

論 説 報 告

第 20 卷 第 8 號 昭 和 9 年 8 月

隧道工事に對してセメント注入の應用

會員 工學士 岡 野 精 之 助*

On the Cementation applied to Tunneling

By Seinosuke Okano, C. E., Member.

内 容 梗 概

本文は隧道掘鑿の補助手段としてセメントの如き微粒にして、膠結性ある物質を、高壓の下に岩石の裂罅等に注入しその崩壊を防止する工法所謂セメント注入に就て詳述せるものである。

目 次

| 目 次 | 頁 |
|--------------------|----|
| 第 1 章 總 論..... | 1 |
| 第 2 章 準 備 作 業..... | 2 |
| 第 3 章 注 入 作 業..... | 9 |
| 第 4 章 結 論..... | 23 |

第 1 章 總 論

第 1 節 セメント注入法

セメント注入法とは、岩石の裂罅又は既設建造物の龜裂等に、セメントの如き微粒にして、膠結性ある物質を、高壓の下に注入し、その裂罅間隙を充填して目的物を硬化し、掘鑿に際しては崩壊を防止し、建造物に對しては完全なる基礎をなし、或は補強の目的を達するための工法の一つである。

以上の如くセメント注入法は、既設建造物の補強を目的とするものと、掘鑿の補助手段として利用せらるゝものとの、2 様に分類せられる、今から述べんとするものは、主として後者に就き説明せんとするものである。而して諸外國に於て、堅坑又は隧道に於て、注入法を應用せる例を見るに、多くは崩壊の防止を第 1 目的とするよりも、湧水を防止する事に依り、排水費の遞減を計るを主目的とする事多く、丹那隧道に於ける如き、他の手段に依りては到底安全なる掘進を望むべからざる所に應用した例は、甚だ少い様に思はれる、而して斯様な場合のセメント注入は、最も難しいものである。

第 2 節 注入法に適する地質

セメントの注入に適する地質は、火成岩の節理、水成岩の層理、斷層その他に依る龜裂にして、その間隙に粘土又は砂等を介在せざる所に最も有效である。

然し斯様な理想的な箇所が、常に存在するものとは限らないから、これに打ち勝つ方法を考へねばならぬ。その一つは直面せる地質を變化せしめて、上記の様な理想的地質に近からしめる事で、その 2 はセメント以上の微粒物質を使用して、セメントの滲入し得ざる砂粘土中にも滲入せしめ、これを硬化せしめる事である。これに關し次の

* 滿鐵建設局技師

様な方法が考へられる。

(1) 洗滌に依り、間隙中の粘土、砂等を除去する事、地山中の裂罅龜裂は、常に地下水の流路と成り、そのため粘土砂類を介在するを常例とするから、注入前に當つては、必ずセメント乳の注入に先ち、清水を注入して間隙を洗滌し、同時に注入壓力を検する事も必要である。併し丹那隧道に於ける如く、注入孔の穿孔と共に、多量の湧水ある所では、そのため自然に洗滌作用行はれるを以て、必らずしもその必要を認めない場合もある。

(2) 注入孔の孔底に、ダイナマイトを仕掛けて、裂罅を擴大せしめたる後、細粉を洗滌除去し、然る後注入作業に移る。ベルギーの或炭坑に於て、含水層は礫岩なるため、セメント乳は僅少量より吸取せず困難した。後に注入孔底に 5~6 kg のダイナマイトを裝填爆破せしめたるに、注入量は以前の 10 倍と成り、同一箇所にて先に施行せる堅坑に比し格段の良成績を得た由である。

(3) 粘土に對する注入は、粘土内に滲入せしむる事殆んど、不可能に近きも、斷層粘土、層状を成して沈澱せる粘土等は崩壊せられざる原状のままならば、その龜裂層理に沿ひセメントを注入せしむる事を得て、全體として緻密なる性質に變ぜしむる事を得。

(4) 丹那隧道東口 9000 呎斷層注入の際、注入孔より斷層粘土約 60 ft³ 流出せる箇所あり、これが注入後に見るに、直徑約 1 ft の橢圓形に充填硬化せるを認めた、これを利用して、注入孔が穿孔の際、孔底を適當に崩壊せしめて空洞を形成せしめ、これをセメントを以て充填し、坑道周圍をセメント塊を以て包圍せしむる如き方法も、特殊の場合必らずしも不可能でないと思はれる。

第 2 章 準備作業

第 1 節 隔壁築造

注入作業に當り、切羽正面よりの逆流を防止するため、切羽に隔壁の築造を必要とす、豫め試錐等に依り不良地質箇所の位置を確認し、その手前に堅硬にして緻密なる岩石存在する時は、その岩石を以て隔壁に利用し得るが、多くの場合特別にコンクリートを以て、築造する必要が起る。而して隔壁の目的は單にセメント乳の逆流を防止するのみでなく、高壓なる注入壓力に對し耐へるだけの強固なものでなければならぬ。

隔壁の築造は、切羽附近に於て湧水少き場合は困難なきも、丹那隧道に於ける如く、坑道四周より多量湧水ある場合は完全なる作業は非常に困難である、併しこれが旅行の良否は注入成績にも影響する事大であるから、完全なものを作らねば成らぬ。

丹那に於けるこれが築造の例は第 1 圖の如く

(イ) 切羽に成可く近く、地山の良好なる部分を選び、豫定隔壁厚さの部分だけ支保工を取り去り、天井並に兩側部分を、約 1 ft 乃至 2 ft 地山に切り込み掘鑿す。

(ロ) 隔壁下部に水量に應じ、數本の鐵管を敷設し、先端附近に土俵を以て、切羽よりの湧水を締切り、該鐵管を通じ後方に流出せしめる。

(ハ) 次に隔壁コンクリート打を施行するのであるが、注入孔の配置方向を豫定し、隔壁正面より切羽に達する長さの鐵管を埋設して置く方が便利である、尙ほ鐵管は注入孔のみならず、注入後の試験孔及び豫備として適當に増加して置く方がよい。

(ニ) 隔壁コンクリート打と同時に、隔壁背後切羽との間には礫を填充する、これには後にセメント乳の分布し難い様な、砂分を多量に含有して居るものの方がよい、又コンクリートの施工中上部より湧水ある場合には、最初の頃はトタン板の覆ひでもよいが、最後に天井を打つ頃には、とりのけねばならぬ、そのためセメントは流出して完全な施工はとても困難である、初めから帆木棉の如きものを覆ひとして、そのまま最後迄使用し、天端のコンクリートは帆木棉の下に押しこんで地山と密着せしむる様施工すれば、可成り良好な成績が得られる。併し天井及び兩層部は完全に地山と密着せしむる事は困難であるから、該部分には適當に鐵管を挿入しおき、caniff mixer を以てモルタルを充填する準備とする。

(ホ) 隔壁の良否は、後に注入の成績に伸々影響するものであるから、(ニ)により caniff mixer に依る充填を行ひたる後、更に高壓注入ポンプを以て、使用豫定の壓力に迄セメントを注入して置くのが完全な作業である。

(ヘ) 以上の作業の後、硬化期を待つて、下部排水鐵管の辨を閉鎖する時は、切羽は完全に水を防止した事と成る。

(ト) 不良區間の延長大にして、注入作業を繰返して行ふ場合、注入硬化區間を全部掘鑿せず、先端部 10 ft~20 ft 残留しおき、これを隔壁に代用する事もある。併し注入區間 100 ft 以下の場合には、注入作業と、掘鑿作業とを交互に施行するよりも、同一の隔壁を利用して、手前より 20 ft~30 ft の範圍を硬めつゝ、注入作業を繰返へしたる後、一時に掘鑿する方、作業上至便である。この同一箇所より注入作業を繰返へす事は、注入孔の方向に依り、試錐棒の取り扱ひ得る範圍に制限されるため、大凡 100 ft 迄と言つたのである。

以上隔壁の築造方法は、隧道に於て排水設備の備はざる中に、不意の出水に見舞はれたる等の場合に、これを利用して切羽の水を閉鎖し、排水設備を完成せしめたる後に、再び水を出させる等に利用し得る途を有するのである。

第 2 節 基礎鐵管

基礎鐵管とは、注入孔口に固定し、注入管と連絡するもので、注入孔中に堅固に埋設せられ、管の外周と孔壁との間よりの逆流を防ぐのみならず且注入壓力に依つて抜け出す様な事があつてはならない。

前記隔壁築造に當り、埋設した注入管は、そのまま基礎鐵管としても利用出来るが、これを豫め埋設しなかつた場合、或は後に更に注入孔の必要が起つた場合及び切羽を隔壁に代用した場合は基礎鐵管の必要を生ずる。

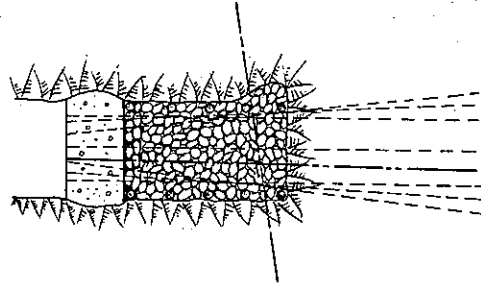
(1) 基礎鐵管埋設用の穿孔

基礎鐵管を埋設するためには穿孔を必要とする。これが穿孔には大型の鑿岩機 (丹那隧道にあつては、デンバー會社製モデル 34 番) 又は簡易なる試錐機 (バイナー・ブラボーの如きもの) は使用に便利である。大型なる試錐機は注入孔の方向に制限を受ける事大で面白くない。

この穿孔に當つては、先づ基礎鐵管の埋設に必要なだけの深さに穿孔し、直に基礎鐵管を取り付け、然る後この鐵管内を通じ、注入孔を穿つ場合と、直に注入孔となる迄深く穿孔し、その入口部分に基礎鐵管を取り付ける場合の 2 方法がある。

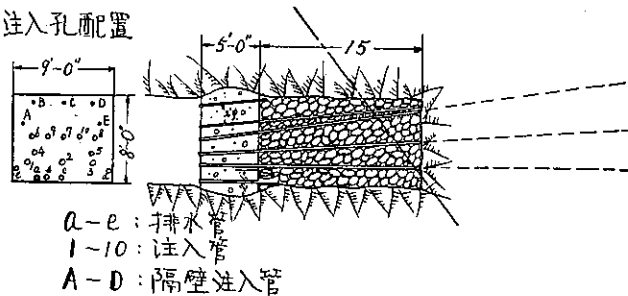
前者にあつては穿孔よりの湧水無き故、完全なる作業が遂行し得られ、又注入孔穿孔中出水多量となれば、試錐管を抜き出し、基礎鐵管先端に取り付けたる、辨を閉鎖して出水を停止せしめ、直に注入作業に移る事を得るが、後者の方法にあつては、基礎鐵管の埋設と、注入孔の穿孔とは同時に行はれるため、工事期間を短縮し得るの利點であるが、前記の如き便宜を得る事は難しい、但し堅坑等の場合と異り、隧道の場合には水は自然流下する事多き故、後

第 1 圖 平面圖



側面圖

注入孔配置



A-E : 排水管
I-10 : 注入管
A-D : 隔壁注入管

者にて我慢し得る場合も相當ある。

(2) 埋設法

(イ) 鐵管を孔中に挿入し、その外周にセメントを押し込む、この際鐵管の先端を、ラツパ型に擴げ、又は途中に環をはめて摩擦を増加せしむる事もある。

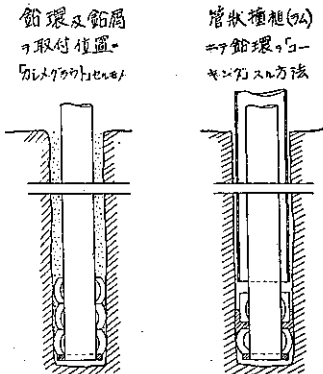
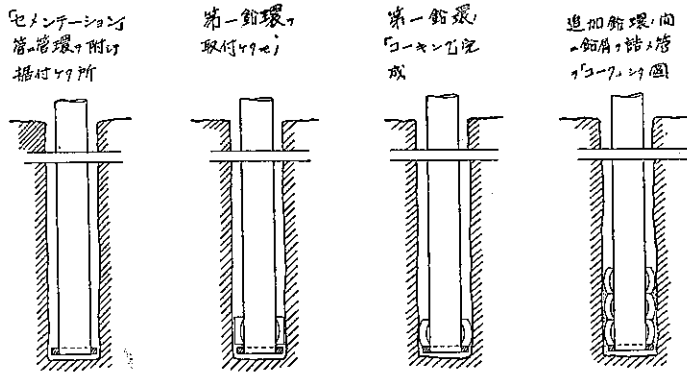
(ロ) 孔中に neat cement を入れ、その硬化前に、下端にセメント栓をした鐵管を打ちこみ、孔中に鐵管を密着せしむる方法。

前記の如き方法は簡單なるも、多く低壓注入の場合に使用せられるもので、1000~2000 lbs の如き高壓を使用する場合には、不完全と認められる。外國にての例を見るに、

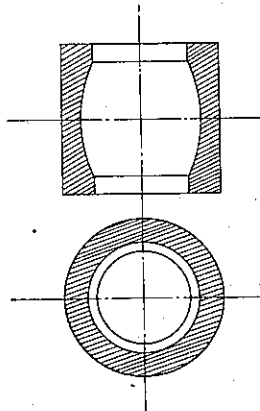
(ハ) 米國シャノン鑛山に於ては 孔中に鐵管を挿入し、入口を古麻繩でかしめたる後、400 lbs の壓力にてセメント乳を注入し、その硬化を待つて、鐵管中のセメントを取り除き、更に 2000 lbs の水壓試験を行つた。

(ニ) 英國 Yorkshire 炭田 Throne 鑛坑の例を見るに、第 2 圖に示す如く、先づ先端に環を附したる鐵管を挿入し、鉛環にて Coking したる後、更にセメント注入をなし、最後に水壓試験に依り検査をして居る。

第 2 圖 セメント注入管を地中に固定する法

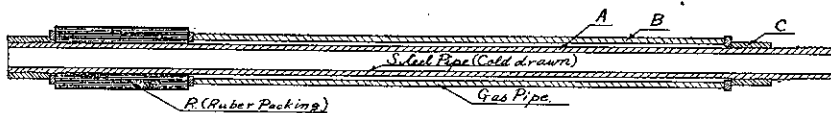


鑄鉛環詳細圖



丹那隧道にあつては、多く隔壁築造の際、基礎鐵管を埋設したが、9000 ft 附近注入の際には、切羽を隔壁に代用し、第 3 圖の如き鐵管を使用した。即ち A なる内管と B なる外管とより成り、C を廻轉する時は、螺旋に依り A と啗合ふ事により B 管は奥方に推進せしめられ、その際ゴム・パッキングを壓迫するため、ゴムは外壁に密着する事に成る。

第 3 圖 注 入 管



この型式にありては、取り付け取り外し容易なるため、注入作業終了後、掘鑿するに當り多大の障害をなす鐵管類を簡単に取り除き得る事が至便である。併し單にゴム・パッキングと孔壁との摩擦にのみ依頼するものであるから、不完全なるを免れず、又穿孔は圓形でないに密着しない缺點がある。

第 3 節 注 入 孔

(1) 穿 孔

注入孔の穿孔も基礎鐵管の時述べたと同様である。特に基礎鐵管を埋設したる後、注入孔を穿孔する場合には、基礎鐵管口の辨を通じ穿孔するため、孔徑小となる事は免れない、併し注入の成績は會したる裂罅の性質に依るもので、注入孔の大小は殆んど關係しないから、この事は問題とする必要が無い。

豫定せる數の注入孔を、全部穿孔したる後に注入に移るか、又は 1 個宛穿孔と注入を交互に行ふかは問題である。前者にあつては、最初の注入孔よりの注入のために、折角準備した他の注入孔が閉塞される憂ひがある。この點より見れば後者の方は便利であり好都合である。併しこの作業を交互に行ふ事は、穿孔と注入との段取りかへのため徒らに時日を要する缺點がある。この點を考へて互ひに連絡がないと思はれる位置にある注入孔 3 個位宛穿孔注入し、次に前記の孔の中間に穿孔して、前回注入の成績を調べ乍ら次の注入に移るのが策を得たものである。

(2) 注 入 孔 數

注入孔より注入せられたセメント乳は、注入孔と交會せる裂罅間隙中に侵入し分布するものであるが、その裂罅間隙の大小に依り、或はその狀況(例へば大なる裂罅數本存在する場合と、狭少なる龜裂の網狀に存在する場合の如き)に依り、甚だしく異つて來る、1 個の大なる龜裂の存在する場合は、その附近に狭少なる龜裂の存在するも、セメント乳は摩擦少なき大龜裂に限り無く注入せられ、意外なる遠距離に達する事がある。丹那隧道東口 10000 ft 附近にあつては 60 ft を距つた底設導坑に漏洩したる事もあり、更に西口 12000 ft の斷層注入にあつては、160 ft を距つた南側水抜坑に流出するに至つた事もある。併しかく遠距離に注入せられて居る事が判つた場合には、適當な添加物に依りセメント乳の遠距離に行くを防止する事が出来るから、分布範圍をそれ程遠く採る必要も無い、併し地質狀態を精細に知悉する事は殆んど不可能に近いものであるから、注入の計畫に當つては、注入孔を中心として或る半徑の圓を假定しこの範圍内は完全に膠化せられるものとして出發する。即ち普通坑道の外周 10 ft 厚位を硬化せしむる豫定の下に、前記注入孔を中心とする圓嚮狀のセメント分布體を以て坑道を包圍する様に計畫する。

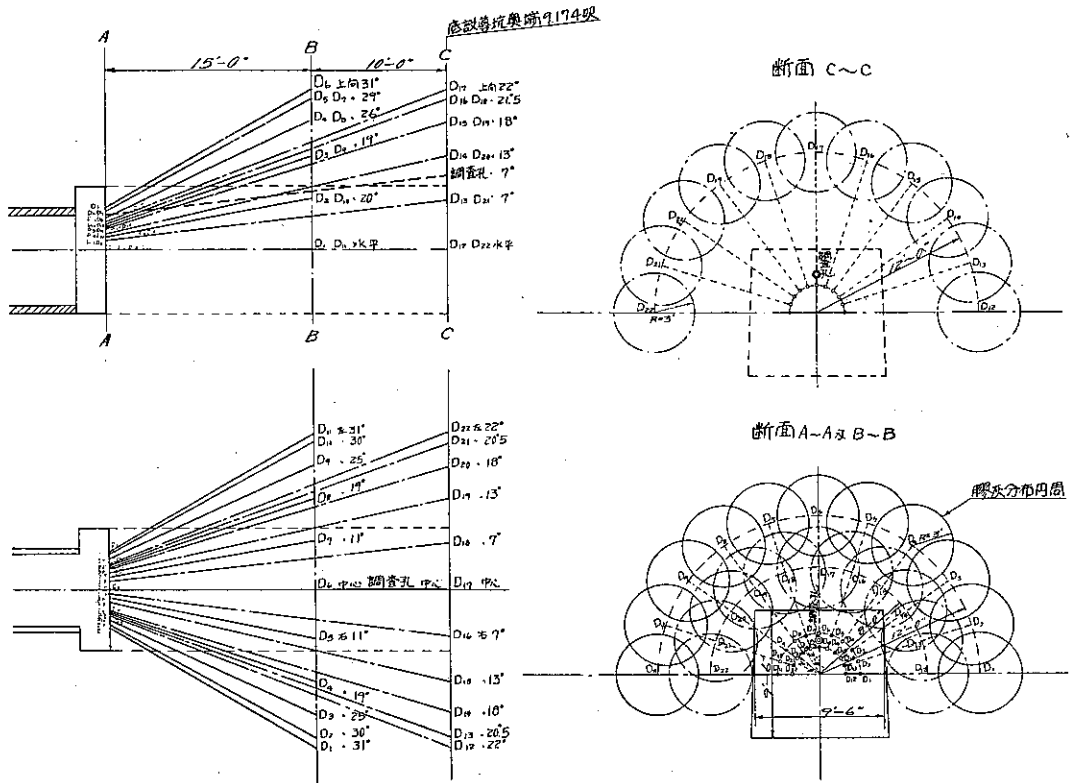
以上の説明に依り注入孔の所要數は、注入孔を中心とする、セメント分布範圍の圓の大小に依り決定されて來る。

而してこの圓の半径は裂罅の大きさに依り大略 3~10 ft 位に採るのが普通である。

丹那隧道東口 9 000 ft 附近注入箇所は、破碎状安山岩で龜裂無數に發達し、殆んど寄木細工を組立てた如きもので、坑道の進行につれ 300 lbs の壓力を存する湧水が、これに作用して屢々坑道を崩壊せしむる危險を招いた。

斯様な區間約 150 ft に亘り 6 回の注入作業を施行したが、最初の頃は分布範圍を半径 4 ft の圓としたが、掘鑿後の成績より見て尙不充分なりとし、後には 3 ft の半径に短縮した、この際に於ける注入孔の配置の一例を示すと第 4 圖の如きもので、各孔は同心 2 重圓周上に配列する事とし、外周上の孔數は 11 個で孔深を約 15 ft とし導坑

第 4 圖 丹那隧道東口底設導坑 9 100 呎附近第 4 次セメント注入計畫圖



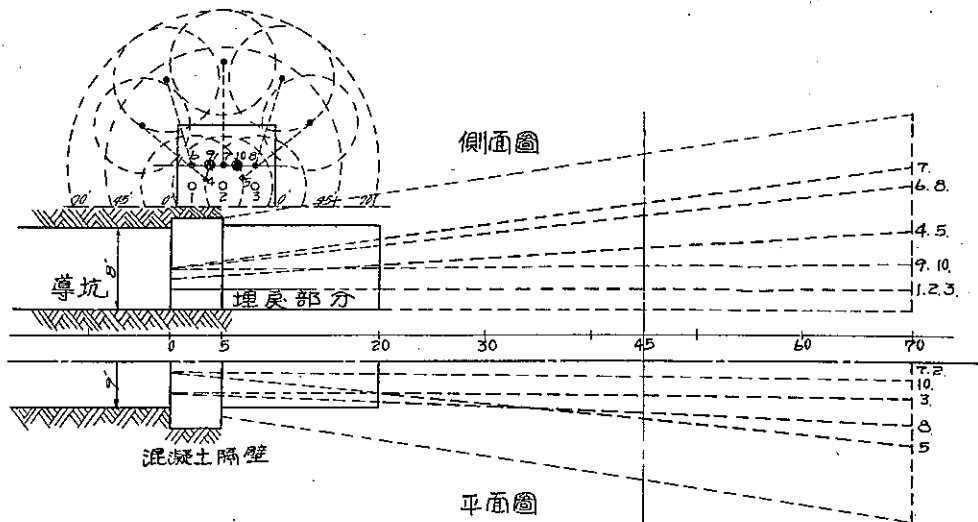
切羽から 15 ft 奥方で内圓の半径 12 ft とし、又内圓上の孔數は同じく 11 個で、孔深を 25 呎とし導坑の切羽より 25 ft 奥方に於て内圓の半径 12 ft とし、共に導坑の頂部及び側壁の外方約 10 ft 間を硬化せしむる如く配列したものである。

同東口 10 000 ft 附近斷層注入の際は、セメントの注入に先立ち豫め藥液を注入して、セメント乳の注入に對する滑潤劑の作用をなさしめたので、分布範圍を 3.5 ft の半径とし、8 個の注入孔を以て作業を進める事とした、第 5 圖に示すものはその計畫圖で、No. 1, No. 2, No. 3 は斷層位置を確認するため施行した試錐孔を、その儘注入孔に利用し正面並に下部方面の硬化を目的とし、No. 4, No. 5 は 兩側壁外部部を、No. 6, No. 7, No. 8 は天井並に兩肩部分外周を硬化せしむる目的を帯びるものである。

米國シャノン鑛山に於て、斷層突破のため施行した例を見るに注入孔 8 個を使用し、硬化範圍を半径 20 ft の圓

に假定して居て、我々の場合より甚だしく大である。併し東口 10 000 ft の注入結果より見るに第 1 回の注入作業に於て、注入セメント總量 238 樽の中、207 樽迄は No. 8 より注入せられ、この第 1 回注入後同一注入孔に依り更に奥方に第 2 回の注入を試みたるに、注入セメント總量 558 樽の中 493 樽迄は No. 6 に依り注入せられて居るのである。故にこの例より考ふるに、注入孔の位置適當なる場合には 1~2 個の注入孔を以て完全に所期の目的を達する事を得るのである。従つて前記シャノン鑛山の例も決して過大でないかも知れない、併し斯様な都合の好い孔を掘り當てる事は偶然に屬する事であるから、計畫としてはやはり少くとも 5~6 個の注入孔を選定する必要がある。

第 5 圖 丹那隧道東口 10 000 ft 附近



(3) 方 向

注入孔の方向は、成る可く多數の裂隙に會する様なすべきである、故に節理斷層の走向に直角に穿孔する事は理想的であるが、狹隘なる坑道内に於ては機械の位置、試錐桿の長さ等の爲制限されて、自由な方向を探る事は許されない、従つて大概穿孔機を中心として坑外周の硬化範圍に向ひ、放射狀に穿孔するのが常である。注入孔の方向が正確でない、硬化豫定範圍も亦不正確となる恐れがある。この爲常には切羽に定規を作り繰孔の位置を明示する事もある。

(4) 深 さ

注入孔の深さは、前記豫定硬化範圍の大小と、硬化區間の延長に依り定まる。即ち隔壁の位置が、注入區間に近き場合に於て深孔を掘れば、徒に外周遠方に注入せられる事と成り、又注入區間の延長が長い場合は、始點と終點とに於て外周硬化區域に大差を生じて面白くない、徒に深い孔を掘つても良成績は望めない一般に不良區域が 40 ft 以上にも互る場合には、先づ最初の 20~30 ft 間を硬めるを目的として第 1 回の注入を行ひ、次にその先の 20~30 ft 間を注入する事とすれば、第 2 回目穿孔に依り第 1 回の注入の成績を調査する事を得る便がある。斯くして凡そ 100 ft 位迄に同一隔壁を利用して次々に奥の部分の硬化し、それ以上になつて始めて硬化部分を掘鑿して隔壁を奥方に移轉したる後作業に着手すれば良い。

第4節 注入材料

注入材料としては、單に湧水防止だけを目的とする場合にはセメントで無くとも微粒質のもの、例へば火山灰、粘土等でも差支へ無い、併し硬化して安全なる掘進を望む爲には勿論セメントを使用せねばならぬ。セメントは製造後日淺く同化作用を受けないものを可とし、且つ使用前には必ず一度篩にかけて、固まりを除く事が大切である。

急硬セメントの使用は避けた方が好い、何となればセメント乳が注入せられる状態は、始めポンプに依り注入孔を通じ岩石の裂罅中に滲入し、湧水の壓力並に裂罅の壁面の摩擦に打ち勝つ所迄運ばれて行つて沈澱するが、裂罅中に沈澱したセメント乳が濃くなるに従つて、ポンプの壓力が上昇するからその一部は更に奥方に運ばれる事になる。然るに裂罅は常に扁豆状をなすものであるから、偶にその狭少部分で沈澱し始めたセメントが急硬した場合はポンプの壓力を上昇するも、前方の廣い部分に運ばれる事が出来ず、間隙の廣い所が充填されずに終る恐れがある。普通注入作業は數日を要し、そうでなくとも最初の頃注入されたセメントは既に硬化し終つて居る状態であるから急硬セメントを使用するも害あつて益ないものである。ベロ・セメントの如く普通セメントより微粒子の多いものは注入用として優秀なる性質を有するものと思へるが實際使用した成績では特別の利益を發見し得なかつた。

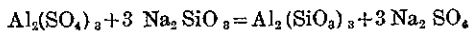
セメント注入に際しては、セメント 1 に對し水 3~12 倍位の割合に使用するのが普通である。狭少なる裂罅に滲入させる目的を以て 15 倍又は 30 倍といふ薄い液を使用した事もあるが、注入の際に於けるセメントの水中に於ける浮游状態は、均等質でないから、極めて薄くした場合にも部分的には濃い所も出来て、12 倍以上の薄液とするも、思ふ様に狭い間隙に滲入して呉れないものである。故にこれ以上薄い液を要求する様な場合には後述する様な薬液の力をかりる方が良い。

作業を開始するに當り、セメント乳の薄液より始めるか、濃液より始めるかも問題である。濃い液より始めると巨大なる裂罅は直に充填せらるゝも、狭少なる部分はその入口で濾過作用を受けて滲入し得ない、薄い液より始める事は先づ無難なやり方であるが、裂罅の大なる場合には徒に時日を要する恨みがある。これ等の點を考へて先づ 10 倍位の濃度の液で作業を開始し、壓力計の指針に注意して、それにより臨機の處置を講ずべきである。

連續運轉するも尙壓力の上昇せざる場合は、巨大なる裂罅の存在を暗示するものである。この際には 5 倍位迄濃度を上げて見て尙變化無き場合は、その大裂罅に目つぶしを與へ、セメント粒のひつかゝりを作つてやる必要がある。この爲の目的には砂、鋸屑、豆砂利、大豆等を使用する、但し水壓ポンプを注入に使用して居る場合には、砂、砂利等は直接ポンプ内に入れる事が出来ないので、別に添加装置を施さねばならぬ。第 6 圖は砂添加装置の一例で丹那隧道で使用したものである。この装置では少量の砂しか添加出来ないが、東口 10 000 ft の注入の際 60 ft を距だてた底設導坑に漏洩した場合、僅か 1 才餘りの砂を添加してひつかゝりをつけてやつただけで、漏洩が止まつた事もある。西口 12 000 ft の斷層で注入した時には、セメント乳は限り無く注入せられて然るも壓力が上昇しないので、これに鋸屑を添加した事がある。鋸屑ではセメント乳中に直接添加してもポンプを傷める事無く、且つ砂同様に有效な働きをする様である。最近天龍川の河原に於て注入試験を試みたが、地質は砂利層で注入を開始すると共にセメント液は地下潜流に依り運び去られる如く、壓力 50 lbs に過ぎず、これは唯鐵管内の摩擦抵抗に過ぎない様に思はれた。その爲最初 10 倍であつたのを 2 倍に迄濃くしたが何の變化もなく 294 袋のセメントは空しく注入された、このため鋸屑の添加を始めたにセメント 61 袋、鋸屑 0.5 立坪を注入したのみで壓力は 1 500 lbs 上昇した、而しその固結状態を觀察したるに、半徑約 3 m の距離に厚さ 2~3 m の基石状に固結せるを發見した。この實驗より見るも鋸屑の添加に依り、極めて多孔性の所をも、小範圍に硬化し得る事が判るのである。

巨大なる間隙は、以上の手段により防止する事が出来るが注入作業に於て困難するのは、寧ろ狹隘なる龜裂であつて、セメント乳はその表面に於て濾過作用を受け奥部に滲入して呉れないのである。東口 9 000 ft 附近の注入にあつては約 1 分位以下の龜裂にはセメント滲入せず、そのため瀧の如く落下する大湧水は停止したが、シャワーの如く落ちる水は止める事が出来なかつた。注入法の效果の如何が、セメント乳のみの注入にあつた頃には、本文最初に述べた理想的地質状態以外には、その効果が疑はれたものであるが、1906 年 A. Francois 氏出で、薬液注入を應用するに至り、注入法は長足の進歩を遂げて新工法としての位置を確立するに至つたのである。

この薬液は硅酸曹達と硫酸礬土とあつて、次の化學式に依り膠狀物質たる硅酸礬土を形成するものである。



この薬液を使用する利益は、硅酸礬土は膠狀物質である爲、セメント粒子に比し更に微粒なるため、如何なる微小なる空隙中にも滲入し得る事である。同時にこの薬液は裂罅の壁面に對する摩擦は、セメント乳に比し少なるため、後に注入せらるゝセメント乳に對して滑潤劑としての作用をなし、従つてセメントの滲入を増加し、又はセメント乳のみにては滲入し得ない間隙にも滲入する事を得るに至り、極めて良好なる成果を收むると言はれて居る。

この薬液使用の場合の混合割合は、丹那隧道の例に見るに、水 100 liter に對し硅酸曹達 4 gr と硫酸礬土 3 gr 位の割合が最もよろしい、注入に當つては、もつと濃い液を準備しておき、使用前薄めて使ふのが便利である。硫酸礬土は非常に酸性強く鐵製の器物を腐蝕するから注意を要する。

薬液の使用に當り、兩者を反應せしめたるものを注入すると、兩者別々に注入して、地中に於て反應せしむるとの 2 者がある。後者の場合には單なる溶液である爲、水の滲透し得る所へは何處にでも滲入し、爲に如何なる微細な龜裂をも充填すると稱して居る。然し兩薬液は接觸した瞬間に反應するから、一方の薬液のみは微細なる龜裂中に分布するも、次に來る他の液は既にその龜裂の入口で反應する故、膠狀態が龜裂中に滲入し得る程度は、最初より反應せしめたる後注入したる場合と變化無い様にも思はれる。丹那隧道に於ては湧水は常に流動せるものであるから、兩者別々に注入する時は流出浪費せらるゝ恐れがあると考へ、専ら反應せしめたるものを注入する事とした。

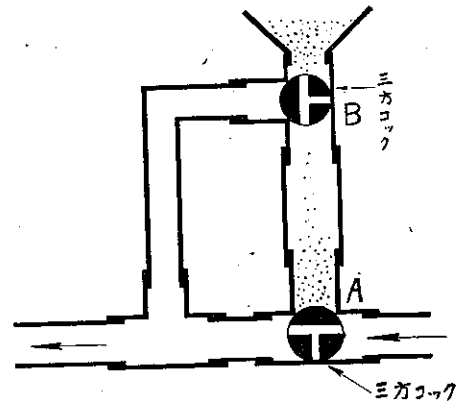
この薬液は糊狀の如きもので、水分多い所では決してセメントの如き固結を望む事が出来ない、従つてこれが使用にはセメント乳の滲入に對する滑潤劑としての價値を主として考へ、極微量にして到底セメント粒子の入り得ない部分のみ、薬液を以て充填する考への下に工事を施行すべきである。

第 3 章 注入作業

第 1 節 注入壓力

セメント乳注入の狀況を検するに、ポンプに依り注入せられたる液は、湧水の壓力と裂罅壁の摩擦に打ち勝つて奥へ奥へと滲入し、その極端に於て最早滲入の力を失ひたる時、始めて裂罅内に沈澱し始める、併し注入液相互間の摩擦は、注入液と壁面とのそれよりも少であるから、壁面に接する部分が沈澱し始めても、中央部に位するものは、尙も奥へと滲入し得る譯である。斯くの如き状態にて注入作業を續行する時は、裂罅は漸次充填せられて、濾過池 (filter bed) を形成し、そのため層狀をなして沈澱して居るものである。次に尙も作業を續けて居る中、沈澱液

第 6 圖 砂入装置圖



は漸次濃厚となると共に、ポンプの壓力も上昇し來り、最後に強烈なる壓力の働くと共に沈澱液内の水分が絞り出 (squeeze out) されて、緻密に裂罅内を充填するに至るのである。

従つて注入壓力は

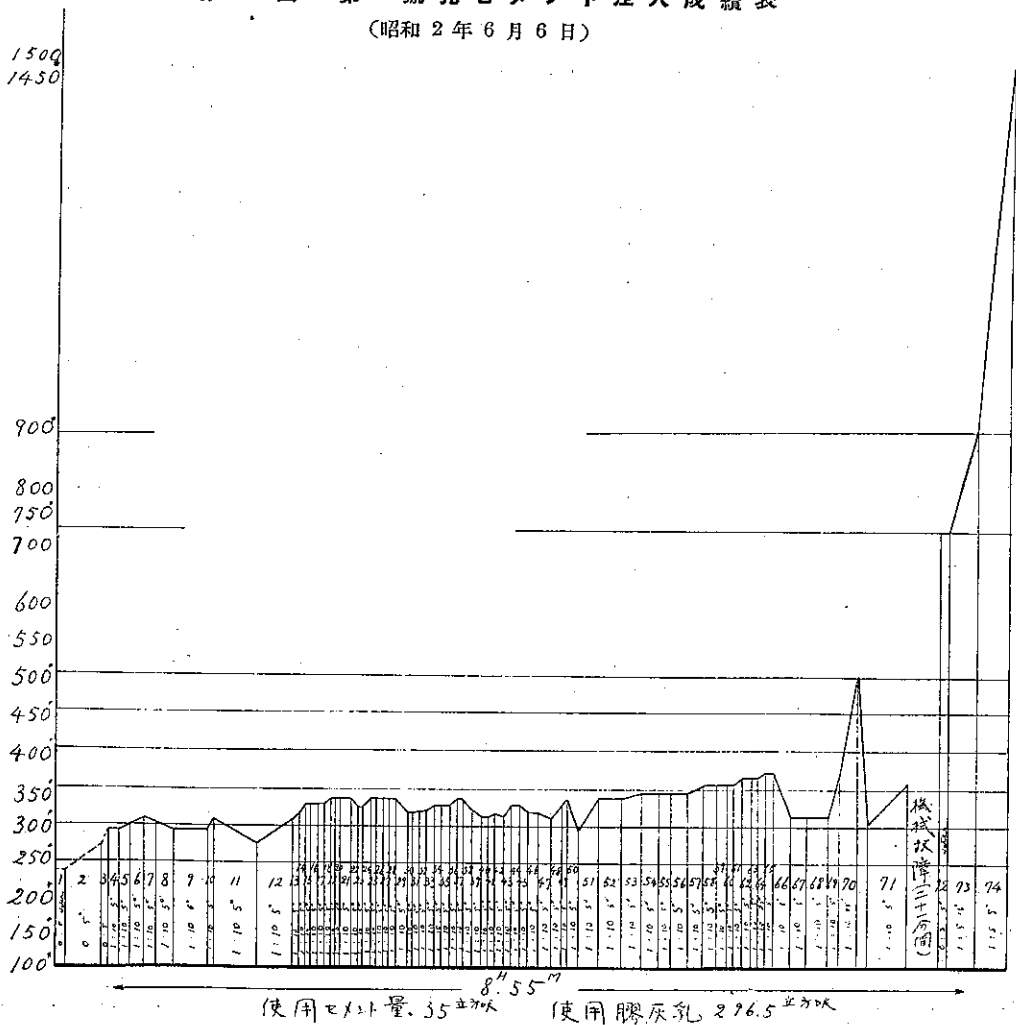
$$\text{注入壓力} = \text{湧水壓力} + \text{裂罅壁の摩擦力} + \text{水を絞り出す力}$$

となる。最後の水を絞り出す力の加はる頃は、裂罅内は殆んど充填されて居る爲、巨大なる壓力を要求する。普通 1500~2000 lbs/in² の壓力を使用するのはこの目的の爲である。

セメント注入に先立ち藥液を注入したる場合も、注入の状態は前同様である。而して裂罅壁に對する摩擦はセメント乳に比し、藥液の方が僅少であるから、注入の跡を見るに何時も壁面には、藥液が附着し中央部にセメントが層状をなして賦存するを見るのである。この點より見ても藥液の滑潤劑としての効能が首肯出来る。

然らばこの注入に要する壓力が、どれ程必要かと言ふに、東口 9000 ft のセメント乳のみ注入したる場合の例を見るに、第 7 圖の如く大部分のセメントは 300~400 lbs 程度で注入せられ、400 lbs より 700 lbs 位迄は壓力

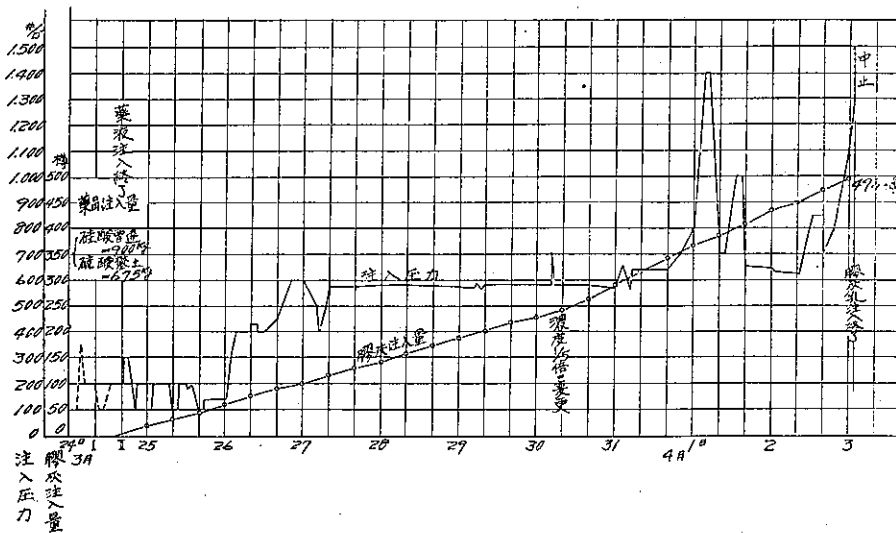
第 7 圖 第 1 號孔セメント注入成績表
(昭和 2 年 6 月 6 日)



の上昇急となり 700 lbs を越す時は急激に 1000 lbs 以上に昇騰するのである。同一箇所の他の例を見るも、セメント注入量に大小の差があるが、壓力の上昇具合は略同様な傾向をたどつて居る。薬液注入を併用した東口 10000 ft の例を見ると、最初は 100~200 lbs の間を往來して居たが、やがて 600 lbs 近くに上昇して大部分のセメントは注入せられ、600 lbs を越すと共に、急激に 1400 lbs に上昇して居る、これ等壓力の上昇は漸増的でなく常に上り降りし乍ら増して行くのは、一旦沈澱した注入液が壓力の上昇と共に再び移動せられて奥の廣い罅裂の部分に追ひやられのるので、その際壓力がやゝ低下し、その廣い部分が充填せらるゝと共に、再び上昇の経路をたどるのである。

第 7 圖の場合、湧水壓は 300 lbs 位で、セメント乳は最初それよりやゝ高い壓力で注入せられて居る、第 8 圖の 10000 ft の場合は水壓は 200 lbs 以下と考へられて居るが、大部分のセメント乳が 600 lbs 近くにて注入せられた理由を考へると、前者にあつてはセメント乳は、裂罅内に沈澱し始めると共に、漸次濃厚な液と成るが、同時に摩擦も増すから、セメント乳を更に奥に移動せしむる事困難のため、壓力の大部分は水分を絞り出すに用ひられて急激な昇騰となるに反し、後者にあつては薬液の存在するため續行注入せられたセメント乳は、摩擦少きを以て、更に奥方に移動せしめられる事多く、その爲 600 lbs 附近にあつても急激な上昇を見ずして最後に移動せしむる力盡きたる所で、水分の絞り出しとなり前同様の高壓に昇るに至るものと解せられる。但しこの事は唯 1 回の例より見て判断せるものであるから、獨斷に過ぎるかも知れない、眞否は今後の經驗に待たねばならぬ事勿論である。

第 8 圖 第 2 回 No. 6 孔 注 入 状 況 圖



以上の結果より見るに、注入液の大部分は大體 500 lbs 迄にて注入せられ、それ以上の壓力は最後の仕上げをなすに用ひられるものとして考へて良い、従つて注入ポンプは同一馬力の原動機を用ふるものとすれば、最初 500 lbs 以下の場合には容量を大にして急速に裂罅を充填するを目的とし、500 lbs 以上は容量小となるも壓力の大となる事が望ましい、次に述べる注入ポンプの中最近製作せるものは、この趣旨に合して、作つたものである。

第 2 節 注 入 機 械

注入機械として使用せらるゝものに、直接壓搾空氣に依り吹き込むものと、水壓ポンプに依り注入せらるゝものの 2 様式がある。直接壓搾空氣に依るものは caniff mixer と稱せられ、第 9 圖の如き構造で、耐壓 100 lbs, 300

lbs, 600 lbs, の 3 種類のもが製造されて居る。その構造は第 9 圖に於て、B より壓搾空氣が供給され、始め A なる蓋を開きセメント、水、砂の如き材料を入れ、C、F の瓣を閉し、D を開く時は、空氣は下部に存する轉向裝置 (deflector) を通じて圓筒内に入り材料を攪拌混合する。充分混合を終つた後、D を閉ぢて C を開き、同時に H なるハンドルに依り F を開く時は、圓筒内の材料が壓搾空氣に依り下部より吹き出されて、遠く目的の箇所に運ばれる。

この caniff mixer に依る式のもの、構造上可動部分が無いから機械に依る故障の少い事と、微粒のものは勿論、砂の様な粗粒のものに至る迄、自由に使用し得るのが大利點である、併し作業が間歇的となる爲、一度吹き込まれた材料が逆流する憂ひがある(2 臺の機械を交互に使用する事に依り間歇的になる事は或る點迄救ふ事が出来るが)、又最初から高壓を以て吹き込まれるため隔壁附近の弱點が吹き破られて、處置に困る事がある。堰堤の漏水を防止するための注入等に於ては、隔壁を作る事を得ざるため、地盤が破壊されて非常に困る事があるから、この場合には、直接壓搾空氣に依る方式は、絶対に禁物である。又一度に多量の材料が押しよせるため、狭少なる裂隙に迄行き渡らせる事は出来ない、尙普通坑内に於て使用する壓搾空氣は 100 lbs であるから、300~600 lbs のものを使ふには、プースターを用ひて壓力を上げるか、高壓の壓搾機を特に準備しなければならない。

以上の様な不利の點が多いので、この式の注入は、隧道覆工の裏込とか、隔壁背後の空所の充填とか、特別大きな間隙を充填する場合には使用せられるが、目下問題とせる注入作業の場合には推奨し得ないものである。

水壓ポンプ式に依るものは、原動力として壓搾空氣に依るもの、電力に依るもの、壓力水に依るもの等があるが、何れもプランジャー・ポンプに依り、注入液を混合槽より吸ひ込み押し出す式のものである。

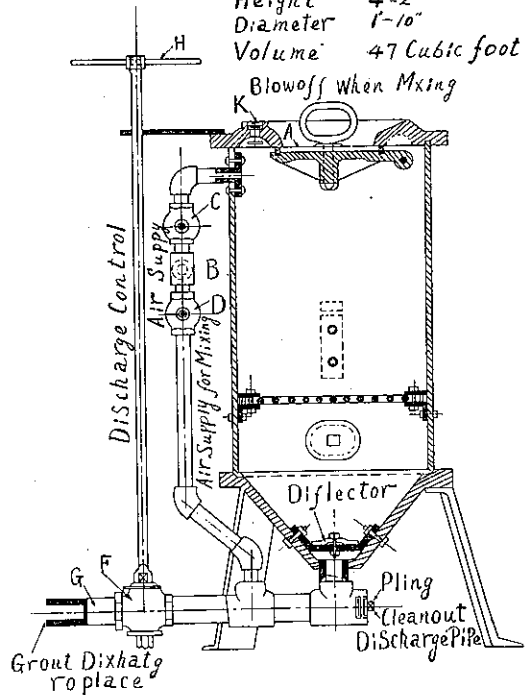
この式に於ては材料は連続的に注入せられ、壓力は充填の抵抗に従つて増して行くから、隔壁附近に弱點があつても、注入液の漏洩に依つて直に處置し得るから破壊に迄行く恐れがない、壓力も 1500~2500 lbs の如き高壓を容易に得られ且つ空氣の場合の如き爆發の危険を伴わない、唯砂の如き材料を直接注入液に添加出来ないが、この點も特別の添加裝置を使用するか、或は鋸屑の如き物を使用する事に依り解消される。何れの點より見るも完全なる注入作業は水壓ポンプ式に依るを理想とする。

丹那隧道に於ては種々のポンプを使用した、その経過は注入作業の進歩を語る一手段ともなるから、此處に説明して見る。

第 9 圖

Ransome Canniff Grout Mixer
 Made by Ransome Concrete Machinery Co.
 Dunellen New Jersey U. S. A.
 Vertical Cylindrical Air Mixing Apparatus

Height 4'-2"
 Diameter 1'-10"
 Volume 47 Cubic foot

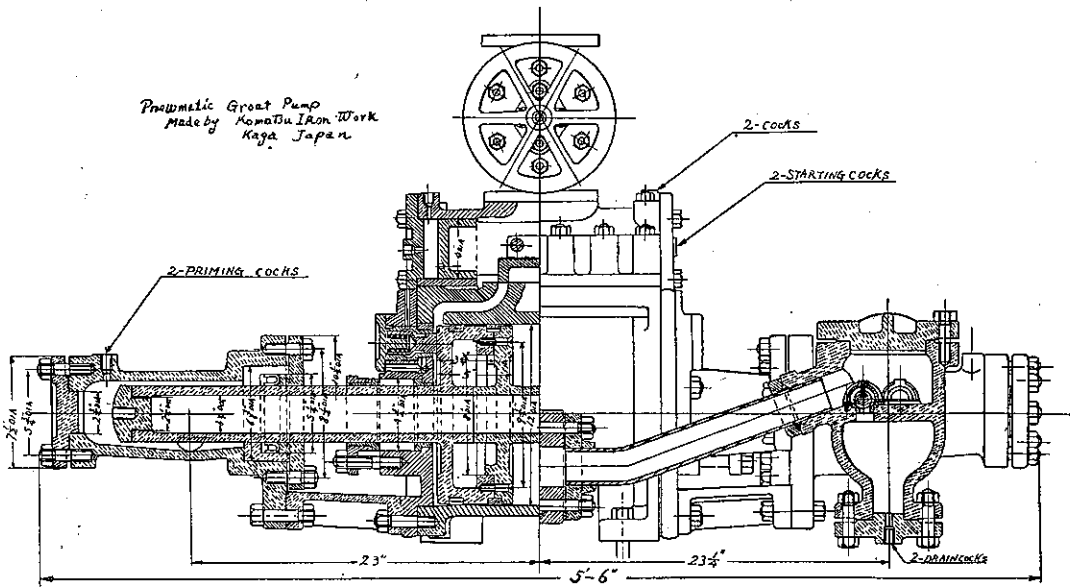


(1) 壓搾空氣に依りポンプを運轉するもの

丹那隧道に於ける注入作業の始まりは、西口 4950 ft の斷層箇所であるが、その際セメントだけでは粘土を固める事が出来ないのを知つて、鹽化カルシウムと硅酸曹達の混合液を使用する事とした、その際使用した注入ポンプは、第 10 圖に示す如きもので、100 lbs の壓搾空氣により中央部分のピストンを動かし、それに依つて兩側にある注入ポンプを動かす事になつて居る。その機能を擧げると

| | |
|------------|--------------------------|
| 注入に要する空氣壓力 | 100 lbs/ in ² |
| 注入壓力 | 500 lbs/ in ² |
| 容量 | 毎分 5 ft ³ |
| 行程數 | 毎分 60 |
| ピストンの徑 | 12 in |
| グラウト・ラムの徑 | 3 $\frac{3}{4}$ in |
| ラム口徑 | 9 in |
| 吸入口徑 | 2 in |
| 吐出口徑 | 2 in |
| 空氣供給管徑 | 3 in |
| 氣筒中心高 | 8 $\frac{1}{2}$ in |
| 全寸法 | 3'-5" x 5'-8" x 3'-7" |

第 10 圖



東口 11200 ft の斷層に於ても、都合上已むを得ず、この機械を使用し藥液セメントを注入したが、セメントは斷層粘土中にも滲入して分布状態は甚だ良好であつたが、壓力 500 lbs 迄であるため、最後の押しが足りなかつたと見え、殆んど斷層終りに於て小崩壊を惹起せしため、無事掘鑿したる後部に迄も地山を緩めて、漸次崩壊を大にし、遂に掘進不能に陥つた事がある。注入作業を施行して、掘進出来なかつたのは、この坑道 1 箇所だけであるが、この際今少し壓力をきかせておいたら失敗しなかつたと考へる。

〔2〕 電動機に依り壓力水を作り、これによりポンプを動かすもの

東口 9000 ft の注入に際しては、水壓 300 lbs もあり、前者より高壓の機械を要求したので、瑞典ダイヤモンド・ボーリング會社製の高壓注入機械を購入した。これは第 12 圖に示す如きもので、電動機に依り、先づ壓力水を作るポンプを動かす、この壓力水に依つて注入ポンプを動かすものである。これは後に述べる電動機に依り直接注入ポンプを動かすものに比し、廻りくどく又力の効率から言つて損の様に思へるが、注入壓力の不意の變動に依る衝動を緩和する意味に於て設計されたものと考へられる、壓搾空氣に依る注入ポンプも、この點から言へば同様に、フランソア注入會社に於て使用するものは常にこの型式の様である。本機の機能は

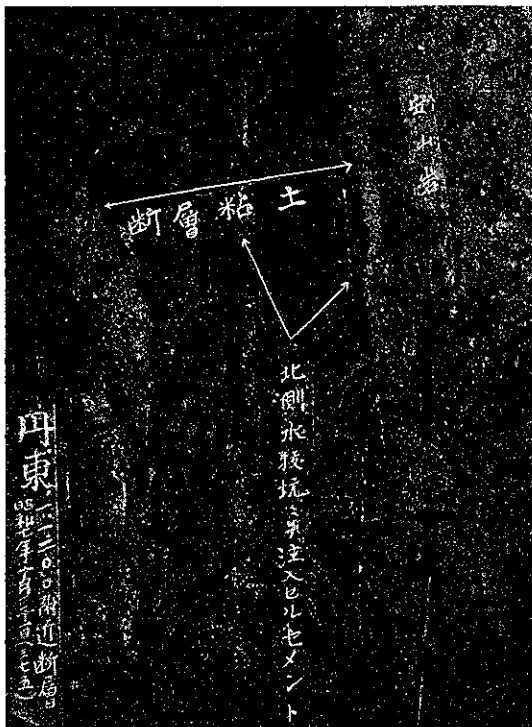
A. セメント注入機械

- 型式： A 2型, 全寸法： 0.635×0.406×1.726 m
- 注入壓力： 100 氣壓, 最大能力： 毎時 1.0 立 (壓力 100 氣壓の時)
- セメント乳入口徑： 31 mm
- セメント乳出口徑： 24 mm
- 壓力水入口徑： 20 mm., 壓力水出口徑： 15 mm

B. 水壓唧筒

- 型式： 三聯式, 全寸法： 1.008×1.006×1.388 m.

第 11 圖 丹那隧道 11 200 ft 附近斷層箇所にて於て施行せるセメント注入の狀況



第 12 圖 瑞典ダイヤモンド・ボーリング會社製高壓注入ポンプ



| | |
|--------------|--------------------------|
| 最大壓力： 150 氣壓 | 轉回数： 毎分 100 |
| ピストン徑： 36 mm | 行程： 63 mm |
| 馬力： 7 馬力 | 調車： 徑 1.006 m × 幅 0.14 m |

C. セメント混合機

| | |
|------------------------------|---------------------|
| 全寸法： 0.864 × 0.933 × 1.440 m | タンク容量： 280 立, 230 立 |
| 回轉數： 130 毎分 | 馬力： 2 馬力 |
| 調車： 徑 0.40m, 幅 0.095 m | |

D. 3 相誘動電動機

| | |
|--------------|--------------|
| 製作所： 芝浦製作所 | 電壓： 200 V |
| 周波數： 50 サイクル | 回轉數： 毎分 1440 |
| 馬力： 10 馬力 | |

この機械は容量少き爲、注入に徒に時間を要する、そのため作業初期にあつては、caniff mixer を以て 300 lbs 位迄充填し、それ以上の壓力になつた時この機械を使用する事にしたが、その中次の如き機械を使用する事になつて、この機械は使はれなくなつた、併しこの附屬品たる混合機は上下 2 段より成り、下段の分が注入せられて居る中上段で次の注入液を準備する様になつて居て甚だ便利であるので、その後も常に使用せられた。

(3) 電動機に依り直接ポンプを運轉するもの

注入作業に於て注入せられるセメントの量は、時として數百樽より數千樽に及ぶ事がある。斯様な時上記の様な容量の少さい機械では、徒に時日を要する外、最初に注入せられたセメントは豫定の地點に達せずして既に硬化し去り、施行の完全性の點から見ても疑問とせられる。この點より見て當時盾構工事に準備したる水壓ポンプを改造しこれを注入機に利用する事とした。

| | |
|------|---------------------------|
| 型 式 | 三聯ブランヂャー式 |
| 容 量 | 毎分 3.2 ft ³ |
| 最高壓力 | 2 000 lbs/in ² |
| 動 力 | 20 馬力電動機 |

この機械に依り容量は大となつたが、ブランヂャー、バルブ、バルブ・シート等はセメント乳のため摩滅する事多く、殊にバルブ・シートは 2, 3 時間の注入で摩滅する有様で、取換へに時間を空費し、その間注入は中斷せられるため、これ亦面白くない事であつた、尙この機械は注入用として特別作つたものでないため、坑内に於て使用するに脊高く、齒車装置に依り廻轉するため、騒音多く感心出来なかつたので、最後に従來の經驗を基として、第 13 圖の如きものを新に設計製作せしむるに至り、此處に理想に近きものを所持するに至つた。その機能は、

| |
|--|
| 型式： 三聯ブランヂャー式 |
| 能力： 高速 0.16 m ³ /分, 低速 0.06 m ³ /分 |
| 壓力： 高壓 105 氣壓, 低壓 40 氣壓 |
| ブランヂャー： 直徑 76 mm, 衝程 150 mm |
| 往復回数： 高速 80 回/分, 低速 30 回/分 |
| 電動機： 20 馬力 |

型式は全體として横型として、全寸法は、長 3.270 m × 幅 1.160 m × 高 0.807 m となり坑内に使用するには、坑車上に据付けたまゝ据付移動し得る事となつた。

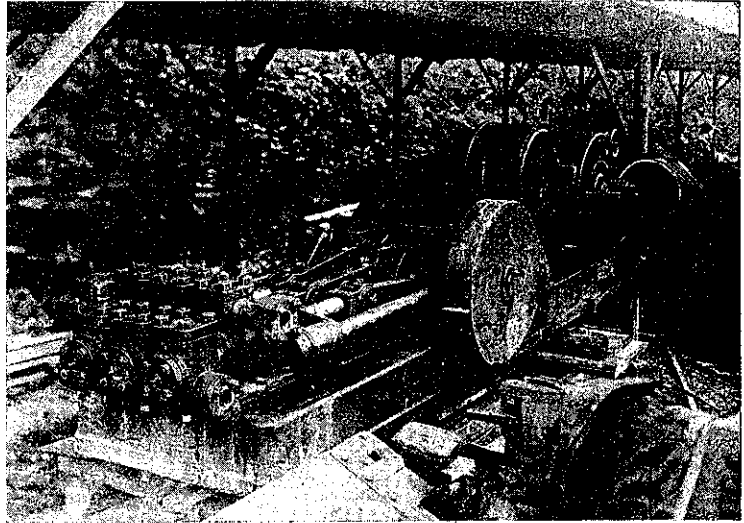
先に注入壓力の場合説明した様に、注入の大部分は 500~600 lbs 邊り迄に於て行はれ、それより上は唯液中の水

分を絞り出して緻密な質とする最後の仕上げに使用されるに過ぎない、故に同一の電動機を使用する關係上、上記
 壓力迄は速度を急にして注入量を増大し、この壓力を超過し始めると共に、低速に切りかへて、注入量を減ずる代り
 に、壓力を増加せしむる事が望まし

い。この理由に依り新式機械（第
 14圖参照）に於ては、40 氣壓迄は
 注入容量毎分 0.16 m^3 を有る代り、
 それ以上の壓力になれば 0.06 m^3
 に減じて、105 氣壓迄上昇し得る様
 になつて居る。

又従來の機械の故障部分に鑑み、
 バルブ・シートは ニッケルクロム 鋼
 を焼入して硬度極めて高きものを
 使用し、そのため摩擦は極度に減少
 し、ブランチヤも亦故障多い部分
 であつたが、これにも同様の材料を
 使用して良成績となつた、效力の傳
 達には従來の騒々しい齒車裝置を廢して、V ベルトを用ふる事と成り騒音のうるさくからも免れるに至つた。

第 14 圖 最新式注入ポンプ



第 3 節 注入作業

作業に當り坑内に設備すべきものは、注入機械、混合機、セメント
 篩場、セメント及び藥品の貯藏場及び給水裝置である。注入機械は
 注入の狀況に應じ臨機之處置を要するから成るべく現場に近く位
 置せしめた方が良い、その他は適當に配置する。

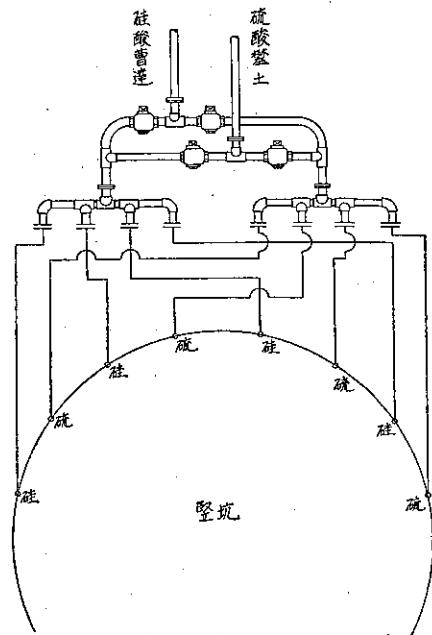
注入に當り注入孔 1 個宛注入して行く方法と、數個の孔を同時
 に注入する方法とある。前者の場合にはその孔の注入に依つて隣
 接せる注入孔を閉塞してしまふ心配がある。後者ではその心配な
 く、又兩方の孔の中間の部分は兩方よりの壓力を受けて好影響を生
 ずるものと思はれるが注入容量の少ない機械では 1 個の孔に行く
 注入量は少くなり、従つて注入壓力の低下も早く、豫定の地點に行
 く力を失ふ事も考へられる、丹那隧道の場合には常に 1 個宛注入
 する方法を採つた。

藥液の注入に於て兩液を別々に注入する場合には、第 15 圖の如
 く鐵管を連結し、途中にて瓣を切りかへて、兩液の入口を交代せし
 むるのが、便利な裝置である。

第 4 節 注入量

大なる裂罅又は數多の龜裂に遭遇せる注入孔は、湧水量多く従つ

第 15 圖



て斯様な孔には注入量も亦大となるべきものと豫想されるが、裂隙の性質、地下水の運動方向、注入の順序状態等に依つて屢々豫想を裏切られ、その間にある關係を求めんとする事は無理の様である、故に今從來の注入作業の例を擧げてこれを説明し、合せて今迄説明し來つた作業の締めくゝりとする。

(1) 丹那隧道東口 9200 ft 注入作業

9000 ft 附近に於て施行せる注入作業の中第 4 回目に相當するもので、該部分注入作業も稍々經驗を得た頃である。

(イ) 地質狀況 底設導坑 9183 ft に於て試錐を試みたるに、

| 試錐孔深 | | 地質狀況 | 湧水量 |
|----------------|-----------------|--------------|-------|
| 自 (ft) 0 | 至 (ft) 13 | 堅緻 | 僅少 |
| 13 | 15 | 多孔質節理多し | 0.5 個 |
| 15 | 23 | 稍堅緻 | 僅少 |
| ×23 | 30 | 多孔質軟弱にして龜裂多し | 2.0 個 |
| 30 | 43 | 堅緻 | 1.2 " |
| ×43 | 62 | 軟弱にして龜裂多し | 2.1 " |
| 62 | 76 | 堅緻 | 僅少 |
| 76 | 79 | 軟弱にして龜裂多し | 0.5 個 |
| 79 | 90 | 堅緻 | 僅少 |

上表並に第 16 圖に依り 23~30 ft, 43~62 ft 間は脆弱にして節理の多い事は試錐中の手筈へ並に湧水の多量な事に依り推測出來た、この區間の湧水量は各 2 個であるが、從來の經驗に依ると導坑掘鑿後湧水量は試錐孔よりの湧水の 2~3 倍に昇るのが常であり、又斯様な地質の所を多量の湧水を浴びて、安全な掘進は到底望まれないから、以上の兩區間に注入作業を與ふ事と成り、先づ第 1 回目として 23~30 ft 間の硬化を目的としたのが例示の場合である。

(ロ) 注入計畫 膠結すべき範圍を導坑の外周約 10 ft とし、注入孔より分布せられる範圍を 3 ft とした、従つて注入孔は 15 本必要となる。注入孔は 2 重の半圓形に沿ふて配置し、内側 5 本外側 10 本とし、深さは外側を 27 ft 内側を 29 ft を標準とした、切羽より 13 ft 間は堅緻にして逆漏のおそれ無き故、それを隔壁に利用する事とし、尙出來るだけ目的箇所に近づく方が便利であるから、切羽を前進せしめて、結局堅固なる安山岩 7 f.t. を残して隔壁とし第 3 圖に示した基礎鐵管をとりつけた。

穿孔と注入とは次の順序に依り行ふ事とした。

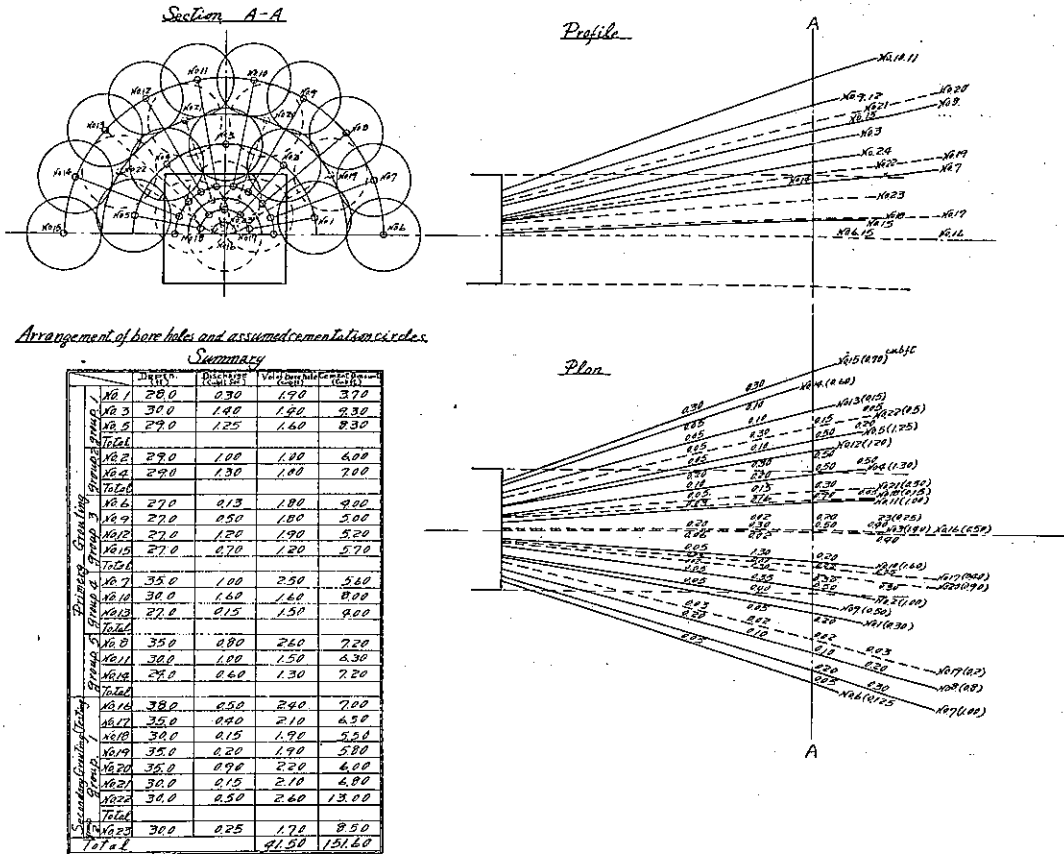
| | |
|-------|------------------------------|
| 第 1 回 | No. 1, No. 3, No. 5 |
| 第 2 回 | No. 2, No. 4 |
| 第 3 回 | No. 6, No. 9, No. 12, No. 15 |
| 第 4 回 | No. 7, No. 10, No. 13 |
| 第 5 回 | No. 8, No. 11, No. 14 |

以上の注入した後、更に No. 16~No. 22 の 7 孔を調査用として穿孔し、その成績を見たる後良好なる時は直に掘鑿に移り、不良なる時は該孔をも注入したる後更に成績を見る事とした。

これが成績表は第 16 圖に示す如くである。即ち注入量と湧水量との間には、適切な關係を求むるに困難であり、又試験孔に依る結果は最初より減少して居るとは言へ尙相當の湧水ある事が判る。これは大なる裂隙は充填

せられるも、小龜裂にセメントの分布せざる事を示すもので、この箇所の様に小龜裂の網狀に賦有する所ではセメント液のみでは完全なる防水は出来難い様である。

第 16 圖



併しこの注入後も試錐孔より湧水あり、又掘進に當りても相當の湧水ある事より、注入法の無効を言ふ人もあるが、今 9200 ft より 9300 ft 間に於ける、導坑の進行に伴ふ湧水量の増加を見るに注入區間の導坑 100 ft の進行に對し湧水の増加は 36 個なるに對し、9250 ft 以奥注入せざりし部分は、同じく 12.5 個を示す事より注入區間は増加の著しく少い事が判り、且注入區間は裂罅極めて多き安山岩で、奥方の集塊岩に比し常に湧水の過多を訴ふる所である點より見るも、注入に依つて湧水は著しく防止せられ、併も崩壞の起因をなす大裂罅は完全に充填せられたるため、掘進に於て何等の事故なく進出し得たものと考へざるを得ないのである。

(2) 丹那隧道東口 10000 ft 附近注入作業

丹那隧道東口 1000 ft 附近に於て、北側水抜坑は斷層に會し 3 個の迂回坑を掘進したが、すべて崩壞せられ掘進不能に陥りたるを以て、新に北側に水抜坑を迂回せしめ此處で注入作業を施行する事とした。

(1) 地質狀態 試錐に依り調査したる結果は、斷層部分の厚さ約 40 ft で、本線と殆ど直角の方向に走り、地質

は安山岩の破碎せるもので、その奥に堅固な集塊岩のある事を知つた、故に不良地帯 40 ft 間に互り注入する事とし、尙前記 9000 ft 附近斷層の經驗より見て、藥液使用の必要をさと、これを實行して見る事にした。

(ロ) 注入作業 注入の計畫は第 5 圖に説明した如き配置となし、斷層不良箇所は約 40 ft 間であるから、最初先づ手前 20 ft 間を注入硬化し、次に同一注入孔を穿孔して第 1 回注入箇所を調査しつゝ、更に深孔を穿ちて奥方を硬化せしめんと試みた。

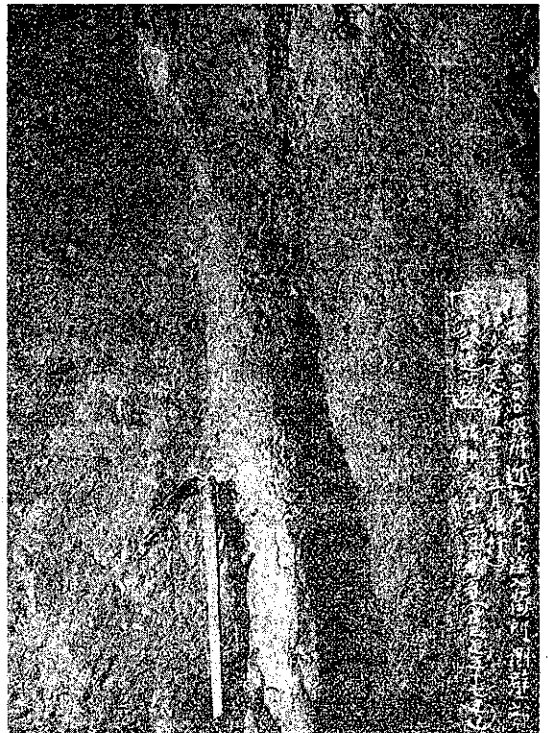
第 1 回注入の結果は次の通りである。

| 注入孔號番 | 孔深 (ft) | 湧水量 (個) | セメント量 (樽) | 藥液量 | |
|-------|------------|------------|--------------|----------------|-------------|
| | | | | $Al_2(SO_4)_3$ | Na_2SiO_3 |
| No. 1 | 47 | 1/32 | 0 | 4 355.4 | 5 638.5 |
| No. 2 | 43 | 1/20 | 0 | | |
| No. 3 | 32 | 1/30 | 0.3 | 0 | 0 |
| No. 4 | 33 | 1/25 | 9.2 | 0 | 0 |
| No. 5 | 44 | 1/6 | 0.5 | 0 | 0 |
| No. 6 | 32 | 5/6 | 0 | 0 | 0 |
| No. 7 | 38 | 5/7 | 21.3 | 0 | 0 |
| No. 8 | 49 | 1/25 | 207.0 | 0 | 0 |
| 合計 | | 1.9 | 238.3 | 4 355.4 | 5 638.5 |

藥液の注入に當り注意すべきは、これを餘り入れ過ぎると、裂隙内は濃厚なる藥液に専有されて、續いて注入すべきセメント乳が入り得なく成る。藥液それ自身は糊状のもので、戸外に於ては乾燥して相當固くなるが、坑内に於てはベトベトして固くならないものであるから、これのみで専有されて居る場合は、掘鑿に當り壓力ある湧水に押し出されてしまふ事となる。第 1 回注入に當りこの藥液の注入程度不明なる故、先づ No. 1 に出来るだけ注入する事とした。各孔は互に連絡あるを以て、No. 1 より注入せる藥液は注入孔全部に漏洩する事に依り、豫定範圍全部に藥液分布せられたるものと認め、壓力 200 lbs になる迄約 10 ton の藥液を注入した。注入結果を見るに殆ど No. 8 に依り注入せられたるを見るべく、その注入成績表は、No. 8 號注入の終り頃、隔壁より漏洩し始めたため、豫定壓力に迄昇げ得なかつたが、その壓力上昇の具合は前に説明せると同一傾向をたどつて居る事が判る。

以上の作業の次に第 2 回の注入を試みた。その成績は

第 17 圖 丹那隧道東口 10 000 ft 附近斷層に於ける注入作業に依り側壁部に現われたる注入帯



| 注入孔番號 | 孔深 (ft) | 第 1 回に比し 孔深の伸長 | 湧水量 (樽) | セメント (樽) | 硫酸曹達 | 硫酸礬土 |
|-------|---------|-------------------|---------|-------------|-------|-------|
| No. 1 | 48.0 | 1.0 | 1/165 | — | — | — |
| No. 2 | 48.5 | 5.5 | 1/16 | — | — | — |
| No. 3 | 33.0 | 1.0 | 1/114 | — | — | — |
| No. 4 | 34.5 | 1.5 | 1/72 | — | — | — |
| No. 5 | 56.0 | 12.0 | 1/15 | — | — | — |
| No. 6 | 44.0 | 12.0 | 1/17 | 493 | 900 | 675 |
| No. 7 | 48.0 | 10.0 | 1/9 | 20 | 900 | 675 |
| No. 8 | 69.0 | 20.0 | 1/4 | 45 | 2 045 | 1 533 |
| 合計 | — | — | 1/2 | 558 | 3 845 | 83 |

第 2 回目には先回の失敗に依り、薬液の注入は壓力の上昇せない中に止め、湧水量の割合より考へて、No. 8 には硫酸曹達 8 樽の割合に No. 6, No. 7 は 3 樽の割合で注入する事にした、3 樽にしたのは別に深い意味があるわけではなく、丁度 1 交代分の注入量に當るからである。注入は湧水の最も多い No. 8 より始めたのであるが、注入量意外に少く、次いで行つた No. 7 も豫想程入つて呉れないのでやゝ悲觀したが、No. 6 に於て意外に良成績を得、これよりの注入に依り他の孔は完全に充填せられたのを知つた。

(ハ) 注入成績 この際に於ける注入成績を調べるに、第 1 回の注入に於て薬液の分布多すぎたため、セメントが餘り入らなかつた、No. 1, No. 2, No. 3 は第 2 回目の穿孔に於て、鑿岩機のビット (螺旋錐) を喰はれる事多く、第 1 回穿孔時に比し、好轉せる傾向のない事は上記成績表に見る孔深の伸長度からも見られる、これに反し No. 5, No. 6, No. 7, No. 8 は、孔深 10 ft 以上伸長し得、殊に多量のセメントを注入せし No. 8 は 20 ft 以上伸長して、最奥の注入不充分なる部分に至りて、まとまつた湧水を見るに至つたのである。

第 2 回目の注入後 No. 1, No. 10 を調査用として 98 ft 穿孔したが、湧水僅少にして完全なるを知り掘進に移る事とした。

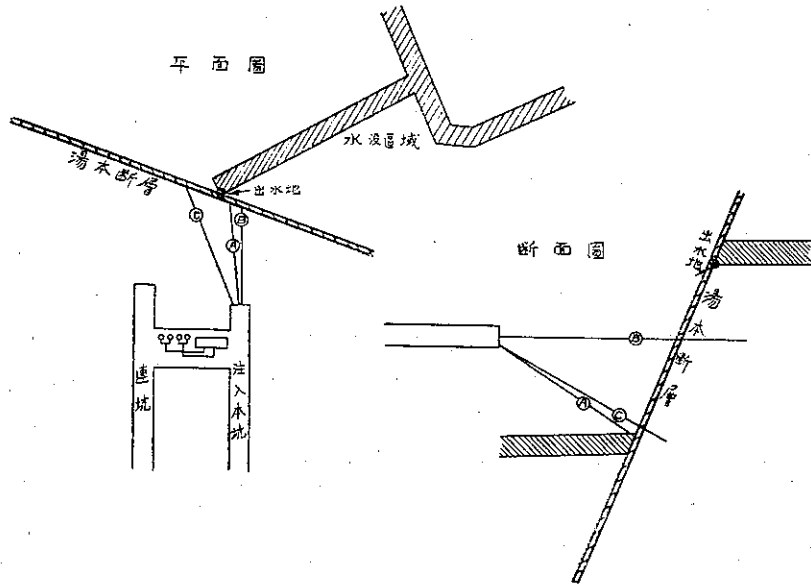
掘鑿に依る結果に見るに No. 1 附近薬液分布過多であつた部分は少し崩壊した、併しこれは左側壁下部であつたため、掘進には大して障害とならず、他の部分は極めて細い龜裂に至る迄完全に填充されて、斷層區間は支保工を要せざる程に固まり、又一滴の湧水すら無き有様であつた、この安山岩部分を過ぎ、奥の集塊岩に入るに及んで、セメントの分布無く、ために普通坑内に於て會する湧水を見たのである。

(3) 綴炭坑に於ける薬液セメント注入作業 常磐炭田に於ては、大小無數の斷層あり、坑道がこれに會し多量の温泉の出水を見、遂に廢坑の已むなきに至つたものも多數ある。綴炭坑に於ても大正 2 年 5 月出水の災厄に會ひ、面積 123 000 坪、この炭量 734 000 ton を水没せしめたのである。

この水没區域に對し出水箇所たる、湯本斷層に注入を施行し、湧水を防止したる後、埋設せる石炭を再び移り行せんと試みたもので丹那隧道以外の例として上げて見る事とする。この斷層は數條の階段斷層より成り、斷層面には多くの礫粘土を含み、その質軟弱で容易に温泉を湧出するものである。

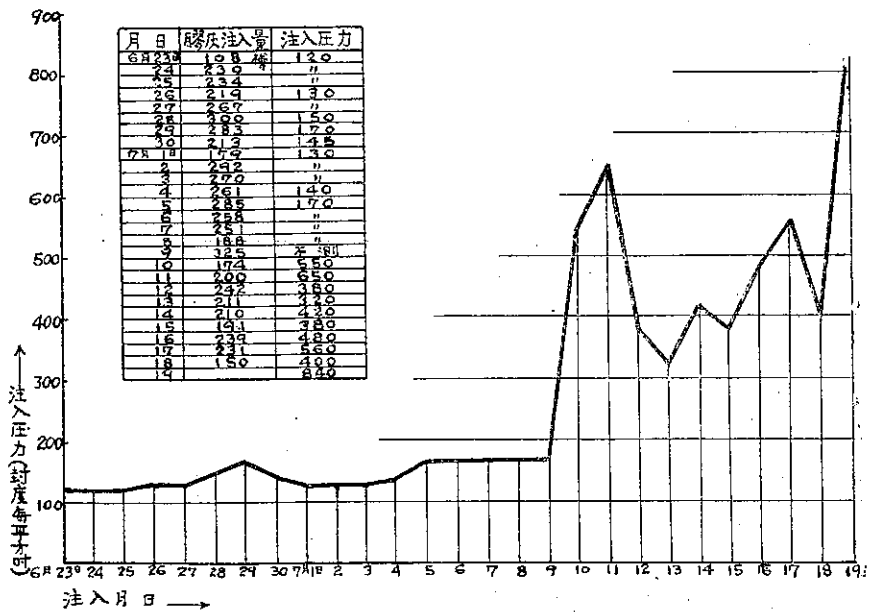
注入孔は A, B, C の 3 個とし、A 孔は切羽の中心下盤より 28 度の傾斜に、B 孔は A 孔より 3 ft 上に水平に、C 孔は A 孔より平面角度南 25°、傾斜 26° に穿孔し、各孔は約 10 ft を穿孔して長 6 ft の基礎鐵管をとりつけ、薬液は連坑よりの穿孔に依り、注入豫定區域に注入したる後、A, B, C の各孔にセメント乳を注入した。A 孔は孔深 42 ft にして 0.8 個の水に會し、直に注入に移つたが、注入箇所附近の水壓 113 lbs に對しそれよりやゝ高い壓力に於て注入せられペロ・セメント 66 樽を注入した時機械に故障を生じて中止した。B 孔は孔深 50 ft

第 18 圖 注入孔附近圖



にて豫定断層地點に達せるも、A 孔よりの注入セメント賦存してその先 15 ft を穿孔せしも湧水無きため C 號の穿孔に着手した、C 孔は 52 ft にて 1.7 個の出水あり、直に注入に移りたるに萬事順調なる作業を見、640 時間互り濃度 1:3 の液を以て 6001 樽注入し得た、その成績は第 19 圖に示す如くであつてその注入状態は既に説明せる場合と、類似である事を發見する。

第 19 圖 C 孔注入狀況圖



以上の作業に依り、斷層よりの湧水は全く阻止せられ、長く埋設せられたる財費を、世に出す事を得た計りでなく、経費として要する多額の排水費を節約し得るに至つたのである。

第5節 注入費

注入作業に要する費用は、セメント代を主とするものであるが、既述の如く裂隙の性質に依り大差あるため、殆んど豫想不可能である。作業箇所を要する人員は1交代に付、監督員1名、注入ポンプ運轉技工1名及び先手1名、混合機に對し混合機掛1名、セメント供給2名を要し、尙これ以外場所に應じてセメントの運搬人員を配置せねばならぬ。セメントの1交代注入容量は濃度が一定であれば一定であるから、セメント注入量の増加に比例して工費も亦増加するものである。今前掲の東口 10 000 ft の注入の場合及び綴炭坑に於ける費用を参考として擧げると。

(A) 東口 10 000 ft 附近注入作業

| 工事種類 | 坑内 人夫 (人) | 並 人夫 (人) | 大 工 (人) | 斧 指 (人) | 鑿 岩 夫 (人) | 坑 夫 (人) | 金 額 円 | 材料費 円 | 合計 円 | 摘 要 |
|-------|-----------------|----------------|---------------|---------------|--------------------|---------------|-------------|-----------|-----------|-----------------|
| 隔壁築造 | 160 | 24 | 3 | 13 | | 6 | 488.65 | 631.46 | 1120.11 | |
| 第1回注入 | 穿孔 | 36 | | 1 | 36 | | 201.15 | | | |
| | 注入 | 160 | | 1 | | | 379.15 | 2 545.67 | | 材料は主としてセメント及び薬液 |
| | 材料運搬 | 18 | 19 | | | | 78.40 | | 3 204.37 | |
| 第2回注入 | 穿孔 | 36 | | 1 | 36 | | 201.15 | | | |
| | 注入 | 217 | | 5 | | | 525.70 | 3 639.85 | | 材料は主としてセメント及び薬液 |
| | 材料運搬 | 33 | 32 | | | | 138.35 | | 4 505.05 | |
| 調査孔 | 穿孔 | 30 | | 6 | 15 | | 136.65 | 1 300.000 | | |
| | 注入 | 45 | | 1 | 2 | | 115.05 | 238.70 | | |
| | 材料運搬 | 9 | 12 | | | | 43.95 | | 1 824.35 | |
| 準備費 | 56 | 23 | 30 | 6 | | | 232.30 | 1 431.74 | 1 714.04 | 材料費は諸設備代 |
| 跡片付 | 29 | 12 | | | | | 90.95 | | 90.95 | |
| 總計 | 829 | 121 | 34 | 35 | 87 | 6 | 2 681.45 | 11 277.42 | 13 958.87 | |

(B) 綴炭坑に於ける注入費

| | |
|-------------|------------|
| 1. セメント代 | 24 755.900 |
| 2. 機械及びパイプ代 | 34 056.790 |
| 3. 材料費 | 9 370.780 |
| 4. 電力費 | 2 821.370 |
| 5. 工費 | 10 839.000 |
| 總計 | 81 843.840 |

(空気圧搾機及び鑿岩機を除く時は) 47 787.830

第4章 結論

注入作業は變幻極まりない地山を對照物とするものであるから、これに尤もらしい理窟をつけて見ても價值が少くない、要は經驗の蓄積に待つより外ない、而してその効果は丹那隧道に於て明かに認識せられ、今や各方面でその應用を論議せられて居る、今 2, 3 その應用範圍を擧げて見ると。

(1) 九州地方に於ける如き海底下の採炭に於て、豎坑々道の掘鑿に應用し、湧水を防壓し坑内を無水状態とし

て、作業の能率を高め、同時に多額の排水費を節約する事が出来る、關門隧道の建設に於ても當然考へられて好い工法である

- (2) 地下堰堤の築造
- (3) 地下堰堤の基礎に施行して、漏水を防止し、又は core wall trench を掘る如き多額の費用を節し得る。
- (4) 砂、砂利層等に注入して、地盤の支持力を増加せしめる。有名なイタリーのピサの斜塔の基礎に應用して、今日以上の傾斜を防止せんとして居る事が報ぜられて居る。
- (5) 建造物に生じたる龜裂に注入して簡単に修理補強の目的を達する
- (6) 農業に於て灌溉水の滲透率多き地盤を緻密にし、從來の用水量を以て、より廣範圍なる田面を灌溉する事を得ば我國の農業上莫大の利益をもたらすものである。

我々はその應用の擴がる事を希望して已まない。(完)