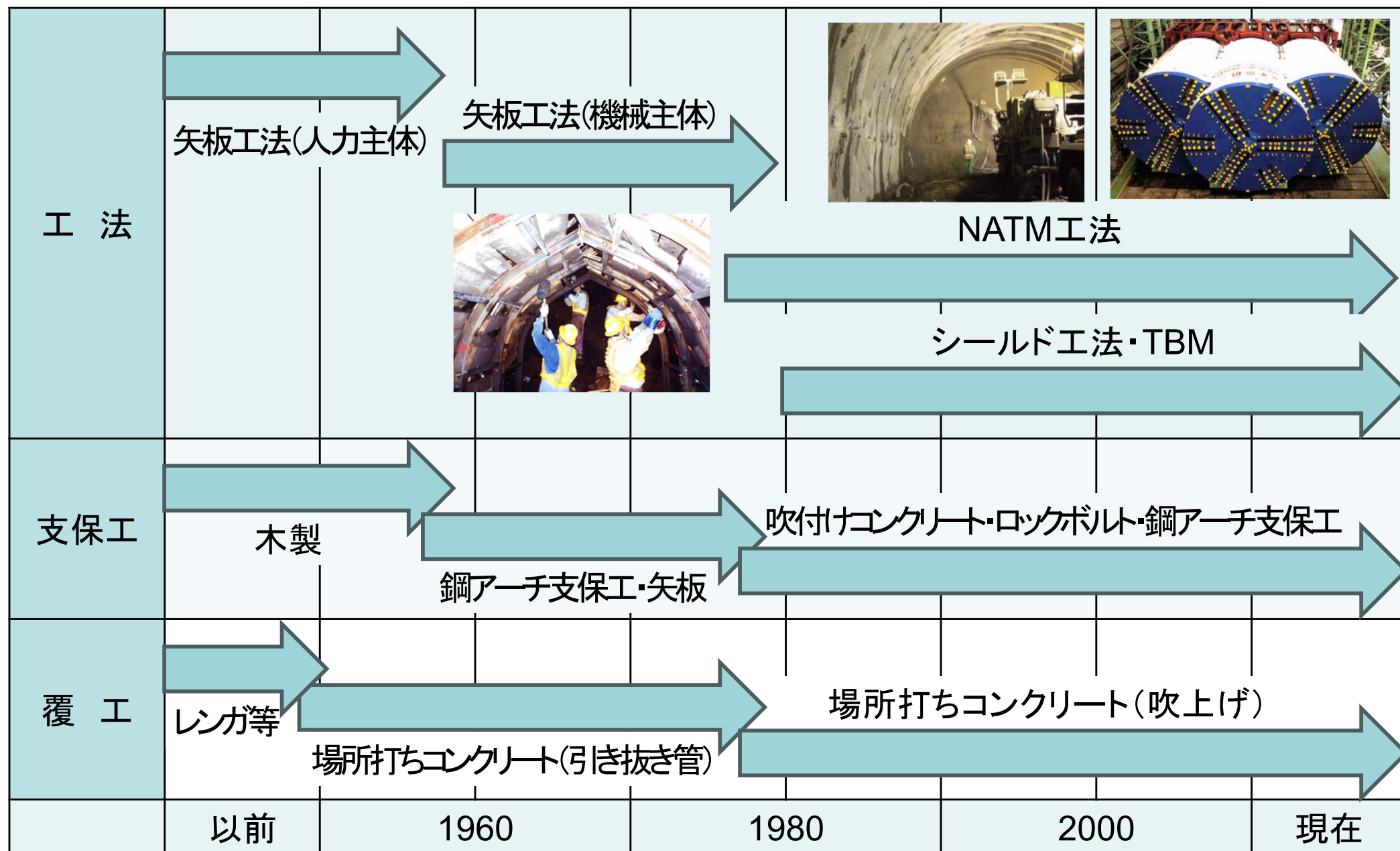


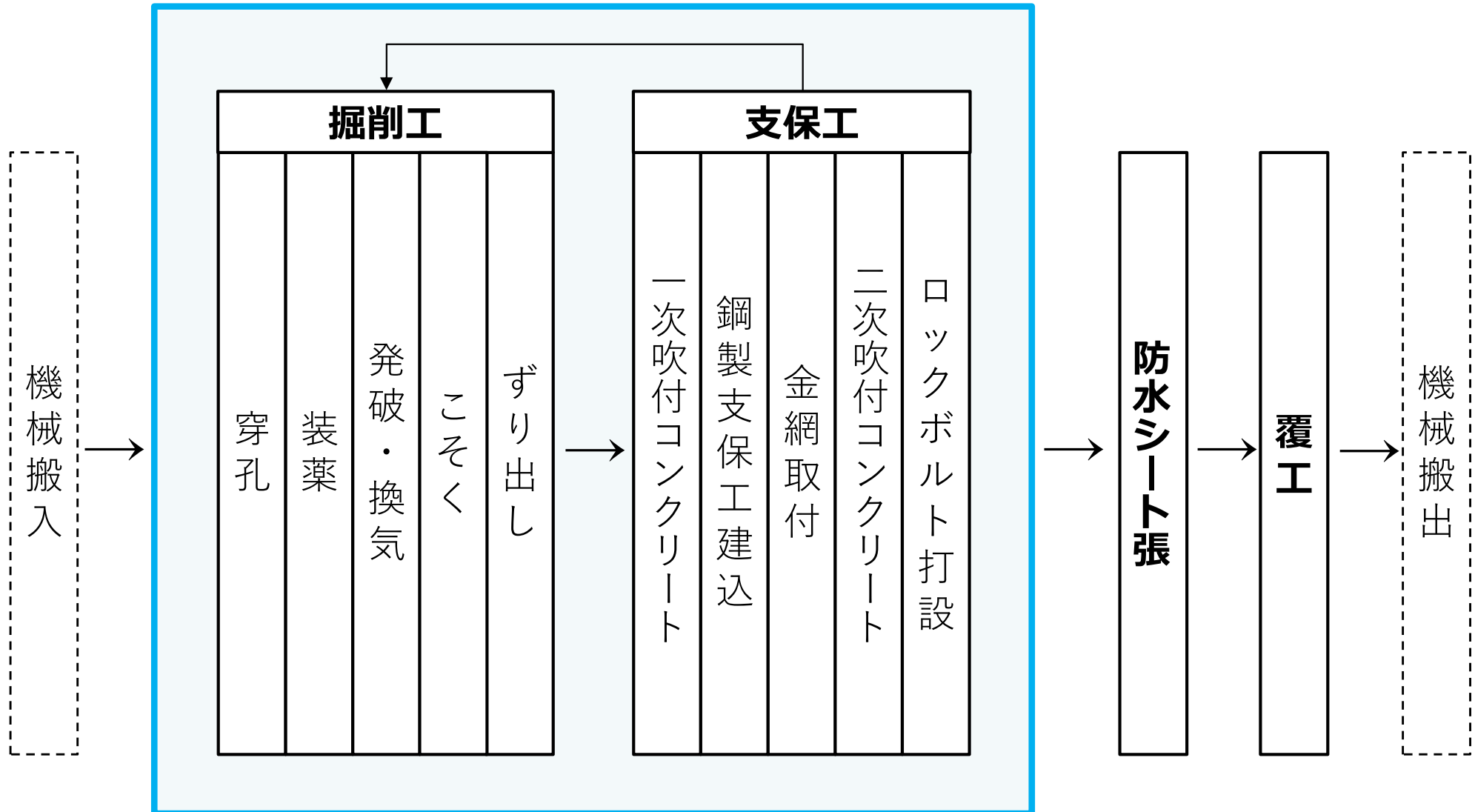
1. トンネル工事の特性

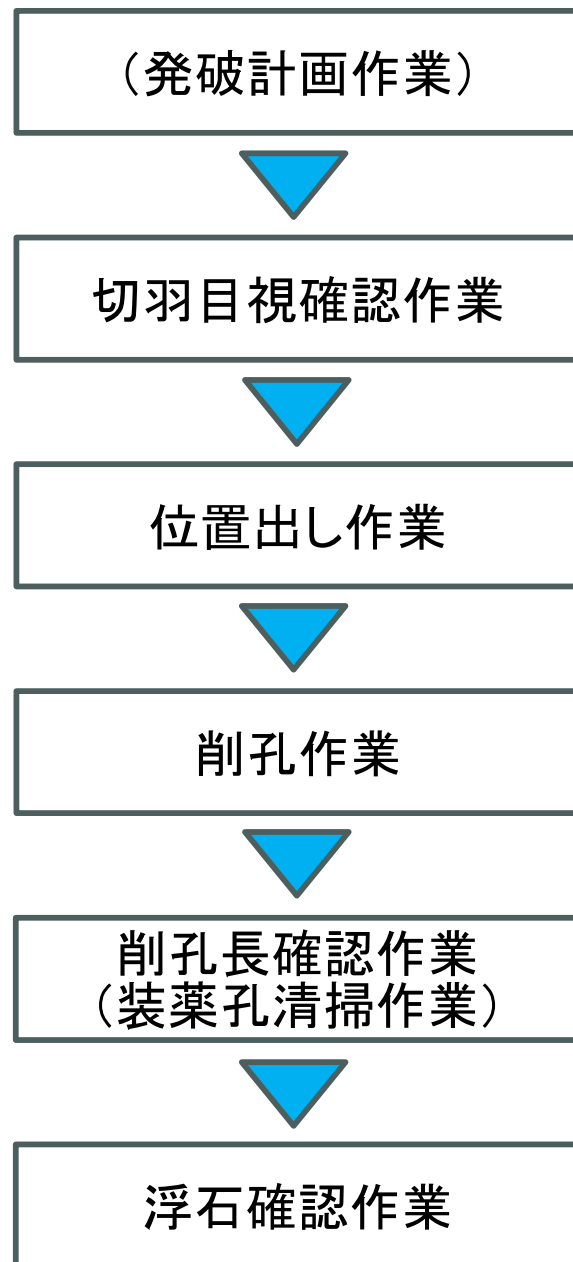
トンネル工法の技術的変遷



トンネル工事(NATM工法)の施工フロー

- トンネル工事のNATM工法では、複数の作業を段階的に進めて施工を実施。
- 掘削⇒ずり出し⇒鋼製支保工建込み⇒吹付けコンクリート⇒ロックボルト打設⇒掘削と、一定の作業ステップを繰り返し行いながら掘り進める。





装薬孔清掃作業状況

浮石点検・除去作業



親ダイ作成作業



装薬作業



結線作業



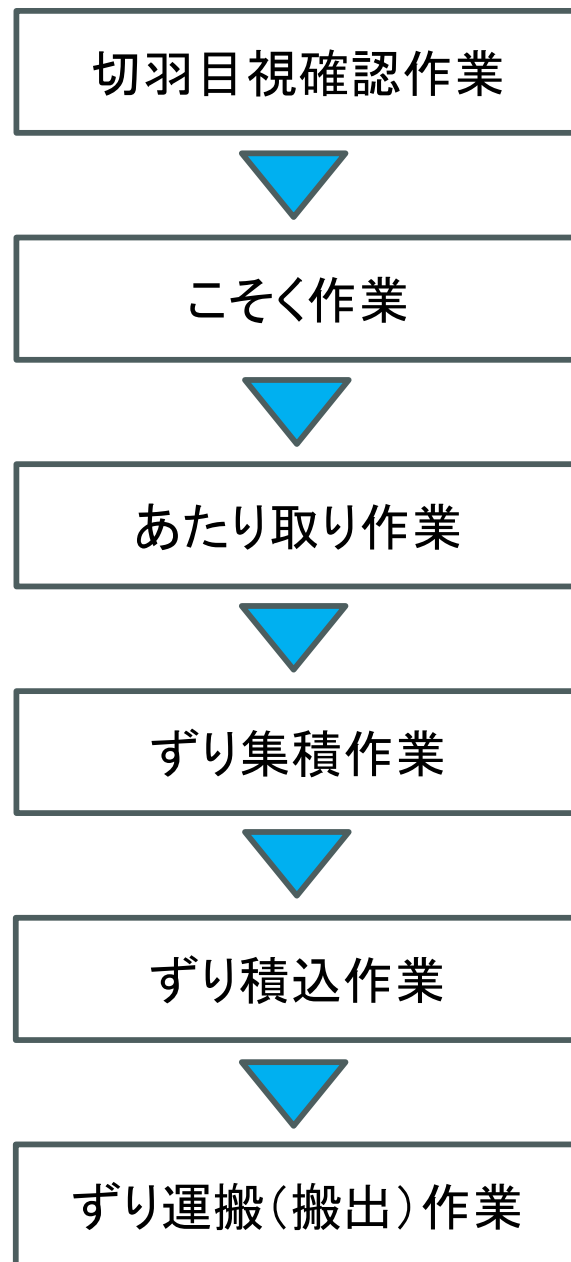
導通測定作業



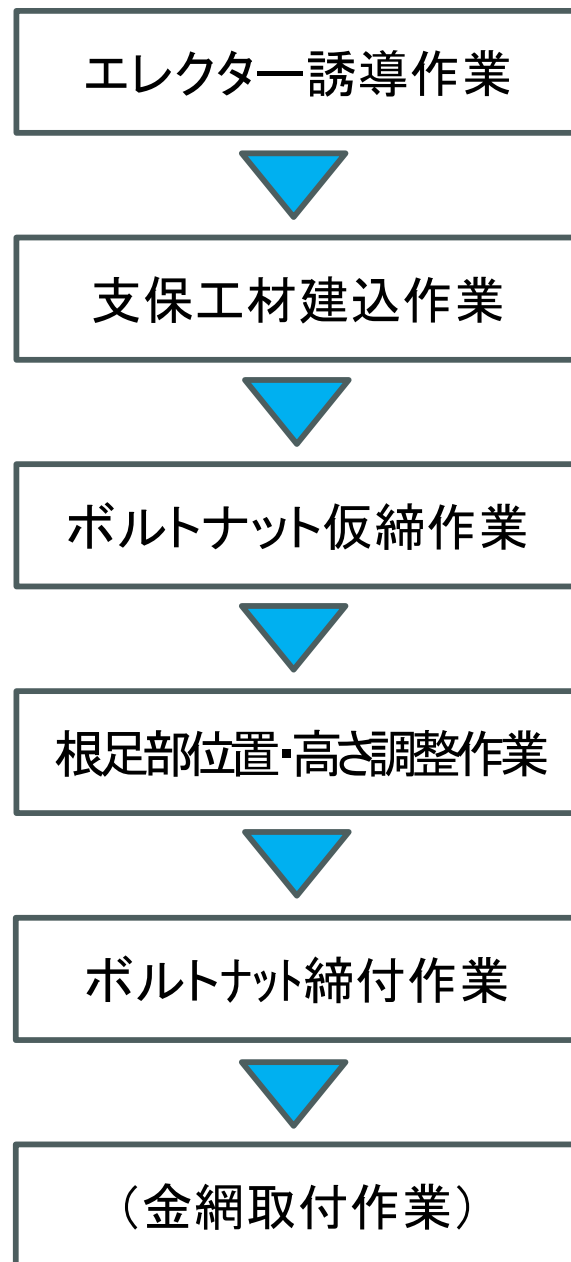
発破作業(点火作業)



装薬作業状況



ずり積込作業状況



鋼アーチ支保工材ボルトナット仮締作業状況

浮石点検作業



コンクリート吹付作業



コンクリート吹付作業状況

墨出し作業



削孔作業



削孔長確認作業



定着材注入作業



ロックボルト挿入作業



ベースプレート取付作業



ナット締付作業

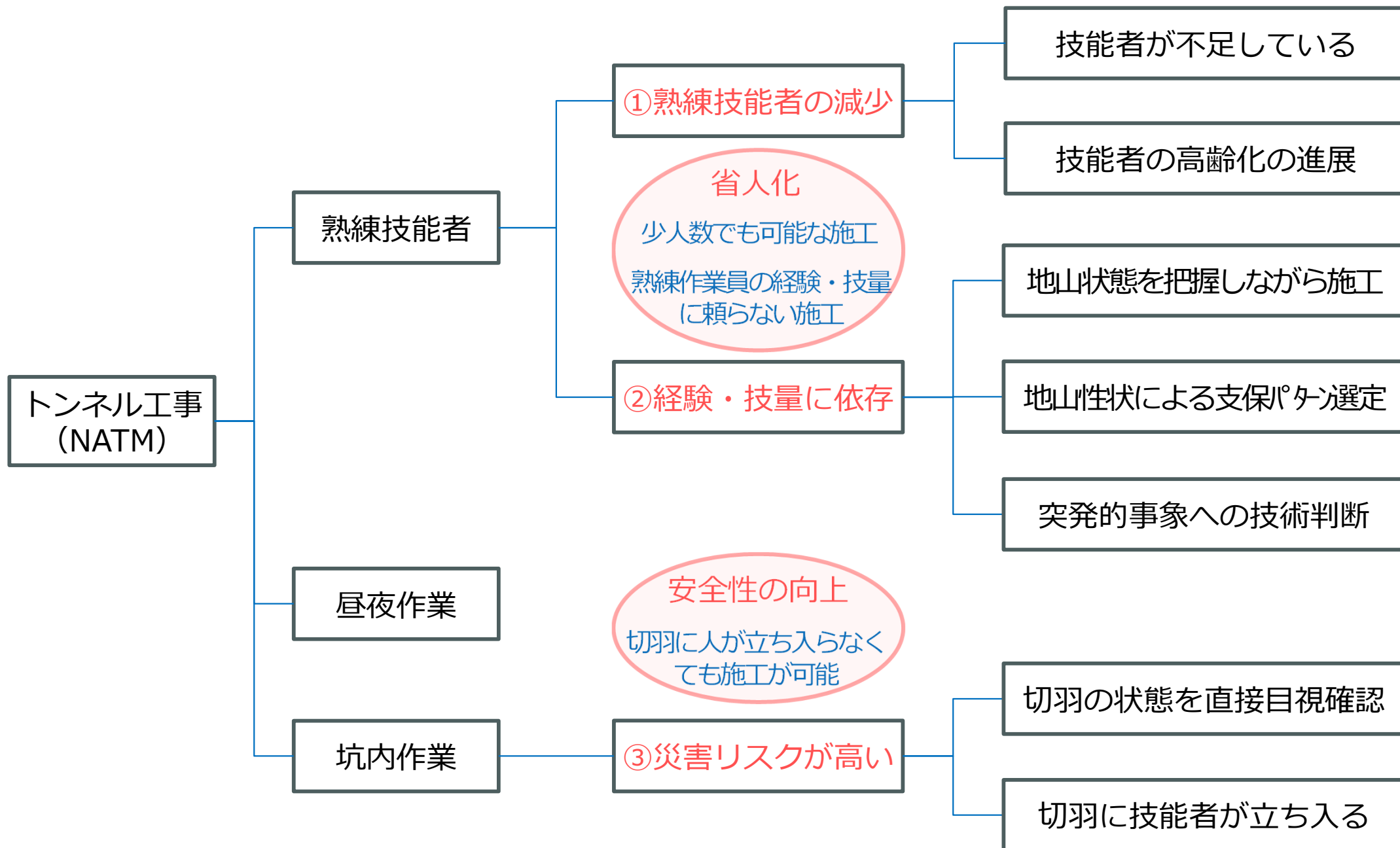


引抜き試験



ロックボルト挿入作業状況

山岳トンネル工事の特徴



①トンネル技能者の減少

○山岳トンネル工事に従事するトンネル技能者は、近年減少傾向。

〔技能者減少の背景〕

- 建設業全体の就業者数が減少しており、特に技能者の減少が顕著。また、55歳以上の割合が高く、若年層の入職が少ないため、高齢化が進んでいる。
- トンネル工事は、きつい、汚い、危険というイメージを持たれやすく、若者の入職が敬遠される傾向がある。
- 長年の経験と技術が必要なトンネル工事において、熟練技能者の高齢化による引退が進み、その技能を継承する人材が不足。
- 限られた空間で作業するトンネル工事は技能者の負担や危険が多い。

○ 作業員の経験や技量に頼るトンネル施工においても、高齢化や熟練者の不足が進行している。

技能者等の推移

<就業者数ピーク> <建設投資ボトム> <最新>

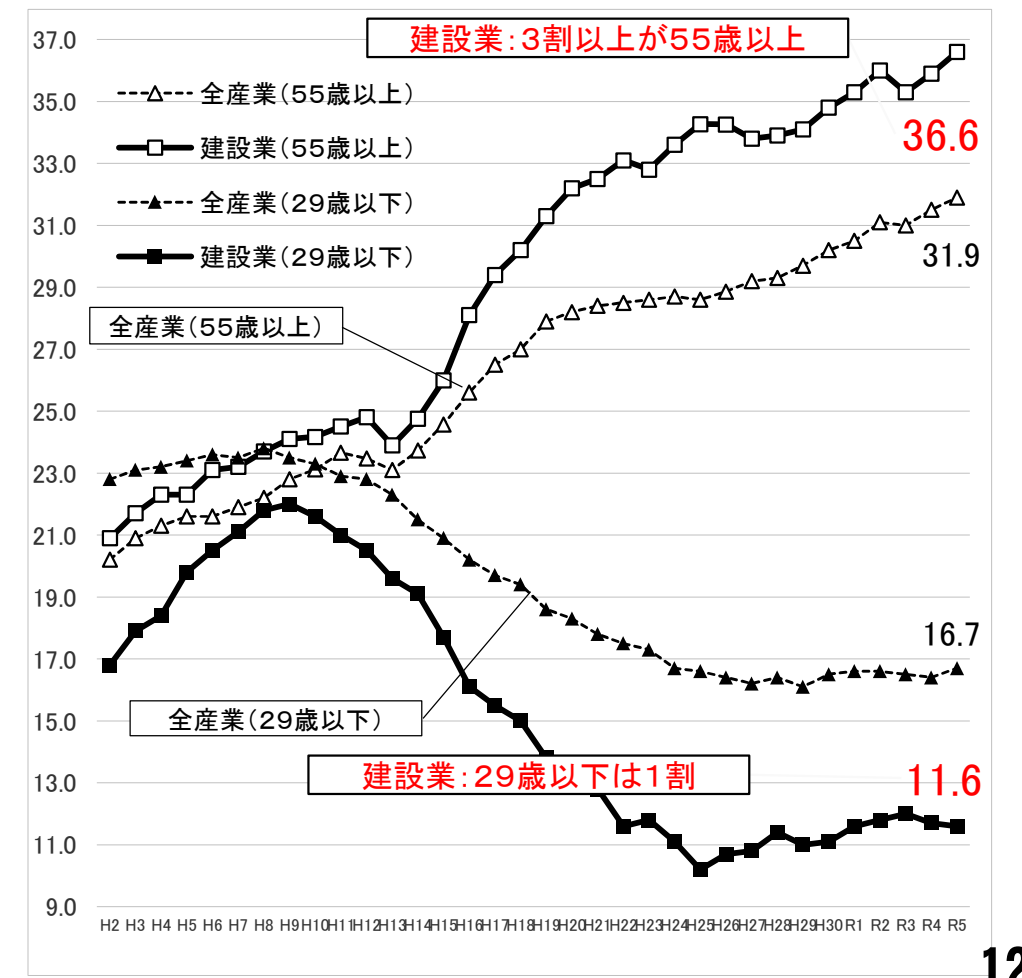
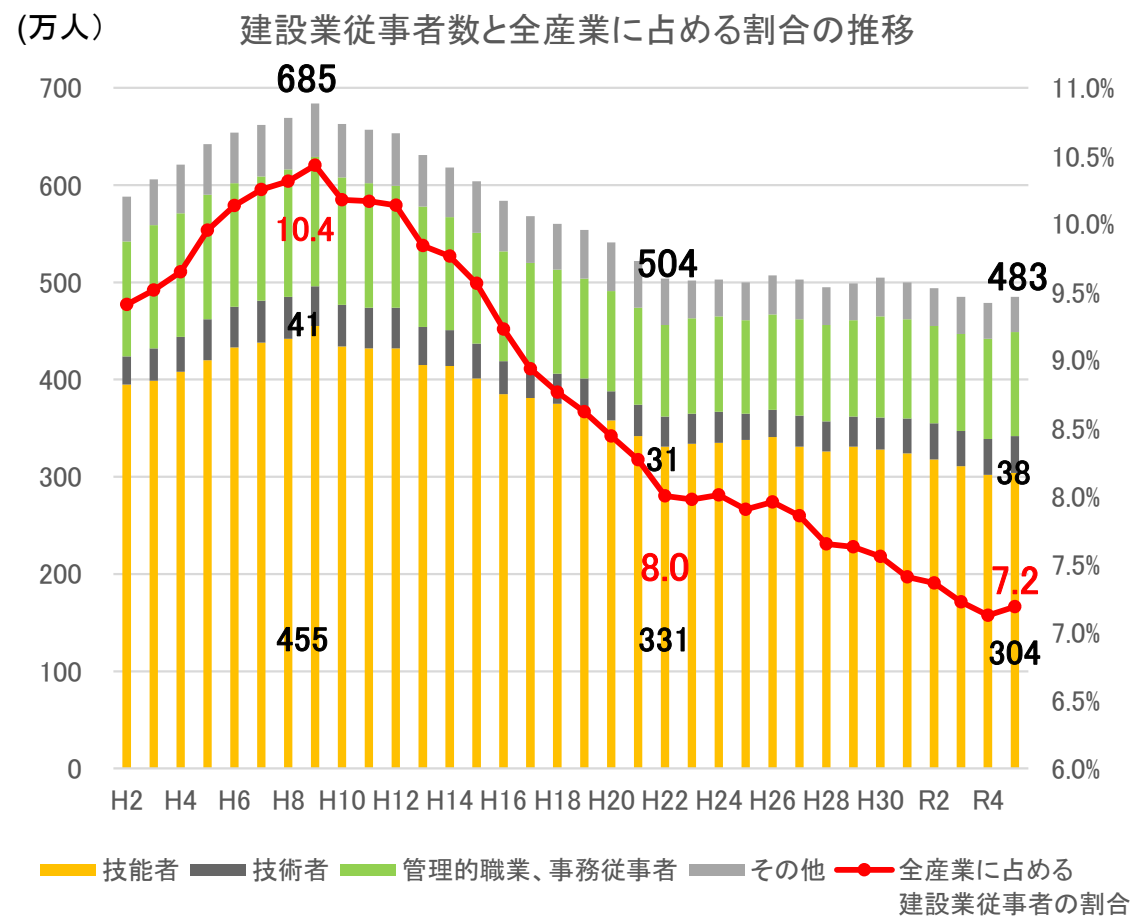
○建設業就業者： 685万人(H9) → 504万人(H22) → 483万人(R5)

○技術者： 41万人(H9) → 31万人(H22) → 38万人(R5)

○技能者： 455万人(H9) → 331万人(H22) → 304万人(R5)

建設業就業者の高齢化の進行

○ 建設業就業者は、55歳以上が36.6%、29歳以下が11.6%と高齢化が進行し、次世代への技術承継が大きな課題。
※実数ベースでは、建設業就業者数のうち令和4年と比較して55歳以上が5万人増加(29歳以下は増減なし)。

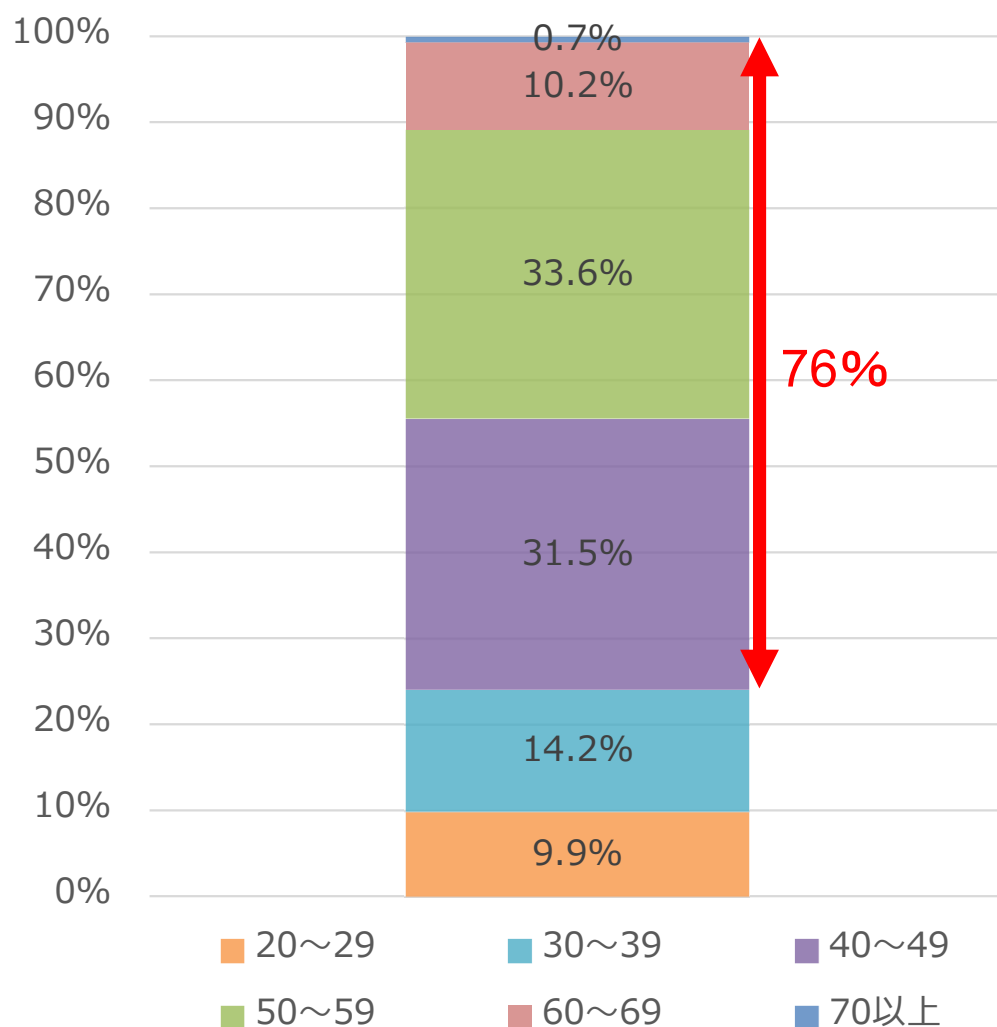


トンネル切羽作業員の年齢構成

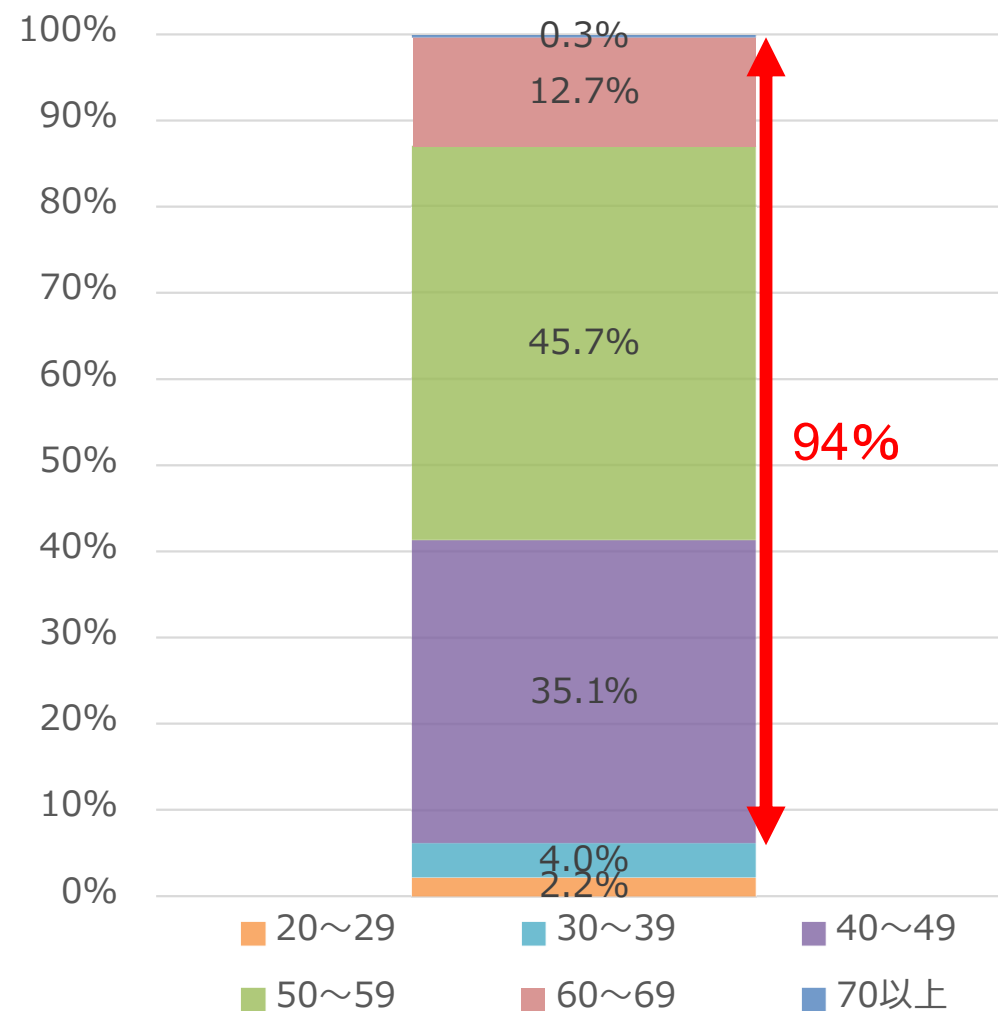
○トンネル切羽作業員の年齢構成は40歳以上が全体の76%、熟練技能者※では94%を占める。

※ここでは経験年数平均値+5歳と定義

年齢構成 全体



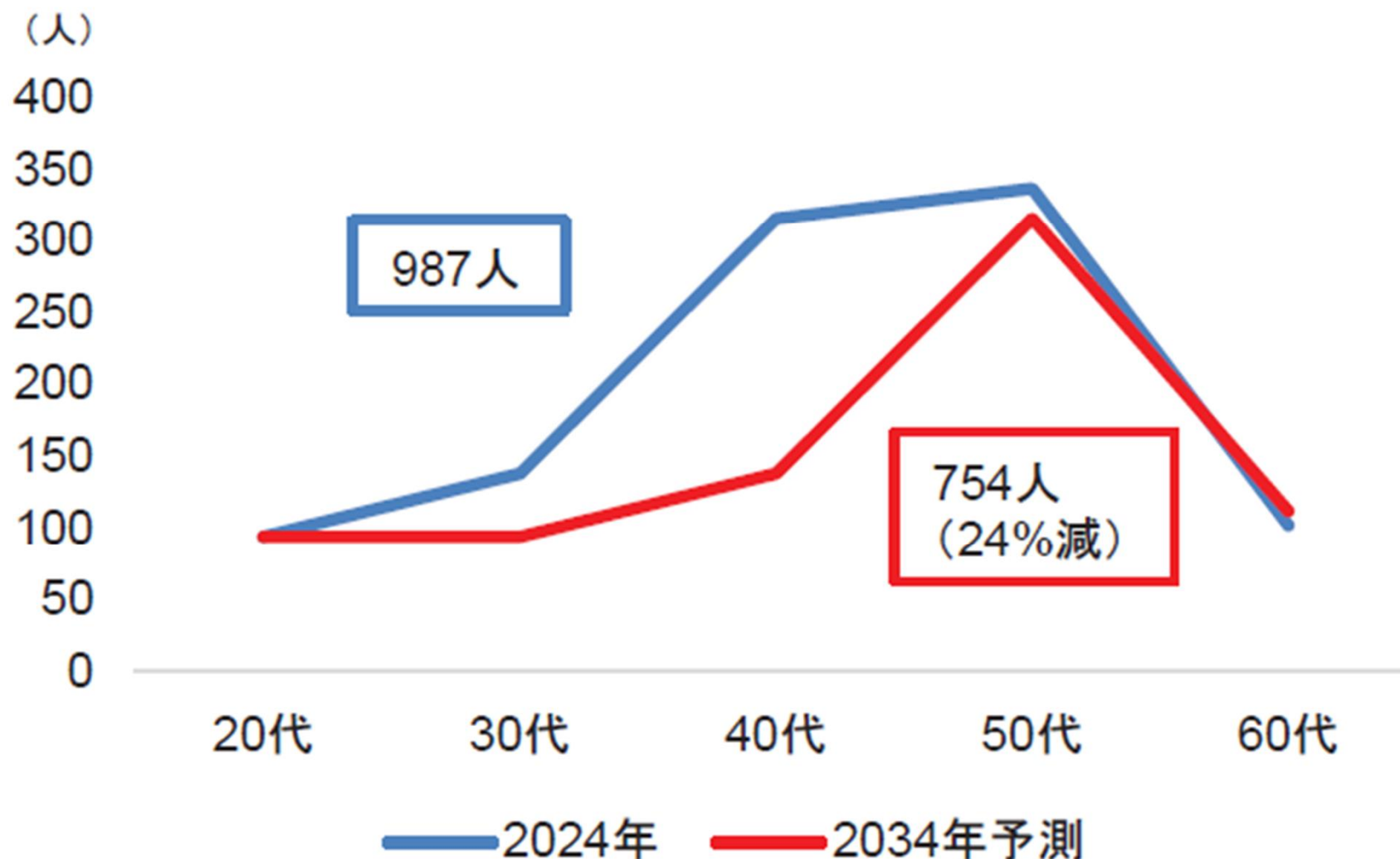
熟練技能者の構成



トンネル切羽作業員の年齢分布と10年後の予測

○ 現在のトンネル切羽作業員は、10年後に大幅に減少すると予測されることから、今後トンネルの自動化を早急に進める必要がある。

日建連 山岳トンネル自動化専門部会所属会社の協力会社12社の作業員数



出典：日建連山岳トンネル自動化専門部会 2023年度 切羽作業員の年齢構成調査

②経験・技量に依存した施工

○山岳トンネル工事は、熟練作業員の経験や技量に頼る部分が多い。

〔経験や技量が必要な背景〕

- 現場で得られた地山に関する情報に加えて、掘削時の音・振動・岩肌の様子・湧水の状況などを五感で捉え、地山の状態を的確に判断する経験的な知識が必要。
- 不良地山に柔軟な対応するため、トンネル切羽を直接目視で確認しながら、地山の性状に合わせて支保パターン(鋼製支保工・吹付けコンクリート・ロックボルト)を選定。
- 地山の状態を的確に把握する洞察力(観察力)
- 瞬時(即座、速やか)に適切な初期対応を行う判断力

⇒人の経験や判断に依存しており、機械による自動化が進んでいない。

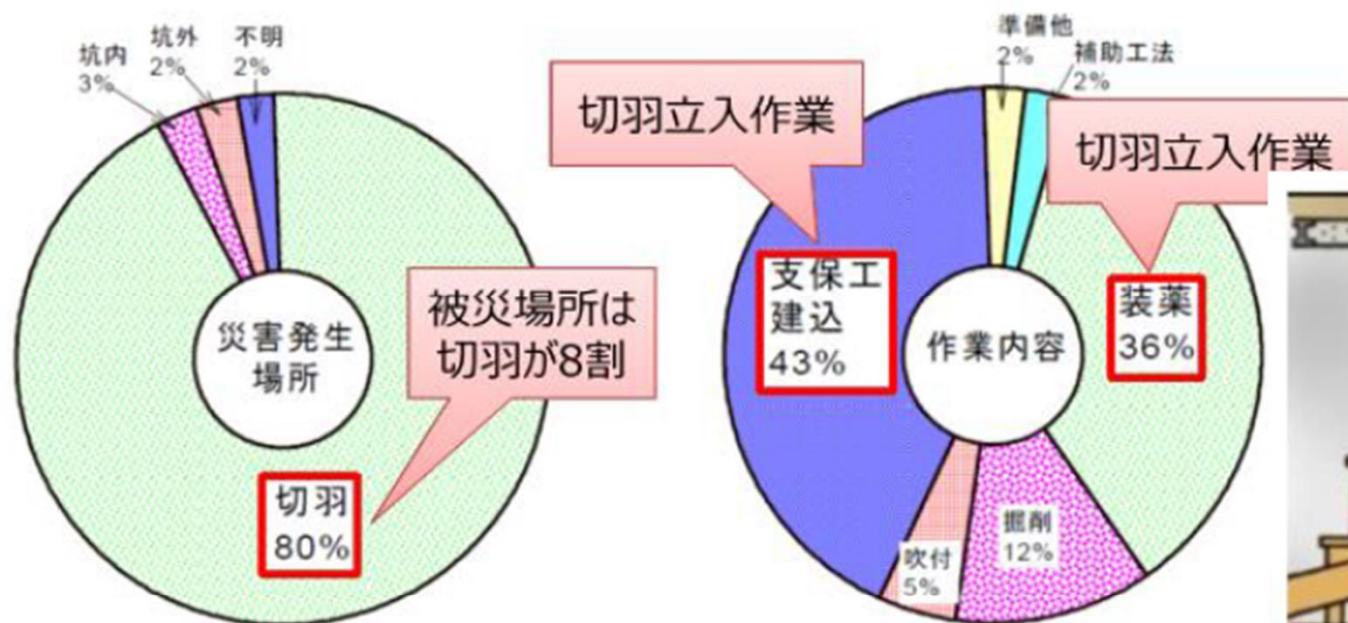
③災害リスクが高い

○山岳トンネル工事は、他工事に比べて災害リスクが高い。

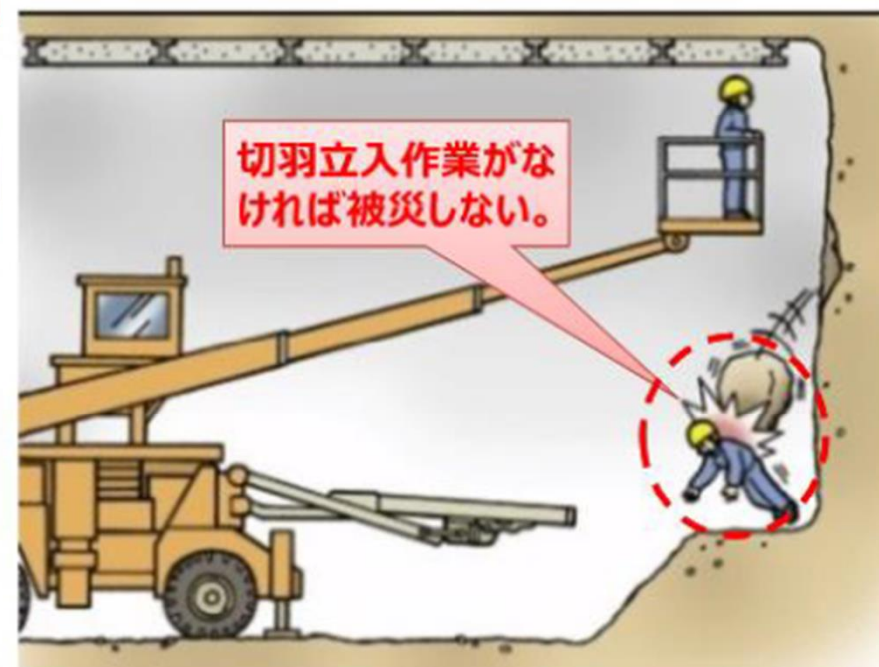
〔トンネル現場の災害リスクの背景〕

- トンネル切羽に技能者が立ち入って作業を行う必要がある。
- 山岳トンネル工事の災害発生率はひとときわ高く、特に、トンネル切羽箇所では災害が多く発生しており、その原因の一つとして支保工建込や装薬作業時における肌落ち災害が多い。
- トンネル掘削のずり出し作業は、狭隘な作業環境において複数の重機が連携作業を行う状態となっており、また重機の大型化に伴う死角の増大もあって重機接触災害が発生するリスクが高い。
- 限られた空間で作業するトンネル工事は技能者の負担や危険が多い。

トンネルにおける労働災害に関する分析結果



注) トンネル切羽からの肌落ちによる労働災害の調査分析と防止対策の提案
2012年 労働安全衛生総合研究所より抜粋

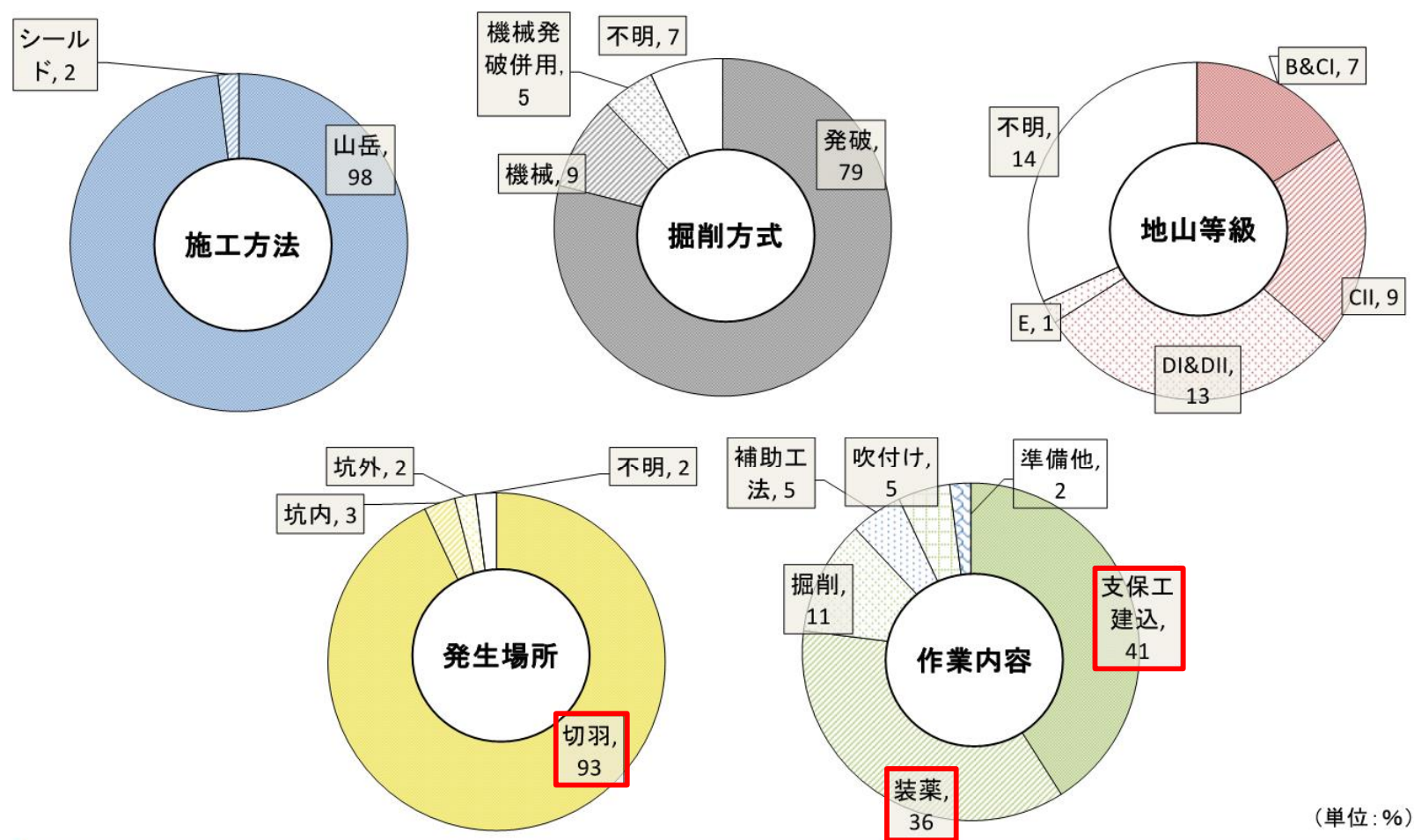


『山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン』

2016年(平成28年)12月 厚生労働省より発出

○トンネル工事において、トンネル切羽箇所では災害が多く発生しており、その原因の一つとして支保工建込や装薬作業時における肌落ち災害が多い。

トンネル工事における肌落ち災害の発生状況



一般社団法人日本トンネル専門工事業協会アンケート(平成24年3月公表)をもとに、労働安全衛生総合研究所が平成12年から20年の44件の肌落ち災害について分析したもの。

トンネル工事で切羽に立入りが必要な作業

①穿孔・装薬作業

○切羽の確認 ○穿孔位置のマーキング ○孔内清掃 ○装薬・結線・導通の確認

②発破作業

○発破効果及び不発の確認

③コソク・当たり取り作業

○こそく状態及びあたり状態の確認 ○断面整形状態の確認

④一次吹付け作業

○機械誘導 ○ホースの確認及び移動 ○吹付けノズルの操作

⑤鋼製支保工建込み作業

○根足高及び奥行き確保の確認 ○皿板の設置 ○機械誘導 ○支保工の脚部誘導位置合わせ
○ジョイントボルト取付け ○根足高さ位置調整 ○つなぎ材の取付け ○金網の挿入及び結束

⑥二次吹付け作業

○機械誘導 ○ホースの確認及び移動 ○吹付けノズル操作

⑦ロックボルト作業

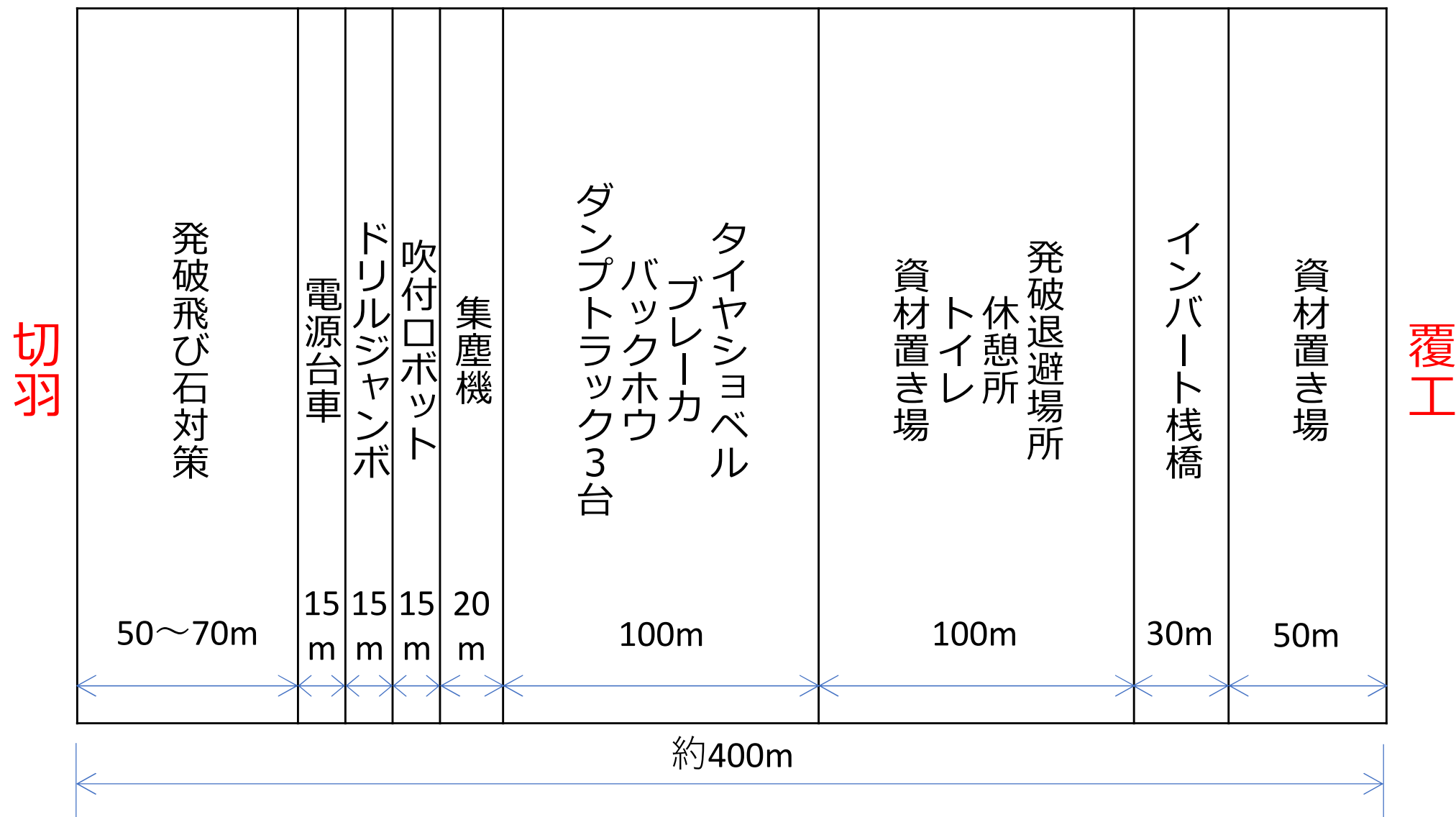
○機械誘導 ○穿孔位置のマーキング ○孔内清掃 ○定着材の注入
○ロックボルトの挿入 ○プレート取付け

⑧その他の作業

○切羽用水中ポンプの設置 ○岩判定(発注者又は元請) ○切羽観察, 測量・記録写真(元請)

重機接触災害が発生するリスク

- 掘削完了のタイミング（貫通、到達時）に切羽後方に発破時の避難距離と必要な設備や機械、材料等を置けるスペースを確保する必要がある。さらに、切羽と覆工の間でインバート施工を実施している場合は、インバート施工スペースがさらに必要となる。



これまでと新たな取組

○山岳トンネル技能者不足に対応するため、これまでの担い手確保の取組に加えて、自動化・省人化技術の導入を進める。

〔これまでの取組〕

- 労働環境の改善: 作業環境の改善や労働時間の短縮、賃金アップなどを通して、建設業の魅力を高め、若者の入職を促進。
- 技能伝承: 熟練技能者の知識や技術を若手に継承するための教育・訓練プログラムを充実させる。
- 建設キャリアアップシステム: 技能者が能力や経験に応じた処遇を受けられる環境の整備。

〔新たな取組〕

- 自動化・省人化技術の導入: ロボット技術やICT技術を活用し、トンネル工事の自動化・省人化を進めることで、少ない人数でも効率的に作業を進められるようにする。
- ダム現場や大規模土工現場では自動施工の導入検討が進展。