

然別第一發電所工事について

(その 1)

取水口工事特に潜函工法とサイフォン
による 湖面低下

准員 北電然別建設所 秋 谷 元

准員 北電然別建設所 桃 井 義 之

1. 要 旨

北海道電力が道東地区の電力需給の不均衡是正のため建設に着手した然別系三発電所工事の一貫である然別第

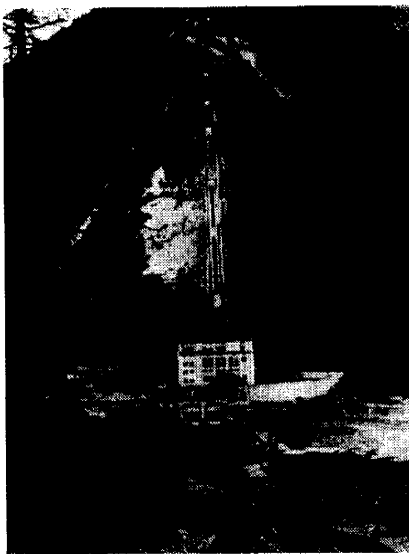


写真 一 1

一発電所工事中、第一号隧道は多量の湧水を伴う温泉脈と有毒ガス発生により稀有の難工事であつた。また取水口は然別沼に接するので潜函工法を採用し、更に本邦最初のサイフォンによる湖面低下と発電を実施して、予期以上の成果を収め、昭和 28 年 10 月末全工事を完了した。本稿においては特殊工法を実施した取水口の潜函工事及びサイフ

オンによる然別沼湖面低下と発電について記述し、後に第一号隧道工事について紹介する。

2. 然別第一発電所工事の概要

本発電所は標高 804m の十勝川水系然別沼を利用し、これにより調整した水をシーシカリベツ川の水と併せ逐次本流に切替え、利用落差約 500m を得て三発電所合計最大 30,600 KW を発電し、更に既設岩松発電所の出力増加を計かる然別開発計画の一貫として昭和 6 年 12 月末着工、第一号隧道の難工により予定より約半年遅れて昭和 28 年 10 月漸く竣功したものである。(写真一 1)

(1) 計画の概要

流域面積		48.1 km ²
使用水量	最大	6.0 m ³ /s
有効落差	最大時	265.8 m
発電力	最大	13,500 KW
	常時	3,200 KW
	補給	4,000 KW

発生電力量 39,155 MWH

貯水池 (然別沼)

湛水面積 3,905,000 m²

利用水深 580 m

貯水容量 21,971,000 m³

壓力隧道

延長 4,780 m 内径 1.86 m 標準馬蹄型

最大水壓 37 m 巻厚 30 cm~80 cm

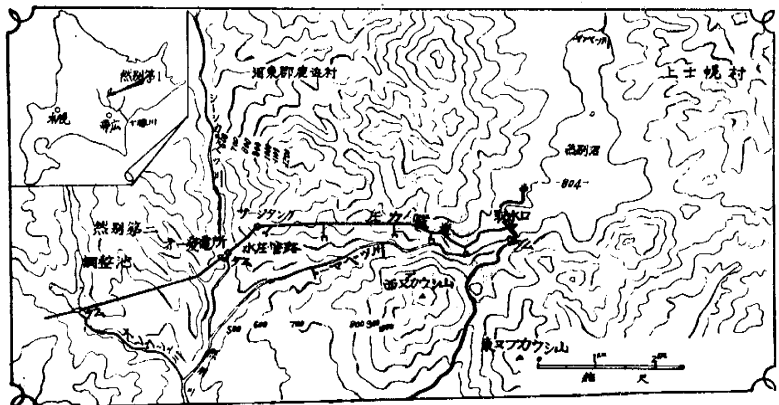
水 槽

差缶式調壓水槽 内径 5.0 m 直高 41.5 m

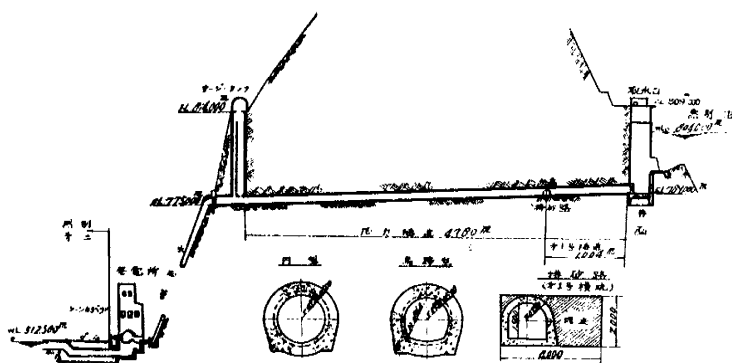
ライザー内径 1.6 m ポート径 0.68 m

水壓管路

サージ・タンクより 36m の鉄管隧道を経て 1 本



第 1 圖 水路平面圖



第 2 圖 水路縦断面圖

のペンストックで下部にて2分岐し水車に導水する。延長542 m, 内径1.9 m~0.678 m, 管厚9~28 mm, 固定台9ヶ, 小支台56ヶ

水 車

ベルトン式横軸2輪4射 容量 14,250 KW
回転数 375 rpm 日立製作所製

発電機

横軸回転界磁閉鎖通風型 容量 15,000 KVA
日立製作所製

工事施行者

土木工事 熊谷組, 逢沢組

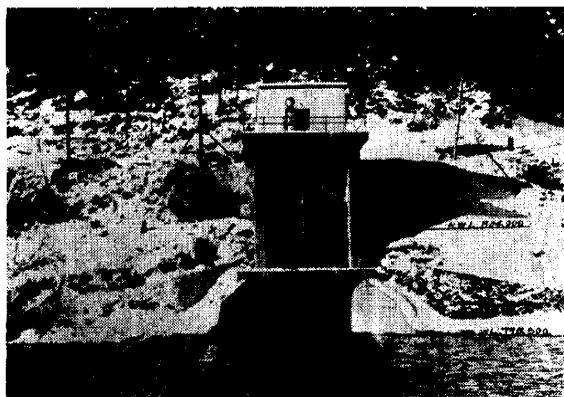
水圧鉄管 酒井鉄工所

水門扉 田原製作所

建設費 14 億 6 千万円

(2) 工事方針と経過

本発電所工事のうち取水口は平水位以下11 mの処に設けるので施工上然別沼の湖面低下を必要とするが、実施の時期は流入量少なく、かつ発電効果の大きい冬季を選び、翌年度の発電に支障のないよう9月には復水する計画であつた。従つて通水発電に必要な工事は1ヶ年



寫 眞 - 2

後、すなわち27年12月には完了し、潜函工法により沈下終了した取水竪坑にサイフォン管を取付け、沼水を隧道に導水して湖面低下を行い、約9 mの低下が終れば仮締切を設けて取水口前面の掘さく、コンクリートその他スクリーン設置、取水呑口の造成等を安全に実施する方針をたてた。更に低下を早期に行うため、第1号隧道のみ他に先行して竣工し、サイフォンによつて取水した水を第1号横坑の

片側の排砂路からトーマベツ川に放流するが、他工事竣工後は発電に切替える予定で昼夜兼行努力を続けたのである。

しかるに実際はこれと全く逆行し、第2号隧道以下はほぼ予定通り通水発電できるまでになつたが、第1号隧道は最も遅れ、完成の見通しもつかないという事態に迫り込まれた。ここで仮取水設備による仮発電を昭和28年1月末より4月始めまで敢行し、道東地区の電力ひつ迫の緩和に大なる役割を果たした。その間第1号隧道は最高43°Cに及ぶ温泉に随所で遭遇し、炭酸ガス、亜硫酸ガス、硫化水素等の有毒ガスの発生に加え数度にわたる湧水の突発によつて、しばしば工事の進捗は阻止されたので、ついに壓気工法による施工に切替え機器、人員の全能力を集中して鋭意工事の進捗に当つた。この結果28年6月初旬難行をきわめた本隧道延長約1 kmもようやく竣工の運びとなつた。(写真-2)

一方取水口工事は27年3月より着手し、5月ケイソン躯体の施工にかかり、8月末には沈下を順調に終了し、更に隧道の一部を壓気工法により施工、取水口との連絡を完了した。第1号隧道工事完成の見通しがついた28年4月には取水口制水ゲートの据付、サイフォン用鉄管の取付準備にかかり、6月13日深夜ついに待望のサイフォン始動に成功し、直ちに湖面低下のための発電及び放流を開始したが、給電事情や多雨のため予定より遅れて、8月末7 m(当初の9 mを変更)の湖面低下を終了した。引續いて取水庭工事は悪地質による沼水の浸入が多少あつたが約1ヶ月半ではほぼ順調に完成した。

3. 取水口潜函工事

自然湖沼を発電用貯水池として利用し、その利用水深が大なる場合には取水設備の工事はかなり困難を伴うものである。従来かかる工事の方法としては、一旦湖水を計画水位まで低下した後取水口及び水路の施工をするのが一般であつた。しか

しこの方法は相当の期間と多大の費用を要する外、貴重なエネルギー源たる貯水を無効放流することとなる。



写真 3 取水口ケーソン工事



写真 4 取水口工事

当発電所の取水口もこれらの条件に合致するので、種々研究の結果沼水の無効放流を極力抑制すると共に短期間に湖面を低下させるため、サイフォンによる取水方法を用いるので壓力隧道との接続には壓氣潜函工法による取水堅坑を設けることとした。(写真3及び4)

取水口にケーソン工法を採用した例は吾国においては只見川沼沢沼発電所工事だけである。

(1) 施工の概要

本取水口は地形、地質を充分検討の結果、然別沼尻より沼畔に沿ひ北方約300mの位置に設けることとし、潜函据付の地盤面は沼水面上約40cmの標高804mとして沼側に築島用の枕床を造り埋戻しをなした。潜函作業室を鉄筋コンクリートで構築して養生後これに壓縮空気を送入して、周辺の水壓に打勝つて乾燥状態でいわゆる壓氣掘さくを行うのであるが、この間順次潜函軀体を打足しながら所定の深さ17.8mまで沈下させる。次に潜函軀体の中間に隔壁を施工して、「シャフト」及び「ロック」を取付け送氣して潜函背面の側壁を取りこわ

し、壓氣工法により隧道掘さく及びコンクリート捲立14.4mを施工した。これで取水潜函の施工が終了した訳である。(第3図)

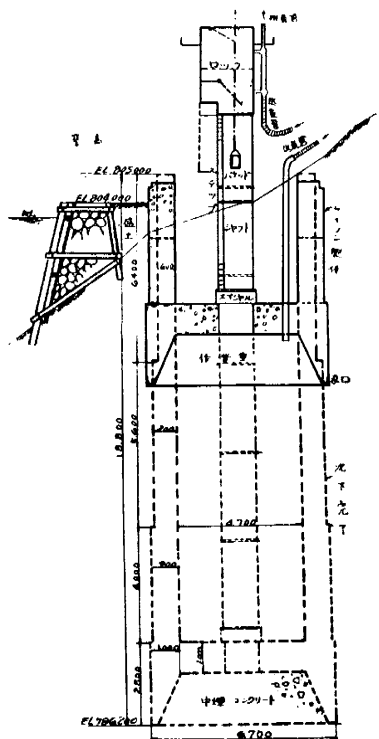
(2) 潜函工事内容

潜函軀体	内法 3.4m×4.2m 鉄筋コンクリート 壁厚 60cm~90cm 重量 672 ton 鉄筋 14.4 ton
作業室	高さ 1.8m 長さ 6.2m 幅 5.4m 天井壁 厚 1.0m 刀口は 200×80×7.5 溝形鋼 を φ16 の鉄筋でコンクリートに碇着 した。
築島	枕床工長さ 6.5m 上幅 1.5m 高さ 5.5m 使用木材 15.7 石
沈下量	自然沈下 0.124m 空掘 0.193m 壓氣掘 さく 17.483m 速度 1 日平均 23 cm
地質	上部砂礫層、中間部安山岩、下部角礫 凝灰岩
掘さく量	596 m ³ バケツ回数 2.496 回 0.24 m ³ /回
送氣設備	コンプレッサー低壓 100 HP 1 台 コンプレッサー高壓 90 HP 1 台
最終氣壓	函内 23.5 #/sq"
施工者	白石基礎工事株式会社

(3) 連絡隧道 (A 坑) の壓氣工法

沈下を終了した潜函は作業室内をコンクリートで中埋し、「ロック」「シャフト」等の艤装を解体した後、潜函と隧道との連絡部の施工のため EL.79

6.3 m に隔壁を設けて壓氣工法により A 坑の掘さく及び捲立を行つた。本隧道の壓氣工法は延長短かく、かつ小規模で後述の第二号斜



第3圖 潜函施工圖

坑口とはその趣を異にしているが、比較の意味で参考までに掲記する。

A 坑 (圧気施工部) 延長 14.4 m 隧道内径 1.86 m

標準馬蹄型 巻厚 80 cm ~ 60 cm 鉄筋コンクリート造

進行 掘さく日平均 0.45 m 巻立 0.55 m

普通の隧道施工法と異なり、洩気を極力防止するため掘さく、巻立、グラウトを交互に実施した。

地質 角礫交り凝灰岩

坑内圧最高 20.5 #/□"

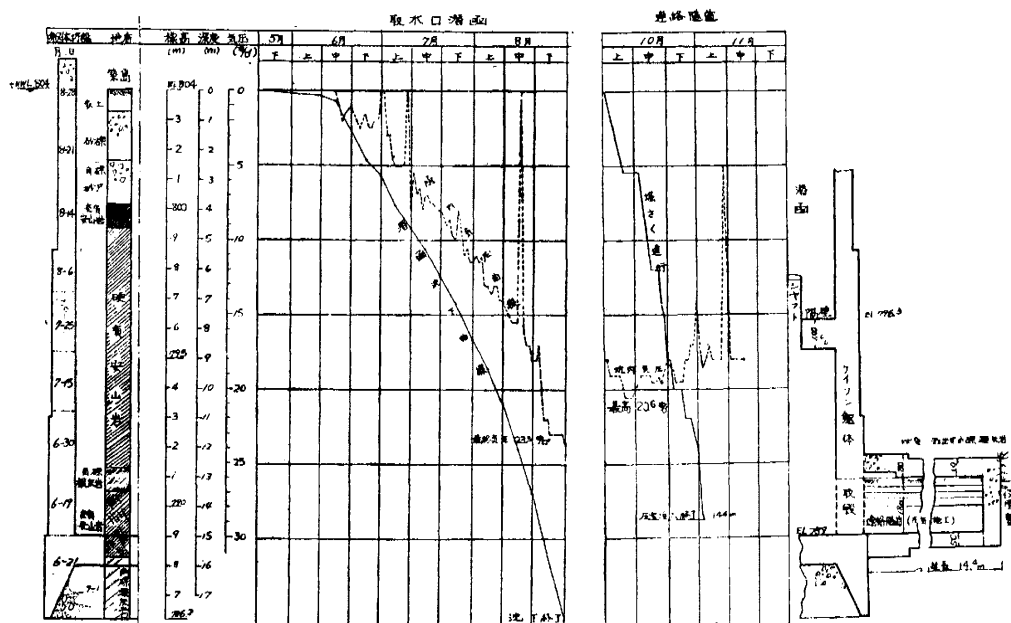
送気設備 低圧 400 HP インガースランド製 1 台

高圧 90 HP 1 台 (第 4 図)

本工事の前半は充分の空気量が得られたが後半

したが、前面の切取、コンクリート、取水口の取りこわし及びスクリーン取付等については単なる締切工では施工が不可能であるので、比較検討の結果サイフォンによる湖面低下後、沼側に小仮締切を仮設し取水掘工事を実施することになった。すなわち鉄管を沼側とケイソン内に据付け、両方を曲管で接続して沼水をサイフォン作用により、沼と堅坑内の水位差に相当する水量だけ吸上げ水路内に有圧で導水する方法である。

従つて堅坑、圧力隧道、サージタンクの施工高はこの点を考慮に入れて、沼の最低水位のときでもサイフォン発電に支障のないように定めた。しかしてサイフォンを採用した本来の趣旨は短期間にかつ無効放流をしないで湖面低下し、渇水期前には復水させることであつたが、第 1 号隧道の難工事のための遅延により、発電はなるべ

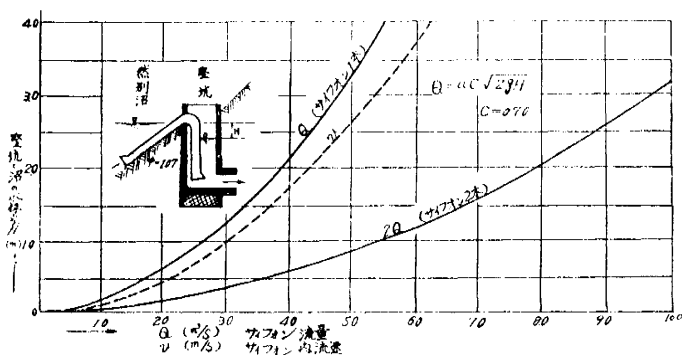


第 4 図 潜函工事実績圖

になり、第一号隧道中普通工法によつた第一号斜坑口は温泉を伴つた CO_2 ガスの発生によりこの壓搾空気は大半排気用に使つたため、坑内圧の降下とそれによる浸水に悩まされた。

4. サイフォンによる湖面低下

前述の通り本発電所の取水口は然別沼平水位下最大水深 11 m で取水堅坑に接続し、圧力隧道に連絡する構造である。取水堅坑は潜函工法により施工



第 5 図 サイフォン流量圖

く全負荷運転とし、併せて排砂路からの放流を最大限にすることとなつたので、多少の放流はあつた。すなわちサイフォンによる総流出量は沼水6.5分と3ヶ月分の流入量を併せ 43,200,000 m³ (日平均 4.6 m³/s) であり、このうち発電には 65% を使用約 1,800 万 KWH を発生し、残余は無効放流した (写真4)。

しかしながら計画当初は設計及び施工にかなり苦慮したが、かかる容量のサイフォンでしかも発電には何等の支障もなく運転でき、かつ非常に有効な方法であるので以下にその詳細について述べてみたいと思う。(第5図)

(1) 設計条件

- (a) 湖面低下水深 W.L.803 m~797 m の6 m とし取水庭の地質不良の場合は工地上更に 0.5 m だけ低下できるようにした。
- (b) サイフォン管 仮設備であるので古い水圧鉄管を流用、サイフォン効率及び水位の制限等から考え内径 1.07 m の鉄管 2 条を設けた。
- (c) スロート中心高 構造物、サイフォン管の形状及び地形等からスロートはできるだけ水面に近く設置し、沼水位が低位になつたときにはサイフォン管全体をその儘下げ得るように次のように二次に分けた。

第一次 803.5 m 第二次 802.2 m

- (d) 取水量 常に 2 条を使用し最大 9.0 m³/s とした。発電には最大 6.0 m³/s (13,500 KW), 横坑放流は最大 4.0 m³/s とし、スルース・ヴァルブにより調整する。(第6図)
- (e) サイフォン作用限界 標準気圧の下ではスロートから動水勾配線までの高さが理論上 10.3 m の範囲内でサイフォン作用が可能であるが、標高 800 m の大気圧は 9.3 m であるので 25% の余裕をみてこの高さを 7.0 m とした。

(2) サイフンの流量

$$Q = ac \sqrt{2gH}$$

茲に Q = サイフォン流量 (m³/s)

a = サイフォン管断面積 (m²)

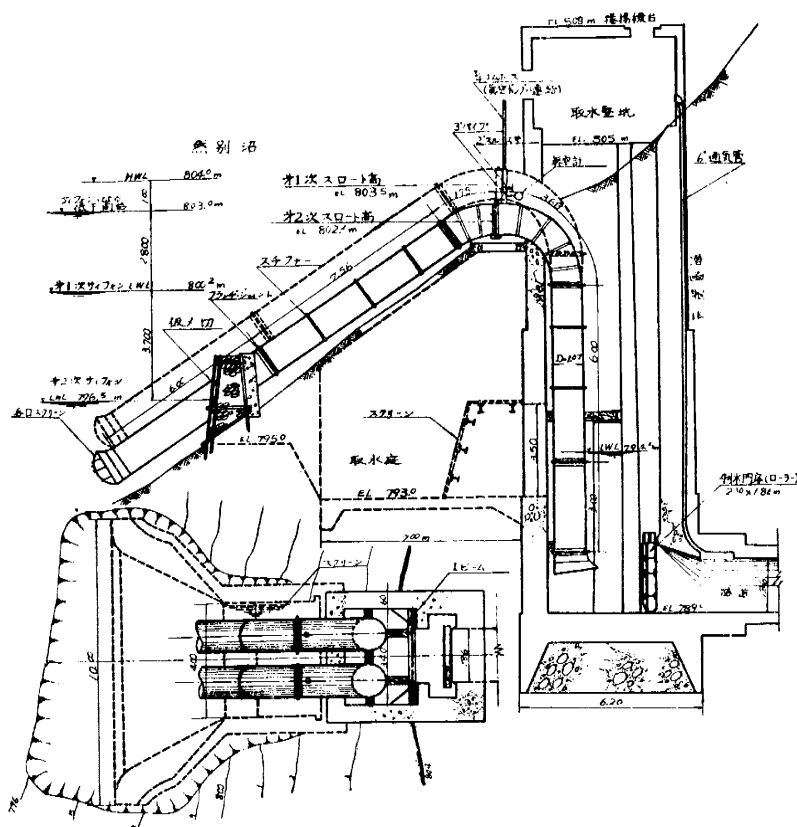
c = 流量係数

H = 沼と堅坑との水位差 (m)

本式で c の決定が一番問題となるが、北大工学部の水工学研究室の模型実験値を参考として $c = 0.7$ と定めた。この関係は図-1 の通りである。

(3) 構造

- (a) 大要 サイフォン作用を完全に発揮し、発電及



第 6 圖 取水口サイフォン圖

び放流に支障のない構造とし、特に気密と始動方法には考慮を払った。沼側の鉄管は低水位の場合でも、空気の浸入を最小限にするため深く置き、かつ蘆荻、流木等の吸込を防ぐため呑口部に格子を取付けた。スロート部は第二次のスロート低下の際にもその儘移せるように、二つの曲管を継ぎ、沼側と堅坑側とを連絡した。堅坑内は鉄管を垂直に布設するので取水口制水門扉のピヤーを利用して、I ビームとワイヤーにより碇着した。

管の継手はフランジ・ジョイントとし、ゴムパッキングにより完全気密を期し、一方水中の呑口管先端はデリックでワイヤーにより吊上げ、継手に無理のかからない構造とした。

(b) 設 備

(イ) 鉄管 すべて内径 1.07 m を使用し、直管は遊休の旧水壓鉄管で長さ 7.6 m ~ 6.0 m、厚さ 8 mm、フランジ付であつて、現場でアングルによりステフナーを数ヶ所に取付け外壓による壓潰を防止した。曲管はスロート部に用い沼側の地山の傾斜に応じて一条につき 2 ケ製作した、呑、吐口管はラツパ状にし、前者には $\phi 16$ mm の鉄筋で格子を作った。

(ロ) 継手 L75×75×12 のフランジ接合で、 $\frac{3}{4}$ " のボルト締めとし、気密は厚さ 6 mm のゴム板を使用し、すべて仮締め後真空テストを行つた。

(ハ) 支持物 沼側は潜水夫の手で整地し、枕木と鉄線により結束し、水位低下に伴う切取の際は I ビームを使用して固定した。スロート部はケイソン躯体の一部を取りこわし、コンクリートと胴梁で碇着した。堅坑内は比較狭くゲートがある上、沼側の傾斜による位置の変動が多少あつても支障のない様に I ビーム、角材、ワイヤーによつて緊結した。

(ニ) 附属設備 主としてサイフオンの始動に必要な機器として次のものを準備した。

真空ポンプ 始動の際サイフオン管内の排気に使用し、ケイソン上に設置し、性能等は次の通り。

エハラ NV 型湿式 径 3" 10 HP
真空度 6 m 水柱 空気量 1.0 m³/min.

揚水用ポンプ 始動前堅坑内に充水するもので、4" ヒューガル・ポンプを使用し沼より揚水した。

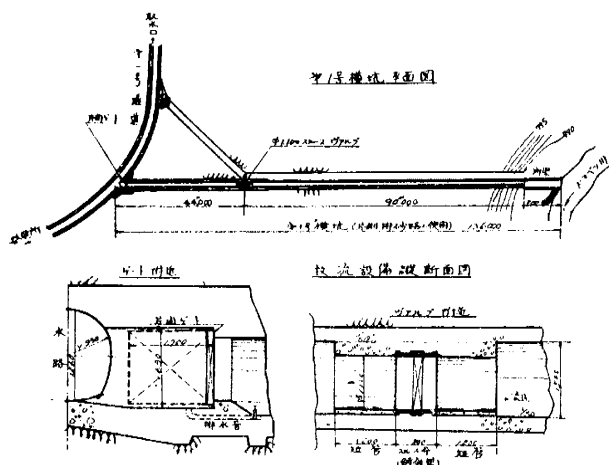
通気管 スロート頂部にとりつけた 3" パイプに 2" のスルースバルブと真空計を備え、管内排気の際は $\frac{3}{4}$ " のゴムホースを用いた。

筏 沼水位が低下し、水面と呑口が接近するにつれ渦流を生ずるようになったので、空気侵入防止用として約 1 坪の筏を浮べた。

(c) 据付と始動の方法

サイフオン管の据付けに当つては特に継手や路接個所の水密が絶対条件であるので、陸上であらかじめ仮締めを実施し、真空ポンプによるテストを行つてから据付けにかかつた。鉄管の吊込には潜函工事に使用した木製デリック及び 30 HP ウインチの外に、これとはほぼ同容量の設備を新たに設けて、サイフオン運転時にも併用して良結果を得た。すなわち沼側の鉄管は 1 本づつ上部のデリックで一旦水辺に吊り卸し、組立仮締め後呑口管を長さ幅共 5 m の筏に乗せ、下部デリックを使つて定位置に移し本締めをしてから徐々に先端を水中に沈めた。曲管及びケイソン側鉄管は比較的問題なく組立据付けできたが、沼側の管の吊り上げ具合とスロート管の傾角の関係で完全に垂直にはならなかつた。スロートはサイフオンの条件としてなるべく低位に置くべきであるが、継手の接合、固定及びケイソン内への沼水の流入等施工上から鉄管の底部は水面上約 10 cm とした。

通常サイフオンの始動方法として管にスルース・ヴァルブかフラツプ・ゲートを付けて差込するが、本発電所隧道入口に制水門扉を設置するのでこれを利用した。先ず制水門扉を全閉にした後堅坑内に沼水をポンプにより沼水位と同一になるまで注水する。この場合通気管は開放しておきサイフオン管内の自然排気をする。次に真空ポンプによつてスロート部分の残留空気を通気管を経て



第 7 圖 放流設備圖

排除するにつれ管内水は上昇し、完全に充水し終ればコックを閉じる。最後に制水門扉を僅か開けると隧道内に流入し始め、この流量 Q に相当する水位差 H が沼と堅坑間にできサイフォンが差込むことになる。

サイフォンの停止は始動に比べ簡単であり、発電急停止または短時間停止の場合は別に操作しないが、隧道内断水の場合には発電または放流を停止した後コックを開放し管内に通気するか、制水門扉を全閉した。(第7図)

(4) 放流と発電

前述の通り湖面低下を短期間に実施するため発電と放流を併行するので放流施設はサイフォン同様種々考慮を払った。すなわち約1kmの1号隧道の終端にある第1号横坑は延長136mで発電所側は将来排砂路となるので鉄筋コンクリート捲上を施してあるので、この中間にスルース・ヴァルブ(内径1.1m)を取り付け、ヴァルブによつて流量を調整して流れ込みで、トーマベツ川に放流する設計とした。

サイフォンを利用して発電する方法はわが国でも初めてと思われるが実際には殆んど支障なく、負荷の急変や襲波による影響はなかつた。

(5) サイフォンに関する諸々の問題

サイフォン運転の実際に当つて種々技術的に興味ある問題があつたので参考までに掲げる。

a) スロートと動水勾配線の高さ

本地点は気圧の点からサイフォンには不利であるので沼水位が低くなつたとき、スロートを1.3mだけ下げた。発電中は常に2条を使用したので最大水量 $10 \text{ m}^3/\text{s}$ で $H = 2.4 \text{ m}$ に留まつたが、漸次サイフォン効率は通減し、発電停止直前は負荷を減らしたにもかかわらずスロートと堅坑水位との差が7.7mに達した。これは本地点理論水柱9.3mの82%に当る。

b) スロートに溜まる空気

呑口や継手からの吸気は最初スロートに溜まつたので時々真空ポンプにより排気したが、沼水位低下につれ管内流水と共に流下するようになり次第に真空度が大きとなつた。すなわち真空計の指数は180mmから570mmに漸増した。この外真空度は負荷すなわち水位差に比例することも明らかになつた。

c) 渦流の発生と塵芥の吸込

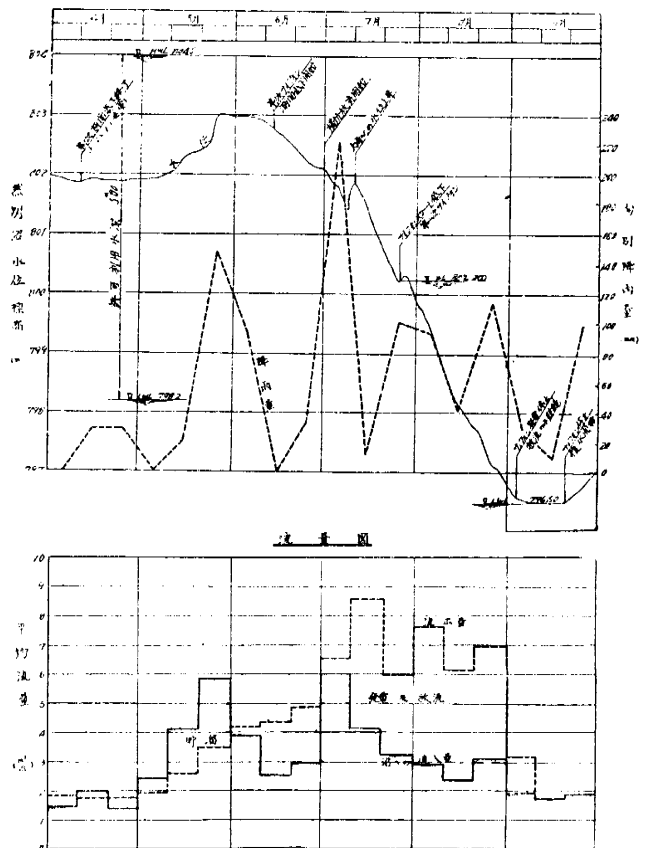
後半になり呑口の上部水面に渦流が発生し空気を吸い込むおそれがあるので筏を浮べ、更に発電所の出力を逐次減らした。またサイフォンの最大流速は 5.5 m/s にも達したので呑口附近の小石、木片等が多少スクリーンの目を通して吸入された。

d) 振動

これは一番心配した問題であつたが流量の急激な増減による振動は全然なく、むしろ管自体の構造、たとえばゴムパッキングの内部突出、水中に含まれる気泡の壓潰による微小な振動はあつた。

(6) 然別沼の湖面低下と取水庭工事

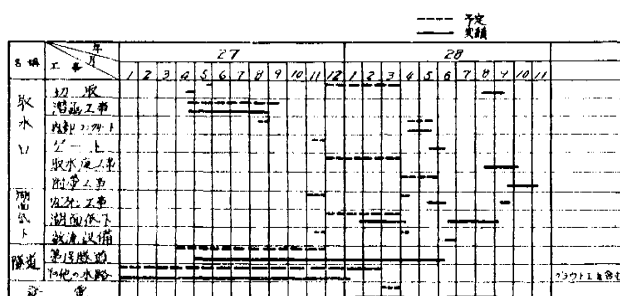
冬季実施したトーマベツ川床浚渫による第1次湖面低下は第1号、隧道工事遅延のため予期の成果を収め得なかつたが、サイフォンによる湖面低下は時期的に多雨の季節に実施したが全力をこれに集中し2箇月半で6.5mの低下を行つた。取水庭工事の前半約半箇月はサイフォン1条だけで放流を継続した。湖面低下の実績は第8図に示す通りである。(第8図)



第8図 然別沼湖面低下実績図

取水庭工事はと湖面低下併行して切取り及び側壁コンクリートの打設を行い、仮締切施工後下部の切取り、敷コンクリートの施工及び取水口の造成、スクリーン取り付け等を実施したが地質不良のため沼水が浸透しポンプ3台により排水を継続した。

取水庭前面の仮締切下部の地盤は水中発破とスクレーパーにより可能な限り低く均らした。(第9図)(以上その1)



第9図 取水口工程比較図

(41頁より続く)

旭川開発建設部土地改良事業

(総工費1千万円以上のもの継続事業も含む)

工 事 名	工 費 千円	期 間	直請 の別	施 工 者 名	工 事 の 特 徴
近文地区灌漑排水事業	(30,000) 199,924	自昭和27年 至昭和30年	請 負	広野組 夕下組	水路装工
富良野地区灌漑排水事業	(20,000) 300,000	自昭和27年 至昭和30年	〃	荒井建設	水路装工 建築
ポウシベツ川地区 明渠排水事業	(9,300) 30,540	自昭和26年 至昭和29年	〃	北海建設	水路掘鑿
タヨロマ川地区明渠排水事業	(3,600) 39,480	自昭和27年 至昭和30年	〃	松蔭建設	
ウシベツ川地区明渠排水事業	(3,600) 21,733	自昭和27年 至昭和30年	〃	大谷組	
稲荷八千代地区明渠排水事業	(2,600) 30,584	自昭和27年 至昭和30年	〃	大洋建設	
六線川地区明渠排水事業	(3,600) 30,788	自昭和27年 至昭和30年	〃	①田中組	
比布中央地区明渠排水事業	(500) 25,550	自昭和28年 至昭和30年	〃	比布土建	
渋毛中地区明渠排水事業	(500) 28,500	自昭和28年 至昭和30年	〃	田中組	
当麻北星地区明渠排水事業	(400) 11,507	自昭和28年 至昭和30年	〃	北栄土建	

旭川開発建設部災害復舊費

(総工費1千万円以上のもの継続事業も含む)

工 事 名	工 費 千円	期 間	直請 の別	施 工 者 名	工 事 の 特 徴
天塩川筋左岸(27~118)風連 村二十線 堰堤護岸災害復旧工事	(官給) 6,865 18,778	自昭和 28.4.25 至昭和 28.11.30	請 負	広 野 組	沈床工 1,148 m ² 擁壁工 43.0 m 矢板工 82.40 水叩工
天塩川筋左岸(26~48)中川村 塚本地先護岸災害復旧工事	12,757	28.8.15 28.10.31	〃	塚 本 組	L = 498 m 747 本
天塩川筋左岸(26~47)中川村 山崎地先護岸災害復旧工事	17,875	28.8.15 28.11.30	〃	盛 永 組	延長 477 m 蛇籠 954 本