

彙 報

土木學會誌 第十七卷第二號 昭和六年二月

丹那隧道東口 10 000 呎附近 藥液膠灰注入工事報告

會員 工學士 川 口 愛 太 郎
工學士 岡 野 精 之 助

目 次

第一章 總 論	1
第一節 概 說	1
第二節 注入地帶地質狀況	2
第二章 水拔坑注入作業	3
第一節 準備作業	3
(1) 施行切端附近の調査 (2) 隔壁築造 (3) 施行計畫	
(4) 注入材料 (5) 注入機械並に設備	
第二節 注入作業	6
(1) 第一回注入作業 (2) 第二回注入作業 (3) 調査孔並に其の注入	
第三節 注入成績	10
(1) 掘 鑿 (2) 經 費	
第三章 底設導坑注入作業	11
第一節 準備作業	11
第二節 注入作業	13
第三節 注入成績	14
第四章 結 論	14

第一章 總 論

第一節 概 說

湧水の多量なるために苦しんで居る丹那隧道では崩壊性を帯びる不良地帯に對して膠灰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 年より同 3 年にかけて東口坑内 9 104 呎以與 150 呎間に亘る大斷層並に破碎安山岩帶の掘鑿に對し底設導坑並に水拔坑に於て數回施行せられ、其の經驗は漸次該工法の進歩を見つゝあつたが尙充分の満足なる結果に到達する事は出來なかつた。

然るに昭和 4 年 8 月に至り東口 10 000 呎附近に於て更に不良なる斷層破碎帶に會し其の

掘進を阻止せらるゝに當つて又々膠灰注入法を施行する計畫を立てたが、今回は從來の如く膠灰の外に薬液の注入をも併用したる結果は地層の該工法に適切なりしと相俟つてかつて見ない良好なる成績を擧げる事が出来た。

注入法殊に膠灰のみを注入する方法は我が國に紹介されてより既に古く、各所に於て施行せられたるを見聞するが多くの場合に於て主として防水を目的として施行せられて居る。然るに丹那隧道に於ける之れが應用は防水よりも寧ろ地山の硬化を目的として居るのであつて假令水量甚大なるも崩壞の危険なき場合には瀧の如き水を浴びつゝも掘進するのであるが、斷層部分の如き破碎物質を以て充滿せらるゝ箇所掘進に當つては、湧水は直に此の破碎物質の流出を惹起し掘進不可能となるを以て、斯かる部分に膠結物質を注入し湧水通路に充填し、一個の塊状地帯と化せしむるために行ふもので勿論そのためには防水層を形成せしむる必要はあるが、それは第二次的のもので主たる目的は地山の硬化にあるのであるから従來行はれた各所の例と異り施行成績に對する要求は甚だ困難なるものとなるのである。

第二節 注入地帯地質狀況

注入地帯附近たる坑内 9 900 呎より 10 300 呎當りの坑道は主として集塊岩より成り上層近く安山熔岩が賦存して居るが時々坑道にも現はれて來て居る。

此の安山岩は多孔性にして裂隙に富むため地下水の自由通路となるものであるが、偶々上記區間は狭小なる斷層の網狀に發達せる部分であるため溶岩より來る水は斷層面に沿ひ坑道に流下する際同時に破碎物質を流出し來り度々掘進を阻止せらるゝに至つた。

附圖第一に示す如く先進導坑たる水抜坑(施行基面下 5 呎 3 吋)は昭和 4 年 4 月 9 日 9 939 呎に於て湧水 3 個と共に十餘坪の土砂流出あり、崩壞箇所の直進を避け右側に迂回せしめたる所 10 005 呎に至る間湧水劇しく又 1~2 坪の土砂流出に會する事兩三度あり、掘鑿後直に鐵製支保工にて補強しつゝ辛ふじて 10 112 呎迄達したる所 8 月初旬突如 30 餘坪の流出事故に會し土砂浚渫後前進せしめんと試みたるも、湧水、土壓共に大なるため再度右側に迂回して進まんとしたが、同様 10 119 呎に於て安全なる掘進の絶望なるを察し 10 月下旬中止せしめた。

之れより先底設導坑の終端 10 005 呎の地點に於て前方の地質を探查するため金剛石試錐を試み 414 呎穿孔したが(寫眞第一)、切端より約 85 呎以奥 40 呎の距離に亘り甚だしく崩壞性を帯びる部分あり、穿孔よりの湧水量約 1.5 個、水壓約 120 封度にして砂礫を流出するを認め、前記水抜坑先端を結合するに大凡一直線にありて附圖第一に示す如く本線と約 70° の角をなし幅員 40 呎を有する斷層の存在を肯定せしめたのである。

扱此の斷層を安全確實に掘進するためには膠灰注入法に依るの外無きものと考へられた、併しながら北側の水抜坑にては切端を崩壞せしめた後であるから、此處にて施行する事は隔

壁の築造の困難に加ふるに膠灰の無益なる流出を豫想せしむるため、新に本線の左側に迂回する水抜坑を掘進せしめ豫定斷層の手前にて中止しそれより注入作業に移る事に方針を定めた。

以上の如くして南側の水抜坑が無事に斷層地帯を突破し得たならば更に底設導坑の斷層地帯を注入膠結して本線の前進を計る事とした。

第二章 水抜坑注入作業

第一節 準備作業

(1) 施行切端附近の調査

前記の如き事情により着手された南側水抜坑は 11 月下旬掘鑿を開始し年末には豫定地點に迄達したが、地質は底設又は北側水抜坑と異り本線を横斷して間もなく安山岩となり豫想到に反し良好なるため隔壁築造を延期し尙掘進を続けしめた所 1 月 26 日に至り 10 097 呎の點に於ける切端に於て小崩壊あり小斷層ありて粘土並に砂交り角礫を明に認め得られたので 27 日掘進を中止し前途を確めるため切端下部に 3 個の試錐孔(附圖第二 No.1, No.2, No.3)を穿孔する事とした。

Denver 會社製 Waugh turbro model 34 鑿岩機に依る上記の試錐孔(第一表参照)は切端より以奥は依然安山岩なれど破碎状態にある事を知り殊に切端より 20 呎附近に於て甚だしく崩壊性を帯びる部分あり湧水も特に多く穿孔中砂、砂礫様のものを流出し No. 3 はそのため鑿岩機のビットを喰はれて拔出し得なくなつた。

此の結果切端より以奥は北側水抜坑並に底設導坑の試錐に現はれて居る斷層なる事を知り且該斷層は粘土分僅少にして砂礫を以て充されて居るため注入の施行に對して理想的な條件を有して居ると思はれた。

第一表

	穿孔深 (呎)	湧水量 (立方呎/秒)
施行切端附近には附圖第二に示す如き	No. 1 25	1/3
小斷層のため約 1 個に近き湧水あり、又	No. 2 25	1/2
切端は脆弱なると共に前面に亘り湧水あり	No. 3 28	1/6

(寫眞第二 参照)

るため、隔壁を築造し注入壓力に依る膠灰液の逆漏を防止する必要があつた。

此のため切端より 20 呎手前の安山岩の堅硬にして湧水少き位置を選定して隔壁築造に着手した、先づ附圖第三に示す如く切端より 15 呎の所に粘土をつめた土俵を築き以奥より湧出する水は土俵下部に敷設せる 5 本の 4 吋鐵管 a, b, c, d, e に依り排出せしめて隔壁混凝土施行部分に對する水の障害を防止し土俵より切端に至る間は礫(集塊岩より生じたる土砂)を以て埋戻しを行ひ、最後に 5 呎厚の混凝土隔壁(坑道周圍に 1 呎宛切り込む)を築造した(寫

眞第二参照)。

前記埋戻し並に隔壁部分の施行に先ち豫定の注入孔の方向に 4 吋鐵管を切端につきつけて埋没し又天井部分は地山と密着せしむる様施行する事不可能であるから、後日注入に依り間隙を充填するため 2 吋鐵管 (附圖第三 A, B, C, D, E) を備へておいた。

隔壁築造後混凝土硬化期約一週間の後 Ransome Canniff grout mixer に依り空氣壓 100 封度を以て A, B, C, D, E の各鐵管を通じ膠泥を注入したが、水壓は 100 封度より稍高い位であつたため完全なる防水をなし得ず、其のため後に高壓の注入に當り屢々逆漏の原因をなした。

(3) 施行計畫

曩に東口 9 100 呎附近で施行した注入作業に於ては 1 個の注入孔より膠灰液の分布する範圍は注入孔を中心とし直徑 3~4 呎として注入孔の數と配置を計畫した、然るに其の結果は地山は狭小なる無數の龜裂を有する安山岩なりしたため約 1/8 吋厚さの龜裂以下には殆んど注入された形跡がなかつた、其のため注入區間と雖も狭小龜裂より來る水のために相當の湧水は免れなかつた。

然るに今度出會せる斷層は粘土細砂等僅少にして大部分は礫の如きものを荒砂を以て充滿せる如き性質で膠灰分布は相當廣きものと想像せられ又後述の如く薬液の注入は狭小なる裂罅を充填すると同時に膠灰の分布を擴大し得る望があつたから注入孔を中心として直徑 7 呎の範圍を豫定硬化範圍に採る事とした。

其の結果は附圖第二に示す如き配置となつた、No. 1, No. 2, No. 3 は先きに施行した試錐孔を利用したもので下部並に正面を、No. 4, No. 5 は兩側壁部分を、No. 6, No. 7, No. 8 は天井並に兩肩部を硬化せしむる目的を以て撰ばれたのである。

尙 No. 9, No. 10 は注入施行後其の硬化状態を見たるため調査孔として穿孔する目的と今一つは重要な天井部分の硬化を完全にするための豫備孔として備へられたるものである。

注入を要すべき不良地帯は厚さ約 40 呎と思はれるが、注入孔の深さ 30~40 呎を越す事は従來の經驗から見て成績香しく無いと思はれるので、先づ斷層の前半部を第一回の注入により硬化し次に第二回の注入に依り後半部を硬化する、即ち第一回の注入孔を穿孔して第一回の硬化状態を確め、若し其の成績良好なる場合には第一回の豫定硬化範圍に於ては湧水無く、範圍外に至つて穿孔より湧水すべき筈なるに依り湧水増加する迄穿孔したる後第二回の注入を行はしめる事とした。

此の方法は孔深の増加するに従ひ注入孔の方向開き過ぎそのため或深度迄に制限されるが同一隔壁を利用して再三注入作業を施行し得、作業の進捗上並に經費の點に於て多大の利益を生ずるものである。

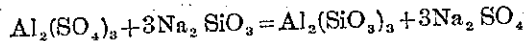
(4) 注入材料

注入材料中最も重要なる膠灰は成る可く微粉にして新鮮なる事が必要である、以前注入の際にはこのため紙袋入り膠灰を使用した、今回は淺野會社製ペロセメントを用ふる事とした、之れは注入に必要な總ての條件を備へ甚だ適當なるものと思はれるが、注入量豫想以上に大となり之れを補給する暇なかりし故作業半以後は倉庫にありし普通の樽入膠灰を使用したためペロセメントの優秀なる事を立證する機會がなかつた。

水と膠灰との混合比は多くの場合 10:1 を使用し注入容易にして限りなく入る場合は 5:1 迄濃くした又作業中隔壁上部よりの漏洩及び底設導坑試錐孔より濁りを生じたる時は砂を添加する事により防止した。砂を添加するためには使用せる注入機械の構造上 Canniff mixer の如く直接注入機に於て混合すること不可能なるため、注入管の途中に添加装置を施し膠灰液が注入せらるゝ際砂を一緒に運び去る様にした。

従來膠灰注入作業の結果は既述の如く小龜裂には殆んど膠灰の分布を見る事が無かつたのである、之れが原因は膠灰粒子の小龜裂中に侵入するに對し抵抗の大なるためである、故に膠灰は唯比較的大なる裂罅の充填に用ひ狭少なるものは膠狀物質を以て處理する事に依り完全なる注入効果を全ふし得られるものと言はれる。

此の膠狀物質を作るために用ひらるゝ藥品は硫酸礬土と硅酸曹達に依つて得られるもので次の如く反應して



硅酸礬土となるが、これが粒子は極微なるものなる故殆ど水と同程度に狭少なる間隙に侵入しそれを充填固結するに至るものである、又裂罅中に此の藥液を豫め注入する時は次いで來る膠灰粒子のために滑潤劑としての作用をなし、侵入の抵抗を減ずるため單に膠灰のみの注入の場合に比しより狭少なる裂罅をも充填すると同時に分布範圍も擴大せしめ得るといはれる。

(5) 注入機械並に設備

膠灰液及び藥液の注入機としては高壓なる水壓唧筒にして容量の大なるものを必要とするため従來使用したブランヂャー・ポンプを使用した。之れはかつて盾構作業に於て水壓唧筒として準備されたものであるが、注入作業に轉用するに當り膠灰液に依る磨耗を防ぐため燐青銅製の plunger をクローム・スチールにて case hardening せるものに改造し又チャッキ・バルブの代りにボール・バルブを使用し得る様改造したものである、その機能は次の通りである。

型 式	三聯式 plunger pump
容 量	毎分 3.2 立方呎
最高壓力	2 000 封度/平方吋
動 力	20 馬力電動機直結

理想をいへば尙容量の大なる方望ましいが、現場在庫のものを使用する關係上これを用ひた

のである(寫眞第三参照)。

上記機械は附圖第一に示す如く切端より約 50 呎後方に坑道水面上に作られたる床の上に据付け其の後方には下圖に示す如き mixer を有す、此の mixer は上下二段となり下段の注入中上段にて次の準備をなし連続的注入作業に差支へない事になつて居る。

注入仰筒の排出口は護謨ホースにより注入孔中に挿入された注入管に連結されて居る、此の注入管は附圖第四に示す如き構造を有し A なるナットの廻轉に依り先端なる護謨パッキング R は膨脹して注入孔中に密着し、注入孔外周よりの漏洩を防止する事になつて居る。

薬液の中硫酸礬土は水に溶解し難い故寫眞第四に示す如く坑外にてタンク中に蒸氣を通じ所要濃度の 10 倍の原液を作り、それを運搬車(高壓空氣用 レシーバー代用)に依り坑内底設導坑内に設置した木製貯藏タンクに壓搾空氣を利用して原液を移し貯藏する事とした。此のタンクの容量は 3 尺×3 尺×4 尺のもの 2 個で大凡 1 晝夜(3 交代)に必要な量を晝間に準備しておく事とした。

硫酸曹達はビーヤ樽入りで(1 樽の容量 265 疋、後には 300 疋のものを使用)水に容易に溶解する。

所要の水は先に施行せる底設導坑試錐孔よりの湧水を利用し鐵管により前記 mixer 迄導き、薬液注入の際には原液タンクよりホースにより供給される硫酸礬土を 10 倍の水に薄められたる後 mixer 傍に置かれたる硫酸曹達を一定量の柶に依り混入することゝなし、膠灰注入の場合は同様 mixer 傍にある膠灰容器に移されたる膠灰を一定量宛裝入する事とした。

第二節 注入作業

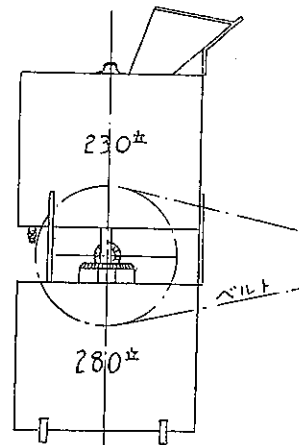
(1) 第一回注入作業

2 月 21 日第一回注入作業に對する穿孔を開始した穿孔機としては Waugh turbro model 34 を用ひ 23 日中に完了したが、其の結果は次の如くである(No. 1, No. 2, No. 3 は隔壁注入の際閉塞さしたる故再穿孔、寫眞第五参照)。

第 二 表

	孔深(呎)	湧水量(呎)	薬液注入量(疋)	膠灰注入量(樽)	摘 要
No. 1	47	1/32	Al ₂ (SO ₄) ₃ 4 355.4 Na ₂ SiO ₃ 5 638.5	0	膠灰注入量は注入中漏洩ありし時は全部流出せるものとして計上す
No. 2	43	1/30		0	
No. 3	32	1/34		0.3	

セメント・ミキサー



No. 4	33	1/25	9.2
No. 5	44	1/6	0.5
No. 6	32	5/6	0
No. 7	38	5/7	21.3
No. 8	49	1/25	207.0
合計	19	9 993.9	238.3

斯くして注入管の挿入、材料の準備等を完了して愈 26 日より注入作業を開始した。

薬液は前記の如く硅酸曹達と硫酸礬土とより成るもので、注入の目的に依つては別々に注入して地山中にて反應を起させる事もあるが、本箇所にあつては附圖第一より知らるゝ如く地下水は底設導坑又は北側水抜坑方向に流動するものと察せらる、従つて此の方法は薬液の損失を起すおそれある故 mixer に於て兩者を反應せしめ膠狀液を作りたる後注入せしむる事とした。

又薬液の濃度は注入すべき裂隙の状態、注入壓力等に依り適當に補整すべきものであるが、坑外に於ける簡単な實驗から水 100 c.c. に對し硅酸曹達 4 瓦、硫酸礬土 3 瓦の割合に混合せるもの唯一種を専ら注入することに決した。

注入薬液過量に失する時は次いで來る膠灰の侵入を不可能ならしむる虞がある。而して薬液は糊狀のもので膠灰の如く強度を望む事は出來ないものであるから相當大なる裂隙に迄薬液を注入して膠灰の入り得ざりし部分は掘鑿後地山の弛緩すると共に再び水を湧出し來つて硬化の目的を達し得ないから或る點で此の注入を中止せしめねばならぬ。

而して如何なる所で薬液注入を膠灰に切りかへるべきかは經驗なき始めての事で甚だ困難した結果、先づ No. 1 より薬液を相當壓力の上昇する迄注入せしむれば斷層區域は既記の如き地質なる故豫定分布區域全體に擴がる可能性ありとし、専ら No. 1 より薬液を注入し他孔よりは唯膠灰液のみを入れる事にした。

其の結果は豫定の如く廣く分布せるものと見ゆ、各孔ともに薬液のまはつて居る事を認め注入壓力 200 封度、注入量約 10 噸に達して其の注入を終了した。

次いで膠灰の注入に移る事となし 3 月 3 日 No. 6 より着手したが、其の壓力は薬液の最終壓力 200 封度を示し順調な状態を示して居たが、約 18 袋（一才入り袋）注入した際突然注入管抜け出し、それ迄注入した膠灰の大部分並に薬液の多量を流出し去つた。

此の事故の原因は注入管は附圖第四に示す如く單に注入孔壁と護膜との摩擦力に依り支持されて居るのみであるため、注入孔が直接地山に穿孔された場合には相當の支持力を有して居るが、今回は鐵管内に装置されたため支持力少く最初より此の點に危懼を抱いて居たのであるが、壓力 300 封度に上昇すると共に遂に抜け出してしまつたのである。

此の失敗のため一時作業を中止し切端に於ける擔柱に洞張りを入れ注入管をワイヤー・ロ

ープに依り之れと連結せしむる事とした。

此の補強の完成するや No. 4 に 34 袋、次に No. 7 に 110 袋注入したが何れも壓力の上昇すると共に切端より逆漏を生じたため一時中止し No. 8. に移つたが之れも少量の注入後漏洩を初めこれを防止するため砂入装置をとりつける事にし、其の準備中 No. 3, No. 5, No. 7 の各孔に注入を試みたが、前記各孔の注入により膠灰分布せるためか壓力は直に上昇して満足すべき程の注入量を示さなかつた。

次いで 3 月 5 日再び No. 8 の注入にとりかゝつたが前回の經驗に依り砂を添加しつゝ作業を続けし所、注入状態意外に順調となり 300~400 封度の壓力にて膠灰液は容易に注入せられ、翌 6 日午後底設導坑に一時漏洩を示したが之れも間もなく砂の添加に依り停止し、9 日迄 500 封度位の壓力にて續々注入せられ遂に 800 封度に壓力上昇するに至つて再び切端より逆漏を始めた、而して此の時迄には既に 200 樽以上の膠灰注入せられたる事とて完全なる作業は第二回目の作業の場合に譲る事とし第一回を終了した（第二表及び附圖第五参照）。

(2) 第二回注入作業

3 月 11 日第一回注入作業の終了と共に機械の掃除點檢を行ひ 13 日より鑿岩機に依る注入孔の再穿孔に着手した。

從來の注入作業の場合には注入終了後膠灰の硬化期を待つて第二次の穿孔にかゝるのが常であつた。併し注入された膠灰は高壓を以て壓縮された状態にあるため硬化期以前にあつても燥粉となつて流出さるゝ外注入液の逆流する事は殆んど有り得ないものである、殊に今回の場合の如きは、最初の孔を注入開始して以來相當の時日を經過して居るものであるから此の危険は更に少いものである、故に終了後直に第二次穿孔に掛り作業期間を短縮する事に努めた。

斯くして穿孔したる結果は第三表に示す如くである（寫眞第六は第二回穿孔後の狀況で寫眞第五に比し水量の減少して居る所が見られる）。

第三表

月日	番號	孔深(呎)	第一回に比し 伸長(呎)	湧水量(加)	藥 Na ₂ SiO ₃	液 (加) Al ₂ (SO ₄) ₃	膠灰(樽)
3 13	No. 1	48.0	1.0	1/165			
14	No. 2	48.5	5.5	1/16			
15	No. 3	33.0	1.0	1/114			
15	No. 4	34.5	1.5	1/72			
16	No. 5	56.0	12.0	1/15			
17	No. 6	44.0	12.0	1/17	900	675	493
18	No. 7	48.0	10.0	1/9	900	675	20
19	No. 8	69.0	20.0	1/2	2045	1533	45
	合 計			0.86	3845	2883	558

以上の成績より見るに下部薬液の分布多くして膠灰注入量の僅少であつた No. 1, No. 2, No. 3 は第一次穿孔の場合に比し同一の孔深に於て崩壊性甚だしくそれ以上の掘進はビットを喰はるゝ危険があつたが、上部膠灰注入の多かりし No. 5, No. 6, No. 7, No. 8 は何れも前回到比し 10 呎以上の區間迄湧水無く崩壊する虞なき事を確めた、殊に充分なる注入量を擧げた No. 8 は 20 呎を延長して最も良好と認められた。

かくして 19 日穿孔終了後 20 日より第二回の注入作業に移つた。

前回到ては推定薬液量を全部 No. 1 より注入したが其の結果は前述の如く No. 1 附近は薬液の量過多となり膠灰の無きため硬化を期待し得ない事を知つたので、今次は 1 個の穿孔に對して適當量を割り當て各孔に對し薬液を注入したる後膠灰を注入する常道に依る事とした。

扱て No. 8 は第三表の如く湧水量多く従つて空隙率大なるため膠灰注入量の異なる事豫想せられ且第一回の場合には No. 1 より速きため薬液の分布最も少いものと思はれたので、今回は薬液を硅酸曹達 8 樽（混合比前回同様）の割合で注入したが、壓力 50~70 封度位で 20 日中に終了し、次に膠灰注入に移つたが湧水量の割合に注入量少く 48 樽注入の後壓力 1100 封度に上昇した。

次に No. 7 は薬液を硅酸曹達 3 樽の割合にて注入したる後膠灰注入をなしたが壓力 500 封度に於て切端より漏洩し始め、砂の添加により防止せんと試みたが壓力 800 封度に昇つて漏洩益々甚しく且砂入装置破損したるため 26 樽を注入したる後中止するの止むなきに至つた。

No. 7, No. 8 は以上の如くであつたため湧水状態より見て No. 6 も大なる期待をかけ得なかつたのであるが注入開始せらるゝに従ひ案外にも頗る順調となり、24 日着手以來最初は 200 封度を持續し、26 日には 400~500 封度となり 30 日頃迄は大體 500~600 封度を維持し膠灰は尙益々注入し得る様子なりしたため從來 10:1 であつた水と膠灰との比を 5:1 と増加したるも尙注入せられ、4 月 2 日には 700~800 封度を示し同日 3 交代に於て、壓力 1200 封度、注入量 493 樽の記録を以て終了した。

次に他の残りの孔より注入せんとしたが No. 6 よりの膠灰は斷層區域に廣く擴がつたものと見ゆ、他の孔全部を閉鎖して水さへ入らない程になつて居た(第三表並に附圖第六参照)。

(3) 調査孔並に其の注入

以上 2 回に亘る注入に依り豫想せる斷層區域内は大體に於て注入完成せられたりと認めらるゝに依り、No. 10 を調査孔として Peiner E. D. 5 型金剛石試錐機にて注入状態を調査する事とした(第四表及び寫眞第七参照)。

其の結果は岩核は採集し得られなかつたが線粉に依り膠灰の注入區域明かとなり孔深 79 呎にして湧水量 1/10 個となり其の途中に於て極めて少量に過ぎなかつた。

又 No. 1 は膠灰は一回も注入せずして済んだ所であるため此の部分の状態を調べる事とし鑿岩機に依り穿孔せし所、孔深 45 呎にして水量 1/85 個にすぎず、安全なる事を知つた。以上 No. 1, No. 10 は安全を期し薬液並に膠灰を注入せし結果僅少量にて充填され終つた。

第四表

	孔深(呎)	湧水量(個)	薬液注入量(KG)	膠灰注入量(樽)
No. 10	75	1/10	Na ₂ SiO ₃ 900 Al ₂ (SO ₄) ₃ 675	1.5
No. 1	45	1/85		1
合計			1575	

第三節 注入成績

(1) 掘鑿

作業終了後 4 月 11~12 日は機械の取片付けをなし 13 日より混凝土隔壁を破り 16 日には埋戻し部分を再掘して元の切端に達した、此の部分の膠結状況を見るに埋戻し上層は天井との間隙に充填せられたる注入物のために硬く壓縮され間隙は Camiff mixer に依る砂、膠灰及び高壓唧筒に依る薬液膠灰は層状をなして充填し矢板、支保工の周囲を完全に密着して居た、薬液多き部分は固結度少く脆弱であつたが以前小崩壊をなした 10 097 呎切端に於ける斷層は完全に膠着して一滴の水もなく鶴嘴にての掘鑿は困難であつた。

以奥豫想斷層區域は地山の弛緩するを恐れ爆薬の使用を禁じ clay digger, concrete breaker 等に依り掘鑿せしめたが、注入區間の地質は附圖第二に示す如く安山岩にして其の中に 0.5~2 呎位の幅の斷層合計 6 箇所存在し、その各は斷層面に於て薄き粘土を有すると共に内部は砂礫より成るものであるが、膠灰の完全なる注入により 1 個の混凝土状となれるを見た。

又此の斷層間に介在する安山岩は一見硬岩の如く見ゆるが甚だしき裂罅を有し clay digger にて容易に其の破面に沿ひ破壊し得たがその龜裂にも膠灰は充分分布せられて居た。

以上膠灰分布を仔細に見るに裂罅の壁面又は角礫の周囲は薄き薬液を以て覆ひその他の間隙は膠灰を以て充填せられ居るのを見るのである。

此の掘鑿の結果より判断するに若し注入施行無くして掘進んだとすれば先づ斷層に於て湧水と共に斷層角礫を流出し、次いで其の背後の安山岩は大塊となつて崩れ落ち更に次の斷層の崩壊を惹起すべき事、北側水抜坑の事情に徴して推察し得るのである。

湧水量は従來の經驗に依れば掘鑿に當つて其の部分試錐孔よりの増水の倍位になるのが常であるから、此の場合に於ても 3~4 個の水を豫期し得るのであるが、注入の成績頗る顯著なるもので注入區域内に於ては極く僅少局部的滴水を見るに止まり 100% 近き好成績を擧げ得た。

併し乍ら附圖第二に示す如く途中坑道の一部に表はれた集塊岩並に注入孔奥に存在する集

塊岩に對しては唯其の安山岩との境界面に於て濾過沈澱されたる膠灰の附着せるを見るのみで内部には全然侵入し得ず、注入成績は岩石の空隙の大小に大關係を有すること明かに認められた。従つて坑道掘進の結果は注入完全なる安山岩地帯と注入無効なる集塊岩との境界に於て湧水状態を明瞭に識別し得られ前者の局部的の滴水に過ぎざるに反し後者は夕立雨の如き有様を呈して居るのである。

(2) 経 費

以上各作業に要したる経費は次の如くである。

第五表

工事種類	工 費						金額 (円)	材料費 (円)	合 計 (円)	摘 要
	坑内 人夫(人)	並人 夫(人)	大工 (人)	斧指 (人)	鑿岩 夫(人)	坑夫 (人)				
隔壁築造	160	24	3	13		6	488.65	631.46	1120.11	
第一回 注 入	穿孔	36			1	36	201.15			
	注入	160				1	379.15	2545.67		材料費は膠灰及び薬液を主とす
	材料運搬	18	19				78.40		3204.37	
第二回 注 入	穿孔	36			1	36	201.15			
	注入	217				5	525.70	3639.85	4505.05	材料費は膠灰及び薬液を主とす
	材料運搬	33	32				138.35			
調査孔	穿孔	30			6	15	136.65	1300.00		材料費は主として金剛石の費用なり
	注入	45		1	2		115.05	228.70		
	材料運搬	9	12				43.95		1824.35	
準備費	56	22	30	6		282.30	1431.74	1714.04	材料費は作業に要したる諸設備の費用なり	
後片付	29	12				90.95		90.95		
總計	829	121	34	35	87	6	2681.45	11277.42	13958.87	他に省備人1500円加算

第三章 底設導坑注入作業

第一節 準備作業

上述の如くして南側水抜坑は不良地帯を突破し坑奥に向ひ前進し得るに至つたが、底設導坑に對しても同様施行の必要あるに付工事の進捗上附圖第七に示す如く南側水抜坑 10183

呎の地點より右 45° の角にて右折し本線中心線に向ひ連絡坑を掘り、坑奥の底設導坑を掘進せしめつゝ其の間に後方の不良地帯の注入作業を完了して安全に貫通せしむる計畫を建てた。

底設導坑の注入に對しては尙切端を前進して斷層に近づける必要あるに付掘鑿を開始したが坑奥に進むに従ひ湧水増加し肌落多くなるため、5月23日10083呎に於て停止せしめ附圖第八に示す如く切端より12呎手前の岩脈の部分を選び隔壁を築造せしむる事とした。

(1) 隔 壁

隔壁は5月24日着手28日を以て完成した。築造法は水抜坑の場合と同様であるが此の部分天井より滴水は特に多かつたため天井部分混凝土施行に於てカンバスを以て覆ひ、その下に充分埋め込む様に施行した處好結果を得た。

混凝土の硬化期を待ち6月8日よりCanniff mixer に依る隔壁注入を開始し、天井部分は膠灰38樽、砂1.3坪を以て充分に閉塞され終つた。これより先き南側水抜坑より右折して進んだ連絡坑は6月8日64呎進行した所で底設導坑10005呎にて施行せる試錐孔に遭遇し約1個の湧水あり、同夜9時左側より突如崩壊を生じ湧水3個と共に土砂約2坪を流出し切端閉塞された。此のため隔壁下部に於ける膠泥の注入は試錐孔を通じて連絡坑に逃げ去り且つ連絡坑の試錐孔を閉塞する事は事故のため不可能となり作業を中止せしめた。

曩に水抜坑の場合には隔壁は唯Canniff mixer に依りてのみ注入したため水壓と注入壓との關係上完全ならず、高壓の注入に當り屢々漏洩の原因をなしたので今回は注入孔の穿孔以前に高壓を以て隔壁をかためて置く事の必要を感じ、それに着手する事とした。

此の作業をなす前に連絡坑に於ける試錐孔よりの湧水を閉鎖する必要があるので一時着手し得なかつたが、其の後連絡坑の流出状態を調査せる結果浚渫するも危険なき事を認め、湧水を犯して前進を開始し試錐孔の表はれるを待ち22日孔中に附圖第四の注入管を埋設する事に成功した。

次いで23日より高壓唧筒を運轉し隔壁注入を開始したる結果膠灰92樽を注入した、壓力は1000封度を越す時は切端より漏洩を生ずるため900封度程度に止めた、注入孔穿孔は硬化を待つて着手する事とした。

此の注入の結果は連絡坑に於ける試錐孔を完全に閉塞し又隔壁も完全なるものとなり、前回の如く注入作業中の逆漏を全く防止し得た。

(2) 注入計畫並に設備

注入孔の配置は附圖第八に示す如く大體水抜坑の場合と同様である、唯前回の結果を見るに注入孔8個の中實際に效果あつたものは都合好き裂罅に出會せる2~3本に過ぎないので、其の他の孔は此の孔より注入閉塞されたものであるから結局無意味な事となる。此の故

に今回は No. 1, No. 3, No. 6, No. 9 の 4 孔を穿孔し注入し、次に前記各孔の中間にある No. 4, No. 5, No. 7 を穿孔する事により成績を調査すると共に注入の完全を期する事とした。

使用機械其の他は前回と同様であり、設備は附圖第八に示す如く藥液原液槽は後方切腹部分第三柱に胴張を入れ其の上に置き、水はカメロン唧筒により供給せしむる事とした。

第二節 注入作業

6 月 26 日より穿孔を開始し No. 1 は 85 呎、No. 3, No. 6, No. 9 は各 80 呎進行せしめ 28 日完了した、其の結果は第六表示す如くで、豫定斷層内は以前底設導坑の試錐の場合の如き崩壊無く湧水も豫想より非常に少量であつた、之れは北側水抜坑に於ける一年間に近き湧水並に最近南側水抜坑及び連絡坑の進行に従ひ斷層背部よりの湧水（約 5 個）等のため地下水面の低下を來たし斷層部よりの湧水減少すると共に壓力も亦減じ崩壊性を減じたものと思はれるのである。

次いで 30 日より注入を開始し No. 1 より藥液を注入し、壓力 150 封度に上昇すると共に膠灰注入に移つたが、7 樽注入したるのみで壓力 1200 封度に上昇し同時に No. 6 は充填されて藥液をも受け付けなかつた。

第六表

隔壁注入				第一次注入						
No.	湧水	孔深	セメント (樽)	砂 (袋)	No.	孔深 (呎)	湧水 (個)	硫酸礬土 (斤)	硅酸曹達 (斤)	セメント (樽)
ランサム			38	13	1	85	1/4	900	1200	7
高 壓			92		3	80	1/5			
					6	80	1/11			
					9	80	1/3	900	1200	11
合計			130	13			0.7	1800	2400	28

第二次注入

No.	孔深 (呎)	湧水 (個)	硫酸礬土 (斤)	硅酸曹達 (斤)	セメント (樽)
7	80	1/7			
4	80	1/7	930	1200	21
5	80	1/8	1350	1800	7
合計			0.411	2250	3000

No. 9 は藥液注入後膠灰注入を試みたがこれ又 11 樽の注入にて 1100 封度に上昇し同様 No. 3 を閉塞し去つた。

以上の如き成績は注入孔が適當なる裂隙に會せざりしと解するよりも、目的たる斷層は集塊岩中に存在し空隙の小なるに起因するものと思はれたのである。従つて水抜坑の如き成績

を擧げ得る事困難と思はれたが尙安全を期するため豫定計畫に従ひ第二次作業に移る事とした。

7月3日 No. 4, No. 5, No. 7 穿孔を開始した; No. 4 は底設導坑試錐孔の位置に最も接近せる故以前試錐の際感ぜられた崩壊部分存在するものとせば最も有望なるべき注入孔なるに依り7日より注入を開始したが膠灰僅に 21 樽に止まり、次いで注入された No. 5 も 7 樽にて終り No. 7 は以上 2 孔のため充填閉塞された。

第三節 注入成績

前記注入の結果に依り斷層は集塊岩中に存在して間隙狭少なるため注入の効果少きを知ると共に作業の掘進に従ひ(左右兩水抜坑並に坑奥底設導坑より多量の湧水のため)地下水面の低下を來し、以前危険なりし部分も既に崩壊性減ぜしものと認めらるゝによりこれ以上の注入を停止し掘鑿せしむる事とした。

7月17日隔壁を破壊し掘進を開始したが豫想の如く大部分集塊岩で薬液並に膠灰は多くは單に注入孔を充填するに止まり水抜坑に於ける如き分布は認められなかつた。

然しながら集塊岩にあつても狭少なる肌目を有し掘鑿に依り地山のゆるむと共に上層よりの水侵入し來つて肌落ちを生じ漸次崩壊するに至るものであるが、之れ等の肌目及び玉石周圍間隙ある部分には完全に分布充填せらるゝを見た。

地質の關係上水抜坑同様の計畫をした該部分の注入孔の數は少數に失したゝめ完全なる防水目的を達し得なかつたが、前述の如き地下水面の低下と相俟つて掘鑿は安全に進行し得た。

以上底設導坑注入作業に要した費用は第七表の如くである。

第七表 底設導坑注入作業費

工事種別	工 費						金額 (円)	材料費 (円)	合計 (円)
	坑内人夫 (人)	坑夫 (人)	斧指 (人)	並人夫 (人)	大工 (人)	鑿岩夫 (人)			
準備	24		9		25		154.350	86.850	241.200
隔壁築造	157	6	12	25	2		459.550	1 521.000	1 980.550
第一回 注 入	穿孔	19				18	99.500		
	注入	38			5		96.150		
第二回 注 入	材料 運搬	7			1		17.850	658.300	871.800
	穿孔	14				12	69.400		
後 片 付	注入	63			7		157.150		
	材料 運搬	4			2		12.700	994.880	1 234.130
合計	340	6	21	48	27	30	1 112.850	3 261.030	4 373.880

第四章 結 論

注入作業結果の良否は施行箇所地質の状態の如何に關する事は前記水抜坑と底設導坑との場合より見て實に明かである。然るに、水抜坑に於ける場合は、底設導坑に於ける目的たる湧水量が相當大なる裂隙空隙より成るものにあつては薬液膠灰共に充分の分布を見て完全に目的を達する事を得るが、微細なる粘土、砂の如きものを以て充されたる裂隙若しくは狭小なる層理には注入されたる膠灰液は單に濾過作用を受けて其の表面に沈積するのみで膠灰粒子は内部に侵入し得ざるは勿論薬液と雖もそのためには極めて大なる壓力を要求するものである。

而して此の膠灰液の侵入し得る程度は何れを標準として區分すべきかは明かでないが地層の void よりも其の空隙の大小に依るべきものであつて、少くとも 1/16 吋、安全なる所は 1/8 吋以上の空隙ならば完全に膠灰を以て充填し得られる。空隙それよりも少なるものにあつては水壓の大なる場合には時として多量の湧水を生じ驟雨の如き觀を呈するにも拘らず、尙膠灰液は到底侵入し得ない事は前記底設導坑又は水抜坑内集塊岩に於て觀取された所である。

薬液併用の目的は薬液の膠狀物質に依り膠灰の侵入し得ざる所迄も分布すると共に一方注入されたる薬液は大小裂隙中に存在し次いで來る膠灰の侵入に對し裂隙壁との摩擦抵抗を減じて充分なる分布を可能ならしむると稱せらるゝものである。

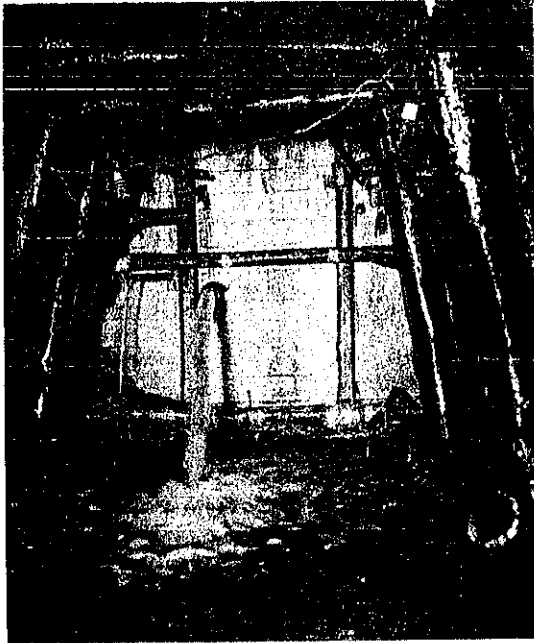
今回施行せる結果よりして直に薬液の効果を論ずるは尙早の嫌ひあるが、水抜坑に於ける膠灰注入の際に於ける注入壓上昇の具合を見るに、曩に 9100 呎底設導坑に於て膠灰のみを注入したる際には注入液は湧水壓力よりも稍々高き壓力を以て大部分注入せられ、其の壓力の上昇し始めるや急激に最高壓力に達したものであつた。

然るに今回の注入に於ては附圖第五及び附圖第六に於て見らるゝ如く壓力は漸次昇騰して行つて居る、之れが理由は前回に於てはある壓力を以て注入されたる膠灰液が湧水壓と裂隙壁との摩擦抵抗に打ち勝つ範圍内に迄侵入し其處に於て沈澱し始め漸次濃厚なる液となるが、同時に摩擦抵抗も大となるため注入壓力を増加するも膠灰液を更に奥方に移動せしむる事少く、壓力は唯膠灰液中の水分を squeeze out するに用ひられて急激なる壓力の昇騰となるものと見られる、然るに膠灰注入に先立ち薬液の存在する時は膠灰は薬液を壁面に押しつけて其の中間に侵入し其處に沈澱し始めるが、それに従ひ増加したる注入壓力は薬液の存在するため摩擦抵抗小となれる膠灰液を更に奥へ奥へと押し込めるため注入壓力も急激に増加せずして或る點迄は漸次上昇し、最後にその泥狀物質内の水を squeeze out するに用ひらるゝに及んで最後の壓力上昇となるものと解せらるゝのである。

此の考へ方から見れば薬液併用の効果は確認し得られる、又坑奥底設導坑（不注入箇所）掘開に依り水抜坑注入區間にあつた岩脈の延長と見るべきものに會したが、水抜坑注入箇所
に於て殆んど絶無なりし水も此處に於ては驟雨よりも甚だしき湧水あり、而して其の裂隙狀

態を見るに 9100 呎附近底設導坑に於ける注入區間（膠灰のみ注入）と大同小異なりし點より考察すれば單に膠灰のみの注入に依る時は尙漏水の相當ある事を思はせるのであるが、水拔坑安山岩中に於ける湧水の絶無に近きは全く薬液併用の效果に依るものと見て差支へなきものと思はれるのである。

寫眞第一 底設備坑試錐孔よりの湧水



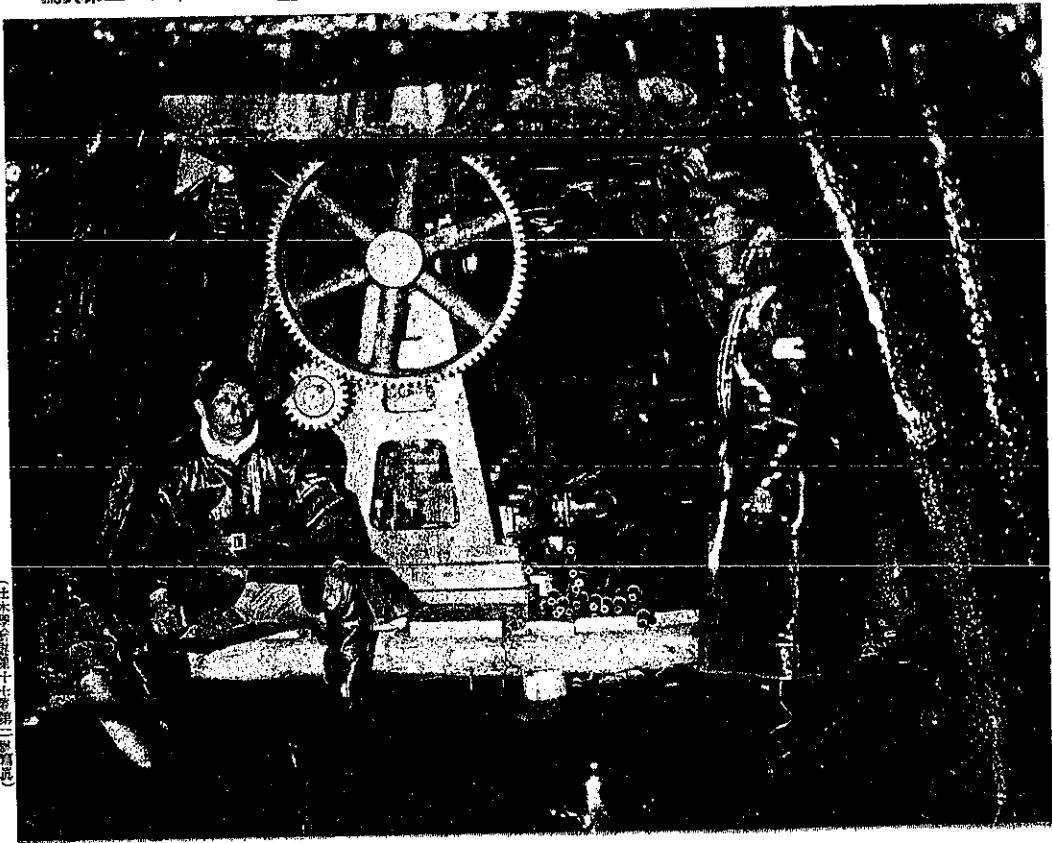
坑門起點 10 005 呎

寫眞第二 隔壁築造の爲の埋戻し作業



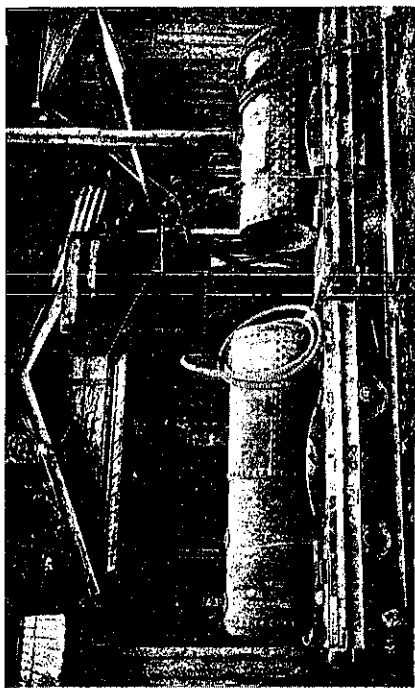
上部 3 個の鐵管は試錐孔よりの湧水，下部鐵管は切端附近湧水の排水管

寫眞第三 注入用水壓唧筒



(土木學會誌第十七卷第三號寫眞)

寫眞第四 礫洗器土溶解槽及び運搬車



寫眞第六 第二回穿孔後の状況



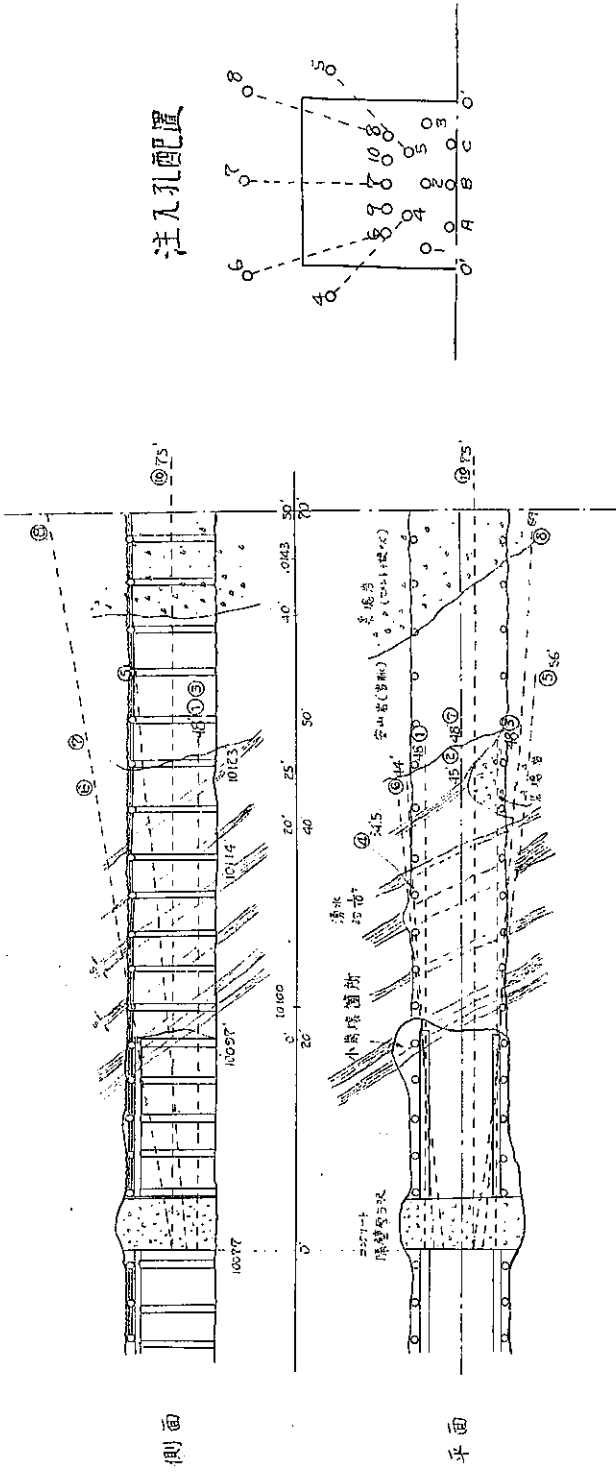
寫眞第五 第一回注入作業穿孔後の状況



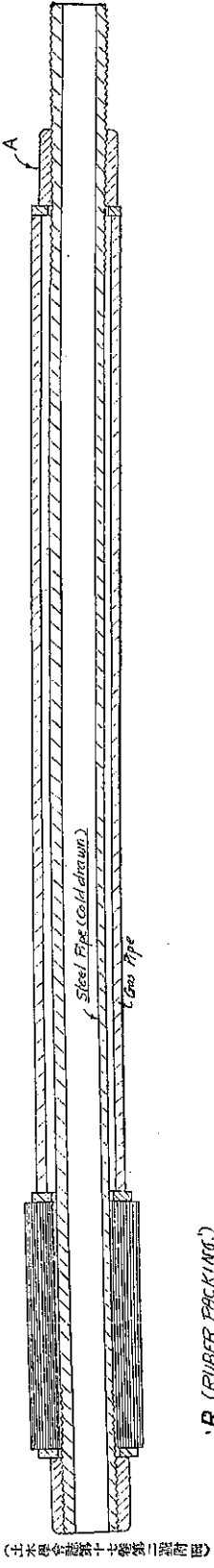
寫眞第七 調査孔試掘作業中



附圖第二 注入區間掘鑿後狀況圖



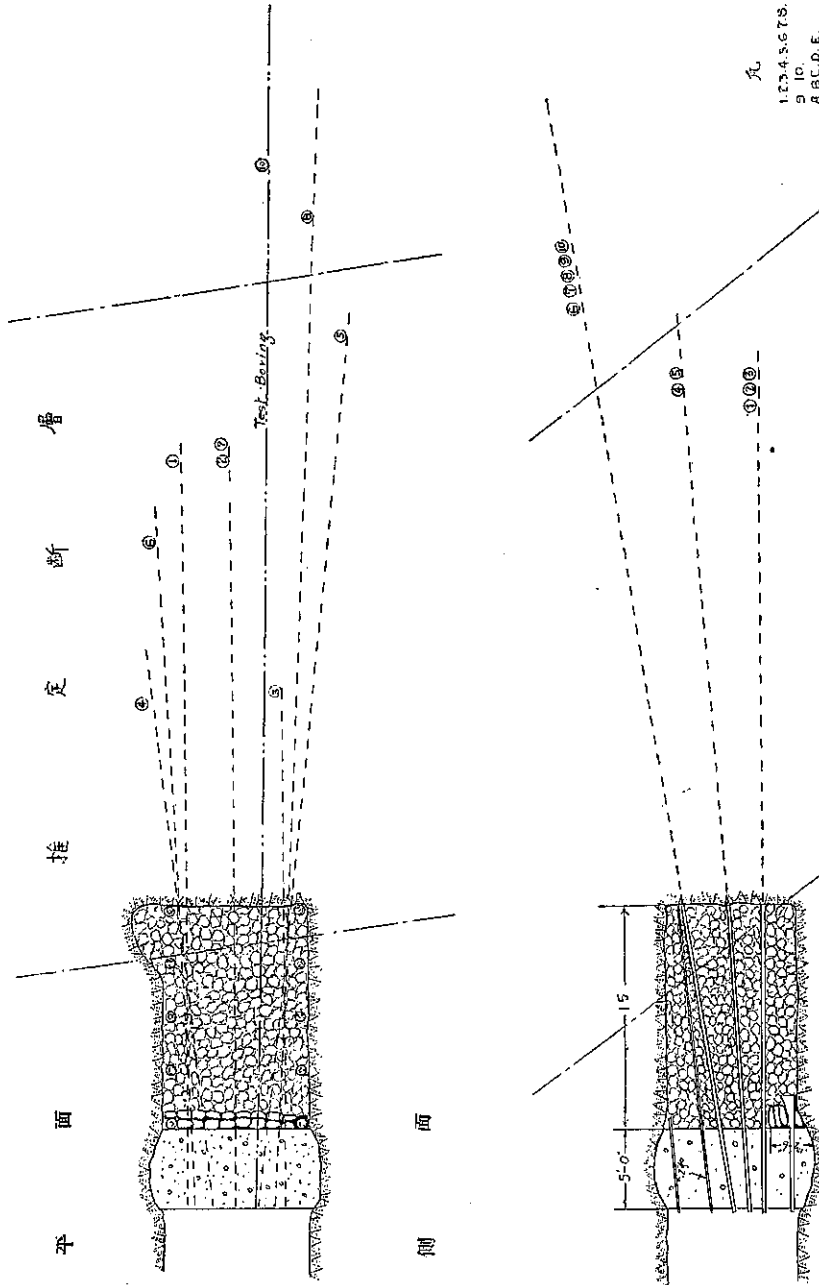
附圖第四 注入管



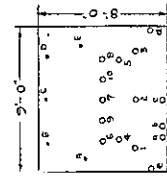
'R. (RUBBER PACKING)

(註) 鋼管係用鋼管及鑄管

附圖第三 隔壁並其鐵管配置圖



注孔配置

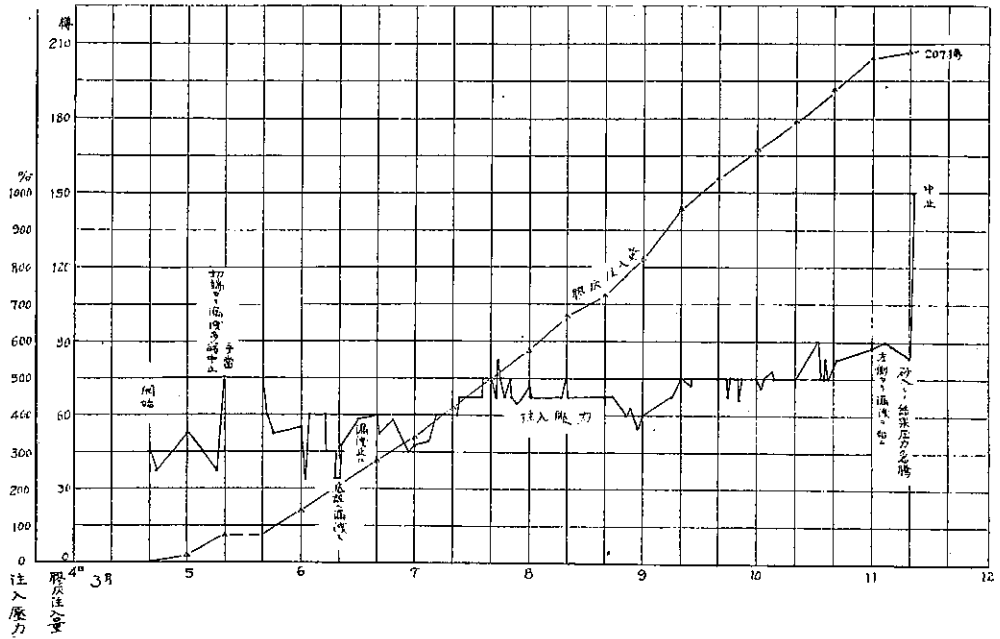


凡

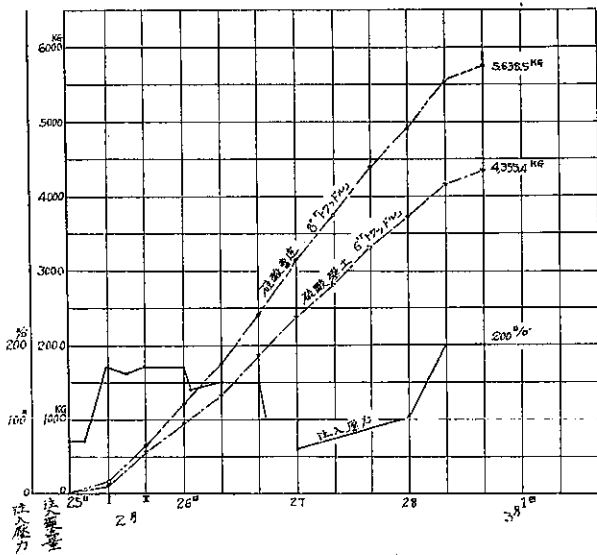
- 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8.
- 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15.
- A. B. C. D. E.
- a. b. c. d. e.

便
注：入孔
鋼管孔
排水管孔(2寸)
排水管(4寸)

附圖第五 A 第一回 No. 8 孔膠灰注入狀況圖

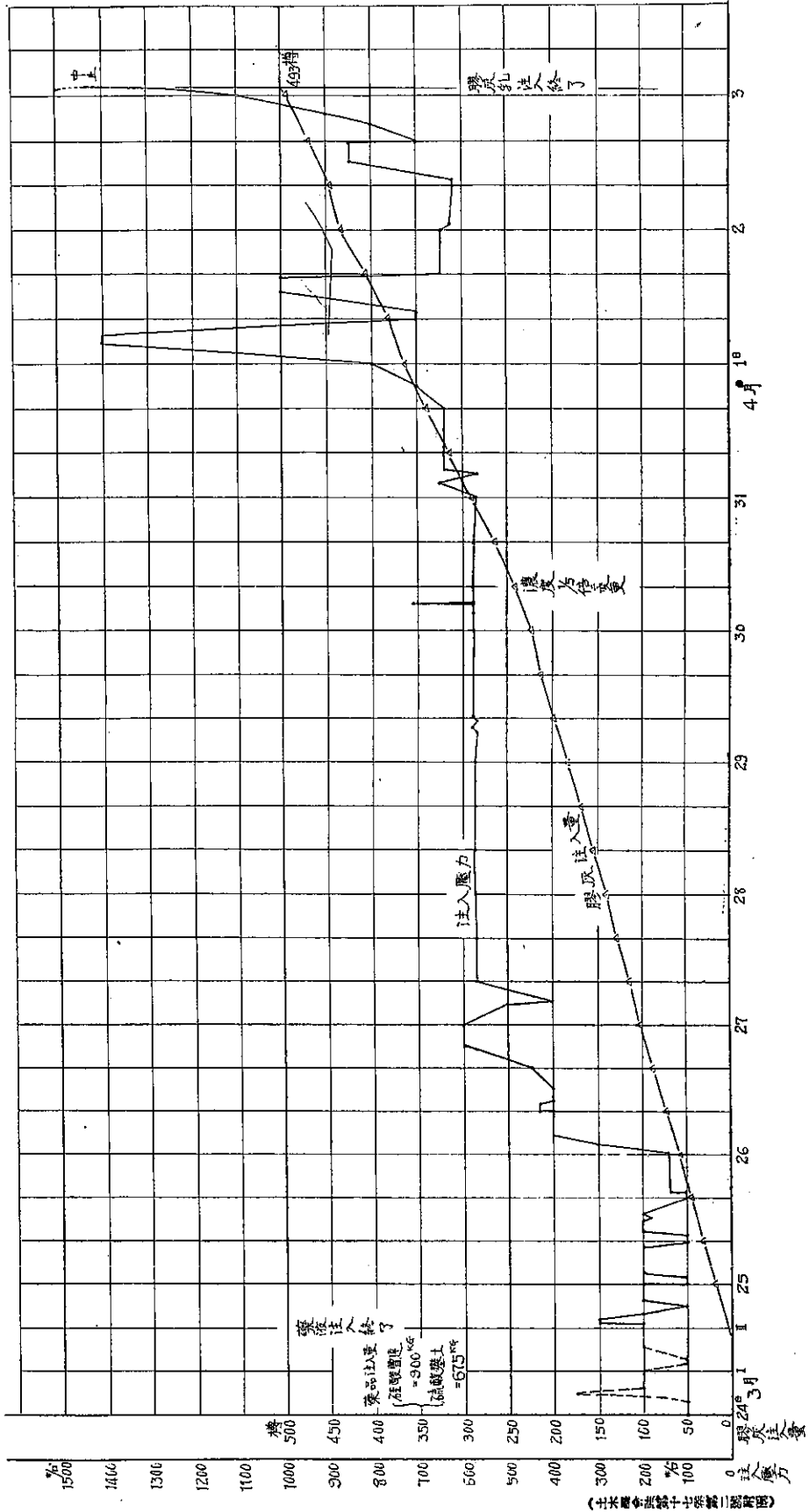


附圖第五 B 第一回 No. 1 孔藥液注入狀況圖



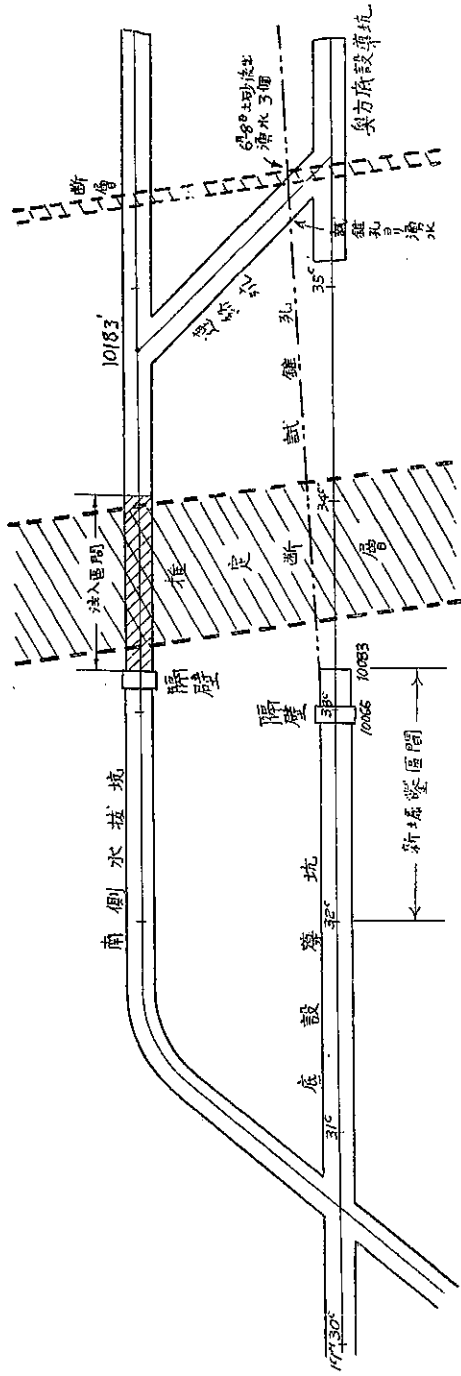
(土木學會誌第十七卷第三號附圖)

附圖第六 第二同No. 6孔注入狀況圖



(主文圖表第十七號第二圖附圖)

附圖第七 平面圖



附圖第八 側面圖

注入口配置

