

放水路における標準ピトー管群による流量測定

山崎卓爾* 栗須正登**

Discharge Measurement by Standard Pitot Tubes in
After-flow ChannelBy Takuji Yamazaki and Masato Kurisu
Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

The popularization of the performance test of waterwheels in actual operation in a powerhouse has eventually given impetus to the development of the methods of discharge measurement, especially of the pitot tube method and the Gibson method. However, in spite of the serviceability of these two, it has been experienced that there are many cases where their application turns out impracticable because of the constructional feature of the powerhouse. This was just the case with the Akamatsu Power Station, Showa Denko K.K., the performance test of which had been committed to the writers. The writers, after scrupulous preliminary study of the problem, carried out the measurement of the said waterwheel as well as the water quantity in the after-flow channel, using the standard pitot tubes. Although the measurement in this fashion was the first attempt the result proved a success to some extent, while suggesting that it could be given with a higher accuracy if some additional measures were taken in the measurements.

The writers introduce in detail the result of their measurement, the measures they took in the measurement this time, several points to be improved for future occasions, etc.

〔I〕 緒 言

近来我国においては、発電力増強の建前から、現地水力発電所における水車の効率測定がきわめてさかんに行われるようになった。水車の試験において最も問題となるのはその流量の測定で、これに関しては多くのすぐれた研究や試験が行われ、結果がますます信頼できるようになった。筆者らもこれについては種々の方法について現地および研究室において検討を続けてきた。しかし発電所の構造、地形および運転状況などによつては、かならずしも満足すべき方法が見当たらないことが少なくない。たとえば低落差にして、水圧鉄管もきわめて短かく、かつ直線的な部分を得られない場合には、従来行われてい

る塩水速度法、ギブソン法、ピトー管法などはいずれも実施困難か、または精度的に十分でなかつたりして適用し難い場合がある。

このような場合普通放水路における比較的流れの状況の良い場所を選んで、流速計を使用して流量測定を行うことが従来とられた方法である⁽¹⁾。しかし流速計は流れの方向のいかんにかゝらず、流速の絶対値を与えるのみで、測定断面に直角な分速度を示さないものが多く、結果として流量を多く読み取ることになり、精度上思わしくない。近来 Otto Current Meter という方向性を考慮した流速計が作製され⁽²⁾、我国でもしばしば使用されるようになってきた。

筆者らはさらに根本的に標準型ピトー管を多数使用して、水路の一断面で流速と流水方向を細かく測定し、こ

* ** 日立製作所日立研究所

れより流量を求めることが、同種の方法としては最も正確であることを提唱してきたが、今回機会を得て、この方法を昭和電工株式会社赤松発電所において実施して見た。その結果まだ検討すべき多くの問題はあるが、全般的に見てほぼ満足すべき成果が得られたのでここに紹介する次第である。

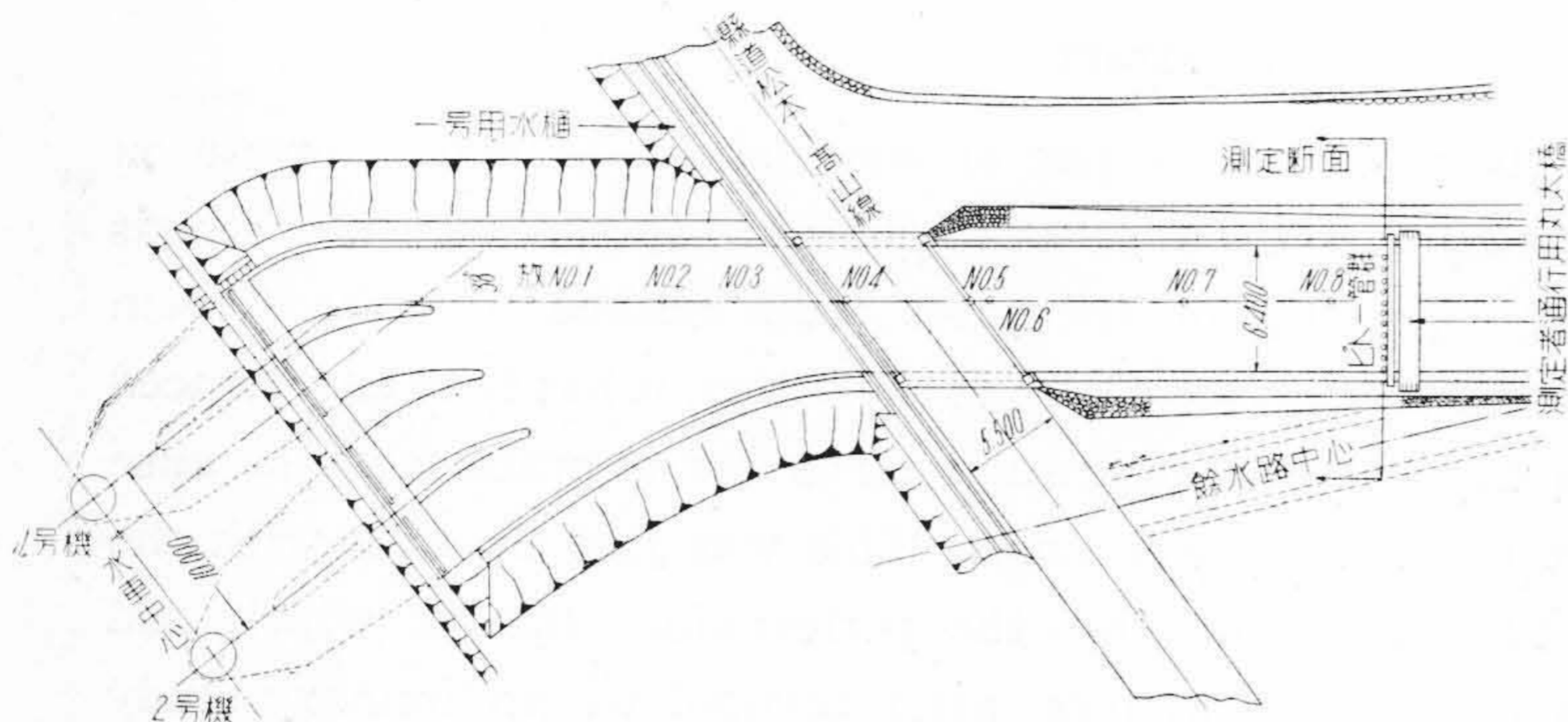
〔II〕 試験水車と試験装置

今回の試験は昭和電工株式会社の依頼により行われたもので、当発電所水系は土砂を多く含んでおり、そのため水車羽根車の磨耗が甚しく、使用水は下流において灌

漑用水として使用されているため、水量の確実な値を知り、運転上の資料とする目的のために試験を要請されたものである。

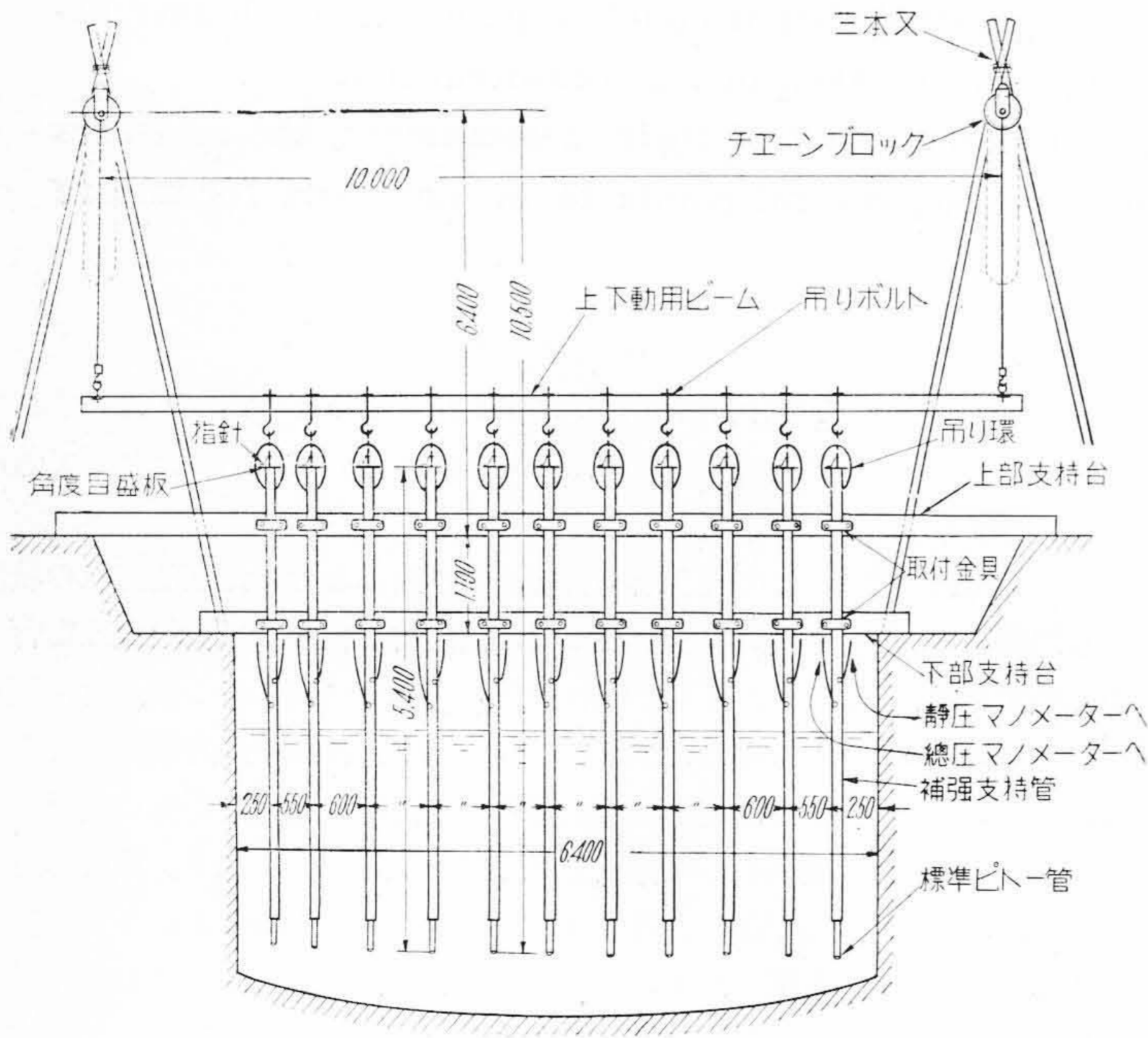
赤松発電所は昭和 25 年に竣工したもので、水車、発電機とも日立製作所の製作になるものであり、水車の仕様はつぎの通りである。

| | |
|------------|-------------------------|
| 最大出力..... | 3,500 kW |
| 型 式..... | 単輪単流縦軸フランシス水車 |
| 台 数..... | 2 |
| 有効落差..... | 20 m |
| 最大水量..... | 21 m ³ /s |
| 回 転 数..... | 214/257 rpm (50/60~) |



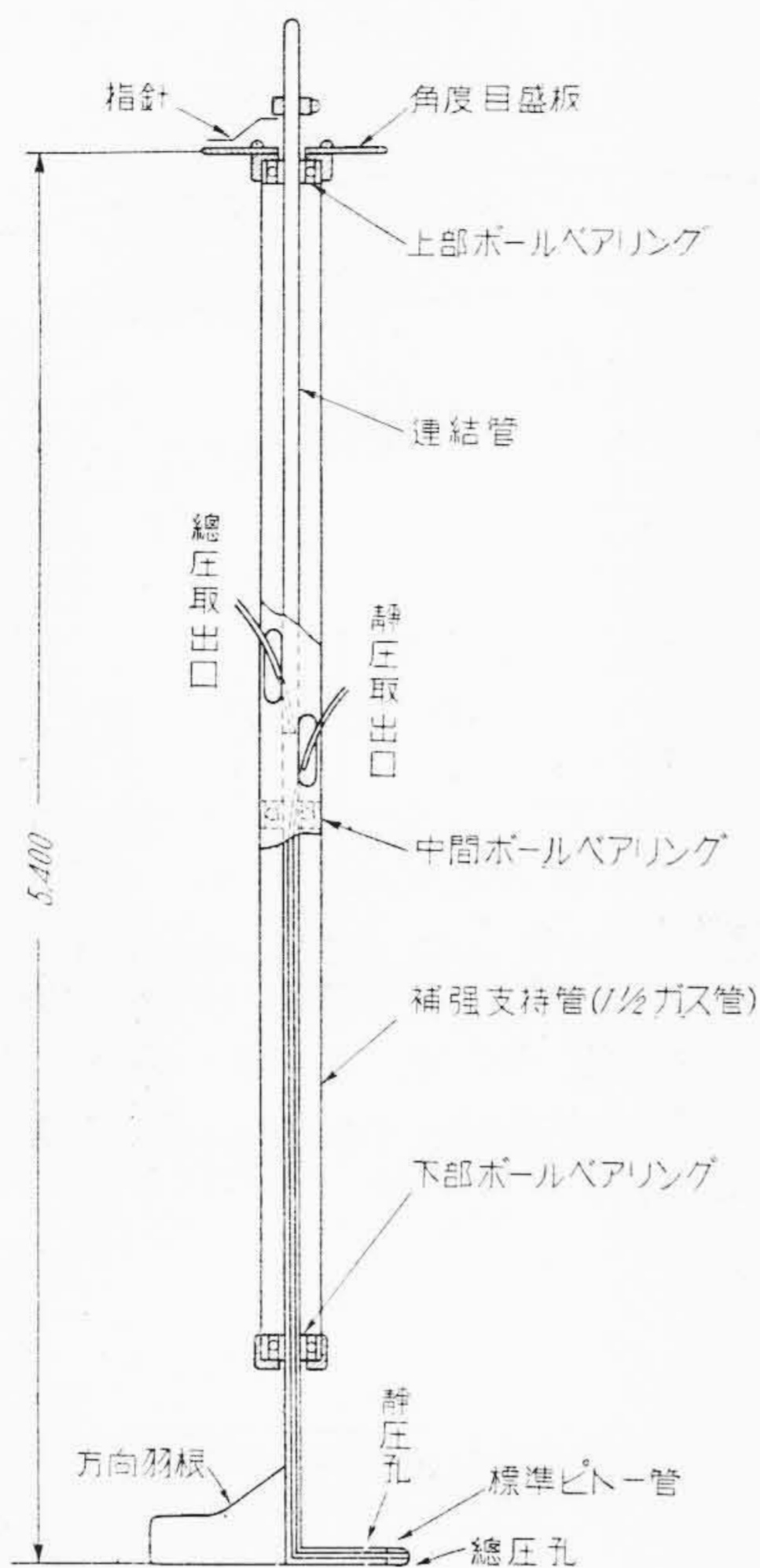
第1図 赤松発電所放水路の平面図
Fig.1. Plan of After-flow Channel of Akamatsu Power Station

本発電所は低落差にして、水圧鉄管も短かいため、放水路以外に適切な流量測定箇所がないが、幸にして放水路は第1図に示すように、比較的長い直線水路を持つているので、ここで測定を行うこととした。第1図において、今回の測定箇所は水車吸出管出口より約60m離れており、直線水路起点より30mの距離にあり、発電所の放水路としては甚だ好条件であるといえる。測定断面の水路の形状は幅6.4m、深さ約3mでほぼ矩形であるが、中央部の下底が少しく下つている。測定に際してはこれらの寸法を実測した。流水の表面は水量の増減によつてことなるが、ほぼ2m程度でこれも各試験ごとに測定した。



第2図 水路断面およびピトー管群組立図
Fig.2. Section of Channel and Setting of Pitot Tubes

第2図は測定断面の形状と、ここに装備したピトー管群の配置および試験操作の説明図である。11箇のピトー管を同一断面における同一水平面上に流れの上流に向つて取つて、これらを1箇の横桁に吊り下げて、両側にとりつけられた巻上装置によつて任意の高さの水平面上に一斉に移動するようにしてある。なおピトー管相互の間隔が狂わないように、横の固定支柱には案内金がついてある。ピトー管の配列については特に側壁附近に重点をおいて配列を考え



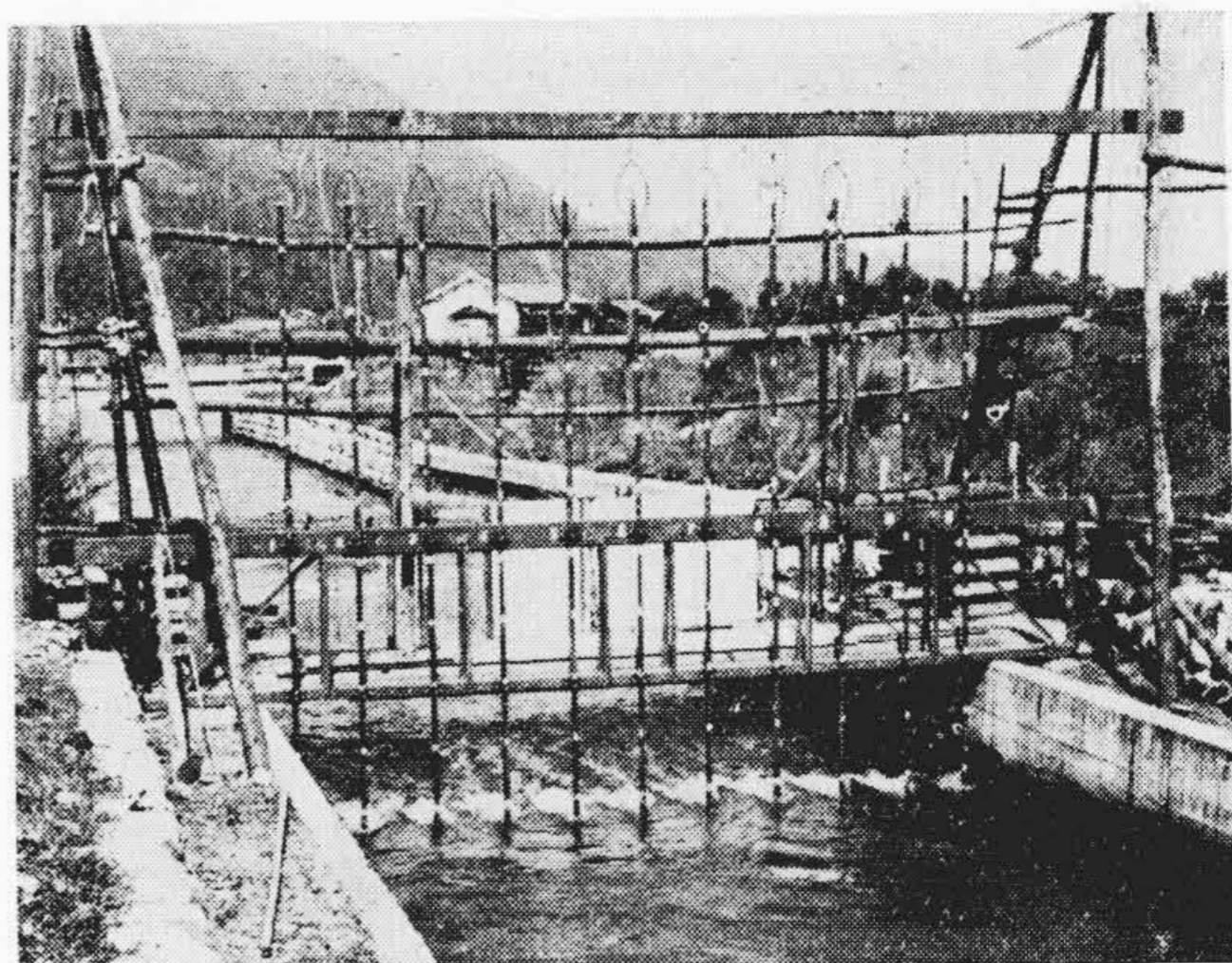
第3図 ピトー管の構造
Fig. 3. Structure of Pitot Tube

図のようにした。

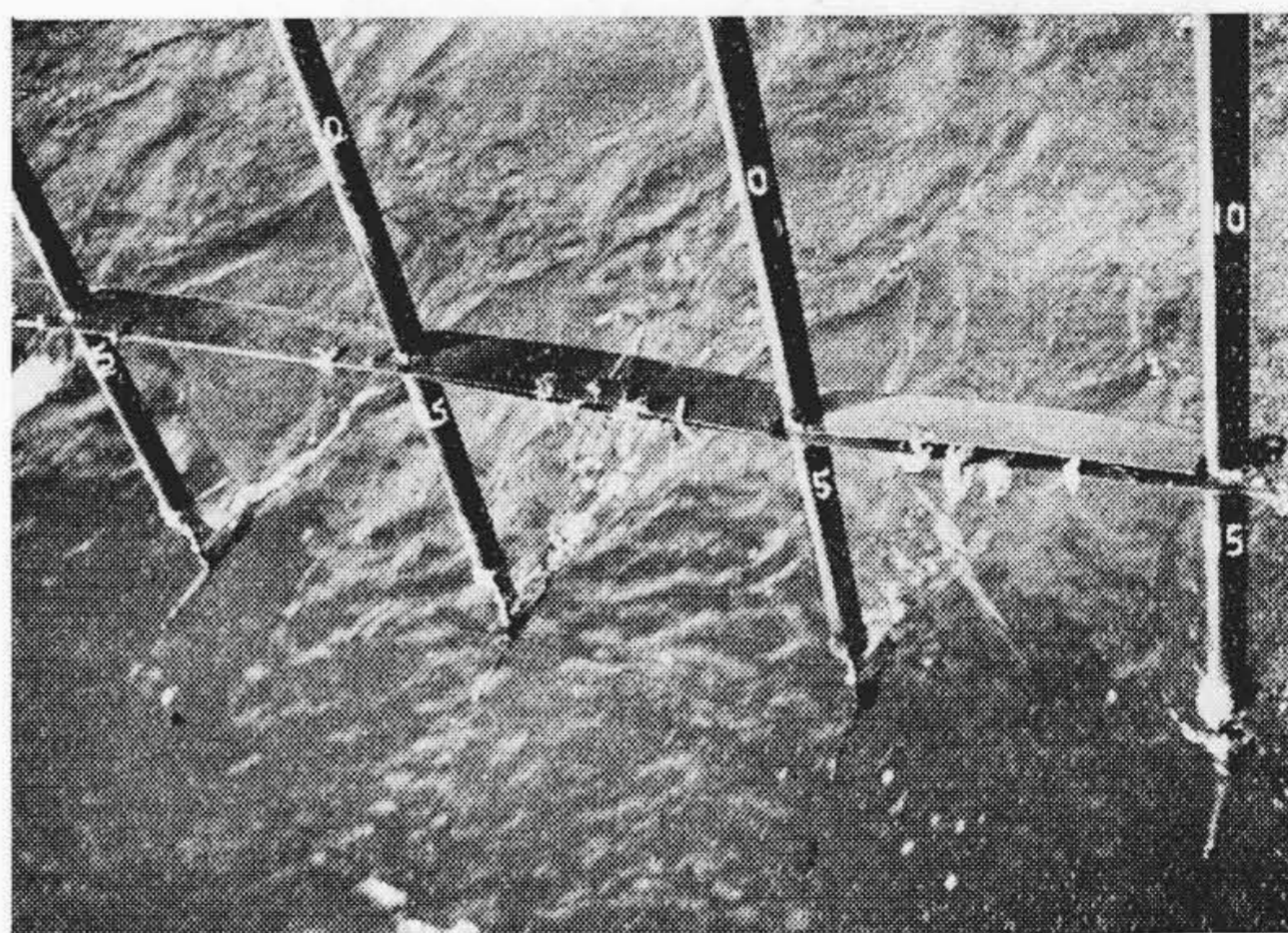
測定に使用したピトー管の構造を第3図に示す。日本標準規格の送風機試験規格⁽³⁾として採用されているピトー管を作製し、その垂直支持管の後部に方向羽根を取付け、ピトー管の方向が流水方向と一致するようにしてある。垂直支持管は下部のピトー管性能に影響すると思われる部分を除き上部は補強のための鋼管で蔽われており、垂直支持管と補強管との間は3箇所の球軸受により接続され、流水の方向に対して垂直支持管のみ自由に回転しうるようにしてあり、回転の角度は頂部の目盛板と指針によつて読み取りうる。補強支持管は上下運動は自由であるが、左右および回転の運動をしないよう、それぞれ案内金で導かれている。

ピトー管の総圧および静圧は、垂直支持管の途中より補強支持管にあけた孔を通して外部に導かれ、ピトー管の回転に支障のいなよう柔軟なビニール管でマンメータに導いてある。マンメータ内の水面指示は読み取りに都合のよいように真空ポンプで吸上げるようにしてある。

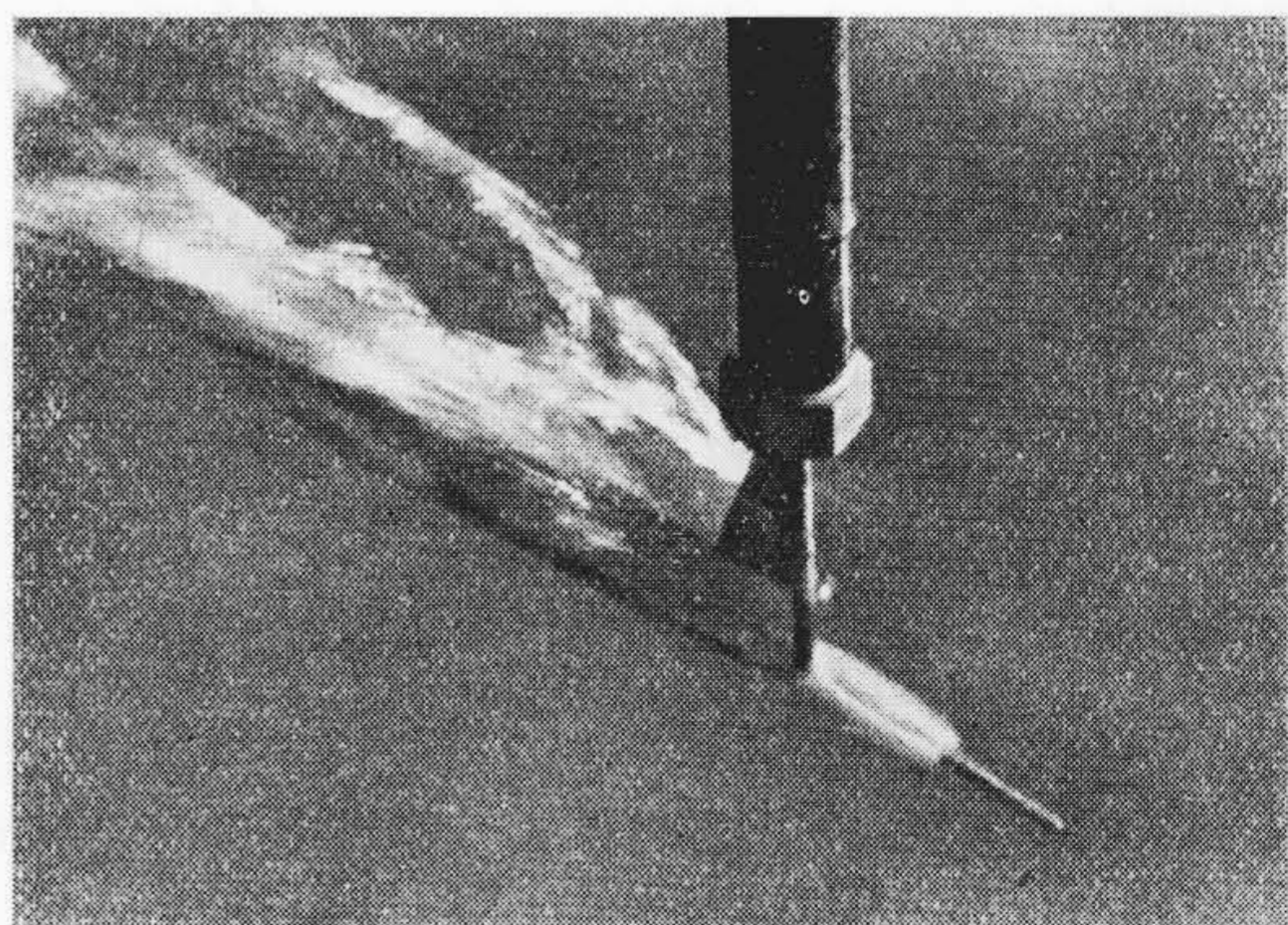
第4図は装置全体の写真、第5図は測定中のピトー管、第6図はピトー管の静圧孔より圧縮空気を噴射して点検



第4図 測定装置の概観
Fig. 4. Photo-View of Instrument



第5図 測定中のピトー管
Fig. 5. Pitot Tubes in Measuring



第6図 静圧孔の噴射試験中のピトー管
Fig. 6. Pitot Tube in Jet Test of Static Hole

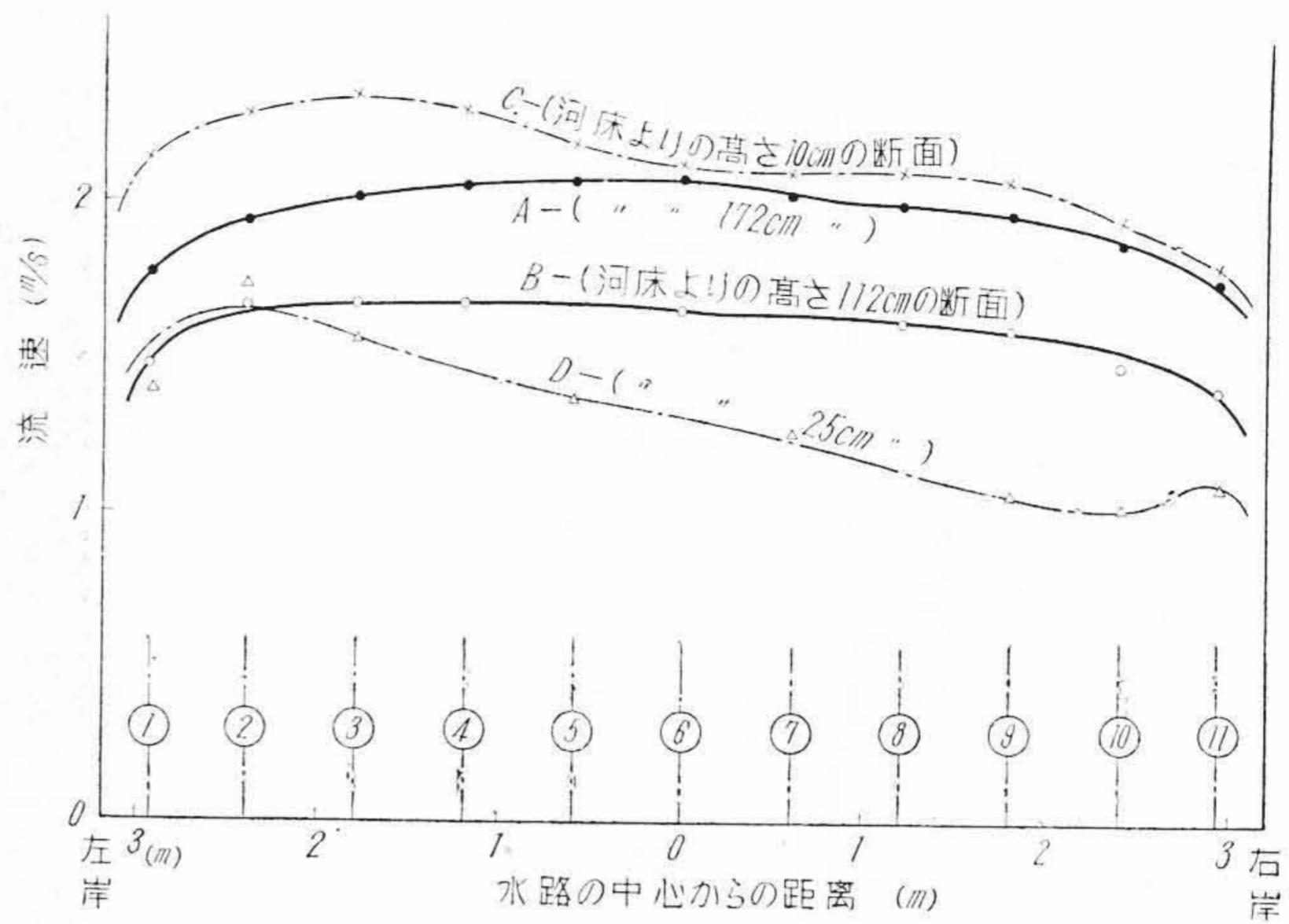
を行つている場合を示す写真である。第7図(次頁参照)は附属マンメータ群を示す。

〔III〕 試 験

試験は一般に行われている効率試験と同様な方法で行つた。たゞし本来ならば1台単独運転で行うべきである。



第7図 測定用マノメータ
Fig.7. Manometers of Pitot Tubes



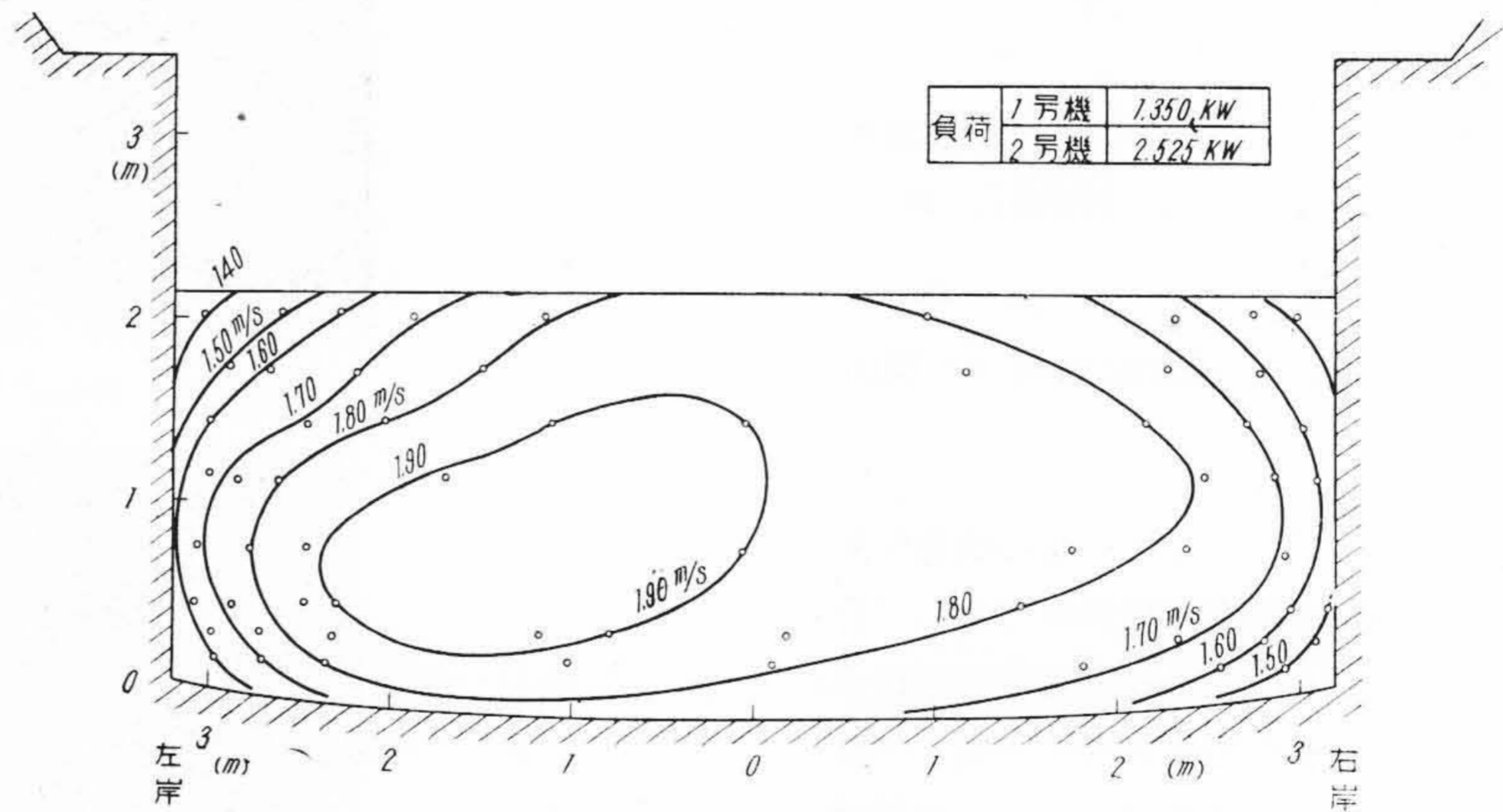
A: 1号機 2,040 kW, 2号機 2,525 kW C: 2号機 2,070 kW, 1号機 2,475 kW
B: 1号機 510 kW, 2号機 2,525 kW D: 2号機 240 kW, 1号機 2,475 kW

第8図 水平流速分布曲線の数例
Fig.8. Examples of Velocity Distribution Curves in Channel

が、需要電力の関係から1台を一定負荷運転とし、これと試験機を併行に運転して試験し、定負荷運転分の水量を差引いて試験機の水量をせざるを得なかつた。

試験は昭和28年10月5日に2号機水車、翌6日に1号機水車について行われたが、最初まず1号機のみを一定出力状態(出力 2,475 kW)に保ち、2号機を停止した状態で測定を行い、ついで1号機はそのまゝの状態として2号機を並列に運転して、6箇所での出力状態で測定し、試験後1号機水車の水量を差引いて2号機水車の水量を求めた。つぎにこれと逆に2号機を負荷 2,525 kW の状態に一定に保ち、1号機を7箇所の出力状態で運転し、2号機水量を差引いて1号機の水量を求めた。

試験時の有効落差は水車入口弁直前の鉄管側壁の静落差を水銀圧力計にて測定し、別に水車中心より放水路水面までの高さを実測し、さらに水量測定によつて求められた水量に相当する水銀圧力計を取りつけた部分の断面の速度水頭を算出し、3者を加えたものをもつて有効落差とした。出力は標準電力計により測定し、得られた出力を発電機効率で割つたものを水車出力とした。

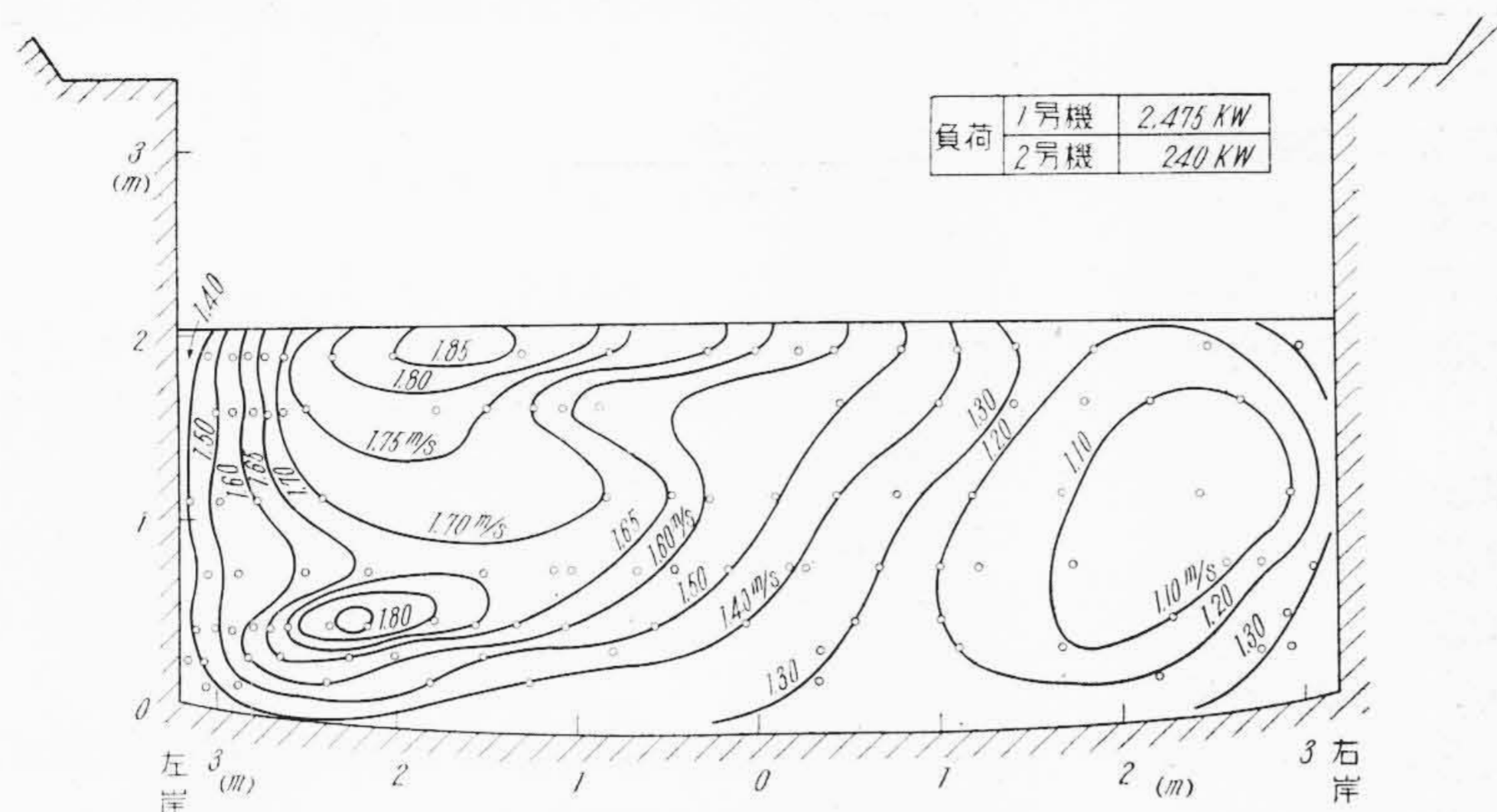


第9図 等流速曲線の1例(1)
Fig.9. An Example of Equi-Velocity Lines (1)

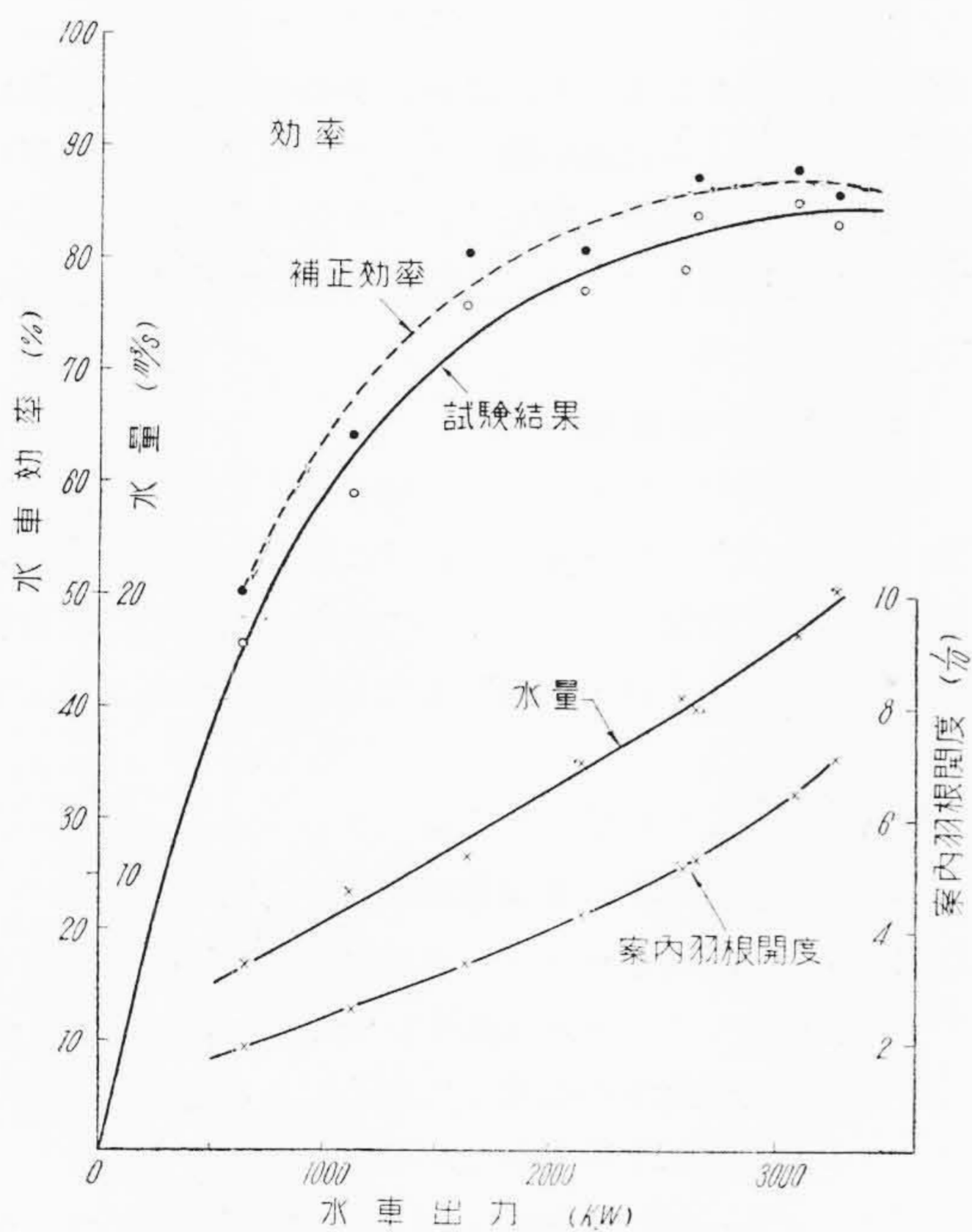
水量の測定はつぎのようにして行つた。

水通路断面積を水平に7または8区分に分け、各区分の中心附近にピトー管を移動して読みとり、下底より順次水面までを測定する。各測定値は流速とその角度とよりなるから、得られた流速の水路断面に直角な成分を算出して第8図に示すような速度分布曲線を求め、これよりその断面の平均流速を求めて水量を決定し、これを全断面について加算して全水量とした。第8図は測定した速度分布曲線の数例を示すものである。

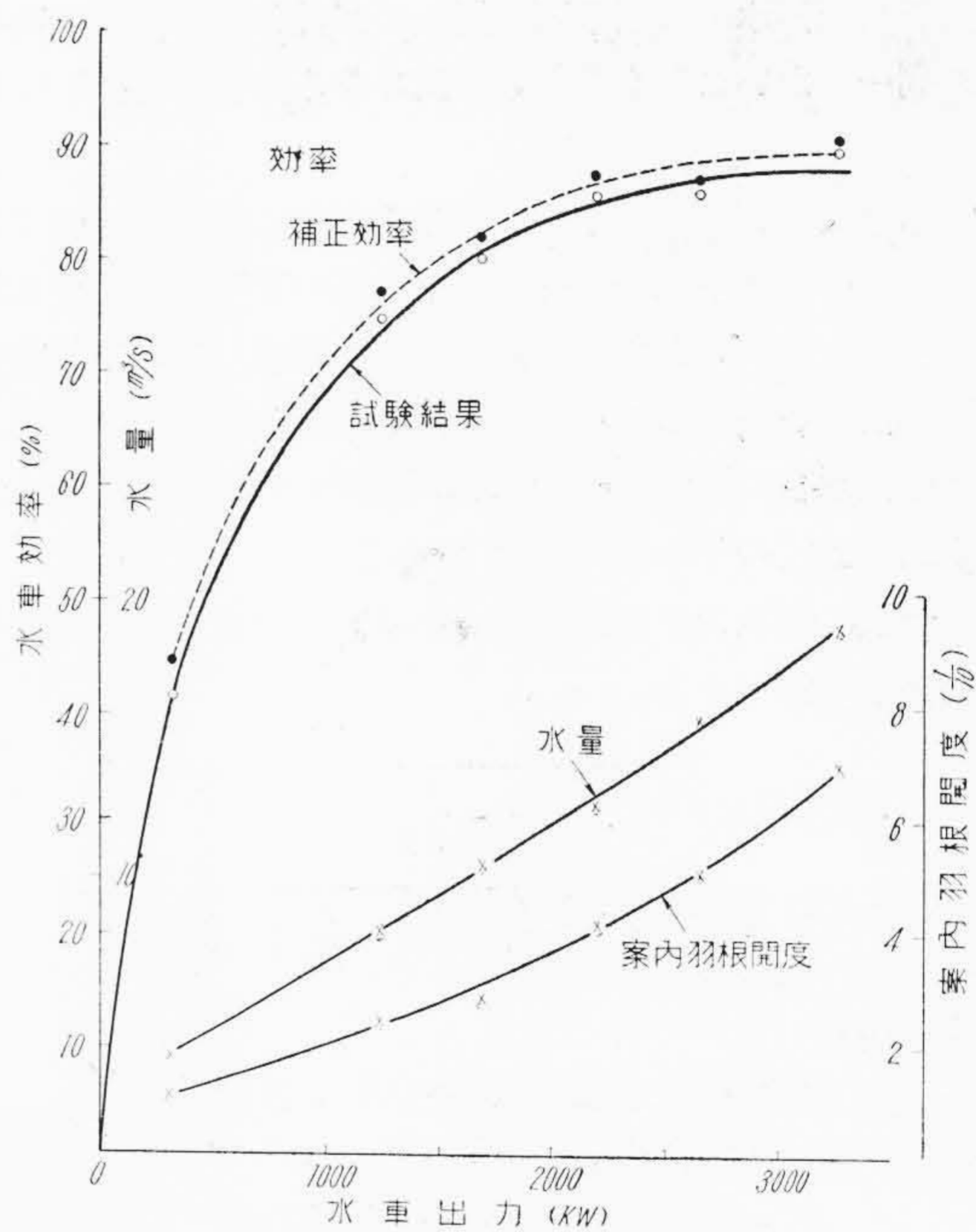
なお水路内の水流の偏りの状況を知るために、各負荷ごとに等流速曲線図を描いて検討したが、第9図および



第10図
等流速曲線の1例(2)
Fig. 10.
An Example of Equi-Velocity Lines (2)



第11図 1号機水車の性能曲線
Fig. 11. Characteristic Curves of No. 1 Turbine



第12図 2号機水車の性能曲線
Fig. 12. Characteristic Curves of No. 2 Turbine

第10図はその2例を示したものである。

以上の測定より求められた水車の性能曲線が第11図および第12図に示されている。

〔IV〕 結果と検討

(1) 水路内の流速分布状態

測定位置における水路内の流速分布の状態は第8図によればほぼ一様と見ることができ、幾分下流に向つて左岸側(第8図の左側)に流速が偏していることがわかる。また1号機と2号機の試験時の速度分布状態が異なるのは、両水車より吐出された水の偏りの度が影響して

いるとともに、下流における流れの状況にもよるものと思われる。

(2) 流れの角度

水路内の流れの角度は、今回の測定からは上下方向の状態は不明であるが、左右方向の偏りは水路軸線の方角に対し、大部分の測定点は $\pm 5^\circ$ 以内にあり、この程度の水路では特に角度の測定を必要としないといえる。これは測定に当つて最も状態の良い測定箇所を選んだことによるものであり、一般にはやはり角度の測定を必要とすると思われる。なお今回でも部分的には 10° または 15° という大きい角度を示す点もあつたこと

は注意しなければならないところである。

(3) 水車の現有性能

第11図および第12図によれば1号機水車の最高効率 η は84%程度、2号機のそれは87%程度であり、あきらかに2号機の方がすぐれている。部分負荷ではこの傾向はさらに甚しく、現状では全般的に2号機の方が1号機よりもはるかにすぐれているといえる。

(4) 水車の損傷状態と原効率の推定

前述のように2号機は1号機に比し性能が優れているが、両水車とも効率はかなり低い値を示している。この原因は当発電所用水は砂の含有が多く、砂による水車の磨耗がはげしく、特に発電所上水槽の構造より見て1号機の方がその影響が大きいことによるものと考えられる。また両水車の羽根車の運転の歴史および修理の時期が同一でないことも損傷の程度の異なる原因と考えられる。

水車の損傷は羽根車および固定部分に現われる筈であるが、今発電所側から提供された羽根車下部ライナと周辺外壁との間の間隙の損傷度のみを考慮して、損傷前の水車性能を推定して見よう。当時の測定結果によれば、1号機水車の間隙は9mm、2号機は4mmであり、水車製作当初のそれは1mmである。

一般に細隙よりの漏洩量 ΔQ はつぎのようにおよその値が推算できる。

$$\begin{aligned} \Delta Q &= C \times \Delta A \sqrt{2g \left(H - \frac{v^2}{2g} \right)} \\ &= C \cdot \pi \cdot D_c \cdot \delta \sqrt{2g \left(H - \frac{v^2}{2g} \right)} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \end{aligned}$$

ここに

C = 細隙の流量係数 = 0.6 と仮定

ΔA = 間隙面積 = $\pi \cdot D_c \cdot \delta$ (m²)

D_c = 羽根車ライナ外径 = 2.187 m

δ = 間隙寸法 = 9 mm (1号機)

= 4 mm (2号機)

= 1 mm (製作当初)

H = 有効落差 = 20 m

Q = 試験時の最大水量 = 20 m³/s

よつて

$$\Delta Q = 0.70 \text{ m}^3/\text{s} \quad (1 \text{ 号機})$$

$$= 0.31 \text{ m}^3/\text{s} \quad (2 \text{ 号機})$$

また水車製作当初に対しては

$$\Delta Q_0 = 0.08 \text{ m}^3/\text{s} \quad (1, 2 \text{ 号機とも})$$

これより間隙部の磨耗により増大した漏洩水量は

$$\Delta Q_1 = 0.70 - 0.08 = 0.62 \text{ m}^3/\text{s} \quad (1 \text{ 号機})$$

$$\Delta Q_2 = 0.31 - 0.08 = 0.23 \text{ m}^3/\text{s} \quad (2 \text{ 号機})$$

となる。

以上より求めた増加水量を差引いて、水車効率を補正すれば

$$\eta' = \frac{Q}{Q - \Delta Q_{(1 \text{ or } 2)}} \eta$$

となる。

以上の計算には流量計数 C を0.6と仮定したが、この数値は間隙入口部が直角の鋭い形状の場合の係数であり、実際には損傷によつて丸味を持つておるから、さらに大きい値をとる筈であるが、反対に回転によつて C の値が幾分小さくなるので、こゝでは一応0.6をそのまま用いた。

以上の推定による結果の水車効率は、1号機で87%、2号機では88.5%程度である。上述のような推定はきわめて大略のものであり、かつ下部ライナの間隙部のみを考慮した結果であるから、これ以外の他の部分の損傷を考慮すれば、さらに高い値がえられる筈で、この水車の製作当初の性能はほぼ等しくかつ今回の推定以上のものであつたと確言してよく、当初の予想性能を十分上回つていたものと考えられる。

(5) 測定の精度

本試験は新しい試みであり、他の多くの経験を持つ方法とはおのずから同一視するわけにはゆかないが、結果として正確な数値はえられなかつたが、大局的には信頼できる結果がえられ一応成功したものといつてよいと考える。

精度に影響した因子としては

(1) 試験機水車の単独運転を行えなかつた。

(2) ピトー管用マノメータ内の気泡の除去がかなりむづかしく(冷水が暖かい大気中に出るため、水中の含有空気が遊離して来る)ある程度の気泡による誤差はまぬかれなかつた。

(3) ピトー管は支持管を軸として回転するので、流水方向は羽根の部で決定されるのに、測定はこれより上流のピトー管頭部で行つていたので、多少そこにくいちがいがある。

などが上げられ、これらについてはさらに改良工夫が必要であり、これにより精度はずつと向上することは当然である。

[V] 結 言

放水路における標準ピトー管群による流量測定法は、従来あまり行われた例をきかなかつたが、今回赤松発電所においてこれを実施し、最初の試みにもかゝらず、ある程度の成功をおさめた。

成績の結果によれば、本発電所における試験当時の水車性能は砂による磨耗のためかなり低下しているが、製

作当初の性能は磨耗量より推定してきわめて良好なもので、当初の予想値を十分上回るものであるとみとめられた。また今回の流量測定法については技術的にまだ欠陥があるが簡単な改良を施すことにより、測定精度はさらに向上することがあきらかとなつた。

終りに臨み本試験が大規模な設備で行われたにもかかわらず、積極的にその実施の実現に尽力下された昭和電工株式会社当局の御決意に深い敬意を表するとともに、試験実施に際し終始献身的な御援助と御協力をいただいた同社塩尻工場田中製造部長、桜井電気課長、本社駒木

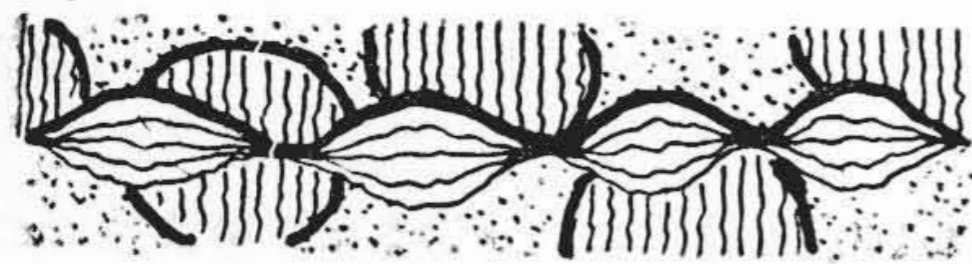
根技師、赤松発電所小出係長および発電所従業員各位に厚く感謝の意を表する次第である。なお本試験ならびにその結果の考察に対し日立製作所日立工場内関係者各位特に小森谷、深栖、高橋、外岡の諸氏より有益な御注意をいただいたことを附記して謝辞に代える次第である。

参 考 文 献

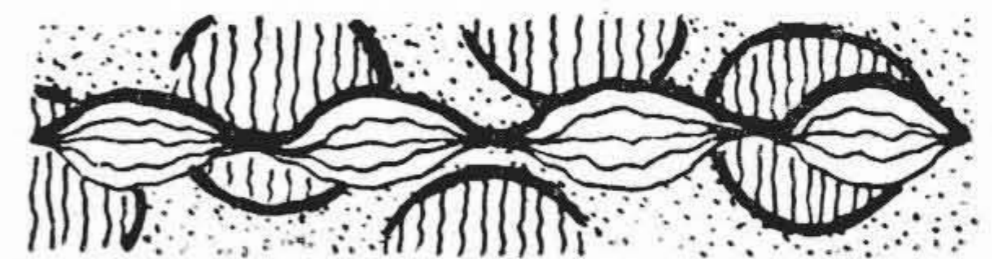
- (1) 電研月報： 蘭越発電所における流量測定
(昭 26. 10 および 昭 28. 8)
- (2) 山崎： 機学誌 57 425 362~367 (昭 29-6)
- (3) 田中： 機学誌 40 240 283 (昭 12-4)

日立製作所社員社外寄稿一覧 (昭和 29年 7 月分受付)

| 寄 稿 先 | 題 名 | 執筆者所属 | 執 筆 者 |
|-------------|---|----------------------|-------------------------------------|
| 照 明 学 会 | サ ー ミ ス タ 温 度 計 | 中央研究所 | 二 木 久 夫 |
| 特 殊 鋼 倶 楽 部 | 日 立 安 来 工 場 紹 介 | 本 社 | 江 村 嘉 徳 |
| 白 桃 書 店 | 機械工業における設備政策 MAPI 方式の紹介を中心として | 本 社 | 村 川 武 雄 |
| 家庭電気文化会 | 洗 濯 機 と そ の 取 扱 い | 多 賀 工 場 | 石 垣 忠 保 |
| 電 力 社 | ア メ リ カ の 電 力 | 日 立 工 場 | 柴 田 万 寿 太 郎 |
| 中央熱管理協議会 | 鋳 型 乾 燥 | 亀 有 工 場 | 割 石 官 市 孝 須 藤 利 孝 |
| 日本動力協会 | 南 米 の 電 力 事 情 | 本 社 | 吉 山 博 吉 |
| 真空技術研究会 | サ ー ミ ス タ 真 空 計 に つ い て | 中央研究所 | 近 藤 弥 太 郎 |
| 交 通 協 力 会 | 最近の中型ディーゼル機関車について | 笠 戸 工 場 | 小 野 栄 男 伊 達 正 |
| 交 通 協 力 会 | 形 式 シ キ 140 大 物 車 | 笠 戸 工 場 | 大 江 昇 |
| 養 賢 堂 | 石 炭 燃 焼 ガ ス タ ー ビ ン (1) | 日 立 研 究 所 | 古 賀 善 雄 |
| テレビジョン学会 | 工 業 テ レ ビ ジ ョ ン の 応 用 | 中央研究所 | 武 井 幸 夫 |
| 日本電報通信社 | 日 立 の 車 輜 紹 介 | 本 社 | 河 合 輝 |
| 日本機械学会 | 蒸 気 タ ー ビ ン の 調 速 機 特 性 | 日 立 工 場 | 桑 野 幸 三 |
| 全国炭砒技術会 | 防爆型ジーゼル機関車およびウイリソン自動連結器 | 笠 戸 工 場 | 森 脇 斌 雄 |
| 全国炭砒技術会 | 80HP コールカッタの性能について | 亀 有 工 場 | 渋 谷 英 寅 盛 武 賢 |
| 産業機械協会 | 圧 縮 機 お よ び 送 風 機 の 取 扱 法 | 川 崎 工 場 | 印 牧 宗 一 郎 |
| 高 圧 ガ ス 協 会 | T O - プ ラ ン ト (低 圧 空 気 分 離 装 置) の 理 論 と 運 転 成 績 | 日 立 工 場 日 立 研 究 所 | 松 本 政 嘉 吉 松 本 田 山 雄 前 杉 山 繁 千 |
| 日本鉄道車輜工業協会 | 形 式 シ キ 140 大 物 車 | 本 社 | 中 山 栄 二 郎 |
| オ ー ム 社 | コ ン デ ン サ 起 動 単 相 誘 導 電 動 機 | 多 賀 工 場 | 秋 山 幸 夫 |



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 | 207392 | 巻 上 機 の 保 安 装 置 | 日立工場 | 檜 垣 登 治 白 土 忠 博 高 品 | 29. 8. 18 |
| " | 207409 | 直 流 饋 電 線 の 保 護 装 置 | 日立工場 | 三 田 勝 茂 | " |
| " | 207410 | 避 雷 器 動 作 記 録 器 | 日立工場 | 高 橋 弘 一 平 山 和 夫 | " |
| " | 207411 | ディーゼル・エンジン冷却水循環方法 | 笠戸工場 | 小 野 栄 男 横 井 元 昭 | " |
| " | 207412 | 球 状 黒 鉛 鋳 鉄 の 製 造 方 法 | 亀有工場 | 小 池 敬 一 谷 口 実 | " |
| " | 207413 | 灰などをポンプにより輸送する装置 | 亀有工場 | 寺 橋 田 進 橋 本 哲 夫 | " |
| " | 207415 | ポ ン プ の 安 全 装 置 | 亀有工場 | 堀 田 正 雄 | " |
| " | 207418 | ギ ャ ク ラ ッ チ | 亀有工場 | 波 谷 英 寅 若 森 俊 郎 | " |
| " | 207391 | 圧 縮 機 な ど の 給 油 装 置 | 栃木工場 | 吉 田 稻 次 郎 | " |
| " | 207390 | 合成樹脂に金具を気密的に埋込む成型法 | 多賀工場 | 友 部 一 郎 加 藤 馨 | " |
| " | 207408 | 回 転 体 軸 受 給 油 装 置 | 多賀工場 | 城 宝 為 男 大 岡 宏 | " |
| " | 207417 | 電解蓄電器陽極用アルミニウム箔の粗面度調節方法 | 亀戸工場 | 野 崎 松 郎 池 義 一 | " |
| " | 207407 | 多数共同加入電話における電流供給方式 | 戸塚工場 | 江 森 五 郎 | " |
| " | 207414 | 鋳 型 台 車 持 上 装 置 | 桑名工場 | 宇 津 巖 森 本 功 | " |
| 特 許 | 207416 | 白鉄のマレブル化焼鈍の難易判定方法 | 中央研究所 | 北 川 公 夫 柴 田 則 夫 | 29. 8. 18 |
| 実用新案 | 416596 | 水 力 発 電 所 の 状 態 表 示 装 置 | 日立工場 | 坂 本 虎 雄 | 29. 8. 19 |
| " | 416597 | 電 磁 操 作 式 信 号 指 示 器 の 制 御 装 置 | 日立工場 | 白 土 忠 治 高 品 博 | " |
| " | 416598 | 分割型電気機巻線の巻回間短絡保護装置 | 日立工場 | 谷 崎 美 敏 | " |
| " | 416600 | 豎 軸 歯 車 装 置 の 給 油 装 置 | 日立工場 | 菊 地 弥 十 郎 佐 藤 一 夫 | " |
| " | 416601 | 調 速 機 用 発 電 機 取 付 装 置 | 日立工場 | 菊 地 弥 十 郎 佐 藤 一 夫 | " |
| " | 416602 | 汽 罐 給 水 加 熱 装 置 | 日立工場 | 前 田 繁 | " |
| " | 416609 | 函 入 電 気 開 閉 器 | 日立工場 | 斎 藤 亮 二 沢 幡 寅 治 | " |
| " | 416610 | 高 速 度 遮 断 器 目 盛 調 整 装 置 | 日立工場 | 竹 村 伸 一 | " |
| " | 416611 | 函 入 開 閉 器 操 作 装 置 | 日立工場 | 河 合 留 八 | " |
| 実用新案 | 416612 | 気 中 遮 断 器 | 日立工場 | 高 橋 健 造 | 29. 8. 19 |

(第42頁へ続く)