

九州電力株式会社諸塚発電所納

58,000kVA/56,500kW 交流発電電動機

58,000 kVA/56,500 kW A. C. Generator Motor

for Morozuka Pumped Storage Power Station, Kyushu Electric Power Co., Inc.

機 部 昭 二*
Shōji Isobe**内 容 梗 概**

このほど九州電力株式会社諸塚発電所用 58,000 kVA/56,500 kW 交流発電電動機が日立製作所によって完成した。本機は立形で、水車、ポンプ直結形であり、この形式においてはわが国最大であるばかりでなく、世界屈指の大容量揚水発電用発電電動機である。このため設計製作上新しい技術が採用されたが、工場試験の結果いずれも良好な成績を収めた。ここに本発電電動機の構造性能上の特長について概略を説明する。

1. 緒 言

増加の一途をたどる電力の需要に応じて電源開発は着々進行しているが、需要の増大とともに尖頭時と非尖頭時の負荷の差もまた増加する傾向にあり、その調整が一つの問題となっている。この調整をおもな目的として、各所において揚水発電所の建設が計画されており、すでに沼沢沼発電所（横軸、ポンプ、水車直結式）、大森川発電所（立軸、可逆式）が運転にはいっているほか、大容量の揚水発電所があいついで実現する気運にある。

この時にあたり単機容量において前二者をはるかにしのぐ九州電力株式会社諸塚発電所の機器が完成したことはまことに意義深いものである。本発電所の設備は立軸のポンプ、水車直結式で、この形式では世界有数の記録的製品である。

発電電動機は、揚水時の起動は水車によって行われるため、起動の任務は負わないが、電源喪失時の逆転を考慮した構造となっていること、発電揚水切替時短縮のため停止時に発電制動をかける方式が採用されているなどの特色を有している。

ここでは発電電動機に使用された新技術を中心に、その概要を述べる。

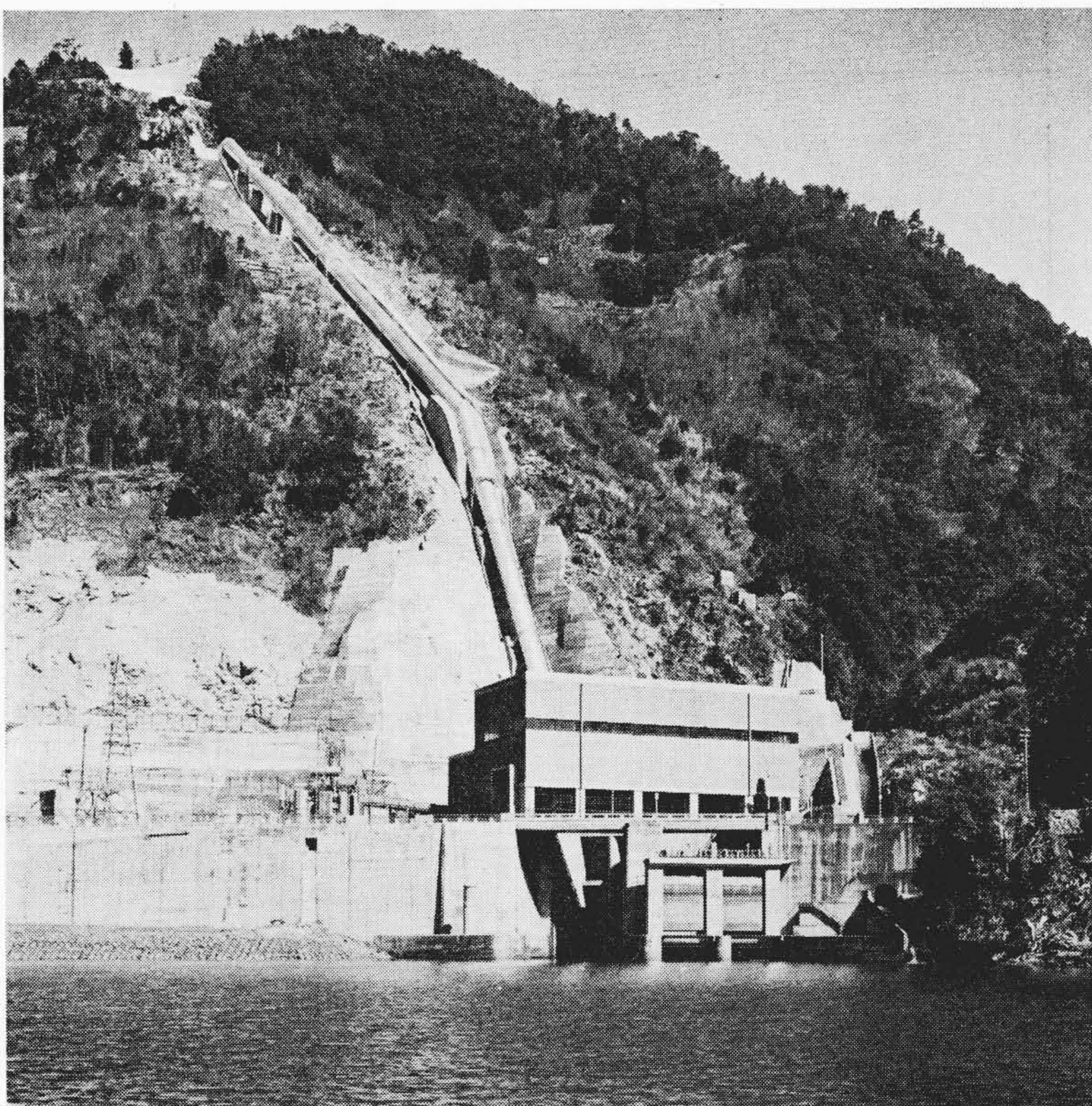
2. 仕 様**発電電動機**形式 立軸閉鎖風道循環形空気冷却器付
凸極回転界磁式制動巻線付

出 力	58,000 kVA/56,500 kW
電 圧	11,000 V
電 流	3,045 A
周 波 数	60~
回 転 数	300 rpm
力 率	0.9/1.0
主 励 磁 機	250 kW, 220 V
副 励 磁 機	15 kW 110 V

3. 構 造**3.1 固 定 子**

第1図は発電電動機本体の構造断面図、第2図は現地に据付けら

* 日立製作所日立工場



諸 塚 揚 水 式 発 電 所

れた発電電動機である。以下構造のおもな特長について述べる。

固定子わくは熔接鋼板製で輸送制限上四つ割とし、固定子鉄心積厚が厚いため背の高いものとなっているので、振動防止には特に注意し、堅固な構造になっている。固定子鉄心は現地積を行い、いわゆる半重ね割目なしの丸積とした。これにより固定子鉄心は割れ目による諸影響がまったくなく、機械の信頼度を高めることができた。鉄心積み作業は途中で数度の締付けを行い、また十分の乾燥を行って鉄心のゆるみの絶無を期している。鉄心押えには非磁性材を使用し締付けボルトも特に強固なものにした。固定子鉄心材には無方向性ケイ素鋼帯を使用し、特殊熱硬化性ワニスを焼付けてある。

固定子線輪には1ターンのハーフコイルを採用し、巻線層間の破壊事故の原因を除去してある。線輪の各素線はスロット内で完全に転位して渦電流や、表皮作用による損失の増加を防止している。線輪の絶縁はマイカを主体とし、これに日立製作所で開発された SLS ワニス真空注入されている。このワニスは重合反応によって固化するもので、絶縁層内に空気を生ずることがなく、すぐれた電気的特性をもつ絶縁を作ることができる。また機械的にもすぐれた特

性をもち、負荷の増減にともなう素線の伸縮に絶縁層が追従するので、絶縁層にはく離やき裂を生ずることがなく、起動停止の機会の多い発電電動機には、きわめて適切なものである。

第3図は完成せる固定子を示す。

3.2 回 転 子

回転子は機械的にもっとも過酷な条件におかれるため、各部にわ

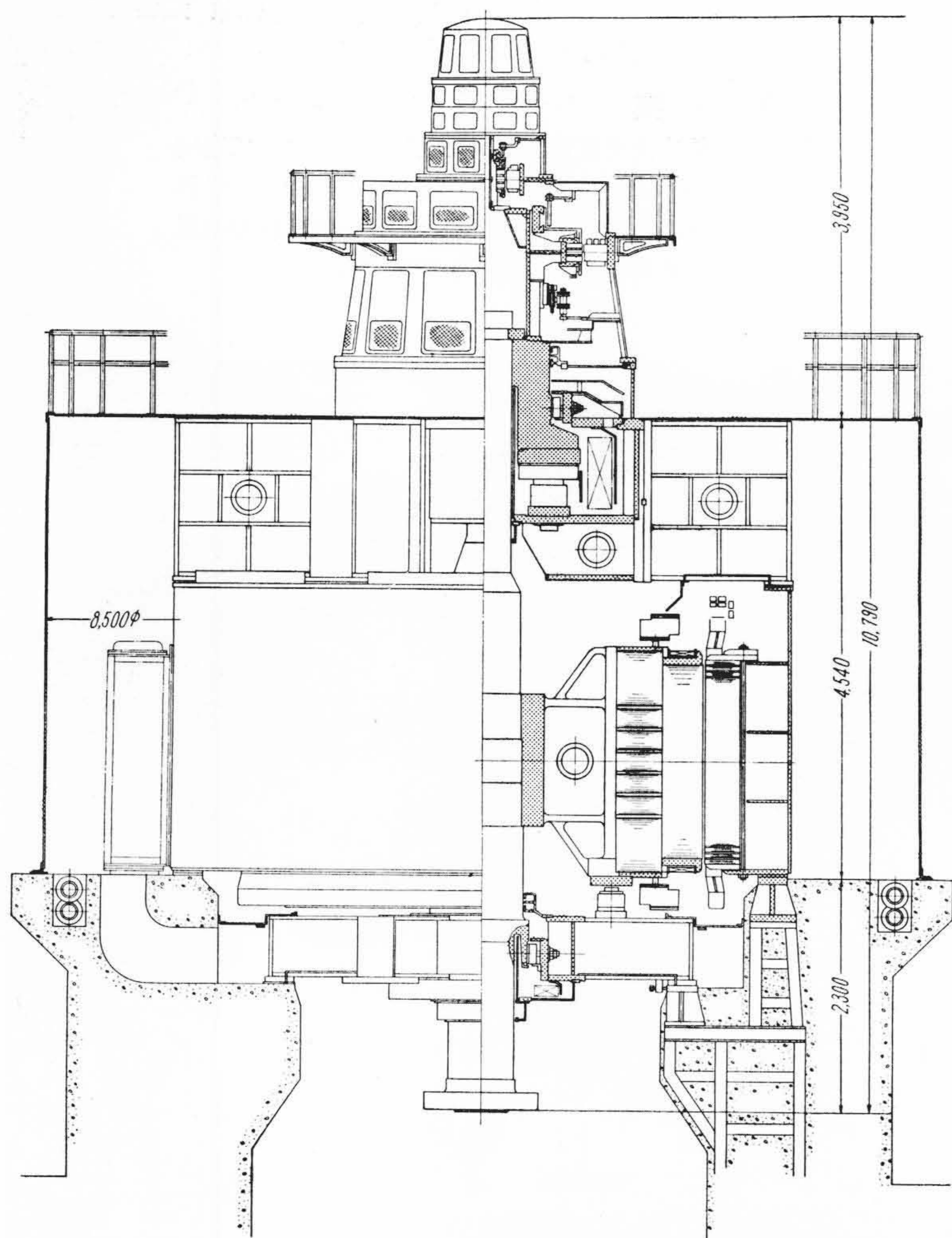
たり慎重な設計のもとに製作された。磁極および継鉄などにかかる応力は光弾性応力解析や、モデルによる破壊試験により検討された。

回転子継鉄は扇形片鋼板積層式で円周6セグメントであり、3.2mmの高張力鋼板を使用した。扇形片は一回打抜きの非常に精度の高いもので、磁極数の2倍のダブデールみぞが設けられた。いわゆる遊びダブデールみぞ付き構造である。従来の一極ずつずらして積む方式に比べて強度をまし、遊びダブデールみぞに台形のくさびを入れることにより、継鉄の剛性をますことができる。輻鉄は鋳鋼製でボスと6本のアームに分割され主軸に焼ばめする構造となっている。従来磁界線輪間にはささえ金具が設けられるため、中央部への通風が阻害され温度が比較的高くなることがあったが、本機ではこれを防止するため、継鉄に軸方向に通風孔を設け、継鉄内外径のヘッド差を利用して、輻鉄側より冷却風を送りこむ方式を採用している。

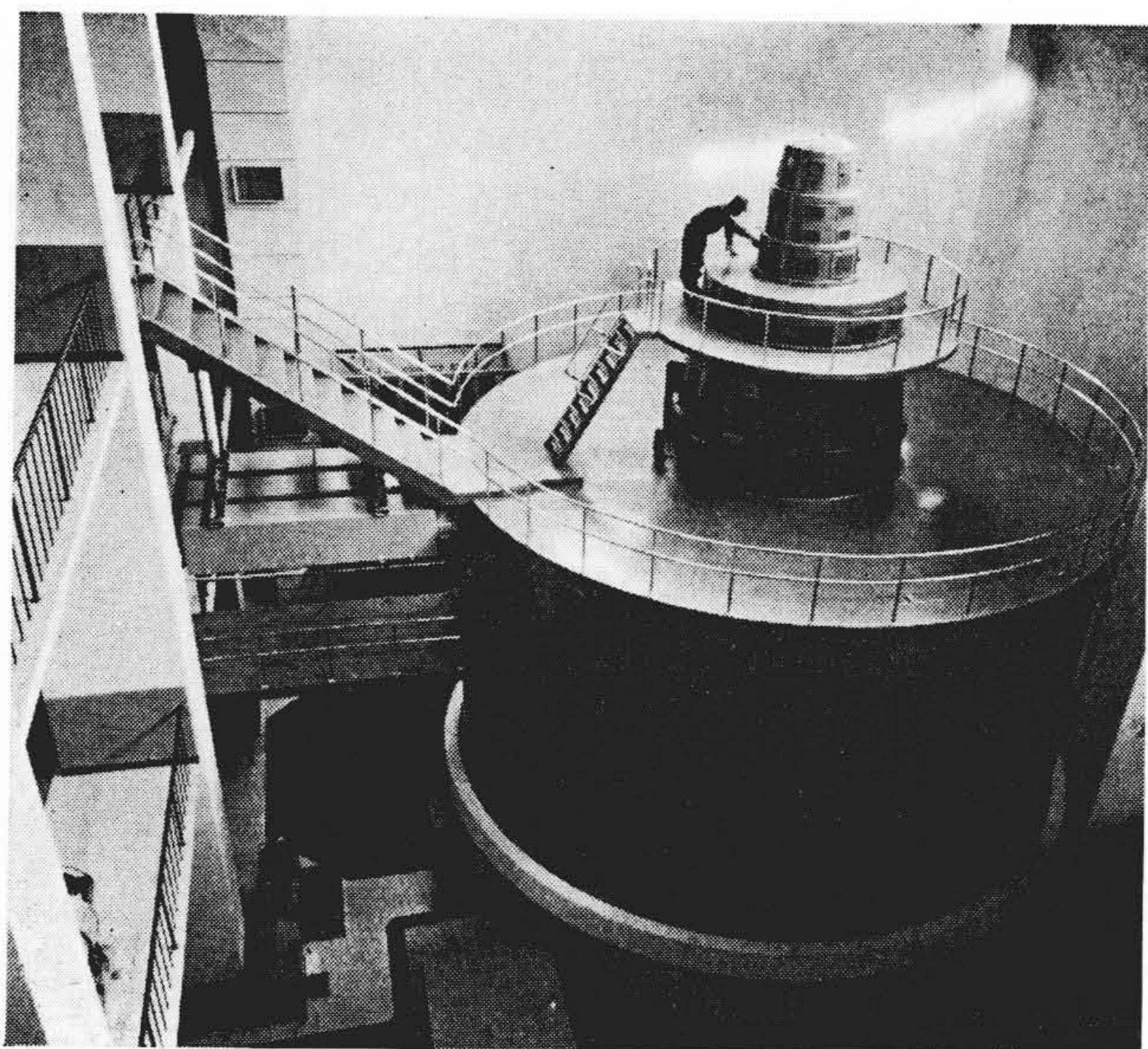
界磁線輪は固定子線輪と同様長大なものとなり、起動停止による熱膨張収縮が大きく、さらに回転部であるため、熱サイクルのほか機械的な圧縮サイクルを受けるが、これらにより段間絶縁、大地間絶縁ボビン板に損傷を受けないよう考慮が払われている。界磁線輪は平打巻で、段間絶縁はアスベスト紙を使用し、遠心力の数倍の圧力のもとで加熱成形してある。大地絶縁はマイカを主体として、線輪と鉄心部の間にはさらに柔軟性のあるシリコン・ゴムがそう入され、絶縁抵抗の向上、異物の侵入を防止している。界磁線輪の上下面には実物大モデルでヒートサイクル試験を実施し好成績を収めた大地間絶縁ボビン板がそう入されている。

磁極鉄心は薄鋼板を積層し、両端に鍛鋼製端片を取付けてリベットにより締付けたものである。界磁極頭には低抵抗の制動巻線が取付けられ、極間を接続し完全ダンパーを形成しているが、揚水運転に際しては水車により起動されるため、発電電動機には起動の任務がないので、制動巻線は通常の発電機と同程度のものである。

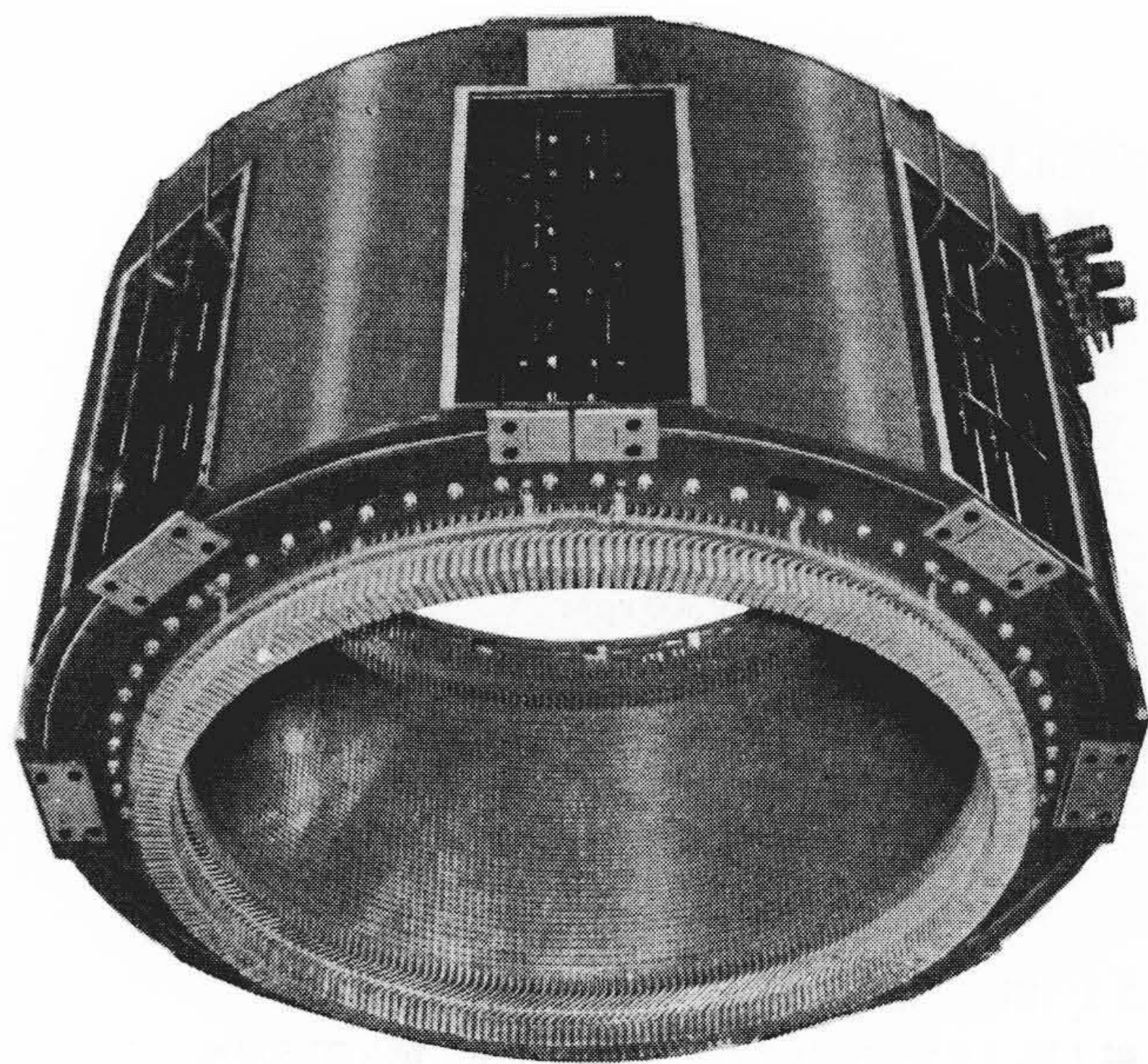
回転子下部には熱容量の大きな強力なブレーキ・リングが取付けられている。また継鉄両面にはラジアル・ブ



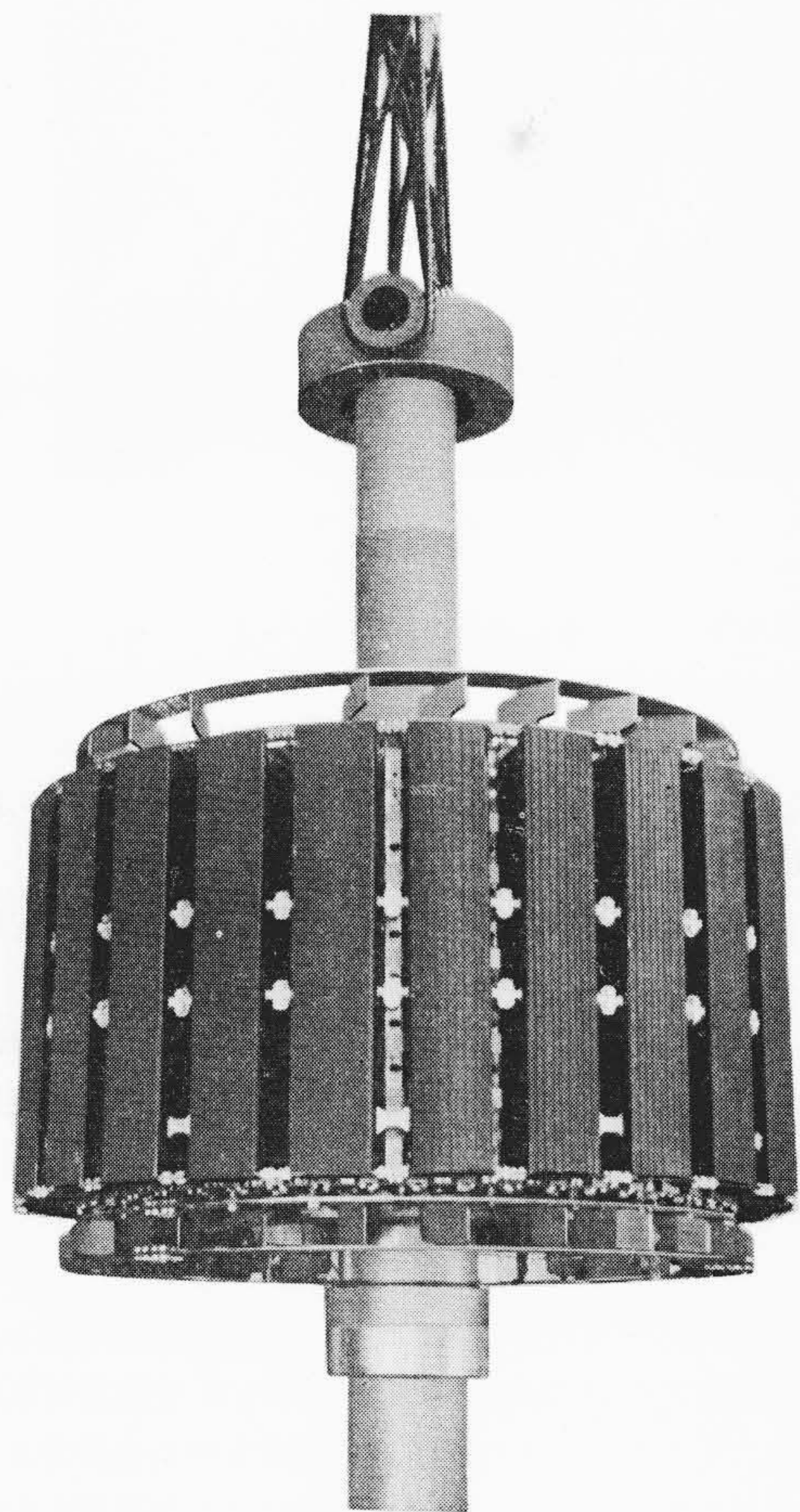
第1図 構造断面図



第2図 現地据付を完了した発電電動機



第3図 固定子



第4図 回転子

ファンが取付けられている。第4図は完成した回転子を示す。

3.3 軸 受

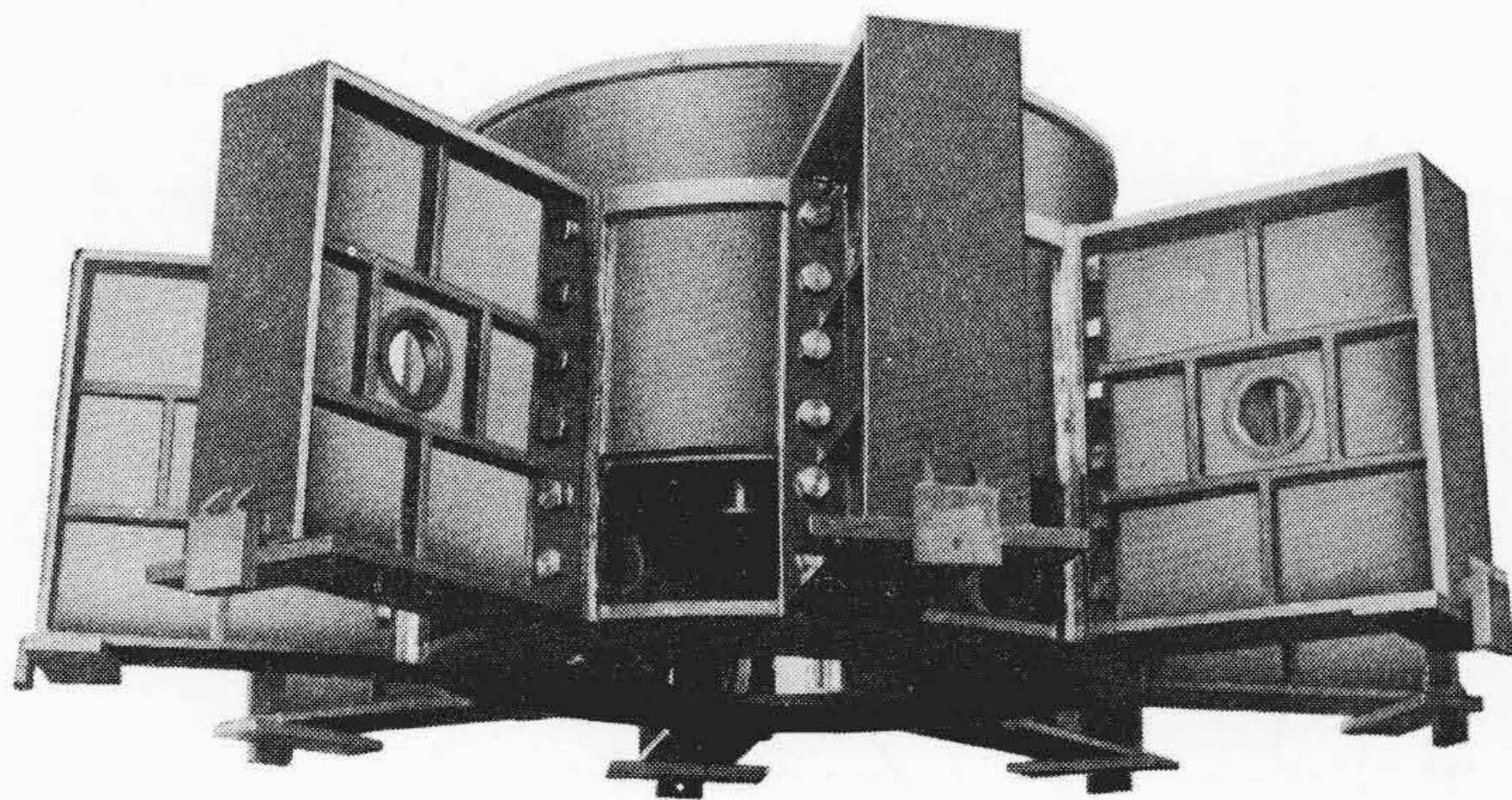
推力軸受および上部案内軸受は同一油槽に設置されるが、油槽は一体物で上部ブラケット内に入り込む構造で、荷重はすべてブラケットにかかり、油槽にはかからぬ設計となっている。推力軸受はキングスベリー形であり、全推力を支持するため、潤滑面における変形が油膜に影響を及ぼさぬよう十分剛性をもたせてある。シュールは鋳鋼製で白色合金の裏張りを有し8セグメントからなっている。ランナは一体の鍛鋼製で、しゅう動面は研摩仕上げされている。

さらに発電電動機は、揚水運転時電源が喪失した場合には逆転するに至ることもあるので、推力軸受と案内軸受には中心支持方式を採用している。中心支持方式軸受は、すでに大森川発電所 14,000 kVA/15,000 kW 発電電動機(可逆式)に採用され、好調に運転されているが、諸塚発電所のものについても実物大モデルを製作し、長期にわたり回転数、軸受圧力、温度を変えて試験を行いその正逆転に対し、十分安全であることを確めた。工場試験では定格回転の 130%まで逆転を行ない、なんら異常のないことが確認された。

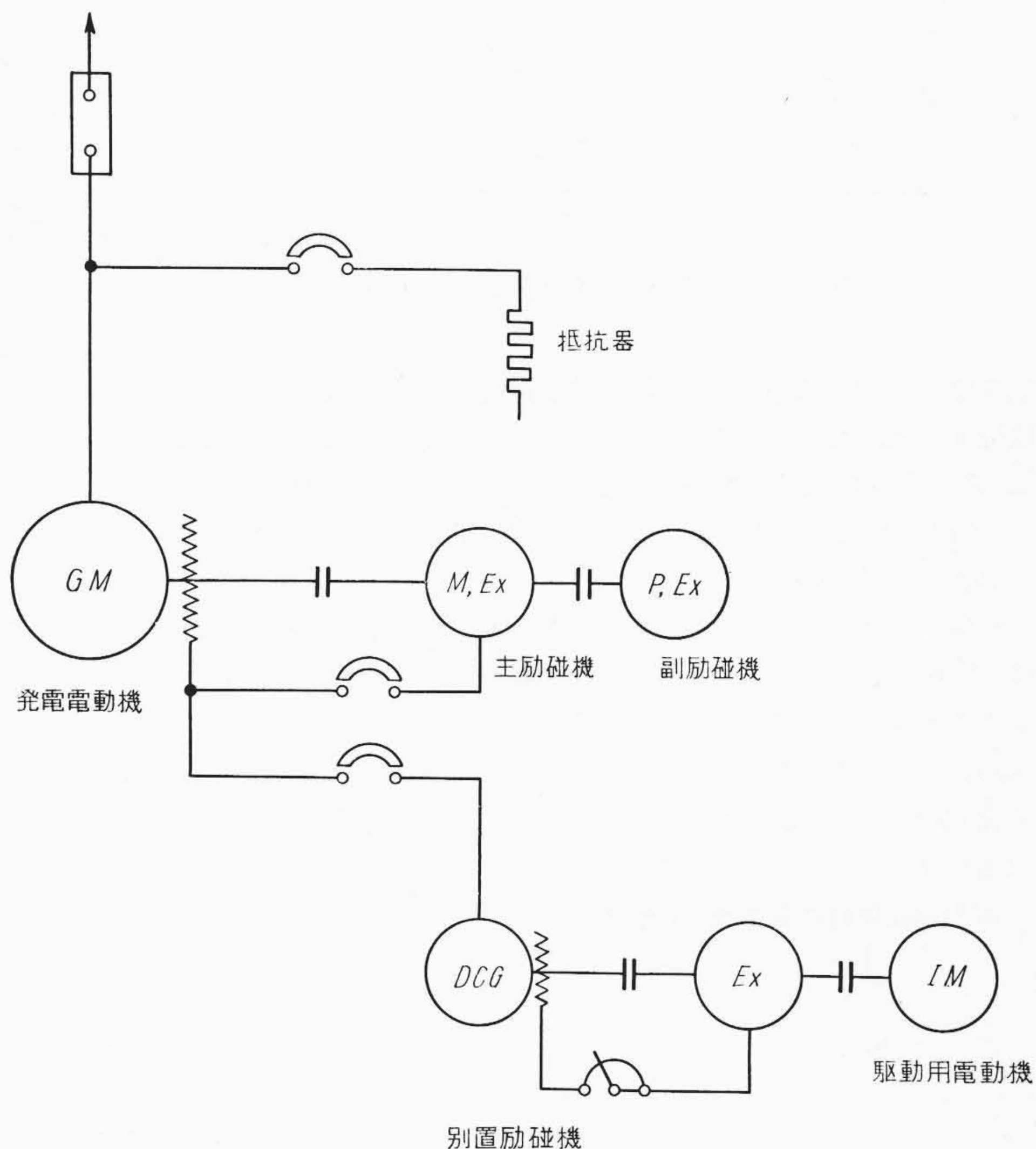
また軸受の水平調整は油槽外部より簡単に行えるようにしてある。上部および下部案内軸受はいずれもセグメント形である。油槽よりの油漏れに関しては、カバー類の合わせ目に耐油性ゴム・パッキングをそう入するとともに、油蒸気の漏れに対してファン圧の空気押込みラビリンス式パッキングを取付け油漏れを防止している。

3.4 そ の 他

上部ブラケットは固定子上部に設置され、全推力荷重を支持し、上部案内軸受にかかる半径方向の荷重もささえるため、強固なもの



第5図 上部ブラケット



第6図 発電制動系統図

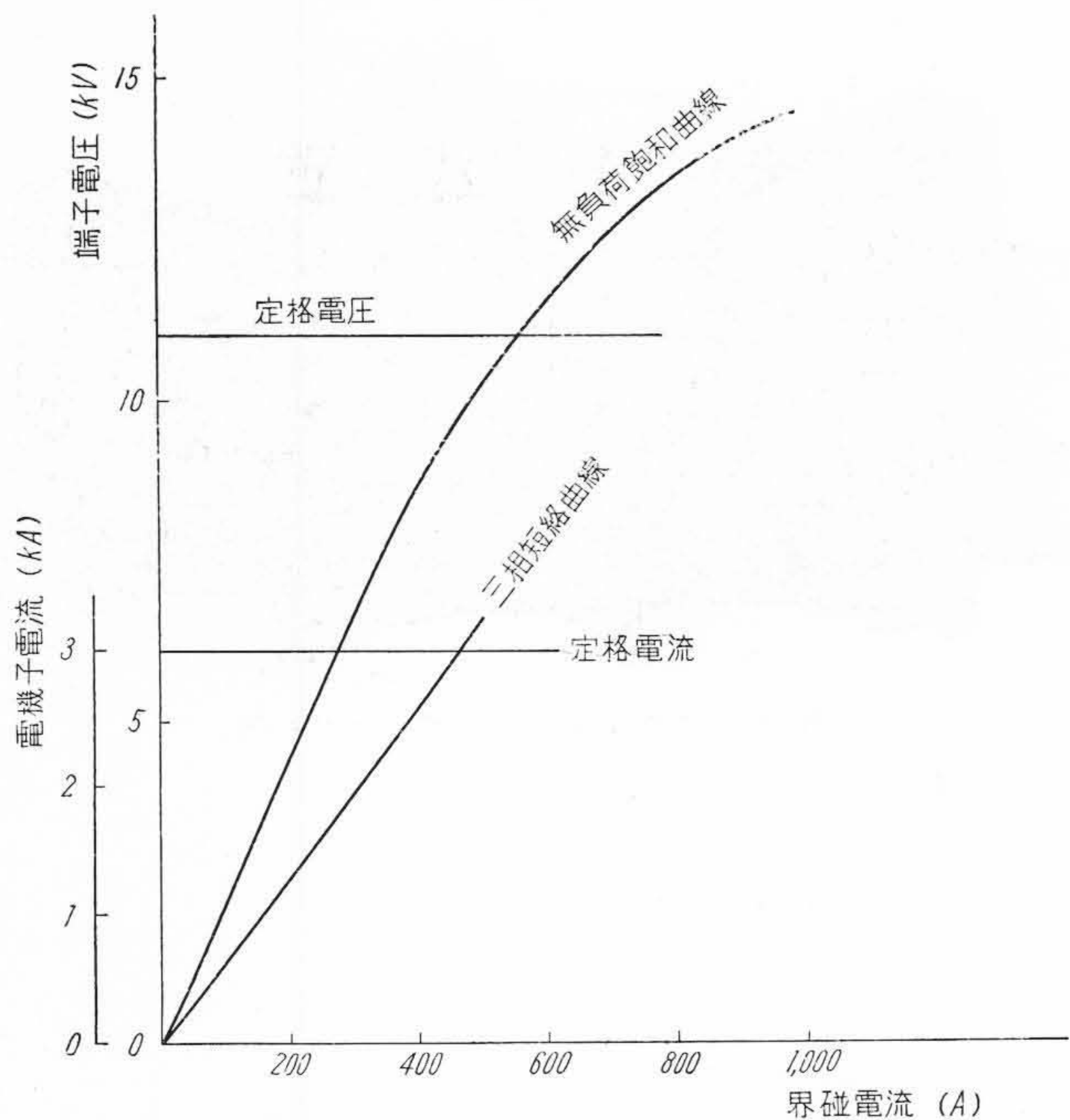
となっている。第5図は上部ブラケットを示す。

空気冷却器は8個で固定子の風の出口に直接取付けてある。

発電と揚水を最も効果的に行うためには、切替時間を短縮することが必要である。諸塚発電所では停止時に発電制動を行わせる方式が採用された。その概略を示した系統図が第6図である。停止操作にはいり、発電電動機が系統から切り離されると、励磁電源は主励磁機から別置励磁機に切り替えられる。主機の端子が抵抗器に接続されると別置励磁機より励磁が与えられ発電し、電力が抵抗器に消費されて発電電動機は速度は減少する。この際、急激な制動を与えぬよう別置励磁機の界磁電流を電動調整器により変化させ、発生電力を調整し機械に過度な制動力が加わらぬよう配慮されている。抵抗器に消費される電力は約 20,000 kW で、この方式を採用することにより停止までの時間が、約 6 分から約 1 分に短縮された。

4. 励 磁 機

主励磁機は出力 250 kW, 定格電圧 220 V, 副励磁機は出力 15 kW,

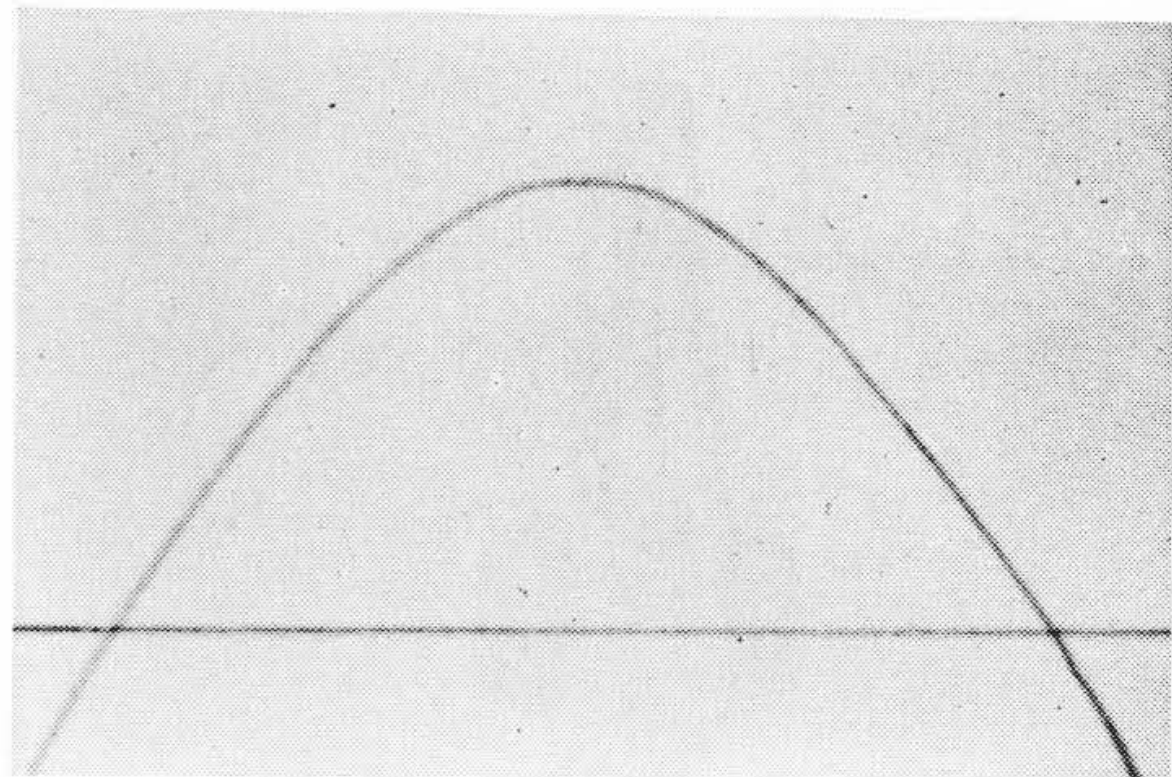


第 7 図 無負荷飽和曲線および三相短絡曲線

定格電圧 110V で、いずれも発電電動機上部に直結されている。励磁機内には電動発電機のスリップリングが設置されており、保守点検の便が計ってある。また刷子より発生するカーボン粉により機内が汚損されぬよう考慮されている。調速機用発電機は副励磁機上に直結されている。

励磁方式は、回転増幅機形の自動電圧調整装置と組合わせて使用する速応励磁方式で、主励磁機には 2 組の界磁をそなえ、主電動機発電の無負荷定格電圧に相当する一定分を定電圧の副励磁機により励磁し、主発電電動機の負荷変化に対応する調整分を電力増幅用直流発電機によって励磁することにより、主発電電動機の電圧を一定に保持するものである。

電力増幅用直流発電機の励磁入力、一定基準電圧と主発電電動



第 8 図 電 圧 波 形

機電圧との偏差を磁気増幅器により増幅して与えている。

5. 試 験 成 績

発電電動機は工場内で組立てられたのち、種々の試験が行われたが、その概略は次のとおりである。

無負荷飽和曲線および三相短絡曲線を第 7 図、無負荷電圧波形を第 8 図に示す。

短絡比は 1.19、波形ひずみ率は 2.37% である。通常の試験のほか、正逆両方向に対し、定格回転数の 130% で過速度試験が実施され、異常のないことが確認された。

6. 結 言

以上、揚水発電所用発電電動機として記録的大容量機である九州電力株式会社諸塚発電所納 58,000 kVA/56,500 kW 交流発電電動機の概要を述べた。そのおもなものは、推力軸受を中心支持方式とし逆転を考慮に入れて製作したこと、発電制動により急速停止を行うようにしたことである。

工場において正逆回転における過速度試験を含めた詳細な試験が行われ、いずれもすぐれた成績をおさめることができた。世界屈指の記録品として今後の活躍に大きな関心と期待がもたれている。

終りに、本機の製作に当り熱心なご指導を賜った九州電力株式会社の関係者各位に深甚なる謝意を表する。

昭和 36 年 4 月 発行

水 力 発 電 機 器 特 集 号 第 2 集

日立評論 別冊第 41 号

目 次

- ◎最近の水力発電設備の動向
- 四国電力株式会社大森川発電所
- ◎ポンプ水車および発電電動機の運転実績について
- ◎揚水発電所主機の計画について
- ◎揚水発電所の制御方式
- ◎可動翼斜流水車の特性
- ◎筒形水車および発電機
- ◎ペルトン水車設計上の諸問題

- ◎水車調速機と系統制御
- ◎水力発電用大口弁
- ◎最近の水力発電所の制御と計測
- ◎水車材料の最近の進歩
- ◎発電機用材料の進歩
- ◎熔接構造ランナの製作
- ◎水車模型試験法の推移

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