

第五章 特種工法

前章迄は、主として山を貫く、普通のトンネルを対象とし、且つ地質も、普通の簡単な支壁工、コンクリート覆工等で、支持出来る場合の諸技術につき、説明したのである。

本章では、第七節で、述べて置いた、地表から開鑿して築造する方法、第一一節に述べたシールドの利用、地下水處理の諸工法等、トンネル掘鑿上、特種な地形、地質に對する技術につき、説明をしようと思ふ。

二四 地表から開鑿して築造する工法

此の方法には、第七節に述べた通り、開鑿式と沈埋式との二方式がある。何れも土破りの少い、トンネルに於て、普通のトンネル工法に依るより、技術的にも經濟的にも有利なので、利用される。

一、開鑿式

此の方式は、主に市街地の下に、浅く築造する、地下鐵道用、或は下水用等のトンネルに利用される。

トンネルを築造する溝を掘り開く場合、其の周邊の事情、地質の具合が、溝の側面を、自然勾配で崩れない様、切取るだけで差支ないなら、此の工事は最も簡單である。併し、附近に大きな建物があつたり、又地質が地下水を含む、軟弱なものであつたりすると、掘り割る溝の幅に、制限を受けるし、又丈夫な土留工を要し、排水にも充分な設備をしなければならぬ。又、街路下に通す場合には、普通、路面の交通を支障しない爲に、工事中一時的な被覆を構築して、路面交通を支持しつゝ、其の下を掘り割つて、トンネルを造らねばならない。又トンネルの位置に依つては、附近の建造物を、假りに支持し、時には、其の基礎を、新しく置換へ、又は補強する、所謂根繼工 (Underpinning) を施す必要が起る。又街路下に埋めてある、水道、下水、瓦斯用等の各種の地下埋設物を、工事中、支障なき様、一時支持する面倒がある。

河底をくぐるトンネルでも、水深が浅く、水運の利用が少なければ、水路の一部を縮切り、水をかひ出して、掘り割りが出来るから、此の方式が利用出来る。

是等の諸技術に就いては、こゝに其の詳細を述べる餘裕はないが、是等の工法には、地下をもぐつて、通路を堀鑿するトンネルの技術本來の性質が少くなる。又トンネルの形も、街路下に通す、地下鐵道等では、形鋼を組合はせた四角形のものが利用される。

どの程度の土被りに、此の工法を利用するか、之は地質に依り、工費の經濟的比較から、判斷して定めなければならないので、簡單には云へない。丈夫な岩磐だと、可成り浅い土被りの場合でも、普通のトンネル工法に依り、支障なく堀鑿出来るが、土砂類で水でも含んで居ると、相當の土被りがあつても、普通のトンネル工法で、掘つたのでは、地盤を緩め沈下を來し、地表に異状を起し勝ちである。だから、市街地のトンネル等で、地表に變動を來しては困る場合、地質が土砂類だつたら、なまじつか少し位、深く通して、普通のトンネル工法に依るよりは、浅く通して、開鑿式に依つた方が、結局有利になる場合が多い。併し地質が岩磐だと、水底トンネルの類でも普通のトンネル工法に依つて、掘ることが出来る。

例へば、目下工事中の關門水底トンネルでも、下關側は、いはゆる硯石の岩磐であるために

局部的には、セメント注入を併用したけれども、掘鑿も覆工も、普通のトンネル工法に依つて施工してゐる。これに反し門司側は、風化花崗岩の眞砂土であるために、シールド工法を利用してゐる。歐米に於ける、水底トンネルにも、地質が岩磐であるため、普通のトンネル工法に依つた例がある。一九三四年に開通し、今日水底トンネルとして、世界最大の断面(直径一三・四一米の圓形)を有する、英國リバプール市とバーケンヘッド市間の、自動車専用のマーシー(Mersey)河底トンネルの水底部分は、岩磐中を普通の掘鑿工法に依り、局部的には、セメント注入を利用し、覆工には、鑄鐵片を組立てて、完成した。此のトンネルの海底までの土被りは、一九米位で、平均して、其の上層一〇米位が砂粘土層、下層が砂岩であつたが、局部的には、岩磐の土被りが一米餘の箇所もあつた。トンネル箇所の最大水深は三〇米ばかりである。

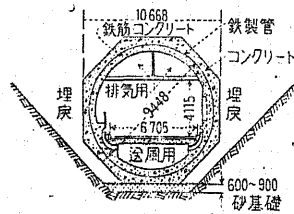
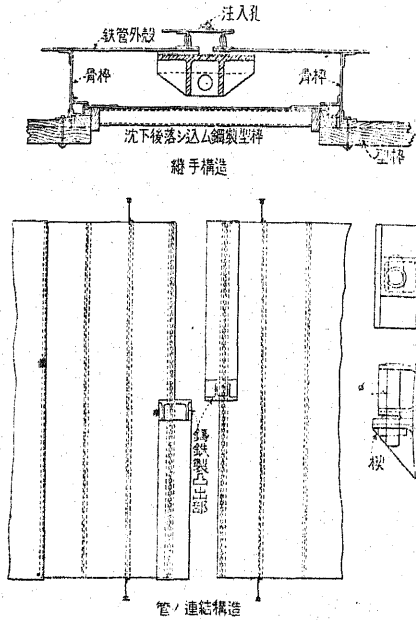
二、沈埋式

此の方式は、水運が少く且つ流速が餘りない河川等の下をくぐる、水底トンネルに、主として利用される。

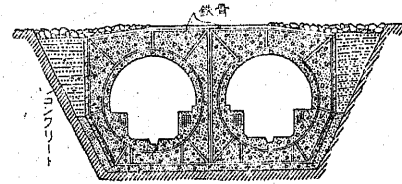
此の工法の要點を説明すると、水底となる部分のトンネルを、幾つかに區切り、其數だけ、陸上で、形鋼と鋼板とにより、水密な圓形管のトンネルを組立てる。此の管の構造は、色々であるが、複線用のトンネルだと、並列につないだ二つの管にする。合衆國のニュー・ヨーク市の地下鐵道で、複々線用に、四列つなぎの管にした實例もある。この管の兩端には、一時的な水密の隔壁を取付け、水中を浮かして、運搬出来る様に裝備する。此のトンネルを沈埋する箇所の水底には、豫め浚渫船で、トンネルの幅と沈埋深さとに應じて、溝を掘鑿して置く。此の溝の底には、地質に應じ、沈埋するトンネルを充分支持出来る様、適當な基礎を準備する。

陸上で豫め造つた圓形トンネル管は、之を進水して、曳船で水上を浮かしながら、沈埋位置迄運搬し、管中に水を入れるなり、或は外部にコンクリートを填充するなり、適當な方法に依り、溝底の基礎上に沈下据附ける。各管の兩端には、水中で継ぎ合はせて、しかも水密な継手が出来来る装置を取付けて置く。斯うして沈下、繼ぎ合を完了したら、溝内トンネルの周圍に埋戻しをなし、それから、管内トンネルの仕上を完成する。

従來日本には、未だ此の方法に依つた、大規模な水底トンネル築造の例はないのだが、目下



第八六圖



第八五圖

工事の途中にある、大阪市の安治川の下流「源兵衛渡船」代用の、河底道路トンネルの一部に、此の工法が利用される計畫になつてゐる。

欧米には、此の工法に依つて築造した、各種のトンネルの實例がある。第八五圖は、一九一〇年に此の工法に依り完成した、カナダウィンズル市と合衆國デトロイト市間のデトロイト河底の複線トンネルの横斷圖である。管の内徑は、七・一米（二三呎三吋）、管の中心間隔は三・六六米（一二呎）、一組の管の長さは、約八〇米で、河底部分のトンネルに對し、これを十個沈埋した。二列の鐵製管の内側には、コンクリート覆工を巻立て、其の外側を鐵骨棒で連結して

あるが、此の棒の周邊には、型枠を取付けて、沈下後、圖に示す如く、管の周圍を水中コンクリートで填充した。又第八六圖は、一九三〇年に本工法に依り完成した、右と同じ河底の自動車専用道路トンネルの横斷圖と、継手圖とである。管の外徑は、九・四四八米（三一呎二個の

管の長さは、約七五米で、河底部分のトンネルに對し、之を九個沈埋した。此のトンネルについて、少しく詳細な説明をすると、鐵製管の内側には、鐵筋コンクリート覆工を施工し、外側には、八角形の鋼板桁の骨枠を、三・六六米間隔に取付けた。陸上で、鐵製管、骨枠、兩端隔壁とを、充分水密になる様組立て、八角形骨枠の下部三周邊に、コンクリート型枠を取付けてから、進水し、其の後で、水に浮べた儘、管内部の鐵筋コンクリートを施工し、又水平直徑線以下、半分の管外側コンクリートを、水中で填充した。これで、管は約三分の二許り、水中に沈むが、此の儘之を沈埋箇所迄、曳船で運んでから、残り上半部の管外側コンクリートを填充しつゝ、所定の位置に沈下据付を了した。沈下に際し、管の方向と位置とを見る爲には、管上面に、高い鋼製のマストを立てて、之を陸上から測量した。

沈埋した各管の連結構造は、第八六圖に示した様なもので、管の一端に於て、下半圓を、上半圓より僅か突出させて、其の左右上端、水平直徑線の下側に、細長いボルト孔をもつ、鑄鐵製の凸出部を取付け、又他の一端に於て、上半圓を、下半圓より、同寸法だけ突出させて、其の左右下端、水平直徑線の上側に、上下のボルト孔をもつ、凸出部を取付け、沈埋に際し、此

の上下の凸出部が、旨く合ふ様重ね合はせてから、ボルトをさし込み、楔で固定した。沈下後此の繼手箇所を、水密にする爲には、第八六圖に見る如く、兩管の端近い二つの骨枠と型枠とに取付けた、形鋼で造つた溝に、鋼製型枠を落し込み、之と管外殼との間を、水中コンクリートで填充し、更に管の内部繼手箇所から、セメント注入を施工した。

此の河底の地質は、主に粘土であるが、掘つた溝の底には、圖に示す様に、砂の基礎を置いた。沈下完了後、少くとも土被りが、一・二米になる迄、埋戻をした。トンネル位置に於ける河の流速は、毎時一・六籽である。此の水底トンネルに接續する陸上トンネルは、シールド工法と壓搾空氣工法とを併用して築造した。

本節の工事方法とは違ふが、沈埋式の種類と考へられるものに、壓搾空氣を利用して、豫め地表で築造したトンネルを、地中に沈下する工法がある。之に就いては、第二六節四に於て、説明する。

二五 シールドを用ひる工法

此の工法は、十九世紀の初め頃、英國ロンドンのテムズ河底に、道路用のトンネルを通した工事に、其の端を發してゐる。其後、鐵道の發達と普及、殊に都市内に於ける地下鐵の發達と普及につれて、多くの水底トンネル或は市街地下のトンネルの掘鑿に、此の工法が利用せられ、大きな進歩を遂げた。水底トンネルに此の工法を利用する場合には、水の浸入を防ぐ爲、多くは壓搾空氣を利用する工法を併用する。トンネルに空氣を用ひる工法の發達も、亦シールド同様水底トンネルの工事に由來してゐる。今日、軟弱な水底の地盤内を淺く、トンネルを通す場合に、開鑿式や沈埋式に依らないで、直接地中をもぐつて掘鑿しようとする、どうしても此の二工法を併用しなければならない。此の二工法は、何も水底トンネルに限らず、普通の山のトンネルにも、地質に依つては、利用されてゐるが、極めて特別な場合で、其の例は少い。河とか、海とかの水底に、トンネルを通すには、普通、兩岸から河底に向つて、下り勾配に掘つて來なければならぬ。此の點、普通の山のトンネルと、全く逆だが、此の爲水底部分の

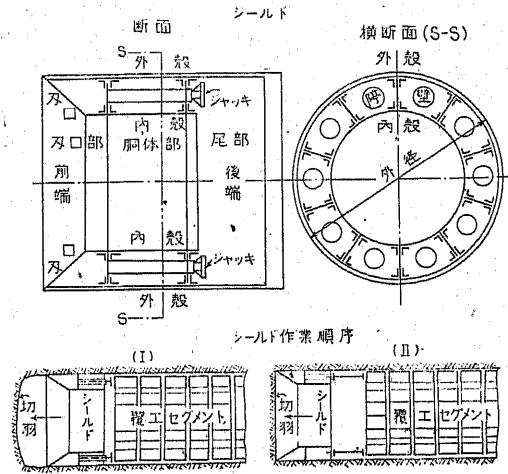
トンネルに接続して、兩岸陸上部分に、普通のトンネル區間が出来る。併し、市街地内の道路用の水底トンネルでは、此の陸上接続トンネルを造らないで、兩岸に、堅シャフトを掘り、之にトンネル出入用の昇降機を設備したのもある。

水底は深くもぐる程、地質の關係は、良好になるのが、普通だが、反面水壓が増すし、又同じ勾配だと、兩岸の接続陸上トンネルの區間が長くなる。どの程度の深さに通すかは、一に水底の地質と、築造工法に依る。水底の地盤が岩であつて、少し深くもぐれば、岩盤内を通すことが出来、シールドを利用しないですむのなら、多くの場合其の方が有利である。これに反し、水底の地盤が、軟弱な土砂類で、其の層が厚ければ、餘り深く通しても得にならない。極端な例では、合衆國ニューヨーク市のハドソン河底のトンネルに見る如く、河底の一部を粘土類で埋めて迄、淺く通したのもある。

歐米では、シールド工法の利用は例も多く、歴史も古く、珍しくない。併し日本で、之を本格的に利用したのは、目下工事中の鐵道省の直轄施工に依る、關門海峡の水底鐵道トンネルが初めてで、其の門司側に於て、壓搾空氣工法との併用に依り此の工法の成果を納めてゐる。會

以上が、シールドの構造と、其の作業の概要であるが、地質とトンネルの性質に依つては、此の様にトンネル全断面を支持保護するものでなく、上半部アーチ部分のみを支持する、半圓或は半楕圓のアーチ型のものも用ひられる。之を屋根シールド (Roof Shield) と稱するが、市街地下の土被りの少い陸上の大型トンネル等で、開鑿式に依れない場合に、主として地表に變

の大要は、第八七圖に示す如く、鋼材で組立てた、圓形の短い環状の筒で、其の前端の周縁は、双口形に造られて、地盤中に突き出てゐるが、後端の環の外殻は、完成した覆工の外側に、淺くはまり込んでゐる。此の前端の双口部と、後端の尾部との間の胴體部には、外殻の内側周縁に沿うて、幾つかの強力な水壓ジャッキが、水平等間隔に取付けられてゐる。双口部の前面地盤を、或る程度掘つてから、ジャッキを完成した覆工にあてがつて押すとシールド全體が前方に推進される。斯く押し出してから、水壓ジャッキの延びたプランジャーを縮めると、尾部外殻の内側に、覆工を組立てる餘地が出来る。此の部分に新たに覆工を組立てて、又双口部の前面を掘鑿し、シールドを押し出す。斯かる作業を繰り返しながら、トンネルを築造して行くのである。

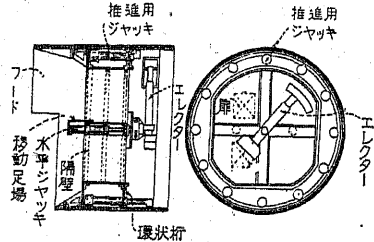
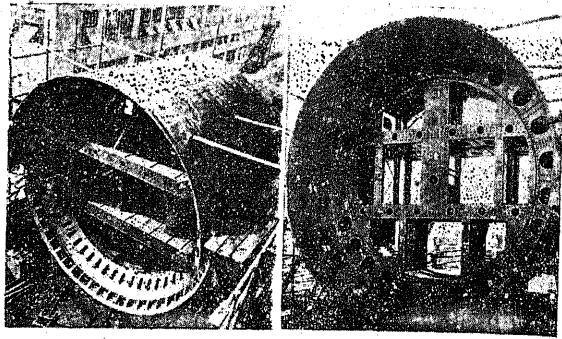


第八七圖

て、水底トンネルではないが、大正八年に、鐵道省の羽越線の折渡トンネル、大正一五年に、丹那トンネルの迂回水抜坑に、シールド工法を利用したことがあるが、今日から見れば、技術的に幼稚なものであつて、本格的な利用ではなかつた。壓搾空氣を利用する工法に就いては、其の説明を次節に譲り、こゝでは、主としてシールド工法に就いて、説明しようと思ふ。

一、シールド

シールドは、移動する丈夫な、機械的の支堡工の一種と考へられる。其の構造



断面 背面

第八八圖

シールドの大き、地質の如何に依つて、色々なのがある。

水平な仕切り桁は、其の儘でも、作業足場として利用されるが、又之に第八八圖に示す様に、水平なジャッキで、前方に水平に滑り出せる、鐵製の移動足場を取付けて、掘鑿作業に便すると同時に、之を掘鑿地盤面につきつけて、其の支持に利用する。

又地質が軟弱で、崩壊性に富む場合には、萬一を考慮して、胴體部の内側に、双口部と境し、

動を與へない様、掘鑿する爲に、利用されてゐる。なほ之に就いては、本節の最後に、改めて説明する。

なほシールドの構造其他につき、今少しく詳細な説明をすると、シールドの大きは、トンネルの所要断面から定まるが、市街地下をくぐる下水トンネル用等の、外徑二米位の小さいのから、複線トンネル用、自動車道路トンネル用の、外徑一〇米以上の大きい迄、大小色々である。小さいのは、其の構造も、簡單であるが、大きいになると、随分其の構造も複雑となり、作業にも熟練を要する。

シールドの、筒形の外殼は、數枚の鋼板を重ね合はして作る。胴體部のジャッキ取付部分は、ジャッキの推力を、双口から外殼へと、シールド全體に傳へる爲に、第八八圖に示す如く、双口に接し、外殼の内側の周縁に沿うて、環状の桁と、之に直角に交る桁を等間隔に配して、輪狀の函形の桁組にし、其の内部に、ジャッキを取付ける。なほシールドの直徑が大きい場合には、更に此の内側に、縦横に仕切りの桁を枠に配して、シールド全體の強度補強に資すると同時に、廣い掘鑿面に對する作業足場、掘鑿面の土砂の崩壊支持用等に便する。此の構造には、

前記の枠組を骨にして隔壁を造り、之に幾つか通路を設け戸を付けて、崩壊の事故等あつた場合に、之を閉ぢる様にしたのもある。之にも色々な設計があるが、地質が一樣で、其の性質が、着工前豫め解つてゐれば、此の隔壁は成る可く、置かない方が、作業上からは便利である。

又胴體部の後端、尾部の覆工を組立てる箇所には、第八八圓に示す通り前記の枠組に、水壓で運轉する覆工組立用のエレクター (Erector) を取付ける。後に述べる通り、シールドを用ひるトンネルでは、覆工は推進用ジャッキの力を受けなければならぬので、普通、ポルトで組立てる弧形の鐵片又は弧形コンクリート塊を利用する。エレクターは、此等覆工材を掴んで、組立位置に持ち込む機械装置で、大型のシールド作業に於ては、必須の用具である。其の仕組は、トンネルの中心線を軸として廻轉し、且つ伸縮可能な腕木の一端で、覆工片を掴み、任意の覆工位置に、之を持ち込むのである。此の腕木の廻轉と伸縮には、水壓を利用するが、伸縮は腕木内に取付けた水壓ジャッキに依り、又廻轉は水壓ジャッキで動く、ラックとピニオン又は滑車と鎖、何れかの機構に依つてゐる。腕木の覆工片を掴む仕組にも、色々なものがあるが、簡單なのは、腕木の先に二股にして各股にある孔と、覆工片の孔とを、ピンで通してとめる。

腕木の他端には、釣合荷重として鐵塊を取付ける。

双口部の双口には、普通、鑄鋼製の丈夫な双形の圓弧片を取付ける。双口はシールドが押し出される際、地盤と喰ひあつても、容易に破損しない頑丈なものにしなければならぬ。多くのシールドでは、双口部の上半圓を、第八八圓の如く、下半圓より、ジャッキの一押分位、前方に張り出して造る。此の張り出しを、フード (Hood) と稱するが、かうすると、双口前面の掘鑿の際、崩れ易い上部を、下部より先に掘り進めて支持するのに、便宜である。

次にシールドを動かす爲の水壓ジャッキであるが、之には、單働型 (Single acting) で、プランジャーを引つ込める爲の補助プランジャー付のものが、一般に使用される。使用水壓は一五〇—三五〇砵毎平方呎であるが、近來は、高い水壓を用ひ、強力なジャッキを數少く用ひる傾向になつてゐる。

シールドを推進するには、外殻と地盤及び尾部と覆工との間の摩擦、双口を地盤中に押し込む際の抵抗に充分打勝つだけの強力なジャッキを、装備しなければならぬが、なほシールドを曲線部分に進める爲、又推進中の方向の狂ひを、調整する爲に、全ジャッキの一部四分の一

位を使つて、シールドを動かせるだけに、ジャッキの出力に餘裕をもたせなければならぬ。大體ジャッキの總出力を、トンネルの地質とシールドの大きさに應じ、シールドの断面每平方米につき、五〇吨—一〇〇吨の割合位で準備する。

ジャッキは、大體胴體部の外周に添ひ、八〇纏から一二〇纏位の間隔で配置するが、出力百噸から三百噸位のが用ひられる。

此等の推進用ジャッキ其他、移動足場用、エレクター用等のジャッキを運轉する爲の壓力水は、坑外に据付けた水壓ポンプから、鐵管で供給するのが普通で、此の主鐵管と、移動するシールドとの連結には、自由に曲り易い丈夫な小銅管を使用する。小さなシールド等では、此の水壓ポンプを、シールド自體に取付けたものもある。

推進用ジャッキを運轉し、その出力を加減するバルブは、ジャッキの數により、一箇所か或は左右兩側の二箇所に分けて、集中設備し、左右上下の各ジャッキを、こゝから隨意に取扱へる様にしなければならぬ。

尾部は、たゞ鋼板を一、二枚重ねた外殻を、延長しただけのもので其の長さは、ジャッキのフランジャーが全長を突き出しても、既成覆工からはづれない程度にしなければならぬ。普通、覆工片の一環分の長さの二・五倍位の長さにする。尾部の内側と覆工との間には、或る程度の際を残さなければならぬ。さうしないとシールドの移動方向が狂つた場合、又シールドを曲線路に進める場合に、覆工と尾部とが接觸して無理がかかる。實例を見ると、色々だが、大體覆工外徑の〇・七—一・〇パーセント位である。シールドを押し出し、尾部が前進すると、其の跡の覆工の外側には、空隙が残るが、之は、すぐ後から、注入機を用ひ、覆工にあげた孔から、砂、小粒砂利又はモルタル等を注入して填充する。此の注入工法に就いては、第二七節に説明する。

双口部、胴體部及び尾部の總延長が、シールドの長さとなるが、此の長さが、その直徑に比して、餘り長いと一旦シールドの方向が狂つた場合、又は曲線路に推進する場合、其の調整がむづかしくなる。之も實例を見ると色々であるが、大體シールド直徑の七五パーセント以下にする方がいとされてゐる。最近の大きいシールドでは、此の割合が、大分少くなつてゐる。

参考迄に、近年の工事に屬する二、三の大型トンネルに使用した、全圓形のシールドの概要

を示すと、左表の通りであるが、表中デトロイト河底のシールドが、今日迄に於ける、最大直徑のものである。

ジ 数	ド ル ー シ 外 径 (米)	覆 工 外 徑 (米)	開 通 時 期	ル ネ ン ト		
				用 途	所 在	名 稱
三〇	長 頂 部 長 さ (米)	九・六五八 (八一呎)	一九三〇年	自動車専用	デトロイト河底トンネルに接続する陸上	カナダ、ウインヅブル市合衆國デトロイト市間
		九・四四九 (三一呎)	一九三四年	自動車専用	底	ボストン・イースト・ボストン (Boston-East Boston)
		九・六五二 (三一呎)	第一九三七年 第二トネル 一九三九年	自動車専用 二列トネル	合衆國ニュー・ヨーク市ハドソン河底	リンカーン (Lincoln)
二八	五・七四〇 (一八呎)	九・六五二 (三一呎)		目下工事中	峽海門底	關門

足 水 場 平 移 動 の 数	キ ッ ッ 直 徑 (呎)	
	水 壓 使 用 ($\frac{1}{2}$ 呎)	封 度 ($\frac{1}{2}$ 呎)
三 段	二八・一・三 (四〇〇呎)	二五・四(一〇呎)
三 段	四二・二・八 (六〇〇呎)	二五・四(一〇呎)
三 段	三五・一・五 (五〇〇呎)	

二、堀 鑿

シールドを押し進めるには、前もつて、双口部前面の地盤を、切崩して管かなければならぬが、シールドを使用する様なトンネルでは、元々地質が悪くて、しかも水底に近く土被りが少ないのが、一般であるから、其の作業には、慎重な注意を要する。又壓搾空気を併用して、水の浸入を防いでゐる場合には、空気が掘鑿面から地表に、逃げ出すのを防止しなければならぬ。特に之が多量、急激に漏れると、坑内の氣壓が低下し、洪水に襲はれる危険があるから、用心しなければならぬ。此の事故を吹出 (Blow out) と稱する。

地質が、しまつた土砂類で、一時なら、支へずにもつ場合には、最も簡單で、水壓ジャッキの一押分だけ、双口前方の全地盤を、一度に切崩して、直ぐシールドを推進すればよい。併し

地質が、軟弱で崩壊し易いと、切崩面は、絶えず塞いで支へなければならぬ。此の場合には、切崩を控目に中央部分だけに止めて、シールドを押し出し、双口をいつも地盤中に喰ひ込ませながら、掘鑿を進める。斯ういふ地質の切崩面を、おさへる支柱として、前に述べた移動足場も、大に役立つが、又フェース・ジャッキ (Face Jack) と稱する、腕の長い水壓ジャッキを、シールドの内側外周又は内部仕切枠に、幾つか取付けて利用する。

地質が軟弱な粘性の粘土又は沈泥等の場合には、前に述べた、双口部と遮断した隔壁を取付け、其の戸口を、一部あけたまゝ、シールドを無理に、地盤中に盲押しで押し込む。さうすると、軟い地盤の一部を、此の戸口から、トンネル内へ、寒天状に、押し出させつゝ、簡単に掘進することが出来る。合衆國、ニュー・ヨーク市ハドソン河底の沈泥内を貫く、幾つかの水底トンネルに於ては、此の方法に依り成功してゐる。最近竣工した同河底の自動車専用道路のリンクアン・トンネル(第二〇頁表参照)では、此の方法に依り、實働二十五日の一ヶ月最大記録三・七米(一日最大一四・三米)と云ふ掘進記録を出してゐる。又一九三七年に竣工した、合衆國デトロイト市の下水用トンネルでは、直径六・七米(二二呎)の圓形シールドを用ひ、粘土

地質に對し、此の方法を利用し、一ヶ月四五七米(一日實働二十時間で最大二〇・六米)といふ掘進記録を出してゐる。

シールド工事に於て、最も困難する地質は、岩磐と軟弱な地盤が、交錯してゐる場合である。合衆國ニュー・ヨーク市のハドソン及びイースト河底には、斯かる地質の區間があつて、トンネル技術が、發達しない初期の工事に於ては、非常な苦心をなめてゐる。其の難工事は、水底トンネル史上、有名な話である。目下、工事中の關門トンネルに於ても、岩磐の下ノ關側と土砂の門司側との會合點で、斯かる面倒な地質區間を突破しなければならぬので、厄介である。斯ういふ地質では、上部が軟弱な土砂で、下部が發破を要する岩磐の區間に、シールドを押し進めなければならないから、掘鑿上厄介なのである。

此の場合の掘鑿方法は、先づ岩磐上の土砂の部分で、充分注意して支へつゝ、シールドの一押分だけ、掘り進めてから、下部の岩磐を、弱い發破で、上部の支堡工等を傷めないやう、警戒しつゝ切崩すのだが、切崩した凹凸の岩磐面は、シールドを滑り易くするために、シールドの底面に合はし、レール等を埋め込んで、コンクリートを敷き均らす必要がある。此の作業は、

時間を要し、且つ發破をかけたりますので、壓搾空氣工法を併用する場合、ヤムともすると、吹出の事故を起しがちである。最近の工事である、ニー・ヨーク市イースト河底の自動車専用道路トンネルの、ク・キンス・ミッドタウン（第二二三頁の表参照）の工事の例を見ても、シールドの掘進速度は、平均、一週間（一日二十四時間、六日間）で、岩磐は七・五米位、軟弱地盤は、一四・五米位であるのに、岩磐と軟弱地盤との混合區間は、四・五米から五・五米位である。

地質が、隙間の多い砂、砂利層等であると、壓搾空氣工法を併用する場合、空氣の逃げ出すのを防ぐ爲に、露出した地盤面は、常に矢板の類で、充分塞いで支へ、其の隙間には粘土や藁、乾草類をつめて、綿密な作業をしなければならぬ。又玉石等に出會つて、之を抜き取る場合には、すぐ其の跡を粘土や土藁類で、埋め戻す必要がある。又切崩中は、絶えず、注意を拂ひ、空氣の逃出口を見つけたら、直ちに之を防止することに努めなければならない。

水底トンネルでは、普通、接續する陸上トンネルの着工に先立ち、兩岸に近く、堅シャフトを、トンネル線上におろして、これから、水底トンネルの掘鑿にかゝる。シールドは、此のシ

ャフト内で組立てて、トンネル内へ押し進めて行く。此の爲シャフトの覆工には、シールドの斷面に合はした開口を造り、愈、シールドを押し出す迄は、假りに塞いでおく。又シャフト内には、推進用のジャッキの推力を受ける爲の、假りの覆工を組立てる。陸上の普通のトンネルで、シールドを使用する場合には、トンネル内で、シールドを組立てなければならないが、此の爲には、地質の良好な箇所を選び、シールドの斷面より大きな組立用の室を掘らなければならない。

工事を完成した後は、シールドは、水壓ジャッキ其他内部の桁組等を取除き、殘骸を其儘地中に埋め殺してしまふ。

切崩作業に伴ふ礫の積込、搬出等に就いては、格別、シールド工法として、特種なことは殆んどない。

三、覆工

シールド工法を利用する上に、覆工として、特に考へなければならない點は、

一、覆工完成後、直ちにシールド推進用のジャッキの推力に耐へること。即ち、施工後直ち

の圓弧形覆工片(セグメント Segment と稱す)の突縁を、ボルト締にするものである。鑄鐵の代りに鑄鋼製にすれば、輕くは出来るが、價額が高むので、一般には用ひられてゐない。此の覆工に就いては、何れ後程詳しく説明するが、之はシールド利用上からは、申分ないものだが、たゞ其の材料費が高いのが、大きな缺點である。

此の缺點に對し、色々の代用的な覆工が利用されてゐる。鑄鐵の代りに、壓延鋼材或は鐵筋コンクリートで作つた、ボルト締のもの、其他シールドの推力を受けられる様工夫して、木塊、既成コンクリート塊、場所詰コンクリートも用ひられてゐる。此等の覆工は、鑄鐵セグメントに比し、工費は安くなるが、シールド利用上の前記諸條件に對しては、優つてゐない。従つて、其の利用も、地質其他の條件が、比較的いゝトネルに限られてゐる。従つて、其の利用の實例も、壓搾空氣を併用しない陸上トネルに多い。

一般に、矩形の圓弧形覆工片即ちセグメントを組立てると、第九一圖の如く、セグメントを一つの圓形環につなぐ、トネルの軸方向に走る横繼手と、此の環相互をつなぐ、圓周に沿うて通つてゐる圓繼手とが出来る。此の場合隣接する各環に於ける横繼手は、相互喰違ふ様にする。

る。

トネルの内側から、斯くセグメントを組立てると、一圓形環の終りには、横繼手を普通の標準のと違へて、半径の方向でなく、向を變へた特別なセグメントを挿し込まなければならぬ。これには第八九圖の如く、三つの特別セグメントを使ふ方法と、第九〇圖の如く、二つの異形セグメントを使ふ方法とがある。三つを使用する場合、兩横繼手面共、内側になつてゐる、小型のセグメント(第八九圖○型)を、キー(Key)と稱するが、最後に之を内側から挿し込むのである。小型トネル等で、セグメントの大きさが小さくて、最後のセグメントを、内側からでなく、横側から押し込められる場合には、第九一圖の如く、必ずしも、異形セグメントの必要はない。

直線路に於ては、此等セグメント環の幅は、一樣で差支ないが、曲線路又は縦曲線挿入區間に於ては、第八九圖に示す如く、一環の幅を變へなければならぬ。従つて曲線部分には、一環の各セグメント一つ宛が、違つた兩端の幅をもつ扇形のものを使用しなければならぬが、實際には、曲線の半径に應じ、適宜、直線路用の環幾つおきかに、此の扇形セグメント環を挿

入すればよい。又此の扇形セグメントは、シールド推進の方向が、狂つた場合、調整するのにも使用する。

一般にセグメントの幅即ち覆工一環の幅は、推進ジャッキの一押分、即ちピストンの衝程に合はして定める。昔は五〇糎程度の短いものだったが、最近では八〇糎以上の長いものが用ひられる(第二三三頁表参照)。

鑄鐵セグメントの起りは、古く英國に於ける、鑛山用シャフトの覆工用であるが、トンネルの覆工として、實際に用ひられたのは、才つと後のことである。最初にこれを利用したのは、シールドと同様、ロンドン市のチームス河底のトンネルで、一八六九年に完成し、トンネル史上「タワー地下道」として、知られてゐる。直徑二・一五米ばかりの小型人道用水底トンネルである。

鑄鐵セグメントの一般の形は、前にも述べた通り、四邊にある突縁をボルト締にするものが、特別セグメントには、キー共三つを使用するのが普通である。横繼手を隣接各環相互に於て、喰違はす爲に、圓繼手に於けるボルトの間隔は、組立てた時、等距離となる様、普通型と

特別型との圓繼手ボルトの位置を定める。キーは普通、ボルト一本を配する短いものにし、之に接する二つの異形型は、普通型と同様な長さにする。なほ、第八九圖につき鑄鐵セグメントの形の細部に關し、今少しく説明すると、

覆工の外皮となる外殻の、突縁と取付く隅角部分は、肉の厚さを増す、即ちハンチ(Hunch)を附して丈夫にする。又突縁も、外殻と取付く根元部分の肉を厚くして、先端を薄くする。外殻の中央には、シールド尾部の移動後に、残る空隙を填充する爲に注入孔をあけて置く。此孔には、注入用パイプを取付ける爲のネジを切り、短い栓をねぢ込んで塞いで置く。

突縁は、組立の爲に役立つ許りでなく、覆工の強度を増す爲に、必要なものである。又圓繼手となる長手の突縁は、シールド推進用のジャッキをあてがふ直接の受となるから、之を補強する爲に、其の内側に三角形の補剛材を取付ける。此の補剛材には、小孔を穿ちおき、運搬の際又はエレクターの腕先に取付ける際に便する。突縁の先端の外側に沿うて、小さな切欠があるが、之は防水用のもので、二つのセグメントをつなぎ合はすと、之が繼手に沿うて防水用の詰物をする小溝となる。

セグメントは、鑄造後の自然變形に對し、或る期間シーズニング (Seasoning) してから、突縁の外面、繼手となる面を、設計寸法に合はし、正確に機械仕上をする。これは、組立を、確實容易にする許りでなく、繼手面の接觸をよくし、防水上はもとより、突縁の破損を防ぐ結果となる。又仕上後は適當な塗裝を施しておく。

セグメント各部の寸法關係、即ち、セグメントの長さ（覆工一環分を形成するセグメントの數と割ふり）、セグメントのトンネル方向の幅（覆工一環分の幅）、外殼の厚さ、突縁の高さと厚さ、防水用切欠の寸法、ボルトの大きさと配置、ボルト孔径等は、トンネルの大きさ、地質等色々な點から、シールドの構造とも關聯して定めるのであるが、こゝには、其の詳細を説明する餘裕はないから、たゞ近年の工事に屬する二、三の著名な大型水底トンネルの實例を左表に示すことにする。

寸突 法縁 (耗)	一環の幅 (耗)		覆工外徑 (米)	開 通 時 期	ル ネ ン ト	名 稱	用 所 在 地
	根 元 厚	先 端 厚					
七〇	六〇	三五六	九・四四九(三一呎)	一九四〇年	ク イ ン ス ・ ミ ッド タ ウ ン	Queens Midtown	合衆國、ニュー・ヨーク 市イースト河底 自動車専用 二列トンネル
四一	三五	二七九	九・四四九(三一呎)	第一トンネル 一九三七年 第二トンネル 一九三九年	リ ン カ ー ン	Lincoln	合衆國、ニュー・ヨーク 市ヘッドトン河底 自動車専用 二列トンネル
七〇	六〇	三五六	八・九九二(二九・五呎)	一九二七年	ホ ラ ン ド	Holland	同上 自動車専用 二列トンネル

ボルト数	寸外法(耗)		寸ボルト法(耗)	
	端厚	中央厚	直徑	孔徑
圓繼手	七〇	四一	四五	五一
横繼手	四一	二九	三五	四一
八五	四一	四一	四五	五一
八五	七〇	四一	四五	五一
八五	四一	四一	四五	五一
八五	七〇	四一	四五	五一
八五	四一	四一	四五	五一

右の表中、クキンス・ミッドタウンのトンネルでは、重いのと、軽いのと、二種のセグメントを準備し、重い方は、土砂の區間と、岩磐と土砂の混合區間とに、軽い方は、全断面が岩磐の區間に利用した。

此等鑄鐵セグメントの組立には、エレクターを使用し、下部インバートから始めて、左右を一樣にすゝめ、最後に二つの異形型とキーとを入れて、一環分を完成する。シールドをジャッキで一押分だけ、押し出したら、すぐ尾部の内側を掃除し、前に据付けた覆工環の外側には、

詰物がかつて、泥土や水の出てくるのを止め、又壓搾空氣の漏出を防ぎ、其の圓繼手面を掃除してから、新規の環の組立に掛る。

覆工は組立後、地質に依つて、シールドの位置から、或る程度遠ざかる迄は、變形變位するから、組立に際しては、之を見込んで、ボルト孔の餘裕(第二三頁の表参照、六耗位)と、シールド尾部内側の餘裕を利用し、形と位置とを加減する必要がある。場合に依つては、變形を防ぐ爲、一時的又は恆久的に、覆工間に引張材を入れることがある。

覆工を強固に、しかも防水的に仕上げるには、ボルトを充分しつかり締めつけなければならぬが、組立後作業中に緩んだら、何度か之を締め直さなければならぬ。例へば、推進ジャッキを當てて、シールドを押し出すと、直接其の受となつた最端の環に近き覆工のボルトは、自然緩むから、次の推進を始める前に、之を締め直す必要がある。又ボルトの締付を充分にする爲には、締付上ボルトに與へる張力の最小限度を指定する。最近の合衆國に於ける大型水底トンネルの實例では、ボルトには抗張力の高い炭素マンガン特殊鋼を用ひ、此の限度を一七五〇砵每平方糎に指定してゐる。

ボルトの締付は、人力に依る場合には、先づ柄の短いレンチで、荒締をなし、次に柄の長いレンチで、仕上の締付をする。近年荒締用に壓搾空氣運轉の手持小型機を用ひてゐる。又合衆國のリンカーン・トンネルでは、セグメント・エレクターと同様な運動の出来る、水壓、空氣兩動力併用の大きなボルト締機を考案し、之をシールドと別に其の後方に動く、移動足場に取付けて使用した。此の機械は、前記のボルト締付の所定應力限度に、一作業で機械的に出来る仕組になつてゐる。

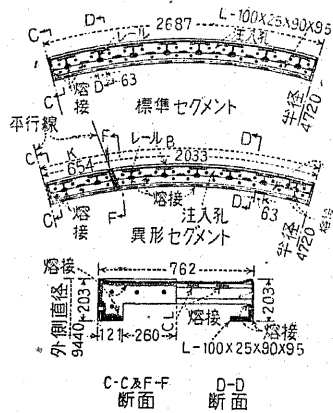
次に防水であるが、鑄鐵セグメントに於て、防水工を要する箇所は、セグメント継手面、ボルト孔、注入用孔である。注入用孔は、塞ぐ栓に塗料類をつけて、充分締めればよい。継手面の防水は、古いトンネルでは、突縁間に詰物を狭んで締めた例もあるが、今日は前に述べた通り、突縁の継手面は正確に機械仕上にしてあるから、之を直接つきつけて組立て、防水は其の先端の切欠溝に、防水材料をつめる方法に依つてゐる。詰める防水材料には、柔軟な鉛の紐類、或は鐵屑とサル・アムモニア及び硫黄の調合物等があるが、今日では、普通、前者が多く用ひられてゐる。其の方法は、先づ溝中に、鉛の紐を、たゞき込みながら詰め、覆工が變形すれば

更に之をたゞき直し、覆工が落ち着くのを待つて、セメント・モルタル等を詰めて仕上する。防水材料をたゞき込むには、勿論人力でも出来るが、此の爲の壓搾空氣運轉の小型な手持鑿もある。

ボルト孔の防水には、一般にグロメット (Grommet) 又は (Grunnet) と稱する、麻、鉛又は瀝青材の輪狀品を、ボルトのワッシャーの下にはめて、ボルトを締付け、ボルト孔の間隙を塞ぐ方法に依つてゐる。麻のグロメットは、光明丹と煮亞麻仁油との混合液に、よくひたしてから用ひる。

従來の實績に徴すると、此等の方法を、注意深く施工すれば、可成り完全に、防水の効果をあげることが出来る。

鑄鐵セグメントに依る覆工は、其の儘で仕上の覆工をしないこともあるが、多くは、トンネルの用途に應じ、全部又は部分的に、内部に仕上コンクリート覆工を施工する。之に依り、トンネル内面を滑かにし、覆工の強度を増し、且つ鐵の腐蝕、特にボルトの頭とナットの錆びるのを防止することが出来る。



第九〇圖

第九〇圖は、合衆國ポストン市のポストン港底の自動車専用トンネル（第二一〇頁表参照）に用ひた熔接形鋼セグメントの例で、突縁間の補剛材に二・三冠（四五封度）軌條を用ひてゐる。

ボルト締に依らないセグメントとしては、コンクリート塊と木塊とがあるが、ボルト締

次に鑄鐵セグメント以外の覆工に就いて、少しく説明しようと思ふ。

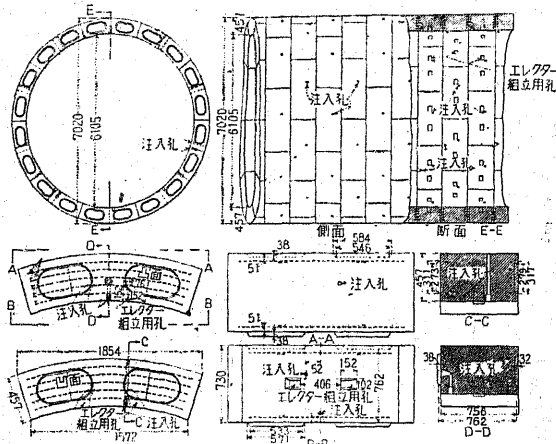
鑄鐵セグメントと同様、突縁をボルト締にする方式に、壓延形鋼を鉸鉸又は電氣鉸接したものと、鐵筋コンクリート製のものがある。併し、今日實用的に用ひられてゐるのは、壓延形鋼を熔接したもので、鐵筋コンクリート製のもの、最近ロンドンの地下鐵道で用ひられた位で、未だ一般には使はれてゐない。鐵道省では關門水底トンネルと關聯して、鐵筋コンクリート製のセグメントにつき研究を進めてゐるが、其の結果を見ると、充分實用になり得ると思ふ。壓延形鋼を繼ぎ合はしたセグメントには、色々な實例があるが、未だ鑄鐵セグメント程に、其の設計が標準化されてゐない。併し大體の構造要領は、

- 一、同じ強度に對し、鑄鐵より軽く出来るし、補強方法も樂であるから、鑄鐵製に比し、セグメントの長さを大きくして、一環のセグメント數を減ずる。
- 二、覆工の圓周に合はして、曲げた鋼鈹を外殻として、其の周邊に突縁用の細長い鋼鈹を取付ける。時に、外殻の鋼鈹の何れかの兩端を直角に曲げて一方の突縁とすることもある。
- 三、長い圓繼手となる突縁が、シールドのジャッキ推力に耐へる様、トンネル方向に平行し

て突縁間に、形鋼の補剛材を配置する。又幅が長い場合には、横繼手の突縁間にも形鋼の補剛材を入れる。

四、異形の型を用ひる點に就いては、別に鑄鐵セグメントと變りはない。

五、鋼材は、鑄鐵と違つて錆び易いから、組立後外面には、充分セメント注入を爲し、内面には必ず仕上のコンクリート覆工を施工する。



第九一圖

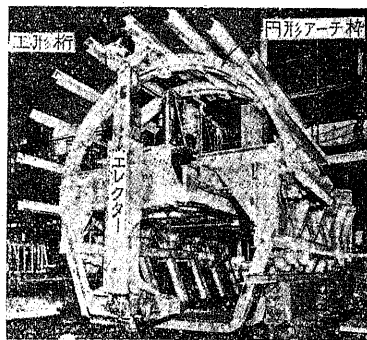
合ふのだが、凸面の高さは、凹面の深さより、六耗か七耗位、餘計になつてゐるから、圓繼手には、それだけの隙が残る。又セグメントは、覆工背面のシールド尾部の空隙を填充する爲の注入孔、圓繼手の防水用のセメント注入孔、セグメント・エレクターでつかむ爲の二つの鈎孔が、つけてある。圓繼手の面には、鐵筋を入れて、補強したのもある。

これを組立てるには、シールドのすぐ後方に續いて進む、移動足場に取付けた、水壓または電気運轉のセグメント・エレクターを用ひる。第九二圖は、此の移動足場

のセグメントの如く張力に耐へられないのが、一大缺點である。木塊のセグメントは、製作も簡單で、重量も軽く、組立も人力で出来、つなぎも釘類で容易に出来るが、剛性に乏しく、推進用ジャッキの推力で歪み易く、又耐久性がないから、コンクリート等で、第二次の仕上覆工を施さなければならぬ。此の使用實例は、合衆國に多いが、其の多くは下水用其他の小断面のトンネルである。

次にコンクリート塊セグメントであるが、之は必ずしも、第二次の仕上覆工を必要としない。たゞ其の利用上、特に工夫を要する點は、一環のセグメントを組立てる場合の上半部セグメントの支持方法と、シールド・ジャッキの推力を受ける爲の、各環の接面構造とである。コンクリートは、鐵材や木材に比べて、張力に弱く韌性に乏しいから、ジャッキの推力をセグメントの局部に集中させると、破損し易い。斯ういふ點につき、色々な考案があるが、實用に供された二つの實例を説明しよう。何れも合衆國に於けるものである。

第一の例は、第九一圖の如きセグメントを使用するもので、圓繼手の兩面に、夫々二つ宛、楕圓形の凸面と凹面とがある。二つのセグメントの凸面と凹面とは、組立に際し、互にはまり



第九二圖

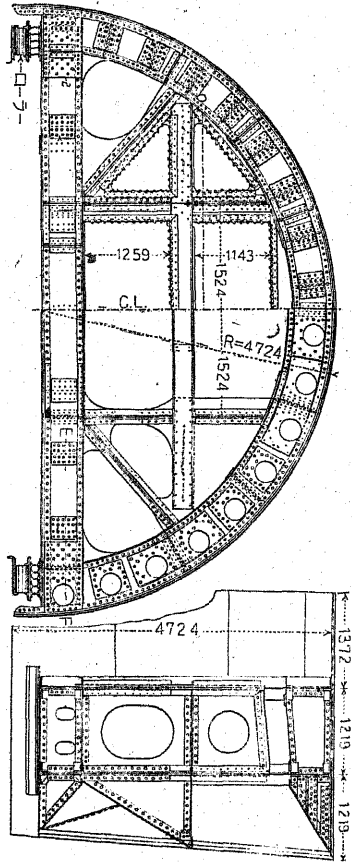
ある。環の上半部セグメントを組立てるには一環が完成するまで、一時的な支へが必要だが、これには、同圖上に見る如く、移動足場上エレクターの後方に据ゑた、二つの圓形アーチ桁上を動く、I形桁を、組立てるセグメントの下方に、突出して受けさせる。此のI形桁は、覆工の内面に近く、桁上をトンネルの方向に動く外、トンネル半徑の方向にも、僅か移動調整出来る様な仕組にしてある。なほ此の移動足場上には、注入用の注入機も備付けて、覆工の作業が一切此の足場

上で出来る様にする。
此のセグメントの方式は、合衆國で、相當廣く用ひられてゐるが、壓搾空氣を併用しないですむ、都市の下水、水道、地下鐵道用のトンネルに、其の實例が多い。

此の他に、合衆國で、六角の龜甲型や、四角の梯形のコンクリート・セグメントを使ふ特種

な方法が、考案使用されてゐるが、小型の下水トンネルに、利用された一、二の例があるだけで、まだ前記のセグメント程に一般化してゐない。

斯ういふ、特別なセグメントを利用しないで、シールドのジャッキの推力を受ける方法を、別途講じて、覆工材料としては、普通の煉瓦、或は場所詰コンクリート等を用ひる方法も、今日迄用ひられたことがある。併し其の實例は少く、今日工法としての重要性は餘りない。二、三の實例を簡単に説明すると、鐵道トンネルの屋根シールドに用ひられたものに、場所詰コンクリート中に、ジャッキの推力を支持する爲の鐵棒又は鐵管を、トンネルの方向に、ジャッキの當る箇所埋込んだのがある。又型枠を堅固に作り、填充した場所詰コンクリートが、ジャッキで押されても、移動する餘地がない様にして、直接場所詰コンクリートに、ジャッキの推力を受けさせた例もある。又シールドのジャッキを、覆工の内面近くの位置に取付け、覆工の型枠を堅固に作り、之にジャッキの推力を支持させたものもある。併し何れにしても、此等の方式は、覆工の施工作業に面倒が多く、且つジャッキの推力に對し、覆工を傷める危険があつて、工法としての信頼性が少い。そんな譯で、今日餘り顧みられてゐない。



第九三圖

四、屋根シールド

屋根シールドを用ひる場合には、之を乗せて、移動する土臺となる、覆工の側壁部分を、シールドの前進に先んじて、築造しなければならない。之には左右に側壁導坑を先進させて、側壁覆工を築造する。側壁の上面には、シールドの移動を樂にする爲に、レールを逆様にいけ込む等の方法により、滑面を作る。

屋根シールドの構造上、全断面のシールドと、特に異なる點は、外殻に沿うて、ジャッキををさめてある、桁組の兩側下端に、移動に適する支承を取付けること、此の部分を、丈夫な水平の桁で結び、シールドが變形しない様にする事である。第九三圖は、合衆國ポストン市の地下鐵道に用ひた、屋根シールドの一例である。

シールドを、豫め先進して築造した、兩側壁覆工上を移動させて、アーチ部分の掘鑿と覆工とを終へたら、最後に兩側壁間に残る、中央の部分を掘鑿して、インバートの覆工を完成する。此の方式は、前にも述べた通り、市街地下の土被の少い、陸上の大型トンネル等で、開鑿式に依れない場合、普通の支堡工に依る掘鑿では、地表に變動を來して困るし、さりとて地質上

全断面シールドを用ひる必要もないと云ふ際に、主として利用されてゐる。従つて實例も、都市内の鐵道トンネルが主である。

シールド工法の説明は、此の位にして、次に、第一一節に述べた、地下水處理に關係ある壓搾空氣の利用其他の諸工法に就いての説明に移らう。

二六 壓搾空氣を用ひる工法

水の出るトンネル坑内の氣壓を、壓搾空氣を入れて、其の水壓に打ち勝つだけの壓力にすれば、出水は空氣の壓力と平衡して止まる譯である。此の關係を、水の出る水底トンネルの工事に利用したのが、本工法である。併し人間が、保健上安全に働き得る壓搾空氣の壓力限度は、大體三氣壓半即ち、三・五疋每平方呎であるから、これ以上の高い壓力即ち靜水壓高三五米以上の湧水を防止する爲には、此の方法は用ひられない。

此の方法は、十九世紀の三、四十年代に、既に堅坑の掘下げに利用されたが、トンネル工事に利用したのは、ずつと遅れて、七十年代からである。最初に之を用ひた、大きなトンネルで

有名なのは、合衆國ニューヨーク市の最初のハドソン河底トンネルである。

此の工法を用ひる爲には、

一、トンネルを横斷して、空氣の通らぬ隔壁を造り、壓搾空氣を入れる坑内を、外氣と遮斷しなければならぬ。

二、氣壓の異なる隔壁内外の連絡には、隔壁に空氣ロック (Air Lock) と稱する出入路を、設けなければならぬ。

此の空氣ロックは、普通、第九四圖の如く鋼製の細長い圓筒で、兩端には同方向に開く戸がついてゐる。隔壁中には、此等の戸が、坑内側、即ち壓搾空氣側に向つて開く様埋め込むが、ロックの内外にバルブがあつて、ロック内と坑外側とを通じて、氣壓を等しくすることが出来る。坑内の壓搾空氣内へはいるには、ロック内を外氣壓と同じにし、坑外側の戸を開いてロック内に入り、之を閉ぢてから、バルブを開いて、坑内と通じて、ロック内に壓搾空氣を入れ、坑内と氣壓を等しくしてから、坑内側の戸を開くのである。壓搾空氣の坑内から出るのには、此の逆をやればよい。

一、壓搾空氣内の勞働

急に外氣から壓搾空氣内にはいつたり、又餘り長く壓搾空氣内に働いて、急に壓搾空氣内から、外氣に出ると、體質に依つて、色々な身體故障を起す。壓搾空氣内に人間がはいると、氣壓に應じて餘分の空氣が體内に溶け込むが、外氣に出る場合、除々に此の餘分の空氣を放散しないと、之が體内に窒素瓦斯の氣泡を遊離して、諸種の内科的疾患の原因となる。之を潜函病又はケーソン病と稱するが、之を豫防するには、大體次の注意が必要である。

- 一、労働者の採用に際し、健康診断を厳にし、壓搾空氣内の作業に、不適當な體質の者を使用しないこと。
- 二、労働者の生活に注意し、飲酒、睡眠不足、空腹の者其他身體に故障ある者を入坑せしめないこと。
- 三、入坑に際し、ロック内に於ける氣壓上昇の速度を緩かにすること。一氣壓に五分以上をかける割合にする。
- 四、出坑に際し、ロック内に於ける減壓の速度を急にしないこと。前項昇壓の場合より此の

方が、一層保健上大切である。大體、坑内の使用壓搾空氣の壓力が、一氣壓位迄は、危險性が少いから、五—一〇分位かゝつて、減壓すれば安全である。これ以上二氣壓位からは二〇—三〇分、三氣壓以上になつたら、四〇—六〇分もかけなければならぬ。

五、壓搾空氣内の作業時間は、壓力に應じて、制限しなければならぬ。合衆國では、壓搾空氣使用の工事に對し、労働者保護の法制があるが、此の作業時間に對し、同國ニュー・ヨーク州では、次表の如き制限をしてゐる。

壓搾空氣の壓力(氣壓)	第一回の壓搾空氣内の作業時間				外氣中の休息時間				第二回の壓搾空氣内の作業時間				二十四時間中の壓搾空氣内の作業時間			
	時	分	時	分	時	分	時	分	時	分	時	分	時	分	時	分
〇—一・四	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇
一・四—二・〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇
二・〇—二・四	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇
二・四—二・八	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇
二・八—三・一	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇
三・一—三・四	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇

六、ロック内の減壓に對し、温度の低下を防ぐ爲、適當な煖房装置をすること。又出坑労働者に、温い飲料等を給與して、保温に注意すること。

以上の諸豫防法を講ずる外、ケーソン病患者を出した場合の療治用に、病院ロックを準備しなければならぬ。ケーソン病患者は、醫師の監督の下に、再度壓搾空氣内に入れて除々に減壓しつゝ、所謂再壓法に依つて治療する。此の爲に病院ロックを必要とするのだが、之は普通の工専用空氣ロックと、大體同じ様な構造で、内部に寢臺、電熱器、外部との通話装置等を設備したものである。

次に隔壁と工専用ロックに就いて説明すると、

二、隔壁と空氣ロック

隔壁は、壓搾空氣の壓力に耐へ、且つ壓搾空氣の漏出を完全に防がなければならない。又之には労働者の出入、礮、材料の搬出入に對する、空氣ロックを取付ける。隔壁は今日では普通コンクリートで造るが、周邊は充分トンネルの天然地盤内に喰ひ込ませて、其の接觸面には、築造後セメント注入等を施して、空氣の洩れる空隙を残さない様にする。其の厚さはトンネル

の斷面に依つても違ふが、從來の例で見ると、トンネルの内徑の五、六十パーセント位である。

前節の壓搾空氣内の作業注意につき、述べた理由から、トンネルの延長が長く、又使用空氣の壓力が、一氣壓半以上にもなる場合には、切端に近い隔壁の外に、これから二五〇米乃至三〇〇米以内に、第二の隔壁を置き、此の兩隔壁間の空氣壓を、切端の壓力の半分以下に保ち、切端への出入に際し、中間的な壓力の區間を通過させる。又切端に近い隔壁は、切端から、餘り遠くせず、二五〇米乃至三〇〇米を越えない様にする。斯ういふ方法を講ずることにより、ケーソン病の發生を防止することが出来る。

ロックの仕組については、前に述べたが、工專上、ロックには、次の二つがある。

一、人間用ロック

二、材料用ロック

人間用ロックの大きさは、一度に出入する労働者の數、材料用ロックの大きさは、使用する運搬車の大きさに依つて定めるのだが、シールドと壓搾空氣を併用した、大型の水底トンネルの實例で見ると、此等のロックの大きさは、大體直徑が一・八一二・二米位で、長さは六―七米内外で

ある。人間用ロックには、中央に通路兩側に腰掛を据付け、又材料用ロックには、トンネル内の運搬軌道と同一の軌道を、内部中央に敷設する。又ロックの兩戸扉には、小さな硝子窓を取付けて、内外から見透かされる様にする。此等のロックは、第九四圖に見る如く、夫々隔壁中に据付けるが、材料用ロックは、其の内部の軌道とトンネル内運搬軌道とが、同水準になる様据付けなければならない。

人間用ロックは、日常作業用の外に、今一つ、第九四圖に見る如く、隔壁の上部に近く、取付通路と共に据付けるが、これは前に説明した吹出の事故等から、トンネルが洪水をくつた場合、労働者が危難をのがれる爲のもので、之を非常用ロックと稱してゐる。又此の外に、大きなトンネル等では、監督、測量の技術者が、少人数、出入する爲の容積の小さい人間用ロック（エンジンチャー用ロックと稱す）を設けると、便利である。之には非常用ロック内を區切つても出来る。又木材やレール等の長物を、簡単に搬入する爲に、兩端に遮断瓣をもつた、パイプ・ロックを、坑内軌道敷に据付けることもある。此の直徑は、 $0 \cdot 310 \cdot 5$ 米位で、長さは一〇米位である。

三、壓搾空氣の供給と掘鑿作業

壓搾空氣は、坑外に据付けた低壓空氣壓搾機から供給するのだが、坑内へは、隔壁を通じて、二つのパイプを用ひ、一つは、坑奥切端へ近く、一つは、隔壁に近く、放出するのが普通である。パイプには、少くとも、直徑一五糎又は二五糎位のを用ひる。

切端から、汚毒空氣をぬく爲に、隔壁を通じて、外氣に通ずる排氣パイプを設けるが、之には、切端に近く調制御バルブを取付けて、加減出来る様にする。

供給壓搾空氣の量は、送氣管中の損失、諸ロック出入の爲の消耗、切端の通風用排氣關係、切端面等の地山からの漏出、トンネルの進行に伴ふ壓搾空氣區間の増大等に依つて、定まるのだが、シールドを使用し、覆工に鑄鐵セグメントを用ひる場合だと、大體此の供給量は、トンネルの直徑との關係で考へられる。實際の工事の例から、極めて大體であるが、次の様な實驗式がある。

空氣の消耗少き場合

$$C = 37 D^2$$

空氣の消耗多き場合

$$Q = 7.4 D^2$$

式中の Q は、所要壓搾空氣量（大氣壓にて毎分立米） D は、トンネルの外徑（米）

要するに、壓搾空氣を使用する場合の、空氣壓搾機其他の動力、機械設備は、充分な容量をもたせ、事故又は修理に際しても、支障なからしむることが必要である。

なほ、空氣壓搾機が取入れる空氣は、動力室外の清淨寒冷なものでなければならぬ。又壓搾した空氣は、坑内へ送り込む前に、出来る限り冷却し、油其他の不純物を取除き、且つ其の供給量を充分にして、坑内壓搾空氣の炭酸瓦斯の含有量が、容積で千分の一を超えない様になければならない。

切端に使用する壓搾空氣の壓力は、湧水の壓力に依るのだが、此の壓力は、土被の少ない水底トンネル又は水の浸透し易い地質のトンネルでは、大體地表の水面からの静水壓高に等しくなる。此の場合には、切端の頂部と底部とでは湧水の壓力に、トンネルの高さだけの差がある。だから若し、使用の空氣壓力を、底部の湧水壓力に等しくすると、切端全部の湧水は、止めら

れるが、頂部の空氣壓は、水壓より高くなるから、吹出事故を起す危険性が増す。それで、この心配ある場合には、下部からの湧水を止めるには足りないが、使用空氣壓力を頂部と底部の湧水壓の中間位にして、作業するのが普通である。

壓搾空氣を利用する本工法の掘鑿作業に於て、最も注意を要する點は、空氣の漏れて逃げることで、特に危険なのは、吹出事故である。シールドと共に、壓搾空氣を使用する場合の、掘鑿作業に就いては、第二五節(二)にも述べたが、吹出の危険がある場合には、特に掘鑿に慎重な注意を要する。之が爲には、シールド(二)の地盤は、完全に支堡工で、閉塞支持しながら、小部分宛開いては掘鑿をすゝめ、且つ前進する双口部分の地盤は粘土類でおきかへて、空氣の急激に吹出す機會を極力造らない様にしなければならない。又水底迄の土被が淺く、其の地質も空氣を通し易い場合には、ブランケット(Blanket)と稱じ、此の區間の水底に、粘土類を、或る厚さと廣さに積み重ね、トンネル上部を覆ふて土被の少ない危険を防護する方法を講ずる必要がある。

合衆國ニューヨーク市のハドソン河及びイースト河底のトンネル工事では、此の吹出事故

の爲、切端に働いてゐた労働者が、烈しい勢で吹出す空氣と共に、河底をくゞり抜けて、水面に浮び上り、しかも命をとりとめたといふ、珍しい事故もあつた。

吹出事故其他坑内の壓搾空氣の壓力が急に降下する事故があれば、トンネル内は、直ちに洪水に見舞はれるが、此の萬一の危難に對する保安施設として、前記の非常用ロックと關聯して、安全スクリーン (Safety screen) と非常通路とを設備する。安全スクリーンは、板又は鐵板で、空氣を通さない様に造つた仕切板で、第九四圖の如く、隔壁と切端との中間、トンネルの上部を仕切つて、覆工にびつたりと取付ける。又非常通路は、第九四圖の如く、切端の後方から、安全スクリーンの下をくゞり、非常用ロックに達する様、トンネルの上方に取付けた通路である。吹出其他の原因で、急に洪水に襲はれて、坑内が急速に増水する場合、安全スクリーンと隔壁間の上半部の空氣は、スクリーンに遮られて、逃げないから、此の空間に労働者が、非常通路を通つて逃げ込みさへすれば、非常用ロックをぬけて、避難することが出来る。

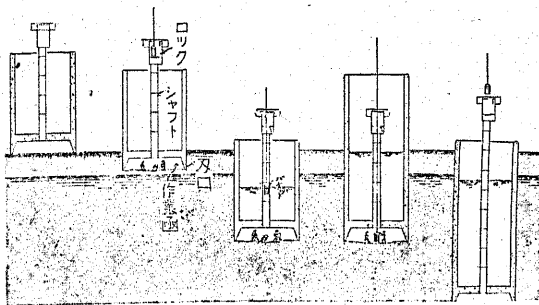
これ迄の説明は、主として水底トンネルを對照に、壓搾空氣の利用を説明して來たが、普通の山のトンネルでも、場合に依つては、之を利用することがある。例へば、日本の例として、

丹那トンネルに於ては、其の一部に多量の地下水をもつ砂層の區間があり、其の壓力が減じてしまつても、尙ほ且つ、湧水と共に崩壊してくるので、此の區間に、先づ高さ幅共二・四米程度の小排水坑道を通すのに、壓搾空氣を利用して、成功を納めた。此の工事では、ロックに、人間用と材料用との二つを用ひ、又覆工には場所詰コンクリートを利用した。此の様に、多量の地下水を含む地質で、其の水壓は左程高くないのに、水の爲弛められて、崩鑿に際し崩れ易く、支持するのに困難な地帯が、相當長區間ある場合には、一般に、此の壓搾空氣工法を利用すると、有效である。

四、空氣ケーソン (Caisson) 工法

壓搾空氣の工法は、獨りトンネル許りでなく、橋梁や建物の基礎工事にも大に利用される。即ち地表から縦方向に掘り下げて構造物を造るのにも利用するのだが、空氣の利用として、歴史的には此の方が、トンネルに於けるより古い。

此の工法の大體を説明すると、地下に掘り下げて造る構造物の底面を、第九五圖の如く、四方に双口があり、これから二・二米—二・四米の高さに、天井のある函形に造つて、此の函即



第九五圖

ちケーソン内に、壓搾空気を送り、地下水の浸入を抑へながら、函内の地盤を掘り下げつゝ、全體の構造物を其の重力で、所定の深さ迄下げるのである。此の壓搾空気をを入れる作業函の形は、掘り下げる構造物の形にあはして、矩形又は圓形とし、其の周壁は地盤との摩擦を少くする爲、凹凸のない平面にする。そして深く掘り下げる場合には、降下するにつれて、構造物の軀體を順次地表で繼足して行く。ケーソンは鋼製でも造るが、今日は多く鉄筋コンクリート造とし、地質に依り又口だけに鋼材を用ひる。

作業函との出入其他の連絡には、ロックを利用しなければならぬが、第九五圖の如く、作業函の天井から地表迄、鐵製の圓筒型のシャフトを、ボルト締にしたのを取付けて、其の上端に、鐵製圓筒型の空氣ロックを取付ける。

此のロックは、トンネル用のよりは、小型で、底面に下開の戸がある外、上面に下開又は側面に横開の戸がある。出入の方法は、トンネル用のと、別に變りはない。此のロックも、作業函が大きい場合には、人間用と材料用と區別して、別々なシャフトとロックとを取付け、且つ數も二組以上使用することがある。人間用には、シャフト内の側面に、昇降用の梯子が取付けてある。掘つた土砂は、普通バケットで、シャフトからロック内を引き上げる。地質が細い砂等だと、パイプを通じ、ケーソン内の壓搾空氣で、地表に直接放出する便法もある。

水深も淺く、水上交通等の關係からも、ケーソンを沈める箇所を縮切つて、築島が築に出来れば、築島上にケーソンを据付けて、直に掘り下げられる。併し、締切が困難な場合には、普通、最寄りの陸上で、ケーソンを造り、進水して浮かしながら、水上を曳船で、所定の位置に運搬し、水底に沈下してから、壓搾空気を送り、掘り下げ作業を始める。

ケーソン内の壓搾空氣は、主として其の周邊の地盤と構造物の隙間をくゞつて、逃げ出すから、其の分量だけは、絶えず空氣を補給しなければならない。所定の深さ迄、沈下を終ると、

ケーソン内には、コンクリートを填充して仕上げる。
 以上が基礎工事に於ける、空気ケーソン工法の大體だが、これと同工法に依り、土被の浅い陸上或は水底のトンネルを、沈埋築造し、又はシャフトを掘り下げることが出来る。

トンネルの場合には、トンネルを適當な長さで區切つて、ケーソン上部に、トンネル構造物を築造し、其の兩端は一時的な土留隔壁で閉塞し、之を前記の方法に依り、一・五米位の僅かな間隔をおいて、トンネルの中心線に、順次沈下し、後から其の繼手部分を特別に仕上げるのである。又シャフトの掘り下げに、利用するには、ケーソン上に、シャフトの覆工を築上しつゝ、前同様に、掘り下げ沈下すればよい。何れの場合に於ても、ケーソン内の浸水壓力が、三氣壓半以上になれば、使用壓搾空氣の壓力が、人間の働き得る安全限度を越すから、此の工法は利用出来ない。又水底トンネルに利用する場合には、沈埋式工法と同様、水が深く流速が早かつたり、水上交通が頻繁であると、利用がむづかしくなる。

大きな水底トンネルに、此の空気ケーソン工法を利用した例は、少いが、パリのセーヌ河底の鐵道トンネルは、此の工法に依つて、築造した。河に締切せず、トンネル構造物を、水中

で河底に沈めたのだが、列べて沈めたトンネル間の繼手の施工には、小型の空気ケーソンを利用した。繼手の間隔は、一・五米許りであつたが、繼手の兩側に、小型の作業用空気ケーソンを、トンネルの施工基面以下に下げてから、之を引き上げつゝ、コンクリートを打つて、繼手の兩側を塞いだ。ついで、繼手の上面に同じくケーソンで、コンクリートの屋根をかぶせてから、トンネル内部で、繼手區間の覆工を完了した。

日本でも、最近此の工法を利用して、トンネルを築造した實例がある。其の一つは、大阪の地下鐵道のトンネルで、新道路敷の地下埋設物の未だ埋めてない區間に、此の工法を利用して好結果を納めた。繼手區間は、兩側に土留板をあてながら、掘り下り仕上げた。其他、目下工事中の鐵道省の關門水底トンネルに接続する、門司側の土被少い陸上トンネルに於ても、地質が悪く、開鑿式に依れない區間に、此の工法を利用してゐる。又、第二四節(二)に述べた、現在工事中の大阪市の安治川水底の道路トンネルに於ても、其の兩岸のトンネル出入用の昇降機シャフトに接続する、トンネル部分の築造に、此の工法を利用した。

此の工法の最も大きな長所は、他の工法に比べて、トンネル附近の地盤を、餘り緩めずに、

構造物を地下に掘りさげて、築造出来る點である。

二七 注入工法

此の工法の要點は、地盤内の空隙に、壓力で、セメント乳(セメントと水との混合液)其他色々な材料を注入して、其の空隙を填充閉塞して湧水の流出を防ぎ、又地盤の崩壊性を少くするにある。此の工法は、前節の壓搾空氣に依る工法の如く、湧水の壓力に依り利用上制限を受けない。又其の利用範圍は、獨りトンネル工事許りでなく、シャフトの沈下、堰堤、橋梁等の基礎工事等、各方面に亘つて廣いが、こゝではトンネル工事に對する利用について説明する。

特種工法

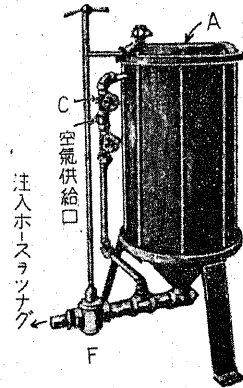
一、注入材と注入機

注入用の材料としては、セメント乳、セメント・モルタル、砂、小粒砂利其他凝結作用を起す藥液等、色々なものが用ひられる。填充する空隙が比較的大きな場合で、單に之をつめる目的だけなら、砂とか小砂利とかを注入すればよいが、之に防水等の目的があると、セメント・モルタル或は、小粒砂利とセメント乳とを用ひる。又岩石の割目をつめる目的等で、空隙が小

注入工法

きな場合だと、普通、セメント乳を用ひるが、砂層等の一層細い空隙になると、セメント乳が、注入出来悪いから、此の場合には、化學作用で凝結する藥液を用ひる。藥液には、硅酸曹達(Na_2SiO_3)所謂水硝子と、鹽化石灰(CaCl_2)とを用ひ、夫々の溶液を、別々に注入して、地盤中に硅酸石灰の膠状態を生成せしめ、之に依り砂層内の粒子を固結せしめる。此の藥液を用ひる方法を「硅化法」と稱してゐる。又岩盤内の細い割目にセメント乳を注入する場合、硅酸曹達と、硫酸礬土($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)とを反應させた液の注入を併用することがあるが、此の液は粘液質であるから、セメント乳の注入に、潤滑的な役目を果し、且つこれがセメント乳の入り込み得ない極細い割目をも充填する効果がある。其他注入材としては、火山灰、鋸屑、粘土、或は熱を加へながらアスファルトを液状にしたのを用ひた例もある。何れの注入材を用ひるにしても、使用に際しては、能く篩に掛けて、大粒の混入に依る、注入の故障を豫防しなければならぬ。

注入するには、壓搾空氣で押し込む方法と、液状の注入材だと、ポンプ作用で押し込む方法とがある。

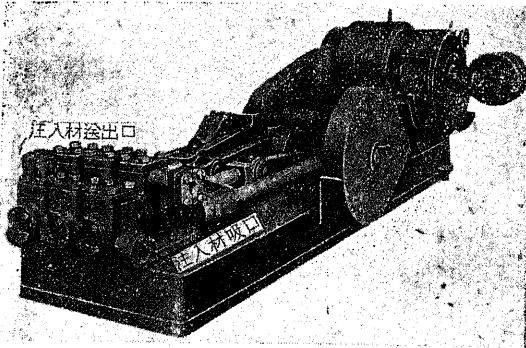


第 九 六 圖

第九六圖は、壓搾空氣に依る注入機の一例だが、カニフ (Canif) 型と稱し、北米合衆國で製作されたもので、日本でも、此の機械が用ひられてゐる。此の操作方法は甚だ簡單で、垂直圓筒の上端にある扉 A を開いて、圓筒中に、一回分の注入材を投入し、次にコック C と F を開いて、注入材の上

方と、下方の出口とに、壓搾空氣を送ると、注入材は、注入ホースに送り込まれる。此の機械には、使用空氣壓力、七疋每平方糶、二二疋每平方糶、四二疋每平方糶の三種がある。七疋のものは、普通の鑿岩機運轉用の空氣で、すぐ間に合ふが、他の高壓のものは、特別な昇壓機類を使用しなければならない。

ポンプ式の注入機は、低壓でも使用するが、特別に高壓な注入をする場合に使用される。之には色々なものがあるが、二〇〇疋每平方糶位の高壓のもの迄ある。第九七圖は、丹那トンネルで、製作使用した、高壓注入ポンプである。此の機械は、水平型の電氣運轉三聯プランジヤ



第 九 七 圖

一・ポンプで、回轉比を變化して、四〇疋每平方糶と一〇五疋每平方糶と、二段の壓力で注入出来るクラッチ切換裝置を有してゐる。

壓搾空氣に依る注入機は、作業が斷續的であるが、之を緩和する爲、二臺連結にする方法もある。注入材としては、液状のものでも、又粗粒のものでも差支なく、利用の範圍は廣いが、注入作業に熟練しないと、地盤内に壓搾空氣を押し込んで、之を緩めてしまふ怖があり、又作業能力が、ポンプ式程に、大きく出来ない。ポンプ式は、作業が連續的で、且つ注入壓が注入の抵抗につれて、上昇し作業能力も大きく出来る。併し、注入材は液状であることが必要で、藥液とか、セメント類の細粉混合液しか注入出

來ない

二、注入作業

トンネル工事に、注入を利用する場合に、大體左の二つがある。

一、覆工施工後に其の背面に注入して、覆工の補強と防水に利用する場合。

二、高圧な多量の湧水を伴ふ、斷層破碎帯又は割目の多い崩壊性の地質に注入して、湧水を遮斷し、防水と共に、地盤の崩壊性を減じ、掘鑿を容易ならしめる場合。

第一の場合には、覆工の章で、説明した覆工の背面と地山との間の、空隙を極力残さない様にする爲と、又覆工を水密にする爲との注入である。又シールド工法の際、説明した、シールド押出後、覆工背面、シールド尾部の空隙を、填充する注入も、此の場合に屬する。一般に、此の場合の注入は、其の注入の深さが、淺く、且つ注入し易いから左程高圧を必要としない。

シールドの尾部の空隙を、注入するには、普通カニフ型の注入機を使用し、セグメントの注入孔に、コックをはさんで、注入用ホースを取付け、鑿岩機運轉用の七疋每平方糎程度の壓搾空氣で、注入する。注入がすむと、コックをしめて、ホースを取脱す。注入材には、セメン

ト・モルタル、或は二度に、先づ小粒砂利をつめてから、更にセメント乳を注入する。(第九四圖参照) トンネルの使用上、餘り水密の必要ない場合には、砂又は小粒砂利だけで、セメントを用ひなくてもいい。注入は、普通、下部から天端に及ぼすが、壓搾空氣工法を併用する水底トンネルだと、單にシールド押出後だけでなく、壓搾空氣をやめた後になつて、注入孔から、浸水がなくなる迄、何回か繰り返す必要がある。

普通の陸上のトンネルで、主に此の注入を施すのは、地質の特に悪いトンネルで、覆工を充分地盤に支持させたい場合とか、覆工が内部から強い壓力を受ける壓力トンネルで、同様の目的以外に、水密にしたい場合とかである。地質が悪く、土壓のかゝるトンネルでは、屢、覆工巻立後、變位龜裂を生ずることがあるが、斯かる場合の補強に、此の注入を利用する。又高壓の壓力トンネルでは、覆工に鐵釘を利用すれば格別、鐵筋コンクリートや普通のコンクリートで、内壓からの張力に耐へ且つ洩水に對し水密にしようとするとなると、どうしても、此の注入に依つて、覆工背部の空隙を充分填充しなければならぬ。

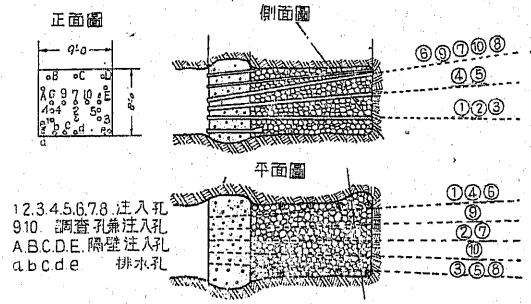
此の場合には、覆工の施工と同時に、豫め覆工中に、注入孔に利用する繼管付の鐵管(徑四

○耗一五十耗位)を適當に埋め込んでおくが、覆工施工當時、之を豫期してなかつた場合には、後から鑿岩機で、注入孔を穿孔し、注入鐵管を挿し込まなければならぬ。此の注入孔の配置、注入の順序、注入量の加減等は、地質の具合、トンネルの性質、湧水の具合等から、經驗により判斷して、之を決定する。大體覆工背部の空隙は、アーチ部分に残り易いから、注入孔の配置等も、其の様考慮しなければならぬ。又湧水自體を遮斷するには、注入鐵管を、湧水の出て來る地盤の割目へ深く、突ッ込んで置かなければならぬ。單に、空隙を填充するだけだと、普通カニフ型の注入機を用ひ、壓力も七疋每平方糎程度の低壓で充分である。注入材には、セメント・モルタル、砂、小粒砂利等を使用し、注入は、大體下部から頂部に及ぼし、一つの注入孔の注入量は、其の隣接の注入孔から、漏れる具合等から判斷して、之を加減しつゝ、順次注入を進めて行く。此の場合は、壓力も低く、比較的作業も簡單であるが、湧水を止めて、覆工を水密にするとなると、湧水の壓力に打ち勝つ爲にも、又岩鑿の細い割目に、注入材を押し込む爲にも、注入に高壓を利用しなければならぬので、其の作業がむづかしく、經驗を要する。併し此の場合でも、後に述べる第二の掘鑿上に利用する場合に比べると、湧水の具合は、

とにかく掘鑿後湧水を止めずに、覆工が施工出來る程度なのであるから、所要注入壓力も、左程大きい必要はない。それに、餘り高壓になると、覆工自體が耐へられなくなる。大體四〇疋每平方糎位迄である。注入機には、高壓カニフ型、ポンプ式何れも用ひられるが、注入材には、多くセメント乳を用ひ、先づ低壓で前記の空隙填充の注入をすましてから、之を行ふのが普通である。

入 次に、第二の掘鑿上に、注入を利用する場合であるが、此の場合には、普通、高壓な湧水に打ち勝ち、且つ深く細い地盤の空隙に、注入材を押し込む必要から、第一の場合に比べて、注入に高壓を利用しなければならぬ。従つて之には、一層經驗と熟練とを要する。

工 注入開始に先立ち、先づ注入する切端の地盤面が、注入の高壓で、崩れ出すのを抑へ、且つ押し込んだ注入材が、切端面へ逆流して漏出するのを防ぐ爲に、第九八圖に示す如く、切端面に近く、丈夫なコンクリート隔壁を設けなければならぬ。切端面が、幸ひ割目のない丈夫な岩鑿であれば、此の隔壁を省けるが、併し斯かる場合は稀である。切端面から、多量の湧水がある場合には、隔壁は其の地盤面に接して造らずに、一米位後退して、其の間を、埋め戻して



第 九 八 圖

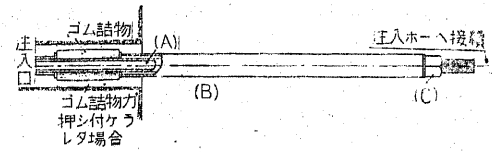
から築造し、湧水は、隔壁下端にパイプを埋め込んで排水する。又隔壁の周縁と地盤との境、特に天端部分には、隔壁築造後、セメント・モルタル等を注入して、間隙を充分密封し、場合に依つては、隔壁に接して、覆工をも施工し、高圧注入に依る注入材の逆流を充分防止しなければならぬ。

隔壁には、埋戻区間を通じ、切端に達する注入用の鐵管（直徑一〇〇耗程度）を埋め込んで置く。其の方向は、計畫の注入孔の方向と一致させ、本数は、豫定注入孔數に、幾分豫備を見込んで、増しておく。注入孔は、前記隔壁内に埋め込んだ、鐵管を通して穿孔するのだが、穿孔機には、壓搾空氣運轉の大型鑿岩機、又は地質調査用のダイヤモンド試錐機を使用する。此の注入孔の數配、

置、方向、深さ等は、地質の狀況と注入區域の具合等から、經驗に依り、判斷して、定めなければならぬ。方向は、大體、トンネルの頂部と側壁との外邊に向け、放射狀に穿つが、全部の穿孔をすましてから、順次注入すると、初めの方の注入で、後から注入する注入孔を詰めてしまふ心配がある。だから、地質の狀況等から判斷して、斯かる患のなさうな離れた注入孔だけを先づ穿孔して、其の注入をすましてから、其の間にある他の注入孔の穿孔をなし、其の注入をする方がいゝ。斯うすると、穿孔と注入と交互にやる面倒はあるが、前にやつた注入の成績も、調査出來て具合がいゝ。

注入する區間が、長い場合には、一度に深い注入孔を穿孔して、一回で注入を實施せず、深さに應じ、何回かに分ち、順次穿孔の深さを増して、一回毎に前回の注入成績を調査しつゝ、全區間の注入をすます方がいゝ。又更に注入區間が長い場合には、一つの隔壁で、注入せず、或區間の注入を終へたら、其の區間だけ掘鑿を進めて、更に隔壁を新設し、注入を實施する方が確實である。

注入機には、ポンプ式の高壓注入機を使用するが、注入用のホースは、充分高壓に耐へる特



第 九 九 圖

別丈夫なものを用ひなければならぬ。又此のホースの接手も、同様高壓に支障なき特別設計のものが必要である。隔壁に埋め込んだ注入管と注入用ホースとは、径が違ふから、之を連結するには、径違ひのソケットを用ひ、且つ其の間に、コックを取付け、注入がすむと、之を閉ぢて、ホースを取脱す。

豫め、注入管取付の準備なく、あとから注入孔を穿つて、注入管を取付ける場合、これが、注入の高壓で抜け出さない様、丈夫に取付けるのは、面倒であるが、之には色々な方法がある。丹那トンネルで用ひて成功した一つの方法は、第九九圖の如きもので、一端に太鼓型のゴム・パッキングを有するB管を、注入管Aにはめ、ゴム・パッキングの先端は、A管にはめた坐金で押さへ、B管の元を、A管にはめたナットCを締め、て押すと、ゴムのパッキングは、押し出されて、穿孔の内壁に密着し、

其の摩擦抵抗で、抜け出すのが止められると同時に、注入材が管壁から、逆流するのも防げるのである。

注入材には、普通多く、セメント乳を使用する。其の濃度即ちセメントと水との混合割合は、地質の模様、注入の具合等から判断して、適當に定めなければならない。又之は、一つの注入孔を注入する途中でも、注入量と壓力の上昇關係等から、適宜に變更しなければならない。セメントは、相當な微粉であるけれども、セメント乳中に、固體として存在するのだから、たとへ高壓注入に依つても、極微細な空隙に迄入り込んで、之を閉塞するには困難がある。それで、前にも述べた、セメントの注入を入れ易くする爲の、珪酸曹達と硫酸礬土との溶液注入を、同時に實施することがある。交若し填充する空隙が餘り深く大きい場合には、豫めカニフ型注入機を用ひ、セメント・モルタル等を或る程度注入してから、高壓のセメント乳注入をやり、或はセメント乳に、鋸屑又は火山灰を混入して、注入することがある。

セメント乳に依る注入が困難な小粒の砂層、砂利層等には、前にも述べた珪化法が用ひられるが、注入する地盤内で、兩溶液を旨く反應凝結せしめる點に、經驗と熟練を要する。外國では、之を用ひて實績を納めた實例があるが、我が國では、未だ試験をやつた程度で、實用に用

ひる迄に至つてゐない。

準備した注入孔を、どういふ順序で注入して行くか、又注入抵抗が増すにつれて、上昇するポンプの壓力をどの程度で、止めるか、之は注入作業上、經驗を要するむつかしい點で、地質に應じ、注入具合等から判断しなければならぬ。徒に注入壓力を上昇させると、折角或る壓力で、適當な範圍に旨く注入出來たのが、押し破られて、必要以外の範圍に迄、注入が達してしまふかも知れない。斯ういふ注入上の判断からも、前に述べた通り、準備する注入孔の穿孔は、一度に全部やらずに、或る數の孔宛、穿孔と注入を交互にやつて、前回の注入の具合を調査しながら、作業をすゝめる方が有利である。

此の第二の堀鑿に利用する注入工法は、日本でも、丹那トンネルの工事に、大に利用して実績を擧げたが、前にも述べた通り、目下工事中の關門水底トンネルの門司側、岩磐内の不良斷層地帯の堀鑿にも、之を利用して成功を納めてゐる。

二八 凍結工法

此の工法は、湧水の多い軟弱な地盤の堀鑿に當り、周壁の地盤を凍結させて、其れ自體を水密な丈夫な壁と化して、堀鑿を容易にしようとするのである。此の工法は、シャフトの沈下には、利用實例が多いが、トンネルには、未だ其例が少い。

方法の大體は、堀鑿するシャフト又はトンネルの周壁や磐内に、〇・六米乃至一・二米位の正しい間隔で、三〇米乃至九〇米位の孔を掘り、必要に應じケーシング管を入れ、此の内部に凍結液が流通する様、内外二重になつてゐる凍結パイプを入れて、孔の周圍の地盤を凍結させるのである。凍結液には、製水の場合と同様、マグネシウム・クロライド液又はカルシウム・クロライド液を用ひ、之をアムモニア壓搾凍結機に依り、冷却させて、前記のパイプ内を流通させるのである。流通後、堀鑿が開始出來る程度に、地盤を凍結させるのに、孔の深さと地下水の状況とに依り、數ヶ月を要する。凍結は、堀鑿を了して、丈夫な覆工が出來上る迄、絶えず続けなければならぬが、堀鑿に際しては、發破等に依り、凍結パイプを破損しない様にしなければならぬ。

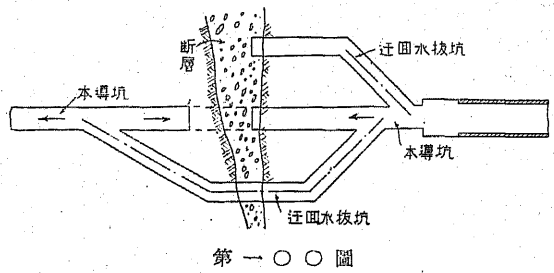
右の様な譯で、之は方法としては、面白いが、實用上には、工費と工期とを要するので、ト

ンネル工事では、今日他の方法に比べて、一般に廣く利用される迄に至つてゐない。

二九 迂回水抜坑に依る工法

此の工法も、堀鑿上、地下水を處理する方法の一つだが、其の方法は、湧水を伴ふ斷層帯の様な、地下水の爲、堀鑿困難に陥る不良地帯に出會つた際、本導坑の外に、何本かの迂回水抜坑を、之に掘りあて地下水をしぼり、其の壓力と量を減じて、堀鑿を容易にし、其の何れかの坑道に依り、不良地帯を突破しようとするのである。だから、方法としては、特別な機械装置や技術を要する譯ではなく、前記の諸工法に比べて、甚だ簡單で、利用上には面倒がない。併し、水底トンネルの場合の如く、豊富な水源をもつ湧水で、しぼつても、減水させる見込のない場合には、勿論、此の方法は利用することは出来ない。

先進した導坑が、湧水をもつ不良斷層帯に掘りあて、普通の方法では、堀進が困難になつたら、一時其の堀鑿を中止して、第一〇〇圖の平面圖に示した様に、其の何れか一側に近く迂回して、小さな迂回水抜坑道を堀進して、同じ斷層帯に掘りあてて見る。かうすると、斷層内の



湧水は、少くとも二箇所から流出するし、又湧水の道筋に依つては、本導坑か迂回水抜坑か何れか一方に多量導かれて、他方が少くなることがある。又斷層の狀況は、場所に依つて一様でないから、迂回水抜坑の掘りあてた部分が、案内性質のいゝこともある。斯くして、迂回水抜坑が堀進出来ることもあるし、又迂回水抜坑を掘つた爲に、本導坑が掘れる様になることもある。若し一本の迂回水抜坑で、成功しなければ、更に反對の側に、或は同じ側に、迂回水抜坑を進めて、斷層帯に掘り當て、水をしぼるのである。

若し迂回水抜坑の何れかが、不良地帯の突破に成功すれば、第一〇〇圖の如く、之を掘り進めて、適當な箇所から、トンネルの位置に戻り、本導坑を堀進して行く。中止中の本導坑は、充分其の部分の湧水がかれて、堀鑿が安全に出来る迄、暫時堀

進を見合はせる方がよい。本導坑は、何れ後から切擴げて覆工を施工しなければならぬから、無理に之を掘り進めて、附近の地盤を緩めることは、此等の作業に累を残すことになる。なほ此の中止中の本導坑の部分の湧水を、成る可く早くしぼる爲には、第一〇〇圖の如く、先進した迂回水抜坑から、逆に後戻りして、不良地帯に向け、導坑を進めて之に掘りあて、湧水を流出せしめるのも一法である。

迂回水抜坑を、本導坑の何れの側に先づ掘つて見るか、又兩側に同時に掘り進めるか、又之を本導坑からどの位離すか等のことは、實際に出會つた地質の諸狀況、湧水の具合、不良地質の幅等に依つて、實地に判斷しなければならぬ。

此の方法は、地下水に苦しんだ丹那トンネルの不良地質地帯を抜くのに利用して、實績を納めたが、場所に依つては、随分數多くの迂回水抜坑を掘つた。なほ、地下水をしぼる爲には、地質の調査をも兼ねて、此等水抜坑の先端から、試錐機により、多くの水抜用の穿孔をも實施した。しかも、此のトンネルでは、坑奥に進むにつれ、片口の湧水量が毎秒〇・八乃至一立方米に達し、トンネル内に設ける排水渠だけでは、流しきれないので、別に本トンネルに平行し

トンネル

て、坑口から排水用の水路坑道を築造した。此の他の鐵道トンネル工事にも、湧水を伴ふ斷層帯を抜くのに、此の工法を利用したことがある。高山線（高山、岐阜間）の宮トンネル木次線（穴道、備後落合間）の第四坂根トンネルが、其の例で、二、三本の迂回水抜坑を掘ることに依り、斷層突破に成功してゐる。