

電源開発株式会社大鳥発電所納

100,000kW カプラン水車および 100,000kVA 交流発電機

100,000 kW Kaplan Turbine and 100,000 kVA A. C. Generator Supplied to the Ôtori Power Station of Electric Power Development Co., Ltd.

横井 信安* 佐藤 正二*
 Nobuyasu Yokoi Seiji Satô
 磯部 昭二* 西野 入一雄*
 Shôji Isobe Kazuo Nishinoiri

内 容 梗 概

只見川上流の電源地帯に建設される電源開発株式会社、大鳥発電所納 100,000 kW 水車および発電機がこのほど完成し現地据付けを完了した。水車はカプラン形として各部に斬新な設計が行なわれており、ランナ外径が6mを越える巨大なもので、ケーシングの現地溶接、上カバーに設置した案内羽根用サーボモータなど幾多の新方式を採用し、据付、保守の便宜を図るとともに無人発電所として十分安全な運転ができるよう考慮が払われている。

また発電機の大きさを示す kVA/rpm の値は日立の記録品である。発電機にかかる推力荷重は約 1,920 t に達するので、これに耐えるため、推力軸受や下部エンドブラケットの構造に対して特別の考慮が払われている。

第1表 わが国大容量カプラン水車製作一覧表

発電所名	出力 (kW)	落差 (m)	回転数 (rpm)	台数	製作社	運転開始	備考
大鳥	100,000	51.0	125	1	日立	1963	(プロペラ水車)
滝	49,500	36.2	150	2	三菱	1961	
(印度ヒラクッド)	38,800	36.3	150	2	日立	1962	
大淀川第1	38,000	44.16	180	1	JMV-富士	1961	
秋葉第2	37,000	36.6	180/150	1	JMV-富士	1956	
揚川	31,000	13.6	88	2	日立	1963	
本名	30,000	36.1	167	3	日立	1954	
(印度ガングワール, コトラ)	29,840	30.5	167	各1	日立	1961	
柳津	29,000	25.8	143	2	三菱	1953	
上田	24,000	26.45	150	3	三菱	1954	
片門	22,500	20.0	125	2	日立	1953	
神通川第2	22,500	31.2	180	2	JMV-富士	1953	
瀬戸石	21,500	17.2	129	1	東芝	1959	
上野尻	21,000	15.1	115	3	日立	1958	

1. 緒 言

水力発電用機器の大容量化への傾向は近年特に顕著であり、日立製作所においてもすでに幾多の記録的製品を手がけて来たが、このたびカプラン水車としてはわが国における最大容量機を完成した。この水車は現在までに日立製作所が数多く製作した高落差型カプラン水車のうちの一例として、独特の高性能翼形が採用されており、その豊富な経験を生かすとともに新しい構想を加えて設計製作したものである。

機器の計画に当たっては製作ならびに据付けのほかに輸送方法についても十分なる検討を行ない随所に新規構造を採用した。

本発電所地点は冬期積雪6mにも達する豪雪地域で付近には民家は全くない無人地帯であるため、上流の奥只見発電所を親発電所として遠方制御される無人発電所として計画されている。この遠方制御方式は中小容量の発電所においてはしばしば採用されているが、このような大容量発電所では珍しいことで、それだけに機器の保守には十分な考慮が払われている。

建設に当たっては冬期6m余の雪中に越冬してケーシングの溶接作業を行なったこともあり、今までに見られなかった工事であった。

2. 発電所計画概要

大鳥発電所は只見川水系開発の一環として、上流奥只見発電所と下流田子倉発電所の中間地点に計画されたもので、田子倉発電所への上流終端付近に長さ約180m高さ83mセミアーチダムを建設して奥只見川発電所の放水および同発電所より下流の残水を貯留調整し発電しようとするものである。

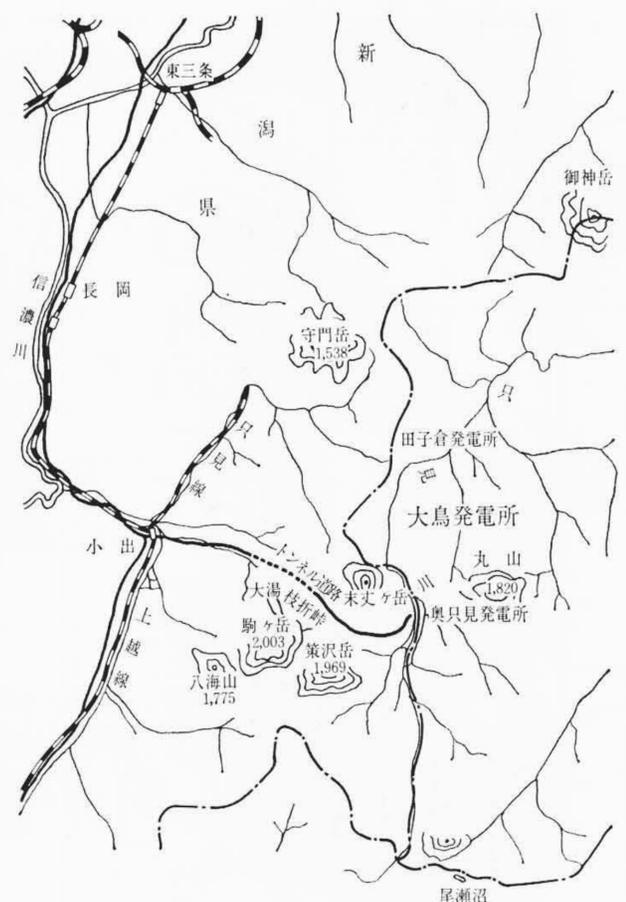
発電所は第2図、第3図に示すようにダム直下右岸に設置され、直径約7.5m、長さ約69mの鉄管によって水が導入されている。

2.1 機器配置

据付方式は単床式コンクリートバーレル方式で、機器据付分解用に380t(190t×2)クレーンを備えている。クレーンの据付位置については極力建屋高さを切りつめるよう機器のつり方について検討後決定した。

水車室床面には调速機、制御盤および所内用615kW横軸フランシス水車発電機1基が設置されている。この所内機への取水は主水

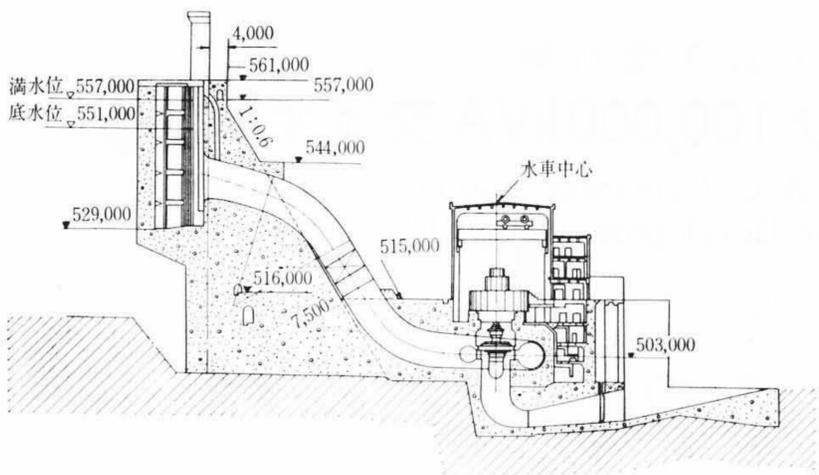
* 日立製作所日立工場



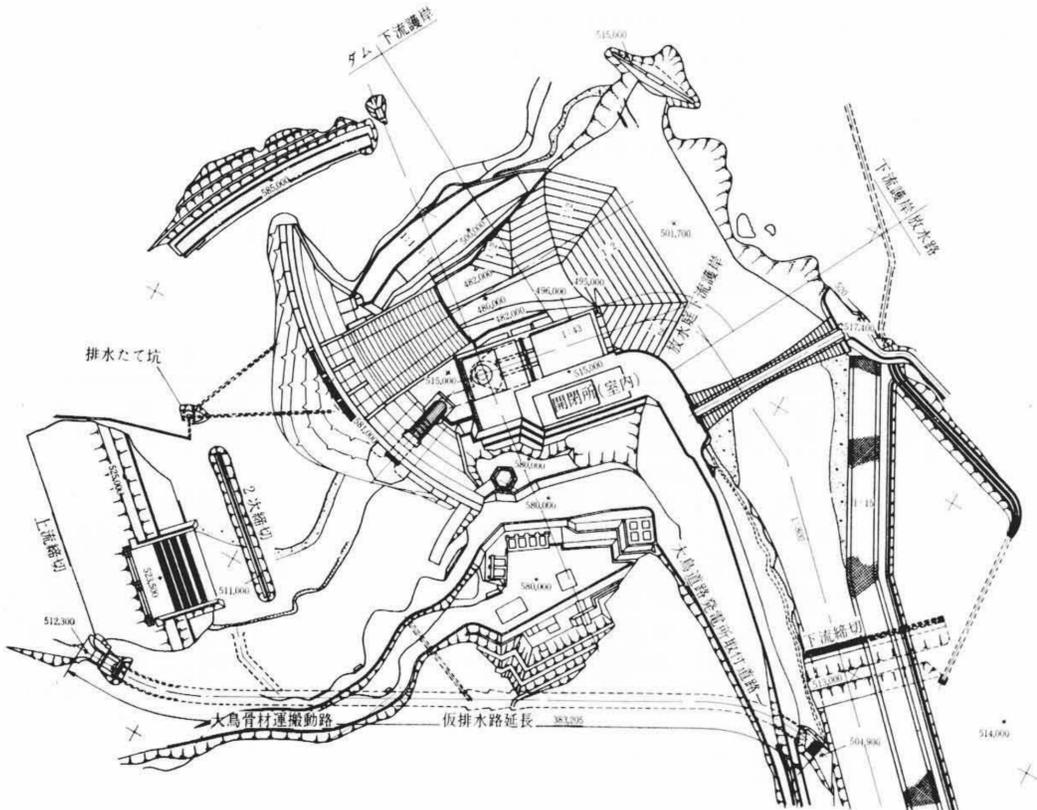
第1図 発電所付近地図

車ケーシングから直径0.75mの導管によって行なっている。

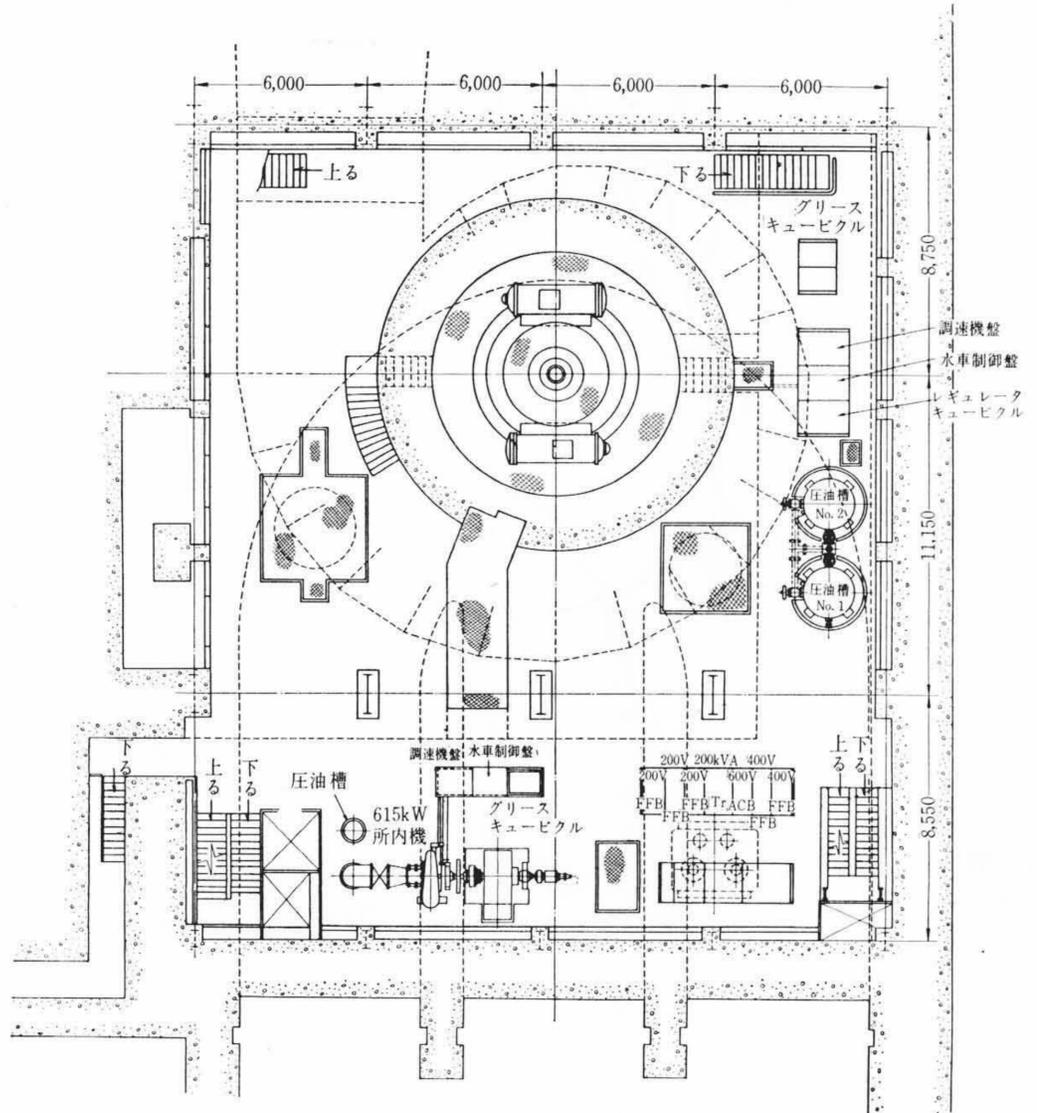
第4図は水車室平面、第5図は水車室断面を示す。



第2図 発電所縦断面図



第3図 発電所平面図



第4図 機器配置据付平面図

2.2 発電所計画概要

取水河川名	阿賀野川水系只見川
調整池, 総貯水量	15,800,000 m ³
有効貯水量	5,000,000 m ³
満水位標高	557,000 m
利用水深	6.0 m
発電力, 最大	95,000 kW
常時	12,200 kW
発生電力量, 年間	183.3 × 10 ⁶ kWh
冬期	65.3 × 10 ⁶ kWh
ダム形式	越流形曲線重力ダム
ダム体積	160,000 m ³
水圧管路形式	ダム下流面露出溶接鋼管1条
内径	7.5~6.35 m
延長	68.876 m
厚さ	13~26 mm
所内用機器仕様	
水車	
形式台数	HF-1RS (横軸渦巻形フランシス水車) × 1台
出力	615 kW
基準落差	45 m
水流量	1.67 m ³ /s
回転数	1,000 rpm
発電機	
形式	EFBL-RD (横軸管通風換気形-回転界磁式制動巻線付)
容量	600 kVA
電圧	420 V
力率	0.8
周波数	50 ~

3. 水 車

3.1 水車仕様

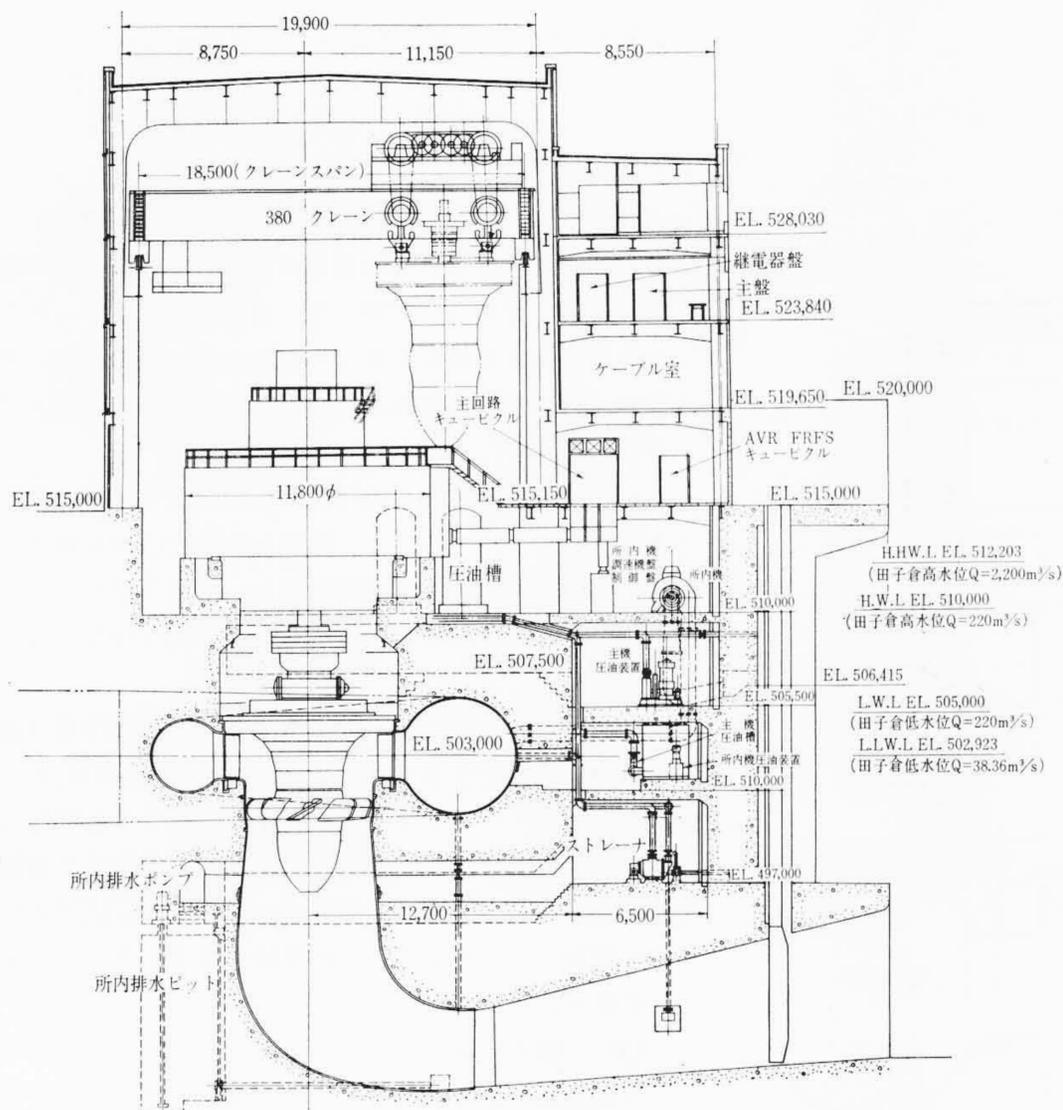
形式台数	VK-1RS (立軸渦巻形カプラン水車) × 1台
出力	最大 100,000 kW
	基準落差時 95,000 kW
	最低落差時 68,000 kW
有効落差	最高 51.0 m
	基準 49.0 m
	最低 40.0 m
流量	最高落差時 221.5 m ³ /s
	基準落差時 219.5 m ³ /s
	最低落差時 193 m ³ /s
回転数	125 rpm (発電機側より見て反時計方向)
比速度	297 (m-kW)

3.2 横型試験

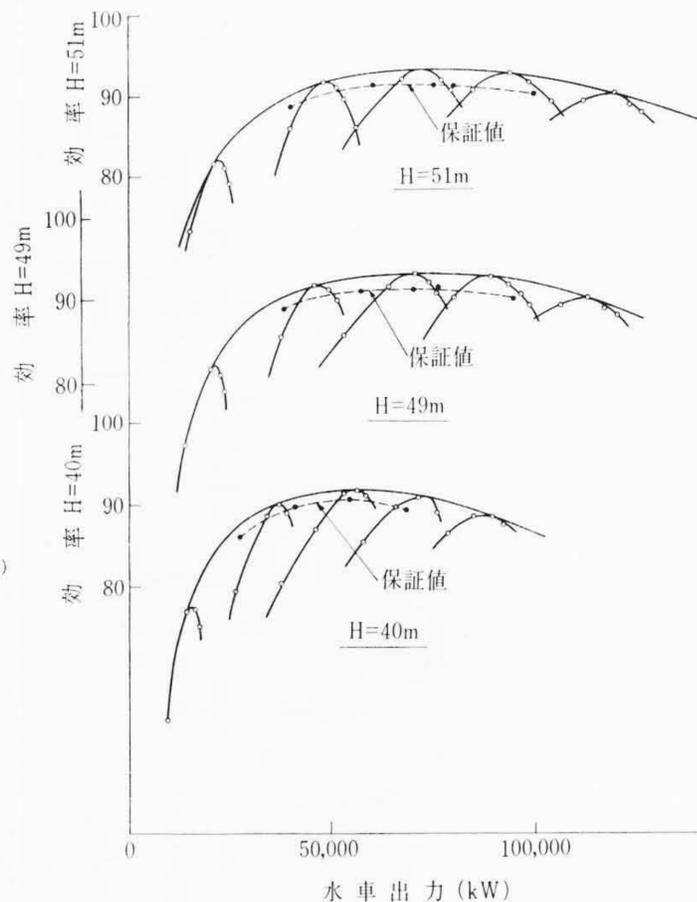
落差40~50mに適用されるランナとして7枚羽根ランナを新設計し, 完全相似の模型試験装置によって効率, キャピテーション性能の確認を行なった。いずれも下記に示すように保証値を上回る満足すべき結果を得た。

3.2.1 効率試験および無拘束速度試験

第6図に各落差における実物水車の推定効率と保証



第5図 機器配置据付断面図



第6図 水車効率曲線

効率とを示す。なお同ランナによって無拘束速度試験も実施した。実物水車の推定無拘束速度は 255 rpm (規定回転数の 204%) で保証値 294rpm (235%) に対して安全な値であることを確認した。

3.2.2 キャビテーション試験

ランナ径 250 mm 模型によりキャビテーション発生状況の試験を行なった。正常運転状況においては翼面にキャビテーションの発生は認められず第7図に示すように十分安全な性能を有していることを確認した。

3.2.3 起動トルク測定

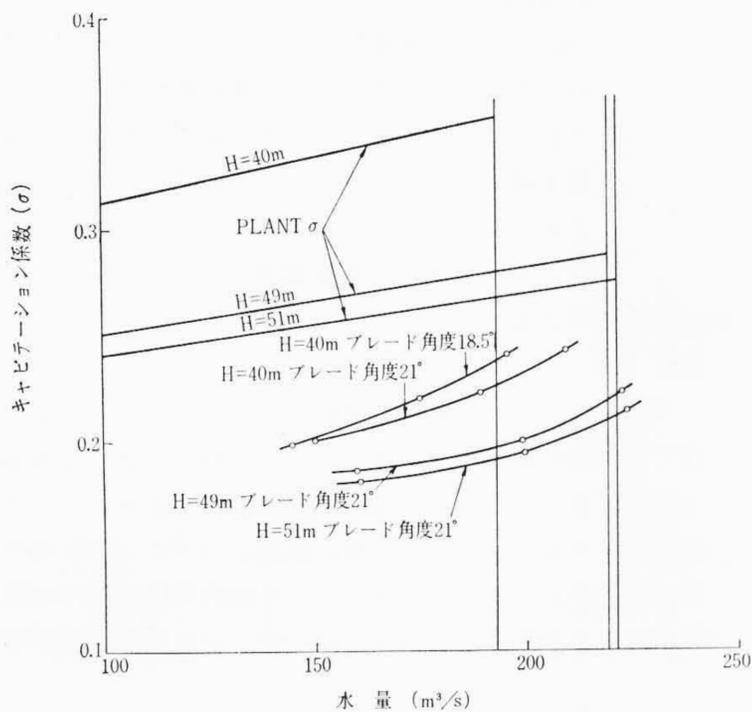
水車、発電機の回転部重量および水圧による推力は非常に大きな値となるため、起動時にはスラスト軸受の荷重を油圧によって平衡させて後起動する構造になっているが、この大きな推力に対して起動時に水車ランナの発生するトルクを推定するため模型試験を行なった。第8図は実物水車の推定起動トルク曲線を示す。

3.3 水車本体構造

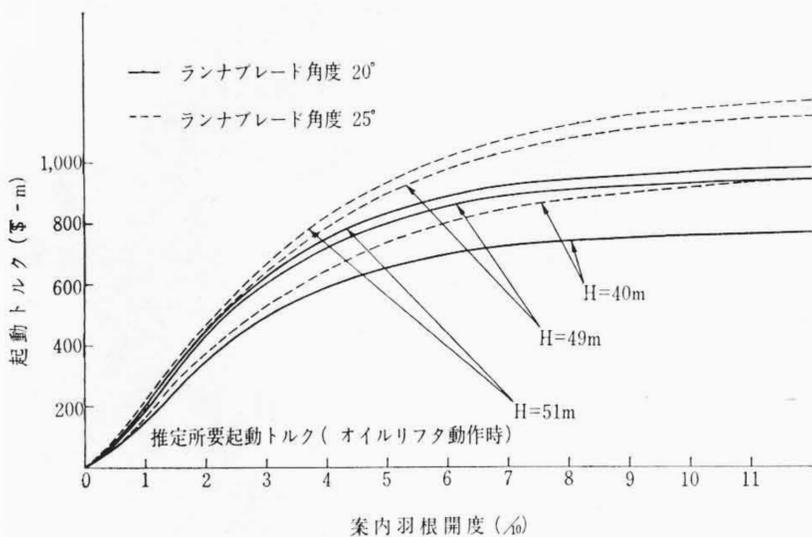
記録的な大容量機であるため、各部の構造、材質および据付方法については十分な検討を行ない、大型機に適した新方式を随所に採用した。これらの新方式採用箇所に対してはいずれも工場内において模型その他の方法により動作あるいは強度の確認を行なった上で製品化した。本機のおもな構造的長は下記のとおりである。

- (i) ランナおよび回転部を除き全面的に溶接構造を採用した。
- (ii) ケーシングの接続を現地溶接構造とした。
- (iii) 案内羽根用サーボモータを上カバーに設置する構造とした。
- (iv) ランナブレードをブレード部とステム部を別個に製作してボルトで結合する分割式構造とした。
- (v) カバーライナを案内羽根数と同一に分割して製作するセグメント方式を採用した。
- (vi) 軸受点検用防水装置を自動操作式とした。
- (vii) 案内羽根を溶接構造にて製作した。

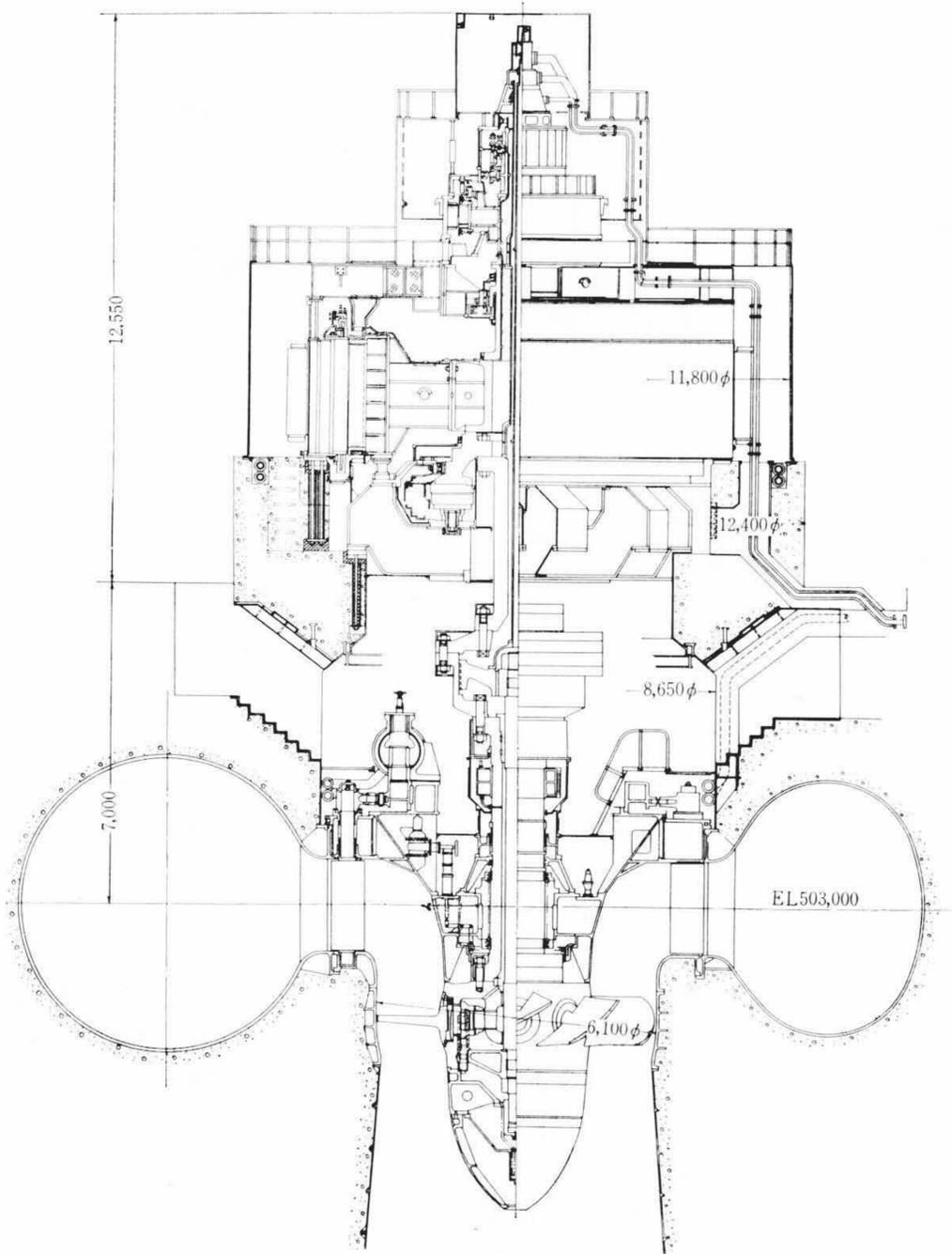
第9図は水車および発電機の構造図、第10図は水平本体工場組立状況を示す。



第7図 キャビテーション性能曲線



第8図 起動特性曲線



第9図 水車および発電機構造断面図

3.3.1 ランナ

ランナ外径6.1m水車回転部総重量約290tという大形ランナであるため、製作および試験工程にそれぞれ新方式を採用した。

ランナブレードは新翼形を採用した7枚羽根で、製作、組立、運搬を容易にするためブレード部とステム部とをそれぞれ別個に製作してボルトで結合する構造である。ブレード部分は耐食性のすぐれた13Cr 鋳鋼、ステム部分は強大な水圧力、遠心力に耐え得る特殊鋳鋼としそれぞれの機能に応じて材料を使用した。

ランナブレード形状の加工にはならい機械を使用し、加工精度を高めるために原寸大のマスターブレードを使用した。

プレート外周部に発生しがちなキャビテーションに対しては腐食保護のライニングを行ないかつ防食片を取り付けるなど万全の処置を施している。強大な荷重を受けるランナボスは強度の高い特殊鋳鋼製とし、流水面はステンレス鋼肉盛によって保護した。ランナボスは輸送限界最大寸法(外径約3.5m×長さ2m)となり、輸送については特に注意が払われた。第11図はその貨車積み込みの状況である。

ランナの静的平衡試験はボス、ブレードのほかブレード操作リンクなどを正規状態に組み立て、中心にボール支点を置いて行なった。

ランナの動作状況は第12図に示すようにランナ、水車主軸、サーボモータ、圧油導入装置を接続し、油圧操作によって確認した。

3.3.2 ケーシング、スピードリング

ケーシング、スピードリングとも鋼板溶接構造とし、ケーシングは55分割、現地溶接組立式、スピードリングは6分割、フランジ組立式とした。ケーシングとスピードリングの合計重量は約325tで、第13図にその外観を示す。これらの製作に当たっては輸送上の制約によって非常に分割数を多くせねばならなかったため現地作業を非常に困難ならしめたが、その反面、各分割ごとに強度の検討が行なわれ、経済的な構造とすることができた。

ケーシングの現地溶接作業は機械加工完了面を変形させないようにするため、慎重な作業方法が必要とされるものであるが、本発電所においては下記のような不利な条件が付加されたため非常に困難な作業となった。

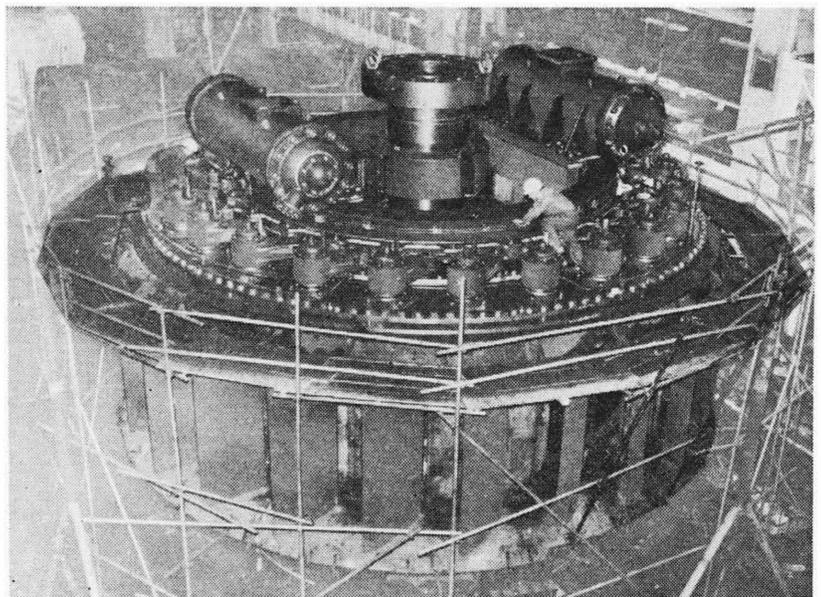
(A) 本発電所は豪雪地帯で、冬期の建設作業は通常中止状態となるべきところを、工期短縮のためこの期間にケーシングの溶接作業を行なうことになった。このような豪雪地帯での越冬作業は初めての試みであるうえ、現地の気温はほとんど0°C以下の日が続き、そのうえなだれの危険を感ずるなど、作業条件が非常に悪かった。

(B) 輸送制限によってケーシング分割数が多くなり溶接量が膨大となった。溶接線長さはケーシング部約390m、ケーシングとスピードリングとの接続約61mに達した。

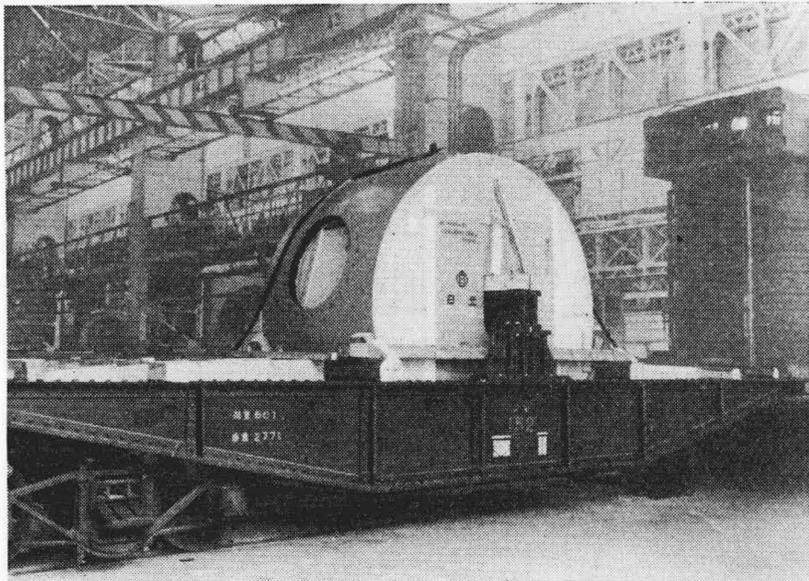
(C) 低落差用機械であるためケーシング寸法に比べてケーシング板厚が薄く剛性が小さい。しかし、これらについては事前に十分検討を行なって作業方法を確立し、それに基づいて作業したので作業中ほとんど問題も起こさず、期待どおりの製品を完成することができた。作業順序および完成後の結果は下記のとおりである。

(a) 組立

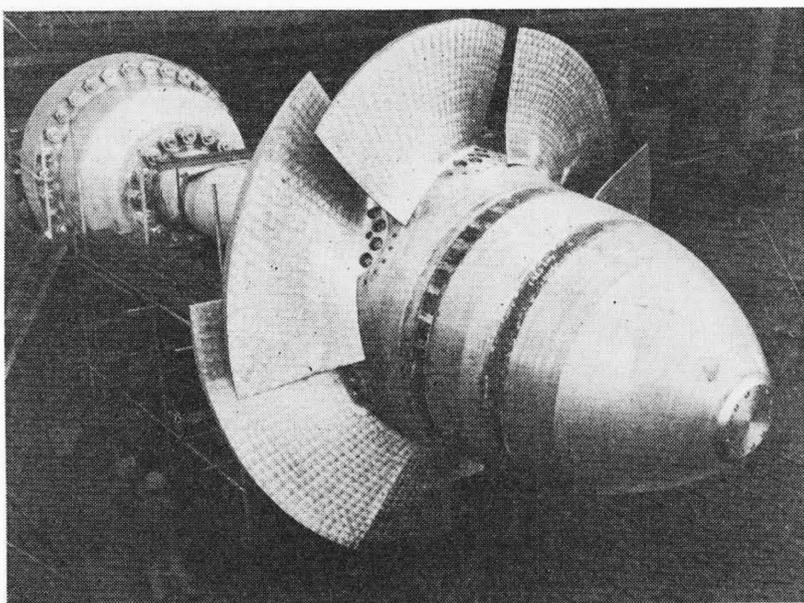
スピードリング設置後補強材として、水車カバー類を組み立てた。特に本水車はステーパーンが高く、また案内羽根の上下間げきが小さいので案内羽根に影響するケーシングの溶接変形を早期に発見する必要がある。そのため12枚の案内羽根を組み立て、溶接途中において案内羽根の動作の確認ならびに上下の間げきを測定した。ケーシングの組立順序はあ



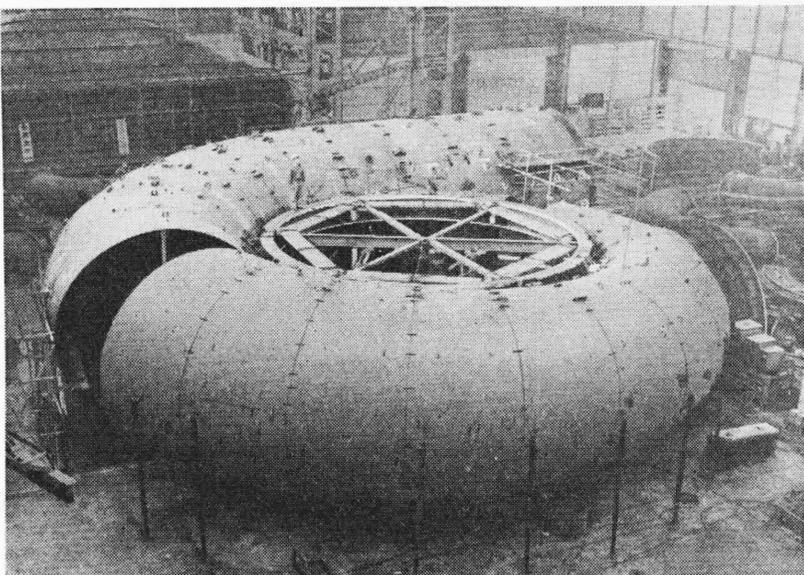
第10図 水車本体(工場で組立中のもの)



第11図 ランナボスの貨車積状況



第12図 ランナブレード工場内操作試験



第13図 ケーシング (工場で組立中のもの)

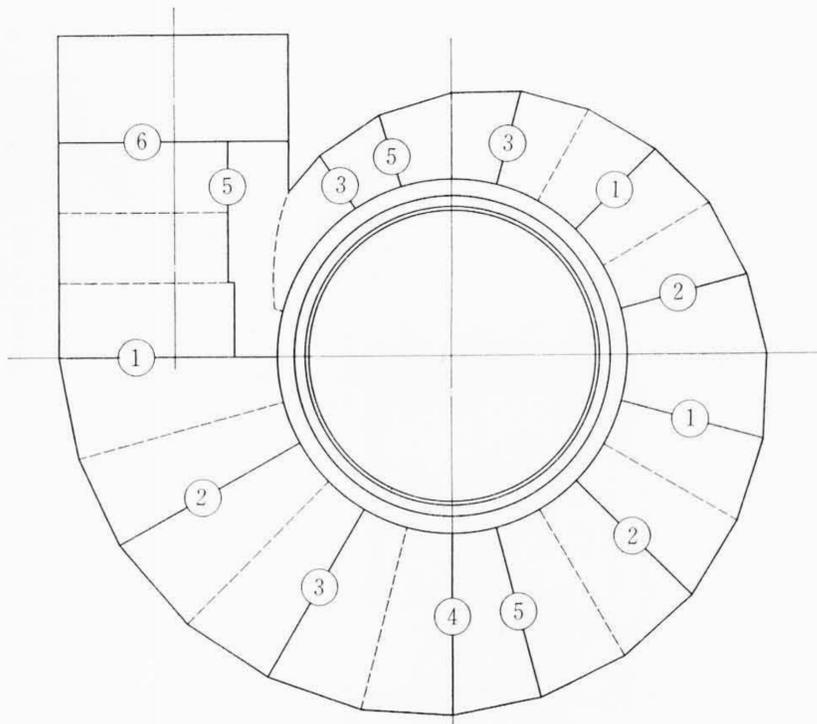
らかじめ組立場において背割部の溶接を行ない円弧状のピースとし、さらにこのピースを2個溶接し、これをスピードリングに組み立てた。

(b) 溶 接

溶接は第14図に示す順序にしたがった。この間スピードリング部の歪測定を各段階ごとに行ない、ひずみが過大にならないように溶接方法について常に注意を払った。

(c) 検 査

溶接完了後のスピードリング内周部およびケーシング入口部の変形は、水車本体および水圧鉄管の組み立てには全く支障のない値であることを確認した。溶接部は溶接作業中にダ



第14図 ケーシング溶接順序 (記入 No. は溶接順序を示す)

イチェック検査を行ない、さらに溶接完了後X線検査(ケーシングとスピードリングとの接続部56箇所、ケーシング溶接部124箇所)を行なったが満足な結果を得た。

(d) 工 程

ケーシング、スピードリングの現地作業に要した日数および作業員は下記のとおりである。

スピードリング組み立てよりX線完了まで92日間(平均作業員約20名)

3.3.3 案内羽根用サーボモータ

案内羽根用サーボモータは上カバー上対称位置2箇所を設置する構造を採用した。それぞれ2個のピストンを有する直動式構造で、ガイドリングとの接続部はスライダブロックを備え、力の伝達を行なっている。上カバー設置形のサーボモータは従来のバレル内設置形、ピットライナ側面設置形に比べ土木作業と並行して機械の据付けができることおよび分解点検が容易であるという大きな利点を有している。

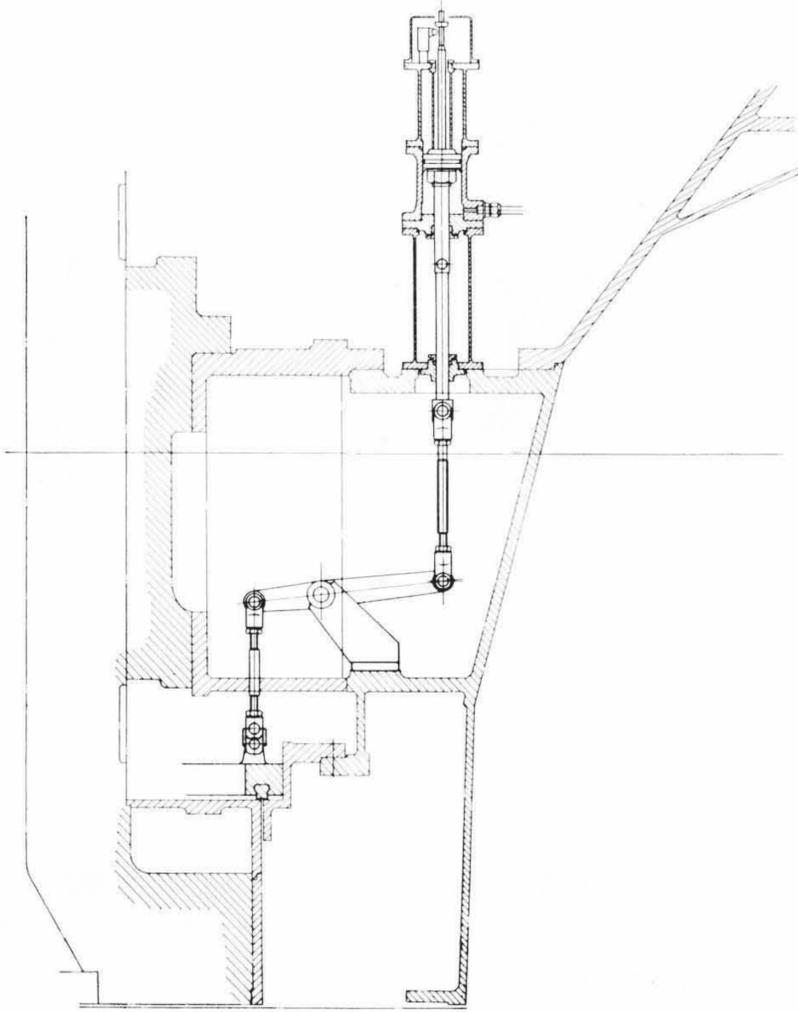
3.3.4 案内羽根

案内羽根はベーン部とステム部とをそれぞれ別個に製作し溶接する構造を採用した。ベーン部は鋼板製であるが、ステム部は強大な水圧を支持するため特殊鋳鋼製である。ベーン表面は鋼板の平滑面を利用し機械加工を省略したために変形を極力少なくする必要はあるが、ステムが非常に長いためステムとベーンとの溶接には変形が予想された。そのため試作品の製作によって溶接方法、順序などを検討するとともに溶接部の強度についても破壊試験を行なってその強度を確認した。

案内羽根上下のカバーとの間げきは停止時滴水量減少の目的で従来の標準の約60%程度の値まで切りつめた。この小さい間げきを保持するために案内羽根間げきの調整台上カバー上に備えている。

3.3.5 カバ ー 類

上カバー、ウォールリング、ディスチャージリングとも鋼板溶接構造である。ウォールリング、ディスチャージリングはコンクリート埋込式であるためコンクリート打設時に変形が生じないように十分な補強を施した。またランナ外周部に対応するディスチャージリング内面には腐食防止用にステンレス鋼板をライニングした。上カバー、ウォールリングの案内羽根対応部には交換可能なステンレス鋼製のライナを取り付けた。従来このライナはカバ



第15図 軸受部点検用防水装置

3.4 運転制御装置

大鳥発電所は、奥只見川発電所を親発電所として遠方制御され、また必要に応じて遠方制御によらず、直接に一人制御方式にも運転されるようになっている。遠方制御方式の場合には、本発電所の遠方直接切換開閉器を「遠方」の位置に、また直接一人制御方式の場合には「直接」の位置に置く。「遠方」にした場合は、親発電所の奥只見川発電所において、「準備」、「運転」、「停止」の各操作を行なうことができる。

以下に水車運転制御装置の各部について説明する。

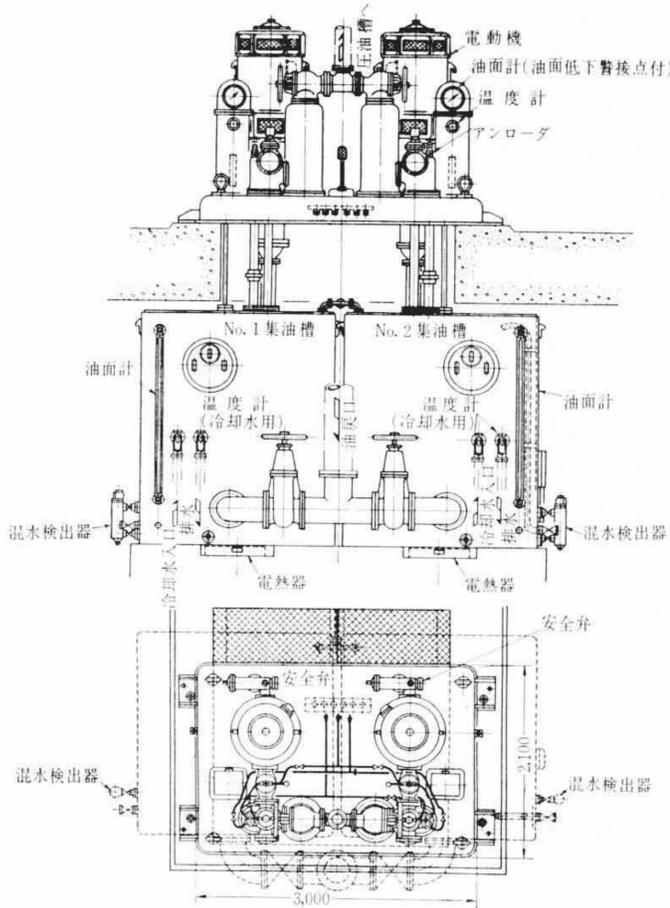
3.4.1 圧油装置

吐出量 1,300 l/min, 圧力 25 kg/cm² のスクリーポンプ 2 台が圧油ポンプとして使用されている。このポンプは、高圧一段スクリーポンプとしては記録的容量のもので、立軸、誘導電動機駆動である。2 台のポンプは同一仕様であり、いずれをも常用機、予備機とすることができる。常用圧油ポンプは、水車の運転、停止にかかわらず、連続運転され、水車運転中に圧油槽の油圧が規定値以下に降下した場合、または常用ポンプ用電動機が故障の場合は、予備圧油ポンプが自動的に起動し、圧油槽油圧が規定値以内に保たれるようになっている。圧油槽油圧が常用圧力に復帰し、かつ常用ポンプ側の故障が回復すれば、自動的に再び常用ポンプの単独運転方式に復帰する。水車停止中に圧油槽油圧が規定値以下に降下した場合は、油圧継電器が動作して予備ポンプが間欠運転し油圧を規定値に保つよう動作する。

圧油ポンプセットの据付外観図を第16図に示す。集油槽は二つの部屋から成り、互いに連続管にて内部が接続されている。清掃点検のときには、連結管のバルブを締め、一方の集油槽を清掃点検し、他方のみで運転することができるので、水車を停止すること、清掃点検を行なうことが可能である。油の温度の変動を年間を通してなるべく少なくするため、集油槽には油冷却器および電熱式加熱器が設けられている。圧油ポンプセット運転系統図を第19図に示す。

3.4.2 給排水装置

水圧鉄管の有水時においては、水車発電機各軸受、発電機空気冷却器、主変圧器冷却器などへの給水は、すべて水圧鉄管より自動ストレーナを通して供給される。水圧鉄管が無水時に変圧器へ給水する場合は給水主管の元バルブを閉じ、吸出管排水兼用の給水ポンプを起動させる。



第16図 圧油ポンプセット
(1,300 l/min, 25 kg/cm² × 2台)

一と同一数に分割されたが、局所的な摩耗に対して摩耗箇所のみ交換し得るよう案内羽数と同一数の分割にする構造とした。

3.3.6 軸受点検用防水装置

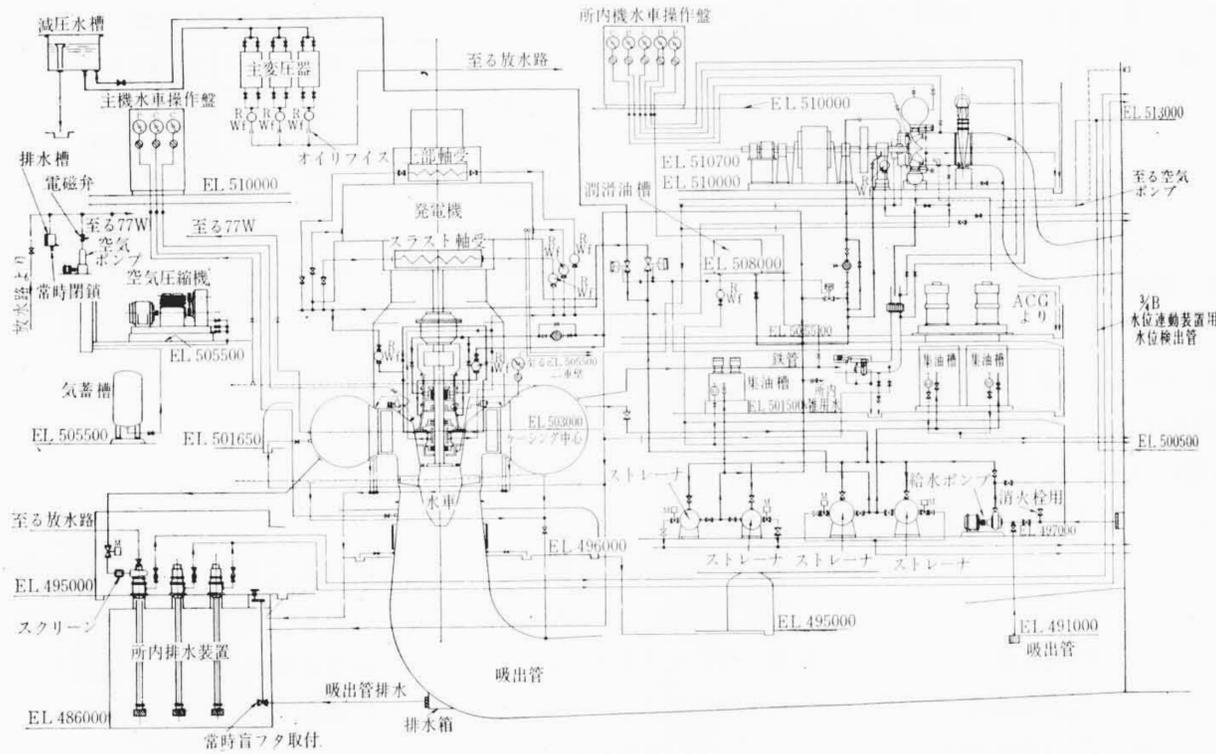
放水路水位が水車軸受部より上位にあるときでも容易に軸受部の点検ができるようにカプラン水車では一般に防水装置を設けるが、従来は手動操作式が普通であった。手動操作式を大形機に用いた場合は動作が円滑にできない欠点があるため、本水車においては第15図に示すような空気圧自動操作式を採用した。工場内において行なった動作試験、封水性試験の結果はいずれも良好で、従来の手動操作式あるいはゴムホース加圧式に比べすぐれていることを確認した。

所内排水ポンプには、誘導電動機駆動の常用、予備ポンプ 2 台、小水車駆動ポンプ 1 台が使用され、所内排水ピットの水位が上昇するにしたがい、常用排水ポンプ—予備排水ポンプ—小水車駆動排水ポンプの順に、水位に応じて自動的に起動し、排水ピット内の水を排水する。排水ピット水位が規定値まで下降すれば、自動起動された各ポンプは自動的に停止する。

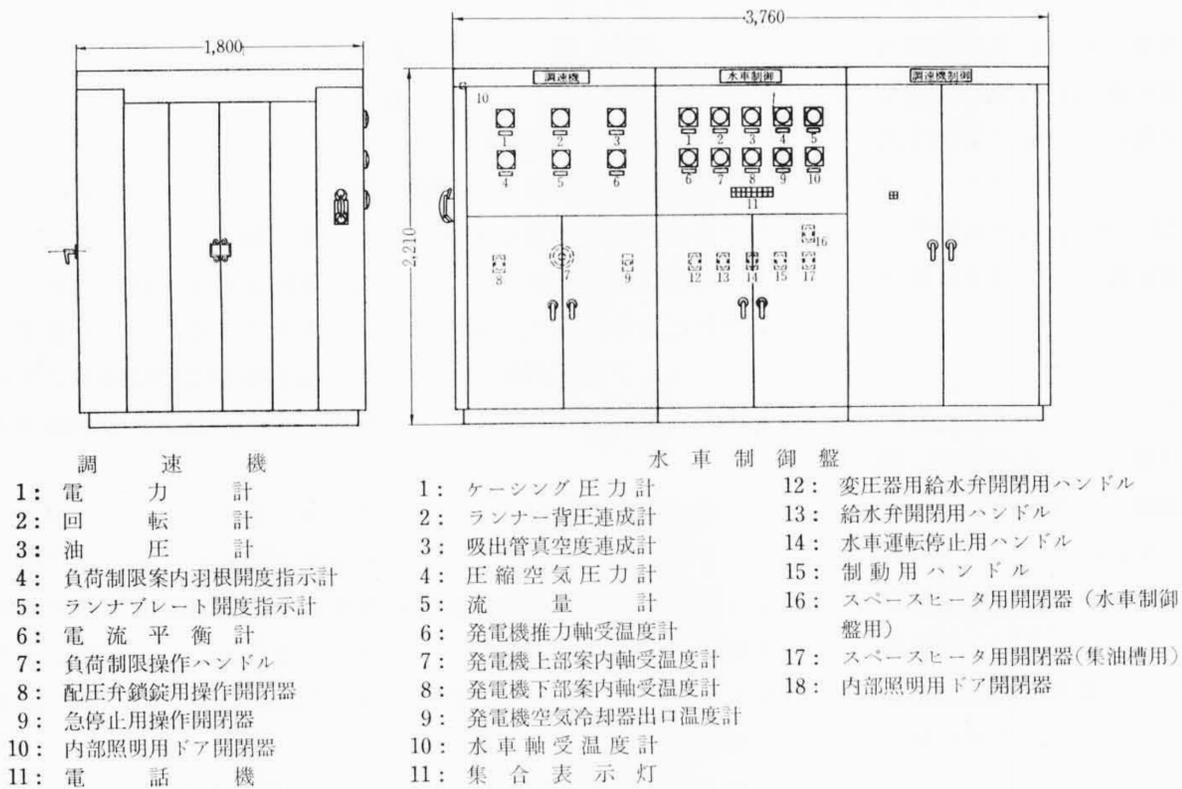
水車上カバーの排水には自吸式電動ポンプ 1 台が使用され、フロートスイッチにより断続運転され、上カバーのため水を所内排水ピットに排水する。給排水の系統図を第17図に示す。

3.4.3 調速機

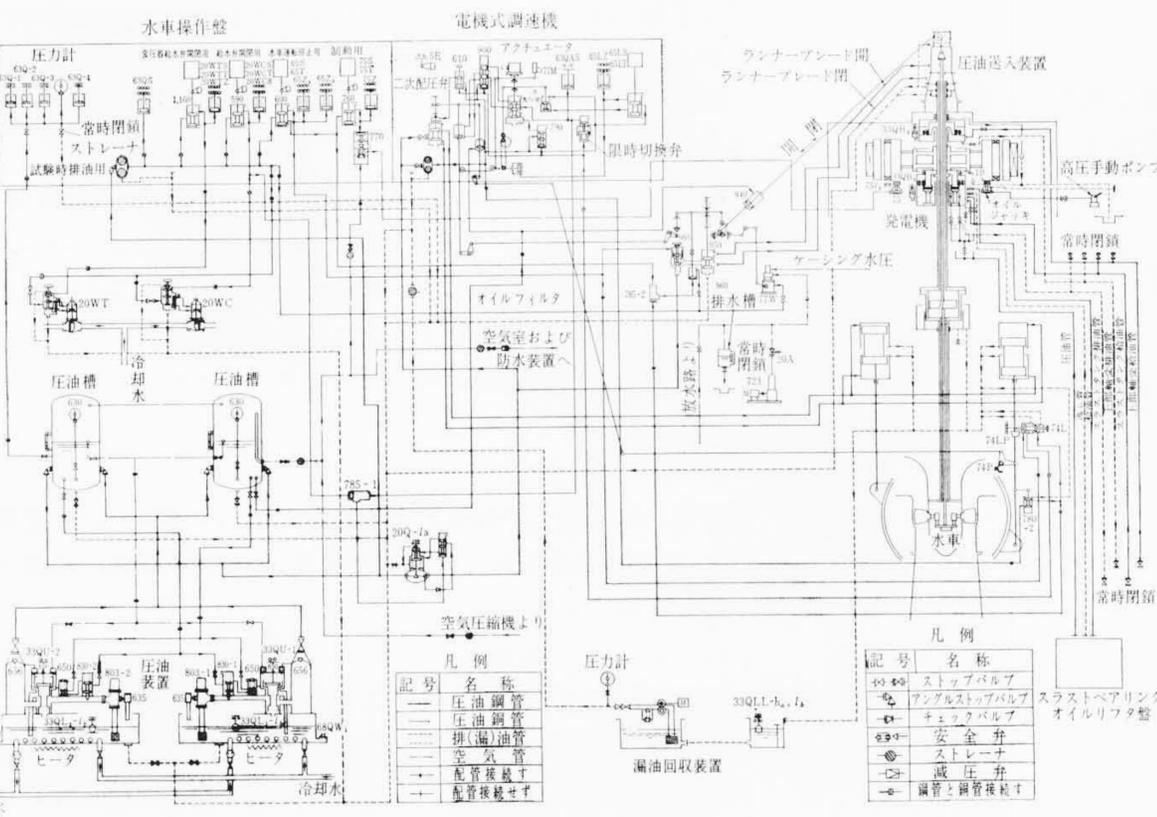
調速機には日立電気式調速機を使用している。主サーボモータ



第17図 給排水系統図



第18図 調速機



第19図 操作系統図

までの感度は0.05%以下で、系統の微細な周波数変動を検出し応動するに十分な性能を有している。速度調整範囲は46~52 c/s, 応答速度は約1/6~1/200, 単位出力/(秒 0.1 c/s)となっている。また、本調速機は安定したプログラム運転にも適応させるため、負荷時回転数と出力との関係に折線特性をもたせ、プログラム運転出力の前後に0.5%程度の回転数不動帯を有し、整定出力の変更にともない、不動帯の位置が同時に変更されるようになっている。落差の変動に対しては、水車効率が常に最適になるよう、案内羽根開度とランナベン開度の関係が落差変動に応じて自動的に調整される高能率運転装置を備えている。調速機盤面外観を第18図に示す。

調速機の工場での性能試験結果は次のとおりである。

- 感 度 (補助サーボモータまで) 0.015
- 不動時間 (1 c/s 急変させたとき) 0.05 秒
- (補助サーボモータまで)
- 平均最大調定率 7%
- 最大調定率 20%(折綿部で)
- ダンピング強さ, 最大 60%
- 時定数, 最大 12 秒

3.4.4 水車運転の順序

前述のように本発電所は奥只見川発電所からの遠方制御および、本発電所での直接一人制御の、いずれの方式にても運転することができる。遠方制御の場合には、「準備」、「運転」、「停止」の操作を奥只見川発電所より制御し、直接一人制御の場合は、起動準備を完了後、配電盤の順序制御器により、運転、停止の操作を行なうことになっている。準備から起動、運転、停止までの機器の動作順序は下記のとおりである。制御油圧系統および、圧油ポンプ運転系統を第19図に示す。

(i) 起 動 準 備

変圧器および水車発電機各部冷却水の通水、変圧器油循環ポンプおよび常用圧油ポンプの運転、グリース給油装置の運転、高能率運転装置用空気ポンプの運転などが行なわれる。

(ii) 起 動

スラスト軸受用オイルリフトポンプが起動し、スラスト入口油圧が規定値になれば、水車運転用電

磁弁が付勢され、调速機の起動装置により、案内羽根が起動開度を開き水車が起動する。回転数が規定値に達するとオイルリフトポンプは停止する。

(iii) 励磁

水車発電機速度が定格値の80%に達し、副励磁機電圧が70%以上になり、主回路が投入されていることを条件として、界磁促進継電器により界磁開閉器が自動閉路し励磁をはじめめる。

(iv) 並列

自動同期装置が加圧され、発電機電圧が90%に達すると、自動電圧平衡装置が、路線側電圧と発電機電圧が平衡するよう、自動的に調整され、電子管式自動同期装置により、系統と発電機が同期となれば、遮断器が自動投入される。投入後は出力調整電動機により負荷をとることができる。

(v) 停止

負荷制限電動機により案内羽根が徐々に閉じ、開度が約1/3以下になると、断続的に無効電力の遅れ進みが自動的に調整され、無効電力が零となるよう操作される。無負荷開度になると、遮断器および界磁開閉器が開路し、同時に停止用電磁弁の動作により案内羽根が全閉する。このときランナベーンは全開し次の起動が容易に行なわれるように考慮されている。水車の速度が定格の約20%に降下すると、速度継電器の動作により発電機に空気ブレーキがかかり、水車発電機が完全に停止すればブレーキは自動的に解除される。なおオイルリフトポンプは、水車停止に際し、水車回転数が定格の80%以下に降下すれば、速度継電器により起動し、水車回転数が5%以下に降下すれば、それから一定時間後に停止する。

3.4.5 非常停止

電氣的故障の場合には、非常停止用継電器により、主遮断器を自動的に開くと同時に、停止用電磁石が付勢され、水車停止、操作、発電機励磁の急速減磁、界磁開閉器開路が行なわれる。制動は上述の停止操作の場合と同様の順序で行なわれる。

主機過速度、主軸受温度上昇、调速機用油圧降下、调速機故障の場合および、急停止引きボタンを操作した場合は、停止用電磁弁が付勢し、水車を停止せしめる。この場合は案内羽根全閉鎖後に主遮断器が開路される。制動は上記と同様に20%速度が動作する。

4. 発電機

4.1 発電機仕様

形式	VEFK ₃ W-RD (立軸閉鎖通風準かさ形空気冷却器付回転界磁式制動巻線付)
定格	100,000 kVA
回転数	125 rpm
電圧	13,200 V
極数	48 極
力率	90%
主励磁機	定格 600 kW 極数 18 電圧 440 V 形式 VEFB ₀ -SP
副励磁機	定格 60 kW 極数 12 電圧 110 V 形式 VEFB ₀ -K
調整機用発電機	定格 1.732 kVA 極数 48

第2表 わが国の代表的大容量機の kVA/rpm

発電所名	出力 (kVA)	回転数 (rpm)	kVA/rpm
奥只見	133,000	200	665
御母衣	125,000	225	556
田子倉	105,000	167	628
大鳥	100,000	125	800
黒部第四	95,000/86,000	360/300	264/287
佐久間	93,000	200/167	465/556

電圧 110V

形式 VSB₀-R

4.2 構造

4.2.1 特長

本機は低速大容量機としては記録的な発電機である。発電機の重量は、大体、次の式で示されるといわれており、わが国の大容量機について kVA/rpm を表示して見ると第2表のようになり、本機は日本最大、世界的にも最大級に属している。

$$W = k \left(\frac{\text{kVA}}{\text{rpm}} \right)^n$$

W: 重量

k: 常数

n: 常数

次に推力荷重が非常に大きいため、エンドブラケットおよび推力軸受に対しては幾多の試験を行なってから、設計に着手したものである。推力荷重が大きいため、推力軸受径が大きく、したがって油槽の外径が大きくなる一方、無拘束速度が高いため、回転子継鉄応力の関係で、回転子内径を大きくすることができず、したがって、下部案内軸受をあまり回転子中心に近づけることができなかった。そのためかさ形が採用できず、準かさ形が採用された。

最近の溶接技術および、非破壊試験の進歩によって、溶接シャフトを採用する傾向にあるが、本機の上部シャフトも溶接構造により製作された。本機は電源開発株式会社御母衣発電所納発電機と同様、主機、励磁機を一つのカバーでおおった全密閉式構造であるが、励磁機通風路の設計には、前機の例よりもさらに進歩した構造を採用した。

第20図は現地組立完了した発電機の外観を示す。

4.2.2 固定子

固定子わくは、鋼板溶接により作られており、輸送制限のため6分割されている。鉄心には高級ダイライトコアが使用しており、固定子線輪はワンターンコイルで、絶縁はSLS絶縁が採用してある。

鉄心端部には、鉄損および漂遊負荷損低減のため、第21図のような工夫が施されている。すなわち、鉄心1パケットのみ、段付きとし、かつ細みぞを切り、鉄心端部に垂直方向よりはいる磁束による鉄損を防止している。また鉄心歯押え金具には、非磁性金属を使用し、その表面に細みぞを切り、ここに発生する損失を減少している。

4.2.3 回転子

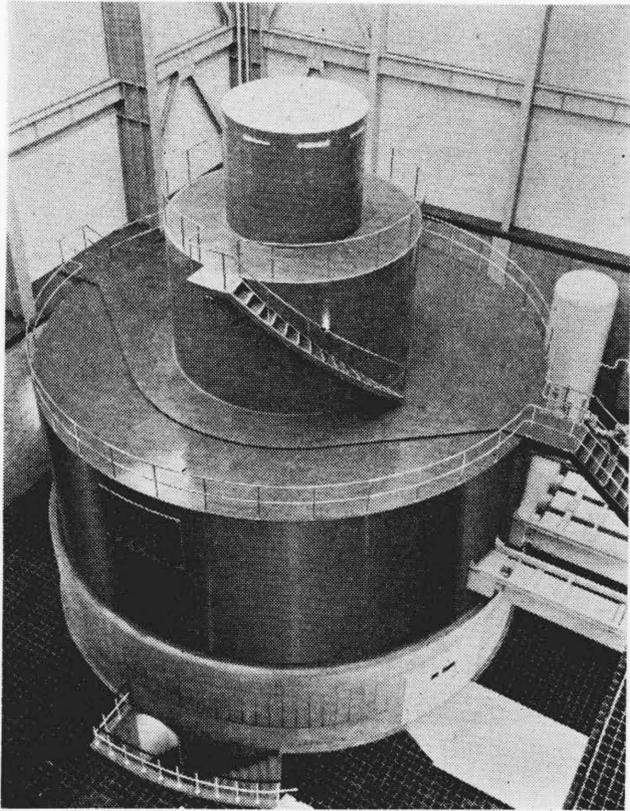
完成された回転子の外観を第22図に示す。回転子の積厚は2.5 m、直径は7.456 mで、無拘束速度338 rpm(270%)に耐えるよう設計されている。

(i) ふくてつ

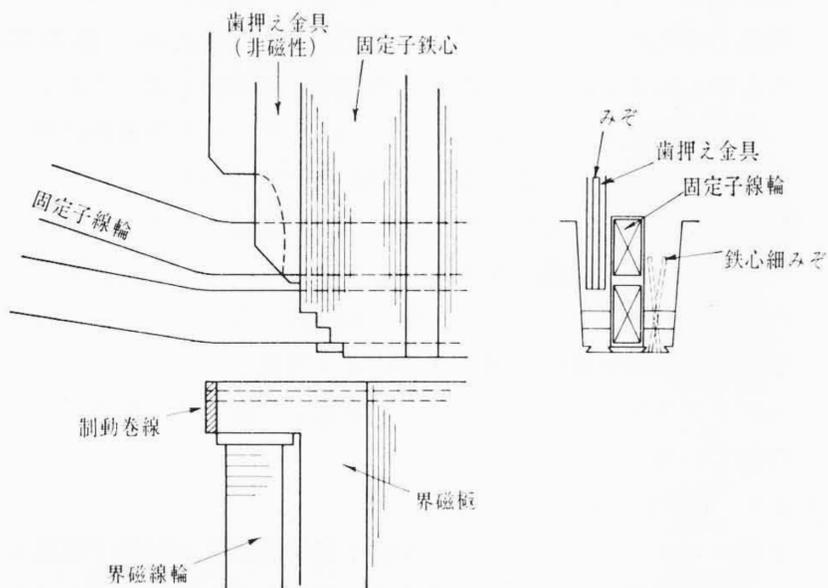
輻鉄は、輸送の関係で、ボスと8本のアームに分割できるように製作された。一般にかさ形構造では、回転子中心と下部案内軸受を近づける目的で、軸受タンクを回転子内部に押し込むため、輻鉄は上下非対称形となることが多いが、本機は輻受タ

ンクが大きいため、回転子内部に押し込めず、したがって輻鉄は上下対称形とした。

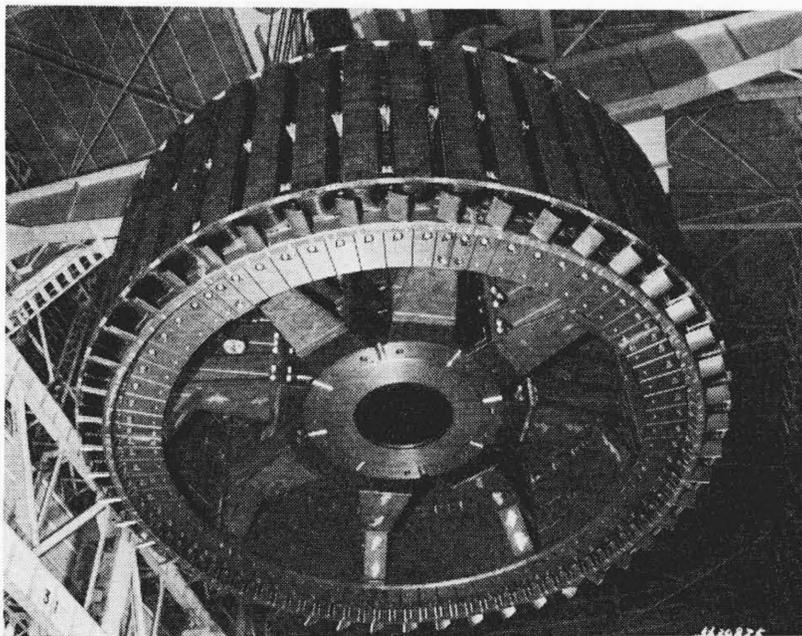
輻鉄アームには、溶接構造を採用し、負荷トルクによる応力



第20図 現地組立完了した発電機



第21図 鉄心端部の漂遊負荷損低減



第22図 完成された回転子

の流れが、円滑に伝達されるように考慮して、1本のアームに対し、4枚の水平フランジを設けている。アームはボスにボルトにより締付けしてある。ボスの上端には上シャフト、下部には下シャフトが接続される。

(ii) 継鉄

継鉄は扇形に打ち抜かれた薄鉄板を積み重ねた、いわゆるセグメントヨークである。積み方は、セグメントの継ぎ目による有効断面積の減少を最小にしかつセグメント同士のラップ面積を大きくする方法を採用した(特許出願中)。継鉄の積厚が高いため、界磁極の中心部の冷却効果が悪くなるので、ここに冷却風が行くように継鉄中央部に冷却ダクトを設けてある。

(iii) 主軸

主軸は上部シャフトおよび下部シャフトに2分されており、下部シャフトはシャフトカラーとともに、また上部シャフトは直接、輻鉄ボスに取り付けられる構造である。

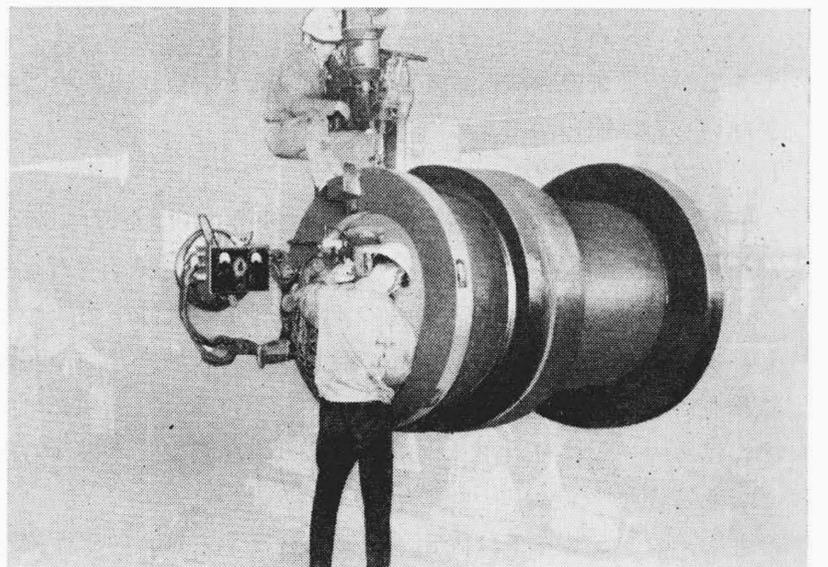
上部シャフトは前に述べたように溶接シャフトである。第23図は溶接作業中の写真である。材質は軸部およびフランジ部ともボイラ鋼板を使用し、軸方向の溶接はエレクトロスラッグ、円周方向の溶接はユニオンメルトである。溶接後十分ノーマライズイングとテンパーの熱処理を行ない、溶接部の組織の均一化を図った。完成したシャフトは十分にX線検査を行ない、有害な欠陥のないことを確認したほか、運転中主軸温度が上がっても、曲りの出ないことを確認するため、ヒートインジケーション試験を行ない、振れの出ないことを確認した。

(iv) 界磁極

界磁極鉄心は積層式であって、両端部には鍛鋼製の端板が取り付けられ、端板間に打ち抜かれた鋼板が積み重ねられ、リベットで固定される。

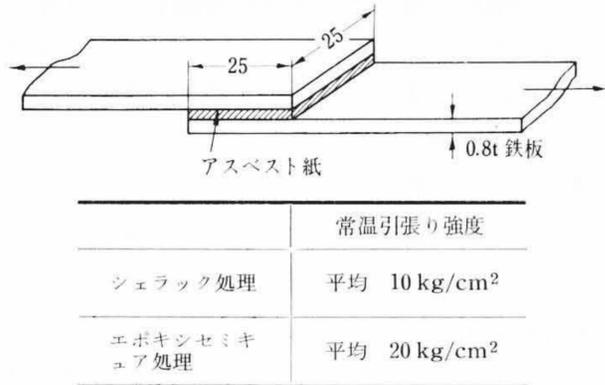
界磁線輪は平角銅のエッジワイズ巻で、段間絶縁には、セミキュアエポキシアスベスト紙が使用されている。セミキュアエポキシアスベスト紙は最近開発されたものであって、従来使用されていたシエラック処理アスベスト紙と比較して、その銅線との接着力は第3表に示すようにかく段と大きくなっている。線輪の上下端には、アルミ製心金入り、ベクライトモールドボビン板が取り付けられている。

界磁極の長さが長いため、無拘束速度到達時、界磁線輪の変形が大きくなる。これを防止するため、中央部に界磁線輪支持金具を1個取り付けている。この支持金具は継鉄内面より締付けボルトで締付けられているので、万一線輪絶縁の枯れのため支持金具がゆるんでも、回転子を抜き出さずに増締めすることができる(特許出願中)。第24図は従来の方法と比較して図示し



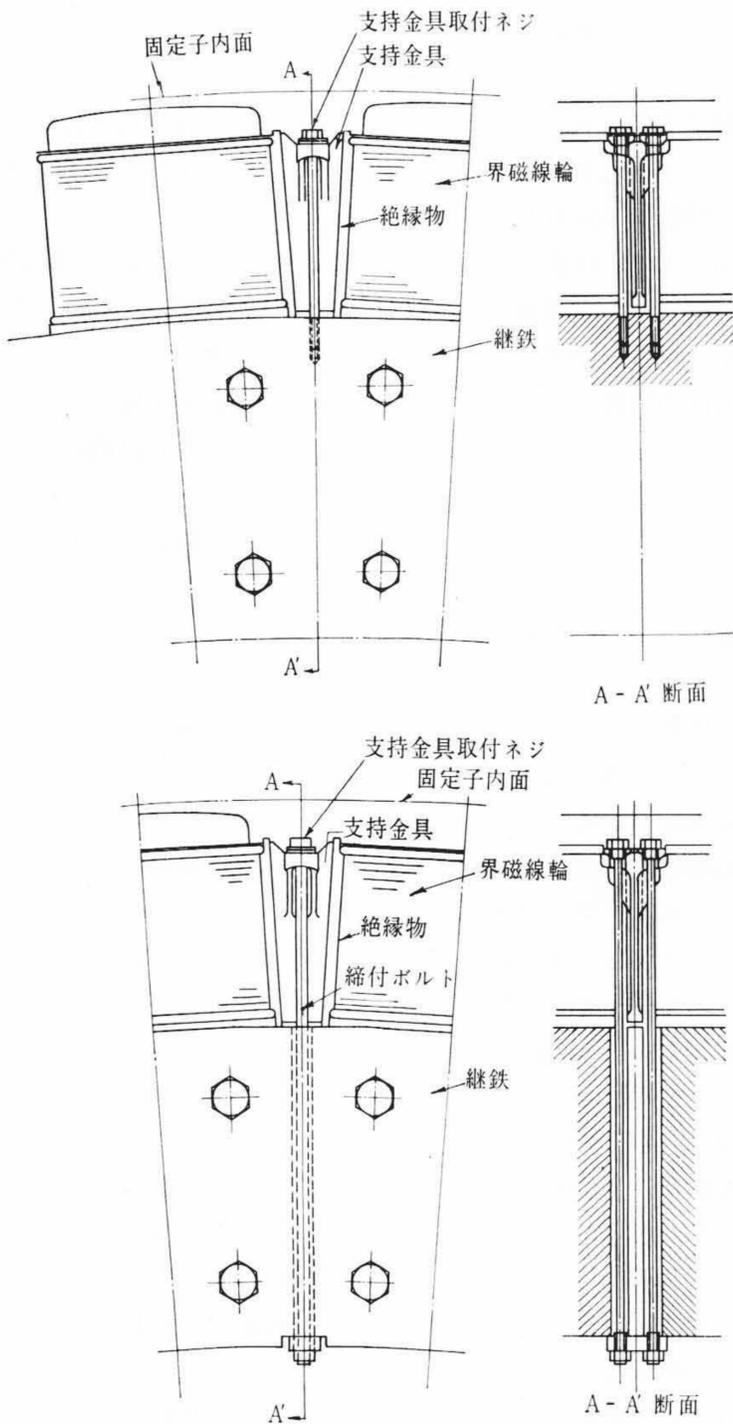
第23図 溶接作業中の上部シャフト

第 3 表 界磁線輪段間絶縁接続強度試験結果



第 4 表 わが国代表的大容量機の推力荷重

	出力 (kVA)	推力荷重 (t)	直結水車
奥只見	133,000	1,075	フランス
御母衣	125,000	1,060	フランス
田子倉	105,000	868	フランス
大黒部	100,000	1,920	カブラン
第四	95,000/86,000	299	ベルトン
佐久間	93,000	855	フランス
揚川	30,000	752	カブラン



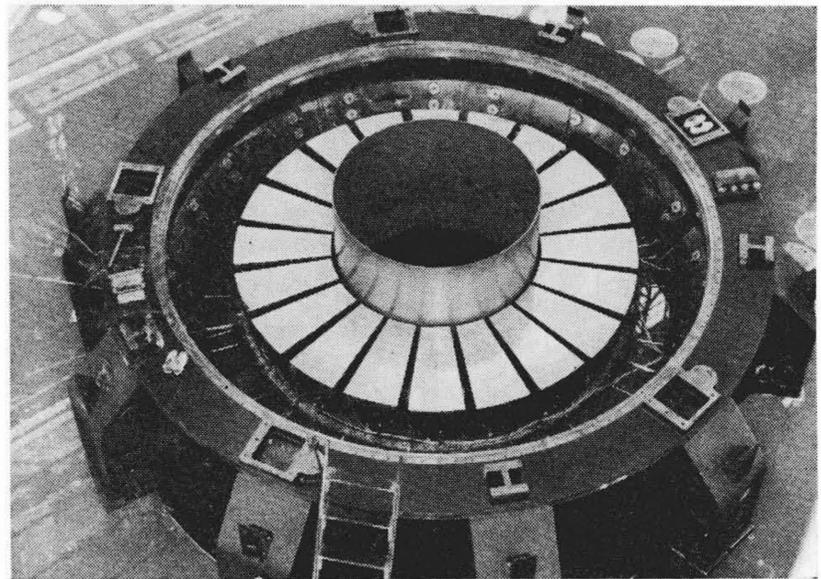
第 24 図 界磁線輪支持金具取付け方法の比較

であるが、従来の方法による増締めは回転子を抜き出さねばできないことは明らかである。

(v) フ ァ ン

回転子上下面には、全溶接製軸流ファンが付けられた。界磁線輪長が長いので、十分冷却風を界磁線輪中央部まで送るため、軸流ファンとした。ファンの羽根断面形状は中空翼形とし、羽根とファンボスの溶接部は溶接作業が容易で、かつ非破壊検査が可能のように特殊な設計となっている。上部ファンボスにはカバーをはり、ボス部における風損を減少するよう考慮してある。

なお、ファンガイドは固定子線輪に近接するため非磁性鋼を使用した。



第 25 図 推力軸受外観

(vi) ブ レ ー キ

回転子下面には、ブレーキリングが取り付けられている。制動中はリング表面が摩擦熱のため、著しく加熱し、これによる熱応力のため、リングが変形するのを防止するため、第 22 図にも示したようにリング表面に適當間隔にみぞを切っている。

ブレーキシリンダおよびピストンは、ブレーキの動作に使用する圧縮空気にふくまれる水分のため、さびが生じ、ブレーキ動作が不円滑となるおそれがある。これを防ぐためシリンダには非磁性鋼の肉盛りをするとともに、ピストンを真鍮製とした。ブレーキシリンダには、集じん装置が取り付けられ、制動中生ずるごみを機内に飛ばさないよう考慮してある。また下部エンドブラケットより簡単にはずせるよう取り外し装置が設けられている。

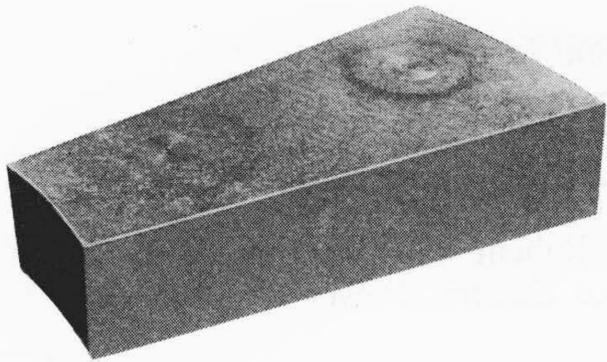
4.2.4 下部エンドブラケット

下部エンドブラケットは、発電機下部に設置され回転子重量も含め、全推力約 1,920 t を支持するものである。推力軸受および下部案内軸受は同一油槽内に設置される。アームの数は 10 本であるが、輸送制限のためアームと上・中・下リングおよびタンクに分割されている。この構造は、電源開発株式会社佐久間発電所納 93,000 kVA 交流発電機下部エンドブラケットで採用された方式に類似している。

4.2.5 推 力 軸 受

推力軸受は、キングスベリー形で、調整ボルトにより支持され、適切な油膜ができるよう、各シューは自由に傾くことができる。第 4 表はわが国における大容量機の推力荷重を示す。軸受外径は 3,890 φ、セグメント数は 20、このためメタル外観は、円周方向より半径方向が長いという特殊な形となった。細長いため、軸受シュー変形が大きくなり、油膜の形成に困難があることを考慮して、サポートを特殊な構造とした。本軸受は、設計に先立ち、実物大メタルにより熱および圧力を与えて変形を測定し、適切な寸法を決定したものである。第 25 図は推力軸受外観である。

推力軸受シューとランナの間の油膜は、発電機停止中切れ、互



第26図 推力軸受シュー

いに金属接触に近い状態にあると考えられるので、本機のように起動時の推力荷重の大きな軸受では、起動時に軸受面に無理がくる。このため、圧油起動装置が取り付けられ、起動時および停止時に軸受シューとランナとの間に圧油をそう入する方式としてある。シューの形が細長いので、シュー全体に均一に圧油がまわらない恐れがあるため、シュー1個に2個の圧油孔を設置してある(第26図)。この穴には、単独に油量調整弁が設けられ、回転部が均一に浮き上がるよう調整されている。

工場試験の際には、シューに圧力計、温度計、油膜厚み計を取り付け、運転時の油膜圧力、温度、圧力分布を測定し、安全性の裏付けとした。20個の調整ボルトのうち14個を下に下げ、6個のみで回転子重量を支持すると、シューには現地でかかる荷重とほぼ等しい荷重を工場においてかけることができる。この実荷重試験の結果現地における安全性を確認することができた。

4.2.6 上部エンドブラケット

上部エンドブラケットは固定子上部に設置され、上部案内軸受にかかる半径方向荷重および励磁機、圧油ヘッドの重量をささえている。上部エンドブラケットのアーム間の半数は励磁機の冷却風の入気路となり、半数は吐出路となる。吐出路にはカーボン粉を除去するため空気ろ過器が設けられている。

4.2.7 励磁機

主励磁機は出力 600 kW、定格電圧 440 V、副励磁機は 60 kW、定格電圧 110 V である。発電機上部に直結され、密閉風道内に設置されており、発電機本体の冷却風により冷却される。吐気は主発電機の上部エンドブラケットアーム間に設けられている、空気ろ過器をとおり発電機風洞内にもどされる。密閉風道内は刷子、空気ろ過器などの点検に便なるよう考慮して設計されている。調速機用発電機は副励磁機の上に直結されている。

自動電圧調整装置としては回転増幅形が使用され、これと組み合わせて急速励磁方式が採用されている。

5. 結 言

以上電源開発株式会社大鳥発電所納 100,000 kW カプラン水車および 100,000 kVA 交流発電機の概要を述べたが、本機は昭和 38 年 11 月営業運転にはいった。本カプラン水車は容量においてわれわれの実績を一挙に 2 倍以上飛躍させた記録的なものであるが、現地において支障なく運転にはいることができたことは誠に喜ばしい。

終わりにのぞみ、本機の製作に当たり、熱心なご指導を賜った電源開発株式会社の関係者各位に深甚な謝意を表する次第である。



登録新案 第719835号

新案の紹介



丹 秀 太 郎

相 分 離 形 密 閉 母 線

密閉母線においては温度変化による伸縮を接続部で吸収するとともに、内部を気密に保持する必要がある。従来、この種母線装置としては、接続すべき遮へい箱に円筒形接続箱を跨せ、これらの箱間にパッキングを介装してしゅう動可能に締め付けたものが提案され実用に供されているが、この方式によれば、しゅう動可能なるように締め付けるため完全に気密を保持することができず、特に、屋外に配置されるものでは雨水あるいはじんあいなどの侵入が防止できなかった。さらに、これの欠点は製作公差および据付誤差の吸収が

困難なことであった。本案は接続すべき遮へい箱4に円筒形の接続箱6を跨せた後、遮へい箱4および接続箱6に圧接した凹リブ5ならびに凸リブ8,9間の凹部16に伸縮自在な膜状パッキング11の両端に設けた凸部12および13に係合させ、この上から締付バンド14で締め付けるようにしたものであるから、遮へい箱4と接続箱6の製作上の外径公差および組立、据付時の中心のずれなどの誤差を容易に吸収しうるとともに、接続作業容易にして確実な防水防じん効果が得られる。(岩田)

