

トンネル建設工事の工法等について

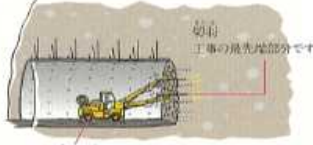
平成28年11月30日

平成28年度第1回トンネル建設工事の切羽付近における作業環境等の改善のための技術的事項に関する検討会

トンネル建設工事の代表的な工法について

トンネルのつくりかた

山岳トンネル

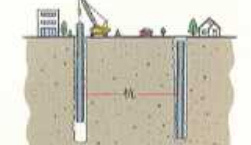
- 1 削孔・爆破**
孔をあけて爆薬を詰め、岩盤を爆破します。
岩盤が脆いときは、機械だけで掘ります。

- 2 ずり出し**
爆破や機械で砕いた岩をトンネルの外に運び出します。

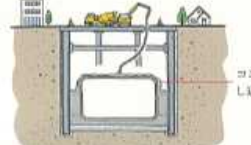
- 3 支保工**
ロックボルト、鉄付けコンクリート、鉄骨などで、掘ったあとの岩盤を支えます。
「1」「2」を繰り返してトンネルを掘り進めます。

- 4 覆工コンクリート**
仕上りとして、コンクリートを流し込みます。
型枠(セントル)
平円筒形の特徴な型枠を設置してコンクリートを流し込みます。

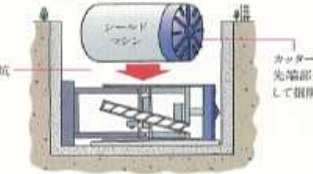
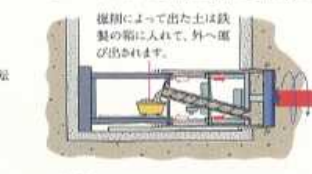

トンネルのつくりかたは、大きく分けると4種類あります。
それぞれは、トンネルをつくる場所の状況に応じて採用されます。

開削トンネル

- 1 土留め**
トンネルの側面に沿って両側に杭を打ち、壁をつくります。

- 2 支保工と掘削**
地面を掘り下げます。
道路の半分は通行可能です。
崩れないように、支保工で支えます。

- 3 構築**
地下でトンネルをつくります。
コンクリートを使います。

- 4 埋め戻し・復旧**
トンネルができたあと、土を埋め戻し、地上を元に戻します。


シールドトンネル

- 1 シールドマシンの設置**
地面を掘り下げて立坑をつくり、シールドマシンを投入します。

- 2 掘進開始**
壁に穴をあけてシールドマシンの先端が回転して掘り始めます。
掘削によって出た土は鉄製の箱に入れて、外へ運び出されます。

- 3 セグメントの組み立て**
セグメントを組み立て、まわりの土砂を支えます。
セグメントはトンネルの壁になります。
セグメントは台車に載せられて運び込まれます。
ユレタターという機械で組み立てます。

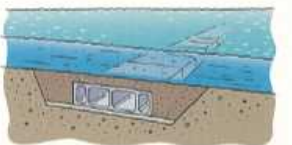
- 4 掘進**
シールドマシン自体で掘り進んでいきます。
「3」と「4」を繰り返してトンネルをつくります。
シールドマシンのジャッキを伸ばし、その力で前に進みます。


沈埋トンネル

- 1 トンネルの製作**
トンネルの一区間を、地上でつくります。
完成したら水を入れてトンネルに浮かします。
両端に閉じた状態でつくります。

- 2 運搬**
工事現場まで、トンネルを浮かべて運びます。

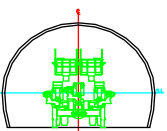
- 3 接続**
決められた場所にトンネルを沈めます。
その後、トンネル同士をつなげます。
接続したら、塞いでいた埋の部分を開きます。

- 4 埋め戻し**
トンネル全体をつなげたら、埋めて完成します。


山岳工法（NATM工法）における一般的な作業工程について

① 穿孔・発破（発破掘削） or 切削・掘削（機械掘削）

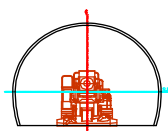
発破掘削



穿孔状況



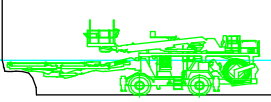
機械掘削



切削・掘削状況



ドリルジャンボ（穿孔）



自由断面掘削機（切削、積込）



ダンプトラック（ずり運搬）



② コソク・ズリ出し

ズリ出し状況



大型ブレーカ（コソク）



ダンプトラック（ずり運搬）



トラクタショベル（積込）

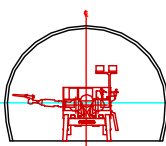


③ 一次吹付けコンクリート

一次吹付け状況



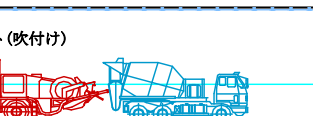
吹付けロボット（吹付け）



吹付けロボット（吹付け）



ダンプトラック（ずり運搬）

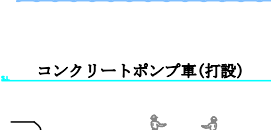


⑧ インバートコンクリート

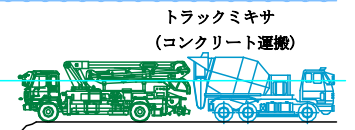
インバートコンクリート打設状況



トラックミキサ（コンクリート運搬）



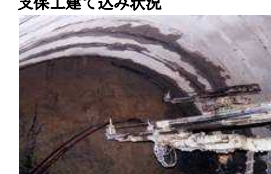
コンクリートポンプ車（打設）



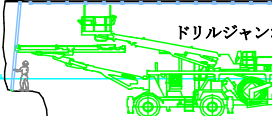
1mごとにこの
サイクルを繰り返し、
24時間で4～5m
進む

④ 鋼製支保工建て込み

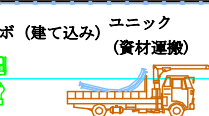
支保工建て込み状況



ドリルジャンボ（建て込み）



ユニック（資材運搬）

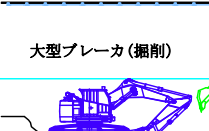


⑦ インバート掘削

インバート掘削状況



大型ブレーカ（掘削）



バックホウ（掘削、積込）



ダンプトラック（ずり運搬）

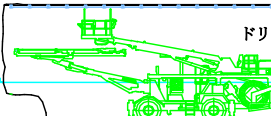


⑥ ロックボルト

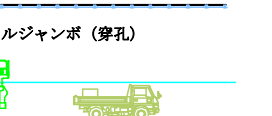
ロックボルト施工状況



ドリルジャンボ（穿孔）



ダンプトラック（ずり運搬）

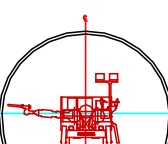


⑤ 二次吹付けコンクリート

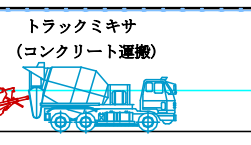
二次吹付け状況



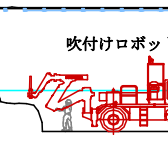
吹付けロボット（吹付け）



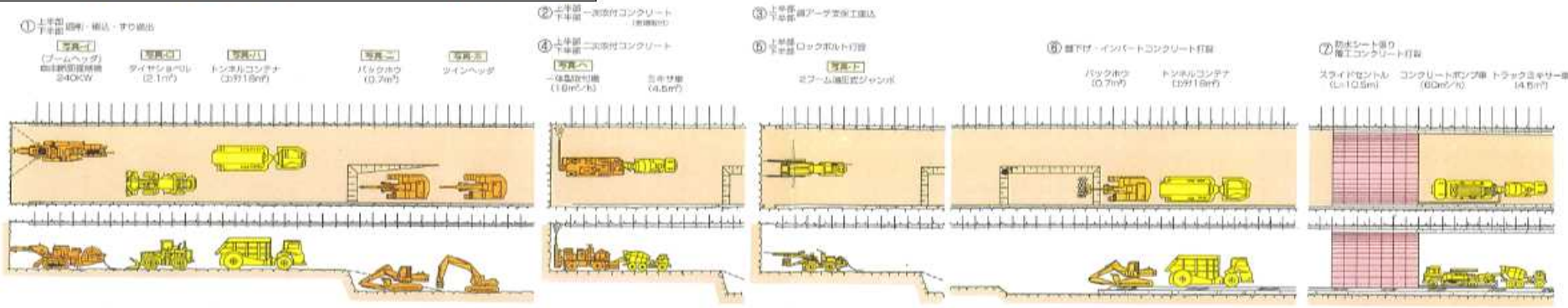
トラックミキサ（コンクリート運搬）



吹付けロボット（吹付け）



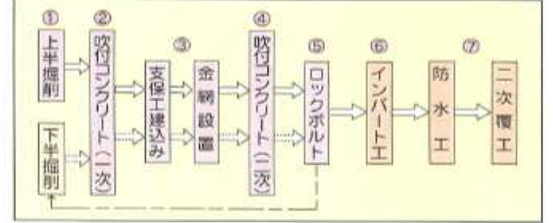
NATM工法におけるトンネル機械掘削の例



■トンネル施工要領

- トンネル掘削方式は、機械掘削（軟岩用トンネル専用掘削機）によるNATM工法で、上半部掘削は先導ショットベネカスト方式です。
- 上半部掘削は、ブームヘッダ（240kW）、下半部掘削は、大型ブローラ及びサインヘッダを使用します。
- すり出しは、2.1m積みタイヤ式トラクタシャベルでコンテナ車（18m）に積み込み、コンテナ車数車で坑外のすり置き場まで搬出します。
- 吹付コンクリートは湿式方式で、坑外設置のバックヤブラント（0.5m積み）で搬入し、坑内に搬入し、吹付機（コンプレッサ機、一種型）で吹付を行います。
- 支保工設置、支保工建込み及びロックボルトの打設は、2ブーム油圧式ホイールジャンボを使用し、支保工建込み時の位置決めは、コンピュータ制御によるレーザー光を使った自動照射方式を採用しています。
- インバートの設置及びコンクリート打設は、切羽作業と並行させ、車積通路確保のため、片側半断面の交互施工を予定しています。また、全断面施工を可能とする移動式機構も併せて計画しています。
- 二次覆工は、前回の収束を計測し確認した後、台車（L=4.5m）を定場として防水シートを張り、全断面スライドセントル（L=10.5m）を型枠として、1回/2.5日のサイクルでコンクリート打設します。

■NATM施工手順



山岳トンネル

(1) 山岳トンネル技術

山岳トンネルの建設においては、NATMの導入が機械化や様々な技術開発を誘発し生産性の向上と施工時の安全性の向上に大きく貢献しました。NATM（New Austrian Tunneling Method）は、掘削した部分にコンクリートを吹付け、ロックボルト（岩盤およびコンクリートと一体化するボルト）を周辺岩盤に打ち込み、トンネルの安定化を図りながら施工する工法です。現在では、ほとんどの山岳トンネル建設でNATMが採用されています。



(2) 建設生産性向上の内容

施工の高速化

- NATMが山岳トンネルの標準工法として採用されて以降、機械化の促進が図られた。
- 施工機械の大型化や能力向上、効率的な掘削工法の確立により、施工の高速化が可能となった。
- トンネル建設において必要となる作業員数は、機械化の導入・発展によって大きく減少している。

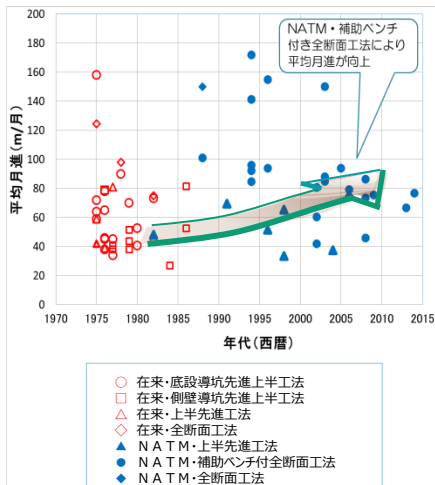
支保部材の高強度化

- 鋼製支保工の導入で施工空間が確保されたことNATMの導入により、大型機械による効率的な施工（補助ベンチ付全断面工法）が可能になるとともに、施工時の安全性が向上した。
- 支保部材の高強度化により、大断面トンネルの施工が効率化され、掘削断面積の削減や支保施工量の減少が可能となった。

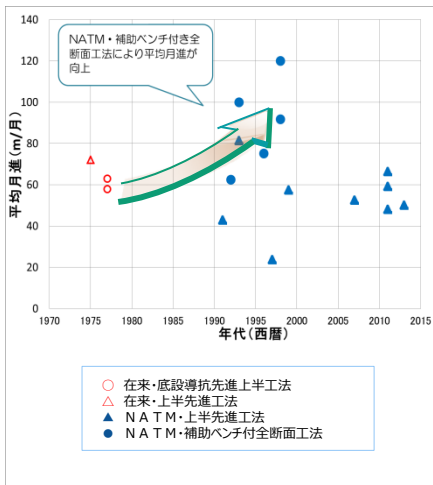
補助工法による適用地質の拡大

- 補助工法の開発・採用により、従来の山岳工法では不可能であった地質でも、トンネル建設が可能となった。
- トンネル掘削による周辺環境への影響が低減されるとともに、施工時の安全性が向上した。
- 情報化施工により施工管理の合理化が図られ施工性・安全性が大幅に向上した。

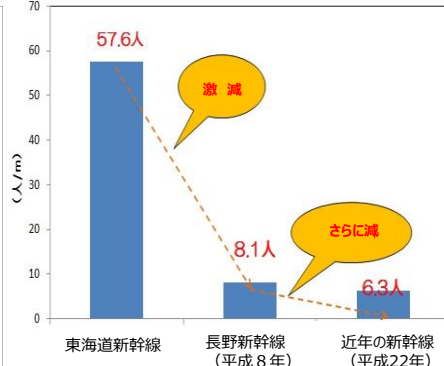
発破掘削による平均月進の推移



機械掘削による平均月進の推移



トンネル1mあたりに要する作業員数の比較



出典：新幹線のインフラコストと建設技術の進展、
 廣田良輔、土木学会誌、1997.9付録
 新幹線工事における山岳トンネルの変遷、金澤博、
 トンネルと地下、2011.3巻頭言

山岳トンネル建設における生産性の向上に関する年表

I .新技術・新工法

[illegible]