

と ん ね る す い し ん こ う
トンネル推進工
て き す と
テキスト

ね ん ど が つ か い て い ば ん
2021年度11月改訂版

こ う え き し ゃ だ ん ほ う じ ん に ほ ん す い し ん ぎ じ ゅ つ き ょ う かい
公益社団法人日本推進技術協会

Japan Microtunneling Association

目 次

I.	トンネル工法総論	1
1.	トンネルおよびマイクロトンネルとは	3
2.	トンネルの分類	4
3.	トンネルの施工方法	5
4.	使用機材	6
5.	トンネル工法の特徴	7
6.	トンネル工法の比較	8
II.	トンネル工法各論	9
1.	山岳トンネル工法	11
2.	シールドトンネル工法	13
3.	開削トンネル工法	15
4.	推進トンネル工法	17
III.	トンネル推進工法の施工管理	25
1.	トンネル推進工法の施工管理とは	27
2.	施工管理	28
3.	施工	30

IV.	すいしんこうほう 推進工法 じつむ の実務	41
	1. トンネル工法概要	43
	2. 推進工法施工手順および注意事項	44
V.	きそちしき 基礎知識	57
	1. どしつ 土質	59
	2. そくりょう 測量	64
	3. た その他	66
VI.	あんぜんたいさく 安全対策（ とんねるすいしんこう トンネル推進工）	75
	1. きょうつうじこう 共通事項	79
	2. とんねるすいしんこう トンネル推進工の安全 あんぜん とんねるないさぎょう （トンネル内作業）	87
	3. とんねるすいしんこう トンネル推進工の安全 あんぜん こうしよさぎょうとうたてこうなど （高所作業等立坑等）	93

I. トンネル工法総論

1. トンネルおよびマイクロトンネルとは
2. トンネルの分類
3. トンネルの施工方法
4. 使用機材
5. トンネル工法の特徴
6. トンネル工法の比較

1. トンネルおよびマイクロトンネルとは

トンネルおよびマイクロトンネルとは、地下にある土砂等を掘削して建設される通路などの空間です。

トンネルは、断面に比べ延長方向に細長い空間です。

1970 年に開催された OECD トンネル会議では、仕上がり断面積 2 m^2 以上をトンネル（直径約 1.6 m ）としています。本テキストでは、トンネルおよびマイクロトンネルを総称してトンネルと呼ぶこととします。

厚生労働省の通達で、直径 0.8 m 未満の管には、人が入って作業することができません。

2. トンネルの分類

(1) 用途による分類

交通こうつう : 鉄道てつどうおよび道路どうろトンネル
水資源みずしげん : 水力発電すいりょくはつでん, 地下河川ちかかせん, 地下貯水池ちかちよすいち
ライフラインらいふらいん : 上下水道じょうげすいどう, 電力でんりょく, 通信つうしん, ガスがす, 共同溝きょうどうこう

(2) 位置による分類

山岳トンネルさんかくとんねる, 都市トンネルとしとんねる, 海底トンネルかいていとんねる

(3) 工法による分類

山岳トンネル工法さんかくとんねるこうほう (山岳工法)
シールドトンネル工法しーるとんねるこうほう (シールド工法)
開削トンネル工法かいさくとんねるこうほう (開削工法)
推進トンネル工法すいしんとんねるこうほう (推進工法)

(4) 断面形状による分類

円形トンネルえんけいとんねる : 掘進機くっしんきを使う場合や水路トンネルで多く採用さいようされています。

馬蹄形トンネルばていけいとんねる : 山岳トンネル工法さんかくとんねるこうほうにおいて多く採用さいよう

されています。

箱型トンネルはこがたとんねる : 開削工法かいさくこうほうなどで多く採用さいようされています。

(5) 断面寸法による分類

トンネルとんねる : 仕上がり断面しあだんめん積2 m²以上いじょう

マイクロトンネルまいくろとんねる : 仕上がり断面しあだんめん積2 m²未満みまん

一般的にトンネルとマイクロトンネルを断面寸法で分別

しますが、本テキストでは、トンネルおよびマイクロトンネルを総称してトンネルと呼ぶこととします。

3. トンネルの施工方法

(1) 山岳トンネル工法

横方向に地面を掘り、支保工やコンクリートでトンネルを補強します。

山岳地域で、よく使われることから山岳トンネル工法と呼ばれますが、都市部でもこの方法を使う場合があります。

(2) シールドトンネル工法

横方向に地面を掘り、セグメントを組み立ててトンネルをつくります。

主に都市部や比較的やわらかい地盤に使われます。

(3) 開削トンネル工法

地表から地盤を掘り溝をつくり、その部分に構造物を設置もしくは建設してトンネルをつくります。そののち土で埋め戻す工法です。

(4) 推進トンネル工法

横方向に地盤を掘り、既設の管を押し込んでトンネルをつくる工法です。

都市部や比較的やわらかい地盤を掘るときに使われます。

4. 使用資機材

(1) 掘削

工 法 名	使用資機材
山岳トンネル工法	ロードヘッダ、ドリルジャンボ 油圧ブレーカ
シールドトンネル工法	シールドマシン
開削トンネル工法	バックホウ
推進トンネル工法	掘進機、先導体

(2) ずりだし（掘削土砂を運搬）

工 法 名	使用資機材
山岳トンネル工法	トラクターショベル、バックホウ、 ダンプトラック
シールドトンネル工法	スクリュコンベヤ、泥水ポンプ、鋼車
開削トンネル工法	バックホウ、ダンプトラック
推進トンネル工法	スクリュコンベヤ、泥水ポンプ

(3) トンネル断面の施工

工 法 名	使用資機材
山岳トンネル工法	鋼製支保工、吹付コンクリート ロックボルト
シールドトンネル工法	セグメント（鋼製、コンクリート製）
開削トンネル工法	ボックスカルバート 鉄筋コンクリート管、塩化ビニル管
推進トンネル工法	鉄筋コンクリート管 塩化ビニル管

と ん ね る ま い く ろ と ん ね る こう ほう と く ち ょ う

5. トンネル・マイクロトンネル工法の特徴

	さんがく 山岳 と ん ね る こう ほう トンネル工法	しーるど と シールドト ん ね る こう ほう ンネル工法	かいさく 開削 と ん ね る こう ほう トンネル工法	すいしん 推進 と ん ね る こう ほう トンネル工法
こう ほう 工法の がいよう 概要	はつ ぱ くつ 発破などで掘 さく ふきつけ こ 削し、吹付コ ん くりー と ンクリート、 し ほ こう 支保工などで ほ きょう こう 補強する工 ほう 法。	しーるど ま し ん シールドマシン くつさく くうかん で掘削した空間 にセグメントを く た 組み立てる こう ほう 工法。	ち ひょうめん 地表面から くつさく 掘削し、 こうぞうぶつ せつ ち 構造物を設置 じょう ぶ して上部を う もど 埋め戻す こう ほう 工法。	くつさく き 掘削機などで くつさく たてこう 掘削し、立坑 き せつかん から既設管き あつにゆう よを圧入す こう ほう る工法。
ち しつ 地質、 ど 土かぶ りなど	なんこうがん 軟硬岩などの じりつ じ ばん 自立する地盤 てきおう しん ど に適応。深度 については、 せいやく すく 制約が少な い。	さまざま ち しつ 様々な地質への たいおう か のう しん 対応が可能。深 度は、 せ ぐ め ん と セグメントの せいのう 性能などから決 まる。	さまざま ち しつ 様々な地質へ たいおう か の対応が可 のう しん ど 能。深度は、 けいざいせい せ こう 経済性や施工 のうりよく き 能力から決 まる。	さまざま ち しつ 様々な地質へ たいおう か の対応が可 のう かん せい のう 能。管の性能 などから決ま る。
だんめん 断面の おお 大きさ	150～200 m ² 程度。	じっせき し あ 実績で、仕上 ないけい てい り内径14m程 度。	せ こうじょう 施工上の せいげん 制限はない。	ないけい はん 内径3m、半 わりかん つか 割管を使うこ とにより 5m か のう まで可能。

6. トンネル工法の比較

一般的に山岳トンネル工法の対象は、硬質な地山であり、掘削面が自立する地盤を対象にします。大口径・長距離・急曲線施工への対応が可能です。

シールドトンネル工法は、切羽が自立しなくとも施工が可能です。シールドトンネル工法は、推進トンネル工法に比べて立坑設置、地上設備のための広い用地面積が必要あり、施工期間も長くなります。また、大口径・長距離・急曲線施工への対応が可能です。

開削トンネル工法は、地上から設置するトンネル構造物の位置まで掘削する必要があり、都市部や埋設位置が深い場合は難しいです。他の工法に比べて、土質、口径、形状、距離、急曲線施工への対応が可能です。

推進トンネル工法は、切羽が自立しなくても施工が可能です。推進トンネル工法は、シールドトンネル工法に比べて立坑や地上設備のための用地面積が小さく、施工期間が短い。大口径・長距離・急曲線施工への対応が難しいですが、一方、呼び径800未満の小口径の工事が可能です。

と ん ね る こう ほう か く ろ ん Ⅱ. トンネル工法各論

1. さん が く と ん ね る こう ほう
山岳トンネル工法

2. し - る ど と ん ね る こう ほう
シールドトンネル工法

3. かい さ く と ん ね る こう ほう
開削トンネル工法

4. す い し ん と ん ね る こう ほう
推進トンネル工法

1. 山岳トンネル工法

(1) 山岳トンネル工法の利用

山岳トンネルは、主に道路、鉄道、河川で利用されています。

(2) 山岳トンネル工法について

山の下を通るトンネルのほとんどが、山岳トンネル工法を使っています。

(3) 山岳トンネルの作り方

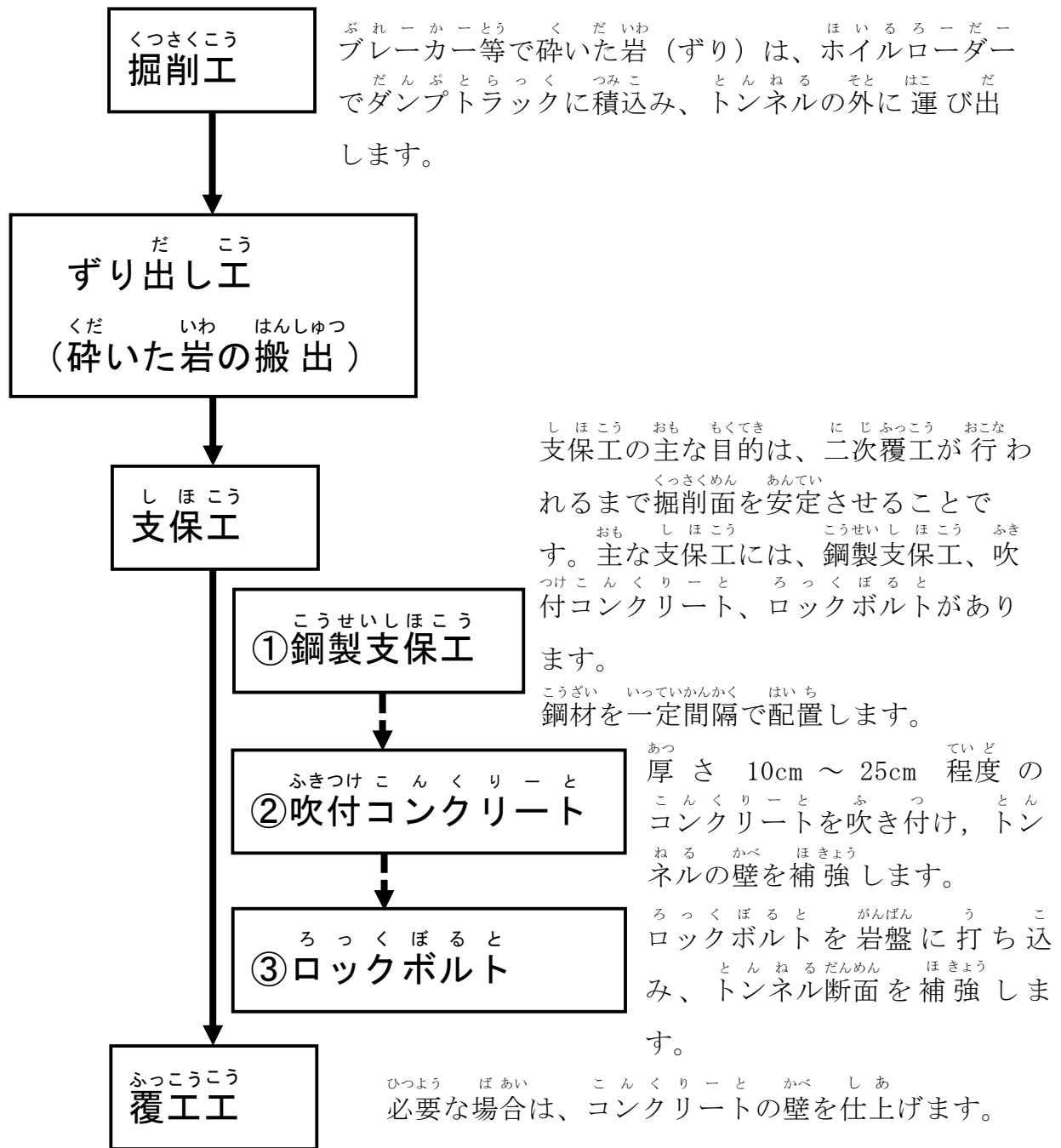
山岳トンネル工法は、掘削とそれに続く一次補強を周期的に繰り返すプロセスで実行されますが、その方法は地盤の状態と挙動によって変化します。

山岳トンネルの掘削方法には、

- ・硬岩地盤で適用される発破を使用した掘削
- ・軟弱地盤および弱い岩盤で適用される機械を使用した掘削
(ロードヘッダー、ショベル付き掘削機、リッパ、油圧ブレイカなど)
- ・TBM (トンネルボーリングマシン) を使用した掘削があります。

ど ぼくがつかい 2016 ねんせい い と ん ね る ひょうじゅん し ほうしょ [さんかくこうほうへん] さんしやう
土木学会 2016 年 制定 トンネル 標準 示方書 [山岳工法編] 参照

1) 山岳トンネル工法施工フロー



とんねるかんせい
トンネル完成



2. シールドトンネル工法

(1) シールドトンネル工法の利用

シールドトンネル工法は、主に都市部での道路、地下鉄、水路などで利用されています。

(2) シールドトンネル工法について

シールドトンネル工法では、掘削部にセグメントを環状に組立て地盤の崩壊を防止しトンネルをつくります。セグメントは、鋼製とコンクリート製があります。

(3) シールドトンネルの作り方

シールドトンネル工法の手順は、以下の通りです。

- ・立坑築造工

- ・シールド工

(設備準備工、シールド掘進工(一次覆土工))

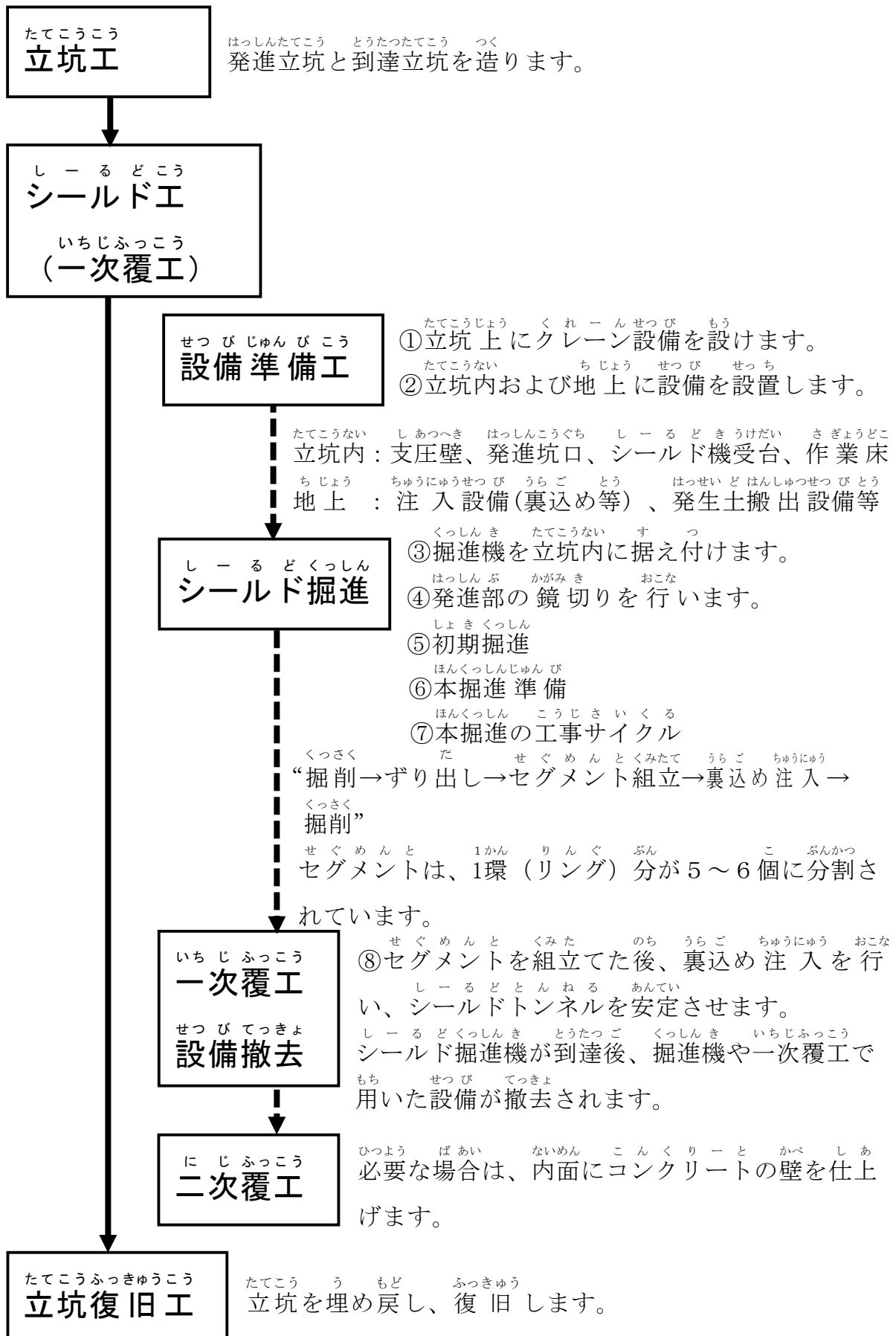
- ・二次覆土工

- ・設備撤去工

- ・立坑復旧工

土木学会 2016年制定 トンネル標準示方書[シールド工法編] 参照

1) シールドトンネル工法施工フロー



3. 開削トンネル工法

(1) 開削トンネル工法の利用

開削トンネル工法は、浅い地下工事や地下駅などの大規模構造物に使用されます。

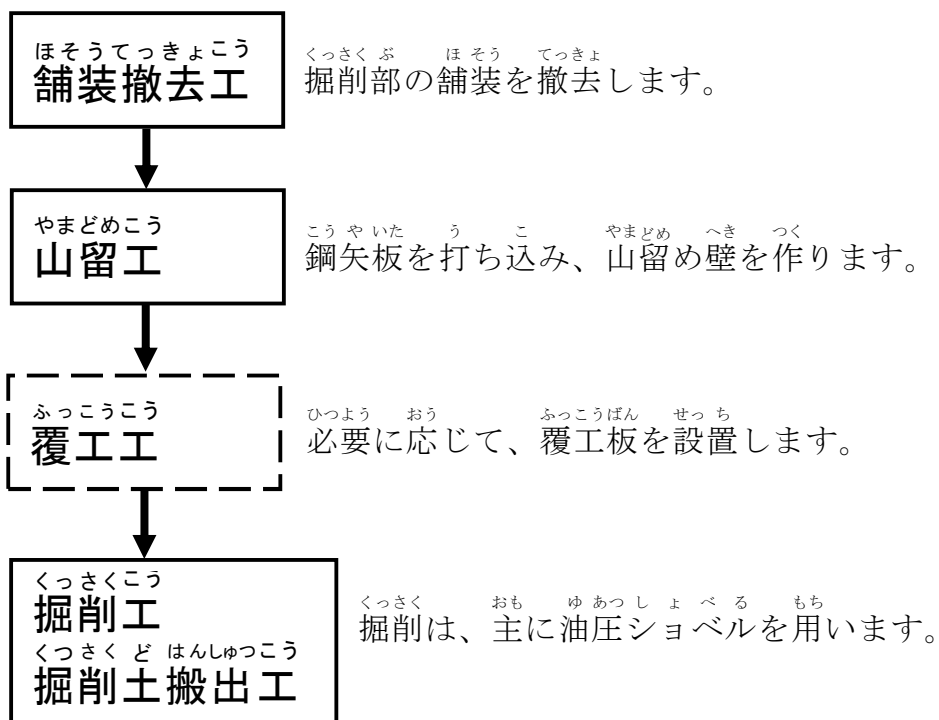
(2) 開削トンネル工法について

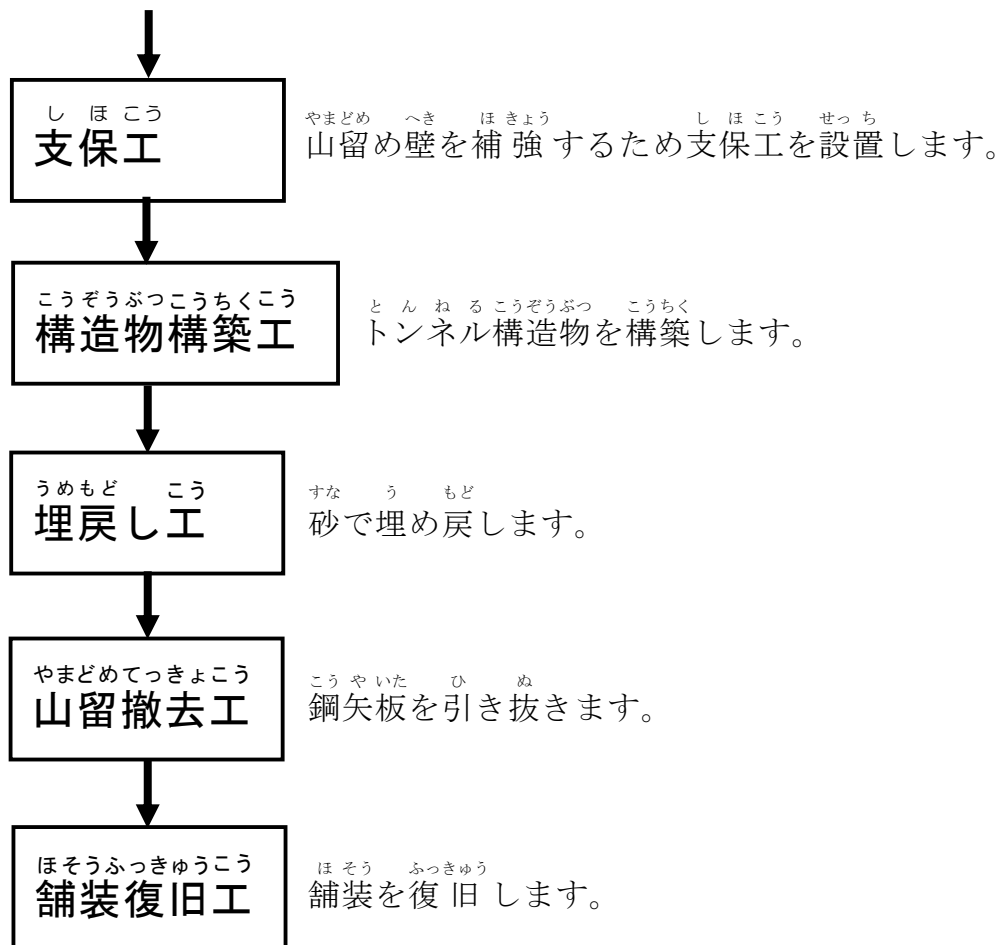
開削トンネル工法では、地表面から掘り下げ、掘削した空間を土留めと支保工で補強します。計画された位置に構造物を建設した後、埋め戻して地表面を復旧します。

土木学会 2016年制定 トンネル標準示方書[開削工法編] 参照

(3) 開削トンネルの作り方

1) 開削トンネル工法施工フロー





4. 推進トンネル工法

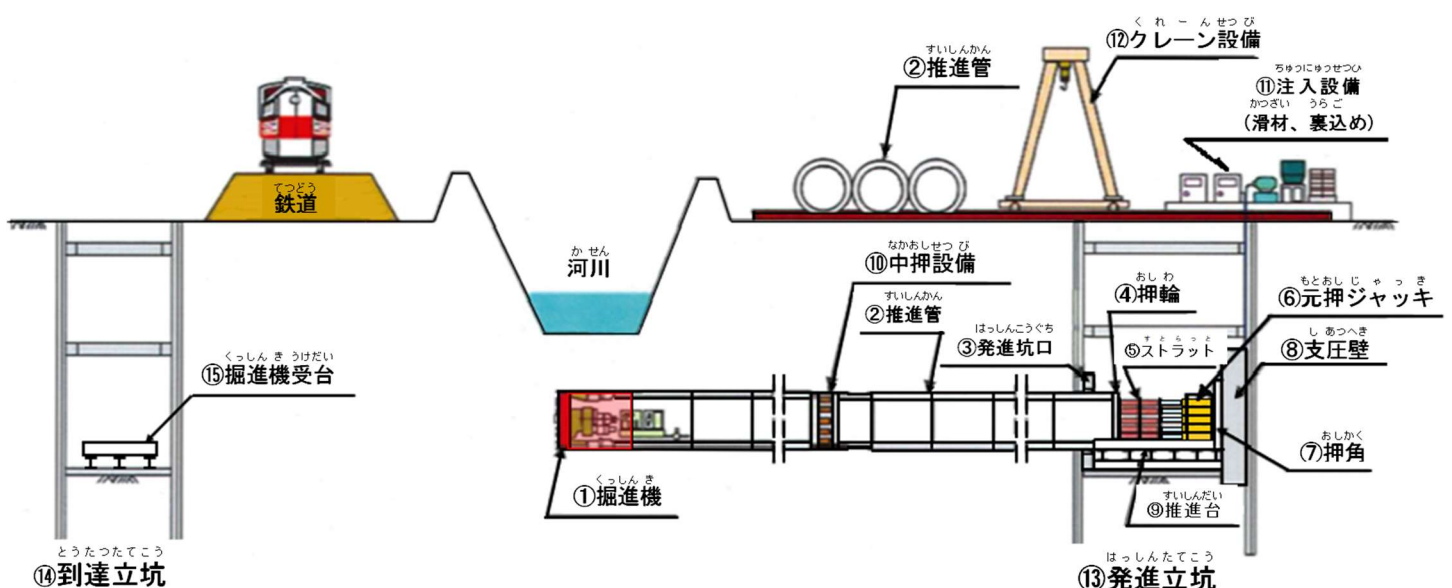
(1) 推進トンネル工法の利用

推進トンネル工法は、主に都市部での社会基盤（インフラストラクチャ）（下水道、上水道、電力、通信、ガス等）の管路などで利用されています。

(2) 推進トンネル工法について

推進工法は、掘進機で掘削し、発進立坑内のジャッキ推進力によって推進管を地中に圧入しトンネルを建設します。

1) 推進トンネル工法のシステム



推進工法概要図

2) 設備・資材

① 掘進機

土を掘る機械で、適応土質、掘削土の運搬方法などで様々な種類の機械があります。

② 推進管

推進工法で使用する管です。

③ 発進坑口

発進坑口は、発進立坑から地中へ推進管を押し出す入口です。発進坑口は、地下水や滑材の漏れを防止します。

④ 押輪

押輪は、元押ジャッキの力を推進管へ均等に伝達することにより、推進管が壊れるのを防ぎます。

⑤ ストラット

ストラットは、油圧ジャッキのストロークの不足を補助し、また、推進力を伝えるための補助支柱として利用されます。

⑥ 元押油圧ジャッキ

元押油圧ジャッキの油圧力で、掘進機と推進管を地中に押し込みます。

⑦ 押角

押角は、ジャッキの反力を分散させて、支圧壁に伝達します。

⑧ 支圧壁

支圧壁は、元押ジャッキの反力を均等に後方の地盤に伝え、支えます。

⑨ すいしんだい 推進台

すいしんだい 推進台は、すいしんかん 推進管をしよてい 所定のたか 高さ、ほうこう 方向にみちび 導くためのかだい 架台です。

⑩ なかおしせつ び 中押設備

なかおし 中押装置は、とんねる トンネルのちゅうかん ぶぶん 中間部分にゆあつ じや っ き 油圧ジャッキをはい ち 配置し、
もと おし じや っ き 元押ジャッキのすいしんりよく 推進力のふ そく 不足をおぎな 補います。

⑪ ちゅうにゅうせつ び 注入設備

ちゅうにゅうせつ び 注入設備は、すいしん 推進をするために必要なひつよう 材料(滑材、裏込め
ざい など 材等)をきようきゅう 供給するせつ び 設備です。

⑫ く れ ー ん せつ び クレーン設備

く れ ー ん せつ び クレーン設備は、すいしんかん 推進管などをつ 吊り、たてこう 立坑のした 下までい どう 移動させます。

⑬ はっしんたてこう 発進立坑

くっしん き 掘進機やすいしんかん 推進管をち ちゅう 地中におし こ 押込むためのたてこう 立坑です。
はっしんたてこうない 発進立坑内で、もと お 元押しじや っ き ジャッキなどのせつ び 設備をせつ ち 設置し、すいしんかん 推進管
せつぞく を接続します。

⑭ とうたつたてこう 到達立坑

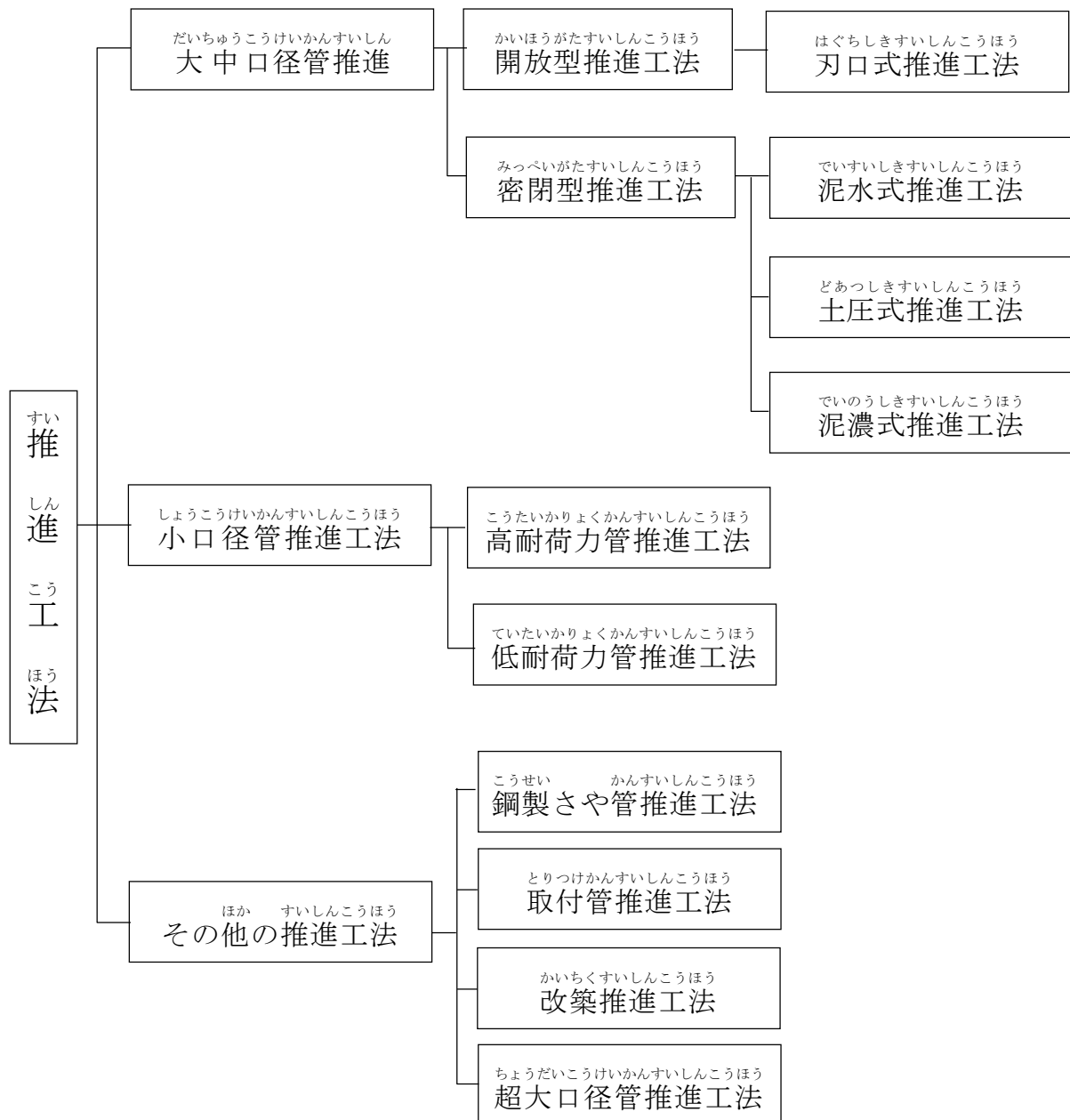
とんねる トンネルの完成後、かんせい ご 掘進機などのくっしん き 設備をせつ び 取り出すためのと 立坑
たてこう です。

⑮ くっしん き うけだい 掘進機受台

くっしん き 掘進機の到達後、とうたつ ご 掘進機をくっしん き 押出し、おし だ 回収するためのかいしゅう 架台
かだい です。

3) 推進トンネル工法の分類

推進工法には、大口径管推進工法と小口径管推進工法があります。また、その他に、鋼製さや管推進工法、取付管推進工法、改築推進工法、超大口径管推進工法があります。



4) 各工法の特徴

① 大 中 口 径 管 推 進 工 法

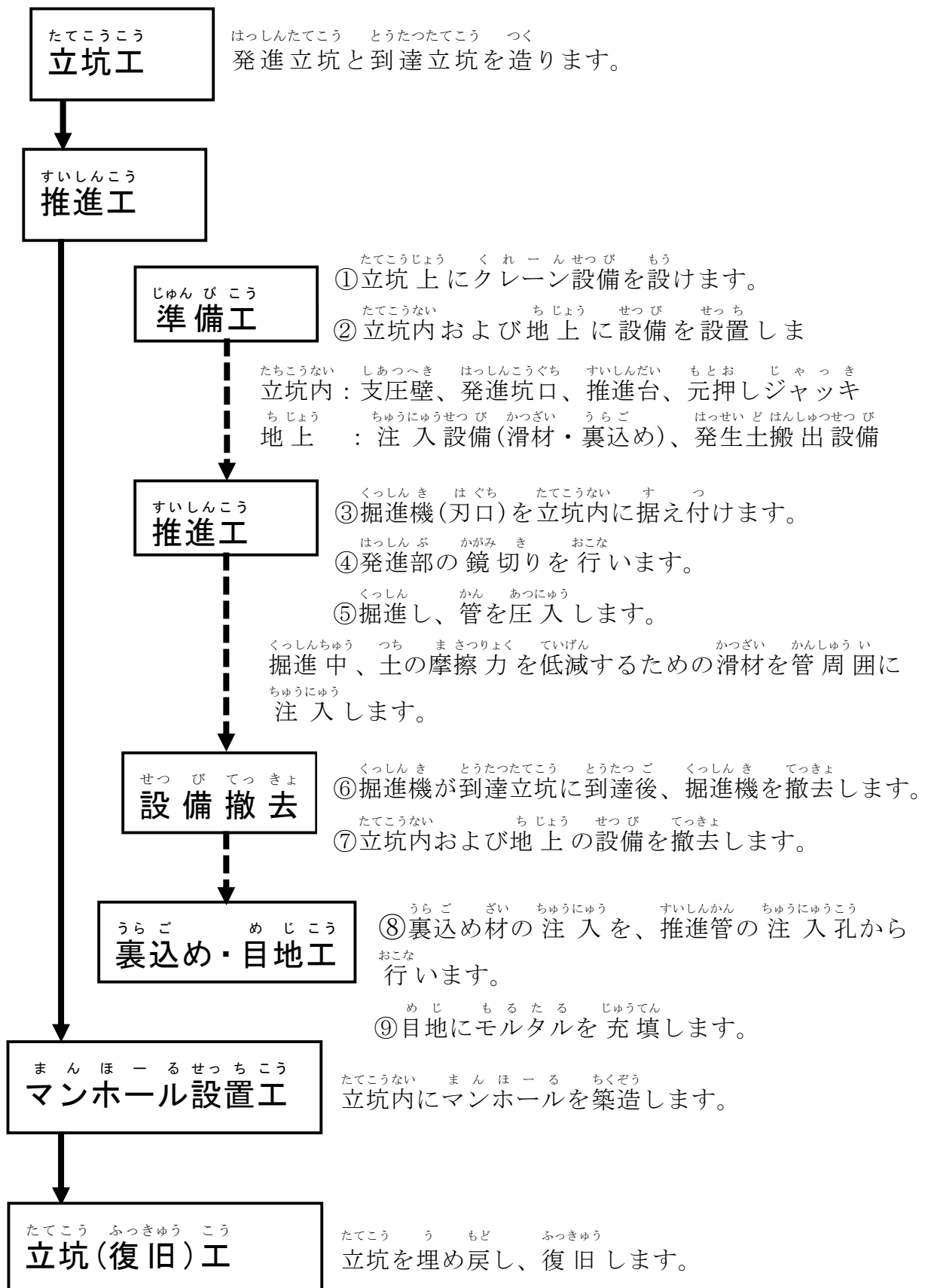
日本にほんの規則きそくでは、内径ないけい800 mm以上の管いじょう かんには人ひとが入れること
から、呼び径よ けい800～3000 の推進管すいしんかんを推進すいしんする工法こうほうを大中
口径管推進工法こうけいかんすいしんこうほうと分類ぶんるいしています。

② 小 口 径 管 推 進 工 法

小口径管推進工法しょうこうけいかんすいしんこうほうは、呼び径よ けい800未満み まんの推進管すいしんかんを推進すいしんします。
内径ないけい800 mm未満み まんの推進管すいしんかんは、管内かんないに人ひとが入って作業はいすることが
できません。

公益社団法人 日本推進技術協会 2019年版 推進工法体系 I・II・III 参照

5) 推進工法施工フロー

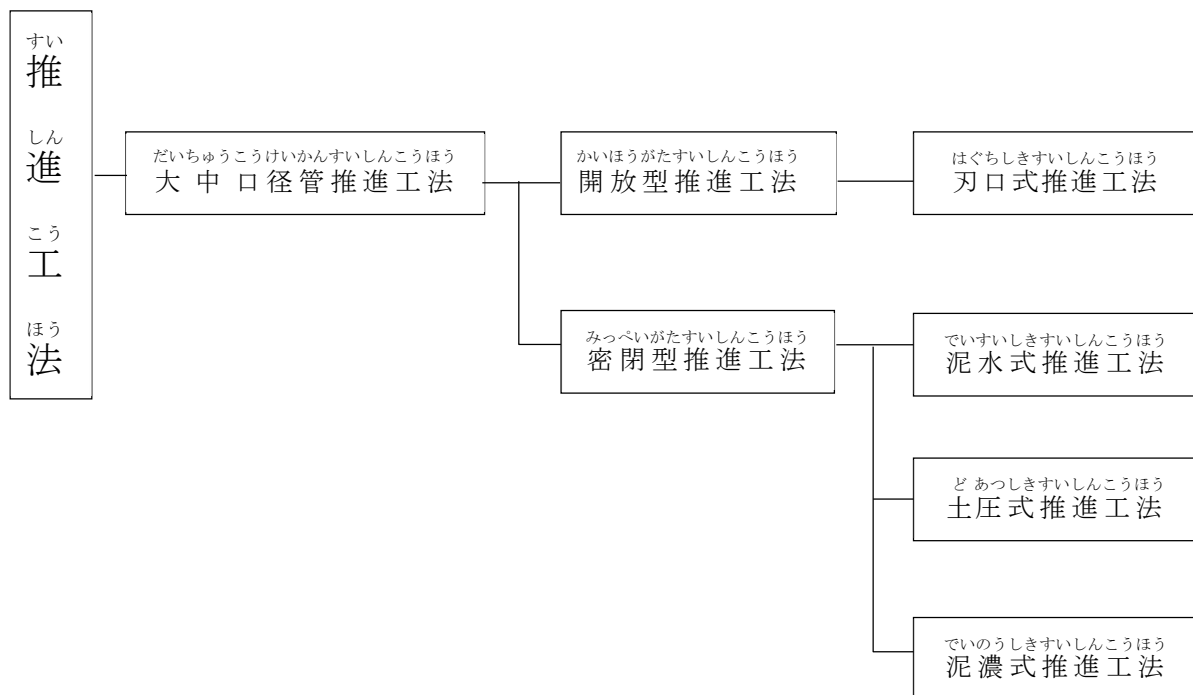


(3) 各工法の分類

1) 大口径管推進工法の分類

大口径管推進工法は開放型（刃口式）と密閉型に分類されます。

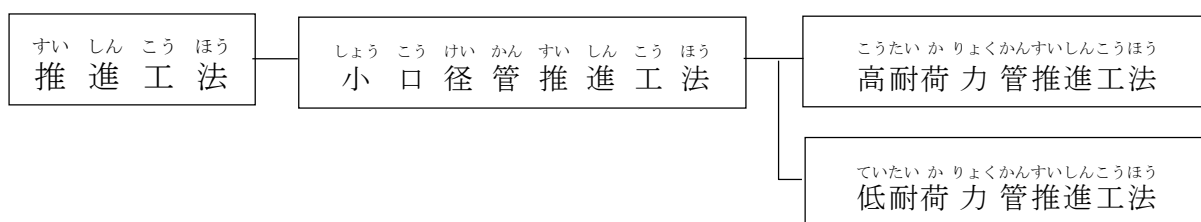
密閉型は、泥水式、土圧式および泥濃式に分類され、切羽の安定方法、土砂の搬出方法等が異なります。



しょうこうけいかんすいしんこうほう ぶんるい 2) 小口径管推進工法の分類

しょうこうけいかんすいしんこうほう くっしんき せんだうたい よ
小口径管推進工法では、掘進機（先導体とも呼びます）に
よ けい み まん すいしんかん ゆうどうかん せつぞく えんかく そう さ
呼び径800未満の推進管または誘導管を接続し、遠隔操作によ
すいしん
り推進します。

こうほう すいしんりょく でんたつほうほう ちが こうたいかりょくかん
この工法は、推進力の伝達方法の違いにより、高耐荷力管
すいしんこうほう ていたいかりょくかんすいしんこうほう ぶんるい
推進工法と低耐荷力管推進工法に分類されます。



と ん ね る す い し ん こ う ほ う せ こ う か ん り Ⅲ. トンネル推進工法の施工管理

と ん ね る す い し ん こ う ほ う せ こ う か ん り 1. トンネル推進工法の施工管理とは

せ こ う か ん り 2. 施工管理

せ こ う 3. 施工

1. トンネル推進工の施工管理とは

施工管理とは、工事を無駄なく、円滑に進めるために、綿密な計画を立て、計画どおりに適正に施工されているかを工程管理、品質管理、出来形管理、および安全管理の手法を用いて確認することです。

施工管理の手順は、P (PLAN・計画)、D (DO・実施)、C (CHECK・検討)、A (ACTION・処置) のサイクルを反復進行させて行うことが大切です。

また、大きな変更が生じる可能性がある場合は、速やかに施工計画の見直しを行い、見直した施工計画に基づいて施工管理を行わなければなりません。

2. 施工管理

(1) 工程管理

工程管理とは、施工計画書により各工程の内容と所要期間を確認し、所定の工期内に工事を完了させるため、その進捗を管理することです。

トンネル推進工事では、狭い敷地内で複数の工事を行うため工程管理上、報告、連絡、相談等の業務が大切です。

(2) 品質管理

品質管理は築造する構造物の品質を確保するためのものであり、1) 材料品質管理 2) 資機材管理 3) 作業管理 に大別されます。

各管理記録は常に整理保管しなければなりません。

1) 材料品質管理

材料等の良否は、施工品質や安全性等に直接関係するので、選定・保管にあたっては、十分な注意が必要です。

2) 資機材管理

資機材については、土質や現地等の施工条件を考慮して、十分検討した上で選定しなければなりません。

3) 作業管理

切羽、掘進、注入、構造物施工等の各作業段階において必要な項目および地表や環境面への変化がないか十分注意する必要があります。

(3) 出来形管理

出来形管理は、築造している成果品が設計を満足するか否かの管理です。管理記録は常に整理し、保管しなければなりません。

(4) 安全管理

安全管理は、工事を無事故・無災害で完了させるための重要な日常管理です。

管理手法は、

1) 日々のKY活動

2) 現場内の巡視

3) 定期的に開催される安全協議会

4) 安全教育等

に分類され、それぞれ記録し整理保管しなければなりません。

3. 施 工

(1) 立坑等の施工

1) 埋設物等の処置

地下埋設物は埋設位置を確認し、支障となる地下埋設物や架空線は、それぞれの管理者と協議のうえ、移設または防護を行います。

2) 立坑の構築

一般に立坑は、鋼矢板、横矢板、ライナープレート等により土留めを行いながら掘削しますが、土質、周辺の状況、使用目的および維持期間等を考慮して、十分堅固に構築しなければなりません。

(2) 補助工法の施工

補助工法（薬液注入工法、地下水位低下工法、高压喷射攪拌混合工法、圧気工法、凍結工法など）は、各種調査資料に基づき適切な施工計画を立案してこれに従い、施工過程での条件変化等に適切に対応しながら施工しなければなりません。

(3) 防護工の施工

防護工は、既設構造物を保護、保全するために行われます。防護工の施工に際しては、各種調査資料に基づき事前に管理者と十分協議のうえ、適切な施工計画をたて、管理者と緊密な連携を保ちながら実施しなければなりません。

(4) 施工設備の点検

施工上必要な設備は、整備点検を行い良好な状態を保ち、十分その機能を発揮できるように努めなければなりません。現場においては、運搬時の損傷等の有無、特に配線、配管、弁類等に注意する必要があります。

特に、トンネル工事の場合は、掘進機が地中に入ってから不具合が発生すると対処が困難な場合があるので、入念な点検・メンテナンスが必要です。

設備の良し悪しは、工事の全作業に影響するため、適切な点検調整を行い、良好な状態に保たなければなりません。設備点検時の留意事項は、次のとおりです。

① 油圧機器

配管をする時には、作動油の中にゴミが入らぬよう注意し、不純物の混入した作動油は速やかに交換して、故障を未然に防止しなければなりません。なお、寒冷地においては、作動油の選定に留意します。

② 押輪、ストラット、押角等

作業前にひずみや溶接箇所の割れの有無等を点検します。

③ 架台

架台は、堅固に据付けても掘進中に変位を生じることが多いので、適宜点検しなければなりません。

④ 支圧壁

推進力の増加とともに支圧壁が変位する恐れがある場合は、支圧壁背面地盤の改良や滑材注入の増量等の処置を講じなければなりません。

⑤ 坑口設備（止水器）

坑口設備（止水器）は、掘進中には地下水、滑材、泥水等が、坑口から立坑内に流入することを防止する設備です。掘進方式、土質、地下水位、補助工法、施工延長等を考慮して、十分な耐久性を有するものでなければなりません。

⑥ 運搬設備

掘削土砂等の運搬設備は、各工法により異なりますが、個々の機器に故障のないよう点検整備を行い、円滑に掘進できるように留意しなければなりません。

⑦ 注入設備

注入設備は、注入圧力および注入量が確実に管理できるように、使用前に圧力計等の点検を行います。

⑧ 電力設備

電力設備は、技術基準を定める省令に基づいて、設置および維持管理を行い、各機器が支障なく運転できるとともに作業上の事故を防止しなければなりません。

(5) 発進

1) 推進台の据付け

推進台は、立坑内の基礎の上に設計図書に示された高さ、勾配、掘進方向に合わせて堅固で安定よく据付けなければなりません。

2) 掘進機等の試運転

掘進機等は、多種多様な構造があり、運転操作が微妙に異なります。それぞれの機械の特性を十分理解し、速やかに機能に応じた操作技術を把握し、安定した施工を行わなければなりません。

3) 坑口の地山の安定と鏡切り

切羽部の地盤の安定を確認した後、鏡切りを行います。立坑掘削前に地盤改良をした場合には、立坑掘削による山留め壁の変形により、山留め壁と地盤改良部との間に隙間が生ずることが多々あります。このため鏡切時に出水する危険性が高いことから、鏡切前に立坑内からチェックボーリング等により止水の確認を行う必要があります。発進時の予期せぬ出水に対応するには薬液注入等の補助工法が有効ですが、注入時の圧力等による山留め壁や支保工の安全を確保する対策が必要です。

4) 初期掘進

掘進の初期段階は、掘進機先端部の下がりやローリングが発生し易いため、掘進速度をおとし、慎重に運転しなければなりません。

(6) 掘進作業くっしん さぎょう

1) 切羽の安定きり は あんてい

切羽の崩壊は掘削作業に支障をきたすばかりでなく、トンネル頂部の地山を緩ませ、ひいては陥没を招くことにもなります。したがって、その現場に対応した最も適切な方法により切羽の安定を図らなければなりません。

2) 掘削くっさく

掘削は、原則として先掘り、余掘りあるいは土砂の取込み過ぎをしてはなりません。

3) 地盤変動とその防止対策じ ばんへんどう ぼう し たいさく

①地盤の変動じ ばん へんどう

地盤変動は、周辺に及ぼす影響が大きいので常に監視し、これを防止するように努めなければなりません。

掘削、土留め、掘進、裏込め注入等の各作業について入念な管理を行い、それぞれに適応した地盤の変動防止に努めなければなりません。

②変位の測定へん い そくてい

計画線上およびその両側の適当な範囲に測点を設け水準測量を行います。特に、掘進機等の通過直前、直後の測量は密に行う必要があります。

(7) 到達

掘進機の到達に当たっては、掘進機の位置を確認し、発進と同様に地山の安定を確認した後、鏡切りを行います。鏡切り時は、段階的に行うことが必要です。立坑周辺の地山は、立坑構築時に緩んで強度が低下している場合があります。また掘進機は事前に造成した止水ゾーンを掘削して到達するため、鏡切り時に予期せぬ出水事故を引き起こす可能性が高いため注意が必要です。

(8) 運搬作業

1) 坑内運搬作業

坑内土砂搬出設備は、作業員の安全を確保し、円滑な土砂搬出が行われるように常に点検整備を行わなければなりません。

坑内土砂搬出作業は、見通しの悪い限定された管内で行われるので、設備の選定が大切であることはもちろん、これらの設備は作業員の安全を十分配慮して設置し、掘削に支障がないように、常に点検整備を行います。

2) 坑外運搬作業

坑外土砂搬出、材料等の小運搬、あるいは吊り下ろし、機材の入替え等は、いずれもクレーン等を用いる作業です。クレーン等の設備は、常に点検整備を行い、その技能を有する者に作業を行わせる等安全の確保に努めなければなりません。

坑外土砂搬出設備の能力は、掘削土量に対して十分満足するものとします。

(9) 測 量

1) 測量の目的

測量の目的は、掘進機が所定の方向、勾配および高さを保ち、構造物の機能を損なわないよう努めることです。また、掘進に伴う地表面の変位等を絶えず測量し、道路交通、地下埋設物、近接構造物等に対する影響を把握するために行います。

2) 測量の種類とその方法

①地上における路線測量および水準測量

②坑内測量

坑内における路線測量は、地上における路線測量と同様な方法により行います。

③曲線部の測量

曲線部では曲線半径、曲線長、推進管の大きさにより視準距離が限られるので、工事条件に適合した効率的な測量方法の検討・計画を行わなければなりません。

④主要な近接構造物の変位測定

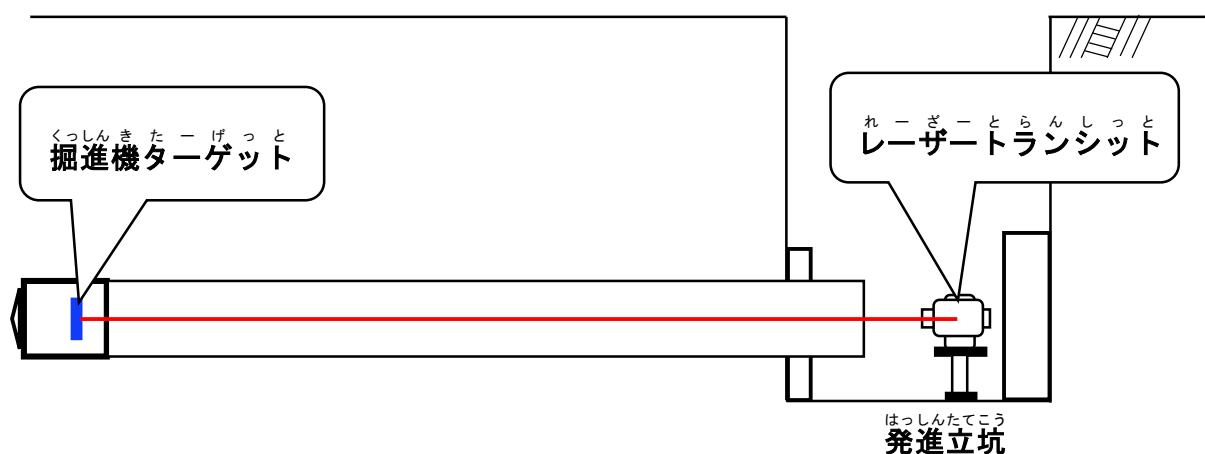
計画路線に近接した主要建造物については、事前に測定点を設け、全工期を通して工事の影響を測定します。

3) 測量作業の管理上の注意

- ① 校正を受けた誤差のない測量器械を使います
- ② 測量器械は正しくセットします
- ③ 複数の測量者によるチェックをします
- ④ 掘進途中によるチェックをします
- ⑤ 視準区間に温度差がないようにします

4) 掘進機の掘進精度の管理

推進工事で直線施工の場合、掘進機の掘進精度管理にレーザートランシットを使用することがあります。発進立坑にレーザートランシットを据付け、所定の掘進方向、高さ、勾配に照準を合わせて、掘進機のターゲットにレーザーを照射します。ターゲットに照射されたレーザー球の位置および動向によって、掘進機の精度管理を行います。

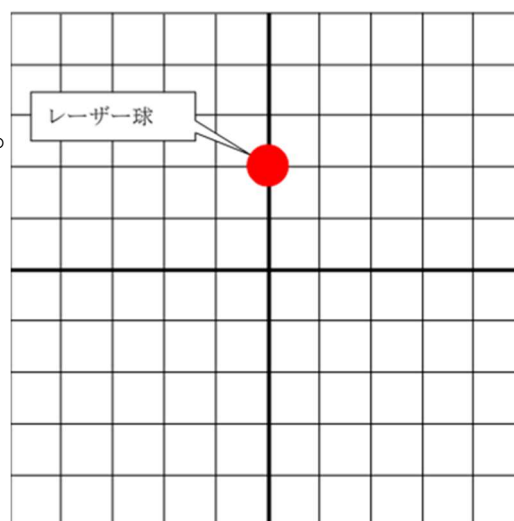


【ターゲットとレーザー球の参考例】

ターゲットの1目盛りを1cmとすると、

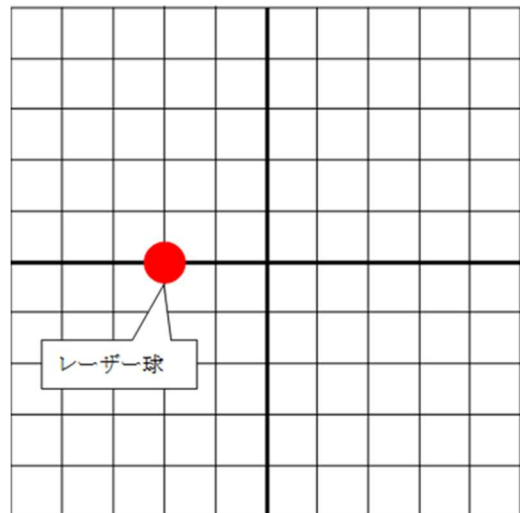
・このターゲットの掘進機は、基準高さより2cm下に位置します。

・この場合は、掘進機の方角制御ジャッキの下側を押して、あるいは上側を引いて修正します。



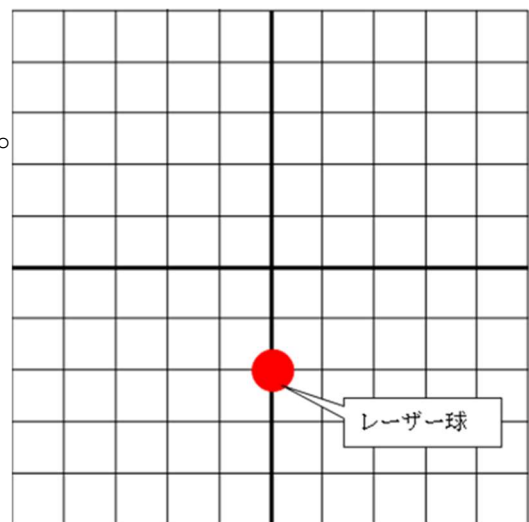
・このターゲットの掘進機は、
基準方向より 2 cm 右に位置します。

・この場合は、掘進機の方
向制御ジャッキの右側を押して、あるい
は左側を引いて修正します。



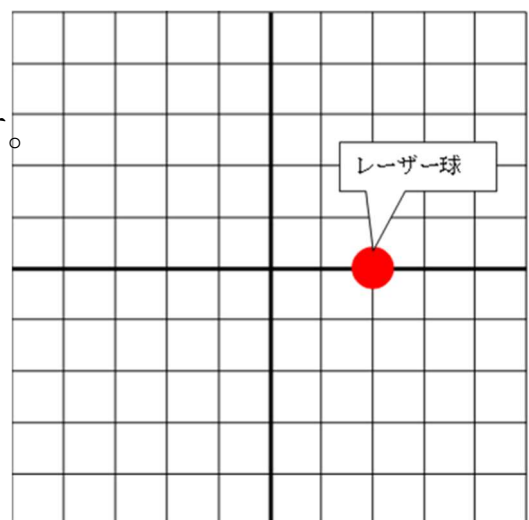
・このターゲットの掘進機は、
基準高さより 2 cm 上に位置します。

・この場合は、掘進機の方
向制御ジャッキの上側を押して、あるい
は下側を引いて修正します。



・このターゲットの掘進機は、
基準方向より 2 cm 左に位置します。

・この場合は、掘進機の方
向制御ジャッキの左側を押して、あるい
は右側を引いて修正します。



(10) 跡片付け

1) 作業現場の復旧

工事が完成した時点で十分に跡片付けを行い、元の状態に復旧しなければなりません。

2) 近接建物等の調査確認

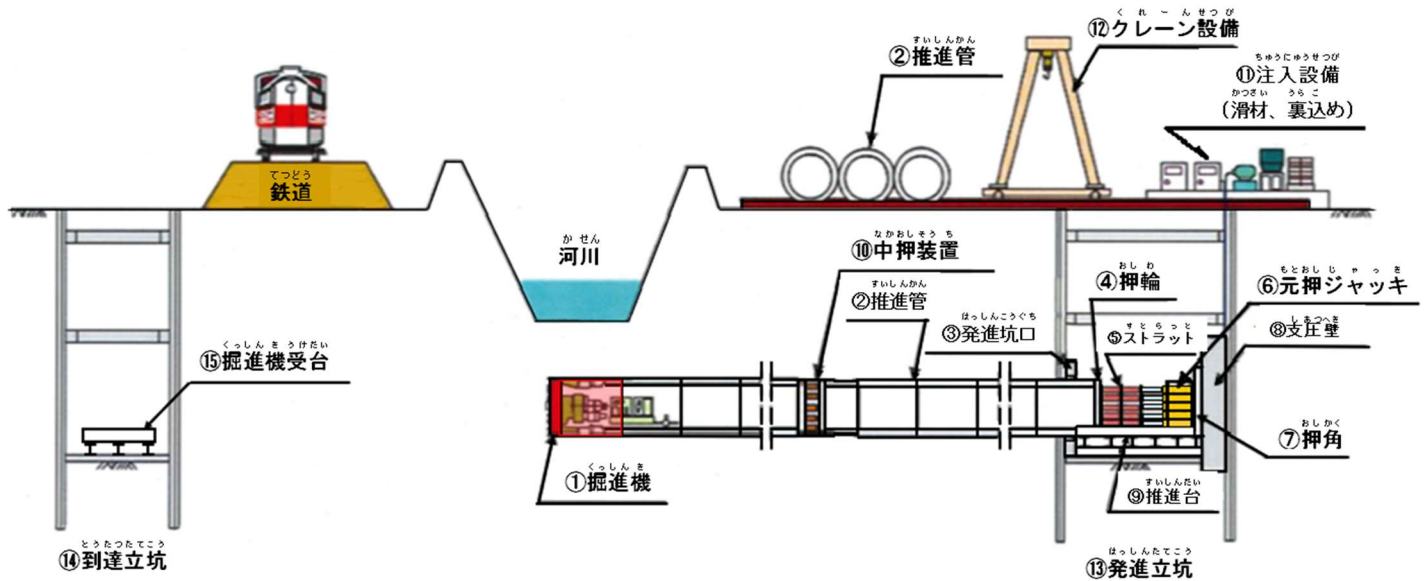
推進工事が行われた現場に接近している家屋、塀、道路等の建造物は、工事の影響により損傷を受ける場合があります。また後日、損傷部分が発見され因果関係を含めて争いになることがあります。このようなことのないよう、工事により影響を受ける恐れがあると考えられる範囲については、工事着手前に家屋調査を行い、完了時に、発注者立会いの上で再度調査を入念に行い、異常の有無を所有者に確認してもらう必要があります。工事の影響による異常が認められる場合は、工事着手前に撮影した写真等を参考に、すみやかに所有者と協議したうえ修理復旧を行わなければなりません。

IV. す い し ん こ う じ つ む 推進工の実務

1. と ん ね る こ う ほ う が い よ う トンネル工法概要

2. す い し ん こ う ほ う せ こ う て じ ゅ ん ち ゅ う い じ こ う 推進工法施工手順および注意事項

すいしんこうほう がいよう 1. 推進工法の概要



すいしんこうほうがいよう ず
推進工法概要図

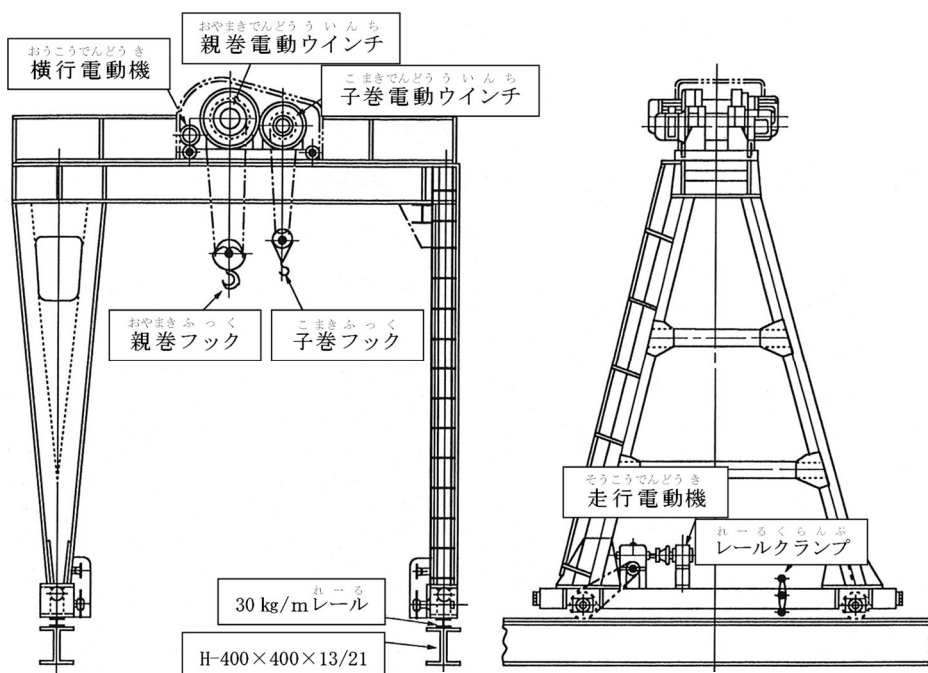
- ①掘進機
- ②推進管
- ③発進坑口
- ④押輪
- ⑤ストラット
- ⑥元押ジャッキ
- ⑦押角
- ⑧支圧壁
- ⑨推進台
- ⑩中押装置
- ⑪注入設備 (滑材、裏込め)
- ⑫クレーン設備
- ⑬発進立坑
- ⑭到達立坑
- ⑮掘進機受台

2. 推進工法施工手順および注意事項

推進工

準備工

(1) 立坑上に ⑫ クレーン設備を設けます。



もんがたくれーんずさんこう
門型クレーン図(参考)

注意事項：※

※ クレーンの基礎は正確かつ強固に設置し、走行式、固定式ともに、水平に設置します。

(2) 立坑内および地上に設備を設置します。

立坑内：

③ 発進坑口

※ 垂直に推進方向に直角に設置します。なお、坑口リングは、高さ、水平位置を正確に取付けます。

⑥元押しジャッキ

※使用条件に対して十分余裕のある能力があり、耐久性を備えたものを選定します。

⑧支圧壁

※前面は、掘進方向に向かって直角でかつ平面にし、十分に強度のあるものとします。

⑨推進台

※所定の高さ、勾配、掘進方向に合わせ、堅固で安定良く据付けます。

地上：

⑪注入設備(滑材・裏込め)

※呼び径や掘進延長によって定まる注入量や注入圧に対して余裕のあるものを選びます。

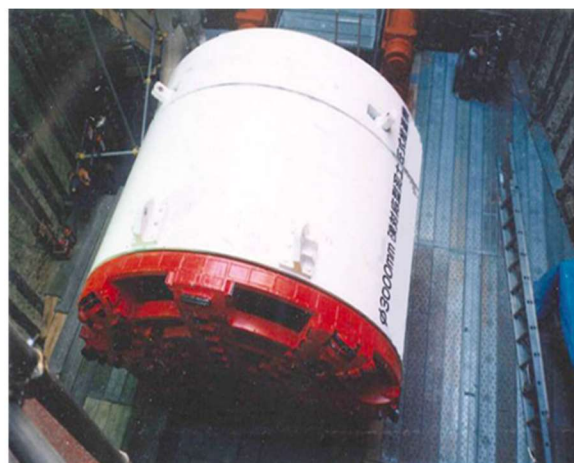


はっせい ど はんしゅつせつ び
発生土搬出設備

※^{せ こうじょうけん あ ひつよう ば あい えら}施工条件に合わせて、必要な場合を選びます。



(3) ^{くっしん き は ぐち たてこうない す つ}掘進機(刃口)を立坑内に据え付けます。



※^{くっしん き}掘進機は、^{せ こうほうほう}施工方法、^{くっさくだんめん}掘削断面、^{せ こうえんちよう}施工延長および^{ど しつじょう}土質条件を^{けん こうりよ}考慮して、^{あんぜんかくじつ}安全確実に^{せ こう}施工できるものを選びます。

※^{くっしん き}掘進機の吊下ろしには、^{せんよう}専用の吊具を使用し、^{し ょう}山留材等^{やまどめざいと}に^{せつしよく}接触しないように^{しんちよう}慎重に^{すいしんだい}推進台に^{せつ ち}設置します。

※^{くっしん き}掘進機は、^{はっしんまえ}発進前に^{し うんでん}試運転を^{おこな}行います。

はっしん ぶ かがみきり おこな
(4) 発進部の鏡切を行います。

はっしんこうぐちない やまどめ こう や いたとう くっしん き がいけい あ
※発進坑口内の山留（鋼矢板等）を、掘進機の外径に合わせて
せつだん くっしん き やまどめざい あ てつきよ
て切断し、掘進機が山留材に当たらないように撤去します。



かがみきりまえ たてこうない ち え っ く ぽ ー り ん ぐ と う
※鏡切前に立坑内から、チェックボーリング等により、
し すい かくにん おこな
止水の確認を行います。

(5) 掘進し、管を圧入します



かん つり お
管の吊下ろし

1) 推進管の接合

かく さ ぎょう だん ど じゅんじょ こうりょ しんちょう おこな
各作業の段取り、順序を考慮して慎重に行います。

① ゴム輪の点検

へんけい は だん れっ か てんけん
※変形、破断、劣化がないか点検します。

② 管の吊下ろし

すいしんかん つり お せんよう つり ぐ し ょう やまどめざいと
※推進管の吊下ろしには、専用の吊具を使用し、山留材等
せつしよく そんしょう しんちょう すいしんだい せつ ち
に接触して損傷しないように、慎重に推進台に設置しま
す。

たま か け さ ぎょう し かく ひつよう
※玉掛け作業は、資格が必要です。

③ 接合用滑剤の塗布

※前の管の接続部を十分に清掃した後、接合用滑剤をゴム輪に、はけ等でむらのないよう入念に塗布します。

④ ケーブル、配管等の接続替え

※管を吊り下ろす前に、照明、動力、制御ケーブル、送排泥管、送排気管、油圧ホース、土砂搬出設備等の切替えを
ていねいに行います。

⑤ 先行管と接続管の高さと方向の調整

※先行管と、吊り下ろされた管との高さと方向の調整を行い、静かに推進台にセットします。この場合、高さおよび方向が正確に合致していない場合、止水用ゴム輪、鋼製カラーの破損の原因となるので十分な注意が必要です。

⑥ 推進ジャッキによる管の接合

※管の据付けが終了した後、推進ジャッキにより接合作業をゆっくり開始します。止水用ゴム輪と鋼製カラーとの納まり具合を確認し、もし、ゴム輪がめくれそうな時は接合作業を一旦中止し、高さと方向の調整を再度行い完全な接合を図ります。

くっしん さ ぎょう 2) 掘進作業

掘進作業は、地山の土質に応じ、切羽、推進管、反力受等の安定、保護を図りながら、適切な推進ジャッキの配置と推進力（元押ジャッキの圧力）および掘進速度で、管を所定の高さ、勾配および水平（左右）方向に正確に進むように圧入します。

掘進機を使用する密閉型では、カッタで地山を掘削する時、土質や掘進速度によりカッタを回転させる力（カッタトルク）が異なります。

※地上の変位（隆起・沈下）が生じないように、掘進量に見合った排土量となるように掘進速度等を制御する必要があります。

しよ き くっしん ① 初期掘進

※掘進の初期段階は、掘進機の下がりやローリングが発生しやすいため、掘進速度をおとし、掘進機を慎重に運転します。



くっしんちゅう でいすいしき
掘進中（泥水式）

もとおし じ や つ き あつりよくけい
元押ジャッキ圧力計

くっしん き か っ た と る く けい
掘進機カッタトルク計

くっしん き そう さ ばん
掘進機操作盤

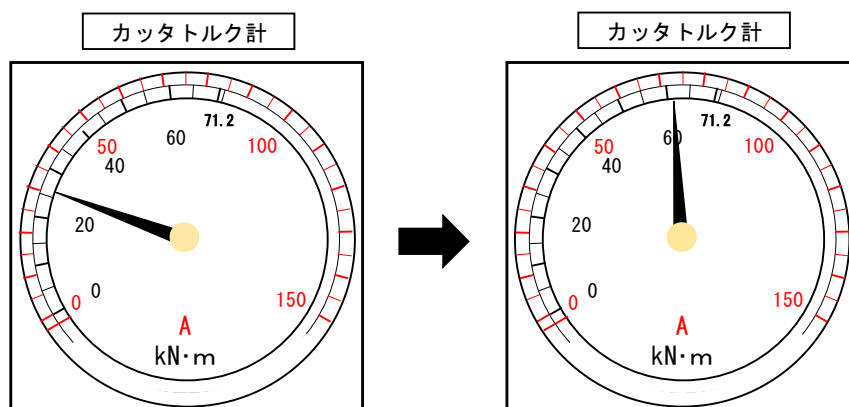
もとおし じ や つ き そくどけい
元押ジャッキ速度計

くっしん き もとおし じ や つ き そう さ えんかく
掘進機・元押ジャッキ操作(遠隔)

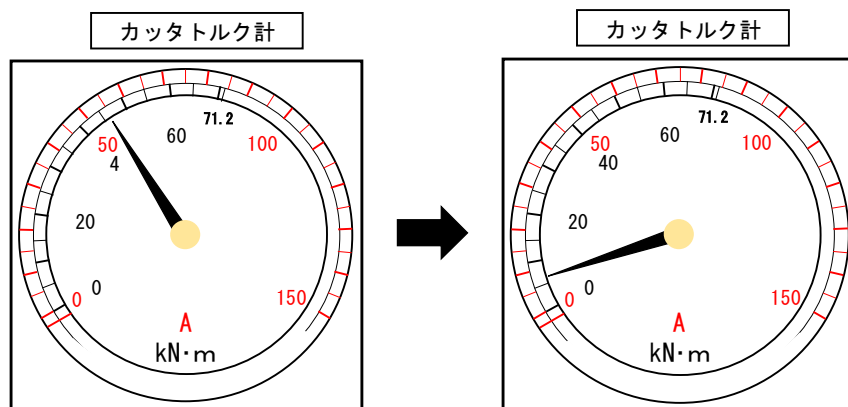
② 掘進機と元押ジャッキの操作

※掘進を開始する時は、掘進機のカッタが回転しているこ
とをカッタトルク計、カッタ電源ランプ等で確認して元押
ジャッキを押します。

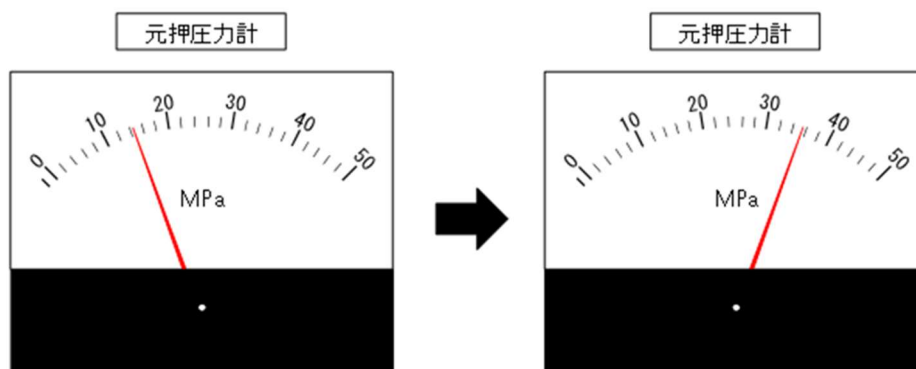
※掘進中、掘進機のカッタトルクが上昇した場合は、元押
ジャッキの掘進速度を下げます。(カッタトルク計)



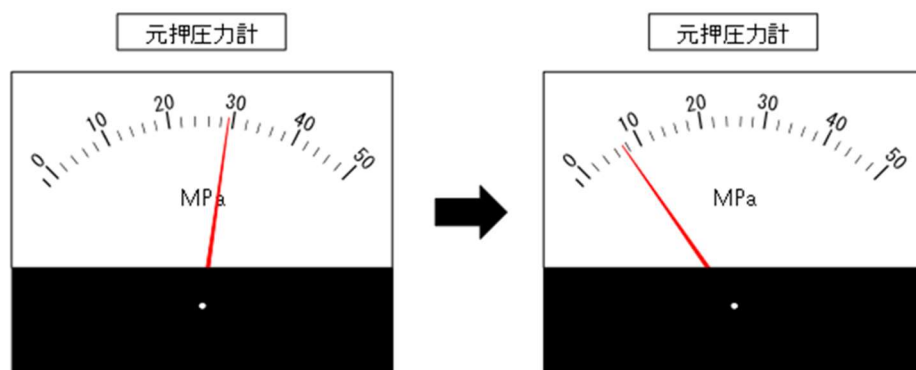
※掘進中、掘進機のカッタトルクが下降した場合は、元押ジャッキの掘進速度を上げます。（カッタトルク計）



※掘進中、元押ジャッキの圧力が上昇した場合は、元押ジャッキの掘進速度を下げます。（元押圧力計）



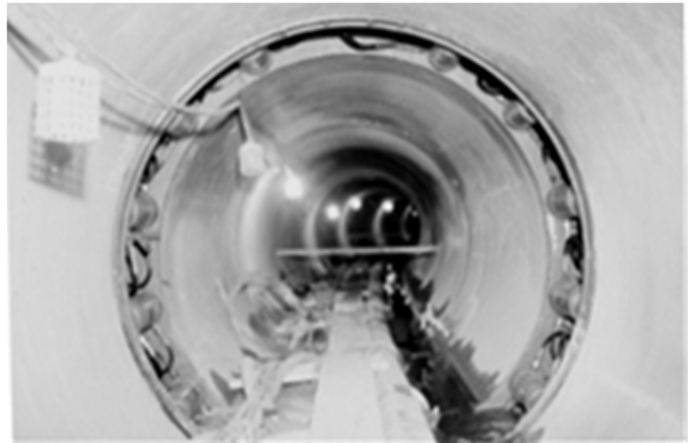
※掘進中、元押ジャッキの圧力が下降した場合は、元押ジャッキの掘進速度を上げます。（元押圧力計）



(6) 施工計画で決められた所定の位置に、中押設備を

設置します。

なか お せつ び
中押設備



(7) 掘進中、滑材注入、管内換気を行います。

かつざいちゅうにゅうはいかん
滑材注入配管

かんないせつび
管内設備



かつざいちゅうにゅう
滑材注入

かつざいちゅうにゅう
滑材注入



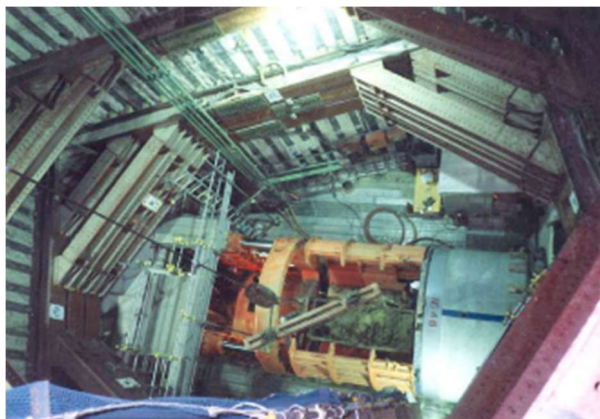
※滑材注入は、土の摩擦力を低減するための滑材を

管周囲に注入します。

※^{かつざい}滑材^{ちゅうにゅう}の注^ど入^{しつじょうけん}は、土質^{ちゅうにゅうこう}条件^{はい}、注^{ちゅうにゅうあつちから}入^{ちゅうにゅうりょう}孔^{かつざい}の配^{りゅうしゅつ}置^{ちゅう}、注^い入^い圧^い力^い、注^い入^い量^い、滑^い材^いの流^い出^いに注^い意^いし^いま^いす。

※^{ちゅうにゅうちゅう}注^{つぎ}入^て中^ぶ、継^{はっしんこうぐち}手^{はっしんこうぐち}部^{はっしんこうぐち}や発^{りゅうしゅつ}進^{りゅうしゅつ}坑^{かん}口^しから^しの流^し出^しを監^し視^しし^しま^しす。

(8) ^{くっさく ど しゃ}掘^{こうがい}削^{はんしゅつ}土^{はんしゅつ}砂^{はんしゅつ}は坑^{はんしゅつ}外^{はんしゅつ}へ搬^{はんしゅつ}出^{はんしゅつ}し、処^{しよぶん}分^{しよぶん}し^{しよぶん}ま^{しよぶん}す。



^{くっさく ど しゃ}掘^ひ削^あ土^あ砂^あの引^あき上^あげ

^{ど あつしき}土^は圧^は式^は・^は刃^は口^は式^は



^{くっさくどしゃ}掘^{つみこ}削^{つみこ}土^{つみこ}砂^{つみこ}の積^{つみこ}込^{つみこ}み

^{ど あつしき}土^{でいすいしき}圧^{でいのうしき}式^は・^は泥^は水^は式^は・^は泥^は濃^は式^は・^は刃^は口^は式^は

せつ び てっきょこう
設備撤去工

(9) 掘進機が到達立坑に到達後、掘進機を撤去・回収します。

※掘進機の受台は、掘進機の重量等に耐えるものを設置します。

くっしん き うけだい
掘進機受台



※掘進機を吊上げる吊具は、専用のものを使用し、クレーンは、能力に余裕のあるものを使用します。



くっしん き てっきょ
掘進機撤去

(10) 立坑内および地上の設備を撤去します。

※設備は、再び使用するので、丁寧に取り扱います。

裏込め・目地工

(11) 裏込め材を、推進管の注入孔から注入します。

※裏込め材の注入は、土質条件、注入圧力、注入量、裏込め材の流出に注意します。

※裏込め注入は、掘進完了後、速やかに行います。

※注入中、継手部や発進坑口からの流出を監視します。

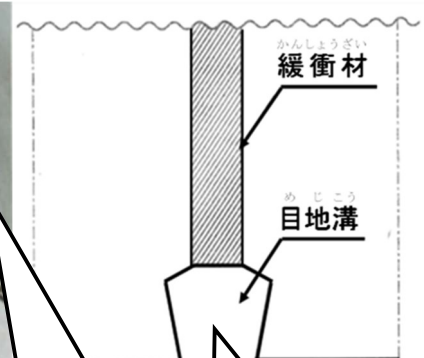
※注入後は、水洗いを完全に行い注入材が付着していないかを確認します。

(12) 目地にモルタルを充填します。

※目地モルタルを充填する際は、目地溝部をよく清掃します。



裏込め注入



目地モルタル工

V. ^{き そ ち し き}基礎知識

1. ^{ど し つ}土質

2. ^{そ くり ょ う}測量

3. ^たその他

1. 土質

(1) 土粒子の分類

土粒子は粒子の大きさごとに分類されます。

土粒子の大きさ区分：

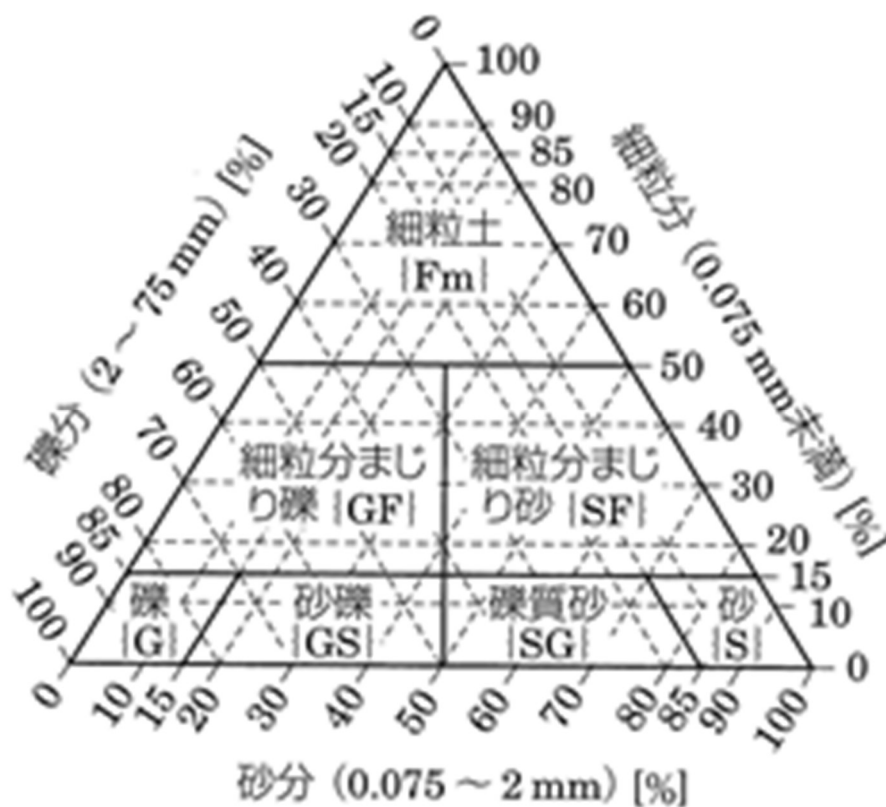
土粒子		粒径 (mm)
巨石		≥ 300 mm
粗石		300 - 75.0 mm
礫	粗 Coarse	75.0-19.0 mm
	中 Medium	19.0-4.75 mm
	細 Fine	4.75-2.0 mm
砂	粗 Coarse	2.0-0.85 mm
	中 Medium	0.85-0.25 mm
	細 Fine	0.25-0.075 mm
シルト		0.075-0.005 mm
粘土		≤ 0.005 mm

（２）土質分類の三角座標

土質分類は、土粒子の３つのグループの相対量によって決まります。

３つの土粒子とは、細粒土（粘土とシルト）、砂、および礫です。

この分類は、３つの土粒子サイズの割合（パーセント）を測定することによって、土を物理的に表現する手法です。



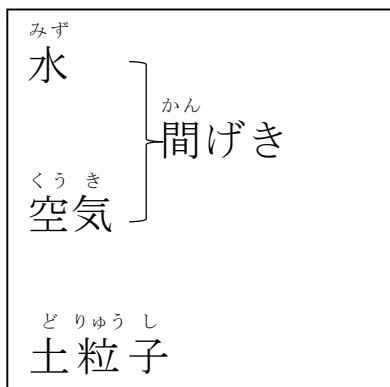
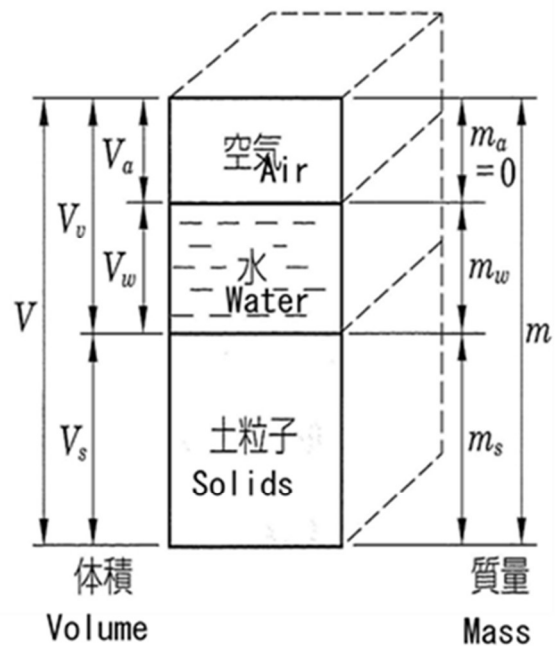
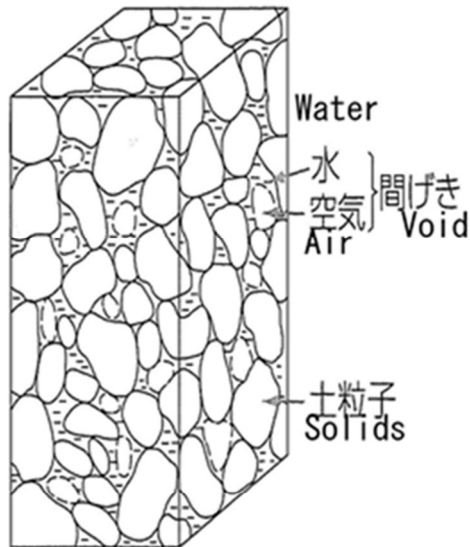
土質分類の三角座標

礫分・細粒分・砂分

細粒土・細粒分まじり礫・細粒分まじり砂・礫・砂礫・礫質砂・砂

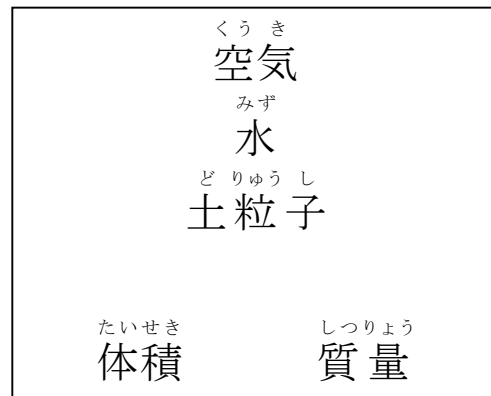
(3) 土の体積と質量の関係について

土は、土粒子と間げき（水、空気）で構成されます。



$$V = V_s + V_a + V_w$$

$$m = m_s + m_a + m_w$$



(4) 土の状態を示す指標

土の状態を示す様々な指標があります。

1) 密度

乾燥密度 $\rho_d = m_s / V \quad \text{g/cm}^3 \quad (\text{or Mg/m}^3)$

湿潤密度 $\rho_t = (m_w + m_s) / V \quad \text{g/cm}^3 \quad (\text{or Mg/m}^3)$

2) 含水比

$$W = m_w / m_s \times 100 \%$$

3) 間げき比 e , 間げき率 n

$$e = V_v / V_s$$

$$n = V_v / V \times 100 \%$$

$$e = n / (1-n)$$

$$n = e / (1+e)$$

4) 飽和度 S_r

$$S_r = V_w / V_v \times 100 \%$$

(5) 土中の透水性

土中の透水性は、土または岩の中を水が通過する能力を示す指標です。

多くの場合、Darcy（ダルシー）の式で透過係数（ k ）を、
$$v = ki$$
 で表します。

ここで、 v は水を通過する見かけの流体速度、 i は水圧勾配、
 k は m/sec 、 cm/sec で表される透水係数です。

k は、流体成分（多くの場合水）の媒体の相対透過性と流体の動的粘度に依存します。

透水係数は、実験室レベルでは、定水位透水試験もしくは変水位透水試験を使用して決めます。

2. 測量

(1) 測量とは?

測量は、地表または地表のポイントの空間的位置を定めるために行います。

これは、水平および垂直距離を測定する技術、角度を測定する技術、線の方角を決定する技術です。

実際の調査測定値に加えて、数学的計算があります。

距離、角度、方角、場所、標高、面積、体積は、測量のデータから決定されます。

(2) 測量の種類

1) 測地測量

地球の形状を考慮に入れた測量のタイプです。

この測量は高い精度を求める場合あるいは、広範囲の測量の場合に行われます。

2) 平面測量

地球表面を平面と見なします。推進工事の場合、水平距離と方角については、球面形状を考慮せずに測量します。

地球の表面を座標とする場合：

緯度：赤道を基準として南北へそれぞれ最大角度90度で表します。

経度(経線)：グリニッジ子午線を基準に東西へそれぞれ180度まで表します。

(3) 距離測量

水平距離と斜めの距離は、グラスファイバーメジャー、スチールテープ、または EDM（電子距離測定）を使用して測定できます。

垂直距離は、レベルおよびスタッフ（標尺）を使用して測定できます。

現在では、距離測量は、ほとんどの場合、EDMを使用して測量します。

トータルステーションは、現代の測量で使用する電子・光学機器で、電子トランシット（セオドライト）と電子距離計（EDM）を使用します。この機器は、対象物から機器までの斜めの距離、水平角および垂直角を測定できます。

3. その他

(1) 単位

工学の数量単位、S I 単位や工学的表記法は次のとおりです。

すうりょう 数 量	たんい 単 位	きごう 記 号
なが 長さ	めーとる せんちめーとる みりめーとる メートル, センチメートル, ミリメートル	m, cm, mm
めんせき 面積	へいほうめーとる 平方メートル	m ²
たいせき 体積	りっぼうめーとる 立法メートル, 立法センチメートル	m ³ , cm ³
しつりょう 質 量	きろぐらむ キログラム	kg
じかん 時間	じ ふん びょう 時 分 秒	h m' s''
そくど 速度	めーとるまいびょう メートル毎 秒	m/s
かそくど 加速度	めーとるまいびょうまいびょう メートル毎 秒 毎 秒	m/s ²
みつど 密度	りっぼうめーとる あ きろぐらむ 立法メートル当たりのキログラム	kg/m ³
おんど 温度	ど 度	°C
かくど 角度	ど もしくは らじあん 度もしくはラジアン	° or rad
しゅうはすう 周波数	へるつ ヘルツ	Hz
ちから 力	にゅーとん ニュートン	N
もーめんとりよく モーメント力	にゅーとんめーたー ニュートンメートル	Nm
あつりよく 圧 力	ばすかる パスカル	Pa
えねるぎーしごとりょう エネルギー仕事量	じゅーる ジュール	J
でんりよく 電 力	わっと ワット	W
でんりゅう 電 流	あんぺあ アンペア	A
でんあつ 電 圧	ぼると ボルト	V
ていこうち 抵抗値	おーむ オーム	Ω

たん い ばいすう ひょうき
SI単位 倍数の表記

たん い 単位	な ま え 名前	りょう 量
G	ギガ giga	$\times 10^9$
M	メガ mega	$\times 10^6$
K	キロ kilo	$\times 10^3$
m	ミリ milli	$\times 10^{-3}$
μ	マイクロ micro	$\times 10^{-6}$
n	ナノ nano	$\times 10^{-9}$
p	ピコ pico	$\times 10^{-12}$

すいしんりょく けいさん
(2) 推進力の計算

例題 1

$$F = (P_w + P_e) \times \pi \times (B_s / 2)^2 + f_o \times L$$

すいしんりょく
F : 推進力

せんたんていこうりょく
P_w : 先端抵抗 1 50 kN/m²

か っ た ち ゃ ん ば な い あ つ り ょ く
(カタチャンバ内圧力)

せんたんていこうりょく
P_e : 先端抵抗 2 150 kN/m²

せつさくていこうりょく
(切削抵抗)

く っ し ん き が い け い
B_s : 掘進機外径 2 m

すいしんかんしゅうめんていこうりょく
f_o : 推進管周面抵抗 10 kN/m

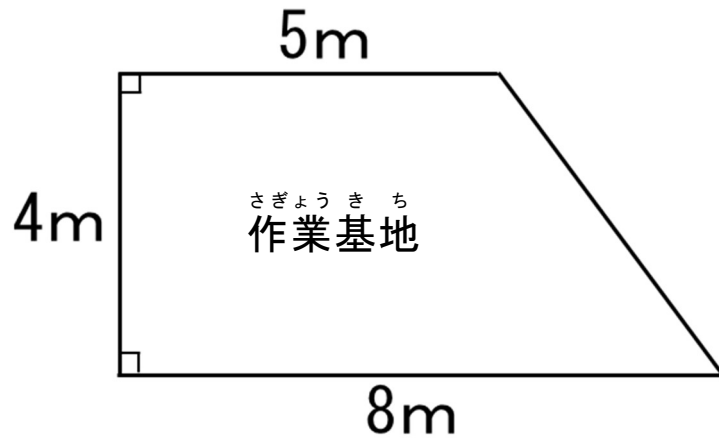
すいしんえんちよう
L : 推進延長 200 m

えんしゅうりつ ばい
ただし、円周率 π は 3.14 とします。

すいしんりょく
このとき、推進力 F は、2628 kN です。

(3) 作業基地面積の計算

例題 1

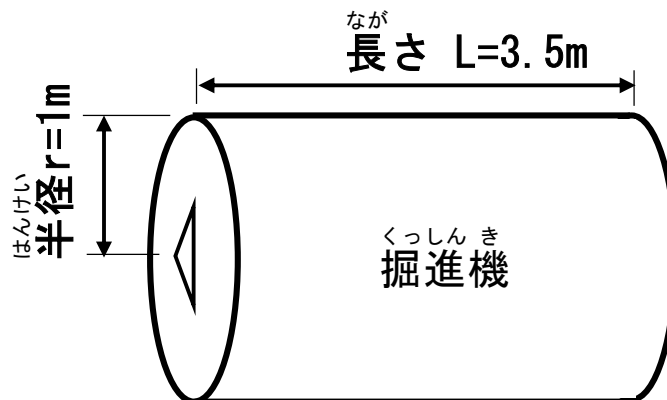


この作業基地の面積 A (m^2) は、

$$A = (5 + 8) \times 4 \times 1/2 = 26 (\text{m}^2)$$

(4) 掘削土量の計算

例題 1



この掘進機の体積 V (m^3) は、

$$V = \pi r^2 \times L$$

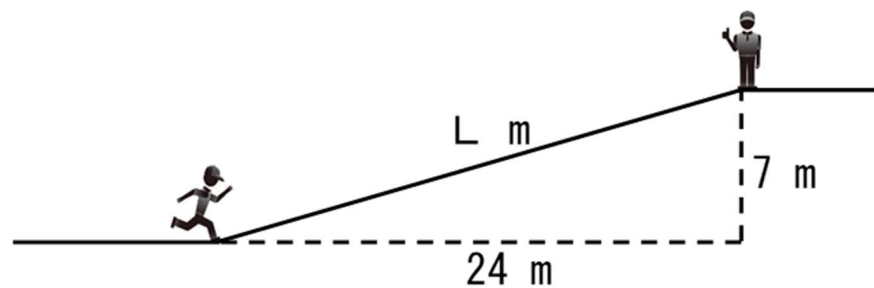
$$= 1 \times 1 \times \pi \times 3.5$$

ただし、 π は 3.14 とすると、

$$= 10.99 \text{ m}^3$$

（５）^{しゃきより}斜距離^{けいさん}の計算

^{れいだい}例題 1

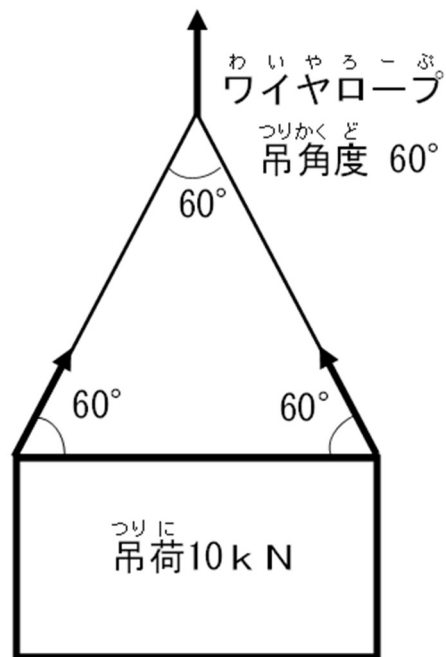


この図の^ず人^{ひと}が移動した^{いどう}斜距離^{しゃきより} L は、25m です。

$$\begin{aligned} L &= \sqrt{7^2 + 24^2} \\ &= \sqrt{49 + 576} \\ &= \sqrt{625} \\ &= 25 \quad \text{m} \end{aligned}$$

(6) ワイヤロープの計算

例題 1



この図の吊角度 60° のワイヤロープ1本に掛かる荷重 T は、
 5.77 k N です。

ただし、 $\cos 30^\circ = 0.866$ とします。

$$2 \cdot T \cdot \cos (60^\circ / 2) = 10 \text{ k N}$$

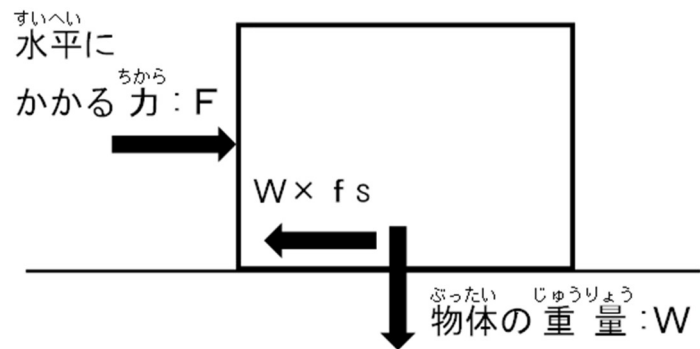
よって、

$$T = 10 / 2 / \cos (60^\circ / 2)$$

$$= 5 / 0.866$$

$$= 5.77 \text{ k N}$$

(7) 荷の移動(摩擦抵抗 力 f_s)



水平にかかる 力 : F

摩擦係数 : f_s

物体の重量 : W

重量 W の物体が水平面にあるとき、

$F < W \times f_s$ ならば 物体は動きません。

$F > W \times f_s$ ならば 物体は動きます。

例題1

$$F = 15 \text{ N}$$

$$W = 20 \text{ N}$$

$f_s = 0.5$ のとき、

$$W \times f_s = 20 \times 0.5$$

$$= 10$$

よって、この物体は動きます。

(8) 立坑照明の計算

例題 1

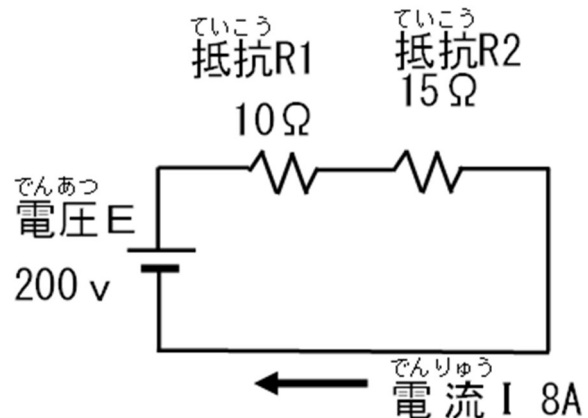
電圧 $E = 200 \text{ V}$

抵抗 $R_1 = 10 \Omega$

抵抗 $R_2 = 15 \Omega$ のとき、

この図の回路において、

流れる電流 I は、 8 (A) です。



$$I \text{ (A)} = 200 \text{ (V)} \div (10 + 15) \text{ (}\Omega\text{)}$$

$$= 8 \text{ (A)}$$

例題 2

電圧 $E = 200 \text{ V}$

抵抗 $R_1 = 10 \Omega$

抵抗 $R_2 = 15 \Omega$ のとき、

この図の回路において、

流れる電流 I は、 33.3 (A) です。



$$I \text{ (A)} = 200 \text{ (V)} \times (1 \div 10 + 1 \div 15)$$

$$= 200 \text{ (V)} \times (10 + 15) \div (10 \times 15) \text{ (}\Omega\text{)}$$

$$= 33.3 \text{ (A)}$$

(9) 立坑下の水圧

立坑に地下水が溜まったとき、立坑底面の水圧Pは、
0.1MPa(100kPa)です。

$$P = \rho \cdot h \cdot g$$

ρ : 水の密度 ($\div 1000 \text{ kg/m}^3$)

h : 水深 (10m)

g : 重力加速度 ($\div 9.81 \text{ m/s}^2$)

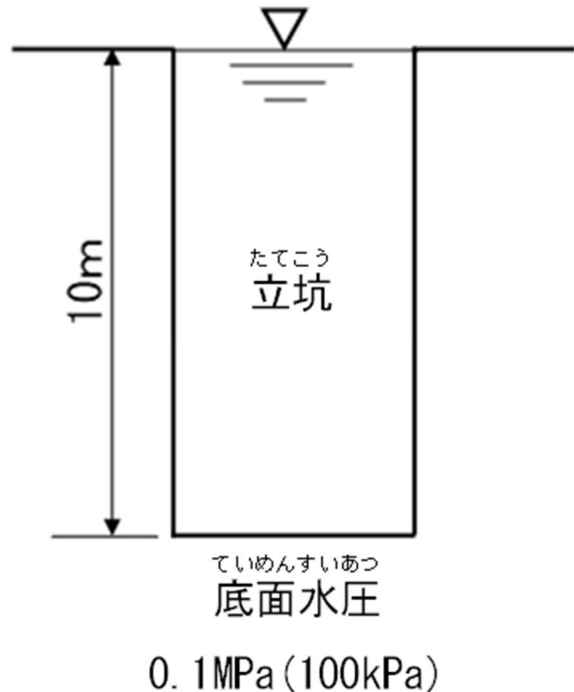
$$= 1000 \times 10 \times 9.81$$

$$= 98100 \text{ Pa}$$

$$\div 100000 \text{ Pa}$$

$$= 100 \text{ kPa}$$

$$= 0.1 \text{ MPa}$$



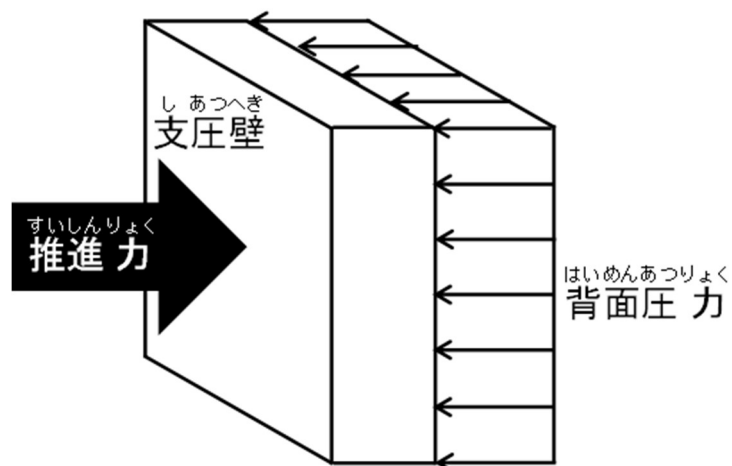
(10) 支圧壁の圧力

幅4m、高さ2mの支圧壁に1000kNの推進力の反力が掛かったとき、背面に伝わる圧力Pは、125kPaです。

$$P = 1000 / (4 \times 2)$$

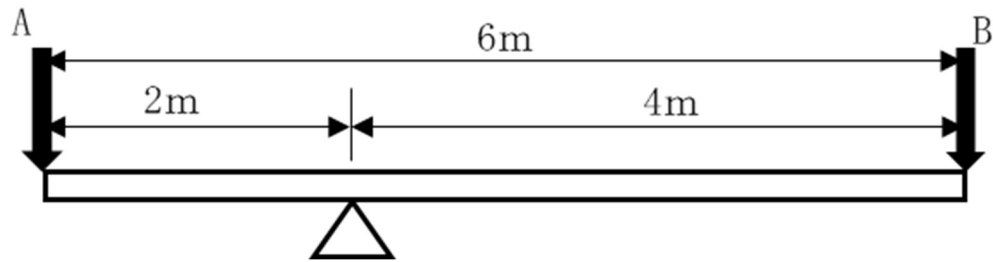
$$= 125 \text{ kN/m}^2$$

$$= 125 \text{ kPa}$$



(11) 力の釣り合い

図において、A 点に 10N の力が掛かったとき、釣り合うためには、B 点に 5N の力が必要です。



A = 10N のとき

A 点のモーメント力 M_A

$$M_A = 10 \times 2$$

$$= 20 \text{ N} \cdot \text{m}$$

釣り合っているとき、B 点のモーメント力 M_B は、

$$M_B = 20 \text{ N} \cdot \text{m}$$

このときの B 点の力は、

$$B = 20 / 4$$

$$= 5 \text{ N}$$

VI. 安全対策（トンネル推進工）

1. 共通事項

2. トンネル推進工の安全

（トンネル内作業）

3. トンネル推進工の安全

（高所作業等立坑等）

1. 共通事項

- (1) 雇入時教育、新規入場者教育
- (2) 建設現場で多発する労働災害
- (3) 正しい服装
- (4) 建設現場の安全ルール
- (5) 4S活動（整理・整頓・清掃・清潔）
- (6) 安全施工サイクル
- (7) 現地KY活動
- (8) 建設業労働災害防止協会（建災防）統一安全標識

2. トンネル推進工の安全（トンネル内作業）

- (1) 坑内作業での安全
- (2) 粉じん作業での安全
- (3) 酸欠・有害ガスの対策（呼吸用保護具）
- (4) 騒音・振動作業での安全
- (5) 切羽作業での安全

3. トンネル推進工の安全（高所作業等立坑等）

- (1) トンネル推進工の立坑作業
- (2) 墜落制止用機器
- (3) 開口部作業での安全
- (4) 飛来・落下の危険作業での安全
- (5) 重量物取扱い作業での安全
- (6) ガス・溶接作業での安全
- (7) アーク溶接作業での安全

1. 共通事項

(1) 雇入れ時教育・送り出し教育・新規入場者教育とは
労働安全衛生法では、事業者がさまざまな安全衛生教育を実施することが定められています。労働者は必要な教育を受けることができます。

1) 雇入れ時教育：

事業者は、労働者を雇入れた時、従事する業務に関する安全衛生教育を実施します。

2) 新規入場者教育：

事業者は、建設現場に新たに入場する作業者に対し、現場の状況、作業概要、危険箇所、現場のルール等の教育を実施します。(本人の実務経験、健康状態等を確認し、適正配置の参考とします。)

※上記の他、協力会社が作業者を建設現場に送り出す前に、安全教育等を行う送り出し教育等を実施します。また、移動式クレーンの運転操作などの危険を伴う作業を行うためには、法令に定める免許の取得、技能講習や特別教育の受講が必要となります。



（２）建設現場で発生した労働災害の例

く れ ー ん てんとう
クレーンの転倒



かいたい さぎょう ひらい らっ か
解体作業での飛来・落下



ど しゃほうかい
土砂崩壊



きやたつ ついらく
脚立からの墜落



ば っ く ほ う
バックホウにひかれる



あし ば く み た て さぎょう ついらく
足場組立作業での墜落



ついらく
はしごからの墜落

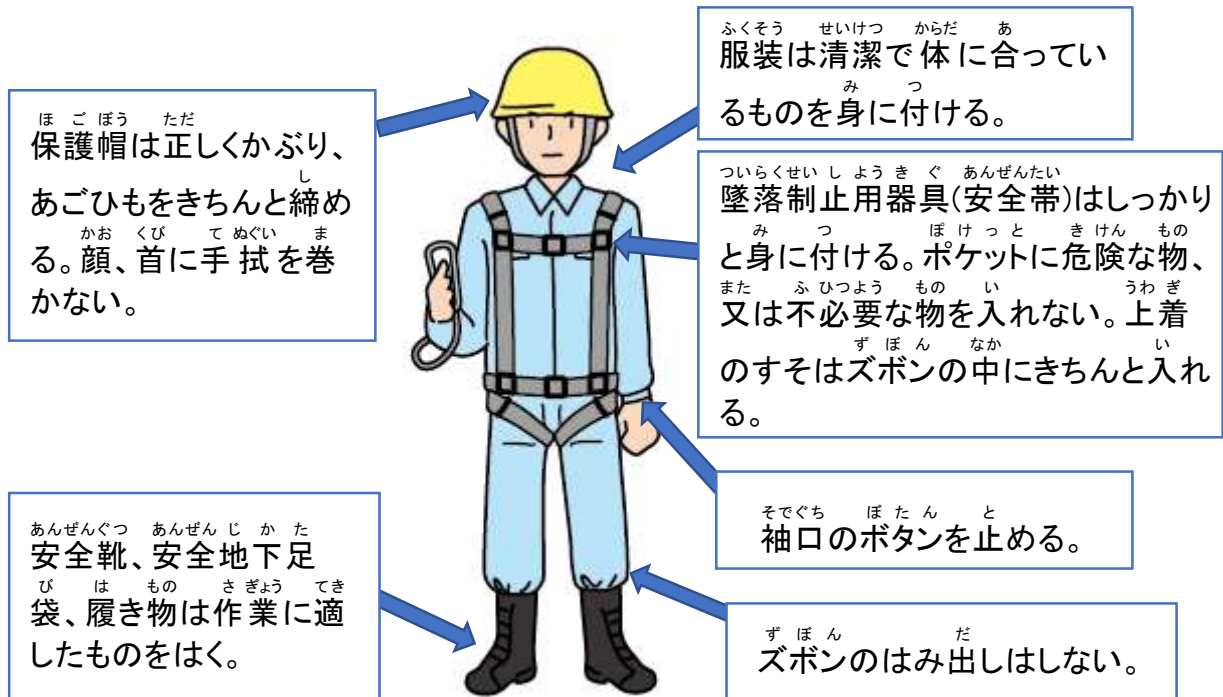


に
つり荷にはさまれ



(3) 正しい服装

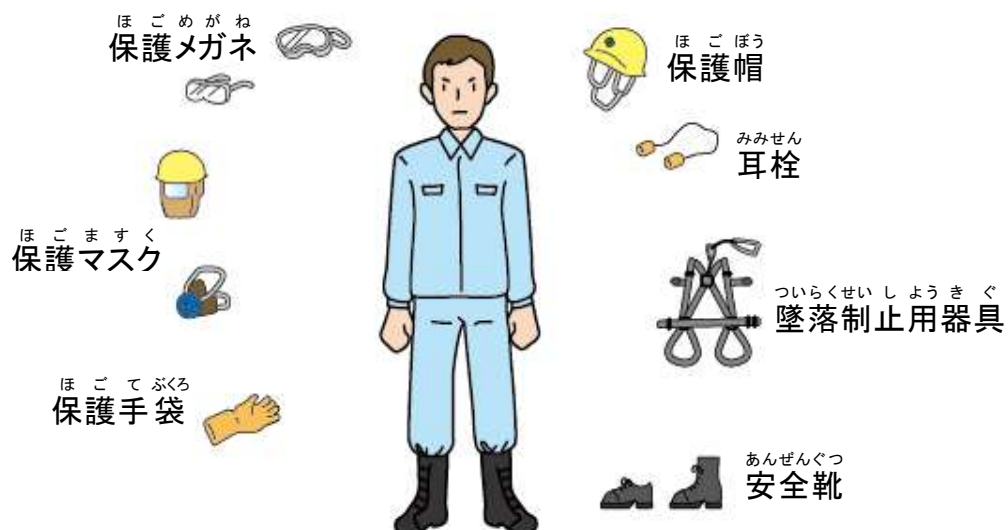
安全の第一歩、服装は正しく着用することです！



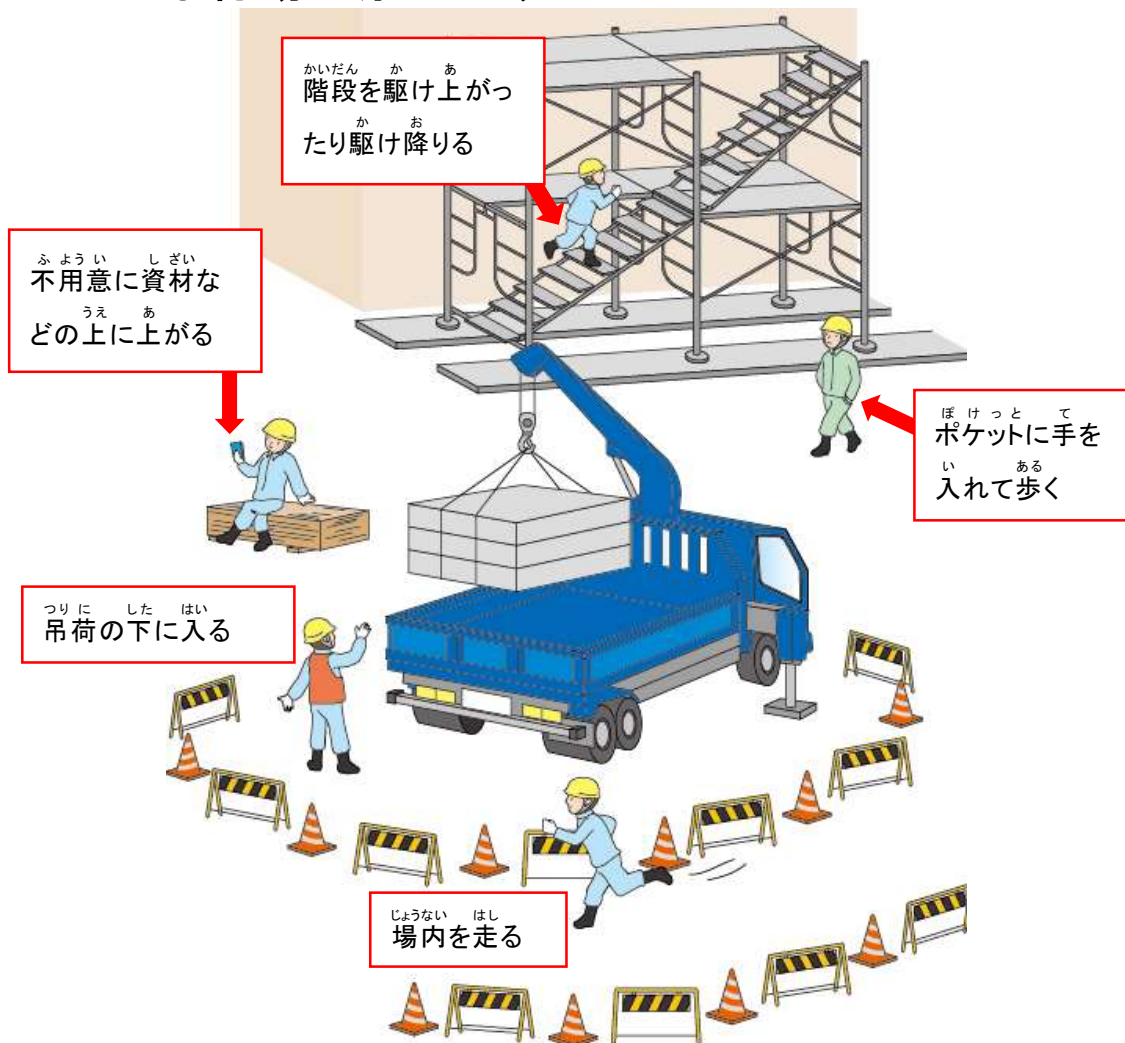
※「墜落制止用器具」はフルハーネス型が原則ですが、高さが5m以下の場合は「胴ベルト型」を使用できます。

[正しい保護具]

作業に応じ、必要な保護具の着用が定められており、保護具は正しく装着することで自分の身を守ります。



けんせつげん ば あんぜん る ー る
（４）建設現場の安全ルール
 こうどう きん し
＜こんな行動は禁止です！＞



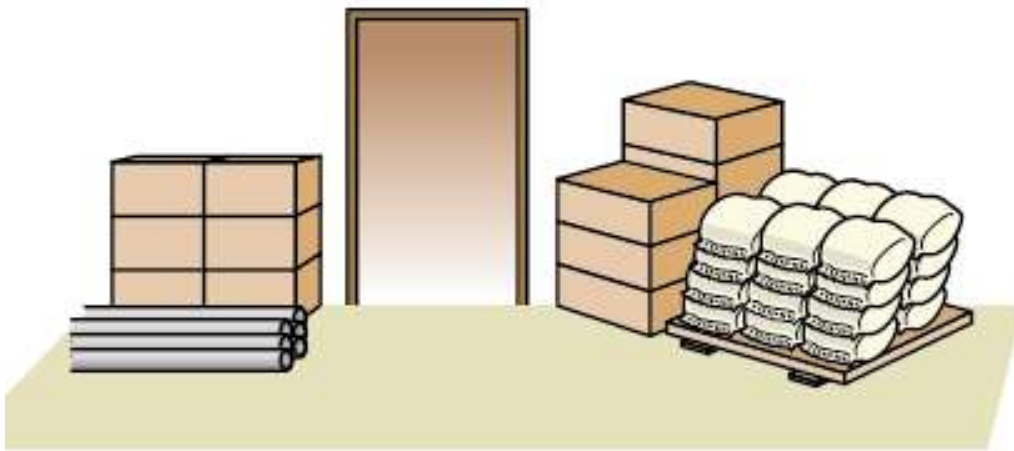
まも
＜守るべきこと＞

- あんぜんつう ろ かなら し ょう
 ・安全通路を必ず使用すること。
- じゅう き どう さ ぎょうはんけい ない た い
 ・重機等の作業半径内は立ち入らないこと。
- し ざい お ば どう ふ よう い ちか
 ・資材置き場等に不用意に近づかないこと。
- かい い じょう さ ぎょう ば しょ い どう して い しょうこうせつ び し
 ・2階以上の作業場所への移動は指定された昇降設備を使用すること。
- きゅうけい ば しょ して い ば しょ じ かんたい まも
 ・休憩場所は指定された場所、時間帯を守ること。
- さ ぎょう ない よう しょくちょう じょうちょうとう し じ げんしゅ
 ・作業内容は、職長や上長等の指示を厳守すること。

(5) 4 S活動 (整理・整頓・清掃・清潔)
4S : Seiri・Seiton・Seisou・Seikestu

安全の基本は整理整頓です。

建設現場では、つまずいて転倒する災害も後を絶たちませんが、整理整頓をしっかりと行い、つまづく物がなければ、つまずきによる転倒は防げます。



『作業終了時』



- ・ 後片付けをする。
- ・ 施設の復旧をする。

(6) 安全施工サイクル

安全施工サイクルとは、現場の日常業務の中に、さまざまな安全活動を組み入れていくものです。

【毎日の安全施工サイクル】



(7) 現地KY (危険予知) 活動

KY: K i k e n Y o c h i



作業を行う場所へ行って、作業責任者を中心に「今日、この場所の作業では、どんな危険があるか、何に注意して作業を行えば安全か」を全員で話し合います。

- 1) 自分がこの場所で指示された作業をする場合、どんな危険が潜んでいるか考えましょう。

例) ・作業床に「落ちそうな穴」はないか？

・機械と接触しそうな場所はないか？

・いつもと違う作業を指示されていないか？

- 2) 自分で考えたことを作業責任者に言ってください。

- 3) 作業責任者の指示を受けて納得しない場合は、納得するまで確認してください。

けんせつげんばいばん
 (8) 建設現場一般
 けんさいぼうとういつあんぜんひようしき
 建災防統一安全標識



たちいりきんし
立入禁止



きんえん
禁煙



かきげんきん
火気厳禁



ちゅうしゃきんし
駐車禁止



いっばんきんし
一般禁止



ずじょうちゅうい
頭上注意



あしちゅうい
足もと注意



かいこうぶちゅうい
開口部注意



かんでんちゅうい
感電注意



つらくちゅうい
墜落注意



ろかちゅうい
路肩注意



さんけつちゅうい
酸欠注意



ゆうきようざいしゅうちゅう
有機溶剤使用中



いっばんちゅうい
一般注意



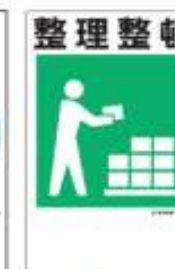
あんぜんたいしゅう
安全帯使用



ほごぼうちやくよう
保護帽着用



いっばんしじ
一般指示



せいりせいとん
整理整頓



さいだいせきさいかじゅう
最大積載荷重



きつえんじよ
喫煙所



たんか
担架



あんぜんつうろ
安全通路



しょうこうかいだん
昇降階段



きゅうけいじよ
休憩所



しょうかき
消火器



けいほうせつび
警報設備



せつちばしよ
AED設置場所

ずきごうしゅつてん
図記号の出典: JIS Z 8210: 2017

2. トンネル推進工の安全（トンネル内作業）

（1）坑内作業での安全

坑内で安全対策が必要な作業には次の作業があります。

- ・ 粉じん作業
- ・ 酸欠・有害ガスの対策
- ・ 騒音・振動作業
- ・ 切羽作業



きゅう ごくんれん たいせつ
救護訓練も大切

（2）粉じん作業での安全

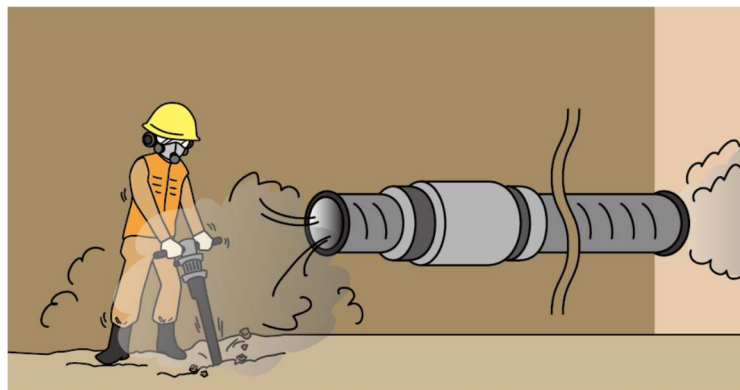
1）粉じんはこんな時に発生します

- ・ 岩盤やコンクリートのドリルによる削孔作業
- ・ 発破作業後の坑内
- ・ 破碎した土砂の積み込み作業
- ・ 吹付コンクリート作業
- ・ 坑内に堆積した粉じんが車両の通行や清掃での発散など

2）粉じん対策

粉じんの対策は、集塵装置などを用いて換気します。

また、散水や車両の速度制限を行います。



3) 呼吸用保護具

粉じん作業を行う場合には、防じんマスクを着用しなければなりません。

特に、坑内作業のうち、動力を用い

ての掘削や、積み込み、または積み下ろ

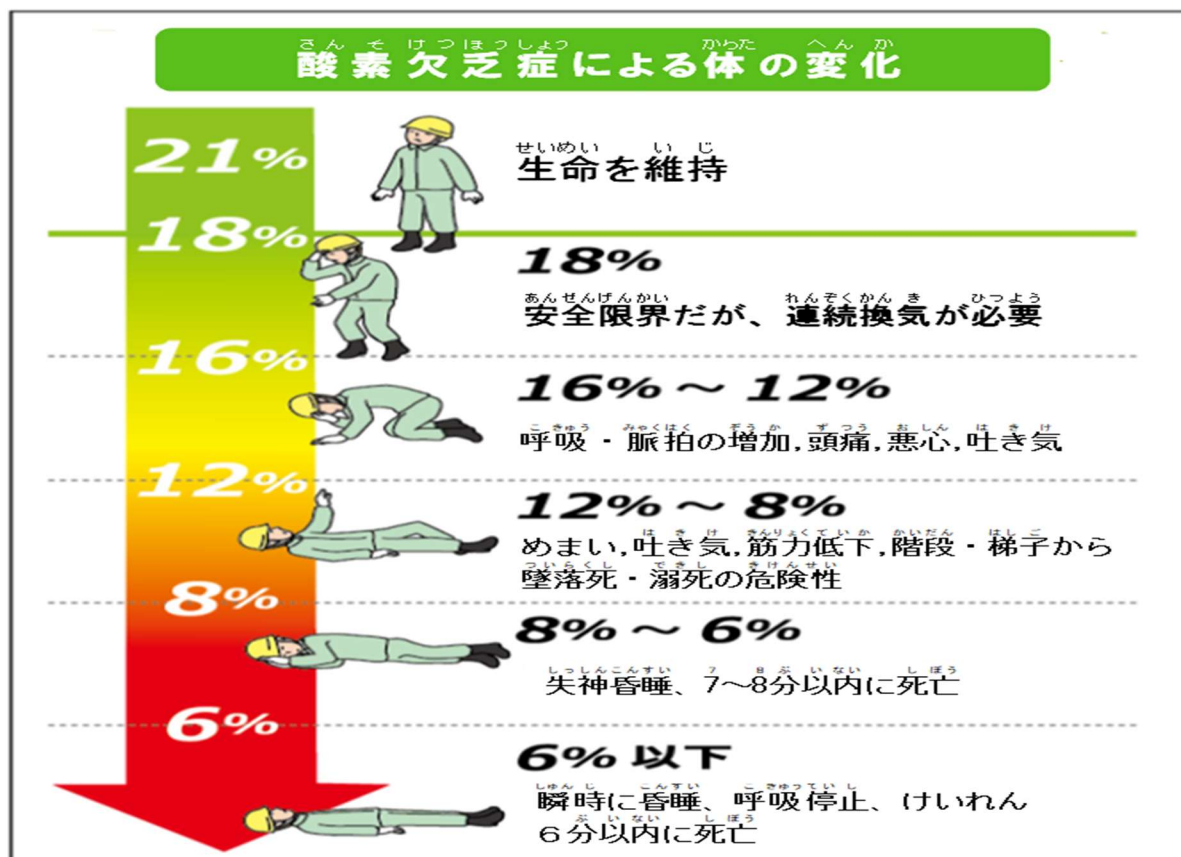
す場所における作業、コンクリート等

を吹き付ける場所での作業で使します。



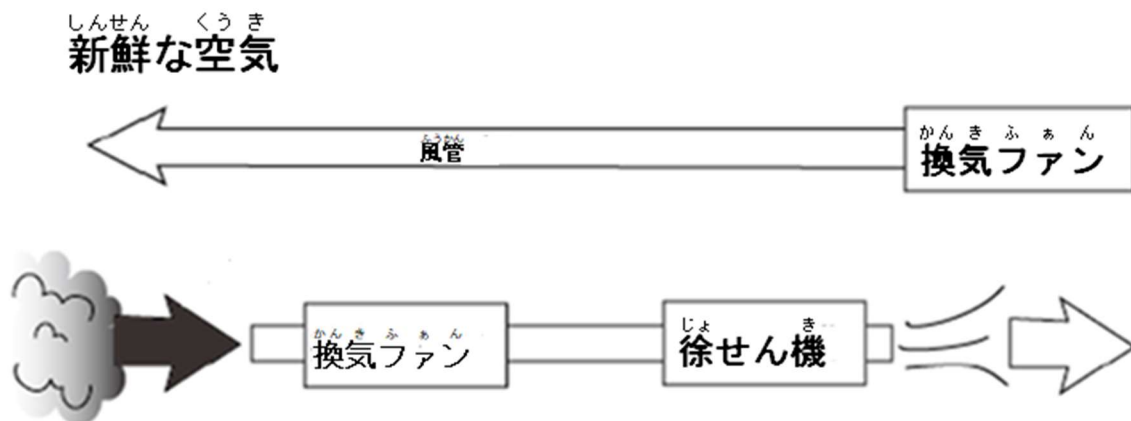
(3) 酸欠・有害ガスの対策

トンネル坑内では、酸素欠乏や有害ガスの発生に注意が必要です。一酸化炭素や二酸化炭素は無色無臭です。万が一保護具なしで同僚の救助に向かっていると、二次被害が発生してしまふことがあります。また、可燃性ガスは、爆発する危険があります。



1) 酸欠・有害ガス対策

坑内では、発生する有毒ガス等、汚染空気を吸引排出し、新鮮な空気を送り込む換気を行います。



2) 空気呼吸器

空気呼吸器とは、大気中の空気をそのまま圧縮して空気ボンベ(高圧空気容器)に充填した呼吸用保護具です。避難や救助などで使用します。避難や救助など万が一に備え空気呼吸器の使用方法についても習得しましょう。



(4) 騒音・振動作業での安全

手持ち振動工具を使用する場合、振動・騒音についての安全対策が必要となります。

1) こんな時が対象

振動工具を用いた作業として、岩石やコンクリートを砕く作業や、振動工具により人力で地盤を掘削する場合があります。

2) 作業時間

振動工具を用いての作業は、概ね1日2時間としています。

3) 保護具の着用

騒音被害の危険性を低減するには、イヤーマフや耳栓といった防音保護具を使用します。また、振動被害の危険性を低減するには、防振手袋を使用します。イヤーマフや手袋は消耗品なので、定期的に交換する必要があります。



(5) 切羽作業での安全

山岳トンネル工事における掘削の最先端（切羽）では地山が露出しているため、岩石の落下（肌落ち）等の危険があります。

1) 切羽の監視

切羽監視責任者が肌落ちを予知するため、監視を行っています。肌落ちにより被災するおそれのある場合には、直ちに切羽から退避します。

2) 保護具の着用

切羽作業者は保護帽、保護具（バックプロテクター等）、安全靴（安全長靴）、必要に応じて電動ファン付き呼吸用保護具等を着用します。



バックプロテクター

トンネル切羽防護具例

(6) 避難および消火の訓練



トンネル内作業は、地中深く、狭く閉ざされた空間(孔の中)の作業です。そのため、避難場所や坑内からの脱出口まで遠く、災害時での救助作業に時間を要することなどから、安全への配慮がとても重要です。

落盤、出水、ガス爆発、火災等に備え、退避方法、退避場所の確認や避難用具の使い方・消火方法などを身に付けておくことが大切です。

3. トンネル推進工の安全（高所作業等立坑等）

（1）トンネル推進工の立坑作業

- トンネル工事での立坑作業には、
- ・資機材の立坑内への搬出入作業
 - ・プラント作業

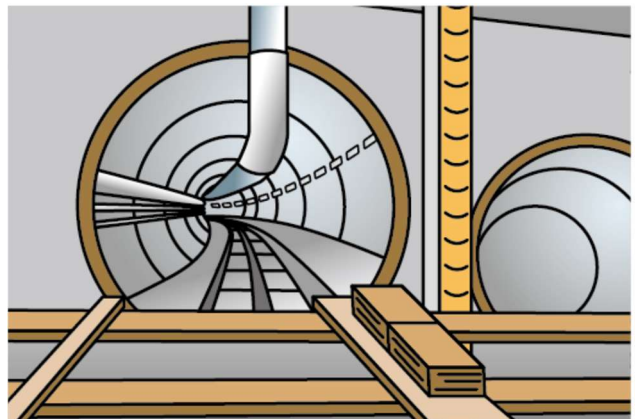
などがあります。

立坑は、工事の規模、施工条件により大きさや作業内容が異なります。転落や飛来落下に対する安全対策はとても重要です。

1) 立坑

立坑は、トンネル築造に必要な資機材を、坑内や路上へ運搬するために用いられます。

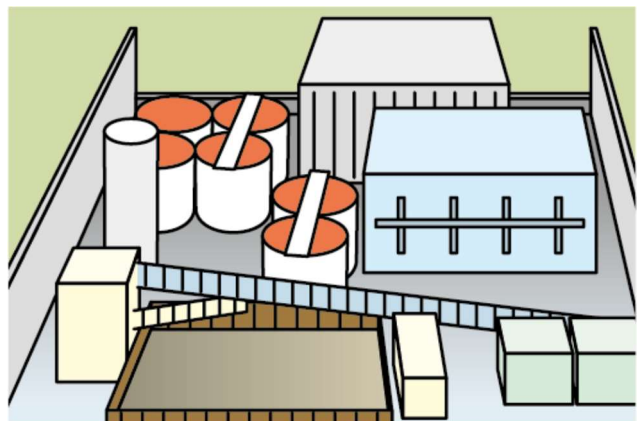
地上や立坑内において資機材等の重量物の搬出入などを行います。



2) プラント設備

プラント設備は、トンネル築造に必要な地上設備です。掘削土の処理や覆工材の保管場所などがあります。

これらの設置撤去やトンネル築造中の装置の運転などを行います。



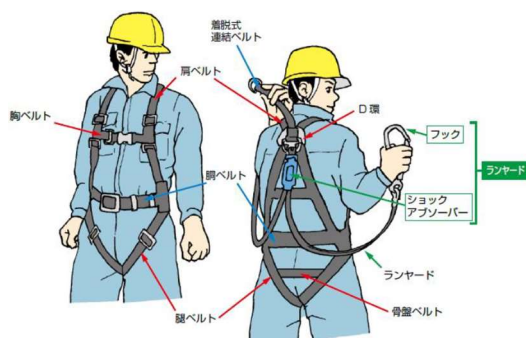
(2) 墜落制止用器具

1) こんなときが対象

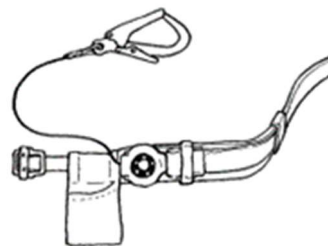
2m以上の高所作業で墜落する危険のある場合には、墜落制止用器具を着用します。

2) 墜落制止用器具の種類

墜落制止用器具には、胴ベルト型とハーネス型の2種類がありますが、胴ベルト型は、落下時の身体への負担が大きいため、『フルハーネス型』を使用することが原則です。



フルハーネス型



胴ベルト型

3) 利用の条件

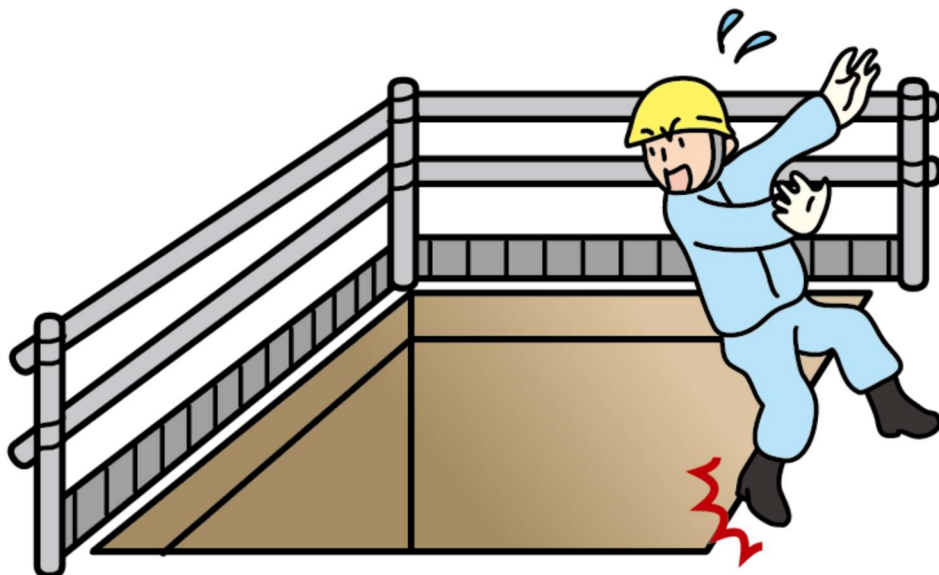
2m以上の作業床がない箇所又は作業床の端、開口部等で囲い・手すり等の設置が困難な箇所の作業での墜落制止用器具は、フルハーネス型を使用することが原則です。ただし、フルハーネス型の着用者が地面に到達するおそれのある場合（高さが6.75m以下）は、胴ベルト型（一本つり）を使用することができます。

4) 特別教育

墜落制止用器具（フルハーネス型安全帯）を用いる場合には、関係法令、使用方法などの実技を合わせた特別教育を受ける必要があります。

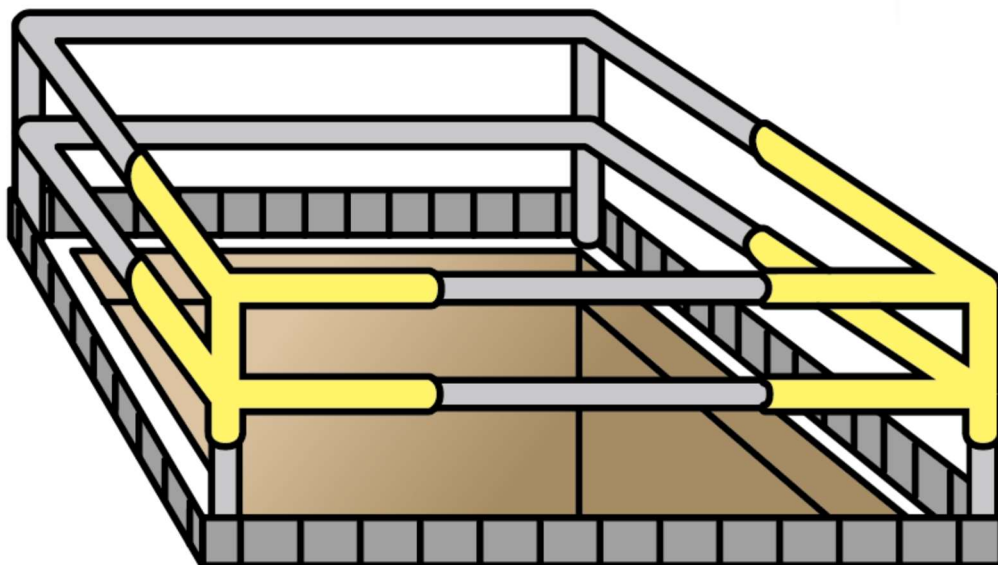
(3) 開口部作業での安全

資機材搬出入時の立坑上での作業では、開口部からの転落に注意が必要です。



1) 開口部での墜落防止

高さが2m以上の作業床の端、開口部等で墜落するおそれのある場所では、囲い、手すり、覆い等を設けなければなりません。

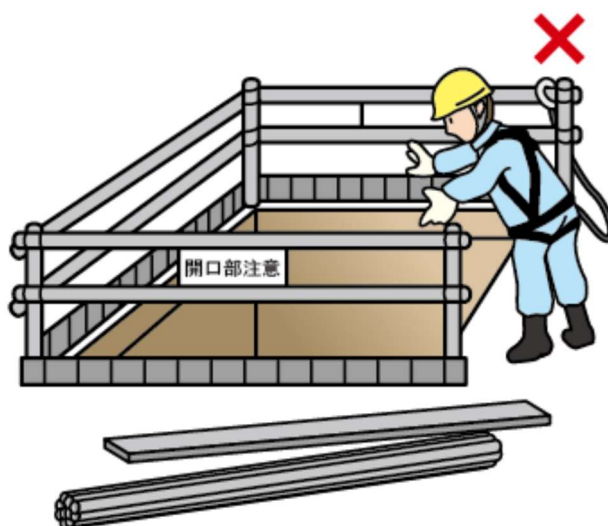


2) 開口部でのポイント

手すり等は、みだりに取り外してはいけません。作業の都合でやむを得ず取り外すときは、職長の許可をもらい、その必要がなくなった後、直ちに元通りにします。



開口部の手すり・中さんを取り外して行う作業では墜落制止用器具(安全帯)が必要で、フックを手すりにかけてはいけません。また、手すり又は中さんを踏み代わりに昇降してはいけません。

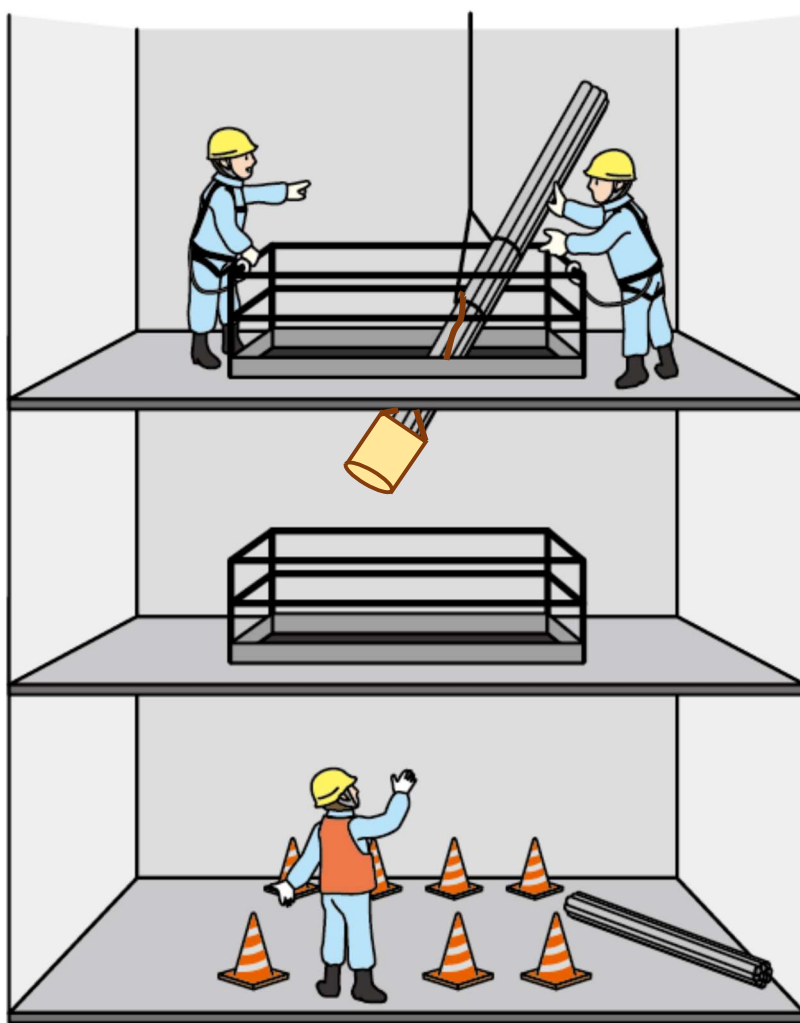


(4) 飛来・落下の危険作業での安全

材料などが開口部から落ち、立坑下の作業員を直撃するといった事故が発生しています。トンネル工事では、扱う資機材が大きくまた長尺である場合もあり、開口部との接触によりバランスを崩し、つり荷が落下してしまうことが考えられます。

材料搬入出時は、上下作業とならないよう、立入禁止措置を行います。

長尺物の場合には、荷が崩れないよう、介錯ロープを用います。また、開口部での荷の取込み時では、墜落制止用器具(安全帯)を用います。



(5) 重量物取扱い作業での安全

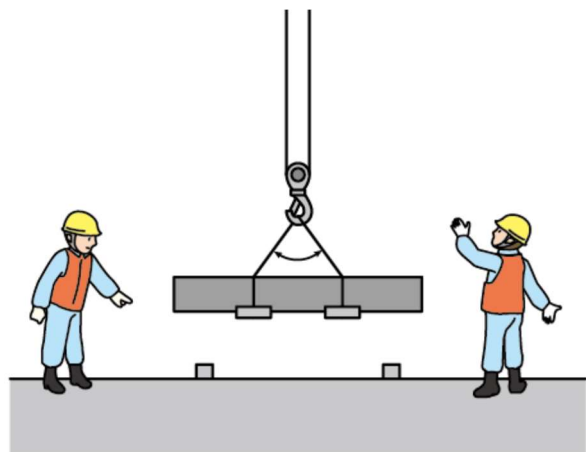
トンネル工事で扱う物品は大半が重い荷物になります。

- 掘進機や各種機器などの移動や立坑内への搬入作業
- セグメント(覆工材)や管の搬入作業
- 鋼製支保工や架台用鋼材の搬入や組立作業
- 材料の搬出入作業など



1) 玉掛け作業の資格

クレーン等の能力が1トン以上の場合、ワイヤーを掛けたりして、荷物を吊り上げたりさせる作業では、荷物の重さにかかわらず、「玉掛け技能講習」の修了者でなければなりません。



クレーンの運転には、資格が必要です。

2) 玉掛け作業での注意点

クレーン等でつり上げられている物の下には絶対に入ってはいけません。

(6) ガス切断等作業での安全

鋼製部材を加工するため、ガス切断が用いられます。ガス切断作業では、作業者の安全のほか、切断時に発生する火の粉などの周囲に対しての養生なども大切です。



1) ガス切断等の装置

酸素、アセチレン、プロパンなどのガスは、鋼製の高压ガス容器に充填されています。容器の色は、酸素が黒色、アセチレンが茶色で統一されています。

2) 保護具

作業者は、安全帽、保護めがね、呼吸用保護具、作業用手袋などを着用して作業を行います。

3) 資格

可燃性ガス及び酸素を混合して使用するガス溶接、切断等の作業を行う場合には、『ガス溶接技能講習』の修了者でなければなりません。

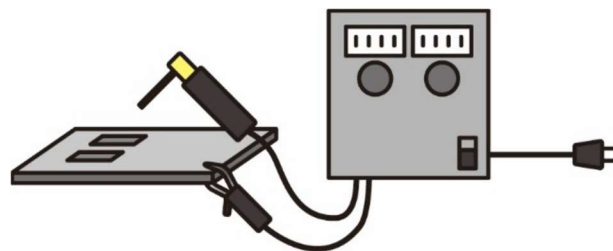
(7) アーク溶接作業での安全

アーク溶接は、鋼材の接合などの作業でトンネル工事ではよく利用されています。



1) アーク溶接の装置と方法

アーク溶接の装置には、溶接機本体とトーチ、アースがあります。



2) 安全対策

作業者は、安全帽、保護眼鏡、呼吸用保護具、作業用手袋などを着用して作業を行います。

3) 資格

アーク溶接作業を行う場合には、『アーク溶接特別教育』を受けなければなりません。

