

第九章 セメント注入

概説 高圧力の而も多量の湧水で苦しめられた丹那隧道では崩壊性に富む断層地帯に對してセメント注入法が屢々應用せられた、即ち大正13年西口4,950呎附近に於けるを初めとし、昭和2年以降數箇所に於て不良地帯の開鑿に或は底設導坑に或は水抜坑にて施行せられた其の経験の結果は漸次本工法の進歩を見、所期の目的を達し充分満足なる結果を得るに至つた。

第一節 注入機の變遷

本隧道に於て數年間に涉り施工せられたセメント注入の結果は20,000樽内外のセメント、25噸以上の薬液、貨車數輛の鋸屑、數百俵の火山灰等が注入せられ注入機に就ても諸種の困難に遭遇し、各部に涉り細心の注意と考慮とを拂ひ其の都度改良に改良を重ねた結果、注入當初に於けるものとは格段の進歩を示し、殆んど理想に近い注入機の製作をする事が出來た。

次に本隧道に於て使用せられた注入機を列記すれば、

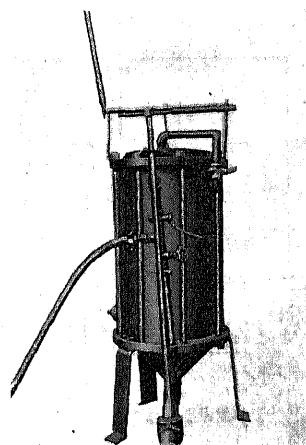
- (1) ランサム・カニフ・グラウトミキサー
- (2) スエディニッシュ・ダイヤモンドボーリング會社製
高壓注入唧筒
- (3) 往復動注入唧筒
 - (イ) 氣動式注入唧筒
 - (ロ) 電動三聯式堅型注入唧筒
 - (ハ) 電動三聯式横型注入唧筒

以下順次本注入機の機能構造並に使用の結果に就いて述る。

(1) ランサム・カニフ・グラウトミキサー

本機は壓搾空氣を使用しあらかじめ槽中に入れられたセメント乳、或は砂を目的の場所に注入する機械で米國ランサムコンクリート會社の製造になるもので最も古くより使用された注入機である。

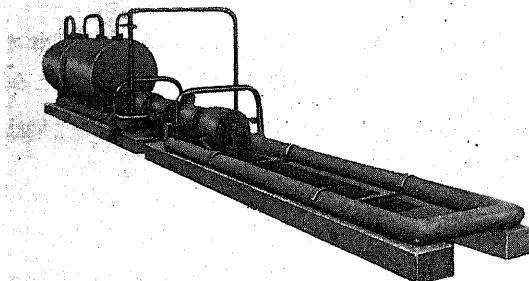
本機の特徴とする所は、注入容量の大なる事、構造簡単なる事、操作容易にして故障の起き易き箇所なき事で、其の缺點は注入が斷續的である事及注入に當つて壓搾空氣を地山に吹込み



第389圖 ランサム・カニフ・グラウトミキサー

容量 4立方呎/バッチ
高さ 4呎2吋

地山に空隙を残し、或は地山を荒す懼れある事である。勿論前者はミキサーを2臺並列に接続使用する事に依り、後者は操作職工の熟練に依り或る程度迄は防止する事が出来る。上記の如き理由から本機は主として壘築完成區間の漏水防止、裏込め、注入用隔壁の漏水防止等に盛に使用せられた。



第390圖 空氣昇壓機(air booster.)
カニフ・ミキサー用

丹那隧道に於て使用せられた本機には100封度、300封度 600封度の3種があつた。100封度のものは普通の鑿岩機其他に使用する壓搾空氣を、300封度のものは圖に示す如き米國エスチングハウス會社製昇壓器2臺を使用して操作した。又600封度のものには米國インガーソルランド會社製 XOB-2型セミボータブルの空氣壓搾機を準備した。併し600封度にもなると坑内では第一空氣壓搾機の据付場所に困まるし、配管其他にも相當の困難を感じる爲め實際には600封度壓搾空氣に依る注入は行はれなかつた。3種のグラウト・ミキサーも其の機能構造は全く同一であつた。只高壓力になるにつれて各部が之に耐へる丈だけ丈夫に出来て居る事及活栓に特殊の考慮がはらはれて居る事である。丹那では破碎斷層帶の開鑿に當つて數箇所に於てセメント注入法を

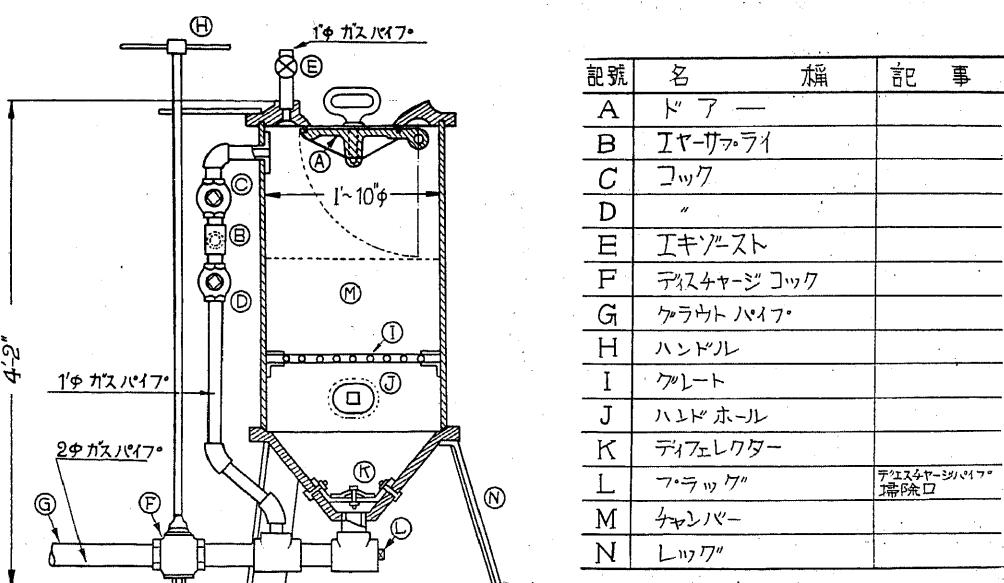
本機の操作はきわめて簡単である、圖に就て説明すれば使用に先だち先づ(G)をゴム管に依り注入孔に接続する。又(B)には壓搾空氣管をつなぎ(D)コックを開き(K)より壓搾空氣を氣泡狀に吹かしつゝ槽中に水又はセメント、砂等を適當量入れ、之を攪拌しつゝ(A)ドアを閉め(O)コックを開き(H)ハンドルにより(F)なるマテリアルコックを開き注入をなす、注入終了と同時に(F)(O)(D)と順次コックを閉ぢ(E)なるエキゾーストコックを開くときは(A)ドアは開き再び操作を繰り返す。

此の場合注入終るや否やは、注入ゴム管の動きに依つて判定するのである。本機の操作上最も注意すべき事は地山に壓搾空氣を吹込みぬ事である。即ちセメント、砂其他注入物がゴム管の尖端に達したる時送氣を停止する事を最良とす。併し送氣を少しでも早く中止すれば、ゴム管を閉塞し仕事に思はぬくるいを來す事が多いから操作者は充分注意が望ましい。即ちゴム管を閉塞する事なく、如何にして最少の壓搾空氣により注入するかを心掛けねばならぬ。

本機を使用して注入をする場合必要な注入用壓搾空氣量は、注入孔の状況に依り異なるが普通毎分140乃至160立方呎内外の容量ある壓搾機があれば充分である。一わんぱつちの注入時間は普通30秒~8分位である。又操作する人員はゴム管の尖端に注入状況を見る監督1名ハンドル操作技工1名、水、セメント、砂を投入する助手2名を要す、此の外セメント、砂の置場等の關係上運搬を要する場合は之に必要な人員を要するは勿論である。

(2) スエディニッシュ・ダイヤモンド・ボーリング會社製高壓注入唧筒

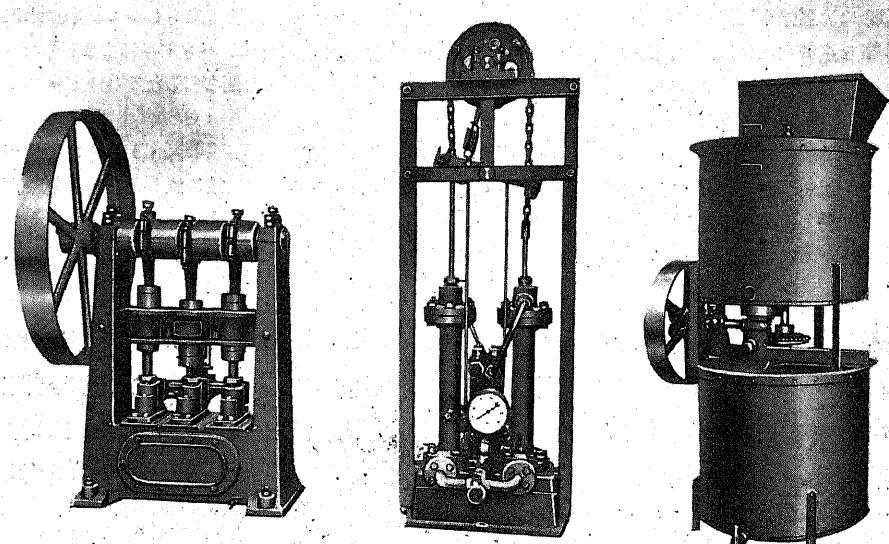
本機は瑞典ダイヤモンド ボーリング會社製のもので、昭和2年東口8,700呎附近に於て湧水の壓力300封度毎平方吋に上り、此箇所にセメント注入を應用するに當り、少くとも1,000封度以上の能力ある機械を必要とするに至り、此の時代に丁度賣出中の本機を購入使用する事となつたのである。本機は注入機、三聯式堅型水壓唧筒、セメントミキサー、電動機の4種の機械で出來てゐる。即ち電動機により水壓唧筒を動かし、高壓水を作り此の高壓水により注入機を動かす構造である。之は後に述べる往復動注入唧筒の電動機直結にして直接セメント孔を注入する機械に比し、構造上に於ても1つ多くの機械を使用し損の様にも考へられるが注入中地山の裂縫の状況に依り、豫測する事の出来ない注入壓力の變化による衝動の安全瓣たる様設計されたもので、氣動式注入唧筒も此の意味から言へば同様で、佛國の注入専門の請負會社フランソアが常に此の型式の唧筒を設計採用して居る點から見ても、かうした方法が注入施工上極めて大切な事柄の1つである事はうなづける。注入機は可成り複雑であつて餘程注意して使用せぬと故障が起り勝ちである。使用した結果はまだ改良の餘地がありさうである。此の機械の缺點は、注入容量が少い事で1時間1000立では丹那の様な湧水量の多い場所では問題にならなかつた。大體本機は歐洲に於て堰堤の如き小さい



第391圖 ランサム・カニフ・グラウトミキサー

割目を入念に充填せんとする場合に使用する爲めに設計製作されたるもの如く、此の方面には非常に良く出来て居る様に思はれる。

此の機械は2個の注入ピストンを有し交互に自動切換装置に依り操作される様に出来てゐる、此の自動切換装置が最も故障の原因となりやすい所であるが、大變デリケートに考へられてある。



水圧ポンプ
注入ポンプ
ミキサー

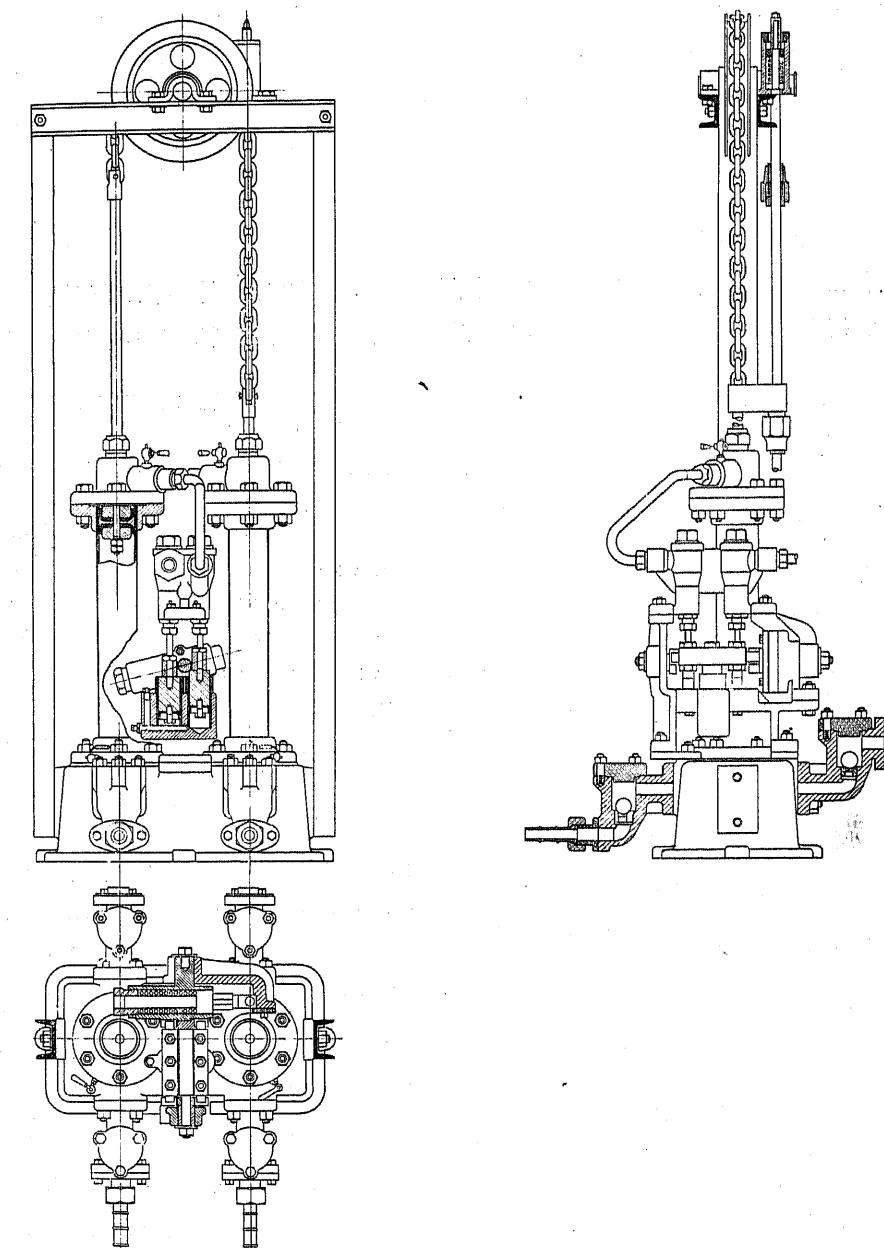
第392圖 高壓「セメント」注入機

本注入機機能

水圧唧筒		注入機		ミキサー
型式	三聯式豎型水圧唧筒	型式	A2型	混合比3:1
壓力	150氣壓	注入壓力	100氣壓	迴轉數130每分
迴轉數	每分100迴轉	注入量	每時1,000立	ブーレー
プランジャー徑	36耗	セメント乳入口徑	31耗	400×95耗
ストローク	63耗	同上出口徑	24耗	馬力 2馬力
ブーレー	直徑1,006×幅140耗	高壓水入口徑	20耗	容 量
馬 力	7馬力	同上出口徑	15耗	上230立
		全寸法	720×720×1,728	下280立

電動機は3相誘導電動機の芝浦製作所製 10馬力を使用した。

尙本機に附屬して居るセメント・ミキサーは非常に便利なものであつた。後に述ぶる總ての注入



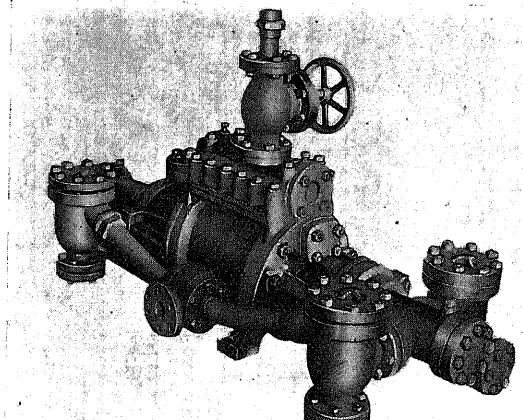
第393圖 高壓「セメント」注入機(スエデンダイヤモンドボーリング會社)

機には本ミキサーが併用せられ好成績を収めた。之は寫真に見る如く上下2段のタンクがあり中央には2本に分解し得る通し軸があり、之を調車よりベルギヤーに依り廻轉する構造である。尙軸には攪拌用の羽根を裝置してある。先づ上部タンクに適當量のセメント、水又は薬液等を入れ充分攪拌の後下部タンクへ移す、之と同時に注入機の操作を開始すればセメント乳は下部タンクより吸入され注入を續くる間に上部タンクに於ては再びミルクを調合下部タンクに補給する構造である。

(3) 往復動注入唧筒

(1) 氣動式注入唧筒

此の注入唧筒は壓搾空氣を動力として注入する機械である。隧道では壓搾空氣は鑿岩機、捲揚機等の運轉上常に用意されて居るものであり、注入唧筒も壓搾空氣により運轉するものが最も簡単で



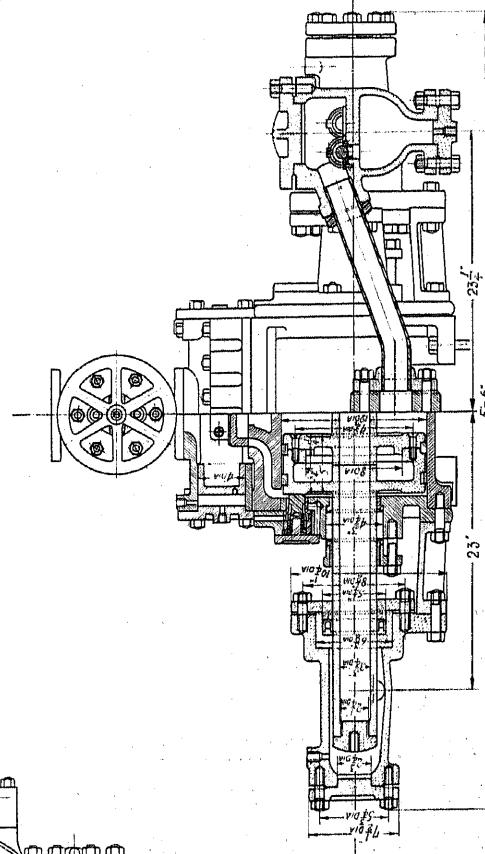
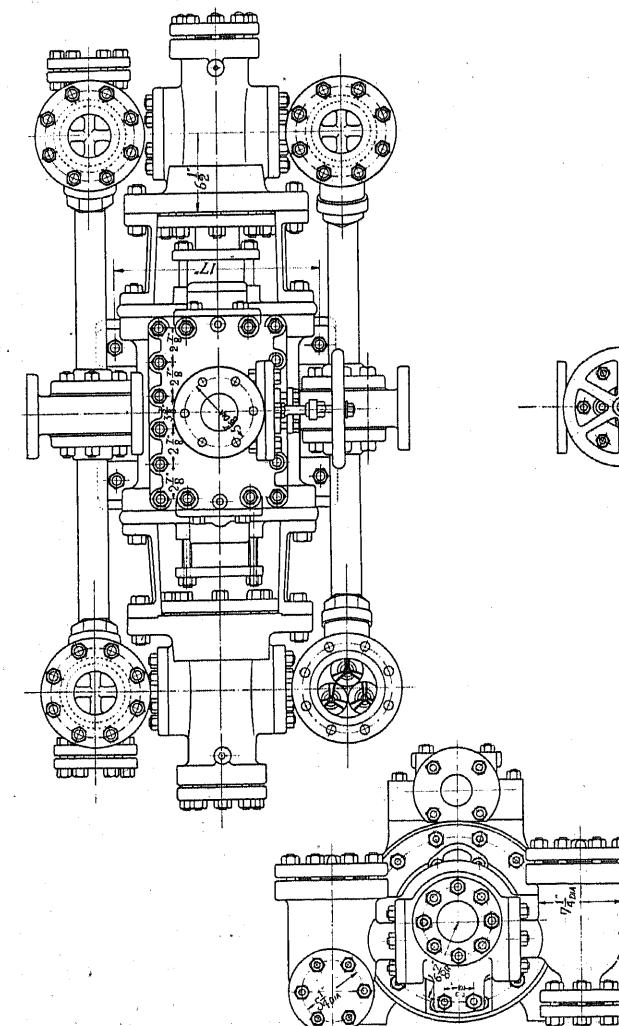
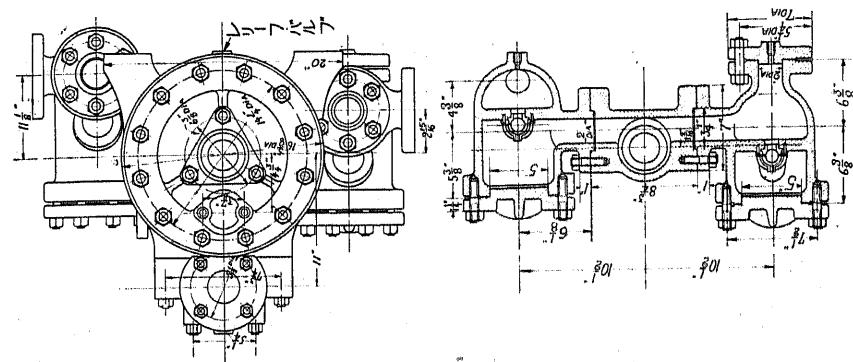
第394圖 小松製氣動式「セメント」注入ポンプ



第395圖 小松製氣動式セメント注入ポンプ西口坑前に於ける試運轉

小松製氣動式注入唧筒 機能	
注入に要する空氣壓力	每平方吋100封度
注入 壓 力	同 上 500封度
注入 容 量	每分 5立方呎
ピストン直徑	12吋
グラウトラン直徑	3½吋
ストローク	9吋
ストローク數(ノルマル)	每分 60回
吸 入 管 徑	2吋
排 出 管 徑	2吋
空氣供給管徑	3吋
全 寸 法	3'~5"×5'~8"×3'-7吋

ある爲め丹那でも此の注入唧筒が早くから準備されて居た。寫真は小松製作所製の本注入唧筒である。此の唧筒が本格的の注入に使用されたのは大正13年西口4,950呎に於ける大斷層地帶の注入であつたが、それ以前から難工事にそなへて坑外に於て種々の注入試験が施工せられた。本機は中央にエヤーピストンを有し、其の左右に各1個の注入プランチヤーを備えて居る。此のプランチヤーとピストンとは同一體である。本機のエヤーシリンダーはカーメロン唧筒の



第396圖 ニューマチック・グラウトポンプ一般用(小松製作所製)

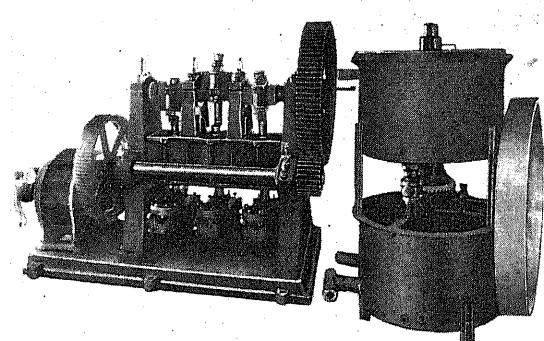
それと同一機構を有し100封度の圧搾空氣を供給し、自動的にピストンを往復せしめ交互に注入をなす構造である。本注入機も丹那隧道の注入初期には随分活動したものの一つである。本機の特徴とする處は大容量の注入をなし得ること、地山の状況に依り注入量を任意に加減出来ること、地山の状況により不意に注入壓力に高下があつても機械に無理を起す事が無い事である。丹那隧道で使つた本機は製作が古かつた爲めに缺點として空氣筒の自動切換装置機構に故障を起し勝ちで困つた。尚バルブ・シートは3箇から成つて居たが取換へ装置なき爲めよく故障を起しバルブ・ボックス内をセメントでつめ掃除に困つた。之等の缺點は構造上のものでなく殆んど工作上の缺點及材質の不適當等に依るもので之等の改良はさした困難ではない、此の種型式の注入機も隧道、礫山等の如く簡単に圧搾空氣を供給し得る處では有效なる注入機の一つであると思はれる。

併し此の種圧搾空氣を動力とする注入機械は先づ注入壓力500封度内外までが最も使ひ良いのではないかと考へられる。それは之以上注入壓力を増加する爲めにはエヤーピストンの太さが大変大きくなり其の割合に注入量を増す事は不可能であり、取扱いにも不便だし、高壓力の圧搾空氣を使へば危険性も大きいからである。

(口) 三聯式堅型注入唧筒

結局上記の如く種々の機械を使って注入をして見た結果丹那隧道としては

- (1) 注入量の大きいのが望ましい。
- (2) 餘りに構造複雑な爲め、今少し簡単で故障の少いものが望ましい。
- (3) 瓣、瓣座の磨損しないものはあるまいか。
- (4) 注入壓力の高いものが欲しい。
- (5) 連續運転の出来るものが欲しい。



第397圖 笠戸製作所製水壓唧筒

型 式 三聯式堅型往復動唧筒

容 量 每分 3.2 立方呎

注入壓力 2.000 壮/cm²

馬 力 20馬力

こんな條件に近い注入唧筒が欲しいと言ふ事になつた、而も注入工事に直接從事して居るものは夜となく晝となく最も重要な注入最中に起る機械の故障には泣かされた。さうして水壓唧筒を直接注入唧筒として使用し得れば前記の様な條件に近いものが出来る考へるに至つた。かうした事が幸にもシールド工事に豫備として保管してあつた寫眞の様な往復動唧筒があるのに気付き、此の唧筒を注入唧筒として使用する事になつた。然し此の唧筒はバルブは

チヤック・バルブであり、プランデヤーは燐銅製であつた爲めに此の部をセメント注入に最も適する様バルブはボール・バルブに且瓣座も燐青銅製並軟銅製の2種を作り取換へ可能なる構造とし、プランデヤーはクローム鋼を焼入したるものに改造した。かうして注入唧筒を作り使用した結果、今迄使用したものに比較して數等良好なる結果を得た。さうして丹那隧道注入工事の最盛期に於て過半は本機により注入を施工した。此の結果本注入機の特徴も前述の各項に最も近きものであり、且缺點も明かにされた。即ち

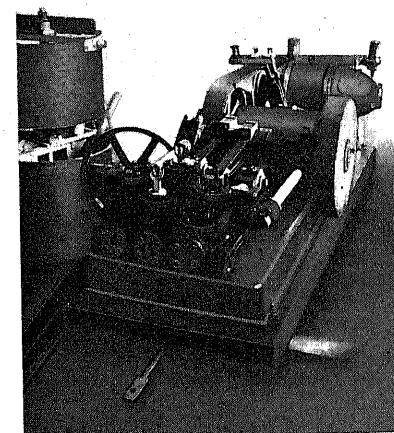
- (1) 堅型なる爲め脊が高く坑内の如く狭隘なる場所には使用に不便なる事。
- (2) 電動機より歯車直結なりし爲め坑内では騒音甚しく困つた事。
- (3) プランデヤー・バルブ、バルブ・シートの材質が適當でない爲めすぐセメント乳の爲め磨耗する。

等の缺點があつた爲め之等の缺點を除去した最新式の注入唧筒を製作する事とした。

(ハ) 三聯式横型往復動唧筒

前述の理由で三聯式横型注入唧筒は生れた。此の唧筒は

- (1) 坑内の使用に便なる様横型とした。
- (2) 騒音を除去する爲めにV型ベルト運動とした。
- (3) バルブ、バルブ・シート、プランデヤーに特殊鋼を使用し焼入をなした。
- (4) 2段に切換へ低壓時に多くのセメント乳を注入出来る構造とした。



第398圖 改良型注入唧筒とその機能

壓力 常壓 4kg/cm²(568#/ \square)

高壓 105kg/cm²(1493#/ \square)

容量 常壓 0.16cubm/m(5.65#/ \square)

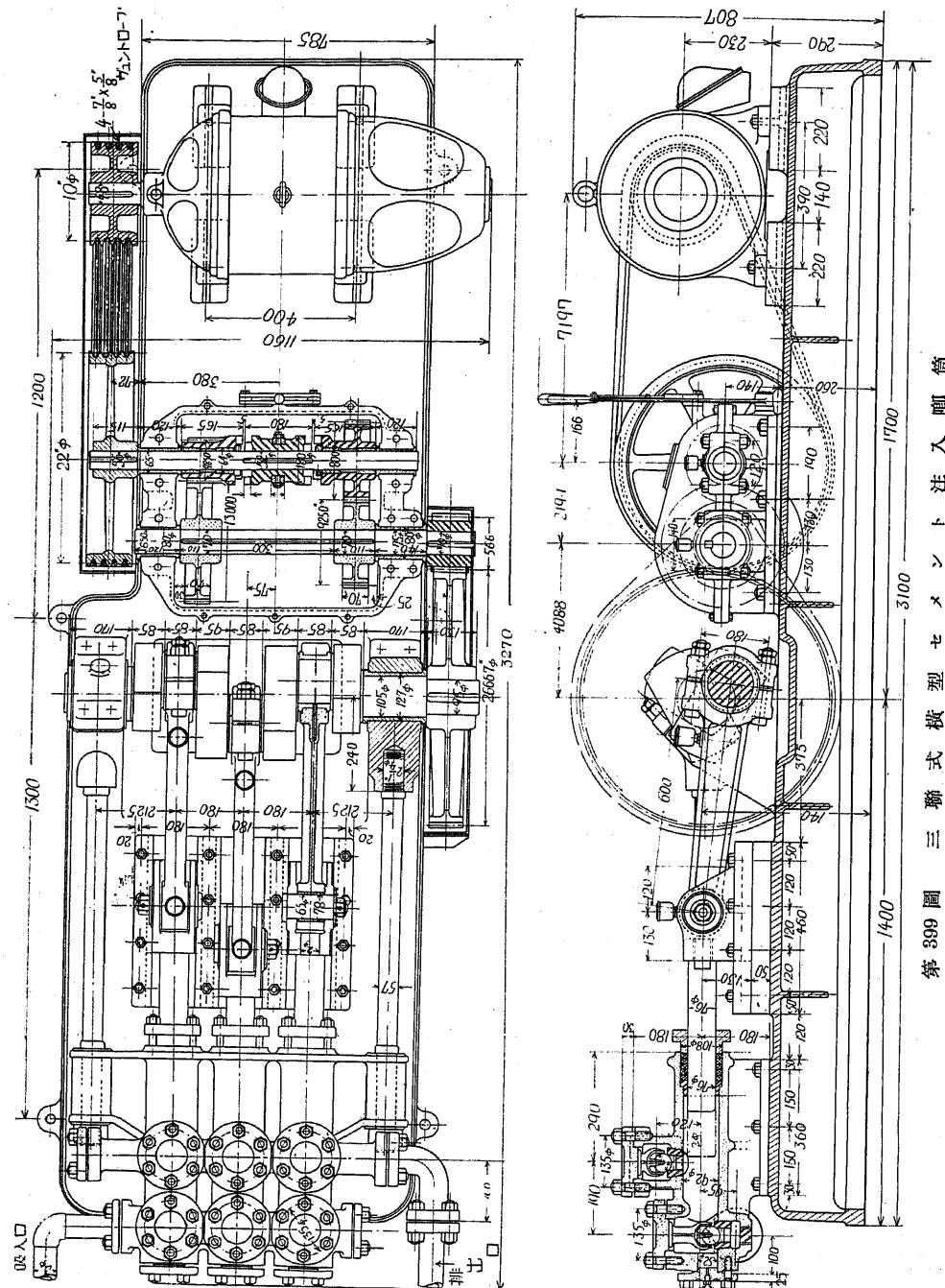
高壓 0.06 " (2.1 ")

吸出排出口徑 51 耙

電動機 20馬力(Vベルト)

かうした條件を具備した注入唧筒を製作した結果注入技術も大進歩を示した事は言ふ迄もない。本機こそは丹那が生んだ注入機の大威力であり、殆んど理想に近きものと言ふ事が出来る即ち本機の特徴を重ねて簡単に述べれば容量大なる事バルブ、バルブシート、プランデヤーに特殊鋼を使用した結果磨滅殆んど少き事。注入量の割合に小型である事、2段切換装置を有し低壓時に多量のセメント乳を注入し得る事である。

本機を使用して注入を施工する場合一般的注油其他に注意を必要とするは勿論バルブシート並グランド・パッキングに注意を要する、グランド・パッキングが始めに些少でも漏洩するとセメント乳はパッキングにしみ込みプランデ



速度切換はジョークラッチに依り行ふものとす。

スタフイング グランド

プランデヤーがシリングー出入する部分にはセメント液の漏洩を防ぐ爲めに適當なる装置を施すものとす。
パッキングは良質のゴム輪を重ねて用ひプランデヤアが磨耗せる場合に於ても充分其の用をなすものとす。
パッキングは取換へ極めて容易なる構造たるべし。

ベルヴ ボックス管接手等には良質の皮製パッキングを用ひ、接手の取外し締付けに際し容易に漏洩を防止し得るものとす。

附 屬 品

デリバリーパイプ 1本

本品は鑄鋼製にして約2米の長さを有し、一端はポンプ吐出口に取付け得る構造を有し、他端のジョイント及
パイプ形状等に就ては監督官の指示に依るものとす。

豫 備 品

ゴムベルト	1組
ボトル(ベルブ用)	2組
各種パッキング	3組

プランデヤー	1組
バルブ シート	5組

其 他

本機には製作所名、主要機能、製作年月其他の必要事項を記載せる銘板を添付すべし。

本機の主要部分材料は製作監督官の指揮を受け材料試験を行ふべし。

本仕様書に明記なき事項、其他設計に關しては一切製作監督官の指揮に従ふべし。

本機各部製作完了後は製作監督官の検査を受け實際使用試験を行ひ之に合格するを要す。

本機の製作は特に指定せらるるもの外之を下請に出す事を許さず。但し部分品にして工場にて製作せざるものに就ては一々其の製作工場を製作監督官に届出で承認を受くる事を要す。

本機請負契約者は契約後製作着手前に組立圖面及び詳細圖5通を製作監督官に呈出して其の承認を受くる事を要す。

(口) 三相通風型誘導電動機

本示方書に於て通風型と稱するは、外被に特別なる通風口を設け機械内部に送風装置を附して自己通風をなし得るものにして、通風口より水滴其他外物の落込む事を防ぐ爲めに適當なる保護装置を備へたるものとす。

用 途 前記単純轉用

定 格	定格の種類	連續定格
出 力		20 馬力
電 壓		200V
周 波 數		50 サイクル
迴轉子型式		捲線型
極 数		適 当

本機は規格電力第13號及同號第2表の規定に適合する事を要す。

起動装置

本機には規格動力第13號第1項に於て規定せる起動器を具備せしむるものとす。

附 屬 品

端 子 面 1個

端子面は引出口より漏洩を防ぐ爲めに適當なる構造を有するものたるを要す。

材料及製作、固定子及回転子、銘板及圖面に關しては仕様書電力第10號4,5,8,9項を適用す。

(ハ) 配電函仕様書

本品は前記誘導電動機に適應するものにして、雨水の絶対浸入せざる金屬製密閉函内に適當なる厚さ及幅高さを有する絶縁體を入れ、之に(2)に記載の器具を體裁良く且つ危險なき様配置し安全に取付けたるものなるべし。配電盤に於ける器具相互間の電氣的接續は盤の裏面に於て之を行ひ配電盤と他の電線とを接續すべき箇所には適當なるターミナル、クリップを添付すべし。函は前面扉付のものとし扉には窓附子を具へ外部より容易に電流計の目盛を得る様にし且雨水の絶対に浸入せざる構造となすべし。

附 屬 品

本品には下記器具を具備せしむべし。

メエンサーキット ブレエカーパー 1組

包裝可燃安全器付三極單板刃形開閉器 1組

(包裝可燃片3組分豫備付)

交流電流計 1組

表示燈(眞鍍製ブラケットに取付けたるもの) 1個

絶縁耐力

本品は導電部分と不絶縁部分との絶縁耐力を1,500V以上の電壓で特に試験し1分間以上之に耐ふるものたるべし。

銘 板

本品には製作所名、電壓、電流、製作年月日其他必要なる事項を記載したる銘板を添付すべし。

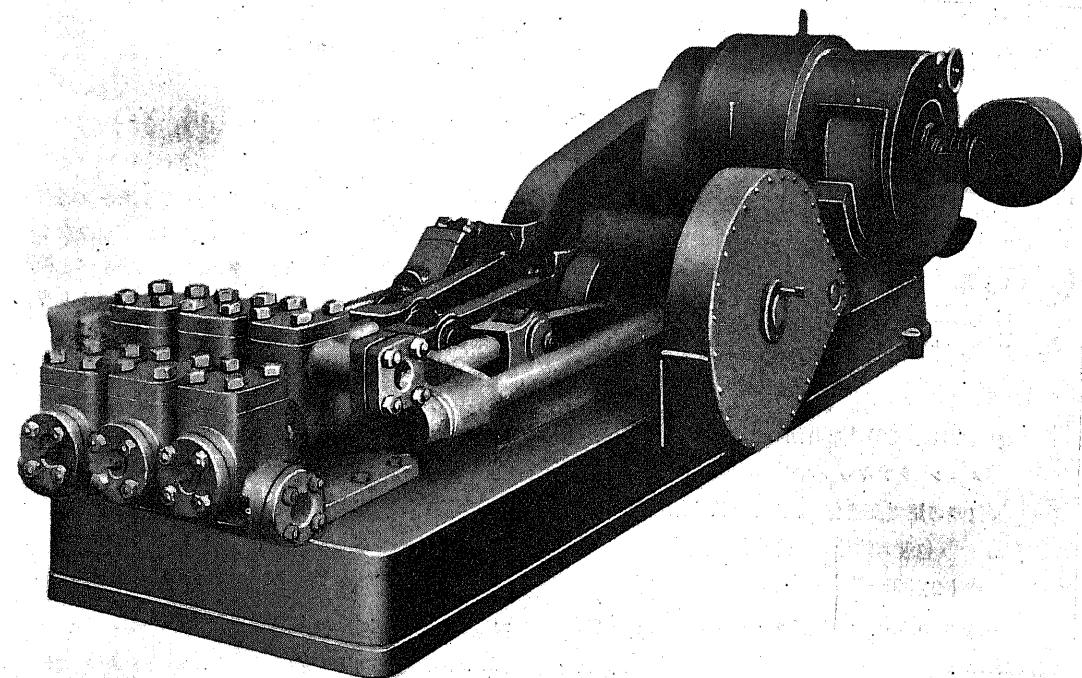
圖 面

請負契約者は本整の圖面3通を呈出すべし。 以上。

かうして殆んど現想的な注入機が作られ注入作業も順調に進んだ、時には一晝夜に250樽のセメント乳を注入する事もあつた、只非常な裂縫の少い場所に遭遇した時今少し容量を加減出来る事が望ましい場合もあつた、此の目的の爲めに新たに下記規格の整流子モーターを購入して前記単純に取付くる事とした。

型 式	半密閉式
電 壓	200V
馬 力	20馬力
迴轉數	毎分 340~1,000
製作者	東洋電氣株式會社

此の電動機を取付け使用するに就いて特に考慮した事は電動機の塵除け方法であつた。坑内注入



第 400 圖 整流子モーター付、改良型高圧注入唧筒

箇所に於てはセメントの粉が舞ひ上り一面真白く鼻の穴迄セメントで白くなる程だから普通の電動機でさへ定期検査の必要があつた、今度の整流子モーターは半密閉型でブラッシュの接觸箇所(コンミューター)は鎧戸式のカバーがあり、廻轉に伴ひ自然換氣をして温度の上昇を防いで居るが、セメントの粉が之に着けば忽ちコンミューターに疵が出来、モーターが動かなくなる心配があるので、全密閉が望ましかつたが都合上やむなく半密閉を購入した。此の結果カバープレートを取換へ、8時パイプを取付けた蓋で密閉し清淨なる空気が吸へる處までパイプを延長して仕事すれば差支へなさうなので、今回は約3メートルパイプを延長し結果を見る事とした。尙本電動機を取付けた注入機は先づ坑外で試験をした。此の爲めに注入機の吐出口には特製の安全瓣を取付け任意の圧力の下で試験した。試験にはセメント乳は使用せず水で行つた。尙本機に依り注入する場合特に注意した事は圧力の上昇に際し各廻轉數に對し過電流を流さぬ様注意が肝要である。

次に此の試験の結果電動機温度の上昇と圧力電流電圧の關係並に廻轉數と負荷電流の關係を示せば次表の通りである。

本機に依り注入する場合廻轉數を減すれば注入量を極度に減ずる事は出来るが餘りに之を加減す

電 壓 ヴォルト	電 流 アンペア	通風溫度°C		廻 轉 計 每廻 轉 數	目 盛 盤 每廻 轉 數	注入壓力 #/□"	記 事
		出 口	入 口				
202	45	28.9	20.4	766	770	1,370	運轉時間 2時間 27分 直後コンミューター 52.5°C (PM. 4-15)
193	42	23.2	17.8	667	660	560	運轉直後コンミューター 53°C
193	51	36.0	21.0	998	1,000	560	運轉時間 4-45分
195	51	40.0	22.0	988	1,000	560	コンミューター上昇 61°C
190	52	38.8	22.4	1,006	1,000	1,500	運轉時間 6時間 45分

電圧	毎分廻轉數	電流	馬力	記 事
200V	400	42	8	ればバルブの處を通るセメント乳の流れが非常に減殺される爲め
	500	43	10	セメントの沈澱を起し易いから特にバルブの直徑と其中を流る
	600	44	12	るセメント乳の速度を考へ其の最少減度より減する事なき様心掛
	700	45	14	けねばならぬ。
	800	47.5	16	
	900	50	18	
	1,000	55	20	

先づ注入工事をせんとするに當つて、地質、現場の状況により之に最も適當なる注入機を選擇する事は工事成功の第一要件であると同時に之に適當する具合よき附屬品を準備する事が大切である。以下順次丹那隧道で使はれた注入附屬品に就いて記せば

(1) 注入管取付け法

- (イ) 漏氣止装置
- (ロ) 皿型漏氣止装置
- (ハ) 地山に直接注入管を取付くる場合
- (ニ) 隔壁築造にあらかじめ注入鐵管を埋設する場合

(2) 注入用ゴム管

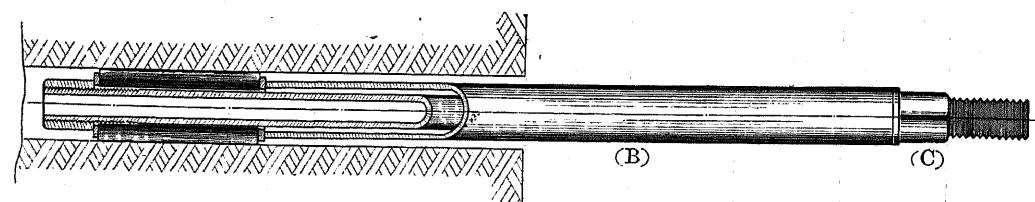
- (3) 砂入れ装置
- (4) 圧力計保護装置
- (5) 安全瓣

(6) 注入機豫備品としてのバルブ、バルブシート、プランジャー。

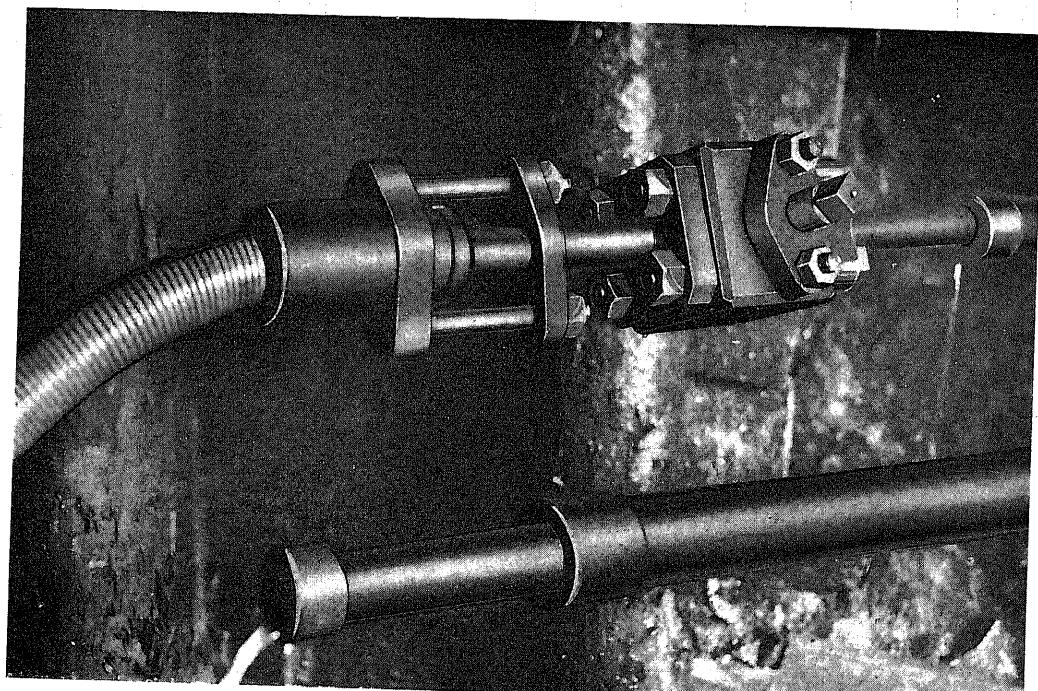
(1) 注入管取付法

(イ) 漏氣止装置

此の方法は地山に直接注入管を取付くる場合、即ち隔壁を築造しないで注入をする場合、或は既設建造物を隔壁として利用し注入する場合に使用する方法で、先端に太鼓型ゴムパッキングを有し、其の後方は二重鐵管とし(C)なるナットを締めればゴムパッキングはワッシャー及び(B)瓦斯管

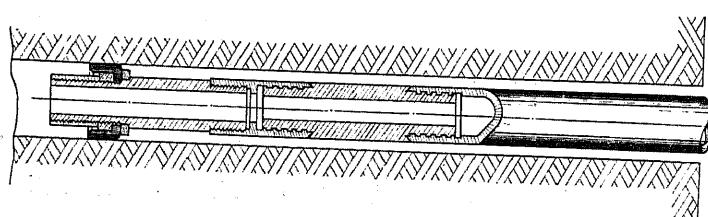


第401圖 漏氣止め装置圖



第402圖 注入管の取付

漏氣止装置圖並之が地山に取付けられた状況



第403圖 血型漏氣止め装置圖

ある爲め注入終了後掘鑿を要する様な場合には便利である、只本器による場合は注入孔が出来る丈

に押され、注入孔の内壁に密着し其の摩擦により注入管の抜け出事を防ぐと同時に、漏洩を防止する装置である、此の方法によれば

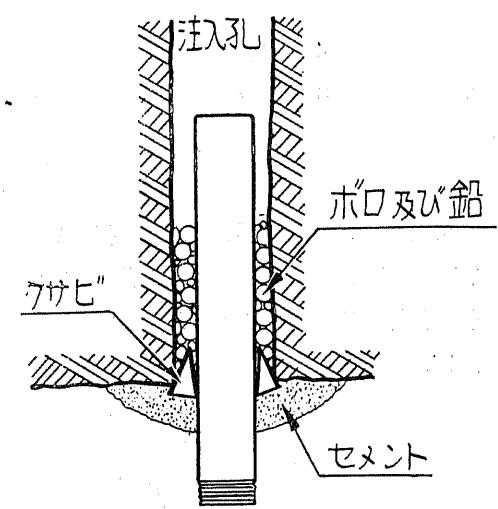
取付、取外しが簡単で

圓形である事が望ましい。

(ロ) 血型漏氣止装置

此の器具は注入孔の深き裂縫に注入する必要ある場合、ボーリングロッド、の尖端に此の革製血型パッキングを取り付け、此のパッキングを注入せんとする裂縫の手前まで挿入して試錐機にてボーリングロッドを押へて置き、ロッドの内部よりセメント乳を注入する、此の場合革はピストンパッキングと同様の働きをなし孔の内壁に密着し漏洩を防止する方法である。此の器具を使用する場合は注入孔はロータリーボーリングにより穿ちたる出來得るかぎり丸き穴でなければならぬ。

(ハ) 地山に直接注入鐵管を取付くる場合



第404圖

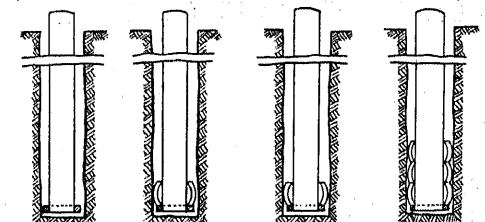
封度と高くなると之では不完全である。こんな場合には右圖に示す如く鍔附注入鐵管を作り、注入孔に挿入し詳細圖に示す如き鉛環を挿入しパイプ状のコーティングタガネにてカシメ、此の方法を數回行ひ最後にグラウトミキサーにてセメント及砂を注入し、固まるをまちて其の内部より注入孔を掘り注入をなすものである。

(2) 注入に使用するゴム管

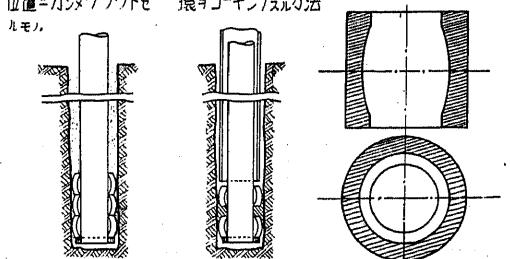
注入の壓力は零から數千封度迄の高壓力で

此の場合には色々の方法と器具が使はれる、注入の壓力が低い場合には左圖の如く注入孔に適當なる長さの注入管を挿入しボロ、鉛等により充分コーティングをなし、更に注入中鐵管の抜け出さざる様鋼製クサビを打ち込み注入する。併し注入の壓力が高くなり 1,000 封度、 2,000

セメント管 第一鉛環 第一鉛環 附加鉛環
管環附テ据 取付ケタモ コーティング完成 鉛屑詰管
付ケタ所



諸管環及鉛屑=取付 管状灌植(いんしょく)用
位置=カシメワラウトで 環コーキングアル方法
ルモ。

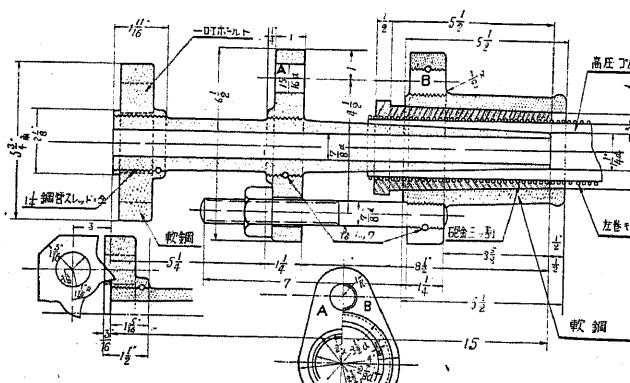


第405圖 基礎鐵管の埋設法

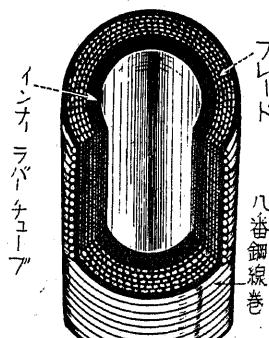
行はれる、注入圧力が低い場合は之に使用するホースも大して問題とならない、只壽命の永いものを望むならば、耐アルカリ性のセメント乳にをかされぬ良質のゴムで出来たホースを使へば良い。所が高圧力となるとさう簡単には行かない、丹那隧道では湧水が300封度以上もあつたので、注入圧力も1,000~2,000封度内外の事が多かつた、こんな譯でフレキシブルホースも中々丈夫なものを使つた、最初はシールド工事に使つた内徑 $\frac{5}{8}$ 吋と $\frac{7}{8}$ 吋のホースがあつたので之を使用した。此のホースは次の様な品質寸法を有する丈夫なもので、明治ゴム株式會社に命じて製作したものだつた。

內 長	徑 さ	$1\frac{1}{4}$ 吋	$\frac{7}{8}$ 吋
常 用 壓 力		30 吻	30 吻
試 驗 壓 力		$2,000 \text{#}/\text{□''}$	$4,000 \text{#}/\text{□''}$
外 徑		$4,000 \text{#}/\text{□''}$	$8,000 \text{#}/\text{□''}$
		$1\frac{7}{8}$ 吋	$2\frac{1}{4}$ 吋

外部は 8 番亞鉛引鋼線ベタ巻
試験に際して最小半径 3'-0" にて 10 分間試験圧力に合格するものたる事。こんな内径のもので、かうした高圧力のものを作る事は明治ゴム會社でも初めてだつたので相當の研究と苦心が重ねられた。殊にインナーチューブ用ラバー・ブレード用麻糸の選擇には意が用ひられた、又此のホースの接手も大分苦心して圖の様なものを作つて好成績を上げた。



第 406 圖 ゴム管接手断面



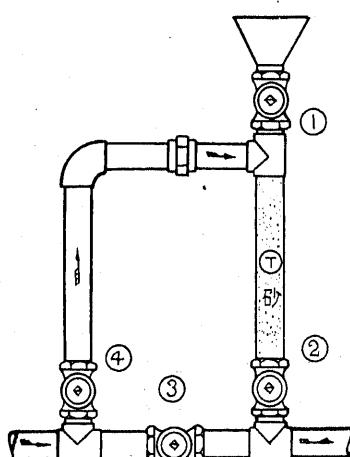
第 407 圖 ゴム管實體圖

最後まで殆んど此のホースが使はれた。最後に注入専用のゴム管を作つた之は内径 $1\frac{1}{4}$ 吋長さ 50 呎耐圧力は常用 1,500 封度試験圧力 2,000 封度とし、インナーチューブラバーがセメント乳にかされた特別のものを使ひ、且ブレーンホースとした爲めブレードには良質の麻糸の外ピヤノ線の

ブレードを挿入した、之も相當立派なものだつたが工事も終りに近かつたのでわすかの期間使はれたに過ぎなかつた。

(3) 注入用砂入れ装置

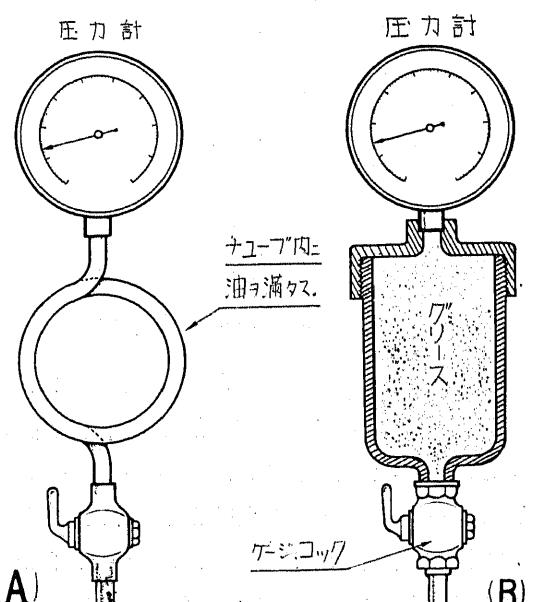
注入中隔壁と地山の接觸面其他からセメント乳、或は薬液等が漏洩する事がある、こんな時には漏洩箇所にボロ及木製クサビで栓をするのは勿論だがセメント乳と一緒に砂を注入すると一番いい。今ではモルタルを注入する岬筒も出来て居るが（此の岬筒は排出口をバルヴシートの高さより下の方に着ける様にして砂が沈澱しない様にしてあるだけで其他は注入岬筒と變りはない）最も簡単な方法は4個のコックと瓦斯管を使った圖の様な砂入れ装置が使ひ良い、丹那では此の方法で



第 408 圖 注入管と噴筒を連絡
する砂入装置

(4) 壓力計保護裝置

注入中セメント乳の濃度を加減するには
注入の状況即ち裂縫、湧水の状態等により
決定されるが、此の場合圧力計の示す圧力
の上昇變化により決定する場合が多いから、
圧力計は注入には大切な道具の一つである。
所がこんな大切な圧力計も注入管の途中に取付けて置くとセメントの爲めにゲージパイプやボルドンチューブ等が閉塞せられすぐ駄目になつて仕舞ふ事が多い。丹



第 409 圖 油 入 裝 置

那でも之にはすつかり困られた。此の防止法として油を使ふ方法と、軟質グリースを使ふ方法の2種である。(A)は油を使ふ方法で使用に先立ち、ゲージコックより上部を取り外し、此處より丸く巻かれたゲージパイプ中に適當の濃度の油を充満してコックを閉め再び之を取付け注入直前ゲージコックを開き使用する。注入が終れば再びゲージコックを閉めて置く、尙時々油がなくなりはせぬかを検査しなくてはならぬ、之を使つてから圧力計をつめる事は大分少くなつた。併しまだ之では充分なものではなかつた、此の爲めに(B)に示す様なものが考へられた即ちゲージとゲージコックとの間に少いチヤンバーを砲金で作り、上部に蓋を付け其の上に圧力計を取付ける構造とした。そして此の小さい室の中に軟質のグリースを一杯つめた。かうした結果殆んど圧力計をこわす事はなかつた。尙兩者を併用すれば尚よいと思ふ。

(5) 安全弁

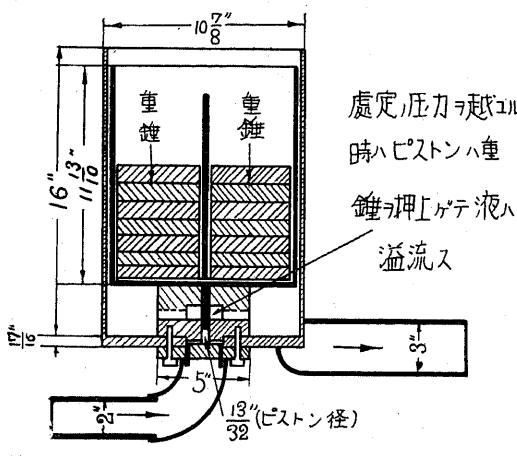
セメント注入をする場所の地質の關係上注入圧力を或る圧力以上に上げ度くない場合があつた。こんな場合に使用する重錘式安全弁である。即ち大體の構造は圖に示す如きもので、圧力に依りあ

らかじめ重錘を加減し本器を注入機のディリバリーに取付け置く時は、注入圧力が目的の圧力に昇れば重錘は持ち上げられ、セメント乳はオーバーフローパイプより排出され之以上圧力は上昇しない。

(6) 注入機豫備品としてのバルブ、バルブシート、プランジャー

注入唧筒で一番いたみやすい處は、バルブ、バルブシート、プランジャーである。故障の大部分は此の磨耗による場合が多い、丹那でも改良型の注入機が出来るまでは此の爲めに随分困つた。此の材料として

バルブシートには隣青銅、軟鋼等が使はれたがいづれも短時間に減つて困つた、即ち此の事を現場では「なめられる」と言うて居る、或時は機械の具合が悪いので検査して見たが中々故障はみつかなかつた。漸く發見した所がバルブシートの外側で機械に嵌り込む裏側の方がなめられて居た。之はシートの取換への時掃除が不充分だつたか、バルブシートとボディの傾斜に幾分のくるひがあつて間隙が出来た爲めであつたのに氣付かなかつたのだらうと思はれる、かうしたわざかな事でもまるで金剛砂で取り取る様になめられるのだからゆだんは出来ない。注入期間中の或る時の如きは、1日3交代52交代の作業でバルブシート取換数、363個、1交代平均7個も取換へた、此



第410圖 セーフティバルブ断面圖

の時使用して居た機械では12個のバルブシートがある物であつたから恰度1交代に60%を取換へた事になる。此の外グランドパッキングのいたみ等の爲めに8時間働きの時實働5時間と云ふ不成績な記録を作つた事もあつた。こんな具合だつたのでシートも新品のみを使つてはやりきれない所からバルブシートの高さを少し高く作り、なめられぬ内に少しいたんだらすぐ取換へて上端を削つて3回位使つた。機械を使ふ技工はなれてボールの動く音で其の良否が判斷出來たので早い内に直す事が出来る譯である。尙此の爲めにシートが低くなつた時にはボールガイドの高さを加減してリフトを一定に保つ様にした。面白い事には同じチヤンバーに2個のバルブがある場合其の高さが異なる時は高い方はすぐ其の廻りにセメントが沈澱してなめられ勝ちであつた。こんな具合でバルブシートには弱つたので改良型の注入機を作るときには時に此の方面の研究をして作つた。

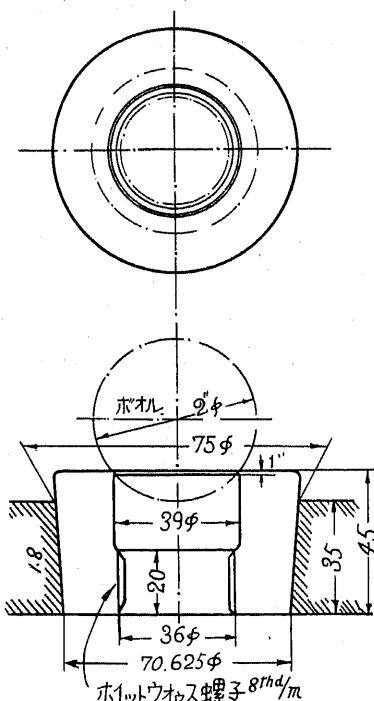
最初のバルブシートは隣青銅製であつたが、鋼鐵に熱處理をほどこしたものを試験した。

スチール・バルブシート 第1回 硬度 ブリネル 202度

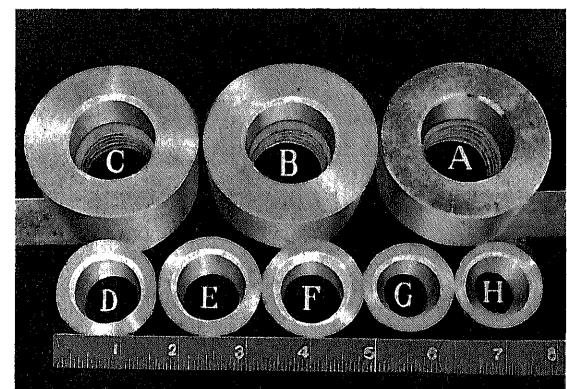
第2回 硬度 ブリネル 209度

第3回 硬度 ショア 90度

第1回、第2回のものは、隣青銅製のものと大差なかつた。第3回目のものは1週間以上も使用に耐へ成績良好なりし爲め、此の程度の加工をしたものを使ふ事とした。因みに最初の機械のボトルバルブの直徑は35粁、改良型の機械では51粁である。



第411圖 バルブ・シート



第412圖 バルブ・シート

A.B.C…新注入機のバルブシート、Aは完全B.C.は磨耗せるもの、D.E.F.G.H…改造せる注入機用のもの、隣青銅又は鋼鐵製のもので、D.G.は完全其の他は全部磨耗せるものである。

今参考としてバルヴ、バルヴシート、プランジャーの仕様書を次に示す。

バルヴシート、バルヴプランジャー仕様書

本品はセメント溶液注入用ポンプの吸入瓣、吐出瓣に用ふるものにして添付現品又は圖面の形狀寸法を有し、製作、仕上恰度完全なるものたるべし。

本品は日本特殊鋼合資会社製ボールベヤリング用クローム鋼を用ひ焼入、焼戻しの熱處理をなしたる際、硬度(ショーラ)90度以上を有するものにして、セメント液の磨耗に對して最も耐へ得るものとし、尙材質は均一にして、磨耗の際は接觸面が一様に磨耗するものたるべし。

製品完成後硬度試験を行ひ試験成績表を添付すべし。

プランジャーも同一材質とす。

バルヴはボールベヤリング用ボールとす。

以上。

第三節 セメント注入の施工

概説 セメント注入を應用して施工せんとする場合、先づ地質調査を必要とする。施工せんとする地帶の様子は施工決定前に於ても掘鑿の状況、湧水の多少等に依つて大體の見當はついて居るが、更に地質調査に依つて、不良地帶の性質、範囲、湧水量、水壓等に依つて以下記の各項に涉つて充分の考慮と計畫を立てる必要がある。

- (イ) 該地質はセメント注入に適當なりや否や
- (ロ) 注入機の選擇
- (ハ) 注入孔の穿孔方法及穿孔機の決定
- (ニ) セメント或は薬液注入のいづれに依るや或は兩者併用によるや。

注入法決定前には常にかうした諸種の條件に就いて種々の研究が行はれて初めて決定される。何しろ狭い坑内の事である故殊に丹那では數本の水抜坑を掘つて居る場合もあり、他工事に妨げない様に仕事をやる爲めには充分の考慮が必要であつた。

以下各箇所で使はれたセメント注入施工にはつきものの下記各項の基礎的作業並注入剤に就いて述べ丹那の四大断層帶に施工された注入法の詳細に就いて述ぶる事とする。

- (1) 隔壁の築造
- (2) 注入孔の決定と穿孔
- (3) 注入剤
 - (イ) セメント砂其他
 - (ロ) 薬液の注入
- (4) 膠結状況の調査

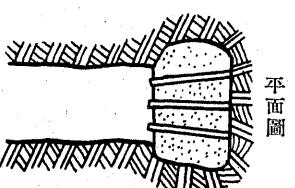
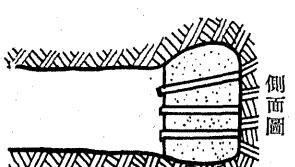
(5) 注入設備

(1) 隔壁の築造

隔壁は注入鐵管の固定箇所であり、注入に當つてセメント乳或はケミカルの漏洩を防ぎ注入壓力に充分耐へ得るものでなければならぬ、丹那の或る箇所では前面が堅い安山岩であつた爲めに隔壁を作らずに此の地盤を隔壁として使用し前に述べた漏氣止装置を用ひて注入管を地山に取付け注入したり、又一區間がすんで次の區間の注入をなす場合前回の注入で固められた地帶を土臺として次の注入をやつた例もあつた。併しかうした場合高壓力に達すると少しの裂隙からでもセメント乳が漏洩して隨分苦心させられた事も度々あつた。其の上こんな結果になるとつまらぬ苦心をする上に注入の成績は悪い、こんな次第だから次節に述ぶる四大難場は勿論他の箇所でも大抵隔壁が作られた、隔壁築造の結果の良否は直ちに注入工事の成否を支配する事程大切な隔壁だから充分水換へ根掘等完全にして施工した。隔壁築造の位置は穿孔其他の關係からすれば出来る丈切端に近い方が良い併し餘り近いと注入壓力の爲めに隔壁の周圍が荒される恐れもあるので隔壁築造に適當な地質の箇所が近くにあれば、先づ切端より5~10呪位離れた所にする事が望ましい。併しあらかじめ良い地質の附近で掘鑿を中止すればそんな事も出来るが試錐等してなくて掘鑿して居る場合が多いから、斷層にぶつつかつて、湧水を見、崩壊を起してから、注入と決定工事を始める場合が少くない、こんな場合には適當に後退して隔壁を作つて注入する事とした。

隔壁を築造する場合を大きく分けて2つの場合があつた

- (イ) 注入をせんとする手前の既掘部分が相當堅固なる地質である場合
- (ロ) 前者と異り此の附近一帯が集塊岩其他漏洩し易き地質であつた場合

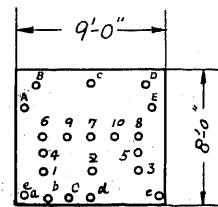


第418圖 普通の隔壁

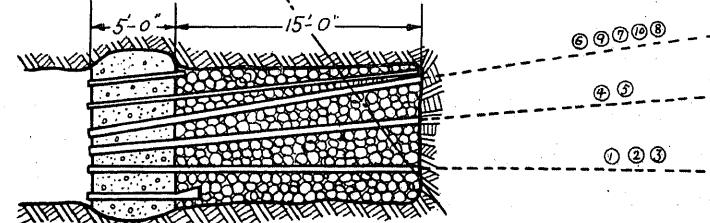
先づ前者から述ぶる、こんな場合隔壁の築造は最も簡単である。即ち此の堅固なる地盤を相當の加脊に切擴げ混凝土打をなす。此の場合切端まで堅い安山岩の如きもので湧水等なき場合は切端一杯に隔壁を作る場合もある。然しこんな場合はめづらしい、大抵數呪離して隔壁を作り湧水の處理を充分にし空隙の部分の埋戻しをしつつ隔壁を作る、隔壁混凝土と平行して注入用鐵管及隔壁注入用鐵管を適當に配置して埋設する。硬化をまちてカニフグラウトミキサーに依り隔壁脊部にセメント、砂を充分丁寧に注入する。之で立派な隔壁が出来上つた譯である。左圖は隔壁の大體の形で次に示す圖面と寫眞は、東口10,000呪附近に於て築造した、斯くの如き地質に於ける場合の1例である。

次に後者に述ぶる如く、隔壁を作らんとする附近一帯が集塊岩又

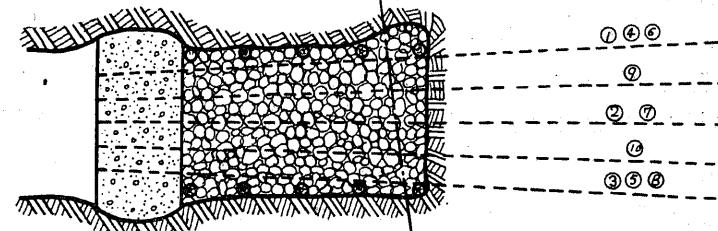
正面図



側面図

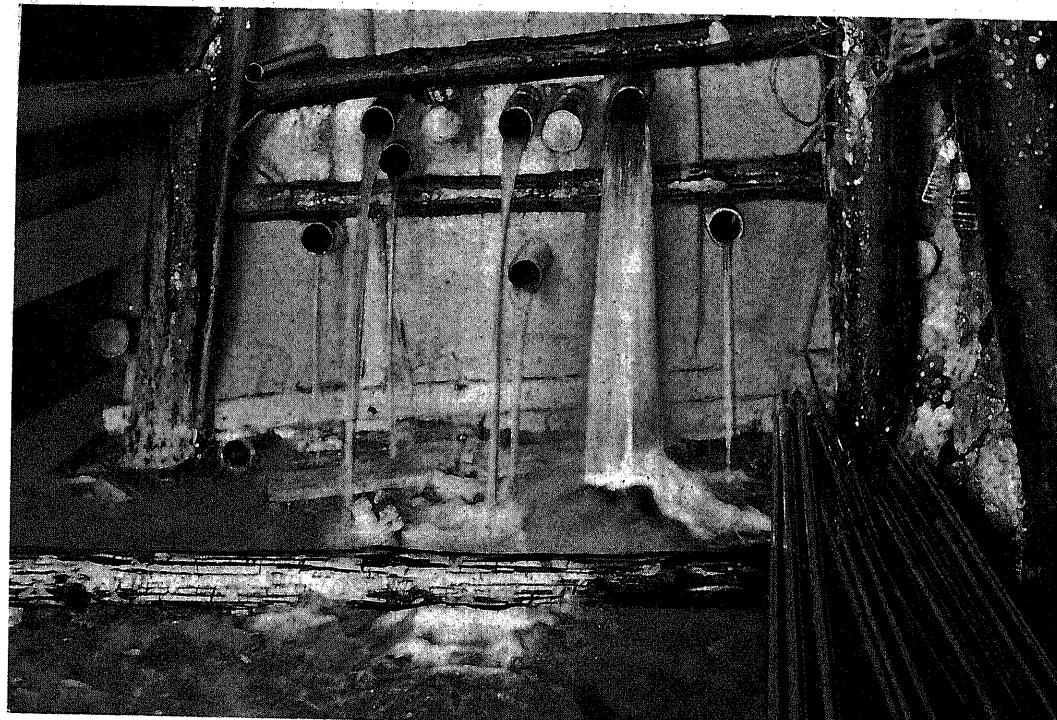


平面図

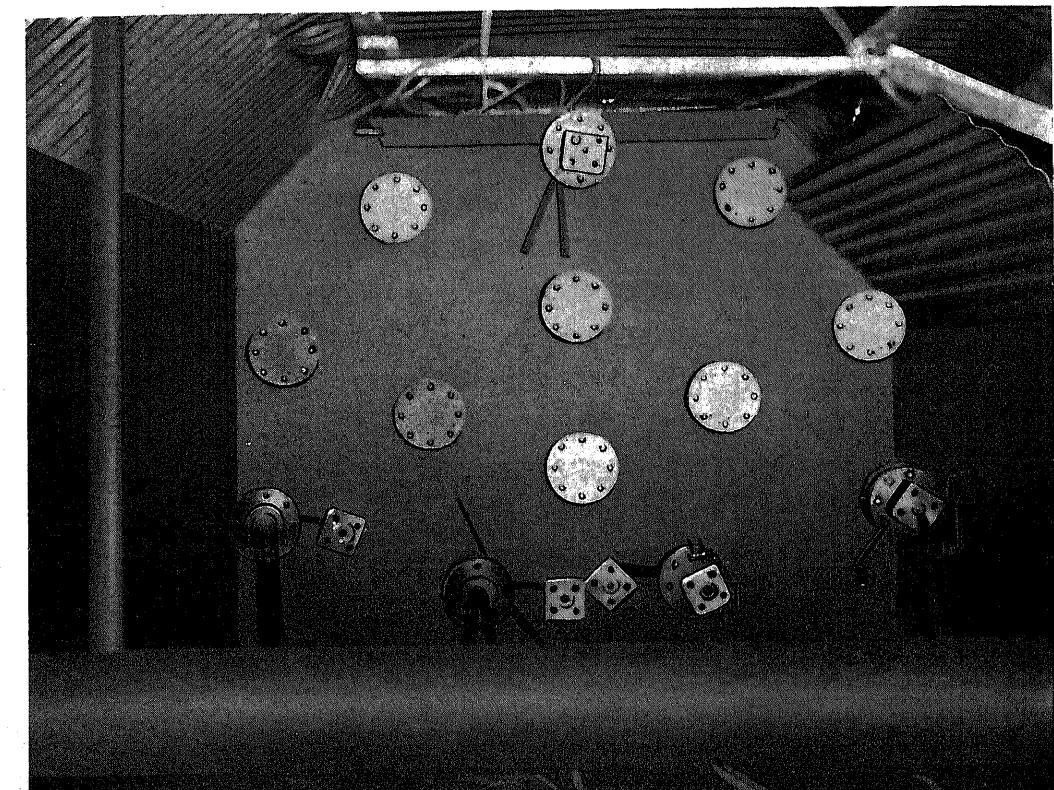


1.2.3.4.5.6.7.8 注入孔
9.10 調査孔兼注入孔
A.B.C.D.E フラットミキサード成形
隔壁注入孔 径2吋
a.b.c.d.e 排水孔 径4吋

第414圖 漏水多き箇所の隔壁の築造



第415圖 完成後の隔壁

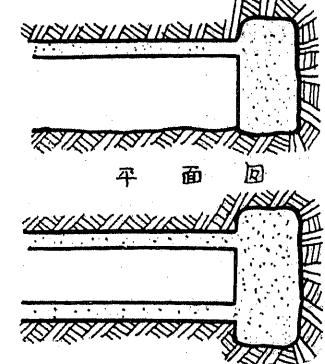


第416圖 地質不良な箇所に於ける隔壁

は砂質部分多き比較的漏洩し易き場所に於ける築造である、こんな地質に於ける隔壁の築造は中々むづかしい。此の場合前者と同様に適當の場所を選び隔壁を築造すると同時に其の前方數十呪に涉つて適當の厚さに坑道を疊築する必要がある。かうする事に依つて出来得るかぎり混疑土と地山の接觸面を廣くし摩擦を多くすると同時に道中を長くして、出来るだけ漏洩を少くする事を心掛けねばならぬ。硬化後のカニフグラウトミキサーによる當脊部の注入も中々むづかしい。即ち吹抜かれぬ様に（漏洩する道を作らぬ事）心掛けねばならぬ。吹抜かれたが最後之を止める事は中々困難であるからだ。かうして完全な隔壁が作られる。

注入用の鐵管としては大抵4吋瓦斯管を挿入した。之は其の中から注入孔を穿孔する關係上ビット、クラウン等の太さの關係か

側面図



第417圖 疊築部分を有する隔壁

ら此の位のサイズが恰度適當だつたからである。又グラウトミキサー用鐵管は2吋瓦斯管を埋設した。尙天端の混疑土打は中々困難なので、又此の部分が一番漏洩する場所である爲、或る時は帆木綿を入れたり又一日置いて混疑土の沈下をまち上部を翌日つめた事もあつた、尙此の部分に特にグラウトミキサーによる注入鐵管を充分考慮し適當に配置埋設した。

(2) 注入孔の決定と穿孔

注入孔より注入せられたセメント乳は、注入孔と交る裂縫、間隙中に侵入分布する、注入孔數は湧水の多少、即ち裂縫間隙の大小又は裂縫の數の如何により甚しく異なる、即ち少さい目が澤山あつても其の中に大きい割れ目が1つあればそれ丈つまつて少さい目には少しも注入出来ない事が多い。東口10,000呎附近の注入に於ては60呎も離れた底設導坑にまでセメント乳が出た事もあり又西口12,000呎では約300呎も離れた南側水抜坑まで出た事もあつた程である。併しこんな遠距離に注入せられて居事がわかつた場合、適當な方法により之を阻止する事が出来るから分布範囲はそれ程廣く考へる必要はない。然し地質状況をそれ程詳しくつき止める事は困難である、丹那では注入の及ぼす範囲を掘鑿せんとする導坑の外側10呎厚を硬化せしむる想定の下に、注入孔を配列する、此の場合注入孔數は地質に依るセメント分布範囲圓の直徑の大小に依り決定される。之は裂縫の太さにより決定し難いが大體3~10呎位とした。東口9,000呎附近は破碎安山岩帶で龜裂が無数に發達して居て、導坑の進行につれ300封度もある壓力の湧水が、之に作用して屢々坑道を崩壊せしむる危険を招いた。此の區間150呎を6回に分け注入を施行したが、最初は分布半径を4呎として注入し掘鑿したが尙充分とは言ひがたかつたので次には3呎の半径とした、又東口10,000呎附近の注入に於てはセメントの注入に先ちあらかじめ薬液を注入して、セメントの注入に際しての潤滑剤の作用をなさしめたので、分布半径を3.5呎とし8本の注入孔に依り作業を進めた。

注入孔の方向は、成る可く多數の裂縫に出遭ふやうにやるのが最も良い、此の爲めには節理、斷層の走行に直角に穿孔する事が最も理想的である。併しそまい導坑内では諸種の條件に支配されて、自由な方向を取る事はむづかしい場合が多い、従つて大抵の場合穿孔機を中心として導坑の周圍に放射状に注入孔を掘る場合が多い。此の場合方向は充分正確に決定しないと外周を平均の厚さに固められなくなるから注意を要する、又注入孔の深さは、前記豫定硬化範囲の大小と硬化區間の長さより定まる。即ち注入位置が隔壁から近い場合は深い穴を掘ると坑道より遠く離れた外周を注入する事となり、又始點と終點とに於て外周硬化區域に大差を生じ面白くない。一般に不良區域が40呎以上にも涉る場合には、最初20~30呎穿孔の上第1回の注入をなし次に第2回目の注入孔を穿孔注入する事とすれば、第1回の注入の成績も分り便利である。斯くして同一隔壁で100呎位まで硬化して掘鑿する事となる。斷層區間が未だ永く續く場合は再び次の隔壁を作り作業を繰返

す。

かうして注入孔の本數と方向等が決定すれば、いよいよ穿孔する事となる、丹那では種々の機械が注入孔の穿孔用として用ひられた其の重なるものは

(イ) クレリウス AB型試錐機(瑞典ダイヤモンドボーリング會社製)

(ロ) デンバー 34型鑿岩機(米國デンバー會社製)

(ハ) パイナー試錐機(獨逸パイナー會社製)

本機の構造機能の詳細については試錐の章に於て述べ此處では省略する。

(3) 注 入 劑

(イ) セメント、砂其他

注入作業が長時間續いても壓力が昇らず、且濃度を増しても依然效果がない場合は注入地帯に空隙又は割目の大きいものがある場合である、こんな場合には目的の範囲外にセメントが逃流する懼れがある。斯る場合は一應セメント乳の注入を中止し、火山灰、粘土、砂、鋸屑等をセメント乳と併用又は單獨に使用して目漬しとしセメント沈澱の足掛りとし、セメントの浪費を防ぐ方が得策である。併し此の場合注入機のプランジャー、バルブシート、を損傷し易いから、砂を注入する場合は前節に述べた砂入れ装置を使用した方が良い。(砂を注入する唧筒もあるが)、鋸屑、火山灰はセメント乳と同時に注入出来るから、非常に能率が上つて便利が良い。鋸屑を併用する場合には其の混合比はセメント1に對して鋸屑3、水6~9の割合が最も適當であつた。

注入地帯が非常に大きな空隙を有する場合は、先づグラウトミキサーに依りモルタルを注入した方が得策の場合もある、こんな場合空隙を充填するのに高價なセメントを使ふより比較的安價な砂を代用し得るからである。經濟的に有利である丈けで無く作業能率が擧る。

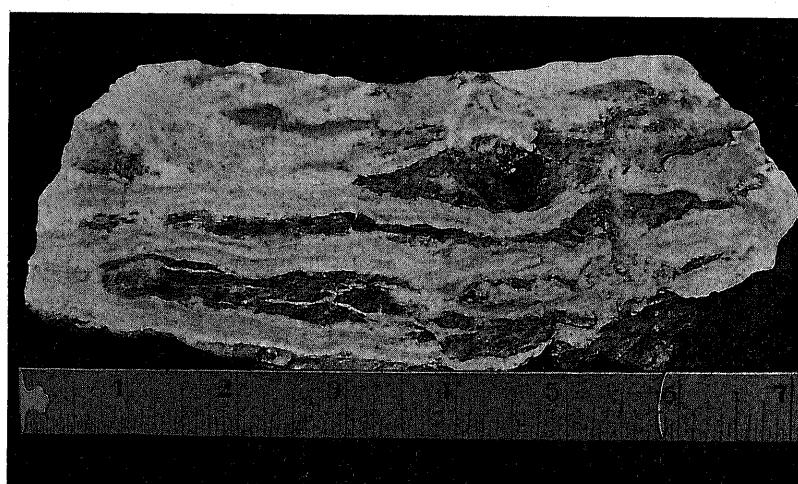
かうして最後に高壓の注入機で仕上の注入をすれば良い、斯の如き場合グラウトミキサーに依るモルタルの注入の配合は1:1乃至1:4位のモルタルとし水3~7を加へたものを標準として居る。最初は濃度のうすいものを使ひ段々濃度を増して行くのが普通であるが其の反対の場合もあるから地質、注入状態に依つて判断し、適當なる配合比、施工法を決定すべきである。

(ロ) 薬 液 の 注 入

注入工法を施工する場合其の地帯が高壓力の湧水に富み裂縫が非常に多い場合でも、其の割目が非常に小さい場合セメント丈けを注入したのでは充分ではない。ここで佛蘭西のアルバート、フランソア氏が苦心に苦心を重ねてセメントと併用する薬液を考へた。此の薬液はかうした場合の注入の效果を増大し且多孔なる岩石の空隙を塞ぐに大いに助けとなつた。歐米諸國で注入の請負工事を専門にやつて居る、フランソア、セメンテエション會社ではかゝる場合「セメント」丈けを注入した場合非常に良い状態に於ても50~60%の漏水を防止し得た丈けだつたが薬液を併用した場合90%合

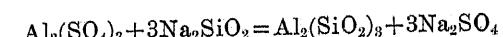
又はそれ以上あると稱して居る。事實セメント注入工法が長足の進歩を遂げ新工法としての位置を確立する様になつたのは薬液注入に俟つ所大なるものがある。丹那で使つた薬液には2種あり、其の1つは硅酸曹達(水ガラス)で他は硫酸鉱土である。硅酸曹達はナチュラルグラスであつて98%ピューアである。そして之は毎平方吋35封度に於て蒸氣に完全に溶解する性質をもつて居る。併し丹那では之を直接セメント、ミキサー中に入れ水と混合し攪拌したが注入には此の程度で充分溶解して結果は良かつた。硫酸鉱土は固形板状のものと粉末のものと2種あり、最初の注入に於ては粉末のものある事を知らざりし爲め、固形のものを求め、蒸氣罐を利用し槽中に蒸氣により溶解し使用濃度の10~15倍の溶液を作り、坑内にレシーバーにより運搬し薬液槽内に入れた。併し後に粉末のものあるを知り之を購入直接適當量をミサキー中に入れ攪拌使用したが之で充分であつた。薬液は歐米に於ては兩者別個に異なる2臺以上の注入唧筒により注入、岩石内で化合せしめて居る様であつたが丹那ではあらかじめミキサー中で混合の上注入する事とした。此の場合溶解された薬液は比重計で計られトワドルと言ふ単位で言ひ表はされる。1トワドルとは比重で0.005である、丹那で使つた溶液は大體2トワドルのものであつたが大體使用した薬液の調合を記せば

トワドル	比重	水100ccに付	硅酸曹達	硫酸鉱土	温度 20°Cのとき
2	1.01		4瓦	3瓦	
4	1.02		6"	4"	
6	1.03		10"	7"	
8	1.04		18"	9"	



第418圖 西口1,2000呪附近本線切換部分に於けるセメント並薬液注入状況

此の2薬液は化合して大體次の様な化學反応を起し、膠状物質たる硅酸鉱土を形成するものである。



此の薬液の効果は次の様に考へられて居る。即ち硅酸鉱土は膠状物質であつてセメントに比し非常に微粒子である爲め、如何なる小さい亀裂中にも滲入する事が出来ると同時に又此の薬液の亀裂の常に對する摩擦はセメント乳のそれに比し非常に小さいため、後に注入せらるるセメント乳に對しては潤滑剤として作用しセメント乳の亀裂への滲入を容易ならしめセメント乳丈けでは滲入し得ない様な小さい割目でも滲入し極めて良好なる結果ををさむるものである。

(4) 膠結状況の調査

注入作業が終了した後、掘鑿を開始するに先だち該區間が要求せらるる迄に膠結し居れるや否やを調査する必要がある、之にはクレリウス試錐機、或はパイナー試錐機等により試錐の上其のコアを採取して決定するか、又はデンバー34型鑿岩機に依つて掘進し操粉排水他の状況により膠結の程度を判断する2つの方法が用ひられた。併し前者は確實ではあるが相當の経費と期間とを必要とするので、大抵鑿岩機に依つて穿孔して膠結状態を調査する方法を採用した。此の方法でも掘鑿に必要な程度の判断は充分出來た。尙此の結果注入不充分なる場合は此の調査孔を注入孔として注入作業を再び繼續し、充分ならば直ちに掘鑿に着手する事が出来る。

(5) 注入設備

注入工事場に設備すべきものは大體次の通りである。

- (イ) 注入機械
- (ロ) カニフ、グラウトミキサー (主として隔壁注入用)
- (ハ) セメント、ミキサー (2段槽羽根付電動機共)

- (ニ) 給水装置一式
- (ホ) 注入孔穿孔機 (試錐機又は大型鑿岩機)
- (ヘ) セメント、薬液、砂、其他材料置場

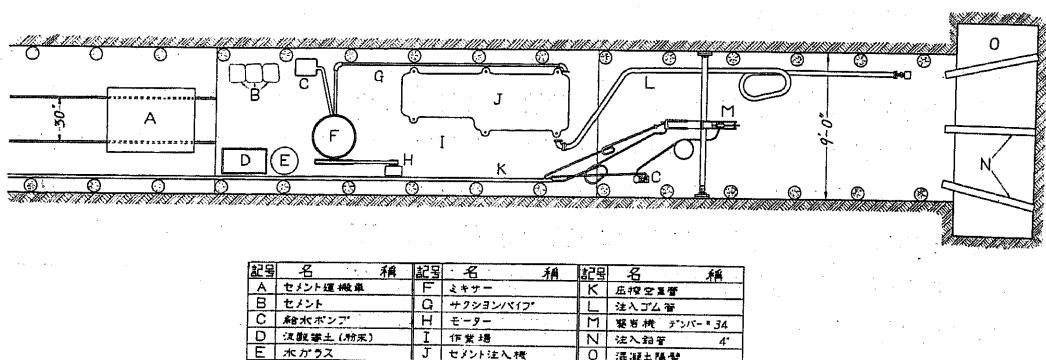
附屬品として準備すべきものの重なるものは

- (イ) 注入用ゴム管接头共
- (ロ) コック、バルブ類
- (ハ) 牛皮パッキング、ボロ、油、グリース類
- (ニ) 砂入れ装置
- (ホ) 圧力計
- (ヘ) 鉄管、接头類

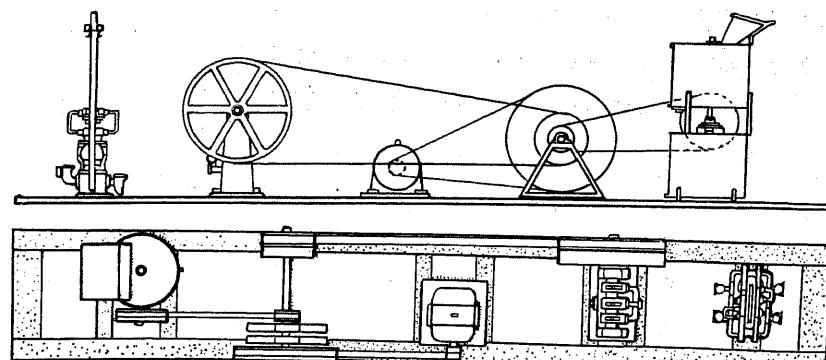
(ト) 分解、手入に必要なるスパナー、パイプレンチ類

注入に使用する高圧用の部分品は特に吟味して作る必要がある。注入工事中は注入と穿孔は常に交互に頻々と起るから。穿孔機は出来るならば注入箇所正面に据えつけ、段取換への際直ちに穿孔出来る事及び其の方向も自由に取り得る様なすべきである。又注入機はセメント、薬液の運搬の便なる所で而も、取扱い、給水の便なる所が望ましい。材料の運搬さへ具合よく行けば丹那では1,000袋内外のセメントを一晝夜に注入した程であるから運搬方法は充分考慮すべきである。

尙注入終了の都度水を通して注入機、附屬品一切を清浄にして置く事は忘れてはならぬ。今丹那で使つた注入設備の標準圖を示せば下の如くである。



第419圖 セメント注入設備圖

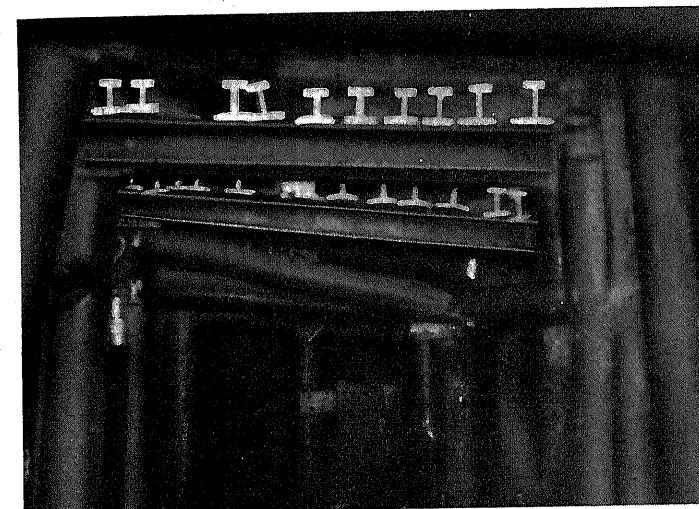


第420圖 スエーデン製高圧注入機設備圖

第四節 西口 4,950呪附近の注入作業

(1) 丹那隧道西口坑内 4,950呪の断層概説

底設導坑は大正11年2月4,940呪を掘進して白色中粒凝灰岩に粘土を含みたる地質に遭ひ、少量の湧水にても肌落ちする徵候を認めた爲め崩壊を防備せしも土壓次第に加はり遂に奥端より湧水と共に泥土(角礫を混す)約15坪を噴出するに至つた。次に頂設導坑も大正11年11月4,917呪に至りて其の奥端より湧水と共に土砂約117立坪を流出するを見た。又左側迂廻坑も大正12年6月4,950呪を掘進して又奥端より湧水と共に土砂約5立坪を噴出した。只右側迂廻坑のみは大正12年3月断層角礫帶(自4,900~至4,980呪)を掘進し鐵製穹拱型支保工を施し3段掘として掘進したが幸に通過するを得た。此の結果断層角礫帶を通過し断層の背後に至り隧道中心線に復歸し得たので大正12年8月底設導坑を背面より掘進し4,965呪に達した所突然多量の湧水と共に土砂約5立坪を押出した。爾後は大正13年1月下旬まで本断層角礫帶に對し底設導坑貫通(此の延長約30呪)せんとし非常な難作業を繼續した結果僅かに幅4呪高さ3呪の廣さの導坑の貫通を見る事が出來た。此の掘進に於ては長さ6呪、徑6吋の鋼管内に混凝土を填充した柱を用ひ、75封度軌條を3本組合せた押木を使用又60封度軌條を矢板代用として、鐵縫ひに使用した等充分堅固な支保工を用ひたが稍々もすれば土砂噴出して作業容易に進捗せず柱、矢は彎曲し或は加脊は



第421圖 大正13年1月13日、西口坑内4,490呪底設導坑掘鑿(膠灰注入前の作業狀態)

縮められる等可成の困難を感じた。

然るに大正13年2月底設導坑貫通點に於ける縫返し作業中突然土砂約600坪強大なる壓力の湧水と共に押し出し坑道を埋没したるの勿論、作業從事員16名の犠牲者を出す大事故を惹起した。此の當時各導坑の湧水量は

正進底設導坑	坑門口より	4,940呪	6.8個
頂設導坑		4,917呪	1.2個
左側迂廻坑			2.5個
右側迂廻坑			5.5個

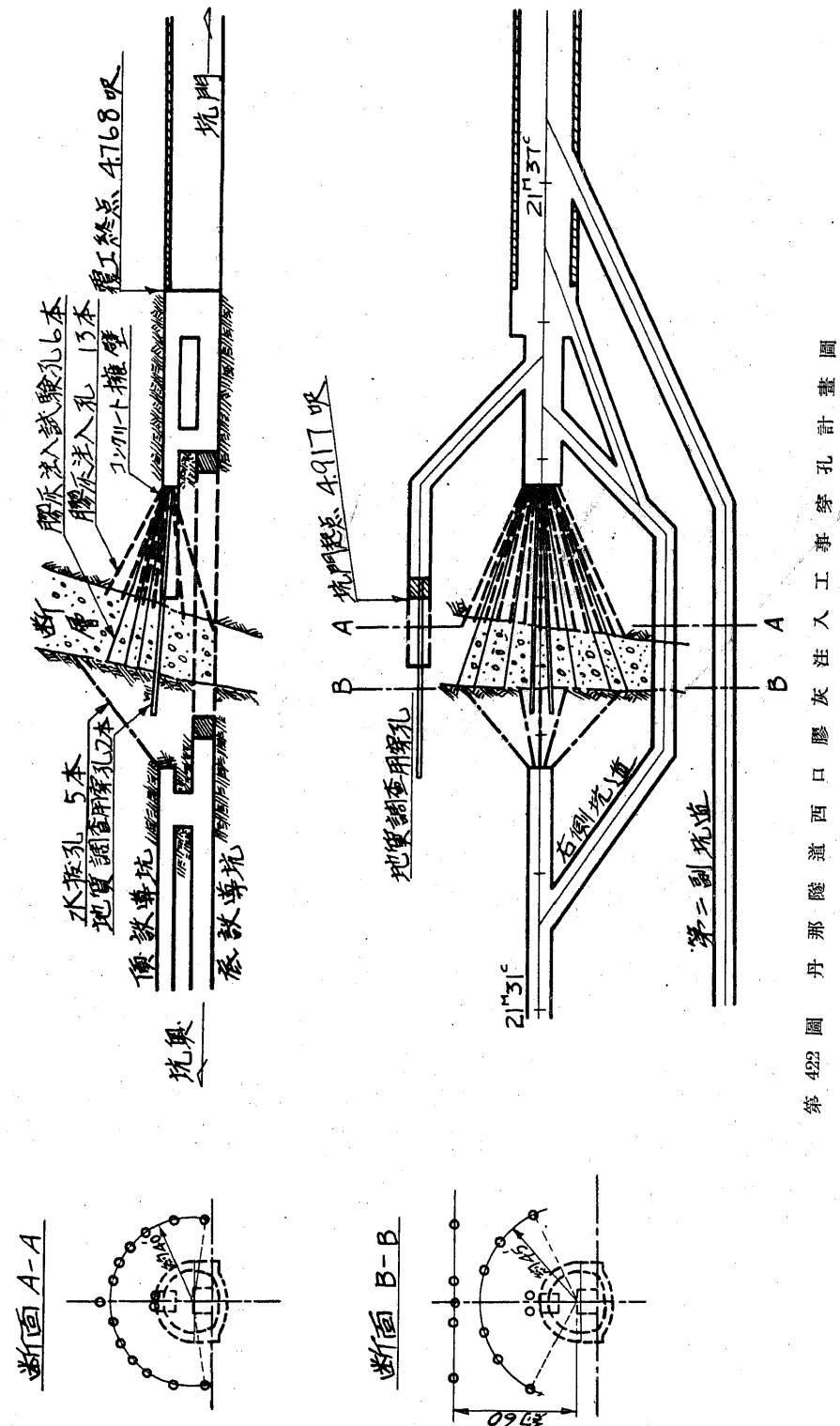


圖 422 圖那隴道西口膠灰塗入穿孔計畫圖

5.0 個

要するに丹那隧道西口 4,950 呎附近の断層は、走向約南北傾斜は東 45° にして 断層角礫の厚さ約 35 呎のものである、地表面下約 600 呎を開鑿して隧道を完成せんとするものであつて、断層角礫帶を滲透する地下水の湧出量夥だしく、然も角礫層の固結疎鬆なる爲、土壓著しく影響し之が掘鑿作業を難澁ならしめたのである。然るに今回試みた膠灰並薬液注入作業の效果は断層角礫帶を充分固結して、湧水は全く阻止せられ、坑道 8×8 呎の加脊を以て優に 1 日平均 7 呎以上掘進し得る様になり、大成功をおさめ得たのである。但し湧水量は當初本断層に底設導坑到達して以來相當の日子を経過したのと、他導坑の掘鑿作業相當の進捗を示したので、注入作業開始に際しては幾分減水した關係もあり此の結果が注入作業の成功の一原因となつた傾向のあることは否定することは出來ない。

(2) 第一次膠灰注入作業

(1) 計 畫 概 要

西口 4,917 呪(21 哩 34 鎮)附近の断層帶は前述の如く地質頗る不良であつて到底普通の掘鑿方法に依り難く遂に特殊工法として膠灰注入工法を採用する事に決定、大正 13 年 2 月準備工事に着手した處、同月中旬當断層地帶底設導坑の縫返し作業中土砂噴出する大事故に遇ひ、當初の計畫に多少の變更を加へたのであるがその大要は次の通りである。

(A) 混凝土隔壁の設置

膠灰注入工事に使用する壓力は最高 300 封度とした。此の壓力は可成大なるものであるから、注入に際して漏洩止めとしての隔壁を築造する必要があつた。大湧水事故以前に於ては注入は頂設導坑の硬岩を隔壁代用として施行する豫定であつたが、出水事故の原因並状況に鑑み厚さ 9 呎の混擬土隔壁を設置する事とした。隔壁としての厚さ 9 呎は薄きに過ぎざるやの疑問もあるのであるが、彼の大事故を惹起したる原因を些細に考究するときは、湧水の排出により誘導されたる砂礫の流出、即ち移動に因り此處に空隙を生ずるや直ちに第二次の砂礫に對して移動性を誘引し次第に空隙を擴大し此の如くにして移動性を帶びたる土砂即ち流體的性質を帶びたる土砂の量を著しく増大し、之等土砂の勢のために土砂噴出の大事故を起すに至つたものであつて、初めより隔壁面全部に對して流體的に働く壓力は存在してゐないのである故隔壁は上述の礫の移動を防ぐに充分であると信するのである。

(B) 地質調查用試錐作業

地質調査用試錐孔は土砂噴出事故に依る地質の變化に伴ひ相當の變更を要する事は明かである。此の爲圖に見る如く第一、第二、第三の地質調査を行ひ、膠灰注入作業計畫の萬全を期した。

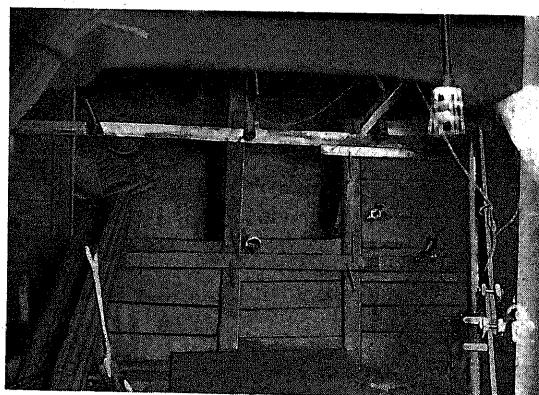
(C) 注入孔の位置及び本数

事故以前の計画では推定断層に達した個所で、隧道の中心を中軸とする半径 20 呪の圓筒形を膠灰の充填可能範囲と假定し注入孔の數は 10 本と定めた。頂設導坑の硬岩を隔壁代用として注入する計画であつたが事故の結果地質の變化もあり、尙動もすれば空洞發生の疑問もあつたので注入孔奥端の配置は其の範囲を擴大し、隧道疊築工の外周より 25 呪乃至 30 呪の距離に達せしむる計画とし、注入孔も 13 本とした、尙注入後の成績調査の爲め調査孔 6 本を穿孔する事とし且其の先端は疊築工の外周 25 乃至 30 呪を距り断層帶の奥端に達する様に計画した。依つて此の調査孔により膠結状況調査の結果充分ならざる時は直ちに之を注入孔として注入をなす事とし且疑問を存したる空洞の位置が疊築工の外周 30 呪以内にあるとすれば單に膠灰注入作業のみにて隧道工事を完成するのは不充分である故、第二段の手段を取る事とし爲めに穿孔の到達する範囲を擴大し其の存否を確かむる事とした。

(D) 水抜孔の穿孔

膠灰の注入を行へば該區間は必然的に湧水を妨げるのである、之が完全に湧水を遮断することはないとしても湧水は甚しく抵抗を受けることとなり湧水量を減ずる事は明かである。一般に或る水頭を有する地下水を含む地盤に水抜孔を作る時は地質により種々なる拋物線を畫きて地下水位の低下するは周知の事實である。而して現在の導坑は地下水準以下にあつて之に水抜穴を作つた状況である。爲めに膠灰注入の結果は現在よりも導坑上の水位を上昇せしむるやも知れず、此の爲め注入終了後と雖も現在の水位又はそれ以下に水位を降下せしむる爲め水抜孔の穿孔を計画した。

水抜孔の位置は穿孔容易にして注入作業に支障を及ぼさざる事が望ましい、現在注入孔開鑿の地點は穿孔容易であるが注入作業に支障を及ぼす事断層の湧水は坑口側よりも坑奥側に多いのは地質調査の結果明かである事に依つて水抜孔は坑奥側より穿孔し其の先端は断層地帯に達せしめ且注入の結果充填されるゝと想像されるゝ部分より上方に穿つを事とし 21 呪 32 鎮 53 節の地點に切上りを作り



第 428 圖 西口 4,950 呪附近隔壁築造

此處にて穿孔する事とした。其の本數は前述の如く注入の結果完全に防水されるゝものとして現在の湧水量を排除せんとした。今地質調査孔よりの湧水の状況を見るに

$$Q \text{ 湧水量 立方呪每秒}$$

$$D \text{ 排水管の徑 呪}$$

$$V \text{ 湧水速度 每秒呪}$$

とすれば

$$V = \frac{Q}{\pi D^2}$$

而して $Q = 0.5$

$$D = \frac{1}{12}$$

故に $V = 21.5$ となる。然るに本断層に於ける湧水は從來の統計により約 5 立方呪每秒であつて、水抜孔には徑 75 精クラウンを使用する事とせる爲め穿孔の直徑約 4 吋として孔數 N を求むるときは

$$D = 2 \text{ 吋} = \frac{1}{6} \text{ 呪}$$

$$V = 21.5 \text{ 呪}$$

なるが故に

$$N = \frac{5}{V\pi\left(\frac{1}{6}\right)^2} = \frac{7 \times 36 \times 5}{22 \times 21.5} = 2.65$$

即ち少くとも 3 本の水抜孔を要する譯である、爲めに安全を期し 5 本の水抜孔を穿孔する事とした。穿孔にはクレリウス AB 型地質調査機を使用する事とした。

(E) セメント注入

セメント乳の注入は水 12, セメント 1 乃至水 3 セメント 1 位まで順次濃度を増しランサムカーフグラウトミキサーを使用し文空氣の壓力昇壓機としてウエスチングハウスエヤーブースターを据付け場合に應じ 50 封度より最高 300 封度迄の壓力にて注入することとした。

(F) 施工

(A) 地質調査用試錐作業

前述の計画にもとづき大正 13 年 2 月サリバン會社製 プラボーボーリングマシンに依り地質調査をなす爲に準備を急いで居たが 2 月 10 日土砂流出 600 立坪の大事故に會ひ 4 月まで作業を中止し、先年頂設導坑奥端に築造せる土留工を取除き、底設導坑より頂設導坑に棧橋をかけ、尙切上りを作り作業材料運搬に備へた。4 月 20 日以來試錐孔第 1 号に 2 吋半の鋼管打込みを開始した。27 呪の箇所に於て湧水増加し粘土が流出して來たが 45 呪に至つて安山岩層に達し打込不能となつた。よつてダイヤモンド試錐に依り 72 呪 87 まで穿孔して底設導坑に於て認めたと同質の安山岩に達し作業を終つた。調査孔第 2 号は第 1 号の左側に穿孔する事とし引續き作業を始め、2 吋瓦斯管を打込み始めたが 8 呪にして折損し進行不可能に陥り 4 吋鋼管を打込み 2 吋瓦斯管の折損せるものを引抜き再び作業を開始した。進行 32 呪に至つて湧水甚しく 45 呪に至つて安山岩に達した。之よりダイヤモンド試錐に依り 54 呪 71 に達し第 1 号孔と同一地質に達し中止した。第 3 号孔は左側坑道の奥端に施行したものであつて、試錐に先ち奥端より 29 呪間の坑道を

埋戻し其の前面に厚さ 9 呎の隔壁を築造してあつたが、後の試錐に備へて豫め 4 吋鐵管を埋込んで置いた。第 3 號孔の鐵管打込みは 4 吋鐵管内に 2 吋鐵管を嵌め込むものであつて進行 18 呎にして安山岩に達し以奥はダイヤモンド試錐を用ひ 25 呎 5 に至り清澄なる湧水奔出し 28 呎 71 にして第 1 第 2 號孔と同一の状況に達したした。

(B) 埋戻し作業と混凝土隔壁の築造

頂設導坑は地質調査終了後延長 40 呎に涉り崩壊する土砂に依り埋戻しをなし、前面に厚さ 9 呎の隔壁を築造し各調査孔には隔壁の前面まで鐵管を埋設した。

(C) 注入孔の穿孔

注入孔の穿孔箇所は前面は赤色の變質集塊岩であつて孔奥には安山岩の角礫を混じた砂質及び褐色土質の部分がある、其の安山岩の礫は灰色のものと變質して赤色を呈するものとあつた。更に此の岩層を掘進すれば断層破碎帶に至るのであるが今回の注入は断層の手前で止めることとした。

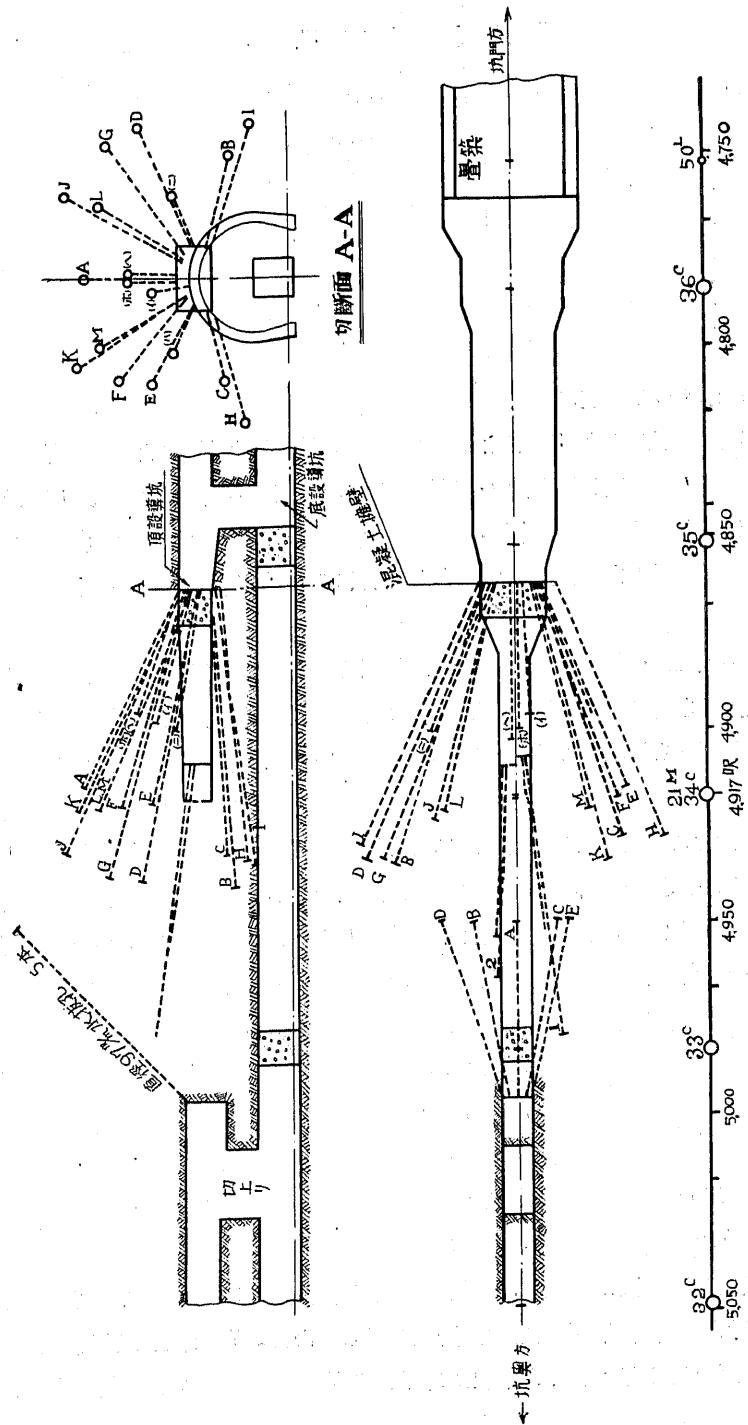
注入孔 A 號は深さ 56 呎 3 吋半、B 號は 78 呎にて中止した。I 號は 41 呎 10 吋にてダイヤモンド破損し、其の破片を取出す事が出来なかつたので中止し上部に 6 吋離れて同一方向に改穿する事とした。又注入作業の成績調査孔として (イ) (ロ) (ハ) (=) (ホ) (ヘ) の 6 本を圖の如く穿孔する事とし作業を開始したが何れも隔壁の穿孔に當りダイヤモンドの磨損甚しく (ロ) は遂に穿孔を中止するの止むなきに至つた。尙ほ注入孔並調査孔穿孔にはプロボーラー試錐機並米國デンバー會社製壓縮空氣動送水唧筒を使用した。今注入孔並調査孔の深さ其他を記せば下表の通りである。

注入孔穿孔の深さ

名 称	混凝土壁面に於ける孔の位置		混凝土壁面より 125 呎奥に於ける孔の位置		孔 深	断層界位置	記 事
	中心線より 右左 離れ の高さ	施工基面より の高さ	中心線より の離れ	施工基面より の高さ			
A	右 60	29.80	0.500	88.050	56 3.5	52.00	
B	右 7.60	21.60	47.125	13.295	78 0.0	60.00	
C	左 7.20	21.60	43.667	14.383	73 8.0	64.00	
D	右 7.80	25.00	61.792	19.130	75 11.0	68.00	
E	左 7.20	2.500	55.042	50.130	57 4.0	53.00	
F	左 5.50	28.50	52.292	63.717	57 2.0	51.00	
G	右 5.10	27.45	55.833	62.050	77 4.0	67.00	
H	左 11.20	19.10	61.300	6.400	71 4.0		
I	右 9.72	20.35	69.300	3.050	41 10.0		41'—10" に於てダイヤモンド 破損したるため中止す
1(改穿)	右 9.72	20.85	69.300	3.550	73 07.0		
J	右 4.90	29.20	37.400	68.700	63 1.0	60.00	
K	左 5.00	29.00	36.250	85.100	75 4.0	53.00	
L	右 4.80	27.50	34.800	77.500	60 7.0	60.00	
M	左 4.80	27.50	34.800	77.500	63 6.5	53.00	

第一次膨灰注入工事作業圖

縮尺 1:1000



第 424 圖

成績調査孔穿孔の深さ

名 称	混凝土壁面に於ける孔の位置		混凝土壁面より 125 呎與に於ける孔の位置		孔 深	記 事
	中心線より右左離れ	施工基面よりの高さ	中心線より右左離れ	施工基面よりの高さ		
イ	左	2.50	26.80	6.963	59.217	34 10.0
ハ	右	6.00	24.80	55.125	44.975	36 2.0
ニ	右	6.00	24.80	55.125	44.975	40 0.0
ホ	左	1.00	29.30	1.000	74.008	36 9.0
ヘ	右	1.00	29.30	1.000	74.008	40 10.0

(D) 水抜孔の穿孔

水抜孔の穿孔は 8 月 30 日よりクレリウス AB 型試錐機によつて開始され 10 月 19 日終了した。穿孔を開始して以來 1 交代 (8 時間) に 2 米乃至 3 米の進行を示し甚だ順調に進行したが、10 米 68 に至り高き摩擦音を聞いたので、ロッドを引抜きクラウンを検査した處、ダイヤモンド脱落破損せるを發見した、蓋し進行大なる場合にも穿孔速度を調節すべき事の必要なる経験を得たのである。

深さ 8 米より 9 米間に於て赤色集塊岩より灰色安山岩に變じ湧水を伴ふに至つた。是れ安山岩層に縫裂多き爲である。16 米より 17 米間は粗粒の砂層にして或は帶黃色或は黑色、褐色を呈し、又断層角礫とも思はるゝ小塊を交へ穿孔の進行甚だ遲緩であつた。水壓は毎平方吋 57 封度なれ共ケーシングチューブ内に土砂つまり時には 140 乃至 210 封度迄にも昇り作業に困難を感じた。又穿孔を中止すれば濁水の流出はたちまち清水に變化する事實に従すれば蓋し湧水は安山岩層より流出するものであつて試錐の先端には未だ湧水のないためであろう。水抜孔 A 號は 97 精クラウンにて穿孔を開始し 16 米 54 附近より崩壊甚しき爲めケーシングチューブを挿入し 87 精クラウンにて穿孔せるも土砂の流出甚しく遂に 17 米 21 にして中止するの止むなきに至つた。(B)(C)(D)(E) 各孔も同様の経過をたどり次の如き深さを穿孔した。

- (A) 17 米 21
- (B) 17 米 79
- (C) 16 米 70
- (D) 19 米 23
- (E) 16 米 43

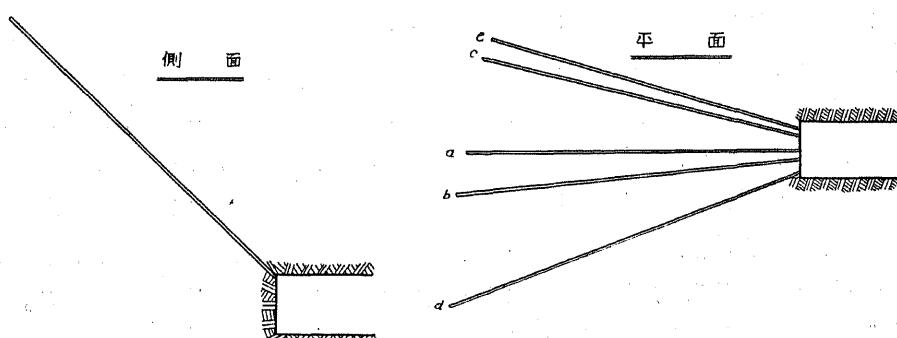
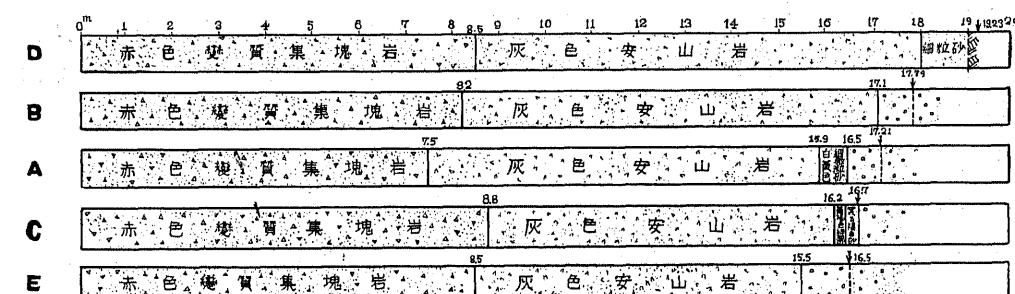
水抜孔穿孔部分の地質は 7.8 米迄は赤色變質安山岩と間違ひやすき集塊岩にして處々に 4 吋乃至 12 吋大の變質程度少なき安山岩塊を混じてゐた。7.8 米より孔奥は有孔質の安山岩で長石の白色斑點あり又節理が大いに發達して居た 16.7 米以奥は直ちに断層破碎帶に到達したものと粗粒砂

質層を通過して断層破碎帶に達するものとあつた、断層破碎帶は密着性を缺いた疎鬆な破碎土砂層である。5 孔の總湧水量は 0.11 個で其の大部分は灰色安山岩層より湧出するもので相當の日子を経過したる後も變化はなかつた。

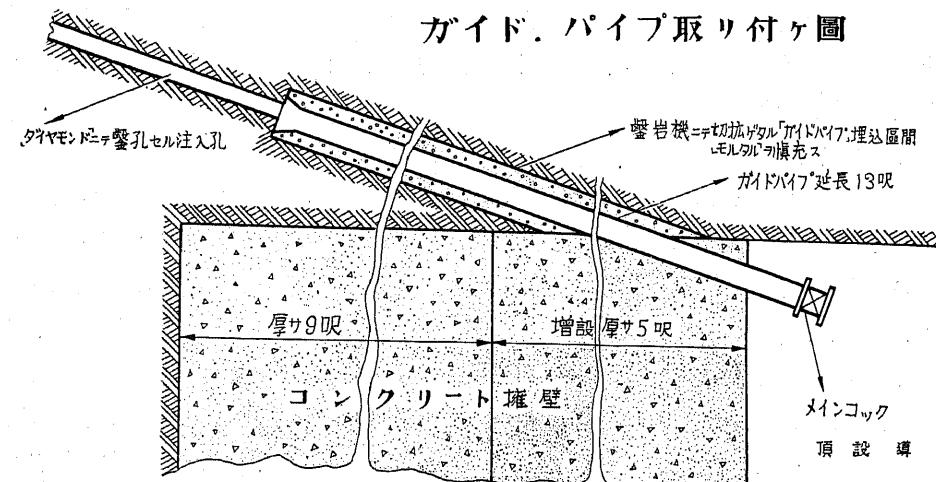
(E) 注入管取付作業

注入孔及水抜孔に對しガイドパイプを取付けた。パイプは内径 2 吋、長さ 8 呎尖端漏斗状に開いて脱出を防ぎ後端にはコックを取付けた。パイプの取付に當つては穿孔口の入口より 7 呎を徑 4 吋に擴張する爲め、鑿岩機 DX61 番を使ひ、鑿は錐鋼の徑 1 $\frac{1}{4}$ 吋のものをクロスピットとし刃先徑 4 $\frac{1}{4}$ 吋より 1 分下りに 3 組の種類を作り使用した。パイプの取付作業は孔中より常に湧水流出し居る爲め中々困難であつたが K.T.O. 急硬セメントを使って取付けた。ガイドパイプは穿孔前之を取付け其の内部に注入孔を穿孔するのが至當であるが、今回は注入孔の穿孔を終りて後之を取付くる爲に孔を擴張する爲中心線を合致せしむる事が困難なるのみならず下向孔では繰粉が孔内につまり掃除等つまらぬ手數が多い。ガイドパイプの取付を終り、注入孔掃除の爲め壓力 100 乃至 300 封度の水を注入したがガイドパイプの外側から漏洩が多かつた爲め隔壁の補修をした。

水抜孔試錐ニ依ル地質圖



第 425 圖



第 426 圖

(F) 注入孔の洗滌とセメント注入作業

注入作業は 12 月 10 日開始せられ 12 月 21 日終了した。セメント乳注入前に注入孔に水を注入して洗滌する事は大切な事である、本工事に於ても數回水を注入して清水が排出する迄繰返し注入し平均 20 回位も注入洗滌した。それから注入を始めた。13 孔に注入した結果最大量 1428.073 立方呎にして、最少 1.148 立方呎 1 孔平均 172.675 立方呎であつた。此の如くして總數 510 樽のセメントと 714 貢の火山灰を注入した。

(G) 成績調査孔穿孔作業

注入作業終了後、硬化をまちて翌年 1 月より注入の状況を調査する爲めの穿孔を始めた。此の調査孔は前に述べた如く注入前 (イ)(ハ)(=)(ホ)(ヘ)(ト) 各號とも其の半途までに穿孔して置いたので、再び以奥を穿孔する事となつたが中心を合せるのは中々困難で中には新しく穿孔し直したのもあつた。調査孔の穿孔の結果は注入孔穿孔の際掘つた處までは各孔共穿孔可能であつたが以奥は崩壊甚しく注入前穿孔の状態と同様であつた。更に (J)(D) 2 孔を試錐したが同様にしてコアを得る程度の凝結度は勿論なく幾分湧水を減じた程度であつた。要するに調査孔穿孔の結果セメント乳は断層破碎帯に注入する事容易ならず、其の大部分は埋戻した頂設導坑箇所に沈澱凝結したことを確め得た。然れ共第一次注入の結果は断層帶の注入は不結果に終つたが埋戻し區間の空隙填充の結果第二次注入を成就せしむべき豫備作業としては成功せる事は明かである。尙調査孔は穿孔終了後セメント並火山灰 17 樽を注入して之をつめた。

調査孔穿孔の結果之等の部分に果して膠灰の浸潤するものなりや否やを探知する必要を認め注入

後に於ける角礫粉末の分析試験をした其の結果

(=) 號試験體 自 66呪 10時 至 70呪 10時 (ハ) 號試験體 自 47呪 9時 至 52呪 0時

	鹽酸にて處理せしに	同右
礫土	10.0 %	8.43 %
酸化鐵	7.88 "	6.01 "
石灰	3.28 "	3.14 "
苦土	1.70 "	1.88 "
可溶性硅酸	21.64 "	18.88 "
不溶解硅酸質分	41.66 "	50.00 "

可溶性硅酸並礫土、酸化鐵を多量に含有せるは恐らく岩石又はセメントに混入した砂、砂利の性質に起因するものであらう。可溶性硅酸よりセメントの量を算出し得ないが分析上石灰分の全部をセメントの成分と假定すれば約百分の 7 位混入せるものと思はる。

(3) 第二次膠灰注入作業

前述の如く第一次注入の結果は満足すべきものでなかつたので、第二次注入作業が計画され次の示方書にもとづき施行される事となつた。

第二次注入作業示方書

- 第一條 第一次膠灰注入工事ノ成績調査ノ爲メ頂設導坑埋戻シ箇所ヲ一部分掘鑿シテ見ル事
但シ必要ニ應ジ再ビ埋戻ス事
- 第二條 第一次膠灰注入工事ノ際ハ斷層角礫帶前方ノ境界ニ至リテ注入孔ノ掘進ヲ停止シ此レニ膠灰注入ヲナシタルモ第二次注入ニアリテハ注入孔ヲ斷層角礫ノ奥方境界ニ到達セシムモノトス。
- 第三條 「第二注入作業」於ケル注入孔ニハ内徑 2 吋鐵管ヲ打込みシ該鐵管ガ角礫帶ヲ貫通スル部分(此レハ推定)
= 相當スル管壁ニハ適當間隔ニ多數ノ小孔ヲ穿チ注入膠灰ノ噴出ニ便ナシムモノトス。
- 第四條 第一次作業ニ於ケル注入孔奥端ニ間隔ハ平均 11 呪 = 相當セシモ第二次作業ニ於テハ此レヲ 9 呪 = 改メ
注入孔ノ配置ヲ同心二重圓上ニ配置スルモノトス。(圖面参照)
- 第五條 前條注入孔ノ内圓周上ニ配置セルモノヲ穿孔後穿孔作業一時中止シ、全注入孔ヲ洗滌注入スルモノ
トス、其ノ注入順序ハ兩側下部ヨリ漸次上部注入孔ニ及ボスモノトス。
- 第六條 前條注入作業終了シタル後ハ直チニ外側ニ配列スル注入孔ノ穿孔ニ着手前條ニ倣ヒ水洗ヒノ後注入ヲナ
スモノトス。
- 第七條 注入孔ノ穿孔ニハ 75 粒クラウンヲ有スル金剛石試錐機ヲ使用スルモノトス。
- 第八條 膠灰乳ノ濃度ハセメント 1 = 對シ水 3 乃至 10 トシ地質状況ニ應ジ選擇注入スルモノトス。
但シ空隙大ナル時ハ濃厚ナルモノヲ小ナル時ハ稀薄ナルモノヲ使用スルヲ原則トス。
- 第九條 膠灰ハセメント 0.7 ト火山灰 0.3 トヲ豫メ混合シタルモノヲ使用スル事アルベシ。
- 第十條 グラウトミキサー内ニ於テ膠灰、火山灰、水ガ充分攪拌セラレタル事ヲ認メタル時ハ更ニ曹達灰ヲセメ
ント容積ノ $\frac{1}{200}$ 乃至 $\frac{1}{100}$ ヲ限度トシテミキサー内ニ投入スルコトアルベシ。

第十一條 膠灰注入前必ズ穿孔内ヲ清水ニテ反覆注入スルモノトス。

但シ其ノ回数ハ現場ノ状況ニ鑑ミ適當ニ裁量スルモノトス。

第十二條 注入孔ニ注入ヲ開始スレバ、注入不可能トナルマデ作業ヲ繼續シ間断ナカラシムモノトス。

第十三條 膠灰注入ニ使用スル空氣ノ最高圧力ハ毎平方呎 300 封度トスルヲ以テ作業中ハ可成圧力ヲ持続セシムモノトス。

第十四條 注入工事機械設備ハ第一次ノ場合ト同様トス。

第十五條 全部ノ注入ヲ終了シタル後其成績ヲ調査スル爲適當ノ位置數箇所ニ試錐ヲナスモノトス。

第十六條 工事終了後跡片付其他ノ一切ヲナスモノトス。以上

第二次膠灰注入作業は前記の示方書に基き大正 14 年 1 月に着手爾來波々として注入孔の穿孔に努力せしも膠灰注入の効果如何に關しては斷層角礫帶の地質餘りに荒砂、角礫の混合したる粘土分に富み單なる岩層壊裂に對する膠灰注入作業と相違する處大なるものある故果して良く膠灰は普及し硬結すべきや疑問視せらるるので、硅酸曹達溶液を角礫に注入して其の凝固度を試験し或は硅酸曹達溶液は膠灰溶液の浸潤度を増大するものなりや否やに付き種々考究中恰かも五月上旬本省研究所長屋技師當工事場を視察して下記土壤膠結示方書を案出實行を求められた。

土壤膠結示方書

鹽化石灰溶液ト硅酸曹達溶液トヲ相互ニ土壤ニ注入スルトキハ土壤分子間ニ於テ兩者ノ化合ヲ起シ硅酸石灰ヲ生ジ時日ノ經過ト共ニ土壤ヲ膠結硬結ス、鹽化石灰ハ遊離鹽酸ヲ含有セザル無水鹽酸石灰ヲ使用スルコト。此ノ化合物ハ容易ニ水ニ溶解スルモノニシテ、普通ノ乾燥セル土壤ニハ 10~20% ノ溶液、濕潤セル土壤ニハ 30~40% ノ溶液ヲ使用スルヲ可トス。硅酸曹達ハ液體ニシテ白色透明ナルモノヲ使用スルヲ可トス。

此ノ化合物ハ普通ノ飲料水ニ溶解スル時ハ少シク潤滑スル事アルモ差支ヘナシ。兩者ヲ一立坪ニ付各々約 500 封度位ヲ相互ニ 1 回乃至 2 回注入シ其ノ儘約 4 週間ヲ經過スレバ膠着硬結ス。

實驗ノ結果 1 気壓ノ壓力ニテ注入スルトキハ弛解セル土壤ニハ 3 呪天然ノ堆積土壤ニハ 4 呪位迄注入シ得、尙乾燥セル粘土ニ鹽化石灰ヲ注入シタルトキハ 1 曜夜後又濕潤セルトキハ 6 時間後ニ硅酸曹達ヲ注入スベシ。

此の結果第二次注入作業には本示方書に記す薬液注入を併用する事となり、下記改定示方書にもとづき施工する事となつた。

第二次膠灰其他注入作業示方書

第一條 第一次注入工事ノ成績調査ノ爲メ頂設導坑埋戻シ箇所ヲ一部分掘鑿シテ見ル事又必要ニ應ジテ再び埋戻シヲナスモノトス。

第二條 第一次注入工事ノ際ハ斷層角礫帶ノ前方境界ニ至リテ注入孔ノ掘進ヲ停止シ、此レニ膠灰注入ヲナシタルモ、第二次注入ニアリテハ、注入孔ヲ其ノ奥方境界ニ到達セシムモノトス。

第三條 第二次作業ニ於ケル注入孔ニハ、内徑 1 尺乃至 2 尺鐵管ヲ打込み、該鐵管が斷層角礫帶ヲ貫通スル思惟セラル部分ノ管壁ニハ多數ノ小孔ヲ穿チ注入溶液ノ噴出ニ便ナラシムモノトス。

第四條 第一次作業ニ於ケル注入孔奥端間隔ハ平均約 11 呪=相當セシモ、第二次作業ニ於テハ此レヲ 9 呪ニ改メ、注入孔ノ位置ヲ同心ニ重圓上ニ配列スルモノトス。

第五條 罫ニ穿孔シタル(A)(B)(C)(D)(E)水抜孔 5 本ハ更ニ通水ヲ良好ナラシムル爲再び試錐作業ヲナシ、其ノ奥端ヲ斷層角礫帶内ニ到ラシメ、尙小孔ヲ穿チタル内徑 1 尺乃至 2 尺ノ鐵管ヲ打込ムモノトス。

第六條 注入孔ノ内内圓周上ニ配置サレタルモノノ穿孔、及ビ前記水抜孔ノ穿孔ヲ終了後水洗ヲナシ薬液注入作業ヲ開始スルモノトス。注入順序ハ西側下部ニ注入孔ヨリ漸次上部ニ及ボスモノトス。

第七條 前條ノ注入作業終了シタル後直ちニ同心ニ重圓外側ニ配置セル注入孔ノ穿孔ニ着手シ、終ルヲ待テ再び水洗ヒ及注入ヲ前條順序ニ倣ヒ開始スルモノトス。

第八條 注入孔ノ穿孔ニハ金剛石試錐機ヲ使用ス、錐冠ノ直徑ハ 75 精乃至 45 精トス。

第九條 注入孔ニ注入スル薬液ハ鹽化石灰溶液及硅酸曹達溶液ニシテ、此レ土壤内ニ注入スル時ハ土壤分子間ニ於テ兩者ノ化合ヲ起シ、硅酸石灰ヲ生成シ、時日ヲ經過スルニシタガヒ土壤分子ヲ膠着硬結スルモノニシテセメント乳ハ前記兩薬液注入後更ニ出來得ル丈此レ注入土壤、岩石内ノ空隙ヲ充填スルモノニシテ前記薬液トモ結合力ヲ有スルモノトス。

第十條 鹽化石灰ハ遊離鹽酸ヲ含有セザル無水鹽化石灰ヲ使用シ、硅酸曹達ハ液體ニシテ白色透明ナルモノヲ使用スルモノトス。兩薬品共清水ニ溶解シ硅酸曹達ハ溶解シタル際少シク潤滑スル事アルモノママ使用シテ差支ナシ。尙薬品ヲ溶解スル場合其ノ割合ハ、本注入箇所ノ如ク濕潤シタル土壤ニハ 30~40% トシ土壤 1 立坪ニ對シ薬品各 500 封度程度ヲ注入スルモノトス。然ルトキハ大體 4 週間ヲ經過スレバ膠着硬結スペシ。

第十一條 薬液注入ノ壓力ハ、本注入箇所ノ如ク壓力强大ナル場所ニアリテハ此レニ打勝チテ注入スル事ヲ要スルヲ以テ、鹽化石灰溶液ヲ注入スル際ニハ壓力 100 封度内外トシ、硅酸曹達ヲ注入スル際ハ 150 乃至 300 封度ヲ使用スルモノトス其ノ理由ハ 2 ツノ薬液ハ接合スレバ直ニ化合作用ヲ起シ硅酸石灰ヲ生成シ逐次注入サルル硅酸曹達溶液ノ通路ヲ妨害シ廣キ範囲ニ亘リ二薬液ノ接合ヲ困難ナラシムオソレアルヲ以テナリ。

第十二條 1 ツノ注入孔ヨリノ注入量ハ該孔ヲ中心トシテ膠結セントスル土壤ノ容積ニヨリ決定スベキモ、1 ツノ注入孔ヨリ注入サレタル薬液ハ他孔ヨリ出ル場合モアレバ作業ニ當ツテ適當ニ裁量スル必要アリ。

第十三條 1 ツノ注入孔ニ對シテハ先づ鹽化石灰溶液ヲ注入シ次ニ硅酸曹達溶液ヲ入レ然ル後セメント乳ヲ注入スルヲ原則トス。

第十四條 鹽化石灰溶液注入後、硅酸曹達溶液注入迄ノ時間ハ當箇所ニ於テハ 1 乃至 6 時間ヲ最良トス。此レハ鹽化石灰ガ土壤ト結合スルニ要スル時間ナレ共餘リ時間ヲ置ケバ本薬液ガ湧水ノ爲ニ流レ去ル恐レアリ又水ノ爲ニ薄メラルオソレアレバ、此ノ時間ノ間隔ハ湧水ノ狀態ニ應ジ、湧水大ナル所ハ時間ヲ短カク、湧水少ナル所ハ相當長クスルモノトス。

第十五條 薬液ノ容量ヲ計ル爲ニ容器ヲ設ケテ、薬品ヲ充分ニ溶解スルモノトシ更ニ此レヲグラウトミキサーニ導クモノトス。

第十六條 薬液注入後ハ更ニセメント乳ヲ注入スルモノトス、即薬液ノミニテハ土壤内ノ空隙ヲ完全ニ満ス事ハ不可能ニシテ薬液ハセメント乳ノ注入シ難キ部分ニ對シ效果的ニシテ、セメント乳ハ薬液注入後尙殘存サレタル空隙ヲ充填スルニ效果アルモノトス。

第十七條 膠灰注入壓力ハ最高 300 封度トシ、作業中ハナルベク本壓力ヲ持続スルモノトス。

第十八條 セメント乳ノ濃度ハセメント 1 = 對シ水 3 乃至 10 トシ、注入ニ際シテハ薄キモノヨリ漸次濃厚ナルモノヲ使用スルモノトス。

第十九條 膠灰ハセメント 0.7 ト火山灰 0.3 ノ割合ニ豫メ混合シタルモノヲ使用スルモノトス。

第二十條 グラウトミキサー内ニ於テ膠灰及ビ火山灰ガ水ト混合シテ充分攪拌セラレタル事ヲ認メタル時ハ注入直前曹達灰ヲセメント容積ノ $\frac{1}{200}$ 乃至 $\frac{1}{100}$ 分量ヲ限度トシテミキサー内ニ投入スルモノトス、此ノセメント乳ノ硬化ヲ速進セシムモノニシテ分量多キ程硬化早シ。

- 第二十一條 注入ハ兩薬液注入ニ引續キセメント乳ヲ注入シ完了スルモノニシテ、注入ヲ開始スレバ可成作業が終了スル迄繼續スルモノトス。
- 第二十二條 注入工事用機械ハ第一次注入ト同様トス。
- 第二十三條 同心二重圓ノ内側注入孔ノ注入終了後其ノ成績ヲ調査スル爲メ、適當ノ箇所ヲ撰ビ4箇所ニ試錐ヲナスモノトス。
- 第二十四條 作業終了後跡片付ノ一切ヲナスモノトス。以上

(1) 注入孔穿孔作業

前述の計畫に基き注入孔の穿孔を始めた。各孔共全部外径 75 精ダイヤモンドクラウンを用ひて穿孔し、2 吋鐵管を挿入する筈だつたが第 6, 7, W₃W₄ の 4 孔を除き第 1, 2, 3, 4, 5W₁W₂ の 7 孔は穿孔奥端が斷層破碎帶に到りて地質不良となり崩壊甚しく徑をおとすのやむなきに至り、遂に 1 吋鐵管を挿入する事とした。各孔の穿孔の深さ及打込んだ鐵管の長さは次の様なものだつた。尙断層と推定される部分に挿入した有孔鐵管は圓周上にスパイラルに徑 $\frac{1}{4}$ 吋の小孔をあけたものを打込んだ。此の場合小孔の距離は 2 吋鐵管では 6 時間隔、1 吋鐵管では 8 時間隔だつた。

穿孔の深さ及鐵管の長さ表

穿孔名稱	75 精進行	2 吋鐵管進行	45 精進行	1 吋鐵管進行	斷層限界手前方	位置奥方	斷層帶ニ在ル有孔鐵管ノ長
	M	M	M	M	M	M	M
No. 1	22.05	22.92	31.73	30.00	18.20	28.60	10.00
No. 2	21.00	23.18	30.20	29.00	18.27	29.20	10.30
No. 3	19.46	21.50	32.02	28.70	17.43	28.00	10.00
No. 4	24.83	26.72	33.00	29.00	18.53	30.00	10.30
No. 5	20.91	20.74	32.00	"	18.20	"	"
No. 6	28.40	28.76	0	0	18.10	28.76	9.09
No. 7	27.50	27.41	0	0	18.70	28.40	6.06
W ₁	19.02	18.47	27.01	26.60	18.02	26.90	8.48
W ₂	24.52	24.58	28.91	27.33	18.57	29.20	8.78
W ₃	30.30	28.00	0	0	18.35	29.50	9.09
W ₄	29.13	28.60	0	0	18.41	28.50	"

(2) 水抜孔穿孔作業

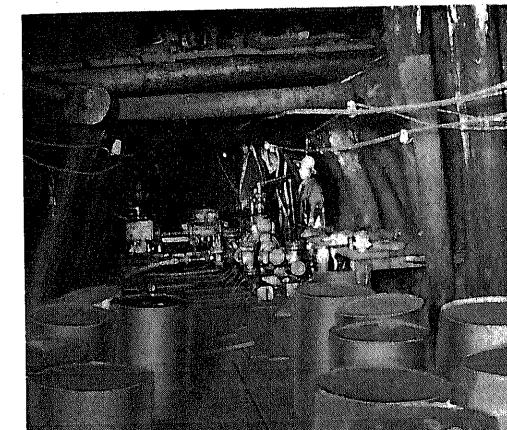
注入孔穿孔作業の全部終了に引續いて逆進頂設導坑即ち断層背面に於ける水抜孔の穿孔は計畫通りに始まる豫定だつたが坑奥 7,080 呪附近に於ける大湧水事故の爲めに約 1 ヶ月遅れて開始せられた。穿孔は全部 75 精錐冠でやる豫定だつたが第 1 號孔は断層線附近で盛んにケービング起り、遂に 63 精ケーシングチューブ（此の際 73 精ケーシングは持合せがなかつた）を挿入するのやむなきに至つた。2 號以後は 25 米附近まで 65 精錐冠を用ひて穿孔し之に 63 精ケーシングチューブを入れ、更に 45 精にて穿孔し順調に目的を達する事が出来た。直ちに 1 吋鐵管を挿入して、ケーシ

ングチューブを引抜いた。水抜孔の湧水は南側より數へて 1, 2 號は全く湧水無く、3 號は若干、4, 5 號は多少湧水ありたる程度である、次に水抜孔の穿孔の深さは 1 號 32 米 64, 2 號 30 米 8, 3 號 30 米 69, 4 號 30 米、5 號 30 米 56 であつた。

(八) 薬液其他の注入作業

8 月上旬から第二次注入の本作業は始められた。此の作業に使つた設備は大體附圖に示した様なもので、薬液の注入には氣動式往復動注入唧筒を使用し、セメント乳の注入にはカニフグラウトミキサーを使つた。尙給水用としてカメリオンポンプが使はれた。薬品を水に溶解して貯蔵するタンクは圓筒型、高さ 5 呪、直徑 3 呪 2 吋の鐵製槽を 6 個製作使用し注入と溶解とに便利なる様にした。尙ほ此のタンクの底部には 1 吋の鐵管の周囲に 30 個の小孔を穿ちたる渦巻形鐵管を入れ之よりタンク内に壓搾空氣を吹かせタンク中の水を攪拌し薬品の溶解を早くする様にした。又タンクの中央部には 50 メッシュの真鍮製金網を張り、未溶解の薬品は絶対に注入せない様にした。尙ほ此のタンクには水硝子が入つてゐる。

本作業に使用したる機械は、



第 427 圖 西口 4,950 呪附近セメント注入、奥端の機械は揚水用カメリオンポンプ、人物の傍は、小松式 500 ポンド注入ポンプ手前のタンクには水硝子が入つてゐる。

(イ) カニフグラウトミキサー 2 台

米國ランサム會社製

(ロ) エヤー、ブースター 2 台

米國ウエスチングハウスマ社製

昇壓 100 を 300 封度迄

(ハ) カメリオンポンプ 1 台

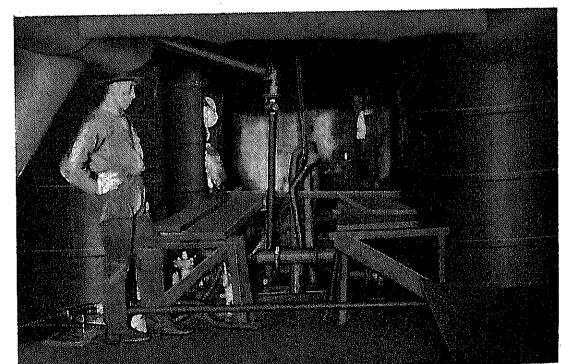
米國カメリオン會社製口徑 2 吋

(ニ) グラウチングポンプ 1 台

小松製作所製 氣動式 5 立方呪

注入に先立ち各孔の水洗を開始した。さ

うして出来る丈泥土を抽出する事に始めた。又水洗ひ作業の結果 (W₁W₂) (1, 2, 3), (5, 6, 7) (4) の



第 428 圖 西口 4,950 呪附近セメント注入薬液タンクを示す

數群に分れ括弧内は何れも連結せる事が分つた。其の結果連絡ある注入孔は成るべく同時に作業する事とした。且鹽化石灰及硅酸曹達は各孔共1立坪當り500封度と計算して7,500封度づゝを注入



第429圖 西口4950呎附近セメント注入
注入の際薬液の分布を調査す。

する事とし、其の濃度も初めは重量比で $1/10$ とし次第に $1/3$ とする豫定だつたが、化合物の凝結力は濃度高き程強力なる爲め、初めは $1/3$ に次は $1/2$ の溶液を注入する事とした。尙1孔より注入する場合他孔の湧水を検査し薬液分布の状況の判定をする事とした。

かうして種々の困難と研究とを重ねて9月上旬注入作業は完全に終了した。此の作業で總計466樽のセメント乳と、54,750封度の鹽化石灰64,190封度の硅酸曹達とを注入する事が出来た。今各孔別注入量を表示すれば

注入孔別注入量表

注入孔 の番號	鹽化石灰			硅酸曹達			セメント			注入孔 の番號	鹽化石灰			硅酸曹達			セメント		
	ボンド	ボンド	セ	ボンド	ボンド	セ	ボンド	ボンド	セ	W ₁	6,750	7,000	7.5	No. 3	350	308.5	2.5		
W ₂	6,750	7,000	10.5	" 4	6,000	7,910	308.5	" 7	8,375	8,575	2.5								
No. 1	3,375	8,575	2.5	" 5		850	4.	W ₃	7,500	7,840	3.9								
" 2	6,750	4,375		" 6	6,750	4,375	45.	W ₄	7,500	7,840	46.5	合 計	54,750	64,190	466.0				

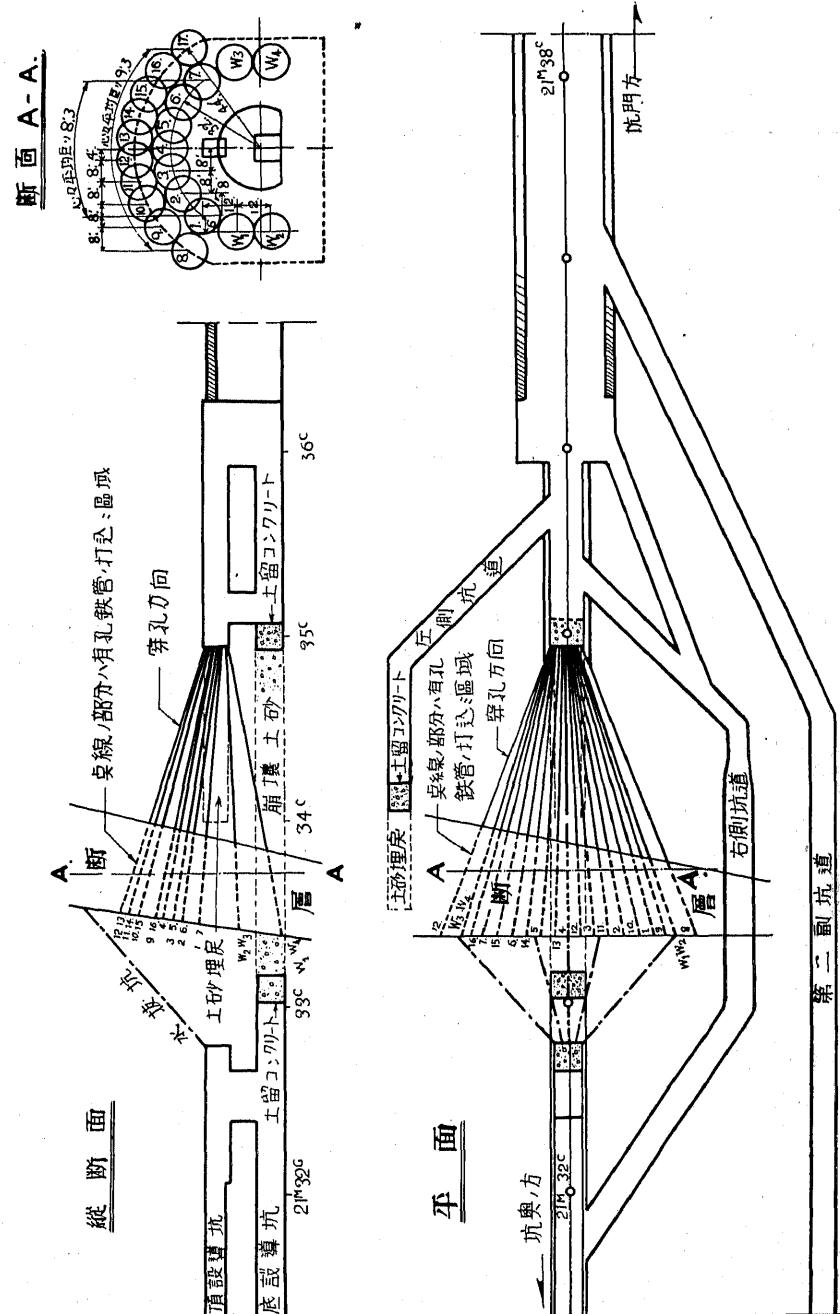
此の注入の結果注入箇所附近の湧水状況は注入前と比較して次表の如き變化を示した。

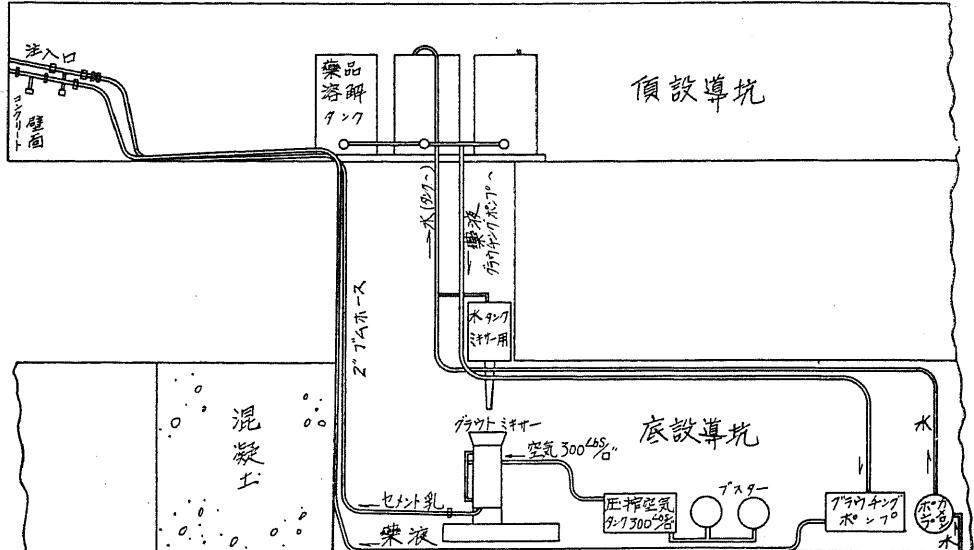
月 日	左側迂廻坑(2吋鐵管)	水抜坑	水抜坑	水抜坑
膠灰注入前 8月4日	0.16個	ナシ	0.001個	0.0005個
膠灰注入後 9月10日	0.08個	0.0003個	ナシ	0.0005個

(二) 成績調査孔の穿孔作業

注入後の凝結状況を調査する爲めの試錐作業は硬化期間25日を置いて9月下旬作業を開始した。穿孔数4本にして圖に示す12, 17, 14, 及 38度上向孔だ。此の穿孔作業は先づ12号から始めた。錐冠100耗のもので20米餘り掘進ケーシングチューブを入れ更に75耗錐冠にて穿孔を續けたるに21米附近よりセメントの存在を認め26米に於ては岩片のセメントと固結し混凝状をなせるものもあつた。38米に至りて薬液の化合物及セメントが各所に存在せるを認めた。穿孔に2吋有孔鐵管(前に挿入したと同様の小孔を穿ちたる2吋鐵管)を挿入した。此の穿孔に於て20米以奥

第二次膠灰注入工事計畫圖





第431圖 第二次セメント注入工事設備圖

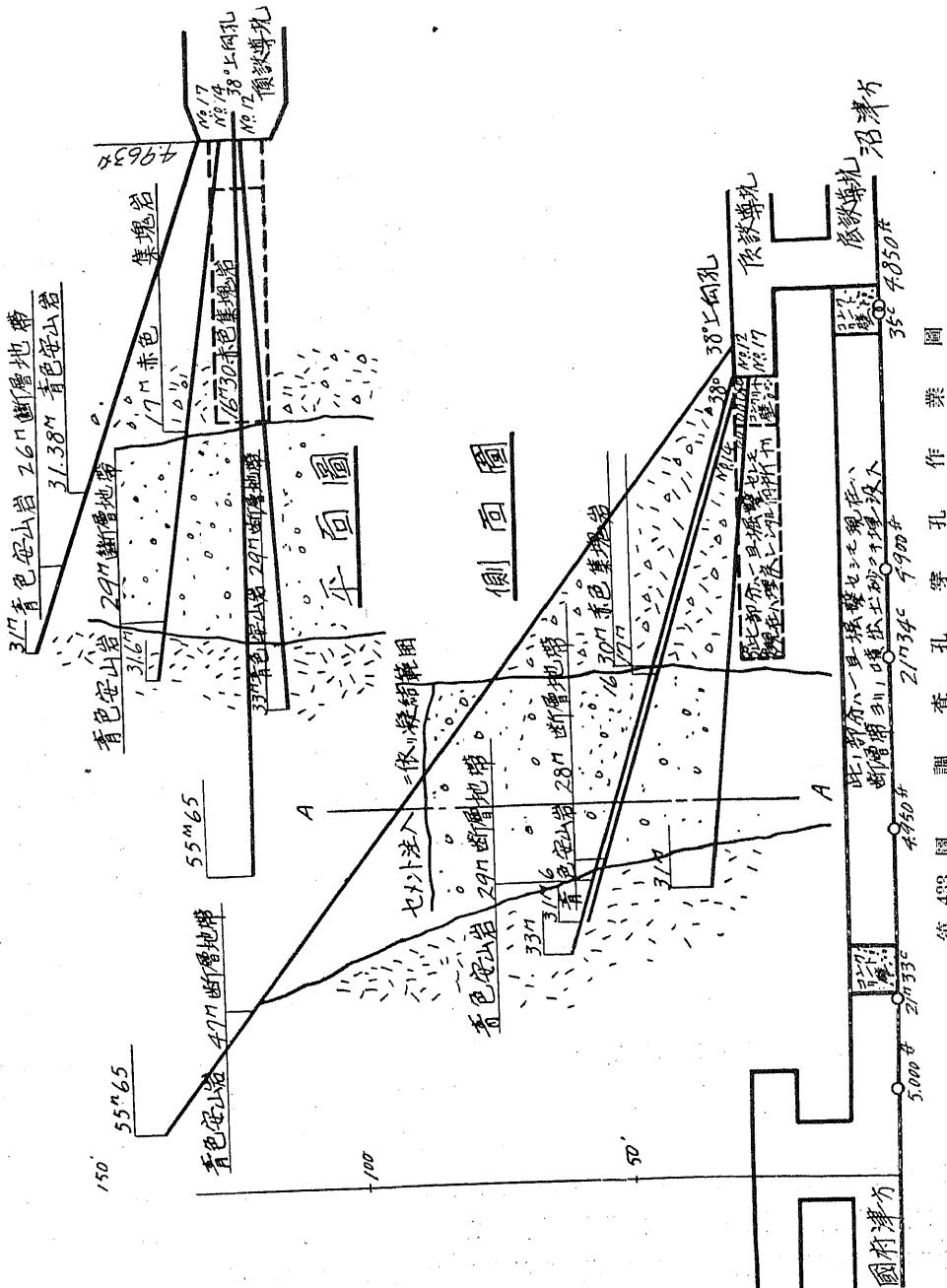
も 100 粒錐冠で穿孔する事も出来たのだが工程を早める爲め錐冠の径を小さくした。

引續いて 14 號の穿孔を開始した断層區間と推定せらるる 17 米より 28 米間はセメントよく凝結し又薬液よく荒砂の間に注入され充分硬結されてゐた。



第432圖 膠灰注入を終了して成績調査の試錐を行ひ採取した「コアー」

續いて第 17 號孔穿孔の結果もセメント並薬液の結合状況充分なるをたしかめ得た。38 度上向調査孔は作業困難をおもんばかり、75 精錐冠を用ひ作業を始めた。47 米 38 附近に到りて稍々軟くなり、65 精錐冠を用ひ續いて 55 精錐冠として穿孔を続けたが 63 精ケーシング内 38 米附近まで土砂が流出した。此の結果更に徑を下げて 45 精を用ひ遂に 55 米 65 近穿孔して上層部の地質調査の目的を達した。此の調査作業終了後本調査孔はセメントにて充填し置く事となり合計 88 樽



圖業作孔查調圖433第

のセメントを注入して 4 本の調査孔を閉塞して仕舞ふ事が出来た。

(末) 結　　論

添付圖面に示す如く第 1 次注入孔と第 2 次注入孔との断層区域中央部に於ける間隔は約 8 呪である。而して前述の調査孔は第 2 次注入孔中より選択したもので、第 1 次注入孔より上方 8 呪を隔てた地帯の凝結状態を調査する事になつた。此の調査の結果一般的に断層帶に當る各所共赤色或は黄色の火山荒砂が理想的によく固結しコアをも採取するを得且岩石の割目には帶状をなして薬液化合物及びセメント乳注入せられ固結して居るのを見る事が出來た。注入の一般的な状態は前述の通りであるが尙局部的には調査孔の穿孔に際し火山荒砂が水と共に洗ひ出される部分もあり、注入された薬液が流出する事もあつた。此の結果更に凝結期日を待てば此の部分も硬結してコアを得らるゝものなりや或は注入の結果は單に局所局所に薬液化合物の脈を作り居るに止まり、他の部分は在來の疎懶なる状態なるやすこぶる疑問視せらるる事もないではなかつた。併し注入前は穿孔に非常な困難を重ねたに拘はらず、注入後の穿孔は錐冠の徑を大きくしたにも拘はらず容易に断層帶を穿孔し得た事は其の地帯の硬結度を進めた事は明かだつた。又セメントは廣く分布し、其の結果以前水の通過したと思はるゝ場所も全部閉塞され荒砂層は薬液化合物で殆んど不滲透性に近い事は認められた、尙 38 度上向の穿孔に依りて施工基面より 100 呪の高さにてセメントのコアを採取した事實はセメントが崩壊地帯の一部を上騰したる事は明かである。從つて頂設導坑を中心としアーチ型に厚さ 30 呪内外の凝結地帯を作り得たるものならんと想像せられ局部的弱所ありとするも凝結せるセメントの枝脈により全體としては水の滲透しにくい凝結程度なる事は想像出来る。事實上調査孔の穿孔の結果も湧水殆んどなく全く不滲透層となつた様である。唯 38 度上向孔丈けは稍々湧水があつたが之とて頂設導坑の掘鑿に際し適當の方法を講ずれば崩壊の危険なきものと斷言出来る。而も尙第 2 次注入孔たる外圓周注入孔の全部を注入する時は益々其の凝結度を高め得べく且注入硬結範囲も擴大し得べきも、すでに第 1 次内側圓周注入孔注入の結果砂質部分は殆んど薬液化合物により充填せられたるを以て



第 434 圖 大正 14 年 11 月 14 日西口坑内
4,900 呪第一坑(頂設)掘鑿
(膠灰注入後の作業状態)

どなく全く不滲透層となつた様である。唯 38 度上向孔丈けは稍々湧水があつたが之とて頂設導坑の掘鑿に際し適當の方法を講ずれば崩壊の危険なきものと斷言出来る。而も尙第 2 次注入孔たる外圓周注入孔の全部を注入する時は益々其の凝結度を高め得べく且注入硬結範囲も擴大し得べきも、すでに第 1 次内側圓周注入孔注入の結果砂質部分は殆んど薬液化合物により充填せられたるを以て

次の注入作業をなすとせば更に高圧力が必要にして 300 封度にては效果なきものと思はれる。

(ヘ) 膠灰注入に於ける角礫硬度の研究

次に記すものは長尾技師の報告文である。

丹那隧道西口 4,950 呪の断層箇所は數度の崩壊で 2 ヶ年間も其の備だつたが大正 14 年に至り崩壊の上部に堅固なる地帯を構成せんが爲めにセメント注入が計畫せられた、時恰も坑内を観察した。土壤を分析した結果、

可溶性硅酸 8.44—10.25 石灰分 0.55—0.78

を含有して居たので之に石灰を加ふれば弱き耐圧力を有する固體となる事は明かである。此處で凝灰岩 3, 石灰 1 との割合で作つて見たモルタルは 4 週間後に於て平均毎平方呎 150 封度の耐圧力を有する事が判明したけれ共崩壊土砂全部に石灰を混入する事は困難な事だから、石灰乳を壓力を加へて注入せんと試みたが、其の方法では表面 2,3 寸位の厚さ位浸入する丈で全部に行き渡らぬので中止した、次に土壤に石灰を吸收せしめんが爲めに石灰鹽類の溶液を使用した、此の爲めには鹽化石灰が一番水に溶解し易いから、其の鹽化石灰溶液に土壤を浸漬し吸收試験をした。此の結果石灰吸収量 2—4% だつた。併し石灰を吸收した丈では粘着力を起して居らぬので耐力が無い故に硅酸曹達を併用し相互に注入化合物しむれば硅酸石灰の生ずる事は明かだつたので、先づ過剰硅酸曹達溶液又は過剰の鹽化石灰溶液に硅酸曹達溶液を加へ兩者の沈澱物の分析をして見た結果

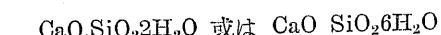
硅酸曹達過剰の場合

石灰	硅酸	石灰硅酸
25.64	52.44	1.09

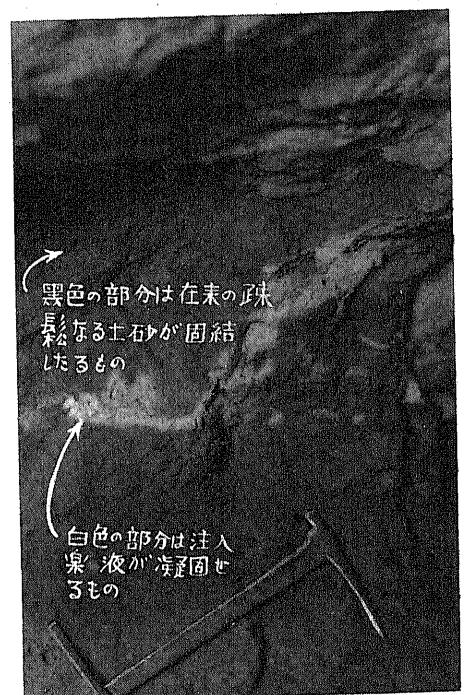
鹽化石灰過剰の場合

31.16	49.76	1.08
-------	-------	------

之を化合物で示せば



此の沈澱物は沈澱したる一瞬間に於ては膠體質の粘着力を有するも時間を経過するに従ひ粘着力を失ふ、尙長時日を経過するときは半透明體となる。併し尙時日を経過すると一種の無結晶固體に變化す。故に此の両液體を崩壊土壤に相互に注入



第 435 圖 膠灰注入後當該部分を遂
次掘鑿せり寫眞は之が膠
灰溶液の分布狀態

すれば土壤分子間に硅酸石灰を沈澱せしめ分子を粘着せしむると同時に空隙を填充し漏水を防止する事が出来る。豫備試験として玉川砂の 48 番篩を通過し 100 番篩で止まる細砂に硅酸曹達 50% 溶液、鹽化石灰 100% 溶液を相互に加へよく混交したるものと型に詰め其の耐力を試験したるに 1 ヶ月後に於て之を型枠より離した處、僅かに型を維持する力を有するだけだつた。次に圓筒内に土壤を填充し約 1 気圧に近き壓力を以て鹽化石灰を注入し翌日硅酸曹達の 30% 液を注入し約 20 日後に於て型枠より取出したるに耐力としては極めて弱きも製型を其の儘維持するのみならず或程度の耐力を有する事が分つた。尙 2 ヶ月後に於て耐壓試験に供したるに 150—250 封度の耐力を有する事を知つた。此處に於て此の方法を實地に施行するも害なきのみならず幾分か分子間に粘着力を與へ、且漏水を止むる事が出来るとの確信を得たので、硅酸曹達 40,000 封度、鹽化石灰 40,000 封度を各 30—50% の溶液とし 120 封度の壓力で 18 孔から注入し最後にセメント乳を壓力の續くかぎり注入した結果約 500 樽注入した。當時隔壁から漏洩が多かつたが注入につれて漸次水量を減じ全く漏水なき程度となつた約 1 ヶ月後隔壁を破壊し掘進を開始せるに幸にも漏水なく極めて容易に崩壊部分を掘鑿する事が出来た。其の土壤を再分析した所

可溶性硅酸	石 灰
15.28	4.80
13.64	2.00
13.12	2.08
10.54	1.31
14.28	0.89
12.88	0.81
平 均	13.29 1.97

此の内土壤自身の含有する分は可溶性硅酸 9.07 石灰 7.15 で之を差引けば注入したる爲めに土壤間に沈澱したるものと量は可溶性硅酸 4.22 石灰 1.15 である、此の割合から論ずれば量に於ては非常に少いが、硅酸曹達多量の際生成したると同一の硅酸石灰が供試體土壤全部に沈澱した事は確實であると信する、爰に非常に残念な事は使用當時購入したる鹽化石灰は結晶水を含有する爲めに 40,000 封度の $\frac{2}{3}$ 即ち 22,333 封度を使用した事となり、硅酸曹達に比し溶液が稀薄であつた事と石灰溶液の粘土に化合する事なく、又吸收する事なく流された爲めに石灰量の不足だつた事である。此の分析試験の結果約 300 坪に分配されて居ると見らるゝのである。

(4) 本注入工事の費用

第一次注入作業費
1. 金 17,475.353 決算金額

内 講

種 別	數 量	金 額	記 事
工 費		9,585 275	
セ メ ン ト	510 樽	3,532 830	
火 山 灰	714 貫	140 658 無代價品 919 圓餘を含む	
雜 品		4,216 590	
計		17,475 353	

第二次注入作業費

1. 金 24,790 圓也 決算金額

内 講

種 別	數 量	金 額	記 事
工 費		9,197 040	
セ メ ン ト	550 樽	3,438 300	
火 山 灰	578 貫	114 440	
鹽 化 石 灰	72,150 封度	3,679 650	
硅 酸 曹 達	60,455 封度	4,715 490	
雜 品		3,645 080 主に鐵物木材類なり	
計		24,790 000	

第五節 東口 10,000 呪附近の注入作業

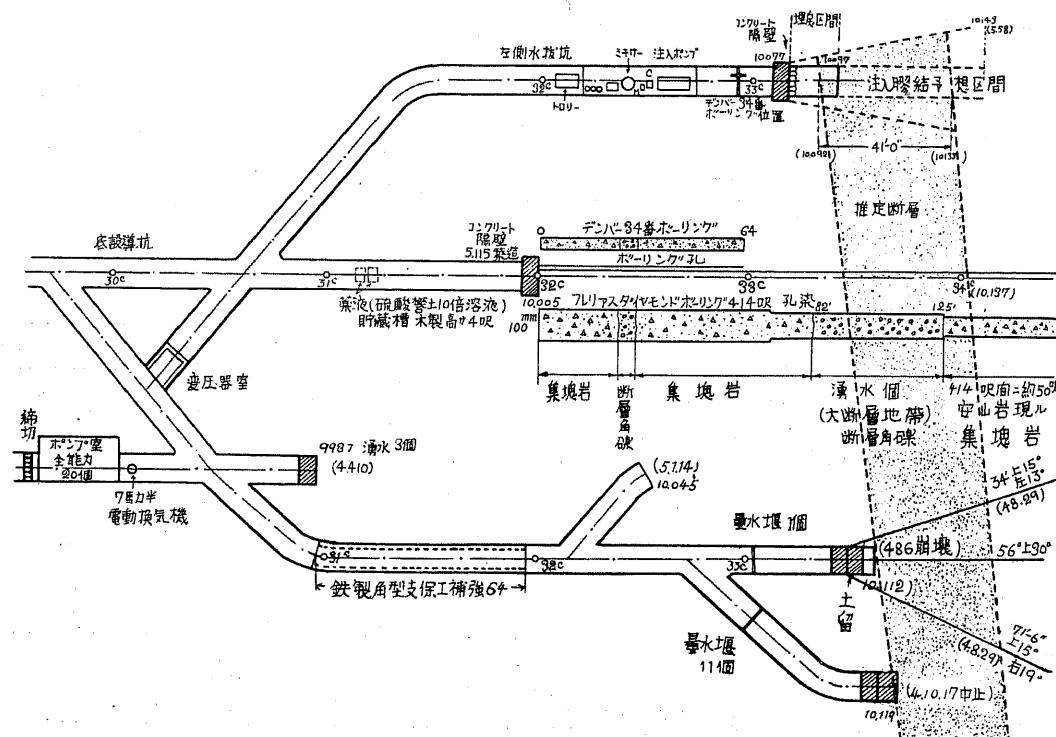
(1) 昭和 4 年 8 月水抜坑の崩壊とその対策

北側水抜坑は 1 萬呪附近に於て種々の困難に遭遇したが、相當の進行を續け昭和 4 年 7 月中は平均 1 日 3~4 呪の割合で前進する事が出来た。然し 8 月 8 日 10,117 呪の箇所で爆發後突然大音響と共に崩壊し正面より砂礫を流出すると共に湧水又増加し、砂礫は約 40 間下流まで流され其の量 30 坪を超え、細砂は遙か下流まで運搬線を埋没して仕舞つた。其の後湧水も澄み崩壊する音も聞えなかつたので、出土砂の浚渫を行ひ再び掘鑿を試みたが、崩壊土砂の流出甚しく、且荷重も加はり切端附近の支保工は折損したものもあり危険な丈けでなく、普通掘鑿では到底之以上掘進する事は不可能となり中止するやむなきに至つたのである。

此の導坑の崩壊は非常に急激なものであつた。午前中に其の交代の進鑿夫が爆破を行ひ、其の後始末をする爲切端に行つた時既に多少の土砂流出を発見した。早速應急工事に取りかゝらんとして居るとき轟音と共に多量の湧水あり切端は完全に崩壊し全員が逃げ出すと共に、電燈線は短絡し坑内は暗黒となり遂に 1 名の負傷者さへ出したのである。此の時現場に居た者の話によると、逃げ

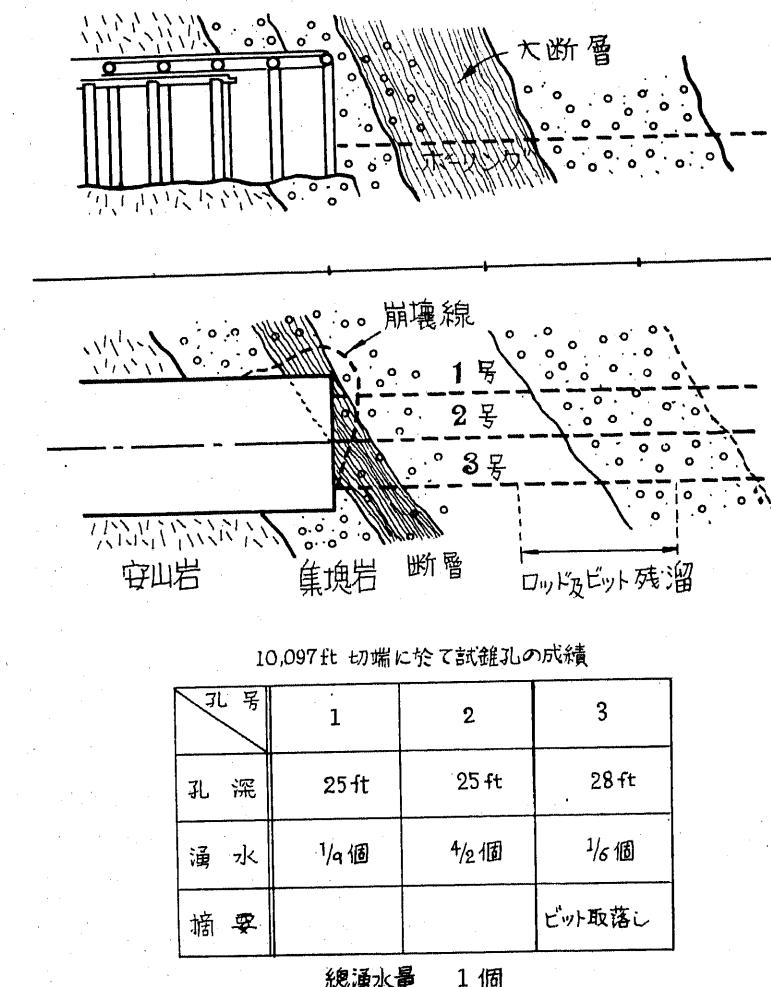
出人の前を大きな石が流れ又支保工用木材は流れ出すと共にあちこちに引かゝつて障害となり、其の上手前約100呎の區間に鐵製の支保工で補強してあつた部分があつたので通路は狭く、幾度か轉びながら辛うじて廣い場所に出たときには電燈は消え、暗黒の中に岩石、土砂の流れる音を聞いたとの事である。後に入坑したとき約30間下流に於てさへ約2呎も崩壊岩石で埋められて居た程で、這ひながら漸く切端より10呎位手前まで行き得たに過ぎなかつた。

其の後約 1 ヶ月を費して本水抜坑の回復をはかり殆んど切端まで掘進したが、荷重加はり而も支保工は危険だつたので遂に本水抜坑は断念し、此の崩壊箇所を迂廻して突破する計畫が立てられた。崩壊箇所は左上方部が荒れて居るものと想像されたので 10,057 呪から右側に 40 呪離れて第 2 の水抜を掘鑿する事となり、細心なる注意のもとに工事は進められたが 10,119 呪で遂に手のつけ様もなく中止しなければならなかつた。此の時切端は湧水をびたゞしく矢板の隙間からは斷層角礫が押し出され、又それには多少の粘土をかんで居る事も認められた。此の兩水抜の湧水量は後に量水堰を作つて測定した所前者は 1.1 個、第 2 水抜坑は 1.2 個だつたから崩壊當時は之より多量だつた事は想像に難くはない。之より先第 2 水抜坑に着手すると同時に底設導坑に於てクレリウス



第 436 圖 10,000 呎附近狀況圖 (昭和 5 年 3 月注入現在)

式金剛石試錐機により 10,005 呪を起點として約 414 呪の區間に涉り地質調査が行はれた。其の結果 10,200 呪以奥は湧水少く概ね良質の集塊岩又は安山岩を期待する事が出来るが 10,090 呪より約 40 呪は試錐孔よりの湧水 1.5 個に及び崩壊甚しく又土砂の流出あり、且断層角礫及粘土質を認められ地質甚しく不良なる事を認めた。此の結果北側水抜坑崩壊當時の状況及水抜坑に於けるデンバー 34 型鑿岩機による地質調査の結果は圖に示す如く坑奥に一大断層の存在する事を推定し得た。こゝで從來の方法による掘鑿は危険なばかりで無く殆んど不可能と思はれたので別個の掘鑿法に依る事が考へられた、尙本断層は其の幅約 40 呪走行は隧道中心線に對して約 75 度の角度をもつて



第 437 圖 東口 10,000 呎附近南側水拔坑地質概況

なつて居た、左側即ち南側水抜坑も共に進める事とした。此の決定に基づき 11 月下旬南側水抜坑は其の掘進が豫定隔壁築造位置に到達したが北側水抜より分岐して本底設を過ぎ本線と平行になる地點附近より安山岩となり、豫想に反して非常に良好な状態となつたので隔壁の築造を見合せ 5 年初めより掘進を繼續した、之より先南側水抜に遅れて北側の第 3 水抜を掘鑿し始めたが、南側水抜坑の地質以外に良好なると小断層に遭遇した爲め中止して終つた。南側水抜は引續き 1 月上旬デンバー 34 番で約 60 呎の地質調査を行つた所尙安山岩が續く事が推定出來たので掘進を繼續した、其の後異常なく進行し断層の存在さへ疑はねばならない位だつた。然るに 1 月 26 日になつて切端に小崩壊があり支保工を完全にして進む内、遂に小断層に會ひ破碎帶の粘土及砂混り角礫を明かに認めらるゝに至つた。此の断層の厚さは大體 4 呎位と推定されたが、遂に切端 10,097 呎即ち北側水抜坑最前端より 2 呎手前で掘鑿を中止しデンバー ボーリングを行ふ事に決定した。此の地質調査の結果は圖に示す如く前方約 20 呎附近に非常に崩壊し易い含水断層帶の横たはつて居る事を知つた。而も 3 本のボーリングの内 1 本は穿孔中ボーリングロッド及クロスピット共食はれ取出し不可能となつた程だつた。其處で遂に注入工法を應用する事となり諸般の準備に着手し 2 月 1 日隔壁の築造及埋戻工事を始め、7 日に漸くコンクリート打を完了した。此の埋戻區間は約 15 呎で隔壁の厚さ 5 呎切端まで丁度 20 呎となつた、此の中に注入基礎鐵管径 4 吋のもの 10 本を埋設した。

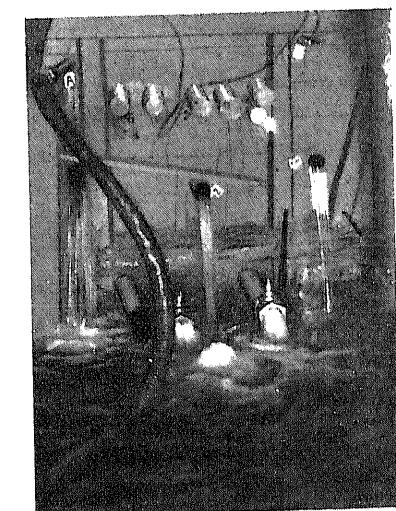
此のボーリングの結果切端から 20 呎奥方に大断層が存在し相當の傾斜を以て導坑の前面に中心線と或る角度をなして横たはつて居て、其の前方即ち約 10 呎の處より或は 40 呎位の幅の大断層が形成されて居るものと考へた、之は最初のボーリングが 3 本共約 20 呎の箇所で断層破碎帶に妨げられ前進出來なかつたため底設で行はれたダイヤモンドボーリングの結果から考へて 40 呎位の断層があると考へたのである。注入の結果から見ると此の最初に推定した断層前端即ち 10,097 呎の切端より 20 呎の奥にある最悪の地帶は大断層の主體を形成して居るもので、小崩壊を來した 10,097 呎附近が此の断層の入口に當ると言ふ推定は誤りで無い様である。此の考へによると切端の際會した破碎帶から約 30 呎奥の約 30 呎の大破碎帶終端までが大断層であつて、此の断層の兩面即ち導坑の前後に破碎帶を噛んで居て、其の外側に影響を受けた弱い部分が存在して居ると言へる。尙此の區間の突破に壓搾空氣を利用したらと言ふ意見も出たが注



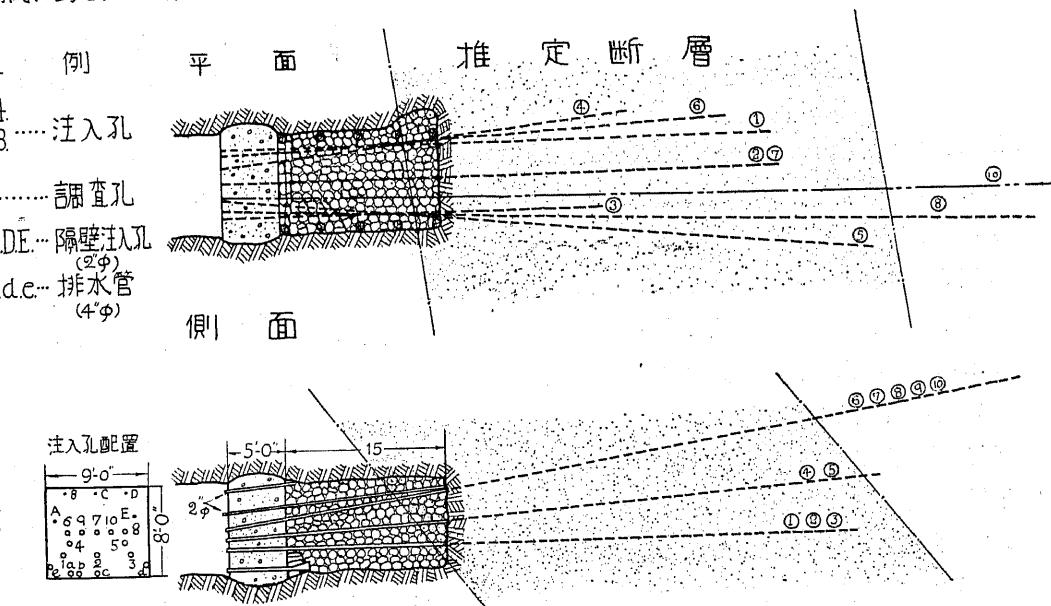
第 438 圖 東口 10,000 呎附近東側
水抜坑に隔壁築造中

入の状況より考へても、使用可能空氣壓では到底漏水は防ぎ得なかつたであらうと思はれる。又完全なる、空氣閘及送氣設備に相當多額の経費と時日を要したであらうと考へられる。

此の注入用 4 吋管 10 本の内 3 本は前記ボーリング孔を利用して残る 7 本の内 2 本は圖で見る様に上向注入孔 3 本の中間にある 9 及 10 號で最後のテストボーリング用として埋設したものである。又此の穴は注入孔にも兼用せしむる目的で豫備として初めは穿孔しなかつた。其の結果第 1 回注入では 4, 5, 6, 7, 8 の 5 本を穿孔する計畫を立てた。隔壁は 7 日コンクリートの施工を終了し硬化期間を 1 週間置いてカニフグラウトミキサーにより埋戻部分及隔壁廻りのグラウトをなし築造を完了した。グラウトは 100 封度で行はれ注入材としては砂を主とし又適宜 1:2 位のモルタルを吹込んだ之に使用した砂は 30 軒約 3 立坪だつた。此の場合埋戻部分に砂を澤山吹込んだ事は施工上已むを得ない事だつたが其の爲めに非常に膠結力に乏しい砂層の部分が出来、後にセメントの漏洩に對し此の部分が最も容易なる通路を形成する事とな



第 439 圖 東口 10,000 呎附近南
側水抜坑セメント注入
隔壁



第 440 圖 隔壁並 鐵管配置圖

つた様に思はれる、だからこんな場合埋戻部分を少くするか、セメントを澤山吹込んで充分膠結する様に考へねばならぬ。尙吳々も注意せねばならぬ事は湧水の多い場所にカニフグラウトミキサーで吹込みをやる場合セメントと砂が分離し易いので普通のモルタルの様には中々ならない事である

(3) 第1回注入穿孔

2月21日愈々第1回の注入孔が穿孔し始められた。所定の1号より8号まで出来る丈深く穿孔する事に努力して次の様な結果を得た。此の場合1,2,3号の各孔は理論上穿孔の必要はない譯

第1回穿孔成績

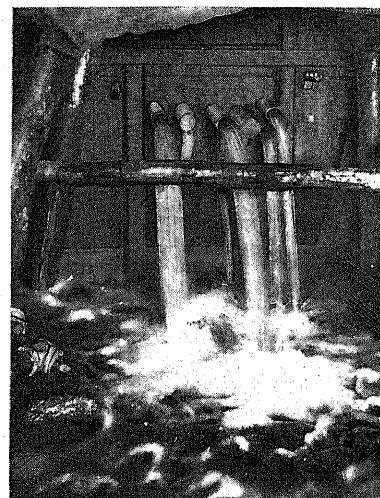
孔號	種類及名稱	孔深	湧水量	摘要
1	最初の試錐孔左下	47'	1/32 個	全部隔壁面より
2	同 上 中下	43'	1/20	
3	同 上 右下	32'	1/34	ビット残溜孔
4	中位注入孔左中	33'	1/25	
5	同 上 右中	44'	1/6	
6	上位注入孔左上	32'	5/6	
7	同 上 中上	38'	5/7	
8	同 上 右上	49'	1/25	
計			1,906	

だが實際は切端で4吋パイプと試錐孔との間のパッキンが取れた爲めカニフミキサーでの注入により試錐孔はすつかり塞がれて居たので穿孔したのである、又表で示す様に上位のものよりも左側は右側のものより短くなつて居る。又3号は前述の様に穿孔中ビットを落した爲め32呎で中止しなければならない事になつた。こんな状態で前回の豫想よりも尙一層明瞭に本地帶の非常に悪い破碎帶である事がわかつたから此の部分に向つて第1回の注入を施工する事となつた。

(4) 第1回注入作業

注入設備先づ薬液の注入より始めなければならないので之に對する設備をした、注入する薬液は硫酸鉱土と硅酸曹達とであり此の化合物を水で薄めたものを裂縫中に高圧で注入して水を止め或はセメントの微粒を通り易くさせて充分深く迄地山を固めて掘鑿するとき崩壊せぬ様にする爲である。薬品の調合は色々あるが本坑で使つたのは次の様なものだつた。

水 100cc 付



第441圖 東口10,000呎附近南側
水抜坑セメント注入孔
穿後湧水の状況

第九章 セメント注入

硅酸曹達	4瓦	8トワドル	温度 20°C のとき
硫酸鉱土	3瓦	6トワドル	

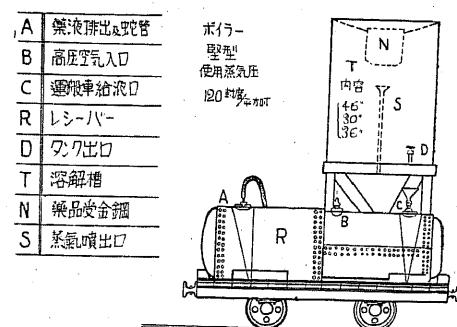
之は混合するとコロイドとなり、膠の様に非常に滑かで、且壓力が加はると水がしぶり出されて相當糊狀に固る性質である。然し乾燥すると脆い白粉となつて殆んど結合力がなくなる。硫酸鉱土は後には粉末のものを購入使用したが本坑の注入ではそんなものがあるのはわからなかつたので固形の水に溶け難いものを購入した爲め、坑外にボイラーを据付け蒸氣で所要濃度の10倍のものを原液として溶解し、特に用意した運搬車（レシーバーを代用せるもの）を使用し、あらかじめ底設導坑に設備せる原液槽中に貯蔵して使用した。此の容器は酸に侵かされる事を防ぐ爲め松板で作り、幅3×4呎高さ4呎として2個設置した。此の容量は大體1昼夜3交代分を盡間支けの溶解で間に合ふ支けにした。硅酸曹達は300KG入りビール樽入のもの及ドラム入りが使はれた。本品はミキサーの處で汲み出し一定量づゝ桿で計つて混合した、硫酸鉱土溶液はホースで導きミキサーに之を取付けコックに依り定量づゝ供給する事とした。注入に使用した機械の内注入機は笠戸製三聯式堅型注入唧筒でミキサーは瑞典注入機に附屬せしものを使用した。又給水は底設導坑のボーリング孔よりの湧水を利用した。尙硫酸鉱土は淺田明礦會社、硅酸曹達は西口4,950呎の注入に使用した残品を用ひ不足の分は日本製錬小松川工場製のものを使つた。

硅酸曹達は染色石鹼工業及道路工事用に廣く使用せらるゝ半流動體の水飴の様なもので、水には溶解し易く皮膚には刺戟を感じるやうな變はないが、唯注意を要する事は硝子同志固着するので、硝子の容器には入れぬ様にしなければならぬ。硫酸鉱土は主として明礦製造に用ひられ、又コアギュレーション用として上水道の沈澱池に多く使用される今回購入のものは非常に溶解しにくいものだつたので、前述の如く蒸氣で溶解した程だつたが10倍溶液を200米ガロン程溶解するのに1時間位かゝつたそして之は恰度運搬車2輛を一杯に満す事が出来た。尙此の溶液は非常に金属を溶解し易く、皮膚をも刺戟する、本工事では此の爲め長く入れて置く容器は全部木製とし導管はゴム管を使つた。尙溶液槽中に $\frac{1}{8}$ 吋鐵板で作った薬品受金網を使つたが大抵1週間位しか使へなかつた。

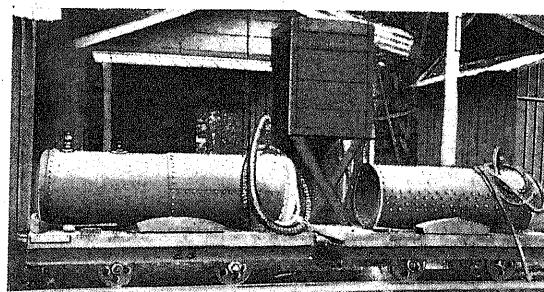
注入豫想量…此の計畫に當つて最も苦心した事は注入量の決定と言ふ事である。今迄行はれた注入が非常に不規則な結果を示して居る爲め注入量の想定は殆んど不可能に近いと言ひ得る。其處で昭和4年12月から試験室で4吋鐵管内に断層區間と同様な土壤を詰めて種々試験した結果を基礎として決定した。試験の結果は

10.3ccに付 2ガロン

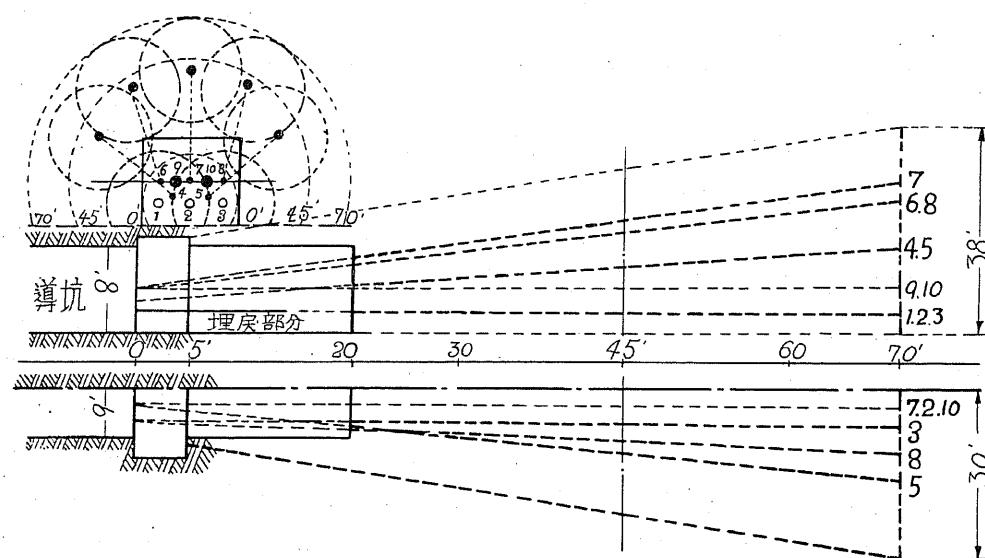
の割合で適當と認められたから此の比を求めて約0.75~0.7と言ふ事になつた。其處で最初の標準を0.7に取つたのだが、實際に注入しようとする部分の容量を知る必要があるので之に對し圖の



第 442 圖 藥 液 運 搬 車



第 443 圖 硫酸鑿土溶解槽及び運搬車



第 444 圖 斷層區間注入豫想範圍圖

様な範囲を豫定し其の容積を膠結するものとして決定した。其の計算の結果大體切端より 50 吻奥までの區間で約 10,000 立方呎と推定されたので之に相當する薬液量並薬品重量は次の如くなる。

薬液量	7,000 立方呎 = 200 キロ立	
薬品名	トワドル	重量
硅酸曹達	6°	6,000 吨
硫酸礬土	8°	8,000 吨 合計 14 吨

尙前方の埋戻區間に必要なる墳充量は、其の區間の容積を 1,215 立方呎と見て薬液注入豫想量を

0.75 とすれば 25,800 立となるから薬品は硅酸曹達 1,030 罐、硫酸礫土が 770 罐となり約 2 罐を必要とする事になる。此の結果第一次注入の薬品は大體 16 罐と見積られた。之と共にセメント注入量の豫想は大體次の様である。

注入區間容積 10,000 立方呎

空隙を 30 % とすると 3,000 立方呎 = 750 棟

此の空隙の 30 %と言ふ豫想は過大の様に思はれる傾もあるが、實際集塊岩の様な緻密な處でも、35 %位はあると言ふ事が實驗の結果想像出來た。併し此の空隙の全部に對してセメントを詰る事は先づ不可能と言へるし又薬液も前述の如く相當注入するのだから實際のセメント量は之より少く空隙の約半分位と見るのが適當かと思はる。勿論薬液はリニューブリカントとしても用ひらるゝのであるから其の一部はセメント注入の豫想範圍外に流さるものと考へなければならぬであらう。更に角セメント注入量を上記の如く實際の 50 %とすればセメント量は

セメント量 375 樅

尙之に埋戻區間に填充する量を空隙の 35 %とすれば約 91 檻を要する事になるから全部で 475 檻となり豫算としては 500 檻のセメントを計上した。

此のセメント量の推定は勿論確實なものではなく又根據あるものでも無い。唯豫算を作る必要上推定したのであつて、岩石は坑奥に於て同質のものでもなく却つて斷層區間であつて變化の多い箇所であるから、或部分は殆んど注入さるゝ必要のない部分もあらうし又一方非常に大きい裂縫があつて數十呎の遠方までセメントを填充しなければならぬ場合もあらうと思はれる、唯前記豫想區間丈は充分膠結せられなければならぬ。施工の結果セメントは案外よく填充されて居て、或區間(大體切端から 30 呎の間)は完全に膠結され殆んど 100 %と見らるゝ部分も少くなかつた。殊に斷層角礫の部分程良好な結果を納める事が出來安心して掘鑿出來たのは今迄に見ない點だつた。之等の結果から考へると角礫を含む様な時は空隙が豫想外に多い上に、遠くまでセメントが流されるだらうから豫想外に多くのセメントが必要だつたのも領づける。即ち實際の使用セメントは 800 樽と言ふ殆んど豫想の倍となつた。

薬液の注入……先づ 1 號孔から 3 交代で晝夜の別なく薬液が注入された。圧力は 100 封度より漸次上昇して 200 封度まで上昇し約 10 砧の薬品を注入して中止した。

セメントの注入…薬液は非常に注入し易いのと切端（前に掘進して中止した時の切端即ち埋戻部分と地山の境で坑内地點 10,097 呪）が小崩壊で荒らされて居て、各孔とも共通して居る可能性があつたので各孔から注入せず、1 號 1 本から専ら注入したのだった。セメントは必ずしも全孔に行きわたるものとも思へなかつたので 6 號から順次 1 本宛注入することとした。而して穴の位置を 1 號より薬液を注入、6 號よりセメントを選んで注入したのは前回断層が左側から現はれ始めたの

と水の流れが左上より右下に向つて居る様に思はれたので注入液を先づ流れの上流に送り込み源を固め、其の上又流出があるとしても、之をなるべく有效地に沈澱させようと言ふ考へに外ならなかつた。

此處で水の流れが左側から右側に向つて居ると言ふ事は、平面圖及側面圖からも明かに想像出来る所であるが、更に 1 つの大きな理由は本水抜坑の右側に當つて高位置ではあるが底設導坑があり、而もボーリングが水抜の切端よりも 300 呢も先に伸びて居る事である、尙本隧道の之迄の経験より考へると必ず水は左側より多量に逃出する云ふ事である。

此の推測は結果から見て誤りなかつた様である。と言ふのは注入中一度底設ボーリング孔にセメント溶液が出た事によ

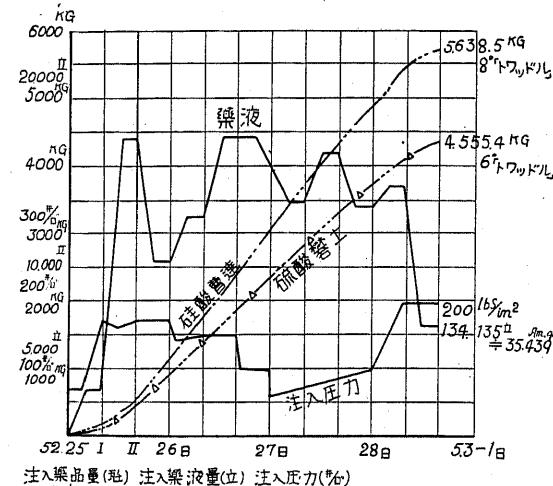
つて立證されるのである。但し此の漏洩は約半日 5.6 時間に及んだが砂を少量セメント中に混じて注入した結果其の後一回も濁りを見る様な事はなかつた。

即ち水抜坑に於て水を排除すればそれは其の右側である底設に流れ出る事は明かになつた、之は相當貴重な経験であつた。

而して 6 號孔の注入を開始した、其の圧力 200 封度前後で非常に順調に注入しつゝあつたが 18 袋注入したとき、それは恰度午後だつた。突然漏氣止装置が脱出して作業を一時休まねばならなかつた、其處で擡柱から上下 2 本胴張か當てがつて漏氣装置をワイヤロープで締付け補強した。此の爲め注入したセメント及薬液の多少を流出したばかりで無く作業を半日休む事になつた。

漏氣止装置は今迄はデンバー 34 番で掘つた孔に岩石に直接取付けて使用したのだったが、今回は 4 吋鐵管中に用ひた、摩擦が少ないので抜け出しあはせぬかと言ふ心配があつたのだが充分締付けて用ひたが遂に押出されて仕舞つたのだった、此の結果から見て漏氣止装置は鐵管の如きスムースの中に取付け、高圧に使ふのには不適當なので、強いて使ふには補強する必要がある事が判つた、此の場合の圧力は 300 封度位だったので約 1 噸半の力がかかるつて居た譯である。

ワイヤロープに依る補強が完了したので前述の想定の下に 4,7,8,3,5 と注入した。其の結果は次表の通りであつた。先づ 4 號より 34 袋注入した時切端から漏洩があつた爲め中止した、7 號に注入したときは 310 袋で圧力が上昇し始めると共に切端からの漏洩が甚しくなり圧力は再び低下して



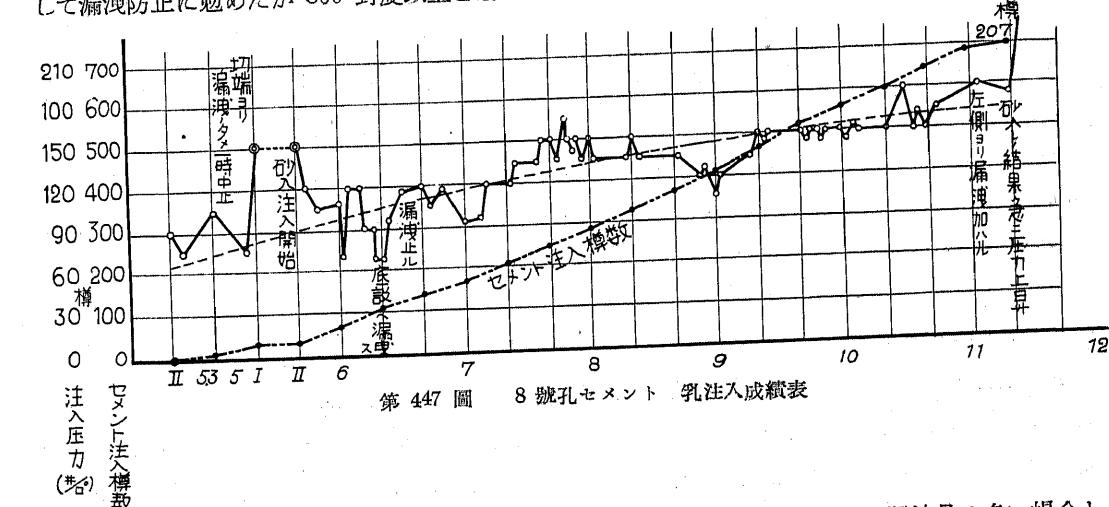
第 445 圖 1 號孔薬液注入成績表

3 月 4 日夜中必死に漏洩防止に勉めたが手の付け様も無かつた。次に 8 號を注入したのも少しで漏り始めたので遂に砂を吹込む事にして注入を中止し、砂入れ装置の到着する迄 3,5,7 號を試験したが皆管中にセメントが硬化して居て圧力が上昇してしまつた。尙漏氣止めの押出されるのを止めるのに苦心した。それから切端を完全に修理して 3 月 5 日から 8 號の注入に取かゝつた、勿論之は砂を入れながら施行した。8 號に取かゝる迄は殆んど絶望かと思はれた第 1 回注入も、愈々 8 號孔に着手し砂を入れながら注入を開始すると、非常に容易に作業が續けられた。注入圧力も 300 から 400 封度を保つて有望と思はれて居た、然るに 3 月 6 日底設導坑切端から出て居た 1 個餘の水は白濁して一時は心配したが、之も砂を 5 握も入れた丈けで完全に止つて仕舞つた、3 月 9 日頃までは 500 封度以下で入り其れから圧力も漸次上昇して 11 日開始

第 1 回注入作業表				
孔号	第一次穿孔日	薬液注入袋数	セメント注入作業実行	摘要
1 47	1/32	1		漏洩のみ注入セメント使用せず
2 43	1/20	1号孔のみ	5 日 注入量有効量 0袋 0袋	
3 32	1/34	硫酸銅土 =495袋	5	3.0 0.3 ピタロッド及取落し
4 33	1/25	=5744.2袋	2	10.4 9.2
5 44	1/6	合計 10,149.6袋	9	0.5 0.5
6 32	5/6		1	4.5 0.5
7 38	5/7		3 7	27.3 21.3
8 49	1/25		4 8	227.5 207.0 注入施工日数 満7日

第 446 圖

以来 6 日の後圧力計は 600 封度を超え再び切端より濃厚なセメント乳が漏洩し始めた。種々苦心して漏洩防止に勉めたが 800 封度以上となつたが漏洩は止らず遂に中止する事とした。



第 447 圖 8 號孔セメント注入成績表

注入停止時期の問題は相當考へを要する點である。第 1 回の結果から見ると漏洩量の多い場合と全く空隙に注入されて基礎鐵管まで固結して圧力の上昇した時と 2 つの場合がある。併し漏洩量の多い場合も亦後者即ち空隙が全く填充された場合と同様の理由によるものがある。其の理由は単に圧力 2,000 封度に達する迄は何時までも同一容量を注入して居る、空隙の多い場合には問題な

く之は注入されて行くが、孔奥の空隙が充填されポンプで送り込まれるだけの場所が無い場合、即換言すれば或壓力の下で注入する時其の壓力で打勝ち得ない空隙抵抗に達した時には、假令相當量の湧水があつても最早や注入は出來なくなる、勿論此の場合の漏水はポンプの容量より少いのは當然である、又漏水の源も孔奥近く又はそれ以奥にあるものでなく切端と注入孔奥との間で切端の近くにありと考へれば其の最も弱點である切端へセメント乳が漏洩すると言ふ事が一層容易に推定出来るのである、要するに此の場合は間隙抵抗と注入壓力の關係が最も重要な點である。

(5) 第2回穿孔作業

第1回注入終ると共に機械の點検を行つて12日中に完了、13日よりデンバー34型鑿岩機によつて穿孔作業を開始した、19日全く穿孔を終つたが此の成績で見ると下部即ち薬液を注入しセメント注入量の少なかつた1,2,3の各孔及4号孔は第1回の穿孔と並べて掘伸殆んど無く相變らず甚しい崩壊を示したが上部即ちセメントが主として注入されたと見る。5,6,7,8号孔は非常に成績よく何れも以前より10呎以上も掘伸し、中にも8号孔はセメント200樽も注入した結果20呎以上も多く掘れ70呎にも達した

第2回穿孔成績表

孔號	3月	孔深	第1回と の伸長	湧水	摘要
1	13日	48呎	1呎	1/165個	薬液のみ注入せる孔
2	14	48.5	5.5	1/16	
3	15	33	1	1/114	ヒット取落の爲
4	"	34.5	1.5	1/72	1号孔直上にあり
5	16	56	12	1/15	
6	17	44	12	1/11	
7	18	48	10	1/9	
8	19	69	20	1/2	60呎迄の湧水1/10個

と云ふ好成績だつた。以上の結果から見て最も崩壊性の危険の多い場所は左側土平で注入孔に沿うて隔壁切端より70呎—40呎の區間で、此の區間さへ完全に膠結されれば容易に深孔を掘り得る事が判明した。之で直ちに第2回の注入を施工する事となり19日穿孔を終ると同時に跡片付をなし20日より愈々注入に取かかる事になつた。

(6) 第2回注入作業

注入計画……第1回注入の時は先づ薬品を1号孔にのみ注入した事は既に述べたが、之に依つて第2回穿孔にては明かに膠結力が減少して崩壊性を有して居る事を知つたのである、故に第2回の注入では各孔にそれぞれ相當量の薬液をセメント乳注入に先だち注入し、薬液自體の目的とするヘヤークラックを閉塞する事及潤滑作用を與へる事にした、注入の順序は第1回の注入の結果より8号孔が最も注入し易く有望な位置にあると認められたので此處から始め出来る丈奥の方に多量に注入しようと心掛けた。先づ注入薬液量を豫想することが問題となり考究の末、注入作業に対する注入豫想量と第1回注入成績とより概算し、其の残りを適當と思はる様各孔に分配注入する

こととし大體次の様な結果となつた。

$$\text{断層區間注入豫想量} + \text{埋戻區間注入豫想量} = \text{全豫想量}$$

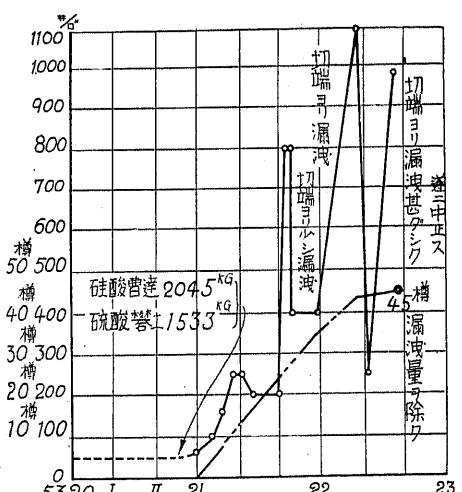
$$14\text{ 脱} + 2\text{ 脱} = 16\text{ 脱}$$

之から第1回注入量10脱を差引いて今回6脱とした、之を硅酸曹達を標準として表はせば、300脱入12樽となる。注入設備は第1回と變りなく3月20日漏氣止装置を挿入し直ちに注入作業に移つた。

注入施工……上述の様に8号孔より注入する事となり、先づ薬液より取りかゝつた、全體の孔に平均2樽の硅酸曹達を注入する事に豫定した、併し8号孔は湧水が1/2個もあり空隙も多かるべく且第1回にセメント注入量も多く薬液不足氣味なりしに付3樽の割合で行ひ、6,7号兩孔も同様湧水多量の爲め3樽宛を注入する事とした。尙3樽とした事は大體1交代の注入量で特に大なる理由は無い。8号孔の薬液注入は平均50~70封度で豫定通り20日中に完了し21日よりセ

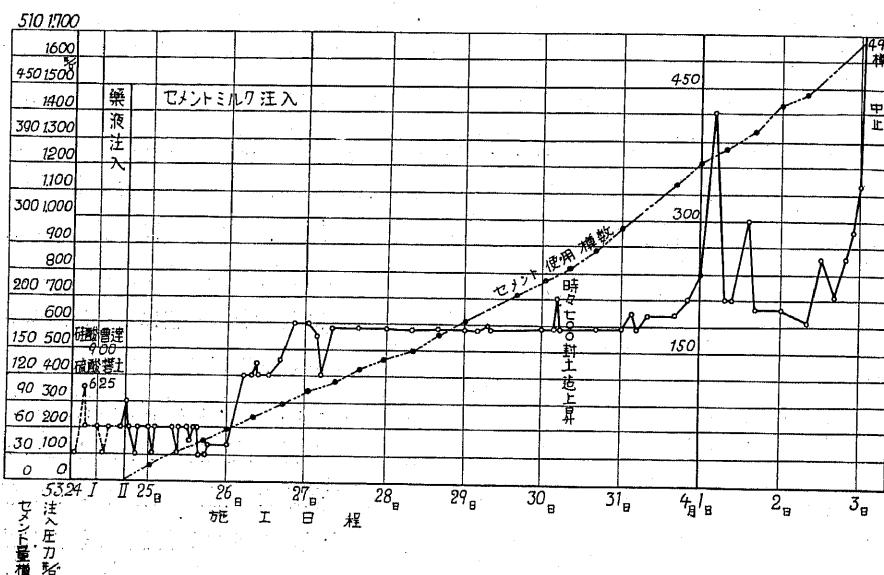
メント乳の注入を始めた。此の注入量は最初豫想した程には多量に上らず10倍にうすめたセメント乳で48樽のセメントを入れ、壓力1,000封度以上となり中止した。其處で7号孔に移り薬液の注入をした。豫定通り3樽の硅酸曹達を注入してセメント注入に移つたが切端より漏洩を始めた。砂入装置によつて辛じて少量のセメント乳を出す程度に止めるより外方法が無かつた。而も500封度以下だつた23日になつて800封度になると共に完全に噴き出した。之を防止しようとして24日午前、即ち夜の番全體を通じて努力したが、切端からの漏洩は益々甚しく而も其の上砂入れ装置も破損して遂に斷念して6号孔に切換へた。

8号に48樽7号孔に僅か26樽と言ふ心細さだったので6号孔に移つた時は甚だ悲觀したのだった。從つて6号孔にも大した期待はもつて居なかつた。24日注入を開始して以來案外良好な成績を見せセメント乳が薬液の豫定量に續いて注入され最初は200封度であつて26日頃には400から500封度まで達し、其れから30日まで大體500~600封度を維持して注入する事が出来た。併し之より先セメント注入量も多量に昇り、壓力の上昇も遅過ぎる様に思はれた、且餘り遠方までセメントを流出させて浪費する事をさける爲め、早



第448図 8号孔第2回セメント乳注入成績表

くつめるべく 30 日 2 の方から 5 倍のセメント乳を注入する事とした。此の結果當然ではあるがセメントの使用量も増し坑内作業も忙しくなつたので人夫を増し極力注入量を多くし、成可く短時日内に多量のセメントを有效に入れたいと考へた。併し 31 日に至つても尙終日 600 封度を保ち壓力上昇の氣味もないので 4 月 1 日も繼續して注入した、2 日になつて初めて初めて 700~800 封度に上昇 2 日 3 の方に至つて 1,200 封度を指示するに至つた。而して 3 日 1 の方で唧筒のバルブシート取換への爲め 2 時間程休んだ爲セメント硬化せるか注入を繼續しようとしても全く不能



第 449 圖 6 號孔第 2 回セメント乳注入成績表

第2回 注入作業表

孔 號	第2回穿孔		薬液注入作業			セメント注入作業		摘要
	孔深	湧水	硅 曹	硫 礬	作業日數	セメント量	作業日數	
1	48呎	1/105箇	○延	○延				
2	48.5	1/16	○	○				
3	33	1/114	○	○	5.4.3 I			
4	34.5	1/72	○	○				
5	56	1/15	○	○		注入量	有效量	
6	44	1/11	795延	597延	(3) 5.3.24 II	493	493	III III
7	48	1/8	795	597	(2) 5.3.22 III	26	20	III I
8	69	1/2	2,120	1,590	(1) I 二 III	48樽	45樽	I III
					5.3.20			5.3.21-5.3.22

となり水さへも注入出来なくなつた。此のセメント注入量 498 桶に及んだ、其處で 6 號孔は完全に成功したと極められたので他の各孔を試験して見たが何れも完全に詰つて水さへ注入出来ず、6 號孔よりのセメントが坑奥全體に填充されたものと認めたので作業を中止し第 2 回の注入を終了したのである。

扱第2回の注入が3日終了すると同時に坑内作業場を片付け、4日は機械の點検をなし、5日に至り愈々10号孔をパイナー金剛石試錐機によつて調査孔の試錐をする事となり、諸機械の準備を整へ、6日早朝より試錐に着手した。10号孔を選んだのはセメントの硬化期間として、3日より5日迄の3日間を見込んであつたが、尙完全を期するため最後に注入した6号孔をなるべく遠く避けた爲めである。

最初 8 號孔に湧水の割合に多量に注入出来なかつた事は、第 1 回注入施工時に大概の裂縫を埋めつくした爲め、數箇所多量の湧水を生ずる空隙を殘存したものが、約 50 樽の注入に依つて充填されたか、或は湧水口を塞がれたによるものと思はる。7 號孔は第 1 回と同様多少の空隙を詰めて終つた爲め壓力上昇し前回漏出したと同様の経路を取つて切端に吹き抜き壓力低下の結果となつたものと思はれる。要するに 7 號孔は第 1 回第 3 回共大裂縫又は空隙に出遇はなかつた爲、兩回共注入量比較的少なかつたのであらう。6 號孔は第 1 回注入及 7, 8, 兩孔の 2 回に亘る注入により前方埋戻區間並切端部分が完全に膠結した爲に本回に於てかくの如き好成績を得たのであって殆んど理想的注入方法であると云へる。勿論本號孔は漏洩の心配もなく充分壓力を加へ得て各孔全部に完全に注入せられ伸孔より注入の必要もなかつたのである。

(7) 調査用試錐(第3回穿孔)

先づ 6 日パイナー試錐機により注入区間の調査用試錐をする前に、デンバー 34 型鑿岩機に依つて埋戻區間の掘進をなし、金剛石の消費量を少くし又進行を早める事とした。愈々パイナー機により地山の試錐を開始したが、操粉は非常に多量に流出するがコアーは殆んど取れず豫期した程よくない様に思はれた。併し第 1 回の穿孔で崩壊に苦しんだ事を思ふと非常に容易に穿孔出來た上に進行も 8 日朝には 70 呪に達したが殆んど湧水を見ない状態であつた。其後正午に 75 呪迄穿孔したが湧水は $\frac{1}{10}$ 個で地質状態も依然良好で殆んど集塊岩で憂慮する必要を認めなかつたので停止した。之より先膠結状況は良好の様に思はれたので、試錐終了と同時に注入設備を取り外し掘鑿する豫定であつたが、念には念を入れることとなつて穿孔を利用して今一度注入し其の完璧を期する事となり、第 1 回より殆んどセメントの入つて居ないと思はる 1 號孔もデンバーで穿孔し、此の 2 本から注入する事とした。併し 1 號孔は 45 呪で止めたが湧水は $\frac{1}{88}$ 個に過ぎなかつた。

(8) 第3回の注入

第3回の穿孔を2本終了すると同時に9日より注入準備に着手し10日中に作業を終つた。

第3回注入作業表

孔號	第2回穿孔		薬液注入作業			セメント注入作業		摘要
	孔深	湧水	硅酸	硫酸	作業日數	セメント量	作業日數	
1	45呎	1/65	300匁	270匁	5.4.11 I	使用 2 1樽	5.4.11 I	
10	75	1/10	600	405	5.4.10 II	3 1 1/2	5.4.10 III	右側試錐孔

その結果表に示す如き結果を得た。先づ 10 號孔に硅酸曹達 2 樽分に相當する薬液を入れ直ちにセメント注入をしたが前者で 400 封度位であつた壓力が、セメント注入開始後直ちに 700 封度以上に達し約 1 樽半注入して漏氣止装置が折損したので作業を停止し其れより 1 號孔に移つた、漏氣止装置の折損は胴張より $1/2$ 吋ワイヤロープ 2 本で緊締した爲管内に壓力が加はりゴムパッキンが抜け出さうとする力で恰も柱を折り曲げた様になつて仕舞つたのである。

1 號孔は硅酸曹達 1 樽分の薬液を入れ後セメント注入に移り僅かに 1 樽を入れた丈けで壓力上昇して停止するに至つた。尙今回の總注入量を見ると次に示す如くセメントは 800 樽で、隔壁築造及漏洩の爲めのセメント等を入れると 1,000 樽に及び、又薬品は 18,300 匝即ち 18 瓢餘りで此の總注入量を 60 呎の區間に注入したものとすると呎當り實に薬品 300 匝、セメント 13 樽に及ぶのである。又穿孔 8 本にして 1 本當り薬品 2,250 匝、セメント 100 樽即 16 瓢餘に相當して居る。

總注入量	セメント	798.8 樽
薬品		18,296.9 匝
内譯		
硅酸曹達		10,383.5 匝
硫酸鉀土		7,913.4 匝

(9) 掘鑿と注入の結果

注入作業の終了と同時に 11 日より注入機械の取付にかかり 12 日終了 13 日よりコンクリート隔壁の取扱にかかり、此の隔壁取除きを爆破作業により 14 日終了、16 日には埋戻區間の終端即ち切端まで掘進した。此の埋戻區間には 4 吋鐵管がボーリング用として 10 本埋設されてあつた上高壓注入を施工した爲、非常に掘進に困難を感じた、ダイナマイトを相當多量に使用して進んだのである。膠結の模様は最初カニフグラウトミキサーで吹込んだ砂が埋戻部の上部に層状に沈澱し其中にはセメントが殆んど入つて居ないで、薬液が多く滲透して居たので、多少脆弱な箇所もあつて危く思はれた事もあつた、併し乍ら空隙は完全に填充され薬液のみで固結した局部を除けば、殆んど完全に膠結されてゐて支保工の木肌に附着したセメント層等は爆破の時にも容易に落ちない位の強さを持つて居た。而して埋戻區間を 16 日中に掘進し、前述の通り元の切端即ち坑門起

點 10,097 呎に達したとき、最初に小崩壊を見て危険と思はれた左側壁部も完全に膠結され鶴嘴等では容易に起きない程の強度があり、唯地山との間に約 1 時足らずの薬品層があり、而も之は高圧力で固められ水で以て溶かし出さねば崩れない程度になつてゐた、其れに依つて自信を得たので安心して地山の掘鑿にかかり、困難な部分はダイナマイトを使用して 21 日迄には 3 間(1 間は 3.5 呎)進み 22 日にコンクリート隔壁面の在つた所から 35 呎の地點即ち坑口より約 10,110 呎の地點で左側土平の部分から湧水を見て、且多少の肌落ちをし少量の斷層角礫を流下したのである、其處で直ちに矢を打つて手當をし全くダイナマイトの使用を禁示して専ら鑿岩機のローティションを取つた機械で掘鑿せしむる事とした。此の時の湧水は $1/10$ 以下であつた、それからずつと貫通近くまで此の區間は疊築せずに居たが、肌落ち箇所の擴大を來す程の事もなく又支保工に壓力が加はつた様子もなく通過した。

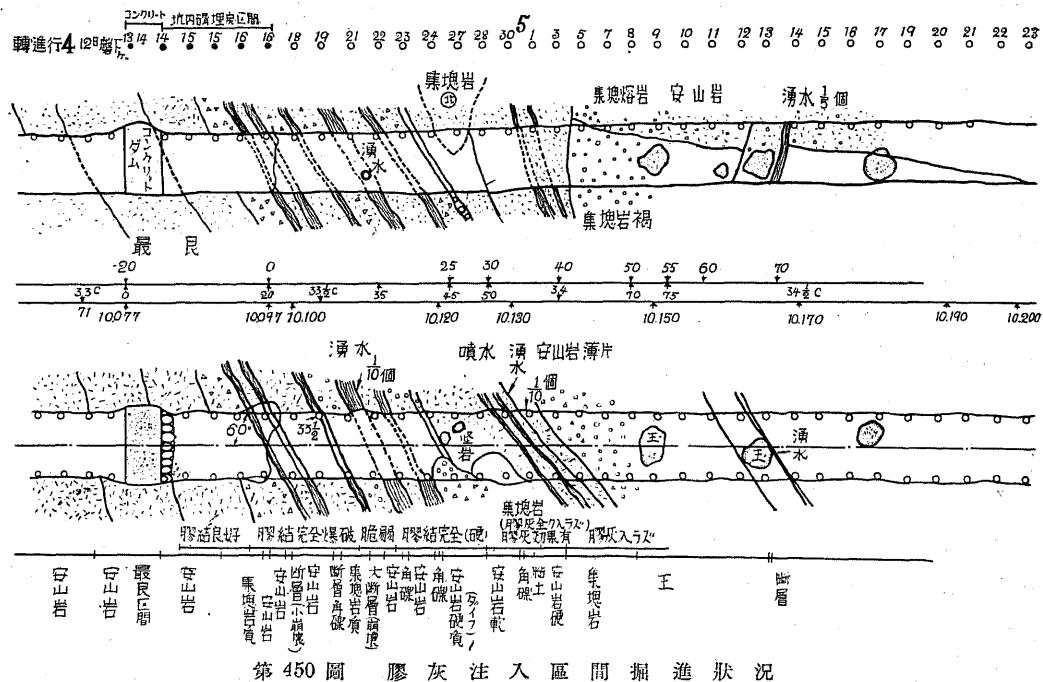
最初 18 日地山に掘進したとき非常に成績が良好だつた爲めに豫定より取締りを寛にしダイナマイトの使用を許したため、此の様な結果を來した事は明かである。又一方此の箇所がボーリングの結果から見て一番危険視された部分であつたから、此の推定を或る程度まで確實なものとなし得る事が裏書されたのである。即ち最初穿孔に困難を感じる様では掘鑿に相當注意を要すると言ふ結論が得らるる。尙此の附近は 1 號孔に依つて主として薬品が多く注入されてセメントが不足して居ると云ふ事も大なる原因に違ひないと思はれる。

23 日に此の危険區域を通過して地質を考察して見ると、此の斷層帶の主體を形成して居る斷層部分らしく、もとの切端即ち 10,097 呎の處に於て出會したものより遙に大きく幅は約 2 呎に達し全く斷層角礫で出來て居て兩面は明かに粘土を噛んで居たのである。此の粘土は導坑斷面の右半分では充分セメントが注入されて居た爲めに、壓縮固結されて水分を殆んど含有しない程であつたから安心して掘鑿し得たが、肌落ちした左側部分では薬液が主に入つて居た上多少壓力の不足して居た爲めか耐水性になつて居なかつた爲上述の様な結果になつたものと思はれる。

其の後ダイナマイトの使用を厳禁して、約 10 呎を掘進し 10,120 呎に至る迄小斷層を數箇所無事通過して 25 日には、地山に入つて早や 25 呎掘進し得たのであつた。而して 25 日又小斷層に際會したときには最も注入效果が著しい事を認められ、切端一面に断層角礫が現はれ而も其の間に非常に大なる空隙は完全にセメントを以て填充され、恰も上級のコンクリートの様に固結したのであつた。其の固結の模様は次記の工事状況に想像出来ると思はれる。

10,122.5 呎にある押木は掘進状況圖に示す如く 3.5 呎間で而も下半部に掘鑿容易な集塊岩が出て居たにも拘はらず 10,119 呎の押木を上げてから、8 交代即ち満 2 日間を費して辛くも上げる事が出来たのである、勿論掘鑿には全く爆破を禁じて居たが、鑿岩機はインガーソルのジャックハマー、ストーパーを始め 58 番クレイデツガー、コンクリートブレーカー等出来る丈け状況に適合したる

膠灰注入區間掘進狀況



第 450 図 膠灰注入區間掘進狀況

ものを使用させて進行に努めたのであつたが、尙其の押木間の天井は堅岩の突出の爲めに矢板を入れる事も出来なかつた程である。

此の進行を遅らせた原因は膠結の完全な事にもよるが又一方非常に堅岩であつたと云ふ事も影響して居るので、本隧道に於ても珍しい硬度を有する安山岩であつた。後に研究せる所によると断層状態より見て此の部分に幅約 10 呎の大岩脈が存在して居たと思はれる。此の中で特に堅い部分はクレイデツガーは勿論ジヤツクハンマーも全く受け付けぬ、僅かにコンクリートブレーカーを臺上に乗せ 4 人が乗りで操作して削り取る事が出来た程だつた。鑿先のいたむのには弱つた。

此の堅岩の部分で右側上部に現はれた集塊岩は相當堅緻なものであつて、殆んど水を透さず表面にじみ出る程度のものであつて、崩壊等の危険性は全くなかつたが、此の部分には全くセメントの根跡さへ認められず、集塊岩の周囲に約 $\frac{1}{2}$ 呎厚さの粘土層があつて之をセメントが外側より圧縮して固結し不透水性の層を形成して居た。僅かに 1 箇所粘土層を破つて 22 呎位の深さに薬液の浸入固結した部分があるので認めた丈けであつた。要するに集塊岩にはセメントは全く入り得ないと云ふ事が出来るであらう。此の事は後に地山切端より 40 呎、即ち 10,137 呎附近に於ても同様に認

められた事であつて即ち此の岩脈と思はれる部分の終ると共に褐色の集塊岩が突然現出し、是又上部より漸次黒色集塊熔岩となつた。其の點より奥即ち坑門起點 10,137 呎以前は掘鑿後一ヶ月餘を経過して尙滴水さへ見ないに反し以奥は夕立位の湧水があり、而も水温が非常に低い爲めに非常の差異を感じるのである。

(10) 結論

以上の結果から見て本工事は東口に於て此の種薬液を併用しての膠結法を利用した試験的工事であつたが、可成り良好な成績であつたと言へる。800 檉のセメント 20 檉近くの薬液を注入し得る空隙を有する大斷層含水帶を何等かの防禦法なしに掘進し得るものとは思はれない。次に薬液の注入が非常に好結果を齎らしたと云ふ事も大體想像出来る、且極細い裂縫等を詰め水密となす效果は充分認められた。此の注入に使用した機械設備は大體次の様だつた。

注入孔並調査孔穿孔用

デンバー モデル 34 型空氣鑿岩機

パイナー試錐機

注入用

笠戸製作所製

三聯式堅型注入唧筒（機能は注入機の章を参照）

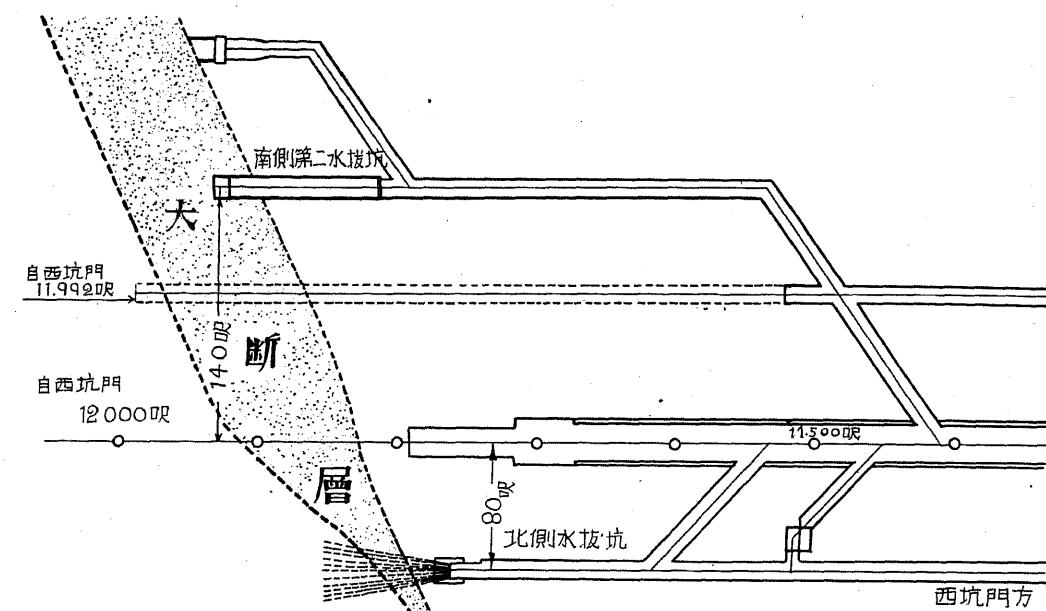
二段式セメント攪拌機 電動機共

第六節 西口 12,000 呎附近断層注入工事

概説……丹那隧道西口國府津起點 20 哩 9 鎮（坑門起點 11,847 呎）附近では大斷層に相遇し南側水抜坑に於て遂に土砂流出の重大事故に遇ひ、昭和 5 年 11 月 10 日北側水抜坑 11,746 呎に達し坑奥の地質調査をする事となり、11 月 24 日工事に着手したが震災の爲め一時工事を中止するやむなき事となり、遅延に遅延を重ね 6 年 2 月 5 日竣工した。此の結果中央孔延長 62 米 50、北側孔延長 53 米 35 を穿孔したが、断層帶の厚さが南側より狭いので膠灰注入の穿孔にも都合よく、断層位置も概察し得られたので此處で膠灰注入を施行する事となつた。此の結果穿孔其他には断層に出来る丈け近い處に隔壁を作つた方が何かにつけて便利なので 24 呎掘進して 2 月 24 日 11,770 呎に達し此處から断層帶のセメント注入をする事となつたのである。

(1) 注入工事計画概要

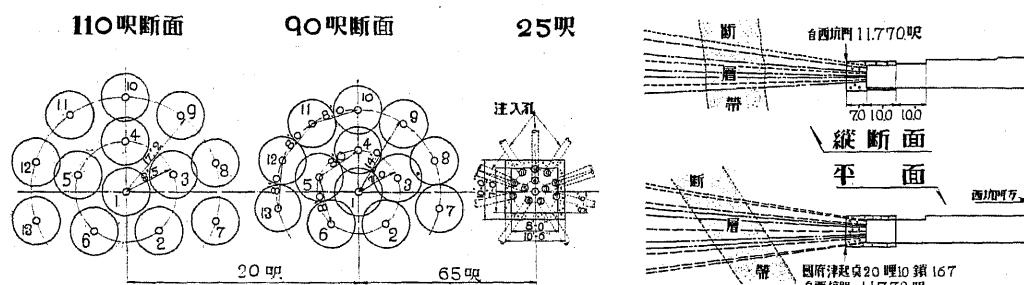
断層帶は圖に見る如く北側の方が薄く約 10 呎、南側の方が厚く 30 呎もある、そして此の地帶は不透水層であつて、膠灰注入の必要はなく又注入不能の地質である、爲めに注入せんとする区域は本水抜坑中心線に於て断層終端境界より約 30 呎の區間である、此の区域に薬液を併用して膠灰



第 451 圖 西口 00,120 呪北側水抜抗セメント注入圖

注入をなし集塊岩の間隙を充填して水密堅固ならしめ断層帯の掘進に當り坑奥よりの湧水により断層帯の崩壊並びに土砂流出を防止するにある。坑道は地質調査終了後 11,770 呪まで掘鑿断層帯まで約 12 呪の間隔を残し切擴の上厚さ約 7 呪の隔壁を設け且隔壁の手前に延長 10 呪の疊築をなし之をカニフグラウトミキサーに依り充分グラウトし膠灰注入に際し漏洩を防止する事とした。

尙注入孔は凡て 18 孔で隔壁の築造に當り適當の長さの 5 吋鐵管を計画位置並びに方向に合致する様埋設した。此の為に隔壁築造に當つては前後 2 組の幕板を用意し鐵管挿入位置を切り抜き置く事とした。注入孔はみんな 100 精錐冠を使用して断層帯奥端まで穿孔し、之に 3 吋鐵管を挿入してケーシングとし其の内部より 65 精錐冠を以て適當なる深さを穿孔し注入する事とした。



第 452 圖 西口 12,000 呪附近セメント注入孔配置圖

3 吋鐵管は壓力が 1,500—2,000 封度以上も上昇すると拔出しあるが且 3 吋と 5 吋鐵管の間隙から膠灰乳の漏洩を防止する必要あるため 5 吋鐵管には特殊のフランジを取り付け之を防止する事とした。かくして各孔に順次薬液並セメント乳を注入し終了すれば再び閉塞された鐵管中を二度三度穿孔注入し目的箇所を充分膠結する計畫をした。

(2) 設備機械

注入工事用として混凝土隔壁の手前適當なる場所を選び次の機械を設備する事とした。

試錐用 瑞典ダイヤモンドボーリング會社製 クレリウス A B 型試錐機
本機の使用に當つては黒色ダイヤモンドの代りに芝浦製(タンクステンカーバイト合金)タンガロイチップを使用した。

注入用

堅型三聯式プランジャー唧筒, 笠戸製作所製

ミキサー 二段式 電動機共

攪拌機にしてタンク上下 2 個を有し上部は調合用タンク, 下部はポンプの吸入管を取付けタルク或は薬液をポンプに連續供給する装置にしてタンクの容量は上 230 立, 下 280 立のものである。

尙注入機, ミキサーは前節に詳述してある。

(3) 薬液の注入

注入剤の項にて述べたる如く薬液注入の目的は膠灰注入に際して潤滑剤の役目をなし又微細なる間隙を充填し水の滲透を防止するにある, 今回使用せんとする薬液は硫酸鉱土(サルフェートオブアルミナ)と水硝子(シリケートオブソーダ)の 2 薬品で硫酸鉱土は 6 トワドル, 硅酸曹達は 8 トワドルの濃度のものを使用した。薬液注入の壓力は現場の状況により左右せらるゝものであるが, 大體坑奥の地下水の壓力に打勝つ程度のもので充分である, 注入量は空隙の大小に依り一定し難いが其の必要程度に應じ作業經過により定めねばならぬ, 水硝子は溶解し易い爲め現場で計つた上攪拌機に投入したが, 硫酸鉱土は此の注入をやる場合は圓形のものを使つたので坑外で機関車にて蒸氣を作りスチームを吹かせて, 熱湯中で溶解し別の運搬車で坑内の貯蔵タンクに移し之より注入作業場に導きミキサーに取付け定量づゝ入れて濃度を一定せしめ攪拌して注入した。

薬液運搬車は約 22 立方呪, 30 立方呪のエヤーレシーバーを流用した, 之は東口 10,000 呪に使つたものと同じものだつた。

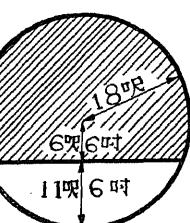
(4) セメント並に薬液の所要量

大體何程のセメント並薬品が必要であるかは注入工事をやる時何時でも困る問題であつて, 此の豫測は殆んど不可能に近い, 即ち注入に當つては湧水の状況, 注入の壓力, 注入経過等によつて薬

品並セメントの注入量を加減し判断し調査孔の試錐に依つて注入を中止する、實際工事施行の結果は豫定の數量に近く終了する事は中々困難である、1つの注入孔について見ても其の注入孔が湧水多量なる場合誰しも相當量の注入が出来るであらう事を期待するのが常識であるがこんな場合4~5樽も注入せぬ内に壓力が上昇して注入出来なくなる様な事も少くない之に反し湧水は少くとも數百樽の注入が出来た事もめづらしい事ではない、こんな譯で注入量の想定は實際むづかしい事である。だが注入工事を始める場合先づ豫算と物品の準備の都合で注入量の豫想が是非必要なのである、之を豫想する方法も計畫する人に依り又諸種の條件に依つて異なる事はやむを得ない、こんどの注入では次の様な方法で注入量を假定した。

即ち硬結せんとする區域を考へ此の地帶の空隙度を豫想して充填すべきセメント量を決定する、然し一般に豫想區域外に逸流するセメント數量も莫大であるから之も考慮せねばならぬ。又地質の状況、湧水の壓力等を考慮すべきは勿論である。

今回注入する地帶では断層帶は坑道に對して斜めであつて、此の奥方30呎区间を平均上圖に示す如き範囲に硬結すると想像した、此の充填斷面は計算に依り



第453圖 計畫充填斷面

737.9 平方呎である、故に 30 呎間では $737.9 \times 30 = 22137$ 立方呎となる。

上記硬結部分の空隙を充填せんとするには、薬液は前述の計畫通りの濃度のものを使用するとせば薬液 200cc は 100cc の水中に 6 瓦の硫酸鉱土の溶解せる溶液と 100cc の水中に 8 瓦の硅酸曹達とを溶解せる溶液との混合を意味して居る、注入薬液 100 立方呎中の各薬品の重量は次の通りである

$$100 \text{ 立方呎} = 28.375 \text{ 立} \times 100 = 2,837.5 \text{ 立}$$

$$2,837.5 \text{ 立} \times \frac{1}{2} = 1418.7 \text{ 立} = 1.4817 \text{ キロ立}$$

6 トワドル中の硫酸鉱土は 1 キロ立中に 60 坪

即ち注入薬液 100 立方呎中に 85.122 坪

8 トワドル液中の硅酸曹達は 1 キロ立中に 80 坪

即ち注入薬液 100 立方呎中に 113.496 坪を要する、

大體上記のものを豫定充填容積と同容積丈の薬液を適當とする、然るときは硫酸鉱土は

$$85.122 \text{ 坪} \times \frac{22137}{100} = 18,843,475 \text{ 坪}$$

硅酸曹達は

$$= 19 \text{ 坪}$$

$$113.496 \times \frac{22137}{100} = 25,124,609 \text{ 坪}$$

$$= 25 \text{ 坪}$$

セメント量は空隙たる全容積の $\frac{1}{3}$ を充填する事は困難なる上、薬液にて充填せらるゝ部分もある故其の $\frac{2}{3}$ とする時は

$$221.37 \text{ 立方呎} \times \frac{1}{3} \times \frac{2}{3} = 4,932 \text{ 立方呎}$$

セメント 1 樽 4 立方呎とすれば

$$4,932 \div 4 = 1,233 \text{ 樽}$$

故に大體 $\frac{1}{2}$ $= 1,250$ 樽

即ち上記の如き方法よりすれば今回の注入豫想量は薬品として硫酸鉱土 19 脇、硅酸曹達 25 脇セメント 1,250 樽を要する事となる、併し之はほんとの大體の見當であつて、實際は施行の經過に依つて増減するのやむなき事は勿論である。

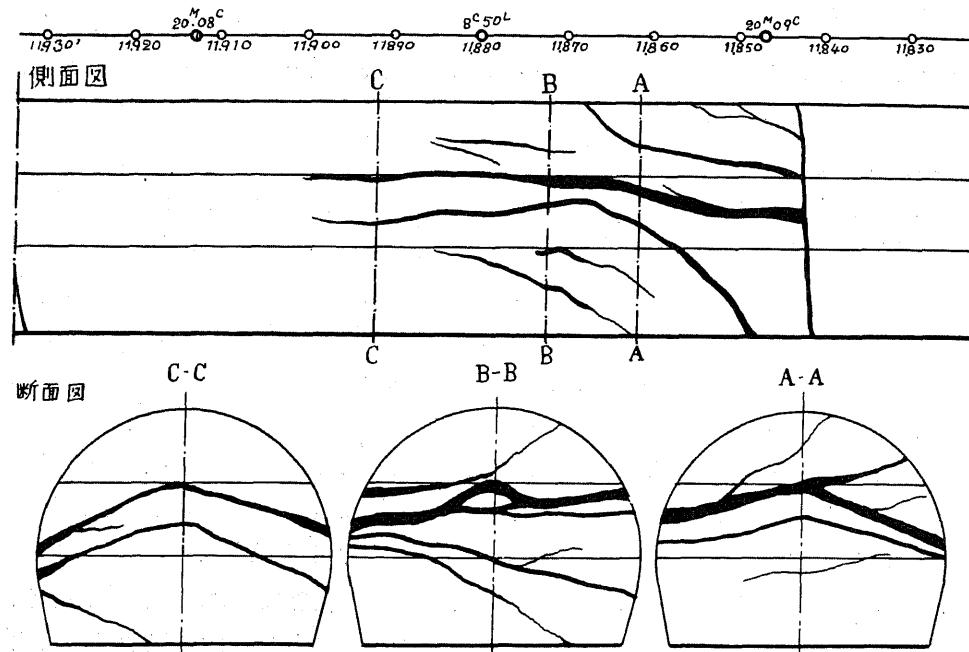
(5) 注入経過

注入孔を1本づゝ穿孔して注入する事が注入其のものから考へれば最も能率よい方法である。併し作業の點から見れば、數孔(3孔又は4孔位)を試錐して注入する方が段取りもよく又能率も上り無駄が少い、然し一度に數孔を穿孔し注入するときは1孔の注入が終ると同時に他の孔の殆んどすべてが充填されて終つて注入が出來なくなる場合が多い、注入孔が相互に共通でない裂縫に穿孔さるゝ場合は數孔を前以て穿孔しても無駄となる様な事はない、かうした理由もあるが今回は最初4孔を穿孔して見る事とした。之は最初穿孔にパイプを挿入しても鐵管外周を傳はり鐵管挿入口に漏洩し来る場合之を阻止し得たときは目的區域に潜入する通路を填塞し注入不能となる事が多いからである、依つて準備的意味に於て數孔を穿孔する事とした。併し此の注入の結果は矢張り1孔宛穿孔注入して行く方法が有利と云ふ事が認められたので後では1孔宛仕上ぐる事とした。

3月18日穿孔を開始した、最初の4孔穿孔中注入機械の準備をしたので4月1日には注入を開始する事が出来た。先づ隔壁背部の注入を始めた、先きに地質調査の目的で穿孔した孔に注入した。相當に充填されるゝと、地山と疊築混凝土との境を洗つて疊築前面に漏洩し始めた。4月1日2日の兩日グラウトしたが止らなかつたので、數日休んで注入せるセメントの便化をまち更に多量の砂を混ぜて注入した。3日間休んで10号孔にグラウトホースを接続して注入した、休んだ間に疊築前面の地山と混凝土の境は良くモルタルで目塗をした結果漏洩もなく隔壁裏の空隙を充填する事が出来た、8日になつて北側側壁に毛状亀裂が入つたので作業を中止する事とした。此の結果準備作業として39樽のセメントを注入したが此の中の大半は地山との境から漏れて流出した、愈々4月12日より坑奥の注入を開始する事とした、先づ4孔の中7号孔より注入を開始した。

セメントの注入に先づ薬液を計畫の如き方法で注入する事とした、併しどの注入孔も豫定量の注入をしないのに隔壁手前40~50呎の地山より滲出し7号孔は133回、2号孔21回、18号孔45回、6号孔25回で中止した、1回の薬液注入量は約4立方呎だつた、壓力は坑奥地下水約

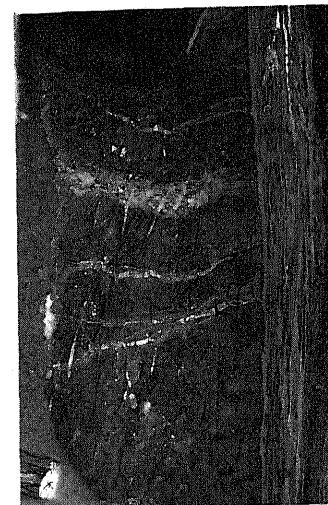
150 封度だったので注入圧力は 150—200 封度位だった。こんな状態だったので薬液の注入を中止し直ちにセメントの注入に移つた、13 號孔に 4 月 12 日から 22 日まで注入して 452 樽のセメントを注入した、圧力は最初 250 封度で段々上つて 500 封度まで上昇したが、之よりは上昇しさうもないので中止する事とした、次に 2 號、6 號、7 號孔を注入したが前回の注入ですでに鐵管は充填され注入不能だつた。又 13 號孔を注入してから疊築前面に流出する様な事はなかつた、25 日より 9 號、11 號、1 號孔を穿孔した。



第 454 圖 セ メ ン ト 注 入 状 態

5 月 3 日最初薬液を 1 號、9 號、11 號孔に注入した、次にセメントの注入に移つた、薬液は 11 號孔の注入から中止する事とした。即ちセメントのみでも容易に注入し得るを以て滑剤としての薬液の必要がない事を認めたからだつた、5 月 19 日よりは 2 號孔に 388 樽を注入した。5 月 24 日に終了し、25 日より 12 號孔並 11 號孔を穿孔注入し引續き 8 號、9 號を穿孔注入した、6 月 5 日南側水抜坑奥端より約 40 樽位のセメントが流出して居るのを發見した、約 250 呎も離れた此處まで流れて來た譯である、こんなに遠くまで漏洩したのは断層に添つて流出して來たものと考へられる。かくして何れも 150 樽から 200 樽のセメントが壓力 500—700 封度で注入された。然し 700 封度以上には上昇しなかつた。即ち注入せるセメント乳は何れも容易に通路を見出して逃げ去り注入唧筒の有する最高能率 2,000 封度の壓力には達する事は出來なかつた。其の理由は種々

考へられた、第 1 の原因是南側水抜坑奥端崩壊の結果形成されたであらう所の空洞へ流入して居るのではないかと云ふ事だつた、又第 2 には空洞に流入せざるとするも坑奥地質軟弱なる爲め容易に四方に四散するとも考へられた。目的を急速に達する事は出來なかつたが次の如き理由から遂に其の成否を断ぜず注入を繼續する事とした。空洞に流入するとしても鐵管端より豫め廣き通路が在り得ることは想像せられず、相當なる壓力を以て其の通路を抵抗の弱い箇所を開拓して注入するものと考へられる、又奥方に四散なすとしてもあらゆる軟弱なる箇所を順次充填すれば次第に奥方には達せず注入せんとする目的箇所をつめて所期の目的を達し得ると考へた。此の結果 1 孔 200 樽程度に止め、數孔に數回注入する事とした。併し一度に數孔穿孔する事をやめて 1 孔穿孔しては注入する事とした、此の注入の結果パイプ尖端よりの逆流は容易に止め得る事が明かとなつた。

第 455 圖 西口 118,450 呎附近
中脊に於けるセ メ ント 凝結状況

斯くの如くして 7 月 22 日までに 8 號の次に 5, 3, 10, 5, 10, 5, 10 號と注入した、此の結果注入圧力は往々 800 封度まで達する事もあつたが注入唧筒の最高壓力までには上昇しなかつた、幾何のセメントを注入すれば良く目的を達し得るものなりやは中々頭をなやます問題だつた、想像だも及ばなかつたし全く見當も付かなかつた。こんな事からセメントを儉約する爲めと大なる裂縫閉塞の目的の爲めにセメント乳に多量の鋸屑（オガクズ）を混じて注入する事とした。鋸屑注入の結果は硬結をじやましてブカブカとなり湧水に對して面白くない結果となりはしないかとの心配もあつたが、注入後試錐並掘鑿の結果之は全く心配ない事であつたのがわかつた、即ち注入された鋸屑は細隙をも充填しセメントに混じ強く硬結して居つた、尙鋸屑は大場附近の製材工場で仕末に困つて居るのを無料で貰ふ事が出来た、之を建築列車で大竹に運搬し 3 精目の金鋼で通して使用した。ポンプ運轉には却つて鋸屑を混じた方が成績が良い様に思はれた。初めは鋸屑がバルブシートにつかへて故障を起しつたが之は杞憂に過ぎなかつた、却つてクッショングリーバー

第 456 圖 西口 11,785 呎附近北側
第 1 水抜坑に於けるセ メ ント 凝結状況

の作用でもしたのかシートの磨耗も少く好調に注入が繼續された。こうした考へ方は機械其のものについて考へれば妥當ではないが事實は不思議に故障がなかつた。

7月23日先づ10号孔に鋸屑の注入試験をした。セメント乳の濃度 $\frac{1}{6}$ の處へ木屑を混ぜて注入するとセメント乳丈けでは600封度位の壓力が850封度位に上昇した、鋸屑の準備をとゝのへて7月28日12号孔より鋸屑を混じて注入した、壓力の上昇少しきときは鋸屑を多量にまぜる事にした、セメント乳4才に對し、鋸屑0.4乃至0.6才を混入した。斯くの如くして9, 13, 8, 11, 7, 10, 12, 9, 11, 13の順に穿孔注入をした、注入量の増加につれ穿孔に際して孔奥にはセメント凝結し地質も幾分良好となりたるも、第2回目の穿孔に於ても第1回のときと同一湧水箇所に於て再び多量の湧水に遭遇し状態は思つた程好轉しなかつた。尙鋸屑を混入した結果壓力上昇し遠距離には到達せぬ様に思はれたので漸次好結果を得べしとは考へられたが、今後幾千樽を注入すれば目的箇所を豫定通り凝結し得るや豫斷出來ない状態だつたので他に適當なる場所を選擇して注入する事とし累計6,290樽のセメントと22碗の薬品と無蓋車(容量約0.7坪)33臺の鋸屑を注入し總費用27,448圓餘を費して本工事を一時中止する事とした。

前述の如く本工事は最初の目的を達する事を得ずして中止し他の箇所を選び第2次の注入をする事としたのだったが、後に断層区間の掘鑿に當り寫真に見る如く本線中脊に或は水抜坑に於て非常に良好なる結果を得、断層破碎帶を充分凝結し得た結果となつてゐるのである。

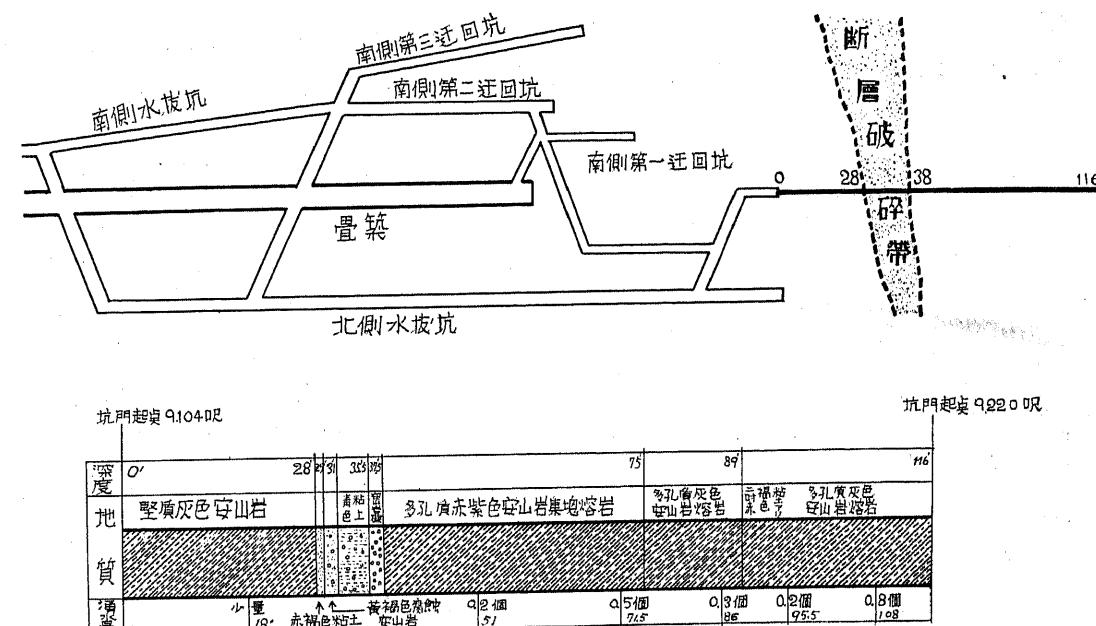
此の注入に使用した費額の内課は

セメント代	20,723.460
薬品代	905.560
雑品代	1,293.566
工費	
	+ 4,521.200
	<u>27,443.786</u>

但し工費の内には省傭人を含まず。尙使役人員 2158 人 であります。

第七節 東口底設遭掩 0.100 吻附近之二

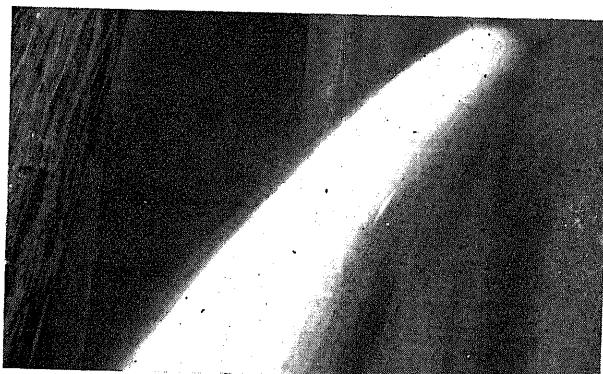
概説…東口は大正 15 年初頭から導坑の前進するにつれて湧水の増加著しく壓力も亦豫想外に高壓力を示し掘鑿に多大の困難を感じた、同年 1 月の湧水事故以來數多の補助坑を掘進したが總て高壓力の地下水に遭遇し或は土砂の崩壊を招き、或は水量の大なる爲め掘進不能におちいり、特に萬全を期して北側水抜坑に採用した柵構工法も地下水の壓力高大なる結果、壓搾空氣による防水目的を果すこと能はざるのみか、多量の湧水に依り坑道切端は崩壊を來すに至り掘進僅かに 300 呎で中止するのやむなきに至つた。其後底設導坑に於ける試錐作業に於て坑奥の地質は極めて亀裂多く



第457圖 東口9,000呎附近地質圖

而も高圧力の多量なる湧水あるを探知し坑奥工事の困難なるべきを想像し得たのである。即ち底設導坑奥端 9,104 呪に於ける金剛石試錐の結果は深さ 116 呪に達し湧水量毎秒 2 個水壓は正確に測定しがたきも 250 封度内外となり湧水に打勝ちてボーリングロッドを挿入する事さえ不可能となり遂に中止するのやむなきに至つた。最初の 28 呪までは堅緻なる安山岩で比較的節理少く且湧水も少なかつたが 28 呪より赤褐色粘土となり直ちに青灰色に變化し小礫を混じ恰度青粘土の如き状態のものとなり以奥は 1 吋内外の小塊となり丸味を有し、38 呪よりは赤褐色の安山岩となつたが外觀集塊岩に似て居て火山灰、砂等の凝集してゐる箇所があつた。而して孔奥に進むにつれて漸次赤褐色より灰色となり火山灰及砂を混合せず緻密となり其の間節理を増し湧水増加す、今之等の地質を綜合して考察すると手前の安山岩と後方の安山岩とは全く成因を異にし前者はダイクロックなるに反し孔奥はラバーである事を想像する事が出来る、即ち前面の安山岩は節理も少く孔奥の安山岩は多孔質で赤褐色を示し湧水多量なる事が了解出来る、35—38 呪間は單に礫のみ集積せる如くにも考へられたが試錐中排水が赤褐色を呈してゐた事から推定すれば礫は赤褐色の粘土をかむものなるべく大體 25—35 呪間の地質に似たもので礫を多量に含むものと惟定せられる、尙 28—38 呪間の粘土の成因に就いては從來の青粘土と同様に集塊岩が熱水作用により變質したものと考へらる。38—116 呪間に含有する火山灰及び砂は安山岩の熔流が途中にて火山灰及び砂を採集して凝固せし集塊熔岩で孔奥に進むに従ひ火山灰や砂がないのは試錐孔が熔岩の層より次

第に離れたるものと想像された。此の如くして地質調査の結果は 28—38 呪間は断層と思はれ且此の部分は湧水を伴はざるも、孔奥には高圧力の而も多量の湧水あり、本區間の掘鑿には相當困難を思はしめた。



第 458 圖 東口 9,200 呪附近底設導坑に於ける注入後残錐孔よりの湧水

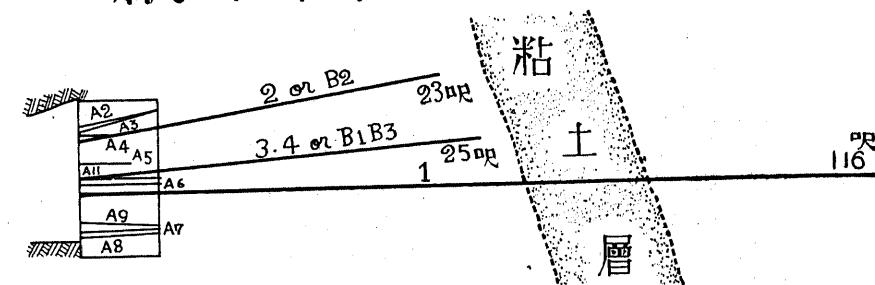
工並搬運搬には相當の困難を感じるであらうし又水壓強大なる爲め岩石の崩壊脱落の原因となり、質構施工箇所奥端に於て経験した様な事となる懼れなしとせず上記の理由からして特殊工法を應用するすれば先づ凍結法及び膠結法であらう、前者は堅坑の開鑿に當り礫山に於て稀に應用せられ、隧道に應用せられたる實例極めて尠く勿論本邦に於ては全く経験なく、1,2 の例に徴するも本作業は計畫困難にして且費用も相當多額を要すべく、本隧道の如く水量多く壓力又強大なる場所に對しては蓋し容易ならざる作業と考へられる。膠結法は礫山に於ける堅坑、導坑の開鑿其他に應用せらるゝ方法で、丹那の如く高圧力の而も多量の湧水ある場所には今迄施行せられたる例はない様だが、今回の施行箇所が多孔質にして節理多き爲め相當の効果を收むべきを信じ之を應用する事とした。

(2) 注入計画

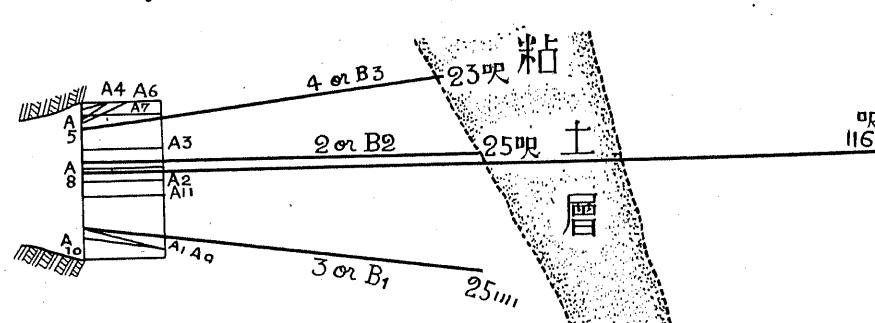
注入作業施工上導坑正面切端に高さ 10 呪幅 11 呪、厚さ 5 呪の混疑土隔壁を築造する事とした、隔壁築造後、硬化期間をまちてグラウトミキサーに依り隔壁背部の注入をなし、次に第一次注入として試錐孔及び計画圖に示す様な 3 本の注入孔を穿孔し断層粘土帶手前の部分、即ち切端より坑奥 28 呪間を膠結する事とした。本區間は前述の如く堅緻なる安山岩にして裂縫少く且湧水も殆んどなき爲め注入の必要なき部分なれ共、曩に試錐せる 116 呪の調査孔に高圧にて注入する場合本區間にも注入波及して萬一隔壁に損傷を與へる事なしとせざれば萬全を期して本區間の注入をなす事とした。

尙今回注入を應用して膠結せんとする區間は切端より約 100 呪坑奥までの間で注入の結果によ

縦断面

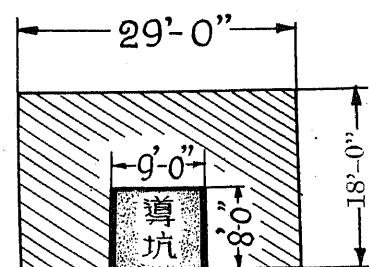


平面



第 459 圖 東口 9,000 呪附近第 1 回セメント乳注入計畫圖

りては以奥の湧水多量なる區間にも應用せんとするものである、膠結の範囲は其の目的が安全なる導坑の開鑿にある爲め、既定斷面の外方 10 呪を膠結必要範囲と決定した、即ち下圖に示す如く高さ約 18 呪、幅約 29 呪の断面を膠結する事とした、尙注入に際しては粘土をかむ断層區間の事とて、注入孔の洗滌には充分注意することにした。セメントはベロセメントを使用し坑内にて注入に先だち 1 平方呎 500 目の篩を通す事とし、注入溶液の濃度は 1:20、より 1:1 まで注入の状況により、稀薄なるものより漸次濃厚なるものを使用する、注入圧力は最高 1,500 封度とし、100 封度まではカーフグラウトミキサー、500 封度までは小松製氣動式注入唧筒を使用することとした。



第 460 圖 凝結豫想圖

筒、1,500 封度までは今回購入した瑞典ダイヤモンドボーリング會社製注入唧筒を使用することとした。

(3) 第一次穿孔並注入作業

第一次計画にもとづき穿孔並注入作業は施工された、其の結果は下記の様だつた。

試 錐 作 業

	3 號	2 號	4 號
作業月日	自 5月 22 日 至 23 日	自 5月 17 日 至 18 日	自 5月 23 日 至 25 日
錐孔直徑	25 尺迄 100 粕	25 尺迄 100 粕	17 尺迄 100 粕 23 尺迄 75 粕
錐孔深度	25'~0"	25'~0"	23'~0"
地質	堅緻なる輝石安山岩	同	同 23 尺にて青粘土となる
湧水	無	無	無

注 入 作 業

	B ₁ 3	B ₂ 2	B ₃ 4
作業月日	自 5月 23 日開始 同 日 終了	自 5月 19 日 至 21 日	自 5月 25 日開始 同 日 終了
施工時間	2 時 13 分	8 時 10 分	1 時 54 分
注入機	膠灰注入唧筒 高壓注入機	上	上
最高壓力	1.700#	2.000#	1.700#
膠灰乳混合比	1:10	1:6~1:10	1:10
膠灰量	4.5 才	11.5 才	3 才

引續き地質調査孔の注入作業をやつた、湧水毎秒 2 立方呎圧力 250 封度以上もあつた此の孔も僅かに 35 立方呎のセメントを注入する事に依り全く閉塞された。

(4) 調査孔の試錐(右圖参照)

調査孔として C₁C₂C₃C₄ を穿孔した。穿孔の結果は比較的大きい目はつめられて居る様だつた、然し切端より 24.5 呎即ち粘土手前には少しへセメントの存在は認められたが以奥は全々認められ

調 査 作 業

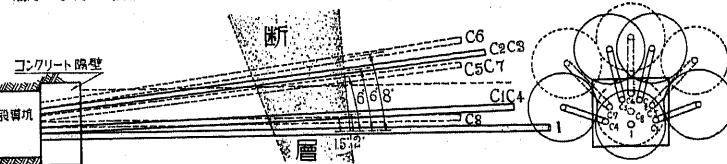
着手月日	終了月日	施工日数	孔深	湧水量	湧水位置	「セメント」の有無
C ₂	6月 11 日	6月 13 日	3 日	53 尺	1/6 個	40 尺より漸次増加
C ₃	6/14"	6/18"	5 "	48.5 "	1/7 "	30 尺 "
C ₄	6/18"	6/22"	5 "	49.5 "	1/8 "	35 尺 "
C ₁	6/24"	6/26"	4 "	56.5 "	1/20 "	31 尺 "

なかつた。尙調査孔は C₂C₃C₄C₁ の順に穿孔されたが C₃, C₁ を終了する迄約 15 日を要し此の間 C₃ より湧出する 1/6 個の水で約 60 才の粘土を断層帶より流出した。

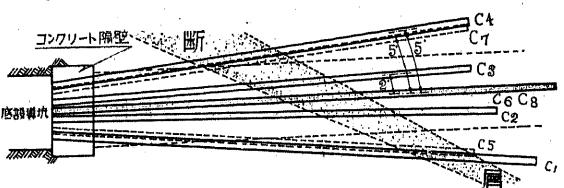
(5) 第二次注入計画並作業

第一次注入作業に依る調査孔穿孔の結果各孔に於ける地質の種類及び分布の状況並湧水の状態は第 1 号地質調査孔に於けると略々同様にして、断層粘土帶は隧道中心線に對して走向西北約 30 度傾斜南北約 75 度にして其の厚さ約 10 呎で南側よりも北側に進むにつれ狹少なる事を探知し得た。加之試錐孔に注入したセメントは注入孔深さ爲め孔奥までは普及せざるもの如く前述の如く調査孔穿孔の結果は断層手前には膠灰の普及せるを認めたがそれ以奥には痕跡を認めず且湧水量は注入

縦断面



平面



正面

第 461 圖 東口 9,000 呎附近第二回注入孔配置圖

前と變化がなかつた。依て第二次注入に於ては約 50 呎を膠結せんとする目的で前記成績調査孔(C₁C₂C₃C₄)に注入し硬化をまちて其の中間に C₅C₆C₇ の調査孔を穿孔し前記 4 本の注入成績を知ると同時に該 3 孔を注入孔として膠灰を注入し更に C₈ を調査孔として穿孔の上成績調査の上爾後の計画を決定する事とした。

(6) 第二次注入並調査孔穿孔

第二次注入の結果は表に示す如く約 73.5 才のセメントを注入する事が出来た。引續き調査孔の穿孔を始めた。此の結果 C₆C₆ は隔壁より 25 呎 C₇ は 11 呎までセメントが注入せられて居るのを

第二回注入作業(第 1 回)

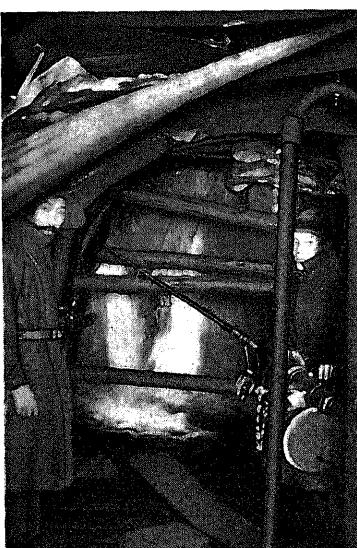
孔の番号	着手月日	終了月日	施工時間	注入圧力	「セメント」乳配合	セメント注入量	摘要
C ₁	6月 27 日	6月 27 日	3 時 30 分	1.500#	セメント:水 = 1:20	5 才	C ₇ は注入中 C ₈ , C ₉ に漏出せしが中止せり
C ₄	6/27"	6/27"	2' 10"	500#	"	4 "	
C ₃	" "	6/30"	37' 38"	1.500#	"	64.5 "	
C ₂	6/30"	" "	1' 28"	"	"	0	

調査作業

孔の番号	着手月日	終了月日	施工日数	孔深	湧水量	湧水位置	「セメント」の有無
C ₅	7月5日	7月8日	4日	62尺	1/4個	39.5尺より漸次増加	混疑土壁より26尺迄
C ₇	7月8日	7月12日	"	49"	1/6個	36尺 "	" 11 "
C ₆	7月12日	7月15日	"	56"	1/5個	36尺 "	" 15 "

第462圖 セメントの填
塞せる試験孔

(7) 結論



第463圖 注入孔穿孔作業状況

本作業の結果は前述の如く膠灰注入量僅少にして且湧水量も餘りに減少せず膠灰注入の効果は殆んど認むる事の出来ない状態であつた。本區間は注入に適する地質なるにかゝらず此の如き結果となつた理由は、此の如き高圧の湧水多量なる地帶の注入は未だ経験なく、且薬液も未だ本格的に研究されて居なかつたし、作業其のものにも経験なく且總てが獨創に依らなければならなかつた様な次第だつた爲めにかうした結果に終つたものと考へられる、併し此の注入の経験により水抜抗に、底設導坑に、各所に注入は應用せられ、又種々の新しい考へも生れ注入工法の發達を促し或は現代の如き改良型注入機が作られ別章に示す様な断層區間硬化にも成功し注入工法の進歩に拍車をかけた結果となつたは喜ぶべき事だつた。

以上各章に涉り丹那で應用した注入工法の詳細と四大注入



第464圖 小松式注入ポンプ運転の状況

工事について述べたが、特に此の工事については同じ丹那であるのに、計畫其他に異つた方法が採用せられ或は今から考へれば、かうした方がいいぢやないか、と云ふ様な事が澤山あると思はれるが之は注入を擔當した人の考へ方の差異或は時代に依つて異つて居るので、其の當時のまゝを記載して置いた。