

講 演

土木學會誌 第十七卷第六號 昭和六年六月

赴戰江水電工事に就て

(昭和六年四月十四日日本會第五十七回講演會に於て)

會員 松 村 種 雪

On the Construction of the Fusenko Hydro-Electric
Works, Chosen

By Taneyuki Matsumura, Member.

内 容 梗 概

本文は朝鮮の北部咸鏡南道に於て海拔 4000 尺の高所にある鴨綠江の支流を堰止め一大貯水池を設け 3500 尺の落差を得て 190000 K. W. の水力發電をなす赴戰江水電工事の概要を述べたもので、其の落差の大にして使用水量の多き點並に水路隧道が一本にて約 17 哩に近き延長を有する點に於て世界に其の例を見ざる大工事である。本工事は大正 15 年夏着手し昭和 5 年 10 月全部完成し總工事費約 5000 萬圓である。

唯今から赴戰江の水力發電工事に就きまして其の計畫の極く概要と、工事中の幾分目新しいと思ひます點に就きまして極く搔摘んで御清聴を煩はしたいと思ひます。

御承知の通り朝鮮の地形は其の東南面即ち日本海に面して居ります方は、海岸から幾らか奥に入りました所には大體に於て 5000~6000 尺程度の高さの山脈が連つて居ります。さうして日本海の方へ急傾斜して居るのでございます。此の山脈の向側即ち西北方面は極く緩傾斜であつて、鴨綠江、大同江と云ふ川が流れて日本海と反對に黄海の方へ注いで居るのでございます。そして此の赴戰江も鴨綠江の一の支流でございまして、咸鏡南道の道廳のございます咸興を北に約 10 里ばかり入りました所に、先刻申しました海拔約 5000~6000 尺程度の高さの山脈から其の源を發して居るのであります。其の山脈が日本海方面と鴨綠江方面の分水嶺になつて居るのであります。此の赴戰江の流れて居ります地形は非常な緩傾斜をして居りまして、其の源から約 10 里餘り參りました所が地形が非常に狭まつて居りまして、堰堤を造るに極くいい場所になつて居るのであります。そして此の城川江と申します川が此の方面から源を發して咸興の側を流れて居るのであります。この間が即ち分水嶺になつて居りまして、是から是まで約 10 里ばかりでございますが、此の邊一帶に地形が廣がつりまして、茲に至つて此の山が兩方から狭まつて居るのでございます。それで此所に堰堤を造りますと、

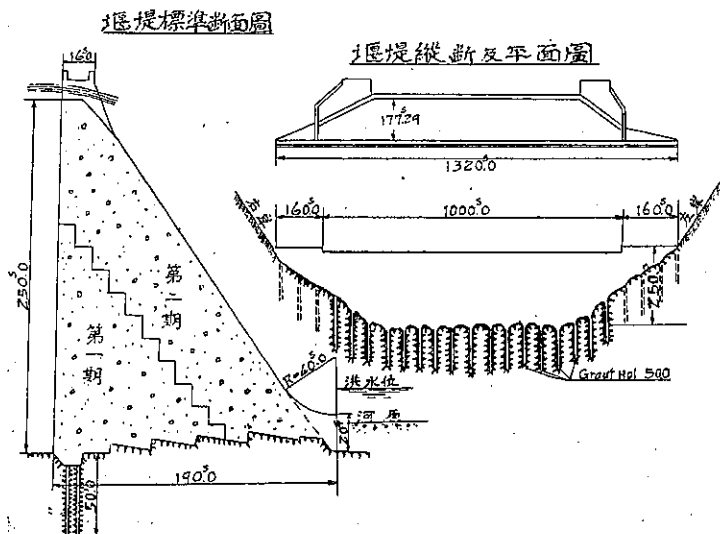
丁度いゝやうな貯水池が出来て相當な水源を造れるやうになつて居るのであります。こゝで dam を造つて、集水面積約 52 方里になつて居りますが、其の水全部を此所に貯水致しまして、茲に隧道を掘つて一方の急傾斜面に隧道の頭を出し、茲に鐵管路を設けて、其の下に第一發電所を造る。それから又すぐに隧道でやつて来て第二發電所へ參りましてそれから又更に全部隧道でもつて第三發電所となつて居るのであります。是が約 16 里ありまして、此の貯水池のこゝからこゝまで約 5 里程ございます。(附圖参照) 此の水を茲に持つて參りますと云ふと、丁度是は縦断面ですが(附圖参照)、第一段、第二段、第三段と落すことになつて居ります。第一段の落差が 2481 尺、それから第二段が 788 尺、第三段が 831 尺となつて居りまして、合計で 3500 尺になるのでございます。第一段の方が今申上げましたやうに 2481 尺ございまして、相當の高落差で餘り例が澤山ないやうに考へます。

それから水量は幾らかと申しますと、此の 52 方里の雨量を全部溜めましてそれを一箇年平均して 825 個取ることになつて居ります。さう致しますと、其の落差と 825 個の水量によりまして、第一の發電所の出力が約 129 600 K.W., 第二が 41 400 K.W., 第三が 1 800 K.W., 合計 189 000 K.W. 約 190 000 K.W. 出ることになつて居ります(附表第一参照)。

唯今から申上げますのは、第二、第三は平凡でございまして、主に第一に就て多少目新しい點と思ふことを御話し申上げたいと存じます。

最初は上の方から一寸申上げますが、此の堰堤でございまして、此の堰堤の section は斯う云ふやうな形になつて居ります。(第一圖参照)

第 一 圖



此の高さが 250 尺、茲に 10 尺の深さの cut off を造つてあります。それから長さでござ

いますが、この長さが 1320 尺になつて居ります。さうして此の下の幅が 190 尺ばかりになつて居ります。max. section でさう云ふやうになつて居ります。それで此の全體の volume は 84000 立坪になつて居るのでございます。

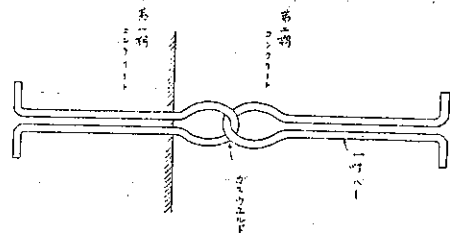
此の處は非常に不便な場所でございます、此の堰堤の crest が丁度海拔 4080 尺になつて居りますが、極寒の地でありまして、左様に海拔の高い所でございますから、冬季の極く寒い時には -45° 位になります。1 月、2 月頃は大概 $-30^{\circ}\sim-35^{\circ}$ になりますから、冬季は絶対に仕事が出来ませぬ。それで 5 月から 10 月一杯即ち約 6 箇月しか一箇年の間に仕事が出来ないのでございまして、11 月から 4 月の末頃までは全然此のコンクリート工事は休まなければなりません。

さう云ふ譯でありまして、一年の間に半年しか仕事が出来ませぬ所に、此の大きな volume のコンクリートをやりますには相當の月日が掛りますから、水路及び發電所方面は出来上つて仕舞つて發電すると云ふことになつても堰堤の方は遅れることになりまして、之れを 2 個の section に切つて施工致しました（第一圖参照）。

即ち斯う云ふ形に切りまして、此の頭が取入口より 20 尺ばかり高くなるやうに拵へたのでございます。それで之れを拵へて其の間に此の隧道其の他發電所全部を完成致しまして、發電して送電しながら後の此の方のコンクリート工事を施工することに致しましたのであります。斯う云ふ例は日本では一寸ありませぬが、外國にはあるやうでございます。

それからこの第一と第二とのコンクリートの喰附き目に付いては餘程注意を拂つて置く必要がございますので、どう云ふ風にしたらかと申しますと、此の一段の高さを 5 尺づゝに切りましたのであります、之れには 1 吋の鐵筋を斯う云ふやうな形に曲げまして、さうしてコンクリートに斯う云ふものを出して置まして

第 二 圖



て、第二の方をやります時に之れに今のものを引掛ける、それを上から見ますとこんな形をして居ります。それを双方から引掛けて第二のコンクリートを施したのでございます。（第二圖参照）そして此の鐵筋は 1 平方米に一本位の割合に入れたので御座います。併しこの兩方の

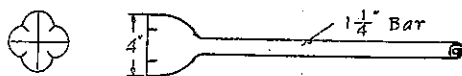
喰附きの所を餘程うまく喰附けて置ませぬと、そこが幾らかでも緩むといかぬと思ひましたから、兎に角鐵と鐵とが一所に喰附いて居るに勝つたことはないと思ふので色々考へました結果、結局こゝをガス・ウエルド致しました。其のガス・ウエルド致しました所が非常にうまく喰附いて殆んど完全に一本のやうになつて居たので、是は大變完全に出来たと考へて居ります。それと同時にコンクリートの面はすっかり鶴嘴で以て叩き壊はして良く水で洗つ

て、充分に綺麗にして後を喰附けましたから、大體完全に喰附いて居ると考へて居ります。

それからもう一つコンクリートでございますが、是は全部切込砂利を使つた。と申しますのは此の邊には良い砂の纏まつて居る場所を得難いのであります。一面に gravity dam でございますから、strength の方から申しますと、max. stress が一平方呎に約 21 噸位にしかならぬのであります。さうしてコンクリートの方は test machine で試験して居りますが、一平方呎に 150 噸位になつて居りますので、相當に安全率がござりますから、兎に角砂利と砂を飾ひ分けてさうして更に又是を混合して使用する必要はなからうと考へます。それから切込み砂利であれば、此の附近の谷に澤山適當のものがございまして、大體砂利の半分位の volume の砂が混つたのが得られるのでございますから、さう云ふ點からも此の切込み砂利を使つたのでございます。是で別段差支へなく非常に簡単に出來ましたから、宜かつたやうに考へて居ります。勿論砂利と砂との分量は絶えず計つて居ります。若し砂の少ない場合には多少の補充をして行くやうに致したのであります。それから此の邊の岩盤は大抵 gneiss でございます、全體がさうでございます。granite も多少は混つて居りますが、殆んど gneiss でございます、相當に目がございます。それを充分に目を詰めて置きませぬと、此の下から漏水するとか uplift force が増すとか云ふ譯で充分注意を要しますから此の cut off の中に grout hole を 50 尺の深さに掘りまして其の hole の間隔が 20 尺になつて居ります、そして其の後に下つて千鳥にもう一列掘りました。尙又此の max. section の附近にはもう一列掘つて 3 列に致したのであります。此の堰堤の幅全部に 50 尺の grout hole を 2 列乃至 3 列掘ると云ふことは非常に手数でありまして、最初はカリックス・ドリルを使つたのでございますが、此のカリックス・ドリルと申しますと、御承知の通り下の方に徑 4 吋計りのクラウンと申します揉むものが附いて居ります。そして上の方にモーターを備へてモーターで廻はす。さうして上から非常に固い鋼で特別に作つたショット・ボールを澤山に投込んで行きますと、其のショット・ボールが絶えずクラウンの周圍に廻つてそれで以て岩石を切つて行きます。それはボーリングの機械としては非常に簡単なものでありまして、其の機械を 4 臺使つて掘始めることに致しました。其の當時に一寸或る米國の雑誌に出て居りましたのですが米國で普通の隧道掘鑿等に使ひます鑿岩機即ちロック・ドリルでございますが、あれで以て 45 尺の所を縦に掘つたと云ふ例があると雑誌に出て居りました。それで之れを使つたならば非常に簡単で宜からうと云ふ考へから、早速米國のサリバンの會社のエゼントに相談して、50 尺ばかり掘る機械を買ひたいと思ふがどうかと言ふと、サリバンではよう引受けない、自分の方には經驗がないからと言ふので、それからインガーソルの會社に相談すると自分の方でやらうと言ふ、斯う云ふ譯で機械を買ふことに致しました。それは普通のロック・ドリルでドリフターと言つて居るものでございます。是は三脚の上に載つて居りましてそれを縦に

使つて掘るのでございますから、移動するにしても何にしても非常に簡単にいきます。それで以て 50 尺の穴が掘れると言ふのであれば斯んな簡単なことはないと言ふので始めることに致しましたが、それは機械は簡単でございますが、一番面倒なのは steel の鑿を造ることでございます。と申しますのは 50 尺の深さの所を掘りますには最初は径 4 吋位の鑿を拵へます。

第三圖



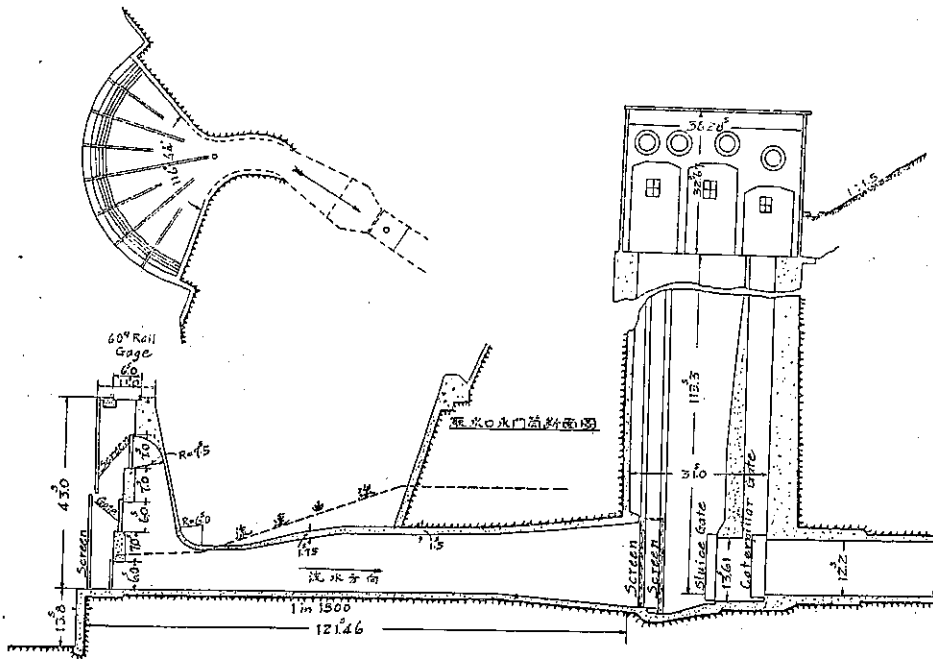
是は 1 1/4 吋の round bar を用ひまして此の先をシャープナーで以つて段々に焼いては叩潰して 4 吋のビットを造るので御座います、是をこつちから見ますと云ふと斯う云ふやうな形の鑿を造るのでございます（第三圖参照）。最初此の径を 4 吋に致しましてそれから 1/8 吋づゝ詰めて 50 尺行つた時には 1 1/4 吋位のものに造ります。さうして太いのから太いのから掘つて段々小さいのに取替へて行くやうにしないと云ふと最初から一つで掘ると非常に深くなれば其の鑿が動かなくなります。それで此先のビットを造るのが非常に面倒でございまして、最初インガーソルからそれに経験があると云ふのを一人よこしてくれましたので現場に連れて行つてやらしたが、先生仲々うまくいかぬので、何とか言つてとうとう歸つて仕舞つた。それで已むを得ず我々の方で鑿焼きに上手なものを選定して色々工夫をして結局二、三箇月の内にうまく出来るやうになりまして、カリックス・ドリルと両方合せて使つたのでございますが、此のロック・ドリルでボーリングをやると云ふと非常に簡単で、compressed air が必要でございますが機械の移動なども非常に便利でございますから、將來斯う云ふ機会に使つたら宜からうと考へて居ります。

Dam のことは此の位に致しまして、其の次は取入口でございますが、是は勿論外にも例はございますが、是は斯う云ふ扇型の形をして居りまして（第四圖参照）、是から隧道に入る之れにゲートが附いて居り、一段に 8 門づゝ 3 段になつて居りまして是から水を取入れることに致して居ります。是は何故斯んな形にしたかと言ふと、成るべく是から入る水の速度を一様にしたと云ふ所から拵へましたので、此の前面を眞直ぐにして置くと言ふと、眞中の所の附近が一番 resistance が少ないから水の速度が非常に早くなり、こゝでは resistance が多いから速度が遅くなる。さう云ふ關係から各ゲートから一様な velocity で入るやうにして置いたのであります。

それから茲に gate house を置きまして、此の中に caterpillar gate と sluice gate と二つ取設けてありまして一つは豫備として使ふ積りで拵へて置いたのであります、そして此の前面に screen も二つ置きまして、是も互に上げ下げするやうにして、掃除をする時には片方の補助の screen を下して置くと言ふやうにして置いたのであります、是は簡単なもので

第四圖

扇形取入口平面圖



ございます。

それから次は隧道でございますが、こゝが鐵管の始まりでございますして取入口から鐵管まで隧道の延長が 14 600 間計りあるのでございます。日本の里數で 7 里弱でございますから、随分長いものでございます。之れを或る定まつた年數の間に完成致します爲に之れを 20 の section に割つたのであります。さうして此の取入口の附近は隧道が山の側面に沿ふて居りますから横坑を掘りました。此の邊になりますと、大分深く高いものでございますから、それと隧道がこつちの下つて居りますから、此の地盤よりも隧道が深くなつて來ますから、incline shaft を造りました。此の邊で 120 尺でございますが、此の邊になりますと 140~150 尺になりますから、incline shaft では少し面倒になりまして、vertical shaft を拵へました（附圖参照）。

Vertical shaft は全部で 14 本であります。此の一番深い所が 540 尺、浅い所で 140 尺ばかりになつて居ります。さうして此の邊に參りますと言ふと、此の急傾斜致しました山の側面になりますからこちらから横坑を掘つたのでございます。結局隧道は 20 になり、横坑が 4 箇所斜坑が 3 箇所、縦坑が 14 箇所、斯う言ふことになつたのであります。此の深い所は此の區間を少し詰めて殆んど同時に是が竣工するやうにと言ふ豫定を取つたのでございます。併し 14

の縦坑と3箇所の斜坑は一齊に始めましたから非常に困りました。此の縦坑と云ふものは普通炭坑に掘る位のもので其の数が極少ないのでありますから之れに従事して居る監督員又は坑夫等と云ふものはさう澤山数がありませぬ。それを17箇所一齊に始めて、殊に朝鮮の山奥でさう云ふものを寄せ集めると云ふことに非常に困難致しまして、随分内地で以て手を盡くしたが中々容易に得られなかつたので、結局餘り馴れて居らぬものを使つて遮二無二施工した様なわけでそしてしまひには大分上手になりましたが、馴れた時分には縦坑が終つて済んだと云ふやうな事になりました。

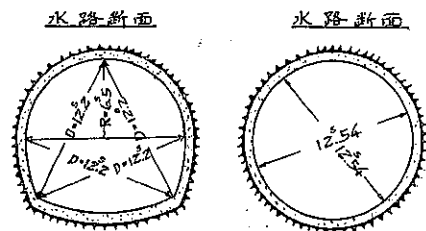
それから次に隧道として最も重要なことは、pressure tunnelの點でありまして此の取入口から上の水面は満水の時には丁度100尺ありまして、隧道が1/1500の勾配で下つて居りまして此の勾配の差が約60尺、そして萬一發電機が急に止まつた場合に surge tankの中で surge upする水位が20~30尺と考へまして結局合計180~190尺の pressure tunnelになるのでございます。

是も餘り例のないものでございまして、此の pressure の爲にコンクリートが割れて水が漏ると云ふやうなことがあつては困ると、其の點にも非常に注意を拂つたのであります。

其の隧道の大きさは普通馬蹄形でございまして縦も横も12.2尺でございまして(第五圖参照)、そして極小部分の比較的地質のよくない箇所は圓形に致しました、コンクリート・ライニングの厚さは0.7~1.5尺位に致しました。さうして天井がどうしてもコンクリートを一杯にすると云ふことは六ヶ敷いので、最初にこゝに pipe を埋めて置きまして、モルタル注入を全部施したのでございます。併しながら尙ほ若し此の傾斜面附近でコンクリートが割れて水が漏つて此の山の中腹に出るやうなことがあつては大變なことになる所から、此の附近に全部鐵筋を入れたのでございます。其の鐵筋の量を決めますのに如何にしたかと云ふと、計算上之れを出すると云ふことは中々困難でございまして爲に結局中に入れました鐵筋は steel の elastic limit まで stress を受ける即ち平方呎に約 35 000~40 000 封度の stress を受けると云ふことで決めたのであります。勿論外部には岩盤がございましてそれには相當 bearing power があると云ふことは間違ひがないから是でモルタル grouting と鐵筋と双方で大丈夫安全と云ふことに考へて施工致しました。

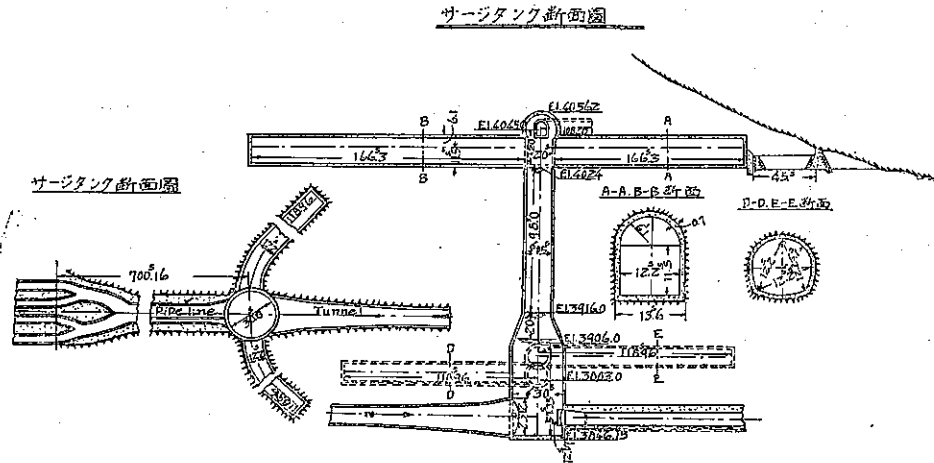
それから次には surge tank でございまして、surge tank は色々な形を考へたのでございまして、結局最も有効にする爲に斯う云ふ形に致しました、是は鐵筋でございまして。こゝの所の此の section は丁度隧道と同じ大きさの section になつて居りますが、こんな風に(第

第 五 圖



六圖) 2 本兩方に手を出して居ります, そしてこの上の方にも同様に同じ形で 2 本双方に手を出して居ります。是は何の爲かと申しますと, 此の邊まで水が入つて居ります時に急に發電機が止まつて surge up します時に, 其の水を成るべく捨て度くない, 又捨てると云ふと附近に害を及ぼすと云ふことにもなりますからそれで其の surge up した水が此の中に這入つて來るのであります, 元來ならば surge tank 夫自身を大きくすればよいのでございますが之れを大きくすれば金が掛りますから, 是は小さくして此の兩方に手のやうなものを出したのでございます。それから又水が此の下の邊までよりございませぬ時に, 急に發電機に荷が掛つて俄かに水を必要とする時に, 此の水面が下つて空氣を吸込むと云ふ危険のない爲に茲に volume をもたす爲に此の下の方にも手の様なものを造つたのであります(第六圖参照)。

第 六 圖



そして此の直径は上の方で 15 尺, 下で 30 尺に造りました, さうして此の深さは約 200 尺になつて居りますが, 是も相當有效な形だらうと考へて居ります。

それから surge tank を出て約 700 尺計り参りましてから pipe が 4 本に岐れ其處に valve house が設けてあります, 此の surge tank と valve house との間約 700 尺は矢張り隧道になつて居りますが山の被りが比較的うすくなつて居りますから一旦掘りました隧道の中に直径 10.2 尺の鐵管を埋めましてそして其の外部と岩石との間をコンクリートで充填したのでございます。

それから valve house に入る前に鐵管が 4 本に分岐されまして valve は各 1 本の鐵管に 2 個の butterfly valve (1 個は豫備として) を取付けてございませぬ, そうして此の鐵管路の延長は約 9 600 尺になつて居りまして全部 welded pipe で下の約半分は pressure が高くなりますから banded pipe になつて居ります, 鐵管の重量は全部で約 12 000 噸でございませぬ,

製造所はポーランドのフェルム會社でございます。

それから次は發電所でございますが、此の發電所は先刻申上ました様に出力が約 130 000 K.W. ございまして發電機水車が 4 臺づゝ水車はベルトン型ダブルノズルで一臺 45 000 馬力、發電機は 36 000 K.V.A. であります、水車の製造所はドイツのフォイト、發電機は同シーメンスでございます、斯んな大きな capacity の物は内地では出来ませんので國産品を使いたいと思ひましても已むを得ず外國品を用ひた次第でございます。

以上は發電所の概略でございますが、一番面倒なものは輸送機關でございます、此の邊は人家が餘りありませんので人口極稀薄であつて 52 方里の中に朝鮮家屋が僅かに 1 000 戸餘りしかなかつたのであります。それも大部分は火田民でありまして山を焼いて畑にして馬鈴薯と燕麥のみを作つて食つて居ると云ふ朝鮮人が極く少數居ります、そこへ行つて工事を始めるのですから其の輸送機關に困難を致しました。最初は是は咸興から約 9 里ばかり入つた所でございますがそこまで朝鮮鐵道會社で持へて居ります鐵道がございます。それは途中で炭坑がございます、粗末な石炭でございますが、其の石炭を輸送する爲に朝鮮鐵道の鐵道がございます。それから此の松興と云ふ所まで丁度 13 哩でございますが、之れに鐵道を敷設致しました。それは gauge 2 呎 6 吋の鐵道であります。それから急傾斜をして居りますが、此の間はインクラインのケーブルで以て捲き上げる、貨車を其の儘捲き上げることに致しました。それから上は又平坦になつて居りますのでそこへ 14 哩程の鐵道を敷いたのであります。さうして此の堰堤に使ひますセメントは是は兎に角 84 000 立坪に要するセメントで相當な量でございます。之れに約 600 000 樽使つたのであります、之れの輸送は容易でなかつたので此の鐵道の終點から堰堤まで丁度 10 哩の間索道を張つて専らそれで以つてセメントの輸送を致しましたが、此のインクラインは是から是まで山の頂上に上つて少し降りなければなりません、こゝまで約 3 500 尺ばかり捲上機で捲上げたのであります。さうして此の incline の長さが是から是まで $4\frac{1}{2}$ 哩ばかりになつて居りまして (附圖参照)、此の incline は途中には勾配の急な所がありまして、此の附近は 1 割 5 分の勾配になつて居ります。1 割 5 分と申しますと、上つて見ますと殆んど垂直に上るかと思ふ位急なのでございますが、是も外には餘り例がないと考へて居ります。それで以て先づ輸送を致しましたが、其の輸送機關の建設と本工事の着手は全部一齊に始めましたので、兎に角急いで仕上げたいと云ふ考へからさう云ふことになりました。

次に此の 190 000 K. W. の電力はどう云ふことに消化されるかと申しますと、全部窒素肥料の製造に使ひます。此の城川江と云ふ川は流れて日本海に注ぎますが、こゝから約 15 里ばかりになつて居りますが、其の海岸に工場を建設致しまして、朝鮮窒素肥料會社と云ふものが出来て居ります。是は日本窒素肥料會社の姉妹會社でございます、其の 190 000

K. W. の電力全部を窒素肥料の製造に使つて、一年に 450 000 噸を製造する計畫になつて居ります。それから 110 000 volt の送電線鐵塔を發電所から工場まで 3 列建設致しまして一列に各 2 circuit 合計 6 circuit になつて居りそれで以て其の工場に送ることになつて居るのであります。現に送電しつゝあります。

それから工事用の動力でございりますが、是も相當に考慮しなければならぬ事でありまして、先刻申上げましたやうに縦坑が多い爲に、是から工事中水を取らなければならぬのであります。それが爲に非常に動力を要する譯でございまして。最初我々は朝鮮には一向に經驗がなかつたものでございましてから、それぞれ經驗のある方、朝鮮に居られる方その他専門の方にも色々聞き合せました所が、朝鮮と云ふ所は水が非常に少ないと云ふことに皆さんの御話が一致して居りましたので、實はこちらで安心して過ぎまして動力の設備が少し少なくございまして。初め茲にディーゼル・エンジンを設備致しまして、それは 535 馬力のもの 6 臺、それから發電機は 1 臺 350 K. W. のもの 6 臺で合計 2 100 K. W. を備へて置きました。何故さう云ふ小さな unit の物を備へて置いたかと申しますと、朝鮮の田舎の方は拓けて居りませぬで、電燈は附きますが小さな火力でやつて居るやうな次第で、此の工事が済んだならば、其のディーゼル・エンジンを各所に分けて電燈に使用すればいいと云ふ考で 535 馬力の engine を 6 臺備へ附けました、それから此の山の上に川、是は道安川と云ふのであります。爰に平水約 50 個、出力 800 K. W. の發電所を開設致しました。水路は木管で 1 500 間持つて來たのですが、之れを 4 箇月の間に造つてしまつたのであります。それで此の火力と水力と 2 箇所で約 2 900 K. W. で宜からうと考へて居つたのでございまして、是が縦坑の工事が進行するに従つて意外に水の分量が多くなつて來まして、段々と動力が不足になつて參りました。それで色々考へました結果、ディーゼル・エンジンを増備する事となりますと、どうしても 6 箇月は掛りますから、堰堤に幅 12 尺の排水路が 3 本拵へてありました。其の 1 本で、約 100 K. W. 出る機械が九州に空いて居ましたのでそれを借りて來まして、排水路の 2 本を假に締切つて一本だけを dam up 致しまして落差 16 尺、水量 500 個で以て約 500 K. W. の發電を致しましたが、それでも足りない、今度は先刻申上げました窒素肥料工場の方の建設のために其の工事用の動力又は暖房装置其の他に使ふ爲の火力發電所が出来ましたから、それから色々無理をして 700~800 K. W. の供給を受けて、合計 4 100 K. W. ばかりの動力を使つたのでございまして。それでも充分でございませぬので、相當に苦心を致しましたが、先づ大體そんなことで宜かつたのでございまして。

然るに茲に一つの意外な出來事が起きましたと云ふのは、前に申しました 2 100 K. W. の發電所が火災に遭つて全焼して仕舞つた。それは忘れも致しませぬ一昨年即ち昭和 4 年の 4 月 16 日でございまして、突然火を發して焼けて仕舞つたのです。それが工事の眞最中

でございまして非常に狼狽致しました。勿論さう云ふことがあつたならば工事上非常な影響を來たしますから、會社としても餘程注意はして居つたのでございますが、實に意外な所から火を發したのであります。それを御参考までに失策談を申し上げますが、唯今申上げましたやうにディーゼル・エンジン 535 馬力が 6 臺並んで居りまして、其の建物が約 200 坪ばかりであつたと思ひますが、成るべく不燃焼物を採用する積りで、其の建物は柱とそれから小屋組以外は材木は使ひませぬで、スレート又はトタンを使つて成るべく材木は避けたのでございます。さうして勿論内部には十幾つの消火器を置いてありますし、従業員も絶えず注意して居つたのでございますが、動力が餘り豊富でない爲に、ディーゼル・エンジンは始終 over load 致します。一體機械の over load と申しますものは極く短時間ならばそれに堪へることが出来るのであります。此の工事では動力が聊か不足の爲に殆んど晝夜間斷なく over load させて使つたのであります。そしてディーゼル・エンジンには 1 臺に 8 本の cylinder が縦に附いて居りましてそれが 4 本づゝ one pair となつて夫から exhaust pipe が出て居りますが、其の pipe は發電所の床のコンクリートに設けてある 2 尺餘のピットの中を通つてそれから建物の外に出て煙突に出て居るのであります。所が殆んど間斷なく over load 致しますから、exhaust pipe が非常に熱くなつて殆んど眞赤になるかと思はれる位焼けることが度々ありました。さう云ふ時には勿論注意して居つたのであります。其のコンクリートの床の下に掘つてありますピットでございまして、それは別に密閉してある譯ではなく、そこへ長い間に自然に油が流込みまして何時の間にかそれが瓦斯になつて居つたのであります。それに我々が氣が付きなかつた。そこへ持つて行つて exhaust pipe が盛んに熱くなつたから、突然瓦斯に火が附いて一時に燃上つた。所が 2 箇年以上もやつて居りますから幾ら氣を付けましてもそこらに油が附いて居ります。殊に火力發電所でございまして、中が非常に乾燥して居ります。それでパツと火が附きますともう附近一帯に燃え移つて内部が瞬間に火になつて仕舞つた。従業員は 14~15 人居りますが、それが消火器を使用する暇もなく漸く身を以て逃がれたと云ふやうな形で、僅か 1 時間の間に發電所はすつかり焼け落ちて仕舞つた。随分我々も閉口致しまして、工事最中で如何にして之れを復舊するかと云ふことになりまして、此のディーゼル・エンジンを新に設備しますと少なくとも 5~6 箇月は掛ります。それで其の焼跡を調査致しました所が、engine の方は大した破損がなかつた。唯 6 臺の中 2 臺がベースが壊はれて居つて、其の他は部分品が焼けて居つた位で大體使用に堪へる。が發電機の方は焼けて仕舞つたので、其のコイルを捲き替へなければならぬ、ディーゼル・エンジンの部分品を取寄せたり發電機のコイルを捲きかへたりするには少なくとも 4~5 箇月は掛る、其の間肝心な一番大きな發電所がなくなつて仕舞ふと云ふ有様で、漸く隧道の水を揚げる位が關の山で工事を中止しなければならぬと云ふので、随分苦心を致しましたが、そこに幸なことがあり

ました。丁度第一発電所の発電機、32 000 K.W. の発電機でございますが、其の1臺が殆んど据付けが完成に近づいて居りました、又鐵管も1本だけ殆ど完成して居りましたから之れを大急ぎで仕上げて、隧道の湧水を此の中に流し込んで發電させやう、さうしてそれを動力に使ふより方法がないと云ふことに決定致しまして、それから晝夜兼行で3週間ばかりで完成致しまして、使ふことになりましたが、さて困つたことには隧道の中の湧水を全部下に流さなければならぬ。さうすればそれで1800 K.W. 計りの發電が出来るのでございますが、此の隧道に水を流しますと、コンクリート工事が完成して居りませぬから、水を流しながらコンクリートをやらなければならぬと云ふ困難を見ましたが、それ以外に方法がないのでありますから、萬難を排しまして、其の方法を取る事に致しました。そしてインバートをやり出す時には中に樋を置きまして、之れは木で造るとか或は鐵板で造りまして其の樋を隧道の中に置いて或る section から或る section まで水を流しまして其の下にインバートを巻いて行くと云ふことを致しまして、之れには随分困難を致しましたが、先づ豫定よりか大して遅れることなしに非常な努力を拂つて漸く竣工致しました。それが一昨年即ち昭和4年の11月でございます。それで以て第一発電所が全部出来上つたのでございます。

それから一昨年の10月末頃から第二、第三の工事に着手したのでございますが、此の方は上の第一発電所工事が済むで機械も工食用動力も充分であり又仕事も非常に樂でございました。縦坑は一本もございませぬで、全部横坑でございますから、(尤も斜坑が3箇所ございました) 極く樂に工事が出来ました。丁度着手後12箇月間で此の二つの発電所60 000 K.W. の発電所が完成して、試運轉送電まで出来たのでございます。是は恐らく発電所建設としては早いレコードだらうと考へて居る次第であります。

まだ申上げたいのでございますが、時間がございませぬので、甚だ雜駁なことばかり申上げましてさぞ御退屈でございましたでせうが、是で終りと致します。(拍手)

講演後次の質疑應答ありたり。

問 新井榮吉君 水量は1箇年平均して一平方里當りどの位になつて居りますか。

答 集水面積52 方で以て雨量は約1 000 耗、是が殆んど全部流れると云ふことに假定致しまして、それで以て825 個と思つて居ります。

問 新井榮吉君 1 000 耗が全部使へますか。

答 最初は蒸發が相當ありはせんかと考へて居りましたが、向ふでは殆んど蒸發と云ふことは考へる必要がないやうに思ひます。それは夏は非常に霧が降ります。丁度日本海の濃い雲がやつて來て之れにぶつかつて、此の邊の雲が降りて、蒸發よりか寧ろ露になつたり霧になつて落ちる方が多いやうです。一方里當り幾らになるか分りませぬが、工事中も觀察し

て居りましたが、825 個は大丈夫取れると思つて居ります。

問 新井榮吉君 今一つ伺ひますが堰堤の所で何か氷に對する設備をして居られますか。

答 それは堰堤と取入口の gate が氷の爲に塞されると困りますから、それは今の compressed air を吹かしますが、心配はないと思つて居ります。

問 新井榮吉君 空気の出る穴の間隔はどの位になつて居りますか。

答 間隔は 3 吋位の pipe を水の中に入れてそれに約 1 尺毎に 1/8 吋の穴を明けましてさうして上に compressor を置いて空気を送りそれから泡が出る様にしてあります。

問 新井榮吉君 泡だけですか、

答 泡だけで、絶えず泡が出るやうにして居ります。非常に結果が良かったのです。約 3 間位の間は凍らなかつた。それから此の堰堤の所は一昨年(昭和 4 年)は 2.5~3 尺氷が張りましたが、空気を出して居る所は 3 間位の所は凍らなかつたのです。

問 新井榮吉君 -45 度と云ふのは 1 年に何度位ございますか。

答 冬の中に 4, 5 回はございます。其の以外は大抵 30~35 度位です。

問 新井榮吉君 工事の方法は直營の部分もあつたのですか、請負の部分もあつたのですか。

答 大部分は請負でございました。最初堰堤だけは非常に設備が掛りますから 1 箇年直營でやつて、總ての設備を整へて請負にやらしました。此の堰堤の請負は西松組でやりました。それから水路は四つに切つて松本組、長門組、西松組、それから縦坑の下の此の邊の附近一帯を間組でやりました。

問 新井榮吉君 堰堤は直營ですか。

答 堰堤は 1 箇年は直營でやつて設備をして大體此の位の工費で出来るだらうと云ふ豫定を付けて請負はしたのであります。

問 多賀奈良吉君 先程御話のドリルでございますが、50 尺の深さで $1\frac{1}{4}$ 吋位の rod で故障なく掘れたのでございますか。

答 $1\frac{1}{4}$ 吋で故障なく掘れました。

問 多賀奈良吉君 それから堰堤の uplift は幾何に

答 それは堰堤の前の所で statical head の 1/2 に取りました。さう云ふやうな計算に致しました。是は地震は考慮には入れない時の事であります。

問 石井頼一郎君 今御話ではロック・ドリルで掘ると云ふ御話でございましたが、私の経験によると、普通のドリルで以て掘ると云ふと tripod で深く掘ると云ふと、深かければ深い程仲々抜けない、それをドリルで取つて又据附けたり仲々手間が掛りますが、今承れば事實は非常にいと云ふ御話でございますが、場合によれば層の中に或るブリットルなさう云ふ

ものを含んで居つたりして、下の方がざくざくになつて却つていけない場合もあると思ひますが、さう云ふことはありませんか。

答 多少はございますが、さう云ふ場合には callix drill の方が更に面倒でございます。それはざくざくの爲に先のクラウンが折れて落ち込みそれを取上げるのに難儀を致しました。drifter の方が樂でございます、そして穴の中の線粉を出すには時々 compressed air で吹かしました、深くなりますと steel rod の穴だけでは間に合ひ兼ねます。

問 石井穎一郎君 それから今の drifter で眞直ぐに掘れますか。

答 掘れます。

問 石井穎一郎君 随分御寒い所のやうですが、さう云ふ時に何かで温める方法はないのでございますか。

答 特別には何にもありません。唯天幕を張つて圍ひを致しまして其の中で石炭とか炭を焚きましてやつたと云ふ程度でございます。尤も冬は勿論能率は悪うございます。

問 石井穎一郎君 ingersol と cost の比較をせられましたか。

答 只今持合せの調べがございませんから後より取調べて御報告致します。

問 石井穎一郎君 dam は今御書きになつたのを見ますと、中は何にもないやうでございますが、ギャラリーは御造りになりませぬでしたか。

答 それは色々説がありまして造つた方がいゝと云ふ説と若しも幾らか漏水があつたら水途を作つて良くないだらふと云ふ様な説もありまして結局なしでやりました。

問 石井穎一郎君 後で leakage はありませぬでしたか。

答 尤もまだ全部水は溜まりませぬが、目下の所では一滴もないと云つていゝ位でございます。

問 石井穎一郎君 それからコンクリートの strength は御試験の時には 150 噸であつたと云ふことでございますが、仲々よく出たと感心して承つたのでございますが、それは何寸の block で

答 8 吋の cube でございます。8 吋の丸いのをやつて見ましたが、cube に致しました。

問 石井穎一郎君 それから proportion は何程でしたせうか。

答 大體 1:3:6でございます。

問 石井穎一郎君 水の workability 等に就て御研究になりませぬでしたか。

答 それは餘り精密にやりませぬでしたが、毎日試験はして居りました。何と申しますか、slump test をやつて居りまして大體 $3\frac{1}{2}$ 吋位の slump でいゝと思つてやつて居りましたが $3\frac{1}{2}$ 吋では少し困難で、4 吋位になつたと思ひましたが、どうも仲々思ふやうに行きませぬで困りました。

問 石井頼一郎君 コンクリートを打つのに何で打ちましたか。

答 trestle を作つてそれから chute から流込んでやりました。

問 石井頼一郎君 caterpillar gate の方は

答 非常に良かったので、殆んど漏水はありませんでした。

問 石井頼一郎君 何呎でございますか。

答 13 呎位と思つて居ります。高さは 15 呎と思つて居ります。正確の寸法は一寸記憶致しませぬ。

問 石井頼一郎君 それから surge tank の surging は今私の所で研究して居りますが、その計算と御試験になつた結果を學會に御発表願へませんか。

答 其の surging の試験をしたいと思つて居りますが、まだ全部動力を使つて居りませぬから、此の夏には全部の出力を出す積りでございますが、さうしたならば完全な試験をして見やうと思つて居ります。今は手が届きませぬが出来ましたならば発表したいと思つて居ります。

問 眞田秀吉君 コンクリートばかりで栗石は中に入れませぬでしたか。

答 實は栗石を一割入れる積りで居りましたが、それで餘程努力致しました。大量のコンクリートに一割は六ヶ敷いので 5 %位しか入れませぬでした。と云ふのは此のコンクリートの打込分量が相當大きくなりまして、最大の能率を出しましたのが一日に 525 坪打ちました。大概 250~300 坪打ちましたが、尤も最初はさうは行きませぬでしたが、假に 300 坪打ちますと、それに 1 割のものを入れると 30 坪と云ふのが net volume でございますから積上げた栗石は約 60 坪になりさう云ふものを入れると云ふことは殆ど不可能でございます。餘程努力致しましたが、結局 5 %位しか入りませぬでした。栗石を入れるれば dam の weight を増しセメントも節約になつていゝのでありますから、請負の方に懸賞を付けてやりましたが、どうしてもうまくいかなかつた。入れる方法は色々やりましたが、斯う云ふ高い dam で、足場の悪い所は最後に cable crane を使ひました。5 噸の crane 2 臺を使つてそれから下から針金で造つた網を使つて上に捲上げてはひつくり返へすと云ふ方法を取つたが、それが一番成績が良うございました外に derrick crane を使ふと思つて買ひましたが使ひませんでした。

問 眞田秀吉君 crane は何處で造られましたか。

答 石川島造船所で造りました。

問 神原信一郎君 是は單なる理論ですが、斯う云ふことを御考へになつたことはありませんか。水路と隧道は全部縦坑をやつたと云ふ譯ですが、其の時に地殻に達して居つてモルター注入を完全にすれば、山とコンクリートが一體になりましてコンクリートは充分に堪ふ

ることになります。さう云ふ場合には理論上鐵筋を入れなくてもいいやうに思ひますが、どうでせうか。

答 それに就ても考へました。相當に岩盤まで空隙のないやうに密着させて置いたならば、隧道が山の浅い所でも 300 尺位深く這入つて居りますから、うまく岩盤を被つて居れば鐵筋がなくても保つのではないかと云ふことも考へたのですが、是は寧ろ安全過ぎたかと思ひますが、鐵筋を入れましたのは、どうも計算上は分りませぬから、先づ多少金が餘計要しても安全に造れと云ふことになつてやつたのであります。

問 山本信二郎君 工費はどの位掛りましたか。

答 發電の方は大體 50 000 000 圓でありました。

問 山本信二郎君 負荷率はどの位ですか。

答 95% に見て居ります。殆んど constant で……と云ふのは窒素肥料の製造に使ひますが、貯水池に溜まつた水でございますから大して湧水もありませぬ。旱魃の年で水の溜まりが少ないと已むを得ませぬが、先づ一年を通じて 100% と言つてもいいと思ひますが、95% と云ふことになつて居ります。

問 山本信二郎君 storage capacity はどの位ですか。

答 250 億立方尺で其の中で 100 億立方尺は取入口より下になりますから捨て、仕舞つて、是から上 100 尺、此の上の 100 尺で以て 150 億立方尺溜まる譯です。

問 山本信二郎君 area は？

答 area は約 10 方哩でございます。

問 神原信一郎君 貯水池が土砂で埋ると云ふことは御想像になつて居られますか。

答 其の心配は殆んどないと思ひます。と申しますのは此の附近は殆んど緩傾斜で且つ川の狀態から申しましても土砂を流すと云ふことは殆んどないと思ひます。それでも尙ほ沈澱したりして埋ると云ふことも考へまして、取入口は此の附近の地盤よりか 20 尺高くしてあります、それにシルトだけ溜るのは 100 年以上だらふと思ひます。

問 神原信一郎君 洪水量は何程でせうか？

答 洪水量は最大約 100 000 個と考へて居ります一平方里約 2 000 個であります。是は dam の場所に於てであります。

附 記

時間の少ない爲に申残しました事を少々附加へます。

最初に貯水池内の氷の事でございますが dam に對する氷の壓力に就ては種々の説がありまして linier foot に對して 2 000 封度、或は 4 000 封度にも取る必要があると云ふ説もご

ございます様ですが此の dam に於て不思議な現象があつたのでございます。夫は dam と氷の接觸面に極僅かの間隙即ち極薄い鐵板を差込み得る位の間隙が全體に互つて出來て居つたのであります。従て此の場合には氷の壓力と云ふものが dam に及ぼして居ないと云ふ形になるのでございます。是はどうも不思議な事柄でありまして其の原因に就て色々考へて見ましたのですが果して是であらふと云ふ確かな斷定は付き兼ねるのでございます。

其の原因につき第一に考へました事は此の dam は其の前面が丁度眞南に向つて居りまして大へん良く太陽の光線を受くるのであります。夫故にコンクリートの面が温められて接觸面だけ空隙を生ずるのではないかと思はれたのであります。夫にしては如何によく光線を受けるにしても零下何十度と云ふ低温の外氣に對して斯かる結果を生ずると云ふ事は一寸考へられないのでございます。

次に第二の原因と思はれますのは貯水池の水の溫度が零度に降りそれから凍り初める譯であります。外氣の溫度が非常に降ります故それに従て一旦凍つた氷も段々溫度が下り收縮しまして以上の現象を起したのではないかと思はれるのであります。此の方の理屈が或は近い様に考へられます。若しそうであると致しますならば其の後解氷前になりまして外氣の溫度が昇ります時には反對に氷が膨張して dam に壓力を及ぼすであらうと思はれるのであります。其の結果が見たかつたのでございますが先に申上りました様に途中から compressed air を吹かして dam の前面の氷を溶かしましたから遂に其の結果を確める事が出來なかつたのでございます。何れにしましても氷の壓力は相當の値に達する事は事實でございまして現に朝鮮地内の或る水利組合の dam は極低い dam で高さが 30 尺位と思ひますが夫が氷の壓力のために crest に近い所で破壊された實例があるのでございます。是は私の會社の社員が親しく視て來たのでございますが其の破壊した當時の狀況が不明でありまして充分の研究が出來ませなんだ事を遺憾に思ふて居ります。

此の氷の壓力に就て尙御研究の方はどうか御發表を願ひたいと存じます。

第二に水路の中の水の流量計算に關係した事でございますが其の計算には Kutter の式を用ひましたので其の式の中の n の値を實測致しましたのでございます。夫には此の發電所の水路即ち全部 tunnel になつて居りますが是が出來上りましてから通水發電中に貯水池の水面と surge tank 内の水位の差を測り夫から其の時に流れて居りました水量とに依つて n の値を計算しましたのですが其の値は

$$n = 0.014$$

位になつて居ります。是は以前に山梨縣の早川の發電所でも同様に實測致しましたが矢張り同じ位の値を得ましたのでございます。夫故に私は開渠の様な充分丁寧に施工し得るコンクリートならば n の値を 0.0135 位に取る事も出來ませうが隧道内の様に湧水があり又坑内の

作業で立派なコンクリート・ライニングを施し難い場所では

$$n=0.014$$

位に取るのが適當であらうと信じて居ります、尙此の點に關しても御研究になりました方は御教示を仰ぎたいと存じます。

講演の際御質問になりました堰堤 boring 用として使用しました Callix drill と鑿岩機 (drifter) との能率及び經費の比較に就て取調べました結果概略附表第二の通りであります。

コンクリート掘進とあるのは堰堤々體に穴を掘鑿したのであります。

附表第二の工程並に經費は共に普通順調に行進して居る時の計算でありまして永い間には色々の故障等の爲に實際の能率は餘程下りますから従つて經費も夫だけ高くなるのは已むを得ないのであります。

附表第一 赴戦江水力発電工事概要

堰堤	高さ	250 尺	貯水池	集水面積	約 52 平方里
	長さ	1,320 尺		貯水面積	10 平方哩
	コンクリート量	84,000 立坪		貯水量	250 億立方尺
	コンクリート 施工一日最大記録	525 立坪		有効使用水量	150 億立方尺

發電所

	第一	第二	第三
落差	2,431	738	331
有効落差	2,280	710	307
発電出力 (K.W.)	129,600	41,400	18,000
水路延長 (間)	14,600	3,200	3,350
水路勾配	1 in 1,500	1 in 1,000	1 in 1,000
鐵管延長 (尺)	9,600	1,560	640
鐵管内徑 (吋)	上部 1,625	2,250	2,800
	下部 1,145	1,880	
鐵管本數	4	2	1
鐵管重量 (噸)	12,000	910	260
水車型式	復動調整式横軸	堅軸單流渦卷	堅軸單流渦卷
同上數	4	2	1
同上一臺馬力	45,000	31,000	27,000
同上回轉數 (毎分)	360	450	277
發電機臺數	4	2	1
同上一臺容量	36,000 K.V.A.	23,000 K.V.A.	20,000 K.V.A.
同上電壓	11,000 V.	11,000 V.	11,000 V.
同上周波數 (サイクル)	60	60	60

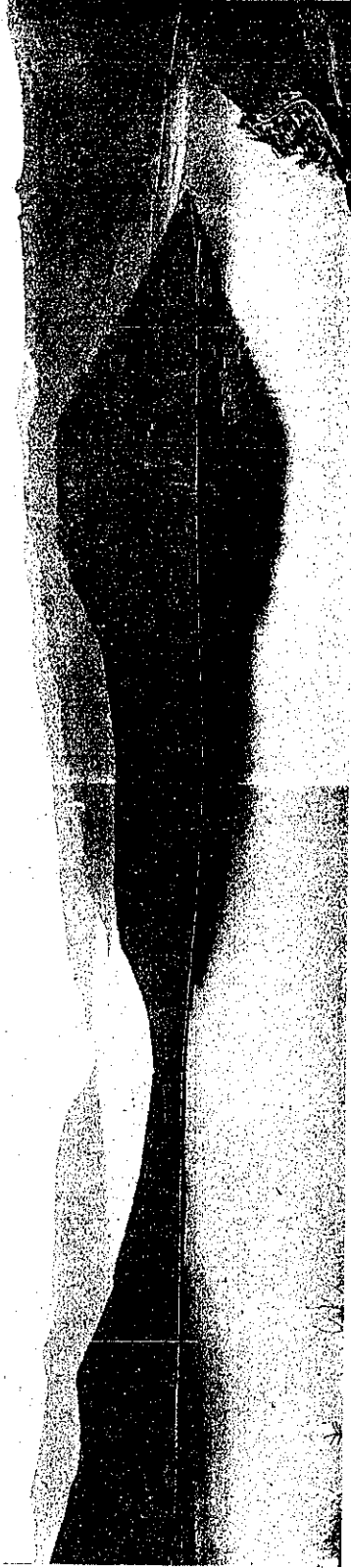
工事に用諸設備

専用鐵道	27 哩	ガンリソ軌道	15 哩
インクライン	4.5 哩	架空索道	15 哩
工事に用動力設備	4,100 K.W.		
同送電線	22,000 V. — 90 哩		
	3,300 V. — 220 哩		
据付動力	壓搾空氣機	2,300 馬力	
	揚水ポンプ	3,100 "	
	捲揚機	600 "	
	其の他	2,000 "	

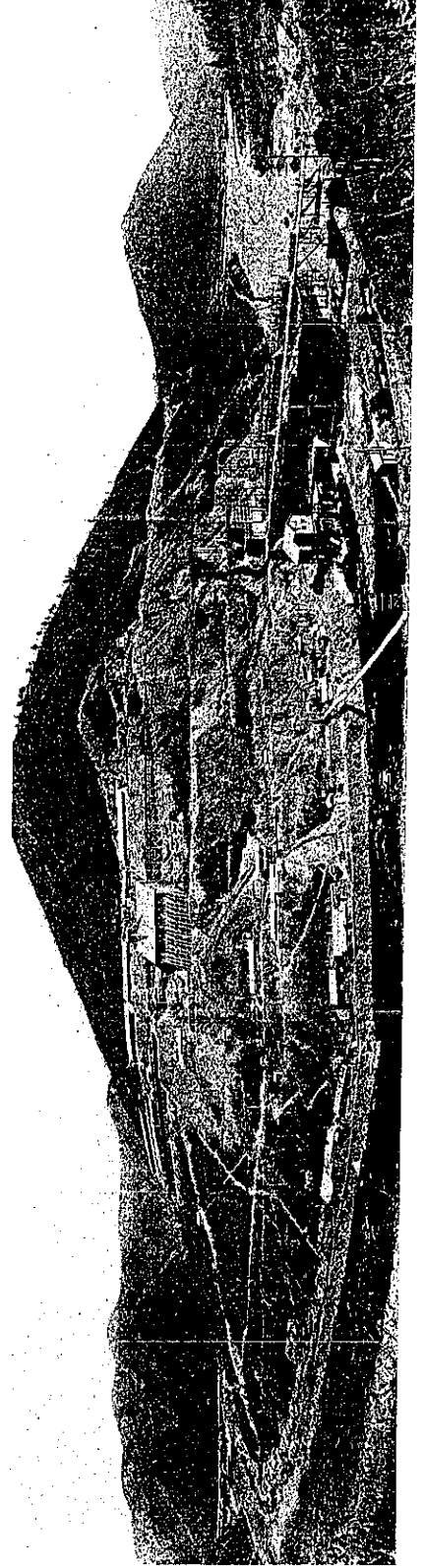
附表第二 堰堤 boring 工程及び工費

工 程	Callix drill (12 時間)			drifter (12 時間)		
	コングリート掘進	13 尺		コングリート掘進	20 尺	
經 費	岩 盤 掘 進	4.5 尺		岩 盤 掘 進	11.5 尺	
	員 數	單 價	金 額	員 數	單 價	金 額
職 工	人	円	円	人	円	円
職 工	1	2.00	2.000	1	2.00	2.000
人 夫	2	0.70	1.400	4	0.70	2.800
ホ ー ル	12.5#		3.375			
ウ キ ス	100%		0.052	100%		0.052
マ シ ン 油	5台		0.150	1.5台		0.045
グ リ ー ス	280%		0.182			
麻				15%		0.100
窯 燒 職 工				1人	1.50	1.500
同 人 夫				3人	0.70	2.100
重 油						1.000
マ シ ン 油						0.100
ク ラ ウ ン (四晝夜に一本の割)			0.875			
カ ッ プ リ ン グ (一晝夜に一個)			0.300			
コ ア バ レ ー ル (12 日に一個)			0.350			
ボ ン プ 運 轉 手	1人	1.00	1.000	1人	1.00	1.000
マ シ ン 油			0.150			0.150
エ ア ー コ ム プ レ ッ サ ー 運 轉 手				1人	1.50	1.500
同 助 手				1人	0.70	0.700
マ シ ン 油						0.370
モ ー タ ー 油						0.045
グ リ ー ス						0.040
石 油						0.080
雑 費 (機械移轉費を含む)			2.000			1.000
合 計			11.834			14.582

寫眞第一 現在の貯水池全景 (昭和5年9月)

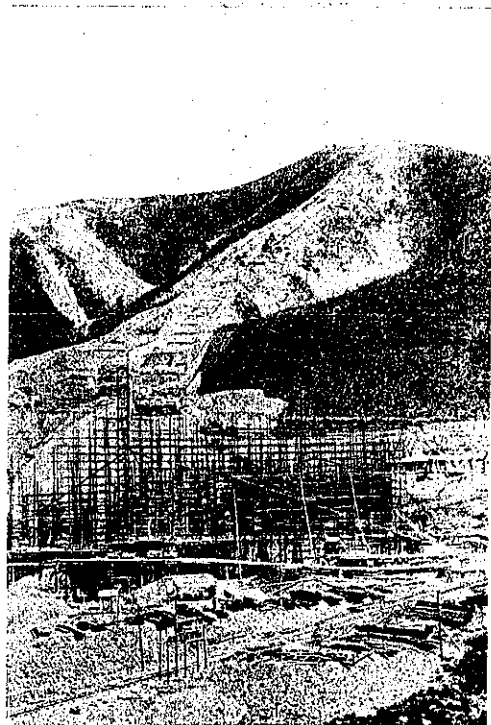


寫眞第二 第一期工事中の堰堤全景 (昭和3年3月)



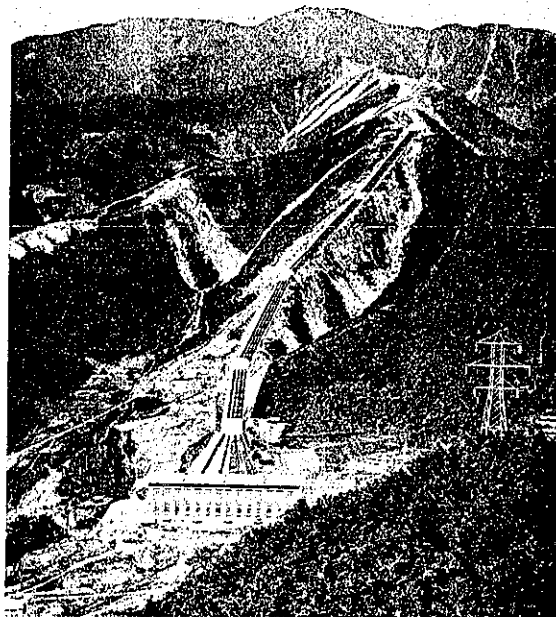
(出典: 日本土木学会誌 昭和十一年三月号)

寫眞第十一 工事中の第一發電所

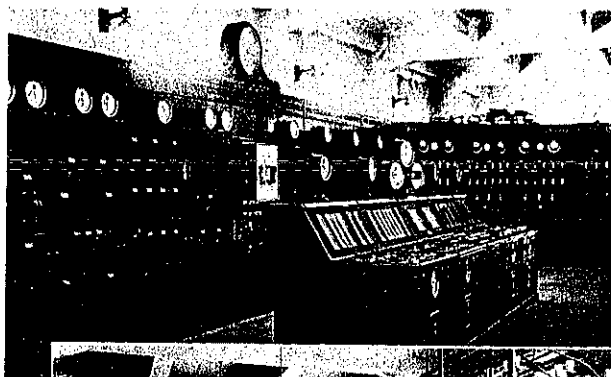


昭和3年8月

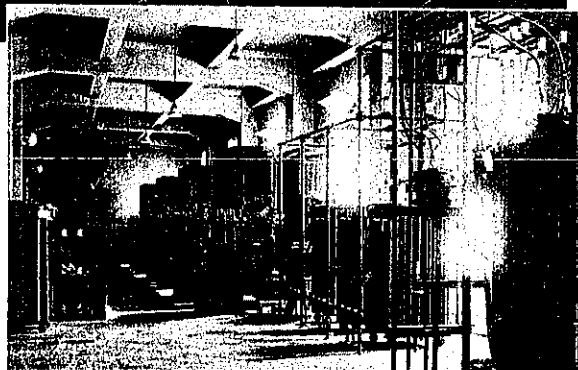
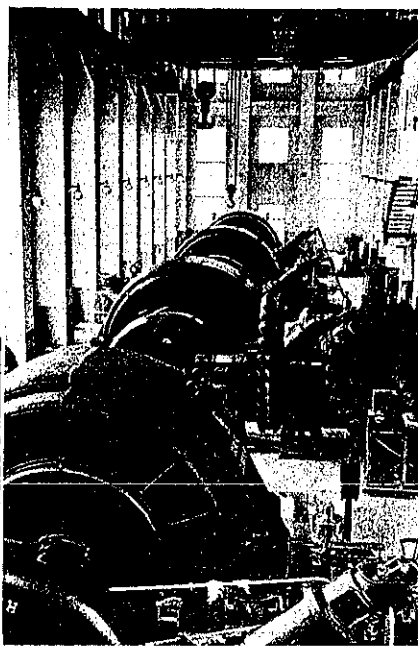
寫眞第十二 竣工の第一發電所



寫眞第十三 第一發電所配電室

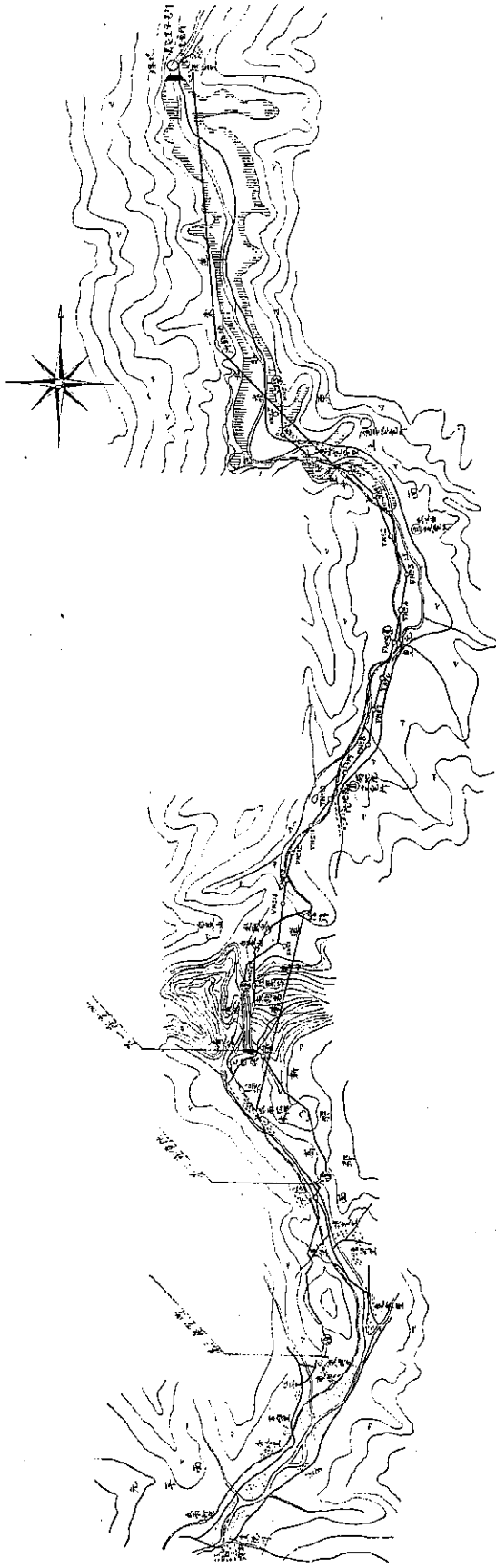


寫眞第十四 第一發電所機械室



寫眞第十五 第一發電所變壓器及び抵抗器

附圖 水力發電工事附近平面圖



水力地點縱断面圖

