

四国電力株式会社大森川発電所 ポンプ水車および発電電動機の運転実績について On the Operation Results of Pump Turbine and Generator Supplied to OMORIGAWA Power Station, Chugoku Electric Power Co., Inc.

長 沼 進* 細 井 豊** 高 橋 昭 吉**
Susumu Naganuma Yutaka Hosoi Shōkichi Takahashi

内 容 梗 概

わが国最初の大森川発電所用ポンプ水車および発電電動機は昭和30年以来模型によるあらゆる研究をへて製作、すえつけを完了し昭和34年6月に試運転、昭和34年8月に官庁試験を終了し営業運転に入り以後好調な運転をつづけている。本文は大森川発電所用可逆ポンプ水車および発電電動機に対する各種試験結果と運転実績について概説したものである。

1. 緒 言

四国電力株式会社、大森川発電所は、吉野川最上流の支流である大森川の上流に貯水池を設け、これを上部貯水池とし、既設長沢貯水池を下部貯水池として、発電、揚水をおこなう揚水発電所である。本発電所は落差揚程とも100mをこえるものであり、特に最高揚程は127mにもおよび、しかも国内では最初の可逆ポンプ水車を採用した揚水式発電所である。

昭和30年10月以降四国電力株式会社と共同研究をすすめ、各種の模型試験を実施した結果、各特性とも良好な模型の製作に成功し、かつ運転上の諸問題についてもあらかじめ詳細な検討が加えられていたため、昭和34年6月初旬の試運転以後の各種試験もきわめて順調に進めることができ、昭和34年8月営業運転に入り良好な運転が続けている。ポンプ水車は通常の水車とことなり、ポンプと水車の特性上のかねあい、ポンプのキャビテーション性能などのほか、ポンプの起動、電動機入力遮断時の現象など、運転上特に注意せねばならぬ事項が多いので、ここに大森川発電所用ポンプ水車の試験ならびに運転実績について述べる。

2. 大森川発電所ポンプ水車および発電電動機の仕様

(1) 大森川貯水池および下部長沢貯水池の水位の関係は第1図のとおりであり、大森川貯水池の有効貯水容量は17,320 km³、長沢貯水池のそれは29,100 km³である。

(2) ポンプ水車および特殊な補機仕様

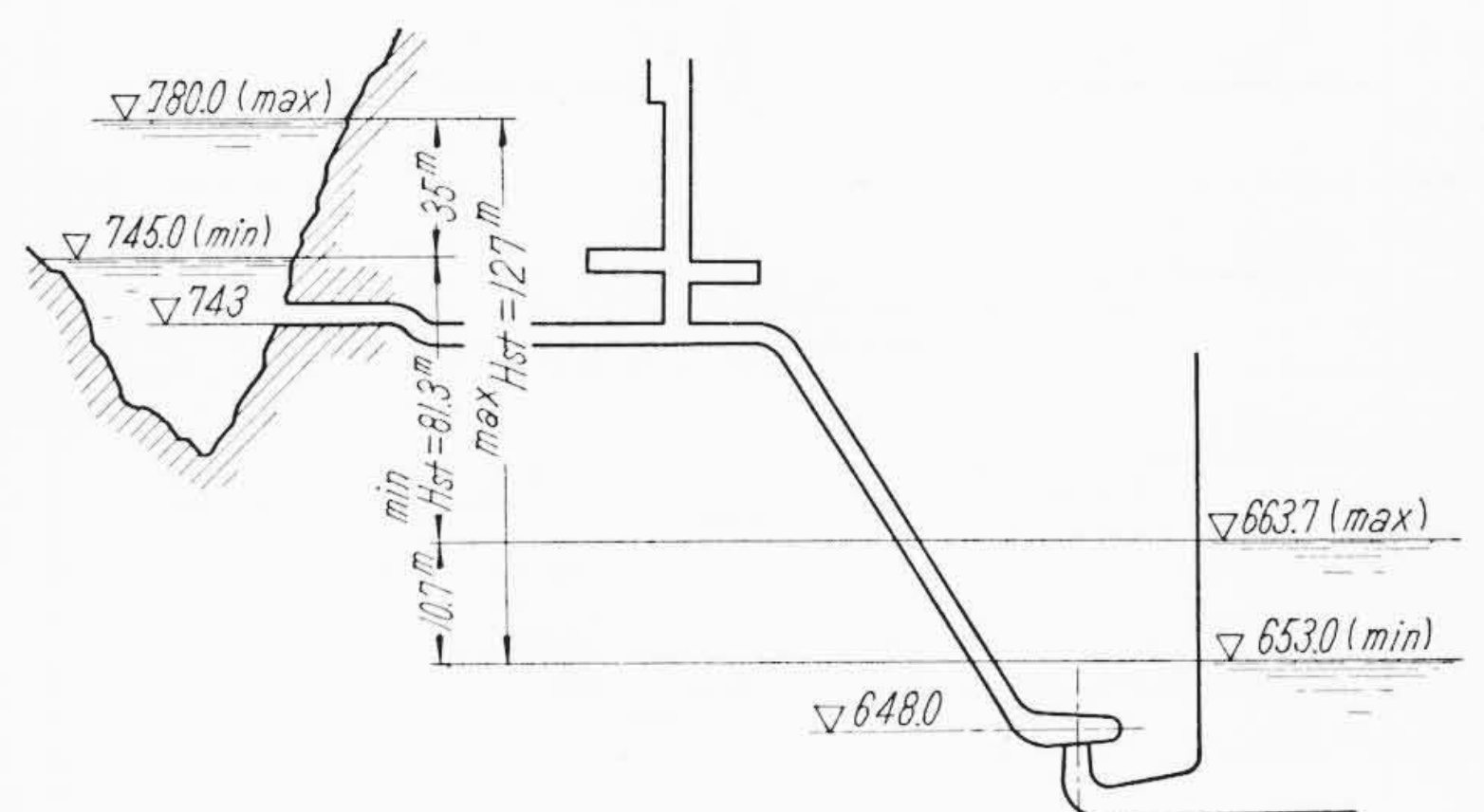
(a) ポンプ水車

水車出力最大	12,200 kW
水車有効落差	118~74.4 m
流量最大	12 m ³ /s
回転数	400 rpm
ポンプ軸馬力	14,300 kW
ポンプ揚程	127.8~92 m
揚水量最大	13 m ³ /s
回転数	400 rpm
吸込高	— 5 m

(b) 入 口 弁

主 弁 形 式	ちょう形弁
側 弁 形 式	針弁
主 弁 口 径	1,600 mm
側 弁 口 径	500 mm

大森川発電所水位変動説明図



第1図 上部貯水池、下部貯水池の水位説明図

(c) 水面押下装置

空気圧縮機

形 式	2 段圧縮式 VTS-FRA 形 × 2 台
最 高 圧 力	23 kg/cm ²
吐 出 量	1.33 m ³ /min
回 転 数	550 rpm
軸 馬 力	15 kW
気 蓄 槽	2 基(常用、予備)
容 量	3.38 × 1, 2.2 m ³ × 1

(3) 発電電動機

発電機出力	14,000 kVA
電動機出力	15,000 kW
電 圧	11,000 V
力 率	0.9/1.0
周 波 数	60~
回 転 数	400 rpm (電動機時は逆転)

(4) 水路および水圧鉄管

導水路 内 径	2,380 mmφ	亘 長	2,464.3m
調圧水槽 水室上部内径	10.0 m	総 高	約 62 m
水圧鉄管 内 径	2.3~1.6mφ	管路長	178.131m

3. ポンプ起動および停止

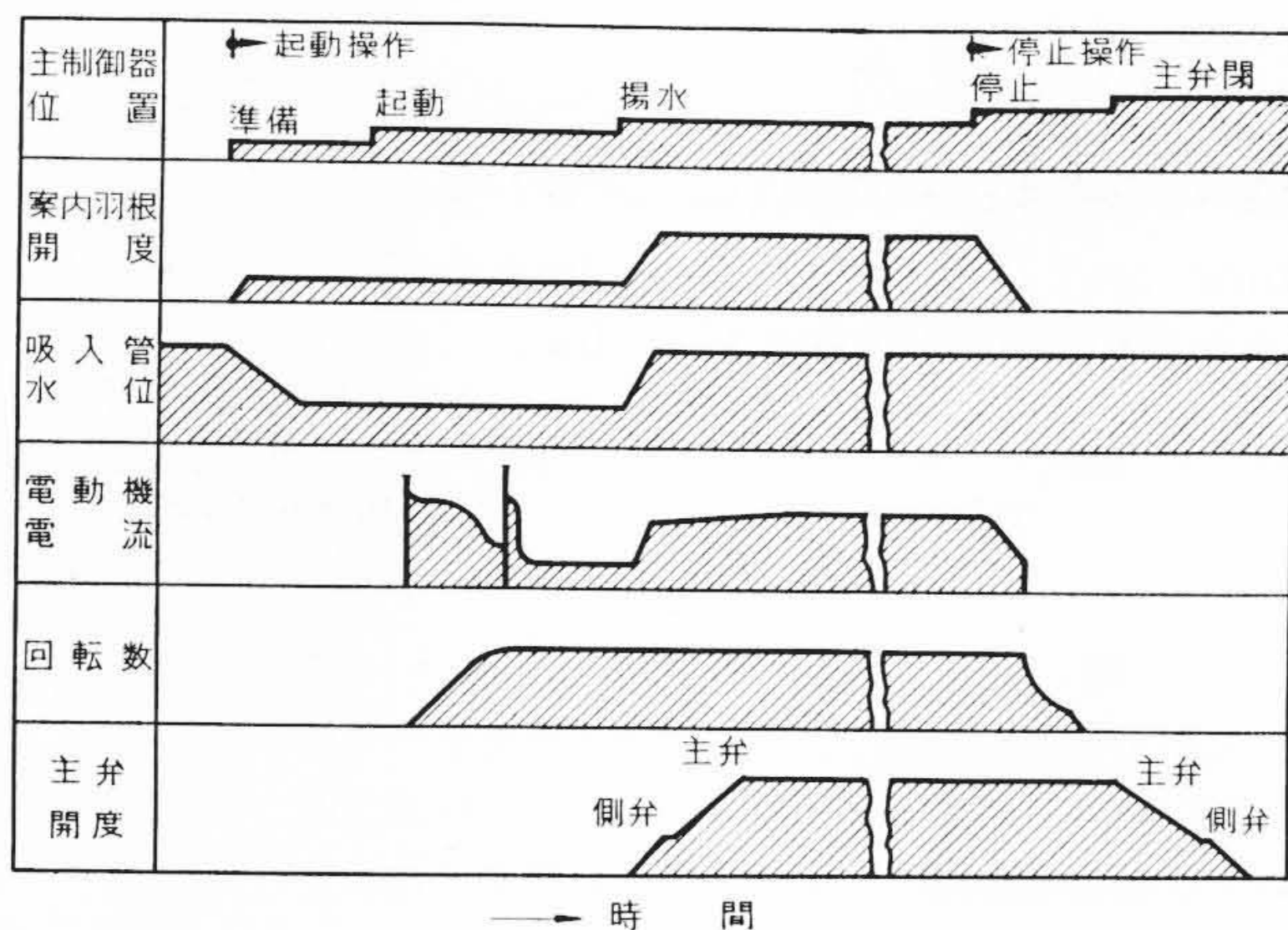
3.1 運転方式の概略

起動および停止の試験結果をのべる前に概略の運転方式をのべる。

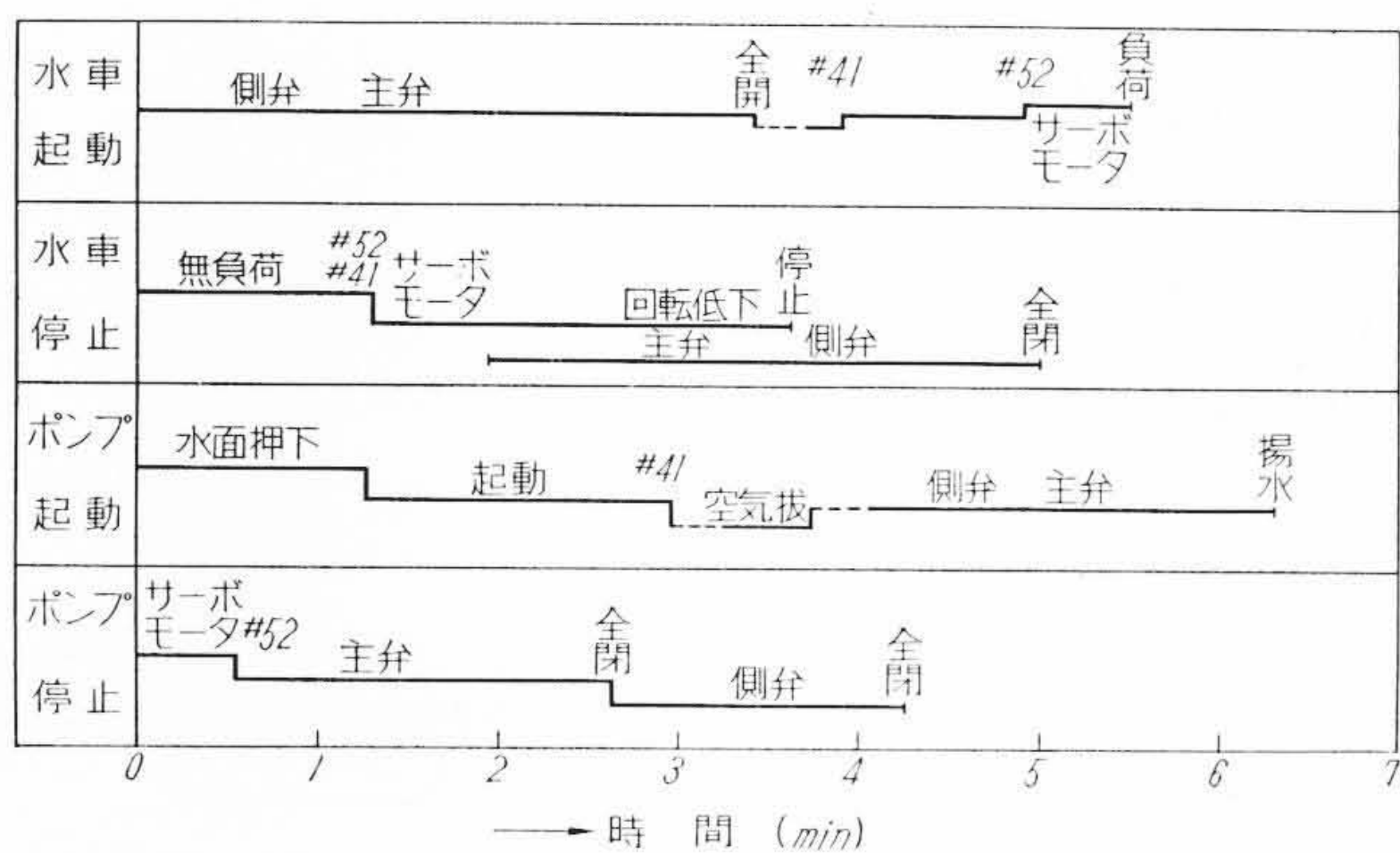
大森川発電所は、7.5km 離れた分水第一発電所を親発電所として遠方監視制御運転ができるように計画された一人制御自動発電所で

* 日立製作所日立工場

** 日立製作所日立研究所



第2, a 図 大森川発電所揚水運転順序



第2, b 図 大森川発電所自動起動, 停止試験結果

あり、現在はずでに分水第一発電所より制御運転をおこない無人発電所として運転されている。水車運転、ポンプ運転の切替えを短時間に確実にこなって毎日でも両者の切替えがおこなえるよう考慮されている。

発電運転は通常の水車と異なるところはないが、ポンプ水車の特長として、落差の変動により起動開度、無負荷開度が相当大幅にかわるので水位差調整器により、放水路、上水槽間の水位差に応じて案内羽根の無負荷開度が自動的に調整できるようになっている。

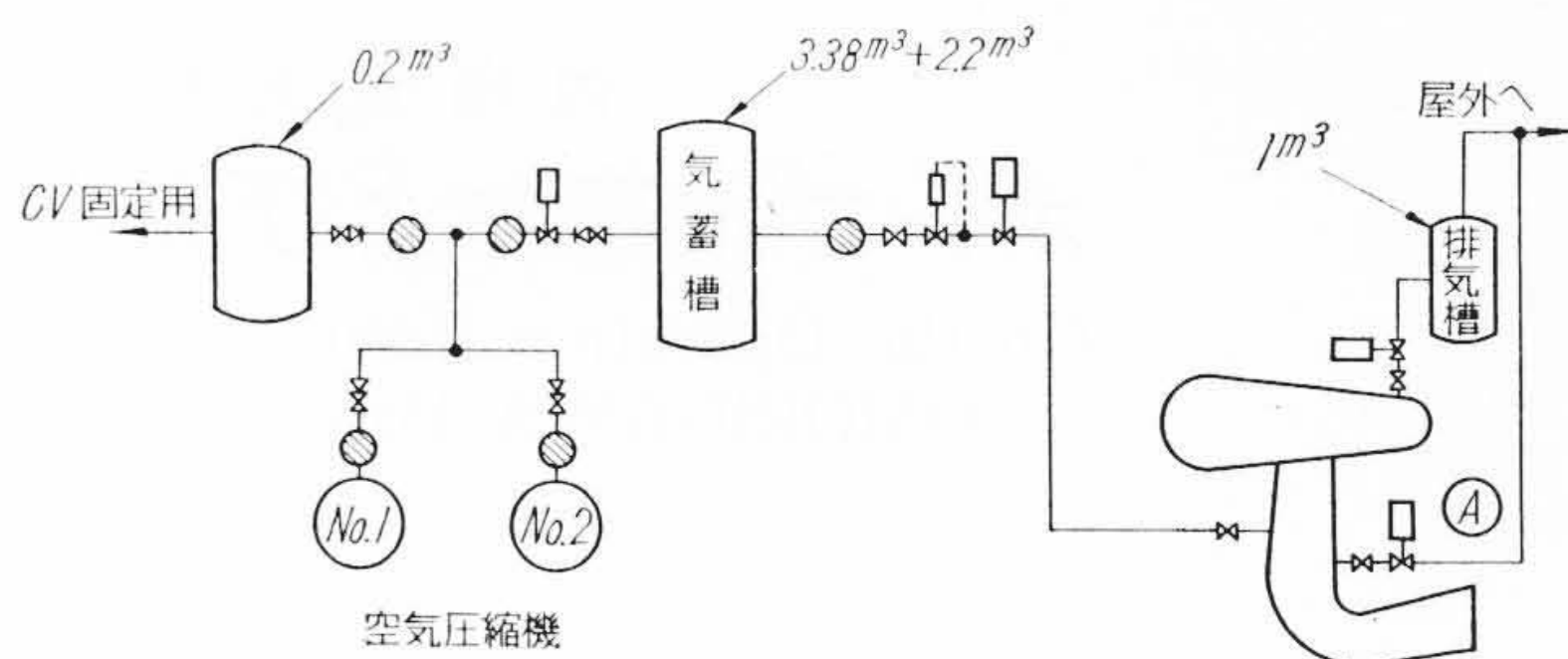
揚水運転は、操作切替器43Bは揚水に切替え、揚水用主制御開閉器1Pによって準備、起動、揚水、停止、主弁閉の5段階として次のように制御がおこなわれる。

(a) 準備

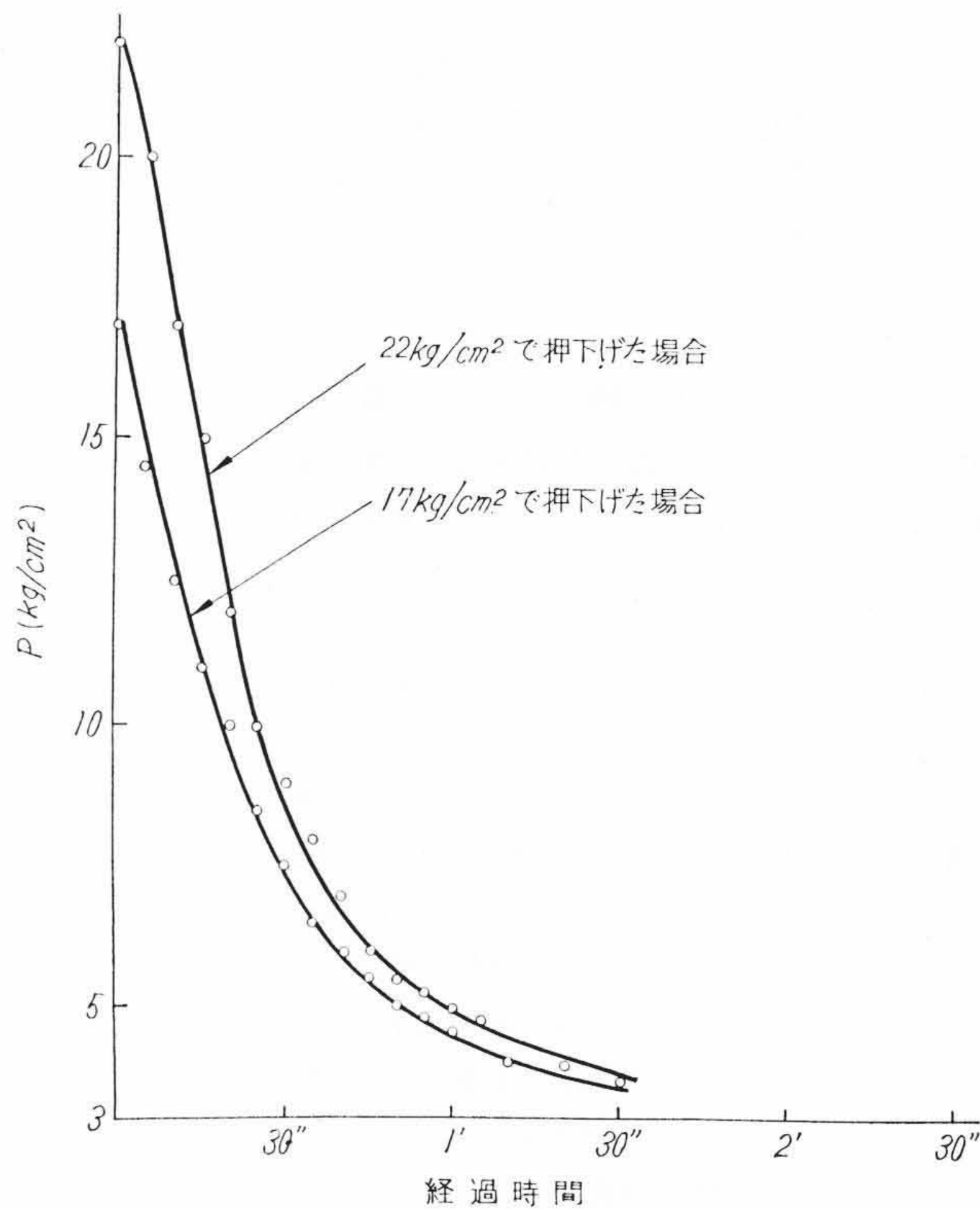
圧油槽油圧、油面、冷却水槽水位、圧縮空気槽気圧、放水路水位などが規定値であり、主弁、側弁が全閉しており、補器類がすべて揚水側に切替えられているという条件が満足されると、ランナ外周間隙部に冷却水を通じ、ついで水面押下げをおこなうと同時に界磁調整器はあらかじめ最適点に整定される。

(b) 起動

次に起動変圧器を線路側より励磁し、ついで電動機起動トルク軽減用高圧油ポンプを起動しスラスト軸受に送油する。これらの動作完了すれば起動用遮断器#6が閉路し電動機は約50%電圧で負荷最少の状態ダンパ巻線により誘導電動機として起動する。電動機速度が上昇して定格速度の約80%となれば、すべり検出器が生かされ、すべり一定値以下(約1.5%)を検出して#6を開路すると同時に主遮断器#52を閉路して全電圧に切替え、若干の时限後、界磁開閉器#41を投入して同期引入れを行う。



第3図 水面押下げ系統図



第4図 気蓄槽気圧低下曲線

(c) 揚水

並列完了となれば、ケーシング内の圧縮空気は排除され、ケーシングが満水となり、この圧力を圧力継電器で検出し、ただちに側弁、ついで主弁と案内羽根が開方向に働き、案内羽根は最適開度で固定され、主弁は全開して揚水運転にはいる。

(d) 停止

案内羽根固定をはずし負荷制御器により徐々に案内羽根をしめ、全閉近くで#52, #41を開路すると同時に案内羽根を全閉ロックする。速度が規定速度の約30%速度となれば制動をかけ停止させる。

(e) 主弁閉

揚水からただちに「発電」に切替える場合は上記停止、すなわち主弁閉のままで操作切替器#43Bを「発電」側に切替え、発電用主制御開閉器#1Gによりただちに発電をおこなうことができる。

第2図aは揚水運転順序を示し、第2図bは現地の自動起動停止の試験結果を示す。

3.2 水面押下げ試験

揚水発電所において、水車、ポンプ直結式の場合はポンプの起動を水車で行うことができるが、可逆ポンプ水車では、発電電動機により起動しなければならない。このため発電電動機も特殊な構造のものが必要となるがポンプ水車自身も、吸出管上部の水面を押下げてランナを空転させるための水面押下げ装置、さらに起動後押下げ

に使用した圧縮空気の排気装置など特殊な配慮が必要となる。

水面押下げ装置の系統は第3図に示すとおりであるが、押下げ用気蓄槽の容量は、下部長沢貯水池の最高水位に対して、すなわち押込み約15mに対し十分押下げ可能なように決められた。

ポンプ水車の押下げ所要容積は約 18m^3 であり15m水柱の圧力に対して大気圧に換算して約 $18 \times (1.5+1) = 45\text{m}^3$ の空気量を必要とする。これに対し気蓄槽は最大圧力 22kg/cm^2 で 3.38m^3 の容積を有し、最小限必要空気量の約170%の大きさとなっている。実際には水面押下げ時に運転している空気圧縮機よりの空気の補充、ポンプ水車各部よりの漏気、さらにポリロープ指数の変化など種々の要素を考慮する必要があるが、水面押下げ試験の結果、いかなる条件でも十分押下げ可能であることが確かめられた。第4図は水面押下げをおこなった場合の気蓄槽の気圧低下状況の一例を示す。

3.3 ポンプ起動後の充水

水面押下げ後、ポンプを起動し、規定回転数に達してから、水面押下げを解除してポンプ水車に水が充水されるときに過渡状態は、あらかじめ模型試験により究明したが、実物機の過渡特性もほぼ模型試験結果と一致している。

充水時において、案内羽根開度を大きな開度に保持しておく、ケーシング内に水が充満されたときに、大きな水圧上昇が起るので、充水時には案内羽根開度を $1/10$ 程度の開度に保つことにより、きわめて静かな充水が可能である。可動案内羽根のないポンプあるいはポンプ水車の場合、かかる操作が不可能であるから、水面押下げをおこなってポンプ起動をおこなう場合はケーシング内の水圧上昇あるいは振動防止のために特別な配慮が必要となろう。

第5図はポンプ運転充水時の模型試験結果を示し、第6図は実物

試験のオシログラフ測定結果を示す。

3.4 ポンプの停止

ポンプ運転中に電動機入力に急に遮断された場合は、案内羽根を急閉鎖してポンプは急停止するが、このときポンプ水車は逆回転することなく停止し、ケーシング内の水圧は水の慣性により一度負圧になり、案内羽根の閉鎖時間を長くとした場合はわずかながら逆流の現象も生ずる。第7図は案内羽根開度 $6/10$ のポンプ運転中に入力を遮断した場合の回転数、ケーシング水圧などの変化を示す。

ケーシング水圧が最低水圧に至る時間は約2.8秒である。

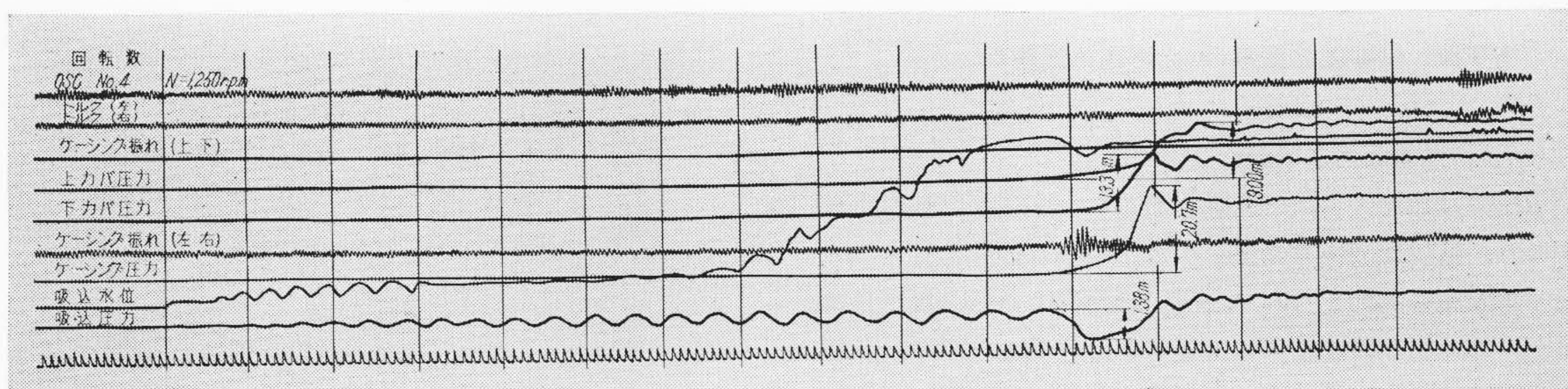
もし上記の場合案内羽根を閉めずにおくと、水が逆流することにより、ポンプ水車は逆回転すなわち水車の回転となりしまいには無拘束速度に達する。これをポンプトリップと称し、あらかじめポンプの正転正流、正転逆流、逆転逆流すなわち水車特性の各特性を各案内羽根開度について模型試験をおこない実物試験においてもほぼ予想通りの結果を得た。そのおもなるものは逆転するまでの時間約8秒、無拘束速度に達する時間は約17秒程度であった。

4. ポンプ水車の運転および特性

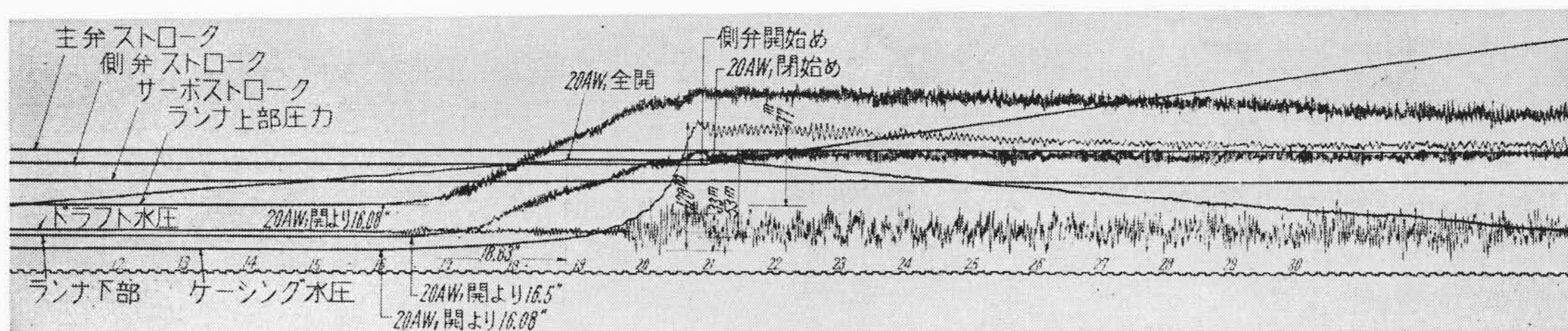
4.1 負荷試験

ポンプ運転と水車運転の負荷試験がおこなわれたが、ポンプ運転と水車運転の間に大きな差はみとめられなかった。ポンプ水車に採用したメタルは、円筒形メタルで特に正逆両回転に対して油膜形成に対しては模型試験を実施し油溝の形状を決定した。

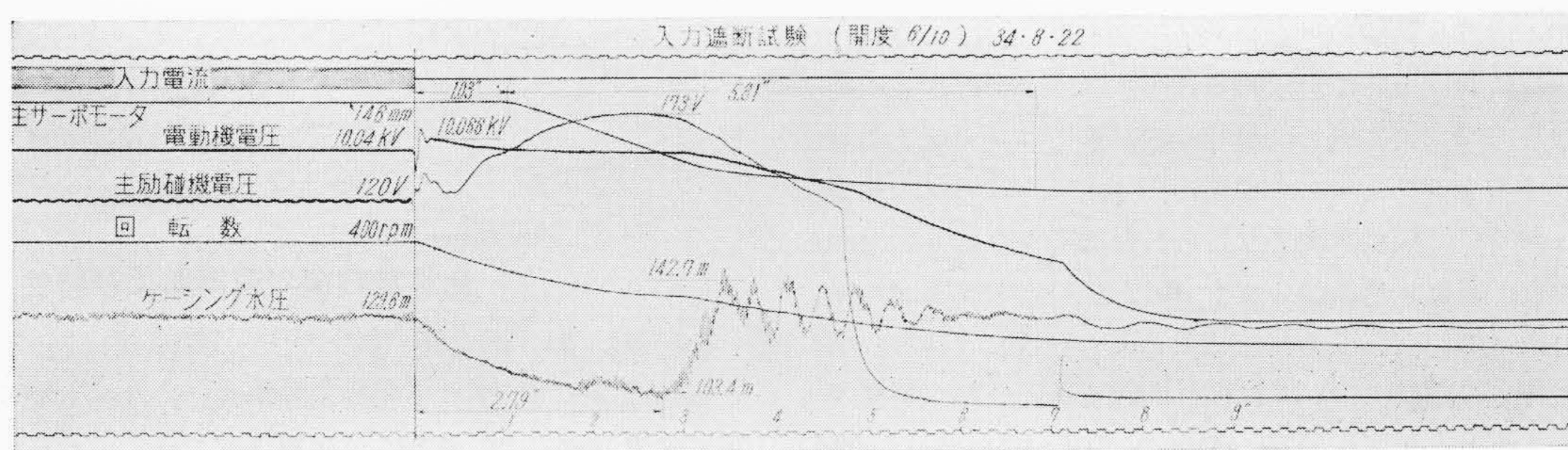
第8図は水車運転時、第9図はポンプ運転時の各メタルの温度上昇曲線を示す。ポンプ水車メタルは、ポンプ運転、水車運転ともほぼ同じ温度を示した。



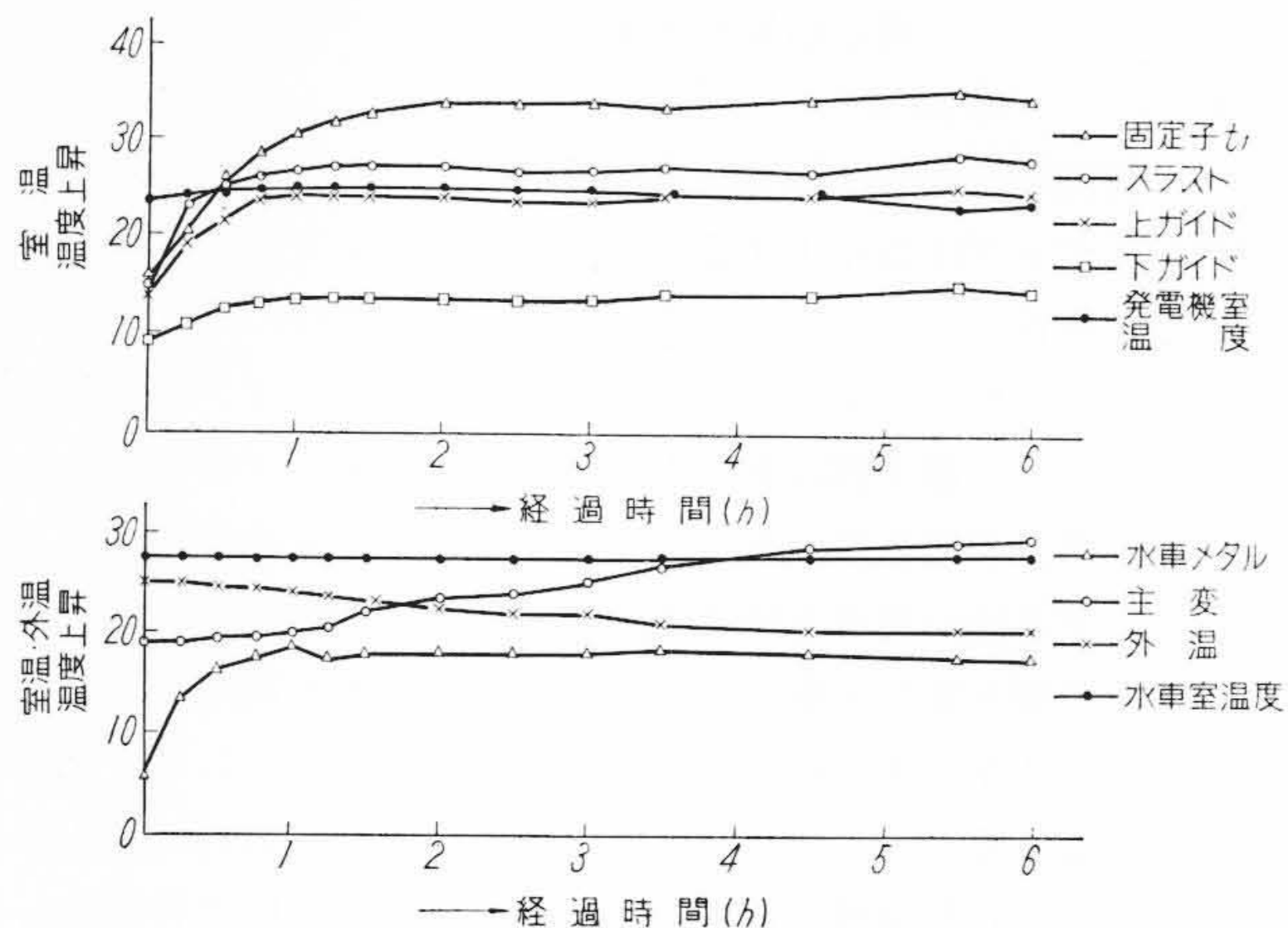
第5図 ポンプ水車のポンプ起動時過渡特性オシログラフ(模型試験結果)



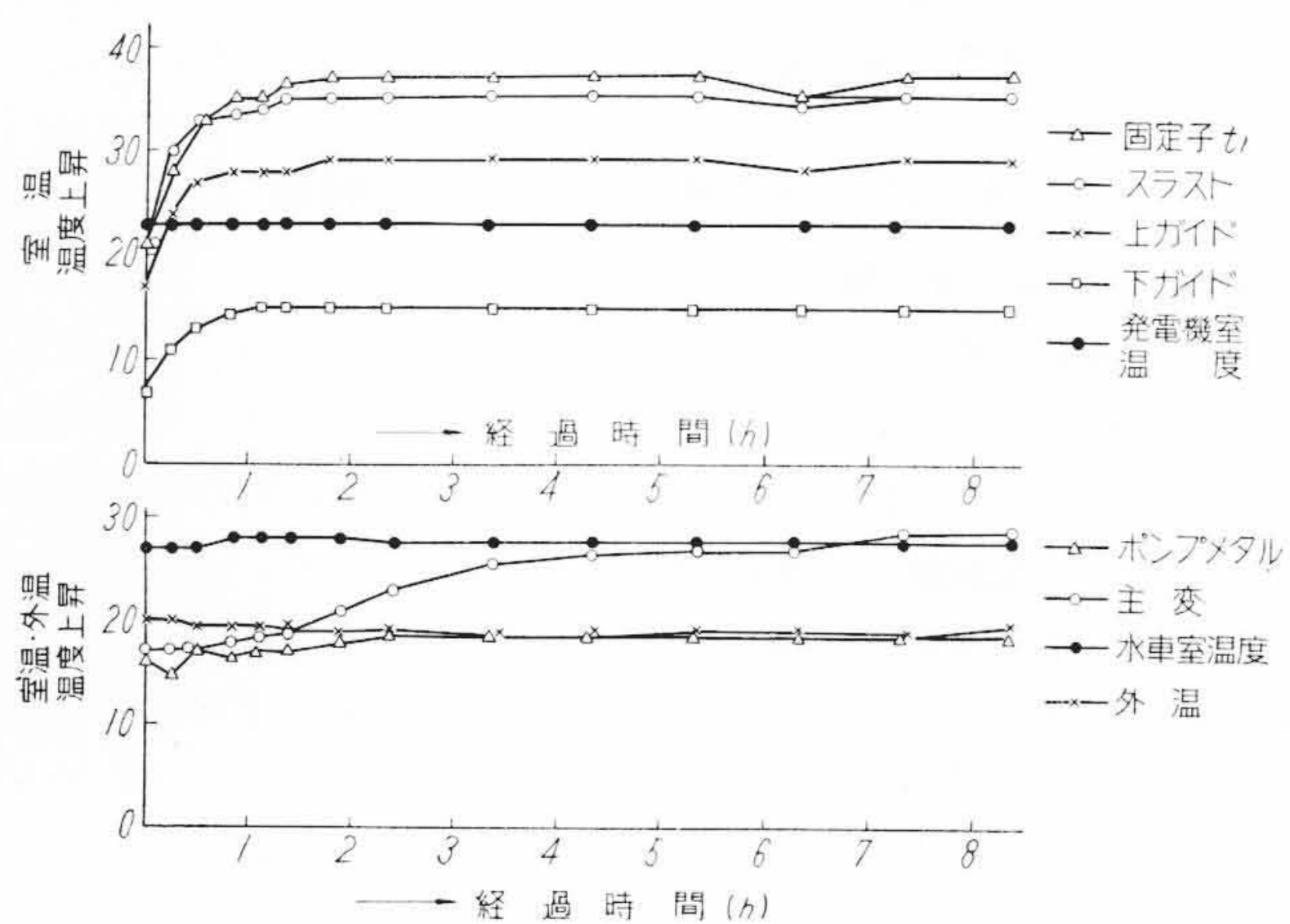
第6図 ポンプ水車のポンプ起動時過渡特性オシログラフ(実物試験結果)



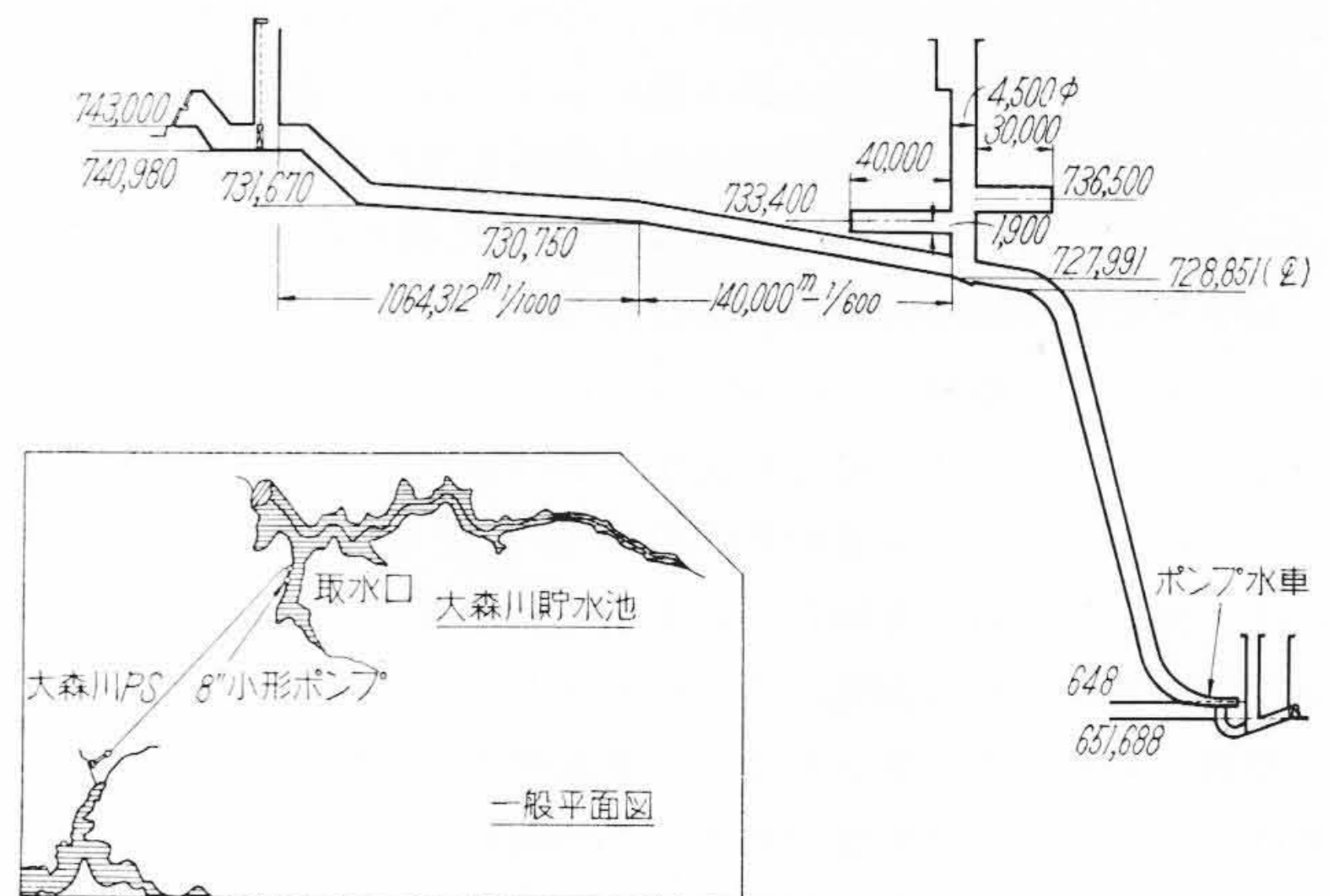
第7図 ポンプ入力遮断試験オシログラフ案内羽根開度 $6/10$ 遮断



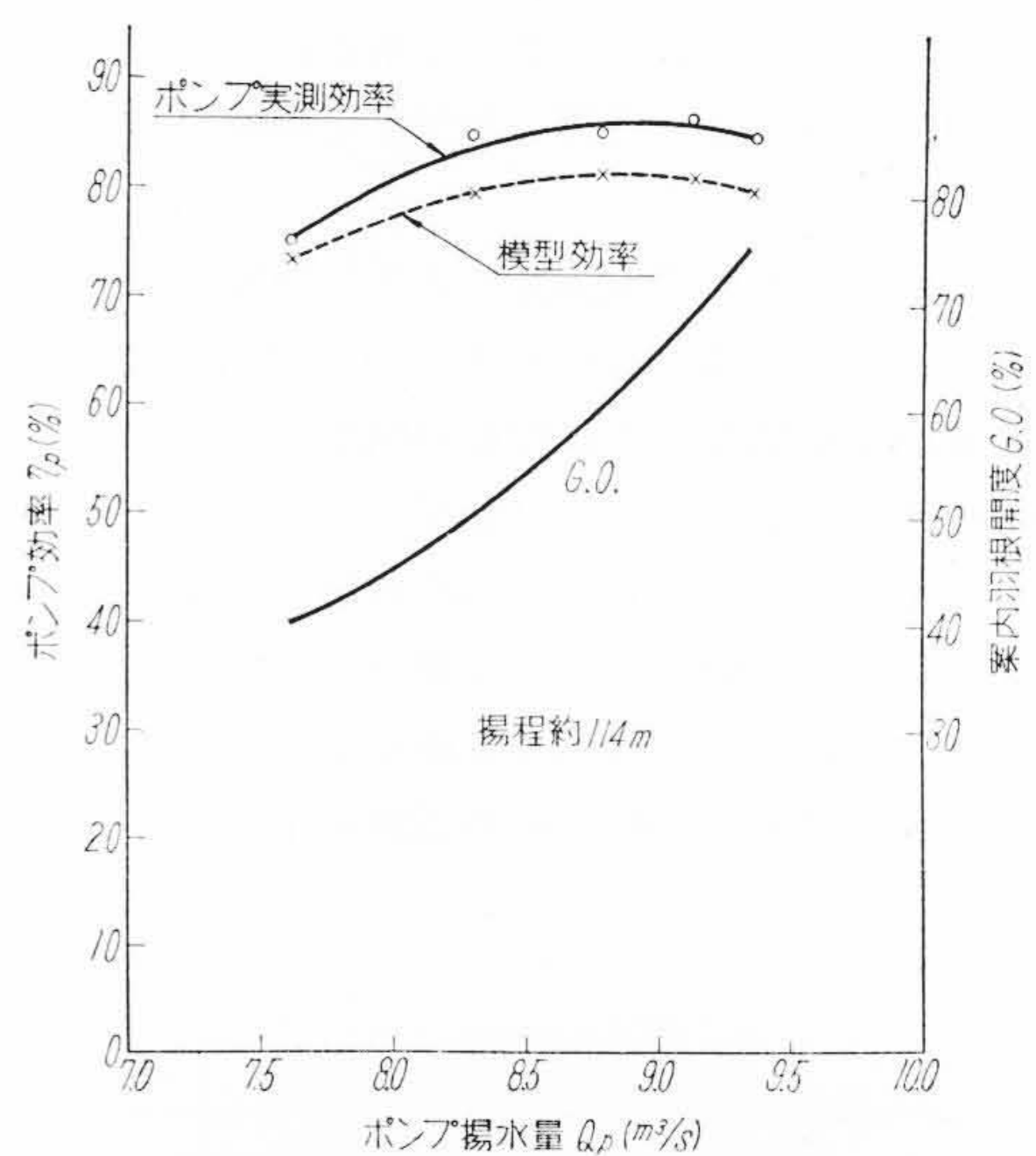
第8図 温度上昇曲線(水車負荷試験)



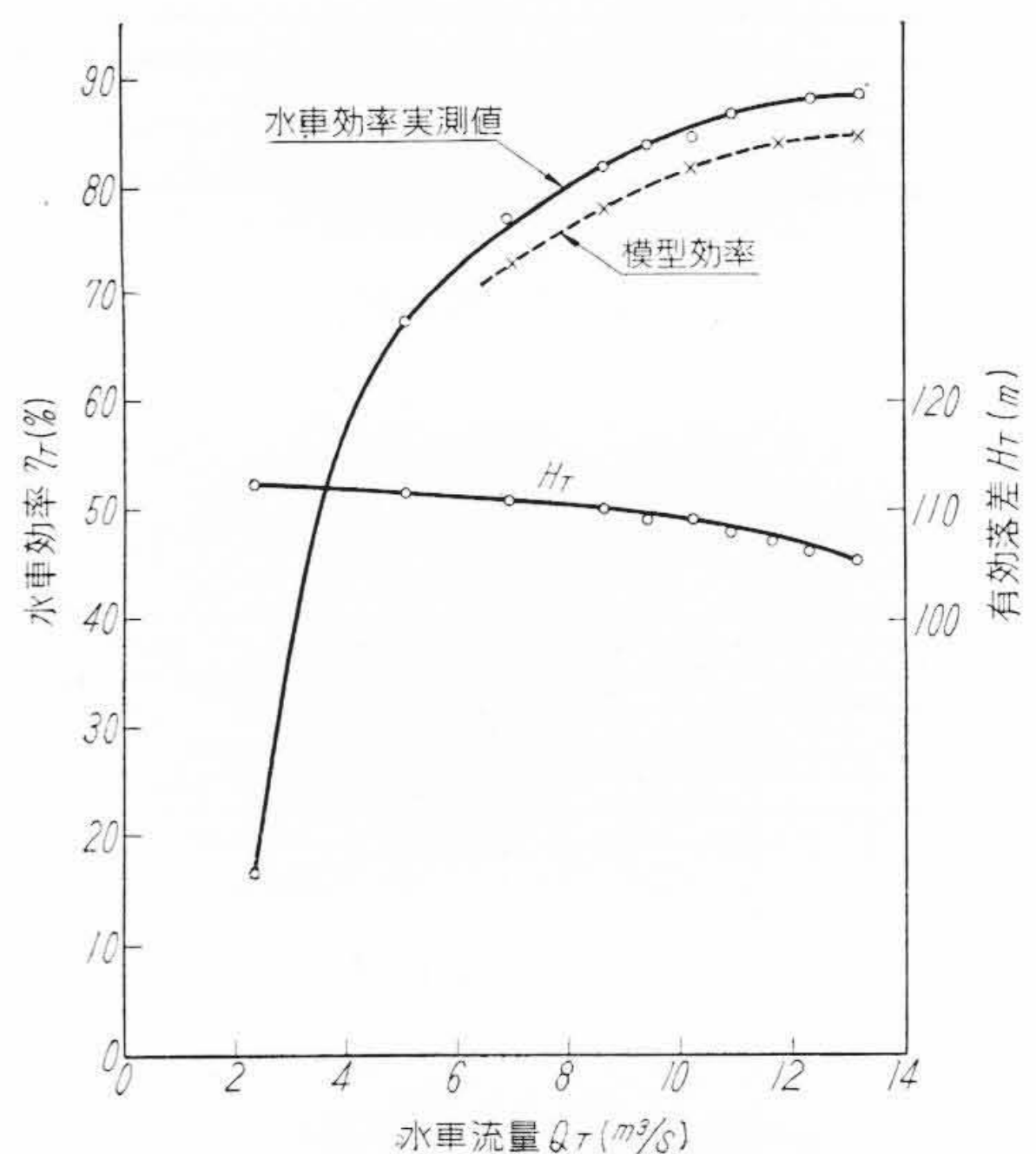
第9図 温度上昇曲線(ポンプ負荷試験)



第10図 大森川発電所プロフィール



第11図 ポンプ効率



第12図 水車効率

4.2 ポンプの特殊運転および運転状況

大森川発電所では最初大森川ダム湛水前にポンプ運転試験を実施することとなり、低揚程でありながら小水量の揚水運転を行った。ポンプは通常揚水量の調節を行わず、所定の揚程に対し、揚水量は規定されるが、特に上記の小揚水量の運転を行うため主弁をとじて、側弁のみあけ、最大水量の約20%の揚水運転を試験的に行い、かかる過酷な運転も可能であることが実証された。このときのケーシング内圧力は140mに達し規定のポンプ最高揚程127.8mをはるかに上回るものである。

第10図は大森川発電所のプロフィールを示す。

通常のポンプ運転では、振動は予想外に少なく水車カバー上では $3/100\text{mm}$ 以下で、特に可動案内羽根の振動を防止するために設けた案内羽根固定装置もまったく不要の状況である。また一方水車運転時では最大で $2/100\text{mm}$ 程度である。

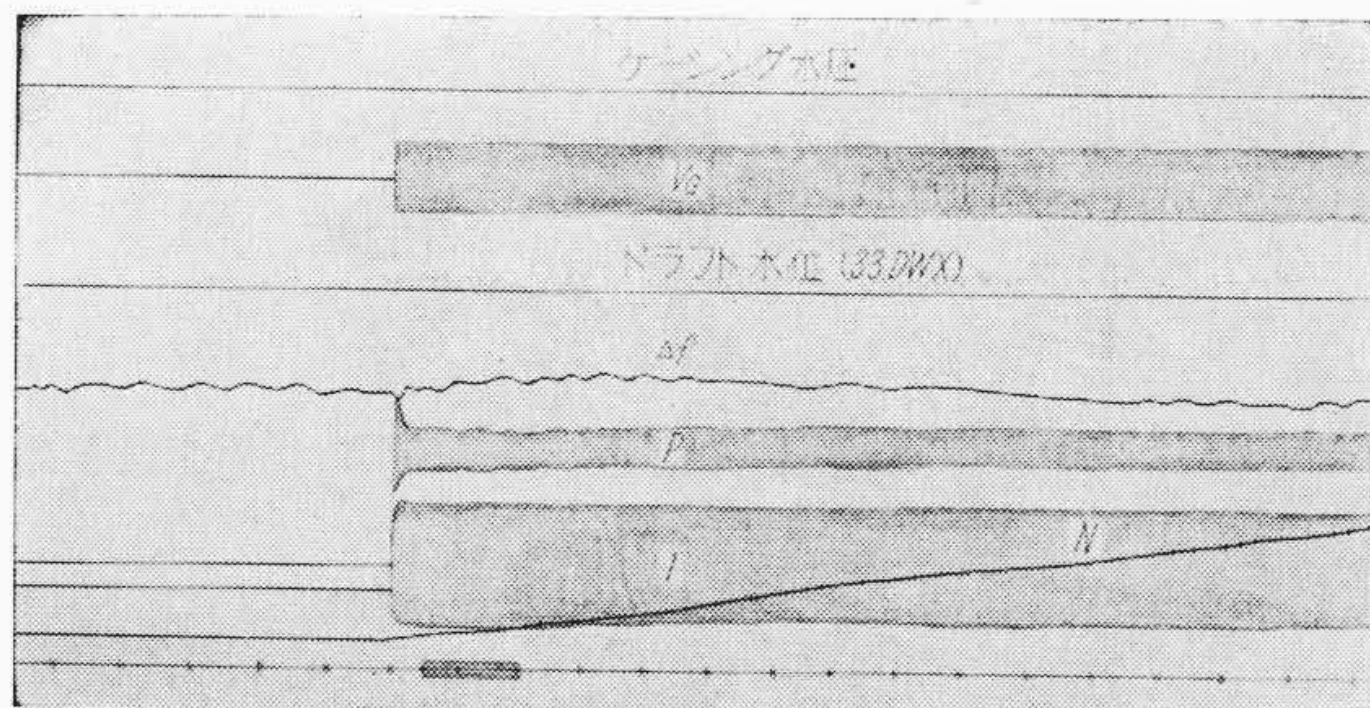
4.3 ポンプ水車の効率試験

現地における効率試験は、オット式カレントメータを $2,300\text{mm}\phi$ の鉄管内に十字に設置し25個のカレントメータを取りつけて行われた。ポンプ各揚程における特性を求めるためには、上下貯水池の水位を変えねばならぬので実物機では短時日の試験では不可能であり相当長期間を要するものであるが、揚程約114mにおける試験結果は第11図のとおりで、模型試験より得られた効率より約5%上回った値が得られた。また水車についても第12図のとおりモデル効率を相当上回り、その傾向は模型試験結果とよく一致している。現地における流量測定精度については種々問題もあろうが、実測の結果はポンプ、水車ともモデル効率にMoody $1/5$ 公式を適用して換算した値にほぼ一致している。

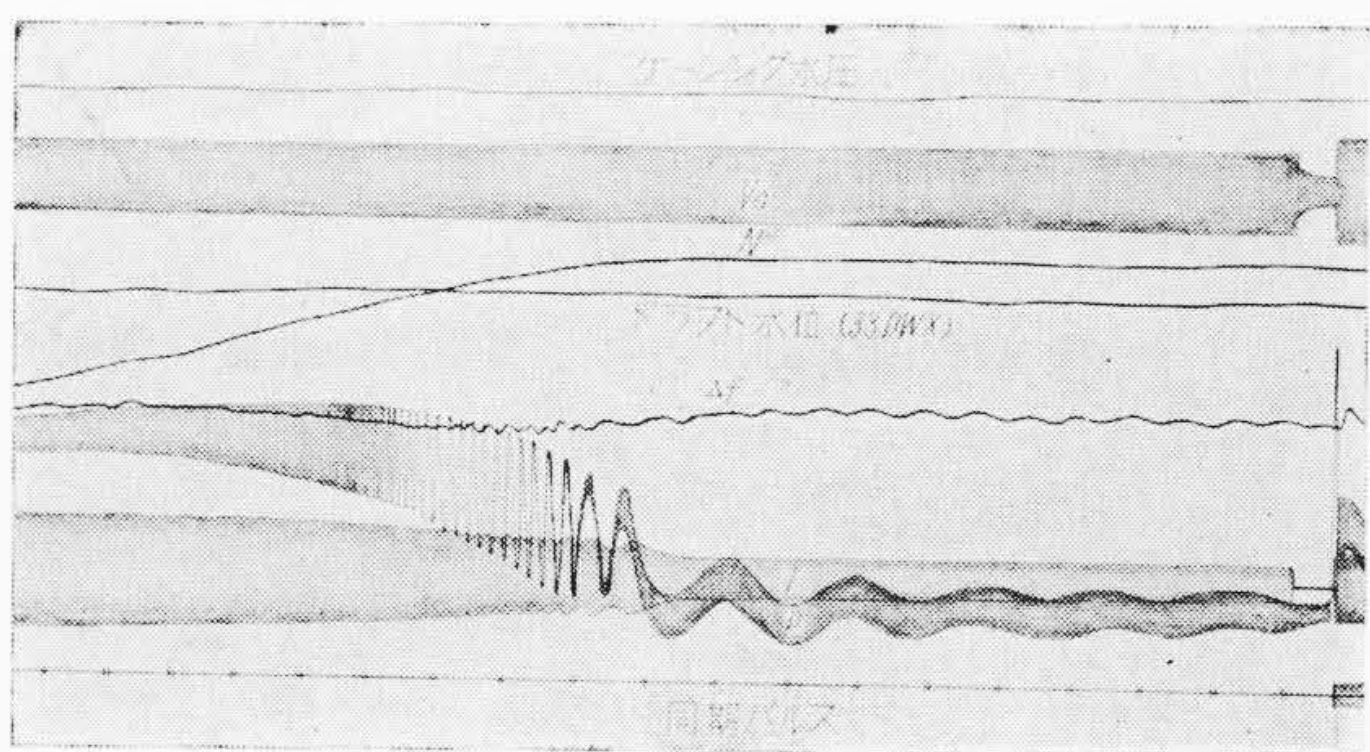
5. 発電電動機の運転および特性

5.1 起動試験

電動機運転時における起動試験については、工場試験において発電電動機単独でその諸特性は確認されているが、ポンプ水車と直結され負荷のかかった状態における特性が現地試験において明らかに



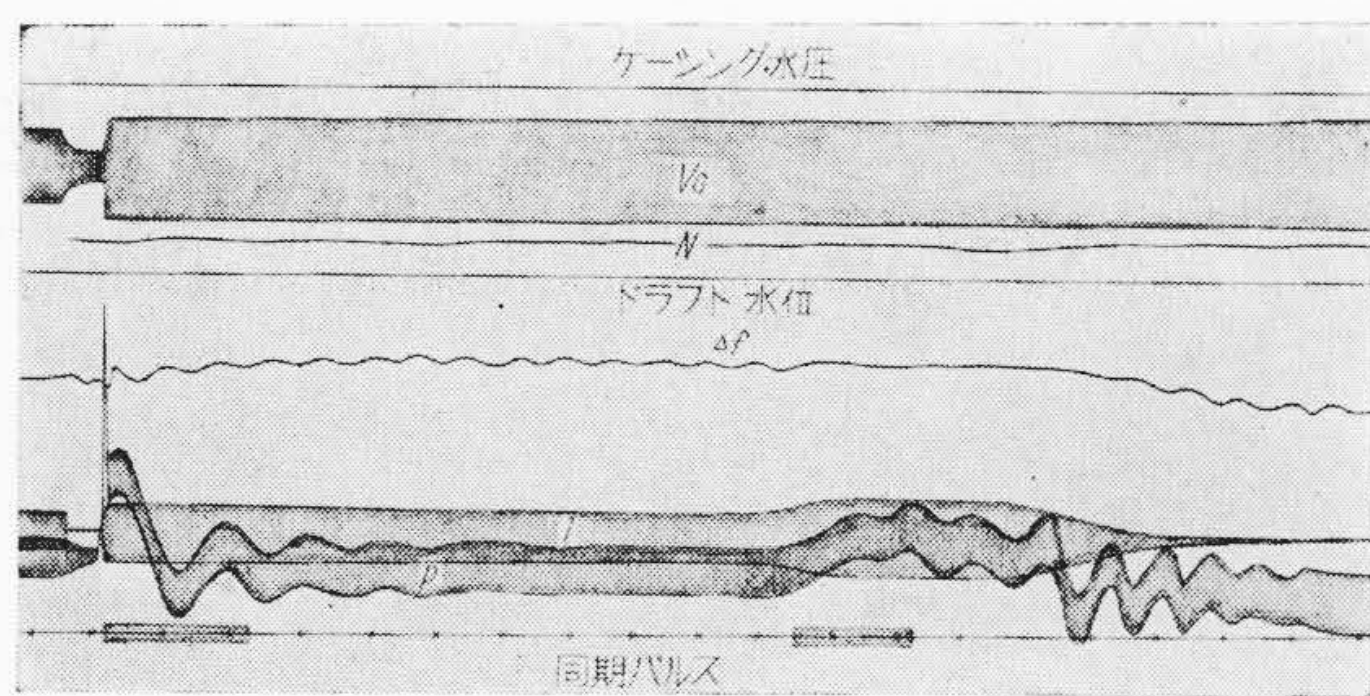
第13図 起動用遮断器投入時オシログラム



第14図 並列時オシログラム

された。起動トルク低減のための推力軸受圧油送入装置は、ポンプ水車直結の場合においてもきわめて有効にはたらき、人力によるわずかなトルクで十分起動でき、実測発生起動トルクの値と相まって起動は容易であることが確認された。起動変圧器のタップを変えて試験を行い所要起動時間を測定したがいずれも計算値とよく合致している。また別置直流電源により励磁機を直流電動機として回転させ、空転時におけるポンプ水車側損失の実測も行った。

低電圧で起動した場合、速度上昇に伴ない低電圧のままリアクショントルクで同期引入が行われ、十分引入トルクが負荷トルクを上回っていることが明らかにされたが、全電圧切替後励磁を与えて引入を行う場合においても、同極性の場合はもちろんのこと、逆極性で励磁が与えられても系統に及ぼす影響は少なく、円滑に同期引入が行われ、負荷運転に移りうることを確認された。なお起動時における制動巻線の温度上昇もきわめて低く起動渋滞に対しても十分余裕のあることが実証されている。第13、14図および第15図に起動ならびに並入時のオシログラムの一例を示す。



第15図 並列時オシログラム

5.2 負荷試験

正逆両転における負荷試験が行われたが、固定子コイル温度上昇はほぼ同一であり、ファンの効果が正逆転とも同一であることがわかる。推力軸受についてはわずかの差が認められたがこれは测温素子のそう入位置が1箇所であるためである。第8、9図にそれぞれの温度上昇値を示す。

5.3 ポンプトリップ試験

ポンプ運転時電源喪失によりポンプ運転方向回転より急激に水車運転方向回転に逆転する場合があります、この場合についても試験が行われた。逆転時、速度が零近くを通過するときには、推力軸受が低速でも油膜が切れにくく、またわずかの回転によってもすみやかに油膜が形成されることが必要であるが、現地試験結果、推力軸受にもなんら異常がなく、すぐれた特性をもつことが実証された。

6. 結 言

大森川発電所用ポンプ水車および発電電動機はわが国最初の製品であり、実物機の製作にあたり、各種の詳細な検討と模型試験による研究を行い、運転上予想される現象についてあらかじめ十分な究明がなされたので、現地試験においてきわめて良好な運転実績をうることができた。

最後に、各種の現地試験をおこなう機会を与えて下さった四国電力株式会社の関係各位に本稿をかりて厚くお礼を申し上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) 志波：日立評論（昭34-11）
- (2) 外岡，長沼：日立評論（昭34-11）
- (3) 斉藤：日立評論（昭34-11）

昭和36年4月発行

車両特集号第2集

日立評論 別冊第40号

目 次

- ◎わが国における最近の鉄道車両
- ◎ED-71形交流電気機関車の性能について
- ◎インド国鉄納直流 1,500V 3,020kW (4,050HP) 回生ブレーキ付電気機関車
- ◎台湾鉄路局納 1,560PS ディーゼル電気機関車
- ◎1,100PS 液体式ディーゼル機関車
- ◎最近の産業用電気機関車について
- ◎交流および交直両用電車用電気品について

- ◎車両用主変圧器および高圧タップ切換器
- ◎電車用主電動機の進歩
- ◎最近の高速電車用制御装置
- ◎最近の車両用電動発電装置
- ◎列車自動制御装置
- ◎車両用冷房装置
- ◎車両用速度記録計

発行所 日立評論社 東京都千代田区丸ノ内1丁目4番地 振替口座東京 71824番
取次店 株式会社オーム社書店 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地 振替口座東京 20018番