

# 抵抗線歪計を利用したギブソン量水法の 精度の向上と発電所における実施例

山 崎 卓 爾\*      田 尻 茂 治\*\*

## Improvement in Accuracy of the Gibson Method by Means of Electric Resistance Strain Meter and an Example of the Measuring in a Hydraulic Power Station

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

### Abstract

As previously introduced, the Gibson water quantity measuring method, in which the pressure-time diagram is drawn by means of an electric resistance strain meter, was successfully tested in the writers' research with a good result. However, the result showed there still remained some room for the improvement so far as the accuracy was concerned.

The writers, after their further, elaborate investigation into the accuracy of the strain gauge, have ameliorated its performance characteristics and obtained the one with an extremely high accuracy by employing a specially designed pressure head as a pressure pick-up.

The writers conducted a field test of this system on the two sets of 3,700 kW hydraulic turbine owned by Showa Heavy Industry Co., and could assure themselves of remarkable improvement in the reliability of the waterwheel characteristics they measured out by this system. From this result, the writers believe that the method can be safely applied to the testing of the power houses of ordinary construction and that it will take an important role in solving a variety of problems in the testing of complicated power houses which have been still left untouched.

### 〔I〕 緒 言

水車の性能試験の実施に際し最も問題となるその流量の測定法については、近來各種の方法について多くの努力が払われつゝある。そのうちギブソン法は昭和22年寢覚発電所における試験<sup>(1)</sup>以来急速に我国において発展し筆者らの他東京電機大学池谷教授、東京工業大学板谷教授、東芝宮崎氏、電力技術研究所鈴木氏等がそれぞれ独自の方法で実験を試みている。同時にまたこの方法に関する理論的な検討も少くない。

筆者の一人は寢覚発電所においては水晶発振器の特性

\* \*\* 日立製作所日立研究所

を利用した圧力測定装置によつて試験を行つた<sup>(2)</sup>が、その後抵抗線歪計の発展に着目して、これを使用する方法を提唱して来たが、昭和28年機会をえて昭和電工湯野上発電所において、ブルドン管圧力計の内部の曲管に歪ゲージを貼付したものを受圧器として抵抗線歪計によるギブソン法を実施し、好成績をえたことはすでに報告した<sup>(3)</sup>。

しかし現在では水車の効率試験の精度の要求はきわめて高く、少くとも流量測定に関してはさらに高い精度を実現せねばならぬことを痛感し、前記の方法について検討し改善することができたので、実測例を挙げて報告する。

## 〔II〕 ギブソン法の精度とその改善

ギブソン法の精度の向上には二つの方向があると考えられる。一つは理論上の検討を主とするものであり、他は実験上の測定装置の精度の向上である。前者については他の機会に述べることにし、こゝでは装置の精度向上についてのみ述べることにする。

さてギブソン法において、精度上最も問題となるのは圧力～時間曲線図の画法であつて、現在ではオシロ装置による方法、ペン書き記録紙を用いる方法、尖端放電による孔線画法、細隙に現われる水銀柱の陰影を印画紙上に投影する方法などが行われているが、要は刻々に変化する圧力を時間座標の上に正確に記録することが必須の条件である。

このことは具体的にはつぎの条件として考えてよい。

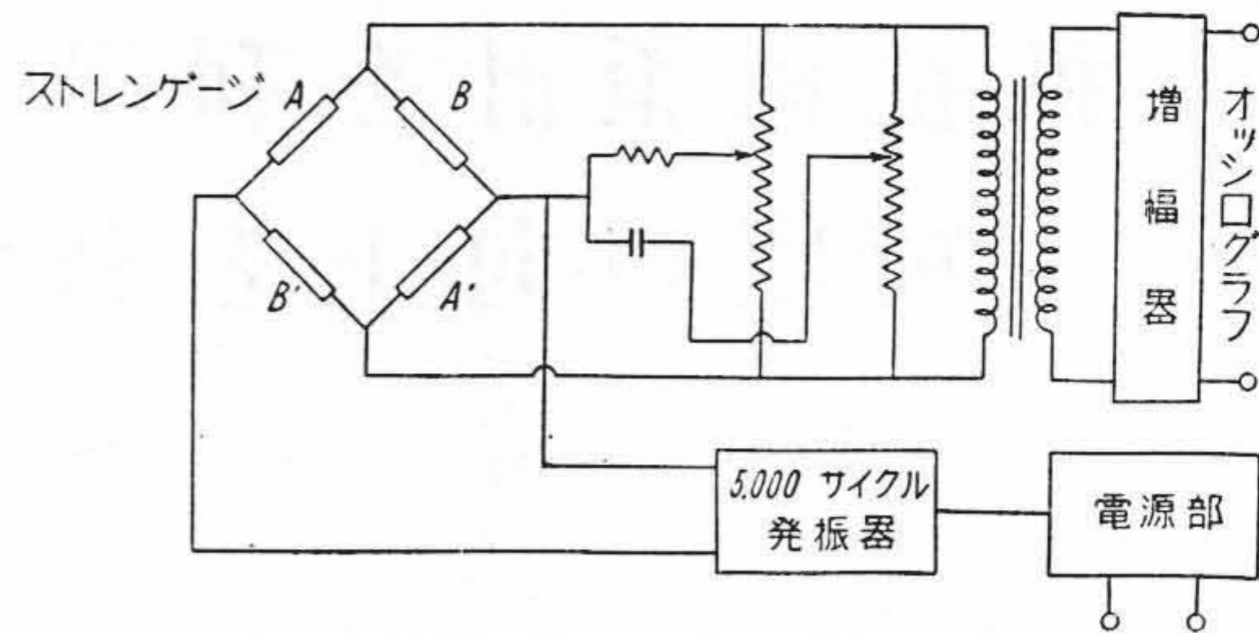
- (1) 図形上の圧力曲線の高さが圧力の正しい値と常に一定の関係にあること。したがつて圧力の値を横座標にとり、図形の読みをたて座標にとるときその関係が直線であることが必要である。
- (2) 上の関係が時間的に相当長時間にわたり安定であることが必要である。
- (3) 圧力変動に対しすみやかに応動し、しかも慣性的な動作をしない。
- (4) 図形に表われた線の太さになるべく細くかつ明瞭であることを要する。したがつて計器の特有な振動波 (Ripple) などが大きくてはいけない。

現在提案されている各方法はそれぞれこのような条件をいかにして容易にかつ確実に現出するか苦心しているわけである。

さきに述べた寝覚発電所における筆者らのとつた方法も、当時としては最も信頼できる方法と考えられたものであるが、その後さらに高い精度の結果が要求されるようになって、改善を望まれていたものであつた。

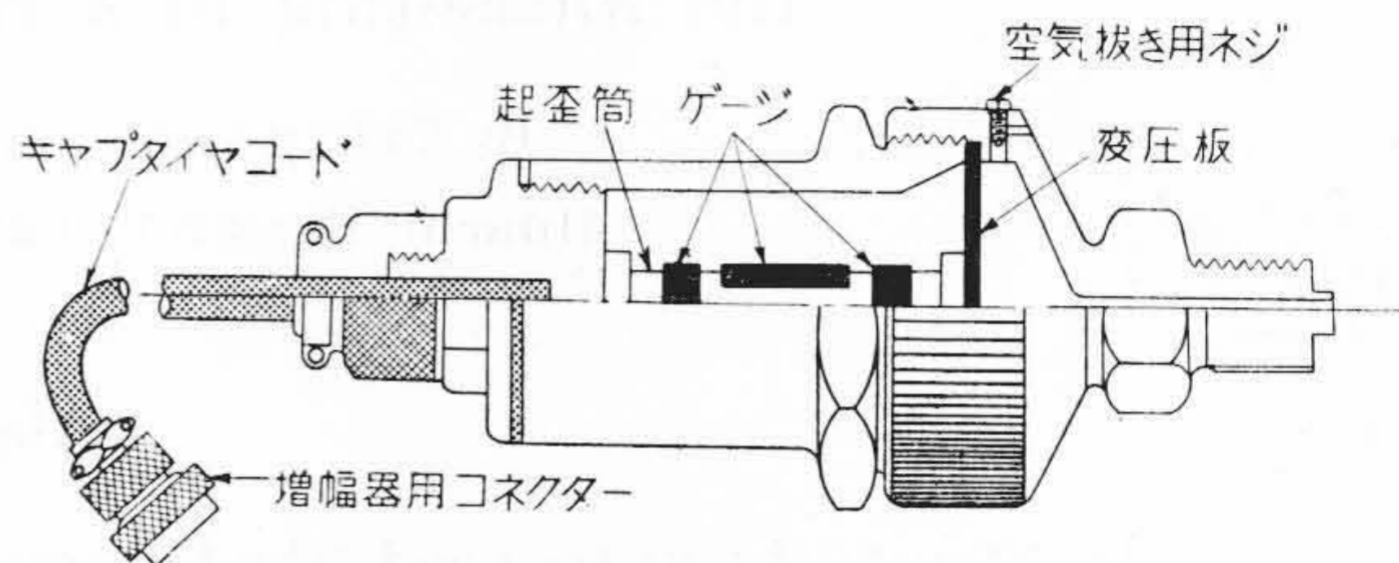
筆者らはさきに抵抗線歪計を使用することによつて、湯野上発電所で好結果をえているが、これは前記寝覚発電所で行つたH式測圧装置による方法よりも格段に安定かつ確実なものであることを知つた。しかしなお歪計自身の性能の安定度にも問題があり、また受圧器としてのブルドン管圧力計にも検討を要する点なしとしなかつた。後者については当時すでに述べたように決してこれを最良のものとして選んだわけではなく、性能上歪がほぼ直線的であること、市販品として簡単に入手できるという利点から、採用を決意したもので、より確実な計器の出現によつて、置きかえられるべきことを強調した次第である。

このような目的の受圧器としてはすでに外国には適し



第1図 抵抗線歪計の配線図

Fig. 1. Connection Diagram of Strainmeter



第2図 受圧器“プレッシャーヘッド”の構造

Fig. 2. Construction of Pick-up  
“Pressure Head”

たものが二、三見受けられたが、最近我国でも外国品と同様な着想の下につくられた受圧器が見られるに至つたので筆者らもプレッシャーヘッドなる国産受圧器を購入使用し、検討してみた。

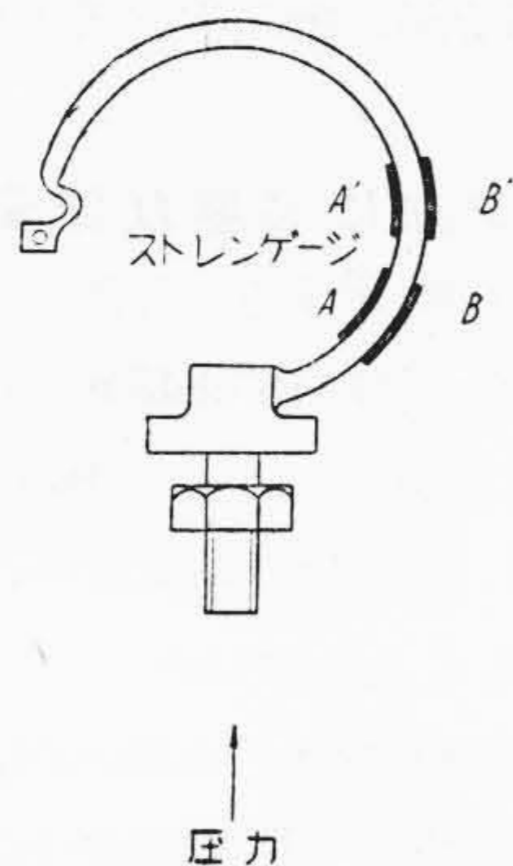
筆者らの目的とするところは、すべての計器の総合結果として表われる圧力変化の表現が正確であることにあるが、これにはもちろん使用電源の安定、歪計の安定および受圧器の確実ということが総合されて来るので、これらのそれぞれについて箇々に検討を行つた。

こゝで問題になるのは従来の歪計に対する観念と筆者らの目指す精度の観念とがいちじるしく相異していたことであり、そのために歪計内のきわめて微細な点まで注意せねばならなかつた。一例をあげると歪計の電源用端子の接触抵抗のわずかのちがいで十分読みに影響することがわかり、このような点に最も注意を払わねばならなかつた。また歪ゲージの両端にかゝる電圧がとかく不安定になりがちで、これもきわめて些細な点の影響であることを知つた。

これらに関する詳細な報告は本報告の目的でないからこゝには省略し、検討改良前と改良後の総合結果について少しく実験結果を述べて参考に供したい。

第1図は抵抗線歪計の配線図を、第2図は受圧器たるプレッシャーヘッドを示す。また第3図はブルドン管圧力計の管体に歪ゲージを貼付けた構造を示す。

第4図は従来のまゝの状態の歪計とプレッシャーヘッドを使用した場合の圧力に相当する歪量と時間の関係を

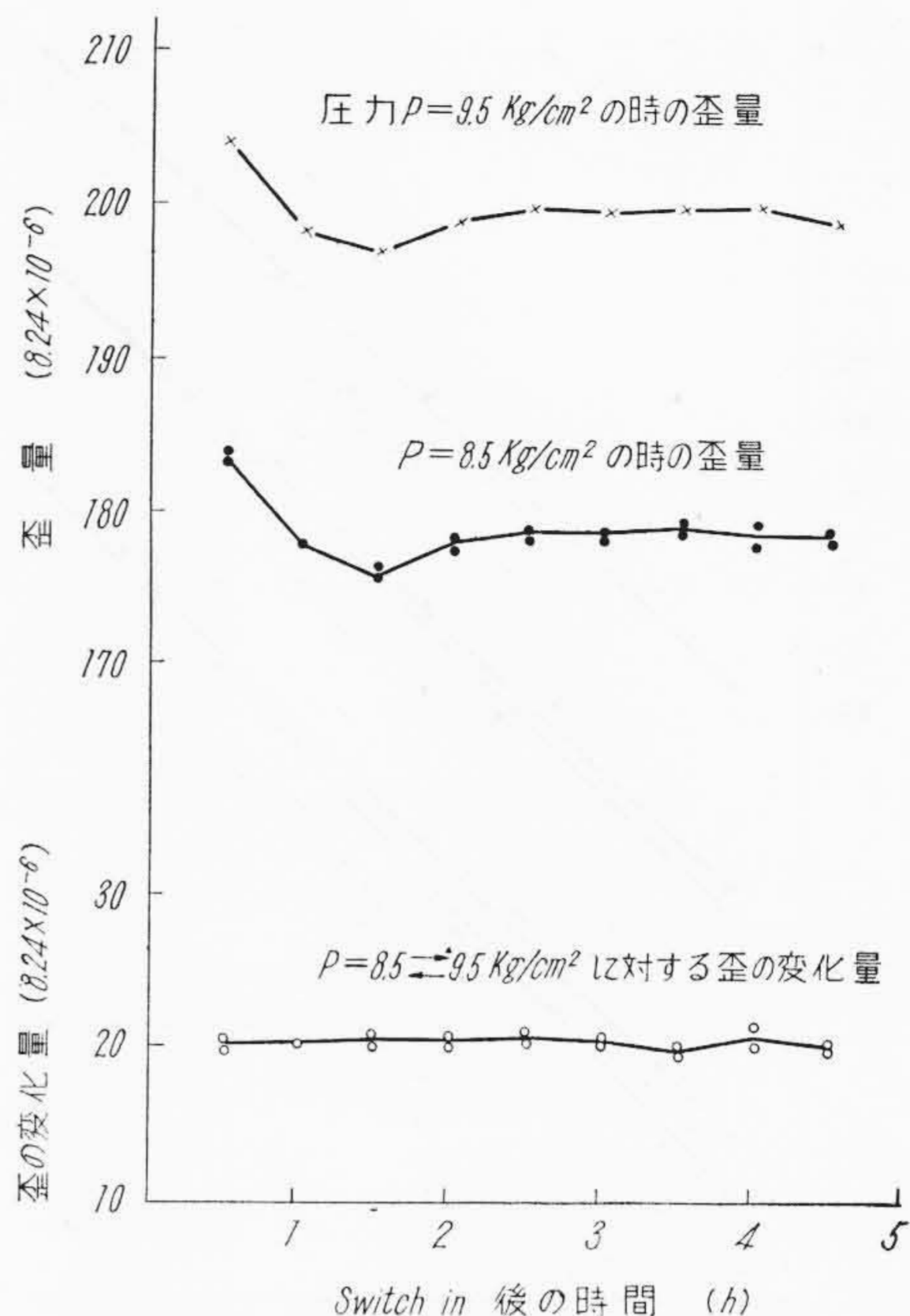


第3図 歪ゲージを貼付したブルドン管  
Fig.3. Bourdon Tube with Strain Gage

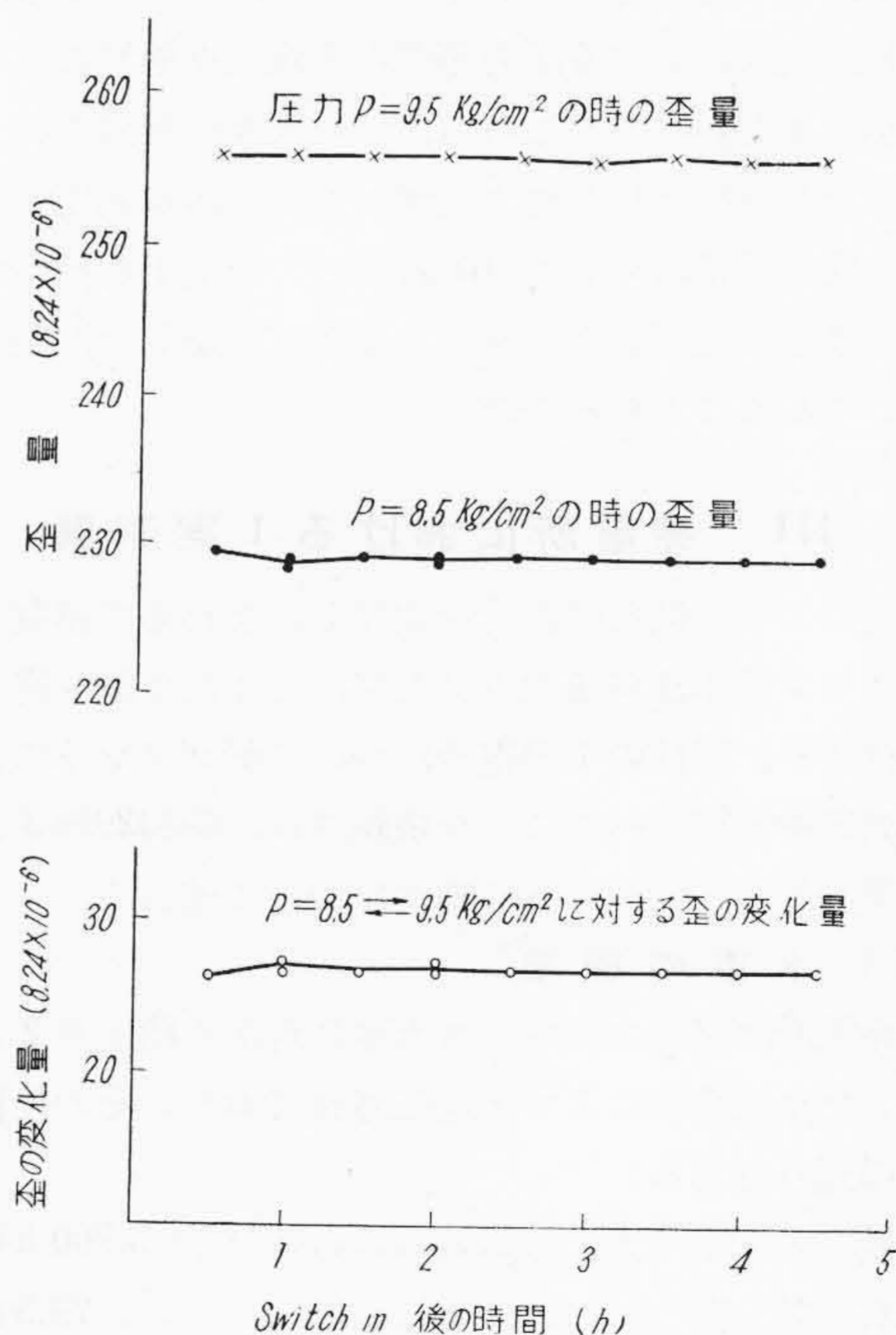
示したものであり、第5図は精密調整後のそれを示す。第4図によれば歪計に通電開始以後約2.5時間の後にはじめて安定した読みがえられるようになるが、安定後といえどもなおかなりの変動はさけられない状態であつた。第5図の方はこれと異り約1~1.5時間以後安定し、しかもその後の変動量はきわめて少く、測定計器として長時間使用にも十分堪えることがわかつた。

なお以上の結果は圧力の静的な変化に対する特性をしらべたものであるが、時間的に早い現象を測定する場合にはその動的特性が問題になる。この点プレッシャーヘッドの固有振動数は7,000~8,000サイクルという高いものであり、増幅器の周波数特性も広範囲にわたり安定であるから、少くともギブソン法で対象になる程度の早さの現象に対しては完全に応動できるので問題はない。

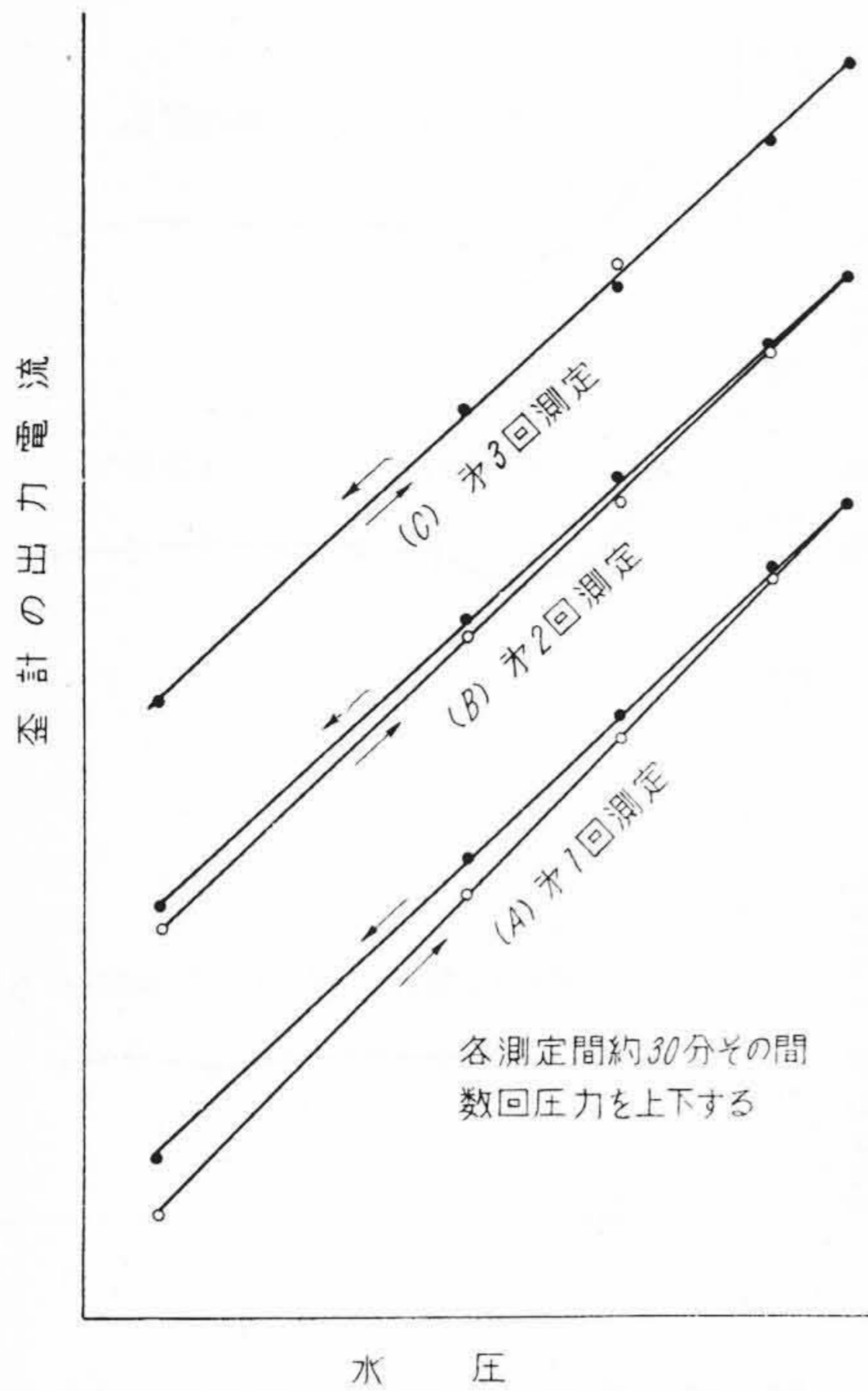
つぎに今まで使用して来たブルドン管圧力計の管体に歪ゲージを貼付したものについて、精密調整後の歪計と組合せて試験した結果を圧力と歪計の出力電流とをとつて図示したのが第6図(次頁参照)である。図のAは装置整備直後の試験である(もちろん歪計の方は十分安定した性能になつた後)。これによれば圧力を上昇するときと下降するときとで出力電流の値が異つており、あきらかにブルドン管の変形があつたことがわかる。BはA以後約30分間に数回圧力の上下を行つた後測定したものでAよりも圧力上下時の値が近づいている。Cはさらに30分間数回の圧力上下の後の測定値で、ほぼ上下時の値が重なり、試験圧力以内での変形が完了したことを示している。これによつて見るにブルドン管体を使用する方法では、最初に試験圧力以内で何回か圧力を上下し、十分永久変形を起さしめた後使用すれば、確実な値がえられるわけで、この点の検討を怠らなければ十分信頼できるものであることがわかる。ただし時間的に早い変化を起す現象に対しては、その固有振動数の影響があるので、これについては事前に検討する必要がある。



第4図 歪計の精度(精密調整前)  
Fig.4. Accuracy of Strain Meter (before Fine Correction)



第5図 歪計の精度(精密調整後)  
Fig.5. Accuracy of Strain Meter (after Fine Correction)



第6図 歪計の精度 (ブルドン管使用)  
 Fig. 6. Accuracy of Strain Meter (with Bourdon Tube)

以上により抵抗線歪計を使用するギブソン量水法は圧力～時間曲線における圧力座標の正確度を極端に高めることができたわけで、この方法での大きい飛躍といつてよい。また従来使用して来たブルドン管体を利用する方法も、使用開始に先立ち10数回圧力の上下を行つて起りうべき永久変形を起させてしまえば安定した性能を示すものであることを知つた。

〔III〕 発電所における1実測例

上述のように抵抗線歪計を使用したきわめて精度の高いギブソン量水法が確立されたが、たまたま昭和電工株式会社より、同社の1発電所についてギブソン法による流量測定を実施すべきことを依頼され、昭和29年3月試験を実施した。つぎにその結果について述べる。

(1) 水車の概要

本発電所は縦軸フランス水車2台が水槽より2本の独立した水圧鉄管によつて運転されており、その仕様はつぎの通りである。

- 最大出力..... 1台 3,700 kW
- 有効落差..... 79.5 m
- 最大水量..... 5.0 m<sup>3</sup>/s
- 回転数..... 500 rpm

この水車は発電機とともに某社製品であり、その仕様

の詳細は不明であるが、第二次大戦中作製されたものである。

(2) ギブソン法に必要な諸量

上記2台の水車に附属する水圧鉄管は全く同構造と見てよく、各鉄管の全長は153.845 m (水槽より水車直前の測圧点までの計算値)、直径は水槽附近で2 m、水車入口で0.99 mあり、詳細な計算により、鉄管係数  $\sum \frac{L}{F}$  は  $63.868 \text{ m}^{-1}$  であることを知つた。

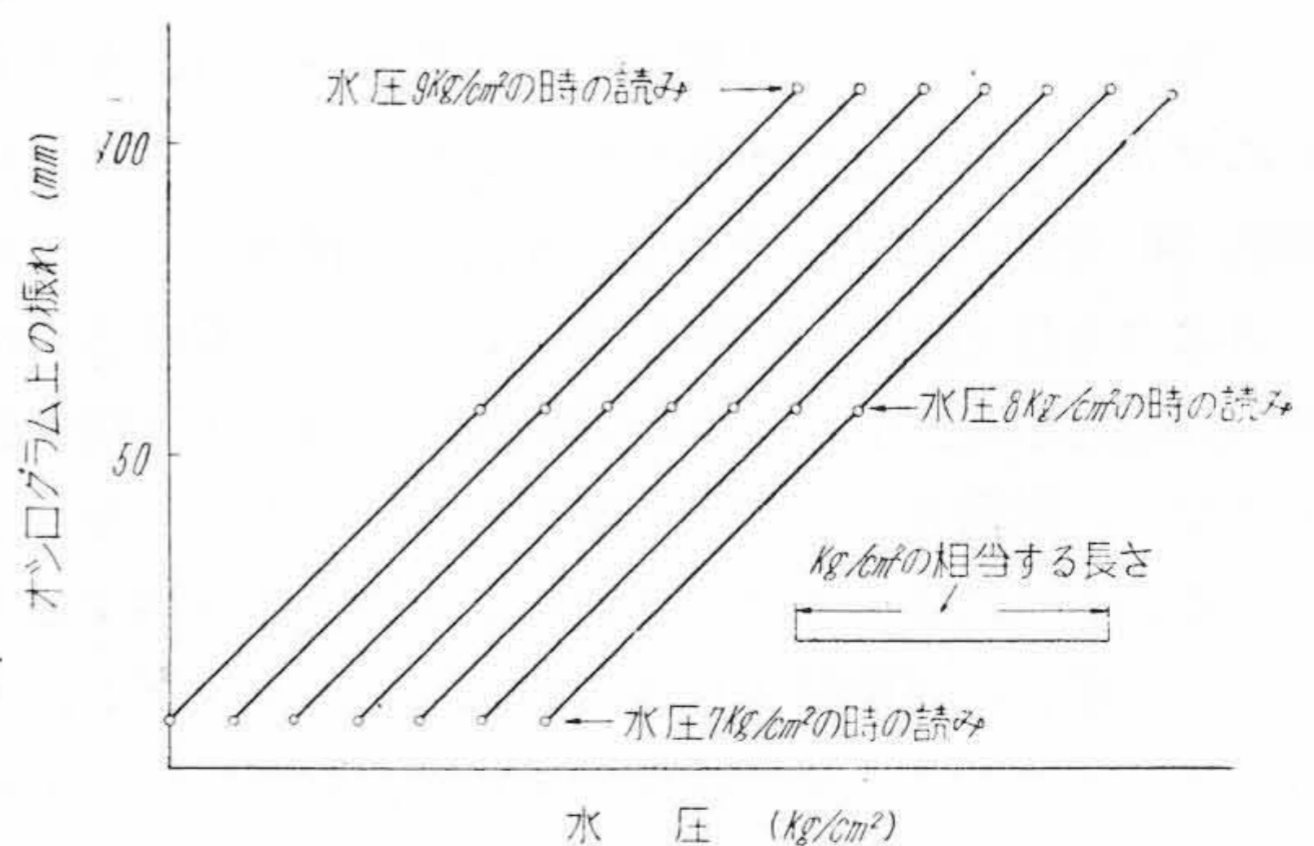
案内羽根よりの漏洩水量は、水槽水門、入口弁および案内羽根の三者の漏洩量の相対関係から求める方法によつて決定した。実際には落差34 m附近で実測し、これを正規落差の値に換算し、1, 2号機とも  $0.36 \sim 0.34 \text{ m}^3/\text{s}$  (試験時の実落差の変動によりこの間で変化する)であることを知つた。

(3) 測定方法

ギブソン法の詳細についてはすでに周知のことであるからこゝでは省略する<sup>(4)</sup>。また流量以外の有効落差、出力などについての測定も、一般に行われている方法を採用しているの、こゝでは特に述べることを省略した。

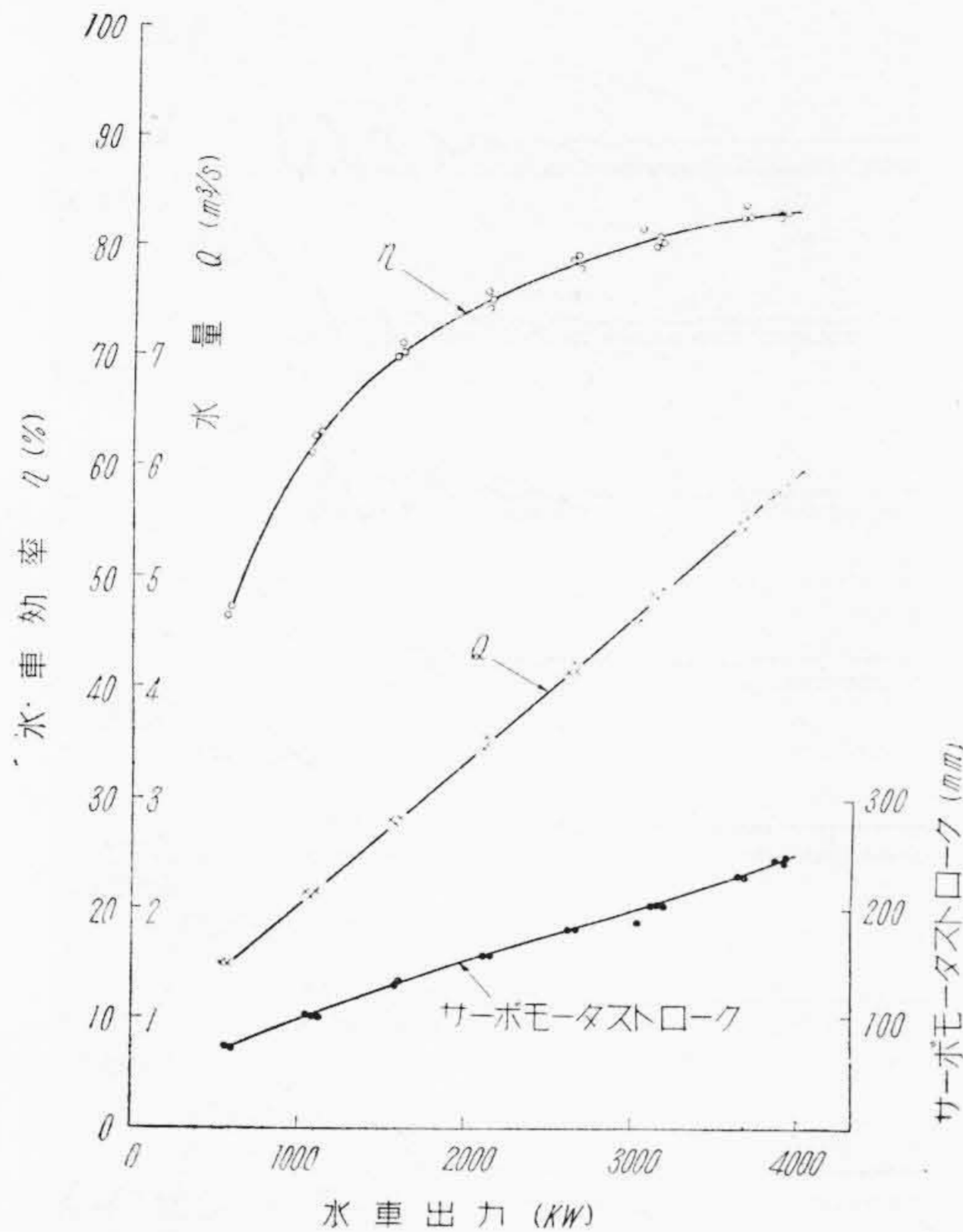
たゞ流量測定時の抵抗線歪計の性能の検定は、各試験の前後に行い、その安定度をたしかめることとした。すなわち、水圧の変化を圧力計検定器で変え、これに対応するオシログラム上の記録をとり、両者の関係を図示した例が第7図に示してある。これらの線図よりわかるように、圧力の変化に依らずオシログラム上のふれは全く直線的で測定の精度がきわめて高いことを示している。

また水圧1 mの値がオシログラム上幾 cmに相対するかを示す。いわゆる圧力係数も、水圧上昇がいちじりしく変化するため一定の値をとりえなかつたので数回抵抗線歪計の感度を変更したが、各感度ごとに最大0.4%以内の不安定度を示したにすぎず、大部分は全く一定した値を示した。

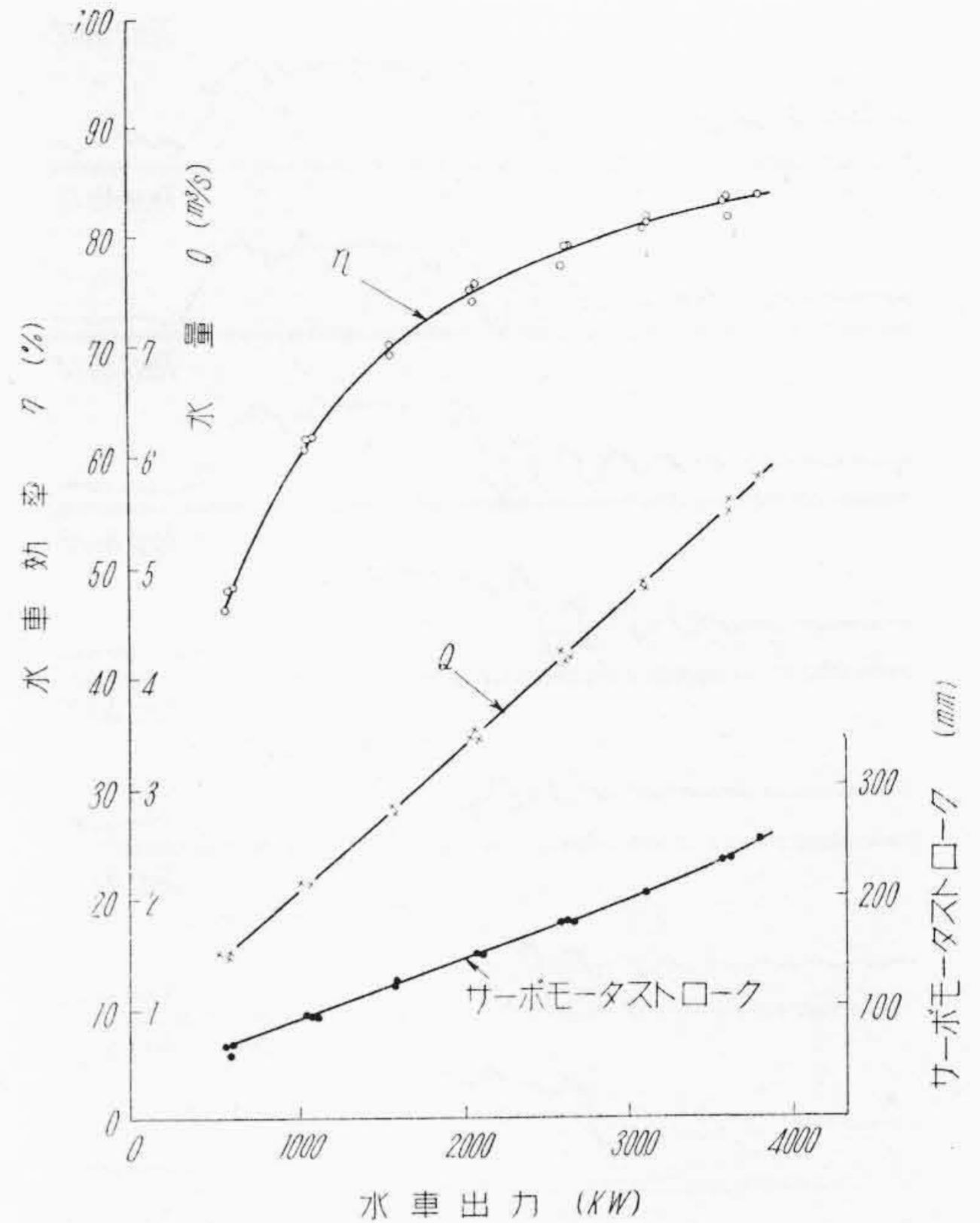


第7図 オシログラム上の読みと水圧との関係を示す較正曲線

Fig. 7. Correction Curve of Reading Oscillogram and Pressure



第8図 1号機水車の性能曲線  
Fig. 8. Characteristic Curves of No. 1 Turbine



第9図 2号機水車の性能曲線  
Fig. 9. Characteristic Curves of No. 2 Turbine

#### (4) 測定結果

測定結果による水車の性能曲線を第8図(1号機)および第9図(2号機)に示す。これらの結果によれば1,2号機ともほとんど同様な性能を有していることがあきらかにされた。たゞ同一出力に対するサーボモータの開度目盛が異つていることだけが注目される。

両性能曲線を見るに、従来のギブソン法による測定に見られなかつたほど測定点の散在が少く、流量測定の正確さを物語つていると考えられる。これ以上の精度はおそらく流量測定以外の落差、出力などの測定の精度を向上しなければならぬのではないかと考えられる。

第10図および第11図(次頁参照)はこの試験においてえられた圧力～時間曲線のオシログラムの例を示すものである。

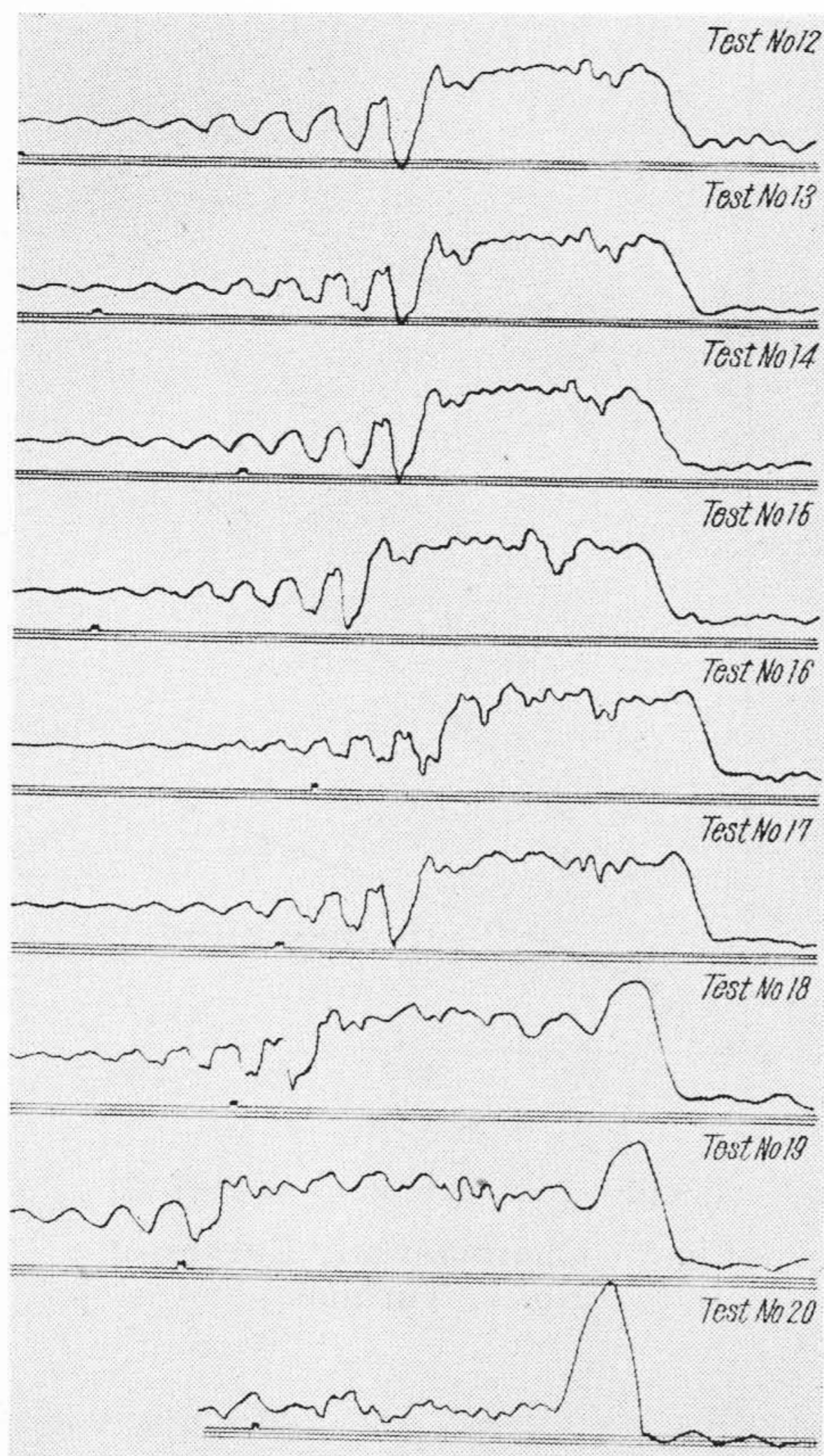
以上のようにギブソン法において最も問題となる圧力～時間曲線の正確な方法が確立され、正常な状態に関するギブソン法としては、高い精度で試験を行いうることがわかつた。しかし調圧水槽を有する場合や、きわめて短いあるいはきわめて長い水圧鉄管を有する場合など特殊な構造の発電所におけるギブソン法の実施については、理論的にも多くの問題があると、もに、実験的にも多くの経験を必要とすると考えられる。従来上記のような特殊な発電所におけるギブソン法による流量測定がかならずしも成功していないことは、理論的な検討がま

だ不十分であることもあろうが、確実な精度の実験結果がえられないことによつて、十分確かな値を知りえなかつたことにもよると考えられる。この意味において、上述のような高い精度の方法がえられたことは、将来の特殊な発電所の性能試験法の確立にも最も有力な武器としてその威力を発揮するものと考えられる。

#### 〔IV〕 結 言

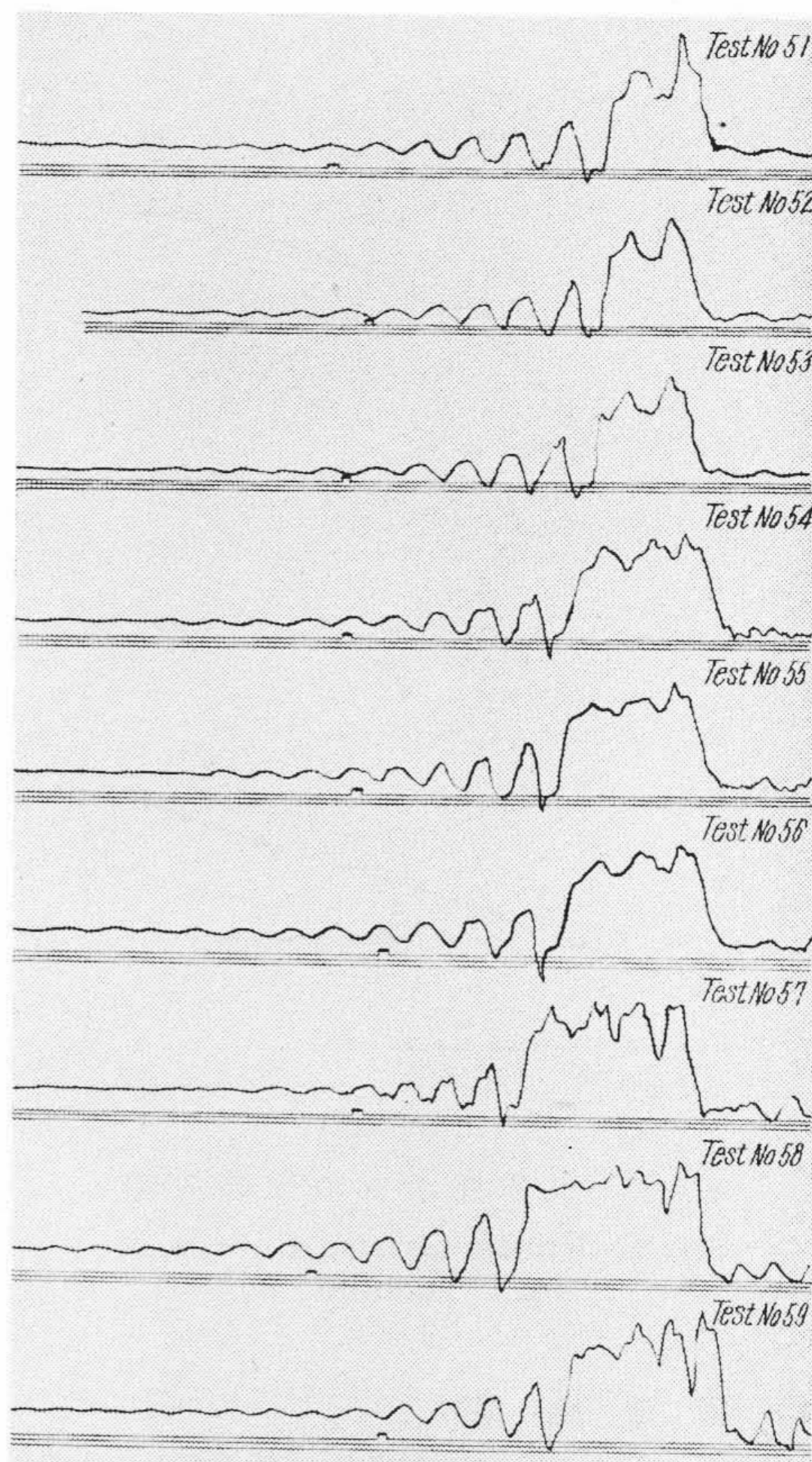
電気抵抗歪計を使用してギブソン量水法を実施するにあたり、歪計自体および受圧器の良好な性能のものを用い、これらの性能を細部にわたり改善することにより、従来見られなかつた精度の高い圧力～時間曲線図をうることができた。この方法により1発電所において2台のフランシス水車について実際に性能試験を行い、きわめて満足すべき結果をえた。この結果より単純な構造の、かつ正常な鉄管寸法を持つ発電所における試験においては、実験的にほとんど最高精度の結果をうることができると考えられるにいたつたが、複雑な構造の発電所については未だ理論的にも検討すべき幾多の問題はあるにしても、これらの解明にはぜひこのような高い精度の試験が必要とされるわけで、今後の研究に大いに役立つものと期待している次第である。

終りに抵抗線歪計および受圧器は共和無線研究所の製品であり、その精度向上については同所特に同所河井技



第 10 図 圧力～時間曲線図のオシログラムの教例 (1 号機)

Fig. 10. Examples of Pressure-Time Curves (for No. 1 Turbine)



第 11 図 圧力～時間曲線図のオツログラムの教例 (2 号機)

Fig. 11. Examples of Pressure-Time Curves (for No. 2 Turbine)

師の熱意と御協力の賜物であり、こゝに深く謝意を表する。

さらに実発電所における試験の機会を与えられ、かつその実施を強力に指示された昭和電工株式会社当局の英断と、試験にあたり献身的な御援助と御協力を賜った同社鈴木、市川両課長、駒木根技師、馬場係長および発電所従業員各位に心から感謝の意を表す次第である。

この稿を終るにあたり上記関係各位の御発展を心から御祈りして、謝意の万分の一に代える次第である。

参 考 文 献

- (1) 池谷： 機械学会誌 51 354 (昭 23)
- (2) 山崎： 日立評論 32 5 (昭 25)
- (3) 山崎, 田尻： 日立評論 36 4 (昭 29)
- (4) 山崎： 日立評論 32 5 (昭 25)

