

電 源 開 発 株 式 会 社 納
佐 久 間 発 電 所 用 100,000 kW 水 車 に つ い て
 100,000 kW Francis Turbines for Sakuma Power Station

深 栖 俊 一* 外 岡 英 徳*

内 容 梗 概

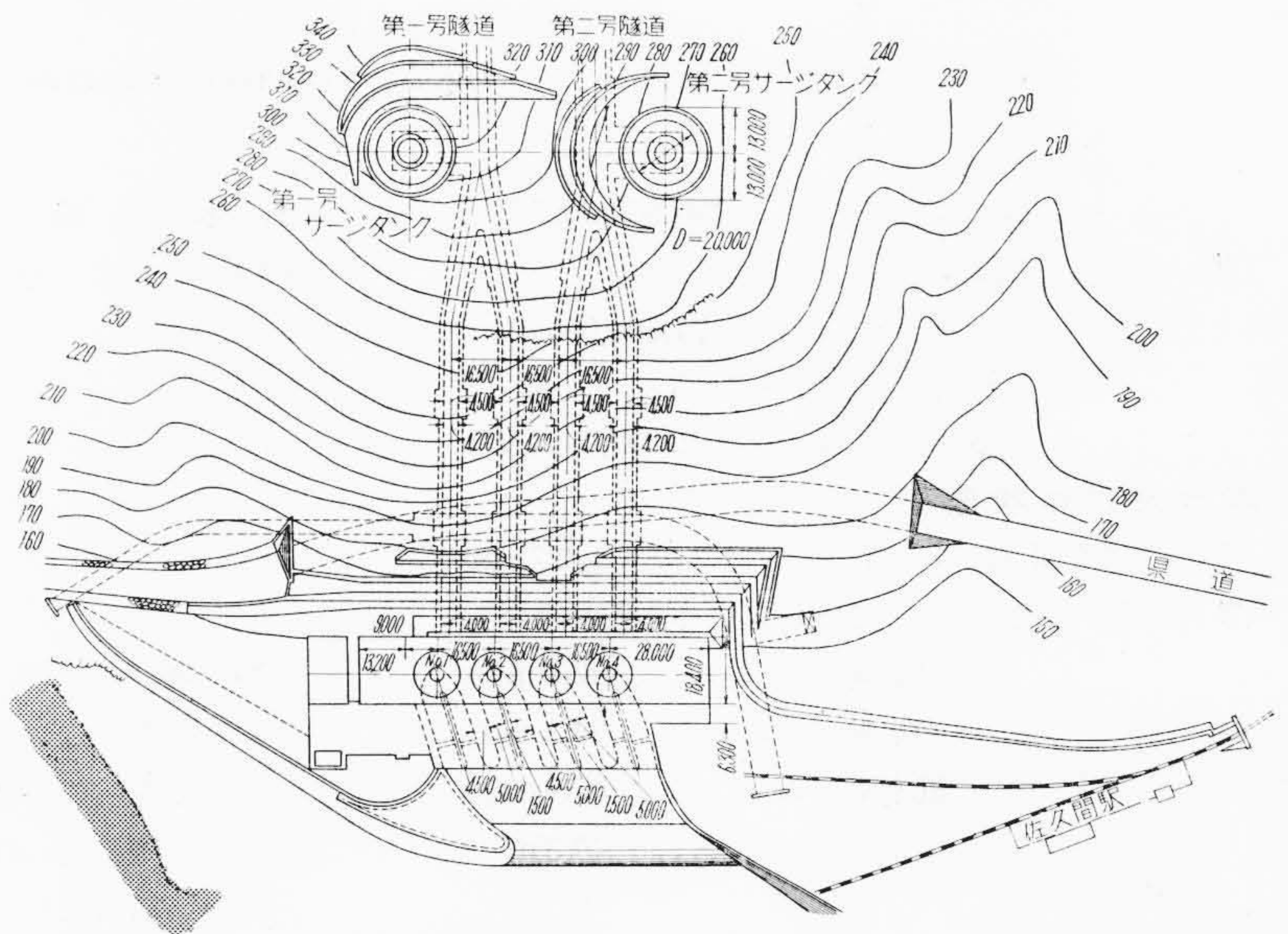
電源開発株式会社佐久間発電所は本邦最大の 100,000 kW 堅軸フランシス水車 4 機が設置され、その内の 2 機が日立製作所で製作された。本発電所は容量が大きいのみならず、両サイクル運転、落差は最高 135m から 105m まで変るといふ条件があり、実物ランナの設計製作に際し幾多の模型試験が実施された。

水車本体としてはスピードリングを鋼板にて製作せる他、ランナ、主軸、ケーシングなどすべて自家で製作し、圧油は常用 21 kg/cm^2 を採用し、圧油ポンプとしてスクューポンプを採用しているなど幾多の特長を有するが、世界的記録品がここに完成して、斯界における我国の地位を一段と高めるものと信ずる。

〔I〕 緒 言

佐久間発電所は、最大出力 350 MW で本邦最大の 100,000 kW フランシス水車 4 台が設置され、そのうち 2 機が日立製作所において製作された。

本水車の設計製作に当つてはあらゆる検討、試作研究が行われ、特に本発電所の特色である両サイクル運転、変落差運転に適合せしむべく、ランナの設計については慎重な検討を行い、多くの模型試験により最適のランナが実物として採用された。以下本水車の設計製作の概要について紹介する。



第 1 図 発 電 所 附 近 平 面 図
 Fig. 1. Plane View of Sakuma Power Plant and Its Surrounding Area

〔II〕 発 電 所 計 画 概 要

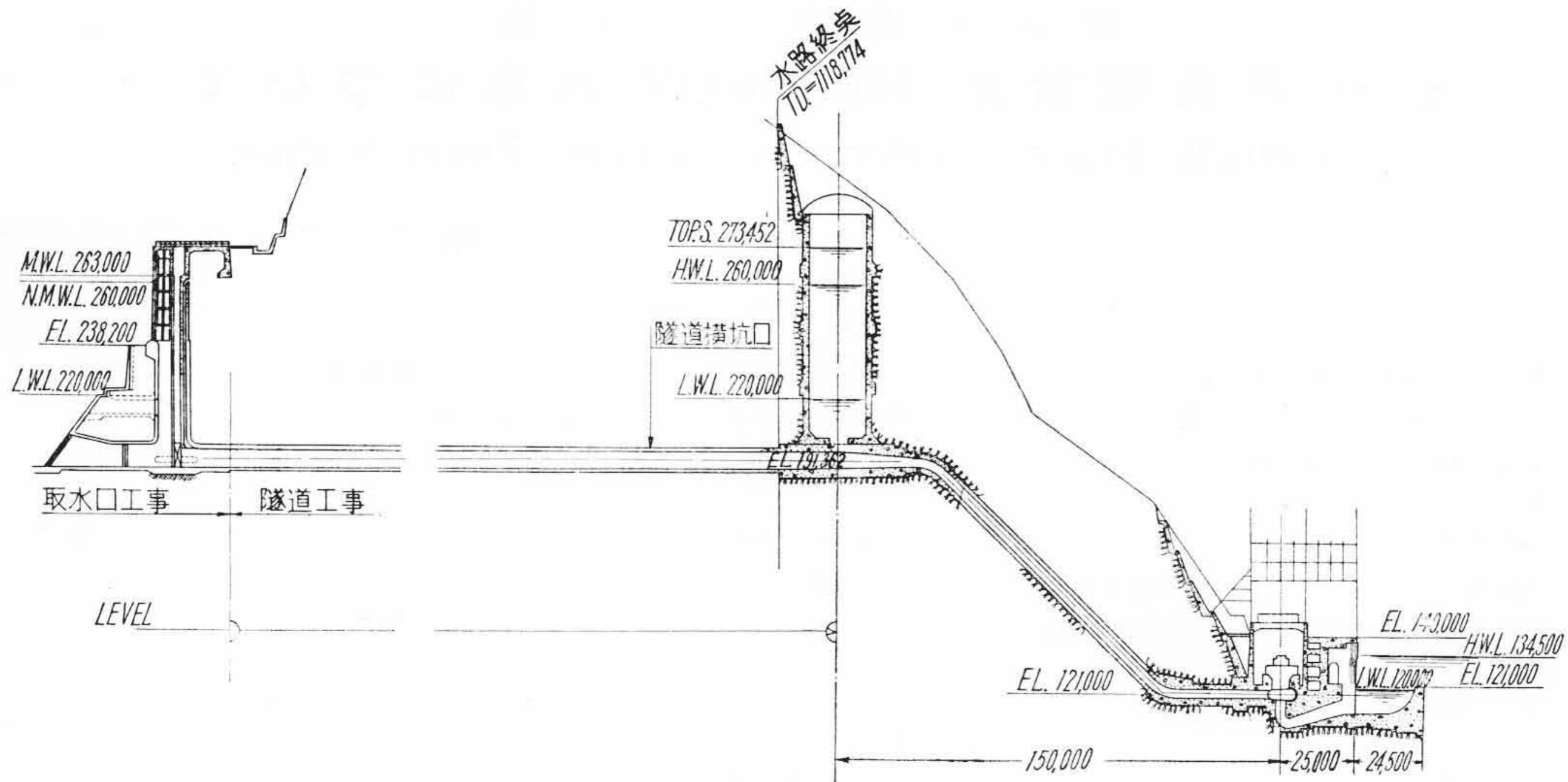
佐久間地点は天龍川の中流部 33km 間の落差 138m を利用し、最大 350 MW、年間 12 億 6 千万 kWh の電力を発生せんとするもので、国鉄飯田線佐久間駅より本流沿いに約 5km 上流に高さ 150m の本邦第一の堰堤を築造し、上流平岡発電所迄約 33km 間を貯水池として、約 3 億立方メートルを貯水し、この水を約 1km の隧道 2 本で、左岸の山を貫き、佐久間駅の直ぐ上流に建設される発電所に導き 4 台の水車を通して天龍川に放流する。

第 1 図は発電所附近概要図、第 2 図(次頁参照)は水路縦断面図、第 3 図(次頁参照)は発電所縦断面図を示す。

* 日立製作所日立工場

発 電 計 画 概 要

- | | |
|-------------------------|------------------------|
| (1) 取水河川名..... | 天龍川水系天龍川 |
| (2) 取水口位置.... | 静岡県磐田郡佐久間村佐久間 |
| (3) 放水口位置..... | 同 上 |
| (4) 使用水量 最大時..... | 306 m ³ /s |
| 常 時..... | 97.8 m ³ /s |
| (5) 有効落差 最大時..... | 133.54m |
| 常 時..... | 115.85m |
| (6) 発 電 力 最大時..... | 350,000 kW |
| 常 時..... | 97,000 kW |
| (7) 可能発生電力量 (標準年昭和 9 年) | |
| 年 間.... | 1,260,000,000 kWh |
| 内冬期 (12~3 月) | |



第2図 水路縦断面図

Fig. 2. Transversal Section of Water Conduit

..... 276,000,000 kWh

(8) 下流秋葉水力に対する増加電力量

年間..... 74,600,000 kWh

内冬期(12~3月)

..... 31,300,000 kWh

取水河川の状態

(1) 流域面積..... 3,827 km²

(2) 取水口附近における流量(標準年昭和9年)

豊水量..... 142.0 m³/s

平水量..... 93.2 m³/s

低水量..... 65.9 m³/s

渇水量..... 49.3 m³/s

土木設備

(1) 貯水池 満水位標高..... 260 m

湛水面積..... 7.15 km²

総貯水量.... 326,848,000 m³

有効貯水量.... 205,444,000 m³

利用水深..... 40 m

湛水延長..... 32.8 km

計画洪水量..... 10,000 m³/s

(2) 堰 堤

右岸..愛知県北設楽郡豊根村大字古真立

左岸..静岡県磐田郡佐久間村大字佐久間

型式..直線重力式溢流型コンクリート造

最大高....150m (基礎岩盤上満水面まで)

堰体積..... 1,000,000 m³

溢流堰門扉ローラーゲート6門

.....幅 12m×高さ 13.5m

基礎岩盤.....花崗岩

(3) 導水路

種類.....円型圧力隧道

断面.....内径 7.0m

延長.....平均 1,118m 2本

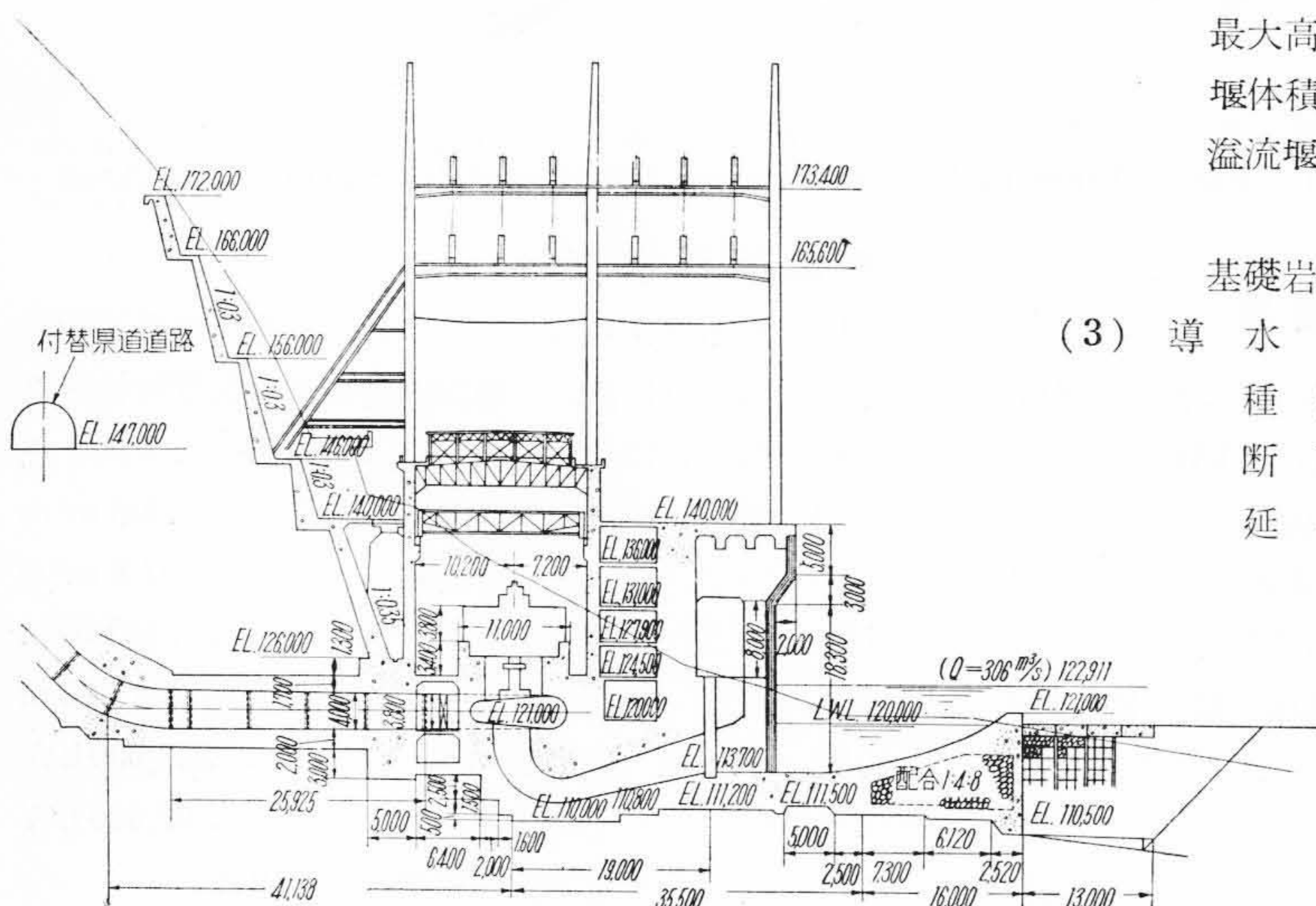
(4) 調圧水槽

調圧水槽は2本の鉄管に対し1箇設備し、その容量は下記のごとくである。

型式...制水孔式サー
ジタンク

内径.....20m

高さ.....72m



第3図 発電所縦断面図

Fig. 3. Sectional View of Sakuma Power Plant

第 1 表 世界における大容量フランシス水車の製作例
Table 1. Record of Large Capacity Francis Turbines in the World

Location	Plant	Max. Output (kW)	Max. Head (m)	Speed (rpm)	No. of Units	Manufacturer	Initial Operation
Sweden	Stornorrfor	131,000	73	125	3	NOHAB	1959
U. S. A.	Grand Coulee	123,000 112,000	100.6 100.6	120 120	9 9	N. N. N. N.	1940/51 1940/51
France	Bort Les Orgues	112,000	102.4	188	—	C., Neyrpic	—
Korea	Suiho	105,000	93	125/150	7	Dengyosha	1941
France	Chastang	101,000	71.1	150	—	C.	—
Japan	Sakuma	100,000	135	167/200	4	2-Hitachi 2-Dengyosha	1956
Sweden	Harspranget	99,500	104.8	167	3/4	K. M. W.	—
U. S. A.	Ross Dam	89,500	108.3	150	3	B. L.	1952/53
U. S. A.	Waneta	89,500	64	120	2	D. E. C.	1954
U. S. A.	Hoover Dam	89,500	152.5	150/180	15	A. C.	1938
China	Shokakou	85,000	69	125	8	2-Hitachi 3-J. M. V. 3-E. W.	1943
Sweden	Kilforsen	84,000	95.2	167	—	K. M. W.	—
U. S. A.	Hungry Horse	78,300	122	180	4	A. C.	1953
U. S. A.	Shasta	76,900	100.6	139	5	A. C.	1949
U. S. A.	Sir Adam-Beck Niagara No. 2	74,600	89	150	12	D. E. C.	1954
U. S. A.	Shipshaw	74,600	63.4	129	12	A. C.	1943
U. S. A.	Chief Joseph	74,600	50.3	100	10	N. N.	1955
U. S. S. R.	Dnieprostoy	74,600	37.5	88	9	N. N.	1932
France	Genissiat	71,000	68.9	150	4	C., Neyrpic, K. M. W.	—
Japan	Maruyama	70,000	80.7	164	2	1-Hitachi 1-Dengyosha	1953

水 圧 鉄 管

軟鋼板製.....内径 4.8~4.0 m
 亘 長....182,377 m (水槽中心より水車中心まで)
 管 厚.....下部 38 mm
 管内平均流速.....5.22 m/s (たゞし流量 80 m³/s の場合)

最低..... 105 m

出 力.....50~ 時 60~ 時
 最大 96,000 kW 96,000 kW
 最高落差時全開 98,900 kW 100,000 kW
 基準 88,000 kW 87,100 kW
 最低落差時 69,200 kW 66,000 kW
 使用水量..... 50~ 時 60~ 時
 最大 79.8 m³/s 78.5 m³/s
 最高落差時全開 82.4 m³/s 82.2 m³/s
 基準 79.2 m³/s 78.5 m³/s
 最低落差時 72.8 m³/s 71.7 m³/s
 回 転 数.....50~ 時 167 rpm
 60~ 時 200 rpm
 特 有 速 度.....127 (m-kW)
 ケーシング設計サイクル.....53~
 ランナ設計サイクル.....53~
 型 式..... FSS-V
 台 数..... 2 台
 運 転 方 式..... 1 人制御方式
 回 転 方 向.....発電機側より見て時計廻り
 据 付 床 方 式....単床式コンクリートバーレル
 最大速度変動率.....35% (50~ 時)
 25% (60~ 時)

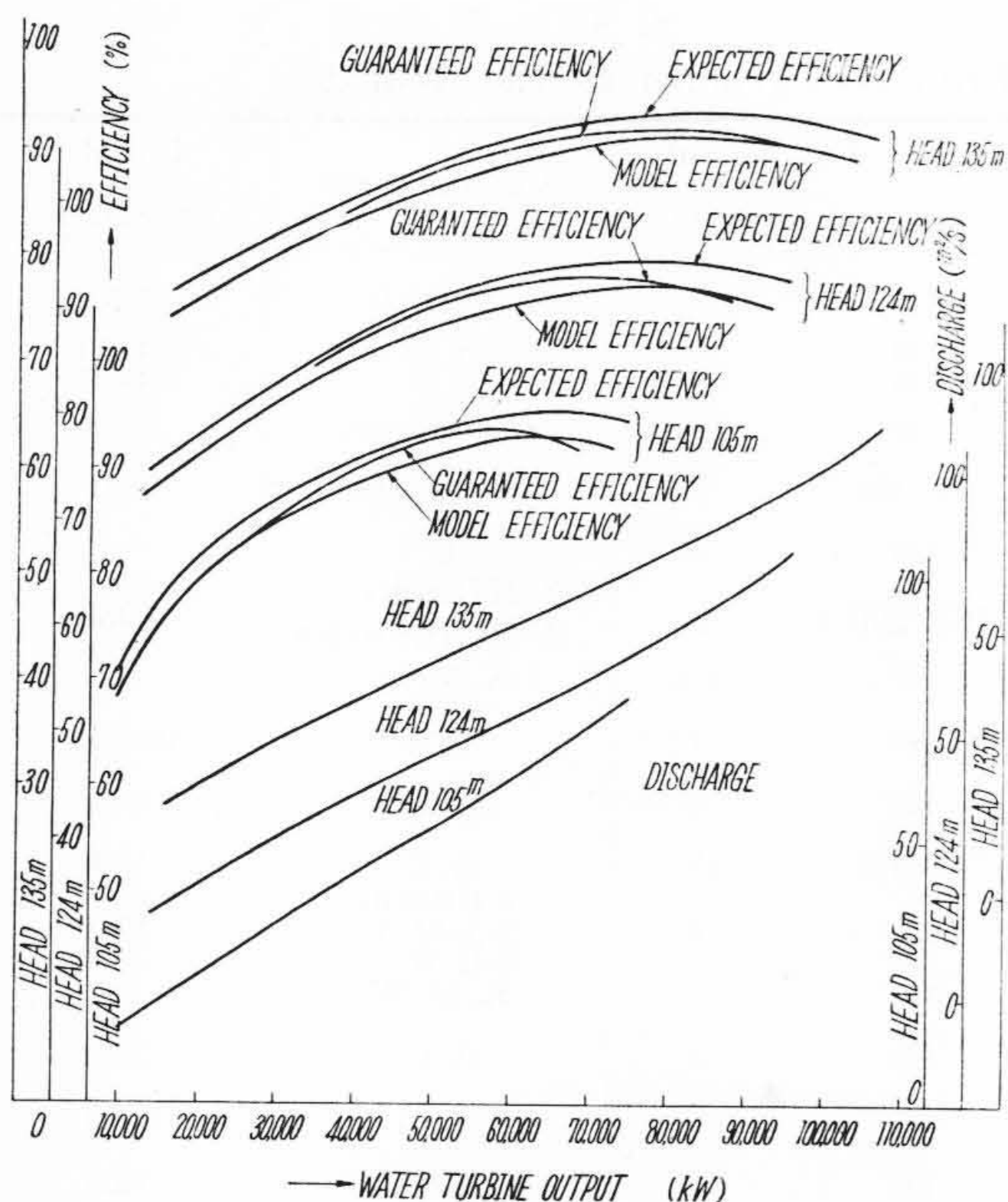
〔III〕 水 車

水車台数決定に当つては、3 台、4 台、5 台案について検討がなされたが、建設費、発電原価などの比較から 4 台案が採用されたわけで、容量において、我国の記録品であるばかりでなく、世界屈指の製品である。第 1 表は、世界における大容量水車の製作例であるが、この表からも本水車の占める世界的役割がうかがえる。

本水車に与えられる有効落差は、最高 135m から、最低 105m まで変化し、かつ 50、60 両サイクル用運転という種々の条件のもとに、最適の水車仕様を選定するために、慎重かつ詳細な検討が行われた結果、その仕様は下記のごとく決定された。

(1) 水 車 仕 様

有 効 落 差 最高..... 135 m
 基準..... 124 m



第4図 模型効率試験結果
Fig.4. Efficiency Curve of Model Test

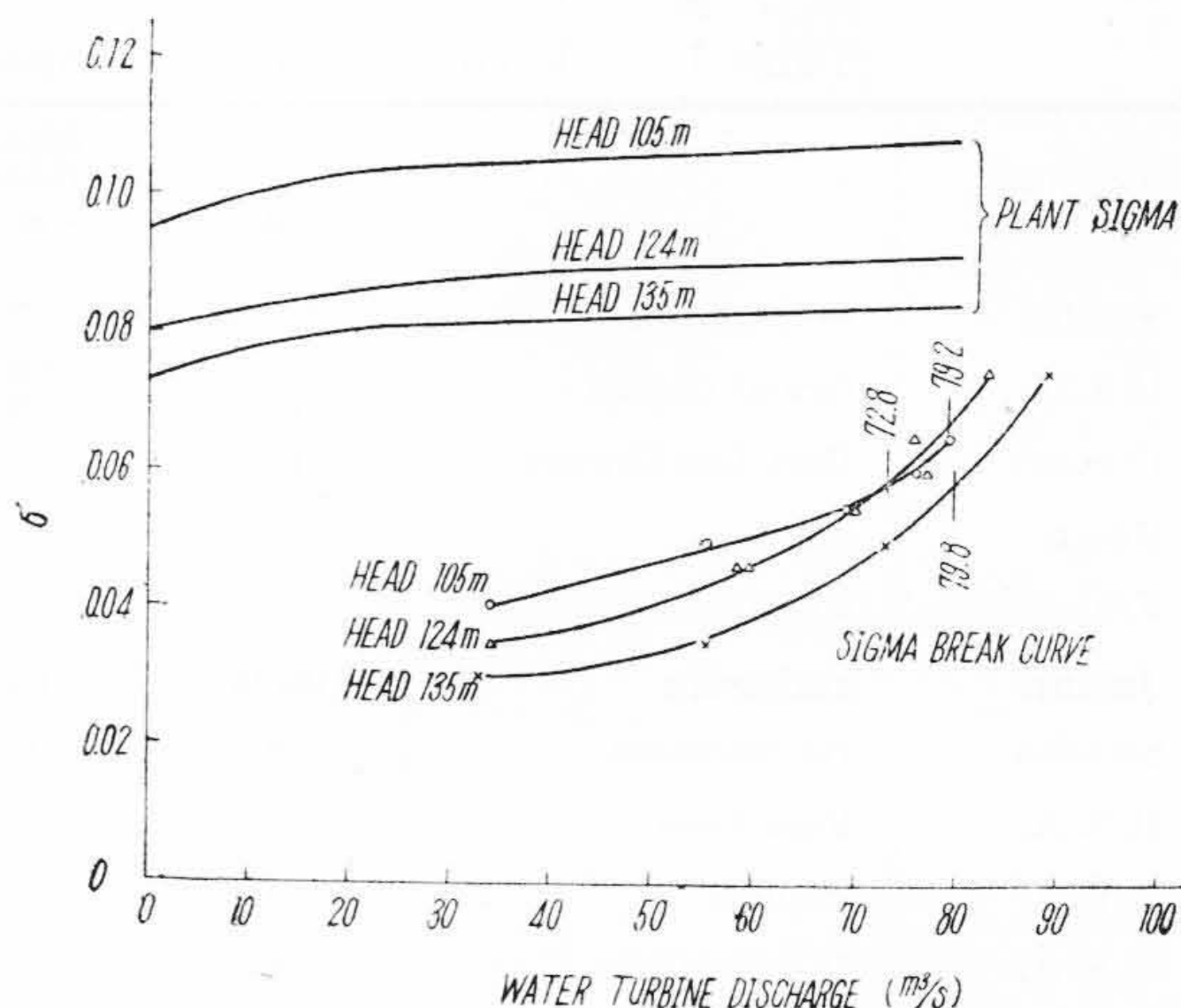
水圧上昇値.....170m 以下
発電機回転部 GD^2 10,200 $t \cdot m^2$
調速機閉鎖時間.....5.0s
調速機不動時間.....0.3s
無拘束速度....366 rpm (60 $\sim$ 設計ランナ取付の場合)

(2) 模型試験

前述のごとく、変落差、50、60 両 $\sim$ 運転という条件と、将来 60 $\sim$ 専用ランナを使用することを考慮して、ランナの外形寸法の決定および各部寸法決定のために幾多のモデルランナを試作し、効率試験、キャビテーション試験を実施したが、特殊試験として、指数法試験、軽負荷時の振動防止を目的とせる、空気吸入試験などを実施し、実物水車にはこれら模型試験の結果を最高度に生かして、万全を期した。

(A) 模型効率試験およびキャビテーション試験

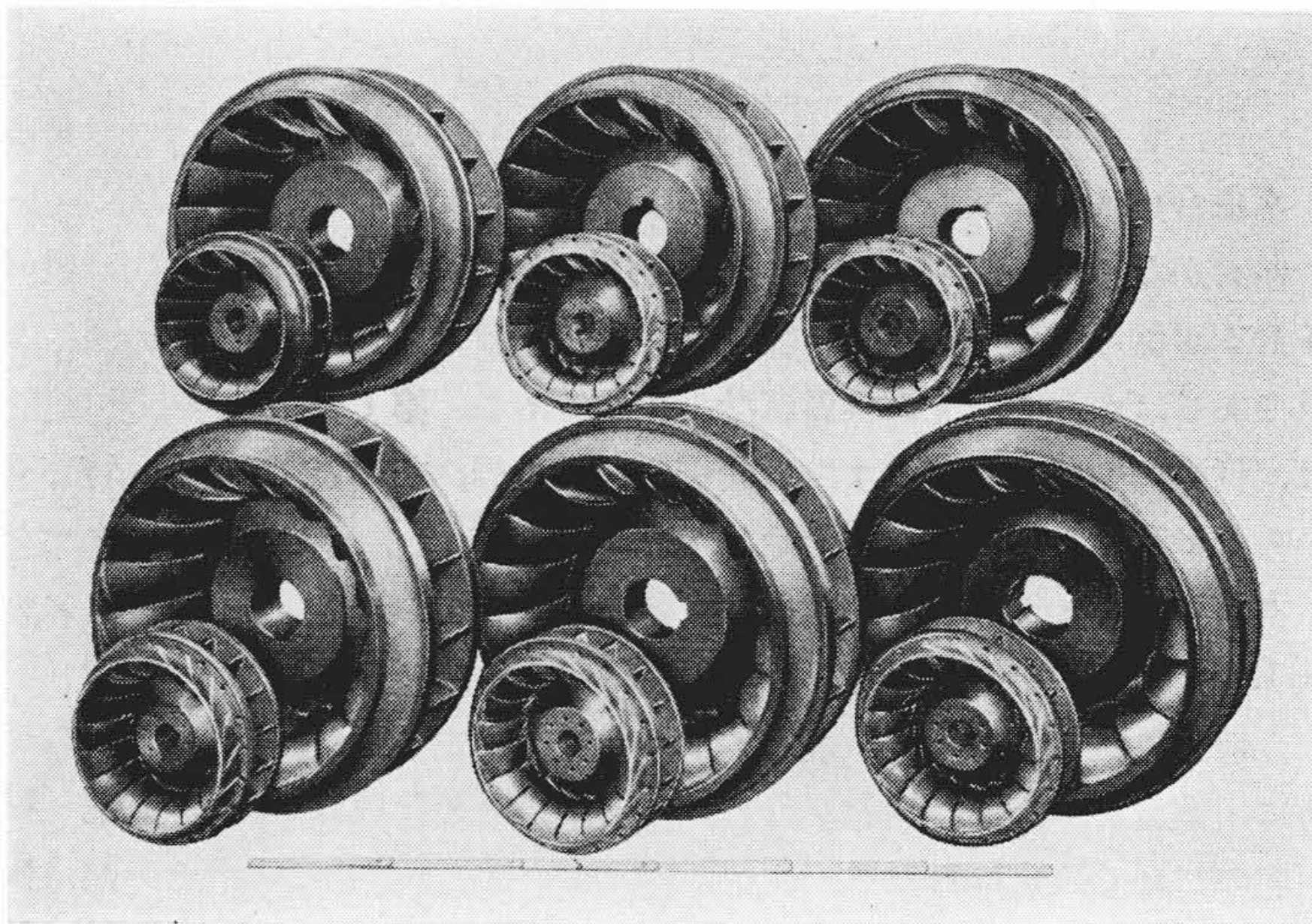
ランナの設計に際し、一つの仕様が与えられている場合はその寸法決定も比較的容易であるが、本水車のごとく、落差の変動と 50、60 $\sim$ 両用運転という条件に加えて、60 $\sim$ 専用ランナを使用する場合のことも考慮して、これに適合するランナの外形寸法をいかにすべきかはきわ



第5図 キャビテーション特性
Fig.5. Test Results of Cavitation Characteristics of a Model Runner

めて興味ある問題で、模型試験の第一段階は主として、この目的のために行われた。さらに第二段階として、変落差時の効率性能およびキャビテーション性能などにつき最良の羽根形状を求める試験を実施したが、同時に使用範囲における効率をほとんど変化させずに、無拘束速度を低くする設計を試み、ほぼその目的を達することができ、あらゆる点からみて、最も満足すべき性能のランナをうるに至った。

これら多くの模型試験によつて、幾多の興味ある結果がえられているが、その詳細については別の機会にゆずることとし、以下簡単に結果の一部を記述するにとどめる。



第6図 使用された模型ランナの一部
Fig.6. A Part of Model Runners Tested for 100,000 kW Turbine

模型効率試験は、縮尺比 1/7 の模型水車によつて行い、各種模型ランナの性能試験の結果、羽根形状が、変落差両サイクル運転性能におよぼす影響を考慮して、最も仕様に適合し、最高の効率を発揮するものを実物に採用した。実物水車への換算はムーディの 1/5 乗公式

$$\eta_0 = 1 - (1 - \eta_m) \left(\frac{d}{D} \right)^{\frac{1}{5}}$$

ここで d/D = 模型縮尺比 = 1/7

η_0 = 実物水車推定効率

η_m = 模型水車実測効率

を採用したが、この換算に当つては、模型ランナの最高効率点について適用し、他の点はすべてこの換算値を一樣に加算する方式をとつた。この結果実物に採用したランナについては第 4 図のごとき推定性能曲線がえられた。

なお発電所の特色たる 50 ㎾、60 ㎾ 両用運転にそなえて、将来 60 ㎾ 専用ランナを入れうる条件とするため、種々の考慮がなされたが、50 ㎾ ランナと完全な互換性を保ちながら、60 ㎾ 専用としてなんら遜色なき 60 ㎾ ランナの模型試験もすでに完了しているもので、将来両用機として、遺憾なくその性能を発揮することになる。

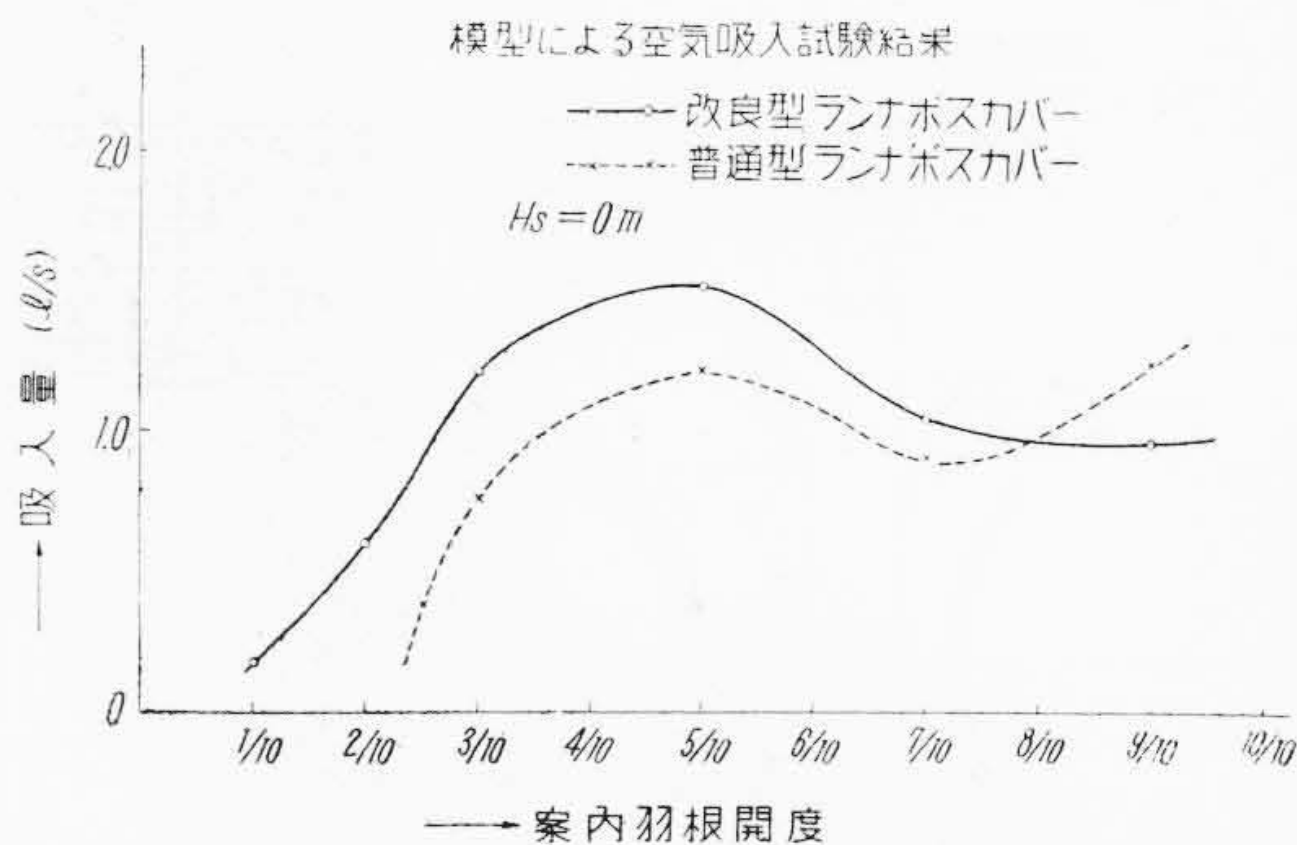
キャビテーション試験についても、各種のランナを製作し、試験したが、第 5 図のごとき結果がえられ、運転状態は十分安全な範囲にあることが確認された。第 6 図は試験に供した模型ランナの一部である。

(B) 空気吸入試験

フランス水車ランナの特性として、軽負荷時にはランナから出た水は旋回しながら吸出管に導かれ、この旋回流が振動の原因となるが、この振動は吸出管入口部に空気を十分に吸入せしめれば防止できる。たゞ問題はこの空気を吸入させる方法にあり、大型水車の場合は、ランナボス部の貫通孔を利用するのが理想であるが、回転部を通じて空気を導入するため、多少吸入量が不十分となるきらいがあつた。本水車の製作に当り、この欠点を改良する目的で、模型試験により、ランナボスカバーの吸気孔につき研究し、第 7 図のごとき結果がえられ、この改良型ボスカバーを実物に採用した。

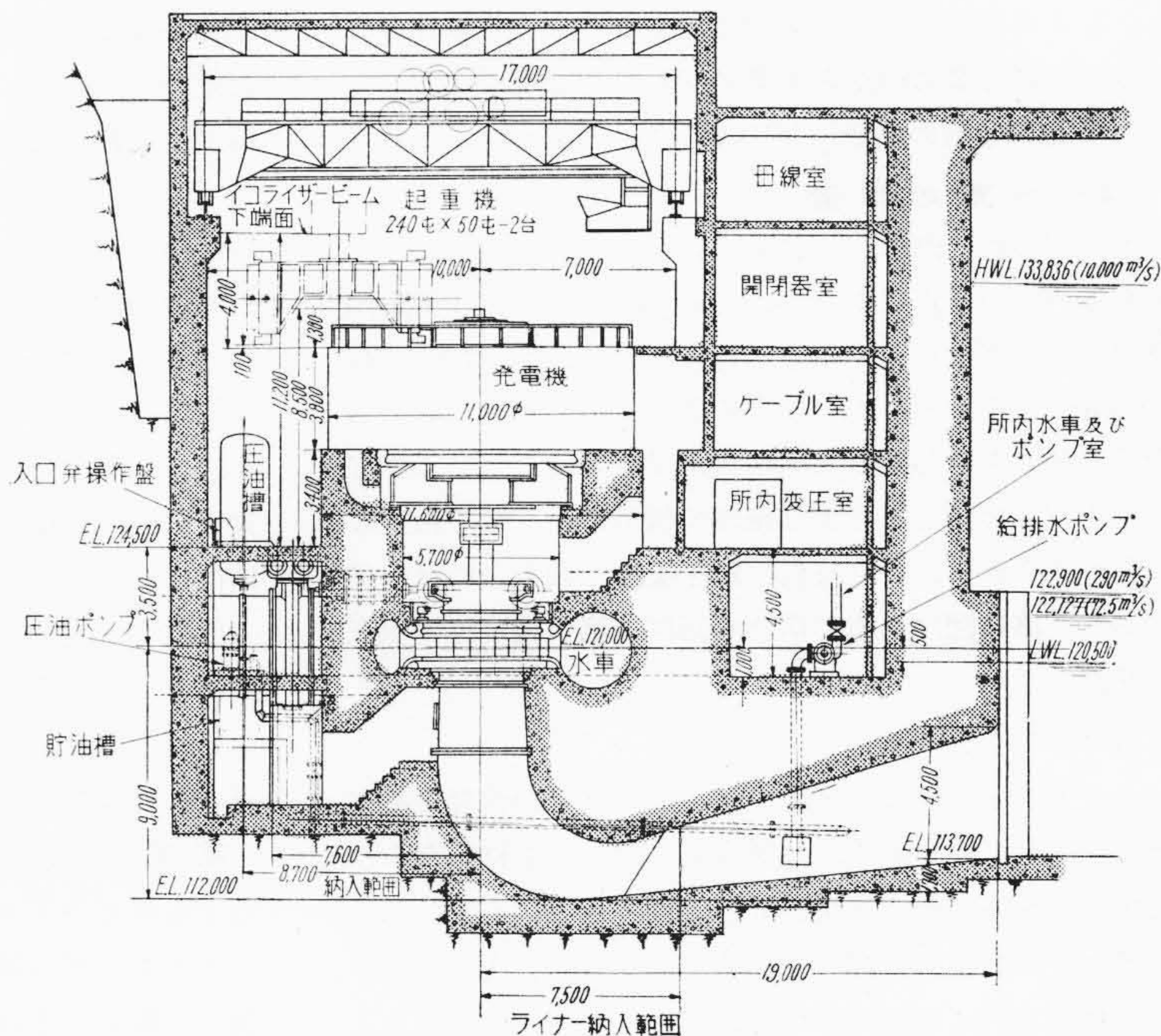
(3) 配置概要

据付方式は第 8 図および第 9 図(次頁参照)に示すごとく、単床式

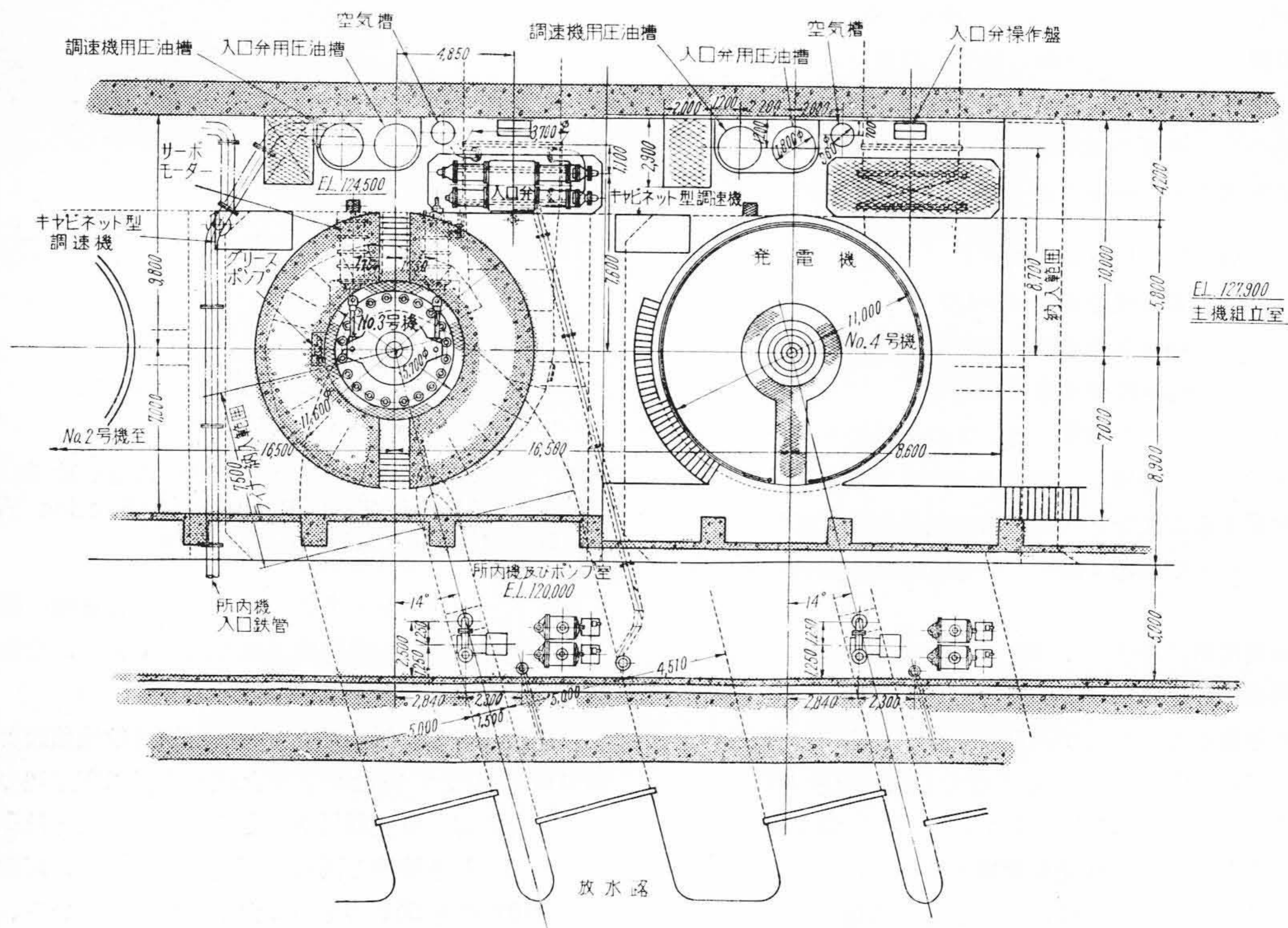


第 7 図 模型による空気吸入試験結果
Fig. 7. Model Test Results of Suction Air Quantity into the Draft Tube

コンクリートバレル方式で、この種大容量機の据付様式の一般であるが、発電機が傘型構造であり、発電機主軸はロータの上部および下部でそれぞれ分解できるので、建家は著しく低くできており、天井は地盤面より僅か 4m しかでていない。また機器据付工事工程の関係で、2 台同時に組立据付ができるよう、組立室は 1, 2 号機用と 3, 4 号機用と両側に別箇に設けられ、起重機は主巻 240t 補巻 50t のもの 2 台が設けられている。ロータは 2 台の起重機に平衡ビームを取付け、この平衡ビームにより吊込むが、ロータの最大吊込み重量は 435t である。



第 8 図 発電所据付断面図
Fig. 8. Sectional View of Sakuma Power Plant



第 9 図 発電所据付平面図

Fig. 9. Plane View of Sakuma Power Plant

本発電所は主機 4 台の他に、所内用 1,720 kW 水車 1 台が設置されており、主機の水路系統が 1, 2 号機関係と、3, 4 号機関係とがダム取水口よりそれぞれ単独になっているので 2 号機からも 3 号機からも取水できるようにし、2, 3 号機の間川側に設置されている。

(4) 水車の構造

本水車製作に際しての最大の特長は、いうまでもなく大容量機という点にあるが、昭和 28 年に製作せる丸山発電所用水車に比し、落差が比較的高く、最大水圧は 17 kg/cm² に達するので、各部の構造もこの水圧に耐える十分な強度をそなえると同時に、保守点検ならびに組立分解を容易ならしめるよう細部の構造に至るまで特別な考慮がはらわれ、日立技術の粋を集めて製作されたものである。第 10 図は水車の構造断面図、第 11 図は工場組立の状況を示す。

(A) ランナ

ランナは多くの模型試験の結果によりその性能の裏づけを行つたものであるが、製作面においても材料ならびに加工上幾多の研究結果が取り入れられている。

ランナの材質は鋳鋼製であるが、羽根面の 1 部およびシラウドリング内面には特殊鋼を肉盛熔接し、磨耗およびキャビテーションによる腐蝕を防止している。第 12 図はランナ完成品の写真である。

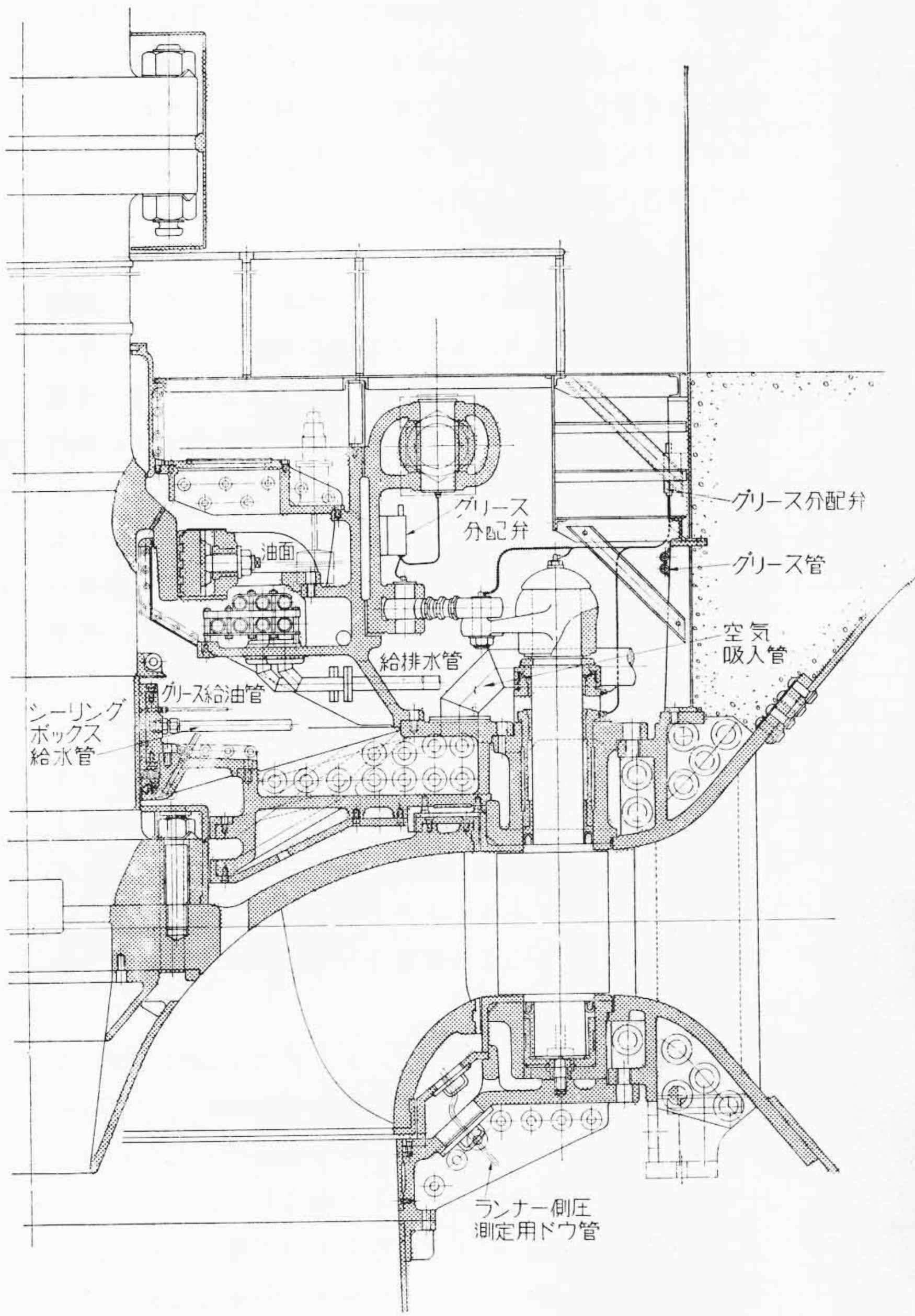
(B) スピードリング、ケーシング

スピードリングは水車構造の基本をなすもので十分な剛性と強度を必要とする。従来は比較的落差が高く、大容量のものでは、胴板およびステイブーンが厚肉となり構造も比較的複雑なため、そのほとんどが鋳鋼製であった。しかし材質の均一性と信頼度の高い鋼板を使用し、熔接構造とすることは工程の面からも望ましく、本水車では厚肉鋼板の曲げ作業および熔接の面でかなりの困難が懸念されたが、あらゆる面より慎重に検討された結果鋼板熔接構造を採用されることとなった。

製作に際し特に問題となつた点は、胴板に使用された鋼板の曲げ作業とステイブーンの熔接であるが、前者は熔接構造採用決定に際しあらかじめ曲げ型を製作してその作業の可能性を検討し、また熔接については隅肉部の熔接をしらべるために、熔接部に小孔をあけ空気圧試験を行い十分その確実性を検査せるほか、念のため X 線写真によつても欠陥なきことを確認した。

第 13 図(次頁参照)は機械加工も終えて、組立に入らんとするスピードリングの完成写真である。

ケーシングは同じく鋼板製であるが輸送の関係で 12 箇に分割し、そのおのおのは現地でスピードリングに銲接により組立てられたが、径が 40 mm にも達する銲接作業は非常に高度の技術を必要とするもので、工場にお



第10図 100,000 kW フランシス水車構造図
Fig. 10. Sectional Drawing of 100,000 kW Francis Turbine

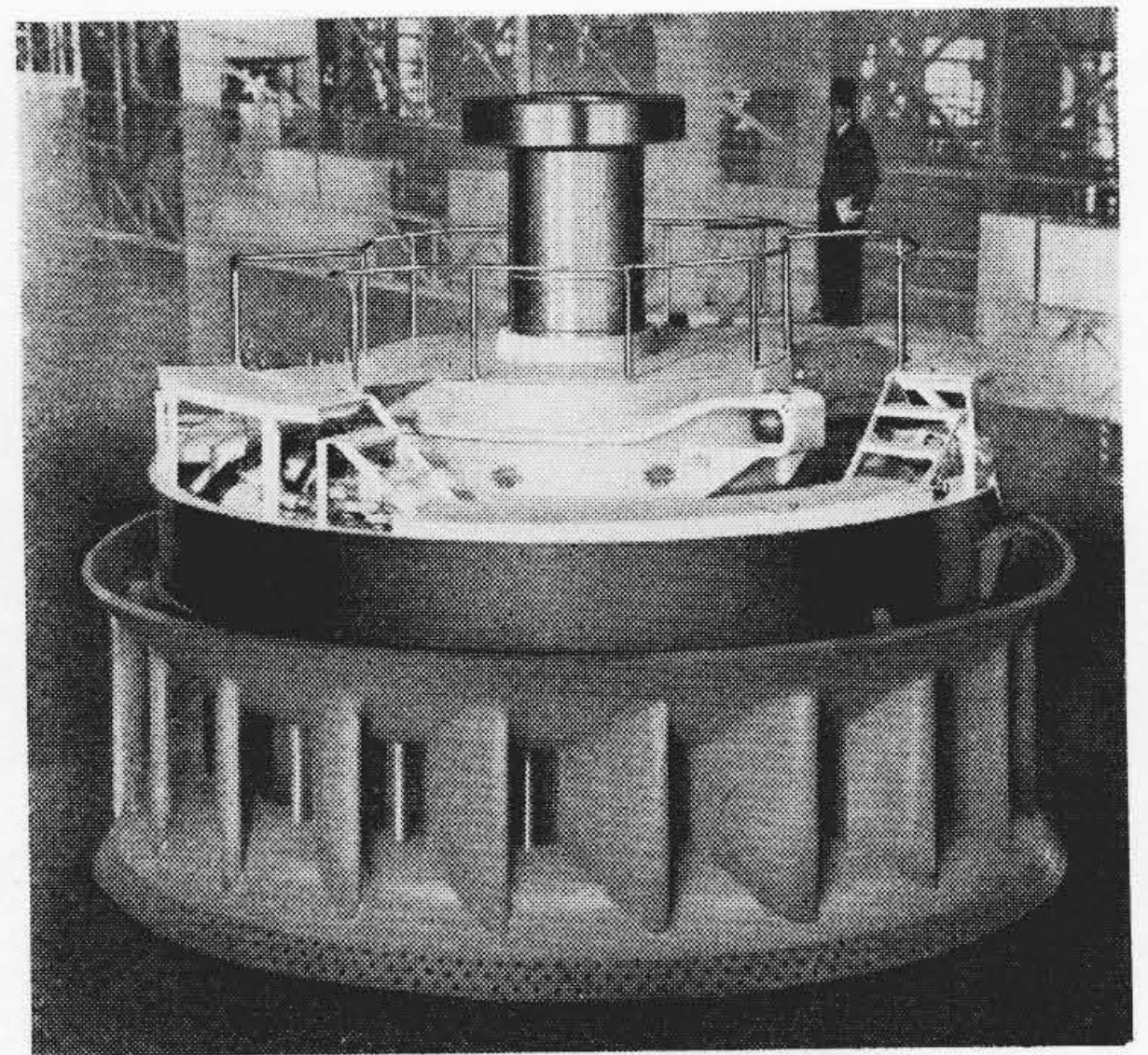
いてあらかじめ試験片により鋲接の確実性を検討し、十分その目的が達せられることを確認した。鋲接構造の欠点は据付現地での作業工程を延ばすことにあるといわれるが、数千本のリベット打ちも関係者の絶大なる努力により僅か約 10 日で完成し、さらに空気圧試験により欠陥なきことが確認された。

第14図(次頁参照)はケーシングの工場内仮組立時の写真である。

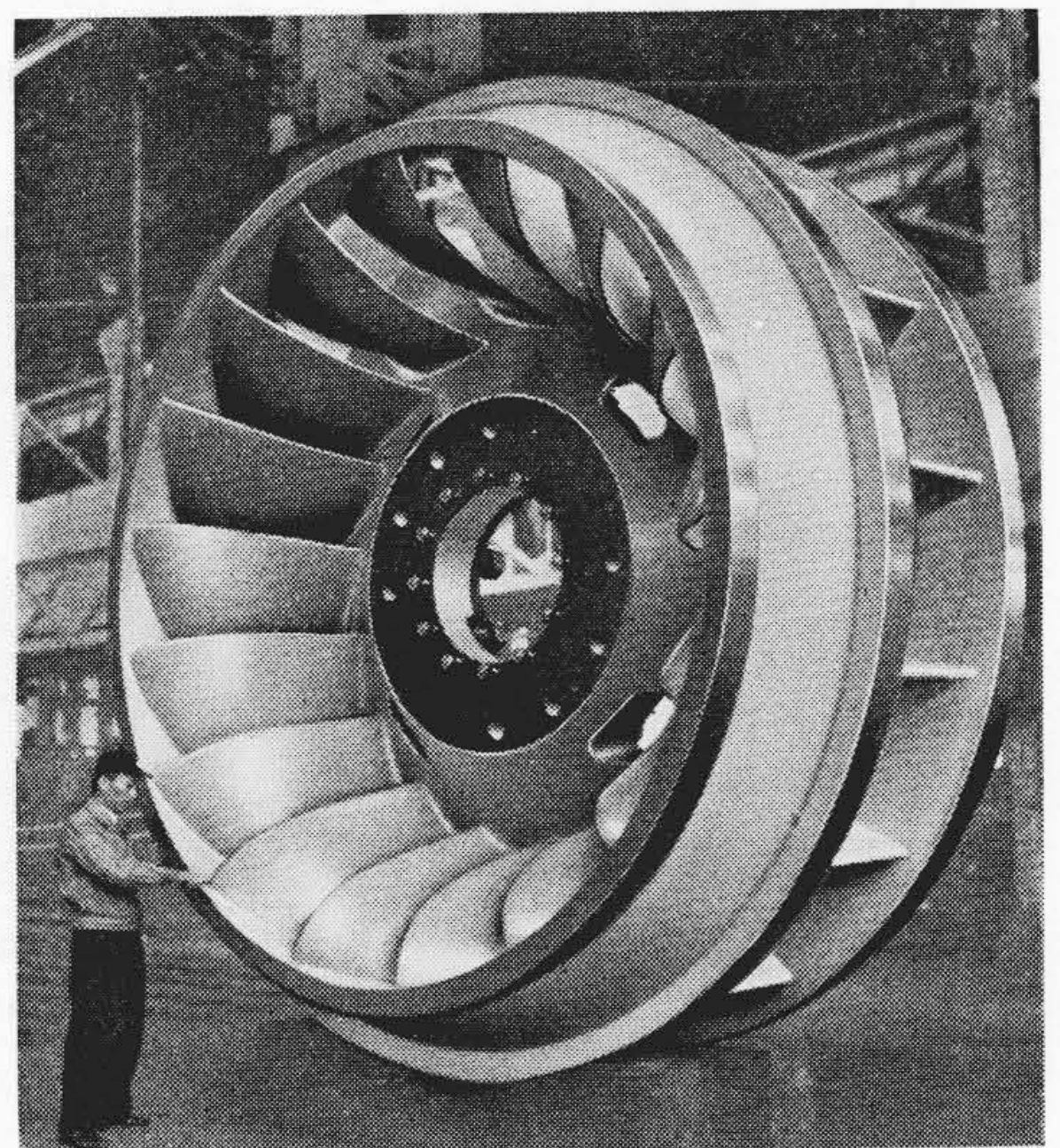
(C) 主 軸

主軸は軸端径約 920 mm、長さは約 4 m に達し自家工場で鍛造された。上端は発電機軸にリーマーボルトで、下端は水車ランナにキーおよびボルトによつて連結される。

その鍛造結果をしらべるために中心部に孔をあけての孔内検査、超音波探傷検査などが行われ、また材質検査



第11図 100,000 kW フランシス水車工場仮組立
Fig. 11. Shop Assembly of 100,000 kW Francis Turbine

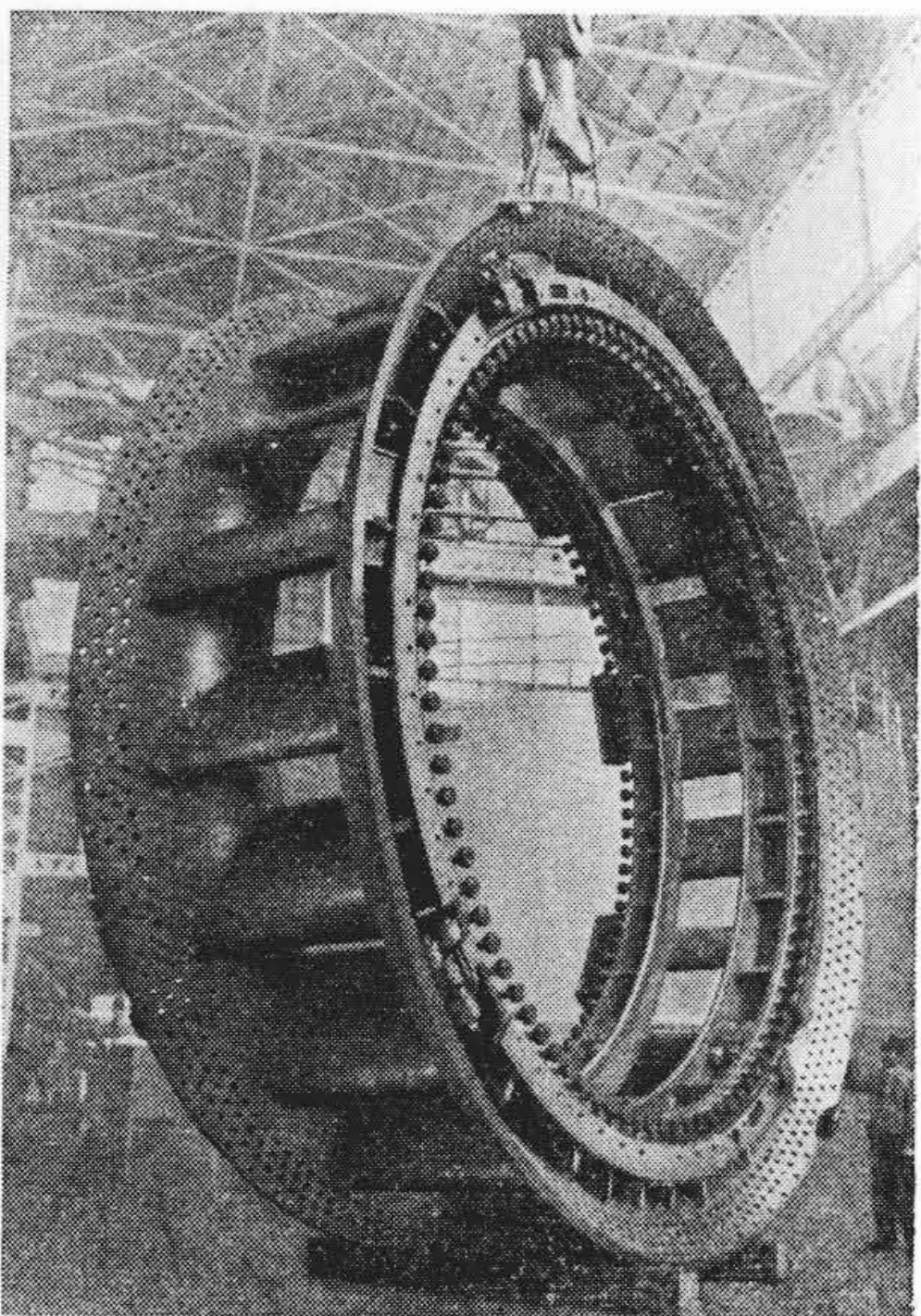


第12図 完成された 100,000 kW ランナ
Fig. 12. The Runner of 100,000 kW Francis Turbine

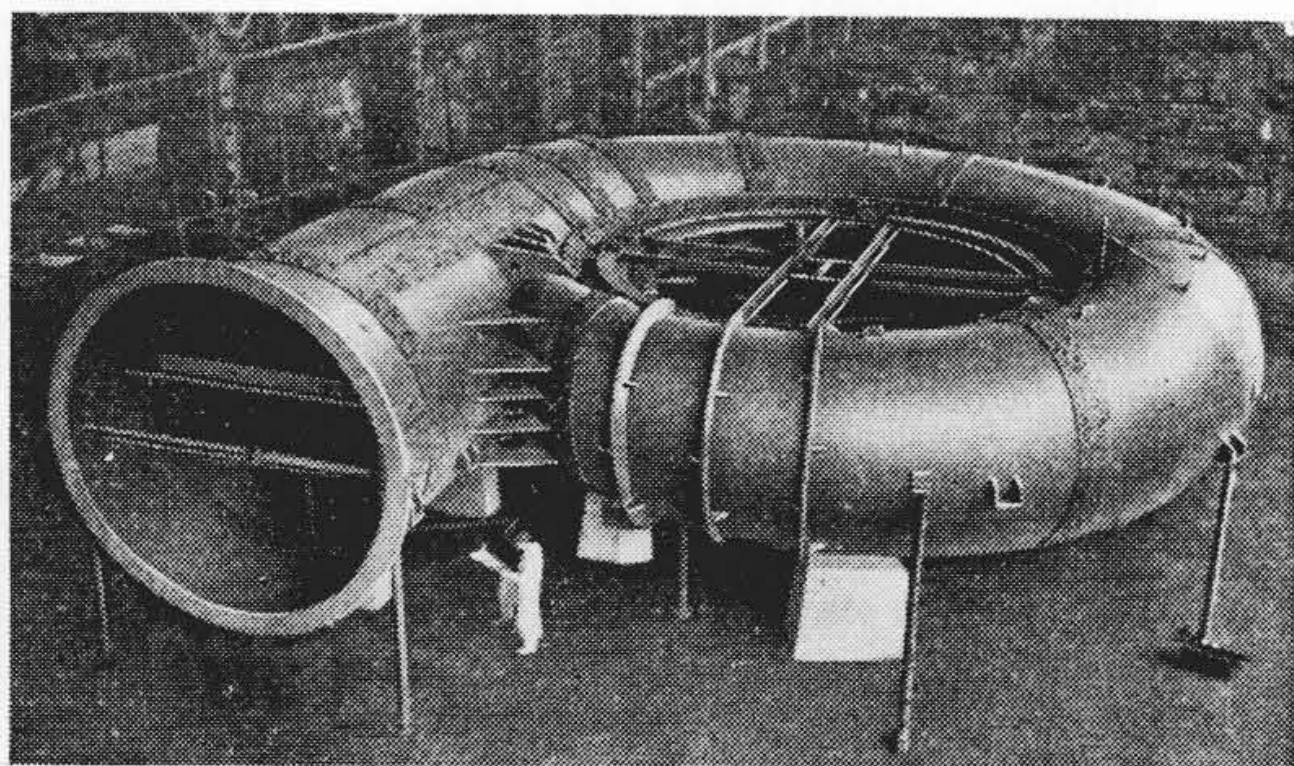
において機械的性質、内部組織の良好であつたことが確認された。

(D) 各 部 の 構 造

水車の運転に当り、最も重要な部分はやはり主軸々受と水封部分とであり、ガイドベーン関係の軸受および水封部も常に問題となるところである。本水車の主軸受は、日立セグメント軸受方式を採用したが、記録的大型水車にも従来のセグメント軸受方式がそのまま適用するものか否かは重要な問題であり、模型により種々条件を変えた場合の軸受温度の測定試験を行い、幾多の指針がえられた。主軸受油槽内には保護装置として油面継電器、混水検出器などを取付け、また油槽内の油を取かえ



第13図 完成されたスピードリング
Fig.13. Speed Ring of 100,000 kW Francis Turbine



第14図 ケーシングの工場仮組立
Fig.14. Spiral Casing of 100,000 kW Francis Turbine Assembled in the Works

るときには、補給用ポンプを可逆的に廻すことにより排油および給油ができるようになっている。

主軸が上カバーを貫通する部分は、シーリングボックス構造を採用し、放水位が比較的高く、水車停止時に水封部からの漏水を防止するためにシーリングボックス下部に水封用ゴムリングを設け、このゴムリングの内部に圧縮空気を送りゴムの膨脹を利用して主軸との間の水密を保つ構造としてある。

ガイドベーンは鋳鋼製で、上下カバーに接する部分および、隣のガイドベーンと相接する部分には不銹鋼の肉盛をほどこし、停止時の漏水を極力小さくするようにしてある。なおガイドベーンの上下間隙を均等にするためにガイドベーン間隙調整装置を設け、上下方向の推力はこゝで受ける構造になっている。

上下カバーの内側の流水に接する部分には 13Cr 鋼板製のライナを内張りし、ランナ外周ギャップ、主軸との

間隙、ガイドベーンとの間隙などの大きくなるのを防止し、かつこのライナのみ取替えるようにしてあることは他の大多数の水車と同様であるが、特にウォールリングはライナを張つたまま下カバーに取付取外しができるような構造としてある。

(E) ケーシングのルーフィング

大容量の水車ではケーシングは水圧により相当な膨脹を生ずることになり、また発電機の荷重、ランナ背圧による推力などを受ける発電機の基礎が非常に大きな強度を要求されるため、ほとんど単床式建家構造による据付方式が採用されるが、この場合発電機基礎はそのまゝ水車ケーシング上面に達することになる。一般にパーレル施工の際その中に入れる鉄筋はケーシングに直接連結せず、ケーシングをにげてそのまわりから基礎岩盤に荷重をつたえるごとくするが、コンクリート自体はやはりケーシング上面に接しているわけである。したがって、ケーシングに水圧が加わつてこれが膨脹すれば、コンクリートを通じて発電機基礎に影響をおよぼすことが懸念される。かかる危険を防ぐため、大容量水車のケーシングにはルーフィングを施すことが望ましく、本水車ケーシングの据付に当つても慎重なルーフィングが施行された。

本水車のルーフィングはケーシングの上面約 120° の範囲について施行され、まず厚さ約 15mm の岩綿板を一面にしき、その上をアスファルトにひたしたプレスボードでつゞみこれを針金であんで固定して、さらにその上を 0.2~0.3mm のブリキ板をもつて覆つてある。岩綿板は耐水性が弱いので、その両面は防水してあるが、端面は防水のためにコールタールにひたした包装紙でつゞみである。

〔IV〕 入口弁および制御装置

制御装置の生命は操作の容易、確実ということにあるが、大容量水車の場合には1部の制御装置の故障により水車を停止せしめることは絶対にゆるされず、特にその確実性が重要視され、本水車の制御装置についてはこれらの点に対し十分考慮されてある。

なお、これが圧油装置には従来の使用油圧を一段あげて、 $19.5 \sim 21 \text{ kg/cm}^2$ を常用油圧として採用した。

(1) 入 口 弁

入口弁は、複動4シリンダー油圧駆動縦軸蝶型弁で、弁胴口径は 3,700 mm、弁部は流速を考慮して 3,800 mm となつている。弁および弁胴は鋳鋼製で、水圧試験、水密試験を行うと同時に各部の歪、応力などを測定し強度および性能を確認したが、さらに全負荷時の流水遮断も可能なものたるべく、あらゆる検討がなされた。

弁外周には水封用ゴムホースを取付け、弁全閉時にその中空部に圧力水を導き水密を保持する構造とし、圧力水送入装置として、全油圧式水圧ポンプ駆動装置を採用している。

(2) 圧油装置

圧油装置は容量の点および確実性を考慮し、調速機用のほかに入口弁専用の圧油装置が設けられている。調速機用は *M-M* 方式で、入口弁用は電動ポンプ 1 台を使用し、油圧開閉器により圧油槽油圧を $19.5 \sim 21 \text{ kg/cm}^2$ に保つごとく間歇的に送油するモータ制御方式を採った。このため勢いポンプの起動停止頻度が多くなるので、モータおよび接触器の保護のため、無圧起動停止が考慮されている。

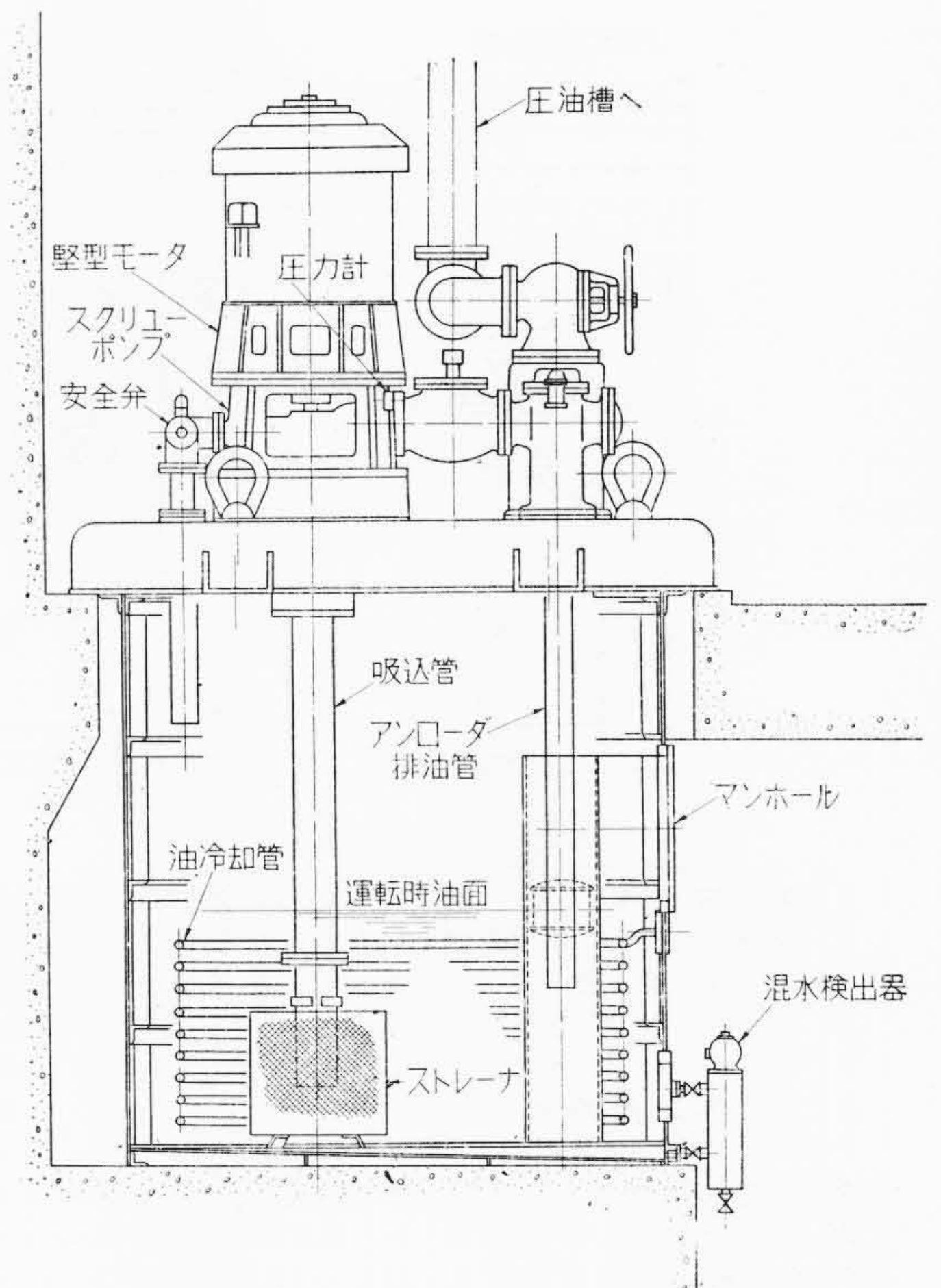
油ポンプはいずれも堅軸スクリーポンプが採用されたが、過去の経験および最新の技術により $1,000 \text{ l/min}$ $1,750 \text{ rpm}$ の記録的製品が完成された。その主要部たる回転螺旋の加工についてはきわめて巧妙な創成法が適用され精密なプロフィールをうることに成功し、また材質の吟味、キャビテーションに対し慎重な考慮がはらわれた。元来スクリーポンプの効率は歯車ポンプに比し、かなりよくなるものであるが、種々の研究により非常に高い効率をうるに至った。なおまた万一始動時の送油不良の絶無を期し、調速機用には特殊始動弁機構を設けており、かつスクリーポンプの特性を考慮し、特殊な安全弁を採用している。

集油槽はインタークーラ、油温計、警報付油面計、混水検出器などを備えポンプセットのコモンベースに直接接続し、密閉型となつている。これらの構造を第15図に示す。

(3) 調速機

調速機は、すでに幾多の実績を有する日立キャビネット型調速機で、自動操作盤と並置される。第16図(次頁参照)はその外観図、第17図(次頁参照)はその外観写真である。本発電所用キャビネット型調速機の特長は周波数自動調整を実施するものとして、特に好感度の検出部と、即応性ある速度制御部をそなえたものであり、これらの性能については種々のオシロ測定により工場において十分確認された。またさらに両サイクル運転を実施するためにスピーダーは 50, 60 両サイクルの範囲において好感度を保持するとき特性をそなえ、その切換は配電盤の切替スイッチまたはキャビネット表面に取付けたハンドルの切換によつて行われる。

また前述のごとく落差は最高 135m から最低 105m まで変化し、最高落差では、水車出力は 100,000 kW にも達するので、出力を制限最大出力 96,000 kW におさえるために、案内羽根の全開々度を加減できるごとくする



第15図 圧油ポンプセット
Fig. 15. Oil Pumping Set

ためにサーボモータに開度調整装置を設けている。この開度調整を行うには、運転落差に応じて、配電盤あるいはサーボモータ位置でスイッチ操作により、電動機または手動操作ハンドルによりサーボモータの開度調整用ストッパーを移動し、その位置はまた配電盤に指示される。

(4) 運転制御装置

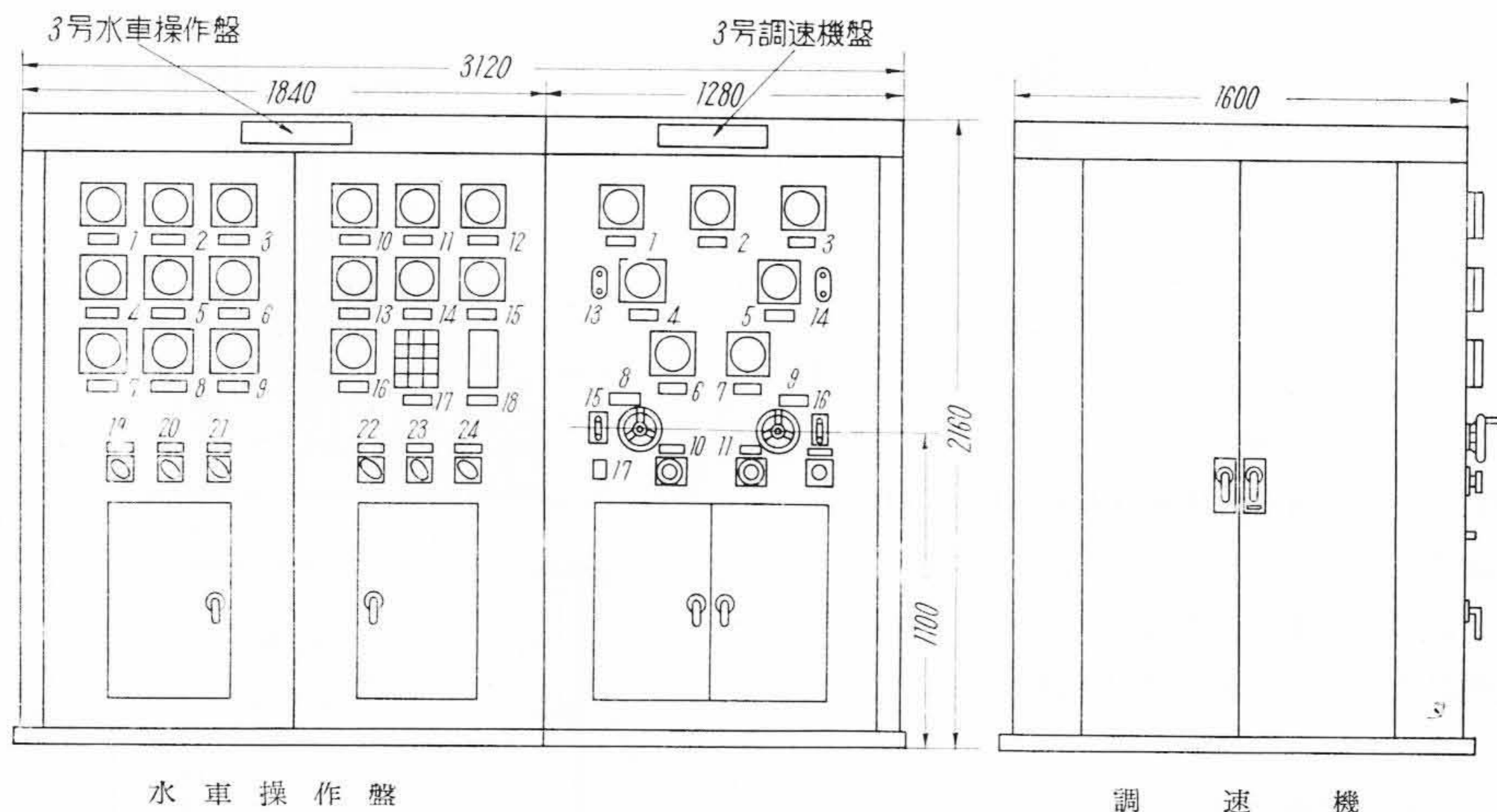
運転制御方式は 1 人制御方式で、制御開閉器は停止、入口弁開、起動、励磁、並列、負荷、切の 6 段を有し、回転および引きの 2 段操作で 1 段ごとに、あるいは一挙に目的の位置まで進めれば起動方向または停止方向に階段的にも連続的にも任意に制御でき、主機の動作は各段終了ごとに計器盤上の照明式集合動作表示器に表示される。

操作盤はキャビネット型調速機と並置し、電磁弁および各継電器類を内蔵し、表面に操作ハンドル、必要な計器類および集合表示器が取付けられている。また盤面には常時埋込型の電話器を設け、使用時のみ引出し式として、盤の優美をそこなうことなく、連絡に便なるとなっている。第18図は自動操作系統図である。

本発電所として特に考慮された機器について以下簡単に紹介する。

(A) 新型機械的保持式電磁弁

従来使用されていた M_2O 型電磁弁は油圧保持式であ



水 車 操 作 盤

調 速 機

1 鉄 管 水 圧 計	13 シーリングボツクス温度計	1 油 圧 計	10 周波数切換ハンドル
2 ケーシング水圧計	14 空気冷却器入口温度計	2 電 力 計	11 速度調定率調整ハンドル
3 吸 出 管 連 成 計	15 空気冷却器出口温度計	3 回 転 計	12 急 停 止 用 ハンドル
4 ランナ背圧連成計	16 流 量 指 示 計	4 負荷制限案内羽根開度指示計	13 負荷制限上下限表示器
5 ランナ外周水圧計	17 集 合 表 示 器	5 速度調整位置指示計	14 速度調整上下限表示器
6 入口弁圧油槽油圧計	18 電 話 器	6 周 波 数 指 示 計	15 負荷制限操作スイッチ
7 シーリングボツクス入口水圧計	19 綜合止弁用ハンドル	7 速度調定率指示計	16 速度調整操作スイッチ
8 軸受給水入口水圧計	20 軸受給水弁用ハンドル	8 負 荷 制 限 ハンドル	17 内 部 照 明 スイッチ
9 空気冷却器入口水圧計	21 減圧水槽給水弁用ハンドル	9 速度調整ハンドル	18
10 発電機推力軸受温度計	22 入 口 弁 用 ハンドル		
11 発電機案内軸受温度計	23 水車運転停止用ハンドル		
12 水車軸受温度計	24 制 動 用 ハンドル		

第 16 図 調 速 機 お よ び 操 作 盤 外 観 図
Fig. 16. The Cabinet Governor and Instrument Panel

るため、1組につき2箇の電磁弁を必要としたが、本発電所用には電磁石内部機構に機械的保持能力をもたせるため、クラッチを内蔵せしめ、電磁弁は1箇ですみ、取付面積が半減して、必要な操作電磁弁類を一切盤内にまとめる事ができた。

(B) 圧力計および連成計使用除外用切換弁

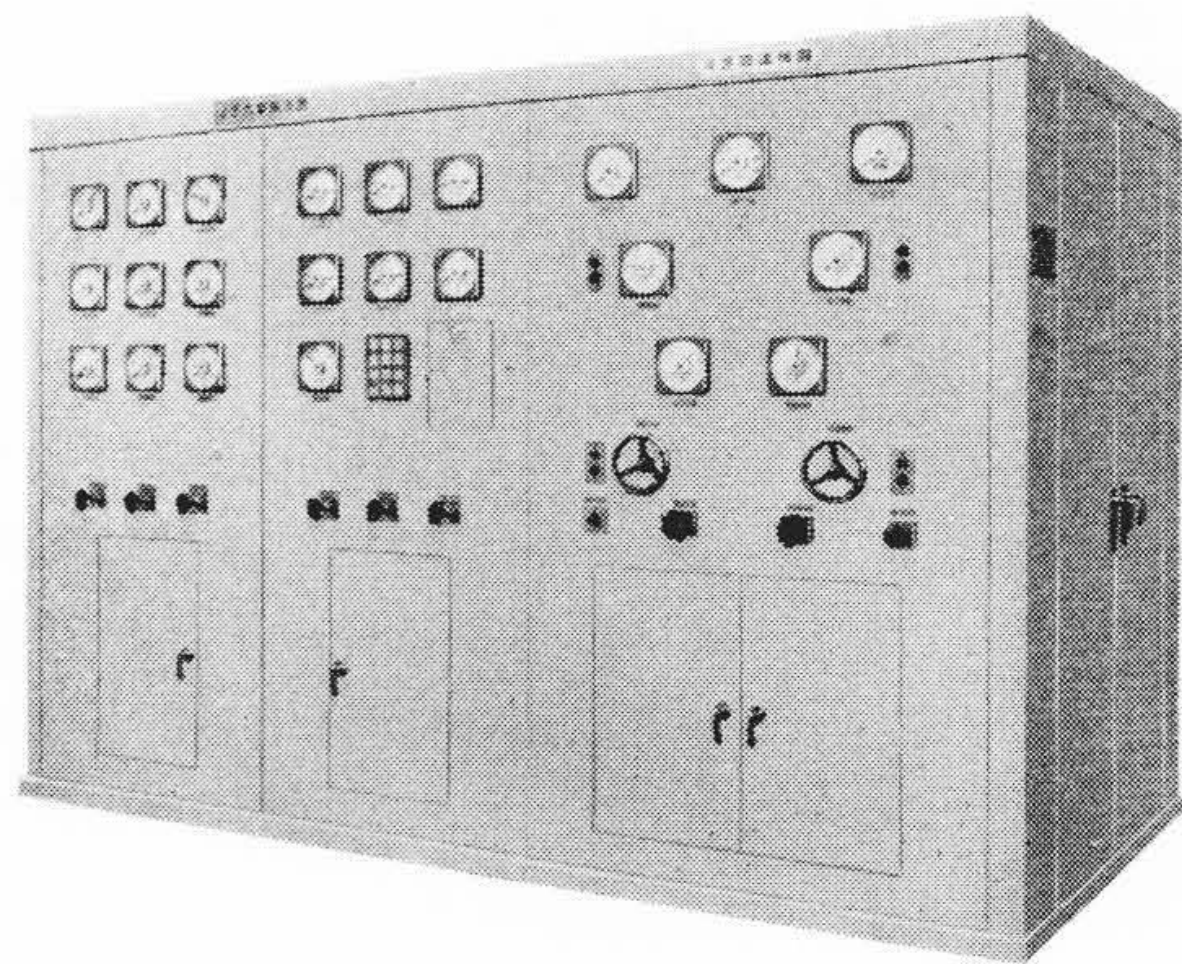
圧力計、連成計類は常時水圧がかゝると、計器指針動揺のため狂いが生ずるので、測定時のみ水圧を通すよう切換弁を設け、これの動作は盤正面のハンドルで行うようになっている。

(C) 新型油圧継電器

常用油圧 21 kg/cm^2 にすることにより、従来の油圧継電器の不備を一掃し、特殊ピストンを使用せる新型油圧継電器を使用した。

(5) 給排水装置

水車発電機各軸受用冷却水は、水圧鉄管から分岐してストレーナを通して給水しているが、発電機、消火用水などは1台約 $8,500 \text{ l/min}$ が必要で、水圧管から高压の水を低压に落して使用することは不経済であるため、常時は各台ごとに給水ポンプを設け、放水路から 100 kW 電動ポンプにより揚水する方式をとっている。また予備

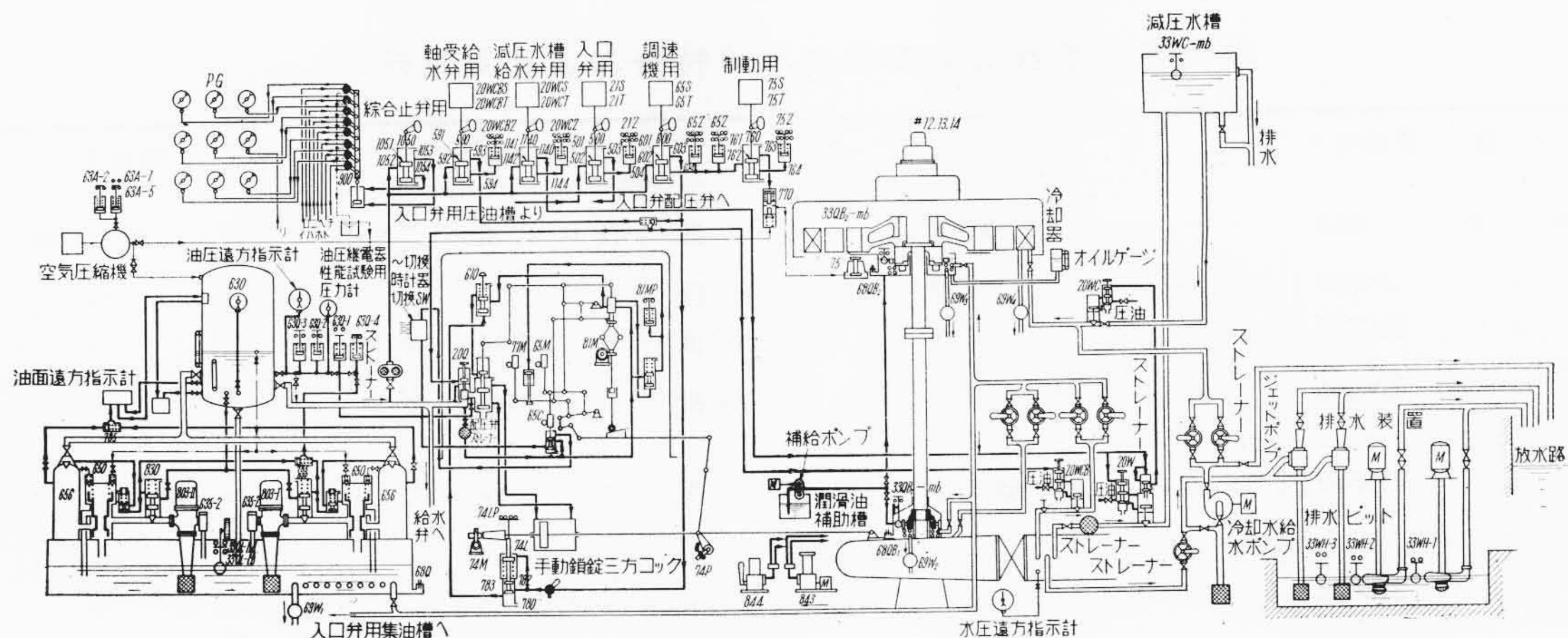


第 17 図 キャビネット型調速機外観
Fig. 17. Outside Appearance of Cabinet Governor

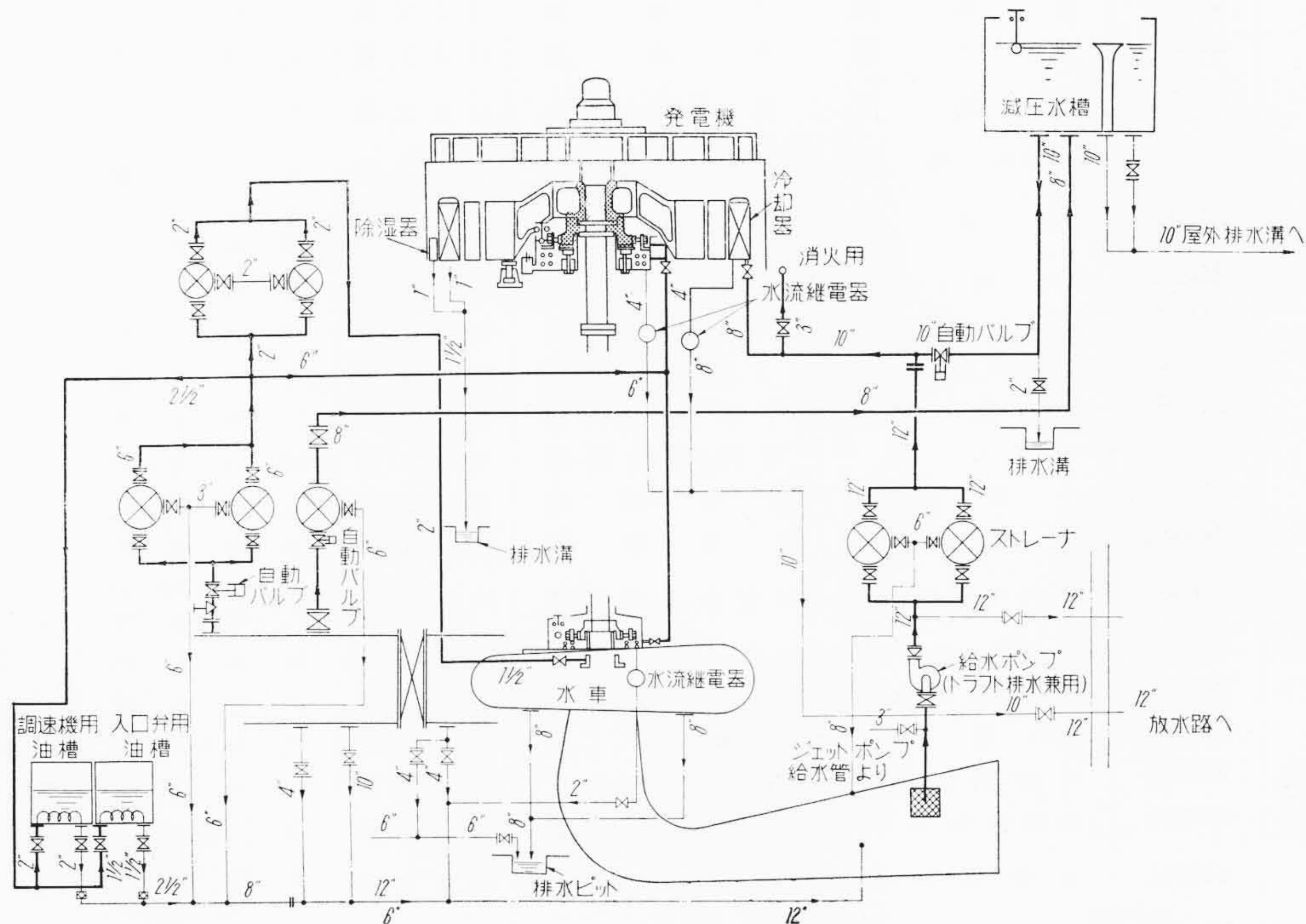
として水圧鉄管からも取水できるように発電所山側に鋼板製の $3\text{m} \times 2\text{m} \times 3.3\text{m}$ の大きさの減圧水槽を設けこゝから各部に給水することもできる。

所内排水装置としては排水室に $2 \text{ m}^3/\text{min}$ 常用ポンプ1台、 $4 \text{ m}^3/\text{min}$ 予備ポンプ1台をそなえ、さらに $1 \text{ m}^3/\text{min}$ ジェットポンプ2台を設置している。

また水車停止中でも放水位は水車中心より高いため、



第 18 図 自動操作説明図
Fig. 18. Automatic Control System of Sakuma Power Plant



第 19 図 給排水系統図
Fig. 19. Water Supply and Drainage System of Sakuma Power Plant

水車分解時は吸出管内の排水を行わねばならぬが、その排水は前記給水ポンプを利用して行うようになっている。

これら給排水の系統を第19図に示す。

〔V〕 結 言

昭和 29 年、本邦における記録品丸山発電所用 70,000 kW 水車が運転され、今またこの記録をさらに上廻る

100,000 kW 水車が完成され、近く運転に入らんとしている。以上この佐久間発電所用水車の仕様、設計、製作、試験経過などについて記述したが、我国水力発電能力の約 4% を占める本発電所の完成は今後の電力事情に大いに貢献することは勿論、文化国家としての日本の地位を一段と高めるものであろう。終りに本発電所を計画され、かつ機器の設計製作に御鞭撻を頂いた電源開発会社の関係各位に本稿を通じて厚く御礼申し上げる次第である。



特 許 と 新 案



最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その 1)

区 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
特 許	216562	カ プ ラ ン 水 車 運 転 保 安 装 置	日 立 工 場	深 栖 俊 一 外 岡 英 徳	30. 9.29
"	216563	蒸 気 タ ー ビ ン 推 力 検 出 装 置	日 立 工 場	滑 川 清	"
"	216564	タ ー ビ ン の 油 圧 式 負 荷 制 限 装 置	日 立 工 場	桑 野 幸 三	"
"	216566	自 動 制 御 要 素 の 周 波 数 特 性 測 定 装 置	日 立 工 場	前 川 敏 明 今 橋 駒 一	"
"	216570	フ ロ ン 酸 製 造 方 法	日 立 工 場	杉 山 登 奥 住 三 古 賀 弥	"
"	216572	大 型 変 圧 器 鉄 心 組 立 方 法	日 立 工 場	栗 山 卓 関 平 太 伊 藤 武 郎	"
"	216575	整 流 子	日 立 工 場	大 井 川 一 浩	"
"	216577	自 動 調 整 制 御 装 置	日 立 工 場	広 吉 秀 高	"
"	216578	交 流 電 磁 石	日 立 工 場	益 子 三 郎	"
"	216579	増 幅 型 発 電 機	日 立 工 場	田 附 修	"
"	216581	防 水 型 貯 油 槽	日 立 工 場	逸 見 文 彦	"
"	216586	高 周 波 発 電 機	日 立 工 場	石 坂 靈 巖 立 川 昭 三	"
"	216565	油 圧 作 動 式 回 転 装 置	亀 有 工 場	盛 武 賢	"
"	216567	過 負 荷 防 止 弁	亀 有 工 場	寺 田 武 進 原 田 司	"
"	216568	水 槌 作 用 防 止 弁	亀 有 工 場	寺 田 進	"
"	216573	巻 上 機 用 拡 大 深 度 計	亀 有 工 場	井 上 啓	"
"	216574	均 熱 炉 用 カ バ ー キ ャ リ ジ の 走 行 装 置	亀 有 工 場	林 文 也	"
"	216561	回 転 体 駆 動 装 置	多 賀 工 場	川 崎 光 彦	"
"	216571	ホ イ ス ト な ど の 電 磁 制 動 装 置	多 賀 工 場	横 内 直 中	"
"	216583	小 型 高 周 波 電 動 機	多 賀 工 場	上 村 民 夫	"
"	216584	小 型 高 周 波 電 動 機	多 賀 工 場	上 村 民 夫	"
"	216569	熱 的 可 変 抵 抗 体 の 時 定 数 補 償 装 置	戸 塚 工 場	田 島 喜 平 太 江 森 五 郎	"
"	216576	撚 線 導 体 の 圧 縮 装 置	日 立 電 線 工 場	根 本 武 郎	"
"	216580	銀 と ニ ッ ケ ル と の 合 金 製 造 法	中 央 研 究 所	武 谷 良 明	"
"	216582	熱 型 抵 抗 体 素 子	中 央 研 究 所	二 木 久 夫	"
特 許	216585	可 変 熱 放 散 常 数 型 サ ー ミ ス タ	中 央 研 究 所	二 木 久 夫	30. 9.29
実 用 新 案	433950	豎 軸 回 転 電 機 の 制 動 器 支 持 装 置	日 立 工 場	長 尾 善 右 衛 門	30. 9.22
"	433951	水 銀 整 流 器 の 陽 極 引 出 部	日 立 工 場	木 村 鐘 治 橋 本 英 明	"
"	433953	交 流 電 磁 石	日 立 工 場	村 田 正 光 白 土 忠 治	"
"	433956	圧 縮 空 気 遮 断 器	日 立 工 場	小 原 正 博 小 林 哲 郎	"
"	433959	複 数 電 動 機 の 自 動 調 速 安 全 装 置	日 立 工 場	泉 千 吉 郎 楊 元 之	"
"	433960	水 車 主 軸 の 軸 受 装 置	日 立 工 場	深 栖 俊 一 田 中 暢 雄	"
"	433961	回 転 電 機 の 制 動 装 置	日 立 工 場	後 藤 恒 夫	"
"	433962	豎 型 回 転 電 機 制 動 装 置	日 立 工 場	菊 地 弥 十 郎 高 木 正	"
実 用 新 案	433963	カ プ ラ ン 水 車 の 水 位 聯 動 装 置	日 立 工 場	長 尾 善 右 衛 門 鮎 沢 秀 夫	30. 9.22

(第 46 頁へ続く)