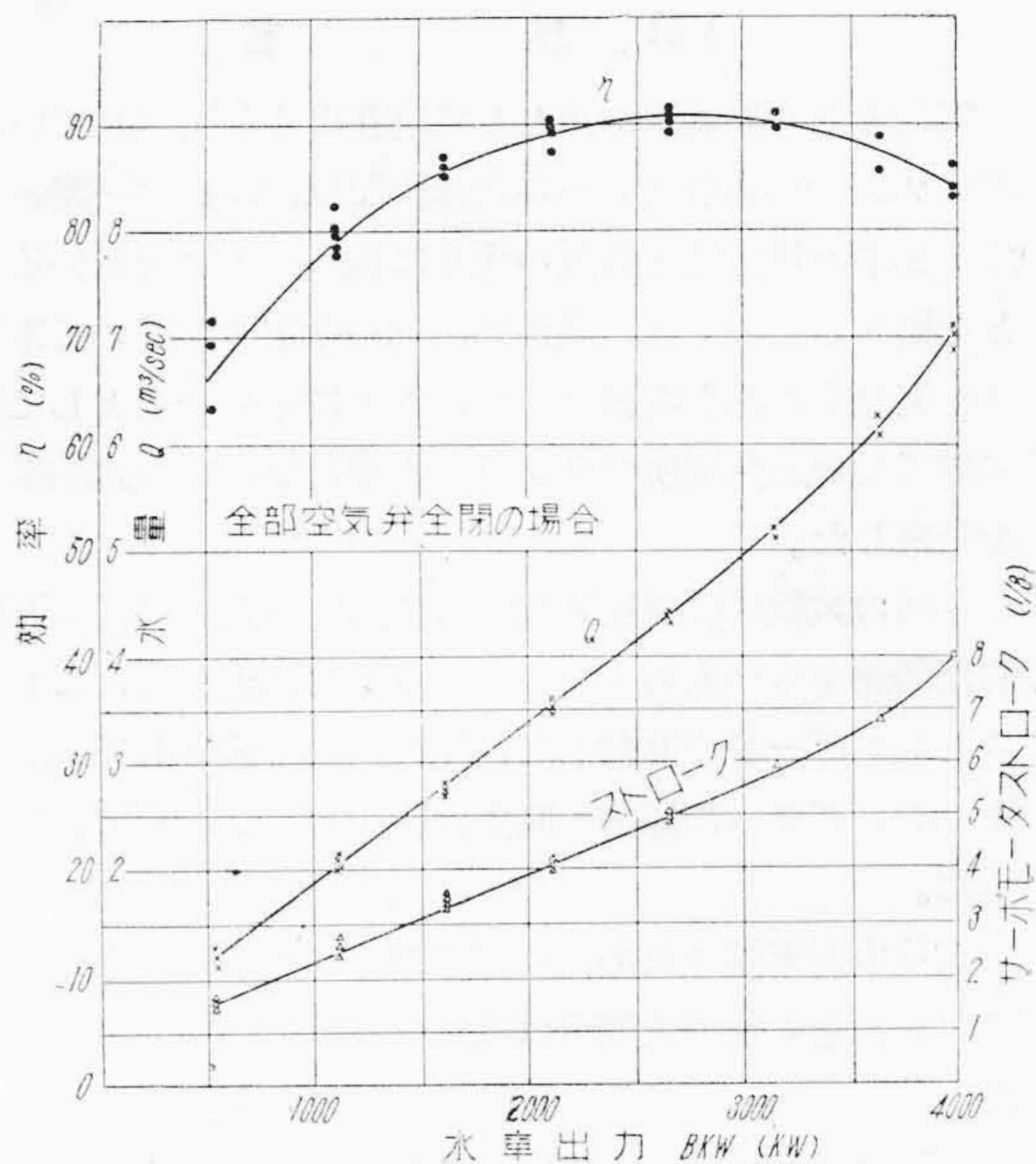
[VI] 試験結果及び検討

試験は1号機2号機の順で行つたが、試験の結果得られた水車性能は第6図及び第7図に示す通りである。これらの図に於て測定点に多少のばらつきがあるのはやむを得ないが、1,2号水車とも良い性能を示し、しかも殆ど同様な値を示している。最高効率は90%を越え、一般的に良好な結果を示している。

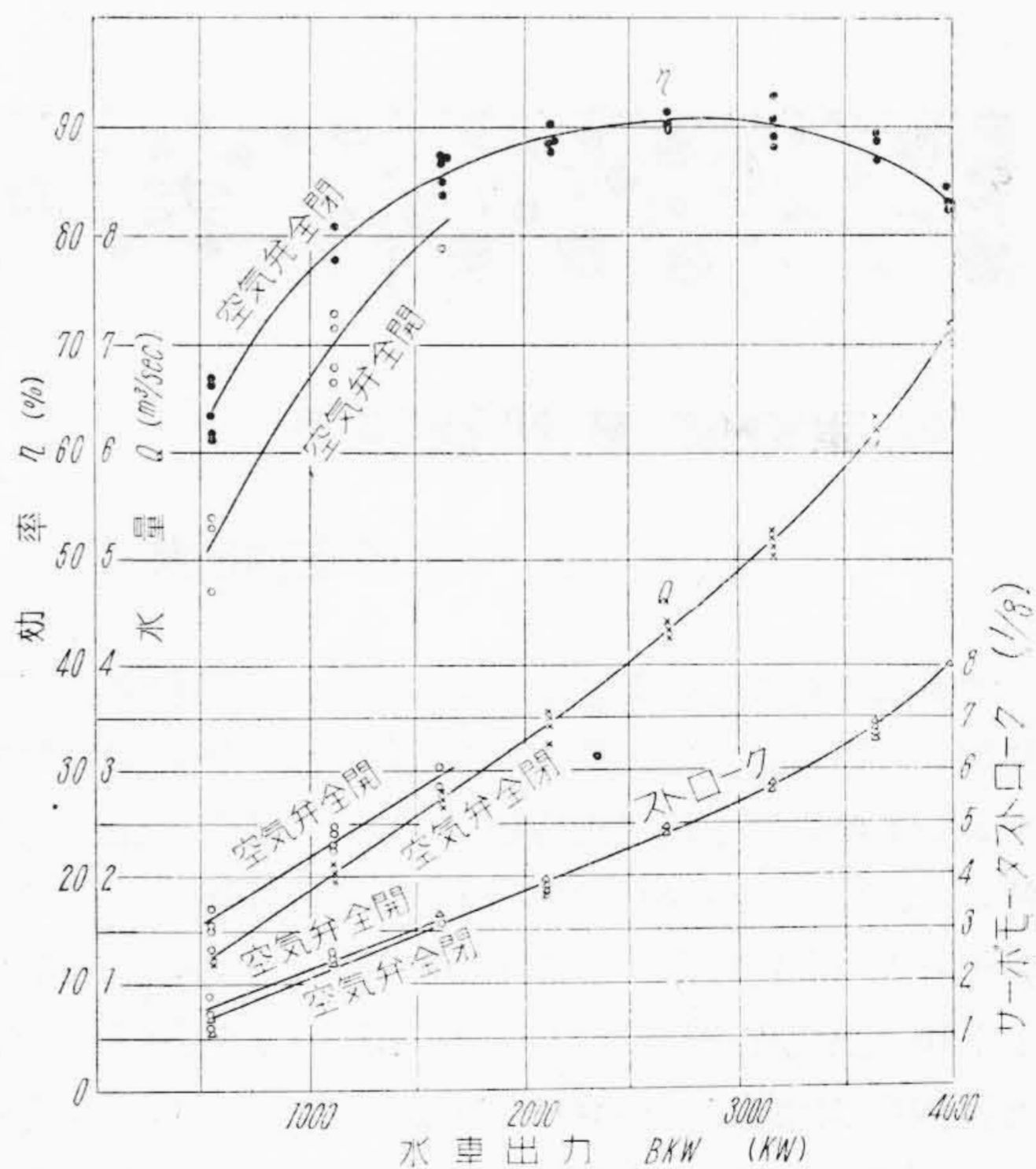
なお2号機の部分負荷に於て、羽根車下部へ通ずる空気弁を開放して試験した結果は第7図に示すようになり、空気が流入した場合は吸出落差を減殺してしまうことになるので、効率はいちじるしく減少することがわかつた。

以上の結果は実験で得られたまゝを記載したものであつて本来正しい性能を知るためにはこれらの結果を基準状態(落差 68.5 m, 回転数 500 r.p.m.)に換算して行わねばならないが、本報告の主目的は水量測定にあるのでこゝには省略した。

なお、さきにも述べたように、本試験を行つた当時は折悪しく雨天続きで、湿気が極端に多く、ために1号機の試験の始めの部分は歪計の安定度が不十分で満足な結果が得られなかつた。その後は長時間の運転による電流乾燥の効果によつて安定度も良好となり良い結果が得られた。このことから本装置のように極端に湿気をきらう



第6図 1号水車の性能試験結果
Fig. 6. Characteristic Curve of No. 1 Turbine



第7図 2号水車の性能試験結果
Fig. 7. Characteristic Curve of No. 2 Turbine

装置を水力発電所の如き比較的湿気が多い環境で使用する場合には、ストレージの貼付箇所ならびに増幅器の各部品を完全に乾燥状態に保つための防湿処置を十分に構ることが絶対に必要である。

〔VII〕 結 言

実物水車の流量測定法として現在広く利用されているギブソン量水法の圧力-時間曲線記録法改良の一案として、従来のH式測圧装置の代りに抵抗線歪計を用いることを提唱して来たが、最近二、三の発電所に就いて本方法を実施する機会を得たので、ここにその一部として昭和電工湯野上発電所フランス水車に就いての試験結果を発表した。

今回の試験には受圧装置として圧力と歪との間に直線的な関係をもつものとしてブルドン管に着目し、これにストレングージを貼付して、圧力変動を歪として表わしオシログラムに圧力-時間曲線を描かしめる方法をとった。

試験中悪天候のため、一部の試験は不満足な結果に終わったが、その他の大部分は甚だ好結果を得ることが出来た。

今回の試験により本方式では防湿その他の点でなお改良すべき余地があるが、抵抗線歪計を用いる手段は現在のところ最も進歩した方法であり、将来のギブソン法の

記録装置として極めて有用であるとの確信を得、且つブルドン管の特性も好適なものであることがわかった。

終りに本実験の遂行に当り、昭和電工株式会社広田工場高橋工場長、同工場鈴木電気工営課長、同本社駒木根技師の好意ある御援助と、渡部湯野上発電所長以下、丹波技師その他の方々の献身的な御援助をいただいた。ここに本誌上をかりて厚く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) N.R. Gibson: Mech. Engng, Dec. 679 (1923)
Le Conte: Hydraulics 202
Handbook der Experimental Physik IV 1
Teil 600
松本容吉: 水力学 457
- (2)(3) ASME Power Test Code (1949)
池谷: 機械学会誌 51 354 (昭 23)
- (4)(5) 山崎: 日立評論 32 5 (昭 25)
- (6) 鬼頭: 機械学会誌 51 353 (昭 23)
- (7) Handbook of Experimental Stress Analysis
三宅, 加藤: 電気抵抗歪計
- (8) 砂谷: 機械学会誌 27 87 (大正 13)



実用新案 第 405922 号

肥 後 八 郎 ・ 椎 名 勝

電子廻折装置に於ける試料支持装置

本案は資料支持台 1 を先端に取付けた支持杆 3 を、支持筒 5 に嵌合せしめ、蓋体 6 の筒部 9 の上下に設けたピン 10, 11 の先端を以て支持筒 5 を支持せしめ、上記支持杆 3 の鏝部 17 とその外端に固着した把み 19 との間には袋ナット 16 を回動できるように支持せしめ、この袋ナット 16 は上記支持筒のねじ部 20 に螺合し、支持筒の一端と蓋体 6 の内端にはベローズ 4 を取付けたものである。

従つてピン 11, 12 を軸として資料 2 を電子線ビームに対して直角に偏位せしめ、ナット 16 により資料の進退を微調整せしめ、把み 19 を廻して資料を傾斜せしめ得る等カメラ距離に変化を来たすことなく任意自由に資料位置を変化せしめ得る効果を有している。

(田 中)

