

わが国における トンネル技術の歴史

赤木寛一

フェロー会員 早稲田大学理工学術院 教授

土木学会トンネル工学委員会では2005年に、技術小委員会にトンネル技術史部会を設け、2009年度の出版を目指してトンネル技術史の編集作業を進めてきた。今さら、なぜ土木学会がトンネル技術史を出版するのかと思われる向きがあるかもしれない。

トンネル技術史の編集、発行を思い立った背景、動機の最たるものは、トンネル技術の世代間継承の危うさを感じたことであった。トンネル技術はきわめて幅広く、従来、マエストロの匂いが強い分野で、跡を継ぐものは現場における経験を通して親方から技術を自ら学び取ってその技術が伝えられてきたように思われる。しかしながら、昨今の社会情勢の急激な変革の煽りを受けてトンネル工事は減少し、世代間のコミュニケーションギャップなどのためにその技術を次の世代に伝えていくことがきわめて難しくなるともいわれている。このため、トンネル技術の継承と伝承の難しさについて、事業者、施工者、コンサルタントなどの各分野における実情を理解

し、問題意識を共有した。

この成果を踏まえて、具体的にはトンネル技術を山岳トンネルとシールドトンネルに大別し、裏に示すような戦後の日本におけるトンネル技術を担ってきた各分野の先達たちへのインタビューをもとにして、1945（昭和20）年以降のトンネル現場の状況、各種のトンネル技術の導入、工夫、開発などの実態について、日本の近代トンネル技術史としてまとめることとした。

近代トンネル技術の誕生

人びとの利用を目的とした交通用のトンネルは、今から約3700年前にユーフラテス川を横断する歩行者用としてつくられたのが始まりといわれている。わが国においては約2500年前につくられた青の洞門（写真1）が有名であるが、当時はノミと槌だけによる人力作業でつくられたといわれている。以降、人力によるトンネルの構築が全国で進められてきたが、国外で斬



写真1 現在の青の洞門⁽¹⁾

新たなトンネル技術が誕生したことで、日本においても近代トンネル技術の幕開けを迎えることとなった。

山岳トンネル技術として代表される NATM (New Austrian Tunneling Method) は、1944年にオーストリアの技術者である L・V・ラブセビッツらによって論文発表されて以降、さまざまなトンネル工事に採用されてきた。NATMとは、地山を掘削した直後にロックボルトを地山の内部に放射状に挿入するとともに、掘削壁面にコンクリートを吹

表 トンネル技術史インタビュー一覧^(注)

山岳 TN			シールド TN		
話し手	主要な所属	内容	話し手	主要な所属	内容
西松 裕一	東大	TBM の導入	山本 稔	都立大	シールドTN設計法
大山 宏	日本鉱機	自由断面掘削機の導入	山本 弘	熊谷組	覚王山TNの設計、施工
福地 合一	国鉄	鉄道TNの換気	河田 博之	国鉄	圧気・手掘りシールド
川本 脱万	名大	TNの力学と解析	平田 武弘	大阪市	軟弱地盤でのシールド
横田 高良	熊谷組	TNの施工	竹山 喬	大阪市	軟弱地盤でのシールド計画
須賀 武	鉄建公団	NATMの本格導入	森 騎	早大	シールド工事に伴う地盤沈下
下河内 稔	鉄建公団	青函トンネルの施工	柏谷 太郎	鉄建建設	シールド機のテールシールド
足立 紀尚	京大	青函土圧研究委員会、膨圧TN	渡辺 健	営団地下鉄	地下鉄TN
横山 章	鉄建公団	青函TN調査と施工	小泉 淳 一	早大	セグメント設計と耐震
大島 洋志	国鉄	TNの湧水	渡辺 晴朗	名古屋市	覚王山TNの設計
田島 利男	道路公団	道路TNの技術	加島 豊	大豊建設	土圧系シールド
笹島 信義	笹島建設	TNの現場と施工	大平 拓也	国鉄	泥水シールド
後藤 巖(岡田 勝也)	国鉄	TNの凍害	大塚 隆三郎	IHI	シールド機の設計
(注) 本表の記載順序は、インタビュー実施順である TNとはトンネルを表す			松本 嘉司	東大	MF シールド
			杉山 正	西松建設	羽田シールドの施工

付けることでロックボルトと地山が一体化し、地山の強度を最大限に利用して早期に地山の安定化を図る(掘削面の崩壊を防ぐ)工法である。また、都市トンネル技術として代表されるシールド工法は、イギリス人技術者であるM・I・ブルネルによって、木材に穴を開けるフナクイムシをヒントに考案されたことは有名な話である。1843年、テムズ川トンネル(Thames Tunnel)がシールド工法によるトンネルとして最初に完成し、その後、J・H・グレートヘッドによって改善された技術が、現在のシールド工法の原形になっている。

これらの近代トンネル技術がわが国で急速に普及する契機となった工事は、NATMが1982年に完成した「上越新幹線中山トンネル」、シールド工法が羽越線の亀田と岩谷を結ぶトンネルとして1924(大正13)年に完成した「折渡(せりわた)隧道」である。

山岳トンネルは、掘削面の崩壊を防ぐために木製または鋼製の板と鋼製の支保材をあてがう支保工(圍工)を実施し、トンネルを構築する方法(以下、在来工法)が一般的であった。しかしながら、トンネルの大断面・長距離化が進むにつれて当時の予想を超える難工事が増加した。たとえばJR東海道線の丹那(たんな)トンネル(延長7.8km)は、1918(大正7)年に工事を開始したものの強い地圧と湧水のように湧き出る地下水(以下、異常出水)によってそれまで経験したことのない難工事(写真2)となった。この対策として、地山にセメントを注入して補強し、地下

付けることでロックボルトと地山が一体化し、地山の強度を最大限に利用して早期に地山の安定化を図る(掘削面の崩壊を防ぐ)工法である。また、都市トンネル技術として代表されるシールド工法は、イギリス人技術者であるM・I・ブルネルによって、木材に穴を開けるフナクイムシをヒントに考案されたことは有名な話である。1843年、テムズ川トンネル(Thames Tunnel)がシールド工法によるトンネルとして最初に完成し、その後、J・H・グレートヘッドによって改善された技術が、現在のシールド工法の原形になっている。

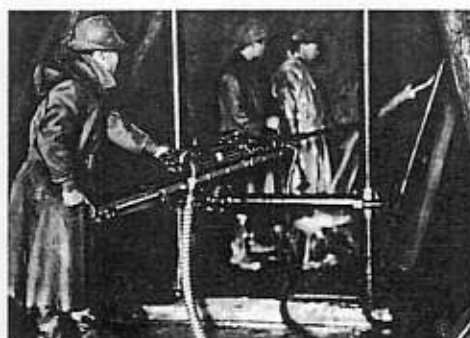


写真2 難工事となった丹那トンネルの施工状況⁽¹⁾

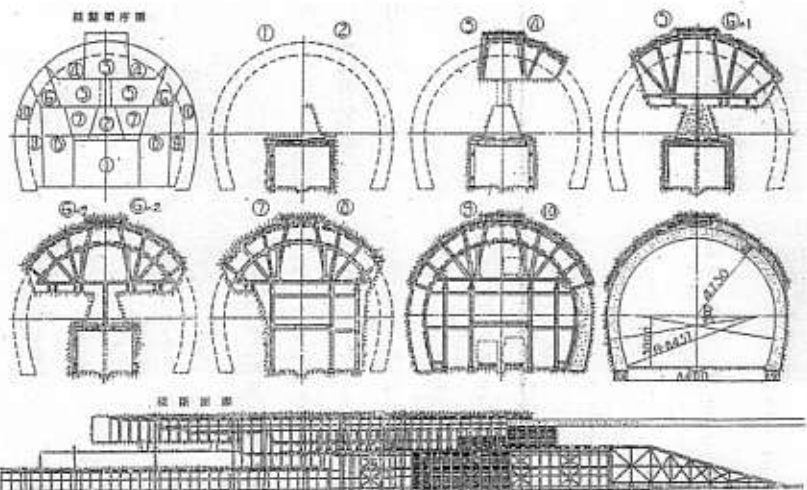


図1 木製支保工による全断面掘削順序(提供:横田高良)

水を抜くためのトンネルを施工するなどの工夫を凝らし、17年後によく完成した。これらの対策工は、現在では補助工法として一般に実施されている。

また、上越新幹線中山トンネル(延長14・9km)は非常に複雑な地質であったことも災いし、

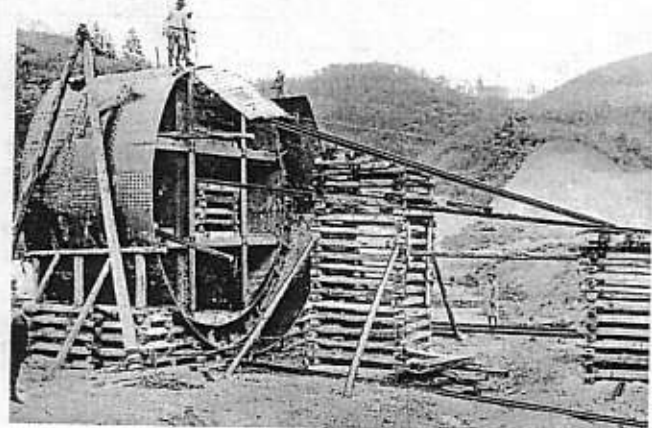


写真3 折波隧道で採用されたシールドの組立状況(2)

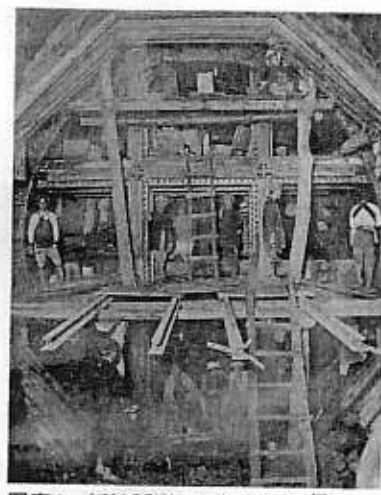


写真4 折波隧道での掘削状況(2)

たび重なる異常出水、湛水、切羽の崩壊などにより幾度となく工事が中断するほどの難工事であった。このような経緯もあり、試験的に国内で初めてNATMが採用された。

一方、折波隧道では当初在来工法で施工されていたが、軟性泥岩頁岩の層に突き当たったため在来工法では掘削が困難と判断し、一部の区間にシールド工法が採用された。1920(大正9)年9月に着工し、さまざまな改良を加えながら掘削を進めたが(写真3、4)、1922(大正11)年3月に硬質砂岩層が現出したため、1922年12月にシールド工法を中止して在来工法に切り替えて掘削を再開し貫通を迎えた。これらの情報は、土木学会のホームページで詳述されているので参照されたい。

近代トンネル技術の急速な発展

近代トンネル技術がわが国に導入されて以降、新しい技術がさまざまなトンネルに採用されトンネル技術は日本特有の複雑多岐にわたる地盤条件を克服すべく、先代の技術者によって急速な発展を遂げた。1988年に開業された総延長が50km以上に及ぶ世界最長の青函トンネル、2007年12月に一部供用を開始した山手トンネルなど、わが国の近代トンネル技術は数多くの長大トンネルを実現している(図2)。さらにシールド工法においては、断面形状が従来の単円形状から複円形、楕円形、矩形といったように、その形状を自由に変化させての掘削が可

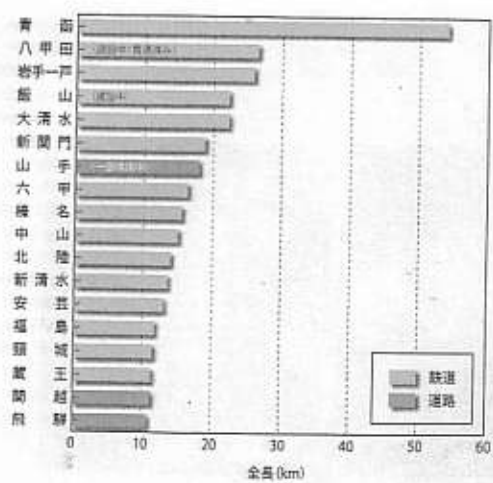


図2 わが国の長大トンネル

能となるなど、世界最高の技術水準にまで成長を遂げている。

経験工学により発展した近代トンネル技術はいまだ進歩し続けており、未来に向けてさらなる発展が期待できる。

なお、近代トンネル技術の先駆者である諸先輩方へのインタビュによるトンネル技術史は、いまだ書名を検討中であるがトンネルライブラリーの一冊として2009年10月頃の発行予定である。従来のトンネル技術史とは一味異なるインタビュならではの臨場感と肉声の味を感じていただけるのではないかと自負している。楽しみにしていただきたい。

参考文献

- (1) 土木学会 : <http://www.jsce.or.jp/contents/takase/tunnel/03/index.html>
- (2) 土木学会 : http://library.jsce.or.jp/Image_DB/koshashin/08731/tunnel01_index.html