

トンネル活線拡幅工法の比較表(案)



令和元年 7月

国土交通省 関東地方整備局
道路部 道路工事課

まえがき

本資料は、「国道127号トンネル改修技術検討委員会」（H30年度 千葉国道事務所）での検討資料をもとに、『トンネル活線拡幅工法の比較表（案）』をとりまとめたものであり、今後のトンネル設計における活線拡幅工法採用の参考資料として活用頂ければ幸いです。

なお、本資料に掲載されている工法は、既存の資料※を整理・再編集したものであるため、実際の適用にあたっては、現場条件等に十分留意願います。

トンネル活線拡幅工法については、今後、汎用化に向けたさらなる検討がなされることが望まれます。

※ 本資料は、以下の報告書の一部を整理・再編集してとりまとめたものです。

「既設トンネルの断面拡大工法の開発に関する共同研究報告書－既設トンネル断面拡大工法に関する設計・施工指針（案）」（2004年 独立行政法人土木研究所ほか 注1）、
「既設トンネルの断面拡大工法の開発に関する共同研究報告書－既設トンネル断面拡大工法施工マニュアル（案）」（2004年 独立行政法人土木研究所ほか 注1）

注1：共同研究実施者は次のとおり（2004年当時）

独立行政法人土木研究所基礎道路技術研究グループ
（財）先端建設技術センター

株式会社大林組、株式会社奥村組、鹿島建設株式会社、株式会社熊谷組、五洋建設株式会社、
佐藤工業株式会社、清水建設株式会社、大成建設株式会社、東急建設株式会社、戸田建設株式会社、
飛鳥建設株式会社、西松建設株式会社、株式会社間組、株式会社フジタ、前田建設工業株式会社、
古河機械金属株式会社、株式会社三井三池製作所

目 次

(1) -1	活線拡幅工法の適用範囲の目安	1
(1) -2	活線拡幅工法の比較表(案)(両側拡幅)	3
(1) -3	活線拡幅工法の比較表(案)(片側拡幅)	7
各工法について(両側拡幅)		
①	ハイブリットTWSによるトンネル活線拡大工法 －専用掘削機門型タイプ(機械掘削)－	9
②	ナポレオンハット型ステージ工法 －専用・汎用掘削機併用 門型タイプ(爆破掘削)－	13
③	アーチカット工法 －専用掘削機 既設覆工利用タイプ(機械掘削)－	17
④	側壁導坑先行両側拡大工法 －汎用掘削機 既設覆工利用タイプA(機械掘削)－	21
⑤	πステージ工法 －汎用掘削機 移動式作業構台タイプ(機械掘削)－	25
⑥	フラットステージ工法 －汎用掘削機 移動式作業構台タイプ(機械掘削)－	29
各工法について(片側拡幅)		
⑦	三日月形トンネル断面拡大工法 －半専用掘削機タイプ(機械掘削)－	33
⑧	既設覆工を利用したノンプロテクタ拡大工法 －汎用掘削機 既設覆工利用タイプB(機械掘削)－	37

(1) - 1 活線拡幅工法の適用範囲の目安

活線拡幅工法における拡幅方向別の適用範囲の目安を以下に示す

① 両側拡幅

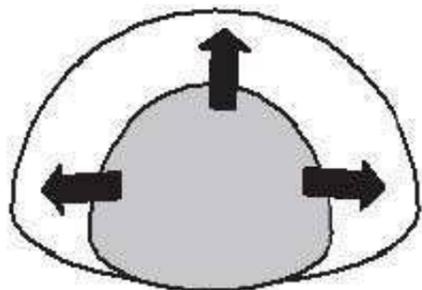


図-1 断面拡幅のイメージ(両側拡幅)

出典：「既設トンネル断面拡大工法—既設トンネル断面拡大工法の開発に関する共同研究—」
(独立行政法人土木研究所・財団法人先端建設技術センター他)

② 片側拡幅

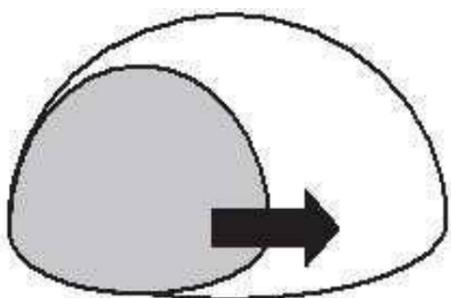


図-3 断面拡幅のイメージ(片側拡幅)

出典：「既設トンネル断面拡大工法—既設トンネル断面拡大工法の開発に関する共同研究—」
(独立行政法人土木研究所・財団法人先端建設技術センター他)

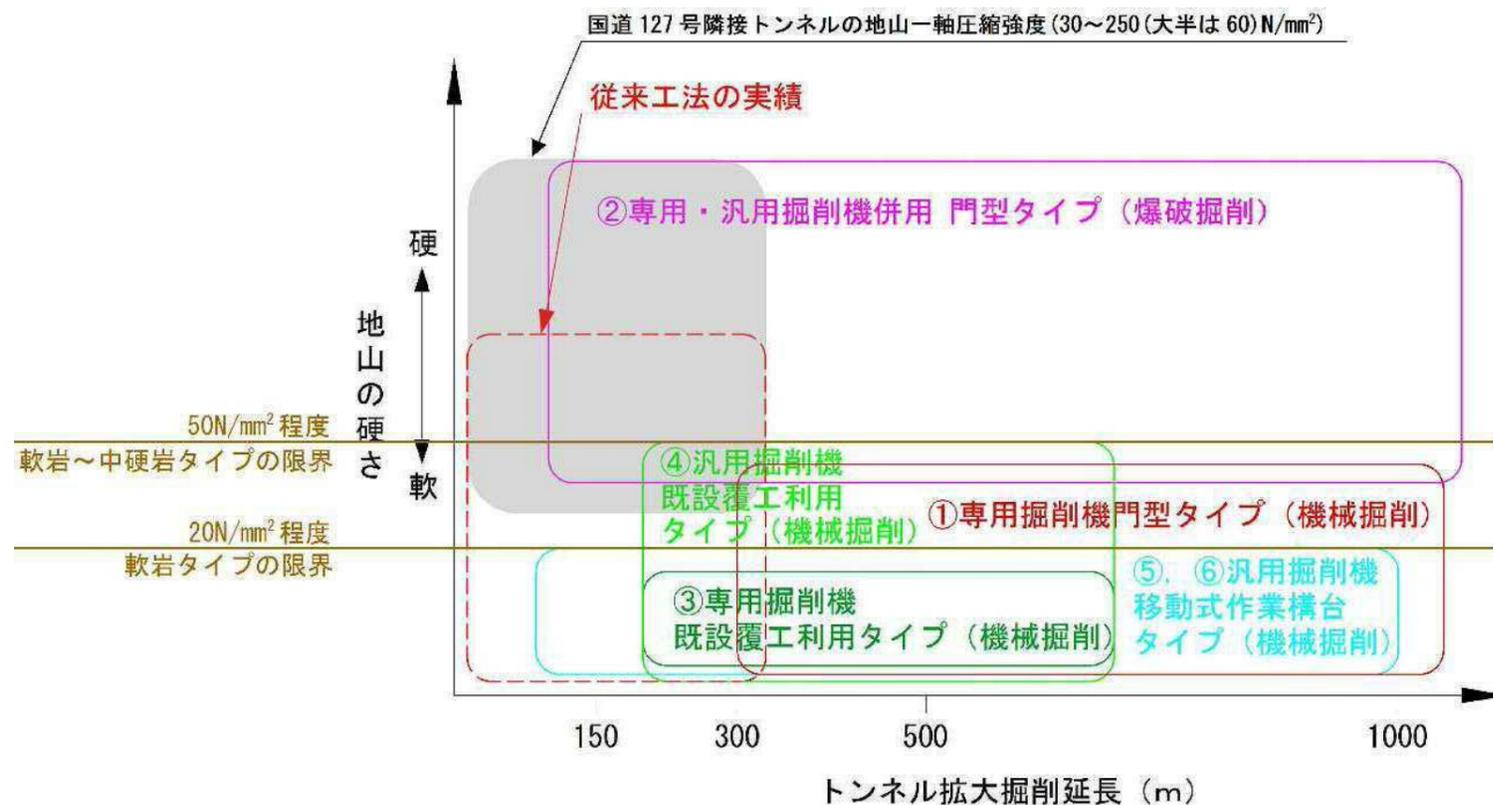


図-2 両側拡幅の工法別適用範囲の目安

出典：「既設トンネル断面拡大工法—既設トンネル断面拡大工法の開発に関する共同研究—」
(独立行政法人土木研究所・財団法人先端建設技術センター他) を一部編集

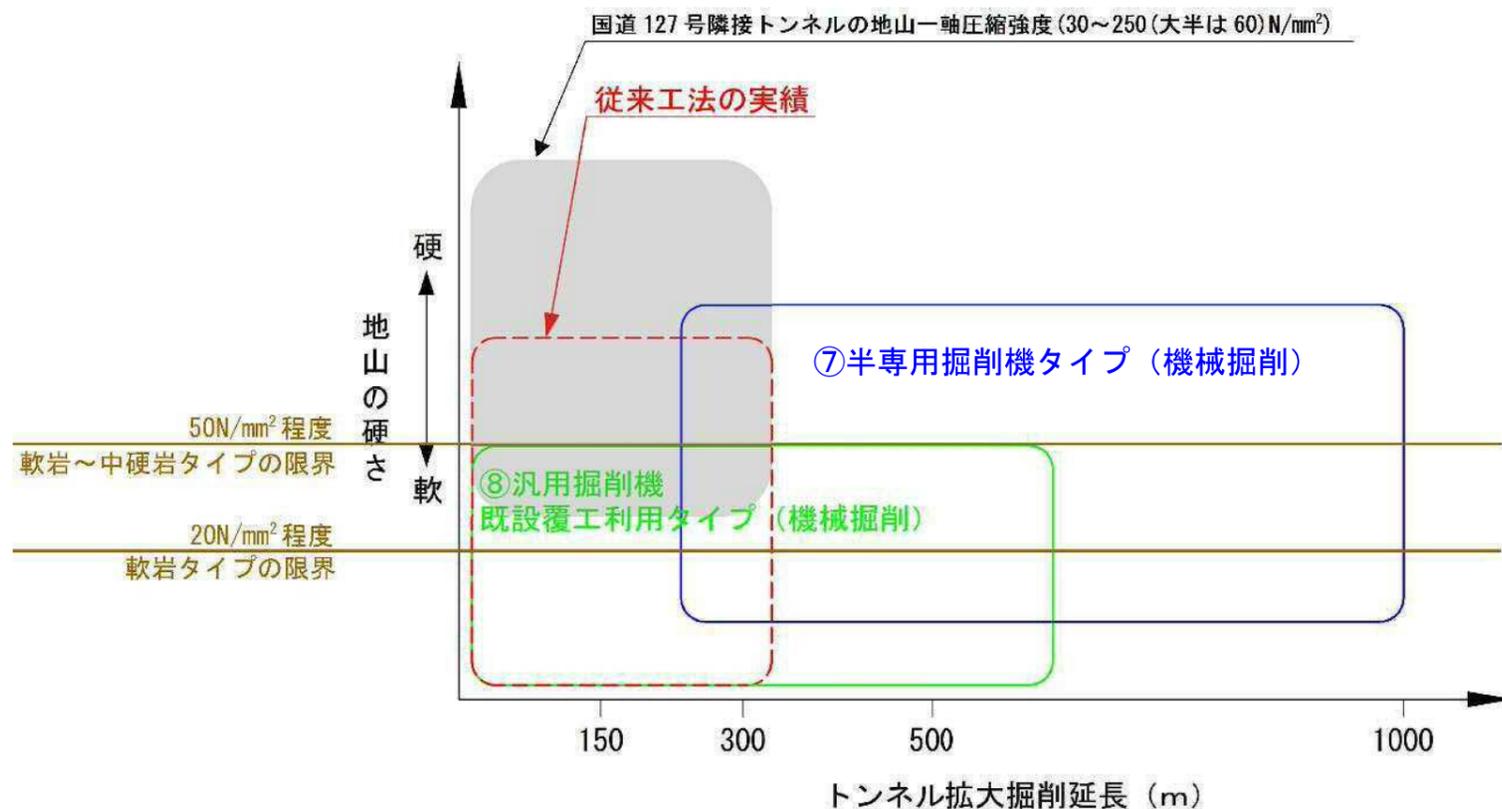


図-4 片側拡幅の工法別適用範囲の目安

出典：「既設トンネル断面拡大工法—既設トンネル断面拡大工法の開発に関する共同研究—」
(独立行政法人土木研究所・財団法人先端建設技術センター他) を一部編集

(1) - 2 活線拡幅工法の比較表 (両側拡幅: 1/2)

両側拡幅の場合の各活線拡幅工法の概要を下表のとおりとりまとめる (出典^{※1}を整理したものであり、実際の適用にあたっては現場条件等に留意が必要)

工法分類		従来工法	専用掘削機門型タイプ (機械掘削)	専用・汎用掘削機併用門型タイプ (爆破掘削)	
工法概要	工法名	従来工法	①ハイブリッドTWS工法	②ナポレオンハット型ステージ工法	
	適用可能な既設トンネル幅	W=5m程度以上	W=6m以上	W=5m以上	
	車線規制の有無	1車線規制	1車線規制	2車線確保 (既設幅7m以上)	
	2車線確保不可能期間 ^{※2}	-	-	全工程の1/4程度 (インバート工、排水・舗装工等)	
	掘削機械 ^{※3}	汎用機	専用機	専用機・汎用機	
	掘削方式	機械掘削	機械掘削	機械掘削・爆破掘削	
	プロテクタ構造	全線固定式プロテクタ	移動式プロテクタ	移動式プロテクタ	
	対象地山	軟岩～中硬岩 (50N/mm ² 程度)	軟岩～中硬岩 (50N/mm ² 程度)	土砂～硬岩 (50N/mm ² 以上可能)	
	必要作業ヤードスペース	約2,000m ² ×1(片側) ^{※5} (50m×40m)	約500m ² ×1(片側) 約2,400m ² ×1(片側) (80m×30m)	約1,500m ² ×1(片側) 約800m ² ×1(片側) (40m×20m)	
	適用範囲の目安	300m程度以下(実績)	300m程度以上	100m程度以上	
工期 ^{※2}	約17.5ヶ月	約13.5ヶ月	約13.5ヶ月		
工法の特徴	経済性	プロテクタに関するコスト面	・固定式プロテクタが全線必要	・移動式のため、プロテクタ延長を短くできる	・同左
	施工性	施工効率 (サイクルタイム等)	・作業空間が狭く、各作業工程で毎回汎用機械の入れ替えが必要である	・専用の門型掘削機を使用するため、掘削作業と覆工作業が干渉することがなく、効率的な施工が期待される	・ナポレオンハット型ステージ構造の幅広い作業架台上で掘削から支保までの作業を効率的に実施できるので、サイクルタイムの向上による工期短縮が期待される
		構造面 (覆工や支保等構造の安定性)	・従来設計の範囲であり、安定性の問題は少ない (新設トンネルと同等の覆工や支保構造が可能)	・同左	・同左
		環境面 (騒音・振動)	・施工箇所と車両通行部はプロテクタのみで仕切られているため、施工中の騒音・振動対策が別途必要	・施工箇所と車両通行部は移動式プロテクタのみで仕切られているため、施工中の騒音・振動対策が別途必要	・同左(発破作業時には一時的に通行止め)
		その他	・プロテクタ上で機械が稼働するため、十分な剛性が必要	・TWSの重量が大きいため、支持地盤への留意と牽引、制動が問題となる	・発破作業時に一時的に通行止めとする必要がある

※1:「既設トンネル断面拡大工法—既設トンネル断面拡大工法の開発に関する共同研究—」(独立行政法人土木研究所・財団法人先端建設技術センター他)

※2: ※1に記載のサイクルタイムを参考に、延長L=100m、全区間DⅢとした場合での想定(工期は1日当たり9時間労働・2方・23日/月・全面通行止めなしの条件で算定)

※3: 汎用機: 通常の山岳トンネル掘削に用いる施工機械(自由断面掘削機、大型ブレーカ、バックホウ、コンクリート吹付機、ドリルジャンボ、エレクタ台車等)
半専用機: 掘削・覆工取り壊し・吹付・ロックボルト打設・エレクタ・ずり掻き寄せ等の汎用機の機能を1台のマシンに取り付けたもの
専用機: 活線拡幅専用開発した(あるいは開発の必要のある)機械・システム

※4: 必要に応じて覆工の補強が必要となる。また、既設覆工取り壊し等の工種ではプロテクタが必要となる。

※5: 坂下トンネルでの事例

(1) - 2 活線拡幅工法の比較表 (両側拡幅: 2/2)

両側拡幅の場合の各活線拡幅工法の概要を下表のとおりとりまとめる (出典^{※1}を整理したものであり、実際の適用にあたっては現場条件等に留意が必要)

工法分類		専用掘削機既設覆工利用タイプ (機械掘削)	汎用掘削機既設覆工利用タイプ (機械掘削)	汎用掘削機移動式作業構台タイプ (機械掘削)		
工法名		③アーチカット工法	④側壁導坑先行両側拡大工法	⑤πステージ工法	⑥フラットステージ工法	
工法概要	適用可能な既設トンネル幅	W=8m以上	W=6m以上	W=6m以上	W=8m以上	
	車線規制の有無	2車線確保 (既設幅の制約なし)	2車線確保 (既設幅の制約なし)	1車線規制	2車線確保 (既設幅8m以上)	
	2車線確保不可能期間 ^{※2}	全工程の1/3程度 (プロテクタ組立・設置、既設覆工撤去、プロテクタ解体・撤去、インバート工、排水・舗装工)	全工程の1/3程度 (プロテクタ組立・設置、既設覆工撤去、プロテクタ解体・撤去、インバート工、排水・舗装工)	—	全工程の1/5程度 (インバート工、排水・舗装工等)	
	掘削機械 ^{※3}	専用機	汎用機	汎用機	汎用機	
	掘削方式	機械掘削	機械掘削	機械掘削	機械掘削	
	プロテクタ構造	既設覆工を利用 ^{※4}	既設覆工を利用 ^{※4}	移動式プロテクタ	既設覆工を利用 ^{※4} +固定式(簡易プロテクタ)	
	対象地山	軟岩まで (20N/mm ² 程度)	中硬岩まで (50N/mm ² 程度)	軟岩まで (20N/mm ² 程度)	軟岩まで (20N/mm ² 程度)	
	必要作業ヤードスペース	約900m ² ×4(両坑口両側) (60m×15m)	約900m ² ×2(片坑口両側) 約600m ² ×2(片坑口両側) (60m×15m, 40m×15m)	約1,200m ² ×1(片側) 約750m ² ×1(片側) (60m×20m, 50m×15m) ^{※6}	約1,000m ² ×2(片側) (80m×12.6m) ^{※6}	
	適用範囲の目安	200~700m程度	200~700m程度	1,000m程度以下	1,000m程度以下	
	工期 ^{※2}	約15.0ヶ月	約13.5ヶ月	約15.5ヶ月	約15.5ヶ月	
工法の特徴	経済性	プロテクタに関するコスト面	・既設覆工をプロテクタとして利用 ^{※4}	・同左 ^{※4}	・移動式のため、プロテクタ延長を短くできる	・既設覆工をプロテクタとして利用 ^{※4} 、併せて簡易プロテクタを使用
	施工性	施工効率 (サイクルタイム等)	・既設トンネルの両側に予め施工した導坑を利用し、拡大掘削による発生ずりを進行方向に搬出できるため、効率的な施工が期待される	・同左	・作業構台に張り出し部を設けることで機械の離合が可能となり、機械の入れ替えによるロスタイムが少なく、効率的な施工が期待される	・作業構台は作業足場用、機械待機場用、ずり出し・機械搬出入用の3構台で構成され、効率的な施工が期待される
		構造面 (覆工や支保等構造の安定性)	・既設覆工を利用するため、施工ステップを考慮した構造の安定性や周辺地盤の挙動に配慮したFEM解析等を用いた設計が必要	・同左	・従来設計の範囲であり、安定性に問題は少ない(新設トンネルと同等の覆工や支保構造が可能)	・同左
		環境面 (騒音・振動)	・既設覆工の外側で掘削作業が行われるため、従来工法より騒音・振動の影響が小さい	・同左	・施工箇所と車両通行部は移動式プロテクタのみで仕切られているため、施工中の騒音・振動対策が別途必要	・同左
		その他	・材料運搬、掘削ずり運搬は全て側壁導坑を経由するため、安全性の確保が重要	・同左	・作業構台への重機の搬出入のため、坑口部に仮橋が必要である ・坑内作業空間の換気方法や移動式作業構台の密閉が問題となる場合がある	・作業構台への重機の搬出入のため、坑口部に仮橋が必要である ・上半施工時に重量の大きいフラットステージを移動させるため、走行路盤の不陸整正、地耐力を確保しなければならない

※1:「既設トンネル断面拡大工法—既設トンネル断面拡大工法の開発に関する共同研究—」(独立行政法人土木研究所・財団法人先端建設技術センター他)

※2: ※1に記載のサイクルタイムを参考に、延長L=100m、全区間DⅢとした場合での想定(工期は1日当たり9時間労働・2方・23日/月・全面通行止めなしの条件で算定)

※3: 汎用機: 通常の山岳トンネル掘削に用いる施工機械(自由断面掘削機、大型ブレーカ、バックホウ、コンクリート吹付機、ドリルジャンボ、エレクタ台車等)
半専用機: 掘削・覆工取り壊し・吹付・ロックボルト打設・エレクタ・ずり掻き寄せ等の汎用機の機能を1台のマシンに取り付けたもの
専用機: 活線拡幅専用開発した(あるいは開発の必要のある)機械・システム

※4: 必要に応じて覆工の補強が必要となる。また、既設覆工取り壊し等の工種ではプロテクタが必要となる。

※5: 坂下トンネルでの事例

※6: バッチャープラント等の仮設備含まず

(1) - 3 活線拡幅工法の比較表 (片側拡幅)

片側拡幅の場合の各活線拡幅工法の概要を下表のとおりとまとめる (出典^{※1}を整理したものであり、実際の適用にあたっては現場条件等に留意が必要)

工法分類		従来工法	半専用掘削機タイプ (機械掘削)	汎用掘削機既設覆工利用タイプ (機械掘削)	
工法概要	工法名	従来工法	⑦三日月形トンネル断面拡大工法	⑧既設覆工を利用したノンプロテクタ拡大工法	
	適用可能な既設トンネル幅	W=5m程度以上	W=5m以上	W=6m以上	
	車線規制の有無	1車線規制	1車線規制	2車線確保 (既設幅8m以上)	
	2車線確保不可能期間 ^{※2}	—	—	全工程の1/4程度 (既設覆工撤去、インパート工、排水・舗装工)	
	掘削機械 ^{※3}	汎用機	半専用機	汎用機	
	掘削方式	機械掘削	機械掘削	機械掘削	
	プロテクタ構造	全線固定式プロテクタ	移動式プロテクタ	既設覆工を利用 ^{※4}	
	対象地山	軟岩～中硬岩 (50N/mm ² 程度)	中硬岩まで (50N/mm ² 程度)	中硬岩まで (50N/mm ² 程度)	
	必要作業ヤードスペース	約2,000m ² ×1(片側) ^{※5} (50m×40m)	約1,500m ² ×1(片側) 約300m ² ×2(両坑口側) (30m×10m)	約900m ² ×1(片側) 約675m ² ×1(片側) (60m×15m, 45m×15m)	
	適用範囲の目安	300m程度以下(実績)	制約なし	700m程度以下	
工期 ^{※2}	約17.5ヶ月	約14.0ヶ月	約15.0ヶ月		
工法の特徴	経済性	プロテクタに関するコスト面	・固定式プロテクタが全線必要	・移動式のため、プロテクタ延長を短くできる	・既設覆工をプロテクタとして利用 ^{※4}
	施工性	施工効率 (サイクルタイム等)	・作業空間が狭く、各作業工程で毎回汎用機械の入れ替えが必要である	・マルチタイプ掘削機を使用するため、サイクルタイム向上による効率的な施工が期待できる	・従来工法に比較し、作業空間の拡大が見込めることから、効率的な施工が期待できる
		構造面 (覆工や支保等構造の安定性)	・従来設計の範囲であり、安定性に問題が少ない (新設トンネルと同等の覆工や支保構造が可能)	・既設覆工を利用するため、構造の安定性や周辺地盤の挙動について、FEM等を用いるなど設計への配慮が必要 ・覆工の漏水処理に対する配慮が必要	・同左
		環境面 (騒音・振動)	・施工箇所と車両通行部はプロテクタのみで仕切られているため、施工中の騒音・振動対策が別途必要	・施工箇所と車両通行部は移動式プロテクタのみで仕切られているため、施工中の騒音・振動対策が別途必要	・既設覆工の外側で掘削作業が行われるため、従来工法より、騒音・振動の影響が他工法より小さい
その他	・プロテクタ上で機械が稼働するため、十分な剛性が必要	・縦断勾配に応じて移動式プロテクタの駆動方式への配慮が必要 (8%以上は駆動不可)	・拡大側を掘削した後、既設トンネルと拡大側の間に間仕切壁を設けて一般車両の安全確保が必要		

※1:「既設トンネル断面拡大工法—既設トンネル断面拡大工法の開発に関する共同研究—」(独立行政法人土木研究所・財団法人先端建設技術センター他)

※2: ※1に記載のサイクルタイムを参考に、延長L=100m、全区間DⅢとした場合での想定(工期は1日当たり9時間労働・2方・23日/月・全面通行止めなしの条件で算定)

※3: 汎用機: 通常山岳トンネル掘削に用いる施工機械(自由断面掘削機、大型ブレーカ、バックホウ、コンクリート吹付機、ドリルジャンボ、エレクタ台車等)

半専用機: 掘削・覆工取り壊し・吹付・ロックボルト打設・エレクタ・ずり掻き寄せ等の汎用機の機能を1台のマシンに取り付けたもの

専用機: 活線拡幅専用開発した(あるいは開発の必要のある)機械・システム

※4: 必要に応じて覆工の補強が必要となる。また、既設覆工取り壊し等の工種ではプロテクタが必要となる。

※5: 坂下トンネルでの事例

ハイブリットTWSによるトンネル活線拡大工法

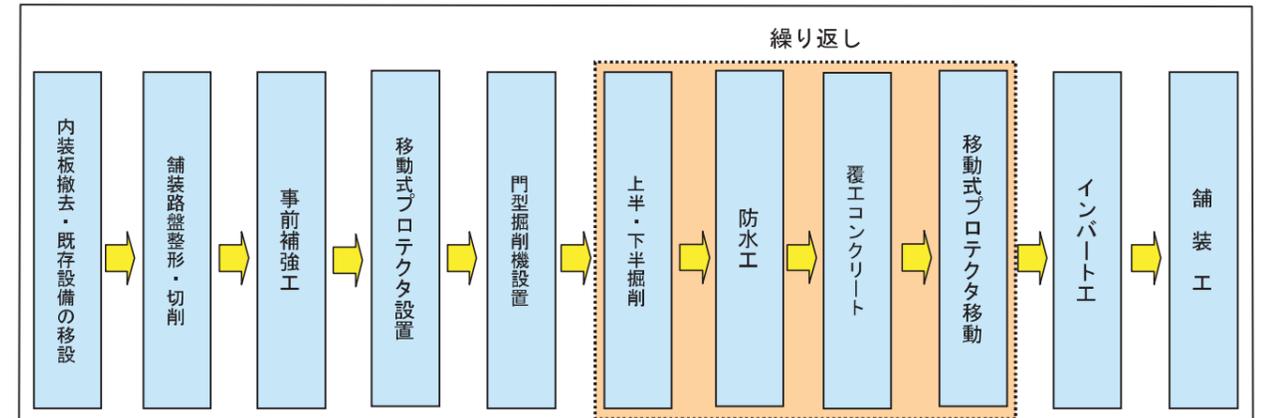
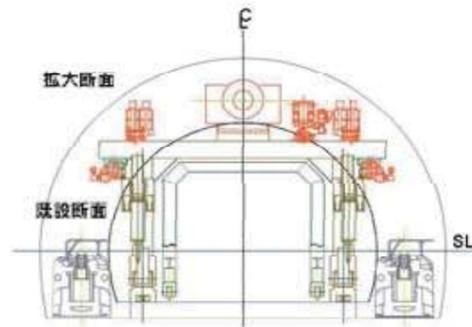
—専用掘削機門型タイプ（機械掘削）—

特徴

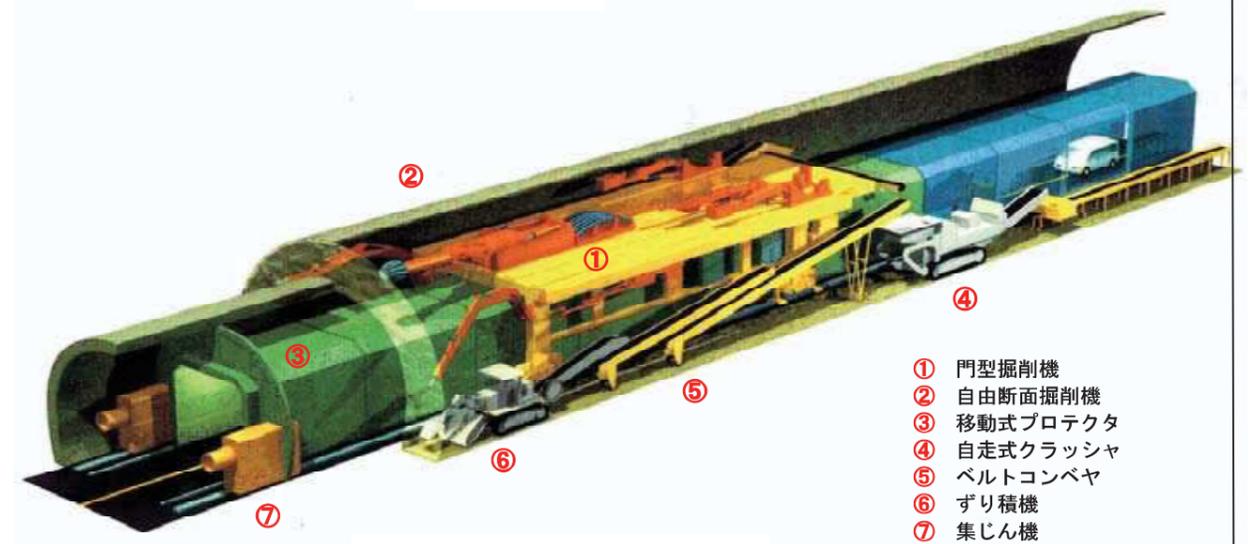
- ・活線拡大専用の門型掘削機と移動式プロテクタを組み合わせたハイブリットTWSにより、安全かつ急速施工を可能にする工法です。
- ・対象地山は主に軟岩から中硬岩で、従来難しかったトンネル延長が1,000m以上のトンネルでも施工可能な工法です。

概要

- ① ハイブリットTWS（トンネル・ワーク・ステーション）によるトンネル拡大工法は、活線拡大専用の門型掘削機と一般車両防護のために移動式プロテクタを採用した工法です。
- ② 専用の掘削機で機械の入れ替えが少なく、急速施工が可能です。
- ③ 掘削は主に軟岩から中硬岩までが対象です。
- ④ 断面拡大専用の掘削機の採用により、1,000m以上の長いトンネルも拡大可能です。
- ⑤ 掘削等による発生粉じんは集じん機により処理します。また、ずり出しには排出ガスや走行粉じんが発生しないベルトコンベヤ方式を採用し、トンネル内の環境を保つことができます。
- ⑥ 一般車両の防護に移動式プロテクタを採用することにより、コストの低減を図っています。



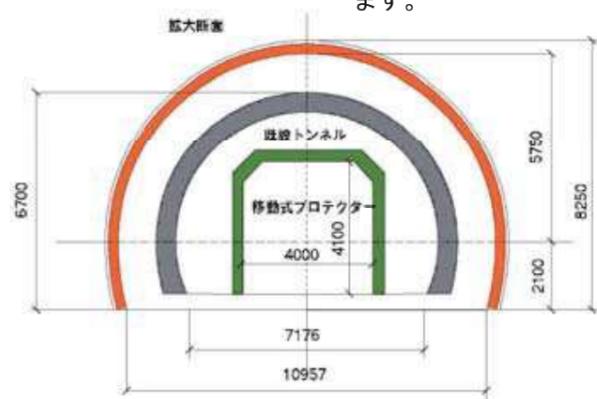
施工フロー図



ハイブリットTWSイメージ図

拡大トンネル断面

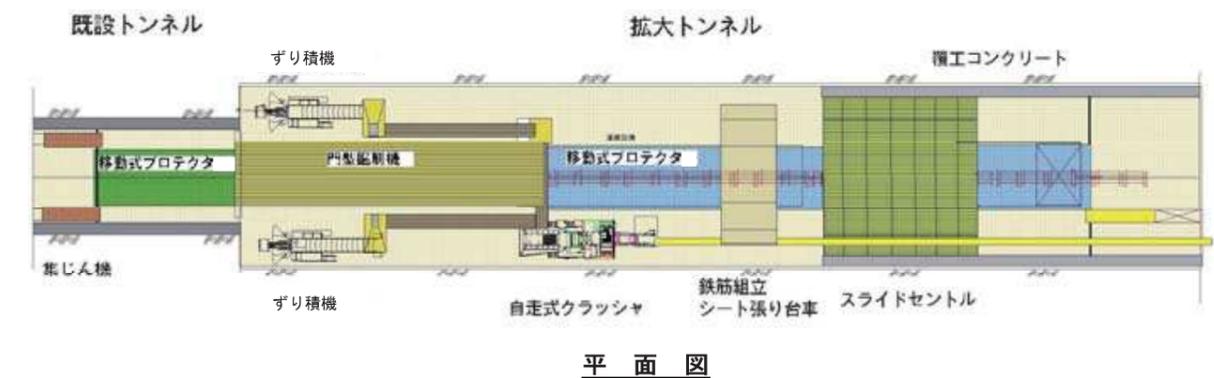
拡大断面はおおよそ3種4級自歩道付き程度の断面になります。



要素技術

ハイブリットTWS機械仕様

門型掘削機	
全長	31.0m
全幅	8.57m
全高	6.94m
移動式プロテクタ	
全長	74.0m
幅（内空）	4.0m
高さ（内空）	4.1m



平面図

共同研究者 独立行政法人土木研究所 (財)先端建設技術センター
大成建設(株) 戸田建設(株) (株)間組 前田建設工業(株) 古河機械金属(株)

ハイブリットTWSによるトンネル活線拡大工法

—専用掘削機門型タイプ（機械掘削）—

従来はどのような技術で対応していたのか

既設の道路トンネルの断面拡大あるいは改築を、車両を通しながら行う場合、下記に示す施工法での事例が多い。

- ・交通確保の方法： 図-1に示すような剛性の高いプロテクタをトンネル全線に設置して1車線を確保。
- ・施工法： プロテクタ上部及び両側の限られた空間内で小型の汎用機械を用いた方法を採用。

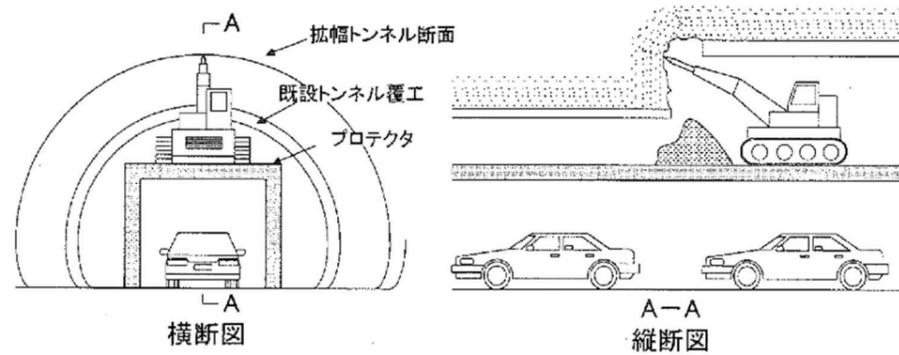


図-1 従来の断面拡大施工法の概要

このため、コストが高い、工期がかかる、長期間の車線規制が必要になるなどの課題を有している。また、これまでの施工事例では、既設トンネルの幅員2~9m程度を6~15m程度へ拡幅するものが多く、トンネル延長は比較的短く、最大でも約330mである。

新規性及び期待される効果

本工法は従来施工実績のない長いトンネルの活線拡幅が可能であり、掘削、吹付、支保工建込み等の機械を搭載した門型掘削機により急速かつ安全に施工することを目的に開発されたもので、従来工法に比べて以下の特徴がある。

- ① 掘削・ずり出し・支保工の施工は門型掘削機に装備した一体型の機械で行うため、機械の入れ替え・移動・準備等の時間ロスが少なく、合理的で能力の高い機械の配置により急速かつ効率的な施工が期待できる。
- ② 移動式プロテクタの採用により、特に長大トンネルにおいてプロテクタ費用の低減が図れる。
- ③ 門型掘削機と移動式プロテクタが分離しているため、掘削作業と覆工作业が干渉することなく、効率的な施工が可能である。
- ④ 移動式プロテクタの採用により作業範囲と車両通行範囲を分離することができ、作業により発生する粉塵を集塵機で処理可能である。また、一般車両の排気の影響を受けないため、作業環境の改善が可能である。
- ⑤ ずり出しには連続ベルトコンベヤを採用することで、ずり出しの高速化と安全性の向上、坑内環境の改善が図れる。

適用条件、適用範囲

- ① 既設トンネルの規模
本工法は、拡大工事中の一般車防護に移動式プロテクタを設置する工法であることから、既設トンネルの規模は移動式プロテクタが入る内空断面が必要であり、図-2に示すように幅6.0m程度以上の断面で適用可能である。
- ② 新設（拡大）トンネルの規模
新設（拡大）断面としては、2車線断面で多く施工されている第3種第4級片側自歩道付き程度のトンネル（図-3参照）を対象に計画しているが、それ以上の内空を有する2車線トンネルの施工も可能である。

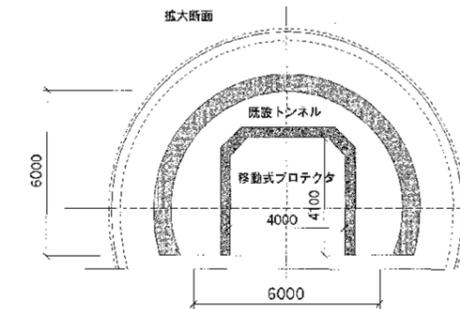


図-2 移動式プロテクタ及び既設トンネル規模

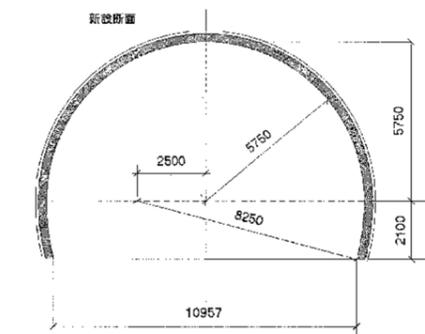


図-3 新設（拡大）断面

- ③ トンネル延長、線形等
本工法は、従来施工実績のない300m以上のトンネルを対象にした工法である。特に1,000m以上の長大トンネルに適した工法であり、安全かつ急速施工が可能である。延長が短いトンネルの場合、多少コストアップにはなるが、延長に関わらず施工可能である。
トンネル線形に対しては、門型掘削機、移動式プロテクタが移動可能な曲率で施工可能であり、R=200m程度の曲率まで対応可能である。

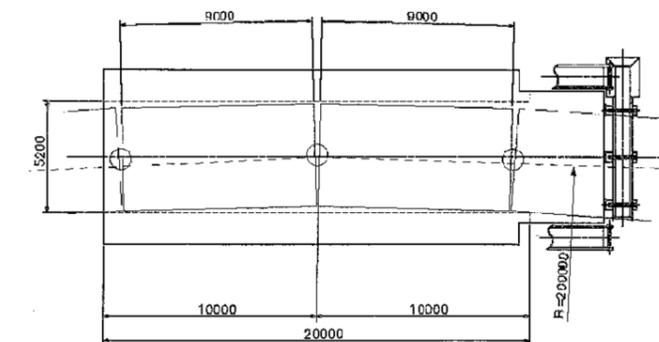


図-4 線形平面図

- ④ 地山条件
本工法の対象地山としては、主に軟岩から中硬岩を対象（~50MPa）にした工法である。ただし、それ以上の強度の地山については、ブレーカ（50~100MPa）、割岩工法（100MPa~）等により掘削を行う。

留意事項

本工法は、長大トンネルの拡大工事を高速施工で実施できるように開発したものである。実現場に適用する場合の留意点を以下に示す。

- ① 既設トンネルの縦断勾配がきつい場合には掘削方向などを詳細検討しなければならない。門型掘削機、移動式プロテクタの重量が大きく、牽引、制動が大きな問題となる。
- ② 現状はR=200m程度の曲率まで施工可能である。これより小さい曲率（R=200m以下）の場合でも適用できるが、拡大断面をさらに大きくするなどの検討が必要である。
- ③ 門型掘削機の組立・搬入を効率よく行うことが本工法を採用するにあたり非常に重要である。したがって、長大な仮設ヤードの確保、あるいはこれに代わる組立・搬入方法などの詳細検討が必要である。

特許等

「既設トンネルの拡幅装置」：2002年2月12日出願（特願2002-034241）

ナポレオンハット型ステージ工法

— 専用掘削機，専用・汎用掘削機併用 門型タイプ（爆破掘削） —

特徴

- ・ 土砂地山から硬岩まで地質の変化に柔軟に対応できる工法です。
- ・ 2車線プロテクタ方式の場合では、2車線を確保した状態で拡大作業が行えます。
- ・ ナポレオンハット型構造により、広い作業スペースを確保でき効率的な施工ができます。
- ・ トンネル延長が1000m以上でも工期短縮、工費低減が可能です。

概要

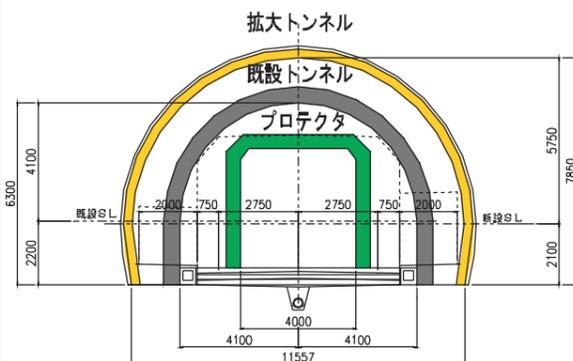
- ① 移動式プロテクタ上をスライドする作業架台を用いた活線拡大工法です。
- ② 幅広い地質条件に対応でき、特に硬岩地山での爆破掘削が可能です。
- ③ ステージ上に配置した機械で掘削から支保までの一連の作業がスムーズに行えます。
- ④ 本工法は、**専用機タイプ**の他、**専用機+汎用機（ジャンボやバックホウ）タイプ**があります。
- ⑤ 本工法は、**両側拡大型**の幅に適用されます。ステージ張り出し形式により、両側張り出しの場合は**同心円拡大型**、片側張り出しの場合は**センターシフト型**に対応します。
- ⑥ 作業箇所と一般車両通行帯に対する環境対策機器をステージ上に装備しています。
- ⑦ 爆破時前後には、一時的な全面的通行規制が必要です。

拡大トンネル断面

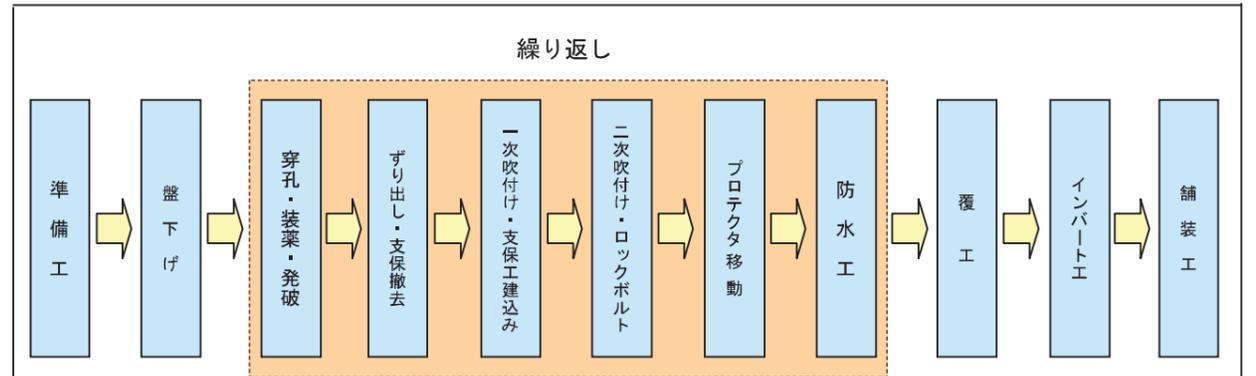
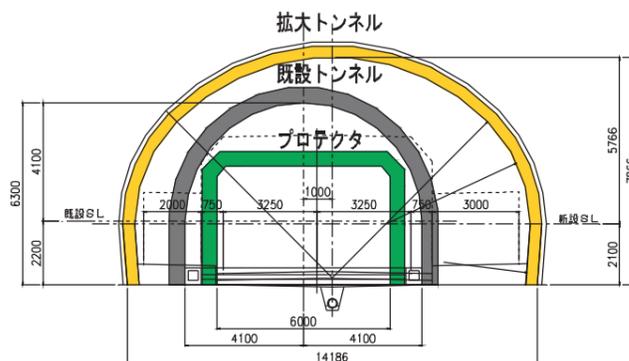
既設トンネルの規模は、プロテクタが通過可能な断面を有することが必要です。

- 1車線プロテクタ（内空：幅4.0m×高さ4.1m）
- 2車線プロテクタ（内空：幅6.0m×高さ4.1m）

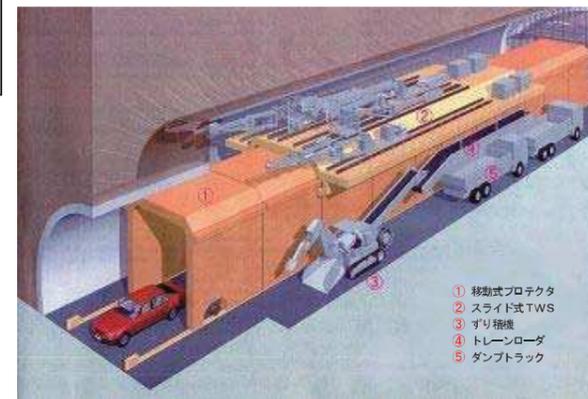
1車線プロテクタ方式対応断面
車道の幅員2.75m（3種4級）
（同心円拡大型）



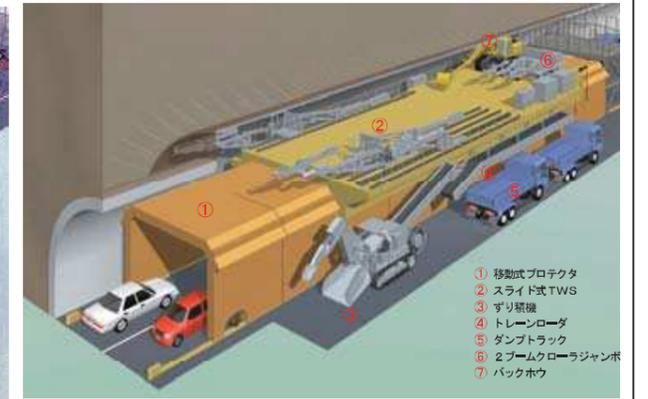
2車線プロテクタ方式対応断面
車道の幅員3.25m（3種2級）
（センターシフト型）



施工フロー図



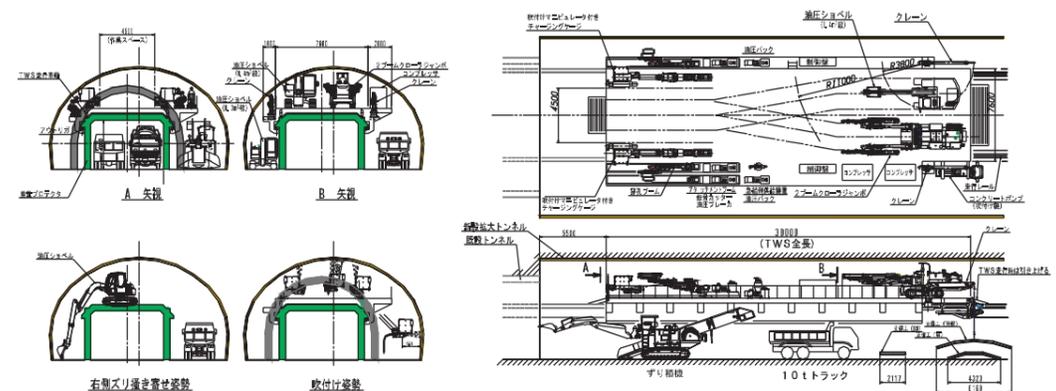
1車線プロテクタ方式イメージ図



2車線プロテクタ方式イメージ図

要素技術

既設トンネルの断面拡大工法（2車線プロテクタの場合）



- ・ 吹付マニピュレータ：狭隘箇所でも全断面吹付が可能。
- ・ 小型特殊ロッドチェンジャ付穿孔機：狭隘箇所でも高能率な穿孔作業が可能。
- ・ 大型ステージ：汎用機の作業能率が高い。また、汎用機入替え用昇降設備も装備。

共同研究者 独立行政法人土木研究所（財）先端建設技術センター
（株）熊谷組 佐藤工業（株） 飛鳥建設（株） 古河機械金属（株）

ナポレオンハット型ステージ工法

—専用・汎用掘削機併用 門型タイプ（爆破掘削）—

従来はどのような技術で対応していたのか

既設の道路トンネルの断面拡大あるいは改築を、車両を通しながら行う活線施工する場合、下記に示す施工法での事例が多い。

- ・交通確保の方法： 図-1に示すような剛性の高いプロテクタをトンネル全線に設置して1車線を確保。
- ・施工法： プロテクタ上部及び両側の限られた空間内で小型の汎用機械を用いた方法を採用。

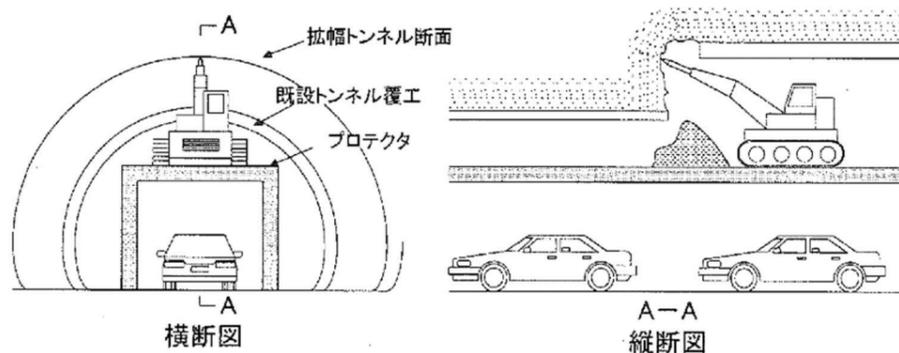


図-1 従来の断面拡大施工法の概要

このため、コストが高い、工期がかかる、長期間の車線規制が必要になるなどの課題を有している。また、これまでの施工事例では、既設トンネルの幅員2~9m程度を6~15m程度へ拡幅するものが多く、トンネル延長は比較的短く、最大でも約330mである。

新規性及び期待される効果

本工法は既設のトンネル内に多機能型の専用・汎用掘削機から構成されたスライド式TWSを搭載した作業架台（ナポレオンハット型ステージ）を設置して施工するもので、機械掘削と爆破掘削の双方に適用可能であることから、土砂地山から硬岩地山まで対応でき、効率的な掘削が期待できる。

- ① スライド式TWSにドリフタを搭載しており爆破掘削に対応するとともに、油圧ブレーカの取付も容易であることから機械掘削も可能であり、土砂~硬岩地山まで幅広い地質条件に対応可能である。
- ② 移動式プロテクタ上にスライド式TWSを搭載する構造（脚部が不要）であるため、広い作業空間の確保を可能とし、爆破パターンの工夫により発生ずりの小割等の処理が不要となることから、通常の10tダンプトラックや大型ずり搬出機械を導入することで効率的な施工が可能である。
- ③ 移動式プロテクタ上にスライド式TWSを使用することから、機械集約効果によるサイクルタイムの短縮及び設備費低減が可能となり、特に中長大トンネルでは工程短縮、工費低減が期待できる。
- ④ スライド式TWSにより機械の移動回数、移動距離が極端に少なくなり、作業が切羽付近に集約されることから、安全性が格段に向上する。

適用条件、適用範囲

- ① 既設トンネルの規模
本工法は、拡大工事中の一般車防護に移動式プロテクタを設置する工法であることから、既設トンネルの規模は移動式プロテクタが入る内空断面が必要である。1車線プロテクタの寸法は図-2に示すように（内空：幅4.0m×高さ4.1m、部材厚0.5m程度）、2車線プロテクタの寸法は図-3に示すように（内空：幅6.0m×高さ4.1m、部材厚0.5m程度）である。
- ② 新設（拡大）トンネルの規模
新設（拡大）断面としては、スライド式TWSでの効率的な施工を考慮し、1車線プロテクタの場合第3種第4級両側歩道（第3種第2級片側歩道：図-2参照）、2車線プロテクタの場合第3種第2級両側歩道（第3種第2級片側歩道：図-3参照）を対象に計画しているが、この寸法より大規模なトンネルでは作業スペースがさらに大きく確保できることから、施工性の面ではより有利になる。

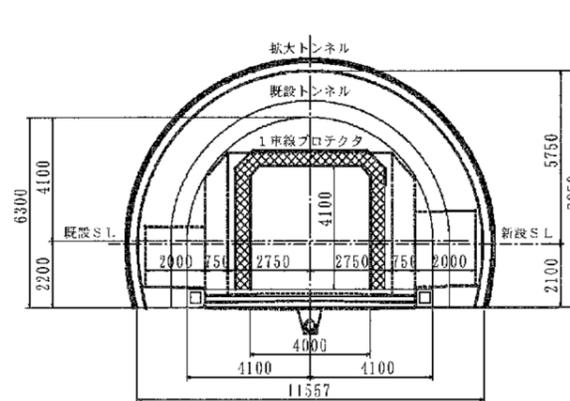


図-2 1車線プロテクタ方式の拡大断面とプロテクタ

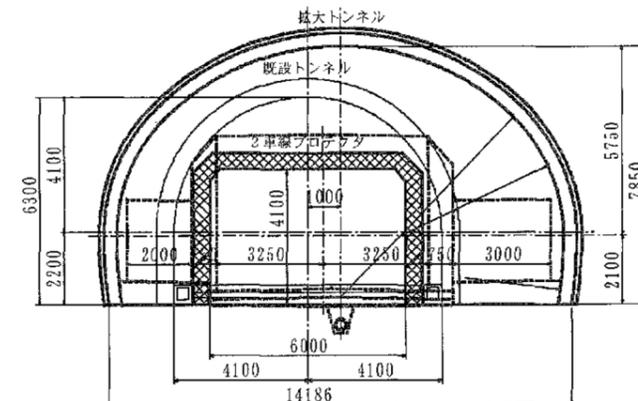


図-3 2車線プロテクタ方式の拡大断面とプロテクタ

- ③ トンネル延長、線形等
本工法は、経済性の観点からは1,000m以上での適用が望ましいが、スライド式TWSにより車線規制の期間短縮が可能となることから、工期重視の場合には500m未満での採用も検討対象となる。トンネル線形に対しては、比較的長い移動式プロテクタを主要な施工設備として採用することから、R=200m程度の曲率及びi=3%程度の縦断勾配まで対応可能である。
- ④ 地山条件
本工法は幅広い地質条件に対応できる工法である。特に、本工法の特徴である爆破掘削の採用により機械掘削では困難な硬岩掘削（50MPa~）の効率的な施工が可能であるが、スライド式TWSに搭載した油圧ブレーカ及びバックホウにより土砂地山~軟岩に対しても十分な施工能力を有している。

留意事項

本工法は、長大トンネルや硬岩地山のトンネルの拡大を効率的に施工できるように開発したものである。実現場に適用する場合の留意点を以下に示す。

- ① 爆破掘削を採用した場合、瞬間的に巨大なエネルギーが発生することから、周辺環境への影響に配慮するとともに、騒音・振動対策（制御発破、防音扉、作業時間の制限）の検討が必要である。また、発破作業時には一時的に全面通行止めとする必要があるため、交通への影響について考慮する必要がある。
- ② 爆破掘削を採用した場合、地山及び既設の覆工コンクリートに予想以上の損傷を与えることもある。そのため、覆工コンクリートの事前補強や覆工背面の空洞充填の検討も必要である。
- ③ 本工法はナポレオンハット型ステージ、プロテクタ、セントルと比較的大きな鋼製構造物をトンネル坑口の近傍で組み立て、解体する必要があるため、大型運搬車での運搬やクレーンによる積み卸しを伴う。こうした作業を行うために、両坑口付近の道路脇に広いヤードを確保しなければならず、確保できない場合には栈橋等による張り出し構造のヤード構築を検討する必要がある。

特許等

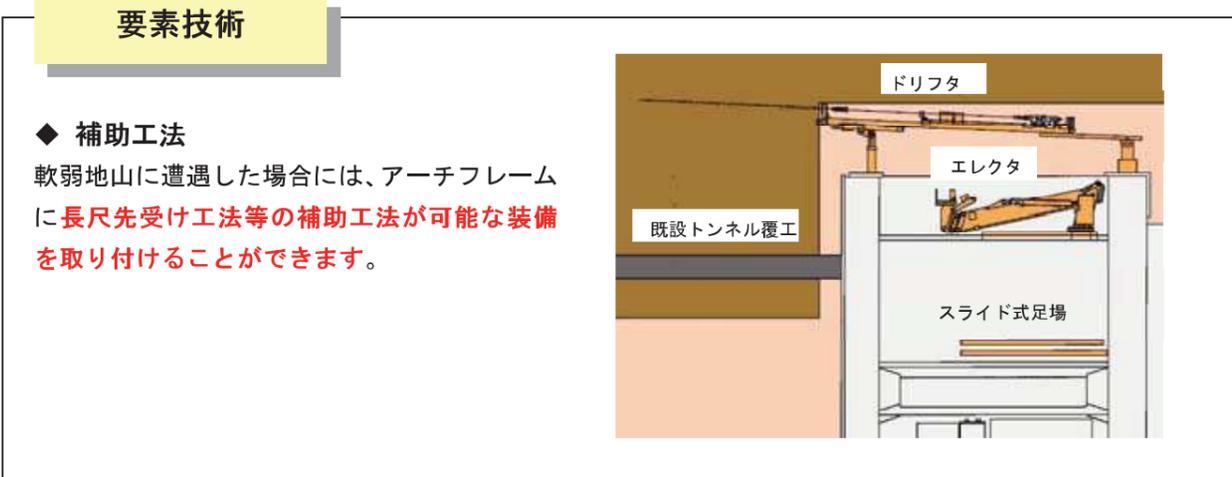
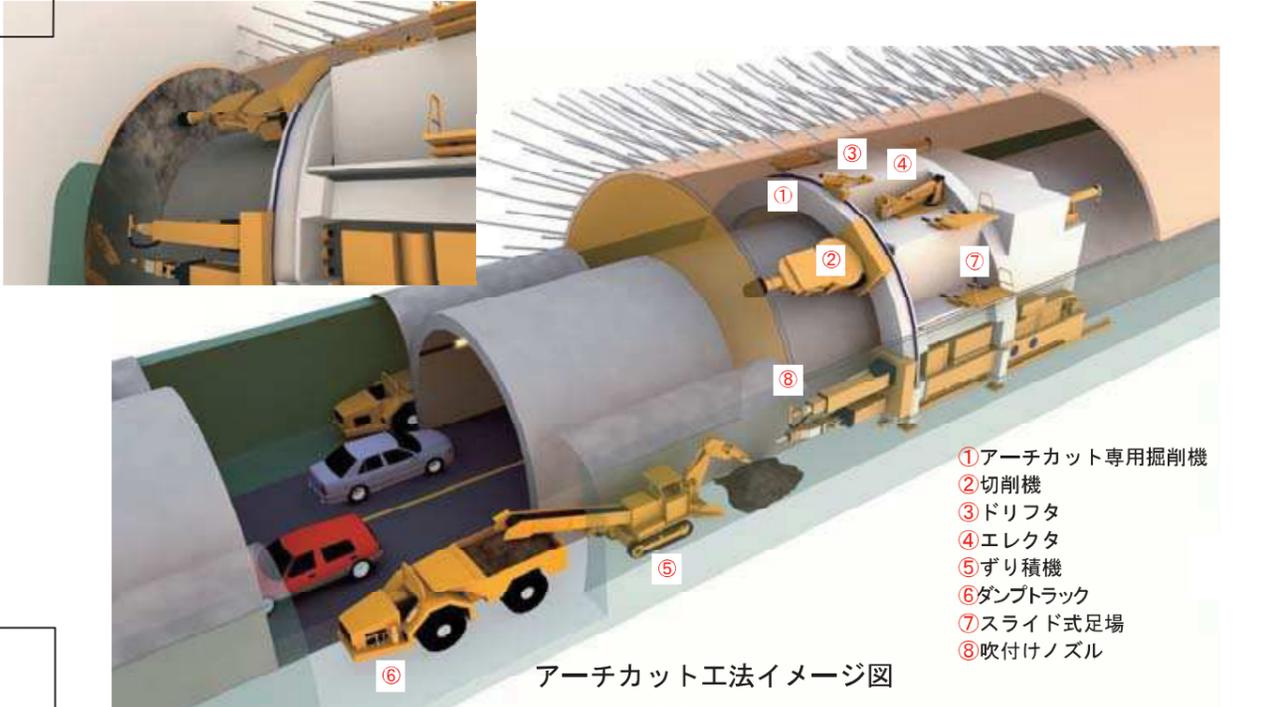
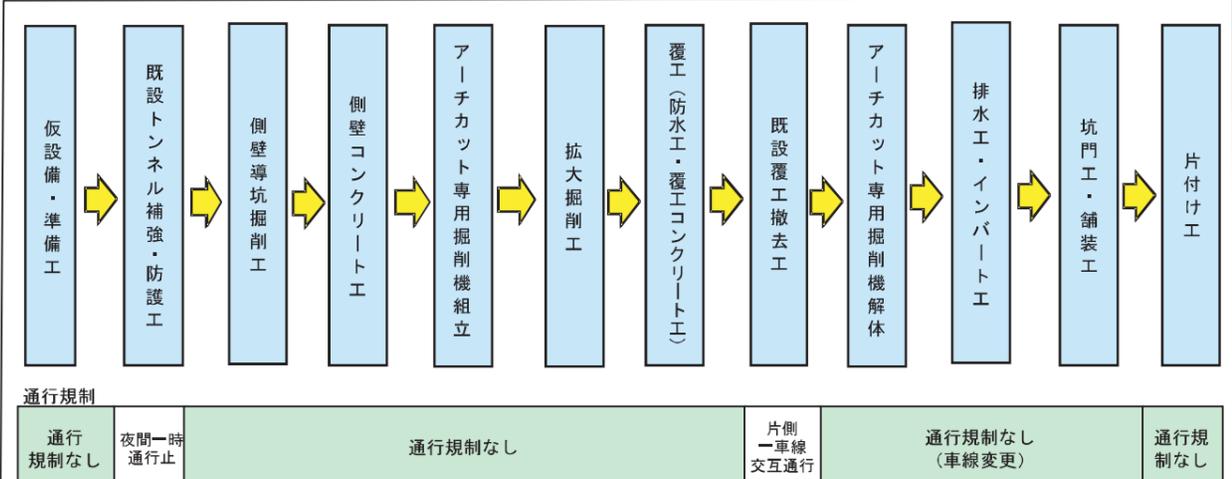
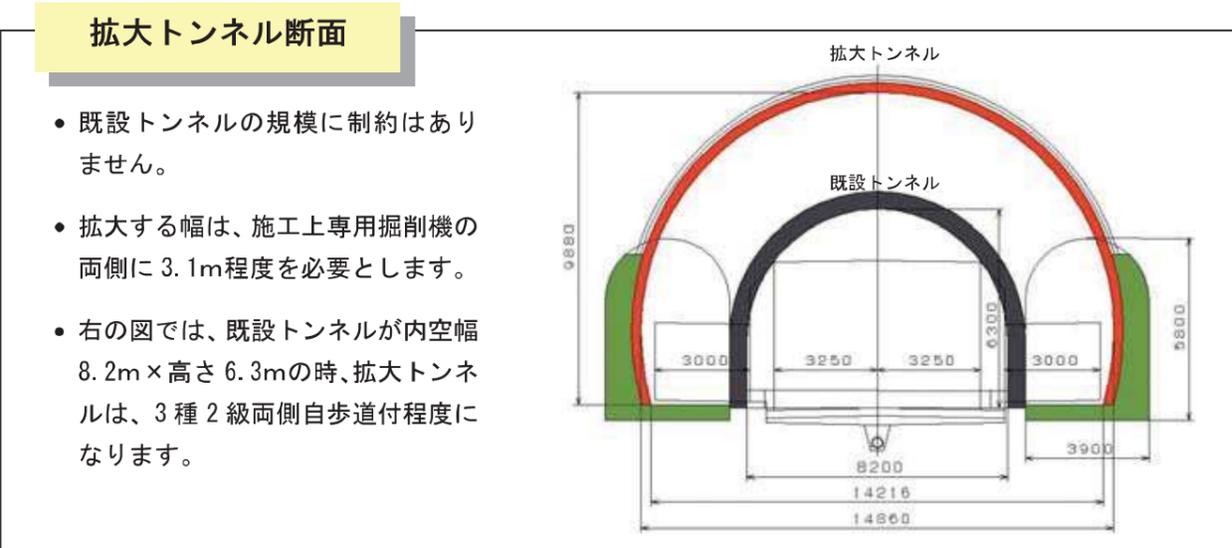
「トンネル拡幅工事用設備」：2002年3月25日出願（特願2002-083415）

アーチカット工法

—専用掘削機 既設覆工利用タイプ（機械掘削）—

- ### 特徴
- 既設覆工をプロテクタとして利用し、2車線を確保した状態で拡大作業が行えます。
 - 多機能型の専用機により拡大掘削と既設覆工の取り壊しを効率的に施工できます。
 - 主に軟岩地山を対象とする工法です。

- ### 概要
- 既設覆工を2車線用プロテクタとして利用するため、**2車線の車両通行を可能にします。**
 - 既設覆工をプロテクタとしているため、一般通行車両には、掘削に伴う**粉じん、騒音などの影響が少なくなります。**
 - 既設覆工を跨ぐアーチフレームに沿って拡大掘削するため、**拡大断面は、小さくできます。**
 - 専用機のアーチフレームが既設トンネルを跨ぐことができれば拡大施工が可能となるため、**転用性が高い工法**です。
 - 既設トンネルの両側に予め施工した**導坑**を利用して、**拡大掘削に伴うずりを進行方向に搬出しながら掘進する工法**です。
 - 専用機**は、掘削、支保（吹付・ロックボルト・鋼製支保工の建込み）覆工解体などの一連の作業が、可能な**多種の機能を装備**しています。
 - アーチフレームの後方には、スライド式足場が収納されていて、**支保作業が安全**に行えます。
 - 既設覆工撤去時には**移動式の簡易プロテクタ**を設置して、**一般通行車両の安全を確保**します。



共同研究者 独立行政法人 土木研究所 (財)先端建設技術センター
(株)奥村組 (株)鹿島建設 (株)熊谷組 (株)三井三池製作所

アーチカット工法

－専用掘削機 既設覆工利用タイプ（機械掘削）－

従来はどのような技術で対応していたのか

既設の道路トンネルの断面拡大あるいは改築を、車両を通しながら行う活線施工する場合、下記に示す施工法での事例が多い。

- ・交通確保の方法： 図-1に示すような剛性の高いプロテクタをトンネル全線に設置して1車線を確保。
- ・施工法： プロテクタ上部及び両側の限られた空間内で小型の汎用機械を用いた方法を採用。

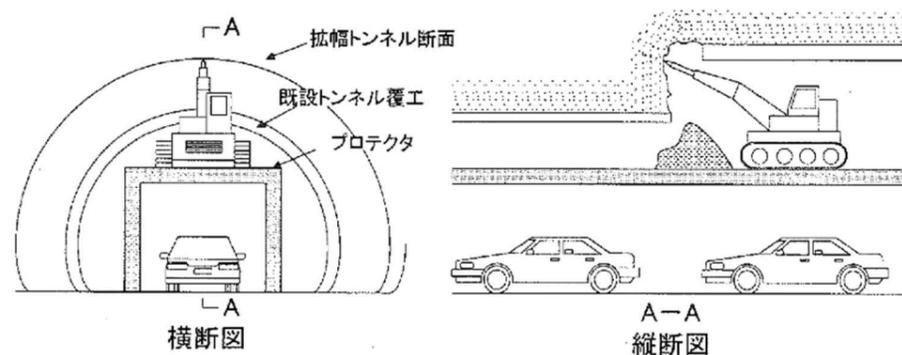


図-1 従来の断面拡大施工法の概要

このため、コストが高い、工期がかかる、長期間の車線規制が必要になるなどの課題を有している。また、これまでの施工事例では、既設トンネルの幅員2~9m程度を6~15m程度へ拡幅するものが多く、トンネル延長は比較的短く、最大でも約330mである。

新規性及び期待される効果

本工法は既設トンネルの覆工をプロテクタとして利用し、専用機により既設トンネルの拡大掘削を行う工法であり、特徴としては以下の点が挙げられる。

- ① 既設覆工をプロテクタとして利用するため、交通規制の期間が短く、一般通行車両への掘削に伴う粉塵、騒音等の影響が少ない。また、拡大トンネルの覆工が完了するまで既設覆工を在置するため、道路利用者への負担が少ない。
- ② 拡大掘削は1台の機械に掘削、コンクリート吹付、ロックボルト打設、支保工建込みの機能を持たせた専用機にて行うため、工種別の重機入れ替えが不要、また、離合スペースを減らせる分、拡大掘削に必要なスペースが少なく済む。
- ③ 既設トンネルの両側に先行施工した導坑を利用して、掘削ずりを切羽先方へ排出しながら掘進する工法であり、効率的な施工ができる。
- ④ 既設トンネルの覆工撤去と地山掘削が分離されるため、産廃処理が容易である。

適用条件、適用範囲

- ① 既設トンネルの規模
本工法を適用可能な既設トンネルの幅員は8mクラスである。
- ② 新設（拡大）トンネルの規模
新設トンネルの内空断面としては、第3種第2級とほぼ同等の両側自歩道付き断面とする。

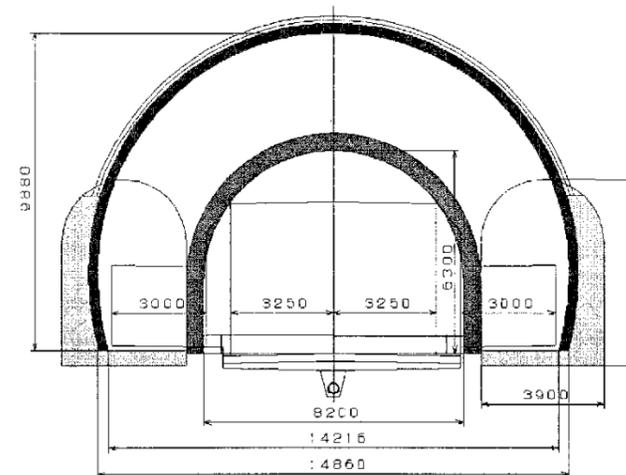


図-2 既設トンネルと拡大断面の形状

- ③ トンネル延長、線形等
トンネル延長は、アーチカット専用機導入の経済性から200m程度以上、また先進導坑をタイヤ方式とした場合を考慮して700m程度以下とする。地山の地質が本工法に適合し、先進導坑のずり出しにレール方式を採用すれば、さらに長いトンネルへの適用も十分可能である。
トンネル線形に対しては、アーチカット専用機の架台本体がレール送り装置で移動する際の導坑と既設覆工とのクリアランスで決定し、R=300m程度の曲率まで対応可能である。
- ④ 地山条件
本工法の対象地山は主に軟岩地山とし、一軸圧縮強度20MPa程度以下を目安とする。

留意事項

本工法における留意点は以下のとおりである。

- ① 本工法の基本的なコンセプトは「既設トンネルの覆工を2車線プロテクタとして利用する」ことであり、既設覆工の健全度評価結果次第では、事前補強の内容が大きく変化する。そのため、既設トンネルの施工法や地質の確認はもちろん、変状・クラック・材質劣化等の健全度評価が重要である。
- ② 本工法は、多機能型TWSとしてアーチフレームに掘削から支保作業までの機能を搭載するが、狭隘な作業空間を考慮して65kW級自由断面掘削機を想定しており、拡大トンネルの掘削能力を上げることは工期短縮とコスト低減に大きく影響し、適用地質も広がる。さらなる施工能力アップのため、切削機械の開発と十分な切削反力が取れるアーチフレーム構造の開発が必要である。
- ③ 本工法は、既設トンネルの坑口部におよそ15m×60m程度の広さの仮設ヤードを本線を挟んで両側に起点側と終点側に必要とする。これは、通行止めや一般車両への交通規制を極力少なくなるように先進導坑を使うなどして断面拡大掘削を工夫したため、アーチカット専用機のような大型重量機械の搬入組立場所の確保と併せ、周辺環境の調査や張り出し構台の構築などの検討が必要になる。

特許等

「トンネル拡幅装置」：2003年3月25日出願（特願2003-82015）

側壁導坑先行両側拡大工法

— 汎用掘削機 既設覆工利用タイプA (機械掘削) —

特徴

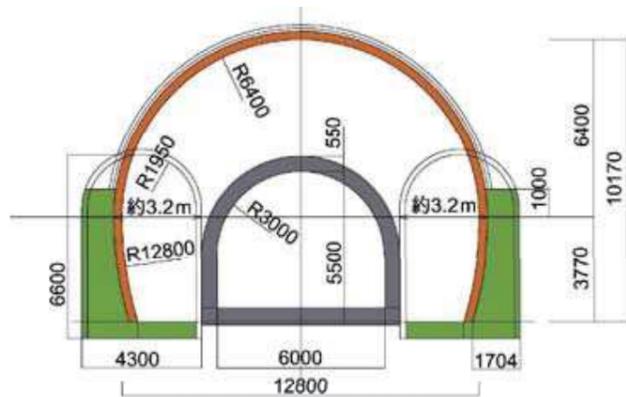
- ・ 既設覆工をプロテクタとして利用し、2車線を確保した状態で拡大作業が行えます。
- ・ 覆工用セントルを兼ねる作業架台を利用して汎用機械により施工します。
- ・ 中硬岩地山まで適用できる工法です。

概要

- ① 既設覆工をプロテクタとして利用するため、**2車線の車両通行を可能にします。**
- ② 既設覆工をプロテクタとしているため、一般通行車両には、掘削に伴う**粉じん、騒音**などの影響が少なくてすみます。
- ③ 拡大トンネルの覆工が完了するまで既設覆工を存置するので、**道路利用者への負担が少なくてすみます。**
- ④ 拡大掘削時の作業架台は覆工用セントルのガントリと兼用することができ、移動用の**レール自動送り機能**を装備しています。
- ⑤ 側壁導坑掘削と拡大掘削は、同じ汎用掘削機による施工が可能で、対象地山は**中硬岩地山まで適用**できます。
- ⑥ 既設トンネルの両側に予め施工した導坑を利用して、拡大掘削に伴うずりを**進行方向に撤出しながら掘進する工法**であり、**効率的な施工**ができます。
- ⑦ 既設覆工撤去時には**移動式の簡易プロテクタ**を設置して、**一般通行車両の安全を確保**します。

拡大トンネル断面

- ・ 既設トンネルの規模に制約はなく、どの大きさでも対応可能です。
- ・ 拡大する幅は、施工上両側に3.2m程度を必要とします。



要素技術

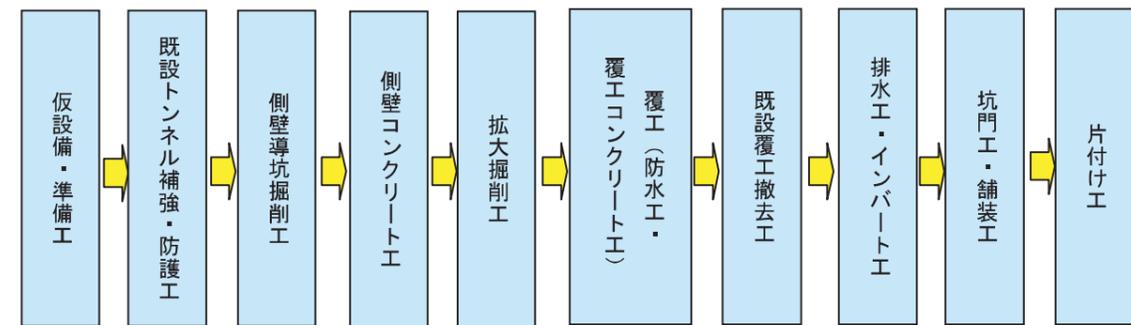
◆作業足場 兼 支保工建込み装置

側壁導坑掘削時に掘削機の後方から切羽へ**支保工を送り込み、建て込む装置**です。矢板掛け等の**支保作業を安全に行うための作業足場を兼用**します。

拡大掘削時にはガントリの両サイドに取り付け、**側壁部の支保作業足場に転用**します。



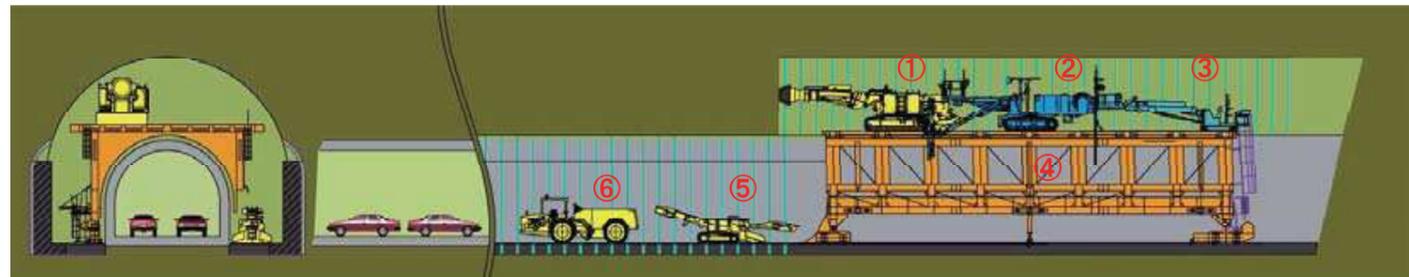
◆施工フロー



通行規制

通行規制なし	夜間一時通行止	通行規制なし	片側1車線交互通行	通行規制なし(車線変更)	通行規制なし
--------	---------	--------	-----------	--------------	--------

- ①自由断面掘削機
- ②狭小断面用ロックボルト打設機
- ③支保工エレクトラ付チャージング機
- ④移動式作業架台(セントルのガントリ兼用)
- ⑤ずり積機
- ⑥ダンプトラック



側壁導坑先行両側拡大工法 (汎用掘削機) イメージ図

共同研究者 独立行政法人 土木研究所 (財)先端建設技術センター
(株)奥村組 鹿島建設(株) (株)熊谷組 (株)三井三池製作所

πステージ工法

— 汎用掘削機 移動式作業構台タイプ（機械掘削） —

特徴

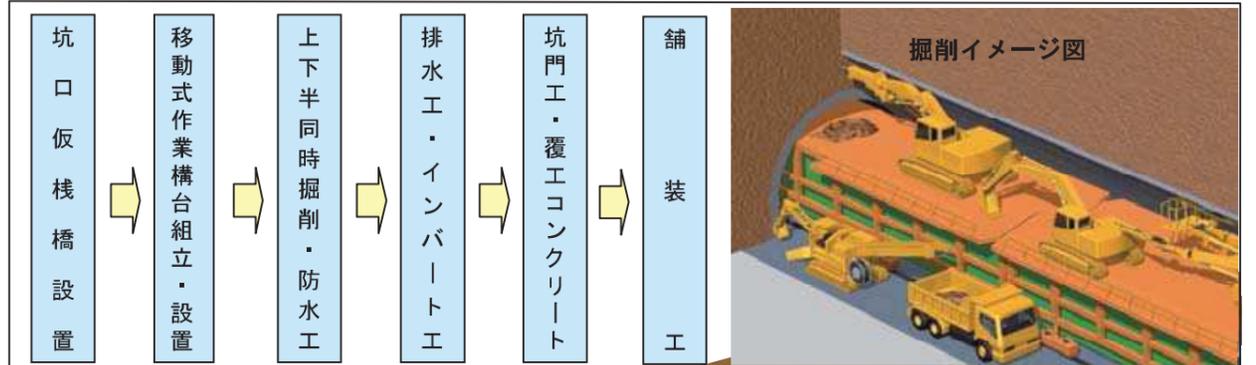
- ・ 汎用機械を用いて既設トンネルの拡大掘削を行います。
- ・ 主に軟岩を対象としています。
- ・ 移動式作業構台は車両防護機能も備えています。
- ・ シンプルな工法のため、様々な条件に対応できます。

概要

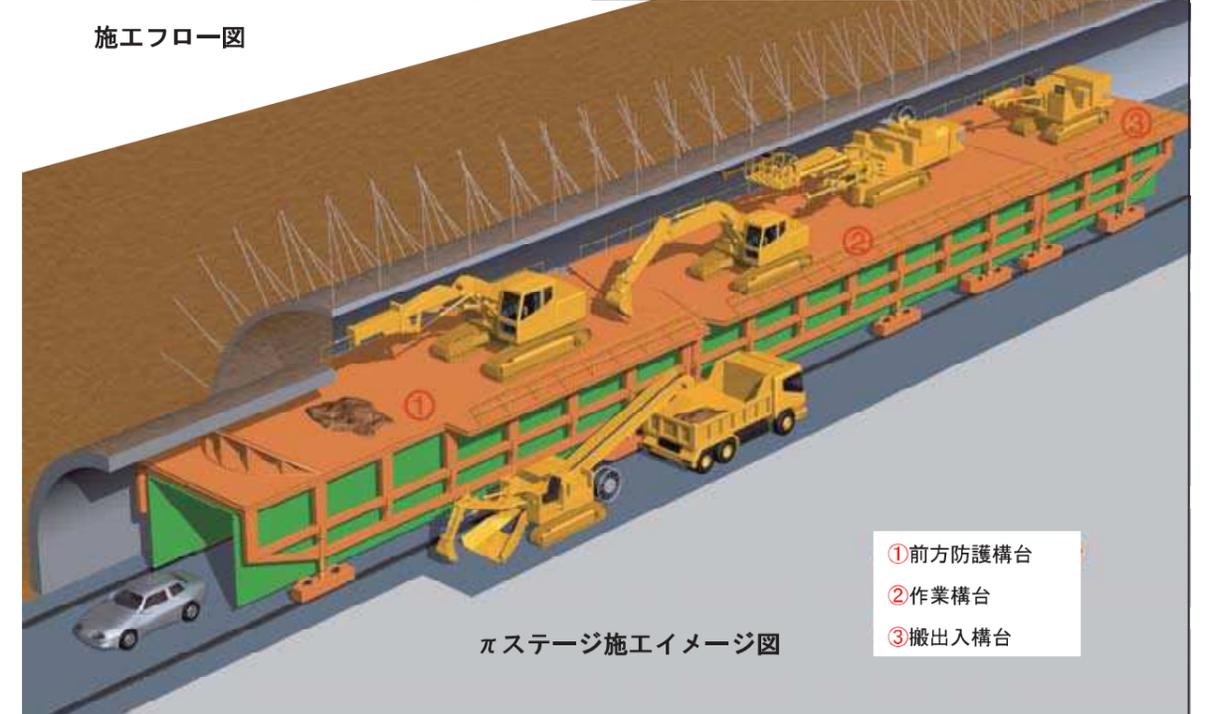
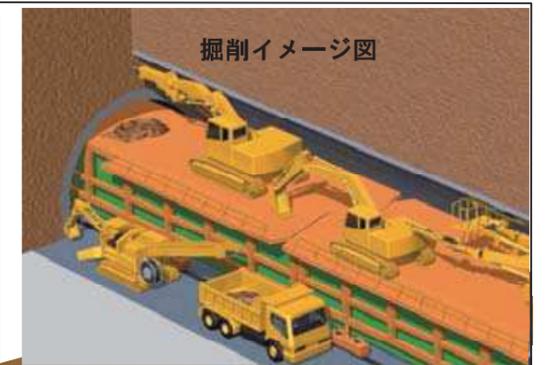
- ① 一般交通を確保しながら、汎用機械を用いて既設トンネルの断面拡大を行う工法です。
- ② 亀裂の程度によるが主に軟岩を対象としています。
- ③ 一般交通の車両防護と上部掘削作業床としての機能を有する移動式構台（πステージ）を用いて拡大掘削を行います。
- ④ 作業構台に張り出し部を設けることで機械の離合が可能となり、機械の入替に伴うタイムロスが少なく効率的な施工が可能です。
- ⑤ 車両防護区間は移動式構台設置区間のみのため、道路利用者に対する圧迫感を軽減できます。
- ⑥ 施工手順や構台構造がシンプルのため、施工条件等により変更が可能です。
- ⑦ 移動式構台をスライドセントル台車に転用することも可能です。

πステージの主要仕様（参考）

項目	前方防護構台	作業構台	搬出入構台
全備重量	約 140 t	約 140 t	約 80 t
全長	21.0 m	26.0 m	8.6 m
全幅	7.35 m	7.35 m	7.35 m
全高	5.6 m	5.6 m	5.6 m
走行装置	油圧駆動レール方式	—	油圧駆動レール方式
走行速度	2 m/min	—	5 m/min
上載荷重	約 40 t	約 100 t	約 40 t



施工フロー図

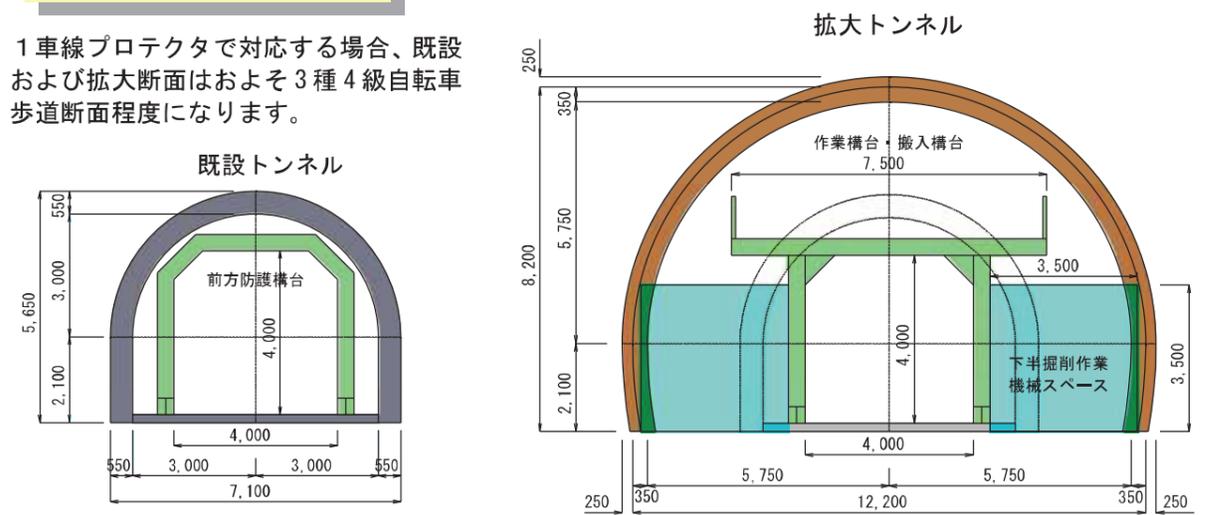


πステージ施工イメージ図

- ① 前方防護構台
- ② 作業構台
- ③ 搬出入構台

拡大トンネル断面

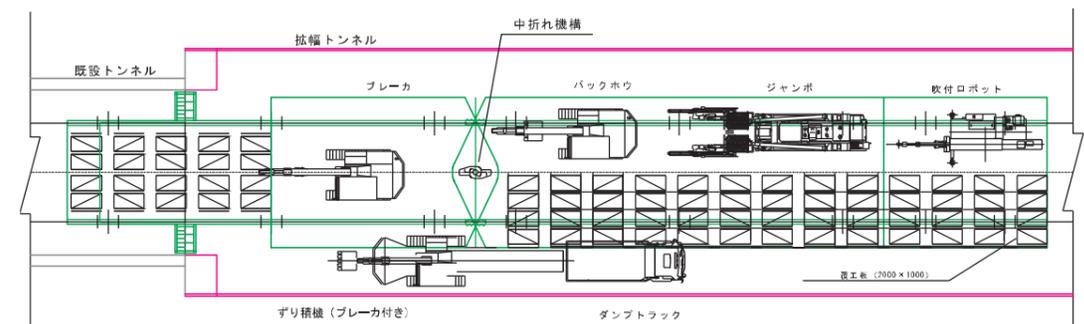
1車線プロテクタで対応する場合、既設および拡大断面はおおよそ3種4級自転車歩道断面程度になります。



要素技術

◆曲線区間対応方法

移動構台にヒンジ構造を設けることで、カーブ線形に対応できます。



共同研究者 独立行政法人土木研究所 (財)先端建設技術センター (株)大林組 五洋建設(株) 東急建設(株) 西松建設(株) 前田建設工業(株) (株)三井三池製作所

πステージ工法

－汎用掘削機 移動式作業構台タイプ（機械掘削）－

従来はどのような技術で対応していたのか

既設の道路トンネルの断面拡大あるいは改築を、車両を通しながら行う活線施工する場合、下記に示す施工法での事例が多い。

- ・交通確保の方法： 図-1に示すような剛性の高いプロテクタをトンネル全線に設置して1車線を確保。
- ・施工法： プロテクタ上部及び両側の限られた空間内で小型の汎用機械を用いた方法を採用。

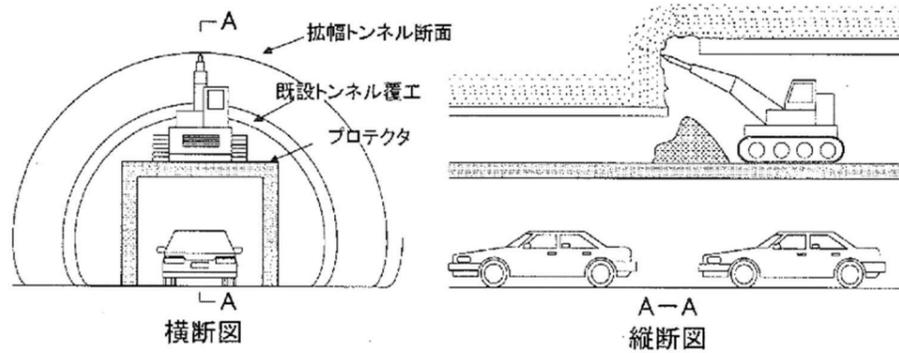


図-1 従来の断面拡大施工法の概要

このため、コストが高い、工期がかかる、長期間の車線規制が必要になるなどの課題を有している。また、これまでの施工事例では、既設トンネルの幅員2~9m程度を6~15m程度へ拡幅するものが多く、トンネル延長は比較的短く、最大でも約330mである。

新規性及び期待される効果

本工法は一般車両のトンネル内の交通確保を可能にした門型（π型）の移動式作業構台（自走式）と、分離移動可能な移動構台（自走式）を適用した全断面掘削方式によるトンネル拡幅掘削工法であり、従来工法に比べて以下の特徴がある。

- ① 移動式構台による作業区間のみの交通規制で、道路利用者の負担を軽減できる。
- ② 移動式構台を覆工型枠センター台車に転用することでコスト削減が期待できる。
- ③ 汎用機械が適用可能であり、機械の搬出入に伴うタイムロスを極力少なくする効率的な施工を可能にする工法である。また、汎用機械を適用することにより代替が可能であるため、機械のトラブル等によるロスは比較的短い。
- ④ トンネル汎用機械を前方防護構台、作業構台と下半盤に配置し、全断面で拡幅掘削を行うため、工期短縮が期待できる。
- ⑤ 切羽防護台車により、既設覆工取壊し及び掘削時に走行車両及び切羽の安全が確保できる。

適用条件、適用範囲

- ① 既設トンネル及び新設（拡大）トンネルの規模
既設トンネル内には、最低1車線の車幅を確保するためにプロテクタを設置する必要がある。一般車両用に内空幅4m、高さ4mの内空断面を確保すると、最低6m程度の内空幅が必要である。
新設トンネルは第3種第4級規格（内空幅11m程度）を対象としているが、これ以上に大きな断面でも施工可能である。

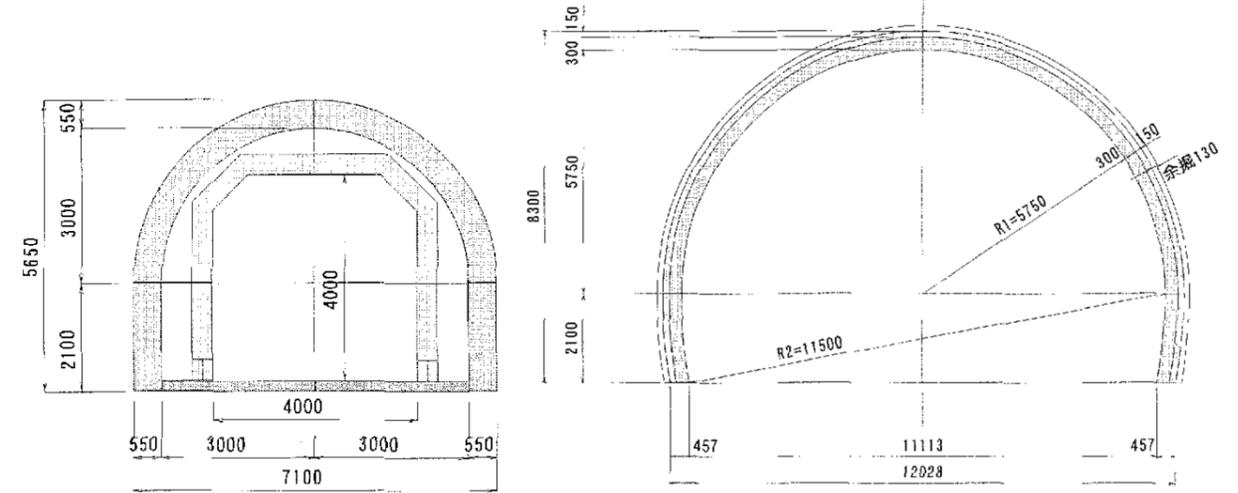


図-2 既設トンネル断面（幅6mの場合）

図-3 新設トンネル断面（第3種第4級規格）

- ② トンネル延長、線形等
本工法が対象とするトンネル施工延長は1km以下である。ただし、これ以上のトンネルでも施工は可能である。
トンネルの平面線形は、中折れ機構があるため、曲線区間のトンネルでも施工可能である。
- ③ 地山条件
本工法が対象とするのは、機械掘削を前提とした軟岩地山である。

留意事項

- 本工法における留意点は以下のとおりである。
- ① 現段階では、移動式作業構台の組立用に広い作業ヤードが必要であり、移動式作業構台のコンパクト化や効率的な組立・搬入方法に対する検討が必要である（現状では、作業構台の搬入・搬出時に計10日程度の夜間通行止めの必要がある）。
 - ② 坑内作業空間の換気方法や移動式作業構台の密閉方法に留意する必要がある。
 - ③ 本工法を長大トンネルに適用する場合、施工方法や施工手順に留意が必要である。

特許等

「移動式作業構台を用いる既設トンネルの拡大工法」：2002年3月19日出願（特願2002-076406）

フラットステージ工法

— 汎用掘削機 移動式作業構台タイプ (機械掘削) —

特徴

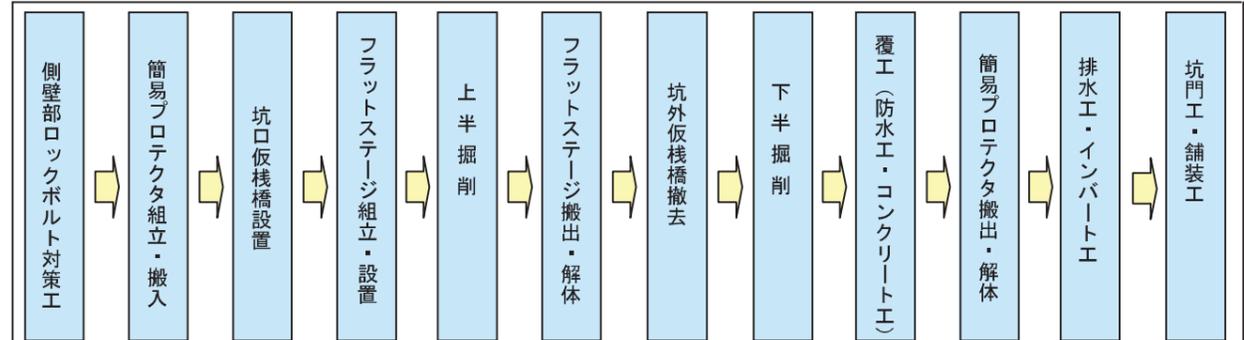
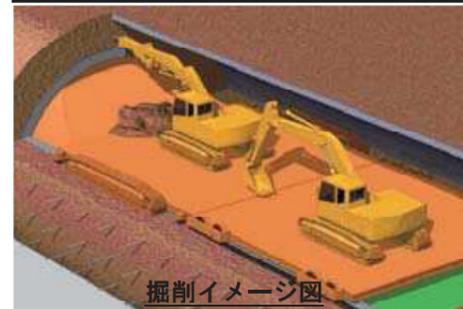
- ・ 2車線を確保した状態で拡大作業が行えます。
- ・ 主に軟岩を対象としています。
- ・ 汎用機械で対応でき効率的な機械の搬出入が可能です。
- ・ 車両防護用プロテクタは簡易な構造で対応できます。

概要

- ① 2車線の車両通行を可能にします。
- ② 亀裂の程度によるが主に**軟岩を対象**としています。
- ③ 一般車両の防護設備として、**固定式の簡易プロテクタと切梁方式による側壁補強**を組合せています。
- ④ 掘削機械の作業足場として、**平板型の移動式作業構台 (フラットステージ)**を車両防護設備と分離することで、**プロテクタは簡易な構造**で対応でき、**コスト縮減**を図っています。
- ⑤ フラットステージは、作業足場・機械待機場用の第1、第2フラットステージとずり出しや機械の搬出入用の第3フラットステージで構成され、**効率的な施工**が可能です。

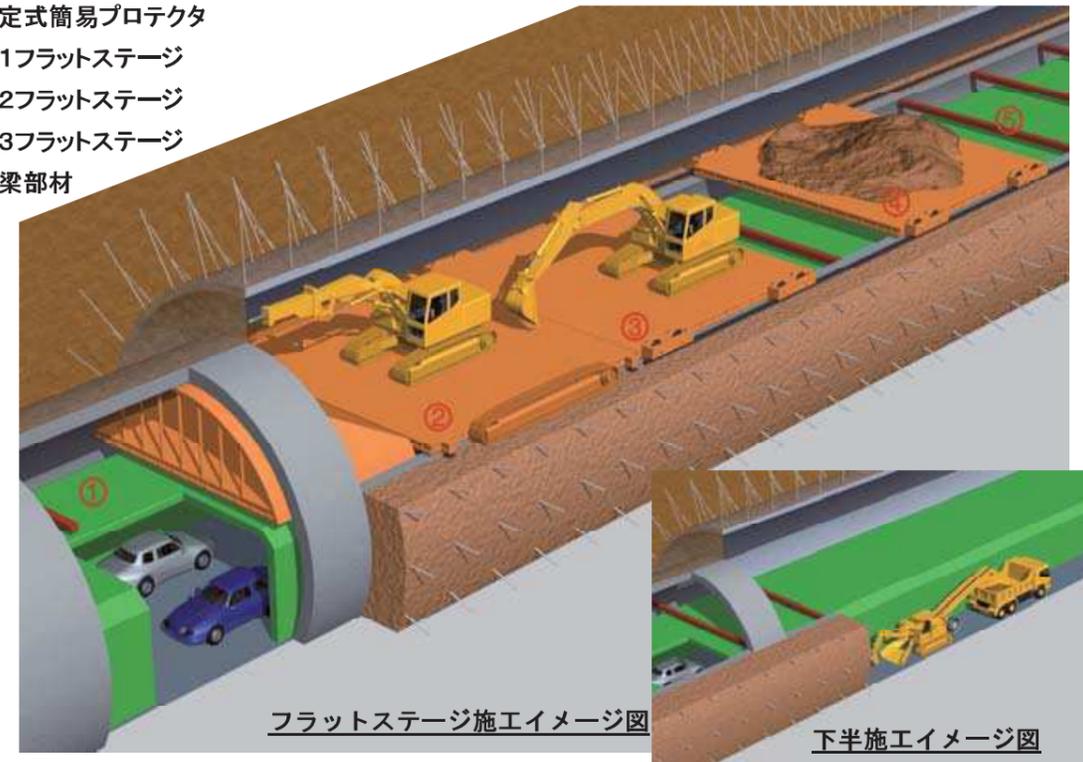
フラットステージの主要仕様(参考)

項目	第1フラットステージ	第2フラットステージ	第3フラットステージ
全備重量	約 80 ton	約 40 ton	約 45 ton
全長	14.2 m	10.0 m	10.0 m
全幅	11.0 m	10.5 m	11.3 m
全高	2.0 m	1.0 m	2.0 m
走行装置	加圧式	—	レール式
走行速度	15 m/min	第1構台に牽引	20 m/min
上載荷重	約 40 ton		



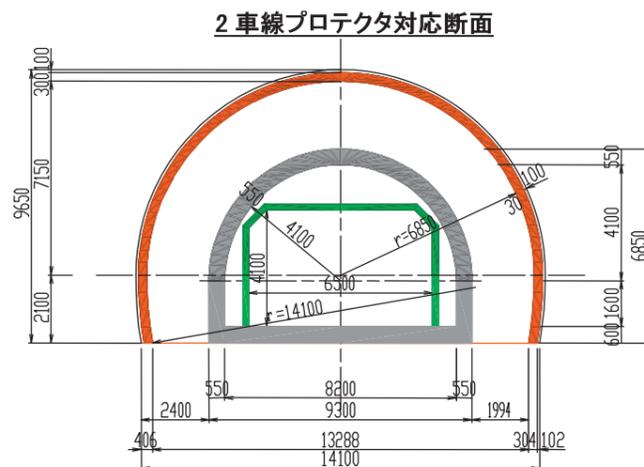
施工フロー図 ※本工法は上半先進掘削工法であり、フラットステージ搬出後、下半施工が可能となる。

- ① 固定式簡易プロテクタ
- ② 第1フラットステージ
- ③ 第2フラットステージ
- ④ 第3フラットステージ
- ⑤ 切梁部材



拡大トンネル断面

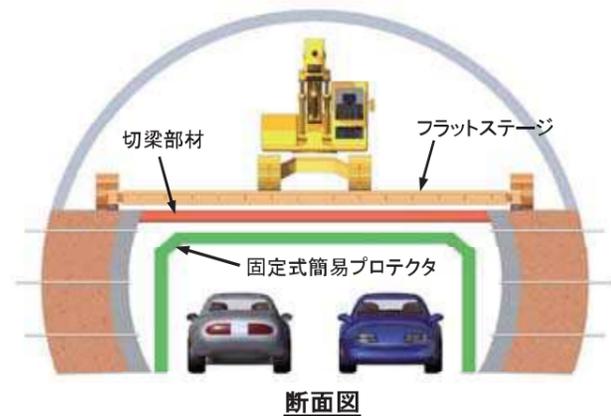
2車線プロテクタで対応する場合、既設トンネルの断面は比較的広い断面 (トンネル幅 8 m 程度の断面) を対象として、拡大する断面はおおよそ 3 種 2 級両側歩道付き程度の断面が必要となります。



要素技術

◆側壁補強方法

上半掘削時において、フラットステージの移動に伴い側壁部に鉛直荷重に対する水平力が作用する。その水平力の影響による**側壁部の転倒防止**に配慮して、側壁部の既設覆工間上部に**切梁方式で水平部材を設置**し側部地山の押出し・覆工の安定化を図っています。



共同研究者 独立行政法人 土木研究所 (財) 先端建設技術センター
(株) 大林組 五洋建設 (株) 東急建設 (株) 西松建設 (株) 前田建設工業 (株) (株) 三井三池製作所

フラットステージ工法

－汎用掘削機 移動式作業構台タイプ（機械掘削）－

従来はどのような技術で対応していたのか

既設の道路トンネルの断面拡大あるいは改築を、車両を通しながら行う活線施工する場合、下記に示す施工法での事例が多い。

- ・交通確保の方法： 図-1に示すような剛性の高いプロテクタをトンネル全線に設置して1車線を確保。
- ・施工法： プロテクタ上部及び両側の限られた空間内で小型の汎用機械を用いた方法を採用。

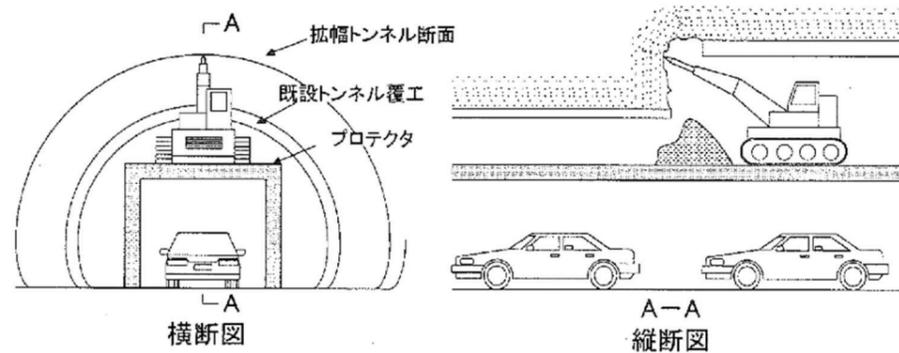


図-1 従来の断面拡大施工法の概要

このため、コストが高い、工期がかかる、長期間の車線規制が必要になるなどの課題を有している。また、これまでの施工事例では、既設トンネルの幅員2～9m程度を6～15m程度へ拡幅するものが多く、トンネル延長は比較的短く、最大でも約330mである。

新規性及び期待される効果

本工法はトンネル内を通行する一般車両の2車線確保を目的とした固定式の簡易プロテクタと、機械の作業足場として活用する平板型のフラットステージ（平板型移動式作業構台）を分離して設けるトンネル拡大掘削工法であり、従来工法に比べて以下の特徴がある。

- ① 2車線を確保した状態で拡大作業が可能であり、固定式簡易プロテクタの構造を簡略化しているため設置・撤去作業の時間が短く、坑外で仮組立を行うことが可能であることから、道路利用者の負担が軽減される。
- ② 汎用機械で対応可能であり、フラットステージ（3分割）とプロテクタが分離構造であることから、施工機械の荷重がプロテクタに影響を及ぼさないため構造が簡略化され、コスト縮減・施工性の向上が期待できる。
- ③ プロテクタは簡易な構造であるが、吹付コンクリートのはく離や小規模な覆工のはく離に耐えうる構造であり、通行車両の安全性は確保される。
- ④ 簡易プロテクタ上部の側壁覆工間に切梁方式で水平部材を設置し、側部地山・覆工の安定化を図る。

適用条件、適用範囲

- ① 既設トンネル及び新設（拡大）トンネルの規模
2車線対応とすることから、既設トンネル内には、 $B=6.5\text{m}$ 、 $H=4.1\text{m}$ の内空を有する2車線プロテクタを設置する必要がある。したがって、既設トンネルはこのプロテクタが入る内空断面が必要となる。よって、既設トンネルの断面の大きさとしては、 $B=8\text{m}$ 、 $H=6.5\text{m}$ 程度以上の内空断面が必要である。新設トンネルの断面については、第3種第2級両側歩道付き程度の断面が必要となる。

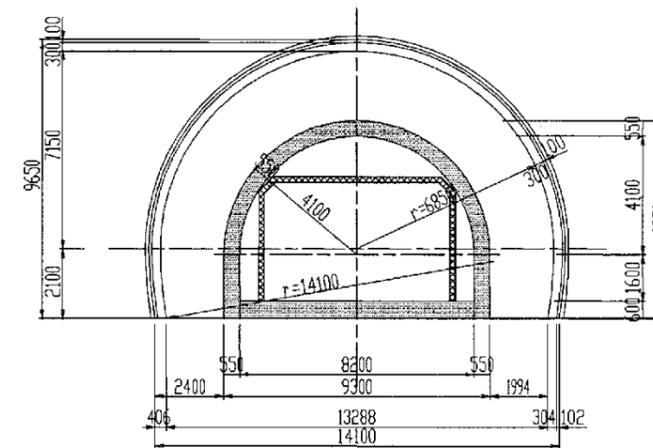


図-2 適用断面

- ② トンネル延長、線形等
本工法が対象とするトンネル施工延長は1km以下である。ただし、これ以上のトンネルでも施工は可能である。
トンネルの平面線形は、工法の特徴を考慮すると曲線での施工は困難と思われる。
- ③ 地山条件
本工法は機械掘削（ブレーカ）を前提とした工法であるため、亀裂の程度によるが主に軟岩を対象としている。

留意事項

- 本工法における留意点は以下のとおりである。
- ① 本工法は、上半施工時において重量の大きいフラットステージを上半盤で移動させる（第二、第三構台の走行はレール方式）ため、走行路盤の不陸整正・地耐力確保が重要となる。側壁部にはフラットステージの鉛直荷重に対する水平荷重が作用するため、側壁部の安定を確保する必要があり、既設覆工の健全度や覆工背面の地山状況により十分検討し、必要に応じて事前補強する必要があるが、それらが不良な場合には本工法の適用性に課題が残る。
 - ② 本工法は、上半掘削が完了したのち下半施工となる上下半独立施工である。したがって、施工延長が長くなる場合には、工期がかかるという課題が残る。
 - ③ 本工法で用いる2車線用簡易プロテクタやフラットステージは、組立用に広い作業ヤードを必要とすることから、簡易プロテクタの1ユニット長や組立方法など、施工条件に合わせた計画を策定する必要がある。

特許等

「既設トンネルの拡大工法」：2002年3月19日出願（特願2002-076398）

三日月形トンネル断面拡大工法

—半専用掘削機タイプ（機械掘削）—

特徴

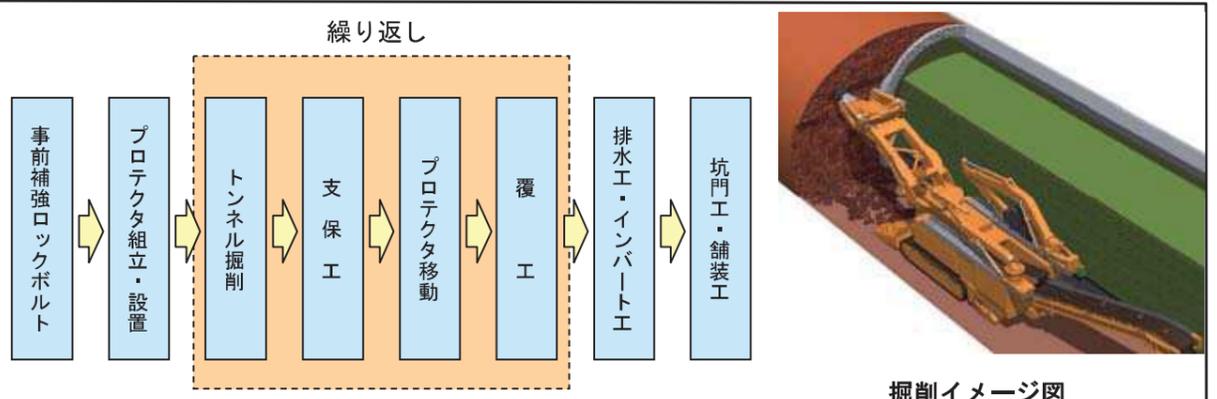
- ・片側拡大とすることで広い作業スペースがとれ、大型重機での作業が出来、中硬岩までの掘削が可能です。
- ・掘削から支保までの作業を1台のマシンで出来ます。
- ・移動方式のプロテクタとしたため、プロテクタ費の削減が可能となります。

概要

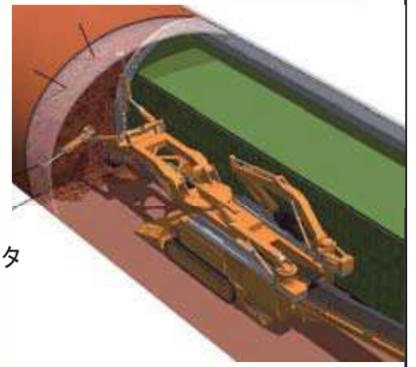
- ① 既設トンネルの片側のみを拡大するため比較的大きな作業スペースがとれ、大型重機の導入で工期短縮となります。
- ② 既設覆工の一部を拡大トンネルの一次支保部材として利用し、覆工の取り壊しや新設の支保部材が低減しコスト縮減となります。
- ③ 延長約130mの移動式プロテクタで、プロテクタ費用の低減が図れます。
- ④ 様々な機能を1台のマシンに取り付けたマルチタイプ掘削機（半専用自由断面掘削機）で、効率的な作業が行えます。



- ① 三日月形拡大断面
- ② マルチタイプ掘削機
- ③ 剛性の異なる移動式プロテクタ
- ④ セントル
- ⑤ シート張り台車
- ⑥ 既設トンネル



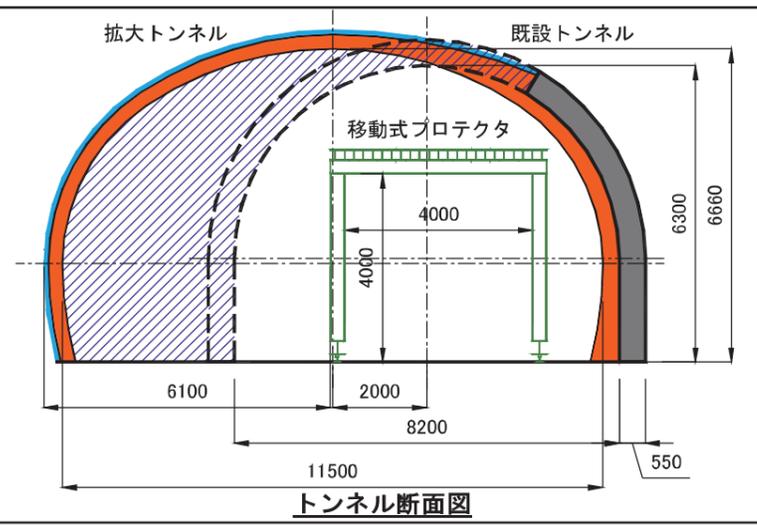
掘削イメージ図



ロックボルト打設イメージ図

拡大トンネル断面

- ・新設トンネルはプロテクタから約5m以上離れている必要があります。
- ・右図の場合、トンネルセンターは2mの移動となります。

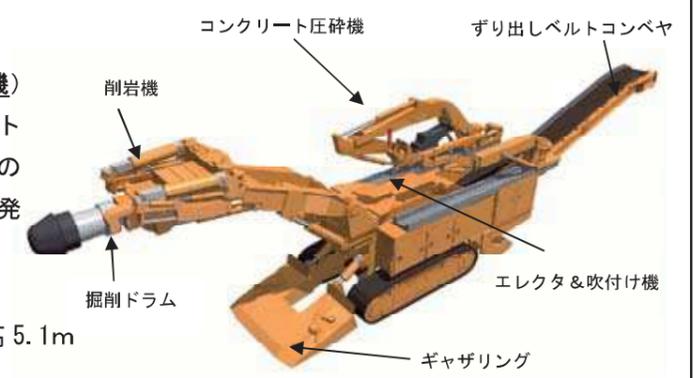


トンネル断面図

要素技術

◆マルチタイプ掘削機（半専用自由断面掘削機）
掘削、覆工取り壊し、吹付け、ロックボルト打設、エレクタ、ズリ掻き寄せの機能を1台のマシンに取り付けたマルチタイプ掘削機を開発しました。

- ・機体寸法：全長23.2m×全幅3.2m×全高5.1m
- ・全重量：約105ton



マルチタイプ掘削機

共同研究者 独立行政法人 土木研究所 (財)先端建設技術センター
清水建設(株) 大成建設(株) (株)フジタ (株)三井三池製作所

三日月形トンネル断面拡大工法

—半専用掘削機タイプ（機械掘削）—

従来はどのような技術で対応していたのか

既設の道路トンネルの断面拡大あるいは改築を、車両を通しながら行う活線施工する場合、下記に示す施工法での事例が多い。

- ・交通確保の方法： 図-1に示すような剛性の高いプロテクタをトンネル全線に設置して1車線を確保。
- ・施工法： プロテクタ上部及び両側の限られた空間内で小型の汎用機械を用いた方法を採用。

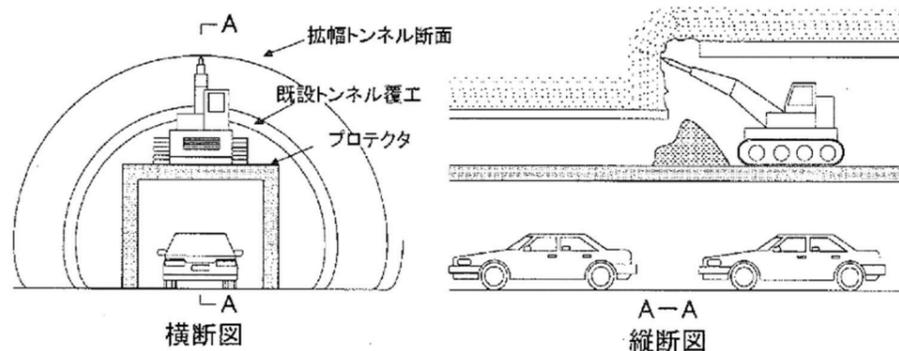


図-1 従来の断面拡大施工法の概要

このため、コストが高い、工期がかかる、長期間の車線規制が必要になるなどの課題を有している。また、これまでの施工事例では、既設トンネルの幅員2~9m程度を6~15m程度へ拡幅するものが多く、トンネル延長は比較的短く、最大でも約330mである。

新規性及び期待される効果

本工法は既設トンネルの片側を拡大する工法であり、特徴としては以下の点が挙げられる。

- ① 既設トンネルの片側のみを拡大するため、比較的大きな作業スペースが取れ、大型重機の導入により工期短縮が期待できる。
- ② 既設覆工の一部を拡大トンネルの一次支保部材として利用することで覆工の取壊しや新設支保部材の低減が可能となり、コスト縮減が期待できる。
- ③ 延長約130mの移動式プロテクタの採用により、プロテクタ費用の低減が期待できる。
- ④ 様々な機能を1台のマシンに取り付けたマルチタイプ掘削機（半専用自由断面掘削機）で効率的な作業が行える。

適用条件、適用範囲

- ① 既設トンネルの規模
本工法は、拡大工事中の一般車防護に移動式プロテクタを設置する工法であることから、既設トンネルの規模は移動式プロテクタが入る内空断面（W=5m程度以上）が必要である。
- ② 新設（拡大）トンネルの規模
新設トンネルの内空断面としては、プロテクタ横の片側に作業スペースとして最低約5m幅が必要である。

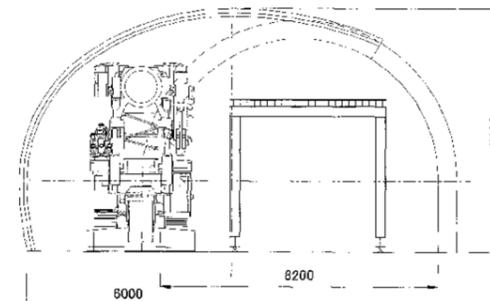


図-2 片側拡大による作業スペース（幅6mの例）

- ③ トンネル延長、線形等
トンネル延長に対する制限は特にない。
トンネル線形に対しては、一般に作業余裕幅80cm程度あれば掘削可能であるため、R=80m程度の曲率及びi=3%程度の縦断勾配まで対応可能である。

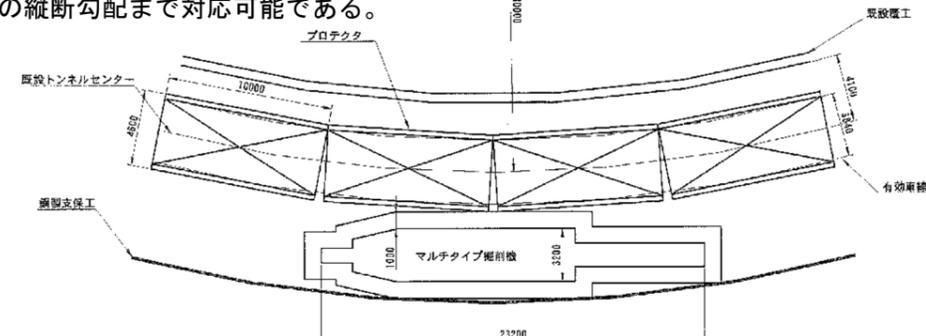


図-3 R=80の場合のプロテクタ及び掘削機配置

- ④ 地山条件
効率的な掘削ドラムを用いた機械掘削が可能な地山強度は概ね50MPa程度である。亀裂状態にもよるが、80MPa程度まではマルチタイプ掘削機の掘削ドラムを大型ブレードに切り替えることにより掘削可能である。さらに、ブレードでも掘削不可能な硬岩が出現した場合、割岩工法を採用する。

留意事項

- 本工法における留意点は以下のとおりである。
- ① 既設覆工の一部を支保部材として利用するため、接合部の位置や構造は既設トンネルの状況（覆工の健全性、鋼アーチ支保工の有無）、新設トンネルの施工性や経済性を考慮して、FEM解析等を実施して慎重に決定する必要がある。
 - ② 既設覆工の一部を支保部材として利用する工法であり、既設覆工の損傷を小さくするとともに、継手部の強度が得られるように施工する必要がある。
 - ③ マルチタイプ掘削機の1機能でも停止すると作業全体が止まるなどのロスが発生する。日常のマルチタイプ掘削機の整備、維持管理に配慮するとともに、マルチタイプ掘削機使用による並行作業などサイクルタイムの短縮に努める必要がある。
 - ④ プロテクタを移動式にし、用途に応じて仕様を変えて部材等のコストダウンを図っていることから、過積載にならないよう注意が必要である。

特許等

- 「トンネル拡幅工法及び装置」：1999年9月13日出願（特願平11-259587）
- 「トンネル断面拡大工法及びトンネル内一般車両保護構造」：2002年8月28日出願（特願2002-248076）
- 「トンネル拡幅時の支保工接続構造および方法」：2002年8月29日出願（特願2002-251913）
- 「トンネル拡幅工事用作業台車」：2002年8月29日出願（特願2002-251813）
- 「既設トンネルの拡幅工事用換気装置及び換気方法」：2002年8月29日出願（特願2002-251842）
- 「プロテクター装置およびプロテクター装置上のずり排出方法」：2002年8月30日出願（特願2002-256163）
- 「作業足場付きプロテクタ」：2002年8月30日出願（特願2002-252265）
- 「トンネル拡幅工事用プロテクターと一体の運搬設備」：2002年8月30日出願（特願2002-252264）

既設覆工を利用したノンプロテクタ拡大工法

— 汎用掘削機 既設覆工利用タイプB（機械掘削） —

特徴

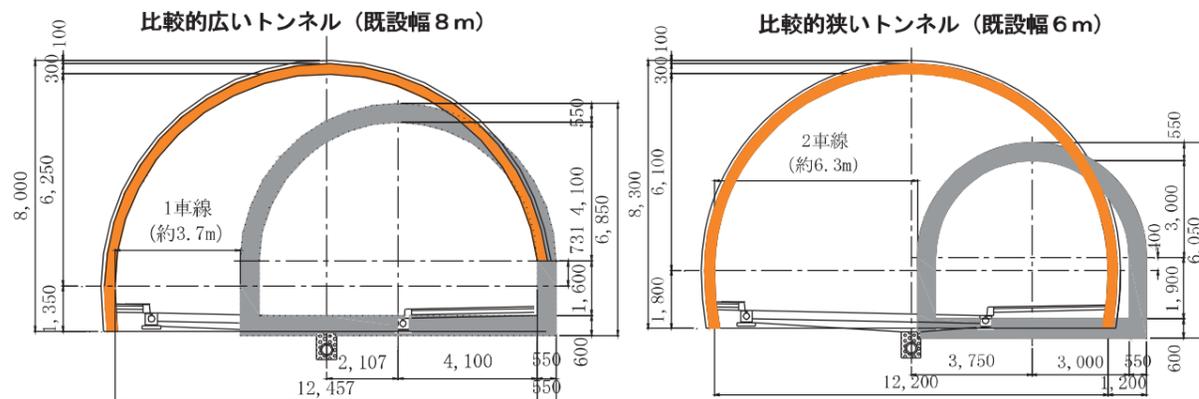
- ・ 既設覆工をプロテクタとして利用し、2車線を確保した状態で拡大作業が行えます。
- ・ 中硬岩地山まで適用できる工法です。
- ・ 汎用機械を使って施工する工法です。

概要

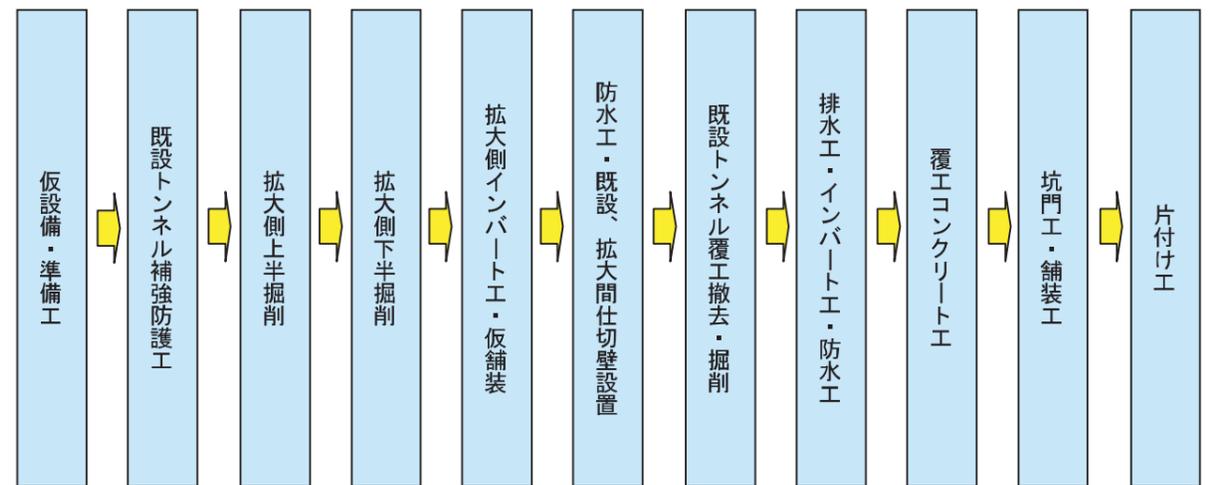
- ① 片側断面拡大とすることにより作業スペースが広くとれ、効率的な施工ができます。
- ② 既設覆工をプロテクタとして利用するため、2車線の車両通行を可能にします。
- ③ 既設覆工をプロテクタとしているため、一般通行車両には、掘削に伴う粉じん、騒音などの影響が少なくすみます。
- ④ 通行規制がほとんどないので、道路利用者への負担が少なくすみます。
- ⑤ 汎用機械・設備で施工が可能で、中硬岩まで適用可能です。
- ⑥ 拡大側を掘削した後、既設トンネルと拡大側の間に間仕切壁を設けて、一般通行車両の安全を確保します。

拡大トンネル断面

- ・ 既設トンネルの規模に制約はなく、どの大きさでも対応可能です。
- ・ 片側拡大する幅は、最低でも1車線を確保できる寸法を必要とします。

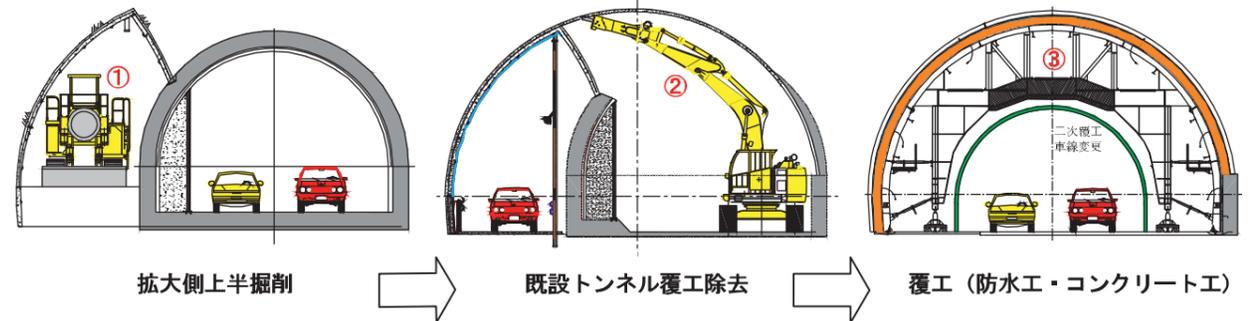


◆施工フロー



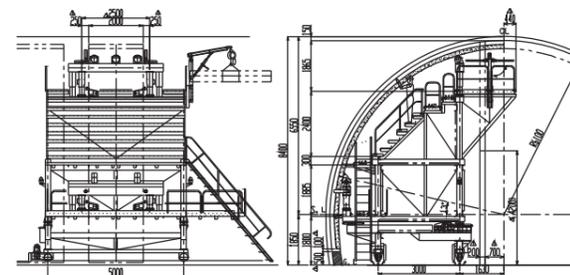
通行規制なし	夜間一時通行止	通行規制なし	片側1車線交互通行	通行規制なし (車線変更)	通行規制なし
--------	---------	--------	-----------	---------------	--------

- ① 自由断面掘削機
- ② ブレーカ
- ③ スライドセントル



要素技術

◆プレキャスト版を用いた覆工コンクリート



- ・ 既設トンネルが比較的狭い場合、専用台車を用いて、プレキャスト版による覆工が可能です。

◆充填コンクリートによる既設トンネルの補強



- ・ 既設トンネルが比較的広い場合、コンクリートを充填して、拡大側上半掘削時に作用する荷重に耐える構造にします。

共同研究者 独立行政法人 土木研究所 (財)先端建設技術センター
(株)奥村組 鹿島建設(株) (株)熊谷組 (株)三井三池製作所

既設覆工を利用したノンプロテクタ拡大工法

－汎用掘削機 既設覆工利用タイプB（機械掘削）－

従来はどのような技術で対応していたのか

既設の道路トンネルの断面拡大あるいは改築を、車両を通しながら行う活線施工する場合、下記に示す施工法での事例が多い。

- ・交通確保の方法： 図-1に示すような剛性の高いプロテクタをトンネル全線に設置して1車線を確保。
- ・施工法： プロテクタ上部及び両側の限られた空間内で小型の汎用機械を用いた方法を採用。

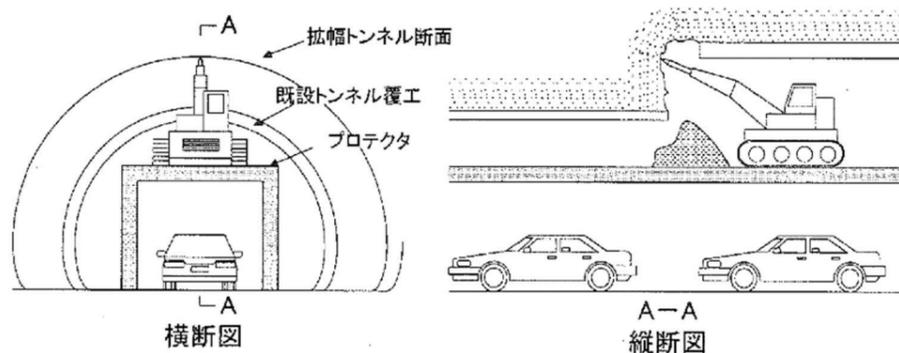


図-1 従来の断面拡大施工法の概要

このため、コストが高い、工期がかかる、長期間の車線規制が必要になるなどの課題を有している。また、これまでの施工事例では、既設トンネルの幅員2～9m程度を6～15m程度へ拡幅するものが多く、トンネル延長は比較的短く、最大でも約330mである。

新規性及び期待される効果

本工法は既設トンネルの覆工を2車線プロテクタとして利用し、汎用機械により既設トンネルの拡大掘削を行う工法であり、従来工法に比べて以下の特徴がある。

- ① 既設覆工をプロテクタとして利用するため、交通規制の期間が短くなり、道路利用者への負担が少ない。
- ② 既設覆工をプロテクタとして利用するため、掘削に伴う粉塵、騒音等の影響が少ない。
- ③ 既設覆工をプロテクタとして利用するため、堅固なプロテクタが不用であり、汎用機械を使用できることからコスト縮減が期待できる。
- ④ 片側断面拡大とすることにより広い作業空間が確保され、効率的な施工が可能である。
- ⑤ 既設トンネルの覆工撤去と地山掘削が分離されるため、産廃処理が容易である。

適用条件、適用範囲

- ① 既設トンネル及び新設（拡大）トンネルの規模
本工法は、既設トンネルの覆工をプロテクタとして利用するため、既設トンネルの規模に制約はなく、どの大きさのトンネルにも適用可能である。
ただし、拡大する幅は、少なくとも1車線が確保できる寸法を必要とする。

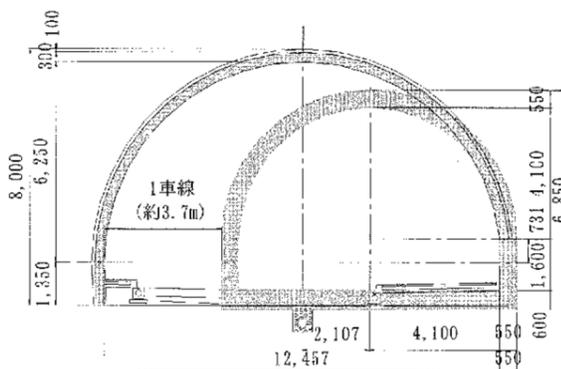


図-2 拡大トンネル断面（比較的広いトンネル：既設幅8m）

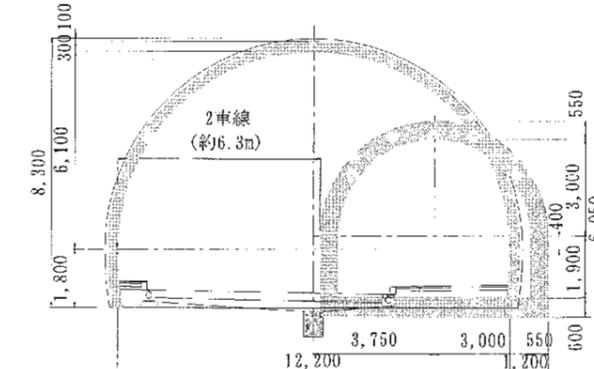


図-3 拡大トンネル断面（比較的狭いトンネル：既設幅6m）

- ② トンネル延長、線形等
トンネル延長は、片側断面拡大側の作業空間にもよるが、経済性の観点から700m程度までの比較的短いトンネルを対象とする。
- ③ 地山条件
本工法は、大型汎用機・設備による機械掘削を前提とし、対象地山は中硬岩～土砂地山までの幅広い地質条件に対応可能である。地山強度は、効率的な機械掘削が可能である一軸圧縮強度50MPa程度までであるが、50MPa以上の強度においては、ブレイカなどによる工法を採用する。

留意事項

本工法における留意点は以下のとおりである。

- ① 既設覆工の健全度評価、覆工背面地山の安定性を評価し、地山条件に対応した適切な事前補強を行う必要がある。
- ② 鋼アーチ支保工、コンクリート、木矢板など、鉄類、木片、岩、土が混在する場合のずりの効率的な分別方法を検討する必要がある。
- ③ 拡大幅が狭隘な場合、効率的な重機の離合・退避方法を検討する必要がある。
- ④ 狭隘な空間でのロックボルト打設の効率化を図るため、事前に先行打設する長尺ロックボルトのコストと工程の縮減を図る必要がある。
- ⑤ 幅員が狭く、延長が長いトンネル内での一般通行車両運転者への心理的な配慮が必要である。
- ⑥ 本線を挟んで坑口の両側に仮設ヤードの設置が可能な場所を確保するとともに、一般通行車両と工事用車両の交差を極力さけるための配慮が必要である。

特許等

「トンネルの拡幅方法、トンネル及び簡易プロテクタ」：2002年3月25日出願（特願2002-082434）
「拡幅トンネルの築造方法」：2002年3月25日出願（特願2002-083417）
「拡大トンネルの築造方法」：2003年3月24日出願（特願2003-079584）

問い合わせ先

国土交通省関東地方整備局 道路部道路工事課

〒330-9724 埼玉県さいたま市中央区新都心2番地1

TEL 048(600)1344 FAX 048(600)1386