

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

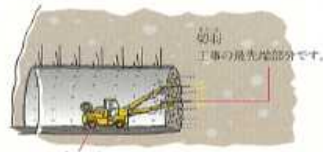
トンネルのつくりかた

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。

山岳トンネル

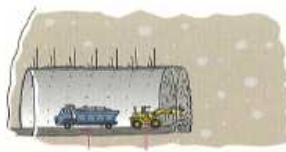
1 削孔・爆破

孔をあけて爆薬を詰め、岩盤を爆破します。岩盤がかたくなければ、機械だけで掘ります。



2 ずり出し

爆破や機械で碎いた岩をトンネルの外に運び出します。



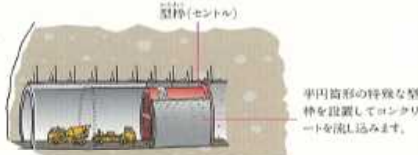
3 支保工

ロックボルト、鉄骨などで、掘ったあとの岩盤を支えます。「1」「2」「3」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

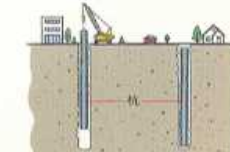
仕上げとして、コンクリートを流し込みます。



開削トンネル

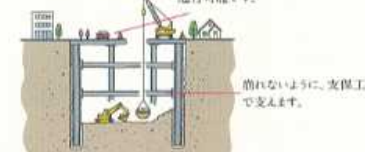
1 土留め

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。



3 構築

地下でトンネルをつくります。



4 埋め戻し・復旧

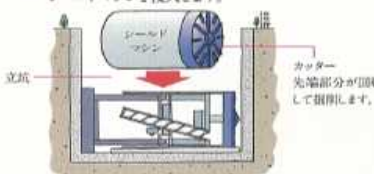
トンネルができたあと、土を埋め戻し、地上を元に戻します。



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。



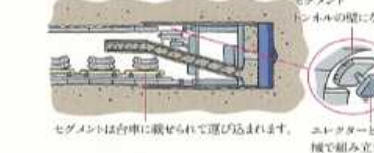
2 掘進開始

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。



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。



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。



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。



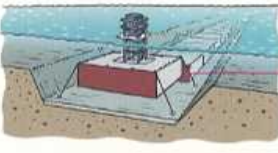
2 運搬

工事現場まで、トンネルを浮かべて運びます。



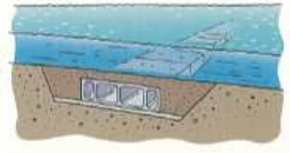
3 接続

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。



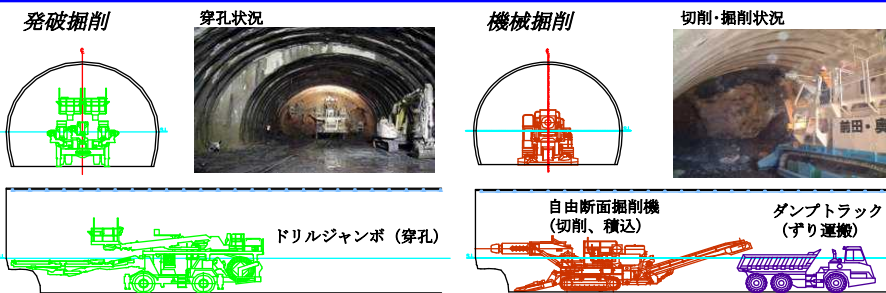
4 埋め戻し

トンネル全体をつなげたら、埋めて完成します。

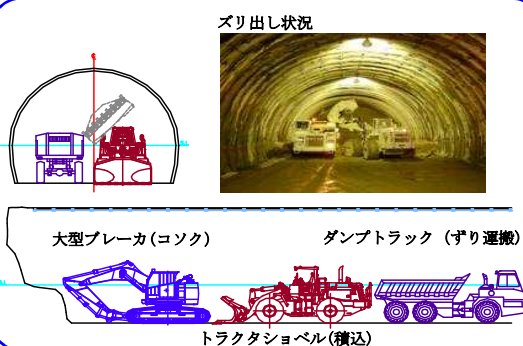


山岳工法（NATM工法）における一般的な作業工程について

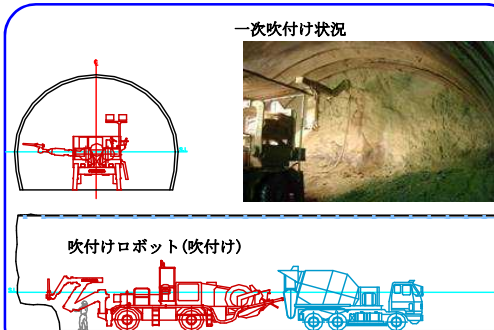
① 穿孔・発破(発破掘削) or 切削・掘削 (機械掘削)



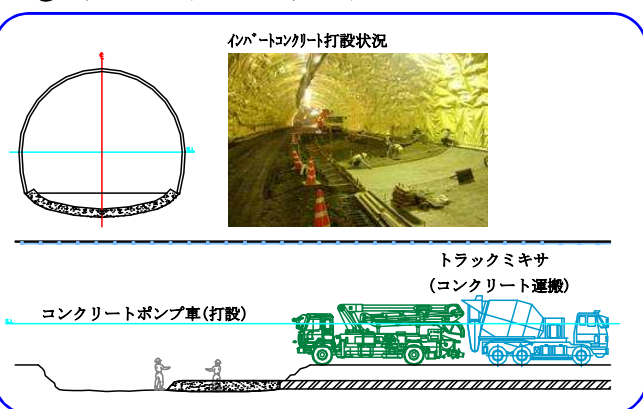
② コソク・ズリ出し



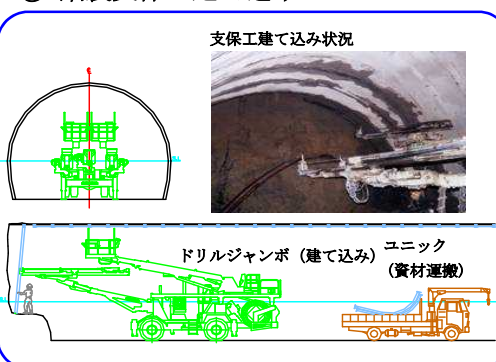
③ 一次吹付けコンクリート



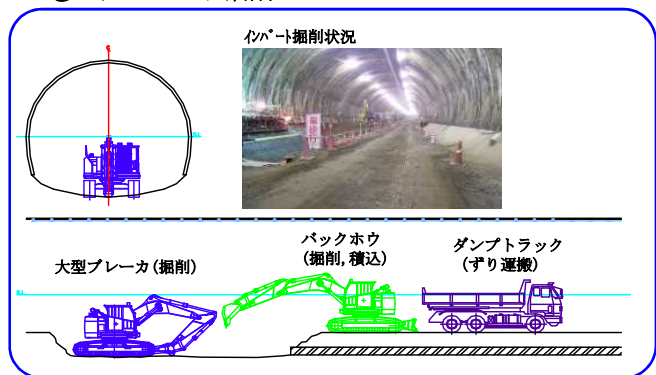
⑧ インバートコンクリート



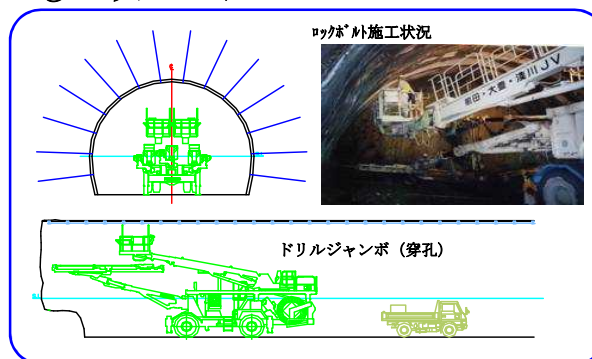
④ 鋼製支保工建て込み



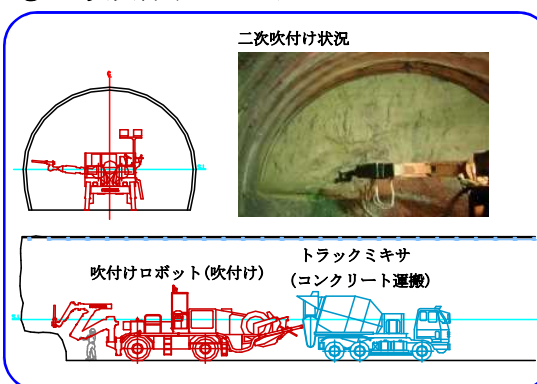
⑦ インバート掘削



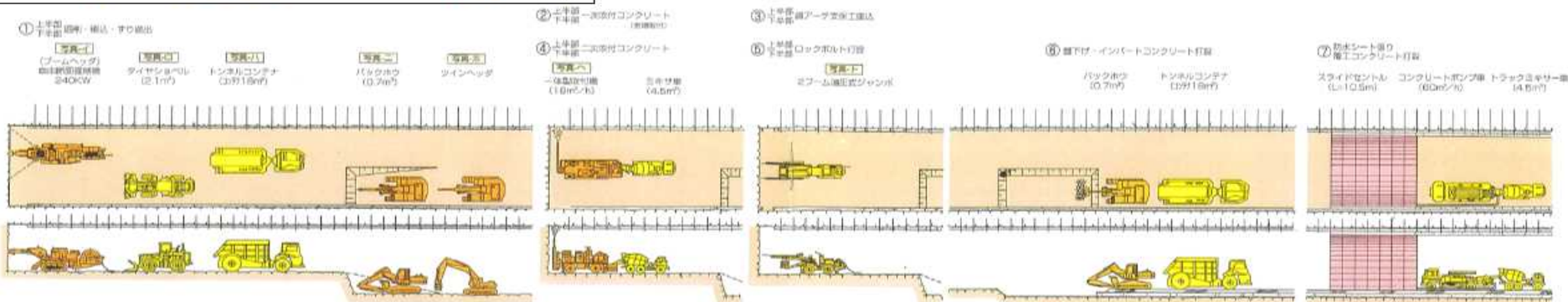
⑥ ロックボルト



⑤ 二次吹付けコンクリート



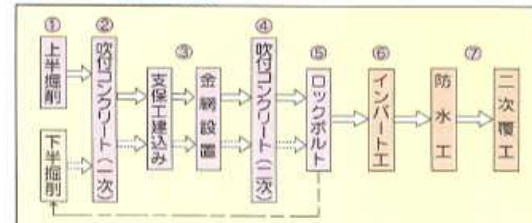
NATM工法におけるトンネル機械掘削の例



■トンネル施工要領

- トンネル掘削方式は、増産型（数室用トンネル専用掘削機）によるNATM工法で、上半部掘削は先シートベナカスト方式です。
- 上半部掘削は、ブームヘッド（240kw）、下半部掘削は、大型ブームヘッド及びツインヘッドを使用します。
- すり出しは、2.1m積みタイヤ式トラクタショベルでコンテナ車（18m）に積み込み、コンテナ車直前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、坑外設置のパッケージプラント（0.5m³/分制御）で選振りしたものを、トラクタミキサー（4.5m³積み）で坑内に運搬し、吹付機（コンプレッサ搭載、一軸型）で吹付を行います。
- 巻掛設置、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を使った自動照準方式を採用しています。
- インバートの掘削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、片側半断面の交差工事を予定しています。また、全断面掘削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、最初の収束を計測で確認した後、台車（L=4.5m）を定場として防水シートを張り、巻掛機スライドセントル（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。

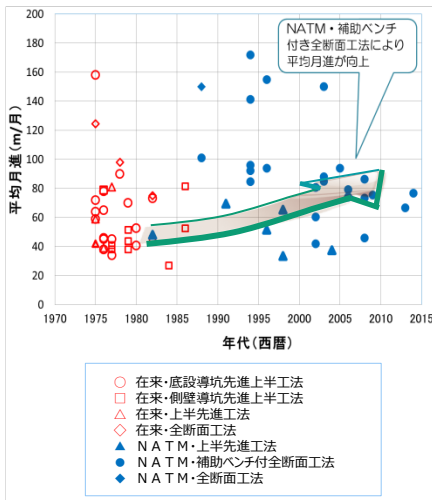
支保部材の高強度化

- 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。

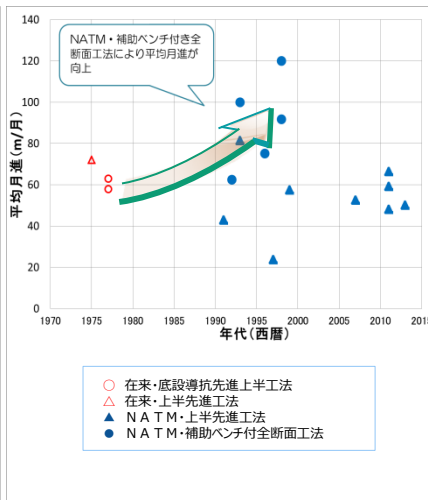
補助工法による適用地質の拡大

- 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。

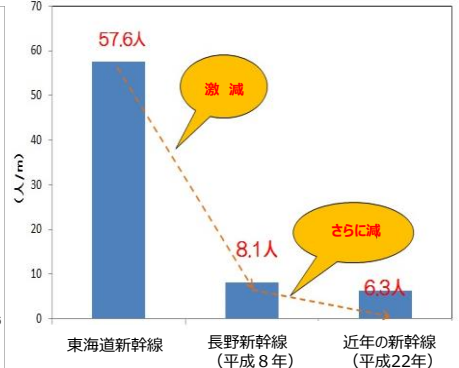
発破掘削による平均月進の推移



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

I. 新技術・新工法

山岳トンネル建設における生産性の向上に関する年表

生産性の向上内容	技術項目	技術内容	1960年以前	1960年 (S.35)	1970年代 (S.45)	1980年代 (S.55)	1990年代 (H.2)	2000年代 (H.12)	2010年代 (H.22)								
支保部材の高強度化	在来工法の支保	鋼製支保工の導入 ＜木製支保工＞ ● 鋼製支保工の採用(大原T・佐久間ダム導水路) ● 鋼製支保工の導入⇒大きな施工空間の確保⇒施工性の向上	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	NATM支保	NATMの導入 ● ロックボルトを使用(青田T) ● 吹付けコンクリートを使用(有田T) ● ロックボルトを使用(第三高野T<鉄道>) →NATMで標準採用															
	支保部材の高強度化	高品質吹付けコンクリート採用(JRTT) ● 第二東名・名神(3車線断面)での採用 ● NEXCO設計要領で高強度吹付け、高耐力RBを標準化 ● NEXCO設計要領で高規格鋼製支保工を標準化															
施工機械の能力向上	ドリフターの能力UP	● 世界で初めて油圧ジャッキボを採用(玉原発電所工事) ● 油圧削岩機を使用(関越T/道路T初) 施工機械能力向上⇒サイクリカルタイム削減															
	吹付け機	● コンクリート吹付け機 ● エレクター付き吹付けシステム開発															
	自由断面掘削機の大型化	● 自由断面掘削機を使用(新大T/鉄道T) ● 自由断面掘削機の能力アップ(300kW級) ● 自由断面掘削機の対応範囲拡大(能力アップ・掘削範囲拡大)															
施工の高速化	ズリ運搬方式	＜レール方式(ずり鋼車)＞ ● 上部半断面工法によりダンプトラックの導入 ● レール方式からタイヤ方式へ⇒機動力の向上 ● コンテナタンク(キルチ)の採用(金剛山T)															
	連続ベルコン方式	● TBMトンネルに連続ベルコン導入(袴腰・城塚T) ● 新幹線断面に連続ベルコン導入(田上T)															
	加背割	● 導坑先進方式による小断面分割掘削が主流 ● 底設・側壁導坑先進を含む上部半断面工法が主流 ● ベンチカット工法が主流 ○ 初めてのめがねトンネル(在来(伊祖T) ○ めがね型NATM(井吹T) ● ウレタン系注入式FPF実用(鎮立山T) ● AGF初めて採用(港南T) ● AGF工法技術資料発刊(ジェオフロンT研究会) ● トレチューブ工法初めて採用(舞子T) ● RJP初めて採用(国分川分水路T) ● RJP初め採用 ⇒ NATM適用地質の拡大 ● 長尺鏡補強FIT工法施工(成出T) ● フットハイル、サイドハイル掘工(矢川放水路T) ● 高圧噴射式レックハイル(RJP)工法施工(椎子川分水路T) ● 掘圧式削岩機を利用した切羽前方探査法(DRIS) 切羽前方地質の把握 ⇒ 不良山対策・湧水対策の事前準備 ● 高遠かつ方向制御が高精度なボーリング機械の開発															
補助工法による適用地質の拡大	先受工の開発	● 補強工法の開発															
	補助工法	● 補助工法の開発															
	脚部の補強工の開発	● 脚部の補強工の開発															
調査技術	前方探査技術	● 前方探査技術															
	長距離ボーリング	● 長距離ボーリング															
	坑内水位計測	● 坑内水位計測															
情報化施工の導入	坑内画像計測	● 坑内画像計測															
	自由断面掘削機	● 自由断面掘削機															
	穿孔角度向上	● 穿孔角度向上															