

下せしめる場合、洗設中周囲の土との摩擦によつて防水層が破損せられる虞れがあつたから、「シーカー」「アクアジット」「ルリオン」「アスニュー」各防水劑混入のセメントモルタルを塗布したが、この防水工法も非常な好結果にして瀝青布防水工法よりも漏水が殆どない。

(3) 継手接続工法も施工概要に於て述べた通りである。

(3) 小野式隧道工法

小野諒兄博士の考案せられたものにして、延長 50m の區間に施工した。位置は第1號線の省線關西線の南側にして昭和 11 年 2 月着手、同年 7 月完成した(土木學會誌第 24 卷第 4 號参照)。

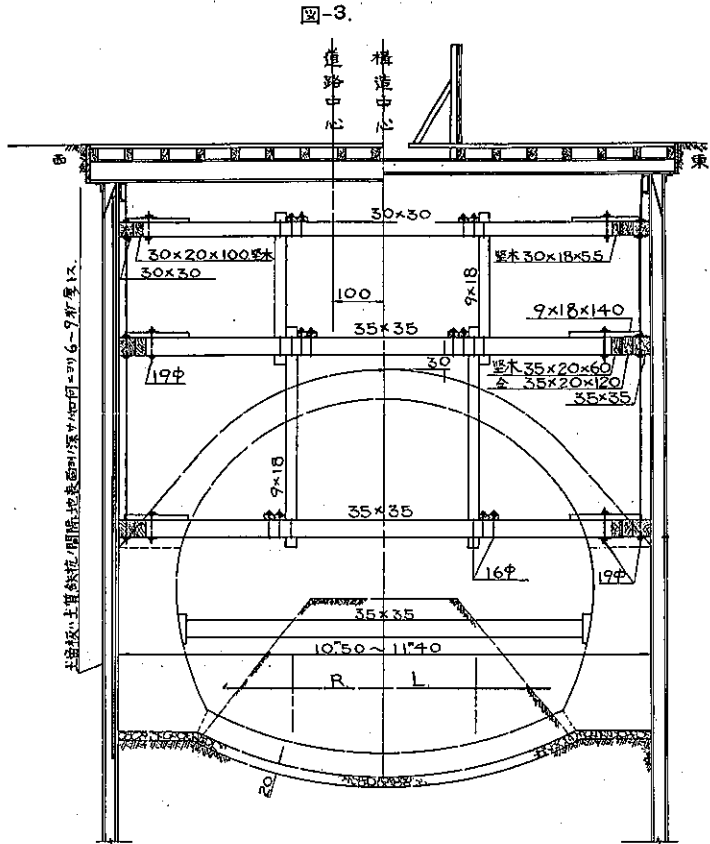
(4) 無鉄筋拱型隧道

(A) 逆巻工法

第1號線天王寺高臺(阿部野橋附近)は地質良好なるため延長約 80m 間を施工した(土木學會誌第 24 卷第 2 號参照)。

(B) 路面開鑿法

第 3 號線に現在施工中のものである。施工順序は從來行はれた函型隧道の鉄杭土留開鑿工法と同一である(圖-3 参照)。



## 黒部川第3号発電所工事中阿曾原温泉地帯 高熱隧道工事に就て

(昭和 13 年 10 月 23 土木學會關西大會講演會に於て)

會員 藤井雄之助\*

**要旨** 日本電力株式会社黒部川第3号発電所工事中、阿曾原谷附近の温泉地帯に於て岩盤温度に 110~125°C に及ぶ区域あり、水路隧道及専用鉄道隧道工事は非常なる困難に逢着した。導坑天端切擴げによる自然換氣、ファンによる換氣、注水による冷却の外、アムモニア式冷却機による冷風吹込み等により坑内氣温の低下を図つて工事を進めて居る。此の難工事の概況を述べる(工事進捗状況等は講演後のものをも追加した)。

\* 工学士 日本電力株式会社土木部設計課長

### 1. 黒部川第3號發電所工事計畫概要 (圖-1, 2 参照)

日本電力株式会社が黒部川筋に於て有する4箇所, 842000 kW の既許可水力地點の中, 下流より柳河原 54 000 kW, 第2號 72 000 kW の兩發電所は既設で, 第3號發電所 90 000 kW は目下工事中である。

圖-1. 黒部川發電計畫概要圖

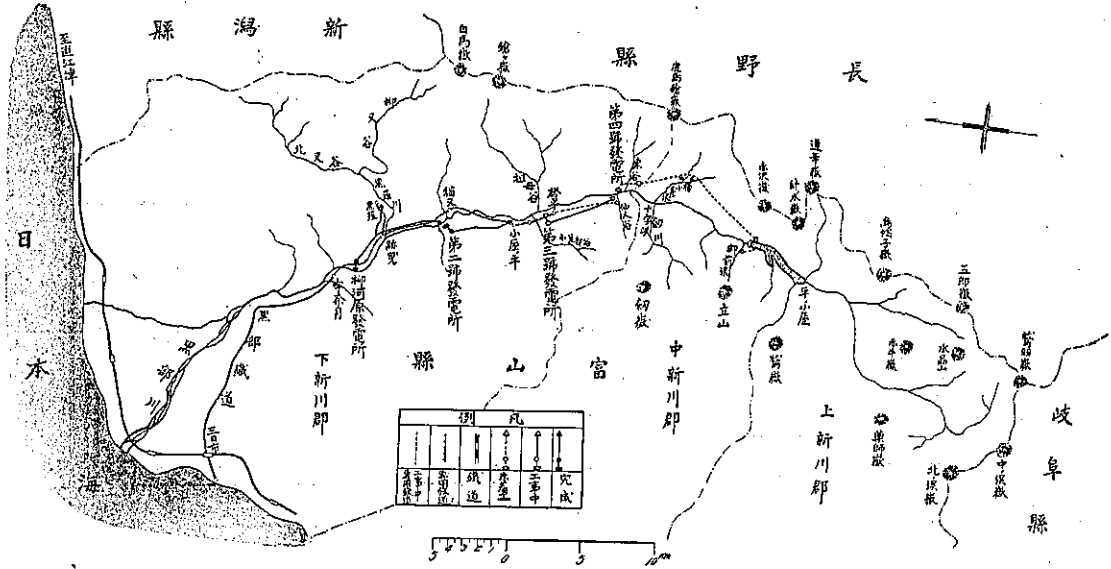
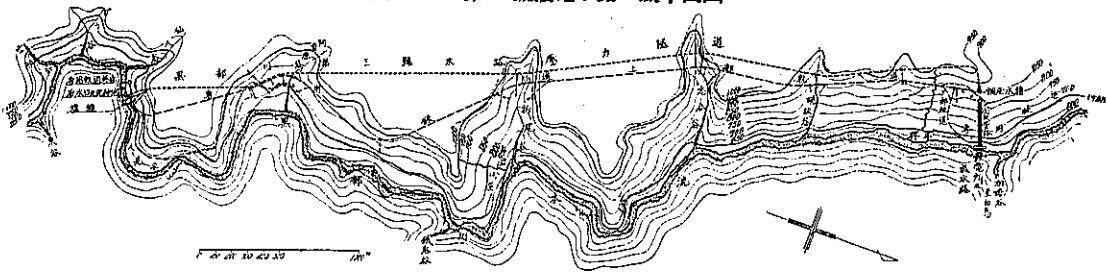


圖-2. 第3號發電水路一般平面圖



此の工事は富山縣新川郡内山村黒部奥山國有林仙人谷落合附近 (流域面積 284 km<sup>2</sup>) より最大 37.8 m<sup>3</sup>/sec, 常時 8.85 m<sup>3</sup>/sec を取水し, 内径 3.7 m, 亘長約 5.6 km の圧力隧道により, 同じく黒部奥山國有林樺平に導水し, 有效落差 276 m (最大使用水量に對し)~292 m (常時使用水量に對し) を以て最大 90 000 kW, 常時 20 200 kW の發電をなさんとするものであるが, 此の發電工事に外に運搬用専用鐵道工事があり, 之は既設線 (自宇奈月至樺平 21 km) の終點樺平より仙人谷に至る 6 km 餘の間全部隧道より成るもので, 樺平山腹に掘鑿した高さ 200 m の豎坑内に 8 ton 積貨物用昇降機と人員用昇降機各 1 臺を備へ, 上下兩部の軌道を連絡する點が特異のものである。

之等の工事は昭和 11 年秋着手したもので, 現在の處發電工事は明り工事の切取約 7 割強, 圧力隧道工事の掘鑿約 3 割強の出來高を示し, 高さ基礎岩盤上満水面迄 41m の堰堤工事も河中掘鑿を略して居り, 又専用鐵道も後述する阿曾原溫泉地帯の隧道を除き全部貫通して目下豎坑内の昇降機掘付中で, 昭和 14 年融雪期早々には阿

會原迄連絡運轉開始の運びとなつて居る。

### 2. 工事區域の地質と温泉

(圖-3 参照)

圖-3 (京都帝國大學理學部助教授理學博士本間不二男氏に委囑作製せる地質圖) に示す如く本工程區域の岩質は全部花崗岩類で、仙人谷附近より下流中の谷附近迄水路區域の上流部 1/3 位は第 3 紀初期と推定せらるゝ粗粒質又は細粒質の花崗岩であり、以下は中世代と推定せらるゝ閃綠岩、石英閃綠岩及花崗岩である。

此の第 3 紀層の花崗岩に伴つて温泉が現はれて居るのであつて、仙人谷より約 1km 上流の東谷附近より阿曾原谷の稍、下流迄の間、本流河岸、溪谷筋等に至る處に湯煙あげて温泉が湧出して居る。此の區域の地表に於ても處々に花崗岩が褐色に変じて居り、又温泉餘土も見受けられ、温泉作用又は上昇瓦斯の作用を明白に語つて居る。此の地帯の隧道工事に於て鑿孔内 1.5m の深さに溫度計を挿入して孔を塞ぎ約 30 分を經過すると、110~125°C 迄溫度上昇を見るので、内部岩盤溫度は 120°C 以上と推定せられるが、勿論多少なりとも地下水の存在する處では之が 97~98°C、殆ど沸騰點近い高温の温泉となつて現はれて居る。

隧道内湧出温泉の高温なものは P. H. 7~12 程度のアルカリ性で弱い硫化水素臭を有して居り、之を空中に放置すると冷却するに従つて中性から極微弱な酸性に變ずる。之は多分溶解して居る H<sub>2</sub>S が酸化して SO<sub>2</sub> を生ずる爲であらう。湧出する温泉がアルカリ性なるため、隧道内の岩盤は少しも作用を受けた跡なく、至つて新鮮な表面を呈して居る。

### 3. 阿曾原温泉地帯隧道工事

(圖-4 参照)

此の温泉地帯に於て施行済若しくは施行中の隧道工事は下に列記した通りである。

圖-3. 阿曾原温泉地帯地質圖





## a) 仙人谷附近

1. 堰堤工事用假排水路隧道(完了 昭和13年8月上旬通水)
2. 洗砂地(本坑の導坑2本, 排砂路隧道2本及通路, 何れも貫通し目下切掘り中)
3. 水路仙人谷横坑(水路第1号隧道上口, 昭和14年1月下旬に於て進行155m, 残5mにして2月上旬本坑に達する見込)
4. 専用鉄道第13号隧道上口2本(昭和14年1月下旬に於ける進行は256m, 残302mにて下口と貫通)
5. 冬季歩道隧道2本(専用鉄道第13号隧道と取水口見張所とを連絡するもの及専用鉄道人見平支線の明り部分の歩道)

## b) 阿曾原附近

1. 水路第1号横坑(水路第1号隧道下口及第2号隧道上口, 既に本坑に達し昭和14年1月下旬に於ける進行は第1号隧道下口42m, 第2号隧道上口42.5m)
2. 阿曾原増設第2号横坑(水路第1号隧道の途中に増設したもので既に本坑に達し昭和14年1月下旬に於ける進行は上流に向つて7m)
3. 専用鉄道阿曾原甲種横坑(専用鉄道第13号隧道下口及第12号隧道上口, 既に本坑に達し昭和14年1月下旬に於ける進行は第13号隧道下口147m, 残302mにて上口と貫通, 第12号上口貫通済)
4. 阿曾原軌道増設横坑(専用鉄道第12号隧道の途中に増設したもので, 第12号隧道は貫通済)
5. 専用鉄道阿曾原乙種横坑(専用鉄道第11号隧道下口及第10号隧道上口, 第11号, 第10号隧道とも竣功し線路も引延し済)

此の内最後の専用鉄道阿曾原乙種横坑及第10号隧道は温泉地帯の端に近い故か, 導坑掘進中坑内気温 $30^{\circ}\text{C}$ 以下でさしたる困難もなく工事完了したが, その他は何れも高熱の岩盤内の隧道工事で, 噴出する温泉蒸気の家, 岩盤温度の高低等により多少温度の相違こそあれ, 困難を極めた工事である。

代表的な隧道工事2-3につき概況を述べることにする。

#### 4. 堰堤工事用假排水隧道工事

堰堤地点右岸に内法高さ6m, 幅5m, 互長約290mの隧道を穿つたもので, 上口は深さ18mの堅坑より, 下口は直接河岸より導坑掘進した。昭和11年9月末手掘を以て着工し, 11月始下山迄に下口10m, 堅坑3mを掘進した。翌12年5月上旬入山, 再着工したが, 下口掘進に従ひ坑内気温次第に上昇し, 45m附近では岩盤表面温度 $63^{\circ}\text{C}$ , 坑内気温 $38^{\circ}\text{C}$ に達し, 滴々落つる温泉温度は $86^{\circ}\text{C}$ を示した。岩盤内部は恐らく $100^{\circ}\text{C}$ 以上であつたと想像せられる。更に50m附近では坑内気温 $45^{\circ}\text{C}$ に達し坑外気温に比して $30^{\circ}\text{C}$ の差を示し(図-5(a),(b)参照), 作業頗る困難となつたので, 導坑高さを1.8mから3.3mに切掘りを行つた處, 自然換気により $35\sim 36^{\circ}\text{C}$ に低下し得, 更に2吋鉄管により冷却水を注入し $33^{\circ}\text{C}$ 内外迄に低下し得た。作業も困難とは言へ入坑に耐へぬ程でもなく, 又コンプレッサーの搬入, 据付を終り機械掘りとなつてからは1日1.6~7mの掘進を示した。此の高熱の状態を考慮して工事途中に於て下口より約150mの箇處に中間斜坑を増設したが, 斜坑よりの導坑は上記の方法により坑内気温 $38\sim 39^{\circ}\text{C}$ の下に於て, 又堅坑よりの導坑は特に貫通を急いで天端切掘りを行はなかつたため $45\sim 46^{\circ}\text{C}$ の下に於て掘進を強行し, 下口斜坑間は8月中旬, 斜坑堅坑間は8月末貫通した。

圖-5 (a). 仙人谷堰堤假排水路隧道内温度調査表 (下口) (昭和12年6月17日~7月15日)

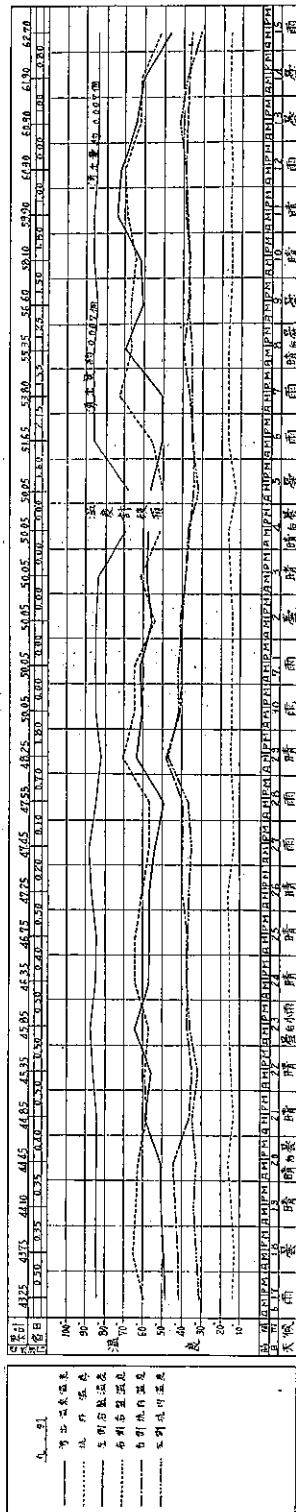
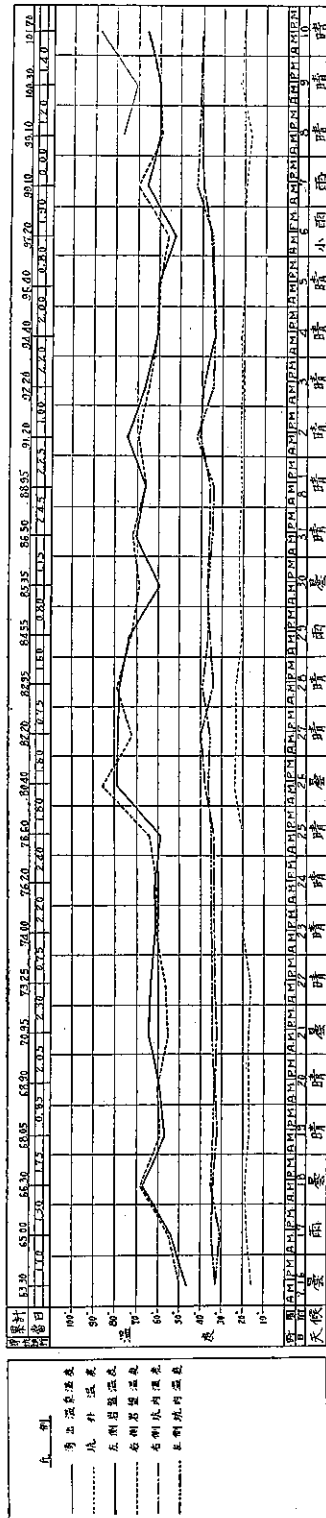


圖-5 (b). 仙人谷堰堤假排水路隧道内温度調査表 (下口) (昭和12年7月16日~8月10日)

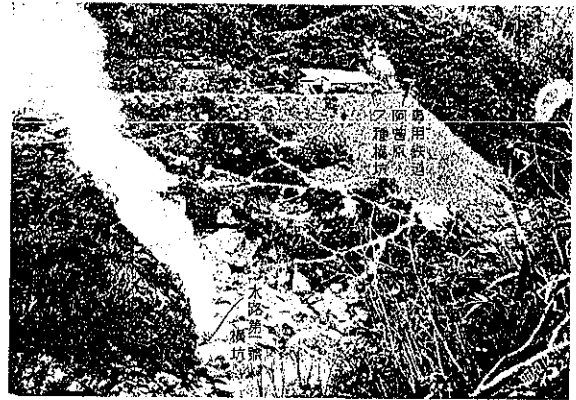


此の貫通により坑内気温は直ちに $15^{\circ}\text{C}$ 内外低下し尙漸次低下の傾向を示し、9月中旬には坑内気温は $25\sim 30^{\circ}\text{C}$ 、岩盤表面温度は $40^{\circ}\text{C}$ 内外に迄冷却した。

## 5. 水路第1號横坑工事

圧力隧道本坑迄約160mの横坑を掘鑿する豫定で、昭和12年5月着工した。此處は現に温泉を湧出して居る阿曾原の溪谷筋に近く、隧道も相當高熱ならむと最初から豫想されて居たが、果して導坑掘進に伴ひ岩盤龜裂より少量乍ら温泉の湧出を見、此の温泉の温度 $96\sim 97^{\circ}\text{C}$ で殆ど沸騰點に近く、坑内は蒸々たる水蒸氣に滿され、30~40m附近では坑内気温 $40^{\circ}\text{C}$ 内外に達し、高温と高湿とて作業頗る困難を極めた(図-6参照)。導坑天端を3.3m位迄切擴げを行ひ、溪谷の水を注入しても、坑内気温は $36\sim 39^{\circ}\text{C}$ 位で、而も手掘りなるため1日の掘進0.3m程度であつた。偶々支那事変勃發に伴ふ手不足も生じ工程に不安を感じて、此の程度の高熱は何處迄続くものか、或は横坑掘進につれて内部温度は上昇するか低下するか、或は岩層のvarietyで相當変化するかどうか調査することとし、横坑々口より123mの箇處に70m深さの試錐を行つた。此の結果横坑123mの箇所は、試錐用に水を注入するに拘らず $95\sim 96^{\circ}\text{C}$ を示す事から推察する

図-6. 阿曾原谷附近、左方手前の湯煙は水路第1號横坑  
右方稍、高處の坑は専用鉄道阿曾原乙種横坑



に矢張 $110^{\circ}\text{C}$ の岩盤温度を有してゐるに相違なく、即ち掘進して行つても内部の温度は殆ど變りなく、換氣その他の條件が悪くなることを考慮すれば作業は益々困難となる見込で、茲に何等か對策を講ずる必要あるを確認した。一方8月中旬60m掘進した頃は坑内気温 $44\sim 45^{\circ}\text{C}$ となり作業益々困難の度を高めた(図-7(a)~(e)参照)。此の折に6.5EPプロベラーファン1臺を使用して約 $10^{\circ}\text{C}$ の低下を計り得、坑内気温 $35\sim 36^{\circ}\text{C}$ となし得たが、何分送風管の吸口を切羽近く迄延長しなければ作業上に効果なく、又切羽近く迄延長すれば發破の度毎に取外し、取付けの手数を要するので、送風管吸口附近20m位を鉄線入りヅック製の小田原提灯式にして伸縮させたりして見た。此のファンによる換氣は導坑天端切擴げと相俟つて相當の効果あり、9月末からは更に6.5EPファン1臺を追加し、坑内気温 $32\sim 40^{\circ}\text{C}$ の下で作業を進めた。此の頃漸くコンプレッサーの搬入据付も完了し、10月末下山迄に86mの進行を見た。然し1日0.4m程度の掘進では水路第1號隧道930mの貫通に冬季4~5mの積雪中に冬籠りして続工するも3年、夏季6ヶ月の作業ならば6年を要することとなるので、工程進捗を図るために昭和13年度に入つて次の如き方法をとることとした。

### a) 水路々線変更及横坑増設

第1號横坑の豫定延長160mを79mに縮少し直ちに左右に本坑掘進することにし、又此の横坑より約260m上流に延長80mの横坑を増設し、水路々線も之に伴つて変更した。尙此の増設横坑より上流側は何かの場合に豎坑なり斜坑なりで専用鉄道第13號隧道と連絡する便を考慮し、暫くの間は之と併行して掘進する豫定である。

### b) アムモニア式冷却機による冷風吹込み

圖-7 (a). 第 1 號 (阿曾原谷) 水路構坑温度調査表 (昭和 12 年 6 月)

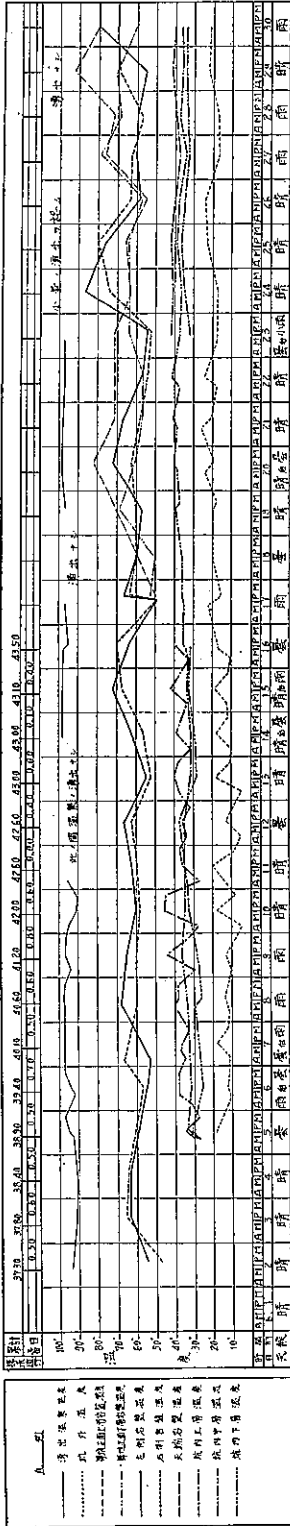


圖-7 (b). 第 1 號 (阿曾原谷) 水路構坑温度調査表 (昭和 12 年 7 月)

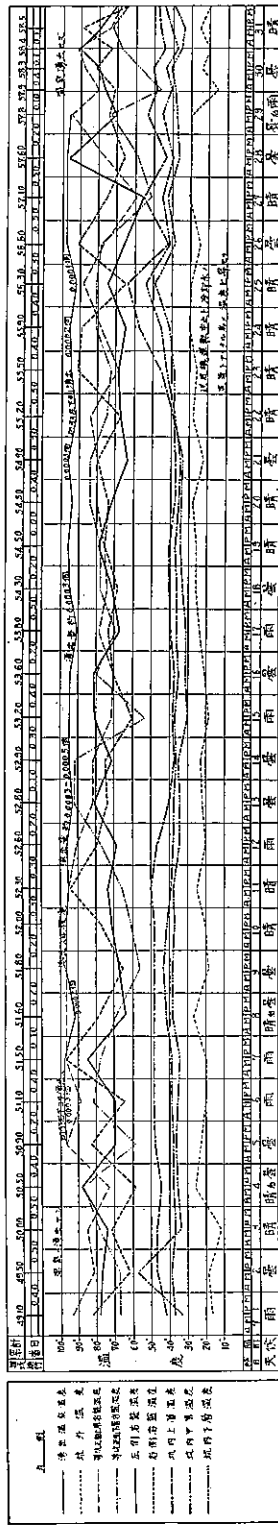


圖-7 (c). 第 1 號 (阿曾原谷) 水路構坑温度調査表 (昭和 12 年 8 月)

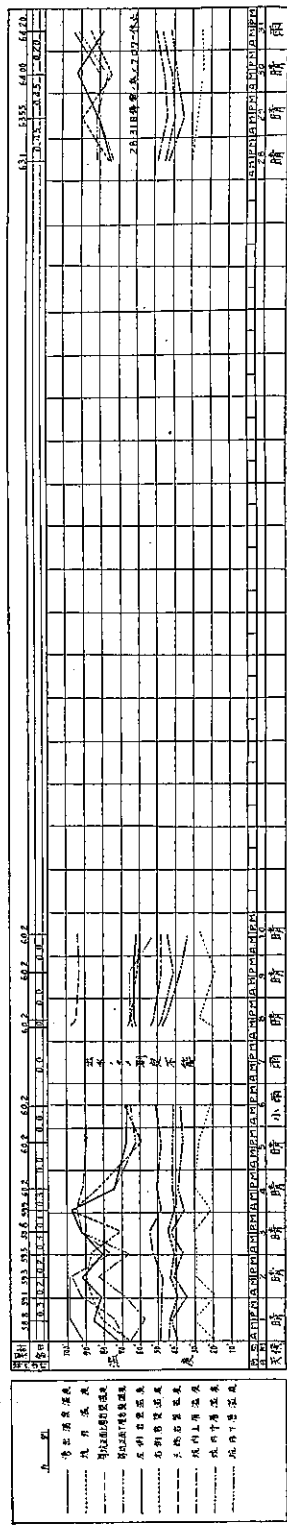






図-8. アムモニヤ式冷却装置構造図  
C-D切斷 R-D切斷

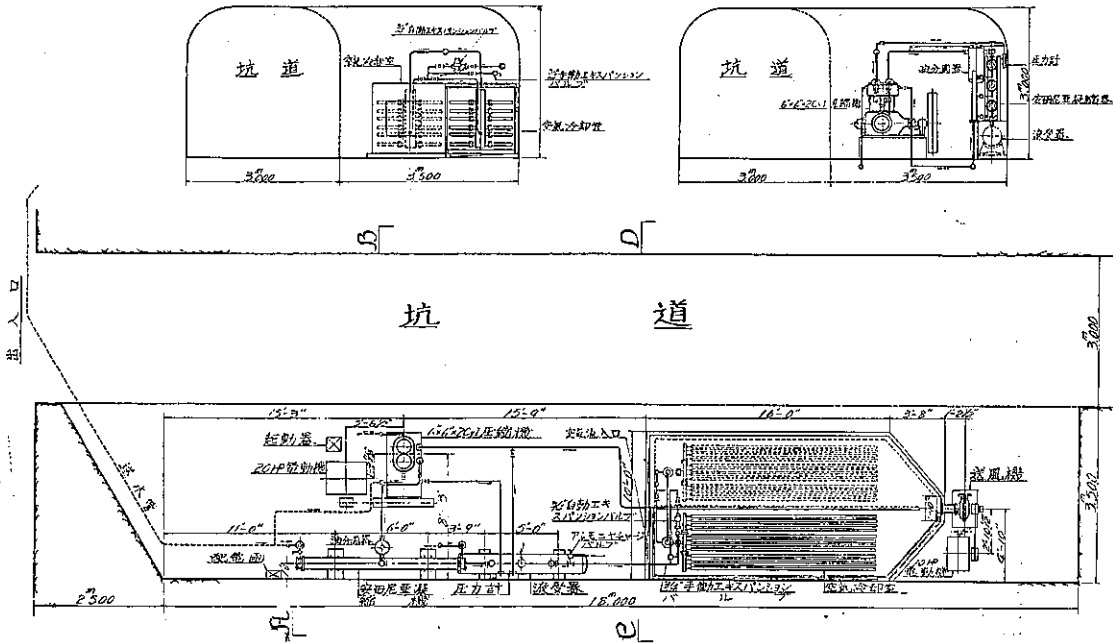


図-9. 水路第1號横坑内アムモニヤ式冷却機

図-10. 水路第1號横坑内状況冷風吹込木管及ファン送風管

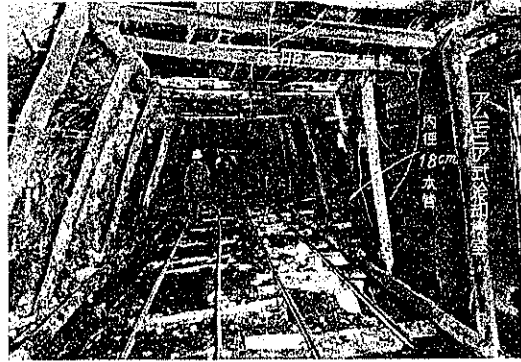
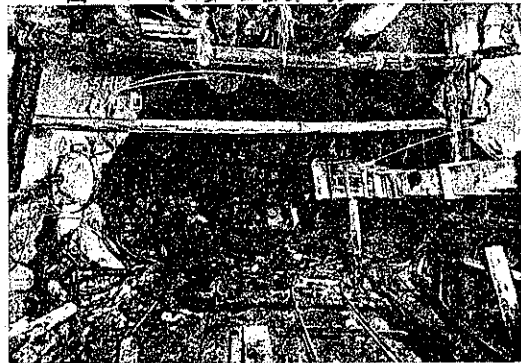


図-11. 水路第1號横坑切羽79m) 状況



冷却能力 15 ton のアムモニヤ式冷却機を第1號横坑内に据付け、内径 18 cm の木管で冷風を切羽に吹付けることとした。此の冷却機の仕様は 25°C の坑外空気を 3°C に冷却し、1 分間に 36 m<sup>3</sup> 送風する様になつて居り、アムモニヤ圧縮機は 20 HP、送風機は 10 HP である(図-8~11)。8 月中旬据付を終り運転した成績は表-1 の通りである。

坑内気温の低下と共に、100% 近かつた湿度も 80% 程度に低下し、著しき効果を認め得た。

表-1. 冷風吹込成績(其の1)

観測日時	8月10日 午後4時	8月13日 午前7時	8月16日 午前10時	8月17日 午後5時	8月18日 午後4時	備考
坑外気温	24.0	17.5	24.4	19.3	—	温度は總べて°C
冷却室流入気温	24.5	21.3	24.7	24.0	21.0	
送風機前気温	—	—	9.5	9.0	6.5	
同直後気温	—	—	13.5	14.0	9.0	
吐出口(木管50m)気温	17.5	17.3	17.5	17.0	16.8	
切羽気温	24.0	24.0	26.0	25.0	—	

表-2. 冷風吹込成績(其の2)

観測日時	8月30日 午後4時	8月31日 午前10時	9月1日 午前10時30分	9月3日 午前10時30分	9月8日 午前10時	備考	
坑外気温	23.7	22.5	21.5	23.5	19.5	温度は總べて°C	
冷却室流入気温	23.4	22.0	22.5	23.0	20.5		
送風機前気温	10.5	7.0	9.0	9.0	9.5		
同直後気温	16.5	14.0	16.0	15.5	15.5		
木管分岐点気温	18.4	16.5	—	—	—		木管長さ 50m 分岐点より10m
上流側吐出口気温	—	—	18.0	18.0	17.5		
同切羽気温	30.0	31.5	30.0	29.0	33.5	切羽より1m前	
同切羽岩盤温度	97.0	96.5	96.5	97.5	105.0		
下流側吐出口気温	—	—	17.5	17.0	17.5	分岐点より8m 切羽より1m前	
同切羽気温	28.0	30.0	33.0	36.0	35.0		
同切羽岩盤温度	91.5	96.5	95.0	96.5	97.5		

現在本坑2箇所の導坑に分岐送風して居るが、上流側導坑10m、下流側12m掘進した折の成績は表-2の通りで、送風量を2分した爲坑内気温の低下を稍減じて居る。斯くして導坑天端切擴(高さ約4m)6.5IPファン(之は掘進80m毎に2臺宛増設の豫定である)による換氣と、冷風吸込み及冷水注入により35~36°Cの気温の下に作業を続け、1日平均1mの進行を見て居る。更に昭和12年末には24tonのアムモニア式冷却機を3臺購入し、同様の状態にある水路仙人谷横坑、専用鉄道阿曾原甲種横坑にも据付けを了した。

尙此の工事は最初加藤組請負であつたが、昭和13年度よりは直營とし、佐藤組に課程請負として居る。

又此の高熱隧道工事に使用のダイナマイトはチタ櫻甲であるが、専用鉄道第13號隧道に於て取扱者の過失か何か原因不明ではあるが、自然爆發に非ずやと疑へば疑へる事故が2,3回あり、目下火薬製造者、請負者とも協議し、或はニトログリセリンの含有量の比較的少なきものを使用しては如何と研究中であり、之と共にダイナマイトをボール紙筒に收めて、熱の遮断と火薬装填時間の短縮を図ることを試み、又アムモニア式冷却機の餘力を利用して径3cmの氷棒を製造し、鑿孔に挿入して岩盤の冷却後ダイナマイトを装填することゝしその設備を終つた。

又アルカリ性の高温の温泉に接觸するため將來巻立コンクリートに對する影響等は目下實驗中であるが、今迄の成績では支障ない様子で、此の事に就ては後日述べる機會があることと思ふ。