

TUNNEL

社会を支え、未来へつなぐ

トンネル・ 地下空間

UNDERGROUND

SPACE



一般社団法人 日本トンネル技術協会

社会を支え、未来へつなぐ トンネル・地下空間

TUNNEL UNDERGROUND SPACE

かつて、目の前に立ちはだかる山や大河が人や物資の往来を妨げ、山越えや迂回を余儀なくされていました。そのような隔てられた場所と場所をつなぎ、多くの人や物の輸送を容易にしたのがトンネルです。

古代から現代にいたるまで、トンネルは人や物の移動を支え、人の暮らしをつなぐ重要な役割を担うため発展してきました。

記録に残る最初のトンネルは、3,700年前、バビロニアの宮殿と神殿をつないだユーフラテス川の水底トンネルで、長さは約950mと伝えられています。

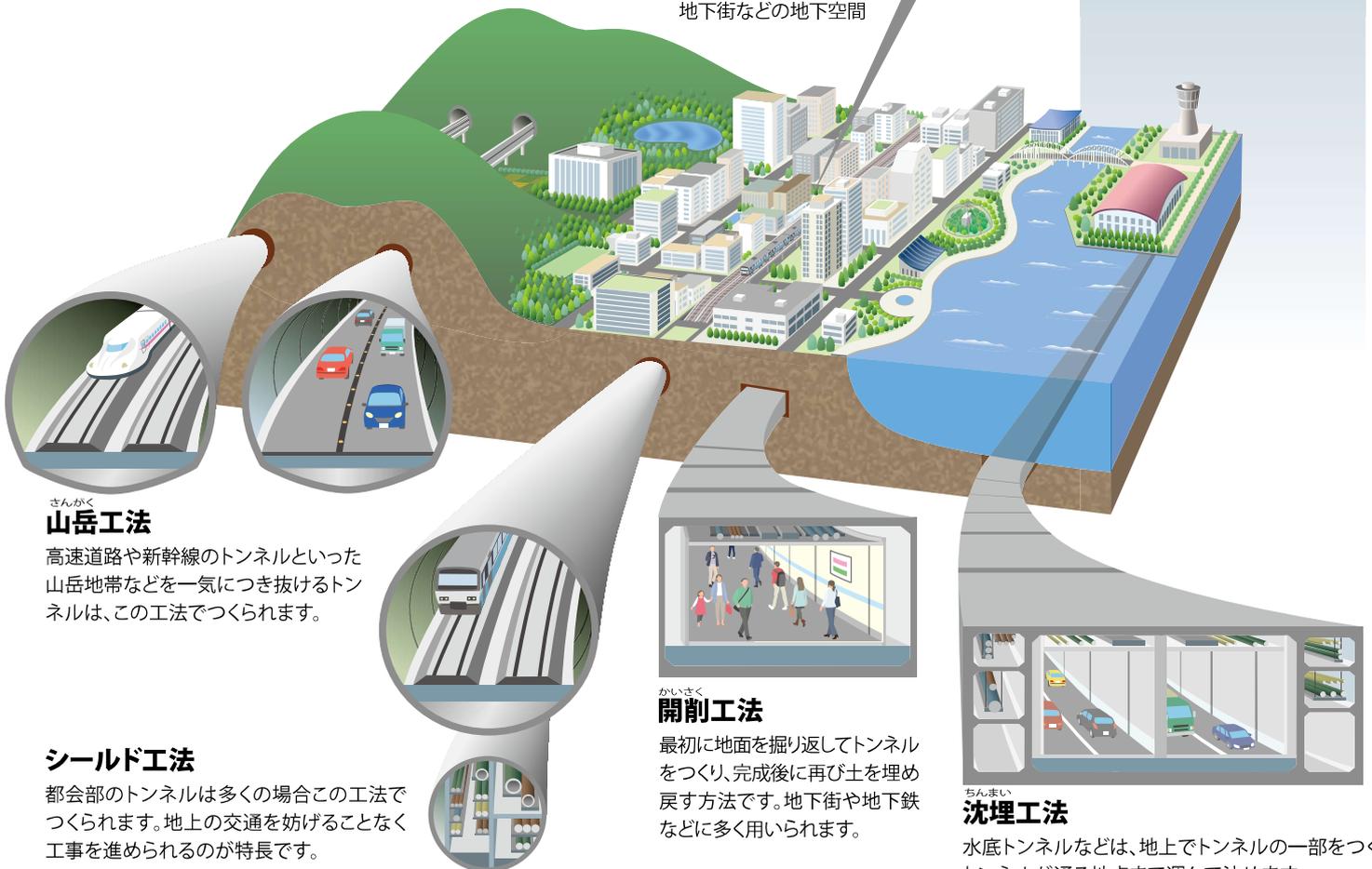
明治以前の日本では、トンネルはノミなどの簡単な道具を使った手掘り作業により掘られました。大分県にある青の洞門は手掘りにより、1764年の完成まで30年を要した日本初の道路トンネル(全長144m)です。

明治以降、近代土木技術の発展により、日本のトンネルをつくる技術は世界最高水準にあります。鉄道や道路など、目的別のトンネルや地下を利用したスペースの種類も多岐にわたり、人々の暮らしに大きく貢献しています。

トンネル工法は大きく分けると4種類あり、
つくる場所の環境に応じて採用されます。



地下街などの地下空間



さんかく 山岳工法

高速道路や新幹線のトンネルといった山岳地帯などを一気に突き抜けるトンネルは、この工法でつくられます。

シールド工法

都会部のトンネルは多くの場合この工法でつくられます。地上の交通を妨げることなく工事を進められるのが特長です。

かいさく 開削工法

最初に地面を掘り返してトンネルをつくり、完成後に再び土を埋め戻す方法です。地下街や地下鉄などに多く用いられます。

ちんまい 沈埋工法

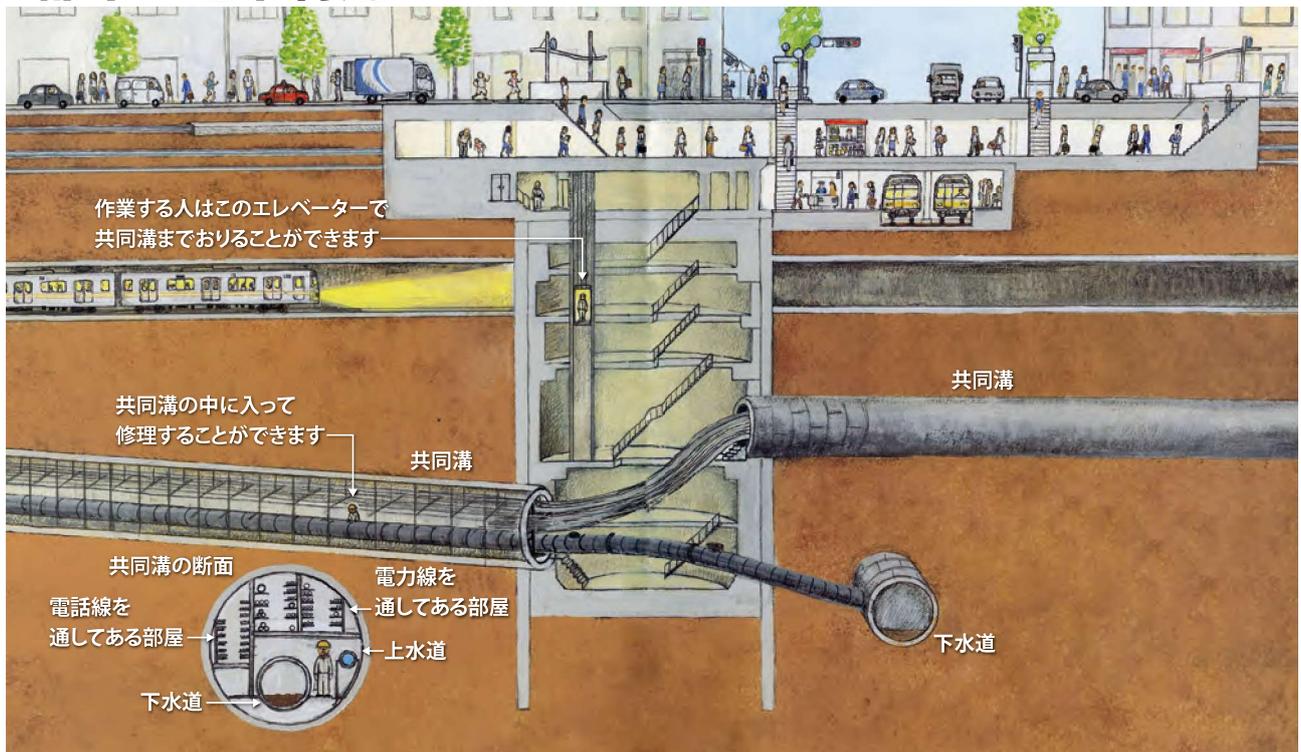
水底トンネルなどは、地上でトンネルの一部をつくり、トンネルが通る地点まで運んで沈めます。

山・街・海で活躍する トンネル・地下空間

四方を海に囲まれ、高く険しい山が連なり、海岸近くまで山が迫る日本列島。山・街・海など様々な場所で活躍する日本のトンネルはバラエティ豊かな特徴を持っています。

都市の地下利用

虎ノ門交差点(東京都港区)



虎ノ門交差点地下には通路、地下鉄、共同溝、下水道などが^{ふくそう}輻輳して設置されています。都市における地下利用の様子が良く分かります。
出典:絵本「おおきなポケット」たしろちさと作(福音館書店2010年8月出版)に加筆

地下鉄

都営地下鉄大江戸線六本木駅
(東京都港区)



地下鉄は、路面電車の輸送力不足や道路交通渋滞の解決策として整備が進み、現在では、北海道から九州まで、路線総延長851.5km、利用者は1日あたり1,454万人(令和4年度実績)に上ります。踏切が無く、台風など天候の影響に左右されにくい、定時制に優れており、都市活動に不可欠な交通インフラとなっています。写真の大江戸線六本木駅は、**地下約42.3m(地下7階相当)にホームがある日本一深い地下鉄駅**です。

下水道

千代田幹線(東京都千代田区)



都市の地下には家庭や工場、オフィスなどで生じた下水を処理施設に送る下水道管(管きょ)が整備されています。下水はいくつもの細い枝管(えだび)を通して集められ、やがて太い幹線に合流し、最終的に処理施設へと運ばれます。これらの下水道管は地下に葉脈のように張り巡らされ効率よく下水を集めています。**その長さは東京都23区だけで約16,100km**にもなります。写真は、国内最大級の長距離シールド8.7kmによる下水道、千代田幹線です。老朽化が懸念される6つの既設下水道幹線をリニューアルするにあたり、代替ルートで水再生センターに送る必要があるため、この幹線を新たに整備しました。

海底トンネル

青函トンネル
(青森県今別町～北海道知内町)



写真提供：(独)鉄道運輸機構

津軽海峡を横断し、本州と北海道を結ぶ延長53.85kmの**日本一長い鉄道トンネル**です。難工事の連続でしたが、昭和58年(1983)に先進導坑、昭和60年(1985)には本坑が貫通し、昭和63年(1988)に津軽海峡線として開業しました。開業後28年後の平成28年(2016)3月には新たに、北海道新幹線(新青森・新函館^{ほくご}北斗間)が開業しました。日本の20世紀遺産20選。

上下2層トンネル

青梅トンネル
(東京都青梅市)



隣接する青梅市と羽村市^{はつむら}に跨る全長2,095mの道路トンネル。トンネル中央部は市街地の直下を通り、地域住民の生活環境や自然環境に配慮するため、トンネルを市道の幅約16mの範囲内に収めるよう国内初の上下2層構造にした**巨大なタマゴ形**のトンネルです。掘削断面積(221-261㎡)で**当時は国内最大級の規模**でした。

大規模地下発電所

葛野川発電所
(山梨県大月市)



平成11年(1999)に運転が開始された山梨県大月市の葛野川発電所。山間部の地下500mに存在する**長さ210m、幅34mの巨大な地下空間**です。上日川ダム(上部ダム)と葛野川ダム(下部ダム)の間の714mに及ぶ高低差を利用する揚水式発電所で、電気が余っている時には下部ダムの水を上部ダムへ汲み上げ、電力需要の多い時には上部ダムの水を落として発電します。貯めておくことができない電気を水の形で蓄える蓄電機能を有した発電方式であり、電力システムの安定化に寄与しています。

道路トンネル

関越トンネル
(新潟県湯沢町～群馬県みなかみ町)



関越トンネルは、新潟県と群馬県の県境にある谷川岳を横断することから、トンネル延長は11,055mとなり、**山岳道路トンネルとしては日本一の長さ**を誇っています。二期線(上り線)は、コンクリート吹付けとロックボルト併用による全断面ATM^{*}により施工され、平成3年(1991)に四車線化が完成し、供用を開始しました。

※ATM(ナトム):New Austrian Tunneling Method(新オーストリアトンネル工法)の略称で、現在の山岳工法

急勾配トンネル

神流川発電所水圧鉄管路[斜坑]
(群馬県上野村)



神流川発電所は、長野県の南相木川の最上流部に上部ダムを、群馬県の神流川の最上流部に下部ダムを建設し、上下ダム間に生じる653mの落差を利用して発電を行う揚水式の水力発電所です。上部ダムから発電所までをつなぐ641mの斜坑トンネルは、**48度の急勾配**となっています。TBM^{*}による全断面施工で下から一気に掘り上げられました。

※TBM:円筒形の機械。前面のカッターを回転させ、硬い岩盤を押し砕きながらトンネルを掘り進める。

めがねトンネル

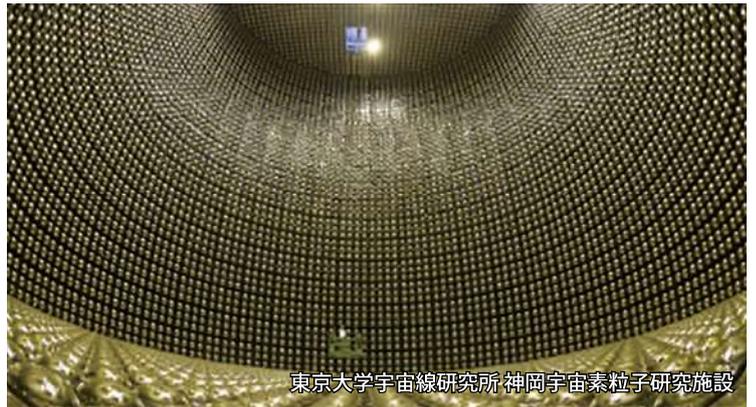
あやべはら
綾部原トンネル
(東京都町田市)



平成16年(2004)に完成した綾部原トンネルは、**上下線2本のトンネルが近接する「めがねトンネル」**で、**限られた建設用地内で2本のトンネルを構築する際に採用されるトンネル構造**です。本トンネルは、初めに両トンネルの間に導坑を掘削し、2本のトンネルを支えるためのセンターピラーを導坑内に構築、その後上下線2本のトンネルを掘削しています(導坑方式)。最近のめがねトンネルの施工では、導坑掘削無しで上下線2本のトンネルを掘削する方法も採用されています(無導坑方式)。

地下大空洞 研究施設

スーパーカミオカンデ
(岐阜県飛騨市)



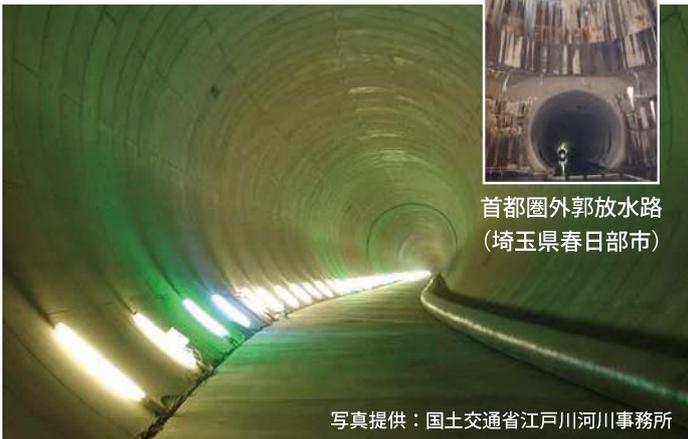
東京大学宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設

飛騨市神岡町神岡鉱山内の地下1000mに設置された、東京大学宇宙線研究所が運用する**世界最大の水チェレンコフ宇宙素粒子観測装置**です。ニュートリノの性質の全容を解明することを目的として平成8年(1996)4月より運用を開始しました。スーパーカミオカンデは、5万トンの水を蓄えた、直径39.3m、高さ41.4mの円筒形水タンクと、その壁に設置された光電子増倍管と呼ばれる約1万3千本の光センサーなどから構成されています。

大規模地下放水路



首都圏外郭放水路
(埼玉県春日部市)



写真提供：国土交通省江戸川河川事務所

総合治水対策として平成18年(2006)に竣工した首都圏外郭放水路は、中小河川の洪水を地下に取り込み、地底50mを貫く総延長6.3kmのトンネルを通じて江戸川に流す、**世界最大級の地下放水路**です。調圧水槽は、「防災地下神殿」として、国内外に広く認知されています。

大規模地下街

大阪駅前地下道東広場
(大阪市北区)



地下街とは、**大都市の主要な駅や繁華街の地下に繋がる地下歩道と店舗や施設が一体となった地下空間**です。天候に左右されない、歩行者が安心・安全に歩け、地下鉄駅が接続されているなど、多くの利点があります。写真は、大阪梅田の大規模地下街を構成するひとつ大阪駅前地下道東広場です。

魚道トンネル

しろまる
白丸魚道
(東京都奥多摩町)



堰やダムなどで堰き止められた川を、魚たちが行き来できるようにした専用の水路を「魚道」といいます。白丸調整池ダムには産卵のために川をさかのぼる魚のために傾斜の緩やかな水路がダム横に造られていますが、その一部は全長330m、高低差27mのトンネルになっています。魚道は全国にあります、**トンネル式は珍しくその大きさも最大規模**といえます。

手掘りトンネル

中山隧道
(新潟県長岡市)

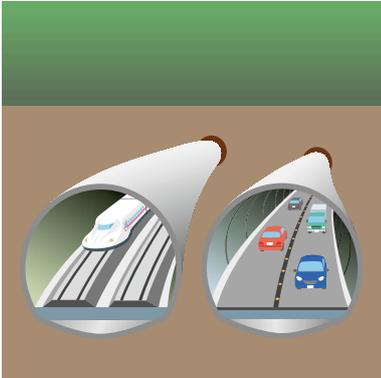


中山隧道は、住民が16年(1932~1949)の歳月をかけてツルハシで掘った**日本で一番長い手掘りトンネル**(877m)です。現在も残るツルハシの痕跡など、先人達の偉大な意志と苦闘の歴史を伝えてくれる貴重な土木遺産です。平成18年度(2016)には土木学会選奨土木遺産に選ばれました。現在では山古志村側(長岡市側)の70mのみが公開されています。

トンネルのつくり方

トンネルのつくり方は大きく分けると4種類あり、トンネルを掘る場所に合わせて、どの方法を使うかを選びます。

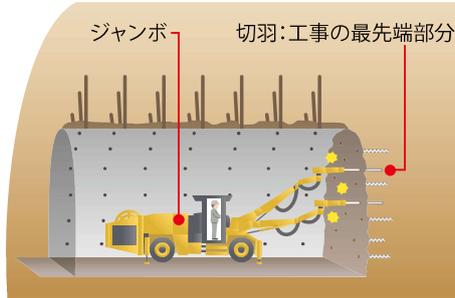
山岳工法



トンネルを横方向に掘りながら、吹付けコンクリートや鉄骨などで地山を支え、最後に覆工コンクリートでかためてトンネルをつくる方法です。山をくぐるトンネルの多くがこの方法でつくられています。

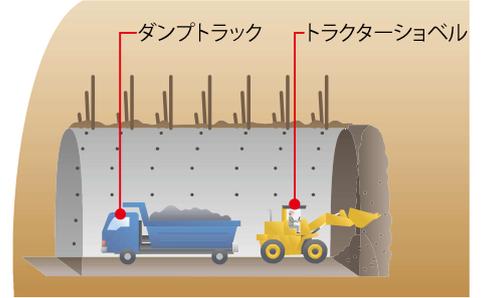
1 削孔・爆破

岩盤にたくさんの孔をあけ爆薬を詰め、爆破します。岩盤が固くない時は機械だけで掘ります。



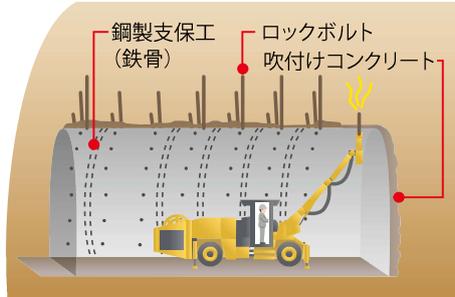
2 ずり出し

爆破や機械で砕いた岩をダンプトラック等でトンネルの外に運び出します。



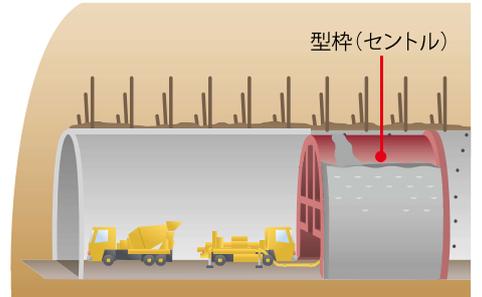
3 支保工

ロックボルト、吹付けコンクリート、鉄骨などで、掘った後の岩盤を支えます。1〜3を繰り返して掘り進めていきます。

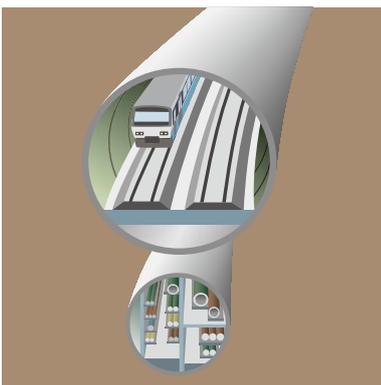


4 覆工コンクリート

仕上げとして、コンクリートを型枠(セントル)に流し込みます。



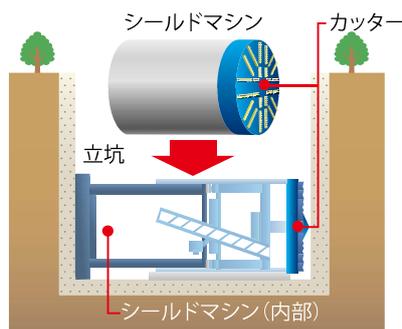
シールド工法



鉄でつくったシールドマシンを横方向に置き、内側でトンネルを掘りながらそのあとにセグメントと呼ばれるパネルをはめこみ、トンネルをつくる方法です。平地などやわらかい地山を掘るときによく使われます。

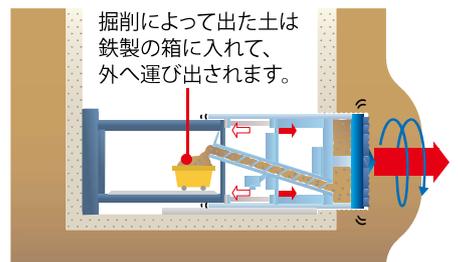
1 シールドマシンの設置

地面を掘り下げて、シールドマシンを設置します。



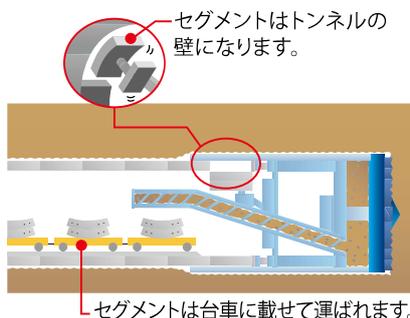
2 掘進開始

壁に穴をあけてシールドマシンの先端部分(カッター)が回転して掘り始めます。



3 セグメントの組立て

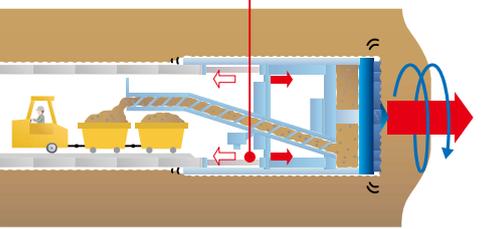
セグメントを組立て、周りの土砂を支えます。



4 掘進

シールドマシンで掘り進んでいきます。3と4の作業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。



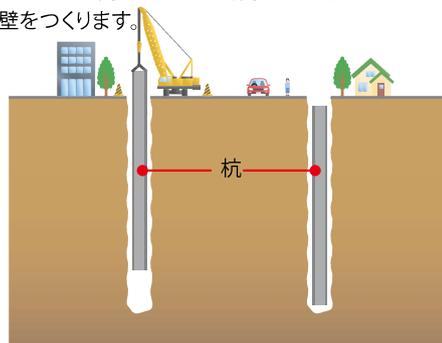
かいさく 開削工法



地面を掘り下げてトンネルをつくり、最後に埋め戻して完成させる方法です。都市部の地下街や地下鉄の建設によく使われますが、より深い場所ではシールド工法が用いられます。

1 どど 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。



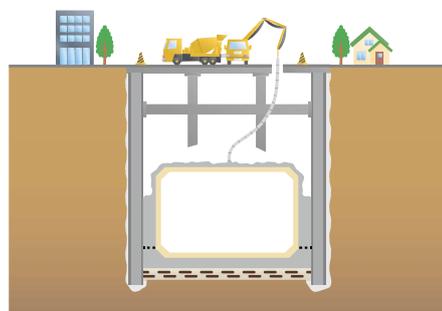
2 しほごう くつさく 支保工と掘削

地面を掘り下げます。土留めの壁が倒れないように土留支保工で支えます。



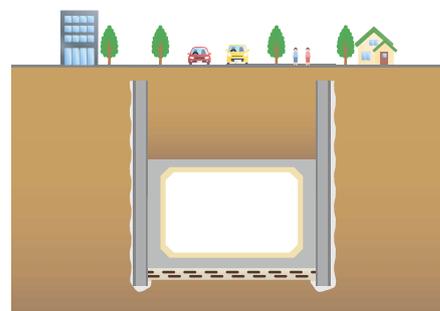
3 こうちく 構築

コンクリートを流し込み、地下でトンネルをつくります。

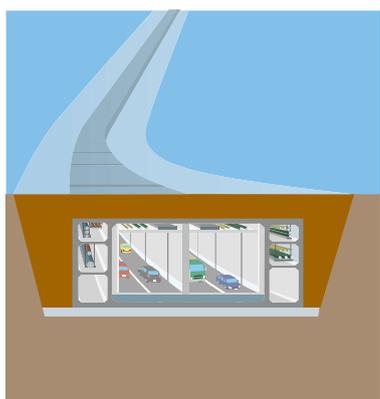


4 埋め戻し・復旧

トンネル完成後、土を埋め戻し、地上を元に戻します。



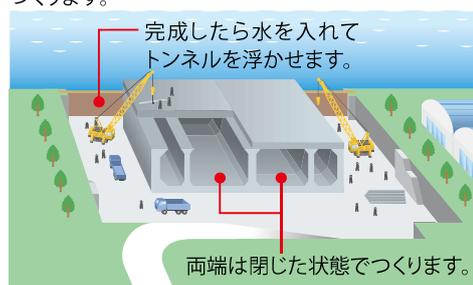
ちんまい 沈埋工法



最初に鉄やコンクリートでできたトンネルをつくって船で運び、海や川の底に沈めてつなぎ合わせながらトンネルをつくる方法です。沈埋工法は、水底トンネルをつくる方法のひとつとして使われています。

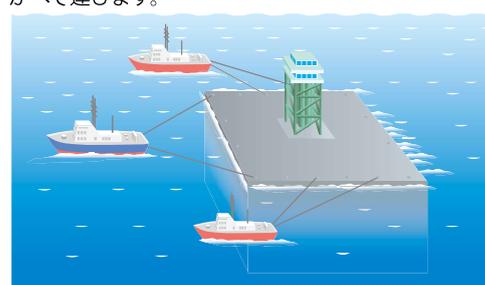
1 トンネルの製作

トンネルのブロック（一区間）を陸上や造船所等で作ります。



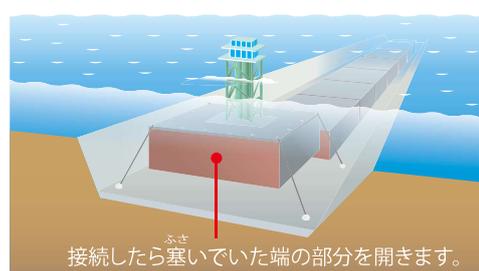
2 運搬

ブロックの中に水が入らないように蓋をし、海上に浮かべて運びます。



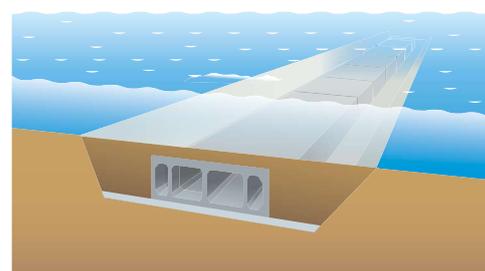
3 接続

あらかじめ決められた場所にブロックを沈めてブロック同士をつなぎます。



4 埋め戻し

全てのブロックをつなげたら、周辺を埋め戻して完成です。



1975年以降の主な交通用トンネルの歴史

開業日・開通日	主なトンネルとその主な施工法
1976年(昭和51年) 8月12日	東京港トンネル(自動車専用)を含む首都高速道路湾岸線(大井出入口～臨海副都心出入口間)開通<沈埋工法>
1982年(昭和57年) 11月15日	大清水トンネル(延長22.221km昭和54年1月貫通)を含む上越新幹線(大宮・新潟間)開業(当時、世界最長のトンネル)<山岳工法>
1985年(昭和60年) 10月2日	関越自動車道 関越トンネル(延長/下り線10.926km、上り線11.055km)開通。日本一長い山岳道路トンネル<山岳工法>
1988年(昭和63年) 3月13日	青函トンネルを含む津軽海峡線が開業。全長53.85 km、日本一長い鉄道トンネル(当時、世界最長。現在も海底トンネルとして世界最長)<山岳工法>
1994年(平成6年) 5月6日	イギリスとフランスを結ぶ英仏海峡トンネル(ユーロトンネル)開通<TBM、シールド工法>
1997年(平成9年) 12月18日	東京湾横断道路(名称:東京湾アクアライン)延長15.1km全線開通(川崎側9.6kmの海底トンネルを含む)<シールド工法、8台のシールドマシン使用>
2000年(平成12年) 12月12日	都営大江戸線が環状部(都庁前～清澄白河～国立競技場間)の完成により全線開業、六本木駅の大門方面ホームは地下鉄で日本一の深さ(地表から42.3m)<シールド工法、開削工法>
2005年(平成17年) 2月27日	東北新幹線 八甲田トンネル(延長26.455km)貫通。日本で最も長い陸上鉄道トンネル<山岳工法>
2007年(平成19年) 1月31日	東海北陸自動車道 飛騨トンネル(延長10.71km)貫通<TBM、山岳工法>
2008年(平成20年) 6月14日	副都心線 小竹向原～渋谷駅間全線開業<シールド工法、開削工法>
2013年(平成25年) 3月16日	副都心線・東急東横線・横浜高速みなとみらい線相互直通運転開始<シールド工法>
2013年(平成25年) 10月29日	ヨーロッパとアジアを結ぶボスポラス海峡横断トンネル開業、鉄道トンネル<海底部/沈埋工法(世界最深)、陸上部/シールド工法、山岳工法>
2016年(平成28年) 6月1日	ゴッタルドベーストンネル(スイス、延長57.1km)開業、鉄道トンネルで世界最長<TBM>
2018年(平成30年) 3月3日	小田急下北沢地区(東北沢～世田谷代田間、地下式)複々線化事業完成、運転開始。延長約2.2km(うち複々線化約1.6km)<シールド工法、開削工法>
2019年(令和元年) 11月30日	相鉄・JR直通線(西谷駅～横浜羽沢駅付近)延長約2.7km開業<シールド工法、開削工法>
2023年(令和5年) 3月18日	相鉄・東急直通線(横浜羽沢駅付近～日吉駅間)延長約10km開業<シールド工法、開削工法>

※TBM:円筒形の機械で、前面のカッターを回転させて硬い岩盤を押し砕きながらトンネルを掘り進める工法
※主な施工法をくくりに示す。

建設および計画中の主なプロジェクト(2025.4現在)

- ・北海道新幹線、新函館北斗・札幌間で建設中(山岳工法、シールド工法、ほか)
- ・横浜環状南線建設中(山岳工法、シールド工法、ほか)
- ・東京外かく環状道路 関越道一東名道間で建設中(シールド工法、ほか)
- ・リニア中央新幹線・東京一名古屋間で建設中(山岳工法、シールド工法、ほか)
- ・羽田空港アクセス線(仮称)「東山手ルート」および「アクセス新線」に着手
- ・首都高速道路日本橋区間地下化工事(神田橋JCT～江戸橋JCT間)に着手
- ・地下鉄7号線(南北線)延伸工事(白金高輪～品川間)に着手
- ・地下鉄8号線(有楽町線)延伸工事(豊洲～住吉間)に着手



一般社団法人 日本トンネル技術協会



〒104-0045 東京都中央区築地2-11-26 築地MKビル6F
TEL 03-3524-1755 FAX 03-5148-3655
<https://www.japan-tunnel.org/>

本会は、トンネル及び地下空間の建設並びにこれらの維持管理に関する調査研究を行い、地下空間利用技術の進歩向上を図ることによって、国土の保全と公共の福祉の増進に寄与することを目的に昭和50年(1975年)設立されました。設立以来、関係諸官庁ならびに会員各位のご理解とご支援をいただきながら各種活動を実施しています。また、国際トンネル協会(ITA)の日本の代表機関として、関係諸国との技術交流に努めています。