

3.4 トンネル工事に用機械

石川正男*

1. 概要

最近のトンネル工事における施工技術の目標は、作業安全性の向上と、作業合理化の追求、特に掘進速度の増大に向けられている。

作業安全性の向上に対しては、トンネル坑内外の各作業全般に強い関心が払われ、その結果かつては危険度の高いものとされていたトンネル工事においても、最近のトンネル施工量の増大にもかかわらず災害発生率は横ばいもしくは下降の傾向にある。特にトンネル工事において重大事故となる湧水、落盤や発破に関連する事故については、高能率の先進式鉋機や、物理的探査機器の開発導入によって前方予知の技術が進みつつあり、またより安全な爆薬の研究開発も行なわれつつある。

またトンネル坑内作業員の不足、熟練労務者の確保の困難、労務費の上昇は、トンネル坑内作業のいっそうの合理化を追求することとなり、このため取り扱ひの容易な、誤操作のない、しかも高能率のトンネル施工機械の開発導入が試みられている。

掘進速度の増大に関しては、トンネル坑内作業サイクル時間の大部分を占めるせん孔、ずり積み、ずり運搬に対する新工法や、新形機械の導入が盛んに行なわれている。

特にディーゼル機関の排気処理の進歩によって、トンネル坑内にディーゼル機関車の進入を可能とし、大形断面トンネルでは、ダンプトラックによるずり搬出も行なわれるようになった。また、油圧駆動装置の進展にとりまわって、内燃機関のかわりに電動機を装備した一般土工用機械もトンネル坑内で多用されるようになりつつある。

トンネル工事に用機械で最近特に注目すべきものは、硬質岩に対する、火薬を用いないで全断面を一挙に切削しようとするトンネルボーリングマシンの導入と、軟質

土に対するシールド機械の開発、大口径立孔掘削機の使用をあげることができる。

トンネルボーリングマシンは、アメリカ、欧州、ソ連などに先例が見られ、わが国でもこの二、三年の間に10台近い機種が試用が行なわれるようになった。爆発による地山のゆるみや余掘りがなく、安定性の大きい円形断面が確保でき、支保工費、覆工費を節減し、掘進速度も比較的大きいなどのすぐれた特長を持っている。適用岩質範囲の拡大、稼働密度の向上、関連諸作業、諸施設との協調など、今後現場使用の経験の積み重ねによって解決すべき問題を数多く含んではいるが、トンネル施工法の進展とともに、将来の発展を期待されるものである。

シールド機械もわが国において都心部再開発の社会要請に促進されて、この数年間研究開発が活発に行なわれてきている。

大口径立坑掘削機は鉱業開発で試行され、最近では土木分野でもトンネルの換気、材料搬出入坑の掘削作業にも適用が検討されるようになってきた。

2. 削岩機、空気圧縮機

トンネル工事の掘削作業には、今日でも圧縮空気を動力源とした削岩機による削孔作業と、これに爆薬を装てんして、火薬の爆発力によって岩を破壊する方式が一般に広く採用されている。

削岩機は一般に軽量化の方向に進み、現状においては削岩機の主流は空気圧によって伸縮可能な脚を用いた、いわゆるレッグドリルである。

レッグドリルは機動性、操作性の面ですぐれた特質を有するもので、岩質の変化、掘削断面の変更に対しても比較的容易な段取替えが可能である。

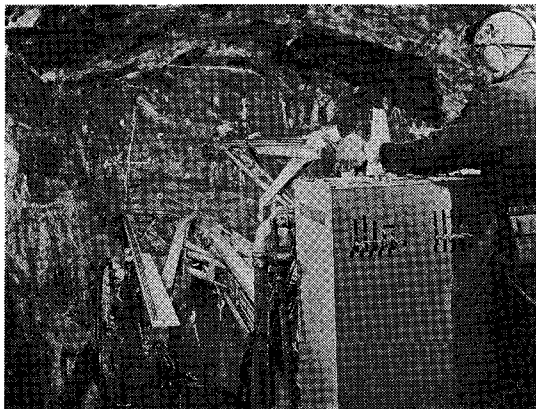
レッグドリルについても、性能向上のための検討が加えられ、最近のものはシリンダ径を大きく、ピストンストロークを小さくして打撃数を増大させることによって削孔能率の向上がはかられるようになってきた。また比較的大断面（全断面または半断面工法）に対しても、長孔掘削能率の向上のため鉄製はしごの上にジャックハンマおよびレッグまたはステップフィーダを乗架して、一人で2台の削岩機の取り扱ひができるラダー工法も広く採用されるようになった。特に最近では、シザーあるいはパンタグラフ式ブームに削岩機フィーダを装備し、ブームの移動を油圧操作で行なうものが出現した。これによれば、熟練作業員でなくても平行削孔が容易にできるように作られている。

一方、大形削岩機の利点である長孔急速削孔能率の面が再検討され、大形機の採用も再び活発となってきた。

削岩機は一般に圧気圧が高いほど削孔速度が増大する

* 日本鉄道建設公団 海峽線調査部調査役

写真-1 ザックス工法による削孔作業
(アトラス コブコ社)



が、送気管延長が長くなると圧力が低下し、一般には空気圧縮機での発生圧 7.0 kg/cm^2 に対し、削岩機への吸気圧が $5\sim 6 \text{ kg/cm}^2$ と低下することはいわば常識であり、削岩機メーカーも圧力低下を考慮して適用圧を低目にとる傾向があったが、最近では削岩機の吸気側にブースタを設け、吸気圧を 7 kg/cm^2 としたり、また空気圧縮機そのものを $8.0\sim 8.5 \text{ kg/cm}^2$ の吐出圧とすることも検討されている。

空気圧縮機も往復動ピストン形式から、回転式のロータリ ベーン式あるいはスクリュウ式が占有容積、振動、すえ付け容易などの利点を生かして採用が多くなってきている。

3. ずり積み、運搬機械

切羽でのずりをトロに積み込む作業、およびずりを積んだ運搬車を坑外まで搬出する運搬機械についても、各部に改良進歩のあとが見られる。

ずり積み機は、かつては空気動力によるものが小形機ではほとんどで大形機に限り電動・油圧機械式であったが、油圧駆動装置の進歩によって、電動・油圧駆動方式のものが開発されつつある。

坑内用機関車は、排気処理の技術が進んでディーゼル機関車の採用がやや広まったが、最近では比較的保守が容易で耐久性の大きい蓄電池の開発から、蓄電池機関車の使用が再び盛んになりつつある。

4. 掘削機械

トンネル工事用の掘削機械としては、土層掘進用としてのシールド機械、岩層掘進用としてのトンネルボーリングマシン、および換気、材料搬出入用の立孔掘削機などがある。

(1) シールド機械

シールド工法の採用は $5\sim 6$ 年前から急速に広まり、シールド機械の開発もこれに並行して活発となってきている。円形断面が最も多いが、半円形、馬てい形、矩形シールドも一部で使用されている。

円形断面では掘進外径 $1.6\sim 7.0 \text{ m}$ 級のものがあり、掘削方式はほとんど人力掘削が多いが、人力に依存しては掘進能率が押えられ、労務者対策上からも能率向上を期待して機械掘削、加圧掘削、水噴射掘削方法なども開発された。

シールド掘進における切羽の安定は、地盤沈下を防ぐための絶対必要条件で、不安定地層に対する機械化掘削、特に大形機の掘進能率向上が今後の研究課題となっている。

また、シールド本体、シールド ジャッキのほかに、セグメントの組立機構、ずり搬出装置の能率化や、後方設備の調和の問題も開発すべき事項が多い。

(2) トンネル ボーリング マシン

普通の発破工法によらず、切羽の岩面に切削工具を直接接触させて岩層を切削破砕するトンネルボーリングマシンは、わが国においても最近の $2\sim 3$ 年間に、その研究開発ならびに試用が行なわれるようになってきた。

今日の段階では、まだ施工経験の積み重ねが少ないことから、価格の大きい岩掘進機の経済性の検討に当

写真-2 電動・油圧式ずり積み機

(川崎車輛製, KSE-E 20 スクリュー エキスカベータ)

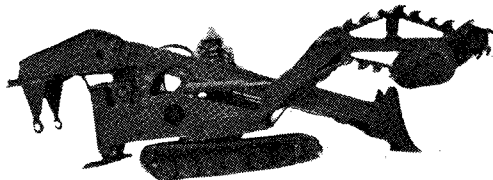
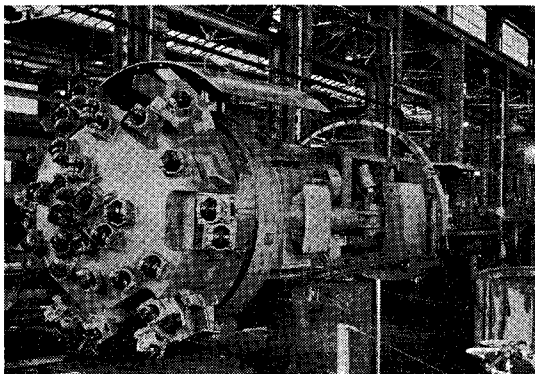


写真-3 日本道路公団恵那トンネル試用
トンネルボーリングマシン

(小松・ロビンス, TM 445 G 型, 掘削径 4.45 m)



て、適用岩質の範囲と期待できる掘進能率との関連を適確に把握することがむずかしい。

しかし、発破工法と比較してトンネル周辺の地山をゆるめることができ、余掘りが少なく、したがって、ずり搬出費や支保工費および覆工費を節減できる利点から、トンネルボーリングマシンの適用は漸次拡大される傾向にある。

特に比較的均質な安定した、軟質あるいは中硬質の岩層に対しては、成功例も見られるようになった。

今日、わが国で製作、使用されるようになった岩掘進機は、すべて円形断面に切削するもので、掘削径 2.3～4.5 m までのものである。岩の切削方式としては、回転ドラムに岩面と接触して振動するディスクカッタあるいはギヤ形のローラカッタを多数装着したもの、あるいはバイト形カッタによるものなどがある。

岩掘進機の当面の問題点としては、適用可能性の拡大と、経済性の追求をあげることができる。特に硬質岩に対する切削破碎の可能性の向上、および変化の幅の大きな岩質、岩層に対する掘進機としての汎用性の強化は、トンネル工事の施工合理化の第一の目標となる。

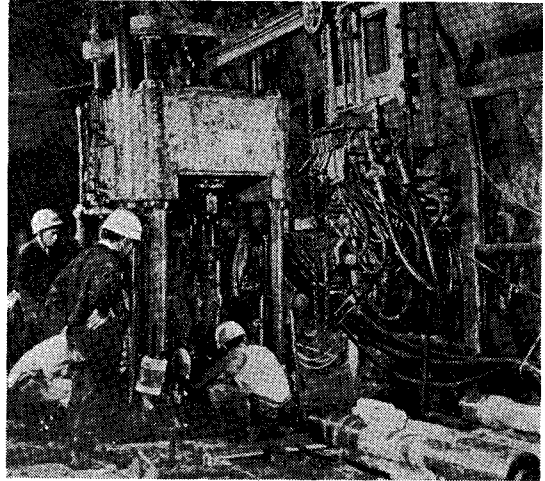
また後方設備の協調、未知の岩質に対する前方予知技術、不安定地層に対する事前処理工法の開発も進められねばならない。さらに、発破工法との結合、たとえば大断面掘進の場合、ち緩したくない断面周辺部を岩掘進機で切削し、中心部は発破工法により処理するなどの工法や、任意の断面形状の掘削方式なども検討されるべきであろう。

(3) 立坑掘削機

トンネル工事において、トンネル掘削作業上、あるいはトンネル完成後、上下の水平トンネルあるいは地表と

写真—4 青函トンネル調査坑用立坑掘削機

(鉦研試錐工業製ビッグマン)



の間に、通気、換気、ずり、材料の搬出入、揚水排水、動力給送などの目的で立坑を設ける必要があるが、この立坑の削孔に、発破工法によらず、機械切削によって上下を貫通させるための立坑掘削機が最近使用されつつある。

この立坑掘削機は、まずパイロットドリルによりパイロットホールを 200～250 mm 径で上下方向に貫通させ、このパイロットホールを利用してリーミングビットによって拡大し、1.2～2.0 m の立坑を削孔するので 60～200 m 級までの深さの立坑の掘削ができる。

掘削原理は、従来の試錐機を強力大形化したもので、ドリルの回転運動と、ドリルロッドへの切削給圧装置を備えた方式で、これにより立坑掘削中でも作業員は危険な立坑内に入る必要がない。経験の積み重ねによって今後の進展が期待される機種である。

コンクリートライブラリー 第18号 ■現場コンクリートの品質管理と品質検査

コンクリートの品質管理は、一般製品の管理とは異なり、統計的手法を単純に適用できない面もあり、特に品質検査結果の判定には複雑な要素を考慮することが必要となります。

本書は、コンクリートの品質管理を統計数理の説明から実施例まで詳細に解説した技術者必けいの書ですので広くご利用下さい。

体 裁：B5判8ポ一段組 108 ページ

定 価：700 円

会員特価：550 円

著 者：尾坂芳夫（国鉄構造物設計事務所技師）