

沼沢沼揚水式発電所の計画より運転まで

白 川 応 則*

The Numazawanuma Pumped Storage Power Station

— From Project to Operation —

By Masanori Shirakawa

Vice-President, Tohoku Electric Power Company

Abstract

The Numazawanuma Pumped-Storage Power Station built on the River Tadami, was originally planned to lift water to the reservoir Numazawanuma in wet seasons thus to allow to continue power generation during dry spell of the winter season. However, through amendment of the scheme followed by some alteration in the machine design, the plant was enabled to lift the surplus flow of the river whenever the power supply can afford it, like in the midnight or during light-load operation even in the daytime. In this way, the plant is assured of sufficient water supply at all times and can start generating whenever the heavy consumption load demands it.

In the present article, Mr. Shirakawa, vice-president of the Tohoku Electric Power Company, details how this Japan's most peculiar power plant was planned and constructed, and how several new ideas were dexterously embodied into the component machines for their unusually stabilized operation. Also, he discloses results of the test operation of the plant.

〔I〕 緒 言

只見川の中流部に宮下発電所 (64,200 kW) がある。その調整池満水面の標高は 254.5 m であるが、右岸側から約 1 km の地点に沼沢沼 (満水面標高 475 m) がある。

この沼はカルデラ湖であつてあまり大きなものでなく水面積 3.1 km², 流域面積 8.9 km² に過ぎない。一度沼の水を発電に使用して水位を下げると自力では水位の回復はできない。したがつてこの水位の回復は只見川の水を宮下発電所の調整池から揚水する。すなわち豊水期またはこの電力系統に余剰を生じた場合、その余剰電力で只見川の水を沼沢沼に汲み上げ、これを渴水期の補給電力または尖頭負荷時の補給電力として発電に利用するいわゆる揚水式発電所として計画されたのである。

昭和 27 年 11 月 (1952 年 11 月) 始めて揚水を開始し揚水式発電所として運転を開始したのであるが、ポンプ運転時には多少の振動もあり、若干の問題に遭遇

した。

なお計画の当初は豊水期中年数回ポンプを運転して揚水し渴水期に発電する積りであつたが、でき上つてみると、深夜とか昼間の軽負荷時にも運転したくなつた。そうなる機械的に運転時は勿論、起動時にも少し振動を少くし、1 日数回の運転に対しても少し安定したものにしたくなつた。ポンプの主弁の操作方法を「流量の変化を均一にして開閉時間を短縮するための改造」や「起動時に主弁を予開する方法」などもそのために採用したのであるが、いずれも好成績を取め、どんなに自由に何回運転してもなんら心配はないようになったので、主として豊水期に揚水し、渴水期に発電するという当初の計画よりさらに深夜や昼間軽負荷時などにも電力事情の許す限りいつでも揚水し、重負荷時にはいつでも発電して支障ないような実に便利な揚水式発電所となつた。本文においては本発電所の当初の計画、工事の要領と安定した運転を行いうるに至つたまでの経過とその試験記録をあきらかにした。

* 東北電力株式会社副社長

〔II〕 揚水式発電計画の要領

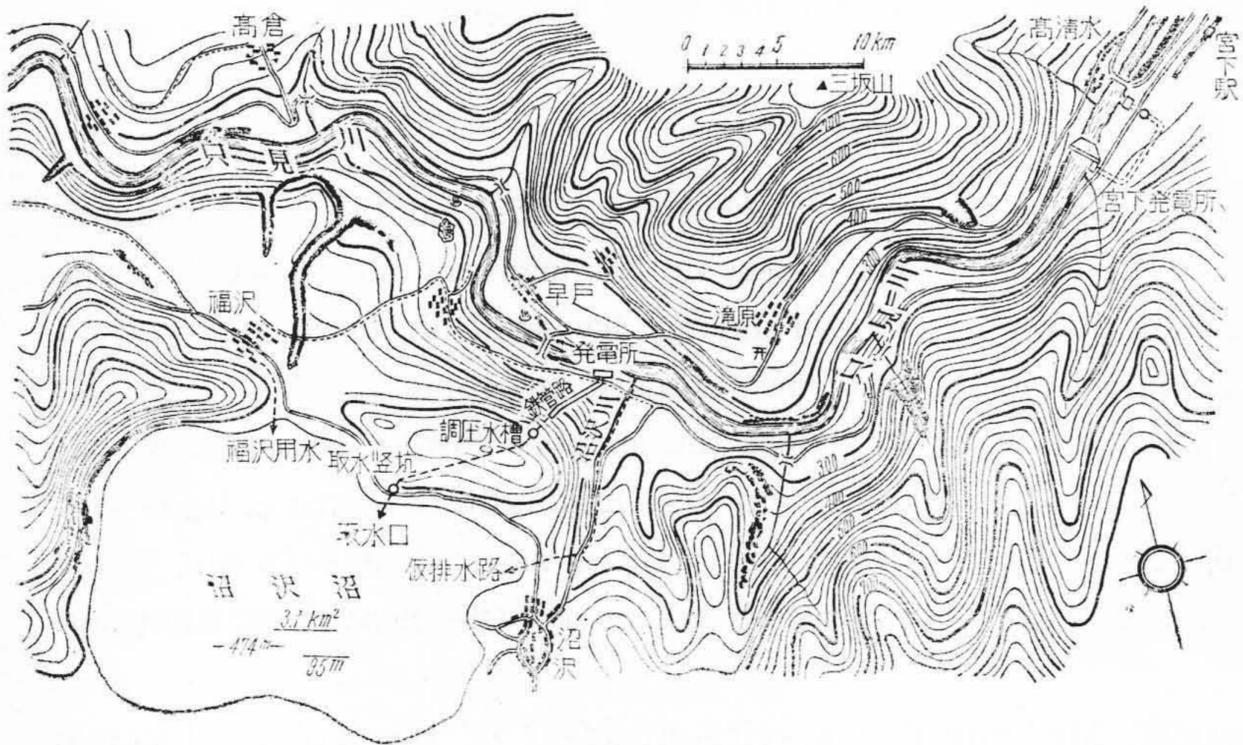
(1) 上部貯水池としての沼沢沼および下部貯水池としての宮下発電所調整池

沼沢沼は福島県大沼郡沼沢村にあり、只見川水系既設宮下発電所 (64,200 kW) より約 4 km 上流右岸の高地に横たわる火山噴火により生成したカルデラ湖である。

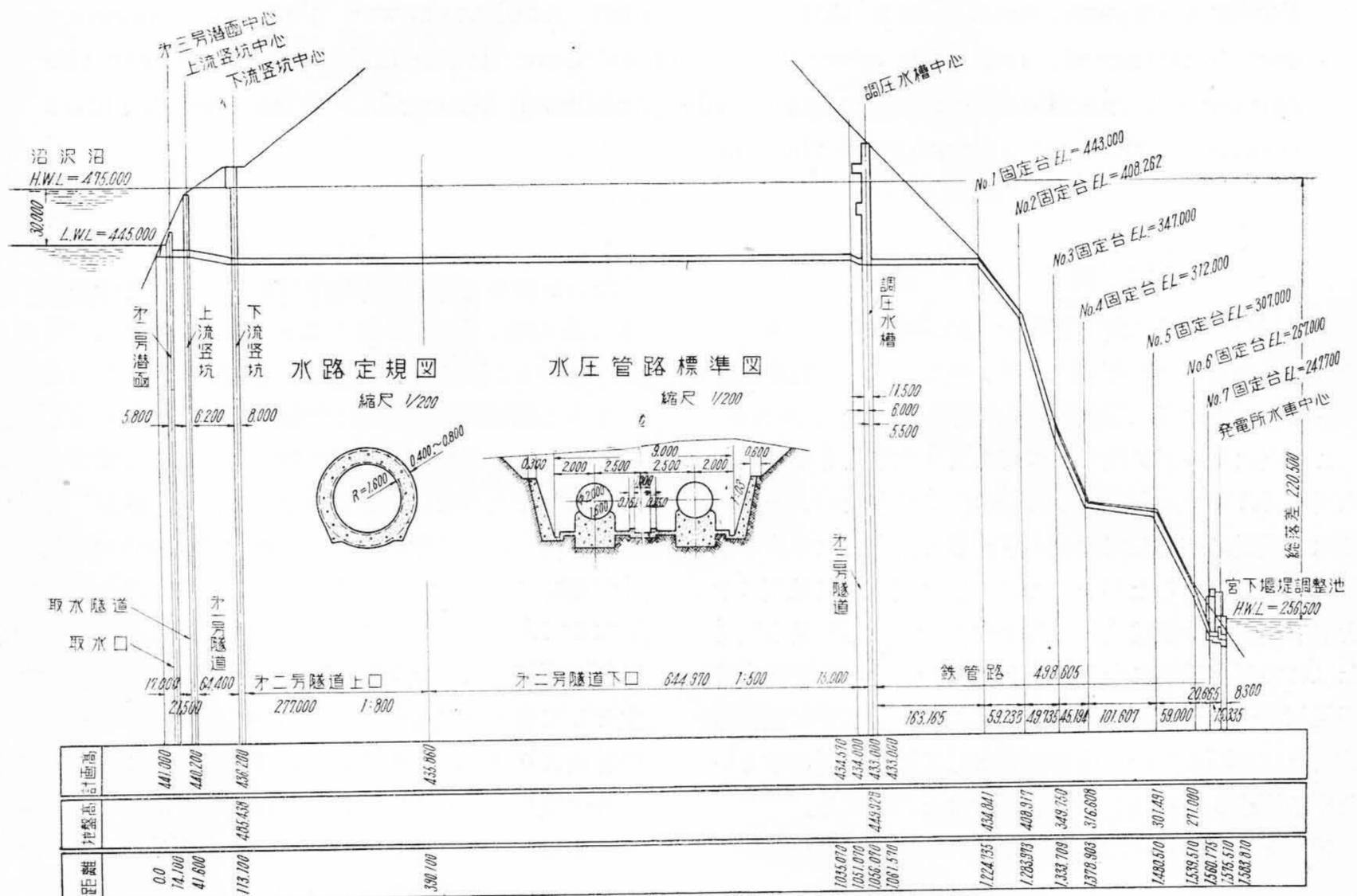
沼 面 積..... 3.1 km²

水 深..... 95 m
 全貯水容量..... 193,794,000 m³
 利用水深..... 30 m
 有効利用容量..... 85,203,410 m³
 満水位標高..... 475 m
 流域面積..... 8.9 km²

只見川本川の水を揚水利用するための既設宮下発電所調整池 (沼沢沼下部貯水池) はつぎの通りである。



第 1 図
 発電所附近平面図
 Fig.1.
 Map Showing the Power Plant and Its Neighbourhood



第 2 図 水路縦断面図
 Fig.2. Sketch of Longitudinal Section of Water Channel

全 容 量..... 20,500,000 m³
 湛 水 面 積..... 1,450,000 m²
 利 用 水 深..... 3 m
 有 効 容 量..... 4,056,000 m³
 満 水 位 標 高..... 254.5 m

(第1図および第2図参照)

(2) 揚水発電地点としての沼沢沼

上部貯水池沼沢沼は標高 475 m であつて、下部宮下調整池は標高 254.5 m であるから、この間 220.5 m の落差があり、2つの池の距離は約 1 km である。

さらに本地点にて発電した水は既述の通り、たゞちに宮下発電所調整池に注入され、そのまま下流の既設発電所の箇処、総落差 167 m (宮下, 柳津, 片門, 新郷, 山郷, 豊実, 鹿瀬) に利用される許りでなく近く着工予定の上野尻, 津川, 揚川, 下条などの発電所にも利用されるのである。このような状態であるので沼沢沼発電所は揚水発電所として最も適切、有効なる条件を備えておるわけである。

〔III〕 設 計 の 要 領

(1) 取水河川名, 湖沼名

阿賀川水系只見川および沼沢沼

(2) 位 置

- (イ) 取水口 (発電時) 兼注水口 (揚水時)
福島県大沼郡沼沢村大字大栗山字長窪
- (ロ) 放水路 (発電時) 兼吸水路 (揚水時)
福島県大沼郡沼沢村大字大栗山字野尻

(3) 発電使用水量および揚水量

- (イ) 発電使用水量

最 大..... 24.2 m³/s
 冬 期 平 均..... 10.08 m³/s
 (ロ) 揚水量
 最 大..... 17.6 m³/s
 最 小..... 13.9 m³/s
 平 均..... 15.8 m³/s

(4) 有効落差および揚程

(イ) 有効落差 (発電時)
 最 大..... 215.20 m
 冬 期 平 均..... 203.75 m
 (ロ) 揚 程
 最 大..... 226.2 m
 最 小..... 194.8 m

(5) 発電力および揚水電力

(イ) 発 電 力
 最 大..... 43,600 kW
 (ロ) 揚水電力
 最 大..... 40,200 kW

(6) 年間発生電力量および揚水電力量

(イ) 年間発生電力量
 沼沢沼単独 (1.5 サイクル) 61,202 MWh
 下流増加 (1.5 サイクル) 35,500 MWh
 合 計..... 96,702 MWh
 (ロ) 年間揚水電力量 (1.5 サイクル)
 81,276 MWh

備考 昭和 28 年度の実績によれば 1.7 サイクル 余に使用されており、柳津, 片門両発電所の竣工を見ておるので、これを見込めば下流増加の発電力量は沼沢沼単独の場合の 80% 増加となる。



第3図 沼沢沼および沼沢沼発電所関係図
 Fig. 3. Numazawanuma P.S. in Relation to Numazawanuma Swamp

〔IV〕 主要工作物の施工

(1) 取水口工事

沼沢沼は火山の噴火口の跡にできた火口湖で地質の基盤は安山岩であるが、沼附近は噴火の際累積せる火山灰, 安山岩, 砂礫, 粘土などの挟在する変化きわまりなき火山岩層の悪地質であつて、水の浸透に対する抵抗力の小さい土と推定せられ、当初より工事の難航は予想されておつた。(第4図, 次頁参照)

しかも取水口構造物は沼の水面より 35 m の深部に設けるものである。かかる工事の施工に当つては一応沼水位を工事に支障ないところまで低下させて、しかる後工事を施行するのが普通の工法である。

しかしながらこの排水工事には、多額の

費用と相当の日子を要し、また高位置（満水面標高 475 m）における 85,000,000 m³ におよぶ水の貴重なるエネルギー源を全く無駄に放流しなければならない損失がある。

そこで沼の水を無駄に放流することなく、工事を進めるためにケーソン工法が採用されたのである。（第 5 図および第 6 図参照）

取水口より第一号隧道の約 100 m の間に 3 本の潜函を計画敷まで沈下し、その各潜函の堅杭を圧気掘削によつて横につなぎ第二号隧道（普通工法）に連絡せるものであつて、この 3 本の潜函は掘削用堅杭として使用後 No. 3 潜函は取水口の構造物となり、No. 2 潜函は工事中は排水トンネルの連絡槽となり、工事後は排水トンネルを連絡するバイパスバルブ室となり No. 1 潜函には取水門扉を設備しておく。

当初潜函の沈下が進むにしたがい、双口よりの漏気はなほだしく空気の消費量も漸増し、沼水位下 10 m の点では No. 1, No. 2 の潜函とも 10 m の水圧、No. 2 潜函 35 m 沈下では 35 m の水圧（48 lb/in²）となり、完全に四囲の地殻は沼水の浸透に対する抵抗はなんらの役に立たず、理論上水中を潜函が沈下する状態であつた。そこで No. 1 および No. 2 潜函の中間側壁より直径

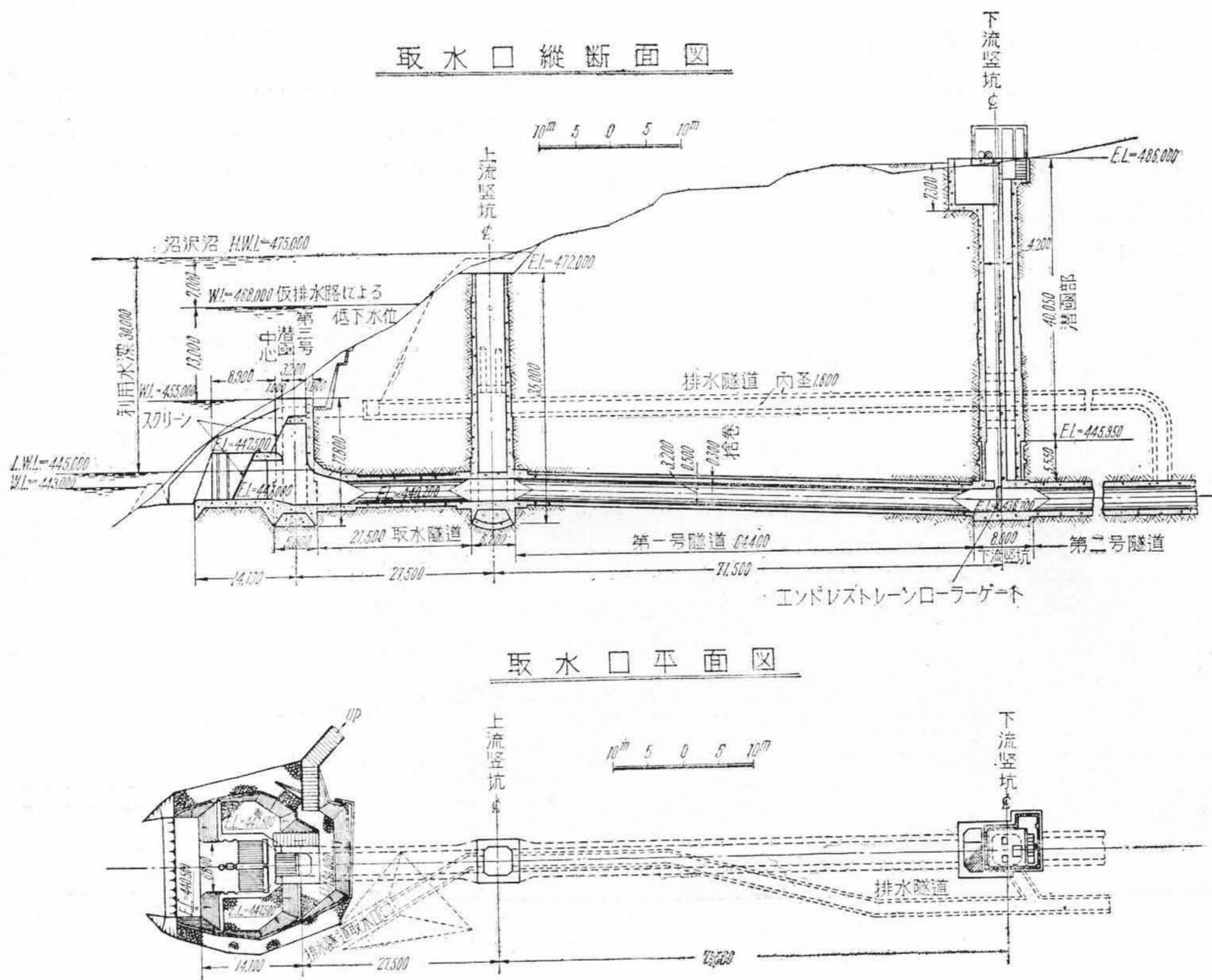
1.6 m の排水トンネルを圧気工法により施工して No. 1 と No. 2 間を連絡せしめ No. 1 潜函を第二号隧道とは堅杭により合致させ No. 2 潜函より上流沼に向つては土かぶり 60 m まで同様の施工を行い、完成後前面の土砂約 900 m³ を潜水作業により除去し、こゝに第一次通水発電を行つた次第である。

この第一次通水発電により沼水位は 15 m 低下した。なお沼中の水中掘削を節減するためと保守上より No. 3 潜函を計画し、No. 2, No. 3 潜函も圧気工法により連絡し本隧道を完成したのである。

本工事に当つては圧縮空気の漏気を防止するため、良質粘土を掘削面に塗布する方法を採用した。なお本工事に使用したコンプレッサーは 400 HP 3 台、100 HP 4 台、合計 1,600 HP である。

（2）揚水ポンプ水車発電機の運転方式

豊水期または非尖頭時に余剰電力、特殊電力などでポンプを運転して揚水し、渇水期または尖頭時に発電する。ポンプの動力は発電機を電動機として使用する。したがつて水車発電機およびポンプは同軸（横軸）に連結される。水車用の水圧鉄管とポンプ用の揚水鉄管とは同一のものを使用しておく。なお水車およびポンプとも空運転時は圧縮空気により水面を押し下げる装置を備えてお



第 4 図 取 水 口 Fig.4. Diagram of Intake

る。また満水期など長期間にわたつて発電する場合はポンプをカップリングで切り離して水車、発電機のみを運転する。

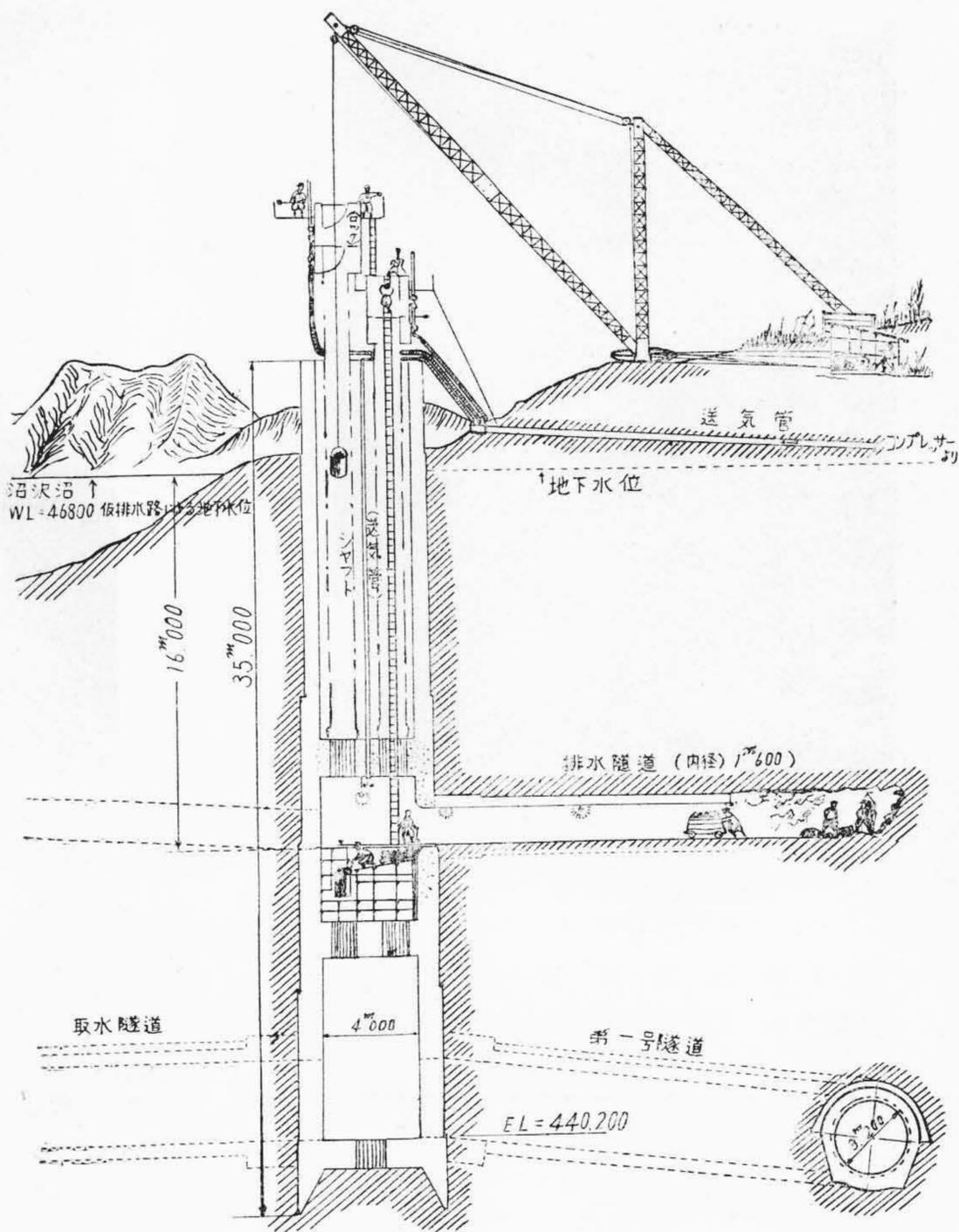
(3) 揚水ポンプ吐出弁（揚水電源喪失時の過渡現象対策）

揚水ポンプ運転時に電源が急になくなると揚水中の水は逆流し、ポンプの揚水量が大きければ大きい程相当の水圧変化が起り、ポンプは逆回転する。したがつてポンプ吐出弁はなるべくその開度による逆流量（揚水時は揚水量）を一定にし、また弁の閉塞時間もあまり長くないようにしたい。本ポンプ吐出弁はその目的に合致するように弁の動きを調整し、閉め始めはなるべく早くし、ある程度閉ればゆるやかに閉るようにしてある。

吐出弁を調整しない場合と調整した場合の電源喪失時の逆回転数と圧力の変化は第1表（次頁参照）に示す通りであり、その過渡現象の一例を示せば第9図（次頁参照）オシログラムの通りである。逆回転数は調整前最大 123% のものが 7.2% に減少し圧力は大した変化はない。

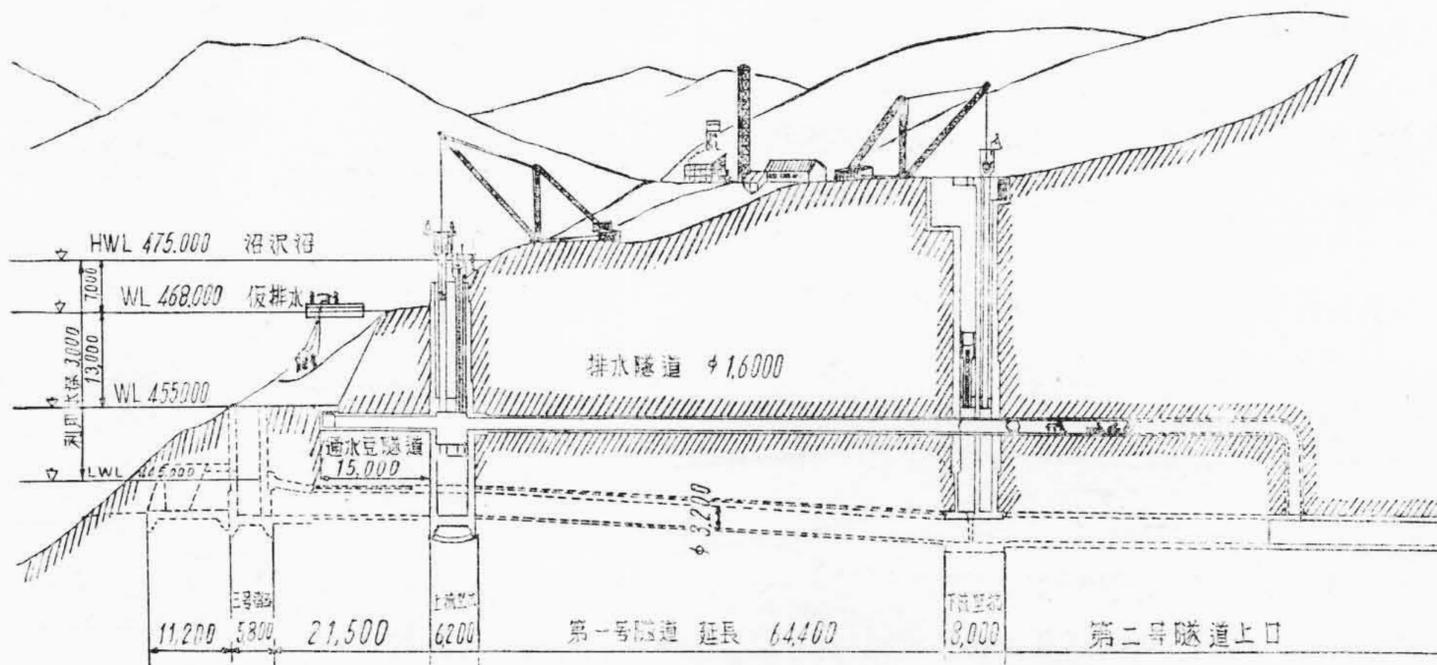
(4) 揚水ポンプ運転時の一般的振動防止

揚水ポンプ運転時には振動源のために、このポンプに附属して取付けられ



第5図 ケーソン工法説明図(1)

Fig.5. Explanatory Diagram of Caisson Method (1)

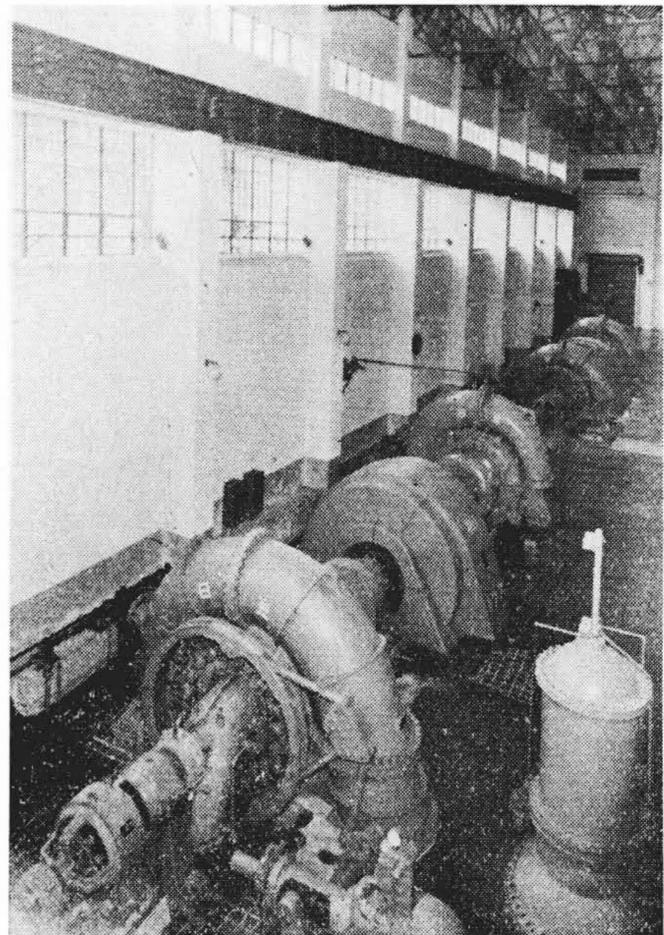


第6図 ケーソン工法説明図(2)

Fig.6. Explanatory Diagram of Caisson Method (2)



第7図 沼沢沼発電所全景
Fig.7. General View of Numazawa-numa P.S.



第8図 沼沢沼発電所内景
Fig.8. Inside View of Numazawa-numa P.S.

第 1 表 吐出弁改造効果
Table 1. Effect of Reconstruction of Discharge Valve

	吐出弁改造前	吐出弁改造後
吐出弁開度	100%	100%
鉄管圧力	22~25 kg ΔP 14.5%	22.4~27.1 kg/cm ² ΔP 20.6%
逆回転数	615 rpm 123%	36 rpm 7.2%
吐出弁閉鎖時間 (s)	31.90	13.56

る各種のパイプや弁類その他のものでこの振動に共振するものが生じ、それらが大きく振動するのでさらに全体の振動を大きくする。したがって振動源に共振して振動すると思われるものは全部これを取換えるかまたは振動しないようにこれを押えた。

なにもしなかつた場合と各種の振動源を除去した場合

との全体の振動の大きさは第2表の通りである。

すなわち除去前は最大 $\frac{15\sim 18}{1,000}$ mm のものが除去後は $\frac{2.5}{1,000}$ mm に減少している。

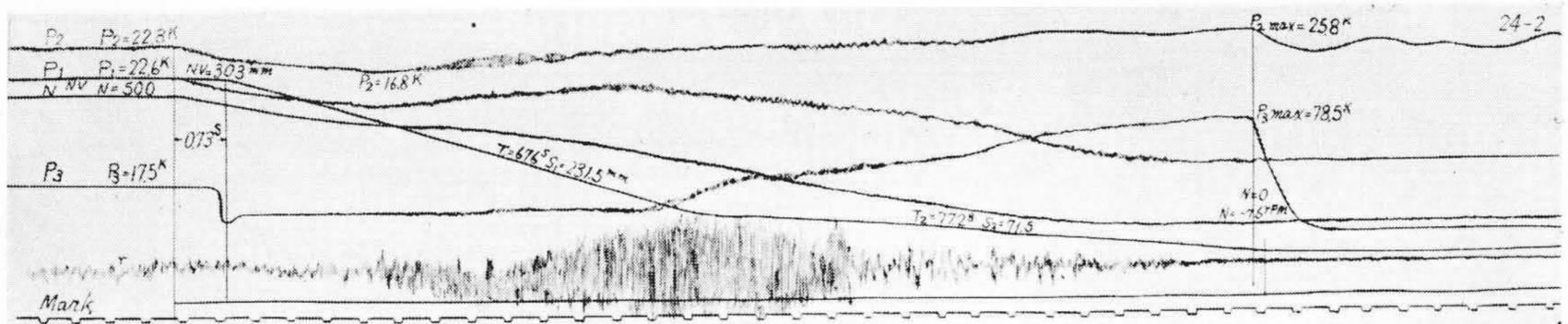
(5) 揚水ポンプ起動時の振動防止 (予開起動*)

揚水ポンプの起動運転は水車でを行い、同期速度に達したときに同軸の発電機を電源に併列し、これを電動機としてポンプを駆動し、揚水をはじめしかる後水車を解列するのであるが、ある一定の速度に達したときにポンプ吐出弁を少し開放して起動 (予開起動) すれば、ポンプ起動時の機械の振動は半減しうる。

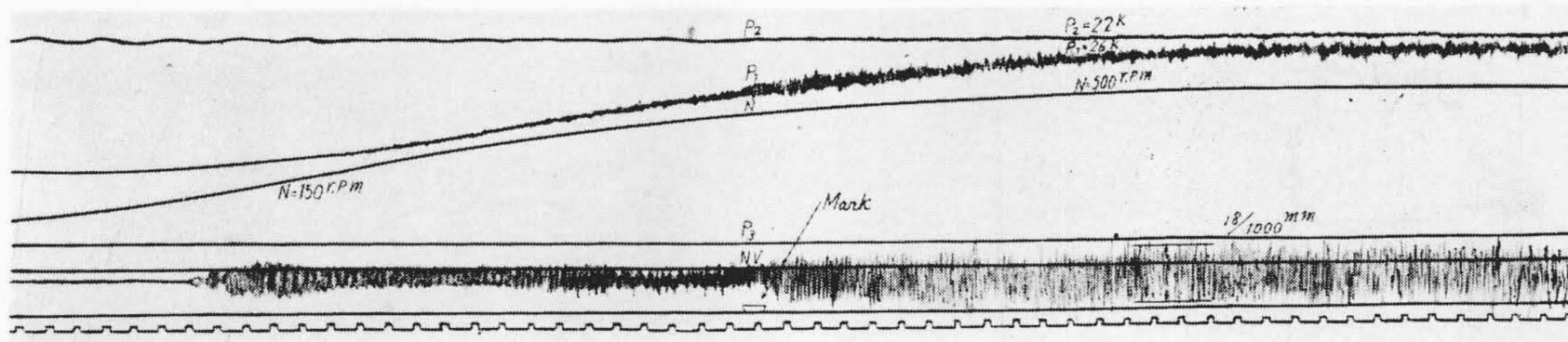
その実績は第3表 (第10図および第11図) に示す通りである。

すなわち全閉起動のときは最大 $\frac{14\sim 18}{1,000}$ mm のものが $\frac{5\sim 8}{1,000}$ mm に減少している。

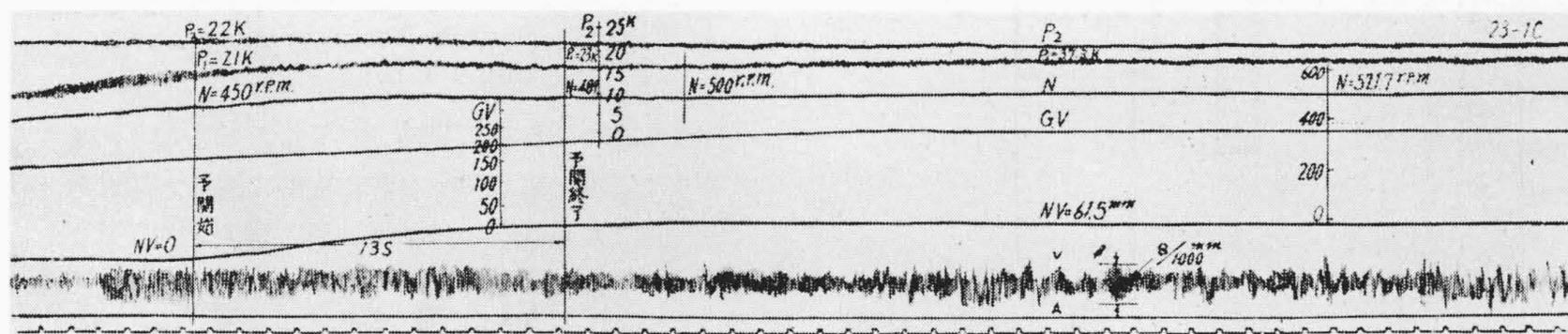
* この予開方法による振動の鎮圧は東北大学高速力学研究所長沼知教授の着想提案による。



第9図 過渡現状の一例
Fig.9. An Example of Transient State



第10図 全閉起動時の機械の振動実績
Fig.10. Record of Machine Vibration at the Time of Closed Operation



第11図 予開起動時の機械の振動実績
Fig.11. Record of Machine Vibration at the Time of Preliminary Opening Starting

第2表 共振部改造による効果
Table 2. Effect of Reconstruction of Sympathetic Vibration Part

	定常揚水時 ニードルバルブ全開 (1/1,000 mm)	備 考
共振部改造前	15~18	テレバイプロメータによる上下振動
共振部改造後	2.5	—

第3表 予開起動による効果
Table 3. Effect of Preliminary Opening Starting

	全閉起動 (1/1,000 mm)	予開起動 (1/1,000 mm)
1号機	14	5
2号機	18	8

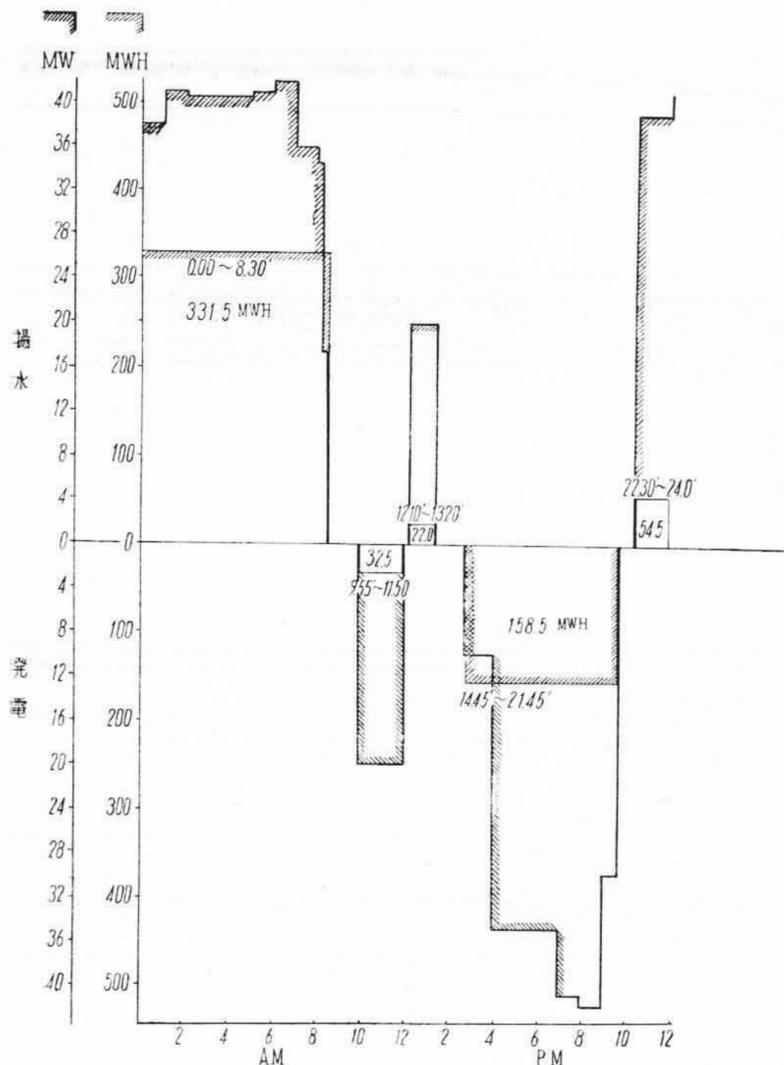
〔V〕 電力需給上の効果

(1) 最近一箇年間の運転実績

昭和28年3月より昭和29年2月に至る最近一箇年間の揚水および発電の実績は、第4表の通りである。当初の計画は一箇年中豊水期に揚水し、渇水期に発電する計画であつたが、ポンプ運転時の各種機械の状況も良好であり、電力の経済的利用をも考えて、一日数回揚水し、また数回発電されることもあるようになった。(第12図参照)したがって前記一箇年間のポンプ運転回数は140回運転時間は累計3428.8時、発電機運転回数は161回運転時間は累計2416.9時となり、沼沢沼貯水池は1.7サイクル余(当初の計画は1.5サイクル)に使用されている。

第4表 最近1箇年間の運転実績 (28年3月~29年2月)
Table 4. Performance Record of Last One Year (March, 1953—Feb., 1954)

年月	揚 水		発 電		揚 水		発 電	
	MWh	Q	MWh	Q	回数	時 間	回数	時 間
28. 3.	10,981	15,359,421	4,062.2	9,487,031	29	352.35	28	163.17
4.	12,097.5	18,365,723	2,182	5,484,794	30	429.6	21	95.01
5.	19,889	28,851,438	386.5	974,463	9	661.99	5	17.50
6.	14,276.5	17,734,943	0	0	12	230.74	0	0
7.	10,806.5	15,330,232	0	0	6	635.2	0	0
8.	5,350	6,591,341	516	1,428,345	4	219.97	9	36.48
9.	7,072	8,540,984	5,012.3	10,067,448	2	222.25	14	191.67
10.	1,885.5	1,981,884	20,666.5	44,025,879	10	66.1	14	579.3
11.	10,347	14,955,699	5,117.5	11,891,276	16	327.27	24	180.25
12.	9,308	12,512,550	8,616	18,441,049	17	260.76	23	297.01
29. 1.	0	0	11,940	24,652,297	0	0	13	540.49
2.	821.5	881,528	8,679.5	19,379,877	5	22.63	10	326.09
計	102,834.5	141,105,743	67,178.5	145,832,459	140	3,428.86	161	2,416.97



第 12 図 一 日 の 運 転 実 績
Fig.12. Performance Record of One Day

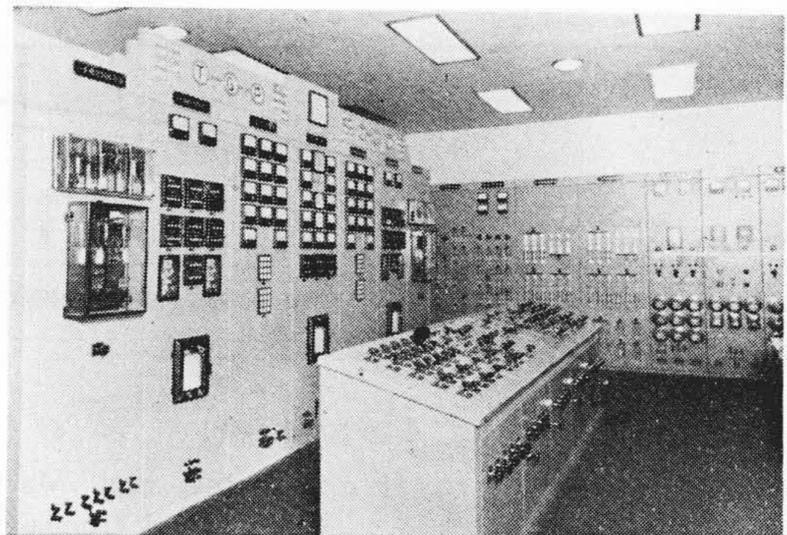
したがって揚水電力量は 102,834.5MWh(計画 81,276 MWh)となり、発電電力量は、沼沢沼単独 67,178.5 MWh, 下流増加 53,877.1 MWh, 合計 121,055.6 MWh(計画時 96,702.9 MWh)となつている。

(2) 給電上の効果

本揚水の場合の電力はなるべく価値の低いものを利用し、貯水された水はできるだけ有効に発電されねばならぬ。昭和29年3月より、同7月に至る沼沢沼貯水池満水までの揚水電力を分析してみるとつぎの通りである。

- 余剰電力によるもの..... 36.9%
- 深夜電力によるもの..... 30.8%
- 関東方面の余剰によるもの..... 5.2%
- 特殊の電力によるもの..... 27.1%

東北をはじめ本州東部の 50～系電力は補給用電力が著しく不足している。それを補うためには今後本揚水式発電所はますます活用されねばならない。只見川筋には本名、上田の両発電所も完成したし、目下計画の上越送電線ができ上り、新潟県や同県高田方面との送電連繫もでき上ればその方面の余剰もまた利用されることになる。現在すでに本発電所は時間的には年間 66.7% (揚水と発電の合計、前記一箇年の例による) の運転をしている。しかし利用率は揚水約 28%, 発電約 18% (沼沢沼単独) である。しかし前記のように今後さらに電力系統の連繫が容易になれば、余剰電力または低価値電力が本



第 13 図 沼 沢 沼 発 電 所 配 盤 室
Fig.13. Switch Room of Numazawana P.S.

沼沢沼発電所に容易に集結されることともなり、また揚水電力の価値比率も多少有利に変わつて来ると思われるから全般的に本発電所の効果は一段と増大する。

[VI] 結 言

沼沢沼発電所が成功したのは、東北電力沼沢沼建設所が日本発送電以来所長をはじめ各課長および所員一同が協力一致して努力したこと、関係者一同の慥からざる努力によるものである。ことに取水口附近の工事は非常に困難であり、潜函工法を利用したが、その潜函工事中には 48 lb/in² の高気圧を使用せざるをえないこともあった。この工事には請負者白石基礎工業は非常な努力を傾注している。つぎに揚水ポンプであるが、高揚程、大容量であり、起動は水車を使用し、常時運転は発電機を電動機として駆動することになつており、なお水車もポンプも空運転になるときは圧気で水位を押下げる仕組みになつている。したがってポンプの設計、製作にあつた日立製作所では必死の努力が払われ、モデル羽根車は十数種を作り、さらに一段羽根と二段羽根の総合モデル試験も行われた。なお東北大学沼知高速力学研究所、日立製作所、東北電力の関係者が 30 余回にわたる会合をもつて本ポンプの完成に協力したことも特筆すべきものである。

東北地方をはじめ 50～系電力の補給電力は目下著しく不足しているので、只見川系上流部の貯水池式発電所や東京方面の火力発電所が完成するまでは本沼沢沼揚水発電所は猪苗代湖系発電所とともに東北南西部および 50～系の補給用電力源として偉大なる効果を発揮するものと確信する。

土木工事請負施工者ならびに主要機器製作者

- (1) 土木工事請負者 1 工区(取水口)白石基礎工業, 2 工区(隧道)三建工業, 3 工区(水槽鉄管路および発電所)前田建設工業 (2)水車発電機ポンプ 日立製作所, (3) 主要変圧器 東京芝浦電気, (4)水圧鉄管 石川島重工業