

- 鉄道一般
- 車両
- 施設
- 電気
- 運転・輸送
- 防災
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

最近の鉄道トンネル建設技術

整備新幹線をはじめとして、鉄道トンネルの建設が進められていますが、最近では、長大化や厳しい地山条件下での施工が求められる場合が多く、安全性や施工性、経済性に優れた設計法や施工法が開発されています。そこで、鉄道トンネル建設技術の概要や経緯を述べるとともに、都市トンネルを含めた最近の鉄道トンネルの建設技術について紹介します。



焼田 真司
Shinji Yakita
構造物技術研究部
トンネル研究室
室長
[専門分野]トンネル工学



丸山 修
Osamu Maruyama
独立行政法人 鉄道建設・
運輸施設整備支援機構
設計技術部
設計技術第二課長
[専門分野]地下構造、
土構造

はじめに

現在、わが国で供用されている鉄道トンネルは、1887（明治20）年に開通した東海道本線清水谷戸トンネル（上り）をはじめ、約4,000kmに及びます。一方、整備新幹線の建設は現在も着々と進められており、本年3月には北陸新幹線長野・金沢間が開業し、来年3月には、北海道新幹線新青森・新函館北斗間が開業予定です。さらに、北陸新幹線、北海道新幹線の延伸や九州

新幹線西九州ルート¹の建設が進められています（図1）。これらの路線ではトンネルが多くの区間を占め、北陸新幹線長野・金沢間では、総延長231kmの約4割、九州新幹線西九州ルートでは、総延長67kmの約6割がトンネルで、そのほとんどが山岳工法（NATM）で建設されています。このような新幹線トンネルでは、さまざまな技術が開発されています。

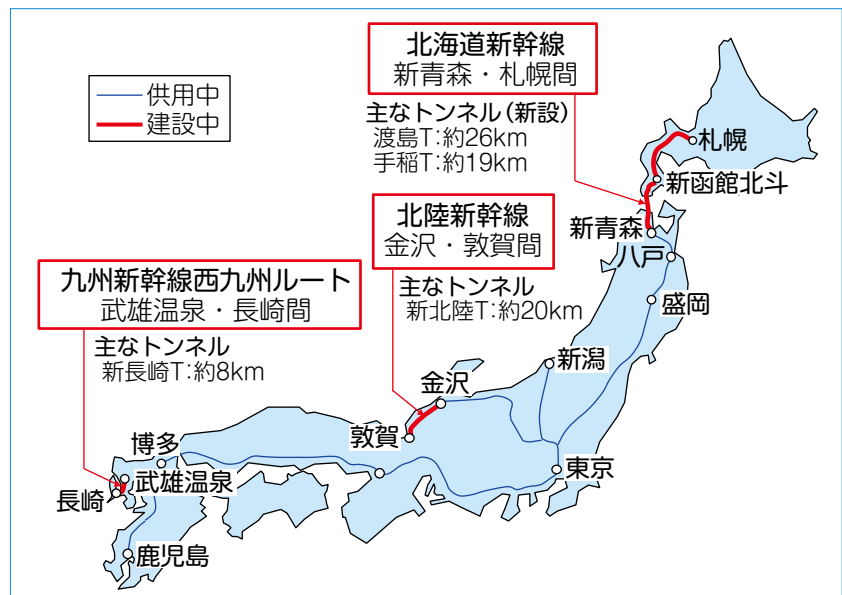


図1 整備新幹線の建設状況

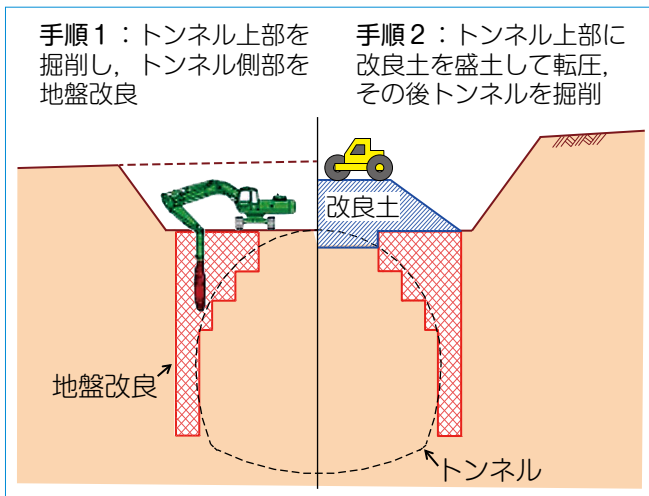


図2 事前地山改良工の例

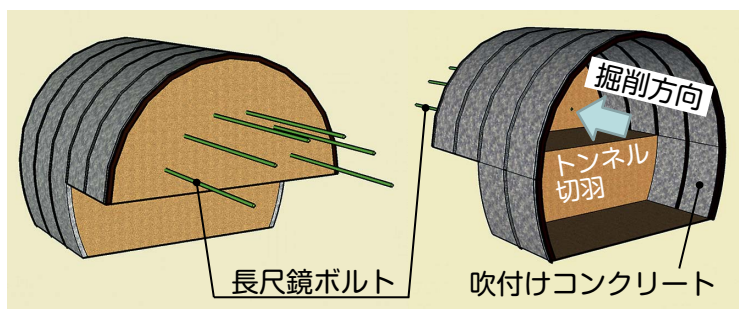


図4 長尺鏡ボルト



図3 事前地山改良工の施工状況



図5 長尺鏡ボルトの施工状況

地中の浅い部分での掘削技術

地中の浅い部分にトンネルを掘削する場合は、トンネル上部の地山(☞参照)やトンネル自身が沈下するという問題があります。また、地中の浅い部分の地山は緩いことが多く、掘削時に崩れることもあり危険です。地中の浅い部分にトンネルを掘削するときの技術として、「事前地山改良工」が開発され、トンネル坑口付近などの土被りが小さな箇所で採用されています。この工法では、図2に例を示すように、トンネル上部の地山を掘削し、トンネル側部の地山を改良します。その後トンネル上部に改良土を盛土して転圧した後、トンネルを掘削する工法です。トンネル側部、上部が改良されるため、地表面沈下を抑制できるほか、切羽(☞参照)が安定するため安全にトンネルの掘削を行えます。この工法は、トンネルの掘削作業に並行して実施できるため、工期短縮と工費の低減に役立つ

ています。

掘削時の切羽安定化技術

十分に固結していない地山においてトンネルを掘削する場合、掘削中に切羽が大きく変形したり崩壊したりして安全に掘削できない場合があります。このような場合、これまでは、一度に掘削する領域を小さくしてトンネルを小分けして掘削していましたが、施工の手間が増えて施工速度が遅くなり効率的ではありません。これを解決するために「長尺鏡ボルト」が開発され、使用されています。「長尺鏡ボルト」は長さ10m程度、直径10cm程度の管(鋼製やグラスファイバー製)を事前に切羽に打ち込んでから掘削します(図4、図5)。鏡ボルトは引張材として作用し、掘削による応力解放による地山の変形を抑制し、安全が保たれます。鉄道総研と鉄道・運輸機構は共同で、長尺鏡ボルトの切羽安定機構を

模型実験や数値解析、現地計測により解明し、鏡ボルトを施工すれば、30%の切羽変位(☞参照)の抑制効果が得られることを確認しています。

路盤隆起対策技術

山岳トンネルにおいて、建設時あるいは建設後に路盤隆起による変形が問題となることがあります。最近掘削時の切羽の性状や既施工区間の観察・計測結果を重視して底盤部のトンネル構造を選定する試みがなされています。

☞ 地山

自然のままの地盤のことです。

☞ 切羽

トンネルを掘削している最先端のことです。

☞ 切羽変位

トンネルの掘削時に切羽の地山がトンネルの内側に変位してくることがあります。この変位を切羽変位と呼びます。

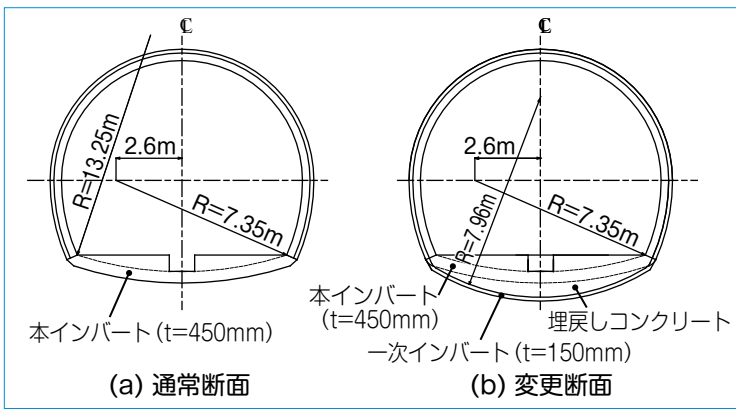


図6 路盤部構造の変更による路盤変位対策



図7 インバート施工状況

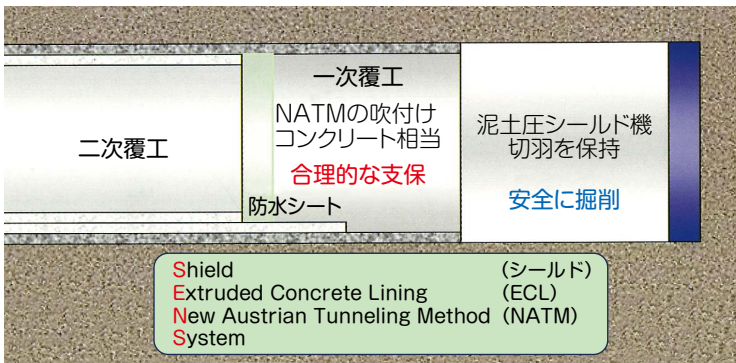


図8 SENS工法の施工概念



図9 SENS工法のシールド (提供写真)

路盤隆起に対しては、インバートの掘削半径を小さくしてトンネルを丸くすることや、早期閉合(☞参照)が有効とされています。図6に、路盤隆起による変状が懸念されたトンネルで最近採用された断面を示します。通常的设计(図6左、インバートR=13.25m)に対し、インバートの掘削半径を小さく(図6右、R=7.96m)しています。図7に断面変更部の底盤部の施工状況を示します。鉄道総研と鉄道・運輸機構は共同で上記対策工の効果を検証しており、数値解析により検討した結果、この対策により将来の路盤隆起をほぼ抑制できることを確認しています。

☞ 早期閉合

トンネルを掘削した後に極力早く吹付けコンクリートなどにより断面を閉合すること。

☞ 覆工

地山を掘削した後のトンネル壁面を被覆する構造体です。コンクリートなどが多く用いられます。

新しいトンネル施工技术SENS

(1) SENS工法の開発

SENS工法は、密閉型シールドマシンを用いて掘削と切羽保持を行い、掘進と並行してシールド後方で場所打ちの一次覆工(☞参照)コンクリートを打設し、その後、二次覆工を施工してトンネルを構築する工法です(図8)。この工法は、鉄道・運輸機構、鉄道総研他3社の共同開発によるもので、シールド工法:Shield, 場所打ちライニング工法:ECL, 山岳工法:NATM, 施工システム:Systemの頭文字からSENSと命名されました。山岳工法(NATM)とシールド工法の境界領域において、安全な掘削機構と合理的な覆工機能を有した工法で、東北新幹線三本木原トンネルで初めて採用されました。

このトンネルは、当初、地下水位低下工法と切羽安定対策として注入式先受け工の補助工法を併用したNATMにより施工を開始しましたが、想定以上に地山が複雑で、地下水の影響を受

けやすいため、切羽が不安定化し、突発的な切羽の崩壊がしばしば発生し、掘削の中断を余儀なくされました。そこで、施工法の再検討を行い、安全性、安定性と経済性に優れたSENS工法の開発に至りました。NATMと比較すると、SENS工法の平均的な施工速度は約2倍、掘削土量あたりの工事費はほぼ同等でした。

この実績を踏まえて、SENS工法は北海道新幹線津軽蓬田トンネルでも採用されました。三本木原トンネルでは、一次覆工に用いたコンクリートの粘性が高かったため、コンクリートを確実に充填するには高い打設圧力が必要となり、このことが地表面の隆起や内型枠などへの過剰な負担要因となりました。そのため、津軽蓬田トンネルでは、その課題を解決できる新たなコンクリートを開発し、実施工に適用しました。また、コンクリート打設ポンプの増設や内型枠の幅を広げるなどの改良を加えた結果、三本木原トンネルの平均月進110mを大幅に上回る平均月

