

諸塚揚水発電所の概要

Outline of Morozuka Pumped Storage Power Station,
Kyushu Electric Power Co., Inc.

加来 誠一郎*
Seichirō Kaku

内 容 梗 概

諸塚発電所はわが国最大の揚水発電所であり、その計画および主機器の仕様決定に当っては、種々の角度から検討を加え、新しい方式を取り入れて建設された。

当発電所が竣工するにあたり、その計画および設備の概要と、揚水発電所として特に検討を加えた諸点について概略を紹介する。

1. 緒 言

諸塚発電所は当初(昭和31年)、最大出力28,000kWの非揚水ダム水路式発電所として計画された。

ところが当時九州では苅田一期、二期、三期、新港などの新鋭火力発電所の建設や計画が進み、これらが竣工後はこれによって生ずる深夜火力余剰を消化し、新鋭火力の高効率運転を計るため、揚水発電所の必要性が提唱され、純揚水式あるいは自流を有する揚水式発電所の地点調査がすすめられてきた。

当発電所も、放水口が既設山須原発電所の調整池に臨んでおり、下部貯水池として利用できるため、揚水計画がとりあげられ、自流を有する揚水発電所としての経済性が再検討されて、その有利性も確かめられたので、最大出力50,000kWの日負荷調整用揚水発電所として昭和32年度の電源開発調整審議会の承認を得、昭和33年度から着工の運びとなったものである。

2. 計画の概要

諸塚発電所は、宮崎県の中部を東西に流れる耳川水系の支流柳原川、および七ツ山川の流域を利用し、柳原川に満水位EL 360mのダムを築造してこれを上部貯水池とし、耳川本流の既設山須原発電所の調整池EL 123.3mを下部貯水池として、両貯水池間の標高差236.7mを利用する自流を有する揚水発電所である。

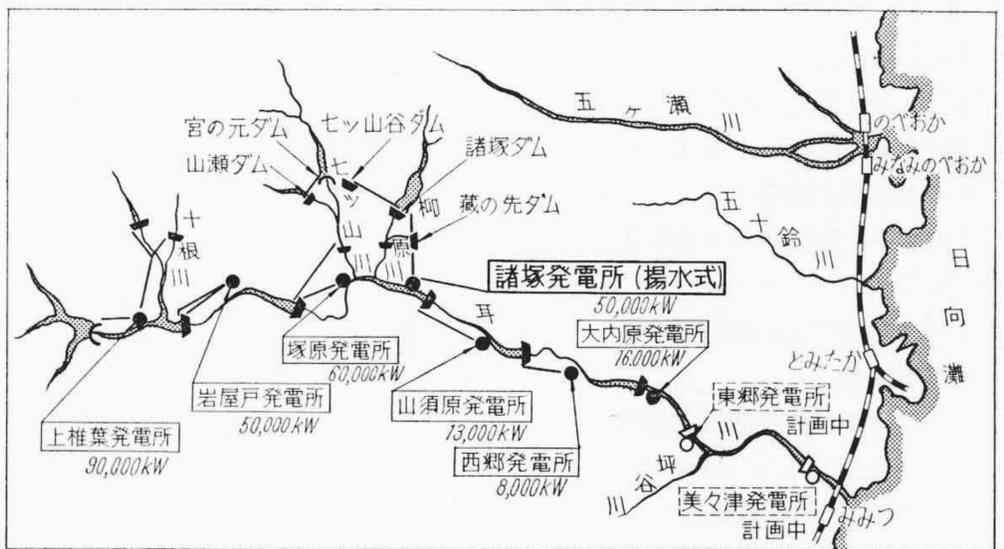
最大出力の決定に当っては、

- (1) 将来大容量の新鋭火力や原子力発電所の開発を勘案すると、揚水設備容量は大きい方が有利ではないか。
- (2) メーカーの製作実績や輸送限界を考慮して、ポンプ1台の容量は50,000kW程度が限度ではないか。

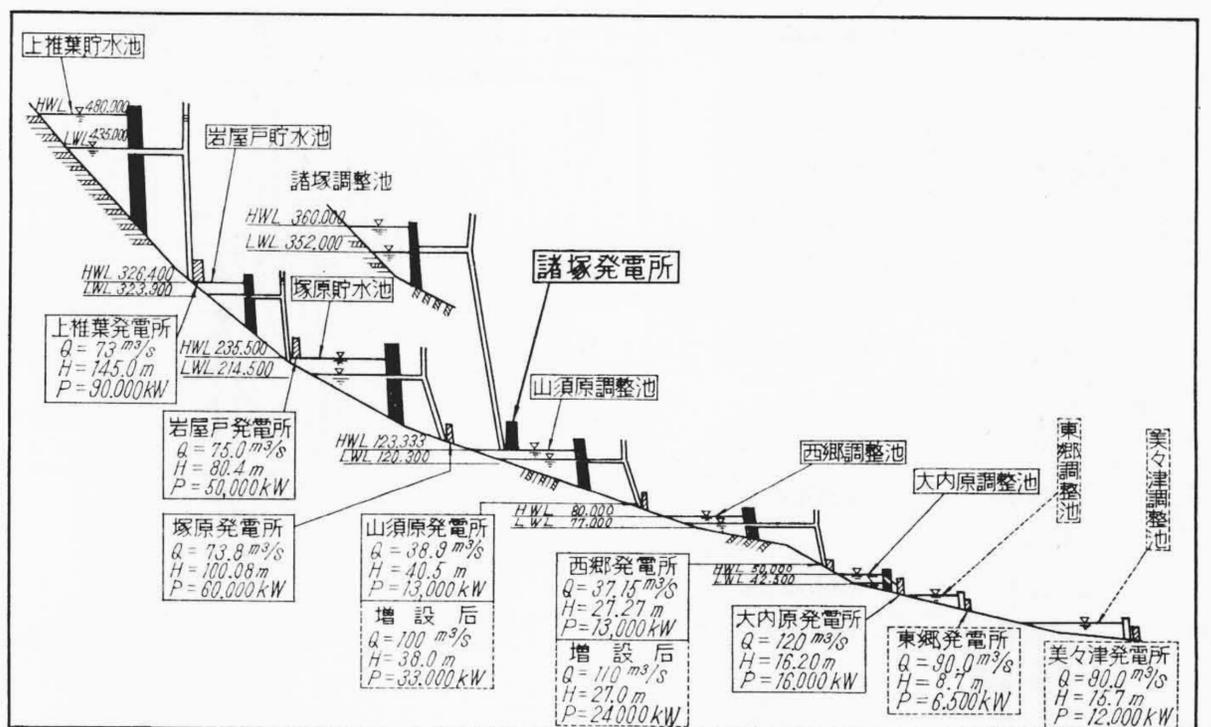
などの観点から種々の出力、台数について比較検討の結果、最大出力50,000kW 1台案が最有利規模であるという結論に達した。

最大出力の決定に伴い、最大使用水量27.06 m³/s、揚水の際発電

* 九州電力株式会社



第1図 耳川水系計画および既設地点図



第3図 耳川水系横断図

機をそのまま電動機として使用することとし、揚水効率を平均69%と想定して、揚水量18.6m³/sを決定した。

諸塚調整池の所要貯水容量は、深夜揚水可能時間および濁水期の最大出力所要継続時間により決定される。これらは給電運用上から前者を7時間、後者を6時間程度と要求され、これに要する調整池容量は約600,000m³となるが、将来の土砂堆積を考慮し、余裕を見て設計値は1,260,000m³とした。

当発電所は自流を有するので、揚水をどの限度まで行うかを決める必要がある。これは深夜揚水を行う期間は、昼間の最大出力継続

時間を12時間限度とすることとした。したがって自流で12時間以上最大出力を出しうる豊水期間中は揚水を行わないことにした。このことから調整池容量を当て見ると、前記容量で十分であることが判明した。これらの関係を第3図に示す。

当発電所の年間発生電力量は自流分116,800MWH, 揚水分71,500MWH, 合計188,300MWH, 揚水可能日数は年間約290日である。

当発電所は給電操作の迅速化と運転人員の合理化を計るため、当発電所の上流約4kmの地点にある既設塚原発電所から遠方監視制御するよう計画した。

3. 設備の概要

3.1 計画概要

(1) 河川名

取水河川

- 耳川水系支流七つ山川 (宮の元ダム)
- 耳川水系支流七つ山川支流川内川 (山瀬ダム)
- 耳川水系支流七つ山川支流七つ山谷溪流(溪流取入ダム)
- 耳川水系支流柳原川 (諸塚ダム)
- 耳川水系支流柳原川支流板井川 (蔵の先ダム)

放水河川

耳川水系耳川(山須原調整池)

(2) 発電所位置

宮崎県東臼杵郡諸塚村家代

(3) 流域面積 114 km²

(4) 諸塚調整池(上部調整池)

満水位 EL 360.0m

利用水深 8.0m

総貯水量 3,484,000m³

有効貯水量 1,260,000m³

湛水面積 180,000m²

(5) 山須原調整池(下部調整池)

満水位 EL 123.3m

利用水深 3.0m

総貯水量 4,194,000m³

有効貯水量 1,207,000m³

湛水面積 406,000m²

(6) 発電所使用水量

最大 27.06 m³/s

基準 27.06m³/s

揚水量

最大 19.1 m³/s

基準 18.6 m³/s

有効落差

最大 226.0 m

基準 222.0 m

全揚程 最大 235.5 m 基準 241.4 m

発電力 最大 50,000 kW

ポンプ軸動力 最大 49,100 kW

年間発生電力量 自流分 116,800 MWH

揚水分 71,500 MWH

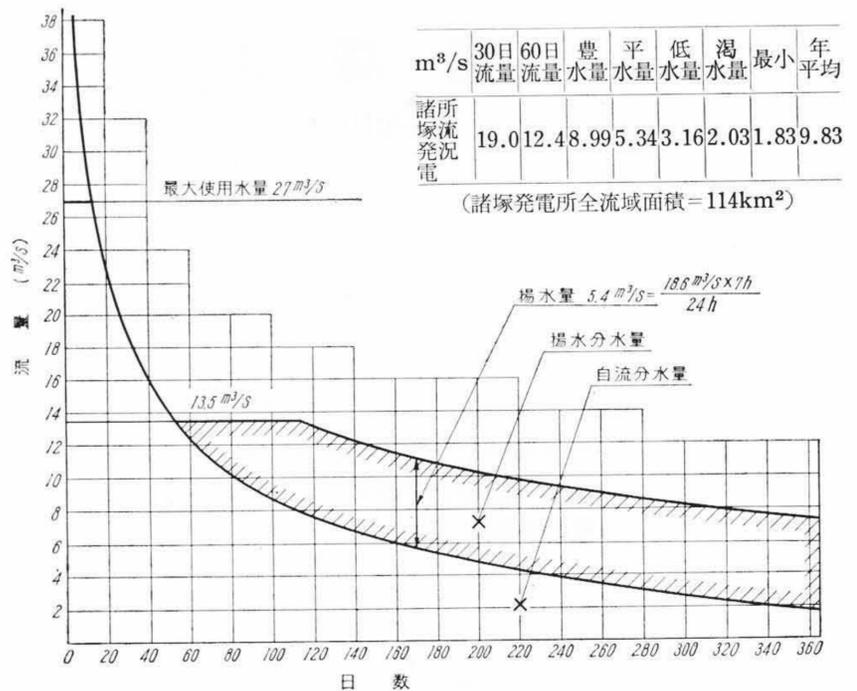
合計 188,300 MWH

3.2 土木設備概要

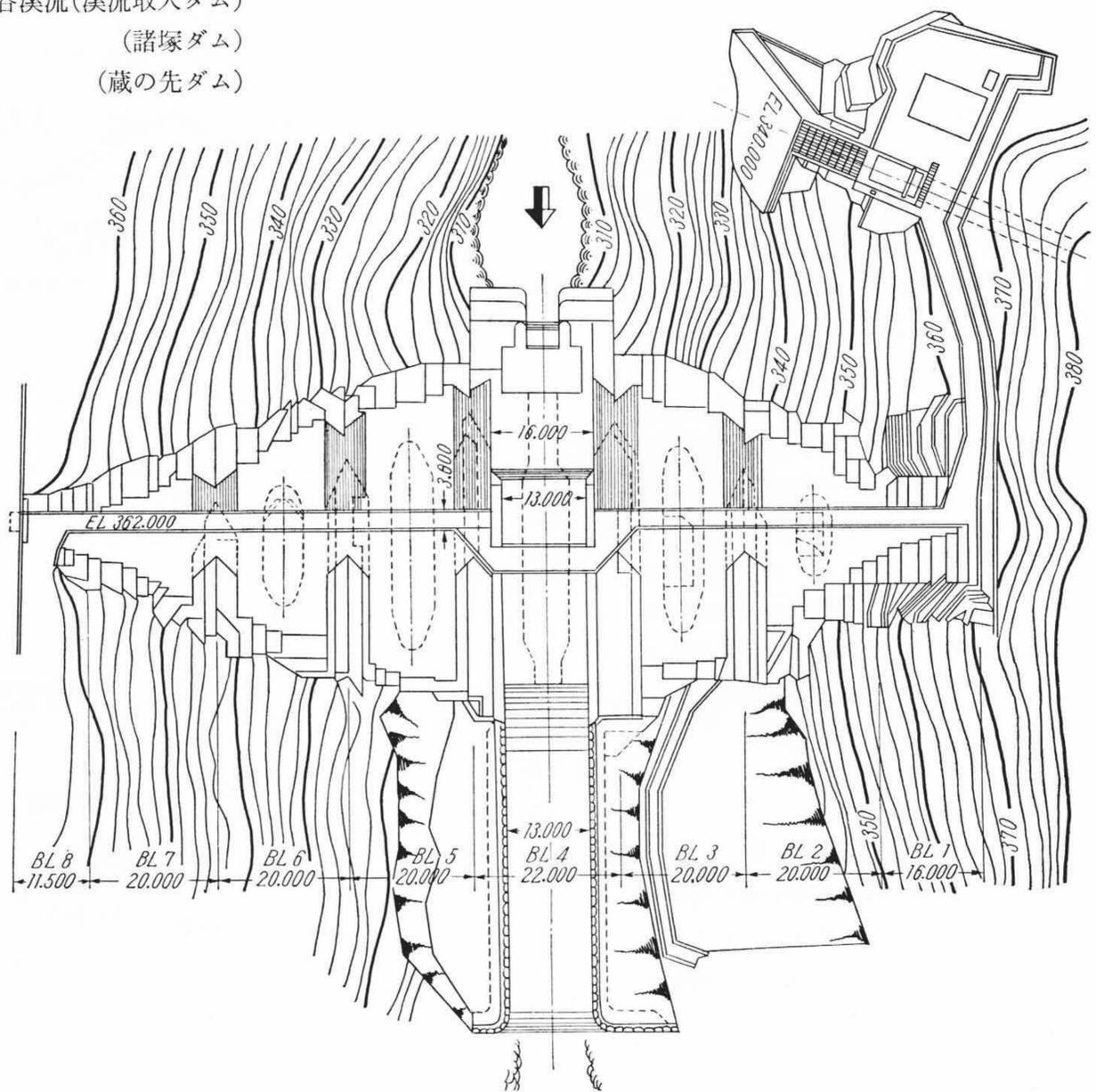
(1) 調整池ダム

可動せき付越流形中空重力式コンクリート造

高さ 58.0 m(基礎岩盤上堤頂点まで)



第3図 諸塚発電所流況曲線図



第4図 諸塚ダム平面図

56.0 m(満水面まで)

堤頂長 149.50 m

堤体積 93,000 m³

可動とびら テンターゲート

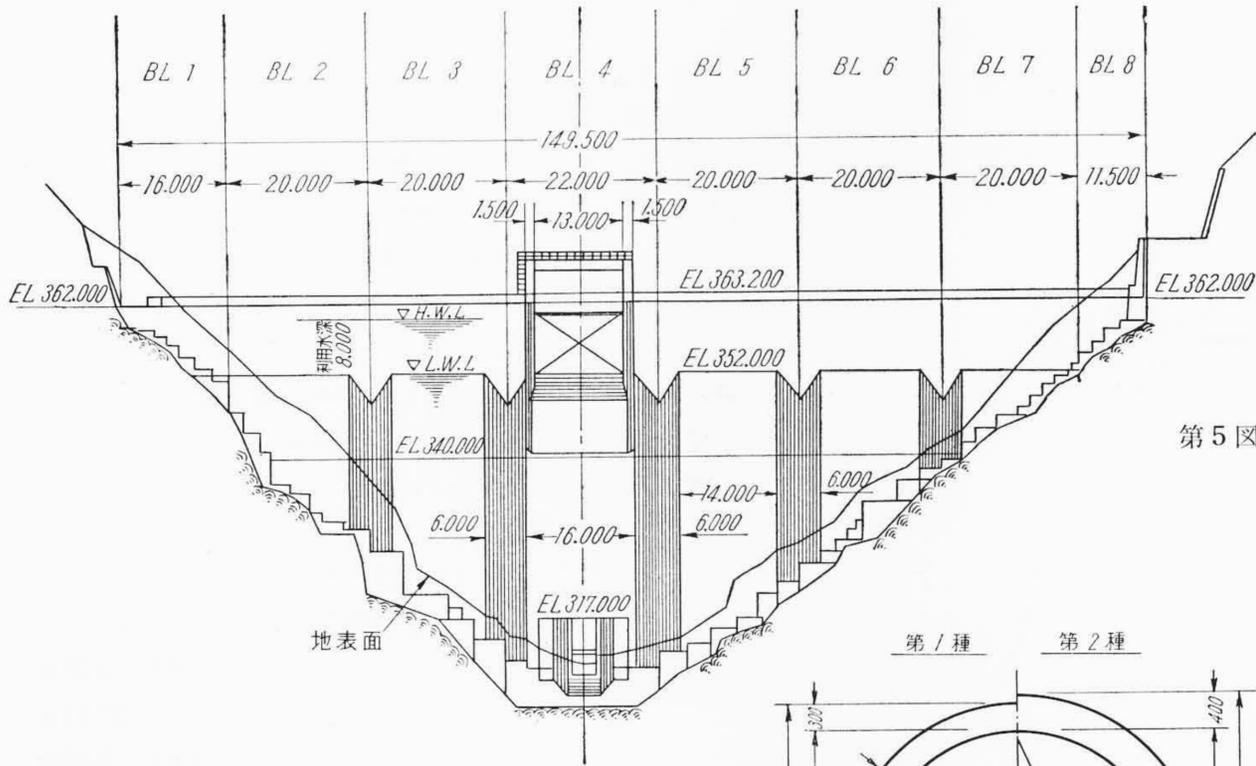
高さ 8.35m, 幅 13.00m 1門

(2) 本流取水口

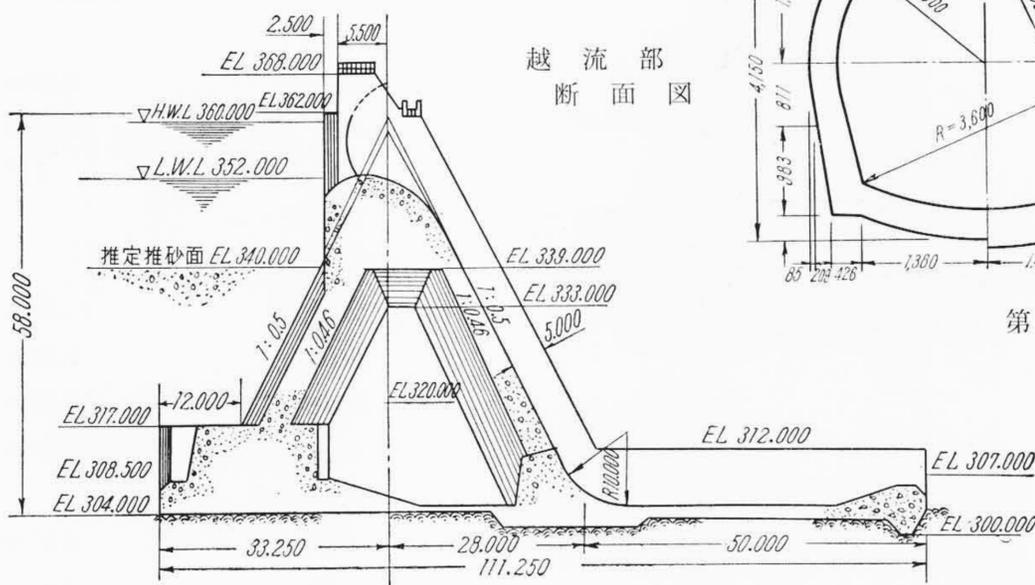
開渠形 幅 4.00m, 高さ 19.00m の矩形から直径 3.60m の標準馬蹄形に漸変, 延長 20.30m

スクリーン 幅 4.00m, 高さ 19.00m, 網目間隔 80 mm

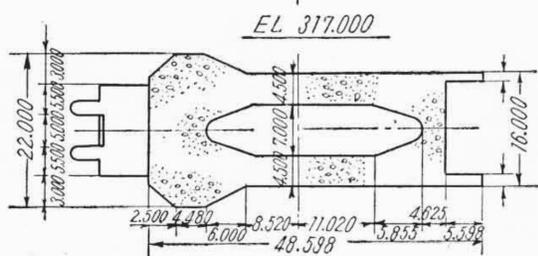
制水門 幅 3.60m, 高さ 3.60m, ローラゲート 1門



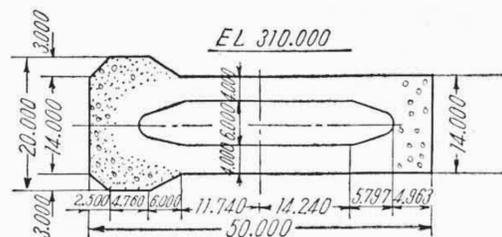
第5図 諸塚ダム正面図



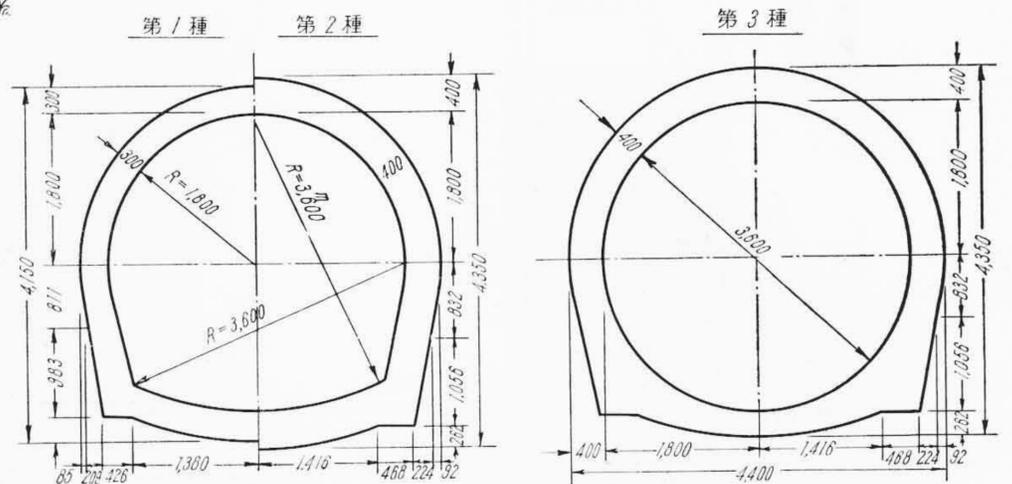
越流部
断面図



非越流部断面図



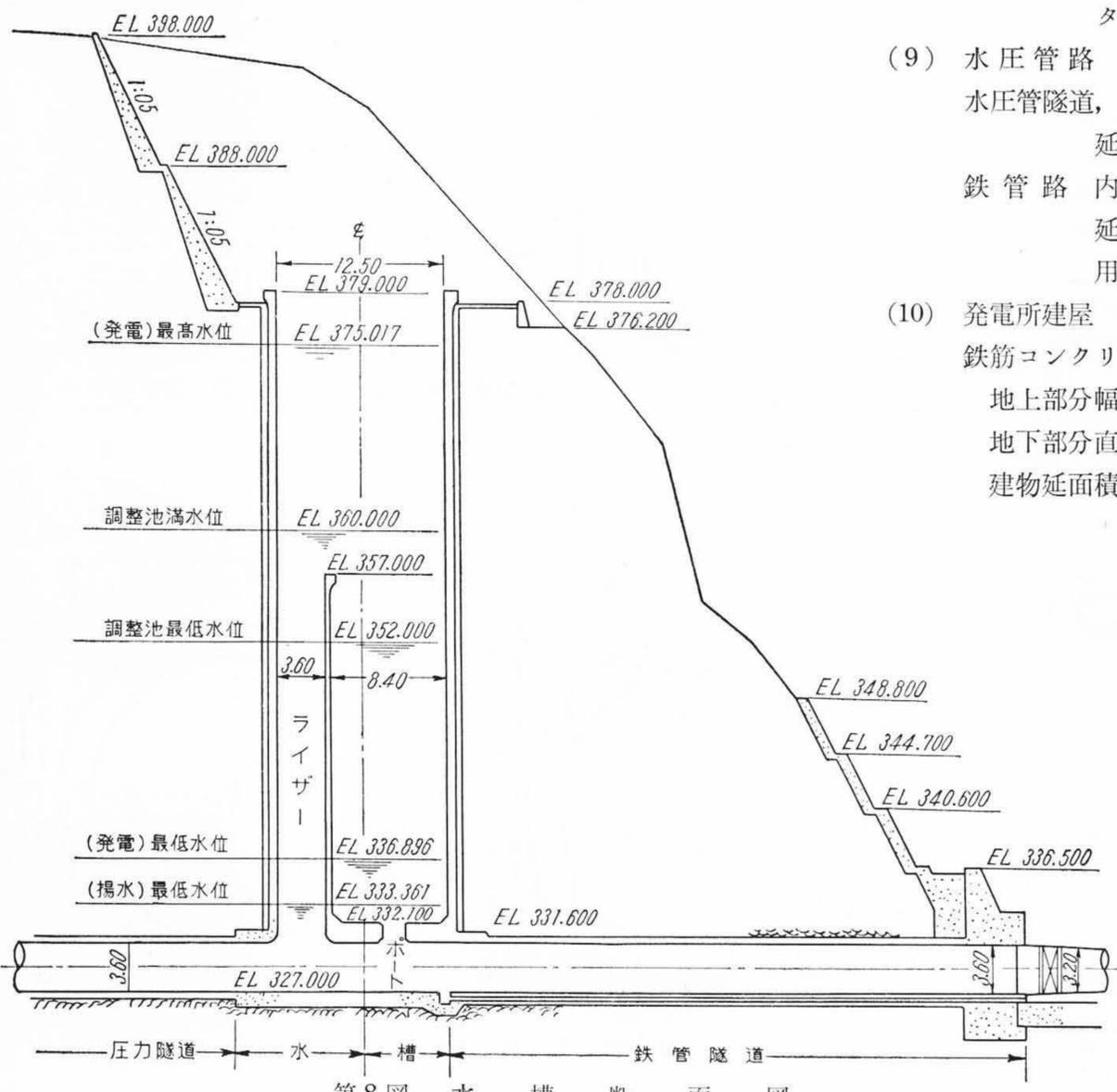
第6図 諸塚ダム断面図



第7図 本流水路断面図

- (3) 本流導水路
標準馬蹄形および円形圧力隧道
内径 3.60m, 延長 6,857m
こう配平均 1,500分の1

- (4) 支流蔵の先水路
取水ダム 重力式コンクリート造(越流形)
高さ 3.50m, 堤頂長 16.50m
導水路 矩形蓋渠
幅 1.00m, 高さ 0.90~1.52m, 延長 25.34m
立坑直径 1.20m, 高さ 37.65m
- (5) 支流山瀬水路
取水ダム 重力式コンクリート造(越流形)
高さ 7.50m, 堤頂長 21.50m
導水路 上部欠円矩形自然流下式水路
幅 1.50m, 高さ 1.80m, 延長 2,100m
- (6) 支流七ツ山水路
取水ダム 定半径形アーチ式コンクリート造(全面越流形)
(宮の元ダム) 高さ 18.50m, 堤頂長 85.44m
導水路 標準馬蹄形自然流下式水路
直径 2.70m, 延長 3,969m
- (7) 支流七ツ山谷渓流水路
取水ダム 越流形重力式コンクリート造
高さ 4.00m, 堤頂長 7.00m
導水路 矩形断面蓋渠および開渠
幅 0.60m, 高さ 0.60~1.44m, 延長 24.57m
立坑直径 1.00m, 高さ 9.78m
- (8) 調圧水槽
非越流形差動調圧水槽
ライザー内径 3.60m, 高さ 26.40m



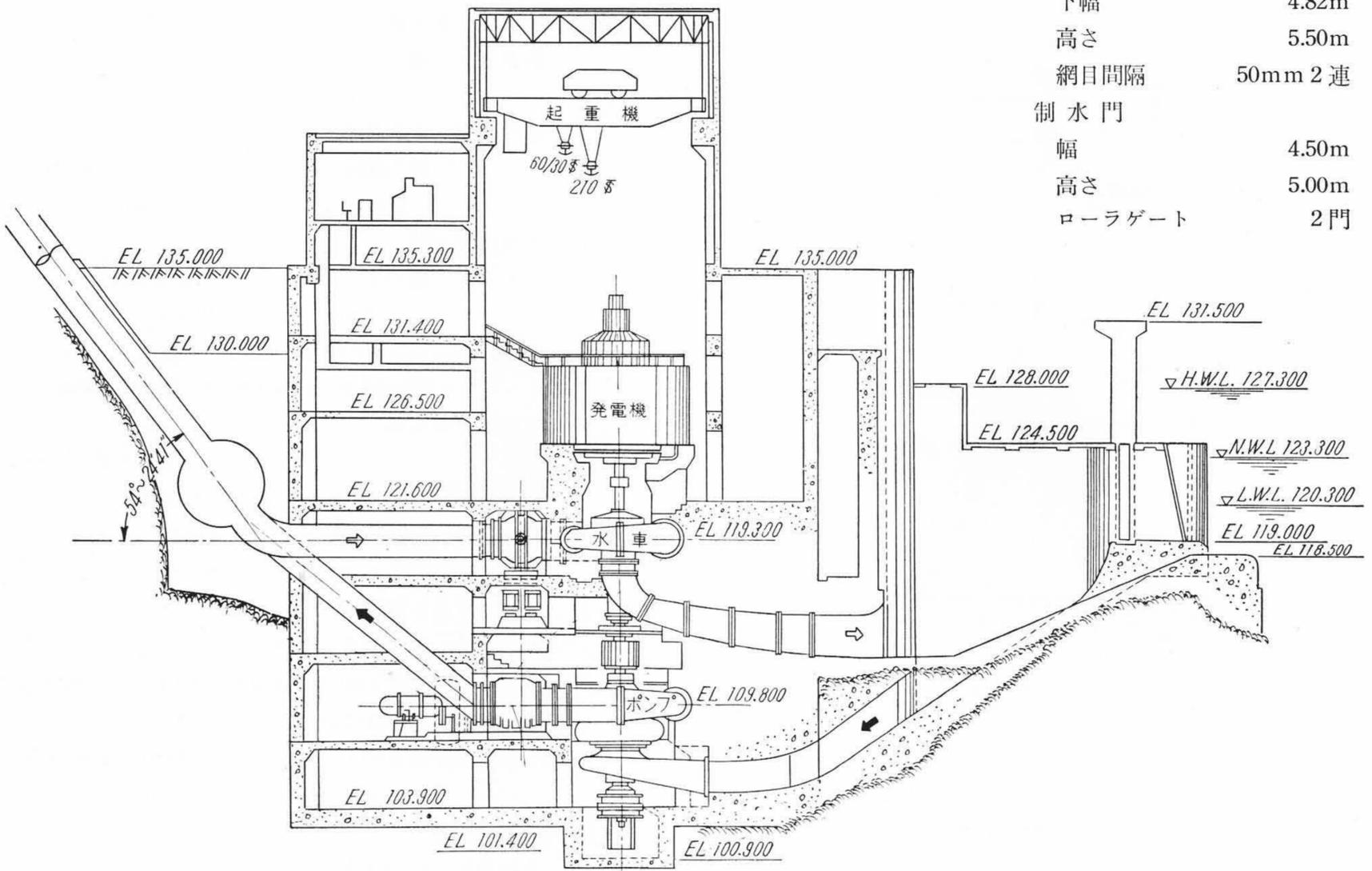
第8図 水槽断面図

タンク内径 12.50m, 高さ 46.90m

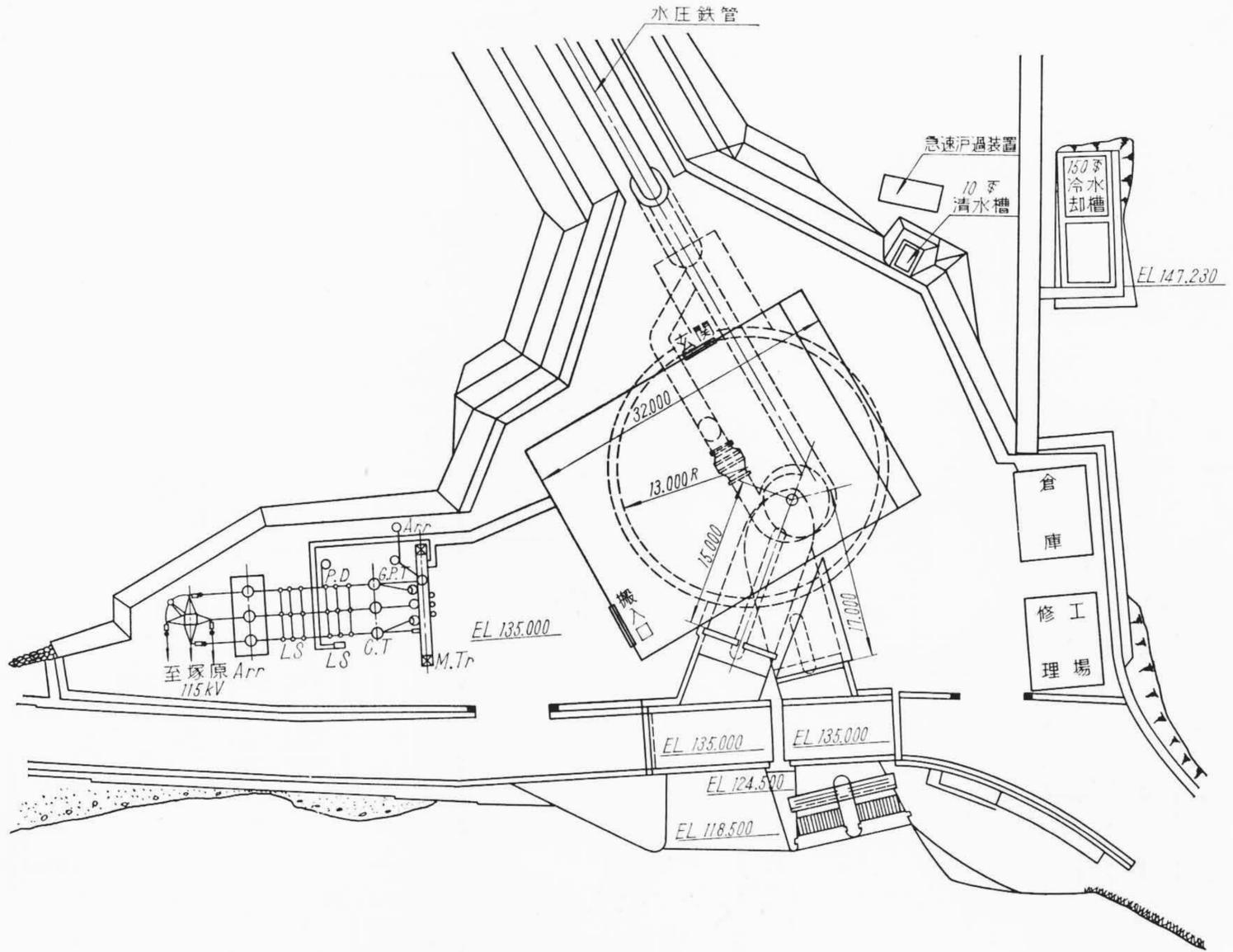
- (9) 水圧管路
水圧管隧道, 円形, 内径 3.60~3.20m
延長 42.75m, 管厚 12mm, 用材 S.M41W 1条
鉄管路 内径 3.20~1.80m
延長 400.23m, 管厚 12~40mm 1条
用材 S.M 41, S.M 50, WELCON 2 H
- (10) 発電所建屋
鉄筋コンクリート造 地上約 15m, 地下約 34m
地上部分幅 32.00m, 奥行 23.80m
地下部分直径 28.00mの円形
建物延面積 7,183m²

- (11) 放水路
矩形開渠コンクリート造
幅 6.90~12.26m
延長 21.31m
水深 4.80~10.60m
(山須原調整池満水面より)
制水門
幅 3.00m
高さ 3.50m
ローラゲート 2門

- (12) 揚水取水口
矩形開渠コンクリート造
幅 11.65m
高さ 5.50m
延長 16.75m
水深 4.30~18.44m
スクリーン
上幅 4.52m
下幅 4.82m
高さ 5.50m
網目間隔 50mm 2連
制水門
幅 4.50m
高さ 5.00m
ローラゲート 2門



第9図 発電所断面図



耳 川
第10図 発 電 所 付 近 平 面 図

3.3 電気設備概要

(1) 水 車	1 台
形 式	立軸単輪単流渦巻フランシス水車
出 力	(最大) 54,000 kW (基準) 53,000 kW
基準使用水量	27.06 m ³ /s
基準有効落差	222 m
回 転 数	300 rpm
主 弁 形 式	油圧操作式ロータリ弁
本体全重量	約 200 t
(2) ポ ン プ	1 台
形 式	立軸片吸込2段タービンポンプ
所要軸動力	(最大) 49,100 kW (基準) 49,000 kW
基準揚水量	18.6 m ³ /s
基準実揚程	234.9 m
回 転 数	300 rpm
主 弁 形 式	油圧操作式ニードル弁
ポンプ継手	油圧操作式歯形カップリング
本体全重量	約 350 t
(3) 発電, 電動機	1 台
形 式	立軸回転界磁閉鎖風道循環形3相交流同期
出 力	(発電機) 58,000 kVA (電動機) 56,500 kW
力 率	(発電機) 90%(遅れ) (電動機) 100%
電 圧	11,000V

電 流	3,045A
周 波 数	60~
回 転 数	300 rpm
主 励 磁 機	250 kW, 220V 他励式
副 励 磁 機	15 kW, 110V 自励式
本体重量	約 440 t
(4) 主要変圧器	1 台
形 式	屋外用窒素封入三相内鉄形送油風冷式 (負荷時電圧調整器付)
出 力	58,000 kVA (一次二次とも)
電 圧	一次 11 kV 二次 95~120 kV (11タップ)
(5) 起 重 機	1 台
主 卷	210 t
補 卷	60/30 t
径 間	12.5m
リ フ ト	主巻 31m 補巻 40m

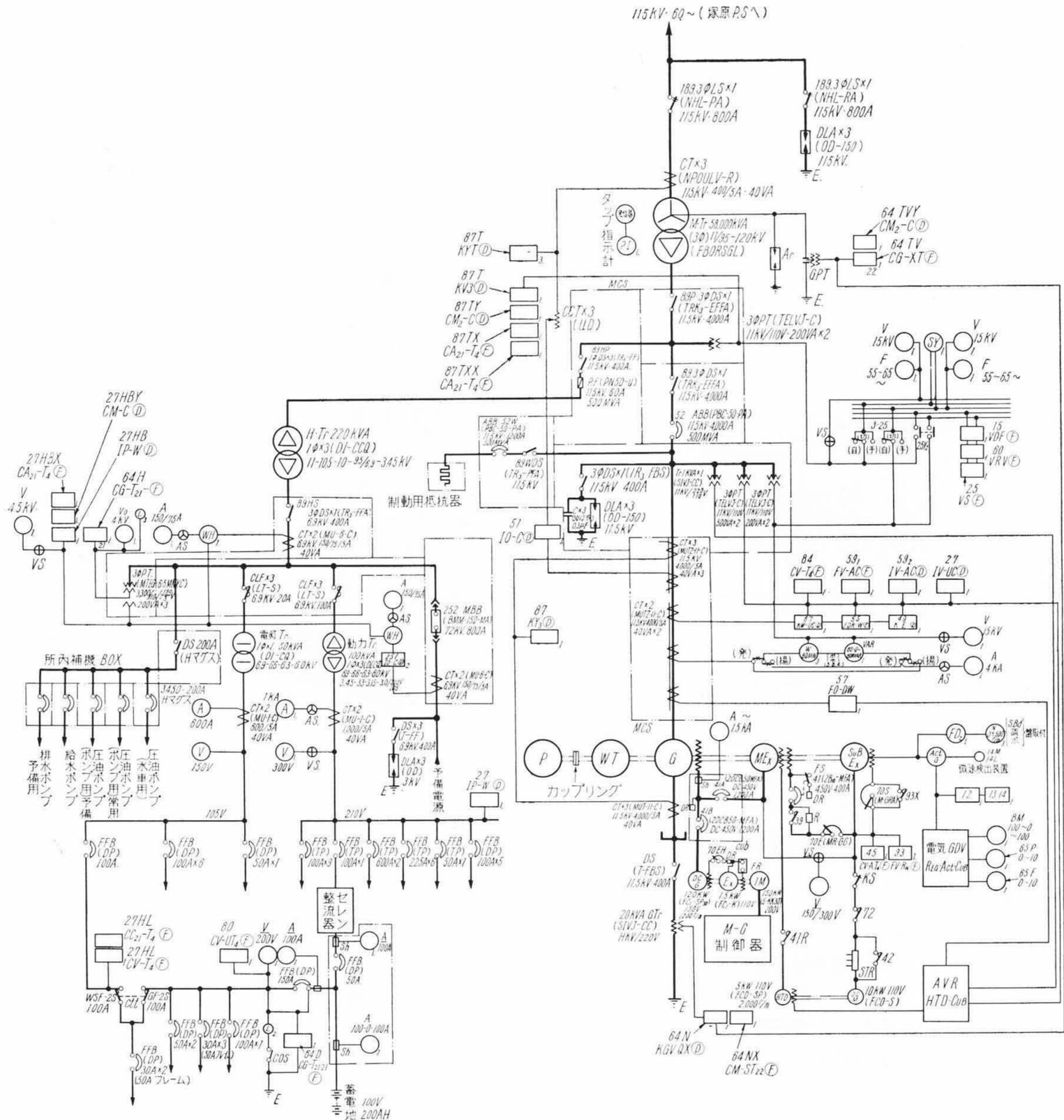
4. 揚水発電所として考慮した諸点

諸塚発電所はわが国最大容量の揚水発電所となるばかりでなく、単位容量としても世界有数のものであるので、主機の仕様決定に当っては、計画頭初から日立製作所と共同研究ですすめることとし、諸問題を詳細に検討して慎重を期した。

次に特に考慮した諸点を要約概説する。

4.1 土木設備について

(1) サージタンクの設計に当っては、普通発電所としての考慮のほかに、揚水中電源喪失したときのダウンサージにも安



第11図 単線結線図

全なように十分な検討を加えた。

- (2) 発電所建屋の掘さくに当っては、既設山須原調整池に隣接してあるので、できるだけ掘さく量を減じかつ工事を容易にするため、建屋の地下部分は円形とした。
- (3) 水圧鉄管には、一部 High Tension Steel を使用して、重量の節減を計った。

4.2 ポンプ形式および起動方式の選定

揚程が240m程度となると、ポンプは2段にする必要があり、構造上ポンプタービンの採用は困難となるので、ポンプは別置とした。

揚水起動の際のポンプの水中締切回転所要動力は、規定回転で約36,000kWと予想された。このように水中回転動力が大きいので、電動機で起動することは種々困難を伴うので、水車で起動する方式を採用した。すなわち、揚水起動の際にはまず水車で起動し、同期並列後徐々に水車のガイドベーンを閉め負荷を電動機に移し、ガイドベーン閉鎖後ポンプの吐出弁を徐々に開けば揚水を開始する。揚水中は、水車ケーシング内に圧縮空気を圧入し水面をおし下げて、水車の回転損失の軽減を計るようにした。この方式では特別の装置

を必要としないし、操作もきわめて簡単である。(なお当発電所では起動時のポンプの振動を軽減するため、同期並列前にポンプの吐出弁を22%程度開くいわゆる予開起動の方法をとった)。

4.3 主機回転数の決定

水車としての許容最大回転数は400rpmとれるが、ポンプの側からは立軸片吸込2段形として300rpm(ポンプの押込水頭を8mとして、当発電所では機器の配置上10.5mとれた)、横軸両吸込2段形として360rpmが限度である。当発電所では次項で述べるように立軸を採用したので、ポンプ側から300rpmという制限を受けた。ここで発電電動機を電動機(ポンプで揚水)のとき300rpm発電機(水車で発電)のとき400rpmと両回転方式とすることも考えられたが、経済的有利性に乏しいので300rpm一本とした。

4.4 立軸、横軸の選定

立軸、横軸のどれにするかはそれぞれ長短があり、完成後の運転保守にも影響するところが大きいので、慎重に検討を加えた。おもな相違点をひろってみると第1表のとおりである。このうち特に経済性に影響のある土木工事関係、回転数からくる主機器の値段の相違、効率の差による年間揚水電力費、発生電力量などを総合すると、

第1表 立軸, 横軸の比較

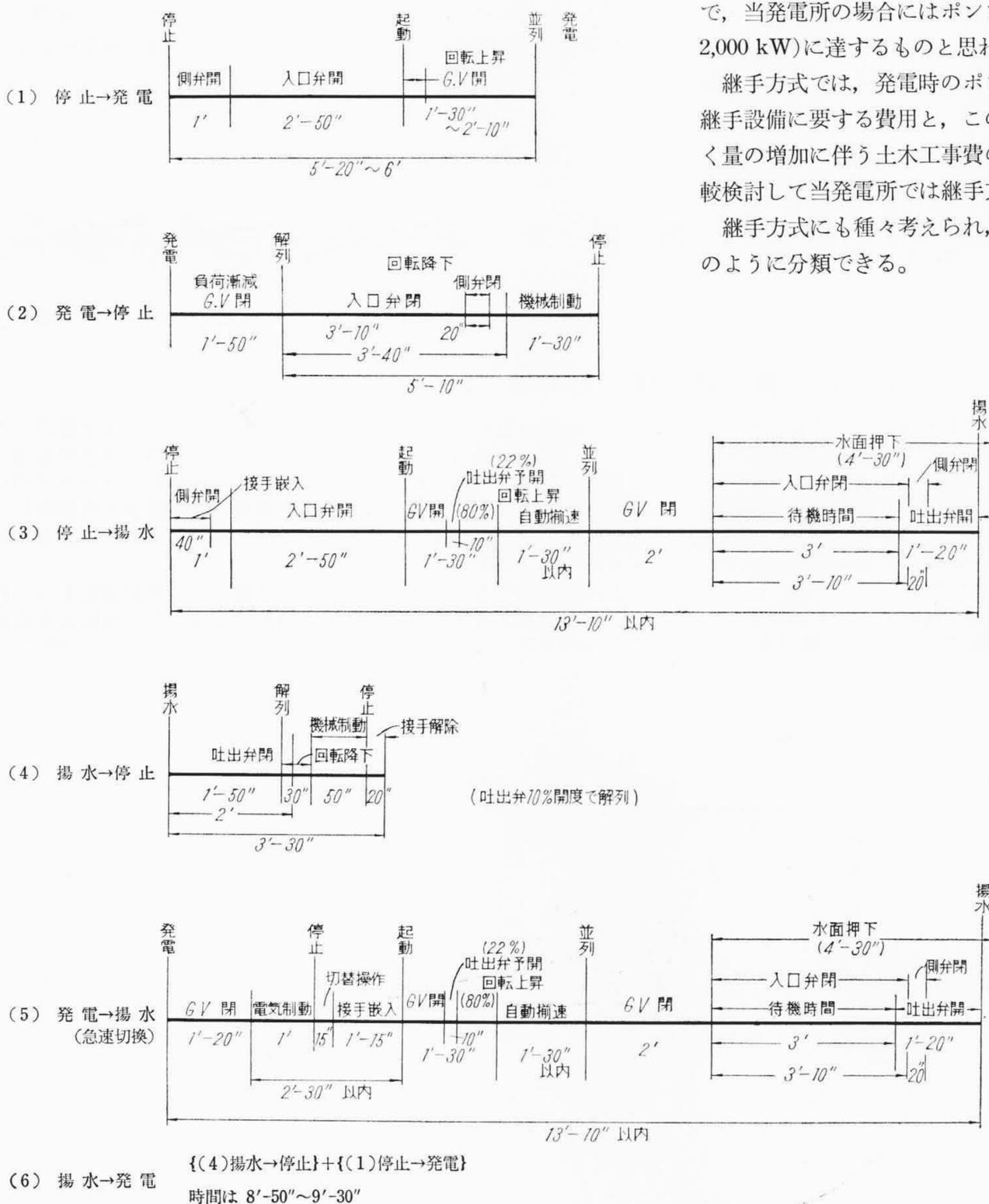
項 目	相 違 点
ポ ン プ 形 式	立軸は片吸込2段形 横軸は両吸込2段形
回 転 数	立軸は300 rpm, 横軸は360 rpm, したがって主機器重量は横軸が軽量となる
キャビテーション特性	立軸がすぐれておる
振 動	立軸の方がケーシング部分を埋込むので振動をおさえることができる
効 率	立軸がややすぐれている
分解手入の難易	立軸がやや複雑となる
土 木 工 事	掘さく量, 建屋の容積などから工事費を概算すると横軸が約50%程度かさむ

立軸の方が若干有利となるので, これに加うるに機器性能, 振動などを考慮して立軸を採用した。

4.5 ポンプ軸継手方式の選定

ポンプと水車とを直結し, 発電時水車運転中はポンプケーシング内に圧縮空気を圧入し, 水位をおし下げて空気中で空転する直結方式と, ポンプ軸に水車とかん合切離し容易な継手を使用し, ポンプを切離して運転する継手方式とが考えられる。

直結方式では, 発電時にポンプの空気中空転動力が損失となり効

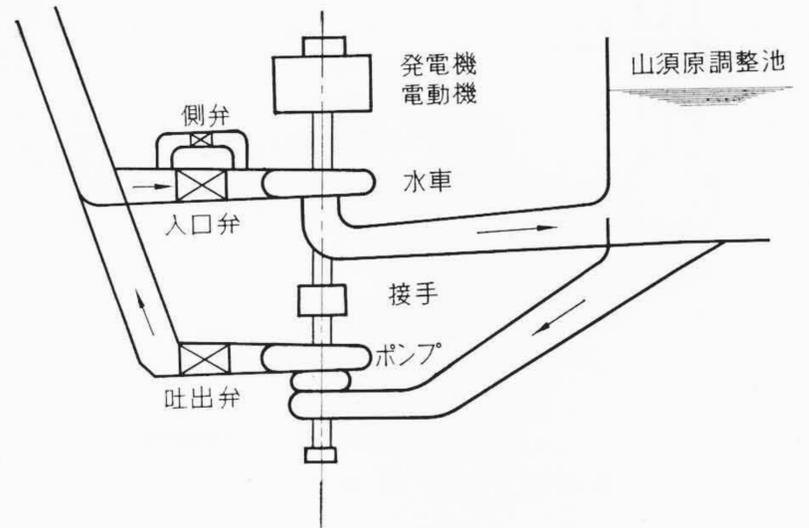


第13図 起 動 停 止 順 序 図

第2表 ポンプ空転動力の実測値

発電所名	ポンプ全負荷動力	ポンプ空気中空転動力	比率	ポンプ形式
沼 沢 沼	21,000 kW	500 kW	2.4%	横軸両吸込2段
Hiwassee	79,000 kW	2,000 kW	2.5%	立軸フランススポンプタービン

諸塚調整池



第12図 主 機 配 置 図

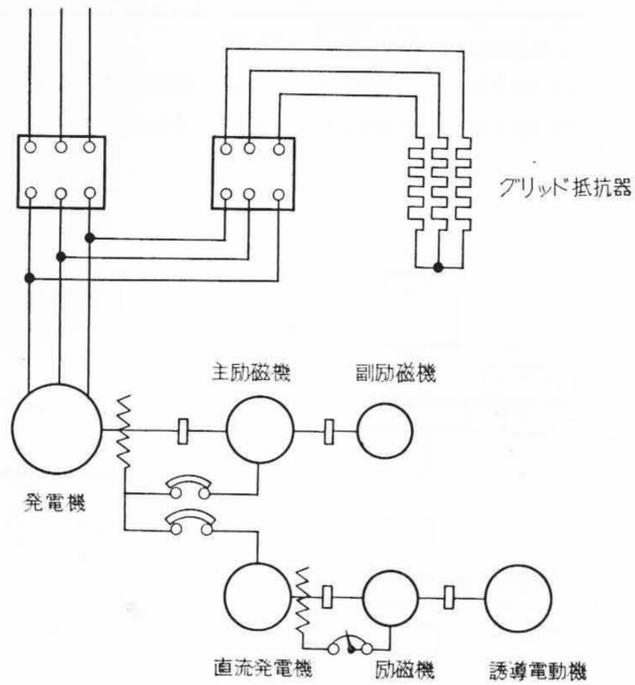
率の低下をきたす。第2表に空転動力の一, 二の実測例を示す。ポンプが多段となるに従い空転損失は一層増大すると考えられるので, 当発電所の場合にはポンプ全負荷動力の2~4% (約1,000~2,000 kW)に達するものと思われる。

継手方式では, 発電時のポンプ空転損失は防ぐことができるが, 継手設備に要する費用と, この継手部分だけ軸が長くなるので掘さく量の増加に伴う土木工事費の増加をきたす。このような諸点を比較検討して当発電所では継手方式を採用することにした。

継手方式にも種々考えられ, 発電→揚水の切替時間の長短から次のように分類できる。

- (1) 運転時切替方式
 - (a) トルクコンバーター付継手方式
 - (b) 起動ペルトン水車付移動歯形継手方式
- (2) 停止時切替方式
 - (a) 制動ペルトン水車付移動歯形継手方式
 - (b) 電気制動付移動歯形継手方式
 - (c) 移動歯形継手方式
 - (d) 機械継手方式 (摩擦クラッチ式)

運転時切替方式は, 運転中に継手のかん入切離しを行うもので, 発電→揚水の切替は2~3分の短時間でできるが, 付属機器そのほかかなりの設備を要する。停止時切替方式では, 継手のかん入切離しを主機をいったん停止して行うもので, (c) (d)方式では切替に20~30分を要する。(c)方式で発電機解列後停止までの時間を短縮するために, ペルトン水車による制動装置, または電気制動装置をつけたのが(a)(b)の方式で, こ



第14図 電気制動結線図

れにより切替時間は12~13分程度に短縮できる。当発電所では切替時間15分以内を目標とし、かつ経済性をも考え合わせて(b)の電気制動付移動歯形継手を採用することにした。この方式による発電機揚水の切替順序および所要時間を第13図に示す。

同図中で揚水の場合、待機時間3分をとってあるのは、水車のガイドベーン閉によるサージタンクの水位上昇と、ポンプの吐出弁開

による水位上昇とが重畳して、危険水位になることを避けるためである。

4.6 電気制動装置について

本装置の結線を第14図に示す。発電機解列と同時に励磁は直結の主励磁機から別置直流発電機に切替えられ、同時に発電機端子はグリッド抵抗器に接続され、別置直流発電機から励磁が与えられ、電力がグリッド抵抗器に消費されて電気制動力が働き、主機は急速に停止する。

抵抗器内で消費される電力を11kVで最大約30,000kWと設計しておるが、解列後1分程度で完全に停止することができる。なお、揚水中の主機を停止する場合には、ポンプの水中回転損失が大きいので、電気制動によらなくても1分余りで停止することができる。

5. 結 言

当発電所は昭和33年7月着工以来順調に進捗し、本年2月27日に無事官庁検査を終って、引続き営業運転に入り、渇水期に際し揚水の威力を発揮しつつあることは、本計画を担当した一員として誠に喜びにたえない。

当発電所に関連しては、本稿のほかには主機据付記録、試験記録など紹介すべき事項が多々あるが、目下整理中のものが多いので、次の機会にゆづることとする。

終りに主機の計画、研究、製作、試験に全力をあげてご協力下さった日立製作所の各位に対し、深く感謝の意を表する次第である。



特許の紹介



特許第261867号

栗山卓

変圧器保護継電器

変圧器主油槽とコンサベータとを連結する油管に、ブッフホルツ継電器を接続し、この継電器の油箱内に、変圧器内部の軽微な故障に基く上昇気泡の集積に反応する浮子形水銀スイッチと、重故障による突進油流に反応する浮子形水銀スイッチとを備え、軽故障の発生を警報し、重故障の場合は線路の遮断器を動作する保護方式が行われている。しかるに浮子形水銀スイッチは地震動により誤動作するきらいがある。

この発明は、保護継電器の要素より浮子形水銀スイッチを廃したので、図に示すように、油箱内に仕切壁で仕切られた静圧室を設

け、この静圧室内にスイッチ操作杆を動作するベローズを設け、このベローズ内に変圧器内部の重故障発生時に油箱内を突進する油流の急しゅんな上昇油圧を、ピトー管を通して導入し、ベローズ内の油圧を高め、ベローズを伸長して操作杆によりスイッチを動作し、線路の遮断器を遮断して変圧器を電源より切離し故障の拡大を防止するものである。

この発明になる保護継電器は浮子形水銀スイッチを使用しないから、地震動による水銀の動揺に基く誤動作をなくし、信頼度を高めることができた。(滑川)

