

# 大森川発電所の建設工事について

## The Construction Work of the Ōmorigawa Power Station

志 波 勉\*  
Tsutomu Shiba

### 内 容 梗 概

わが国最初のポンプ水車を採用した大森川発電所は、電力界の注目のうちに約2年余の年月と約35億の工費を投じて完成したものである。したがって電力量と工費および貯水地使用合理化を主体とした経済検討はいうまでもなく、構造細部にわたる技術検討と数多くの試験研究が行はれた。本文は3部に分類され第1部には主として計画と施設の概要について説明し、第2部にすえ付の概要を述べ、第3部には現地における試験についての解析検討を示した。

## 第1部 計画および設備の概要について

### 1. 緒 言

四国における出水状況は豊水期においても平水計画の70%を割る渇水日に見舞われるように、年々相当大幅な変動を示している。したがって年間を通じて相当の余剰電力を発生するにもかかわらず、なおかなりの火力発電を必要とする状態である。大森川発電所は大森川地点に揚水発電所を設けて揚水補給と軽負荷時の余剰電力を利用して揚水を行い、系統余剰消化と総合需給面の経済性を考慮して計画されたものである。

この大森川は吉野川最上流の支流で、その源は霊峰石槌連峰に発しほぼ東流して高知県土佐郡本川村長沢に至り、吉野川本流に合流している。その流域は良好な国有林でおおわれ平均年間雨量は3,300 mm程度で良好である。また四国中央部の既設電源地帯に近く、100kV送電系統にも近いので負荷地点に送電し、余剰電力を消化するにはきわめて容易である。

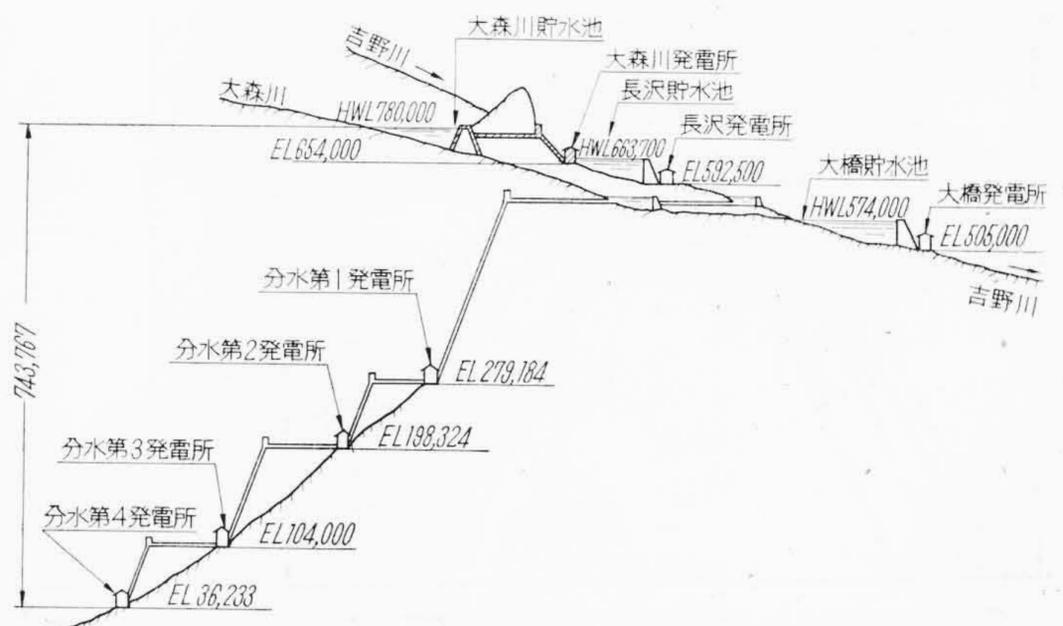
### 2. 電源開発の概要

大森川発電所は大森川上流に貯水池を設け、既設長沢貯水池との落差を利用して発電するとともに、長沢貯水池の水をポンプにより大森川貯水池に揚水する方式である。すなわち第1図に示すように大森川、長沢で発電した水は分水第一、

\* 四国電力株式会社取締役建設部長



第1図 計画および既設地点図



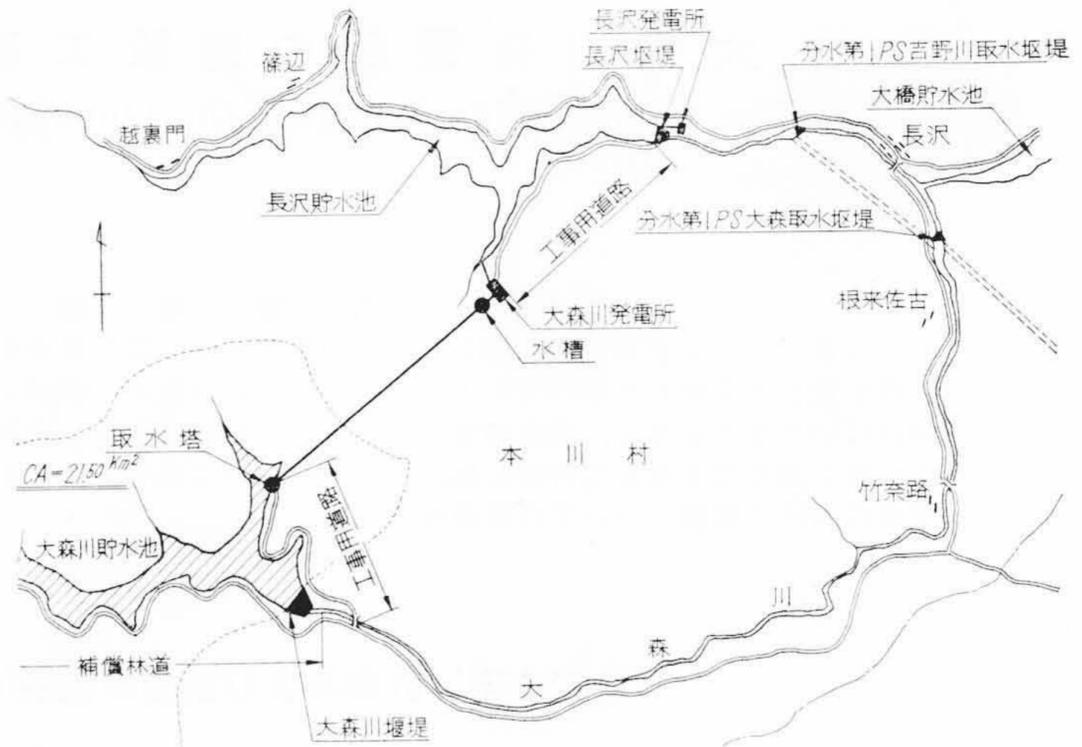
第2図 分水系プロフィール

第二、第三および第四発電所と階段状に開発された分水系の各発電所によって約50MWの電力を発生することができる。これらの状況を第2図にプロフィールで、第1表に既設開発地点一覧表で示す。

### 3. 大森川発電所の計画

大森川開発計画は古くから行われ、当初は大森川下流地点に高さ約50mのダムを設け分水第一発電所取水ダムにそのまま落して出力約3,000kWを発電する方式であった。その後需給、経済上の点から、長沢貯水池に落して出力約12,000kWを発電するとともにポンプを並置して揚水する揚水発電所の方式に変更された。もちろん、出力揚水量などについては需給関係、大森川流況、ダム総合運用など、各分野から慎重に検討され決定されたものである。計画が具体化するとともに工事費の節減を計る目的で、ポンプ、水車を別置形とせず、ポンプと水車を一体にした、いわゆるポンプ水車が採用できないものかの検討が開始された。このポンプ水車の機能についてはすでに昭和28年頃より研究は実施されていたので、大森川地点に採用した場合にはどのようなものかを推定するのは比較的容易であった。

しかしながら、この地点は落差の変化も大きく具体的なポンプ水車の特性が必要となり、昭和30年10月日立製作所と協同研究をはじめ昭和31年12月に至り、各特性とともに良好なモデルの製作に成功したものである。それまで技術的、経済的の数多くの検討が加えられ、ともに有利である結論が得られたのでわが国最初のポンプ水車を

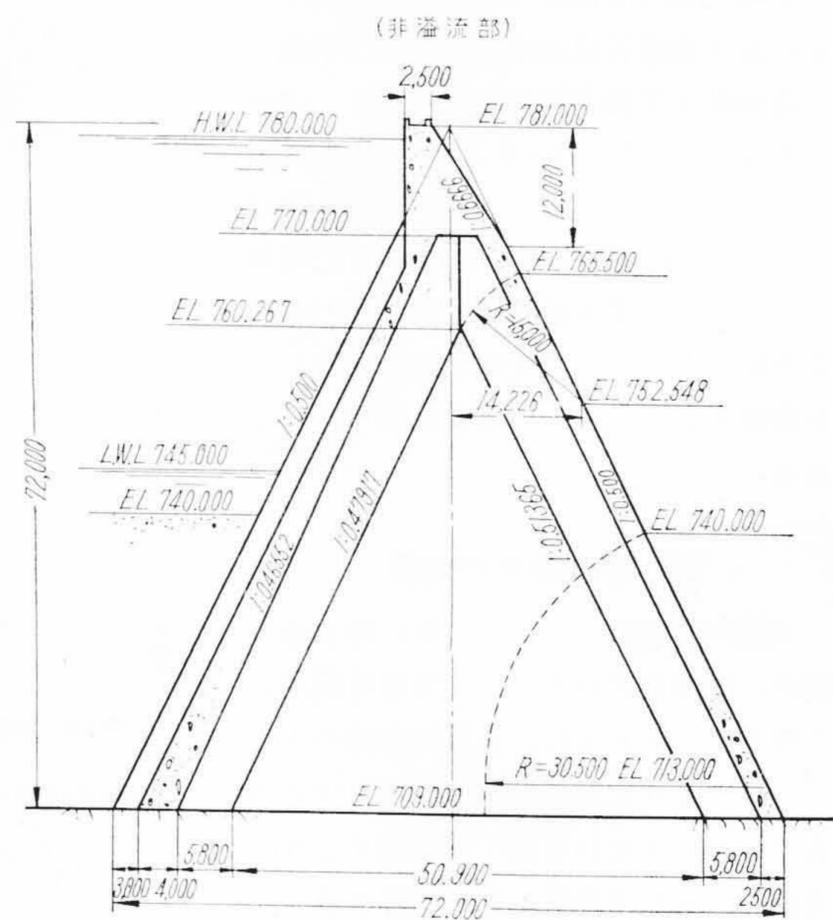
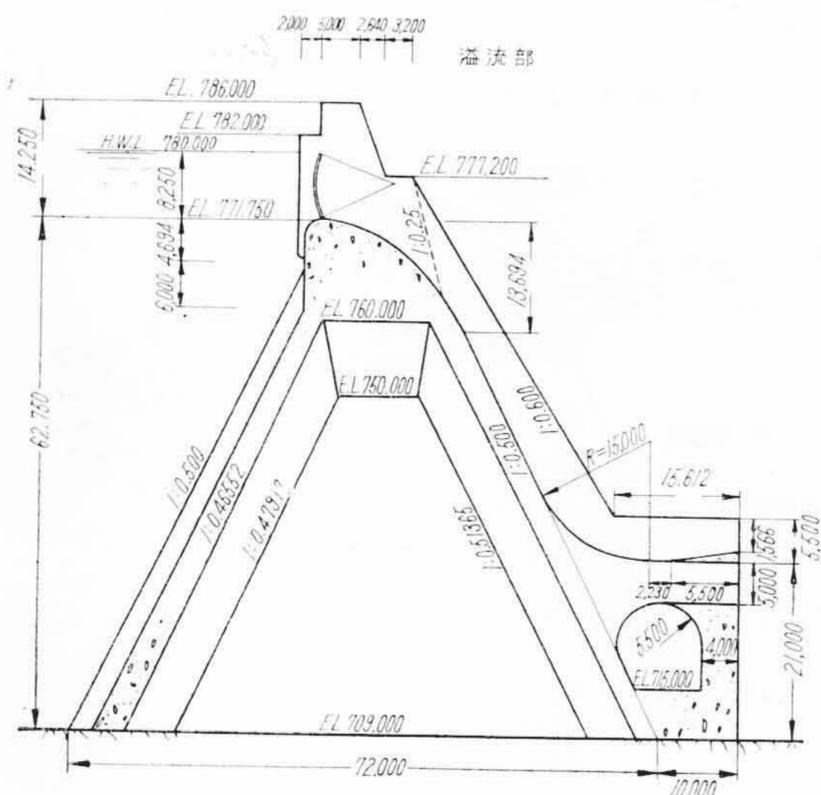


第3図 付近平面図

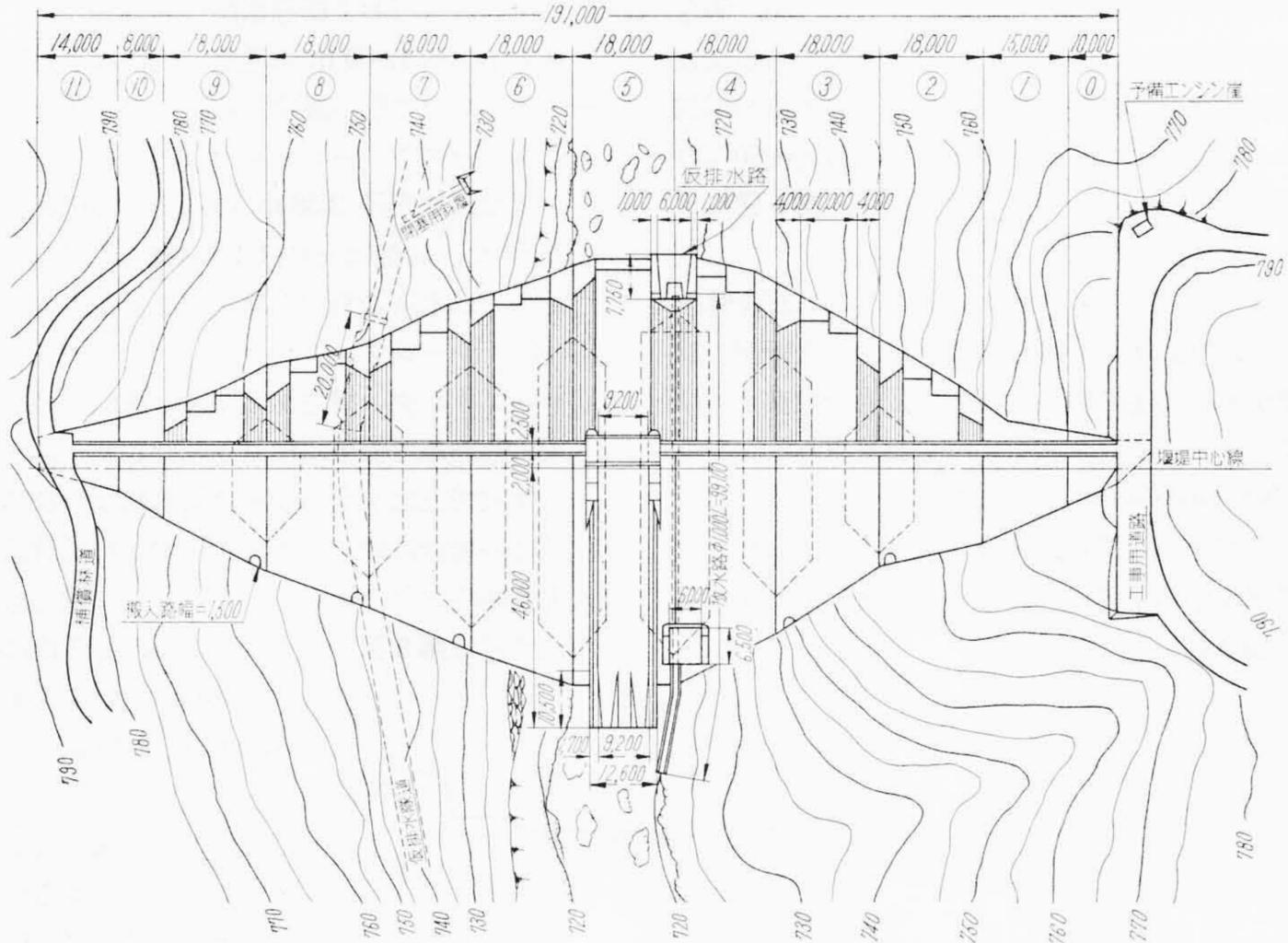
第1表 既設開発地点一覧表

発電所名	流域面積 (km <sup>2</sup> )	最大使用流量 (m <sup>3</sup> /s)	有効差 (m)	最大出力 (kW)	水車台数
長 沢	70.02	9.50	64.50	5,000	1
大 橋	190.00	9.74	67.50	5,300	1
分水第一	118.76	11.13	298.50	26,600	3
分水第二	132.40	12.52	75.70	7,500	2
分水第三	168.30	14.75	90.00	10,600	2
分水第四	218.30	16.00	58.20	6,800	1
大 森 川	21.50	12.00	118.00	11,800	1

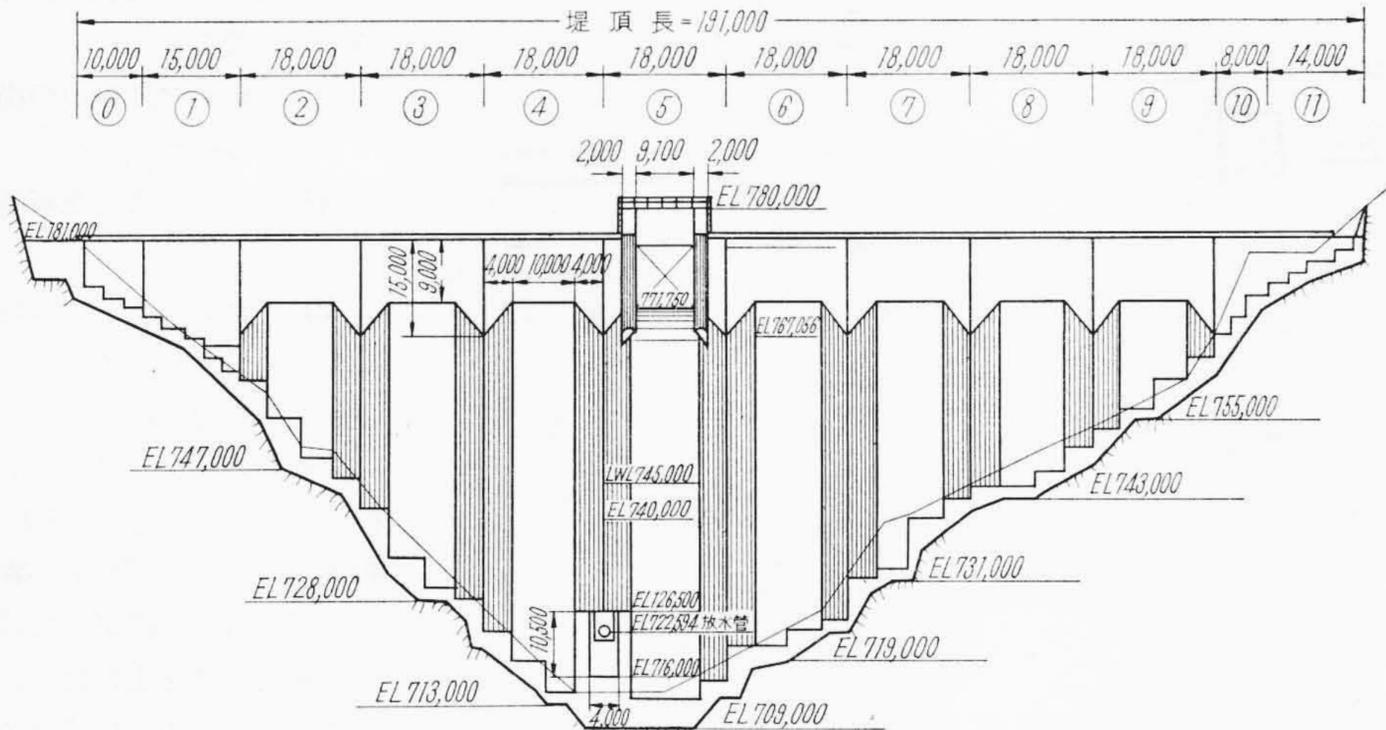
もつ大森川揚水発電所建設にスタートしたわけである。この大森川発電所は次の目的に沿うもので下流増を含めた年間発生電力量は約82,450MWHである。



第4図 ダム断面図



第5図 ダム 平面図



第6図 ダム 正面図

- (1) 既設下流分水系発電所の渇水期発電電力増加
  - (2) 下流貯水池より揚水による余剰電力消化
  - (3) 当発電所のピーク発電
- 大森川発電所の関係位置を第3図に示す。

#### 4. 土木設備の概要

##### (1) 貯水池

大森川貯水池は利用水深 35 m, 有効貯水容量は 17,320 km<sup>3</sup>, 流域面積は 21.5 km<sup>2</sup>である。したがって貯

水容量と流域面積との比は長沢貯水池にくらべて約 2 倍という大きさで揚水に適していることがこの面からも推測される。

##### (2) ダム

このダムは日本で 2 番目に設計施工された中空重力式ダムである。ダムの断面形状と上下流面勾配の決定のために三次元の模型による光弾性実験が実施され, I 形, II 形および T 形の各断面について勾配をかえて検討が加えられ, その結果より I 形の採用に決定した。上下流面

の勾配はゆるやかであるほど安定上有利であるが、50%を超過すると応力分布が悪くなり、急な勾配であるほど応力分布は改善されるが安定上不利となり堤体積が増加する。これらの点からダム形状は上下流面共勾配50%の二等辺三角形とした。第4図にその断面を、第5図に平面を、第6図に正面を示す。

決定されたダム各部の寸法はダム高さ最低岩盤上72 m、ブロック幅18 m、堤頂長190 m、中央断面の厚み天端で2.5 m、基礎で71 mである。最大計画洪水量は430 m<sup>3</sup>/sでスキージャンプ式余水吐で放流される。

また全容積146,000 m<sup>3</sup>の堤体コンクリートの打設には1リフトの打上高1.5 m、打設間隔6日で実施され堤体実際の性状を解析するために応力計をはじめとする各種計器が埋設された。

(3) 取水塔および導水路

ダム上流約1,000 mの地点に前面取水式円形コンクリート造りの取水塔が設けられた。外径6 m、高さ42 mでゴミよけスクリーンとローラーゲート1門をもっている。導水路は内径2.38 mの馬てい形圧力トンネルで亘長2,464 m、勾配は上口は1/1,000、下口は1/500の設計である。取水塔の断面を第7図に示す。

(4) サージタンク

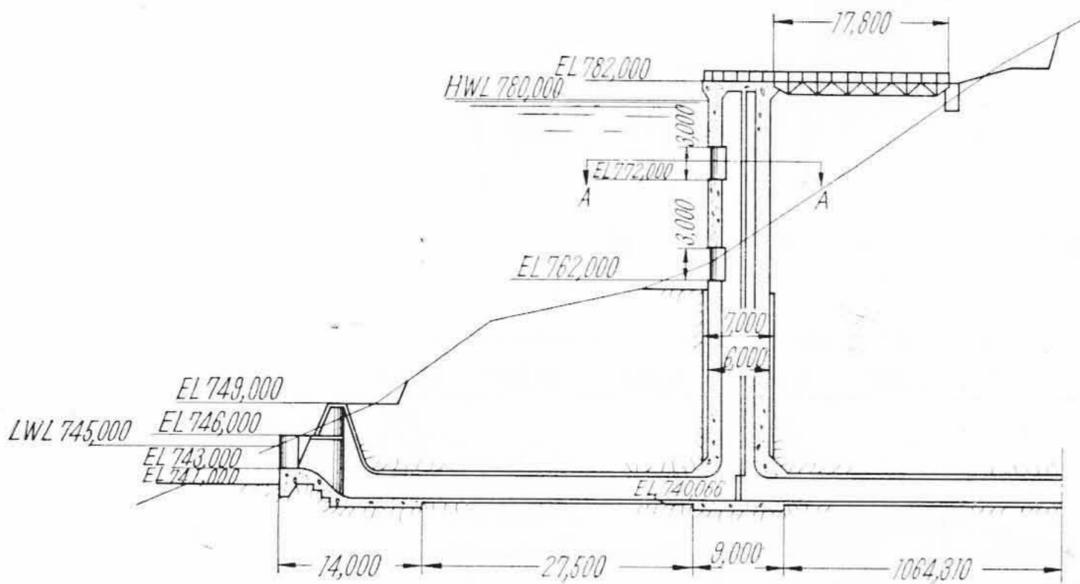
サージタンクの構造ならびに寸法については、ダムとともにきわめて慎重に検討された。サージタンクの形式は水室式で上部水室は水車負荷遮断ならびにポンプ揚水量急増の場合に働き、下部水室は水車負荷急増、ポンプ入力遮断時およびポンプトリップ時に働くものである。

下部水室は第8図に示すように上、下2段に分れ、上段は内径3.8 m、亘長30 m、下段は内径3.8 m、亘長40 mである。

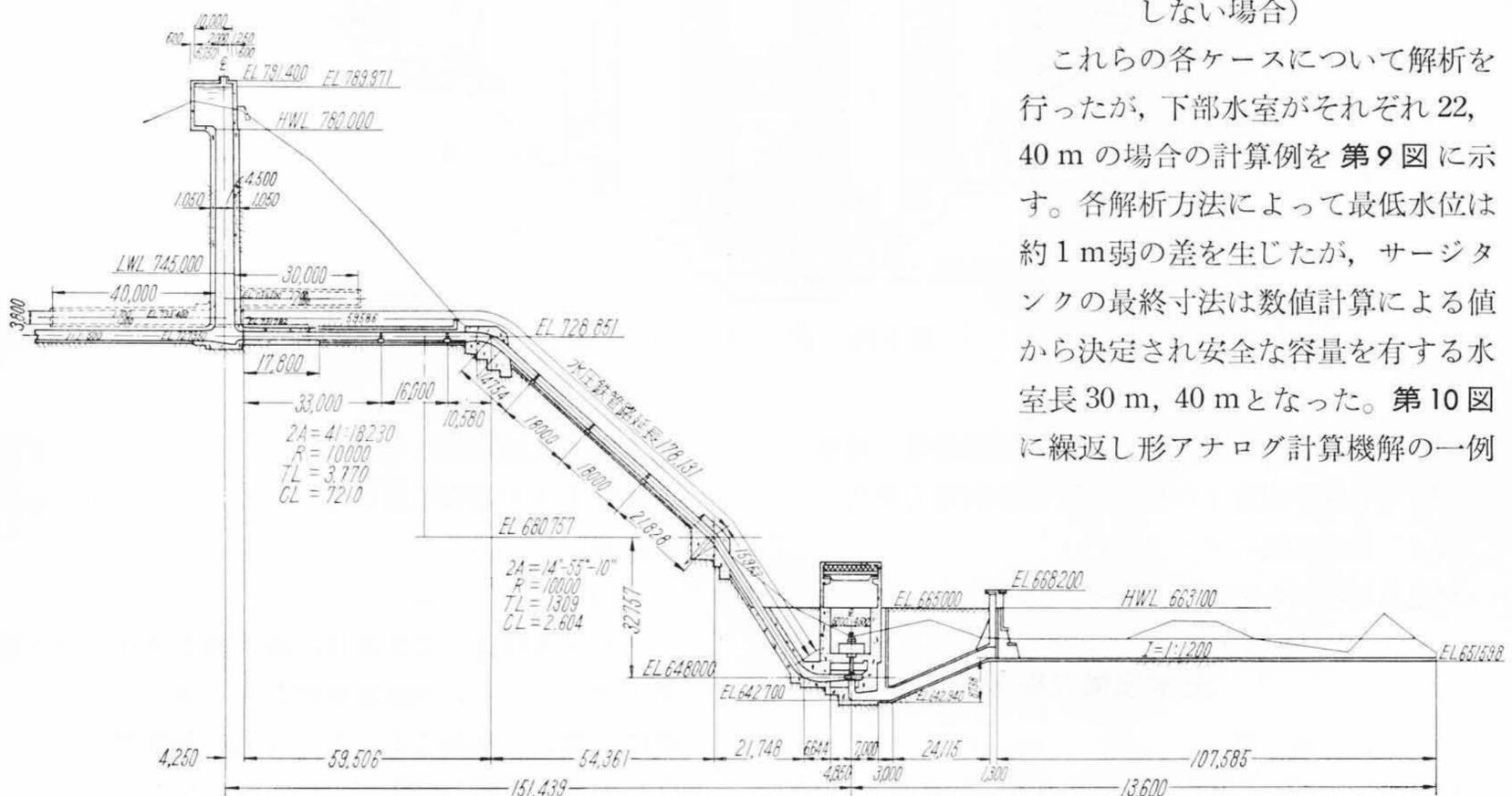
水車流量変動に伴うサージングの計算は従来の方法と大差ないが、ポンプ起動、停止によるサージングの解析には、数値計算、模型実験および電子計算機によって求められた。ポンプ運転時に問題となる条件は次のとおりである。

- (i) ポンプ運転中の揚水量変化(起動時を含む)
- (ii) ポンプ入力遮断時のサージング
- (iii) ポンプトリップ時のサージング(ガイドベーンが閉鎖しない場合)

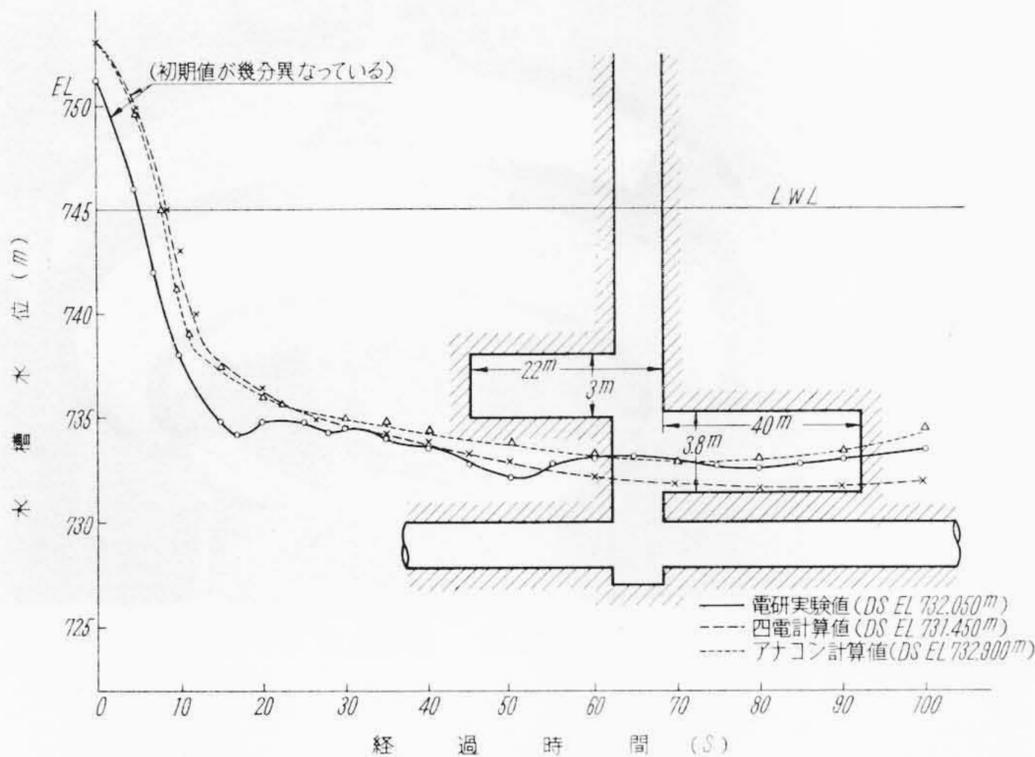
これらの各ケースについて解析を行ったが、下部水室がそれぞれ22, 40 mの場合の計算例を第9図に示す。各解析方法によって最低水位は約1 m弱の差を生じたが、サージタンクの最終寸法は数値計算による値から決定され安全な容量を有する水室長30 m、40 mとなった。第10図に繰返し形アナログ計算機解の一例



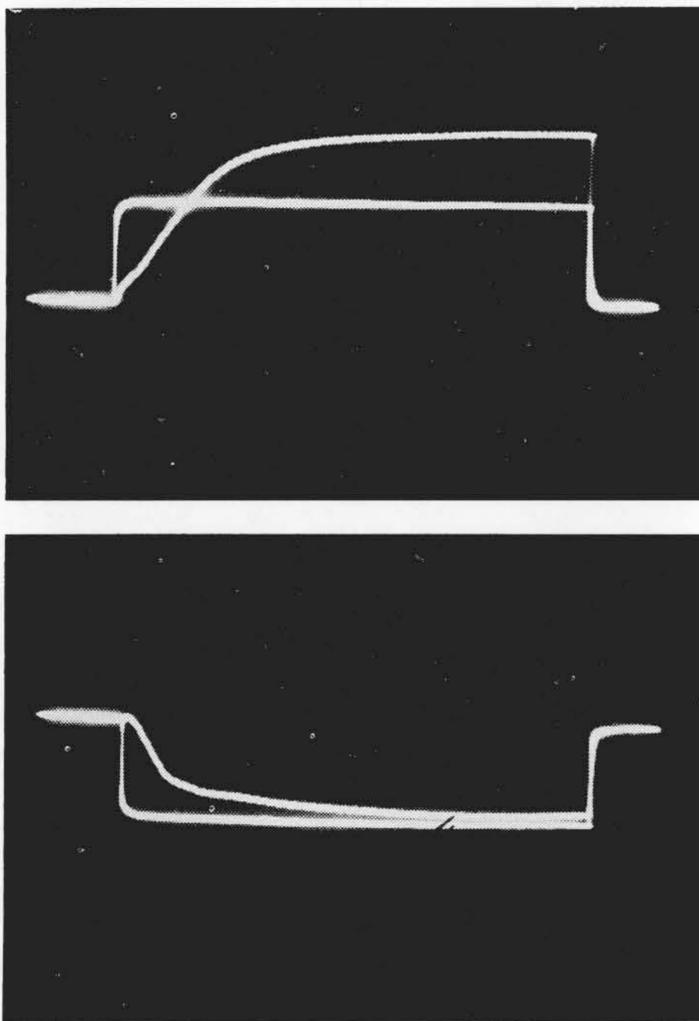
第7図 取水塔断面図



第8図 調圧水槽および鉄管路放水路縦断面



第9図 サージタンク水位変化曲線 (ポンプトリップの場合)



第10図 繰返し形アナコン解 (上は回転数, 下はサージ水位を示す)

を示す。上の写真はポンプ回転数の変化を示し約10秒程度で逆転することを示している。下の写真はサージタンク水位の変化を示し下段の水室に入っていることがわかる。

(5) 水圧管路

水圧管路は内径 2.3~1.6 m, 亘長 177 m, 厚さ 19~9 mm のもの 1 条である(第8図)。ポンプ入力遮断もし

くはポンプトリップになったときに生ずる負の水衝圧に十分たえるように考慮されている。この解析についても前述のサージタンクと同様に数値計算, 模型実験および電子計算機によって行った。

(6) 発電所および放水路

発電所は長沢貯水池の近くにあり, 半地下式鉄筋コンクリート造で屋外変電所をもっている。放水路は24mの圧力トンネルおよび 107 m の開渠からなっている。放水口には揚水のためのスクリーンがあり, ほかにローラーゲート 1 門が設置されている (第8図)。

5. 電気設備の概要

5.1 ポンプ水車

この発電所は上, 下両貯水池間に位置する上に, 各貯水池の利用水深も大きく, そのために静水位差も最高 127 m より最低 81.3 m と変化する。その上導水路の損失が 9.1 m (流量 12 m<sup>3</sup>/s において) もありポンプ水車の設計としては容易でなかった。しかしながらランナ研究に対する数々の努力がむくいられて, 使用範囲で最高効率をあたえるポンプ回転数と水車回転数の比が 1.037 という良好なランナの設計製作に成功し, ポンプと水車は同一の回転数で運転することとなった。もちろん研究は性能試験のみでなく, 次に示すような数多くの模型試験ならびに特性解析が行われ, ポンプ水車は技術的になんら不安な点がないという確固たる信念のもとに製作に着手したわけである。

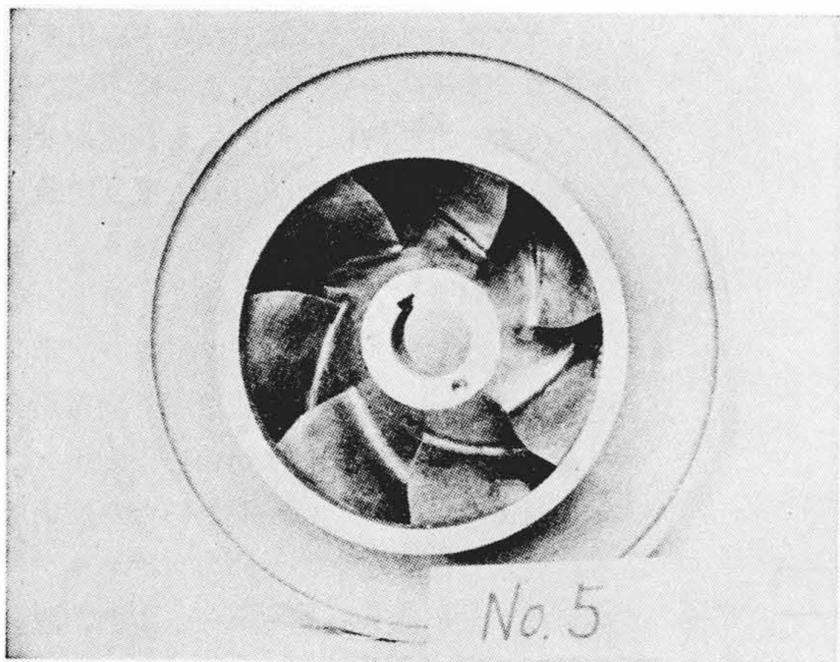
- (1) 全般特性試験
- (2) ポンプ起動時過渡特性試験
- (3) キャビテーション試験
- (4) ポンプトリップ時の諸解析
- (5) 軸受特性試験
- (6) ガイドベーン開閉力測定
- (7) ラジアル推力測定

また调速機には, ポンプ運転, AFC 協力運転などを考慮して磁気増幅形電気式调速機を採用した。ポンプ起動時における水面押下げ装置も詳細に解析され, その容量を決定して設備の万全を期した。

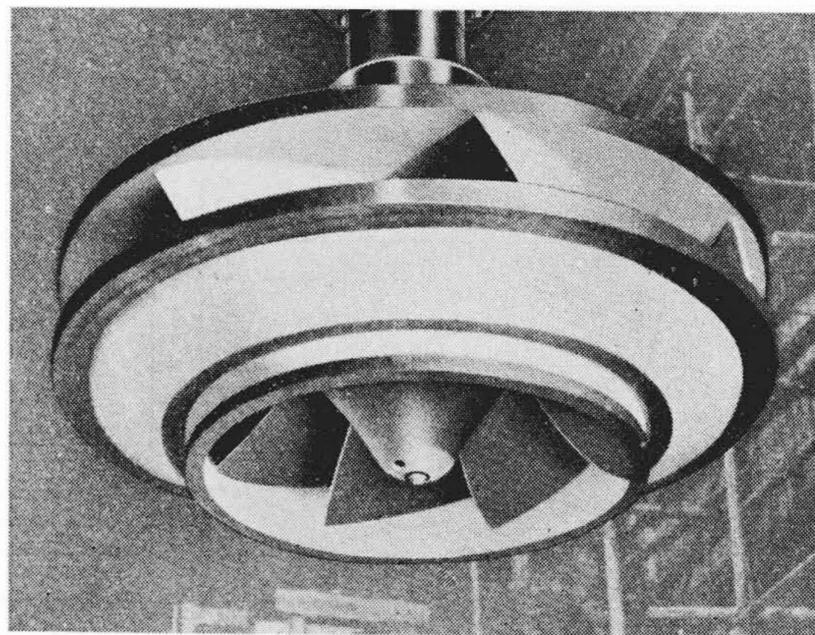
おもな機器の仕様は次のとおりである。

(a) 発電所の概要

取水河川名	吉野川水系大森川
ダム位置	高知県土佐郡本川村寺川
発電所位置	高知県土佐郡本川村長沢字栃谷
発電所出力	最大 11,800 kW
有効落差	118.0~74.4 m



第11図 モデルランナ



第12図 実物水車ランナ

使用流量 最大 12 m<sup>3</sup>/s  
 大森川貯水池有効容量 17,320 × 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>  
 長沢貯水池揚水可能容量 16,553 × 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>

(b) ポンプ水車

形式 立軸単輪単流うず巻形フランシス  
 台数 1台

水車定格事項

最高有効落差 113 m  
 最大使用流量 12 m<sup>3</sup>/s  
 最大出力 12,200 kW  
 回転数 400 rpm  
 比較回転数 118.6 m-kW  
 水車 GD<sup>2</sup> 14 t-m<sup>2</sup>  
 無拘束速度 580 rpm

ポンプ定格事項

実揚程 81.5~127 m  
 最大揚水量 13 m<sup>3</sup>/s  
 最大軸動力 14,300 kW  
 回転数 400 rpm  
 比較回転数 40 m-m<sup>3</sup>/s  
 吸込高 -5 m

製作者 日立製作所

(c) 入口弁

主弁口径 1,600 mmφ  
 側弁口径 500 mmφ  
 主弁形式 ちょう形弁  
 側弁形式 針弁

(d) 圧油関係

油圧ポンプ

電動機用 1台  
 小水車用 1台  
 送油量 280 l/min

油圧 21 kg/cm<sup>2</sup>  
 形式 歯車ポンプ  
 圧油槽 1基  
 空気量 2,400 l  
 油量 1,300 l  
 全容積 3,700 l

(e) 水面押下げ装置

空気圧縮機 2台  
 形式 2段圧縮式VTS-FRA形  
 最高圧力 23 kg/cm<sup>2</sup>  
 P. D. 1.33 m<sup>3</sup>/min  
 回転数 550 rpm  
 軸動力 15 kW  
 気蓄槽 2基  
 容積 3.38m<sup>3</sup> × 1 2.2m<sup>3</sup> × 1

第11図にモデルランナの外觀を、第12図に実物ランナの外觀を示す。また第13図にすえ付われたポンプ水車の写真を示す。

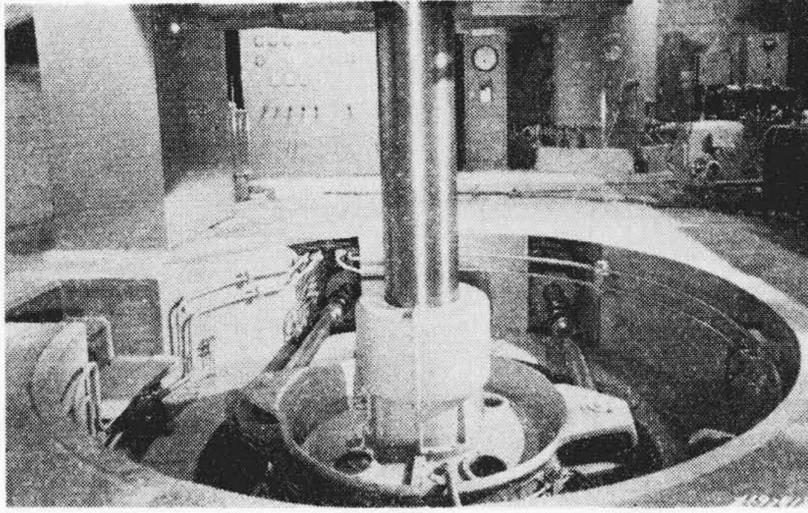
(2) 発電電動機

電気機械を可逆式に使用することは、ポンプ水車のそれに比してはるかに容易であるが、それでも各部分について詳細な検討と模型実験が実施された。この大森川発電所は当初二速度機が考えられたが、次の事情により単一速度機の採用が決定された。

(a) ランナの特性が  $K = \frac{\text{ポンプ最高効率点 } N_1}{\text{水車最高効率点 } N_1} = 1.037$  という良好な結果が得られたこと。

(b) 当時 450 rpm の単一速度機と 360/450 rpm の二速度機について検討したが二速度機の重量は単一速度機の 150~160% となり大森川発電所の場合には経済的に不利な結果が得られたこと。

(c) 発生電力量増は第2表に示されるように、650 MWH にすぎないのに対し増加経費は 6.3% に達



第13図 すえ付けられたポンプ水車

すること。

現在ではそれ以来の研究によって二速度機の開発に成功しているので高落差には二速度機について検討すべきであると思う。

次いで問題となったのは起動を容易にするための諸対策と系統に及ぼす影響の問題であった。前者については、負荷トルクの軽減策としてランナを空転させる方式と軸受摩擦トルクの軽減策が考えられた。

摩擦トルクの軽減には、推力軸受に油圧を加えて油膜を強制的につくる方法、ロータをジャッキで押し上げて油膜をつくる方法、電磁石でロータをつり上げる方式など種々考えられ、模型による試験など各方面から検討した結果、

- (a) 高圧油圧ポンプ方式
- (b) 電磁石つり上げ方式

の2方式にしぼられ、現地における諸試験を実施したが、いずれも良好な結果が得られた。保守、その他の面から高圧油ポンプ方式による摩擦トルク低減方式が採用された。

起動時に系統に及ぼす影響は、交流計算盤により数度におたる解析の結果、支障ないことが確認された。電動機起動時において系統に与えるショックは

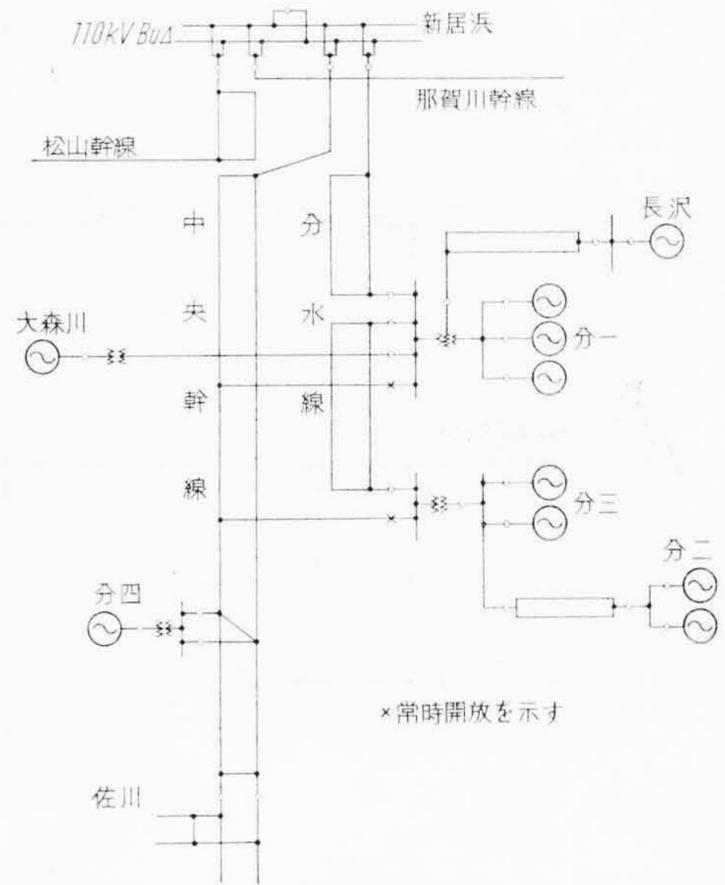
- (a) 起動時の突入および起動電流
- (b) 起動加速時の kW
- (c) 全電圧切替時の突入電流および励磁時のショック
- (d) 空気抜きケーシング充水時の kW 変化

などが考えられ、現地試験結果とほぼ一致することが確認された。第14図には計算時の系統構成を示し第15図に計算盤による潮流図の一例を示す。また第16図にはランナ充水時の系統動揺曲線の例を示す。

電動機起動時のダンパ巻線の温度上昇については特に留意され慎重に検討が進められた。この点は再起動可能な条件も入れて電力ケーブルそのほかの機械に至るまで

第2表 経済比較表

		単一速度	二速度
発電電動機	(%)	77.5	129
変圧器	(%)	22.5	23.00
計		100	152
増加工事費	(%)		52.5
増加経費	(%)		0.3
電力量	(MWH)	15,110	15,760
増加電力量	(MWH)		650



第14図 系統構成

細部にわたって検討されたものである。

電動機起動時の 10 kV 母線電圧はかなり低下が予想されたので補機そのほか支障ないか、検討を行った。その一例を第17図に示す。

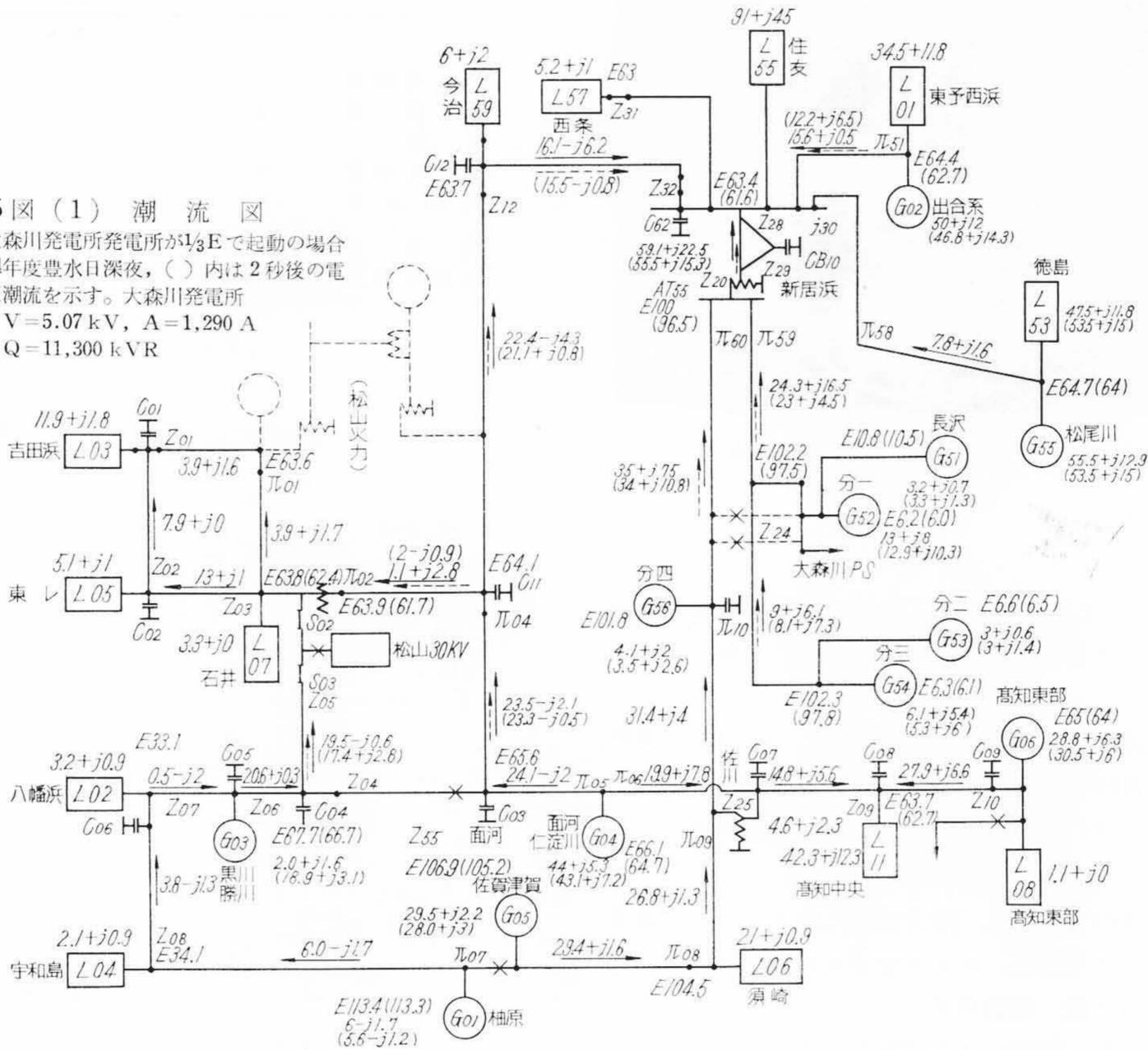
励磁機はそのまま逆転させると残留磁束を失って電圧が確立されなくなるので副励磁機の界磁をポンプ運転、水車運転の別によって極性の切替えを行うこととした。

推力軸受は正逆いずれでも安全であるように中央支持の形式とし、案内軸受は上、下ともにセグメント式を採用した。この推力軸受についてはモデルを作り十分安全であることを確認した。この発電電動機の外観を第18図に、断面図を第19図に示す。おもな仕様は次のとおりである。

- (i) 発電電動機
  - 形式 立軸閉鎖風道循環形水冷式
  - 容量 発電機 14,000 kVA
  - 電動機 15,000 kW

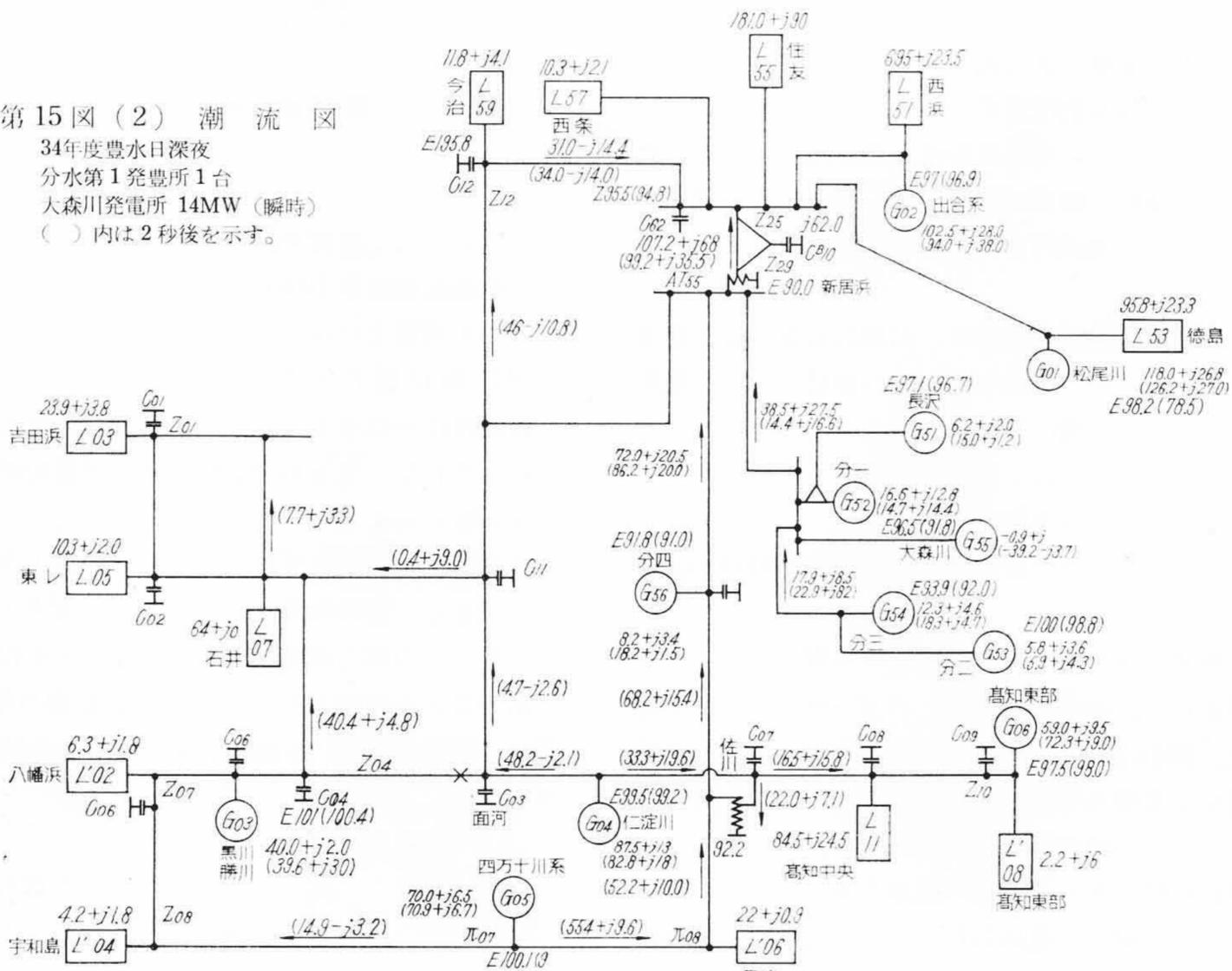
第15図(1) 潮流図

大森川発電所発電所が $\frac{1}{3}E$ で起動の場合  
34年度豊水日深夜、( )内は2秒後の電  
圧潮流を示す。大森川発電所  
 $V=5.07\text{ kV}$ ,  $A=1,290\text{ A}$   
 $Q=11,300\text{ kVr}$



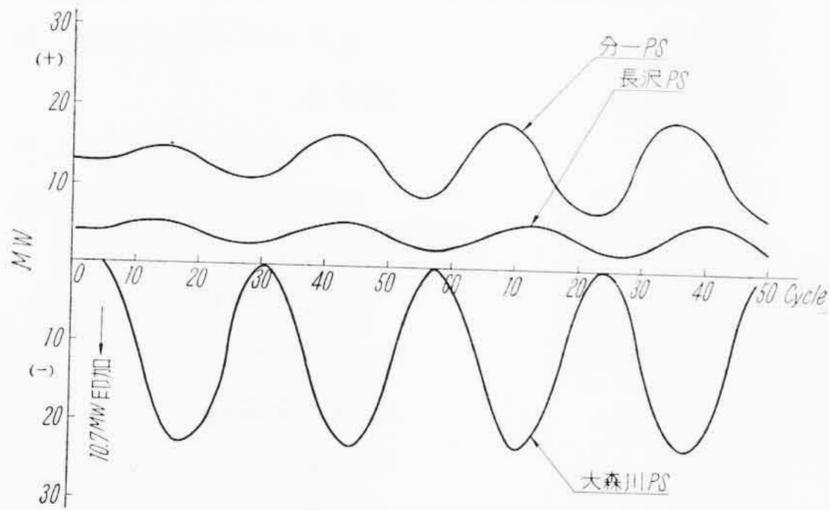
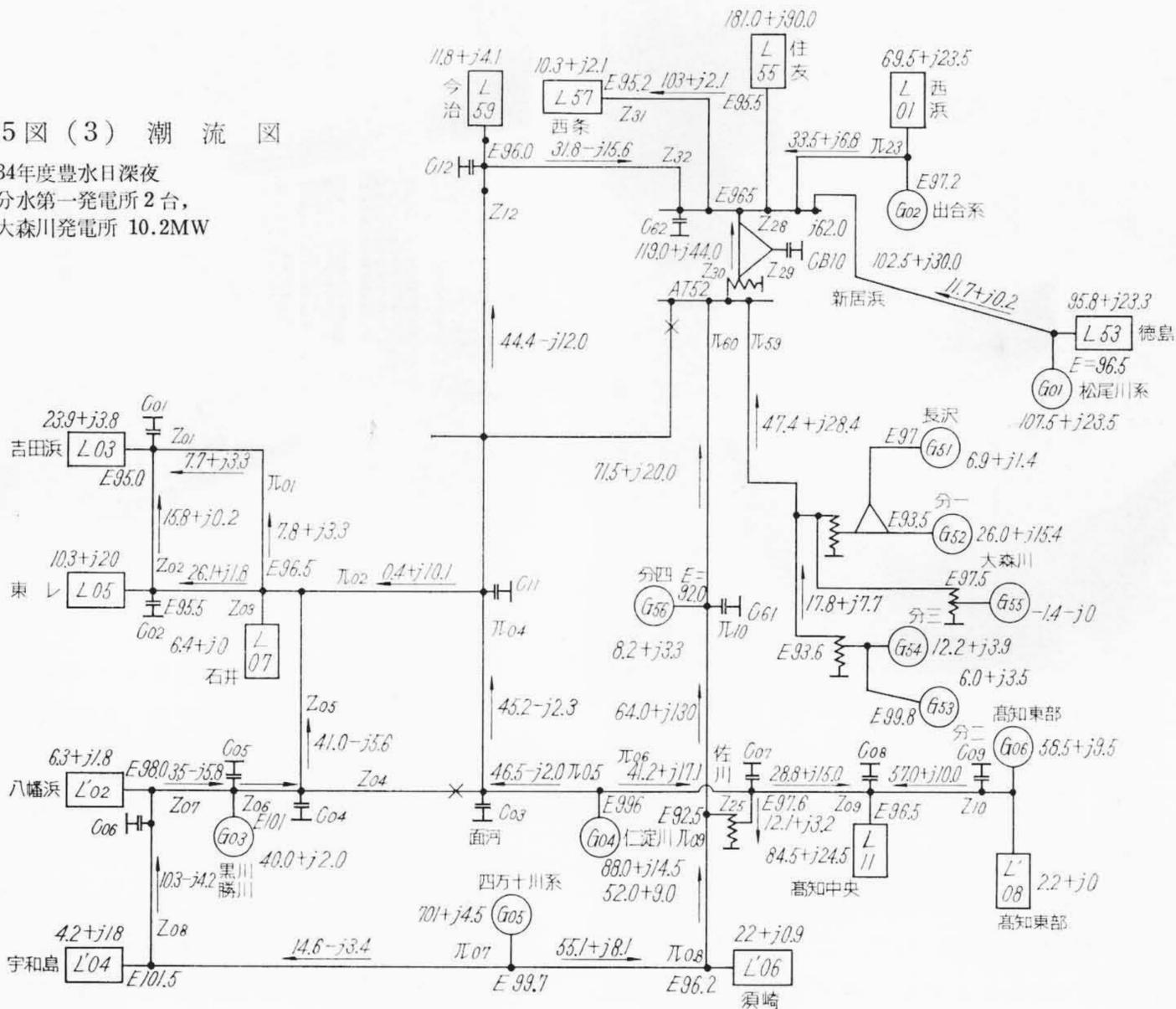
第15図(2) 潮流図

34年度豊水日深夜  
分水第1発電所1台  
大森川発電所 14MW (瞬時)  
( )内は2秒後を示す。

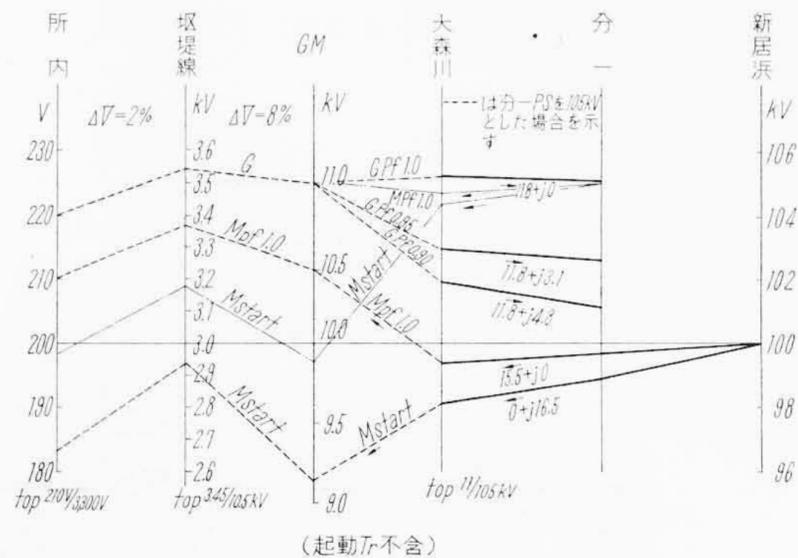


第15図(3) 潮流図

34年度豊水日深夜  
分水第一発電所2台,  
大森川発電所 10.2MW



第16図 分水系統電力変化曲線 (ランナ充水時)



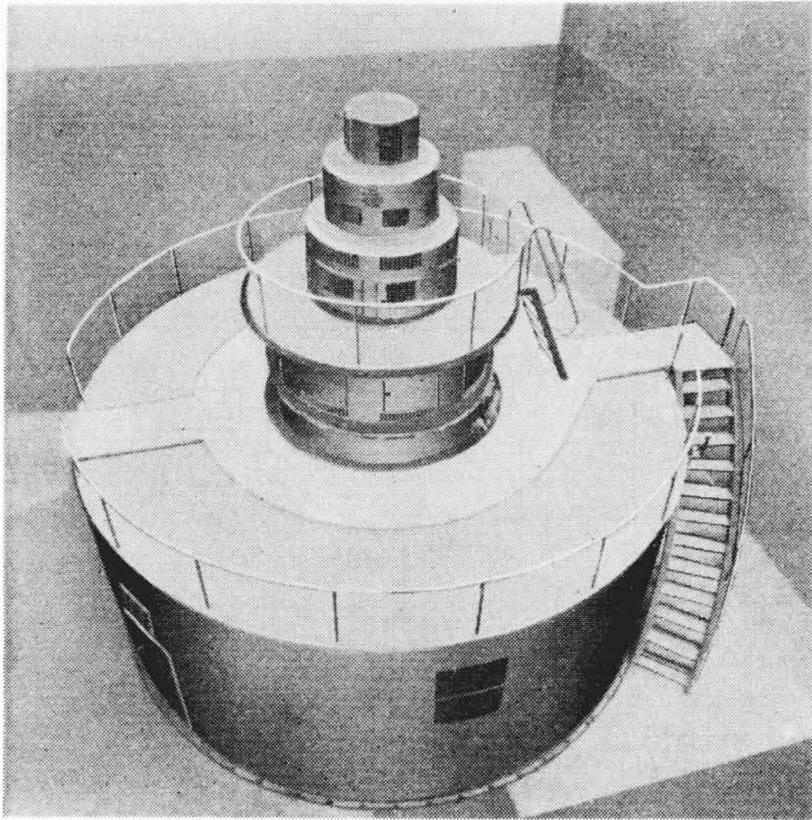
第17図 電圧変動予想曲線

電 圧	11,000 V
電 流	発電機 735 A 電動機 812 A
周 波 数	60 c/s
極 数	18
回 転 数	400 rpm
力 率	発電機 90% 電動機 100%
形 式	VEFW-RD
短 絡 比	1.157
線路充電容量	14,580 kVA

GD <sup>2</sup>	150.2 t-m <sup>2</sup>
起動用抵抗値	2.5 Ω
製 作 者	日立製作所
(ii) 励磁機	
主励磁機	100 kW ± 220 V 455 A 400 rpm
副励磁機	5 kW 110 V 45.5 A 400 rpm

(3) 運転制御方式

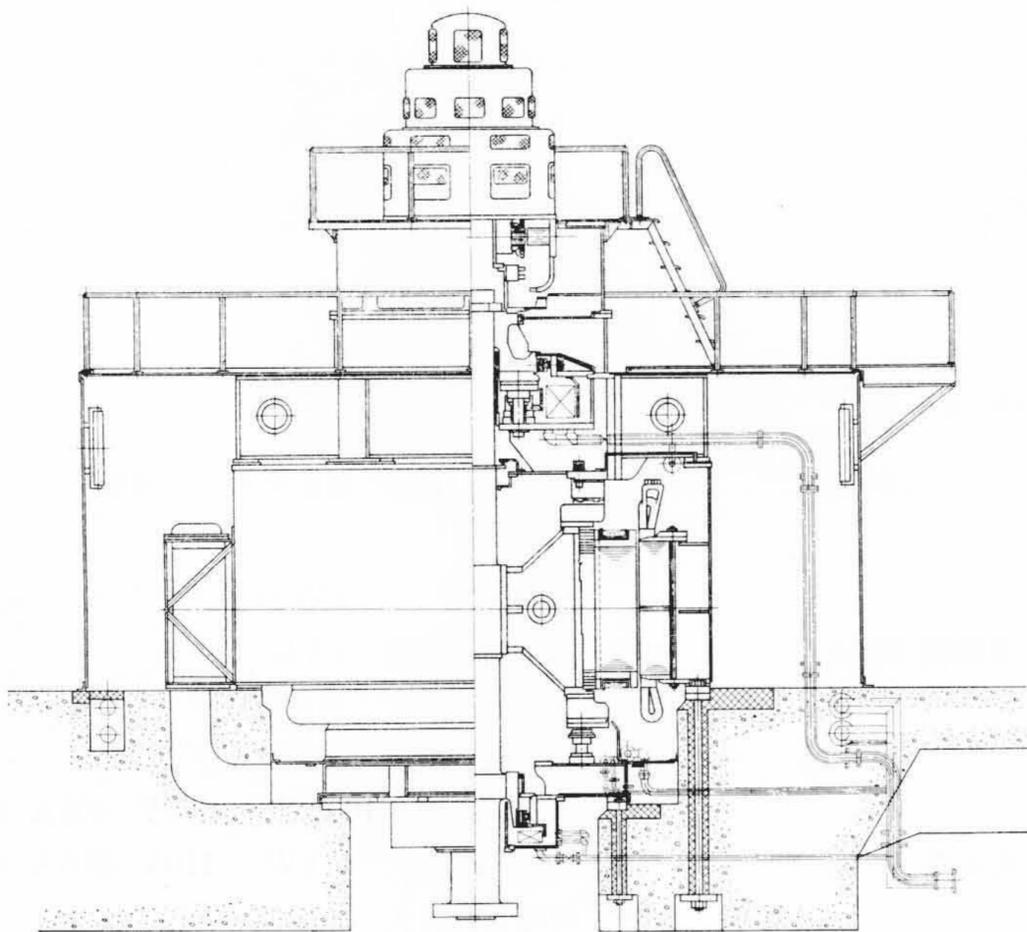
この大森川発電所は四国の送電系統の幹線である100 kV系に連系され、約7 kmはなれた分水第一発電所



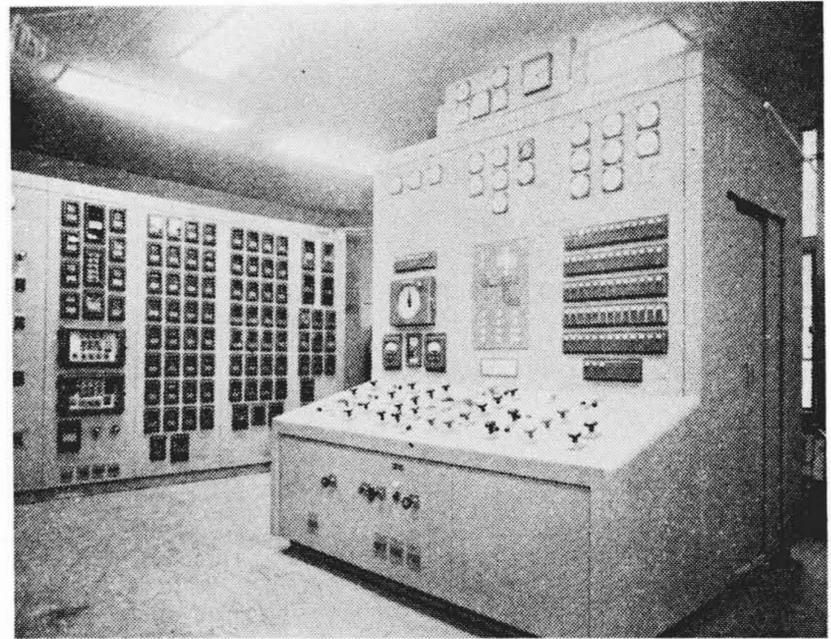
第18図 発電電動機

より電力線搬送によるパルスコード式の遠方監視制御装置によって運転される。水車運転についてはほかの一般水力発電所のそれと大差ないので、ここではポンプ運転方式について述べることにする。ポンプ運転および停止は次のシーケンスによって行われる。

(a) 水面押下げ装置によりケーシングおよび吸込管内の水面はランナ下面以下まで押し下げられる。



第19図 発電電動機断面図



第20図 配電盤

(b) 推力軸受に圧油を送りスラスト面に油膜を形成せしめ、同時に起動用変圧器 (8,550 kVA) を通して定格電圧の  $1/2$  を電動機に印加し、起動させる。

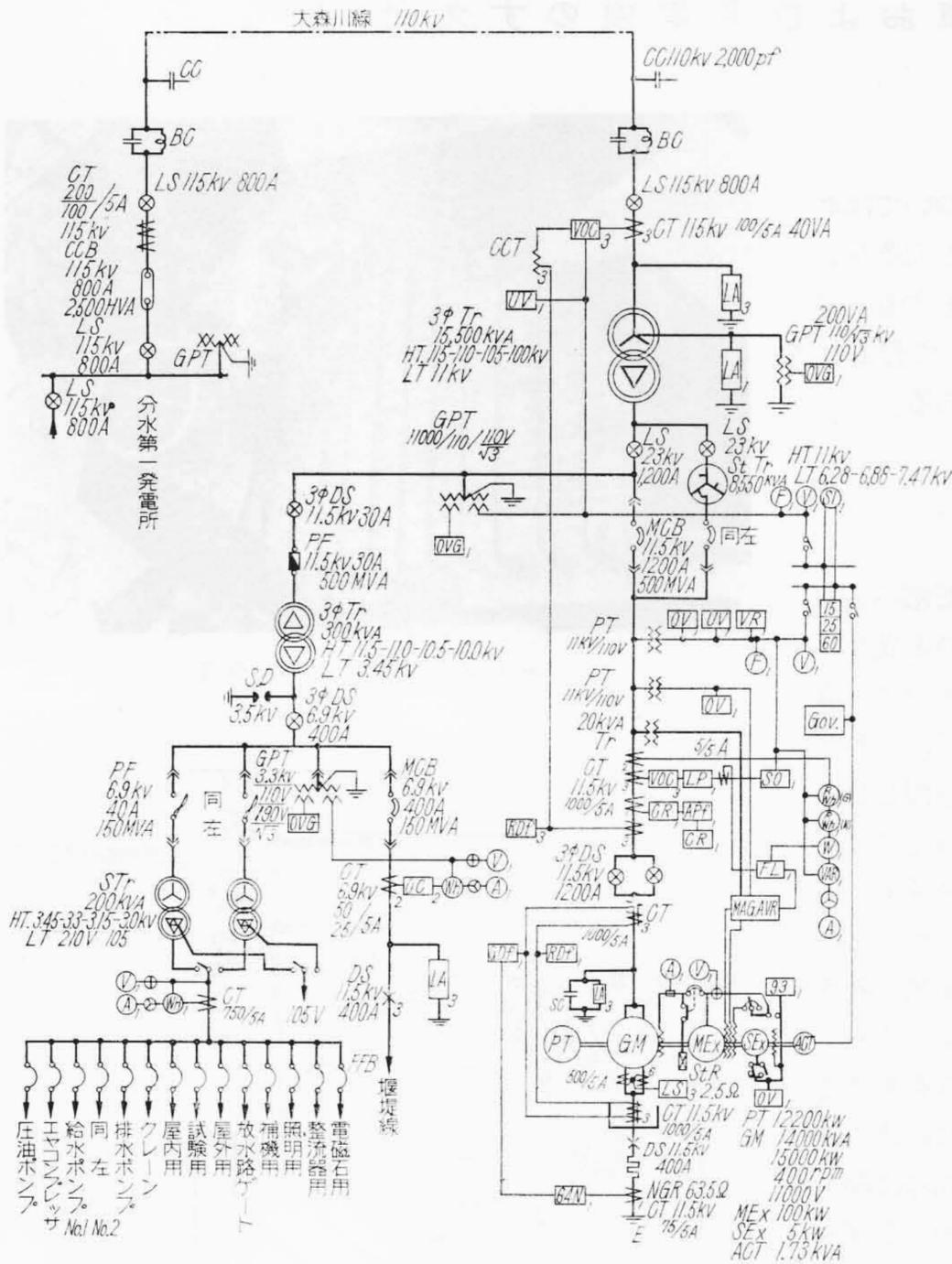
(c) すべり検出装置によって全電圧に切替え、界磁巻線に一定時限後励磁を与えて並入を完了し同期電動機として運転する。

(d) ケーシング内の空気抜きを開始し、ケーシング内の水圧が確立すると、入口弁を開放しガイドベーンをそのときの水位差に適した開度に自動的に整定し揚水を開始する。

(e) 停止操作には、ガイドベーンブレーキを開放しガイドベーンを緩閉、解列する。

(f) 必要なれば入口弁を閉鎖して完全停止の状態とする。

大森川発電所のシーケンスを作る場合に最も注意したのは発電揚水の切替所要時間をできる限り短縮することであった。最大発電中よりそのときの最大揚水状態に切替える所要時間は約12分で、揚水から発電に切替わる所要時間は約6分であり、きわめて迅速に切替えることが可能であった。また運転上の誤操作防止のため、配電盤正面に運転状況を示す照光式表示板が設けられ、各操作ハンドルは、



第21図 単線結線図

- (i) 水車運転専用のもの
- (ii) ポンプ運転専用のもの
- (iii) 共用使用のもの

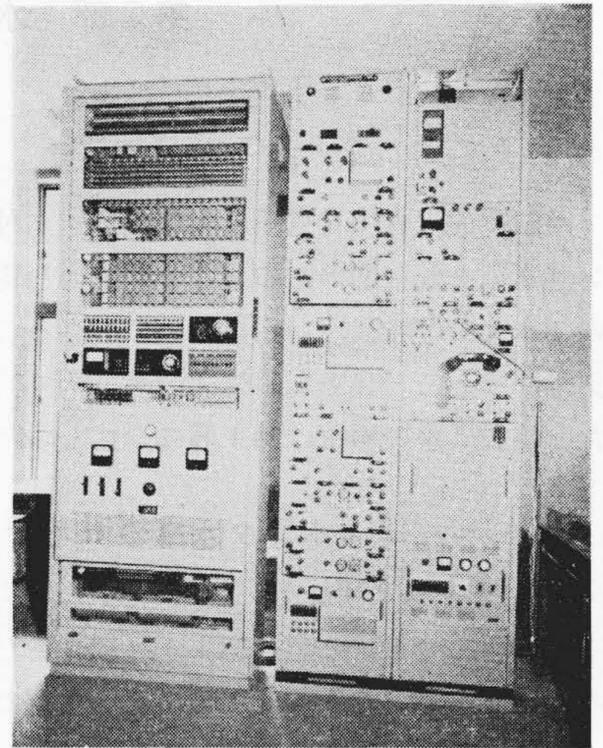
に區別して色別けされた。第20図に配電盤正面図を、第21図に単線結線図を示す。

(4) その他の機器

主要変圧器の容量はポンプ運転時の最大容量から15,500 kVAと決定され、電圧比も低圧側は10.5 kVとせず、特に11 kVが採用された。いずれもポンプ運転を考慮してのことである。

天井走行起重機は日立製作所製40/10t-10mのもの1台が納入されている。

その他照明設備、クロスバ式通信機、電線ケーブルに至るまで深甚の考慮が払われ、これらはすべて日立製品である。



第22図 通信装置

運転に使用される給水ポンプ、排水ポンプ、プスターポンプ、グリースポンプおよび自動ストレーナなどはすべてフロート運転され、完全無人運転を目標としているものである。

第22図に通信装置を示す。向って右は電力線搬送セットで常用予備、おのおの1架をもち、左はクロスバ式所内自動交換機を示す。

6. 結 言

ポンプ水車をもった揚水発電所、これは数多くの水力発電所を建設してきたものにとっても完全に白紙の状態からスタートする事を余儀なくされ、あらゆる点について1段1段と解析を進めていったものである。昭和34年8月23日すべての試験も無事終了し、良好な成績を収めて営業運転に入ったが、いままでの数々の研究、解析、試験について全力をあげてご協力いただいた日立製作所各位に対し、あらためて感謝の意を表するとともに、これを機会にわが国電力界に貢献するところ大なる日を期待してやまない。

参 考 文 献

- (1) 可逆ポンプ水車に関する研究報告 (四国電力 昭和32年3月)
- (2) 大森川発電所社内試験速報 (四国電力 昭和34年7月)
- (3) 大森川発電所について (四国電力 昭和34年2月)
- (4) 大森川発電所概要 (四国電力 昭和34年9月)

## 第2部 水車および発電機のすえ付

### 1. 緒言

四国電力大森川発電所の主要機器すえ付についてはポンプ水車と配管関係をのぞき一般水力発電所と大差ないので本文では特異点のみについて述べることにする。すえ付はほとんど日立工事株式会社の手によって行われた。建設工事の沿革は第1表に示すとおりである。

### 2. ポンプ水車のすえ付

#### 2.1 吸出管のすえ付

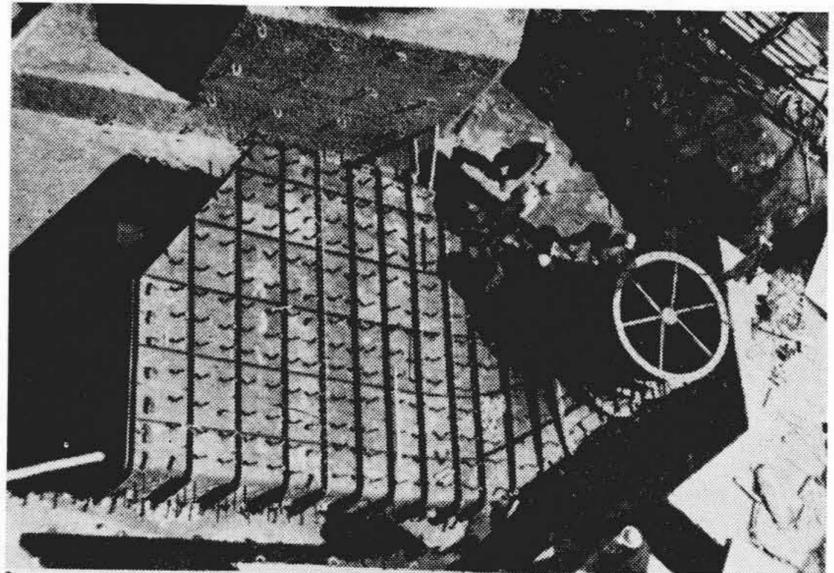
吸出管のすえ付は昭和33年4月12日まだはだ寒い小雨の降るなかで実施された。吸出管は在来のものと異なりポンプ運転時には吸込管となるために、ライナのはく離は致命的打撃をうけることとなる。したがって、このライナのすえ付にははく離はもちろん、振動の原因とならないように十分注意して行われた。吸出管の固定にはターンバクル90本、横ジャッキ16本、縦ジャッキ9本という数多くの固定装置を使用して堅固なものとした。また吸出管ライナ底部にグラウト用として200mm角の孔6個あけてセメントの充てんを容易とした。コンクリート打設中には吸出管に大きな浮力が加わりひずみを生ずるので、打設回数についても注意を払い、5回にわけて打設するという慎重さであった。また吸出管内部には50×50×4mmの山形鋼を使用してライナそのもののひずみ発生を防止した。第1図は吸出管の据付状況を示す。

#### 2.2 ケーシングのすえ付

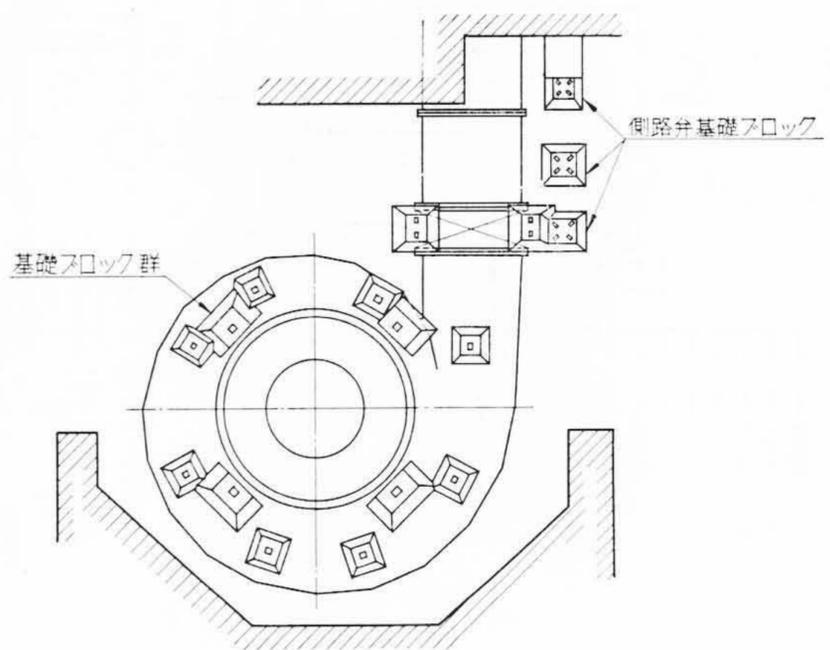
ケーシングのすえ付は吸出管以上の注意が払われた。それは、ケーシングの周囲、換言すれば地下室が大きくケーシングそのものはバレル状の上にすえ付けたと同じ状態にあることと、吸出管の周囲がピットとなっているために振動を起しやすいためである。ケーシング支持台は第2図および第3図に示されるように堅牢なブロックとしその上にケーシングは設置された。ケーシングの固定にはターンバクルは67本、パイプジャッキは30本使用された。昭和33年12月25日よりケーシングコンクリートの打設を開始し、3回にわけて1月9日に完了した。第4図はターンバクル取付状況を示す。

#### 2.3 ポンプ水車本体すえ付

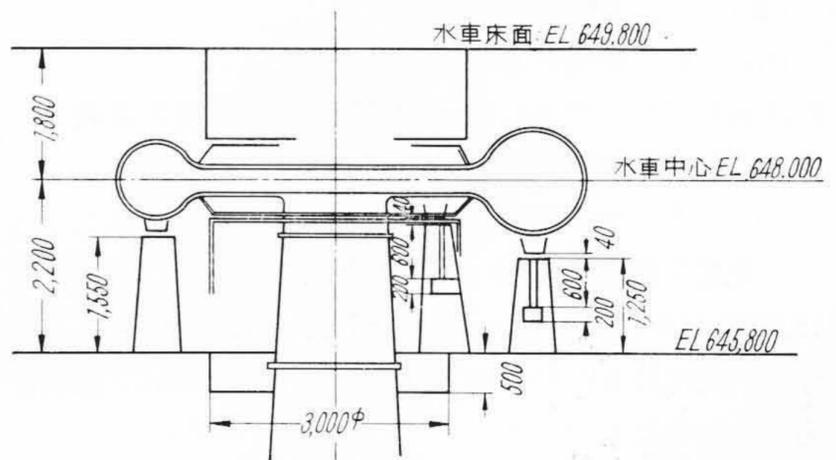
水車軸受の油みぞはX状に作られ、ポンプ、水車いずれの回転方向でも油膜が破れないようにしてある。側弁のすえ付には、第5図に示すA◎には振動防止用の厚さ20mmのパッキングが入っているので締付けについて特に注意を払った。このパッキングの締めしろは1mmしかないので特殊ナットによって調整された。水車本体の組立てとともにガイドベーンブレーキ装置の組立が行わ



第1図 吸出管すえ付作業

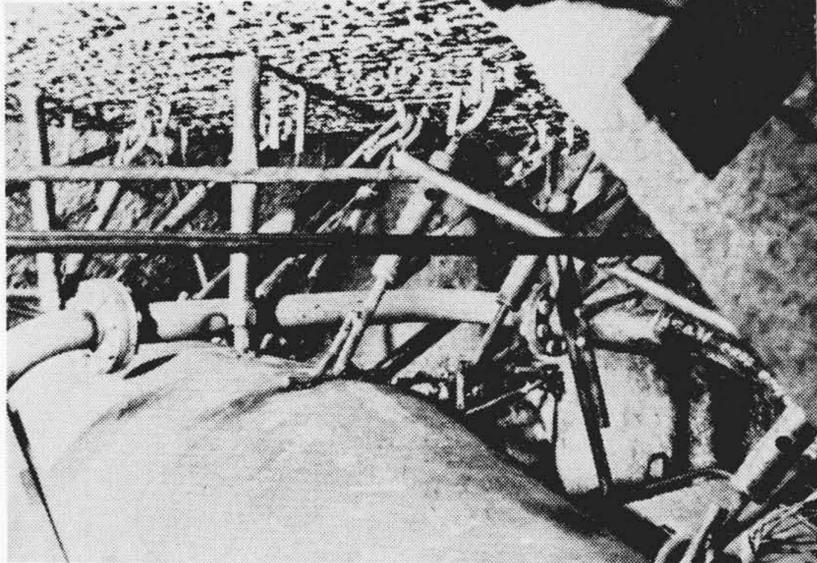


第2図 ケーシング支持台平面図

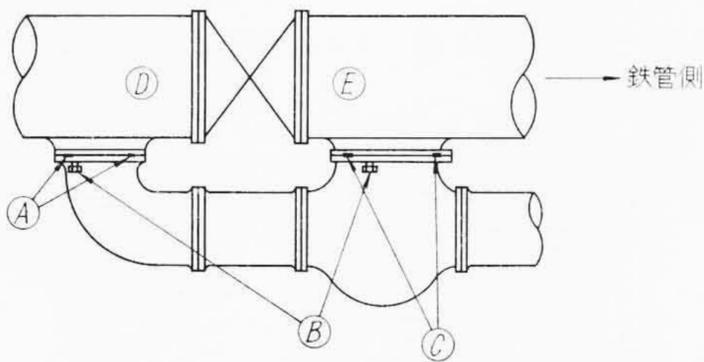


第3図 ケーシング支持台側面図

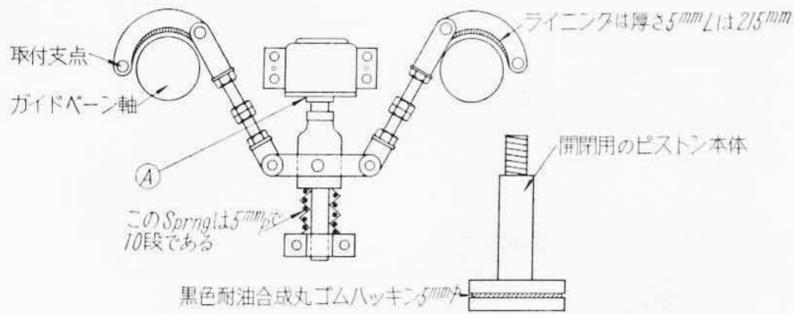
れた。これはポンプ運転中にガイドベーンの振動を防止する目的のために設けられたものである。第6図にその略図を示す。ガイドベーンの間隙も極力ばらつきのないように調整され、モデルとの関連がよくわかるように開度指示ゲージに相当開度が刻印されている。



第4図 ケーシング固定作業



第5図 側弁取付図



第6図 ガイドベーンブレーキ装置

2.4 配管工事

配管には油、水、空気と多種の配管が多く使用されたので、色別は四国電力規定によって実施された。また配管終了後、日本鉱業 K.K. の手によってフラッシング作業を行って油管内のほこりその他の汚物を完全に除去した。フラッシングの系統図を第7図に示す。空気の配管は特に慎重に行われた。空気圧縮機によって規定圧にしたのち、石けん水を塗布して漏気の確認を行った。

3. 発電電動機のすえ付

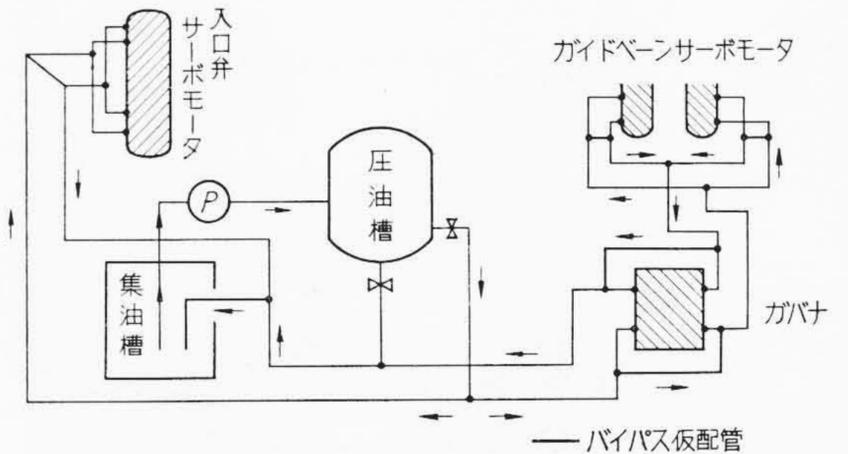
3.1 主梁について

発電電動機を支持する主梁は今までの水車発電機の条件のほかに次の事故条件を追加して強度計算を完全なものとした。

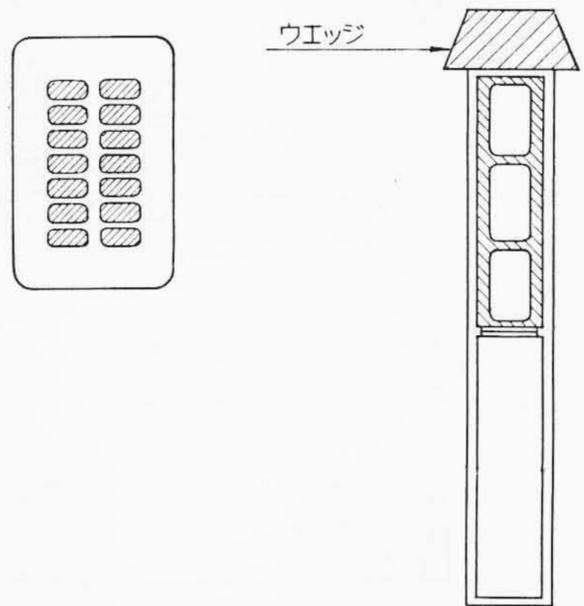
- (i) ポンプ駆動充水時のトルクおよびスラスト

第1表 建設沿革

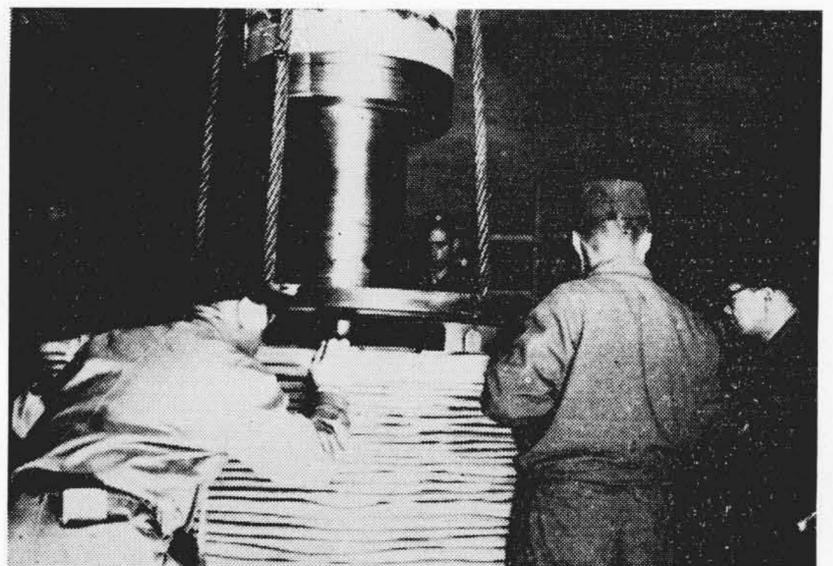
水系および河川名	吉野川水系大森川
所在地	高知県土佐郡木川村大字長沢字栃谷
水利使用申請	昭和31年2月27日
水利使用許可	昭和32年4月19日
工事实施申請	昭和32年5月11日
工事实施許可	昭和32年11月22日
建設着工	昭和32年5月1日
電気課開設	昭和32年4月1日
主機据付開始	昭和33年12月6日
電気関係据付開始	昭和34年1月5日
通水	昭和34年8月21日
官庁検査	昭和34年8月20日
仮使用認可	昭和34年8月23日



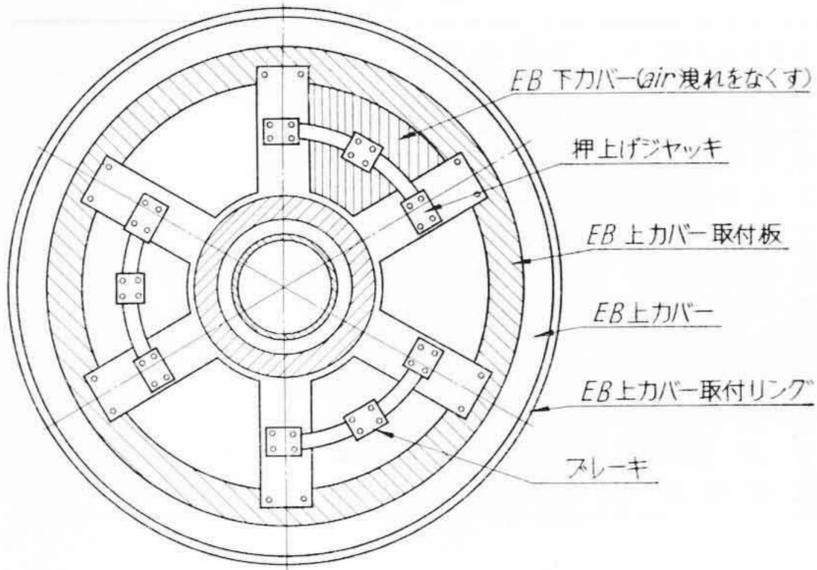
第7図 フラッシング系統図



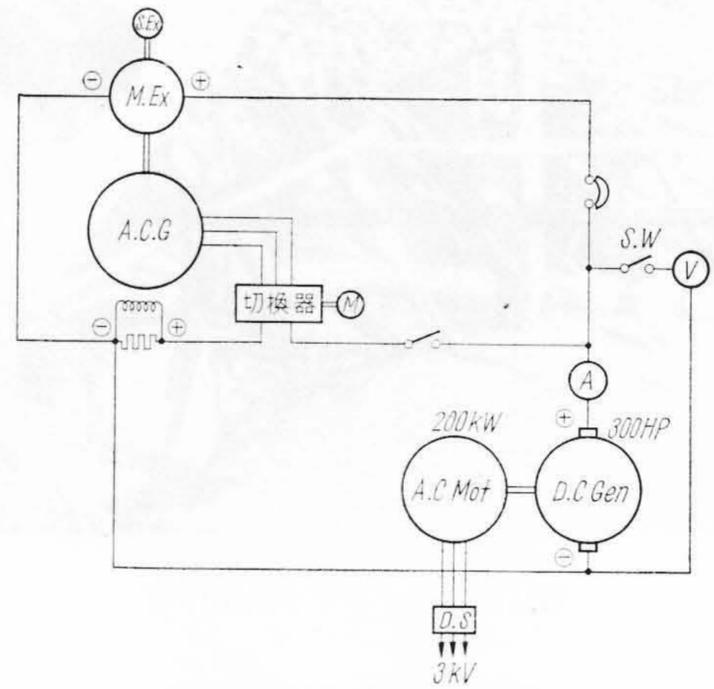
第8図 固定子コイル断面



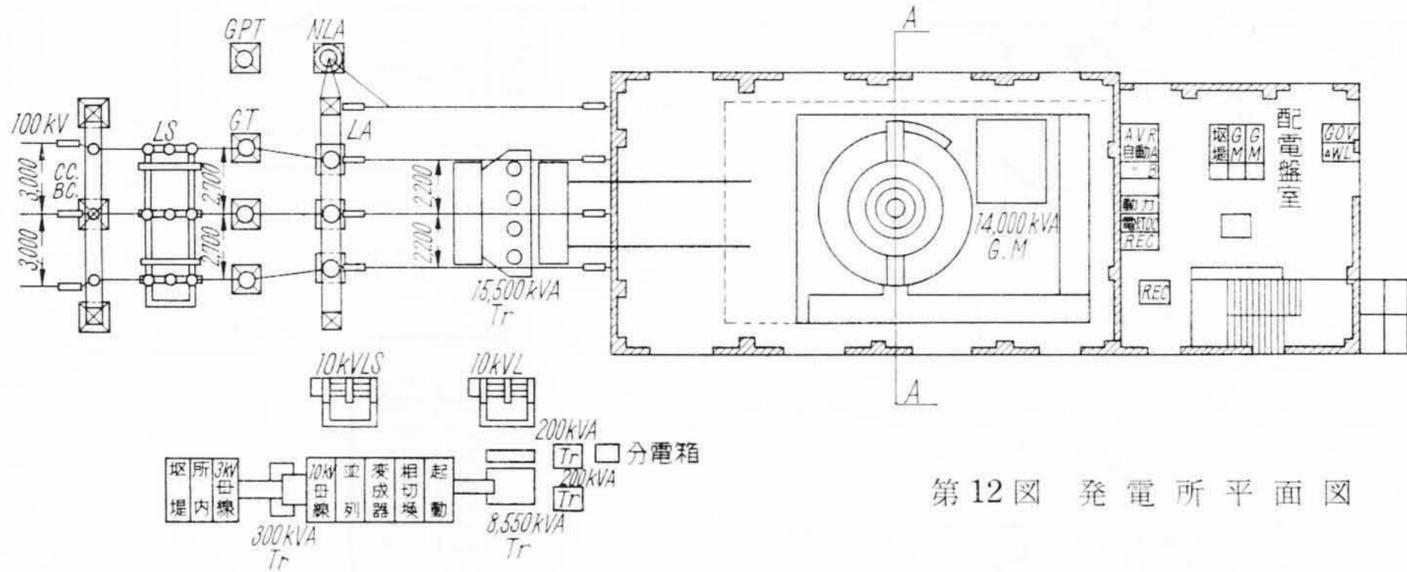
第9図 ヨーク焼きはめ作業



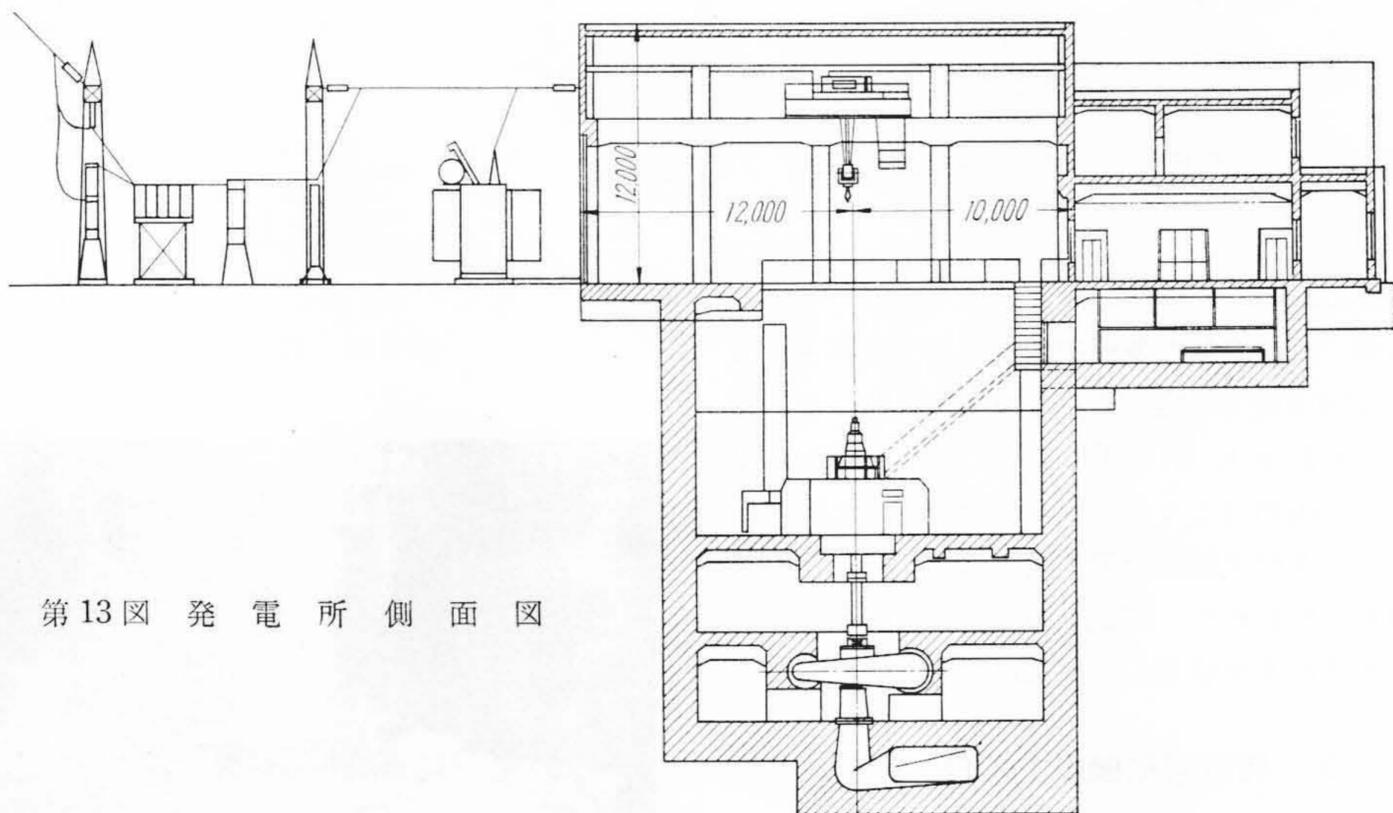
第10図 下ブラケット平面図



第11図 メタルならし用配線図



第12図 発電所平面図



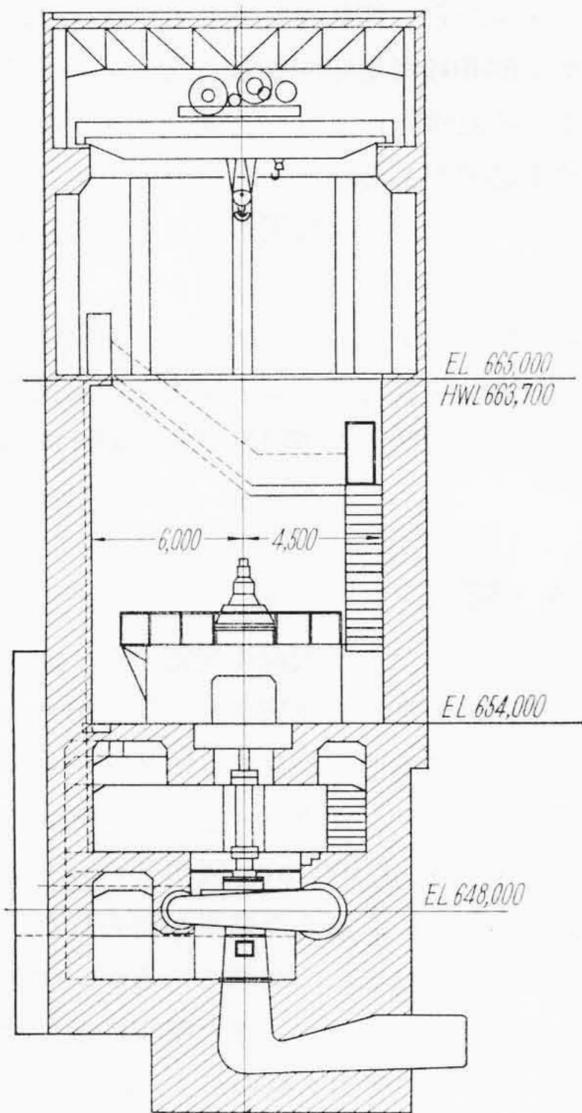
第13図 発電所側面図

- (ii) ポンプ締切圧運転中のトルクおよびスラスト
- (iii) 電動機起動時のトルク

また主梁のひずみも計測し、鉄筋計によって応力の測定も合わせて実施された。

### 3.2 固定子組立

固定子の組立は昭和34年1月5日より開始された。ステータは4分割されて運搬され、搬入台および発電機室で組立てられた。固定子コイルは十数本ずつ木箱に密封



第14図 発電所断面図

して輸送されてきた。コイルの乾燥は3回に分けて実施し、そのつどワニス吹付けを行って後十分乾燥させるというきわめて入念な作業が行われた。

3.3 回転子組立

回転子ヨークの組立は昭和34年1月23日より開始されたがおもな順序は次のとおりである。ヨークは鋼板を数十枚積み重ねて組立てられている。輸送の関係で分割して送られてきたが、ヨークの焼ばめは短時間で終了した。ポールつり込み後上下ダンパリング取付作業を続けた。ダンパリングは普通の水車発電機に比して電動機起動用のために強固なものが取り付けられている。

3.4 下部ブラケットすえ付

下部ブラケットのすえ付は昭和34年2月5日に完了した。ブラケットには押上げ用ジャッキ(作業用)とブレーキが付属されている。このブレーキは水車運転、ポンプ運転ともに使用されるものである。

工事内容	11	12	1	2	3	4	5	6	7
機械基礎および機械室建物				16					
配電盤室建物(事務室ケーブル処理室共)									
変電所用地整地および屋外機器用基礎およびケーブルダクト									
水圧鉄管および冷却水機関係					30				
修理工場住宅	28	15	(修理工場)						
土木建築関係雑工事					1				
送電線配電線	20								
通信設備									
天井起重機すえ付	10	25							
ケーシングおよび主弁すえ付		6	23						
ケーシングコンクリート打ち No1 No2 No3		25	28						
小水車および圧油ポンプ主油槽集油槽すえ付		25	28						
補機類すえ付		6						20	
水車関係各種配管およびフラッシング			17					20	
コンクリート打硬後の水車再センターリンクおよび中心調整			17	24					
鉄管等の短管寸法決定組立リベット打完了			29	11					
パイプス弁組立主弁本体組立			11	12					
ケーシングドラフト工事およびドラフト内部ドラフト工事			12	14					
サーボモーター関係およびパイプ関係すえ付			24	3					
水面押下装置およびその他附属機器すえ付				8					
Gen基礎面ならしピッチング			4	7					
下部をBベース組立すえ付準備			15	16					
同上 すえ付センターリンク				1	5				
ステータ軸組立ピズミ測定			10	12					
コイル入れ準備とコイル入れ					31				
ステータ耐圧試験および乾燥ガス吹付			10	12					
ロータヨーク組立と主軸埋め			12	31					
ポールピース組立すえ付および上部B組立			24	28					
Gen センターリンク				12	15				
Gen 下部スランカーボルトコンクリート打ち				15	16				
Gen 関係基礎わく入れコンクリート打ち				15	16				
Gen 再センターリンクと調整				23	24				
Gen クラフ組立、風道組立				15	18				
Gen 関係各種配管				17					
水車分解ランナ組立水車本体組立				27					
ロータ吊込みGenスラスト組立Mo Cub組立								3	
水車発電機振れ調整				6	20				
同上 各部組立					24				
Ex 組立					24				
水車発電機メタルならしおよび調整								13	16
圧油ポンプ試運転および調整								22	23
ステータベース組立すえ付および上部B組立				7	10				
サージアスソーパバーNGRFRFS関係すえ付結線									2
屋内照明器具取付および配線工事				14					5
屋外 同上									15
ケーブル処理室鉄構作製					31				
地下室ケーブルラック					11	31			
操作ケーブル上り部作製					1	15			
AVR Cub すえ付					30	8			
配電盤基礎ベースすえ付					25	31			
MMG すえ付					1	5			
セレン整流器すえ付					2	3			
配電盤すえ付(1/2-10)					5	20			
遠方監視制御盤すえ付									14
レギュレータ配電盤および水調器すえ付					14	15			
キャリヤセットすえ付									14
盤間連絡線接続					20	26			
セルシンセットすえ付					8				14
MMG Cub すえ付									13
操作ケーブル 延線および接続					26				24
電力 同上									7
その他 同上									18
バッテリーすえ付					2	17			13
解箱および組立準備						6	8		
中身組立						8	16		
内部接続およびダンク収納							8		
乾燥							22	3	
附属品取付							4	18	
絶縁油注入							11	18	
主変圧器すえ付							18	20	
スターチングトランスすえ付							15	20	
所内用トランスすえ付							15	20	
機械基礎					20	10		5	
屋外鉄構	11				16				
屋外架線					4	20			
接地線完成								10	10
メタフラすえ付					10	15			
同上内部結線および調整									36
屋外機器すえ付(GTPTALIS等)					21	7			
電力ケーブルダクト(クリート作製)					11				20
操作ケーブルダクト(同上)					11				20
保護柵その他附属設備(ダクト基を含む)									
雑工事									
通水									
乾燥運転									
総合調整									
社内試験(無水)									
同上(有水)									
官庁検査									
営業運転開始									
工事用変電所									
工事用送電線									
工事用配電線									
通信設備									
重量物倉庫 雑品倉庫電気課事務所									
各種記録整理									
精算および引継									

3.5 発電電動機組立

下部ブラケットのすえ付完了後上部ブラケットの仮すえ付、センタリングなどの順序で組立が行われた。ロータつり込み時に主梁のひずみ測定が行われたが、梁中央部のひずみは0.03~0.04mm程度であった。また下部ブラケットのひずみは0.18mm程度の値が得られた。スラストベアリングシュエ中央にロータ押上げ用の圧力油供給孔が穿たれている。またこれに至る配管はスラストタンクの外側に引出してある。本体のすえ付の完了について励磁機、アクチュエータージェネレータの取付けを行った。軸電流防止のためアクチュエータージェネレータは絶縁されている。なおこのジェネレータはポンプ運転時において並入時の位相確認にも利用されるので、発電電動機と位相を合わせるためロータ取付の関係位置は十分注意して実施された。なおこのステータは回転方向に幾分調整できる装置が考えられている。発電電動機本体のすえ付が完了すると、有水運転に入るまでの空白期間を利用してメタルならし運転を行った。それは第11図に示すようにM-Gセットと切換器を利用して主ロータを回転させる方式である。メタルならし運転はM-Gセットにより直流電源を供給の上励磁機により行われた。有水試験に入る前、昭和34年6月12日に400rpmにてロータをポンプ方向に回転させメタルならし運転を実施した。このように特殊なメタルならし運転を行った目的は次のとおりである。

(i) 有水試験期間の短縮

(ii) ポンプ試運転は水車試運転のように低速から徐々に加速してメタルならし運転を行うことができず、電源投入とともに約40秒で規定回転数になるというひどい条件である。それゆえにポンプ方向のメタルならしは必ず実施する必要がある。

(iii) メタルの油みぞのポンプ作用が正逆ともに異常ないか確認する必要がある。

このメタルならし作業を実施したために水車運転よりも先行してポンプ試験が実施できたことは大きな成果であった。発電所の機器配置関係を第12, 13, 14図に示す。

4. 結 言

電力界の注目の的となったこの大森川発電所のすえ付は振動防止について特に注意して実施され、運転に入行われた振動測定記録でも明らかなようにメタルカバーで1~2/100mm, カップリングカバーというきわめて振動しやすい場所ですら3~4/100mm, 吸出管のコーン部分に至っては測定不能という優秀な結果が得られた。これはポンプ水車の特性が良いのは当然であるが、すえ付についてもきわめて慎重に実施し、また堅牢に取付けられた日立工事のかたがたの努力も見のがすわけにいかない。

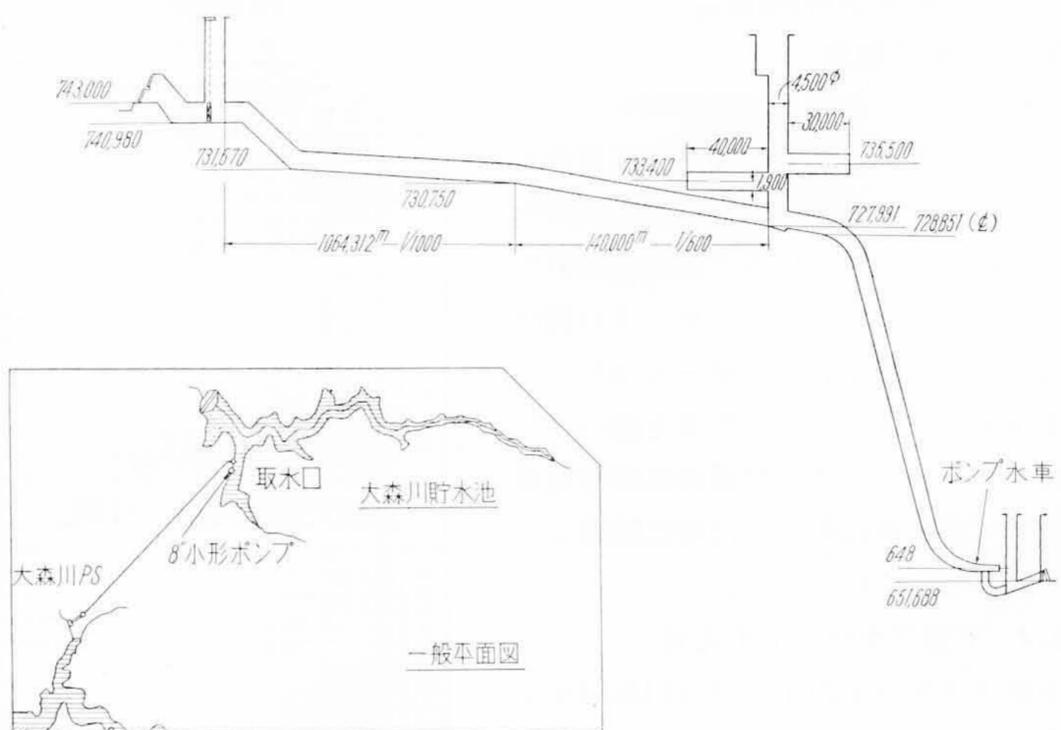
ここに本文をかりて関係者のかたがたに謝意を表する次第である。

第3部 現地試験について

1. 緒 言

大森川発電所の現地試験は試験期間を短縮しポンプ特性をすみやかにつかむ目的でダム湛水開始前と湛水後の2回に分けて実施された。湛水開始前には圧力トンネル内が空虚なため、そのままポンプ運転に入ることができない。したがって第1図に示すように取水口に8inDの小形ポンプを設置し15,000m<sup>3</sup>の水を48時間でトンネル内に完全に充水したのちにポンプ運転を行うようにしたものである。

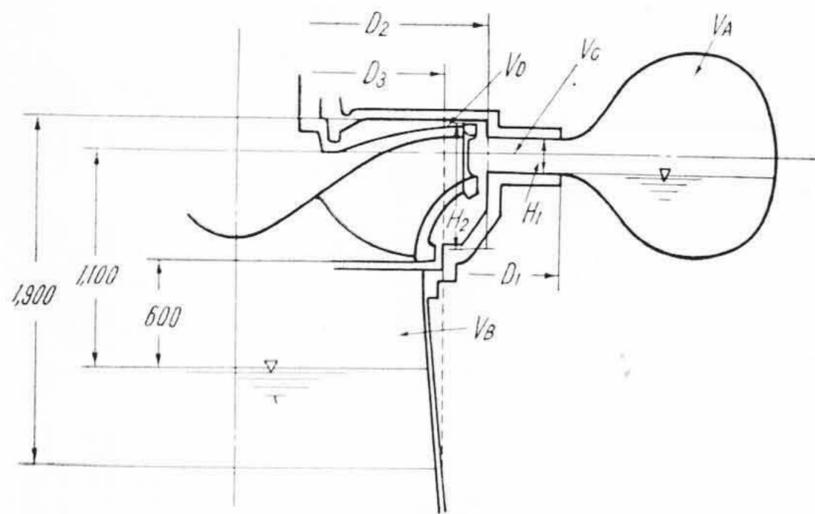
その後試験が進行しポンプ特性が握されるとトンネルが完全に充水されるまで待つことなく、ある程度充水されればポンプ水車をスタートして揚水を行い、トンネル内の充水と揚水試験をかねて行う



第1図 大森川発電所プロフィール

ことができた。もちろんこの場合にはポンプにとってσは最もひどい状態にあったともいえる。しかしながら振動、キャビテーションなどの特異な現象は現われなかつ





第5図 水面押下げ装置の解析記号図

の水面を押下げてランナを空転させる状態で起動しなければならない。したがってポンプ水車においてこのとき問題となるのは

- (1) 水面押下げ装置の容量
- (2) 空気抜きを開始してケーシング内の水圧が確立されるまでの過渡現象

であり電動機としては、

- (1) 起動時のトルクと摩擦トルク
- (2) 充水時の変化

が問題である。試験についてはこれらの点にウエイトをおいて実施した。この試験結果を説明する前に起動方式を述べることにする。第2図の単線結線図を参照されたい。

(a) 起動方式の説明

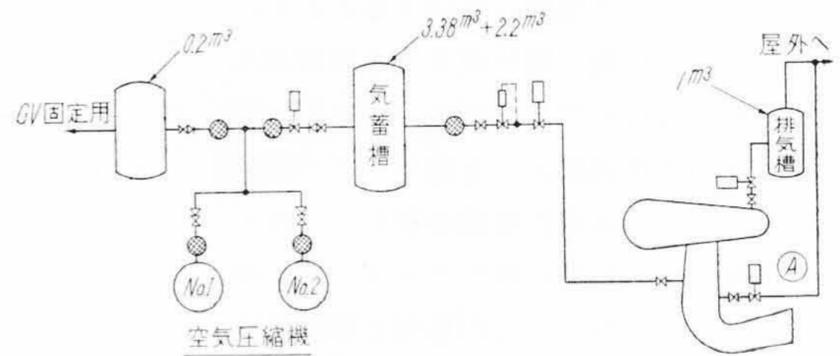
ポンプおよび電動機の起動は次の順序により行われるものである。

(i) 水面押下げ完了し、そのほかの必要な条件が成立すれば起動用変圧器 (8,550 kVA) の高圧側線路開閉器 (23kV 1,200 A) が自動投入され変圧器が励磁されるとともに推力軸受に圧油が供給される。

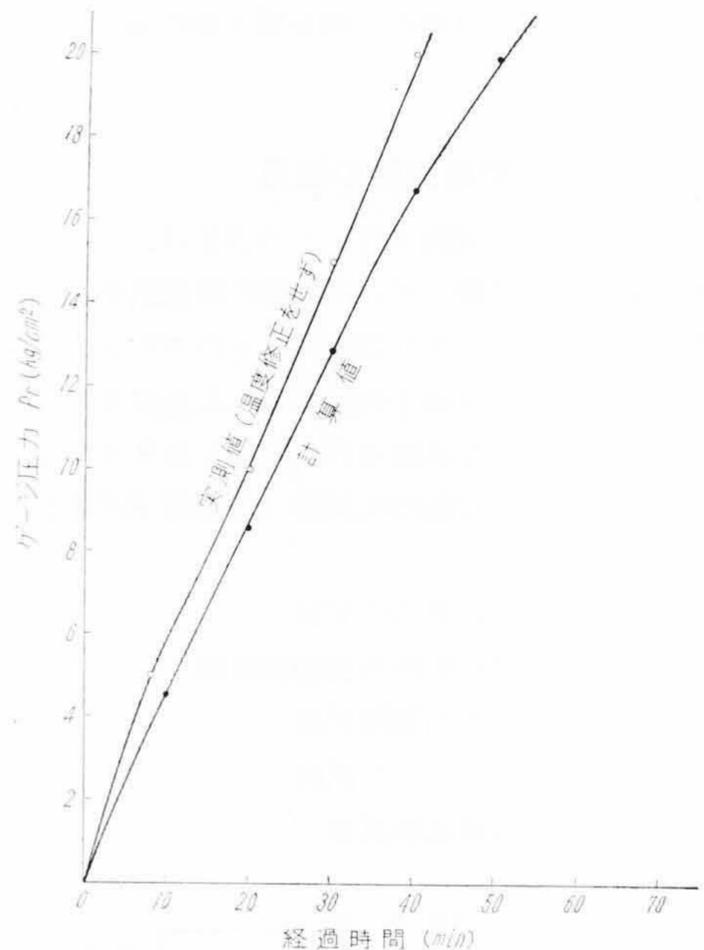
(ii) 次に起動用MCB (#6と略称する) (11.5kV 1,200A 500MV A) が投入され発電電動機 (GMと略称する) には定格電圧の $\frac{1}{2}$ である 5,500V が印加される。

(iii) GMが起動し加速されて定格回転数 400rpm に近くなるとすべり検出装置が働作を開始し一定時限後 #6は開放され、並列用MCB (#52と略称する) (11.5 kV 1,200A 500MV A) が投入してGMに全電圧が印加する。もちろん #6解放前でも、ある時限後ではGMの負荷トルクが僅少であるため回転子は凸極性によるリアクショントルクにより無励磁のまま同期に引入られることとなる。

(iv) したがって #52が投入されて全電圧が印加されるとすべりはさらに0に近くなり無励磁のまま完全に同期に入るわけである。



第6図 系統図



第7図 空気時間曲線

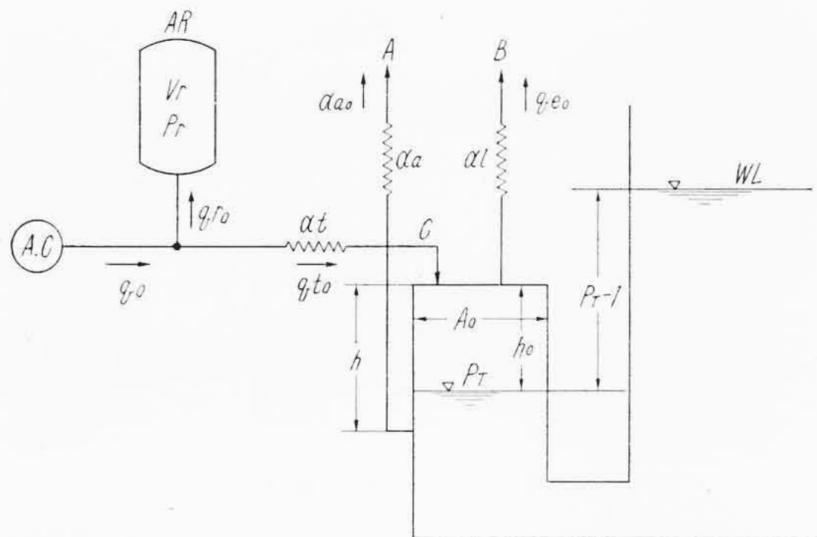
(v) ついで界磁開閉器 (#41と略称) を投入して同期電動機として系統に並入する必要がある。この大森川発電所の場合にはすでに同期に入っているため #52 投入後一定時限で #41 を投入するという方式を採用した。しかしこの場合にはすでに同期に入っている回転子の電気的位置が問題である。もしロータの位置が逆位相で入っていた場合に #41 を投入するとロータは一極ずれることとなる。この現象についても計算および工場試験で確認されたあと、現地で試験が行われたものである。第3図は逆励磁された場合の計算例を示し、第4図は工場における逆励磁試験の結果を示している。

(b) 水面押下げ装置試験

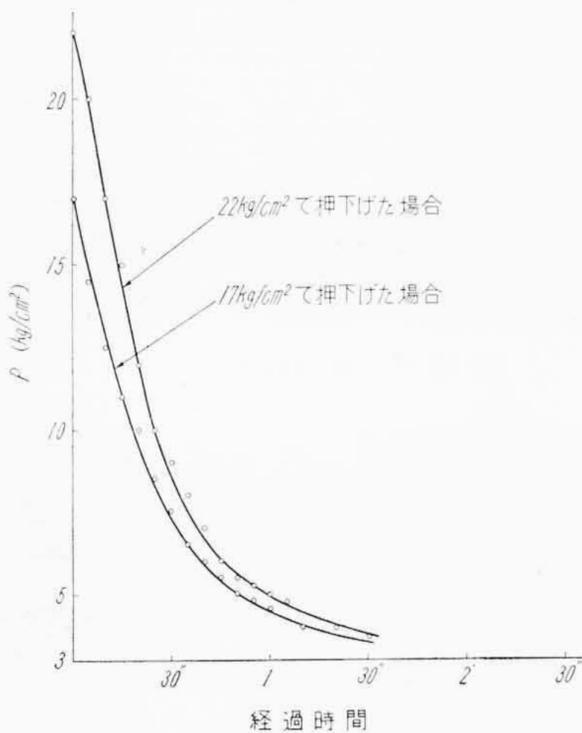
水面押下げ装置の解析は次のようにして行われた。押下げ部の容量は第5図に示す記号を使用してそれぞれ各部分の容量を求めた。ケーシング部の容積は

$$V_1 \doteq 15.56 \text{ m}^3$$

である。ところが水面押下げ時には、第5図に示すよ



第8図 計算用スケルトン図



第9図 気蓄槽気圧低下曲線

うに下部分に水が残るので実際の空気量は

$$V_A \doteq 10.37 \text{ m}^3$$

である。またランナ部の容積は第5図において  $V_B$ ,  $V_C$ , で与えられ、それぞれ

$$V_B \doteq 3.08 \text{ m}^3$$

$$V_C \doteq 1.03 \text{ m}^3$$

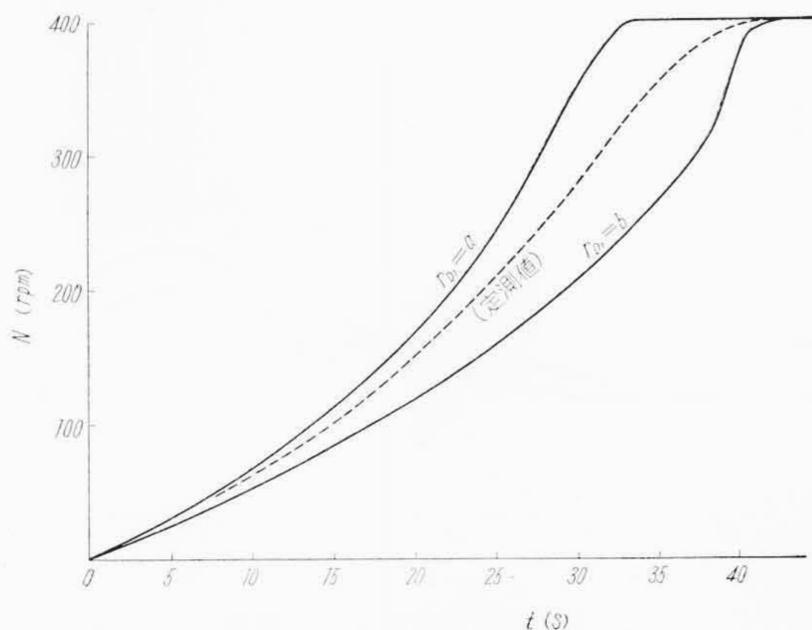
$$V_D \doteq 1.8 \text{ m}^3$$

となる。本体回りの配管類を10%とすれば押下げ部の容積  $V_T$  は

$$V_T \doteq 18 \text{ m}^3$$

である。この容積に対し長沢水位が高水位のときに、押下げを行い、ふたたび充気するに要する時間を40分程度とすると第6図の配管図に示すような気蓄槽の容量が必要である。ただし  $2.2 \text{ m}^3$  のタンクは予備的なもので  $3.38 \text{ m}^3$  が常用として使用される。充気用には空気圧縮機2台が使用される。計算と実測の比較を第7図に示す。

水面押下げ時には減圧弁を介して吸込管内に送気し吸込管内およびケーシング内の水面を押下げる。水面の安定には第6図のⒶパイプより放出することによ



第10図 加速曲線

て保持される方式である。この安定した水面とランナ下面との間隔はモデルによって検討した結果、決定されたものである。水面復帰には送気弁およびⒶパイプを閉鎖し、排気槽を介してケーシング内の空気を排除する方法を採用した。水面押下げ時の計算用スケルトン図を示すと第8図のとおりとなる。

コンプレッサA.Cより気蓄槽A.Rとケーシング内に減圧弁を介して送気されるが、

$$P_t = \text{一定}$$

$$q_o = \alpha_t (2P_r - P_t) = Q_o (1 - \lambda_o P_r)$$

$$q_{ao} = \alpha_a (2P_t - 1)$$

$$q_{lc} = \alpha_l (2P_t - 1)$$

の仮定に従って解析を進めることとする。ただし  $\alpha$  は抵抗係数を、 $q_o$  はコンプレッサの性能を示すもので一般に下式で示される。

$$q = Q_o - \lambda_o Q_o P_r = Q_o (1 - \lambda_o P_r)$$

また

$$dP_r V_r = q_o dt \text{ であるから}$$

$$dP_r = \frac{1}{V_r} (a - b P_r) dt$$

$$\text{ただし } a = Q_o + \alpha_t P_t$$

$$b = (Q_o \lambda_o + 2\alpha_t)$$

この一般解は

$$P_r = \frac{1}{b} (a - K e^{-\frac{b}{V_r} t})$$

$$\text{ただし } K = (a - b P_{r1})$$

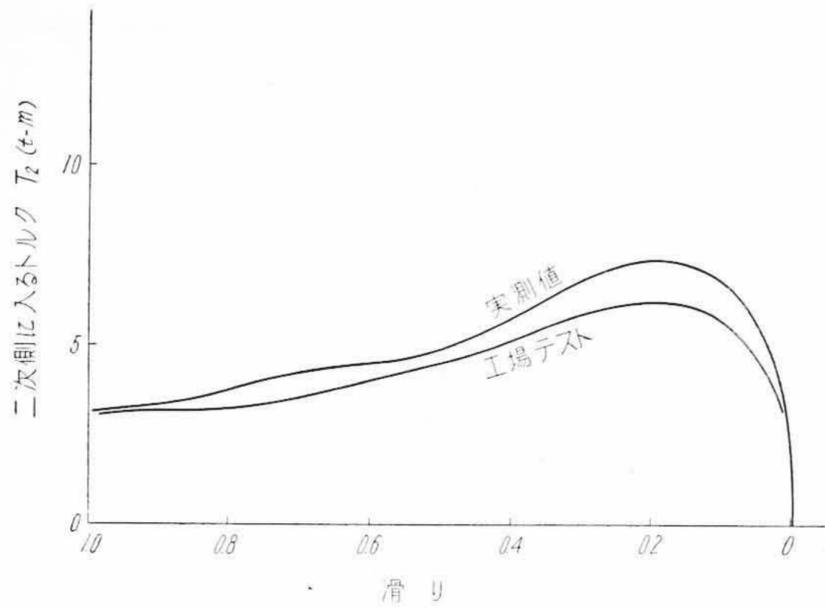
となり、この式にそれぞれ数値を与えて  $\alpha_t$  を求めると

$$\alpha_t \doteq 1.1 \sim 1.2$$

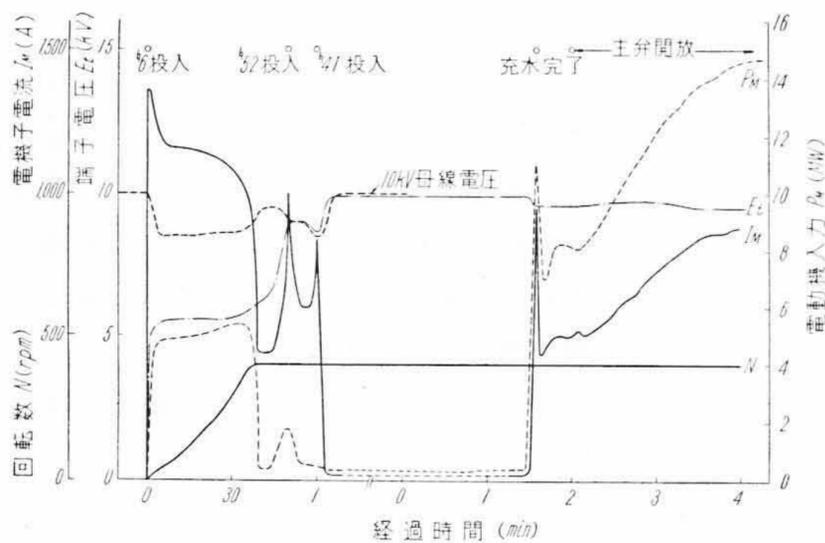
程度が得られた。水面押下げした場合の気圧低下を第9図に示す。

(c) 起動トルクの測定

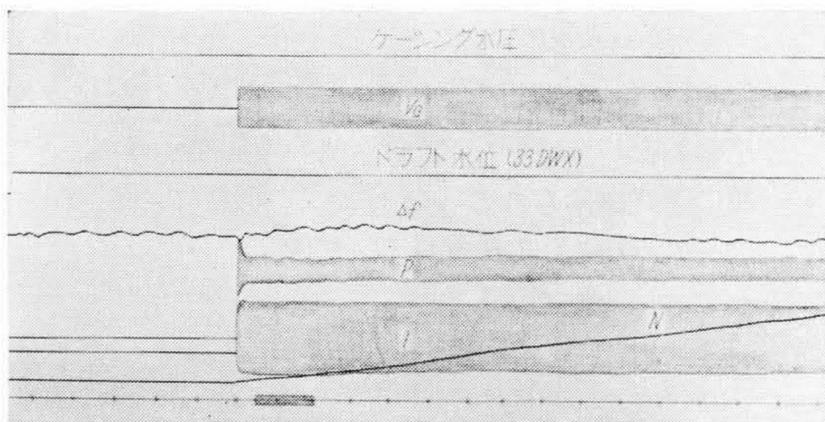
同期機を誘導機として、しかも低減電圧で起動する



第11図 滑りトルク特性

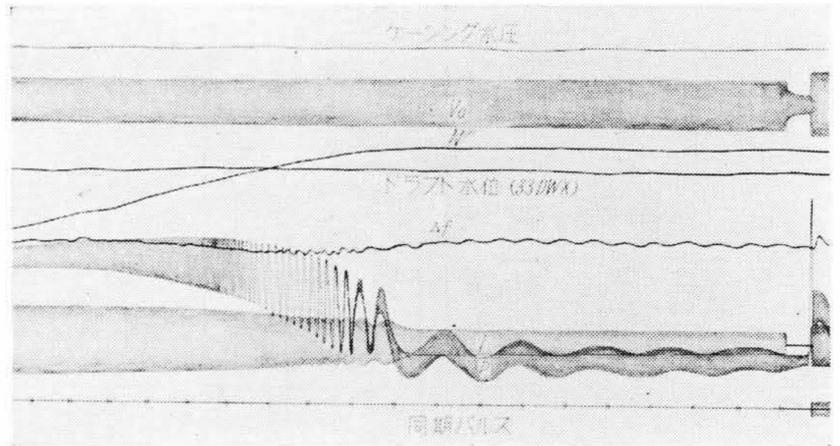


第12図 15,000 kW 発電電動機起動特性

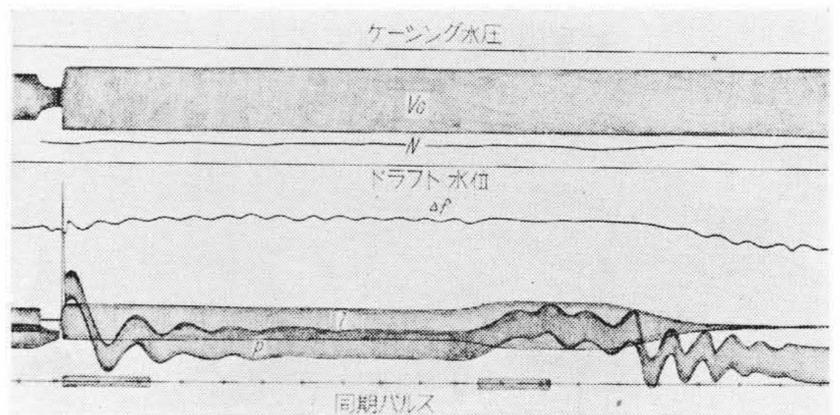


第13図 #6投入時オシログラム

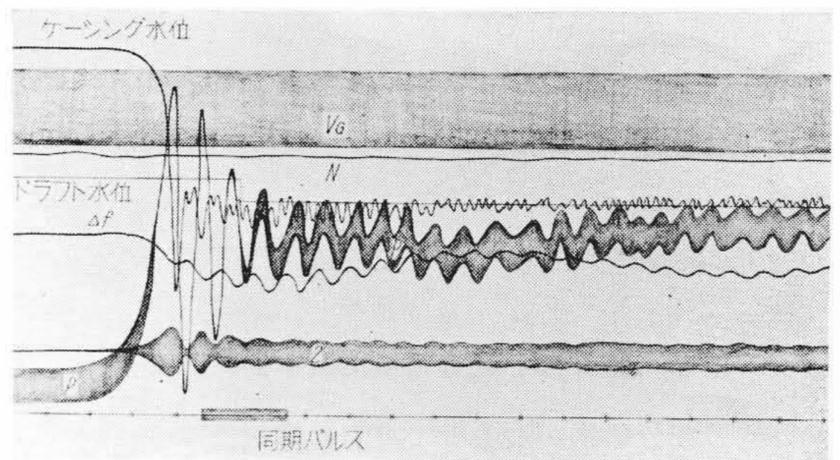
場合には起動トルクが問題である。この起動トルクは工場試験において測定されたが、現地においてランナなどの実荷重をかけたのと、起動変圧器を介した実際の起動トルク測定を行った。大森川発電所の発電電動機は、電動機起動の場合、起動電流を小さくして起動トルクを大きくすることと、それに対する負荷トルクの軽減に努力が払われた。この起動トルクを大きくするために制動巻線の材質、配置などについても検討を行い、界磁巻線に入れる抵抗値についても検討された。第10図に制動巻線の抵抗値をそれぞれ変えた場合の加速曲線の計算と実測との比較を示す。起動トルクの換算には電動機入力より各損失を差引いて二次入力を



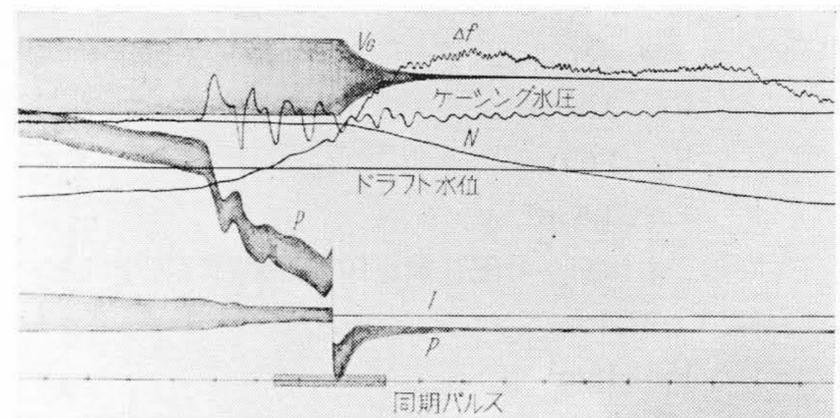
第14図 並列時オシログラム



第15図 並列時オシログラム



第16図 充水時オシログラム



第17図 停止時オシログラム

求めてトルクを換算する方法と  $dv/dt$  から求める方法、とあるがいずれの方法によるも大体同様の傾向と数値が求められた。第11図はその一例を示したものである。これから求めた起動トルクは、約9%となり保証値をはるかに上回る良好な結果がえられた。

(d) 逆位相励磁について

すでに述べたようにロータは#41投入前に同期に入ることが考えられるので、工場における逆位相励磁試

験を行い、解析計算とともに確認された。実測との比較は励磁前の電機子電流を過渡時最大の比率がいずれも150%で、過渡持続時間は工場で6秒程度に対し現地のそれははるかに早く約4.5秒が記録された。いずれにせよ逆位相励磁は支障ないことが確認されたが、現地における正位相に入るチャンスと逆位相に入るチャンスとでは逆の場合が多いように思われる。

#### (e) 低電圧起動について

この発電電動機の最低起動電圧は大体工場において求められたが、ポンプ水車を直結した実際の場合においては、系統変動電圧の最低値として主変圧器105/11kV、起動用変圧器11/6.28kVのTapで起動した。もちろん軸受摩擦トルク低減装置として、電磁石法と、高圧油ポンプ法の二者について比較試験を合わせ行った。この結果は次のとおりである。

##### (i) 電磁方法

電動機電圧 (最低)	5,200 V
電動機電流 (最大)	1,200 A
400 r/m になる時間	38 秒
電磁石電流	D.C 80 A

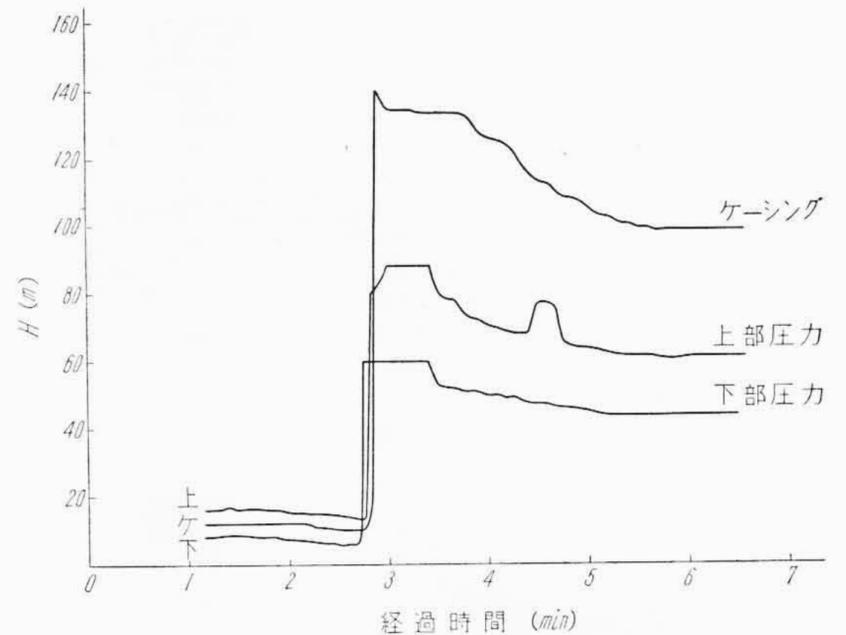
##### (ii) 高圧油ポンプ法

電動機電圧 (最低)	5,100 V
電動機電流 (最大)	1,460 A
400 r/m になる時間	49 秒
油圧	45~50 kg/cm <sup>2</sup>

この結果から明らかなように加速所要時間に大差なく、また起動電圧器タップが11/6.88kVのときの加速所要時間38秒に対し49秒と約10秒程度おそくなったが、実用上大差なく、むしろ突入電流値が少なくなり系統にとれば好ましい傾向にある。この電動機は5,000Vすなわち10%低下した電圧で十分並入しうることが明らかにされた。第12図に読みとりの起動特性曲線を第13図には#6投入時のオシログラムを示す。第14図は#6のまま並入したことを示すオシログラムで電力が振動しつつ同期に引入られる現象をよく現しているもので、右端に#6と#52の切替現象を示している。第15図は左端で#52に切替えられたときのオシログラムで3~4サイクルで安定している。右方の動揺は#41で逆位相励磁された状態が示されており、過渡電流は約5秒で減衰している。第16図はケーシング内の空気抜を開始してランナに充水し水圧が確立した現象オシログラムで電力、水圧、電流などの変化が良く示されている。第17図はガイドベーンを緩閉してトリップさせた場合を示し、系統サイクル  $f$  が上昇したことも示されている。

#### (f) ポンプ起動特性

ポンプランナ空転時の損失は36.2kWで、それ以外



第18図 ポンプ水圧特性 (GV 6/10)

に特に問題となる点はない。ただランナ空転中の吸込管内水面動揺はモデルのそれと異なるか否かは、まだ確認されていない。空気抜きを行い、ランナ充水時の過渡特性は一部の現象をのぞきモデルと良く一致している。たとえば水圧上昇時間はモデルよりの推定値の1秒前後の値に対して、実測は第16図に示されるように大体1~1.5秒の値が得られている、第18図にはケーシング水圧確立時の変化曲線を示す。ただしこの曲線は5秒おきの読み取り記録である。

#### 4. 電動機起動時の系統動揺試験

この大森川発電所が電動機起動した場合に系統にいかなる影響をあたえるかについて、すでに交流計算盤により各ケースについて十分討議されたことは述べたが、系統に与えるおもな問題点は次のとおりであり、測定はこれらを重視して実施されたものである。

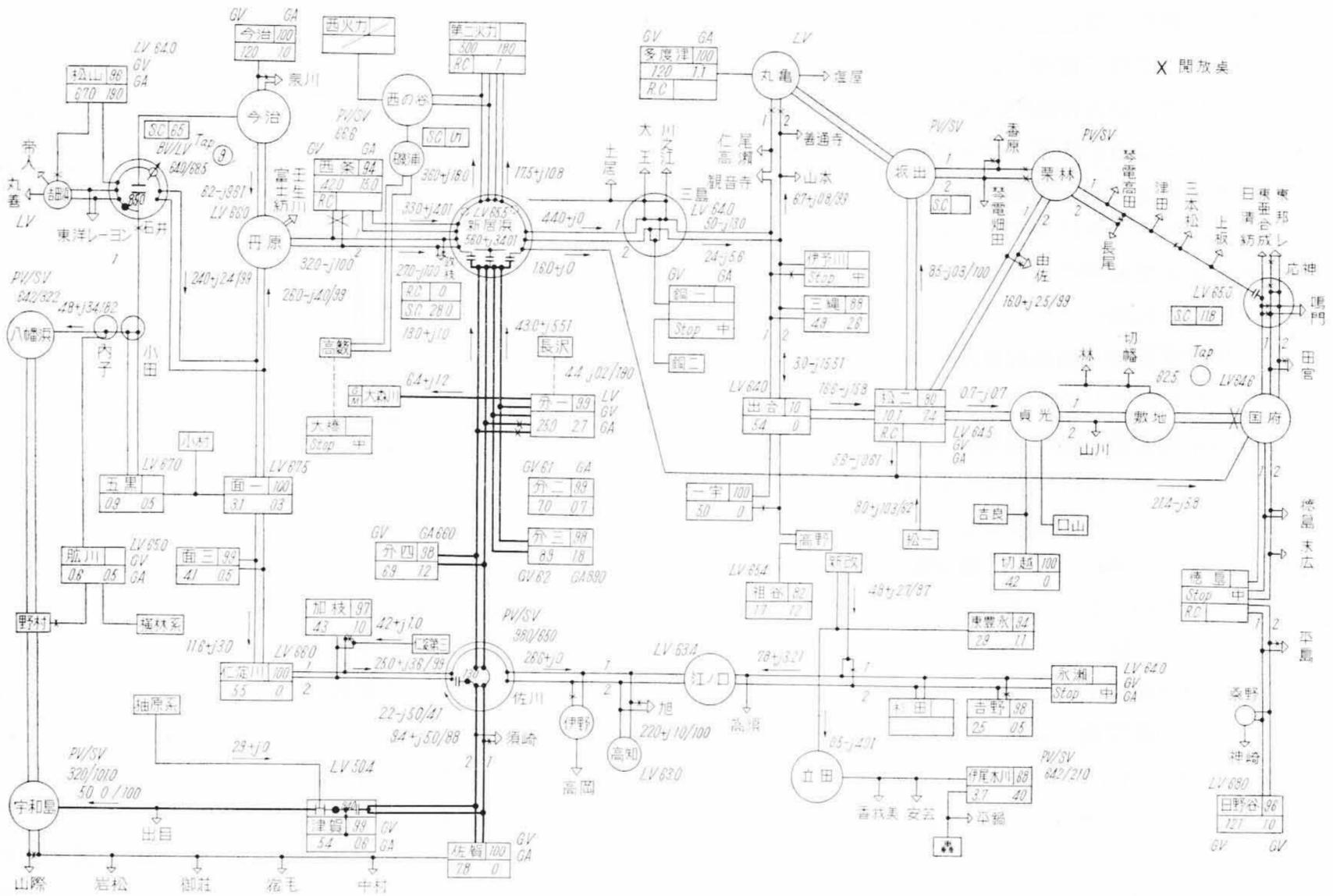
- (i) #6投入時の、突入と起動電流の問題
- (ii) #6投入時のkVAと加速に必要なkWの問題
- (iii) #52投入時の突入電流の問題
- (iv) #41投入時の逆位相励磁問題
- (v) 充水時のkW急増問題

この試験にはオシログラム8台を動員して、大森川発電所をはじめ分水第一、長沢発電所ほか全部で6箇所の発電所において計測された。このときの潮流実績を第19図に示す。

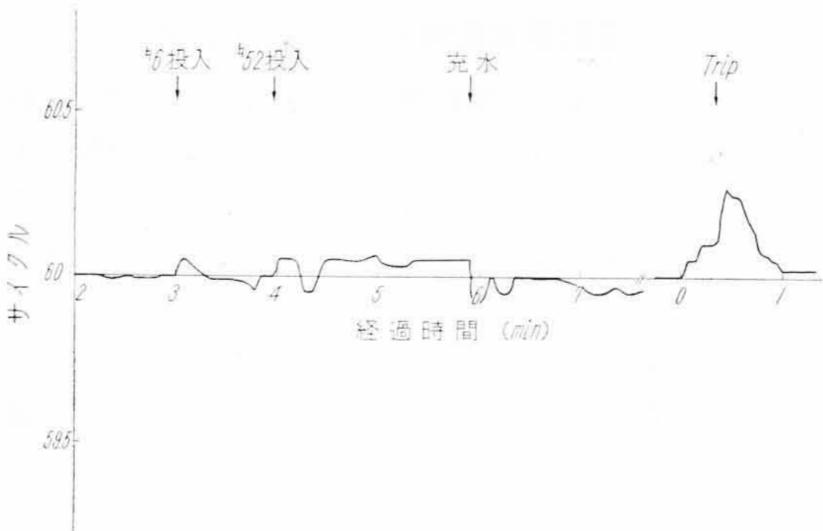
##### (a) 電圧変動について

#6投入時の電流による電圧降下は大森川母線電圧において15%程度と計算され、各補機類、開閉器類に至るまでこのときの電圧に安全に耐えて運転できるように注意された。系統の電圧降下は計算で

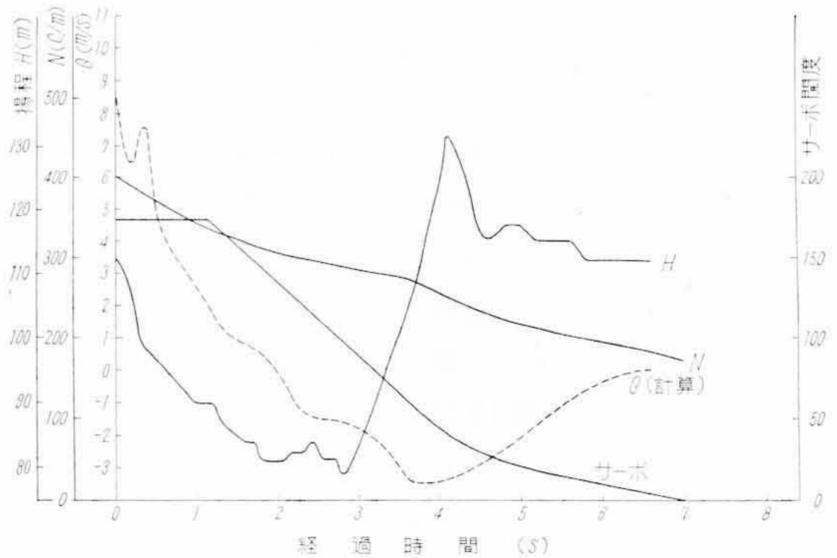
分水第一発電所	4.8%
長沢発電所	3%
大森川発電所内	15%



第19図 潮流図



第20図 系統特性曲線



第21図 ポンプ入力遮断試験 (ガイドベーン開度 75%)

であり、これに対して実測値はそれぞれ3%、1%、16%と大体一致した結果が得られた。また発電所内の電圧降下も

大森川送電線	0.8%
主変圧器	12.93%
起動用変圧器	9.1%
電力ケーブル	0.27%

と推定されたが、実測も大体一致してたとえば

主変圧器	11.5%
起動用変圧器	5.5~7.2%

の値がえられた。実測値が小さくなったのは、計算に

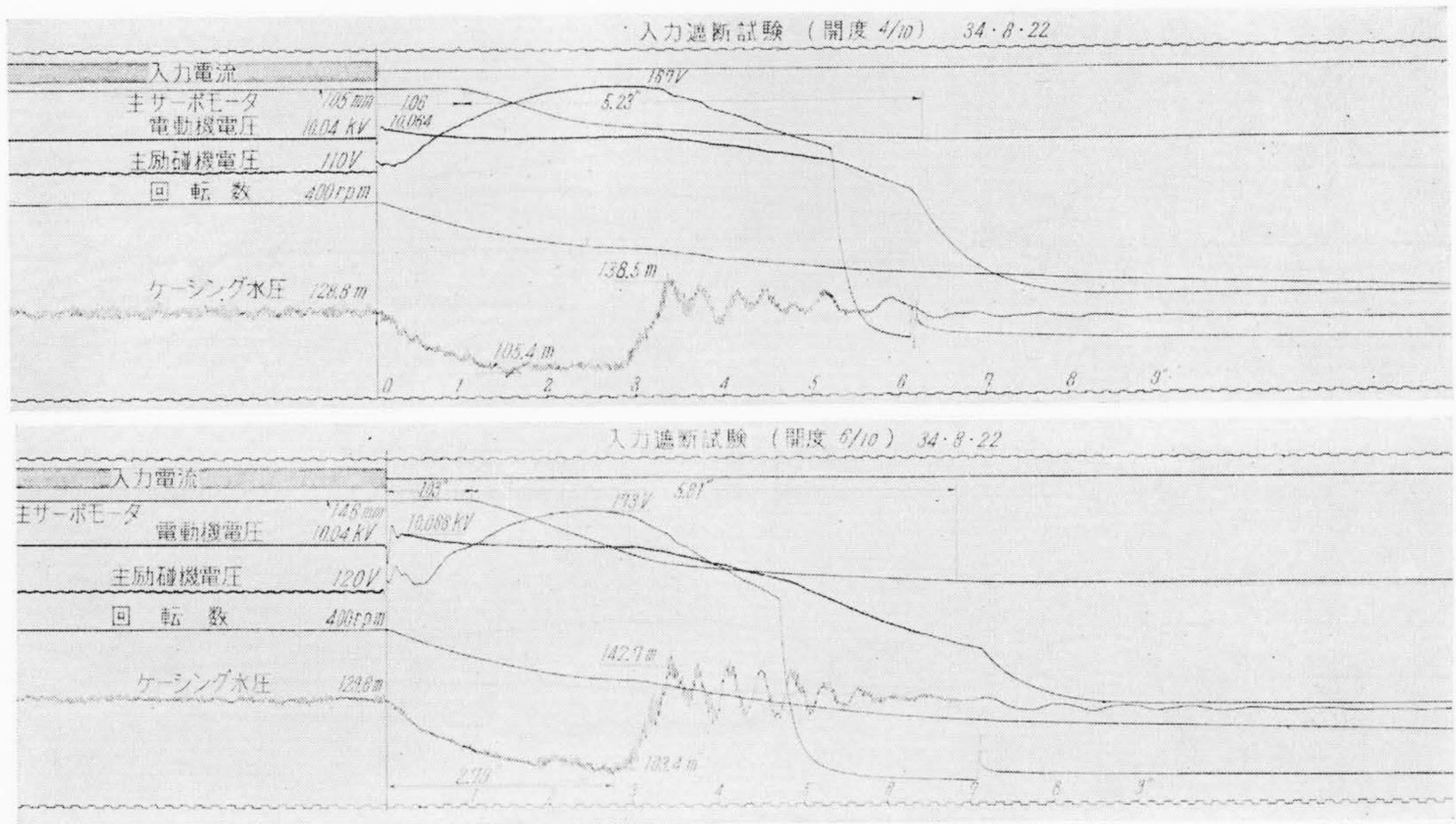
おける假定事項

- (i) AVRは使用しない
- (ii) 進み力率90%とする

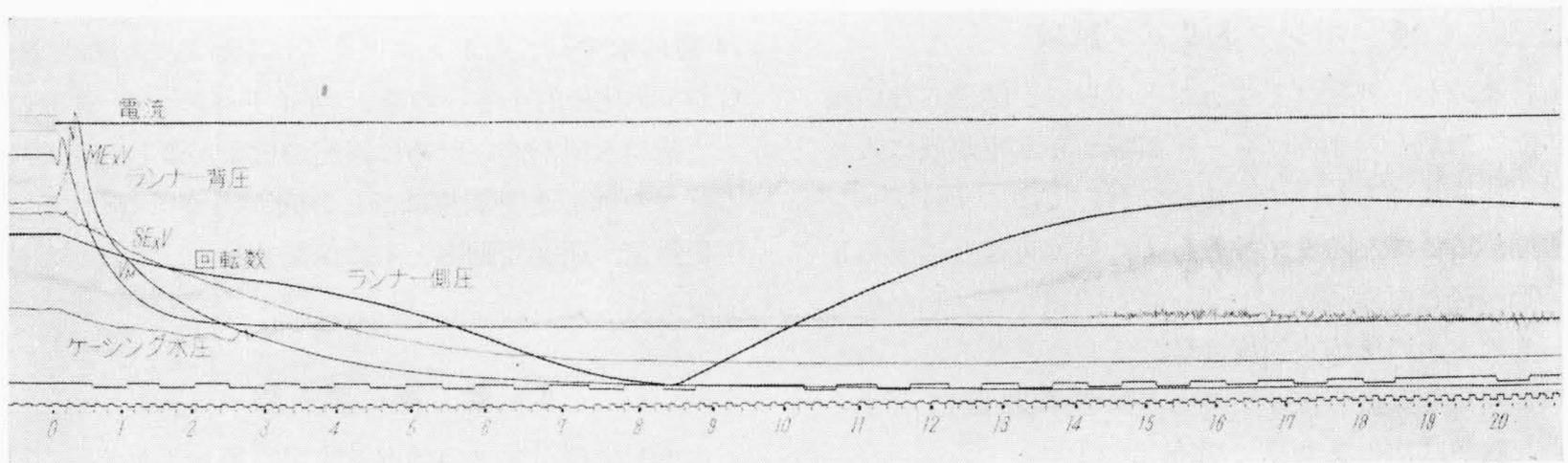
のために生じた誤差と思われる。いずれにしても影響をあたえるのは、長沢、分水第一発電所程度であり、その他の主要地点にはほとんど問題がなかった。

(b) 周波数変動について

#6投入時の加速キロワットと充水時のキロワット急増、ならびに停止時の締切キロワットのトリップなどにおいて当然周波数の変動が考えられる。周波数変動



上 開度 4/10 遮断, 下 開度 6/10 遮断  
第 22 図 ポンプ入力遮断試験オシログラム



第 23 図 ポンプトリップ試験 (ガイドベーン開度 60%)

は大森川発電所において記録周波計により測定されたがその一例を第 20 図に示す。第 20 図で明らかのように #6, #52 投入時に逆に周波数が高くなるという現象が現われた。もちろん充水時には周波数は、そのときの水火力の比率で 0.1%, トリップ時には 0.3% 低下または上昇している。

大森川, 長沢, 分一発電所との相差角関係は現在データ整理中であり振動周期は計算のそれとほぼ一致することが確認された程度で発表の段階ではない。

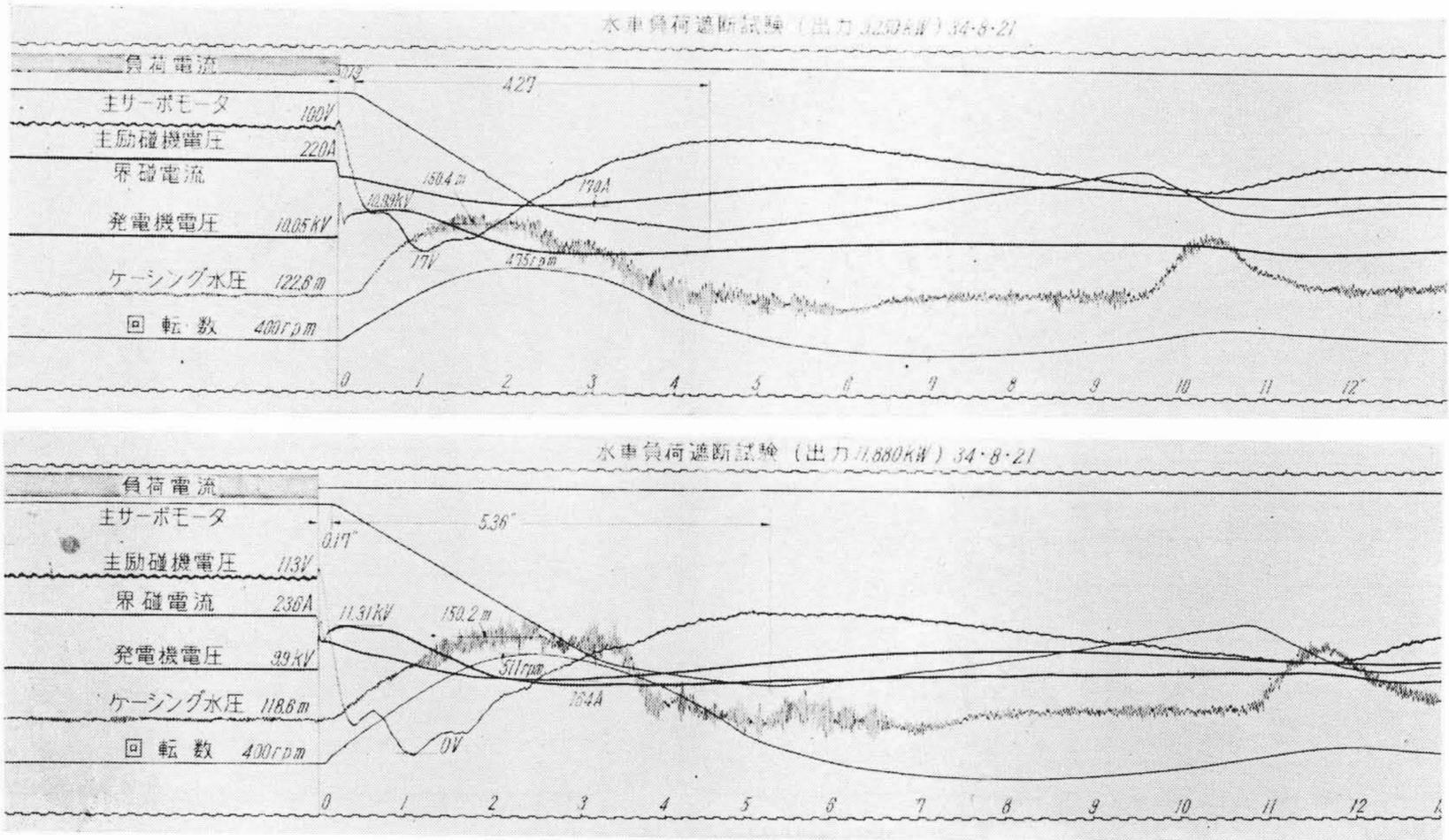
### 5. ポンプ入力遮断試験

ポンプ運転中に #5 がトリップすると低電力継電器, または低周波数継電器などが動作してガイドベーンを急閉しポンプは急停止を行うこととなる。このときには当然水圧管路には負の水衝圧が, 水路にはダウンサージが

発生し, それに伴ういろいろな現象が生ずる。入力遮断試験の一例を第 21 図に, オシログラムの例を第 22 図に示す。ガイドベーン開度が 75% 程度になると, かなり逆流するものと推定され, 第 21 図に全般特性から求めた流量変化曲線を示す。第 22 図のオシログラムは官庁試験時のデータでおもな数値は次のとおりである。

最低水圧に至る時間	2.79秒
逆流するまでの時間	2.2~2.5秒
最低水圧変動率	-20.2%
閉鎖時間	5.81秒

いずれの場合もポンプ入力遮断試験ではポンプは逆転するに至らなかった。このオシログラムにおいて #52 トリップ時より 2 秒間程度はポンプ領域であり, あとは全部ブレーキ領域にあるものであり, その影響が速度低下曲線によく表わされている。



上 9,250 kW 運転, 下 11,880 kW 運転  
第24図 水車負荷遮断試験

### 6. ポンプトリップ試験

もし#52がトリップしてガイドベーンが閉鎖しない場合には、当然そのままブレーキ領域から水車領域に入り無拘束速度になるわけで、現地においては、サージタンク水位が最低になるまで放置して、無拘束速度に至らしめ、その後ただちにガイドベーンを閉鎖した。したがって、そのときの無拘束速度は幾分低い値となる。このときの各現象を撮影したオシログラムを第23図に示す。おもな数値は次のとおりである。

逆転に至る時間	8.39秒
第1次最高回転数	481rpm
そのときに至る時間	17.3秒
ケーシング水圧変動率	-13.6%
吸込管水圧変動率	+89.5%
上カバー水圧変動率	-13.3%
下カバー水圧変動率	-12.2%

このときの揚水量は約 8.4 m<sup>3</sup>/s程度と思われ、放水路の最大サージングは、1.2mで、サージタンクは-25.7mであった。また最低サージ水位になる時間は約 47.5秒である。メタルカバーの振動はブレーキ領域付近にて最大で垂直方向に 4.5/100mm が記録された。

### 7. 水車負荷遮断試験

水車負荷遮断試験結果としては特に変わった現象はない。ただポンプ水車の特性上、低落差において dp/dn が大きいので注意しなければならない(ただしPは水車

出力, nは水車回転数または落差)。オシログラムを第24図に示す。このオシログラムに示されているとおり、GD<sup>2</sup> が比較的小さいのと、ガイドベーン全閉時のランナ締切水圧が高いために速度の低下が著しいことである。この点も速度調整に苦しい面がうかがわれる。水圧変動値, 速度変動率ともに保証値を下回り良好な結果が得られた。

### 8. 効率試験

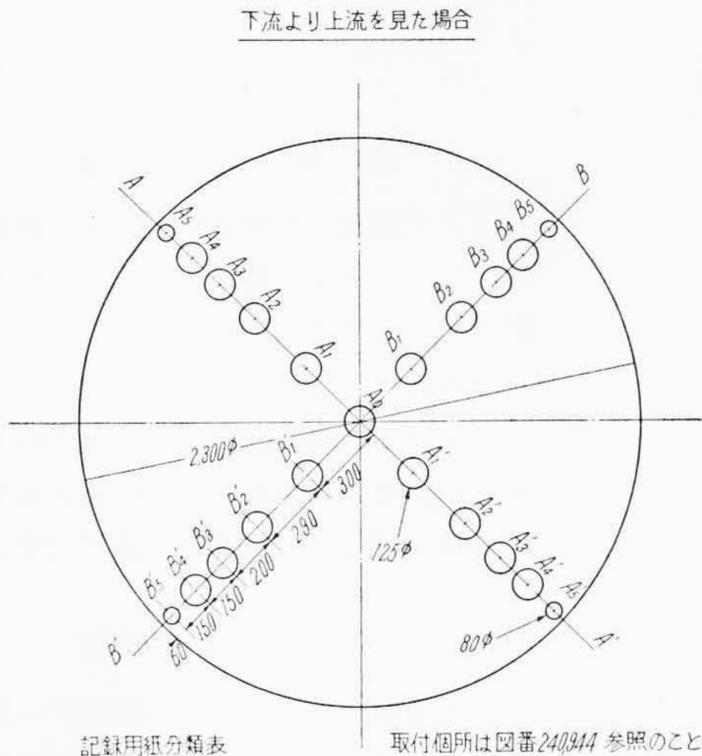
水車およびポンプの効率試験が実施されたがその結果はきわめて良好であり、ポンプ, 水車ともに同じ傾向をもったことは、良い傾向である。流量の測定にはオート式カレントメータ21個を使用し鉄管内で実施した。カレントメータの配置図を第25図に示す。図に示すように鉄管壁近くには 80φ のカレントメータを4個使用し、そのほかは 125φ のもの17個使用した。また落差揚程の測定にはHK式落差測定器を利用して求め、出力または入力標準積算電力計で求めた。水車効率はそのときの落差でモデル値を上回る約4%, ポンプ効率はそのときの揚程でモデル値を上回る約5%という良い特性である。(第26図および第27図参照)。

### 9. 调速機特性試験

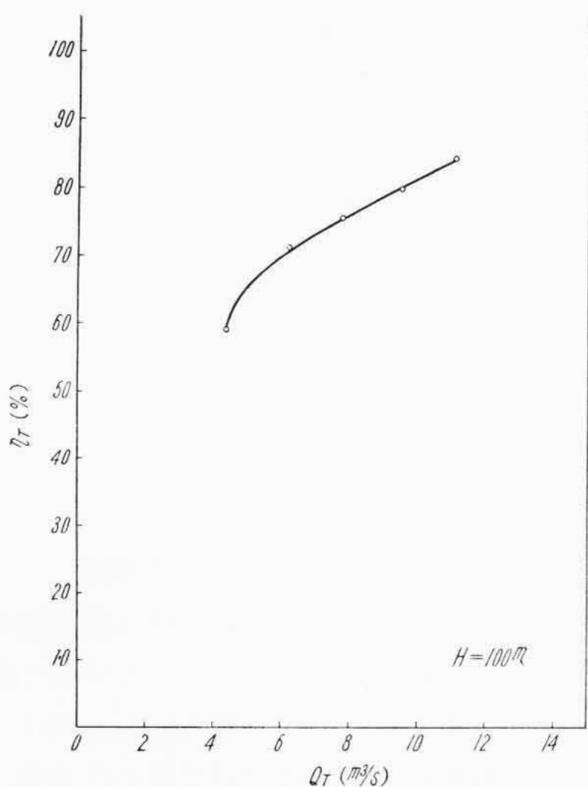
電気式调速機特性試験が住友西火力竣工とともに実施された。そのおもなものは次のとおりである。

#### (a) 無水周波数応答試験

周波数の変動周期が変わった場合の主サーボストロー



第25図 カレントメータ取付図

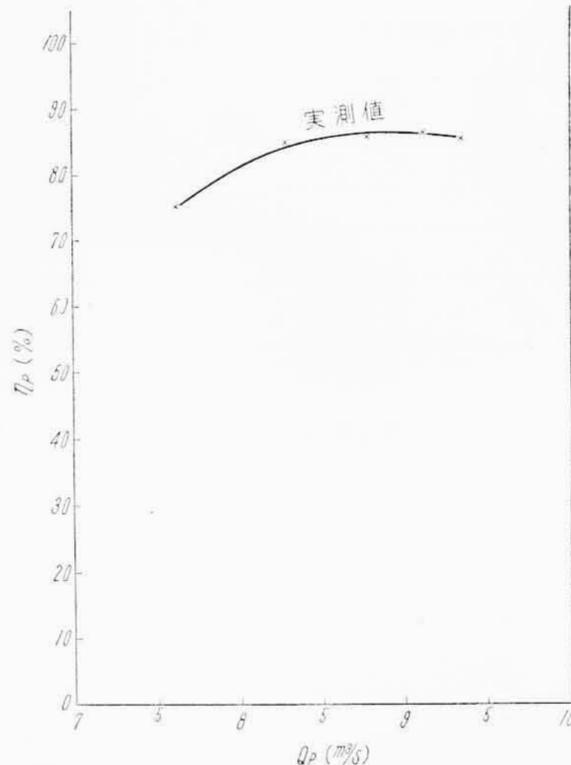


第26図 水車効率曲線

クの変化を求めたが、その結果は次のとおりである。

変動周期 (秒)	主サーボストローク (mm)
1.0	5~5.5
6.0	10~11
3.5	13~14
36.0	12~13
58.5	14~17

系統周波数の変動をランダムとしてその周期は120秒



第27図 ポンプ特性比較曲線

であるといわれている。したがってこの调速機は十分応答しうるわけであり、周期2.5秒までは、大体平坦な傾向を示している。

(b) 有水無負荷応答試験

有水無負荷応答試験は共振回路にCを付加したまたは急に取りのぞいてΔfを与えた場合の特性で次のような結果を得た。

±Δf	±Δs (主サーボストローク)
±0.5 (サイクル)	-10 / +8 (mm)
±0.3 (サイクル)	-8 / +5 (mm)
±0.15 (サイクル)	-1.5 / +3.5 (mm)

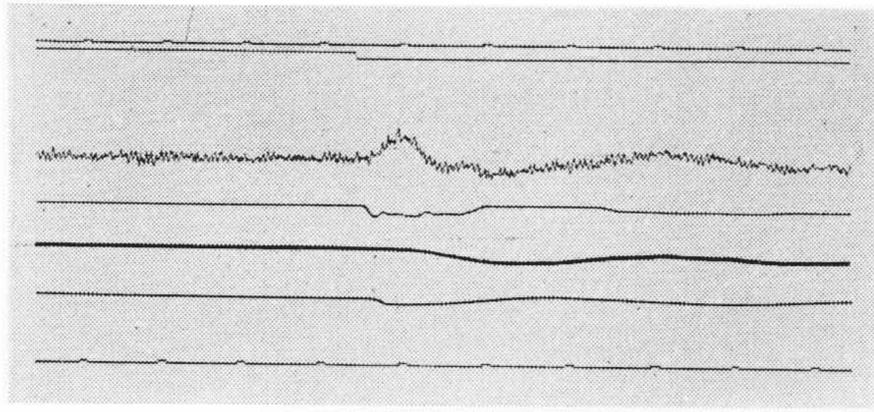
(ただし PC 3% ND 5-4 とする)

このサーボストロークの値が⊕⊖で異なるのは開放、閉鎖時間が異なるのが原因である。第28図はそのオシログラムの一例である。

(c) 系統応答試験

系統周波数が変わった場合に大森川発電所の出力はいかに応答するかを住友西火力のガバナテストと並行して行われた。その結果の一例を示すと次のとおりである。

(i) 最低周波数	59.40c/s	そのときの出力	9,400kW
安定後	59.94c/s	そのときの出力	6,850kW
変化量	-0.5c/s		+1,550kW
(ii) 最低周波数	59.02c/s	そのときの出力	7,740kW
安定後	59.90c/s	そのときの出力	4,910kW
変化量	-0.93c/s		+3,730kW
(iii) 最低周波数	53.62c/s	そのときの出力	7,740kW
安定後	59.90c/s	そのときの出力	5,480kW



第28図 有水無負荷応答試験

変化量  $-1.29c/s$

$+4,510kW$

### 10. 負荷試験

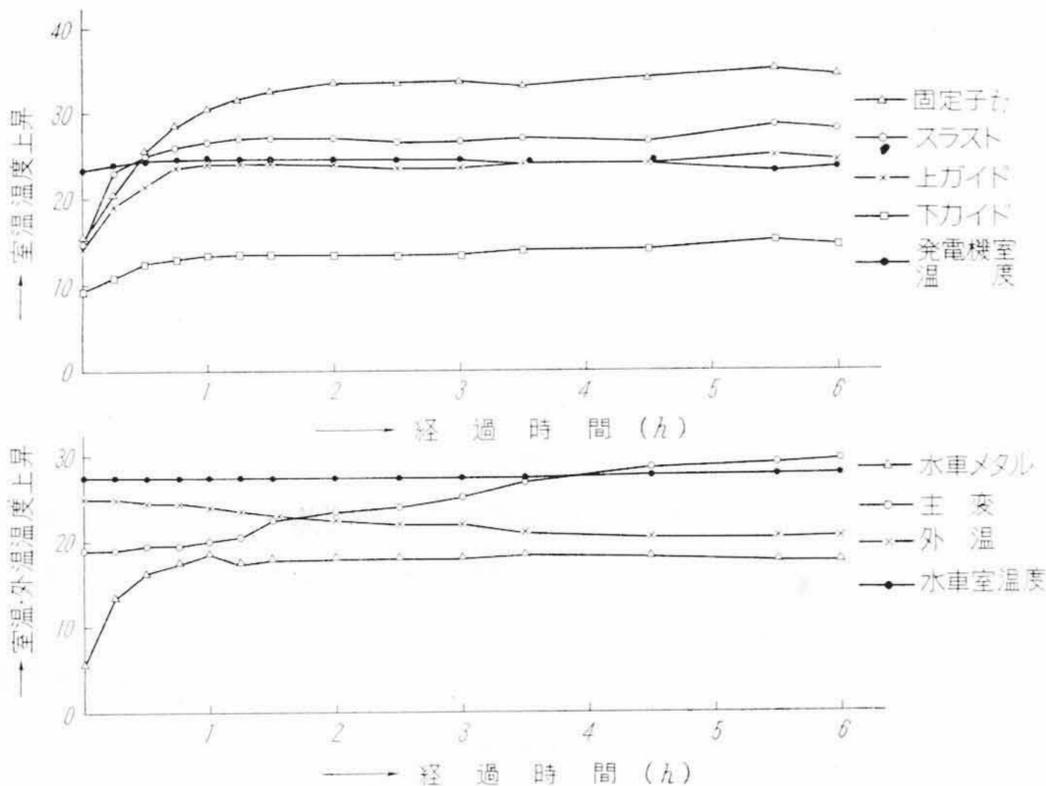
ポンプ運転と水車運転の負荷試験が行われたが、ポンプ運転と水車のそれとの間に大きな差はみとめられなかった。メタルの温度にしても、回転方向によってメタルパッド内の温度分布が変わるので比較はできない。温度上昇の経過を示す曲線を第29図、および第30図に示す。

### 11. サージング試験

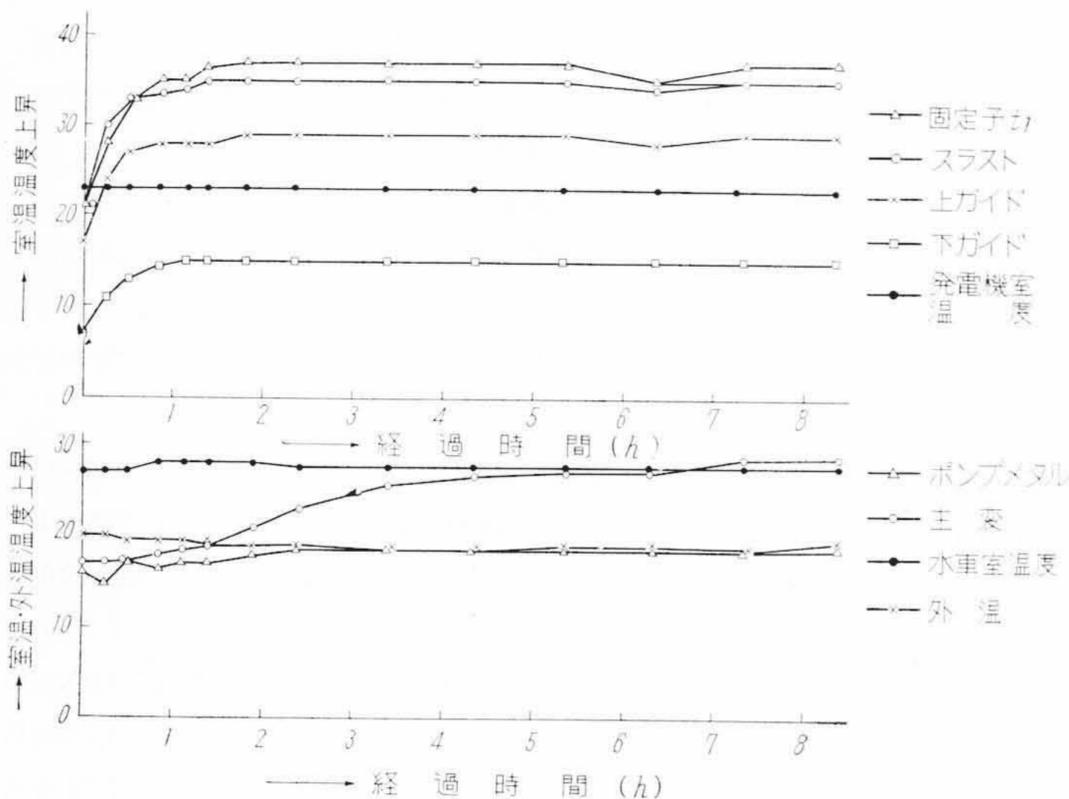
水車運転、またはポンプ運転中に負荷変動があればガイドベーン開度の変化または回転数変化に伴って流量が変化しサージングが発生するし、ガイドベーンを人為的に操作しても発生する。もちろん事故時においてはかなり急激なサージングが発生するのでこのサージングについて十分検討しなければならない。おもなサージングの原因は次のとおりである。

- (a) 水車運転時
  - 負荷急増時
  - 負荷遮断時
  - AFC協力運転（ガバナフリー運転）時
- (b) ポンプ運転時
  - ポンプ起動時
  - ポンプ停止時
  - ポンプ入力遮断時
  - ポンプトリップ時
  - ポンプ揚水量急増時

周波数変動に伴う揚水量変化時  
これらの各項目についてすべて解析すべきである。四国電力においては、これらサージングについて電子計算機、数値計算および模型による水理実験で解析したので、実測と計算の比較ならびに計算結果の一例を述べることにする。ポンプ入力遮断試験における計算には電子計算機を使用した。そのブロック図を第31図に示す。計算機の解を示すチャートを第32図に示す。計算機との比較を第33図に示す。第33図に示すように実測と計算とがほとんど一致しているのは、計算式の考え方が正しかったことを示している。



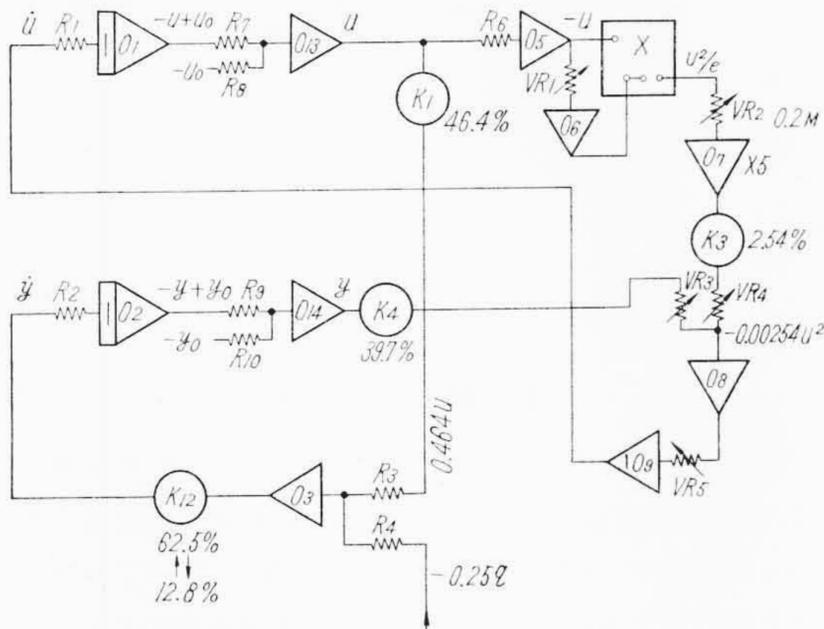
第29図 温度上昇曲線（水車負荷試験）



第30図 温度上昇曲線（ポンプ負荷試験）

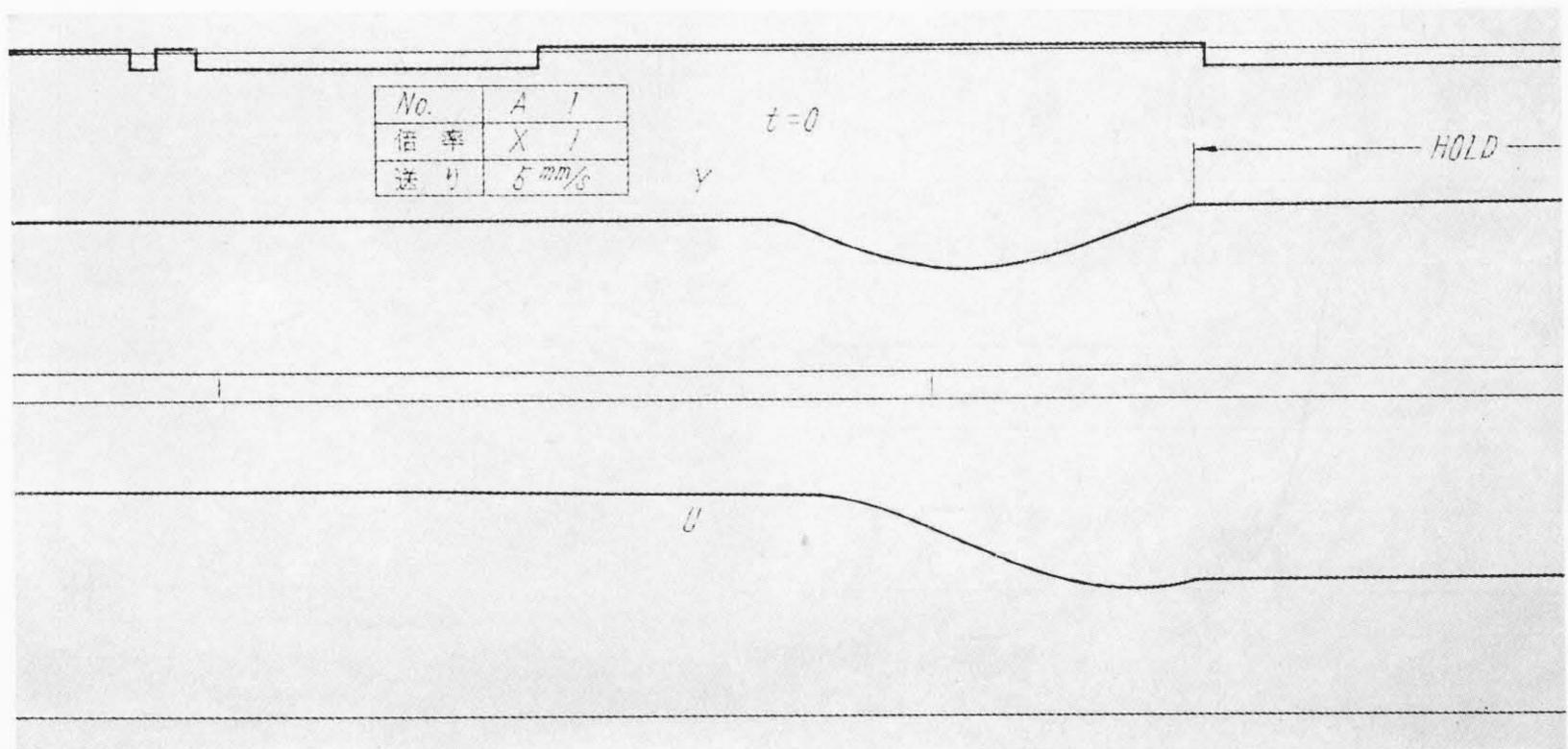
同様に大森川ダム水位が下がった場合の計算結果を第34、35図に示す。第34図によれば、大森川ダム水位が最

低の745 mで揚水量13 m<sup>3</sup>/sの場合のダウンサージは735.2 m以下になることはなく安全であることを示している。第35図は第34図の時間軸を引き伸ばしたものである。

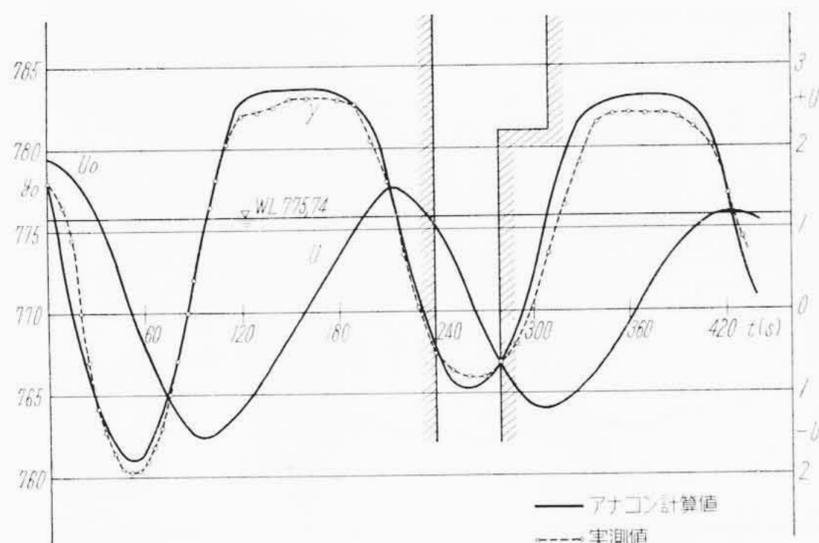


第31図 ブロックダイアグラム

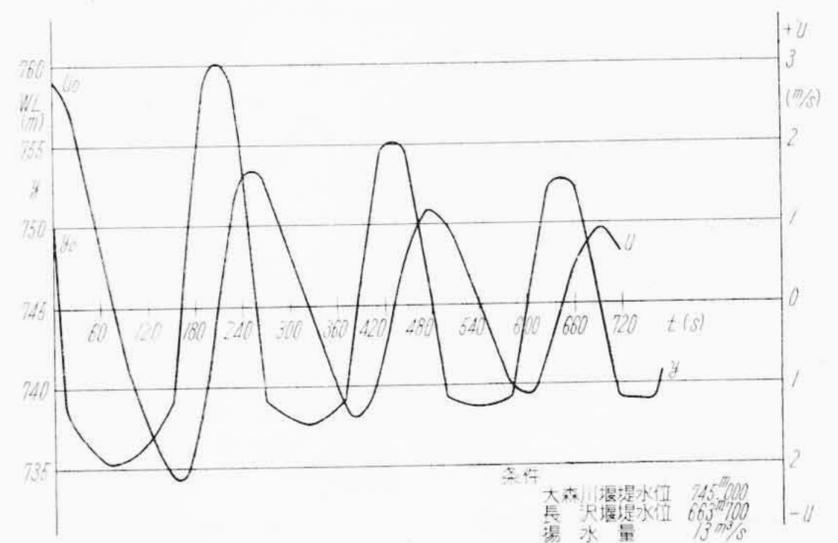
ポンプの場合と同じように、水車のサージングを求めたのが第36図に示すサージング曲線で、これもまったく同様の傾向を持っていることがわかる。そのときのブロック図を第37図に示す。AFCに協力して大森川がガバナフリー運転を行ったらサージングはどのようになるかを求めた計算を第38、39、40図に示す。ガバナがそれぞれ周期14、56、112秒で変化した場合のサージング特性で、水路系の固有周期180秒に近くなると共振する危険性をもつことがわかる。すべておこりうると思われるサージングに対して十分安全なサージタンク容量を備えているのでなんら不安はない。またこれに伴っておこる水衝圧も正の場合はもちろん、負の場合についても



第32図 ポンプ入力遮断試験記録



第33図 ポンプ入力遮断試験記録



第34図 ポンプ入力遮断サージング曲線

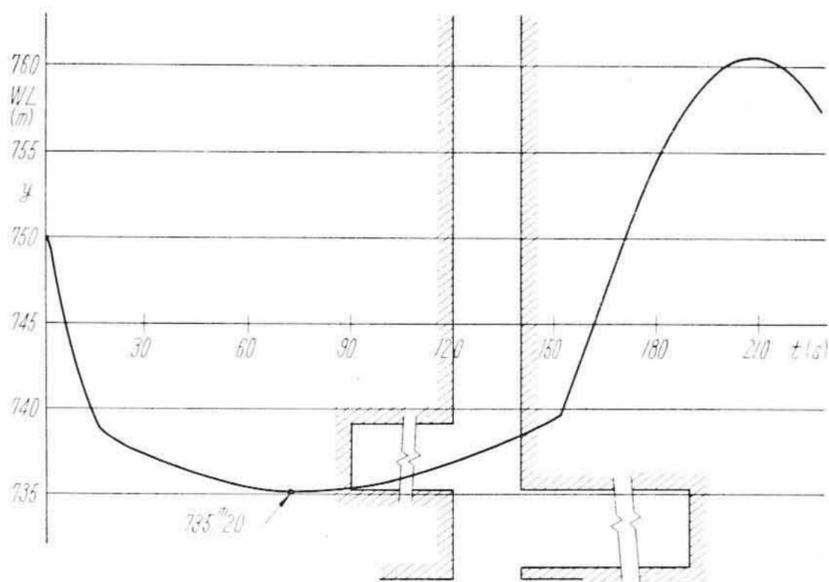
空気弁3個が水圧管路の水平部に設けられてあり十分なスチフナが入っているので強度上問題はない。

求めたが水車運転の場合の圧力差をとれば次のとおりである。ただし正を閉側とする。

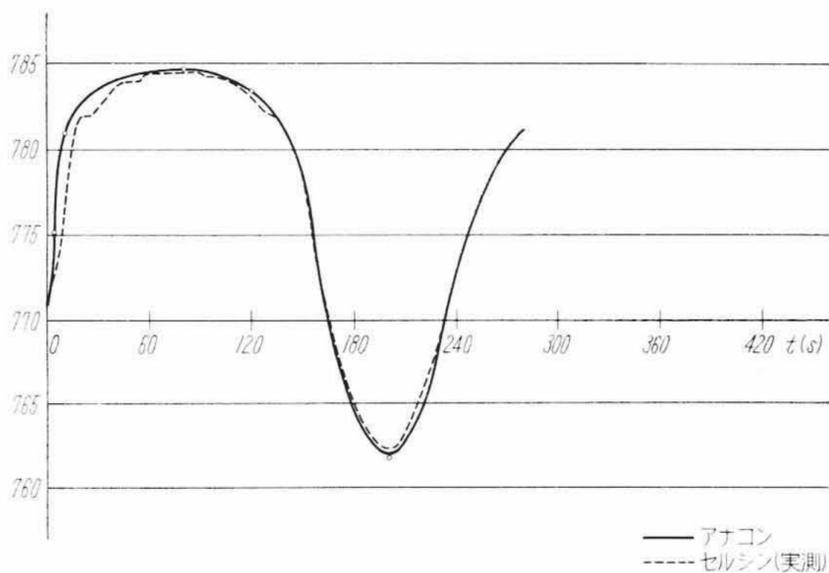
12. ガイドベーン開閉力測定

水車運転の場合、ポンプ運転の場合に分けてそれぞれ

サーボ開度 (mm)	摩擦力および不平衡力 圧力差 (kg/cm <sup>2</sup> )
0	-5.9
10	-1.3
22	0
40	+1.1
70	+1.6



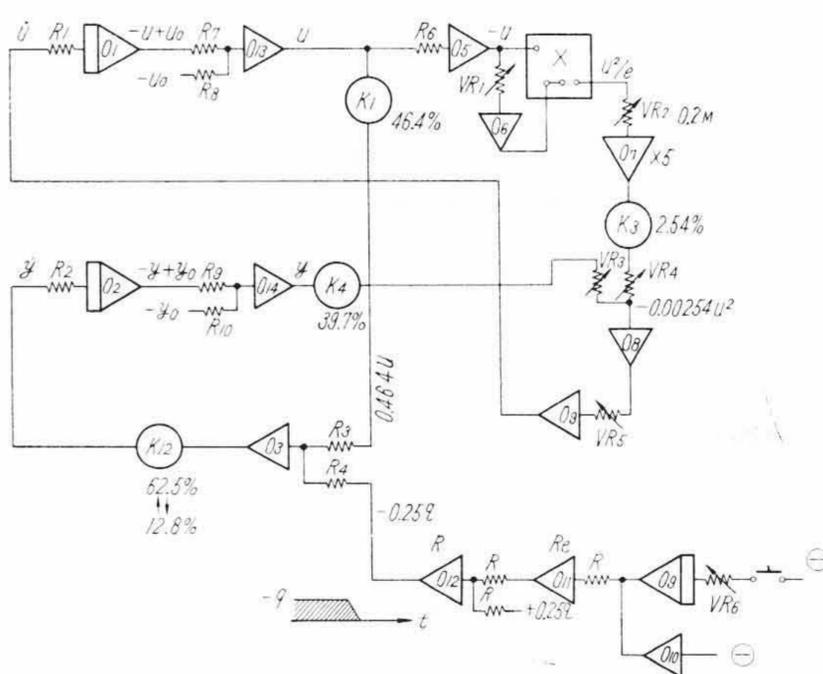
第35図 ポンプ入力遮断サージング曲線



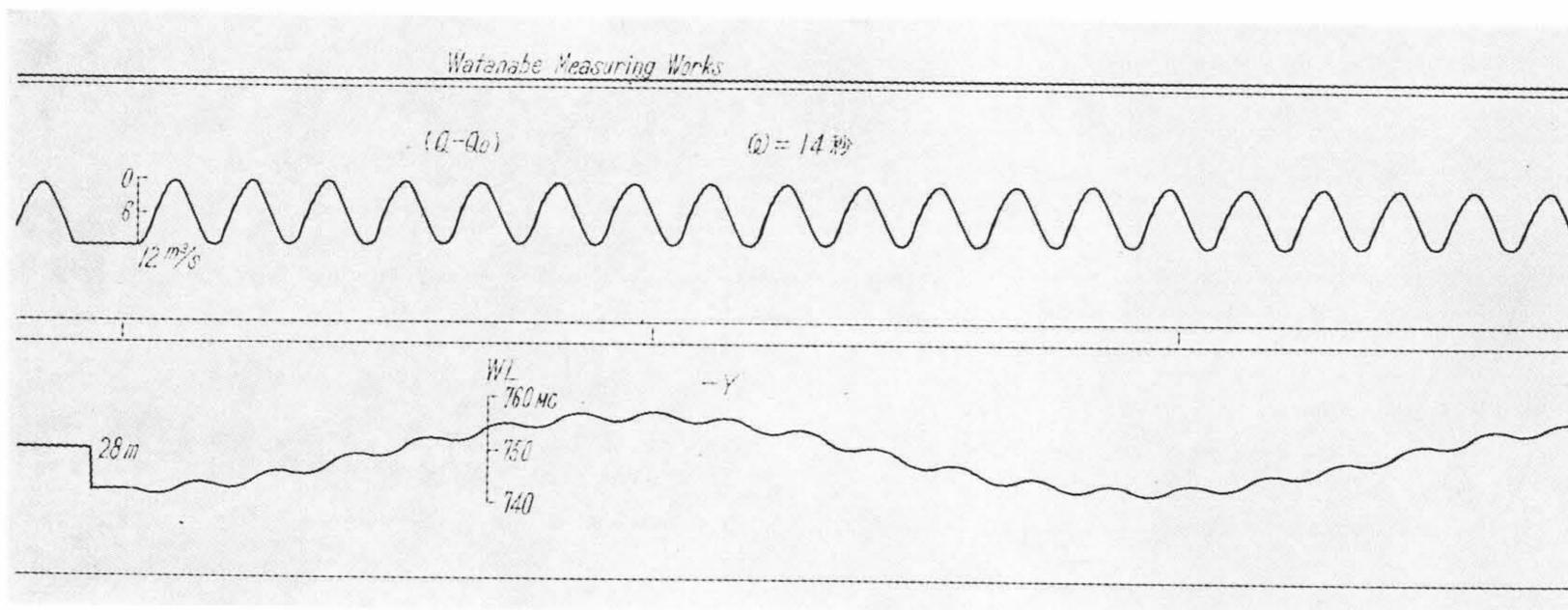
第36図 水車サージング特性

13. 結 言

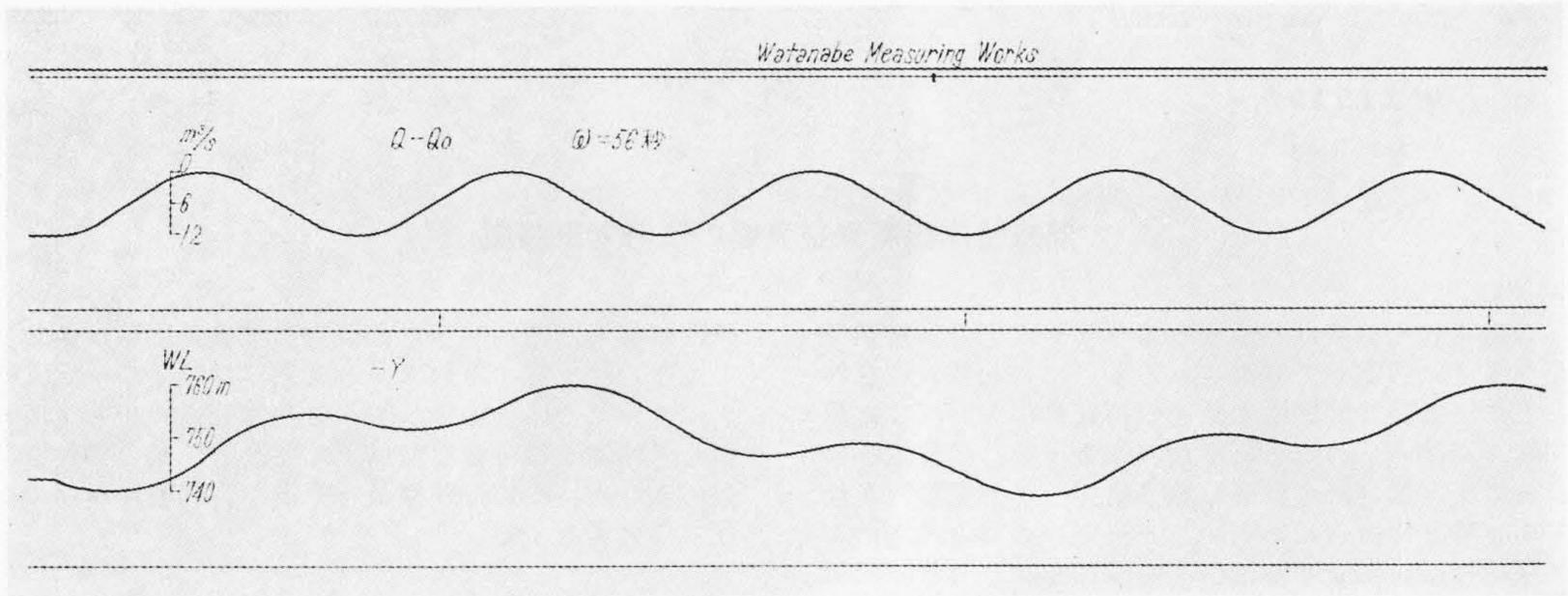
ポンプ水車における現地試験から得られたデータは、きわめて有益なものであり、われわれが予想にもしなかった問題や、予想値と一致した場合など、すべてがポンプ水車に対する自信と今後の技術的進歩を高めるものであった。今回の現地試験に対し日立製作所は多大の労力



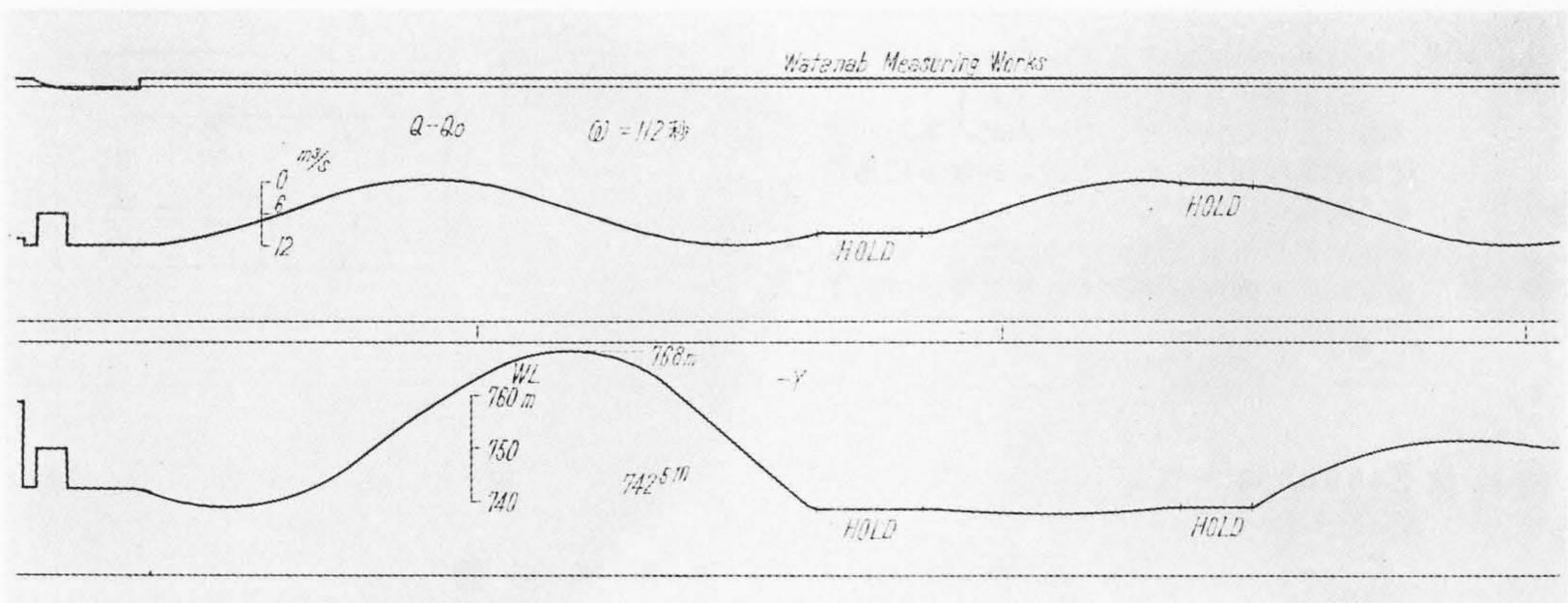
第37図 ブロックダイアグラム



第38図 サージング特性 (周期14秒)



第 39 図 サージング特性 (周期 56 秒)



第 40 図 サージング特性 (周期 112 秒)

と完備した計測器を集中して協力を賜わり，系統試験には電力技術研究所の協力もいただき，多大の成果を収めることができた。本文を結ぶに際し関係各位に対して厚く感謝の意を表するとともに今後のポンプ水車発展の一礎石になるよう期待してやまない。

参 考 文 献

- (1) 可逆ポンプ水車に関する研究報告：(四国電力 昭和32年3月)
- (2) 大森川発電所電動発電機起動時の諸現象：(電研 昭和34年5月)
- (3) 大森川発電所用ポンプ水車のサージング特性について：(四国電力 昭和34年9月)
- (4) 大森川発電所ポンプ水車効率試験報告書：(四国電力 昭和34年9月)
- (5) 大森川発電所官庁検査記録：(四国電力 昭和34年8月)
- (6) 大森川発電所社内試験速報：(四国電力 昭和34年7月)



特許第 219495 号

中谷 信夫・田島 巖  
栗本 敏正

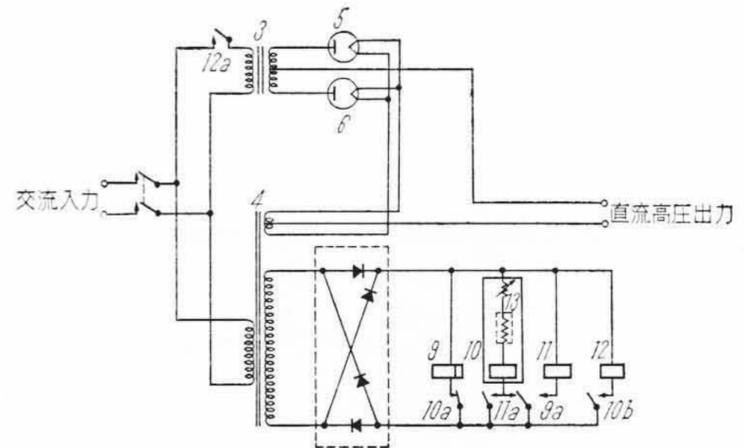
熱陰極水銀蒸気整流器の限時起動装置

この限時起動装置は熱陰極水銀蒸気整流管の陰極織条の余熱温度に適応して制御されるもので初起動および停電などによる長時間電源中断後の再起動においては電源開閉器 2 が閉じられると（または停電復旧）继电器群に直流電圧印加され遅動继电器 9 動作し熱继电器 11 を動作し一定時間後接点 11 a を閉じサーミスタ 13 の通電による抵抗値の減少により制御用继电器 10 を動作せしめ陽極電源開閉用继电器 12 動作し整流管 5, 6 の陽極に電圧を印加する。サーミスタは動作中加熱の状態を継続している。

短時間電源中断後の再起動においては電源中断により整流管 5, 6 の陰極織条、サーミスタは同じ冷却特性により冷却するので陰極織条が十分な余熱を有しているときはサーミスタも十分低抵抗を有しているため電源回復すると制御用速動继电器 10 動作し、ついで继电器 12 動作し整流管 5, 6 に陽極電圧を印加する。

本発明は熱陰極水銀蒸気整流器を限時起動せしめる继电器群中に該继电器群の動作を制御する制御用继电器を

設け該继电器は熱陰極水銀蒸気整流管の陰極織条と同様の温度特性を有する熱素子を含め該熱素子の一定温度以上にてただちに熱陰極水銀蒸気整流管の陽極に電圧を印加し、熱素子の一定温度以下にて限時起動の動作を行わせるため特に短時間電源中断後の再起動において顕著なる効果を有する。



特許第 240800 号

田中成一・関英彦

トルクコンバータ制御装置

掘削機そのほか変速機を必要としない機械のトルクコンバータは、車両用のものほどトルク比を大きくとる必要はなく、むしろトルク比を小さくしても高効率にすることが要求される。

この発明は上記の要求に応ずるため、トルクコンバータ側のガバナと原動機側のガバナとの間に後者ガバナの制御装置を設け、常態においては、コンバータ出力軸速度の増減に応じこれを一定にさせるように原動機軸速度を減増せしめるが、前記出力軸速度が所定値を超過して低下する特異状態においては、前記制御装置により原動機出力を制限せしめ部分負荷として過大なトルクとなることのないようにしたものである。

トルクコンバータの負荷が減少して出力軸 f の回転速度が上ると、ガバナ g の作動により分配弁 9 が左方に移動させられて P<sub>1</sub> がとじられ、流体の供給を遮断する。それと同時に P<sub>2</sub>, P<sub>4</sub> が通じてシリンダ 10 内の流体がのがされるのでピストン 11 は右方に動き、その結果レバー i を介してロッド j を右方に引く。これで原動機の回転速度が下げられる。そのため軸 f の回転速度も下ることとなり、ふたたび平衡状態にもどる。

トルクコンバータの負荷が増大し出力軸 f の回転数が低下する時は、上記と逆の作動により流体は調整シリンダ 10 に入り、ピストン 11 を押して原動機の回転数を増して平衡するが、さらに負荷が全負荷以上に増大して原動機を最大の回転数で回転しても、なお出力軸 f の速度が

下降すると分配弁 9 は右に動くこととなり、シリンダ 8 の孔 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> が開いて流体は P<sub>3</sub> から逃げる。図はこの状態を示す。このためシリンダ 10 内の流体の圧力低下が起り、ピストン 11 はもどしバネ 12 の力とこの場合の流体圧力による力とが平衡するように右方に動き、原動機回転数を下げコンバータに対しては部分負荷の状態となる。これをコンバータの全負荷の状態に比較すれば、同出力軸回転数で出力トルクが減少し効率が向上することとなる。

(富田)

