

第三章 覆工

一三 覆工一般

覆工の一般的な役目は、トンネル周壁の地盤を安全に支持して、通路としての空間を地中に造るのにある。従つて、道路や鐵道用のトンネル等で、地質が堅硬な岩石で、全く崩れる心配がない箇所は、之を省いても差支ない。なほ、覆工には、これ以外、トンネル利用上からの特殊な役目を負はせることがある。例へば、水底トンネルでは、覆工は外部の地盤からトンネル内へ水の浸透を防ぐ爲に、又水路トンネルでは、導水の壓力に耐へ、其のトンネル外部への漏水を防ぎ、且つ流水抵抗を減する爲に利用される。従つて、トンネルの覆工は、此等各種の役目を果す様、設計施工されなければならぬ。

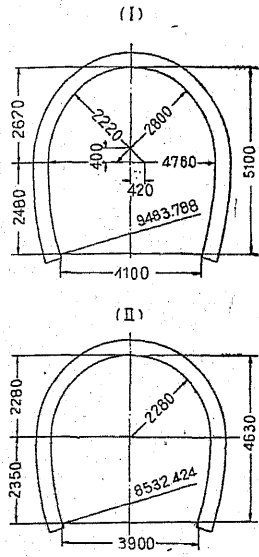
一般的な役目、地盤支持の點から、覆工を設計するには、理論的には、第五節で述べた土

壓理論其他の知識を基として、研究しなければならぬ。併しこゝでは、之を説明する餘裕がないから、一切省略して、構造上の大體の説明をするだけに止める。

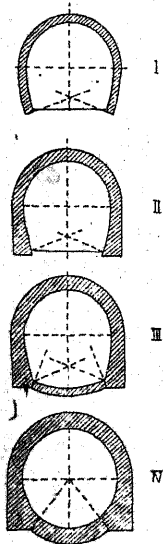
覆工の構造は、施工上から、都合がよいので、普通、アーチ形が利用されるが、其の構造上の方式は、普通石造式に依つてゐる。従つて、其の材料には、石材、煉瓦、コンクリート等が多く用ひられ、鐵筋コンクリートや鐵材等の彎曲應力に耐へる材料を用ひるのは、特種なトンネルに限られてゐる。昔は煉瓦、石材が一般に用ひられたが、今日では、コンクリートが最も廣く用ひられてゐる。此の覆工の形、寸法は、地質の如何即ち土壓の性質、通路としての所要内空断面等に依つて變つて來るが、二、三實例に就いて説明すると、

第四一圖は、鐵道省の單線鐵道トンネルの、内空断面の標準型で、(I)は電化する爲の架空線の餘地を見込んだもの、(II)は之を考へないものである。單線トンネルでは、幅が四米近くあればいゝので、幅より高さの方が大きくなり、幾分、丈の高いアーチになる。地質が岩盤等で、土壓が大してないと、第四二圖Iの様に、アーチと側壁とを通じて、覆工の厚さは、一樣で差支ない。時には、第四三圖の様に、側壁の覆工を全部又は一部省いてしまふことも出来る。又

地質が丈夫な岩石等で湧水さへなければ、セメント・ガン (Cement Gun) と稱する、壓搾空

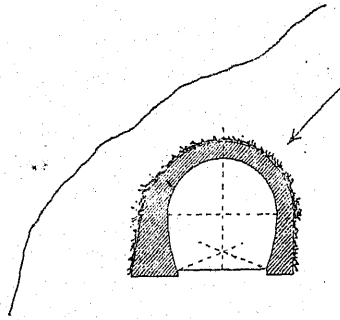


第四一圖

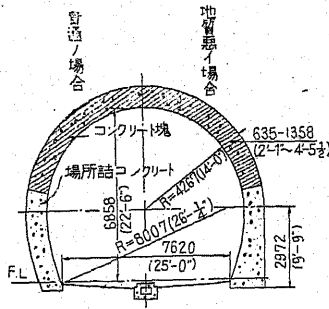


第四二圖

氣に依る、モルタル吹付機を用ひ、切崩した岩面に、直接又は金網を張り付けて其の上から、モルタルを吹付けて置くだけで差支ない。併し、土壓が相當ある不良地質だと、斯う簡單にはすまされない。第四二圖IIに示す様に、アーチの起拱線以下の側壁部分の厚さを増し、更に地質が悪くて、側壁部分にも強い土壓が掛る場合には、第四二圖III、IVに示す様に、側壁間施工



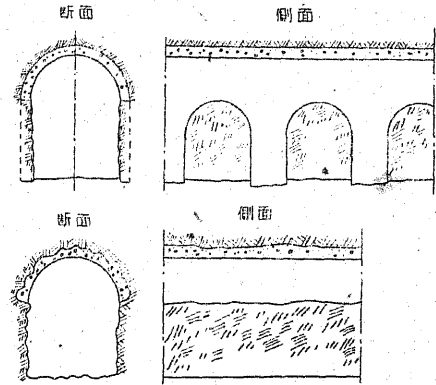
第四四圖



第四五圖

す様に、大きな偏壓を受けることがある。斯かる場合には、同圖に示す様に、偏壓がかかる側と、反對の側壁を特に強固にして（之を俗に「ダキを入れる」と稱す）、トンネルが一側に押されるのを防がなければならない。

以上、單線の鐵道トンネルの覆工に就いて、述べた土壓關係からの説明は、大體他の色々な



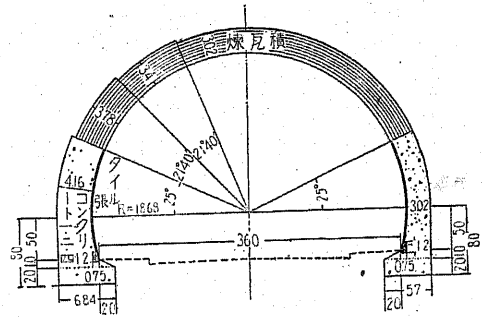
第四三圖

二圖IVの如く覆工の形を圓形又は之に近い形にする必要がある。

坑内附近等で、地表が急に傾斜してゐる様な場合には、屢々一方から、第四四圖に矢印で示

基面に、上向のアーチ（之をインバート Invert と稱す）を築造して、側壁の基礎を支持する必要がある。

一般にトンネル覆工にかゝってくる土壓は、アーチ部分への上部土壓が大きくて、側壁部分への側方土壓は、たとへあつても、上部土壓より小さいのが普通である。併し地質に依つては、此の側方土壓が非常に大きい場合がある。例へば多量な湧水を含む軟弱土砂、或は第五節で述べた膨脹性地質の場合等で、之を支持する爲には、側壁部分も、上部と同様、アーチの作用をさせる爲に第四



第四六圖

トンネルにも、適用出来る。

第四五圖は、複線鐵道トンネルの例で、丹那トンネルの標準構造である。複線トンネルでは、内空の所要幅が八米位必要で、幅の方が、幾分高さより大きくなる。

第四六圖は、道路トンネルの例で、横濱市の下町と本牧とを連絡する山手トンネルの構造である。道路トンネルには、道路幅が廣いのがあつて、高さより、幅がずつと大きい、平たいアーチ型がある。

水路トンネルは、水を通すのだから、壓力トンネル（貯水池の下部から、水を引く爲のトンネルの類で、内面全體に水壓を受けるトンネルである）以外は、覆工の形は、比較的自由にである。壓力トンネルは、内部から覆工一面に、水壓が掛るので、

圓形にするのが普通である。且つ材料には、張力に耐へる鐵筋コンクリートを使用するか、或は無鐵筋の普通のコンクリートを用ひ、其の内側に、鐵板を張る。

水底トンネルでは、地質が丈夫な岩磐等で、普通の方法で、掘鑿出来る場合には、覆工の形も、陸上トンネルと、特別な違ひはない。併し、地質が悪くて、シールドや壓搾空氣を利用しなければならぬ場合だと、外部からの土壓、水壓關係から、圓形にしなければならぬ。又材料にも鐵材を使用するのが普通である。

覆工が、構造物として、外力に耐へる關係から、力學上、地上の構造物と異なる點は、其の背面を、天然地盤と充分密着させて造れば、外力の爲の、變形變位を、天然地盤の支持により、阻止出来ることである。即ち土壓理論で云ふと、覆工の強度には、受働土壓の作用が、考慮出来るのである。此の關係は、外側からの土壓に對しても有效であるが、壓力トンネルの如く、内部から、大きな壓力が掛る場合には、特に有利である。此の作用を利用する爲には、何よりも、天然地盤と覆工との間に、間隙を残さない様、充分に密着させることが、重要條件である。併し、土被りが極めて淺い場合とか、或は、地質が特に軟弱な場合には、地盤自體の支持力が

少く、此の受働土壓の作用は、期待出来ない。

此の覆工の背面に、空隙を残さない様にすることは、獨り以上の効果許りでなく、第一一節で、支堡工の組立上、重要であると述べた通り、地盤が、時日の経過につれて緩み、覆工に土壓が掛るのを防ぐ爲からも、必要な關係である。此の爲の施工法に就いては、何れ本節疊案の説明の際に、述べるつもりである。

第三章

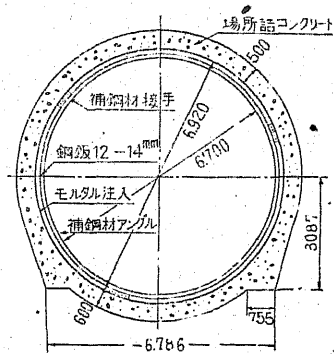
トンネル利用上から、覆工に負はず地盤支持以外の、特種な役目中、漏水防止に對しては、勿論、覆工自体を、水密にする様、施工しなければならぬが、トンネル工事では、野外の工事と違ひ、作業條件が、非常に悪いから、補足的な水密工法を、施さなければならぬ場合が多い。其の方法としては、地山自体の湧水を止める方法もあるが、之を別として左の二つがある。

一、覆工背面を防水的に仕上げ、地山との間に、流水路を残し、地山からの湧水を、トンネル内の排水渠に導き、湧水が覆工内部を浸透しない様にする。

二、覆工の背面、地山との間隙を、水密な材料で填充し、又は覆工内面に、特別な水密層を

造る。

第一の方法は、普通の山の鐵道トンネル、道路トンネル等に、普通用ひる方法だが、充分には、水密の効果を發揮しにくい。水路トンネルでは、排水渠が設けられないし、外部への漏水を防がなければならぬから、此の方法は用ひられない。また水底トンネルでは、トンネルの勾配が、陸上から下り込みになつてゐて、トンネル内の排水は、すべてポンプに依らねばならぬ關係から、成る可く、湧水は覆工で遮断しなければならぬ。こんな關係から、水路トンネル、水底トンネル等では、いづれも、第二の方法を用ひる。此の方法で、出来上つた覆工の背面の空隙をつめるには、第二七節で述べる注入工法に依る。また覆工の内側に、別に水密層を造るのは、主として、壓力トンネルの場合であつて、鐵板を張る方法が用ひられてゐる。此の鐵板は、水密と同時に、内部からの水壓に依る張力にも耐へられる構造にする。此の場合、鐵筋コンクリートを用ひることもあるが、トンネル覆工の鐵筋コンクリートを、水密に施工することには、困難がある上に、高壓な壓力トンネルでは、張力のため、鐵筋コンクリート自体に、龜裂を生ずる可能性がある。従つて、前記の鐵板を張る方法の方が、確實性がある。第四



第四七圖

七圖は、鐵道省の信濃川水力發電工事に於ける、壓力トンネルの實例だが、無鐵筋の場所詰コンクリート覆工の内側に、電氣熔接で接合した鋼板を張つて、鋼板とコンクリート覆工との間隙には、モルタルを注入した。

鐵道トンネル又は、市外の道路トンネル等では、覆工の表面を特に仕上げる必要もなく、又利用上からは、左程水密にする必要もない。併し、市街地の道路トンネル等では、交通量も多く、利用上からも、相當水密にしなければならぬし、又美觀と照明とから、表面に白タイル等を張つて、化粧する必要がある。又急勾配の水路トンネル等で、殊に流水に土砂等の混じてゐる場合だと、覆工の摩滅を防ぐ爲に、内面に石張等をする必要がある。

覆工材料に、コンクリートを利用する場合、左の二つの工法がある。

一、場所詰コンクリート

二、既成コンクリート塊積

日本で、一般構造物に、煉瓦や石材の代りに、コンクリートが、廣く用ひられ出したのは、明治の終りから、大正の初めにかけてであるが、トンネルの覆工に、一般に、コンクリートが利用され出したのも、其の時分からである。左右の側壁部分には、初めから、場所詰コンクリートが、主として用ひられたが、アーチ部分には、塊積も廣く用ひられた時代があつた。例へば、鐵道省の鐵道トンネルでは、昭和の初め頃迄は、アーチ部分には、殆んど、塊積のみが用ひられてゐた。此の鐵道で利用した塊積は、大體煉瓦七枚分に相當する、一五櫃、二三櫃、三〇櫃の方形塊を用ひて、モルタル積にしたものである。今日では、鐵道省の鐵道トンネルでも、一般に塊積の使用はすたつて、アーチ、側壁を通じ、場所詰コンクリートのみが利用されることになり、塊積の使用は、特種の場合に限られてしまつた。

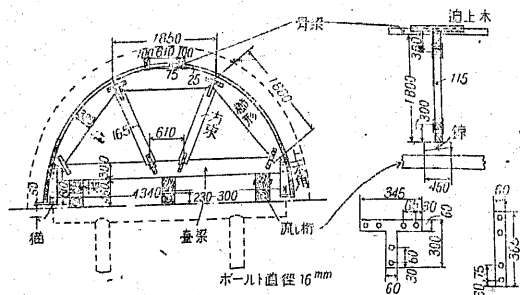
前記の如く、鐵道トンネル等で、長く、アーチ部分に、塊積が使用されたのには、材料が煉瓦からコンクリートに變遷した際の、過渡的な技術上の執着も自然に手傳つたかと思ふが、其

の主な理由は、アーチ部分には、支堡工を要する場合が多く、木外しながら覆工を疊築すると、疊築直後のアーチ覆工が、土壓を局部的に受けなければならぬので、其際、塊積の方が場所詰より、便宜且つ安全だと云ふのであつた。此の理由は、或る程度肯定出来るけれども、山の普通のトンネルでは、たとへ支堡工を施しても、後普請で、地盤の緩むのを押へる豫防的なものが多く、現實に大した土壓が働かない場合が随分あるから、此の理由が問題にならない場合も多いのである。また土壓が或る程度大きくなつた場合は、どうかと云ふと、特に大きな塊を製作使用すれば格別、取扱ひに便利な小さな塊をモルタル積にしたのでは、たとへ塊積でも、目地モルタルのセメントが硬化しない内に、土壓荷重を受けさせたのでは、施工上決して満足な結果は得られない。さりとて塊積では、セメントが硬化する迄、土壓荷重を受けさせないやうにすることがむづかしい。其點になると、場所詰には、第一五節で述べる通り、比較的確實な工法がある。且つ場所詰は、塊積に比べて、天然地盤との間に空隙を残さないやう、覆工を仕上げるのにも便利である。

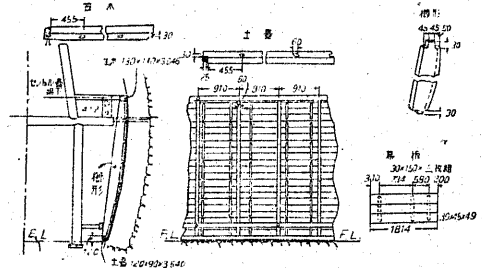
一般に、覆工は、全断面の切擴を完了してから、施工するのが、經濟的であるが、地質が不良で、全断面の切擴をすると、極めて堅固な支堡工を要し、崩壞の危険ある様な場合には、覆工と切擴とを交互に實施することがある。例へば或る區間、上部アーチ部分のみの切擴を済まして、アーチ覆工を施工し、上部の土壓を支へてから、部分的に下部側壁の切擴をなし、側壁覆工を施工する方法が用ひられる。此の工法を「逆巻」と稱する。又此の逆の側壁覆工に對する掘鑿と疊築とを先に済ましてから、アーチ覆工に對する掘鑿と疊築とを後にする場合もある。次に節を改めて、覆工の施工技術の内容につき、型枠工、疊築及び材料搬入に就いて、説明しようと思ふが、使用材料のコンクリートにつき、一般的な施工技術に就いての説明は、之を省略し、たゞトンネル工事に特有な點に就いてのみ、説明することにする。

一四 型 枠 工

型枠は、アーチ部分の型枠即ちセンタリング(Centering)と、側壁部分の型枠とに、區別されるが、何れも、構造上、野外の一般構造物に於ける場所詰コンクリート用のものと、格別本質的な相違はない。覆工に、既製コンクリート塊又は煉瓦等の塊積を使用する場合には、勿論



第四八圖



第四九圖

組立式では、センターリングと、側壁型枠とは、別個のものにし、疊架もアーチと側壁と同時になく、二度に分けて、別々にするのが普通である。

第四八圖と第四九圖とは、日本の單線鐵道トンネルで、普通用ひられる木製のセンターリングと、側壁型枠である。

この側壁型枠は、覆工の弧形に合はした、厚さ

側壁部分には、型枠の必要はない。型枠用材料としては、木材も鐵材も使用される。トンネルの覆工は、延長のある同一形状のものを、或る區間宛、何度か繰り返し、施工して行くのだから、型枠の構造上、

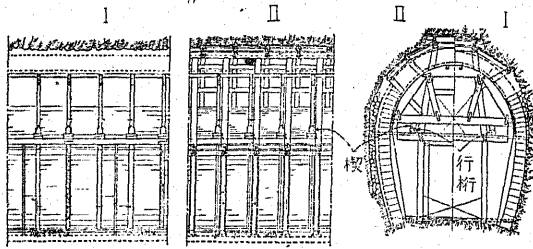
- 一、組立式
- 二、移動式

の二つの種類が用ひられる。

組立式は、疊架毎に一々組立てて、填充後之を取脱するもので、支柱式支堡工を施したトンネルでは、普通此の式に依つてゐる。移動式は、据付取外しの時間と努力とを省く爲、型枠全體を、一つの丈夫な構造物に組立てて、外周コンクリートに接する幕板又は上木の部分は、据付取外しに際し、内外に動かせる仕組にし、全體を車輛に取付けて、牽引移動し得る仕掛にしたものである。此の式の型枠は、支堡工のいらない場合、又はアーチ支堡工を利用する場合に、用ひられるのであるが、アーチ支堡工を利用する北米のトンネル工事で、廣く利用されてゐる。

三纏乃至五纏の楯形の梁を、普通一・二米位の間隔に、上端を笠木に、下端を土臺木に柄ではめて建て込め、其の外側に、厚さ六纏程度の幕板を、コンクリート内の水が、洩らない様密着させて、張り付ける。楯形は支柱式支堡工があれば、これから支柱をかつて支へるが、支堡工のない場合には、センターリングを据付ける爲に、建てる假枠から、支へをとる。

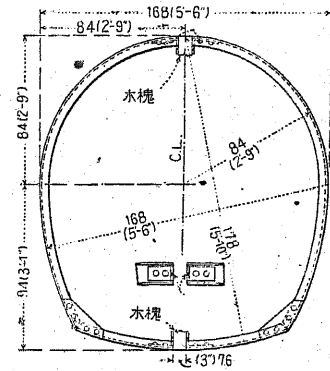
又此のセンターリングは、厚さ一〇纏乃至一五纏の臺梁一つ、楯形三つ、方束二つを組合はせ、其の接手箇所に、丁形及び短冊金物をあてて、ボルト締にした枠（俗に之をセンターと稱す）を一米乃至一・三米の間隔に据付け、中央楯形の上部には、約六〇纏間隔に、骨梁を渡し、センター間の突張となすと同時に、中央頂部の上木受けとする。臺梁の兩端兩側には、上木受用に、板を打付け（之を俗に下猫と稱す）、此の上から、楯形に沿ひ、左右下方から順次、厚さ七・五纏位の上木を密着させて、骨梁の所迄、センター間に渡し、残りの頂部には、特種な楯形の上木（之を追上木と稱す）を、横に、トンネル軸と直角の方向に、密着させて骨梁上に渡す。斯く上木を二色にするのは、コンクリートを左右兩側下部から、填充して、最後に頂部は、トンネル軸の方向に後退しつゝ、填充しなければならないからである。



第五〇圖

センタールの据付には、支柱式支堡工のある場合には、第五〇圖IIに示す如く、大引上に、さうでない場合には、同圖Iに示す如く、特に組立てた鳥居形の假枠上に、二本乃至三本の行桁を渡し、其の上にセンタールの据付け高さの加減と、取外しとに便する爲の木の楔を、センタールの間隔に合はして配置し、其の上に組立てる。行桁と之を受ける大引又は臺枠、楔と行桁、一組の楔は、何れも鯨でしつかり止める必要がある。又斯ういふ組立式の木製センタールでは、土壓が大きく、覆工が厚いと、疊築に當つて、壓縮沈下する心配があるから、据付に際しては、支堡工の場合と同様、之を見越して、多少の上越をする必要がある。

右の例は、日本の鐵道トンネルに於て、最も普通用ひられる型枠方式であるが、一般的には、なほ色々な設計もあ



第五一圖

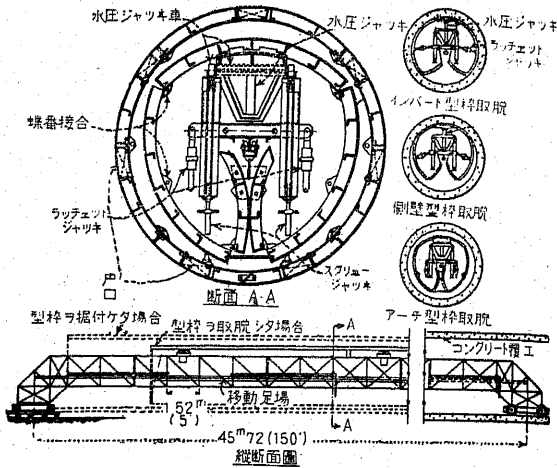
ものを利用する。又延長の長いトンネルとか、同じ形のトンネルを數多く掘る工事等では、型枠を繰り返し使用する回数が多いから、木製の損し易い型枠より、鋼材の丈夫な材料で作つたものの方が、製作費は高いが、結局有利になる場合がある。殊にセントルは、鋼材で作ると、部材が細くなるから、セントル内をくゞつて、通路を造り易く、施工上に便宜がある。

第五一圖は、アーチ式支堡工を利用する小断面の下水トンネル用の、組立式鐵製型枠の例で、

二つの部材から成り、上部と下部の中央に取付けた、アングル間に、木片を挟んで組立て、幕板と上木は別に此の上に張立てるのである。

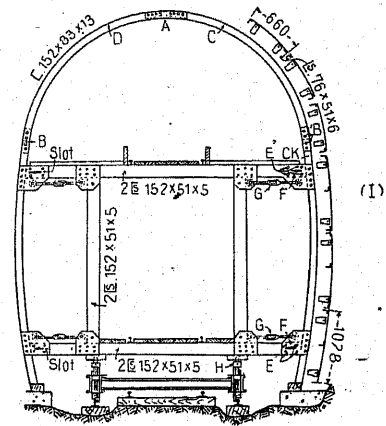
次に移動式の例を示すと、日本では、一般に支柱式支堡工を使用する關係から、此の式は、未だ用ひられてゐない。實例としては、アーチ式支堡工を使用する、北米のトンネル工事に、色々ながある。何れも鋼材を用ひ、或る長さの單位で、アーチと側壁とを一構造の型枠にし、軌道上を牽引移動出来る仕組にしてゐる。

第五二圖は、其の一例だが、内空断面の高さ五・一八米（一七呎）、徑間四・〇六米（一三呎四吋）の水路トンネル用のものである。圖面の(I)に示す如き骨枠七つを、一・五二米（五呎）間隔に配して、全長九・一二米（三〇呎）の型枠にしてある。幕板と上木は、いづれもアングルで補強した厚さ四・八耗の鐵板で、此の骨枠の外側に、別に取付ける。此の型枠を取脱するには、頂部のボルト締繼目板Aを外し、また繼目板Bのボルトを二つはづして、蝶番にし、C片とD片とを折り疊み、次に、兩側上下Dの部分のボルトをはづし、ターン・バックルGで、側壁の型枠を引き込める。組立は此の逆をやるのだが、底部車輪上のキャプスタンHで、全型枠も、



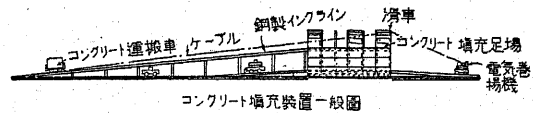
第五三圖

用ひる型枠には、幕板及び上木用の鐵板を、骨枠の外周部材に、リベット又は熔接で、取付けにし、打ち込んだコンクリートの締固めに便する爲、所々開閉出来る戸口をあげたのがある。又第五三圖に示す如く、斯かる型枠の外周部材を、數片に切り、折り疊める様、蝶番接手にし、其の内側に、これと獨立に、水壓ジャッキとスクリー・ジャッキの運動に依り、之を受けて、据付、取脱し、移動の出来る装置を取付けた臺車を、設備した機械的なものもある。



(I)

(II)



第五二圖

上下出来る。上段の足場は、コンクリート填充用で、コンクリートは、圖上の(II)で示すやうに、捲揚機とインクラインで、坑外からのコンクリート運搬車を、此の足場上に引き上げて填充する。コンクリートの填充に、次節で述べる填充機を使用すると、遠くからパイプで、コンクリートが、型枠中に送り込めるから、此の場合

一五 疊築と材料搬入

覆工に場所詰コンクリートを多く利用する今日では、覆工の疊築と云つても、コンクリートの混合と填充とに歸する。

「覆工に於けるコンクリートの填充に於て、側壁は比較的面倒は少ないが、アーチは、填充の爲もち上げる高さも増し、人力で填充する場合、左右から填充して、中央頂部に達するに従ひ、次第に填充し悪くなり、最後の迫は、トンネル軸の方向に後退しつゝ填充しなければならぬので、作業も厄介で、搦固めもし悪く、上部天然地盤との間に、空隙が残り易い。

又覆工を二箇所から反対方向へ施工した場合、其の接續箇所では、次第に填充を進めて、最後に残るアーチ中央頂點の部分は、セントルの内側下方から、コンクリートを押し上げて、填充しなければならなくなる。此の作業を上迫と稱するが、人力で填充する場合だと、小型のスクリー・ジャツキ上に、充分コンクリートを置いて押し上げ、強くしめ付けて填充する。此の部分の作業は手数を要するから、地質不良な箇所等に、斯かる接續點を造らない様にする必要がある。

覆工のコンクリート作業に際し、一般的なコンクリートの施工知識以外、特に注意を要する點は、

- 一、前にも述べた通り、天然地盤と覆工との間に、空隙を残さないこと
- 二、木外し
- 三、湧水の處置
- 四、型枠の存置期間である。

支堡工のいらぬ地質で、切崩に注意し餘堀が少く、湧水も多くなければ、覆工コンクリートを、天然地盤に直接うちつけて、填充出来るが、さうでない場合には、覆工と地山との間に、空隙が残らない様、礫其他の填充物、即ち裏込を充分詰め込まなければならぬ。此の裏込は、側壁部分に對しては、比較的樂に出来るが、アーチ部分、殊に中央迫の部分に對してはなかなか困難がある。だから、トンネルの性質上、例へば壓力トンネルの如く、覆工背面の間隙填充

が、特に大切な場合には、覆工完成後、覆工背面に、注入工法に依り、砂、小砂利又はモルタルを押し込む。此の注入を施す箇所の覆工には、疊築と同時に、豫めパイプを埋め込んで置かなければならない。なほ之に就いては、第二七節に於て説明する。

次は木外しの作業であるが、アーチ式支堡工では、土壓ある場合の支堡工は多く取脱さず、コンクリート覆工で埋め殺してしまふから、木外しの問題は餘り起らない。併し支柱式支堡工では、少くとも、大樹初め桁を受ける支柱は、取り除かなければならない。併し、此の場合でも、土壓が特に大きく、木外しが危険だと認められた場合には、疊築と同時に木外しを爲さず、其儘覆工コンクリートを施工し、其の硬化を待つて、セントル取脱した後、埋め殺した支柱を引抜き、其の跡にコンクリートを詰めて手直しするか、或は、支柱を覆工の内側で切り去つて、別に内側に今一度仕上用の薄い覆工を施工することもある。

疊築と共に木外しをする場合には、セントル上に、新規な短い假支柱を建てて、桁を受けてから、枝梁、後光梁、大樹等を取外すのである。土壓が大してない合掌式又は枝梁式支堡工では、コンクリートの填充につれて、普通、此等の假支柱を初め、桁、掛板迄も、全部取除くこ

とが出来ることが、後光梁式支堡工の場合等で、強い土壓が掛つてゐる場合だと、假支柱を建てた儘、コンクリートを填充してしまひ、セントル取脱した後、埋め殺した支柱を引抜き、其の跡にコンクリートを詰めて手直しするか、或は覆工の内側で切取つてしまふ。

此の木外し作業は、如何に注意を拂つても、盛替に際し、幾分、桁を沈下させるから、地質不良な場合だと、急に大きな土壓が桁に掛ることがあり、支堡工を押しつぶす危険がある。従来、崩壊事故の多くが、此の木外しの作業中に起つてゐるが、此の木外しは、充分慎重にやらねばならない。特に大樹の取脱しには、注意を要する。

塊積の覆工では、土壓がある場合に、前記の如く、用心して、支柱式支堡工を存置したまふ、或は、セントルへの盛替假支柱を、其のまま、埋め殺して、覆工を施工することに、困難がある。此の點が、第一三節で、土壓がある場合には、場所詰コンクリートの方が、却つて、塊積より、安全な施工が出来ると、論じた所以なのである。

次に湧水ある場合の排水處置であるが、地山から湧水ある場合は、假令支堡工がなくとも、地山に直接うちつけて、コンクリートを填充することは避けなければならない。湧水に對する

覆工の防水に就いては、第一三節で説明したが、鐵道トンネル等では、其の第一の方法、即ち覆工背面に防水工を施して、覆工と地山との間には、栗石を詰めて、排水路を造るなり、或は纏まつて岩の割目等から湧出する流水なら、パイプで導き、覆工コンクリート内を漏水しない様、之を施工基面にある排水渠に通水せなければならぬ。又水路トンネル等だと、其の第二の方法、即ち一旦右の如くして、覆工コンクリートを仕上げた後、第二七節に述べる、注入工法を利用して、覆工背面に水密層を造り、湧水を止めてしまふ。

覆工を水密に仕上げる必要は、獨りトンネルの利用上からばかりではない。コンクリート内部をたえず漏水せしめることは、セメントの水化物である、水酸化カルシウムを溶かし去り、コンクリートの耐久性を大に損ふから、此の點からも必要なものである。併し充分水密に仕上げるのは、むづかしいから、漏水の多い部分の覆工コンクリートは、其のセメント使用量を増し、其の品質をよくしておかなければならない。少くとも、セメント、砂、砂利の配合割合は、一・二・四程度迄にする必要がある。

次に型枠の存置期間であるが、一般にトンネル内は、日光の直射を受けず、且つ湿度が多いから、其の養生の條件はいゝ。だから、地質がよくて、打つた覆工に、土壓の掛り方が少ない場合には、斯ういふ場合は相當多いアーチにしても、側壁にしても、一晝夜位で型枠を取外して差支ない。

コンクリートの填充は、わが國では、普通、人力に依つてゐるが、此の作業用の填充機がある。之には左記の如き二つの種類がある。

- 一、壓搾空氣に依るもの
- 二、ポンプ仕掛に依るもの

前者は、ニューマティック・プレーサー(Pneumatic placer)、コンクリート・ガン(Concrete Gun) 又は簡單に、ガンと稱し、豫め練つたコンクリートを、一端に出口のある容器に入れ、容器内と此の出口とに、壓搾空氣を送り、其の勢で空氣と共に、鐵管を通して、コンクリートを型枠中に送り出すのである。此の壓搾空氣には、鑿岩機運轉用を使用する。後者は、ポンプ・クリート(Pumpcrete) 又は單にポンプと稱し、練つたコンクリートを、ピストン運動で、鐵管を通して、型枠中に押し出すのである。コンクリート・ガンは、古くから北米合衆國で、一般

に使用されてゐるが、ポンプクリートは、歐洲がもとで、コンクリート・ガンより歴史が新しく、近年北米合衆國に於ても改良されて使用され出した。

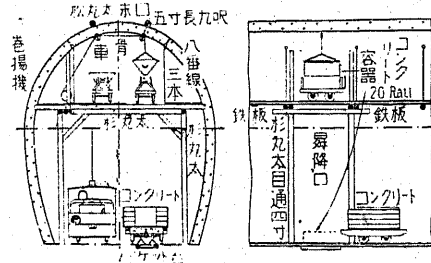
ガンでは、コンクリートが一容量分宛、斷續的に、壓搾空氣で勢強く、送り出されるのに對し、ポンプでは、ピストン運動に従つて、靜に連續的に、送り出されるから、コンクリートの分離傾向も少く、取扱上も樂なので、近年次第に用ひられる趨勢になつた。

日本のトンネル工事では、コンクリート・ガンは、鐵道省のトンネル工事で、特種な場合に使用したことがあるが、ポンプクリートは未だ使用したことがない。此等の填充機は、何れも、人力に比べれば、大きな填充能力を發揮出来るが、之を使用して、疊築作業全體としての能力をあげる爲には、コンクリートの混合、材料の搬入、型枠等にも、之に相應する機械的な設備をしなければならぬ。

コンクリートの混合には、今日一般にコンクリート混合機が使用されてゐるが、長大トンネルの場合には、之をトンネル坑外に据付け、一切の混合作業を坑外ですまし、生のコンクリートを覆工現場に搬入する方法と、混合機を坑内覆工現場にもち込み、セメント、砂、砂利等の

材料を坑外から搬入して、坑内で練り合はす方法とがある。夫々利害があるけれども、何れの方法も用ひられてゐる。嚴寒期間が長く、且つ其の氣溫低下が烈しい地方、例へば北滿地方等にあつては、後者の坑内混合の方法を利用すると、冬季、コンクリートの防寒が樂になる。坑外で練り合はした生コンクリートは、長時間運搬することは出来ないけれども、牽引に機關車を使用すれば、長大トンネルでも、コンクリートの品質を害する程に、運搬に時間を費さずにする。併し生コンクリートを運搬するには、水の漏洩、練合材料の分離等なき様、運搬容器、使用水量に注意を要する。

次に覆工作業現場の作業用設備であるが、之には、トンネルの大小、掘鑿方式、支堡工の有無と種別、型枠の種類、填充方法、コンクリート混合箇所等に依つて、色々な方法がある。トンネルの延長が短く、斷面も小さく手掘に依る様な場合には、此の設備も、機械力等を利用せずに、簡單に人力で間に合ふ。掘鑿と覆工とを獨立にすゝめる場合、全部掘鑿がすんでから、覆工を疊築するのなら、此の設備は坑奥との運搬關係を考慮せずに、充分空間を利用して造れるが、さうでないとい、坑奥の掘鑿の掘出が、覆工現場を通過するから、此の設備は、覆工作業



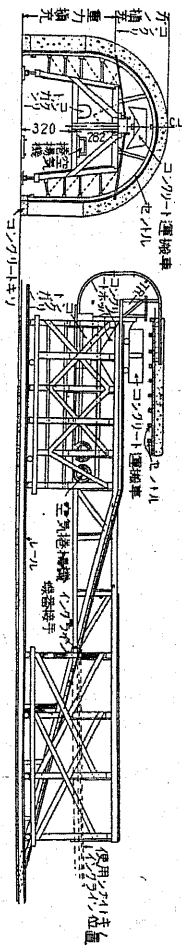
第五四圖

が成る可く、之を支障しないですむ様、造らなければならぬ。支堡工のない場合、又はあつても、合掌式かアーチ式支堡工の場合だと、邪魔物が少いから、此の設備は、覆工作業現場の型枠位置に近く、施工基面上の軌道を跨いで、坑奥の掘出を支障しない様、纏めて二階造りにし、且つ軌道上を移動式に出来る。併し支柱式支堡工の場合だと、作業用足場は、支堡工を利用し、大引の上に、簡単に出来るけれども、足場上への材料引上設備其他、坑内で混合する場合、其の混合設備等は、型枠から離して、之を覆工完成箇所餘地のある場所に、置かへなければならぬ。

斯ういふ、覆工作業用設備の例を示すと、日本の鐵道トンネル等で、支柱式支堡工の場合、一般に用ひられてゐるのは、「吊足場」と稱する、第五四圖の如き方法である。覆工の完成箇所、電氣又は壓搾空氣運轉の小型捲揚機を据ゑた、吊上用足

場を組み、こゝと、型枠に沿ふ大引上の作業足場との間に、覆工から鐵線で吊した、吊足場を造り、此の上に小運搬軌道（軌間四六寸）を敷設し、小型のコンクリート容器（本圖では、トロに乗せて、ダンピング出来る小型の鋼製V形鍋を使用してゐる）を乗せたトロを動かす。填充する生コンクリートは、吊上用足場の下迄、運び込んで、捲揚機で吊下した、前記の容器中にあげかへ、これを吊足場上のトロ上に、吊上げて、作業用足場迄、吊足場上を運搬する。吊上用足場は、覆工が前進して、覆工作業現場との距離が増し、吊足場の軌道延長が、餘り長くなると、適宜前進移動させる。此の吊上用足場の代りに、捲揚機を据ゑたインクラインを用ひることもある。

第五五圖は、合衆國に於けるアーチ式支堡工利用の場合の實例で、型枠は組立式だが、作業用設備は、三階足場の移動式である。起拱線に近いアーチ部分迄は、最上段の足場から樋で重力に依り打ち込み、これより上部のアーチ部分は、中段に据ゑたコンクリート・ガンに依り打ち込む。又搬入した生コンクリートを足場上に引き上げるのには、インクラインと空氣捲揚機に依るが、此のインクラインは、中段の足場に蝶番で取付けられ、使用しない時には、點線で



第五五圖

示した位置に、持ち上げて置ける仕組になつてゐる。

第五六圖は、北米のニュー・カスケード・トンネル（第四頁の表参照）工事に使用した、坑内混合に依る覆工作業用の移動式設備であるが、型枠には、鋼製の移動式を利用してゐる。こんな大仕掛な移動式な設備が、トンネル内で利用出来るのも、支堡工が、アーチ式だからである。此の設備には、混合機、填充用の樋、ベルト・コンベヤー、コンクリート・ガン、空気捲揚機等、一切の機械が、施工基面上の複線運搬軌道を跨いだ、移動式鐵製足場上に準備されてゐる。此の作業の概要を述べると、セメント、砂及び砂利は、坑外で正確に計量して、鋼製の容器

上Aに入れ、これを臺車にのせて坑内に運搬し、足場に取付けた空気捲揚機Bで、引き上げて、

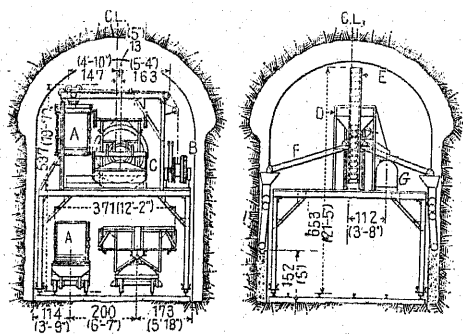
混合機中における。混合されたコンクリートは、一旦高所に据ゑた漏斗Dに入れ、これから、側壁下部に對しては、樋F、側壁上部に對しては、ベルト・コンベヤーEと樋、アーチに對してはコンクリート・ガンGに送り込んで、コンクリートを填充する。

其他、實例は色々なのがあるが、此の位に止めて、次に、覆工作業、全體についての説明をしようと思ふ。

一六 覆工作業

覆工作業も、掘整作業と同様、施工方法と作業設備とに應じ、作業班を組織し、秩序ある能率的な仕事が出来る様にする。其の内容は、各トンネル毎に、色々で、餘

第五六圖



り標準的なものはないが、大體を説明すると。

覆工は、型枠の組立、据付、取外しの作業と、コンクリートの混合、填充の作業とを、別々な作業班で、分擔施工するのが、普通で、コンクリートを、坑外で混合して、搬入する場合には、坑内の填充班と別に、坑外に計畫、混合、運搬の作業班を、置く必要がある。側壁とアーチを、別個の型枠にして、此等のコンクリート填充を、同時になく、別々に施工する場合には、同一の作業班が、其の都度、多少組織を變へて、或る區間毎に、側壁とアーチとを、交互に施工するのが普通である。日本では、普通、覆工作业には、夜業をやらずに、九時間乃至十時間労働で、仕上げられる區間を、作業單位にして晝間作業で施工する。

トンネル工事の期限を、支配するのは、其の先驅となる、堀鑿の速度であるが、併し、其後を始末する、覆工の速度が、之と歩調を合はせなければ、トンネル全體の工期は、早くならぬ。覆工の作業用設備、作業班の組織等は、斯ういふ點を考慮して、定めなければならぬ。又堀鑿と覆工とを、離して別に進める場合には、覆工は、堀鑿が或る程度進行したら、成る可く早く、着手する方がいゝ。さうでないといふと、工事期限を短縮する爲、堀鑿に追いつくのに、覆

工の速度を早めなければならないから、餘分な設備、作業人員を準備する必要がある。

参考迄に、作業班の實例を示すと、日本の單線鐵道トンネルに於ては、地質が悪くなく、覆工の厚さは四〇糎前後、疊築方法は、アーチと側壁とを別々に施工し、人力填充で吊足場を利用し、混合は坑外に於て爲す場合、型枠班は、大工と手傳共で、六―八人位、填充班は、アーチと側壁とでは、側壁の方が幾分少くていゝが、大體土方と手傳共で、二〇―二八人位で、晝間作業に依り、大體一日、アーチ又は側壁を延長一〇米程度仕上げる事が出来る。

次に、前節第五六圖に示した、ニュー・カスケード・トンネルの覆工設備に對する、作業を説明すると、此のトンネルは、兩口から堀鑿を進めたが、片口に、斯ういふ移動式設備を、三組準備し、最初坑口から約四五〇米間隔に配置して、作業を開始し、此の區間の完成を待ち、更に同様間隔を置いて、三組を前進せしめた。一回のコンクリート填充單位は、約一・五米で、側壁からアーチを、續けて一度に打ち込む。此の作業人員は、型枠班をも含めて、七五人で、一晝夜三交代で、連續作業した。此の内、型枠班は、約二〇人、コンクリート班は、一交代約一〇人で、三組の作業設備に於て働いた。其の進行は、工事期間の總日數一日平均で、約

二七米である。

以上は、ほんの一例であつて、トンネルに依つて、色々方法には違ひがある。