

一九、セメントの注射

醫學が進んできて、色々な液を身體に注射して病氣を直す様に成りました。セメントの注射はこれを眞似した譯ではありませんが、トンネルの患部ともいふべき、するする崩れさうな軟い山にセメントを注射して固めておいてから、薬に掘り抜け様とする治療法の一つなのです。併し一つの注射薬がどの病氣にでも效くと謂ふわけに行かない様に、此の注射も山の悪い所は何處にでもきくと謂ふわけに行きません。岩の割目等で砂や粘土を餘りかんで居ない所にはきくませんが、粘土や砂の中には入つて呉れません。それで注入がきく山か、きかない山かを見分けるのが、一番大事な事で、注射の上手下手よりも病氣の原因を旨く診断するのが名醫であるのと少しも變りません。

二つの方法

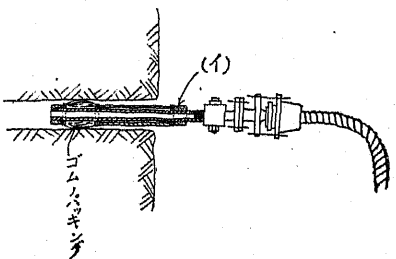
セメント注入といふのは岩の割目に水で溶したセメントを押し込むのですから仲々力が要ります。殊にその割目に含んで居る水が壓力をもつて出ようとして居る時には、此の出ようとする水を先づ奥に押し詰めておいて、セメントを岩の割目に押しこまねばなりませんから、注入の力も益々大きくしなければなりません。此の力を出すのに直接壓搾空氣の力に依ると、色々な動力で動かすポンプの力に依ると、二通りあります。

直接壓搾空氣の力で押しこむものは、米國製のカニフ、ミキサーと言ふ鐵製圓筒形の容器を使ひます。此の中に注入する材料を入れておいて、蓋を締めて一方の口から壓搾空氣を吹き込みますと、片方の出口の鐵管から材料が吹き出されて、其の力で岩の割目等に入り込むのです。此の機械ですと構造が簡單ですから、注入の材料はセメントだけで無く、砂でも火山灰でも使へるのは大變便利です。併し、この作業は一度分の注入材料を入れて吹き込み、又新に材料を入れて吹き込むと云ふやり方ですから、連続的には出来ません。其の爲仕事の目的に依つては、思はずに行かない事があります。又空氣の場合には、始めからすぐ空氣のもつて居る力、即ち押し込む力が全部一邊にかゝつて、ポンプの場合の様に押し込む力が段々にかゝりませんから、うっかりすると、とんだ所から、セメントが急に吹き出して困ることもあります。又壓搾空氣は何時も擴がらう擴がらうとして居ますから、何處かに弱い所が出来ると、其處から爆發して、近所に居る者に怪我をさせることがあるので危険です。又トンネルの中に入った人は誰でも、壓搾空氣が、よく輸送管の途中で洩れてシウシウ噓しい音をたて、居るのを御存じですが、其の様に壓搾空氣を使ふと、其の排氣がとても騒々しくて閉口します。東口の「世間の同情を蒐めた最初の大事故」も當時使つて居つた空氣捲上機の排氣の音が、山の押して來る音を遮つた爲に、豫知することが出来なかつたのだと、謂ふ話もある位で、兎に角空氣を使ふ機械は排氣の音がやかましいのが缺點です。丹那トンネルでも最初は三百封度位迄の壓搾空氣を使つて、セメント注入をやりましたが、こんな高壓の空氣の排氣になると、耳が、がんがんにしてまるで鼓膜が破れさうに感じます。こんな關係で、高壓な注入をやる様になつてからは、空氣を使ふ方法は一般にはやめて、只コンクリート巻の裏詰とか、注入用の隔壁を造る時、それと地山との間の空隙をつめる位だけにしか使ひませんでした。

ポンプに依る機械は普通のポンプと同じ様に絶えずピストンが動いて、音も靜に水に混ぜたセメント液を送り出します。セメントが岩の割目に詰るに従つて、だんだん壓力が昇つて行きますから、空氣の場合の様に一度に澤山の材料が吹き込む爲に、細い割目に入り込み悪いと云ふ様なことはありません。水は洩れても爆發はしませんから、危険もありません。ですから丹那トンネルの様に湧水の壓力の高い所に使ふには、どうしても此の機械の方が有利です。此のポンプのピストンを動かすのに、丹那トンネルでは始め、小松製作所で作った壓搾空氣の力でやるものをつかひましたが、壓搾空氣は前に言つた様な缺點があるため、これは餘りつかひませんでした。その次に電氣モーターで水壓ポンプを運轉し、其の水壓力で動かすのを買ひましたが、機械がこみいつて故障が多いので、最後にはモーターで直接ピストンを動かす式のものを設計製作して使用しましたが、これが一番成績が良い様です。此のポンプ式の機械では注入材料が液狀の流動體であることが必要で、又砂や火山灰はピストンやシリンダーを傷めて使へませんから、直接空氣を使ふ場合の様に色々な材料を自由に使へないのが缺點です。

細心な準備

セメントの注入に當つては先づ固めようと思ふ地山に向ひ、切羽に深さ四五十呎の孔を十數本、外方に放射狀に穿ります。これには鑿岩機かダイヤモンドボーリングの機械を使ひます。孔の數、位置等は地山の性質、切羽の大小等に依つて其都度判断して定めるのです。次に此の孔の入口だけに八呎位の鐵管を押し込み、これに注入ポンプからのホースをつなぎます。ポンプからセメント液を送りますと液はホースから此の鐵管に入り、更に孔の奥の方に

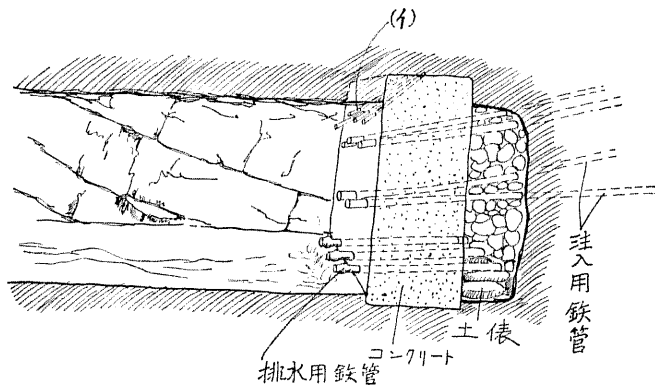


行くうち、途中にある岩の割目に沿ふて四方に擴がつて入り込むのです。併しこれだけではセメント液は鐵管の外側と孔壁との間を通つて口元に流れ出しますから、此の部分にはセメントか鉛の様なものをつかり詰めこんで、セメント液が逆流しない許りでなく、高い水壓がかゝつても、パイプが抜け出さない様にしつかり、取り付けねばなりません。所が丹那トンネルの様に注入孔を掘つた時に奥から壓力の強い湧水が、えらい勢で噴き出て來る場合には、此の取付けの仕事も仲々おいそれと出來ません。セメントを入れても押さへて置かないと、固まらない中に押し出されます。假令急便セメントを使つても、やはり固まる迄の間、僅かの時間ですが、手で押へつけて居なければなりません。何しろ強い勢の水ですから、仲々おさへ切れません。それで工夫した末、圖の様なパイプをつくつて孔の中に押し込んだ後、(1)の所のネジを廻すと奥にあるゴムのパッキングが壓縮され膨れて、孔壁に密着する仕掛の物を使ひましたが、これは大成功でした。又切羽にある岩石にも割目がありますから、注入孔から入つたセメント液は奥に行かずに此の割目に沿ふて手前の方に逆流して來る心配があります。だから、切羽一面を厚い丈夫な混凝土の壁で押へて、それを防がねばなりません。處が天井や横から瀧の如く噴き出す湧水の下でこの壁を造る作業をする事は、なまやさしい事ではありません。これには先づ天井に屋根を作つて上から落ちる水を横の方に撤遠します。次で切羽の少し手前に土俵の締切りを作つて、其の下にはバル

ブをつけた排水鐵管を埋めこんで水の流れる様にしますと、土俵で止められた水は鐵管を通つて流れ出しますから、土俵の手前、鐵管がある處は水が無くなります。其處で此の個所に鐵管を埋めこんだ儘コンクリートを打ち始めるのです。このコンクリートが天井や肩當り迄打ち上ると、天井の屋根をとらねばなりません。とると、上からの水の爲、コンクリートのセメントが流されますから、なかなか思ふ様コンクリートが打てません。さうでなくとも、天井の狭い所にコンクリートを押し込むのはとても完全には出来ませんから、豫め此の部分には圖面にある様に(イ)の鐵管を埋めておいて、後で此の鐵管からカニフ、ミキサでセメントを押しこんで隙間を完全につめなければなりません。この際始めの間は、隙間から盛んにセメントが流れ出て、入れたセメントが皆流れてしまふかと心配になる程ですが、平常は一樽のセメントでも使ひ拂ひを喧しく謂つてるのですから、初めて此の様を見た時は全く面喰ひました。併し隙間にポロを詰めたり何かしてセメントのひつかゝりを作つてやりますと、その中に段々、セメントが出て來なくなりませす。こんなにして隙間が詰つた跡、五六日してコンクリートの堅まつた時分に、先きに下に敷いておいた排水の鐵管のバルブを閉めますともう切羽には一滴の湧水も出なくなり、完全にコンクリートの隔壁が出来たことになるのです。このコンクリート壁はセメント注入作業にとつては、單に準備作業に過ぎませんが、此の様に隔壁を作つて、切羽からの水を完全に閉塞してしまふ方法は、それだけでも、色々利用途があります。例へば、今迄水が餘り出なかつたトンネル等で、排水用の下水等を充分設備してないのに、突然切羽で多量の湧水に出會つた様な場合には、この方法で、一時切羽の水を封じ込んでから、手前の排水工事をやれば非



セメント注入用の鉄管を埋めたコンクリート隔壁



常に速く、併も樂に仕事が出来ます。

經驗の數々

此のセメントの注入を始めてやりだしましたのは、大正十三年、「忘れられぬ四千九百五十呎」の斷層の所で、切
擴作業をやる前に地山を固める爲でした。此の時にはカニフ、ミキサーを用ひ壓搾空氣の壓力は三百封度で注入し
ました。處がセメントは崩れた跡の空洞の様な所にはよく入つて呉れますが、こちらで狙つて居た斷層部分の弛ん
だ地山其のものゝ中には入つて呉れないのです。當時官房研究所の長屋修吉技師の實驗で、硅酸曹達と鹽化石灰と
の混合物なら液體であるから水の入れる所なら入るし、その入つた粘土も相當の堅さが出るといふ事がわかつたの
で、これも使つて見ました。この藥液を押し込むには、小松製作所製の壓搾空氣ポンプを用ひました。併しトネ
ルの中は湿度が多く、外部の様には乾燥する事がありませんから、此の液は折角入れても何時迄もベトベトして居て
堅くならず、結局これも有効ではありませんでした。此の時の注入作業では、セメントを六百樽位押し込んだので
が、注入後切擴作業が餘り困難なく出来たのは、果してセメント注入がきいたのか、それとも年月がかゝつて此の
部分の水が涸れてしまつた爲なのか、一寸半信半疑で何とも云へません。

其の次に注入作業をやつたのは、昭和二年熱海口の九千呎當りです。シールドで進んだ坑道の途中から分岐して
底設導坑を進めました所、漸くの事で溫泉餘土が無くなつて、硬い安山岩脈に出ました。併しその先きには、今迄
掘つた幾本かの水抜坑から考へて、大きな斷層がある事がわかつて居りました。そこで試しにボーリングをやつて

見ますと、三十呎餘り先きに厚さ三十呎位の斷層粘土があつて、その奥はとても割目の多い安山岩でシールドの先端で崩れて困つた地質と同じ様なのです。掘つたボーリングの孔からは、水が凄じい勢で噴き出して凄じい有様です。こんな所を普通のやり方ではとても進めません。シールドはもう試験済で駄目です。凍結法も金はかゝるしそれに必ず成功すると謂ふ自信がありません。セメントの注入ですが、之は三島口でやつた経験からどうも斷層の粘土等には、入つて呉れさうありません。彼此れ評議を重ねましたが、今度の場合はどうも安山岩の水を出ない様になれば、斷層粘土も崩れ出す事はあるまい、兎に角セメント注入をやつて見ようと言ふ事に議論がまとまりました。セメント注入は前回の作業で多少経験をつきましたが、熱海口では今度が始めてであり、まだまだ、研究の餘地が充分あります。處が九州の松島炭坑で、海の底に堅坑を下すのに此の方法で成功したとの話を聞きましたので、同炭坑へ出かけて、廣田炭坑長から色々経験を聞いてきました。松島での経験では注入用の壓力は水壓の三倍位必要だとの事です。さうすると、此度注入する個所は水壓は三百封度近くありますから、安全をとると千五百封度(約百氣壓)位迄の注入力のある機械でなければいかんと言ふ事になります。それで、新規な機械をさがしまして、スウイスのダイヤモンドボーリング會社といふ會社に、丁度要求位の注入壓力のきく機械がありましたので之を二臺購入しました。又砂等を入れたい場合も起るかも知れないので、カニフ、ミキサの六百封度迄耐へると、インガーツル會社製の六百封度の壓搾空氣を作る機械も買ひましたが、此の壓搾空氣を使ふ方は前に言つた様な理由から、とうとう使ひませんでした。

此のダイヤモンドボーリング會社製の機械は大變こみ入つた機械で故障が多く、それに注入の容量が一時間に一立米位しかありません。此の注入容量の少いには困りました。水とセメントを容量で十對一位の濃さで注入するものと考へますと、一樽——容量四立方呎位——のセメントを入れるのに四時間位かゝります。處が注入でセメントの入り易い所は、百樽や二百樽のセメントは平氣で入りますから、こんな機械では手間許りかゝります。又さうなると、セメントは奥の方に行かない中に入口で沈澱して固まつてしまふ心配がありますから、とても良い成績は望めません。こんな關係で、不満足乍ら本機械を使つて、注入作業を繰り返して居つたのですが、其の中考へつたのが、シールド作業に準備した水壓ジャッキ用のポンプの改造です。このポンプを直してセメント液を入れても大丈夫故障の起らない様にしてつかつて見ましたが、此の機械は一分間に三立方呎以上の容量がありますので作業も大分はかどる様に成りました。

此の九千呎の斷層では、斷層に續く安山岩も非常に澤山の水を含んで居るので、一度に全部をかためる事が出来ないのです、三十呎位宛注入して、固めつゝ掘りながら進む事にしました。最初の斷層部分はセメントは三十六樽入つて、それ以上入りさうにもないので、おつかなびつくりで掘り進みましたが、やうやくの事で粘土を抜けて安山岩に辿りつきました。所が暫らくすると急に粘土部分に土壓がきいてきて崩れさうになつたので、大あわてにあわて、鐵製セグメントですつかり堅めてしまひました。それから後の安山岩も三十呎位宛四回にわけて注入を繰り返し導坑を掘り進めました。其の時注入したセメントは岩石の割目が細かいせいか、割合に入らず百五十樽位の

ものでした。此の時の成績もはつきりした事はわかりませんが、兎に角瀧の様に落ちる水は止まつて出なくなりしました。此の注入箇所は同じ安山岩の部分、山が大分良くなつたので注入をやらずに進む事にしましたが、餘り水が多く出るので、勞働者からも暫らく注入を續けてやつて呉れと、注文が出て來ました。前にセメントを注入しながら掘つた部分はこの注入の注文があつた部分より割目が甚だしく多い所ですから、注入しなければ勿論此處より水が多く落ちる筈だつたと思ひます。それにもかゝらず、割合湧水の少かつた點から考へると、セメント注入は相當効果があつたものと謂へるでせう。此の時の笑話です。松島炭坑できいたのでは、セメントが入り過ぎて困る場合には、馬糞を交ぜてセメントを儉約するといふ事でした。それで愈々作業にかゝる事になつた時です。用意にと工事に命じ、熱海の町中の馬糞集めをさせたことがありました。とんだ所で町の衛生掃除をやつたものです。

水抜坑が同じ九千呎の斷層にぶつかつた時も、やはりセメント注入をやりました。其の中の一本の孔にセメントがどんどん入ります。約一週間間位、夜晝連續作業してセメント二百七十五樽入れましたが、尙入りさうです。後には六千樽も注入して平氣だつたことがあるのですが、まだ當時はそんなに入るものとは思ひません。餘りセメントを喰ふので、心配になり何か外のものを詰め様と、當時不景氣で仕事を休んで居つた三島口附近の火山灰製造所から、其の在庫品を買つて火山灰を百二十二才と、熱海海岸の細かい砂を五百五十九才も注入してみました。處がうまく詰つて注入の壓力も漸く昇り注入も完了したらしいのです。そこで例によつて試験孔を穿つて注入状態をしらべて見ました所が、含水層に掘り當ると共に、注入前と同じ様に水が出てきて、折角骨折つて詰めた火山灰と砂とが、殆ど全部流れ出してしまひました。此の時は全く泣きたくなる程なさけ無くなりました。防水だけならば火山灰でも差支へありませんが、固めてから掘らうとする此度の作業の様な場合には、不經濟でも、硬化するセメントの様なものを注入する必要のある事がわかりました。

次に實施したのは昭和四年から五年にかけて熱海口の一萬呎の斷層地帯でした。此の斷層では初め、北側に水抜坑を四本掘りましたが、崩れて進む事が出来なかつたので新に南側に水抜坑を掘り、其切羽でセメント注入をやりました。この注入が終つてから同じ斷層に對し底設導坑にも試みました。九千呎の注入の時の經驗から考へると、セメント液は大きな割目には、入つてくれますが、小さい一分以下の目には、入つてくれません。そのため瀧の様に洩れる湧水は止りますが、やはりシャワーの様な水は出ます。この理由を考へると、セメントの粒は細かいものですが、それでも或大さを持つて居りますし、岩の割目はざらざらですから、セメントは小さい割目では入口で引つかゝつて中の方に入らない爲と思はれます。其處でセメントを入れる前に硫酸曹達と硫酸礬土との混合液を入れて滑潤劑の働きをさせる事にしました。三島口の四千九百五十呎でも、これに似た藥液を使ひましたが、當時はセメントの入らない粘土の様なものを硬めるのが目的でした。今度のは唯セメントの入り易くする爲だけの目的だつたのです。それでセメントも成るべく細かいものがよいので特種なベロ、セメントと云ふ細粒の物を使ひました。セメントは全體で約八百五十樽入りましたが、此場所の地質は安山岩で割目の具合等九千呎の所と似て居ましたが、注入部分には細かい目迄セメントと藥が廻つて殆ど滴水も無い位完全に水を防いで、藥に斷層を通り抜けられました。

昭和五年六月には、三島口は一萬二千呎の斷層にぶつかつて苦勞しました。此の斷層を征服するには、奥の水を絞り取る事が第一だといふ事がわかつて、「有效だつた水抜坑」に説明する通り數多の水抜坑を掘りましたが、併しこれだけでは何時水が無くなつて通り抜かれるのやら見當が付きません。そこでものは試した、セメントの注入もやつて見ると言ふので、北側の水抜坑でやる事にしました。

此の時は斷層そのものよりも、奥の方が砂層で軟いものでしたから、専らその部分を硬めようと言ふ目的でやりだしました。機械は前回に使つたシールドのポンプを改造したものを用ひ、又砂層ではセメントは入り難いからと謂ふので、前回同様藥液注入の準備もしました。所が仕事を始めて見ると、藥液をつかふ所の話ぢやありません、のれんに腕押しで、いくらでもセメントが際限無く入つてしまふのです、北側で注入して居るのに其のセメントが、トンネルを横ぎつて、更に南側の、かつて八百坪の大崩壊をやつた水抜坑へ流れ出して居るのです。どうもその崩壊で出来た洞穴へでも、入つて行く様子なんです。これではいくら注入したつて叶ひません。そこで、かう遠くへ行くのを防ぐために、鋸屑を混ぜて押しこむ事にしました。丁度昭和五年伊豆地震の後で此の邊の製材所は復興建築の仕事で忙しく、鋸屑の處分に困つて居る際でしたから、二つ返事で譲つて呉れました。ところが鋸屑を貨車に三十輛も注ぎ込んだのですが、詰めたと言ふだけで、餘り効能が無い様です。もう根氣も盡きました。試しにボーリングをやつて探つて見たら、注入前と餘り變つた様子がありません。どうとう名醫も匙を投げてしまひました。併しそれから一年も立つて奥の水が大分減つてから、此の箇所を掘つて、通り抜けた時に、見ますと、奥の

砂層にはセメントが少しも入つて居りませんが、斷層の境界面には二三寸の厚さに、すつかりセメントと鋸屑が廻つて固つて居りました。又今年の春本線の切替で、此の斷層部分を掘りました時にも、見ますと、中背當りにセメントが二呎餘も厚い幅に固まつて帯の様に擴がつて居りました。鋸屑もえらいものです、高壓で石の様に押し詰つて固くなつて居ります。無駄だと思つたセメントの注入も、決して無駄では無かつたのでした。

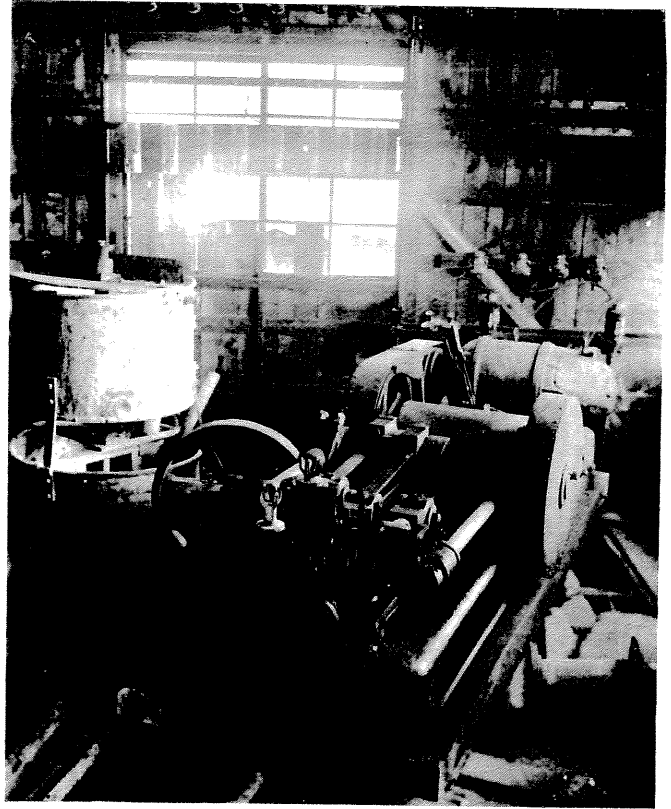
此三島口の注入と丁度同じ頃、昭和六年の春に、熱海口は一萬一千二百呎邊りで斷層に出遇つて苦しみました。其處で早速南側の水抜坑で腕に覚えのある注入をやると言ふ事に成りました。所があひにくシールドの改造ポンプは三島口で使つて居りましたので、已むを得ず三島口の四千九百五十呎の斷層で使つた小松製作所製の、壓搾空氣でピストンを動かす機械を使ふ事にしました。此の機械は壓力は五百封度迄しか昇らず、聊か不確な點があつたのですが、水の壓力も大分減つて居る事であり、斷層も幅二十呎位で大した事が無ささうです。そこで此機械で先づ藥液を注入しておいてから、セメントを注入しました。處が此の機械は故障頻發で手こずりましたが、合計六百八十樽位のセメントが入つたので、まづ是位入れたら大丈夫だらうと謂ふので、その固まるのを待つて掘鑿に掛りました。掘り始めて間も無く赤褐色の斷層粘土が表はれましたが、見ると斷層の粘土の間にも綺麗にセメントが廻つて居ります。大成功と喜んで尙も掘り進みますと、斷層粘土が終り、向側の安山岩にとりつかうとする所になつて、セメントが充分まはつて居なかつたために、どうとう崩されてしまひました。一度崩してしまふと折角固まつて喜んで居た斷層部分も弛み出して、遂に手當の甲斐なく坑道は土砂に埋められて、折角の注入も元も子も無くしてし

まひました。此の失敗の原因を考へますと、要するに注入壓力の低かつたためだったので、併し今迄、一概に粘土の中には絶対に入らないものと思つて居たのが、今度の經驗から、間違つて居ることに氣付きました。崩れた事のない斷層粘土だと、澤山斷層龜裂がありますから、注入の壓力さへ高ければ、セメントはその中に無理矢理はいりこんで固まる一方、粘土を押しつめて緻密なものとする事がわかりました。ですから湧水の壓力如何にかゝわらず、高い壓力の出る機械で押しこむ事が、絶対に必要だと言ふ事になりました。

こんなわけで高壓の注入機械が入用と成つたのですが、今迄使つて居たシールドのポンプの改造品は、バルブの部分の故障が多くて作業中、其の取りかへに面倒が多く且つ其都度時間を空費するので、どうも感心しませんでした。トンネルの残尺も残り少になりましたが、何しろこれから先は丹那盆地の中心に愈々乗り出すのですから、又どんな斷層に出會はないとも限りません。こんな關係で、此の際從來の經驗を基にして、一つ理想的な機械を作つておかうといふ事になり、それで今回は機械の神津技師の手で、新規なものを設計して小松製作所で作らしてみました。此の機械は二十馬力の電気モーターで運轉するものです。今迄の經驗に依りますと注入の大部分は五百封度以下の壓力で押しこまれ、それ以上は唯注入済のセメント液中の水分を絞り出して強固なものとなし、同時にその壓力が周圍のやはらかい斷層粘土にも働いて緻密なものにする作用をなすに使はれる事を知りました。それ故壓力は五百封度以下と、それ以上との二段に切りかへる様な装置と成し、最初は五百封度以下の壓力で一分間六立方呎の割合でどん／＼注入し、その壓力で大部分入つた所を五百封度以上の壓力に切りかへて注入の仕上げをするを謂



軟弱な地質を固めたセメント
(白く見えるのがセメント)



最新式注入ポンプ

ふ工合にしました。其の上機械の細部も改良され、全體として狭い細長いトンネル内の作業に便利な型にしましたので、まあ理想に近いものが出来上りました。此の新式機械の出来上るのを待ち、新に北側に堀つた水抜坑で、再度セメント注入を試みました。セメントは約四千六百樽を押し込みました。今回は作業も理想的に進行して難なく此の斷層を通り抜けることが出来ました。これが丹那トンネルとして最後の注入作業でしたが、遂に有終の美を成したわけでありませう。

過去をふりかへつて

セメントの注入、此の武器を利用した地點は、全部で五箇所です。三島口の空氣掘鑿をやつた砂層區間を除いて、丹那の六大難場の五つ迄が此の御厄介になつて居ます。さしづめ金鷄勳章と云ふところでせう。

初めは随分幼稚なものでしたが、一作業毎に面目を改めて居ます。これは技術の進歩を物語る面白い實例の一つだと思ひます。注入の機械、これも、カニフ、ミキサーから初めて、最後のもの迄五回姿をかへて居ます。注入の効果、これも一回毎に其の成績をあげて來ました。又どう謂ふ地質にどう效くか、醫者としての腕も大に信頼出来る様になりました。併し技術の進歩は無限です。まだまだ、改良したい、試して見たいと思ふことがたくさんあります。最後の注入作業を終つてからも、次回の爲と、注入機械の一部改良も企てました。處が幸にも、技術の爲には不幸なのですが、其後注入作業をやる様なえらい難場もなく、とうとう貫通してしまひました。これでもう此のトンネルでは此の技術を發達させる望がなくなつてしまひました。