U. D. C. 621.221.4
621.224.7+621.313.3

中部電力株式会社畑薙第1発電所納

45,400kW ポンプ水車および 50,000kVA 発電電動機

45,400 kW Reversible Pump-Turbine and 50,000 kVA Generator-Motor Installed at the Hatanagi No. 1 Power Station of Chubu Electric Power Co., Inc.

外岡英徳* 北野豊* 大石朝男*
Hidenori Tonooka Yutaka Kitano Asao Ôishi

内 容 梗 概

中部電力株式会社畑薙第1発電所は，落差，揚程変動範囲の大きい，中落差の揚水発電所であり，わが国においては大森川発電所についで可逆ポンプ水車を用いた二番目の揚水発電所である。本主機の設計製作に当たっては，幾多の模型による研究を行ない，新技術をとり入れて完成したものである。ここでは畑薙第1発電所の概要と模型試験，実物機の構造などについて述べる。

1. 緒 言

電源開発が進むにつれて，発電する容量の増加と，それに加えて負荷の変動が激しくなり，この需要と供給の調整用として揚水発電所の建設が盛んになってきている。最近では揚水発電所の建設が水力発電開発の主流を占めようとしている。わが国における代表的な揚水発電所としては，本号巻頭論文にてのべてあるとおりで，その出力も急増の傾向にある。畑薙第1発電所用ポンプ水車は，わが国最初の可逆ポンプ水車が昭和34年大森川発電所に設置されてから二番目に運転にはいったもので大容量の記録的製品である。その特長とするところは次のとおりである。

(A) ポンプ水車

(1) 落差，揚程の変動範囲が大きく約50%である。

(2) ダム内に発電所建屋が設置されるために，吸込管（吸出管）の長さが特に長く，3号機では約 60 m に達する。

(3) ポンプ水車のケーシングは現地溶接構造である。

(4) ランナは輸送の都合上2分割フランジ接続構造となっている。変落差，変揚程の運転に対して，数次にわたる模型試験を行ない，もっとも良好な経済性を発揮するポンプ水車特性を得る努力がはらわれ，さらに相似の長い吸込管（以下吸出管とよぶ）をもつ模型試験によって，良好な運転特性をうるよう慎重な検討がはらわれた。

(B) 発電電動機

(1) 可逆回転に対応するため，推力軸受は中心支持方式となっている。

(2) 自己起動を行なうため，特殊な制動巻線構造が採用された。

(3) 反抗トルクを低減し，起動，同期引入を容易にするためにポンプ水車の水面押下げを行なうと同時に，推力軸受ランナとシューのしゅう動面に高圧油を送入し，50%電圧で起動，同期引入れが可能になった。

推力軸受中心支持方式の採用は，モデル試験と，2台の製作実績に基づくものであり，高圧油送入方法については，多くのモデル実験の結果，十分検討のうえ，もっとも効果的な方法がとられた。

本発電所には3台のポンプ水車と発電電動機が据え付けられたが，そのうちの2号機，3号機は日立製作所が納入したものである。2号機は昭和37年6月，3号機は昭和37年10月に運転にはいった。ここに畑薙第1発電所用可逆ポンプ水車および発電電動機について概要を紹介する。

2. 発電所計画の概要

畑薙第1発電所は，静岡県安倍郡井川村に建設され，大井川の上流に高さ 125 m，長さ 275 m のホローグラビティーダムを築造して有効貯水量 $80{,}000\times10^3$ m³，利用水深 44 m の貯水池を上部貯水池とし，有効貯水量 $3{,}600\times10^3$ m³，利用水深 8 m の既設畑薙第2発電所用調整池を下部貯水池として運転される揚水発電所である。水車は毎日ピーク時6～10時間の最大出力運転とし，ポンプは深夜余剰電力を利用して6時間程度の運転とし，下部貯水池容量の範囲内で日間または週間調整を行なう。年間発生電力量は，自流分 $141{,}000\times10^3$ kWh，揚水分 $124{,}900\times10^3$ kWh，下流増加分 $81{,}900\times10^3$ kWh の計画である。本発電所計画の特長としては，

(1) 落差揚程の変動範囲が50%の大幅な変化をするに対して，同速度可逆ポンプ水車を採用した。

(2) ダム内発電所のため，吸出管の長さが，1号機は通常の水車に近いが，2号機，3号機は，それぞれ 40，60 m に達する。またダムの自重，貯水水位などによるダムの変位および不等沈下が，ポンプ水車，発電電動機に悪い影響を与えないよう，ダム構造，建物構造に考慮がはらわれている。

(3) 発電所がダム直下にあり，高湿度が予想されるため，防湿装置を設けている。

(4) ケーシングは現地溶接構造である。

(5) 水位差開度調整装置を採用している。

(6) ランナは2分割フランジ接続構造である。

などダム，発電所，発電所用主要機器などに対して，新しい構想がおりこまれている。

2.1 発電所計画概要

取水川名	大井川水系大井川	
貯水池（上部）	総貯水量	107.4×10^6 m³
	有効貯水量	80×10^6 m³
	満水位標高	942 m
	利用水深	44 m
貯水池（下部）	総貯水量	11.4×10^6 m³
	有効貯水量	3.6×10^6 m³
	満水位標高	847 m
	利用水深	8 m
使用水量	最大使用水量	160 m³ （3台分）

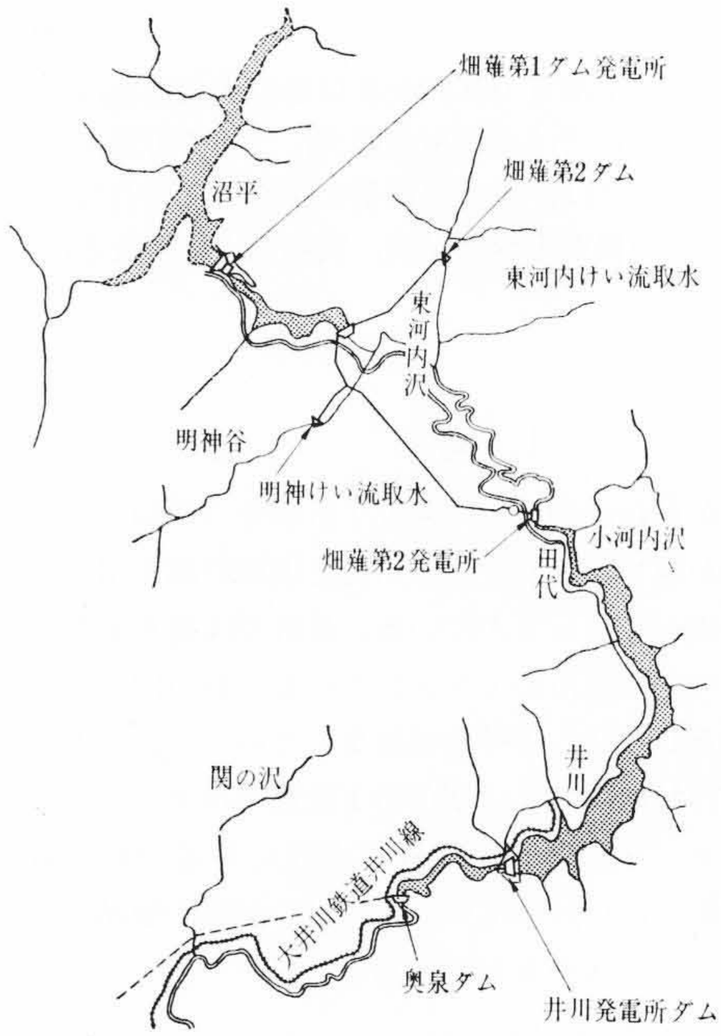
* 日立製作所日立工場

	常時使用水量	16.2 m³（3台分）
	常時せん頭時水量	110.1 m³（3台分）
揚水量	最大揚水量	150 m³（3台分）
	基準揚水量	117 m³（3台分）
	最小揚水量	58 m³（3台分）
有効落差	最高落差	101.7 m
	常時落差	76.88 m
	常時せん頭落差	54.3 m
全揚程	最高揚程	103.4 m
	基準揚程	82.4 m
	最低揚程	57 m
発電所出力	最大出力	137,000 kW（3台分）
	常時出力	6,200 kW（3台分）
	常時せん頭出力	36,000 kW（3台分）
発生電力量	自流分	141,000×10³ kWh
	揚水分	124,900×10³ kWh
	下流増加分	81,900×10³ kWh
ダム	形式	ホローグラビティーダム
	高さ	125 m
	長さ	292 m
水圧管路	内径	4.1～3.2 m
	全長	111.040 m（1号機）
		110.810 m（2号機）
		108.996 m（3号機）
放水路形式		矩形形圧力水路
		≒20 m（1号機）
		≒42 m（2号機）
		≒60 m（3号機）

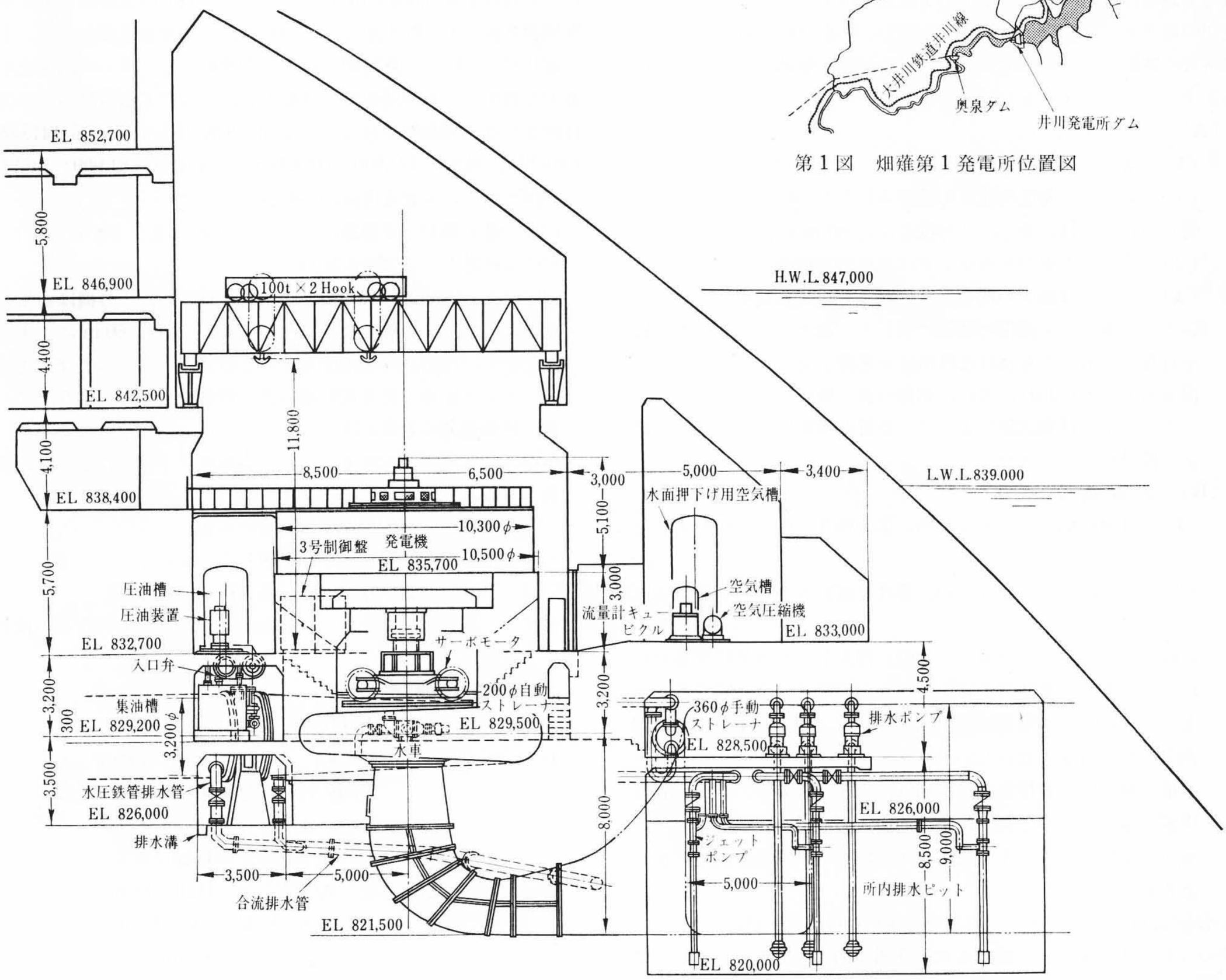
第1図は畑薙第1発電所位置図を示す。

2.2　建屋および機器配置

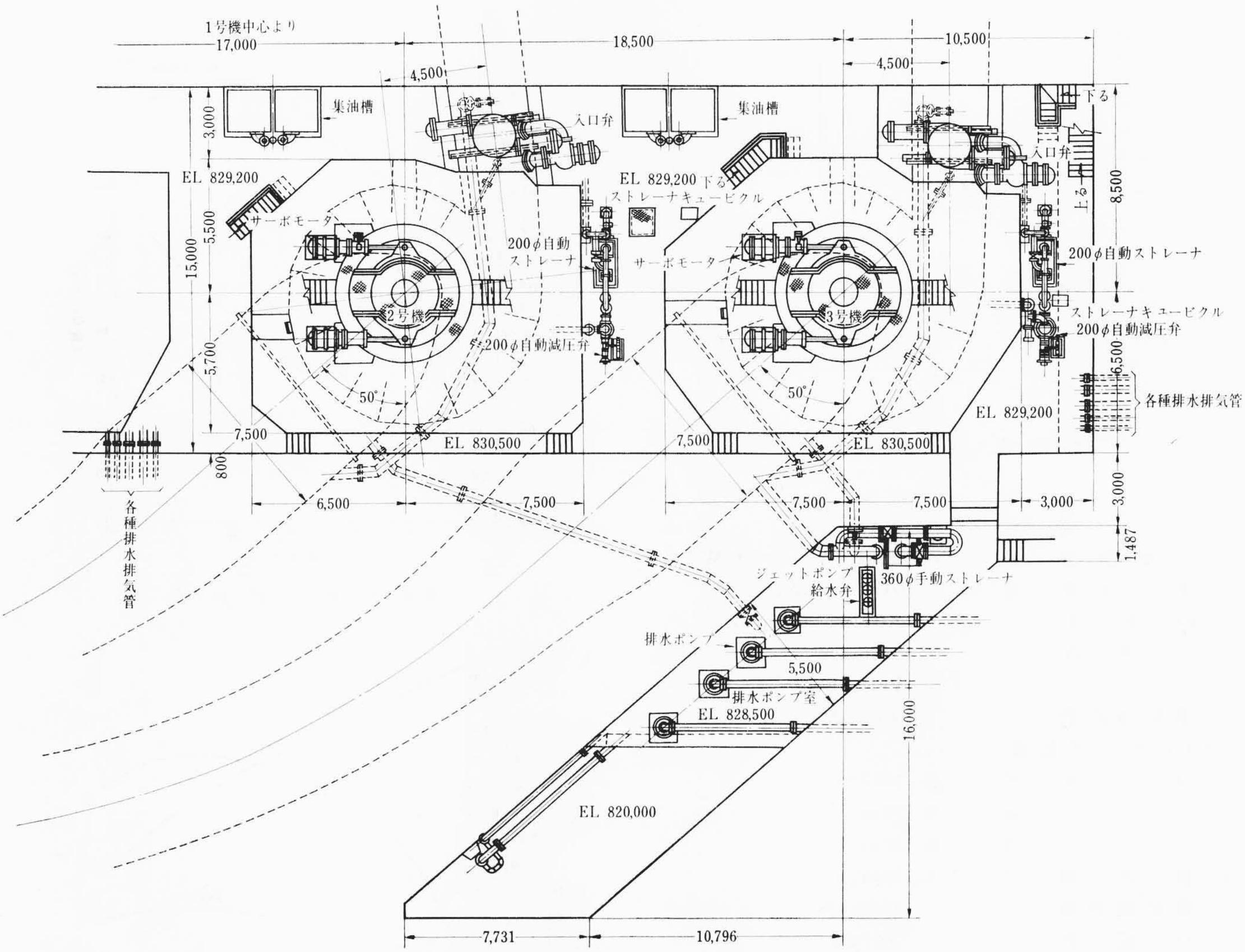
ダム内に発電所建屋が設置されるために，水位によって生ずるダムの変化あるいは地表沈下の影響を各主機に与えないようダムジョイントを考慮してあり，そのために各機器間寸法も多少変わってい



第1図　畑薙第1発電所位置図



第2図　据　付　断　面　図



第3図　据　付　平　面　図

る。また，特に建屋天井を水が溢流するため放水口の位置を右岸側にまとめて，1号機，2号機，3号機と順次吸出管の長さが長く，3号機においては 60 m に達する長さである。建屋は地上1階，地下6階となっており，建屋幅 15 m，建屋長さ 60.4 m である。**第2図**は機器据付断面図，**第3図**は機器据付平面図を示す。

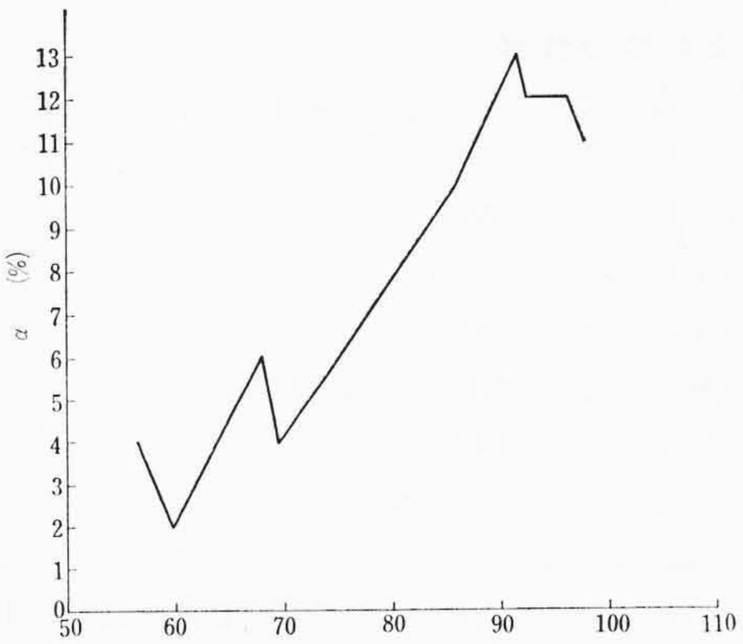
3. 45,400 kW ポンプ水車

一般にポンプ水車の設計においては，その発電所の経済性を高めるために，運転範囲の重点をどこにおくかということを，特性のなかにおり込んで設計をする必要がある。畑薙第1発電所の場合は，年間発生電力量として，発電に利用される自流とポンプ運転に利用できる電力量を与えて，次のような方式をもってポンプ水車の最も運転条件に適した性能を得ることを目標とした。

$$W = W_1 + W_2$$
$$= \sum \eta_T, \eta_G(\alpha, Q_T, T_T, H_T + \beta, W_P, \eta_P, \eta_M)$$

ここに，W：年間発生電力量　(kWh)
W_1：自流分発生電力量　(kWh)
W_2：揚水分発生電力量　(kWh)
α：自流分係数
β：揚水分係数

本発電所用ポンプ水車は，落差揚程の変動範囲が最高 100m から最低 50 m まで大きく変動するが，年間発生電力量の算定式から，水車，ポンプとも比較的高落差，高揚程側に重点があることがわかる。**第4図**および**第5図**は，自流分，揚水分の年間発生電力量に対する比率を表わしたものである。ポンプ，水車とも最大流量は 50 m³/s であり，落差揚程の変動範囲が大きいため，ポンプの所要動力は水車最大出力よりかなり小さくなっている。また前にも述べたようにダム内発電所のために吸出管の長さが違っているので，ポンプ水車の設計に当たっては，この吸出管の長さの影響を含めた相似模型によって各種の特殊試験の比較を行なって運転特性の検討がなされたものである。

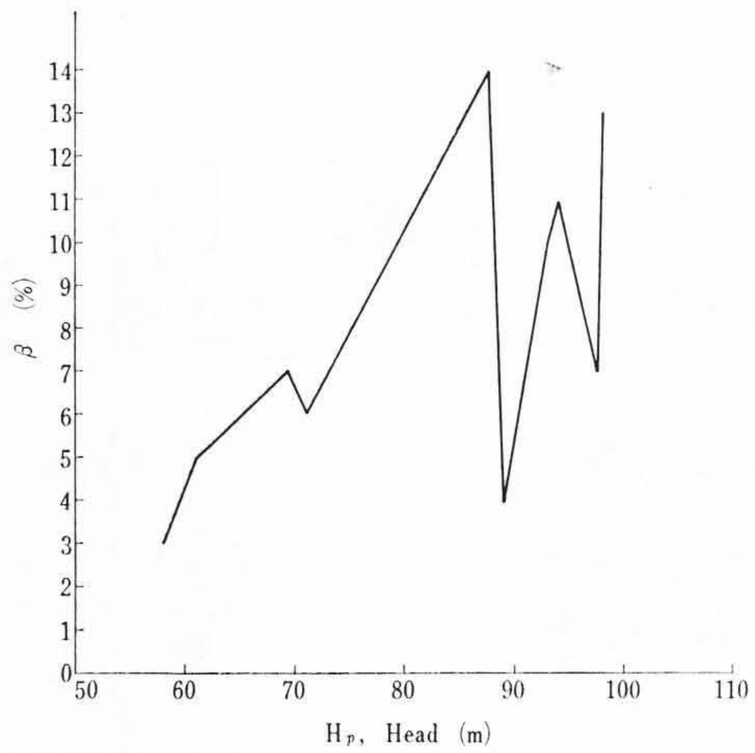


第4図　自　流　分　係　数

3.1 ポンプ水車仕様

3.1.1 水　車　仕　様

有　効　落　差　　最　　高　101.8 m



第5図　揚　水　分　係　数

	基	準	82 m
	最	低	50.4 m
水車出力	最	大	45,400 kW (43,600 kW)
使用流量	最	大	50 m³/s (52 m³/s)
回転数			200 rpm (167 rpm)
比速度			146 m-kW
形式			VFR-1 RS
運転周波数			60 c/s (50 c/s)

3.1.2 ポンプ仕様

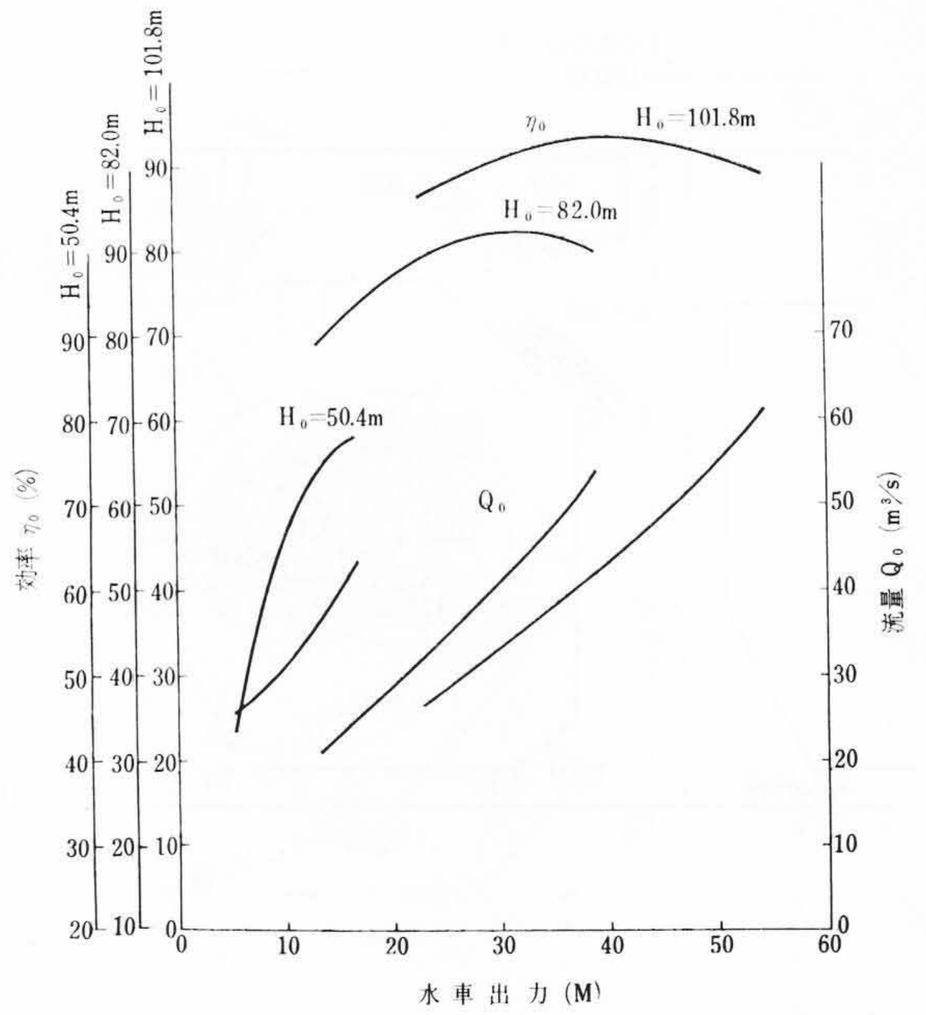
揚程	最	高	103.2 m
	基	準	78 m
	最	低	57 m
揚水量	最	大	50 m³/s
電動機容量			46,500 kW
回転数			200 rpm
比速度			394.6 m-m³/min
運転周波数			60 c/s

3.1.3 その他の仕様

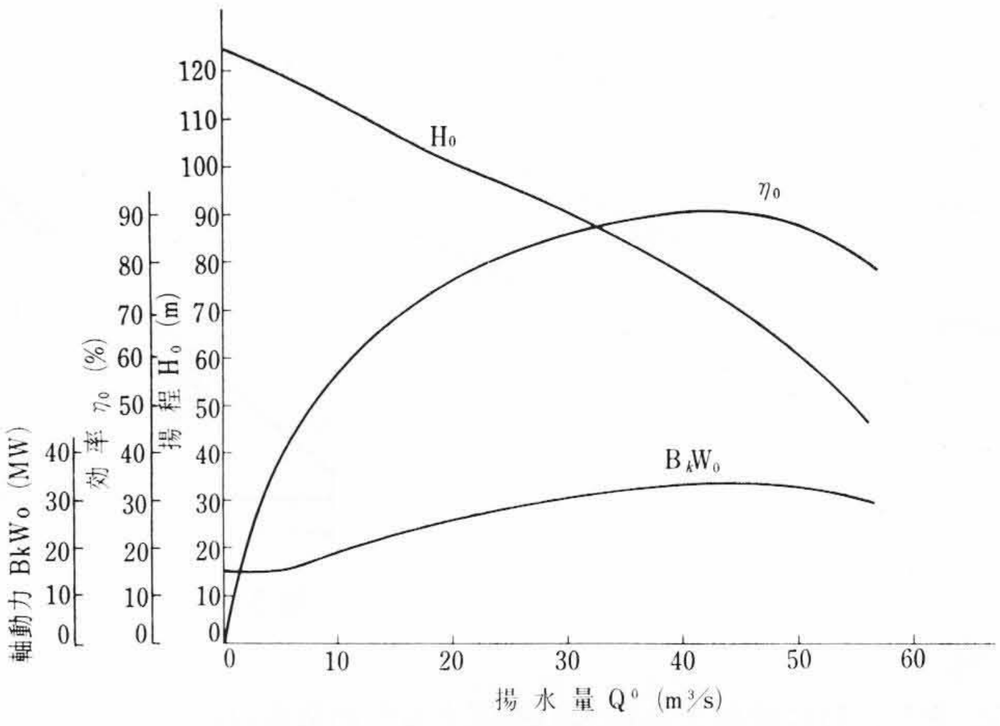
回転方式	発電運転時発電電動機側よりみて時計方向
据付方式	単床式
最大速度変動率	35%
最大水圧上昇値	142 m
最大水圧降下率	30%
発電電動機に要するGD²	4,200 t-m²
無拘束速度	16.3%
押込揚程	−9.5 m

3.2 模型試験

普通形のポンプを逆転させたときの水車性能，普通水車を逆転したときのポンプ性能などについては，古くからそれぞれの目的のために研究がつまれており，昭和25年ごろよりポンプ水車専用の試験設備によって本格的研究に着手したが，昭和30年に四国電力株式会社大森川発電所納ポンプ水車に対して共同研究を進めることとなり，実揚程試験のできる高揚程ポンプ水車試験装置を設備した。以後各種落差に適するポンプ水車の開発研究を行ない，昭和34年に畑薙第1発電所用ポンプ水車に対して研究を進めることとなった。それ以来数種類のモデルランナ，案内羽根，吸出管などを試作して効率試験，ポンプキャビテーション試験などのほか，完全特性試験，振動試験，起動試験などポンプ水車として特有な問題を究明するとともに，長い吸出管の影響を考慮して3号機の長さ60 mの相似模型によって比較試験を行なった。またポンプ運転時の振動および起動停止特性についても研究した。



第6図　水　車　予　想　特　性



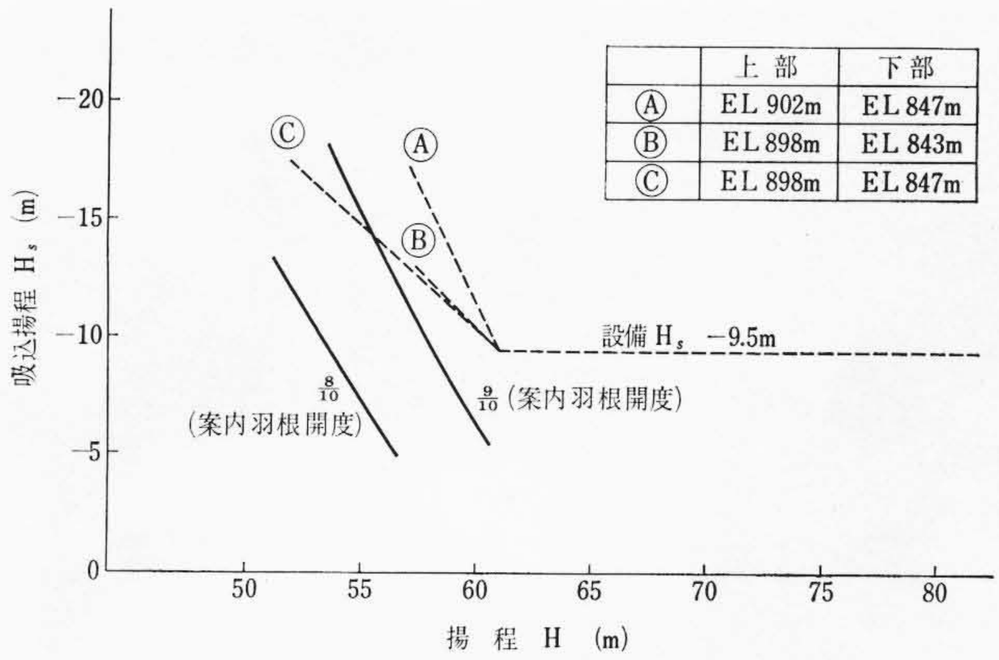
第7図　ポ　ン　プ　予　想　特　性

3.2.1 効率試験

試作研究において開発したランナをもととし，あらたに決められた運転落差揚程および年間発生電力量によって逐次改良を加え，最終的には長い吸出管によってすべての特性試験が行なわれた。本発電所用ポンプ水車は比較的高落差高揚程側に運転の重点があるが，低落差側における水車効率もよくすることは特に努力がはらわれた。ポンプ運転時の揚程変動範囲が大きいため，押込揚程が大きくなるのであるが，これを少なくするために低揚程時の効率を高くするよう，最終ランナおよび水車形状が決定された。**第6図**は実物水車予想効率を，**第7図**は実物ポンプ予想効率を示す。

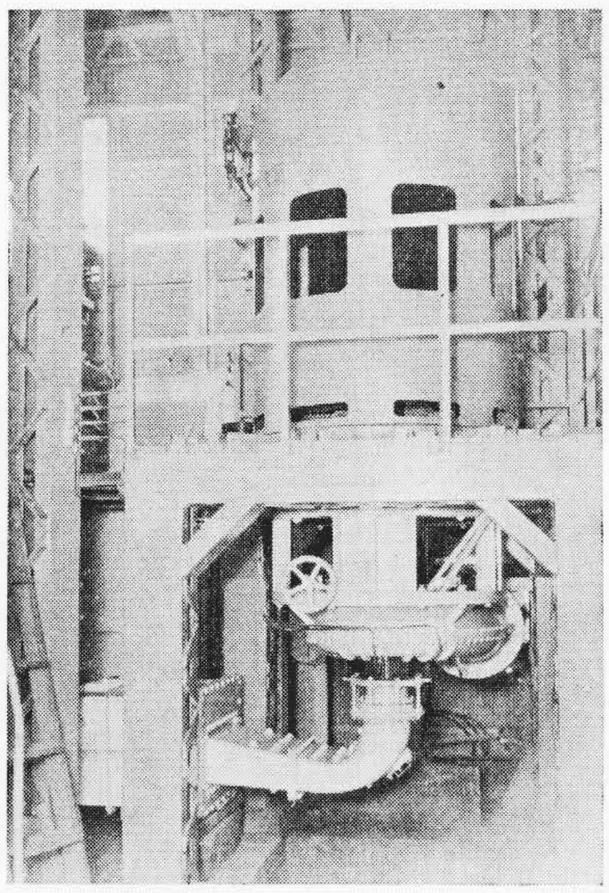
3.2.2 ポンプキャビテーション試験

効率試験に用いられたと同一ランナによって試験を行なった。ポンプ水車のキャビテーションは，水車運転時よりポンプ運転時のほうが過酷で押込揚程はポンプの運転性能により決定される。ポンプ運転では，その特性上揚程の減少とともに揚水量が増し，キャビテーションは揚程の減少につれて発生しやすくなるので，特に低揚程時のキャビテーション試験結果を重視しなければならない。ポンプのキャビテーション試験方法には種々あるが，本模型試験では，押込水位（H_S）を変化させて揚水量，揚程の急激におちはじめる点の値を確認した。なおこれらキャビテーション試

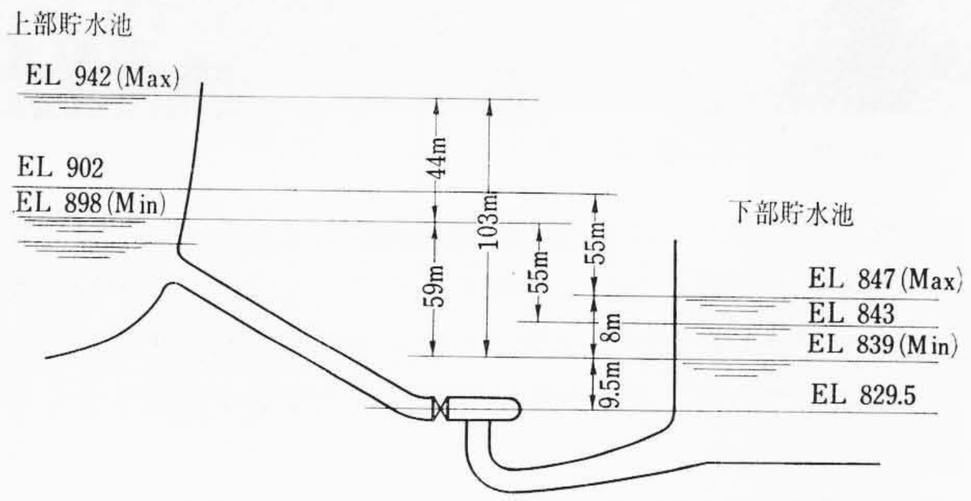


	上 部	下 部
Ⓐ	EL 902m	EL 847m
Ⓑ	EL 898m	EL 843m
Ⓒ	EL 898m	EL 847m

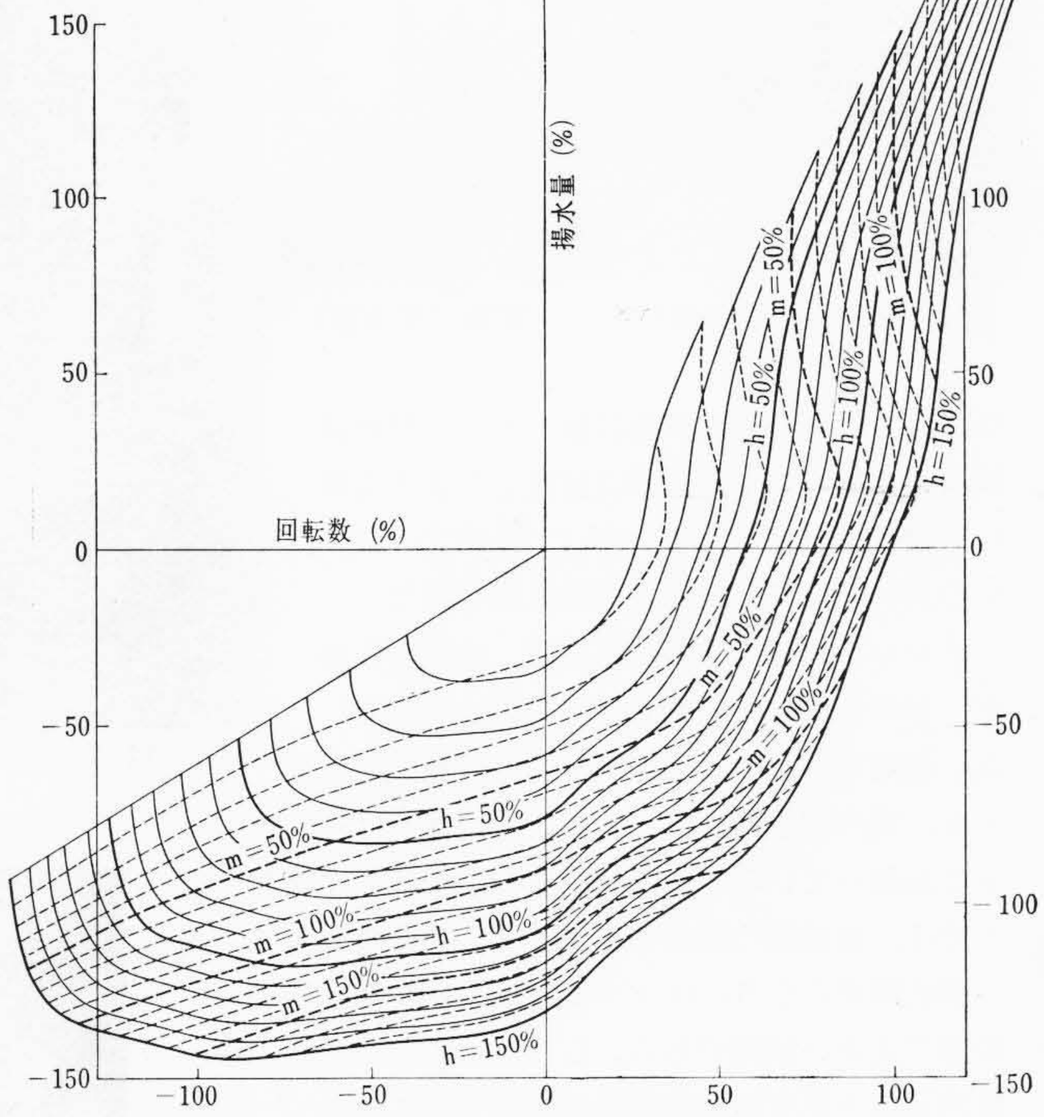
第8図　実物の推定限界吸込揚程



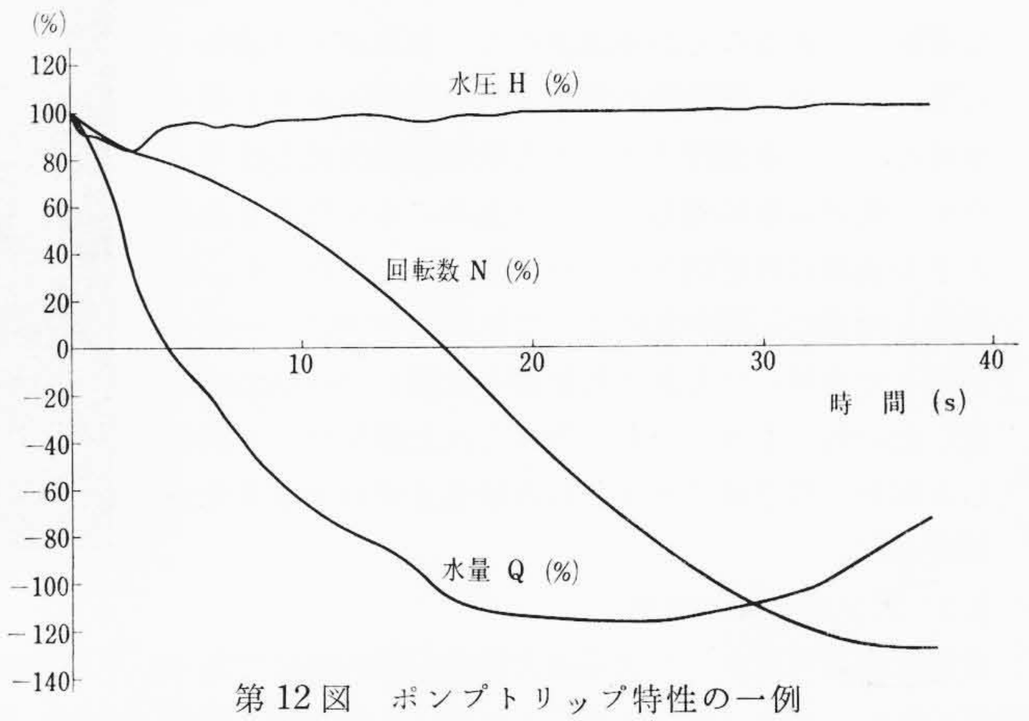
第9図　高揚程ポンプ水車試験装置



第10図　水　位　関　係　図



第11図　ポンプ水車の完全特性



第12図　ポンプトリップ特性の一例

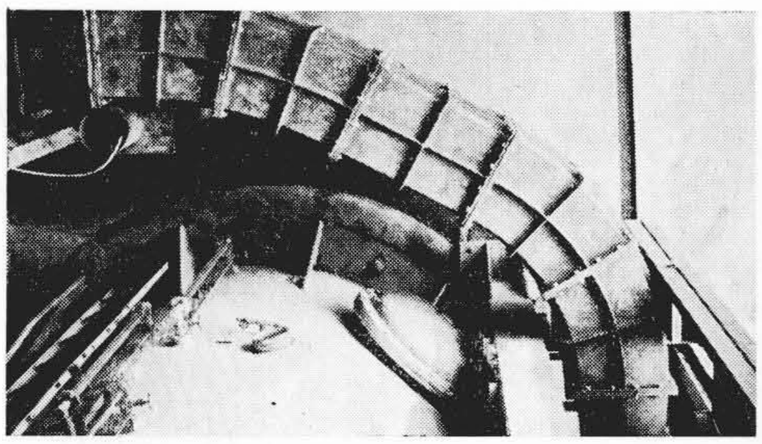
験において実物の状態を確実には握するためには，実揚程による試験が好ましい。このため誘導電動機によって 3,000 rpm の試験を行なった。模型試験結果から実物の推定限界吸込揚程の関係を示すと第8図のようであり，設備吸込揚程 −9.5 m に対して十分な余裕がある。なお第8図には案内羽根開度2種類についての結果をのせてあるが，Q-H 特性のうえからは開度 8/10 で低揚程領域を満足するため，キャビテーション性能として優秀な結果が得られた。第9図は高揚程ポンプ水車試験装置を，第10図は上部貯水池と下部貯水池の水位関係を示したものである。

3.2.3　完全特性試験

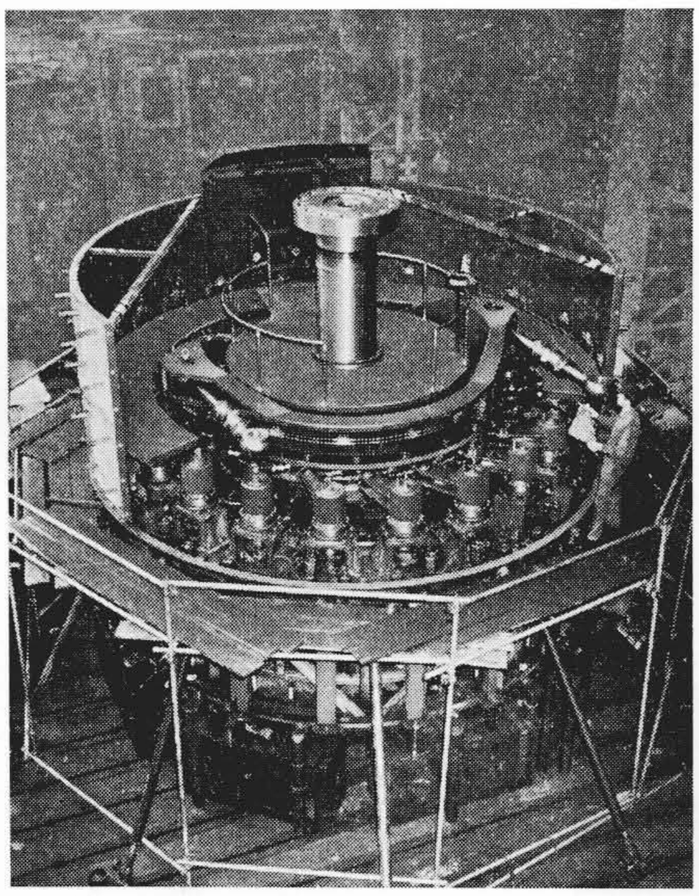
ポンプ水車がポンプ運転を行なっているときに，電動機電源が遮断した場合，通常の場合は案内羽根が閉じて安全な圧力上昇の範囲内で，逆流量をできるだけ少なくするような閉鎖時間を考慮する必要がある。またそれと同時に，もし案内羽根が油圧系統などの故障によって閉鎖しない場合は，ついには水車の無拘束速度の状態に達するため，この場合の逆流量と鉄管の負圧の現象を検討する必要がある。これらを検討するためには第11図のような完全特性を必要とする。サージタンクを有する揚水発電所においては，逆流によって発生する水位降下により，鉄管に空気を吸込むことがないようにサージタンクの容量をきめるべきである。本発電所の場合は鉄管の長さが短いため，サージタンクを設けてないが，入力遮断(遮断器開路と同時に案内羽根をしめる場合)とポンプトリップ(入力遮断しても案内羽根がしまらない場合)の二つの状態に対して第12図の完全特性より，案内羽根の閉鎖時間および負圧の現象に対し十分な検討が加えられた。第12図はポンプトリップ特性の一例である。

3.2.4　特　殊　試　験

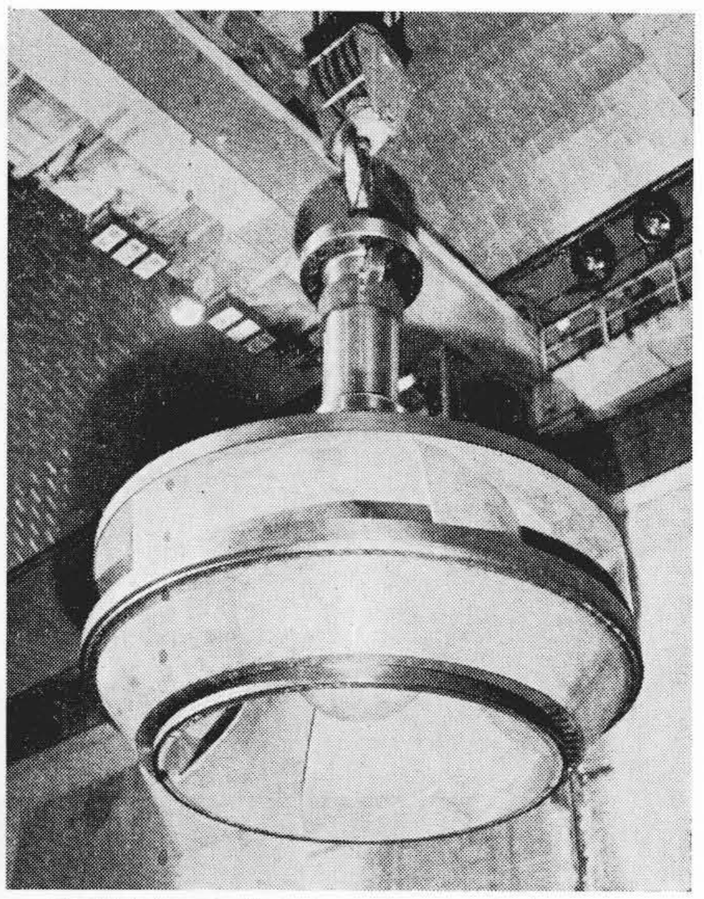
効率，キャビテーション試験などの特性試験のほか，実物ポンプ水車の製作に当たり，広範な模型試験を実施したが，そのおも



第13図　長い吸出管のモデル試験（平面図）

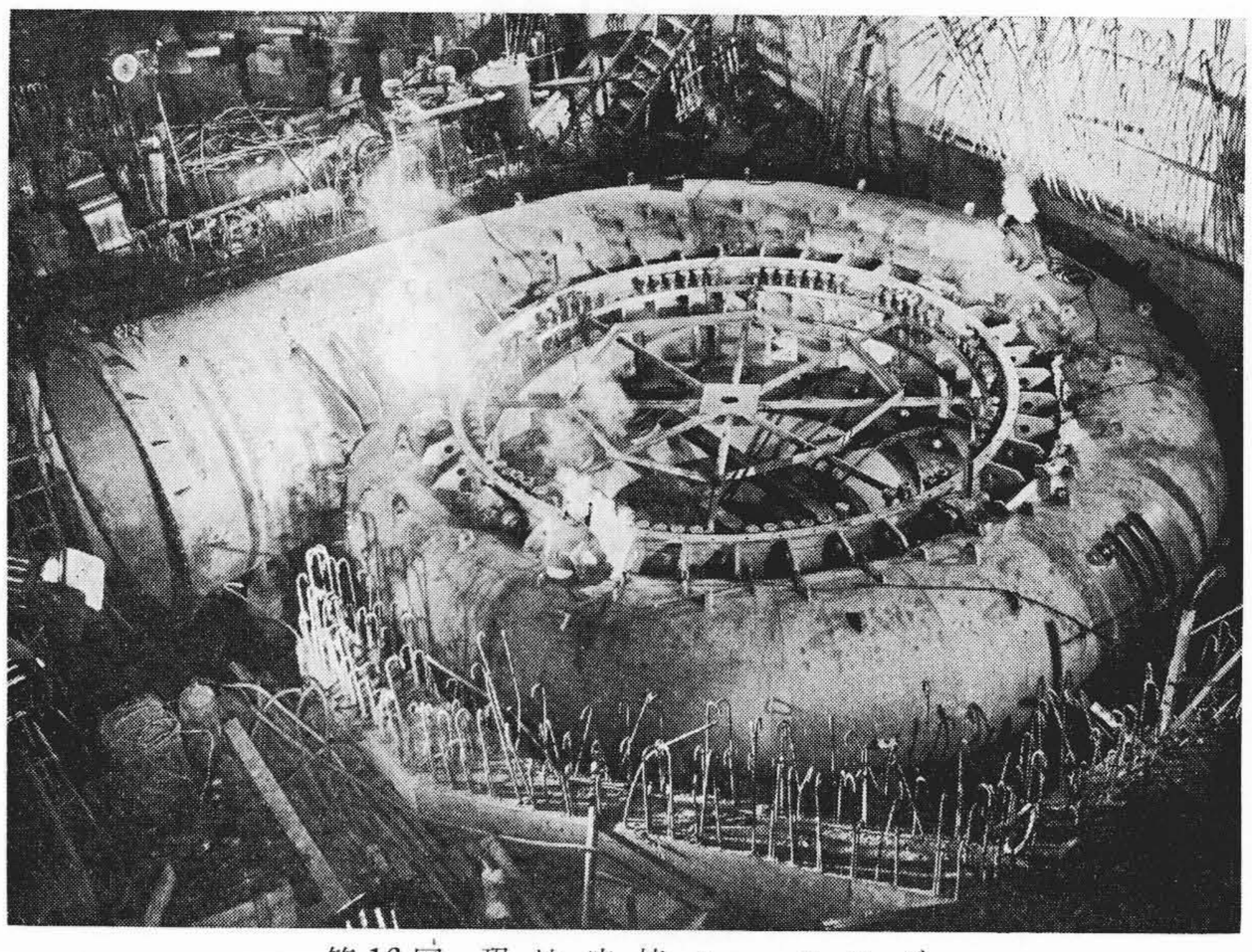


第14図　工場組立されたポンプ水車



第15図　完成されたポンプ水車ランナ

なるものは，ポンプ振動試験，ポンプ起動試験などである。本発電所は前述したように長い吸出管を有するため，**第13図**のような相似の長い吸出管を設けて振動試験を行ない，ケーシング，吸出管の水圧振幅，機械的振動を，おのおのの案内羽根開度について測定した。測定の結果では，水圧振幅，機械的振動とも，案内羽根開度によって，その傾向は多少ことなっているが，比較的案内羽根開度の大きいほうでは，高揚程の揚水量がすくない範囲で大きく，案内羽根開度の小さいほうでは，低揚程の揚水量が多い範囲で大きい傾向である。したがってポンプ運転時，案内羽根各開度の包絡性能を利用することは Q-H 特性，効率特性の向上はもちろんのこと，振動特性に対しても有効であり，これらの運転領域にわたって安全な運転ができることが確認された。またポンプ運転の起動にあたり，電動機に要求される起動トルクを減少させるため，水面押下げによる空転起動方式を採用したが，規定回転に達したポンプ水車に水が充水されるときの過渡状態を調べるため起動試験を行なった。実物機と同様に圧縮空気によって水面を押下げ，一定の水面までさがったときに電動機を起動し，3,000 rpm に達したのち，上カバー上に設けられた排気口より排気し水面を上昇させて充水される状態までの過渡変化を測定した。



第16図　現地溶接ケーシング

3.3　ポンプ水車の構造

本発電所用可逆ポンプ水車は大容量記録的製品であり，その設計製作に当たっては，すでに運転されている沼沢沼，諸塚，大森川発電所などの実績をさらに検討し，それに種々の新構想をとり入れたものである。ケーシングは現地溶接，ランナは輸送上の制限から，2分割構造とした。また主軸を貫通するグランド部分には日立標準方式のシーリングボックスを採用した。このほかポンプ水車特有の装置として，水面押下げ装置，案内羽根固定装置などが設けられている。しかし案内羽根固定装置はすでに大森川発電所の運転実績から必要ないことがあきらかとされていたが，念のため設けたものである。各部品の製作に際しては，従来鋳鋼品で製作されていた上下の水車カバーおよびガイドリングをはじめ，ほとんどの大物品に至るまで溶接構造を採用した。**第14図**は工場組立完成のポンプ水車を示したものである。なお入口弁には蝶形弁が用いられ，側路弁としてはニードルバルブが使用されている。

3.3.1　ラ　ン　ナ

ランナは 13% Cr 鋳鋼製で最大外径約 4,200 mm，羽根枚数6枚，重量は 30 t を越える大物である。本発電所は水車として，101.8 m から 50.4 m，ポンプとして 103.2 m から 57 m まで落差，揚程が大幅に変動するため，これら運転条件に対して，十分な性能を有し，かつ耐久度の高いことが必要である。したがって製作に先だち前述のように各種の模型試験により性能のうら付けを行なったものである。なお2分割ランナであるためクラウン，シュラウドリング外周のランナライナは一体で輸送し現地で焼ばめするようにしてある。**第15図**は完成されたランナを示したものである。

3.3.2　渦巻ケーシング

本ケーシングは入口径 3,200 mm で現地溶接構造である。スピードリングは5分割フランジ接続とし，工場ではケーシングと仮組立を行ない，現地の溶接作業を容易にするため，あらかじめ十分な検討が加えられている。現地で溶接される個所にはX線検査を施して欠陥のないことを確認して輸送することにしてある。**第16図**は現地据付を完了したケーシングを示す。

3.3.3　案内羽根および開閉機構

案内羽根は 20 枚で，13% Cr 鋳鋼一体構造であり上下には 18-8 Cr-Ni の肉盛りを施してある。上下カバーには 13% Cr 鋼板のシートライナが設けてある。また案内羽根の上下間げきを調整するための間げき調整装置を有し，案内羽根の開閉はサーボモータに連結されたゲートリングから，リンク，レバーを介して行なう方式とした。ランナ分解時には上側内カバーだけを分解し，案内羽根は分解する必要はない構造となっている。

3.3.4 吸　出　管

吸出管はエルボー形で，水車中心より水平長さ 6,000 mm の範囲まで鋼板製ライナで内張りされた。本発電所はダム内に設けられたため，1，2，3号機ともそれぞれ水平長さが異なり形状も異なっている(**第2図**参照)。2号機，3号機については，水車中心から約 28 m のところで幅 5 m，高さ 9 m の立長の形状となりセンターピアーを設けない構造である。

4. 運　転　方　式

本発電所は1人制御自動発電所で，制御方式を大別すると，水車運転とポンプ運転とに分けられるが，系統の負荷状態に応じて水車は毎日ピーク時(約6～10時間)，その時の落差で最大出力運転を行なうもので，主として 60 c/s で運転される。ポンプは深夜6時間程度で，下部貯水池容量の範囲内で主として日間調整が行なわれる。発電の場合は一般の水力発電所と同様に案内羽根の開度により出力が調節され，揚水の場合は，そのときの揚程において揚水量が最大となるよう水位差開度調整器によって案内羽根開度が整定され，高効率運転が行なわしめるようになっている。運転制御方式の詳細については，あらためて別に発表するが，ここではポンプ水車として特に考慮されたれ点につき説明する。

4.1 発　電　運　転

発電運転については通常の水車とこと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，ポンプ運転時に使用される水位差開度調整器により，放水路と上部貯水池間の水位差に応じて起動時の案内羽根開度が調整できるようになっている。また 50 c/s に運転をおこなう場合のために周波数切替装置が設けられている。

4.2 揚　水　運　転

揚水運転時には操作切替器を揚水側に切替え，揚水用主制御開閉器によって水面押下，起動，揚水，停止，主弁の5段階の制御を行なうのである。

4.2.1 水　面　押　下

圧油槽油圧，冷却水，圧縮空気槽気圧，放水路水位，案内羽根固定装置除外などの条件が満足されており，各制御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，ランナ外周に注水し，シーリングボックスには封水とグリースが供給されて，案内羽根開度の内側に圧縮空気を送り水面押下げを行なう。

4.2.2 起　　動

電動機起動トルクを軽減するために，高圧油ポンプを起動し，スラスト軸受に圧油を送る。これらの動作を完了すれば，起動用遮断器が閉路して電動機は低減電圧(50%)にて起動する。電動機の回転数が規定回転数の約 90% に上昇すればすべり検出装置が生かされ，電動機のすべりが一定値以下となれば，界磁開閉器を閉路して同期引入れを行ない，一定時限後全電圧遮断器を閉路して全電圧を並列を印加し完了する。

4.2.3 揚　　水

並列完了となれば，水面押下げをしていた空気を排除し案内羽根内部は締切り圧力となり，この圧力を圧力継電器にて検出し，負荷制限電動機によって案内羽根を小開し，その後水位差開度調整器によって揚程に応じた最適な案内羽根開度に調整されて揚水運転にはいる。

4.2.4 停　　止

停止は，並通停止，非常停止の二つに分かれている。並通停止は負荷制限電動機により徐々に案内羽根をしめ，一定の開度で主遮断器，界磁開閉器を開路する。案内羽根全閉後回転が約 20% 速度となれば制動をかけて停止する。

4.2.5 主　　弁　　閉

揚水からただちに「発電」に切り替える場合は，ポンプ停止すなわち主弁開のままで切替えができる。全停の場合には主弁がしめられる。

5. 運　転　実　績

本ポンプ水車は，2号機は昭和37年9月，3号機は昭和37年11月官庁試験を終了し，引きつづき営業運転にはいり，好調な運転をつづけている。これら現地試験結果，変落差範囲の大きいポンプ水車として，貴重な技術的資料が得られた。これらの内容の詳細は別報にゆずることとし，ここではその概要を述べるにとどめる。なお2号機を例にとれば発電運転と揚水運転の割合は昭和39年6月までで，発電約 5,100 時間，揚水約 2,000 時間となっている。

5.1 水車負荷遮断試験

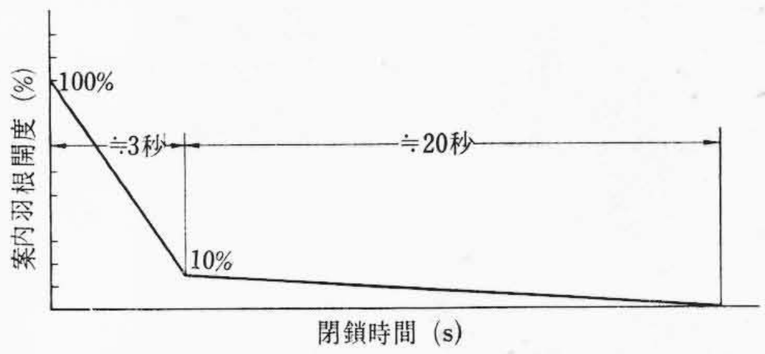
水車負荷遮断試験は各落差について行なわれたが，変落差，変回転の水車特性が普通水車に比し，かなり異なった様相を有している。特に低落差側では案内羽根の閉鎖方法は特別な考慮をはらう必要が生じた。すなわち比較的低落差において負荷遮断する場合は回転数が上昇して，案内羽根が全閉付近に至ると，水車方向回転でありながら揚水領域にはいるために水撃現象が発生する。この水撃現象を防止するために，案内羽根は **第17図** のような閉鎖方法としている。さらに落差の変動範囲の大きな場合には落差に応じた閉鎖方法を変えることが理想であり，変落差閉鎖装置(特許申請中)が採用されている。

第18図は水車負荷遮断時オシログラムである。

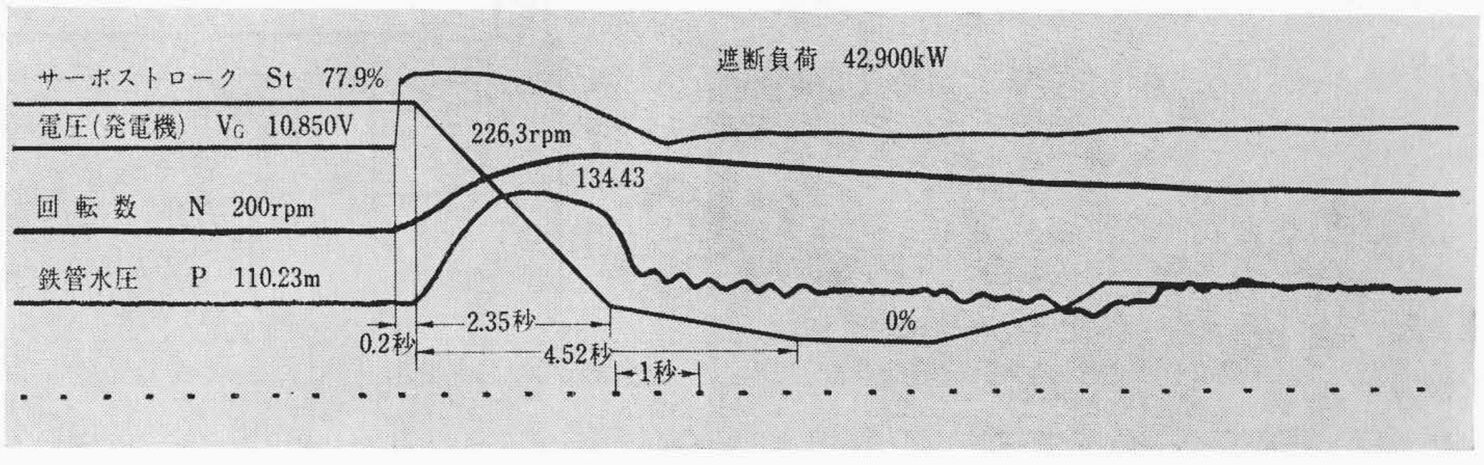
5.2 ポ　ン　プ　運　転

ポンプ運転に際しての振動については模型試験において，種々の試験が実施されたことは前述のとおりであるが，特に計画時，最も注意をはらった低揚程運転時のキャビテーションについては，最低揚程付近まで安全に運転ができることが確かめられた。振動騒音自体はむしろ最高揚程付近で大きく，これらの変揚程時の運転状況は模型試験によって得られた結果と傾向が一致している。

変揚程時のポンプ運転に際し，揚程に応じ自動的に適正な案内羽根開度に固定する装置が設けられているが，適正開度はその揚程で運転効率がよいばかりでなく，振動騒音とも他の開度より小さく，



第17図　案内羽根閉鎖時間図



第18図　水車負荷遮断時オシログラムの一例

ポンプ運転においては重要な要素となる。

実物機のポンプ特性が模型に対し，いかなる相似性をもつかは最も興味ある問題で，本発電所においても揚程，揚水量が単に相似の法則で換算される値より大きくなることが実証され，模型からの換算方法につき新たな資料が得られた。

6. 50,000 kVA/46,500 kW 発電電動機

本発電所は常時は60 c/sを主とした揚水発電所として計画され，主機の仕様は，発電機，電動機とも60 c/sである。系統運営上の便利も考慮され，発電機は50 c/sにも使用できるよう考慮された。一般に揚水発電所では，発電機電圧を電動機電圧より約5～10% 高めるのが普通であるが，本発電所では主変圧器を負荷時電圧調整装置付とすることにより，電圧は同一としている。電動機は95% の進み力率で運転され，系統の力率調整にも寄与できるように配慮されている。また可逆式揚水発電所であるため，

（1） 発電電動機の大きい蓄勢輪効果と，ポンプ水車の空転損失により，起動時制動巻線中に発生する多量の熱量を吸収すること

（2） 起動時の突入入力を減少させて，系統および機器自身に与えるじょう乱を小さくすること

（3） 起動入力を小さくして，動作を確実にするため起動，同期引入トルクを大きくすること

（4） ひん繁な起動停止に伴う固定子コイルおよび界磁コイルの膨張，収縮

などに考慮を払う必要がある。以下上述問題点を中心として本機の概要を述べる。

6.1 仕　　様

6.1.1 発電機仕様

形　　式	立軸かさ形閉鎖風道循環形，空気冷却器付，凸極回転界磁式，制動巻線付	
容　　量	50,000 kVA	45,000 kVA
電　　圧	11,000 V	10,000 V
電　　流	2,620 A	2,600 A
周 波 数	60 c/s	50 c/s
回 転 数	200 rpm	167 rpm
力　　率	85%	90%
短 絡 比	1.0 以上	——
蓄勢輪効果	4,200 t-m²	4,200 t-m²
無拘束速度	326 rpm	326 rpm
線路充電容量	35,000 kVA (90%電圧にて)	35,000 kVA (90%電圧にて)
主励磁機	280 kW, 220 V	
副励磁機	15 kW, 110 V	
電気ガバナ用発電機	1.73 kVA, 110 V	

6.1.2 電動機仕様

容　　量	46,500 kW
電　　圧	11,000 V
電　　流	2,620 A
周 波 数	60 c/s
回 転 数	200 rpm
力　　率	95% 進み
起動方法	主変圧器内接3角 50% 電圧
同期引入	主変圧器内接3角 50% 電圧

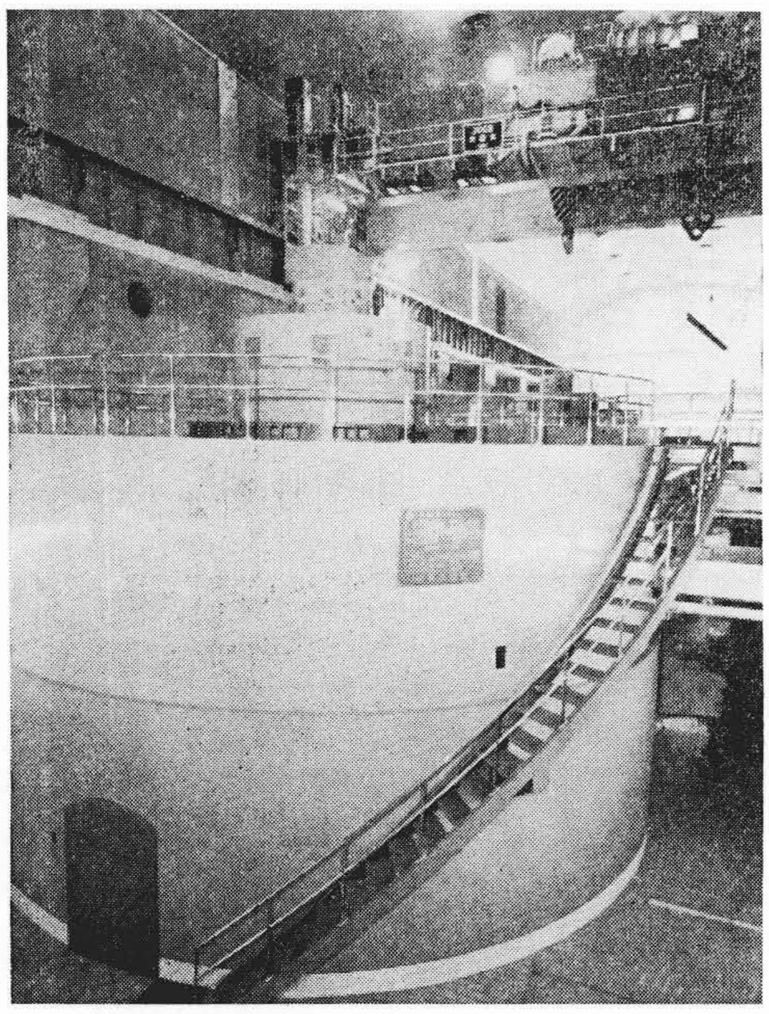
6.2 構　　造

発電電動機の外観を**第19図**に示す。本機は関西電力丸山発電所用 72,500 kVA, 164 rpm，電源開発株式会社佐久間発電所用 93,000 kVA, 167/200 rpm などの大容量かさ形機の製作実績の下に，かさ形構造を採用した。**第20図**に組立断面図を示す。発電電動機と励磁機の通風経路は別々である。発電電動機は閉鎖風道循環形で，励磁機は自冷方式となっている。

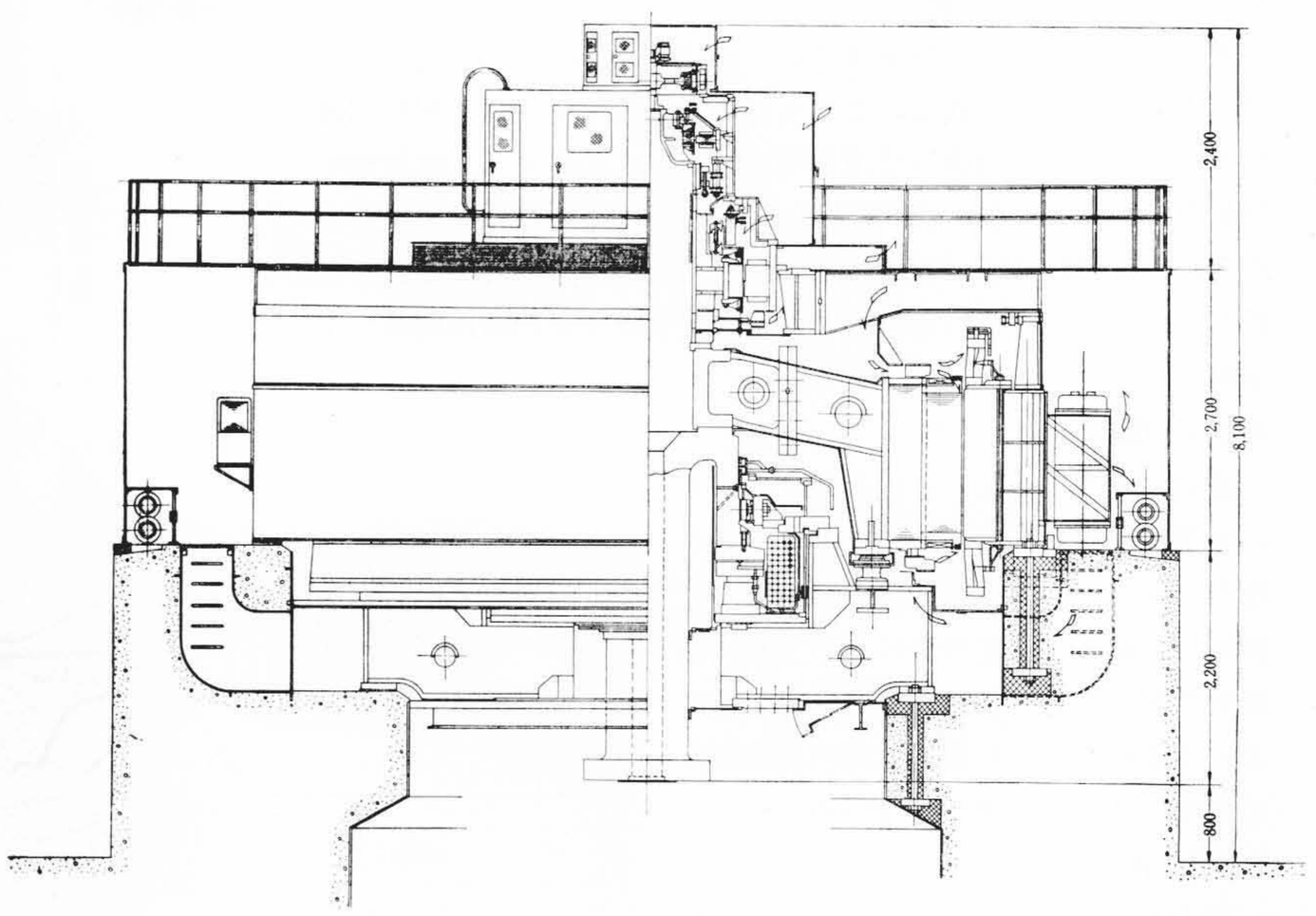
6.2.1 固　　定　　子

固定子わくは鋼板溶接構造であるが，輸送条件を加味し，かつ現地据付の便を考慮して4分割とし，そのうえに上部ブラケットをささえるためのブラケット台をボルトで締付ける方法をとった。鉄心には無方向性の高級珪素鋼板を扇形に打ち抜いて，1枚1枚，絶縁特性のすぐれたワニスを両面に塗布し，加熱乾燥したものを用い，両端より非磁性のおさえ板で強固に締付け，過酷なヒートサイクルにも，ゆるむことのないよう配慮された。

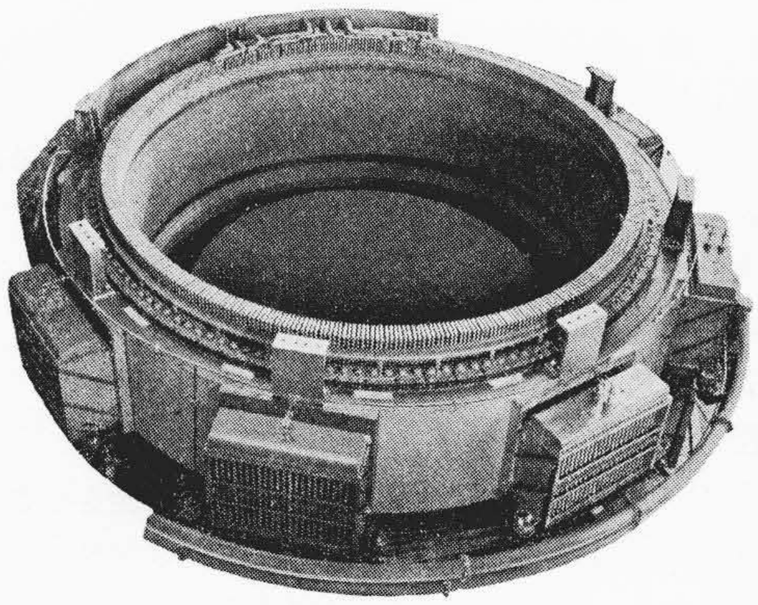
固定子コイルには，1ターンコイルを採用し，マイカ，ガラスを主体とした絶縁でSLSワニスを真空注入して製作したもので，素線は直線部において転位されている。固定子コイルの結線は，二重星形波巻きで，電気的不平衡を極力小さくするよう，固定子鉄心の全周に分布するようにしてある。本機は揚水発電所である



第19図　50,000 kVA/46,500 kW 発電電動機外観



第20図　50,000 kVA/46,500 kW 発電電動機断面図



第21図　組み立て中の固定子

ため，加熱冷却がひん繁であるので，熱膨張，収縮に対する諸特性のすぐれているSLS絶縁を使用した。

6.2.2 回　転　子

回転子は水車の無拘束速度326 rpmにおいても十分耐え，各部の応力が，降伏点に対し1.5以上の安全率を有するよう製作された。また回転子の質量中心と案内軸受の中心間距離を極力短くし，安定度を増加させている。回転子継鉄は扇形片積層方式で円周8セグメントであり，3.2 mm 厚の高張力鋼板を使用した。扇形片は一回打ち抜きの非常に精度の高いもので，磁極数の倍のダブテールみぞが設けられている，いわゆる補強鳩尾溝付構造で，これは従来の一極ずつずらせて積む方式に比べ強度をますことができるうえに，補強鳩尾溝に台形のくさびを打ち込むことにより，継鉄の剛性をますこともできる。すでに電源開発株式会社御母衣発電所用125,000 kVA 225 rpm などにも採用され，その有効さが十分実証ずみのものである。扇形片はリーマボルトを基準として積まれるが，扇形片の厚み，各部寸法精度が高く，すべての扇形片が，完全に一致しているため，積む作業も容易である。

輻鉄は，鋳鋼製中心部(ボス)と鋼板溶接構造の8本のアームより成り，これらは，高抗張力ボルトで一体に締付けられている。輻鉄のボスは，その上下面においてそれぞれ主励磁機軸および主軸と直結され，トルク伝達の主要部分を形成するので，特に主軸と直結されるところには，特殊な接線キーを用い，お互いにすべりが起こらないよう考慮されている。輻鉄のアーム間には薄鋼板製カバーを設け，輻鉄による，空気の乱流を制限し，効率向上が図られている。

磁極鉄心は1.6 mm の鋼板積層式で，両端に鍛鋼製端板をあて，リベットにより締付けられたもので，頭部には，起動を考慮した，特殊な構造の制動巻線が取付けられている。制動巻線は電動機起動時回転子（発電電動機，ポンプ水車および励磁機の回転子）のもつ蓄勢輪効果とポンプ水車の空転損失よりなる反抗トルクに打ち勝って，回転子を加速できるものであると同時に，これらのエネルギーを吸収しなければならない。制動巻線は比較的に高い抵抗のバーを鉄心にそう入して，その両端を熱特性，機械的特性のすぐれた銅合金の短絡片にロー付けし，磁極間に薄い銅板を数十枚重ね合わせ，曲率半径をできるだけ大きくしたたわみ継手で接続する方式である。短絡片の磁極端板側にも凸面を設け磁極端板に設けた凹部にかん合し，短絡片にかかる遠心力をもたせるとともに，バーの温度上昇による軸方向への伸びを吸収する構造となっている。また短絡片の温度上昇による円周方向への伸びは，たわみ継手のたわみで吸収するため，制動巻線各部は，無拘束速度時の応力および，起動時の熱応力に対しても無理のない，安定した構造となっている。界磁巻線は，平打巻で層間はアスベスト，対地間はマイカを主体とした絶縁が施されている。線輪と鉄心間には柔軟性のあるシリコーンゴムがそう入され，絶縁抵抗の向上がはかられている。電動機起動の際，界磁巻線は放電抵抗を通して短絡した状態であるため，数百ボルトの交流電圧が界磁巻線に印加されるにすぎず，普通の発電機とあまり変らないが，万一放電抵抗が不具合であって界磁巻線開路の状態で起動すると，高電圧が誘起する。またヒートサイクルが過酷であることを併せ考慮し，界磁巻線の上下面には，長さ2.8 m のモデルにより，試作，研究のうえ，その優秀性が確認された絶縁ボビン板がそう入され，沿面距離も十分とって絶縁の完全を期している。

主軸は下端に水車軸に接続するフランジを有し，上端はスパイダボスにつながるフランジ面を形式すると同時に，推力軸受のカラー部も一体鍛造されている。ファンはベーンが完全に半径方向に取り付けられており，両回転方向に対し同一効果が得られるようになっている。

6.2.3 下部ブラケット軸受およびその付属品

本機はかさ形機であるため，下部ブラケットは発電電動機回転子のほかポンプ水車回転部，水圧そのほかの全スラストをささえる必要があるので，剛性を適当に選定し，ポンプ水車の水圧脈動による起振力と共振しないようになっている。下部ブラケットは輸送の関係上，8本のアームと，2枚の一体リングに分割され，現地でボルトで一体にされる。推力軸受油槽は2分割で，合せ目は現地でシール溶接される。

推力軸受および案内軸受は，同一油槽内に設置されている。推力軸受はキングスベリー形であるが，可逆機であるため中心支持方式がとられている。軸受の面圧は，偏心支持のものに比べ，負荷容量が若干小さいので，普通のものより小さく設計してある。また損失が若干大きくなるため，冷却管の能力も増してある。シューは鋳鋼製で白色合金が裏張りしてあり，10セグメントよりなっている。ランナは一体の鍛鋼製で，しゅう動面は綿密な注意のもとに，研摩仕上げされている。推力軸受の水平調整は油槽外部より簡単に行なわれるようにしてある。油槽よりの油漏れに関しては，カバー類の合せ目に耐油性ゴムパッキングを用い，油蒸気に対しては，ファンの風圧を利用してシール部に空気を押込む方式のラビリンスパッキングを取り付けている。空気冷却器は，固定子の風の出口に8個を対称的に直接取り付け，風胴内の除湿に，電気除湿器を，機内の保温にスペースヒータを取り付けている。

ブレーキは，下部ブラケットアーム上に8個を配し，回転子の速度が定格速度の30% で動作し，2分以内に停止させるようにした。

起動停止がひん繁であるため，ブレーキシューの摩耗粉の飛散を防止し，機内を汚さぬよう集じん装置が設けられている。

6.3 反抗トルク低減法

6.3.1 高圧油送入装置による静止摩擦係数の低減

同期機は普通，空げき寸法が大きく，起動時の特性は比較的悪く，トルク効率が5～10% 程度であるのに対し，回転子を回転させるために必要な起動瞬時のトルクが15～25% にも達する場合があるので，電動機入力が定格容量の約3ないし4倍必要な場合がある。しかし本機のような大容量機ではこのような大きい入力をとる訳にはゆかない。発生トルクは起動入力にほぼ比例して増減するので，入力を制限したならば，所要起動トルクも低減する必要があり，すでに四国電力株式会社大森川発電所で採用し好調に運転している高圧油送入方式を用いることを決め，油膜厚さ，油圧，静止摩擦係数，および飽和油圧などに関する詳細な実験，研究を行なった。これらの結果によると，油みぞの寸法，給油量などを適当に選ぶことにより，油膜形成状態における起動摩擦係

数を 3×10^{-3} 程度にすることは容易であり，静止摩擦の十分小さい状態が容易に実現できることが明らかにされ，本機では，これらの実験，研究結果にもとづいて計画された。そのほか，いろいろの場合を想定し，推力軸受の保護については万全を期した。かくして本機では，回転子を数人で軽くまわすこともでき，印加電圧が降下しても，確実に起動でき，安定した運転が可能となった。次に実物と同一寸法のモデル軸受による圧油送入試験の概要についてのべる。なお実物より小さい軸受の静圧潤滑性，負荷容量，油膜厚さ，給油みぞ深さ，給油量，表面あらさおよび摩擦係数については，すでに発表してある(1)。これによると圧油送入方式の軸受では，油膜厚みが5/100 mm以上あれば，起動瞬時の摩擦係数が 10^{-3} の程度になることが，理論的にも確認できたので，本試験では油膜厚さに及ぼす影響について試験した。試験装置を第22図に示す。

一般に皿径，給油圧力，推力軸受と負荷容量の関係は近似的に次式で表わすことができる。

$$W_0=\frac{\pi}{2}\cdot P_0\cdot\left\{\frac{R^2-i^2}{\log\frac{R}{i}}\right\}\times n^{(1)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

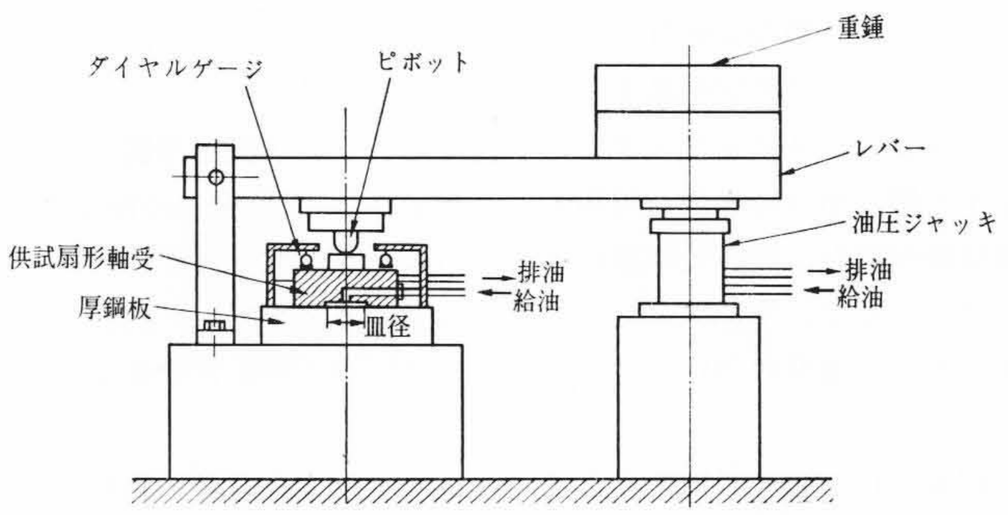
W_0：負荷容量 (kg)
P_0：給油圧力 (kg/cm²)
R：推力軸受摩擦面内接半径 (cm)
i：皿半径 (cm)
n：推力軸受箇数

この関係を曲線にすると本発電電動機の場合第23図のようになる。

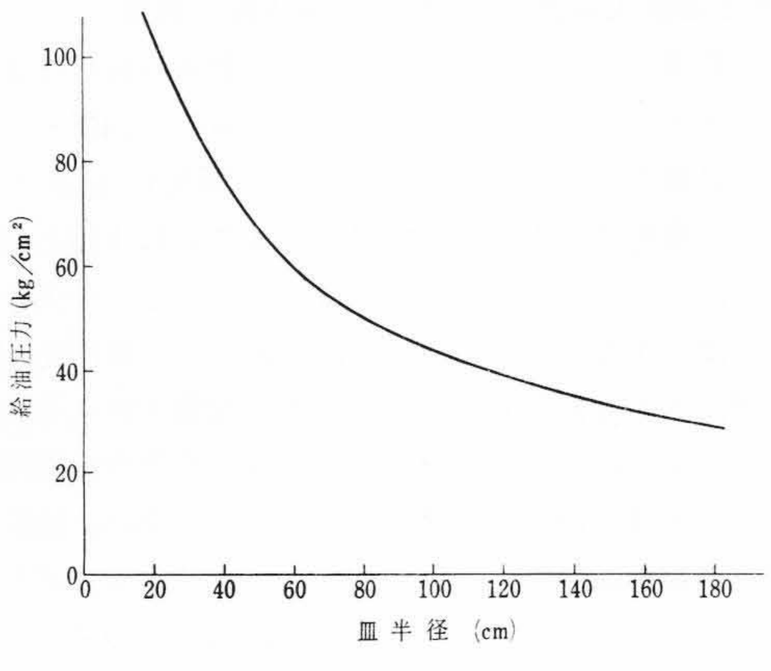
また所要油量は，

$$Q=\frac{P_0\cdot\pi\, h^3}{6\,y\cdot\log\frac{R}{i}}\times n^{(1)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

Q：給油量 (cm³/s)



第22図　軸受試験装置



第23図　皿径と給油圧力の関係

h：油膜厚さ (cm)
y：油の粘度 (kg-s/cm²)

で表わされる。

皿径の決定に当たっては，次の事項を検討する必要がある。

（1）　皿径と推力軸受の寸法の関係

皿径を大きくすると推力軸受のしゅう動部面積が減少し，通常運転時の負荷容量が減少する。したがって，皿径はできるだけ小さいことが望ましい。

（2）　皿径と給油圧力

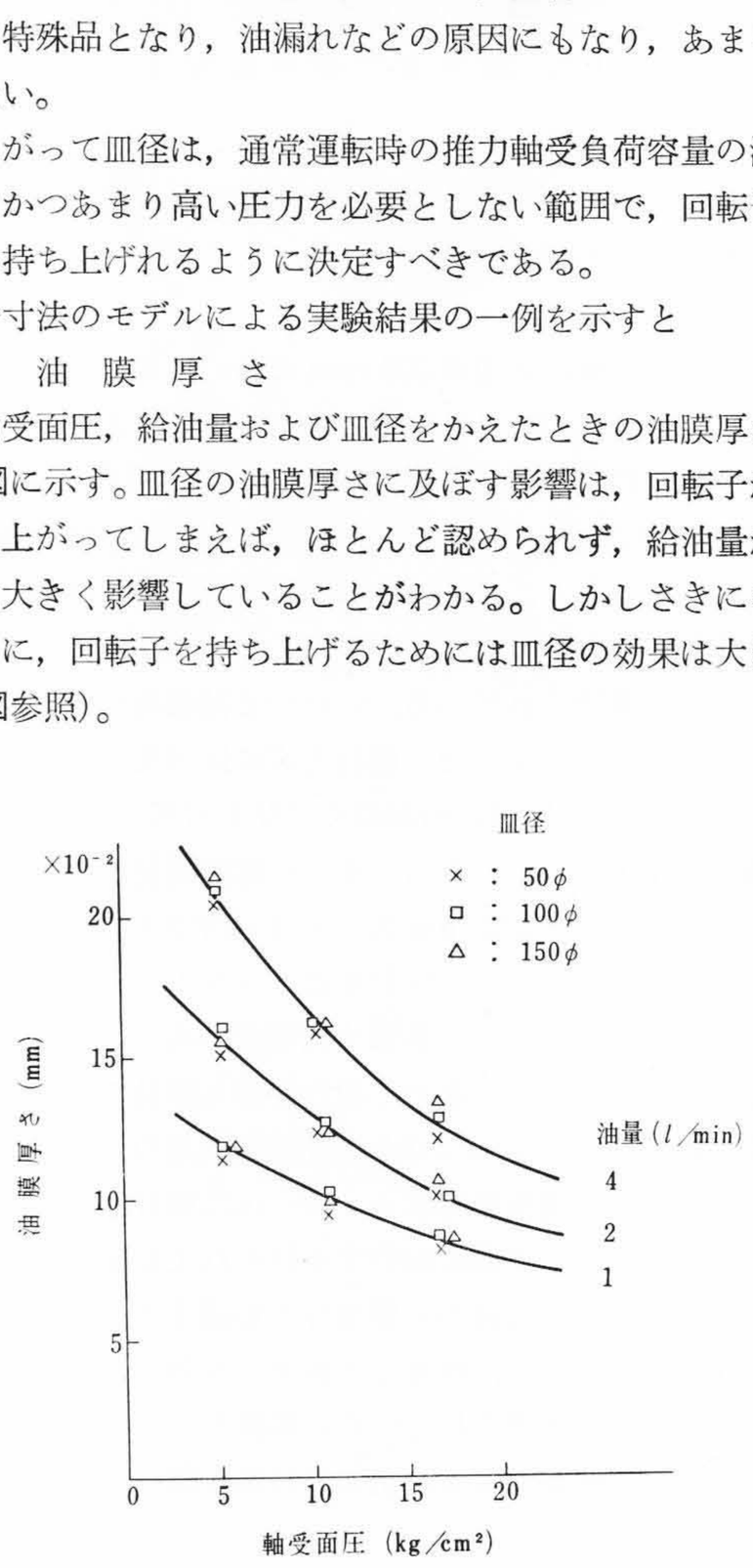
皿径が小さいことが望ましいが第23図より皿径を小さくすると，給油圧力が高くなり，バルブ，配管およびフランジはすべて特殊品となり，油漏れなどの原因にもなり，あまり好ましくない。

したがって皿径は，通常運転時の推力軸受負荷容量の減少が小さく，かつあまり高い圧力を必要としない範囲で，回転子荷重が確実に持ち上げれるように決定すべきである。

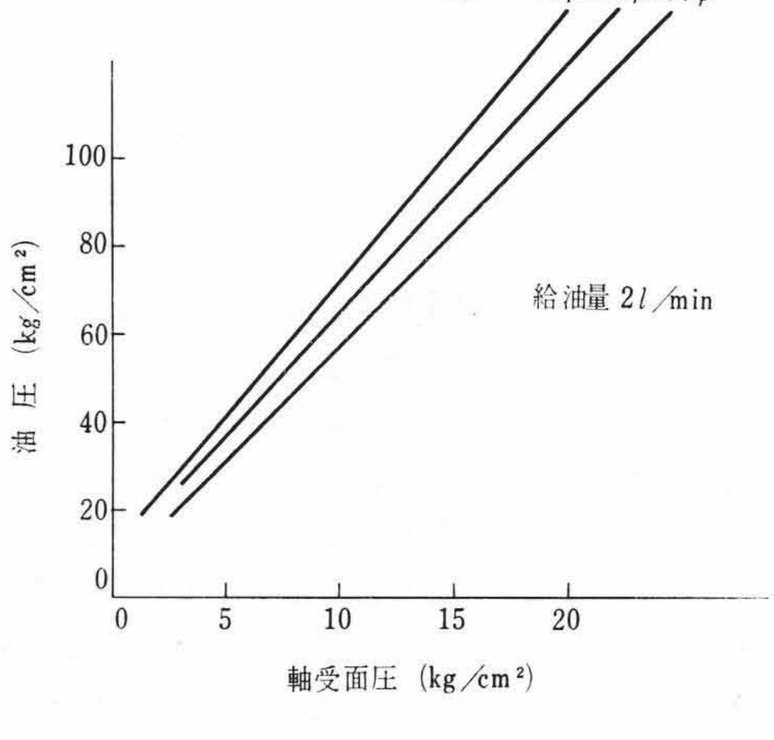
同一寸法のモデルによる実験結果の一例を示すと

（1）　油膜厚さ

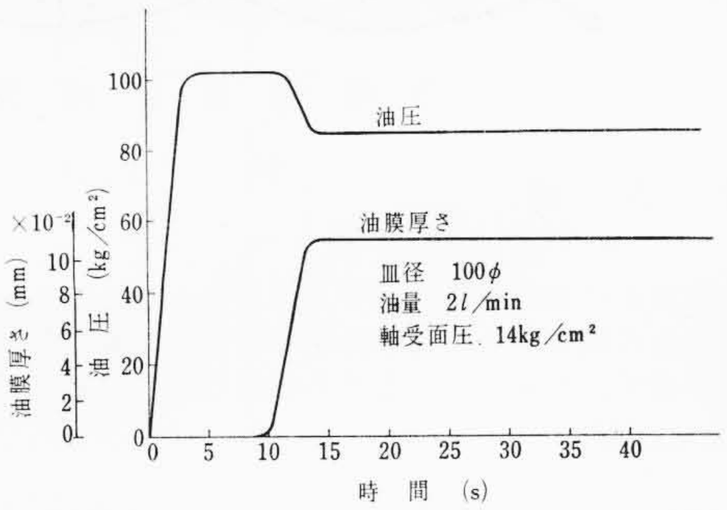
軸受面圧，給油量および皿径をかえたときの油膜厚さを，第24図に示す。皿径の油膜厚さに及ぼす影響は，回転子が一たん浮き上がってしまえば，ほとんど認められず，給油量が油膜厚さに大きく影響していることがわかる。しかしさきにも述べたように，回転子を持ち上げるためには皿径の効果は大きい（第24図参照）。



第24図　油膜厚さ



第25図　平衡圧力



第26図　油膜形式の時間変化

（2）　給油平衡圧力

給油量を 2 *l*/min にして，軸受面圧，皿径をかえたときの，給油平衡圧力の変化を**第25図**に示す。本図は，回転子持ち上げに要する圧力と関係があり，皿径が大きいと，給油圧力が小さくてすむことを意味する。

（3）　油膜厚さと給油圧力の時間変化

圧油ポンプの電源閉路より，油圧，油膜厚さが変化していく時間関係を**第26図**に示す。本図より，圧油装置による油膜形成は10数秒の短時間で達成され，発電機運転より揚水運転への切換時間短縮に役だつことが理解される。

以上のように，理論的検討およびモデル試験の結果，本揚水発電所用推力軸受の諸元は，給油圧力 100 kg/cm²，皿径 100 φ，給油量 29 *l*/min と決定された。実機試験の結果では，給油圧力約 60 kg/cm² で回転子を浮き上がらせることができ，円滑な起動が可能であった。

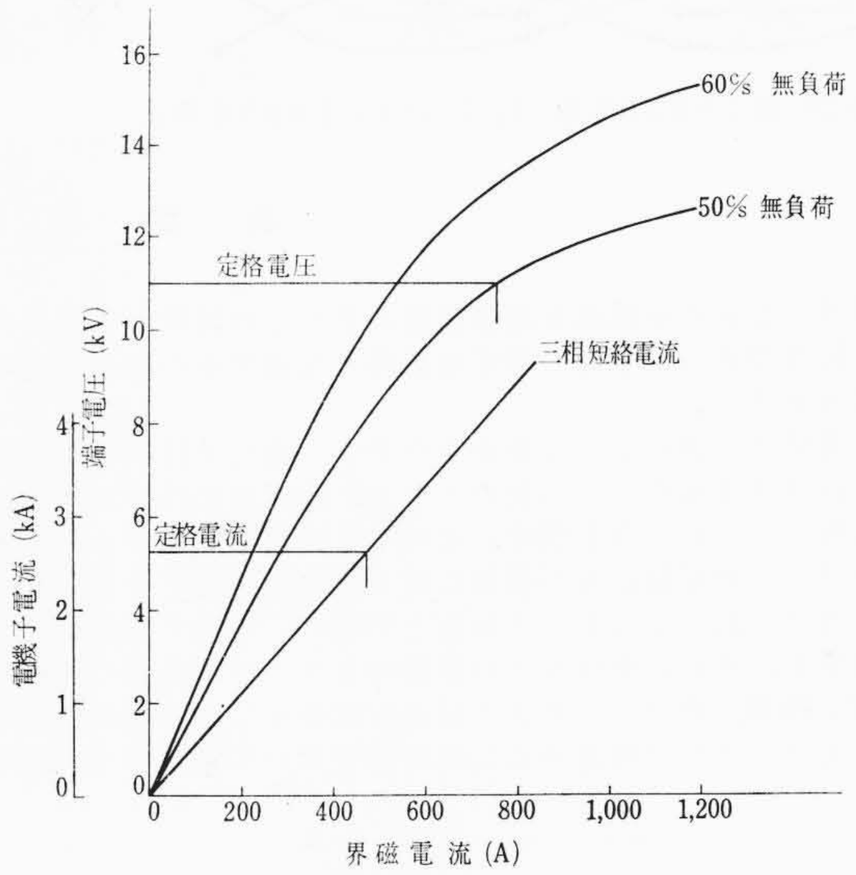
6.3.2　水面押下げによる起動中の反抗トルク低減

さきに述べたように，回転子を定格回転数まで加速するには，推力軸受部の静止摩擦による反抗トルクに打ち勝つと同時に，同期引入れが可能である必要がある。ポンプ水車を水中で定格回転数でまわすには約100%のトルクが必要であり，同期引入れが困難になると同時に，制動巻線の温度上昇も高くなり，起動完了までに要する時間もいちじるしくのびる。このため，電動機起動に先だって，ポンプ水車のガイドベーンを閉じ，ケーシング内の水面を圧縮空気で，ランナ下面以下まで押下げ，電動機が並列完了するまで，ランナを空気中で回転させる方法をとっている。

6.4　起　　動

本機の起動方法は，系統へのじょう乱と，起動，同期引入れよりくる条件とを加味し，50% 電圧起動，50% 電圧同期引入方式がとられることになった。主変圧器を使用して起動する関係上，50% 以外の電圧を採用することは経済的でなく，50% 電圧起動方式が無条件に決められた。

同期引入れは，反抗トルクの大きさと，電動機の発生トルク，回転子の蓄勢輪効果，界磁印加するときの位相角および界磁電流の大きさにより影響を受けるが，電動機の発生トルクが大きく，最終到達すべりが，50% 電圧で同期引入れ可能すべり以内に，はいることを確かめ，50% 電圧同期引入方法をとった。同期引入れを検討する



第27図　無負荷飽和曲線および三相短絡曲線

場合，ポンプ水車の反抗トルクが，ガイドベーンのわずかなすきまからの漏水により大きく変化することを考慮しなければならない。本機の場合，電源電圧降下，反抗トルクおよび発電電動機の発生トルクの詳細な検討を行ない，50% 電圧同期引入方法に決定した。

6.5　工場試験結果

工場において組み立てのうえ，回転子の無拘束試験を含む種々の試験を行なったが，十分に要求性能を満足することが確認された。

無負荷飽和曲線および三相短絡曲線を**第27図**に示す。

電動機の場合については，高圧油装置動作時の所要起動トルクを直結励磁機により，精確に測定し，現地において，考えうる電圧降下，系統電圧降下範囲内で十分起動可能なることを確認した。

7.　結　　言

畑薙第1発電所用可逆ポンプ水車および発電電動機について，発電所の計画概要および運転上の特質をおり込んだ模型試験から，種々新構想をもり込んで製作された実物機の工場試験結果などについて述べたが，電源開発の進むにつれて揚水発電所の必要性はますます顕著となり，現在多くの建設計画が進められており，その容量も漸時大容量化している。これらの計画に対して可逆ポンプ水車の果すべき役割の大きなことは疑う余地がないものといえる。このような状況下にあって，この大容量記録的な畑薙第1発電所用可逆ポンプ水車および発電電動機の運転実績が各方面の注視の的となることは当然のことといわねばならない。純国産技術によって，この大容量可逆ポンプ水車および発電電動機の成功は，今後の揚水発電所建設のための重要な基礎を確立したものと確信する次第である。

終わりに畑薙第1発電所機器の設計・製作にあたって貴重な指針を与えてくださった，中部電力株式会社の関係者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）　岡野，森：　日立評論 **44**，1671（昭 37-11）

特許の紹介

特許第305399号（特公昭37-10970号）

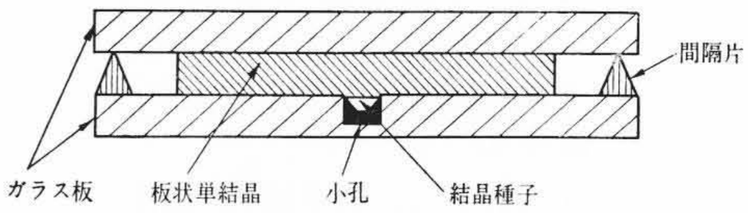
黒崎重彦・古畑芳男

板状単結晶製造方法

強誘電体などの単結晶を記憶蓄積素子などの材料とする場合，単結晶が板状であって板面が特定結晶軸に垂直でかつある程度の大きさを必要とする。

この発明は上述のような条件をたやすく満たす巨大単結晶の製造方法を提供するもので，二枚のガラス，金属またはプラスチックからなる板の一方に小孔を設け，その小孔中に結晶種子となる微細単結晶を所望の特定結晶軸が板面に対し所要の角度となるようにそう入し，他方の板は小孔を設けた板と平行に，希望する間隔をおいて対向固定し，それら全体をその状態のままその結晶質の飽和溶液中に浸漬し冷却，蒸発などにより結晶を成長せしめるものである。

この方法によれば在来単に二枚の板を用いて製造していた場合のように，結晶種子の周囲が他の部分と不均質となるといったことがなく，また自由に成長させた塊状結晶のように結晶に対する機械的加工も必要とせず，容易に目的とする形状の結晶を効率良くうることができる。（塩沢）



特許第421204号

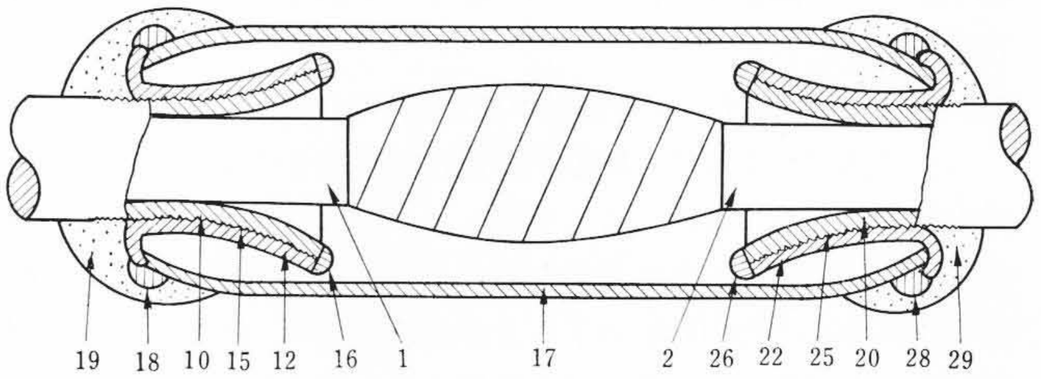
斎藤哲夫

ケーブル鉛被接続方法

この発明は，電力ケーブル，あるいは通信ケーブルのシースとして用いられている，鉛被を有するケーブルの接続方法に関するもので，その目的とするところは，水密で，しかも機械的強度が大きい接続部を提供する点にある。

この発明の接続方法の一例を，図面により説明する。接続しようとするケーブル線心1, 2の接続を行なったのちケーブル鉛被10, 20の端部を，ラッパ状に成形した周上に，エポキシ樹脂系接着剤のような熱硬化性樹脂接着剤15, 25を塗布して，ラッパ状補助鉛管12, 22を設け，鉛被10, 20と鉛管12, 22との端部をウェルド16, 26する。次に，あらかじめ鉛被10のまわりに通しておいた接続用スリーブ17を接続部の中央に合わせ，補助鉛管12, 22とスリーブ17の両端をウェルド18, 28する。なお，必要に応じてスリーブ17とケーブル鉛被10, 20には，鉛工部19, 29を設けてもよい。

この発明の接続部によると，ケーブル鉛被10と鉛管12とは，ウェルド16，鉛工部19および中間に介在するエポキシ樹脂系接着剤15によって，強固に密着されており，しかも，鉛被10と鉛スリーブ17とは，二重構造に固着されているから，全体として水密で，しかも強固なケーブル鉛被接続部を提供することができる。また鉛被10, 20と補助鉛管12, 22とは，ラッパ状に成形されているから，ウェルド16, 26および18, 28を形成するときの熱によるケーブル線心1, 2の損傷は起こらず，鉛工作業が行ないやすいという特長がある。（斎藤）

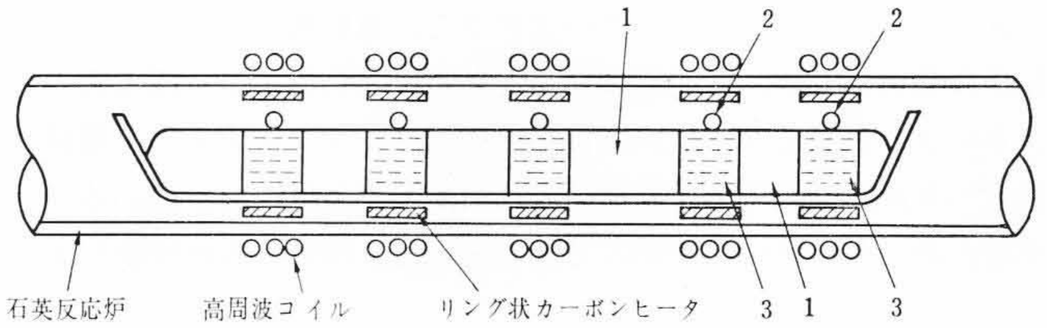


特許第416142号

田内省二・庄司雅一
伴野正美・佐藤興吾

npnまたはpnp接合半導体単結晶の製造法

本発明方法はいわゆるMD法によるトランジスタの製造法を横引法に適用したもので，操作が容易でかつ大量生産に適するなど工業的にすぐれた方法である。

本発明の主旨を説明すれば，まずp導電型の棒状半導体1の複数個の区域にp型およびn型の導電型を与える不純物合金2を載置し，ついで上述区域を半導体の融点以上に加熱して溶融帯3を作り，一旦熱平衡状態に保って後さらに加熱して半導体の融液に接する固相部分を適宜の厚さだけ溶融せしめて，所定時間結晶の溶液も成長も停止さすか，あるいは溶融半導体から固体半導体へのn導電型を与える不純物の拡散速度よりも遅い速度で溶融あるいは結晶成長を行なわしめて後すみやかに融液をも冷却してp導電型の，半導体単結晶を成長させ，この成長以前または成長過程においておもにn導電型を与える不純物を最初の単結晶中に拡散させて該部にn導電型の薄層を形成せしめるものである。

この場合，不純物材料を適当に選ぶことによって上述実施列とは逆にnpn接合を作ることも可能である。（志村）