

電源開発株式会社 池原発電所納
80,000kW ポンプ水車および発電電動機
80,000 kW Pump-Turbines and Generator-Motors for the Ikehara
Power Station of the Electric Power Development Co., Ltd.

山崎卓爾* 横井信安** 長沼進**
Takuji Yamazaki Nobuyasu Yokoi Susumu Naganuma
谷越敏彦** 岡田昌康** 富田幹雄**
Toshihiko Tanikoshi Masayasu Okada Mikio Tomita

内 容 梗 概

電源開発株式会社池原発電所は、現在 80,000 kW フランス形ポンプ水車および発電電動機 2 台が据付を終わり、1964 年 9 月すでに運転をはじめている。また、本発電所にはさらに、110,000 kW のポンプ水車および発電電動機 2 台が据え付けられる計画である。

本ポンプ水車は、変落差・変揚程に対して高い性能を発揮することが望まれ、そのため数次の模型試験が行なわれた。また大容量機であるため、ランナを二分割し現地で一体に合わせる方式を採用するなどの特長がみられる。発電電動機は起動特性について詳細な検討が加えられ、制動巻線、振動防止に対しても注意が払われている。ここにこれら主機の内容を紹介する。

1. 緒 言

電源開発株式会社池原発電所には、4 台のポンプ水車が設けられる。第 I 期として、最大出力 80,000 kW、最大揚水量 75 m³/s に達するわが国で最も大容量のフランス形ポンプ水車 2 台が設けられ、1964 年 9 月すでに運転にはいっている。残り 2 台は第 II 期として現在設計・製作中の 110,000 kW ポンプ水車が充てられる。

80,000 kW ポンプ水車の特長とするところは次のとおりである。

- (1) 年間の荷重平均効率が、大容量の揚水発電所として、経済性を最高度に高めるため、種々の綿密な検討ならびに模型試験が行なわれた。そのため、特に変落差、変揚程の全領域において効率を高め、高揚程における揚水量を多くすることとした。
- (2) 地下式発電所であるため吸出管が長く、その先は開渠（かいぎょ）となっている。
- (3) ポンプ水車ケーシングは現地溶接構造である。
- (4) ランナは輸送限界から二分割され、現地で一体に接続する構造である。

ポンプ水車の性能に対しては、ガイドペーンとランナに対して模型試験が行なわれ、最も経済性に適するポンプ水車として設計・製作された。

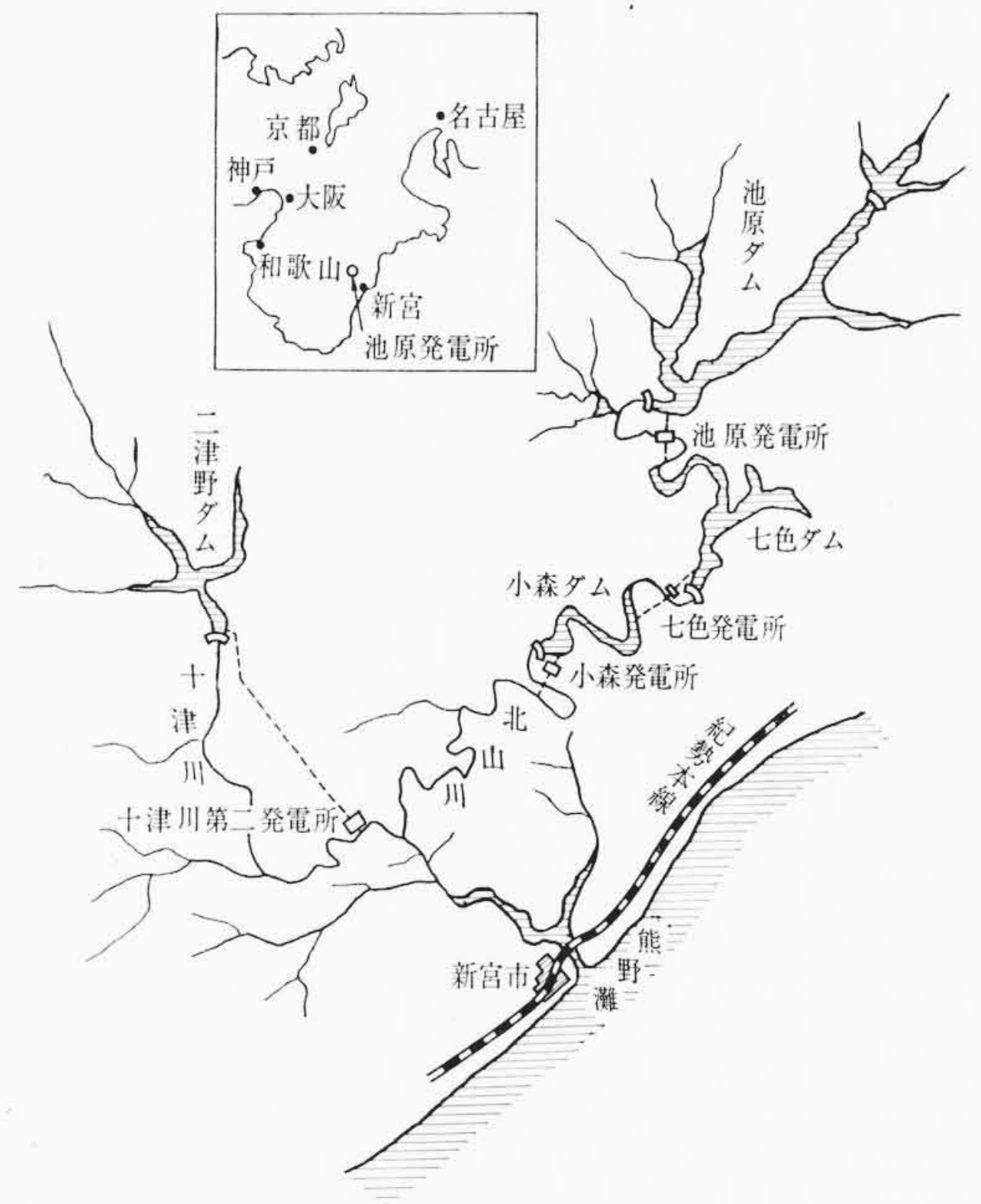
また、78,000 kVA/80,500 kW 発電電動機はわが国最大容量機であるために、起動方法、制動巻線、振動防止などに注意を払って設計・製作された。

以下に本機器の概要を紹介する。

2. 発電所の概要

池原発電所は奈良県吉野郡下北山村大字下池原に建設され、熊野川水系北山川を利用する揚水発電所である。

上流に池原ダム、下流に七色ダムを有し、池原ダム貯水池を季節的に調整・計画放流して年間調整発電するとともに、毎日深夜および正午ごろの軽負荷時には系統より受電して、七色ダムより池原ダムに揚水し、次のせん頭負荷時に計画放流分とあわせて発電する、「日間揚水発電」を行なう。一日の揚水時間は 3～6 時間程度である。



第 1 図 池原発電所地点の平面図

2.1 水 理 設 備

北山川本流池原地点にコンクリート造りドーム形アーチダムを築造し、これにより貯水された水をダム上流左岸の取水口より取水し、水圧鉄管を経てポンプ水車に導水する。吸出管、放水口トンネルより出た水は、放水庭、放水路、開渠ならびにトンネルを経て、下流七色ダムに放流する。揚水時は、これと逆方向に流水する。

次にダムの概要を示す。

(i) 上流池原ダム

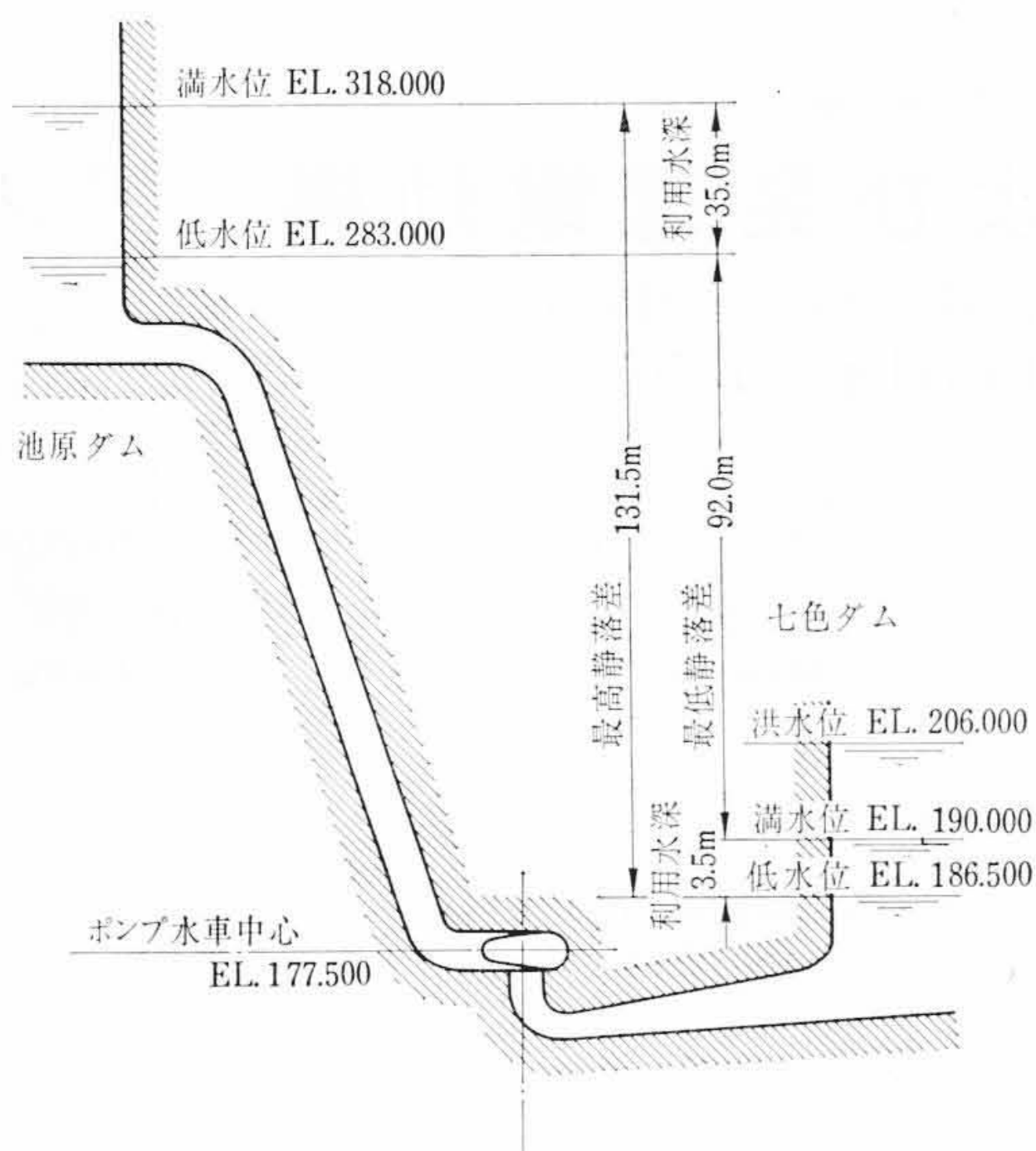
形 式	コンクリート造りドーム形アーチダム
満 水 位	EL. 318.00
最低水位	EL. 283.00
利用水深	35 m
有効貯水量	220,000,000 m ³

(ii) 下流七色ダム

形 式	コンクリート造りアーチ重力式
満 水 位	EL. 190.00
最低水位	EL. 186.50

* 日立製作所日立研究所 工博

** 日立製作所日立工場



第 2 図 上流ダム、下流ダム水位説明図

利用水深 3.5 m
有効貯水量 10,700,000 m³

また、水路概要は次のとおりである。

(i) 池原取水口

形式 鉛直形
寸法 高さ 52.0 m 幅 37.15 m

(ii) 水圧鉄管

形式 溶接鋼管埋込み
内径 4.5~3.6 m

管 長 145.548 m
条 数 各台 1 条
平均流速 使用流量 71 m³/s のとき 4.857 m/s
(iii) 放水路
形式 梯形開渠および標準馬蹄形トンネル
寸法 開渠底幅 18 m こう配 0
トンネル内径 11.5 m
長さ 開渠 1,378.899 m トンネル 300.5 m
条 数 全台で 1 条

2.2 発電設備

(i) 発電計画

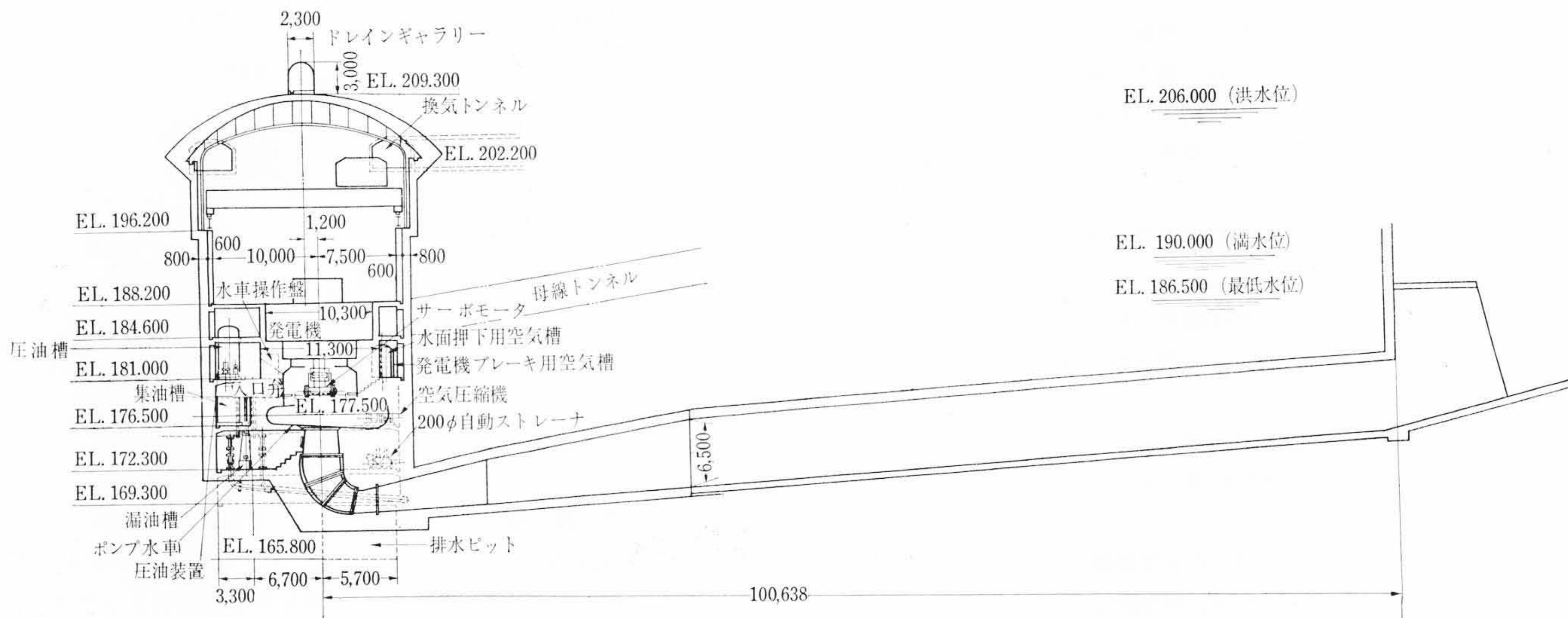
	I 期 分	II 期 分
最大出力	144,000 kW	206,000 kW
最大水量	142 m ³ /s	200 m ³ /s
発生電力量	I, II 期合計 { 自流分 276,000 MWh 揚水分 176,000 MWh	

(ii) ポンプ水車

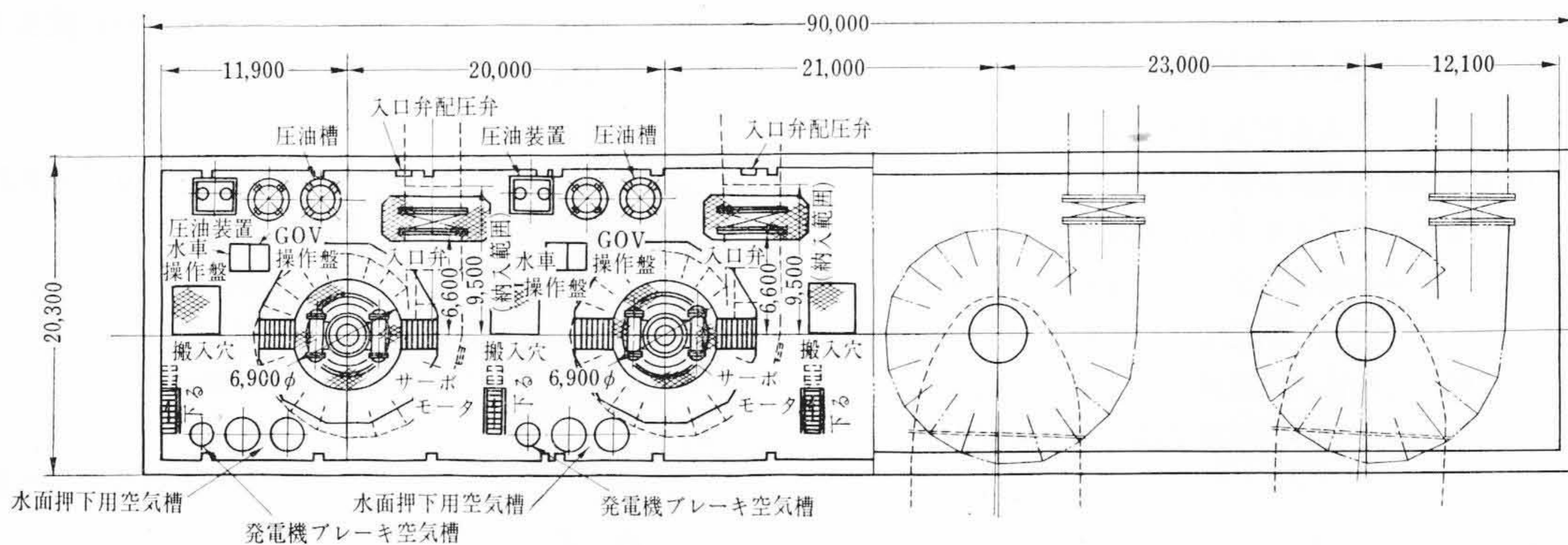
	形式	数量	単機最大出力	最高有効落差	回転数
	立軸単輪単流渦巻フランシス形ポンプ水車	2 台	80,000 kW	129.5 m	180 rpm
		2 台	110,000 kW	129.5 m	150 rpm

(iii) 発電電動機

	形式	数量
	立軸回転界磁閉鎖風道循環形三相交流同期発電電動機	2 台
		2 台



第 3 図 機器据付断面図



第 4 図 機器据付平面図

容 量	78,000 kVA/80,500 kW
	110,000 kVA/110,000 kW
電 圧	13,200 V/12,600 V 16,500 V/15,700 V
周 波 数	60 c/s 60 c/s
回 転 数	180 rpm 150 rpm

発電所建屋、機器配置は第3～4図に示すようなものである。

3. 80,000 kW ポンプ水車

3.1 ポンプ水車の設計について

本発電所の場合は、年間の荷重平均効率が最も高効率となるような設計を行なった。発電所の経済性を決定する式としては

$$Y = \frac{1}{1,000} \sum_h \left\{ \alpha \eta_T + \beta Q \left(\eta_T - \frac{1}{2\eta_P} \right) \right\} \quad : \text{荷重平均効率}$$

α, β : 各静落差によって定まる効率の係数

が与えられる。この式の係数 α, β は落差に対して第5図に示すような値をとる。上式および第5図からみてわかるように、池原発電所の場合、この荷重平均効率を高くするには、次のような条件を満足するポンプ水車であればよいこととなる。

1. 水車高落差側の効率が低いこと。
2. ポンプ中揚程部の効率が低いこと。
3. 揚水量は、ポンプ入力規定値以内で、できる限り多いこと。

これらを設計要項として種々の模型試験が行なわれ、高効率のポンプ水車が設計された。

3.2 ポンプ水車仕様

(i) 水車仕様

最高有効落差	129.5 m
最低有効落差	90.0 m
最大出力	80,000 kW
基準出力	73,000 kW
回 転 数	180 rpm
比 速 度	118.2 (m-kW)

(ii) ポンプ仕様

最高全揚程	132.0 m
最低全揚程	95.0 m
最大揚水量	75.3 m ³ /s
電動機容量	80,500 kW
回 転 数	180 rpm
比 速 度	41.9 (m-m ³ /s)

(iii) その他の仕様

回 転 方 向	発電電動機側よりみて
	水車運転時 時計方向
	ポンプ運転時 反時計方向
据 付 方 式	単床式
最大速度変動率	35%
最大水压値 (ケーシング中心において)	169 m 水柱
押 込 揚 程	停止時設備 Hs 9.0 m

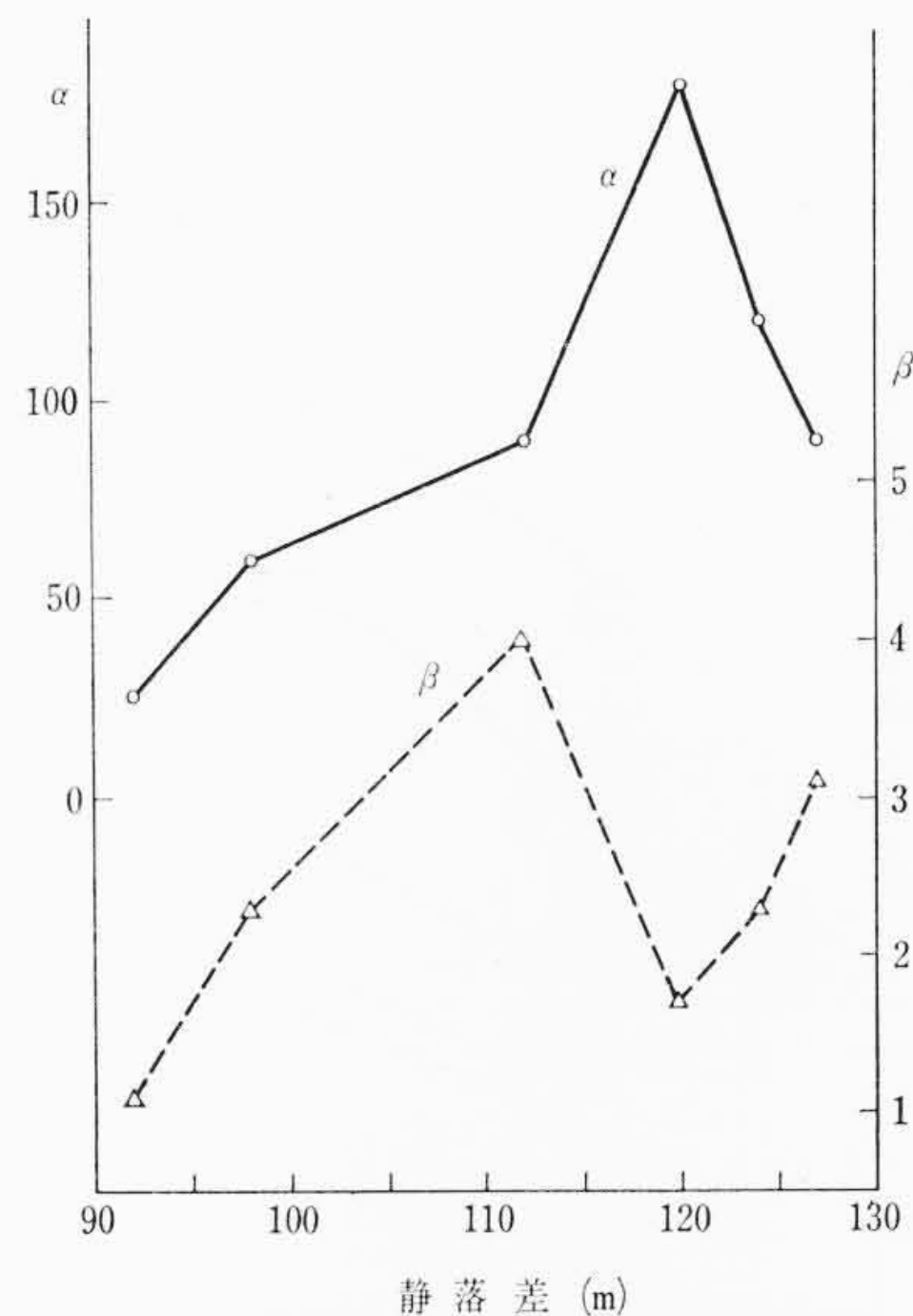
3.3 模型試験および運転特性

(i) 概 要

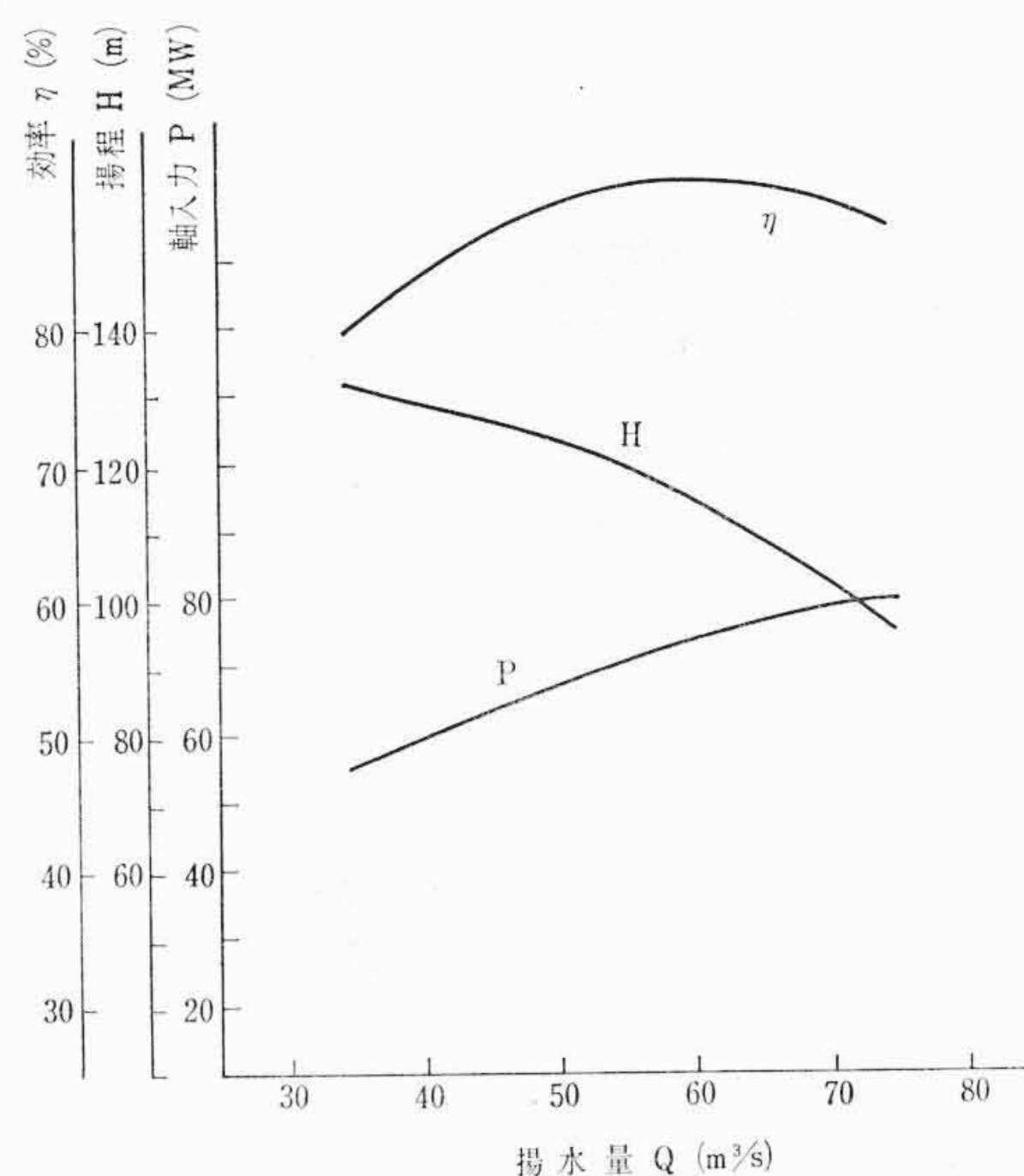
揚水発電所ポンプ水車については、すでに数多くの製作実績と、貴重な運転実績を有しており、これらはおのの発電所における運転特性に対して、模型による開発研究がなされたものである。池原発電所用ポンプ水車についても3.1項に述べた荷重平均効率が最も高くなるように、従来の研究結果をもとに、研究・検討されたものである。

(ii) 効 率 試 験

一般に、一速度ポンプ水車において共通の要求事項として望ま



第5図 荷重平均効率の係数 α, β



第6図 実物のポンプ予想特性

れることは、ポンプおよび水車の最高効率が、できる限り近い落差および揚程で得られることである。池原発電所の場合、第5図からもわかるように、ポンプ特性の重点は112 m、単位落差当たりの回転数で17 rpm、水車特性の重点は落差120 m付近、16.4 rpmとなる。

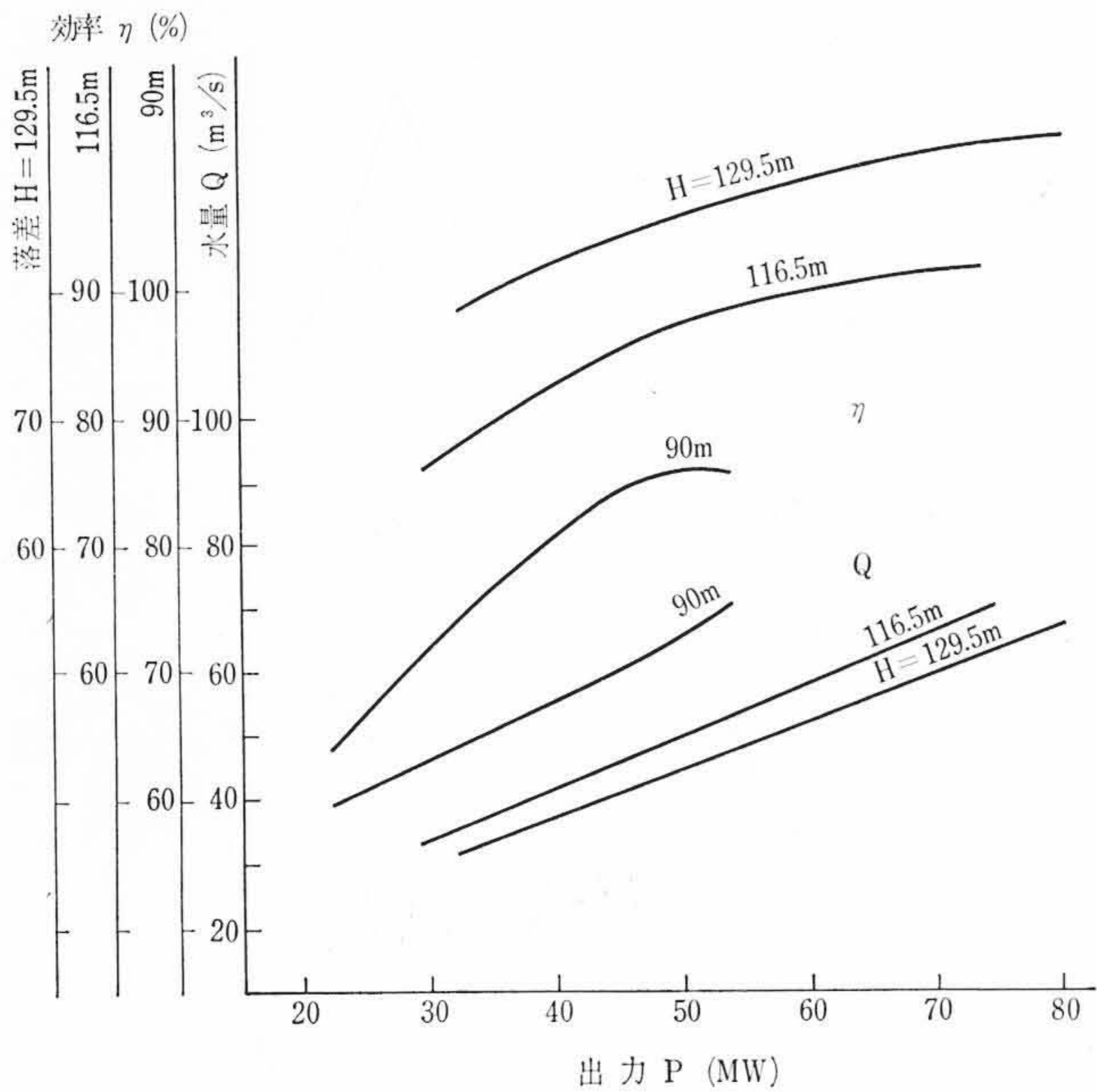
したがって、ポンプ・水車両特性をできる限りこの値に近づけかつ、荷重平均効率を良くすることに重点がおかれ、高揚程時の揚水量を増加させるよう、改良を加えた。予備模型試験をも含めて、合計4種の模型ポンプ水車について、ランナ、ガイドペーンなどの研究を行ない、初期の予想を上回る好結果を得た。

第6図は実物のポンプ予想特性を、第7図は実物の水車予想特性を示す。

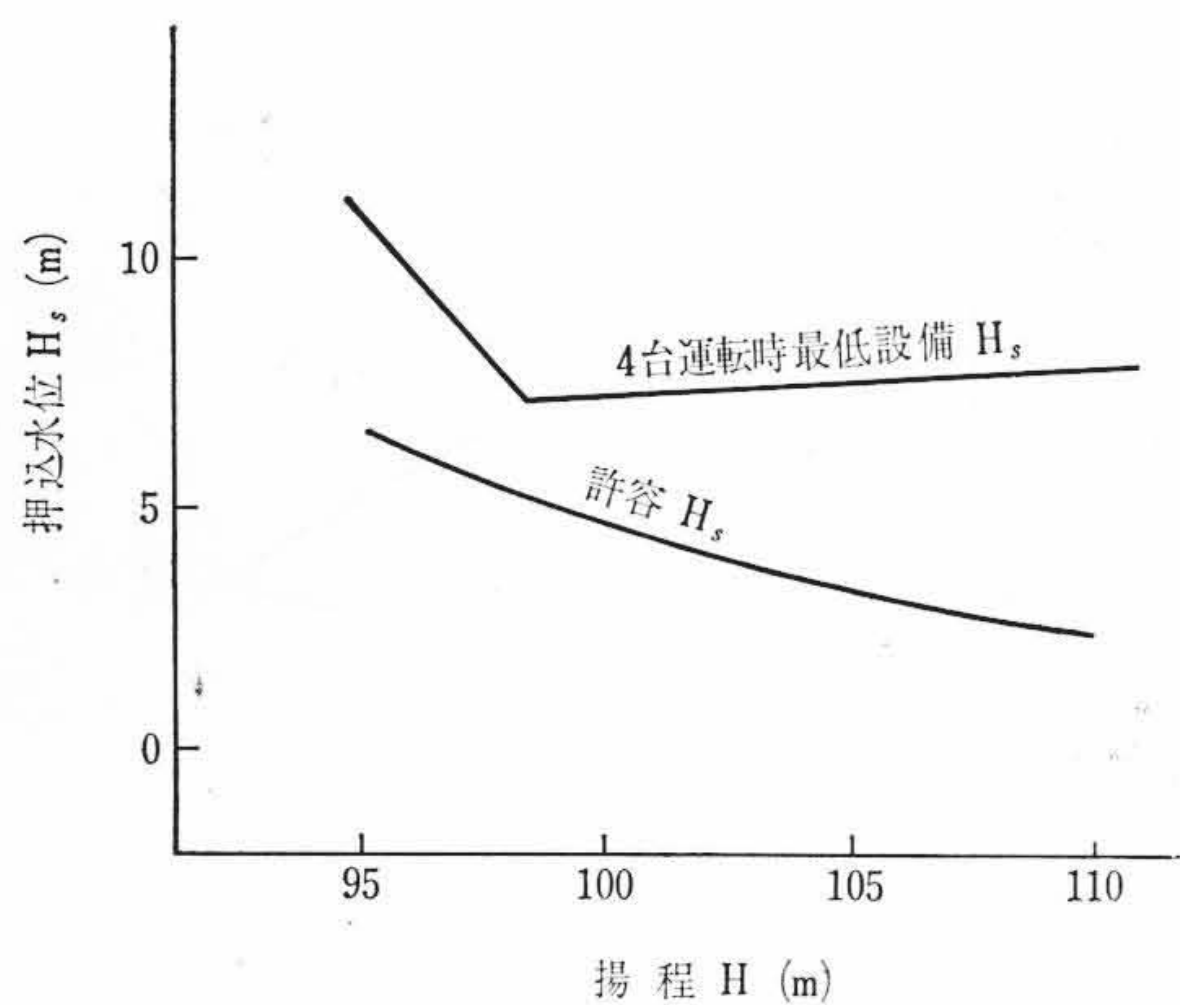
(iii) ポンプキャビテーション試験

ポンプ水車のキャビテーション特性は、一般に、水車運転時よりもポンプ運転時のほうが過酷となる。ポンプ運転では、揚程の低下とともに揚水量が増大し、キャビテーションに対する条件がきびしくなる。

本模型試験においても、ポンプ運転時低揚程側のキャビテーション特性の研究に重点をおき、低揚程時の揚水量、最大軸入力、



第 7 図 実物の水車予想特性



第 8 図 実物のポンプキャビテーション予想特性

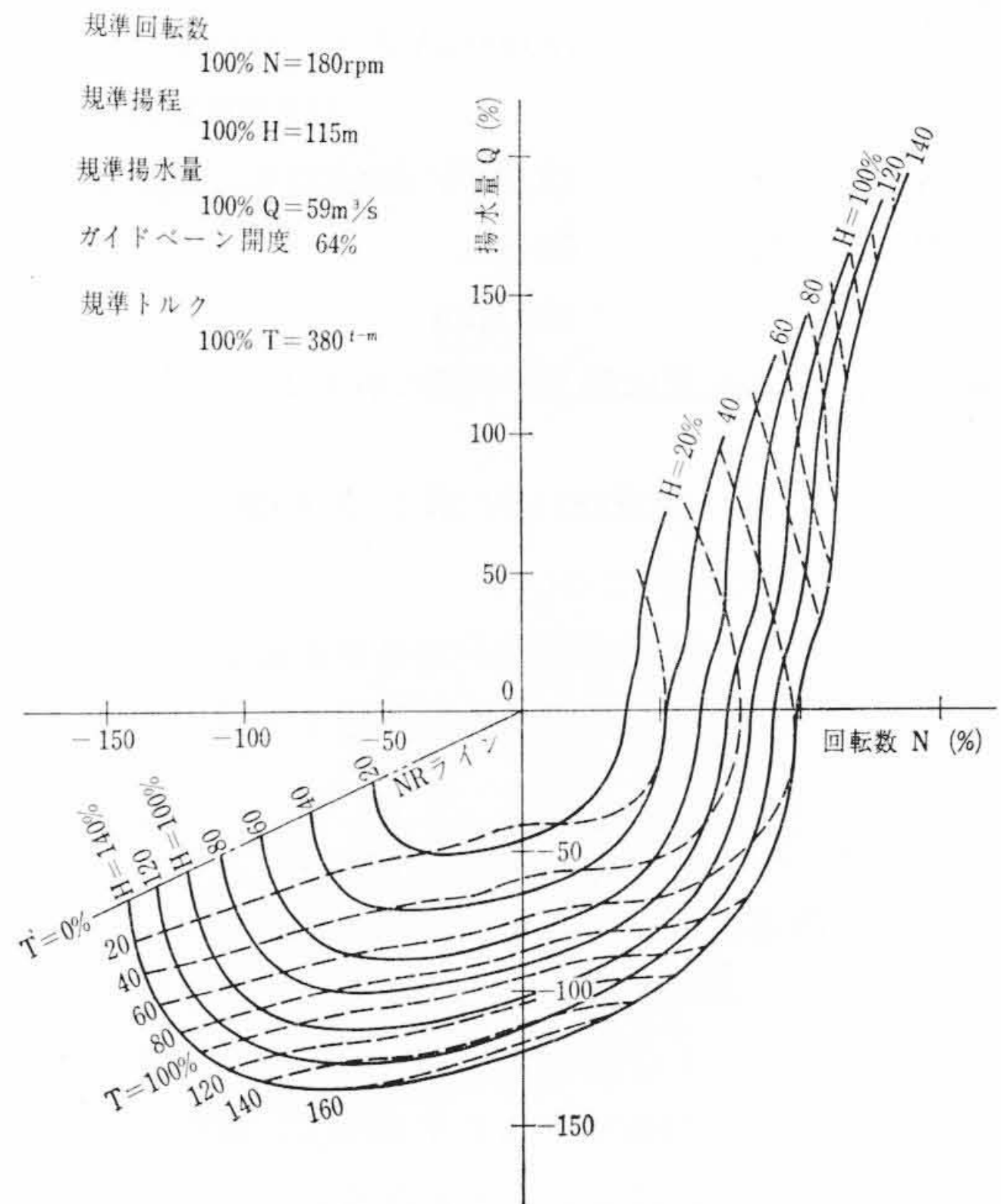
およびポンプ効率に対して悪い影響を与えないような改良研究を行なった。

ポンプ運転中、キャビテーションが発生し成長してくると、効率および揚程が急激におちる。模型試験では、模型ポンプ水車に加わる押込水位 H_s を変化させて、この値を見出した。この運転状態をもって、キャビテーション条件の限界と考え、この点におけるトーマのキャビテーション係数 σ と同じ値の σ を持つ実物の運転条件が、設備の H_s の安全圏内にあるよう、同時にまた満足すべき効率が得られるようランナ形状を決定した。

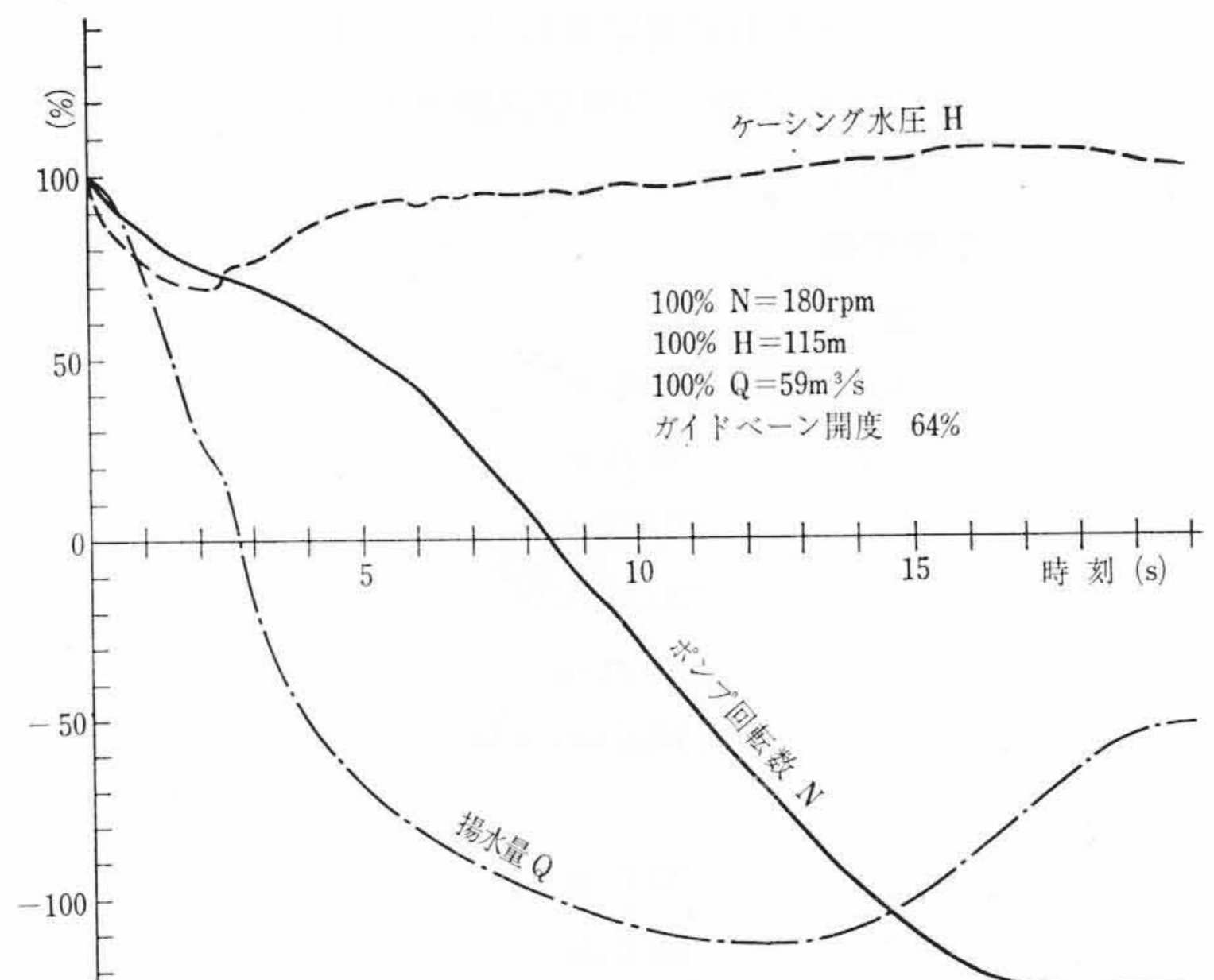
第 8 図は、実物のポンプキャビテーション特性の予想曲線を示したものである。

(iv) 完全特性試験

ポンプ水車がポンプ運転を行なっている際に、電動機電源が遮断された場合、安全な圧力上昇の範囲内で逆流流量をできるだけ少なく押えるガイドベーン閉鎖方法を決定するためにも、またガイドベーン油圧機構の故障などによってガイドベーンが閉鎖しないで、ポンプ水車が、ポンプ運転から水車無拘束速度 N_R に至る場合の逆流現象および発生する負圧の現象を検討するためにも、完全特性が必要である。完全特性は、ポンプ運転中の入力遮断されて、正転(ポンプ方向の回転)、正流(揚水方向の流れ)から→正転逆流→逆転逆流(すなわち水車特性)の経過をたどり、 N_R に至るまでの特性曲線を表わす。



第 9 図 完全特性曲線の一例



第 10 図 ポンプトリップ予想特性の一例

第 9 図に、揚程 115 m、ガイドベーン開度 64% における完全特性予想曲線を示し、そのときのポンプトリップ予想特性を第 10 図に示す。

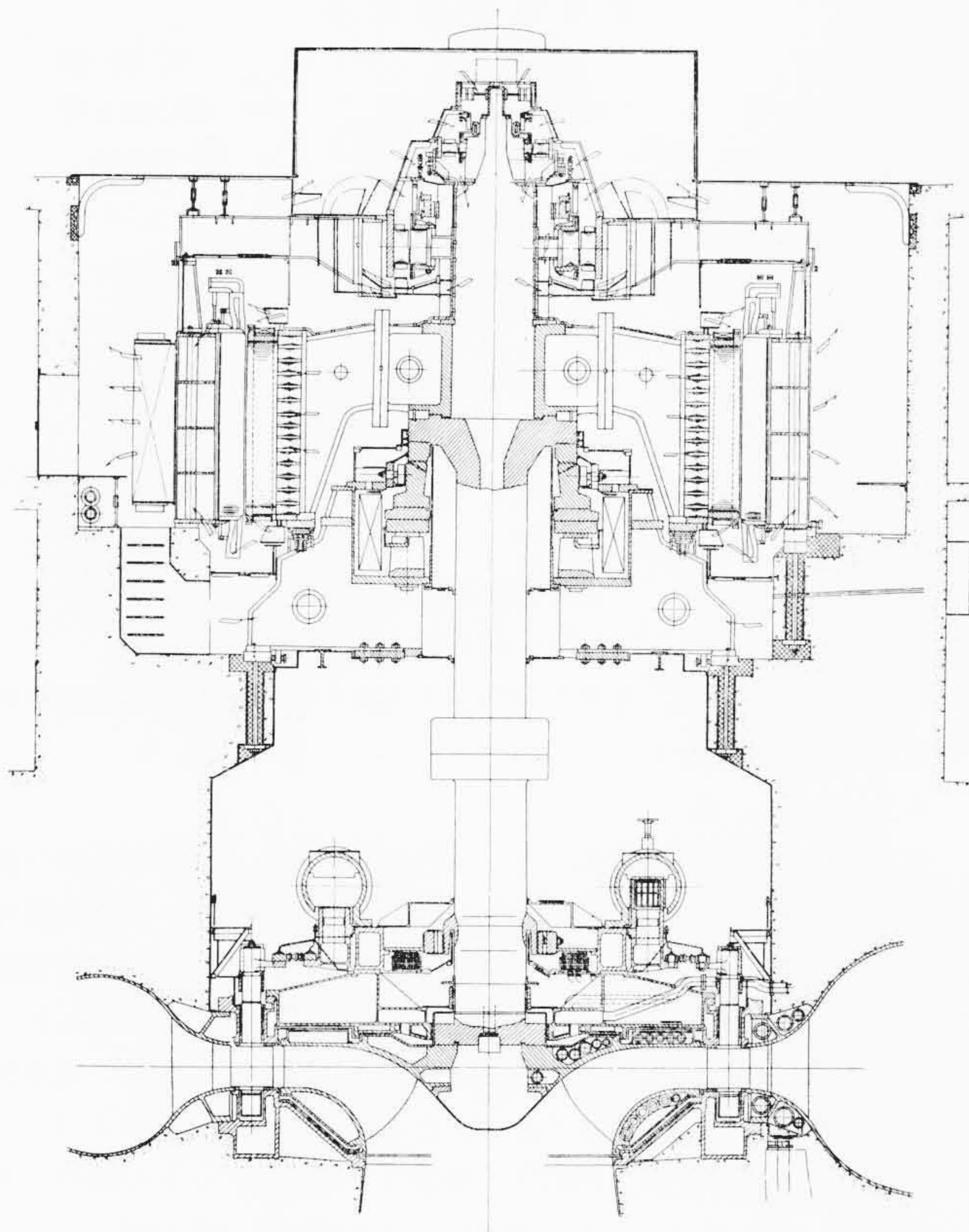
(v) 特殊試験

効率、キャビテーション、完全特性に対する試験のほか、実物ポンプ水車の製作に当り、種々の模型試験を行なったが、代表的なものは、ポンプ起動試験およびガイドベーン開閉力試験である。ポンプ起動試験は主として、水面押下後、ポンプ起動に至るまでの水面の状況を観察し、過渡状態を調べたものである。また、ガイドベーン開閉力試験の結果からは、実物のガイドベーンに作用する水圧不平衡力を予想し、ガイドベーンサーボモータの適正容量を求めた。

3.4 ポンプ水車の構造

ポンプ水車の設計・製作に当っては、大森川、三尾および、大容量として畑薙第一発電所用のポンプ水車の実績を検討し、さらに新しい改良を加えた。おもな特長は緒言に述べたとおりであるが、ポンプ水車特有の装置としては、水面押下装置が設けられている。

第 11 図は、発電電動機およびポンプ水車の組立図を、第 12 図は工場組立完成のポンプ水車を示したものである。以下各部の構造に



第11図 発電電動機およびポンプ水車組立断面図

ついて述べる。

(i) ランナ

ランナは普通鋳鋼製で、特に壊食されやすい部分には 18-8 ステンレス鋼の肉盛を施している。

最大外径は約 5,100 mm に達するため、輸送制限から、ランナを二つに割って製作し、現地でボルト接続して一体にする方式を採用している。ランナライナは現地で焼ばめするとともに、合せ目フランジの水中におけるかき回し損失を少なくするため、ランナの上および下面をカバーでおおっている。第13図は、工場で仮組立てされて一体となったランナを示したものである。

(ii) ケーシング (第14図)

ケーシングは入口径 3,600 mm で現地溶接構造である。スピードリングとケーシングも、現地で溶接接続される。

なお本ケーシングは現地溶接完了後 25.4 kg/cm^2 の水圧試験を行ない、水もれその他異常なきことが確認されている。

(iii) 主 軸

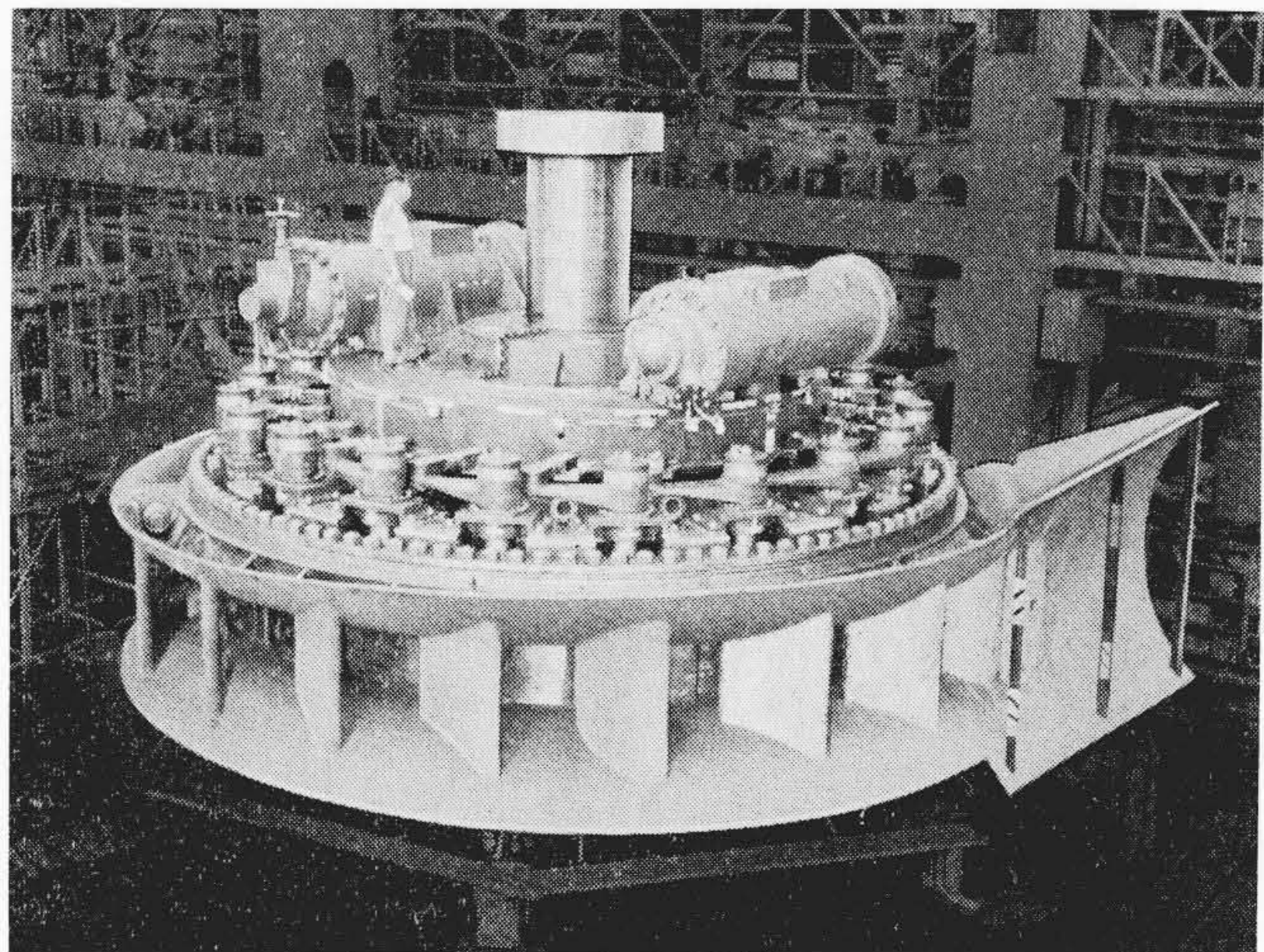
軸端径 950 mm、ポンプ水車部分軸長 3,520 mm の主軸は、鍛鋼製で重量約 20 t に達している。ランナとの接続は、キーおよびネジボルトを用いる方式である。

(iv) ガイドベーン

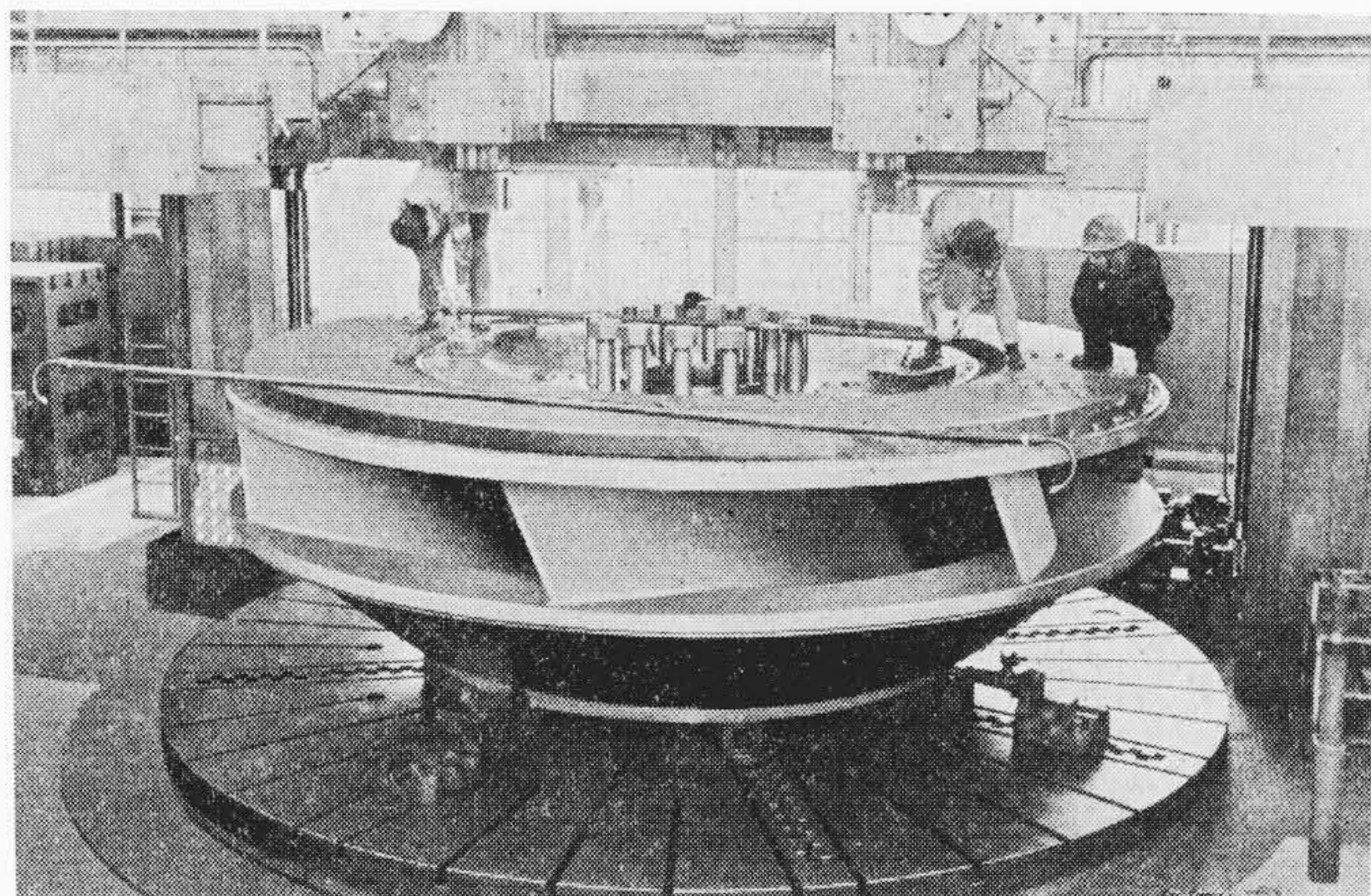
枚数は 20 枚で、鋳鋼製、上下ギャップ部分および隣のガイドベーンとの密着部は 18-8 ステンレス鋼の肉盛を行なって、摩耗による漏水量の増大を防止している。

(v) 主 軸 受

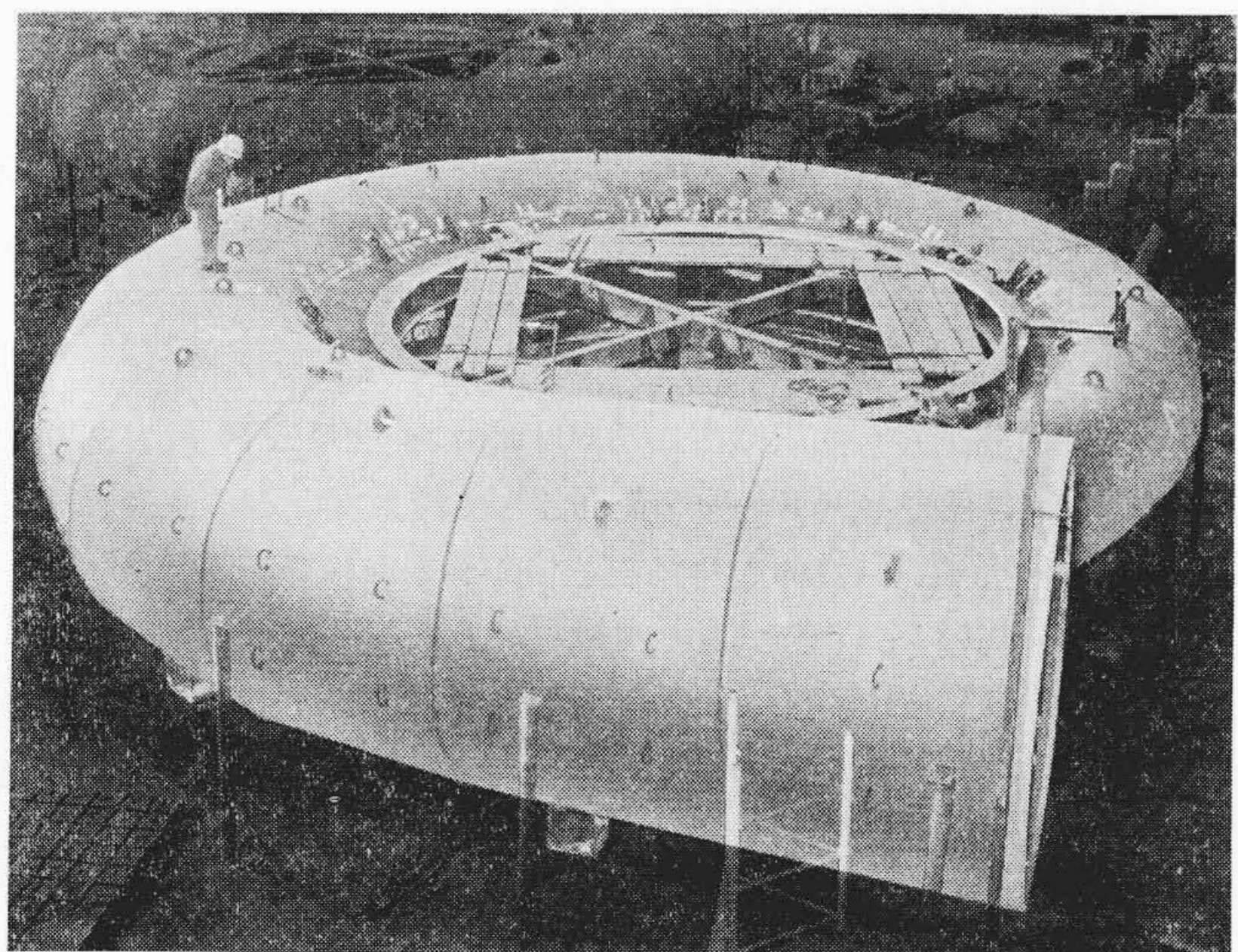
ポンプ水車の主軸受は、正逆両回転方向に対して、安全な運転が必要であるため、軸受パッド内曲面を特殊な曲率にした日立中心支持形セグメント軸受を採用した。潤滑油を冷却するクーラ管が自蔵式オイルタンクの中に納められている。また軸受の保護装置として、温度継電器を備えている点などは、通常の水車と同様



第12図 ポンプ水車工場組立状況



第13図 工場仮組立中の二分割ポンプ水車ランナ



第14図 ケーシング工場仮組立状況

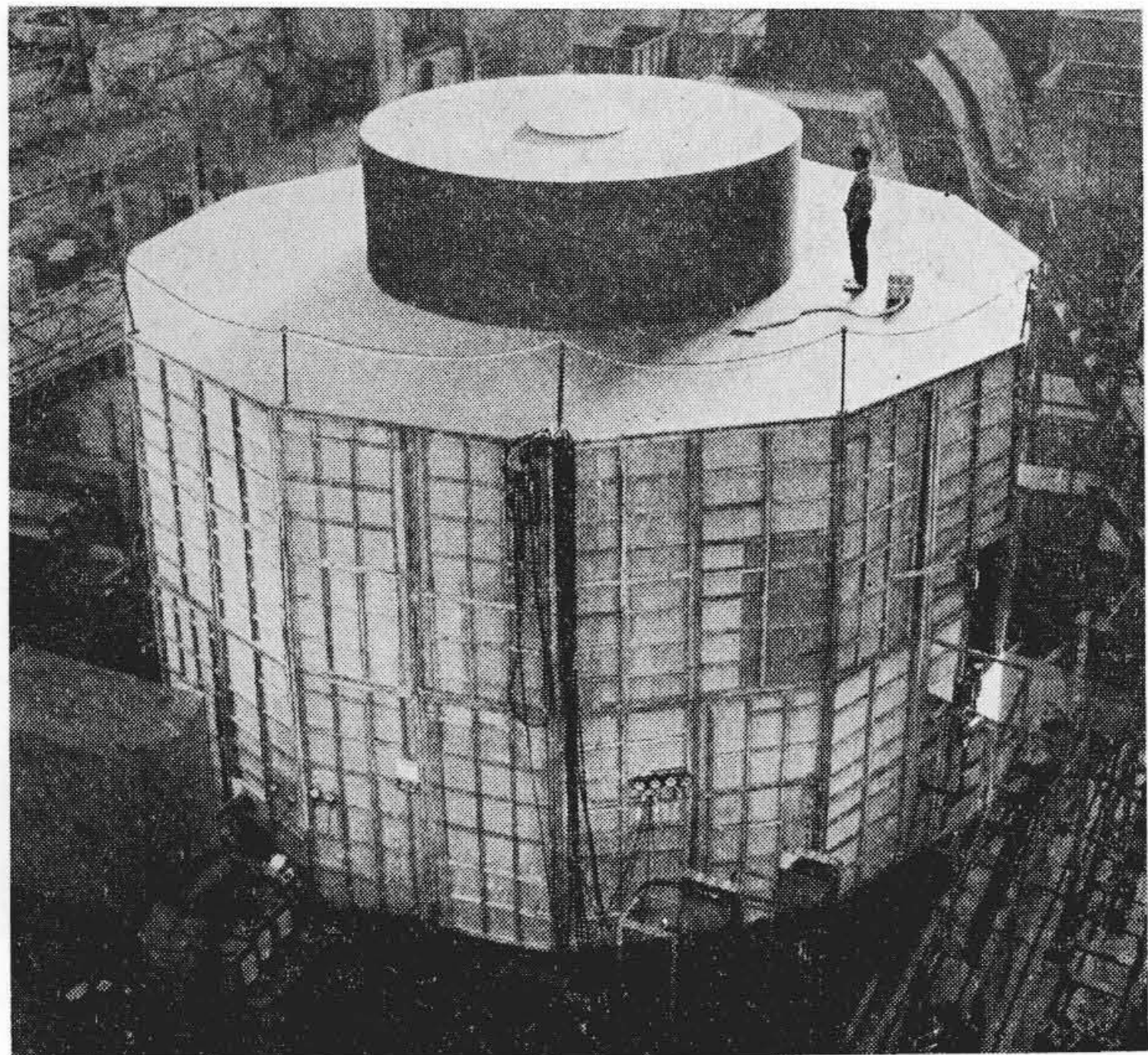
である。

(vi) サーボモータ

サーボモータは、模型試験によってガイドベーンの開閉トルクを実測し、必要にして十分な容量であることが確認された。据付を容易にするために、サーボモータはカバーの上に載せてある。

(vii) 吸 出 入 管

吸出入管は $3,050 \phi$ のエルボー形でセンターピアを有し、地下式発電所のため、水平長さは約 100 m に及んでいる。



第 15 図 発 電 電 動 機 外 観

3.5 調 整 装 置

池原発電所はせん頭負荷発電所として 1 日 1 回以上の発電および揚水運転を行なうため、運転制御装置はこのような条件に適合するよう計画されている。運転制御方式は一人制御方式とし主機の起動、運転停止および水車運転、ポンプ運転の切替操作などすべての操作が配電盤室から行なわれるようになっている。

(i) 調 速 機

日立 E 形電気式調速機が採用された。水車運転時には通常の調速機として動作するが、さらに結合運転装置、折線調定率装置などの特殊装置が付加されている。

ポンプ運転時には、ポンプ起動後、水位差検出装置の動作により、ポンプ揚程に応じて最適の案内羽根開度まで案内羽根を開き、高能率なポンプ運転が自動的に行なえるように考慮されている。またポンプ運転中における発電電動機の電源喪失事故の際には水圧鉄管内に異常水圧上昇を発生させないようにポンプ水車の水力的な特性に応じて案内羽根を徐々に閉鎖させる必要があるが、このため本調速機にはポンプ運転時には自動的に案内羽根閉鎖時間を延長せしめる揚水時案内羽根閉鎖時間調整弁が設けられている。

(ii) 主 弁

主弁は開閉とも油圧操作の 3,600 mm 口径の蝶形弁であり、350 mm 口径のニードル弁を側弁として備えている。主弁は弁胴を鋼板溶接構造、弁体を鋳鋼製として製作されている。

弁体外周のシール方式としては機械的に強固なソリッドゴムリング式を採用している。この主弁は立軸形であるため、弁体の自重を支持するための推力軸受を必要とするが、推力軸受として砲金製ブッシュを使用した平軸受を使用している。

4. 発 電 電 動 機

四国電力株式会社大森川発電所納 14,000 kVA/15,000 kW 発電電動機完成以来、5 年間に 8 台の発電電動機の完成をみた。このうちすでに 4 台が営業運転にはいっており、良好な運転を続けている。池原発電所納 78,000 kVA/80,500 kW 発電電動機は既納機の特長を全面的に採り入れたもので、わが国最大容量機であるために、起動方法、制動巻線、振動などに細心の注意を払って設計・製作されている。

4.1 仕 様

本機の仕様を次に示す。

発 電 電 動 機 仕 様

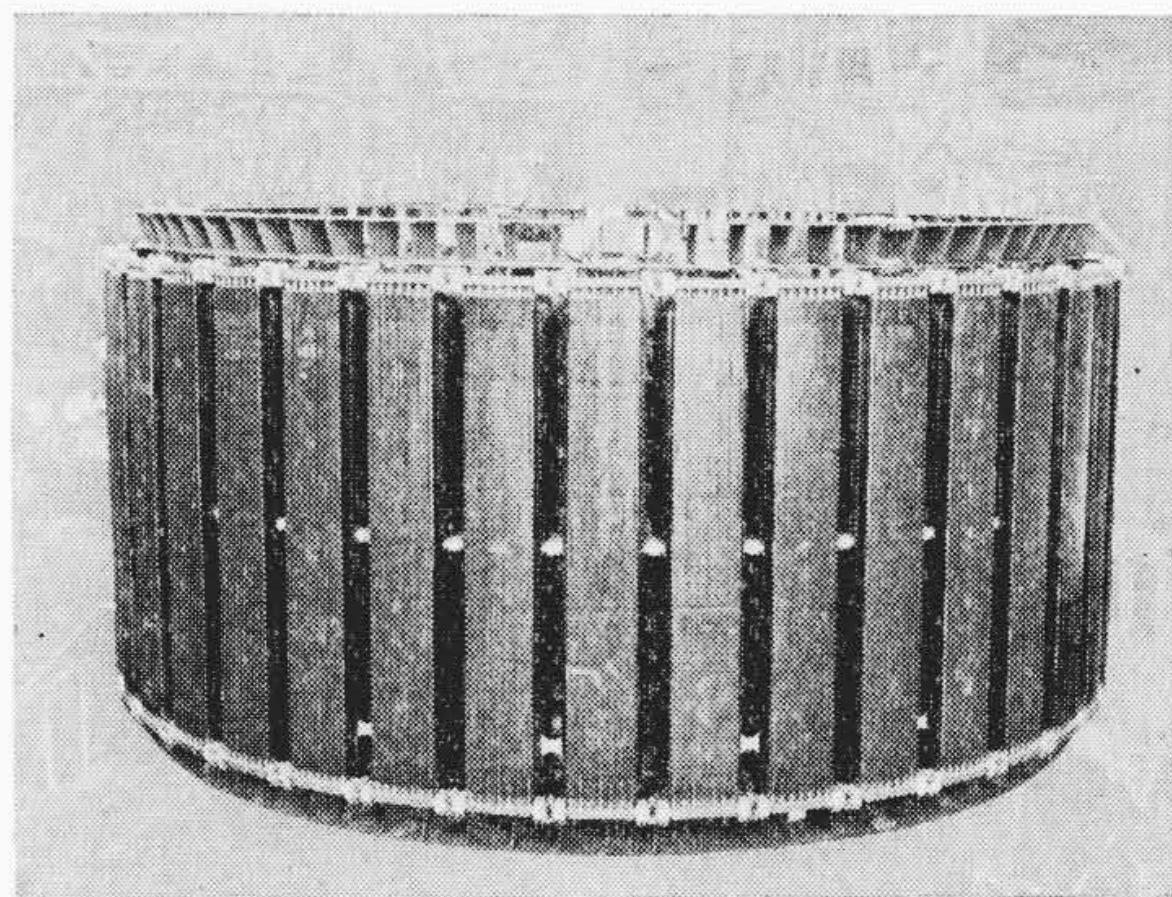
	発 電 機	電 動 機
出 力	78,000 kVA	80,500 kW
電 圧	13,200 V	12,600 V
電 流	3,412 A	3,780 A
周 波 数	60 c/s	60 c/s
力 率	90%	100%
回 転 速 度	180 rpm	180 rpm
蓄勢輪効果	5,000 kg-M^2	
起 動 方 式	半電圧起動	
同 期 引 入	半電圧同期引入	
形 式	立軸閉鎖風道循環形、空気冷却器付、 凸極回転界磁式、制動巻線付	

本機は半電圧起動、半電圧同期引入方式を採用した自己起動形発電電動機の代表的なものである。

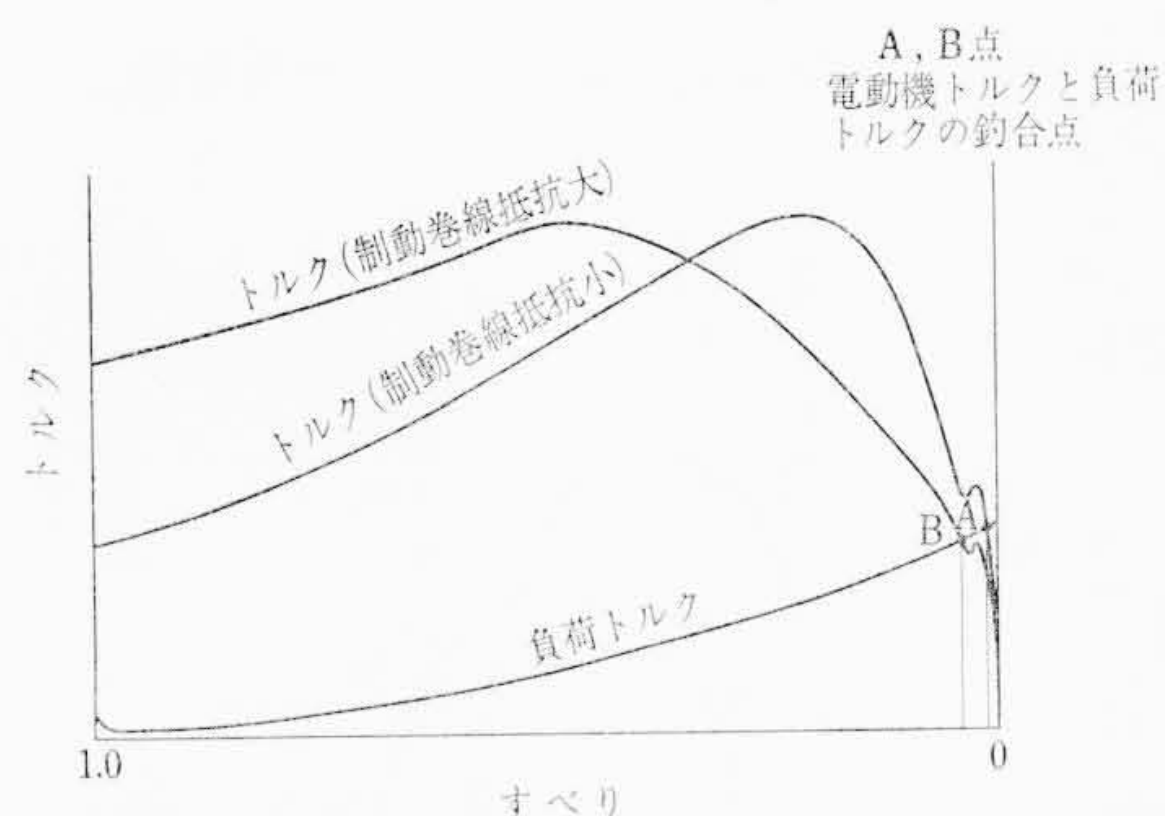
4.2 構 造

本機は、発電電動機であるという特殊条件と、ポンプ水車側の要求 GD^2 が発電電動機の標準より小さいことを考慮し、制動巻線の吸収エネルギーの低減と、起動時間の短縮をはかるために、発電電動機の外径をできるだけ小さくし、蓄勢輪効果の低下がはかられている。本機はかさ形構造であるため本来ならば、かさ形機の安定性を増すために、外径を大きくすべきところ逆に外径を標準よりさげたために、軸受の配置、回転子の構造、下部ブラケットの剛性などに意を用いる必要があった。第 11 図は本機の組立断面図を示す。第 11 図より明らかなように、機器全体の高さをつめ、かつ励磁機の点検を容易にするため、上部ブラケットの中央部に励磁機を配し、励磁機風道の径を大きくした。また励磁機を密閉形とし、発電電動機の冷却空気を循環させ、その通風路にあたる上部ブラケット部にフィルタを設けた。フィルタは、励磁機風道内より容易にとりだせる構造になっている。このようにして本機は極力コンパクトにまとめることを主眼に、また保守点検のためのスペースを十分にとり、取扱が便なるよう、細心の注意が払われた。第 15 図は本機の工場試験時の組立外観を示す。固定子は四分分割で、鋼板溶接構造である。固定子巻線は、1 ターンコイルで、マイカ、ガラスを主体とし SLS ワニスを真空注入して製作された。SLS 絶縁のヒートサイクルに対する耐劣化性能、熱膨張収縮に対する強じんさについてはすでに実証済みである。起動時コイル相互間に働く電磁力は、常規運転時の約 4 倍に達するため、固定子鉄心外のコイルの支持方法としては、コイルの固定子鉄心出口部の変形量を小さくするよう、コイル相互間をガラス糸で固く結びつけると同時に、コイルを絶縁されたリングにスペーサを介して固定する方式がとられている。

界磁巻線は B 種絶縁で、その冷却効果を増すために、数ターンおきに全周出張りを設け、さらに継鉄には、通風孔を 12 個設け、2,200 mm の長さのコイルが、一様に冷却されるよう考慮されている。磁極鉄板は 1.6 mm の薄鋼板を積層して形成し、頭部には、制動巻線埋込用スロットが打ち抜かれている。磁極は継鉄にテーパコッターにて固定されている。継鉄は、3.2 mm の高張力鋼板を扇形に打ち抜いて積層され、リーマボルトにて、締付け 1 体としたもので、御母衣発電所納 125,000 kVA と同様、補強鳩尾溝付として、積み方に工夫を加え、継鉄の強度を増加させる構造となっている。継鉄と輻鉄間の構造は、起動停止がひん繁であること、可逆機であることを念頭に、従来のキー方式を改善したテーパキー方式とし、トルク伝達機構に万全を期した。輻鉄は、輸送制限上ボスと 8 本のアームに分割され、互いにボルト締め構造で、アームは良質鋼板の溶接構造、ボスは、一体鋳鋼製である。輻鉄と主軸の結合は、重要なトルク伝達部であるため、ロックピン方式とボルト締付方式が併用された。



第16図 回転子

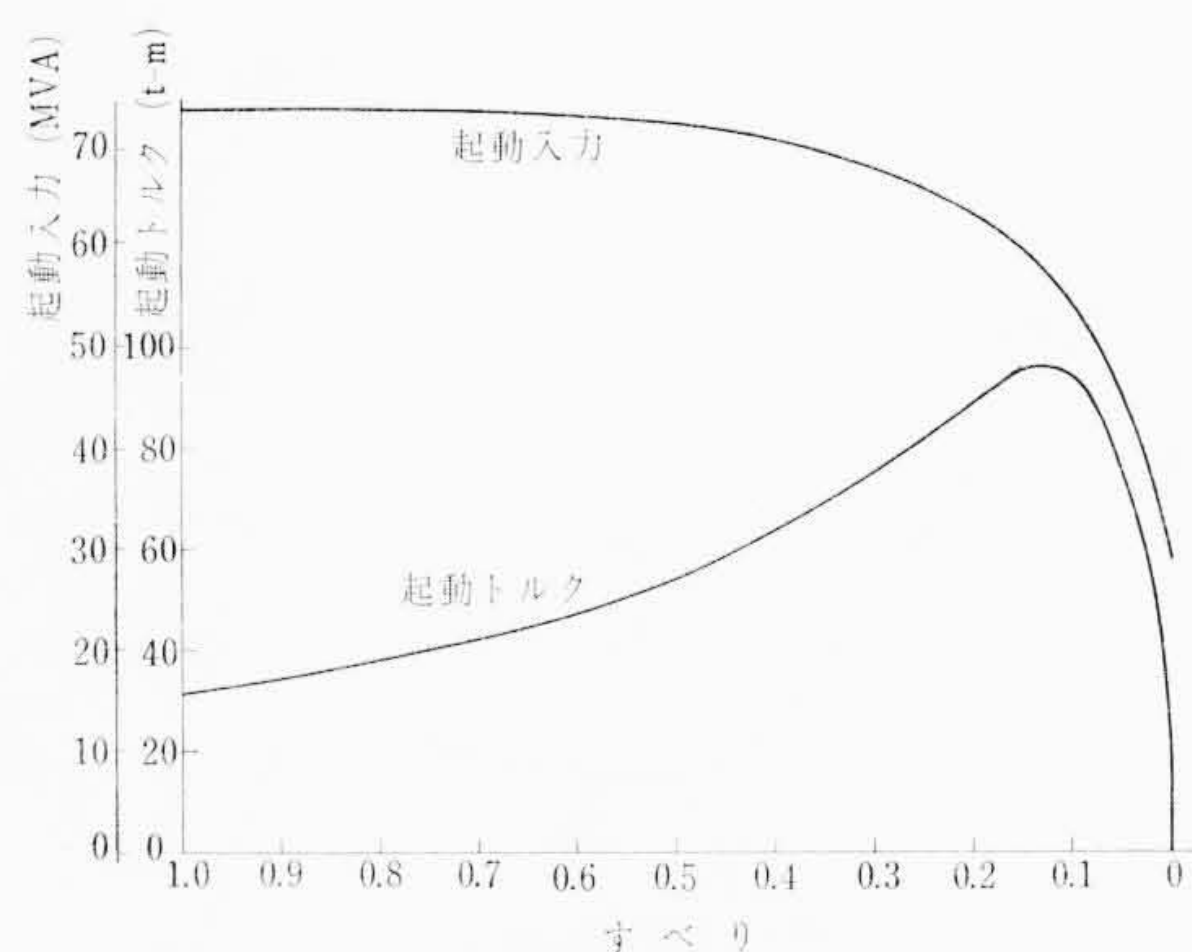


第17図 起動トルク説明図

主軸とシャフトカラーは、輸送の関係で、分割されたが、シャフトカラーと主軸の接触面の仕上を入念に行ない、他方ピンにて相互の動きを防止し、あたかも主軸とカラーが一体なるよう強固に結合されている。第16図は組立中の回転子である。

制動巻線は磁極頭部に埋込まれ、自己起動形発電電動機の最も重要な部分の一つとなっている。制動巻線で吸収すべきエネルギーは、回転部の蓄勢輪効果に比例し、回転数の2乗に比例する。さらに発電電動機自身の機械損失とポンプ水車の回転損失にも関係し、これらの損失による分は、起動時間が長ければ長いほど大きくなる。これらのことを考え合わせると、回転部の蓄勢輪効果が小さく、発電電動機の機械損失、ポンプ水車の回転損失がいずれも小さく、かつ起動時間が短いことが望ましい。蓄勢輪効果の低減は回転子径を標準径よりつめることにより達成した。ポンプ水車の回転損失低減には、起動中、圧縮空気により水面押下げを行なって、定格回転速度時約 3,000 kW になるよう考慮した。これは充水時の損失の約 10% である。起動時間短縮のためには、発電電動機の発生トルクを増加させることが必要である。制動巻線にて吸収されるべきエネルギーがきまると、制動巻線の温度上昇限度より、その熱容量が決定される。制動巻線の材質として考えられる銅、真ちゅう、その他の銅合金では比重、比熱はほぼ同一であるため、熱容量を増すためには、制動巻線の本数増加、断面積の増加が要求される。これはまた制動巻線の低抵抗化、すなわち発生トルクの減少を意味する。これを解決するには、高抵抗材料を開発する以外に方法はなく、この方針にしたがって固有抵抗 $10 \sim 20 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ のものを開発した。本材料は、高温時の機械的特性、熱伝導率とも良好で、今後の発電電動機の製作可能範囲を大幅に高めるのに役だつと確信する。磁極頭部に埋め込まれた各バーの両端を各磁極ごとに分割された低抵抗特殊銅合金製短絡片にろう付し、磁極間は、薄銅板積層したたわみ継手により接続し、完全制動巻線を形成する構造とした。

推力軸受は幾多の実験の結果と従来の可逆機の経験から、中心支持方式でも十分負荷容量のあることを確認した。本機のように約 800 t の荷重でも十分耐えうるものが製作できた。推力軸受には、



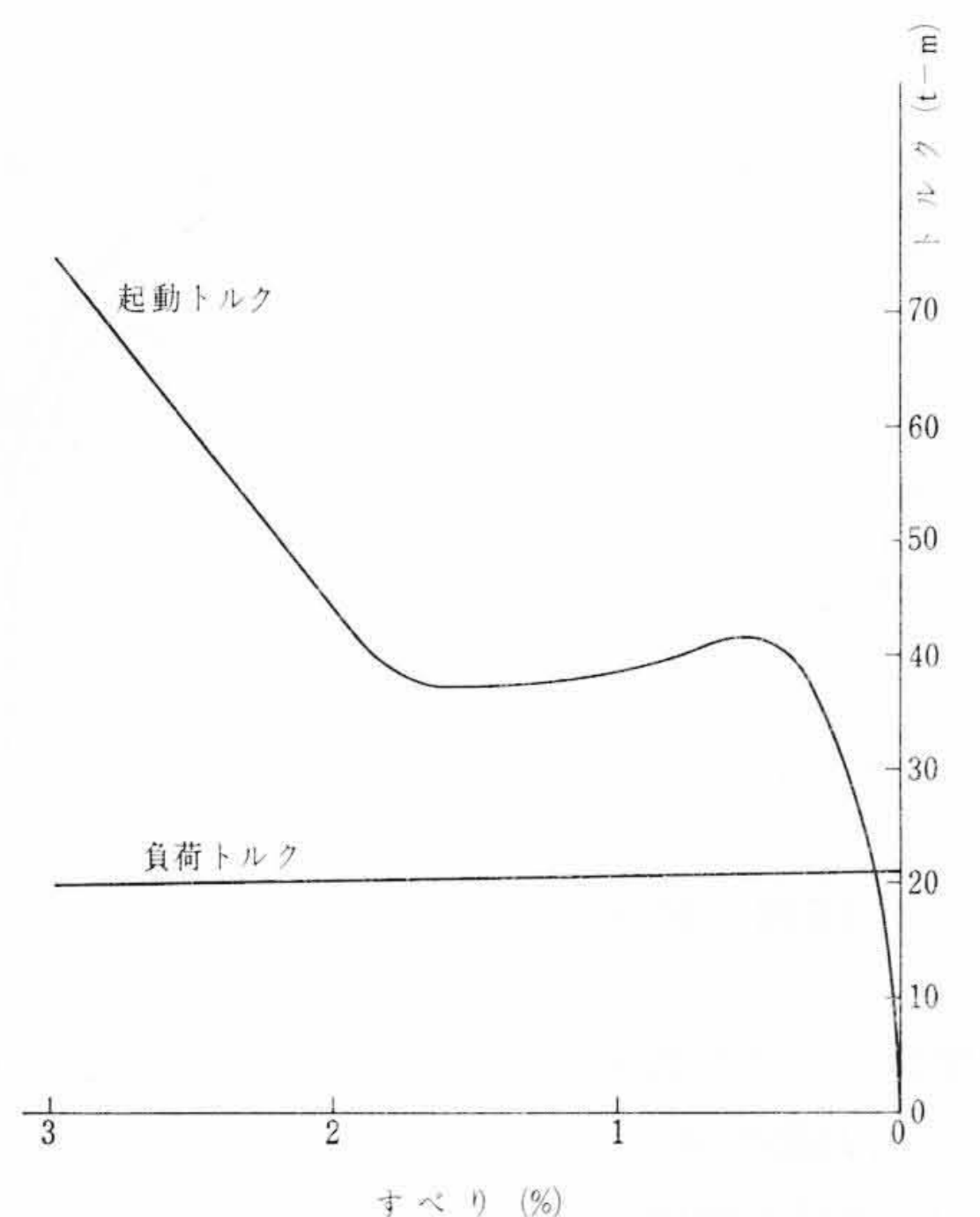
第18図 起動特性曲線(半電圧)

起動瞬時の摩擦トルクを低減するために、高圧油を送入する小さい穴が設けてあり、起動に先立ち、ベアリングランナとメタルのしゅう動面に強制的に油膜を形成させる方式をとっていることは、従来の発電電動機と変わるところがない。推力軸受の冷却管には、継目なし銅管を用い、油の流れにそってガイドになるフィンをろう付けし、冷却効果の増加をはかった。下部ブラケットは、二分割構造で、合せ目をアームのところにもって来て、各アームの剛性が等しくなるよう考慮を払った。またボルトにて一体に締付けられた下部ブラケットの、下リング部に一体リングを焼ばめしてあるため、剛性がきわめて大きく、機械の振動が小さく、荷重によるたわみも小さい、安定した構造となっている。揚水発電所は、普通の発電所に比べ、停止操作回数が多いので、ブレイキシュアの摩耗粉が、機内に散乱し、機器を汚損する可能性があるため、集じん装置を取付け、これをクーラとクーラの間に設置されたブロワにより、ブレイキシュアの摩耗粉を、空気とともに吸い集め、フィルタでろ過する方法を採用している。

4.3 起動特性

本機の起動方式は、半電圧起動、半電圧同期引入方式である。発電電動機に要求される起動特性は、起動入力小さく、起動トルクが大きく、起動時間が短いということのほか、電圧切換（半電圧より全電圧に）時の突入電流が小さなことが望まれる。電圧切換時の突入電流を小さくするためには、半電圧で同期引入を行ない、しかるのち全電圧に切換える方法が最も良い方法である。しかし、起動瞬時のトルクを大きくすると、第17図のように同期引入トルクが小さくなるため、起動瞬時のトルクも大きく、同期引入トルクも大きくするには、機械の寸法を大きくするすなわち逆相インピーダンスを小さくするか、または界磁回路の放電抵抗を適当に選定し、速度 98% 付近のトルクを増加させ、最終到達すべりをできるだけ小さくする必要がある。界磁回路の放電抵抗値をいくかにすれば、機械を大きくしなくとも、半電圧同期引入可能な範囲のすべりまで加速できるかを検討した結果、 1.2Ω の放電抵抗であれば十分この条件を満足するとの結論を得た。このようにして起動トルクも大きく、起動時間が短く、かつ、半電圧同期引入可能なるよう設計した。一方、ポンプ水車の空転損失は、ガイドベーン、サイドギャップからの漏水の大きさにより、比較的大幅に変化する性質をもっているため、半電圧同期が、不可になったときにも全電圧同期が可能のように、制御方式のうえで考慮されている。工場試験時のトルク—すべり特性と入力—すべり特性を第18図に示す。特にすべりの小さい部分のトルク—すべり特性をくわしく求めたのが第19図である。これらより明らかなように、本機ではすべり約 0.1% 程度まで加速できるため、負荷のトルクが予想値と大幅な差がない限り半電圧同期引入が容易に行なわれることが確認された。

半電圧で、すべりを予想される 0.1% よりも大きい 0.5% で、か



第 19 図 同期速度付近のトルク特性 (半電圧)

つ位相差 180 度 (ちょうど逆位相に相当する) という最悪の条件で、励磁を 1.0 p. u. (定格回転数、無負荷で、定格電圧発生するに要する界磁電流の値を 1.0 p. u. とする) 印加して、同期引入時の位相角特性を精密計算した結果第 20 図に示すように、360 度を中心にすべりがだんだん小さくなり、最後は 360 度の位置に収れんするものと考えられる。初期位相角を 0 度にしたときは、第 21 図に示すように、0 度を中心に動揺し、ついには、0 度に収れんすることを示す。これらの関係と現地試験結果との対比はまた別の機会に行なう予定である。

起動特性は全体に、初期の予想に近く、実際の運転においても十分その性能を発揮できるものと確信する。

5. 第Ⅱ期計画について

2 節で述べたように、池原発所には 80,000 kW 機器 2 台に引続き、110,000 kW 機器 2 台がⅡ期分としてⅠ期分に隣接して設けられる。落差変動はⅠ期と同じく 129.5 m から 90 m に及び、年間荷重平均効率 η の値は、3.1 節に示したⅠ期分の式と同一の式で表わされ、係数 α , β はⅡ期分として、別の値をとる。

発電計画の概要は 2.2 節にⅠ期分と併記して示したとおりである。ポンプ水車の仕様は次のとおりである。

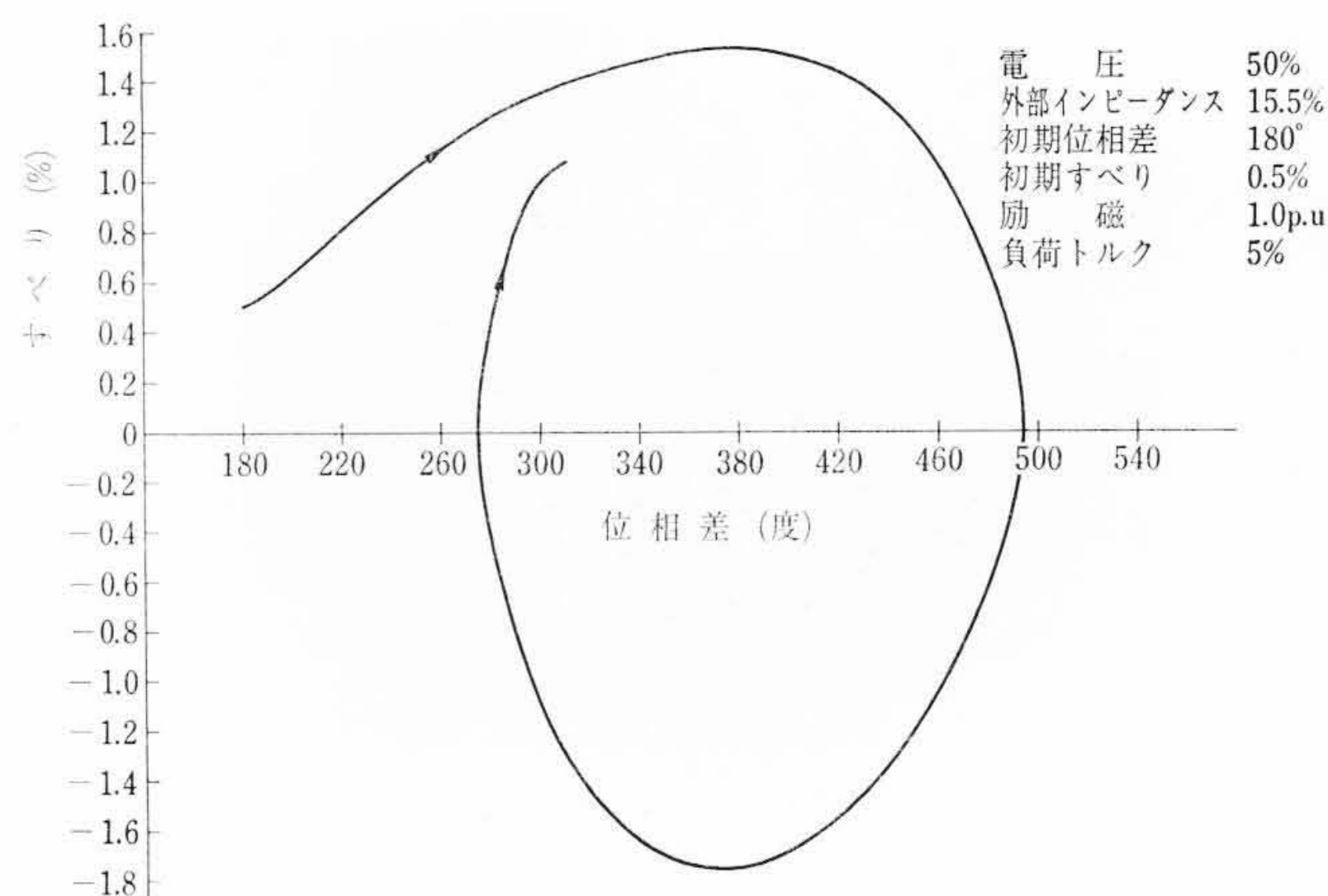
(i) 水車仕様

最高有効落差	129.5 m
最低有効落差	90.0 m
最大出力	110,000 kW
基準出力	103,000 kW
回転数	150 rpm
比速度	126.0 (m-kW)

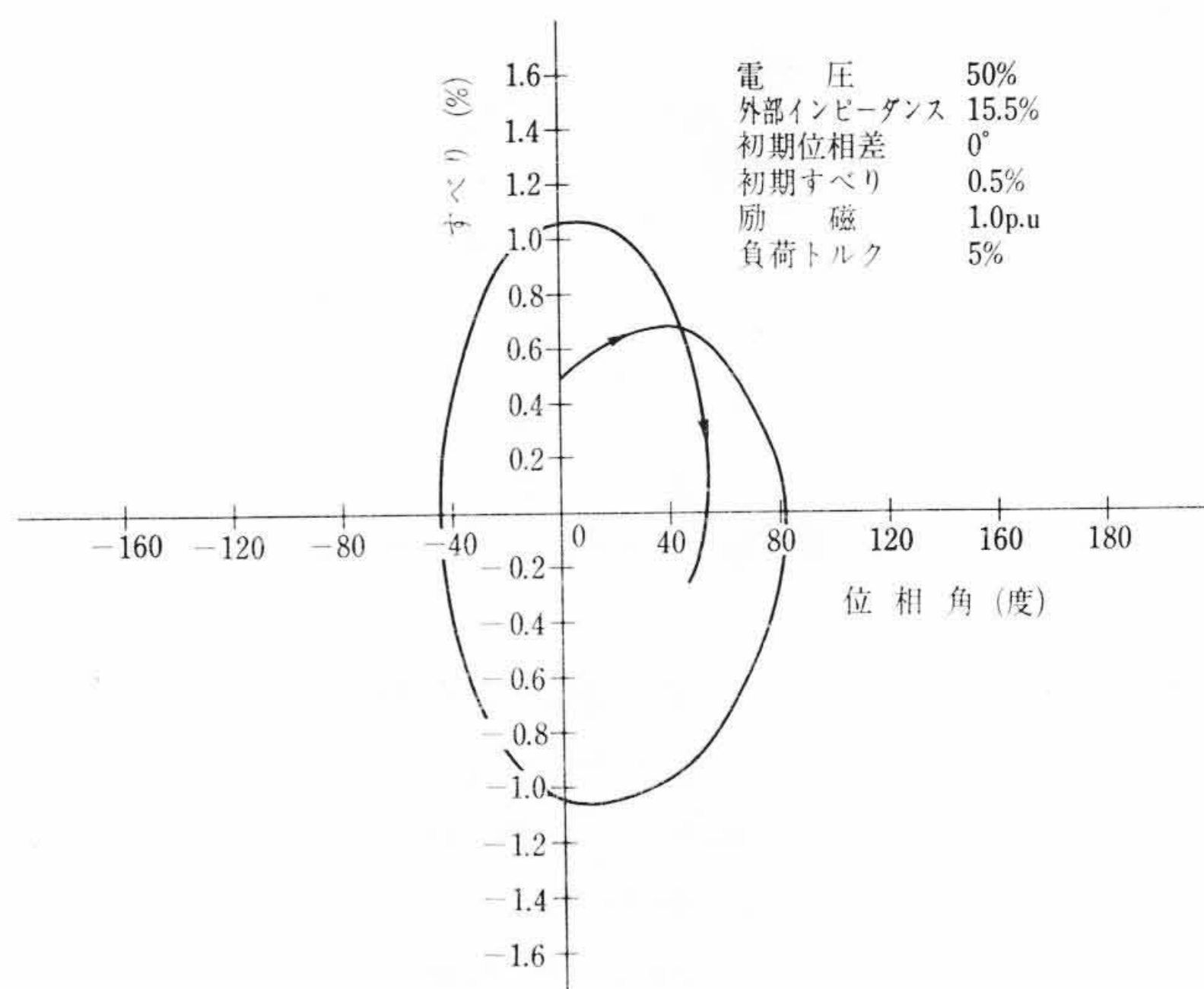
(ii) ポンプ仕様

最高全揚程	132.0 m
最低全揚程	95.0 m
最大揚水量	100.0 m ³ /s
電動機容量	110,000 kW
回転数	150 rpm
比速度	39.3 m-m ³ /s

最大出力は 110,000 kW に達し、本邦最大容量のポンプ水車となる。また、変落差の広い範囲において効率が高く、高揚程の揚水量が多いこと、吸出管が長く 100 m に達すること、ランナは二分割構造であることなど、Ⅰ期分と同様の特長を有している。



第 20 図 同期引入時の内部位相角特性



第 21 図 同期引入時の位相角特性

発電電動機についても、110,000 kW という容量を有し、起動方法、振動防止などにつき注意が払われている。

6. 運 転 方 式

6.1 概 説

池原発所は、上下流に調整池を有するダム式揚水発電所であって、一人制御方式が採用されている。せん頭負荷発電所として、発電および揚水をそれぞれ、少なくとも日単位で行ない、起動停止がかなりひん繁である。したがって機器は、これに十分耐えうるよう、また、発電と揚水の切換えが、短時間で確実にこなされるよう配慮されている。

発電の場合は、一般の水車発電機と同様、ガイドベーンの開度によって、負荷または周波数が調節される。揚水時には、上下ダムの水位検出装置によって揚程を認知し、それよりあらかじめセットされた、揚程～ガイドベーン開度の関係に従って、開度調整器が働いてガイドベーンが自動的に適正開度に整定されて、高効率運転を行なうことになる。

6.2 発電運転方式

発電運転については、通常の水車と同じである。起動の場合は、まず、冷却水・油圧・各開閉器・遮断器などが規定の条件になっていることを確認したのち、ケーシングを充水し、ガイドベーンを徐開して水車を起動する。回転数が規定の 80% に達した後、界磁がかけられ、その後電圧と速度とを調整しながら、遮断器の投入により、並列する。停止の場合は、まず、負荷を減じ、並列、励磁を解きガイドベーンを全閉して停止する。

6.3 揚水運転方式

(i) 起動準備

操作油圧、冷却水、放水庭水位、遮断器などの起動条件が確認されると、吸出入管に圧縮空気が送入され、水位がランナ下面以下に押下げられる。同時にランナ外周に冷却水を流す。

(ii) 起 動

起動準備が完了すると、電動機起動トルクを減らすため、スラスト軸受に圧油を送入したのち、電動機は50%電圧で、起動を始める。回転数が所定の値に達すると、半電圧同期入れが行なわれ、その後、全電圧を印加して、並列を完了する。

(iii) 揚 水

吸出入管内の圧縮空気を排除し、水がランナを浸して、ガイドベーン内側圧力が規定圧力に達すると、揚水が開始される。ガイドベーンは適正開度に調整され、揚水運転を行なう。

(iv) 停 止

まずガイドベーンを閉じ、並列を解き、主機を停止させる。

7. 結 言

わが国で最大容量のフランス形ポンプ水車・発電電動機を有す

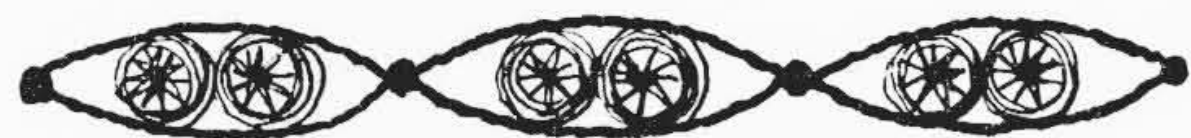
る池原発電所は1964年9月営業運転にはいった。

変落差・変揚程で高効率の性能が望まれるポンプ水車に対しては数次にわたる模型試験が行なわれ、荷重平均効率が最も高く、しかも、運転条件に対しては十分満足なものが決定された。実物機の製作に関しては、輸送制限のために、ランナを二分割方式とし、ケーシングを現地溶接構造にするなどの種々の方策が講じられた。

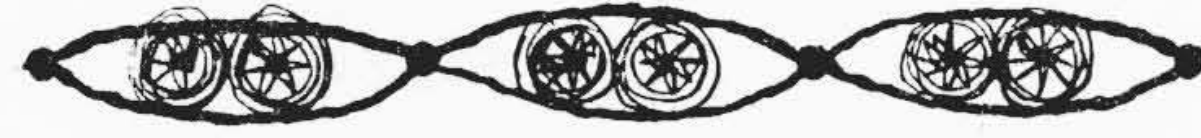
発電電動機に対しては、従来の揚水発電用発電電動機の実績のうえに、主として起動特性に重点をおいて設計された。

揚水発電は、電力需要の強大化に伴って、ますます増加の一途をたどっており、これらの状態において、可逆ポンプ水車の果たすべき役割は、非常に大きなものである。現在建設中あるいは計画中の揚水発電所は、急激に大容量化していることから、池原発電所における80,000 kW ポンプ水車および発電電動機の実績は、注目に値するものと考えられる。

終わりに本発電所機器の設計・製作に当たっては、貴重な指針を与えられた電源開発株式会社関係者各位に、厚くお礼申し上げる次第である。



特 許 の 紹 介



特許第295698号

結城正康・鈴木敏雄

メッセンジャーワイヤ付きケーブルの製造方法

この発明は、メッセンジャーワイヤと、ケーブル線心とを並行させ、その周上に、窓を有する共通した外部保護シースを押出機により被覆した いわゆるメッセンジャーワイヤ付きケーブルの製造方法に関する。

この種ケーブルは、通信用、制御用として盛んに使用されており、その特長も、製造が簡単で安価であるとともに、施設工事が容易である。この発明は、製造中にケーブル線心側にたるみをもたせることにより、ケーブルの施設後、ワイヤの伸びが多少あってもケーブル線心に張力がかからず、しかも線心の接続、および引き出しが行ないやすいケーブルを提供しようとするものである。

この発明の製造法を、図面により説明すると、ケーブル線心1とメッセンジャーワイヤ2とを、並行した状態で、プラスチック押出機6に通して、両者の周上に窓3を有する共通したプラスチックシース4を被覆したのち、ケーブル5をワイヤ2が内側となるように湾曲させながら、水冷槽8を通して冷却させる。

このようにして製造されたケーブル5は、直線状とした場合、ケーブル線心1側にたるみ10が与えられているから、ケーブル施設後の線心接続、あるいは線心引き出しがきわめて容易に行なえとともに、長年月の間にワイヤ2が多少伸びたとしても、線心1に張力がかかることはない。また押出機6に設けてある窓形成器7によって形成された窓3は、ケーブル線心1にたるみ10を与えるばかりでなく、ケーブル側面からの風圧抵抗を軽減させるなどの特長がある。(斎藤)

