

# 山岳トンネル用建設機械の未来像

内田 正孝

近年、建設機械は、「環境にやさしい」「人にやさしい」など単に生産性を求めるだけのものではなく、そこで働く人、あるいは周辺に配慮したものになっている。トンネル用建設機械においても、低騒音、低振動、低粉じん、一部自動化による労力の低減など、パワーやスピード以外の要素が求められている。しかしながら、トンネル工事は、閉鎖された空間での施工であるため、施工機械に求められる要素も多く、他の工種に比べ遅れていると言わざるをえない。

また、最近の塵肺訴訟の問題からも、トンネル工事の作業環境への対応は急務となっている。

ここでは、過去の経緯から、今までの問題点を洗いだし、特に粉じん対策から今後のトンネル用建設機械に望まれる機能を、シールド工事の世界を参考に、近未来、未来に分けて著者の私見を述べる。

キーワード：トンネル、環境、粉じん、自動制御、遠隔制御

## 1. トンネル工法の変遷

トンネル掘削工法の歴史を顧みるに、古代においては「たがね」と「ハンマ」でトンネルを掘ったと言われている。

近代においては、1679年にフランスで黒色火薬を使ったトンネル掘削が行われ、近代のトンネル工事の口火を切った。1875年にはアメリカにおいてダイナマイトが初めてトンネル掘削に使用され、それ以来トンネルの掘削手段は発破工法が主体となっている。

掘削の機械化については、1970年頃から、当初鉾山で使用され始めていたロードヘッドが、土木のトンネル工事に使用されるようになった。1990年代には、環境的な問題、重要構造物に近接した施工のために無発破工法の要求が高まり、ロードヘッドなどの自由断面掘削機が大型化され、岩の一軸圧縮強度が80 MPa程度の中硬岩でも掘削が

可能になったが、その後、それ以上の機械は技術的にも難しく、ほとんど造られていない。

海外から導入されたTBM（トンネルボーリングマシン）は、1964年から各地で導入されたが、海外との地山の違いなどから、色々な問題が発生し、一旦施工件数も減少したが、第二東名神道路のトンネル施工で、先進導坑にTBMを採用する工法が標準となり、多く採用されるようになった結果、トンネル掘削スピードの改革をもたらした。

また、全断面TBM施工については、今後の施工ノウハウの蓄積が必要と思われる。

支保工の構造は、昔の木材を使ったものから、鋼製支保工、吹付けコンクリート・ロックボルトによるNATM工法へと変遷したが、これもこの30年間ほど大きな進展も無く、また今後もこれ以上の低コストな工法は考えにくい。

## 2. 現状分析

現状の一般的なトンネル施工は、発破、NATM、タイヤ工法が主体であり、状況は以下の通りである。

切羽での穿孔は、昔の乾式穿孔と格段に違って、湿式穿孔（水繰り）のお陰で、粉じんはほとんど発生しない。騒音もエア穿孔から油圧穿孔に変わり小さくなった。ずり積みに関しては、ホイールローダがずりをかき集めながらダンプトラックに積込むため、粉じんが発生し、更にエンジンの排気ガスも発生する。吹付けコンクリート工に関しては、原理上吹付けられるコンクリートと急結剤が壁面に衝突し飛散するため、粉じんが発生する。後方の坑道では、ダンプトラックが排気ガスを排出している。

当初 NATM 工法が導入されたときは、色々な面で研究がなされ、跳ね返りの少ないコンクリート配合、吹付け方法等が研究されたが、その後あまり改善されていない。

現状のトンネル施工の問題点を列挙すると下記の項目が挙げられる。

- ・劣悪な作業環境
- ・生産性の停滞
- ・自然環境の破壊

ここでは作業環境、特に粉じんに焦点を当てて考察する。

## 3. トンネルの未来

現状の環境を改善するために、未来のあるべき姿を検証すると、トンネルの各工種、機械は、表—1、表—2 のように変遷すべきである。

### (1) 近未来

平成 12 年 12 月に、旧厚生省から「ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン」が発表され、切羽付近の粉じん濃度が 3 mg/m<sup>3</sup> 以下と明文化され、その対策が指導された。

このような状況の中、現在各関係者は目標達成のために努力しているが、3 mg/m<sup>3</sup> 以下が達成されたとしても、粉じん対策が完全とは言えず、そ

表—1 トンネル工法の変遷

工種	近未来	未来
掘削	発破	
	機械掘削	
	TBM・シールド工法	
ずり処理	レー尔工法	
	タイヤ工法	
	ベルトコンベヤ工法	
	流体輸送	
支保工	吹付け、ロックボルト	
	ライナー（セグメント）	
覆工	セントル	
	スライディングフォーム	

表—2 トンネル用機械の変遷

機 械	近 未 来	未 来
重機全般	空気清浄機付きキャピンの採用	遠隔制御 自動制御

こで働く人には防塵マスクは欠かせない。

粉じん対策には大きく 4 つの方法がある。

- ・発生粉じんの防止または低減
- ・発生粉じんの封じ込め
- ・発生粉じんの希釈
- ・その他（作業者の隔離、保護具の使用）

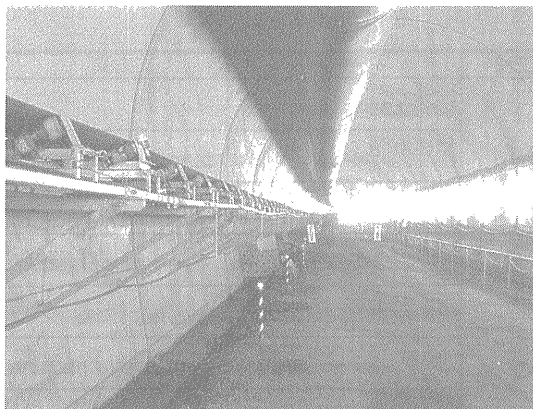
これらについて、必要とされる技術、機能を検証する。

### (a) 発生粉じんの低減

発生粉じんの低減に関して、工種毎に求められる技術は表—3 のようにまとめられる。

表—3 粉じん低減技術(1)

工 種	改 善 案
掘 削	粉じん防止削孔技術（水、泡穿孔等）
	自由断面掘削機の改良（散水設備の充実）
	TBM 工法の適用範囲の拡大
ずり処理	ずり積み機、ダンプトラックの排出ガス、カーボン、PM 対策
	連続ベルトコンベヤ等の採用
支 保 工	発生粉じんの少ない吹付け機の開発（エアレス吹付け機等）
	粉じん抑制剤の添加
	圧着コンクリート覆工技術

写真—1 連続ベルトコンベヤ<sup>1)</sup>

## (b) 発生粉じんの封じ込め

発生粉じんの封じ込めには下記のような方法が考えられる。

- ・自由断面掘削機や吹付けロボットにダストシールドを設け、カッピング等で発生した粉じんを封じ込めたうえ、集塵機で除じんする。
- ・切羽の後方にカーテンを設置し、坑口側への粉じん飛散を防止する。

写真—2 掘削機械に付属のダストシールド<sup>2)</sup>

## (c) 発生粉じんの希釈

換気量の増大により粉じんを希釈する。また最近、大型の集塵機も開発され、使い方次第では効果的な方法であるが、発破を行う切羽に対してははまだ有効な使い方が出来ず、システムとしての開発が望まれる。

表—4 粉じん低減技術(2)

工 種	改 善 案
換気設備	換気ファンの大風量化 集塵機による切羽換気システム

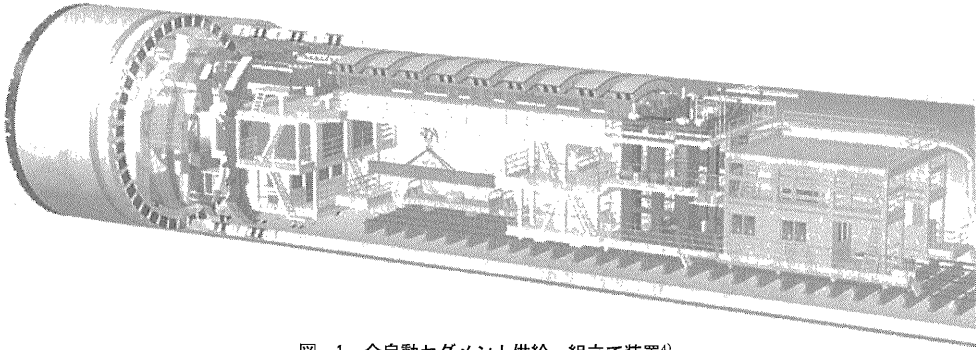
## (d) その他(作業者の隔離)

現状のトンネル施工は、装薬や鋼製支保工の組立て以外、ほとんどが機械化されている。これらの機械のオペレータは、ほとんど剥き出しの環境下で操作を行っている。各機械にオペレータキャビンを設け、清浄化された空気を多少加圧した状態に保ち、粉じんの侵入を防止することにより、オペレータは非常に良好な環境での作業が可能になる。

写真—3 ジャンボのオペレータキャビン<sup>3)</sup>

## (2) 未 来

未来のトンネル用建設機械は、生産性の向上と作業環境の向上が両立するものが求められている。したがって、遠隔制御あるいは自動化し、極力、人が切羽に立ち入り、労働することは止める省人化の方向にある。例えば、シールドやニュー

図-1 全自動セグメント供給・組立て装置<sup>1)</sup>

マチックケーソン工事のように、地上から遠隔制御により掘削する方法等が考えられる。

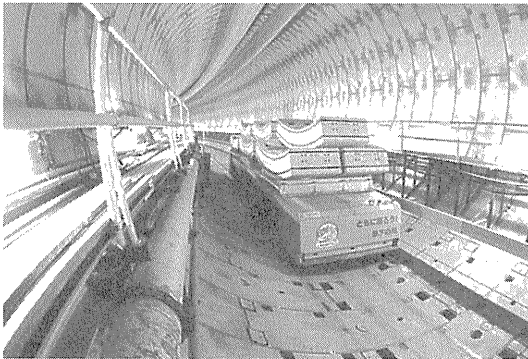
トンネル掘削機の一つであるTBMは外観上シールドマシンに近いものであり、また最近のシールドマシンは岩盤対応型が開発され、そもそもTBMとの区別は出来なくなりつつある。

技術革新の著しい最近のシールド工事は、今後のトンネル工事に大きなヒントを与えてくれる。掘進は自動運転に近い形で実施され、支保工であ

るセグメントは全自動で運搬・組立てし、発生土砂は流体輸送あるいはポンプ圧送されている。坑内は、通常の工場レベルの快適さである。

運転管理は、坑外の中央操作室で行われる方法もあり、坑内の作業員数を極力減らすことができる。

未来のトンネル工事は、やはりシールド工事に見習うべきであり、その中でコストを抑えた独自の設計、施工手法を見出す方向にあると考える。

写真-4 タイヤ式無人搬送車<sup>2)</sup>写真-5 セグメント自動組立てロボット<sup>3)</sup>

#### 4. おわりに

以上、たわい無いことを述べてしまったことをお詫び申し上げます。

現在のトンネル現場は生産性の面でも、環境面でも完璧な状態ではなく、多くの改善を必要とする。希望のある未来の国土建設のためにも、真剣に改善を目指すことが、トンネル技術者の使命であると考えます。

#### 《参考文献》

- 1) 連続ベルトコンベヤシステムパンフレット, タグチ工業
- 2) 硬岩トンネル自由断面掘削機(MM 130 R)性能確認試験報告書, (社)日本建設機械化協会, 1997
- 3) Rocket Boomer L3 Seriesパンフレット, Atlas Copco
- 4) 外郭放水路第2工区トンネル新設工事パンフレット, 大成・間・戸田特定建設工事共同企業体
- 5) 外郭放水路第3工区トンネル新設工事パンフレット, 鹿島・飛島・西松特定建設工事共同企業体

#### 【筆者紹介】

内田 正孝 (うちだ まさたか)  
大成建設株式会社  
土木本部  
機械部  
機械技術室  
次長

