

土木学会第1回年次学術講演會講演

(施工法及隧道之部 No. 10)

隧道の建設方式

會員 瀧 山 與*

1. 緒 言

抑々隧道工は泰西の諸國に於て各別に發達した故、掘鑿及疊築の順序のみならず支保の方法も、諸國各々其の特徴を有してゐた。Rziha が Tunnel-Kunst (1874) を、又 Drinker が Tunneling (1893) を著作して、從來坑夫の仕事視せられてゐた技術を学問化した時も、獨逸、英吉利、奧地利などと國名を冠して建設方式を分類した。然るに其の後、各國とも自式の短を去り、他式の長を採つて折衷の法を案出したため、現在では以前の分類法に依ることが出来なくなつた。Prof. Alfred Birk は其の著 Der Wegebau, III Bd. (1911) に於て獨、英、白、奥及伊の5國の式の外に、新奥式 (Moderne Österreichische Methode) と上部開掘法 (Brandtsche First-schlitz Methode) 及チハ式 (Rzihasche Method) を加へて8種に區別した。次に Dr. Ing. Bader は其の著 Vortrieb u. Ausbolzung von Gebirgstunneln (1911) に於て獨、英、白、新舊の奥式、上部開掘法及指導々坑法 (2 Stollen-Methode) の7式を掲げ、伊式及チハ式を特種扱として一般方式中より除外した。又 Prof. Dolezalek は其の著

表-1.

文 献	Drinker	Birk	Bader	Prelini & Hill ×	Dolezalek	小 林 ※
建設方式						
German ○	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~ VII	~~~~~
English	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~		
Belgian ○	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~ II	~~~~~
Austrian	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~		
Italian ○	~~~~~	~~~~~		~~~~~		~~~~~
New Austrian ○		~~~~~	~~~~~		~~~~~ III, IV, V	~~~~~
Top Cut ○		~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~ VI	~~~~~
Rziha		~~~~~				
Parallel Heading			~~~~~			
Unter-stollen			~~~~~			
American ○				~~~~~	~~~~~ I	~~~~~
日 本						~~~~~
方式 数	5	8	8	7	7	7

備考: × Prelini & Hill, Tunneling, 1913.

* 工学士 小林紫朗著 隧道工学, 昭和9年.

~~~~~ 文献に記述せる方式,

○ 本稿に於て論議せんとする方式,

\* 京都帝國大学教授 工学士 (昭和12年4月11日講演)

Der Eisenbahn-Tunnel (1919) に於て國名を冠することを廢し、第 1 より 第 7 まで番號を附して 7 種に分類した。此の内に亞米利加式を取入れ舊埃及伊の兩式を除き、新埃式を更に 2 種に細別した。今文獻に記述せらるる方式名を表示すれば表-1 の通りである。

建設方式の分類は叙上の如く錯亂に陥つてゐるから、將來性に乏しきものは除外し、之あるもののみを擇出して、新しい分類を試みる必要がある。

隧道の断面中導坑の位置は建設方式の骨子なれば、本論に入るに先ち此の問題に關して記述する。

## 2. 導坑の位置

導坑の位置には次の如き種別がある (圖-1)。

- (a) 中央頂部に設くるもの即ち頂設導坑 Der First-stollen
- (b) 中央底部に設くるもの即ち底設導坑 Der Sohl-stollen
- (c) 底部兩側に 2 個設くるもの即ち側壁導坑 Der Stollen
- (d) 中央に設くるもの即ち中心導坑、英名 Center Heading
- (e) 断面外の中央下に設くるもの、即ち底下導坑 Der Unter-stollen、瑞西の Prof. Dr. Hennings の創案に係るものだが、未だ實施せられない。丹那の大湧水が起工前豫知せられてゐたならば、或は同隧道工に採用せられたかも知れぬ。
- (f) 断面にして本隧道に並行して設けらるるもの即ち並行導坑 Der Parallel-stollen.

Simplon I は底設導坑に並行して作られ又 Connaught 及 New Cascade は中心導坑に並行して穿たれた。而して本隧道導坑と平行導坑との中心距離即ち圖上の D は前者 17 m、後者は夫々 50 呎及 66 呎であつた。

上記種類の内 (e) 以下は暫く論外とし (a) と (b) とを比較するに底設導坑は次記の諸點に於て頂設より優れてゐる。

(1) 導坑の進捗に伴ひ隨處に作業面を増設することが出来る、従つて工事期間を短縮することを得る。

(2) 地質に適應する他建設方式に移行することが容易である。

(3) 湧水多量の場合之を坑外に排出することが簡單容易である。

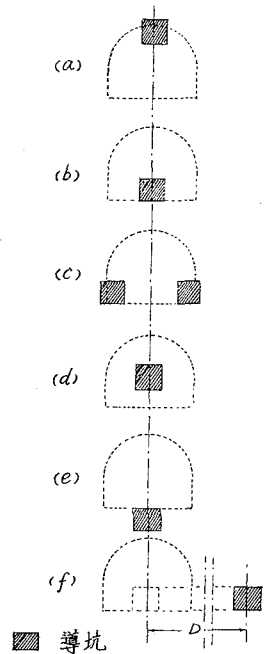
(4) 坑外より導坑先端即ち切羽に至るまで連続する運搬線を敷設することが出来る、従つて掘鑿土の搬出が迅速に行はる。

(c) は側壁を取急ぎ壘築せんと欲する箇所に用ゐられるが (b) に移り變ることは容易である。(d) は導坑周圍切擴に際し消費爆藥量が少なくて済むと稱せられるが掘鑿土搬出の不便を顧慮すると、俄に贅成し憎い。(e) は湧水多量の場合以外は採用出来ぬ特種のものである。又 (f) は Simplon の如く先づ第 1 隧道を穿ち後日第 2 隧道を増設するに當り之に並行導坑を利用する場合を除きては応用し難い。かく論

ずるときは (d) 以下は特種のものに屬し普通の箇所では考慮の必要がない。而して結語として地質に依りて (b) 又は (c) に依るべく (a) は避けたがよい。

明治年代西洋文化輸入後、最初に作られた山岳隧道は、現在廢線となつてゐる大津及京都間の逢坂山延長 662 m である。同隧道は明治 11. 10. に起工せられて同 13. 6. に竣功した。此の隧道の頂設導坑を採用したのが基本となり、爾來 40 年近くも此の工法が行はれた。稀に地質に依りては側壁導坑法が用ゐられたが、極少數の工事に限られてゐた。大正 4 年熱海線に於て隧道建設標準を定むるに當り、導坑を底設に限つて以來、底設導坑

圖-1.

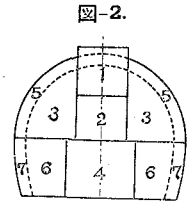


法が横須賀線の複々線工事を手初めとして、熱海線は元より各所に採用せられ、今日にては普通の工法となつた。此の変遷は我國隧道技術の劃紀的進歩である。

### 3. 將來性を有する建設方式

建設方式を(A)掘鑿中に部分的疊築を施工する法と(B)全断面開掘後疊築を施工する法との2種に大別する。(A)には(I)白耳義、(II)獨逸、(III)伊太利の3式が屬し、又(B)には(IV)新奧地利及(V)上部開掘の2式がある。著者は建設方式を此5の式に區別して各種の用途適所を攻究したい。

(1) **白耳義式**、(圖-2)： 図上の數字は掘鑿及疊築の工事順序を示す、(後出の図も亦同じ)。頂設導坑(1)を進め中背(2)、丸形(3)及大背(4)を切擴げ、次いで穹拱(5)の巻立を終へた後、土平(6)を取除いて側壁(7)を積立てる。仰拱を必要とする箇所は最後に之を施工する。穹拱を側壁より先に築造するが故に逆巻法(Die Methode des Unterfangens)の名がある。此の方式を普通土又は砂層に應用するときは、土平切擴中に穹拱の沈下は免れ難い。それ故**上げ越し**と稱し、普通穹拱径間の大小によつて所定位置より4~8cm 高く築造する。穹拱の沈下は局所に依り其の程度を異にするが故に、竣成後側壁と穹拱との分界線即ち隧道軸に沿ふ拱起線は1直線とならずして出來榮えが悪い。それ故に隧道の竣工後疊築工を一目見て、白耳義式を採用したことを知ることが出来る。



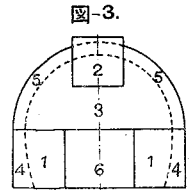
穹拱の沈下するとき其の背部土砂に弛みを生じて、それが穹拱上に墜落する。年月の經るに従つて地山の弛緩は漸次上層に及び、終には大なる土圧が穹拱疊築に加はることとなる。其の結果穹拱に龜裂が入り終に改築の止むなきに至ることが多い。北米合衆國の鉄道用隧道にして竣工後30~60年で修築するものが相當に多いが、此等隧道に就て建設當時の歴史を調査するに、大部は白耳義式に依つたものだと言はれる。

著者が明治年代の末葉、山陰線豊岡、香住間建設工事を督したとき、竹野、佐津兩驛間に介在する第2濱須井隧道は地質が風化した花崗岩なる上、些少ではあつたが湧水があり、従つて土圧が大きかつた。止むなく白耳義式を採ることにしたが、穹拱巻立前に約5m毎に支保工の1間約1mの區域の土平を隧道軸と直角の方向に切開き、0.6~0.7m 側壁——當時は煉瓦石積——を施工し、之を基脚として其の上に穹拱の逆巻を行つて穹拱の沈下を防遏した。これが施工は稍面倒で、従つて時日を多く要したけれども、其の結果は良好であつた。

掘地質が堅硬な岩石ではあるが、天井より岩片の肌落ち多きか或は天井より多量の湧水の落下する隧道にあつては、土平切擴を小區域づゝ行へば、工事中に穹拱の沈下する虞はないから白耳義式を採用しても良い。阪和電鉄線の雄山隧道(河内、紀伊兩國境、延長1423m)は岩石隧道工であつたが此の方式を採用した。同隧道は穹拱及側壁とも場所打コンクリートであつたが、穹拱の拱起線近くに鉄筋を埋め込んだ。

著者は此の方式をば舊慣通り普通土砂に應用することには反對するけれども、適處に採用するならば萬更捨てたもので無いと思ふ。

(2) **獨逸式**、(圖-3)： 側壁の疊築を取急ぎ施工し穹拱巻立に際して、大背(6)に該當する地山を支保工盛換の土臺に利用し、而して疊築工完成後(6)を切取る。大背を最後迄残すから Kernbau-Methode の稱がある。



複線鉄道用隧道の如く側壁の高いものに此の方式を應用する場合には、導坑(1)を穿つた後之を切擴げて側壁を築造し得るだけ、高さを増大する必要がある。獨逸では導坑を低い箇所掘り天井矢板の上を切り開くが、か

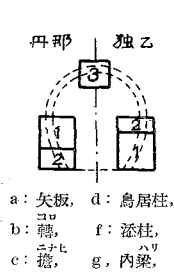


図-4.

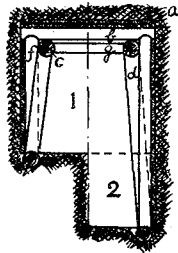


図-5.

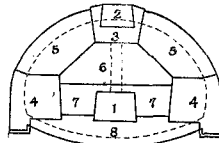
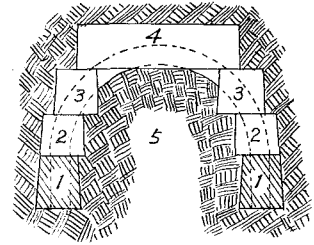


図-6.



くは此の切擴に當り再び天井矢板を打込む煩がある。それ故側壁導坑を高く設置し其の下段に切擴を行ふを可とする。著者の丹那隧道を督したとき、東口坑口附近の地質が悪かつたので坑口より約 93 m 間に獨逸式を採用したが、叙上の通り工事を遂行した。而して此の方法の方が獨逸の慣習に比し工事容易にして且つ經濟的である(図-3 参照)。

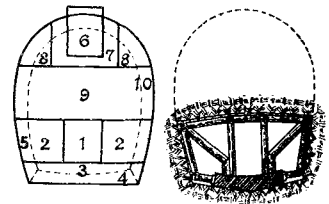
図-4 中、右の図は (2) の切擴中の支保工盛換へを示す。

伊太利の Apennino は Bologna-Florence 間改良線中に所在する延長 18.5 km の複線型大隧道である。1920-1930 年の建設に係り複線型では世界最大のもので、ムッソリーニ政權を禮讚すべき産物の一である。該隧道の一部に 図-5 に示す如き番號順序の工法を適用した。(4) の切擴の直後に側壁を積立て、(5) のすく跡に穹拱の卷立を行つた。此の法は獨逸式を基本とするアベニノ式と稱すべきものである。

運河用隧道にして掘鑿断面積の大なるものにありては、図-6 に示すが如く數字の順序に掘り開き、開鑿終り次第部分的に疊築を行ひ、中央に残留する地山 (5) を最後に切取る。

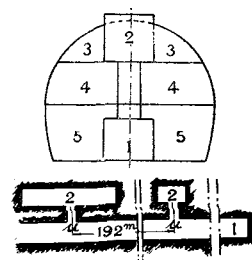
(3) 伊太利式、(図-7): 最初 Cristina にて採用した故クリスチナ式の稱がある。隧道底に位する仰拱を取急ぎ成するを以て此の方式の特徴とする。導坑 (1) を進めた直後側壁切擴 (2) を行ひ、次いで (3) を切下げ仰拱を作構る。此の場合に於ける支保工の 1 例は 図-5 に示す通りである。仰拱完成すれば直ちに側壁 (5) を築き、然る後頂設導坑 (6) を開掘し、(7)-(9) の切擴を了して穹拱 (10) の卷立を行ふ。此の式は泥土の如き地質に適応するから東京市愛宕公園中央放送局直下の街路用隧道(幅 9.0 m 延長 73.45 m) に応用せられたと聞く。

図-7.



(4) 新奧地利式、(図-8): 底設導坑 (1) を設け、其の進行が或程度に達した後に堅坑 (u) を穿つて隧道頂に達し、隧道軸に沿うて前後に頂設導坑 (2) を進行せしめる。堅坑は礮の漏斗口と從業者の通路に當てられる。堅坑相互間の距離は奧地利及瑞西では 192 m を標準としてゐるけれども、我邦では其の半分位が多い。頂設導坑 (2) の進捗後は丸形 (3) を擴げ、然る後は下方へ中背 (4) 及 (5) と掘り下り、全断面開掘後に側壁、穹拱の順序で疊築を行ふのである。

図-8.



此の方式の由來を尋ねるに、掘鑿と疊築との關係に於ては英及奧兩式を折衷し、支保の方法は獨逸ライン線上の Schwelmer 建設當時の方法を取り入れたもので、英、奧及獨 3 式の長所を採つた折衷法である。

此の方式は 1898 年 Arlberg の東口に於て試用せられたのを嚆矢とし、其の後 Wochein, Karawanken, Tauern 等の長大な隧道に応用せられた。

而して此の時工事に關與した技術者より新塊式と命名せられたと言ふ。

我邦にあつては著者が熱海線の計畫をなせし際、此の方式を隧道建設の標準中に取り入れたのが本源となり、現在の如く普遍的に採用せられるやうになつた。此の方式は普通土及軟岩に適するもので、應用すべき地質の範圍が諸式中最も廣い。

(5) 上部開掘式、(圖-9)：底設導坑(1)を穿ち、其の天井部を(2)、(3)と順次に切り上つて隧道頂(4)に達し丸形(5)を擴げた後は兩側に殘留する地山を切取る。而して全断面開掘後に疊築工を始めることは新塊式と同様である。

此の方式は 1853 年瑞西の Hauenstein に初めて用ひられ、其の後 Albula に採用せられたが、堅硬な岩質に最も適応するが故に、爾來瑞西のアルプス山脈を貫く幾多隧道に採用せられた。

我邦に於ては新塊式と共に著者により、熱海線隧道建設の標準に加へられて同線に使用せられたのを嚆矢とし、清水、猪鼻其の他堅硬な岩石隧道工に到る所に用ひられるに至つた。清水 南口に於ては起工當時亞米加式を用ひたが、此の方式を採用した北口の方の進工事捗著大なるに鑑み、一時 休工して此の方式に改めた。

以上の外に特種用として亞米利加式を追加する。

(6) 亞米利加式、(圖-10)：水路用隧道にして掘鑿断面積小、而して地質の普通土又は砂、砂利の類なるときは、頂設導坑を設け其の下段の切擴を行ふ。かくすることの利益は叙上獨逸式中丹那式導坑切擴(圖-4)と同様である。

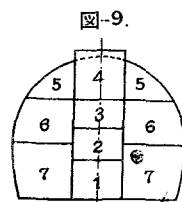


圖-9.

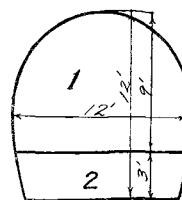


圖-10.

#### 4. 結 語

隧道工の建設方式は地質に応じ 1 隧道内と雖も、局所局所に就て最も適當なものを探擇すべきものである。而して著者の推薦せんと欲するところは右表の通りである。

上記 4 方式全部が底設導坑なるが故に、工事中他の方式に移り変ることは容易である。

猶上記 4 方式の外に白耳義式は舊慣とは全く相異なる箇所に用途を見出すであらう。又亞米利加式も同様である。之を要するに隧道建設方式を伊太利、獨逸、新塊地利及上部開掘の 4 式と定め、白耳義及亞米利加の 2 式に對しては條件を附して、其の用途を制限せんとするのである。

| 地 質    | 建設方式名   | 導坑の位置 |
|--------|---------|-------|
| 泥濘なる土  | 伊 太 利   | 底 設   |
| 砂地、軟弱土 | 獨 逸     | ” ”   |
| 普通土、軟岩 | 新 塊 地 利 | ” ”   |
| 硬 岩    | 上 部 開 掘 | ” ”   |