

## 鹽水法及びギブソン法による水車の性能試験

山 崎 卓 爾\*

### Efficiency Tests of Water Turbine by Salt-Velocity Method and Gibson's Method of Discharge Measurement

By Takuji Yamazaki  
Hitachi Laboratory, Hitachi, Ltd.

#### Abstract

In order to achieve the efficiency tests of actual water turbines, an experiment was scheduled by Nippon Kikai Gakkai (Japan Society of Mechanical Engineers) and Nippon Hassoden Kaisha (The Japan Electrical Generation and Transmission Co., Ltd.) in 1947. The first test was carried out on 21,000 kW. Francis Turbine of Nezame Hydraulic power station, Nippon Hassoden Kaisha, in 1947 and 1948.

In this test, five kinds and eight different methods were adopted in order to measure the water quantity. The writer was in charge of two kinds and two methods of these, namely the Salt Velocity method and the Gibson's method (The H-type pressure recorder being used).

All of these test results are now being checked by the Committee of Water Turbine Department of the Japan Society of Mechanical Engineers, and the findings will be published in the near future.

The writer of this report made a publication as to the details of the test carried out in his division under his charge, describing mainly the efficacious point which may be important and advisable in preparing other tests in the future.

#### [I] 緒 言

水力発電所における水車の性能試験はわが國でも外國でもかなり多く行われていると思われるが、その結果の公表されているものは意外に少く、ことにわが國におい

てこの感が深い。<sup>(1)</sup> その理由は種々あろうが、まず水量の測定が正確さを欠き、結果として妥當と思われる場合がきわめて少いことによると考えられる。實物水車の性能が明らかでない限り、模型試験結果も單に参考程度に止まり、眞にその價値を充分發揮し得たとはいえず、模型試験結果よりの効率換算等<sup>(1)(2)(3)</sup>も正確な實物試験例がなくては適確な公式を定め難く、ために水車の性能の

\* 日立製作所日立研究所



向上が阻止されることになる。日本機械學會水車研究部會では、この見地よりまず實物水車の性能試験を行うことを提唱、その第一段として日本發送電株式會社と協同し、昭和 22 年 10 月及び翌 23 年 8 月の 2 回にわたり、長野縣寢覺發電所の 21,000 kW フランシス水車について、種々の流量測定法によつて同一水車の比較性能試験を行つた。その結果については詳細にわたり委員會において検討され、近く統一されたとりまとめ方法によつて公表されることと思われる。筆者はこの試験における 5 種 8 通りの水量測定法のうち、鹽水速度法及びギブソン法のうちの一方法計 2 種 2 通りの方法を擔當して實驗に當つたが、これらの結果も同様に機械學會に於て検討されたが、その詳細については今後行われる性能試験の實施に参考になる點も多いと信ずるので、これについて少しく詳細に述べて資料に乏しいこの方面の参考に供したく、ここに發表する次第である。

## [II] 試験實施の概要

### (1) 寢覺發電所水車の概要

本水車の概要は次に示す通りである。

型 式	縦軸單流單輪渦卷フランシス水車
出 力	最大 21,000 kW 定格 16,800 kW
有效落差	64.5 m
最大水量	38.0 m <sup>3</sup> /sec
回 轉 數	200/240 R. P. M. (50/60 ㄴ)
比較回轉度	$N_s = 174.5$ (m-kW 制)
入口瓣直徑	3.100 m
水車ランナー	入口徑 2.290 m 出口徑 2.300 m 入口幅 0.544 m
吸 出 管	エルボー型
臺 數	2 臺

今回の性能試験は 2 臺の水車のうち第 1 號水車のみについて、また電力事情によつて水車の回轉數は 240 R. P. M. (60 ㄴ) の場合についてのみ行われた。

本水車の模型試験は昭和 13 年に日立製作所水力實驗室<sup>(4)</sup>で行われ、優秀な試験成績をおさめており、また實物試験は昭和 14 年新設當時發電所側 (當時大同電力株

式會社) で、水量測定法に鹽水速度法を採用して施行されたことがある。

### (2) 試験方法の概要

本性能試験における水量測定法は 5 種 8 通りの異つた方法が採用され、水量測定法の比較検討が行われた。これらの測定法を列記すれば次の通りである。

#### 1. 鹽水速度法

##### 1. ギブソン法 (壓力一時間法)

- (A) 水銀柱法 ギブソン法本來の方法で、壓力の變化を水銀柱の動搖に表わし、これを撮影する
- (B) ブルドン管法 ブルドン管壓力計の針の動きを映畫にとる方法
- (C) H 式法 水晶發振子を用いた測壓装置による方法

##### 3. ピトー管法

- (A) 1 箇のピトー管の移動による方法
- (B) 板谷管法 一直徑上の數個の位置にある小孔をピトー管として測定する方法

##### 4. 天野管法 一直徑上の數個の孔よりの水の漏洩量による方法

##### 5. ベルマウス法 導水管入口のベルマウスの部分の側壓を測定して水量を求める方法

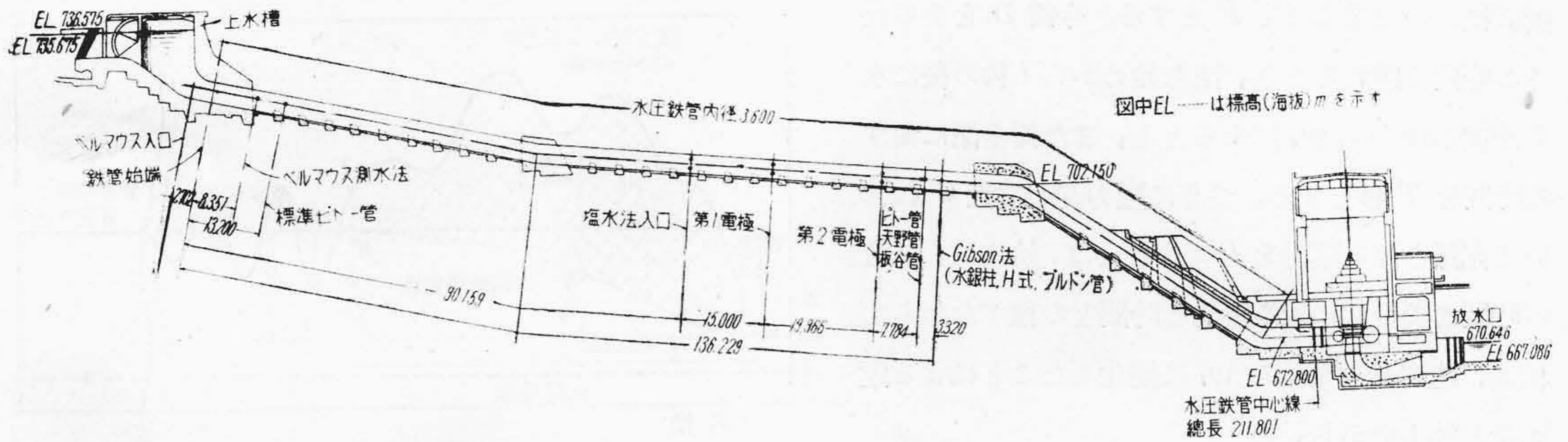
以上の諸方法については他の機會に略述したこともあり、<sup>(1)</sup>また機械學會でも一應報告されたところである。<sup>(5)</sup>このうち鹽水法及びギブソン法は昭和 22 年 10 月に、他はこれと同時に施行されるとともに、更に 23 年 8 月に再試験が行われた。これらの實驗の全般についてのべることは本稿の目的とするところではないから省略し、主として筆者が擔當した鹽水速度法及びギブソン H 式法の方法について詳述することとする。

寢覺發電所の水壓鐵管路の全貌及び各水量測定法の配置の概略は第 1 圖に示されている。

以上で水量測定法に關して全般的な概要を述べたが、つぎに水量以外の測定に關して略述する。

(A) 有效落差の測定 從來發電所における水車の効率試験では、有效落差は鐵管路の入口より水車に至るまでの水力損失を計算によつて求め、これを靜落差の測定値





第1圖 寢覺發電所鐵管路縱斷面

Fig. 1 General View of The Penstock of Nezame Hydraulic Power Station.

より差引いて推定することが多いのであるが、今回は水車入口側壁に水銀柱マンノメーターを取付けて實測し、これにその場所の速度水頭と、マンノメーター部より放水面に至る高さとを加えることによつて決定した。マンノメーターの附近には水車主要瓣（蝶形瓣）があるので、その影響のために測定値に多少誤差が入ることが懸念されたが、結果より見るとその影響も必ずしも大きいとは思われないので、この値を採用することとしたものである。

(B) 水車出力の測定 水車の出力は發電機出力と發電機損失とを加えて得られる。發電機出力はあらかじめ檢定された電力計により測定し、總損失は一般に行われているように發電機の諸種の損失測定値より求めた。これらの一切は日本發送電株式會社の擔當によつてなされた。

(C) その他 以上に述べた以外の項目、例えば吸出管内真空度、案内羽根開度、水車の回轉速度、その他参考項目の測定が行われたが、特に述べるまでもないのでここでは省略する。

### [III] ギブソン法による試験

#### (1) ギブソン法

いわゆるギブソン法という量水法は米人 N. R. Gibson 氏によつて 1920 年頃新方法として提案されたものである。(6) 外國ではこの方法で管路の流量測定や水車の性能試験を行つた例も多く發表され、鹽水速度法とともに主要な水量測定方法となつている。したがつて諸外國の水力学書には、この方法について紹介したものが多く見ら

れ、(7)(8)一般にはギブソン法の名で知られているが、その原理または操作上のわかりやすい名として壓力～時間法あるいは水槌壓力法とも呼ばれている。わが國でもこの方法ははやくから紹介されていたが、鹽水速度法が非常に普及しているにもかかわらず、本方法は今まで殆ど確實な試験結果が報告されておらず、その成果に關しても疑問とされていたようである。この方法の普及しなかつた原因としては、水車の無理な使用（實際上それほど危険な状態にはしないですむのであるが）をせねばならぬことと、壓力～時間曲線の記録方法として適當なものになかつたことにあると思われる。

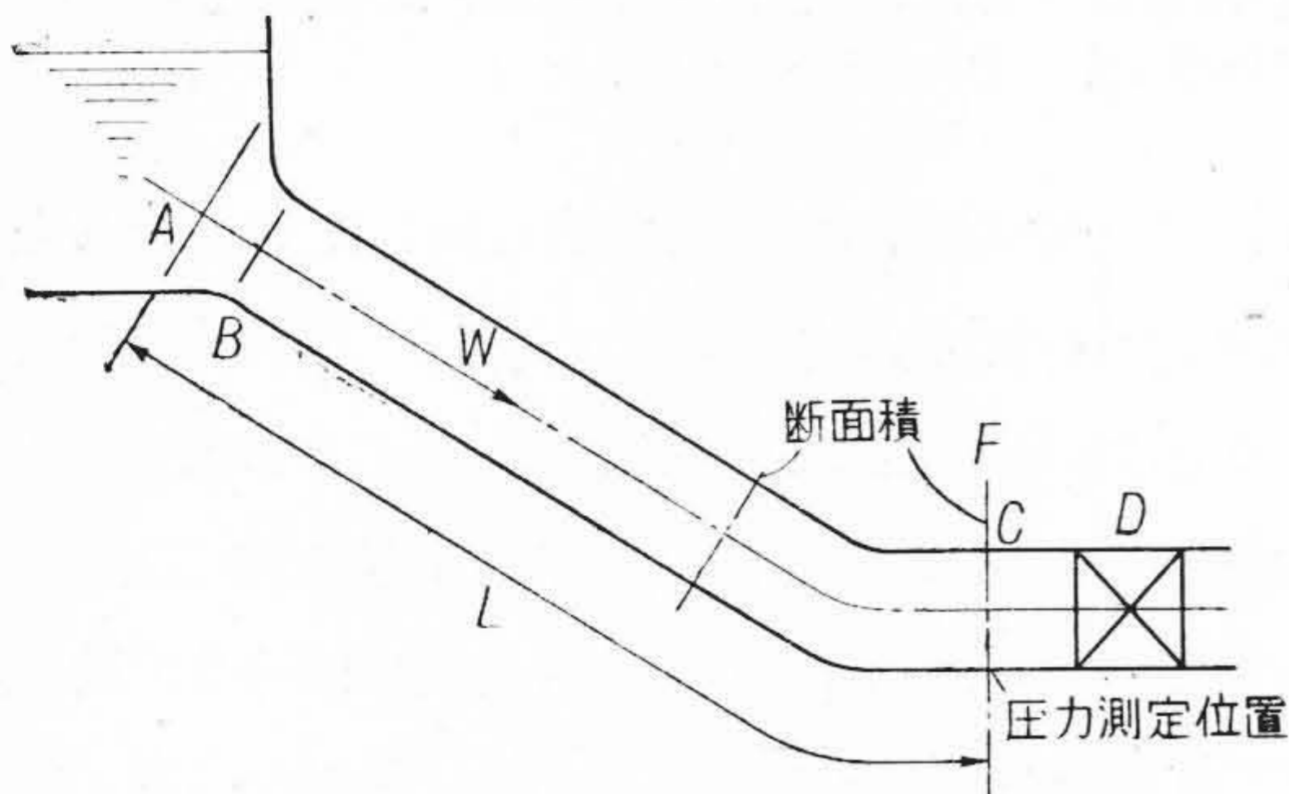
測定の原理について簡単に述べれば、水車の入口瓣または案内羽根を試験しようとする一定の状態から、水車及び水壓鐵管路に危険のない程度にゆるやかに閉ちて、ついに全閉まで持來すときに、鐵管路の任意の位置に於ける壓力上昇の時間的變化を適當な方法で壓力～時間曲線として記録し、この曲線圖形の面積より初めの状態の水速を求めるのである。Gibson の提案した記録法は水銀柱マンノメーターの水壓變化による動搖を回轉するフィルム又は印畫紙上に記録する方法で、前記水銀柱法と稱したのはこれである。

以上一應きわめて簡単にのべたが、その測定原理の詳細については筆者の見聞するかぎりでは、邦文として詳細な説明を加えられたものがないように思われたので、参考のために一應つぎに紹介することとする。

今第2圖のように下流に瓣をもつ管路 AECD があり、この中を水が  $w_0$  なる平均速度で流れているとする。管



斷面積は一定でこれを  $F$  とする。今弁  $D$  をある長さの時間で閉ぢるとき、閉ぢ始めから  $t$  秒の後に水の速度が  $w_0$  から  $w_t$  になるとし、また弁全閉に要する時間を  $T$  秒とする。つぎに壓力測定位置  $C$  において記録される壓力を  $P$  で表わせば、始めから任意の時間までの間に對し壓力と時間との積すなわち力積は、速度が  $w_0$  から  $w_t$  に變化したことによる運動量と等しいから、



第 2 圖 水壓鐵管路の模型圖  
Fig. 2 Skeleton View of Penstock.

$$F \int_0^t P dt = m(w_0 - w_t) \quad (1)$$

ここに  $m$  は導水管内に存在する水の質量で

$$m = \frac{\gamma}{g} F \cdot L \quad (2)$$

である。この式で  $\gamma$  は單位體積の水の重量、 $g$  は重力の加速度、 $L$  は管長、したがつて  $F \cdot L$  は管内の容積を示す。

また曲線圖に記録された壓力は壓力水頭を示すから、(1) 式を壓力水頭  $h$  をもちい、(2) の關係とより書き直せば

$$F \int_0^t h dt = \frac{\gamma}{g} F L (w_0 - w_t)$$

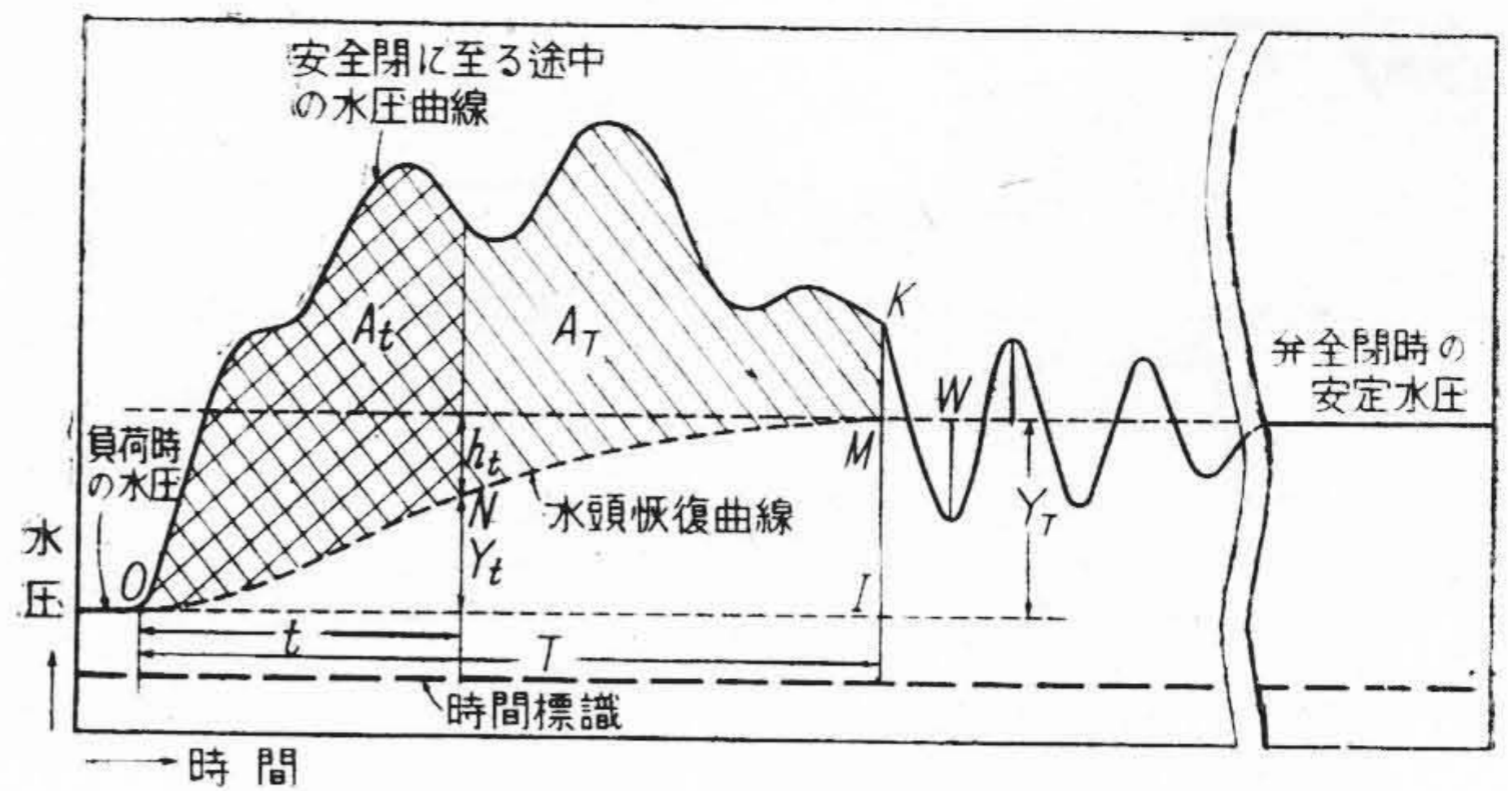
故に

$$\int_0^t h dt = \frac{L}{g} (w_0 - w_t) \quad (3)$$

さて記録装置では第 3 圖に示すような曲線圖が得られその曲線のかこむ面積は

$$\int_0^t h dt$$

を示すことになる。この面積を  $A_t$  とすれば (3) 式は



第 3 圖 壓力～時間曲線圖の模型  
Fig. 3 Model of a Pressure-Time Curve.

$$\int_0^t h dt = \frac{L}{g} (w_0 - w_t) = \text{面積 } A_t \quad (4)$$

弁が全閉したときの始めからの面積を  $A_T$  とすれば、そのときには

$$w_t = 0$$

となるから (4) 式は

$$\int_0^T h dt = \frac{L}{g} w_0 = \text{面積 } A_T$$

これより  $w_0 = \frac{g A_T}{L}$  として始めの速度  $w_0$  が得られるから流量  $Q$  は

$$Q = F w_0 = \frac{F g}{L} A_T \quad (6)$$

として求められる。ここでは管の斷面積は一様であるとしたが、実際には斷面のことなつた管をつぎ合せた場合が多い。この場合には各斷面  $F_1, F_2, F_3, \dots$  の管の長さ  $L_1, L_2, L_3, \dots$  を測定して

$$\frac{F}{L} = \sum \left( \frac{F_1}{L_1} + \frac{F_2}{L_2} + \frac{F_3}{L_3} + \dots \right) \quad (7)$$

として  $\frac{F}{L}$  の値を決定すればよい。

第 3 圖に於て  $O$  は壓力上昇の始めの點、 $K$  は弁全閉の點である。弁全閉後は水は流れないが、壓力波は水槌現象を呈して導水管の中を往復運動をするから、圖のような振動曲線を描き、ついに安定した一線となる。 $K$  の位置の決定はこの運動の週周期性から  $M$  を決定し、安定線に垂直に  $MK$  を引くことによつて求められる。たゞし今回の測定では、案内羽根開度曲線も描かれ、また壓力曲線もその降下點が比較的はつきりしているのので、この方法は省略した。



つぎに負荷時の壓力線と弁全閉時の安定壓力線との差  $ML$  の値はもし兩状態で上水槽の水位の變動がないものとするれば、運轉状態から弁閉鎖によつて恢復された水頭すなわち速度および摩擦損失水頭の和である。故に

$$\overline{ML} = Y_T = h_w + h_r$$

ここに  $h_w, h_r$  はそれぞれ速度および摩擦損失水頭である。これらの水頭は一般に速度の 2 乗に比例するから、 $ONM$  という水頭恢復曲線は

$$\frac{Y_t}{Y_T} = \frac{w_0^2 - w_t^2}{w_0^2} \quad (8)$$

という条件を満さなければならない。

また (4) および (5) より

$$\frac{w_0 - w_t}{w_0} = \frac{A_t}{A_T} = r \quad \text{すなわち} \quad \frac{w_t}{w_0} = 1 - r \quad (9)$$

なる関係が得られる。したがつてある點  $N$  において、まだ恢復されないで残つている (すなわち水がまだ流れていることによつて残つている) 速度および摩擦損失水頭の和  $h_t$  は

$$h_t = Y_T - Y_t = Y_T \left( \frac{w_t}{w_0} \right)^2 = Y_T (1 - r)^2 \quad (10)$$

として求められる。

始めに  $OM$  を結ぶ直線または適當な曲線をえがき、これと壓力曲線とでかこむ面積につき二、三の點でこの  $h_t$  を計算し、これを結ぶ曲線を基準としてさらに正確に近い  $h_t$  を再び算出し、次第に正確な値としての  $ONM$  曲線を決定し、最後に決定された曲線と壓力曲線との間の面積を測定して  $A_T$  をきめる。この計算は一見煩雜なようであるが、すこし取扱になれると一、二回の補正ですむものである。

以上は上水槽水位が變動しない場合であるが、今回は後述のようにかなり變動するので、このような場合には各瞬間における變動量だけをこの決定された  $ONM$  曲線に對して補正しなければならない。

このようにして流量は (6) 式で求められるが、以上は壓力曲線が正しくその横軸に 1 秒を 1 cm とし、縦軸に水頭 1 m を 1 cm とし書き表わされた圖形に對してはそのまま適用されるが、一般には

1 秒を表わす時間座標の長さを  $S$  cm

水頭 1 m に相當するたて座標の寸法を  $\alpha$  cm

として (6) をつぎのように書き改める。

$$Q = \frac{g A_T}{\alpha S} \left( \frac{L}{F} \right) \quad (12)$$

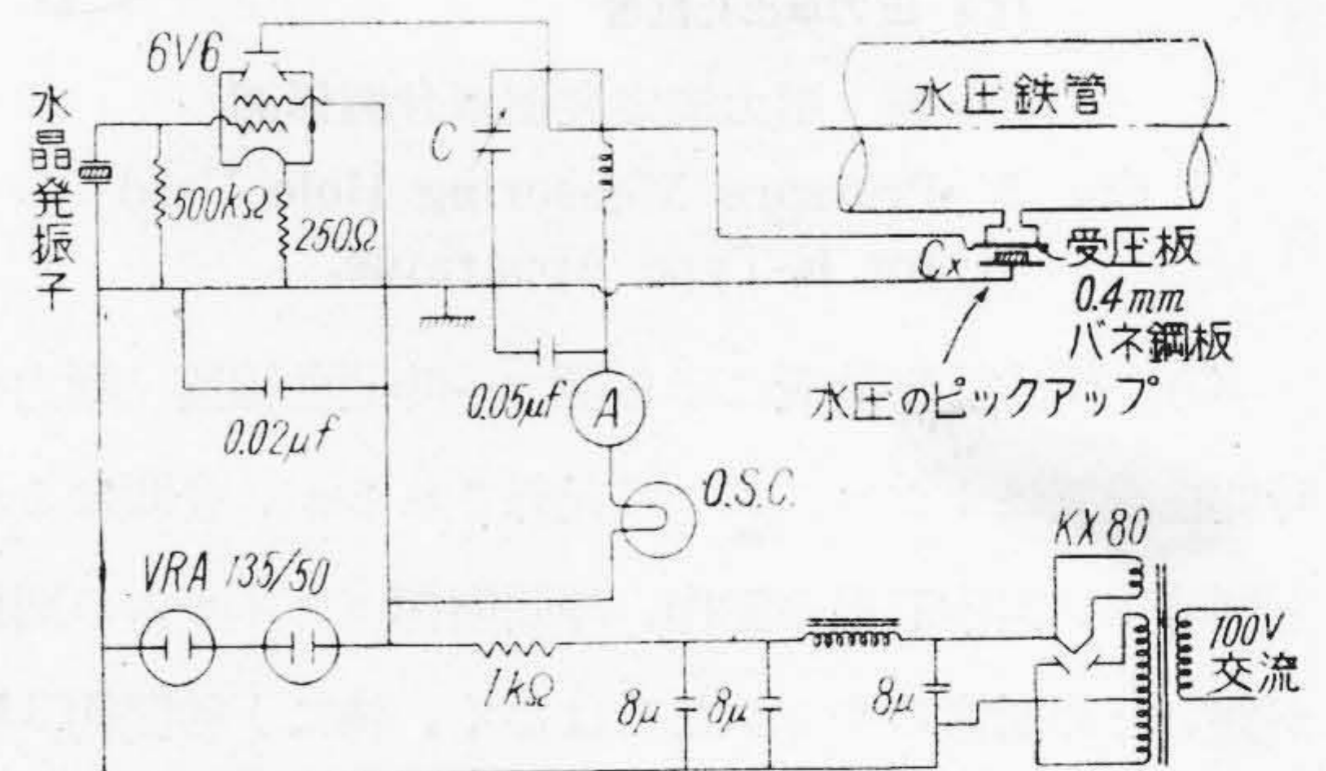
今回の試験では (12) 式によつて  $Q$  を求めた。このうち  $F/L$  は定數で當發電所の導水管についてはその値は 13.5218 であつた。

### (2) H 式測壓装置

今回筆者の擔當した方法は近來壓力測定にさかんに利用されている電氣的な方法で、この場合簡單のためにこれを H 式水壓測定装置という。

機械的な微小變化量を電氣的に測定する場合、靜電容量を媒介とする手段がしばしば用いられ、その方式としてオートダイン發振器方式や水晶發振器方式などが用いられる。(9)(10)(11) 従來日立製作所では後者の方式を用いて水壓測定その他に好成績をおさめているので、今回もこの方式によつた。

一般に水晶發振器の特性として、蓄電器の容量變化に對しその陽極電流の變化が特殊な關係にあり、この特性を利用して水壓鐵管壁に取りつけられた受壓板とその對向メタルの間に構成される蓄電器  $C_x$  が、水壓の變動によつてその電氣容量を變えることより、水晶發振器及び眞空管を用いて、これを陽極電流の變化におきかえ、この變化をオシログラフに撮影する方法である。第 4 圖は H 式水壓測定装置の配線圖の概略を示す。



第 4 圖 H 式水壓測定装置配線圖

Fig. 4 Electrical Connections for H-Type Pressure Measuring Apparatus.

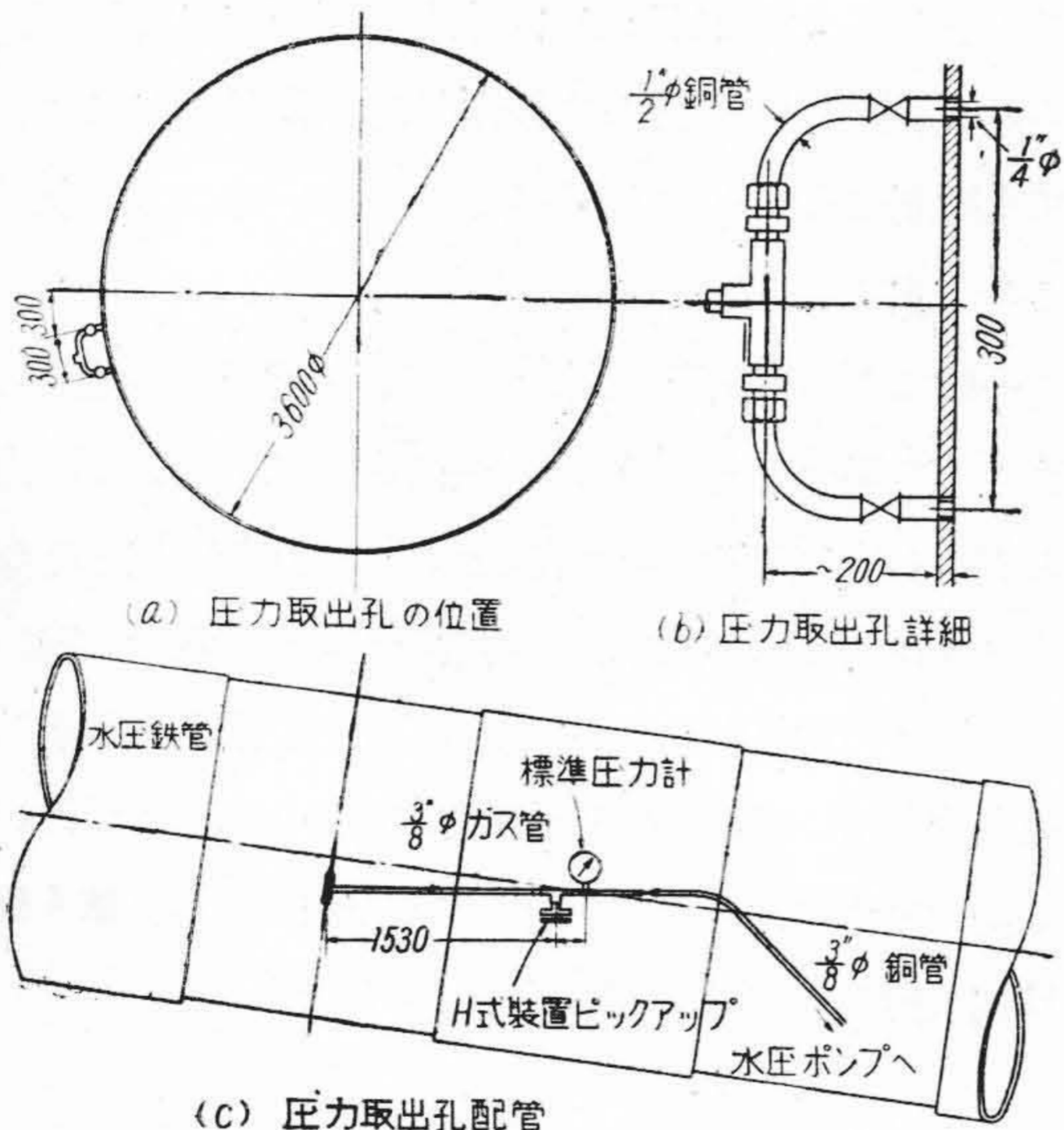


この装置で壓力の記録をとるためには、あらかじめ檢定されたブルドン管壓力計と、オシロ装置内の光の動きとによつて、その校正表を作成しておく必要がある。

(3) 試験實施上の注意

(A) 案内羽根の閉鎖 案内羽根の閉鎖は水壓鐵管内の壓力上昇が全落差の約 10 % 以内におさまるように閉鎖に要する時間を調節したので、壓力上昇に關する危険は起らない。

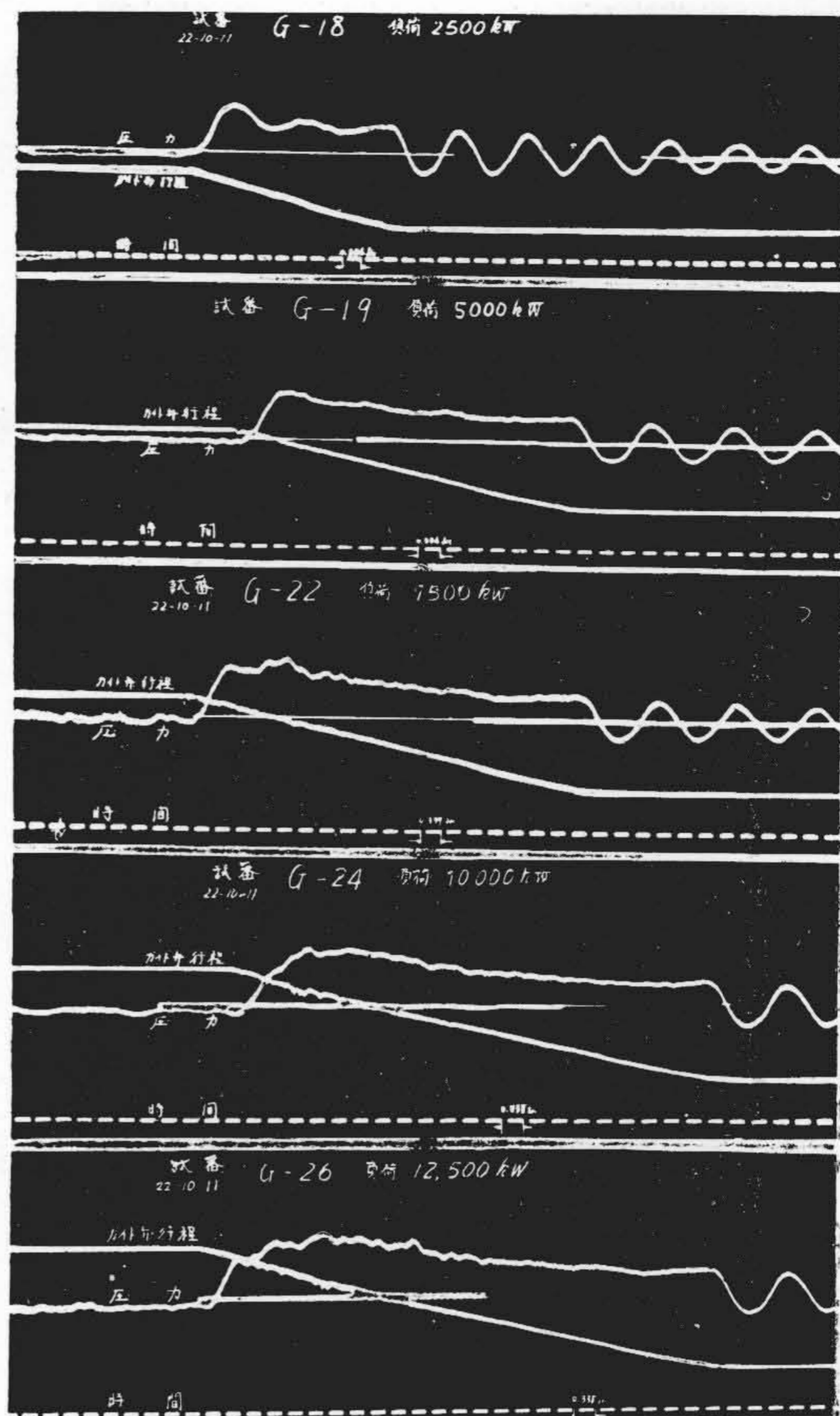
(D) 壓力取出孔 水壓鐵管壁の側壓を H 式測壓装置の受壓板に導くための壓力取出孔は、もちろん 1 個でよいのであるが、孔の工作上の不整及び事故によつて孔に正常な壓力が作用しない場合を考慮して、鐵管の同一斷面周上の 2 點に孔をあけ、これらを 1 個の管に導いた。實際の取付は第 5 圖に示す。



第 5 圖 壓力測定裝置取付關係圖

Fig. 5 Pressure Measuring Hole Used for H-Type Apparatus.

(C) H 式測壓裝置による壓力～時間曲線圖 壓力～時間曲線圖はオシログラフに記録されるが、今回はこれと同時に、案内羽根の動作、時間座標（フィルムの回轉が遅いため通常のやりかたではなく、特に 1 秒間約 3 點を記すようにした）、案内羽根閉鎖後の安定水位に相當する壓力線の 3 種の曲線をおさめた。これらの曲線圖の數例を第 6 圖に示した。これらの圖によれば、案内羽根の



第 6 圖 H 式測壓裝置による壓力～時間曲線の數例

Fig. 6 Some Examples of Pressure-Time Curves Recorded by H-Type Apparatus.

閉鎖開始と同時に、壓力上昇が起り案内羽根閉鎖完了とともに壓力曲線は降下し、以下は水槌振動の波形をとり時間とともに漸次靜止に至る。そしてついに圖の二重撮影した部分にあらわれた安定水壓線となる。これらの圖はすべて從來のギブソン法を紹介した圖形と一致するものであるが、ただ從來は壓力を水銀柱の動搖によつて記録したため、案内羽根閉鎖中の壓力曲線にも水銀柱の自由振動による波形が入つて來て、複雑な形狀をとるので、この點のみがことなる。なお今回の壓力曲線は、裝置の構造上小さい圖形となつたので、曲線圖の面積測定は擴大圖について行われた。

(D) 基準水位の決定 案内羽根閉鎖の途中では、流通水量が漸減し、従つて流速が減じ、速度水頭が減ずる

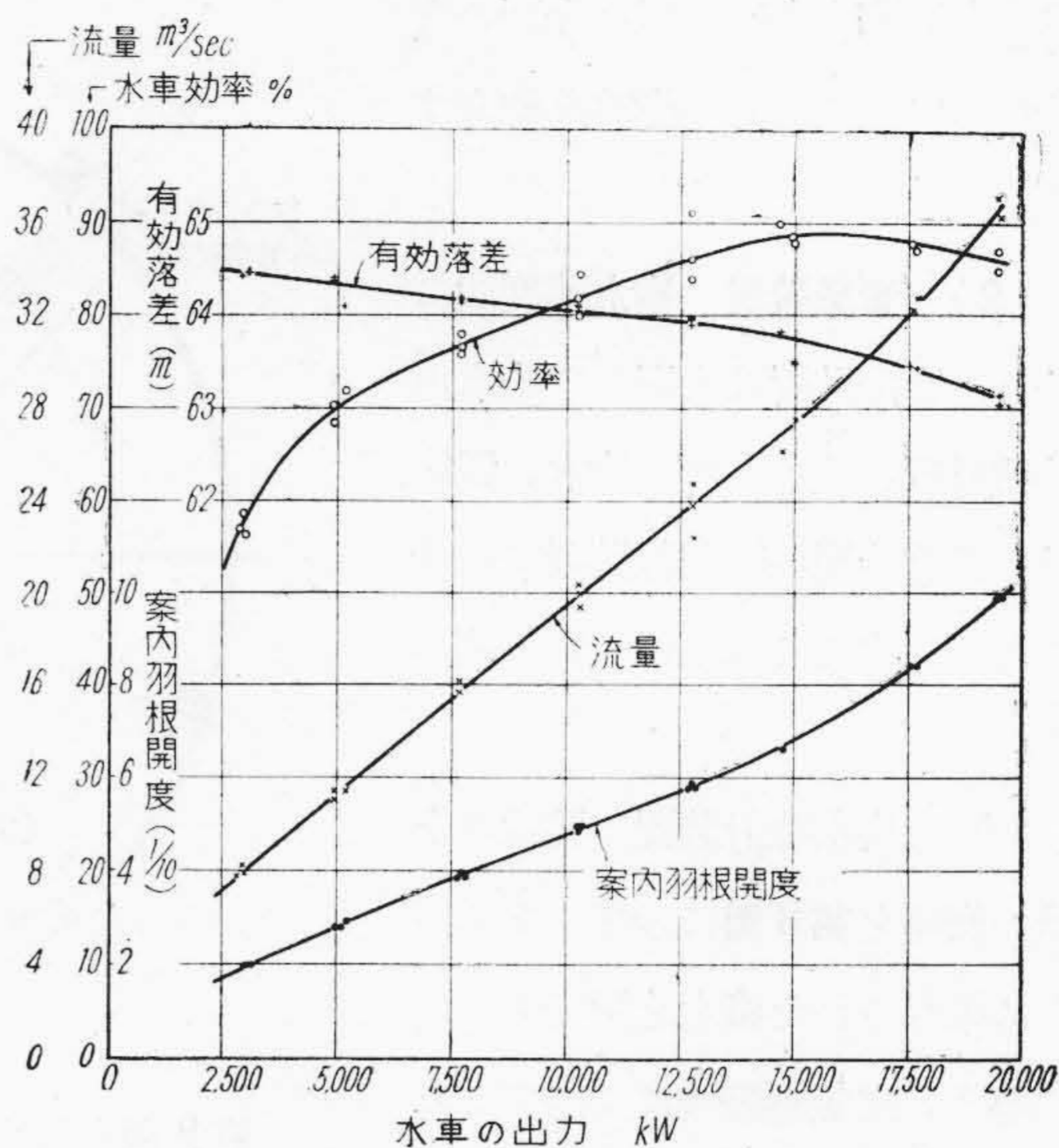


とともに、水力損失もまた減じて壓力の増加が現われ、これによつて最初のを求めるのが、ギブソン法の原理であるが、實際には壓力上昇とともに、水量の減少によつて、發電所の上水槽の水位が高くなり、これが靜水壓の増加として、前記の壓力上昇に附帶して曲線圖上にあられる。この現象は水車の臺數が多くて1臺の運轉の如何が水位の變動を起さしめるに至らない程度の場合、あるいは上水槽が甚だ大きい場合等は問題にならないが、この發電所では相當に變動があつて省略し得ない程度であつた。第6圖の例でも最後の安定壓力線は、案内羽根閉鎖後の振動波の中央よりも少しく上に横たわつてゐるのはこのためである。即ち壓力曲線は振動波形をえがきながら、漸次その中心線が高くなつて行くのである。この補正を行うために上水槽の水面を自記記録計によつて記録し、それに相當する値を前記壓力時間曲線圖の基準線を補正して正確を期した。

(E) 漏洩水量の決定 ギブソン法では案内羽根全閉の状態では、水は全く遮斷されて漏洩しないとしてその流量を求めるのであるから、案内羽根全閉時に漏洩水量があれば、それだけ加算されなければならない。今回の實驗では、水車を停止し、案内羽根を全閉し、上水槽の上流水門を閉ち、水門と案内羽根との間の水の減量を上水槽の水面の下降速度と上水槽面積とから測定によつて求めた。水門の漏洩量は甚だ少く、またあまり大きい落差が水門の兩側でない限り、その量は決して大きくないことから上の方法で概略の値を知り得る。測定の結果漏洩水量は  $0.193 \text{ m}^3/\text{sec}$  であつた。ギブソン法によつて求めた水量に、これを加えたものが全流量となるわけである。

(4) 試驗結果 本發電所は  $50\text{hp}$  及び  $60\text{hp}$  の兩用のものであるが、今回の試験は電力事情により  $60\text{hp}$  についてのみ行つた。また有効落差は  $64.5 \text{ m}$  の水車であるが、實際には  $63\sim 64.5 \text{ m}$  程度で水車出力によつて變つたのはやむを得ないところであつた。試験結果は第7圖に示す通りである。

[IV] 鹽水速度法による試験



第7圖 ギブソン法による水車の性能試験結果

Fig. 7 Turbine Characteristics by Gibson's Method.

(1) 鹽水速度法 この方法は Allen 教授が1923年に提案して以來、世界各國で賞用され、わが國でも大水量の測定にはつねに用いられてきた。本方法の原理はあらためて述べるまでもなく、流水通路の2個所に2組の電極をおき、上流より食鹽水を投入して、これが電極の位置を通過する際に、電極間の抵抗を減じ、従つて電流が多く流れるから、これを時間座標の記録に記して、兩電極に現われた電流の山の間の時間を測定することによつて、兩電極間を食鹽水の流れる流速を知り、これをその時の流水の平均流速と見なす方法である。本方法はその測定原理が簡明であり、また一舉に平均流量を知り得るから、水力發電所等の實驗状態の理想的でない場合に用いるに便利であるが、装置が他の方法にくらべて比較的大規模になり勝ちなことに、電流の山の決定する時間座標の取扱等に多少の疑義があり、この意味から小水量のものについてはほぼ正確な値を與えるが、大水量の測定においてはまだ十分な正確度を與えるとはいへないといわれている。しかし個々の測定點の精度が低いにかかわらず、從來の測定に見てもほぼ平均値に近い値を與えるものようである。

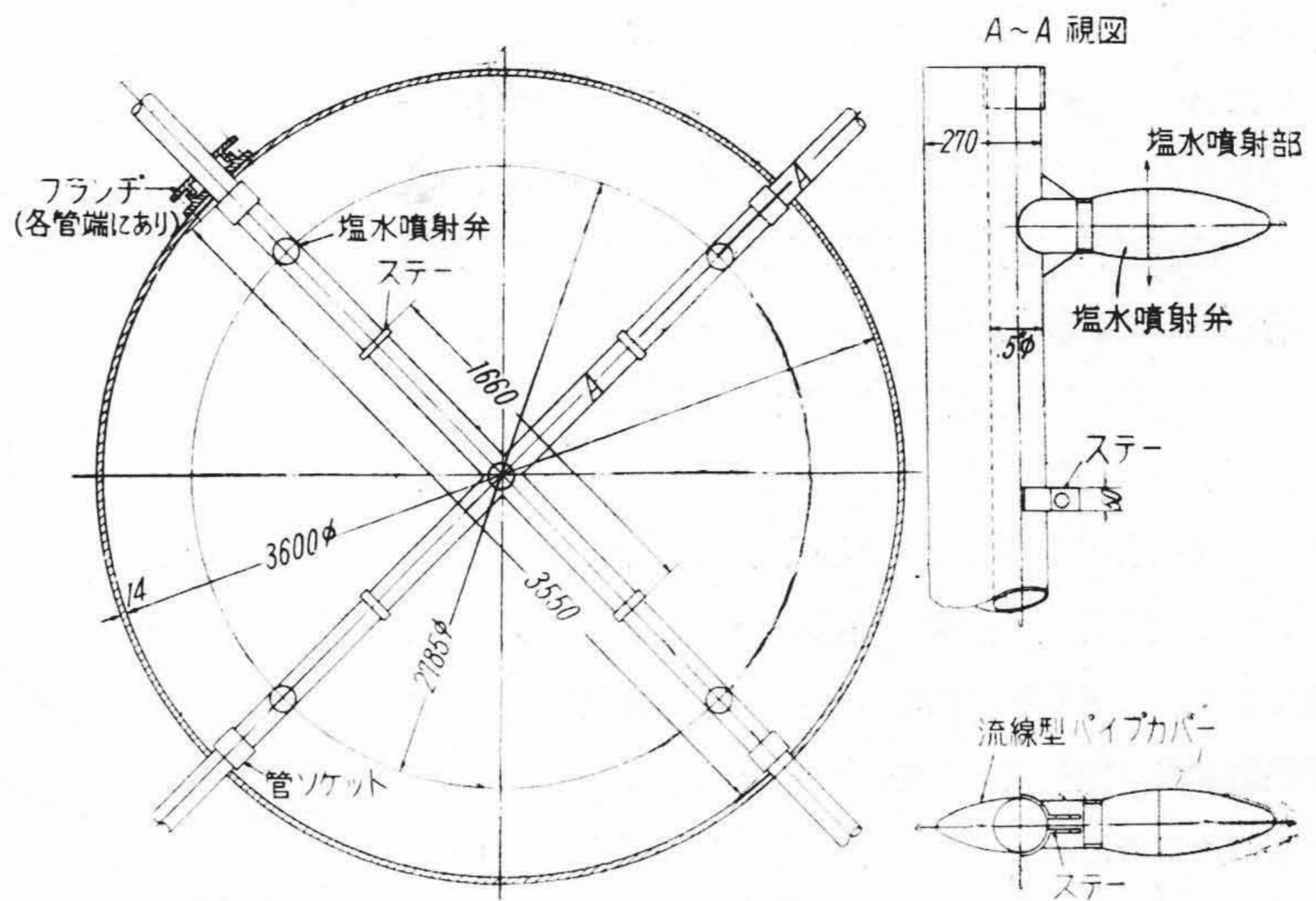
本方法の實施についても、實驗技術上から注意せねば



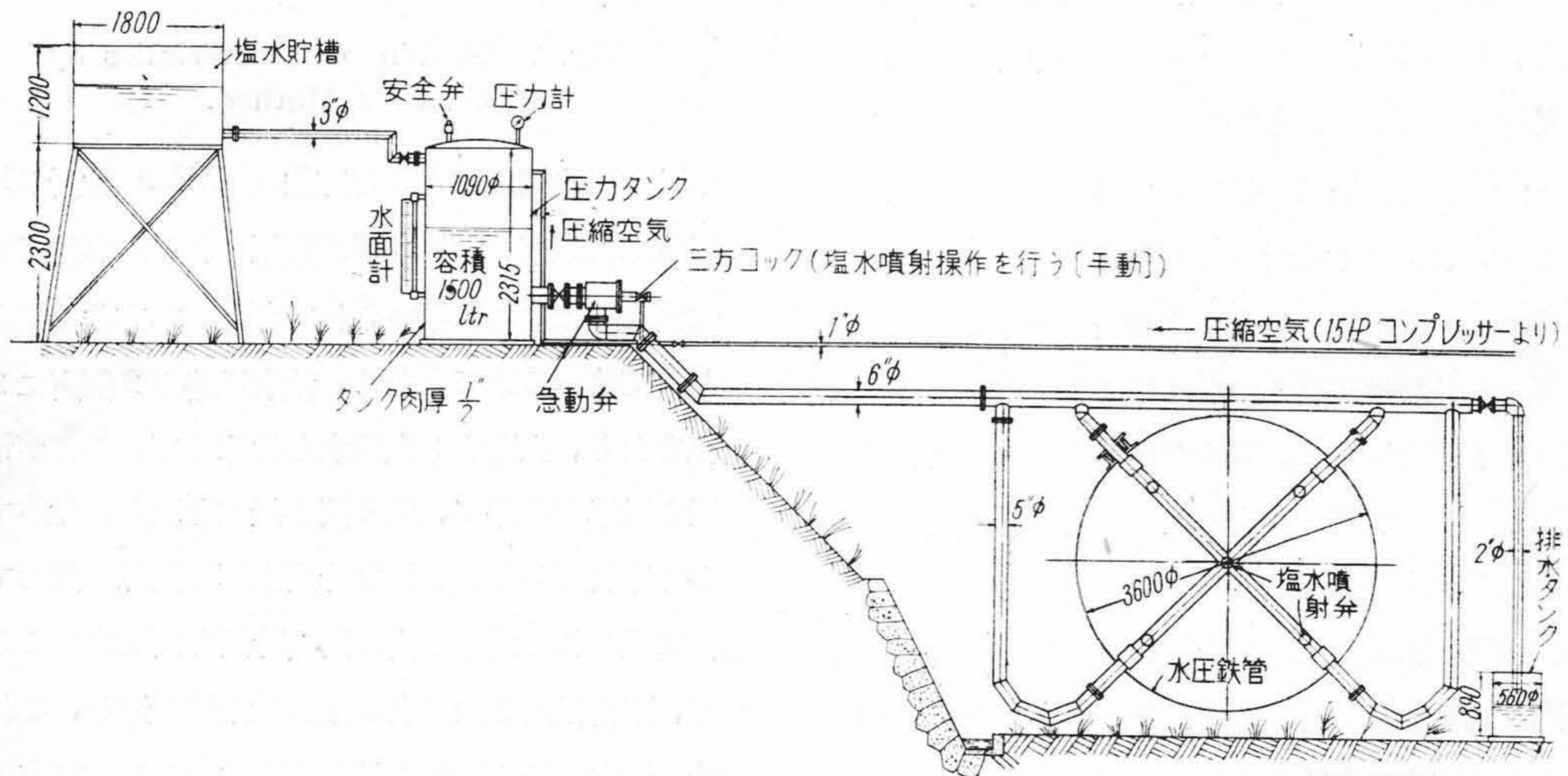
ならない點も多い。以下今回の実験についてこれらの概略を紹介する。

(2) 実験装置 鹽水速度法に於ける実験装置は大別して鹽水の装噴射置、噴射される鹽水、電極及び電流時間曲線記録装置に區分される。次にこれらについて述べる。

(A) 鹽水噴射装置 装置の全體の概略を第 8 圖に示す。あらかじめ準備された鹽水を壓力タンクに導き、空氣壓縮機によつてこれ



第 9 圖 鹽水噴射弁取付圖 Fig. 9 Installation of Pop Valves.



第 8 圖 鹽水速度法配管圖 Fig. 8 Equipment for Injection of Salt Solution.

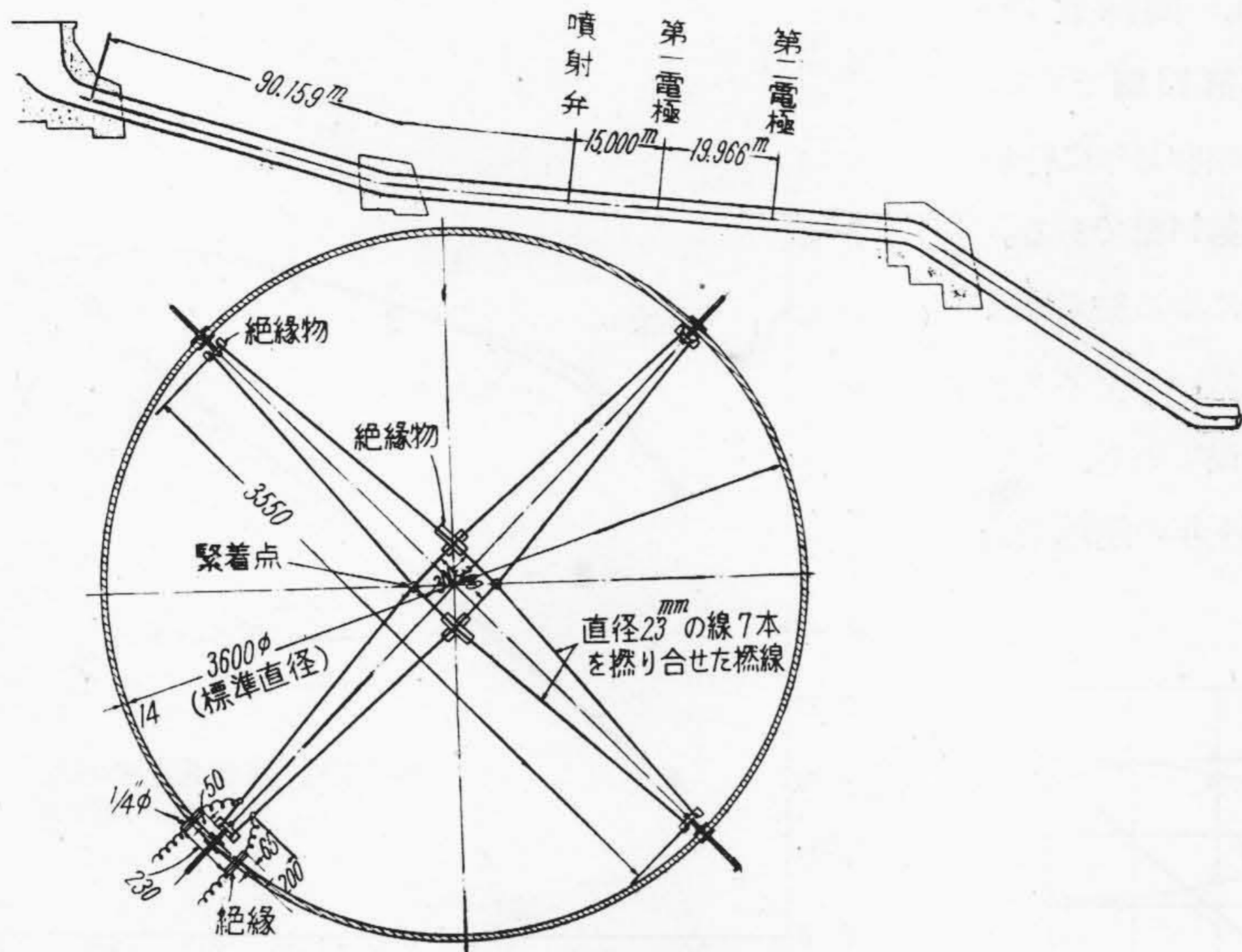
に壓力を加え、急動弁を瞬間に開閉すれば、鹽水は導管を経て噴射弁より水壓鐵管内に噴射される。

(B) 噴射弁 上記の鹽水噴射弁は水壓鐵管内の一斷面上に第 9 圖の位置に 5 個配置され、各噴射弁及び支柱は振動を防止するために流線形に覆いながされている。噴射弁は常時は水壓及びばねによつて閉ちているが、壓力を持つた鹽水が作用すれば密着部が離れて鹽水が水壓鐵管内に噴射するようになつている。噴射弁が數多く配置されたのは同一斷面上になるべく一樣な鹽水層を作るためで、このために弁の開閉時刻をなるべく一樣にする

よう注意が拂われた。

(C) 噴射用鹽水 通例鹽水速度法に用いる鹽水は食鹽の濃厚溶液であるが、今回の試験では苦汁を使用した。苦汁は食鹽水に比し幾分電氣抵抗が大きい、使用し得ない程度ではない。しかし今回の場合苦汁も十分豊富に使用するだけの量は得られず、やむなくこれを始めから 2 倍に薄めて使用した。このためオシロ上の電流時間曲線圖形を大きく表わすためにオシロ内の配線に苦心したが、結果としてはやはり濃厚な食鹽水を使用したような満足は得られなかつたといえよう。





第10圖 電極配置圖

Fig. 10 Construction of Electrodes.

(D) 電極 電極の形状は第一、第二電極とも第10圖に示す通りである。鐵管中心部において電極が開いているのは電流の大きさが擔當流通面積を代表するに（理論的には双曲線的形狀となる）近からしめたもので、この形状は従來もしばしば使用されている。

(E) 電流～時間曲線圖 電流～時間曲線圖の記録はオシログラフによつた。従來しばしば記録電流計が用いられるが、その多くは曲線縦座標のもので、山型圖形の重心の決定のためには、そのまゝでは誤差が大きく、直角座標圖に書き寫せば、そのための精度の低下は避けられないので、使用すべきではないと考える。

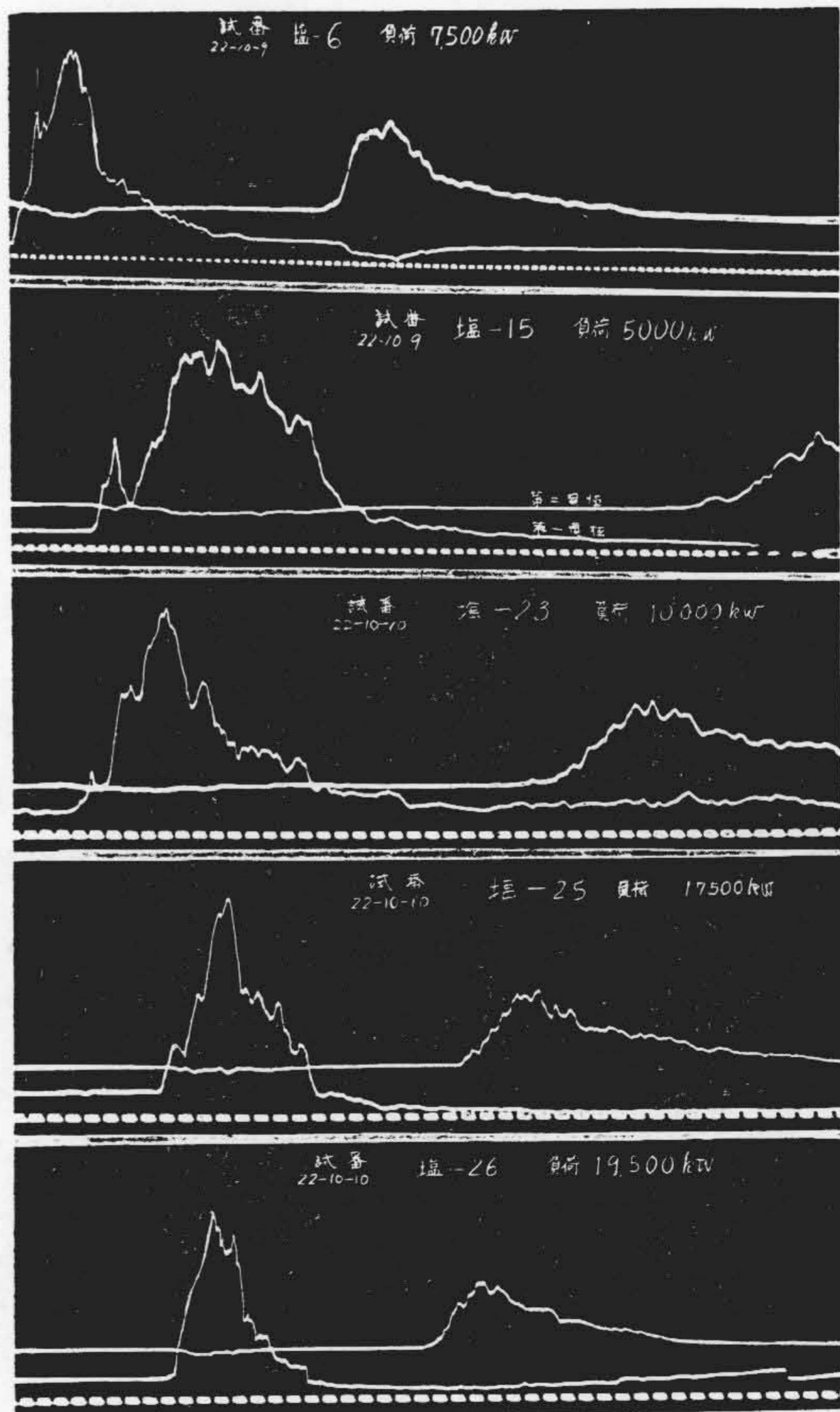
今回の試験の電流時間曲線の記録の數例を第11圖に示す。鹽水が稀薄であつたために、圖形の記録が一般の場合のように容易でなかつたので、圖形としてはあまり満足すべき程度ではなく、加えて期日の關係から全く豫行なしに本試験に入つたため、技術上の難點も多かつた。なお圖形の重心を決定するには、厚さの一樣な厚紙を電流時間曲線と同形に切りぬいて、その端の一點を針で支えて圖形を横振りさせ鉛直線をその上にするし、このようにして求めた2個の鉛直線の交點をとるといふ簡單な方法によつた。

(3) 試験結果 試験結果は第12圖に示すとおりである。

[V] 試験結果の検討

(1) 水車の性能

試験結果は前述のように第7圖及び第12圖によつて知ることができる。しかしこれらの圖でわかるように、試験中有効落差は63~64.5 mの間で負荷に應じて變化しており、また當時の電力事情により水車の回轉數も相當變化していたので、兩試験結果を比較検討することはこれらの兩曲線そのまゝでは無理である。よつて今これらの結

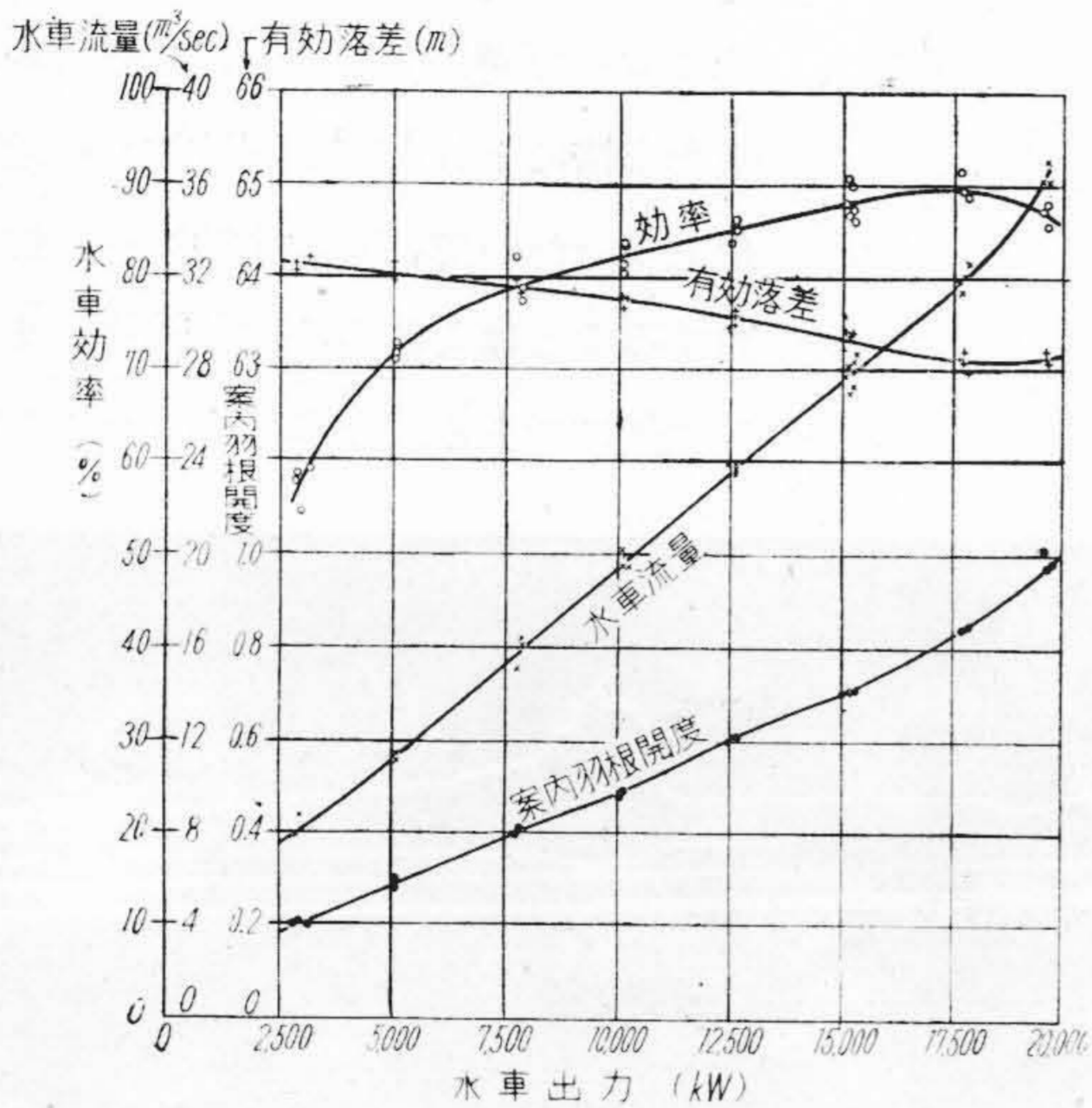


第11圖 鹽水速度法における電流～時間記録の數例

Fig. 11 Some Examples of Current~Time Records in Salt-Velocity Method.



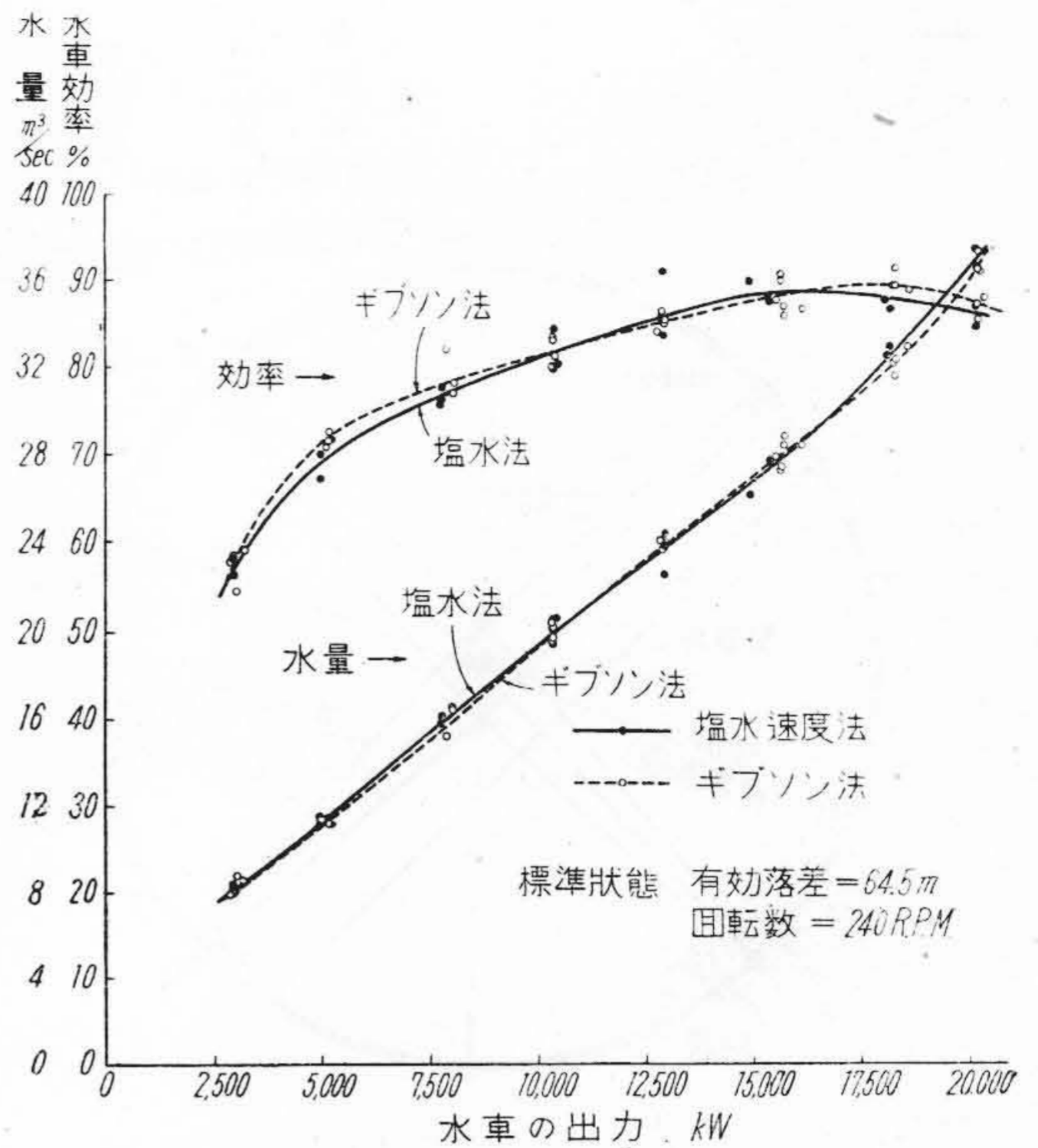
果を水車の標準状態（有効落差 64.5 m, 回轉數 240 R. P. M.）に換算して比較圖示したのが第 13 圖である。さらにこれらの結果と模型試験結果及び昭和 14 年に行われた實物試験結果を比較圖示したものが第 14 圖である。第 13 圖によれば、鹽水法及びギブソン法による結果はほぼその曲線の傾向が似ており、輕負荷においてギブソン法の結果は鹽水法の結果よりも幾分高く出ている。しかしこれらの結果は第 14 圖によれば昭和 14 年の運轉開始



第 12 圖 鹽水速度法による性能試験結果  
Fig. 12 Turbine Characteristics by Salt-Velocity Method.

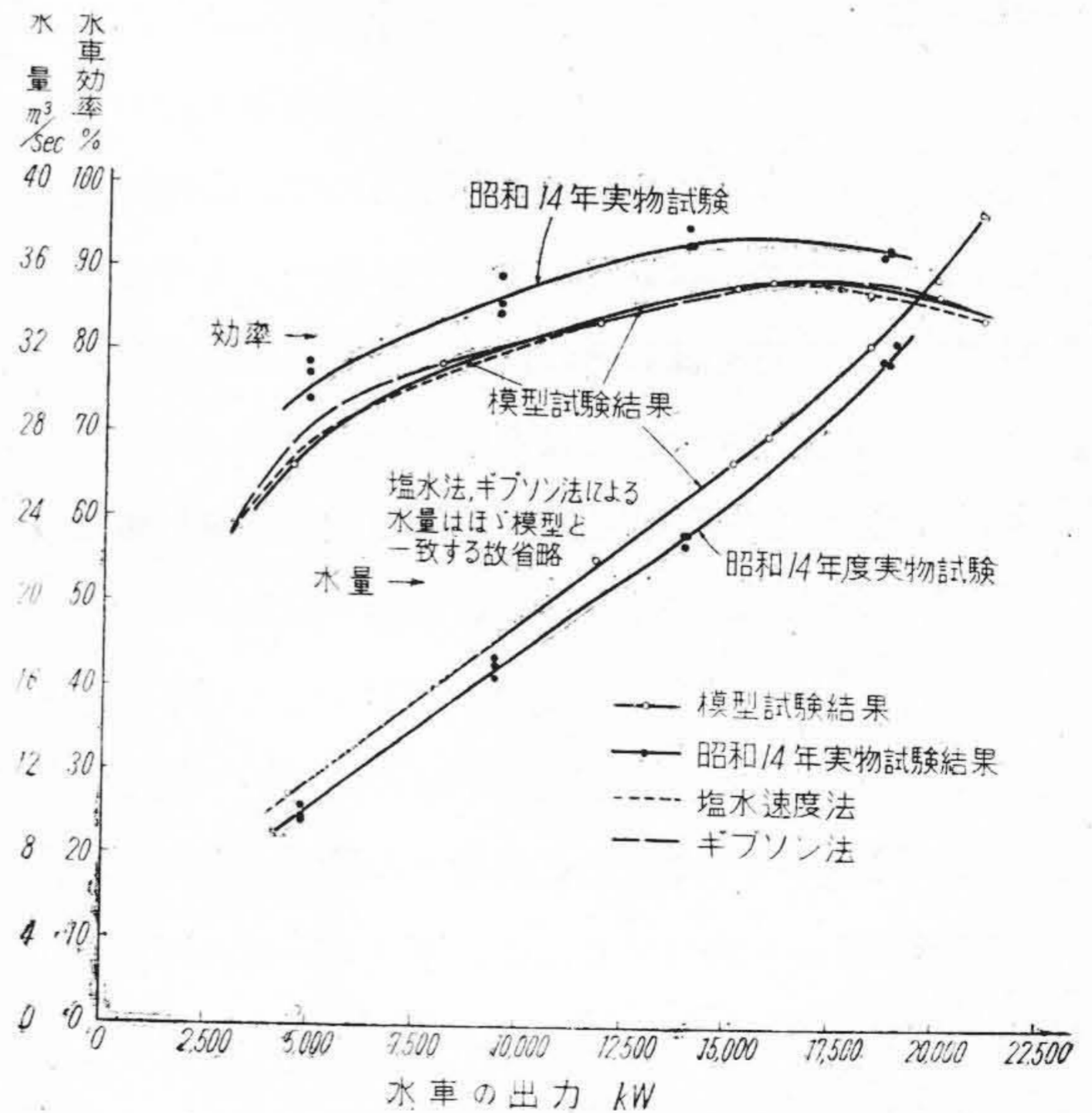
當時の効率に比較していずれも低く、前回 94 % の最高効率が、今回の結果では 89 % 程度であつた。これはすでに 10 年近く使用され、かつ修理等も施されている状態から見て、漸次効率低下を來したものと考えられるが、また當初の試験がどの程度の精度であつたかも問題となる。今回の結果は他の試験方法によつても、このような高い効率を示していないことから見て大體妥當な値ではないかと考えられる。しかしこれらの結果はその大體の傾向は昭和 14 年の結果とよく似ておることは注目せねばならない。

次に模型試験結果と比較して見るに、第 14 圖によれば鹽水法の結果はほぼ完全にこれと一致しており、最も模型の性能に近い値を示している。もちろん模型と實物



第 13 圖 標準状態に換算した試験結果  
Fig. 13 Tested Results Converted in Standard Conditions of Water Turbine.

とではその水力損失の割合に差があるので、實際には一致するとは考えられないが、(2) 實物水車の運轉により水車が損耗を受けた場合、特に部分的な特殊な損傷をうけない限り、ほぼ一樣に効率低下が起り、約 10 年の運轉で



第 14 圖 模型實物兩試験結果の比較  
Fig. 14 Tested Characteristics of Model and Actual Turbines.



模型の性能にまで低下したものと考えられる。このような考えからすれば、運轉當初の試験結果はその絶対値において疑點があるとしても、その傾向はほぼ正常なものではないかと推定される。

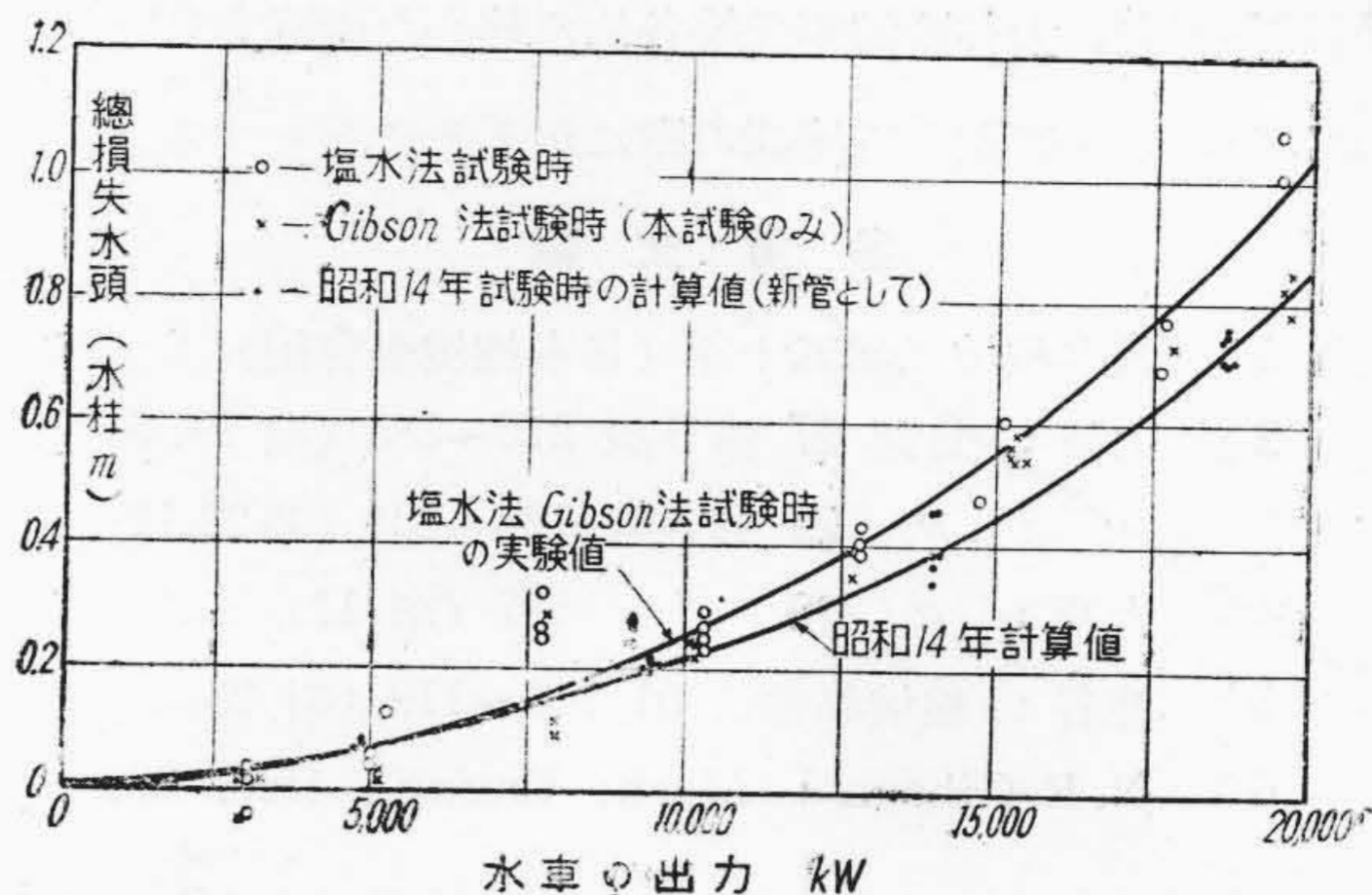
以上の推定を考慮すれば、ギブソン法と鹽水法とは第 11 圖のように殆ど一致しているといえるが、鹽水法の結果がより實際に近いのではないかと考えられ、現状ではやはり標準的な方法であると思われる。またギブソン法の結果から見ても、ギブソン法も壓力記録法が正常であれば、やはり相當正確な値を與える方法であるといえる。

(2) 有效落差の測定に對する検討

從來一般に實物水車の性能試験では、その有效落差の決定に當つては、上水槽水位と放水面との間の靜落差より、計算によつて推定された損失水頭を差引いた値をとるのが普通であつたが、今回は水銀マンメーターで壓力靜落差を實測し、これに吸出靜落差及び速度水頭を加えて決定する方法をとつた。今これらの結果を比較圖示したのが第 15 圖である。今回の實驗ではマンメーター取付孔の試験途中よりの故障のため、鹽水法の場合は水車入口主要弁下流の位置で、ギブソン法の場合はその上流の位置で測定したため、理論的には前者の場合は後者に比し、主要弁の損失だけ大きい筈である。實驗結果を見ると判然とした差はわからないが、幾分上述の傾向が伺われる。また昭和 14 年試験の際の計算値（新管としての）よりは今回の實測値の方が幾分大きい。これは鐵管の錆によつて摩擦損失が増加したためと考えることができ、このように見てくると、從來の計算による方法も鐵管の屈曲が甚だしくない限り、全然信頼できないものではないと考えられる。しかし屈曲度の激しい場合や、鐵管の細い場合及び長い場合等のように水力損失の多い場合には、實測によつた方が正確を期せられることと信ずる。

[VI] 結 言

寢覺發電所で行われた水車の性能試験のうち、水量測定法として鹽水速度法及びギブソン法を使用した場合の



第 15 圖 損失水頭の實驗値と計算値の比較

Fig. 15 Comparison of Experimental and Calculated Values of Hydraulic Loss of Head Occurred in the Penstock.

結果及びその測定上の狀況等について紹介した。

これらの結果については、目下日本機械學會水車研究部會に於いて他の方法による結果とともに慎重に検討されているものであるが、これらの兩法による結果は殆ど一致した値を示し、ことに鹽水法による結果は最も確からしい結果を與えていることを知つた。またギブソン法も今回のような妥當な壓力記録法を採用すれば、十分信頼すべき結果が得られることを示した。しかもこれらの試験は、諸種の事情により必ずしも満足すべき條件で行われたものでないので、さらに慎重な注意と十分な試験準備とによつて、より信頼度の高い値が得られるだろうことは明らかである。

また有效落差の決定において、その壓力靜落差を水車入口に取付けた水銀マンメーターによつて比較的満足すべき結果が得られた。

終りにのぞみ、本試験の實施を敢行された日本機械學會水車研究部會ならびに日本發送電株式會社關係各位、試験實施に御協力を賜つた日本發送電株式會社寢覺發電所及び同社木曾川支社の各位、鹽水噴射弁の貸與を賜つた運輸省千手發電所島田區長の諸氏に對し深甚なる謝意を表するとともに、本稿の發表を許可された水車研究部會に厚く御禮申し上げる次第である。

なお本試験の遂行については、日立工場前原検査部長（當時）、小森谷水力設計課長の有益な御忠言を賜わりまた日立工場志村敬二、川崎廣、藤原勝喜三氏、日立研究



所鷺谷正海、大谷博信兩氏等各位の熱心な御協力をいた  
いた。こゝに記して感謝の辭にかえることとする。

参 考 文 献

- (1) 日本機械工業五十年 (日本機械學會編)
- (2) 山崎：日評 27 第 5 號 275~283 (昭 19. 5)
- (3) // : // 29 第 5 號 129~134 (昭 22.12)
- (4) 大戸： // 19 527 (昭 11)
- (5) 池谷：機械學會誌 51 118~119 (昭 23)
- (6) N. R. Gibson : Mech. Engng., Dec. 679

(1923)

- (7) Handbuch der Experimental Physik IV  
I Teil. ss 600~604 IV Kapitel § 10.
- (8) Le Conte : Hydraulics pp 202~205
- (9) 宮崎：芝浦レビュー 17 (昭 13. 7)
- (10) 井上：第 4 回日本工學大會電氣部會豫稿(2)  
20~21 (昭 15. 4)
- (11) 岡：第 17 回電氣三學會聯合大會豫稿 (2)  
4 (昭 15. 10)

# 特 許 紹 介

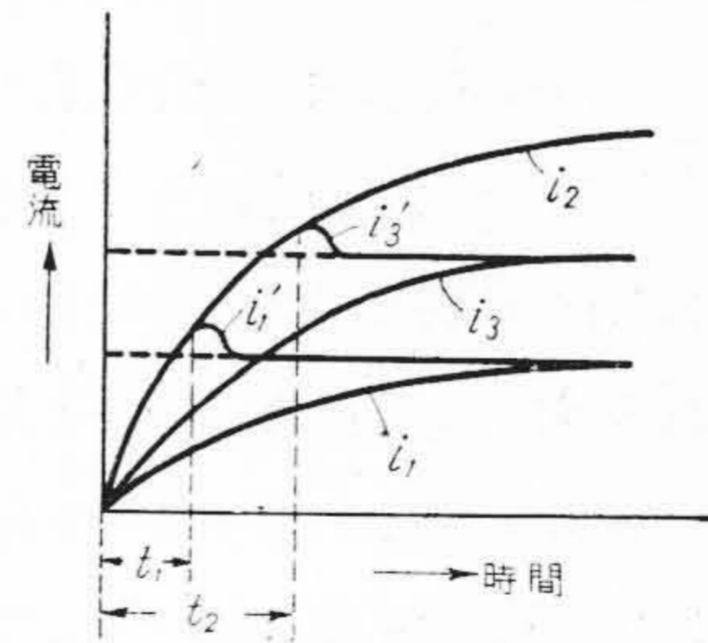
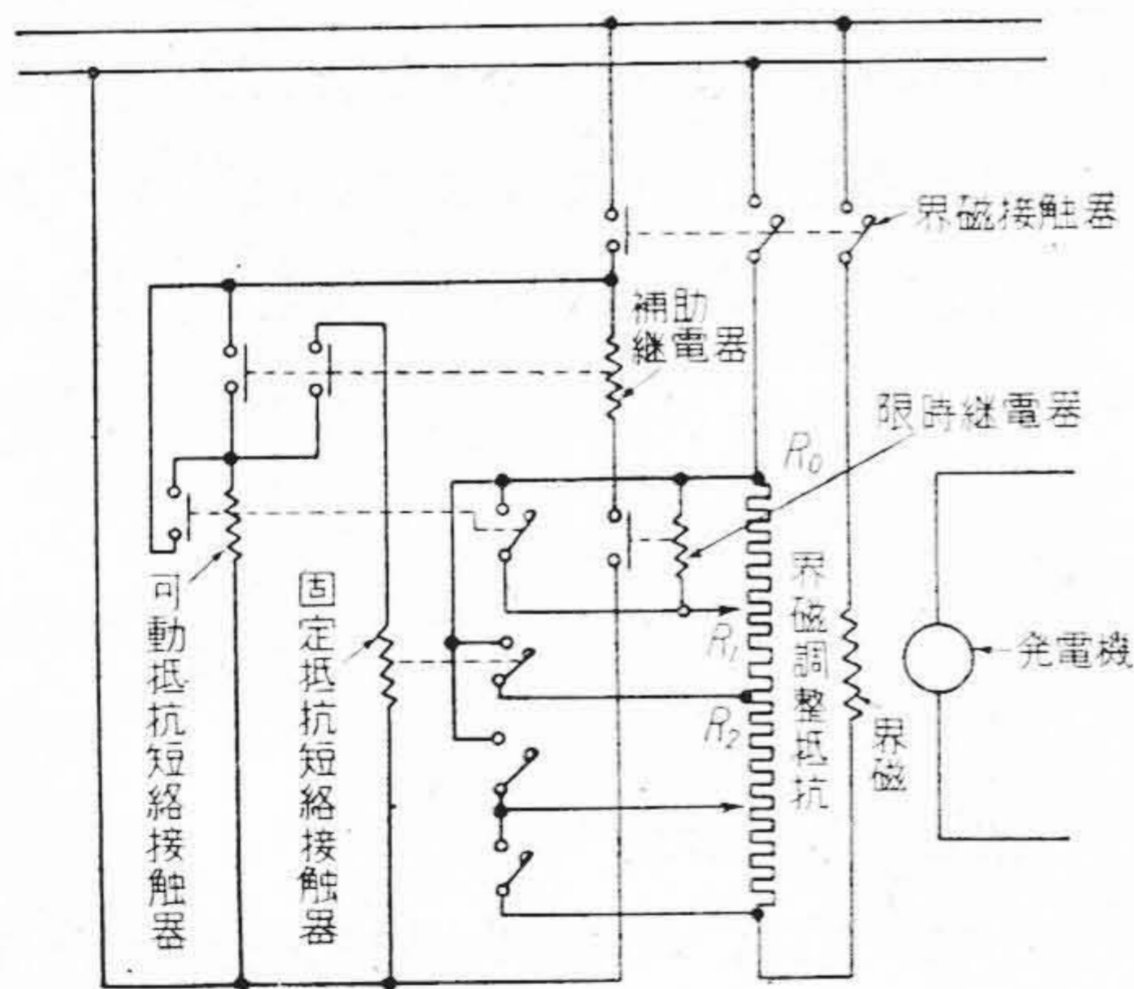
## 電 氣 機 界 磁 急 速 勵 磁 装 置

特許第 180919 號

泉 千 吉 郎  
白 土 忠 治  
大 和 田 泉

電氣機界磁の電流變化は、界磁回路の時定數に  
従うものであるから、電流値を所望の値に上昇さ  
せるには相當の時間を必要とする。然るに、レオ  
ナード制御による壓延機運轉等の場合に於て、電  
動機速度上昇を急速に行う要求あるときは、發電  
機端子電壓を急速に確立しなければならない。従  
來この目的のもとに、豫め界磁を過勵磁し所期の

るようにした。今界磁接觸器を閉合すると、全抵  
抗を通じて界磁は低勵磁される、同時に限時繼電  
器が附勢され、その接點を通して、補助繼電器を  
附勢し、可變抵抗  $R_0R_1$  間の短絡接觸器及  $R_0R_2$   
間の固定抵抗短絡接觸器を相次いで附勢し抵抗  
 $R_0R_2$  間を短絡し、界磁を過勵磁する。依つて界  
磁電流は、第 2 圖曲線の  $i_1$  で示すように回路の



時定數に従つて上  
昇すべきところ  
を、實際には  $i_2$  と  
なり、 $t_1$  なる時間  
の後限時繼電器が  
動作し、その接點  
を開き、補助繼電  
器を消勢し、前記  
過勵磁を停止す  
る。故に界磁電流

電流値となつたとき、繼電器の動作により、過勵  
磁を停止する方法が行われていたが、界磁調整器  
等に於て、連続的に電流値を設定するようにした  
場合には、過勵磁の度合、並に繼電器の設定値も  
亦これに応じて變更設定する必要があるので、こ  
の装置は複雑且困難となる嫌いがある。

は  $i_1$  の如き曲線を辿り、 $i_1$  なる所望値に短時間  
に達し得るものである。次に端子  $R_1$  を移動し、  
可變抵抗短絡接觸器により短絡される抵抗を増加  
し、 $i_3$  の電流を豫定した場合は、端子  $R_0R_1$  間の  
電壓降下も増大するから、限時繼電器の限時は  $t_2$   
のように長くなり、界磁電流は  $i_3$  の變化を辿つ  
て、短時間に所望値  $i_3$  に達することが出来る。

この發明は斯る場合に、最も合理的で、簡単な  
急速勵磁装置を提供せんとするものである。第 1  
圖の實施例に於ては、界磁調整抵抗の端子  $R_0R_1$   
間に限時繼電器を接續し、端子間抵抗の電壓降下  
により、これを附勢することにより限時を設定す

前記限時繼電器は、端子  $R_0R_1$  の短絡と同時に  
短絡されて限時を開始し、短絡された時の磁束の  
大きさ、即ち端子  $R_0R_1$  間の電壓降下に比例する  
時限を以て動作し、過勵磁を停止する様に動作す  
るから、この装置では特に繼電器時限の調整設定  
を必要としない。而も最も合理的に簡単に所望の  
界磁電流を急速に確立し得るから、特に連続的に  
電流値を設定する必要ある急速勵磁装置として、  
適切且至便である。