

黒石トンネルにおける「ランツエ・ベルノルド」工法について

国鉄盛岡工事局
正会真
田中 育

① はじめに 現在建設を進めている東北新幹線黒石北工区トンネル工事は、岩手県水沢市にあり、延長2.6kmの黒石トンネルのうち北側850Mと延長480Mの鶴城トンネルの2トンネルを受持つ工区で、48年4月着工、50年3月竣功を目前に工事を施工中である。最近のトンネル工事は施工法の改善が種々試みられており、その技術的進歩と効果は計り知れないものがあるが、ここで述べるランツエ・ベルノルド工法もその一つの試みであると思われるのでその概要を紹介する。

② 地形地質 本トンネルは北上山地の西縁部に位置し、標高50～80Mの丘陵地で地質は古生代の母体輝緑凝灰岩層を基盤岩とし、その上位に蛇紋岩類が所々に分布し、その上を新オミ紀の金沢層が浸蝕谷を埋める形で広範囲に亘り分布している。黒石トンネルは粘土、シルト、シルト岩、砂、砂岩、砂礫の互層で玉石を挟いた所謂土砂トンネルである。鶴城トンネルは坑口より120Mまでは上半部砂礫層、下半部と以ては緑色片岩で風化のため軟弱化した片理が発達し、掘さく後膨張性土圧を受ける地層となっている。

③ トンネルの施工計画

項目	鶴城トンネル	黒石トンネル
施工法	上半先進ロングベンチ工法、タイヤ方式 アーチ/次覆工、側壁覆工、アーチ2次覆工 約500M間はランツエ・ベルノルド工法採用 500M以後はドンツキ工法	上半先進ショートベンチ工法、レール方式 上下半とも1次覆工、全断面2次覆工 約200M間はランツエ・ベルノルド工法採用 コンベアシステムの採用により能率化促進

④ ランツエ・ベルノルド工法 ヨーロッパにおいて、近年理想的なトンネル施工法とは、掘さくと同時に連続して地山に密着したコンクリートライニングを施工することであると云われている。この施工法の背景となっているのはLauferの岩盤分類、Rabclwiczの薄肉覆工理論、Sattlerの模型実験等であり、これらに合致するよう一歩近づけたのがベルノルド工法であり、自主時間の少ない地山の場合にはランツエ工法を併用して掘さくしようとするものである。

a ランツエ工法 ランツエ(槍)と呼ばれる特殊形状の鋼矢板をガイドサポートで支え、油圧ジャッキにより、放つ地山に圧入するもので、粘土、シルト、砂質土等に適用される工法である。ランツエ工法の特長としては、安全な施工ができる、鋼矢板の離脱現象が皆無である、メッセルに比べ大きな許容応力度と任意の断面に適合できる、地山のゆるみを少なくして高速施工ができること等である。

b ベルノルド工法 1968年スイスのベルノルド氏により開発されたもので、掘さく完了とともにベルノルド・シートと連込み、型枠兼補強板としてコンクリートライニングを造るものである。本工法に使用されるシートは薄鋼板を波形に冷間加工したもので、型枠圧を受ける剛性と、硬練りコンクリートの流失を防止することができる程度になっている。標準寸法は1.2×1.05Mで厚さは2MMのものが一般に用いられる。ベルノルド工法の特長としては、支保工が不要(但し組立サポート敷基が必要)、矢板が不要(但しベルノルドシートが必要)、覆工コンクリートは地山に密着(シートの補強により強度が非常に大きい(但しバラツキの少ないコンクリートを造るため充分なバイブレートが必要))、下半の施工が全断面で手前より順次施工できるので合理化が大きい、地山の緩みが少なく裏込注入が不要等である。

⑤ ランツエ鋼矢板とガイド及び組立サポートの構造

α. ランツ工鋼矢板 ランツ工鋼矢板は切羽方向に尖った箱形断面で、全長 5.7M のうち先端から 3.2M 間が前方押出し用推進ジャッキの嵩上げ装置がついている。テール部 1.32M は 8MM 鉄板に 3.2M の高張力鋼板を溶接し、上部にリブを通して補強し、吹込コンクリートを打設する間欠矢板と専型枠の役目を果している。各ランツ工はガイドレール(アダム)と端え、トンネル断面に多角的に適合できるヒンジ構造とし、さらに全体のランツ工がスブロックになるよう4ヶ所にI型鋼(10CM)を通してある。

ランツ工の主要諸元	幅 500MM	高さ 170MM	重量 400kg/枚	$W=345\text{CM}$
-----------	------------------	-------------------	---------------------	------------------

β. ガイドサポート ガイドサポートはランツ工全体を支えると共に、地山圧を受けるのに充分な剛性を備えたものでなければならぬ。またランツ工推進時の反力受ともなるものでこれを考慮して $250\times 200\text{MM}$ のボックス型とした。両脚下より 1.5M の所にはヒンジを設け、両脚を内側に折曲げ移動を容易にしている。ガイドサポートは3基用意し、間隔伐には伸縮可能なスクリュータイロットを使用した。

ガイドサポートの主要諸元	半径 5.330MM	重量 1.413kg	$W=850\text{CM}$
--------------	---------------------	---------------------	------------------

γ. 組立サポート 組立サポートは覆工コンクリートが硬化し、強度確保までの間のコンクリート圧と、場合によっては地山圧を受けられるものでなければならぬ。両脚にはガイドサポートと全横ヒンジを設け移動を容易にしている。間隔伐にはパイアタイロットを使用した。

組立サポートの主要諸元	断面 $H150\times 150\times 7\times 10\text{MM}$	半径 5.255MM	重量 526kg	$W219\text{CM}$
-------------	---	---------------------	-------------------	-----------------

⑥ 施工のあらまし

α. ランツ工組立 ランツ工の組立基地として規定半径より 40CM 大きな基地用支保工($H=200\times 200$)を坑口より 90CM 間隔で9基建込みその内部でランツ工の組立てを行った。坑口 2 間(1.8M)にはあらかじめ推進時の反力受けとしてコンクリートを 20CM 厚で打設した。基地内の地盤は充分締固め、先づ3基のガイドサポートを掘さく断面に合せて正確に建込んだ。次にランツ工をサポート天端の縦方向に固定し、順次他の鋼矢板を左右に挿入した。ランツ工の推進を開始するに当ってはノーズダウンを防止するためワイヤーでの締つけと砂による空隙充填を行った。

β. ランツ工の推進と掘さく ランツ工は最大推力 20t のジャッキにより推進させた。作業は通常アーチ頂部から始め順次トンネル周囲に沿って左右の鋼矢板の推進を行った。従来この種の推進工法はジャッキ受けをH鋼のウェブにとっているためジャッキの角度が急で推力にロスが出て鋼矢板がサポートから離れる傾向にあったが、今回は上フランジに取り付けの平釘を回ったため平常の場合の必要推力は $6\sim 10\text{t}$ であつた。全ランツ工の推進後、核部の掘さく、ずり出しを行ったが、固結した砂礫層の鶴城トンネルに使用したパワーショベルは能力が低く時間がかかり過ぎ、黒石トンネルのようにロードフッターを使用すればサイクルタイムは縮まることは確実である。ノサイフルの掘進長は 96CM でありこれが終ると最後部のガイドサポートを移動して切羽部へ建込む。代替えられたサポートは 30t ジャッキでジャッキアップし、ランツ工に密着させる。

γ. 組立サポートとコンクリート1次覆工 最後部のガイドサポートが代替えられたら、吹込コンクリートの専型枠となるランツ工のテール部に組立サポートを建込む。組立サポートは所定の一丈覆工厚(19CM)より 8CM 小さく製作された。ベルノルドシートはサポートとの間に楔により所定の位置に定着される。1回の吹込コンクリート延長は 96CM であるがシートは下方から1枚づつ重ねて設置し、ランツ工テール部の空間に硬練りコンクリートを打設した。打設はスピロクリートを用いて中倒でコンクリート打設、他側でシートの設置と左右交互に施工した。打ち込まれたコンクリートは棒状バイブレーター(全 2CM)で充分締固めを行った。なおシートからのコンクリートの漏水率は $6\sim 7\%$ であつた。

δ. スピロクリート スピロクリートは圧縮電気の流れを利用して硬練りプラスチックなコンクリートを圧送する機械で、本機の特長は従来用いられているコンクリートポンプやプレスクリート等が水の多いコンクリートを打設するに比べ、硬練りコンクリートを圧送できる突と温式吹付機としても用いられることである。な

おスピロフリートはスイスのベルノルド社により開発されたものであるが、本工事に使用したTMS-1000は国産モノノ機であった。

e コンクリートの配合と圧縮強度
 吹込コンクリートに用いられるコンクリートは、一般にコンクリートポンプで打設されるような軟かいものでなくスランプで3CM程度、バイブレーターを掛けて初めて流動性をおびるような硬練りであつて、圧縮強度試験に示す通り硬固後コンクリートである。

コンクリート配合表						圧縮強度試験 (MPa/cm ²)	
使用セメント		普通ポルトランドセメント	単位水量	kg/m ³	175	6時間 8.5~10	
粗骨材最大寸法	MM	15	単位細骨材量	"	1097	12時間 21~25	
スランプ	CM	3	単位粗骨材量	"	754	1日 43~50	
水セメント比	%	51.5	混和材	ℓ	3.4	3日 150~160	
総体細骨材率	%	60	設計強度	kg/cm ²	160	7日 230~270	
単位セメント量	kg/m ³	340	注 砕石使用、ボゾリスNO5L25%溶液			28日 340~380	

但し圧縮強度試験はテストピースによる強度であり、実際現場で打設されているコンクリートは作業性からバイブレーターの効果的な下部は良好でもアーチ先端では多少のバラツキがあるものと考えている。

f. サイフルタイムと進行
 ランツエ、ベルノルド工法を採用するにあたり、48年6月から4ヶ月に亘り鶴城トンネル坑口付近で延長約50M間の砂礫層突破のための各種テスト工事を行った。本工法の本格的な採用は我が国で始めてであるため不慣れな点が多々あり、地質に適合しない掘さく機の能率低下のための補助発破とか、ジャッキ等の小故障や圧送パイプの詰り等思いがけない時間を費したこともあつた。上記試験区間の最大日進は2.88M平均では1オ/サイフルの進行であつた。平均サイフルタイムは別表に示す通りである。なお黒石トンネルについてはロードフッターとコンベアシステムの本格的な搬入稼働との関連で未だ実績発表の段階にたちいていない。

⑦ 工事結果と問題点

- 掘さくは砂礫が硬固の場合は、パワーショベルよりロードフッターの方が能率的であり、今後之で進行3~4回を目標に計画中である。
- 正しい方向にランツエを推進させて能率を上げるためには方向制御が最も大切であり、ノーズダウン対策相互のかみ合せの余裕、推力の方向、推進順序等に細心の注意を払う必要がある。
- スピロフリートはコンクリートの圧送距離が長くなる程打設能力が低下し、ホース内にコンクリートが詰る回数が多く、ポーラスなコンクリートが出来易い。また空気打設方式に共通な欠点として打始めと打終りに骨材分離が生じることが多い。
- 一次覆工の場合コンクリートの巻厚が薄く、立上りが早いため作業上バイブレーターを充分かけられないケースがあるので棒状と板状のバイブレーター併用が望ましい。またテール部に地圧がかかった場合、ランツエ推進に伴いまだ固まらないコンクリートを傷つけることが懸念されるので、検討を要する。
- 土被り60CMの人家の真下の施工にあたり、最大115MMの沈下が生じたが、一次覆工後沈下は停止した。この現象はランツエの先掘りと高さ修正のための余堀の影響と考えられるが、一方早期に覆工を行えば沈下防止にとって良策であることを示している。
- むしろ本工法が能率的で然る経済的な工法としての発展をとげるためには、更に多くの施工実績の積重ねと必要とするものであるが、従来の切羽作業がランツエ矢板の防護のもとで極めて安全に施工出来ることと極めて短時間のうちに地山に密着したコンクリートと連続して打設出来るため下半作業のシステム化が可能となりトンネルの省力化と推進するため今後の開発が促進されることを期待してやまないものである。

