

## 第四章 掘鑿方式

概

以上二章に於て、概略ながら、トンネル技術の二要素、掘鑿と覆工とに就いての説明を終つたが、次に本章では、此の兩作業を綜合的に考へた、掘鑿の諸方式に就いて、説明をしようと思ふ。

### 一七 概 説

説

普通の山のトンネルでは、掘鑿作業は、覆工作業と、別に獨立で、先進するのが、一般である。併し先進すると云つても、後續の覆工作業と、關聯を保たなければならぬのであつて、前節でも述べた通り、掘鑿作業許り、如何に能率をあげても、覆工作業が之に步調が合はないと、トンネル全體としての工期が早まらないのは勿論、又地質に依つては、掘鑿後、覆工を施す迄に時日を要し、長く支堡工の儘放置すると、地盤を緩め、土壓を誘致する危険がある。だ

から、掘鑿作業を先走りさせる場合でも、覆工作業の進行を無視することは出来ない。

又、地質が特に悪く、切崩後早く、丈夫な覆工を施す方が有利な場合、又はさうしなければ前進出来ない場合には、トンネル全断面の掘鑿完了を待たずに、切崩の一部が終つたら、直に一部の覆工を施す等、掘鑿と覆工の兩作業を、交互に連絡して實施する必要も起る。

掘鑿の方式には、従来色々ものが用ひられてゐるが、第七節に述べた掘鑿を進める箇所からの區別は、一應別にして、トンネルの断面内に掘鑿を進める上からは、大體次の三點から之を區別することが出来る。

### 一、導坑の位置

### 二、導坑からの切擴方法

### 三、掘鑿と覆工との施工關係

勿論、此等の間には、關聯があるのであつて、例へば導坑の位置が定まれば、これからの切擴方法も、當然制限を受けることになり、又切擴と覆工の施工關係に依つて、導坑の位置も定まるのである。

導坑の位置としては、第五七圖に示す通り、左の四つの區別が出来る。

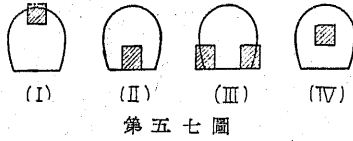
- 一、頂部中央に掘る場合——頂設導坑 (Top heading)
- 二、底部中央に掘る場合——底設導坑 (Bottom heading)

### 三、左右の兩側壁部分に掘る場合——側壁導坑 (Side heading)

### 四、中央部に掘る場合——中央導坑 (Center heading)

一般にトンネルの断面が、小さい場合には、全断面を一度に切崩して行けるから、こんな區別は起らない。又全断面式の掘鑿に於ても、同様である。又トンネルの断面が、非常に大きい場合には、導坑を二つ以上掘る必要が起るから、右の諸導坑を併用することがある。

次に、導坑からの切擴方法であるが、同じ位置の導坑に對しても、色々な方法があるが、大體、頂設導坑の場合には、上部から下部へ、逆に底設導坑の場合には、下部から上部へ切擴げる點に特性がある。なほ之に就いては、後に詳しく述べる。

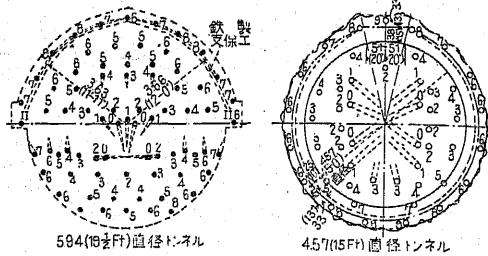


第三に、掘鑿と覆工との施工關係であるが、地質さへ許せば、掘鑿は、覆工と離して獨立に先進せしめ、又覆工は、全断面の掘鑿を終つてから、施工するのが普通である。併し、地質が悪くて、さう云ふ方法に依ると、特に丈夫な支堡工を要し、崩壞の危険性が多い場合には、掘鑿後成る可く早く、覆工を仕上げる方法を講ずる。例へば、アーチ部分又は側壁部分の掘鑿だけを押まして、直ちに其の部分の覆工を疊築してから、残りの切擴と覆工とに掛ることがある。此の前者のアーチ覆工を、側壁の切擴に先んじて施工する方法を、逆巻式又はベルギー式(Belgian method)と稱し、後者の側壁部分の掘鑿と、覆工とを、他の切擴と覆工とに先んじて行ふ方法を、ドイツ式(German method)と稱し、地質に依つて、屢々利用される。

以上、導坑の位置其他の三點から、區分した各種の掘鑿方式を、次の各節に於て、説明しようと思ふ。

## 一八 全断面式

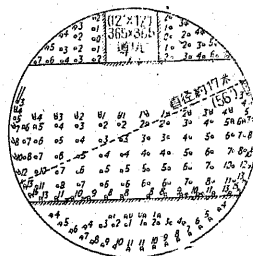
之に就いては、第九節の三に於て、一寸觸れたが、トンネルの全断面を、導坑の掘鑿方法に



第五八圖

則り、一度に切崩すのである。トンネルの断面が小さければ、自然全断面を導坑として、掘る外ないが、トンネルの断面が大きく、導坑と切擴とに區劃しても、充分掘鑿出来る場合には行はない、全断面を一度に切崩す點に、此の方式を區別する特性がある。

此の方式は、北米のトンネル工事に、近年多く用ひられてゐるが、幾種類かの遅發雷管を使用して、爆破の効果を發揮し、又穿孔、礮出にも、充分機械力を利用する關係から、經濟的な方法となるのである。併し此の方式は、地質がよくないと利用困難である。丈夫な岩石等で、支堡工がいらぬ場合か、たとへ支堡工の必要があつても、後普請程度で差支ない場合に限られる。又支堡工は、合掌式かアーチ式でないといふ、大きな機械が使用出来ないから、利用上具合が悪い。



第五九圖

北米の例では、直径が七米位もある、大きな掘断断面のトンネルに、此の方式が利用されてゐるが、第五八圖は、合衆国ニュー・ヨーク市のデラウエア河道用の水路トンネル工事（第六頁参照）に於ける圓形トンネル、内空断面直径五・九四米（一九呎半）、掘断断面直径約七・三二米（二四呎）と、内空断面直径四・五七米（一五呎）、掘断断面直径約六・一〇米（二〇呎）との二種を、本方法に依る穿孔配置と爆破順序を示したものである。圖上、各穿孔に附してある番號は、其の發破順序である。心拔孔の深さは、四・三米位、其他は、三・四米位である。

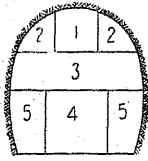
掘断方式としては、全断面式ではないが、大きな断面のトンネルの切擴を、大きく此の式で、一度に掘断した實例は、フーパー堰堤の排水トンネルである。第五九圖は、其の掘断方式と、其の各切擴に於ける穿孔爆破圖表で、番號數字は、其の爆破順序である。掘断方式は、ベンチ式であるが、直径五六呎（一七・〇七米）の掘断断面の約七五パーセントを、中央の高さ二八

呎（八・五三米）の切擴で、一度に切崩してゐる。トンネルで、こんな大仕掛な掘断が、出来るのは、地質がよく、全く支堡工のいらぬ岩石であつたからであるが、又各作業に機械力を充分利用した結果でもある。

此の方式で、廣い面積に多數の穿孔を、一作業でやる爲には、前に述べた移動式の鑿岩櫓を利用する。之には鑿岩機許りでなく、鑿岩用の水槽、其他の附屬用具一切を取付け、又作業足場をも設備する。第六〇圖は、前記デラウエア河道工事のトンネルに於ける、全断面式掘断に用ひた、一つの鑿岩櫓の例で、又第六一圖は、前記のフーパー堰堤工事のトンネルの切擴に用ひた、鑿岩機三〇臺を取付けた大仕掛な鑿岩櫓の例である。

又此の方式では、一發破で、多量の礫が出るから、之を迅速に片付ける爲には、積込に、能力のある積込機、又、礫運搬に、容量の大きい、礫運搬車、大型機關車を利用しなければならぬ。

此の方式の特徴は、掘断作業箇所が、一所に纏まつてゐて、長區間に散在せず、アーチ式支堡工の利用とあはせて、掘断作業、覆工作業を、集中的に機械化出来る點である。又、通風、



第六二圖

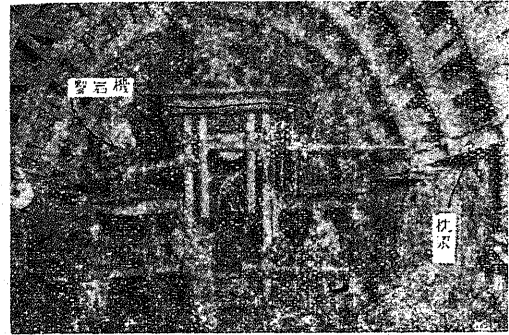
逆巻式工法の利用に最も便利である。  
頂設導坑からの切擴方法には、色々あるが、大體次の二つの區別が出来る。

一、頂設導坑を奥へ先走りさせて、これから、左右と下方へ、幾つ

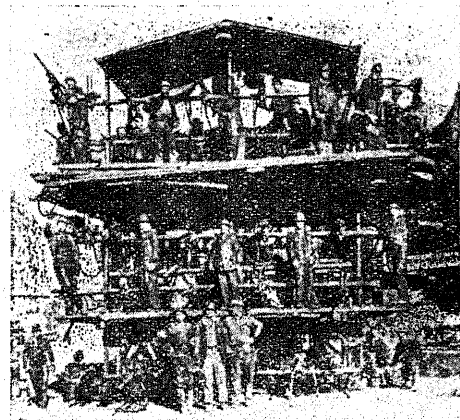
照明其他の設備をするにも、比較的樂で、作業上の管理も容易で、能率的である。併し、此の方式の最大缺陷は、進行中、豫期しない不良地質に遭遇して、堀鑿方式を變へなければならぬ場合に、全作業が一度に支障を受けることである。併し斯かる場合には、比較的容易に、次節に述べる、ベンチ式の堀鑿に轉換出来る。

### 一九 頂設導坑に依る方式

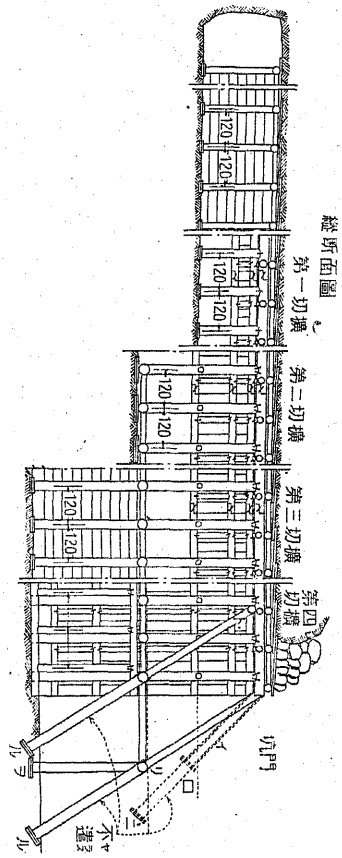
頂設導坑を利用すると、トンネル坑門口の切付工事が、施工基面迄掘りさがらなくても、トンネルの堀鑿に取り掛れる。だから短いトンネルでは、導坑の貫通が早められ、工事上便利な場合がある。又前に述べた、アーチ覆工を、側壁より先に施工する、



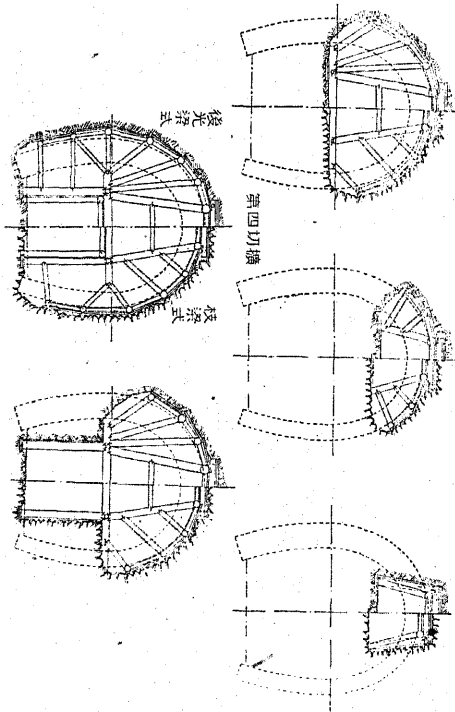
第六〇圖



第六一圖



第六三圖 (1)



第六三圖 (2)

か區劃して順次切擴を實施する方法、——從來古く日本に行はれてゐた方式で、日本式とも稱すべきものである。

二、頂設導坑を、アーチ覆工の形に合せて掘り、餘り先走りさせずに、其の切端に近く、段を作り、下方へ切擴をして行く方法、——之は、北米に古くより用ひられてゐるもので、前に述べたベンチ式である。

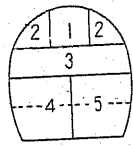
前の方法が、支柱式支堡工を用ひ、トンネル方向に於て、長區間に亘り、各區劃の切擴作業が行はれるのに對し、後の方法は、アーチ式支堡工を用ひ、比較的短い區間に、導坑と切擴の作業が集中されてゐる。

### 一、日本式

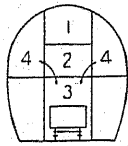
日本式の切擴方法、即ち其の區劃割と切崩順序には、色々あるが、普通行はれてゐる方法は、單線鐵道トンネル程度の大きに於て、第六二圖に番號で示したもので、又之に伴ふ支堡工の組立方は、第六三圖の通りである。

此の各區劃の切擴には、次の如き名稱がある。第六二圖に於て、

- 1 は頂設導坑
- 2 は丸形又は第一切擴
- 3 は中背又は第二切擴
- 4 は大背又は第三切擴
- 5 は土平又は第四切擴 (第六四圖では4及び5である)



第六四圖



第六五圖

地質が特に悪い場合とか、トンネルの断面が、大きい場合には、右の各部切擴も、一度でなく、二回、三回に區劃することもある。

此の方式では、礫出用の軌道を、導坑盤、中背盤、施工基面敷に、夫々敷設して、トロに依り、各切擴の礫を搬出するが、此の各軌道の境では、上段の礫を下段のトロに積換へるか、或は相當勾配で、上段の軌道を、下段におろすかしなければならぬ。

地質が比較的良好で、合掌式程度の支堡工で、差支ない場合には、第六四圖の如く、大背、土平の切擴を區別せず、4と5と二回の切擴

で、切崩すこともある。又點線の如く之を左右交互に、二段で切崩すこともある。更に地質良好な場合には、第六五圖の如く、導坑から、すぐ下方中央に、切擴を進めて、左右切擴の礫を、重力で、下段の礫トロに落し込む方法をとることも出来る。

此の方式に於て、地質が不良な場合には、第六二圖の3又は4の切擴後、直ちにアーチ覆工を疊築して、逆巻式工法を利用することが出来る。

此の方式は、古く一般に、日本の鐵道トンネル等の開鑿に用ひられたのだが、今日では殆んど用ひられてゐない。後述の底設導坑に依る方式に移つてしまつた。此の方式では、坑奥の礫を出と、後續の切擴作業とが、支障し合ふ點が多く、又長大トンネル等で、先進の導坑が湧水に出會つた場合等に、排水上面倒がある。併し地質不良な場合、地盤を充分支持しつゝ、掘鑿するのには、好都合で、逆巻にも容易に轉換出来る便利がある。今日行はれてゐる、底設導坑に依る方式の一つに、頂設導坑をも掘つて、此の方式の一部を利用するのがあるが、底設導坑に依つて、右の缺點を補ひつゝ、此の方式の利點を利用したものである。

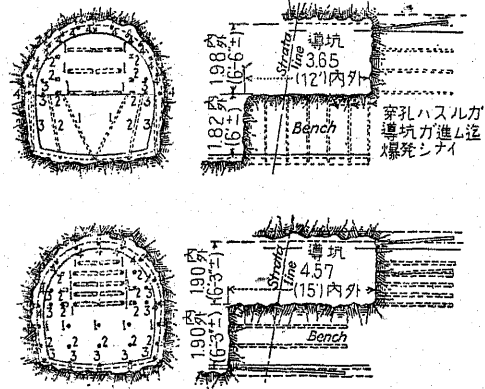
二、ベンチ式

此の方式は、前にも述べた通り、アーチ式支堡工を利用する北米のトンネル工事に於て、主

として用ひられてゐるもので、別名アメリカ式とも稱する。

切擴は、導坑に對し、ベンチ即ち段になつてゐるが、トンネルの地質や斷面に應じ、之は一段又は二段にする。此の方式では、導坑は、其の切崩作業が、ベンチの作業を邪魔しない程度、先に離すだけで、餘り前進させないのが普通である。

岩磐の場合のベンチの穿孔は、第一九圖、第六六圖の如くベンチの面から、二段又は三段と水平にも、又は上面から、二列又は三列と、下向にも出来る。第六六圖に於ける番號は、爆破



第六六圖



の順序を示したものである。導坑をベンチと極く接近させて、發破も連續させてやる様な場合には、其の礫も、同時に始末出来る。併し、導坑を多少前進させる場合だと、導坑の礫は、手押一輪車の類で、ベンチの處迄、運び出さねばならない。此の礫はベンチの下に於けて、ベンチの礫と一所に處理するか、或はベンチから、簡單な組立足場を造つて、此の足場上から、施工面上の礫運搬車に積み込む。北米では、アーチ式支堡工を利用するから、一般にベンチ切擴の礫出には、大型の積込機と運搬車輛を使用することが出来る。

地質が悪く、後普請では危険な場所には、第一一節の二にも述べた通り、此の方式も、アーチ式支堡工を組立てる上に、種々變更しなければならぬ。之に就いてはなほ第二二節の四に於て説明する。

要するに、此の方式は、アーチ式支堡工の利用と、關係が深いのであつて、其の特徴は、比較的作業箇所が一所に纏まつてゐる點で、大體全断面式と、利害が共通である。併し、全断面式程、其の利害が徹底的でなく、全断面式を採用するのに、困難な地質に對しても、此の方式なら利用出来る。

## 二〇 底設導坑に依る方式

底設導坑を採用すると、切擴は、大體下部から上部に進められるから、重力を利用して、切崩や礫積の作業をすることが出来る。之には、大體次の二つの方法が、用ひられてゐる。

一、導坑を先進させて、これから、或る一定の切擴の區劃と順序とに依り切擴げる。

二、導坑を先進させて、其の途中から或る間隔をおいて、頂部に切り上り、夫々獨立に、頂設導坑を掘り進め、これから、大體日本式に依り切擴げる。

第一の方式は、上部開鑿式 (Top Cut) と稱してゐるが、大體頂設導坑に依る方式を、下から上へと逆に進めたもので、比較的地質の良好な場合に用ひられる。

第二の方式は、新奧太利式又は略して新奧式 (New Austrian) と稱してゐるが、日本式を説明した際にも述べた通り、頂設導坑の特徴を採り入れたもので、比較的地質の悪い場合に、上部開鑿式に代つて用ひられる。

此等の底設導坑に依る方式は、歐洲のアルプス山脈を貫く、長大な鐵道の諸トンネルに用ひ

られたのであるが、又今日我が國に於て、從來の日本式に代つて、廣く一般に用ひられてゐるものである。支堡工には、支柱式を利用するが、支柱式支堡工の使用に伴ふ本方式と、アーチ式支堡工の使用に伴ふベンチ式とが、今日、普通の山のトンネルに、廣く用ひられてゐる、最も一般的な方式である。

### 一、上部開鑿式

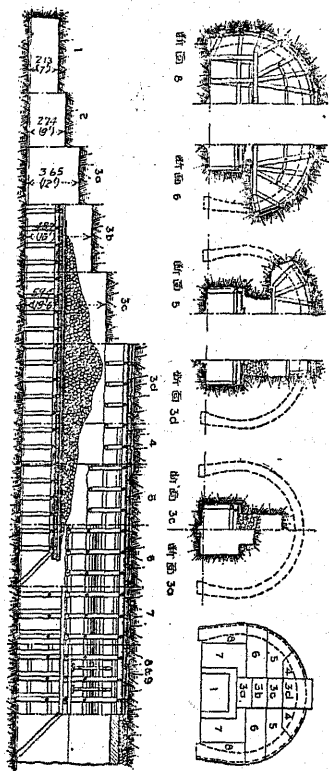
之には、大體次の二つの方式がある。

一、導坑から、先づ上向に、中央部を、上部に切り擴げ、次に下向に左右を下方へ切擴げる。

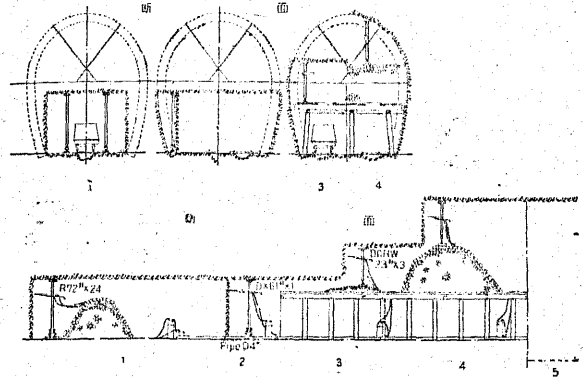
二、導坑から、先づ左右側壁部分を切擴げ、次に上向に、全幅を切擴げてゆく。

第六七圖は、第一の方式の一例であるが、恰も、頂設導坑に依る方式中、第六五圖の中央切割を、下から逆に進めたものである。此の中央を上部に切上る中段の切擴を、中背中割或は略して中割と稱するので、此の方式を中割式とも稱する。

次に第二の方式は、恰も、頂設導坑に依る方式の一つであるベンチ式を、下から上へと逆にしたもので、俗に逆ベンチとも稱してゐる。第一六圖は此の堀鑿方式を示したものであるが、



第十六圖



第六八圖

又第六八圖は單線鐵道トンネルに於ける其の一例である。上部への切擴段數は、トンネルの大きさに依り、ベンチ式の場合と同様、一段或は二段とする。

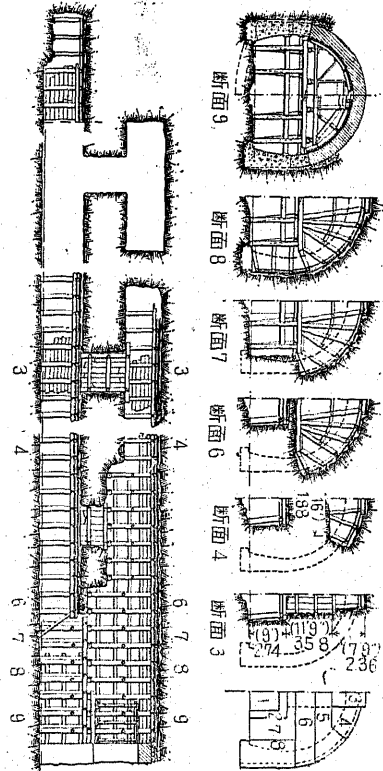
大體第一の方式は、割合地質が悪く、後普請程度ではあるが、支堡工を要する場合に用ひられ、第二の方式は、殆んど支堡工の必要のない、丈夫な岩質の場合に用ひられる。又第二の方式に於て、底設導坑は、トンネルの全幅にすることも出来る。此の兩方式は、掘鑿の途中に於て、出會ふ地質の變化に應じ、相互容易に、轉換し得らるゝ融通性がある。

此の上部開鑿式の特性として、導坑から上の部

分の切擴礮は、重力で積込むことが出来るが、之が爲には、上部の切崩した礮をためて置いて下にくる礮トロの中に之を落し込める、礮棚(俗に漏斗こぼしと稱す)を、底設導坑に造らなければならぬ。底設導坑に支堡工を要する場合だと、之れが其儘、礮棚に利用出来るが、支堡工がいらない岩質だと、第六七圖、第六八圖に見る様に、特に之を造らなければならぬ。其の構造は、大體導坑の支堡工と同じで差支ないが、たゞ、礮を受ける天上には、厚い板又は丸太を敷き列べて、爆破の礮で、容易に破損しない様に丈夫にする必要がある。底設導坑に支堡工がなく、特に造る礮棚は、切擴の進行につれて、坑奥へ繰り返し、移動使用するので、長大なトンネル工事に於ては、之を鐵材で補強し、或は移動式にした例もある。

上部への切擴用の穿孔は、普通、第二〇圖の如く、水平方向にくるが、之には第六八圖に示す通り、礮棚上に堆積する礮を足場として、鑿岩機を取付ける柱を組立てることが出来る。

此の方式、殊に第二の方式を採用する場合には、支堡工を組立てる必要がなく、切擴の切崩速度が早いから、礮出に鉛率をあげる必要がある。之が爲には、礮棚からの礮積込場となり、又礮トロの通路となる底設導坑は、成る可く複線軌道が引ける幅に、廣くする方が有利である。

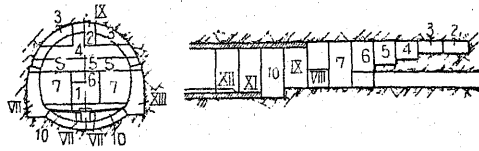


第六九圖

### 三、新塊式

第六九圖は、複線鐵道トンネルに於ける、此の方式の實例だが、底設導坑を先進さして、處々から切上り、頂設導坑を掘つて、これから切擴げるのが、其の特徴である。日本では丹那トンネルを始め、熱海線の複線トンネルに、此の方式を初めて採用してから、一般に使用されるに至つた。此の方式に於て、先進の底設導坑から、切上がらずに第七〇圖の如く、切擴面から一方的にのみ、頂設導坑を掘りながら、下向に中割を爲し、左右を切擴げて行く方式を、古く塊太利式と稱してゐるが、此の新塊式なる名稱は、之を改變した關係から、出たのである。

頂設導坑からの切擴順序、支堡工の組立等は、大體日本式と同様であるが、頂設導坑の礪は、底設導坑からの切上り口迄運んで、下に落とし込む。此の切上り口には、礪棚を造つて置いて、之を底設導坑内の



第七〇圖

礮トロにあげ、坑外に搬出する。

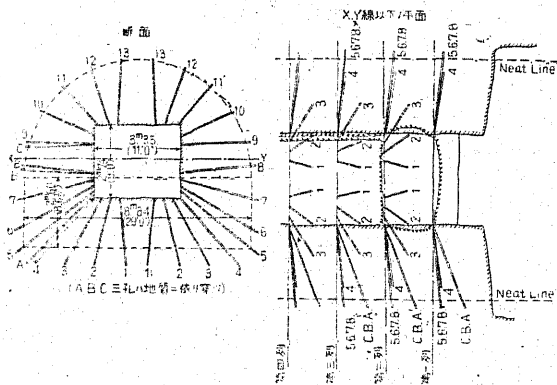
切上りの間隔は、二〇—四〇米位であるが、餘り之を遠くすると、頂設導坑の礮運搬距離が、長くなり不便になる。

此の方式では、切擴が頂部から下方へ進むので、支堡工を要する場合に、都合がよく、又地質が悪い場合、逆巻に轉ずることも容易である。又掘鑿途中に於て、此の方式と、前節の上部開鑿式との相互轉換も、容易である。例へば、坑門口附近暫くが、地質が悪く、坑奥に進むにつれて、岩質がよくなる場合等には、最初の區間を新塊式で進んで、奥を上部開鑿式に轉換することが、大した支障なしに出来る。

上部開鑿式と新塊式、此等二つの底設導坑に依る方式は、從來の日本式に比べて、礮出作業と、切擴作業とが、比較的支障し合ふことが少く、導坑で、悪い地質又は湧水に遭遇しても、他の作業を妨害することが少いのは、此の方式の大きな利點で、之が今日、日本のトンネル工事に、廣く用ひられるに至つた主な理由でもある。

## 二二 中央導坑に依る方式

此の方式は北米のトンネル工事に於て用ひられてゐるのだが、其の主な特徴は第七一圖の如く、トンネル断面の中央に、導坑を掘り進め、これから、トンネル方向に沿うて、断面周邊に放射狀な穿孔列を穿ち、其の幾つかを、一回の爆破で切崩し、切擴を大量にやる點と、此の穿孔を、普通の發破の如く、爆破と交互でなく、爆破と關係なしに、單獨に進める點とである。放射狀穿孔列の間隔は、一米乃至一・二米位であるが、其の穿孔には、下向及び側方に對しては、ドリフター、上向に對しては、ストーパ



第七一圖

1を柱に取付けて使用するのが普通である。  
 爆破の順序は、普通、三つ乃至五つの放射状穿孔列に對し、手前の列の孔が奥のより、又下部の孔が上部より先に、爆破する様にする。

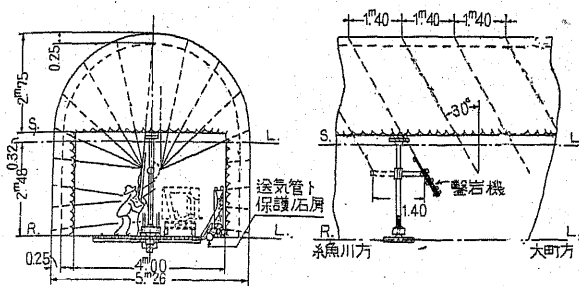
第七一圖は、カナダのコンノ1ト・トンネル（第七節及び第一八八頁の表參照）に對するもので、其の爆破順序は、

- |      |                     |
|------|---------------------|
| 一番爆破 | 第一列 孔 4、5、6、7、8、A、B |
|      | 第二列 孔 1、2、3         |
| 二番爆破 | 第二列 孔 4、5、6、7、8、A、B |
|      | 第三列 孔 1、2、3         |
| 三番爆破 | 第三列 孔 4、5、6、7、8、A、B |
|      | 第四列 孔 1、2、3         |

の如く、普通五乃至六つの列を爆破してから、XY線上の孔、9、10、11、12、13、Cを、地質に應じ、同時に、一つ乃至二つの列を爆破する。

此の方式の切擴方法は、必ずしも、中央導坑に依らなくても出来る。底設導坑からでも、頂設導坑からでも出来る譯である。たとトンネルの斷面が大きいと、中央導坑の場合より深い穿孔が必要になるから、利用上困難が伴ふ。

此の方式は、丈夫な支堡工を必要とする悪い地質では、利用出来ない。丈夫な岩質に限られる。切擴の穿孔と爆破とが、夫々單獨に、集中的に出来る點が、經濟的なのだが、一回の切擴爆破に依る、礮は、多量であるから、其の礮出には、充分機械力を利用しなければならぬ。又、此の方式を採用する場合、導坑の掘鑿を、切擴區間を通して、同時に進めたのでは、兩作業が互に支障し合つて具合が悪い。之を避けるには、どうしても、導坑を豫め貫通さしてしまふか、導坑と切擴とを、或る期間毎に交互にやるか、導坑を切擴區間を通さずに、別の口から掘るか、何れかに依らなければならぬ。前の二つの方法は、簡單だが、それだけ全體の工事が遅くなる不利がある。最後の方法は、最もいいが、之には、第二三節に述べる、先進坑道に依る方式を利用するのが、有效である。北米の長大トンネルには、此の方法に依り、實績を擧げないのであるが、之に就いては、何れ第二三節に於て説明する。



第七二圖

中央導坑を先づ貫通させてから、此の切擴方法を用いたものでは、北米に例があるが、日本でも鐵道省の直轄施工に依つた眞那板山トンネル(第一〇一頁参照)は、中央導坑ではないが、底設導坑を貫通させてから、地質良好な區間に、此の式の切擴方式を採用した。第七二圖は、其の穿孔配置圖である。導坑の加背は、高さ二・八米、幅四米で、側壁とアーチ部分とを同時に、一回の發破で三つの放射狀穿孔を、遲發雷管に依り三段に爆破した。地質良好なトンネルを此のやうに導坑を先づ貫通させてから、切擴を一度に進める方法は、長いトンネルだと、時間的には損があるが、作業が簡易化されるので、現場の工費が少くてすむ利益がある。

導坑の位置から區別した掘鑿方式としては、以上三節の

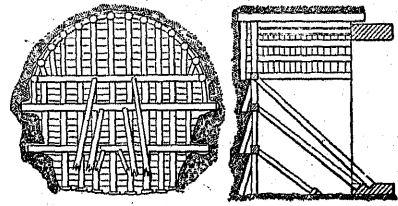
外に、「側壁導坑に依る方式」が考へられるが、之は主として地質の不良な場合、側壁覆工を他の切擴に先んじて、疊築して行く、ドイツ式に用ひられるものであるから、其の説明は、次節、掘鑿と覆工との交互施工に依る方式の説明に譲ることにする。

### 三三 掘鑿と覆工との交互施工に依る方式

之は、地質が悪く、今迄述べた方式の様に、掘鑿と覆工とを離して、夫々單獨に施工したのでは、特に丈夫な支堡工を要し、地盤支持上困難がある場合に、掘鑿後成る可く早く、覆工を疊築する爲、利用される方式である。之にも色々なものがあるが、大體其の方法に二つの區別がある。

- 一、トンネルの全斷面を、小區間宛、掘鑿と覆工とを、交互に繰り返して施工する。
- 二、或る區間、覆工を幾つかに區切り、區切り毎に掘鑿と疊築を爲しつゝ、順次全覆工を完成する。

第一の方式には、之と云つて、普通用ひられてゐる標準的なものはない。たゞ古くイギリス



第七三圖

式と稱されてゐるものがあるが、第七三圖は其の一例で、出来上つた覆工に、アーチ部分の地盤を支持するトンネル方向の支堡工用桁を、支持させて、小區間宛、全断面の掘鑿と覆工とを、交互に繰り返して施工するのが特徴である。

第二の方式には、二、三の標準的なのがある。第一の方式よりは、寧ろ此の方式の方が、普通用ひられてゐる。斯ういふ方式を必要とする様な地質では、トンネルの断面が大きいと、たとへ、小區間でも、普通の支堡工で、全断面を掘鑿するのは、危険な場合が多い。

此の方式には、第一七節にも述べた通り、アーチ覆工を先に疊築すると、側壁覆工を先に疊築するのがある。前者が逆卷式即ちベルギー式で、後者がドイツ式である。

アーチ式支堡工を使用する北米に於ては、地質の悪い場合でも一般に、斯ういふ方式を利用して、側壁覆工を先に疊築するのがある。前者が逆卷式即ちベルギー式で、後者がドイツ式である。

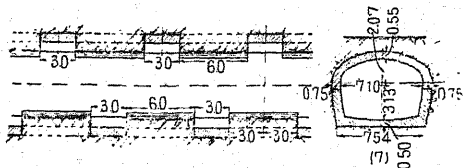
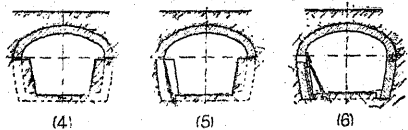
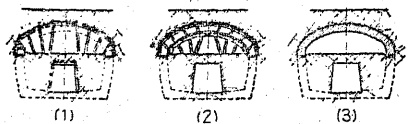
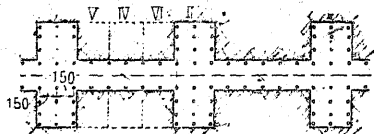
アーチ式支堡工にたよつて居るが、此の場合、支堡工を組立てる爲には、前記逆卷式や、ドイツ式と同じ様な掘鑿方法を用ひてゐる。それで、此等のアーチ式支堡工に依る掘鑿方法も、便宜本節に於て、説明することとした。

### 一、逆卷式

此の方式では、先づ初めにアーチ覆工が、施工出来るだけの切擴をすまして、すぐアーチ覆工を疊築してしまふのだが、此の爲の切擴断面と、又一度に疊築するアーチ覆工との延長は、地質やトンネル断面の大きさに應じ、安全な範圍に於て、適當に定めなければならない。此の爲の切擴には、大體、第一九節の一に述べた、頂設導坑に依る、日本式掘鑿に依るのがいい。即ち頂設導坑から、中背迄の切擴を終つて（第六二圖、第六三圖参照）直ちにアーチ覆工に掛るのである。大背の切擴をすましてからでも、差支ないが、それだけ、アーチ覆工着手前に、地盤を緩める機會を増すことになる。併し、頂設導坑を逆卷區間より奥へ、先進させて、其の掘出と逆卷工事との支障を少くするには、此の方が有利である。

アーチ覆工を疊築するには、支堡工の大引上に、普通の場合と同様、セントルを据付け、又

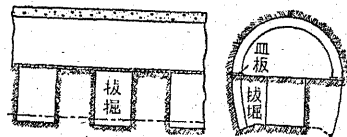




第七五圖

底設導坑に依る掘鑿からも、逆巻式を利用出来るが、之には、底設導坑から切上り、頂設導坑から中背の切鑿をすましたら（第六九圖断面6参照）、直に逆巻のアーチ覆工を施工すればよい。恰も、頂設導坑から、大背の切鑿をすまして、逆巻のアーチ覆工に掛ると、同じになる。

柱をたて込んで、地盤が緩む爲に、アーチ覆工に損傷を來さぬ様、注意しなければならぬ。



第七四圖

アーチ覆工の起拱線となる側壁上の地盤面を、砂等で能くならし、其の上に覆工を支へる爲、血板又は敷梁を敷きならべ、此の上から、木外ししつゝ、アーチ覆工コンクリートを填充する。此の填充方法には逆巻式だからと云つて、特別なことはない。次にセメントが、充分硬化するのを待ち（急硬セメントを使用することもある）側壁覆工に取掛るのだが、此の場合、セントルは取外してもいいが、用心すれば其儘残して置く方がよい。

此の側壁覆工は、一端から、小區間宛、大背の切鑿と同時に、土平を切擴げて、片押で、施工して行つてもいい。併しこれは、時日を要するので、普通は、第七四圖の如く、大背の切鑿を先づ通してから、左右土平の切鑿を、地質に應じ、一度に何箇所か宛、左右千鳥になる様、一箇所の幅一・五—二・五米位抜掘して、これに部分的に、側壁コンクリートを施工しつゝ、順次逆巻區間全部の側壁覆工を完成する。抜掘に際しては、地質に應じ、充分な支堡工を施し、又一時支へのないアーチ覆工の抜掘部分には、支

トンネルの断面が大きい場合、又は特に地質が悪い場合等には、逆巻のアーチ覆工を、一度に長區間施工せず、小區間宛、抜掘式に施工する必要がある。例へば、第七五圖は、パリの地下鐵道で、土被りの浅い區間に採用した逆巻式方法だが、底設導坑を通して、小區間宛、抜掘式に、逆巻のアーチ覆工を施工して、或區間の完成後、側壁覆工を、千鳥に抜掘で施工してゐる。

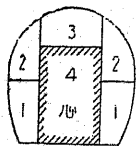
普通の山のトンネルでは、坑門口附近に、よく、逆巻方式を必要とする地質區間がある。又長大トンネル等では、局部的に、不良な地質に出會ひ、或は切擴區間の地盤が緩み出して、逆巻式に依らなければならなくなる場合が屢々ある。

日本式又は新填式等で、地質の悪い區間の切擴を進める場合、最後に残る土平の切擴は、最も地山を緩めて、崩壞の危険を誘致する原因となるから、地質に依つては、成る可く、之が切擴を、覆工の着手間際迄待ち、必要に應じて、逆巻式に變り得る餘地を残して置く方がよい。要するに、此の逆巻式は、崩壞の危険が多い、上部アーチ部分の地盤を、側壁の切擴に先んじて、丈夫な覆工で支持してしまふのだから、地質の悪い箇所では、確に安全な工法である。

併し、施工に當り、側壁抜掘作業其他に、充分な注意を拂はないと、屢々地盤を緩め、アーチ覆工に變形沈下を起し、龜裂破損を來すことがある。

## 二、ドイツ式

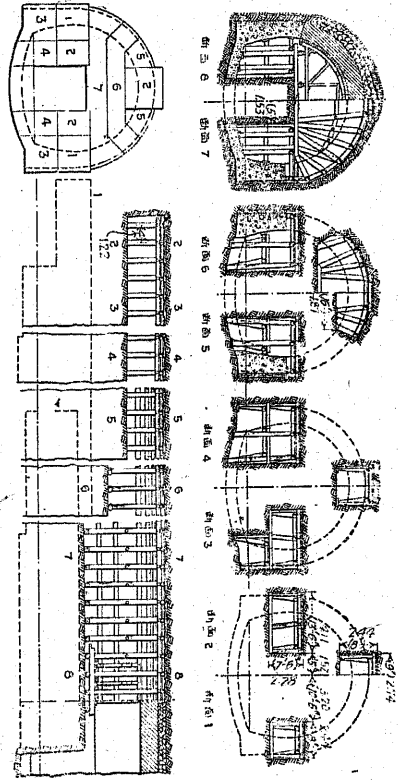
之は側壁導坑に依る方式の一つで、先づ側壁覆工を施工し得る様、左右に側壁導坑を掘進し、側壁覆工を疊築してから、次にアーチの切擴と覆工施工とに及ぶ方式である。之にも色々なものがあるが、第七六圖は、此の導坑と切擴順序とを示したもので、側壁覆工は、1の導坑掘進後直ちに、或は2及び3の切擴後に施工し、續いてアーチ覆工に移り、最後に中央に残る心の部分を取除く。此の様に、部分的に切擴げつゝ側壁覆工から始めて、アーチ覆工を施工し、覆工完成後迄、中央の心の部分を残して置くのが、此の方式の特性である。



第七六圖

此の方式で、側壁導坑の幅が小さいと、側壁覆工を施工した後、之が、通路として役立たなくなる。だから、此の導坑を覆工施工後にも、通路として使ふ爲には、其幅を充分廣くする必要がある。

此の方式は、一般に断面の大きいトンネルで、地質が悪く丈夫な支



第十七圖

堡工を要する場合に利用して有効である。断面が大きいと、心に残る部分が大きく、従つて支堡工の節約が著しいからである。

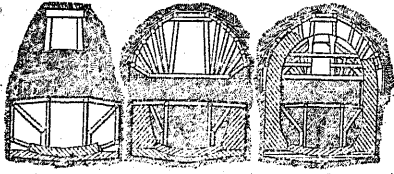
断面が大きい場合には、側壁導坑も、二段に掘り、又アーチ部分の切擴には、別に頂設導坑を掘つて、これから左右と下方に切擴げる。第七七圖は、熱海線の複線トンネルに於ける斯かる方法の實例で、切擴順序は番號で示した通りである。

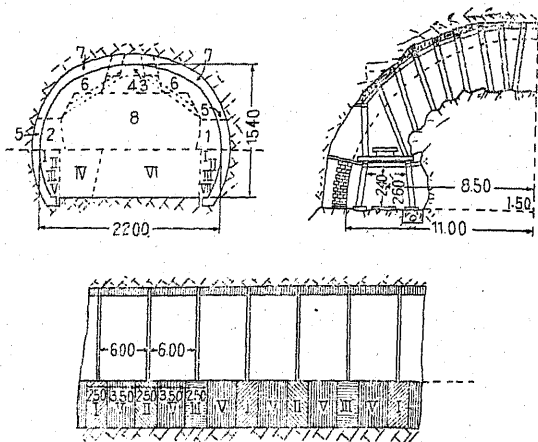
三、支柱式支堡工に依る特種方式

以上に二つの標準的な方式に就いて、説明したが、なほ特種なものとして、色々な方式の實例がある。左に是等の二、三に就いて説明をしようと思ふ。

イタリーのクリスチナ・トンネル (Cristina Tunnel) で、古く、非常に地質の悪い區間に用いた方式がある。イタリア式 (Italian method) と稱してゐるが、第七八圖に示す如く、極く小區劃に

第七八圖



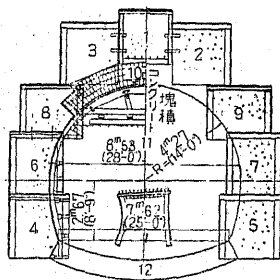


第八〇圖

區間にも、アーチ部分に對して、此の方法を用いた。又東京市内の愛宕山の道路トンネルも、地表の沈下を防ぐ目的で、此の方法に依り築造した。

こんな面倒な掘鑿方式は、小區間の極めて不良な地質箇所を突破する爲に、利用するもので、長區間に互る場合の方式としては、利用困難である。

断面が特別大きいトンネルに於ける、特種な掘鑿方式の例として、第三節に述べたロープ運河トンネルの掘鑿方式を示すと、第八〇圖の如きもので、先づアーチ部分に、二つの側壁導坑1、2及び頂設導坑3を穿



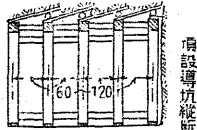
第七九圖

頭丈な支堡工を施しつゝ切擴げながら、下部インバトトから始めて、側壁を築造し、更にアーチ部分を切擴げて、アーチ覆工を完成するのである。

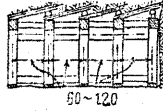
この方式は、歐洲に於て、極めて不良な土壓の大きい地質に利用されたものであるが、先に仕上げるインバトと側壁覆工が、アーチ覆工の出來上る迄に強い側壓で、變形するのを防ぐ爲、礮で側壁間の空隙を、一旦埋め戻すとか、或は、側壁間に、特別強固な支堡材を組立てて、支持する。

丹那トンネルの不良地質區間に用ひたもので、覆工部分に沿ひ、幾つかの小坑道を掘つて、之に一つ宛、コンクリートを填充し、之に依り不良地盤を支持してから、適宜其の内側に、仕上げの覆工を施す方法がある。第七九圖は、丹那トンネルに於ける、此の方法を示したものが、番號が其の施工順序である。丹那トンネルでは、二箇所不良地質區間に、此の方法を用ひて成功したが、目下工事中の鐵道省の關門水底トンネルに於ける、下關側の岩磐の不良地質

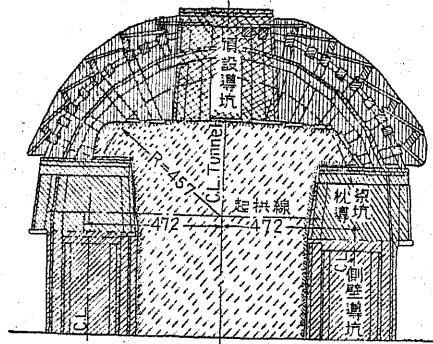
他の一つの例は、第八二圖に示す如き方法である。即ち頂設導坑と、左右枕梁及び柱の部分に、枕梁導坑及び側壁導坑を通し、此



頂設導坑縦断面圖

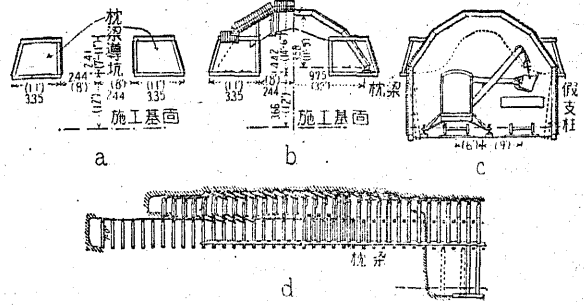


50-120



第八二圖

に示す様な方法である。先づアーチ式支堡工の左右起拱線の枕梁の部分に、支柱式支堡工を使つて、導坑（枕梁導坑 Wall plate drift と稱す）を掘り、これから、同じく支柱式支堡工で、アーチ部分を頂部に切擴げて、其の内側に、枕梁を据えた丈夫なアーチ式支堡工を組立ててから、残りの下部の切擴を、普通のベンチ式に依り、枕梁の下には、支柱を建て込んで支持しつゝ掘り進めるのである。



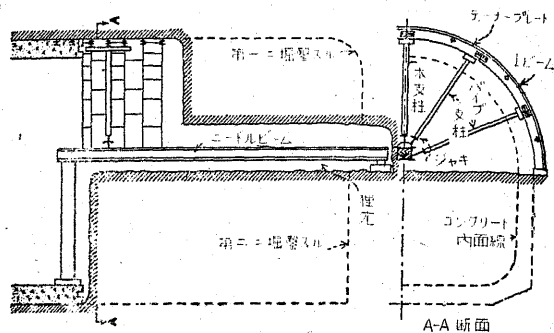
第八一圖

ち、此の間は處々點線で示した斜坑で連絡し、此等の導坑から、45:8の順序で、切擴とアーチ覆工とを交互に完成した。次に下部の側壁部分を、I II III と抜掘をなし、此の部分の側壁覆工を疊築してから、IV V VI VII の順序で、中央の切擴と、I II III の間に残る側壁覆工とを交互に施工した。此の方法は、全體としては、逆巻式であるが、上部アーチ部分の掘鑿には、ドイツ式が利用されてゐる。

四、アーチ式支堡工に依る特種方式

次に、前に述べた、不良な地質に於て、アーチ式支堡工を用ひる、特種な掘鑿方式に就いて、説明しようと思ふ。

之にも、色々ながあるが、其の一例は、第八一圖



第一八三圖

ームの長さだけ掘り進めて、之にニードル・ビームを押し入れて据付ける。次に圖面に示す如く、柄の長いジャッキで、ライナー・プレートを、ニードル・ビームから、ジャッキとパイプ支柱とで放射状に支へながら組立てつゝ、アーチ部分を、ニードル・ビームの先端支持点近く迄掘り進めてから、下部ベンチの掘鑿を爲し、直ちに型枠を据ゑ覆工を施工する。ニードル・ビームを据ゑる狸穴は、コンクリート施工中に、前進させておいて、覆工完成後、すぐ本掘鑿に掛れる様にする。

合衆國の實例で見ると、此の方法は、多く、市内の下水用トンネル等の土砂地質區間を掘るのに、利用されてゐるが、ライナー・プレートの代りに、板

の兩導坑間を支柱式支堡工で支へつゝ、狭く連絡して、アーチ式支堡工を完全に組立ててから、残る心の部分を切崩すのであつて、ドイツ式と同様な方法である。

今一つ、ニードル・ビーム (Needle beam) を利用する方法がある。之は、ベンチ式で、支堡工を要する悪い地質を掘鑿する場合、トンネル方向に、丈夫な角材又は鋼材の梁を据付けて、之をアーチ支堡工の組立に利用するのであつて、此の梁を一般に、ニードル・ビームと稱してゐる。此の利用の實例を説明すると、簡単なのは、建て込みのすんだアーチ支堡工の弦材に、ニードル・ビームを、吊金具で吊して置いて、新規な掘鑿部分に、之を押し出して、元の方を、既成の支堡工に楔類で、しつかり押へて、カンテイレバールとなる先端部分を、一時的な地盤の支持、新規なアーチ支堡材の吊上げ、組立等に利用する方法である。

次に第八三圖は、合衆國シカゴ市の下水用トンネルに於て、粘土質の地質を、掘鑿と覆工とを接近させて、交互に施工しつゝ掘進する場合に、ニードル・ビームを利用した一例である。ニードル・ビームは、エビーム二本の間に、角材を狭んでボルト締にしたもので、長さは約九米許りである。本掘鑿に先立ち、人間が一人で漸く掘れる程度の小さな狸穴を、ニードル・ビ

を用いた例もある。又右の例の如く、豫めニードル・ビームを据付ける爲の狸穴を掘らすに、ベンチ盤から假支柱で、板なりライナー・プレートなりを支へつゝ、ニードル・ビームの長さだけ、頂設導坑を掘り進めてから、ニードル・ビームを据付け、之に假支柱を、ジャッキに依る放射状支柱で、盛換へる方法に依つたものもある。

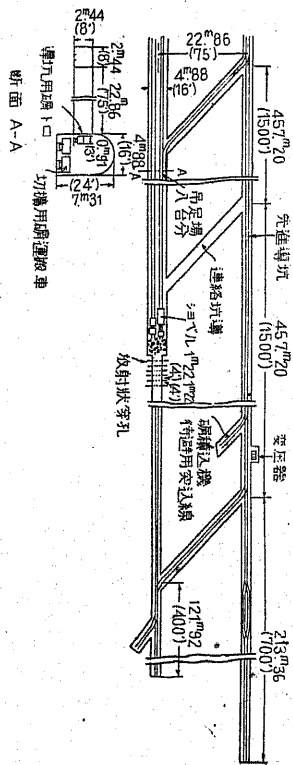
### 二二三 先進坑道に依る方式

此の方式は、第七節で述べた、本トンネル外に、特に工専用として、平行な先進坑道を掘るもので、中央導坑に依る方式に、之を利用すると、有效なことは、第二一節に述べた通りである。

導坑を本トンネル断面内に先進せしめる、普通の方式に於て、一般に不都合な點は、坑奥からの礫、出支堡材等の運搬作業と、後に續く、切擴作業、覆工作業と支障し合ふこと、切擴作業區間を通して坑奥の作業現場に、通風管等を通すのに、困難があることである。此等の缺陷を除いて、工事の速度を早めようとするのが、此の先進坑道に依る方式なのだが、前記の如く

地質が、中央導坑に依る方式を併用出来れば、一層此の方式は有效になる。

此の方式を、古く最初に利用したシンプロン・トンネルでは、底設導坑に依る掘鑿方式を用ひたが、其後此の方式を採用して、大に其の成績を擧げた、北米の三長大トンネル(第七節参照)は、何れも、中央導坑に依る掘鑿方式を採用した。第八四圖は、モファット・トンネルに於け



第八四圖

る、先進坑道及び連絡坑道と、本トンネルの中央導坑及び切擴との關係を示したものである。左に此等の三トンネルに於ける、先進導坑其他の寸法を表示すると、左表の通りである。

トンネル名	トンネル内空断面 (米)		先進坑道断面 (米)		先進導坑とトンネル中心間距離 (米)	先進導坑に於ける連絡坑道の標準距離 (米)
	高	幅	高	幅		
コンノート	六・五四	八・八四	二・七四	三・三五	一五・二四	三〇・五
モファット	七・三二	四・八八	二・四四	二・四四	二二・八六	四五・七
ニューカスト	七・三二	四・八八	二・四四	二・七四	二〇・二二	四五・七

要するに、此の方式の効果は、本トンネルの外に、別な獨立の一つの通路を掘ると云ふ點に、歸着するのだが、前記の効果以外、副的な利點として、次の如き關係がある。

一、不良な地質に出會つた場合、其の處置に便である。例へば多量な湧水にぶつかつた際、先進坑道は其の排水路に利用出来るし、又切擴箇所に於て、萬一崩壊事故があつて閉塞した際、坑奥で働いてゐる労働者の安全な出坑路になる。

二、坑奥の通風に便宜である。途中の連絡坑道を、空氣の通はぬ様閉塞すると、本トンネルと先進坑道とは、一番奥の連絡坑道を通じて、一つの通風回路となるから、通風を効果的に實行出来る。

此の方式に於ては、勿論、先進坑道を掘進する工費が、普通の方式より、餘分に掛る譯だが、上記の諸特性から、トンネル全體の施工能率を高め、工期を短縮し得る經濟的利益に依つて、之を償ひ得るのである。尤も、シンブロン・トンネルの如く、先進坑道を、將來の複線用の平行トンネルの導坑に利用し（其後之を切擴げて複線トンネルを完成した）或は、モファット・トンネルの如く、先進坑道を、工事後、水道用の水路トンネルに利用すれば、一層、此の方式は有利になる。

以上の諸點から考へて、此の方式を採用する條件としては、トンネルの延長が大で、其の地質が、支堡工を餘り必要とせず、しかも諸作業に、機械力を充分使用し、能率の高い熟練技術を、利用し得ることが大切である。

現に、前記北米の三トンネルは、モファット・トンネルが、比較的地質に恵まれなかつたけ



れども、何れも大體此の條件を具備してゐたのであつて、先進坑道の掘進速度としても、第一二節に述べた通り、當時としては、記録的な実績をあげた。又トンネルの工事期限も、コンノート・トンネルは第七節に述べた通り、僅かに三年で開通し、比較的條件の悪かつたモファツト・トンネルも、一九二三年の末に工事に掛り、約四年を費して、一九二八年二月に開通し、ニュー・カスケード・トンネルは、一九二五年の末から、僅かに三年を費して、一九二九年の一月には開通し、何れも、工事速度として、驚異的な成績を示した。