

長大トンネルの話題

トンネル機械の大型化、トンネルボーリングマシンの開発など、トンネル技術の長足の進歩は高速掘進を可能にするとともに、長大トンネルの掘さくを容易にした。また、長大道路トンネルの最大の問題点である換気設備についても、研究開発が進められてきた。一方鉄道、道路等高速運転が強く要請され、曲線半径、こう配、距離の短縮など規格の高い路線を必要とするため、長大トンネルが随所で計画され、施工されている。

昭和42年に施工中のトンネル延長は、鉄道トンネル320km、道路トンネル80km、水路トンネル12kmにおよび、これらのうち延長4km以上のいわゆる長大トンネルは、表一に示すとおり16本におよんでいる。さらに中央道恵那山トンネル(8.500km)、これに併行する中津川線神坂トンネル(12.700km)の大規模な調査も着々と進み近々着工の運びとなるほか、本州と北海道を結

ぶ青函トンネルの調査工事も本工事の一環として着々と進められ、土木技術者の永年の夢を実現させようとしている。

以下上記の長大トンネルのうち、バーンカット工法スライディングフロアーなどを採用して、わずか4年で完成した新清水トンネル(延長13.500km)、蛇紋岩を貫ぬく神居トンネル(延長4.540km)、大断層を貫ぬく神坂トンネル(12.700km)、津軽海峡を結ぶ青函トンネル(36.400km)、さらに大断層を貫ぬき画期的工法を採用しようとしている恵那山トンネル(8.500km)について、その話題を紹介する。

1. 神居トンネル

函館本線納内～伊納間の神居トンネル(複線断面、 $l=4.540$ km)は一部葉片状蛇紋岩からなり、ぼう脹性と地圧が認められたので、施工にともない蛇紋岩の特性と地圧の実態を十分に把握するために試験坑を設けて下記の各種の測定を行なった。

① 予備調査

踏査	ボーリング
弾性波速度	岩石の試料試験

② 実態調査

地耐力試験	覆工応力
地山の変位(ぼう脹量)	覆工背面地圧
支保工のベース反力	盤ぶくれ
支保工の格点荷重	ゆう水
支保工のひずみ	坑内弾性波速度
支保工の変形、沈下	坑内の温度、湿度

一般に蛇紋岩中に作用するぼう脹性地圧は、掘さく後短期間に急激にぼう脹するが、以後は緩慢となり、比較的短期日のうちにある一定値に収れんする潜在応力の

表一 施工中の長大トンネル (延長4km以上)

トンネル名	種別	路線名	位置	延長(km)	断面	施工法	工期
新清水 神居	鉄道	上越線	湯捨曾～土樽	13.500	単線	全断面工法 側壁導坑先進 上部半断面工法	～42.10
	鉄道	函館本線	神居古澤～伊納	4.540	複線		～44.10
頸城 甲	鉄道	北陸本線	能生～名立	11.355	複線	導坑先進上部 半断面工法	～44.10
	鉄道	山陽新幹線	新大阪～新神戸	16.220	複線		～46.10
六神 戸	鉄道	山陽新幹線	新神戸～西朋石	7.961	複線		41.11～45.8
	鉄道	山陽新幹線	相生～岡山	7.575	複線		～46.10
登川 新登川	鉄道	紅葉山線	紅葉山起点 6.450～12.150km	5.700	単線		41.8～45.3
	鉄道	紅葉山線	紅葉山起点 17.500～23.325km	5.825	単線		41.10～46.3
六十里 越	鉄道	只見中線	小出起点 33.420～39.760km	6.340	単線		41.11～45.8
	鉄道	越美線	福井起点 46.356～51.620km	5.264	単線		41.10～45.3
天辻 犬寄	鉄道	坂本線	五条起点 17.300～22.340km	5.040	単線		42.4～46.1
	鉄道	内山線	向井原起点 3.865～9.855km	5.990	単線		42.2～45.7
長嶺 篠栗	鉄道	浦上線	喜々津起点 8.250～14.310km	6.060	単線	41.9～44.3	
	鉄道	篠栗線	篠栗起点 4.815～9.295km	4.480	単線	39.2～43.3	
第2串 内 東村山	鉄道	狩勝線	新得起点 29.475～33.980km	4.205	単線	導坑先進上部 半断面工法	42.6～45.11
	鉄道	武蔵野線	新鶴見起点 30.130～34.400km	4.230	複線		42.8～43.1
合計 (16本)				114.285			

解放する場合と、初期にかなり大きなぼう脹を示すが、その後次第に増加の傾向は減じながらも相当期間にわたり継続的に増加する吸水ぼう脹、化学変化、アーチ作用の形成されにくい地山における押し出し等による場合とに大きく分けられる。

神居トンネルのぼう脹性地圧は各種調査の結果、吸水ぼう脹、化学変化に直接関係するものは検出されず、ぼう脹量の経日曲線その他から判断して、地圧は主として潜在応力の解放とも考えられない。これらのことと地圧の分布等からみて、ぼう脹性の主な原因はゆるみによる押し出しと考えられる。

施工に当っては、試験坑、本坑における各種試験の測定結果を十分に活用して、葉片状蛇紋岩の強圧区間では側壁導坑先進工によっている。上部半断面の支保工はH-200 ないし H-250 を使用し、掘さくは二重巻として外巻 75 cm、内巻 35 cm の設計とし、内巻は外巻の実情をみて変状が生じた場合に施工している。

試験坑による各種調査結果による施工計画をたてたため、現在までは順調に施工されている。近年測定機器の開発と相まって測定方法も相当確立されているので、ぼう脹性地山の施工に当っては、特に地質、岩石の性状、地圧の実態等を十分に把握し、掘さく方式、支保工の大きさ、覆工厚を検討し計画的に強圧区間でも突破することが可能になってきた。

2. 新清水トンネル

上越線湯桧曾～土樽間の新清水トンネル（単線断面、 $l=13.500$ km）は工期が4 年と制約されていたため、国鉄ではいまだかつて例をみない平均月進 220 m を要求されていた。このため掘さく工法の決定にあたって各種工法の比較検討を行なった結果、工期にゆとりのある湯桧曾工区は全断面ウェッジ カット工法、工期の苦しい土合、土樽工区は全断面バーン カット工法を採用した。

地質は深成岩（石英内緑岩、後から併入したかこう岩）と深成岩に貫かれている第三紀層からなり、これらの第三紀層は深成岩の貫入により変質作用を受け、著しいものはホルンフェルス化しており、一般に硬化している。湯桧曾工区は大部分が第三紀層であり、土合、土樽工区では深成岩で一部ホルンフェルスとなっている。

わが国におけるバーン カット工の実績は比較的小断面の鉱山関係では相当採用されているが、国鉄の単線断面クラスのトンネルでは神岡線第四中山トンネルで試験的に採用したのみで、本格的に採用したのは新清水トンネルが初めてである。

バーン カット工法とVカット、ウェッジ カット工法

と本質的な相違は、芯抜の自由面のとりかたにあり、Vカット、ウェッジ カットでは芯抜部の発破の自由面を切羽面に求めているのに対し、バーン カットは切羽面を自由面とせず、芯抜部に大孔径バーン ホール（空孔）をせん孔し、これを自由面とする平行孔による芯抜法としていることである。

Vカット、ウェッジ カットによると一発破の最大掘進長はトンネルの幅が幾何学的に決り、トンネルの幅の約 45% 程度となるが、バーン カットでは実際には種々の問題点により制限されるが、理論的には一発破の掘進長はトンネルの幅に関係なく長くすることができ、急速掘進工法といえるものである。

新清水トンネルでは、バーン ホール用 さく岩機としてデンバー社製の PR-143、DH-143 を使用し、孔径 5 in \times 2 ホールの芯抜を採用した。一発破の掘進長を 3 m と計画して行なったが、孔（バーン ホール、装薬孔）の相対的位置の許容誤差範囲が非常に問題となり、すなわち、長孔になるほど孔の許容偏量範囲にせん孔することが困難となり、カット オフになる確率が多くなると同時に、ビット、ロッドの耐用命数が急激に低下する傾向になったので、最終的には 2.5 m とした。

バーン カットでは爆薬量が一般に多くなる。これは、装薬を線装薬としないと、メカネになるためと考えられる。

新清水トンネルのバーン カット工法の実績から判断して確かに掘進速度は高いが、本格的に採用し、経済的な工法とするには、つぎの点を今後研究する必要があると思われる。

- ① せん孔の偏量を極力少なくするせん孔方式の確立
- ② 長孔せん孔しても十分に耐えるビット、ロッドの開発
- ③ 同量の薬量で装薬長をできるだけ長くするために低比重のダイナマイトの開発、またはバーンカットに最適の爆薬といわれる ANFO 爆薬の実用化

土樽工区では、切羽における軌道整備の手間を省き、ずり積み時間を短縮し、ドリル ジャンポーを正確にすえ、せん孔パターンを常に保持することにより余掘りを少なくするために、アメリカのプロト ジャコブス社からスライディングフロアーを導入して使用した。これは分割されたレール付きのプラットホームを油圧装置によって順次ほ行きせ、常に切羽に接近して走行レールが敷設される構造のものである。使用実績からみて、今後その使用方法によっては相当期待できるものと思われる。

以上各種の新鋭機器、新工法を採用して施工した実績は、計画進行より少し低い進行を確保することができたが、当初想定進行まで確保できなかった主原因は想定以上の大ゆう水に常に遭遇したこと、岩質が非常に硬岩で

あったためと思われる。特にゆう水による作業能率の低下はいちじるしいものであった。今後、ゆう水による能率低下を定性定量的に把握し、工費工程におよぼす影響を明確化する必要があると考えられる。

3. 神坂トンネル

本トンネルは、中央本線中津川と飯田線飯田駅を結び、人口40万人にもおよぶ伊那谷を名古屋に直結しようとする新線である中津川線にあって、木曾山脈を貫ぬく、トンネルで、延長は12.7kmである。しかも効率の良い斜坑、立坑は期待できず、ほとんど両口から掘さくすることとなる。

地質は古生代の変成岩類と、中世代のかこう岩、石英斑岩、かこう斑岩を基盤として、これらの上部に新世代のたい積層が不整合に被覆されている断層は随所にみられるが、中でも路線にほぼ直交するNS方向に最大の規模をもつ二条の断層がある。すなわち、神坂神社断層、横川断層と称せられるもので、その幅は、それぞれ600~800m、70~280mと推定され、かなりの破碎帯をともない粘土を介在し、ベントナイト化している。このような悪地質が予想されたため、昭和40年度当初から大々的な地質調査を実施している。すなわち、弾性波による探査は、5ヵ所・総延長41km、ボーリング調査は、最大深度520mで29ヵ所、総深度1800mにおよび、さらに綿密な地表踏査、水文調査を行なうとともに、断層に直交して地震に4.5kmのトレンチ、横坑を掘さくして大断層の性状を調査している。これらの調査も今年末にはおおむね完了し、いよいよ具体的な施工法の検討を実施するに至った。

4. 青函トンネル

青函トンネルについては、土木学会誌第52巻9号に、「青函トンネル調査工事中間報告」が掲載されているので、ここでは詳細については省略する。

青函トンネルを掘ろうとする構想は戦前からあったが、実際の調査を開始したのは、昭和21年からである。それから20余年終始一貫して地道な調査が進められてきた。すなわち図上研究、測量、地質調査等々である。特に地質調査については海底観察、海底資料採取、海底ボーリング、地震探査、磁気探査、音波探査等あらゆる手段をつくり、地表から可能な調査はすべて完了し、昭和39年5月調査斜坑の掘さくに着手したのである。

すでに北海道方斜坑(1210m)は本年2月に掘さくを終え、ウォールマイヤー式トンネルボーリングマシン(切削径 ϕ 3730mm~ ϕ 3578mm)を使用して水平坑掘

さくに必要な坑底設備の掘さくを行なっており、8月18日から水平坑の掘さくに入っている。本州方斜坑は1335mのうち850m(10月現在)掘進している。

本トンネルの特異点は、海底トンネルであること、きわめて長大トンネルであること等である。すなわち海に通ずるゆう水は無限度であり、減少は考えられないこと、および海底部8.5kmの区間は、斜坑、立坑等は不可能で両側から進める以外になく、現在のさく岩、爆破、支保工、ざり出しの方式では技術開発を進めても克服したいことである。現在の調査工事は、先進ボーリング、注入、機械掘さく、コンクリート吹きつけ等の工法の組合せで、これらの問題点をいかに克服するかに重点がおかれて進められている。

5. 恵那山トンネル

道路公団が建設を進めている中央道(西宮~東京線)恵那山トンネルの計画の歴史は戦後から今日まで続いているもので、昭和29年の第19回国会における国土開発中央道事業法案の赤石・木曾山系を横断して、富士吉田~名古屋間を一気に結ぼうという計画が恵那山トンネル案の最初である。これが、後の国土開発幹線自動車道建設法に衣がえし、東京都から大月市を経て、甲府市、諏訪市、飯田市、中津川市を經過し、小牧市へ続いている。

したがって、恵那山トンネルの意義は、その経過地からわかるように木曾谷以西の中津川市に続く恵那、瑞浪、土岐、多治見の段丘地帯と、周囲を山で囲まれた伊那盆地とを直結し、伊那谷および沿線地区の開発をになうことにより、その果す役割はきわめて大きいといえる。

この意図にそって、従来から数多くのルートが比較検討されてきたが、いずれの案をとっても、木曾山系を横断するのに長大トンネルが必要となることには変りがなく、現在、園原~中津川市間約8.5kmのトンネルに決定された。

本トンネルは、当初は2車線のトンネルとして建設されるが、交通量の伸びに応じて、将来は双設トンネルとする計画である。

この恵那山トンネルは、その長大さのためつぎの2つの問題を提起している。すなわち、①道路トンネルにつきまとう換気問題、②工期の短縮、工事の安全化のためのボーリングマシンの導入である。

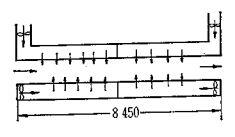
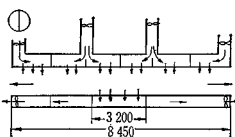
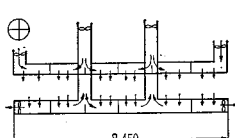
以下、これらの話題を中心に追ってみよう。

(1) 恵那山トンネルの換気計画

世界最長を誇るモンブラントンネルにおいても、換気の問題は頭の痛いことであった、とその建設史に記されているように、トンネルの長大化は、比例的に換気量の

表-2 換気方法の段階施工

(単位 mm)

施工段階	換気量 (m³/s)	換気区分	送気ダクト 必要面積 (m²)	必要ダクト確保の方法			車道最大 風速 (m/s)	車道内風速 を10m/s以下 にするための 吸引量	10 m/sec にする方法	概略図
				本トンネル (m²)	試掘導坑 (12.5 m²・ m²)	立坑(本)				
第一段階 交通量 対面1000台/時 換気方式 半横流式	920	2	23 (920/2×20 =23)	13	10<(12)	—	10 (460/46 =10)	—	—	
第二段階 交通量 対面1600台/時 換気方式 半横流式	1.470	6	12.3 (1470/6×20 =12.3)	13<(12.5)	—	2本 25 m²/本 (φ=5.200) (490/20 ≒25 m)	16 (735/46 =16.710)	276×2 (6×46 =276)	13.8 m² (276/20 =13.8 m²) 試掘導坑 を使用する。	
第三段階 交通量 一方方向2000台/時 換気方式 横流式	1.470	6	12.3 (送排気 ダクトとも)	13>(12.5)	12<(12.5)	2本 50 m²/本 (φ=8.000)	—	—	—	

以上より

本トンネルはダクト 3 m² 程度の東名トンネル規模とする。

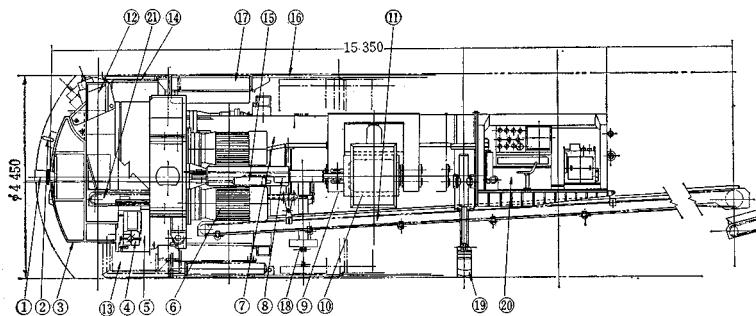
問題点：①換気量の再検討

②試掘導坑と本トンネルとの連絡

③立坑規模の施工とその構造

第2段階で φ5.200、第3段階で φ8.000 を必要とするので、その施工時期と構造

図-1 TM445G 全体図



- ①トリコン カッター ②ディスク カッター ③カッター ヘッド ④ベアリング ⑤カッター
ヘッド サポート ⑥主電動機 ⑦メイン ビーム ⑧スラスト シリンダー ⑨グリッパー
キャリヤー ⑩グリッパー シュー ⑪第1コンベヤー ⑫バケット ⑬フロント サポート
- ⑭ルーフ サポート ⑮先進作孔機 ⑯シールド ⑰シールド ジャッキ ⑱エレクター
⑲リヤ サポート ⑳運転席 ㉑フィーダー

増加をもたらし、交通に必要な空間以上の大断面が必要となり、場合によって数本の換気立坑を必要とする。モンプランに幸いしたことは、設計交通量が 500 台/日と非常に少ないことであったが、この恵那山の場合、このような低交通量は予想できず、また、経済上の見地から、換気計画は段階施工的に考えられ、現在のところ、交通量に見合って、表-2 のような構想が検討されている。

(2) ボーリング マシンの導入

恵那山トンネルの地質は、かこう岩および流紋岩を主とする比較的新しい火成作用によって生じた山脈地帯で

あるが、一部にホルンフェルスが地質境界に現われ、相当大規模な断層が存在すると推定されている。このような断層その他地質を確認し、かつ、上記の換気計画の一環とした換気坑としての使用を考慮し、調査用横坑を本トンネルに併設することとし、その掘削に小松ロビンス製のボーリング マシン(図-1)を採用している。

ボーリング マシンについてはすでに各文献で多々述べられているので、その内容について

は省略するが、通常のロビンス型トンネル掘さく機にフル シールドを結合させ、あらゆる地質に対して使える万能機として試作したもので、その成果によっては、本トンネルに対しても、従来の発破工法に代るものとして期待されているものである。

なお、この恵那山トンネルでは、機械化掘さくにともなうセグメントの導入や、ゆう水時等の悪地質に対する凍結工法の利用等、新工法を検討中であり、その建設にともない、トンネル技術に数々の新機軸が生れるものと思われる。