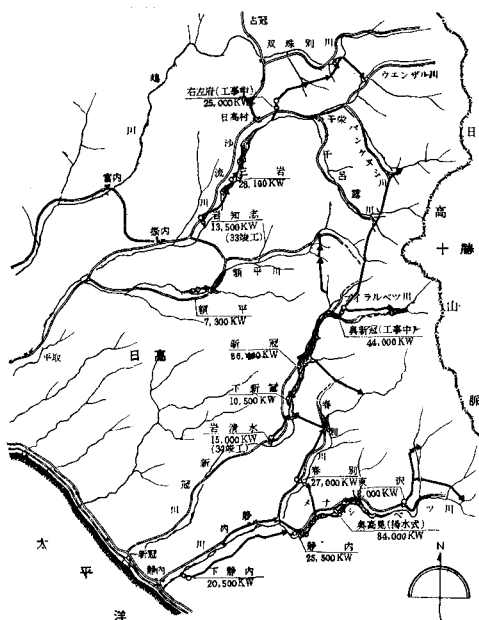


右左府発電所地下発電所工事について

正員 北海道電力株式会社 所長 前 口 正 蔵
右左府水力発電所建設所

1. 概 要

右左府水力発電所は、北海道電力株式会社日高一貫開発計画の一部をなすもので、この計画に基づいて既に完成した岩知志発電所 (13,500 KW)、および岩清水発電所 (15,000 KW) について着工され、北海道の活潑な電力需要増に対応するため、昭和 36 年 8 月 発電開始を目標に鋭意工事中のものである。



図一1 日高一貫開発計画概要図

日高山脈に源を発し太平洋に注ぐ沙流川の上流ウエンザル川合流点直下流に取水ダムを設け、最大 $11 \text{ m}^3/\text{s}$ を取り入れ延長 $3,615 \text{ m}$ の支水路トンネルにより双珠別川に流域変更する。この支水路の出口から約 2 km 下流に高さ 29 m のダムを築造して、有効容量 $300,000 \text{ m}^3$ の調整池を設け、途中の溪流をあわせ最大 $15 \text{ m}^3/\text{s}$ を取水し、延長 $9,785 \text{ m}$ の水路で水槽に導水約 200 m の落差を得て $25,000 \text{ KW}$ を発電したのち $1,988 \text{ m}$ の放水路トンネルで沙流川に還流するもので、この発電所の工事の概要を示すと表-1 のとおりである。

右左府発電所の特色としては、流域変更を2度繰返すことによる小断面長大隧道の施工と地表下50 mに達する地

表-1 工 事 概 要

1. 計画の概要

取水河川名	沙流川水系沙流川	鵠川水系双球別川
流域面積	沙流川 128 km ²	双球別川 77 km ²
(内溪流 13 km ²)	計 205 km ²	
使用水量	最大 15 m ³ /s	常時 1.73 m ³ /s 常尖 9.98 m ³ /s
有効落差	最大 193.24 m	常時 199.22 m 常尖 196.37 m
発電電力	最大 25,000 KW	常時 一 常尖 16,900 KW
可能発生電力量	自己 109,176 MWH	下流増 4,875 MWH

2. 水路設備

調整池 (双球別川) 湛水面積 178,000 m² 総貯水量
1,330,000 m³ 有効貯水量 300,000 m³ 利用水深
2 m

調整地えん堤 型式直線重力式コンクリート造り
高さ 29 m 堤頂長 83 m 堤体積 26,000 m³

沙流川えん堤 型式 直線重力式コンクリート造
り高さ11.3 m 堤頂長74.2 m 堤体積5,400 m³

取水口

沙流川取水口 幅 12 m 高さ 2.9 m 延長 20.48 m
双球別取水口 幅 15 m 高さ 6 m 延長 22.2 m

支水路 断面 内径 2.8 m (標準馬蹄型無圧隧道) 延長 3.6145 m 勾配 1/1200

主 水 路 断 面 内 径 3.04 m (標 準 馬 蹄 型 無 压 隧 道) 延 長 9,784.78 m 勾 配 1/1,000

水槽型式 半地下式普通水槽 幅 7.2 m 延長 64 m

余水路断面幅2m高さ1.7m 矩形蓋渠および幅2m高さ2m 上部半円下部矩形蓋渠
総斜長695.89m

水圧管路 構造 固定台4個 標準スパン18mリ
ングサポート式 鉄管径2m75~1m80 管厚
9~25mm 管長322.328m

発 電 所 型 式 地下式 幅 10.8 m 奥行 19.4 m 地面より最深部までの深さ 50 m

放水路断面内径 3.04 m (標準馬蹄型圧力隧道) 延長 1,988.21 m 勾配 1/1,000

3. 電 氣 設 備

水車 型式 立軸単輪単流渦巻型「フ ラ ン シ
ス」水車 容量 27,000 KW 1 台

發電機型式 立軸回轉界磁閉鎖風洞循環型三
相同期發電機 容量 28,000 KVA 1 台

主要变压器 型式 单相屋外油入自冷式容量 10.5/66 KV 9.400 KVA 3台

4. 工事期間

工 昭和33年10月(本工事着手34年5月)

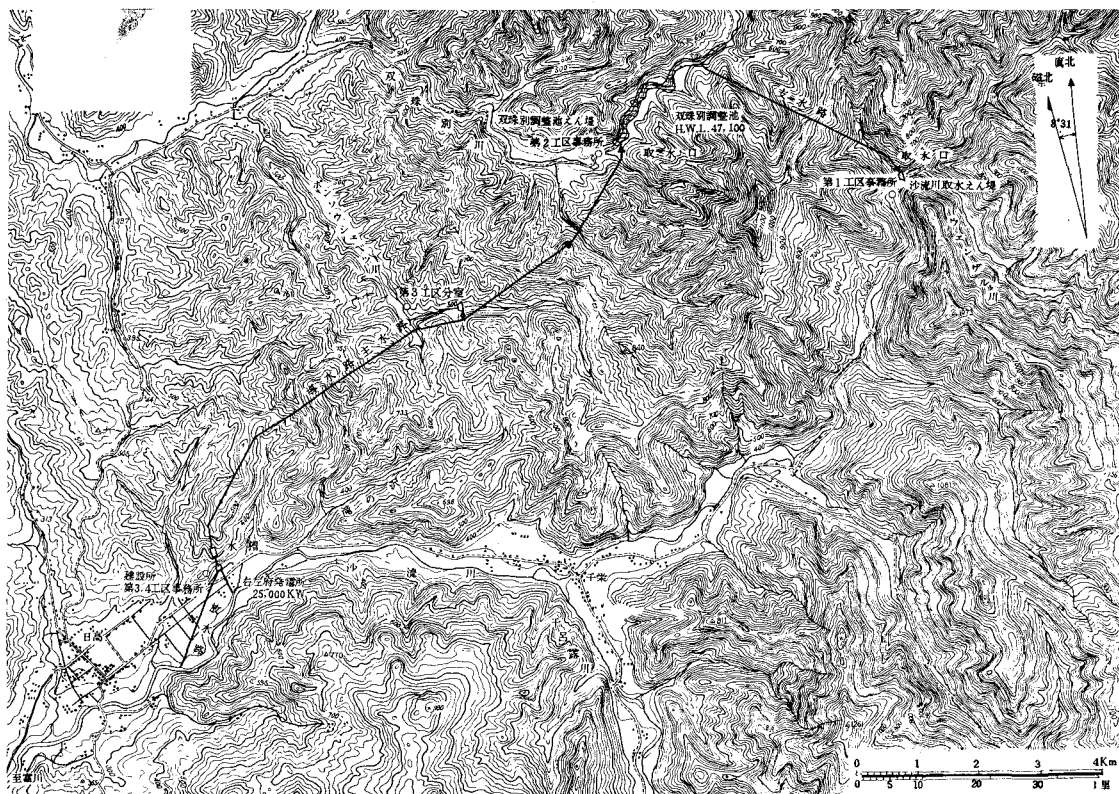
開 昭和 36 年 8 月予定

竣工 昭和 36 年 12 月予定

工事費 33億6千6百万円

工事施行業者 土木工事 1 工区荒井建設, 2 工区

飛島土木, 3 工区大林組, 4 工区熊谷組



図—2 水路一般平面図

下式発電所工事が挙げられるが、ここに発電所基礎工事の概要について報告する。

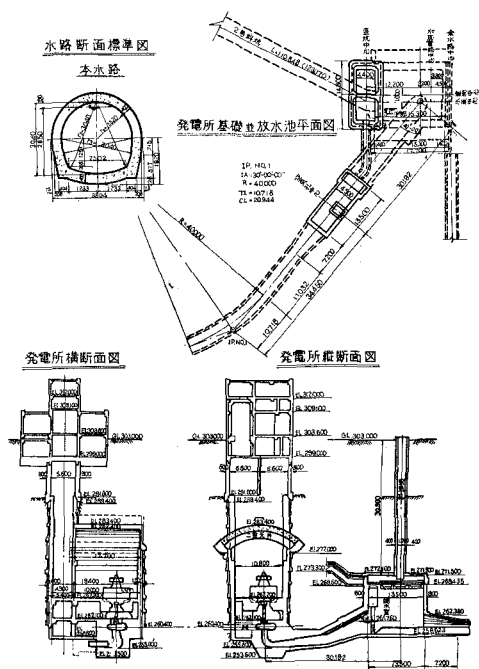
2. 地下式撰定の理由と地質の概要

この発電所が地下式として計画されるに至った経過は、下流地点の貯水池計画に関連し河川有効利用の面から放水位が決められ、また地形上水压管路の位置が限定されたため現案に落着いたものである。

計画設計に当つては、特に経済的な配慮から地表下の容積を極力縮少し、水車発電機とそれに付属する諸機械器具のみを地下に設置し、操作機構など可能な限り地上本館内に設ける構造とした。

発電所付近の地質は白堊層に属する砂岩と、頁岩の互層であるが、予定箇所付近をボーリング調査の結果つぎのことが判明した。

- (1) 地表下の玉石混り砂利層厚は約 13 m であること。
- (2) その下部は比較的硬質の砂岩であるが、部分的に頁岩が介在しており、その頁岩の一部は粘土化した好ましくないものであること。
- (3) 岩盤の走行は川側より山側に向い、ほぼ $N 30^{\circ} W$ 傾斜は $30 \sim 60^{\circ}$ の範囲で上流側に傾いていること。
- (4) 基礎施工上最も好ましくない前記の頁岩層について



図—3 右左府発電所基礎設計図

追究の結果、下流側が厚く上流側に向うに従つて減少し、現在位置では10~60 cm 程度であること。

以上の地質状況と、鉄管路などの関連工作物をも総合して比較検討を行ない、安全と経済性から最も適当と思われる現位置および配置が決定された。

また基礎の設計のために天井アーチ基部付近および発電機受桁下部基礎岩の静弾性係数を測定した結果、砂岩頁岩互層であるため比較的小さく25,000~35,000 kg/cm² 程度であつた。

3. 基礎の設計

3-1 天井アーチの設計

天井アーチは地表下20 mの位置に設けられるため、岩盤の覆りはわずかに7 mに過ぎず、施行中発破などによるゆるみの不安から岩盤自体のアーチ作用はないものと考え、安全側に全上載土砂重量が等分布するものとして、弾性荷重法により各点の応力を求めた。

設計条件は次のとおりである。

(1) 垂直荷重

拱自重 厚 (平均)	1.3 m	比重 2.4
土 砂 厚	12.6 m	比重 1.75
岩 盤 厚	7.0 m	比重 2.7

垂直荷重 $p \approx 45 \text{ t/m}^2$

(2) 温度変化

コンクリート施工時間が冬期の12月~2月となり、かつ地下構造物で片面は地山に接するところから、外気温の影響ならびに乾燥収縮量は小さいものと仮定しつぎの値を採用した。

温度変化	-5°~+10°C
乾燥収縮	-5°C

(3) 横 荷 重

横荷重としては構造物に作用する地震の影響、および岩盤ゆるみの水平荷重を考慮しつぎの値を採用した。

自重による水平地震力	0.5 t/m (震度 0.15)
岩盤の横方向力	2.5 t/m

上記荷重条件に伴うアーチ部各点の応力は表-2のとおりで、許容応力度としてはコンクリート $\sigma_{ca}=60 \text{ kg/cm}^2$ 、鉄筋 $\sigma_{sa}=1,400 \text{ kg/cm}^2$ とし温度変化を考慮する時15%増し、温度変化と地震力を同時に考慮する場合は50%増しとして設計した。

また施工時に各点の応力を実測し、上載荷重の作用程度および下部発電所本体掘削によるアーチ基礎変移に伴う各点の応力変化を、常時観測し工事の安全を計つた。

上記の目的に使用した計器はつぎのとおりである。

表-2 天 井 アーチ 各 点 応 力 総 括 表

格 点		No. 0	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8
垂直荷重 $p=45 \text{ t/m}^2$	$M(\text{t-m})$	- 40.77	- 38.07	- 31.86	- 20.52	- 5.36	14.90	39.20	68.18	100.89
	$N(\text{t})$	395.42	397.76	405.50	417.60	433.98	454.64	478.44	505.13	550.17
	$S(\text{t})$	0	- 7.79	- 9.99	- 12.38	- 12.65	- 11.70	- 9.86	- 8.10	- 9.00
温度変化 +10°C	$M(\text{t-m})$	- 24.61	- 23.26	- 19.24	- 12.52	- 3.14	8.95	23.71	41.16	61.28
	$N(\text{t})$	21.47	21.30	20.83	20.10	19.20	18.21	17.18	16.17	15.18
	$S(\text{t})$	0	- 2.66	- 5.22	- 7.54	- 9.60	- 11.38	- 12.88	- 14.13	- 15.18
同 上 -10°C	$M(\text{t-m})$	24.61	23.26	19.24	12.52	3.14	- 8.95	- 23.71	- 41.16	- 61.28
	$N(\text{t})$	- 21.47	- 21.30	- 20.83	- 20.10	- 19.20	- 18.21	- 17.18	- 16.17	- 15.18
	$S(\text{t})$	0	2.66	5.22	7.54	9.60	11.38	12.88	14.13	15.18
横 荷 重 +3 t/m	$M(\text{t-m})$	- 1.05	1.25	3.75	5.69	6.32	4.88	0.65	- 7.16	- 19.26
	$N(\text{t})$	6.03	5.74	2.47	- 0.65	3.52	- 6.09	- 8.34	- 10.28	- 11.95
	$S(\text{t})$	1.93	- 1.17	0.32	2.42	4.99	7.92	11.07	14.36	17.74
同 上 -3 t/m	$M(\text{t-m})$	- 1.05	- 2.60	- 3.41	- 3.45	2.74	1.28	0.99	3.90	7.62
	$N(\text{t})$	6.03	6.22	6.32	6.32	6.25	6.14	5.98	5.81	5.63
	$S(\text{t})$	1.93	1.17	0.41	0.31	- 0.97	- 1.56	2.07	2.51	- 2.90

註 (1) 上表中 No. 0 は起拱点、No. 8 はアーチクラウン No. 1~No. 7 は等分点を示す。

(2) M はモーメント N は軸力 S はせん断力を示す。

(3) アーチスパンは16 m アーチライズは4 mの拋物線である。

カールソン型 CR-60 F 8 個 (起拱点における偏心による反力分布測定のため上縁下縁に 2 個宛 2 箇所配置)

カールソン型 RF-25 C 20 個 (起拱点、アーチクラウンおよびその中間左右対称に上縁下縁に 2 箇所配置)

なお記録については現在測定継続中のため、取纏めの上後日報告いたしたい。

3.2 側壁の設計

側壁部は地質の関係上全面にわたり、捨捨コンクリートを施工することとし、その施工中の状態よりみて側圧は少なくとも常時はこのままで充分安全であるとの見通しを得たので、地震力により設計することとした。なお外水圧については別項記載の排水設計の関係上考慮外とした。

側壁コンクリートに作用する地震力

コンクリート厚 1.5m×比重 2.4× 震度 0.15

掘削時岩盤ゆるみ部に作用する地震力

岩盤厚 2.5m×比重 2.7×震度 0.15

1 m² 当り設計荷重 1.6 t/m²

側壁の設計に際しては、発電機室床版、水車室床版および集油槽室床版を利用し 2 方向版とした。

4. 工 事 施 工

4.1 概 要

地下部の掘削法について種々検討の結果、機械室部は大部分硬質の砂岩層であるところから、まず天井アーチを固めてから逐次捨捨工法により岩盤を押えながら掘下げることにした。この際掘削削の処理としては、発電所最深部に斜坑を設け、これに連なる立坑よりおとして捲揚げることとした。

発電所基礎関係の掘削量は約 10,000 m³ であるが、天井アーチ基礎 EL 276 m を境界として示すと 表-3 のとおりである。

掘削工事の施工順序として、天井アーチ捲立に先立ち、上下 2 方向より掘削に着手した。すなわち上方よりの立坑

表-3 発電所掘削量

個 所	数 量	摘 要
EL 289.40~276.00		
立 坑 部	1,220 m ³	この中作業用導坑掘削 560 m ³
ア ー チ 部	1,860 "	
小 計	3,080 "	
EL 276.00 以下		
アーチ基礎より ドラフト底部まで	7,120 m ³	この中作業用導坑掘削 390 m ³
計	10,200 m ³	

は、将来機器搬入およびエレベーター用に供するため地表下約 5 m オープン カットの後 13 m の深部まで井筒 (断面 7.6 m×15 m) 工法により掘削し、岩盤定着後は断面 4 m×5 m でアーチ底部 EL 276 m まで掘下がった。これと併行して基礎最深部に達する礫処理用斜坑 (勾配 2 割延長 123 m) の工事を進め、最深部到達後は立坑にて天井アーチ基部まで掘上り、地上よりの立坑と水平導坑で連絡させアーチ部の切上げとコンクリート捲立に移行した。

4.2 天井アーチ部の施工

地下発電所土木工事の中最も重要なのは天井アーチの施工である。特に当発電所のように天井アーチ天端が地表下 20 m 弱の所にあり、しかもこの中 13 m が土礫で岩盤厚はわずか 7 m に過ぎないため設計施工に慎重を期した。

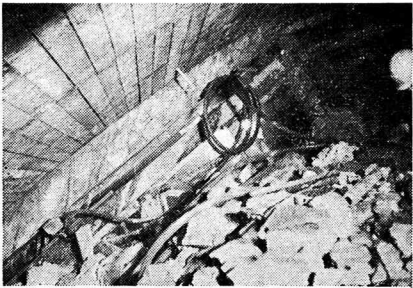


写真 1 発電所天井アーチ型枠取付状況

アーチ部は全幅 19 m 796 全長 15 m 300 で全体を一度に切上げることは危険を伴うため、図-4 のように帯状の 4 区間に分け切上げとコンクリートを交互に施工することとした。

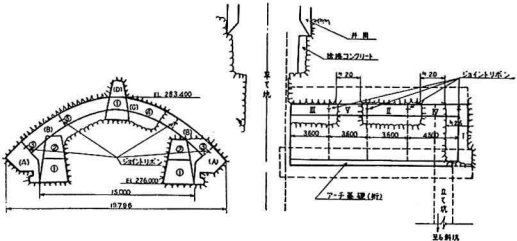


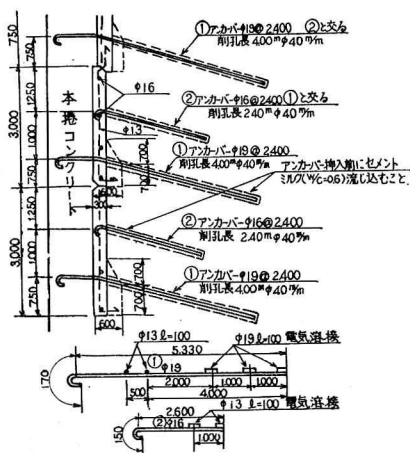
図-4 天井アーチ部施工図

アーチ基礎部の施工については、地質が大略堅硬な砂岩であるが、一部に頁岩の軟弱層をはさむため不等沈下の虞念もありアーチ下部掘削の安全を計る上から全長にわたる連続桁として設計施工した。

施工順序は 図-4 のとおりです ① の頂設底設導坑を掘削し、貫通後アーチ奥壁部を切上げ (I) のコンクリートを打設した。これにやや遅れて底設導坑より ② ③ の掘削を進め終了後 (A) の基礎コンクリートを全長にわたり打設した。アーチ部については、全区間を 4 区間にわけそれの中とびしながら中間の岩盤をそのまま残して切上げ、コンク

を極力さけるため最少限に止め木製のフォームを用いた。
なおアーチ部コンクリート完了後天端の空隙填充および
基礎部の岩盤改良を目的に低圧、高圧のグラウト工を行な
った。

基礎本体の水平断面は掘削幅で14×22.5 mであり、全面捨捨コンクリートを施工しながら掘下げる場合、側部岩盤の崩落あるいは押し出しによる不安などを考慮し、最悪の場合は中央の地山を残して壁廻りの掘削可能なよう対策をこうしながら掘下げることにした。



アンカバーの採用に際しては引抜試験を行ない耐荷力を検討した。結果は表-4のとおりで、材令5日以上であれば鉄筋の杭張力まで充分期待できることが判つた。

表-4 アンカーバー引抜試験

碇着後の材齢	引張力 (t)
1 日 (24 時間)	0.8
2 日 (48 時間)	2.2
4 日 (100 時間)	7.0 以上

[illegible]

5. 漏水防止工法

— 40 —

ートの間で排水することとし、内壁を設けぬ経済的設計とした。排水計画を示すつぎのとおりである。

(1) 地表より13 m間の砂利層部は地上本館周囲に地上排水溝を圍繞し、下部への浸透水の減少を計るとともに、建物基礎部すなわち井筒天端の建物周辺に盲暗渠を設け、放水路調水室上部空気孔に排水する。更にその下部の浸透水処理のため、井筒峯尖端部にあらかじめ埋設したパイプより内部に流入させ、パイプで集水し監査廊を通して放水池へ排水する。

(2) 天井アーチ部の漏水は現在のところ施工継手より若干見受けられる程度であるが、U型鉄板排水溝を張りつけ側壁排水溝に連絡させた。天井アーチ部のみは将来の換気装置の格納をかね、2重天井にするよう設計中である。

(3) 側壁部は前記のように捨捨と本捲コンクリートとの間に図-6に示す標準間隔3 mの縦横基盤目状に三角形の排水溝を設けた。捨捨コンクリートはEL 261 mの水車室までは、全周にわたって打設したが、それ以下は放水池側鉄管隧道側、2号斜坑側の三方のみ打設したのでEL 261 m全周に5"φビニールパイプを繞らし、側壁排水溝よりの水をこれに集め排水ピットに導水した。

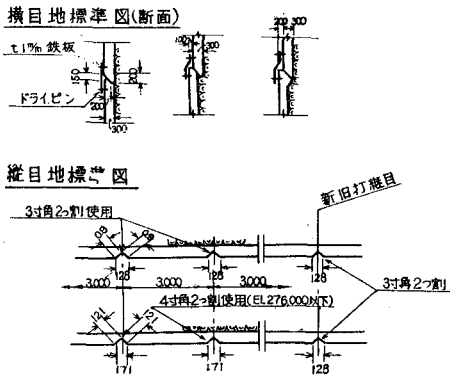


図-6 排水溝詳細図

(4) 集油槽室のEL 258 mは放水池のNWL 261 m 76より約3 m 80低いので、漏水は避け得ないと考えられるが、極力これを防止するため2号斜坑底部の水を排水ピットへ抜き、この周辺の水位を低下させるとともに、放水池からの漏水を側壁外部の岩盤の亀裂を通して、2号斜坑側へ導き排水ピットに流入させ得るようパイプで連絡した。

なお本春融雪期降雨の際に測定した各部の漏水量はつぎのとおりである。

- | | |
|-----------------|-------------|
| (1) 井筒下部 | 68 ℓ/min |
| (2) 調水室空気孔部 | } 237 ℓ/min |
| (3) 2号斜坑部 | |
| (4) 鉄管隧道部外…………… | |
- …(地表よりの流入量を含む)

発電所完成後は上記(1)(2)は直接放水路調水室へ流入し、(4)の地表流入分は別途排水するので、排水ピット処理分は(3)と(4)の一部および側壁よりの集水量と放水池逆浸透水の合計で、およそ150 ℓ/min以下と推定される。

6. 換気計画

地下式発電所機械室内の環境を地上式発電所と同程度に保ち、機器の保守運転に際し支障を与えぬよう検討中であるが、所内は気積の大きい割に空気汚染の原因が少ないこと、また機器運転時の発熱による温度上昇が計算結果機器の保証温度以下であることなどを考慮し、運転に入り必要な場合設備可能なようあらかじめ配置計画を考慮しておくが、当面は設置を見送ることとした。

換気方法としては、新鮮空気の入入口を鉄管路隧道よりとし、隧道入口に送風器を設けて集油槽室に導き換気孔を通して水車室発電機室と循環させ、汚染空気は天井アーチ下部2重天井との間に設けられる排風器により機器搬入立坑を通して屋外に排気するよう計画している。またこの際所内全域にわたって空気が停滞することのないよう攪拌用小型ファン取付を予定している。なお換気計画に際しては、冷凍とか湿度調整などを考慮せず、取入外気のまま使用を予定しているので、高湿度時の外気のため結露し絶縁劣化を誘引する懸念がある。

発電機運転時の温度上昇について検討した結果を示すつぎのとおりである。

仮定条件

(1) 発生熱量

- 発電機……………風洞加熱最高温度 40°C
モーター類……………8,900 kcal/hr
照 明……………2,160 kcal/hr

(2) 熱交換伝熱係数

- コンクリート壁面および岩盤部 0.9 kcal/m²/hr
水圧鉄管面 5.6 kcal/m²/hr
鉄管内部水温 25°C
40 m 下部地中温度 (計算による) 9°C

(3) 換気対称量

2,400 m³

(4) 換気回数と室温の関係

取入外気温度 30°C、相対湿度 80% 時の鉄管隧道末端および発電機室の温度と換気回数の結果は表-6のとおりで

表-6 換気回数と温度

換気回数 (回/時)	0	1	3	5
個 所				
鉄管隧道末端部 (°C)	14.1	20.1	24.4	26.1
発電機室温度 (°C)	37.4	33.4	31.1	30.6
〃 相対湿度 (%)	26.0	47.0	68.0	77.0

ある。

表-6によると換気回数を5回/時以上としても鉄管隧道内における冷却効果が減少するため、室温低下の効果とぼしく将来設備の規模としては一応12,000 m³/hrと考えている。しかし結露の点から考えると逆に換気回数を減少した方が効果的であり、設置については実情調査後決定の予定である。

7. 結 言

以上発電所基礎工事の概要を述べたが、すでに土木工事は大半を終了し、目下ドラフトチューブを据付中であり、明年1月中旬より水車の据付に着手以後引き続き発電機その

他諸機械器具の据付を行ない明36年8月に運転開始を予定している。

この発電所は計画概要に述べたとおり流域変更を繰返すため必然的に水路が長く(隧道総延長約15.3 km 最長隧道3.6 km) 加えて当社としては戦後初めての全地下式発電所であるため工程、工事費ともに今後のテストケースとして注目されているものである。幸い経済的設計施工に主眼をおく当社の方針に施工業者がよく協調してくれたこと、また地質にも比較的恵れたため、着工後の経過は極めて順調で11月15日現在土木工事は83.4%に達し、当初の予定工期を3ヵ月以上短縮した上記通水日を目指して鋭意工事中である。
(35.11.26 記)