

四 国 電 力 株 式 会 社 納

松尾川第一及び第二発電所用水車及び 交流発電機に就いて

井原一男* 伊藤晃二** 佐藤文雄***

Pelton Wheels and Alternators for Matsuo-gawa No. 1 and No. 2 Power Stations, Shikoku Electric Power Company

By Kazuo Ihara, Kōji Itō and Fumio Satō
Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

Two complete sets of Hitachi Pelton wheels under erection with corresponding A.C. generators at the Matsuo-gawa No. 1 and No. 2 Power Stations of Shikoku Electric Power Co. are the largest of this type, including generators, ever built in this country.

They are built to the identical specifications since the two stations stand under the same conditions except for the negligible difference in the working head, and these two power stations are scheduled to be run under an inter-related automatic control system.

It is worth mentioning that No. 2 Power Station is constructed semi-underground for the first time in this country, and compressed air will be used to allow operation even at flood times, by depressing the tail water level by the air.

The model turbine, 1/4.9 time as large as the prototype, showed in the test the maximum efficiency of 87.3 percent.

At the end the article relates of material test carried on all important parts of these turbines and generators.

〔I〕 緒 言

四国電力株式会社松尾川第一及び第二発電所用水車及び発電機はペルトン水車としては本邦に於ける最大容量のもので、設計製作共に順調に進み既に工場仮組立を完了し、昭和28年8月運転開始予定にて現地据付作業が進められている。

主機の計画並びに製作に当つては斬新な試みを採用し、又模型による性能試験及び各種材質試験を行つた。

例えば計画に就いては

1. 第一及び第二発電所では常時使用落差が375 m, 391 m と異なるが同一仕様の主機を使用した。
2. 第二発電所は前例の少い半地下式発電所が採用さ

* ** *** 日立製作所日立工場

れた。

3. 第二発電所に於ては排棄損失落差を少なくする方法として、洪水時放水面を押下げて運転する特殊運転方法をとつた。
4. 軽負荷の効率を高くする方法として、負荷が1/2以下になると片側の水車のみを運転する高能率運転方法を採用した。

又模型並びにその他の試験として

5. 模型水車による効率及び一般特性試験を行つた。
6. バケット、デフレクタ等に就いては、破壊及び探傷試験を実施して材料の確認を行つた。

特に第二発電所に於て試みられたペルトン水車の放水面押下による運転方式は注目すべきものであり、以下これらの点に就いて紹介する。

〔II〕 ペルトン水車

(1) 計画概要

(A) 計 画

計画の概要は第1図及び第1表にみる如きものである。運転は豊水、渇水期を通じ尖頭負荷運転とし基準負荷は 4,000~5,000kW である。

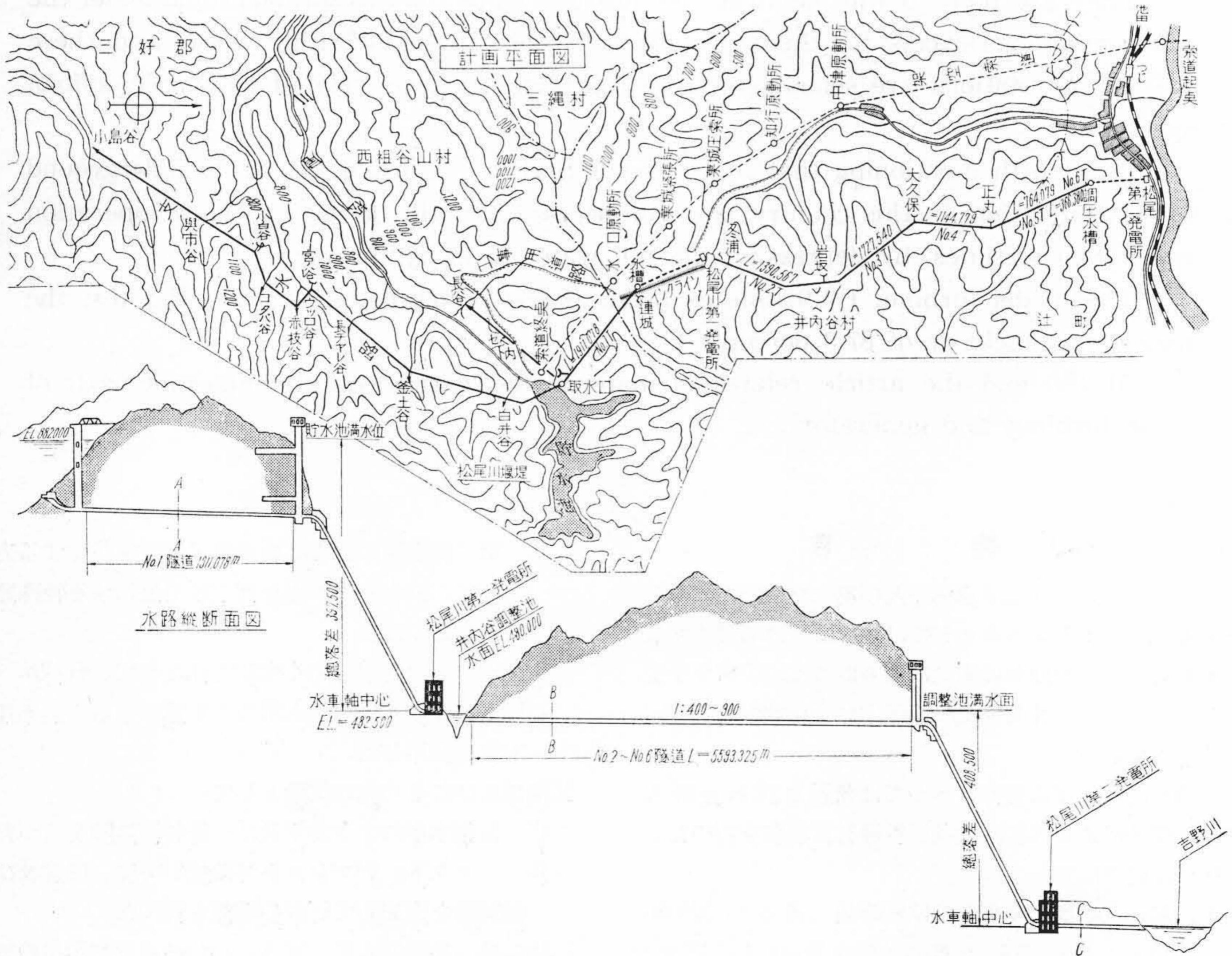
尙計画に際しては本流よりの揚水設備と、堅軸ペルトン水車案に就いて種々検討された。

(B) 水車の仕様

第一発電所及び第二発電所では多少落差を異にするが機器は共通設計のものとし、発電機の両側に水車をおく二輪四噴射型ペルトン水車を設けたものである。両発電所の仕様を次に示す。

	第一発電所	第二発電所
出力最大.....	21,600 kW	22,100 kW
基準.....	21,100 kW	21,100 kW
落差最高.....	383.6 m	393.4 m

基準.....	375.0 m	391.0 m
最低.....	346.0 m	375.0 m
水量最大.....	6.44 m ³ /sec	6.44 m ³ /sec
回転数.....	450 r.p.m.	450 r.p.m.
比較回転度.....	19.85 m-kW	19.85 m-kW
型式.....	2P ₁ N ₂ -H	2P ₁ N ₂ -H
台数.....	1台	1台
制御方式..	1人制御方式を含む 遠方監視制御方式	1人制御方式
無拘束速度..	195%(877.5 r.p.m.)	195%(877.5 r.p.m.)
(379 m にて)		
速度変動率(100%負荷にて)	30%	30%
但し、発電機回転部の GD ²	93 ton-m ²	
デフレクタ閉鎖時間.....	2.0 sec	2.0 sec
デフレクタ不動時間.....	0.3 sec	0.3 sec
ニードル閉鎖時間.....	20.0 sec	20.0 sec
ニードル不動時間.....	0.3 sec	0.3 sec
水圧変動率(379mに対して)	10%	10%
保証効率最高.....	90.3%	90.3%



第1図 建設計画図

Fig. 1. Skeleton Diagram Showing the Civil Engineering Aspect of the Project

第 1 表 計 画 の 概 要

Table 1. Outline of the Hydraulic System

種 別		松尾川第一発電所	松尾川第二発電所
発 電 所 及 び 機 器	概 要	位置 徳島県三好郡井内谷村大字史記ヶ淵 使用水量(m ³ /sec) 6.44~1.4 有効落差 (m) 383.6~361.6 発電力 (kW) 20,000~3,600 発電電力量(kW/hr) 55,500,000 流域面積 (km ²) 39.27	徳島県三好郡辻町大字才長谷 6.44~1.4 393.4~424.6 20,500~4,100 60,150,000 40.87
	水 車	型 式 横軸二輪四噴射型ペルトン水車 出 力 (kW) 21,600	横軸二輪四噴射型ペルトン水車 22,100
	発 電 機	種 類 横軸三相交流同期発電機 出 力 (kVA) 24,000	横軸三相交流同期発電機 24,000
水 路	調整池又は貯水池及び堰堤	流域面積(km ²) 本流 26 支流 13.27 計画満水面 (m) EL=882 利用水深 (m) 37 有効貯水量 (m ³) 12,600,000 高×堤長×堤体容積 (m) (m) (m ³) 66×188×160,000 可動堰 (m) テンターゲート 2門 幅 60×高 7	井内谷 1.6 EL=480 3 2,600 7×222×875
	工 隧 道	型 式 馬蹄形コンクリート巻圧力隧道 内 径×延 径 (m) 2.1×1,911	馬蹄形コンクリート巻圧力隧道 2.4×5,593
作 物	水 圧 鉄 管	内 径 (m) 2.1~0.9 管 厚 (mm) 9~26 延 長 (m) 1,083.876	2.4~0.7 9~26 1,030
	放 水 路	型 式 内 径 (m) 2.2 延 長 (m) 101.3	馬蹄形コンクリート巻隧道 2.2 101.3
支 水 路	工 隧 道	型 式 側壁鉛直拱半円形隧道 内 径×延 長 (m) 高 1.45×幅 1.1×7,633,369	
	長 谷 隧 道	型 式 側壁鉛直拱半円型隧道 内 径×延 長 (m) 高 1.5×幅 1.0×1,500	

(2) 模型試験

従来ペルトン水車の効率は比較的高いものであるとされ研究も等閑に附されている傾向があつた。日立製作所日立工場に於ては戦後逸早くペルトン水車の各特性試験に着手して研究の成果を得た。

松尾川発電所の受注に当つてこれらの結果を総合し、縮尺比 1/4.9 の模型を製作し性能の確認を行つた。この実験結果は極めて良好な成績を収め実物水車の優秀性が立証された。

模型水車の仕様は次の如くである。

型 式..... P₁N₁-H
出 力..... 5.3 kW
落 差..... 20m

水 量..... 0.031 m³/sec
回 転 数..... 508 r.p.m.
縮 尺 比..... 1/4.9

バケットは今迄に試作研究を行つたものを基に松尾川に適用されるバケットを設計した。

バケットの性能の良否は停止中のバケットより排出する噴出水の状況と、正規回転中のものとをストロボスコープによる流出状態の観察、バケットより排棄される排出水の水束の形状と状態により推定される。この観察による良否の判定は模型の比較試験により実証される。第 2 図に停止中のバケットの位置の移動による流出状況を示す。

バケットの形状の不適當なものは排出水が凸形の傾向

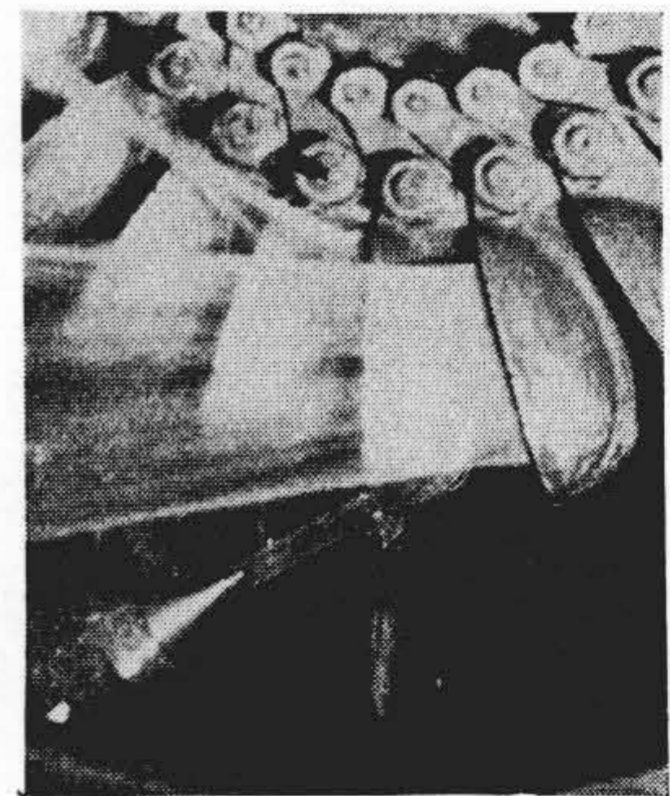
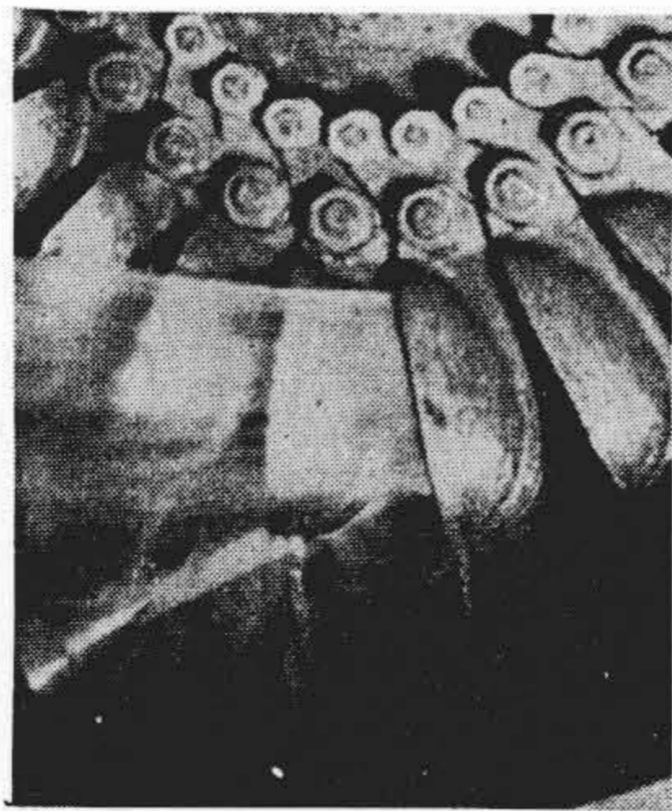
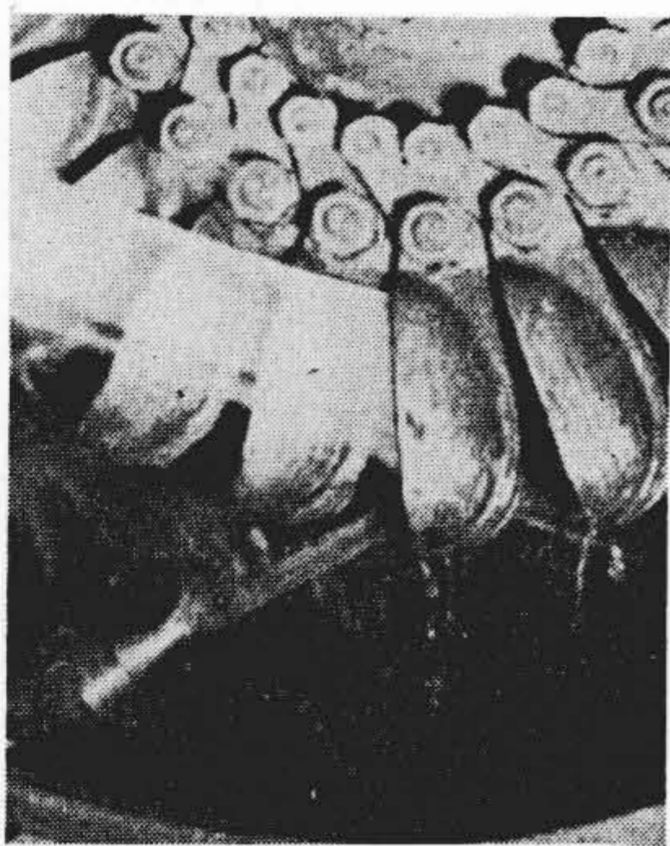
を帯び排出水が振れをもつ。又バケットの位置の移動による排水の方向変化が円滑性を欠き運転中の排棄水の束が乱れ不安定なものとなる。

第3図は模型水車のニードル開度によるジェット噴出状況の二三の例を示す。

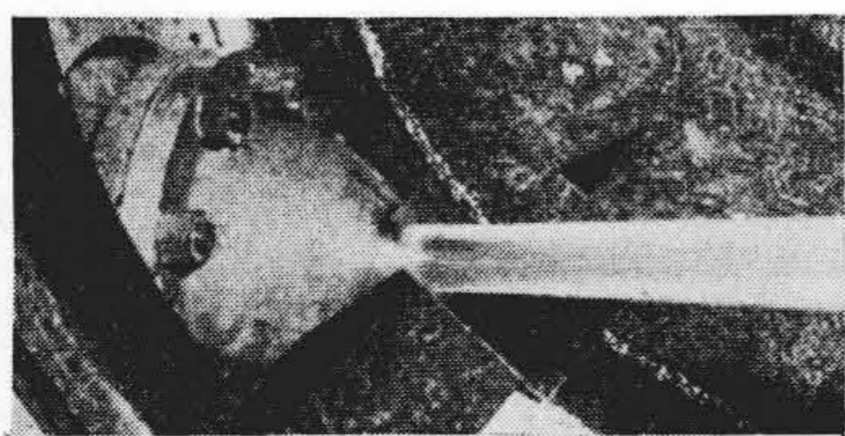
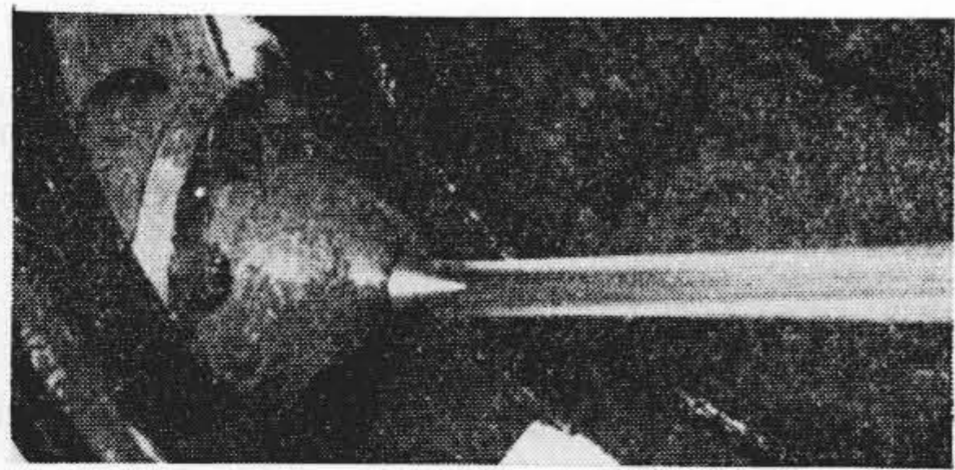
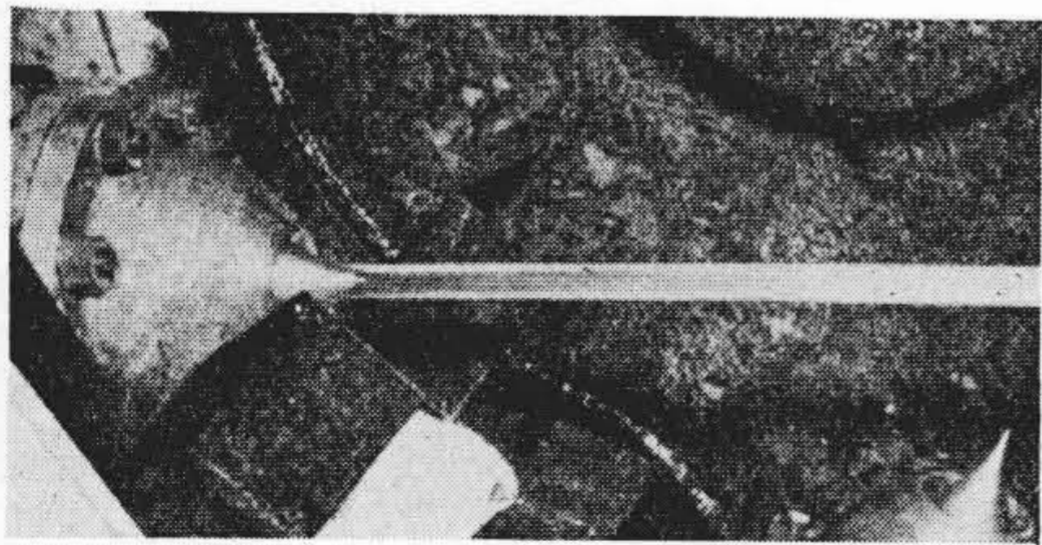
尚バケットの形状及び大きさは効率特性の最大の要素であるが、最もよいバケットの形状とそのバケットに適合した取付角度、取付位置及びバケットの取付箇數により最高の効率が望める。従来取付角度に就いて試験例はあるが、今回取付位置の影響が軽視出来ぬものであることを確認した。バケット先端の切欠き形状の可否はキャビテーション性能のみでなく効率に大きな影響を与え

る。この外噴出水とバケット中心のずれが効率に及ぼす影響も少くない。この点は据付に際して注意すべきものである。

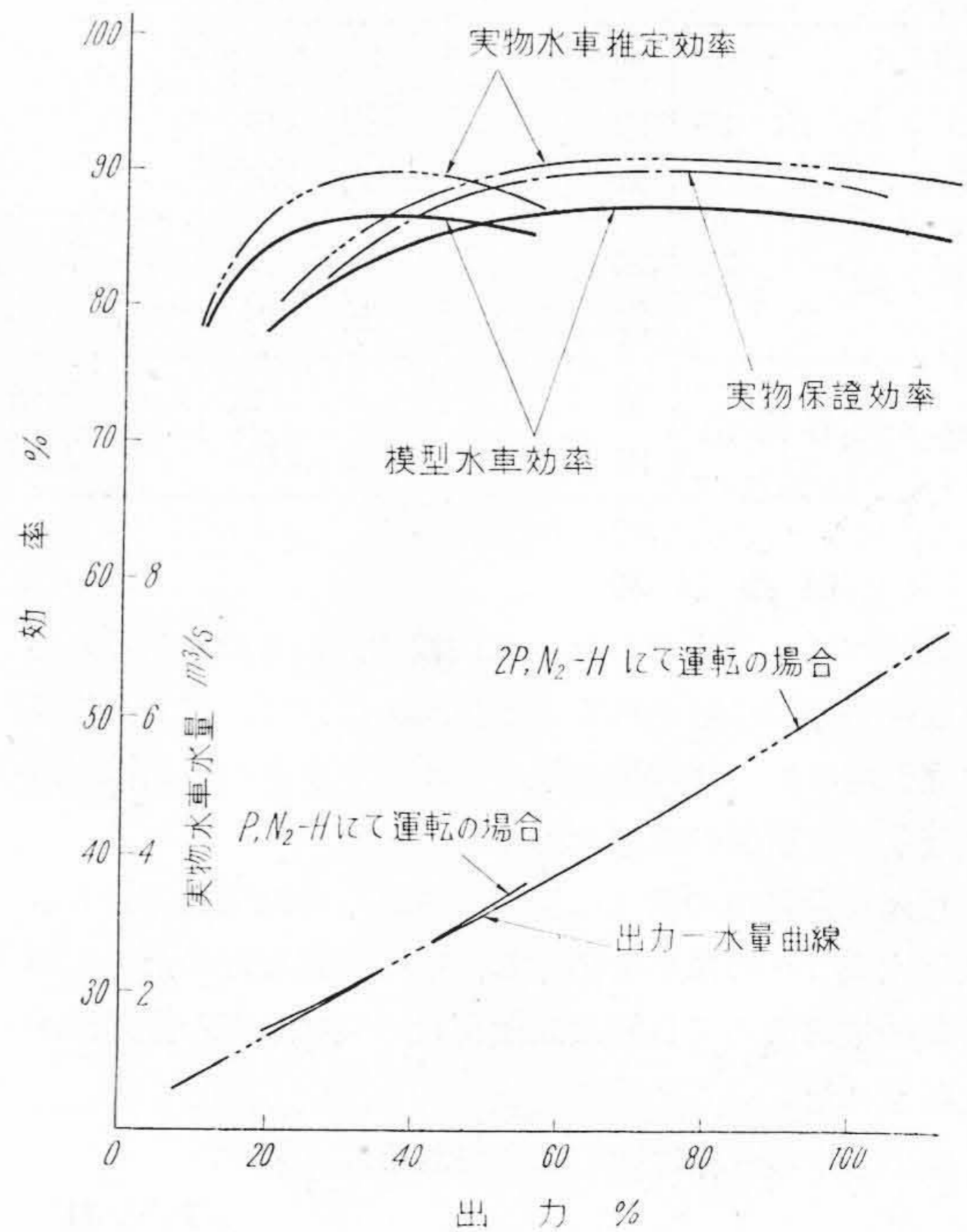
第4図に模型試験結果と保証効率及び模型試験結果より推定予想される実物効率を示す。模型試験結果の最高効率は87.3%であり、今この結果を仮にムーデーの式により換算すると91.7%に達し、実物水車の運転状態より機械的損失を考慮すれば効率は91.2%になると推定される。後に述べる如く本水車は出力50%以下にては片方の水車のみにて運転する高能率運転を行う。この場合の効率は図に示す如く部分負荷にて非常に高い効率を保ち、常に高能率下で水車を運転することが出来る。



第2図 バケット停止時の排出状況
Fig. 2. Photographs Showing the Jetting to a Bucket in Standstill



第3図 模型水車ジェット噴出状況
Fig. 3. Water Jet at Various Needle Strokes of Model Turbine



第4図 水車の特性曲線
Fig. 4. Characteristic Curves of the Model Turbine

(3) 材料試験

主要部品に就いては材料試験及び分析を行い、特にバケツ、デフレクタに就いては材料確認の特殊試験を行った。

(A) バケツ破壊試験

使用落差高く比較的バケツが大型であり又バケツを2箇一体鑄造としたので強さと鑄造上の欠陥の有無を調べる目的で 4,000 t プレスにより破壊試験を行った。

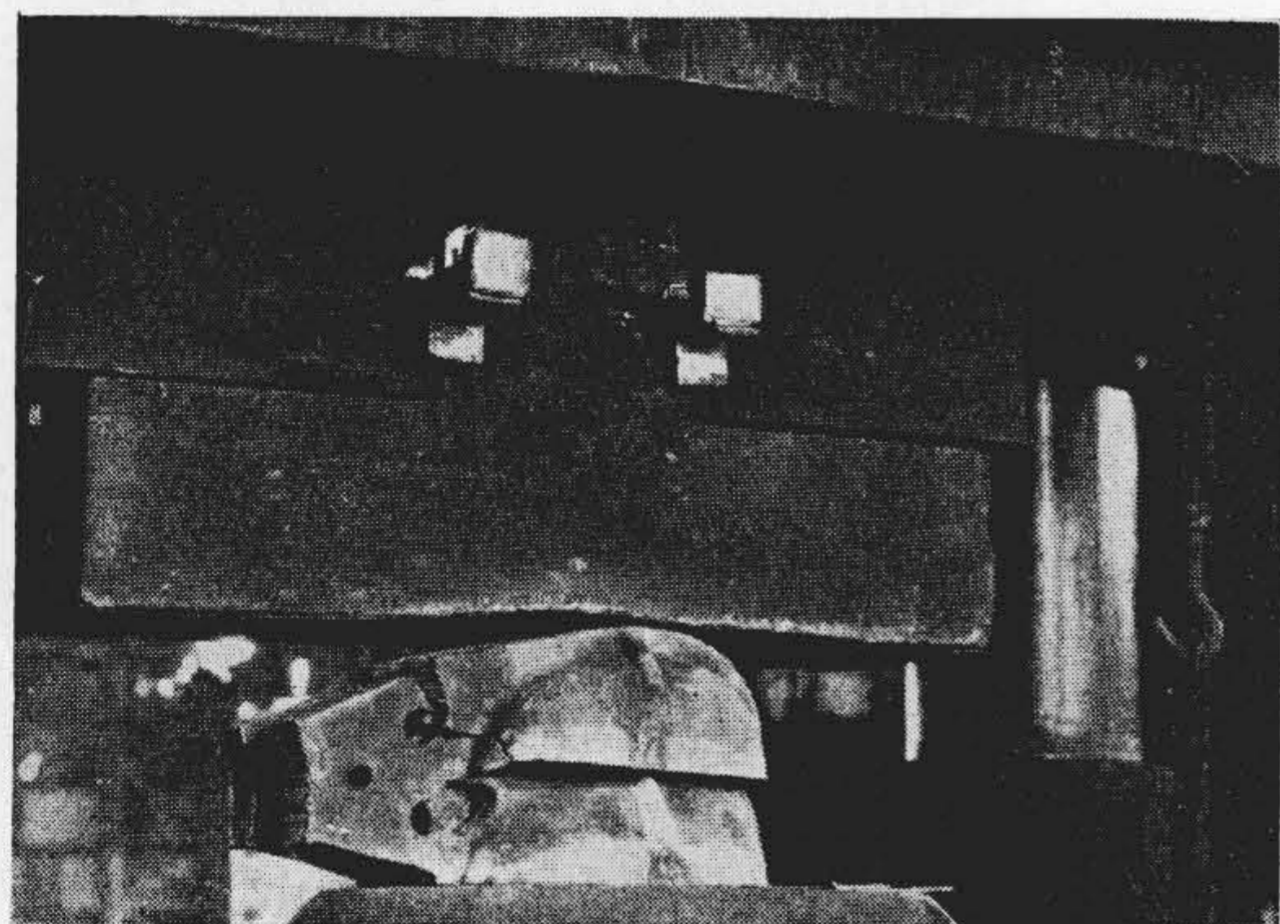
第5図は破壊試験の状況を示す。試験の結果より同部に掛る噴出水による力に対して 10 以上の安全率があることが確認された。

尙破面には何等の異状も認められなかつた。

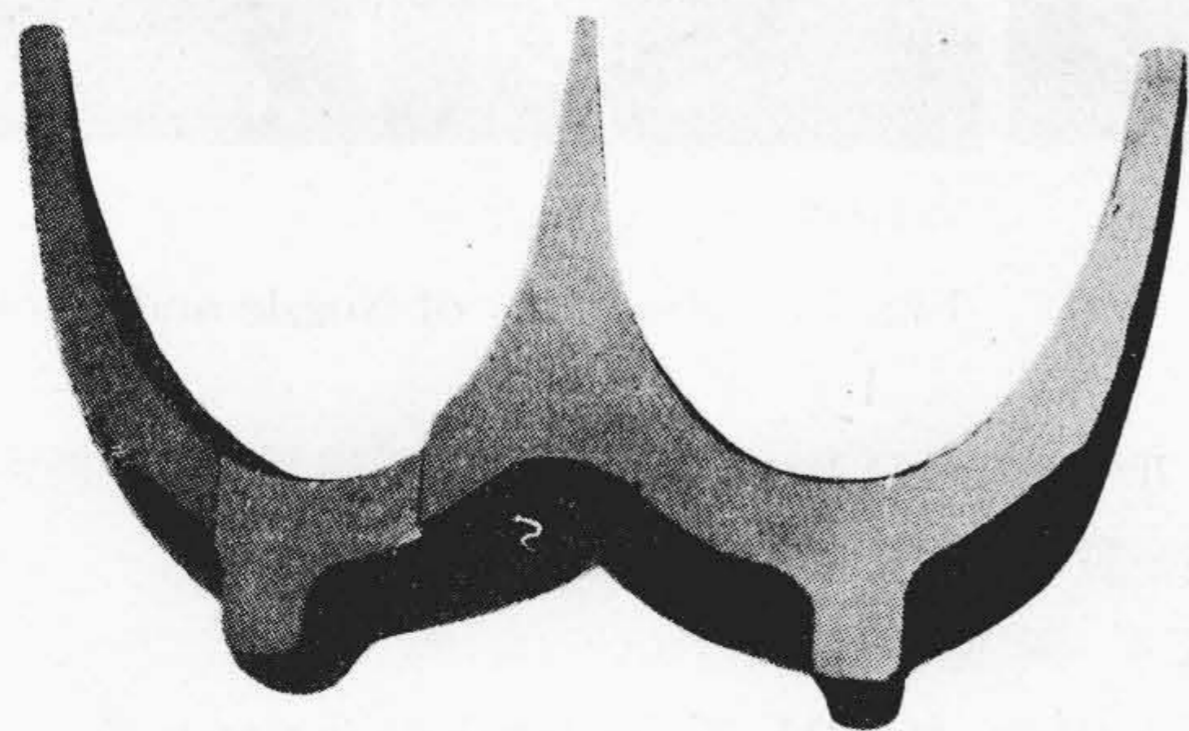
(B) バケツの鑄造組織の検査

鑄造上の欠陥の有無を肉眼検査のため切断試験を行った。その結果、引け巣、ピンホール、砂喰いその他有害な材料の欠陥は認められなかつた。切断面の一部を第6図に示す。

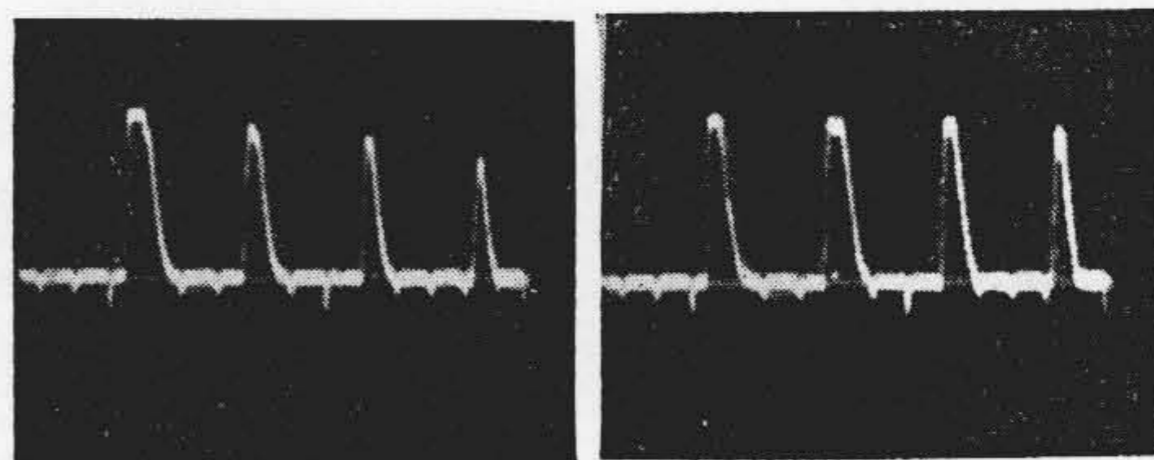
又バケツ取付腕部は超音波傷探試験を全部に就いて実施した。探傷周波数は 4 MC/sec である。結果は疵エコー及び極端な底面エコーはなく、引け巣、ピンホール等有害な材料欠陥のない均質のものであり熱処理の良好なことが判定された。第7図にバケツの試験記録を示す。



第5図 バケツ破壊試験
Fig. 5. Breakdown Test of Buckets



第6図 バケツ切断面
Fig. 6. Section of a Bucket



第7図 超音波深傷試験記録
Fig. 7. Results of Supersonic Flaw Detecting Test of Buckets

(4) 構造

(A) 水車本体

発電機の両側に単輪二噴射型 (P_1N_2) ペルトン水車を直結する型式で各々の水車に入口弁、ニードル及びデフレクタ用サーボモータを設け、アクチュエータは両水車に共通とする方式をとつた。第8図(次頁参照)は主機の配置を第9,10図(次頁参照)に工場用仮組立の状態を示す。

ケーシングは鑄鋼製としバケツより排棄させる水を処理するに十分な形状と大きさをもつように設計されており、特に噴出水保護の水受けをつけた。

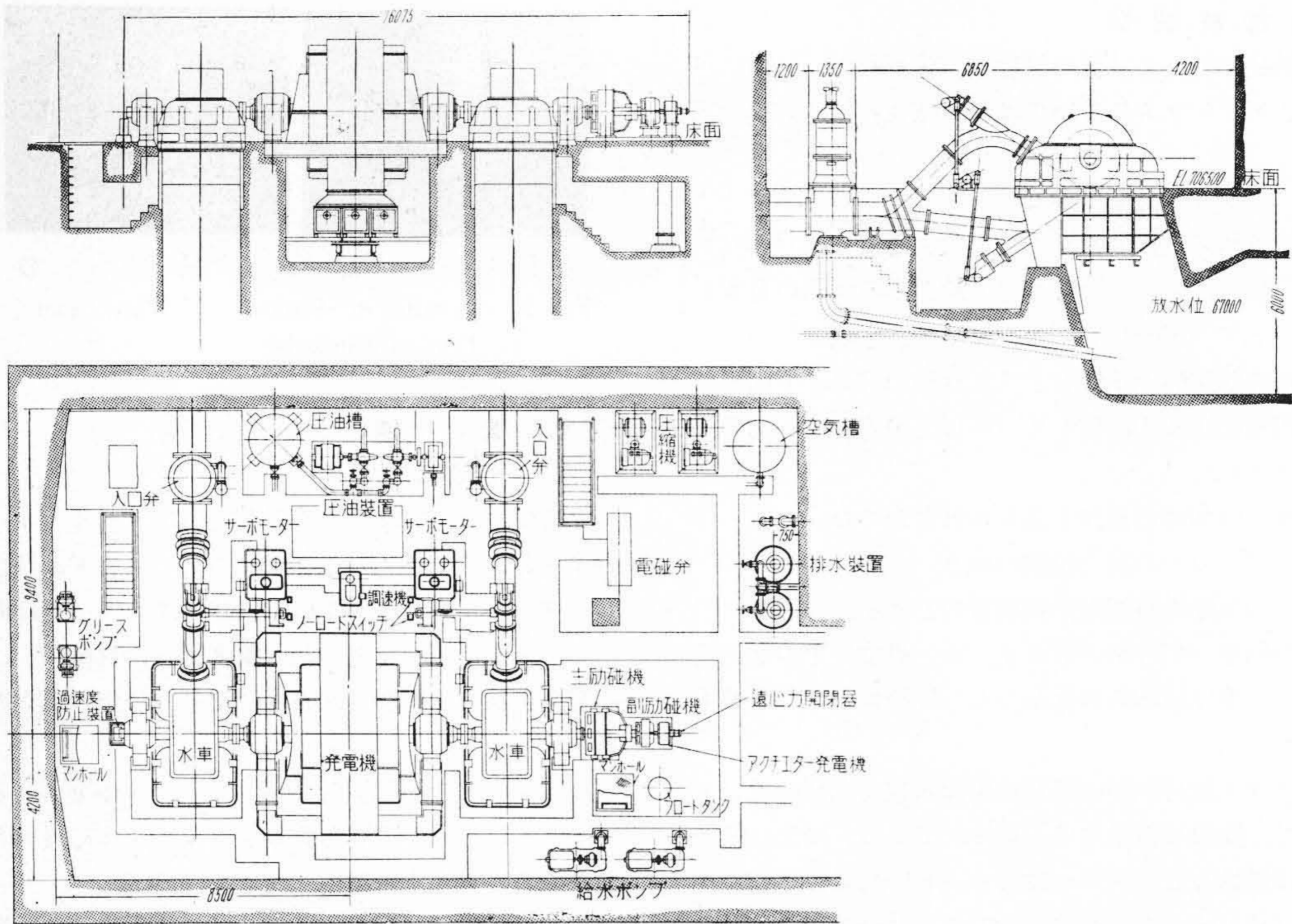
第二発電所用水車に対しては洪水時水面押下の際漏気を防止する特殊な構造のシーリングボックスを設計、平時は取外し運転も可能な構造としてある。第11図(第7頁参照)にこの構造を示す。

バケツは2箇1体鑄造とし耐摩耗性の大きい低マンガソ鑄鋼を採用し、前述せる如き特殊試験を行い鑄造及び熱処理の欠陥のないことを確認した。バケツボルトはニッケルクロム鋼製とし、バケツの遠心力及び噴出水による衝撃に対して十分な強度を有するものとし、ボルトはバケツを 0.01 mm の締代をもつてデスクに取付けた。

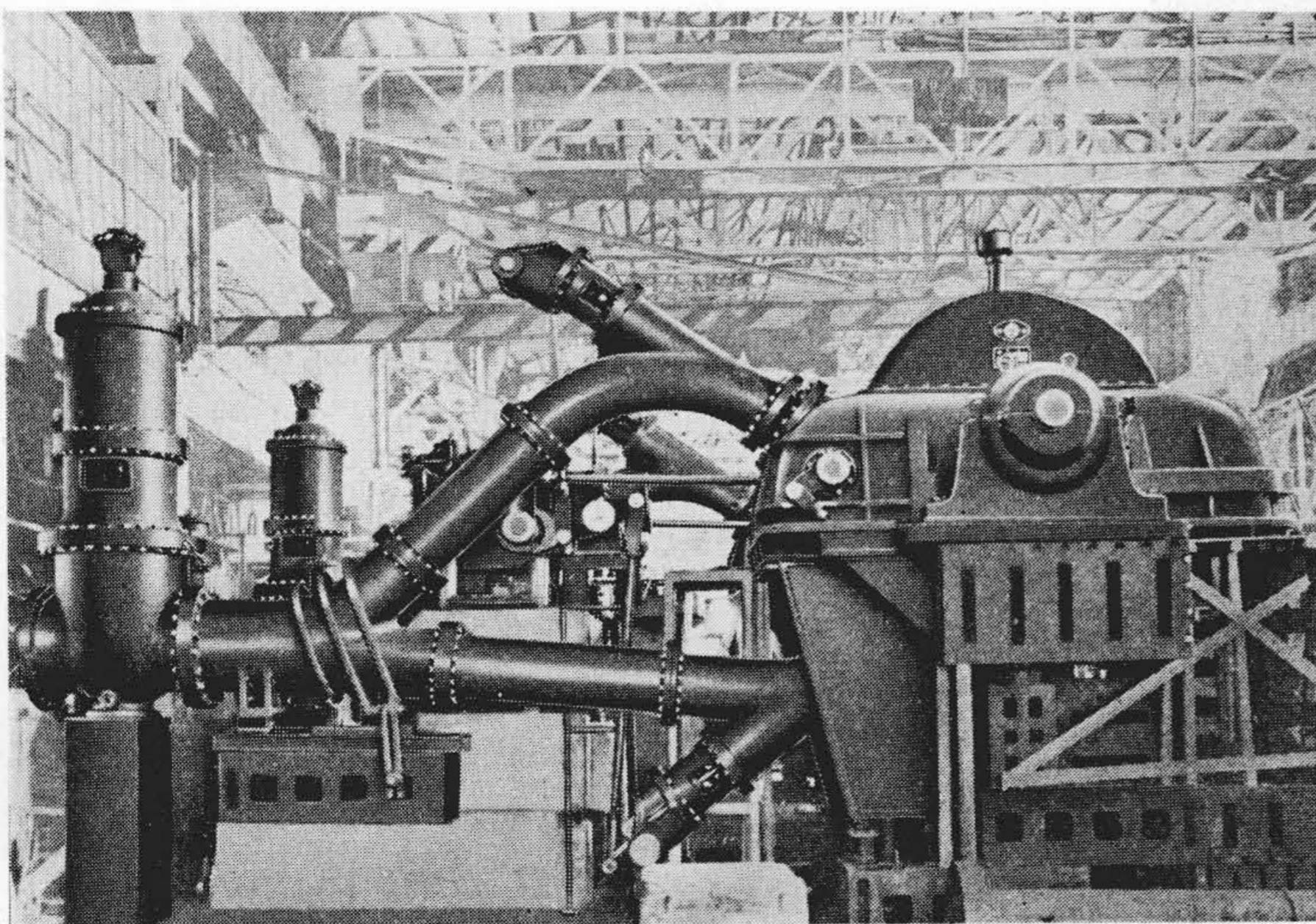
軸受は水冷式でバビット裏金内に銅管を鑄込みメタルを直接に冷却する方法をとり、バケツ中心のずれによつて生ずる推力に対して励磁機側軸受を推力軸受とした。

軸受メタルには丸型温度計、温度継電器及び温度測定用素子を附し不測の事故による温度上昇に対し警報及び停止を行う。ノズル出口及びニードルは不銹鋼鍛造とし流水の磨耗に対して十分耐えるものとした。サーボモータによるニードルの開閉操作を容易ならしめるため、バランスピストン、補助スプリングを置き円滑に操作出来る構造としてある。

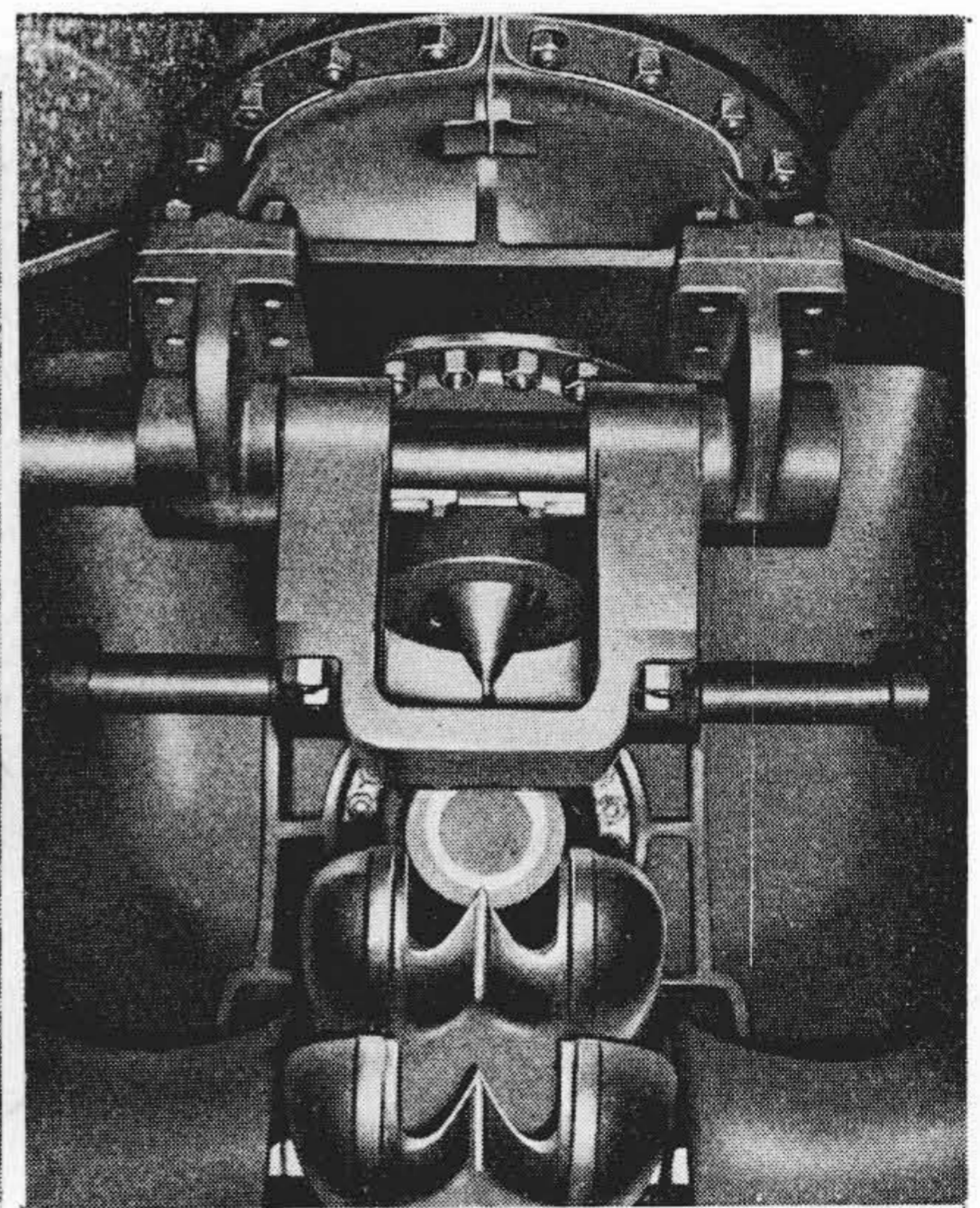
ケーシング下部にはバケツよりの排棄水及びデフレクター動作時の高速度の流水に対してコンクリートを保護するに十分なピットライナを附し、又マンホール及び内部に点検用足場を設けて、停止時の各点検に便利にしてある。



第8図 第二発電所主機配置図 Fig. 8. General Layout Drawing of No. 2 Power Station



第9図 工場仮組立 Fig. 9. Shop Assembly of 22,100 kW Pelton Wheel



第10図 ノズル及びバケット組立 Fig. 10. Assembly of Nozzle and Bucket

(B) 入口弁

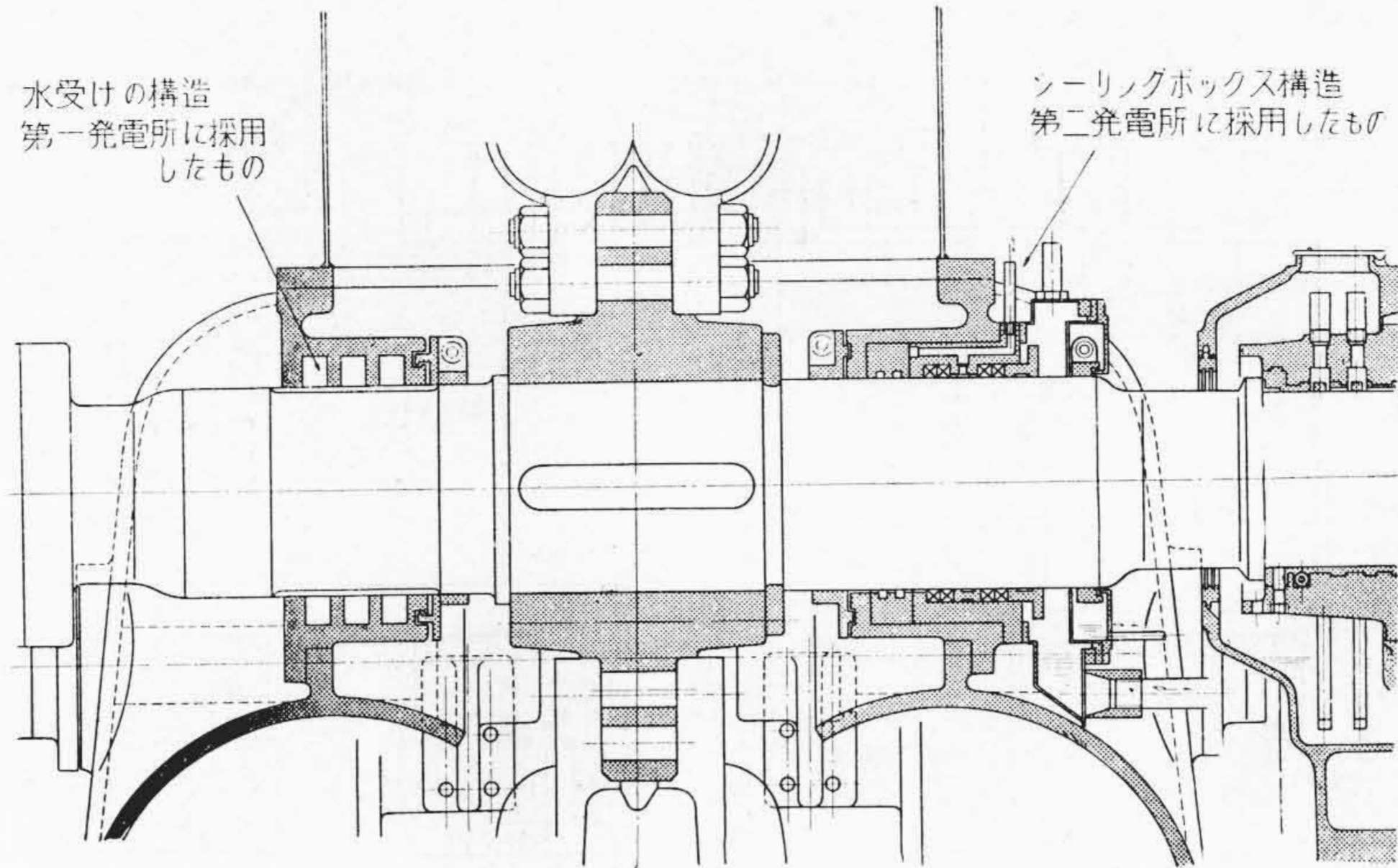
主弁は口径 700φ 油圧式スルースバルブ、脇路弁は 110φ 油圧操作式であり、自動、手動何れにも任意に操作し得る。主弁開の場合は脇路弁を先づ開き、ノズルパイプに充水し、主弁前後の水圧を平均させた後主弁を開く、又主弁閉の場合はこれと反対の操作をする。

主弁の弁胴及び弁は鋳鋼製とし、接触部には取換容易な砲金製ライナを取付けてある。

(C) 调速機

调速機は日立 HM 型 70 号電動駆動式である。

アクチュエータ部分は 1 組、サーボモータ部分は各水車に 1 組づゝ設けた構造で、アクチュエータ 1 組をもつ



第11図 水車軸水封部断面図

Fig. 11. Section of Water Sealing Parts

て負荷に応じ、各々サーボモータを同時に又単独に操作し、負荷制限装置及び水位調整器により負荷を取り得る。又サーボモータは、アクチュエータとは別箇に負荷制限装置を有し、これにより必要に応じ No. 1, No. 2 ランナーの出力を各々別箇に調整し得る構造である。

ニードル閉鎖時間は 20 sec, デフレクタ閉鎖時間は 2 sec である。

第12図はアクチュエータとニードル及びデフレクタ用サーボモータを示す。

(D) 圧油装置

圧油ポンプは M-T 式とし常用は 30 kW 誘導電動機駆動であり、予備は 25 kW 横軸ベルトン水車により駆動する。常用油圧は 16.5~18 kg/cm² であり約 15.0 kg/cm² に低下した場合予備ポンプが自動起動し、13.5 kg/cm² に降下した場合に水車を急停止する。圧油槽容量は常用油圧に於て油ポンプからの補給がない場合でも調速

機がデフレクタの全行程 3 回、ニードルの全行程 1 回を行つても、圧油槽の油圧停止継電器の動作油圧以上であり、停止継電器動作油圧に於てデフレクタニードル及び入口弁を各々 1 行程行つても尚十分な容量を有している。

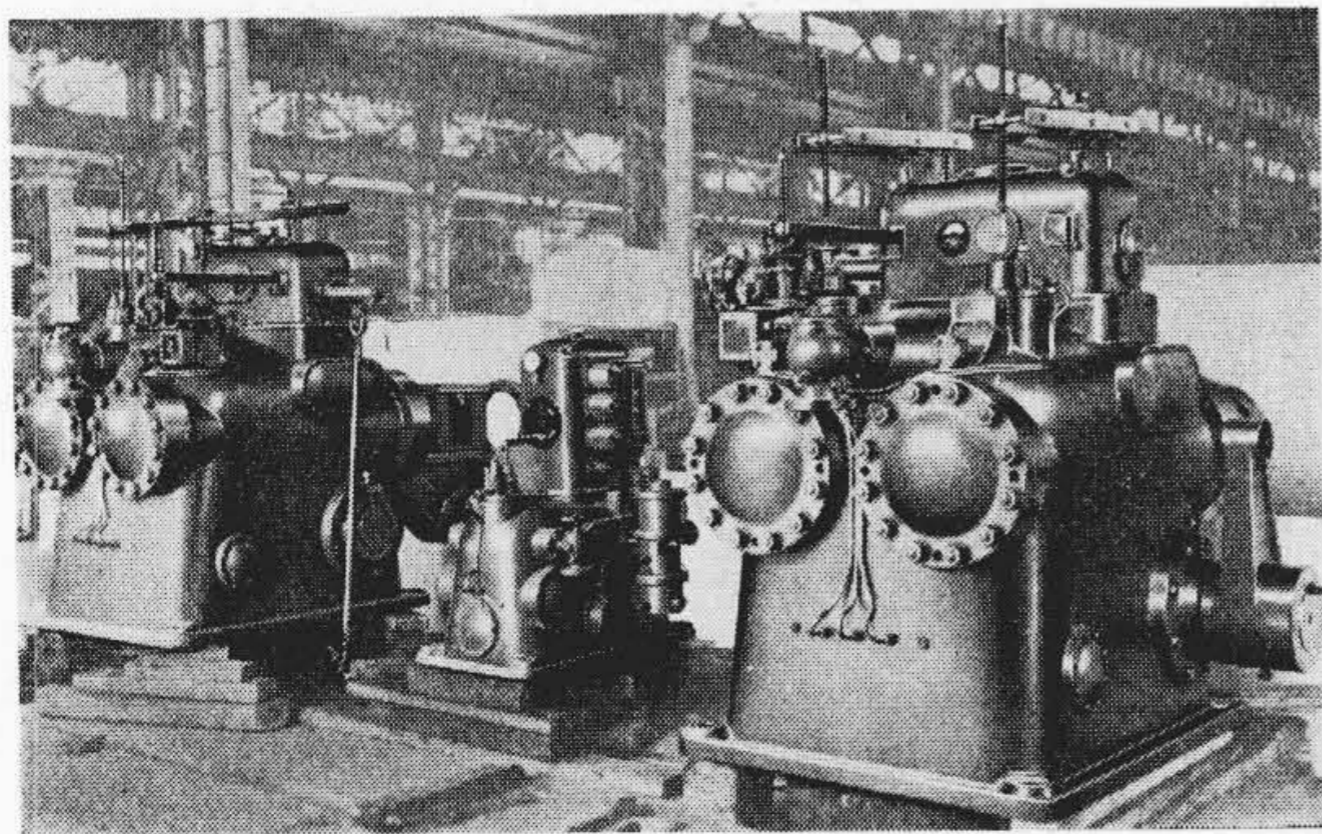
第13図に圧油ポンプ装置を示す。

集油槽は据付後油の収容、排油、清浄する場合容易な構造で水車室床面 1 m 迄浸水するも水が混入或いは油が流出しないようにしてある。若し水が混入し油槽の底部に集溜した時には、継電器によつて検出し警報を行わせる混水検出装置を備えている。(特許申請中)

グリース給油はタイムスイッチにより一定時限の間隔を置き所定量のグリースを必要な箇所へ自動的に給油する構造である。

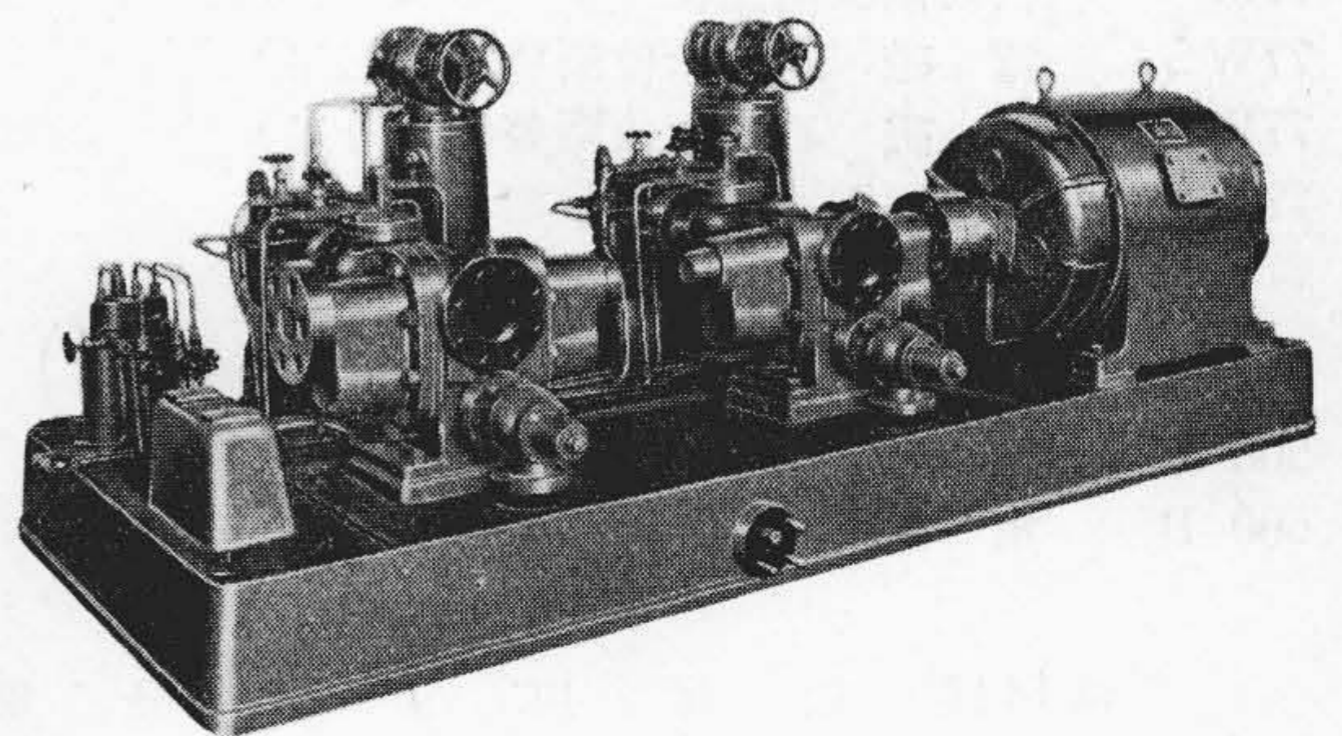
(E) 運転制御装置

第一、第二発電所の運転制御装置は両発電所の系統上



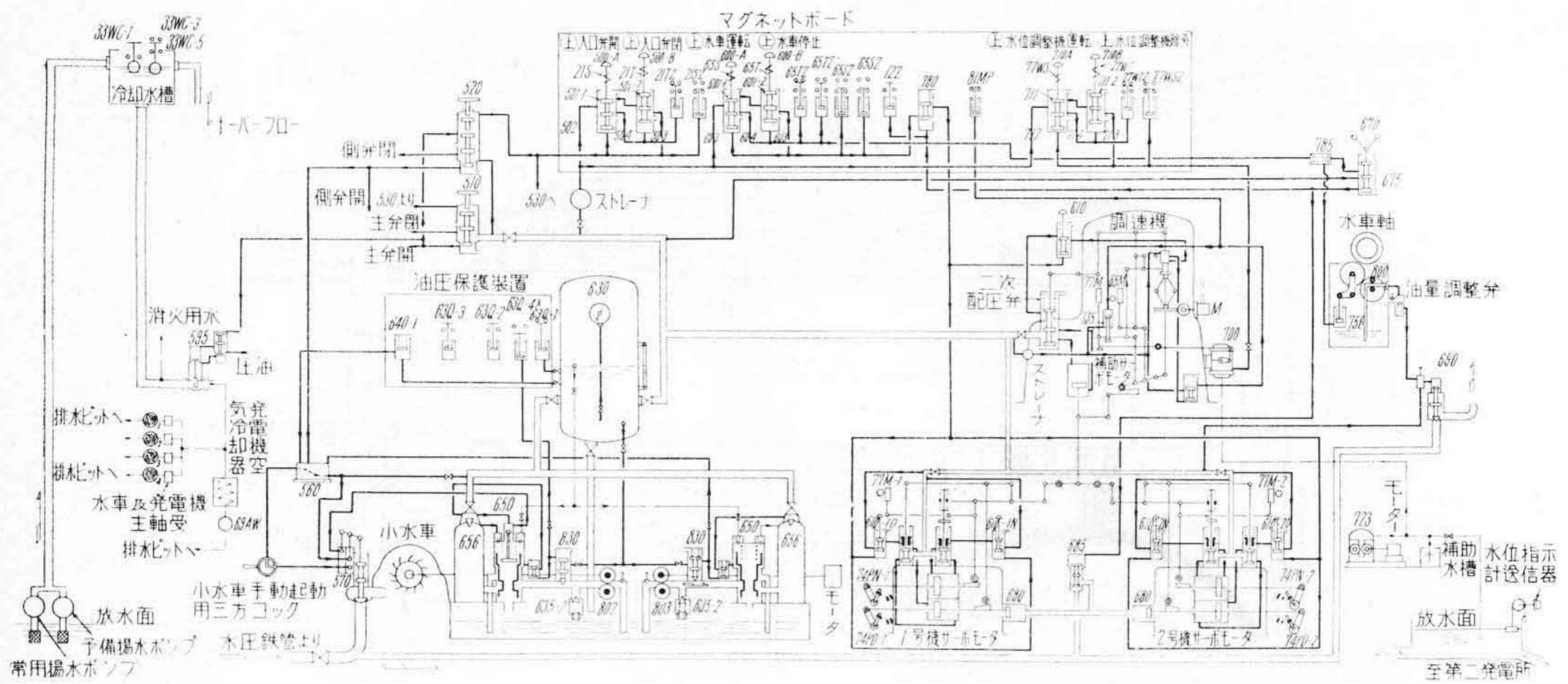
第12図 アクチュエータ及びサーボモータ

Fig. 12. Actuator and Servomotors



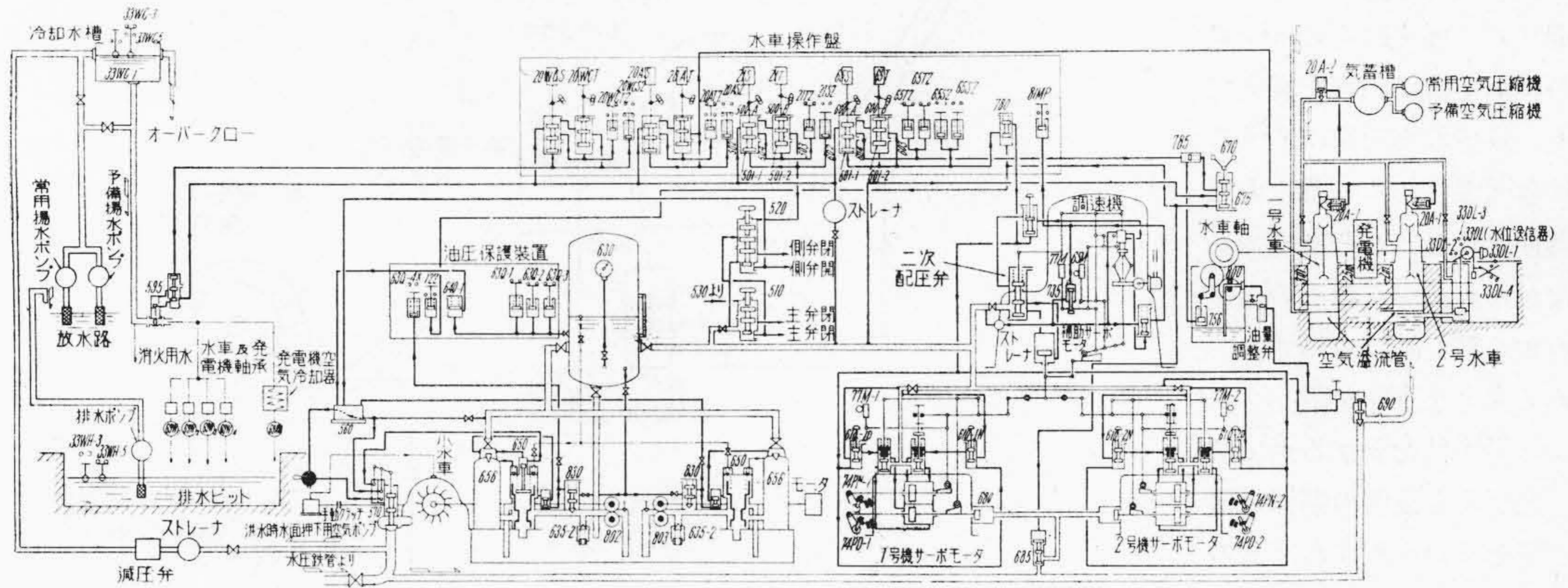
第13図 圧油ポンプ装置

Fig. 13. Oil Pump Equipment



- | | | | |
|--------|---------------------------|-------|----------------------|
| 12. 13 | 遠心力開閉器 (図示なし) | 510 | 主弁用配圧弁 |
| 12Z | 油圧開閉器 (過速度急停止用) | 520 | 側弁用配圧弁 |
| 21S | 電 磁 石 (入口弁開用) | 530 | 水圧作用弁 (図示なし) |
| 21T | 電 磁 石 (入口弁閉用) | 560 | 小水車運転弁 |
| 21S Z | 油圧開閉器 (21S用) | 570 | 小水車入口弁兼制速機 |
| 21T Z | 油圧開閉器 (21T用) | 595 | 冷却水弁 |
| 33WC-1 | 浮動開閉器 (冷却水槽水面降下警報) | 600-A | 電 磁 弁 (水車運転用) |
| 33WC-3 | 浮動開閉器 (起動条件) | 600-B | 電 磁 弁 (水車停止用) |
| 33WC-5 | 浮動開閉器 (予備冷却水ポンプ起動停止) | 610 | 調速機急停止弁 |
| 63Q-1 | 油圧継電器 (起動条件) | 630 | 圧 油 槽 |
| 63Q-2 | 油圧継電器 (警 報) | 635 | 安 全 弁 |
| 63Q-3 | 油圧継電器 (急停止) | 640 | 油圧補償弁 |
| 63Q-4X | 油圧継電器 (予備圧油ポンプ起動表示) | 650 | アンローダ |
| 65M | 速度調整用電動機 | 656 | 空気補給槽 |
| 65S | 電 磁 石 (水車運転用) | 670 | 過速度防止装置 |
| 65T | 電 磁 石 (水車停止用) | 675 | 同上用配圧弁 |
| 65S Z | 油圧開閉器 (65S用) | 680 | 水圧サーボモータ (過速時急停止用) |
| 65T Z | 油圧開閉器 (65T用) | 685 | 通 水 弁 |
| 69W | 軸受用水流継電器 (断水停止) | 690 | ジェットブレーキ |
| 69AW | 空気冷却器用水流継電器 (断水停止) | 700 | 水位調整機 |
| 74PD | デフレクタ用位置開閉器 | 723 | 同上用空気ポンプ |
| 74PN | ニードル用位置開閉器 | 735 | 負荷制限バルブ |
| 77M | 負荷制限電動機 (アクチュエータ用) | 756 | 制動油ポンプ運転用油圧ピストン |
| 77M-1 | 負荷制限電動機 (サーボモータ用) | 780 | 油圧切換弁 |
| 77M-2 | 負荷制限電動機 (サーボモータ用) | 785 | T型チェックバルブ |
| 77WS | 電 磁 石 (水位調整機運転用) | 800 | 制動油ポンプ |
| 77WT | 電 磁 石 (水位調整機除外用) | 802 | 予備圧油ポンプ |
| 77WS Z | 油圧開閉器 (77WS用) | 803 | 常用圧油ポンプ |
| 77WT Z | 油圧開閉器 (77WT用) | 830 | 油圧切換弁 |
| 81MP | 油圧開閉器 (調速機スピード駆動装置故障急停止用) | 21P-1 | 入口弁用位置開閉器 (閉) (図示なし) |
| 500-A | 電 磁 弁 (入口弁開用) | 21P-3 | 入口弁用位置開閉器 (開) (図示なし) |
| 500-B | 電 磁 弁 (入口弁閉用) | 381~4 | 軸受温度継電器 (図示なし) |

第14図 松尾川第一発電所自動操作系統図
 Fig. 14. Schematic Diagram of Automatic Turbine Operation of Matsuo-gawa No. 1 P.S.



- | | | | |
|------------|------------------------------|-------|------------------|
| 12. 13. 14 | 遠心力開閉器 (図示なし) | 65M | 速度調整用電動機 |
| 12Z | 油圧開閉器 (過速度急停止用) | 65S | 電磁石 (水車運転用) |
| 20A-1 | 吸気管開閉用自動弁 | 65T | 電磁石 (水車停止用) |
| 20A-2 | 送気管開閉用自動弁 | 65S Z | 油圧開閉器 (65S用) |
| 20A S | 電磁石 (空気弁開用) | 65T Z | 油圧開閉器 (65T用) |
| 20A T | 電磁石 (空気弁閉用) | 69W | 水流継電器 (水車発電機軸受用) |
| 20WC S | 電磁石 (冷却水弁開用) | 69A W | 水流継電器 (空気冷却器用) |
| 20WC T | 電磁石 (冷却水弁閉用) | 74P N | 制限開閉器 (ニードル用) |
| 20A S Z | 油圧開閉器 (20A S用) | 74P D | 制限開閉器 (デフレクタ用) |
| 20A T Z | 油圧開閉器 (20A T用) | 77M | 負荷制限電動機 |
| 20WC S Z | 油圧開閉器 (20WC S用) | 81MP | 油圧開閉器 (スピーダー保護用) |
| 20WC T Z | 油圧開閉器 (20WC T用) | 510 | 主弁用配圧弁 |
| 21S | 電磁石 (入口弁開用) | 520 | 側弁用配圧弁 |
| 21T | 電磁石 (入口弁閉用) | 530 | 水圧作用弁 |
| 21S Z | 油圧開閉器 (21S用) | 560 | 小水車運転弁 |
| 21T Z | 油圧開閉器 (21T用) | 570 | 小水車入口弁兼制速機 |
| 33DL-1 | 水面押下フロートタンククロート接点
(空気弁開用) | 595 | 冷却水弁 |
| 33DL-2 | 水面押下フロートタンククロート接点
(警報用) | 610 | 调速機急停止弁 |
| 33DL-3 | 水面押下フロートタンククロート接点
(急停止用) | 630 | 圧油槽 |
| 33DL-4 | 水面押下フロートタンククロート接点
(起動条件用) | 635 | 安全弁 |
| 33WC-1 | フロートスイッチ
(冷却水槽水位低下警報用) | 640 | 油圧補償弁 |
| 33WC-3 | フロートスイッチ (起動条件用) | 650 | アンローダー |
| 33WC-5 | フロートスイッチ
(予備冷却水ポンプ起動停止用) | 656 | 空気補給槽 |
| 33WH-3 | フロートスイッチ
(排水ピット水位上昇警報用) | 670 | 過速度防止装置 |
| 33WH-5 | フロートスイッチ
(排水ポンプ起動停止用) | 675 | 同上用配圧弁 |
| 63Q-1 | 油圧継電器 (起動条件用) | 680 | デフレクタ用水圧サーボモータ |
| 63Q-2 | 油圧継電器 (警報用) | 685 | 通水弁 |
| 63Q-3 | 油圧継電器 (急停止用) | 690 | ジェットプレーキ |
| 63Q-4X | 油圧開閉器 (予備ポンプ起動表示用) | 735 | 負荷制限バルブ |
| | | 756 | 制動油ポンプ運転用油圧ピストン |
| | | 780 | 油圧切換弁 |
| | | 785 | T型チエックバルブ |
| | | 800 | 制動油ポンプ |
| | | 802 | 予備圧油ポンプ |
| | | 803 | 常用圧油ポンプ |
| | | 830 | 油圧切換弁 |

第15図 松尾川第二発電所自動操作系統図

Fig. 15. Schematic Diagram of Automatic Turbine Operation of Matsuo-gawa No. 2 P.S.

の比重、地理的条件、水車、発電機の特種型式等の諸条件が関与して従来にその例を見ぬ特長ある機構内容を備えている。且つ取水方法に於ける密接な関連性から、各々の運転機能が独立した発電所でありながらあたかも単一の発電所の如く総合的に考察されて始めて完全な意味を附与されることも注目を要する点である。先づ両発電所の制御装置の仕様を摘要比較すれば次の通りである。両発電所の自動操作系統を第 14, 15 図(第 8, 9 頁参照)に示す。

第一発電所

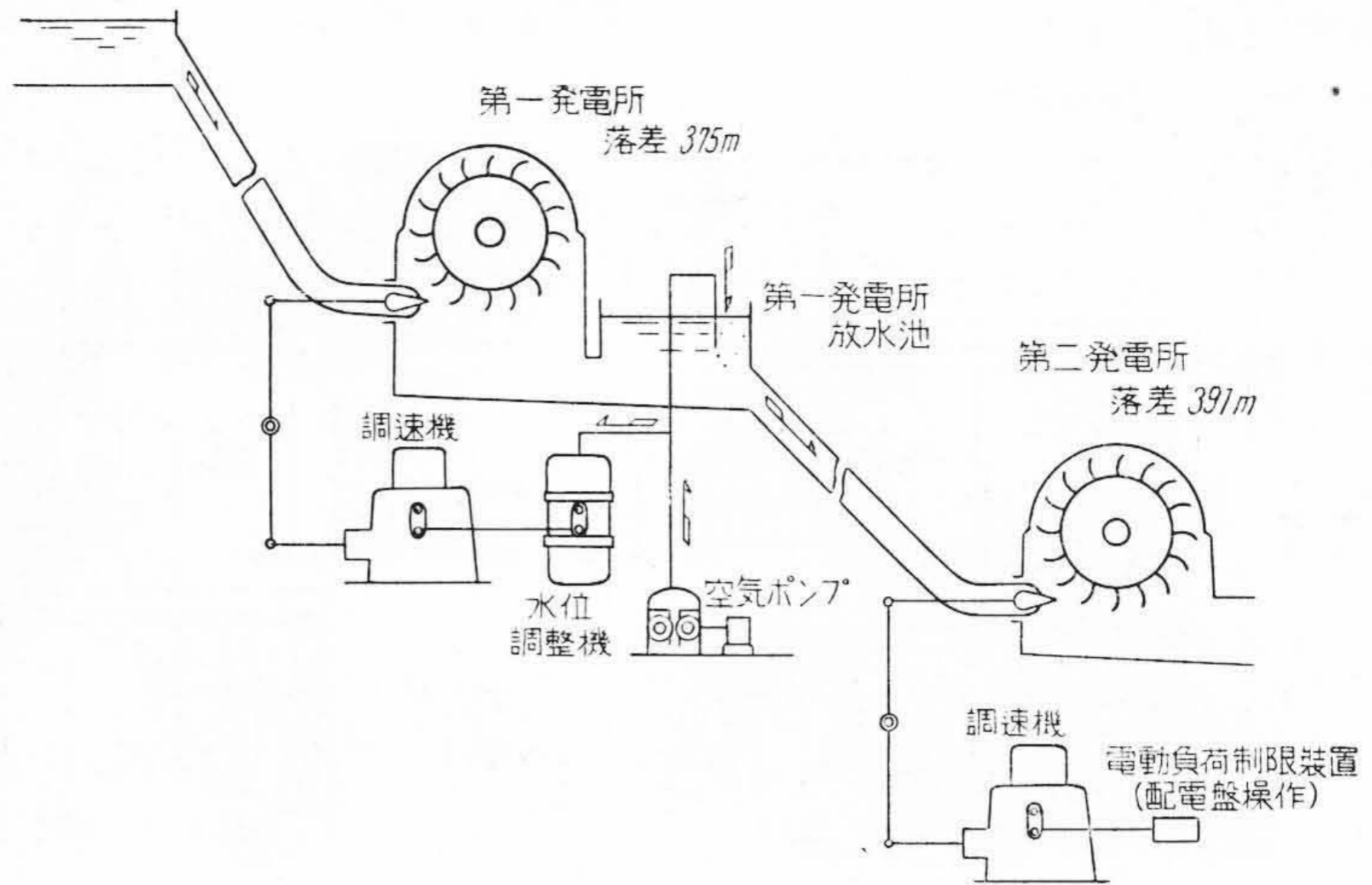
1. 第二発電所よりの遠方監視制御
2. 水位調整機による逆負荷調整
3. 水位調整機による高効率運転
4. 周波数調整

第二発電所

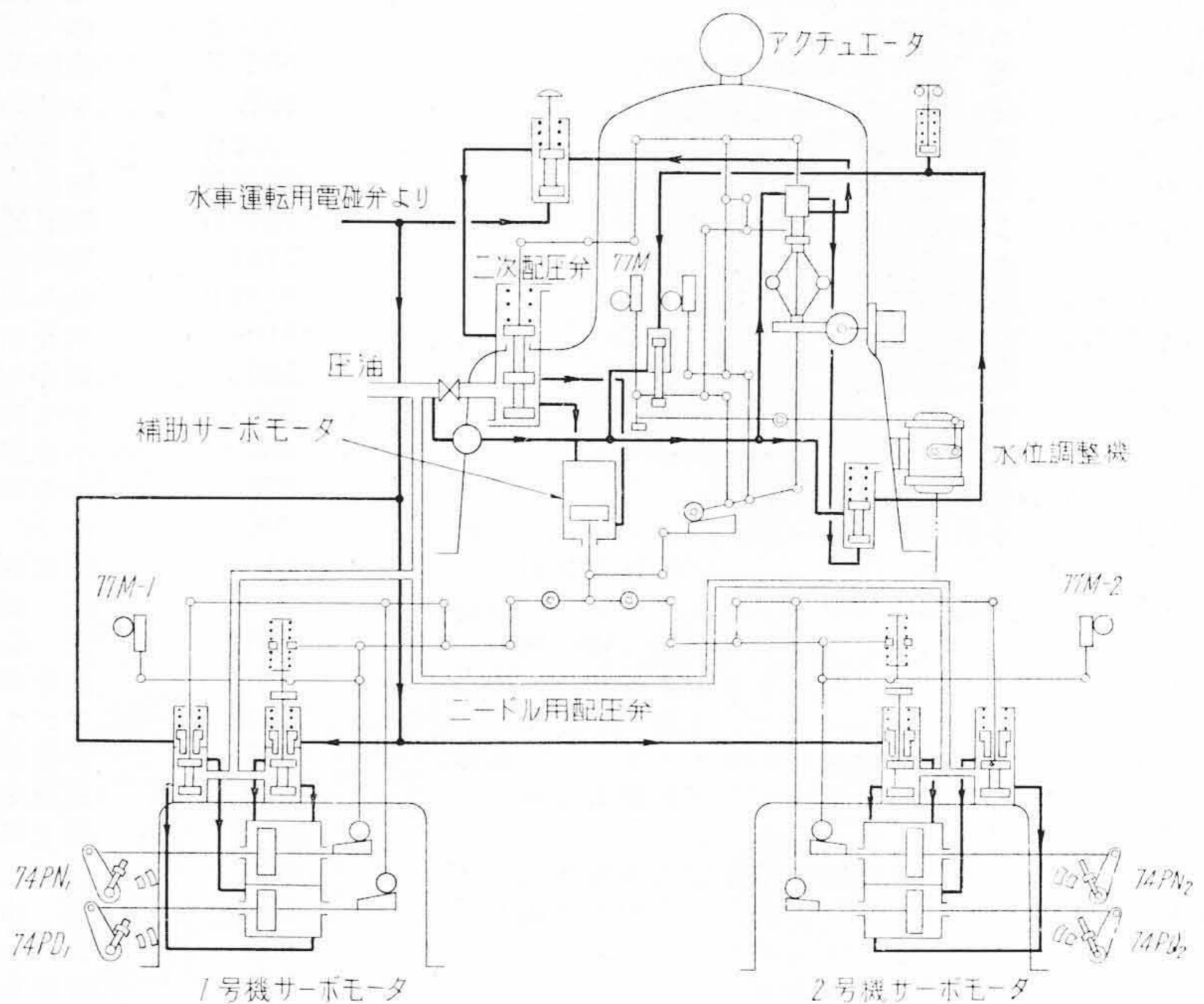
1. 一人制御方式
2. 負荷制限電動機による負荷調整
3. 電力調整器による高効率運転
4. 進相運転又は周波数調整
5. 洪水時におけるケーシング内の水面圧下

第 16 図の如く両発電所は、第一発電所の放水が直ちに管路を経て第二発電所に取水される地理的關係にあるため、運転にあたっては先づ第一発電所を運転して放水池水位を調整し、しかる後第二発電所の運転に入る必要がある。停止に於てはこの逆である。従つて第一発電所は第二発電所を親発電所として遠方制御され、運転停止の自動操作はすべて第二発電所に従属して行われる。

負荷の調整も、第二発電所で操作開閉器により負荷制限電動機を操作してニードル開度を加減すれば、第一発



第 16 図 第一第二発電所間の取水及び負荷調整關係図
Fig. 16. Schematic Diagram Showing Chain-Load-Control between No. 1 and No. 2. P.S.



第 17 図 高 能 率 運 転 調 速 機 機 構
Fig. 17. Diagrammatic Layout of Governor for High-Efficiency Operation

電所放水池の水面に変化を来たすが、第一発電所では水位調整機によりこの変化を感受して放水池水位を規定位置に維持するようニードル開度を加減する。即ち両発電所は第一発電所の放水池水位の変動に関連して連鎖的に負荷調整を行うことになる。

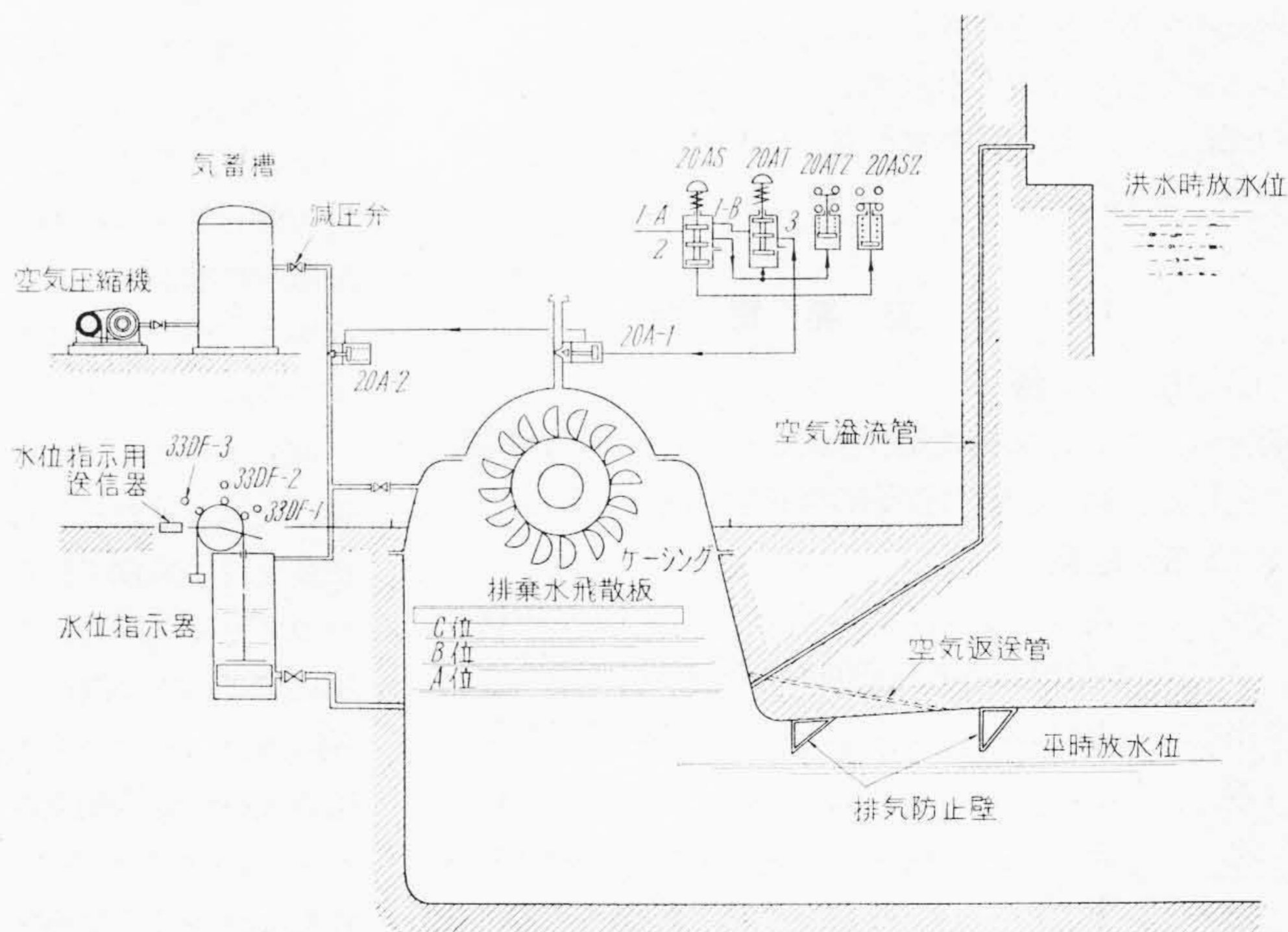
次に第 8 図の如く、両発電所共、発電機 1 台に対して水車は両側に各 1 台分割配置されるが、この関係を利用

して高能率運転方式が採用される。即ち、発電機負荷 50%迄先行機による単独運転とし、50%以上では2台に均等に負荷を分担せしめて広範囲にわたつて高効率の維持を計る。第17図はこの方式に於ける調速機アクチュエータとサーボモータの関係骨子を示す。図でアクチュエータに設けられた補助サーボモータはゲートシャフト型調速機のサーボモータと全く同様の機構によりアクチュエータ配圧弁に案内されて動作し、この動作はリンクを介して各サーボモータのニードル及びデフレクタ配圧弁に伝達され、ニードル及びデフレクタはこの配圧弁により開閉される。要約すればこの構造は2台の水車を共通の1台の調速機で制御するものということが出来、補助サーボモータ開度と各水車ニードル及びデフレクタ開度は1:1の対応をなす。例えば補助サーボモータ開度が $\alpha\%$ なるとき、各水車ニードルの開度もまた $\alpha\%$ となる。補助サーボモータ開度は負荷制限電動機 77M 又は水位調整機により任意に調整することが出来る。且又、各サーボモータのニードル用配圧弁には負荷制限電動機 77M₁, 77M₂ があつて、補助サーボモータの位置とは全く無関係に開度を全閉位置に制限することが出来る。従つて若し補助サーボモータ開度が $\alpha\%$ で、1台の水車開度が全閉位置に制限されているときは、他の1台の水車開度は $\alpha\%$ であるから、発電機出力は $\alpha/2\%$ となる。図中 74PN 及び 74PD ニードル及びサーボモータ軸に連動する制限開閉器であつて、後述の如く規定開度で接点を開閉して制御回路中の諸条件を作る。

以上のように、同一発電機負荷に対して、補助サーボモータは1台運転の場合と2台運転の場合とでその位置を異にするから、1台運転から2台運転への切換、又はその逆の場合に、この補助サーボモータの位置の調整を如何に行うかにこの高能率運転の主要な眼目がある。これを先づ第一発電所に就いて説明すれば、起動にあつては1号機のみ運転に入り、他の1台は電動負荷制限装置 77M₂ によつて全閉位置に抑えられている。負荷は水位調整機により、第二発電所負荷に対応して調整される。前述の如く、この間の発電機負荷 $\alpha\%$ に対する補助サーボモータ開度は

2 $\alpha\%$ である。負荷が増加して1号機全出力即ち、発電機出力 50% に達すると、制限開閉器 74PN₁ の接点閉路により、77M₂ が開方向に起動して2号機ニードルが徐々に開く。これによつて第二発電所取水量と第一発電所放水量との間に不均衡を来たして第一発電所放水池水位が規定値より増加する。この変化が水位調整機により感受され、補助サーボモータは 100% 位置から逆行を開始し 50% 位置で 1, 2 号機に均等に負荷を分配する。2台運転から1台運転への移行は、発電機負荷 40% で 74PN₁ の接点閉路により 77M₂ が閉方向に起動してニードルを全閉する。これによる放水面の変化が再び水位調整機により検出され、補助サーボモータは 80% 位置迄開いて1号機のみで 40% の負荷をとる。

第二発電所も、運転順序はこれと同様であるが、第一発電所と異なり、負荷の調整は負荷制限電動機 77M によりなされ、50%, 40% の自動切換は水位調整機に代り、電力調整機によつてなされる。発電機負荷 50% に至れば、74PN₁ の閉路により、電力調整器が生かされ、2号機ニードルが開き始めると同時に出力 50% に維持する如く 77M を管制するから、1, 2 号機ニードルは各 50% 開度で均等に負荷を分担する。各ニードル開度が 50% となれば電力調整器は消勢され、以後の負荷の調整は操作開閉器により行われる。2台運転に於て負荷が 40% に減じた場合には、2号機ニードルが閉じ始めると同時に電力調整器が生かされ、1号機のみで 40% 負担せしめ、2号機ニードルの全閉と同時に消勢する。



第18図 洪水時運転法
Fig. 18. Diagram Showing the Method of Operation of Turbine at Flood Periods

以上のように本運転装置は従来の純機械的方式が精緻複雑に過ぎる難を有していたに対し、装置の簡単、動作の迅速確実を期するために可能な限りの電氣的制御機構を採り入れた点で、今後の水車制御装置の進むべき方向を示唆するものといふことが出来る。

第二発電所では進相運転を行う。なおこれとは別箇に現在両発電所について周波数調整が計画されている。

第二発電所では洪水時放水路水位が水車室床面より上昇するためケーシング内の自動水面押下げ装置が設けられている。第18図(前頁参照)にその機構を示す。

放水水位が上昇してA水位に至ると空気圧縮機が自動起動し、空気槽、減圧弁を経て圧縮空気がケーシング中に送られ、ケーシング上部の通気バルブは閉ぢる。ケーシング中の過剰空気は空気溢流管より室外に排出される。事故その他により水位が上昇してB水位となると警報及び予備空気圧縮機を起動し更にC水位にて水車を急停止する。ケーシング中の水位は水位指示器によつて外部に指示される。

ケーシング主軸貫通部より漏出せんとする空気に対しては第11図にみるような封水による漏気防止を行う構造のシーリングボックスを設けた。この構造は沼沢沼揚水式発電所にて実施優秀な成績を収めている。

又放水路に排棄水と共に流出する空気に対しては放水面の動揺を防ぎ流出空気を回収する方法を採つた。放水面の動揺は排棄水の飛散勢力を減少させるそらせ板を置き、流出する空気に対しては防止壁を2箇所に設け吸収された空気はケーシング中に逆送する返送管を埋込み空気の流出するのを防ぐ構造とした。(特許申請中)

尙本発電所の最大洪水水位は水車中心より6.7m、洪水時の運転のケーシング中放水水位(A水位)は水車中心より3mである。

〔III〕 交流 発 電 機

(1) 仕 様

前述のペルトン水車に直結される交流発電機及び励磁機の仕様は、第一、第二発電所共下記の通りである。

交 流 発 電 機

型 式	..... EFB-RD
(横軸閉鎖風道循環型回転界磁式制動巻線付)	
出 力	..... 24,000 kVA
電 圧	..... 11,000 V
電 流	..... 1,260 A
力 率	..... 85% (遅れ)
周 波 数	..... 60 ω
回 転 数	..... 450 r.p.m.
極 数	..... 16

主 励 磁 機

型 式	..... FB ₁ -Sp (横軸開放型他励式)
出 力	..... 140 kW
電 圧	..... 220 V
回 転 数	..... 450 r.p.m.

副 励 磁 機

型 式	..... FB ₀ -K (横軸開放型複巻式)
出 力	..... 5 kW
電 圧	..... 110 V
回 転 数	..... 450 r.p.m.

以上が本機の主なる仕様であるが、この外、水車の無拘束速度に対する耐力、100%及び85%力率に於ける電圧変動率、或いは各負荷時の能率等の保証がなされ、殊に能率に於ては極めて高い保証値であるにもかかわらず、負の裕度を認められぬものである。

これ等の仕様及び保証事項は後述するように極めて優秀な成績で満足された。

(2) 構 造

固定子は輸送に便なるよう4つ割又は2つ割とした。即ち、第一発電所用発電機は、その輸送制限重量が15tであるため4つ割とし、第二発電所用発電機の固定子は2つ割とした。固定子線輪は2層巻亀甲型でマイカペーパーによる完全B種絶縁を施した外、特殊塗料によるコロナシールドをなしておる。そのためその絶縁耐力はJECに於て規定された25,000Vに1min耐え得るは勿論の事、11,000Vという高い高圧によつてもコロナの生ずる事がなく、後述の如く種々の試験によつてその優秀性が実証された。固定子線輪が最高温度になると考えられる箇所全周12箇所(内6箇所予備)には、温度測定用抵抗線を挿入し、これらの口出線は全部纏めて固定子枠外側の端子板に導き、更に各軸受その他のものと共に配電盤に導かれており、配電盤室より居ながらにして、簡単に、かつ安全に固定子線輪の温度を読む事の出来るようになってゐる。

回転子界磁継鉄は、界磁極及び界磁線輪に起る大なる遠心力及び継鉄それ自身の遠心力に対して十分に安全な強度を持つ鍛鋼で作られ、輸送及び組立の便なるよう3つのブロックに分けた。その周辺には16箇の界磁極が、鳩尾によつて堅固に取り付けられている。又継鉄は直接主軸に焼嵌めした。主軸も又鍛鋼で作られている。継鉄、界磁極及び界磁線輪更に又それ自身の重量等に対して撓みも少く、水車からの大なる回転力を伝えるに十分な寸法、強度を持つのみならず、その臨界速度を水車の無拘束速度より十分高くとつて設計製作されたものである。主軸の両端には水車を直結出来るよう打出し錨を設けた。これ等界磁継鉄及び主軸等の鍛鋼品は、鋼塊より完

成まで総べて自家工場の手になるもので、よく吟味された材料と、長年の研究によつて培われた最高の技術とによつて製作されたものであり、更にその材質は、完備された試験設備で入念に検査されたものであるため、万が一水車が無拘束速度に達したとしても毫も不安の無いものである。

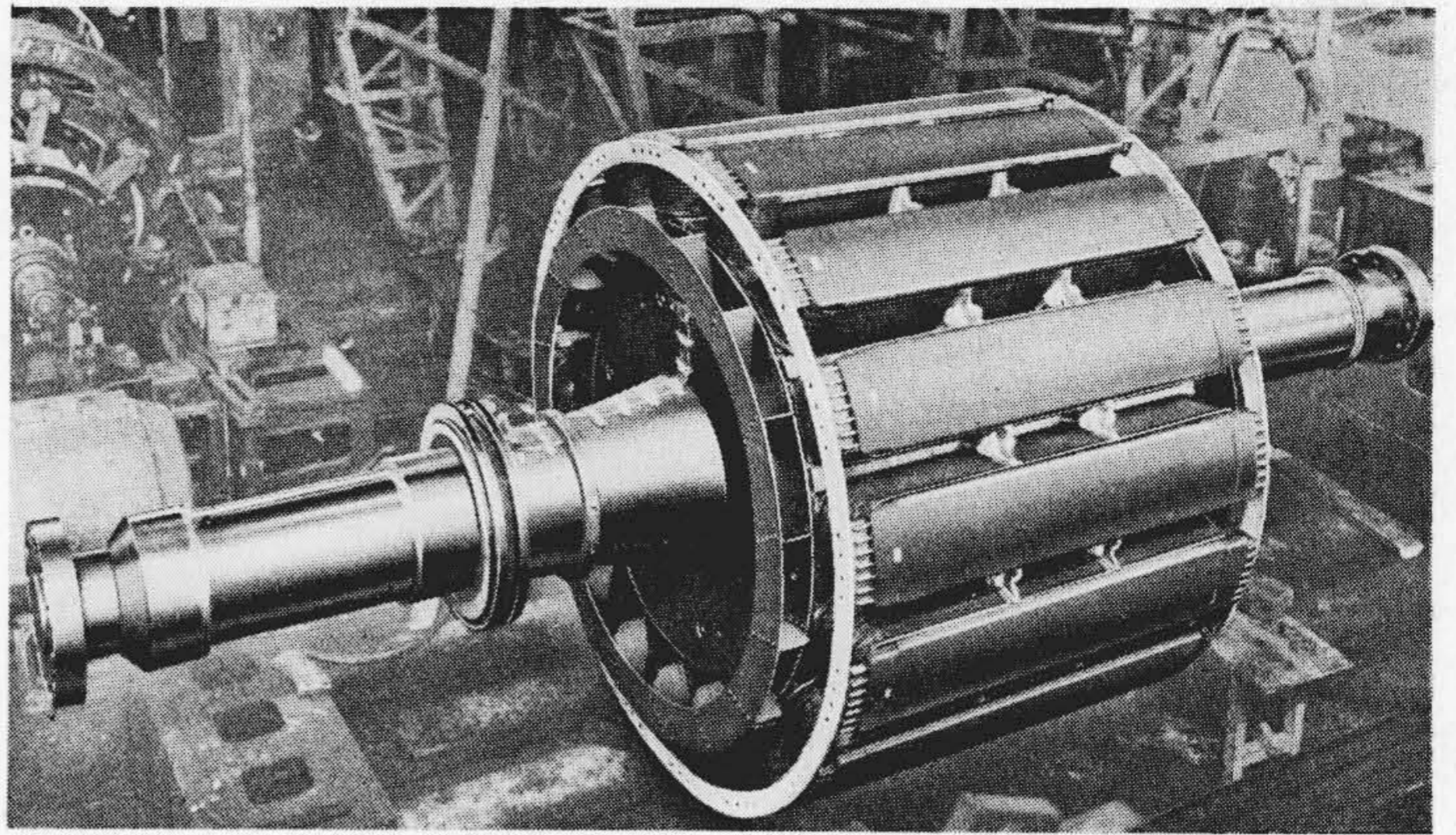
磁極頭部に設けた制動巻線は、完全ダンパーとし、エンドリングとの熔接は特に入念に行われている。第19図はこの発電機の回転子の写真である。

軸受は普通型の円筒軸受とし、軸の僅少の撓みに対しても安全なるよう球面座で支持される。その給油方式は油環給油とし、冷却方式には水冷式を採用した。即ち各軸受の下半分のバビットメタルの中に、冷却管を鑄込み、これに冷却水を通じて軸受を冷却せしめる。この外軸受には温度測定抵抗線、丸型温度計及び温度継電器等を取付けた。温度測定用抵抗線は、前述の固定子線輪の間に挿入したものと共に、端子板を経て配電盤に導かれ、軸受温度を配電盤室で読めるようになってゐる。丸型温度計には警報用接点を設け、軸受がある温度に達すると警報するようになっており、又温度継電器は、一定温度で動作し水車及び発電機を自動停止せしめこの軸受の保護をなす。

軸受を支えるペデスタルとベースとの間には、絶縁板を挟み、軸電流により軸受面が損傷する事の無いよう考慮されている。第20図は本発電機の軸受の上半分及び下半分を示す。

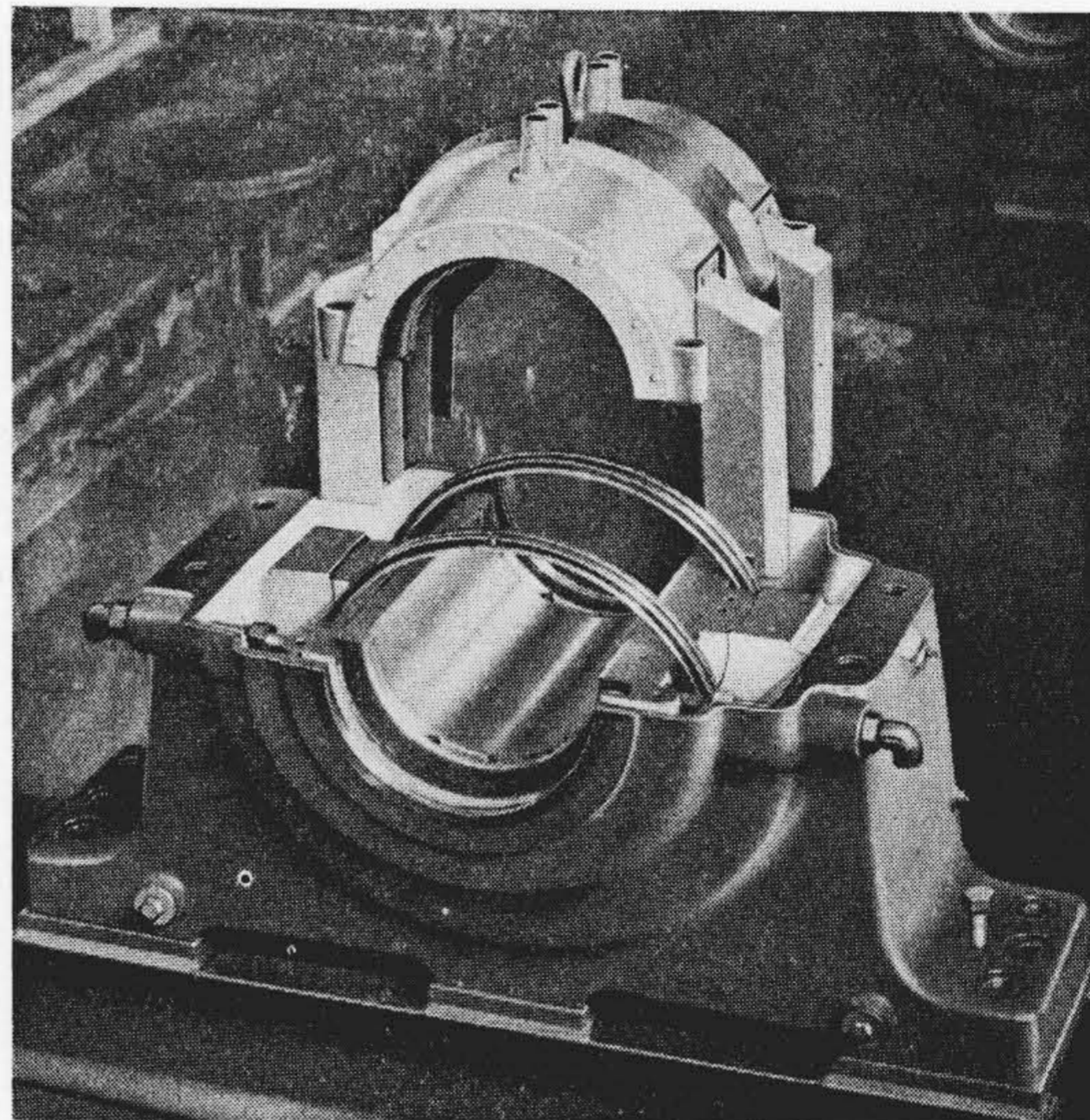
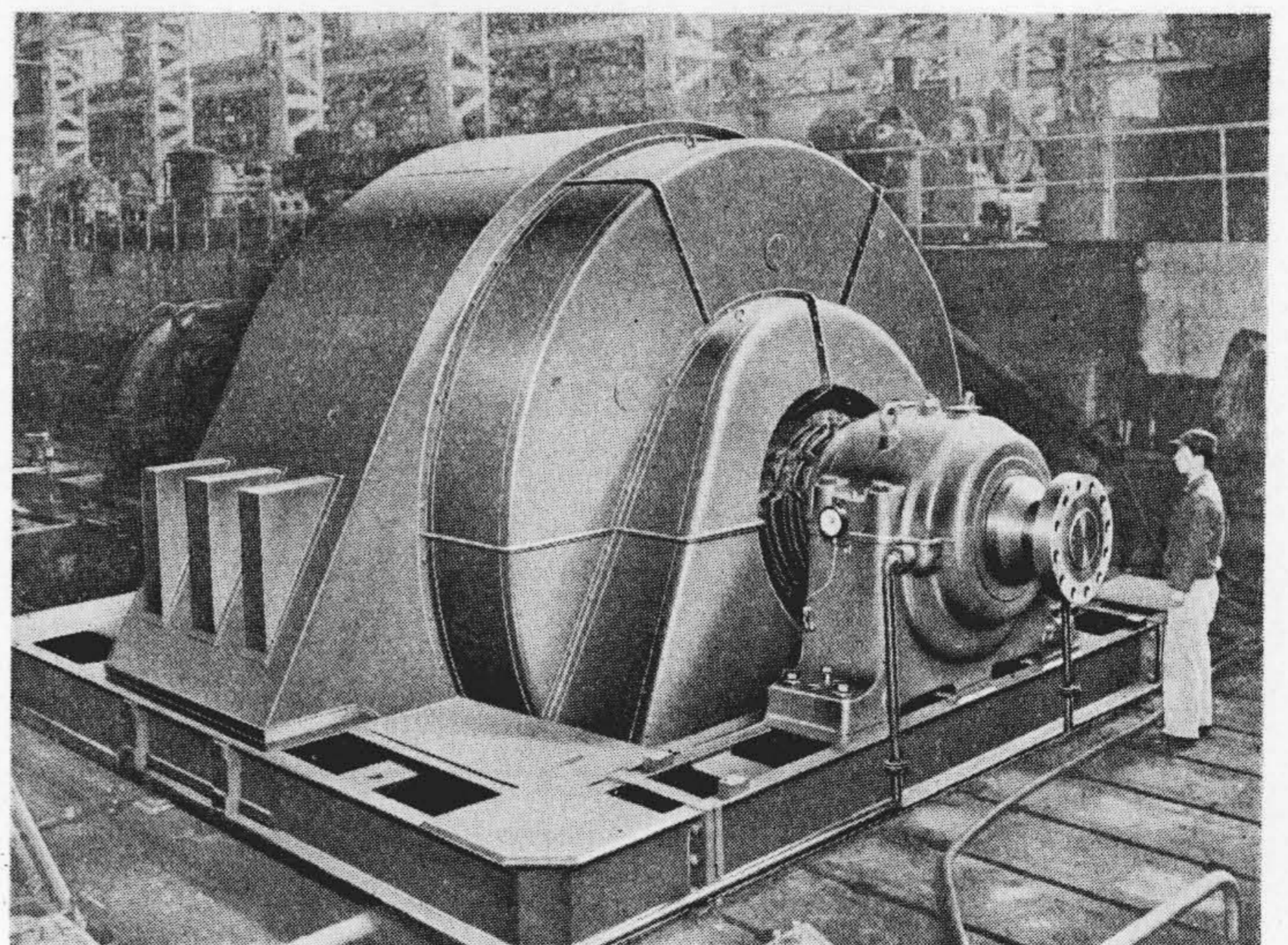
発電機ベースには既に本誌上で発表された東北電力沼沢沼揚水発電所納 23,000 kVA 交流発電機及び北海道電力然別第一発電所納 15,000 kVA 交流発電機等に取り付け好評を得た所の日立製作所の新案になる固定子昇降装置(新案番号396251)を取付け、固定子を約 750 mm 昇降出来るようにし、発電機の分解組立を容易ならしめた。

その外、消火装置も亦日立の新案である噴射、噴霧ノズル併用の注水式消火装置(新案番号 377487)を採用した。



第19図 回転子

Fig. 19. The rotor

第20図
水冷式軸受Fig. 20.
The Water
Cooled Bearing第21図 松尾川第一発電所納 24,000 kVA 交流発電機
Fig. 21. 24,000 kVA Alternator for Matsuo-gawa No. 1
Power Station

発電機下部には 3 箇の水冷式空気冷却器を設けた。冷却管には、水に対し特に耐蝕性が大きい特殊銅合金のパイプに銅帯を巻きつけたエロフィン管を使用し、漏水等の無い構造としている。又点検及び掃除等に便なよう台車を設け、容易に床面に取出せるようにした外、ウォーターサイト及び水流継電器等を取付けている。

冷却器の風の入口及び出口には温度測定用抵抗線を設置し配電盤に導き発電機吸気及び排気の温度測定の出来るようにした。

水車ペンデュラム駆動用同期電動機の電源は、副励磁機に直結された永久磁石交流発電機より取る。本方式によれば、水車起動の際の低速度時に於ても、ペンデュラムの回転速度は水車の回転速度に比例する利点を持つ。

以上が本松尾川第一及び第二発電所用 24,000 kVA 交流発電機の構造の概要である。

第21図（前頁参照）は本発電機の外観である。

(3) 試験及び特性

本発電機が前述の如き仕様及び構造を満足せしめているか、又保証事項を満足しているか否かに関し、四国電力各関係者の御立会の下で、各社の試験がなされた。以下それ等の試験成績を述べる。

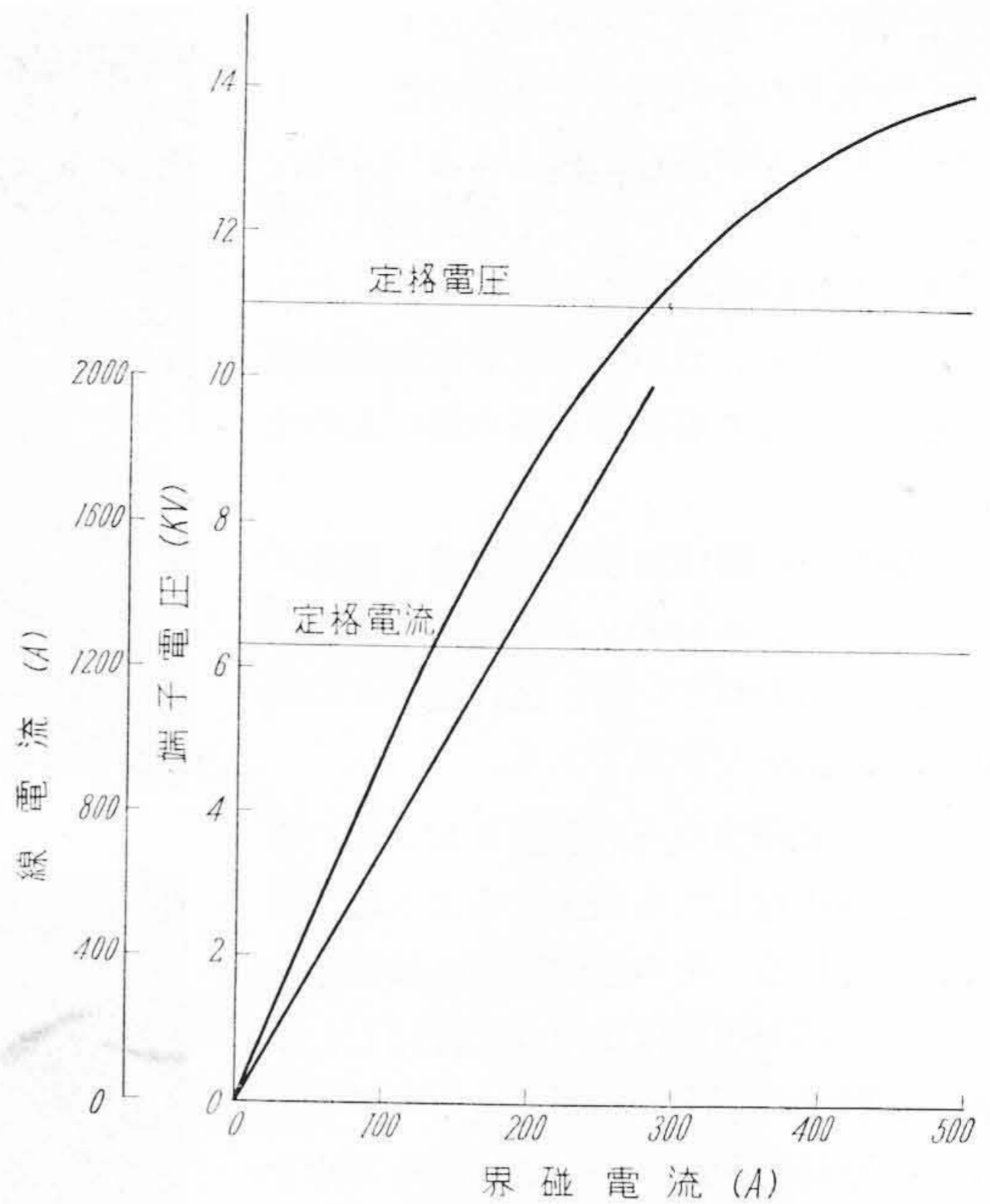
固定子線輪はいうまでも無く電圧を発生し、電力を発生するいわば発電機の生命ともいふべき部分であるが、この固定子線輪に対しては、損失角の測定、衝撃電圧試験、或いは商用周波に於ける絶縁破壊試験等を施した。

損失角ではループも無く、又印加電圧の上昇による損失角の変化も極めて少い事が明らかにされ、更に抜取線輪に対する衝撃電圧試験及び商用周波による絶縁破壊試験に於ては、その絶縁破壊電圧が定格電圧に比し極めて高いものであり、定格電圧に於ける運転には毫も絶縁破壊その他の心配のない優秀な線輪である事が立証された。

継鉄及び主軸等の鍛鋼品に対しては、加工前に各部より数多くの試験片を取り、引張りその他の強度試験により、如何なる方向の力に対しても十分な強度を持つものである事を確認した上で加工を施した。

工場に於て仮組立の上、各特性曲線、各インピーダンスの測定、各損失電圧変動率の測定、更に温度上昇試験及び電圧波形の歪、機械的振動等の測定が行われた。

第22図に本発電機の工場に於て測定された無負荷飽和曲線及び三相短絡曲線を示す。ちなみに本発電機の短絡比の保証値は 1.0 以上となつておるが、十分保証値を満足せしめている事が分るであろう。又電圧の波形は、その歪は 5% 以下という保証に対し、僅か 1% 強という極めて正弦波に近いものが得られた。



第 22 図 無負荷飽和曲線及び三相短絡曲線
Fig. 22. The No-Load Saturation Curve and Three Phase Short Circuit Curve

能率に於ては極めて高い値を保証したのであるが、工場試験の結果、如何なる負荷に於てもその保証値を更に 0.2% 以上上廻るといふ好結果を得た。

振動は、工場に於ける仮組立であり、基礎は定盤の上にボルト締めにしたのみで、現地に於けるそれに比し遙かに脆弱であつたにも拘らず、定格回転数の 125% の過速度に於ても殆ど 0 に等しいという平衡の取れた機械である。その他電圧変動率、或いは各部の温度上昇等総て保証値を十分に満足している。

[V] 結 言

以上四国電力松尾川第一、第二発電所用 21,100 kW ペルトン水車及び 24,000 kVA 交流発電機の仕様、構造及び特性の概要を述べたが、本水車はペルトン水車としては本邦第一の容量を持つものであり、発電機も又水車直結横軸型交流発電機として本邦の記録品である。

既にこの水車及び発電機の据付工事も順調に進んでおり、その完成も間近にあるが、運転開始のあかつきには記録品の威力を発揮し、電力界に貢献するところ極めて大なるものがあると期待される。

終りにのぞみ、日立製作所がこの輝かしい成果を挙げるまでに、終始御指導を賜つた四国電力株式会社の関係者各位に心からの感謝を捧げて本文を擧筆する。