

報 文

UDC 627.84/.86

国鉄小千谷発電所工事について

正員 藤井松太郎*

ON THE CONSTRUCTION WORK OF OJIYA POWER PLANT J. N. R.

(JSCE Jan.1952)

Matsutaro Fujii, C. E. Member

Synopsis In this paper, author describes the outline of the planning and construction work of the Ojiya power plant J. N. R., which has been put into operation and generating 50 000 kW since 1st Aug. 1951.

I. 結 言

昭和 23 年秋着工以来鋭意工事を進めていた国鉄小千谷発電所は、2 年有余の工期を以て、調整池関係を除く他、竣工の運びとなり、昨年 8 月 1 日から 50 000 kW の発電を開始した。国鉄の信濃川水力開発計画は、新潟県中魚沼郡貝野村から、同県北魚沼郡小千谷町に到る、河川延長 40 km、総落差 100 m、総出力 200 000 kW であつて、これを 2 段に分割し、千手、小千谷に両発電所を設け、各々 50 m 程度の落差で発電するものである。工事は 4 段階に分け、千手発電所の信濃川濁水量を目標とした水路隧道 1 条出力 50 000 kW を第 1 期工事とし、平水量を目標とし、更に水路隧道 1 条並びに調整池の増設に依り、千手発電所の出力を 70 000 kW に増加するものを第 2 期工事とする。千手発電所の放水を受け、水路隧道 1 条に依り小千谷発電所に導水して、平均 50 000 kW、尖頭時 75 000 kW を出すものを第 3 期工事とし、更に平水量を目標とし、水路隧道 1 条を増設して、小千谷発電所の出力を 50 000 kW 増すものを第 4 期工事とする。千手発電所の第 1 期工事は昭和 14 年、第 2 期工事は昭和 20 年夫々竣工して、千手から亘長 188 km の送電線に依り、東京近郊武蔵境に送られ、関東一円の国鉄運転電源になつている事は周知の通りであるが、今回竣工した小千谷発電所の 50 000 kW は、

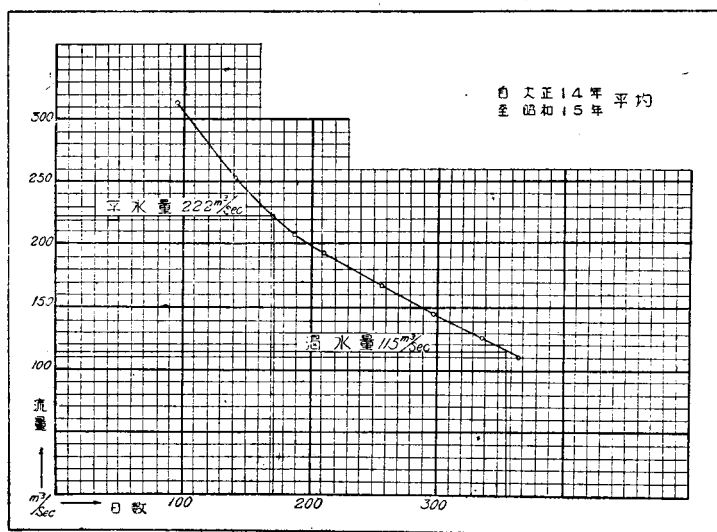
調整池を除く所謂第 3 期工事であつて、目下工事中の小千谷調整池工事が完成すれば、小千谷発電所の出力は尖頭時 75 000 kW に増加するものである。小千谷発電所の出力を更に 50 000 kW 増す第 4 期工事に関しては、国鉄の電力需給、資金等の面で着工時期が決定されるものと考えられるが、なるべく近い将来に着工の運びとなる事を期待している次第である。

本文は所謂第 3 期工事小千谷発電所の計画並びに工事の概要を述べるものであつて、其の詳細については小千谷発電所工事誌として、発表する予定である。

II. 小千谷発電所計画上の主要問題

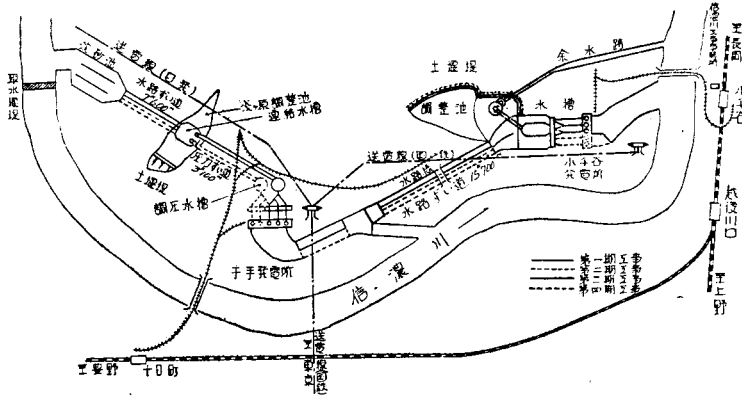
(1) 使用水量 千手発電所の取水口に於ける信濃川河川流量は、図-1 の如く、濁水量毎秒 110 m³、

図-1 信濃川流況曲線 (滝測水所)



* 国鉄信濃川工事事務所長

図-2 国鉄信濃川発電工事概要図



平水量毎秒 220 m³ 程度であつて、千手発電所は湧水時約 110 m³、平水時約 200 m³ を取水し、図-2 の如く、浅ヶ原調整池（実容量 820 000 m³）及びこの補助として、宮中取水堰堤上流湛水（水面積 300 000 m²）を利用し、朝夕の尖頭時には、湧水時毎秒 150 m³、平水時毎秒 250 m³ の水を使用し、東京近郊の国鉄の負荷曲線（負荷率 63%）に応じた発電をしている。従つて千手発電所の放水を利用する、小千谷発電所の取水量は、千手の放水と共に刻々変化する。千手、小千谷の如く、水路式の発電所が縦に連つた場合は、上流側の発電所は一定量の発電をし、下流発電所のみ調整機能を持たせ、負荷曲線に応じた変化をさせる事とすれば、最も簡単であり経済的でもあるが、吾々の場合は下流側小千谷に大容量の調整池（容量 200 万 m³ 程度）を造る事が地形上至難である為と、小千谷が出来る迄千手が調整機能を持たぬ事は、事情が許さなかつた為上流側千手発電所にも浅ヶ原調整池を造つたのである。

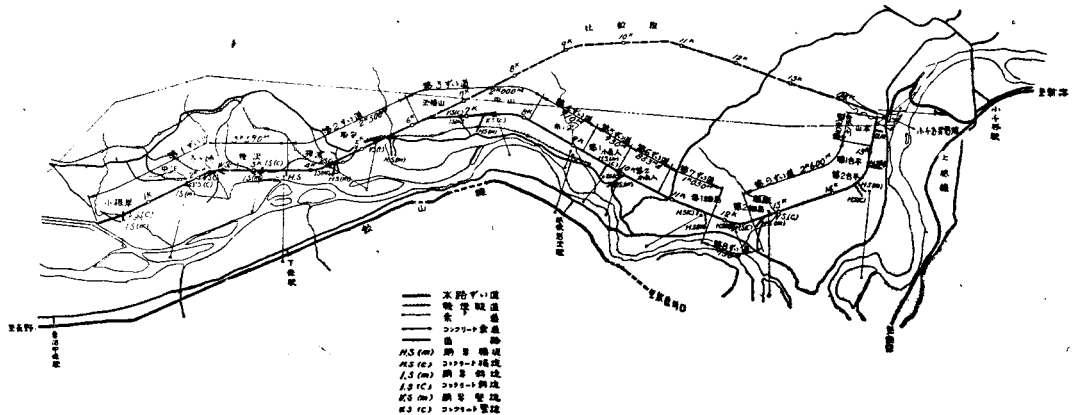
小千谷発電所の取水量を千手発電所の尖頭時の最大

放水量に合致させれば、水のすたりは全然ないが、通水施設には尖頭時以外常に遊びが生じ経済上得策ではない。

小千谷発電所の通水施設、その内でも延長 15.6 km に亘る水路トンネルの容量を幾何にするかは、小千谷発電所の計画中最大の問題であつて、建設費、電力原価等を考慮に入れ種々研究した結果、毎秒 120 m³ 程度で大過のない事を確め、此の値を採る事とした。

(2) 水路トンネルの路線選定その他 水路トンネルの路線については、出来るだけ信濃川本流に接近して之と平行に下る事とすれば、トンネル施工の横坑延長が短くなり有利であるが、徒らな迂回路線はトンネル延長を大きくするばかりでなく、落差の損失を招く事となる。最初の計画は図-3の如く、8km 付近迄は信濃川本流に平行に下り、それより点線の示す様に、山地を貫いて発電所に達するもので、現在路線より延長に於て約 1.5 km 短いものであつた。然し乍らこの路線は 12 km 付近で地表に陥没が見られて悪地質が予想されるのみならず、付近に自噴井のある事から多量の湧水を覚悟しなければならず、工費は此等悪条件の為寧ろ増大するものと思われ而も 8 km より 12 km の間は、作業用整坑又は横坑を掘る事が事実上不可能であるから、工期は尠くとも 1 ヶ年程度は延びるので、此の路線を棄て実線で示す現在路線を選んだのである。而し水路の 1.5 km の延長は、水路勾配 6/10 000 として、0.9 m の落差の損失となり、第 3 期だけで小千谷発電所の年間出力量は約 530 万 kWh 減少する結果と

図-3 第 3 期小千谷発電所工事平面図



なる。

既設千手発電所の水路隧道は第1期第2期線共内径6.82 m、水路勾配 5/10 000 を採っている。この設計通水能力は、クッター式の粗度係数を 0.015 として毎秒 83.5 m³ であるが、通水直後実際には毎秒 124 m³ の水が流れ、粗度係数 n を逆算すると 0.012 となつたので、第3期の計画には粗度係数 n を 0.0125 とした。其の後の研究に依ると、第1期第2期水路隧道共通水能力は歳月の経過による隧道壁面の劣化と、トビゲラ幼虫の巢喰う事に依つて、通水直後の値より減少し、トビゲラ幼虫の巢の清掃前、毎秒 103 m³、巢の清掃直後 116 m³ となり、粗度係数 n は 0.0127 から 0.0145 の間を往来し大体平均値として 0.0135 程度の値となつている。第3期線は、第1、2期線に比し、トビゲラ幼虫の流入が少なかるべき事並びに近い将来第4期線が出来て、通水容量に余裕が生ずる事等を考えれば、[粗度係数 n の 0.0125 は必ずしも過小ではないと考えられる。次に通水量 120 m³、粗度係数 0.0125 として、水路隧道の断面と勾配を如何にするかを定めるのであるが、同一通水能力毎秒 120 m³ に対し、勾配 6/10 000 の場合は水路隧道の内径 7.0 m、勾配 5/10 000 の場合は内径 7.4 m 弱となる。この両者を比較すると、前者は 15.6 km の水路延長に於て、落差の減少 1.56 m、年間発電量の低下 12 000 000 kWh となる。反面水路隧道建設費の節減額約 20% の利点がある。この利害得失はほぼ伯仲するものと考えられるが、隧道地帯の地質は新第3期層に属する比較的脆弱な地質であり内径 7 m の隧道は、この種地質に対してほぼ極限と考えられるので、断面の小さい方の内径 7.0 m、勾配 6/10 000 を採る事にした。

(3) 調整池 信濃川の渇水流量毎秒 110 m³ を東京近郊国鉄負荷曲線(負荷率 63.1%)に合せて千手で発電すれば、千手の所要調整容量は、1 336 000 m³ となり、この値は、浅ヶ原調整池 820 000 m³ 及び宮中取水堰堤上流湛水 600 000 m³ 程度の利用で一応充足される事となる。これに伴つて千手の放水を受ける小千谷発電所への到着水量は、千手の負荷曲線に応じた刻々の使用水量から、尖頭時は小千谷の水路容量毎秒 120 m³ を超過した分だけ削り取られたものとなり、尚水が 15.6 km の水路を流下する時間 2 時間弱だけは遅れて到着する事となる。小千谷発電所も千手と同様やはり負荷曲線に応じた発電が要請されるから、小千谷調整池の役割は上記の小千谷到着水量を再調整して、国鉄東京近郊の負荷曲線に対応せしめる事にある。尖頭時削り取られた不足水量(総水量の約 12%)に対しては、一定量の電力を他の電源から補充するもの

と考えたが、此の補充の仕方にも、朝夕の尖頭時だけ一定量づつ補充するものと、四六時中連続的に、一定量づつ補充するものとの2方法がある。小千谷に到着する水量と負荷曲線に依る使用水量との過不足が小千谷調整池に出入し、其の最大累積が、調整頭の所要容量となるわけで、これを計算すると尖頭時だけ他電源から補充を受ける場合、770 000 m³、四六時中連続的に補充する場合、980 000 m³ となる。以上の論議は専ら信濃川の渇水流量毎秒 110 m³ を、千手小千谷国鉄負荷曲線に合せて使用する場合に限定したのであるが、実際は渇水時以外の流量の多い時期は如何にするかと云う問題が残つている。朝夕通勤時の電車負荷を主体とした国鉄東京近郊の最大負荷は 140 000 kW 程度であつて、これは大体、渇水時も、千手小千谷で上述の調整をすれば充足される量である。将来負荷が増加したり、余剰電力を他に融通する事を考えても、此等は電車負荷と異なり、負荷率が高いから、さほど大きな調整容量を必要としない。此等の事を考えれば、小千谷の調整池容量は大きい事は望ましいが、無理をして大きくする必要はなく、地形、所要建設費等を考えて決定された 1 000 000 m³ 程度が妥当なものと考えられる。

III. 小千谷発電所工事

(1) 総説 信濃川水力発電第3期小千谷発電所工事は、昭和 18 年末、当時の企画院の胆入りで、主として軽金属の増産に寄与するため、2 ヶ年完成の目標を以て一齊に準備工事に取りかかつたが、戦局の不振のため資材が続かず、戦力培養工事なる名目の下に辛うじて命脈を保つ事となり、幾何もなく中止されて終戦を迎えた。昭和 21 年末、失業救済の名目の下に工事を再開したが、これ亦時期尚早の故を以て、翌 22 年 4 月再中止の己むなきに立到つたのである。然し乍ら小千谷発電所の完成は、終戦後漸次立直つて来た東京近郊の輸送を賄う上で、国鉄としては欠くべからざるものであつたため、関係方面とも種々折衝を重ねた結果、昭和 23 年 8 月 2 日に認承を得て、23 年暮々本格的に工事に着手したものである。

工事地域は我国有数の豪雪地帯で、冬期の平均積雪量は 3 m を前後し、工事施行時期は、戦後インフレーションの進行中で経済的には極めて不安定であり、尚且つ工事の主要材料、労務者の食糧等は総べて統制の枠にしばられ、大工事を進めるのには、二重三重の悪条件に見舞われていたのであるが、幸い工事従事員と請負業者の一致協力に依つて、此等の悪条件を切り抜け、実働 2 ヶ年有余の、我国土木史上稀れに見る短日月を以つて、50 000 kW の発電開始を見るに到つた。

工事の契約方式としては、水路隧道其他相当工期を要するものは、契約当初業者に請負全工事数量を提示し、此に要する一切の仮設物を設備させ、此の仮設費は、全請負工事数量に均分負担さすが、請負単価の決定は、インフレーション下の物価変動に対処するため大体6ヶ月の工事数量を区切り、業者との協議で決めて行く建前を採つた。尤も諸種の事情のため請負方式は一応公入札制の形を採つたが、實質上は上記の建前から離脱する事は無かつた。此の契約方式は、実費プラス報酬制の一種とも云うべくインフレーション下の契約便法としては、比較的当を得たものと考えている。

小千谷発電所の主要工作物は、取水口、水路隧道、水路橋、水槽、水圧鉄管、発電所建物、水車発電機、屋内外電気設備、放水路、余水路、小千谷千手間送電線路等であるが、発電地域が、信濃川下流の平均河川勾配 1/430 の緩流部にあり、使用水量は出力 50 000 kW に対し毎秒 120 m³ の如く大きいので、設備は相当大規模となる事を免れなかつた。調整池を含めた全工事完成迄に要する主要資材は夫々セメント 111 500 t 鋼 10 920 t、銅 500 t、木材 382 760 石、労務者総数延 6 300 000 人の予想であるが、調整池を除いた 50 000 kW 発電開始迄に既に使用した主要資材及び労務者延人員は、夫々、セメント 100 000 t、鋼 9 000 t、銅 450 t 木材 370 000 石、労務者延 5 000 000 人である。本工事遂行に当つては、土木、建築、電気、機械のあらゆる分野で、我国一流の業者を総動員したもので、主体工事を請負つた業者 23 社、付帯工事を請負つた業者 47 社の多数に上つている。以下個々の工事の概要を述べて見る。

(2) 取水口、水路隧道、水路橋 取水口は、千手発電所放水路の末端にある。千手の放水を信濃川本流に放流していた分水渠に、巾 6 m 高さ 4 m の水門 6 門を設け、放水を取水庭に導く。取水庭は、深さ 8.8 m、長さ 75 m で巾は 46 m より 17.8 m に漸縮して 2 条の開渠に接続している。開渠は巾 8 m 長さ 10 m で各々巾 7.65 m、高さ 8.85 m の制水門 1 門を備え、第 3 期第 4 期の水路隧道入口をなしている (図-4 参照)。この部分の掘さく数量は 28 231 m³ で、混泥土数量は 6 779 m³ である。掘さくは主として容量 3/4 立方碼のドラグラインに依つた。混泥土は、使用粗骨材を 25~50 mm 及び 5~25 mm の 2 種に篩い分けこれを 6:4 の割分に再配合して使用し、混泥土の水セメント比 55%、スランプ 7~8 cm でヴィンゾール使用に依る空気量 4% であつた。試験的に石川島製混泥土ポンプ容量毎時 10 m³ のものを、水平距離 150~160 m で使用して見たが、輸送管中をクリナーが平滑に動かず、この点に改良の余地があるものと考えられた。

水路隧道は 図-3 の如く取水口より信濃川本流に平行近接してほぼ北方に進み小千谷水槽に達するもので、途中取水口より 9 km 付近で真人沢を横切る箇所は、延長 90.5 m の水路橋になつている。

水路隧道の実延長は、水路橋を含み 15 km 653 m 806、断面形は 図-5 の如く馬蹄形で高さ巾共 7 m、隧道の勾配は 6/10 000、路線の曲線半径は 500 m になつている。隧道の内空断面積は 40.637 m² で最大通水能力は水深 6.6 m 付近で起り、クッター式の粗度係数 n を 0.0125 とすれば流速毎秒 3.018 m、通水量毎秒 120 m³ となる。

隧道の 1 作業区間を短縮して全体としての工期を短縮する為多数の横坑、斜坑を掘つた。即ち隧道延長約 15.6 km に対し、ズリ出用として斜坑 7、横坑 11、堅坑 1 を掘り、更に混泥土巻立用として堅坑 9、斜坑 1、

図-4 小千谷発電所取水口

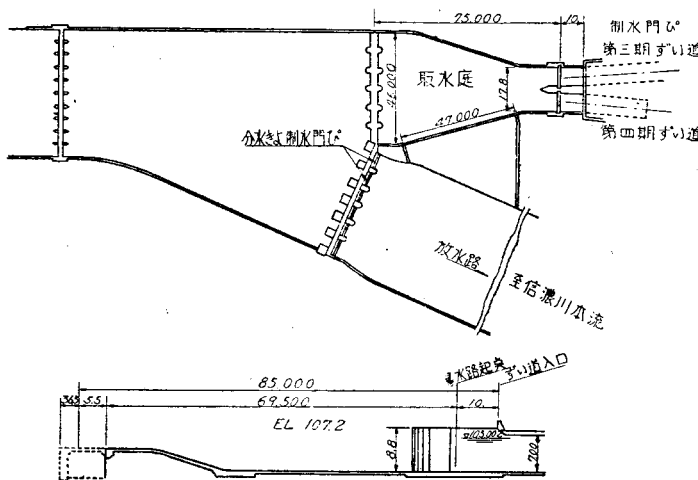
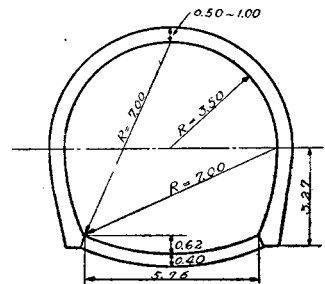


図-5 水路隧道断面



横坑2を掘つた(図-3参照)。これ等の横斜坑は個々の延長161~390mに亘るもので、総延長は3kmを超している。此等横斜坑に依つて隧道の1作業箇所当り延長は1km程度に短縮され、工事進捗に非常に役立つ事は事実であるが、その位置及び数は戦時中突貫工事時代の計画を踏襲したため、若干再検討の余地が残っている様に思われる。

水路隧道一帯の地質は、第3期層を基盤とし、洪積層、沖積層が其の上を覆っている。第3期層は新第3期層に属し、上部から魚沼層、頁岩層、野辺層に分れているが、水路隧道の大部分は此の魚沼層を貫くものである。魚沼層は頁岩、軟質砂岩、軟質礫岩から成り走向N10°E~N30°E、傾斜はNW15°~NW30°である。頁岩は暗灰色で固結度は普通であるが、軟質砂岩及び礫岩は、固結度は一般に低く、夫々砂層及び礫層と呼ぶ方が適切な場合が多い。此等軟質砂岩及び礫岩は屢々互層をなして存在している。洪積層は信濃川の河段丘堆積物で粘土砂礫より成り、厚さは地表から最大20m程度である。沖積層は信濃川の流れる平地部に分布し、隧道には関係がない。

以上の如く水路隧道掘さく箇所の地質は概して軟弱であり、其の上隧道の掘さく断面が大きいので掘さく方式は原則として底設導坑を先づ通し、次いで頂設導坑に切上つて、地質を確め乍ら切抜けて行く新換式を主とし、地質の比較的良好なる箇所は、上部開さく式に依る事とした。但し例外として、水路入口、水路橋前後取付、並びに土被の極めて薄い2km350m付近の計155m間は、オープンカットに依つた。支保工は何れも後光梁である。地質が軟弱である為さく岩機はピックを使う程度で、火薬の使用は上流側掘さく1m³当り0.06kg、下流側0.26kg、平均0.134kgの如く僅小で、使用箇所は底設導坑を主とし、頂設、中背丸型、土平の掘さくに使用する事は稀であつた。掘さく中の湧水は各作業坑共導坑1km当り4~28立で決して多い方ではない。ズリ出は底設導坑盤に軌間2呎単線の軽便線を敷設し3~6tの蓄電気機関車を使用、0.6~1.0m³ズリトロ12~15輛を一編成とした。混凝土巻立の型枠は鉄製セントルを使用し、建込間隔は、上流部3km600m間1.37m、其の他は総て1.5mである。

混凝土は坑外に設けられた混合場より、混凝土用堅坑、斜坑又は横坑を通じ、隧道内に持込まれる。隧道の巻立完了区間には拱部混凝土に軌間2呎複線の運搬線を吊り、8~10才混凝土鍋トロを手押又はエンドレスワイヤーで運ぶ。隧道巻厚は地質に応じて、側壁部50~80cm、穹拱部50~100cm、仰拱部は一貫して

40cmである。隧道全体の巻厚別割合を示して見ると、拱側壁共80cmが隧道総延長の12%、拱側壁70cm10%、拱60cm側壁50cm34%、拱80cm側壁60cm21%、拱側壁共60cm7%、其の他16%となつている。巻厚設計の特異性としては、拱頂部の施工困難に依る強度低下を補うため、後に述べる拱頂部モルタル注入と共に、同一箇所の穹拱部を側壁部より一般に厚くした事である。巻立の1回施工延長は通常9~15mであるが、地質不良箇所は3~6mとし、一方から堅めて行く方式を採つた。巻立順序は側壁施工後穹拱を施工する所謂本巻工法に依つたが上流部分の延長1km166m間は、地質不良に対処して逆巻工法を採つた。

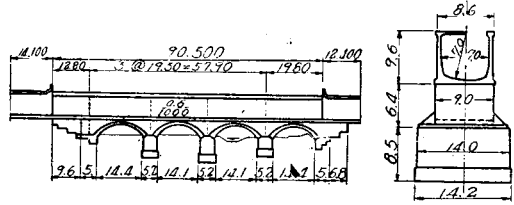
混凝土の配合は最大密度を与える様細粗骨材比を決定し、水セメント比は耐久性を考へて60%を原則とした。骨材セメント水の計量は重量に依つて厳密に行つたのであるが、細骨材の含水量は時々刻々に変化するので、之に対する使用水量の補正は極めて困難で、少し油断をすれば、水セメント比50%から100%に変化する恐れがあつた。細骨材の含水量を勞を厭わず始終測定し、使用水量の補正を行つて行かなければ、設計通りの等質混凝土は決して期待出来ない。現場で使用した粗骨材は最大70~80mmで、細骨材の粒度率2.07~2.86、粗細骨材比1.6~2.0、1m³当りセメント使用量230~318kg平均264kg、スランプ4~6.5cmであつて、バイブレーターを以てしめ固めた。混凝土巻立完了後、混凝土コア採取器に依り、隧道1km毎に1ヶ所の割合で計16ヶ所から、穹拱側壁各3個の径15cm長さ30cmのコアを切り取り、圧縮強度試験を行つたが、其の結果は材齢7~11ヶ月で穹拱部163.8~385kg/cm²平均265.5kg/cm²、側壁部160.4~401.1kg/cm²平均287.1kg/cm²となつた。隧道穹拱混凝土と背部地山との間に間隙を残さない様に施工する事は困難であつて、此処が覆工の弱点を形成する事が多い。本隧道に於ては此の弱点を除去する為に、延長15.6kmの全区間に亘つて、穹拱背部裏込モルタル注入を行つた。裏込注入の目的は穹拱背部の空隙を填充すれば、足りるのであつて、地山以上の強度を必要としない。注入の難易、工費の多少等を種々研究した結果、セメント砂配合容積比1:7、水セメント比250%、1m³当りセメント量214kg、圧縮強度10kg/cm²程度のものを注入する事にした。穹拱上部巾6.5m間に厚さ20cmの空隙があるものと想定し、予め2吋瓦斯管を隧道延長方向1.5m毎に左右、頂部千鳥に埋込みおき、カニフミクサーに依り4kg/cm²程度の空気圧で上記のモルタルを注入した。

モルタル注入量は作業箇所毎に異なるが、隧道延長 1m 当り 1.04~2.12 m³ 平均 1.54 m³ であつた。隧道工事の進行速度は掘さく巻立共 1 作業面当り 1 ヶ月大体 60 m であるが、これは地質が軟弱なため全断面に切抵げた後は、なるべく速やかに巻立てる方針を採つた為で、巻立作業の速度が全体の進行を支配したのである。隧道坑内は全部電気照明をして、カーバイトランプは殆んど用いながつたが、能率の上からも得策であつたと考えられる。

昭和 25 年 9 月 1 日 16 時、水路隧道 10 km 791~835 m 間 44 m が穹拱巻立作業中突如大落盤を起し埋没者 47 名(後 6 名救出したが内 3 名は救出後死亡)の重大事故があつた。事故箇所は頁岩層で湧水もなく、地質は比較的良好らしく見えていたのであるが、支保工に重圧のかかつた徴候もなく突如崩壊したのである。此の工区は請負延長 1 km 050 m で事故当時延長 100 m 余を残し全部完成していたもので、事故迄には此処よりも遙かに悪い箇所を数ヶ所突破して来ていた。従事者の手落と云う事ではなく、以上の如き客観状況が実は危険をはらみ易いものではないかと云う事をつくづく考えさせられるのである。

水路隧道は始点から 9 km 余の処で、真人沢を延長 90.5 m の水路橋で横断する。構造型式については、当初サイフォン式、築堤上可撓鉄管路式等を比較研究したが、サイフォン式は水頭損失 60 cm となり、又築堤上可撓鉄管路式は、真人沢が隧道のズリ捨場となる事から一見有利の様であるが、真人沢の洪水流量毎秒約 100 m³ を流す為築堤下に、本水路に匹敵する水路を必要とし得策ではない。結局径間 19.3 m の混凝土拱 4 連を 2 基の橋台及び長さ 5.20 m, 巾 14.20 m 深さ夫々 6.40 m, 7.50 m, 8.50 m の 3 基の井筒基礎で支え、混凝土拱上に内巾 7 m, 深さ 8.90 m の鉄筋混凝土函型開渠を載せる構造を採る事とした(図-6 参照)。本地区が豪雪地帯である事を考えると、函型開渠は適当でない様にも考えられるが信濃川の水温は 1°~27°C で、水流に落下した雪は間もなく融けるから、其の点の不都合は起らぬものと考えている。基礎支持力を測定した結果は 215 t/m² で沈下 1.7 mm, 岩盤自身の圧縮強度は 325~500 t/m² であつたので、基礎地盤の許容支持力として 70 t/m² を採つた。拱にかかる水流の重さ及び拱の自重は 100 t/m で、これを支える為、支間 15.6 m, 拱矢 5.0 m, 拱頂厚 0.6 m, 起拱点厚 1.09 m の拱を選んだ。荷重は全く等布分布をな

図-6 真人沢水路橋



し最も好条件であるが、地震力、温度変化等に備えて混凝土 1 m³ 当り 85 kg の鉄筋を挿入した。開渠はすべて鉄筋混凝土函型構造で、繋材を以て左右側壁を 3.5 m 毎に連結し補強している。拱 1 連毎の伸縮継手は銅板及びアスファルトを以て水密を期した。混凝土用細砂の粒度率 2.12~2.73, 粗骨材の最大寸法 50 mm 粗細骨材比 1.43~1.65, 水セメント比 45~50%, 1 m³ 当りセメント使用量 345~424 kg で、函型開渠部はヴォンゾールを使用し空気量 3.2~5.1% である。開渠部混凝土の施工継目の清掃には、ナニワ自動噴砂機ノズル口径 7 mm を使用した。鉄筋や型枠ボルトの建込んだ狭い空間で完全に打継目のレイタンスを清掃出来たが、機械容量及びノズル口径をも少し大きくし、湿砂吹付式とすれば更に能率的な使用が出来ると考えられる。

(3) 水槽、圧力鉄管 水路隧道末端は、上巾 7.65 m, 深さ 9 m, 延長 21 m の開渠 2 条となり水槽に連つている。水槽は、延長 146.77 m, 最大巾員 66.5 m 最大深さ 17.2 m, 容量約 40 000 m³ で下流部中央に長さ 34.4 m, 巾 23.5 m, 深さ 15.1 m の連絡槽を有

図-7 小千谷水槽図

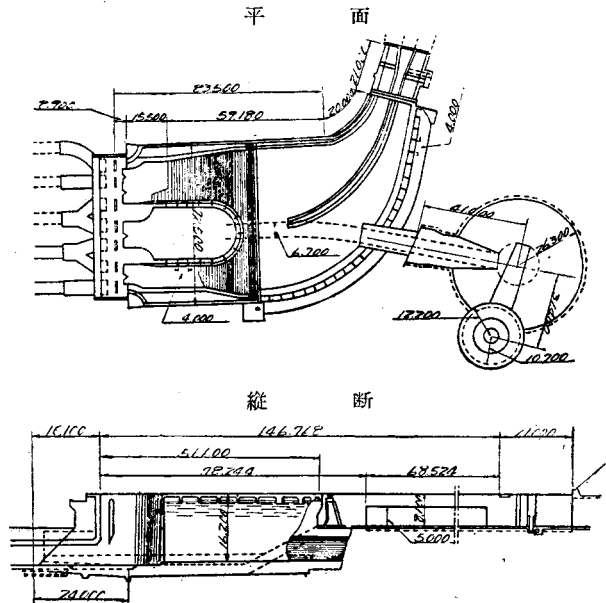
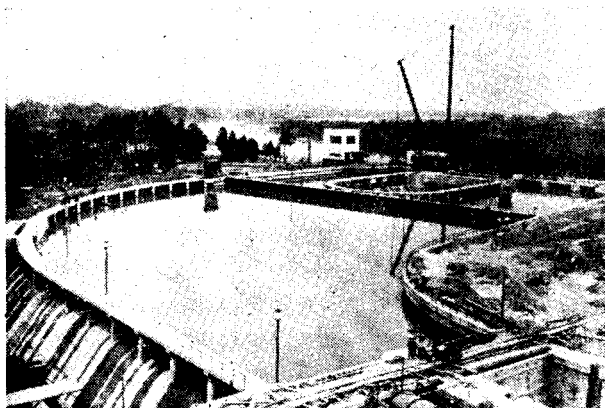


写真-1 小千谷水槽



し、連絡槽と調整池とは、内径 6.7m 延長 57.6m の隧道で連絡されている(図-7、写真-1 参照)。本水槽は特異な構造を有するもので、其の主な機能は、負荷の小変動に應ずる水量を貯溜し運転を円滑にする事、水路隧道より直送する水系と、調整池を使用する水系とを分離し、最大 7m 程度の調整池水位の変動に対して水頭損失を最小限に喰い止める事、調整池に連絡しこれに過不足水量を出入せしめる事、水圧鉄管入口に制水門を設け送断水の操作をする事並びにスクリーン、排砂路を備え、塵芥土砂の除去をする事等にある。水槽の計画は水路隧道1条の第3期分だけを造り将来更に第4期の水路隧道が1条出来た場合に拡張するものとすれば、運転中の拡張工事が困難なばかりでなく、工費も結局嵩む事となるので、第3期第4期を含めた全体のものを作った。従つて水路隧道より水槽に流入する水量は毎秒 240m³ と考える要がある。先づ水の使い方を考えて見ると、負荷と隧道流量が釣合つた場合は、240m³ の水は各通水量 60m³ の4条の水圧鉄管に依つて発電所に直送され、25000kW 4台計 100000kW の発電をする。負荷が 100000kW より大きくなると更に調整池系の鉄管1条が開かれ発電機5台が動くが、調整池系の発電機のみを低負荷で運転しないため、直送系の水に余剰を生じ、水槽左岸の溢流堤から若干の水を池に溢流する。負荷が最大となり 125000kW となつた場合は、直送系4台、調整池系1台運転で溢流堤より池への溢流はない。負荷 100000kW 以下の場合、直送系で全負荷を賄い、余剰の水は池内に落ちる。水路隧道1条の第3期のみ完成の状態では、直送系水圧管2条、調整池系水圧管1条で、大体前の場合と同要領の水の使い方をする。

水槽溢流堤の有効総延長は 160m で内 88m は水槽左岸側壁を利用しその堤頂は隧道出口計画水位標高 95.6m より 50cm 下りの 95.1m であり、他の溢

流延長 72m は、中央連絡槽を利用、その堤頂は隧道出口計画水位と同高の 95.6m で前者の堤頂より 50cm 高い。水槽左岸溢流堤の溢流量は水深 50cm に於て、毎秒 57m³ でほぼ圧力鉄管1条分の水量に等しい。故に鉄管1条分未満の余剰水量は専ら、左岸側壁部より溢流され、余剰水量が鉄管1条分を超えた時、初めて連絡槽が溢流を初める事となる。圧力鉄管1条分未満の余剰水量時には、調整池が働き池から連絡槽に水が流れる事があるから、連絡槽への溢流は差しひかえなければならないが、余剰水量が鉄管1条分以上になると、調整池系を同時に働かす事は起り得ないから、この時連絡槽へ溢流する事は何等支障を生じないのである。

送電線其の他の事故で全停電した場合の溢流量は毎秒 240m³ となり、溢流水深は水槽左岸部 1.1m、連絡槽 0.6m で水槽水位は標高 96.2m となる。水槽左岸溢流堤の堤頂は隧道出口の計画水位より 50cm 低くなつているが、これにも大いに議論のある処で、仮にこの 50cm を 1.1m とすれば、隧道出口の水位を乱す事なく 240m³ を溢流出来るが、常時水槽水位は 1.1m 低下する事になり、これに反し、隧道出口計画水位と同高とすれば、240m³ 溢流時には、水位は計画水位を 1.1m 上廻り水路隧道に圧力がかかるのみならず、水面勾配低下のため水槽への流入量をおさえる結果となる。この両者を検討して、上記の設計をしたのであるが、これに依ると水槽水位は 50cm 低下するが、水面勾配が計画より急となり水槽への流入水量を増すので、結局さしたる損失は無いものと考えている。

水槽内の水深は通常時に於て上流部約半分 6.2m、下流部約半分 15.1m となつている。下流部の深くなつている事は、調整池の有効水深 7m を使用し切つた時に於ても径 4.5m の水圧鉄管に渦を生ずる事なく水を供給するため、模型実験で検討された水深を持たした為である。負荷の小変動に應ずる為の水槽内の貯溜水量は、約 100 秒分が適当と云われている。吾々の場合の 100 秒分は 24000m³ であるが、此に対して大体 30000m³ 程度が此の目的のため使用し得られるものと考えられる。通水試験の結果は、水圧鉄管呑口附近の水槽形状の非対称のため、相当の渦を発生したが、木製筏を浮べる事で渦流を消す事が出来た。

水槽工事は掘さく土量 120000m³、混凝土数量 37800m³、使用鉄筋量 1600t に及ぶ大規模なものである。設計基盤上 2m 迄の掘さくは機械使用が可能

な限りブルドーザーを主体とする機械力に依つた。掘さく土砂の運搬は、4本の横坑に依り軌便トロリーを以つて信濃川河岸小千谷発電所の上下流部に土捨した。全量 37 800 m³ の混凝土作業は当初作業期間 15 ヶ月、1日平均施工量 150 m³ と定め、14 オミクサー 3基の計画であつたが、昭和 24 年 10 月水槽左岸部の土砂約 10 000 m³ が崩壊し工程が甚しく遅れた為 25 年度は 1日平均施工量 250 m³ を確保する必要に迫られたので、混凝土混合設備を、18 才 3台、21 才 1台に増強し以後順調に工事を進める事が出来た。混合機は総てオーセクリーターを使用した。これは周知の如くセメントペーストの水セメント比 35% 以下では使用不能となるので、この使用は再考の余地があると思う。

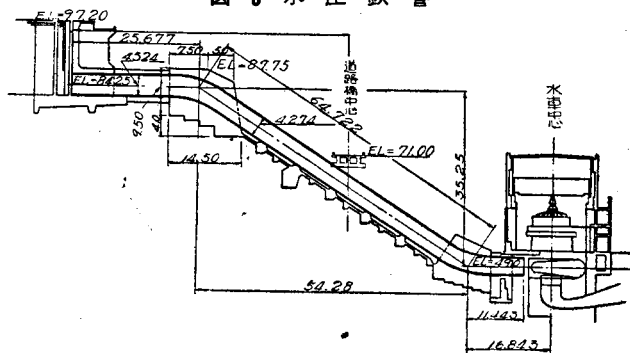
水槽に使用した混凝土について云えば、細骨材の粒度率 1.80~3.14、粗細骨材比 1.4~1.8、1 m³ 当りセメント使用量 273~308 kg で、水セメント比は 60% を標準としスランプは構造物の種類に応じ 6~15 cm の範囲で変化させた。連絡槽溢流堤、通路橋等には空気量 4% の AE 混凝土を使用している。混凝土継手の水密性確保については特に留意し、伸縮継手には総べて厚さ 1~2 mm の銅板を挿入する他、鉛直打継目の大部分と水平打継目の重要部分には巾 15 mm 厚さ 1 mm の鉄板を挿入した。

水圧鉄管は水槽と水車とを結ぶもので、全部で 5 条あり、内 2 条は水路隧道よりの直送系と調整地系との両用に使うため上部は Y 字管となつている。第 3 期工事 25 000 kW 3 台に対しては、直送管 1 条、Y 字管 2 条を完成し、他の 2 条の直送管は、第 4 期工事に備え、水槽よりの出口のみを施工した。鉄管の内径は、上部水平部 4.50 m とし、上部曲部の末端で 4.25 m にしぼり、傾斜部は支台補剛環の工作等の関係で其の儘の 4.25 m とするが、下部曲部管で更に漸縮させて下部水平管は 3.50 m となる。水圧鉄管の経済的管径を、小千谷発電所について計算して見ると、一応上部水平部 4.418 m、傾斜部 4.302 m、下部水平部 3.725

m なる値が得られるが、上記の値は此等理論値に相当近接しているものである。水衝圧を考慮した最大水頭は 72.79 m で、これに対し上記の管径で、管厚 12~22 mm とし、4 mm の磨耗に対する余裕を見込んでいる。鉄管 1 条の延長は約 106 m で、途中傾斜管が国道と交叉する箇所は、径間 14 m 8 連延長 112 m の鉄筋混凝土橋を架設した。鉄管 1 環の長さは、鋼板圧延の都合上 2.1 m を標準とし、鋼板を圧延方向に曲げたもの 3 板で 1 環を形成している。緊錠塊に埋込まれる上下曲管部、鉄管巻混凝土に埋込まれる上部水平部は、各環毎に山形鋼の補剛材を取付け、上下緊錠塊間の傾斜部には、各環毎に溝形鋼の補剛材を取付ける他、8.4 m 又は 7.7 m 間隔にある支合部には強固な支台補剛環を取付けた。本発電所の如き大口径の Y 字分岐管は、設計、製作、現場据付に種々困難な問題が多く、決して好ましいものではないのであるが、1 条の水圧管を、直送系、調整池系に兼用する為には、此の構造が避け得られない事となる。Y 字管を形成する両管の交截部は、水圧に依て円形になろうとして外方に圧せられる。此の力を如何にして、おさえるかについては、鉄管内部に抗張材を取付ける方法、交截部を全部鉄筋混凝土で包む方法等色々の案が考えられるが、吾々の場合は種々検討した結果、千手発電所の経験を活かし、交截線に沿つて外側に縦桁を入れ、縦桁外側を之と直交する強固な環でしめつける構造とした。鉄管継手を溶接に依るか銲接に依るかは色々議論のある処であるが、一般論として、溶接作業が容易確実に出来て、溶接歪を自由に逃がし得る箇所は、継手効率の高い溶接が有利であり、然らざる箇所は銲接に依るより方法が無いのである。此等の事を考へて、本水圧鉄管に於ては、管路の据付位置で施工する継手は総べて復目板両皿銲の銲接とし、仮工場内で施工する縦継手並びに 2~3 環を接合する周辺継手は、衝合下向溶接に依つた。尙此の周辺継手には、溶接時添板をボルトじめし、溶接完了後両皿銲で銲接する。設計に用いた

継手効率は銲接 70%、溶接 85% である。水圧鉄管の継手に溶接をちゆうちよする主要原因の一つは、簡単に信頼度の高い検査方法のない事であるが、幸い当現場では、鉄道技術研究所の協力を得てレントゲン検査を施行し其の結果に対し安心感を抱く事が出来た。レントゲン検査は鉄管の各節とも、縦及び周辺の衝合溶接継手について行い、検査の重点を縦継手と周辺継手の交叉する箇所にしたのであるが、第 1 回の検査の結果判明し

図-8 水圧鉄管



た事は、周辺継手は開先精度の不良溶接位置の曲面等に起因し一般に縦継手に比し成績が悪い。縦継手は比較的良好であるが裏はつりの不適当な為底部溶込不良のものが相当数ある。ブローホールは溶接棒（神戸製鋼製 B₂）が相当優秀であり、作業が入念な為一般に僅小である等の事であつた。其の後は此等悪原因の除去に努めた結果、第2回以後の成績は極めて良好であつた。鉄管の据付は、鉄管呑口附近に据付けたクレーン（20t 吊、ブーム長 40m、水平角度 30°）を使用し上部曲管、Y字管その他上部管、下部曲管、下部水平管、傾斜管の順序に据付けて行く。上下部曲管の据付は鉄管据付の基準となるので、充分入念に施工した結果、其の後の些少の据付誤差は、所定の調節管で充分調節する事が出来た。

（4）調整池、余水路 東京近郊の国鉄負荷曲線に応じて、上流千手発電所が発電を行い、此の放水を受けた小千谷発電所も亦負荷曲線に合致した発電を行う為には、渇水時だけを考へても、小千谷に 1 000 000 m³ 程度の調整池が必要である事は既に前節に於て述べた。

小千谷調整池は、小千谷町山本から同町谷内部部に亘り、発電所水槽から出発して、丘麓に並行する延長 923 m の土堰堤で耕地をしめきり池を造るもので、満水面積 161 770 m²、総貯水量 1 052 200 m³、有効貯水量 1 000 000 m³、有効使用水深 7 m である。土堰堤断面は 図-9 の如く、天端巾員 6.0 m、上流法勾配 1:3、下流法勾配 1:2.5 で、堰堤の高さは最大 17.2 m、平均 12 m、心壁部の自然地盤よりの根掘深さ最深 15.1 m、平均 9.7 m である。図-9 の如く、心壁及び此に接する上流混合土砂で水密を期するもので、心壁及び上流混合土は種々土質試験の結果、心壁部粘土 2、土砂 1、上流混合土、粘土 1、土砂 1 の割合に混合したものを輾圧する予定である。地質は新第 3 期層の魚沼層の上に厚さ 10 m 程度の河成段丘堆積物を被り走行は N20°E、傾斜は NW18°~25° である。土堰堤心壁はこの河成段丘堆積物を破り、魚沼層に到達するものであるが、魚沼層は頁岩、砂層、砂利層より成り、透水性に関しては、充分用心を必要とする。幸い地層は

堰堤下流部で地下深く沈んでいるので、若干の安心感はあるが、セメント其の他の注入、池底粘土張等の工法を要するものと考えられる。一帯の地形は調整池築造に好適とは云い難く、池は半ば丘の麓を掘さくして人為的に造るもので、掘さく土砂に余剰多く此等は 図-9 の如く、下流法面に土捨している。水密部の粘土は堰堤より 400 m 程度の山麓より採集する予定である。本工事は昭和 26 年春着手したもので目下表土切取中であり、今尚研究中のものであるので、詳細な記述は他日にゆづる事としたい。

調整池が満水している場合、送電線其の他の事故の為水車が停まると、水路隧道より流入する水は、はけ口が無くなり土堰堤上を溢流する事になるから、此を防止する為には、水路隧道と同容量の余水路が必要となる。本工事に於ては、第 3 期第 4 期の水路隧道から流入する毎秒 240 m³ に余裕を見て 270 m³ 程度の余水路を作る事とした。先づ水槽に隣接して円筒形の取水塔を建て、其の周壁に 17 箇のサイフォンを設置する。サイフォン 1 箇の能力は係数 C のとり方で異なるが、大体 16 m³ 程度は確保出来るものと考えられる。調整池水位が計画最高水位標高 95.6 m となると、サイフォン喉部の空気孔が閉塞され、サイフォン作用が始まるのであるが、実際には水位が更に 40cm 程度上昇しなければ、完全なサイフォン作用が起らない事が、既設浅ヶ原余水路で確められている。サイフォン直下は 図-10 の如く彎曲して余水路隧道に連つてゐるが、余水路隧道は内径 5 m、延長 348 m、勾配 20/1 000 であつて、隧道内の流速は毎秒 14 m 程度が予想される。余水路の使用は発電所事故時に限定され、其の使用回数は極めて少ないから、隧道内の流速毎秒 14 m は許容されるとしても、隧道出口の流量毎秒 270 m³、流速 14 m の水の有する勢力は莫大なものであつて、之を何等か減殺しなければ、下流開渠は忽ち破壊されてしまう事となる。此の勢力減殺装置は模型実験で種々研究した結果、直線型跳水路を採用し、隧道出口跳水路に於て、限界水深を与へ、跳水現象を起さし、水流を常流化して勢力を減殺する事とした（図-10 参照）。跳水路下流は延長 911 m、勾配 1/2 000

の開さく水路となり信濃川本流に注いでゐる。

（5）発電所、放水路 発電所建物は信濃川高水敷にあり、梁間 20.575 m、桁行 51.85 m（将来 4 期完成の場合桁行 93.85 m）、高さ 19.88 m の鉄骨鉄筋混凝土発電機室

図-9 土堰堤標準断面

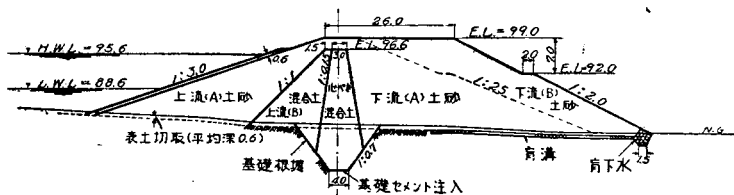


図-10 余水路

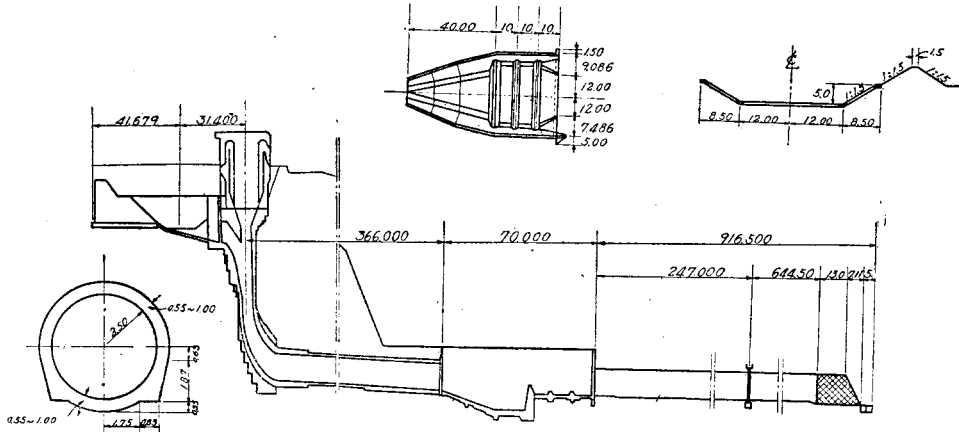
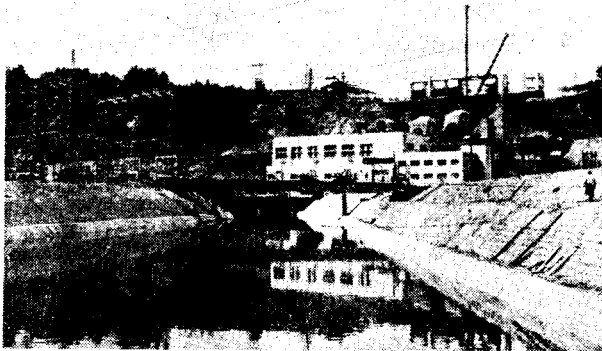


写真-2 小千谷発電所放水路

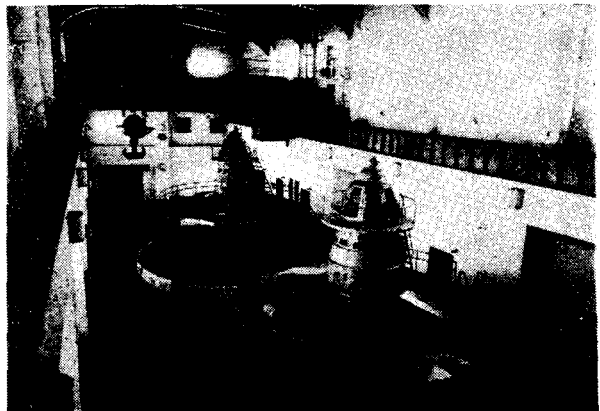


と、これに接する梁間 13.43 m, 桁行 22.415 m, 高さ 12.87 m の鉄筋コンクリート造 3 階建の配電盤並びに事務室から成っている (写真-2 参照)。発電機室は在来地盤標高 50 m より約 13 m 掘下げ, 第 3 期頁岩層に達し, 許容地耐力 65 t/m² を期待している。主発電機室は所謂単床式を採用して, バレル上に発電機を据付けた為, 複床式に比し床面積 15%, 混泥土量凡そ 10% の節約となり, 其の上主機並びに付属装置は近接し易くなつて, 保守が容易となつた。外径 8.6~9 m のバレルには特殊の考案を施し, 水車の点検修理に便なる様, バレル躯体側部に巾 3.5 m, 高さ 2 m のランナー取出口を設け, 発電機を取外さなくても, 中間軸水車蓋を取除けば, ランナーは移動軌条に依つてバレル外側に取出せる様になつている。発電機室には重量 167 t の発電機回転子其の他を吊上げ, 其の組立解体をする為, 容量 200 t の天井走行起重機を備えている。

放水路は 1 条の梯形開渠で上巾 24~36 m, 敷巾 15~30 m, 深さ 4~6 m, 勾配は大体 1/2 500, 延長 240 m を以て信濃川本流に注ぐもので其の通水容量は毎秒 300 m³ となつている。開渠法面は下部は混泥土, 上部は雑石張で保護し, 放流口及び其の前後 160 m 間は特に河床下 6 m 迄混泥土壁を入れて洗掘に備えている。発電所発電機室床面, 放水路路端, 屋外鉄構地盤等の標高は総べて 52 m であつて, 従来 of 信濃川計画洪水量毎秒 6 000 m³ の最高水位に対しては, 1.5 m 程度の余裕があつたが, 最近改訂された計画洪水量毎秒 9 000 m³ を考えると, 其の最高水位は 51.8 m となり殆んど余裕を持たないので, 放水口前後約 700 m 間を天端標高 52.5 m の堤防で防護した。

(6) 電気諸施設 小千谷発電所の出力は, 第 3 期第 4 期完成の暁 25 000 kW 5 台の 125 000 kW となる筈であるが, 第 3 期工事としては其の内直送系

写真-3 小千谷発電所発電機室



25 000 kW 2 台 (26 年 8 月 1 日運転開始), 調整池系 25 000 kW 1 台 (昭和 27 年末完成の予定) 計 75 000 kW を完成するものである。機器の設計製作に当つては、負荷変動の急激な電鉄運転に耐えると同時に、既設千手発電所並びに火力発電所 (川崎 70 000 kVA, 赤羽 20 000 kVA) との並行送電にも、確實安定な運転が可能である様各種の検討が加えられた。

資金資材の節約には、あらゆる努力を傾倒したのであるが国鉄の運転電源であるため確実性が強く要請されるので、機械電気の諸設備は、何れも 2 重方式を採用し、あらゆる保護装置を完備して、氣象其他如何なる不慮の災害にも応ずる事が出来る様になつてゐる。此等の詳細は、然るべき機会に発表される事と思うので、此処では主要機器の仕様を示すにとどめる。

主水車: 型式堅軸渦巻型フランシス水車 最大出力 27 500 kW, 有効落差最高 49.3 m, 基準 48.22 m, 最低 41.2 m, 最大水量毎秒 64.7 m³, 回転数毎分 167 (50 サイクル) 200 (60 サイクル)

交流発電機: 型式堅軸全密閉自己通風型空気冷却器付, 出力 28 000 kVA, 電圧 11 000 V, 電流 1 470 A, 回転数毎分 167 (50 サイクル) 200 (60 サイクル), 周波数 50 又は 60, 効率 95%

主変圧器: 出力 28 000 kVA, 電圧 154 kV/11 kV
小千谷千手間送電線路: 電気方式 50 サイクル 3 相 3 線式, 公称電圧 140 kV, 回線数 2, 導

線 150 mm², 硬銅燃線, 架空地線 70mm²
亜鉛鍍鋼燃線 1 条又は 2 条, 線路亘長 16.7 km, 鉄塔基数 2 回線用 64 基, 標準径間 250 m

IV. 結 び

以上を以て国鉄小千谷発電所の計画及び工事の主要問題には一応触れたつもりであるが、紙数の制限のため極度に図面及び説明を省略し、充分其の内容を伝える事が出来なかつたのは遺憾である。目下小千谷発電所工事誌を編纂中であり、本年初頭には刊行の運びとなるものと思われるので、詳細は同書を参照して載きたい。

将来国鉄が自己の経営合理化のため、安心して鉄道電化を進めて行くためには、必要な自家発電所を自ら所有し、電力会社の経営政策に捉われる事なく、低廉確實な電力を自ら供給する事が絶対に必要である。我国経済復興の爲には、電源開発をあらゆる施策に先行して行わなければならない事は、周知の通りであるが、その開発に当つては、自ら其の力を有する者が、自己の電源を開発して行く事が、開発を進める所以でもあり、又我国経済復興に資する方途でもあると筆者は考へている。かかる時期に於て、国鉄が終戦後いち早く、戦後最大の発電所を完成した事は、極めて意義の深いものと考へざるを得ないのである。本稿を終るに際し、小千谷発電所の計画及び工事に関し、終始教示を賜つた前信濃川工事事務所長阿部謙夫氏に謝意を捧げる。

(昭. 26. 129)

新 刊 紹 介

岩崎富久著 上水道工学

森北出版KK 26 年 9 月 20 日発行, A 5 判, 350 頁
写真図表 370 余, 定価 600 円

昭和 23 年に、日本の上水道施設数は 668, 給水人口は総人口の 25%, 米国では 1945 年に夫々 15 400 及び 71% を示すと本書に掲げている。之が 25 年末には施設数と給水人口は増えたが前記 % は落ちた (水協誌 203 号 p. 49)。人口の増殖の方が早いのかも知れぬ。日本では未だ相当の都市が上水道を持たない。同じ人口数でも日本の様に密集して住む所では、不潔になり病気を起し易いから衛生施設が一層必要な訳だが、今迄の 25% より今後の 25% を増し 50% にする方が遙かに大変だ。上水道の普及を米国並に 70% 台にす

るには、工事の量も技術の進歩も之からだ。急速濾法の発明は 19 世紀の終り、塩素消毒の発明は 20 世紀の始めで、何れも近々 50~60 年前の事に過ぎない。

著者は曾て上水道の普及の遅々たるを嘆き、消防の見地から井戸の保全を叫んだが、やはり科学的の検討を進めて頼むに足る完全な水道を造るのが責務であると述べている。本書は以上記載の種々の要求に応じ、既往の実例を網羅し著者多年の実地経験と学究とに依つて、計画、設計、建設、維持に亘り要領よく解説し、なお向学研究心をそそる様に書いている。殊にこの書の特徴は図解及び写真が多く判り易い。戦後用紙及び印刷設備の払底、出版界の変調等で真面目な技術書の発刊が少い中で、本書はそのトップを切るにふさわしい良書として推薦する。

(田中寅男)