共同研究報告書
整理番号 第303号

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)—

平成16年３月

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　飛島建設株式会社　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

Copyright © (2004) by P.W.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

共同研究報告書
第303号2004年3月

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)—

独立行政法人土木研究所	基礎道路技術研究グループ	上席研究員	真下　英人
	同	主任研究員	石村　利明
	同	前主任研究員	蒲田　浩久
財団法人先端建設技術センター	研究第一部	主任研究員	若林　　明
	同	前主任研究員	中森純一郎
株式会社大林組	東京本社　土木技術本部技術第二部	技術部長	大浦　道哉
	同	技術課長	藤井　　剛
株式会社奥村組	技術本部土木部	部長	阿久津秋秀
	同	部長	水原　憲三
鹿島建設株式会社	土木管理本部　土木工務部	グループ長	伊藤　範行
	同	前課長	平野　敏広
株式会社 熊谷組	土木事業本部　トンネル技術部トンネルグループ	副部長	垣内　幸雄
	同　　土木部機材グループ	副部長	安川　良博
五洋建設株式会社	技術研究所　基幹技術グループ	係長	山本　一郎
佐藤工業株式会社	土木本部技術部門	技術部門長	今岡　彦三
	同　　リニューアル・新技術グループ	課長	林　　忠男
清水建設株式会社	土木事業本部　技術第二部	部長	木内　　勉
	同	課長	藤原　康政
大成建設株式会社	土木本部土木技術部　トンネル技術室	次長	吉富　幸雄
	同	次長	堀内　秀行
東急建設株式会社	土木エンジニアリング部	トンネルグループリーダ	鈴木　祥三
戸田建設株式会社	土木本部　土木工事技術部	技術課長	熊谷　成之
	同　　土木工事部	機電課長	吉沢　武久
飛島建設株式会社	土木本部　土木部	トンネル担当部長	桜井　敏晴
	機電部	担当部長	渡辺　光生
西松建設株式会社	技術研究所	技術研究部長	木村　　哲
	施工本部　土木設計部	副課長	盛重　知也
株式会社間組	土木事業本部	トンネル統括部長	鈴木　雅行
株式会社フジタ	土木本部技術統括部トンネルシールド部	主席コンサルタント	広畑　義和
	技術センター土木研究部	主任研究員	野間　達也
前田建設工業株式会社	技術本部　技術研究所　技術開発土木グループ	部長	井上　博之
古河機械金属株式会社	開発機械本部　吉井工場　　工場長代理 兼 搭載機設計二課長		阿部　裕之
株式会社三井三池製作所	産業機械部設計グループ	調査役	柏村　紀臣

要　旨

車両の大型化、交通量の増大、老朽化などの要因により、既設トンネルの断面を供用中のまま拡大するケースが増えてきている。このため、(独)土木研究所、(財)先端建設技術センターおよび民間17社との共同研究により、従来のトンネル断面拡大工法に比べてコスト縮減、工期短縮が図られ、車線規制期間が極力短くできる施工法の開発を行うとともに、既設トンネルの状態や断面拡大の特徴を考慮した拡幅トンネルの断面形状・支保構造について検討を行ってきた。本共同研究報告書は、共同研究成果のうち、新たに開発した各施工法について「既設トンネル断面拡大工法 施工マニュアル(案)」としてとりまとめたものである。

キーワード：断面拡大トンネル、施工マニュアル

はじめに

車両の大型化、交通量の増大、老朽化などの要因により、既設トンネルの断面を供用中のまま拡大するケースが増えてきている。しかしながら、現状のトンネル断面拡大工法は、コストが高い、工期がかかる、長期間にわたって車線規制が必要になるなどの課題を有している。

このため、(独)土木研究所では、(財)先端建設技術センターおよび民間１７社との共同研究により、現状のトンネル断面拡大工法に比べてコスト縮減、工期短縮が図られ、車線規制期間が極力短くできるような施工法について主に机上検討による開発を行ってきた。その結果、本共同研究では、新たな断面拡大工法として８工法を提案した。本共同研究報告書は、これまでの検討結果を、「既設トンネル断面拡大工法　施工マニュアル(案)」としてとりまとめたものであり、第１編に提案した断面拡大工法の概要、第２編から第９編に提案工法の施工法の施工マニュアルをとりまとめた。

実現場への適用にあたっては、検討対象となる個別のトンネルの諸条件をもとに詳細な検討が必要となるが、本施工マニュアル(案)が今後の断面拡大トンネルの施工法を検討する際の参考資料として活用されるとともに、本報告書で提案した工法が実施工に適用されれば幸いである。

既設トンネル断面拡大工法　施工マニュアル（案）

目　次

第１編　断面拡大工法の概要

第２編　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）―

第３編　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（爆破掘削）―

第４編　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）―

第５編　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）―

第６編　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）―

第７編　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）―

第８編　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）―

第９編　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）―

第１編　断面拡大工法の概要

目　　次

1．トンネル断面拡大工法の現状 …… 1-1

　1．1　既設トンネルの断面拡大工法の実態 …… 1-1

　1．2　既設トンネルの断面拡大工法の課題 …… 1-1

2．トンネル断面拡大工法の開発 …… 1-2

　2．1　既設トンネルの断面拡大工法の開発 …… 1-2

　2．2　断面拡大工法の種類と新技術 …… 1-3

　2．3　提案する既設トンネルの断面拡大工法の概要 …… 1-4

1．トンネル断面拡大工法の現状

1．1　既設トンネルの断面拡大工法の実態

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（部分通行止め、夜間通行止めを含む）する場合、下記に示す施工法での事例が多い。

① 交通確保の方法は図-1.1.1 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 車線を確保している。

② 施工法は、約 8 割の事例がプロテクタ上部およ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している。

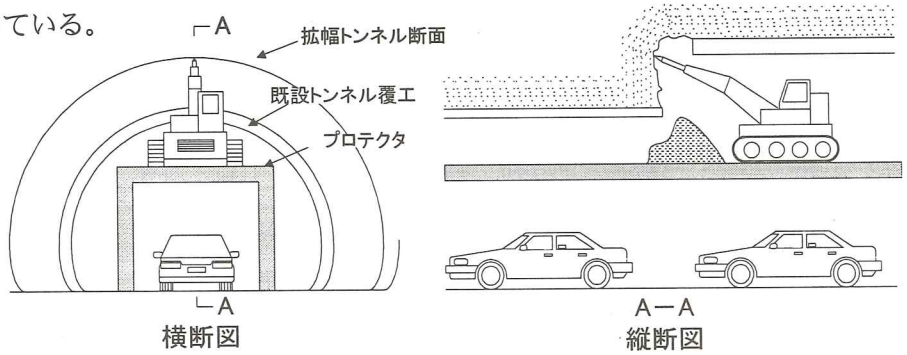


図-1.1.1　従来の断面拡大施工法の概要

このため、施工性が悪く切羽の進行が極端に低下し、工期、工費ともに高くなっているのが現状である。また、これまでの施工事例では、トンネル延長と拡幅規模は、既設トンネルの幅員 2m～9m 程度を 6m～15m 程度へ拡幅する事例が多く、トンネル延長は比較的短く、最大でも約 330m である。

1．2　既設トンネルの断面拡大工法の課題

1．1で示した断面拡大施工法の現状から課題を整理すると以下の項目が考えられる。

① 高価な剛性の高いプロテクタを全線に設置しているため、トンネル延長が長くなると工事費が急激に高くなる。

② 作業空間が狭い上に汎用機を使用しているため、機械の入れ替えや掘削土の搬出が困難で、トンネル延長が長くなると施工性が悪くなり、工事費も高くなる。

③ 交通規制を必要とする場合が多く、距離が長くなると適用が難しくなる。

したがって、断面拡大工法の開発にあたっては下記を考慮した検討が必要である。

① プロテクタによって作業空間が狭くなり、掘削、土砂搬出、支保工設置の各工程に合わせて各種機械をトンネル出口まで出し入れする必要がある。このため、従来に増して十分な作業空間を確保でき、効率性･経済性の高いプロテクタ構造の開発が必要である。

② 工事規制期間が長いと社会的コストが大きくなるため、車線規制を極力行わない施工法の開発が必要である。

③ 狭隘な作業空間での機械の入れ替えに時間を要するため、この入れ替え時間を短縮する方法、掘削から吹付けコンクリートの施工までの一連の作業をシステム化して急速施工ができる専用機械等による方法の開発が必要である。

2．トンネル断面拡大工法の開発

2．1　既設トンネルの断面拡大工法の開発

現状施工法の課題を踏まえ、既設トンネルの断面拡大工法の開発を行った。表-2.1.1 に開発した断面拡大工法の８工法について一覧を示す。また、各工法が対象とする地盤と概略トンネル延長の概略の適用範囲を図-2.1.1 に示す。以下に開発した工法の主な概要を記述する。

表-2.1.1　開発工法一覧

開発工法名	工法分類	車線規制の有無	掘削方式	掘削方式	プロテクタ構造	断面拡大の方向	対象地山	対象延長
ハイブリッドＴＷＳ工法	専用掘削機門型タイプ（機械掘削）	１車線規制	専用機	機械掘削	移動式プロテクタ	両側	軟岩から中硬岩	中から長
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）	２車線確保[1)]	専用機・汎用機	爆破掘削	移動式プロテクタ	両側	土砂から硬岩	短から長
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）	１車線規制	半専用機	機械掘削	移動式プロテクタ	片側	中硬岩まで	短から長
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）	２車線確保[2)]	専用機	機械掘削	既設覆工を利用	両側	軟岩まで	中から長
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（機械掘削）	２車線確保[2)]	汎用機	機械掘削	既設覆工を利用	両側	中硬岩まで	短から中
既設覆工を利用したノンプロテクタ拡大工法		２車線確保[2)]	汎用機	機械掘削	既設覆工を利用	片側	中硬岩まで	短から中
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）	１車線規制	汎用機	機械掘削	移動式プロテクタ	両側	軟岩	短から中
フラットステージ工法		２車線確保[1)]	汎用機	機械掘削	既設覆工を利用＋固定式（簡易プロテクタ）	両側	軟岩	短から中

注）1）：既設トンネルの断面が小さい場合は現況交通を確保できない場合がある。一時的な車線規制がある。
　　2）：既設トンネルの断面に関係なく現況交通が確保できる。一時的な車線規制がある。

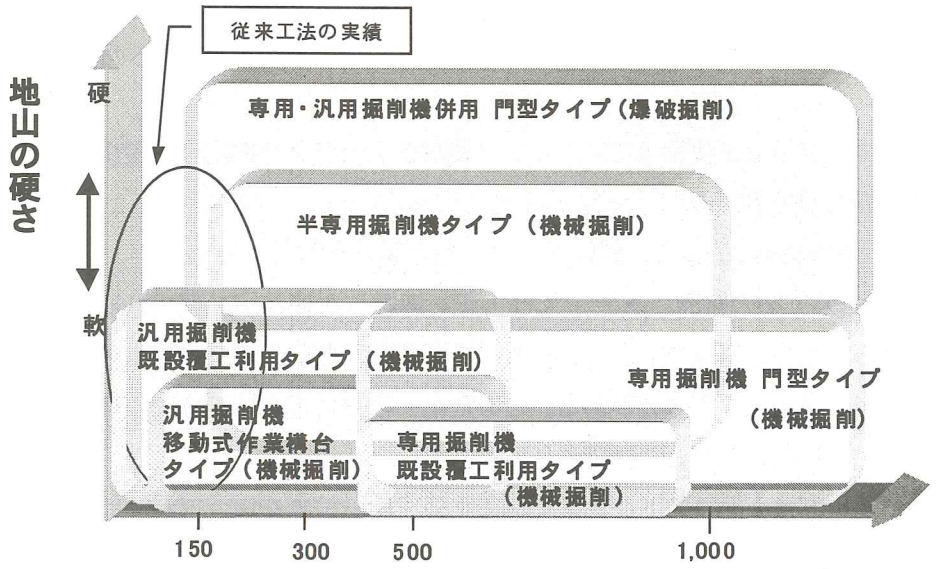


図-2.1.1　開発工法の適用範囲の目安

2．2　断面拡大工法の種類と新技術

断面拡大時の断面形状は、断面拡大の要求性能（高さのみの拡大、幅のみの拡大、幅・高さの拡大）に応じた合理的な断面形状とすることが必要である。また、拡大トンネル前後の道路状況や断面拡大トンネルの平面線形の条件、既設トンネル覆工の条件等によっても合理的な断面形状が変わってくると考えられる。そこで、断面拡大の要求性能と諸条件との関係について整理を行い、今回提案する施工法も含めて既設トンネルの大きさ、覆工状態などから対象トンネルに適した断面形状を設定するフロー図を図-2.2.1 に整理した。

拡大後の断面形状は、図-2.2.1 に示すように必要な拡大量、拡大方向によって、大きく 4 パターンに分類できる。上部部分拡大は、高さだけが足りない時に必要量を上方に拡大する方法であるが、作業空間が非常に狭く作業効率が悪くなり、結果的に全面拡大に比べコスト高になる場合がある。片側全面拡大は、拡幅を片側に集中することで作業空間を大きくして効率的に作業する方法であるが、道路線形などの制約条件を受けるほか、既設覆工の健全度も重要な要素となる。これらを総合的に判断して最適な拡大断面形状を決める必要がある。

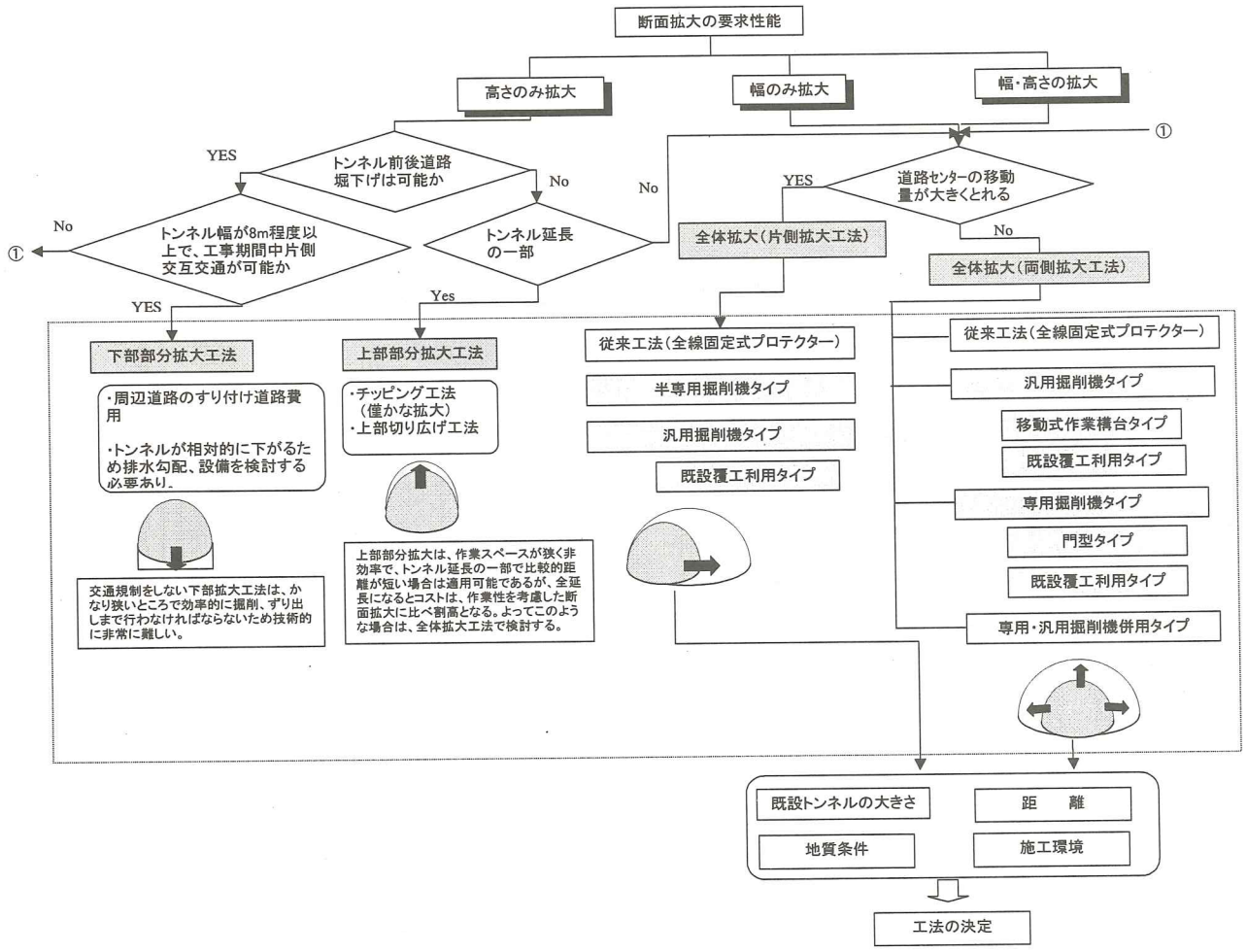


図-2.2.1　断面形状設定のフロー図

２．３　提案する既設トンネルの断面拡大工法の概要

（１）ハイブリッド TWS 工法

本工法は、図-2.3.1 に示すように活線拡大専用の門型掘削機と移動式プロテクタを組合わせたハイブリッド TWS（トンネル・ワーク・ステーション）により、安全かつ急速施工を可能にする工法であり、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ある。主な特徴は、以下に示すとおりである。

① 対象地山は主に軟岩から中硬岩とした。また、部分的な硬岩に対しては、門型掘削機に搭載している穿孔機で穿孔し、割岩工法により掘削を行う。

② 活線拡大専用の門型掘削機と一般車両防護のための移動式プロテクタを組合わせた工法であり、掘削作業と覆工作業が干渉することがなく、効率的な作業が可能である。

③ 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、急速施工が可能である。

④ 掘削等による発生粉じんは集じん機により処理し、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とした。

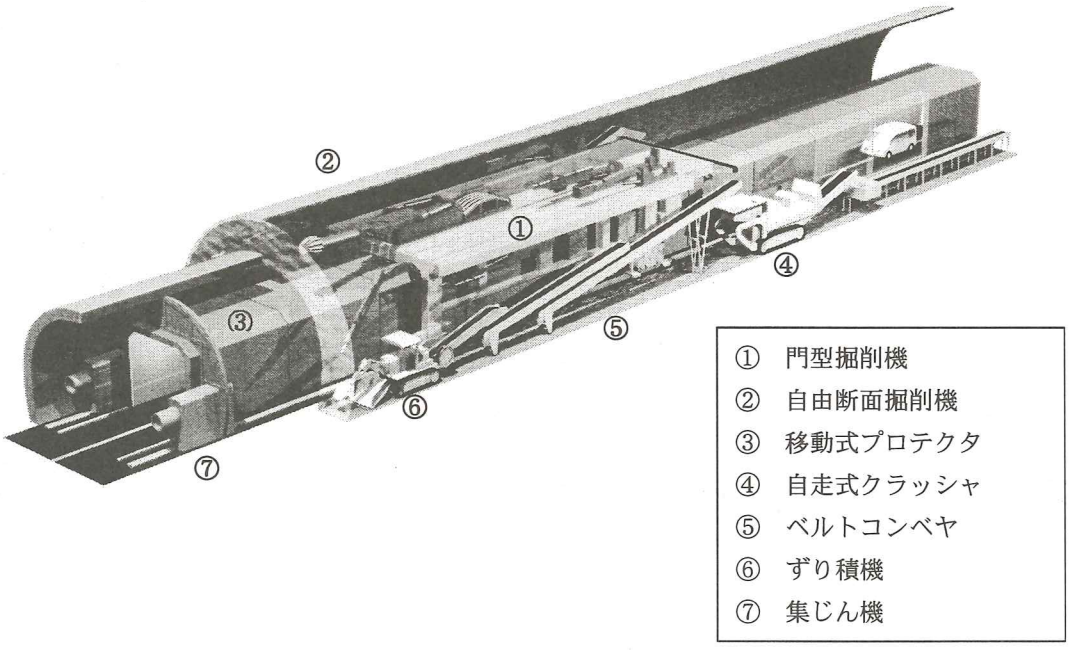


図-2.3.1　ハイブリッド TWS 工法の概略

（2）ナポレオンハット型ステージ工法

本工法は、図-2.3.2 に示すように幅広い作業スペースが確保できる移動式プロテクタ上をスライドする作業架台（ナポレオンハット型構造）を用いた爆破掘削を主体とした工法である。主な特徴は、以下に示すとおりである。

① 爆破掘削が可能であり、硬岩地山まで幅広い地質条件に対応できる。

② 既設トンネルが大きい場合には、2 車線を確保した状態で拡大作業が可能である。

③ 幅広い作業架台上に配置した専用・汎用機械で掘削から支保までの一連の作業が効率的に実施できるので、トンネル延長が 1,000m以上での活線拡大において、大幅な工期短縮、工費低減が可能である。

④ 爆破時前後には、一時的な全面的通行規制が必要となる。

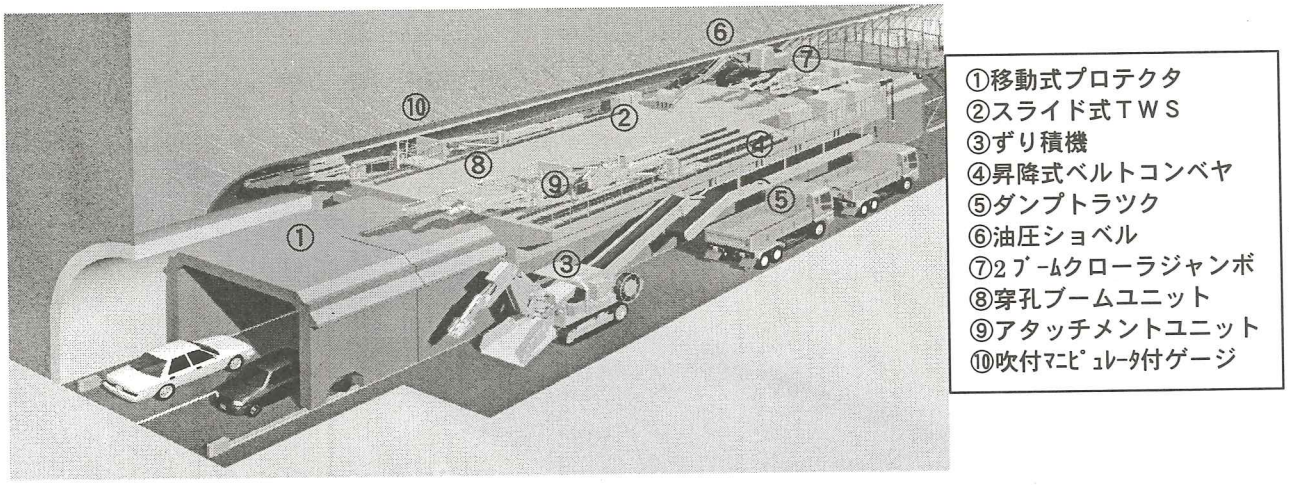


図-2.3.2　ナポレオンハット型ステージ工法の概略

（3）三日月形トンネル断面拡大工法

本工法は、図-2.3.3 に示すように片側拡大とすることで広い作業スペースがとれ、様々な機能を 1 台のマシンに取り付けた大型のマルチタイプ掘削機（半専用自由断面掘削機）により掘削から支保まで効率的な作業ができる工法である。主な特徴は、以下に示すとおりである。

① 自由断面掘削機に覆工取り壊し、吹付け、ロックボルト打設、エレクタおよびずり掻き寄せの機能を取付けたマルチタイプ掘削機により中硬岩までの掘削が可能であり、サイクルタイムの大幅な向上を図ることができる。

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、覆工の取り壊しの省略や新設の支保部材の低減ができる。

③ 剛性の異なる（切羽周辺を高剛性）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図れる。

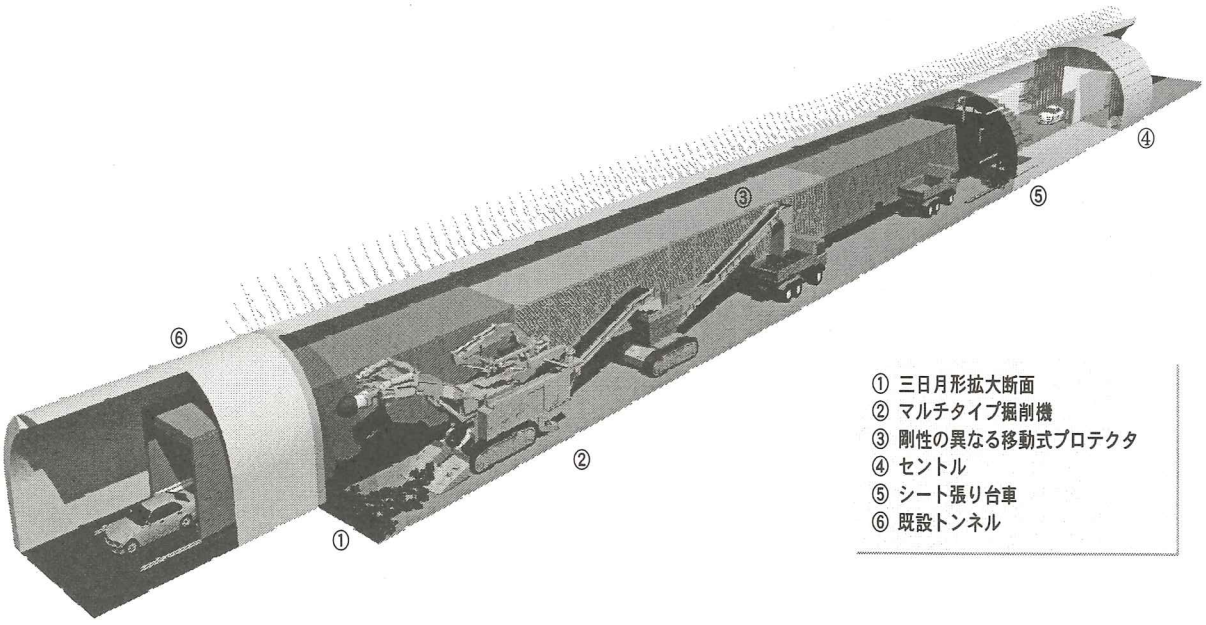


図-2.3.3　三日月形トンネル断面拡大工法の概略

（4）アーチカット工法

本工法は、図-2.3.4 に示すように既設トンネルの両側を先行して導坑掘削した後、既設覆工をプロテクタとして利用し、掘削、支保（吹付・ロックボルト・鋼アーチ支保工の建込み）、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た多機能型のアーチ型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る工法である。主な特徴は、以下に示すとおりである。

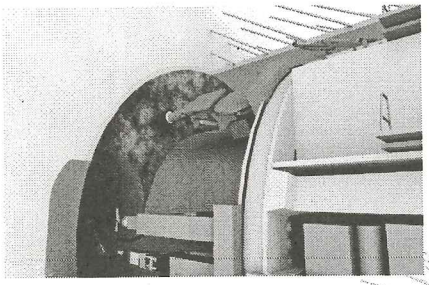
① アーチ型の専用機により主に軟岩地山を対象とした。

② アーチ型の専用機は、掘削、コンクリート吹付け、ロックボルト打設、支保工建込みの装置機能を持ち、従来のような工種別の重機入替えが不要、また離合スペースを減らせる分、断面拡大を小さくすることができる。

③ 覆工をプロテクタとして利用することで、2 車線を確保した状態で拡大作業が可能である。

④ 既設トンネルの両側に予め導坑を施工し、その導坑を利用して、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あり、効率的な施工ができる。

⑤ 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、一般通行車輌の安全を確保する。



拡大掘削切羽イメージ

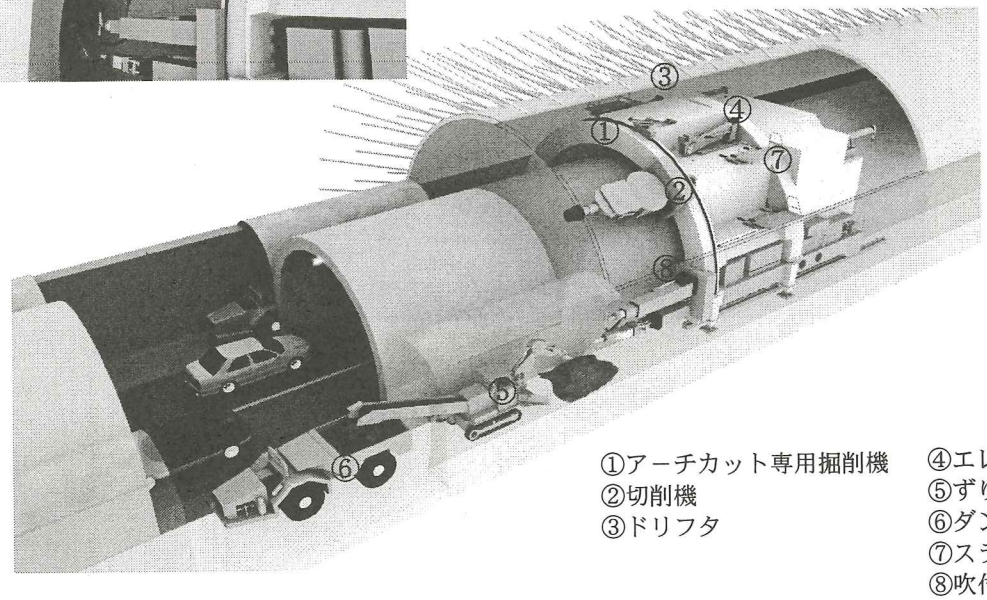


図-2.3.4　アーチカット工法の概略

（5）側壁導坑先行両側拡大工法

本工法は、図-2.3.5 に示すように既設トンネルの両側を先行して導坑掘削した後、既設覆工をプロテクタとして利用し、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する。主な特徴は、以下に示すとおりである。

① 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る。

② 既設覆工をプロテクタとして利用することで、2 車線を確保した状態で拡大作業が可能である。

③ 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でき、効率的な施工ができる。

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る。

⑤ 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、一般通行車輌の安全を確保する。

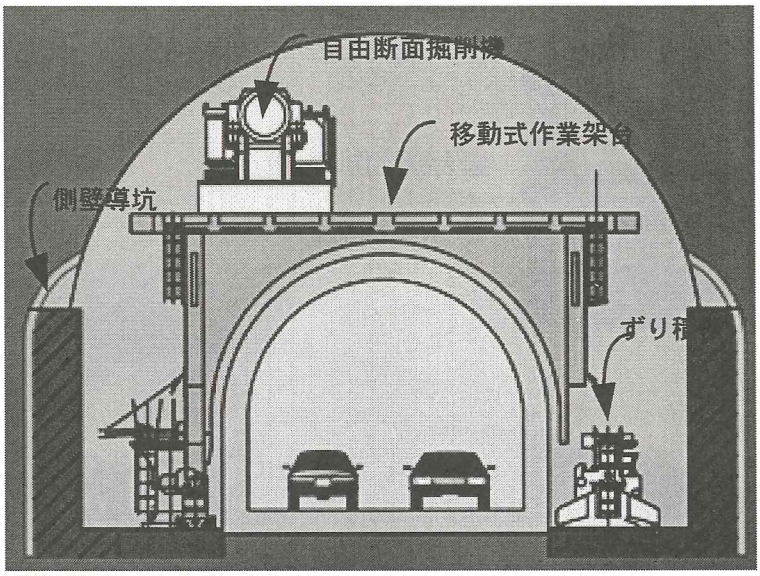


図-2.3.5　側壁導坑先行両側拡大工法の概略

（6）既設覆工を利用したノンプロテクタ拡大工法

本工法は、図-2.3.6 に示すように片側拡大とすることで広い作業スペースがとれ、既設トンネルの片側に先行して導坑を掘削し、その後、既設覆工をプロテクタとして利用して汎用機械を使って施工法するものである。主な特徴は、以下に示すとおりである。

① 汎用機械・設備で施工が可能で、中硬岩まで適用できる。

② 既設覆工をプロテクタとして利用することで、2 車線を確保した状態で拡大作業が可能である。

③ 既設覆工撤去時には、拡大側を掘削した後に既設トンネルと拡大側の間に間仕切壁を設けて、一般通行車輌の安全を確保する。

④ 既設トンネルの側壁を中壁として利用するので、必要な断面のみ拡大することができる。

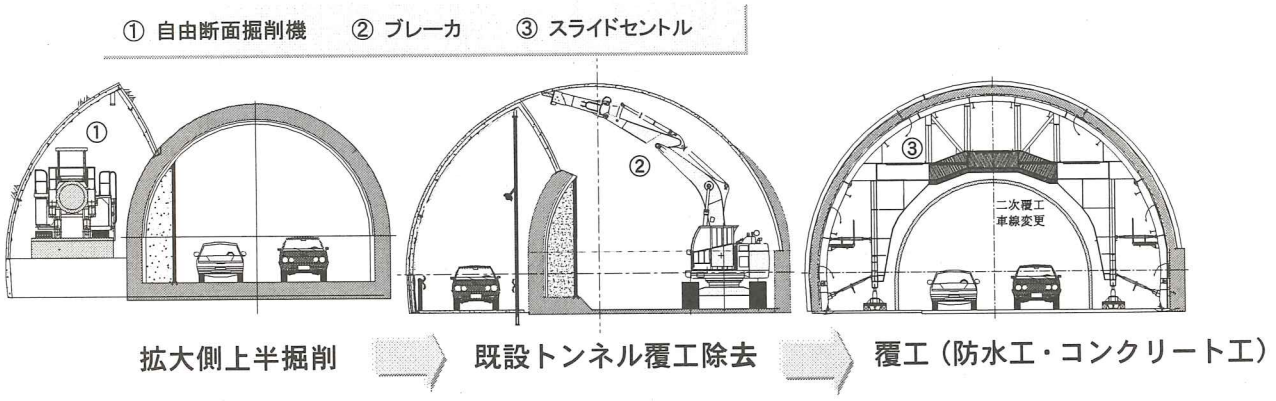


図-2.3.6　既設覆工を利用したノンプロテクタ拡大工法の概略

（7）π（パイ）ステージ工法

本工法は、図-2.3.7 に示すように車両防護機能を備えた移動式の広い作業構台（πステージ）を用いて、作業構台上の汎用機械による既設トンネルの拡大掘削を行う方法である。主な特徴は、以下に示すとおりである。

① 亀裂の程度によるが主に軟岩を対象とした。

② 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ある。

③ 車両防護区間は移動式構台設置区間のみのため、道路利用者に与える圧迫感を軽減できる。

④ 施工手順や構台構造がシンプルなため、施工条件等により変更が可能である。

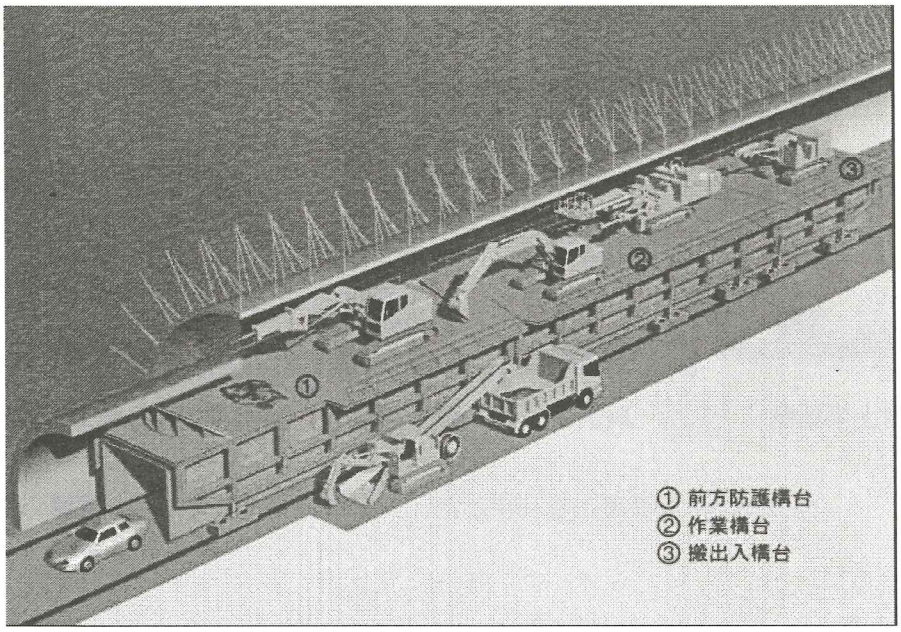


図-2.3.7　πステージ工法の概略

（8）フラットステージ工法

本工法は、図-2.3.8 に示すように既設覆工の一部を利用して、掘削機械の作業足場としての平板型の移動式作業構台（フラットステージ）により車両防護設備と分離して簡易なプロテクタを用いた施工法である。主な特徴は、以下に示すとおりである。

① 亀裂の程度によるが主に軟岩を対象としている。

② フラットステージを補強した既設トンネル側壁部周辺に載せ、走行車両と作業空間を分離することで既設トンネルが大きい場合には 2 車線を確保した状態で拡大作業が可能である。

③ 平板型の移動式作業構台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る。

④ 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ある。

④ 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、側壁地山・覆工の安定を図った工法である。

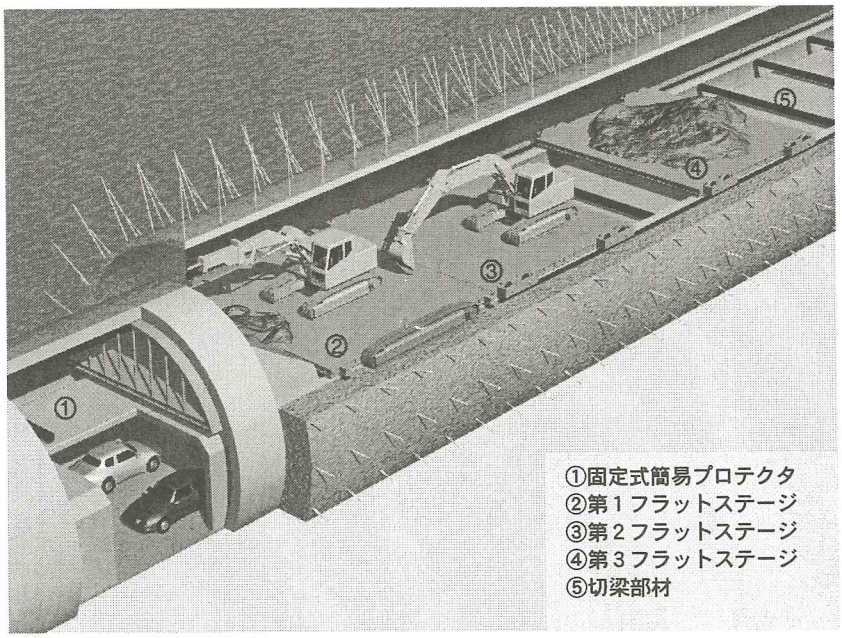


図-2.3.8　フラットステージ工法の概略

施　工　マ　ニュ　ア　ル　（案）

第２編　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）－

平成 16 年 3 月

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

大成建設 株式会社

戸田建設　株式会社

株式会社　間組

前田建設工業　株式会社

古河機械金属　株式会社

目　　次

1．断面拡大工法の概要 …… 2-1
2．工法の特徴 …… 2-3
3．設計 …… 2-5
　3．1　適用条件 …… 2-5
　　3．1．1　適用可能な既設トンネルおよび新設トンネルの規模 …… 2-5
4．施　工 …… 2-8
　4．1　施工フローおよび手順 …… 2-8
　　4．1．1　施工の概要 …… 2-8
　　4．1．2　坑口付けの施工 …… 2-10
　　4．1．3　拡大掘削、ずり出しの施工 …… 2-10
　　4．1．4　防水工、排水工の施工 …… 2-12
　　4．1．5　覆工の施工 …… 2-12
　　4．1．6　路盤・インバート・中央排水工の施工 …… 2-12
　　4．1．7　非常駐車帯の施工 …… 2-12
　4．2　仮設計画 …… 2-13
　　4．2．1　規制方法の検討 …… 2-13
　　4．2．2　仮設ヤードの検討 …… 2-15
　　4．2．3　仮設備の設置・撤去の検討 …… 2-19
　4．3　門型掘削機、移動式プロテクタ …… 2-21
　　4．3．1　仕様 …… 2-21
　　4．3．2　組立、移動方法 …… 2-25
5．適用に当たっての留意点 …… 2-27

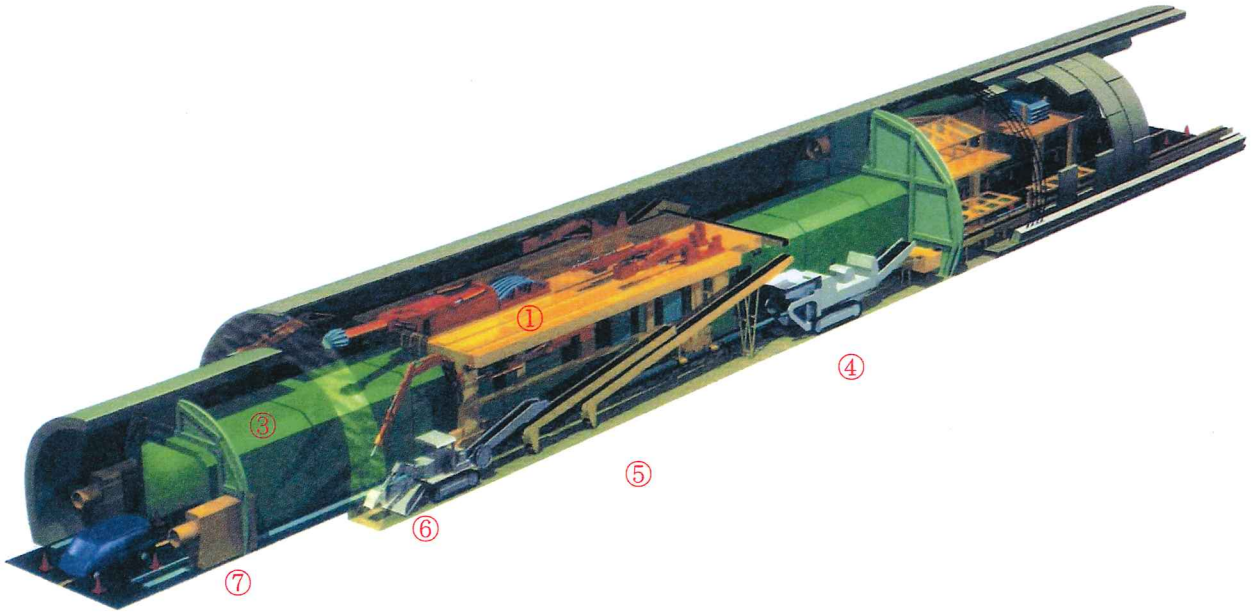
参考資料
1．サイクルタイム試算例 …… 2-31
　1．1　基本条件 …… 2-31
　1．2　サイクルタイム試算条件 …… 2-32
　1．3　サイクルタイム表 …… 2-33
2．特許出願 …… 2-35

１．断面拡大工法の概要

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移動式プロテクタを組み合わせた工法で、トンネル活線拡大を安全かつ急速施工を可能にする。

対象地山は主に軟岩から中硬岩で、従来難しかった1,000m以上のトンネルの施工を可能する。また、拡大工事期間中の一般車の通行は１車線を確保し、片側交互通行で工事を行う。

図-1.1.1にイメージ図を示す。



① 門型掘削機
② 自由断面掘削機
③ 移動式プロテクタ
④ 自走式クラッシャ
⑤ ベルトコンベヤ
⑥ ずり積機
⑦ 集じん機

図-1.1.1　ハイブリットＴＷＳイメージ図

本工法は、自由断面掘削機、ブレーカ、マニピュレータ等の機械を装備した門型掘削機で掘削を行う。ずり出しは左右に配置されたずり積機（クローラ式バックホウ型）により積み込み、移動式門型掘削機に配置されたベルトコンベヤにより自走式クラッシャに集められ破砕する。

破砕されたずりは連続ベルトコンベヤで坑外まで搬送する。一方、一般車の防護には自走可能で門型掘削機とは分離した構造の移動式プロテクタを用いる。

施工は、門型掘削機で約 30m掘削した後、移動式プロテクタを 30m移動する。その繰り返しで拡大掘削を行う。また、覆工コンクリートは掘削と併行して順次施工を行う。

図-1.1.2 に平面図、図-1.1.3 に側面図を示す。

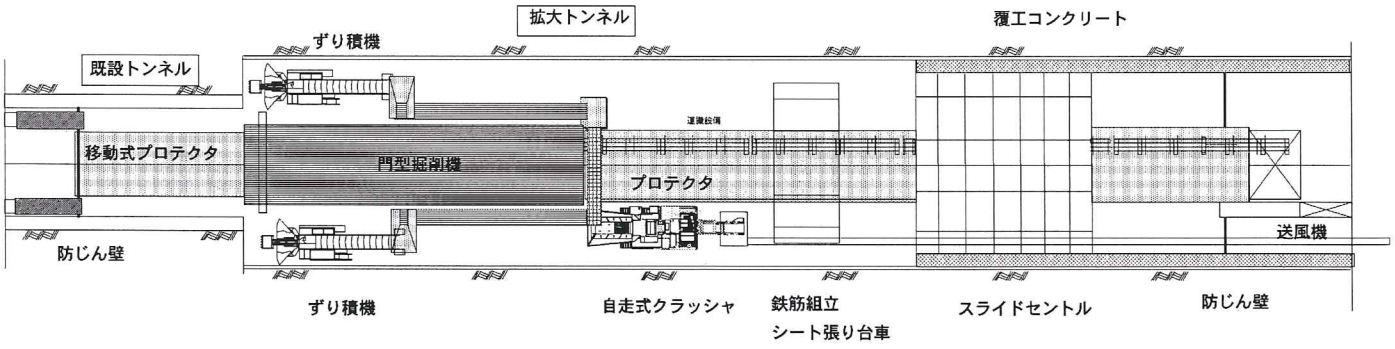


図-1.1.2　平面図

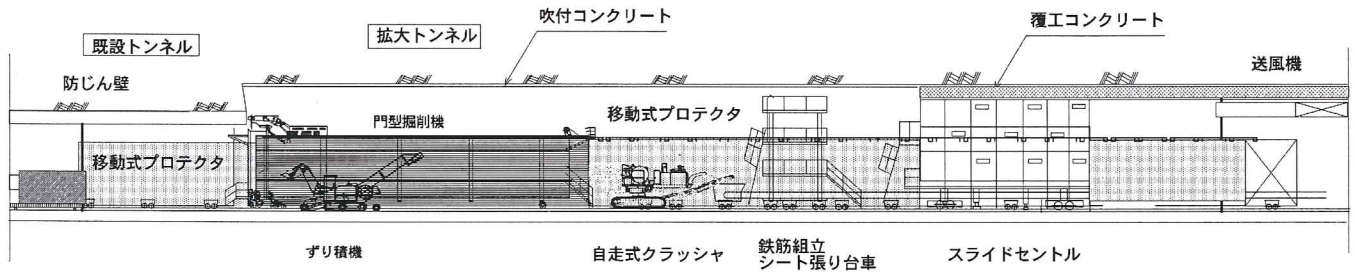


図-1.1.3　側面図

２．工法の特徴

ハイブリットＴＷＳによるトンネル拡大工法は、従来施工実績のない長いトンネルの活線拡大を可能にする。本工法は掘削、吹付け、支保工建て込み等の機械を搭載した門型掘削機（ガントリ）により、急速かつ安全に施工を行う。

通行車両の防護には移動式プロテクタを用い、従来トンネル全線に亘って定置式プロテクタを設置していた工法と比較して、プロテクタ長さを短くすることによりコストダウンを図る。また、門型掘削機と移動式プロテクタは分離した構造で、掘削と覆工コンクリート作業が干渉することなく、合理的に施工できる。以下、本工法の主な特徴を示す。

（１）ガントリタイプの一体型機械で急速施工

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、急速施工が可能である。また、拡大断面を考慮した合理的で能力の高い機械を配置することにより、効率的な施工が可能である。

（２）移動式プロテクタの採用によるコストダウン

移動式プロテクタを採用することにより、長大トンネルの拡大においてプロテクタ費用のコストの低減が図れる。

（３）掘削は主に軟岩から中硬岩までが対象

本工法は主に軟岩から中硬岩の岩質を対象とした工法で、機械掘削により効率的に施工を行う。また、部分的な硬岩に対しては、門型掘削機に搭載している穿孔機で穿孔し、割岩工法により掘削を行う。

（４）門型掘削機と移動式プロテクタの分離により、掘削、覆工の効率的作業が可能

門型掘削機と移動式プロテクタが分離しているため、掘削作業と覆工作業が干渉することがなく、効率的な作業が可能である。

（５）作業範囲と車両通行範囲分離による坑内環境の改善

移動式プロテクタ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じんを集じん機で処理が可能である。また、一般車両の排気の影響を受けないため、作業環境の改善を図ることができる。

（６）ずり出しの高速化と安全性の向上

ずり出しには連続ベルトコンベヤを採用し、ずり出しの高速化と安全性の向上、また坑内環境の改善が図れる。

これらの特徴を従来工法と比較し表-2.1.1 に示す。

表-2.1.1　工法比較表

	ハイブリットＴＷＳ工法	従　来　工　法
施工の特徴	・門型掘削機（ガントリ）に自由断面掘削機、ブレーカ、マニピュレータ等の掘削機械を搭載し、拡大掘削を行う工法である。	・汎用機械の組み合わせにより拡大掘削を行う工法である。 ・従来の実績では、300m程度までの実績しかない。
施工方法	・門型掘削機により掘削・ずり出し・支保工等の作業を連続施工する。 ・ずり出しは連続ベルトコンベヤにより急速施工可能である。 ・覆工コンクリートはガントリ後方で掘削と併行して打設を行う。	・汎用機械のため、掘削・ずり出し・支保工作業に毎回機械の入れ替えが必要である。 ・ずり出しは汎用機械のため能力が低い。 ・覆工は掘削完了後に施工する。
施工機械	・門型掘削機に掘削機械を一体化した合理的な機械装置である。	・掘削・ずり出し・支保工作業全てが汎用機械のため、場合によっては作業が制限される。
工　　期	・従来工法に比較して、高速施工が可能である ・CⅡ：62.1m/月、ＤⅠ：57.5m/月、 ＤⅢ：43.7m/月	・施工速度が遅い。 ・上半、下半が分離施工となるため工期が長い。
安全性	・門型掘削機と移動式プロテクタが分離しており、安全性が高い。 ・移動式プロテクタにより一般車を通行させるため、安全性が高い。 ・従来工法に比較してプロテクタ設置区間が70m程度と短い。	・プロテクタ上で機械が稼動するため、十分な剛性が必要である。 ・プロテクタはトンネル全線必要である。
車両規制	・トンネル全線にわたる規制が必要となる。	・トンネル全線にわたる規制が必要となる。
環境面	・換気設備は作業エリアと車両通過部分が分離できるため、坑内環境は良好である。	・汎用機械の組合せで施工するため、換気が広い範囲で必要となる。
工　　費	・施工区間が長くなると従来工法に比較して大幅に安価になる。 ・試算結果では新設トンネル（Ｌ＝1,000m）での経済比較では1.7倍程度である。	・提案工法に比べ割高である。 ・200m程度のトンネルでは新設トンネルに比較して３ー４倍程度である。

なお、従来工法については上半・下半とも自由断面掘削機を用い、ずり出しにはロードホウルダンプを用いて行う。支保工の施工については、吹付けコンクリート、ロックボルトおよび鋼アーチ支保工はそれぞれ汎用機により入れ替えながら施工を進めていくものとした。また、拡幅掘削はプロテクタ上で作業することとなり、しかも各機械を入れ替えながらの施工となることから、プロテクタは 250m程度必要であるとした。プロテクタの移動については、50m掘削ごとに順次前に移動していくものとした。

3．設計

3．1　適用条件

3．1．1　適用可能な既設トンネルおよび新設トンネルの規模

（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。そのため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。

既設トンネルの大きさとしては、図-3.1.1 に示すように幅 6.0m程度以上の断面で適用可能である。

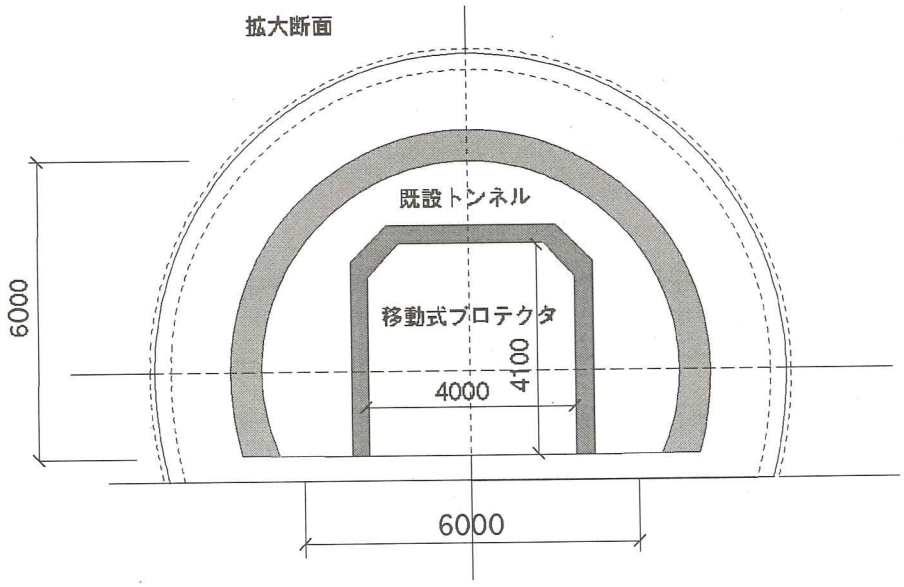


図-3.1.1　移動式プロテクタおよび既設トンネル規模

（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３種４級片側自歩道付き程度のトンネルを対象に計画した。しかし、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-3.1.2 に新設断面図を示す。

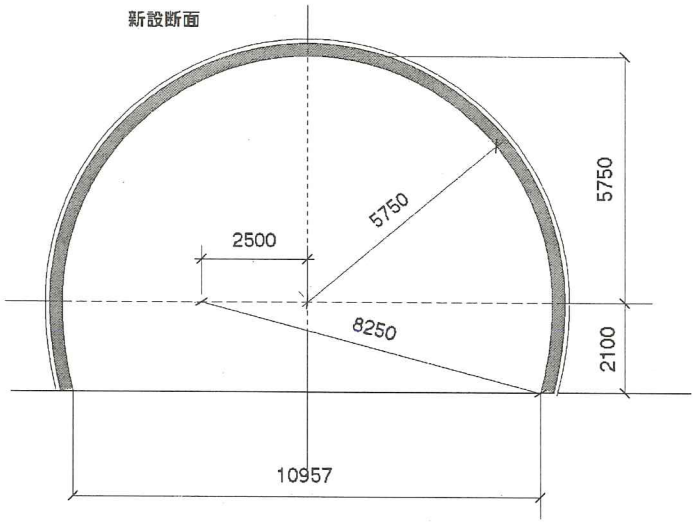


図-3.1.2　新設（拡大）断面図

（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。ただ、短いトンネルの場合、多少コストアップにはなるが、延長にかかわらず施工可能である。

一方、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-3.1.3 にＲ＝200mの時の線形平面図を示す。

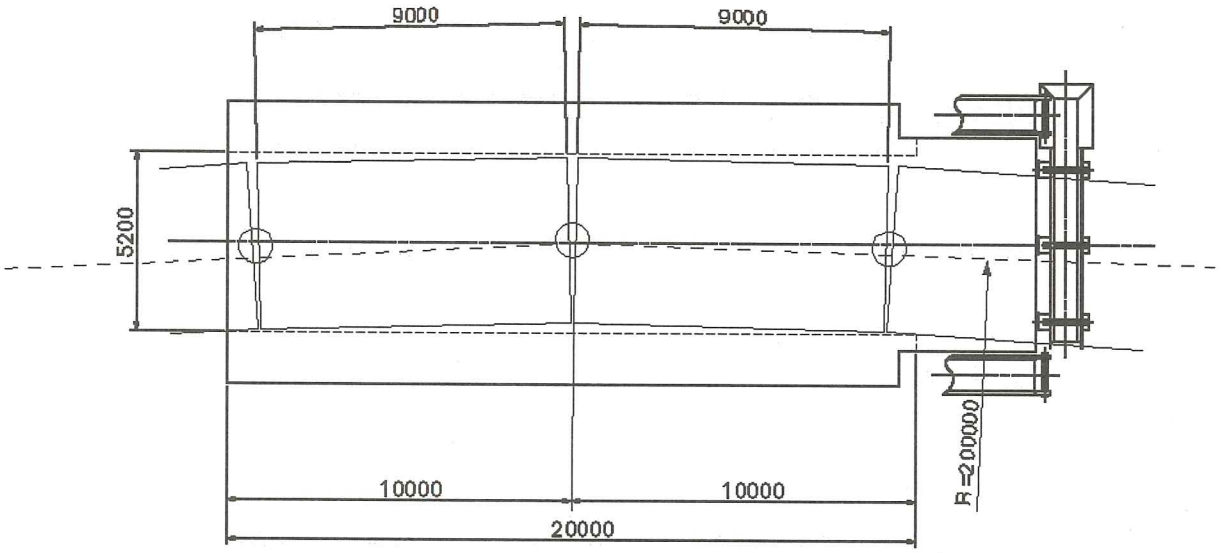


図-3.1.3　線形平面図

（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の地山を対象にした工法である。ただし、それ以上の強度の地山については、ブレーカ、割岩工法等により掘削を行う。図-3.1.4 に岩の硬さに対する工法の適用領域を示す。

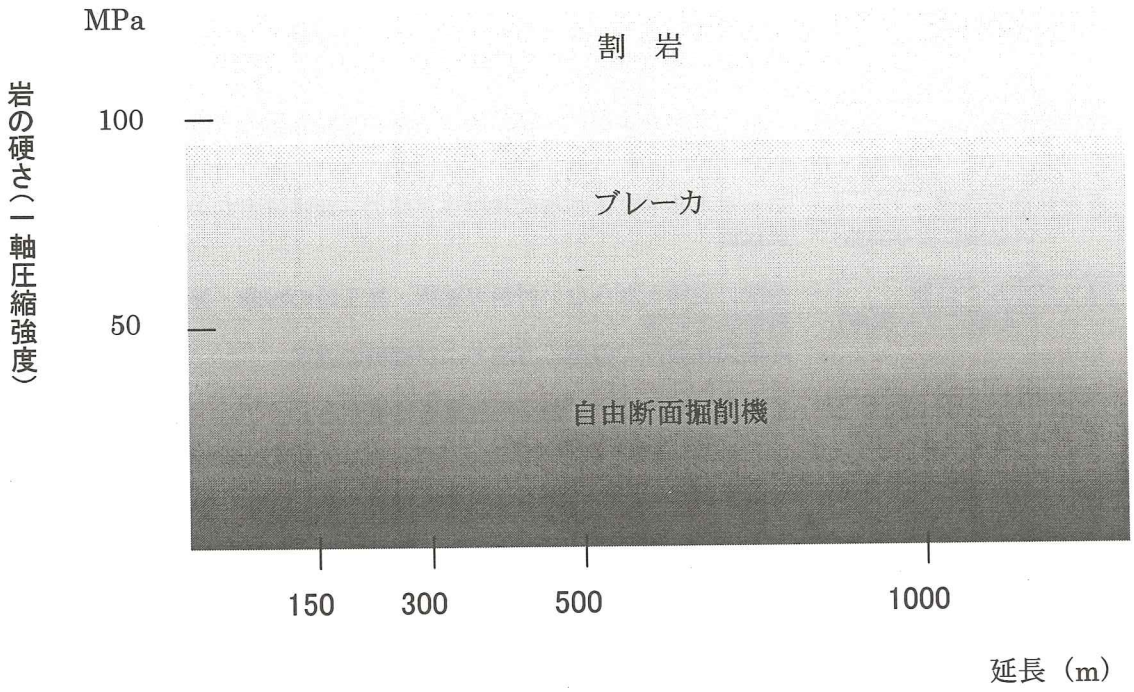


図-3.1.4　工法の適用領域

4．施　工

4．1　施工フローおよび手順

4．1．1　施工の概要

施工については、機械掘削による拡大掘削となるため、基本的には図-4.1.1～4.1.2 のフローに従って施工を進めていくものとする。なお、ここでは施工の概要について示すこととする。

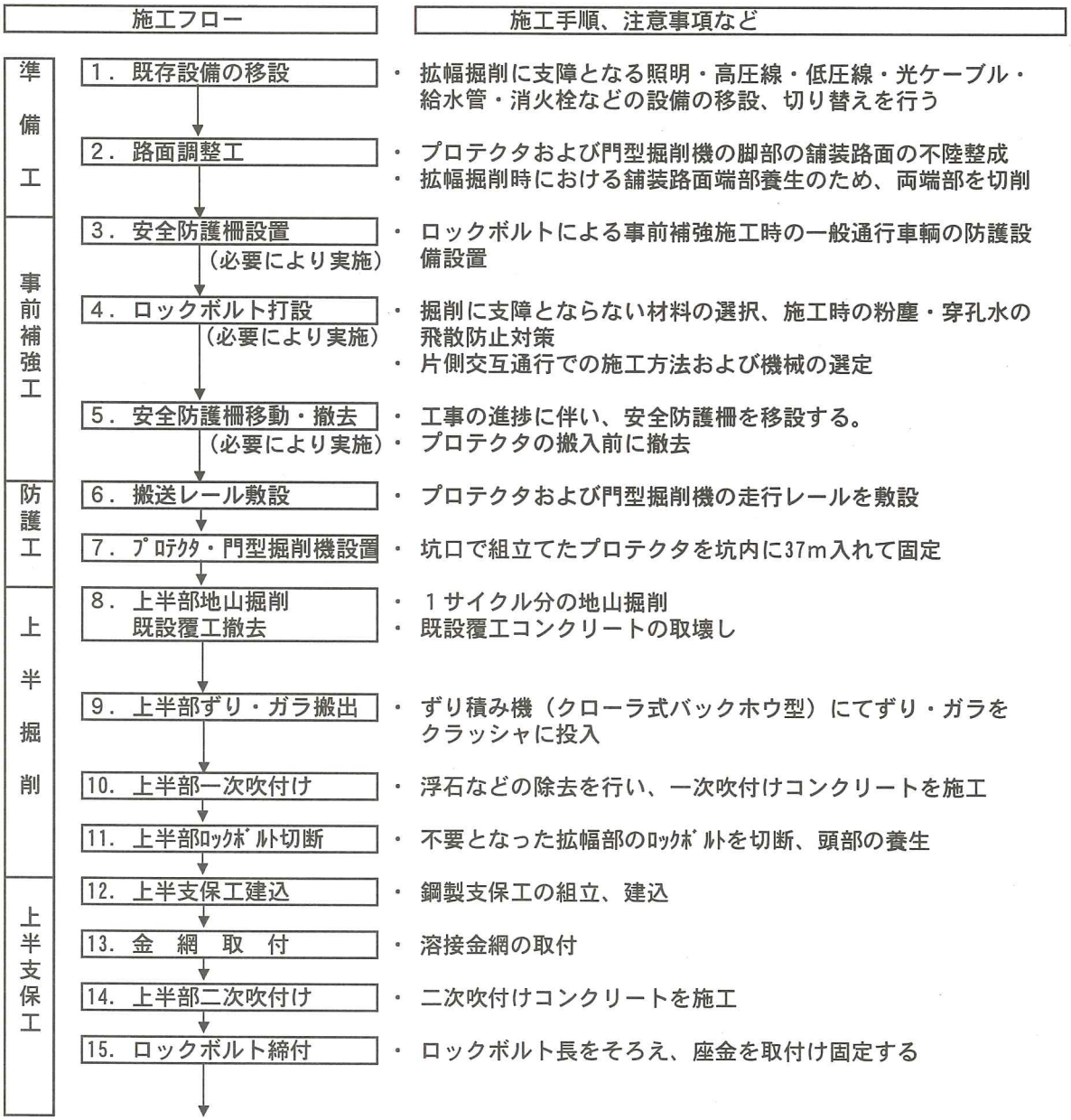


図-4.1.1　施工フロー（その１）

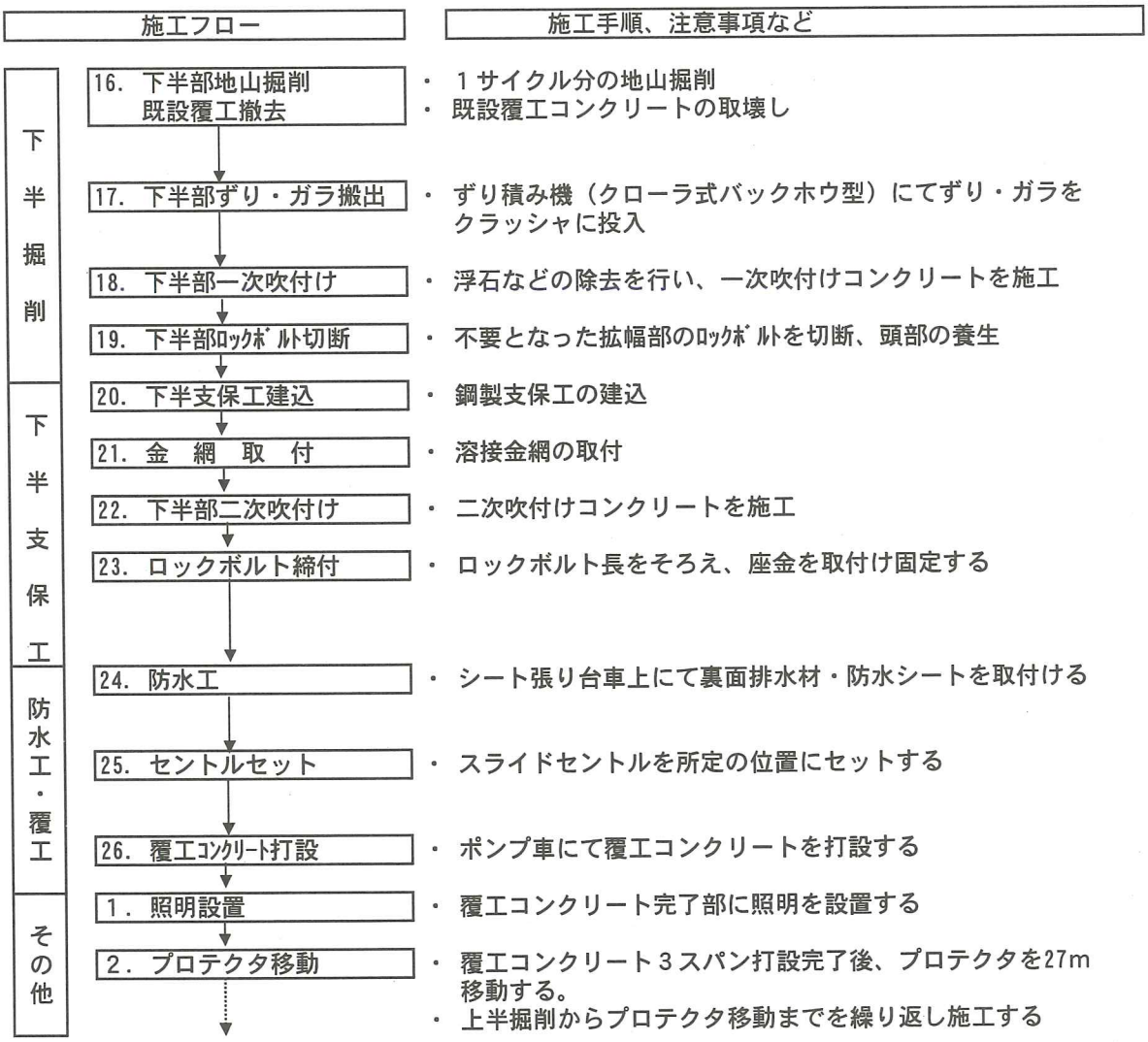


図-4.1.2　施工フロー（その２）

４．１．２　坑口付けの施工

坑口付けについては、従来の機械の組み合わせを用いて坑口区間の施工を行うこととする。

なお、周辺地山の安定性および既設の坑門工を十分調査の上、必要な坑口補強後施工することとする。

４．１．３　拡大掘削、ずり出しの施工

拡大掘削については、門型掘削機タイプの一体型機械で掘削、支保を行い、左右に配置したずり積み機（クローラ式バックホウ型）にてずりをベルトコンベヤに積み込み坑外に搬出する。

掘削にあたっては、自由断面掘削機による掘削を主体とするが、岩盤が硬質で自由断面掘削機では掘削できない場合は、ブレーカまたは割岩工法を補助的に使用して掘削を進める。

ずり出しについては、連続ベルトコンベヤによるずり搬出を基本とする。

掘削にあたり、切羽が安定しない場合は、切羽・天端の安定状況を勘案の上、長尺鋼管フォアパイリングや注入式フォアポーリングなどの必要な補助工法を採用する。

また、掘削中の粉塵については、システムに設置している集塵機により処理する。

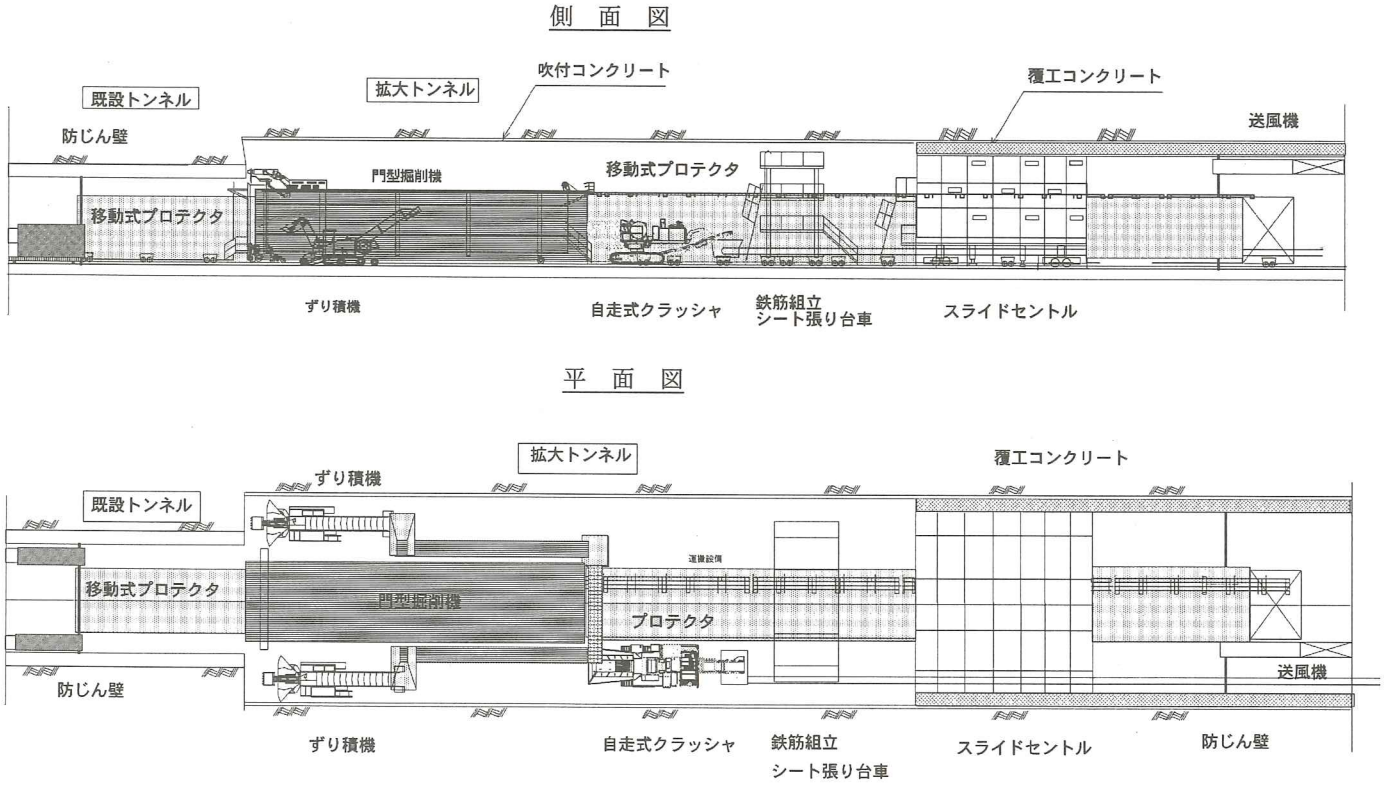


図-4.1.3　掘削システム図

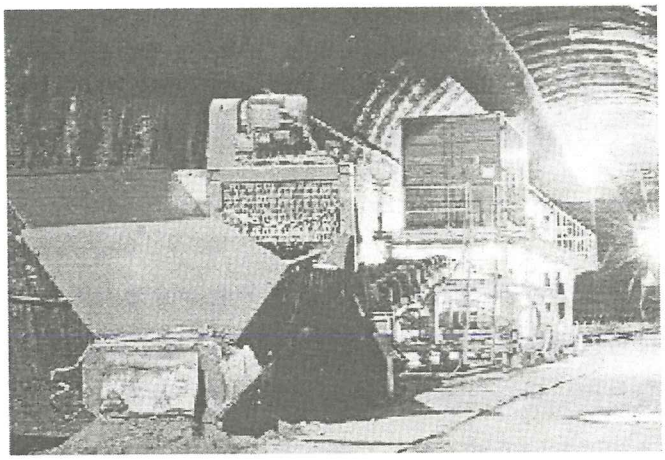


写真-4.1.1　クラッシャ設備例（必要により設置）：牽引式

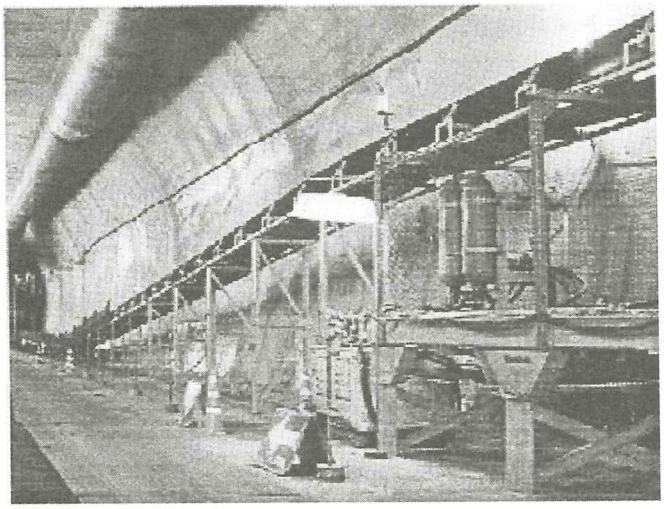


写真-4.1.2　坑内連続ベルトコンベヤ設備例

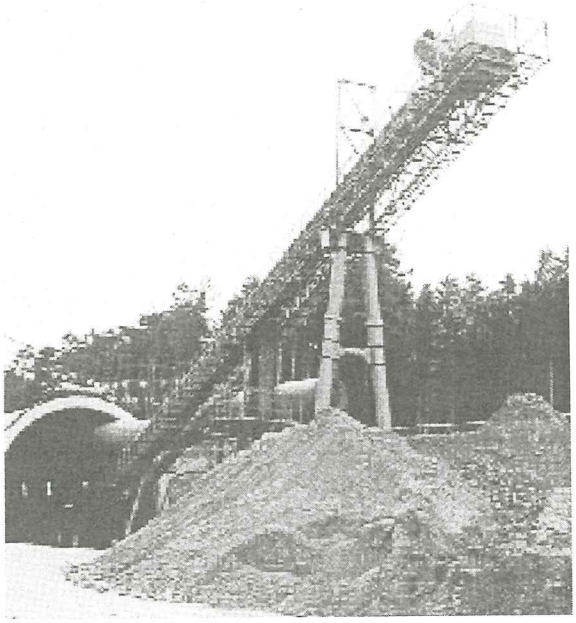


写真-4.1.3　坑外連続ベルトコンベヤずり排出設備例

４．１．４　防水工、排水工の施工

防水工については、プロテクタ設置範囲内で防水シートを支保工面に展張し施工する。

排水工については、ここでは路側排水工の施工を行うこととする。

４．１．５　覆工の施工

覆工の施工については、プロテクタ内においてスライドセントル（L=9.0m）を用いて、ポンプ車により覆工コンクリートの打ち込みを行う。覆工の打ち込みは、地山の変位が収束した後に施工する。なお、内空変位の収束が非常に遅い場合は覆工の補強（SFRC 等）などを検討の上施工する。

また、延長の短いトンネルにおいては、ＰＣＬ覆工などについても採用を検討する。

４．１．６　路盤・インバート・中央排水工の施工

インバートの施工にあたっては、トンネル幅員が十分に取れる場合は通常のインバートタイプの構造とし、幅員が狭い場合は平板タイプのインバート構造とする。

路盤および舗装版の施工にあたっては、片側通行として、半断面施工とする。

中央排水工の施工については、断面の中央ではなく、片側に寄せて施工する。

４．１．７　非常駐車帯の施工

非常駐車帯の施工については、通常断面施工後、別途プロテクタと汎用機械の組み合わせにより拡大掘削を行うこととする。

４．２　仮設計画

４．２．１　規制方法の検討

工事期間中におけるトンネル内の通行規制は、関係機関との協議が必要であるが、一般車両の安全性を考慮する必要がある。そのため、図-4.2.1 に示す工事の流れに合わせて、車線規制を検討する。

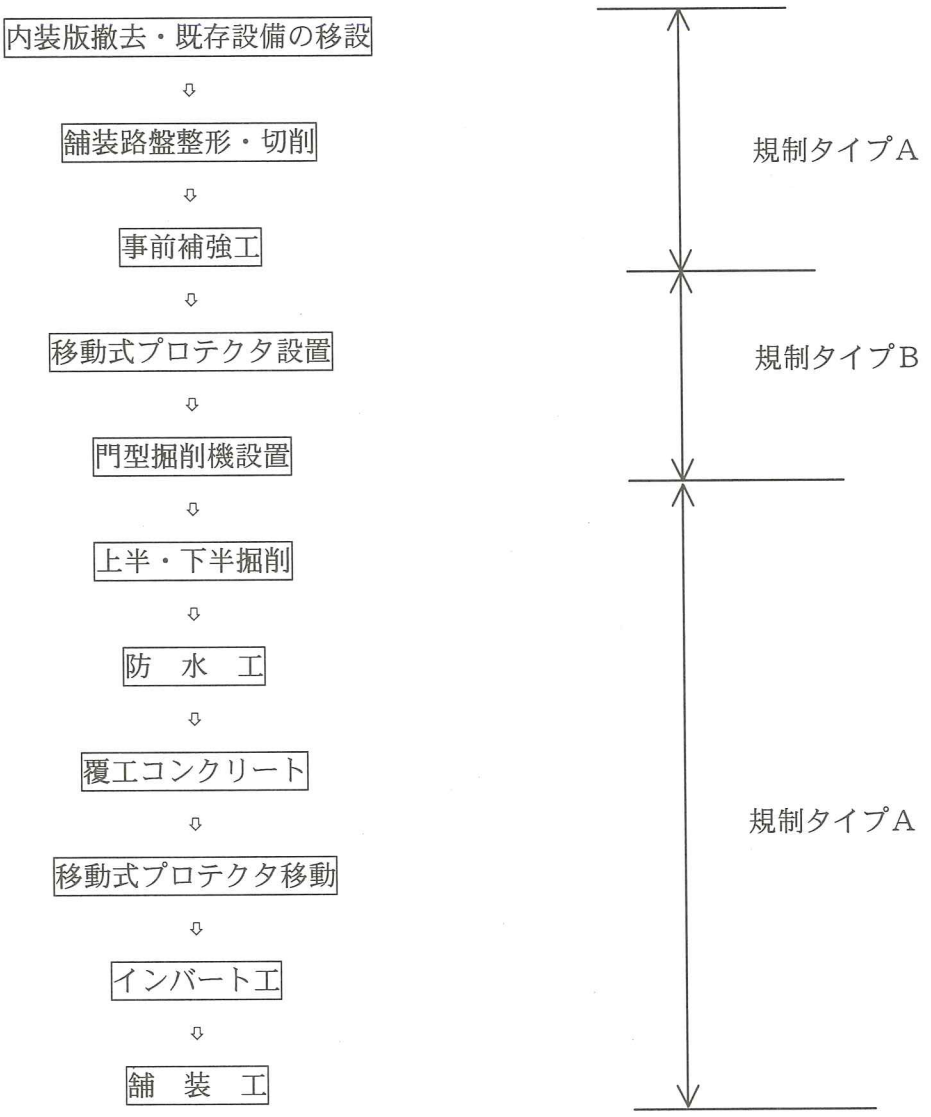


図-4.2.1　施工フロー

（１）内装版撤去～事前補強工

内装板撤去、既存設備の移設、舗装路盤の整形・切削、事前補強工等の工事期間中は、トンネル全線を１車線規制する片側交互交通の規制タイプＡの交通規制を行う。図-4.2.2 に交通規制図を示す。

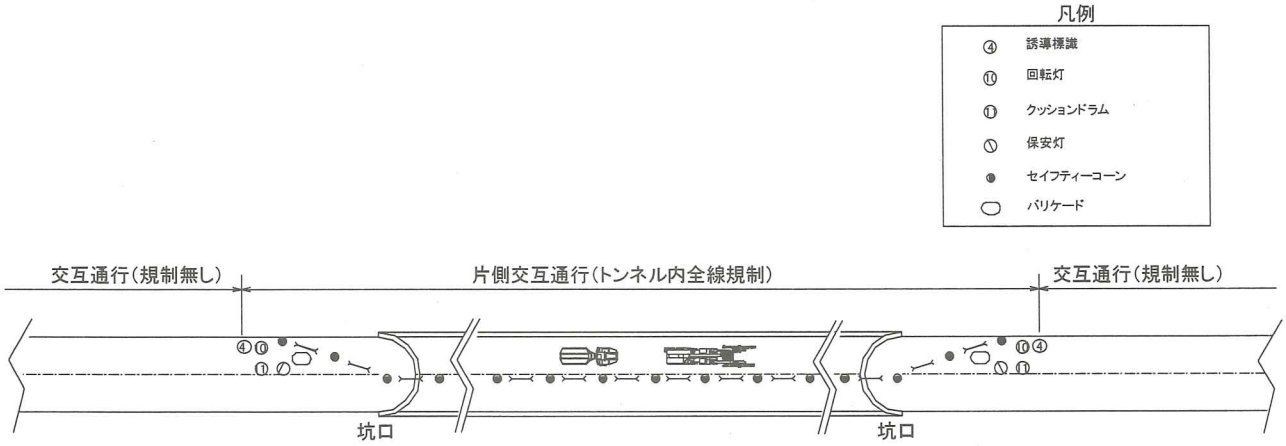


図-4.2.2　交通規制平面図（規制タイプA）

（2）移動式プロテクタ設置～門型掘削機設置

門型掘削機および移動式プロテクタの組立時は、本線ラインを図-4.2.3のように迂回させた規制タイプBの交通規制を行う。また、セントル、シート台車の組立ても続けて行う。

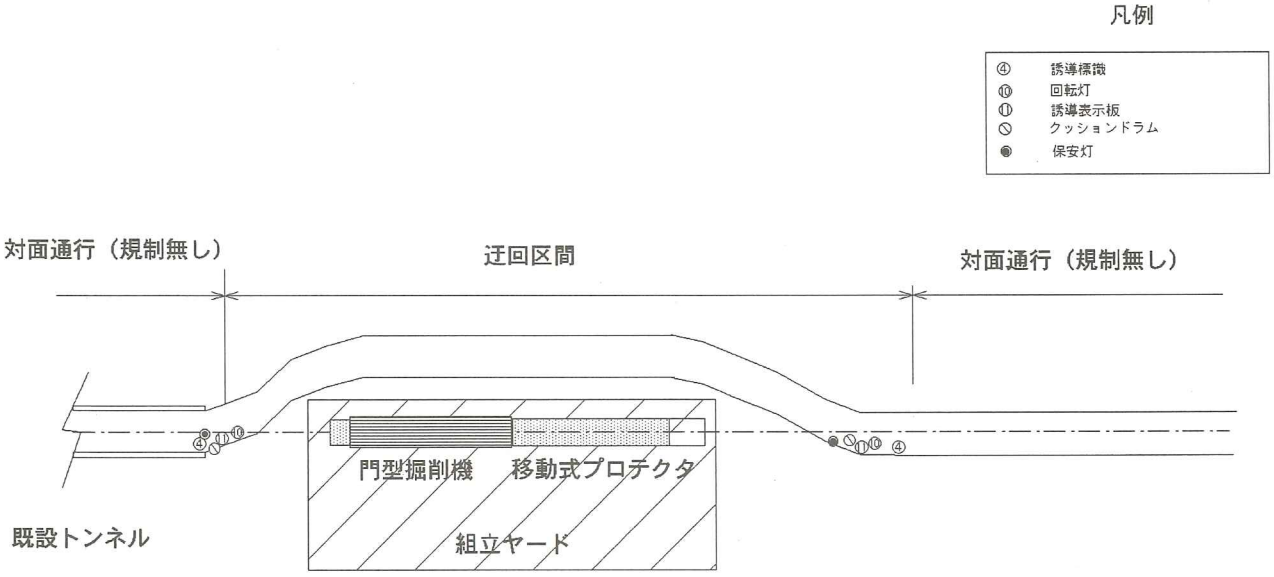


図-4.2.3　交通規制平面図（規制タイプB）

（3）上半・下半掘削～舗装工

上半・下半掘削、防水工、覆工コンクリート等の本体拡大工事期間およびインバート工、舗装工の期間は、プロテクタ内通行が1車線しか確保できないため、図-4.2.2のようにトンネル全線を1車線規制する片側交互交通の規制タイプAの交通規制を行う。

４．２．２　仮設ヤードの検討

移動式プロテクタと門型掘削機によるトンネル断面拡大工法の場合、従来のトンネル工事用の作業基地用地の他に、掘進側の坑口付近に移動式プロテクタ組立および門型掘削機組立用地が必要となる。用地としては、2,800m^{2}程度が必要で、移動式プロテクタと門型掘削機の組立を行う。山間地の川沿いの道路で、用地の確保が困難な立地では、道路拡幅用地の利用および川側に作業構台等を造ることで、用地を確保することが必要である。トンネル坑口付近の既設道路脇に迂回路および組立用地が確保できる場合には、既設道路上で移動式プロテクタと門型掘削機を組み立てることで、組立後の引き出し工程がはぶけることになる。(図-4.2.3 交通規制平面図（規制タイプ B）参照)

拡幅掘削終了時には、出口部に門型掘削機解体用地が入口側と同様に必要となる。必ずしも十分な解体用地が確保できるとは限らないので、移動式プロテクタの解体は拡幅道路用地を使用するなどの工夫が必要となる。

以下に移動式プロテクタ、門型掘削機組立用地およびトンネル作業基地の必要面積を示す。

（１）移動式プロテクタ組立用地

移動式プロテクタ用地は坑口部付近の道路沿いに確保し、プロテクタを組み立てる。移動式プロテクタは移動しやすい長さに分割、または曲線継ぎ手部毎のブロックで組み立てておく。組立用地と置場としては、750m^{2}程度が必要となる。(図-4.2.4 図-4.2.7 参照)　拡幅道路脇をプロテクタ置場として利用できる場合はプロテクタ置場面積を縮小できる(図-4.2.5 参照)。また、坑口部付近に迂回路が確保できる場合には、プロテクタをブロック毎に組み立てた後にトンネル延長上の道路に設置することで置場面積を縮小できる。

（２）門型掘削機組立用地

坑口付近の道路沿いに、門型掘削機組立用地として、1,650m^{2}程度の用地を必要とする。(図-4.2.4、図-4.2.7 参照) 門型掘削機を組み立てた後、坑口まで軌道上を移動する場合には、門型掘削機の引き出し線の用地として、幅 10m延長 85m程度の三角形の用地 425m^{2}程度が確保できることが望ましい。(図-4.2.8 参照)

坑口付近の道路脇に迂回路と組立用地が確保できる場合には、既設道路上で門型掘削機を組み立てることができる。

（３）トンネル作業基地

トンネル工事の作業基地として、必要な標準的な坑口広場は、一般的に 1,500m^{2}程度が必要となる。このうち、ずり仮置場、資材置場は、移動式プロテクタおよび門型掘削機組立て後の用地を利用することが可能なため、実際の作業基地用地として、700～800m^2 の用地を確保し、吹付けプラント、受電設備、濁水処理設備、修理工場等の設置を進めておく。(図-4.2.6 参照)

しかしながら、工事用の仮設用地が十分確保できない場合には、拡幅道路用地を一部利用するなどして、仮設用地の縮小を図ることが必要である。(図-4.2.5 参照)

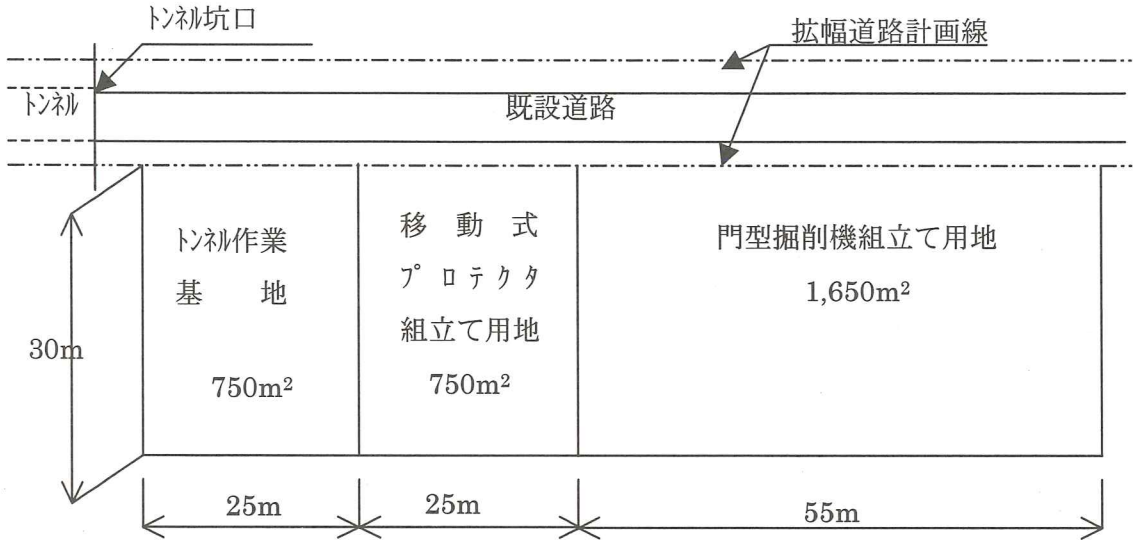


図-4.2.4　作業ヤードの例

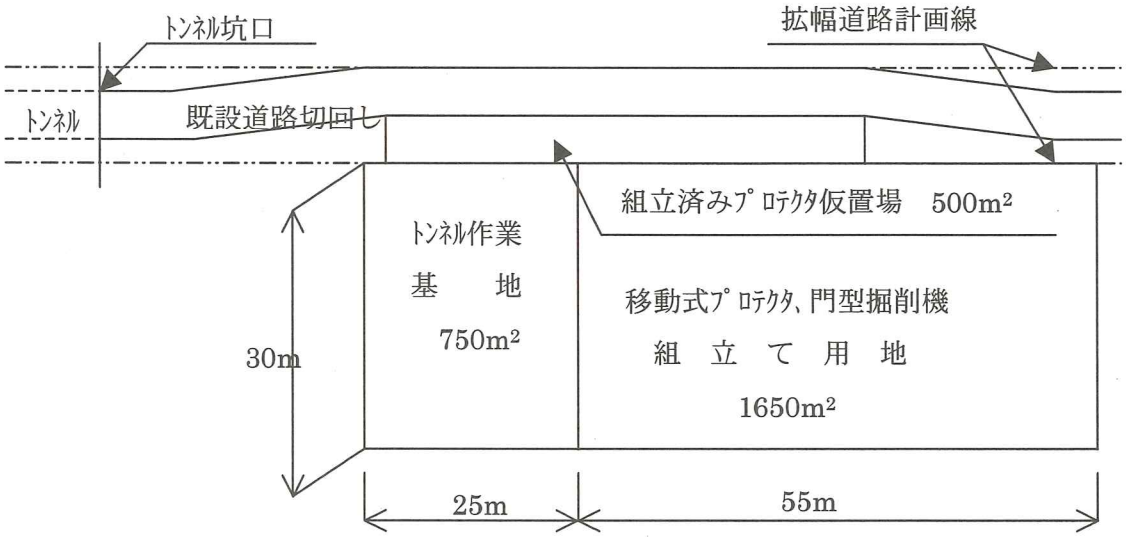
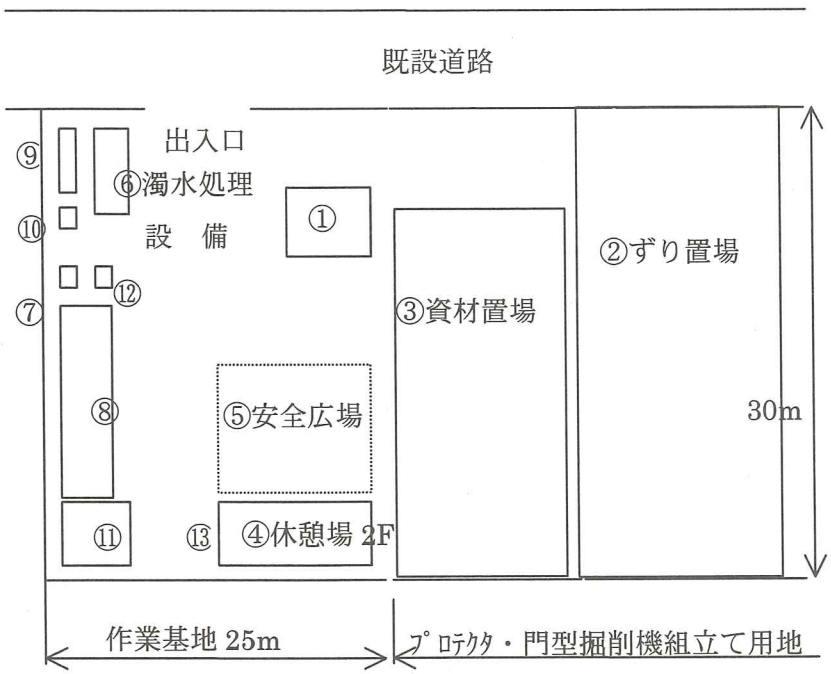


図-4.2.5　拡幅道路用地を利用した場合の仮設ヤードの例



No	名称
①	洗車場
②	ずり仮置場
③	資材置場
④	休憩場（2F）
⑤	安全広場
⑥	濁水処理設備
⑦	ｾﾒﾝﾄｻｲﾛ
⑧	吹付けﾌﾟﾗﾝﾄ
⑨	給水ﾀﾝｸ
⑩	給水設備
⑪	受変電設備
⑫	沈砂池
⑬	修理工場

図-4.2.6 トンネル作業基地仮設備配置図の例

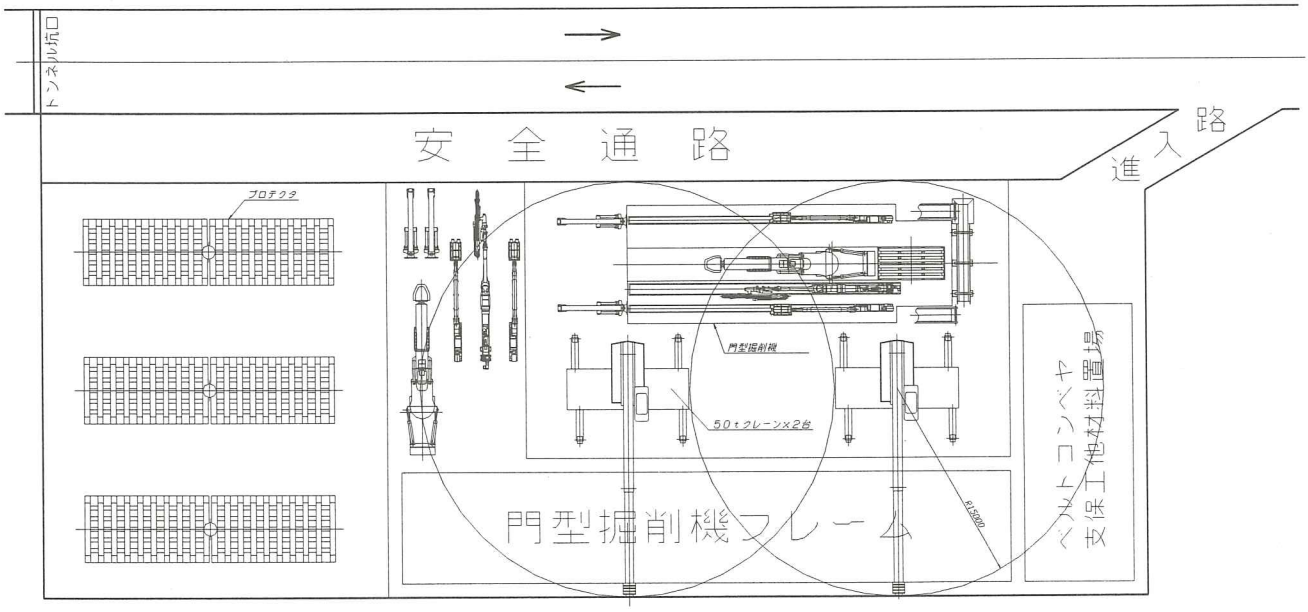


図-4.2.7 移動式プロテクタ置場および門型掘削機組立て配置平面図

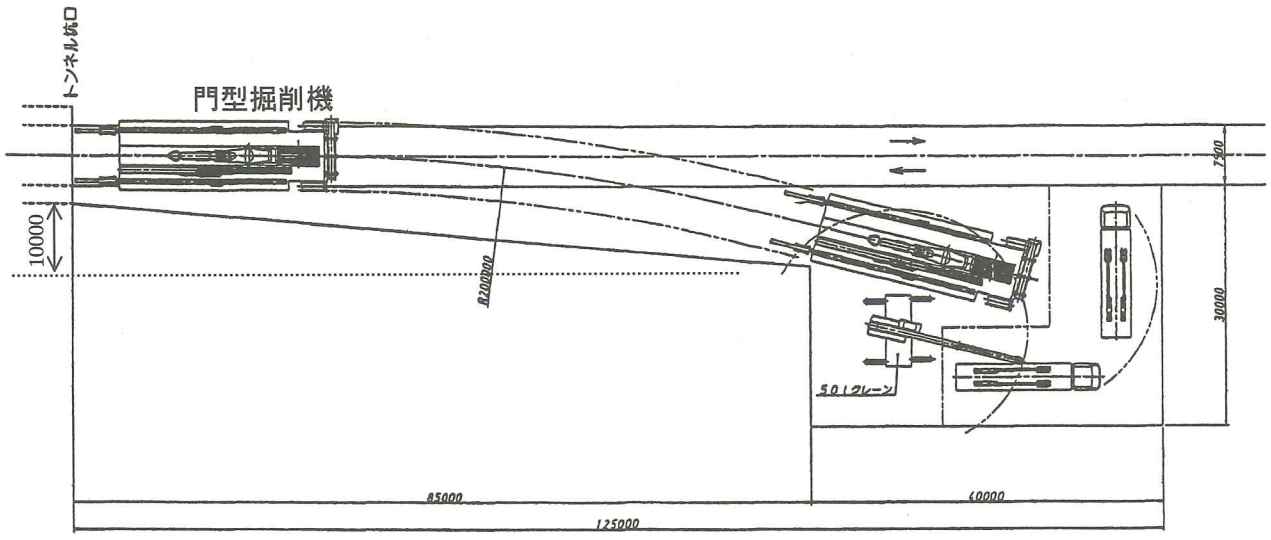


図-4.2.8　門型掘削機現地組立ておよび移動図

４．２．３　仮設備の設置・撤去の検討

（１）電力設備

電力設備としては坑口の仮設ヤードに受変電設備を設置する。この受変電設備から坑内の変電設備に電力を供給する。切羽（門型掘削機部）で使用する機械の電気容量が大きいので、坑内の変電設備は、移動式として門型掘削機の移動とともに、追従していく方式とする。設置スペースがとれるときは門型掘削機部に設置する。

（２）吹付けプラント設備

吹付けプラント設備は新設トンネルの場合と同様に、坑口の仮設ヤードに設置する。吹付けプラント設備は、コンクリート材料の貯蔵、計量、混練および付帯設備を収容するコンクリート製造プラントとセメントや骨材を貯蔵する貯蔵ビンから構成される。これらの混合・貯蔵設備は、使用目的、生産規模（１日当たり最大使用量等）、材料供給、設置場所の地形、敷地面積等を十分に検討して選定する。

（３）スライドセントル組立・解体

スライドセントルは拡大掘削が完了した坑口部で組立てる。スライドセントルは、門型掘削機後部の風門の外側に設置する。スライドセントル長は９ｍとし、３スパン２７ｍ打設完了後、移動式プロテクタを２７ｍ移動する。覆工作業が完了したら、坑内で解体する。（門型掘削機解体と同様に、坑外に移動しての解体でも可）

（４）空気圧縮機設備

空気圧縮機設備は坑口の仮設ヤードに設置する。主にコンクリート吹付け作業に使用されるもので、使用圧力、吐出空気量、経済性、環境条件等を検討のうえ、容量および型式を決定する。

（５）照明設備

照明設備は坑内照明、坑外照明、切羽照明、覆工照明に区分される。切羽、坑内作業を行う門型掘削機周辺の照明は門型掘削機に固定式照明器具を設置する。風門外部の防水台車、セントル部はそれぞれの作業場所に照明器具を設置する。例えば、各作業を行う場所の照度は７０ルックス以上を確保するように照明器具型式、数量を選定した例がある。また、坑内通路は２０ルックス以上を確保（例；４０Ｗ蛍光灯を５ｍピッチに設置）した例がある。

（６）換気設備

換気が必要となる坑内作業箇所は、移動式プロテクタ前端部と中間部に風門を設置して、既設トンネル通行車両排気ガスが侵入しないように分離する。この作業箇所の換気は坑口からの送風と移動式プロテクタ先頭部に設置する集塵機によって行う。集塵機能力は、坑内風速 0.3m／sec を確保できるように 1,200m³／min 程度とし、設置スペースが狭いので 600m³／min 程度の小型少容量機種を風門前部

の左右に、それぞれ１台ずつ設置する。

送風量は坑内作業箇所に一般通行車両の排気ガスが入らないようにするため、風門内部は正圧となるようにしなければならない。したがって送風量は、作業箇所から空気を排出する集塵機処理能力の１２０％以上とし、1,500m³／min 程度とする。換気集塵設備の概要を図-4.2.9 に示す。

（７）防水工作業台車組立・解体

防水工作業台車は風門後部で、セントル組立に先だって組み立てる。施工完了後の解体は坑内で行う。

（８）給排水設備

給水設備はトンネル拡幅工事に必要な水量を、所定の水圧で供給できる設備を設置する。坑内配管はトンネル延長や陽程を考慮し、給水ポンプ型式、仕様と共に配管材の口径や種類を決定する。管路の途中には一定の間隔で消火栓及び給水口を設け、清掃や火災発生時の消火活動に使用できるようにする。

排水は既設トンネルを一般車両が通行しているので、既設トンネルに排水が流出しないように、排水ポンプと排水管による強制排水方式とする。ポンプ容量は十分に余裕を持たせ、停電時の対策にも注意する必要がある。

（９）濁水処理設備

濁水処理設備は坑口の仮設ヤードに設置する。坑内から排水ポンプで強制排水された濁水の性質を把握し、排水基準を満足する処理能力を持った設備としなければならない。排水基準は水質汚濁防止法に基づく排水基準や、各都道府県の公害防止条例等による、上乗せ基準に準拠した水質に処理しなければならない。

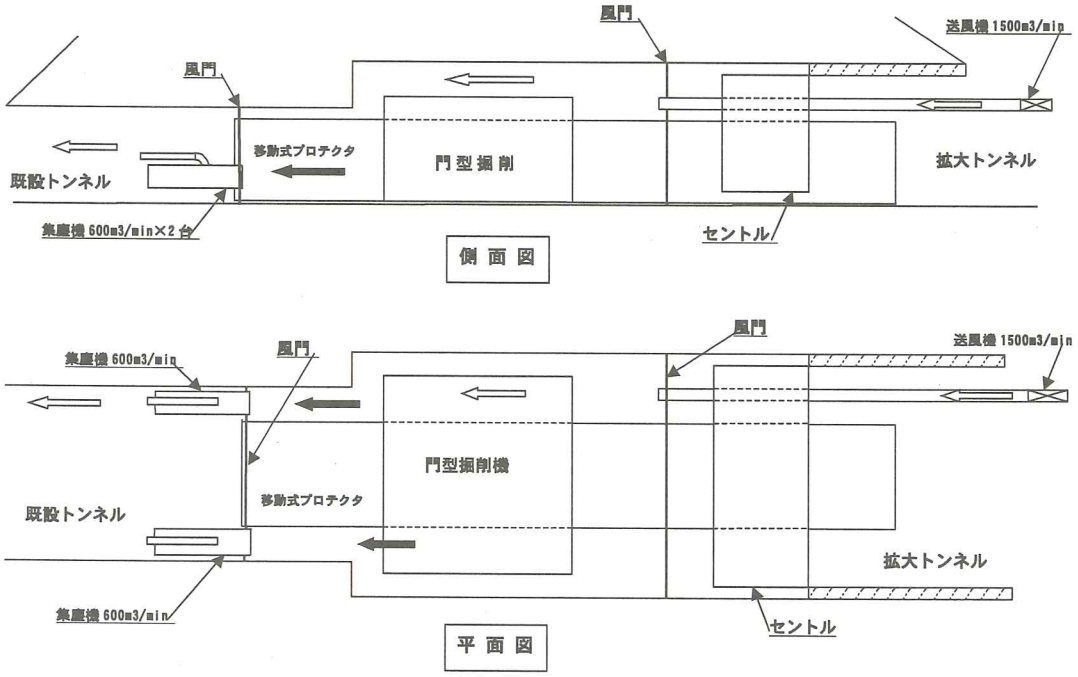


図-4.2.9　換気集塵設備概要図

４．３　門型掘削機、移動式プロテクタ

４．３．１　仕様

（１）門型掘削機

門型掘削機タイプの一体型機械で急速施工を行うために、門型掘削機には以下の機械を搭載する。その結果、門型掘削機は図-4.3.1 に示すように、総重量約 250ｔ、全長 31mとなる。

搭載する主要機械の仕様一覧を表-4.3.1 に示す。

表-4.3.1　主要機械仕様一覧

門型掘削機	
総質量	250 ton
全長	31000 mm
全幅	8570 mm
全高	6940 mm

吹付けマニピュレータ	
油圧パック電動機容量	15 kW
使用台数	8台

自由断面掘削機	
カッタ電動機容量	240 kW
使用台数	1台

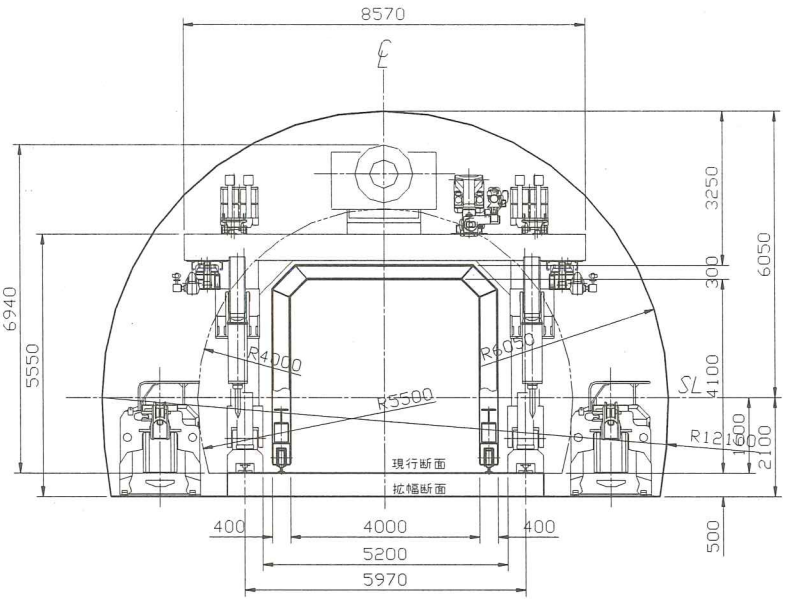
ベルトコンベヤ	
ベルト幅	700 mm
コンベヤ能力	150 m^3/h以上
電動機容量	22 kW
使用台数	3台

穿孔ユニット（走行含む）	
油圧パック電動機容量	55 kW
削岩機	190kg級
使用台数	2台

ずり積み機	
コンベヤ幅	620 mm
コンベヤ能力	150 m^3/h
電動機容量	45 kW
使用台数	2台

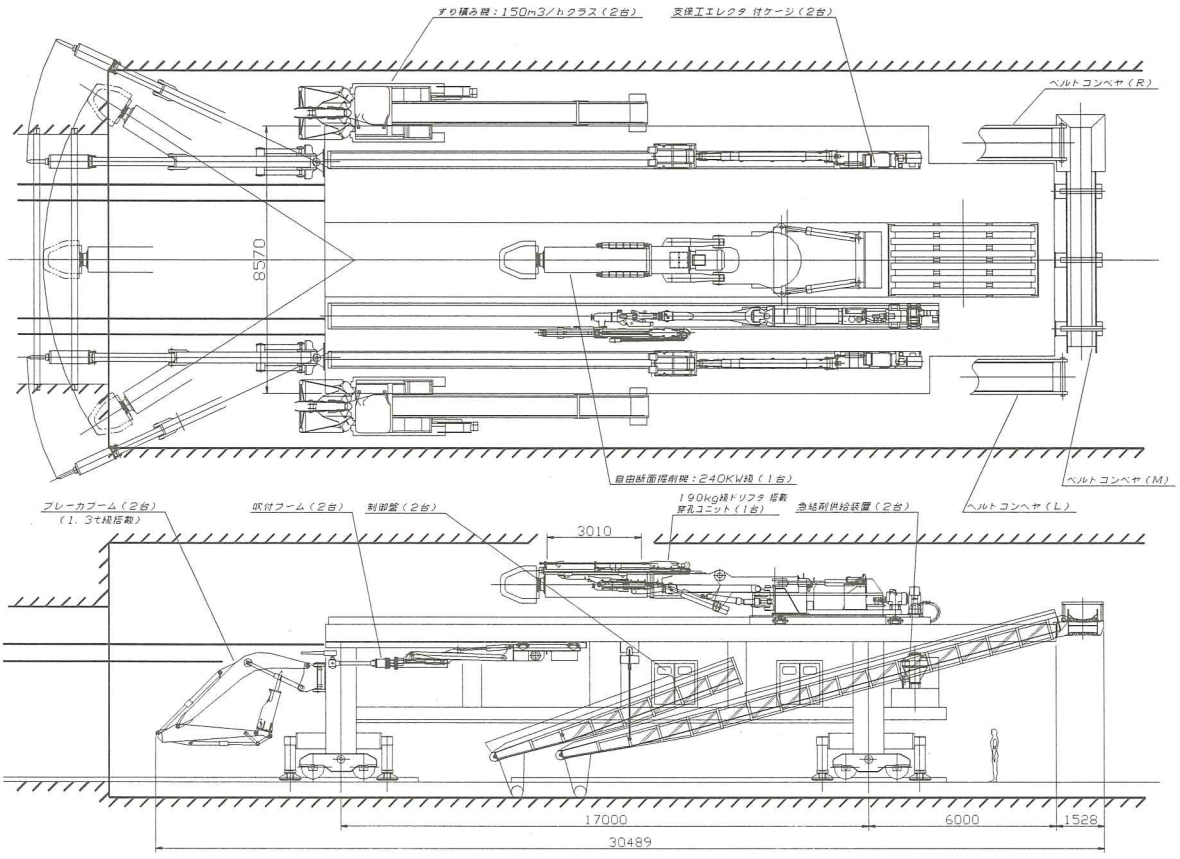
ずり積み機はずり出し用に門型掘削機の左右にそれぞれ１台ずつ設置する。さらに、連続ベルトコンベヤは門型掘削機の後部片側に設置し、搭載しているベルトコンベヤで集められた掘削ずりを効率よく坑外へ搬出する。

門型掘削機断面は、対象とした既設トンネル断面の大きさと拡幅する第３種４級片側自歩道付きの断面を考慮し、搭載機械の作業性を損なわないものとした。その結果、門型掘削機は全幅 8570mm、全高 6940mm の大きさとなった。



現行断面→第３種４級片側自歩道トンネル断面図

（正面図）



（平面図，側面図）

図-4.3.1　門型掘削機

（2）移動式プロテクタ

本工法での移動式プロテクタは下記の２タイプのものがあり、それが連結されているものである。移動式プロテクタの大きさは、図-4.3.2 に示すように内空断面で幅 4.0m×高さ 4.1mを確保した大きさである。

タイプーａ：門型掘削機前方にあり、門型掘削機を用いたトンネル拡幅時に既設トンネルの直下に位置するもの。延長 44m（10m＋27m＋7m）

タイプーｂ：門型掘削機後部からシート台車間にあり、一次支保が完了した区間に位置するもの。延長 30m

防水シート設置区間で覆工を施工していない区間は、目隠し程度の設備か工事区域を明示するカラーコーンを置くものとする。覆工打設完了区間は特に移動式プロテクタは置かず、工事用車両の通行帯を明示する。

１）荷重の設定

それぞれのタイプの移動式プロテクタに対し、作用する荷重を下記のように設定する。

タイプーａ：掘削時の岩塊及び既設覆工コンクリートガラの落下衝撃力

落下物の大きさは 0.5m×0.5m×0.5m、落下高さは３ｍとする。

タイプーｂ：一次支保施工した後に位置しているため、作用荷重は考えない。自重のみとする。

２）荷重の設計

落下物の衝撃荷重は下式[1)]を用いて算定する。

$$P\ \mathrm{max} = 2.108 \cdot (m \cdot g)^{2/3} \cdot \lambda^{2/5} \cdot H^{3/5} \quad (\mathrm{kN})$$

$P\mathrm{max}$：落石の衝撃力（kN）

m：落石質量（t）

g：重力の加速度（$\mathrm{m/s^2}$）

H：落下高さ（m）

λ：被衝突体のラーメの定数、固いものとして 10,000 $\mathrm{kN/m^2}$ を用いる。

0.5m×0.5m×0.5m の岩塊が３ｍ高さから落下したときの衝撃荷重は、約 330kN となる。

３）必要長さの設計

移動式プロテクタ長さは、施工方針および施工方法によって決まるが、今回の場合は７４ｍとする。

４）密閉性

移動式プロテクタ内に工事による粉塵、使用水、油脂、掘削ずり、コンクリート破片等が入り込まないように密閉性を確保する。

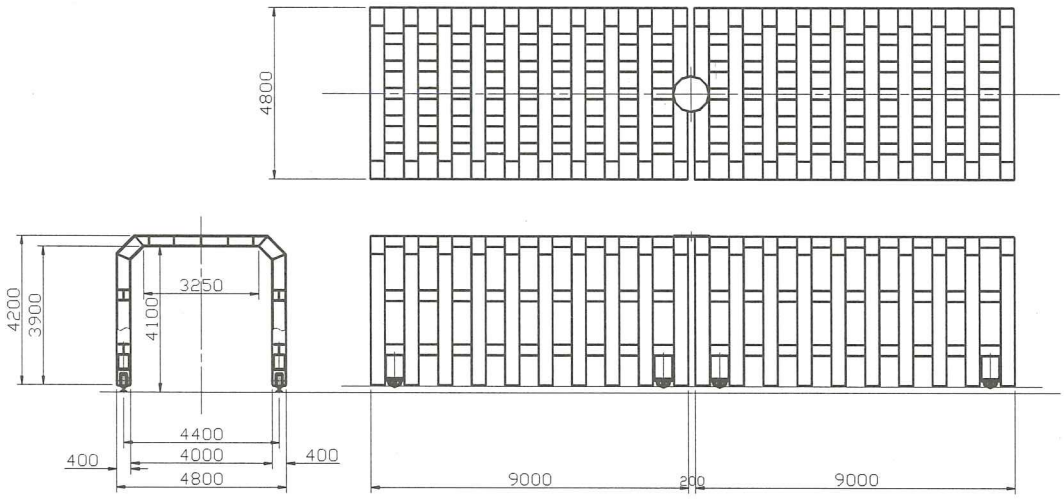


図-4.3.2　移動式プロテクタ概要図

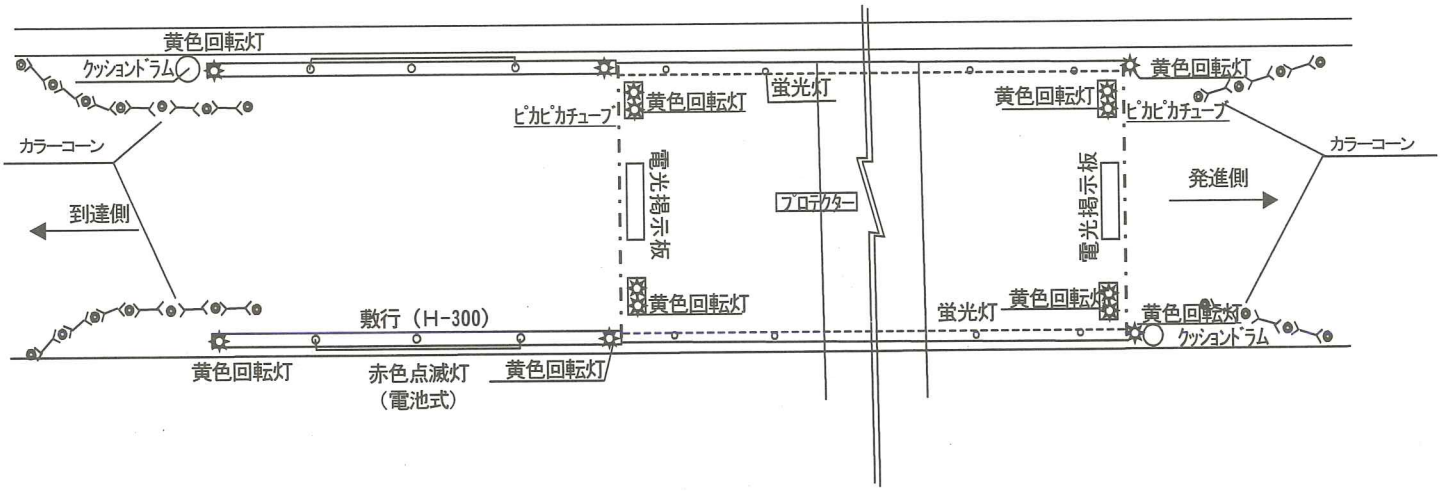
5）集塵機の設置

本工法での施工中の換気は、作業空間を閉鎖状態にし、坑口側から送風機により新鮮な空気を送り込み、前方の移動式プロテクタ先端から流し出す方法をとる。そのため掘削作業区間の汚れた空気を浄化するために移動式プロテクタ先端部の既設トンネルとの間に集塵機を設置する。

6）移動式プロテクタ内設備

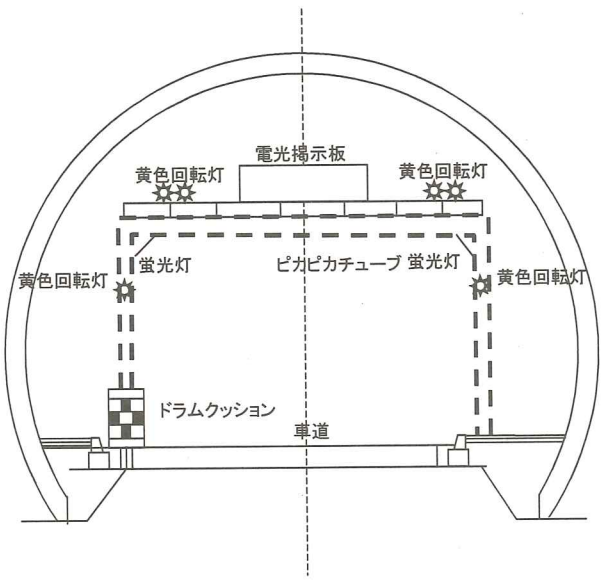
移動式プロテクタ内には一般車両の通行を妨げないように、必要に応じて照明設備や消火器等の非常用設備の設置を検討する。

移動式プロテクタの両坑口部には、移動式プロテクタの存在を示すための黄色回転灯やピカピカチューブを設置するとともに、通行車線を誘導・規制するためのカラーコーンを設置する。移動式プロテクタ上部には工事情報などを表示する電光掲示板を設置する。（図-4.3.3 参照）

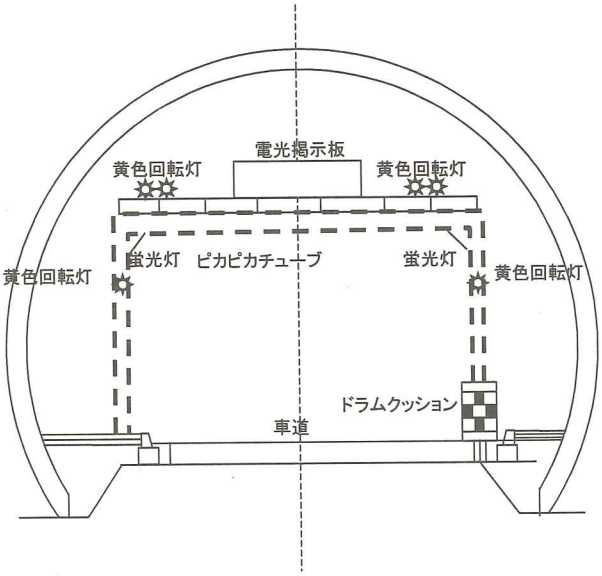


（平面図）

発進側 正面図



到達側 正面図



（正面図）

図-4.3.3　移動式プロテクタに設置する安全設備

４．３．２　組立、移動方法

（１）門型掘削機

門型掘削機は図-4.3.4 に示したような坑外仮設ヤードで組立てる。組立用にクレーンを 2 台使用し、フレーム（門型）から組立を行い、順々に各ユニット（自由断面掘削機や穿孔機など）をフレームに搭載していく。場所や地形等によりヤードの広さで制約を受ける場合には、事前に組立の順番を決めてからトレーラやトラックを搬入させる。組立後に試運転調整および作動確認を行う。移動方法はトンネル坑口へ予めレールを敷設し自走して搬入する。

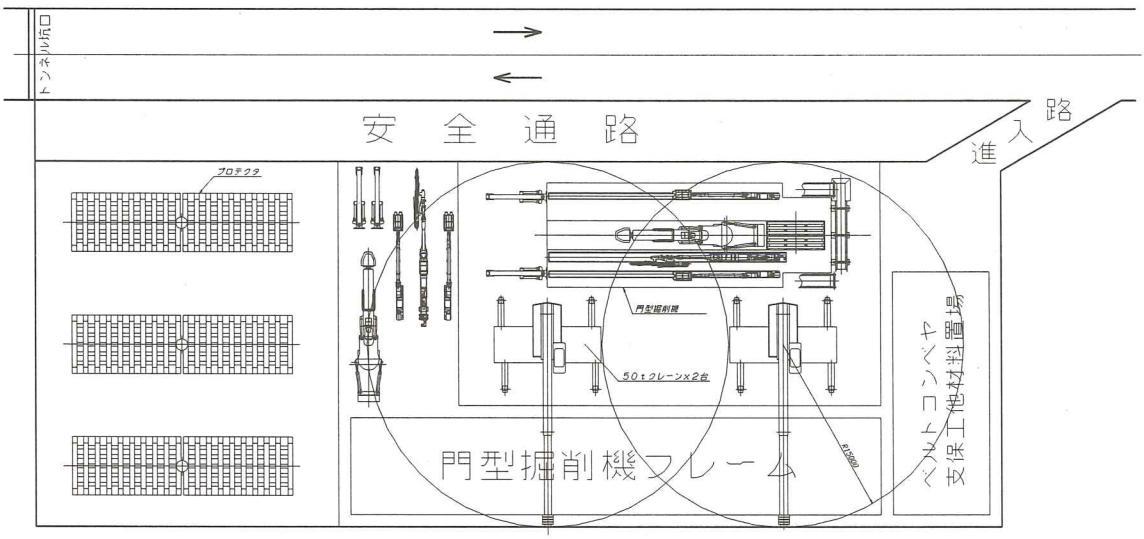


図-4.3.4　門型掘削機，移動式プロテクタ組立ヤード

（2）　移動式プロテクタ

移動式プロテクタはタイプーａとタイプーｂの２種類ある。

組立は図-4.3.5 のような順序で行い、タイプーａ、ｂ共にボギー、サイド、アッパの順に組立てる。タイプーａは門型掘削機の組立前に坑外仮設ヤードで組立を行い、レール上を自走にて順次既設トンネル坑内へ移動させる。

タイプーｂは門型掘削機を所定位置に移動させた後、同じ仮設ヤードで組立てる。掘削にあわせ順次必要部分を移動させ、既に設置済みのプロテクタに連結させる。

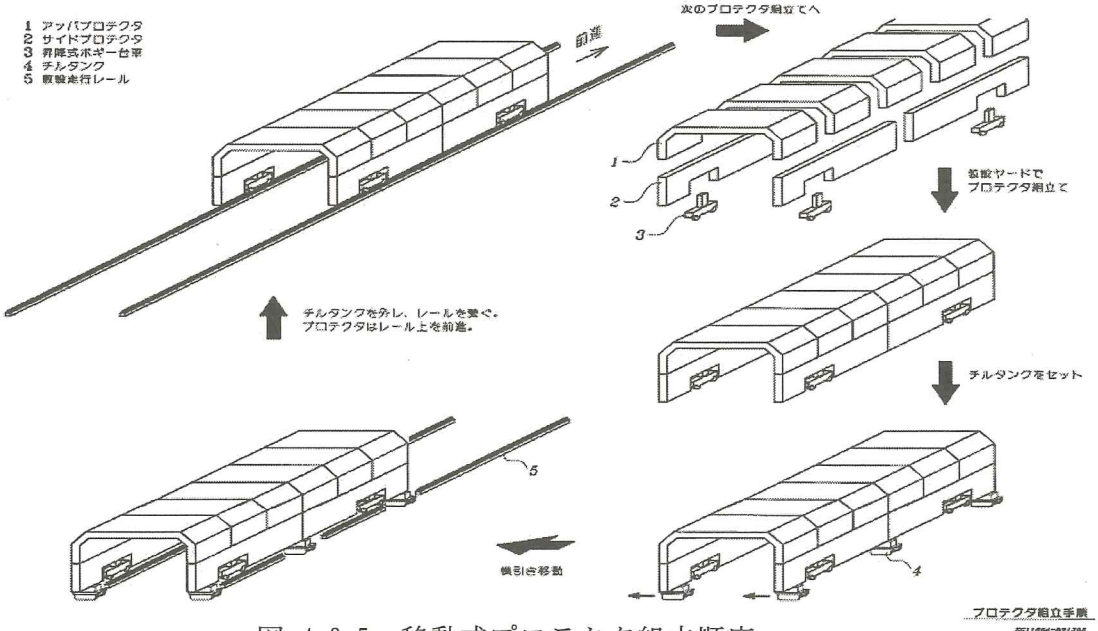


図-4.3.5　移動式プロテクタ組立順序

5．適用に当たっての留意点

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。

- 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。
- 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（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。
- 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。従って、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。

参考文献

1）（社）日本道路協会、「落石対策便覧」、平成12年6月

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）–

参　考　資　料

1．サイクルタイム試算例

1．1　基本条件

試算の対象とするトンネルとして、以下の条件を設定する。

① 図-1.1.1 に示す既設トンネル断面と拡大トンネルの配置で試算を検討する。

② 岩級区分構成を表-1.1.1 に示す。

③ 試算ケースを表-1.1.2 に示す。

④ 掘削は機械掘削とする。

⑤ インバートはDⅢ区間のみ施工とする。

表-1.1.1　岩級区分構成

岩級区分	DⅢ	DⅠ	CⅡ	DⅠ	DⅢ	トンネル延長
ｹｰｽ1	25m	75m	300m	75m	25m	500m
ｹｰｽ2	25m	325m	300m	325m	25m	1000m
ｹｰｽ3	25m	325m	1300m	325m	25m	2000m

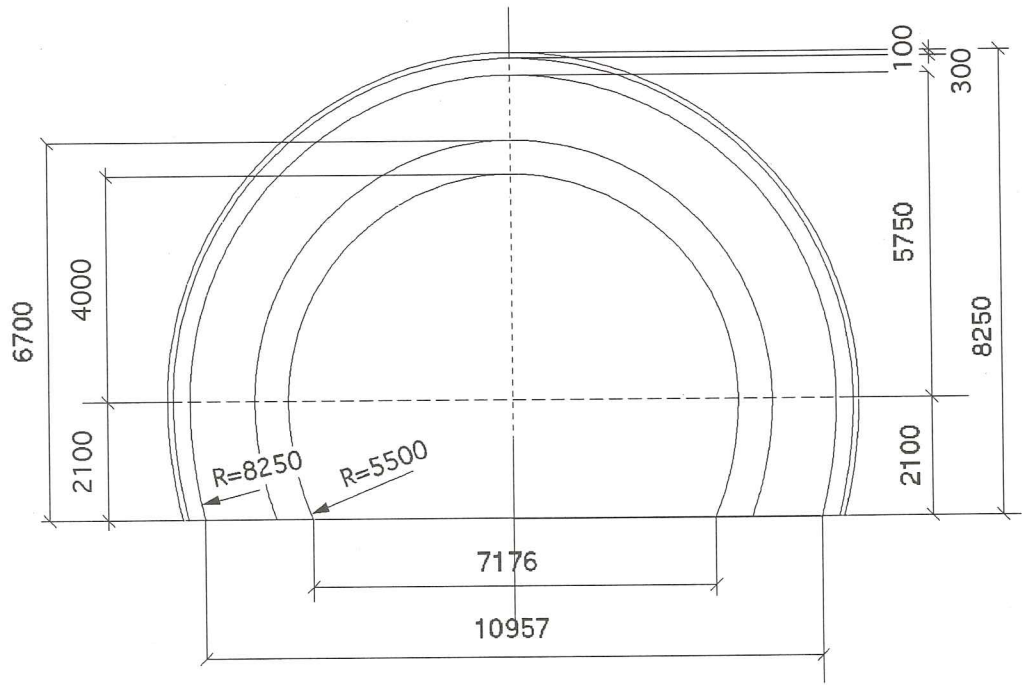


図-1.1.1　試算に用いるトンネル断面（1 車線プロテクタ方式同心円拡大型）

表-1.1.2 試算ケース一覧表

試算ケース	プロテクタ方式	既設トンネル幅	拡大断面	トンネル延長
CASE1	移動式・１車線	7.2m 程度	10.96m 程度 3 種 4 級片側自歩道付	500m
CASE2	移動式・1 車線	7.2m 程度	10.96m 程度 3 種 4 級片側自歩道付	1000m
CASE3	移動式・1 車線	7.2m 程度	10.96m 程度 3 種 4 級片側自歩道付	2000m

１．２　サイクルタイム試算条件

サイクルタイムの算出に当たっては、「建設省土木工事積算基準　平成 12 年度版」のうち、「15.トンネル工　①トンネル工、②小断面トンネル工」、および「18.参考工種　27 小断面トンネル工(ＮＡＴＭ)」を参考とした。

試算に当たっての施工機械配置を整理した表を表-1.2.1 に示すとともに、以下に種々の詳細条件を記す。

１．２．１　主要施工機械

表-1.2.1 サイクルタイム算出条件の機械の配置

		数量	摘　要
機械掘削 自由断面掘削機	門型掘削機搭載	1 台	240kW
油圧 ブレーカ	門型掘削機搭載	2 台	1.2ｔクラス
吹付け マニピュレータ	門型掘削機搭載	2 台	
チャージングゲージ	門型掘削機搭載	2 台	支保工エレクタ
穿孔ユニット	門型掘削機搭載	1 台	ドリフタ 190kg 級
積込み機	ずり積機（ｸﾛｰﾗ式ﾊﾞｯｸﾎｳ型）	2 台	150m³/hr 級
破砕機	自走式クラッシャ	1 台	50m³/hr 級
ずり運搬	門型掘削機搭載	3 台	150m³/hr 級
ずり運搬	連続ベルトコンベヤ	1 台	150m³/hr 級

１．２．２　サイクルタイム算定条件

①上半掘削は自由断面掘削機およびブレーカ掘削とした。

②下半掘削はブレーカ掘削とした。

③ロックボルトの穿孔は事前施工を行い、拡大掘削時はプレートの締結のみとした。

④鋼アーチ支保工切断個所

上半部は12個所とし、2セットで切断するものとした。

⑤鋼アーチ支保工切断時間

切断時間は1個所当たり4分とした。

⑥吹付け機の能力

基準の12m³/hを2台使用する能力で算出した。

⑦プロテクタの移動

プロテクタの移動は掘削および覆工コンクリートが27m完了後、移動するサイクルとした。

⑧準備工や跡片付け等はガントリタイプであることによりラップ作業が可能であるため5ー10分で算出した。

１．３　サイクルタイム表

トンネル延長1,000mにおけるサイクルタイム算出例を下の表-1.3.1に示す。

表-1.3.1　断面拡大サイクルタイム（L=1,000m）

（内空幅７．２m級既設トンネル→３種４級片側自歩道付き）

上半

項目			CⅡ	DⅠ	DⅢ	
上半設計掘削断面（余掘含まず）	A1	m²	27.7	28.6	31.1	
上半ブームヘッダ掘削断面積（余掘含む）	A2	m²	24.1	24.9	27.5	
上半ブレーカ掘削断面積（余掘含む）	A3	m³	5.9	5.9	5.9	
1サイクル当り掘削長	B	m	1.2	1.0	1.0	
掘削機械作業能力（ブームヘッダ）	C	m³/h	23	28	28	
掘削機械作業能力（ブレーカ）	D	〃	15	17	17	
ブレーカ数	E	台	2	2	2	
土量換算率	F		0.7	0.7	0.7	
ガラ処理機作業能力	G	m³/h	50	50	50	
ずり出し非重複作業割合	H		0.7	0.7	0.7	
鋼アーチ支保工切断個所数	I	個所	12	12	12	
鋼アーチ支保工1個所当たり切断時間	J	分	4	4	4	
鋼アーチ支保工切断機械台数	K	台	2	2	2	
上半1サイクル当り吹付面積	L	m²	19.7	16.4	16.6	
1次吹付設計厚さ	M	m	0.05	0.05	0.05	
2次吹付設計厚さ	N	〃	0.05	0.10	0.20	
補正係数	O		2.1	1.9	1.7	

吹付台数				P	台	2	2	2	
上半1サイクル当りボルト本数				R1	本	11	13	2	
ロックボルト1本当り締結時間				S	分	5	5	5	
ロックボルト締結台数				U	台	2	2	2	
上半1サイクル当たり先受け本数				R2	本	0	0	21	
上半	掘削	掘削・ずり出し	ロードヘッダの移動セット		分	10	10	10	
			地山掘削		〃	75	53	59	A2*B*60/C
			ブレーカセット		〃	2	2	2	10m/（5m/分）
			既設覆工の取壊し		〃	14	10	10	A3*B*60/D/E
			シャフローダの移動		〃	2	2	2	10m/（5m/分）
			ずりガラ搬出	T1	〃	39	34	36	(A2+A3)*B*F/G*60*H
			シャフローダの移動（戻る）		〃	2	2	2	10m/（5m/分）
			測量		〃	10	10	10	
			鋼アーチ支保工切断		〃	24	24	24	12本*4分/2台
			圧砕機移動		〃	2	2	2	10m/（5m/分）
			鋼アーチ支保工・矢板片付け搬出		〃	10	10	10	
	支保工	吹付け	吹付けブーム移動・セット		〃	2	2	2	
			上半部一次吹付け	T31	〃	5	4	4	L*M*O*60/12/P
			吹付けブーム移動・跡片付け		〃	5	5	5	
		鋼アーチ支保工	鋼アーチ支保工搬入		〃	20	20	20	10分/基/2台
			鋼アーチ支保工準備		〃	10	10	10	
			鋼アーチ支保工建込み		〃	30	30	30	30分/2基*4基/2台
		金網取付け			〃	30	30	30	
		吹付け	吹付けブーム移動セット		〃	2	2	2	
			上半部二次吹付け	T32	〃	5	8	14	L*N*O*60/12/P
			吹付けブーム移動跡片付け		〃	5	5	5	
		ロックボルト	チャージングゲージ移動セット		〃	2	2	2	10m/（5m/分）
			ロックボルト締結		〃	28	33	5	R1*S/U
			チャージングゲージ移動（戻る）		〃	2	2	2	10m/（5m/分）
		先受け	準備		〃			10	
			穿孔打込取付けモルタル注入	T4	〃			105	R2*5
			跡片付け		〃			10	
	小　計			Q11	〃	336	312	423	

下半

項　目			CⅡ	DⅠ	DⅢ	
下半設計掘削断面（余掘含まず）	A1	m^2	13.5	13.9	14.9	
下半掘削断面積（余掘含む）	A2	m^2	14.4	14.8	15.8	
1サイクル当り掘削長	B	m	1.2	1.0	1.0	
掘削機械作業能力（ブレーカ）	C	m^3/h	15	17	17	
ブレーカ台数	D	台	2	2	2	
土量換算率	E		1.3	1.3	1.3	
ガラ処理機作業能率	F	m^3/h	50	50	50	
下半1サイクル当たり吹付け面積	G	m^2	8.2	6.8	6.8	
1次吹付設計厚さ	H	m	0.05	0.05	0.05	
2次吹付設計厚さ	I	〃	0.05	0.10	0.20	
補正係数	J		1.9	1.7	1.5	
吹付台数	K	台	2	2	2	

下半1サイクル当りボルト本数				L	本	4	6	6	
ロックボルト1本当り締結時間				M	分	5	5	5	
ロックボルト締結台数				N	台	2	2	2	
下半	掘削	掘削・ずり出し	ブレーカ移動セット		分	10	10	10	10m/（5m/分）
			地山・コンクリート掘削		〃	75	53	59	A2*B*60/C/D
			シャフローダの移動		〃	2	2	2	10m/（5m/分）
			ずり・ガラ搬出	T2	〃	39	34	36	(A2*B*E*60/F
			シャフローダの移動（戻る）		〃	2	2	2	10m/（5m/分）
	支保工	吹付け	吹付けブーム移動・セット		〃	2	2	2	
			下半部一次吹付け	T33	〃	2	1	1	G*H*J*60/12/K
			吹付けブーム移動・跡片付け		〃	5	5	5	
		鋼アーチ支保工	鋼アーチ支保工搬入		〃	10	10	10	10分/基/2台
			鋼アーチ支保工建込み		〃	10	10	10	
		金網取付け			〃	10	10	10	
		吹付け	吹付けブーム移動セット		〃	2	2	2	
			下半部二次吹付け	T34	〃	2	3	5	G*I*J*60/12/K
			吹付けブーム移動跡片付け		〃	5	5	5	
		ロックボルト	チャージングゲージ移動セット		〃	2	2	2	10m/（5m/分）
			ロックボルト締結		〃	10	15	15	L*M/N
			チャージングゲージ移動（戻る）		〃	2	2	2	10m/（5m/分）
			ガントリー移動		〃	5	5	5	30m/min
	小計			Q12	〃	135	127	133	
合計				Q1		471	439	566	Q11+Q12
1日当たり進行長					m/日	2.8	2.5	1.9	540分*B*2方/Q1
1月当たり進行長					m/月	64.4	57.5	43.7	540分*B*2方*23日/Q1
プロテクタ	プロテクタ移動段取り				分	20	20	20	
	プロテクタ移動				〃	3	3	3	12m/分
	プロテクタ固定				〃	5	5	5	
	小計			Qp	〃	28	28	28	
1サイクル当りプロテクタ移動時間				Qp´	〃	1	1	1	Qp*B/27
合計				Q2		472	440	557	Q1+Qp´
1日当たり進行長					m/日	2.7	2.5	1.9	540分*B*2方/Q2
1月当たり進行長					m/月	62.1	57.5	43.7	540分*B*2方*23日/Q2

2．出願特許

申請特許名	出願人	発明者	申請年月日 （出願番号）	公開日
既設トンネルの拡幅装置	独立法人土木研究所 (財)先端建設技術センター 大成建設株式会社 株式会社間組 戸田建設株式会者 前田建設工業株式会社 古河機械金属株式会社	真下英人、石村利明 中森潤一郎 端則夫、吉富幸雄 鈴木雅行、 熊谷成之 井上博之、 佐伯宏実、藤城義信	2002.2.12 （特願 2002-034241）	

施　工　マ　ニュ　ア　ル　（案）

第３編　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（爆破掘削）―

平成 16 年 3 月

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
株式会社　熊谷組
佐藤工業　株式会社
飛島建設　株式会社
古河機械金属　株式会社

目　　次

1．工法の概要 …… 3-1
2．工法の特徴 …… 3-4
3．適用条件 …… 3-5
　3．1　断面規模・配置 …… 3-5
　3．2　トンネル延長、地質条件 …… 3-6
　3．3　トンネル線形 …… 3-6
　3．4　爆破掘削に関する事項 …… 3-7
4．ナレオンハット型ステージ …… 3-8
5．施 工 …… 3-16
　5．1 施工フロー …… 3-16
　5．2 各工種の施工手順と留意点 …… 3-17
　　5．2．1　準備工 …… 3-17
　　5．2．2　盤下げ …… 3-17
　　5．2．3　穿孔・装薬・爆破 …… 3-17
　　5．2．4　ずり出し・支保撤去 …… 3-18
　　5．2．5　一次吹付け・支保工建込み …… 3-21
　　5．2．6　二次吹付け・ロックボルト …… 3-21
　　5．2．7　プロテクタ移動 …… 3-22
　　5．2．8　防水工 …… 3-22
　　5．2．9　覆 工 …… 3-22
　　5．2．10　排水工・インバート工 …… 3-23
　　5．2．11　舗装工 …… 3-24
6．仮設備 …… 3-25
　6．1 坑外仮設備 …… 3-25
　　6．1．1　概要 …… 3-25
　　6．1．2　仮設備建物の規模 …… 3-25
　　6．1．3　活線拡大工事用仮設ヤード …… 3-26
　6．2 坑内仮設備 …… 3-30
　　6．2．1　坑内使用機械 …… 3-30
　　6．2．2　換気設備 …… 3-34
　　6．2．3　路面水処理対策 …… 3-35
7．安全対策 …… 3-36
　7．1 交通規制 …… 3-36

７．１．１　車線規制 …… 3-36
７．１．２　車高制限 …… 3-37
７．１．３　交通誘導員 …… 3-37
７．２　爆破時の対応 …… 3-39
８．環境対策 …… 3-40
８．１振動・騒音対策 …… 3-40
８．１．１　爆破振動対策 …… 3-40
８．１．２　爆破騒音対策 …… 3-42
８．２粉じん対策 …… 3-42
９．適用に当たっての留意点 …… 3-43

参考資料

１．サイクルタイム試算例 …… 3-49
１．１基本条件 …… 3-49
１．２サイクルタイム試算条件 …… 3-50
１．２．１　主要施工機械 …… 3-51
１．２．２　サイクルタイム算定条件 …… 3-51
１．２．３　その他考慮した諸条件 …… 3-52
１．３サイクルタイム表 …… 3-53
２．出願特許 …… 3-55
３．その他 …… 3-55
３．１　爆破防護用プロテクタに作用する爆破衝撃荷重の考え方 …… 3-55

１．工法の概要

当工法は、既設のトンネル内を移動するプロテクタとその上をスライドする作業架台からなるナポレオンハット型ステージを用いた工法である。

ナポレオンハット型ステージは多機能型の専用・汎用掘削機から構成されおり、図-1.1.1～図-1.1.4には２車線、１車線のそれぞれステージの概要図、およびシステムの全体概要図を示す。

ここで、移動式プロテクタ上にスライド式TWS（Tunnel　Work　Station）を搭載した機構をナポレオンハット型ステージという。

従来の既設トンネルの活線拡大工法は、既設覆工および走行車両への影響を考慮して、ほとんどが機械掘削であった。しかし、掘削対象地山が硬岩の場合には、既存の最大能力の掘削機械を導入しても、掘削能力に限界があり、工事は難渋することが多い。

当工法では、掘削地山が土砂から軟岩地山では、『機械掘削方式』とし、硬岩地山では『爆破方式』を採用することを提案した。その結果、従来の活線拡大工法に比較して、適用地山は土砂から硬岩地山まで柔軟に対応できるようになり、かつ効率的な掘削が可能となった。

また、活線拡大は、交通量の多い幹線道路では、交通規制自体が大きな問題となる。当工法は、道路需要の大小によって、１車線、２車線通行にも対応可能で、トンネルの延長が 1,000m以上でも工期短縮、コスト低減が図れる活線拡大工法である。

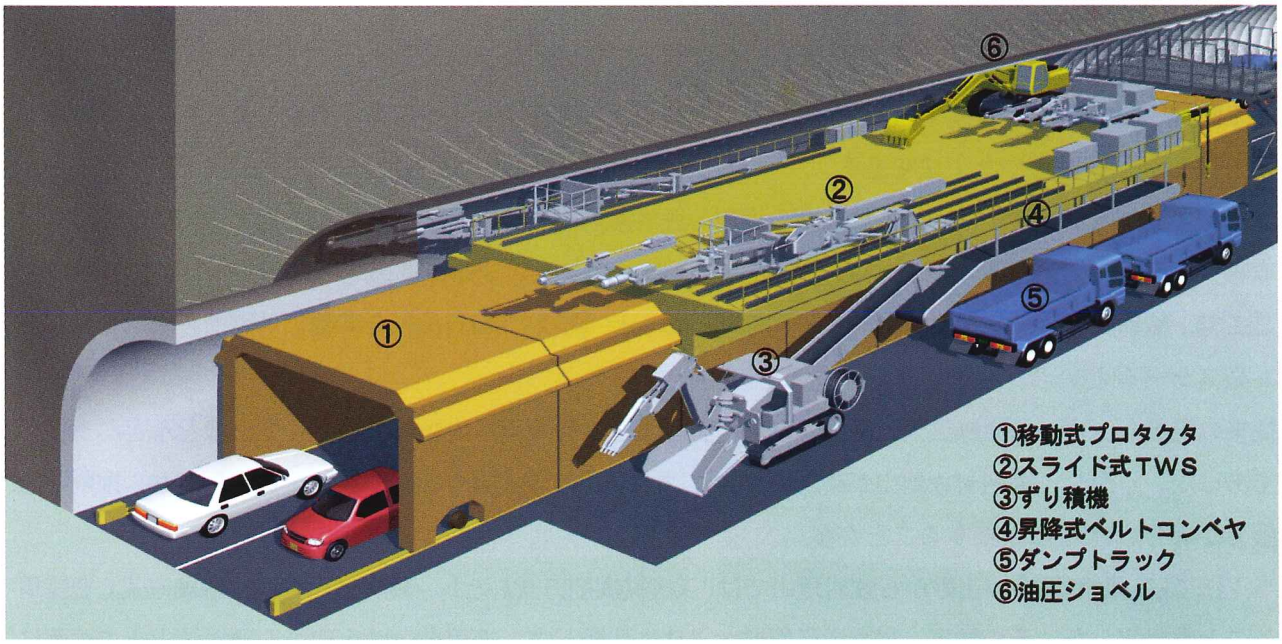


図-1.1.1　２車線プロテクタ方式　ナポレオンハット型ステージ概要図

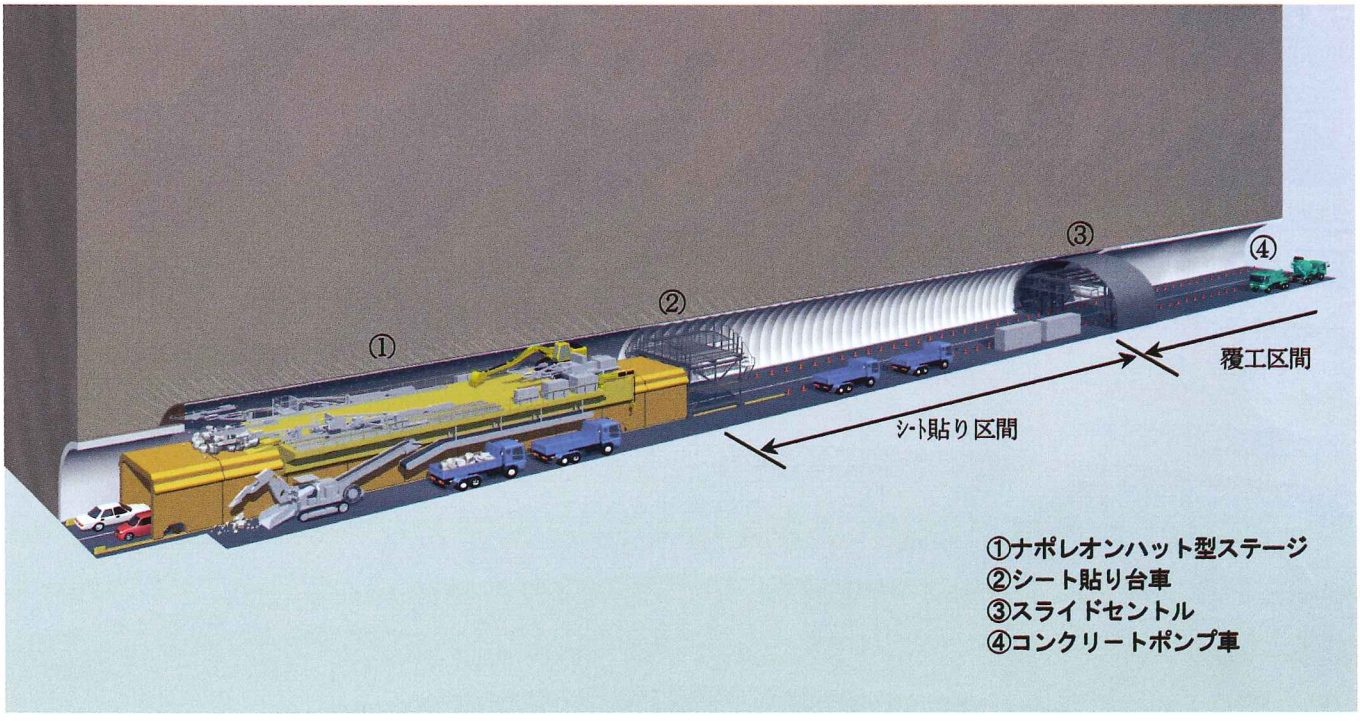


図-1.1.2　２車線プロテクタ方式　ナポレオンハット型ステージ工法　全体概要図

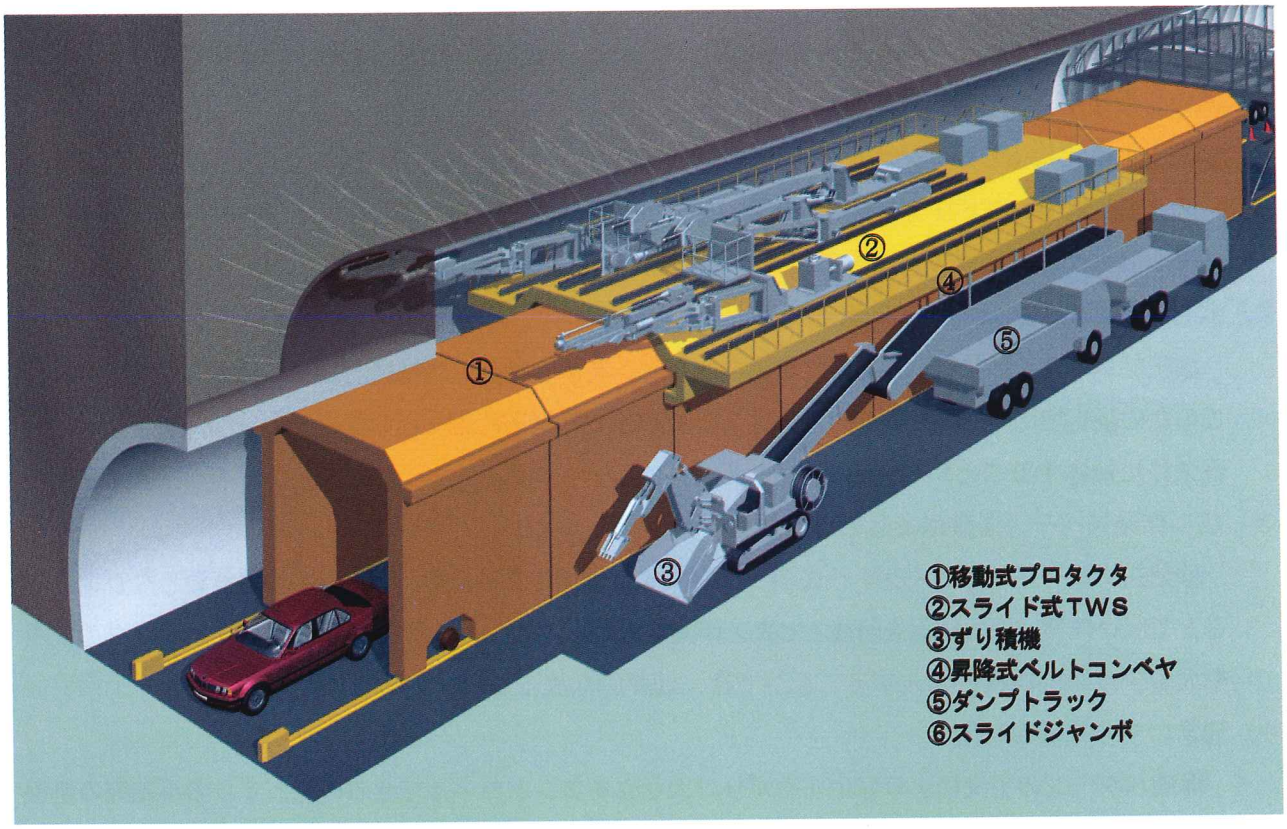


図-1.1.3　1車線プロテクタ方式　ナポレオンハット型ステージ概要図

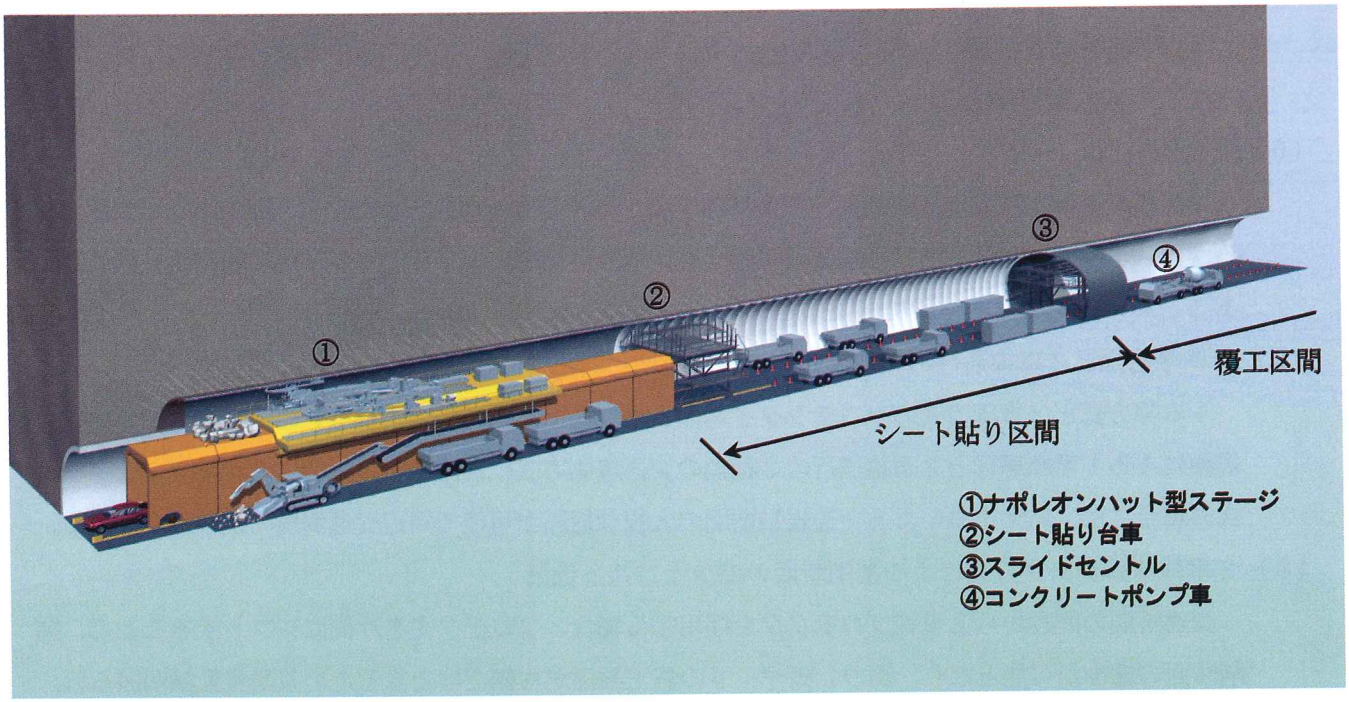


図-1.1.4　1車線プロテクタ方式　ナポレオンハット型ステージ工法　全体概要図

２．工法の特徴

本工法の特徴を下記に示す。

（１）爆破工法採用により硬岩地山を効率的に施工可能

スライド式 TWS にドリフタを搭載していることで爆破掘削の採用を可能とし、軟岩～硬岩地山においても効率的な掘削が期待できるシステムである。

（２）軟岩～土砂地山までの幅広い地質条件に適用可能

油圧ブレーカの取り付けが非常に容易なシステムを併せ持ち、機械掘削工法の採用も可能である。このため硬岩地山への高い適応性に加えて、坑口部や断層破砕帯などの軟岩～土砂地山まで幅広い地質条件に対応することができる。

（３）広い作業スペースを確保でき効率的な施工が可能

移動式プロテクタ上にスライド式 TWS を搭載する構造であるため、TWS の脚部が不要となり、このことで広い作業空間の確保を可能とした。作業空間が広がるため、通常の 10ｔダンプトラックの使用や大型ずり搬出機械を導入することができ、効率的な施工が可能である。

（４）通常のずり処理が可能

爆破パターンの工夫により発生するずりの大きさをコントロールできるので、ずりの小割等の処理が不要であり、さらに１０ｔダンプトラックの導入により通常に行われているようなずり搬出が可能である。

（５）急速施工とコストダウンが可能

移動式プロテクタとスライド式 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短縮および設備費低減が図られる。特に中長大トンネルにおいては、従来の改築工法と比べて工程の短縮と工費の低減が可能となる。

（６）安全性の向上

断面拡大工法は狭隘な拡幅断面内で多様な工種を行わなければならず安全管理面で厳しい条件となるが、スライド式 TWS 方式により機械移動回数、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。

（７）１車線通行と２車線通行の２種類の交通規制方式に対応

１車線方式と２車線方式のプロテクタを導入したことで、現道の交通量などの条件および断面拡大規模による１車線通行と２車線通行の２種類の交通規制方式に対応できる。特に２車線プロテクタ方式の場合には、拡大工事による交通規制期間の大幅な短縮が可能で周辺交通環境の緩和に寄与する。

（８）２車線プロテクタ方式による掘削断面の縮少とコスト低減

交通規制の問題から２車線プロテクタを採用する場合、プロテクタを片側にシフトすることで、掘削断面の縮少が可能となり、かつ、両サイドの施工設備が片側だけとなるため設備費低減が図られ、工事全体のコスト低減が可能である。

3．適用条件

適用の対象となる既設トンネルおよび拡大トンネルの条件を下記に示す。

3．1　断面規模・配置

①既設トンネルの規模は、図-3.1.1～図-3.1.2 に示すプロテクタが通過可能な内空断面を有することが必要である。

・１車線プロテクタ寸法（内空：幅 4.0m×高さ 4.1m、部材厚：0.5m程度）

・２車線プロテクタ寸法（内空：幅 6.0m×高さ 4.1m、部材厚：0.5m程度）

ただし、一般車両通行帯の内空断面寸法を小さく設定できる場合においては、その規格に準じた規模までプロテクタを縮小することができる。

②拡大トンネル断面形状については、図-3.1.1～図-3.1.2 に示す寸法のトンネルが必要最小断面である。スライド式 TWS で効率的に施工できる必要最小限のサイズを示しており、この寸法より規模の大きなトンネルへの適用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。

・１車線プロテクタ方式の場合の拡大断面（３種４級両側歩道≒３種２級片側歩道）

・２車線プロテクタ方式の場合の拡大断面（３種２級両側歩道≒３種２級片側自歩道）

③断面水平方向の配置については、プロテクタ方式により下記のタイプがある。

・１車線プロテクタ方式の場合（同心円拡大型）

既設トンネルと拡大トンネルの構造物センターを同一とするタイプ

・２車線プロテクタ方式の場合（センターシフト型）

既設トンネルと拡大トンネルの構造物センターを１m程度シフトして片側の作業帯幅を大きく確保して作業性の向上を図るとともに、拡大断面の過大化を抑えるタイプ

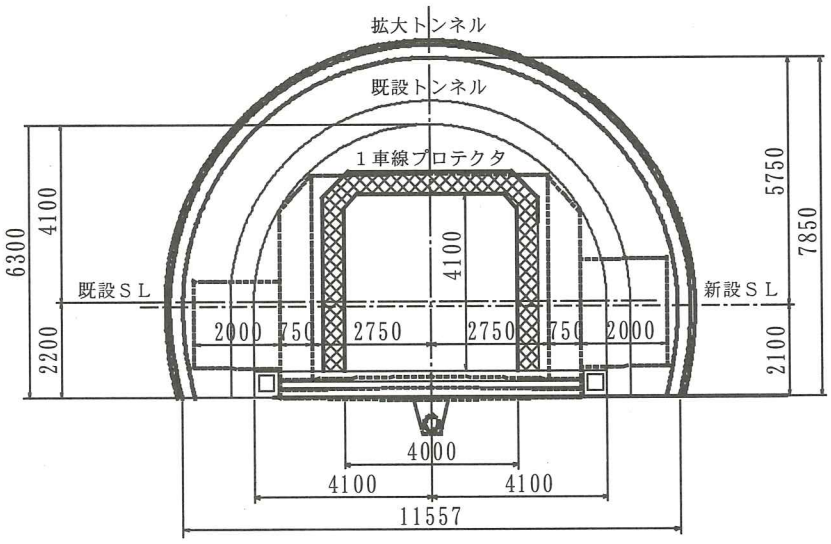


図-3.1.1　１車線プロテクタ方式の拡大断面とプロテクタ

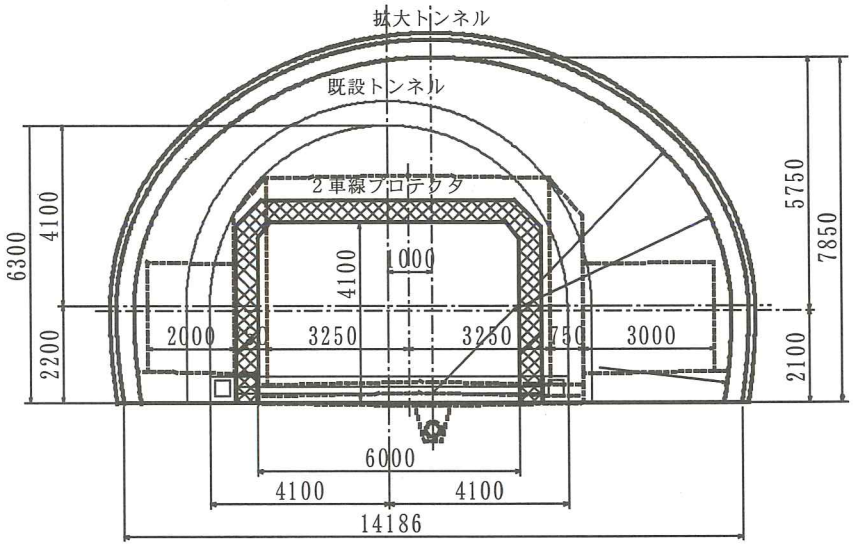


図-3.1.2　2車線プロテクタ方式の拡大断面とプロテクタ

3．2　トンネル延長、地質条件

①トンネル延長

トンネル延長は、経済性の観点からは、1,000m程度以上での適用が望ましい。しかし、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の対象となる。

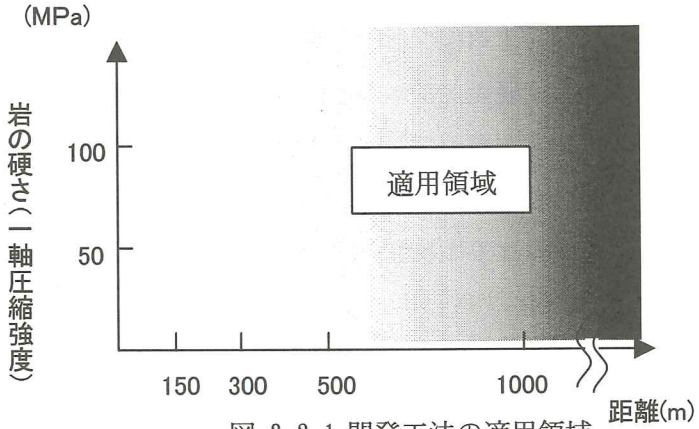


図-3.2.1 開発工法の適用領域

②地質条件

幅広い地質条件に対応できる工法である。特に当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の効率的施工が可能である。また、スライド式ＴＷＳに搭載した油圧ブレーカおよびバックホウにより土砂地山から軟岩に対しても十分な施工能力を有している。

3．3　トンネル線形

当工法では大型で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、下に示すトンネル線形に関する施工適用限界を設定している。

①トンネル平面線形―――最小曲線半径Ｒ＝200m

②トンネル縦断勾配―――安全勾配ｉ＝3%程度まで

3．4　爆破掘削に関する事項

本工法の適用にあたって、爆破掘削を採用することから下記の事項に関する検討が必要である。

①火薬類の使用許可を受けることが必要

断面拡大の従来工法においても、全面通行止めおよび夜間閉鎖による爆破掘削工事は数例報告されている。しかし、活線施工での爆破掘削については一時通行止めにより施工する方式となり、この方式での事例は現在までのところ北海道岩内郡岩内町の敷島内トンネルのみである。こうしたことから、工法採用に先立ち地方自治体の関連監督部署に対して火薬類使用許可を受ける必要がある。

②振動・騒音対策

既設トンネルを拡大することから、トンネル掘削による振動・騒音は周辺環境に影響を与える可能性がある。特に爆破掘削の場合には、瞬間的に巨大なエネルギーを発生することから振動・騒音対策の検討が必要となる場合が考えられる。こうした場合には、制御発破、防音扉および作業時間制限などを対策として採用する必要がある。

４．ナポレオンハット型ステージ

当工法は、断面拡大工法のタイプ別分類によると全体拡大（両側拡大工法）の中の専用機、専用・汎用掘削機併用門型（爆破掘削）タイプである。

この工法の主要施工設備であるナポレオンハット型ステージは、「１．概要」で述べたように移動式プロテクタとその上をスライドする作業架台（スライド式ＴＷＳ）により構成されている。

当ステージの特徴は、

①活線施工におけるプロテクタの支柱部分とＴＷＳの門型部分を一体化して構造を単純化した。

②門型脚部が省スペース化されたことで狭隘な坑内において広い作業空間を確保できる。

③移動式プロテクタ上にＴＷＳが搭載されており、移動式プロテクタを固定した状態でもＴＷＳが移動可能で、切羽作業および退避などが自由に行える。

ことである。

ナポレオンハット型ステージには、活線施工における交通規制方式に対応するため、

1）１車線プロテクタ方式（同心円拡大型）

2）２車線プロテクタ方式（センターシフト型）

があり、１車線プロテクタ方式の場合にはスライド式ＴＷＳは両側張り出し形状、２車線プロテクタ方式ではトンネル中心をシフトして片側に幅広な作業帯を確保するためスライド式ＴＷＳは片側張り出し形状となっている。図-4.1.1～図-4.1.2 に両方式のナポレオンハット型ステージの全体形状を示す。

なお、２車線プロテクタ方式では汎用掘削機をステージ上に搭載することから、重機入れ替え用昇降台をプロテクタ最後尾に準備する。

図-4.1.3～図-4.1.4 には１車線方式、図-4.1.5 に２車線方式のナポレオンハット型ステージの作業ステップ別機械配置を示す。

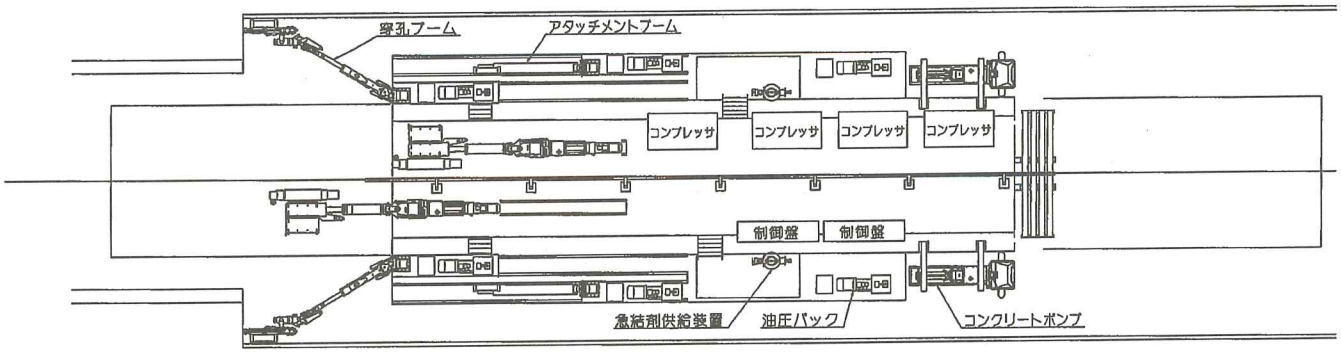
スライド式ＴＷＳを搭載するとともに一般車両通行帯を確保する移動式プロテクタ部は搭載設備機器の荷重と爆破による掘削ずり荷重に対応する剛性の高い構造とし、それらによる重量を支えてレール（75kg/m 級）上を移動できる制動装置付きの油圧駆動ボギー式走行装置を装備している。（図-4.1.6 参照）

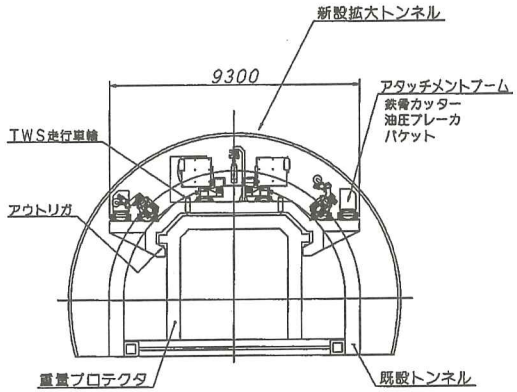
また、移動装置としては推進ジャッキ方式も併せて考慮している。

なお移動式プロテクタ１ピース長は 20mとし、これによる適用トンネルの最小曲線半径検討を行った結果、最小Ｒ＝200mとした。（図-4.1.7 参照）

主 要 仕 様

ステージ全長	24,500 mm
ステージ全幅	9,300 mm
ステージ総質量	150 ton
ステージ走行方式	油圧モータ駆動自走式
主要搭載機器	
穿孔ブームユニット	2 台
ケージ（マニピュレータ付）ユニット	2 台
アタッチメントブームユニット	2 台
コンプレッサ(75KW)	4 台
コンクリートポンプ	2 台
急結剤供給装置	2 台
支保工運搬装置	1 式
電動油圧パック（走行用）	1 台
集中制御盤	2 台





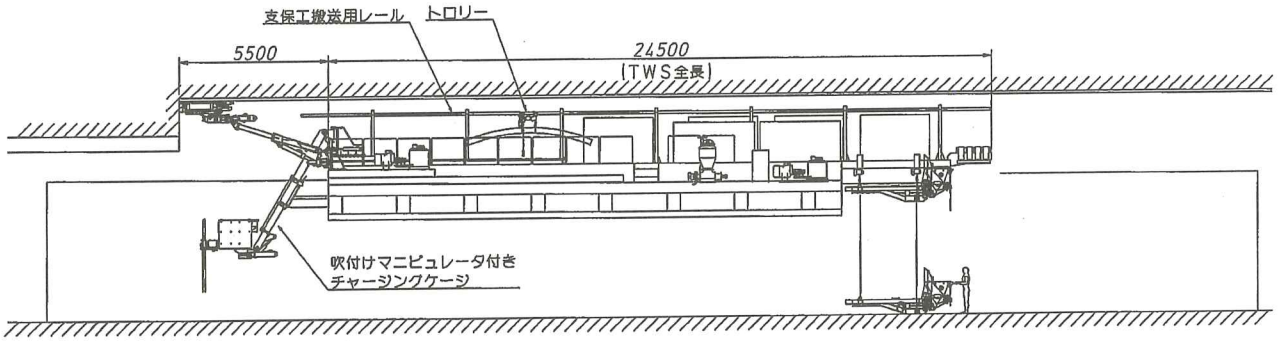
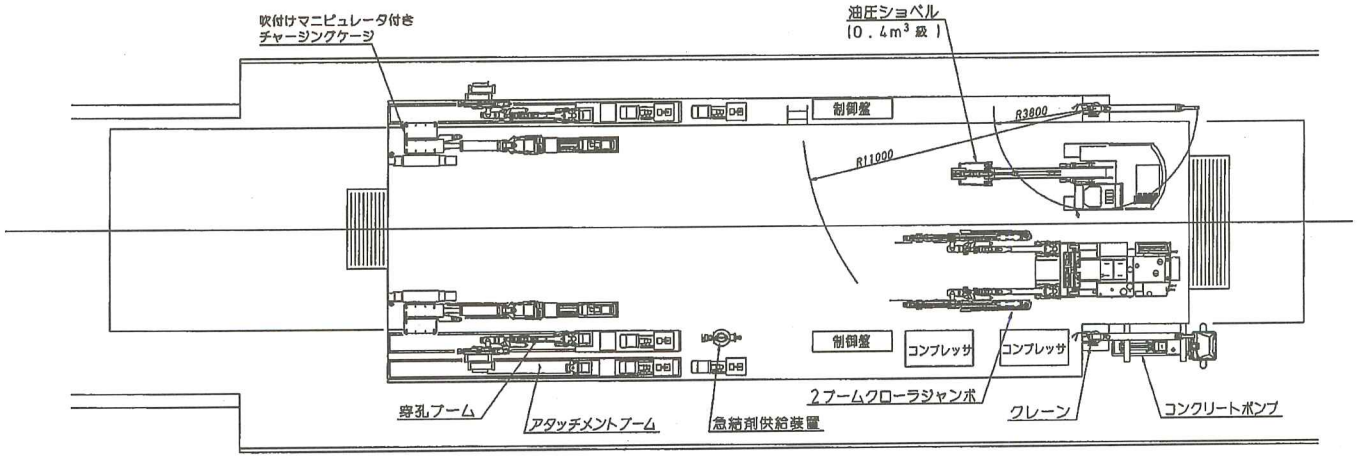
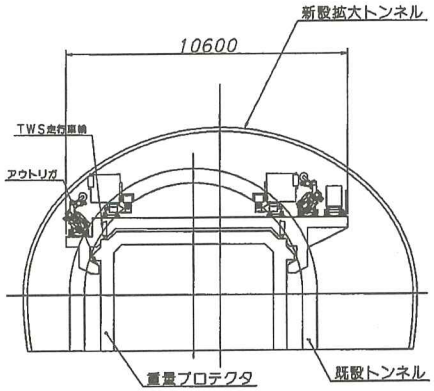


図-4.1.1　１車線プロテクタ対応ナポレオンハット型ステージ

主 要 仕 様

ステージ全長	30,000 mm
ステージ全幅	10,600 mm
ステージ総質量	180 ton
ステージ走行方式	油圧モータ駆動自走式
主要搭載機器	
穿孔ブームユニット	2 台
ケージ（ﾏﾆﾋﾟｭﾚｰﾀ付）ユニット	2 台
アタッチメントブームユニット	1 台
コンプレッサ(75KW)	2 台
コンクリートポンプ	1 台
急結剤供給装置	1 台
クレーンユニット	2 台
電動油圧パック（走行用）	1 台
操中制御盤	2 台





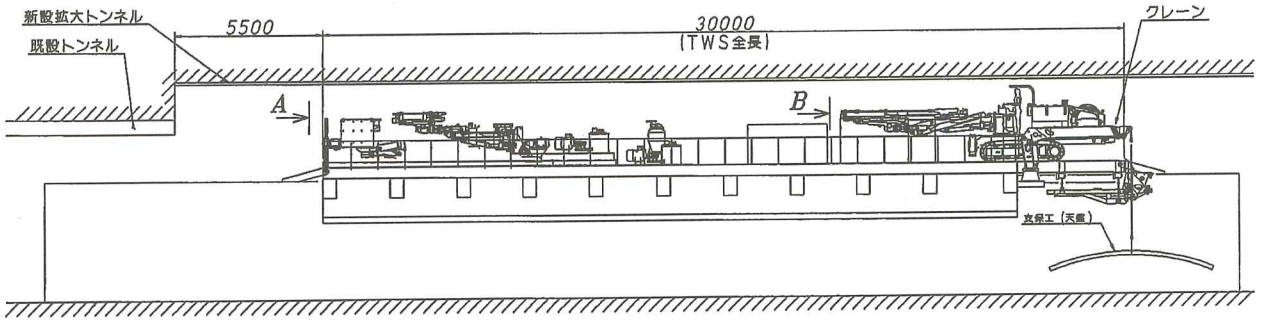


図-4.1.2　２車線プロテクタ対応ナポレオンハット型ステージ

主要機械の仕様一覧

ガントリージャンボ	
総質量	125 ton
全長	25000 mm
全幅	9250 mm
全高	4030 mm

穿孔ブーム	
油圧ドリフタ	22 kW級
ロッドチェンジャ	小型・6本ロッド収納
油圧パック電動機容量	22 kW
使用台数	2 台

吹付けマニピュレータ付きケージ	
油圧パック電動機容量	15 kW
操作方式	リモートコントロール
使用台数	2 台

カッター・バケット・ブレーカブーム	
鉄骨カッター切断力	140 ton
バケット容量	0.7 m
ブレーカサイズ	12 ton クラス
ジョイント	油圧ワンタッチ式
油圧パック電動機容量	55 kW
使用台数	2 台

吹付機（コンクリートポンプ）	
吐出量	20 m³／h級
油圧パック電動機容量	30 kW
使用台数	2 台

急結剤供給装置	
タンク容量	200 L
電動モータ容量	0.75 kW
使用台数	2 台

ベルトコンベヤ（オプション装備）	
ベルト幅	700 mm
コンベヤ能力	150 m³／h以上
電動機容量	22 kW
使用台数	2 台

クローラ式バックホウ型ずり積み機	
コンベヤ幅	620 mm
コンベヤ能力	150 m³／h
電動機容量	45 kW
使用台数	2 台

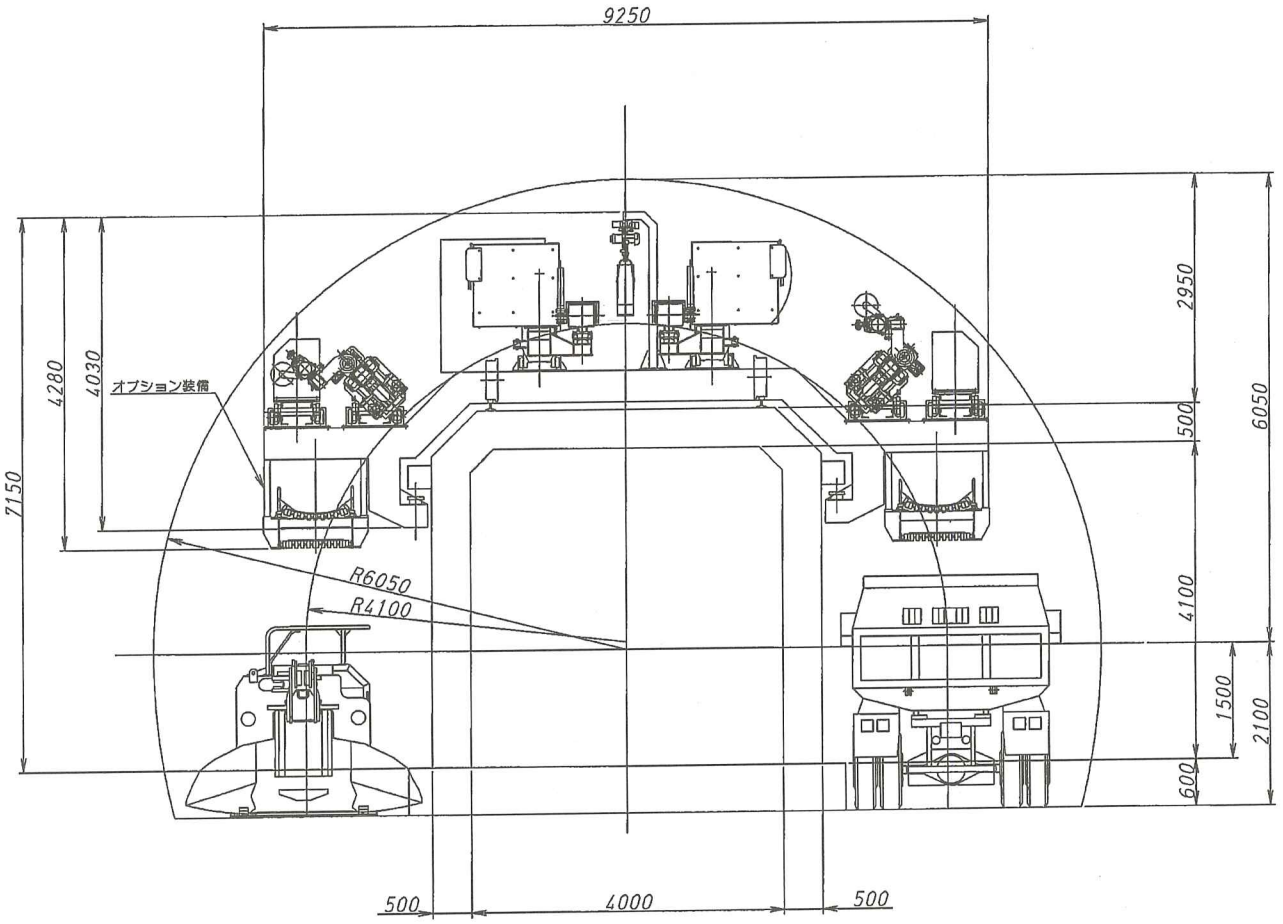


図-4.1.3　１車線プロテクタ方式搭載機械配置および仕様

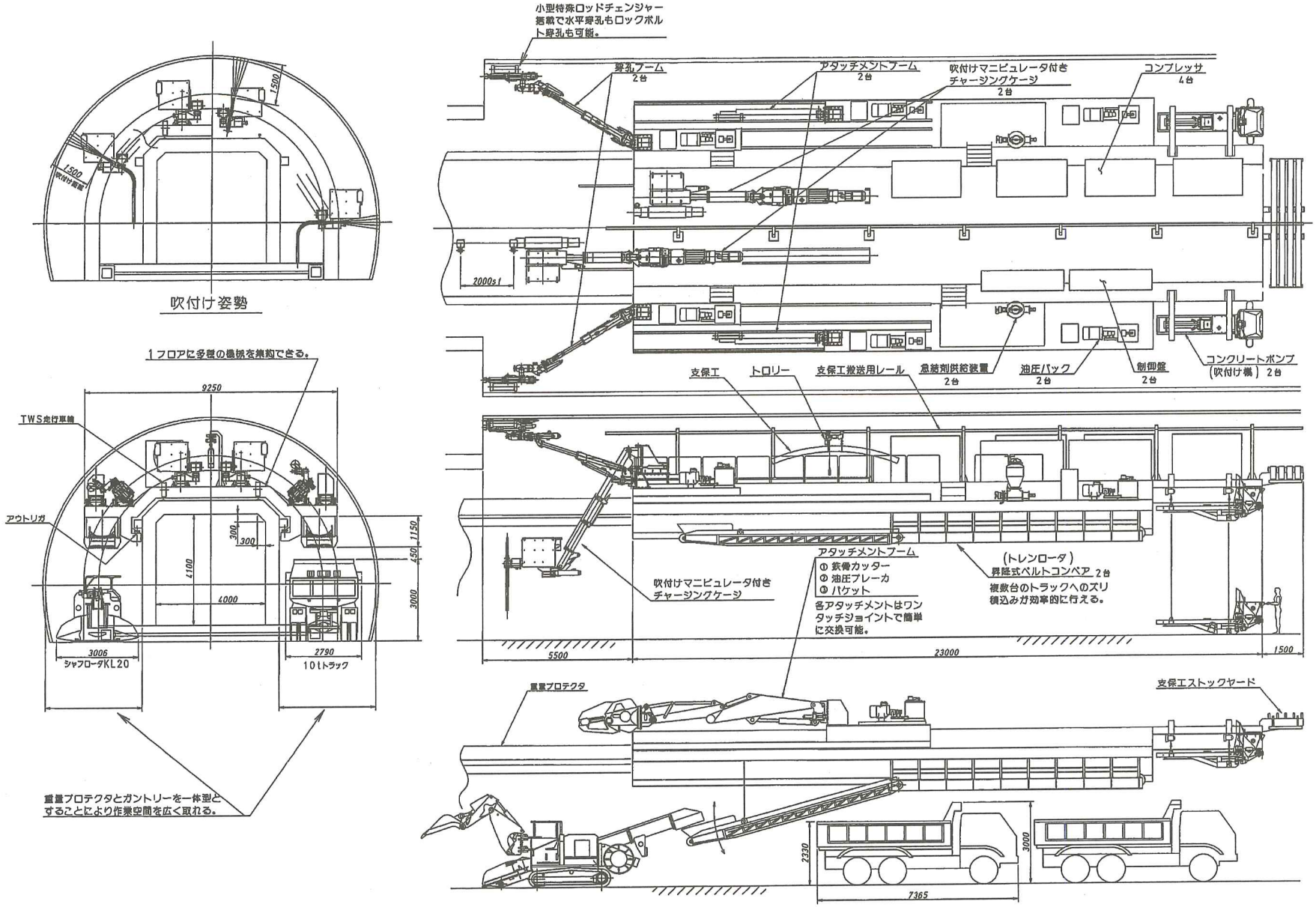


図-4.1.4　１車線プロテクタ方式施工時機械配置

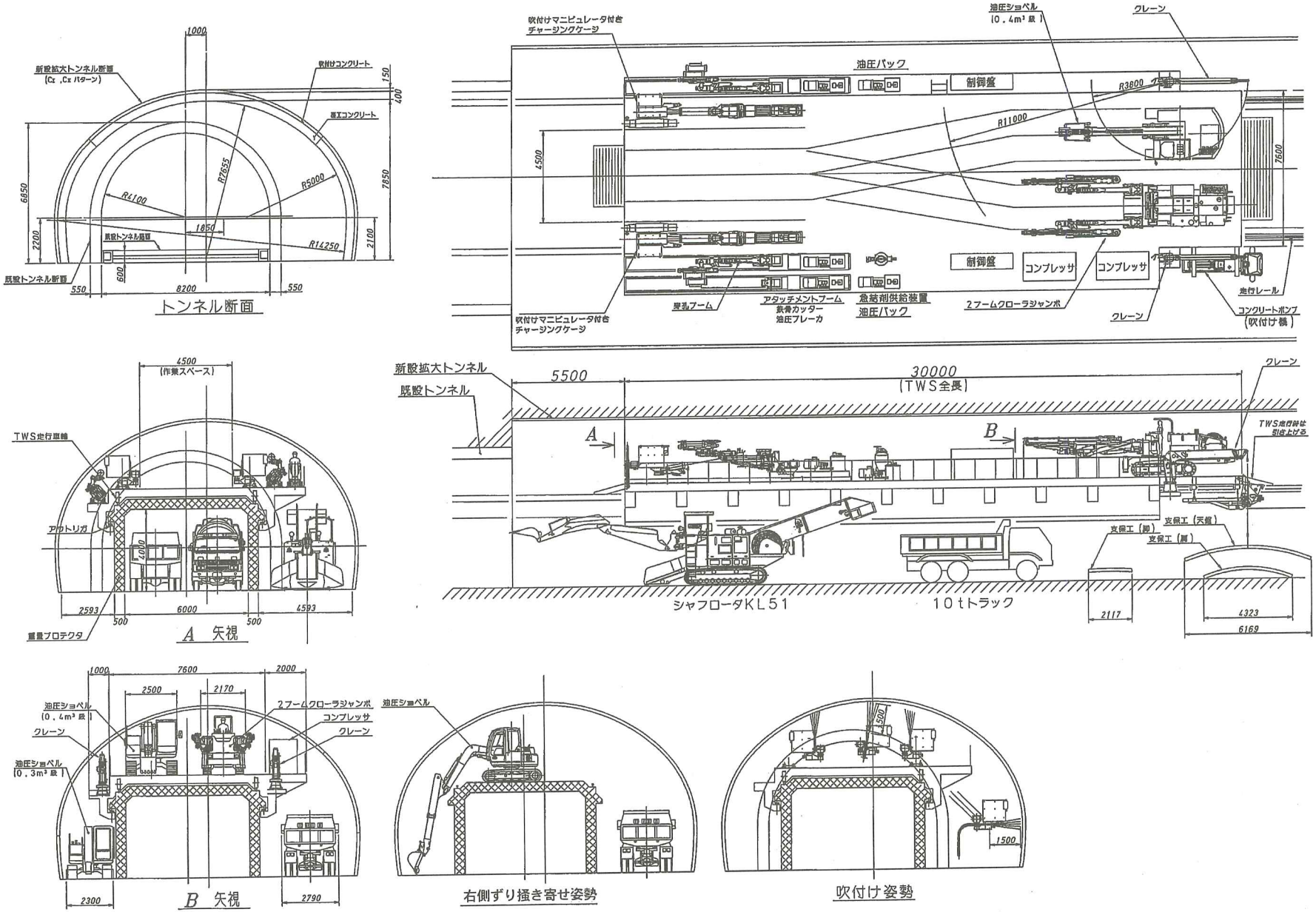


図-4.1.5　２車線プロテクタ方式施工時機械配置

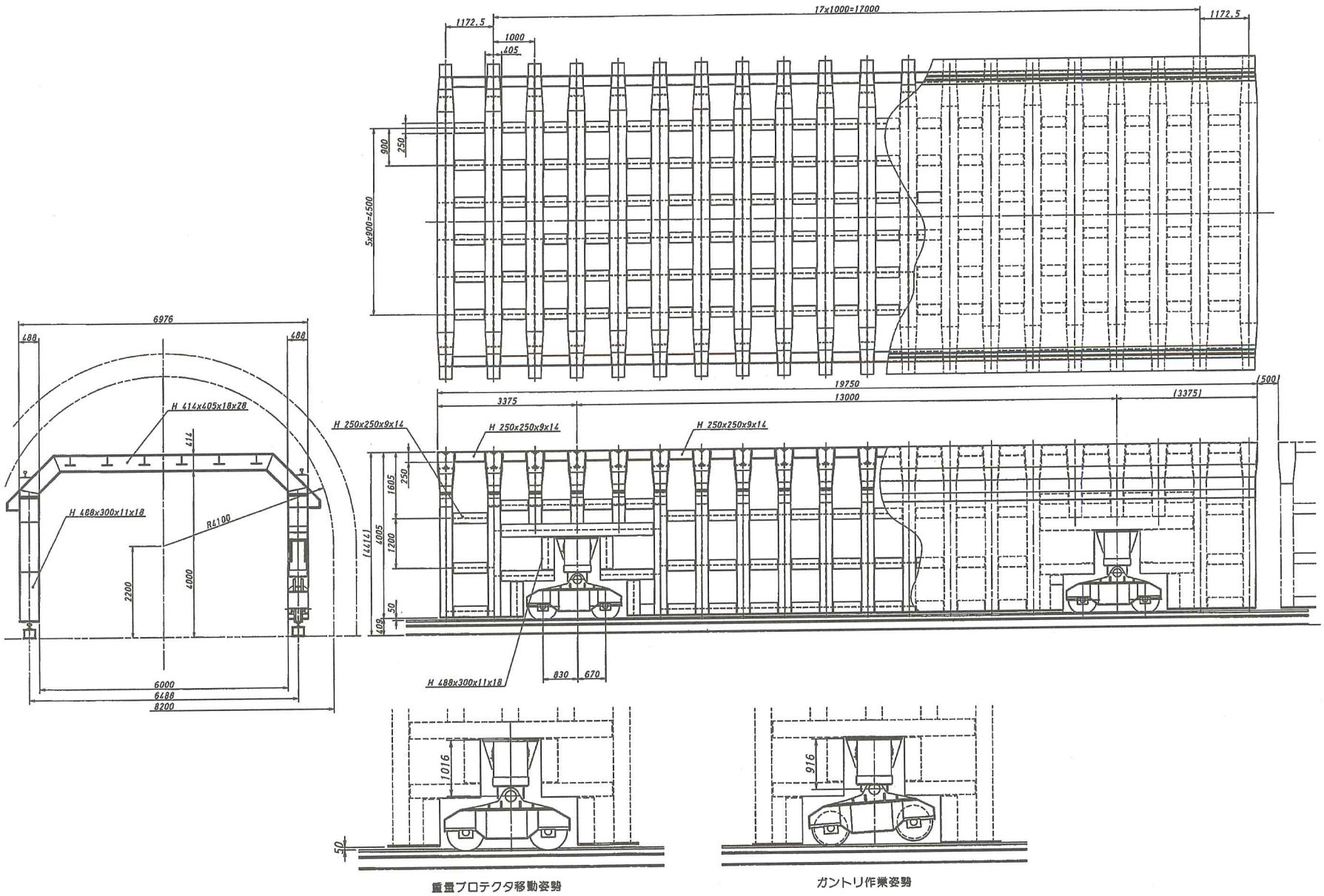
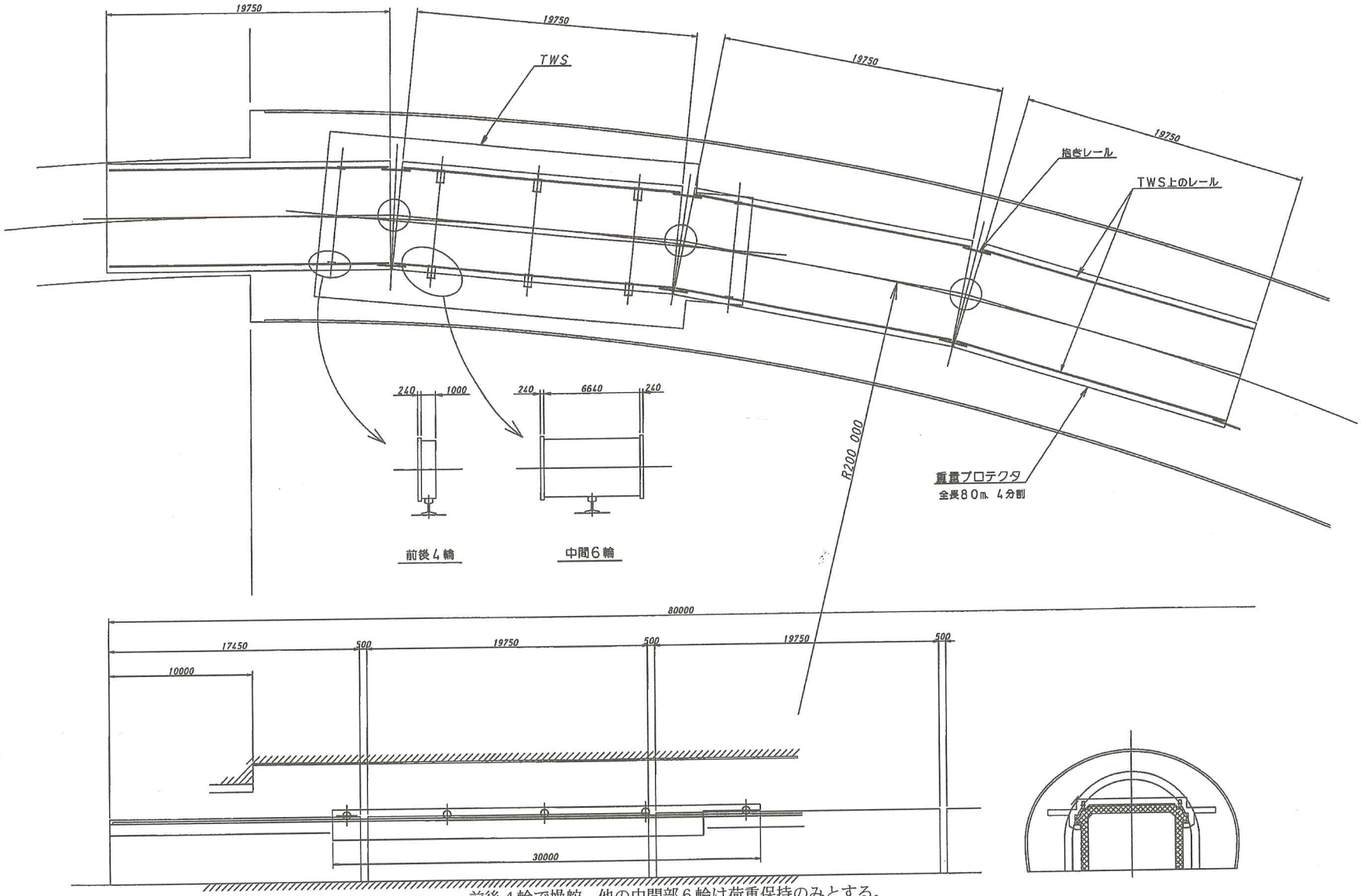


図-4.1.6　プロテクタ骨組み構造および走行装置



前後４輪で操舵、他の中間部６輪は荷重保持のみとする。

図-4.1.7　プロテクタ旋回性能検討

5．施工

5．1　施工フロー

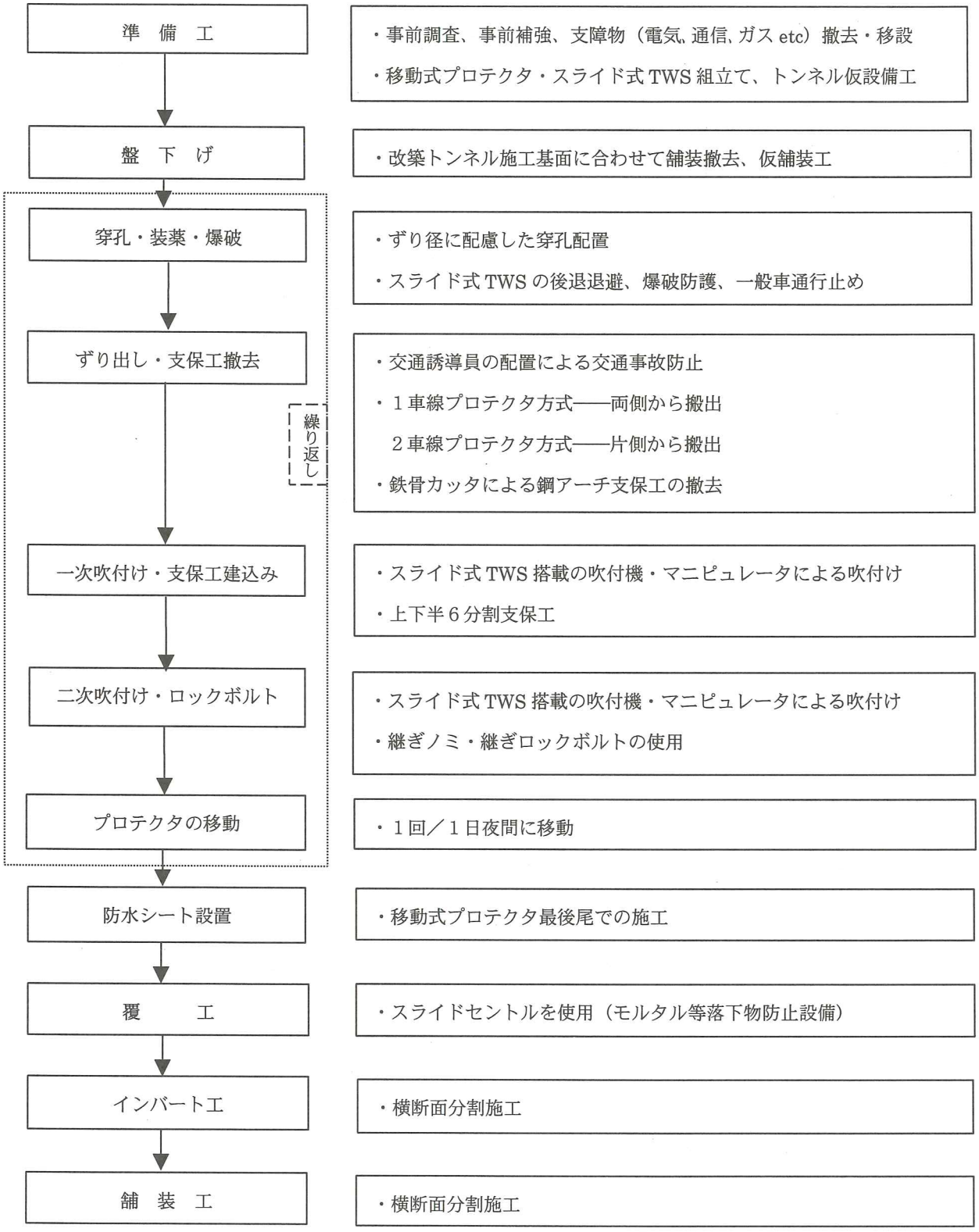


図-5.1.1　施工フロー

５．２　各工種の施工手順と留意点

各工種別に施工手順の詳細と、それらの施工に際しての留意点は以下のとおりである。

５．２．１　準備工

本工法は爆破掘削を主体としているため、爆破による切羽坑奥側の既設覆工コンクリートの破壊および切羽前方地山の緩みを防止する対策が必要である。このため既設トンネルの事前調査を行い、必要性が認められた場合には、覆工背面空洞注入工、補強ロックボルト工などを施工する。いずれの作業も坑内は１車線規制による片側交互通行により行う。

既設トンネルには照明器具や通信設備などのほか、ライフラインとしての電線、通信線などの施設が設置されている場合がある。これら諸施設を事前に調査し、迂回が可能であればトンネル外に一時移設し、トンネル内に止めなければならないものは、拡大工事に支障のない個所に防護移動する。

１車線プロテクタ方式の場合は既設舗装盤に、２車線プロテクタ方式の場合には盤下げ・仮舗装後に基礎コンクリートを打設し、移動式プロテクタ走行用のレールをアンカで固定する。

移動式プロテクタの組立ておよびトンネル施工用仮設備の詳細については第６章に記述する。

５．２．２　盤下げ

１車線移動式プロテクタを設置する場合は既設舗装盤にプロテクタを設置するが、２車線移動式プロテクタを設置する場合は通行車両の建築限界高さを確保するために盤下げを行い、既設トンネルの舗装を撤去した後にプロテクタを設置する。盤下げ機械には大型ブレーカ、大型溝切削機、大型表面切削機などが考えられるが、盤下げ深さ、既設舗装構成、鉄筋の有無なども考慮するとともに、１車線の片側交互通行を基本とした施工法を十分検討する。また、移動式プロテクタ内は一般通行車両が走行するための仮舗装を行う。

５．２．３　穿孔・装薬・爆破

穿孔作業は、以下の穿孔機械で行う。

①１車線プロテクタ方式の場合：スライド式 TWS に専用搭載された２台の穿孔ブーム。

（図-5.2.1 参照）

②２車線プロテクタ方式の場合：スライド式 TWS に専用搭載された２台の穿孔ブームと、スライド式 TWS に上載された２ブームクローラジャンボ。（図-5.2.2 参照）

爆破による岩塊・コンクリート塊の落下衝撃の軽減と、ずり積込機械の制約のため、爆破孔はずり径を小さくするような孔間隔・使用段数で配置計画する。

ずりの飛散防止と移動式プロテクタへの衝撃緩和のため爆薬量は過装薬にならないように計画する。

装薬作業には、スライド式 TWS に専用搭載された吹付けマニピュレータ付きチャージングケージを使用する。

爆破時刻　5 分前より、爆破後の安全が確認される 15 分後（爆破後の立入りは、通常の電気雷管 5 分後、半導体集積回路組込んだ電気雷管の場合 10 分後）までの概ね 20 分間程度は一般車交通止めとする。

爆破時には、スライド式 TWS は移動可能な最後尾まで後退する。切羽付近では飛石防止のための防護を行う。

爆破後のコソクは、以下の機械で行う。

① 1車線プロテクタ方式の場合:スライド式 TWS に専用搭載されたアタッチメントブーム。(図-5.2.1 参照)

② 2車線プロテクタ方式の場合：スライド式 TWS に専用搭載されたアタッチメントブームとスライド式 TWS に上載された油圧ショベル（0.4m³級）(図-5.2.2 参照)

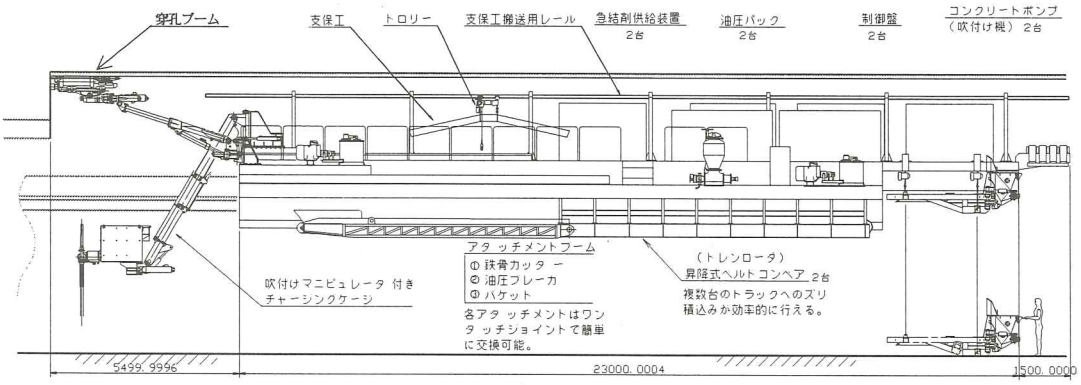


図-5.2.1　1車線プロテクタ対応スライド式 TWS

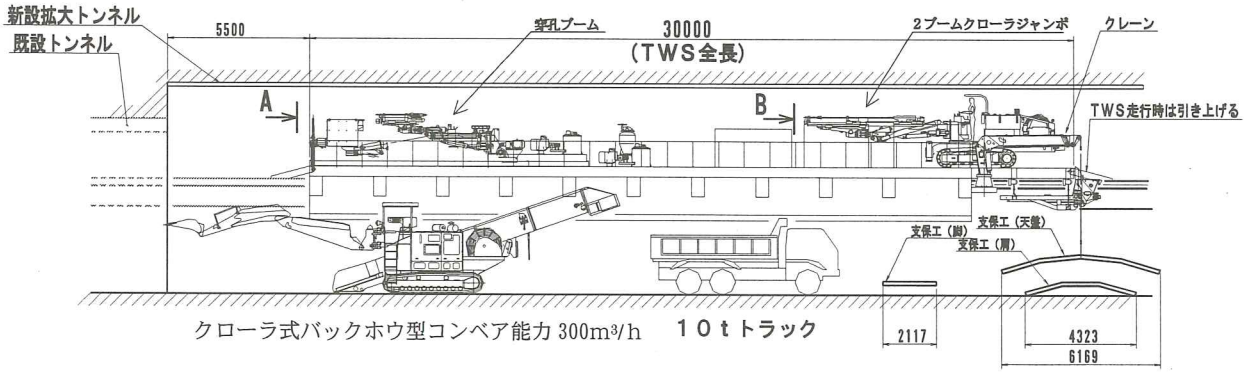


図-5.2.2　2車線プロテクタ対応スライド式 TWS

５．２．４　ずり出し・支保撤去

ずり置場は、トンネル両坑口のいずれかに設ける。(本マニュアルでは始点側坑口付近と仮定する。)

ずりの積込・搬出の手順は以下のとおりとする。

①1車線プロテクタ方式の場合：

・移動式プロテクタ上のずりは、アタッチメントブームで左右側壁部に振分け掻き落す。

・左右側壁部におけるずりは、ずり積み機（クローラ式バックホウ型コンベア能力 150m³/h）で

ダンプに積込む。（トレーンローダ設備も設置可能）

・ダンプトラック（10ｔ）は6台配置し、2台を1班とし、同時に運行する。

・交互通行の間隔は、ダンプの運行時間を勘案して15分程度とする。

ずり出し作業時における交互通行の先頭および最後尾には、一般車の安全運行の確保と、作業個所におけるずり出しダンプ進入・退避作業の確認のためにパトロール車を運行する。

ずり出しダンプの運行手順は図-5.2.3および図-5.2.4のとおりとする。

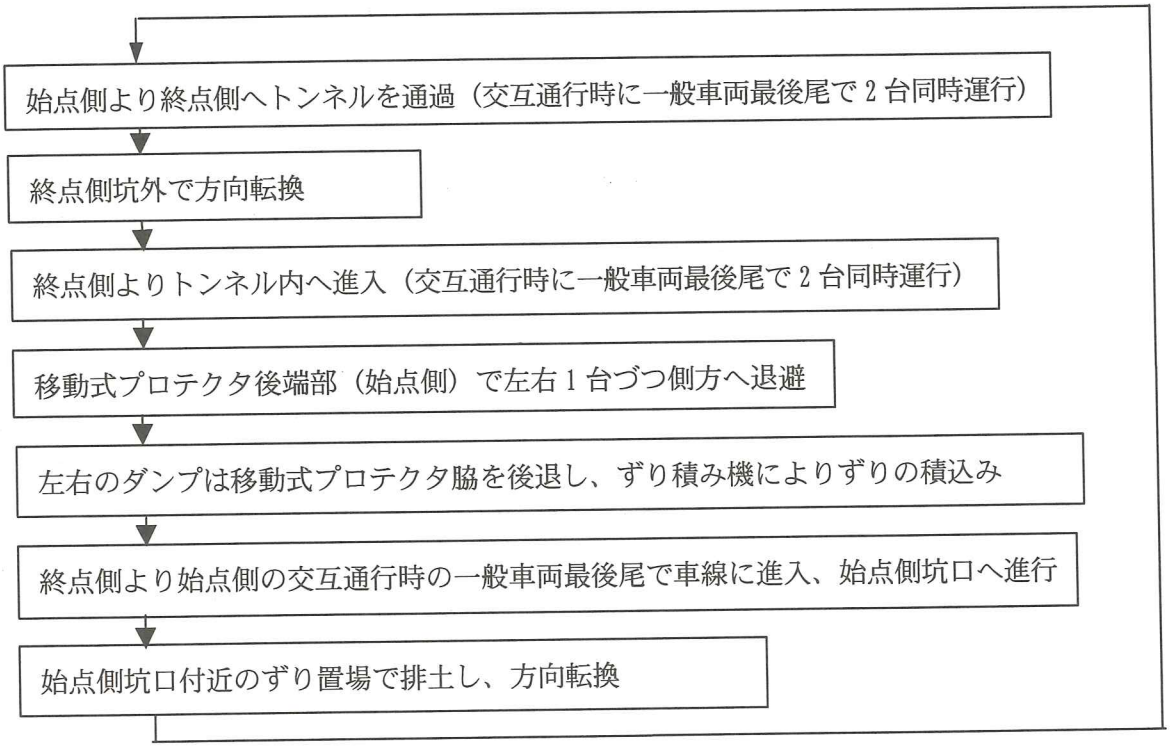


図-5.2.3　1車線プロテクタ方式ずり出しフロー

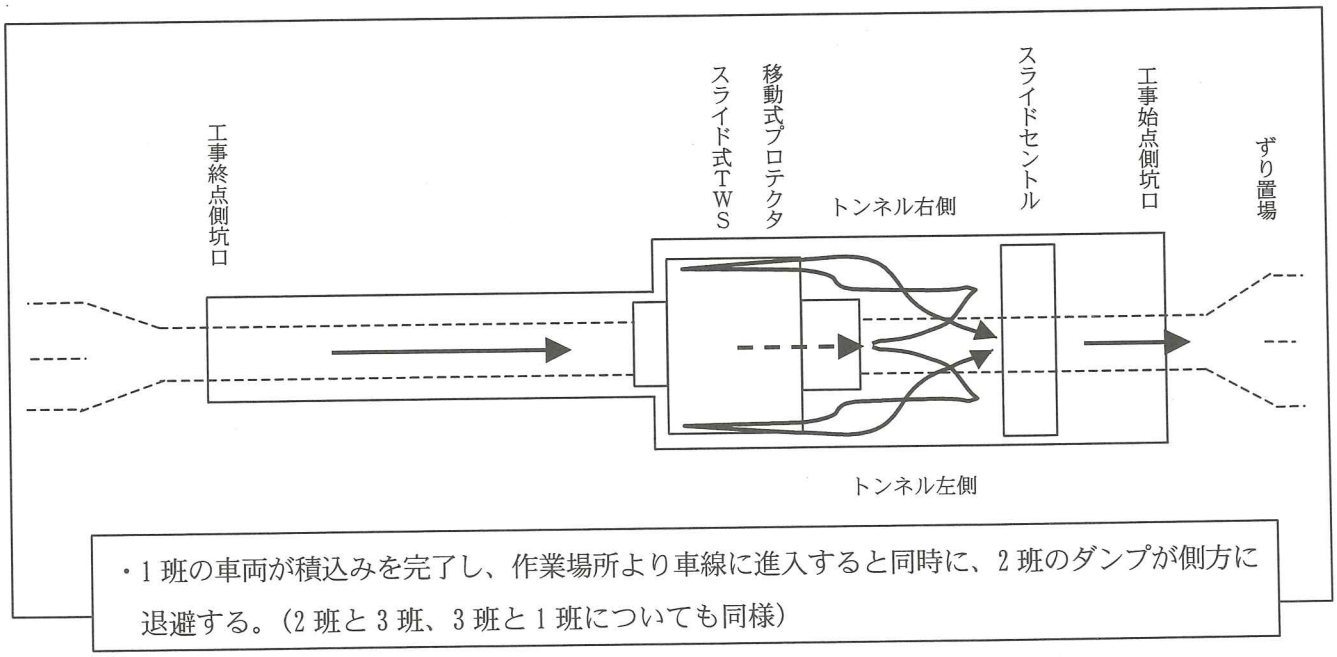


図-5.2.4　1車線プロテクタ方式ずり出し概要図

②２車線プロテクタ方式の場合：

・プロテクタ上のずりは、油圧ショベル（0.4m³級）で右側壁部に掻き落す。

・左側壁部におけるずりは、油圧ショベル（0.4m³級）で右側壁部に旋回移動集積し（図-5.2.5）、ずり積み機（クローラ式バックホウ型コンベア能力300m³/h）でダンプに積込む。（トレーンローダ設備も設置可能）

・ダンプトラック（10ｔ）は4台配置する。

・ずり出しダンプの運行手順は図-5.2.6および図-5.2.7のとおりとする。

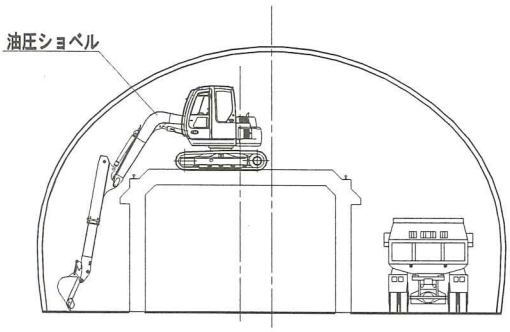


図-5.2.5　２車線タイプずり処理状況図

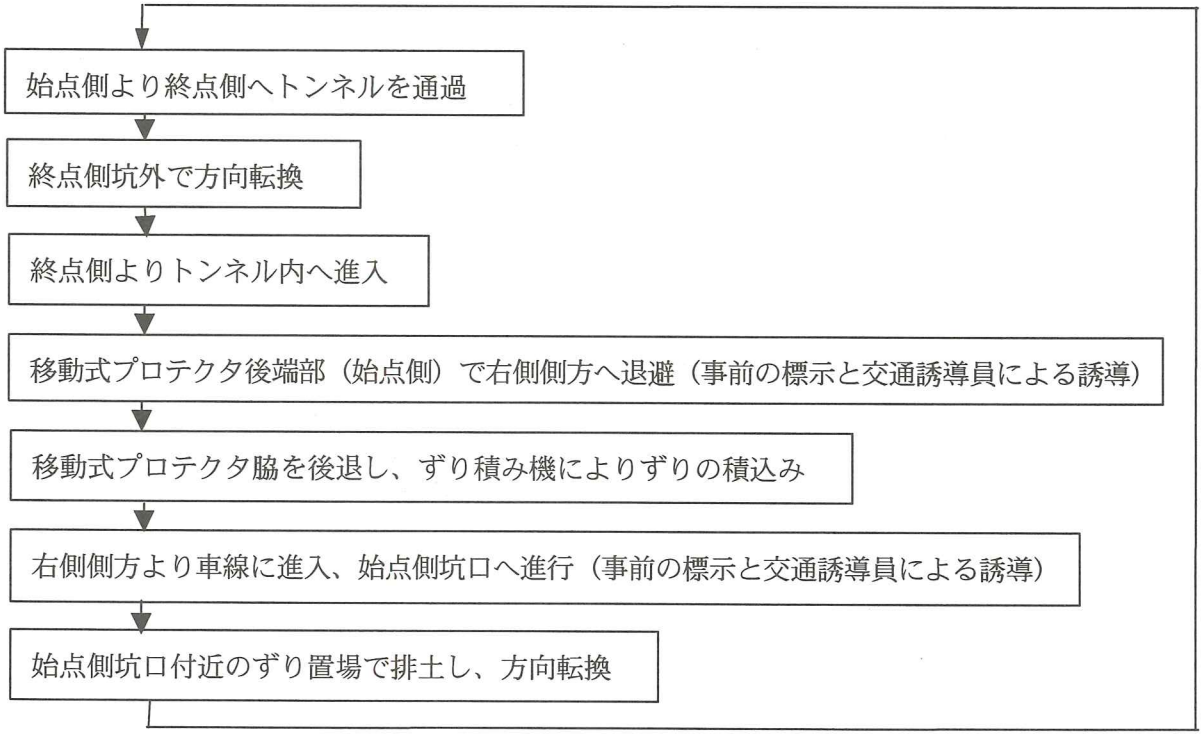


図-5.2.6　２車線プロテクタ方式ずり出しフロー

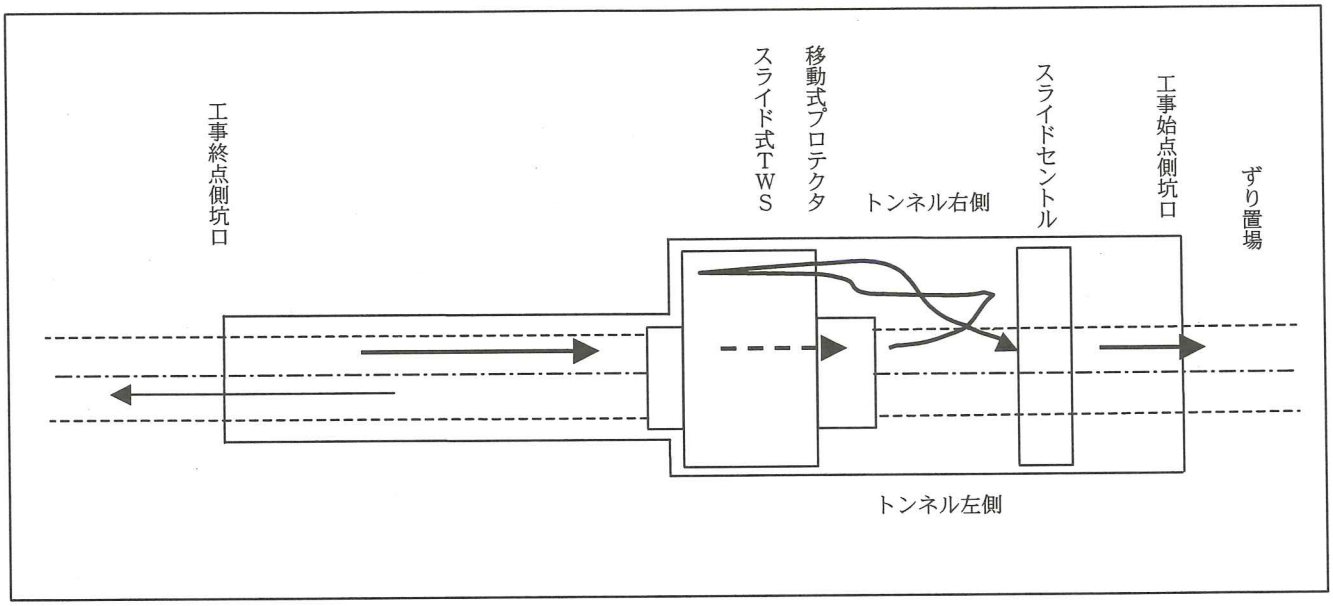


図-5.2.7　2 車線プロテクタ方式ずり出し概要図

既設トンネルの鋼アーチ支保工は、スライド式 TWS に専用搭載されたアタッチメントブームの鉄骨カッタにより切断・分割し、後方のクレーンによりトラックに積込み、搬出する。

５．２．５　一次吹付け・支保工建込み

一次吹付けコンクリートは、スライド式 TWS の後方部に専用搭載された吹付け用コンクリートポンプを使用して行う。吹付け作業は前方部に専用搭載された吹付けマニピュレータ（左右 2 台）を使用する。

鋼アーチ支保工は、通常の上半支保工では長尺物となり、運搬（坑外～TWS および TWS 上）に支障をきたすので、左右上半支保工をそれぞれ 2 分割し、左右下半支保工と合わせて 6 分割支保工とする。

鋼アーチ支保工の運搬は、トラックより坑外からスライド式 TWS まで運搬し、後方部に配置されているクレーンでステージ上に引き上げる。その後クレーン機能付き油圧ショベルによって切羽付近に持込み、左右それぞれ 2 分割された上半支保工の組立てを行う。鋼アーチ支保工の設置はクローラジャンボを使用する。

左右下半支保工の設置は、ステージ上の油圧ショベル等を使用する。（図-5.2.1 および図-5.2.2 参照）

５．２．６　二次吹付け・ロックボルト

二次吹付けコンクリートは、一次吹付けコンクリートの作業と同様である。

ロックボルトの穿孔は、専用搭載された穿孔ブームを使用する。

ロックボルトの穿孔に使用するロッドは継ぎロッド（最小 1m）を用い、ロックボルトも最小 1mの継ぎロックボルトを使用する。

５．２．７　プロテクタ移動

プロテクタの移動は、掘削進行長に合わせて、１日に１回、交通量の減少する夜間に行う。

５．２．８　防水工

新設トンネルの一般車の通行は、移動式プロテクタによる防護もしくは覆工コンクリート完了区間以外の区間においては、防水シートが施工されていることが前提である。このため、防水シートの施工は、移動式プロテクタの後端部で行わなければならない。

防水シートの施工台車は、プロテクタ後端に設け、ずり搬出用ダンプおよび材料運搬車両に支障のない構造とする。

５．２．９　覆　工

セントルの組立・解体は、坑口前の本線上にて行う。作業に先行して、簡易プロテクタを仮設ヤード内で組立て、本線上に移動・設置する。その際、一時的な全面通行止めが発生する。作業箇所に簡易プロテクタが事前に設置されることで、セントルの組立・解体作業における一般車両の安全が確保できるとともに、通行帯に影響されることなく作業を行うことができる。

セントルの坑内移動後は、基本的にコンクリートの打設作業範囲となるセントル箇所およびその前後には、セントルとともに移動する簡易プロテクタを設置し、一般通行車両の安全を確保する。１車線プロテクタ方式の場合には１車線規制による片側交互通行となり、２車線プロテクタ方式の場合には車線規制は発生しない。

打設作業はトラックミキサ車によりコンクリートを運搬し、すでに拡大の完了した箇所にコンクリートポンプ車、トラックミキサ車を配置して打設作業を行う。打設中は坑内環境を考慮して、待機車両には排ガス対策装置を取り付ける等の対策を行う。

また、作業帯と一般車通行帯の境界はカラーコーンやバリケードなどにて明確化するほか、工事車両出入口には交通誘導員を配置して一般通行車両の安全を確保する。

図-5.2.8 に覆工コンクリート施工概要図を示す。

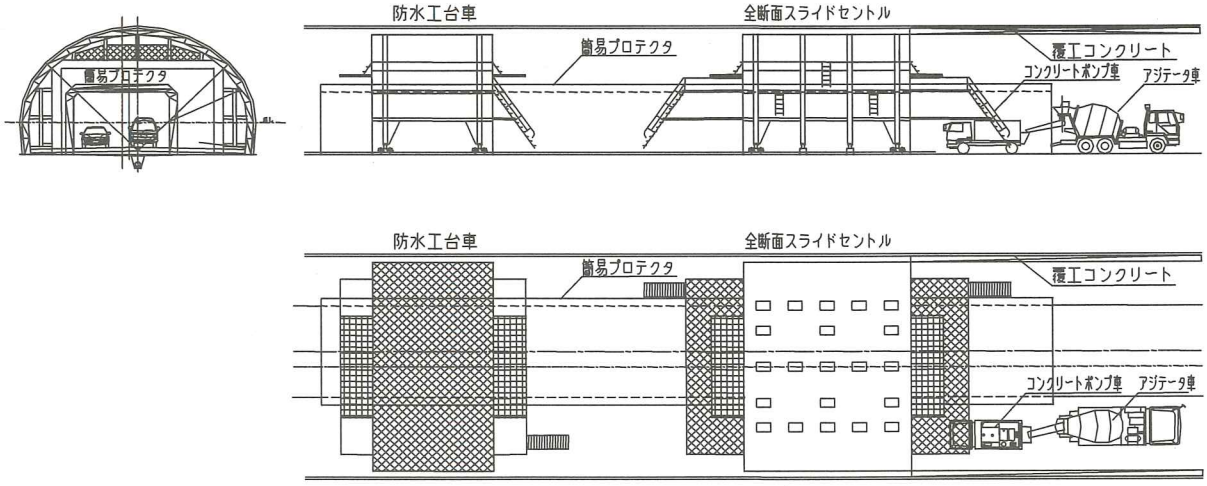


図-5.2.8　覆工コンクリート施工概要図

５．２．１０　排水工・インバート工

排水工・インバート工の施工は左右半断面ずつを原則とするため、一般車両の通行は１車線規制による片側交互通行となる。

排水工・インバート工施工時には作業帯と一般車両通行帯との間に段差が生じるため、路肩部の確保、明確な仮設ガードの設置を行う。作業帯と一般車通行帯の境界はカラーコーンやバリケードなどにて明確化するほか、工事車両出入口には交通誘導員を配置して一般通行車両の安全を確保する。

図-5.2.9 にインバート工施工概要図を示す。

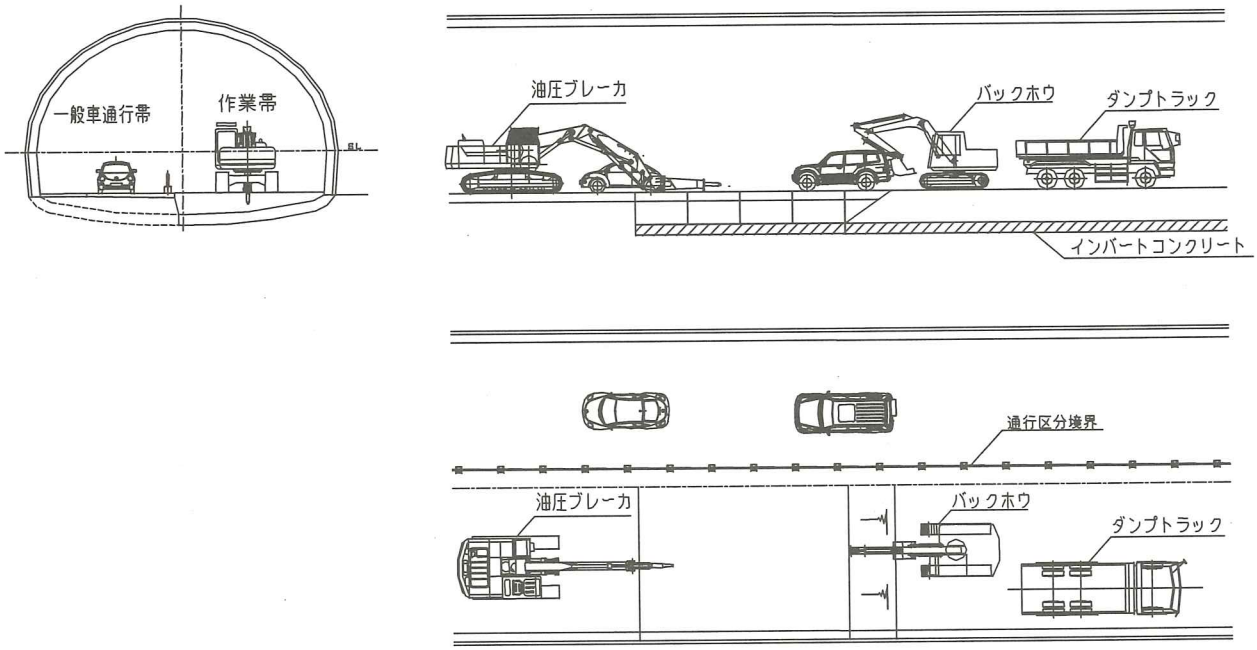


図-5.2.9 インバート工施工概要図

５．２．１１　舗 装 工

舗装工は排水工・インバート工終了後、側溝などの付帯設備設置完了後に行う。施工は排水工・インバート工と同様に、左右半断面ずつを原則とするため、一般車両の通行は１車線規制による片側交互通行となる。

また、作業帯と一般車通行帯の境界はカラーコーンやバリケードなどにて明確化するほか、工事車両出入口には交通誘導員を配置して一般通行車両の安全を確保する。

図-5.2.10 に舗装工施工概要図を示す。

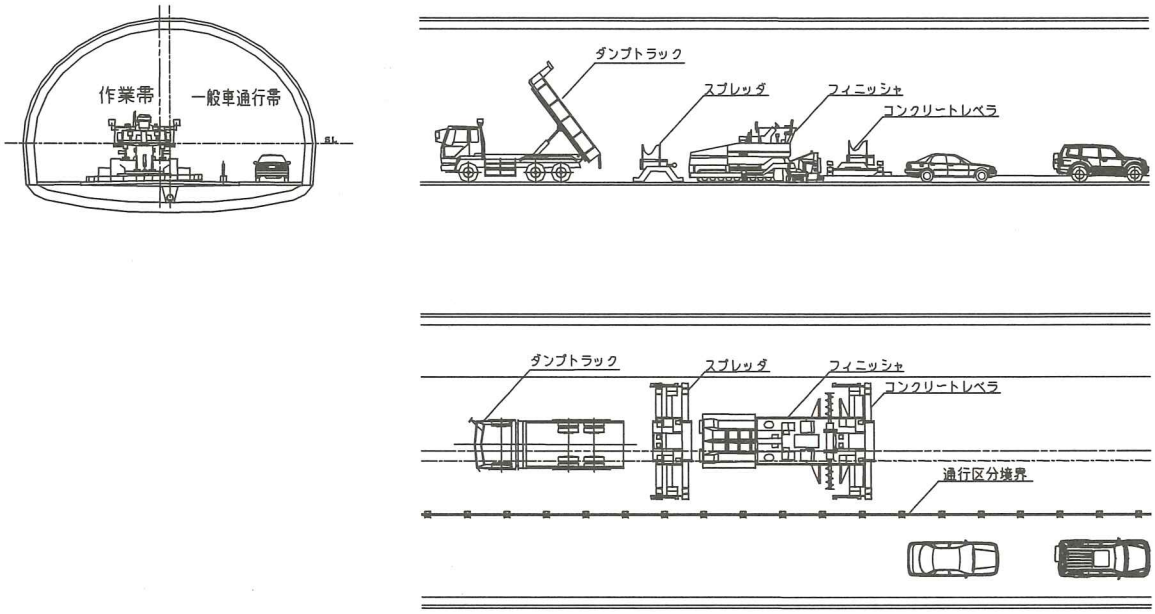


図-5.2.10 舗装工施工概要図

6．仮設備

6．1　坑外仮設備

6．1．1　概要

トンネル工事を施工するためには種々の仮設備の配置が必要となり、仮設ヤードはこれらの仮設備のうち、坑外設備を設置するための敷地である。一般的なトンネル工事の仮設ヤードに設置する坑外仮設備には、受変電設備、ずり仮置場、吹付けコンクリートプラント、濁水処理設備、給水設備、換気設備、資材置場、修理工場、資材倉庫、現場事務所、作業員休憩所、火薬類に関する設備などがある。これら坑外設備の配置ヤード面積は、諸設備の機種等により決定されるが、標準面積としては車両通路を除き、施工実態調査から1,500m²程度である。しかし、活線拡大工事では起点側と終点側に移動式プロテクタやスライド式ＴＷＳの組立・解体専用の作業ヤードが別途必要となる。

6．1．2　仮設備建物の規模

トンネル工事に必要な仮設備建物の計画は、工事規模・立地条件等を考慮し、仮設備の規模があまりに過大でも過小でもなく、その工事規模に合ったもので計画する必要がある。

本トンネル工事に必要な仮設備建物は表-6.1.1のとおりとする。

表-6.1.1　工事用仮建物一覧表

名　称	決定根拠	仮設ﾔｰﾄﾞ寸法		摘　要
		縦(m)×横(m)	面積(m²)	
受変電設備	ｷｭｰﾋﾞｸﾙの大きさとその外柵	5.0 × 8.0	40.0	
ずり仮置場	片番進行長分ずり量	10.0 × 30.0	300.0	
吹付けｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾟﾗﾝﾄ	標準ｶﾀﾛｸﾞより	10.0 × 20.0	200.0	
濁水処理設備	標準ｶﾀﾛｸﾞより	4.0 × 12.0	48.0	30t/h級
給水ﾎﾟﾝﾌﾟ室	機械設備と点検ﾔｰﾄﾞ	2.0 × 2.0	4.0	
水槽	計画給水量の20分程度の容量	2.0 × 3.0	6.0	
取水ﾎﾟﾝﾌﾟ室	機械設備と点検ﾔｰﾄﾞ	2.0 × 2.0	4.0	
送風機	架台寸法より	3.0 × 8.0	24.0	2,000m³/min級
資材置場	鋼アーチ支保工、ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄその他資材置場	10.0 × 20.0	200.0	
修理工場	3間＊3.5間　実態調査を参考	5.5 × 6.4	35.2	
資材倉庫	3間＊3.5間　実態調査を参考	5.5 × 6.4	35.2	
現場事務所	3間＊3.0間　実態調査を参考	5.5 × 5.5	30.3	
作業員休憩所	3間＊3.5間　実態調査を参考	5.5 × 6.4	35.2	
火工所	建物の大きさとその外柵	3.0 × 3.0	9.0	
火薬類取扱所	建物の大きさとその外柵	3.0 × 3.0	9.0	
	合　計		980	

６．１．３　活線拡大工事用仮設ヤード

活線拡大工事では起点側と終点側に移動式プロテクタやスライド式ＴＷＳならびに、スチールフォームの組立や解体専用の作業ヤードが必要となる。

１車線用プロテクタの場合には坑口前の組立ヤード以外で組立てた後に特殊トレーラなどで坑口前あるいは既設トンネル内に移動可能であるが、２車線用プロテクタの場合には特殊トレーラでの運搬が不可能であるため坑口前での組立てとなる。スライド式ＴＷＳの組立・解体は起点側、終点側ともに坑口前での作業となり、50ｔクレーン１台と20ｔクラスのトレーラが２台分入れるスペースとして、横40m×縦20m程度の仮設ヤードが必要である。スチールフォームの組立・解体スペースについては横 30m×縦 12m程度の仮設ヤードが必要であるが、このヤードは移動式プロテクタやスライド式ＴＷＳの組立・解体に必要な広さより狭いので、活線拡大工事用仮設ヤードとしては図-6.1.1 に示すような横 40m×縦 20m程度のヤードがあればよい。図-6.1.2 にはプロテクタ組立手順を、図-6.1.3 に移動式プロテクタとスライド式ＴＷＳの運搬荷姿を示す。また、図-6.1.4 と図-6.1.5 には始点側坑外仮設備イメージ図を示す。

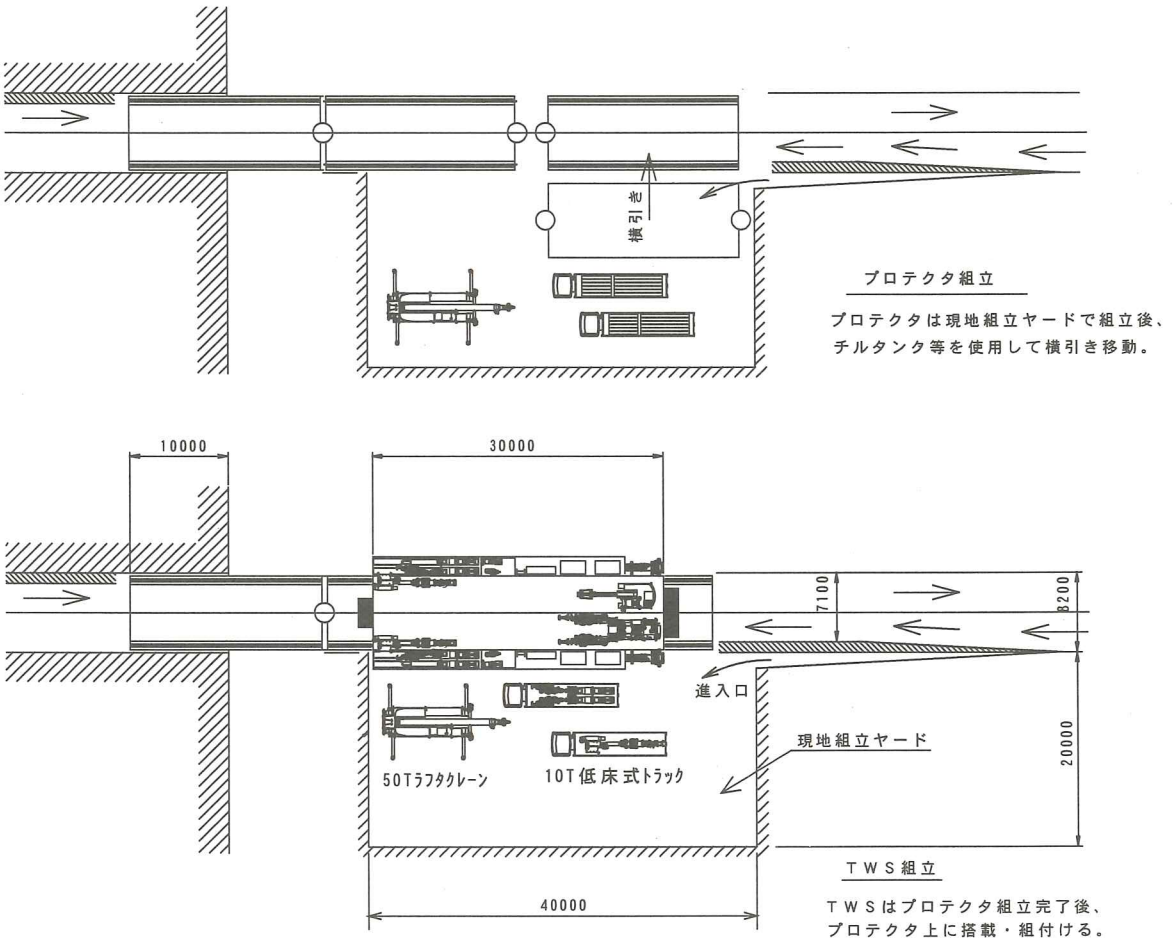


図-6.1.1　移動式プロテクタ・スライド式 TWS 組立ヤード配置図

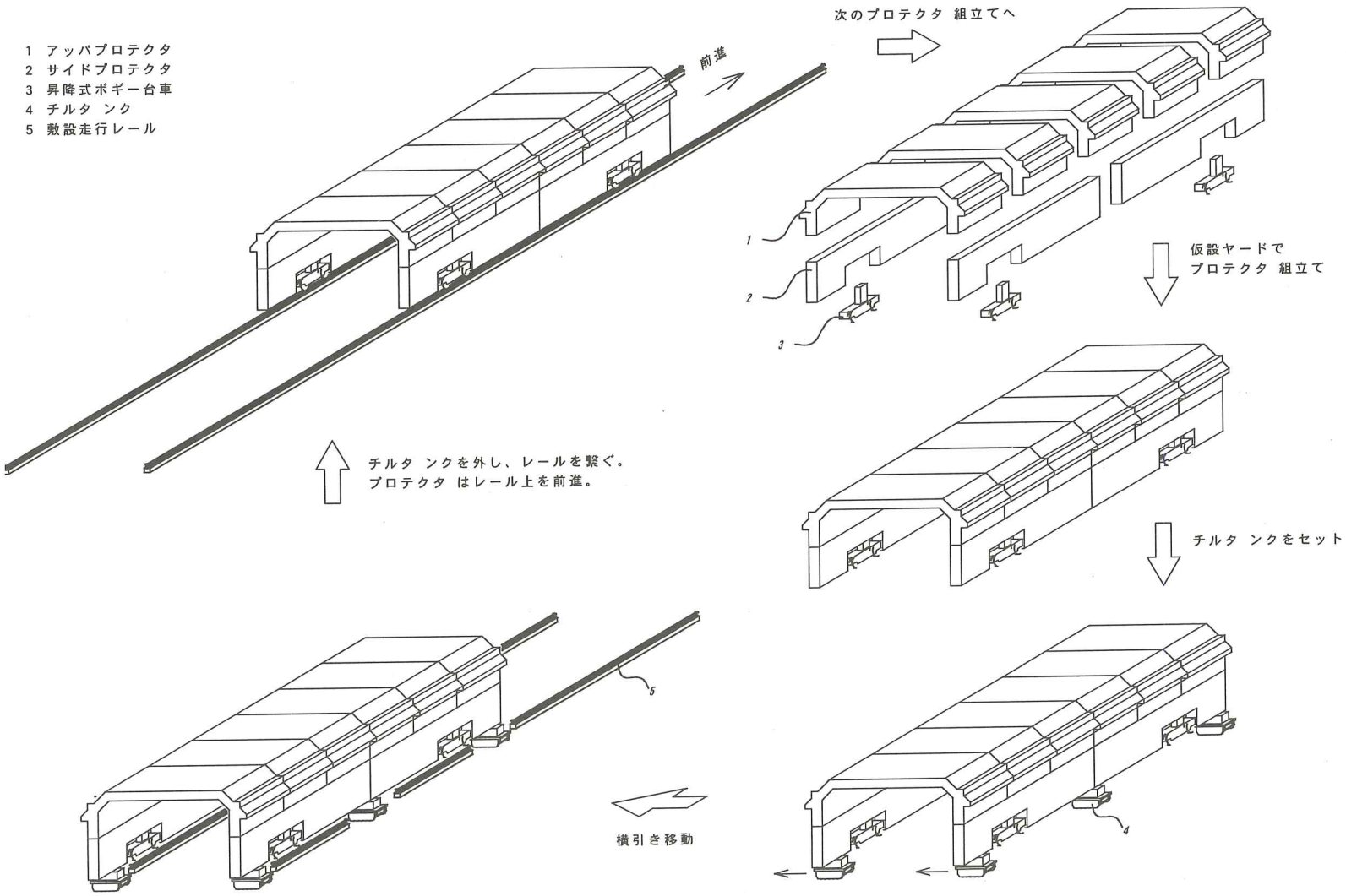
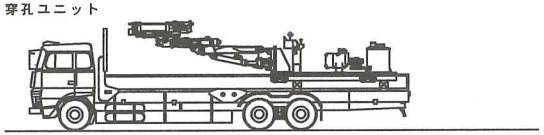


図-6.1.2　移動式プロテクタ組立手順

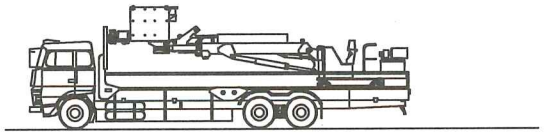
１．ＴＷＳ（ナポレオンハット）
　１０ｔトラック台数：　９台
　２０ｔトレーラ台数：１０台

（１）穿孔ユニット



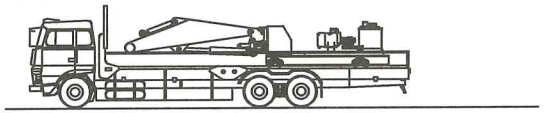
×１台

（２）チャージングユニット



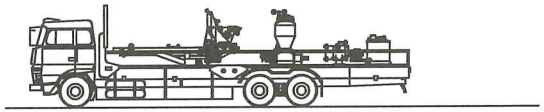
×１台

（３）アタッチメントブームユニット



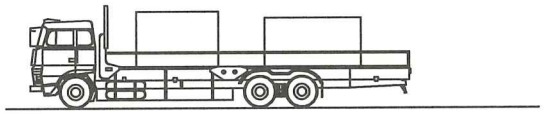
×２台

（４）コンクリートポンプ・急結剤供給装置



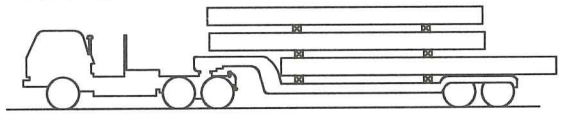
×２台

（５）コンプレッサ・制御盤、その他



×３台

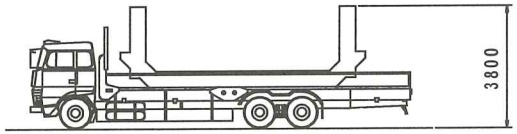
（６）ＴＷＳフレーム



×１０台

２．移動式プロテクタ　（2車線用）

１０ｔトラック台数：５０台



３．移動式プロテクタ　（1車線用）

１０ｔトラック台数：４２台

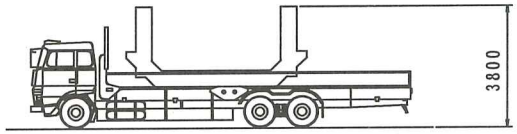


図-6.1.3　資材・機材の運搬荷姿

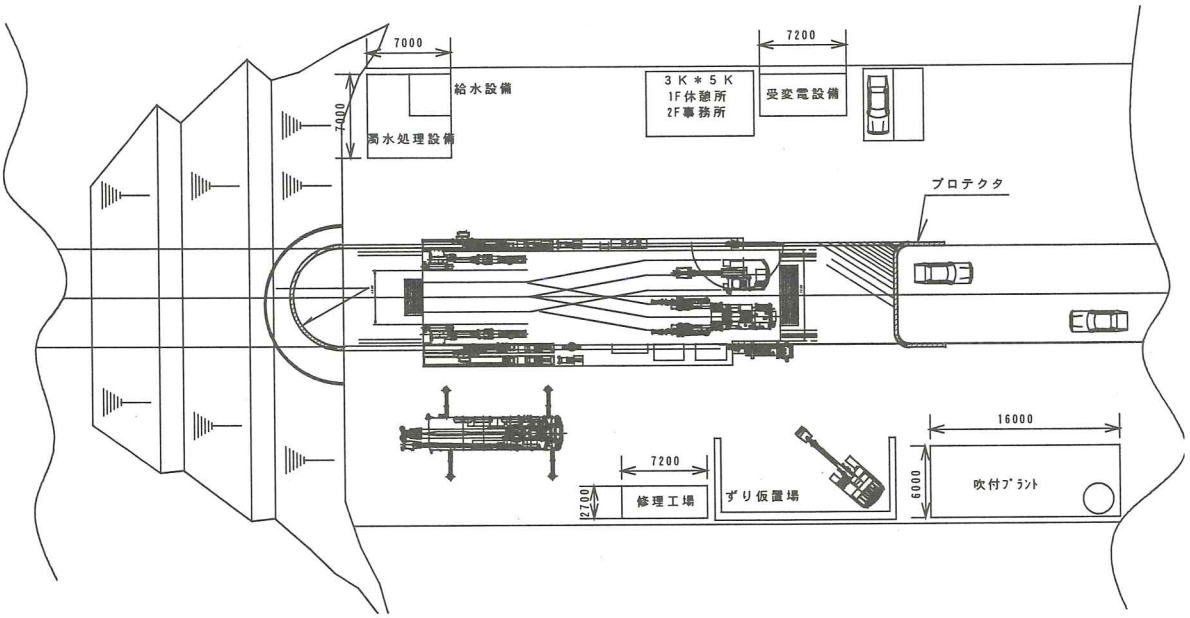


図-6.1.4　始点側坑外仮設備イメージ図（スライド式 TWS 組立）

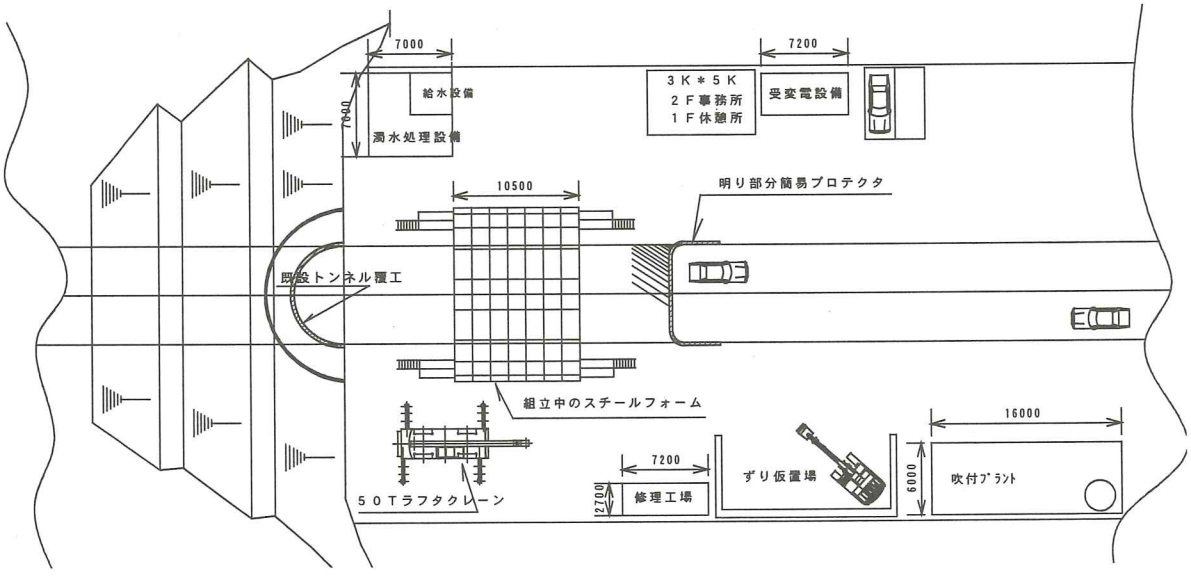


図-6.1.5　始点側坑外仮設備イメージ図（スチールフォーム組立）

６．２　坑内仮設備

６．２．１　坑内使用機械

（１）１車線プロテクタ方式

本方式は、穿孔、コンクリート吹付け、鋼アーチ支保工建込み、既設鋼アーチ支保工切断、油圧ブレーカ、ずり掻き寄せなどの作業に用いる各種機械を搭載したスライド式ＴＷＳと移動式プロテクタとの組合せによる方式を特徴としている。坑内で使用される機械設備は図-6.2.1 に示す配置になっており、移動式プロテクタの両脇にはクローラ式バックホウ型のずり積機を配置し、直接もしくは昇降式ベルトコンベヤ（トレンローダ）を介してずりをダンプトラックに積込む方式を採用している。

表-6.2.1 に 1 車線プロテクタ方式で使用する主なる機械類を示す。

表-6.2.1　坑内主要機械一覧表（1 車線プロテクタ方式）

工事用機械名		規　　格	台 数	工種・設備名	備　考
スライド式ＴＷＳ	穿孔ﾌﾞｰﾑ	油圧式2ﾌﾞｰﾑ150kg級	2	穿孔・ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ	
	吹付けﾏﾆﾋﾟｭﾚｰﾀ	吹付範囲　半径8m級	2	吹付ｺﾝｸﾘｰﾄ	
	急結剤供給装置	5.5kW級	2	〃	
	吹付機	6～20m^3/h級	2	〃	
	空気圧縮機	定置式ｽｸﾘｭ型12m^3/min級	4	〃	
	ｱﾀｯﾁﾒﾝﾄﾌﾞｰﾑ	鉄筋ｶｯﾀ・油圧ﾌﾞﾚｰｶ・ﾊﾞｹｯﾄ	2	支保工解体等	
	ﾁｬｰｼﾞﾝｸﾞﾃﾞｯｷ	積載荷重500kg級	2	装薬・建込等	
	換気ﾌｧﾝ	2,000m^3/min級	1	換気設備	風管伸縮装置を含む
	ｸﾚｰﾝ	2.9t吊	2	資材運搬	
	支保工搬送装置	2.9t吊	1	資材運搬	
	昇降式ﾍﾞﾙﾄｺﾝﾍﾞﾔ	運搬能力　150m^3/h級	2	ずり出し	
	油圧ﾊﾟｯｸ		2		
	自走ｽﾃｰｼﾞ		1		
自走式ﾌﾟﾛﾃｸﾀ(レール含む)			1	防護工	ﾚｰﾙを含む
ﾊﾞｯｸﾎｳ		0.25m^{3}級	2	ずり出し	
ずり積機		ｸﾛｰﾗ式ﾊﾞｯｸﾎｳ型150m^3/h級	2	ずり出し	
ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ		10t	n	ずり出し	
ﾄﾗｯｸ		ｸﾚｰﾝ装置付4t積、2.9t吊	1	資材運搬	
ﾄﾗｯｸ		2t積(ﾓﾙﾀﾙ注入機械用)	2	資材運搬	
ﾓﾙﾀﾙ注入機		吐出量950L/h	1	ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ	
集じん機		3,000m^3/min級	1	換気設備	
ﾄﾗｯｸﾐｷｻ車		4.5m^{3}級	n	吹付ｺﾝｸﾘｰﾄ	
防水工台車		L=4.5m	1	防水工	
工事用水中ﾎﾟﾝﾌﾟ			n	排水設備	
ｽﾗｲﾄﾞｾﾝﾄﾙ		L＝10.5m	1	覆工ｺﾝｸﾘｰﾄ	
ｺﾝｸﾘｰﾄﾎﾟﾝﾌﾟ車		圧送能力90m3/h級	1	〃	
ﾊﾞｲﾌﾞﾚｰﾀ		棒状電気式　60mm	5	〃	

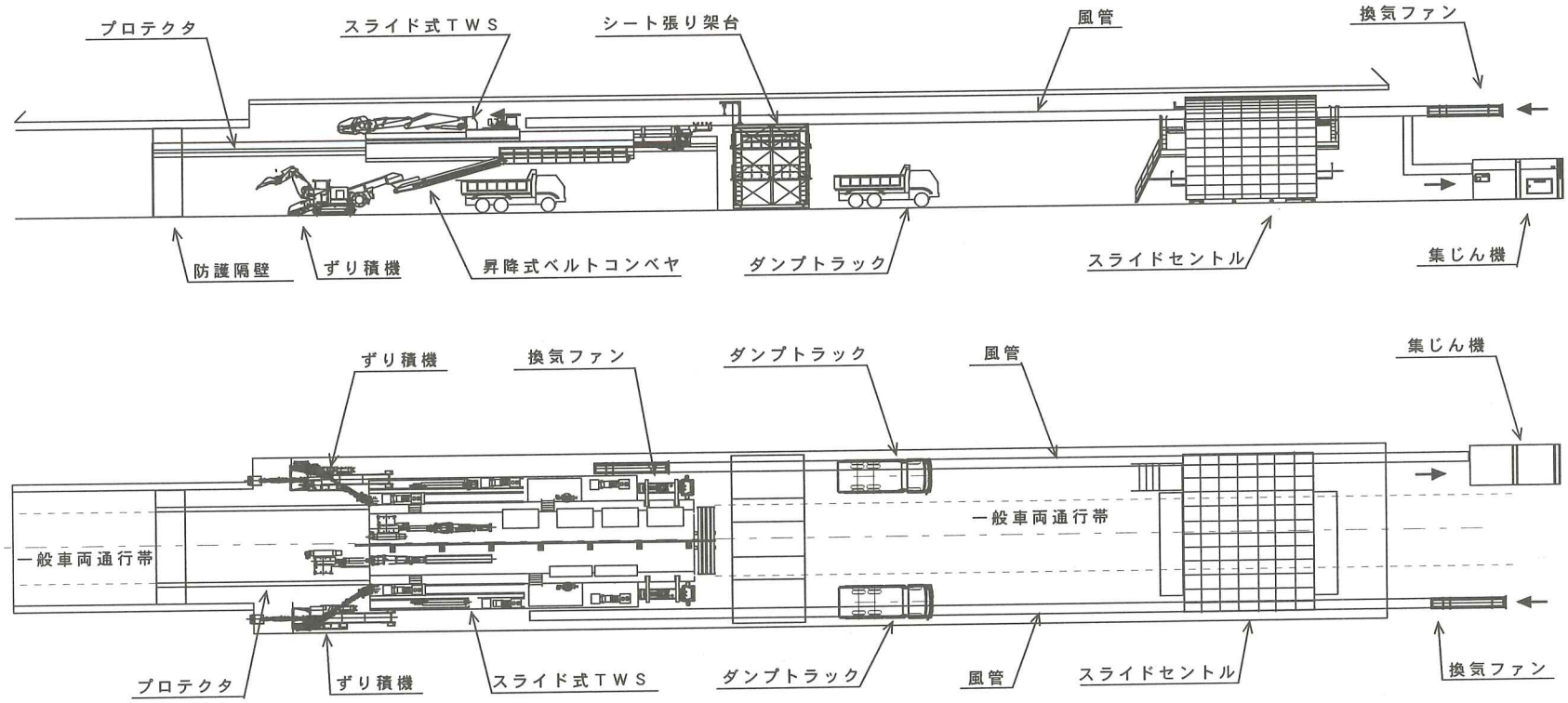


図-6.2.1　坑内仮設備配置図（１車線プロテクタ方式）

（2） 2車線プロテクタ方式

本方式は、1 車線プロテクタ方式と同様に各種機械を搭載したスライド式ＴＷＳと移動式プロテクタとの組合せによる方式を特徴としているが、さらにステージが大型化したことにより穿孔作業やずり積み時間を短縮させるようスライド式ＴＷＳ上にクローラ式油圧ドリルジャンボやバックホウを搭載している。坑内で使用される機械設備は図-6.2.2 に示す配置になっており、移動式プロテクタの片側のずりをバックホウにより反対側のプロテクタ脇に移動し、そのずりをクローラ式バックホウ型のずり積機によりダンプトラックに積込む方式を採用している。

表-6.2.2 に２車線プロテクタ方式で使用する主なる機械類を示す。

表-6.2.2　坑内主要機械一覧表（２車線タイプ）

工事用機械名		規　　格	台 数	工種・設備名	備　　考
スライド式ＴＷＳ	穿孔ﾌﾞｰﾑ	油圧式2ﾌﾞｰﾑ150kg級	2	穿孔・ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ	
	吹付けﾏﾆﾋﾟｭﾚｰﾀ	吹付範囲　半径8m級	2	吹付ｺﾝｸﾘｰﾄ	
	急結剤供給装置	5.5kW級	2	〃	
	吹付機	6～20m^3/h級	1	〃	
	空気圧縮機	定置式ｽｸﾘｭ型12m^3/min級	2	〃	
	ｱﾀｯﾁﾒﾝﾄﾌﾞｰﾑ	鉄筋ｶｯﾀ・油圧ﾌﾞﾚｰｶ	2	支保工解体等	
	ﾁｬｰｼﾞﾝｸﾞﾃﾞｯｷ	積載荷重500kg級	2	装薬・建込等	
	換気ﾌｧﾝ	2,000m^3/min級	1	換気設備	風管伸縮装置を含む
	ｸﾚｰﾝ	2.9t吊	2	資材運搬	
	油圧ﾊﾟｯｸ		2		
	自走ｽﾃｰｼﾞ		1		
自走式ﾌﾟﾛﾃｸﾀ(レール含む)			1	防護工	レールを含む
ﾄﾞﾘﾙｼﾞｬﾝﾎﾞ		油圧式2ﾌﾞｰﾑｸﾛｰﾗ　150kg級	1	穿孔・ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ	TWSに搭載
ﾊﾞｯｸﾎｳ		0.4m^{3}級	1	ずり出し	ﾃﾚｽｺﾀｲﾌﾟ、TWSに搭載
ﾊﾞｯｸﾎｳ		0.25m^{3}級	1	ずり出し	
ずり積機		ｸﾛｰﾗ式ﾊﾞｯｸﾎｳ型300m^3/h級	1	ずり出し	
ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ		10t	n	ずり出し	
ﾄﾗｯｸ		ｸﾚｰﾝ装置付4t積、2.9t吊	1	資材運搬	
ﾄﾗｯｸ		2t積(ﾓﾙﾀﾙ注入機械用)	2	資材運搬	
ﾓﾙﾀﾙ注入機		吐出量950L/h	1	ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ	
集じん機		3,000m^3/min級	1	換気設備	
ﾄﾗｯｸﾐｷｻ車		4.5m^{3}級	n	吹付ｺﾝｸﾘｰﾄ	
防水工台車		L=4.5m	1	防水工	
工事用水中ﾎﾟﾝﾌﾟ			n	排水設備	
ｽﾗｲﾄﾞｾﾝﾄﾙ		L＝10.5m	1	覆工ｺﾝｸﾘｰﾄ	
ｺﾝｸﾘｰﾄﾎﾟﾝﾌﾟ車		圧送能力90m^3/h級	1	〃	
ﾊﾞｲﾌﾞﾚｰﾀ		棒状電気式　60mm	5	〃	

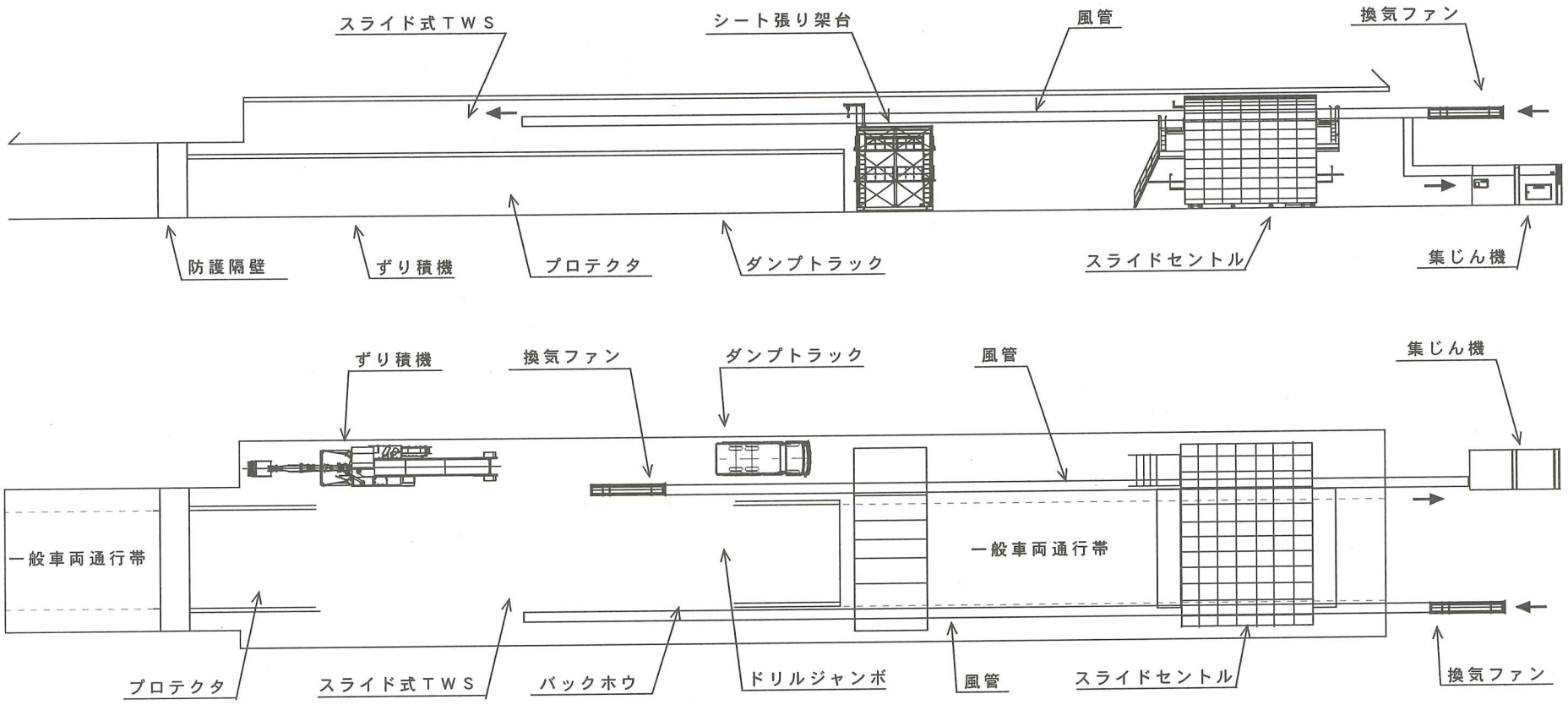


図-6.2.2　坑内仮設備配置図（２車線プロテクタ方式）

６．２．２　換気設備

トンネル内に換気・集じん装置を設置する場合には、施工方法、条件、工程などに応じた適切な換気・集じん方式および設備容量・配置を検討する必要がある。一般的に、有害ガスや爆発性ガスは新鮮な空気による希釈、拡散および換気が必要であり、粉じんは発生場所から拡散させず捕集・除じんすることが行われている。しかし、活線拡大トンネル工事においてはトンネル作業員の作業環境改善ばかりでなく、プロテクタ内を通行する一般車両に影響を及ぼさない換気設備を考慮しなければならない。

（１）換気方式の選定

換気方式は送気式や排気式を含め多様な方法が考えられるが、活線拡大トンネル工事においては図-6.2.3に示す、送・排気併用方式が次の理由により最も適する換気方式といえる。

①送気（集じん機併用）方式はトンネル作業員の作業環境は改善されるが、切羽で発生する爆破の後ガスや排気ガスは一般通行部を通過し、環境面で問題がある。

②排気（集じん機併用）方式は切羽で発生する爆破の後ガスや排気ガスは排気用換気ファンにより坑外に排出されるが、トンネル作業員の作業個所には一般通行車両の排気ガスが送風され作業環境が悪い。

③送・排気併用方式は坑内に送・排気用の風管を２系列配置することにより一般通行部とは離隔してトンネル作業員の作業環境改善を図ることができる。

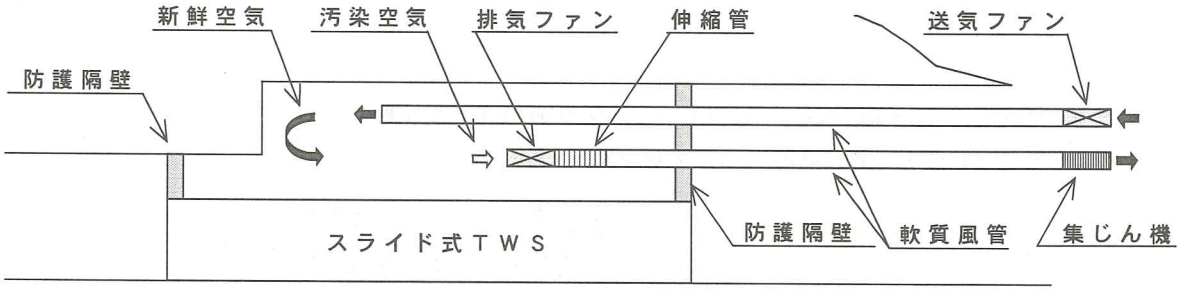


図-6.2.3　送・排気併用式換気方式基本配置図

（２）送・排気併用方式の概要

送気用と排気用の２系列の換気設備を設け、坑外に設置した送気用換気ファンにより新鮮な空気を直接切羽に送風し、汚染空気をスライド式ＴＷＳに設置した排気用換気ファンにより送風し、排気用軟質風管の先端には集じん機を配置し除塵した空気を坑外に排出する。

送気ファンは換気技術指針[1)]に基づいた設備容量の機種とし、排気ファンはプロテクタ内を通行する一般車両に影響を及ぼさないように送気ファンよりも大きい容量の換気設備を設ける。プロテクタの前後には防護隔壁を設け、切羽で発生する発破の後ガスや排気ガスが作業空間から漏風しないようにする。

（3）送・排気併用方式の特徴

①切羽で発生する爆破の後ガスや排気ガスを直接坑外まで排気することから、坑内全域での環境が良くなる。

②坑内自然換気の風向きの影響を受けずに作業空間の換気が可能である。

③切羽で発生する爆破の後ガスや排気ガスは排気用換気ファンにより坑外に直接排出されるので坑内通行一般車両への影響はない。

④スライド式ＴＷＳ上に大型換気ファンと伸縮管を設備するため作業空間が手狭になる。

6．2．3　路面水処理対策

施工時における地山からの湧水および工事用水は、一般車通行に支障となるため、走行路面への流入を防止しなければならない。工事開始時における既設舗装の撤去・盤下げ工時に、仮舗装めくら排水設備を設ける。また、仮舗装面には、可能な限り大きな横断勾配を設ける。

切羽付近の湧水等は、釜場を都度設置し、排水には真空ポンプを使用する。

7．安全対策

7．1　交通対策

7．1．1　車線規制

トンネル活線拡大工事では、準備工、盤下げ工、掘削工、覆工、インバート工、排水工、舗装工の各工種毎に車線規制や、走行車線の切り替えが生じる。以下に各工種における車線規制について述べる。

（1）準備工

既設トンネルの事前補強、支障物の撤去・移設においては、基本的に片車線づつの施工とし、１車線規制による片側交互通行となる。プロテクタ組立・運搬方法によっては、夜間の全面通行止めが必要となる。

（2）盤下げ工

盤下げ工施工時には、埋設物の撤去、レール敷設、仮舗装までを行うことになるが、基本的には左右半断面づつの施工とし、１車線規制による片側交互通行による作業となる。

（3）掘削工

プロテクタ搬入後に掘削作業を行うことになるため、１車線プロテクタを使用する場合は、１車線規制による片側交互通行となり、２車線プロテクタを使用する場合は車線規制をする必要はないが、速度規制は必要である。

（4）覆工

セントル組立・解体は坑口前の本線上で行うため、一時的な全面通行止めが必要となるが、基本的にはプロテクタ仕様に合わせてセントル下の車線を確保するものとし、１車線プロテクタの場合は１車線規制による片側交互通行となり、２車線プロテクタの場合には車線規制はない。

（5）インバート工

左右半断面づつの施工を原則とし、１車線規制による片側交互通行となる。

（6）排水工

横断排水工は左右半断面づつの施工とし、中央排水工は横断排水工の左右どちらかを施工する際に同時に施工することで、１車線規制による片側交互通行となる。ただし、１車線確保する上で中央排水工をトンネルセンターから偏心させる必要が生じる場合もある。

（7）舗装工

路面排水工とともにインバート工と同様な左右半断面づつの施工とし、１車線規制による片側交互通行となる。

以上のように、１車線プロテクタを使用する場合は準備工～舗装工の全般にわたって１車線規制による片側交互通行となり、２車線プロテクタを使用する場合は掘削工～覆工の期間で２車線が確保できており、その他の工種において１車線規制による片側交互通行となる。ただし、プロテクタ組立・解体・搬入およびセントル組立・解体時にはプロテクタ仕様にかかわらず夜間全面通行止めまたは一時的な全面通行止めが必要となる。

安全管理上、車線規制区間はトンネルの起点から終点までの全線とする。片側交互通行による規制延長が長くなる場合は、一般車両が規制区間を通過したことを確認するために先導車と後尾車を配置することも検討する。計画段階においては、日交通量、大型車の混入率、規制区間長などから信号時間の設定を時間別にシミュレーションするなど、渋滞の発生を極力防止する方法を検討しておくことが重要である。

図-7.1.1 にトンネル内１車線規制例（片側交互通行）を示す。

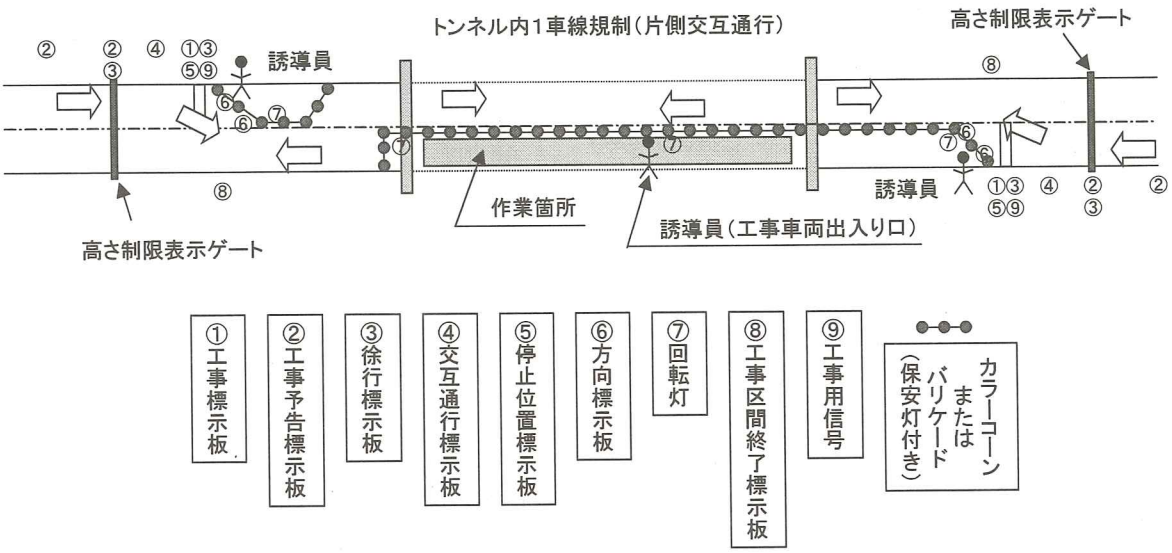


図-7.1.1　１車線規制図例（片側交互通行）

７．１．２　車高制限

トンネル内ではプロテクタにより走行車線および車高を制限している。したがって、車線規制および車高制限を標示看板や交通情報を流すことによって一般車への周知を図ることは当然必要である。しかしながら、車高制限を越えた車両が誤ってトンネル内に進入した場合、重大災害に繋がるとともに交通渋滞の発生によって一般車両へ大きな影響を与える。このような事態を防止するために、制限高さを超えて進入しようとする車両に対して制限オーバーを警告し、停車させるとともに交通誘導員に通報する設備の設置が望ましい。車高を制限する設備としては、車高制限ゲートやセンサーで感知させる方法などがある。

７．１．３　交通誘導員

交通誘導員は規制区間の前後と作業箇所での工事用車両の出入り口に各々配置する。１車線プロテクタではずり出し時に左右両側からのずり搬出となるが、２車線プロテクタでは片側のみのずり搬出となるため、配置人員に増減がある。また、プロテクタ内を通過するものとしては一般車両を対象としているため、自転車および歩行者を対象とした別途迂回路を設定できる場合は問題ないが、迂回路がない場合には専用車両による輸送などで対応する必要がある。

交通誘導員の基本的配置を図-7.1.2に示す。１車線プロテクタの場合は規制区間の起点と終点に各２名と坑内に４名の計８名体制とし、２車線プロテクタの場合は規制区間の起点と終点に各２名と坑内に２名の計６名体制とする。なお、休工日は起点と終点に各１名と輸送車１名の３名体制とする。

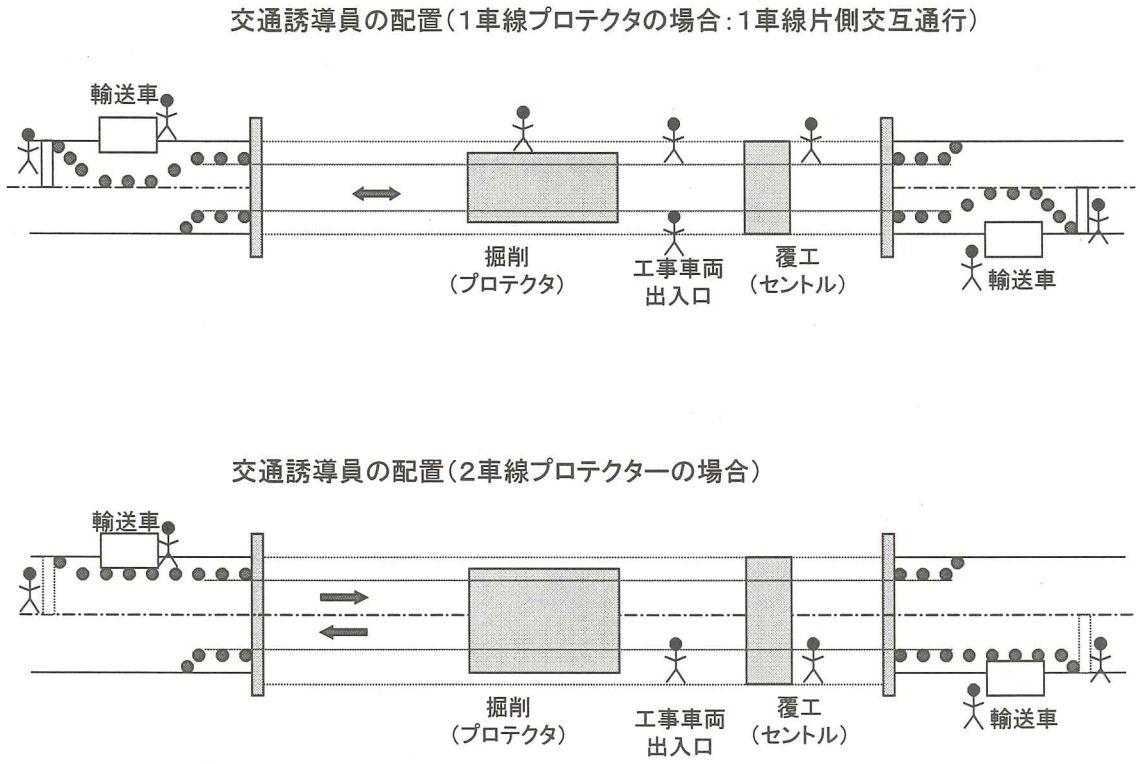


図-7.1.2　交通誘導員配置図

７．２　爆破時の対応

爆破時においては退避、爆破、爆破後の安全確認までの一連作業のために 20 分程度の全面通行止めを行う。装薬時の通行止めは必要としないが、火薬類取締法を遵守し、事前に関係諸官庁との協議を十分行っておくことが重要である。図-7.2.1 に爆破時規制フローを示す。

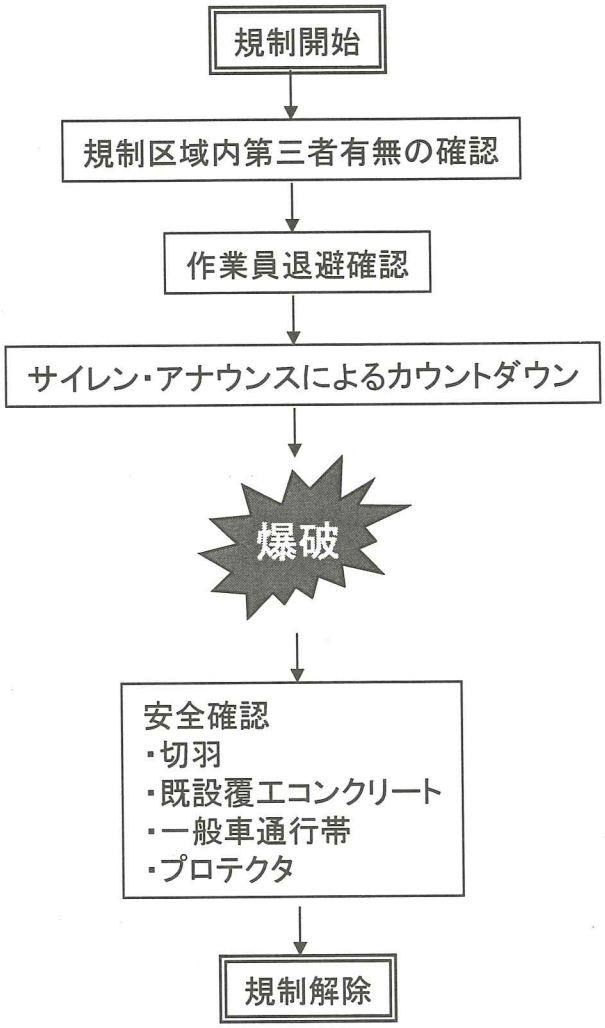


図-7.2.1　爆破時規制フロー図

8．環境対策

新設トンネルの場合と同様に、周辺環境への影響を考慮し、必要に応じて騒音、振動、水質汚濁などに関する適切な措置をとらなければならない。

8．1　振動・騒音対策

本工法は、爆破工法に対応しているため、爆破による振動、騒音の周辺環境への影響が懸念される。既設トンネルでは、トンネル竣工時に比較して土地利用が進み、トンネル周辺にも構造物等があることを想定しておく必要がある。また、施工時における既設覆工コンクリートへの影響も考慮する必要がある。近年、爆破技術の向上に伴い、振動・騒音への影響を評価することにより、適切な対応が可能である。

8．1．1　爆破振動対策

爆破振動の影響を最も受ける近接構造物は既設覆工コンクリートであるから、少なくとも既設覆工コンクリートへ影響を評価しておく必要がある。

以下に爆破工法による断面拡大工事として敷島内トンネルの事例を紹介する。

【敷島内トンネルの施工事例】

一般国道229号敷島内トンネルは、内空断面積31.0m²、幅員6.0mを内空断面積62.9m²、幅員9.75mへ断面拡大するものであり、爆破工法に対応した全長46.5m（張出し部を除く）の移動式プロテクタを使用した。写真-8.1.1と図-8.1.1に移動式プロテクタを示す。トンネルの地質は安山岩を主体としており、一軸圧縮強度が平均150N/mm²、最大260N/mm²におよぶ塊状部と平均13N/mm²程度の自破砕部・風化部が混在していた。

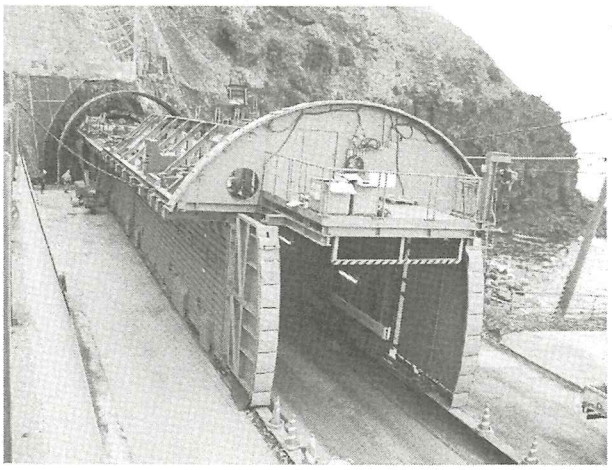


写真-8.1.1　移動式プロテクタ

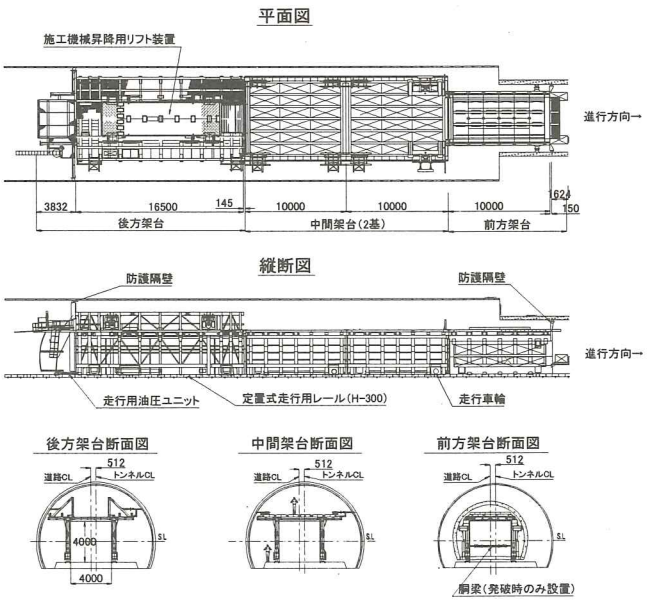


図-8.1.1　移動式プロテクタ図

（1）爆破システム

爆破システムは以下の理由より、非電気式の導火管付き雷管を使用した制御発破を採用している。

①一般車両を通行させながらの装薬作業であるため、漏洩電流、静電気、雷に対して不感である非電気式の導火管付き雷管を使用し第三者に対する安全を確保する。

②既設覆工コンクリートへの爆破振動の影響を考慮して一段あたりの爆薬量を減らし、段数を多くすることにより、爆破振動の軽減を図る。

③ずり形状を極力小さくし（直径 40cm 程度）、時間的に分散してプロテクタに衝突するようにすることでプロテクタの設計荷重を低減させる。



写真-8.1.2　爆破後の切羽状況

写真-8.1.2 に爆破直後の切羽状況を示す。

（2）爆破振動測定

測定箇所は切羽から 7.5～12.5m 離れた測点A、測点Aから 5m 離れた測点B、さらに測点Bから 5m 離れた測点Cの３点である。

表-8.1.1　爆破振動速度測定結果

回数	薬量 (kg)	項　目	測点 A			測点 B			測点 C		
1	0.6	切羽からの距離 (m)	10.5			15.5			20.5		
		方　向＊	V	L	T	V	L	T	V	L	T
		振動速度 (cm/sec)	0.30	0.10	0.20	0.16	0.12	0.30	0.07	0.10	－
2	1.0	切羽からの距離 (m)	7.5			12.5			17.5		
		方　向＊	V	L	T	V	L	T	V	L	T
		振動速度 (cm/sec)	3.55	1.43	0.70	－	－	－	0.13	0.18	－
3	2.0	切羽からの距離 (m)	10.5			15.5			20.5		
		方　向＊	V	L	T	V	L	T	V	L	T
		振動速度 (cm/sec)	1.13	0.78	2.33	0.65	0.38	0.56	0.35	0.20	－
4	2.2	切羽からの距離 (m)	12.5			17.5			22.5		
		方　向＊	V	L	T	V	L	T	V	L	T
		振動速度 (cm/sec)	1.13	0.88	2.18	0.45	0.40	0.75	0.25	0.13	－

＊V：上下方向　L:発信点と受信点とを結ぶ方向　T:発信点と受信点とを結ぶ方向と直角方向

測定結果を表-8.1.1 に示す。実際に使用した一段当りの最大斉発量は 0.6～2.2kg の範囲であったため、計画最大斉発量（3.0kg）に満たない薬量であったが、振動速度は、切羽から 7.5m～12.5m とした測点Aで最大 3.55cm/sec(kine)、測点B、測点Cでは、1cm/sec(kine)に満たない値となっている。

（3）伝播係数K値の算定

表-8.1.1 の測定結果から、式(1)[2] に示した振動速度予測式を用いて伝播係数K値を求める。

$$v = K \cdot \frac{W^n}{r^m} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1) \quad [2]$$

ここで、

v ：振動速度値 $(cm/\sec)$

W：装薬量 (kg)

r ：距離 (m)

K ：伝播係数

m, n：係数, $m = 2, n = 2/3$とした

K値は、31～201（平均 71）となり、これまでの実績による坑道掘削のK値の範囲（200～700 程度）と比較して小さい値となる。これは、爆破振動の大きくなる芯抜き爆破がなく、払い爆破中心の爆破パターンであったことが理由と考えられる。

（4）爆破振動の評価

既設トンネルへのプロテクタ挿入長さである切羽から 5m 地点での爆破振動の既設覆工への影響を評価する。

最大K値（201）、計画最大斉発量 3.0kg の条件で、式(1)を用いて、切羽から 5m 地点の振動速度を算出すると 16.8cm/sec(kine)となる。これは、山陽新幹線建設時に導坑仮巻きコンクリートで行った実験での、ヘアクラックの入り始める振動値が 33.8kine[3] であったことと比較しても 1/2 程度と小さい値である。

８．１．２　爆破騒音対策

既設トンネルの拡大工事においては、爆破騒音の影響範囲に構造物が存在するケースは新設トンネルに比べて多いものと考えられる。本工法における騒音対策は爆破技術による騒音の低減を基本対策としているが、プロテクタの前後部に設置する防護隔壁に防音対策を追加することによって、さらに効果をあげることができる。（図-8.1.2 防護隔壁図参照）

また、周辺環境によっては、新設トンネルと同様に両坑口に防音扉を設置することも検討する必要がある。

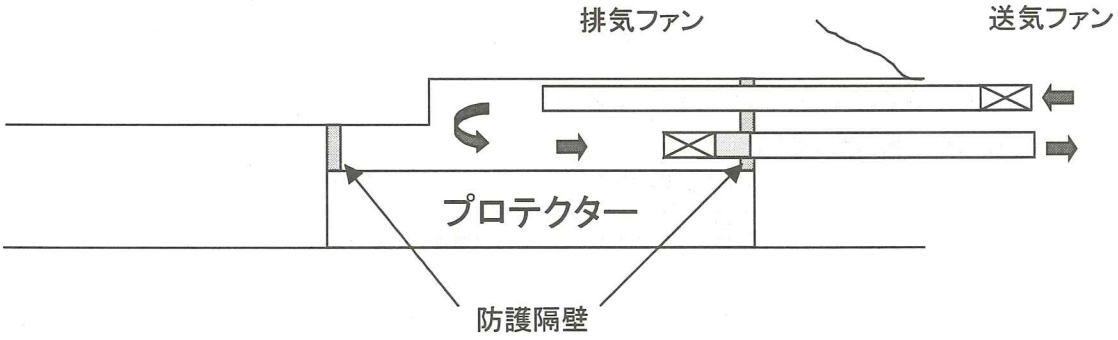


図-8.1.2　防護隔壁図

８．２　粉じん対策

拡大工事中の既設トンネル内を一般車両が走行するという特殊性から、坑内で発生する粉じん対策は新設トンネル以上に考慮する必要がある。一般車両通行帯は仮舗装を行うことにより巻き上げ粉じんの発生を抑制する。また、爆破や吹付コンクリートによる粉じんは一般車両通行帯と作業区域をプロテクタの前後部に設置した防護隔壁で分離し効果的な換気システムにより一般車への影響を防止する。（６．２．２　換気設備参照）

9．適用に当たっての留意点

本研究は、既設トンネルを活線で断面拡大方法について、スライド式 TWS を用いた方法を検討した。ここでは、１車線プロテクタあるいは２車線プロテクタを使用した２種類の場合の断面拡大する施工システムの適用にあたっての留意点を以下に示す項目でまとめた。

（1）トンネルの立地条件

本工法は、爆破工法および機械掘削工法のいずれも適用できるシステムである。爆破工法を採用する場合、爆破による振動、騒音がトンネル周辺に影響を及ぼす度合いを十分に検討しておかなければならない。トンネル周辺に住宅あるいは重要構造物が存在している場合には、通常の爆破工法を採用する区間を限定しなければならないこともある。通常の爆破工法が適用できない時には、制御発破や機械掘削工法あるいは特殊な無発破工法の採用を計画する。また、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。その作業は、大型運搬車で鋼材を運搬してきて、交通に支障のない場所に停車しておき、組立のためにクレーンで積み卸しを行う。一方、断面拡大の施工完了後には、これらを解体する作業がある。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ておかなければならない。坑口付近に十分な広さのヤードが取れないような場合には、桟橋等により張り出し構造のヤードの構築を検討する必要がある。

（2）　許認可

本工法は、爆破工法を用い、交通規制を行う事を前提に計画される。爆破工法の適用については、新設のトンネル工事あるいは明かり工事で爆破を使用する場合と同様な手続きを関係諸官庁に申請し、許可を受ければ良いと考える。交通規制については、交通条件によって対処が大きく異なる可能性が大きく、監督警察署と十分に協議し、規制の範囲、時間等を決めなければならない。

（3）　スライド式ＴＷＳ

ナポレオンハット型ステージ、プロテクタで構成されているスライド式ＴＷＳについては、１車線プロテクタ、２車線プロテクタのそれぞれの場合について、効率的な施工が可能となる構造を検討した。スライド式ＴＷＳを適用することにより、施工サイクルが短くなりコスト低減に大きく寄与する。また、スライド式ＴＷＳの移動および固定方法もサイクルに大きな影響を及ぼす。しかし、スライド式ＴＷＳの移動方法および固定方法については検討の余地があり、実際の施工にあたり詳細に検討する必要がある。

スライド式ＴＷＳの初期費用は高く、拡大断面の延長が短いトンネルに適用し、そのトンネルだけで原価償却しようとすると、トンネル建設コストが非常に高いものとなる。したがって、スライド式ＴＷＳを適用する場合には、現在、欧米で使用されているＴＢＭと同じような考え方に基づき、スライド式ＴＷＳを何本かのトンネルに転用するようにしなければならない。こうすることにより、機械費の断面拡大トンネル建設費に占める割合が小さくなり、トータルコストも安くなる。その場合、だれがスライド式ＴＷＳの管理・運用を行っていくかという課題が残る。

１車線プロテクタと２車線プロテクタの２種類のプロテクタをそれぞれ適用する検討を行ったが、１車線プロテクタの場合、交通規制の時間が長くなり、間接的な経済効果が劣ることになる。そのため、トンネル

の立地条件やトンネル断面の大きさにもよるが、可能な限り２車線プロテクタの使用を推奨する。

（４）　拡大施工

爆破工法を適用する場合、地山およ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、事前調査で覆工コンクリートの健全度、覆工コンクリート背面の空洞状態等の調査結果によっては、事前に覆工コンクリートを補強することや覆工背面の空洞充填を行うことも検討しておく必要がある。活線下での拡大であるので、交通の安全確保と良好な環境の維持を図って工事を行わなければならない。施工中の留意点としては、爆破後の後ガスと吹付けコンクリート施工時、施工後の粉塵および、工事用水や地山からの湧水等の適切な処理である。

今回の施工検討は、汎用的な施工機械を選定して行った。しかし、効率的な施工が達成できるかというと必ずしもそうでない場合もある。そのために、断面拡大工法専用の施工機械の開発を行う必要がある。例えば、狭隘な作業スペースで効率的なずり処理が可能なずり積み機や短尺化、小型化したさく孔機等の開発が望まれる。

（５）　トンネル内の環境

延長が長いトンネルの場合、交通量との関係で供用中の換気設備が設置されていることがある。しかし、トンネル断面拡大工事では、爆破工法による後ガス、吹付けコンクリート施工時の粉塵等トンネル坑内の環境を著しく悪化させる可能性が高い。今回は、工事中の換気システムとして送排気併用方式を考えた。実際のトンネルでは、供用中の換気設備と工事中の換気システムの双方の効果を考慮した計画を行うとより合理的になる可能性がある。

（６）　安全対策

本工法は、交通規制を行う必要があり、ドライバーに事前にそのことを認識してもらわなければならない。そのため、チラシ、広報誌やメディア等を通じて広報する。また、広範囲にわたり、警告板を設置することも必要である。１車線プロテクタおよび２車線プロテクタともに車線規制を行う必要がある。特に、１車線プロテクタを使用する場合は、規制時間が長くなり、交通量によっては交通渋滞の延長が非常に長くなる可能性がある。こうした場合には、ドライバーにその時の状態に関する情報を逐一、的確に伝達する手段を考えておく必要がある。以上のような対策は、ドライバーに工事を理解してもらい、工事中の交通トラブルを最小限に抑える手段となりうる。

車線規制中の交通の安全対策については、車線変更箇所付近の安全対策は特に強固にしたり、交通誘導員の人数を十分に配置するといった対応は不可欠である。

工事中の安全対策については、本マニュアル中に詳述している。これらは、通常新設トンネル施工時の留意点と同じであるが、活線下の施工であるので、交通に対する安全対策には通常以上に費用をかけて徹底させる必要がある。

参考文献

1）改訂　ずい道等建設工事における換気技術指針、建設業労働災害防止協会、平成 14 年 3 月 12 日

2）トンネル爆破技術指針、（社）日本トンネル技術協会、p142～143、昭和 57 年 2 月

3）発破振動の周辺への影響と対策、鹿島出版会、p9、昭和 59 年 9 月 30 日

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（爆破掘削）―

参　考　資　料

1．サイクルタイム試算例

1．1　基本条件

試算の対象とするトンネルとして、以下の条件を設定する。

①図-1.1.1 および図-1.1.2 に示す既設トンネル断面と拡大トンネルの配置で試算を検討

②岩級区分構成を表-1.1.1 に示す。

③試算ケースを表-1.1.2 に示す。

④掘削方式は、爆破掘削方式とする。

⑤既設トンネル掘削時の地山のゆるみを考慮して、ＣⅠ区分においても上半部に鋼アーチ支保工を使用。

⑥インバートはＤⅢ区間のみ施工

表-1.1.1　岩級区分構成

岩級区分	ＤⅢ	ＤⅠ	ＣⅡ	ＣⅠ	ＣⅡ	ＤⅠ	ＤⅢ	トンネル延長
ｹｰｽ1	25m	75m	100m	100m	100m	75m	25m	500m
ｹｰｽ2	25m	75m	200m	400m	200m	75m	25m	1000m
ｹｰｽ3	25m	150m	400m	850m	400m	150m	25m	2000m

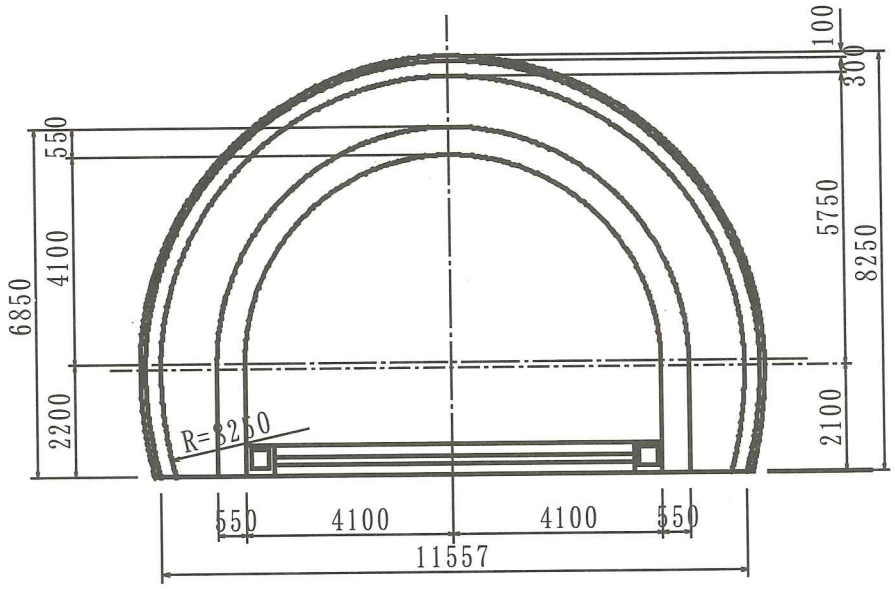


図-1.1.1　試算に用いるトンネル断面（1 車線プロテクタ方式同心円拡大型）

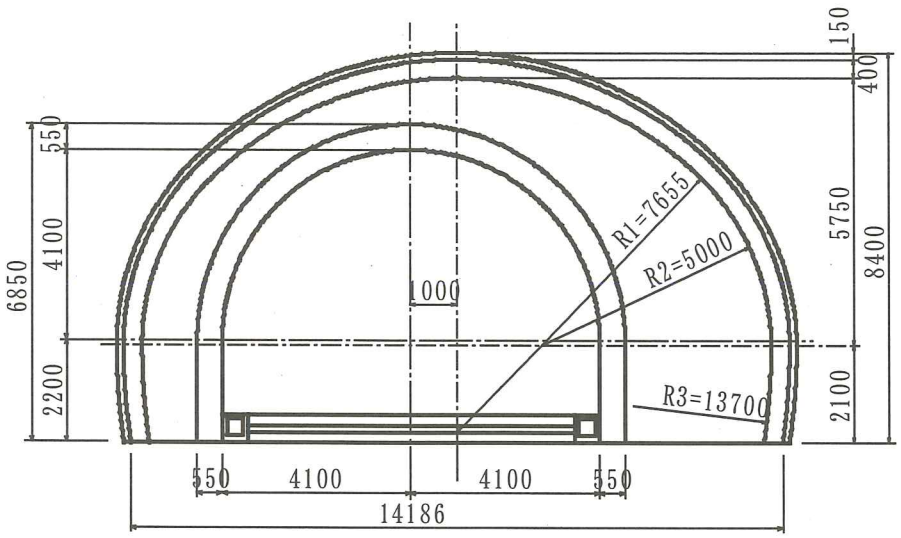


図-1.1.2　試算で用いるトンネル断面（2車線プロテクタ方式センターシフト型）

表-1.1.2 試算ケース一覧表

試算ケース	プロテクタ方式	既設トンネル幅	拡大断面	トンネル延長
1-1	1車線プロテクタ	8.2m程度	11.56m程度 3種2級片側歩道付	500m
1-2	1車線プロテクタ	8.2m程度	11.56m程度 3種2級片側歩道付	1000m
1-3	1車線プロテクタ	8.2m程度	11.56m程度 3種2級片側歩道付	2000m
2-1	2車線プロテクタ	8.2m程度	14.19m程度 3種2級片側自歩道付	500m
2-2	2車線プロテクタ	8.2m程度	14.19m程度 3種2級片側自歩道付	1000m
2-3	2車線プロテクタ	8.2m程度	14.19m程度 3種2級片側自歩道付	2000m

1．2　サイクルタイム試算条件

サイクルタイムの算出に当たっては、「建設省土木工事積算基準　平成12年度版」のうち、「15.トンネル工　①トンネル工、②小断面トンネル工」、および「18.参考工種　27小断面トンネル工(ＮＡＴＭ)」を参考とした。

試算に当たっての施工機械機械配置を整理した表を表-1.2.1に示すとともに、以下に種々の詳細条件を記す。

１．２．１　主要施工機械

表-1.2.1 サイクルタイム算出条件の機械の配置

	1車線プロテクタ	数量	2車線プロテクタ	数量	摘　要
穿孔機械 ドリフタ	TWS 上のスライド移動式	2ブーム	TWS 上のスライド移動式 汎用クローラジャンボ	2ブーム 2ブーム	ﾛｯﾄﾞ ﾁｪﾝｼﾞｬ付
こそく ブレーカ	TWS 上の移動式アタッチメントブーム	1台	TWS 上の移動式アタッチメントブーム	1台	
積込み機	ずり積機（ｸﾛｰﾗ式ﾊﾞｯｸﾎｳ型）150m³/hr 級 トレンローダコンベヤ	2台 2台	ずり積機（ｸﾛｰﾗ式ﾊﾞｯｸﾎｳ型）300m³/hr 級 TWS 上バックホウ 0.4m³級	1台 1台	
吹付 マニュピレータ	ステージ上スライド式ケージ付	2台	ステージ上スライド式ケージ付	2台	
運搬	汎用 10t ダンプ		汎用 10t ダンプ		距離対応

１．２．２　サイクルタイム算定条件

①発破孔穿孔長

掘進長＋0.1m　（建設省土木工事積算基準平成 12 年度版（以下　㊟基準）

②平均穿孔速度

C地山:1.5m/分を基準に㊟基準の掘削分類のﾚｯｸﾞによる平均穿孔速度比を参考。

(1.5m/分×35cm/分÷40cm/分≒1.3m/分)

C地山	D地山	ｺﾝｸﾘｰﾄ
1.5m/分	1.3m/分	1.3m/分

③削岩機ブーム移動・位置合わせ

0.5 分/本　（実績より）

④地山m² 当りの穿孔数

2.8 孔/m²　（岩塊を 30cm 以下にするため穿孔間隔を 60cm とする。）

⑤装薬・爆破

2 分/孔/人とし、作業人数は 6 名とする。また爆破・換気の時間を 15 分とする。

⑥ずり積込機械能力

・1 車線プロテクタ：ずり積機クローラ式・バックホウ型 150m³/ｈｒ相当：Q_S＝22m³/ｈ（地山土量）

・2 車線プロテクタ：ずり積機クローラ式・バックホウ型 300m³/ｈｒ相当：Q_S＝74m³/ｈ（地山土量）

⑦ダンプトラック積載土量（地山）と積込時間

C地山	D地山	ｺﾝｸﾘｰﾄ
4.0m³	4.5m³	4.5m³
11 分	12 分	12 分

(㊟基準)

⑧ダンプトラック走行速度と条件

前進通常部	前進狭隘部	後進通常部	後進狭隘部
30km/h	3km/h	5km/h	3km/h

⑨ずり仮置場

起点側坑口より100mとする。ダンプの走行は交互通行一般車の最後尾とする。

⑩坑内狭隘部（ずり積個所～セントル）は50mとし、坑内での旋回所要時間は2分/台とする。

⑪1サイクル当りの入れ替え等によるロスタイムは10分とする。

⑫吹付け機の作業能力

㊩基準の12m³/hを2台使用するので24m³/hとする。

⑬㊩基準で一定時間を設定しているもの、または特殊作業の時間設定

	項　　目	㊩基準	設定値
①	削岩準備	10分	5分
②	ずり出し準備	5分	5分
③	ずり出し跡片付け	5分	5分
④	測量	5分	5分
⑤	吹付け準備	10分	10分
⑥	吹付け跡片付け	10分	5分
⑦	ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ準備	10分	5分
⑧	ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ跡片付け	10分	5分
⑨	支保工準備	10分	10分

	項　　目	㊩基準	設定値
⑩	(装薬･)爆破･換気（C地山）	45分	15分
⑪	金網工　（D地山）	20分	20分
⑫	旧鋼製支保工切断撤去	--	30分

1．2．3　その他考慮した諸条件

①積算基準において、準備工や跡片付け等一定時間（5分、10分）を設定している項目で、ガントリタイプであることによるラップ作業が可能であるものについては、10分を5分に低減した。

②切羽および旧覆工コンクリートの穿孔は、爆破後の作業効率を考慮して、穿孔間隔を60cmとする。

③こそく・浮石落しは、ブレーカ2台使用とするが、作業効率を勘案して1.5台分の作業量とする。

④2車線プロテクタの場合には、ステージ上のバックホウでずりを片側の広い作業帯に集積してずり出しを行う。

⑤ダンプトラックによるずり出し時間は、ダンプを左右3台づつ配置し、ガントリにはトレンローダコンベヤを配備しない条件で算出した。

⑥一般車両の運行は、Cパターンでは13分、Dパターンでは14分の片側交互通行とする。ダンプは一般車両の最後尾を運行し、坑内では180°の方向転換はしないものとする。

⑦ダンプ運行における入替等のロスタイムは、切羽掘削1サイクル当たり10分とする。

⑧旧トンネルの鋼アーチ支保工撤去は、30分とする。

⑨鋼アーチ支保工の建込は、分割支保工のため積算基準に10分を加える。ただしDⅢについては、重量物のため15分を加算する。

⑩ロックボルトの穿孔は、狭隘な作業空間のため1mロッドの継ぎノミとし、1個所あたりの接続・切離を0.5分とする。また、4mのロックボルト打設については、同様に継ぎボルト（2m+2m）とし、接続

は0.5分とする。

1．3　サイクルタイム表

1車線プロテクタ方式と2車線プロテクタ方式のそれぞれ、トンネル延長1000mにおけるサイクルタイム算出例を下の表-1.3.1～表-1.3.2に示す。

表-1.3.1　1車線プロテクタ方式における断面拡大サイクルタイム
（内空幅８m級既設トンネル→３種２級片側歩道付き）

B 改築の場合 1000m拡大1車線プロテクタ

項目				単位	CⅠ	CⅡ	DⅠ	DⅢ	
掘削断面積（余掘り含まず）			A1	m^2	30.5	30.5	31.6	35.2	
掘削断面積（余掘り含む）			A2	m^2	35.7	35.2	35.7	39.4	
既設覆工コンクリート断面積			A3	m^2	10.0	10.0	10.0	10.0	
1サイクル当たりの掘進長			B	m	1.5	1.2	1.0	1.0	
$1m^2$当たりの穿孔時間			C1	分／m^2	2.2	1.9	1.9	1.9	((B+01)／α／分+0.5)×2.8／2ブーム α＝C－1.5m　D－1.3m
覆工コンクリートの穿孔時間／m^2			C2	分／m^2	2.4	2.1	1.9	1.9	((B+01)／α／分+0.5)×2.8／2ブーム α＝ コンクリート－1.3m
ずり出し作業能力（地山数量）			D	m^3／hr	44.0	44.0	44.0	44.0	シャフローダKL-20　2台、22m3／台・h(地山)
1サイクル当たり吹付面積			M	m^2	34.9	27.9	23.3	23.4	
吹付け設計厚さ			N	m	0.10	0.10	0.15	0.25	
1サイクル当たりボルト本数			P	本	15	15	19	8+21	Cパターン L=3．0m、Dパターン L=4．0m
掘削工	削岩	削岩準備		分	5	5	5	5	建設省×1/2
		穿孔	T1	分	67	58	60	66	A1×C1
		穿孔	T1'	分	24	21	19	19	A3×C2
		装薬		分	38	38	39	42	2分／孔　　作業員6名
		爆破・換気・交通止めロス		分	15	15	15	15	
		こそく・浮き石落とし		分	13	13	17	17	
		小計		分	162	150	154	164	
	ずり出し	ずり出し準備		分	5	5	5	5	建設省と同値
		ずり出し	T2	分	120	93	85	85	CⅠ-18台-120分、CⅡ-14台-93分 DⅠ-12台-85分、DⅢ-12台-85分
		入替ロス	T2'	分	10	10	10	10	
		跡片付け		分	5	5	5	5	建設省と同値
		測量		分	5	5	5	5	建設省と同値
		小計		分	145	118	110	110	
	支保工撤去・搬出			分	30	30	30	30	
支保工	吹付け	吹付け準備		分	10	10	10	10	建設省と同値
		吹付け		分	17	16	18	27	(M×N×2.1×60分／12m^3／h)／2台 (補正係数　CⅠ=2.0、CⅡ=2.3、DⅠ=2.04、DⅢ=1.86)
		跡片付け		分	10	10	10	10	建設省と同値
		小計		分	37	36	38	47	
	金網設置			分			20	20	建設省と同値
	鋼アーチ支保工	支保工準備		分	10	10	10	10	建設省と同値
		支保工建込み		分	30	30	60	65	
		小計		分	40	40	70	75	
	ロックボルト	ロックボルト準備		分	5	5	5	5	建設省×1/2
		穿孔	T4	分	83	83	133	172	3m-5分＋(0.50分)　4m-6分＋(0.75分＋0.25分) (ノミ1m使用　接・切り1回0.5分、4mRB接続1回0.5分)2ブーム
		跡片付け		分	5	5	5	5	建設省×1/2
		小計		分	93	93	143	182	
その他損失				分	0	0	0	0	
計			Q		507	467	565	629	
1日当たり進行長				m	3.19	2.78	1.91	1.72	540分×2方×B／Q
1月当たり進行長				m	73.4	63.9	43.9	39.6	540分×2方×B／Q×23日
区間長				m	400.0	400.0	150.0	50.0	
所要月数				月	5.45	6.26	3.41	1.26	

表-1.3.2　2車線プロテクタ方式による断面拡大するサイクルタイム
（内空幅８m級既設トンネル→3種2級片側歩道付き）

B改築の場合　1000m拡大2車線プロテクタ

項目			単位	CⅠ	CⅡ	DⅠ	DⅢ	
掘削断面積（余掘り含まず）		A1	m^2	48.1	48.1	48.1	52.1	
掘削断面積（余掘り含む）		A2	m^2	53.9	53.3	53.9	56.5	
既設覆工コンクリート断面積		A3	m^2	10.0	10.0	10.0	10.0	
1サイクル当たりの掘進長		B	m	1.5	1.2	1.0	1.0	
$1m^2$当たりの穿孔時間		C1	分／m^2	1.1	1.0	0.9	0.9	((B+01)／α／分+0.5)×2.8/4ブーム α＝C－1.5m　D－1.3m
覆工コンクリートの穿孔時間／m^2		C2	分／m^2	1.2	1.1	0.9	0.9	((B+01)／α／分+0.5)×2.8/4ブーム α＝ コンクリート－1.3m
ずり出し作業能力（地山数量）		D	m^3／hr	74.0	74.0	74.0	74.0	シャフローダKL-40　1台、74m3／台・h(地山)
1サイクル当たり吹付面積		M	m^2	38.4	30.7	25.6	25.3	
吹付け設計厚さ		N	m	0.10	0.10	0.15	0.25	
1サイクル当たりボルト本数		P	本	18	18	21	10+21	CパターンL=3．0m、DパターンL=4．0m
掘削工	削岩	削岩準備	分	5	5	5	5	建設省×1/2
		穿孔 T1	分	53	46	45	49	A1×C1
		穿孔 T1'	分	12	10	9	9	A3×C2
		装薬	分	54	54	54	58	2分／孔　　作業員6名
		爆破・換気・点検・交通止めロス	分	20	20	20	20	
		こそく・浮き石落とし	分	13	13	17	17	
		小計	分	157	149	151	158	
	ずり出し	ずり出し準備	分	5	5	5	5	建設省と同値
		ずり出し T2	分	120	95	84	90	CⅠ-24台-120分、CⅡ-19台-95分 DⅠ-14台-84分、DⅢ-15台-90分
		入替ロス T2'	分	10	10	10	10	
		跡片付け	分	5	5	5	5	建設省と同値
		測量	分	5	5	5	5	建設省と同値
		小計	分	145	120	109	115	
	支保工撤去・搬出		分	30	30	30	30	
支保工	吹付け	吹付け準備	分	10	10	10	10	建設省と同値
		吹付け	分	19	18	20	29	(M×N×2.1×60分/12m^3/h)/2台 (補正係数　CⅠ=2.0、CⅡ=2.3、DⅠ=2.04、DⅢ=1.86)
		跡片付け	分	10	10	10	10	建設省と同値
		小計	分	39	38	40	49	
	金網設置		分			20	20	建設省と同値
	鋼アーチ支保工	支保工準備	分	10	10	10	10	建設省と同値
		支保工建込み	分	30	30	60	65	
		小計	分	40	40	70	75	
	ロックボルト	ロックボルト準備	分	5	5	5	5	建設省×1/2
		穿孔 T4	分	99	99	147	186	3m-5分＋(0.50分)　4m-6分＋(0.75分＋0.25分)　　(ノミ1m使用　接・切り1回0.5分、4mRB接続1回0.5分　2ブームの使用)
		跡片付け	分	5	5	5	5	建設省×1/2
		小計	分	109	109	157	196	
その他損失			分	0	0	0	0	
計		Q		520	485	577	644	
1日当たり進行長			m	3.11	2.67	1.87	1.68	540分×2方×B/Q
1月当たり進行長			m	71.5	61.4	43.0	38.6	540分×2方×B/Q×23日
区間長			m	400.0	400.0	150.0	50.0	
所要月数			月	5.59	6.51	3.49	1.29	

2．出願特許

申請特許名	出願人	発明者	申請年月日 （出願番号）	公開日
トンネル拡幅工事用設備	独立法人土木研究所 (財)先端建設技術センター 株式会社熊谷組 佐藤工業株式会社 飛島建設株式会社 古河機械金属株式会社	真下英人、蒲田浩久 中森潤一郎 御手洗良夫、益田光雄、垣内幸雄、神山英雄、安川良博 今岡彦三、星野孝則 桜井敏晴、渡辺光生 佐伯宏美、藤城義信	2002.3.25 （特願 2002-083415）	

3．その他

3．1　爆破防護用プロテクタに作用する爆破衝撃荷重の考え方

岩塊の自由落下による架台への衝撃荷重 $P\max$ は次式[1)] で計算する。

$$P\max = 2.108 \cdot (m \cdot g)^{2/3} \cdot \lambda^{2/5} \cdot H^{3/5} \quad (\mathrm{kN})$$

$P\max$：落石の衝撃力（kN）

m：落石質量（t）

g：重力の加速度（$\mathrm{m/s^2}$）

H：落下高さ（m）

λ：被衝突体のラーメの定数（$\mathrm{kN/m^2}$）

非常に柔らかいもの　　1,000 $\mathrm{kN/m^2}$

柔らかいもの　　3,000～5,000 $\mathrm{kN/m^2}$

固いもの　　10,000 $\mathrm{kN/m^2}$

実際の計算においては、落石重量、落下高さ、ラーメの定数などの設定条件によって衝撃荷重が大きく異なるため、以下の事項について留意する必要がある。

①落石重量は爆破により破砕する岩塊の大きさで決定されるため、衝撃荷重を低減するためには岩塊形状はできるだけ小さくする方が有利である。

②落下高さは爆破の衝撃圧、ガス圧による岩塊速度を想定し、その岩塊速度と同等の落下高さを求める。

③ラーメの定数はロックシェッドの設計では一般的に緩衝砂を考慮して 1,000 $\mathrm{kN/m^2}$ が用いられているが、プロテクタ設計においては緩衝材の検討を行った上で、ラーメの定数を決定する必要がある。

参考文献

1）落石対策便覧、（社）日本道路協会、p422、平成 12 年 6 月

施　工　マ　ニュ　ア　ル　（案）

第４編　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）　―

平成 16 年 3 月

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
清水建設 株式会社
株式会社 フジタ
大成建設 株式会社
株式会社　三井三池製作所

目　　次

1．断面拡大工法の概要 …… 4-1
2．工法の特徴 …… 4-2
　2．1　片側断面拡大 …… 4-2
　2．2　既設覆工の利用 …… 4-3
　2．3　マルチタイプ掘削機 …… 4-3
　2．4　移動式プロテクタ …… 4-4
3．設計 …… 4-5
　3．1　適用条件 …… 4-5
　　3．1．1　既設、新設トンネル断面 …… 4-5
　　3．1．2　トンネル延長 …… 4-5
　　3．1．3　トンネル平面線形 …… 4-5
　　3．1．4　トンネル縦断線形 …… 4-7
　　3．1．5　地山条件 …… 4-7
　3．2　設計 …… 4-8
　　3．2．1　事前補強 …… 4-8
　　3．2．2　周辺地山挙動解析 …… 4-9
4．施工 …… 4-10
　4．1　施工フロー …… 4-10
　4．2　硬岩時の対応 …… 4-14
　　4．2．1　ブレーカ掘削 …… 4-14
　　4．2．2　割岩工法 …… 4-16
　4．3　仮設計画 …… 4-22
　　4．3．1　電力設備 …… 4-22
　　4．3．2　照明設備 …… 4-22
　　4．3．3　給水設備 …… 4-22
　　4．3．4　給気設備 …… 4-22
　　4．3．5　排水設備 …… 4-22
　　4．3．6　濁水処理設備 …… 4-22
　　4．3．7　換気設備 …… 4-23
　　4．3．8　プロテクタ等組立・解体ヤード …… 4-24
　　4．3．9　仮設備配置計画 …… 4-26
5．要素技術 …… 4-27
　5．1　マルチタイプ掘削機 …… 4-27

５．１．１　機械の概要 …… 4-27
５．１．２　施工方法および機械の構造 …… 4-29
５．１．３　切削部の交換方法 …… 4-33
５．１．４　主要仕様 …… 4-34
５．２　プロテクタ …… 4-35
５．２．１　プロテクタ内空断面 …… 4-35
５．２．２　プロテクタの種類 …… 4-36
５．２．３　設置範囲 …… 4-39
５．２．４　設置期間 …… 4-39
５．２．５　プロテクタ設置・解体手順 …… 4-41
５．２．６　プロテクタコスト比較 …… 4-42
５．２．７　プロテクタの駆動方法 …… 4-42
５．３　セントル …… 4-43
５．４　新設と既設支保の接続 …… 4-45
５．４．１　新設と既設支保の接続位置 …… 4-45
５．４．２　接続方法の提案 …… 4-46
６．交通規制に伴う安全・保安対策 …… 4-48
６．１　事前補強工事中の規制 …… 4-48
６．２　本工事中の規制 …… 4-49
６．３　その他の規制 …… 4-50
７．三日月形工法の応用例 …… 4-51
７．１　工法概要 …… 4-51
７．２　工法の特徴 …… 4-51
８．適用に当たっての留意点 …… 4-52
８．１　実施工上の注意点等 …… 4-52
８．２　今後の検討 …… 4-52

参考資料

１．周辺地山挙動解析 …… 4-55
１．１　解析対象トンネル断面 …… 4-55
１．２　地山条件および支保パターン …… 4-56
１．２．１　地山物性値 …… 4-56
１．２．２　土被りおよび側圧係数 …… 4-56
１．２．３　支保パターン …… 4-56
１．３　既設覆工と新設支保の接合位置 …… 4-57

１．４　解析手法および解析モデル 4-58
１．４．１　解析手法 4-58
１．４．２　解析モデル 4-58
１．５　解析結果 4-60
１．６　まとめと課題 4-60
１．６．１　既設覆工との接合位置および接合方法 4-66
１．６．２　今後の課題 4-66
２．三日月形工法の試算例 4-67
２．１　試算条件 4-67
２．２　試算数量 4-70
２．３　サイクルタイム 4-71
３．三日月形工法応用例の試算例 4-74
３．１　試算条件 4-74
３．２　試算数量 4-83
３．３　サイクルタイム 4-84
４．施工事例 4-86
４．１　銀河トンネル 4-86
４．２　白石トンネル 4-93
５．出願特許 4-103

1．断面拡大工法の概要

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ような点があげられる。

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とれ、大型重機の導入で工期短縮となる。

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る。

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。

工法の概要を図-1.1.1 に示す。

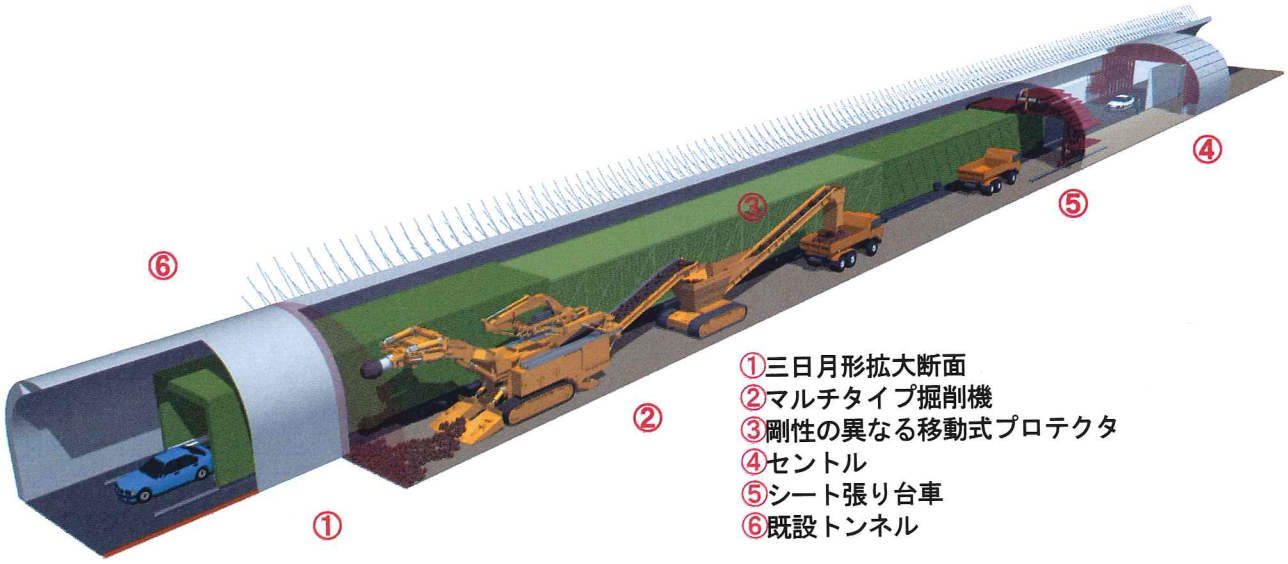


図-1.1.1　三日月形トンネル断面拡大工法の概要図

２．工法の特徴

トンネル拡幅を片側に寄せたことにより、従来工法と比較した本拡大工法の大きな特徴は、以下の４点である。

２．１　片側断面拡大

（従来）

既設トンネルと新設トンネルのセンターをほぼ同じくして施工するため、作業スペースが狭く効率的な拡大が出来なかった。

↓

（本工法）

片側拡大とすることにより、大きな作業スペースがとれ大型重機での作業が可能となり、作業効率が向上し工期短縮をはかることが出来る。

＊　例えば既設 8.2m 幅員のトンネルを３種４級（幅員 11.5m）のトンネルに拡大するとした場合、片側拡大とするため作業スペースとして約 6m の確保が可能となる。

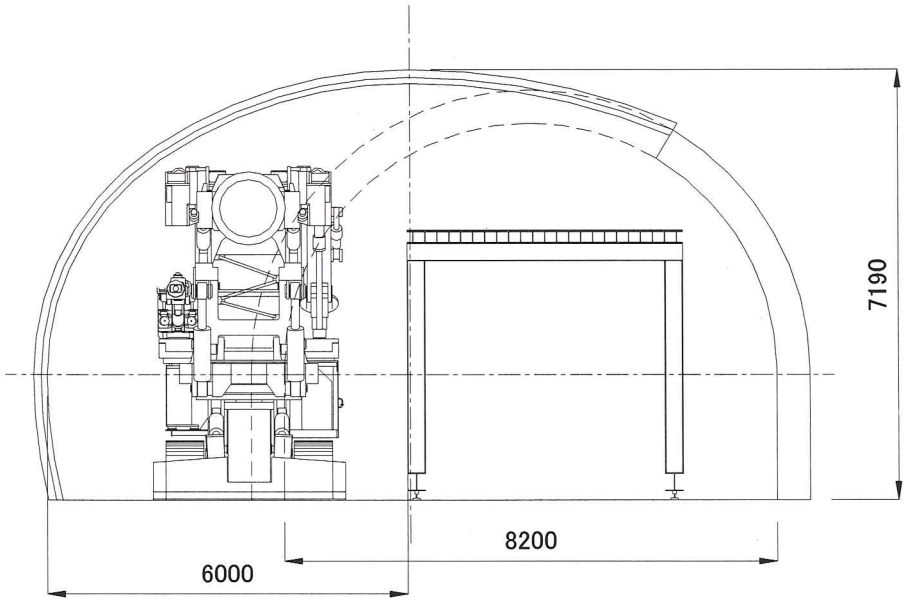


図-2.1.1　片側拡大による作業スペース

２．２　既設覆工の利用

（従来）

従来は全ての既設覆工を取り壊していた。

↓

（本工法）

既設覆工を新設の一次支保部材として利用するため、既設覆工の取り壊しや新設の支保部材を低減することができ、コスト縮減となる。

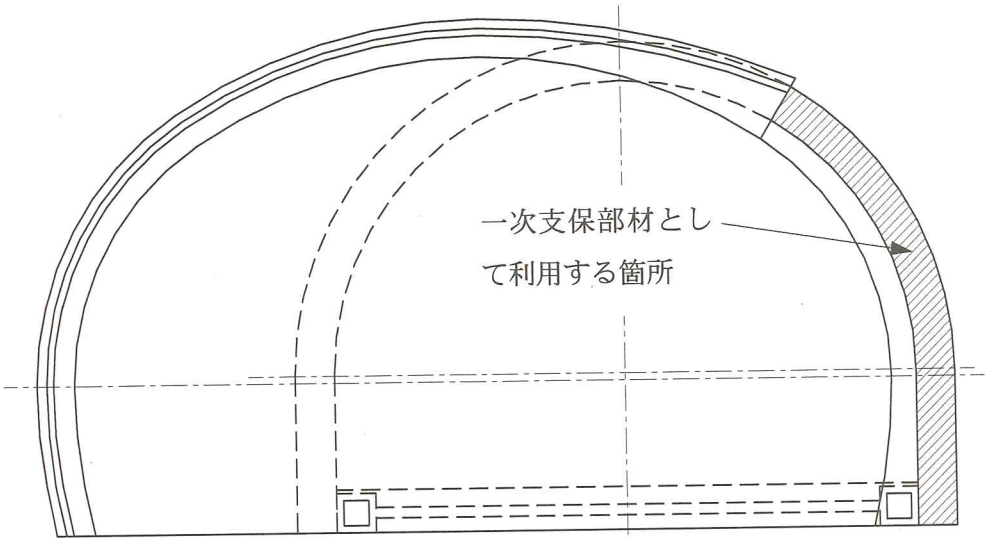


図-2.2.1　既設覆工の利用個所

２．３　マルチタイプ掘削機

（従来）

トンネル拡大は狭隘な空間での作業のため、段取替え等の制約で工期短縮が難しかった。

↓

（本工法）

１台の機械に掘削、覆工取り壊し、吹付け、ロックボルト打設、エレクタ、ずり掻き寄せの機能を１台のマシンに取り付けることにより、サイクルタイムの大幅な向上を図ることが出来る。

＊詳細は５．１マルチタイプ掘削機参照

２．４　移動式プロテクタ

（従来）

固定式プロテクタを全線に設置しトンネル拡大工事を行っていたため、プロテクタの全工事費に占める割合はきわめて大きかった。また覆工は掘削完了後施工していた。

↓

（本工法）

（１）　移動方式のプロテクタとし、施工場所によって剛性の異なるプロテクタの使い分けを行う。これによりプロテクタ費の削減が可能となる。

（２）　トンネル延長が長い場合には、プロテクタが移動式であるので掘削と覆工打設の併進が可能となる。

＊詳細は５．２プロテクタ参照

3．設計

3．1　適用条件

3．1．1　既設、新設トンネル断面

既設トンネルは、プロテクタを設置するための内空断面が必要である。なお、プロテクタの必要内空は関係各機関（道路管理者、警察等）との協議になる。

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掘削作業スペースとして最低約５ｍ幅が必要である。

3．1．2　トンネル延長

トンネル延長としては特に制限はない。

3．1．3　トンネル平面線形

トンネル拡大においては、平面線形の曲線部が問題となり、マルチタイプ掘削機の作業余裕幅の減少とプロテクタ内の有効車線幅が減少する。平面線形が直線の場合の作業余裕幅および有効車線幅を図-3.1.1に示す。

既設直線の場合　　作業余裕幅　＝ 1140mm
プロテクタ有効幅　＝ 4000mm

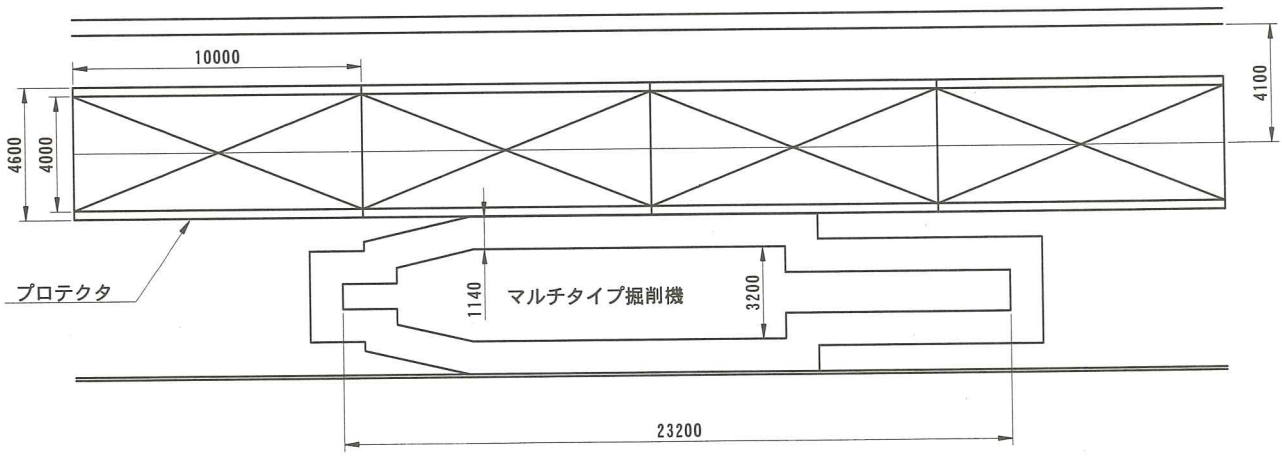


図-3.1.1　直線の場合の作業余裕幅および有効車線幅

既設トンネルが曲率を持つ場合の作業余裕幅およびプロテクタ内の有効車線幅は、次の通り求める。

（1） 路盤面でのプロテクタと新設側H鋼の位置から、マルチタイプ掘削機の前後および左右の余裕間隔を求める。ただし、マルチタイプ掘削機の前後および左右の余裕間隔は同じ幅とする。

（2） プロテクタはL=10m、B=4.6m、内空幅=4.0mを連結するとし、プロテクタ内の有効車線幅はプロテクタ内左右凸部を通るRで結んだときの幅を求める。

最も曲率条件が厳しい場合を想定し、既設トンネルの半径R=80mの場合の作業余裕幅および有効車線幅を図-3.1.2に示す。

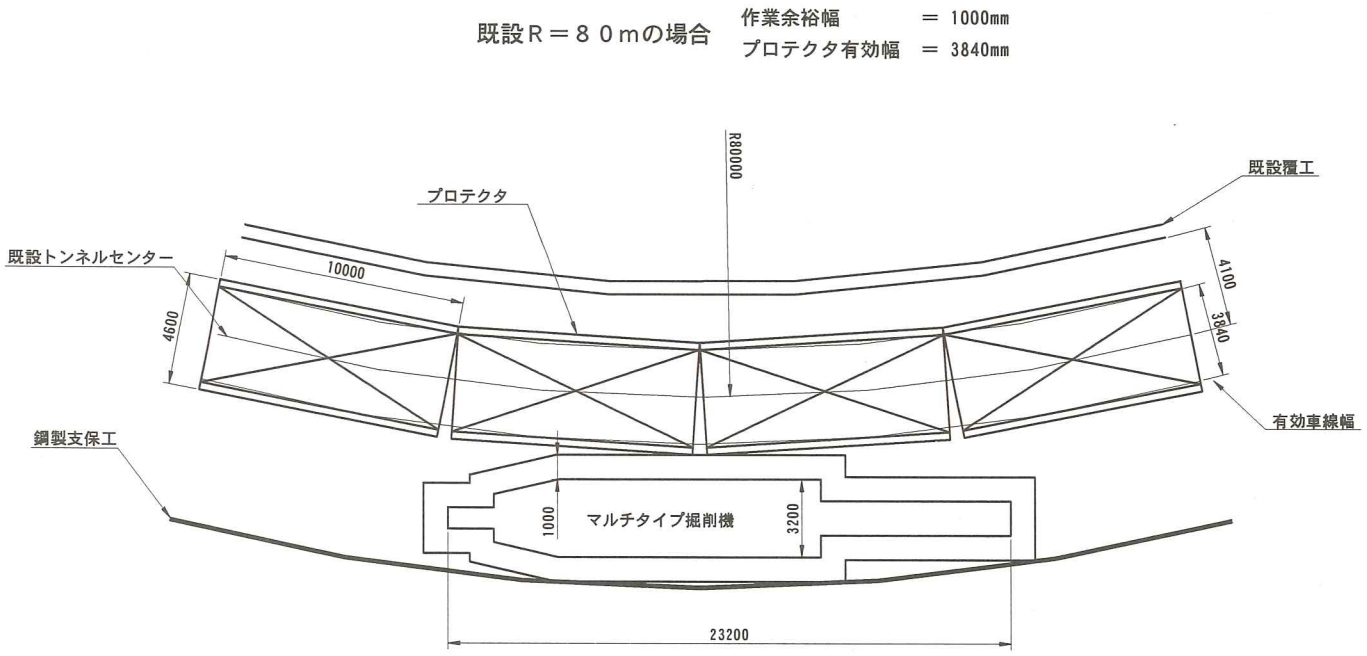


図-3.1.2 曲線（R=80m）の場合の作業余裕幅および有効車線幅

一般に作業余裕幅は80cm程度あれば掘削は可能であるため、トンネルの曲率がR=80m程度の場合でも、マルチタイプ掘削機による作業は可能である。

また、プロテクタ内の有効車線幅は道路管理者や警察等の協議によることや、設計速度の設定が道路により異なることなどから、ここでは既設トンネル平面線形の曲率によるプロテクタ内の有効車線幅を示すにとどめる。

３．１．４　トンネル縦断線形

トンネル縦断勾配は、プロテクタの移動用車輪の駆動限界より 8%以下となる。ただし、本検討では二輪駆動を用いることとし、トンネル勾配を 3%以下と設定した。なお、プロテクタの駆動方法については、５．２プロテクタを参照。

３．１．５　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カに切り替えることにより掘削が可能である。さらに、ブレーカ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。

割岩工法で施工するには、人工的な自由面形成が不可欠であるが、この自由面形成工法としては専用機が不要である単一孔連続穿孔工法を採用することにより、マルチタイプ掘削機に搭載されたドリフタを用いて自由面形成が可能となり、自由面形成後油圧くさびを用いて割岩掘削を行う。

図-3.1.3 に、本工法で検討した地山条件の適用領域を示す。

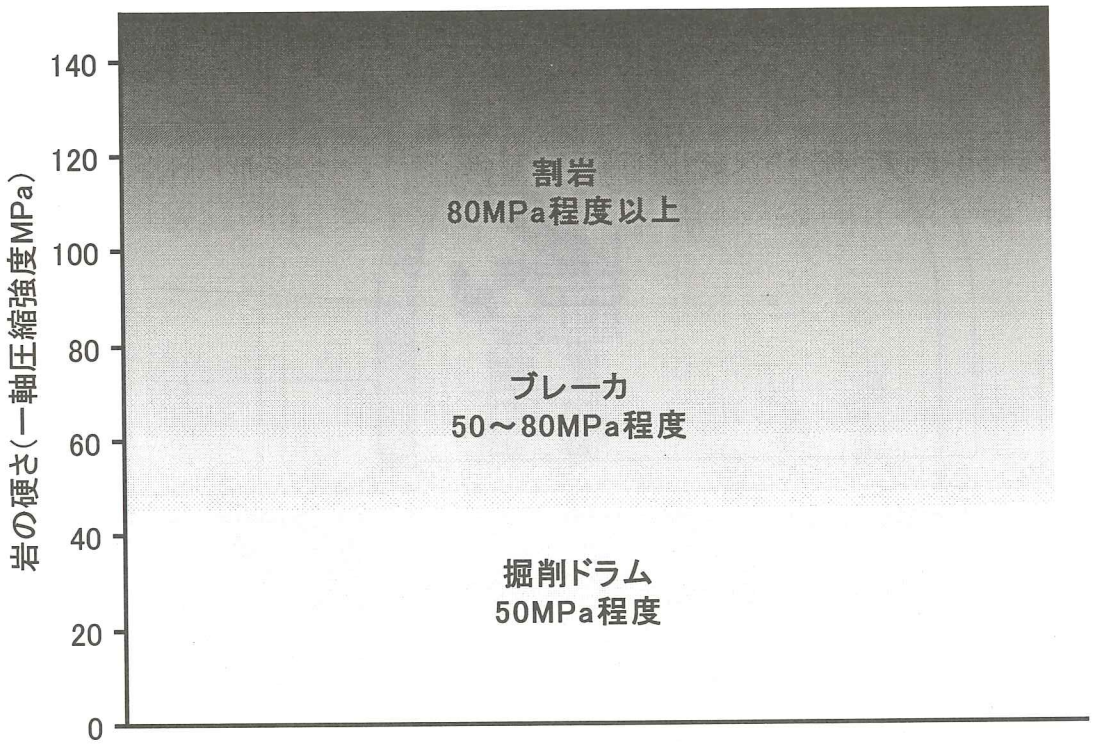


図-3.1.3　掘削方式の適用範囲

３．２　設計

３．２．１　事前補強

（１）事前ロックボルト

本工法では、既設覆工を新設トンネルの支保部材として利用するため、既設覆工の利用箇所には事前にロックボルトを打設する。また、支保部材として用いる既設覆工側近辺のロックボルト（パターンボルト）は、拡幅工事時には作業スペースが十分取れないため、事前ボルトとしてあらかじめ打設しておく。このロックボルトはＦＲＰボルトを使用し、掘削時に掘削ドラムで容易に切断できるようにする。（図-3.2.1参照）

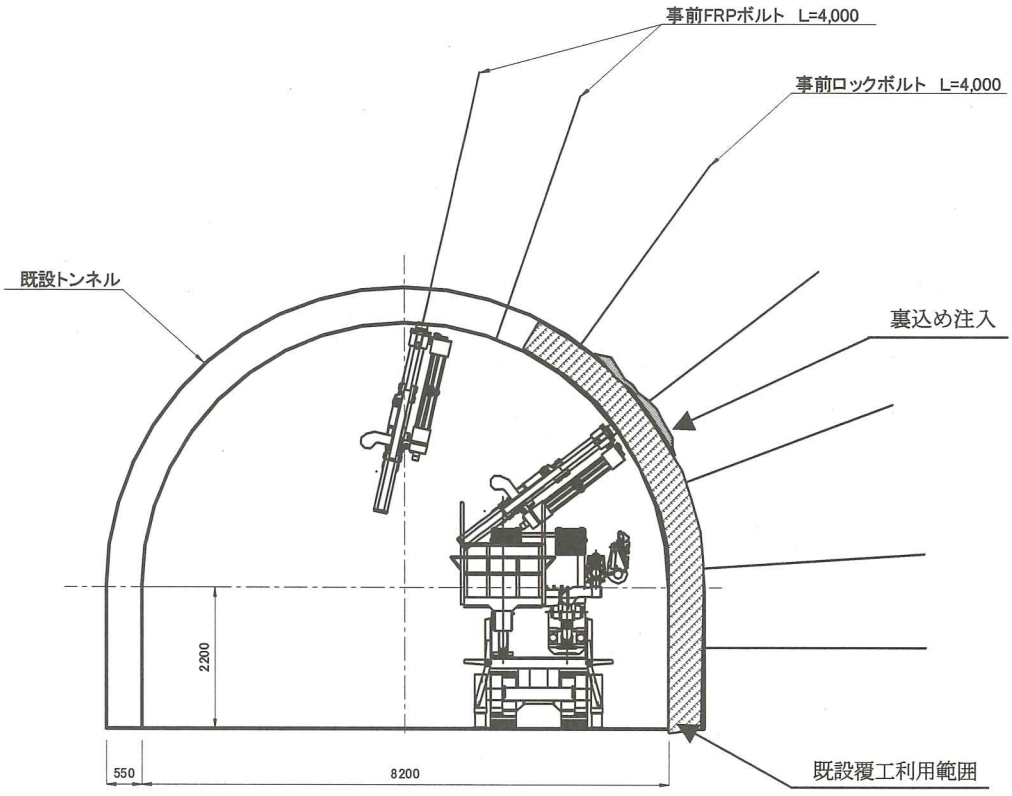


図-3.2.1　事前補強施工範囲

（２）　裏込め注入

本工法では、既設覆工を新設トンネルの支保部材として利用するため、既設覆工背面に空洞がある場合には、トンネル支保構造の長期的安定性に影響を及ぼす可能性がある。このため、事前に既設覆工背面の空洞充填を行うものとする。また、既設覆工撤去部分の空洞充填の必要性は、事前に行う調査結果により判断するものとする。なお、裏込め注入の施工時期は、事前ロックボルト打設時に並行して行う。

３．２．２　周辺地山挙動解析

本工法は、既設覆工の一部を支保部材として利用するため、トンネル施工に伴う周辺地山の挙動予測と新設支保部材の安全性照査を目的としてFEM解析を行い、以下の項目について検討を行った。

① 新設支保部材の安全性

② 既設覆工と新設支保部材の接合条件（ピン結合、剛結合）の影響

③ 既設覆工と新設支保との接合位置の影響

本解析検討より得られた知見を以下に示す。なお、解析結果については参考資料に示す。

① 接合位置や接合条件の違いによって新設支保部材の発生応力やトンネル周辺地山の挙動に有意な差は生じないと予想される。

② そのため、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等）、新設トンネルの施工性や経済性を考慮して決めるのが適切だと言える。

4．施工

4．1　施工フロー

施工フローを以下に示す。また、次頁以降に施工次第図を示す。

表-4.1.1　施工フロー

順番	工　　種	備　　考
①	既設覆工背面裏込め注入	１車線規制にて作業
①	事前ロックボルト打設	
②	舗装撤去工	
③	掘削	以下③～⑦までサイクルタイムにはいる
④	既設覆工取り壊し	
⑤	鋼アーチ支保工建込み	
⑥	吹付けコンクリート	
⑦	ロックボルト打設	
⑧	インバート打設	起点側覆工打設前、終点側掘削終了後に施工 片側ずつ施工
⑨	防水シート布設	
⑩	覆工コンクリート打設	
⑪	路盤工	１車線ずつ

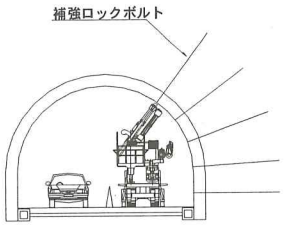
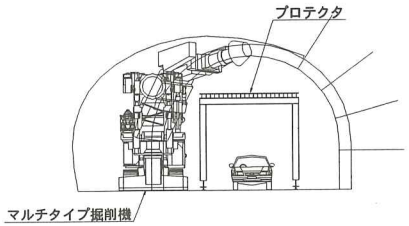
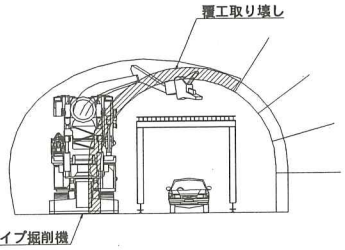
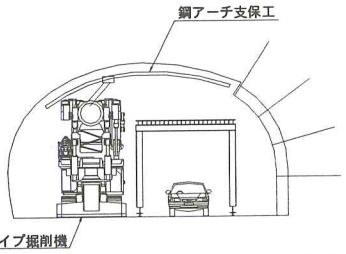
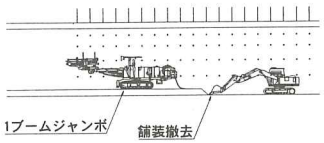
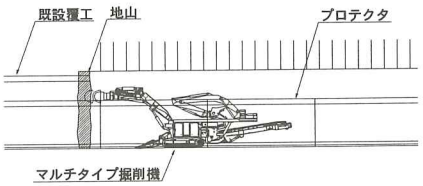
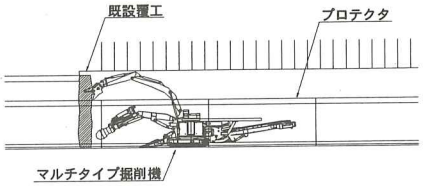
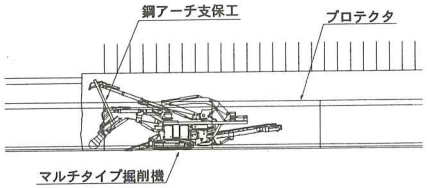
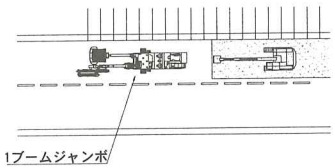
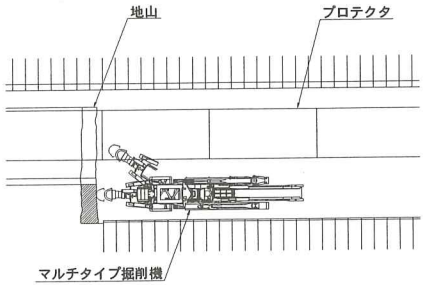
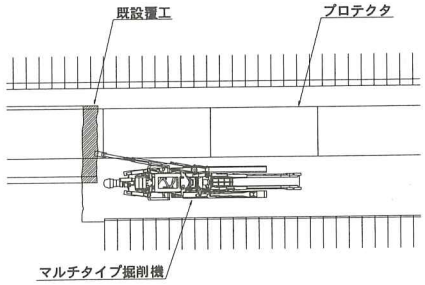
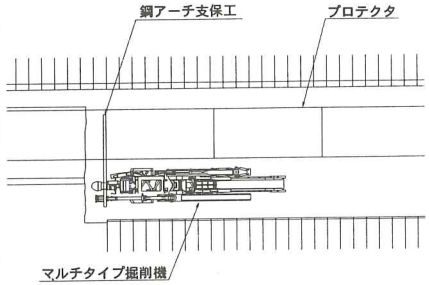
	①既設トンネル補強　②舗装撤去	③掘削	④既設覆工取り壊し	⑤鋼アーチ支保工建込み
断面図				
縦断図				
平面図				
備考	・既設トンネルの幅にもよるが、基本的には片側交互交通である。	・50MPa程度までは掘削ドラムで、50～80MPa程度まではブレーカで、80MPa以上の場合は割岩工法による。	・既設覆工は切羽前方のプロテクタ上であらかじめブレードカッタで切断し縁を切っておく。	・鋼アーチ支保工は既設覆工または既設鋼製支保工と一体化させる。

図-4.1.1　施工次第図その１

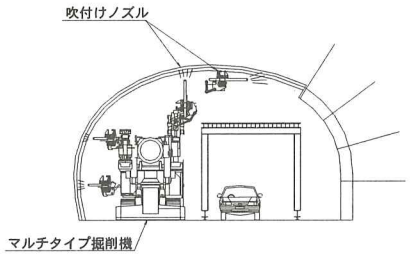
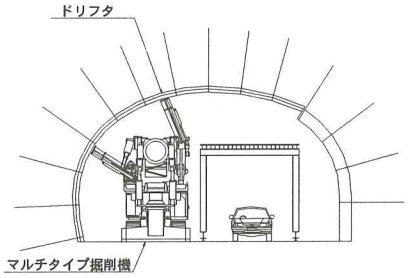
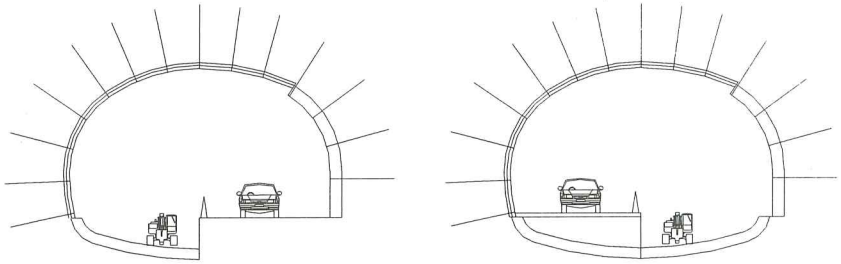
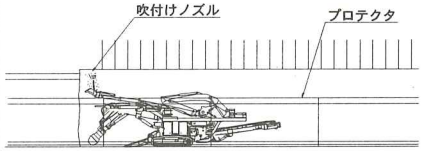
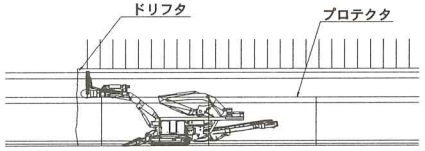
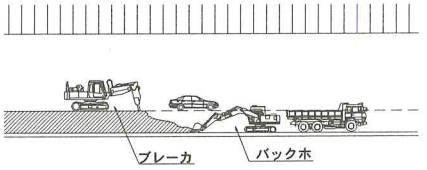
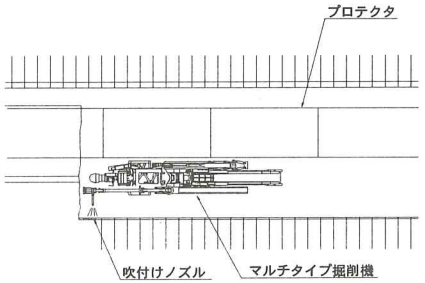
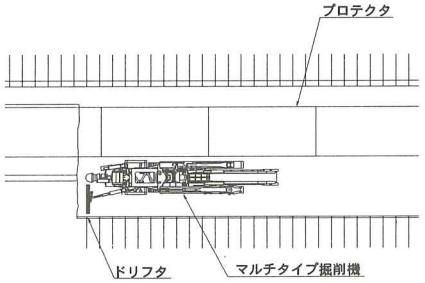
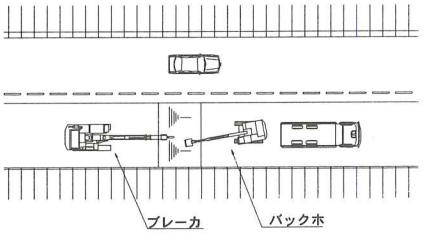
	⑥吹付けコンクリート打設	⑦ロックボルト打設	⑧インバート打設
断面図			
縦断図			
平面図			
備考	・接続部は吹付けコンクリートで既設覆工に滑らかにすりつける。	・プロテクタ上のロックボルトは継ぎボルトとする。	・起点側は覆工打設前、終点側は掘削終了後に施工。 ・インバート打設は１車線規制をしながら施工。 ・距離が短い場合には、掘削完了後に両坑口のインバートを施工。

図-4.1.2　施工次第図その２

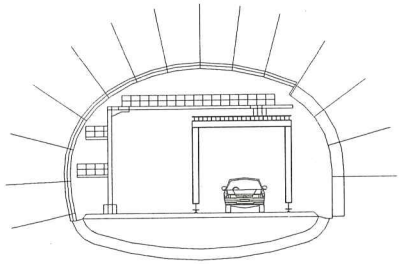
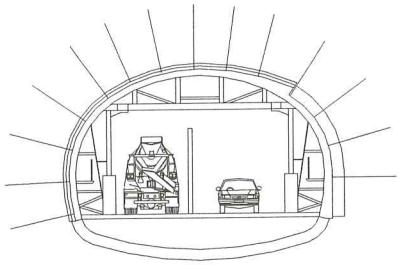
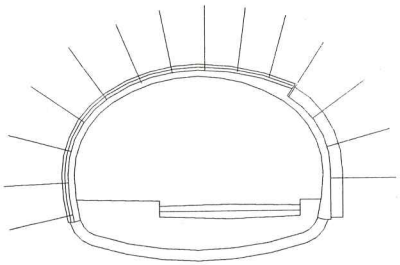
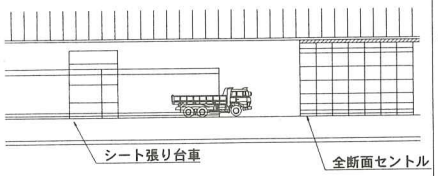
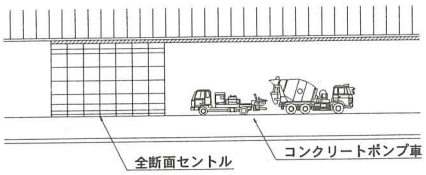
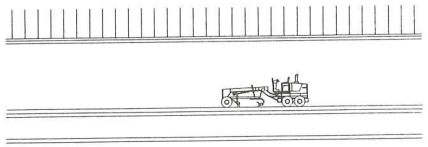
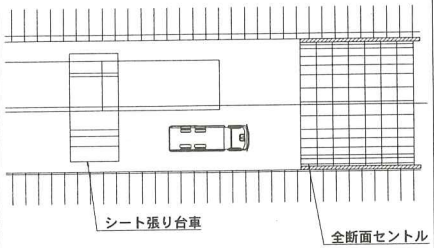
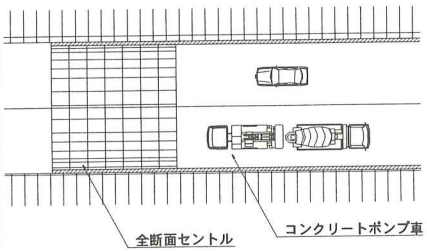
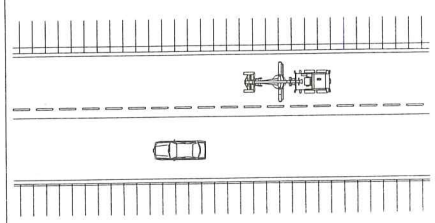
	⑨防水シート布設	⑩覆工打設	⑪路盤工
断面図			
縦断図			
平面図			
備考	・覆工コンクリートに先行して防水シート布設。 ・シート張り台車の既設側脚部は、プロテクタ上に設置。	・覆工打設時は仕切り板で交通を確保する。 ・延長が長い場合には、掘削と覆工の併進が可能。	・路盤工は１車線規制をしながら施工。

図-4.1.3　施工次第図その３

４．２　硬岩時の対応

ここまで述べてきたマルチタイプ掘削機は、200kW 級の電動機を用いたブーム型掘削機を基本としているため、掘削対象地山の圧縮強度が 50MPa を超過した場合、掘削が不可能となることが考えられる。このため、ブーム型掘削機の代わりに大型ブレーカを取り付けることも基本設計に組み込まれている。しかしながら、これまでの実績では掘削対象地山の圧縮強度が 80MPa を超過した場合、単一機械掘削では困難となり、無発破で掘削を行う場合割岩工法が採用される。

このため、ここでは掘削対象地山の圧縮強度により、50～80MPa では大型ブレーカによる単一機械掘削、80MPa を超過した場合には割岩工法に分類し、両者について示す。

４．２．１　ブレーカ掘削

上述したように、本マルチ掘削機は、硬岩対策として先端にブーム型掘削機の代わりに大型ブレーカを取り付けることが可能である。これは、掘削対象岩盤が 50～80MPa を想定している。

図-4.2.1 にブレーカを取り付けた場合の正面図を、図-4.2.2 に平面図・側面図を示す。

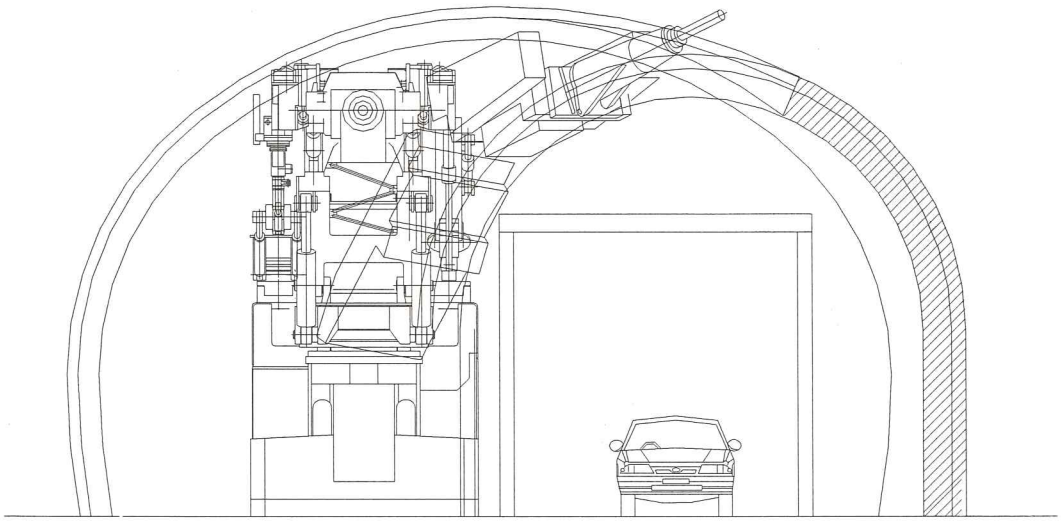


図-4.2.1　ブレーカを装着した場合の正面図

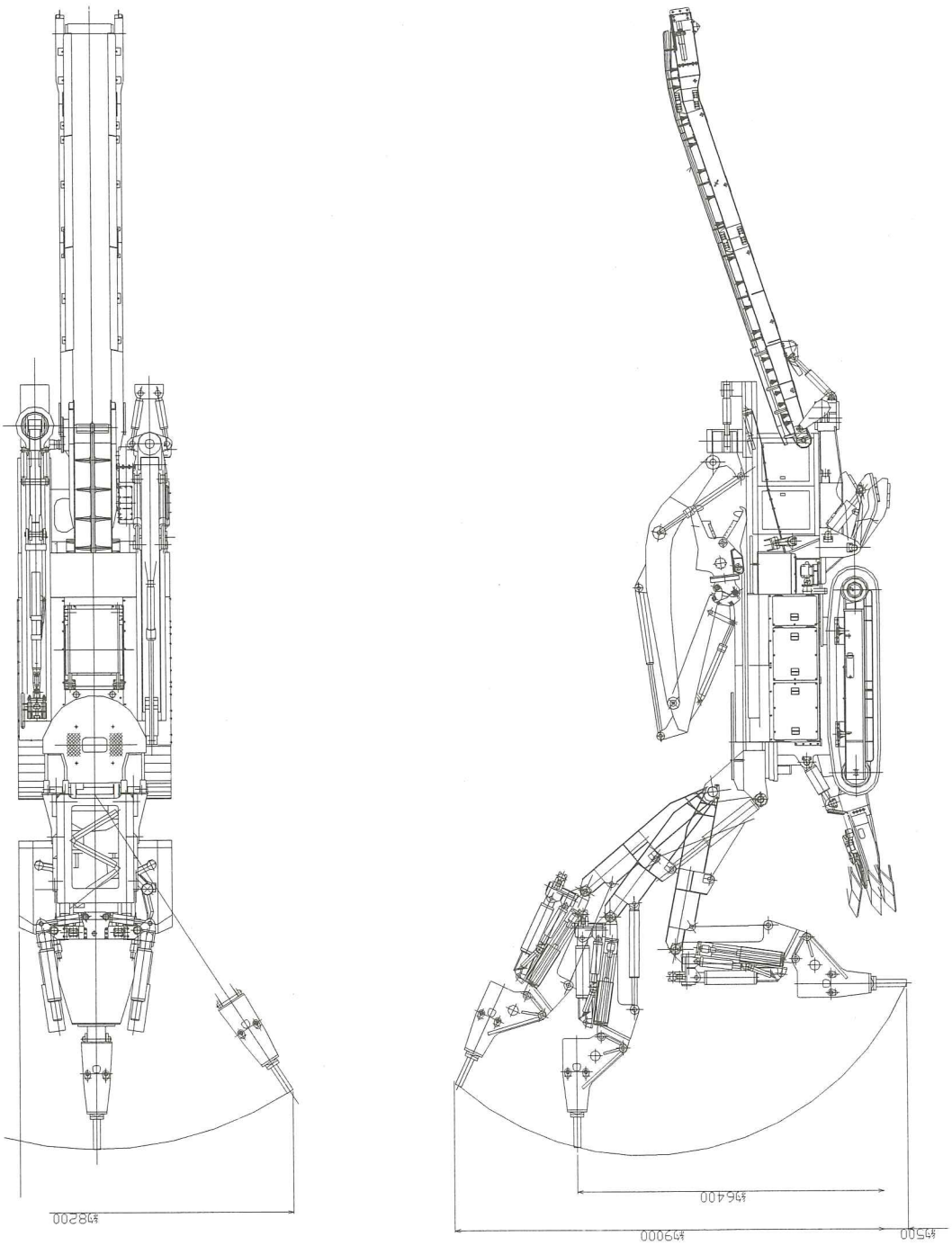


図-4.2.2　ブレーカ搭載時の平面図・側面図

４．２．２　割岩工法

（１）概要

割岩工法とは、掘削対象地山の圧縮強度が 80MPa を超過するような硬質岩盤となり、自由断面掘削機や油圧ブレーカのような単一機械掘削では困難となった場合の掘削方法である。

割岩工法の流れを以下に示す。

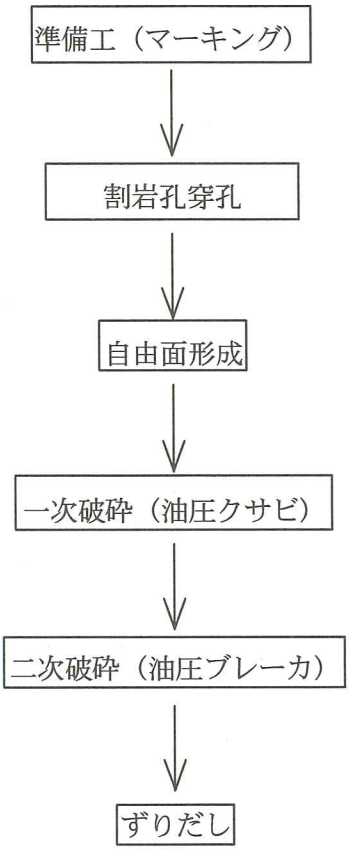


図-4.2.3　割岩工法のフロー

（2）自由面形成方法

自由面形成とは、掘削対象物の外周部および外周部に囲まれた中に連続孔を穿孔することにより、切羽を分割することを指す。この連続孔穿孔方式としては、大きく多連ドリル工法と単一孔穿孔工法に分けられる。ここでは単一孔連続穿孔工法を採用した場合を例に以下に記述する。

単一孔連続穿孔工法とは、汎用のドリルジャンボのドリフタの先端に「ＳＡＢロッド」と称するガイドロッドを取り付ける方式であるが、多連ドリル工法と比較すると以下の特長を有する。

1） ビットをＳＡＢロッドに接触・打撃させることによりビットとＳＡＢロッド間にロックブリッジが残らず、自由面の連続性が確保される。
2） 単一孔を連続的に穿孔するため、削岩機のエネルギーを穿孔のみに使用できる。更に、ＳＡＢロッドの回転によりくり粉が連行して排出され、高速施工が可能である。
3） ＳＡＢロッドが脱着可能なため、専用機を必要とせず掘削機械の削減ができる。
4） ＳＡＢロッドだけのシステムとしているため、汎用型ジャンボに取り付け可能でベースマシンを選ばない。
5） ＳＡＢロッドおよび穿孔ビット径を70～102㎜の範囲で任意に設定可能である。
6） ＳＡＢロッド芯材を厚肉鋼管パイプで被覆し、このパイプを回転可能な構造としたため、ＳＡＢロッドの消耗部品はパイプのみであり、ビットの磨耗も低減される。

図-4.2.4にＳＡＢロッドの構造図を示す。ＳＡＢロッド本体はブラケット取り付け部、芯材外管、先端コーンで構成されている。

ＳＡＢロッドは回転可能な構造となっており穿孔時の接触・打撃による抵抗を減少することにより高速穿孔が可能である。ＳＡＢロッドは、ガイドセル先端のブラケットに取り付ける方式であり、ガイドセルのスライドにより挿入・引き抜きを行う。

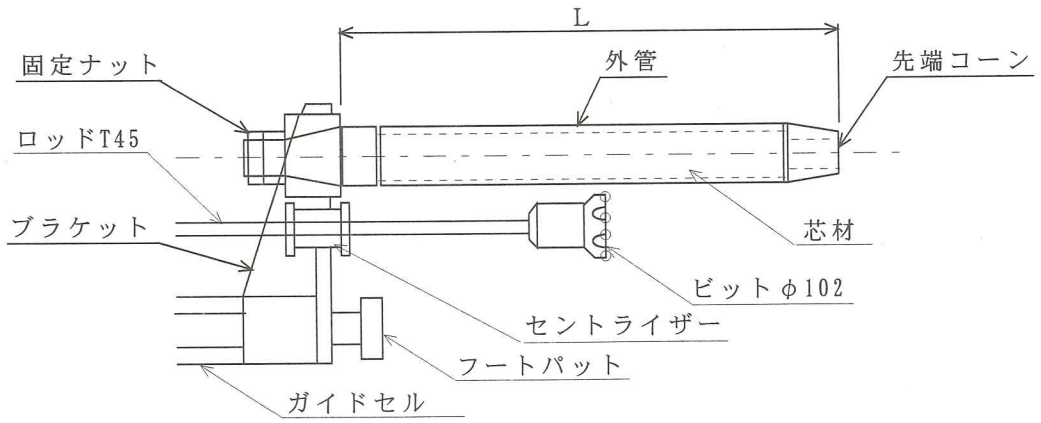
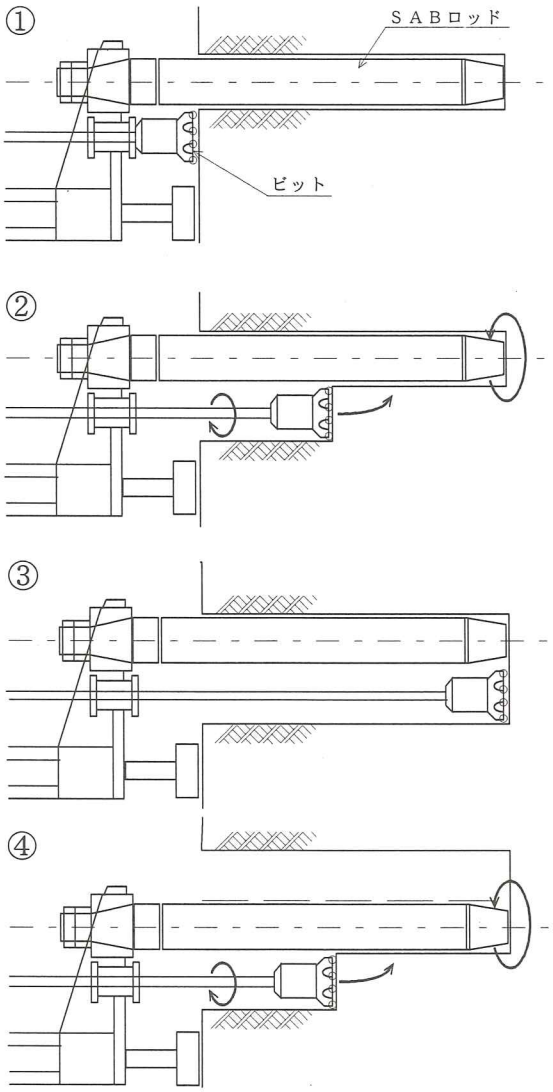


図-4.2.4　ＳＡＢロッド構造図

（3）穿孔手順

連続孔穿孔手順を以下に示す。



① 連続孔穿孔開始位置に単一孔を穿孔し、ＳＡＢロッドをガイドセルのスライドにより挿入する。

② 連続孔の穿孔を開始する。ビットはＳＡＢロッドに接触・打撃しながら穿孔するため連続性が保たれる。また、ビットの回転力によりＳＡＢロッドが回転するため、ビットとＳＡＢロッドの消耗も低減される。

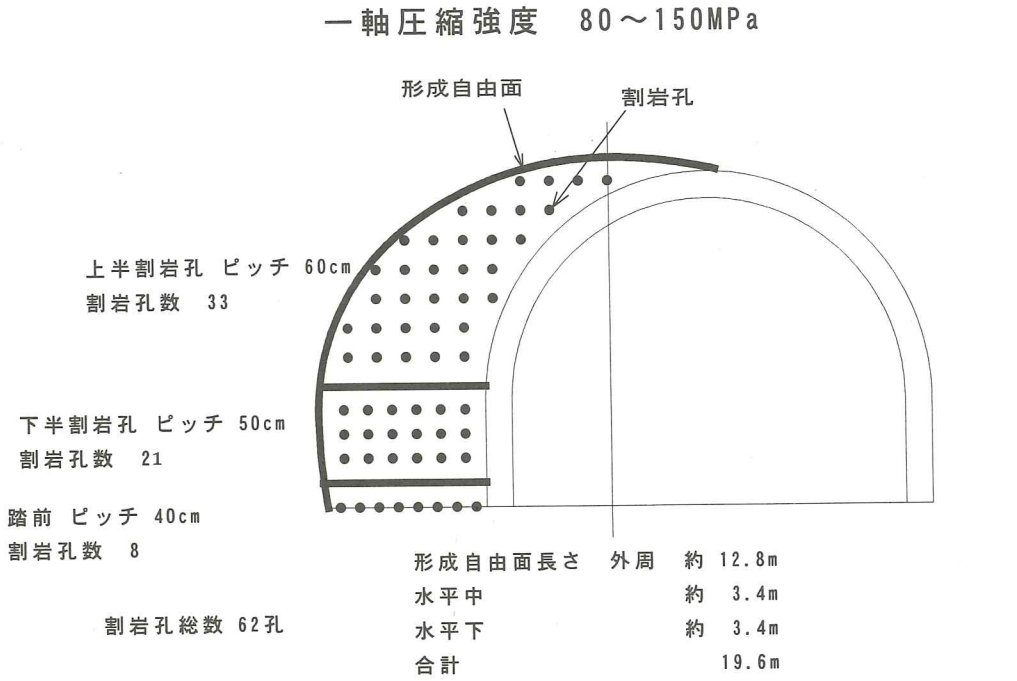
③ 所定の位置まで穿孔する。ＳＡＢロッドの回転によりくり粉が迅速に排出されるため単一孔穿孔よりも穿孔速度は速くなる。

④ ＳＡＢロッドを引き抜き、移動する。①～④の操作を順次繰り返して連続孔を穿孔することにより、スリットを形成する。

図-4.2.5　連続孔穿孔手順

（4）形成する自由面

形成する自由面は、掘削対象となる岩盤の一軸圧縮強度により異なる。想定された断面における、岩盤の一軸圧縮強度が 80～150MPa と、150～200MPa の場合の穿孔パターンを以下に示す。



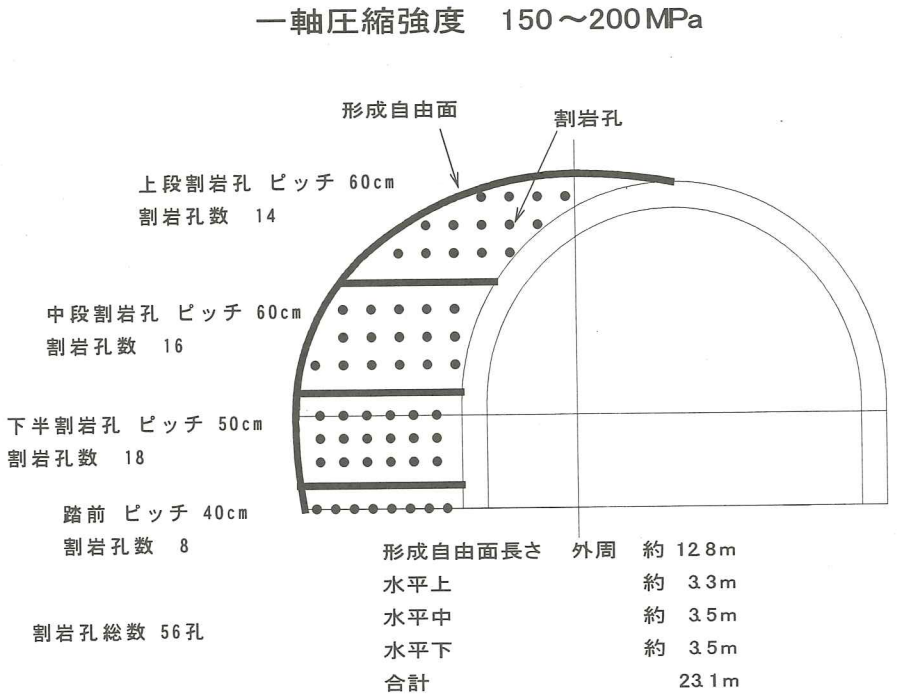


図-4.2.6　穿孔パターン

（5）一次破砕（割岩）

一次破砕には油圧クサビを用いるのが一般的である。この油圧クサビは、通常 0.4～0.7m³ 級の油圧ショベルに搭載されるため、マルチタイプ掘削機との入れ替えは方向転換坑を用いる（方向転換坑の無いような短いトンネルの場合、坑口で入れ替える）。

以下に油圧クサビについて示す。

① 油圧クサビの特長

1．機械的破砕のため騒音や振動がなく、作業環境の制約を受ける現場では非常に有利である。

2．爆破工法と比較して割れ方をコントロールすることが出来る。

3．機構が簡単なため取り扱いが容易で、高度な技術を持ったオペレータの必要がない。

② 割岩力

油圧クサビのクサビを押し出すシリンダー押力Ｆは次式でもとめられる。

$$F = \frac{\pi \times d^2 \times P}{4} = \pi \times \frac{0.2^2}{4} \times 35{,}000 = 1{,}100(kN)$$

Ｆ　：シリンダー押力（kN）

ｄ　：シリンダー径　（m）

Ｐ　：油　圧　　（kN/m²）

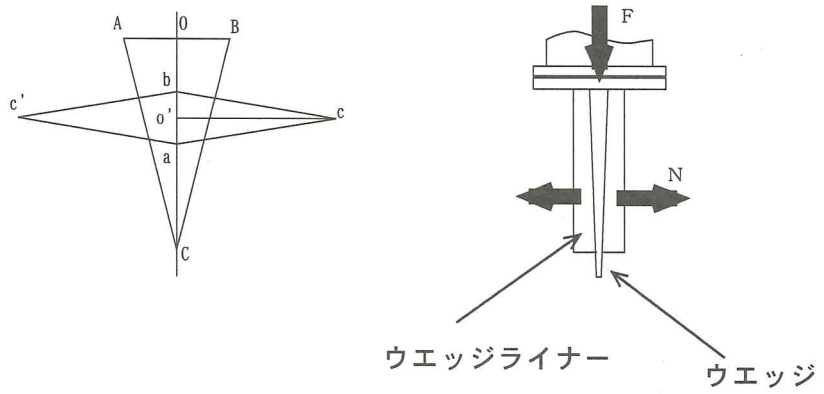


図-4.2.7　油圧クサビ概念図

図-4.2.7 より押力Ｆは ab に相当し、bc'と bc の力に分解して考える。また、割岩力Ｎは o'c に相当する。

ここで、△ABC と△abc は相似である。

よって、　$\frac{OC}{AB} = \frac{o'c}{ab}$　　より

$N = o'c = ab \times \frac{OC}{AB} = F \times \frac{OC}{AB}$　　ここで、$\frac{OC}{AB} = 20.0$　　なので

$N = o'c = 1100 \times 20.0 = 22{,}000$

ゆえに割岩力は 22,000kN となる。

ただし、ウェッジとウェッジライナーおよびパッキンによる摩擦、またシリンダの背圧等の能力低下を見込んだ場合、実質的な割岩力は約 11,000kN である。

③グリス

ウエッジ・ライナーの滑り面は、非常に高い荷重を受け高熱を発生するため、焼き付き、破損防止を目的としグリスを使用する。また、グリスは潤滑剤としても機能しておりパワーロスを防止する効果もある。耐熱、耐圧性に優れた二硫化モリブデン系割岩機専用グリスが使用されている。

グリスの塗布頻度は、破砕回数５～10 回に１回の割合で行う。また、高負荷の作業では塗布回数を多くする必要がある。

④割岩能率

表-4.2.1　割岩能率（分／回）

機　　種	トンネル油圧割岩機　YTB-1000	備　　考
岩区分 一軸圧縮強度 (MPa)	100 ⟷ 200	
１回当たり 割岩時間	2.0～2.5 分	

一回当たり標準有効割岩長＝1.0m×(70～85%)＝0.7～0.85m

１サイクル当たり割岩回数＝１進行長÷(0.7～0.85m)×１サイクル割岩孔数

（６）二次破砕

二次破砕は、マルチ掘削機に搭載したブレーカにて行う。二次破砕の時間は単純に大型ブレーカの破砕能力でなく、一次破砕の状況によって左右される。この一次破砕による破砕状況は、岩盤の一軸圧縮強度に依存する傾向にある（強度が低いほど一次破砕が容易となり、要する時間が少ない傾向にある）。

４．３　仮設計画

当工法は既設トンネル内に移動式のプロテクタを設け、一般車両が通行できる１車線を確保して拡大工事を行う。したがって、仮設を計画する場合、供用中の車両等に配慮して計画しなければならない。仮設用地についても供用中の道路等の制約を受ける。受電設備、プラント設備、給気・給水設備など通常のトンネル工事に必要な設備の配置の他、プロテクタの組立・解体方法、プロテクタ内の排水・照明や、通行規制時の安全対策について綿密な計画をたてる必要がある。

４．３．１　電力設備（受・変電、高圧配線、低圧配線）

施工に使用する機械、設備から負荷電力を決定し、負荷設備容量に応じて受・変電設備を設ける。

４．３．２　照明設備

プロテクタ外（作業ヤード側）の照明は影になる個所ができないように照明器具を配置すること。

切羽照明は投光器とする。また、供用中のトンネルの照度を確保すること。（道路管理者等と協議のこと）

４．３．３　給水設備

工事に必要なロックボルト削孔水（１台当たり約 70ℓ／分）、ロックボルトモルタル混練水、吹付けプラントの材料水、洗浄水、掘削機散水用水、洗浄用他雑用水等を供給する。水源は沢水や河川水を利用し、水槽、ポンプ、配管を使用して供給する。沢水等がない場合は水道水や、給水車等による供給とする。

４．３．４　給気設備

吹付けに必要な圧縮空気を、坑外に定置式電動コンプレッサを設置し、配管で供給する。

４．３．５　排水設備

通常は既設トンネルの排水溝を利用して行うが、路盤の盤下げで既設排水溝を撤去する時は、仮排水を設置し自然流下させる。インバート部の施工等で排水系統が遮断される箇所等はポンプ排水とし、釜場、ポンプ容量、配管等は排水量に応じて決める。

４．３．６　濁水処理設備

濁水処理設備は、吹付けプラントの排水処理、坑内排水（濁水）の処理等の必要に応じ設置する。

４．３．７　換気設備

（１）換気方式

換気は、作業区域と供用区域とを分離する方式とする。拡大工事によって既設トンネルの換気装置やその機能を損なうことがある場合は、管理者と協議し対策をとる。

坑口から送風機により新鮮な空気を送り込み、吹付けやコンクリート取壊し時に切羽で発生する粉じんは、切羽先方に設置したブロアーで吸出す方式とする。排気は、粉じんを集じん機で処理して既設トンネル内へ放出するか、風管で坑外まで導き放出する。

（２）換気設備例

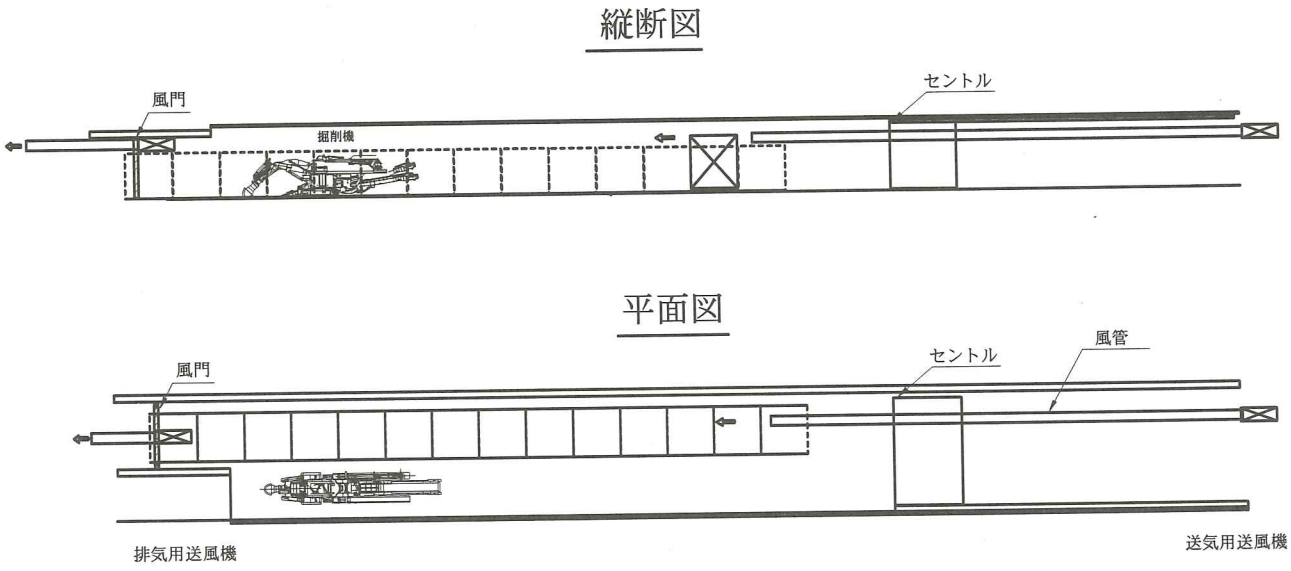


図-4.3.1　換気設備例

４．３．８　プロテクタ等組立・解体ヤード

プロテクタ、シート台車、セントル、マルチ掘削機の組立ヤードを発進側坑口付近に、解体ヤードを到達側坑口付近に確保する。これらの設備は直線的に坑内へ出し入れしたいため、別途車線を切回して坑口付近にヤードを確保するのを標準とする。

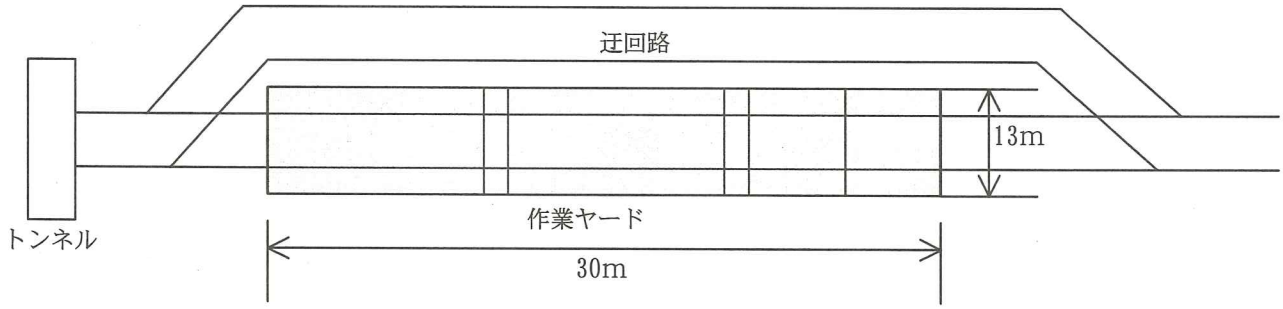


図-4.3.2　組立・解体ヤード例

（1）プロテクタ組立ヤード

当工法の場合、プロテクタが移動式であり、自走のための軌条を設置すること、および１ブロックの長さが 10m と長く低床台車架台での運搬が容易でないことなどから、１ブロック毎に組立てたものを坑内へ引込むものとする。この時一般車両の通行帯を横断する時は通行止めとする。

組立ヤードとしては、資材仮置場、地組ヤード、１ブロック組立スペース、クレーン設置スペースが必要である。（約 7m×約 30m）

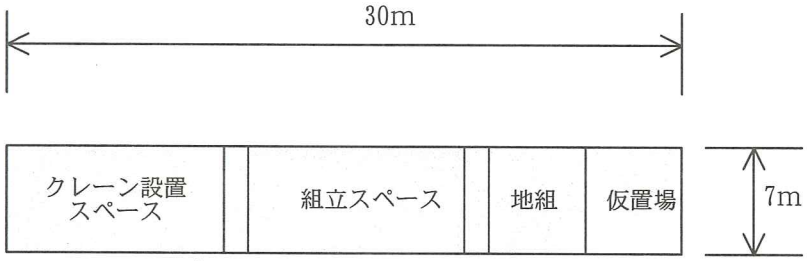


図-4.3.3　プロテクタ組立ヤード例

（2）プロテクタ解体ヤード

プロテクタの解体は、到達側坑口において、組立と同様に１ブロックづつ引き出して解体する。

（3）シート台車、セントルの組立・解体ヤード

シート台車やセントルも坑口の仮設ヤードで組立てたものを引き込む。セントルは門型の架台に足場や、櫛形を取付ける構造とし、門型の架台自体がプロテクタとなるようにしておく。仮設ヤードで架台を組立てた後坑内へ引込む。この時一般車両の通行帯を横断する時は通行止めとする。解体は到達側坑口において引き出してヤードで行う。（約 10m×約 30m）

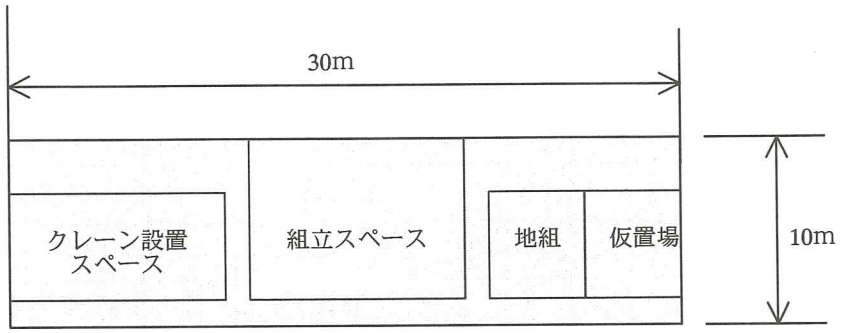


図-4.3.4　シート台車、セントルの組立・解体ヤード例

（4）マルチタイプ掘削機の組立・解体ヤード

マルチタイプ掘削機は、総重量が約 95 トン程度あり、工場から現場までは、本体、主ブーム、コンベヤ、アタッチメント等に分解して搬入する。組立は坑口の仮設ヤード（約 10m×約 30m）で行う。また、解体は到達側坑口で行い搬出する。

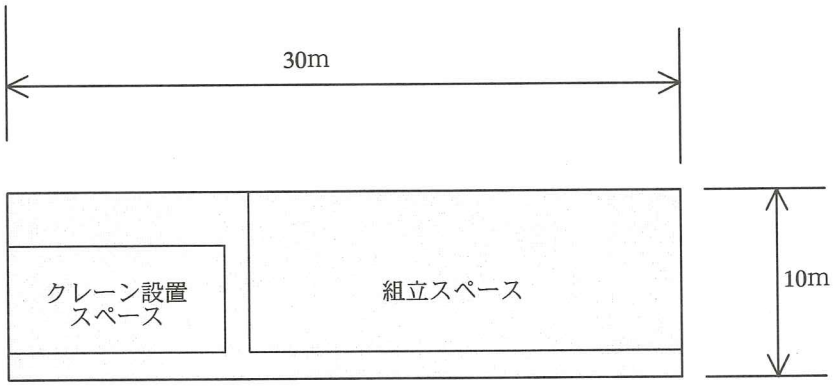


図-4.3.5　マルチタイプ掘削機の組立・解体ヤード例

４．３．９　仮設備配置計画

新設のトンネル工事では仮設備を坑口付近のヤードに配置する場合が多い。活線下でのトンネル拡大では、供用する車線があるため、坑口付近に集中して設置できない場合がある。給水設備、排水設備、吹付けプラント等は坑口から距離があっても支障がない。

表-4.3.1　坑外仮設備例

坑外仮設備例

仮設備名	機器名	仕　様	大きさ（m）	摘　要
受・変電設備	ｷｭｰﾋﾞｯｸﾙ		5.4×5.4	
給水設備	給水ポンプ		1.8×1.8	
	貯水槽	20m^{3}水槽	2.7×3.6	
給気設備	ｺﾝﾌﾟﾚｯｻｰ		4.5×5.4	
吹付ﾌﾟﾗﾝﾄ設備	ﾊﾞｯﾁｬｰﾌﾟﾗﾝﾄ	25m^3/Hｸﾗｽ	8.0×17.0	
	ｾﾒﾝﾄｻｲﾛ	30t	4.0×4.0	
換気設備	送風機		2.0×8.0	坑口付近
濁水処理設備			10.0×20.0	
資材置場			10.0×20.0	
機器組立ヤード			10.0×30.0	坑口付近
仮建物	修理工場		5.4×5.4	２階建て可
	器材倉庫		5.4×7.2	
	休憩所		5.4×7.2	
	現場見張り所		3.6×3.6	

５．要素技術

５．１　マルチタイプ掘削機

５．１．１　機械の概要

マルチタイプ掘削機は自由断面掘進機をベースとして、トンネルの拡幅施工に関わる掘削、ずり出し、支保工建込み、コンクリート吹付け、ロックボルト打設、および既設覆工取り壊しの作業を機械の入れ替えを行うことなく施工し、サイクルタイムの大幅な短縮を実現するべく検討した機械である。

また、切削部はドラム方式と油圧ブレーカ方式の２種類を選択、交換できる構造とすることにより、工法の変更にも迅速に対応することが可能である。（詳細は４．２節、硬岩時の対応を参照）

図-5.1.1 にマルチタイプ掘削機の正面図、図-5.1.2 に平面図・側面図を示す。

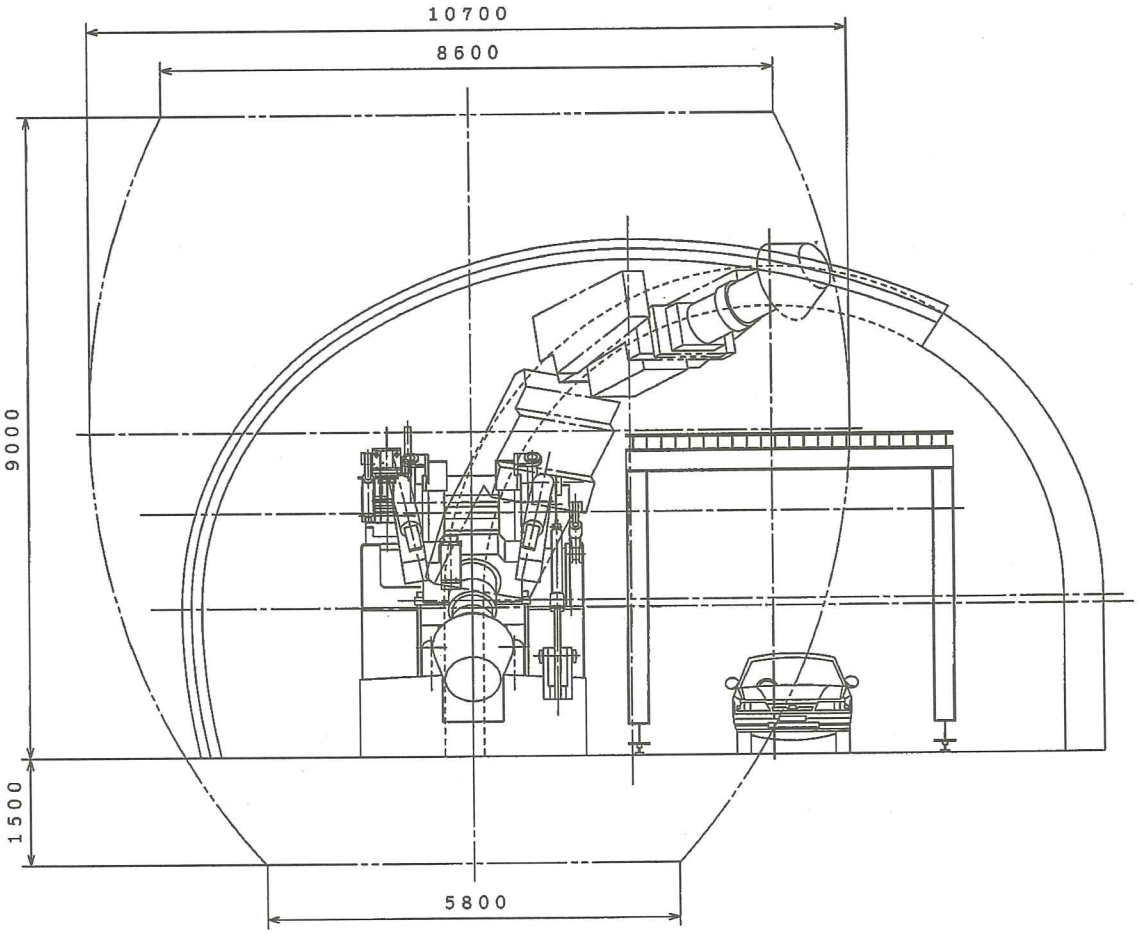


図-5.1.1　マルチタイプ掘削機正面図

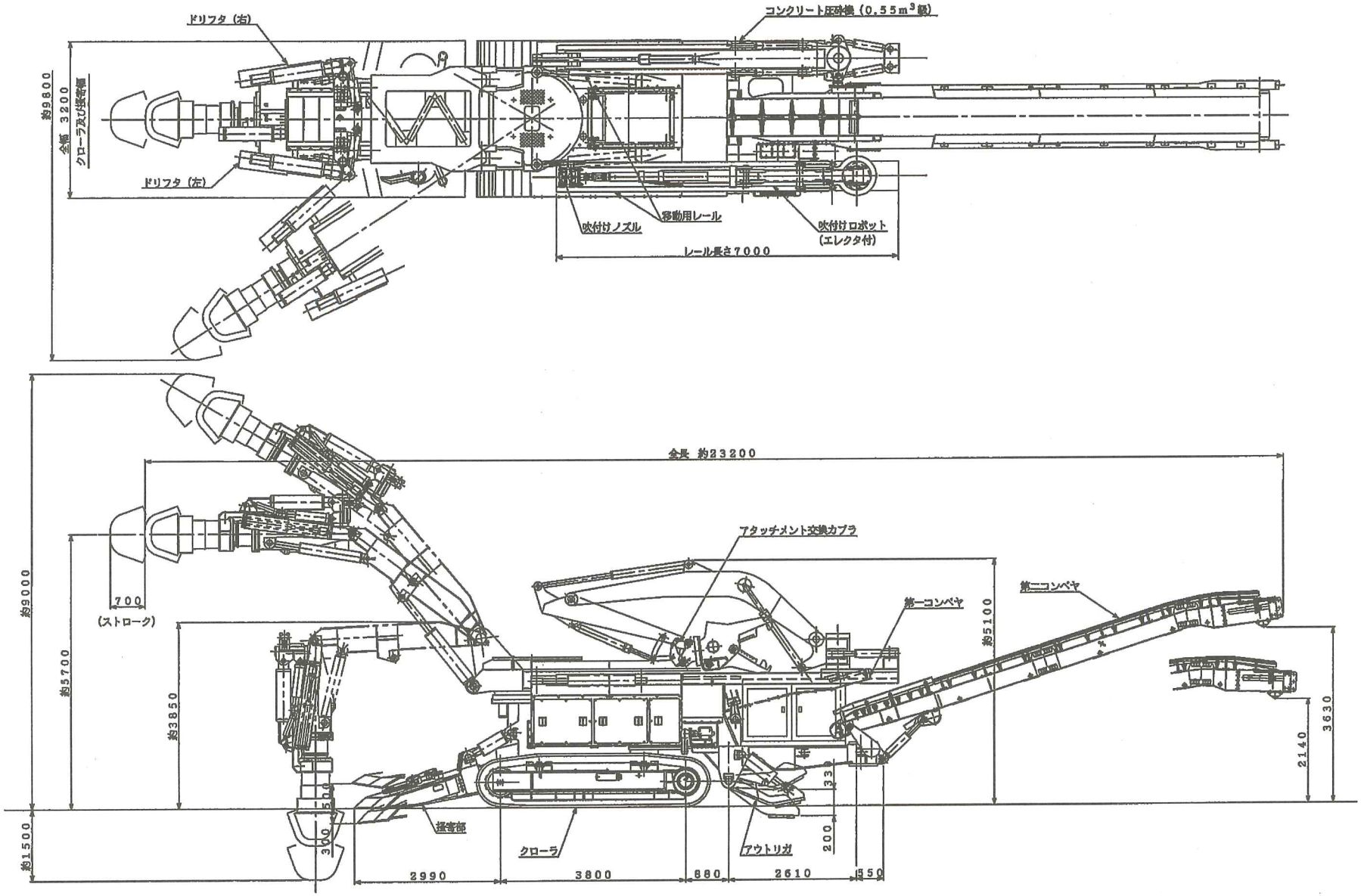


図-5.1.2　マルチタイプ掘削機平面図・側面図

５．１．２　施工方法および機械の構造

（１）掘削、ずり出し

掘削はマルチタイプ掘削機の機体前部に搭載のドラム式切削部、または油圧ブレーカ式切削部にて行い、併行して機体下部に搭載の掻寄部、および機体中央に搭載の第１、第２コンベヤにより後方へずりを搬出する。ふまえ部等、掻寄部にて取りきれないずりについては、機体上部右側に搭載のバケットを併用することにより掻寄部付近までずりを引き寄せ、同掻寄部にてずりを搬出する。

なお、バケットについてはアタッチメント交換カプラによりコンクリート圧砕機と簡単に交換できる構造となっている。

図-5.1.3 にバケット稼働時の正面図、図-5.1.4 に側面図を示す。

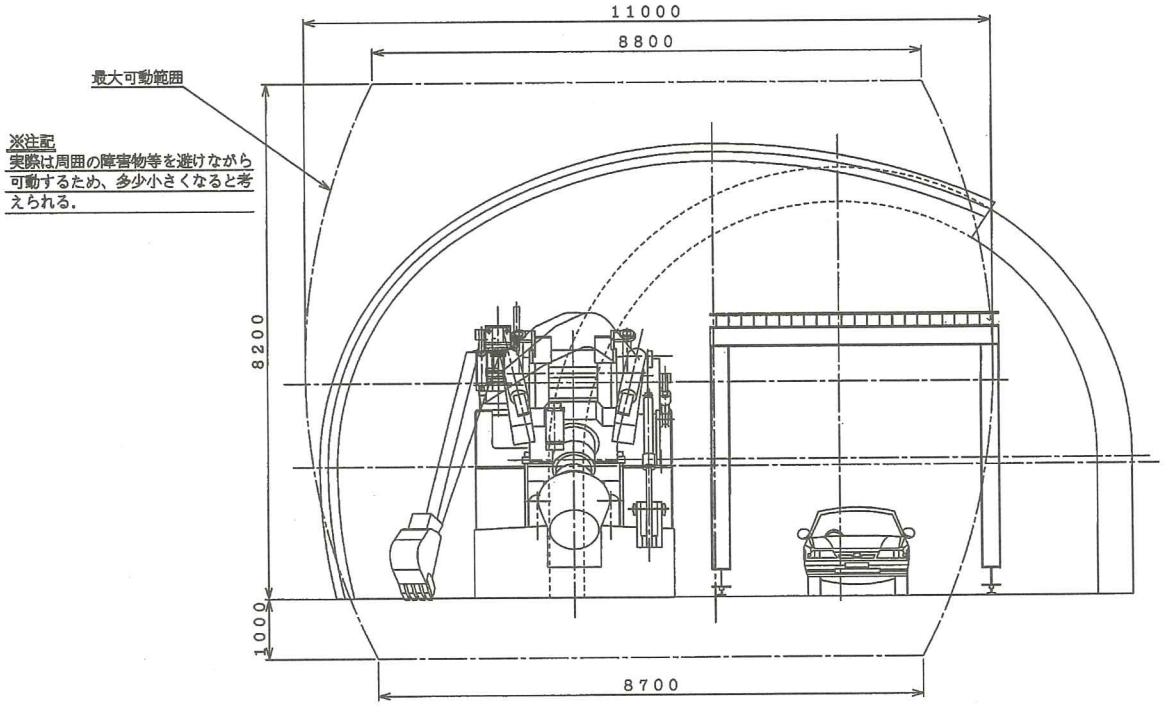


図-5.1.3　バケット稼働時の正面図

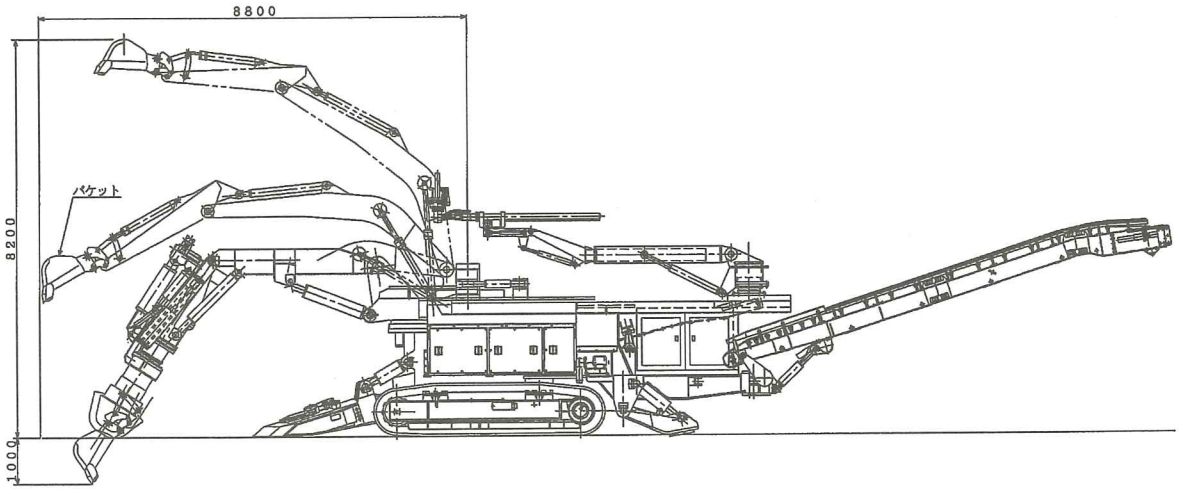


図-5.1.4　バケット稼働時の側面図

（2）支保工建込み、コンクリート吹付け

支保工建込みはマルチタイプ掘削機の機体上部左側に搭載のエレクタにて行う。

また、同エレクタの側部にはコンクリート吹付けノズルが着脱可能に備えられており、コンクリート吹付け時は吹付けノズルに機体後方から別途供給のコンクリートホースを取り付け、吹付けを行う。

図-5.1.5 にエレクタおよびコンクリート吹付けノズル稼働時の正面図、図-5.1.6 に側面図を示す。

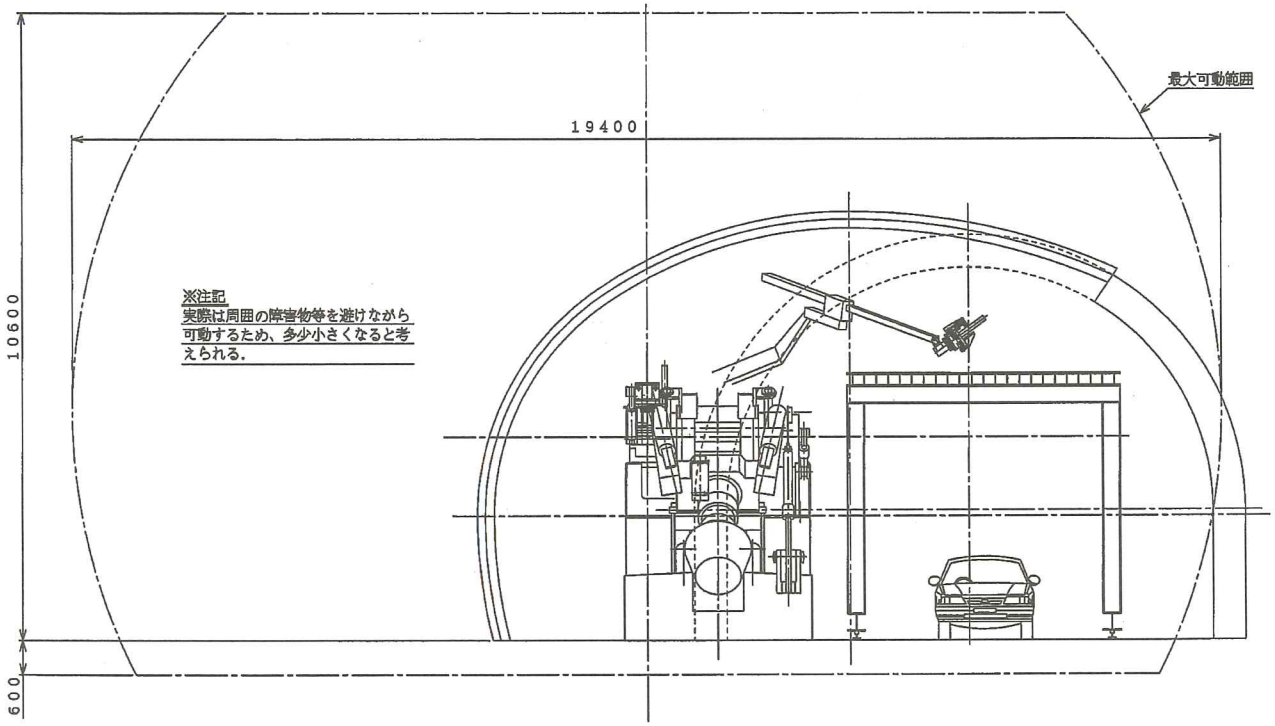


図-5.1.5　エレクタおよびコンクリート吹付けノズル稼働時の正面図

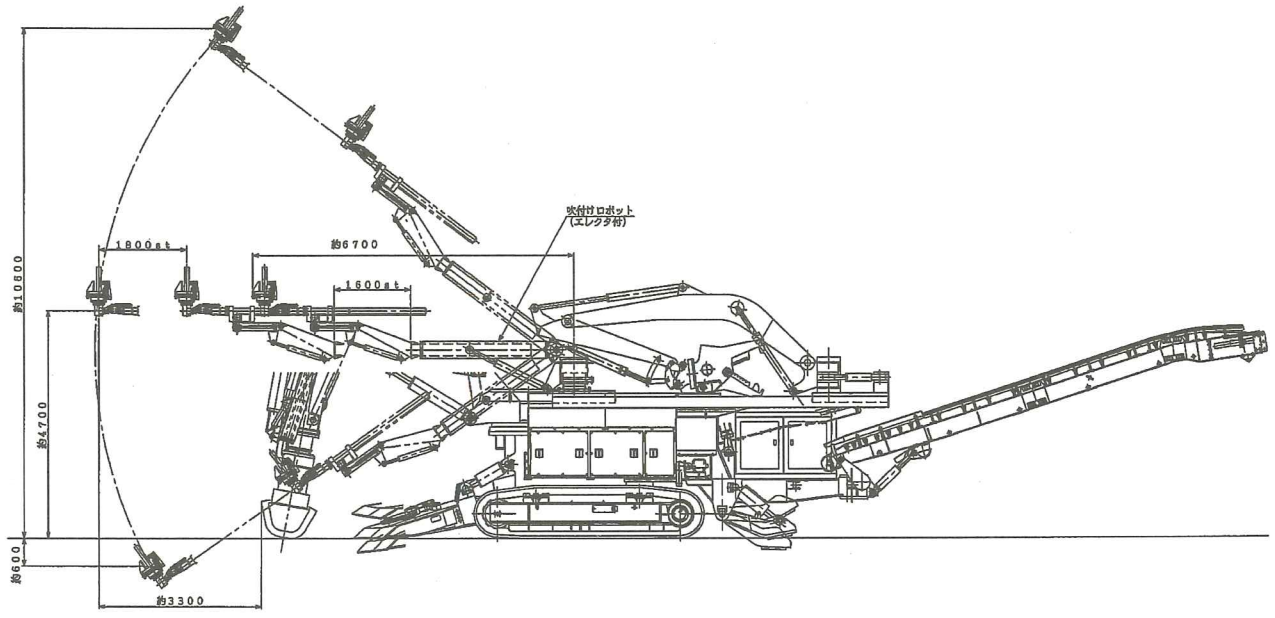


図-5.1.6　エレクタおよびコンクリート吹付けノズル稼働時の側面図

（3）ロックボルト打設

ロックボルト打設はマルチタイプ掘削機の切削部左右に搭載のドリフタにて行う。

なお、ドリフタについてはガイドセル部が伸縮可能な構造となっているため、未使用時は切削部側面にコンパクトに収納することが可能であり、他の作業に対する空間的な影響を軽減することができる。

また、同ガイドセルの伸縮により狭隈部におけるロックボルトの打設へも対応可能である。

図-5.1.7にドリフタ稼働時の正面図、図-5.1.8に側面図を示す。

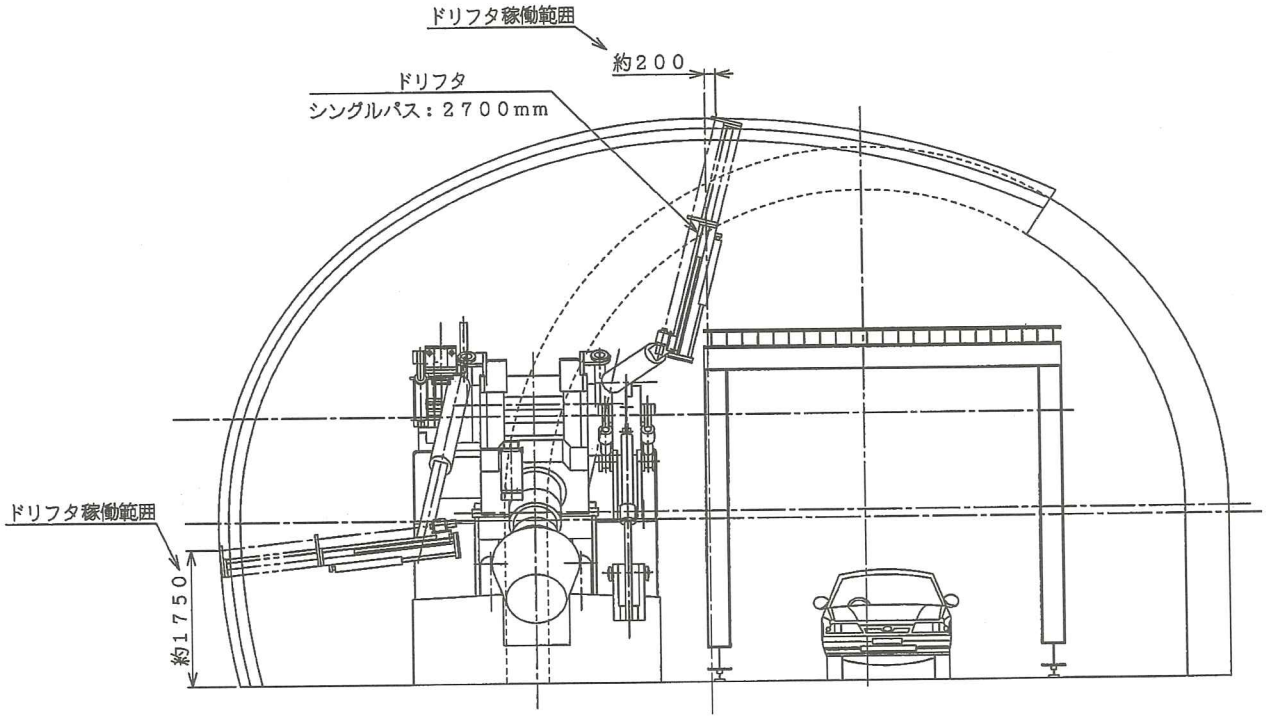


図-5.1.7　ドリフタ稼働時の正面図

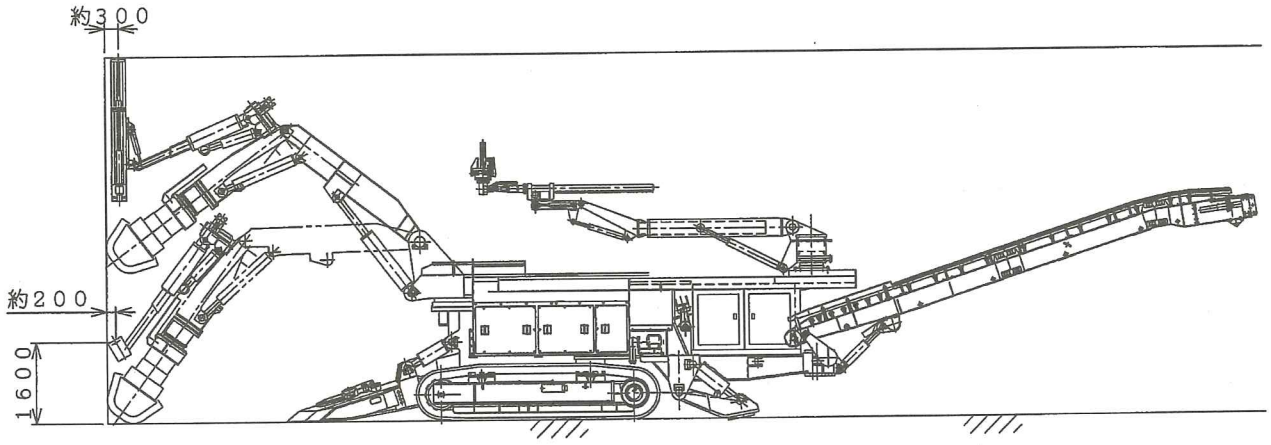


図-5.1.8　ドリフタ稼働時の側面図

（4）既設覆工取り壊し

既設覆工を取り壊す際は、マルチタイプ掘削機の機体上部右側に搭載のコンクリート圧砕機により行い、破砕したコンクリートガラ等は機体後方へと排出する。

なお、コンクリート圧砕機についてはアタッチメント交換カプラによりバケットと簡単に交換できる構造となっている。

図-5.1.9 にコンクリート圧砕機稼働時の正面図、図-5.1.10 に側面図を示す。

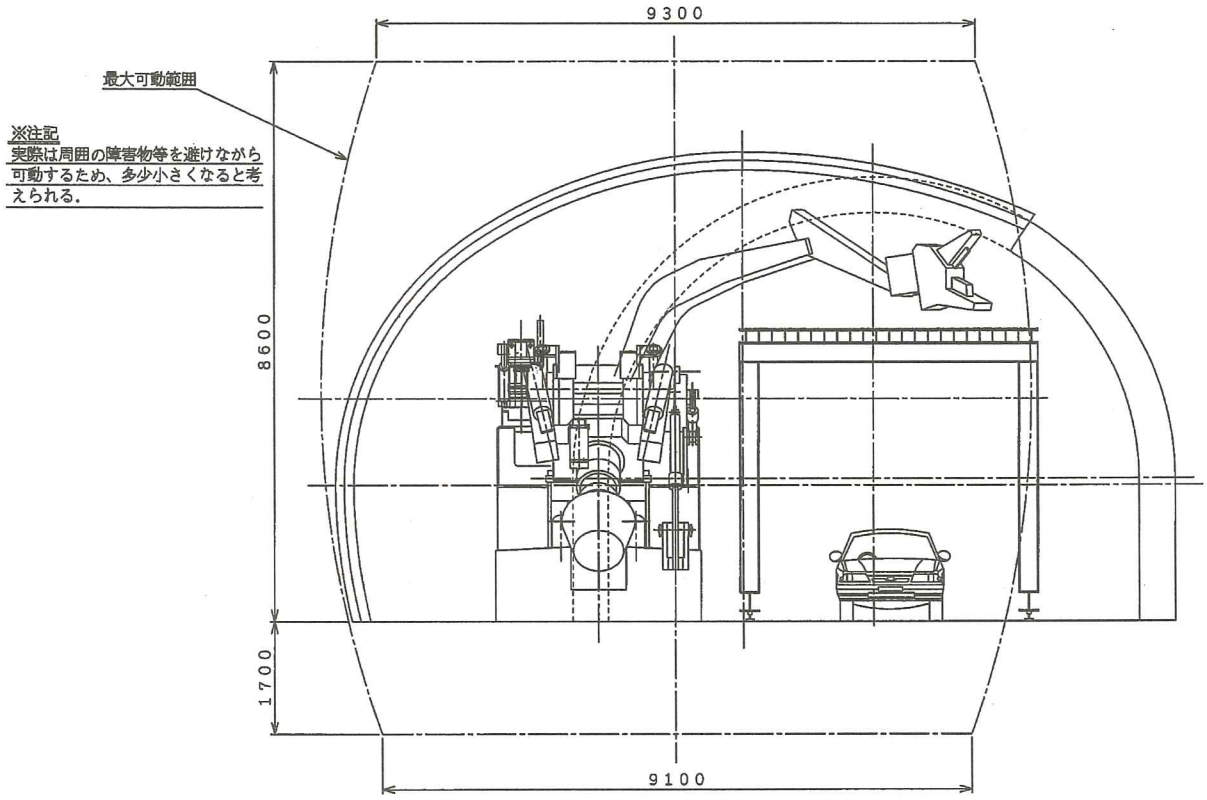


図-5.1.9　コンクリート圧砕機稼働時の正面図

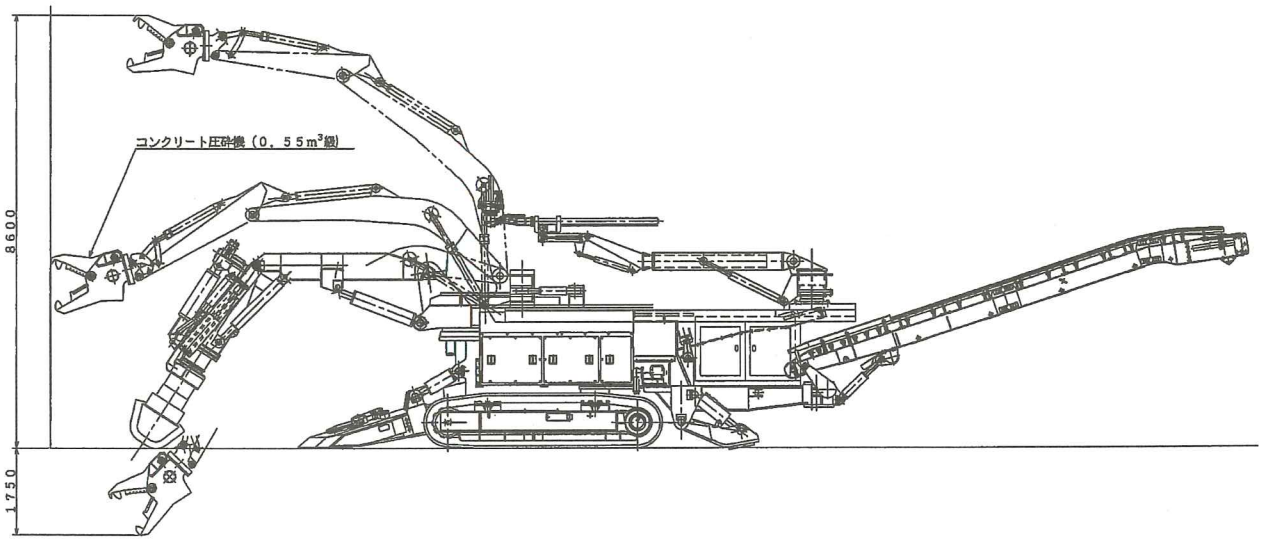


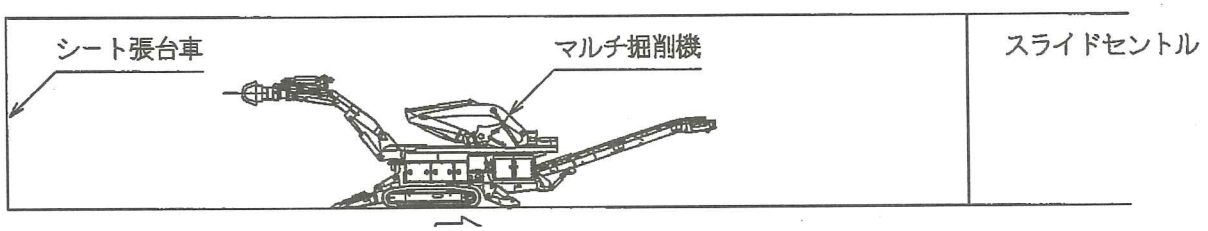
図-5.1.10　コンクリート圧砕機稼働時の側面図

5．1．3　切削部の交換方法

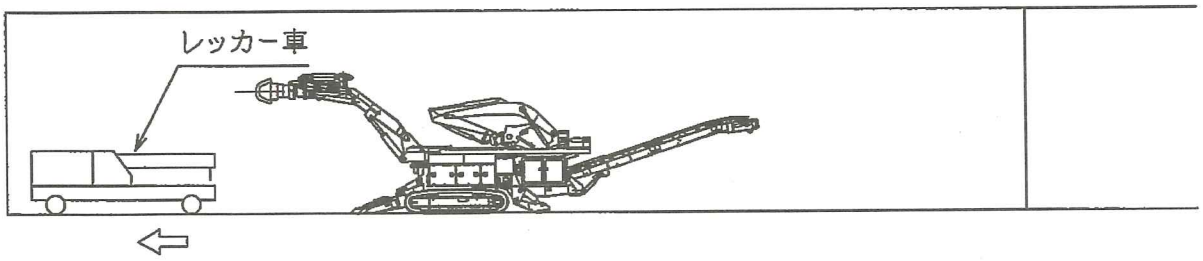
マルチタイプ掘削機の切削部は、工法に応じてドラム方式と油圧ブレーカ方式の２種類を交換できる構造となっている。

以下に切削部の交換方法について示す。（ドラム方式より油圧ブレーカ方式へと交換する場合）

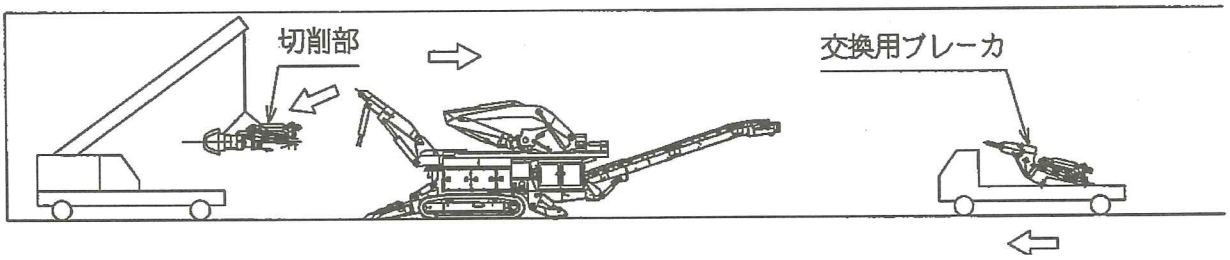
（1）　マルチタイプ掘削機をシート張り台車とスライドセントルの間まで後退させる。



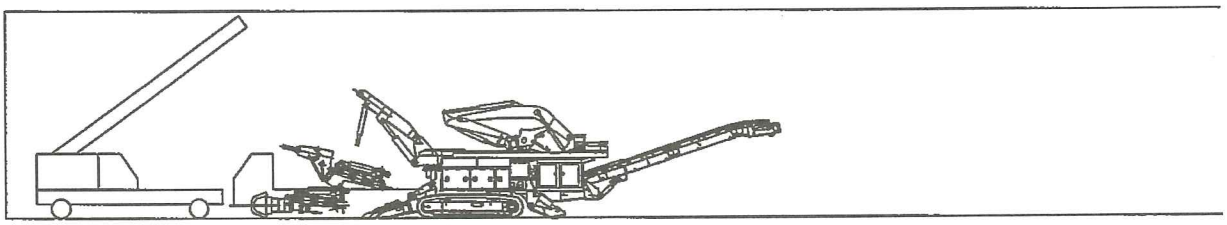
（2）プロテクタ内の一時全面通行止めを行い、切削部吊り卸し用レッカ車をマルチタイプ掘削機前方まで移動させる。



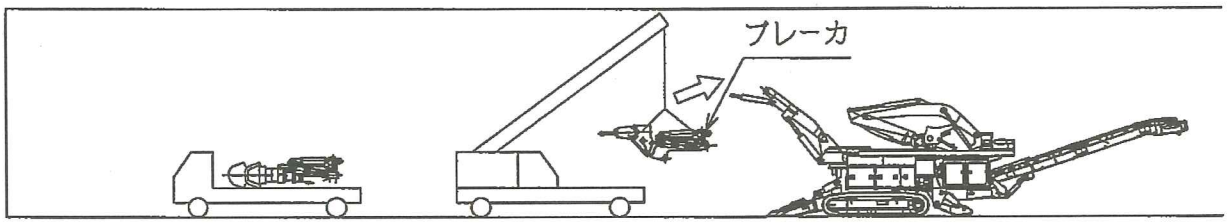
（3）レッカ車にてドラム方式切削部を取り外し、仮置きする。



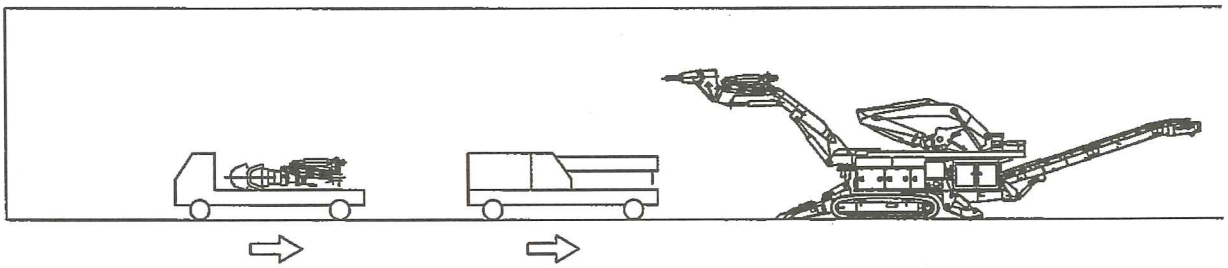
（4）上記と併行して、交換用のブレーカ方式切削部をトラックにてマルチタイプ掘削機前方側面へ移動させる。



（5）取り外したドラム方式切削部とブレーカ方式切削部を積み替え、ブレーカ方式切削部をマルチタイプ掘削機に取り付ける。



（6）ブレーカ方式切削部の取り付け終了後、トラックおよびレッカ車を坑外へ搬出し、マルチタイプ掘削機を切羽へ移動、掘削再開する。



なお、ブレーカ方式切削部よりドラム方式切削部へ交換する場合も同様の手順にて行う。

5．1．4　主要仕様

表-5.1.1 にマルチタイプ掘削機の主要仕様を示す。

表-5.1.1　マルチタイプ掘削機の主要仕様（ドラム方式切削部時）

機体寸法	全長23.2m × 全幅3.2m × 全高5.1m
全備質量	約95ton
切削電動機	200/110kW - 4/8P
ドラム回転数	高速　46/55min-1 - 50/60Hz
	低速　23/28min-1 - 50/60Hz
ドラム伸縮量	700mm
油圧ブレーカ	2ton級
走行速度	高速　12.5/15.0m/min - 50/60Hz
	低速　6.3/ 7.5m/min - 50/60Hz
接地圧	0.14MPa
掻寄腕回転数	31/36min-1 - 50/60Hz
第１コンベヤ速度	36/43min-1 - 50/60Hz
第２コンベヤ速度	61/73min-1 - 50/60Hz
第２コンベヤ電動機	5.5kW - 4P
油圧用電動機	90kW - 4P
高圧水装置	圧力10MPa × 水量20L/min
供給電圧	400/440V - 50/60Hz

５．２　プロテクタ

５．２．１　プロテクタ内空断面

拡幅施工中に設置するプロテクタは、１車線交互通行に対応した幅４ｍ・高さ４ｍとし、歩道は設けていない。

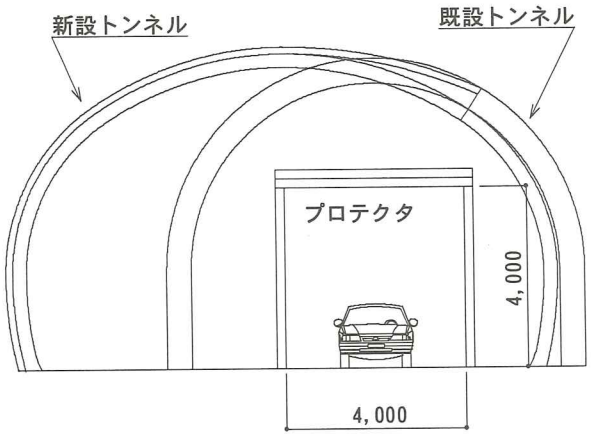


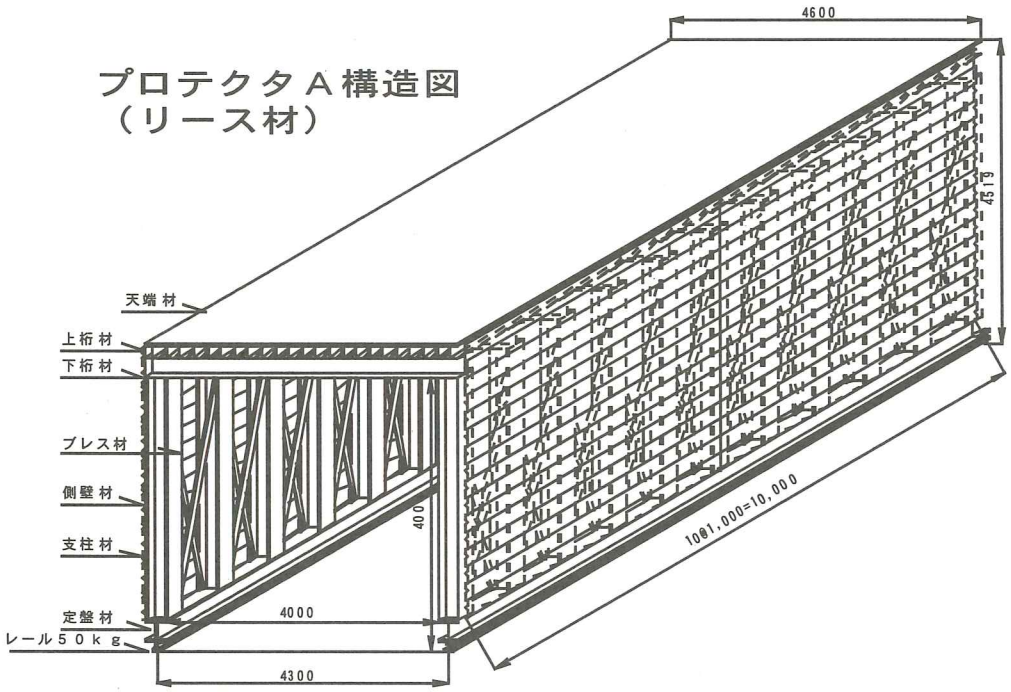
図-5.2.1　プロテクタ標準断面図

５．２．２　プロテクタの種類

プロテクタは、設置位置と必要な強度に応じ、Ａ（切羽部）、Ｂ（シート台車稼働部）、Ｃ（中間部）の３種類に区分する。

＜プロテクタＡ（切羽部、Ｌ＝30m）＞

プロテクタＡは、最も重構造で、切羽前方 10mから後方 20mまでの 30m区間に設置する。切羽付近では、拡幅断面の掘削や既設覆工コンクリートの撤去などが行われており、岩塊やコンクリート塊などが落下する可能性があるため、プロテクタはこれらの衝撃に耐えうる強度とする。（図-5.2.2）

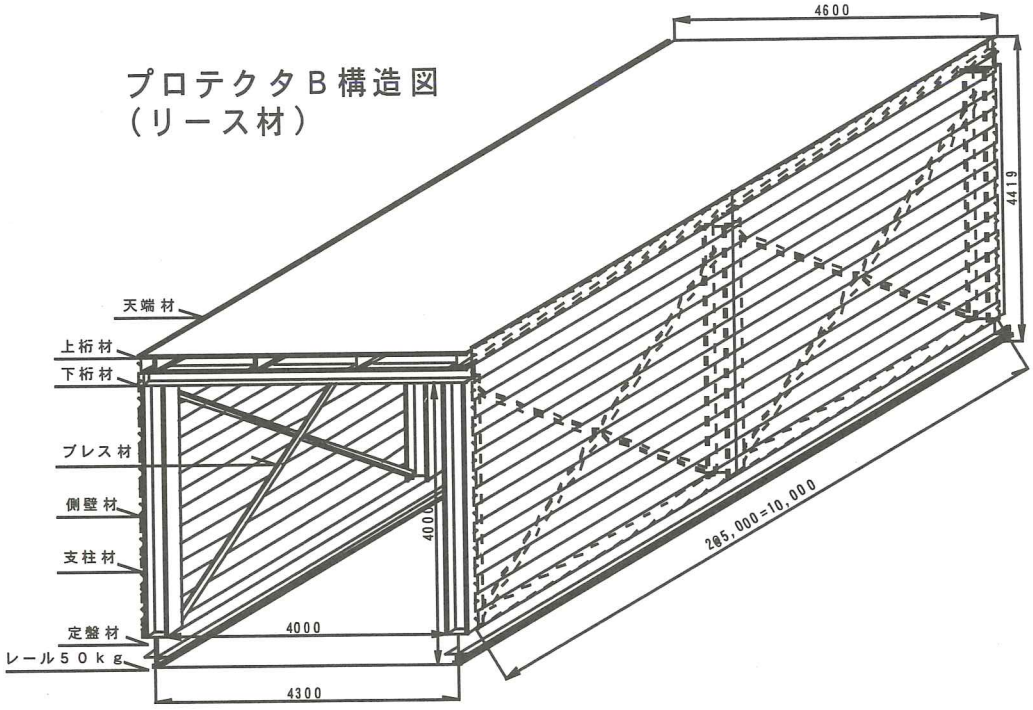


上桁材	Ｈ－200×200×８×12	L= 5.0m	４６本	リース	11.5t
下桁材	Ｈ－300×300×10×15	L= 4.6m	１１本	購　入	4.7t
支柱材	Ｈ－300×300×10×15	L= 3.6m	２２本	購　入	7.4t
定盤材	Ｈ－300×300×10×15	L=10.0m	２本	リース	1.9t
ブレス材	Ｌ－75×75× ６	L= 4.5m	２０本	購　入	0.6t
天端材	鉄板（ｔ＝19mm）	1.2×2.4m	１８枚	リース	8.0t
側壁材	軽量鋼矢板（ＬＳＰ－２）	L= 5.0m	６４本	リース	3.8t
合　計					37.9t

図-5.2.2　プロテクタＡ構造図

＜プロテクタＢ（シート台車稼働部、Ｌ＝30m）＞

プロテクタＢは、一連のプロテクタユニットの最後尾に設置され、二次覆工用シートの設置に用いるシート台車の荷重に耐えうる構造となっている。シート台車の移動範囲を考慮し、延長は30mとする。(図-5.2.4)

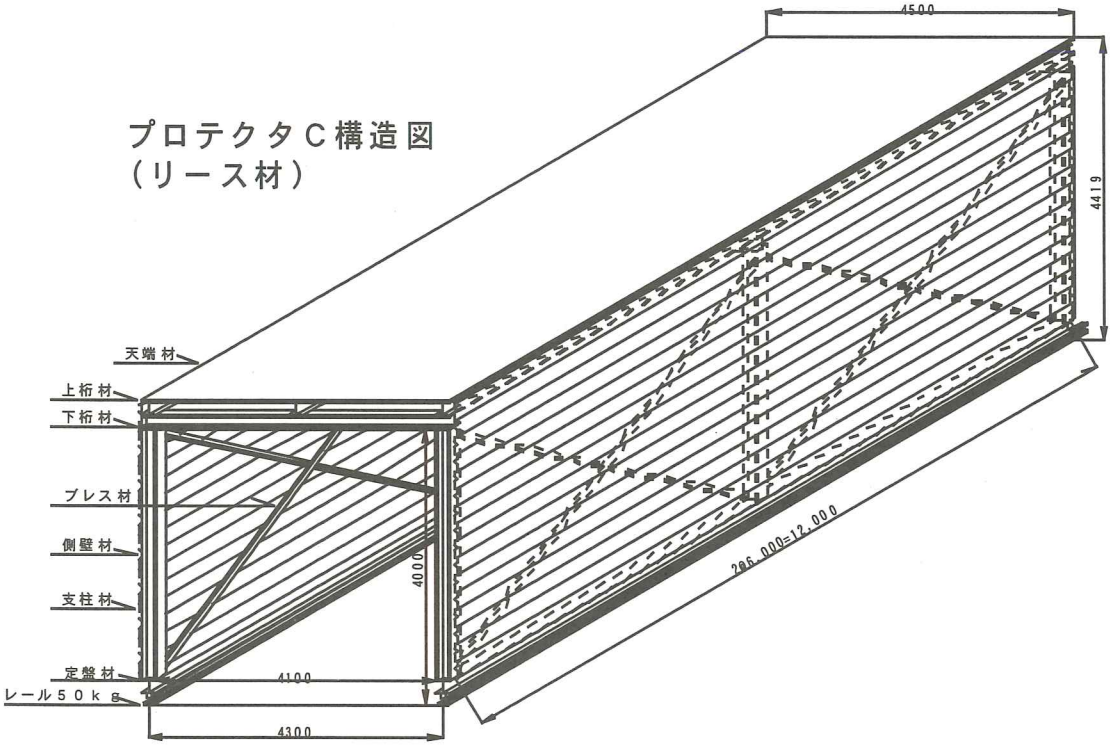


上桁材	Ｈ－200×200×８×12	L= 5.0m	８本	リース	2.0t
下桁材	Ｈ－200×200×８×12	L= 4.5m	３本	リース	0.7t
支柱材	Ｈ－300×300×10×15	L= 3.6m	６本	購　入	2.0t
定盤材	Ｈ－300×300×10×15	L=10.0m	２本	リース	1.9t
ブレス材	Ｌ－120×120×８	L= 6.5m	８本	購　入	0.8t
天端材	鉄板（ｔ＝19mm）	1.2×2.4m	１８枚	リース	8.0t
側壁材	軽量鋼矢板（ＬＳＰ－２）	L= 5.0m	６４本	リース	4.7t
合　計					20.1t

図-5.2.3　プロテクタＢ構造図

＜プロテクタＣ（中間部、標準長Ｌ＝72m）＞

プロテクタＣは、一次覆工完了から防水シート設置までの間、工事施工部分と一般車両通行部の間仕切りのために設置する。特に荷重や衝撃を受ける部分ではないため、必要最低限の軽微な構造とする。(図-5.2.4)



上桁材	Ｈ－200×200×８×12	L= 6.0m	６本	リース	1.8t
下桁材	Ｈ－200×200×８×12	L= 4.5m	３本	リース	0.7t
支柱材	Ｈ－200×200×８×12	L= 3.7m	６本	購　入	1.1t
定盤材	Ｈ－200×200×８×12	L= 6.0m	４本	リース	1.2t
ブレス材	Ｌ－130×130×９	L= 7.5m	８本	購　入	1.1t
天端材	鉄板（ｔ＝19mm）	1.5×3.0m	１２枚	リース	8.3t
側壁材	軽量鋼矢板（ＬＳＰ－２）	L= 6.0m	６４本	リース	5.7t
合　計					19.9t

図-5.2.4　プロテクタＣ構造図

５．２．３　設置範囲

プロテクタ設置範囲は、切羽での掘削作業施工位置から二次覆工用防水シート施工位置までとし、総延長は切羽前方10mより後方120mまでの合計130mを標準とする。ただし、トンネル延長が120m未満の場合には、プロテクタＣ（後述）の長さで調整を行い、総延長はトンネル延長＋10mを標準とする。（表-5.2.1・図-5.2.5参照）

表-5.2.1　トンネル延長別プロテクタ数量表例

トンネル延長	A	B	C	総延長
50m	30m	30m	0m	60m
100m	30m	30m	60m	120m
200m	30m	30m	72m	132m

５．２．４　設置期間

プロテクタの設置期間は、坑口付けから覆工の打設が完了までとなる。したがって、全体工期から掘削・覆工以外の期間（準備工・坑門工・片付け工）を除いた期間がプロテクタ設置期間となる。

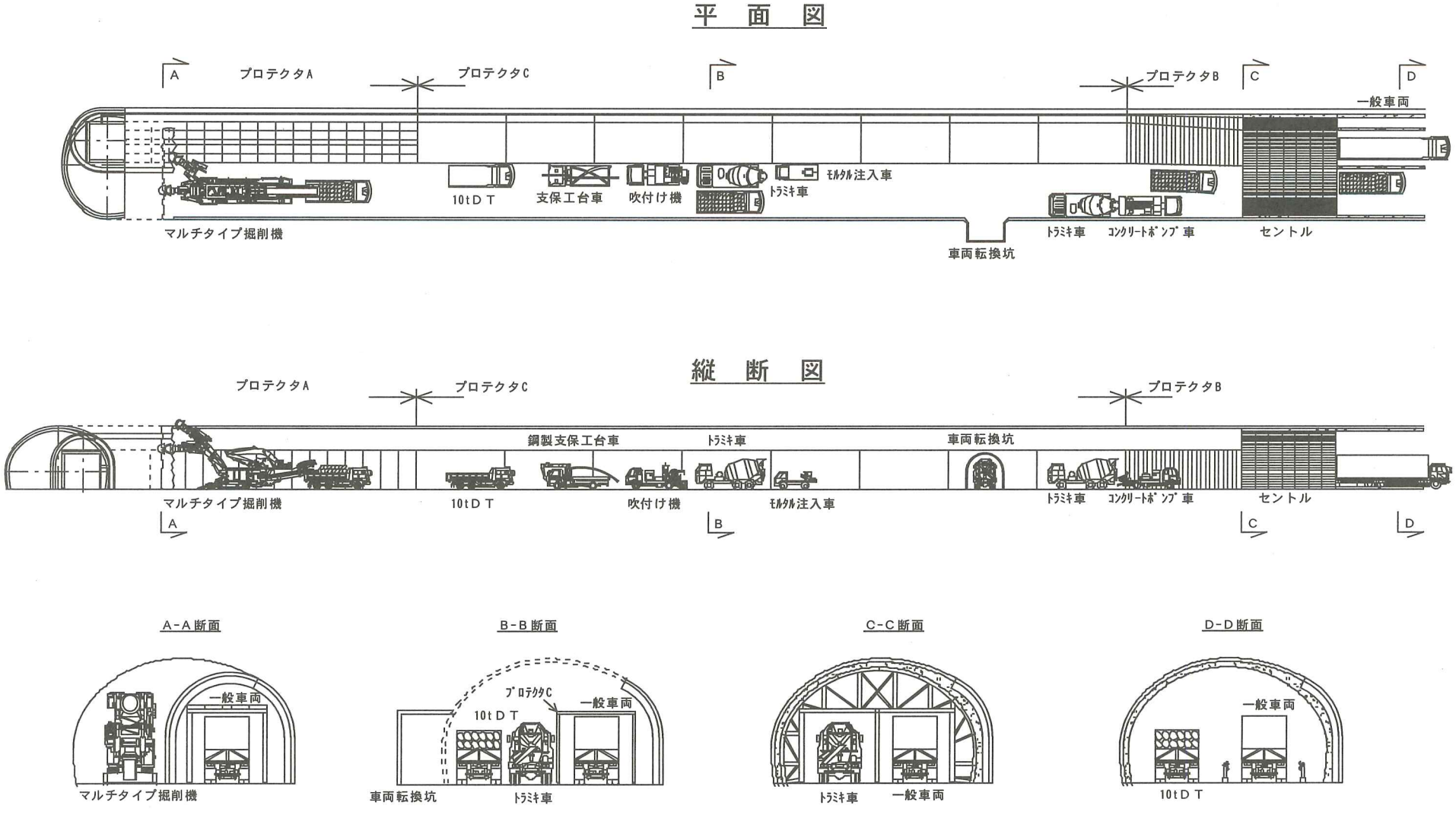
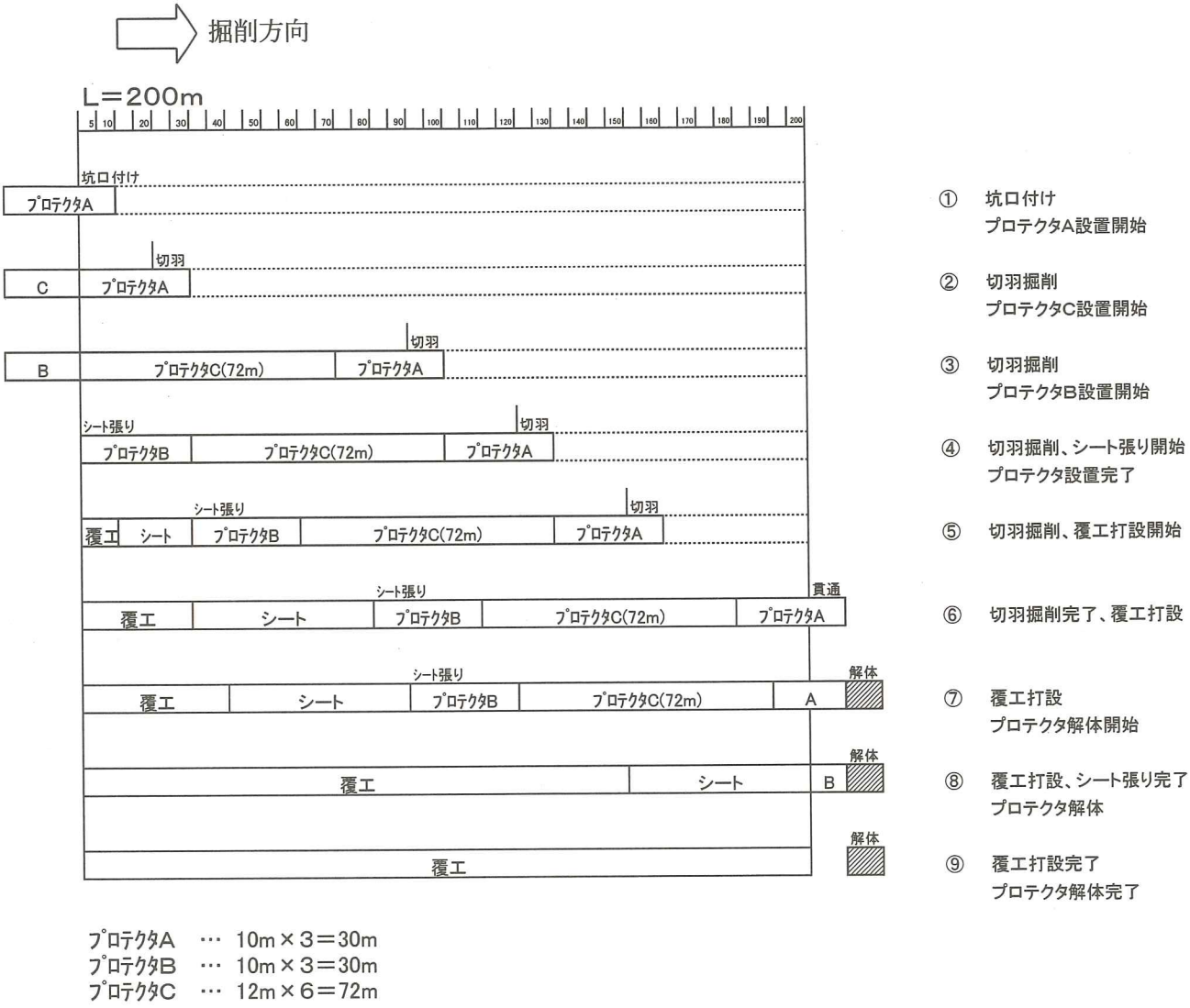


図-5.2.5　プロテクタ標準設置平面・断面図

5．2．5　プロテクタ設置・解体手順（トンネル延長200mの場合）

図-5.2.6は、標準的なプロテクタの設置・解体手順である。発進側坑口の組み立てヤードで組み立てたプロテクタを順次連結させ延長していく。切羽の進行に伴いプロテクタを移動し、掘削終了後は到達側坑口の解体ヤードで順次解体する。図-5.2.6にはトンネル延長が200mの場合のプロテクタ設置・解体手順を示す。



ﾌﾟﾛﾃｸﾀA　…　10m×3＝30m
ﾌﾟﾛﾃｸﾀB　…　10m×3＝30m
ﾌﾟﾛﾃｸﾀC　…　12m×6＝72m

図-5.2.6　プロテクタ設置・解体手順（トンネル延長200mの場合）

５．２．６　プロテクタコスト比較（鋼材を購入した場合とリースした場合）

プロテクタに使用する材料費のみを比較した場合、トンネル延長が 200m以下では鋼材を購入する場合に比べ、リース材が安価となるが、これに加工費・組立解体費を加えると、トンネル延長に係わらず鋼材をリースする方が安くなる。したがって、プロテクタの製作はリース材で行うことを基本とする。

５．２．７　プロテクタの駆動方法

プロテクタの駆動は、各々のプロテクタに搭載の駆動装置（油圧モーター）により行う。

プロテクタとして使用する時は、各支柱をＧＬに設置させ、移動時はＧＬより浮かせる。移動はレール上を車輪にて走行する。このため、車輪の昇降も油圧モーターにより行う。

油圧ユニットはプロテクタＡ３連、Ｂ３連、Ｃ６連に各１式、計３式搭載し、油圧モーターは各プロテクタ毎に設置する。

トンネルの縦断勾配の変化により、駆動方式の変更が必要となる。表-5.2.2 にはトンネル縦断勾配による駆動方式について示す。

表-5.2.2　トンネル縦断勾配と駆動方式

トンネル縦断勾配	駆動方式
３％以下	二輪駆動
３～５％	自走車輪部にスリップ防止ウエイト設置の二輪駆動
５～８％	四輪駆動
８％以上	車輪駆動不可能

５．３　セントル

本工法において、全断面スライドセントルに必要とされる機能は、一般車両の通行を確保するとともに、工事用車両が通行できることである。

具体的には、上記の一般車両および工事用車両の 2 車線分の空間をセントル主桁部材内に確保することである。また、一般車両へのコンクリート飛散防止対策、および資機材のセントル上部からの落下防止対策として、簡易的なプロテクタを兼ねる構造（薄鉄板などを設置）とする。なお、工事車両と一般車両の通行車線の間には、車両事故を防ぐために仕切り板を設置する。

なお、コンクリート打設時には、ポンプ車および生コン車の設置スペースの関係から、工事車両も一時的に一般車両通行車線を使用することとなる。

セントルの検討に当たっては、一般車両および工事用車両の 2 車線分の内空確保のために構造的に不利となってくるため、注意が必要である。断面形状、大きさによっては、セントル部材だけではコンクリート打設時の側圧に抵抗できないため、別途反力（ロックボルト等）が必要となる場合もある。

図-5.3.1 にセントル例を示す。

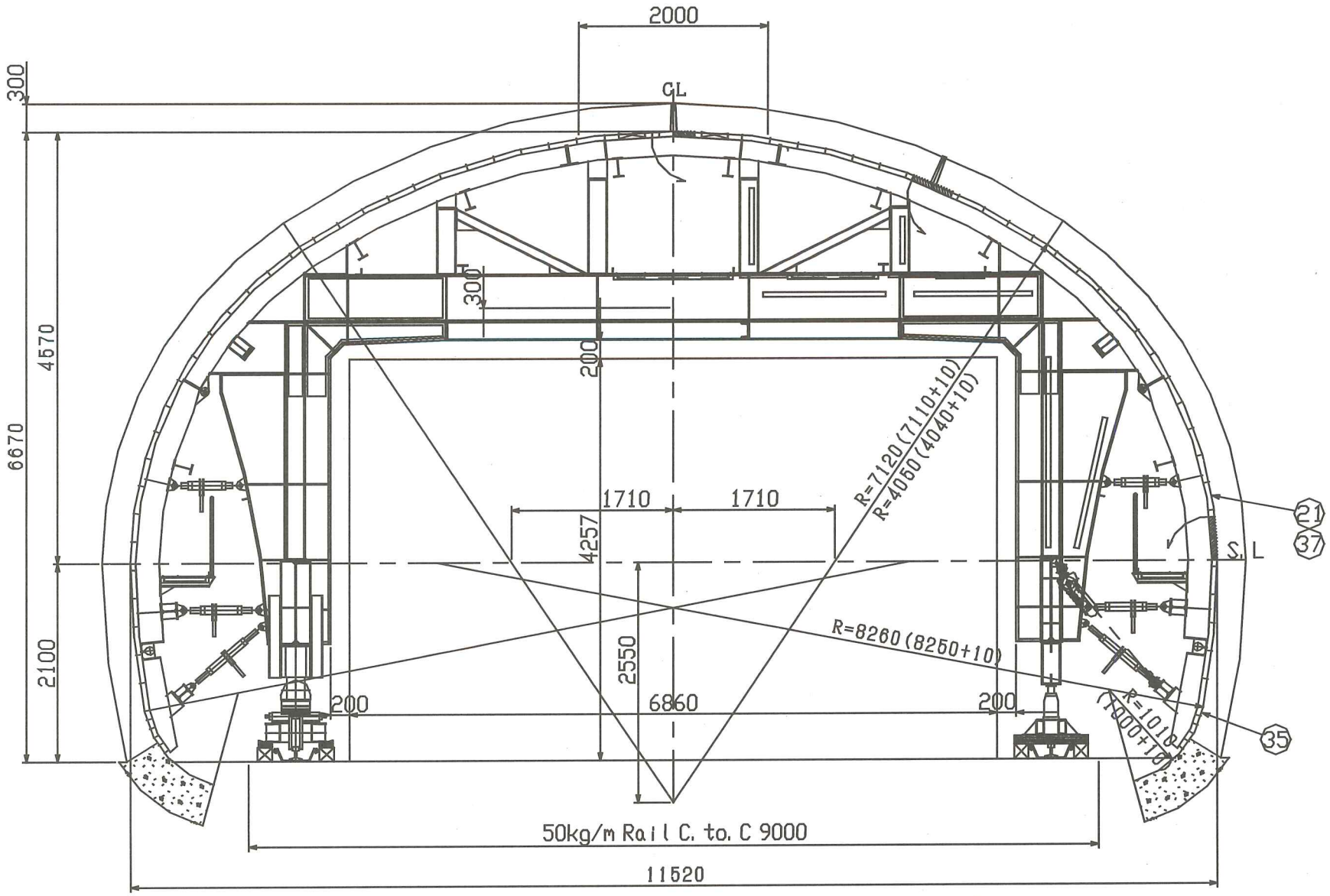


図-5.3.1　セントル断面図（例）

５．４　新設と既設支保の接続

５．４．１　新設と既設支保の接続位置

本工法では、既設覆工の一部を拡大後トンネルの一次支保部材として利用するため、既設覆工との接続部の施工が重要となる。接続方法については、既設覆工へ軸力の伝達がスムーズに行われる必要があるとともに、狭い作業空間の中での施工が可能でなければならない。本マニュアルにおいては、接続方法について幾つかの方法を提案するとともに、参考資料に施工事例を示す。また新設と既設支保の接続位置は肩部とするが、施工性も含めて接続位置の検討をする必要がある。図-5.4.1 に一般的な接続位置図を示す。

なお、接続方法の選定に際しては、参考資料に示すような周辺地山挙動解析を実施し、支保部材の安全性等の照査が必要である。

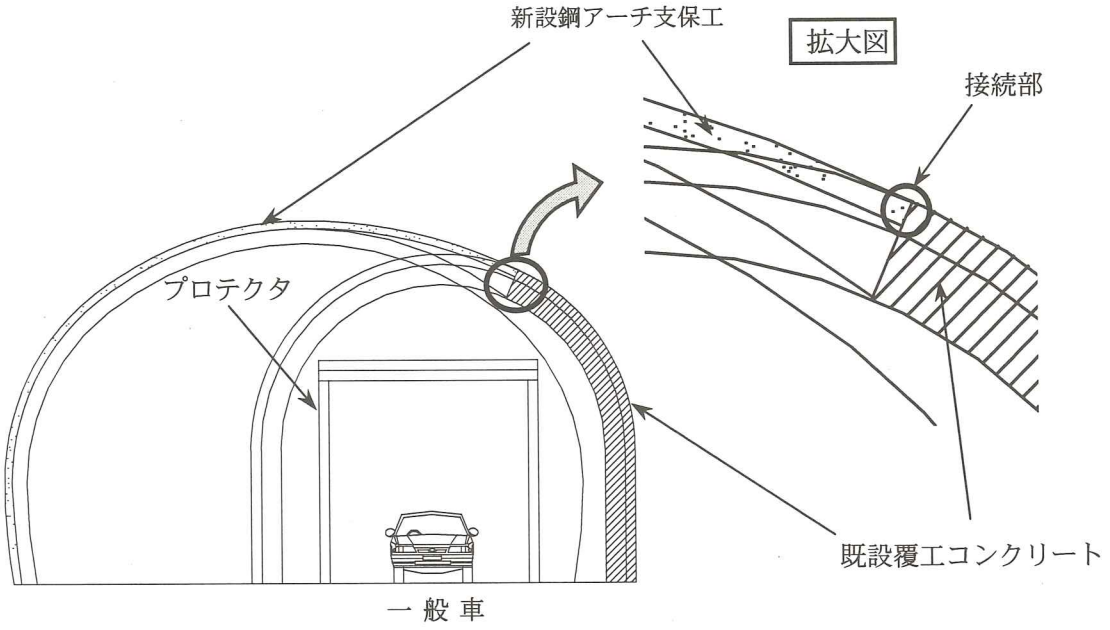


図-5.4.1　接続位置図

５．４．２　接続方法の提案

ここでは、いくつかの方法を提案するが、実際の適用に当たっては、地山条件等を考慮し、FEM 解析および骨組解析により接続部の照査が必要である。

（１）Ｈ型鋼を用いる方法

本方法は、既設の支保工上にＨ型鋼を受桁として切羽方向に延ばし、新設の鋼アーチ支保工接続位置に、溝型鋼を溶接した後に、新設の鋼アーチ支保工を設置する方法である。ただし、既設支保工の位置がずれているような場合には、適用が困難な場合がある。

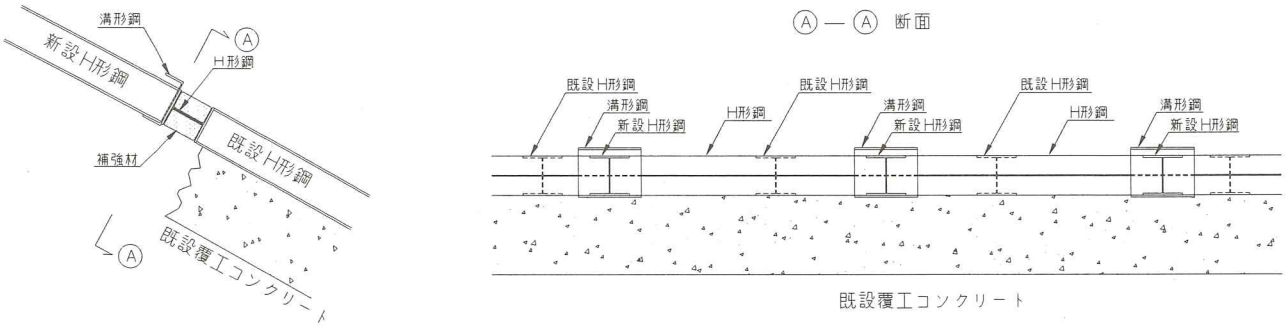


図-5.4.2　Ｈ型鋼を用いた接続方法概念図

具体的な施工手順は以下のとおりである。

①事前に接合部をコンクリートカッター等で切断する。

②拡幅掘削後、残った既設支保工の周辺をはつり、頭部をだす。

③受桁となるＨ型鋼の１本あたりの長さは、掘削進行長と同じとし、事前に坑外で両端部のフランジに等間隔に穴を開けておく。また、新設の支保工が接続する部分にあらかじめ大きな溝型鋼を溶接する。

④既に設置している受桁の切羽側端部に、添接板（鉄板）を用いて新規受桁用Ｈ鋼を接続する。この際、②の頭部処理後の既設支保工に受桁用Ｈ鋼が載るようにする。また、地山の状態によっては受桁の接続部を溶接止めする。

⑤新設支保工を溶接止めした溝型鋼上に設置し、場合によっては溶接止めする。なお、受桁用Ｈ鋼は必要によりリブ補強等を行う。

（２）溝型鋼を用いる方法

本方法は、既設の支保工上に溝型鋼を受桁として切羽方向に延ばし、この溝型鋼に新設の支保工を載せる方法である。

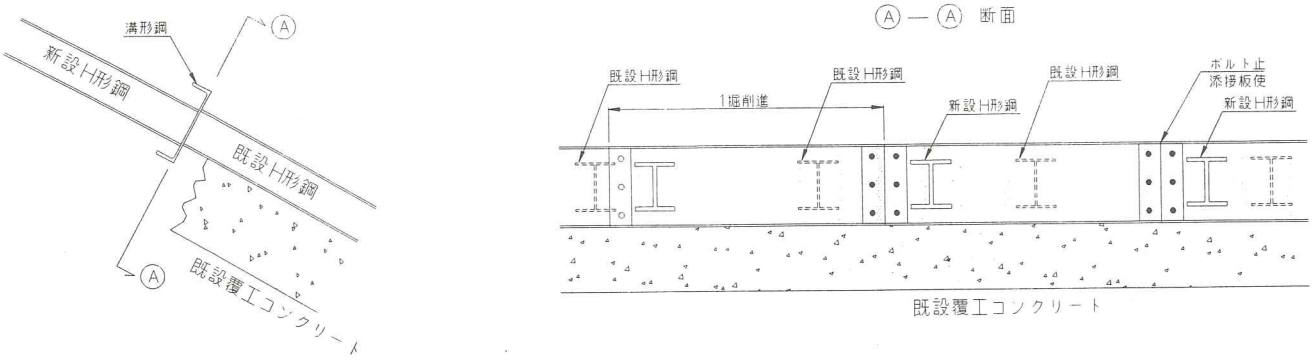


図-5.4.3　溝型鋼を用いた接続方法概念図

具体的な施工手順は以下のとおりである。

①事前に接合部をコンクリートカッター等で切断する。

②拡幅掘削後、残った既設支保工の周辺をはつり、頭部をだす。

③受桁となる溝型鋼の１本あたりの長さは、掘削進行長と同じとし、あらかじめ坑外で両端部のフランジに等間隔で穴を開けておく。

④既に設置している受桁の切羽側端部に、添接板（鉄板）を用いて新規受桁用溝型鋼を接続する。この際、②の頭部処理後の既設支保工に受桁用溝型鋼が載るようにする。また、地山の状態によっては受桁の接続部を溶接止めする。

⑤新設支保工を受桁用溝型鋼上に設置し、場合によっては溶接止めする。

（３）ホールインアンカーを用いる方法

本方法は、既設覆工コンクリートにホールインアンカーで受け材（L 型鋼）を固定し、新設鋼アーチ支保工を設置する方法である。なお、この方法は支保部材に荷重があまり作用しない場合に適用可能である。

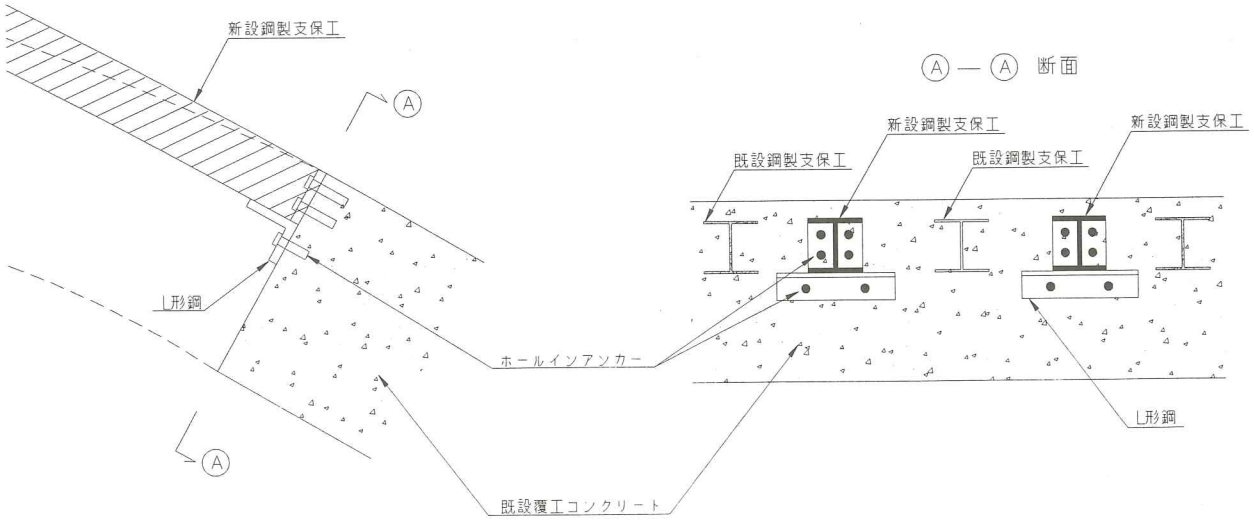


図-5.4.4　ホールインアンカーを用いた接続方法概念図

6．交通規制に伴う安全・保安対策

当工法は移動式プロテクタで１車線を確保し、一般車両を通行させて拡大する工法であり、工事の進捗に伴い片側交互通行等の規制を実施する。

6．1　事前補強工事中の規制

本工事の施工に先立って実施する補強ロックボルト工や路盤の盤下げ工事は、片側交互通行規制を実施して施工する。通行規制はトンネル全線について実施することを標準とし、両坑口に信号機を設置し警備員を配置する。また、坑内の作業区間の前後にも警備員を配置して作業する。

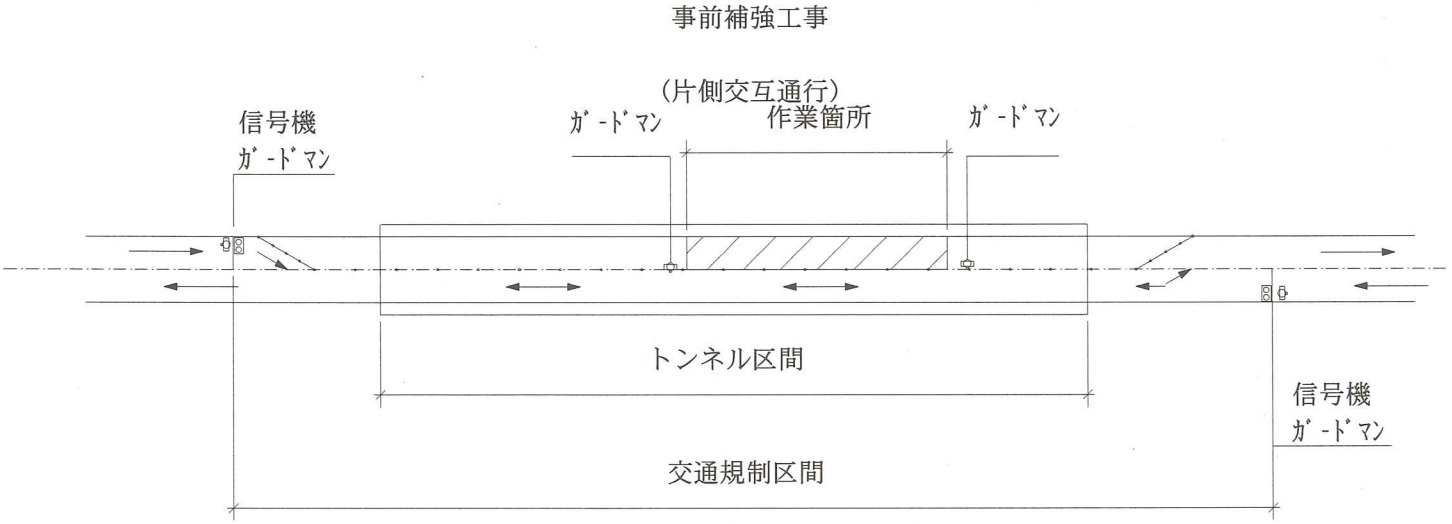


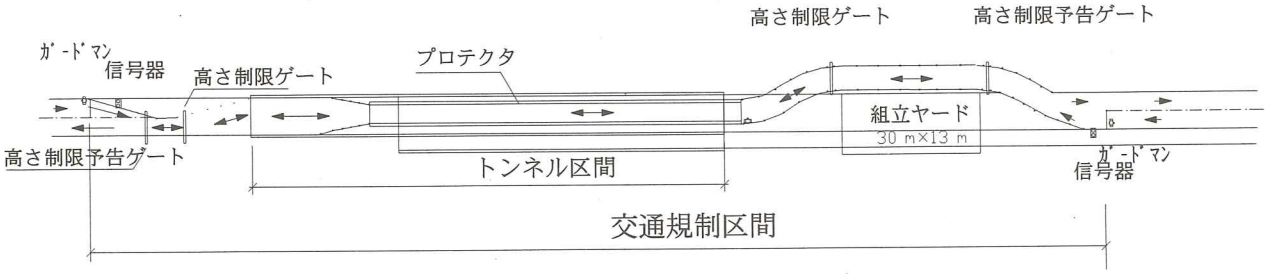
図-6.1.1　事前補強工事中の規制例

6．2　本工事中の規制

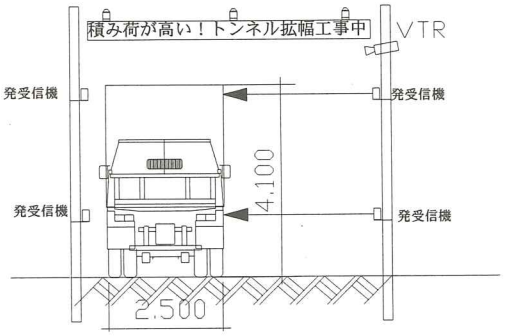
プロテクタは移動式であるため、トンネル全線をカバーしないのが普通であるが、通行規制はトンネル全線について実施するのを標準とし、両坑口に信号機を設置して坑内で一般車両が停止することがないようにする。高さ制限は標識等で十分運転手に分かるようにするが、違反車等が直接プロテクタ等に衝突しないよう、両坑口に高さ制限予告ゲート、高さ制限ゲートを設置する。

高さ制限予告ゲートにはセンサーを取付け、高さ制限ゲートに衝突するまえにゲートに取付けた警報ブザーと回転燈で運転手に警告し、高さ制限ゲートへの衝突事故を防止する。また、坑内のプロテクタの両端部に黄色回転灯やピカピカチューブを取りつけ、プロテクタを明示する。

信号等の設備の他に、信号無視、見落とし等による交通事故、渋滞や違反者への対策として必要に応じ警備員を配置する。



高さ制限予告ゲート



高さ制限ゲート

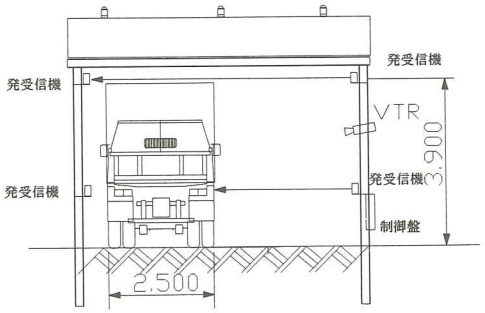


図-6.2.1　通行規制例

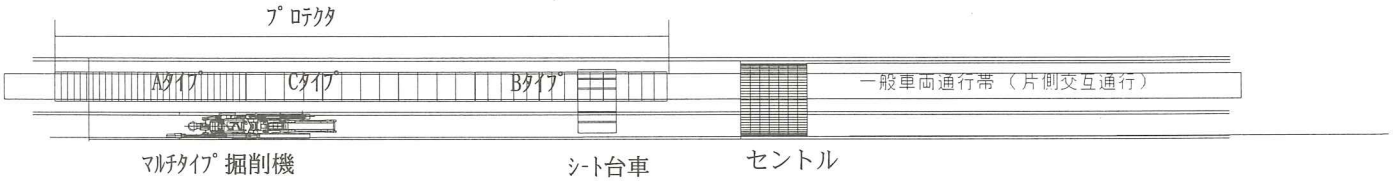
６．３　その他の規制

本工法は活線下拡大工法ではあるが、プロテクタ引込みや、シート台車引込み、セントル引込み等の作業時に、一時通行止めとなる。また、掘削機械が故障した場合も、部品の搬出入のため一時通行止めとなる。日常の作業ではプロテクタの移動時や、プロテクタ内部の点検・維持管理のために通行止めが必要となる。表-6.3.1 には作業項目ごとの交通規制の内容と時間を示す。

表-6.3.1　交通規制の内容と時間

作業項目	規制内容	規制時間	備　　考
既設トンネル事前補強工	１車線規制		プロテクタ無し
プロテクタ引込み・撤去	全面交通止め	１基約 120 分	夜間
マルチ掘削機引込み・撤去	全面交通止め	20 分	夜間
セントル引込み	全面交通止め	60 分	夜間
掘削機械の部品の搬出、搬入	全面交通止め	60 分	夜間
プロテクタ移動	全面交通止め	10m 毎約 240 分	夜間
インバート工	１車線規制		プロテクタ無し
舗装・排水工	１車線規制		プロテクタ無し
掘削工	１車線規制		プロテクタ設置
覆工	１車線規制		
坑門工	１車線規制		坑口にプロテクタ設置
準備工・片付け	規制無し		

プロテクタの移動等、片側交互通行規制をしている坑内で、規制を通行止めに切り替える時は、後尾警戒車、先導車を配置するなどして、坑内作業箇所と坑外規制箇所との連絡を確実に行う。



プロテクタの移動、セントルの移動等で、片側交互通行から通行止めに切替える時は、
先導車、後尾警戒車等で確実に連絡をとって実施する。

規制端
④後尾警戒車が来るまで
通行止めとする。

作業箇所
②後尾警戒車が到着し、
一般車両が通過したの
を確認後通行止め作業
を行う。
③作業完了後、後尾警戒
車を出す。

規制端
①後尾警戒車がでたあと
次に後尾警戒車が戻って
くるまで通行止めにする。

図-6.3.1　通行止め規制例

7．三日月形工法の応用例

7．1　工法概要

トンネル断面拡大は、新設と比べ工事費が高くなるとともに、工事期間中の車線規制が必要となる。したがって、特に延長の長いトンネルでは、トンネルの断面拡大が難しくなっている。しかしながら延長の長いトンネルでも、新設トンネルの設置が困難であるなどの理由から断面拡大が望まれる場合がある。

そこで、三日月形トンネル断面拡大の応用として、延長の長いトンネルの場合、坑口付近を三日月形のトンネル断面拡大を行い、その後坑口から入った箇所で分岐し、新たなトンネルを掘削する。本工法のイメージ図を図-7.1.1　に示す。

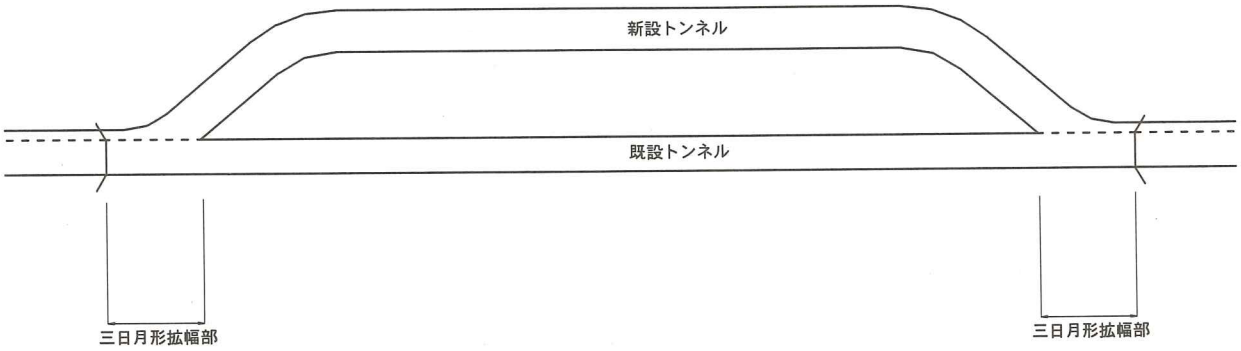


図-7.1.1　延長の長いトンネルにおける三日月形の応用例

7．2　工法の特徴

本工法の特徴としては、以下のような点が挙げられる。

①坑口部の片側断面拡大時のみ１車線規制で済み、分岐後の新設トンネルとしての掘削時は、既設トンネル内は２車線確保が可能となる。

②トンネル延長が長くなるにつれ、全線を断面拡大する場合と比較して、工期短縮および工事費の削減を図ることが出来る。

③既設トンネルは、１車線自動車道として利用することが出来るため、新設トンネルは１車線＋歩道とした場合、断面を小さくできる。

８．適用に当たっての留意点

今回提案した断面拡大工法について、これまでの検討経過や過去の経験から想定される、実施工上の注意点、今後の課題および改良点について記述する。

８．１　実施工上の注意点等

(1)　既設覆工と拡大支保工の継手部の施工：既設覆工の一部を新設トンネルの支保の一部に転用する工法であり、既設覆工の損傷を小さくし、継手部の強度が得られるよう施工すること。

(2)　マルチタイプ掘削機の維持管理：マルチタイプ掘削機使用による機械の入れ替え時間の短縮等を図っているが、逆にマルチタイプ機械の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、維持管理を適切にすること。また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つとめること。

(3)　プロテクタの使用方法：プロテクタを移動式にし、さらに、用途に応じて仕様を変えて部材等でコストダウンを図っている。使用にあたっては、過積載にならないよう注意すること。

８．２　今後の検討

(1)　硬岩時の対応：マルチタイプ掘削機を用いず爆破工法による拡幅工法（三日月形による爆破方法）、割岩工法もしくは割岩にかわる工法の検討。

(2)　ロックボルトの事前補強：支保工に転用する既設覆工部分のロックボルトは事前施工としている。残りの拡幅部のロックボルトについても事前施工についての検討（施工方法、補強効果、工期短縮・コストダウンの効果）。

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） ―

参 考 資 料

1．　周辺地山挙動解析

本工法は、既設覆工の一部を支保部材として利用するため、トンネル施工に伴う周辺地山の挙動予測と新設支保部材の安全性照査を目的としてFEM解析を行い、以下の項目について検討を行った。

① 新設支保部材の安全性

② 既設覆工と新設支保部材の接合条件（ピン結合、剛結合）の影響

③ 既設覆工と新設支保との接合位置の影響

なお、本資料においては概略の解析結果を示すにとどめる。

1．1　解析対象トンネル断面

既設トンネルおよび拡大後の標準断面を図-1.1.1 に示す。本検討では、下図に示す既設トンネル接合部の位置と接合条件（ピン結合、剛結合）を変化させて6ケースの解析を行った。

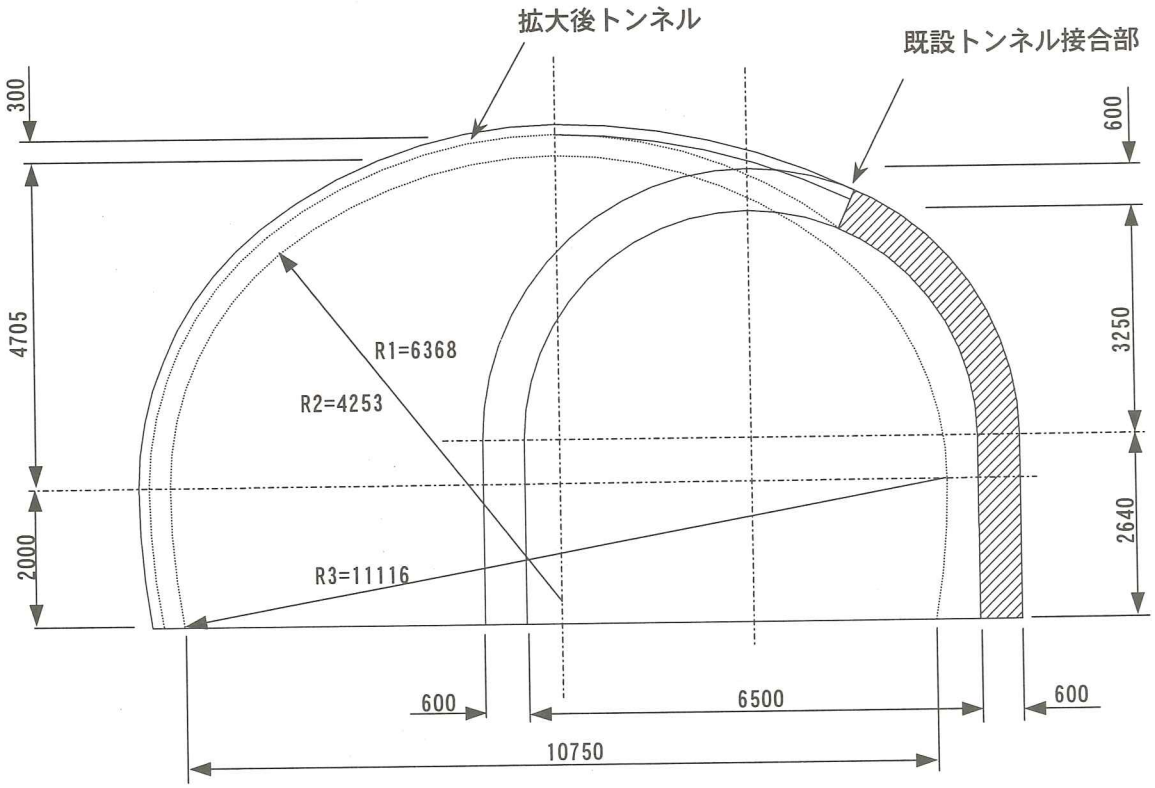


図-1.1.1　標準断面図

１．２　地山条件および支保パターン

１．２．１　地山物性値

日本道路公団で使用されている解析のための一般的な地山物性値は表-1.2.1 となっている。本検討では日本道路公団の地山等級ＤⅠ相当とし、表-1.2.2 示す値を用いて解析を行う。

表-1.2.1　日本道路公団における一般的な岩盤物性値[1)]

断面	地山区分	変形係数	f_{dest}	初期ポアソン比	最終ポアソン比	弾性限界パラメータ	非線形指数	粘着力	内部摩擦角	引張強度	単位重量
		D	f_{dest}	ν_0	ν_{dest}	k	a	C	ϕ	σ_t	γ_t
		N/mm²						N/mm²	deg	N/mm²	t/m³
B	G_2	5,000	0.01	0.25	0.48	6.0	3.0	4.0	50	0.80	25.0
ＣⅠ	G_3	2,000	0.01	0.30	0.48	6.0	3.0	2.0	45	0.40	24.0
ＣⅡ	G_4	1,000	0.01	0.30	0.48	6.0	3.0	1.0	40	0.20	23.0
ＤⅠ	G_5	500	0.01	0.35	0.48	4.0	2.0	0.4	35	0.08	22.0
ＤⅡ	G_6	150	0.01	0.35	0.48	4.0	2.0	0.2	30	0.04	21.0

表-1.2.2　本検討で用いた岩盤物性値

単位体積重量 γ （kN/m3）	弾性係数 E （MPa）	ポアソン比 ν	粘着力 c （MPa）	内部摩擦角 ϕ （°）
22	500	0.35	0.5	35

１．２．２　土被りおよび側圧係数

土被りは新設トンネル天端でH = 50m とし、側圧係数（K0）は次式で算定する。

$$K0 = 0.01H + 0.25 \quad (20m < H < 75m)$$

$$\therefore \quad K0 = 0.01 \times 50 + 0.25 = 0.75$$

１．２．３　支保パターン

拡幅トンネルの支保パターンを下表に示す。なお、解析では既設トンネルの支保部材は無視し、覆工（t=60cm）のみ考慮する。

表-1.2.3　拡大後トンネルの支保パターン

地山等級	掘進長 (m)	ロックボルト			吹付けコンクリート		鋼アーチ支保工
		長さ (m)	周方向 (m)	延長方向 (m)	厚さ (cm)	設計基準強度 (N/mm2)	
ＤⅠ	1.0	4.0	1.0	1.0	15	18	H-150

1．3　既設覆工と新設支保の接合位置

既設覆工と新設支保の接合位置の違いが解析結果に及ぼす影響を検討するために、下図に示す 3 ケースを設定した。

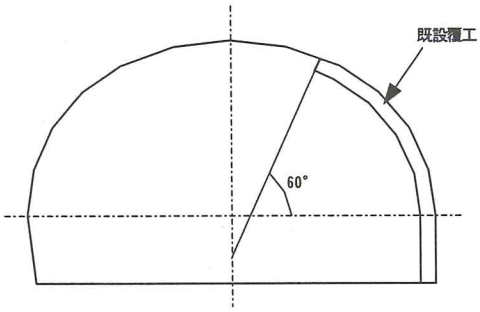
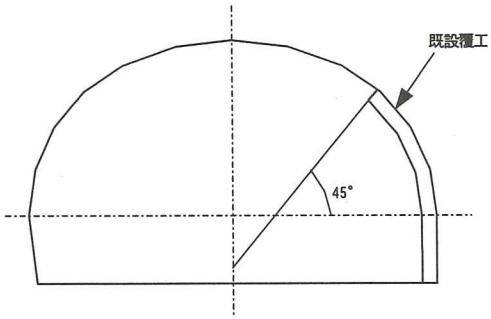
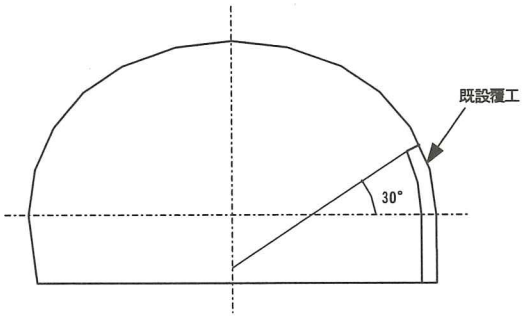
接合位置	概略図	備考
60°		既設覆工のほぼ天端付近を接合位置としたケース
45°		既設覆工アーチ部のほぼ中央を接合位置としたケース
30°		既設覆工の S.L.の少し上を接合位置としたケース

図-1.3.1　既設覆工と新設支保の接合位置

１．４　解析手法および解析モデル

１．４．１　解析手法

2 次元 FEM 弾性解析（平面ひずみ）とする。

１．４．２　解析モデル

① 接合部のモデル化

図-1.4.1 は、ＤⅠパターン（接合位置 45°）の解析モデルの接合部周辺の拡大図である。

新設支保と既設覆工の接合部は、以下のモデル化を行った。

- ピン結合：既設覆工切断面を鋼製支保工の支点とする。
- 剛結合　：新設支保工を既設覆工中に約 50cm 埋込んだモデルとする。
  （新設と既設の鋼アーチ支保工を接合した場合を想定）

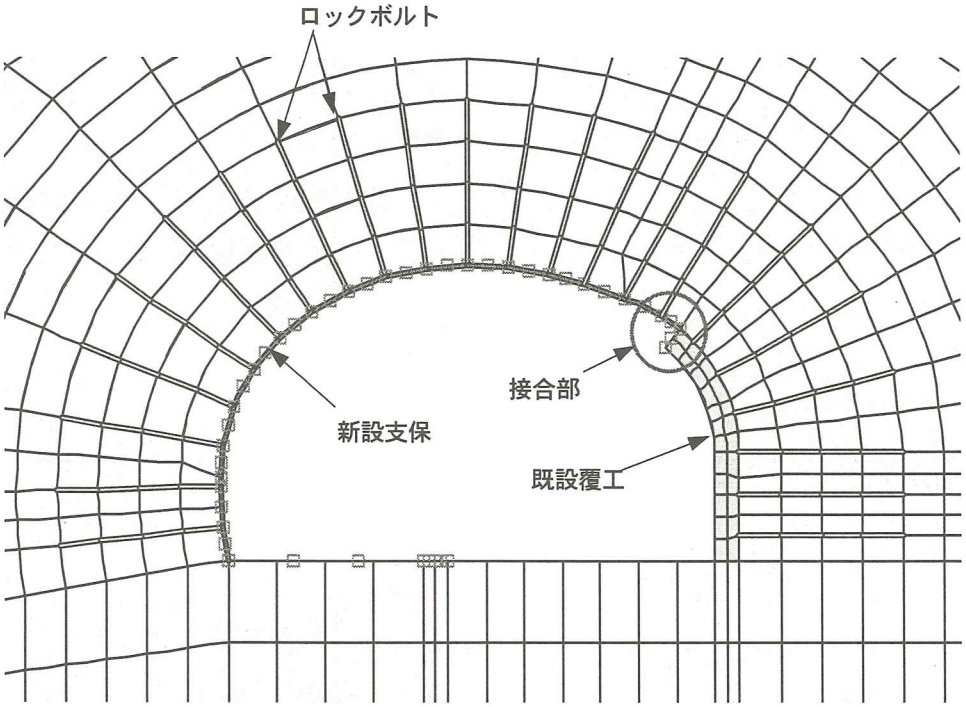
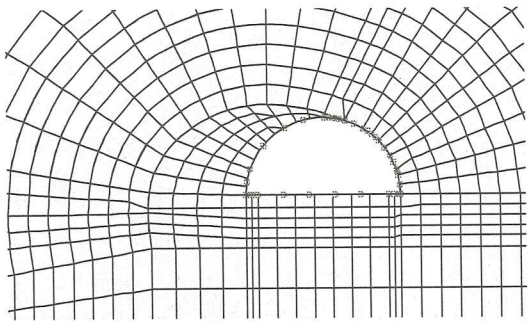
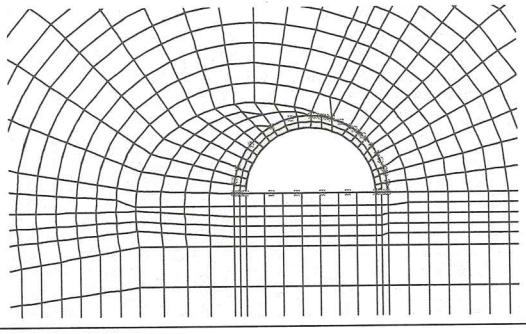
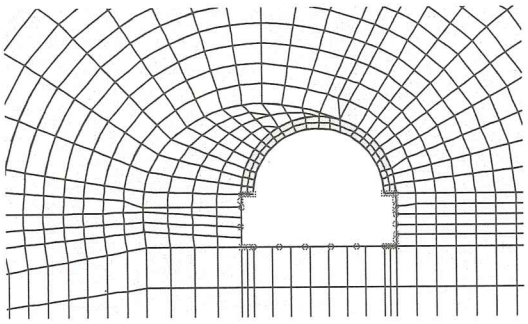
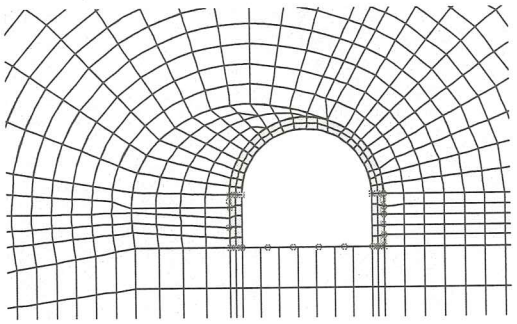
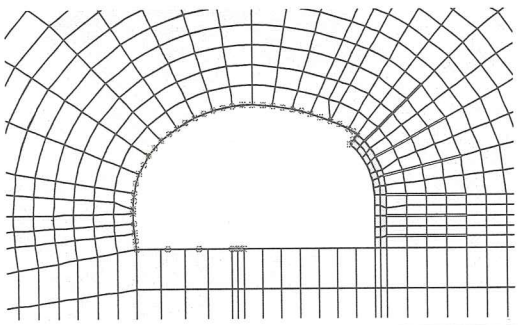
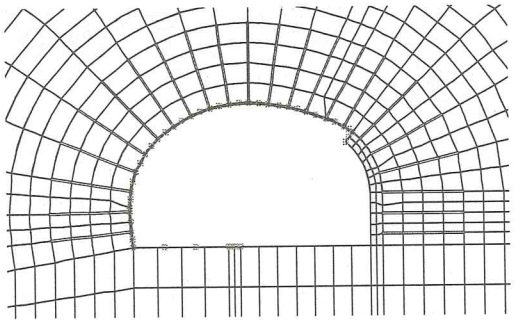


図-1.4.1　トンネル周辺拡大モデル図（ＤⅠ，接合位置 45°）

② 施工順序および応力開放率

施工順序および応力解放率をまとめ表-1.4.1 に示す。

表-1.4.1　解析ステップ

	模　　式　　図
0	初期応力解析（側圧係数 K_0 = 0.75）
1	①既設トンネル上半掘削　　応力解放率 70％  ②既設トンネル上半覆工　　応力解放率 30％ 
2	①既設トンネル下半掘削　　応力解放率 70％  ②既設トンネル下半覆工　　応力解放率 30％ 
3	①拡幅トンネル掘削　　応力解放率 40％ （既設覆工補強ボルト）  ②拡幅トンネル支保　　応力解放率 60％ 

１．５　解析結果

解析結果を、図-1.5.1～1.5.6 に示す。

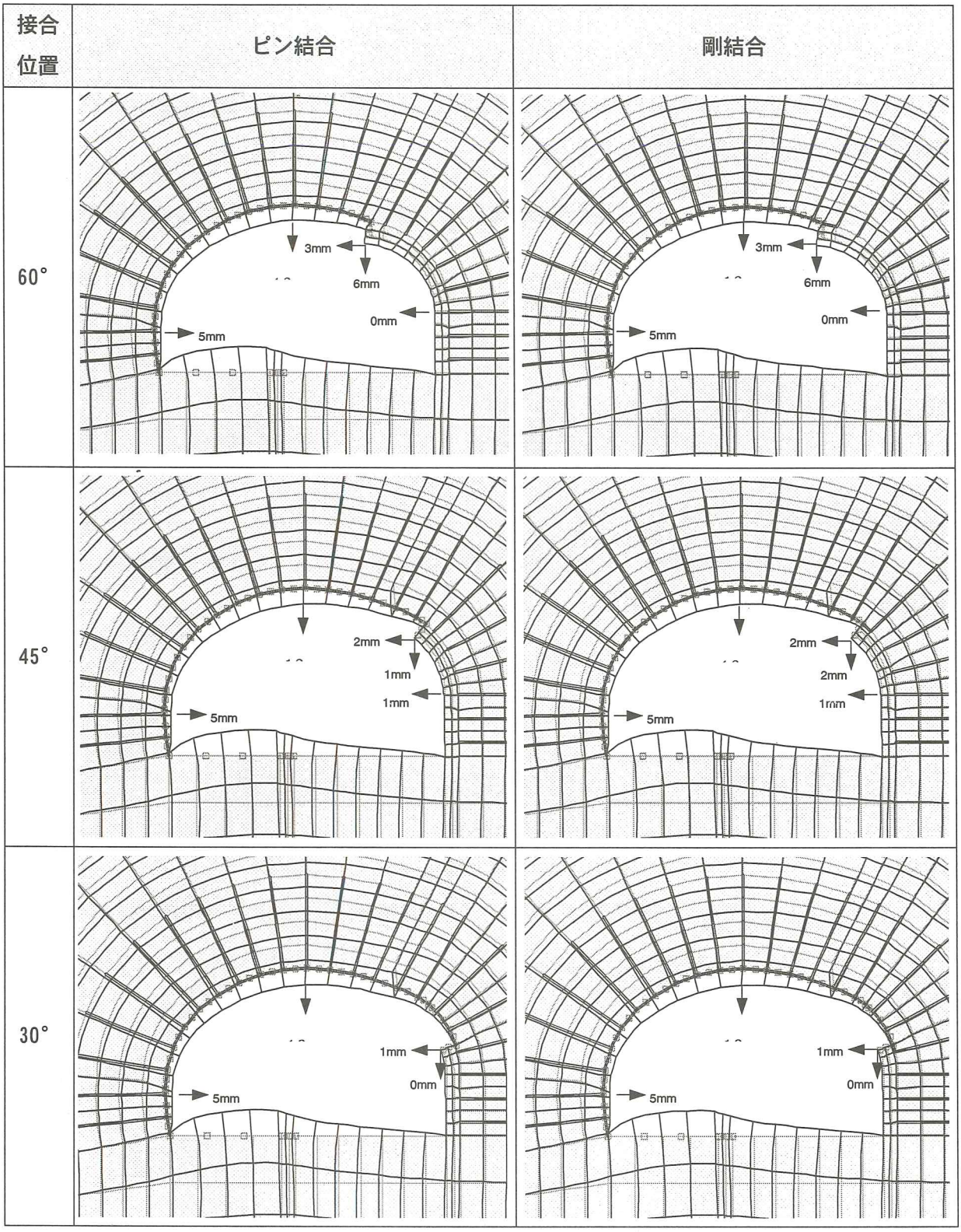


図-1.5.1　変形図（断面拡大掘削からの相対変位）

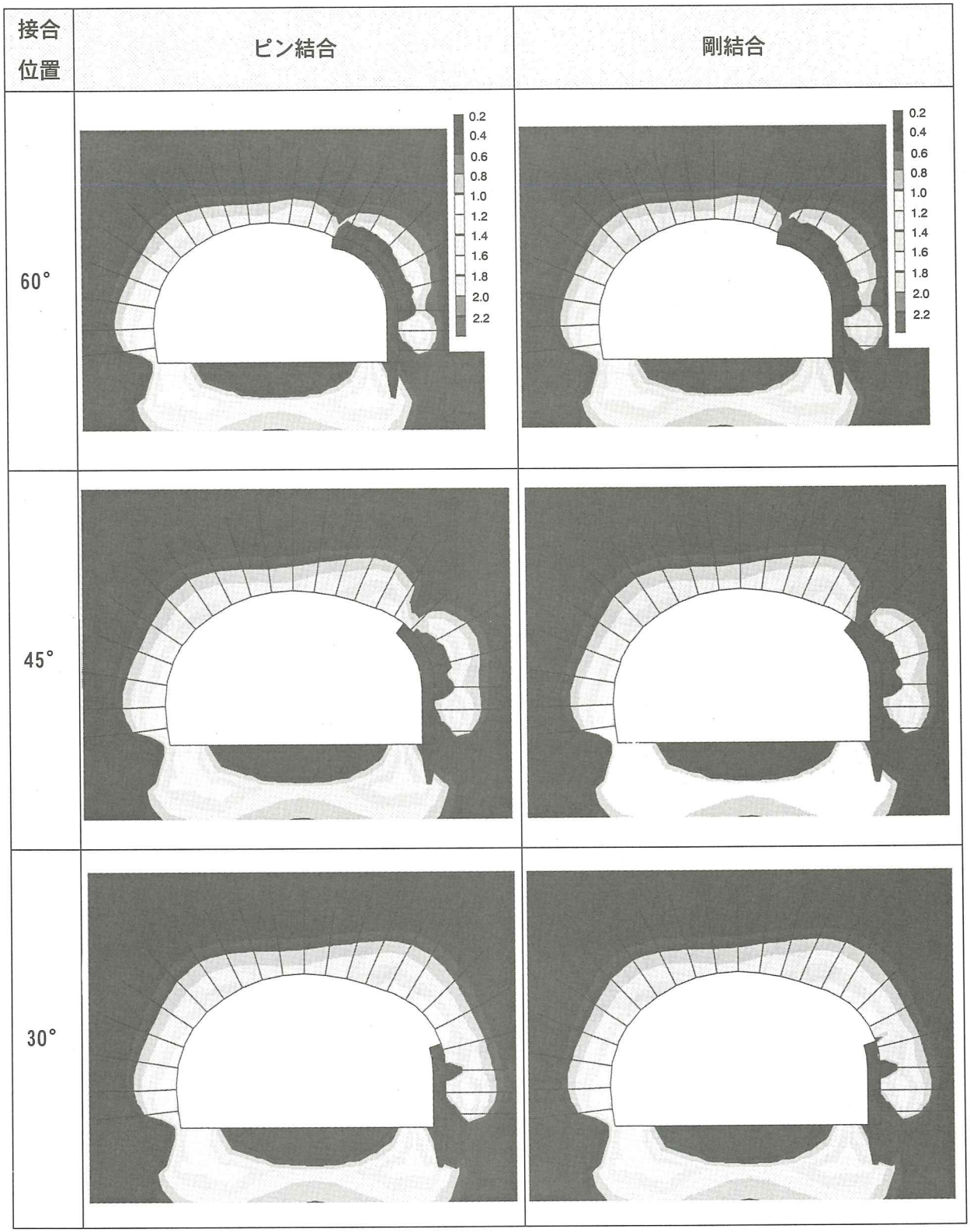


図-1.5.2　安全率分布図

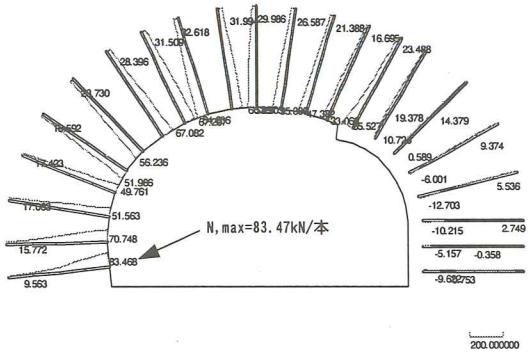
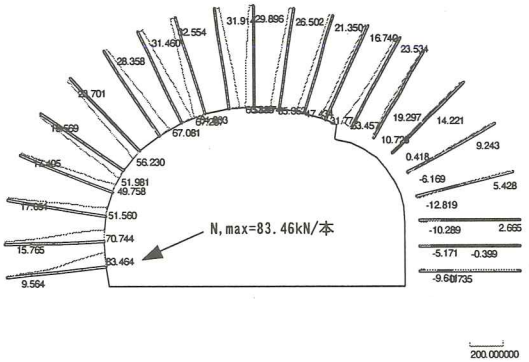
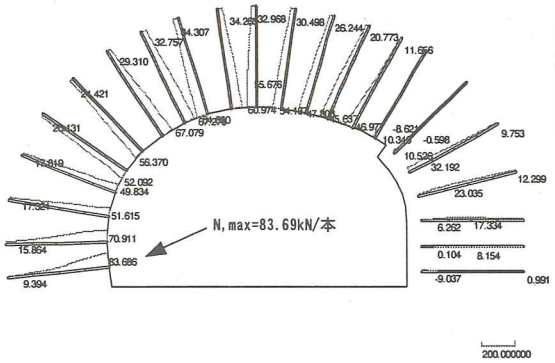
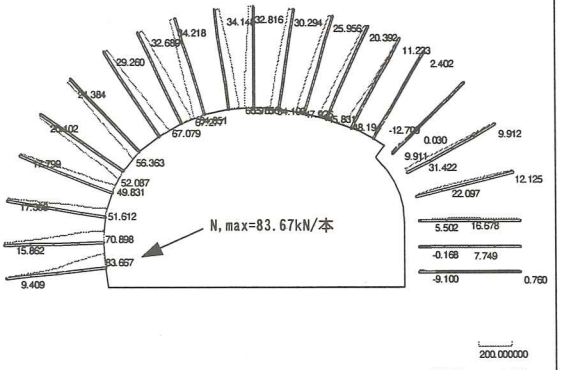
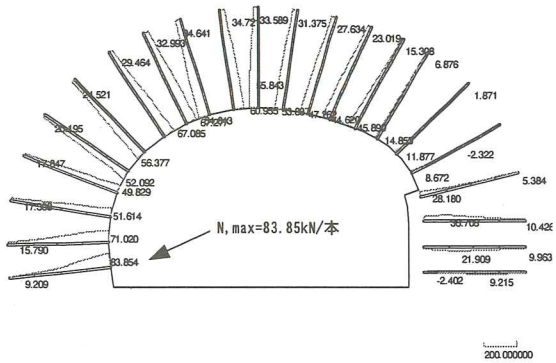
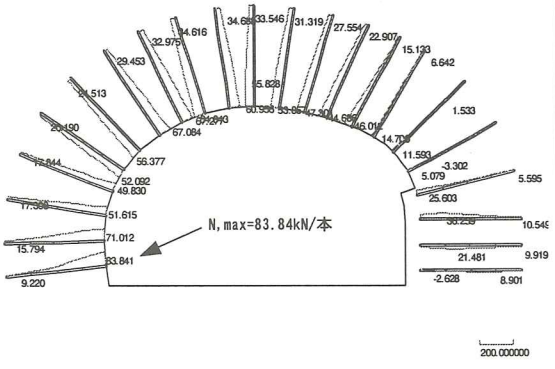
接合位置	ピン結合	剛結合
60°	 [単位：kN/本]	 [単位：kN/本]
45°	 [単位：kN/本]	 [単位：kN/本]
30°	 [単位：kN/本]	 [単位：kN/本]

図-1.5.3　ロックボルト軸力図

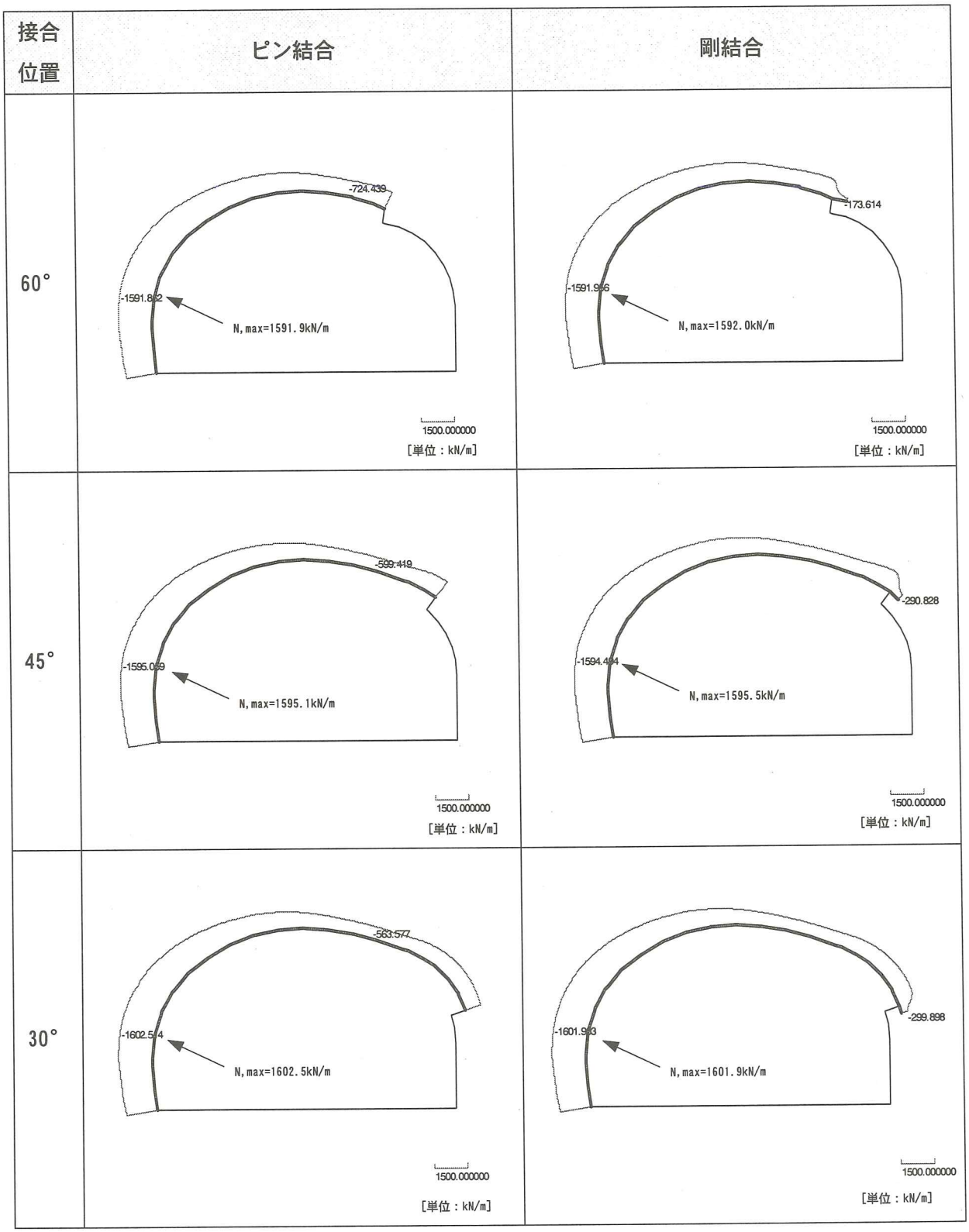


図-1.5.4　新設支保工（合成梁）軸力図

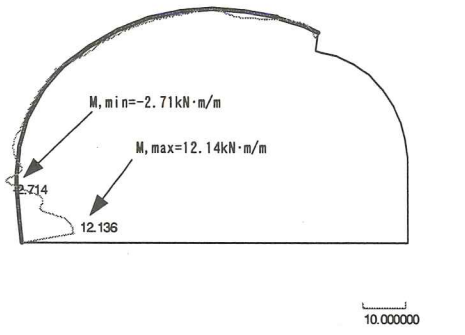
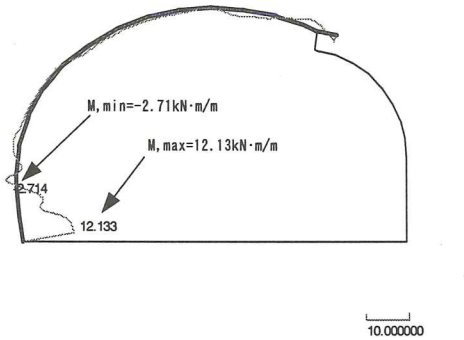
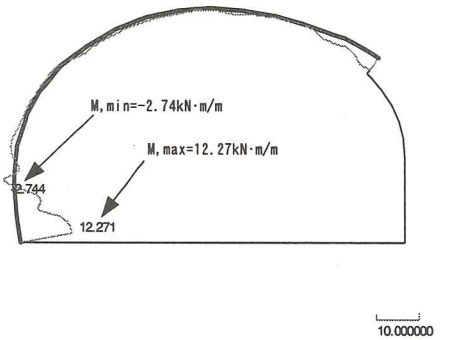
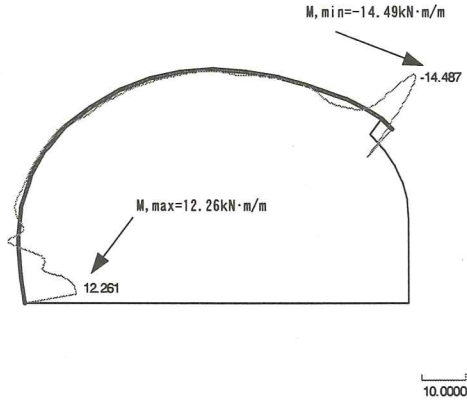
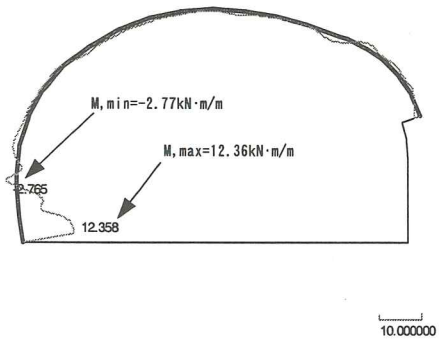
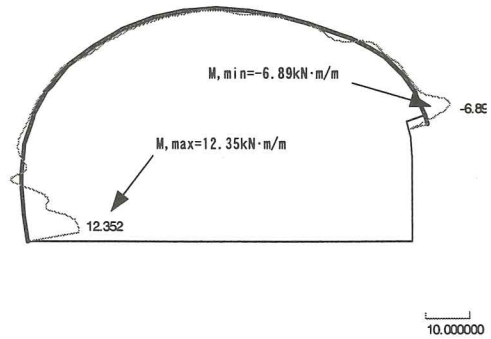
接合位置	ピン結合	剛結合
60°		
45°		
30°		

図-1.5.5　新設支保工（合成梁）曲げモーメント図

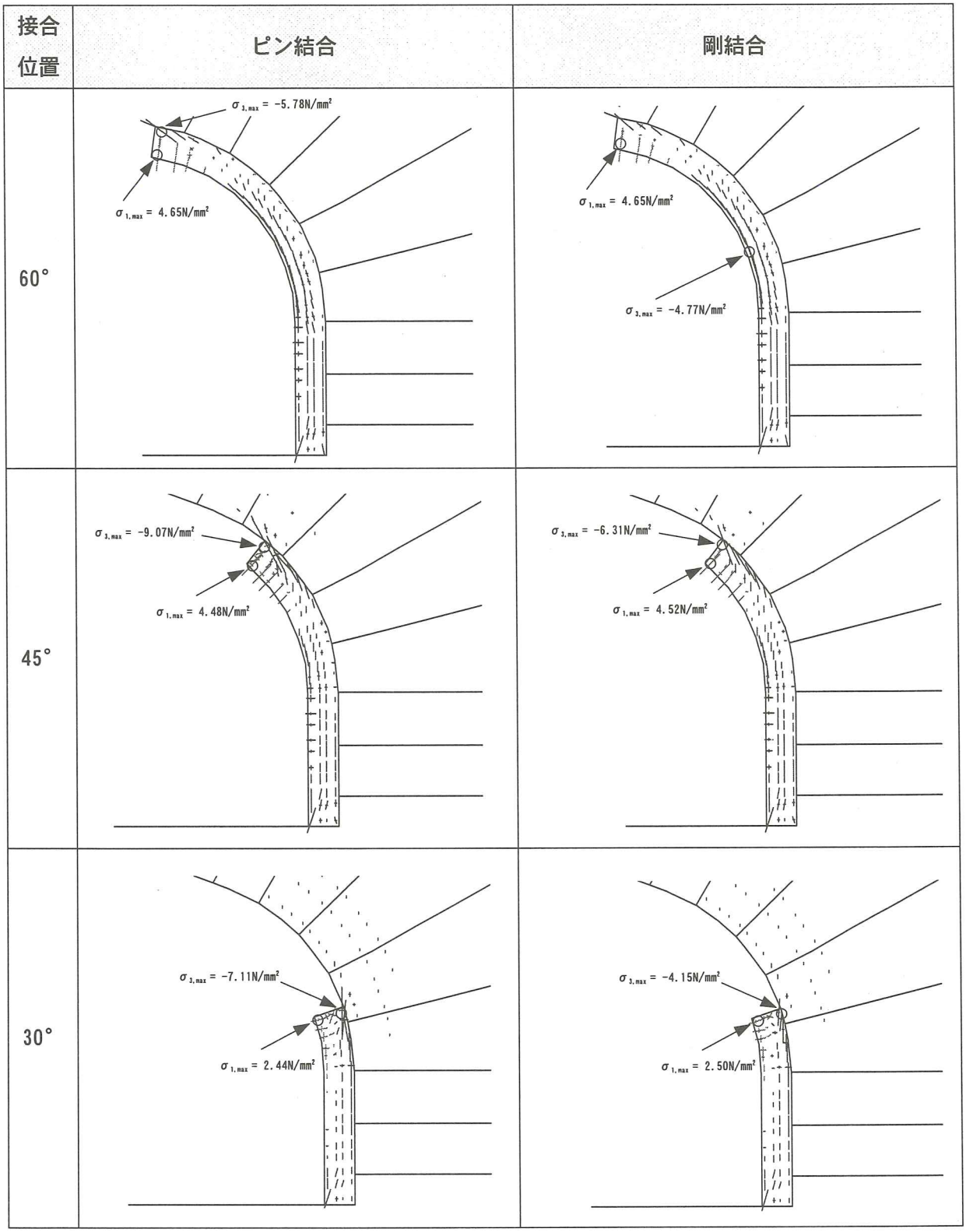


図-1.5.6　既設覆工の主応力図（トンネル拡大に伴う増加主応力）

１．６　まとめと課題

本解析検討より得られた知見および解析・設計に関する今後の課題を以下に示す。

１．６．１　既設覆工との接合位置および接合方法

- 本解析結果より、接合位置や接合条件の違いによって新設支保部材の発生応力やトンネル周辺地山の挙動に有意な差は生じないと予想される。
- そのため、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等）、新設トンネルの施工性や経済性を考慮して決めるのが適切だと言える。

１．６．２　今後の課題

- 接合部の補強方法とその解析・設計方法
- 地山モデル（弾性、非線形弾性、弾塑性　等）の検討
- 既設トンネルの施工方法や現状を考慮したトンネル周辺地山の応力状態の計算方法
- 既設トンネルの健全性の評価方法

参考文献

１）日本道路公団試験研究所道路研究部トンネル研究室：「トンネル数値解析マニュアル　試験研究所技術資料第 358 号」、平成 10 年 10 月

2．三日月形工法の試算例

2．1　試算条件

①試算に当たって既設トンネル断面は図-2.1.1 に、既設トンネルと新設トンネルの断面位置関係は図-2.1.2 に示す通りとした。

②既設トンネル右側の覆工は残し、新設の１次支保として利用する。したがって、鋼アーチ支保工と吹付けは既設覆工取り壊しの範囲までとする。

③拡幅に先立ち、既設トンネルの舗装は撤去する。

④試算に当たっての支保パターンは図-2.1.3 から図-2.1.5 に示す。

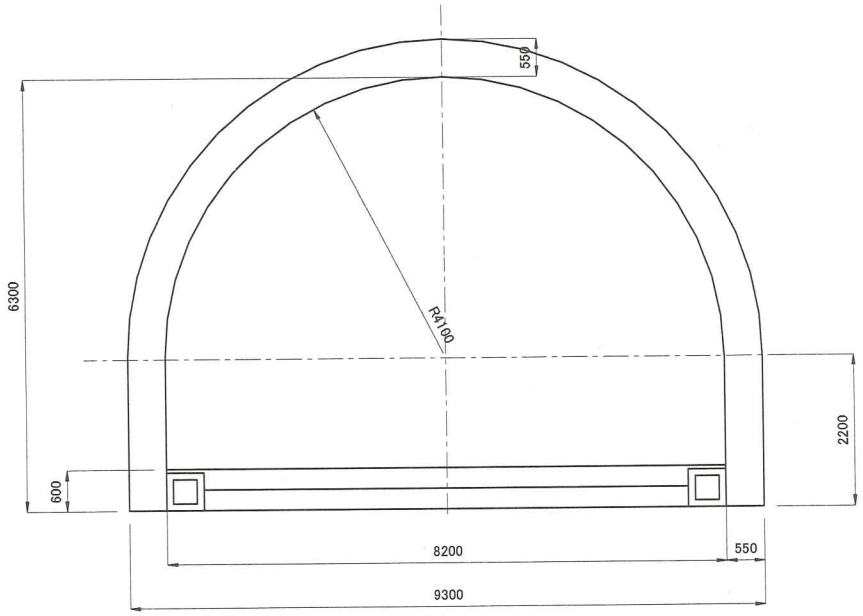


図-2.1.1　既設トンネル

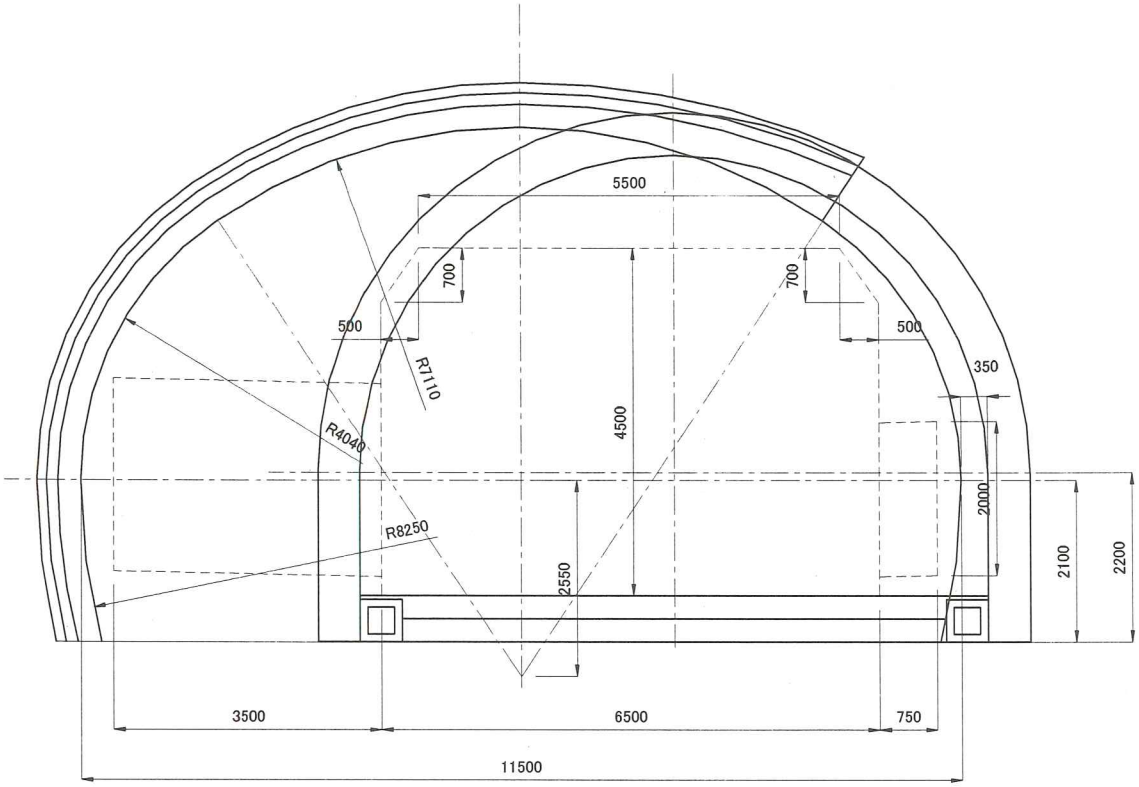


図-2.1.2　既設と新設トンネルの位置関係

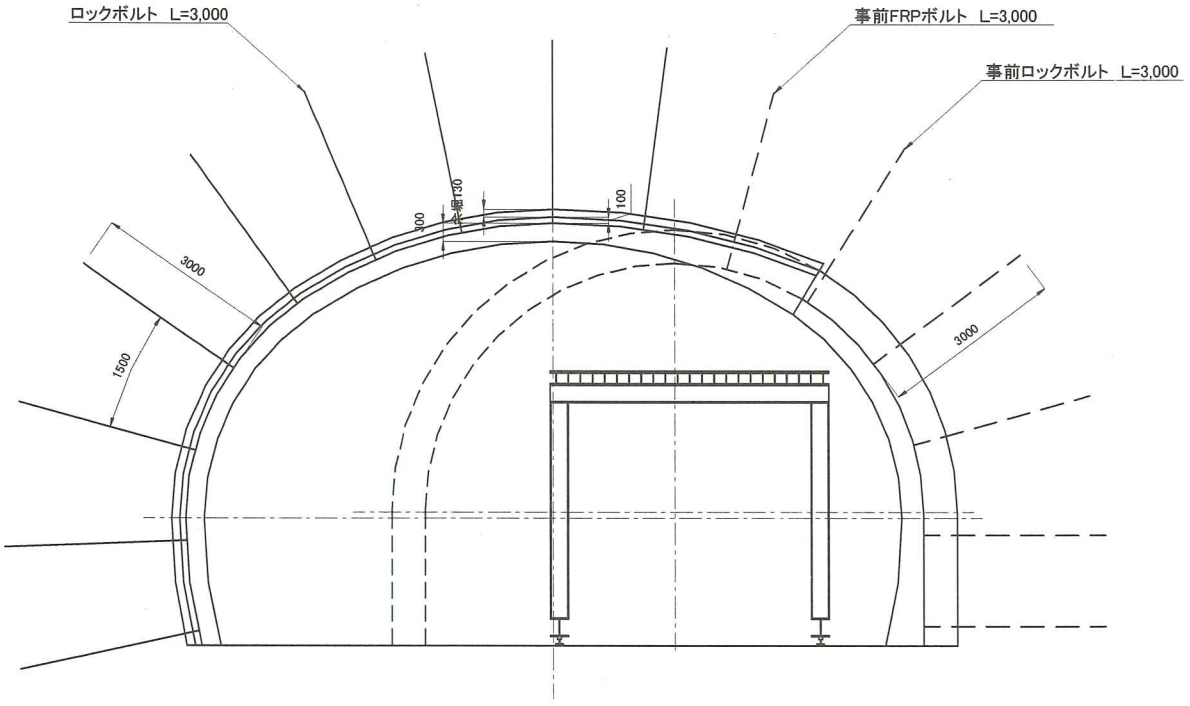


図-2.1.3　ＣⅡパターン

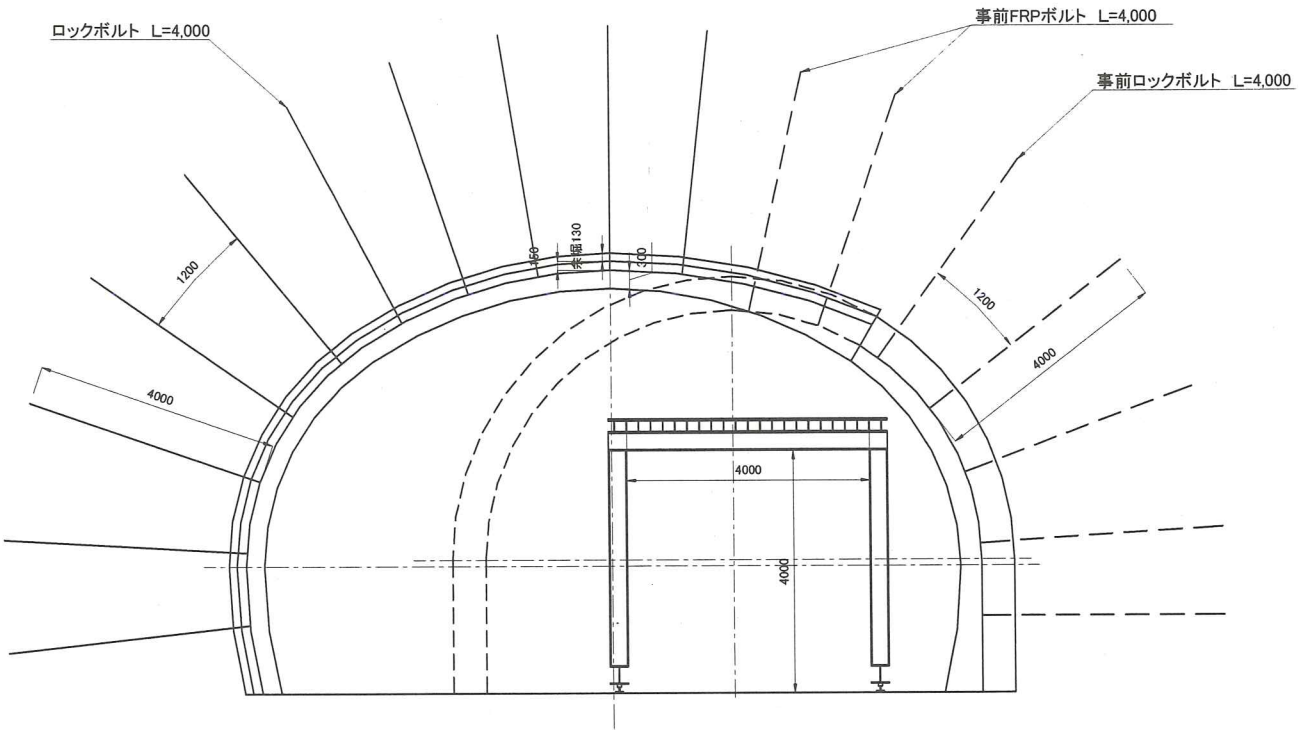


図-2.1.4　ＤＩパターン

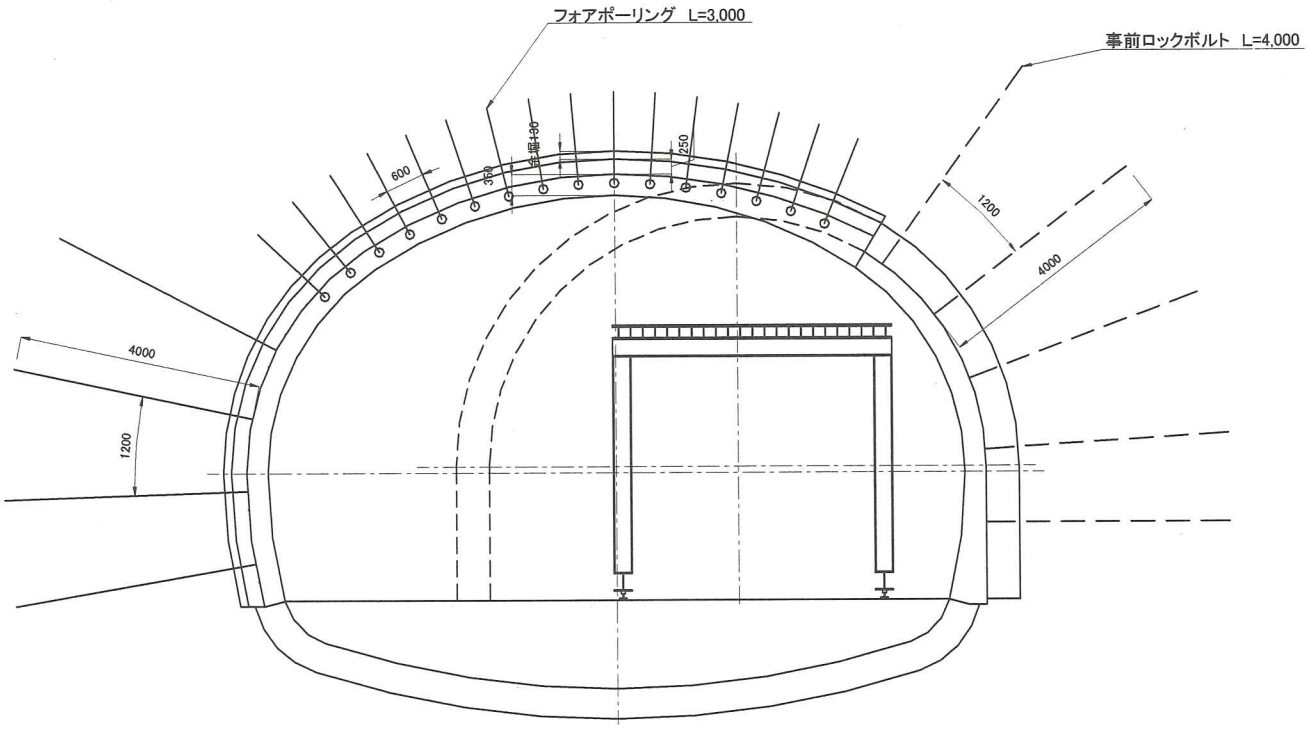


図-2.1.5　坑口パターン

2．2　試算数量

各地山区分別の１サイクル当たり数量表を表-2.2.1 に示す。

表-2.2.1　地山区分別数量表

項　　目	単位	CⅡ	DⅠ	坑口	備　　考
事前ロックボルト L=3.0	本	5			
L=4.0	本		5	5	１サイクル進行長当たり
L=3.0FRP	本	1			
L=4.0FRP	本		2		
舗装撤去	m^2/m	4.92	4.92	4.92	
１サイクル当たり進行長	m	1.2	1.0	1.0	
掘削断面積（余掘含まず）	m^2	23.7	24.3	26.4	
掘削断面積（余掘含む）	m^2	25.6	26.3	28.5	
既設覆工撤去面積	m^2	6.3	6.3	6.3	
吹付け　吹付け長	m	15.4	15.5	15.8	
吹付け面積	m^2	18.5	15.5	15.8	
吹付け厚	m	0.10	0.15	0.25	余吹厚含む
補正係数		2.1	1.9	1.7	
鋼アーチ支保工　規格		H-125	H-125	H-200	上下半とも
H鋼長	m	15.4	15.5	15.8	
ロックボルト					
3m	本	7			
3m継ボルト	本	2			
4m	本		8	4	１サイクル進行長当たり
4m継ボルト	本		2		
フォアポーリング 3m	本			10	
3m継ボルト	本			6	
金網	m		15.5	15.8	
防水シート長	m	22.1	22.1	22.2	
覆工　断面積	m^2	8.7	8.7	9.3	余巻厚含む
インバート　掘削	m^2			18.4	
コンクリート	m^2			6.2	

2．3　サイクルタイム

表-2.3.1 にサイクルタイムを、また表-2.3.2 にはプロテクタ追加・移動の内訳を示す。

表-2.3.1　サイクルタイム

項目				単位		CⅡ	DⅠ	坑口部	摘要
設計断面積（余掘含まず）			A1	m²		23.7	24.3	26.4	
掘削断面積（余掘含む）			A2	〃		25.6	26.3	28.5	
1サイクル当り進行長			B	m		1.2	1	1	
掘削機械作業能力			C	m³/h		18.4	22.4	25.6	標準能力×0.8(DⅢの歩掛りはDⅡを使用)
コンクリート圧砕能力			E	m³/h		5	5	5	ﾒｰｶｰ問い合わせ値（7.0）
既設覆工撤去面積			A3	m²		6.3	6.3	6.3	
1サイクル当たり吹付面積			M	m²		18.5	15.5	15.8	吹付長さ×B
吹付設計厚さ			N	m		0.10	0.15	0.25	
吹付け補正係数						2.1	1.9	1.7	
1サイクル当たりロックボルト本数			P10	本		7	0	0	L=3.0m
			P11	本		2	0	0	L=3.0m　標準+1.5分
			P20	本		0	8	4	L=4.0m
			P21	本		0	2	0	L=4.0m（継ボルト）　標準+3分
1サイクル当たりﾌｫｱﾊﾟｲﾘﾝｸﾞ本数			P30	本		0	0	10	L=3.0m
			P31	本		0	0	6	L=3.0m（継ボルト）　標準+1.5分
掘削	掘削・ずり	削岩準備		min		10	10	10	
		掘削	T1	〃		100	70	67	T1=A2×B×60/C
		跡片付け		〃		30	30	30	切羽付近ｽﾞﾘの片付けを含む
		測量		〃		10	10	10	
		小計		〃		150	120	117	
既設覆工撤去		既設覆工撤去準備		min		20	20	20	ﾆﾌﾞﾗに交換含む
		既設覆工撤去	T2	〃		101	86	86	T2=A3×B×60/E+10（ﾊﾞｹｯﾄに交換含む）
		跡片付け		〃		30	30	30	切羽付近ｺﾝｸﾘｰﾄｶﾞﾗの片付けを含む
		小計		〃		151	136	136	
支保工	吹付	吹付準備		〃		10	10	10	
		吹付	T3	〃		19	22	34	坑口部の歩掛りはDⅡを使用
		跡片付け		〃		30	30	30	ﾌﾟﾛﾃｸﾀｰ付近のﾘﾊﾞｳﾝﾄﾞ処理等含む
		小計		〃		59	62	74	
	ロボルト	ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ準備		〃		10	10	10	
		穿孔	T4	〃		57	86	137	T4=P10*6+P11*7.5+P20*8
		跡片付け		〃		10	10	10	+P21*11+P30*6+P31*7.5
		小計		〃		77	106	157	
	金網設置		T5	〃		0	30	30	
	鋼アーチ支保工	支保工準備		〃		10	10	10	
		支保工建込	T6	〃		55	55	55	上半:30分　下半:15分(通常25分の内１本分)
		小計		〃		65	65	65	接続部処理:10分
計			Q1	〃		502	519	579	
1日当たり進行長				m/日		2.6	2.1	1.9	540分×B×2方÷Q1
1月当たり進行長				m/月		59.4	47.9	42.9	540分×B×2方×23日÷Q1
プロテクタ追加、移動				分/m		29	24	24	10m毎　所要時間240分
計			Q2	〃		531	543	603	

表-2.3.2　プロテクタ追加・移動の内訳

内訳	準備、レール搬入	30分
	レール据付け	60分
	移動	30分
	点検、修復	60分
	その他の損失（通行止、配線、故障）	60分
	計	240分

なお、参考としてブレーカ掘削のサイクルタイムを表-2.3.3 に、割岩掘削時のサイクルタイムを表-2.3.4 に示す。

表-2.3.3　ブレーカ掘削時のサイクルタイム表

項目				単位		CⅡ	DⅠ	坑口部	摘要
設計断面積（余掘含まず）			A1	m²		23.7	24.3	26.4	
掘削断面積（余掘含む）			A2	〃		25.6	26.3	28.5	
1サイクル当り進行長			B	m		1.2	1	1	
掘削機械作業能力			C	m³/h		10	10	10	ブレーカ掘削能力予想
コンクリート圧砕能力			E	m³/h		5	5	5	ﾒｰｶｰ問い合わせ値（7.0）
既設覆工撤去面積			A3	m²		6.3	6.3	6.3	
1サイクル当たり吹付面積			M	m²		18.5	15.5	15.8	吹付長さ×B
吹付設計厚さ			N	m		0.10	0.15	0.25	
吹付け補正係数						2.1	1.9	1.7	
1サイクル当たりロックボルト本数			P10	本		7	0	0	L=3.0m
			P11	本		2	0	0	L=3.0m　標準+1.5分
			P20	本		0	8	4	L=4.0m
			P21	本		0	2	0	L=4.0m（継ボルト）　標準+3分
1サイクル当たりﾌｫｱﾊﾟｲﾘﾝｸﾞ本数			P30	本		0	0	10	L=3.0m
			P31	本		0	0	6	L=3.0m（継ボルト）　標準+1.5分
掘削	掘削・ずり	削岩準備		min		10	10	10	
		掘削	T1	〃		184	158	171	T1=A2×B×60/C
		跡片付け		〃		30	30	30	切羽付近ｽﾞﾘの片付けを含む
		測量		〃		10	10	10	
		小計		〃		234	208	221	
既設覆工撤去		既設覆工撤去準備		min		20	20	20	ﾆﾌﾞﾗに交換含む
		既設覆工撤去	T2	〃		101	86	86	T2=A3×B×60/E+10（ﾊﾞｹｯﾄに交換含む）
		跡片付け		〃		30	30	30	切羽付近ｺﾝｸﾘｰﾄｶﾞﾗの片付けを含む
		小計		〃		151	136	136	
支保工	吹付	吹付準備		〃		10	10	10	
		吹付	T3	〃		19	22	34	坑口部の歩掛りはDⅡを使用
		跡片付け		〃		30	30	30	ﾌﾟﾛﾃｸﾀｰ付近のﾘﾊﾞｳﾝﾄﾞ処理等含む
		小計		〃		59	62	74	
	ロボルト	ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ準備		〃		10	10	10	
		穿孔	T4	〃		57	86	137	
		跡片付け		〃		10	10	10	
		小計		〃		77	106	157	
	金網設置		T5	〃		0	30	30	
	鋼アーチ支保工	支保工準備		〃		10	10	10	
		支保工建込	T6	〃		55	55	55	上半:30分　下半:15分(通常25分の内1本分)
		小計		〃		65	65	65	接続部処理:10分
計			Q1	〃		586	607	683	
1日当たり進行長				m/日		2.2	1.8	1.6	540分×B×2方÷Q1
1月当たり進行長				m/月		50.9	40.9	36.4	540分×B×2方×23日÷Q1
プロテクタ追加、移動				分/m		29	24	24	10m毎　所要時間240分
計			Q2	〃		615	631	707	

表-2.3.4　割岩時のサイクルタイム表

支保パターン					C_{II}	C_{II}	D_I	D_I	摘　　要
地山の一軸圧縮強度(MPa)					80～150	100～150	80～150	150～200	
項　　目				単位					
設計掘削断面積(余堀含まず)			A1	m^2	23.7	23.7	24.3	24.3	小数第2位四捨五入で第1位止め
設計掘削断面積(余堀含む)			A2	m^2	25.6	25.6	26.3	26.3	〃
1サイクル進行長			B	m	1.2	1.2	1.0	1.0	
1m当たり割岩孔穿孔時間			C	min/m	2.7	2.7	2.7	2.7	ドリルジャンボの60%能力
1m^2当たり連続孔穿孔時間			D	min/m^2	22.2	24.3	22.2	24.3	ドリルジャンボの60%能力
1m当たり割岩時間			E	min/m	2.5	3.2	2.5	3.2	施工実績より
ブレーカ・油圧jクサビ使用率			F	%	21.8	24.7	21.8	24.7	施工実績より
10tダンプ積載量			H	m^3	4.5	4.5	4.5	4.5	
1サイクル当たり吹付面積			M	m^2	18.5	18.5	15.5	15.5	M＝吹付周長×B
吹付設計厚さ			N	m	0.10	0.10	0.15	0.15	
1サイクル当たりボルト本数			P	本	9	9	10	10	P＝ 1断面当たり本数×B / ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ縦断方向間隔
掘削工	割岩孔	穿孔準備		min	10	10	10	10	
		穿孔＊1	T1	〃	157	142	141	127	T1=C×割岩孔数×穿孔長/ﾌﾞｰﾑ数
	連続孔穿孔	穿孔準備		〃	20	20	20	20	
		穿孔＊2	T2	〃	304	393	261	337	T2=D×連続孔延長×穿孔長/ﾌﾞｰﾑ数
	1次破砕	破砕準備		〃	20	20	20	20	
		破砕＊3	T3	〃	186	215	155	179	T3=E×割岩孔数×B/油圧ｸｻﾋﾞ台数
	2次破砕	破砕準備		〃	10	10	10	10	
		破砕＊4	T4	〃	41	53	34	44	T4＝T3×油圧ｸｻﾋﾞ台数×F
	小計			〃	748	863	650	748	
	ずり出し	ずり出し準備		〃	5	5	5	5	
		ずり出し	T5	〃	31	31	27	27	T5＝60×A2×B/59.4
		跡片付け		〃	30	30	30	30	切羽付近ｺﾝｸﾘｰﾄｶﾞﾗの片付けを含む
		測量		〃	40	40	40	40	マーキング等含む
		小計		〃	106	106	102	102	
既設覆工撤去		既設覆工撤去準備		〃	20	20	20	20	ﾆﾌﾞﾗに交換含む
		既設覆工撤去	T6	〃	101	101	86	86	T6=A2×B×60/5+10 (ﾊﾞｹｯﾄに交換含む
		跡片付け		〃	30	30	30	30	切羽付近ｺﾝｸﾘｰﾄｶﾞﾗの片付けを含む
		小計		〃	151	151	136	136	
支保工	吹付け	吹き付け準備		〃	10	30	10	10	
		吹き付け	T7	〃	19	19	22	22	
		跡片付け		〃	30	30	30	30	ﾌﾟﾛﾃｸﾀｰ付近のﾘﾊﾞｳﾝﾄﾞ処理等含む
		小計		〃	59	79	62	62	
	ロックボルト	ロックボルト準備		〃	10	10	10	10	
		穿孔	T8	〃	57	57	86	86	
		跡片付け		〃	10	10	10	10	
		小計		〃	77	77	106	106	
	金網設置		T9	〃	0	0	30	30	
	鋼アーチ支保工	支保工準備		〃	10	10	10	10	
		支保工建込	T10	〃	55	55	55	55	
		小計		〃	65	65	65	65	
計				Q	〃	1205	1341	1150	1248	
1日当たり進行長					m/日	0.90	0.81	0.94	0.87	540分×B×方数×(23)日/月/Q
1月当たり進行長					m/月	20.6	18.5	21.6	19.9	小数第2位四捨五入で第1位止め

T5,T7～T9については建設省「土木工事積算基準」に準拠する。

(注)　*1　設計孔数に対して、亀裂等を考慮して適宜割増減を行う。
　　割岩孔1孔当たりの穿孔長は、1進行長＋70cmとする。
　　*2　連続孔1孔当たりの穿孔長は、1進行長＋20cmとする。
　　*3　破砕孔数＝割岩穿孔数　破砕のための補助割岩孔を考慮する場合は別途。

3．三日月形工法応用例の試算例

以下では、延長の長いトンネルにおける三日月形の応用例としての試算を行う。

3．1　試算条件

（1）　断面と線形

・既設トンネルは１車線自動車道路として利用するものとし、新設トンネルは１車線＋歩道（3.5m）とする。

・トンネルの線形は、既設トンネル内に入って直ちに分岐するものとする。また、設計速度を 60km/h とし分岐部曲率は R=500m（緩和曲線を設ける場合の限界曲線半径は 60km/h の場合 500m）とする。

・新設と既設トンネルの離隔は、掘削影響領域外 3.0D'（D'：既設トンネルと新設トンネルの平均径）以上とし、トンネルセンター間で 39.7m、掘削面から約 30m とする。

・既設トンネルの断面を図-3.1.1 に、新設トンネルの断面を図-3.1.2 に、坑口部の既設トンネルと新設トンネルの位置関係を図-3.1.3 に示す。また、平面線形を図-3.1.4 に示す。

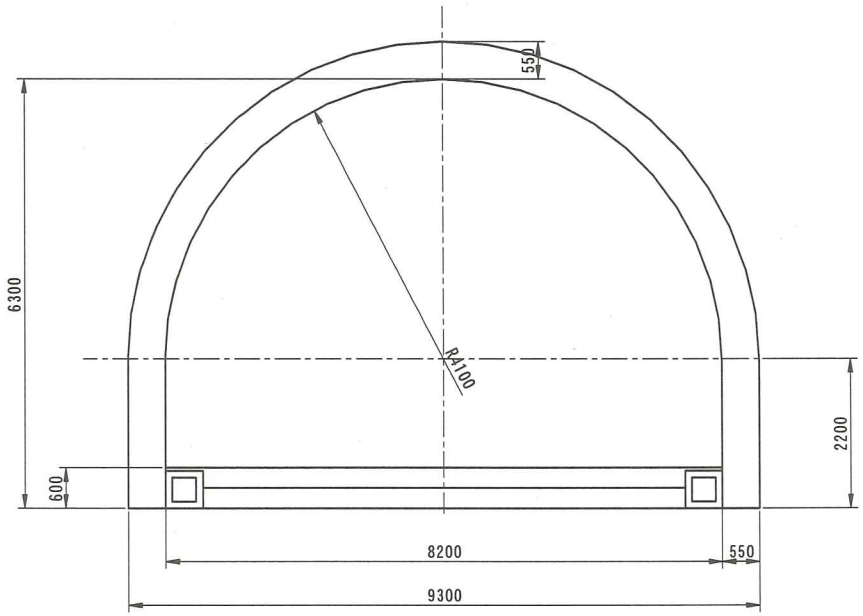


図-3.1.1　既設トンネル標準断面図

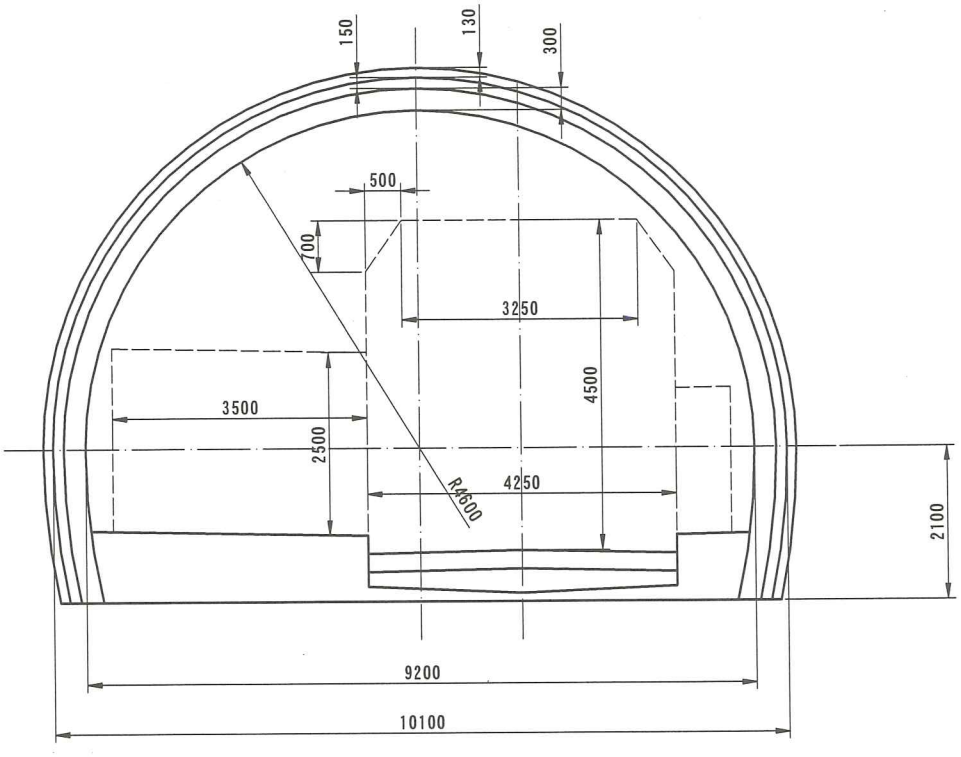


図-3.1.2　新設トンネル標準断面図（1 車線+歩道）

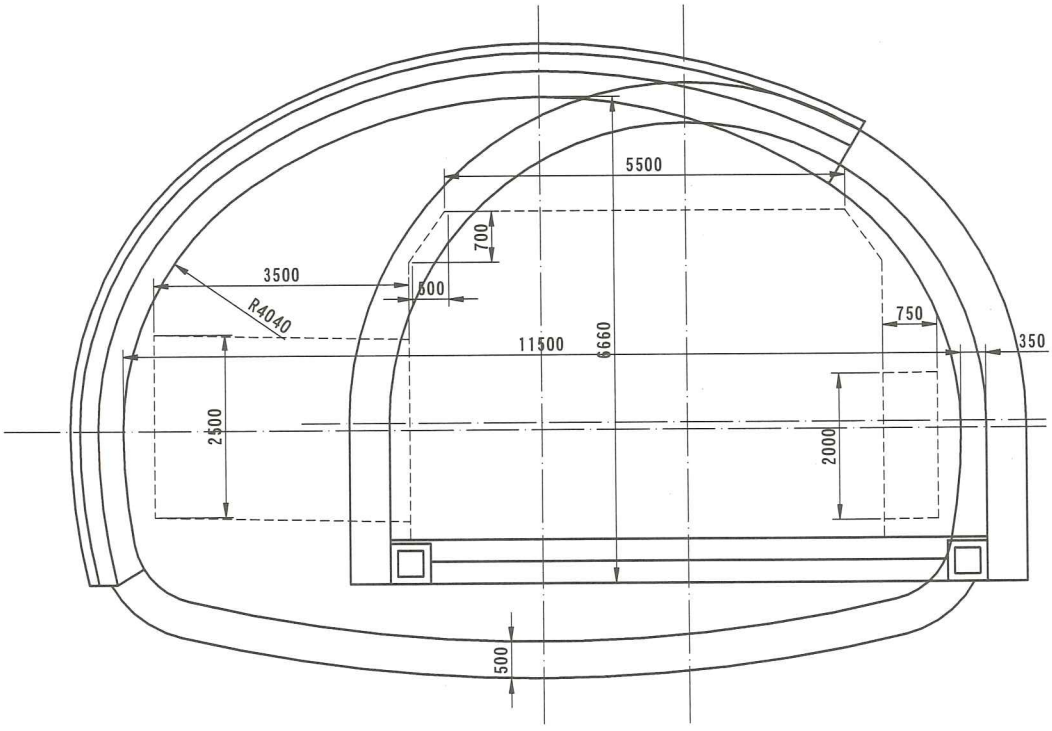


図-3.1.3　坑口部標準断面図

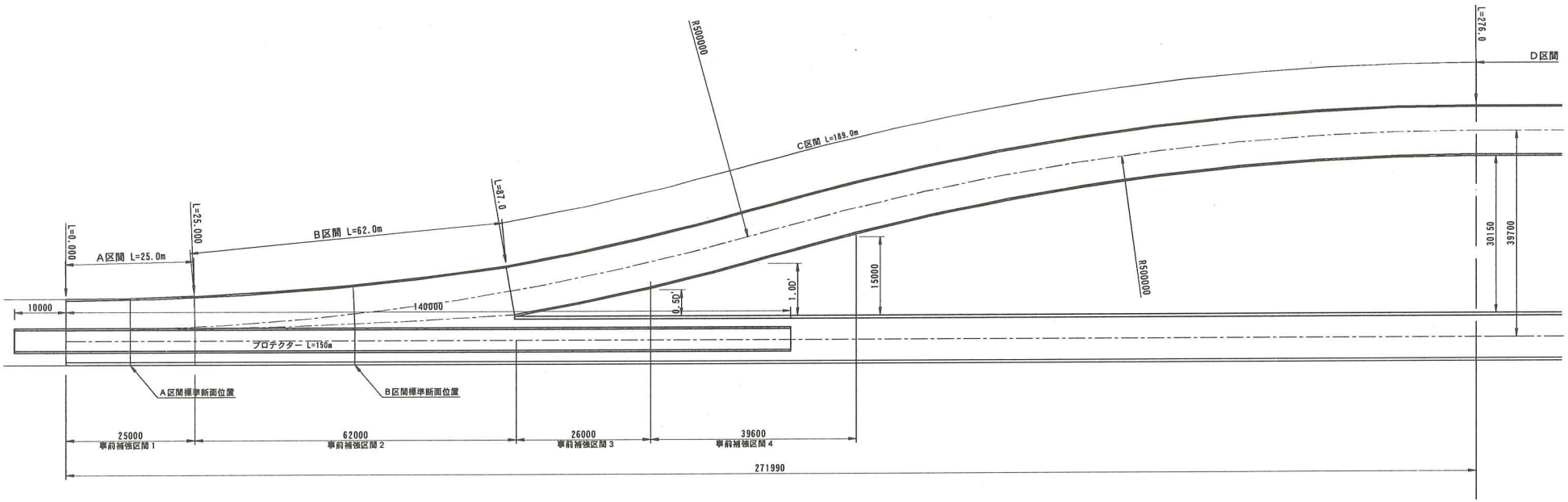

L=0.000
L=25.000
L=87.0
L=276.0
A区間 L=25.0m
B区間 L=62.0m
C区間 L=189.0m
D区間
R500000
R500000
10000
140000
0.50'
1.00'
15000
30150
39700
プロテクター L=150m
A区間標準断面位置
B区間標準断面位置
25000
事前補強区間 1
62000
事前補強区間 2
26000
事前補強区間 3
39600
事前補強区間 4
271990

図-3.1.4　平面図

（2）　施工区間分類と支保構造

工事は、次の４区間に分ける（図-3.1.4 参照）。なお、各区間の標準支保パターン図を図-3.1.5～3.1.8に示す。

①A区間

・坑口区間のL=25mで、インバートを設置する。

・拡大は三日月型工法を適用し、掘削はマルチタイプ掘削機による全断面掘削工法とする。

②B区間

・A区間終了地点から側壁部交差までのL=62m。この区間は扁平大断面となり、インバートを設置すると大規模な掘削等を伴うため、下向きロックボルトを打設する。この事例は豊浜トンネルにて実績有り。

・拡大は三日月型工法を適用し、掘削はマルチタイプ掘削機による全断面掘削工法とする。

③C区間

・B区間終了点から曲線部のL=189m。

・この区間は近接施工の直接影響範囲内に入るため、支保はＤⅠパターンを適用。

・掘削はマルチタイプ掘削機による全断面掘削工法とする。

④D区間

・C区間終了点以降の新設直線部とする。

・掘削は爆破による全断面掘削工法とする。（汎用機使用）

・支保はＣⅡパターンを適用。

（3）　プロテクタ

・プロテクタは内空4m×4mの固定式プロテクタとする。

・プロテクタの設置長は、坑外の余裕長10mとし、トンネル坑内は新設トンネルの離隔距離が約1.0D'(10m)以上となるまでの区間140mとし、計150mとする。

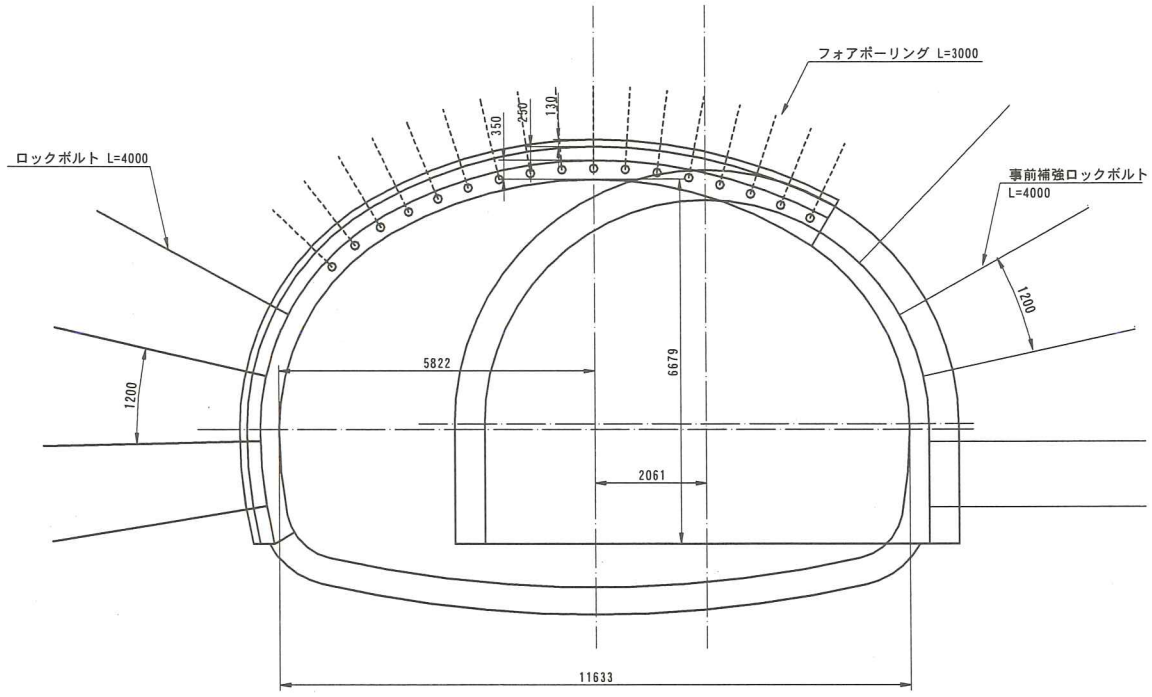


図-3.1.5　A区間標準支保パターン

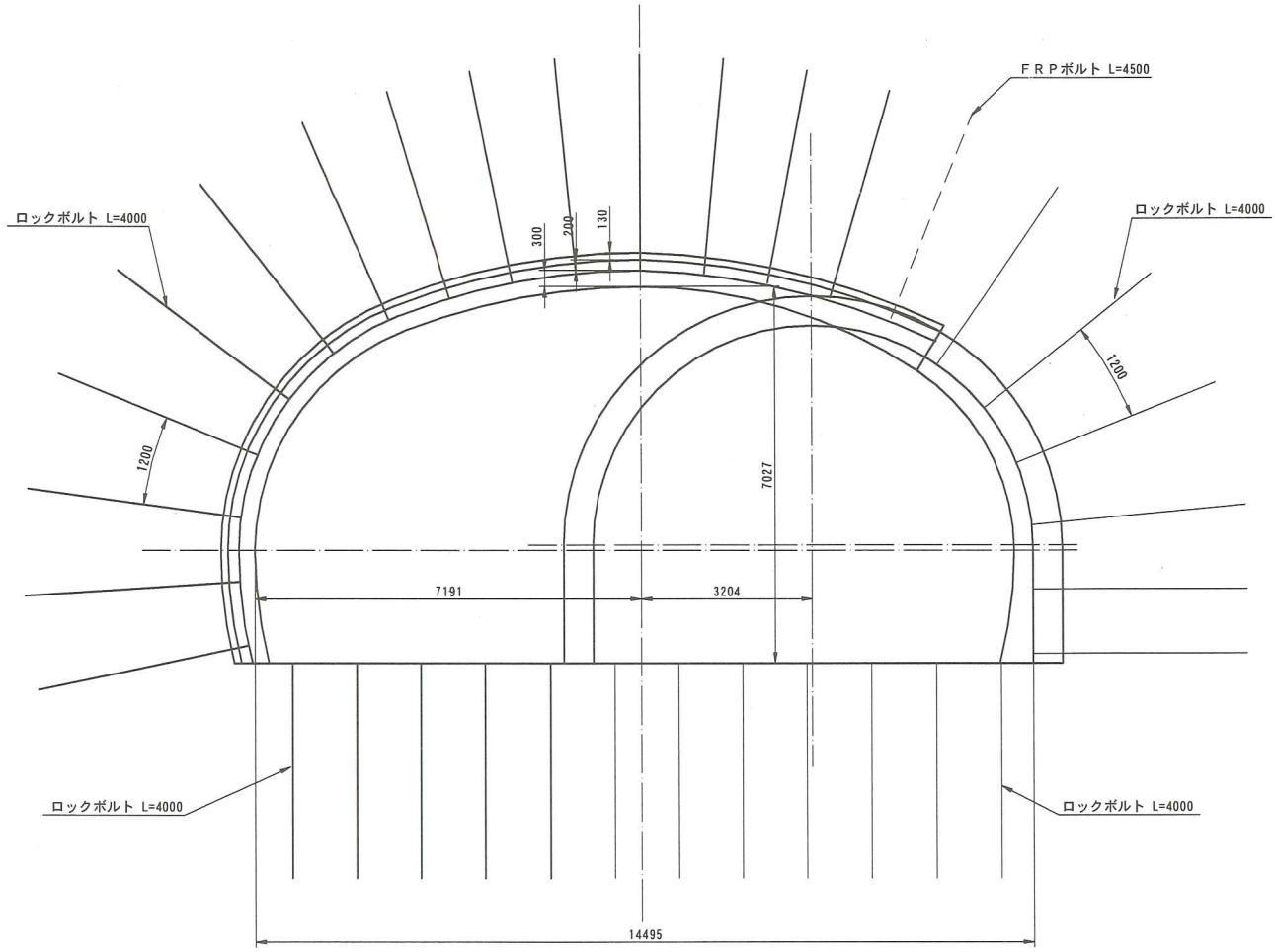


図-3.1.6　B区間標準支保パターン

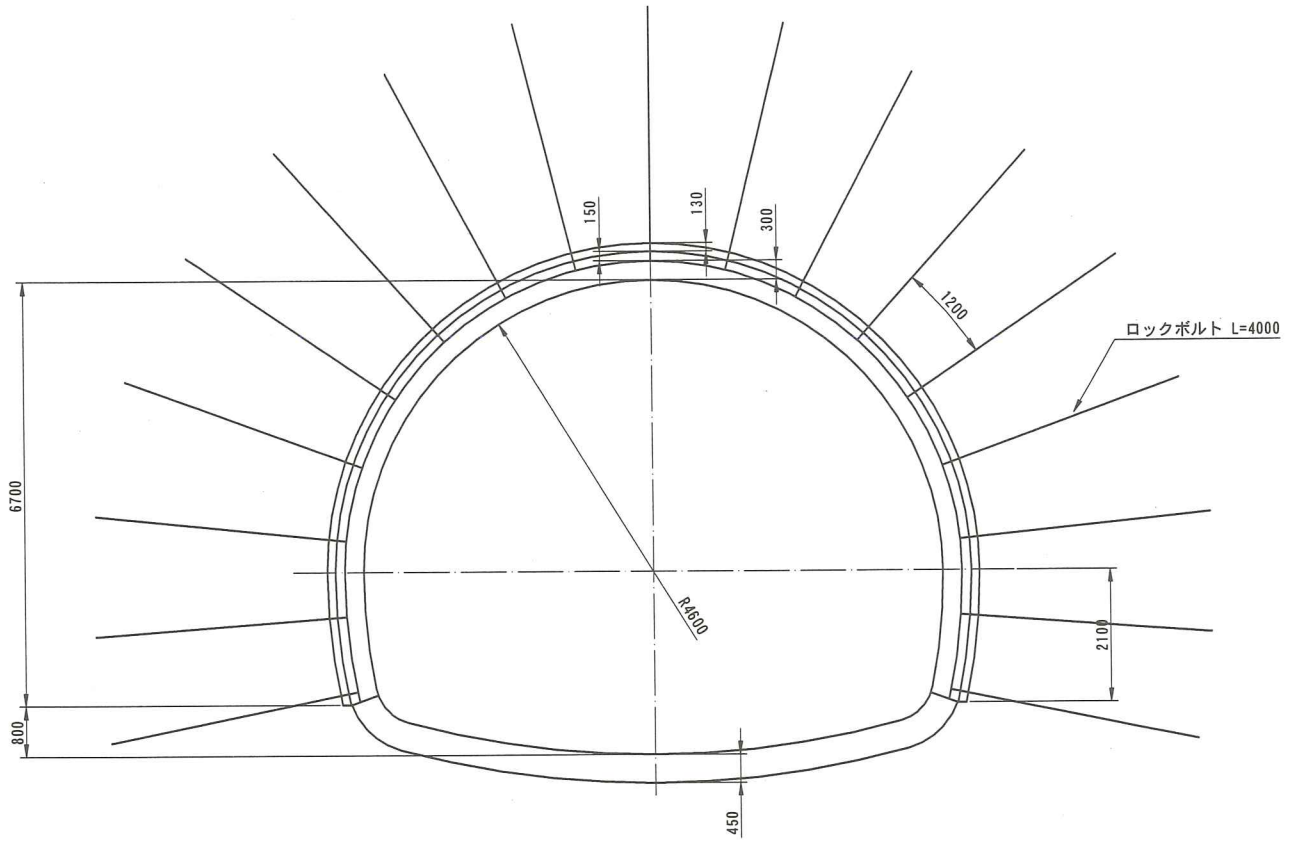


図-3.1.7　C区間標準支保パターン

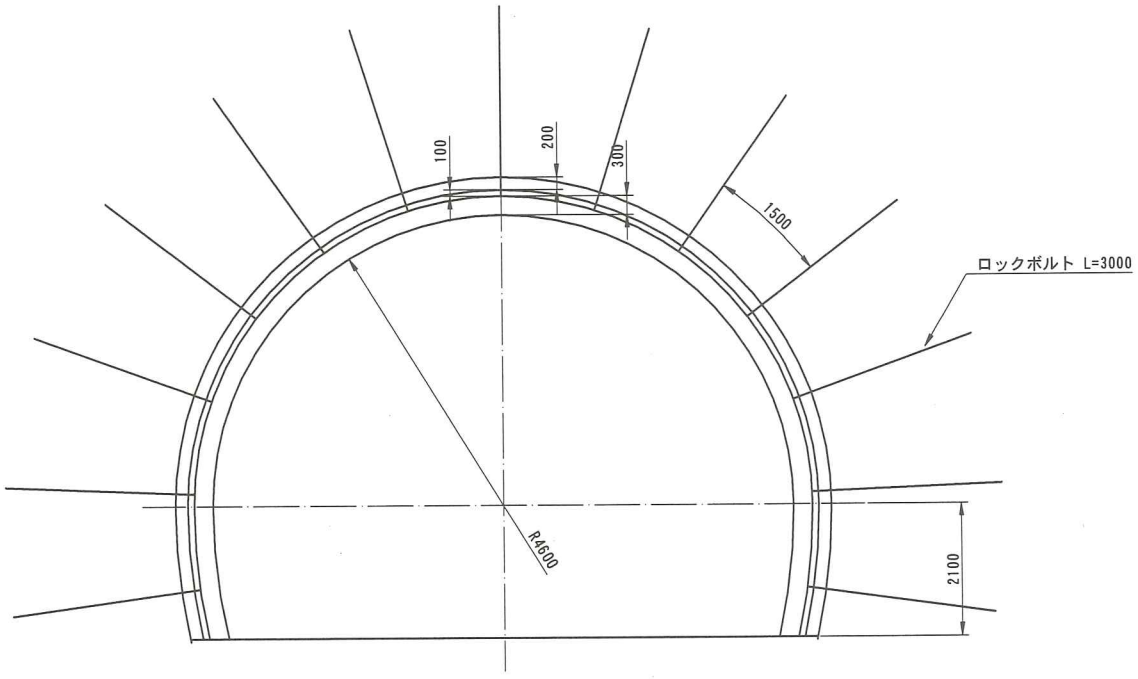


図-3.1.8　D区間標準支保パターン

（4）　事前補強

事前補強は、片側１車線を規制して施工する。また事前補強区間は次の４区間に分けて考える。各区間の事前補強図を図-3.1.9～図-3.1.12 に示す。

①事前補強区間１

・拡大時にインバート設置を行うＡ区間　L=25m。

・ロックボルト L=4.0m（2m 継ぎボルト）５本（ctc=1.2m）。

②事前補強区間２

・B 区間 L=62m。

・ロックボルト L=4.0m（2m 継ぎボルト）６本、ＦＲＰボルト L=4.5m（2m 継ぎボルト）１本（ctc=1.2m）。

・インバートに替わる下向きロックボルト L=4.0m、７本。

③事前補強区間３

・新設トンネルとの離隔が約 0.5D’未満となる L=26m。

・ロックボルト L=4.0m 、10 本（ctc=1.2m）。

・新設側側壁部のロックボルトは FRP 製 L=2.0～4.0m、５本。

・インバートに替わる下向きロックボルト L=4.0m、６本（ctc=1.0m）。

④事前補強区間４

・２トンネルの離隔が約 1.5D’となる区間までの L=39.6m。

・ロックボルト L=3.0m、11 本（ctc=1.5m）。

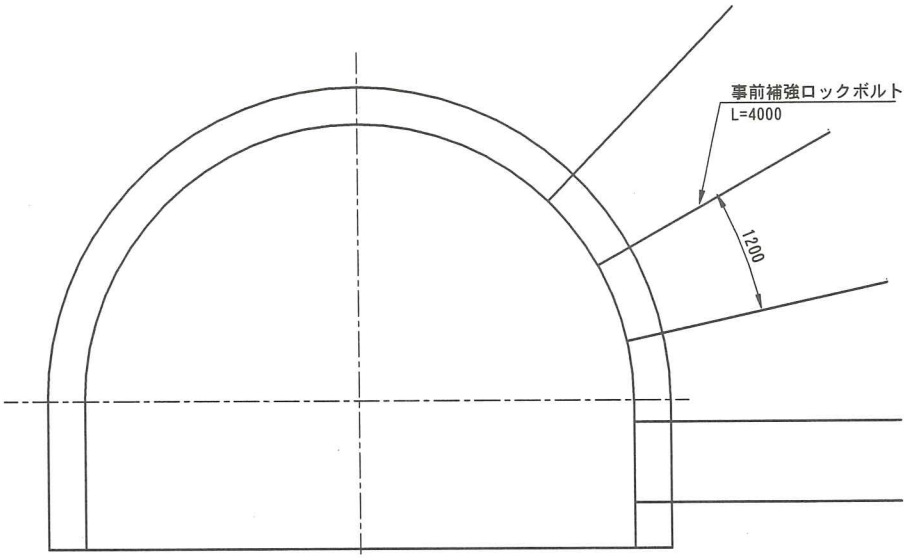


図-3.1.9　事前補強工（区間 1）

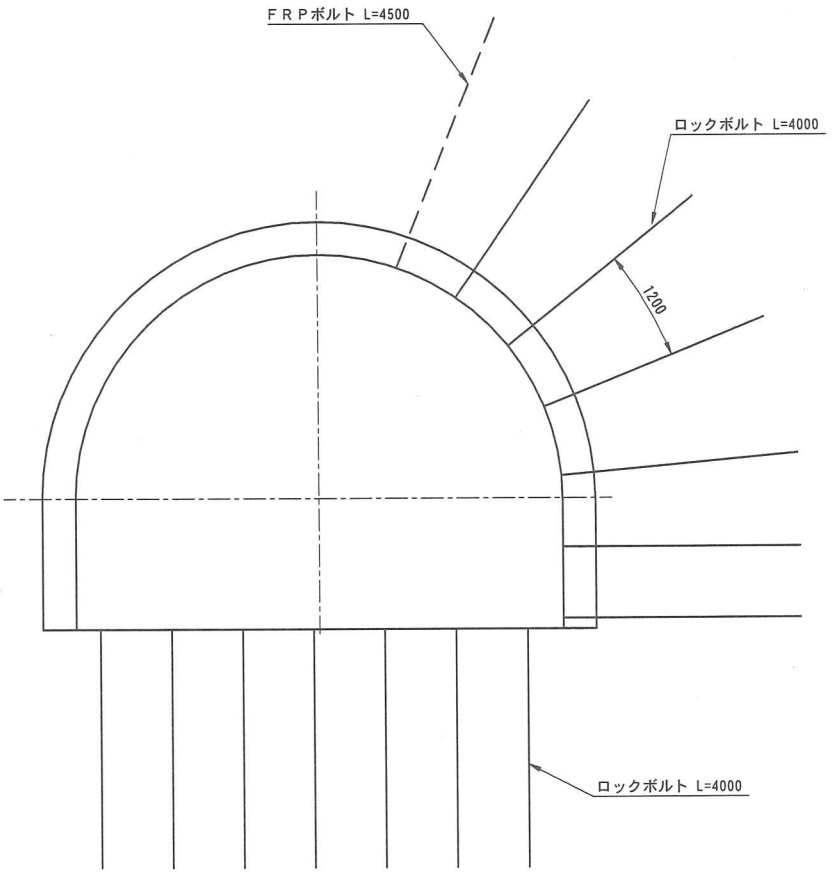


図-3.1.10　事前補強工（区間 2）

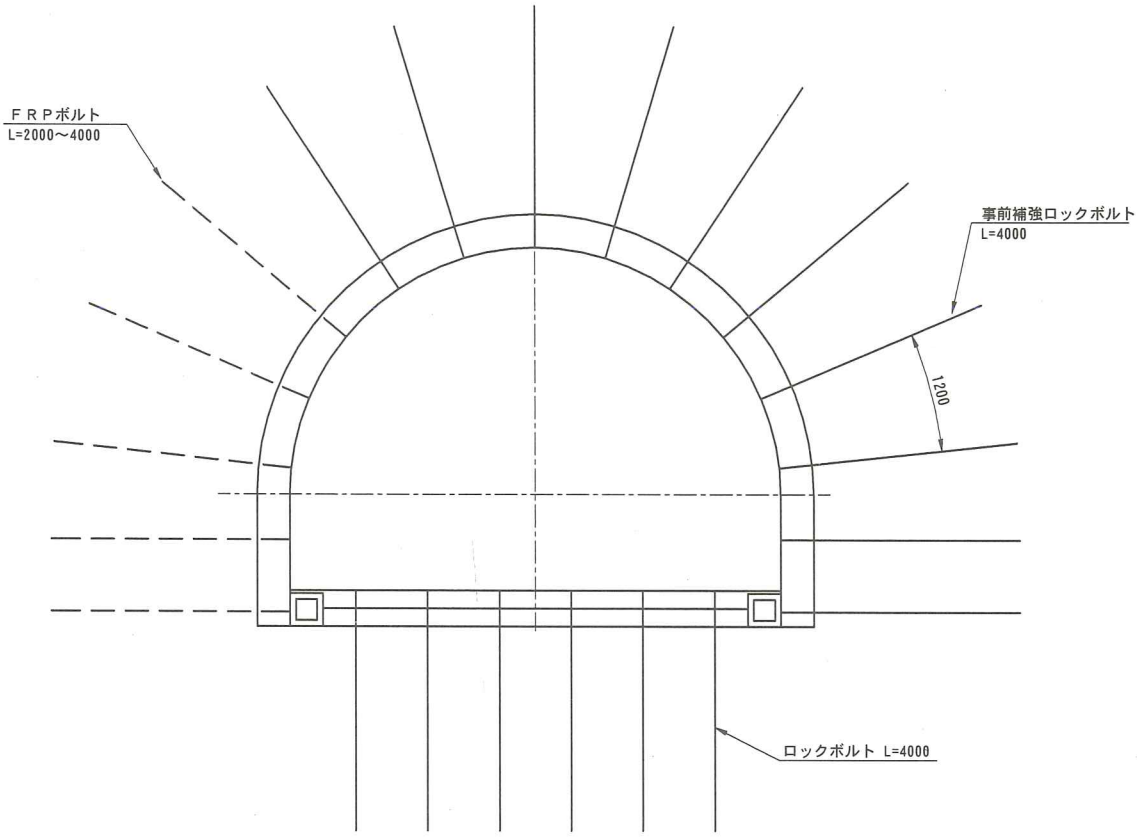


図-3.1.11　事前補強工（区間 3）

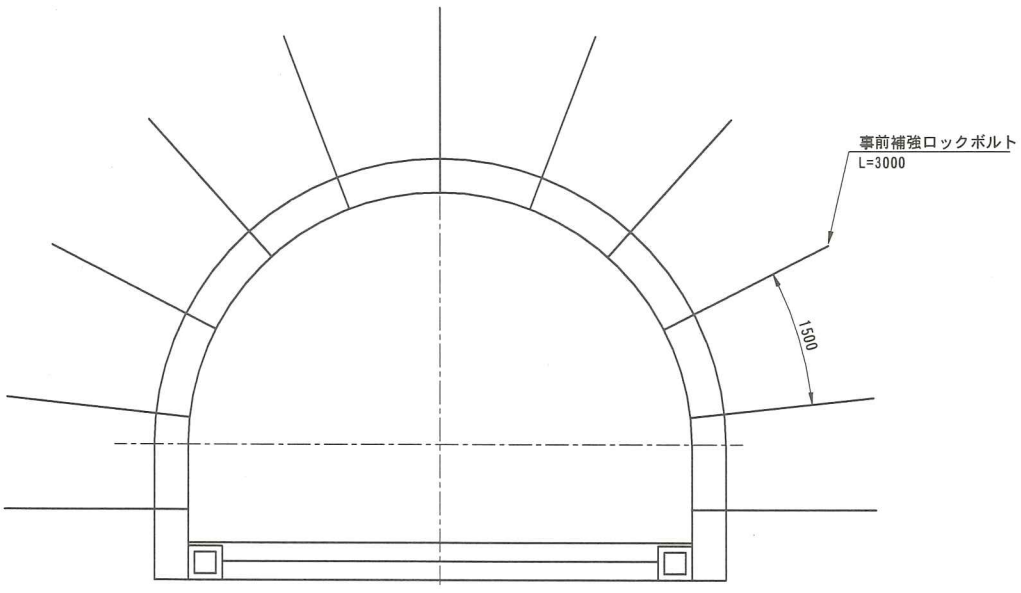


図-3.1.12　事前補強工（区間 4）

３．２　試算数量

Ａ～Ｃ区間のパターン別１サイクルあたりの数量を表-3.2.1 に示す。

表-3.2.1　パターン別数量一覧

		単位	Ａ区間	Ｂ区間	Ｃ区間
区間長		m	25	62	189
１サイクル長		m	1.0	1.0	1.0
既設路盤撤去断面積		m²	4.68	4.68	
既設覆工撤去断面積		m²	6.29	6.29	
支払い掘削断面積		m²	41.73	48.70	72.93
鋼アーチ支保工			H-200	H-150	H-125
吹付け厚さ		cm	25	20	15
余吹厚		cm	5	5	5
吹付け周長		m	15.96	18.5	20.1
覆工厚		cm	35	30	30
覆工支払い断面積		m²	9.25	9.9	7.32
ロックボルト	L=4.0m	本	4	19	17
	L=3.0m	本			
下向きボルト	L=4.0m	本		5	
充填式フォアポーリング	L=3.0m	本	17		
掘削工		m³	1,043	3,019	13,784
既設覆工撤去断面積		m³	157	390	
吹付け工		m³	215	516	1,444
ロックボルト	L=4.0m	本	100	1,178	3,213
	L=3.0m	本			
下向きボルト	L=4.0m	本		310	
充填式フォアポーリング	L=3.0m	本	425		
金網工		m²	399	1,147	3,799
鋼アーチ支保工		基	25	62	189
		m	15.96	18.5	20.1

3．3　サイクルタイム

マルチタイプ掘削機を用いるＡ～Ｃ区間のサイクルタイムを表-3.3.1 に、爆破掘削によるＤ区間のサイクルタイムを表-3.3.2 に示す。

表-3.3.1　マルチタイプ掘削機によるサイクルタイム

項目				単位	A	B	C	摘要
パターン					坑口	ＤⅡ	ＤⅠ	B区間はＤⅡを適用
掘削断面積（余掘含まず）				A1	m²	39.6	46.3	70.3	
掘削断面積（余掘含む）				A2	〃	41.7	48.7	72.9	
1サイクル当り進行長				B	m	1.0	1.0	1.0	
掘削作業能力				C1	m³/h	25.6	22.4	22.4	標準能力×0.8
コンクリート圧砕能力				E	m³/h	5.0	5.0		ﾒｰｶｰ問い合わせ値（7.0）
既設覆工撤去面積				A3	m²	6.3	6.3		
1サイクル当たり吹付面積				M	m²	16.0	18.4	20.1	吹付長さ×B
吹付設計厚さ				N	m	0.25	0.20	0.15	［補正係数］= ＤⅡ2.1、ＤⅠ1.9、ＤⅢ1.8(ＤⅡ)
1サイクル当たりロックボルト本数				P1	本	4	14	17	L=4.0m　　（先行）ＤⅠ6本　ＤⅢ4本
下向きボルト				P3	本	0	5	0	L=4.0m
1サイクル当たりﾌｫｱﾊﾟｲﾘﾝｸﾞ本数				P4	本	17	0	0	L=3.0m
掘削	掘削	削岩準備			min	10	10	10	
		掘削		T1	〃	98	130	195	T1=A2×B×60/C
		跡片付け			〃	30	30	30	切羽付近ｽﾞﾘの片付けを含む
		測量			〃	10	10	10	
		小計			〃	148	180	245	
既設覆工撤去		既設覆工撤去準備			min	20	20	0	ﾆﾌﾞﾗに交換含む
		既設覆工撤去		T2	〃	86	86	0	T2=A3×B×60/E+10（ﾊﾞｹｯﾄに交換含む）
		跡片付け			〃	30	30	0	切羽付近ｺﾝｸﾘｰﾄｶﾞﾗの片付けを含む
		小計			〃	136	136	0	
支保工	吹付	吹付準備			〃	10	10	10	
		吹付		T3	〃	36	33	29	ＤⅢの歩掛りはＤⅡを使用
		跡片付け			〃	30	30	30	ﾌﾟﾛﾃｸﾀｰ付近のﾘﾊﾞｳﾝﾄﾞ処理等含む
		小計			〃	76	73	69	
	ロボルト	ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ準備			〃	10	10	10	
		穿孔		T4	〃	122	95	85	
		跡片付け			〃	30	30	10	（継のみを行う場合の歩掛りは２倍とする）
		小計			〃	162	135	105	
	金網設置			T5	〃	30	30	20	
	鋼アーチ支保工	支保工準備			〃	10	10	10	
		支保工建込		T6	〃	55	55	25	上半:30分　下半:15分(通常25分の内１本分)
		小計			〃	65	65	35	接続部処理:10分
計				Q1	〃	617	619	474	
1日当たり進行長					m/日	1.8	1.7	2.3	540分×B×2方÷Q1

表-3.3.2　爆破掘削によるサイクルタイム

項目				単位	D区間	摘要
パターン					CⅡ	
掘削断面積（余掘含まず）			A1	m²	60.0	
掘削断面積（余掘含む）			A2	〃	64.1	
1サイクル当り進行長			B	m	1.2	
1m³当たり穿孔時間			C	分/m³	1.1	
ずり出し作業労力			D	m³/h	64.4	
1サイクル当たり吹付面積			M	m²	23.9	
吹付設計厚さ			N	m	0.10	
1サイクル当たりロックボルト本数			P	本	13	
ボルト長さ			L	m	3	
掘削	削岩	削岩準備		min	10	
		穿孔	T1	〃	66	T1=A1*C
		装薬・爆破・換気等		〃	45	
		こそく・浮石落とし		〃	20	
		小計		〃	141	
		ずり出し準備		〃	5	
		ずり出し	T2	〃	72	T2=60*A2*B/D
		跡片付け		〃	5	
		測量		〃	5	
		小計		〃	87	
支保工	吹付	吹付準備		〃	10	
		吹付	T3	〃	27	T3=M*N*補正係数*60/12
		跡片付け		〃	10	
		小計		〃	47	
	ロボルト	ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ準備		〃	10	
		穿孔	T4	〃	52	T4=P*4
		跡片付け		〃	10	
		小計		〃	72	
	金網設置		T5	〃	0	
	鋼アーチ支保工	支保工準備		〃	10	
		支保工建込	T6	〃	20	
		小計		〃	30	
計			Q1	〃	377	
1日当たり進行長				m	3.4	

4．施工事例

4．1　銀河トンネル

（1）　工事概要

新設トンネル（銀河トンネル）の既設トンネル（小函トンネル）への接続工事である。

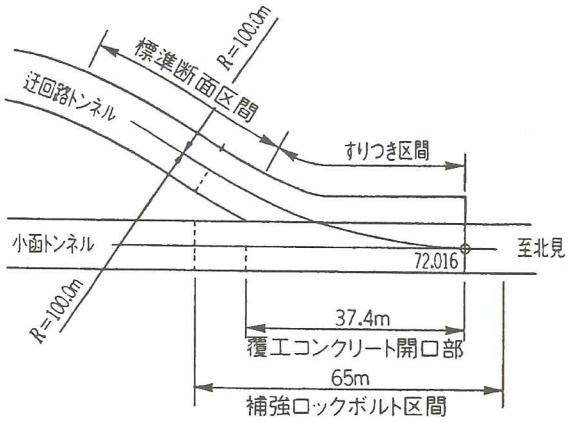


図-4.1.1　合流部平面図[1)]

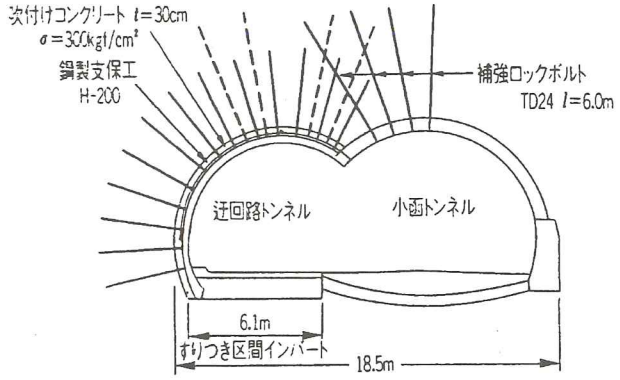


図-4.1.2　合流部断面図[1)]

（2）　施工方針

- 迂回路トンネルの掘削影響を受ける周辺地山はロックボルトで事前に補強する。この補強ロックボルトは、接続部において既設覆工端部を地山に縫い付ける構造部材も兼ねる。
- 既設覆工表面にはクラックが発生しており、取り壊し時の衝撃荷重などによりクラックが進展しないように、取り壊し線に沿って力学的な縁を切ってから（ワイヤーソーによる事前切断）既設覆工を撤去する。

（3）　既設トンネル補強工

補強工は、長さ 6.0m、TD24 のロックボルトを打設した。補強ロックボルトの配置は、トンネル周方向に 1.0m 間隔で 4 本とした（図-4.1.3）。延長方向には、補強区間の 65.0m に対して 1.0m 間隔とした。定着材にはドライカプセルを用いた。

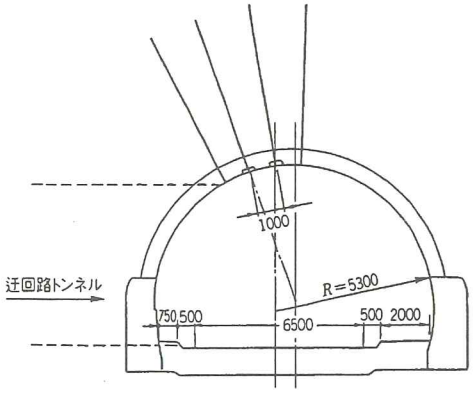


図-4.1.3　補強ロックボルト配置断面図[1)]

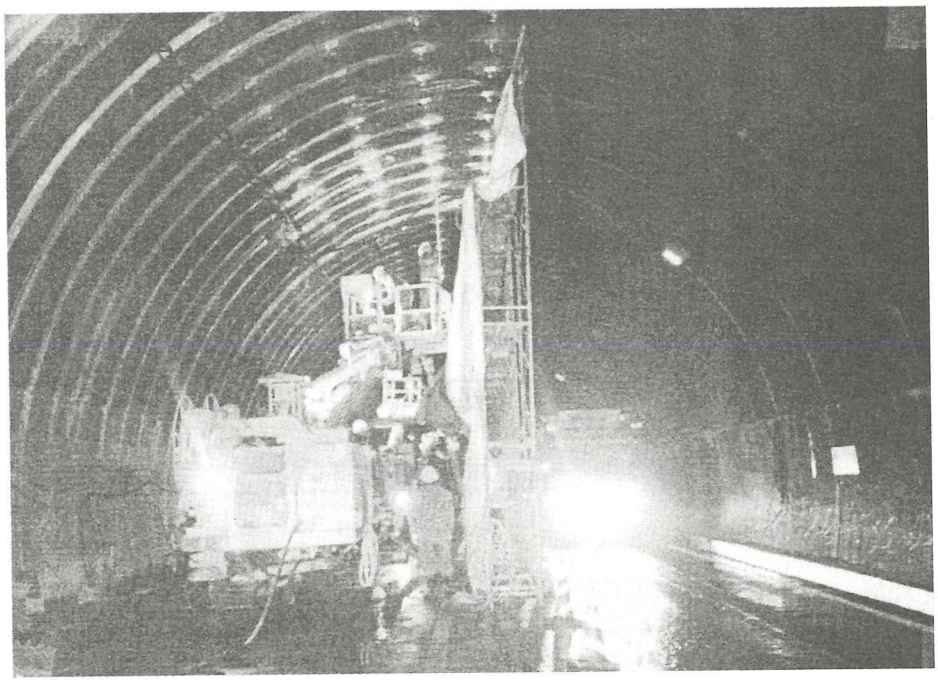


写真-4.1.1　補強ロックボルト打設状況その１

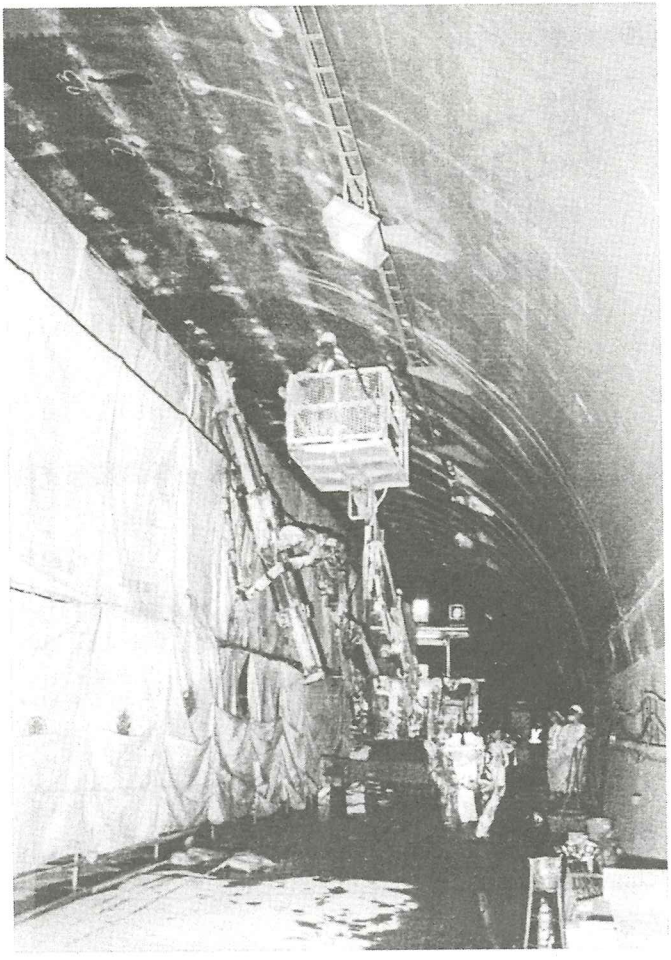


写真-4.1.2　補強ロックボルト打設状況その２

（4）　新設トンネル覆工の端部支持

平面骨組構造解析（ＦＲＡＭＥ）での肩部支点反力を用いて検討を行った結果、支持方法としては、新設トンネルの覆工コンクリートはアンカーで地山に吊り下げる方法を採用した。なお、既設トンネルの覆工コンクリートとは縁が切れている。

図-4.1.4～4.1.6 にアースアンカーの詳細図を示す。アンカー材には異形ＰＣ棒鋼を用い、アンカー間に腹起材を配置して、覆工荷重がアンカーに伝達されるようにした。

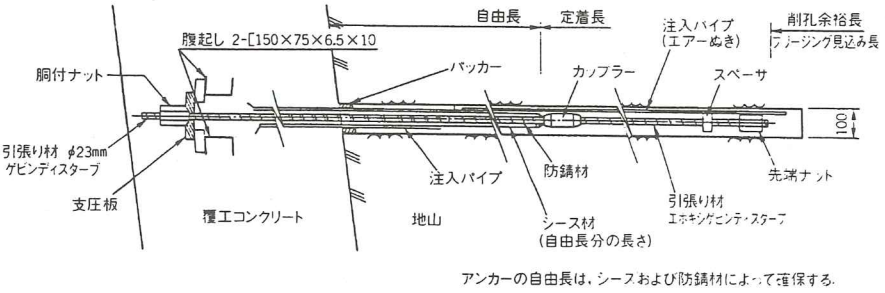


図-4.1.4　アースアンカー詳細図[1)]

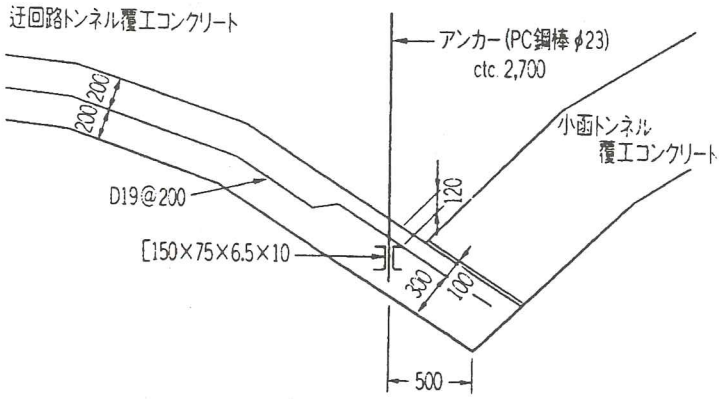


図-4.1.5　迂回路トンネル覆工コンクリートの端部支持[1)]

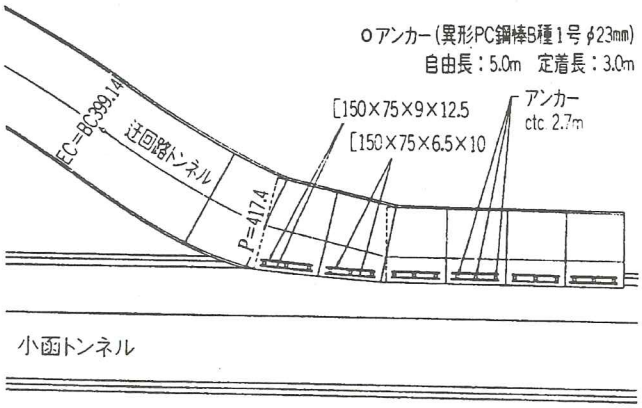


図-4.1.6　アースアンカー配置図[1)]

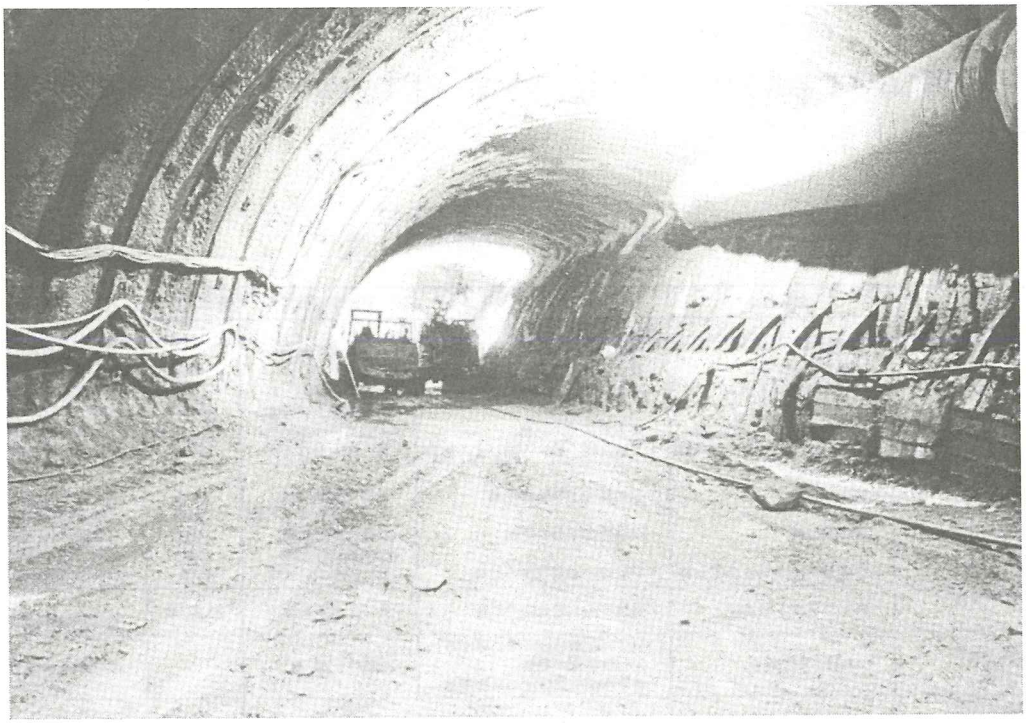


写真-4.1.3　掘削状況

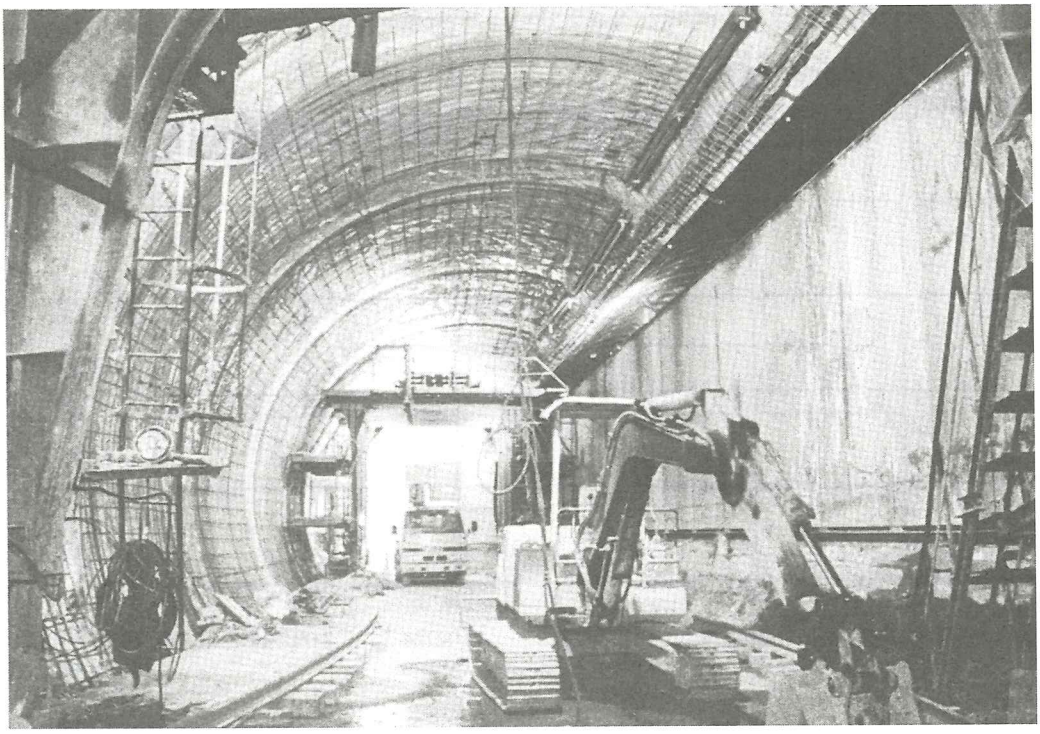


写真-4.1.4　覆工コンクリート端部補強状況

（5） 計測結果

トンネル合流部において実施された計測項目一覧を表-4.1.1 に示す。また、計測結果を図-4.1.7～図-4.1.10 に示す。

表-4.1.1 計測項目一覧

	計測項目	測定方法	計測結果の活用方法と評価	計測管理項目	管理限界値	限界値の設定根拠
小面トンネルの計測	(1) 覆工コンクリートの挙動		[NATM計測管理基準に準ずる]			
	①内空変位の変状調査	・目視観察	・覆工コンクリート安定性の確認	・クラックの進展		・迂回路掘削終了時の壁面調査
		・覆工表面ひずみ	・クラック部挙動の把握	・クラック幅	3 mm	・トンネル補修・補強マニュアル
	②天端沈下，内空変位	・3次元計測システム	・小面トンネル挙動の把握	・測点の変位量	15mm	・限界ひずみ(0.3%)•半径(5.0m)
				・底盤部浮上がり量	(30mm)	・三次元FEM解析結果（山側）
	③発生応力	・覆工コンクリート応力計	・周方向応力の把握	・主軸での一軸応力	260kgf/cm	・一軸強度の平均値
	④発生ひずみ	・多成分ボアホールひずみ計	・2軸（周，軸）方向ひずみ把握	・周，軸方向ひずみ	0.3%	・一軸強度平均値／弾性係数平均値
	(2) 周辺地山の挙動					
	⑤天端部地中変位	・地中変位計	・天端部地山挙動の把握	・天端岩盤沈下量	12mm	・三次元FEM解析結果
				・アーチ部岩盤沈下量	30mm	・三次元FEM解析結果（山側）
	⑥半径方向地中変位	・地中変位計	・周辺地山挙動の把握	・山側岩盤変位量	(4mm)	・三次元FEM解析結果（内空側）
				・川側岩盤変位量	(1mm)	・三次元FEM解析結果（内空側）
	⑦交差部地中ひずみ	・多成分ボアホールひずみ計	・交差部の岩盤挙動の把握	・周，軸方向ひずみ	0.5%	・凝灰岩の限界歪み（桜井の提案）
	(3) 補強ボルトの挙動					
	⑧軸力	・ロックボルト軸力計	・補強ボルト健全性の把握	・ロックボルト軸力	17.6t/本	・TD24の降伏耐力
迂回坑の計測	(4) 標準断面補強区間		[NATM計測管理基準に準ずる]			
	⑨迂回坑B計測	・NATM B計測	・迂回坑挙動の把握 ・標準断面補強区間の挙動把握	・NATM B計測		・NATM計測管理基準に準ずる
	(5) すりつき補強区間					
	⑨迂回坑B計測	・NATM B計測	・すりつき補強区間の挙動把握	・NATM B計測		・NATM計測管理基準に準ずる

（ ）は参考値とする。

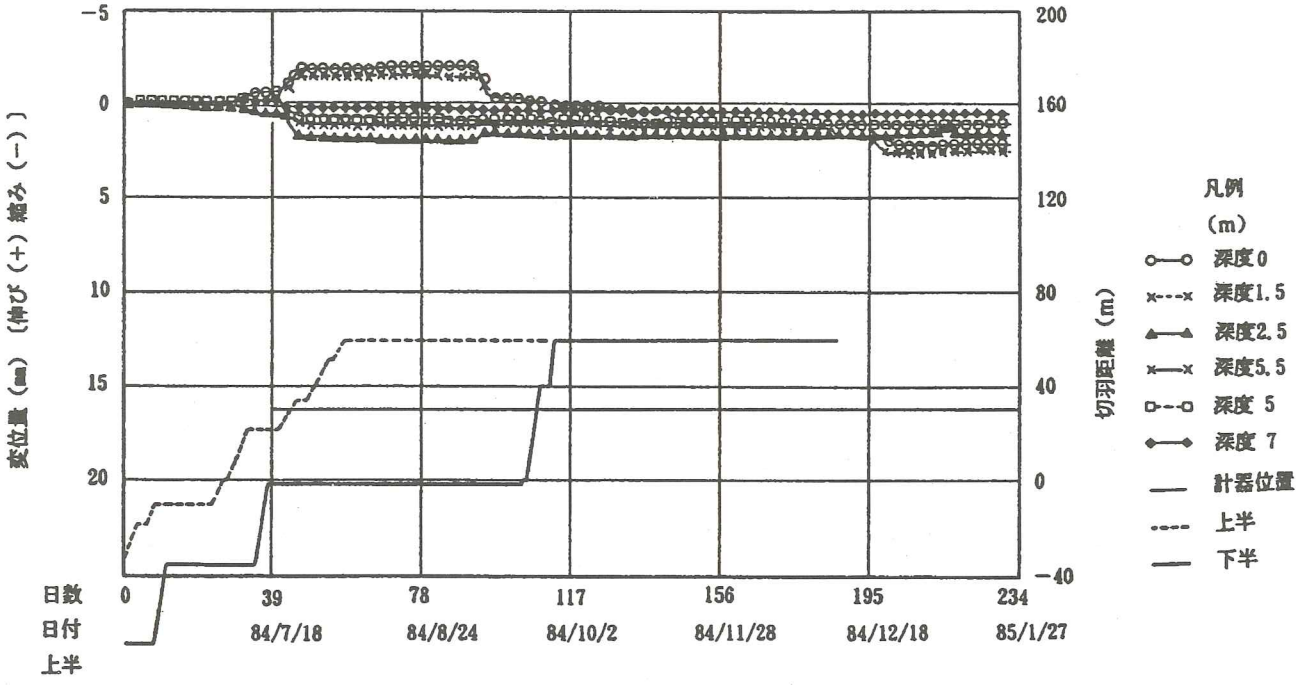


図-4.1.7 地中変位（相対変位）経日変化図[1)]

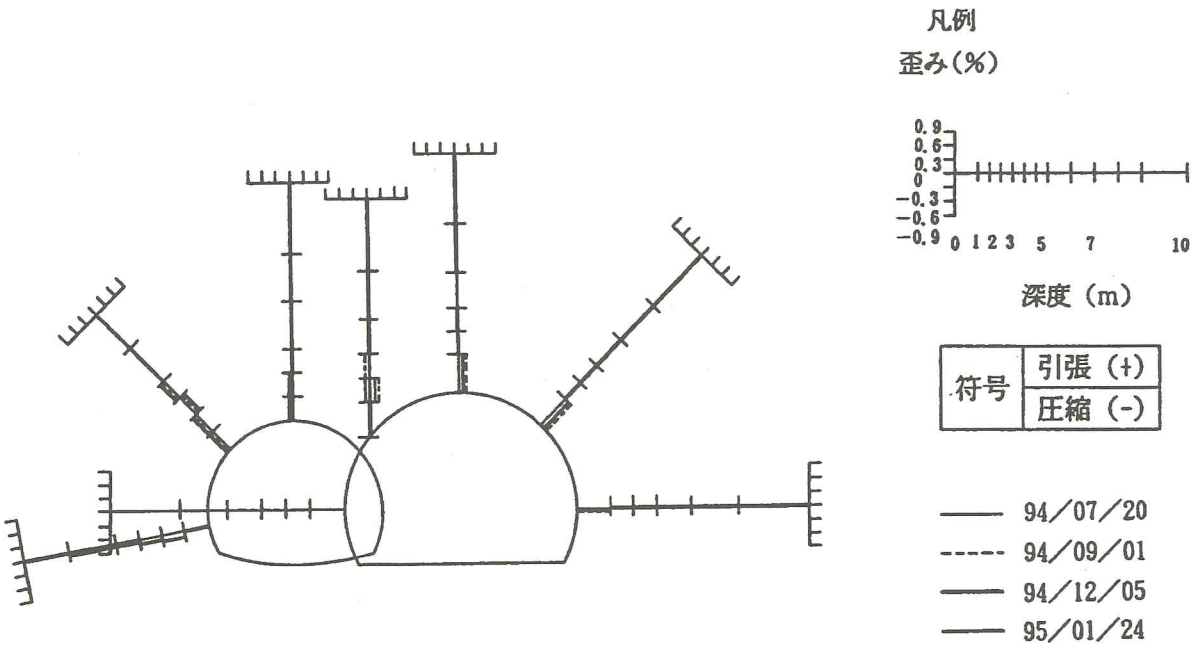


図-4.1.8　地中変位（区間歪）分布図[1)]

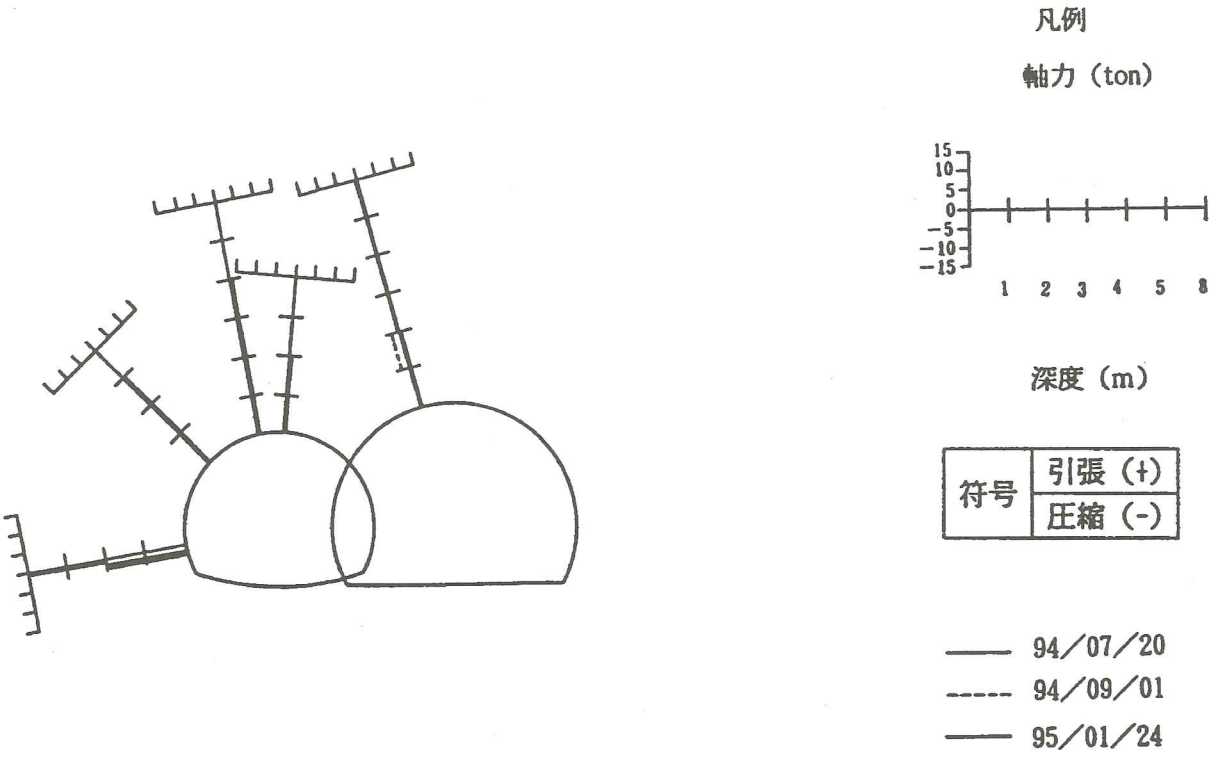


図-4.1.9　ロックボルト軸力分布図

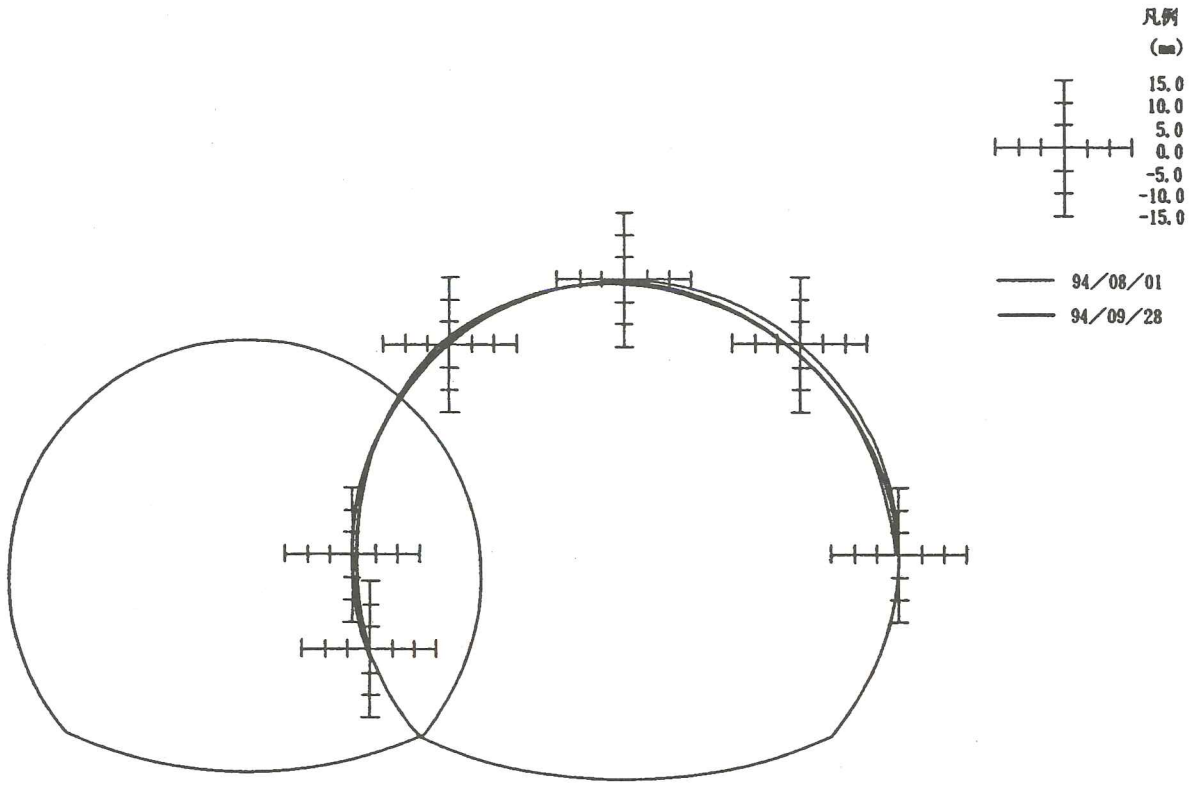


図-4.1.10　内空変位－断面分布図

①既設側覆工コンクリートの挙動

既設トンネル覆工に発生した応力は、一部引張応力の発生が見られたが、応力値は小さく安定しているといえる。覆工コンクリート一部解体時の応力変化もほとんどなく収束にいたった。クラックは伸長も若干見られたが、最大で 0.3mm と小さく、覆工コンクリートの安定に影響を及ぼすような挙動はなかった。

②既設側周辺地山の挙動

地中内変位は、トンネル切羽が計測位置に到達する手前から先行変位がみられ、わずかに縮み側に変位したが、変位量は小さく管理基準値内に収まり、十分に安定な状態であった。

③補強ボルトの挙動

補強ボルトに発生した軸力は最大でも 3.2tf と小さく、管理基準値内に収まった。既設トンネル側の補強ボルトの効果は、開口部の覆工コンクリートの自重の一部を分担させるとともに、既設トンネル背面地山と覆工コンクリートとの水平方向変位差によるせん断応力も分担させ安全性を高めており、軸力は小さくても十分効果があるものと考えられる。

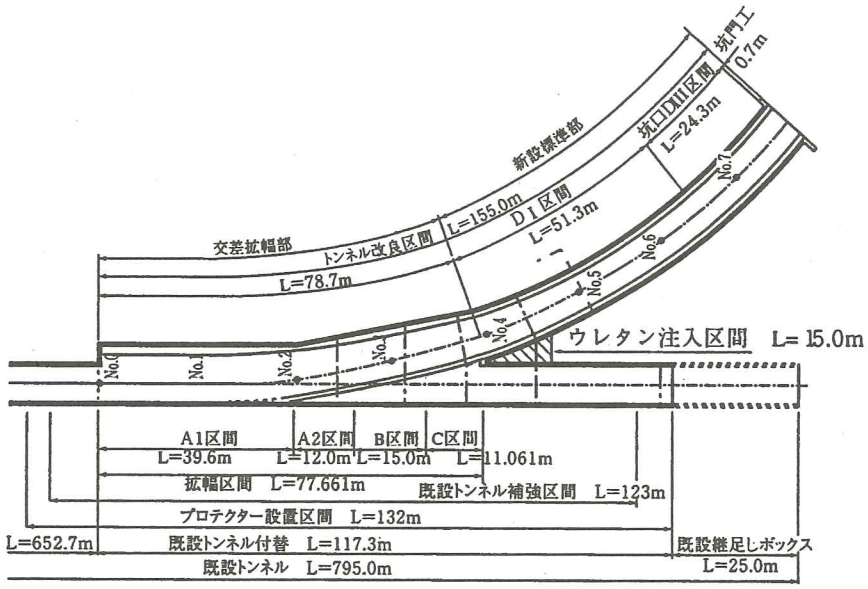
④内空変位

すりつき補強区間の内空変位は管理基準値内で収束しており、安定した状態であった。

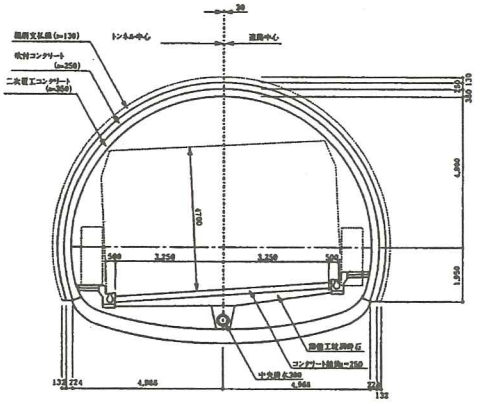
4．2　白石トンネル

（1）　工事概要

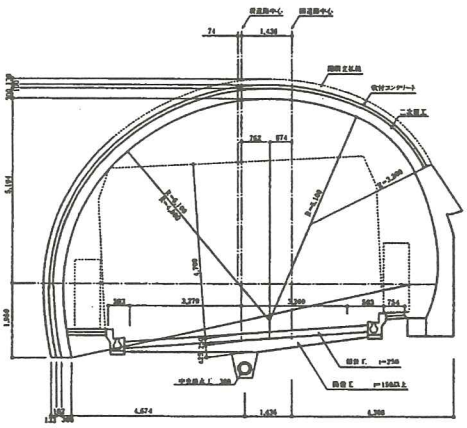
既設トンネルの坑口位置変更にともなうトンネル線形変更における、新設トンネルと既設トンネルの地中交差拡大工事である。



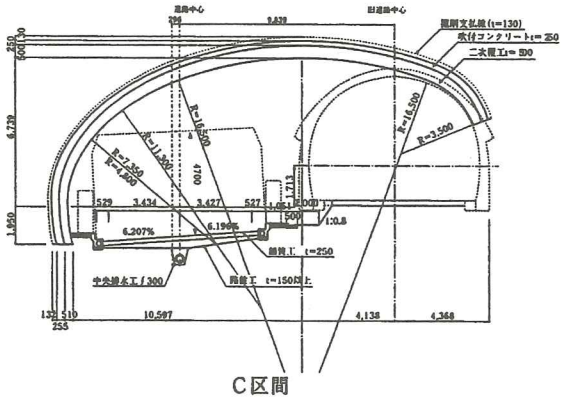
平　面　図



DⅢ区間



A１区間



C区間

図-4.2.1　平面図および標準断面図

（2）　既設トンネル補強工

新設トンネルの掘削に先立ち、事前に既設トンネルの補強工を行った。施工時は片側交互通行とし、夜間に片側づつ行った。補強工としては、既設トンネル背面をエアーモルタルにより裏込め注入を行うとともに、補強ロックボルトを打設した。補強ロックボルトの配置図を図-4.2.2 に示す。

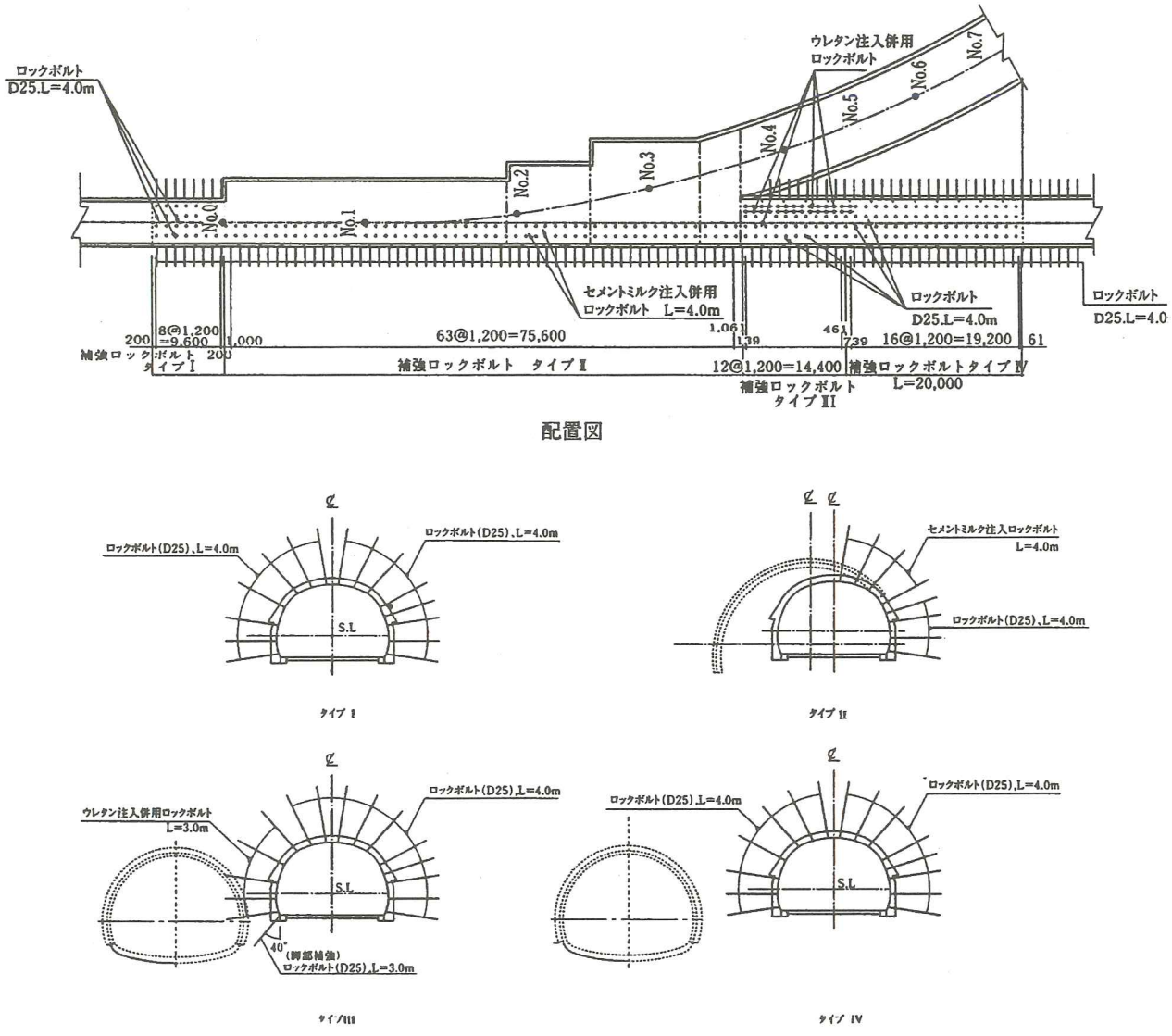


図-4.2.2　補強ロックボルト配置図

（3）　拡幅部の施工

拡幅部の掘削順序平面図を図-4.2.3 に示す。交差拡幅部はC区間→B区間→A2区間→A1区間の順序で施工した。A1区間以外は扁平大断面であることから、①→②→③→④の順序で分割施工した。以下C区間①をC区間Ⅰ部、C区間②をC区間Ⅱ部とし拡幅部は以下の通り施工した。

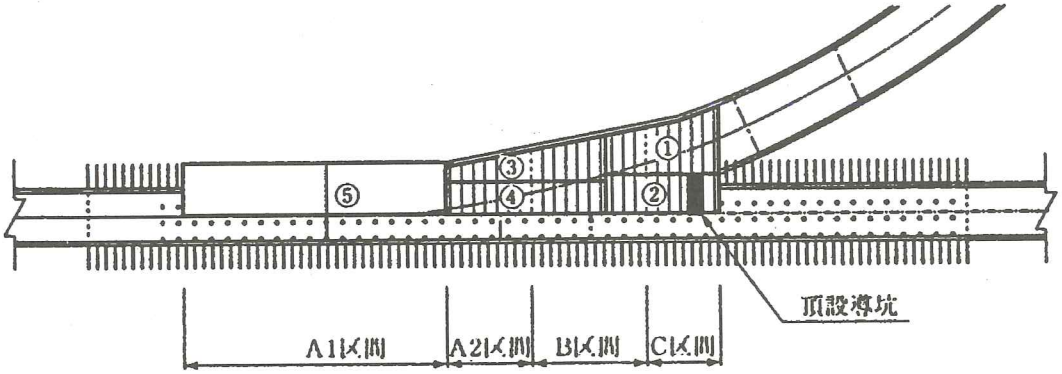
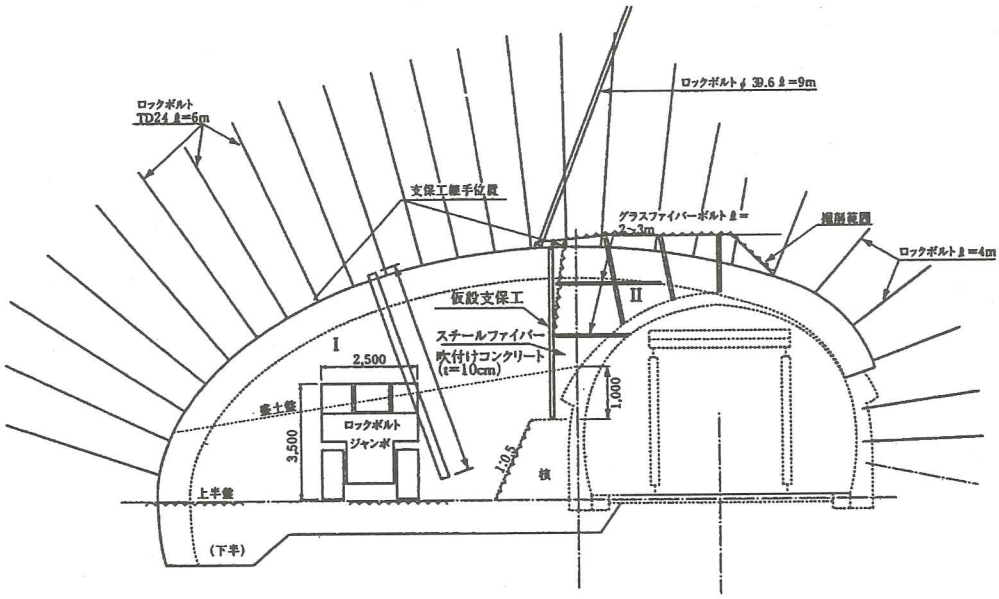


図-4.2.3　拡幅部掘削順序平面図

①C区間Ⅰ部

C区間の掘削は既設トンネル覆工を取り壊さずに残し、また偏圧が作用しないように核を残し、その上に仮設支保工（H=150）を建込み、これに本設支保工端部を仮受け方式を採用した。また、既設トンネル側の土平には、スチールファイバー（t=100mm）を吹付け、グラスファイバーボルトを打設した。C区間の標準断面図を図-4.2.4 に示す。



①上半掘削⇨②一次吹付けコンクリート⇨③支保工建込み⇨④二次吹付けコンクリート⇨⑤ロックボルト打設⇨⑥Ⅱ部掘削完了後に下半掘削

図-4.2.4　C区間標準断面図

②C 区間Ⅱ部

Ⅱ部の拡幅掘削にあたり、Ⅰ部支保工端部とⅡ部支保工端部を接続し、支保構造体を構築する必要があるため、既設トンネル側上半部に切り上がる頂設導坑を掘削した（図-4.2.5、写真-4.2.1）。これにより支保工２基を接合し、発進部断面を確保し、順次トンネル進行方向に切り広げ掘削を行った。また、頂部掘削において、既設覆工コンクリートと接続する部分の施工は人力掘削で行った（写真-4.2.2）。

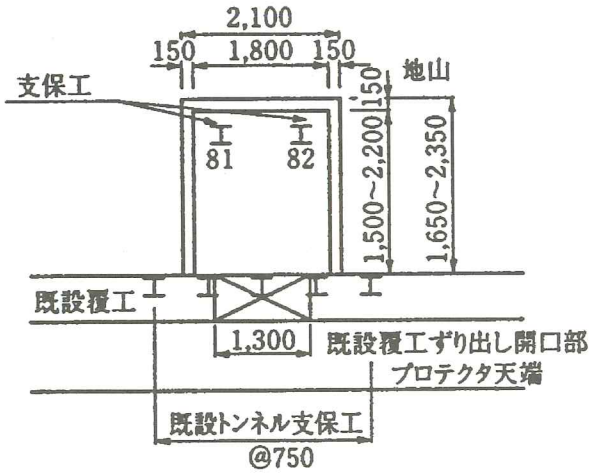


図-4.2.5　頂設導坑断面図

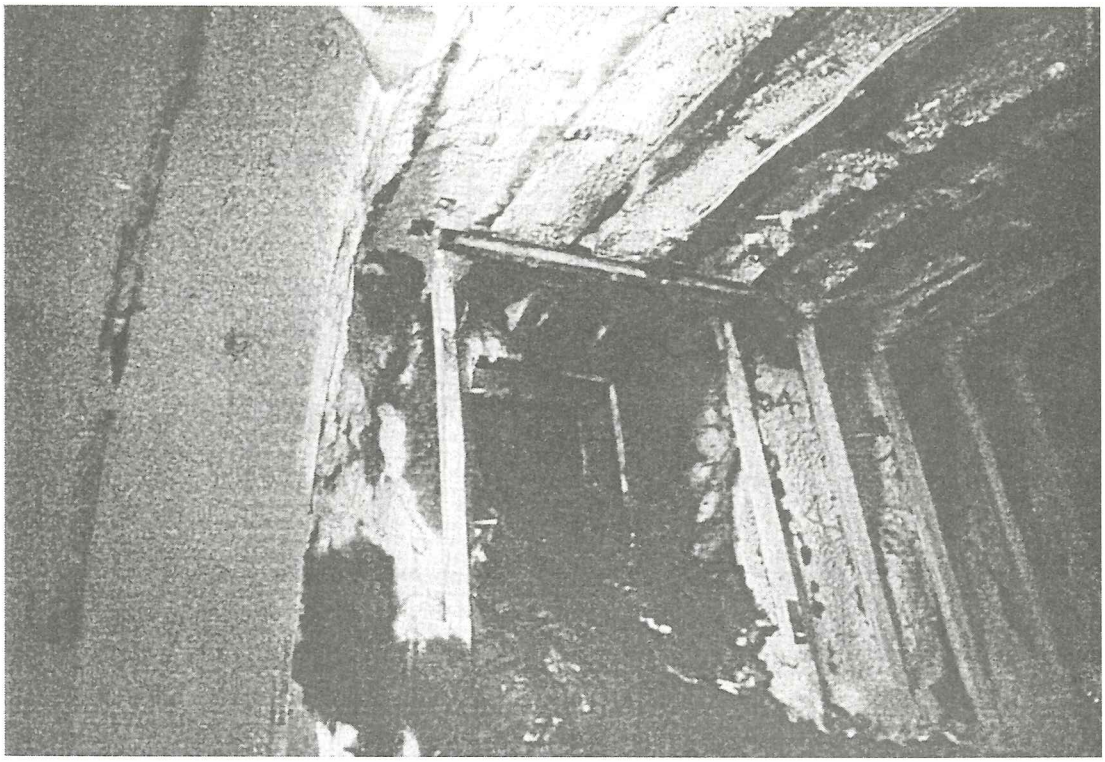


写真-4.2.1　頂設導坑掘削状況

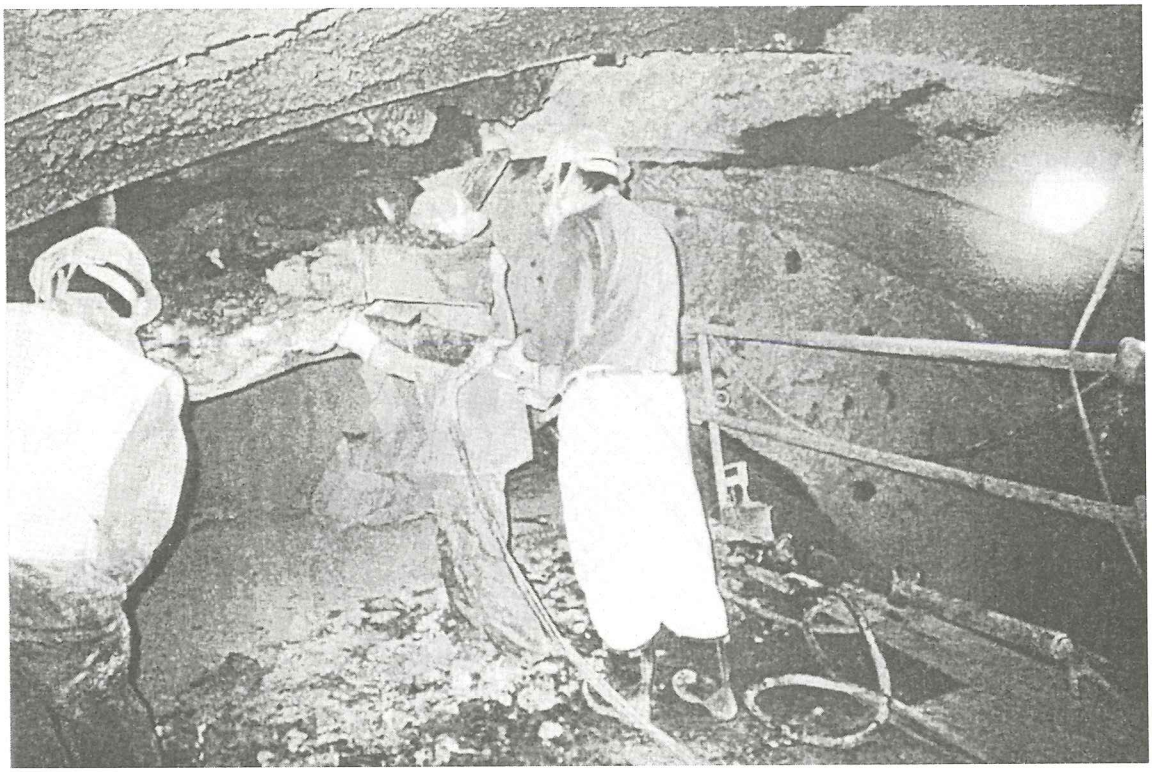


写真-4.2.2　頂部人力掘削状況

（4）　接合方法

接続部の力の釣合状態の概念図を図-4.2.6 に示す。また、既設覆工との接続構造を図-4.2.7 に示す。

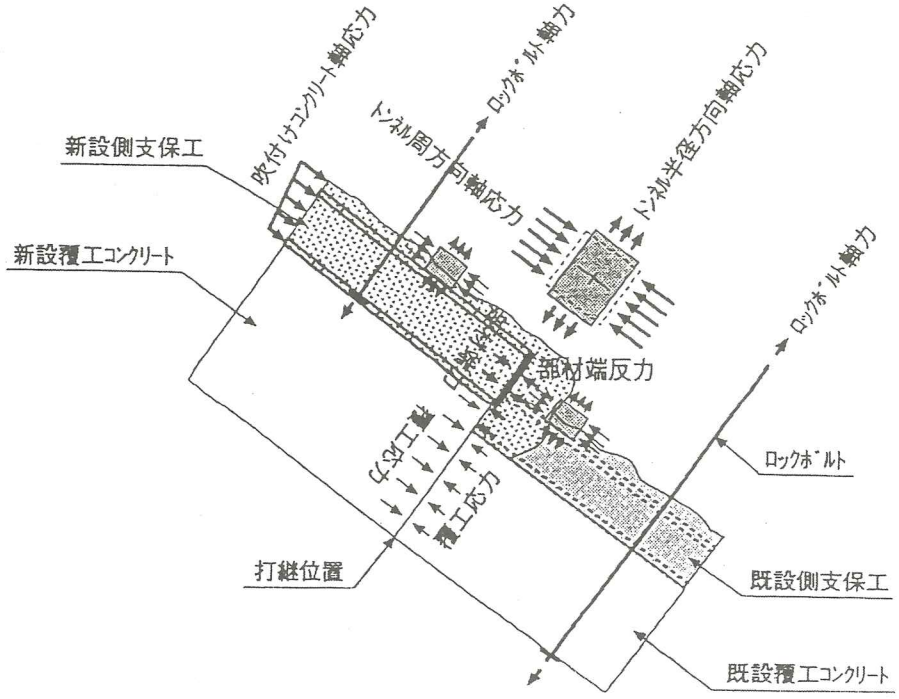


図-4.2.6　力の釣合状態の概念図

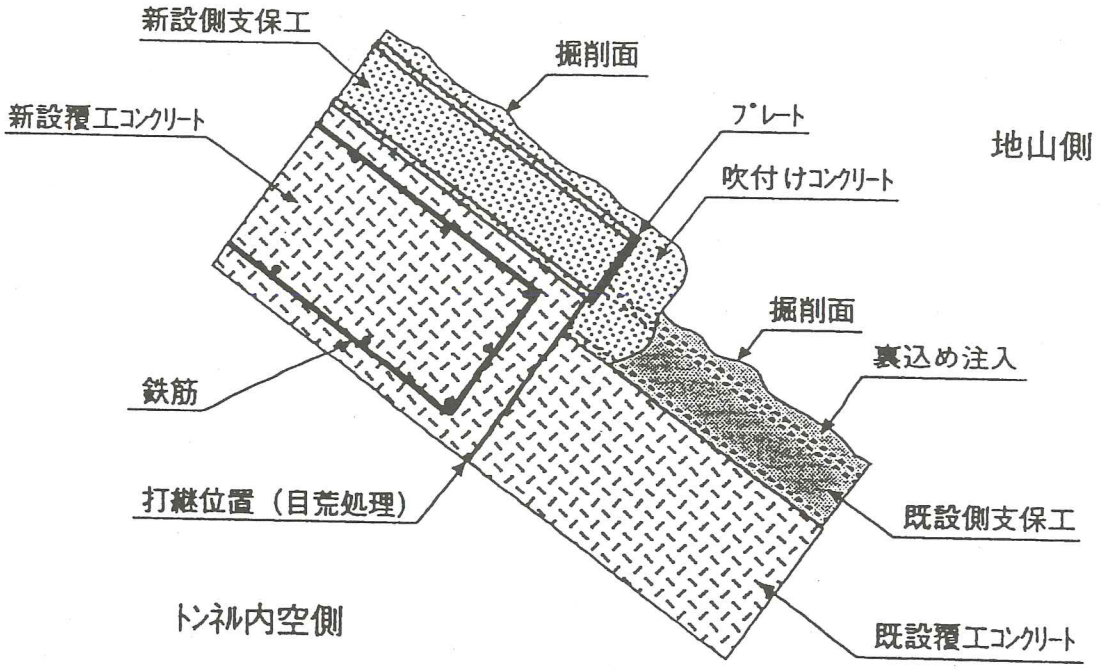


図-4.2.7　接続構造図

（5）　計測結果

拡幅部におけるＢ計測断面位置を図-4.2.8 に示す。また、計測項目を表-4.2.1 に、計測管理基準値を表-4.2.2 に示す。代表的な計測結果として、拡幅 C 区間の③断面での計測結果を図-4.2.9～図-4.2.11 に示す。

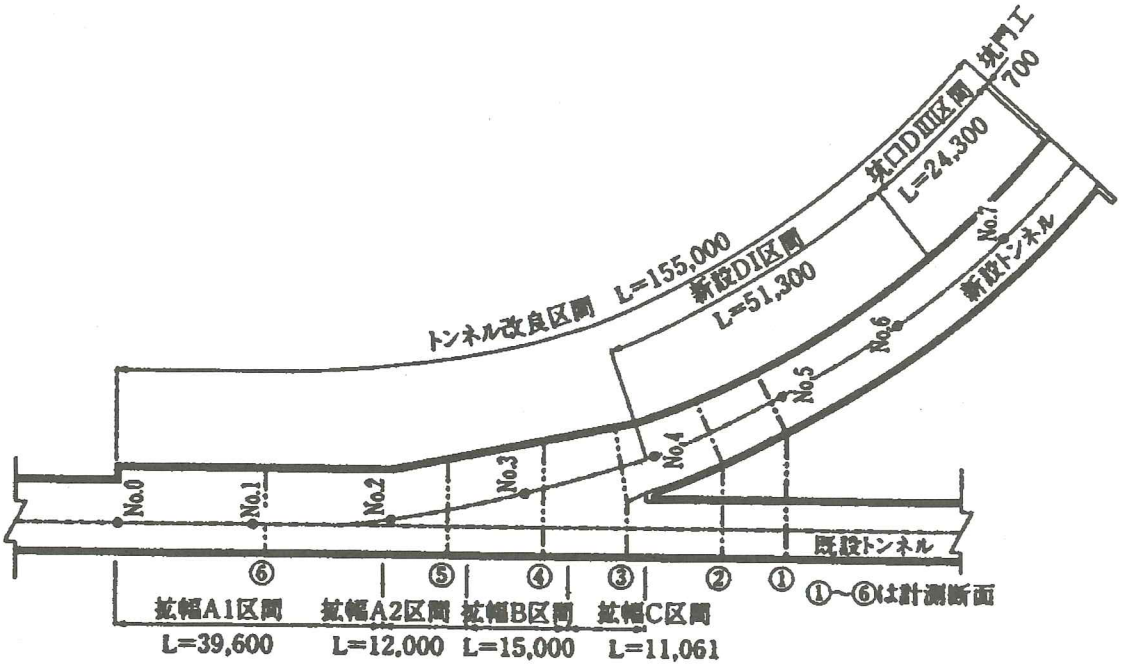


図-4.2.8　計測断面位置（計測Ｂ）

表-4.2.1　計測項目一覧

計測断面	区　間	計測の目的	計測断面の位置	計測項目	
				新設トンネル	既設トンネル
①	近接DI	▶新設トンネルの掘削が既設トンネルに及ぼす影響の把握。	両トンネル壁面の接近距離が，約１Ｄ離れた位置。	・側壁部での地中変位とロックボルト軸力の各１測線	
				・壁面５点の変位測定	・壁面４点の変位測定
② [主計測]	近接DI	▶新設トンネル掘削時の地山挙動特性の把握と安定性の確認。 ▶拡幅Ｃ区間のトンネル挙動評価に資する基礎データ取得。 ▶既設トンネルへの掘削影響評価。 ▶交差鋭角部での地山挙動の把握と安定性の確認。	接近距離が，約0.3Ｄ離れた位置。	・天端部，側壁部の地中変位とﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ軸力 ・吹き付けｺﾝｸﾘｰﾄ軸力 ・壁面5点の変位測定	・天端部，地中変位 ・側壁部ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ軸力 ・壁面４点の変位測定
③ [主計測]	拡幅Ｃ	▶偏平大断面トンネルの挙動特性の把握と安定性の確認 ▶既設覆工ｺﾝｸﾘｰﾄの大部分は取り壊されることから，覆工の動体観測と補強ボルトの効果確認。 ▶既設覆工の挙動特性の把握と安定性の確認。	天端沈下が大きく発生し，力学的安定性が最も不利と想定される位置。	・天端部，肩部，側壁部の地中変位とﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ軸力 ・吹き付けｺﾝｸﾘｰﾄと鋼製支保工応力 ・壁面５点の変位測定	・肩部の地中変位 ・肩部，側壁部のﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ軸力 ・壁面２点の変位測定
④~⑥	拡幅Ｂ 拡幅Ａ2 拡幅Ａ1	▶新設トンネル掘削時の地山挙動特性の把握および天端部の安定性の確認。 ▶既設覆工ｺﾝｸﾘｰﾄの大部分は取り壊されることから，覆工の動体観測と補強ボルトの効果確認。	各拡幅区間に１断面設ける。	・天端部のﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ軸力 ・壁面４点の変位測定	・肩部のﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ軸力 ・壁面２点の変位測定

表-4.2.2　計測管理基準値

計測項目	計測対象	注意レベルⅠ (安全)	注意レベルⅡ (注意)	注意レベルⅢ (危険)	備　考
天端沈下 (mm)	坑　口　部	11.0	16.0	32.0	ＤⅢ
	近　接　DI	2.8 7.2	8.4 19.6	22.4 56.0	上段ＣⅠ級 下段ＤⅡ
	拡　幅　C	8.4	25.2	67.2	ＣⅠ
	拡　幅　B	7.0 11.0	21.0 28.0	56.0 77.0	上段ＣⅠ級 下段ＣⅡ～ＤⅠ級
	拡　幅　A2	5.6 8.8	16.8 22.4	44.8 61.6	上段ＣⅠ級 下段ＣⅡ～ＤⅠ級
	拡　幅　A1	4.2 6.6	12.6 16.8	33.6 46.2	上段ＣⅠ級 下段ＤⅡ級
内空変位 (mm)	坑　口　部	22.0	32.0	64.0	ＤⅢ
	近　接　DI	5.6 8.8	16.8 39.2	44.8 112.0	上段ＣⅠ級 下段ＤⅡ級
	拡　幅　C	16.8	50.4	134.0	ＣⅠ
	拡　幅　B	14.0 22.0	42.0 56.0	112.0 154.0	上段ＣⅠ級 下段ＣⅡ～ＤⅠ級
	拡　幅　A2	11.2 17.6	33.6 44.8	89.6 123.2	上段ＣⅠ級 下段ＣⅡ～ＤⅠ級
	拡　幅　A1	8.4 13.2	25.2 33.6	67.2 92.4	上段ＣⅠ級 下段ＤⅡ級
ロックボルト軸力 (tf)	破断耐力12tf	4.0	8.0	12.0	
	破断耐力18tf	6.0	12.0	18.0	
吹付けコンクリート応力 (kgf/cm²)		60.0	120.0	180.0	fck＝180kgf/cm²
鋼製支保工応力 (kgf/cm²)		700.0	1,200.0	2,100.0	SS41 相当

①壁面変位測定

壁面変位量は、側壁部で水平変位が最大 18㎜ 生じたが、天端付近ではほとんど変位が発生していない。

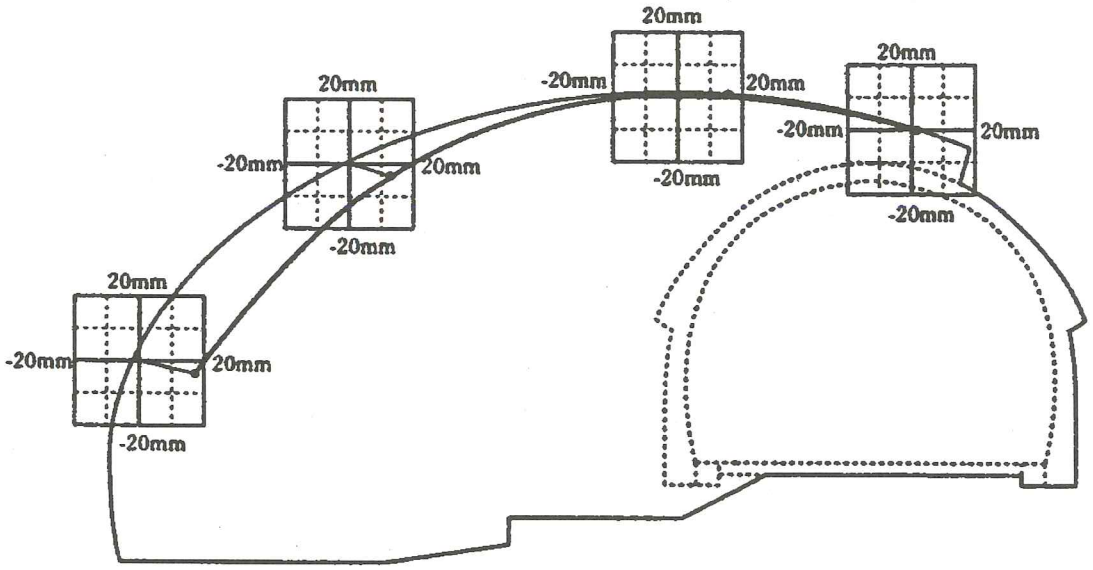


図-4.2.9　壁面変位分布図

②地中内変位

既設トンネル側壁部の掘削影響は小さい。

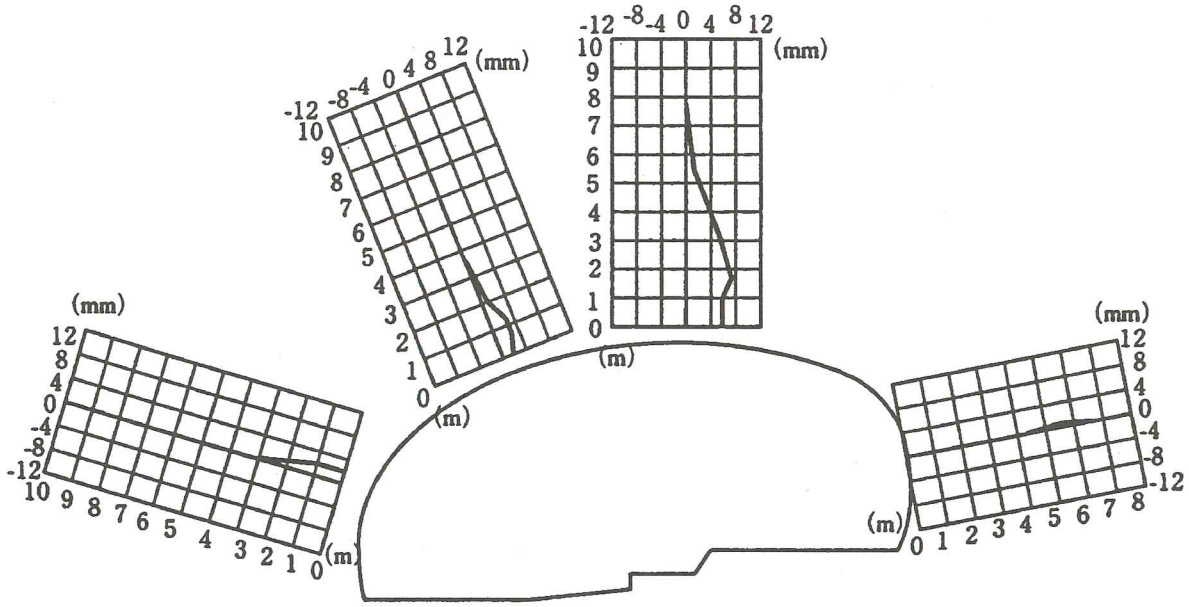
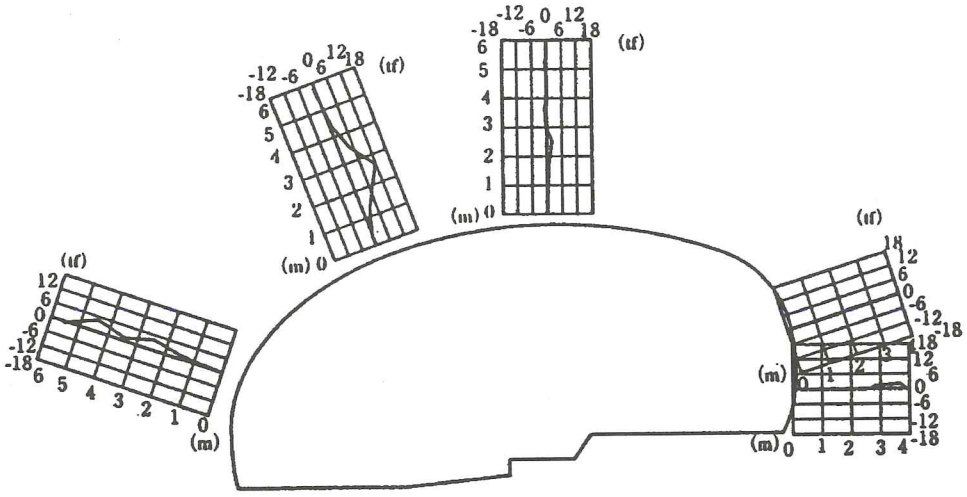
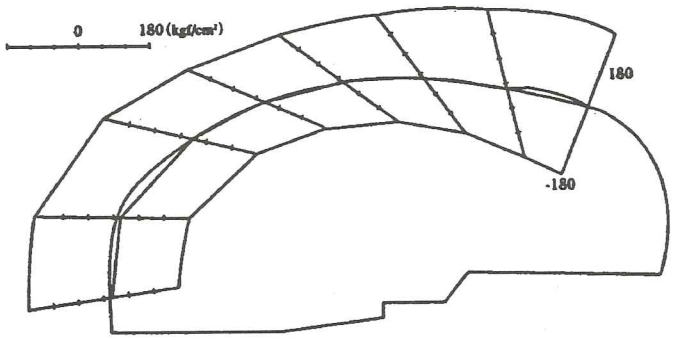


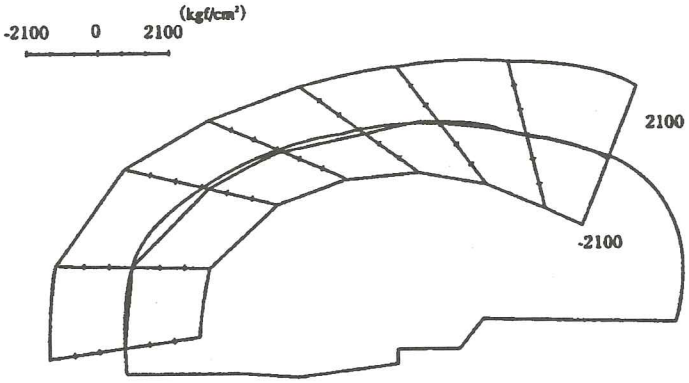
図-4.2.10　地中内変位分布図（累計）



ロックボルト軸力分布図



吹付けコンクリート応力分布図



鋼製支保工応力図

図-4.2.11　支保部材応力分布図

③ロックボルト軸力

既設トンネル側肩部での掘削影響は小さく、側壁部では深度 3.5m で 2tf 発生し収束した。

④吹付けコンクリート応力

アーチ部、側壁部ともに 15kgf/cm² 程度の圧縮応力が発生するが、注意レベルⅠ以下である。また、既設トンネル接続部、新設側脚部にはほとんど応力が発生していない。

⑤鋼アーチ支保工応力

内空側、地山側の応力分布は、既設トンネル接続部と脚部では内空側に圧縮応力、肩部では内空側に引張応力が生じている。仮設支保工の撤去による影響は、トンネル肩部に顕著に現れる。鋼アーチ支保工応力と切羽進行の経日変化図を図-4.2.12 に示す。これらから、鋼アーチ支保工は吹付けコンクリートと周辺地山に拘束されながら、片持ばりのような挙動を示すと考えられる。

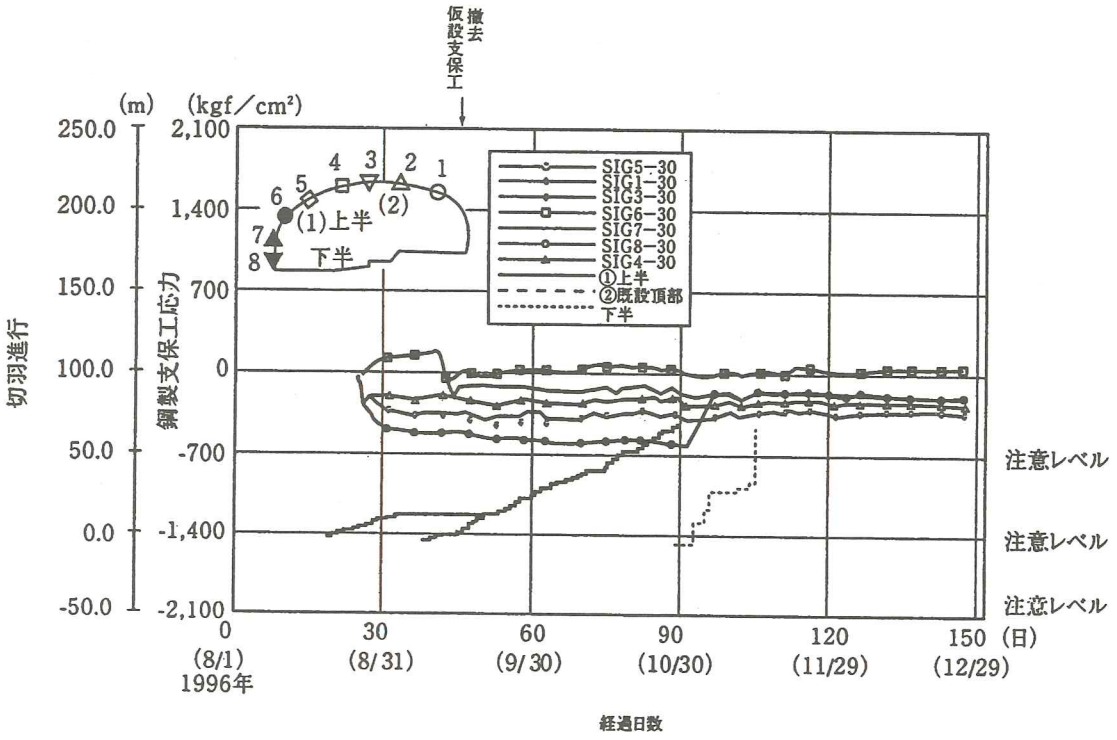


図-4.2.12　鋼アーチ支保工応力と切羽進行の経日変化図

⑥まとめ

地中内変位計、ロックボルト軸力計の計測結果からトンネル掘削による影響範囲は、掘削面から約 0.3D～0.5D 程度と推測される。また、拡幅部の掘削による既設トンネルおよび接続部への影響は小さい。

参考資料

1) 安部康明，新谷義行：供用中の道路トンネルとの地下大断面交差，トンネルと地下，1996.09

5．出願特許

発明の名称	出願人	発明者	出願年月日 (出願番号)	公開日 (公開番号)
トンネル拡幅工法及び装置	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 清水建設株式会社 株式会社三井三池製作所 大成建設株式会社 株式会社フジタ	小原由幸、藤永友三郎、 古賀雄三、木内　勉、 藤原康政、平野宏幸 上野健二、山田澄雄、 柏村紀臣、高野博通	1999.9.13 (特願平 11-259587)	2001.3.27 (特開 2001-82071)
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	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 清水建設株式会社 大成建設株式会社 株式会社フジタ	真下英人、石村利明 中森純一郎 平野宏幸、藤原康政、 木内勉、小原由幸、 藤永友三郎 堀内秀行 野間達也	2002.8.28 (特願 2002-248076)	
トンネル拡幅時の支保工接続構造および方法	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 清水建設株式会社 大成建設株式会社 株式会社フジタ	真下英人、石村利明 中森純一郎 野村洋人、木内勉、 藤原康政、小原由幸、 藤永友三郎 堀内秀行 野間達也	2002.8.29 (特願 2002-251913)	
トンネル拡幅工事用作業台車	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 清水建設株式会社 大成建設株式会社 株式会社フジタ	真下英人、石村利明 中森純一郎 藤原康政 堀内秀行 野間達也	2002.8.29 (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	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 清水建設株式会社 大成建設株式会社 株式会社フジタ 株式会社間組 戸田建設株式会社 前田建設工業株式会社 古河機械金属株式会社	真下英人、石村利明 中森純一郎 藤原康政 吉富幸雄、堀内秀行 野間達也 鈴木雅行 熊谷成之 井上博之 佐伯宏美、藤城義信	2002.8.29 (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	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 清水建設株式会社 大成建設株式会社 株式会社フジタ	真下英人、石村利明 中森純一郎 藤原康政、野村洋人、 木内勉、小原由幸、 藤永友三郎、磯部哲 堀内秀行 野間達也	2002.8.30 (特願 2002-256163)	
作業足場付きプロテクタ	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 清水建設株式会社 大成建設株式会社 株式会社フジタ	真下英人、石村利明 中森純一郎 藤原康政 堀内秀行 野間達也、鈴木裕一	2002.8.30 (特願 2002-252265)	

発明の名称	出願人	発明者	出願年月日 (出願番号)	公開日 (公開番号)
トンネル拡幅工事用プロテクターと一体の運搬設備	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 大成建設株式会社 清水建設株式会社 株式会社フジタ	真下英人、石村利明 中森純一郎 堀内秀行 藤原康政 浅沼廉樹、鈴木裕一、 野間達也	2002.8.30 (特願 2002-252264)	

施　工　マ　ニ　ュ　ア　ル（案）

第５編　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）　―

平成 16 年 3 月

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
株式会社　奥村組
鹿島建設　株式会社
株式会社　熊谷組
株式会社　三井三池製作所

目　　次

1．断面拡大工法の概要 …… 5-1
2．工法の特徴 …… 5-2
3．設計 …… 5-2
　3．1　適用条件 …… 5-2
　　3．1．1　既設トンネルおよび拡大トンネルの規模 …… 5-2
　　3．1．2　地山条件 …… 5-3
　　3．1．3　トンネル延長 …… 5-3
　　3．1．4　平面線形 …… 5-4
　3．2　設計 …… 5-4
　　3．2．1　数値解析 …… 5-4
　　3．2．2　アーチカット専用機の設計 …… 5-4
4．施工 …… 5-13
　4．1　施工フローおよび手順 …… 5-13
　　4．1．1　施工フロー …… 5-13
　　4．1．2　施工手順 …… 5-16
　4．2　仮設備計画 …… 5-21
　4．3　通行規制 …… 5-23
5．適用にあたっての留意点 …… 5-25

参考資料
1．サイクルタイム試算例 …… 5-29
　1．1　試算条件 …… 5-29
　1．2　試算結果 …… 5-30
　　1．2．1　サイクルタイム …… 5-30
2．出願特許 …… 5-33

1．断面拡大工法の概要

当工法の基本的な概要は、既設のトンネルの覆工コンクリートをそのまま２車線プロテクタとして利用して通行車両に対する安全を確保するトンネルの断面拡大工法である。

アーチカット工法（専用機）既設覆工利用タイプの特徴
- 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を行う工法である。
- 多機能型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る。
- 主に軟岩地山を対象とする工法である。

既設トンネルの両側に側壁導坑を先行掘削し、アーチカット専用機（多機能型）にて、既設トンネルの覆工コンクリートをアーチ状に包括し、同心円状に断面拡大する。掘削したずりは予め掘削した側壁導坑を利用して進行方向に搬出する。側壁導坑は、側壁コンクリートを施工し、断面拡大したトンネルの覆工の一部になる。当工法の全体概要は図-1.1.1に示す。

また、掘削完了後のアーチカット専用機は、作業機を乗せ替えし、既設覆工コンクリートの解体に改造転用し、さらに坑門工の面壁施工時の足場として使用できる合理的なシステムである。



拡大掘削切羽イメージ

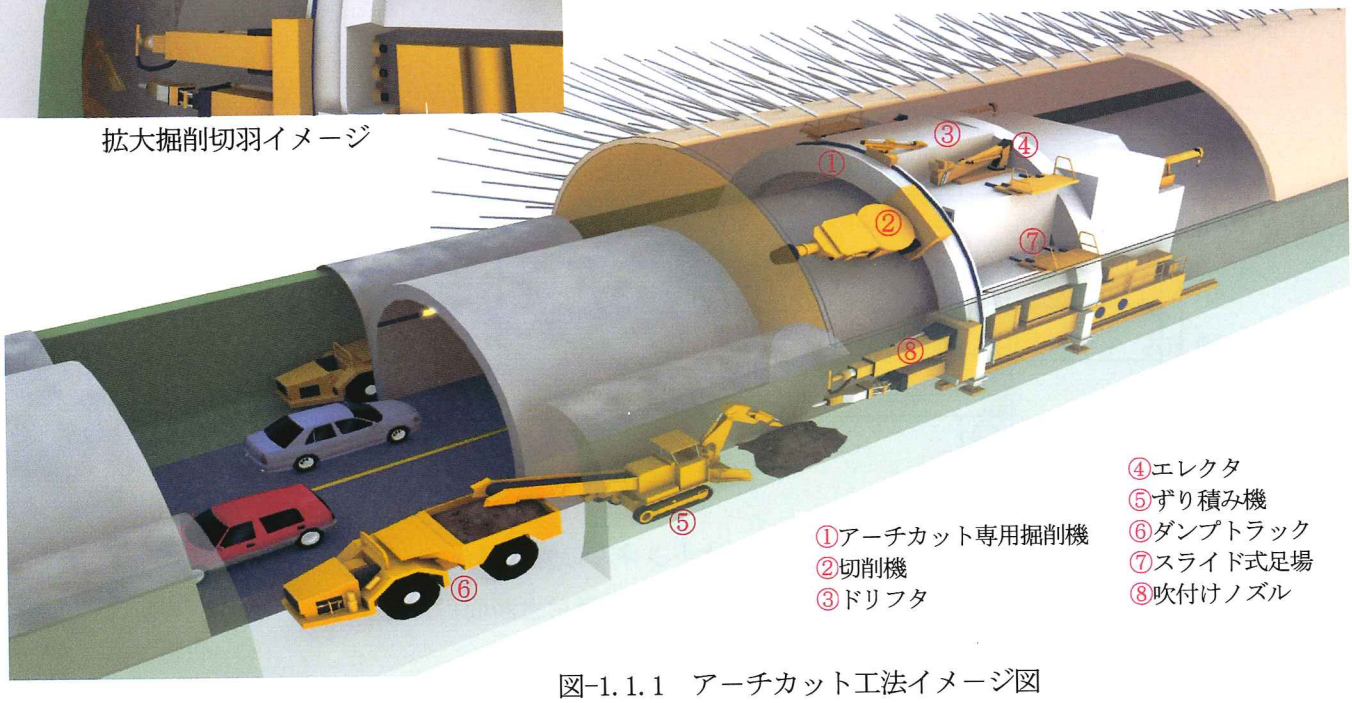


図-1.1.1　アーチカット工法イメージ図

2．工法の特徴

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、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る。
2）既設覆工をプロテクタとしているため、一般通行車両への掘削の伴う粉塵、騒音等の影響が少ない。
3）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ので、道路利用者への負担が少ない。
4）拡大掘削は１台の機械に掘削、コンクリート吹付け、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ので、従来のような工種別の重機入替えが不要、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てすむ。
5）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。
6）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。

3．設計

3．1　適用条件

3．1．1　既設トンネルおよび拡大トンネルの規模

今回、検討した適用可能な既設トンネルの幅員は８mクラスとし、図-3.1.1には拡大トンネルの道路幅員とトンネルの内空幅を示すが、拡大トンネルは３種２級とほぼ同等の両側自歩道付き断面とする。

図-3.1.2に既設トンネルと拡大断面の形状を示す。

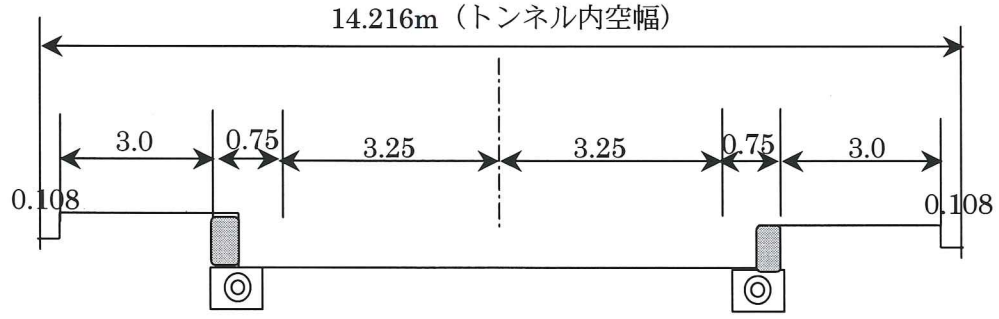


図-3.1.1　拡大トンネルの幅員構成
（３種２級、両側自歩道付き断面）

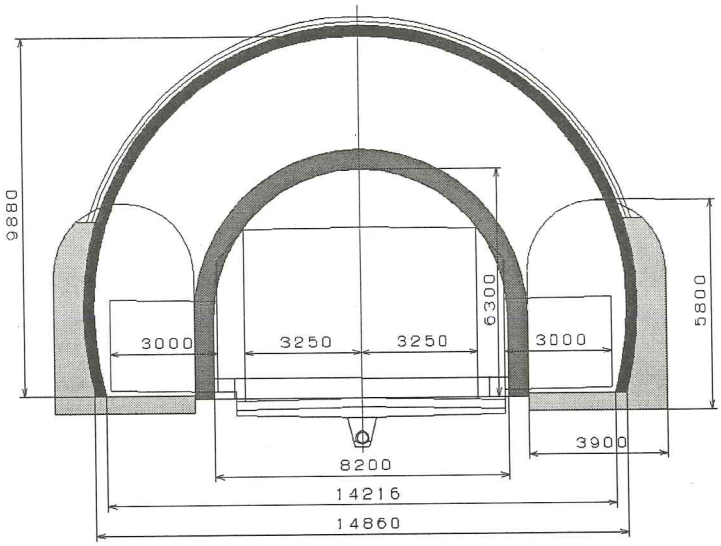


図-3.1.2　既設トンネルと拡大断面の形状

3．1．2　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。本工法の適用領域を図-3.1.3 に示す。

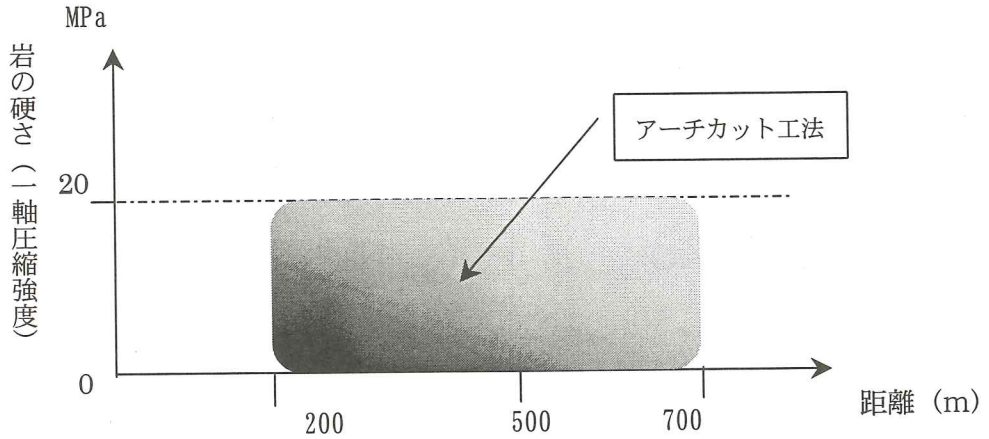


図-3.1.3　本工法の適用領域

3．1．3　トンネル延長

当工法のトンネル延長は、アーチカット専用機導入の経済性と先進導坑のずり出しの方式（タイヤ方式かレール方式か）で限定される。今回の検討では、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ことから 700m程度とした。

地山の地質が当工法に適合し、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も十分適応可能と思われる。

３．１．４　平面線形

トンネルの平面線形は、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される。

今回の検討では、平面線形の曲率半径Ｒは300m程度以上を対象とする。

３．２　設　計

３．２．１　数値解析

アーチカット工法における既設トンネルの覆工の安全性については、アーチカット工法と施工手順および対象とするトンネルの規模が概ね同様である「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）－」の「３．２　設計」の解析結果を参照する。

なお、アーチカット工法および側壁導坑先行両側拡大工法の各導坑掘削がNATMと矢板工法とで異なるものの下記に示す理由により上記の解析結果を参考することとした。本工法の導坑には、側壁導坑先行両側拡大工法と同規模の鋼アーチ支保工のほか、ロックボルト、吹付けコンクリートが支保部材として構成されるが、上記の解析上では矢板をまったく考慮せずに鋼アーチ支保工のみを支保部材として考えていること、また、本工法の導坑断面が側壁導坑先行両側拡大工法に比べて若干小さいことを考慮すると、本工法による既設トンネル覆工の安全性を評価する場合の上記解析結果は安全側の評価となると考えられる。

側壁導坑先行両側拡大工法による解析結果によれば、既設トンネルに内面補強支保工の設置の有無に関らず、側壁導坑の鋼アーチ支保工に作用する応力度の最大値は、降伏応力度の28%～32%程度であり、十分余裕があることが示されている。また、既設トンネルについては、地山条件によっては既設覆工の一部にクラックが発生する可能性があることが分かったが、内面に設置した補強鋼アーチ支保工の応力度の最大値は降伏応力度の16%程度であり、補強鋼アーチ支保工で防護することにより既設トンネルの安定性は確保できるものと考えられており、本工法施工時における既設トンネルの安定性も確保できるものと判断できる。

３．２．２　アーチカット専用機の設計

（１）専用機の検討コンセプト

トンネル拡大専用機の検討に当たり、以下の２点を要求性能とする。

- 経済的に断面拡大するため、掘削する断面を最小にする。したがって、専用機を配置する必要なスペースも最小に抑える。
- 効率的な拡大施工を実現させるため、機能を小型化して専用機に集約する。これにより工種毎の施工機械の入替えを減らす。

検討コンセプトの概念については図-3.2.1に示す。

図-3.2.1の設計コンセプトに従って、機能を満たすため、専用機は拡大施工に必要な機能を１台の機械に集約するＴＷＳ（トンネル・ワーキング・ステーション）方式にて検討することとする。

なお、拡大施工に必要な機能は下記の通りとする。

- 掘　　削

- ずり出し
- 支保工建込み
- コンクリート吹付け
- ロックボルト打設
- 既設覆工撤去
- 安全な足場

前記必要機能の全てを満たす専用機を検討する場合どうしても機械が大型化してしまうため、下記機能については専用機に付与しないこととし、極力小型化を図ることとする。

- ずり出し

  ずり出しは既設トンネルの両側に先行施工した導坑を利用して、切羽先方側からずり積機にて排出することとする。

- 既設覆工撤去

  既設覆工は拡大掘削終了後に撤去するため、専用機に常備する必要はない。

  よって、拡大掘削終了後に専用機の換装を行うことにより対応することとする。

（2）専用機の構造

前項の検討コンセプトを受け、専用機はガントリ（門型）タイプの架台に施工機械を搭載し、拡大施工を行う構造とする。また、ガントリの形状については既設トンネルの覆工に沿ったアーチ状とすることにより、拡大断面の小型化を図る。専用機の設計コンセプトをまとめたものを図-3.2.1 に示す。

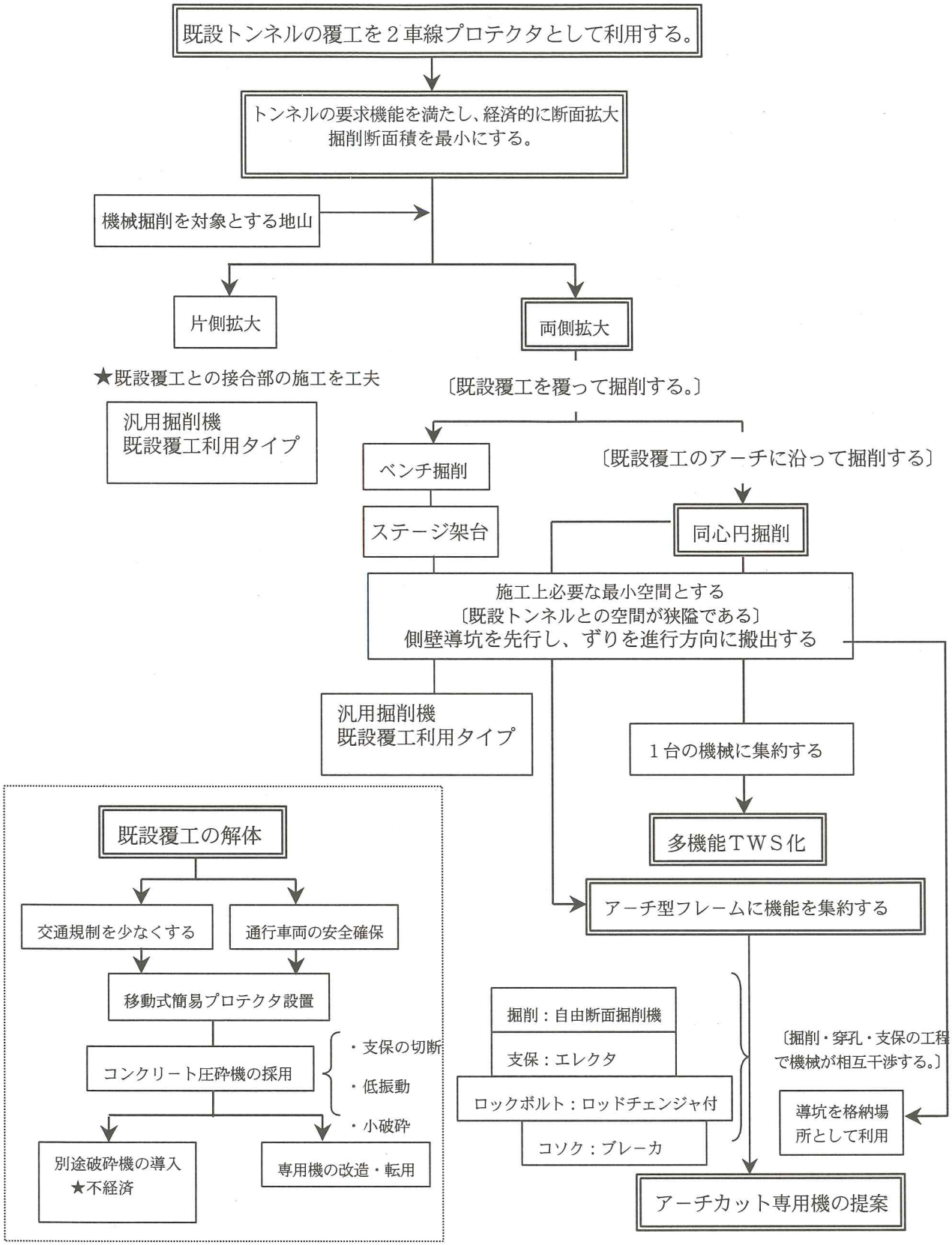


図-3.2.1　アーチカット専用機の設計コンセプト

以下に専用機に搭載する施工機械を記述する。

1）掘削

掘削装置はガントリ本体のアーチ状フレーム（以下アーチフレームと称する。）に沿って円周状に附仰し、任意の位置にて掘削を行える構造とする。

掘削装置本体には小型の自由断面掘削機式切削部、掘削補助として油圧ブレーカを搭載することとする。

掘削の効率を考慮し、自由断面掘削機式切削部と油圧ブレーカは別置とする。

2）支保工建込み

支保工の建込みはエレクタによって行うこととする。なお、トンネル天盤に別途テルハクレーンを設置しエレクタまで支保工の搬送を行う。

エレクタは機体の左右に計２台搭載することとする。

3）コンクリート吹付け

掘削装置と同様にアーチフレームに沿って円周状に附仰できるようにコンクリート吹付けロボットを搭載し、別置のコンクリートポンプよりコンクリートを供給、吹付けを行うものとする。

4）ロックボルト打設

掘削装置と同様にアーチフレームに沿って円周状に附仰できるようにドリフタを取付け、任意の位置にてロックボルト打設を行える構造とする。

ドリフタは効率を考慮し、計２台搭載することとする。

5）作業足場

各拡大作業時の足場として、アーチフレーム部の全面に作業足場を設置する。

なお、拡大作業にスペース的な影響を与えないようスライド式とする。

6）後部作業架台

専用機後部には支保工等、資器材の仮置き、およびシート貼りなどの付帯作業を行えるよう、作業架台を設置する。

7）既設覆工撤去

作業機を取り替えることで、コンクリート圧砕機取付け、既設覆工の取り壊しを行うこととする。

以上の要求性能を踏まえた専用機の外形図を図-3.2.2 に示す。

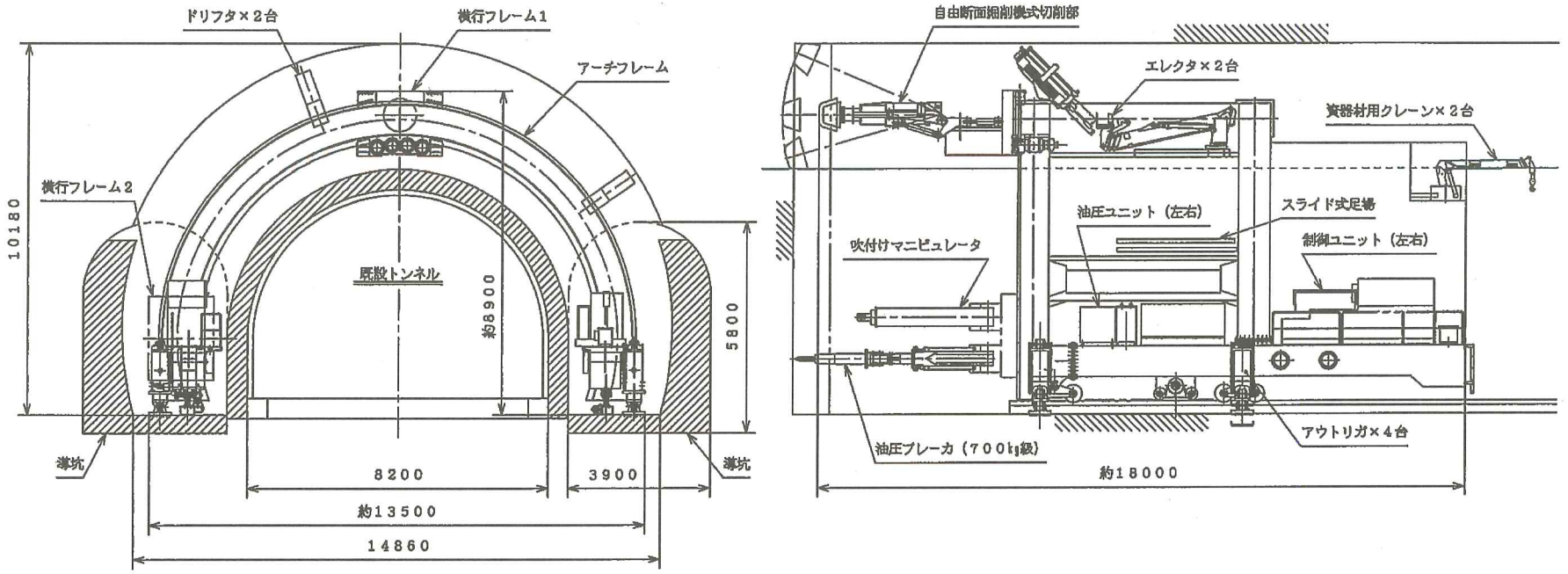

ドリフタ×2台
横行フレーム1
アーチフレーム
横行フレーム2
既設トンネル
10180
約8900
5800
導坑
導坑
8200
3900
約13500
14860
自由断面掘削機式切削部
エレクタ×2台
資器材用クレーン×2台
油圧ユニット（左右）
スライド式足場
吹付けマニピュレータ
制御ユニット（左右）
油圧ブレーカ（700kg級）
アウトリガ×4台
約18000

図-3.2.2　専用機外形図

（1）専用機の仕様

専用機は既設トンネルを跨ぐアーチ状のフレームをもった本体部、横行フレーム１，２、ドリフタ、エレクタ、作業足場、および作業架台で構成されている。

以下に各々の部位の特徴を示す。

1）本体部

専用機を構成する本体部分であり、機体四隅に備えているアウトリガにて拡大施工時の機体保持を行う。また、レール式の走行装置を備えており、前述のアウトリガにて機体を浮上固定することにより走行用レールの移設を行いながら前後進を行うことが可能である。

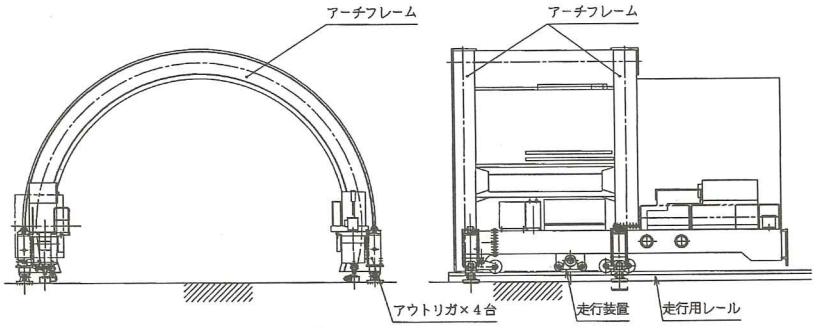


図-3.2.3　本体部

2）横行フレーム１

自由断面掘削機式の切削部を装備しており、本体部前方のアーチフレームに沿って円周状に移動しながら拡大掘削を行うことが出来る。

なお、掘削したずりは既設トンネル左右の側壁導坑から別途ずり積機により切羽の前方方向へ排出される。

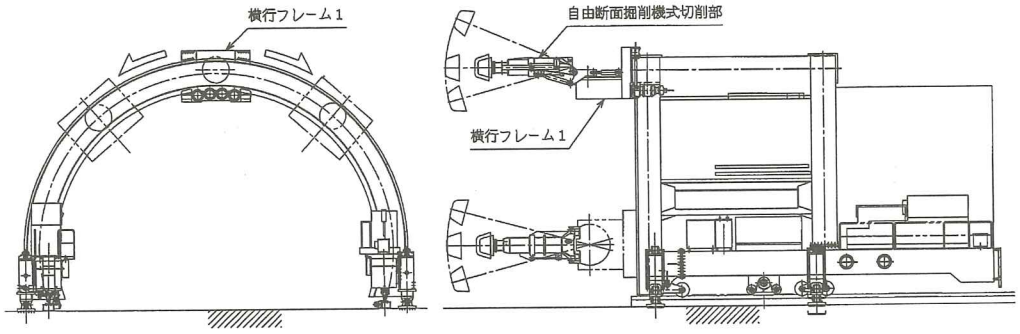


図-3.2.4　横行フレーム１（自由断面掘削機式切削部）

3）横行フレーム２

油圧ブレーカ、およびコンクリート吹付けマニピュレータを装備しており、本体部前方のアーチフレームに沿って円周状に移動することができる。

油圧ブレーカは補助掘削を行うものであり、自由断面掘進機式切削部との併用を行うことにより効率的な掘削を行うことが可能である。

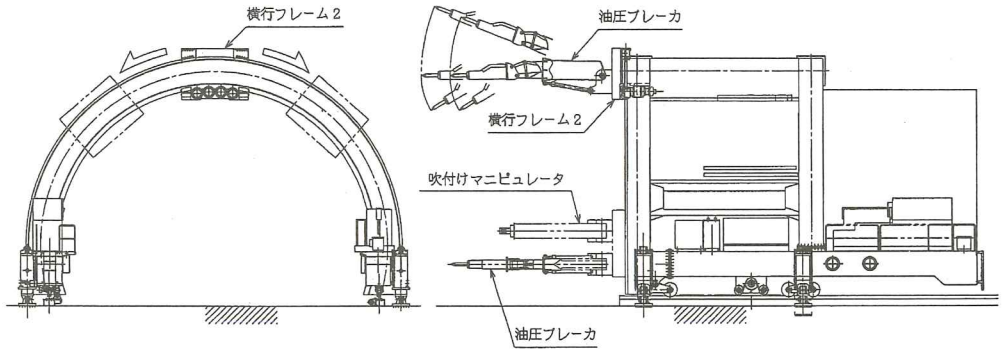


図-3.2.5　横行フレーム２（油圧ブレーカ）

コンクリート吹付けマニピュレータは、別途コンクリートポンプよりコンクリートホースを配管し、坑壁の吹付け作業を行うことができる。

なお、吹付け作業を行う際はシートにより自由断面掘削機式切削部と油圧ブレーカの養生を行う。

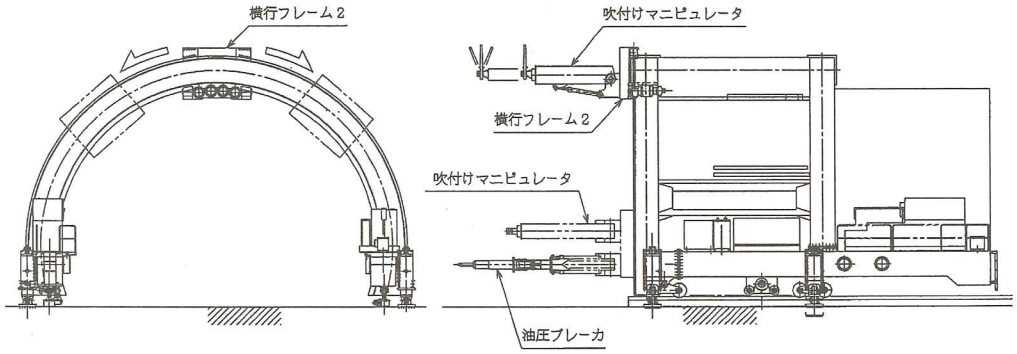


図-3.2.6　横行フレーム２（吹付けマニピュレータ）

４）ドリフタ

本体部前方のアーチフレーム上に２台装備されており、各々アーチフレームに沿って円周状に移動、ロックボルトの施工を行うことが出来る。

また、長尺先受け工法が必要な軟弱地山を施工する際は、同工法を施工可能なドリフタと換装することが可能である。

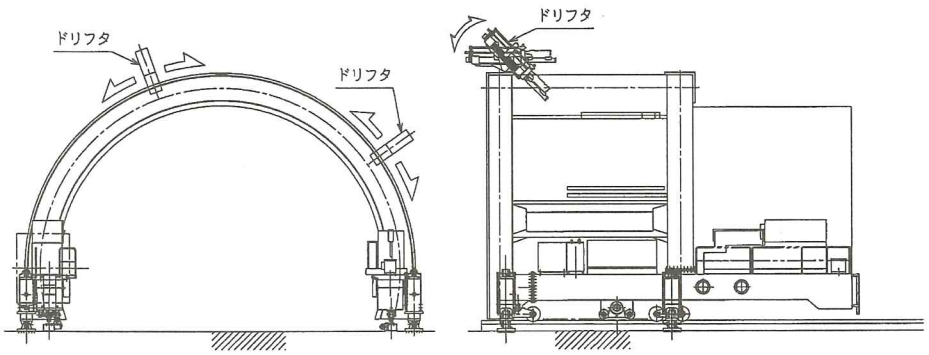


図-3.2.7　ドリフタ

5）エレクタ

本体部中央の作業足場上に左右計２台装備されており、別途テルハクレーンにより後方から搬送される支保工を掴み、切羽に設置することが可能である。

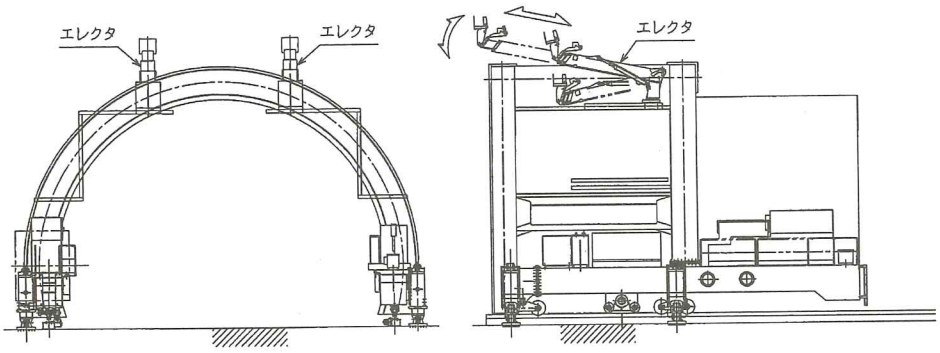


図-3.2.8　エレクタ

6）作業足場

本体部中央に設けられており、上部にエレクタを装備するとともに、各作業時の足場として使用することができる。

なお、機体左右端部の足場は手動スライド式となっており、未使用時には機体内側へコンパクトに収納することが可能である。

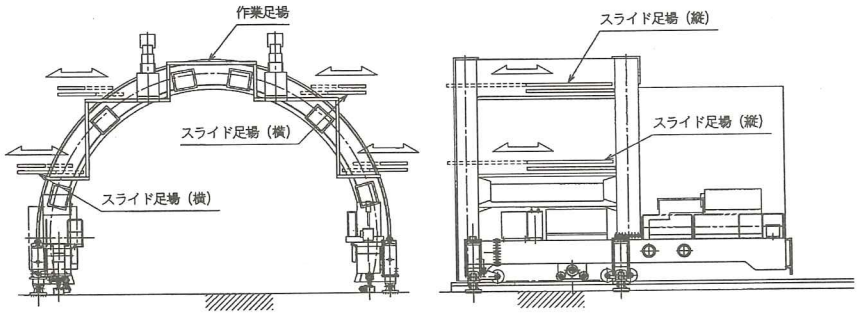


図-3.2.9　作業足場

7）後部作業架台

本体部後方に設けられており、上部左右の計２ヶ所に資器材用クレーンを装備している。

支保工等、資器材の仮置きや、作業時の補助スペースとして使用することが可能である。

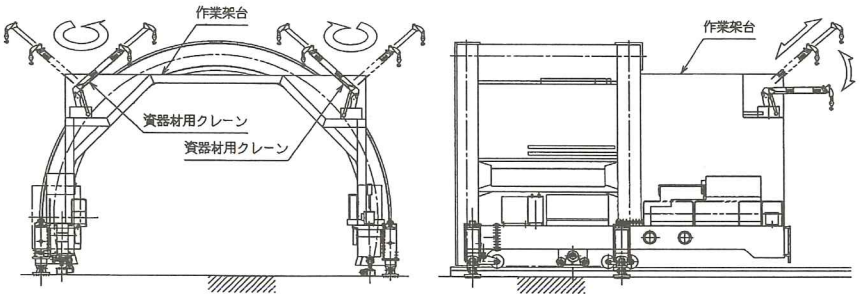


図-3.2.10　作業架台

8）コンクリート破砕機

全線拡大掘削完了後、終点口坑外にて既設アタッチメントとコンクリート破砕機を換装することができる。同破砕機にて既設トンネルの覆工を解体することが可能である。

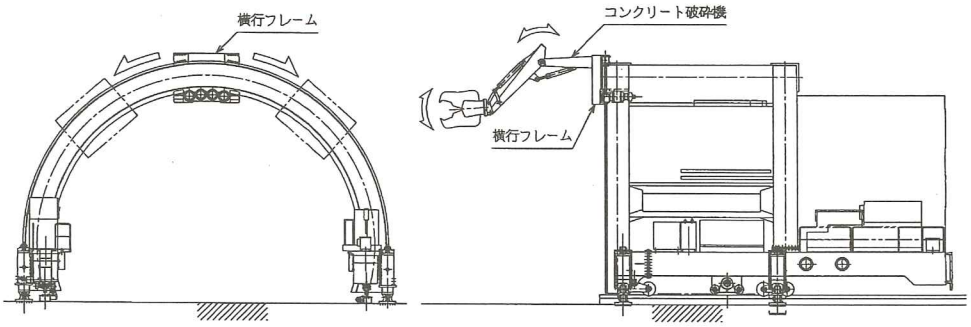


図-3.2.11　コンクリート破砕機

9）主要仕様

表-3.2.1 にアーチカット専用機の主要仕様を示す。

表-3.2.1　アーチカット専用機の主要仕様

項　　目	規　格・仕　様	摘　要
機体寸法	全長 18.0m × 全幅 13.5m × 全高 8.9m	
全備質量	約 250ton	
掘削装置	自由断面掘削機、 65kW 級ドラム型	1 台
	700kg 級 油圧ブレーカ	1 台
ドリフタ	55kW 級（ロッドチェンジャ付）	2 台
コンクリート吹付けロボット	多関節型マニピュレータ	1 台
エレクタ	伸縮スライド式マニピュレータ	2 台
コンクリート圧砕機	2,000kg 級	1 台
揚重設備	2.9t クレーン	2 台
後部作業架台	シート貼り作業など	一式
作業足場	スライド式足場	一式

4．施工

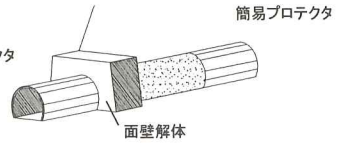
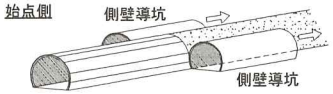
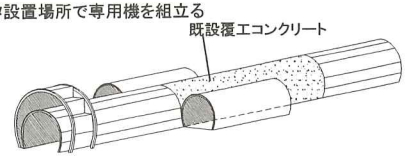
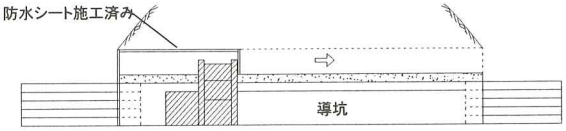
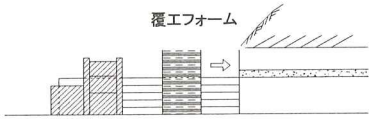
4．1　施工フローおよび手順

4．1．1　施工フロー

アーチカット工法の施工の流れと安全対策状況を図-4.1.1 アーチカット工法の施工フローに示す。また、坑内主要機械の一覧を表-4.1.1 に示す。

表-4.1.1 坑内主要機械一覧

機械名	規格・性能	台数	摘　要
自由断面掘進機	200kW 級	2	側壁導坑施工
ダンプトラック	小形ｱｰﾃｨｷｭﾚｰﾄ 13.6t	2	〃
コンクリート吹付機		2	〃
吹付コンクリート運搬	スクリュウ排出型	2	〃
レッグハンマ	ボルト打設	2	〃
アーチカット専用機	多機能型	1	拡大トンネル施工
ずり積機ｸﾛｰﾗﾊﾞｯｸﾎｳ式		2	〃
ダンプトラック	小形ｱｰﾃｨｷｭﾚｰﾄ 13.6t	2	〃
コンクリートポンプ車	90m³/hr 級	1	〃

施工の流れ	主な作業内容	交通規制・安全対策他
1 仮設備・準備工	仮設ヤードの整備（始点側、終点側） 資機材搬入場所、仮設備機械搬入場所造成 受変電設備、吹付プラント設置 濁水設備設置 ずり仮置き場所の確保	通行規制なし
2 既設トンネルの補強・防護工	既設トンネル内に金網と鋼製アーチ（H125）支保工を設置 本線上の既設トンネル両坑口明かり部分30mに簡易プロテクタを設置 斜面防護工・既設トンネルの両坑口の面壁を撤去 	★夜間一時通行止め
導坑 3 側壁導坑掘削工	左右導坑の坑口対策工・坑口付け 導坑からずり仮置き場所までは、小形ｱｰﾃｨｷｭﾚｰﾄﾀﾞﾝﾌﾟ13.6tを使用 吹付コン運搬は、ダンプにスクリュウ排出型ホッパを搭載 	通行規制なし
4 側壁コンクリート工	側壁フォーム20m ポンプ車及び定置式コンクリートポンプにより中継圧送	通行規制なし
5 アーチカット工法専用掘削機の組立	始点側の本線上簡易プロテクタ設置場所で専用機を組立る 	通行規制なし 通行車輌は、本線上の簡易プロテクタで保護される
6 拡大トンネル掘削工	拡大トンネル坑口対策の実施 ずりは、導坑を使って終点側へ搬出する 専用掘削機の後端で防水シートエ施工 掘削終了後専用機は、始点側の簡易プロテクタ端部まで後退する。 	既設トンネルの覆工を2車線プロテクタとして利用 通行規制なし 拡大掘削終了側では、防水シートが貼られている
7 覆工フォームの組立	始点側本線上の簡易プロテクタ設置場所でフォームを組立 	通行車輌は、本線上の簡易プロテクタで保護される 通行規制なし

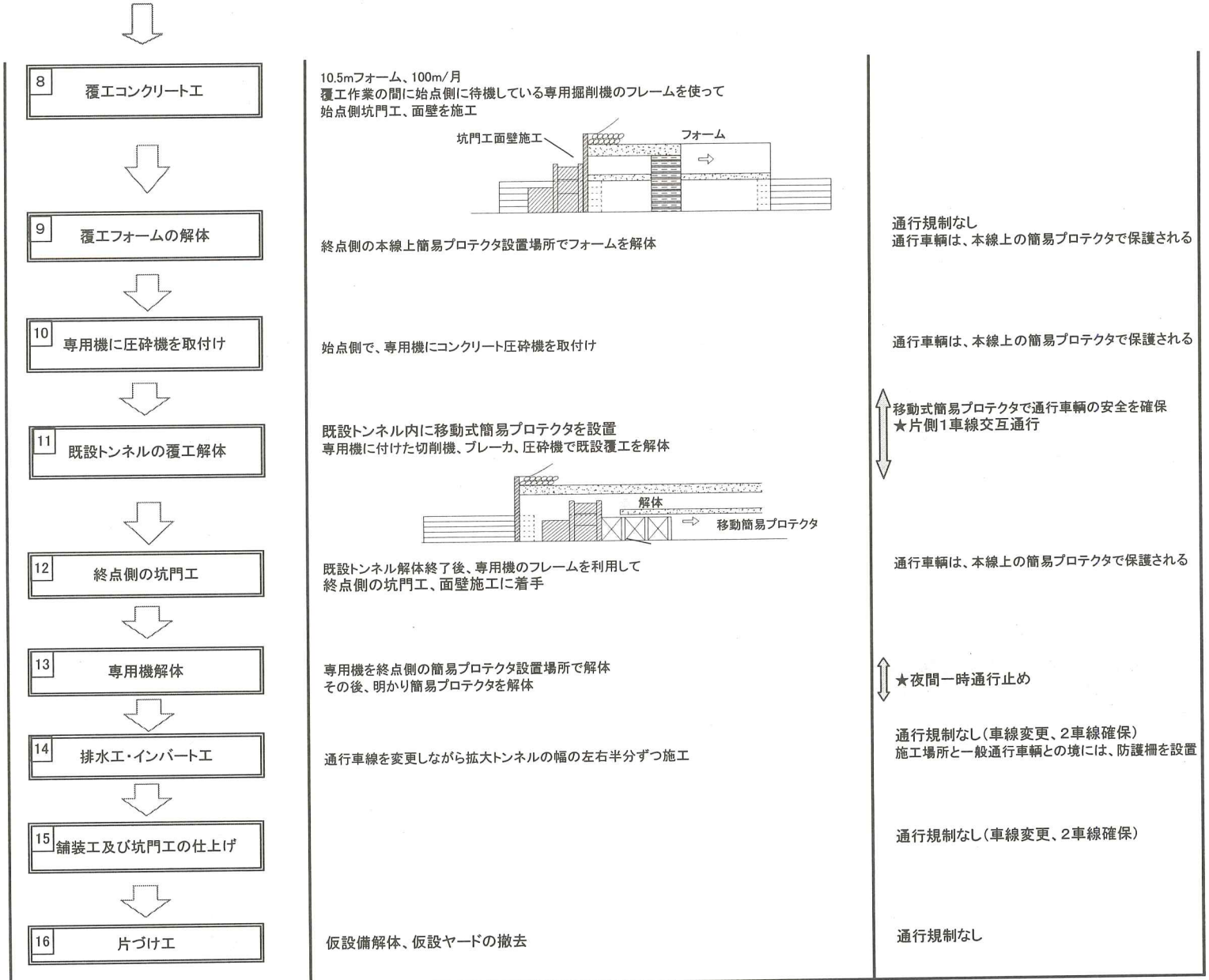


図-4.1.1　アーチカット工法の施工フロー

４．１．２　施工手順

図-4.1.1 の施工フローに従い施工順序の抜粋を坑内の機械配置状況イメージで図-4.1.2～図-4.1.13 に示す。

1 仮設備・準備工

始点側、終点側に仮設備のための作業ヤードを整備する。

2 既設トンネルの補強、防護工

既設トンネルの内側を支保工および金網で補強。坑口法面の防護。

既設トンネルの坑口本線上に明かり部簡易プロテクタ（30m）を設置する。

3 側壁導坑掘削工

側壁導坑掘削時、既設トンネル内の一般車両は、通常の２車線通行。

掘削は、200kW 級自由断面掘削機、ずり出しは、小形アーティキュレートダンプ 13.6t を使用。



図-4.1.2　施工順序イメージ（１）

4 側壁コンクリート工

20m の側壁フォームによりコンクリート打設。トンネルが長いときには、定置式ポンプにて中継圧送。



図-4.1.3　施工順序イメージ（２）

5 アーチカット工法専用掘削機の組立

坑口の明かり部簡易プロテクタ設置場所で組み立てる。

6 拡大トンネル掘削工

アーチフレームに取り付けた自由断面掘削機が既設トンネルの覆工の外側に沿って掘削する。

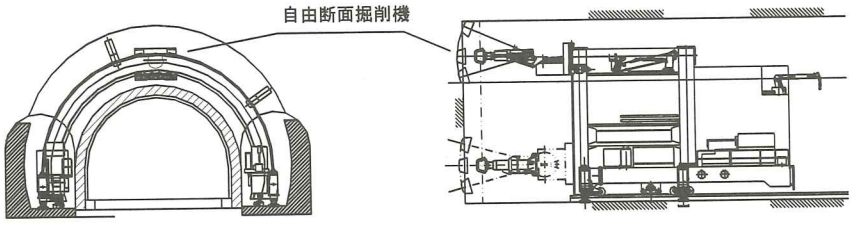


図-4.1.4　施工順序イメージ（3）

6-1　こそく、ブレーカ掘削作業

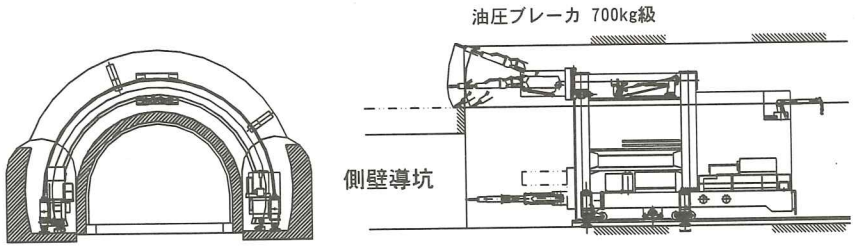


図-4.1.5　施工順序イメージ（4）

6-2　ずり出し作業

ずりは、左右の側壁導坑を使って、終点側（進行方向）に搬出される。

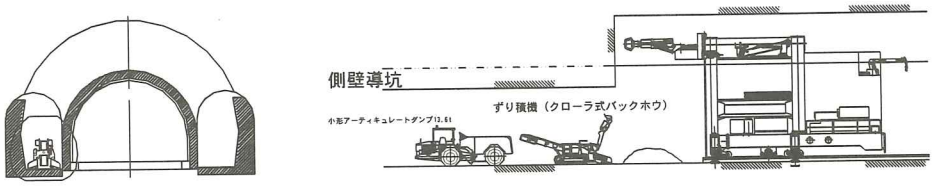


図-4.1.6　施工順序イメージ（5）

6-3　支保工の建て込み

専用機の後方から搬入された支保工は、揚重クレーンにより専用機の作業台に荷揚げされ、テルハクレーンで切羽側に持ち込まれる。専用機の左右２台のエレクタにより切羽に建て込まれる。

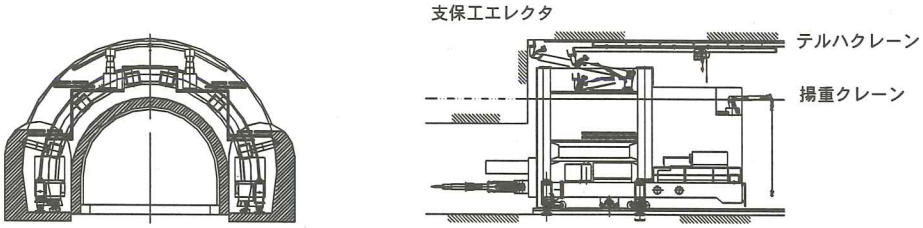


図-4.1.7　施工順序イメージ（６）

6-4　コンクリート吹付け

多関節マニピュレータによる吹付作業時、自由断面掘削機のヘッドは、側壁導坑に格納されている。

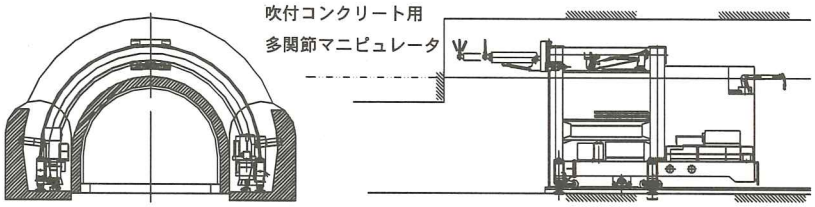


図-4.1.8　施工順序イメージ（７）

6-4　ロックボルト打設

ロッドチェンジャ付きドリフタ２台により、ボルト打設。

専用機の後方支保が完了した部分では、シート貼り作業が始まる。

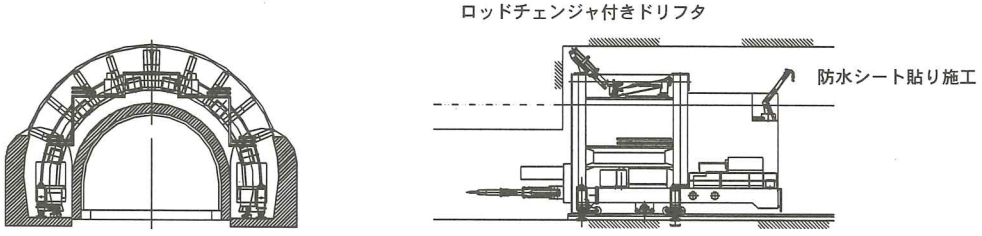


図-4.1.9　施工順序イメージ（８）

7 覆工フォームの組立

掘削終了後、専用機は、始点側へ後退する。

始点側明かり部簡易プロテクタ設置場所で覆工フォームを組み立てる。

8 覆工コンクリート工

10.5m フォーム

このとき始点側では、専用機のフレームを利用して坑門工を施工。

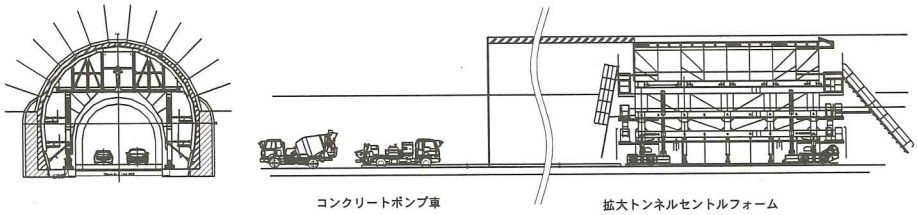


図-4.1.10　施工順序イメージ（9）

9 覆工フォームの解体

終点側の明かり部簡易プロテクタ設置場所でフォーム解体

10 専用機に圧砕機を取り付け

始点側で、待機している専用機にコンクリート圧砕機を取り付ける。

11 既設トンネルの覆工解体

既設トンネル内に移動式簡易プロテクタを設置。専用機に取り付けた圧砕機、切断機で既設覆工を解体。移動式簡易プロテクタ内は、１車線通行となるためトンネルの始点側、終点側で信号による交互通行規制を行う。

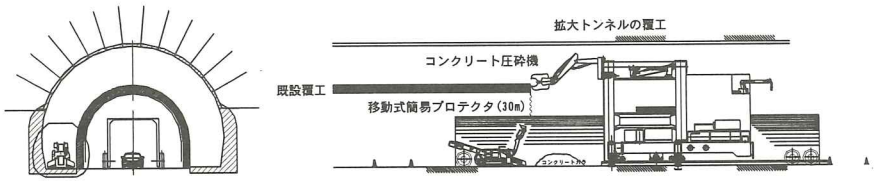


図-4.1.11　施工順序イメージ（１０）

12 終点側の坑門工

終点側で、既設覆工解体後、専用機のフレームを足場として利用し、終点側の坑門、面壁を施工。

13 専用機解体

終点側の明かり部簡易プロテクタ設置部で専用機を解体。

14 排水工・インバート工

通行車線を 切り替えながら左右半分ずつ施工する。防護柵で通行車両の安全を確保する。

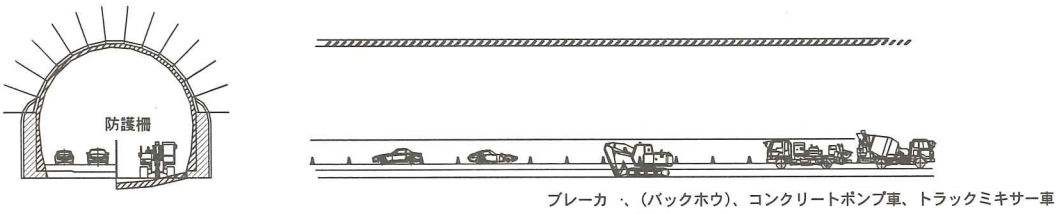


図-4.1.12 施工順序イメージ（１１）

15 舗装および坑門工の仕上げ

16 片づけ工

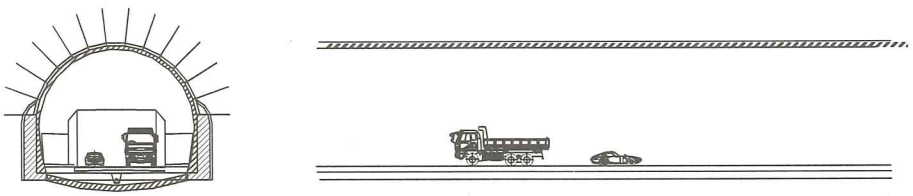


図-4.1.13 施工順序イメージ（１２）

４．２　仮設備計画

坑外仮設備の配置計画に当たって、一般車輌の通行の安全を確保し、一時通行止めなどの交通規制が極力少なくなるような坑外仮設備の配置を計画する。本工法で使用する専用掘削機は、頑強なアーチ型フレームを有する構造の多機能機で、総重量は、250t 以上にも達することから、この専用機を安全に搬入し組立てするヤード、また、新設トンネル掘削工事と同様の NATM 工法用仮設備を配置するヤードが必要になる。ここでは、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、始点側と終点側とに用意する。これは、本線を挟んで両側に側壁導坑を予め同時施工するためで、導坑を利用して、拡大掘削のずりを専用機の進行方向（終点側）へ搬出する。

主な坑外仮設備の配置イメージを図-4.2.1 に、また坑外の仮設備一覧を表-4.2.1 に示す。

表-4.2.1　坑外に配置する主な仮設備一覧

機械名	規格・性能	台数	摘　要
吹付プラント	25m³/hr 程度	1	
換気用ファン	500m³/min 程度	2	側壁導坑施工時
換気用ファン	1000m³/min 程度	1	拡大トンネル施工時
受変電設備		1	
濁水処理設備	30m³/hr 程度	1	
給水設備		1	
ずり仮置き場	掘削 1 日分程度	4 ヶ所	終点側をメインに分別仮置きする

拡大掘削終了後、覆工フォーム組立中 --始点側の坑外仮設備--

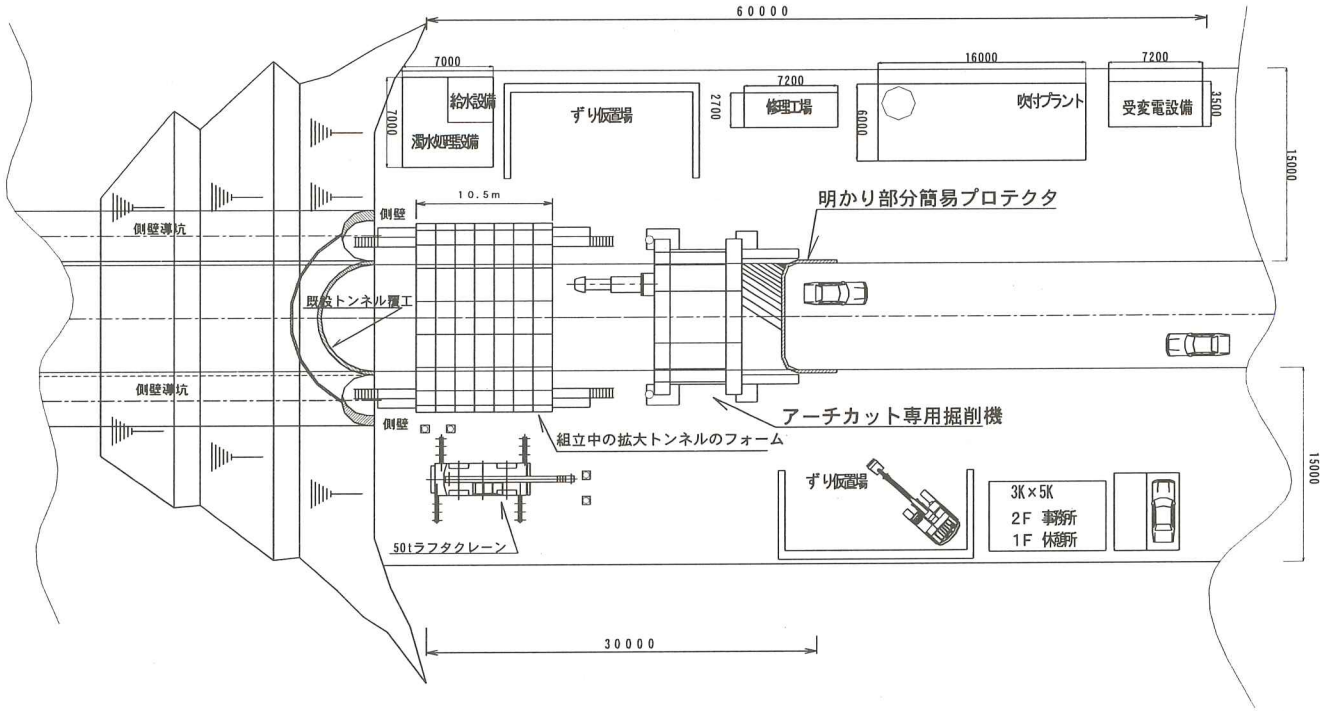


図-4.2.1　坑外仮設備配置イメージ

４．３　通行規制

一般車輌がトンネル拡大工事施工箇所を通行する時、人や車が、不安や苛立ちを感じることなく、スムーズに安全に通過できるように、規制する期間は、極力短くすることが重要である。また、通行規制に際しては、人や車に対して目視的に、聴覚的に規制に対する注意を促す表示や通行中の注意喚起設備が是非とも必要になる。図-4.1.1 に示す施工フローの内、一般通行車両への規制が必要な工種は、以下のケースでそれぞれについて説明する。

（１）仮設備設置、既設トンネルの補強・防護工時

交通規制　：　夜間通行止め 5 時間　（午前 0 時～午前 5 時）

約 2 ヶ月間程度

ロックボルトと鋼アーチ支保工＋金網程度の補強・防護および既設トンネル両坑口部の明かり部簡易プロテクタの設置。この作業時間は、基本的に夜間通行止めの 5 時間に行う。

（２）既設トンネル覆工解体時

交通規制　：　１車線交互通行

既設覆工解体期間

既設トンネルの覆工解体は、覆工内に移動式簡易プロテクタを挿入して通行車輌の安全を確保しながら、専用機の作業機をコンクリート圧砕機に乗せ換えして施工する。

既設覆工内に移動式簡易プロテクタが入るため覆工内部は、１車線通行となる。始点側、終点側の明かり部プロテクタで、信号機により１車線交互通行規制する。交互時間間隔は、トンネル延長、交通量にもよるが、10～15 分程度とする。

１車線交互通行の概略を図-4.3.1 に示し、既設覆工解体時のイメージを図-4.3.2 に示す。

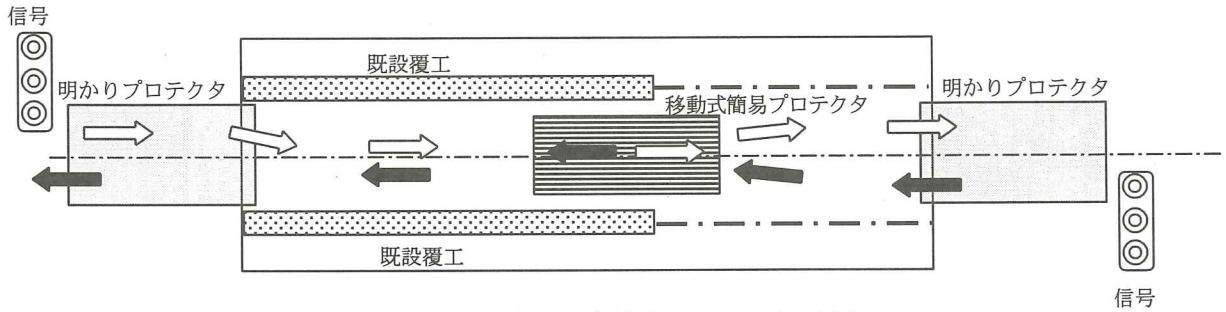


図-4.3.1　覆工解体時の１車線交互通行の概略図

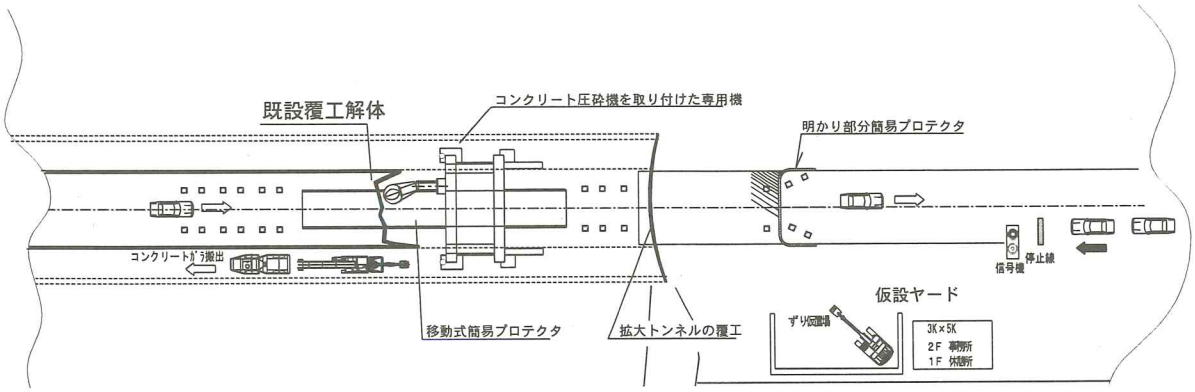


図-4.3.2　覆工解体時の１車線交互通行のイメージ

（3）専用機解体、明かり部簡易プロテクタの解体時

交通規制　：　夜間通行止め 5 時間　（午前 0 時～午前 5 時）

10 日間程度

専用機の解体は、拡大工事最初に設置した明かり部簡易プロテクタ部分で行われ、通行車両は、安全が確保されている。しかし、明かり部簡易プロテクタの解体作業は、夜間一時通行止めして行う。

（4）排水工・インバート工・舗装工

交通規制なし　：　車線変更

排水工、インバート工、舗装工は、拡大断面のインバート左右２分割施工を行う。そのため、一般通行車両は、２車線のままでトンネル内の車線配置を変えながら車線変更の誘導を行う。

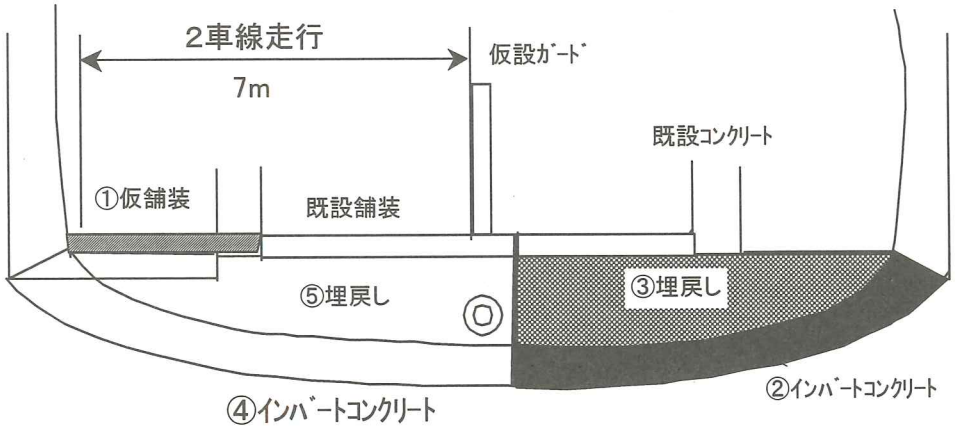


図-4.3.3　インバート工・片側施工時の概要

5．適用にあたっての留意点

本工法における留意点は次のとおりである。

① 既設覆工の健全度評価

当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の結果次第では、事前補強の内容が大きく変化する。

そのためには、旧トンネルの工事誌等から施工法や地質の確認は勿論、既設覆工の変状・クラック・材料劣化等の健全度評価方法が必要である。

② 切削能力の増強

当アーチカット工法は、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、狭隘な作業空間から 65kW 級自由断面掘削機を選定したが、拡大トンネルの掘削能力を上げることは、「工期短縮」「コスト低減」に大きく影響し、適用地質も広くなる。今後、更なる施工能力アップのために、切削機械の開発と十分な切削反力がとれるアーチフレーム構造の開発が必要である。

③ トンネルの延長と施工法

アーチカット工法のトンネルへの適用延長は、先進導坑のずり出しをタイヤ方式と限定した上で、700ｍ程度としたが、それ以上の延長になればレール方式の適用が考えられる。

アーチカット専用機の機能としてはトンネル延長に影響ないが、コスト面では、トンネルが長いほど有利となる。

④ インバートの施工と排水工

２車線走行を確保してのインバートと中央・横断排水工は左右交互施工を原則とするが、施工性から中央排水工の位置をトンネルセンタから離すことも考慮する。

⑤ 仮設備ヤードの確保

仮設備計画の項目で述べたように本工法では、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が本線を挟んで両側に、始点側と終点側とに用意する。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、断面拡大掘削工法を工夫したためで、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て工事施工に当たって、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。

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）　―

参　考　資　料

1．サイクルタイム試算例

1．1　試算条件

アーチカット工法による 8m 級既設トンネルを 3 種 2 級両側自歩道付き程度に両側断面拡大するサイクルタイムを以下に示す。表-1.1.1 から表-1.1.3 にサイクルタイム試算に用いた条件、および図-1.1.1 に断面を示す。

表-1.1.1　岩級区分別施工延長　　単位：m

岩級区分	CⅡ	DⅠ	DⅢ	合計
試算 1	50	400	50	500
試算 2	50	100	50	200

表-1.1.2　掘削方法、工法

掘削方法	掘削区分	掘削方式
機械掘削	CⅡ、DⅠ、DⅢ	左右 2 本の側壁導坑をずり出し坑として利用する同心円掘削、アーチカット工法

積算は、旧建設省土木工事積算基準（平成 12 年度版）に準拠する。

表-1.1.3　吹付係数

吹付け補正係数(国交省土木工事積算基準)

	掘削方法	加背名	掘削区分	設計吹付厚(cm)	補正係数
導坑	機械掘削	全断面	CⅡ	10	2.1
			DⅠ	15	1.9
			DⅢ	25	1.8

	掘削方法	加背名	掘削区分	設計吹付厚(cm)	補正係数
本坑	機械掘削	全断面	CⅡ	10	2.1
			DⅠ	15	1.9
			DⅢ	25	1.8

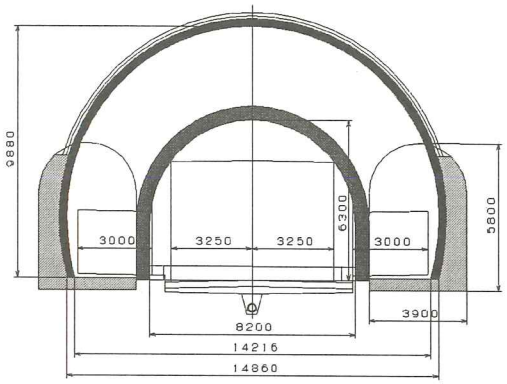


図-1.1.2　試算に用いた断面構成

・先進側壁導坑掘削時作業空間が狭隘なため掘削機械作業の能力を公称能力の 80%に低減考慮する。
・既設トンネル覆工と拡大トンネル掘削の作業空間が狭隘なため掘削機械作業の能力をメーカ公称能力の平均値とする。
・側壁導坑と拡大したアーチ部との隅角部の吹付け作業については、掘削形状より狭隘な空間での、機械の作業性低下、補強などを考慮して 20 分とする。
・既設トンネルの覆工取壊し、搬出（支保工、矢板撤去を含む）の作業能力は、9m/日とする。
・交通誘導工は交通規制期間（夜間一時通行止、片側交互通行）について、一方 3 人体制で計上する。
・掘削作業の編成人員は狭隘部での作業を考慮して、導坑掘削ひと方５人、拡大掘削トンネル 10 人体制とした。

１．２　試算結果

１．２．１　サイクルタイム

先進側壁導坑掘削およびアーチカット工法による断面拡大のサイクル試算結果を表-1.2.1～表-1.2.2 に示す。

表-1.2.1　試算１　導坑サイクルタイム　500m

500mサイクルタイム（3種2級クラス断面に既設トンネルを拡大）
導坑掘削

（機械掘削工法）

項　　目			単位	CⅡ	DⅠ	DⅢ	摘　　要
設計掘削断面積（余掘含まず）		A1	m^2	22.4	23.1	24.5	
掘削断面積（余掘含む）		A2	m^2	24.3	25.0	27.1	
1サイクル当り掘進長		B	m	1.2	1.0	1.0	
掘削機械　作業能力		C	m^3/hr	14	17	19	200kW級狭隘補正：60%(23,28,32)
1サイクル当り吹付け面積		M	m^2	17.5	14.7	15.1	M=吹付け周長*B
吹付け設計厚さ		N	m	0.10	0.15	0.25	
1サイクル当りボルト本数		P	本	3	3	3	
フォアポーリングボルト本数			本	−	−	−	
ロックボルト長				3m	3m	3m	
ロックボルト長（フォアポーリング）				−	−	−	
吹付け　補正係数		K		2.1	1.9	1.8	
1サイクル当り金網設置数量			m^2	−	−	−	導坑は金網無し
1サイクル当り既設コンクリート取壊し		V1	m^3	−	−	−	
掘削・取壊し	準備		分	10	10	10	
	掘削・ずり出し	T1	分	125	88	86	T1=A2*B*60/C
	跡片付け		分	10	10	10	
	測量		分	10	10	10	
	小計		分	155	118	116	
吹付け	吹付け準備		分	10	10	10	手吹き
	吹付け	T3	分	55	63	102	T3=M*N*補正係数*60/4(m^3/hr)
	跡片付け		分	10	10	10	
	小計		分	75	83	122	
ロックボルト	ロックボルト準備		分	10	10	10	レッグ
	穿孔・打設	T4	分	21	21	21	T4=P*7（3m）
	跡片付け		分	10	10	10	
	小計		分	41	41	41	
金網	金網設置	T5	分	−	−	−	
	小計		分				
支保工	支保工準備		分	10	10	10	
	支保工建込み	T2	分	30	30	30	
	小計		分	40	40	40	
その他	その他狭隘損失	T6	分	30	30	30	
	小計		分	30	30	30	
	計	Q	分	341	312	349	

表-1.2.2　試算１　拡大サイクルタイム　500m

500mサイクルタイム（3種2級クラス断面に既設トンネルを拡大）
本坑掘削（アーチカット工法）　　（機械掘削工法）

項　　目			単位	CⅡ	DⅠ	DⅢ	摘　　要
設計掘削断面積（余掘含まず）		A1	m^2	50.2	51.1	54.1	
掘削断面積（余掘含む）		A2	m^2	52.8	53.4	57.6	
1サイクル当り掘進長		B	m	1.2	1.0	1.0	
掘削機械　作業能力		C	m^3/hr	10	13	15	65kW級狭隘補正8.3～19.3平均13m^3/h
1サイクル当り吹付け面積		M	m^2	23.6	19.7	20.1	M=吹付け周長*B
吹付け設計厚さ		N	m	0.10	0.15	0.25	
1サイクル当りボルト本数		P	本	6	6	6	
フォアポーリングボルト本数			本	－	－	16	
ロックボルト長				4m	4m	4m	
ロックボルト長（フォアポーリング）				－	－	3m	
吹付け　補正係数		K		2.1	1.9	1.8	
1サイクル当り金網設置数量			m^2	－	19.7	20.1	数量=金網周長*B
1サイクル当り既設コンクリート取壊し		V1	m^3	－	－	－	別工程
掘削	準備		分	10	10	10	
	掘削・ずり出し	T1	分	380	246	230	T1=A2*B*60/C
	跡片付け		分	10	10	10	
	測量		分	10	10	10	
	小計		分	410	276	260	
吹付け	吹付け準備		分	10	10	10	
	吹付げ	T3	分	33	37	60	T3=M*N*補正係数*60/9(m^3/hr)
	吹付け（隅角部中壁仕上げ）	T31	分	20	20	20	
	跡片付け		分	10	10	10	
	小計		分	73	77	100	
ロックボルト	ロックボルト準備		分	10	10	10	
	穿孔・打設	T4	分	30	30	30	T4=P*10/2ﾌﾞｰﾑ(4m)
	穿孔・打設（フォアポーリング）	T42	分			60	16本*7.5分/2ﾌﾞｰﾑ
	フォアポーリング打設　隅角部　移動・セット	T43	分				
	跡片付け		分	10	10	10	
	小計		分	50	50	110	
金網	金網設置	T5	分	0	20	20	
	小計		分		20	20	
支保工	支保工準備		分	10	10	10	
	支保工建込み	T6	分	30	30	30	
	小計		分	40	40	40	
その他	その他アーチフレーム移動など損失		分	30	30	30	
			分	30	30	30	
	計	Q	分	603	493	560	

2．出願特許

申請特許名	出願人	発明者	申請年月日	公開日
トンネル拡幅装置	独立行政法人土木研究所 (財)先端建設技術センター 鹿島建設株式会社 株式会社奥村組 株式会社熊谷組 株式会社三井三池製作所	真下英人、蒲田浩久、石村利明 若林明 伊藤範行、佐藤政昭、稲生道裕、城所敏郎 阿久津秋秀、水原憲三、清水智明、井上直樹 垣内幸雄、安川良博 手島隆治、若松茂樹	2003年3月25日 (特願2003-82015)	

施　工　マ　ニ　ュ　ア　ル　（案）

第６編　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）－

平成 16 年 3 月

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
株式会社　奥村組
鹿島建設　株式会社
株式会社　熊谷組
株式会社　三井三池製作所

目　　次

1．断面拡大工法の概要 …… 6-1
2．工法の特徴 …… 6-3
3．設計 …… 6-5
　3．1　適用条件 …… 6-5
　　3．1．1　適用可能な既設トンネルおよび新設（拡大）トンネルの規模 …… 6-5
　　3．1．2　地山条件 …… 6-6
　　3．1．3　トンネル延長 …… 6-6
　　3．1．4　平面線形 …… 6-6
　3．2　設計 …… 6-7
　　3．2．1　側壁導坑掘削時の既設トンネルおよび側壁導坑の安定性照査 …… 6-7
　　3．2．2　既設トンネル補強工 …… 6-8
4．施工 …… 6-9
　4．1　施工フローおよび手順 …… 6-9
　　4．1．1　施工フロー …… 6-9
　　4．1．2　施工手順 …… 6-10
　　4．1．3　移動式作業架台 …… 6-15
　　4．1．4　要素技術 …… 6-17
　4．2　仮設計画 …… 6-19
　　4．2．1　仮設ヤード計画 …… 6-19
　　4．2．2　換気計画 …… 6-20
　4．3　通行規制 …… 6-22
5．適用に当たっての留意点 …… 6-23

参考資料

1．サイクルタイム試算例 …… 6-27
　1．1　試算条件 …… 6-27
　1．2　試算結果 …… 6-29
2．解析 …… 6-31
3．出願特許 …… 6-36

1．断面拡大工法の概要

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の特徴

- 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を行う工法
- 覆工用セントルを兼ねる作業架台を利用して汎用掘削機により施工する工法
- 対象地山は、中硬岩地山まで適用できる工法

側壁導坑先行両側拡大工法は、既設覆工をプロテクタとして利用し、既設トンネルの2車線通行を確保したままトンネル断面を拡大する工法である。既設トンネルの両サイドに側壁導坑を先行掘削し、側壁コンクリートを施工する。その後、覆工用セントルを兼ねる作業架台を利用して汎用機により上半部を拡大掘削し、掘削ずりは側壁導坑を経由して掘削進行方向に搬出する。二次覆工は既設覆工を残したまま現場打ち覆工を行う。覆工完了後、既設覆工を撤去し、インバート工および舗装工を左右片側ずつ施工する。

本工法のイメージ図を図-1.1.1、掘削および既設覆工撤去に使用する主要機械を表-1.1.1に示す。

表-1.1.1　使用する主要機械（ 掘削・既設覆工撤去 ）

施工区分		機 種	規 格	台数
側壁導坑	掘 削・ずり積み	自由断面掘削機	200kW級(ｷﾞｬｻﾞﾘﾝｸﾞ装置付)	各1
	ずり出し	ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ	小型ｱｰﾃｨｷｭﾚｲﾄ 13.6t積	各2
拡大ﾄﾝﾈﾙ	移動式作業架台	ｾﾝﾄﾙのｶﾞﾝﾄﾘ兼用	幅10.1m×長さ23.7m	1
	掘 削・ずり積み	自由断面掘削機 ずり積み機[ｸﾛｰﾗ式ﾊﾞｯｸﾎｳ]	200kW級 150m³/h級	1 1
	ずり出し	ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ	小型ｱｰﾃｨｷｭﾚｲﾄ 13.6t積	4
	鋼アーチ支保工建込み	支保工ｴﾚｸﾀ･ﾁｬｰｼﾞﾝｸﾞ機	作業架台上をﾚｰﾙ移動	2
	ｺﾝｸﾘｰﾄ吹付け	ｺﾝｸﾘｰﾄ吹付け機 吹付けｺﾝｸﾘｰﾄ運搬	吐出量6～20m³/h級 ｽｸﾘｭｰｺﾝﾍﾞﾔ排出型ﾎｯﾊﾟ搭載 小型ｱｰﾃｨｷｭﾚｲﾄ･ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ	1 2
	ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ	ﾄﾞﾘﾙｼﾞｬﾝﾎﾞ ﾓﾙﾀﾙ注入機	狭小断面用ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ打設機 吐出量950ﾘｯﾄﾙ/h級	1 1
既設覆工撤去	覆工撤去用ﾌﾟﾛﾃｸﾀ	1車線用、移動式	長さ30.0m	1
	解 体	ｺﾝｸﾘｰﾄ圧砕機 油圧ﾌﾞﾚｰｶ	2,000kg級 1,300kg級	1 1
	搬 出	ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ	10t積	2

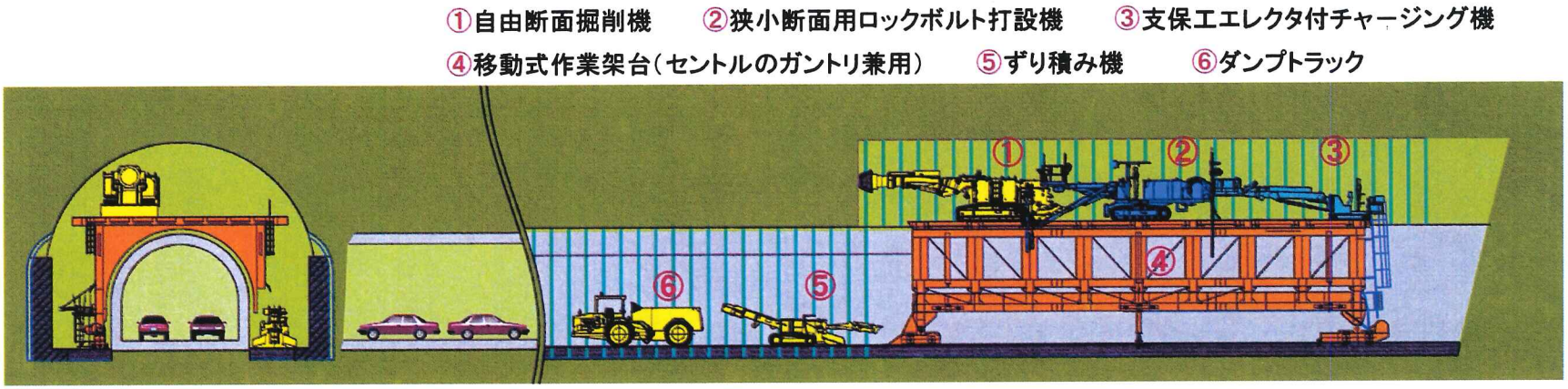


図-1.1.1　側壁導坑先行両側拡大工法（汎用掘削機）イメージ図

2．工法の特徴

本工法の特徴を表-2.1.1 に示す。

表-2.1.1　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の特徴

プロテクタ	・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。
通行規制 供用交通への配慮	・既設覆工をプロテクタとして利用するので、通行規制の期間が短い。 ※ 本工法をトンネル延長 L=200m および L=500m に適用した場合の通行規制期間の試算結果を表-2.2.1 に示す。 ・既設覆工をプロテクタとして利用するので、拡大掘削に伴う粉じん、騒音、施工時の濁水などによる一般通行車両への影響が少ない。 ・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、プロテクタによる圧迫感等、道路利用者に対する心理的影響が少ない。
施工機械 対象地山	・汎用機械を活用して側壁導坑および拡大トンネルの掘削を行う。 ・200kW 級自由断面掘削機を使用して側壁導坑掘削後、拡大掘削に転用するため、対象地山は中硬岩地山まで適用できる。
掘削方法	・側壁導坑先進工法（汎用掘削機械による機械掘削・タイヤ方式）。 ・上半部の拡大掘削時には覆工用セントルのガントリを兼用する移動式作業架台を使用する。
コスト縮減	・既設覆工をプロテクタとして利用するので、堅固なプロテクタ費用のコスト縮減が図れる。 ・汎用機械を使用することによって、コスト縮減が図れる。
工期短縮	・側壁導坑を各々2 班体制で施工することによって、工期短縮が図れる。 ・導坑を利用して拡大掘削に伴うずりを進行方向に搬出するので、掘削作業との併行作業ができ、効率的な施工が可能である。
安全性の確保	・既設覆工をプロテクタとして利用するので、一般通行車両の安全確保を目的に鋼アーチ支保工と金網による補強・防護工を事前に施工する。 ・両坑口部に明りプロテクタを事前設置して、坑口付け時および作業架台（セントル）組立・解体時の一般通行車両の安全を確保する。 ・既設覆工撤去時には移動式の覆工撤去用プロテクタを設置して、一般通行車両の安全を確保する。
埋設物の移設	・既設トンネルに埋設されている電話･電力･ガス･上下水道などは、側壁導坑を利用して容易に移設が可能である。
産廃処理	・既設トンネルの覆工撤去と地山掘削が分離されるので、分別処理が容易である。

表-2.2.1　通行規制期間の試算結果

通行規制の種類	通行規制期間（月）		備 考
	ﾄﾝﾈﾙ延長：200m	ﾄﾝﾈﾙ延長：500m	
夜間一時通行止	0.8	2.0	既設トンネル補強・防護工
片側1車線交互通行	0.3	0.8	事前調査
	1.0	2.4	既設覆工撤去工
車線変更（2車線確保）	1.2	1.2	インバート工
合計	3.3	6.4	

3．設計

3．1　適用条件

3．1．1　適用可能な既設トンネルおよび新設（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でも対応可能である。

ただし、拡大する幅は、施工上（使用機械の幅から）既設覆工の両側に 3.2m 程度を必要とする。また、拡大する高さも、施工上（既設覆工を跨いで移動する作業架台上の使用機械の作業空間確保から）既設覆工の上方に 4.5m 程度を必要とする。

本工法の拡大トンネル断面を図-3.1.1 に示す。

なお、拡大トンネルの路面高さを現状路面よりも高くすることが可能であれば、拡大トンネルの内空高さを小さくすることもできる（図-3.1.2 参照）。

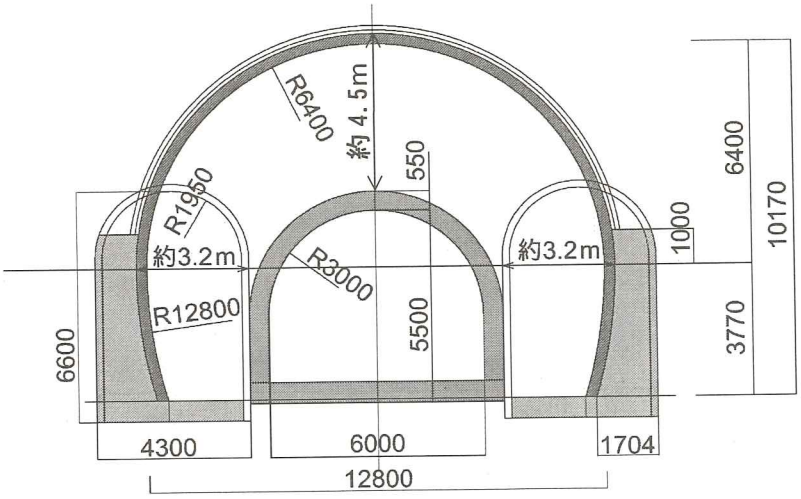


図-3.1.1　拡大トンネル断面（路面高さを一致させる場合）

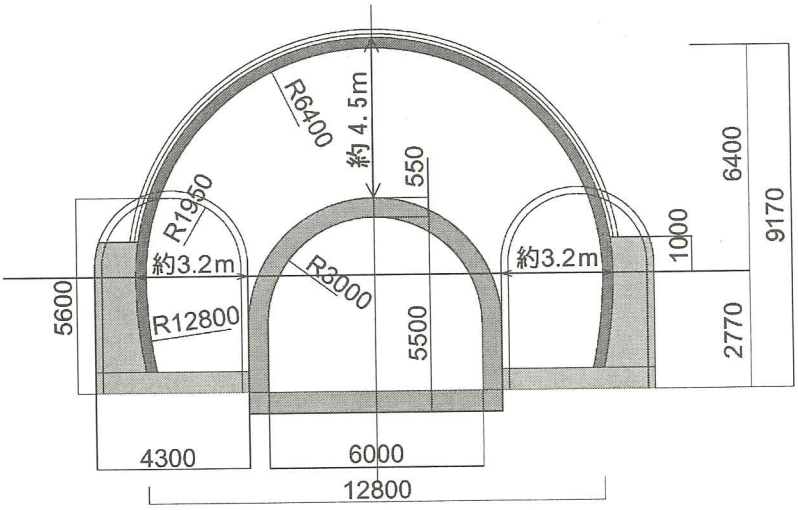


図-3.1.2　拡大トンネル断面（路面高さを高くすることが可能な場合）

３．１．２　地山条件

本工法は、側壁導坑掘削、拡大掘削ともにカッタヘッド出力 200kW 級の自由断面掘削機による機械掘削を行うことから、効率的な施工が可能な一軸圧縮強度 50MPa 程度以下の軟岩から中硬岩地山までを対象としている。

本工法の適用領域を図-3.1.3 に示す。

３．１．３　トンネル延長

本工法は強固な作業架台の費用が高いため、作業架台を覆工用セントルのガントリと兼用しても、対象とするトンネル延長が短い場合は工事費が割高となる。また、側壁導坑が小断面であり施工機械の離合が困難であるため、トンネル延長が長くなるに従って施工効率が低下する。よって、本工法を適用するトンネルの延長は、経済性の観点から 200m 以上 700m 以下程度を対象とする。

本工法の適用領域を図-3.1.3 に示す。

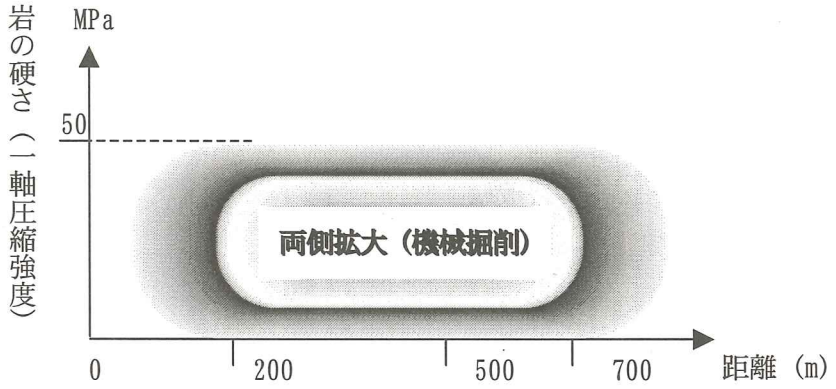


図-3.1.3　提案工法の適用領域

３．１．４　平面線形

トンネルの平面線形は、移動式作業架台（セントルのガントリ兼用）がレール送り装置で移動する際の既設覆工とのクリアランスから R=300m 以上を対象とする。

３．２　設計

３．２．１　側壁導坑掘削時の既設トンネルおよび側壁導坑の安定性照査

「側壁導坑先行両側拡大工法」において側壁導坑掘削時の既設トンネルおよび側壁導坑の安定性を照査するために表-3.2.1 に示すケースについてＦＥＭ解析を行った。

なお、解析ケースは以下の理由で側壁導坑の施工に矢板工法を採用する場合を想定し、既設トンネルの防護として覆工内面に設置する補強鋼アーチ支保工の有無について行った。

- 拡幅掘削は作業架台に上載した自由断面掘削機で行うため、拡幅掘削の進行に伴って側壁導坑の支保工も撤去しながら架台を移動する。作業架台下方への自由断面掘削機の掘削可能範囲には余裕が無く、側壁導坑をＮＡＴＭで施工した場合、既設トンネル覆工と側壁導坑支保工の接点付近の吹付けコンクリートの撤去には支障があるため、拡幅掘削時の支保工撤去作業の効率化を目的として矢板工法を採用する

解析結果は、側壁導坑については既設トンネルの覆工全線の内面に設置する補強支保工の有無にかかわらず、側壁導坑（矢板工法）の支保部材として使用する鋼アーチ支保工の応力度の最大値は降伏応力度の28％～32%程度であり、十分余裕があることが分かった。既設トンネルについては、地山条件によっては既設覆工の一部にクラックが発生する可能性があることが分かったが、内面に設置した補強鋼アーチ支保工の応力度の最大値は降伏応力度の 16％程度であり、補強鋼アーチ支保工で防護することにより既設トンネルの安定性は確保できるものと考えられる。

ただし、既設トンネルの覆工全線の内面に補強鋼アーチ支保工を設置する場合においても、施工中には定期的に既設覆工の点検を行い、変状の発生を早期に発見して追加補強等の対策を実施する。

表-3.2.1　解析結果一覧

	地山等級	土被り (m)	既設トンネル		側壁導坑	
			内面補強支保工	最大支保工応力 (N/mm²)	矢板工法支保工	最大支保工応力 (N/mm²)
ケース ①	CⅡ	20	な し	－	H-125 @ 1.2 m	129.1
ケース ②	DⅠ	20	な し	－	H-125 @ 0.9 m	112.7
ケース ③	DⅠ	20	H-125 @ 1.0 m	62.6	H-125 @ 0.9 m	110.9
ケース ④	DⅠ	20	H-150 @ 1.0 m	61.9	H-125 @ 0.9 m	110.4

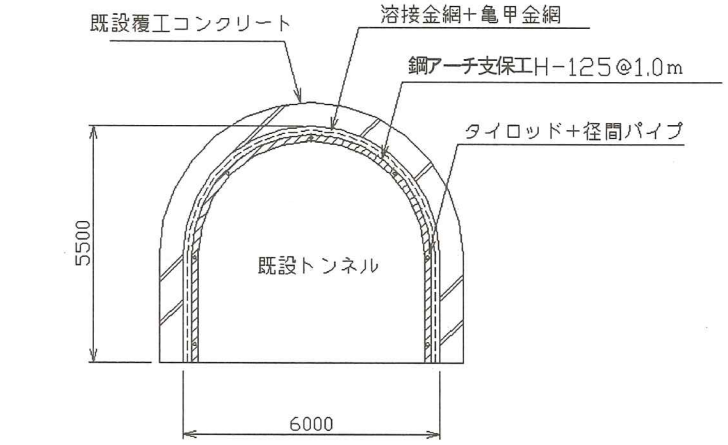
３．２．２　既設トンネル補強工

既設覆工の補強方法を検討する場合には、事前に覆工背面の地山状況や覆工の健全度を調査し、その結果によって、背面空洞充填、事前補強ボルト、内面補強などの補強方法を検討する。

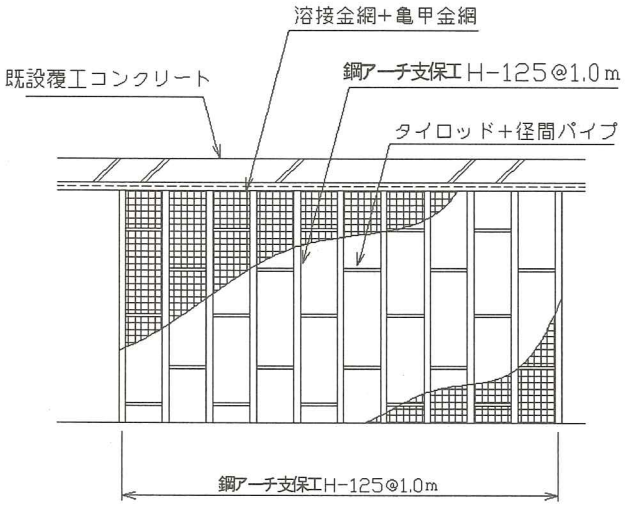
とくに、本工法の場合には、既設覆工をプロテクタとして利用して一般車両の安全を確保するため、事前調査結果に解析結果も加味して詳細に検討する必要があるが、今回の検討では、覆工背面の地山状況や覆工の健全度などは想定できないため、背面空洞充填、事前補強ボルトについての検討は除外した。

内面補強として、地山等級ＣⅡ、ＤⅠについての解析結果（3.2.1 参照）から、既設覆工の内面に鋼アーチ支保工 H-125 を 1.0m ピッチに建て込んで補強する。なお、鋼アーチ支保工間はタイロッドで接続するとともに、金網で覆ってコンクリート片の落下を防止する（図-3.2.1　既設覆工補強工　参照）。また、既設覆工のひび割れ幅が大きく、施工時の濁水が覆工内面に漏水する事が予想される部分ではシート等を利用して滴水を防止する。

地山条件、覆工の健全度などの違いにより、必要となる補強の度合い（背面空洞充填、事前補強ボルト、内面補強など）については、別途詳細検討が必要である。



断面図



側面図

図-3.2.1　既設覆工補強工

4．施工

4．1　施工フローおよび手順

4．1．1　施工フロー

本工法の施工の流れと各工程における通行規制を図-4.1.1　施工フローに示す。

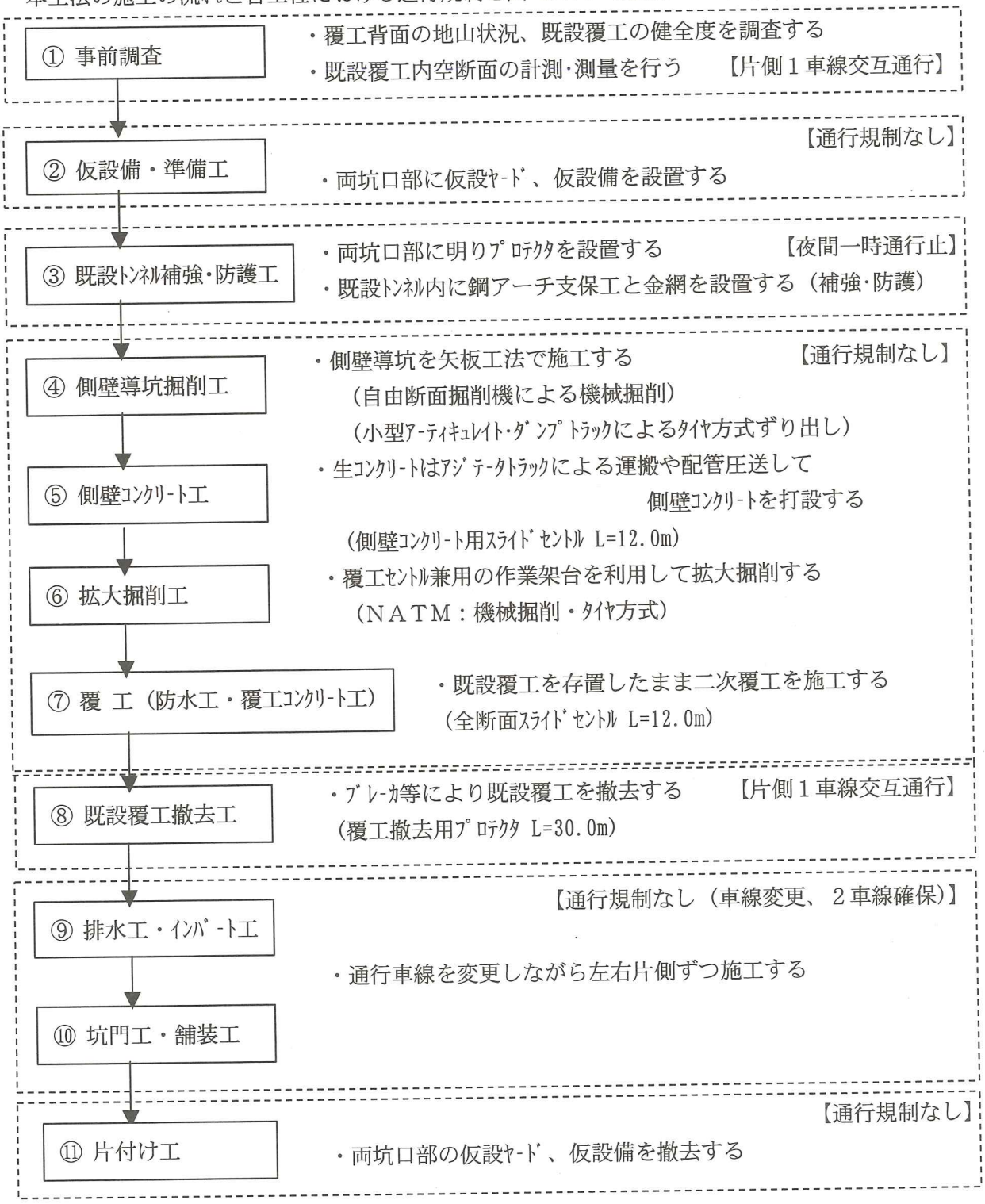


図-4.1.1　施工フロー

４．１．２　施工手順

施工フローの各作業について施工手順を以下に詳細説明する。

① 事前調査【通行規制：片側１車線交互通行】

- 既設覆工の補強方法を詳細に検討するために、覆工背面の地山状況調査、既設覆工の健全度調査、既設覆工内空断面の計測・測量を行う。
- 調査時には高所作業車等によって車線を占有するため、トンネル内は１車線交互通行規制をする。

② 仮設備・準備工【通行規制：なし】

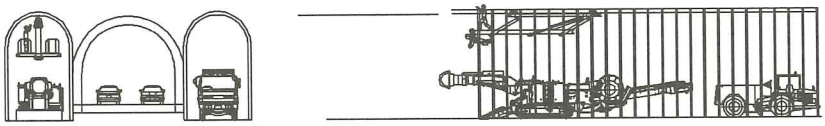
- 両坑口部の仮設ヤードを整備し、受電設備・濁水処理設備・吹付けプラント設備・ずりストックヤード・資材置場・現場詰所などを設置する。
- 仮設ヤードの広さは、始点側坑口部本線の両サイドに長さ約 60m×幅約 15m、終点側坑口部本線の両サイドに長さ約 40m×幅約 15m を最小必要面積とする（図-4.2.1 仮設ヤード平面図 参照）。

③ 既設トンネル補強･防護工【通行規制：夜間一時通行止】

- 既設覆工をプロテクタとして利用するので、既設覆工の補強とコンクリートの落下防止のために、既設覆工全線の内面に鋼アーチ支保工と金網、シート（漏水部）による補強・防護工を事前に施工する。
- 既設トンネルに設置されている照明、非常用施設等は補強・防護工の内空側へ移設する。
- 既設トンネル坑門の面壁撤去および坑口部の盛土撤去に先立ち、両坑口部本線上に明りプロテクタ（始点側：L=20m、終点側：L=10m）を設置する（図-4.2.1 仮設ヤード平面図 参照）。
- 既設覆工の補強･防護工および明りプロテクタ設置時は、基本的に夜間通行止（5 時間：午前 0 時～午前 5 時）の通行規制を行う。

④ 側壁導坑掘削工【通行規制：なし】

- 両坑口部に明りプロテクタを設置後、既設トンネル坑門の面壁および坑口部の盛土を撤去し、左右導坑の坑口付けを行う。
- 側壁導坑は、吹付機械、ロックボルト機械の入れ替えに時間がかかるため、サイクルタイムの短縮を目的として矢板工法（機械掘削・タイヤ方式）で施工する。
- 各導坑それぞれ昼夜 2 方体制で掘削を行う。
- 導坑の掘削には 200kW 級の自由断面掘削機を使用し、坑内ずり運搬は小型アーティキュレイト･ダンプトラック（13.6t 積）にて行う。鋼アーチ支保工は、自由断面掘削機の機上を通過して切羽近傍へ送り込み、建て込みにあたっては木矢板の設置作業時の足場としても兼用できる装置を使用する（図-4.1.2 側壁導坑掘削 参照）。
- 側壁導坑の底版部は、拡大掘削時のずり搬出走行路、作業架台の基礎として利用することを勘案してコンクリート路盤とするが、掘削時に底版部の補強をする必要がある場合には、掘削と併行して路盤コンクリートを施工する。



【自由断面掘削機(200kW 級)、支保工建込み装置、小型アーティキュレイト･ダンプトラック】

図-4.1.2　側壁導坑掘削

⑤　側壁コンクリート工【通行規制：なし】

- 側壁導坑掘削完了後、側壁用スライドセントルを用いて側壁コンクリートを施工する。
- 生コンクリートは、アジテータトラックで運搬する（図-4.1.3 側壁コンクリート打設 参照)。
- 運搬距離が長くなりアジテータトラックによる運搬の効率が悪い場合は、コンクリートポンプで配管圧送する。

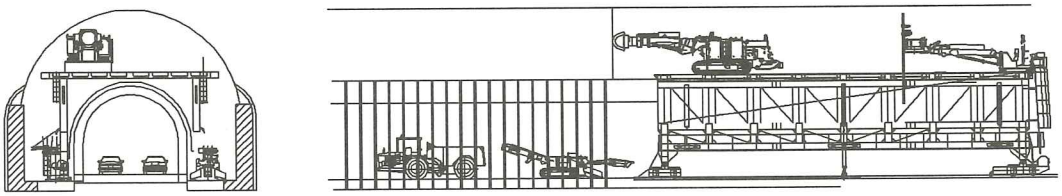


【スライドセントル、アジテータトラック、コンクリートポンプ】

図-4.1.3　側壁コンクリート打設

⑥　拡大掘削工【通行規制：なし】

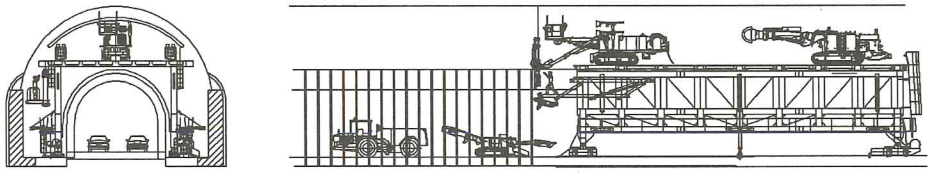
- 側壁コンクリート施工完了後、拡大トンネルの坑口付けを行う。
- 始点側仮設ヤードを利用して、明りプロテクタの位置で作業架台（セントルのガントリを兼用）を組み立て、掘削用機械を上載する。
- 既設覆工を存置したまま、セントルのガントリを兼用する作業架台を使用して上半部をＮＡＴＭ工法で拡大掘削する。
- 移動式作業架台上の自由断面掘削機（200kW 級）を使用して掘削し、掘削ずりは側壁導坑のずり積機〔クローラ式･バックホウ〕(150m³/h 級）で小型アーティキュレイト･ダンプトラック（13.6t 積）に積込み、側壁導坑を経由して反対側坑口へ搬出する（図-4.1.4 拡大掘削 参照)。



【移動式作業架台、自由断面掘削機(200kW 級)、ずり積機〔クローラ式･バックホウ〕(150m³/h 級)、小型アーティキュレイト･ダンプトラック】

図-4.1.4　拡大掘削

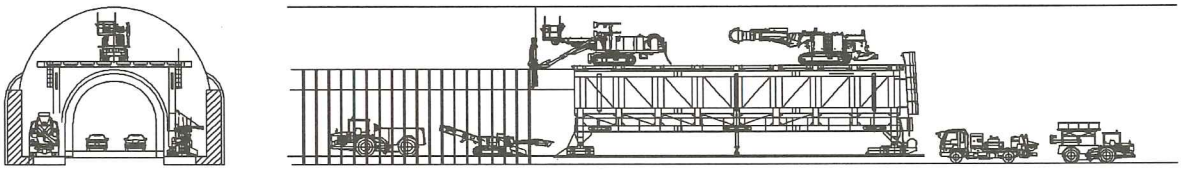
・ 鋼アーチ支保工をトラックで作業架台後方まで坑内運搬し、レール移動式電動ホイストで吊り上げた後、架台に備え付けの支保工エレクタチャージング機を用いて建て込む（図-4.1.5 上半支保工建込み 参照）。



【移動式作業架台、支保工エレクタチャージング機、支保工建込み装置(作業足場)】

図-4.1.5　上半支保工建込み

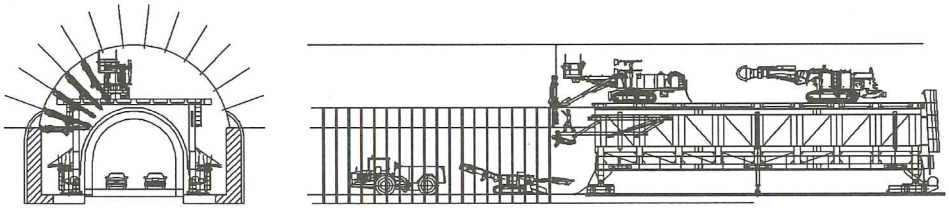
・ 吹付けコンクリートは、スクリューコンベヤ排出型ホッパを搭載した小型アーティキュレイト･ダンプトラックで、架台後方に据え付けた吹付け機まで坑内運搬し、狭小断面用ロックボルト打設機のマンケージに吹付けノズルを装着して吹付けを行う（図-4.1.6 コンクリート吹付け 参照）。



【移動式作業架台、吹付けノズルを装着したマンケージ、吹付け機、
ホッパ搭載小型アーティキュレイト･ダンプトラック】

図-4.1.6　コンクリート吹付け

・ ロックボルトは、狭小断面用ロックボルト打設機（2m ロッド）で継ぎノミ穿孔し、一本物のボルトを挿入する（図-4.1.7 ロックボルト打設 参照）。



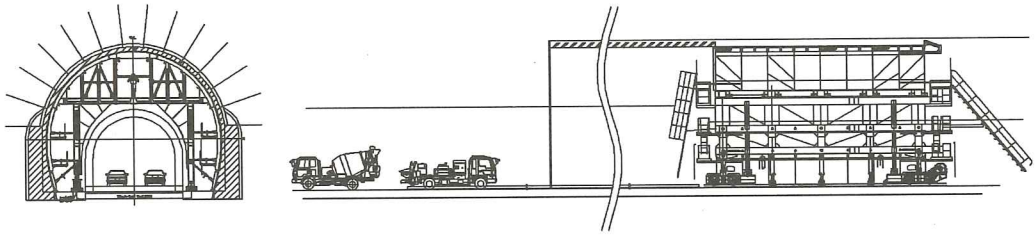
【狭小断面用ロックボルト打設機(2m ロッド)、モルタル注入機、支保工建込み装置(作業足場)】

図-4.1.7　ロックボルト打設

・ 以上の作業を１サイクルとして１掘進長ずつ作業架台を移動する。

⑦　覆工（防水工・覆工コンクリート工）【通行規制：なし】

- 拡大掘削完了後、始点側坑口部の明りプロテクタ位置で、拡大掘削に利用した移動式作業架台を覆工用セントルに組み替えるとともに、シート張り台車を組み立てる。
- 既設覆工を存置したまま、防水工および覆工コンクリート工を施工する。
- 生コンクリートは、打設箇所に近い側の坑口からコンクリートポンプで配管圧送する（図-4.1.8 覆工コンクリート打設 参照）。
- 坑口からの距離が遠い箇所の打設方法は、坑内にコンクリートポンプを設置して中継する。
- 坑門工の形式によっては覆工コンクリート工に引続いて坑門工を施工する場合もある。
- 始点側坑口部の明りプロテクタ位置で覆工用セントルを解体搬出する。

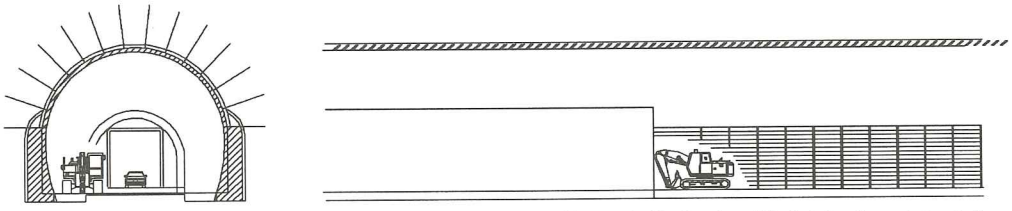


【セントル、コンクリートポンプ】

図-4.1.8　覆工コンクリート打設

⑧　既設覆工撤去工【通行規制：片側１車線交互通行】

- 拡大トンネルの二次覆工コンクリート完了後、明りプロテクタを解体撤去するとともに、油圧ブレーカおよびコンクリート圧砕機を使用して既設覆工を解体撤去する。
- 既設覆工撤去時には移動式の覆工撤去用プロテクタ（1 車線、L=30m）を設置して、一般車両の安全を確保する（図-4.1.9 既設覆工撤去 参照）。
- 既設覆工撤去期間中は既設トンネル内に覆工撤去用プロテクタを設置するので、既設トンネル内は全線にわたって 1 車線通行となる。始点、終点側の両坑口部手前に信号機を設置して片側 1 車線交互通行の交通規制を行う。交互通行時間の間隔はトンネル延長や交通量にもよるが、10 分程度とする。
- 夜間全面通行止が可能であれば、作業効率の向上を図るために覆工撤去用プロテクタを設置しないで既設覆工を撤去することも可能である。

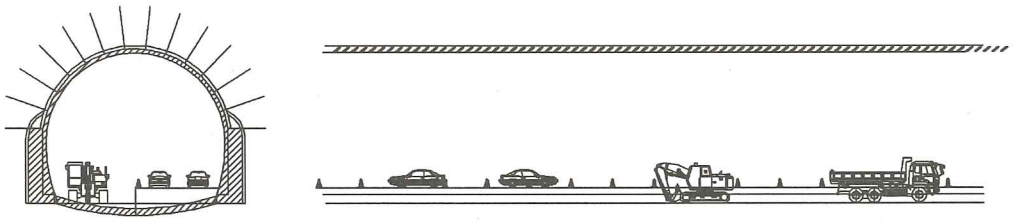


【油圧ブレーカ、コンクリート圧砕機、移動式覆工撤去用プロテクタ】

図-4.1.9　既設覆工撤去

⑨　排水工・インバート工【通行規制：なし（車線変更、2 車線確保）】

- 既設覆工撤去後、既設トンネル路面高で一般車両の走行路盤を整備する。
- 坑内の通行車線を変更（2 車線確保）して、拡大トンネルのインバート工および排水工を左右片側ずつ分割施工する。インバートの埋め戻し後、一般車両の走行路盤を整備する。
- 一般通行車両は、2 車線のままで誘導しながら坑外から車線変更を行う。
- インバート工の掘削には油圧ブレーカ、油圧ショベル、10t ダンプトラックを使用する。
- インバートコンクリートの打設にはコンクリートポンプ車、アジテータトラックを使用する（図-4.1.10 インバート工 参照）。



【油圧ブレーカ、油圧ショベル、10t ダンプトラック、コンクリートポンプ車、アジテータトラック】

図-4.1.10　インバート工

⑩　坑門工・舗装工【通行規制：なし（車線変更、2 車線確保）】

- 排水工・インバート工の施工完了後、セントルの架台をプロテクタとして利用して坑門工を施工する。通行車両への施工時の濁水の影響を防止するため、セントルの架台にはシート等による滴水防止措置を行う。
- 坑門工施工完了後、坑内の通行車線を変更（2 車線確保）して、拡大トンネルの舗装工を左右片側ずつ分割施工する。
- 一般通行車両は、2 車線のままで誘導しながら坑外から車線変更を行う。

⑪　片付け工【通行規制：なし】

- 両坑口部の仮設備（受電設備・濁水処理設備・生コンクリート製造設備・ずりストックヤード・資材置場・現場詰所など）を解体搬出し、仮設ヤードを撤去復旧する。

４．１．３　移動式作業架台

拡大掘削時に利用する移動式作業架台を図-4.1.11 移動式作業架台に示すが、その概要は以下のとおりである。

- 既設覆工を存置したまま拡大掘削・覆工を施工するので、既設覆工を跨ぐ構造とした。
- 覆工用セントルのガントリを兼用できる構造とした。
- 上載する施工機械（自由断面掘削機、狭小断面用ロックボルト打設機、支保工エレクタ･チャージング機）の荷重及び施工時反力を考慮して設計した。
- 作業架台の全高をできるだけ低くするために作業床の覆工板は落し込み式とした。
- 上載した施工機械の作業スペースを確保し、スムーズに移動・入替わりができるようにレールは埋め込み式とした。
- 作業架台の移動装置として、レール自動送り機能を装備した。
- 頻度の多い作業架台移動時の作業を容易にするために、中間サポート用ジャッキ数が少ない構造とした。
- 側壁部の支保作業足場として、側壁導坑掘削時に使用した支保工建込み装置（作業足場兼用）を転用して両サイドに取り付けた。

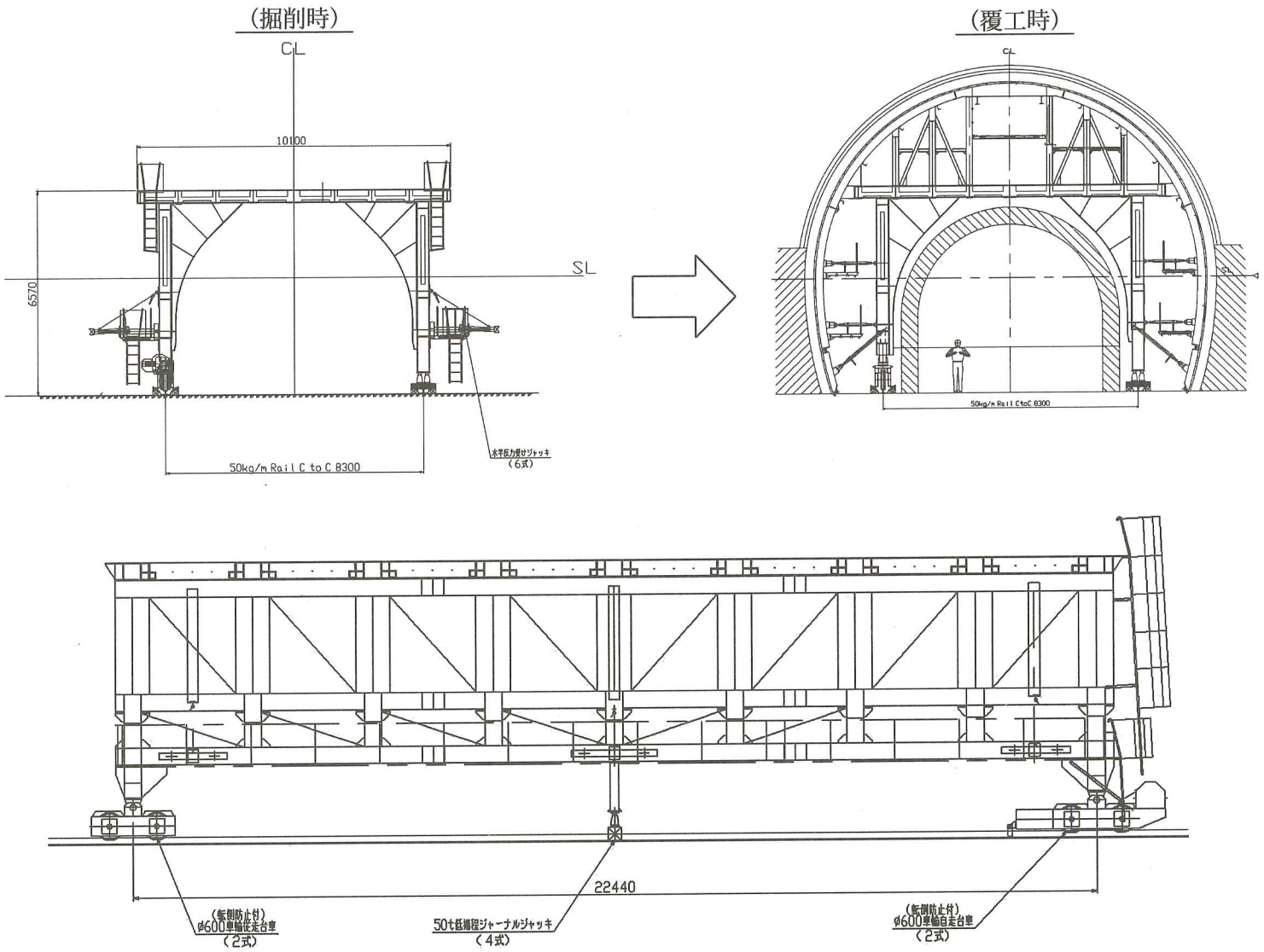


図-4.1.11　移動式作業架台（覆工用セントルのガントリ兼用）

４．１．４　要素技術

（１）支保工建込み装置（作業足場兼用）

側壁導坑掘削時に掘削機の後方から機上を通過して切羽へ支保工を搬入し、建て込む装置である。矢板設置作業等の支保作業を安全に行うための作業足場を兼用する。また、拡大掘削時には作業架台の両サイドに取り付け、側壁部の支保作業足場に転用する（図-4.1.12 支保工建込み装置 参照）。

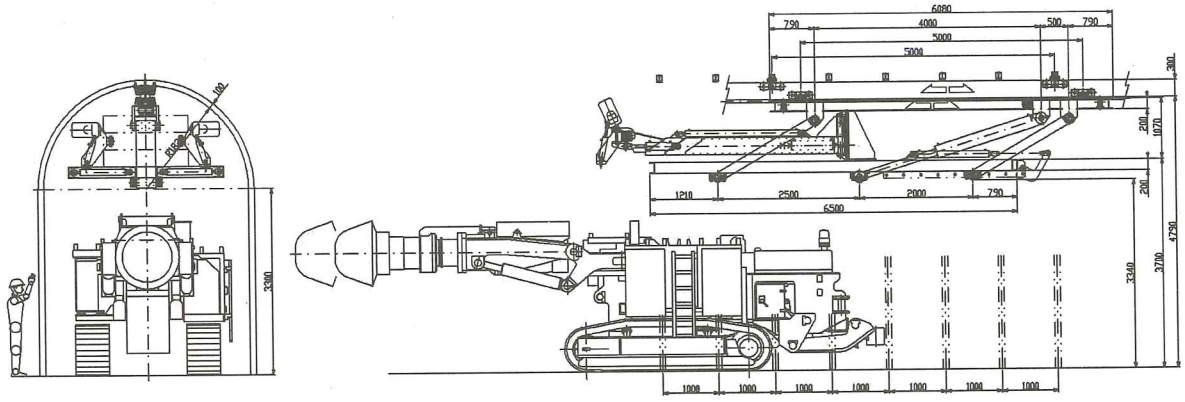


図-4.1.12　支保工建込み装置（作業足場兼用）

（２）スクリューコンベヤ排出型ホッパを搭載した小型アーティキュレイト･ダンプトラック

拡大掘削時の吹付けコンクリート坑内運搬にはスクリューコンベヤ排出型のホッパ(4.5m³)を搭載した小型アーティキュレイト･ダンプトラックを使用する（図-4.1.13 ホッパ搭載ダンプトラック 参照）。

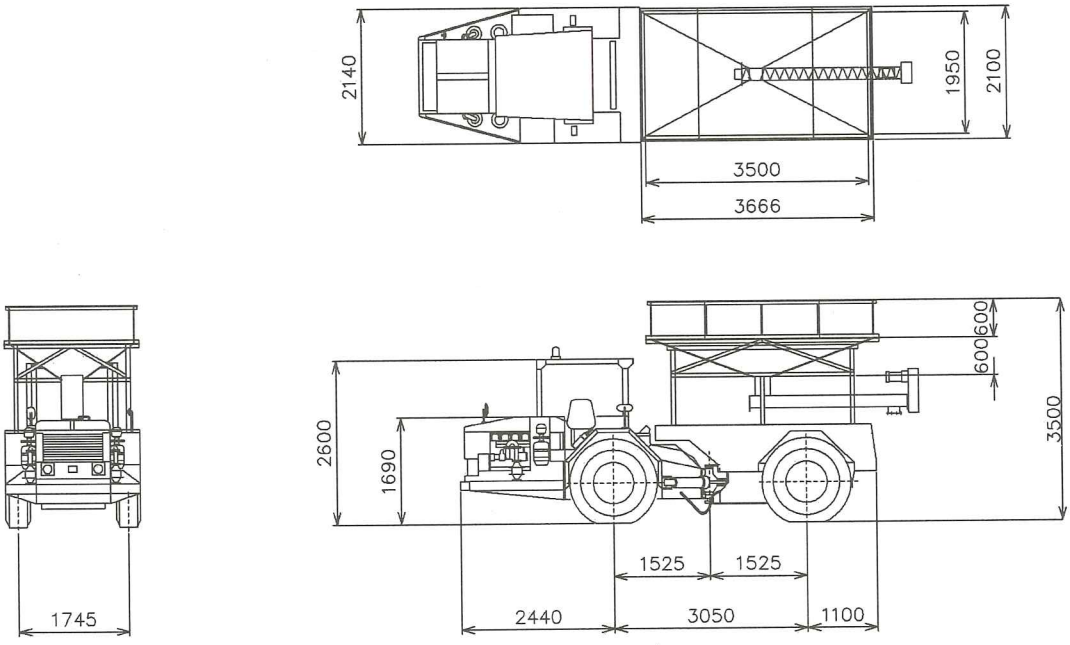


図-4.1.13　スクリューコンベヤ排出型ホッパを搭載した小型アーティキュレイト･ダンプトラック

（3）狭小断面用ロックボルト打設機（2m ロッド）

拡大掘削時のロックボルト工には、狭隘な作業空間での施工効率を上げるため、2m ロッドチェンジャー付ガイドセルに 90kg 級の油圧ドリフタを搭載した狭小断面用ロックボルト打設機を使用する。マンケージは鋼アーチ支保工の作業足場にも使用するほか、吹付けノズルを装着して吹付けロボットとしても使用する

（図-4.1.14 狭小断面用ロックボルト打設機（2m ロッド） 参照）。

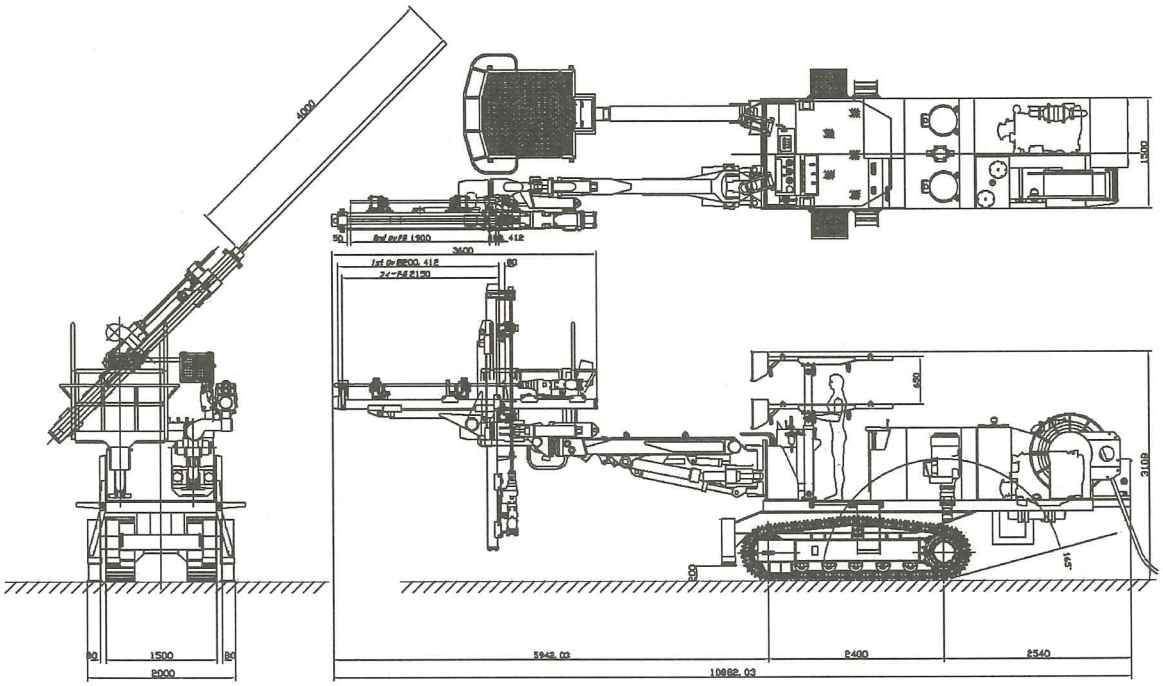


図-4.1.14　狭小断面用ロックボルト打設機（2m ロッド）

4．2　仮設計画

4．2．1　仮設ヤード計画

本工法を適用する場合、新設トンネルと異なる特有の仮設ヤード計画は次のとおりである。

- 両側拡大工法は、既設トンネルの両サイドからずりが搬出されるので、現道の両サイドにずり処理が可能なヤードが必要となる。また、拡大掘削時に側壁導坑を利用して反対側坑口へずり搬出を行うので、トンネルの両坑口にヤードが必要となる。
- 工事中における両坑口部の一般車両に対する安全確保のため、明りプロテクタを設置する。

仮設ヤード平面図を図-4.2.1 に示す。

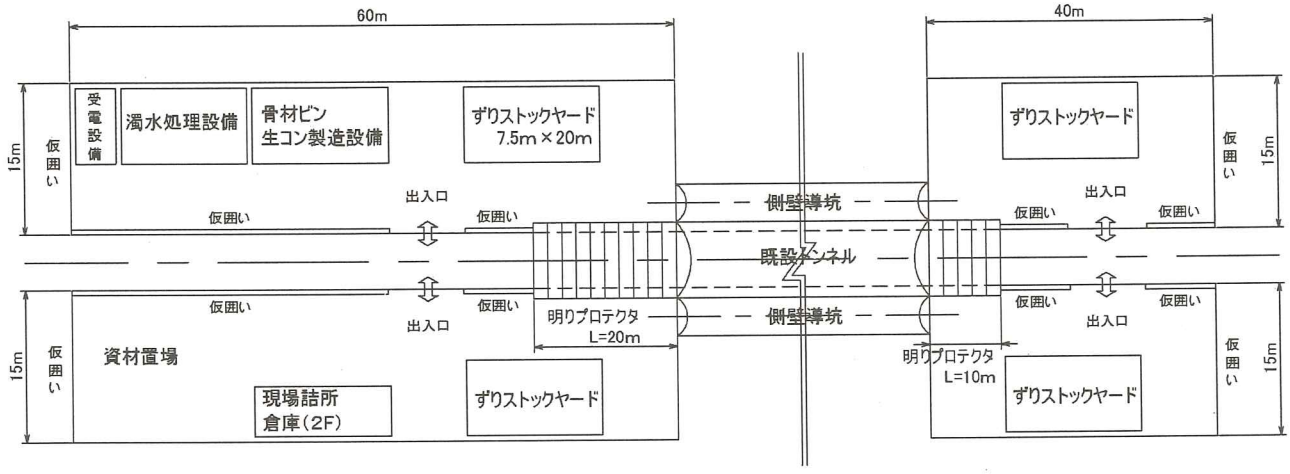


図-4.2.1　仮設ヤード平面図（両側拡大工法）

４．２．２　換気計画

換気設備は、トンネル施工の各段階において以下に示す設備とする。

（１）側壁導坑掘削時

側壁導坑掘削時は、既設トンネルに対して、左右に独立して施工されるため、換気設備も左右各々に独立して設置する。左右坑口各々に送風機 500m³/min×4.9kPa（30kW×2 台）を設置して坑内に送風する。

側壁導坑掘削時の換気設備配置図を図-4.2.2 に示す。

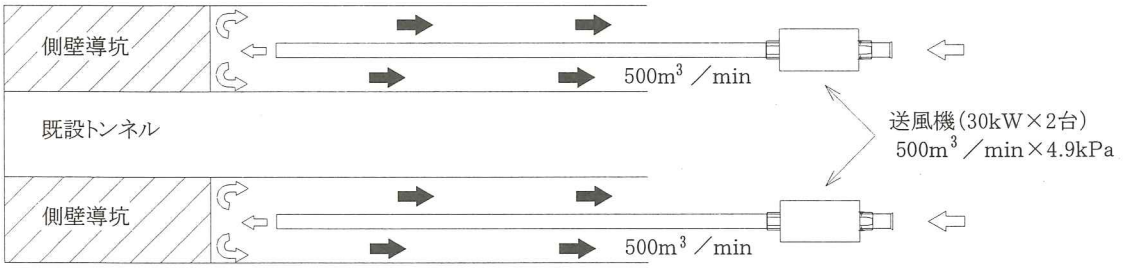


図-4.2.2　換気設備配置図（側壁導坑掘削時）

（２）上半拡大掘削時

上半拡大掘削時は、先に施工した側壁導坑の左右各々に、送風機 1000m³/min×1.57kPa（45kW×1 台）を設置し、坑導換気を行う。上半作業場所の換気効率を向上させるため、1,400m³/min×0.25kPa の送風機を攪拌用として作業架台上に設置する。

上半拡大掘削時の換気設備配置図を図-4.2.3 に示す。

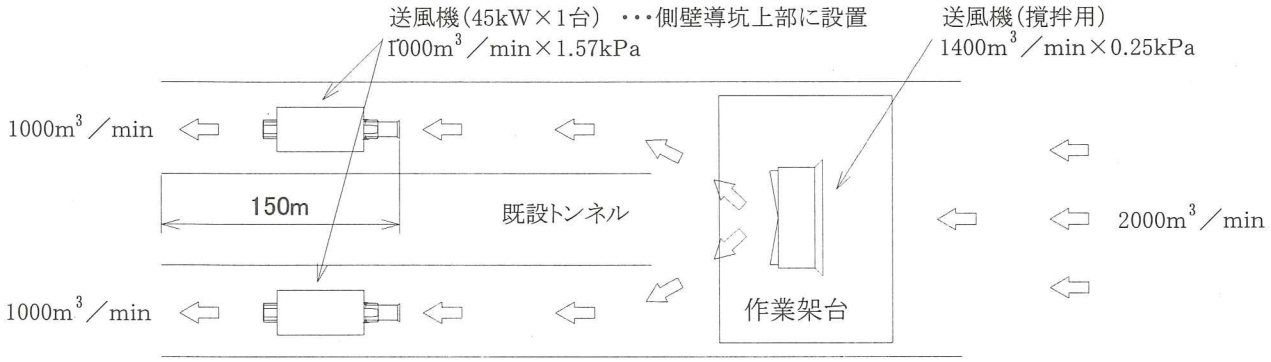


図-4.2.3　換気設備配置図（上半拡大掘削時）

（3）既設覆工撤去時

既設覆工撤去時は（2）上半拡大掘削時に側壁導坑に設置した換気設備 1000m³/min×1.57kPa（45kW×1台）2 セットにより、坑道換気を行う。ただし、供用中の既設覆工内に粉じんが流入するのを防止するため、既設覆工撤去時に用いるプロテクタと既設覆工の間は漏風防止の養生を行う。

既設覆工撤去時の換気設備配置図を図-4.2.4 に示す。

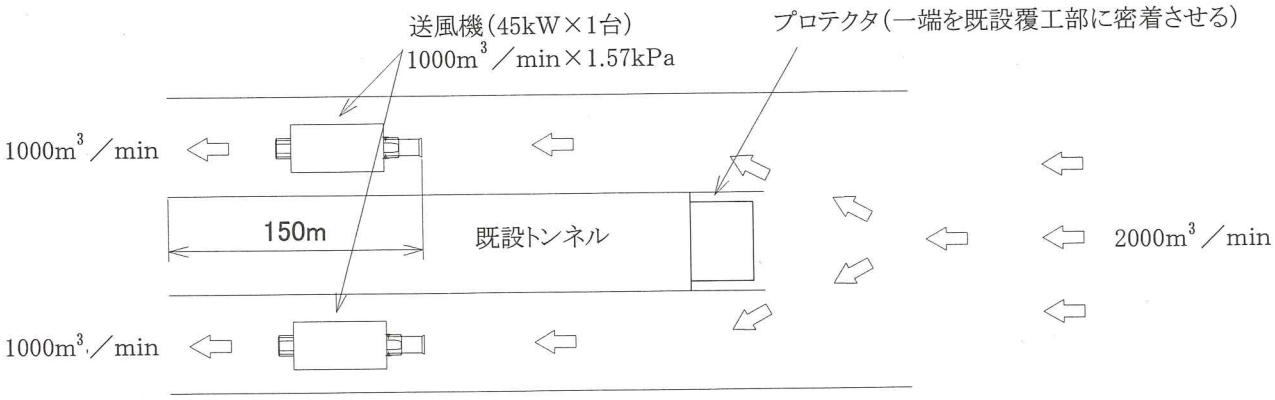


図-4.2.4　換気設備配置図（既設覆工撤去時）

４．３　通行規制

工事によって一般車両の通行空間が狭くなる場合、一般通行車両運転者への心理的な配慮が必要となる。したがって、工事中の通行規制の期間や切替え回数は、極力少なくすることが求められる。

本工法は2車線確保を基本とする拡大工法で、既設トンネルをプロテクタとして利用し、既設覆工内面に補強工を実施するものの、一般通行車両は従来と変わりなく（2車線確保）通行できることから、道路利用者への影響が少ない。本工法における一般車両への通行規制の内容は以下のとおりである。

（1）事前調査時

通行規制　：　片側1車線交互通行

通行規制期間：トンネル延長200mの場合：0.3月

トンネル延長500mの場合：0.8月

事前調査は高所作業車等を利用して行うため、トンネル内はカラーコーン等で区分して1車線交互通行規制する。

（2）既設トンネルの事前補強･防護工設置時および明りプロテクタ設置時

通行規制　：　夜間一時通行止（午前0時～午前5時）の5時間

通行規制期間：トンネル延長200mの場合：0.8月

トンネル延長500mの場合：2.0月

鋼製支保工と金網による既設覆工の事前補強･防護工および既設トンネル両坑口部の明りプロテクタを設置する作業は、基本的に夜間一時通行止の5時間に行う。

（3）既設トンネルの覆工撤去時

通行規制　：　片側1車線交互通行

通行規制期間：トンネル延長200mの場合：1.0月

トンネル延長500mの場合：2.4月

既設覆工コンクリート解体撤去時には、一般通行車両の安全を確保するために移動式の覆工撤去用プロテクタ（1車線用、L=30m）を設置するので、既設トンネル内は全線にわたって1車線通行となる。始点側、終点側の坑口部手前で信号機により1車線交互通行規制する。交互通行時間の間隔は、トンネル延長や交通量にもよるが、10分程度とする（曜日・時間帯などの交通量調査をもとにきめ細かな交互時間間隔を設定し、道路利用者がスムースかつ安全に通過できるように配慮する）。

また、夜間全面通行止が可能であれば、作業効率の向上を図るために覆工撤去用プロテクタを設置しないで既設覆工を撤去することも可能である。

（4）排水工・インバート工・舗装工

通行規制なし　：　車線変更、2車線確保

車線変更期間：トンネル延長200mの場合：1.2月

トンネル延長500mの場合：1.2月

排水工・インバート工・舗装工は、拡大トンネル断面の幅員を左右2分割して片側ずつ施工する。

一般通行車両は坑外の誘導に従い、2車線を確保したまま変更された坑内車線を走行する。

5．適用に当たっての留意点

［既設覆工の補強方法］

・本工法の場合には、既設覆工をプロテクタとして利用するため、事前に覆工背面の地山状況や既設覆工の健全度を調査し、その結果の評価とともにＦＥＭ解析を行うなど、詳細に既設覆工の補強方法を検討し、内面補強、背面空洞充填、事前補強ボルト等の補強工を適切に選定する必要がある。

　また、地山条件が悪い場合には、事前の補強工だけでなく、拡大掘削時に切羽近傍で鋼アーチ支保工の追加、ライナープレートによる補強等の内面補強工の増強策も検討する。

［既設覆工の点検］

・既設覆工をプロテクタとして利用して一般車両の安全を確保するため、施工中には定期的に既設覆工の点検を行い、変状の発生を早期に発見して追加補強等の対策を実施する。特に拡大掘削時の切羽近傍での既設覆工の点検は入念に実施する。

［補助工法］

・今回の検討で想定している補助工法はフォアポーリング程度であり、長尺鋼管先受け、長尺鏡ボルトなどの大規模な補助工法は想定していない。このような大規模な補助工法が必要な地山条件の場合には、別途、適切な施工機械の選定あるいは側壁導坑を利用する補助工法について検討する。

［側壁導坑によるずり出し］

・側壁導坑を経由するずり出しの方法については、レール方式の場合、坑口仮設ヤードの必要面積が大きくなることから、今回はタイヤ方式で検討したが、トンネル延長が長く、坑口仮設ヤードの確保が可能な場合には、レール方式についても検討して、より効率的な運搬方式を選定する。

・拡大掘削および覆工コンクリート施工時の材料運搬、掘削ずり運搬は、全て側壁導坑を経由する。側壁コンクリート打設後の幅員は余裕が少ないため、効率的な施工、安全性を確保するために路盤の維持管理が重要である。また、作業架台、覆工セントルもこの路盤を走行路･基礎として利用するので、コンクリート路盤とするのが有効である。

［産業廃棄物の処理］

・拡大掘削と分離して既設覆工を撤去するため、掘削ずりとコンクリートガラの分別は容易であるが、拡大掘削時には既設トンネルの木矢板、側壁導坑の木矢板が掘削ずりに混入するため、これらの分別を確実に行わなければならない。

［仮設ヤードの確保］

・左右の側壁導坑掘削を併行して施工し、拡大掘削時には掘削進行方向にずりを搬出するため、両坑口の本線両側に仮設ヤードが必要である。また、作業架台の組み立て、セントルへの組み換えおよび機械の組立･解体作業もこの作業ヤードで行うため、坑口付近に作業ヤードを確保することが重要である。

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）－

参　考　資　料

1．サイクルタイム試算例

1．1　試算条件

・表-1.1.1 に示すケースについて試算を行う。

・各検討ケースの岩級区分構成を表-1.1.2 に示す。

・サイクルタイムの算定条件を表-1.1.3 に示す。

・側壁導坑掘削、拡大掘削ともに狭隘な作業空間であることを考慮し、掘削機械の作業能力を表に示すように低減する。

・拡大掘削時の吹付け作業能力は、狭隘な作業空間での作業効率低下および隅角部の人力作業を考慮し、9 m^3/hr に低減する。

・拡大掘削時のロックボルト穿孔時間は、継ぎノミ補正（1.5 倍）を行う。

・トンネル断面、既設トンネルの位置を図-1.1.1 に示す。

表-1.1.1　サイクルタイム試算ケース

開発工法	拡大断面幅	車線規制	掘削方式	延長(m)
両側拡大汎用機 （既設幅：6m）	12.800m	2 車線対応	機械	200
				500

表-1.1.2　岩級区分構成

岩級区分 延長	DⅢ	DⅠ	CⅡ	DⅠ	DⅢ
200m	25m	50m	50m	50m	25m
500m	25m	75m	300m	75m	25m

表-1.1.3　サイクルタイムの算定条件

	側壁導坑掘削	拡大掘削
掘削機能力	狭隘補正： 60 %	狭隘補正： 80 %
吹付け作業能力	－	9 m^3/hr
ロックボルト穿孔	－	継ぎノミ補正： 1.5 倍

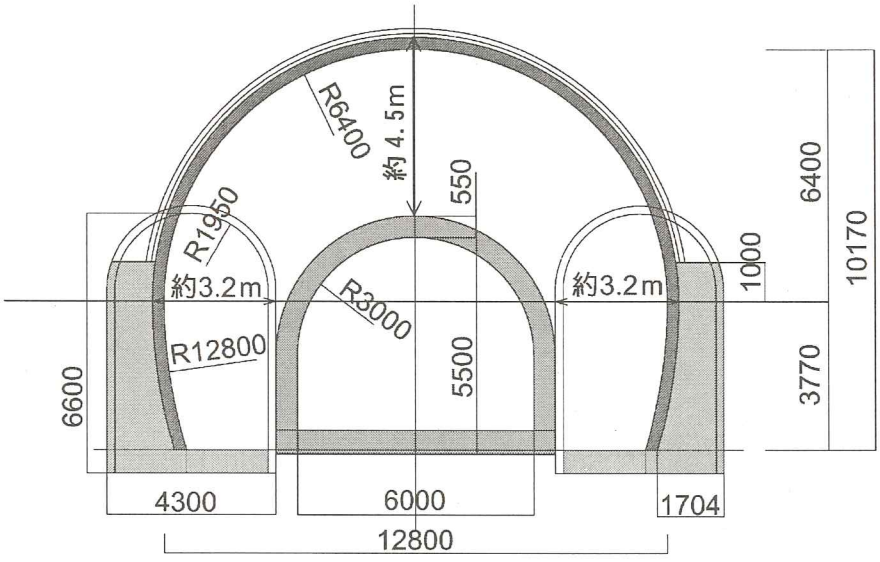


図-1.1.1　トンネル断面、既設トンネルの位置

1．2　試算結果

・側壁導坑掘削のサイクルタイム試算結果を表-1.2.1 に示す。

・拡大掘削のサイクルタイム試算結果を表-1.2.2 に示す。

・トンネル延長 200m の場合、側壁導坑掘削の平均日進は 4.4m/日、拡大掘削の平均日進は 2.3m/日となった。

・トンネル延長 500m の場合、側壁導坑掘削の平均日進は 4.5m/日、拡大掘削の平均日進は 2.5m/日となった。

表-1.2.1　側壁導坑掘削サイクルタイム

既設6m級を3種2級断面に側壁導坑先進両側拡大(汎用機械)

	側壁導坑						
	項　目		単位	CⅡ	DⅠ	DⅢ	摘　要
	設計掘削断面積(余掘 含まず)	A1	m²	24.108	24.108	24.108	
	支払掘削断面積(余掘 含む)	A2	m²	27.256	27.256	27.256	
	1サイクル当り掘進長	B	m	1.2	0.9	0.9	
	掘削機械　作業能力	C	m³/hr	14	17	19	狭隘補正:60%
	掘削　準備		分	10	10	10	
	掘削・ずり出し	T1	分	140	87	77	T1=A2*B*60/C
	跡片付け		分	10	10	10	機械の移動、後片付等
	測　量		分	10	10	10	
	小　計		分	170	117	107	
	支保工準備		分	15	15	15	当りとり、支保工材料運搬
	支保工建込み	T6	分	60	70	70	
	小　計		分	75	85	85	
	その他、損失等			30	30	30	機械故障、支保工手入等
	計	Q	分	275	232	222	
	1日当り進行長		m/日	4.7	4.2	4.4	540分*B*2方/Q
	1月当り進行長		m/月	108.3	96.5	100.5	23日/月
200m	掘削延長		m	50	100	50	
	所要日数		日	10.6	23.8	11.4	
			日数計			45.9	
			月数			2.0	※4.4m/日
500m	掘削延長		m	300	150	50	
	所要日数		日	63.7	35.7	11.4	
			日数計			110.9	
			月数			4.8	※4.5m/日

表-1.2.2　拡大掘削サイクルタイム

既設6m級を3種2級断面に側壁導坑先進両側拡大(汎用機械)

	拡大掘削						
	項　目		単位	CⅡ	DⅠ	DⅢ	摘　要
	設計掘削断面積(余掘 含まず)	A1	m²	49.532	50.122	52.943	
	支払掘削断面積(余掘 含む)	A2	m²	51.730	52.594	55.931	
	1サイクル当り掘進長	B	m	1.2	1.0	1.0	
	掘削機械　作業能力	C	m³/hr	18	22	26	狭隘補正:80%
	1サイクル当り吹付け面積	M	m²	23.226	19.512	19.984	M=上半吹付け周長*B
	吹付け設計厚さ	N	m	0.1	0.15	0.25	
	1サイクル当りボルト本数	P	本	12	15	2	
	フォアポーリングボルト本数		本	-	-	25	
	ロックボルト長			3m	4m	4m	
	ロックボルト長(フォアポーリング)			-	-	3m	
	吹付け　補正係数			2.1	1.9	1.8	
	1サイクル当り金網設置数量		m²	-	21.52	21.991	数量=上半金網周長*B
	掘削　準備		分	10	10	10	
	掘削・ずり出し	T1	分	207	143	129	T1=A2*B*60/C
	跡片付け		分	10	10	10	
	測　量		分	10	10	10	
	小　計		分	237	173	159	
	吹付け準備		分	10	10	10	
	吹付け	T3	分	33	37	60	T3=M*N*補正係数*60/9(m3/hr)
	吹付け(側壁部充填)		分	20	20	20	
	跡片付け		分	10	10	10	
	小　計		分	73	77	100	
	ロックボルト準備		分	10	10	10	
	穿孔・打設	T4	分	90	135	18	継ノミ補正:T4=P*7.5(3m)、9(4m)
	穿孔・打設(フォアポーリング)		分	0	0	188	
	跡片付け		分	10	10	10	
	小　計		分	110	155	226	
	金網設置	T5	分	0	30	30	
	小　計		分	0	30	30	
	支保工準備		分	10	10	10	
	支保工建込み	T6	分	30	30	30	
	小　計		分	40	40	40	
	計	Q	分	459	476	555	
	1日当り進行長		m/日	2.8	2.3	1.9	540分*B*2方/Q
	1月当り進行長		m/月	64.9	52.2	44.8	23日/月
200m	掘削延長		m	50	100	50	
	所要日数		日	17.7	44.0	25.7	
			日数計			87.4	
			月数			3.8	※2.3m/日
500m	掘削延長		m	300	150	50	
	所要日数		日	106.4	66.0	25.7	
			日数計			198.1	
			月数			8.6	※2.5m/日

2．解析

本工法「側壁導坑先行両側拡大工法」における側壁導坑掘削時の既設トンネルおよび側壁導坑の安定性をＦＥＭ解析により照査した。

〔解析対象トンネル〕

既設トンネル 6m 級（内空幅 6.0m、内空高さ 4.9m、覆工厚さ 55cm）の両側に側壁導坑（幅 4.3m、高さ 6.8m）を掘削した場合についてＦＥＭ解析を行った。

全体メッシュ図を図-2.1.1 に示す。

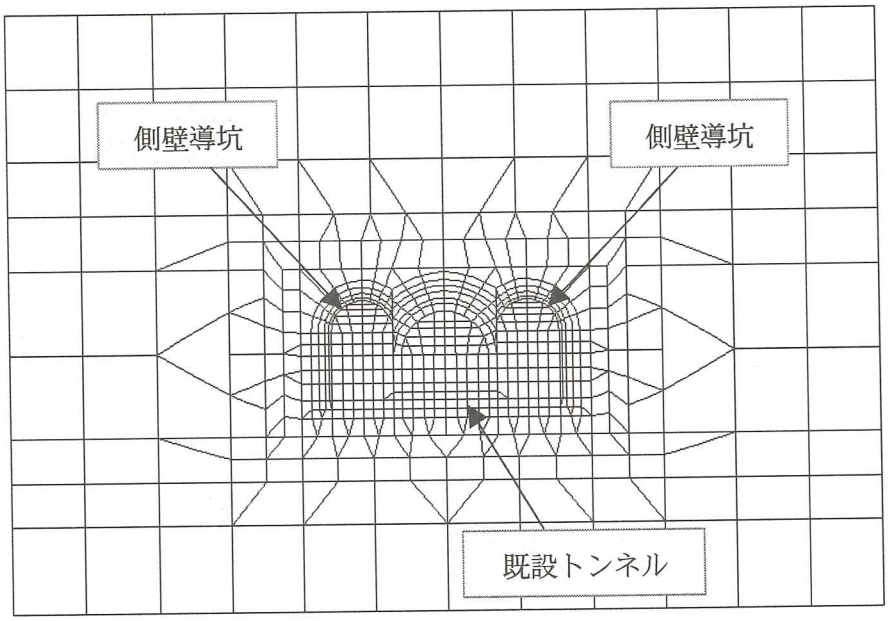


図-2.1.1　全体メッシュ図

〔解析ケース〕

地山等級はＣⅡ、ＤⅠ級を想定し、既設トンネルの土被りは 20m に設定した。

解析ケースは以下の理由で側壁導坑の施工に矢板工法を採用する場合を想定し、既設トンネルの防護として覆工内面に設置する補強鋼アーチ支保工の有無について行った。解析ケースを表-2.1.1 に示す。

- 拡幅掘削は作業架台に上載した自由断面掘削機で行うため、拡幅掘削の進行に伴って側壁導坑の支保工も撤去しながら架台を移動する。作業架台下方への自由断面掘削機の掘削可能範囲には余裕が無く、側壁導坑をＮＡＴＭで施工した場合、既設トンネル覆工と側壁導坑支保工の接点付近の吹付けコンクリートの撤去には支障があるため、拡幅掘削時の支保工撤去作業の効率化を目的として矢板工法を採用する

表-2.1.1　解析ケース一覧

	地 山 等 級	土被り (m)	既設トンネル 内面補強 支保工	側壁導坑 矢板工法 支保工
ケース ①	CⅡ	20	な し	H-125 @ 1.2 m
ケース ②	DⅠ	20	な し	H-125 @ 0.9 m
ケース ③	DⅠ	20	H-125 @ 1.0 m	H-125 @ 0.9 m
ケース ④	DⅠ	20	H-150 @ 1.0 m	H-125 @ 0.9 m

〔物性値〕

解析に使用した物性値を表-2.1.2 に示す。地山の物性値は、土木研究所資料『トンネル掘削時地盤変状の予測・対策マニュアル（案）：平成 6 年 2 月』に基づき設定した。また、覆工コンクリートおよび鋼アーチ支保工の物性値は、一般的な値を用いる。

表-2.1.2　物性値

種 類		弾性係数 E（kg/cm^2）	単位体積重量 γ（g/cm^3）	ポアソン比 ν	粘着力 C（kg/cm^2）	内部摩擦角 φ（°）	備 考
地 山	CⅡ	10,000	2.3	0.3	10	40	土木研究所資料より
	DⅠ	5,000	2.2	0.35	5	35	
覆工コンクリート		220,000	2.3	0.2			設計基準強度 f_{ck}'=180kg/cm^2 設計引張強度 f_{td}'=12 kg/cm2
鋼アーチ支保工		弾性係数 E（kg/cm^2）	断面積 A（cm^2）	ポアソン比 ν	断面二次モーメント I（cm^4）	断面係数 Z（cm^3）	H-125･･･本坑内面補強工および側壁導坑支保工 H-150･･･本坑内面補強工 として解析で使用。
H-125		2,100,000	30.0	0.3	839	134	
H-150		2,100,000	39.65	0.3	1620	216	

〔結果と考察〕

解析結果を表-2.1.3 および図 2.1.2 に示す。

表-2.1.3　支保工応力一覧

	地 山 等 級	土被り (m)	既設トンネル		側壁導坑	
			内面補強 支保工	最大支保工 応力(N/mm^2)	矢板工法 支保工	最大支保工 応力(N/mm^2)
ケース ①	CⅡ	20	な し	－	H-125 @ 1.2 m	129.1
ケース ②	DⅠ	20	な し	－	H-125 @ 0.9 m	112.7
ケース ③	DⅠ	20	H-125 @ 1.0 m	62.6	H-125 @ 0.9 m	110.9
ケース ④	DⅠ	20	H-150 @ 1.0 m	61.9	H-125 @ 0.9 m	110.4

① 最大主応力分布

既設トンネルの覆工コンクリートの応力照査を目的として、各ケースで最大主応力分布を求めた。

各ケースとも、側壁導坑掘削前はほとんど応力を背負っていない。これは、既設トンネルの覆工は内空変位が十分収束した後に打設されているとの判断から、解析では既設トンネルの応力解放率が99%進行した時点で覆工を付加しているためである。しかしその後、側壁導坑の掘削が進行するに従い、既設トンネルの天端クラウン部および底盤部で設計引張強度を越える領域が発生しており、既設トンネルの覆工コンクリートに変状が生じる可能性がある（覆工コンクリートの設計引張強度は12kgf/cm^{2}と設定した)。

側壁導坑は片側ずつ掘削しているが、先行の側壁導坑（左側）を応力解放率100%とした時点から、既設覆工コンクリートの天端および底盤に設計引張強度を越える領域が現れ、最終解析ステップまでにその領域が広がっていく（図-2.1.2 参照)。

既設トンネルの覆工コンクリート内面に鋼アーチ支保工を建て込んで補強したケースについても解析を行ったが、覆工にかかる引張応力はほとんど低減されない（ケース③、④)。

② 鋼アーチ支保工の応力照査

側壁導坑では矢板工法の支保部材としてH-125 を建て込んでおり、各ケースで鋼アーチ支保工の応力を求めた。既設トンネルでは既設覆工内面に補強工として鋼アーチ支保工（H-125 or H-150）を建て込んだケースで鋼アーチ支保工の応力を求めた（ケース③、④)。

使用した鋼アーチ支保工の降伏応力度を 400N/mm² と設定して、側壁導坑の鋼アーチ支保工（H-125）および既設覆工内面の補強鋼アーチ支保工（H-125 or H-150）について応力照査を行った。既設覆工の内面に補強鋼アーチ支保工を設置する場合、側壁導坑の鋼アーチ支保工の応力度は降伏応力度の28％程度以下であり、既設覆工内面に設置した補強鋼アーチ支保工の応力度は降伏応力度の 16％程度である。

③　最大せん断ひずみ（地山のゆるみ域推定）

各ケースにおいて、地山のゆるみ域の評価として最大せん断ひずみ領域を求めた。

ゆるみ域とは、掘削に伴い著しく傷んだ部分の地山であり、解析上では、最大せん断ひずみ以上の領域として算出する。

解析の結果、各ケースにおける限界ひずみを超えた領域（ゆるみ域）の違いは、既設トンネル内面の補強鋼アーチ支保工のみの違いであり、最大せん断ひずみを使った地山のゆるみ域評価にはほとんど違いはなく、掘削線から 20～30cm 程度のみであった。

④　まとめ

解析結果は、側壁導坑については既設トンネルの覆工全線の内面に設置する補強支保工の有無にかかわらず、側壁導坑（矢板工法）の支保部材として使用する鋼アーチ支保工の応力度の最大値は降伏応力度の 28％～32%程度であり、十分余裕があることが分かった。既設トンネルについては、地山条件によっては既設覆工の一部にクラックが発生する可能性があることが分かったが、内面に設置した補強鋼アーチ支保工の応力度の最大値は降伏応力度の 16％程度であり、補強鋼アーチ支保工で防護することにより既設トンネルの安定性は確保できるものと考えられる。

ただし、既設トンネルの覆工全線の内面に補強鋼アーチ支保工を設置する場合においても、施工中には定期的に既設覆工の点検を行い、変状の発生を早期に発見して追加補強等の対策を実施する。

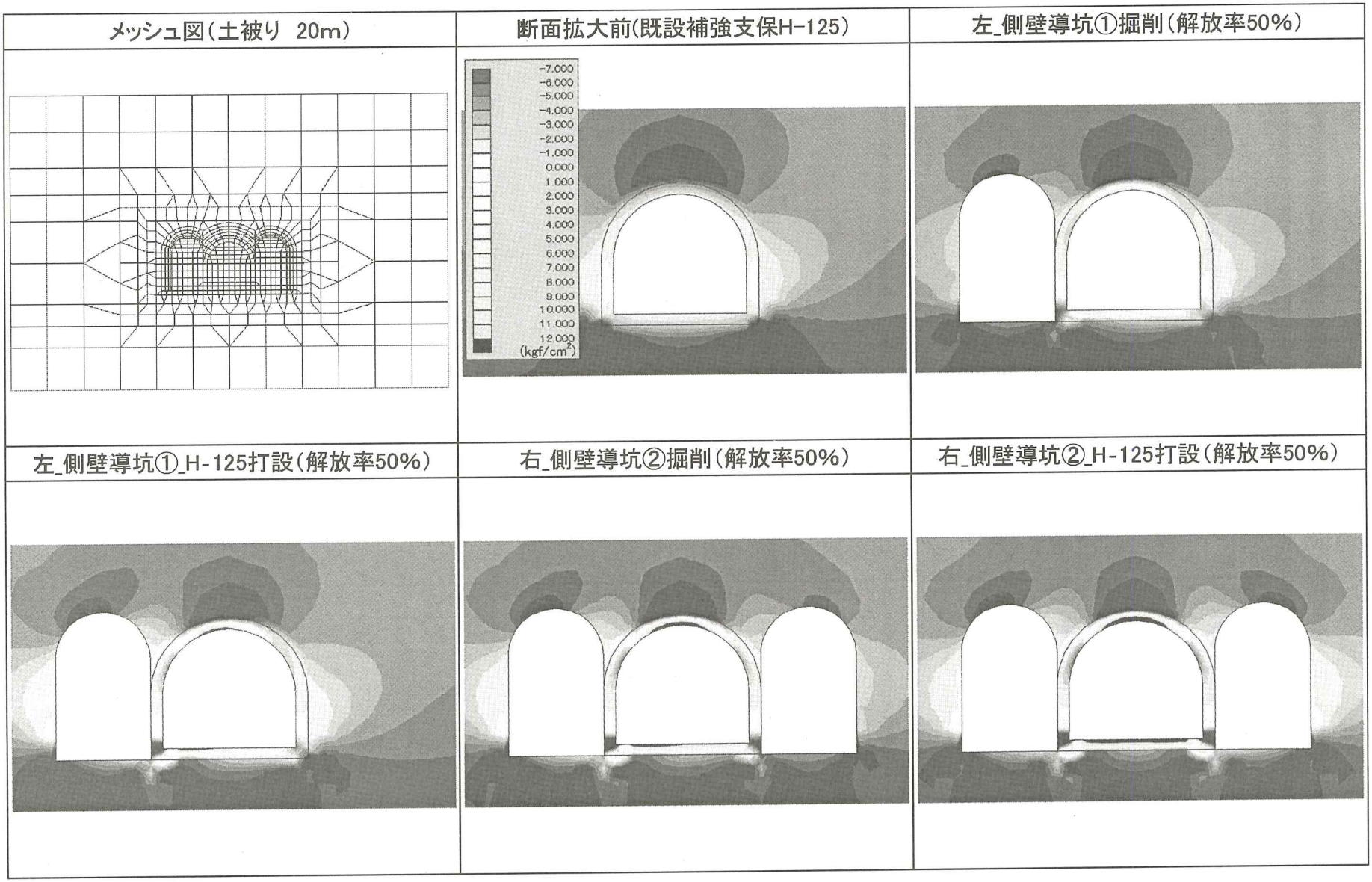


図-2.1.2　最大主応力（ 地山ＤＩ：土被り 20m　既設：H-125 @1.0 m　側壁：H-125 @0.9m ）

３．出願特許

申請特許名	出願人	発明者	申請年月日	公開日
既設トンネルの拡幅工法及び該既設トンネルの解体方法	独立行政法人土木研究所 （財）先端建設技術センター 鹿島建設株式会社 株式会社奥村組 株式会社熊谷組 株式会社三井三池製作所	真下英人、蒲田浩久 中森純一郎 伊藤範行、下寺信一、 稲生道裕、城所敏郎、 阿久津秋秀、水原憲三、 畑山栄一、井上直樹 神山英雄、中北昭浩 手島隆治	2002年3月25日 (特願2003-83012)	

施　工　マ　ニュ　ア　ル　（案）

第７編　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）－

平成 16 年 3 月

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

株式会社　奥村組

鹿島建設　株式会社

株式会社　熊谷組

株式会社　三井三池製作所

目　　次

1．断面拡大工法の概要 …… 7-1
2．工法の特徴 …… 7-3
3．設計 …… 7-4
　3．1　適用条件 …… 7-4
　　3．1．1　適用可能な既設トンネルおよび新設（拡大）トンネルの規模 …… 7-4
　　3．1．2　地山条件 …… 7-5
　　3．1．3　トンネル延長 …… 7-5
　　3．1．4　平面線形 …… 7-5
　3．2　設計 …… 7-6
4．施工 …… 7-7
　4．1　施工フローおよび手順 …… 7-7
　　4．1．1　施工フロー …… 7-7
　　4．1．2　施工手順 …… 7-8
　　4．1．3　既設トンネル幅６m級の施工フローと手順 …… 7-14
　　4．1．4　要素技術 …… 7-16
　4．2　仮設計画 …… 7-18
　4．3　通行規制 …… 7-19
5．適用にあたっての留意点 …… 7-21

参考資料
1．サイクルタイム試算例 …… 7-25
　1．1　試算条件 …… 7-25
　1．2　試算結果 …… 7-26
2．解析 …… 7-31
　2．1　解析目的 …… 7-31
　2．2　検討条件 …… 7-31
　2．3　解析結果 …… 7-31
3．出願特許 …… 7-35

1．断面拡大工法の概要

既設覆工を利用したノンプロテクタ拡大工法は、既設トンネルの 2 車線通行を確保したまま、覆工をプロテクタとして利用する工法である。

既設覆工を利用したノンプロテクタ拡大工法の特徴
- 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る工法
- 中硬岩まで適用できる工法
- 汎用機械を使って施工する工法

片側拡大工法において、拡大する幅が既設トンネル幅より小さい場合には、狭い作業空間での施工を考慮し、既設トンネルの側壁をあらかじめ補強して拡大トンネルの支保工（中壁）の一部として利用する。既設トンネルの側壁を中壁として利用するため、必要な断面のみを拡大することができる。

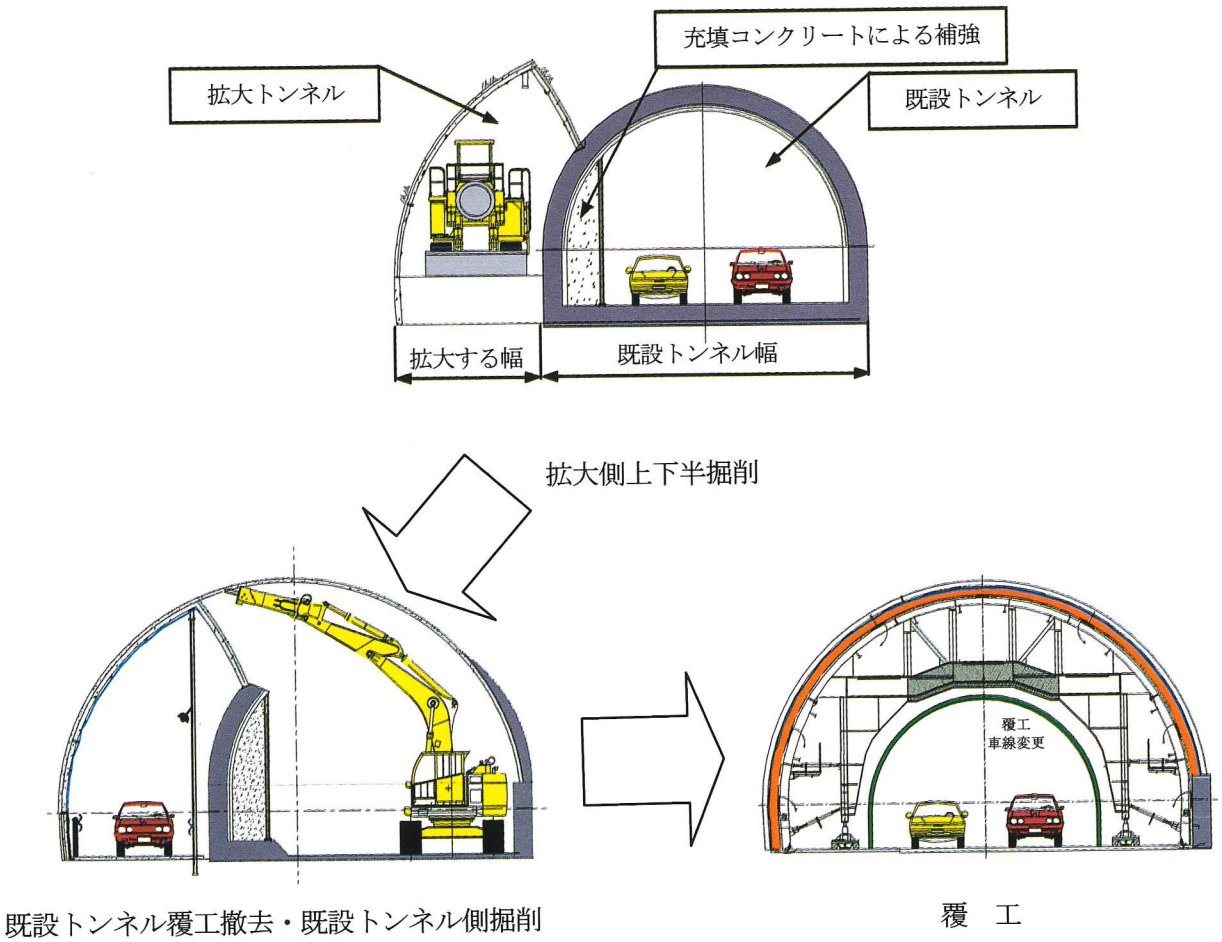


図-1.1.1　ノンプロテクタ拡大工法

表-1.1.1　使用機械（汎用機械）

施工区分		加　背	機　　種		
拡大トンネル 掘削・ずり出し		上半	自由断面掘削機 200kw 級	大型ブレーカ 1,300kg 級	バックホウ 0.4m³ 級
		下半	大型ブレーカ 1,300kg 級	バックホウ 0.4m³ 級	
既設トンネル覆工 撤去・掘削		上下半	大型ブレーカ 1,300kg 級	バックホウ 0.6m³ 級	
既設トンネル拡大トンネル	ずり搬出	上下半	10t ダンプトラック		
	吹付け	上下半	コンクリート吹付け機	トラックミキサ	
	ロックボルト 鋼アーチ支保工建込み	上下半	ドリルジャンボ（狭小断面用ロックボルト打設機） エレクタ台車	モルタル注入機	

2．工法の特徴

・本工法は汎用機を使用した片側拡大であるため、既設トンネルの幅にもよるが、機械の入替え・移動などを伴うので、比較的短いトンネルに適している。表-2.1.1 に本工法の特徴を示す。

・既設トンネルの断面と拡大トンネルの覆工方式により、①既設トンネル幅 8m 級の現場打ち覆工、②既設トンネル幅 6m 級の現場打ち覆工、③既設トンネル幅 6m 級のプレキャスト覆工の 3 種類について検討した。

・3 種類の施工方法の車線規制、トンネル延長 200m における通行規制期間の試算結果を表-2.1.2 に示す。

表-2.1.1　ノンプロテクタ拡大工法の特徴

プロテクタ	・既設トンネルを 2 車線プロテクタとして利用
通行規制 供用交通への配慮	・既設覆工をプロテクタとして利用するため、通行規制の期間が短い ・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い 従来の方法は既設トンネルの内空に堅固なプロテクタを設置して通行車両を防護するものであるが、通行車両の車線は 2 車線から 1 車線に減少するため、交通渋滞を引き起こし、地域交通に与える影響が大きい。これに対して、ノンプロテクタ拡大工法では通行規制回数・時間が少なく、地域交通に与える影響が少ない ・既設覆工をプロテクタとして利用しているため、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い
施工機械	・汎用施工機械、設備の活用
掘削方法	・機械掘削方式、分割掘削
コスト縮減	・既設覆工をプロテクタとして利用するため、堅固なプロテクタ費用のコスト低減が図れる ・汎用機械を使用するためコストが安い
工期短縮	・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
安全性の確保	・既設覆工をプロテクタとして利用するため、一般通行車両の安全確保を目的に鋼アーチ支保工と金網による防護工を事前に施工 ・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り壁を設けて、一般通行車両の安全を確保
産廃処理	・既設トンネルの覆工撤去と地山掘削が分離されるため、処理が容易

表-2.1.2　既設トンネルの断面・拡大トンネルの覆工方式による特徴

既設トンネルの断面		幅 8m 級	幅 6m 級	
拡大トンネルの覆工方式		現場打ち覆工	現場打ち覆工	プレキャスト覆工
補助プロテクタ		間仕切り壁	簡易プロテクタ 間仕切り壁	間仕切り壁
検討拡大断面		3 種 2 級 片側自歩道	3 種 2 級 片側自歩道	
		内空幅 12.5m	内空幅 12.2m	
通行規制	既設覆工利用時	2 車線対応（通行規制なし）		
	既設側掘削時	1 車線確保	2 車線確保	
	トンネル L=200m の場合の試算結果	夜間一時通行止 3.4 ケ月	夜間一時通行止 1.8 ケ月	夜間一時通行止 1.6 ケ月
		片側交互通行 5.2 ケ月	―	―

3．設計

3．1　適用条件

既設トンネル覆工をプロテクタとして利用する場合には、一般通行車両への安全性を確保する必要があるため、既設覆工の健全度を調査する。健全度調査では、覆工背面の空洞、変状の程度を把握し補強方法・施工方法を事前に別途検討する。

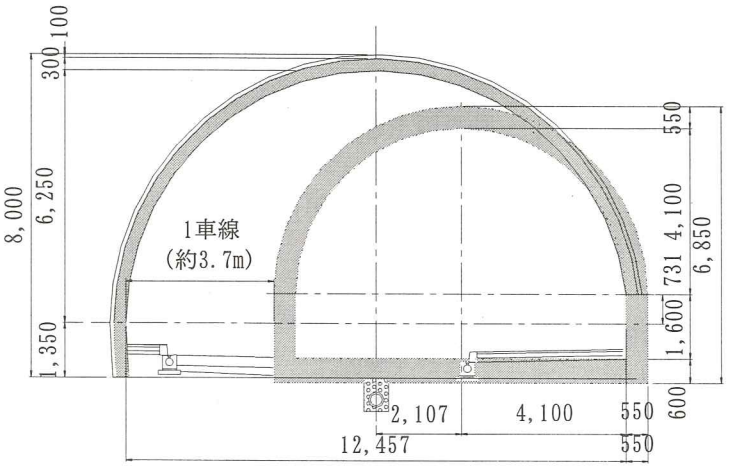
健全度の評価とは別に一般通行車両への安全性に配慮し、覆工コンクリート内面補強防護工としての鋼アーチ支保工と覆工コンクリート片剥落防護ネットとしての金網を事前に全線施工する。また、拡大掘削における地山のゆるみ防止対策や、施工における狭隘な作業空間に配慮して事前のロックボルト打設などを計画時に検討する。

3．1．1　適用可能な既設トンネルおよび新設（拡大）トンネルの規模

・本工法は既設トンネル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対して制約は特になく、どの大きさのトンネルでも対応可能である。

・断面を拡大する幅は、少なくとも１車線が確保できる寸法を必要とする。

比較的広いトンネル
（既設幅８m）



比較的狭いトンネル
（既設幅６m）

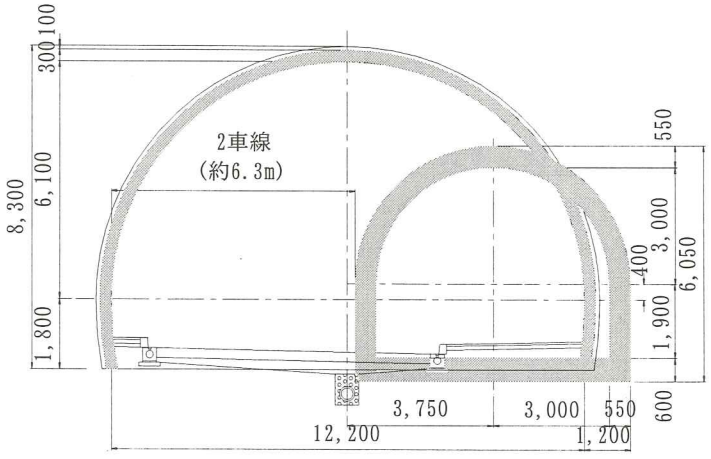


図-3.1.1　拡大トンネルの規模

３．１．２　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。50 MPa以上の地山強度においては、ブレーカなどによる工法を採用する。

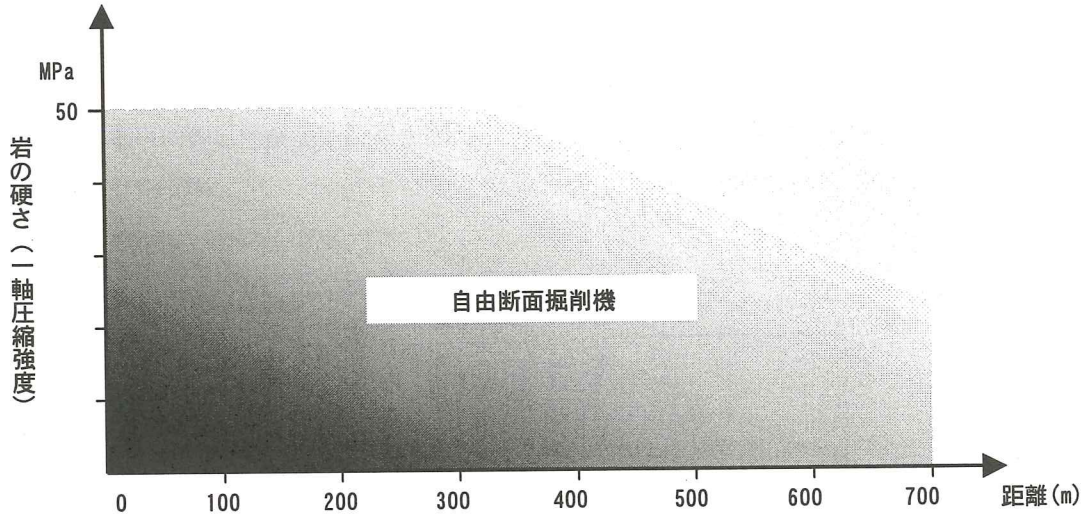


図-3.1.2　ノンプロテクタ拡大工法の適用領域

３．１．３　トンネル延長

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。

３．１．４　平面線形

本工法は専用掘削機、ガントリ、大型プロテクタを設置しない。したがって、トンネルの平面曲線半径の制約を受けることがないため、あらゆる線形に対して対応可能である。

３．２　設計

本工法の適用に当たってのトンネル構造物の安定、周辺地盤の挙動などについては、施工ステップを考慮した２次元 FEM による構造計算により検討した。

既設トンネルが比較的広い場合、拡大トンネルの支保工として既設トンネルの側壁を中壁の一部として利用するが、解析結果から事前に補強を必要とした。検討の結果、図-3.2.1 に示すように既設トンネルの覆工コンクリート側部の壁厚を増して、拡大側掘削時に作用する荷重に耐える構造とした。

地山条件、覆工の健全度などの違いにより必要となる補強の度合い（充填コンクリート、事前補強ボルトなど）については、別途詳細検討が必要である。

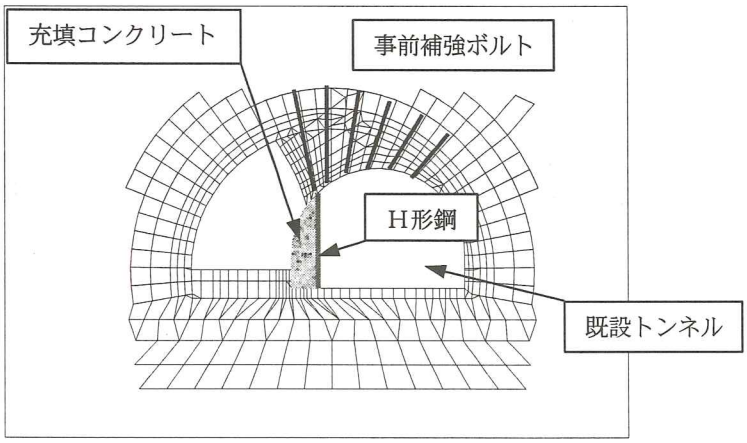


図-3.2.1　既設覆工の事前補強

4．施工

4．1　施工フローおよび手順

4．1．1　施工フロー

施工法の検討に当たっては、内空幅８m級の既設トンネルを３種２級（内空幅約 12.5m）のトンネルに拡大する場合を対象とする。施工フローを図-4.1.1 に示す。なお、参考として既設トンネル幅６m級の覆工現場打ち、プレキャスト覆工の概略施工フローおよび手順を４．１．３に併記する。

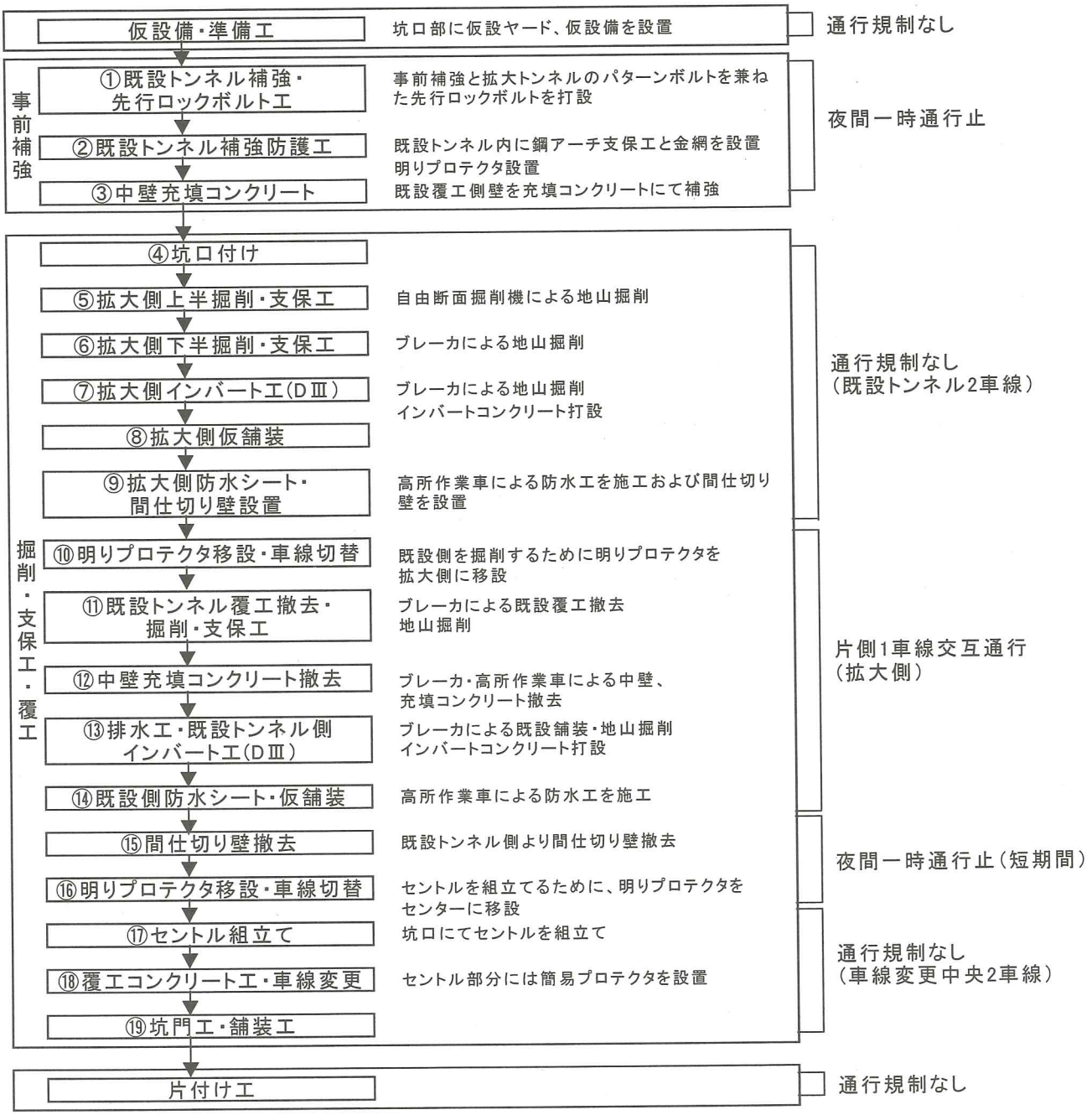


図-4.1.1　施工フロー

4．1．2　施工手順

①　既設トンネル補強・先行ロックボルト工

・拡大掘削時に既設トンネルの地山安定を図るための事前補強と、拡大トンネルのパターンボルトを兼ねた先行ロックボルト（鋼製＋FRP）を 1 ブーム油圧ジャンボまたは狭小断面用ロックボルト打設機で打設する。

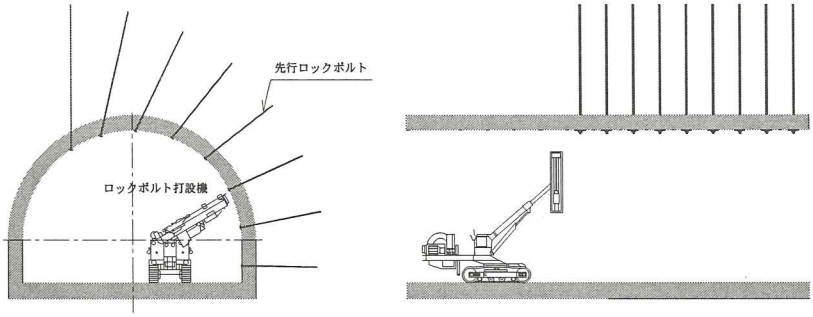


図-4.1.2　既設トンネル補強・先行ロックボルト工

②　既設トンネル補強防護工

・覆工をプロテクタとして利用するため、覆工コンクリートの小規模な剥落に対する一般通行車両の安全確保を目的に、鋼アーチ支保工と金網による防護をエレクタ台車にて事前に設置する。

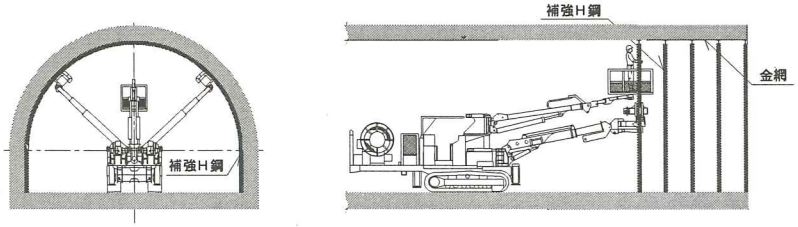


図-4.1.3　既設トンネル補強防護工

③　中壁充填コンクリート

・既設覆工側壁を拡大トンネルの中壁の一部として支持し得るように補強する（型枠用 H 形鋼・矢板建込みと充填コンクリート打設）。

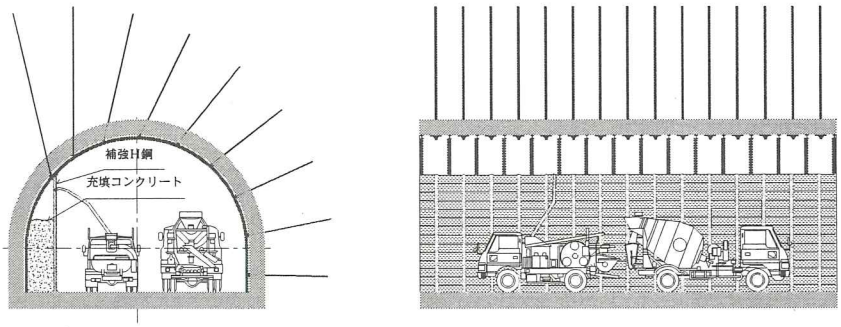


図-4.1.4　中壁充填コンクリート

④　坑口付け

・既設トンネル補強防護工の際に実施する夜間一時通行止めにおいて、補強防護工と並行して明りプロテクタを設置するので、坑口付けを行うときの通行規制はない。

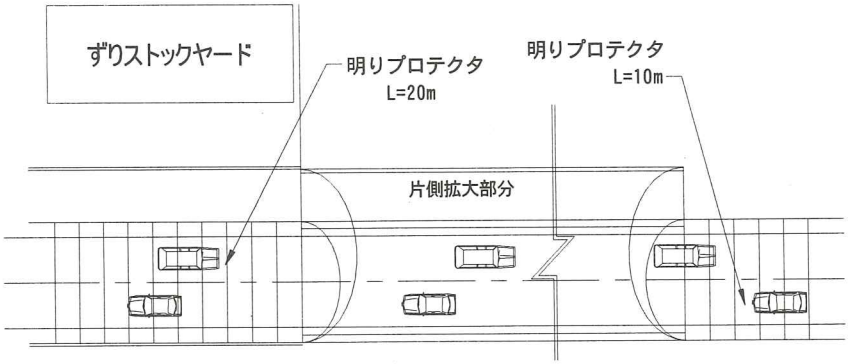


図-4.1.5　坑口付け

⑤　拡大側上半掘削・支保工

・掘削、ずり出し、吹付け、支保工建込み、ロックボルト打設を行う。

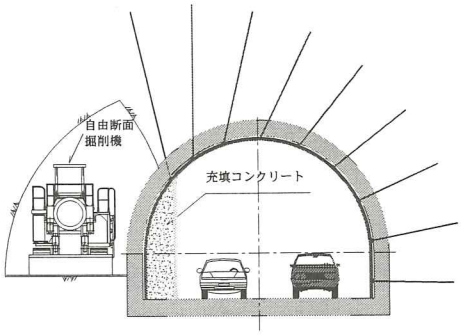


図-4.1.6　拡大側上半掘削・支保工

⑥　拡大側下半掘削・支保工

・掘削、ずり出し、吹付け、支保工建込み、ロックボルト打設を行う。

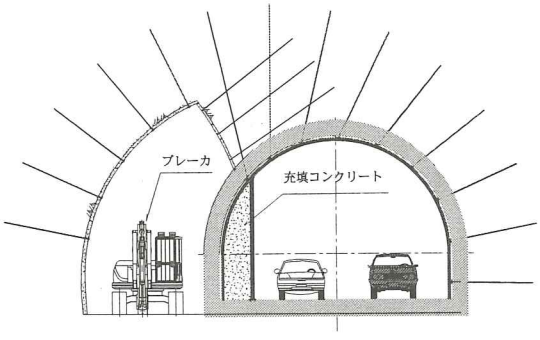


図-4.1.7　拡大側下半掘削・支保工

⑦　拡大側インバート工（DⅢ）

・DⅢパターンにおいて、ブレーカおよびバックホウにて底盤部を掘削し、インバートを構築する。

⑧　拡大側仮舗装

・インバート構築後に埋戻しを行い、仮舗装を行う。

⑨　拡大側防水シート・間仕切り壁設置

・ダウンザホールハンマなどによる岩盤穿孔後、H 形鋼支柱を建込み、矢板による間仕切り壁を設置する。

・吹付けコンクリートの剥落や水滴の落下から一般通行車両を保護するため、防水シートを張る。

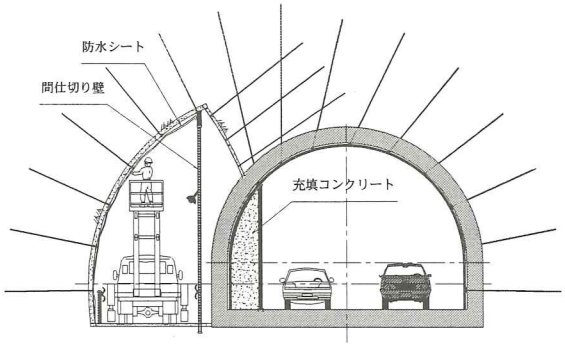


図-4.1.8　拡大側防水シート・間仕切り壁設置

⑩　明りプロテクタ移設・車線切替

・明りプロテクタを既設トンネル側から拡大トンネル側へ移設し、車線を切替える。

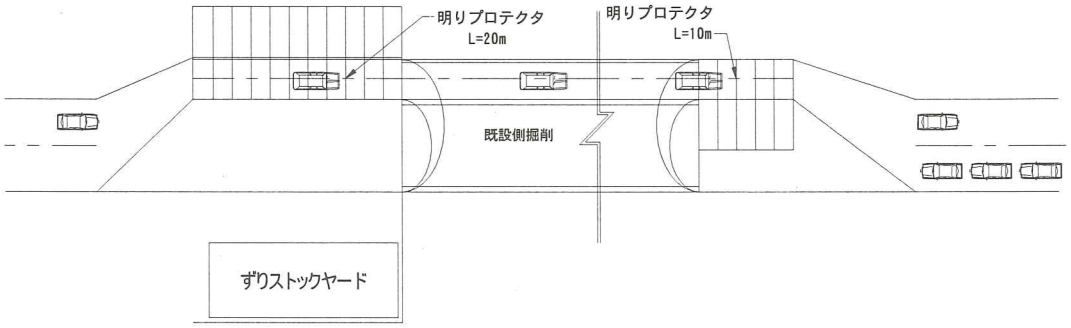


図-4.1.9　明りプロテクタ移設・車線切替

⑪　既設トンネル覆工撤去・掘削・支保工

・覆工取壊しに先立ち、中壁部以外の既設覆工をブレーカで撤去し、中壁部を存置して掘削、ずり出し、吹付け、支保工建込みを順次行う。

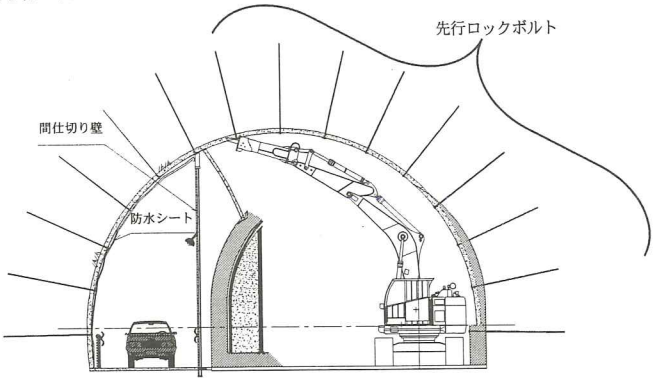


図-4.1.10　既設トンネル覆工撤去・掘削・支保工

⑫　中壁充填コンクリート撤去

・ブレーカ、高所作業車を用いて中壁および充填コンクリートを撤去する。

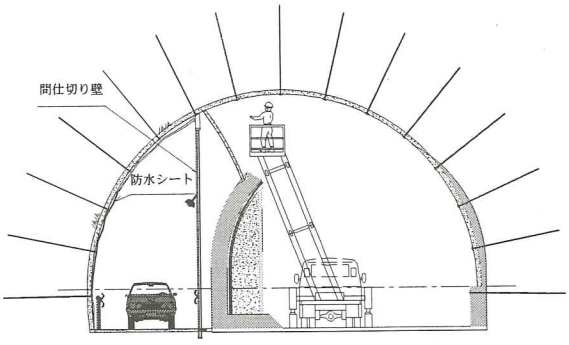


図-4.1.11　中壁充填コンクリート撤去

⑬　排水工・既設トンネル側インバート工

・ブレーカおよびバックホウにより排水工を施工する。DⅢパターンにおいては、インバートを構築した後に排水工を行う。

⑭　既設側防水シート・仮舗装

・吹付けコンクリートの剥落や水滴の落下から一般通行車両を保護するため、防水シートを張る。

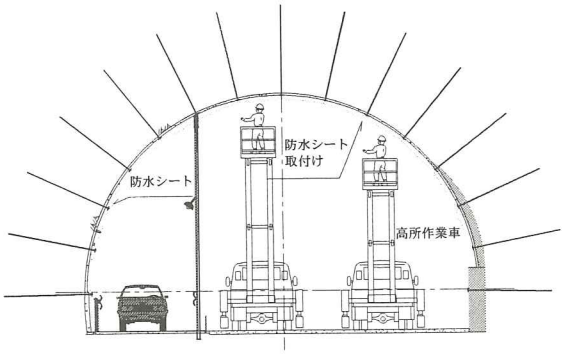


図-4.1.12　既設側防水シート・仮舗装

⑮　間仕切り壁撤去

・既設トンネル側より高所作業車を用いて、間仕切り壁を撤去する。

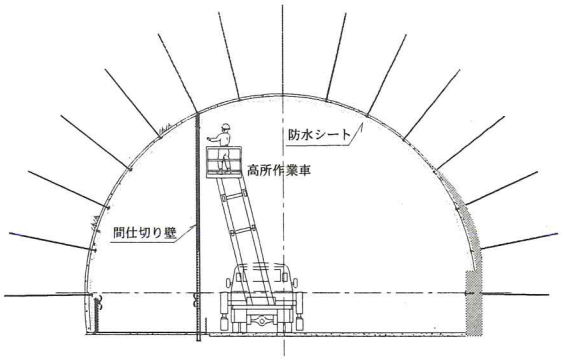


図-4.1.13　間仕切り壁撤去

⑯　明りプロテクタ移設・車線切替

・明りプロテクタを拡大されたトンネルのセンターに移設し、車線を切替える。

⑰　セントル組立て

・坑口でクレーンを用いてセントルを組立てる。

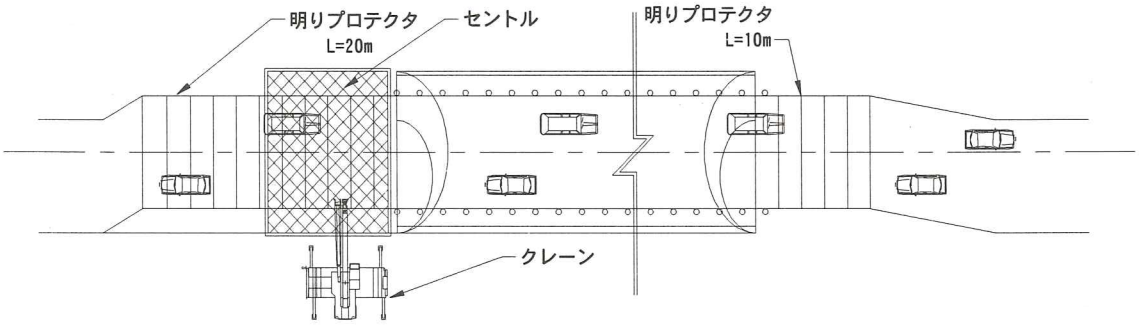


図-4.1.14　セントル組立て

⑱　覆工コンクリート工・車線変更

・坑外においてセントルを組立て後、トンネル内に引込み、覆工コンクリートを打設する。

・セントル箇所およびセントル前後はコンクリート打設作業範囲となるため、セントルとともに移動する簡易プロテクタを設置して、一般通行車両の安全を確保する。

・トンネル内の工事車両との通行区分境界は、カラーコーンやバリケードなどを用いて明確化する。

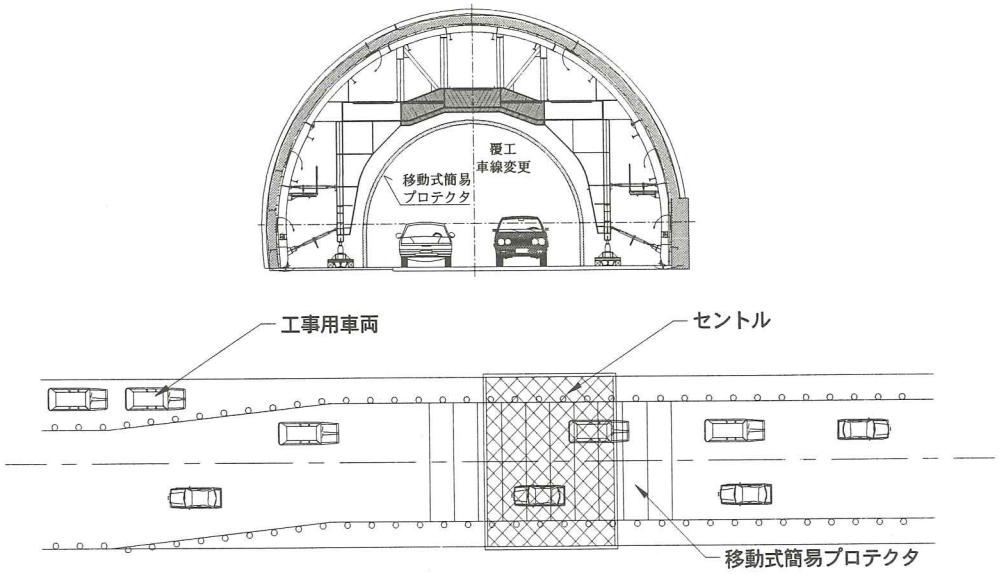


図-4.1.15　覆工コンクリート工・車線変更

４．１．３　既設トンネル幅６m級の施工フローと手順

既設トンネル幅 6m 級の施工フローを図-4.1.16 に、施工手順を図-4.1.17 に示す。覆工の方式は①現場打ち覆工、②プレキャスト覆工の 2 種類について検討した。

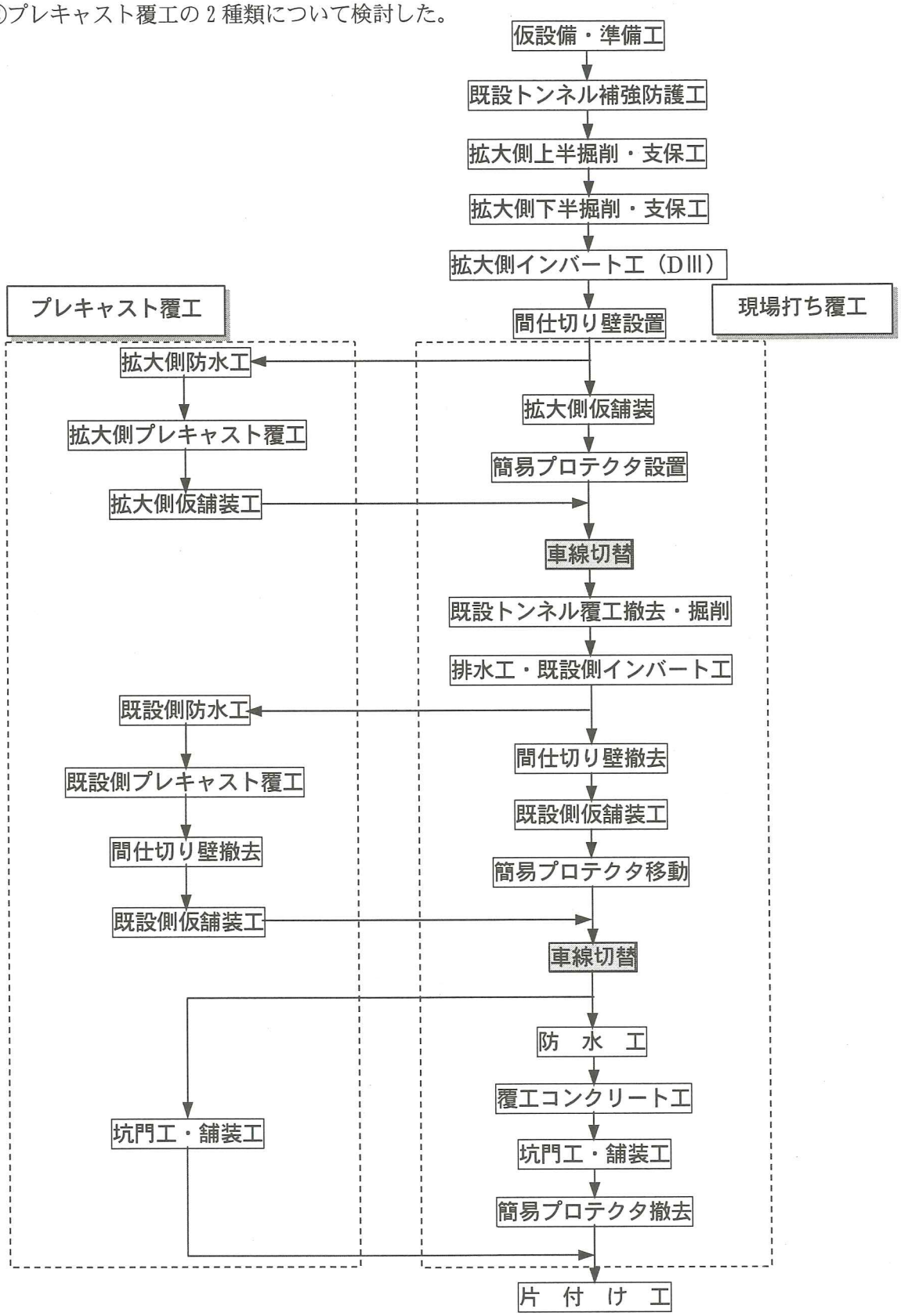


図-4.1.16　既設トンネル幅６m級の施工フロー

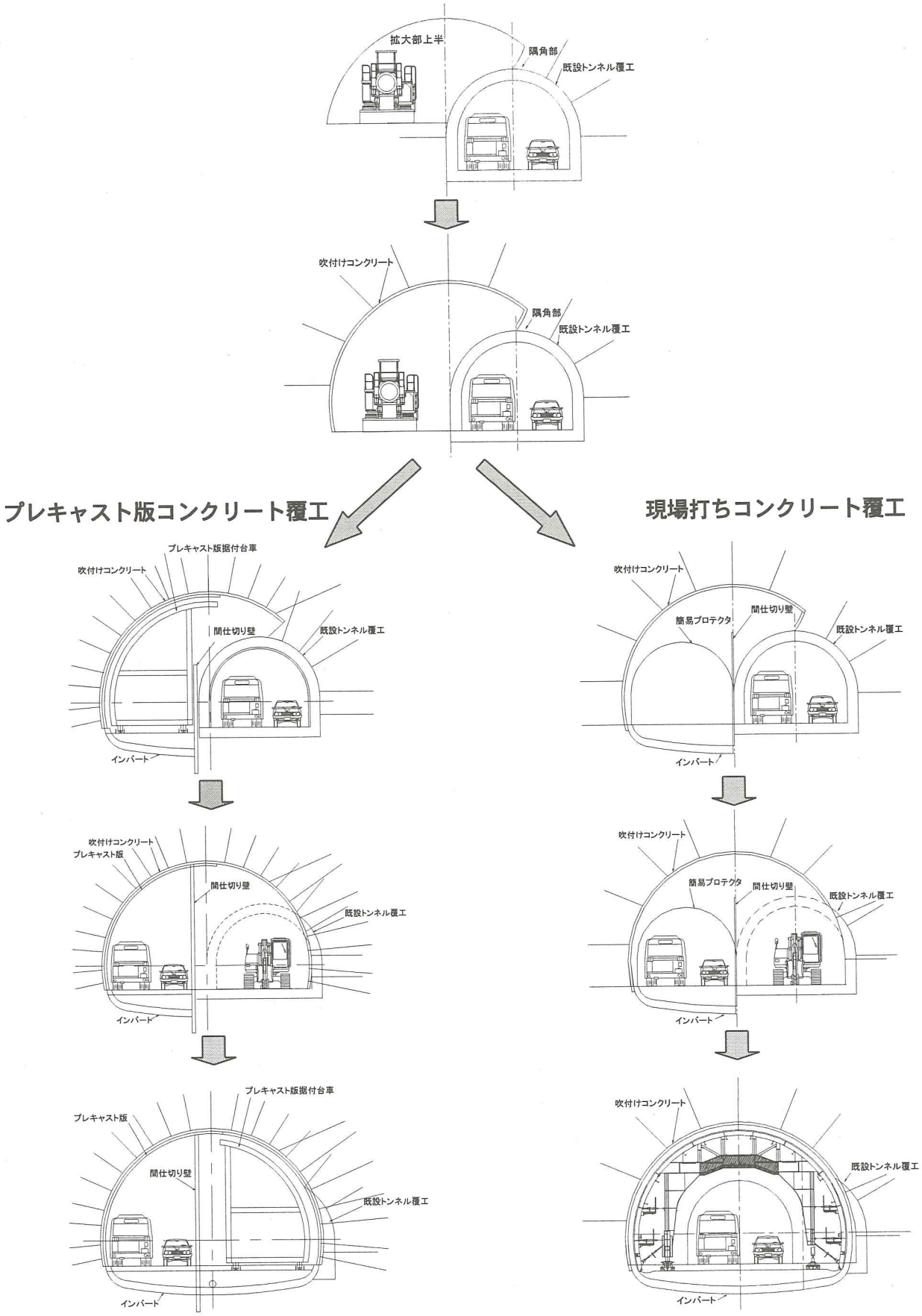


図-4.1.17　既設トンネル幅６m級の施工手順

４．１．４　要素技術

（1）既設トンネルを補強して中壁とする片側拡大トンネル

既設トンネルの幅が８m級のように比較的広い場合には、新たに拡大する掘削幅が狭い。そこで、既設トンネルの覆工側壁を拡大トンネルの中壁の一部として支持し得るようにコンクリートを充填して、拡大側掘削時に作用する荷重に耐える構造にした。

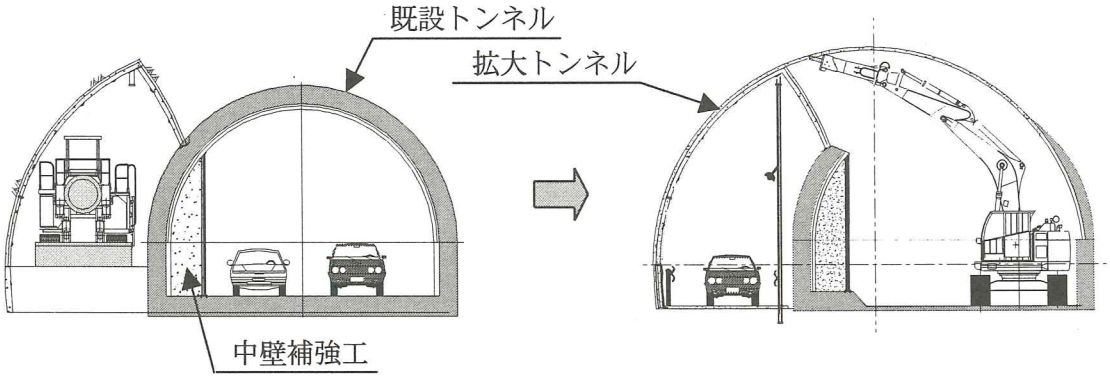
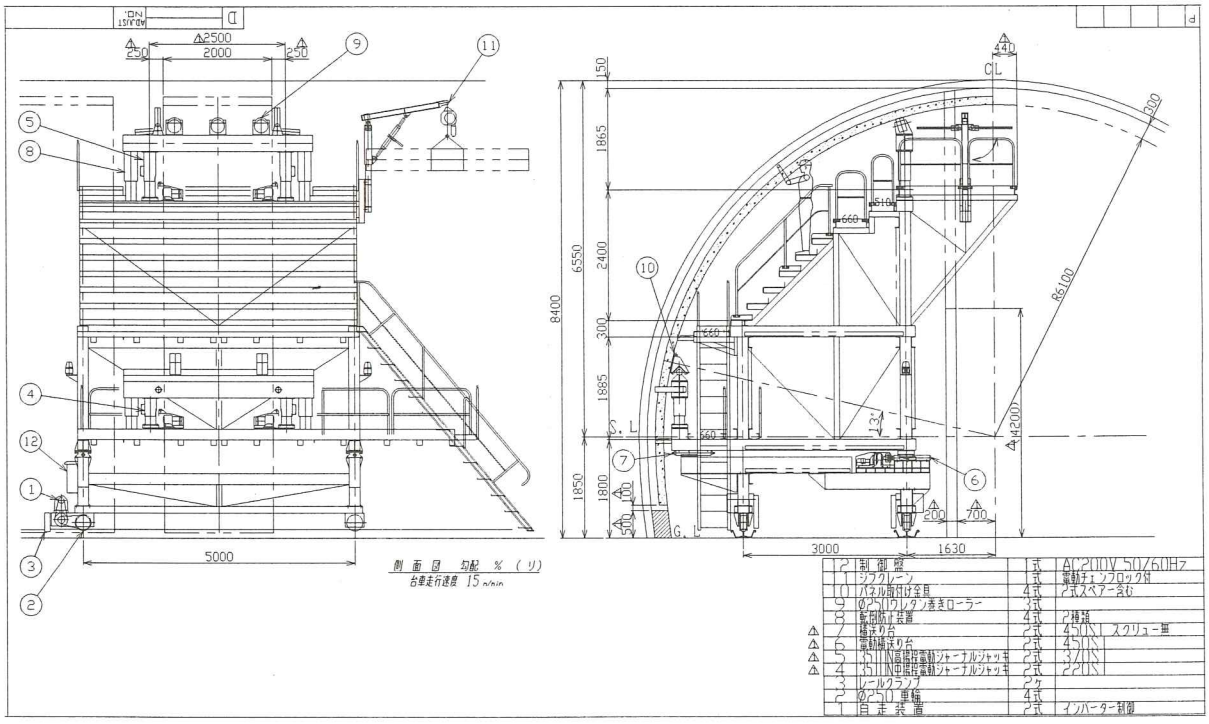


図-4.1.18　充填コンクリートによる既設トンネルの補強

（2）プレキャスト版を用いた覆工

延長が短いトンネルを対象に、交通切替え回数が少なく一般通行に与える影響が非常に少ないことと、覆工をプレキャストで施工するため品質を確保しやすいなどの条件に対応するため、防水シート張り台車とプレキャスト版据付台車を兼用した専用台車を考案した。



12	制御盤	1式	AC200V 50/60HZ
11	シフクレーン	1式	電動チェンブロック付
10	パネル取付け金具	4式	2式スペアー含む
9	Ø250ウレタン巻きローラー	3式	
8	転倒防止装置	4式	2種類
7	横送り台	2式	450N スクリュー型
6	電動横送り台	2式	450N
5	450N高揚程電動ジャーナルジャッキ	2式	370N
4	450N中揚程電動ジャーナルジャッキ	2式	220N
3	レールクランプ	2ケ	
2	Ø250 車輪	4式	
1	自走装置	2式	インバーター制御

図-4.1.19　プレキャスト版据付台車

（3）狭小断面用ロックボルト打設機（ロッド長0.75m）

トンネル断面拡大のように作業空間が狭隘な場合、従来はレッグドリルを用いて人力によってロックボルトを打設していたが、施工効率を上げるため75cmロッドチェンジャ付ガイドシェルに90kg級の油圧ドリフタを搭載したロックボルト打設専用機を計画した。

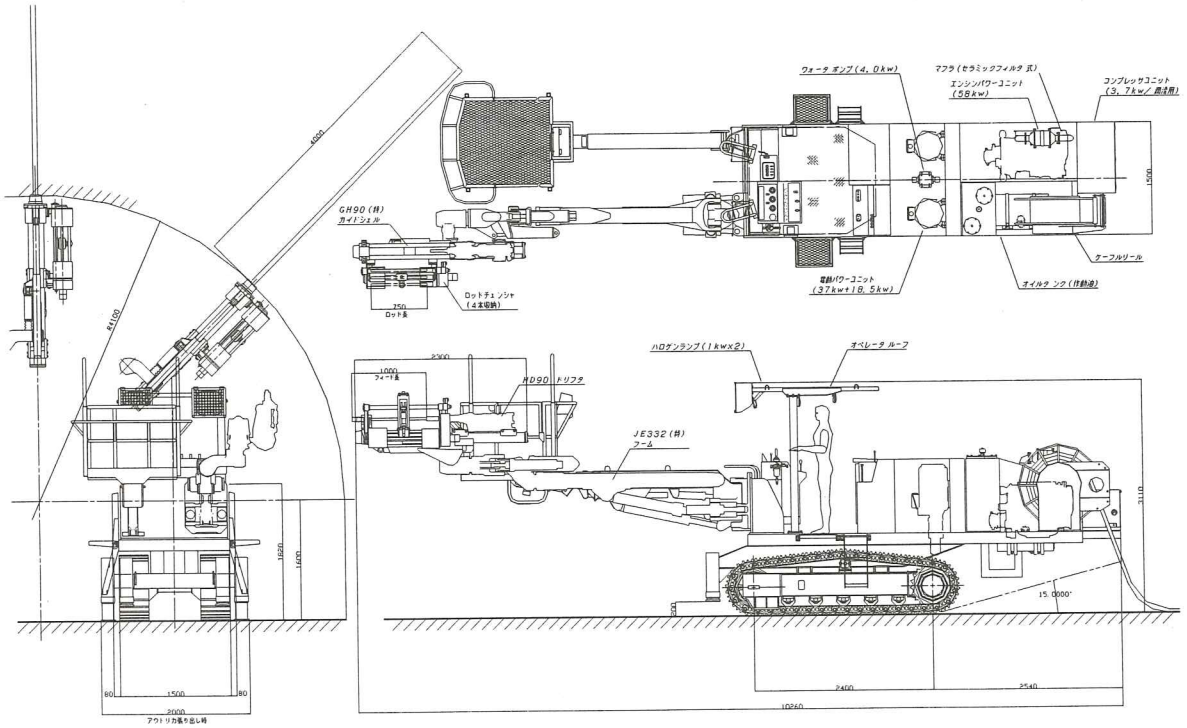


図-4.1.20　狭小断面用ロックボルト打設機（ロッド長0.75m）

４．２　仮設計画

本工法は縦長で幅の狭い掘削断面の施工であり、比較的トンネル延長が短いことから、上半掘削完了後に下半掘削を行う上半先進工法となる。拡大側の掘削幅が狭い場合には、掘削機械の離合が難しくサイクルに合わせて掘削機械の入替えをその都度行わなければならない。そのため坑内仮設備の配置計画に当っては、入替作業を効率的に行うために走行路をできるだけ広く確保するように計画する。

・両坑口には、工事中における一般車両に対する安全確保のため、明りプロテクタを設置する。
・本工法は、一般通行車両の本線通行切替えを伴う。したがって、坑口付近に一般通行車両と工事用車両が極力交差しないように、本線を挟んで両側に仮設ヤードを設けるようにする。特に、掘削時のずり運搬用ダンプトラック、入替え時の掘削機械は本線と交差しないように、あらかじめ必要なヤードを確保するように計画する。
・換気設備計画に当っては、拡大側掘削断面幅が狭いので坑内に換気ファンを設置することが困難である。そこで、トンネル全体に必要な換気容量の換気ファンを坑口部に設置し、送気式集中方式を採用する。また、既設トンネル覆工撤去時は、大型ブレーカなどを多用するため多量の粉じんが発生する。トンネルは貫通しているが、自然換気量の低下などによる坑内環境の悪化対策として、換気ファンは必要である。また場合によっては、坑外の環境対策を考慮して散水あるいは集塵機の導入などを検討する。
・既設トンネル覆工の撤去に伴い、コンクリートガラ、鋼アーチ支保工などの鉄類、矢板などの木片、岩・土など混在したずりを坑外のずりストックヤードに仮置きする。仮置場には区画を設け分別して搬出する。

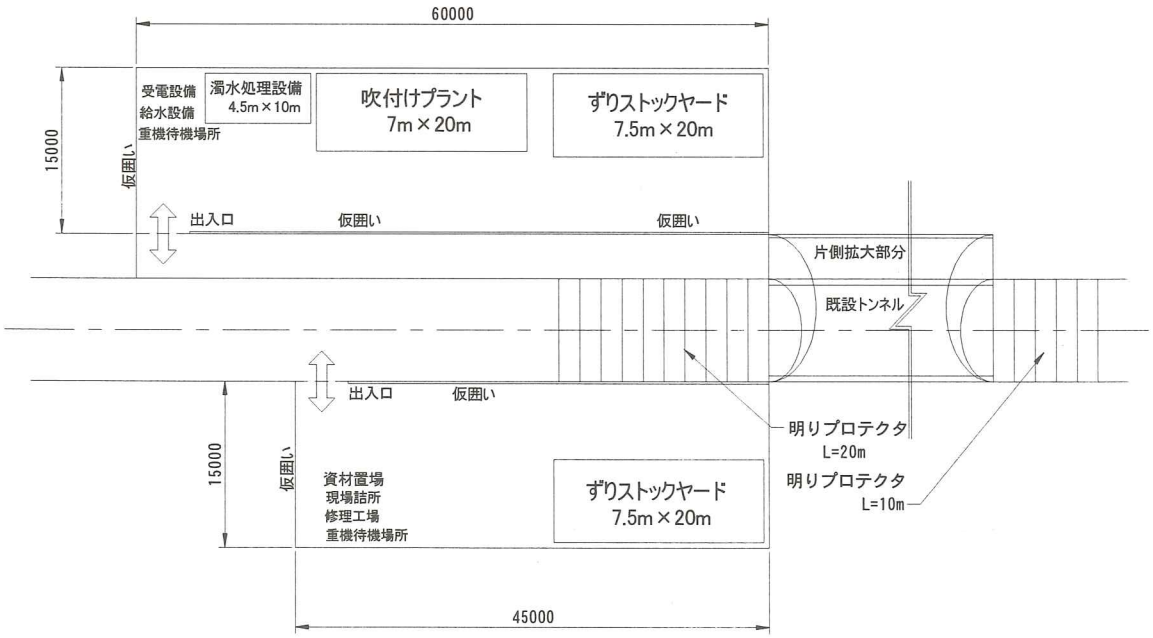


図-4.2.1　仮設ヤード平面図（ノンプロテクタ拡大工法）

4．3　通行規制

工事によって一般車両の通行空間が狭くなる場合、一般通行車両運転者への心理的な配慮が必要となる。したがって、工事中の通行規制の期間や切替え回数は、極力少なくすることが基本として求められる。

本工法は２車線確保を基本とする拡大工法で、既設トンネルをプロテクタとして利用し、拡大側掘削時は覆工コンクリート内面に補強工を実施するものの、一般通行車両は従来と変わりなく通行できる。既設側掘削時においても比較的狭いトンネル(既設幅 6m)の場合は、切替え後も２車線を確保できることから、道路利用者への影響は少ない。

比較的広いトンネル(既設幅 8m)の場合には、切替え後は片側１車線交互通行となるが、曜日・時間帯などの交通量調査をもとにきめ細かな交互時間間隔を設定し、スムーズかつ安全に通過できるよう道路利用者に対し配慮する。

各ケースにおける通行規制期間の試算結果を表-4.3.1 に示す。

表-4.3.1　通行規制期間の試算結果

既設トンネル断面幅	新設(拡大)トンネル覆工の種類	車線規制	掘削方式	トンネル延長(m)	通行規制なし(ヶ月)	通行規制期間（ヶ月）	
						夜間一時通行止	片側１車線交互通行
6m	現場打ち覆工	2車線対応	機械	50	8.4	0.6	—
				100	11.9	0.9	—
				200	18.2	1.8	—
				500	35.9	4.6	—
	プレキャスト覆工	2車線対応	機械	50	8.7	0.5	—
				100	12.5	0.8	—
				200	19.3	1.6	—
8m	現場打ち覆工	2車線対応	機械	100	9.5	1.8	2.8
				200	13.8	3.4	5.2
				500	26.9	7.2	11.7

（1）既設トンネルの補強・防護工の通行規制

（作業内容）ロックボルト打設、鋼アーチ支保工建込み、金網設置、中壁補強充填コンクリート工、坑口部に設置する「明りプロテクタ」など

・昼間は２車線確保が基本

・道路利用者への影響を考慮の上、夜間のみの作業とし通行量が減る時間帯を通行止めにして施工する。（夜間一時通行止）

（2）車線切替え後の既設トンネル覆工撤去・掘削などの通行規制

（作業内容）既設覆工撤去・掘削・支保工、中壁充填コンクリート撤去、排水工、既設側インバート工、既設側防水工、仮舗装

・片側１車線交互通行（比較的広い既設トンネル幅 8m級の場合）

・両坑口明りプロテクタ箇所に工事用信号機を設置

（3）間仕切り壁撤去の通行規制

（作業内容）覆工コンクリート工の施工に伴う車線切替え前における間仕切り壁の撤去

・昼間は片側１車線交互通行が基本（比較的広い既設トンネル幅 8m級の場合）

・道路利用者への影響を考慮の上、夜間のみの作業とし通行量が減る時間帯を通行止めにして施工する。（夜間一時通行止）

（4）覆工コンクリート工の通行規制

（作業内容）覆工コンクリート工

・２車線確保が基本

・トンネル内の車両通行は、覆工コンクリート工（昼間作業）工事用車両 1 車線と一般通行車両 2 車線の合計３車線区分帯を設定して通行規制を行うが、覆工コンクリート打設箇所付近ではセントル構造上、トンネル断面中央部が一般通行車両の通行帯となり屈曲した車線変更がある。

5．適用にあたっての留意点

（1）技術的な留意点

・既設覆工の健全度評価、覆工背面地山の安定性を評価し、地山条件が良い場合には防護工のみで事前補強を必要としないなど地山条件などに対応した適切な事前補強の選定

・鋼アーチ支保工、コンクリート、木矢板などの混在した覆工の効率的な撤去方法

・拡大幅が狭隘な場合における片側拡大工法において、適用トンネル延長を拡大するための効率的な離合・退避方法の提案

（2）コスト・工程に関する留意点

・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

・活線のまま断面拡大する工法においては交通誘導員の配置増大を伴うため、効果的な交通誘導システムの導入

（3）交通規制・環境対策に関する留意点

・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

・既設覆工撤去に伴うコンクリートガラ、鋼アーチ支保工などの鉄類、木片、岩・土などが混在する混合ずりの効率的な分別方法

（4）仮設ヤードに関する留意点

・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の確保

・一般通行車両と工事用車両の交差を極力避けるための効率的な誘導方法の導入

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）－

参　考　資　料

1．サイクルタイム試算例

1．1　試算条件

・岩級区分構成を表-1.1.1 に示す。

・サイクルタイムの算定条件を表-1.1.2 に示す。

・トンネル断面、既設トンネルの位置を図-1.1.1 に示す。

・掘削機械作業の能力の低減については、既設トンネル幅 8m 級の作業空間が狭隘な片側拡大側のみ考慮する（公称能力の 80%）。

・隅角部の作業については、片側拡大の掘削形状より狭隘な空間での人力作業、機械の作業性低下などを考慮して、各工種ごとに加算する。

・既設トンネルの覆工取壊し、搬出（支保工、矢板撤去を含む）の作業能力は、5m³/時間とする。

・機械移動、入替え時間については、既設トンネル幅 6m 級において、掘削時 30 分を計上する。既設トンネル幅 8m 級については、作業空間が狭隘で離合が困難な拡大側のみトンネル延長別に上半、下半ごとに各機械の搬出入時間を試算して、掘削項目にまとめて計上する。

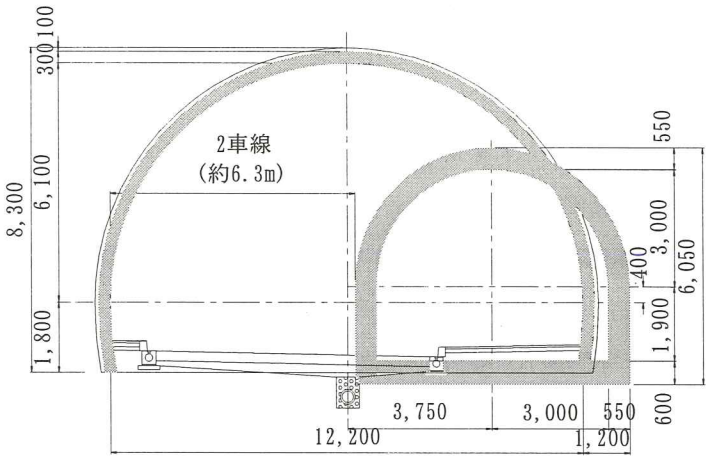
表-1.1.1　岩級区分構成

岩級区分 / 延長	DⅢ	DⅠ	CⅡ	DⅠ	DⅢ
500m	25m	75m	300m	75m	25m
200m	25m	50m	50m	50m	25m
100m	25m	25m	－	25m	25m
50m	25m	－	－	－	25m

表-1.1.2　サイクルタイムの算定条件

	片側拡大汎用機 （既設幅：6m）	片側拡大汎用機（拡大側掘削のみ） （既設幅：8m）
掘削機 能力	－	拡大トンネル側上半、下半掘削時　80%
隅角部 作業	拡大トンネル側上半掘削時加算 掘削 30 分、吹付け 20 分、 ロックボルト 20 分	拡大トンネル側上半掘削時加算 掘削 40 分、吹付け 5 分
機械移動 ・ 入替え	掘削時 30 分加算 拡大トンネル側上半、下半、 既設トンネル側上下半	掘削時加算 延長 500m 拡大トンネル側上半 130 分、下半 70 分 延長 200m 拡大トンネル側上半 70 分、下半 45 分 延長 100m拡大トンネル側上半 51 分、下半 39 分

片側拡大（比較的狭いトンネル：既設幅 6m）



片側拡大（比較的広いトンネル：既設幅 8m）

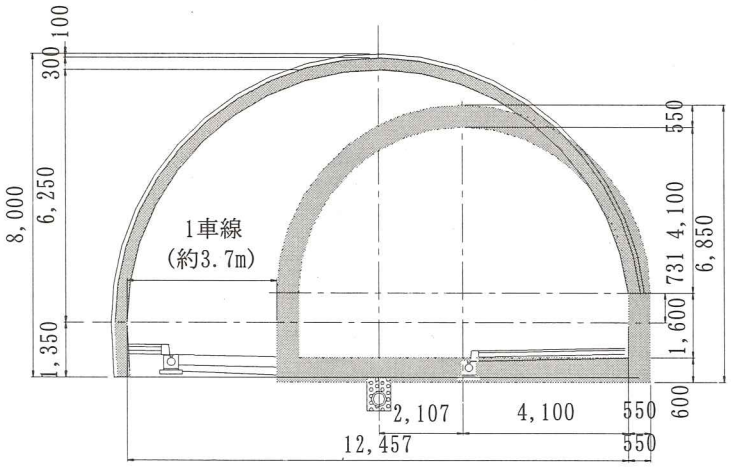


図-1.1.1　トンネル断面、既設トンネルの位置

1．2　試算結果

・トンネル延長 200m におけるサイクルタイムの試算結果を表-1.2.1 および表-1.2.2 に示す。

・トンネル延長 500m におけるサイクルタイムの試算結果を表-1.2.3 および表-1.2.4 に示す。

・既設トンネル幅 6m 級と 8m 級の掘削所要月数を比較すると、トンネル延長 200m、500m ともに既設トンネル幅 6m 級の方が短い。

表-1.2.1　既設トンネル幅 6m級のサイクルタイム（L=200m）

拡大側上半（左）

項　　目		単位	CⅡ	DⅠ	DⅢ	摘　　要
設計掘削断面積(余掘含まず)	A1	m^2	45.4	46.2	48.6	
掘削断面積(余掘含む)	A2	m^2	47.4	48.2	50.7	
1サイクル当り掘進長	B	m	1.2	1.0	1.0	
掘削機械　作業能力	C	m^3/hr	23	28	32	狭隘補正:なし
1サイクル当り吹付け面積	M	m^2	18.2	15.2	15.4	M=上半(下半)吹付け周長*B
吹付け設計厚さ	N	m	0.10	0.15	0.25	
1サイクル当りボルト本数	P	本	10	11	3	
フォアポーリングボルト本数		本	-	-	19	
ロックボルト長			3m	4m	4m	
ロックボルト長(フォアポーリング)			-	-	3m	
吹付け　補正係数	K		2.1	1.9	1.8	
1サイクル当り金網設置数量		m^2	-	15.5	16.0	数量=上半(下半)金網周長*B
1サイクル当り既設コンクリート取壊し	V1	m^3	-	-	-	V1=既設断面積*B
掘削・取壊し　準備		分	10	10	10	
掘削・ずり出し	T1	分	148	103	95	T1=A2*B*60/C
機械移動・入替え		分	30	30	30	
隅角部掘削(機械)・ずり出し	T11	分	30	30	30	
隅角部仕上げ(人力)・ずり出し	T12	分	0	0	0	
既設トンネル補強工撤去		分				
既設コンクリート取壊し・搬出	T13	分				支保工・矢板撤去含む。V1/5m^3/h
跡片付け		分	10	10	10	
測量		分	10	10	10	
小計		分	238	193	185	
吹付け　吹付け準備		分	10	10	10	
吹付け	T3	分	19	22	35	T3=M*N*補正係数*60/12(m^3/hr)
吹付け(隅角部仕上げ)	T31	分	20	20	20	
跡片付け		分	10	10	10	
小計		分	59	62	75	
ロックボルト　ロックボルト準備		分	10	10	10	
穿孔・打設	T4	分	50	66	18	T4=P*5(3m)、Dﾊﾟﾀｰﾝ:6(4m)
隅角部打設　移動・セット	T41	分	20	20	0	
穿孔・打設(フォアポーリング)	T42	分	0	0	95	
フォアポーリング打設　隅角部　移動・セット	T43	分	0	0	20	
跡片付け		分	10	10	10	
小計		分	90	106	153	
金網　金網設置	T5	分	0	30	30	
金網設置　隅角部	T51	分	0	30	30	
小計		分	0	60	60	
鋼アーチ支保工　支保工準備		分	10	10	10	
支保工建込み	T6	分	30	30	30	
支保工建込み(右隅角部踏前)	T61	分	0	0	0	
小計		分	40	40	40	
計	Q	分	427	461	513	
1日当り進行長		m/日	3.0	2.3	2.1	540分*B*2方/Q
1月当り進行長		m/月	69.8	53.9	48.4	23日/月
掘削延長		m	50	100	50	
所要日数		日	16.5	42.7	23.8	
		合計日			83.0	
所要月数		月数			3.6	

拡大側下半（左）

1日当り進行長		m/日	7.8	5.6	5.2	540分*B*2方/Q
1月当り進行長		m/月	179.6	129.4	118.9	23日/月
掘削延長		m	50	100	50	
所要日数		日	6.4	17.8	9.7	
		合計日			33.9	
所要月数		月数			1.5	

既設側上下半（右）

1日当り進行長		m/日	3.6	2.8	2.8	540分*B*2方/Q
1月当り進行長		m/月	81.7	64.7	63.9	23日/月
掘削延長		m	50	100	50	
所要日数		日	14.1	35.6	18.0	
		合計日			67.7	
所要月数		月数			2.9	

表-1.2.2　既設トンネル幅 8m級のサイクルタイム（L=200m）

拡大側上半（左）

項　　目			単位	CⅡ	DⅠ	DⅢ	摘　　要
設計掘削断面積(余掘含まず)		A1	m^2	20.9	21.3	22.4	
掘削断面積(余掘含む)		A2	m^2	21.9	22.3	23.5	
1サイクル当り掘進長		B	m	1.2	1.0	1.0	
掘削機械　作業能力		C	m^3/hr	18	22	26	狭隘補正：80%(23,28,32)
1サイクル当り吹付け面積		M	m^2	12.4	10.4	10.4	M=上半・中壁(下半)吹付け周長*B
吹付け設計厚さ		N	m	0.10	0.15	0.25	
1サイクル当りボルト本数		P	本	8	9	6	中壁を含む
フォアポーリングボルト本数			本	－	－	8	23本(左上半8本、右上半15本)
ロックボルト長				3m	4m	4m	(中壁L=4m)
ロックボルト長(フォアポーリング)				－	－	3m	
吹付け　補正係数		K		2.1	1.9	1.8	
1サイクル当り金網設置数量			m^2	－	7.8	8.0	数量=上半(下半)金網周長*B
1サイクル当り既設コンクリート取壊し		V1	m^3	－	－	－	V1=既設断面積*B
掘削・取壊し	準備		分	10	10	10	
	掘削・ずり出し	T1	分	88	61	54	T1=A2*B*60/C
	機械移動・入替え		分	70	70	70	
	隅角部掘削(機械)・ずり出し	T11	分	10	10	10	
	隅角部中壁仕上げ(人力)・ずり出し	T12	分	30	30	30	
	既設トンネル補強工撤去		分				
	既設コンクリート/中壁取壊し・搬出	T13	分				支保工・矢板撤去含む。V1/5m^3/h
	跡片付け		分	10	10	10	
	測量		分	10	10	10	
	小計		分	228	201	194	
吹付け	吹付け準備		分	10	10	10	
	吹付け	T3	分	13	15	23	T3=M*N*補正係数*60/12(m^3/hr)
	吹付け(隅角部中壁仕上げ)	T31	分	5	5	5	
	跡片付け		分	10	10	10	
	小計		分	38	40	48	
ロックボルト	ロックボルト準備		分	10	10	10	
	穿孔・打設	T4	分	40	54	36	T4=P*5(3m)、Dﾊﾟﾀｰﾝ:6(4m)
	隅角部打設　移動・セット	T41	分	0	0	0	
	穿孔・打設(フォアポーリング)	T42	分	0	0	40	
	フォアポーリング打設　隅角部　移動・セット	T43	分	0	0	20	
	跡片付け		分	10	10	10	
	小計		分	60	74	116	
金網	金網設置	T5	分	0	30	30	
	金網設置　隅角部	T51	分	0	30	30	
	小計		分	0	60	60	
鋼アーチ支保工	支保工準備		分	10	10	10	
	支保工建込み	T6	分	30	30	30	
	支保工建込み(中壁)	T61	分	30	30	30	
	小計		分	70	70	70	
	計	Q	分	396	445	488	
	1日当り進行長		m/日	3.3	2.4	2.2	540分*B*2方/Q
	1月当り進行長		m/月	75.3	55.8	50.9	23日/月
	掘削延長		m	50	100	50	
	所要日数		日	15.3	41.2	22.6	
			合計日			79.1	
	所要月数		月数			3.4	

拡大側下半（左）

	1日当り進行長		m/日	8.3	5.9	5.3	540分*B*2方/Q
	1月当り進行長		m/月	191.1	135.7	121.2	23日/月
	掘削延長		m	50	100	50	
	所要日数		日	6.0	16.9	9.5	
			合計日			32.4	
	所要月数		月数			1.4	

既設側上下半（右）

	1日当り進行長		m/日	3.2	2.2	1.9	540分*B*2方/Q
	1月当り進行長		m/月	73.1	50.7	43.7	23日/月
	掘削延長		m	50	100	50	
	所要日数		日	15.7	45.4	26.3	
			合計日			87.4	
	所要月数		月数			3.8	

表-1.2.3　既設トンネル幅 6m級のサイクルタイム（L=500m）

拡大側上半（左）

項　　目		単位	CⅡ	DⅠ	DⅢ	摘　　要
設計掘削断面積(余掘含まず)	A1	m^2	45.4	46.2	48.6	
掘削断面積(余掘含む)	A2	m^2	47.4	48.2	50.7	
1サイクル当り掘進長	B	m	1.2	1.0	1.0	
掘削機械　作業能力	C	m^3/hr	23	28	32	狭隘補正:なし
1サイクル当り吹付け面積	M	m^2	18.2	15.2	15.4	M=上半(下半)吹付け周長*B
吹付け設計厚さ	N	m	0.10	0.15	0.25	
1サイクル当りボルト本数	P	本	10	11	3	
フォアポーリングボルト本数		本	−	−	19	
ロックボルト長			3m	4m	4m	
ロックボルト長(フォアポーリング)			−	−	3m	
吹付け　補正係数	K		2.1	1.9	1.8	
1サイクル当り金網設置数量		m^2	−	15.5	16.0	数量=上半(下半)金網周長*B
1サイクル当り既設コンクリート取壊し	V1	m^3	−	−	−	V1=既設断面積*B
掘削・取壊し　準備		分	10	10	10	
掘削・ずり出し	T1	分	148	103	95	T1=A2*B*60/C
機械移動・入替え		分	30	30	30	
隅角部掘削(機械)・ずり出し	T11	分	30	30	30	
隅角部仕上げ(人力)・ずり出し	T12	分	0	0	0	
既設トンネル補強工撤去		分				
既設コンクリート取壊し・搬出	T13	分				支保工・矢板撤去含む。V1/5m^3/h
跡片付け		分	10	10	10	
測量		分	10	10	10	
小計		分	238	193	185	
吹付け　吹付け準備		分	10	10	10	
吹付け	T3	分	19	22	35	T3=M*N*補正係数*60/12(m^3/hr)
吹付け(隅角部仕上げ)	T31	分	20	20	20	
跡片付け		分	10	10	10	
小計		分	59	62	75	
ロックボルト　ロックボルト準備		分	10	10	10	
穿孔・打設	T4	分	50	66	18	T4=P*5(3m)、Dﾊﾟﾀｰﾝ:6(4m)
隅角部打設　移動・セット	T41	分	20	20	0	
穿孔・打設(フォアポーリング)	T42	分	0	0	95	
フォアポーリング打設　隅角部　移動・セット	T43	分	0	0	20	
跡片付け		分	10	10	10	
小計		分	90	106	153	
金網　金網設置	T5	分	0	30	30	
金網設置　隅角部	T51	分	0	30	30	
小計		分	0	60	60	
鋼アーチ支保工　支保工準備		分	10	10	10	
支保工建込み	T6	分	30	30	30	
支保工建込み(右隅角部踏前)	T61	分	0	0	0	
小計		分	40	40	40	
計	Q	分	427	461	513	
1日当り進行長		m/日	3.0	2.3	2.1	540分*B*2方/Q
1月当り進行長		m/月	69.8	53.9	48.4	23日/月
掘削延長		m	300	150	50	
所要日数		日	98.8	64.0	23.8	
		合計日			186.6	
所要月数		月数			8.1	

拡大側下半（左）

1日当り進行長		m/日	7.8	5.6	5.2	540分*B*2方/Q
1月当り進行長		m/月	179.6	129.4	118.9	23日/月
掘削延長		m	300	150	50	
所要日数		日	38.4	26.7	9.7	
		合計日			74.8	
所要月数		月数			3.3	

既設側上下半（右）

1日当り進行長		m/日	3.6	2.8	2.8	540分*B*2方/Q
1月当り進行長		m/月	81.7	64.7	63.9	23日/月
掘削延長		m	300	150	50	
所要日数		日	84.5	53.3	18.0	
		合計日			155.8	
所要月数		月数			6.8	

表-1.2.4　既設トンネル幅 8m級のサイクルタイム（L=500m）

拡大側上半（左）

項　　目			単位	CⅡ	DⅠ	DⅢ	摘　　要
設計掘削断面積(余掘含まず)		A1	m^2	20.9	21.3	22.4	
掘削断面積(余掘含む)		A2	m^2	21.9	22.3	23.5	
1サイクル当り掘進長		B	m	1.2	1.0	1.0	
掘削機械　作業能力		C	m^3/hr	18	22	26	狭隘補正：80%(23,28,32)
1サイクル当り吹付け面積		M	m^2	12.4	10.4	10.4	M=上半・中壁(下半)吹付け周長*B
吹付け設計厚さ		N	m	0.10	0.15	0.25	
1サイクル当りボルト本数		P	本	8	9	6	中壁を含む
フォアポーリングボルト本数			本	－	－	8	23本(左上半8本、右上半15本)
ロックボルト長				3m	4m	4m	(中壁L=4m)
ロックボルト長(フォアポーリング)				－	－	3m	
吹付け　補正係数		K		2.1	1.9	1.8	
1サイクル当り金網設置数量			m^2	－	7.8	8.0	数量=上半(下半)金網周長*B
1サイクル当り既設コンクリート取壊し		V1	m^3	－	－	－	V1=既設断面積*B
掘削・取壊し	準備		分	10	10	10	
	掘削・ずり出し	T1	分	88	61	54	T1=A2*B*60/C
	機械移動・入替え		分	130	130	130	
	隅角部掘削(機械)・ずり出し	T11	分	10	10	10	
	隅角部中壁仕上げ(人力)・ずり出し	T12	分	30	30	30	
	既設トンネル補強工撤去		分				
	既設コンクリート/中壁取壊し・搬出	T13	分				支保工・矢板撤去含む。V1/5m^3/h
	跡片付け		分	10	10	10	
	測量		分	10	10	10	
	小計		分	288	261	254	
吹付け	吹付け準備		分	10	10	10	
	吹付け	T3	分	13	15	23	T3=M*N*補正係数*60/12(m^3/hr)
	吹付け(隅角部中壁仕上げ)	T31	分	5	5	5	
	跡片付け		分	10	10	10	
	小計		分	38	40	48	
ロックボルト	ロックボルト準備		分	10	10	10	
	穿孔・打設	T4	分	40	54	36	T4=P*5(3m)、Dﾊﾟﾀｰﾝ:6(4m)
	隅角部打設　移動・セット	T41	分	0	0	0	
	穿孔・打設(フォアポーリング)	T42	分	0	0	40	
	フォアポーリング打設　隅角部　移動・セット	T43	分	0	0	20	
	跡片付け		分	10	10	10	
	小計		分	60	74	116	
金網	金網設置	T5	分	0	30	30	
	金網設置　隅角部	T51	分	0	30	30	
	小計		分	0	60	60	
鋼アーチ支保工	支保工準備		分	10	10	10	
	支保工建込み	T6	分	30	30	30	
	支保工建込み(中壁)	T61	分	30	30	30	
	小計		分	70	70	70	
	計	Q	分	456	505	548	
	1日当り進行長		m/日	2.8	2.1	2.0	540分*B*2方/Q
	1月当り進行長		m/月	65.4	49.2	45.3	23日/月
	掘削延長		m	300	150	50	
	所要日数		日	105.6	70.1	25.4	
			合計日			201.1	
	所要月数		月数			8.7	

拡大側下半（左）

	1日当り進行長	m/日	7.2	5.2	4.7	540分*B*2方/Q
	1月当り進行長	m/月	164.7	119.4	108.0	23日/月
	掘削延長	m	300	150	50	
	所要日数	日	41.9	28.9	10.6	
		合計日			81.4	
	所要月数	月数			3.5	

既設側上下半（右）

	1日当り進行長	m/日	3.2	2.2	1.9	540分*B*2方/Q
	1月当り進行長	m/月	73.1	50.7	43.7	23日/月
	掘削延長	m	300	150	50	
	所要日数	日	94.4	68.1	26.3	
		合計日			188.8	
	所要月数	月数			8.2	

2．解析

2．1　解析目的

解析は既設トンネル幅 8m 級の断面拡大を対象として、トンネル構造物および地山の安定を２次元 FEM による構造計算により検討して、提案工法の成立を確認した。

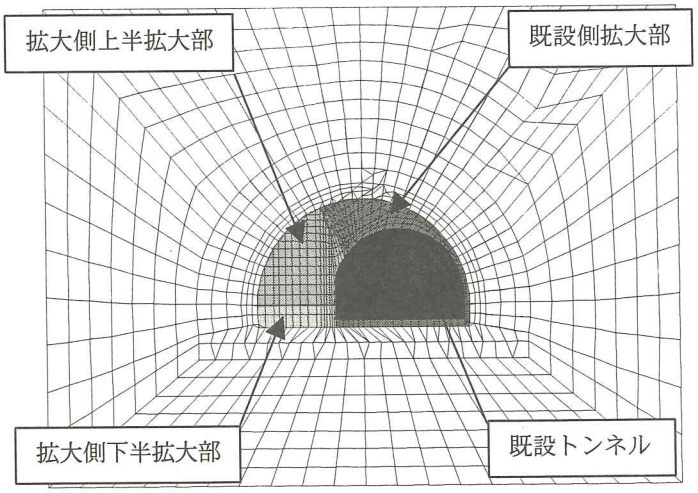


図-2.2.1　メッシュ分割と加背割（トンネル周辺部拡大）

2．2　検討条件

2．2．1　検討方法

検討は、２次元 FEM による施工ステップを考慮した非線形弾性解析で行い、以下の２点について検討した。

・既設覆工、支保部材の応力度照査

・地山の変形の確認

トンネル周辺のメッシュ分割と加背割を図-2.2.1 に示す。施工ステップは、既設トンネル掘削→拡大側上半掘削→支保→拡大側下半掘削→支保→既設側掘削・既設覆工撤去→支保　である。

2．2．2　地山条件

地山等級はＤⅠ級を想定した。DⅡ以下の地山の場合、別途地山改良、補助工法等の検討が必要である。また、土被りは 50m とし、地山物性値は表-2.2.1 に示す値を用いた。

表-2.2.1　地山物性値

初期変形係数 (MPa)	破壊後の変形係数 (MPa)	ポアソン比	破壊後のポアソン比	粘着力 (MPa)	内部摩擦角 (deg)	引張強度 (MPa)	単位体積重量 (kN /m³)
500	50	0.35	0.45	0.4	35	0.08	22

2．3　解析結果

2．3．1　部材の検討

拡大側上半掘削前に既設覆工の補強が必要と考えられる。本検討では補強方法として、以下の 2 点を考慮してケーススタディを行った。

・図-2.3.1 のように拡大側掘削部分の既設トンネル側壁部側にコンクリートを充填し、コンクリートの内空側端部

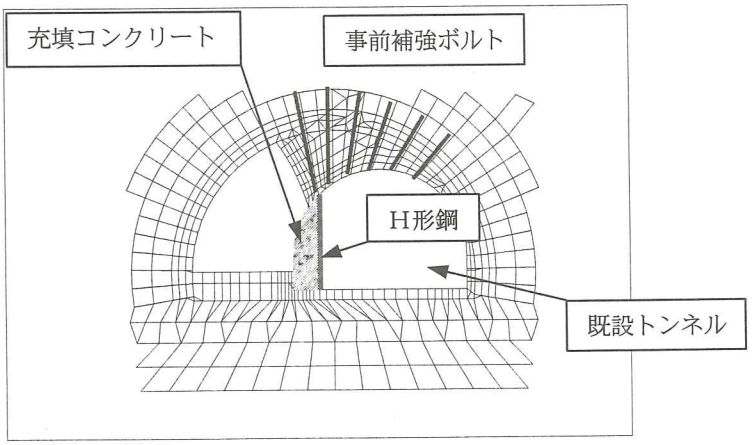


図-2.3.1　既設覆工の事前補強

には型枠用にH鋼を建込む（必要であればH鋼の荷重負担も考慮する）

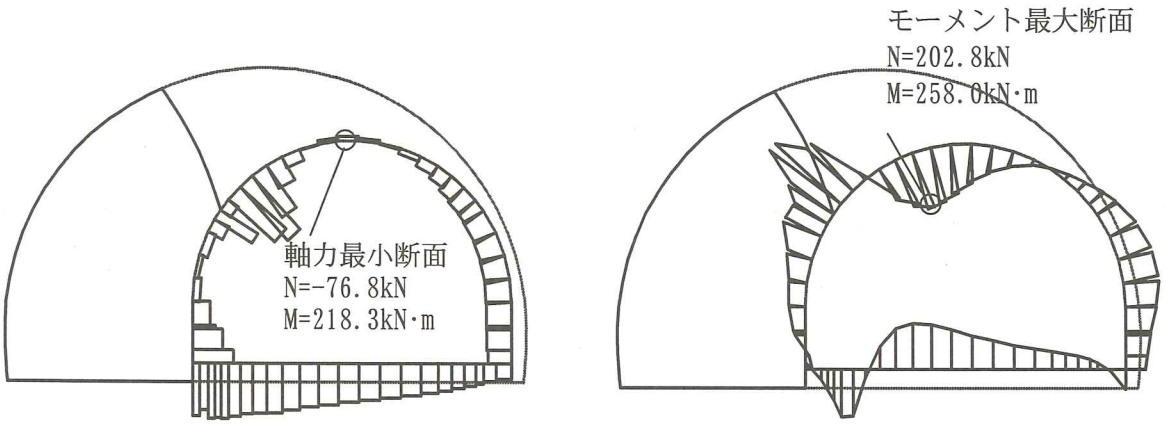
・掘削前に既設トンネルより打設する事前補強ボルトの本数を増やす、あるいはケーブルボルトにより打設長を長くして、ロックボルトへの荷重分担を増すことにより既設覆工の荷重負担を軽減する

各ケースでの既設覆工の最小安全率の一覧を表-2.3.1に示す。表より、部材がもつケースの中で最も簡易な補強ですむケースはNo.2である。ケースNo.2における拡大側下半掘削時の既設覆工の軸力図、曲げモーメント図を図-2.3.2に示す。

表-2.3.1　既設覆工最小安全率一覧

ケース No.	充填厚 (cm)	補強	事前補強ボルト		
			通常	W	CB
1	90	なし	0.79	0.77	
2	120	なし	1.03		
3	150	なし	1.08	1.13	1.12
4	90	あり	0.89	0.91	
5	120	あり	1.02		
6	150	あり	1.08	1.14	1.13

注）通常：通常のＤＩパターンボルトのみを打設
　　W　：ＤＩの1/2の周ピッチでロックボルトを打設
　　CB　：L=10mのケーブルボルトをＤＩの1/2の周ピッチで打設
　　補強：H-300の建込みによる補強



軸力　　曲げモーメント

図-2.3.2　左下半掘削時の既設覆工の軸力、曲げモーメント図

上記2断面の応力は表-2.3.2のとおりであり、いずれも許容応力以下である。

また、このときの鋼アーチ支保工、吹付けコンクリート、ロックボルト、充填コンクリートの最小安全率はそれぞれ1.4、4.3、1.1、1.8となり許容値を満足する。完成時の鋼アーチ支保工・吹付けコンクリートの合成梁、およびロックボルトの断面力を図-2.3.3に示す。

表-2.3.2　左下半掘削時の既設覆工の断面力と許容応力

軸力最小断面		発生応力	許容応力	判定	断面力	
con	σc	3.7	13.5	OK	M	N
引張鉄筋	σs	204.1	210.0	OK	218.3	-76.8
圧縮鉄筋	σs'	-53.4	-210.0	OK		
中立軸	x	14.3				

モーメント最大断面		発生応力	許容応力	判定	断面力	
con	σc	5.0	13.5	OK	M	N
引張鉄筋	σs	192.0	210.0	OK	258.0	202.8
圧縮鉄筋	σs'	-73.1	-210.0	OK		
中立軸	x	18.8				

※単位：断面力はkN、m系、応力はN/mm²、中立軸はcm

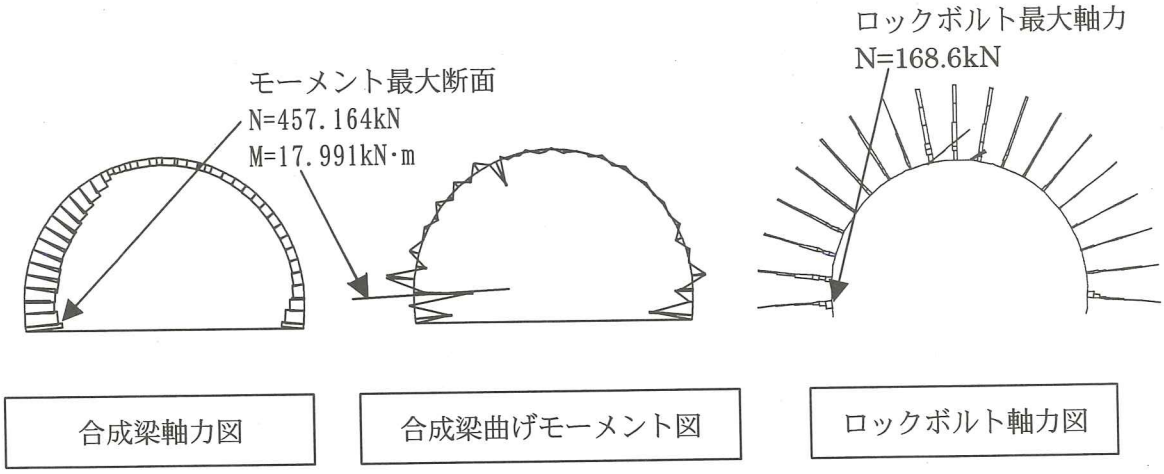


図-2.3.3　完成時の合成梁断面図およびロックボルト軸力図

２．３．２　変位量の検討

坑壁の変位量と限界ひずみより算定される許容値との関係を図-2.3.4 に示す。いずれのステップでも許容値を満足する。また、完成時の要素安全率の分布を図-2.3.5 に示す。

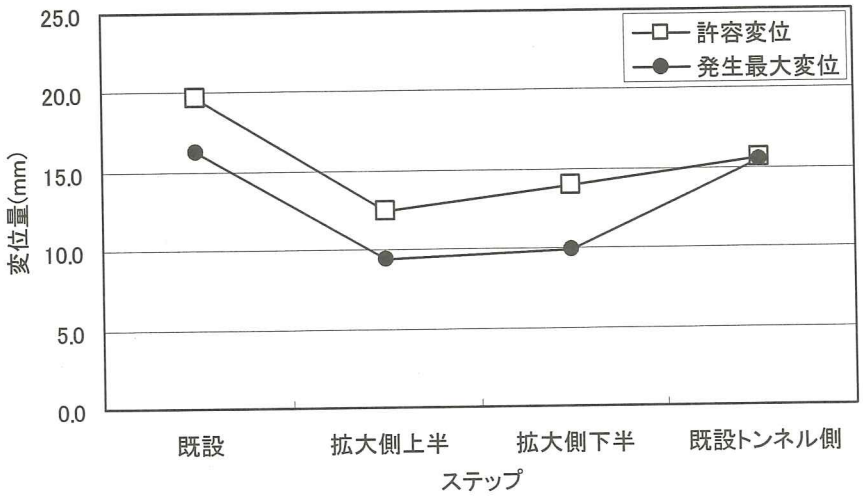


図-2.3.4　各ステップの許容変位と発生最大変位の関係

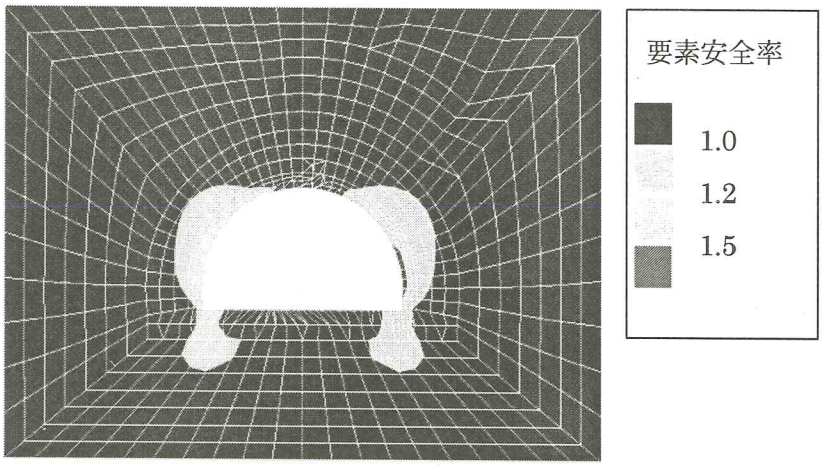


図-2.3.5　完成時の要素安全率の分布

まとめ

・部材の発生応力、坑壁の変位量はいずれも許容値を満足する。

・岩盤物性値ごとに必要な補強（充填コンクリート、事前補強ボルト）については、別途詳細検討が必要である。

3．出願特許

申請特許名	出願人	発明者	申請年月日 (出願番号)	公開日
トンネルの拡幅方法、トンネルおよび簡易プロテクタ	独立行政法人土木研究所 (財)先端建設技術センター 鹿島建設株式会社 株式会社奥村組 株式会社熊谷組 株式会社三井三池製作所	真下英人、蒲田浩久 中森純一郎 下寺信一、稲生道裕 城所敏郎、伊藤範行 阿久津秋秀、畑山栄一 水原憲三、井上直樹 神山英雄、中北昭浩 手島隆治	2002.3.25 (特願2002-082434)	
拡幅トンネルの築造方法	独立行政法人土木研究所 (財)先端建設技術センター 鹿島建設株式会社 株式会社奥村組 株式会社熊谷組 株式会社三井三池製作所	真下英人、蒲田浩久 中森純一郎 下寺信一、稲生道裕 城所敏郎、伊藤範行 阿久津秋秀、畑山栄一 水原憲三、井上直樹 神山英雄、中北昭浩 手島隆治	2002.3.25 (特願2002-083417)	
拡大トンネルの築造方法	独立行政法人土木研究所 (財)先端建設技術センター 鹿島建設株式会社 株式会社奥村組 株式会社熊谷組 株式会社三井三池製作所	真下英人、蒲田浩久 若林 明 佐藤政昭、稲生道裕 城所敏郎、伊藤範行 阿久津秋秀、清水智明 水原憲三、井上直樹 垣内幸雄、安川良博 若松茂樹、手島隆治	2003.3.24 (特願2003-79584)	

施　工　マ　ニ　ュ　ア　ル　（案）

第８編　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）　―

平成 16 年 3 月

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

株式会社　大林組

五洋建設　株式会社

東急建設　株式会社

西松建設　株式会社

前田建設工業　株式会社

株式会社　三井三池製作所

目　　次

1．工法の概要 …… 8-1
2．工法の特徴 …… 8-2
3．設計 …… 8-3
　3．1　適用条件 …… 8-3
　　3．1．1　適用可能な既設トンネルおよび新設トンネルの規模 …… 8-3
　　3．1．2　トンネル延長 …… 8-4
　　3．1．3　地山条件 …… 8-4
　3．2　設計 …… 8-4
　　3．2．1 πステージ工法 …… 8-4
4．施工 …… 8-9
　4．1 施工フローおよび手順 …… 8-9
　　4．1．1 施工フローおよび手順 …… 8-9
　　4．1．2 主要使用機械 …… 8-18
　4．2 仮設計画 …… 8-21
　　4．2．1 仮設備配置図 …… 8-21
　　4．2．2 換気方法 …… 8-23
　　4．2．3 移動式作業構台組立・搬入・設置計画 …… 8-23
5．適用にあたっての留意点 …… 8-26

参考資料
1．サイクルタイム試算例 …… 8-29
2．出願特許 …… 8-34

1．　工法の概要

πステージ工法は、車線の車両通行を可能にしながら既設トンネルを拡大構築する工法である。一般車両のトンネル内の交通確保を可能とした門型（π型）の移動式作業構台（自走式）と、分離移動が可能な移動構台（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る。

自走式の前方防護構台は掘削作業足場・切羽前方の防護の役割を、作業構台は機械待機場の役割として活用する。また、機械の搬出入として活用する搬出入構台があり、これら第３作業構台で構成されている。

本工法の概要を以下に示す。

① 移動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スライドセントル台車に転用することで、コスト縮減が可能である。

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。

④ トンネル内の交通の安全確保と、掘削機械等の作業足場を目的とした移動式作業構台を用いて、トンネル拡幅掘削を行う工法である。

⑤ 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い、比較的工期の短縮が図れる工法である。

⑥ 切羽前方は防護構台の既設トンネル挿入部により防護し、ずりは下半切羽付近の手前に落とし、ダンプトラック等で搬出する。

⑦ トンネル拡幅掘削後に、移動式作業構台を転用して覆工型枠とし、覆工コンクリートを構築する。

⑧ 必要に応じて、車両防護設備（プロテクタ）の設置が可能である。

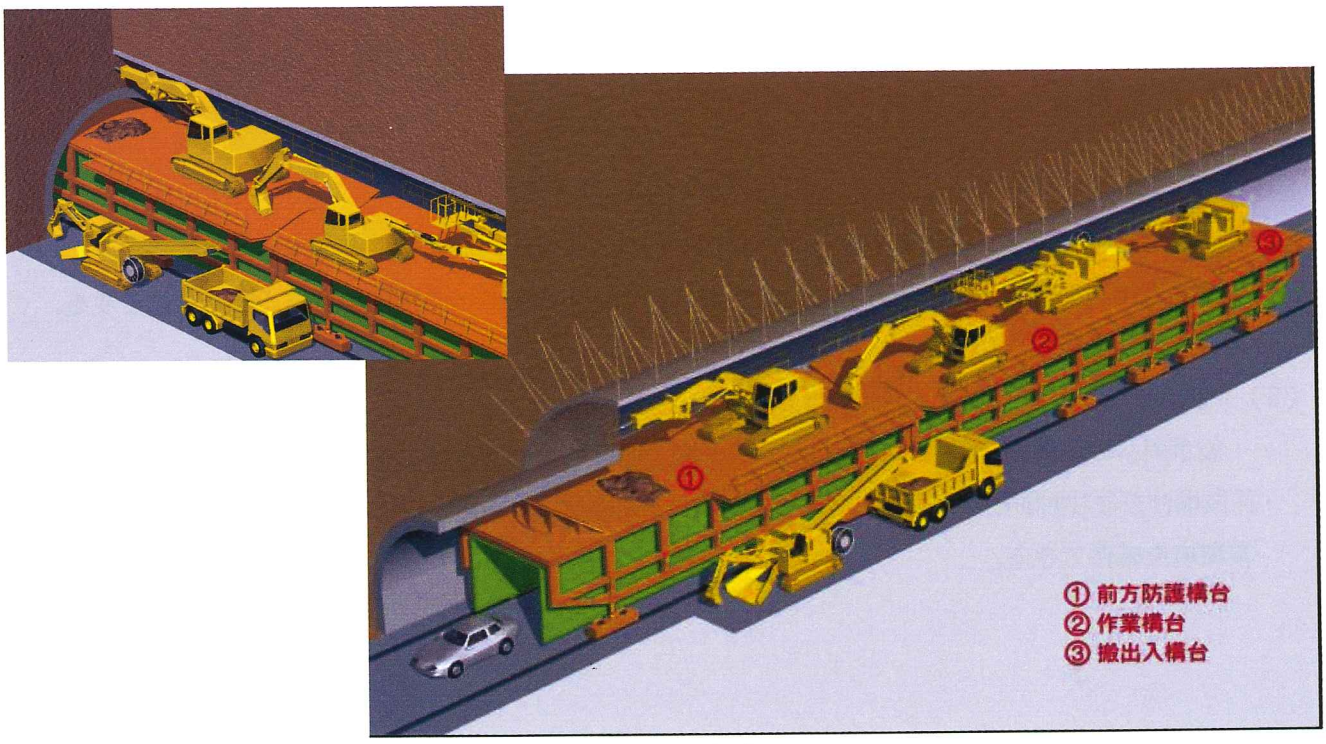


図-1.1　工法概念図

２．工法の特徴

本工法は、一連の門型（π型）の作業構台内は一般車両の通行スペースを確保しながら、既設のトンネルを拡大掘削する工法であり、従来工法に比べて以下の特徴がある。

（1）交通の確保

・既設トンネル断面の大きさにより、一般車両交通を確保しながら、拡大掘削ができる。
・前方防護台車・作業構台・搬出入構台は、坑外で組立するため、一時的な交通止めは比較的短い。
・簡易プロテクタの設置･撤去がないため、交通止め時間が少なく、一般車両交通への影響を小さくできる。

（2）コスト縮減

・従来方式より、構台の転用などによりコスト縮減が可能である。
・工期の短縮が図れることにより、コストへの縮減効果がある。
・汎用的な機械を適用するため、機械のコストが従来工法と同程度である。

（3）工期短縮

・全断面で掘削することにより、比較的工期は短い。
・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。
・中折れ機構があるため、カーブ区間があるトンネル線形に対応可能であり、曲線区間を通常の作業期間内で掘削可能である。

（4）安全性

・作業区間を遮蔽することにより、一般車両は安全に通行ができる。
・切羽防護台車により、既設覆工取壊しおよび掘削時に走行車両および切羽の安全は確保できる。
・移動式搬出入構台および坑口付近の仮設構台により、作業構台への機械の搬出入は安全にできる。

（5）坑内環境

・一般車両への坑内環境は、作業範囲をシート等で囲うことにより悪化防止できる。
・作業構台を含む掘削作業範囲内に換気設備を設けることで、坑外から新鮮な空気で換気でき、良好な作業環境を確保できる。

3．設計

3．1　適用条件

3．1．1　適用可能な既設トンネルおよび新設トンネルの規模

（1）既設トンネルの規模

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既設トンネル内にプロテクタを設置する必要がある。検討に際しては、既設トンネルの大きさを最低６m の幅を有するトンネルとし、一般車両用に内空幅４m、高さ４m の内空断面を確保することとした。図-3.1.1 に検討した既設トンネル断面を示す。

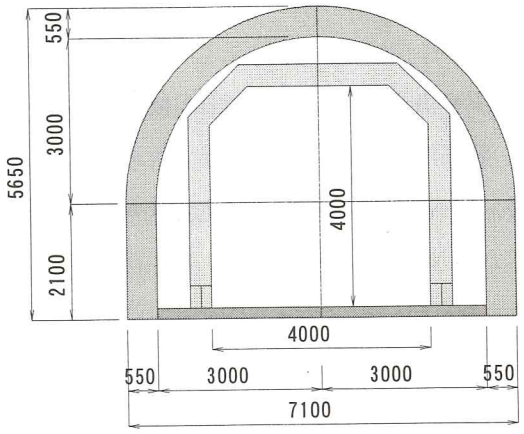


図-3.1.1 検討した６m幅のトンネル断面

（2）新設トンネルの規模

新設トンネルは、３種４級の規格のトンネルを対象とした。なお、３種４級以上のトンネル（内空幅の大きなトンネル）についても、施工可能である。図-3.1.2 に新設トンネル断面を示す。

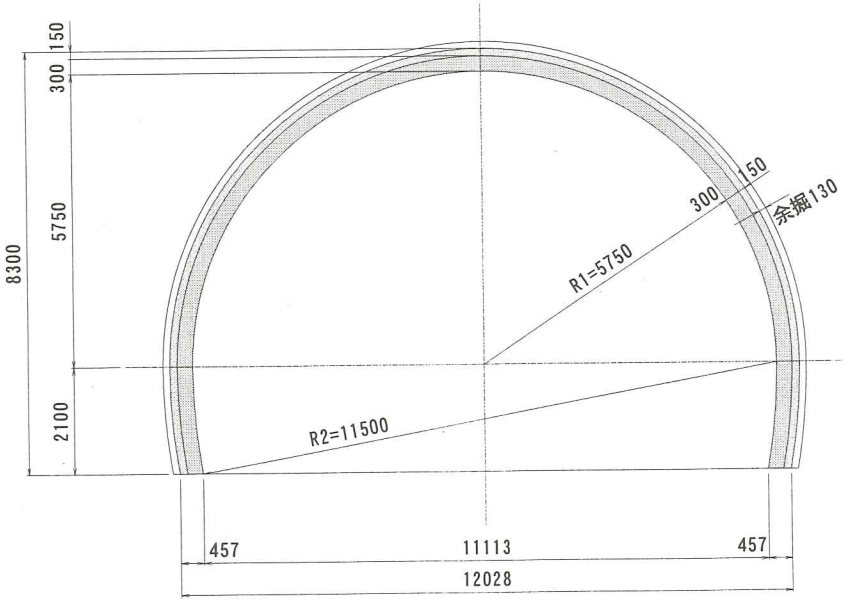


図-3.1.2 新設トンネル断面（３種４級）

３．１．２　トンネル延長

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延長についても施工は可能である。

３．１．３　地山条件

本工法の対象とするのは、機械掘削を前提とした軟岩地山とする。

３．２　設計

３．２．１　πステージ工法

πステージ工法は前方防護構台と作業構台、ならびに搬出入構台（以上、３台の構台を移動式構台と称する）を用いて掘削・支保作業を行い、最後部にあるシート台車で防水シートを設置する施工システムである。

図-3.2.1 に移動式構台の正面図、図-3.2.2 に平面図・側面図を示す。

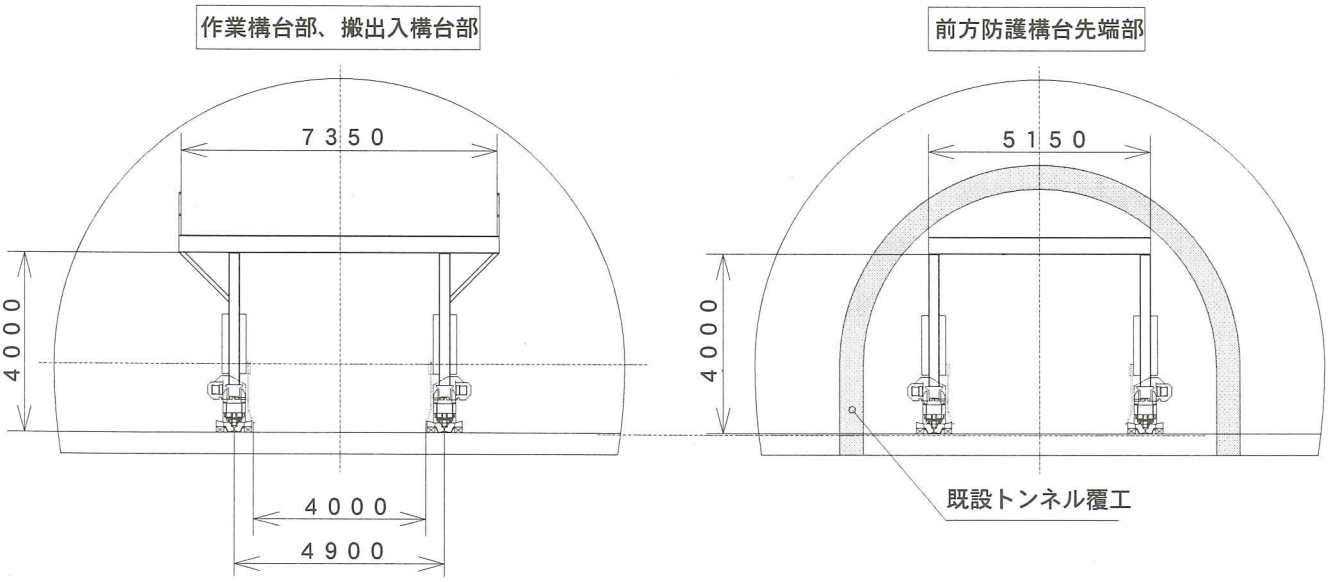


図-3.2.1　移動式構台の正面図

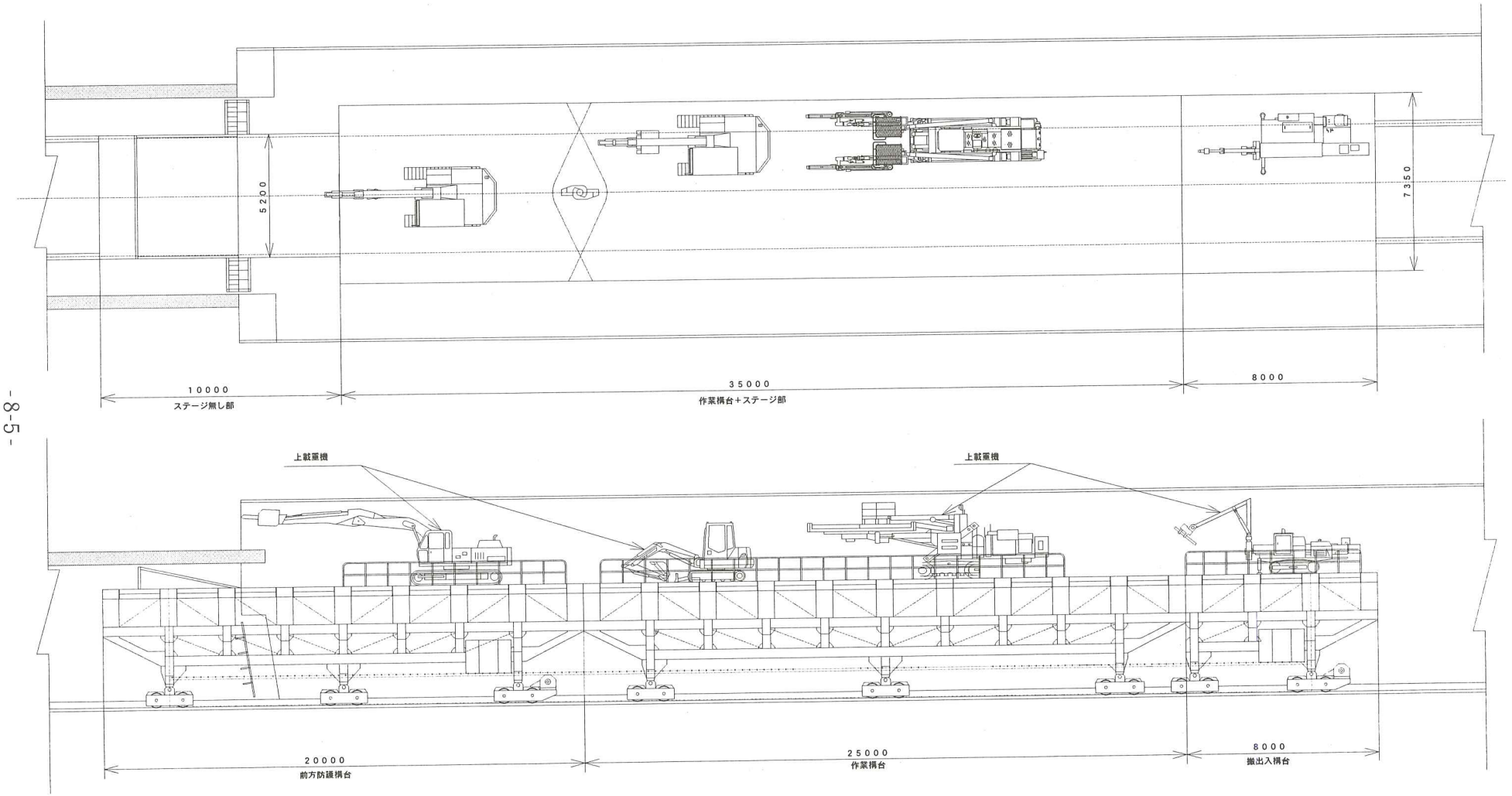


図-3.2.2　移動式構台の平面図・側面図

（1）移動式構台の構造

1）前方防護構台

前方防護構台はステージ部とステージ無し部に分けられる。ステージ部は工事用重機が実際に作業を行う場所であり、ステージ無し部については既設トンネル下部に位置し、拡幅掘削時の掘削ずり、および既設覆工コンクリートガラから構台内部を通過中の一般車両を防護するものである。

また、拡幅工事で生じる粉塵や使用水、油脂類が車両通行空間に入らない構造ともなっている。

油圧駆動レール方式の走行装置を装備しており、機体後方の作業構台を牽引しながら走行することができる。

図-3.2.3 に前方防護構台の平面図・側面図を示す。

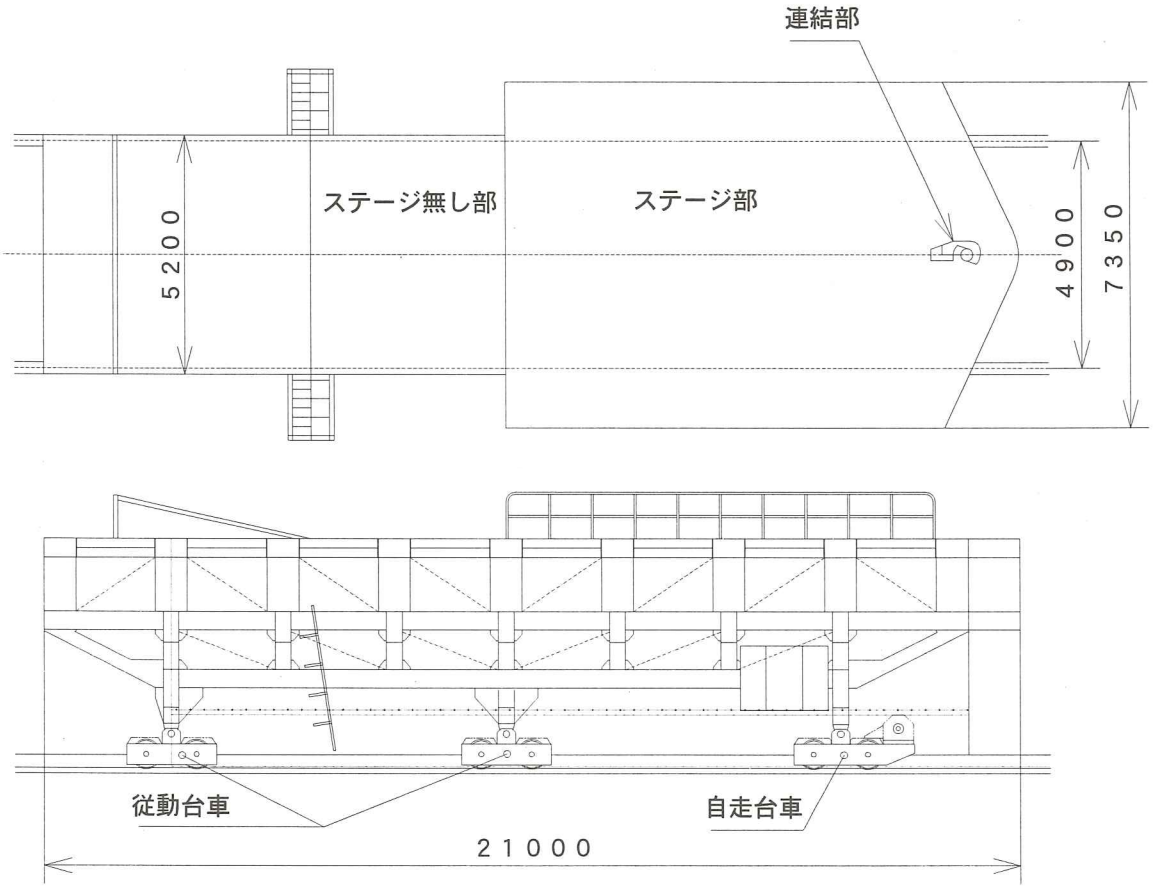


図-3.2.3　前方防護構台の平面図・側面図

2）作業構台

作業構台は前項の前方防護構台上にて作業する重機の待機・離合場所、および資機材の仮置き場として使用する。また、前方防護構台と同様に工事で生じる粉塵や使用水、油脂類が内部空間内に入らない構造ともなっている。

なお、前方防護構台と作業構台の連結部はヒンジ構造であり、この部位にて構台を曲げることにより曲線

部の拡幅にも対応可能である。

走行装置は装備しておらず、前方防護構台に牽引されることにより、走行レール上を従動する。

図-3.2.4 に作業構台の平面図・側面図を示す。

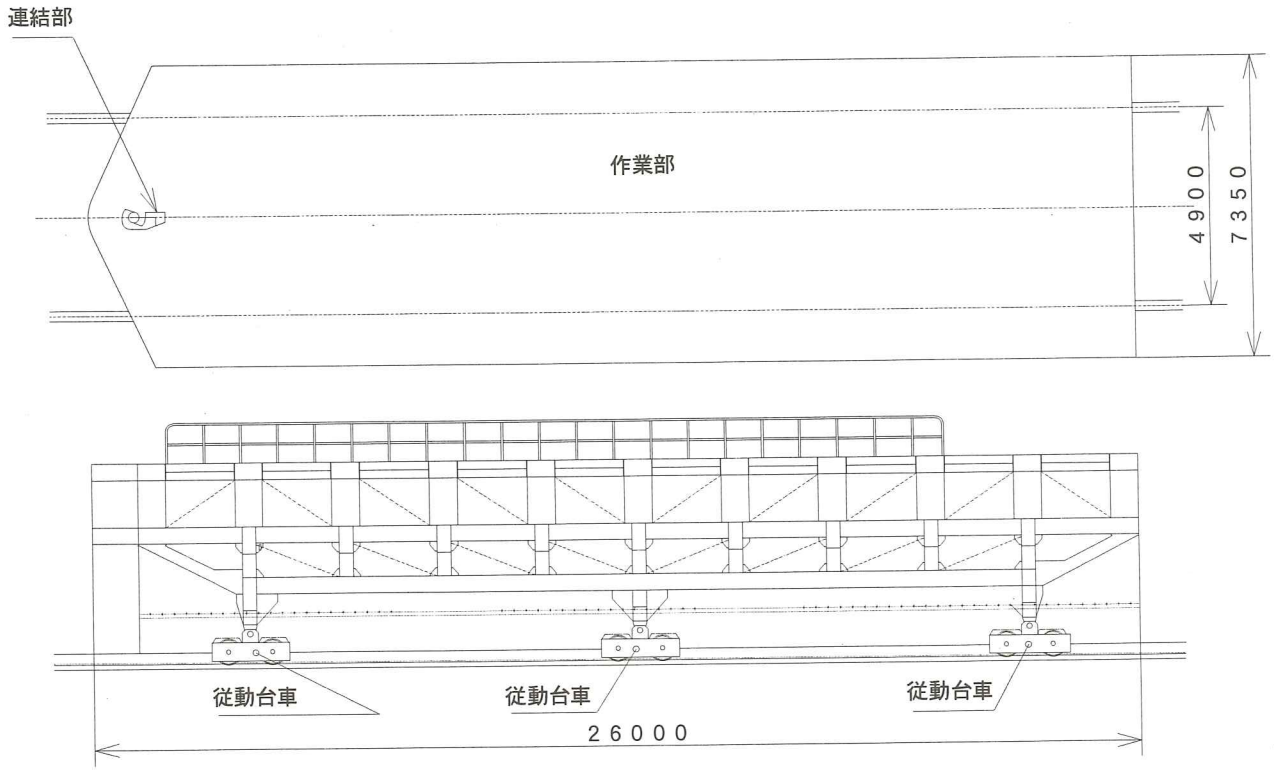


図-3.2.4　作業構台の平面図・側面図

3）搬出入構台

搬出入構台は構台上にて作業する重機の入れ替え時に使用するものであり、必要に応じて作業エリアと坑口間を移動し、作業をスムーズに進めるためのものである。

油圧駆動レール方式の走行装置を装備しており、作業エリア～坑口間を迅速に走行することができる。

図-3.2.5 に搬出入構台の平面図・側面図を示す。

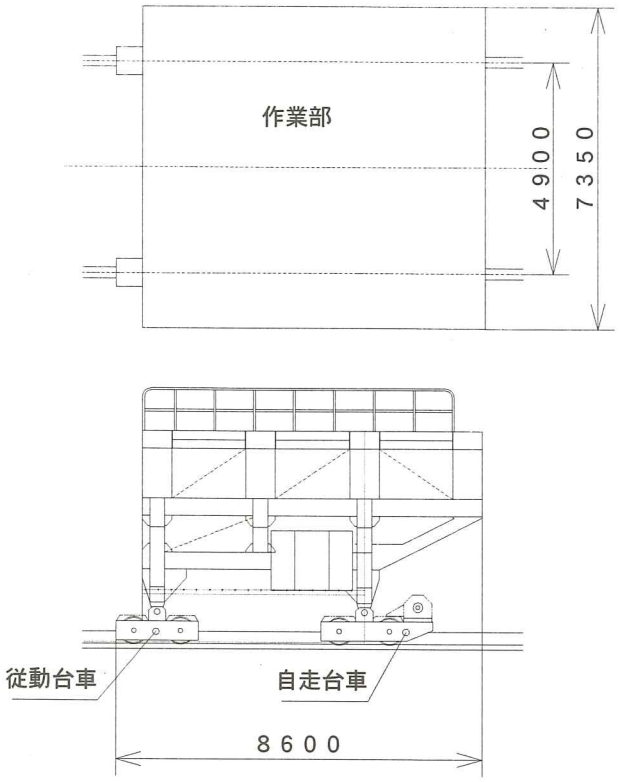


図-3.2.5　搬出入構台の平面図・側面図

（2）移動式構台の主要仕様

表-3.2.1 に移動式構台の主要仕様を示す。

表-3.2.1　移動式構台の主要仕様

主　要　仕　様			
	前方防護構台	作業構台	搬出入構台
全　　長	21.0m	26.0m	8.6m
全　　幅	7.35m	7.35m	7.35m
全　　高	5.6m	5.6m	5.6m
全備質量	140ton	140ton	80ton
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	2m/min	－	5m/min
機関出力	75kW	－	75kW
電源電圧	400/440V-50/60Hz	－	400/440V-50/60Hz
奨電源用量	200kVA 以上	－	200kVA 以上
上載荷重	約 40ton	約 100ton	約 40ton

4．施工

4．1　施工フローおよび手順

4．1．1　施工フローおよび手順

施工は、当該地の地形・地質状況、周辺環境条件、施工条件および既設トンネルの状態等による異なるが、以下の施工フローを基本とする。図-4.1.1 に施工イメージ図を示す。

①　準　備　工	：ヤード造成、工事用仮設備設置、トンネル内設備の撤去・移設を行う。
⇩	
②　事　前　補　強　工	：必要に応じて既設覆工の補強や路盤の不陸整正を行う。
⇩	
③ 坑 口 仮 桟 橋 設 置	：坑口に仮桟橋を組み立てる。レールを敷設する。
⇩	
④移動式作業構台組立・設置	：場外ヤードで仮組した構台を運搬し、坑口に設置する。
⇩	
⑤　坑　口　付　け	：必要に応じて適切な補助工法を採用する。
⇩	
⑥ 拡 大 掘 削 ・ 防 水 工	：補助ベンチ付き全断面掘削を基本とする。作業構台後方のシート台車を用いて防水シートを展張する。
⇩	
⑦移動式作業構台改良・補強	：拡大掘削後、坑外にて移動式作業構台を改良・補強し、スライドセントルに転用する。
⇩	
⑧覆工コンクリート工	：覆工完了後、移動式作業構台および仮桟橋の解体・撤去を行う。
⇩	
⑨排水工・インバート工	：片側交互で施工する。
⇩	
⑩ 舗 装 工 ・ 附 帯 工	：片側交互で施工する。
⇩	
⑪　片　付　け　工	：トンネル内設備の設置・復旧を行う。

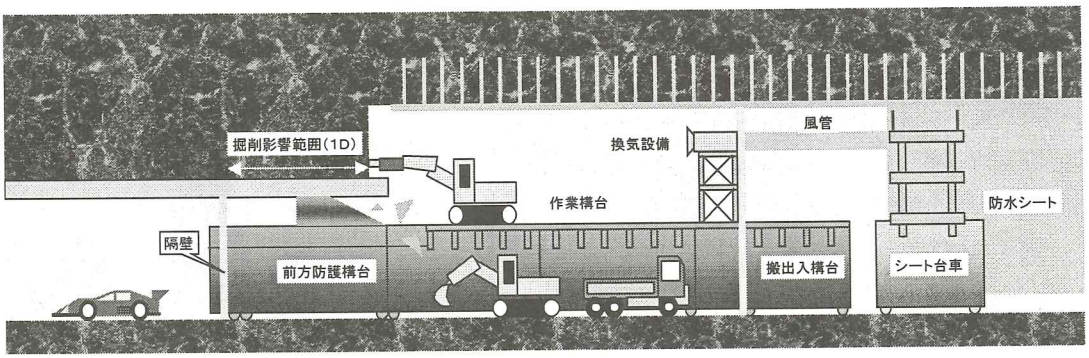


図-4.1.1　拡大掘削施工イメージ図

各工種ごとの基本的な作業内容および留意点を示す。

（1）準備工

【作業内容】

・「4.2　仮設計画」に示すような作業ヤードの造成や仮設備および目隠し柵等を設置する。

・トンネル内設備やライフライン等の撤去・切り回しを行う。

【留意点】

・作業ヤードの計画にあたっては、当該地の地形状況、周辺環境条件および施工条件を踏まえ、詳細検討を行う必要がある。

・既設トンネル内の安全設備の撤去に伴い、仮設照明や安全設備等を設ける計画が必要である。

・作業構台下を通行できない大型車両等を事前に迂回させるため、警告標識やチェックバー等を適切な箇所に計画する必要がある。

（2）事前補強工

【作業内容】

・既設トンネルの状況により覆工表面の被覆、裏込注入工、ロックボルト補強工等の事前補強を行う。

・レール敷設箇所の路盤状況によっては、不陸整正や路盤補強を行う。

・事前補強工の施工は、道路センターに隔壁を設け、片側交互施工とする。

【留意点】

・工事着手前には既設覆工の状態を調査し、適切な対策工を実施する必要がある。

・事前補強工の施工にあたっては、交通誘導方法や安全対策等を計画する必要がある。

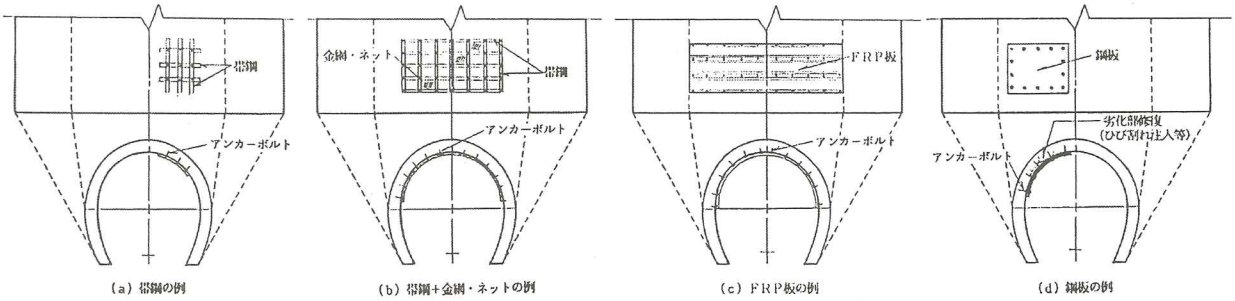


図-4.1.2　覆工表面の被覆対策例

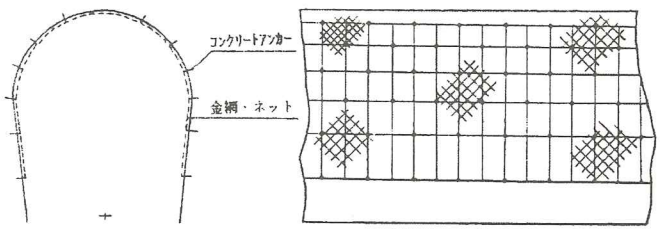


図-4.1.3　防護ネットの施工例

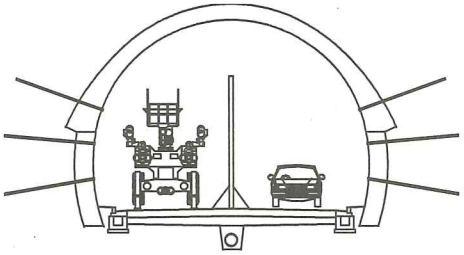
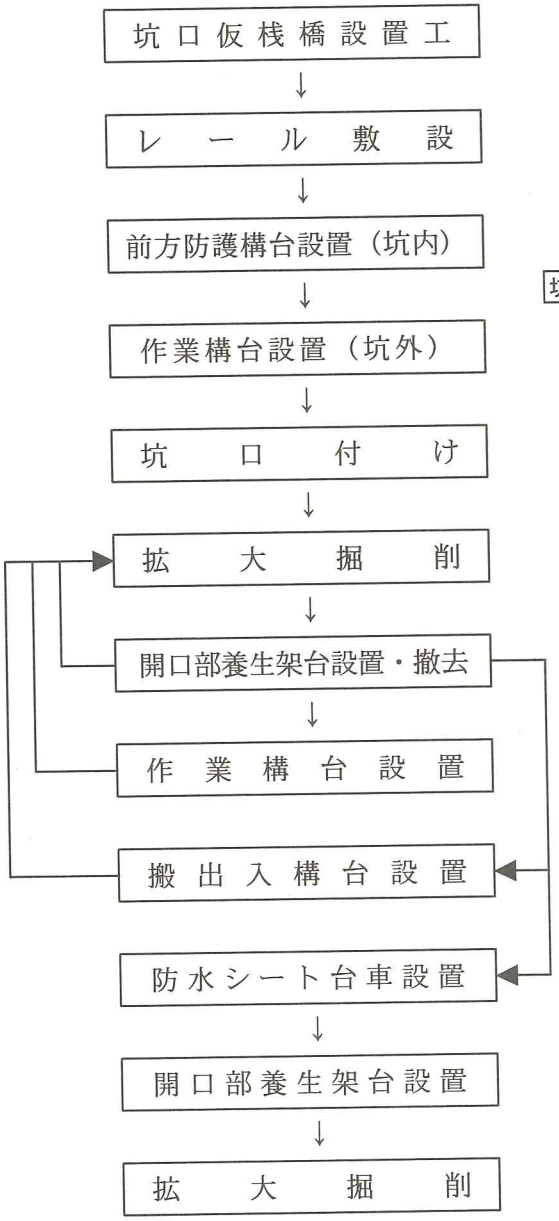


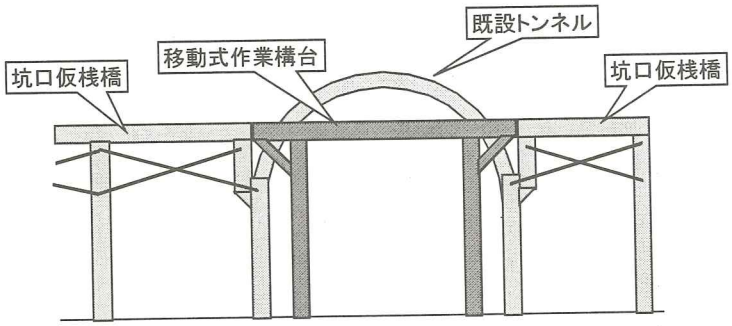
図-4.1.4　ロックボルト補強工施工例

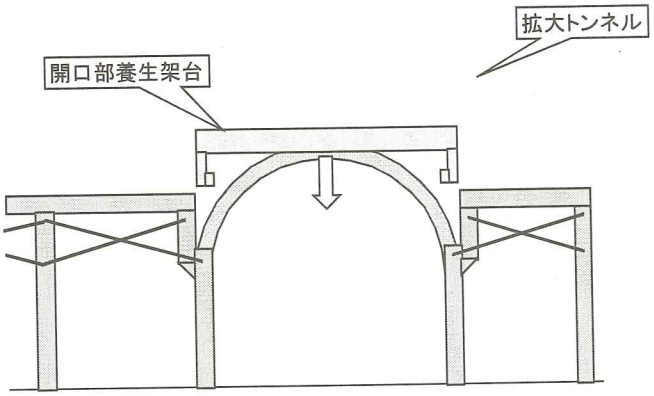
（3）坑口仮桟橋設置、移動式作業構台組立・設置、坑口付け

【作業内容】

・坑口仮桟橋設置工～坑口付けの施工フローは以下のとおりである。図-4.1.5～図-4.1.8 に坑口部の施工手順（例）を示す。なお、同図は斜路を使用して仮設架台上に昇降する場合のものである。







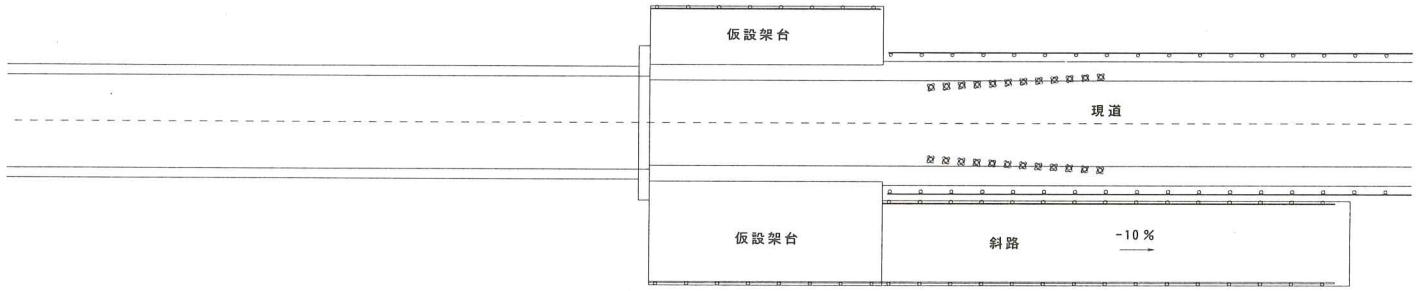
【留意点】

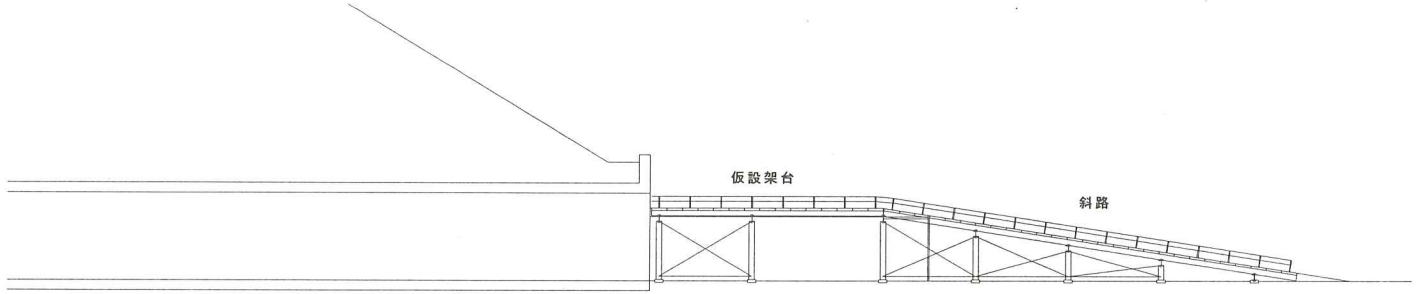
・坑口仮桟橋の構造設計にあたっては、当該地の地形状況、周辺環境条件および施工条件を考慮する必要がある。

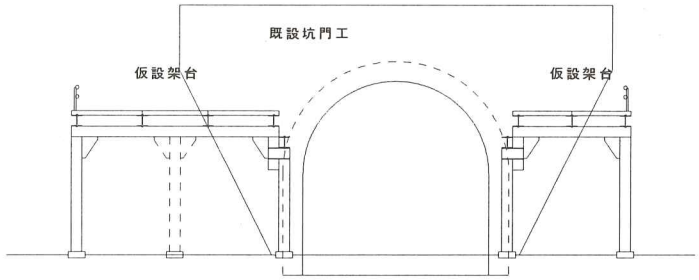
・移動式作業構台は数ブロック毎場外ヤードで仮組し運搬する計画であるが、ブロック延長や運搬車等を検討する必要がある。

・坑口付けにあたっては、当該地の地形・地質状況、周辺環境条件および施工条件を考慮して、適切な補助工法を採用する。

・坑口部仮設備







①坑口作業ヤード整備
②坑口仮設架台および斜路設置

＜坑口付け方法＞
・坑口位置の変更（坑内方向へ）・・・切土、のり面補強工
・坑口位置の変更（坑外方向へ）・・・明り巻き、盛土、抱き擁壁
・坑口位置の変更なし・・・現坑口上部に盛土、擬似地山、エアモル

図-4.1.5　坑口部施工手順例①

・トンネル掘削準備

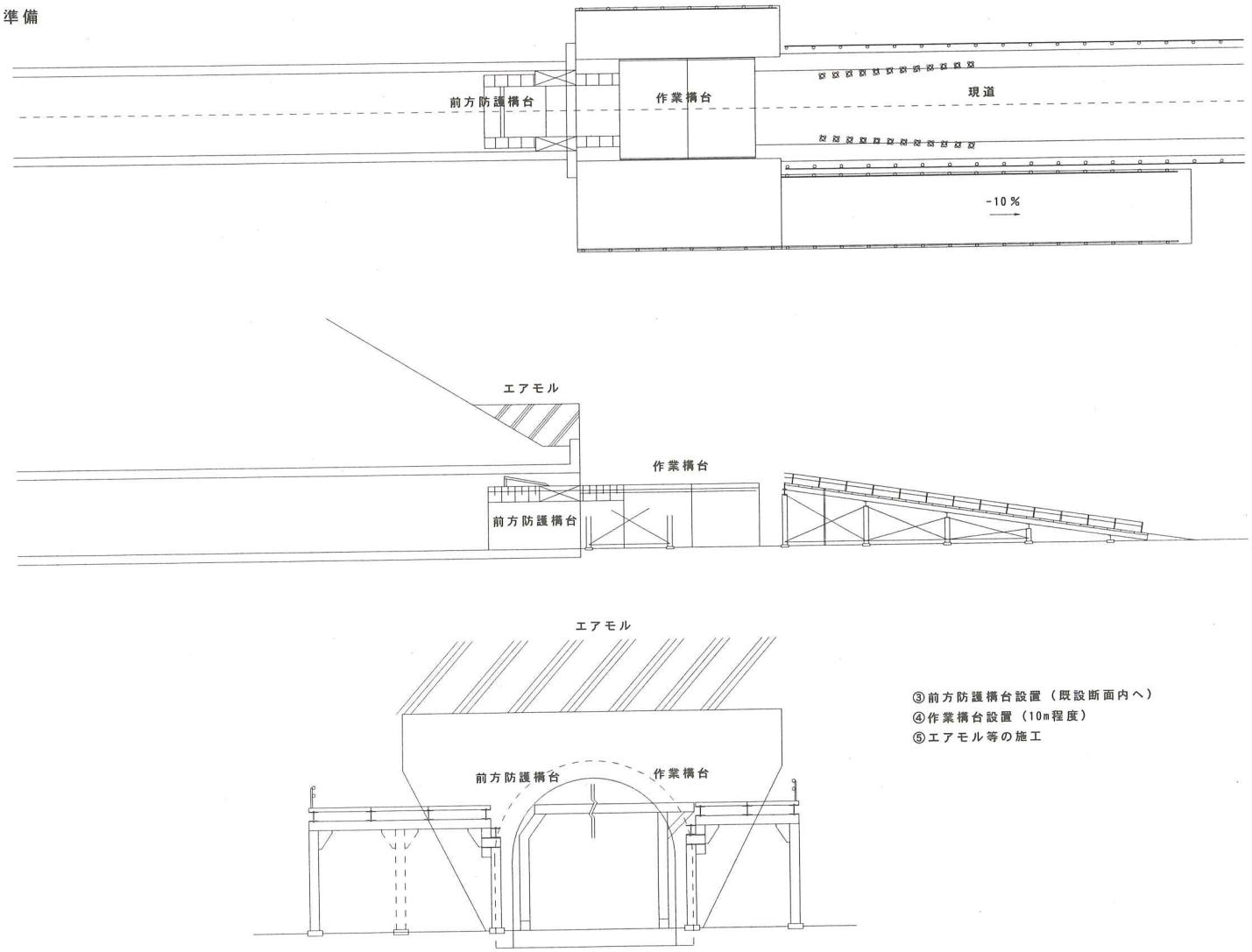


図-4.1.6　坑口部施工手順例②

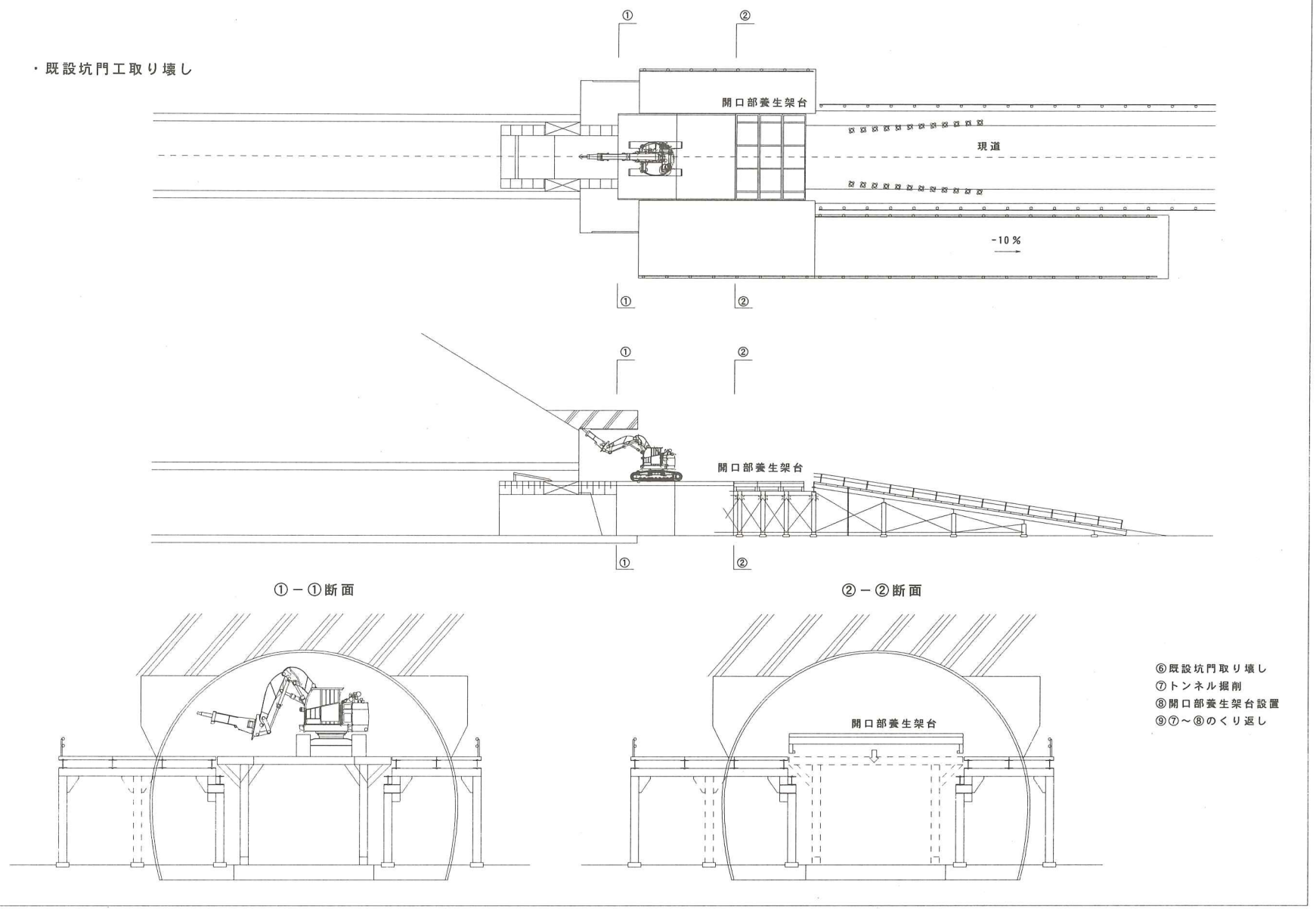
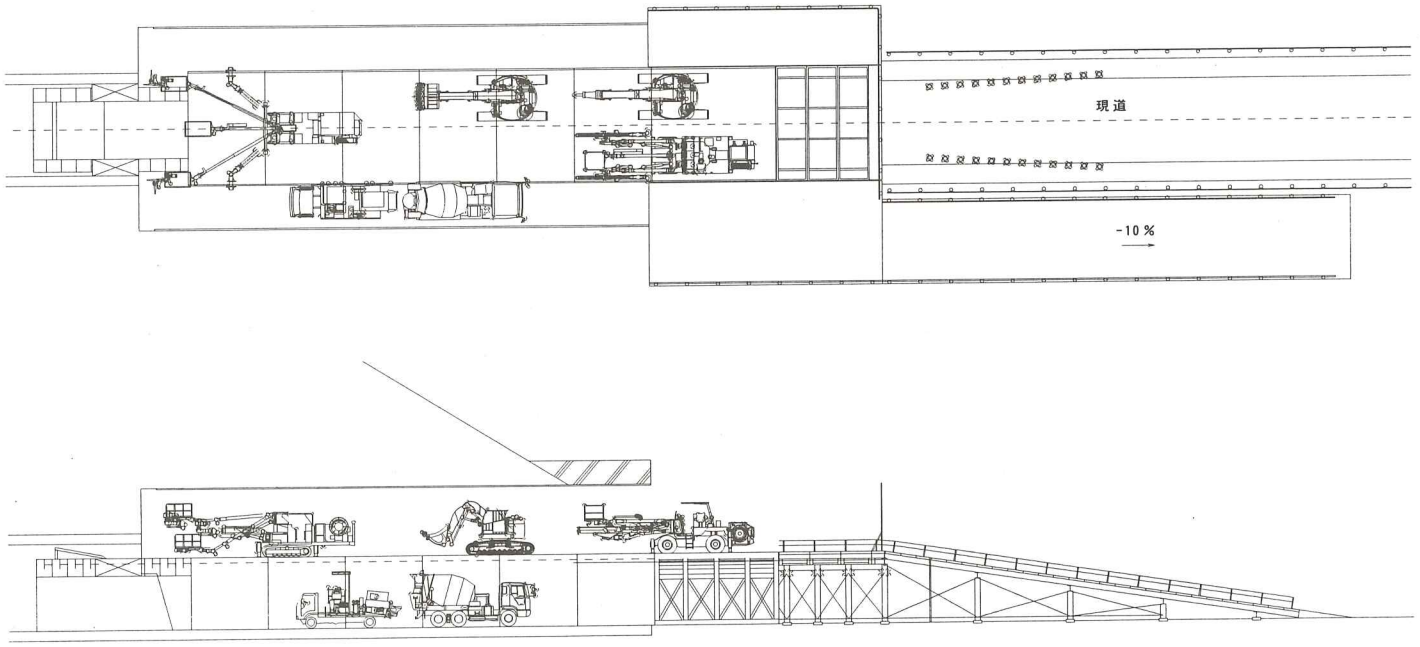


図-4.1.7　坑口部施工手順例③

・トンネル掘削



⑩開口部養生架台撤去
⑪作業構台設置（5～10m程度）
⑫⑦～⑪のくり返し
⑬搬出入構台スペース以外の開口部の養生
⑭目隠し柵、送風機設置

図-4.1.8　坑口部施工手順例④

（4）拡大掘削・防水工

【作業内容】

・拡大掘削の施工フローは以下のとおりである。

・編成人員は、上部掘削１編成、下部掘削２編成とする。

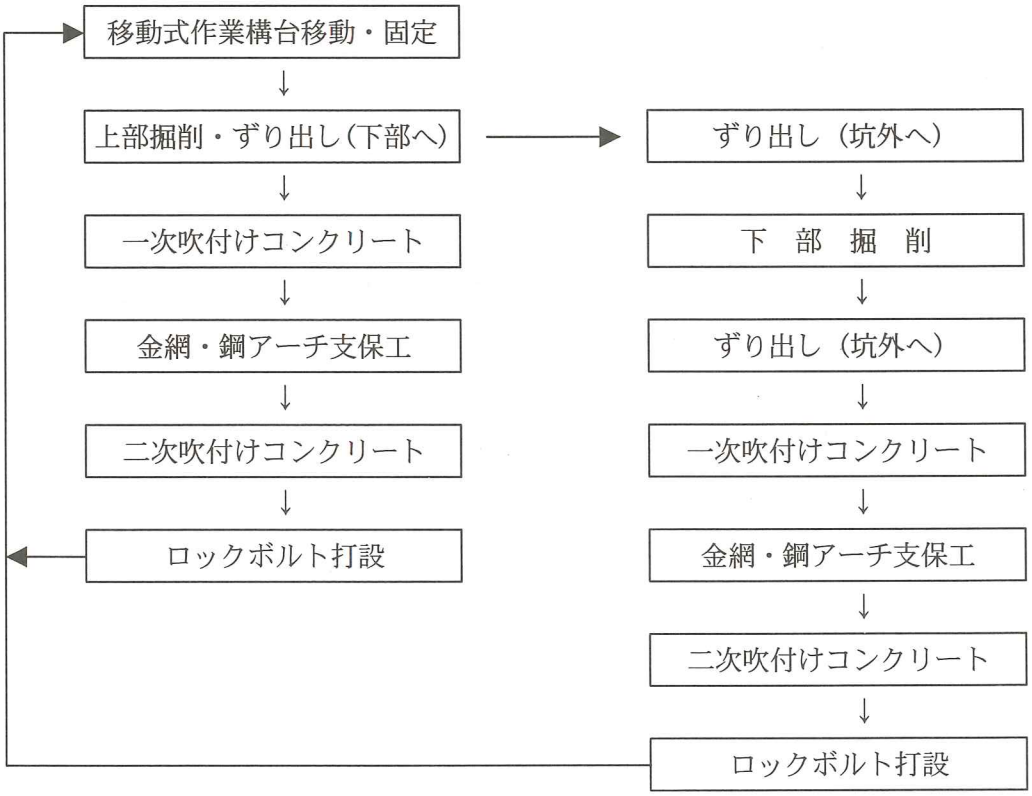
・加背割りの例を図-4.1.9 に示す。

・上部掘削用機械は移動式作用構台上に常駐し、下部掘削用機械は各作業工程毎に入替を行う。

・上部掘削ずりは下部切羽に落とし、下部よりダンプトラックでずり出しを行う。

・ずり出しや生コンクリート等の材料の運搬は、図-4.1.10 に示すように移動式作業構台後方より供用車線に合流し、搬出入する。

・移動式作業構台後方で防水シートを展張する。



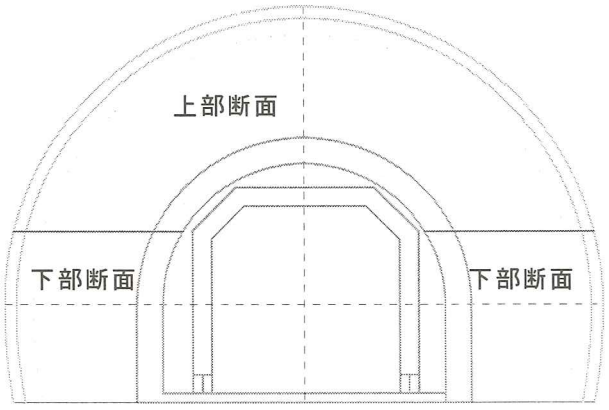


図-4.1.9　加背割り図

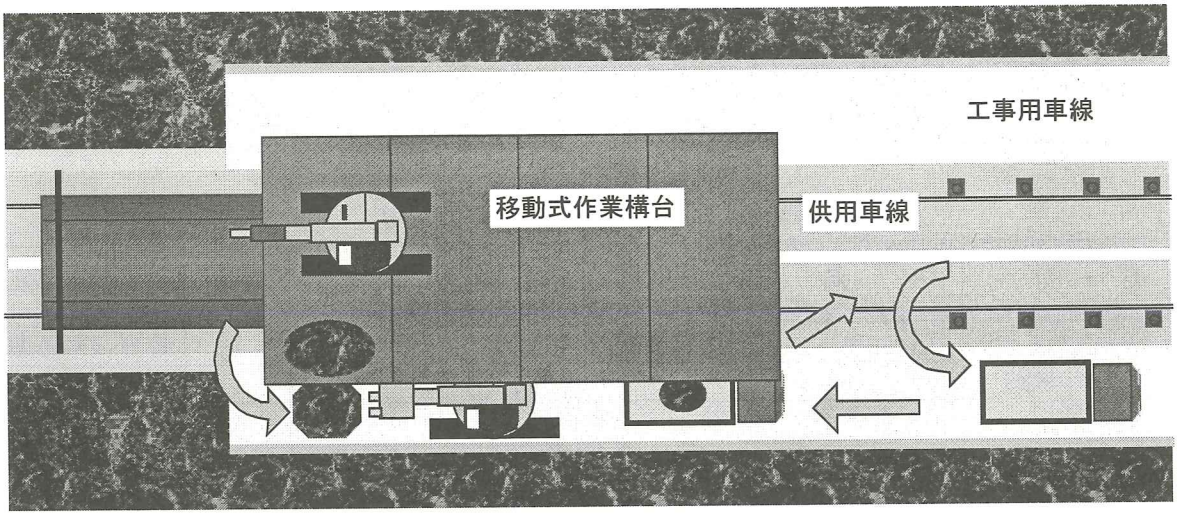


図-4.1.10　ずり出しイメージ図

【留意点】

・加背割りはサイクルに大きく影響するため、機械能力や作業範囲等を考慮して決定する必要がある。

・作業構台後方の供用車線との合流部では、レールを横断することになるので、適切な養生方法を行う。

・頻繁にダンプの出入りがあるずり出し時には、交通規制等を検討する。

・移動式作業構台の前後にカーテン等の隔壁を設け、換気効率の向上を図る必要がある。

・シート張台車には、飛来落下防止処置を設ける。

（5）移動式作業構台改良・補強、覆工コンクリート工

【作業内容】

・拡大掘削完了後、坑口仮桟橋を解体・撤去する。

・移動式作業構台の数ブロックを改良・補強し、セントルのガントリ部に転用する。

・覆工コンクリートを打設する。

【留意点】

・移動式作業構台をスライドセントルに転用するにあたっては、所定の強度が得られるような改良・補強が必要である。

（6）排水工・インバート工、舗装工・附帯工、片付け工

【作業内容】

・交互施工によりインバート工、排水工、舗装工等を行う。

・トンネル内の設備やライフライン等の設置・復旧を行う。

【留意点】

・インバート掘削時の土留め等の検討が必要である。

・目隠し柵等の安全対策が必要である。

４．１．２　主要使用機械

表-4.1.1 に主要使用機械の例を示す。また、図-4.1.11 に上部作業時の機械配置（例）を、図-4.1.12 に下部作業時の機械配置（例）を示す。

表-4.1.1　主要使用機械一覧（例）

区　　分	名　　称	仕様・規格	単位	数量	備　　考
トンネル掘削（上部）	ブレーカ	1800kg 級	台	1	排ガス対応型
	ローディングショベル	1.8m³ 級	台	1	排ガス対応型
	エレクタージャンボ	吹付けノズル付	台	1	
	油圧ジャンボ	２ブーム	台	1	補助工法時
トンネル掘削（下部）	ブレーカ	1300kg 級	台	2	排ガス対応型
	エレクタージャンボ	吹付けノズル付	台	2	
ずり運搬（下部から坑外へ）	ずり積機	ｸﾛｰﾗ式ﾊﾞｯｸﾎｳ型	台	2	（ＢＨでも可）
	ダンプトラック	黒煙浄化装置付	台	n	
吹付けコンクリート	エレクタージャンボ	吹付けノズル付	台	3	掘削と兼用
	トラックミキサ	黒煙浄化装置付	台	n	
ロックボルト	油圧ジャンボ	２ブーム	台	1	掘削と兼用
	クローラドリル	１ブーム	台	2	
	モルタル注入機		台	2	
覆　　工	シート張台車		基	1	
	スライドセントル	移動構台転用	基	1	
	ポンプ車		台	1	
その他	移動式作業構台		基	1	
	換気設備	排気式	基	1	

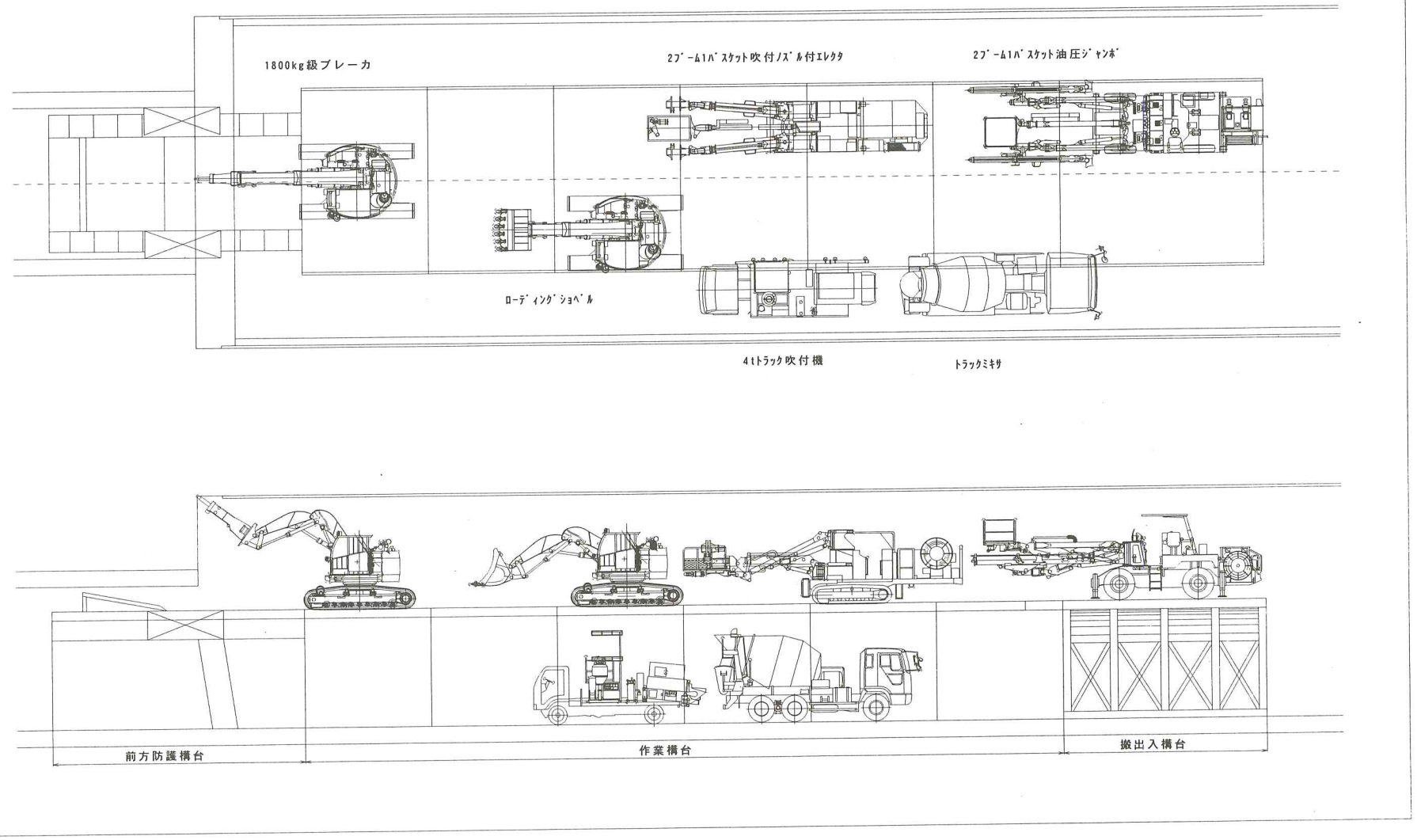
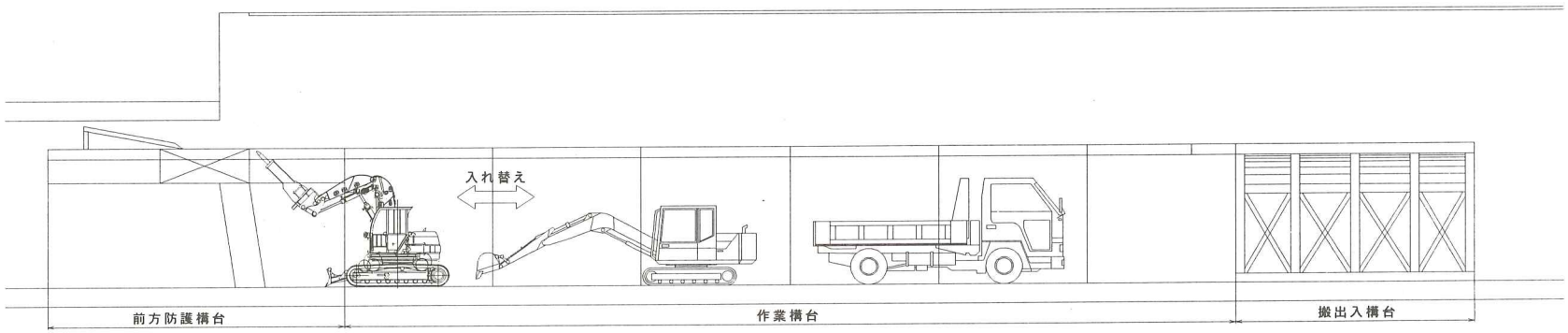


図-4.1.11　上部作業　機械配置図（例）

①下部作業（掘削）　1300kg級ブレーカ＋バックホウ＋４ｔダンプトラック



②下部作業（掘削）　ブレーカ付きずり積機(ｸﾛｰﾗ式ﾊﾞｯｸﾎｳ型)＋４ｔダンプトラック

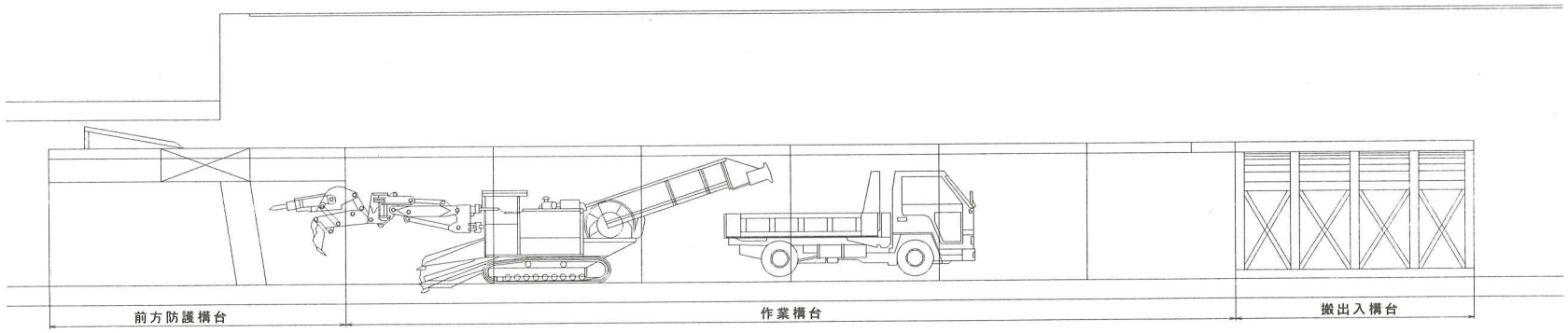


図-4.1.12　下部作業　機械配置図（例）

４．２　仮設計画

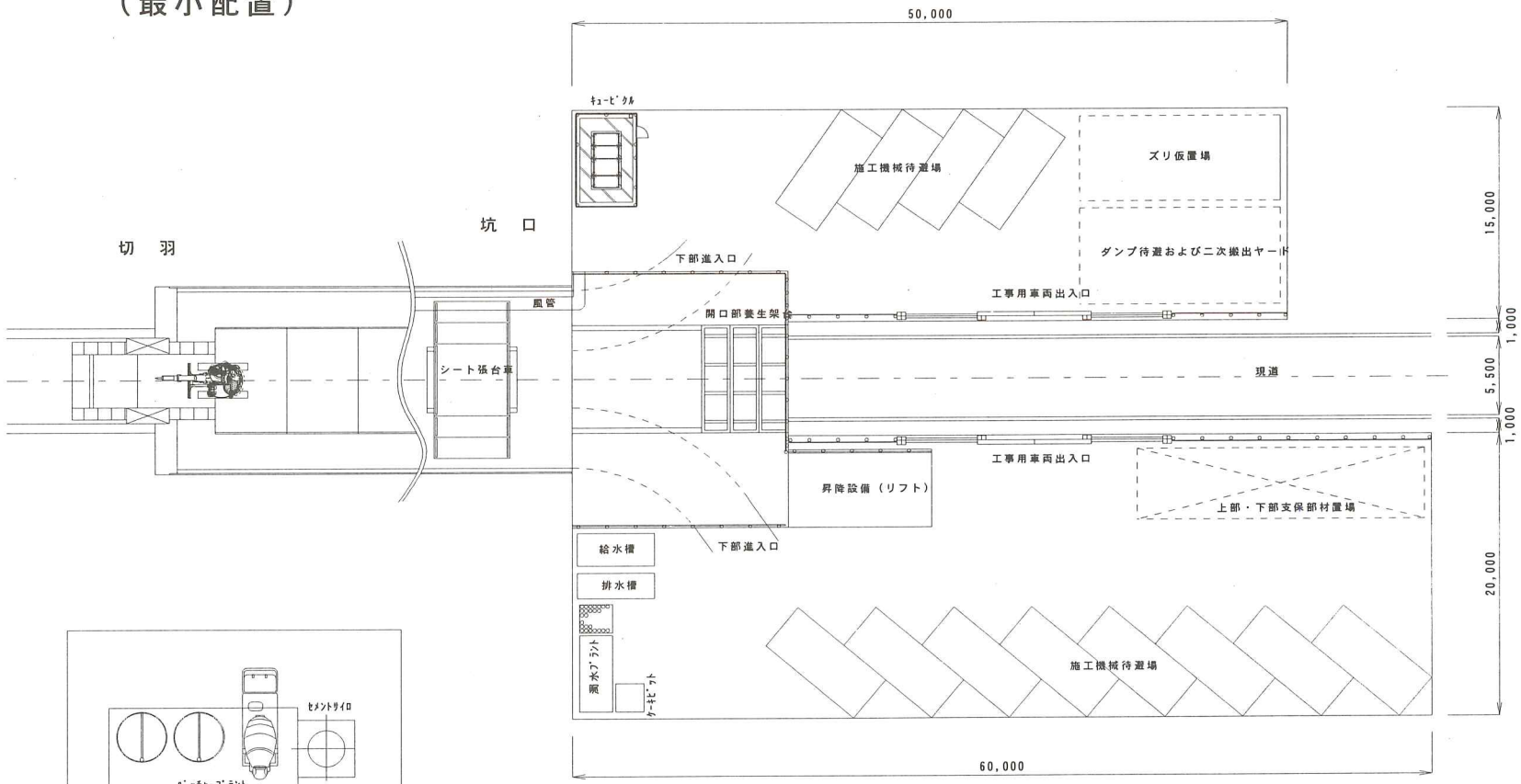
仮設計画にあたっては、当該地の地形状況、周辺環境条件、施工条件等を考慮して、現地に適した計画を立案する必要があるが、ここでは、各仮設備の一例を示す。

４．２．１　仮設備配置図

仮設備には、一般的な受電設備、給水設備、換気設備、バッチャープラント、濁水処理設備、照明設備、資材置き場、ずり置き場、現場詰所・修理場、防音壁・目隠し柵等のほかに、坑口仮設桟橋や昇降設備（リフト式あるいは斜路）が必要である。図-4.2.1 に仮設備最小配置図（例）を示す。

本工法は、全断面掘削のため、坑口両サイドに仮設ヤードが必要となる。掘削ずりは、ずり置き場に一次運搬し、坑外へ二次運搬する積替方式を採用している。なお、バッチャープラントや現場詰所等は、敷地外に計画している。

坑口部仮設備配置図
（最小配置）



使用機械一覧（掘削初期）

（上部掘削機械）
- ブレーカ；１台
- ローディングショベル；１台
- エレクタージャンボ(吹付けノズル付)；１台
- ドリルジャンボ；１台

（下部掘削機械）
- ずり積機(ｸﾛｰﾗ式ﾊﾞｯｸﾎｳ型)(ﾌﾞﾚｰｶ付)；２台
- エレクタージャンボ(吹付けノズル付)；２台
- クローラドリル；２台

（上部・下部共通機械）
- ダンプトラック；適宜
- モルタル注入台車；１台
- 資材運搬台車；１台

図-4.2.1　坑口部仮設備配置図（例）

４．２．２　換気方法

移動式作業構台は、拡幅施工時に生じる粉じんや使用水、油脂類が車両通行空間に入らないような構造としている。また、移動式作業構台前後に隔壁を設けて構台上の排気式換気設備により良好な作業環境の確保に努めている。

４．２．３　移動式作業構台組立・搬入・設置計画

移動式作業構台は、延長 8.6～26.0m の３ブロックからなり、現段階ではこれ以上の小ブロック化は困難である。重量も約 140t/ブロックあり、トレーラ等での運搬も困難である。したがって、移動式作業構台の組立・搬入方法としては、坑口周辺で移動式作業構台を組み立てて、坑内へ移動する方法が考えられる。移動式作業構台の組立位置と現況道路との関係には、図-4.2.2～図-4.2.4 に示す３パターンが考えられる。現場条件や周辺環境条件を考慮して、効率的で安全な方法を検討する必要がある。

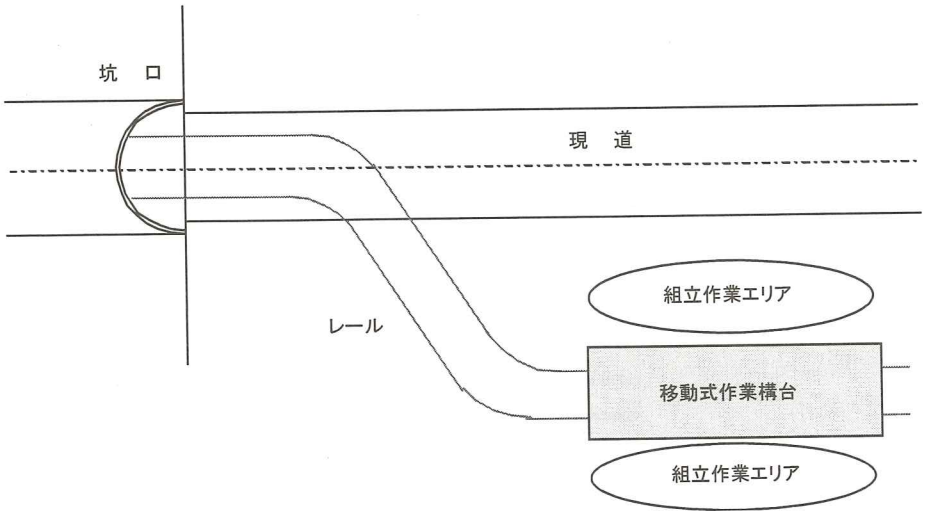


図-4.2.2　現道脇で組立・搬入する方法

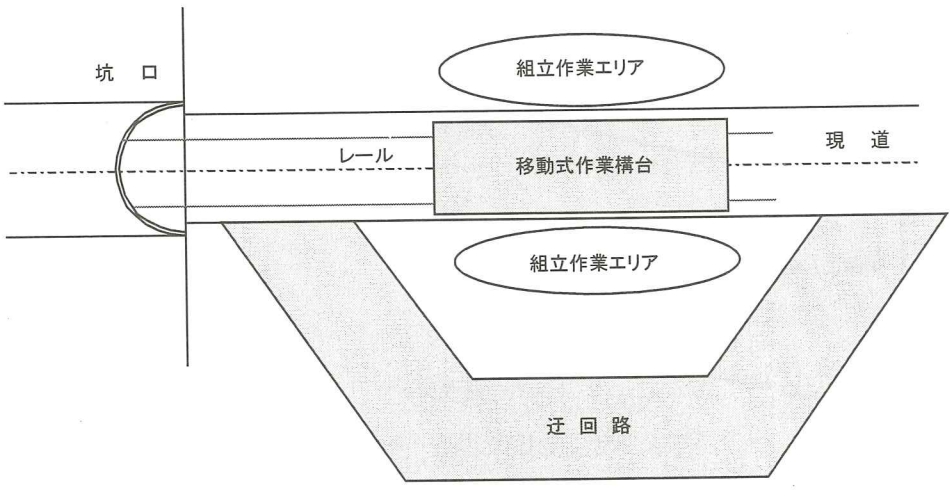


図-4.2.3　現道を迂回し、現道で組立・搬入する方法

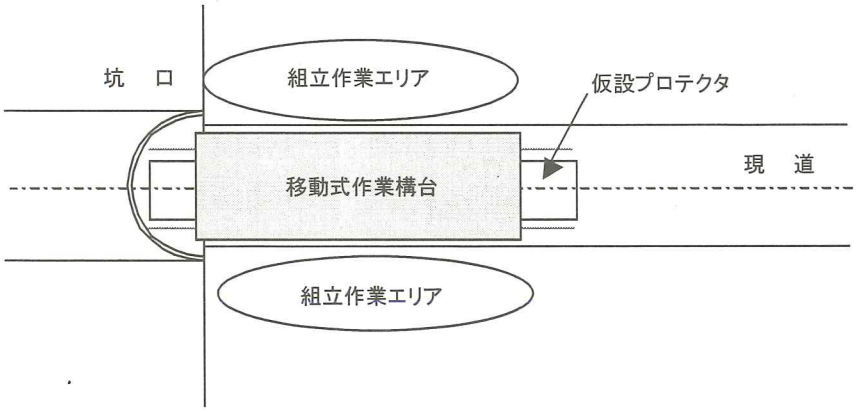


図-4.2.4　坑口の設置した仮設プロテクタ上で組み立てる方法

また、例として図-4.2.5 にトンネル延長 200m の場合の全体工程表を示すが、工事期間中は、ほぼ全工程で 1 車線規制である。移動式作業構台の搬出入は夜間に行うことを基本とするが、作業構台が坑口へ移動中は全面通行止めとする。全面通行止め期間は、作業構台搬入時で 5 日（夜間）、作業構台搬出時で 5 日（夜間）の計 10 日（夜間）を予定している。また、全面通行止めは、移動式作業構台の組立・搬入方法によって連日通行止めや隔日通行止めとなる。

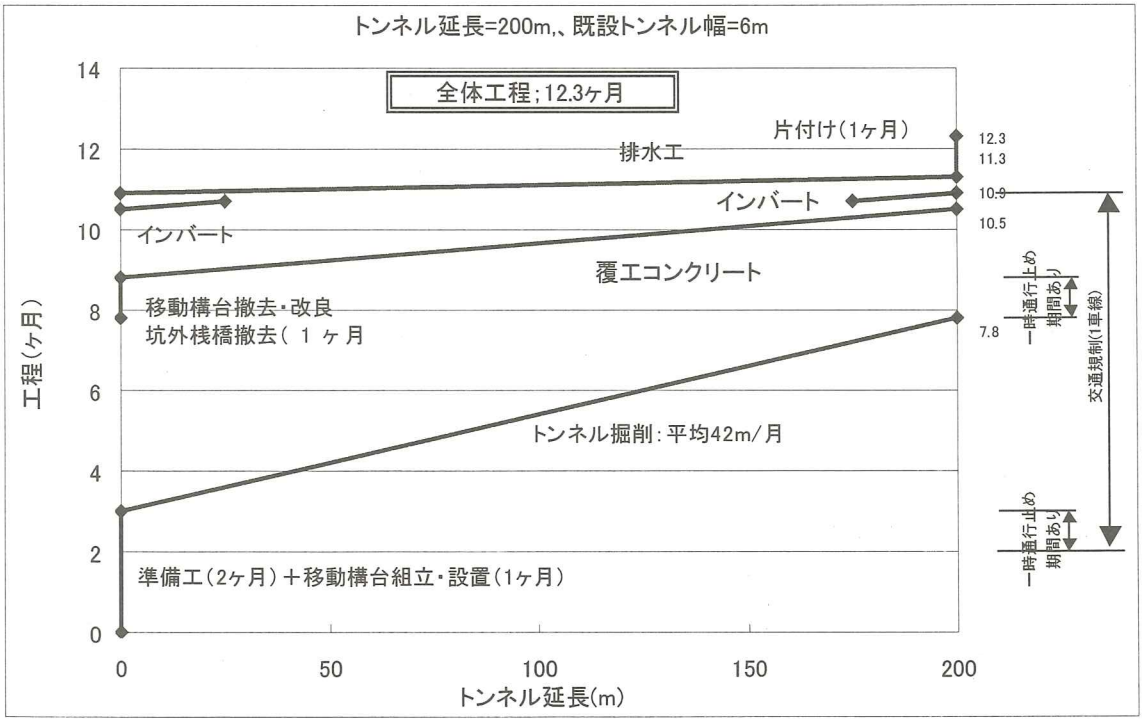


図-4.2.5　全体工程表（L=200m）の例

４．２．４　安全設備計画

本工法は、一般交通用に１車線を解放しているが、ずり出しや資材運搬等にも、この車線を利用するため、両坑口および移動式作業構台前後に交通誘導員を配置する１方４人体制で計画している。

安全設備としては、前出で説明があるように、一般的な警告標識や看板、チェックバー、照明、仮設信号機、非常用電話、交通先導車等がある。特に、チェックバーは、通行不可車両をUターンあるいは迂回できる場所に設けるよう留意する必要がある。

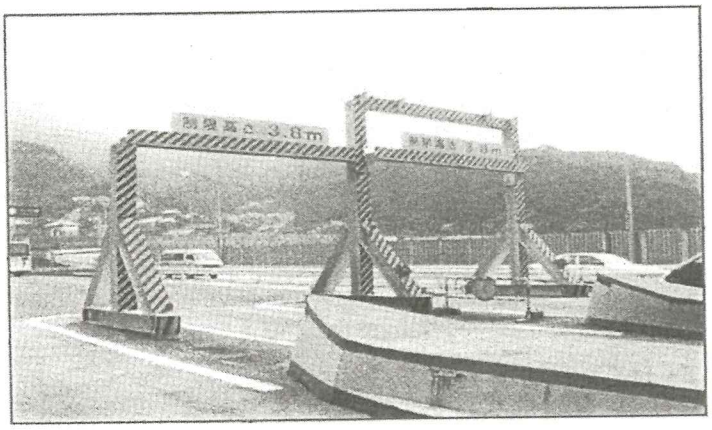


写真-4.2.1　チェックバー（大蔵トンネルの事例）

5．適用にあたっての留意点

- 現段階では、移動式作業構台の組立用にかなり広い作業ヤードが必要である。移動式作業構台のコンパクト化や効率的な組立・搬入方法を留意する必要がある。
- 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。
- 本工法は供用１車線確保を前提としているが、供用２車線確保への対応が望まれる。
- 本工法を長距離トンネルに適用する場合の施工方法や施工手順を検討する必要がある。

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）　―

参　考　資　料

1．サイクルタイム試算例

1．1　試算条件

① 拡幅断面

既設トンネル内空幅 B＝6.0m→新設トンネル内空幅 B=11.5m

供用車線；1 車線（幅 4.0m×高 4.0m）

② 施工延長

延長	CⅡ	DⅠ	DⅢ
50m	0	0	50
100m	0	50	50
200m	50	100	50
500m	300	150	50
1000m	300	650	50

③ 掘削方式、掘削工法

掘削方法	掘削区分	掘削方式	掘削工法
機械掘削	C，D	補助ベンチ付き全断面掘削	上部・下部同時掘削

④ 使用機械

		上部	下部（L）	下部（R）
ブレーカ	1,300kg 級	○	—	—
バックホウ	0.4 m^3	○	—	—
ドリルジャンボ	2 ブーム	○	—	—
エレクタージャンボ	ノズル付き	○	○	○
ずり積機	ブレーカ付き	—	○	○
ダンプトラック	4 t	—	○	○
クローラドリル	1 ブーム	—	○	○
モルタル台車		○	○	○
トラック	2.9 t 吊	○	○	○
トラックミキサ	小型	○	○	○

⑤ 移動式作業構台

前方防護構台 L=15m、作業構台 L=30m、搬出入構台 L=8m とする。覆工セントルは移動式作業構台の一部を転用する。

1．2　断面数量

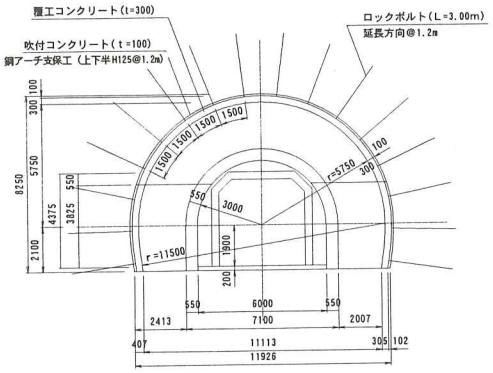
トンネル断面数量表

項　　目		単位	既設幅 6.0m、供用1車線の場合		
			CⅡ	DⅠ	DⅢ
設計断面積	上半	m^2	29.294	30.069	32.438
	下半	m^2	10.490×2	10.693×2	11.304×2
	計	m^2	50.274	51.455	55.046
支払断面積	上半	m^2	31.326	32.120	34.550
	下半	m^2	11.018×2	11.221×2	11.833×2
	計	m^2	53.362	54.562	58.216
既設覆工断面積	上半	m^2	3.395	3.395	3.395
	下半	m^2	2.287×2	2.287×2	2.287×2
	計	m^2	7.969	7.969	7.969
吹付け厚		cm	10	15	25
吹付け周長	上半	m	15.091	15.093	15.248
	下半	m	4.068×2	4.068×2	4.069×2
	計	m	23.227	23.229	23.386
覆工厚		cm	30	30	35
覆工支払断面積	上下半	m^2	6.828	6.828	7.993
	計	m^2	6.828	6.828	7.993
防水シート周長		m	23.227	23.229	23.386
金網設置周長	上半	m	－	15.093	15.248
	下半	m	－	－	4.069×2
	計	m	－	15.093	23.386
鋼アーチ支保工	上半	基	H125	H125	H200
	下半	基	－	H125	H200
ロックボルト CⅡ=3.0m DⅠ、DⅢ=4.0m	上半	本	10	10	0
	下半	本	3×2	5×2	5×2
	計	本	16	20	10
フォアポーリング L=3.0m	上半	本	―	―	21
	計	本	―	―	21

既設トンネル拡大工法 拡幅断面支保パターン図

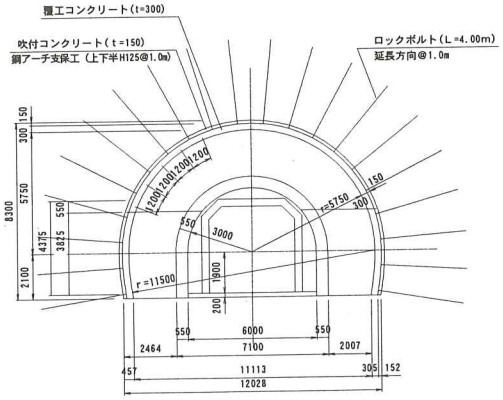
既設トンネル内空幅Ｂ＝6.0m

ＣⅡパターン



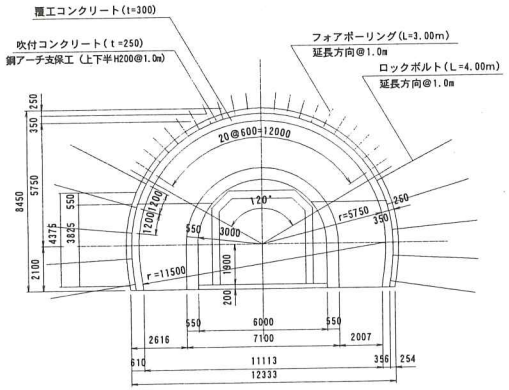
掘削(全体)	m'	50.274
上半掘削	m'	29.295
下半掘削	m'	10.490×2
既設覆工取壊し(全体)	m'	7.969
上半部取壊し	m'	7.969
下半部取壊し	m'	2.288×2
吹付け（t＝100)	m	23.227
上半吹付周長	m	15.091
下半吹付周長	m	4.068×2
ロックボルト(延長方向@1.2m)	本	16
上半ロックボルト(L=3.0m)	本	10
下半ロックボルト(L=3.0m)	本	3×2
フォアポーリング	本	－
鋼アーチ支保工(延長方向1.2m)		
上半（H125)	基	1
下半	基	－
覆工		
アーチ覆工	m'	6.828

ＤⅠパターン



掘削(全体)	m'	51.455
上半掘削	m'	30.069
下半掘削	m'	10.693×2
既設覆工取壊し(全体)	m'	7.969
上半部取壊し	m'	3.395
下半部取壊し	m'	2.288×2
吹付け（t＝150)	m	23.227
上半吹付周長	m	15.093
下半吹付周長	m	4.068×2
金 網		上半
ロックボルト(延長方向@1.0m)	本	20
上半ロックボルト(L=4.0m)	本	10
下半ロックボルト(L=4.0m)	本	5×2
フォアポーリング	本	－
鋼アーチ支保工(延長方向1.0m)		
上半(H125)	基	1
下半(H125)	基	1
覆工		
アーチ覆工	m'	6.828

ＤⅢパターン



掘削(全体)	m'	55.046
上半掘削	m'	32.438
下半掘削	m'	11.304×2
既設覆工取壊し(全体)	m'	7.969
上半部取壊し	m'	3.395
下半部取壊し	m'	2.287
吹付け（t＝250)	m	23.386
上半吹付周長	m	15.248
下半吹付周長	m	4.069×2
金 網		上下半
ロックボルト(延長方向@1.2m)	本	6
上半ロックボルト(L=4.0m)	本	0
下半ロックボルト(L=4.0m)	本	5×2
フォアポーリング	本	21
鋼アーチ支保工(延長方向1.0m)		
上半（H200)	基	1
下半（H200)	基	1
覆工		
アーチ覆工	m'	7.993

トンネル支保パターンおよび数量

1．3　サイクルタイム

πステージ工法　サイクルタイム（上部）

	項　目			単位	CⅡ	DⅠ	DⅢ	摘　　要
上部サイクルタイム	設計掘削断面積（余掘含まず）		A1	m^2	29.3	30.1	32.4	
	設計掘削断面積（余掘含）		A2	〃	31.3	32.1	34.6	
	取り壊しｺﾝｸﾘｰﾄ面積		A3	〃	3.4	3.4	3.4	
	1サイクル当り進行長		B	m	1.2	1.0	1.0	
	掘削機械作業能力(地山)		C1	m^3/h	12.0	13.6	13.6	大型ブレーカ 1300kg 級の 80%（地山）
	掘削機械作業能力(コンクリート)		C2	m^3/h	4.0	4.0	4.0	明かり硬岩掘削 （1300kg 級ブレーカ 41m3/日）の 80%
	ずり出し作業能力		D	m^3/h	17.4	17.2	16.9	自由断面掘削機の標準積算能力（上半）
	1 ｻｲｸﾙ当り吹付面積		M	m^2	18.1	15.1	15.2	
	吹付設計厚さ		N	m	0.1	0.15	0.25	
	補正係数		K		2.1	1.9	1.7	
	1 ｻｲｸﾙ当りﾎﾞﾙﾄ本数		P	本	10	10	0	
	ロックボルト長さ		L	m	3	4	4	
	1 ｻｲｸﾙ当りﾎﾞﾙﾄ本数		Pf	本	―	―	21	フォアポーリング
	ロックボルト長さ		Lf	m	―	―	3	フォアポーリング
	掘削	掘削・ずり出し	準備		分	70	70	70	作業構台移動 60 分＋準備 10 分
			地山掘削	T1-1	〃	188	142	153	A2×B×60/C1 （地山）
			既設覆工取り壊し	T1-2	〃	61	51	51	A3×B×60/C2 （コンクリート）
			ずり出し	T2	〃	0	0	0	下半へ落とすため、下半サイクルに計上
			跡片づけ		〃	10	10	10	
			測量		〃	10	10	10	
			小計		〃	339	283	294	
	支保工	吹付け	吹付準備		〃	10	10	10	
			吹付	T3	〃	38	43	65	M×N×K×60/6
			跡片づけ		〃	10	10	10	
			小計		〃	58	63	85	
		ロック	ロックボルト準備		〃	10	10	10	
			穿孔（ロックボルト）	T4	〃	70	90	0	1ﾌﾞｰﾑ、110kg 級 ロッド継ぎ足し P×7, P×9
			穿孔（フォアポーリング）	T4'		0	0	105	1ﾌﾞｰﾑ、110kg 級 ロッド継ぎ足し Pf×5
			跡片づけ		〃	10	10	10	
			小計		〃	90	110	125	
		金網設置		T5	〃	0	30	30	
		支保工	鋼アーチ支保工準備		〃	10	10	10	
			鋼アーチ支保工建込	T6	〃	30	30	30	
			小計		〃	40	40	40	
		その他損失			〃	60	60	60	支保工切断(60 分)
	計			Q	〃	587	586	634	

サイクルタイム（下部；片側）

	項　目			単位	CⅡ	DⅠ	DⅢ	摘　　要
下部サイクルタイム	設計掘削断面積（余堀含まず）		A1	m^2	10.5	10.7	11.3	
	設計掘削断面積（余掘含）		A2	〃	11.0	11.2	11.8	
	取り壊しｺﾝｸﾘｰﾄ面積		A3	〃	2.3	2.3	2.3	
	1サイクル当り進行長		B	m	1.2	1.0	1.0	
	掘削機械作業能力(地山)		C1	m^3/h	6.4	8.0	8.0	大型ブレーカ 800kg 級の 80%（地山）
	掘削機械作業能力(ｺﾝｸﾘｰﾄ)		C2	m^3/h	4.0	4.0	4.0	
	ずり出し作業能力		D	m^3/h	15	17	17	自由断面掘削機の標準積算能力（下半）
	1 ｻｲｸﾙ当り吹付面積		M	m^2	4.9	4.1	4.1	
	吹付設計厚さ		N	m	0.1	0.15	0.25	
	補正係数		K		1.9	1.7	1.5	
	1 ｻｲｸﾙ当りﾎﾞﾙﾄ本数		P	本	3	5	5	
	ロックボルト長さ		L	m	3	4	4	
	掘削	掘削・ずり出し 準備		分	10	10	10	
		掘削・ずり出し 地山掘削	T1-1	〃	124	84	89	A2×B×60/C1 （地山）
		掘削・ずり出し 既設覆工取り壊し	T1-2	〃	41	35	35	A3×B×60/C2 （コンクリート）
		掘削・ずり出し ずり出し	T2-1	〃	83	63	67	上部ずり出し→T2=60*1/2*(A2 ^{上半}+A3 ^{上半})*B ^{上半}/D ^{下半}
		掘削・ずり出し ずり出し	T2-2	〃	(64)	(48)	(50)	下部ずり出し→下部掘削時間に含む
		掘削・ずり出し 跡片づけ		〃	30	30	30	掘削機械、ダンプ等移動時間含む
		掘削・ずり出し 測量		〃	10	10	10	
		掘削・ずり出し 小計		〃	298	232	241	
	支保工	吹付け 吹付準備		〃	10	10	10	
		吹付け 吹付	T3	〃	9	10	15	M×N×K×60/6
		吹付け 跡片づけ		〃	10	10	10	
		吹付け 小計		〃	29	30	35	
		ロック ロックボルト準備		〃	10	10	10	
		ロック 穿孔	T4	〃	21	45	45	P×7　P×9
		ロック 跡片づけ		〃	10	10	10	
		ロック 小計		〃	41	65	65	
		金網設置	T5	〃	0	0	20	
		支保工 鋼アーチ支保工準備		〃		10	10	
		支保工 鋼アーチ支保工建込	T6	〃		25	25	
		支保工 小計		〃	0	35	35	
		その他損失		〃	30	30	30	支保工切断 30 分
	計		Q	〃	398	392	426	

2．出願特許

申請特許名	出願人	発明者	申請年月日 (特許番号)	公開日
移動式作業構台を用いる既設トンネルの拡大工法	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	真下英人 蒲田 浩久 中森 純一郎 大浦 道哉 藤井 剛 武内 秀木 山本 一郎 鈴木 祥三 木村 哲 井上 博之 森田 篤 手島 隆治	2002.03.19 特願2002-076406	

施　工　マ　ニ　ュ　ア　ル　（案）

第９編　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）　―

平成 16 年 3 月

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

株式会社　大林組

五洋建設　株式会社

東急建設　株式会社

西松建設　株式会社

前田建設工業　株式会社

株式会社　三井三池製作所

目　　次

1．工法の概要 …… 9-1
2．工法の特徴 …… 9-2
3．設計 …… 9-3
　3．1　適用条件 …… 9-3
　　3．1．1　適用可能な既設トンネルおよび新設トンネルの規模 …… 9-3
　　3．1．2　トンネル延長 …… 9-3
　　3．1．3　地山条件 …… 9-3
　3．2　設計 …… 9-4
　　3．2．1 フラットステージ(平板型移動式作業構台) …… 9-4
　　3．2．2 通行車両防護用プロテクタ …… 9-9
4．施工 …… 9-11
　4．1 施工手順および使用機械 …… 9-11
　　4．1．1 施工手順 …… 9-11
　　4．1．2 使用機械 …… 9-18
　4．2 仮設計画 …… 9-27
　　4．2．1 坑口仮桟橋および仮設備配置 …… 9-27
　　4．2．2 換気方法 …… 9-32
　　4．2．3 簡易プロテクタ搬入・組立・配置計画 …… 9-33
　　4．2．4 安全設備計画 …… 9-36
5．適用にあたっての留意点 …… 9-37

参考資料
1．サイクルタイム試算例 …… 9-41
2．出願特許 …… 9-46

1．　工法の概要

本工法は、２車線の車両通行を可能にする拡大工法である。トンネル内を通行する一般車両の交通確保を目的とした固定式の簡易プロテクタと、掘削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る。フラットステージは、切羽作業足場・機械待機場として活用する第１、第２フラットステージとずり出しや機械の搬出入として活用する第３フラットステージで構成される。本工法の特徴を以下に示す。

①２車線の車両通行を可能にする拡大工法である。

②亀裂の程度によるが主に軟岩を対象としている。

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る。

④掘削機械の作業足場として、平板型の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る。

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構台とずり出しや機械の搬出入用の第３構台で構成され、効率的な施工が可能である。

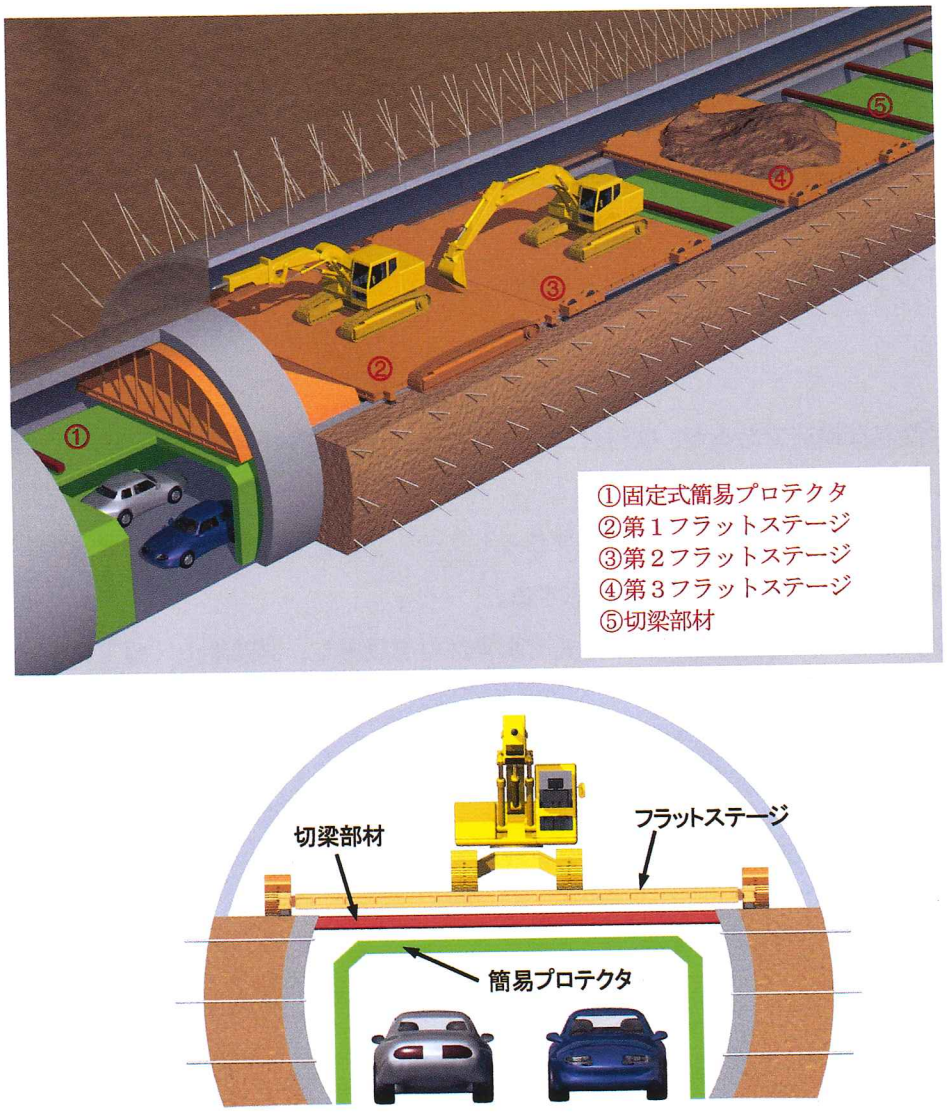


図-1.1　工法概念図

2．　工法の特徴

従来工法（固定プロテクタ方式）と比較して、以下の項目について本工法の特徴を述べる。

（1）交通の確保

・現有交通の２車線を確保した状態で拡大作業が行え、道路利用者への負担が軽減した。

・本工法の固定式簡易プロテクタは坑外で仮組立を行うことが可能で、一般車両の通行の妨げにはならない。ただし、プロテクタの設置・撤去等は、交通量の少ない時間帯もしくは夜間に交通規制を行い実施する。

・従来工法に比べて固定式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、交通規制の制約時間は少なくなる。

（2）コスト縮減

・フラットステージ（平板型移動式作業構台）をプロテクタと分離し、施工機械の荷重がプロテクタに影響を及ぼさないため、プロテクタ構造が簡略となる（部材量の低減、組立・解体作業の施工性向上）。

・トンネル拡大掘削において、専用機械を使用せず汎用機械で対応できる（機械費の低減）。

（3）工期短縮

・フラットステージを３分割することにより、機械の搬出入に伴うタイムロスを軽減し効率的な施工が可能である。

・固定式プロテクタを簡略化しているため、設置・撤去作業が効率的となる。

（4）安全性

・プロテクタは簡易な構造であるが、吹付けコンクリートのはく離や小規模な覆工のはく落に耐え得る構造である。

・既設トンネルと新設トンネルの中間地山をフラットステージの足場とするので、既設トンネル周辺の地山が不良な場合には、事前補強により対応する。

・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・覆工の安定化を図っている。

（5）坑内環境

・坑内に換気設備を配置し坑外から新鮮な空気を取り入れることにより、坑内環境を良好に保つことができる。

3． 設計

3．1　適用条件

3．1．1　適用可能な既設トンネルおよび新設トンネルの規模

2車線対応とすることから、既設トンネル内にはB=6.5m、H=4.1mの内空を有する2車線プロテクタを設置する。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。

図-3.1.1に、プロテクタ、既設トンネル断面および新設トンネル断面を示す。

既設トンネル断面の大きさとしては、内空Ｂ＝8m、H=6.5m程度以上の既設トンネル規模で適用可能である。また、新設トンネルの断面については、３種２級両側歩道付き程度の断面が必要となる。

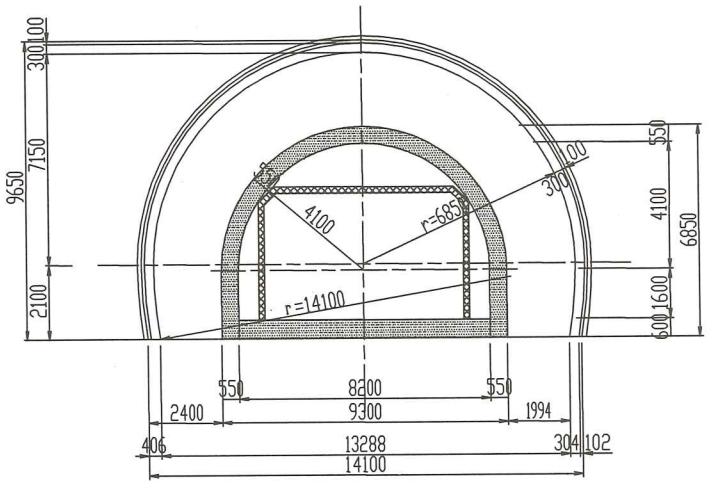


図-3.1.1　適用断面

3．1．2　トンネル延長

本工法の適用可能なトンネル延長としては、１km以下である。ただし、これ以上のトンネル延長についても施工は可能である。

3．1．3　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。

3．2　設計

3．2．1　フラットステージ（平板型移動式作業構台）

フラットステージはトンネル拡大施工時の切羽作業足場としての機能に重機、掘削ずり、資機材の搬出入を行う機能を付与することにより機械の搬出入に伴うタイムロスを軽減し、効率的なトンネル拡大施工を実現するべく設計された機械である。

図-3.2.1 にフラットステージの正面図、図-3.2.2 に平面図・側面図を示す。

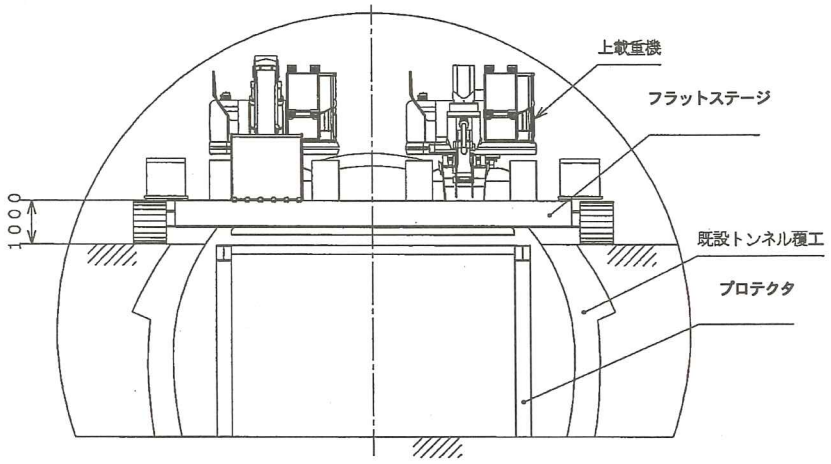


図-3.2.1　フラットステージの正面図

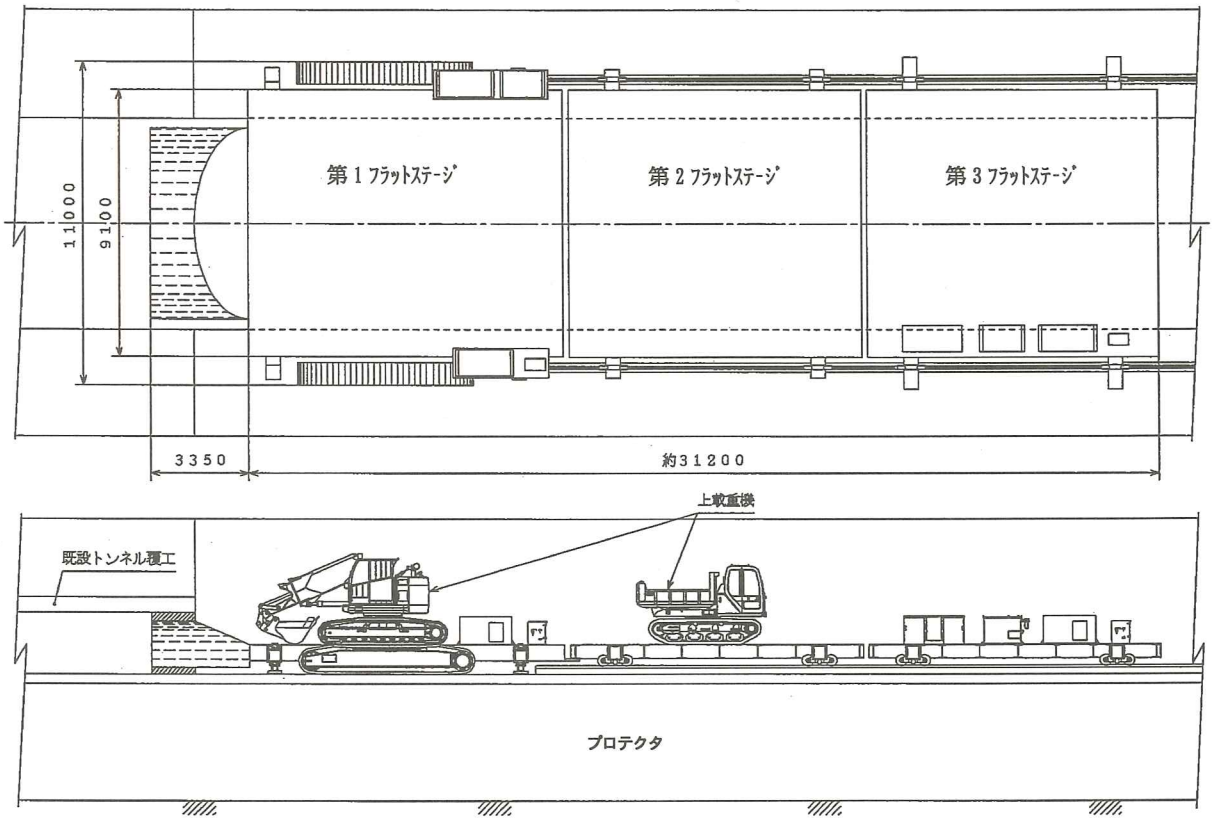


図-3.2.2　フラットステージの平面図・側面図

（1）機械の構造

フラットステージは切羽作業足場、および機械待機場所として活用する第１、第２フラットステージと、重機、掘削ずり、資機材の搬出入用として活用する第３フラットステージで構成されている。

以下に各々のフラットステージの特徴を示す。

1）第１フラットステージ

切羽部に配置される構台で、機体四隅に備えられているアウトリガーにて拡大施工時の重機の保持を行う。また、機体前方に備えられているずり受け部にて掘削ずりの集積を行うことが可能である。

クローラ式の走行装置を備えており、機体後方の第２フラットステージを牽引しながら走行することができる。図-3.2.3 に第１フラットステージの正面図、図-3.2.4 に平面図・側面図を示す。

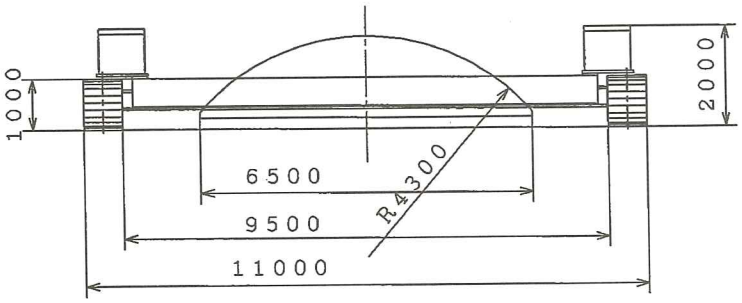


図-3.2.3　第１フラットステージの正面図

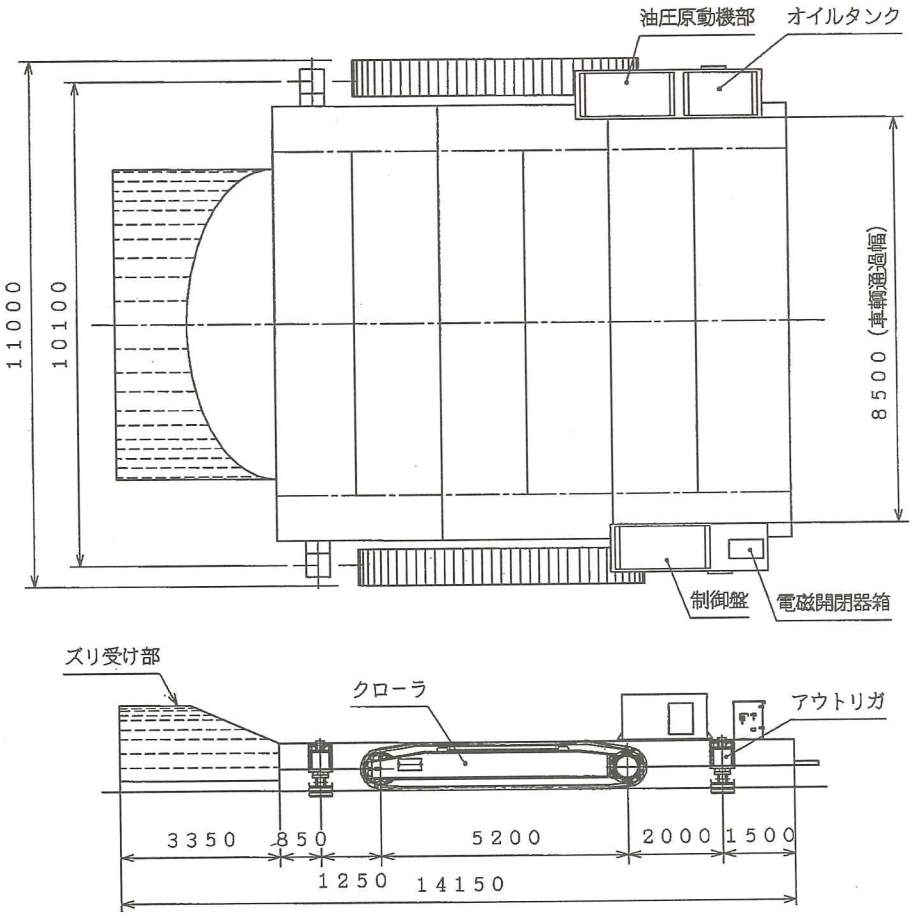


図-3.2.4　第１フラットステージの平面図・側面図

2）第２フラットステージ

第１フラットステージの後方に位置しており、重機入れ替え時、および資機材仮置き用のスペースとして活用する。

走行装置は備えていないが機体の四隅に車輪を備えており、第１フラットステージに牽引されることにより機体下部の走行レール上を従動する。

図-3.2.5 に第２フラットステージの正面図、図-3.2.6 に平面図・側面図を示す。

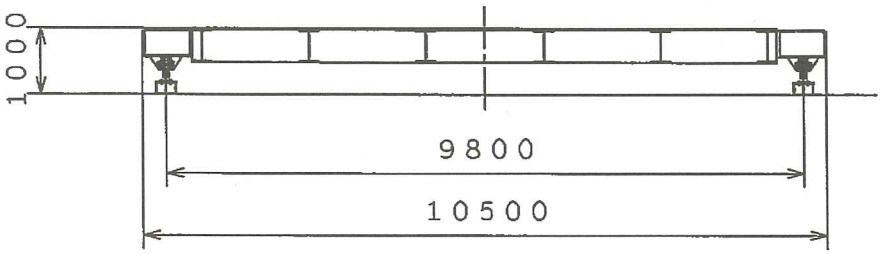


図-3.2.5　第２フラットステージの正面図

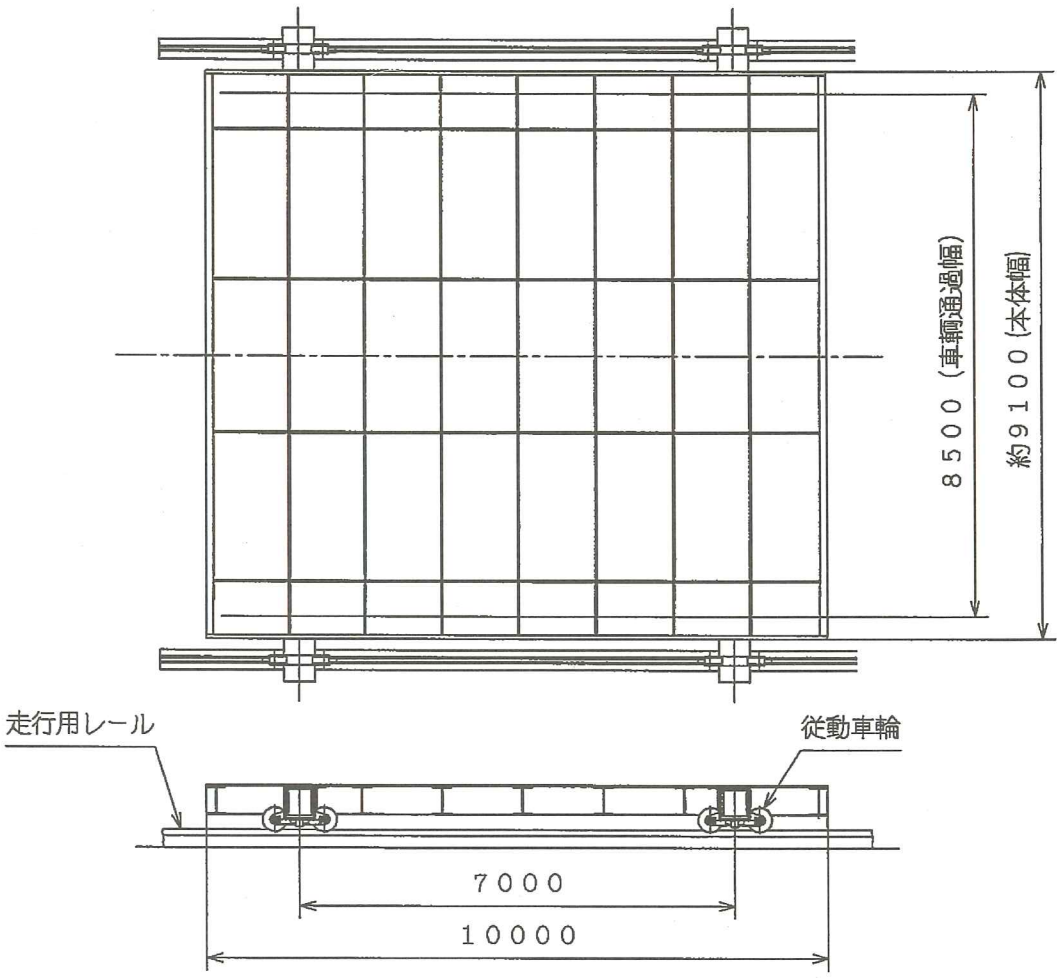


図-3.2.6　第２フラットステージの平面図・側面図

3）第３フラットステージ

第２フラットステージの後方に位置しており、重機や資機材の搬出入、および掘削ずりの搬出を行う。

車輪式の走行装置により機体下部の走行レール上を走行することができるため、クローラ式走行装置に比べ短い時間にて重機の搬出入を行うことができる。

図-3.2.7 に第３フラットステージの正面図、図-3.2.8 に平面図・側面図を示す。

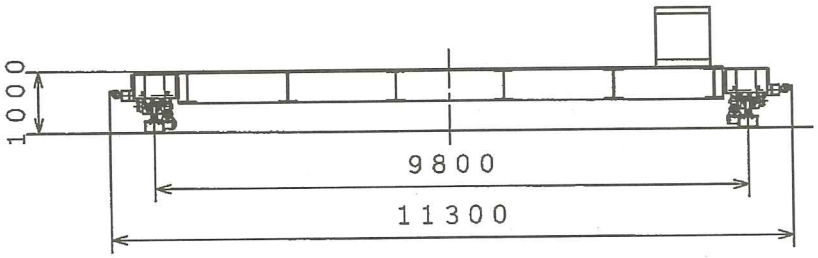
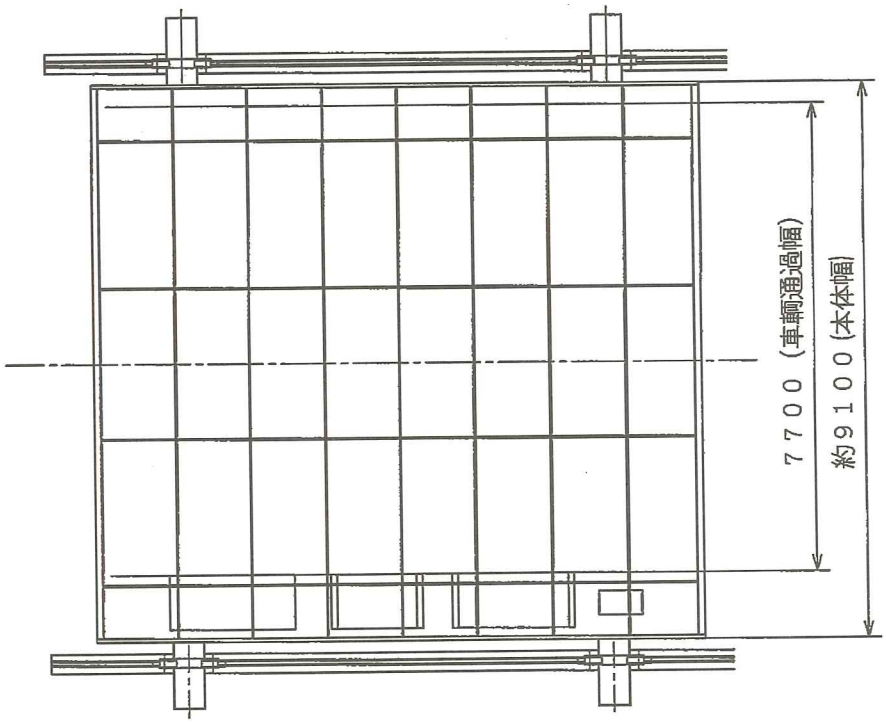


図-3.2.7　第３フラットステージの正面図



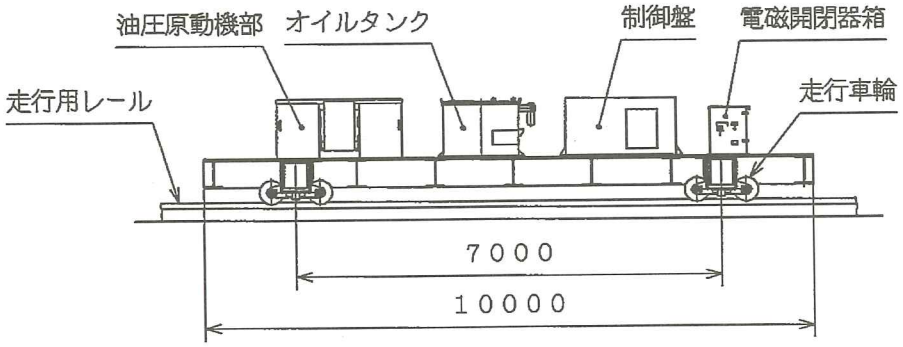


図-3.2.8　第３フラットステージの平面図・側面図

（2）フラットステージの主要仕様

表-3.2.1 にフラットステージの主要仕様を示す。

表-3.2.1　フラットステージの主要仕様

主　要　仕　様			
	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　　長	14.2 m	10.0 m	10.0 m
全　　幅	11.0 m	10.5 m	11.3 m
全　　高	2.0m	1.0m	2.0 m
全備質量	80 ton	40 ton	45 ton
上載荷重	40 ton	40 ton	40 ton
走行装置	油圧駆動クローラ方式	－	油圧駆動レール方式
走行速度	15 m/min	－	20 m/min
機関出力	60 kW	－	60 kW
電源電圧	400/440V-50/60Hz	－	400/440V-50/60Hz
推奨電源用量	200kVA 以上	－	200kVA 以上

３．２．２　通行車両防護用プロテクタ

本工法で使用する通行車両防護用プロテクタの設計の基本的な考え方を以下に示す。

①プロテクタは、重機を上載しない簡易な構造とする。

②プロテクタ構造は固定式とし、全線設置する。

③プロテクタは、搬入・設置等を考慮しユニット長を決定する必要がある。

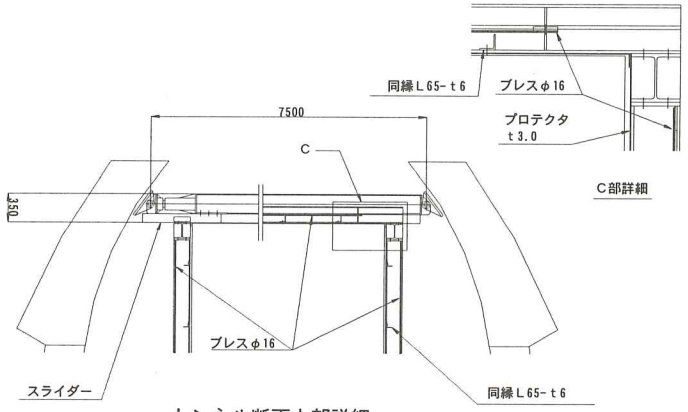
④構造は、基本的に通行車両の目隠し程度の簡易なもの（粉じん、漏水、小石程度の落下物から守れるもの）を考え、上載荷重を考慮しない。ただし、骨となる部材はブロックの搬入・設置や車の走行時の負圧等を考慮し、横揺れ等のないブロック全体の剛性をある程度確保できるものとする。ただし、通行車両の衝撃に関しては現段階では特に考慮しない。

⑤上半掘削時におけるフラットステージ移動に伴う側部からの水平荷重に対しては、基本的に側壁覆工への事前水平ロックボルトで対応するが、下半掘削時も考慮し安全策として、側壁覆工間に切梁方式で水平部材を設置することとする。なお、水平力による簡易プロテクタへの悪影響を考慮し、この水平部材は簡易プロテクタと分離構造（スライド構造）とする。

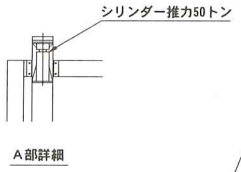
⑥切羽前方（１D 程度）の防護に関しては、基本的に地山状態、既設覆工の健全度、さらにその不良部分の区間長に応じて防護方法（事前補強、前方防護プロテクタ等）を検討する必要がある。したがって、現段階では地山状態や覆工状態の設定が困難なため、切羽前方防護の設備としては水平部材で対応する。

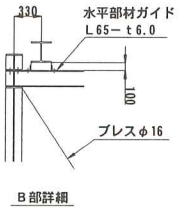
⑦下半施工時の工事車両の接触による衝撃荷重についても、何らかの考慮が必要であると考えられるが、現段階では荷重設定が困難なため考慮していない。

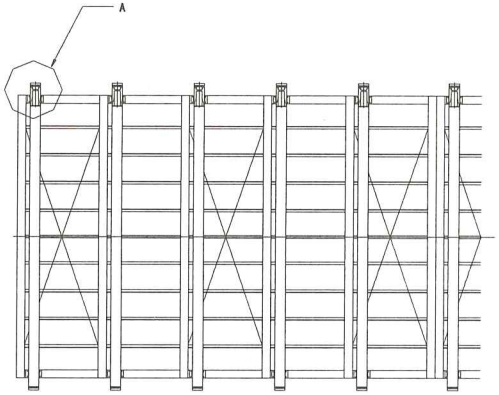
簡易プロテクタの構造図を図-3.2.9 に示す。

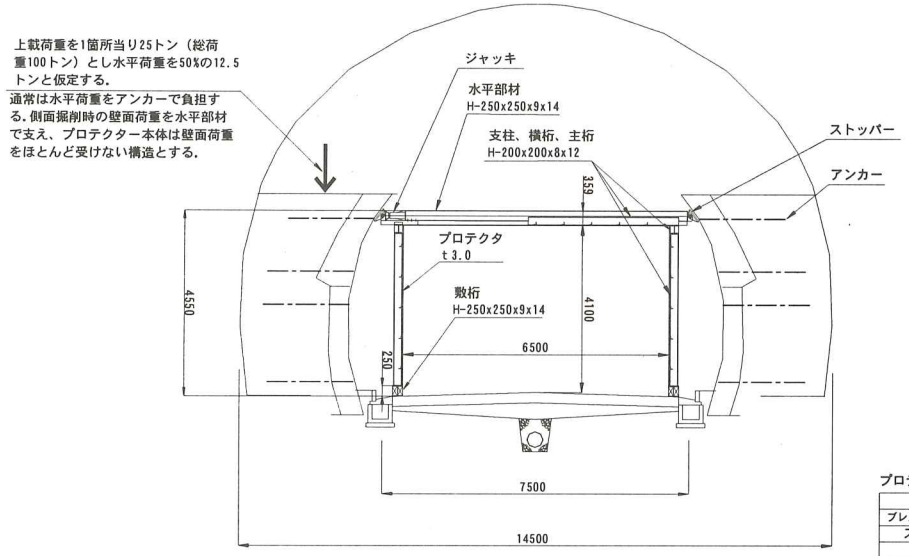


トンネル断面上部詳細









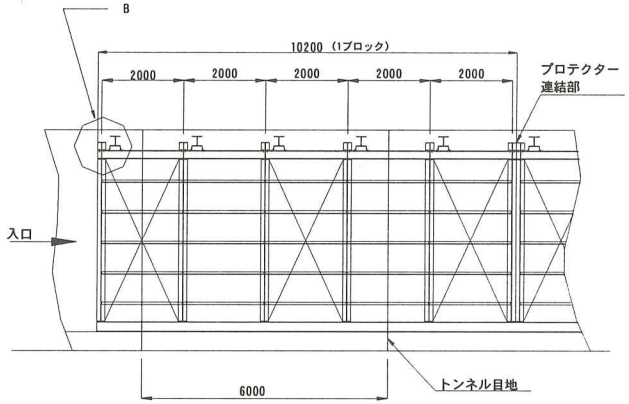


図-3.2.9　簡易プロテクタ構造図例

プロテクター1ブロック（10.2m）当り重量概算＝15671kg

名称	図番	材質	個数	kg/個	重量
同縁	L65-t6-L＝2000	SS400	100	6kg/m	1200kg
ブレス、ステフナ、スライダー、その他		SS400	1式		400kg
ストッパー		SS400	10	15kg/個	150kg
ジャッキ	NOP-050		5	75kg/個	375kg
プロテクター	PL-t3.2-29.4m2	SS400	5セット	25kg/m2	3675kg
水平部材	H-250-L=6700	SS400	5	72kg/m	2412kg
支柱、横桁	H-200-L=14750	SS400	6セット	55kg/m	4868kg
主桁	H-200-L=10200	SS400	2	55kg/m	1122kg
敷桁	H-250-L=10200	SS400	2	72kg/m	1469kg

4． 施工

4．1　施工手順および使用機械

4．1．1　施工手順

施工は、当該地の地形・地質状況、周辺環境条件、施工条件および既設トンネルの状態等により異なるが、以下の施工フローを基本とする。

①準備工	：ヤード造成、工事用仮設備設置、トンネル内設備の撤去・移設
⇩	
②事前補強工	：必要に応じて既設覆工の補強や路盤の不陸整正を行う。
⇩	
③側壁部ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ対策工	：既設覆工の側壁部を事前にロックボルトで補強する。
⇩	
④簡易プロテクタ組立･搬入	：場外ヤードで仮組し、坑内へ搬入・組立（4．2．3参照）
⇩	
⑤坑外仮桟橋設置	：坑口に仮桟橋を組み立てる。
⇩	
⑥フラットステージ組立・設置	：場外ヤードで仮組した構台を運搬し、坑口に設置する。
⇩	
⑦坑口付け	：必要に応じて適切な補助工法を採用する。
⇩	
⑧上半拡大掘削	：上半掘削を行う。
⇩	
⑨フラットステージ搬出・解体	：上半掘削完了後、構台を坑外へ搬出し、解体する。
⇩	
⑩坑口仮桟橋撤去	：仮桟橋の解体・撤去を行う。
⇩	
⑪下半拡大掘削	：プロテクタ両側の下半を同時に掘削する。
⇩	
⑫覆工	：掘削完了後、防水シート施工、覆工を行う。
⇩	
⑬簡易プロテクタ撤去	：夜間一時全面通行止めを行い、プロテクタを順次撤去する。
⇩	
⑭排水工・ｲﾝﾊﾞｰﾄ工	：片側交互で施工する。
⇩	
⑮舗装工・付帯設備工	：片側交互で施工する。
⇩	
⑯片付け工	：トンネル内設備の設置・復旧を行う。

各工種ごとの基本的な作業内容および留意点を示す。

①準備工

【作業内容】

・「４．２　仮設計画」に示すような作業ヤードの造成や仮設備および目隠し柵等を設置する。

・トンネル内設備やライフライン等の撤去・切り回しを行う。

【留意点】

・作業ヤードの計画にあたっては、当該地の地形状況、周辺環境条件および施工条件を踏まえ、詳細な検討を行う必要がある。

・既設トンネル内の安全設備の撤去に伴い、仮設照明や安全設備等を設ける計画が必要である。

・迂回路の確保や、警告標識・チェックバー等を適切な箇所に計画する必要がある。

②事前補強工

【作業内容】

・既設トンネルの覆工状況や周辺地山の状況に応じて、覆工表面の被覆補強、裏込め注入、ロックボルト補強等の事前補強を行う。

・事前補強工を行う場合、道路センターに隔壁を設け１車線の交通を確保し、片側交互施工とする。

・路盤状況によっては、不陸整正を行う。

【留意点】

・事前に既設トンネルの覆工状況や周辺地山の状況を十分に調査し、対策を検討する必要がある。

・事前補強工を行うにあたっては、交通誘導方法や安全対策等を計画する必要がある。

③側壁部ロックボルト対策工

【作業内容】

・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（移動式作業構台）を上半盤で移動させるため、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。その水平力に対して側壁部の安定を図る必要があり、対策として側壁部補強ロックボルトと切梁方式による水平部材を配置する。切梁方式による水平部材の設置は、簡易プロテクタ設置後に行う。

【留意点】

・側壁部の安定性については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する必要がある。

・道路センターに隔壁を設け１車線の交通を確保し、片側交互施工とする。

④簡易プロテクタ組立・搬入

【作業内容】

・プロテクタをユニットごとに場外で組立て、坑内へ搬入・設置する。詳細計画を「４．２．３　簡易プロテクタ搬入・組立・設置計画」に示す。

【留意点】

・組立ヤードを確保する必要があるが、ユニット長や運搬車等当該地での施工条件を考慮した計画を検討する必要がある。

・プロテクタ搬入時は一時的に全面交通規制となるため、迂回路を確保する必要がある。

⑤坑外仮桟橋設置、⑥フラットステージ組立・設置、⑦坑口付け

【作業内容】

・坑口部の上半施工足場（フラットステージ足場）および上半盤への昇降設備として、坑口に仮桟橋を組み立てる（「４．２．１　坑口仮桟橋および仮設備配置」を参照）。

・場外ヤードで仮組みしたフラットステージ（フラットステージ）を運搬し、坑口仮桟橋上に設置する。

【留意点】

・仮桟橋の構造設計にあたっては、当該地の周辺環境条件や施工条件を考慮する必要がある。

・坑口付けは、当該地の地形・地質状況、必要に応じて適切な補助工法を採用する。

⑧上半拡大掘削

【作業内容】

・拡大掘削の施工フローは以下のとおりである。

・上半掘削は１編成とする。

・第３フラットステージにより、掘削したずりを坑外に搬出する。掘削後、各工種に必要な機械・資材を第３フラットステージにより搬入する。上半掘削時の機械搬出入計画の例を図-4.1.3、4.1.4 に示す。

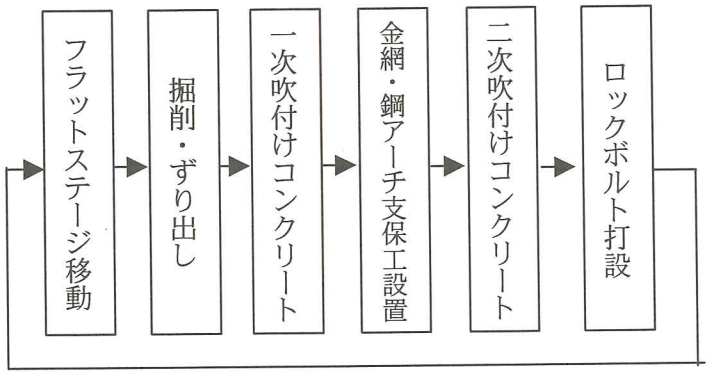


図-4.1.1　上半掘削フロー

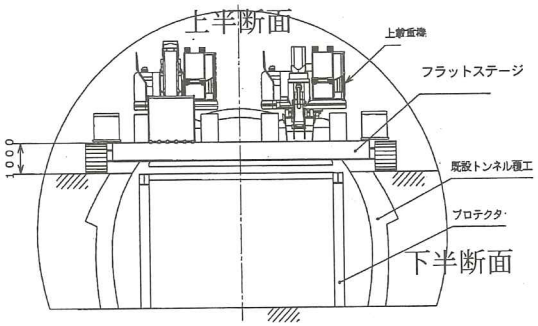


図-4.1.2　加背割り図

DⅢパターン（一次吹付けありのケース）

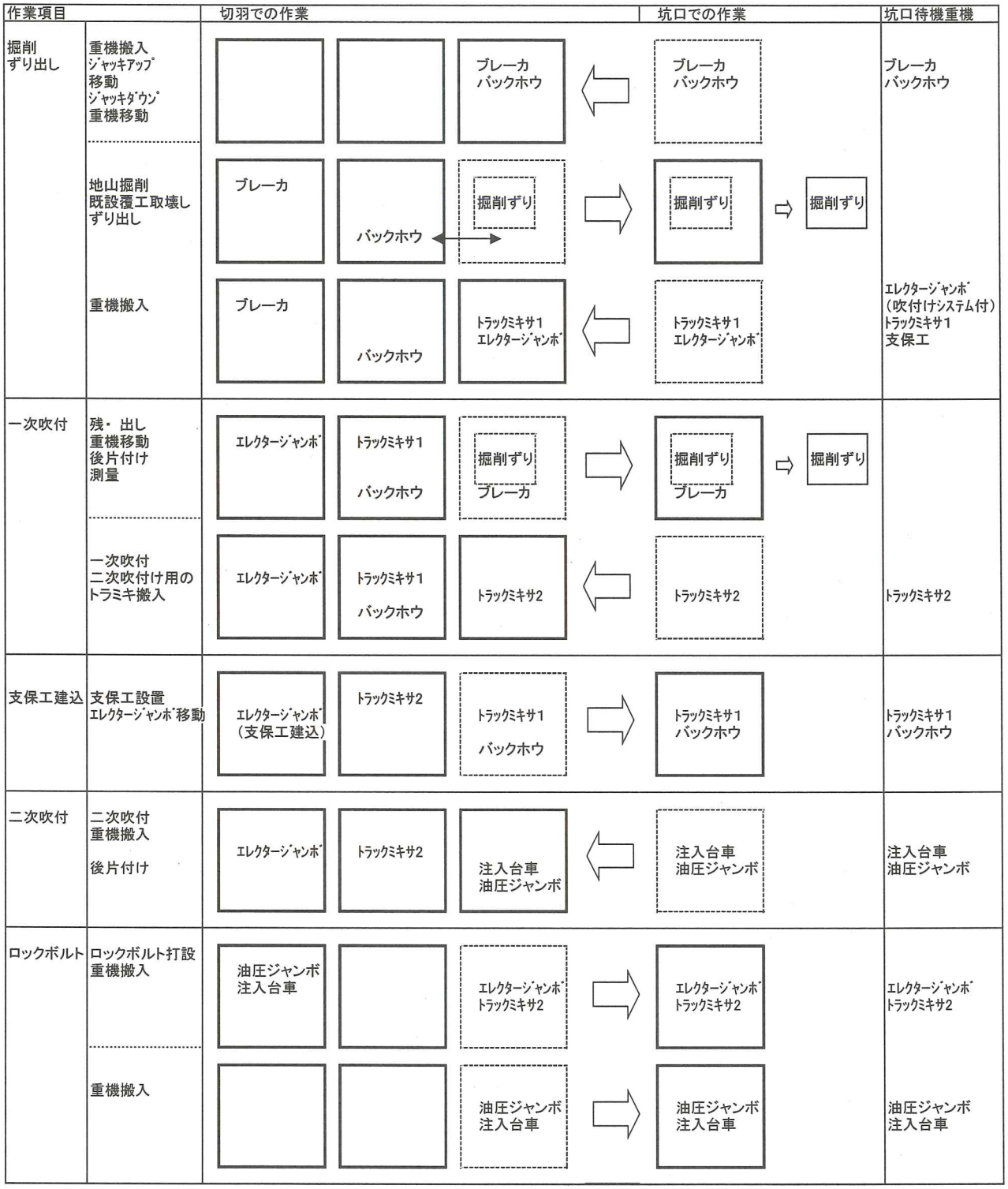


図-4.1.3　機械搬出入計画例（一次吹付けあり）

CⅡ、DⅠパターン（一次吹付けなしのケース）

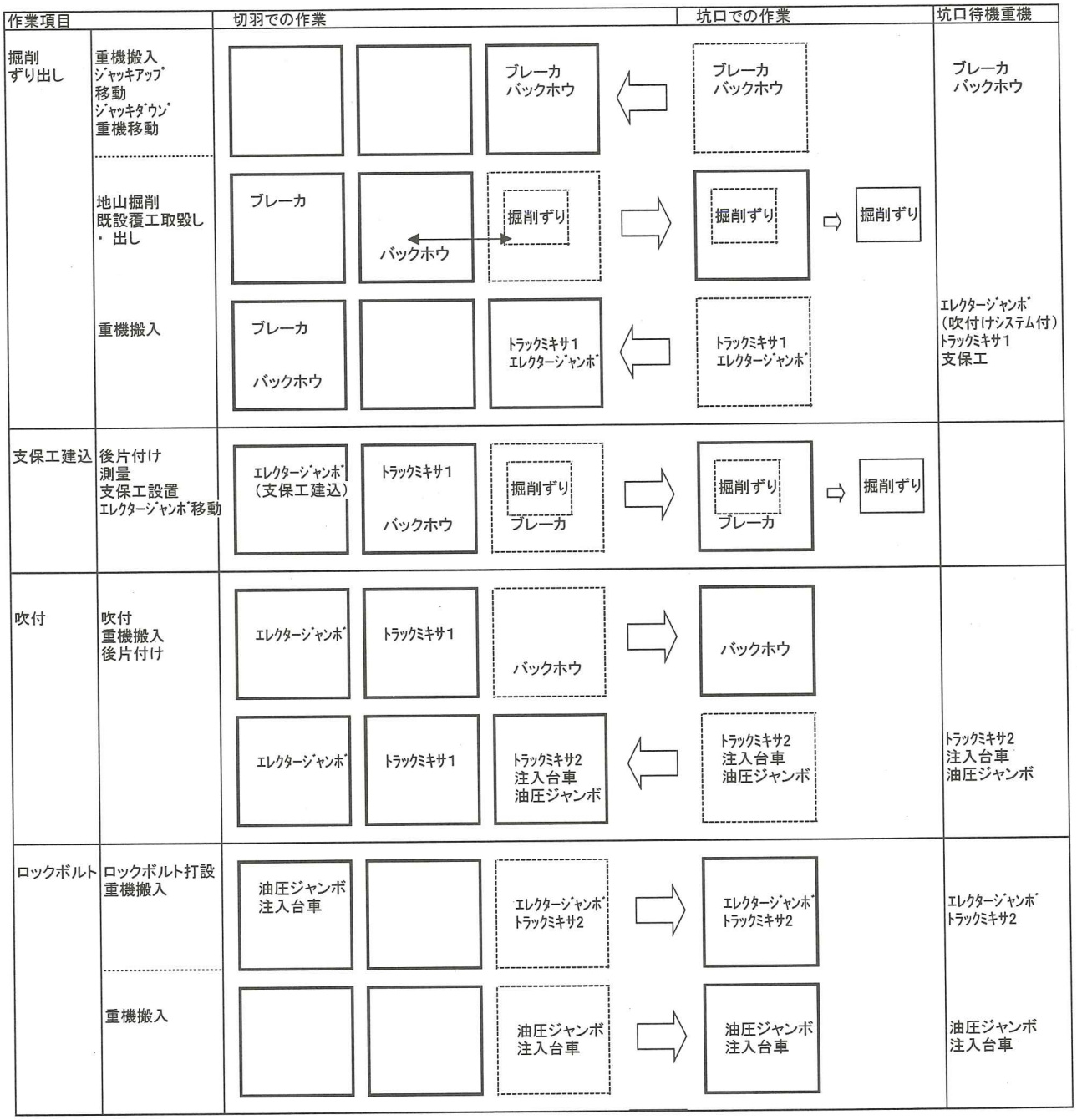
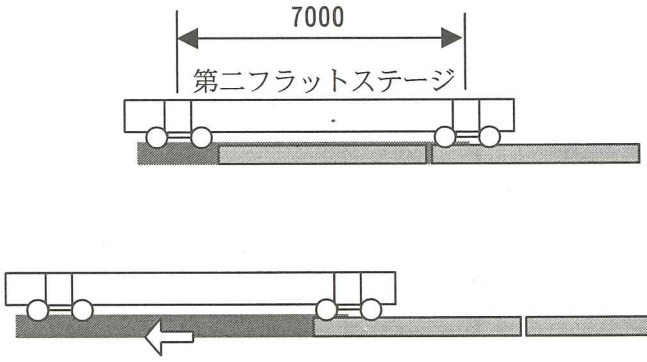


図-4.1.4　機械搬出入計画例（一次吹付けなし）

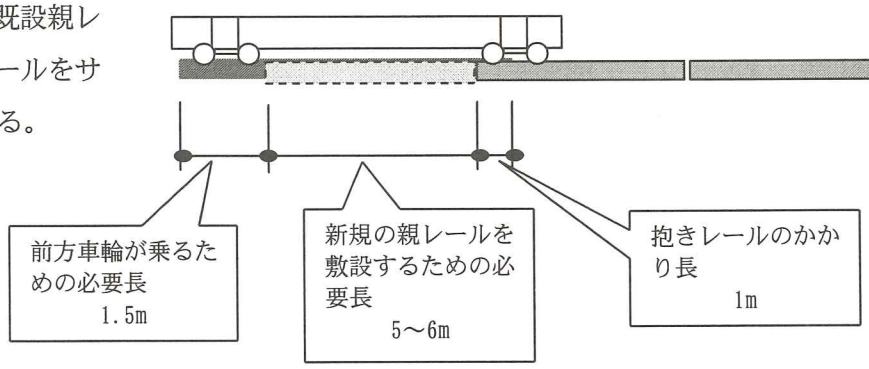
・第２、第３フラットステージの走行はレール方式であるため、以下のような方法で順次レールを敷設する。

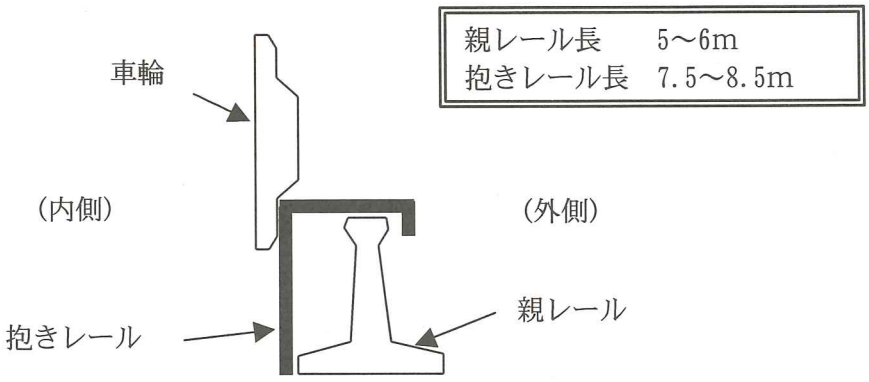
①第２フラットステージと抱きレールを引き出す。

※引き出し方法として、第１フラットステージで牽引する。



②引き出した前方車輪と既設親レールの間に新規の親レールをサイドから挿入・敷設する。





【留意点】

・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２、第３フラットステージの走行はレール式）ため、走行路盤の不陸整正が重要となる。

・機械の搬出入は効率よく行う必要がある。

・作業スペースが狭いため、できる限り不要な資材・機械は坑外へ搬出するよう計画する。

・第３フラットステージの上半盤移動に際しては、十分注意して移動させる必要がある。

⑨フラットステージ搬出・解体、⑩坑口仮桟橋撤去

【作業内容】

・上半掘削完了後、フラットステージを坑外へ搬出し解体する。

・フラットステージ解体後、坑口仮桟橋を解体・撤去する。

【留意点】

・坑口仮桟橋解体時は必要に応じて交通誘導を行うなど、通行車輌に十分注意する必要がある。

⑪下半拡大掘削

【作業内容】

・下半掘削の機械編成は２編成（片側１編成）とする。

・下半部のずり出しはダンプトラックにより坑外へ搬出する。

・下半施工スペースは狭隘なため、掘削用機械は各作業工種毎に入れ替えを行う。

・掘削工程に合わせて、順次事前に切梁水平部材を撤去し下半掘削を行う。

【留意点】

・側壁部の安定性を確認しながら作業を行う必要がある。

・掘削したずりや撤去した既設覆工コンクリート塊がプロテクタ側部に衝突しないよう十分に注意して作業を進める必要がある。ただし、地山状況や覆工状況によりその危険性がある場合には、別途にプロテクタ防護策を検討しなければならない。

⑫覆工、⑬簡易プロテクタ撤去、⑭排水工・インバート工、⑮舗装工・付帯設備工

【作業内容】

・下半掘削完了後、防水シート台車によりシートを展張する。

・セントル台車を坑外で組み立て、覆工コンクリートを打設する。

・覆工コンクリート打設した範囲は、順に簡易プロテクタを撤去していく。

・交互施工により排水工・インバート工、舗装工等を行う。

・トンネル内の設備やライフライン等の設置・復旧を行う。

【留意点】

・インバート掘削時の土留め等の検討が必要である。

・交互施工を行う場合は交通誘導員を配置し、一般交通の安全を確保する。

・簡易プロテクタを撤去する場合は一時的に全面通行止めが必要となる。

４．１．２　使用機械

表-4.1.1 に本工法で使用する主要機械の例を示す。

表-4.1.1　主要使用機械一覧（例）

作業区分		名称	仕様・規格	単位	数量
上半作業	掘削	ブレーカ	1300kg 級	台	1
		バックホウ	0.8m³	台	1
	ずり出し	掘削機バックホウ使用			
	支保工建込	吹付けﾉｽﾞﾙ付ｴﾚｸﾀｰｼﾞｬﾝﾎﾞ	2ﾌﾞｰﾑ	台	1
	吹付け	支保工建込機械と兼用			
		急結剤添加装置付きﾎﾟﾝﾌﾟ車		台	1
		トラックミキサー車		台	n
	ロックボルト	油圧ｼﾞｬﾝﾎﾞ	2ﾌﾞｰﾑ	台	1
		モルタルポンプ＋台車		台	1
下半作業	掘削・ずり出し	ブレーカ付きずり積機（クローラ式バックホウ型）	800kg 級ﾌﾞﾚｰｶ付	台	2
		ダンプトラック		台	n
	支保工建込	吹付けﾉｽﾞﾙ付ｴﾚｸﾀｰｼﾞｬﾝﾎﾞ	2ﾌﾞｰﾑ	台	2
	吹付け	支保工建込機械と兼用			
		急結剤添加装置付きﾎﾟﾝﾌﾟ車		台	2
		トラックミキサー車		台	n
	ロックボルト	油圧ｼﾞｬﾝﾎﾞ	2ﾌﾞｰﾑ	台	2
		モルタルポンプ＋台車		台	2
覆工		防水シート張り台車		基	1
		スライドセントル		基	1
		ポンプ車		台	1
その他		フラットステージ		台	3
		換気設備	送気式	基	1

図-4.1.5～4.1.12 に各作業時の機械配置例を示す。

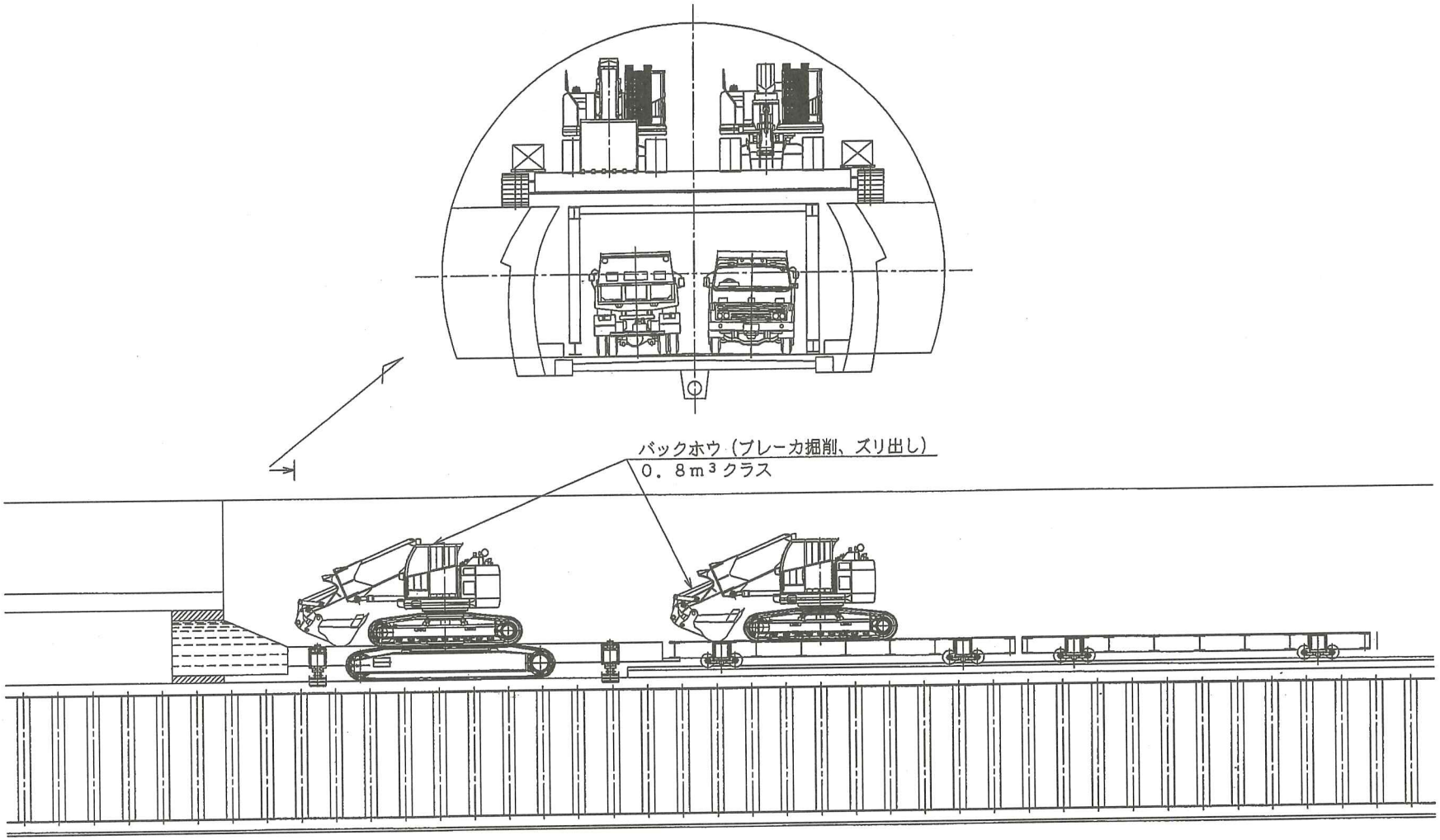


図-4.1.5　機械配置例（上半掘削・ずり出し）

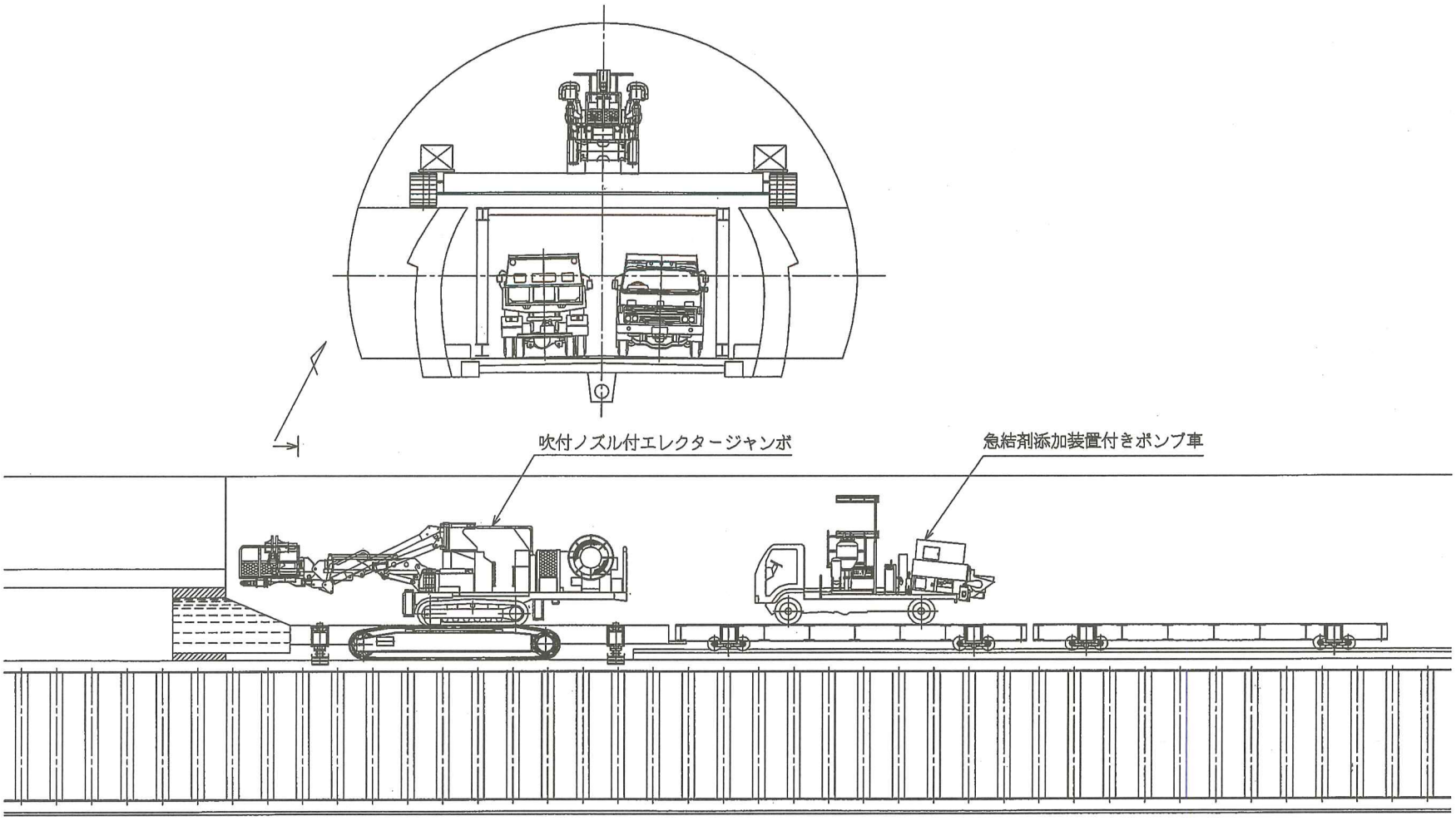


図-4.1.6　機械配置例（上半支保工）

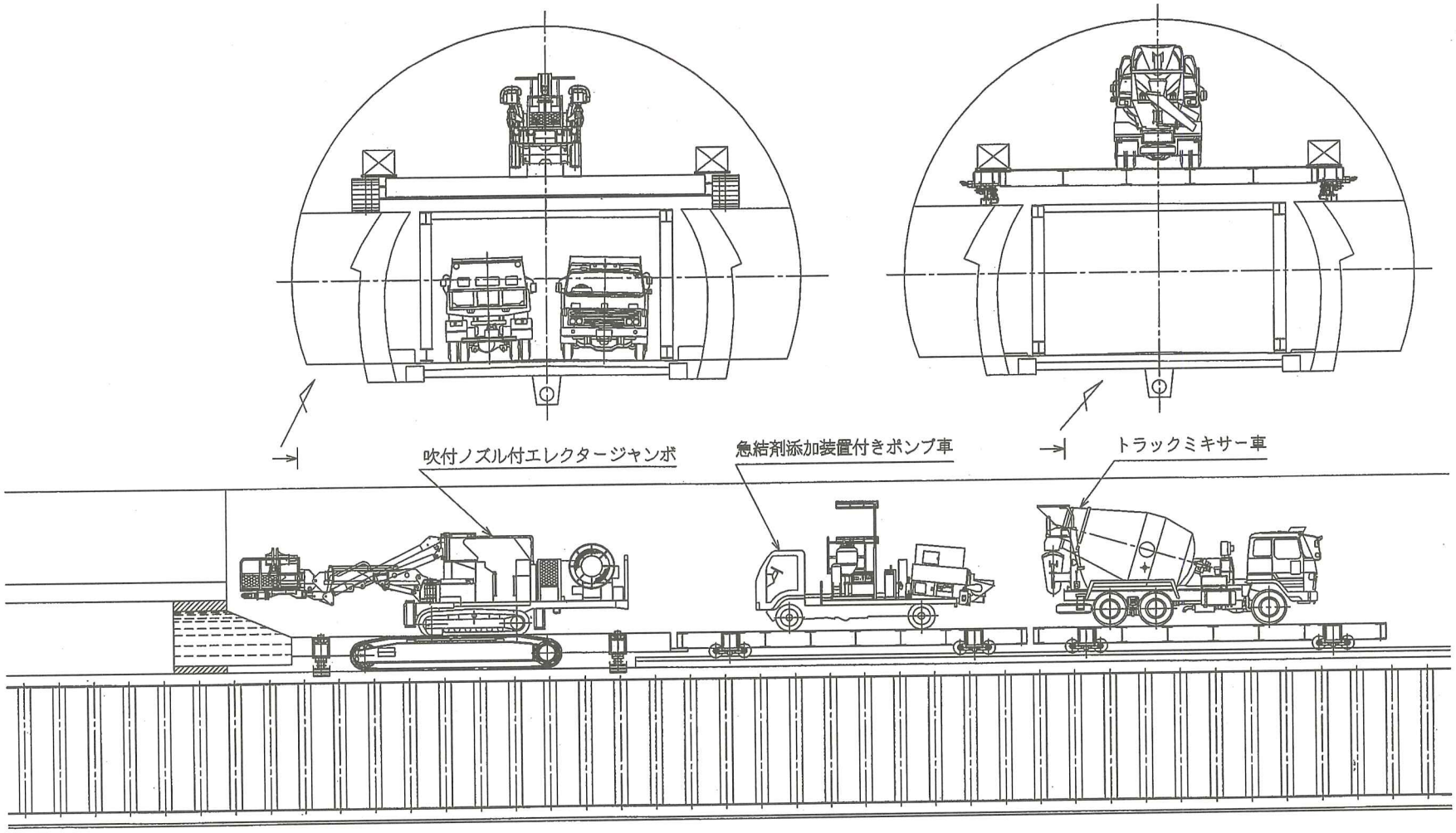


図-4.1.7　機械配置例（上半吹付け）

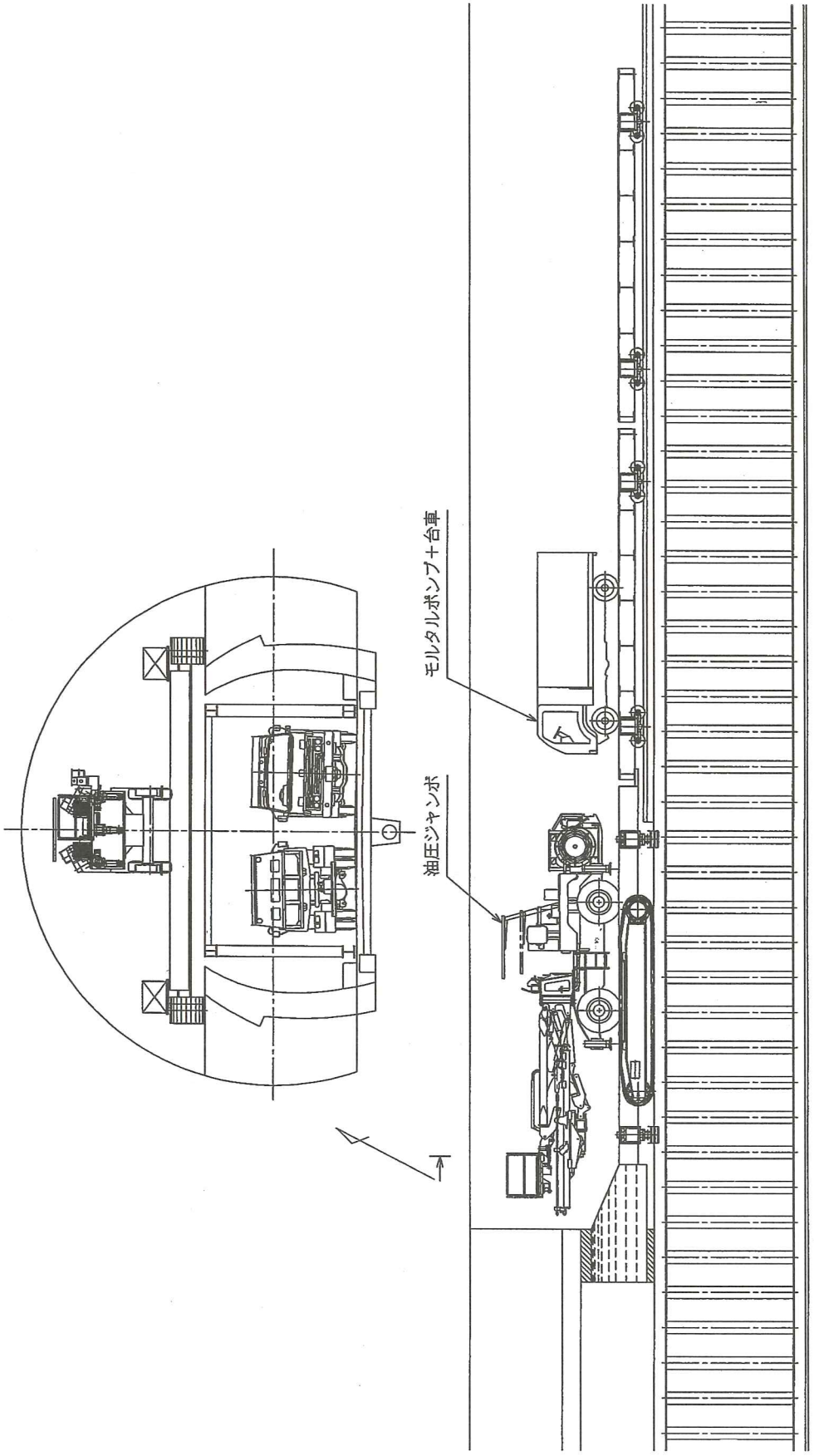


図-4.1.8　機械配置例（上半ロックボルト）

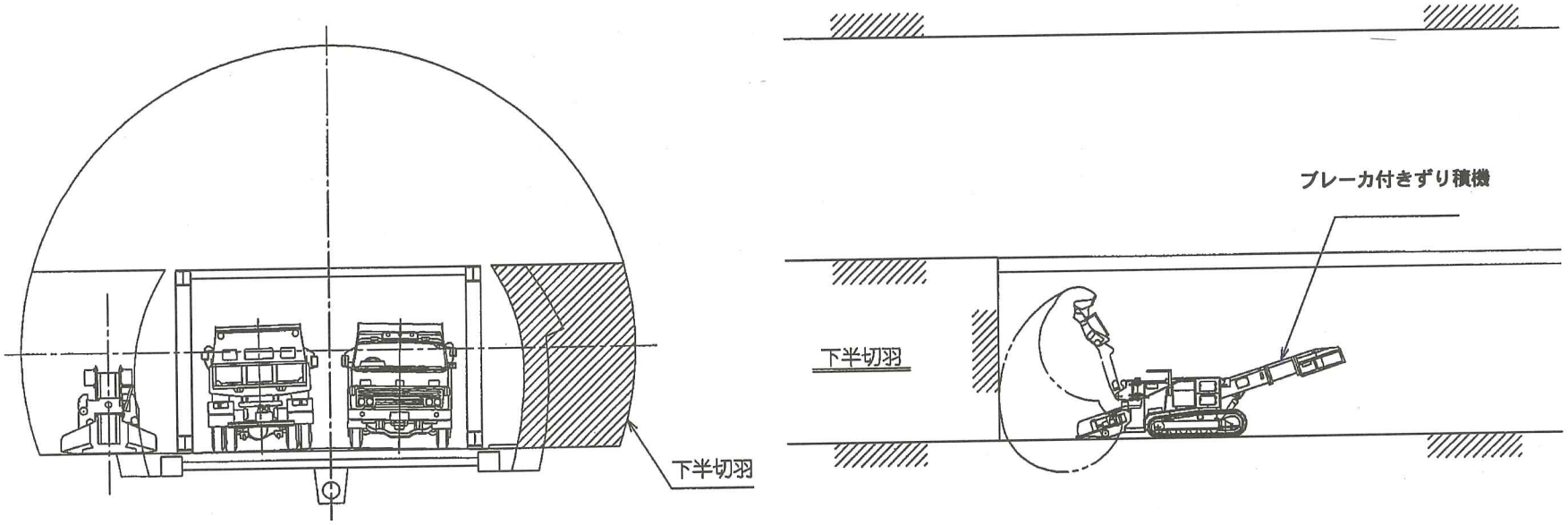


図-4.1.9　機械配置例（下半掘削・ずり出し）

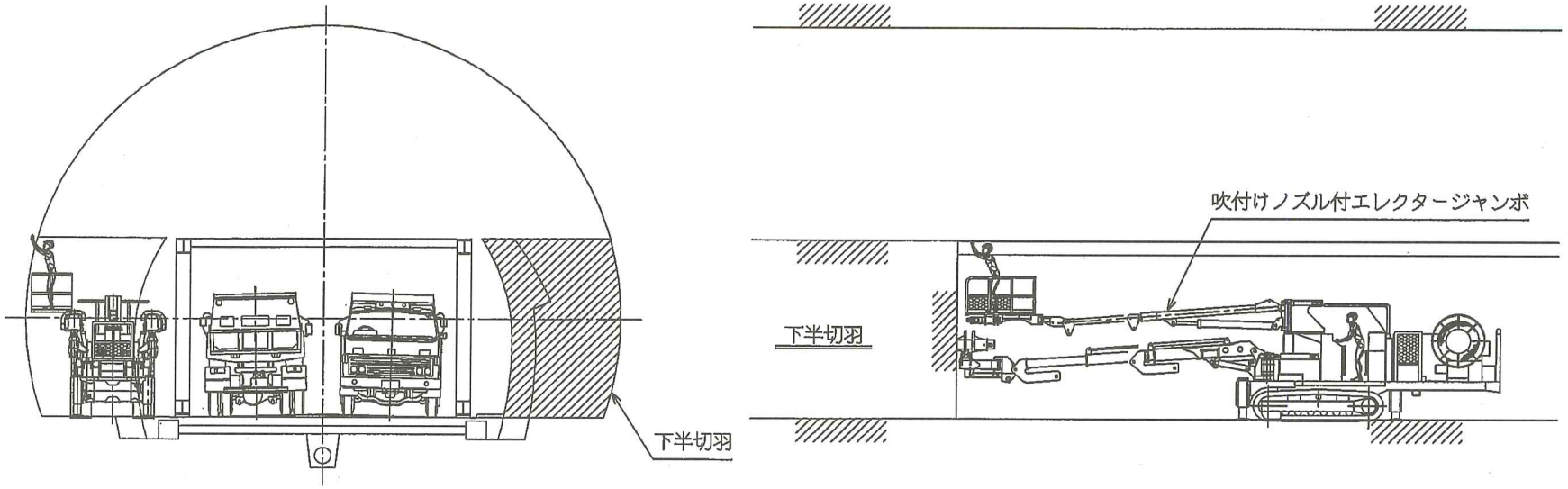


図-4.1.10　機械配置例（下半支保工）

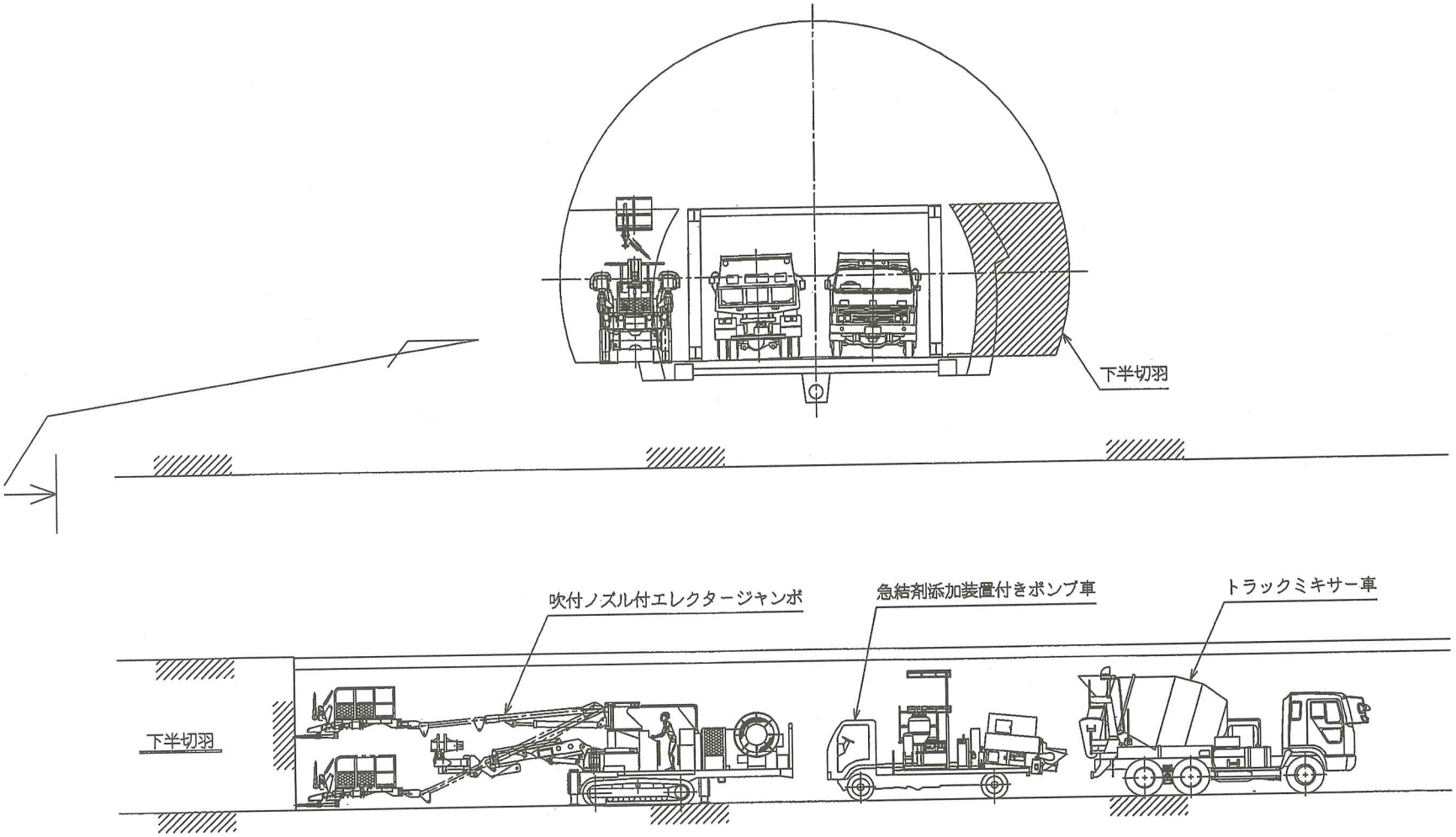


図-4.1.11　機械配置例（下半吹付け）

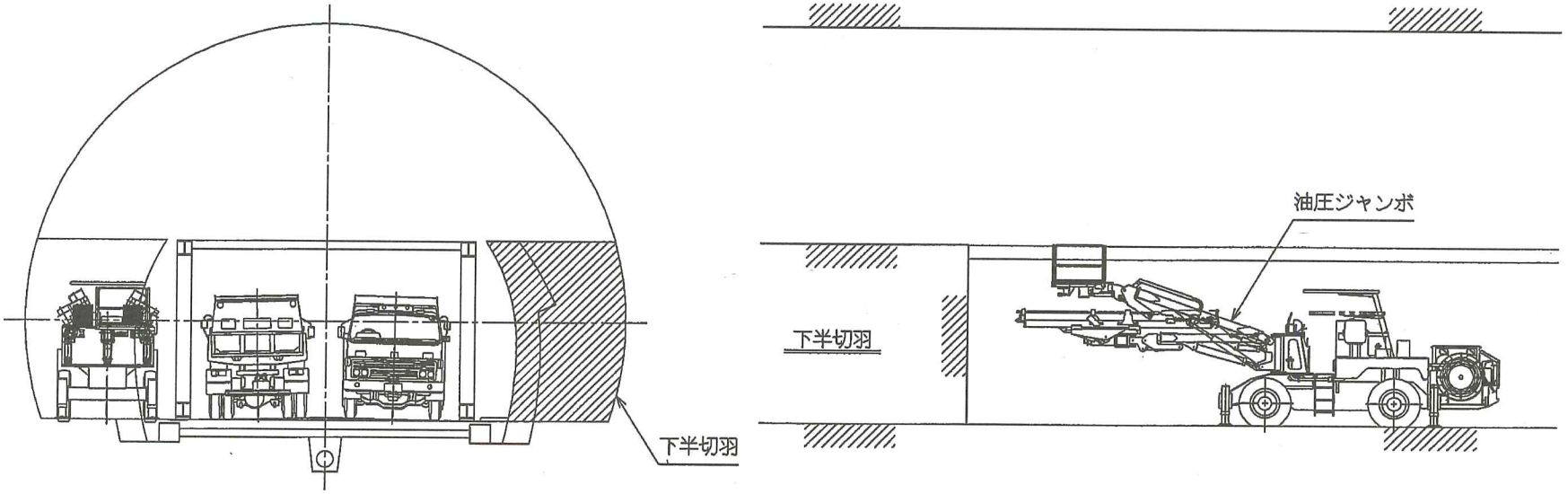


図-4.1.12　機械配置例（下半ロックボルト）

４．２　仮設計画

４．２．１　坑口仮桟橋および仮設備配置

本工法の掘削に必要な仮設備を表-4.2.1 に示す。なお、設備の規模、台数等はトンネル延長、トンネル断面、湧水量等の現場条件によって検討を要す。

表-4.2.1　仮設備一覧

機　　種	規　　格	台数	適　用
空気圧縮機	定置式スクリュ型 12.0～12.3m³/min×7kgf/cm ²×75kw	2	
吹付けプラント	定置式 25m³/h （バッチ式）	1	
換気用送風機	反転軸流式ファン　80.0kw×２ 風量 1,500m³/min	1	
小型多段遠心ポンプ	65 ㎜×45m	1	給水設備
水槽	鋼板製 20m³	1	給水設備
工事用水中ポンプ	50 ㎜×20m×2.1kw	4	排水設備
電力設備	受電、変電、配電設備	1	
濁水処理設備	30m³/h	1	
ジブクレーン	2.8t 吊　作業半径 15m	1	
桟橋	坑口部仮桟橋	1	
ストックヤード	ずりストックヤード	1	

標準的な仮設配置の例を図-4.2.1、図-4.2.2 に示す。なお、図-4.2.1 は上半掘削時、図-4.2.2 は下半掘削時の仮設配置を示す。

仮設用地に制限がある場合の最小仮設配置の例を図-4.2.3、4.2.4 に示す（図-4.2.3：上半掘削時、図-4.2.4：下半掘削時）。ただし、仮設用地に制限があり仮設備用地をできるだけ小さくした場合には、標準的な仮設配置に比べて以下の条件が必要となり、コスト面、第三者への安全面等に問題がある。

- ●桟橋への昇降用に斜路ではなく昇降設備を設置しなければならない。
- ●キュービクル等受変電設備を坑口斜面の架台上に設置する等の工夫が必要となる。
- ●バッチャープラントを仮設ヤード外へ設置する必要がある。あるいは生コンクリート工場より運搬する。
- ●車両駐車スペースを仮設ヤード外へ設ける必要がある。

なおフラットステージの本体組立も当該ヤードを使用し、仮設備配置前にトンネル坑口前にて 50ｔレッカーを使用しフラットステージの組立・設置を行う。

坑口部仮設備配置図（上半掘削時）

※標準的な配置例

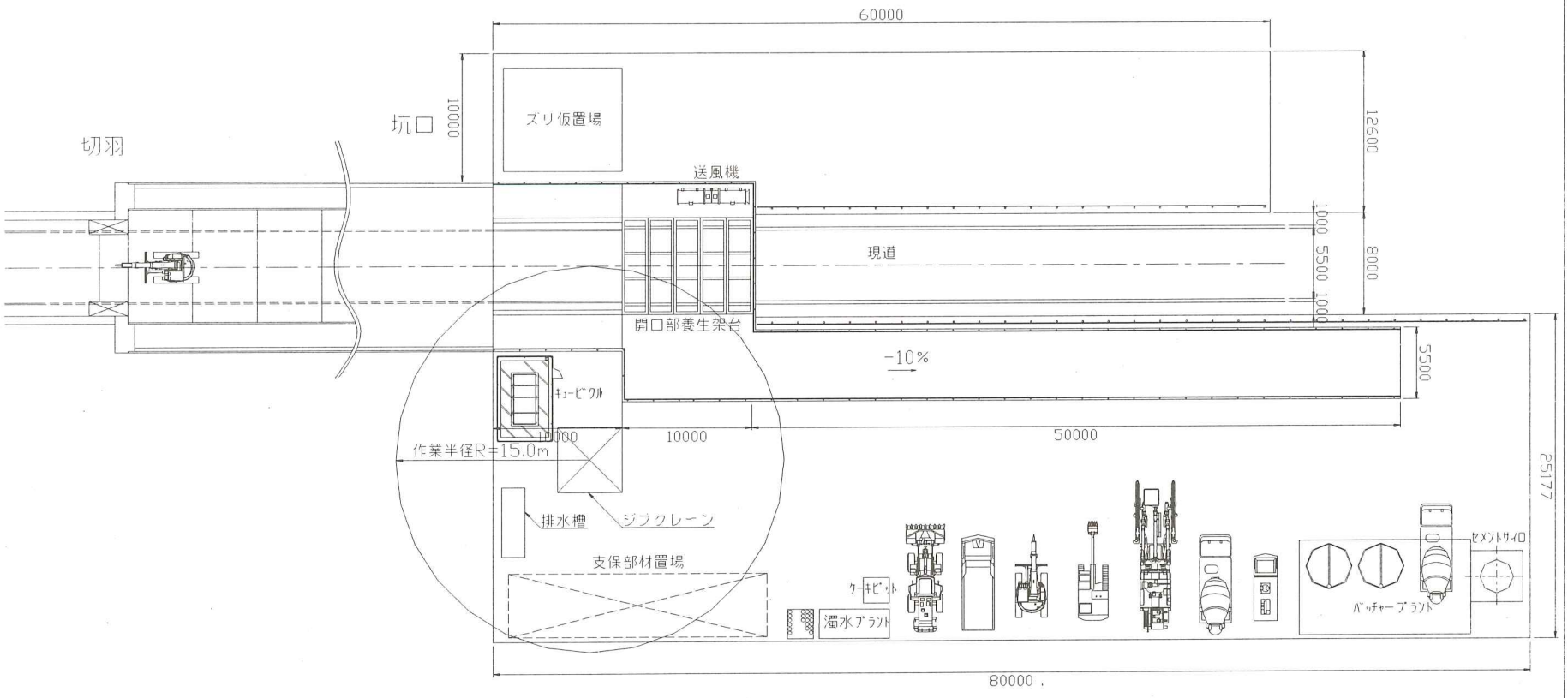


図-4.2.1　標準的な坑口部仮設備配置（上半掘削時）

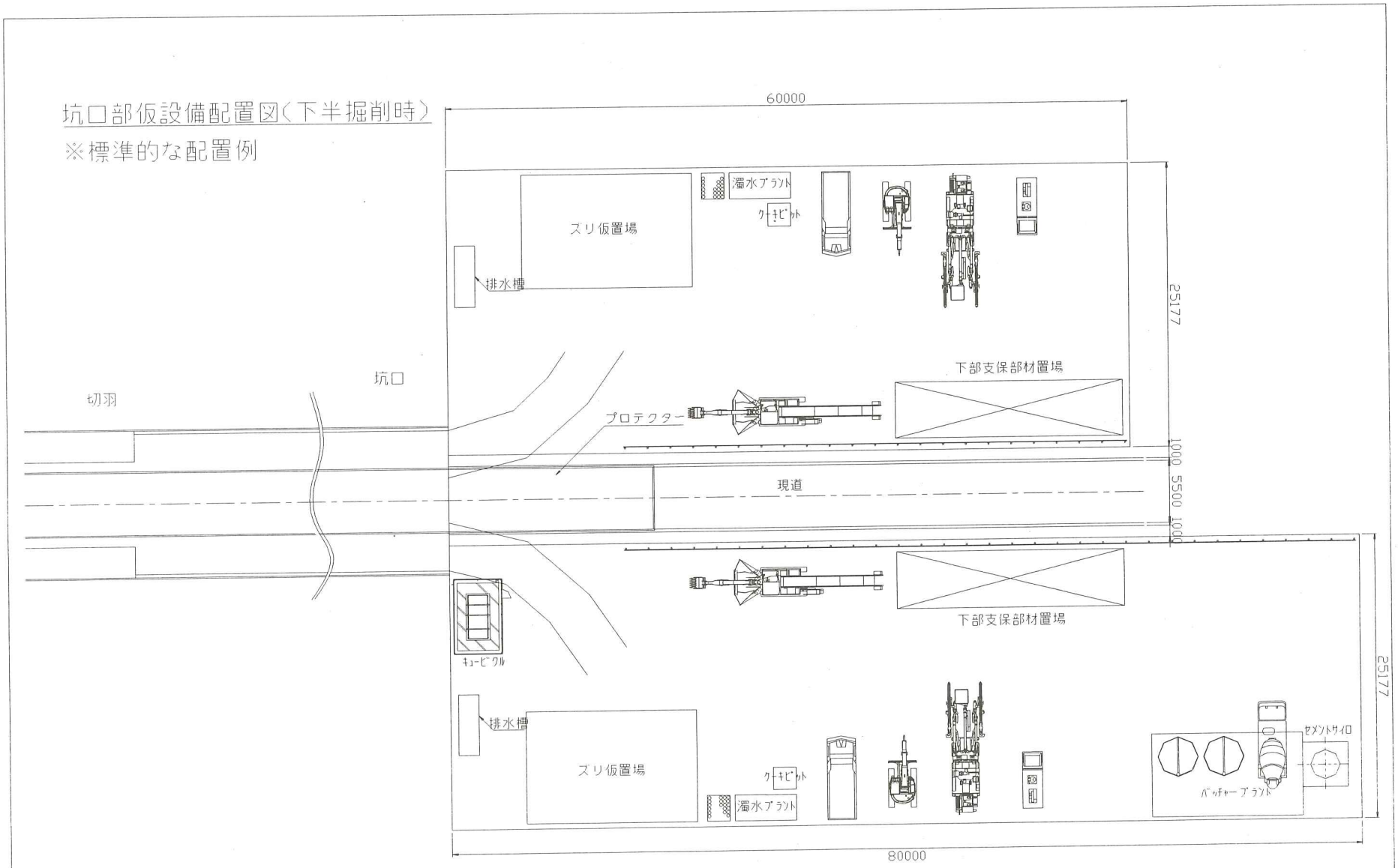


図-4.2.2 標準的な坑口部仮設備配置（下半掘削時）

坑口部仮設備配置図（上半掘削時）

※最小配置の例

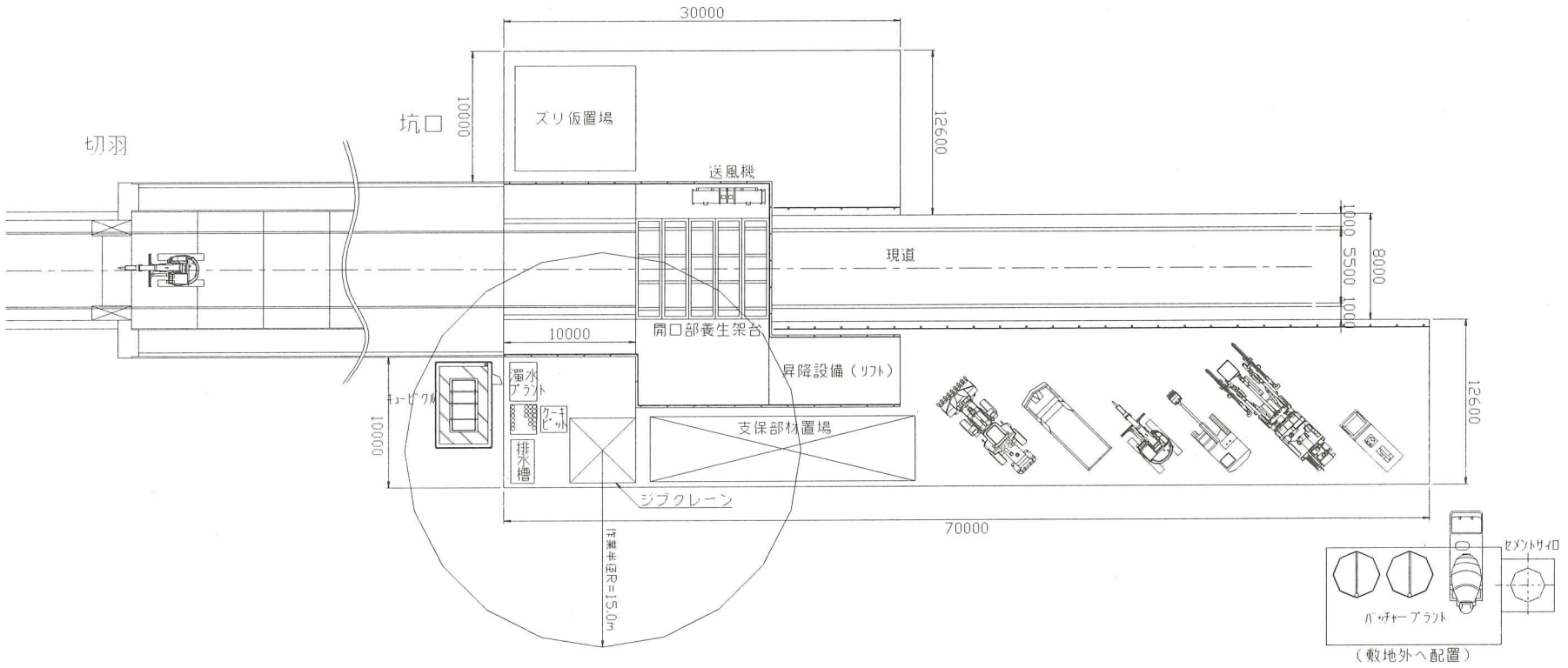


図-4.2.3　坑口部仮設備最小配置（上半掘削時）

坑口部仮設備配置図（下半掘削時）

※最小配置の例

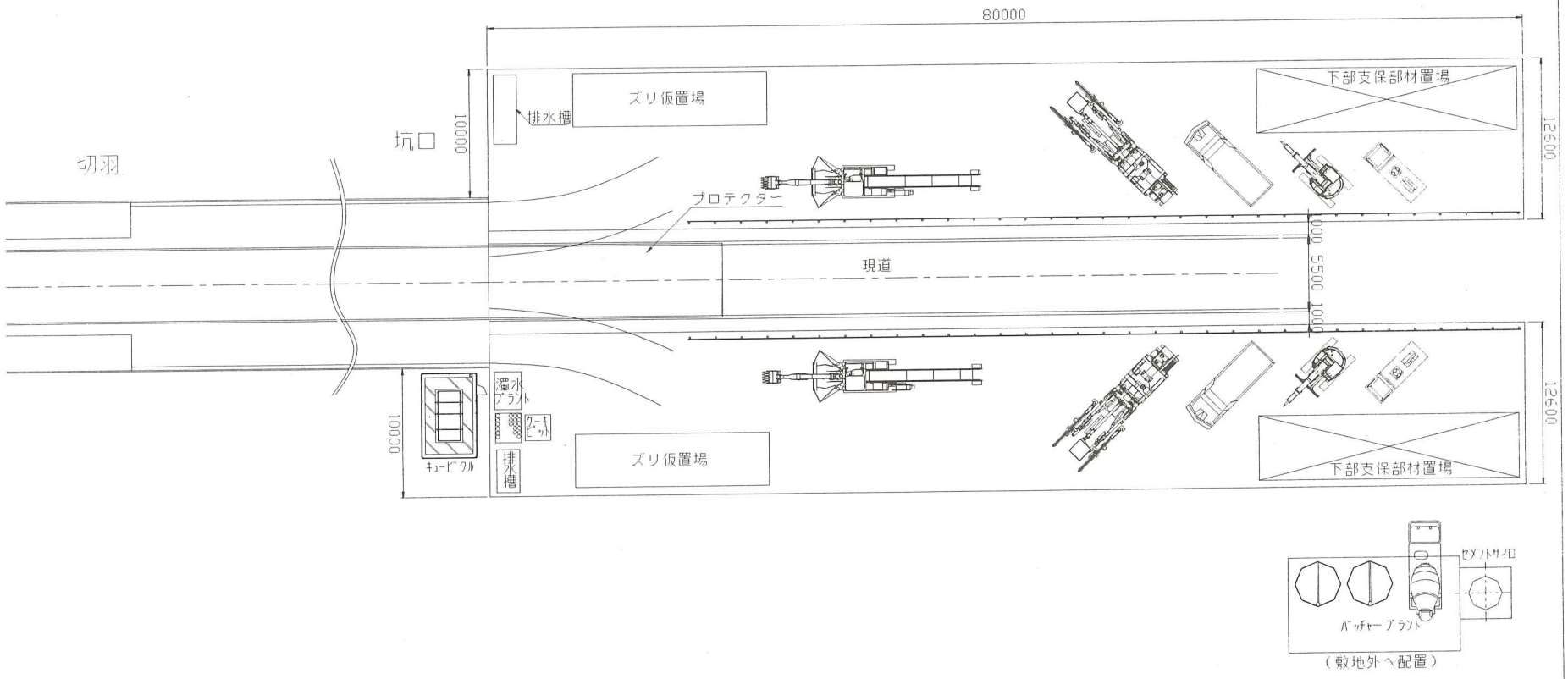


図-4.2.4　坑口部仮設備最小配置（下半掘削時）

４．２．２　換気方法

換気はトンネル坑口に送気用換気設備、およびトンネル終点口に風門、排気用換気設備を設けて、簡易プロテクタと既設トンネル覆工との隙間より終点口側へ粉じん等を吸い出す方式とする。

坑口の送気用換気設備は排気の補助、およびトンネル延長が長い場合の作業環境向上を行う。

図-4.2.5 に換気設備例を示す。

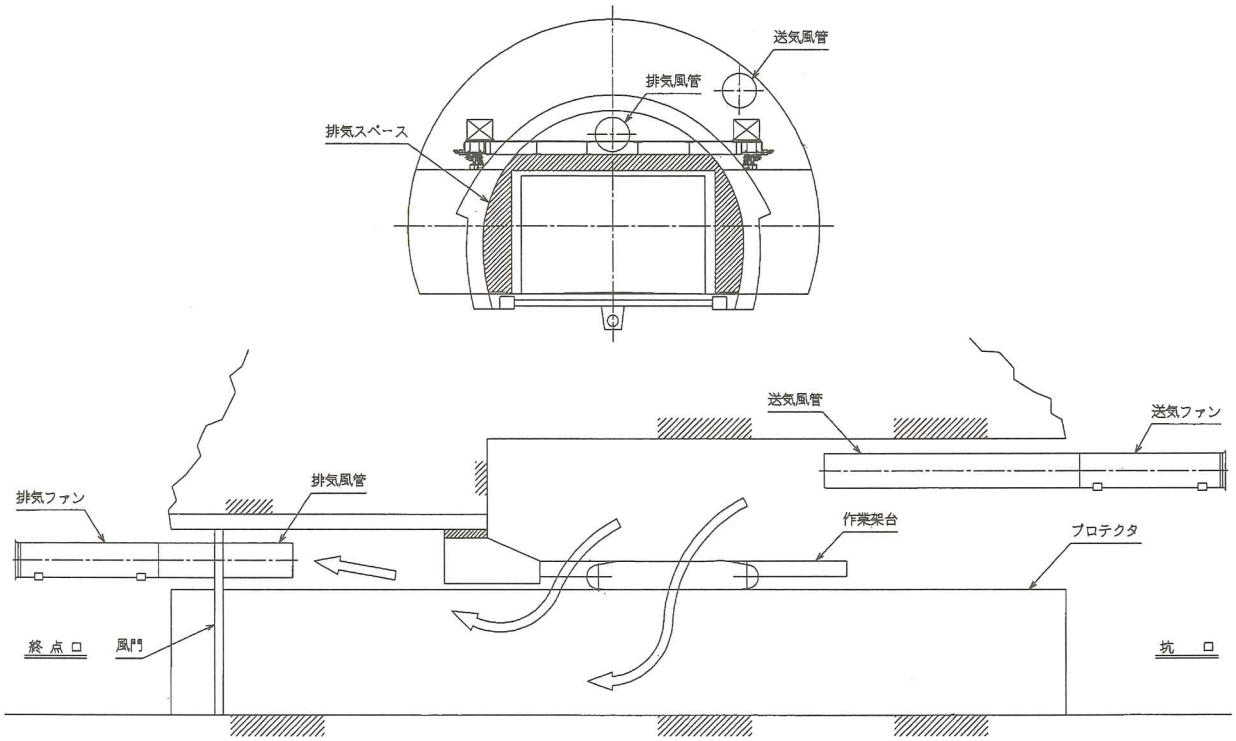


図-4.2.5　換気設備例

４．２．３　簡易プロテクタ搬入･組立・設置計画

（１）設置方法

図-4.2.6 にプロテクタ組立要領図を示す。図-4.2.7 に簡易プロテクタ設置概略手順図を示す。簡易プロテクタ設置手順を以下に示す。

１）仮設ヤードで下部フレームを仮組みする。

・柱を建て、繋ぎ材を掛け、倒れ防止を図り固定する。

２）仮設ヤードで上部フレームを仮組みする。

・地組みし、起こす。

３）下部フレームと上部フレームを連結する（簡易プロテクタの仮組完了）。

・上部フレームを吊り上げ、下部フレームに載せボルトで連結する。

４）レール材（H鋼）の敷設

・簡易プロテクタの脚部を固定するレール材（H鋼）をアンカーで固定する。

５）簡易プロテクタの運搬

・簡易プロテクタを移動架台付トレーラにてトンネル坑内に運搬する。積み込みは移動架台に装着したジャッキ操作により行う（ジャッキアップ）。

６）簡易プロテクタの設置

・坑内に運搬した簡易プロテクタを先行敷設したレール材（H鋼）上面に結合する（ジャッキダウン）。

以上を順次繰り返し、簡易プロテクタの設置を行う。

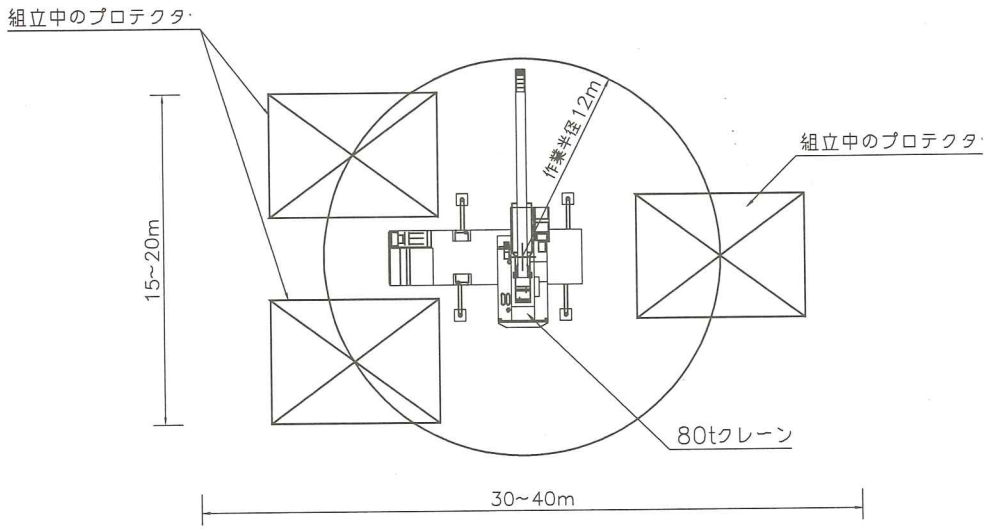


図-4.2.6　プロテクタ組立要領図

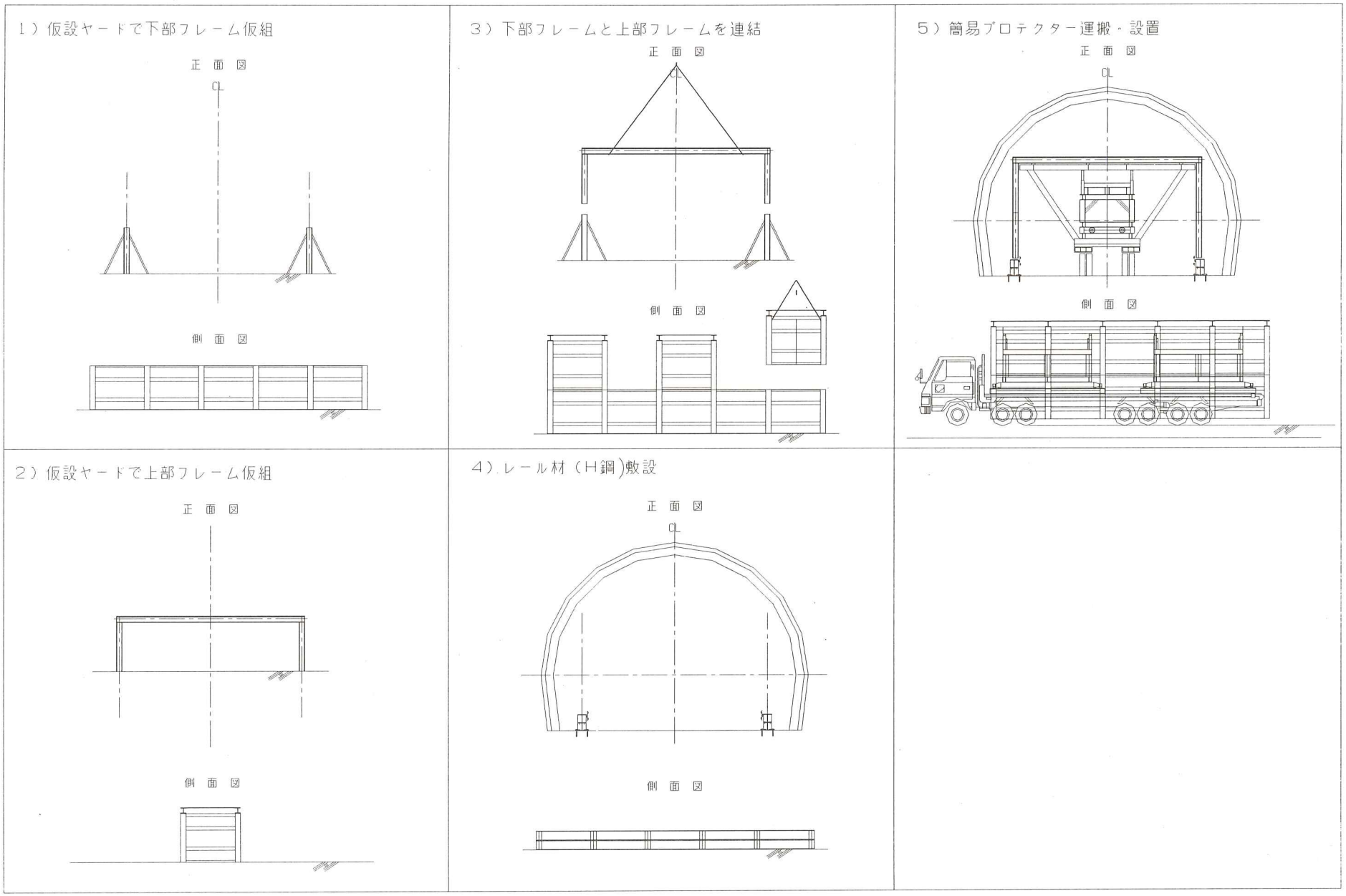


図-4.2.7　簡易プロテクタ設置概略手順

（2）簡易プロテクタ設置・撤去時間

通常使用されるプロテクタは、掘削機械の重機足場となるため、剛構造により重量が大きくなることから、1ブロック当たり 6.0m程度で計画される。しかし、簡易プロテクタは施工機械を上載しないので、構造の簡略化により大幅な重量の低減が図れることから、1ブロック当たり 10.2mとする。

1）簡易プロテクタ組立・設置（1ブロック当たり）

表-4.2.2　簡易プロテクタ組立・設置概略工程

（片番のみ）

工　　種	細　　別	所要日数	摘　　要
簡易プロテクタ仮組	下部フレーム組立	1．0方	坑外作業
	上部フレーム組立	1．0方	坑外作業
レール材（H鋼）敷設		1．0方	坑内片側交通規制
運搬・設置	水平部材設置を含む	2．0方	設置時：一定時間の全面通行止め※ 水平部材設置時：片側通行止め（1方）
1ブロック当たり合計		5．0方	／10．2m

※トレーラが坑内に入り，プロテクタを設置し，坑外に出ていくまで（約 30 分程度）全面通行止めとなる

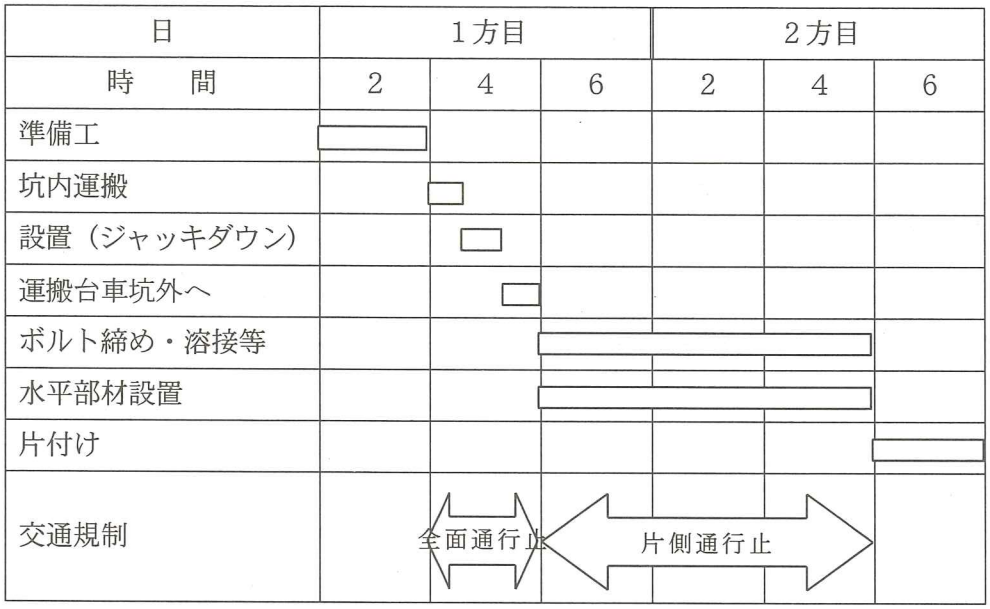
2）簡易プロテクタ解体・撤去（1ブロック当たり）

表-4.2.3　簡易プロテクタ解体・撤去概略工程

（片番のみ）

工　　種	細　　別	所要日数	摘　　要
分離・切り離し		2．0方	1日：片側通行止め 1日：全面通行止め
積載・運搬		0．5方	坑内交通規制
レール材（H鋼）撤去		0．5方	坑内片側交通規制
簡易フレーム解体	上部フレーム解体	0．5方	坑外作業
	下部フレーム解体	0．5方	坑外作業
1ブロック当たり合計		4．0方	／10．2m

表-4.2.4　プロテクタ設置標準作業工程（参考）



※トンネル延長や交通事情等によって運搬時間の検討を要す

※準備工，片付けに以下の作業を含む

◆交通規制に伴う看板等の設備設置・撤去

◆プロテクタ設置個所の掃除，養生

４．２．４　安全設備計画

本工法は現道の２車線をそのまま確保できるよう計画するため、一時的な通行止めや１車線規制期間が生じるが車線を減じる規制は行わない。したがって、交通誘導員は基本的に両坑口付近に１名づつ配置することとする。一時的な通行止め時の迂回路を確保するような場合には別途必要に応じて交通誘導員を配置するよう計画する。

安全設備としては、一般的な警告標識や工事案内看板、車両の高さ制限を行うチェックバー、プロテクタ内の速度制限標識、照明、非常用電話等がある。特に、チェックバーは、通行不可車輌をUターンあるいは迂回可能な場所に設けるよう留意する必要がある。

5．　適用にあたっての留意点

本工法の適用にあたっての留意点を以下に列挙する。

・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式）ため、走行路盤の不陸整正・地耐力確保が重要となる。地山が不良な場合には地耐力を十分検討する必要がある。

・上記項目に関連し、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、その水平力に対して側壁部の安定を図る必要がある。側壁部の安定性確保については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。

・換気方式は出口側坑口からの排気式とその補助として坑口からの送気式を計画しているが、施工状況や坑内環境状況によっては最適換気方法を検討する必要がある。

・当該工法は、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は工期がかかるという課題が残る。

・狭隘断面での施工機械の能力については確立した基準がないため、実績や試験施工等で歩掛りを調査する必要がある。

・本工法で使用する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が必要となる。簡易プロテクタの１ユニット長や効率的な組立方法など、施工条件に合わせた計画を策定する必要がある。

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）　—

参　考　資　料

1．サイクルタイム試算例

1．1　試算条件

① 拡幅断面

既設トンネル内空幅 B＝8.2m→新設トンネル内空幅 B=14m

供用車線；2 車線（幅 6.5m×高 4.1m）

② 施工延長

延長	CⅡ	DⅠ	DⅢ
50m	0	0	50
100m	0	50	50
200m	50	100	50
500m	300	150	50
1000m	300	650	50

③ 掘削方式、掘削工法

掘削方法	掘削区分	掘削方式	掘削工法
機械掘削	C，D	機械掘削	上半先進（分離施工）

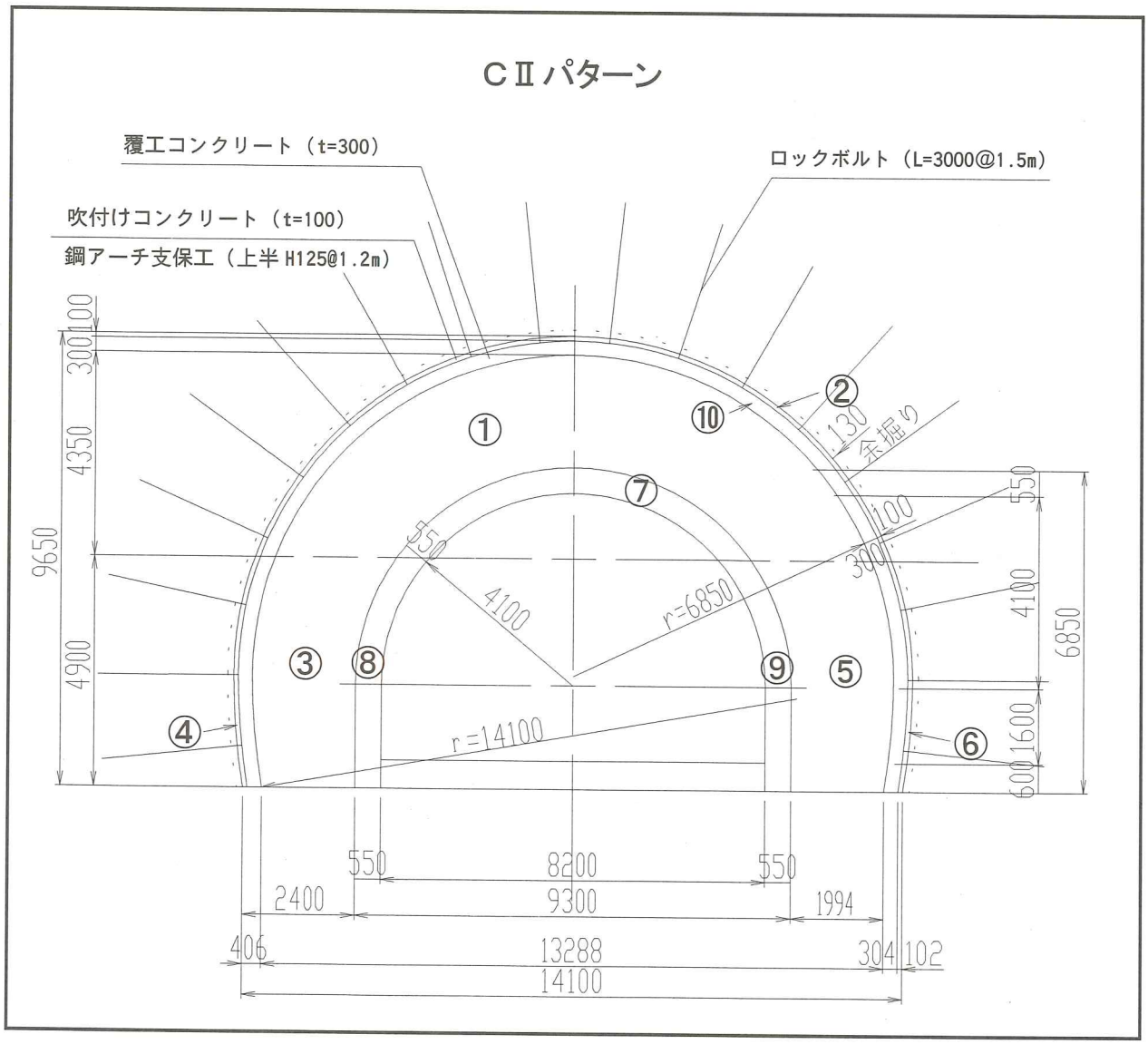
④ 使用機械

		上部	下部（L）	下部（R）
ブレーカ	1,300kg 級	○	—	—
バックホウ	0.4 m^3	○	—	—
ドリルジャンボ	2 ブーム	○	—	—
エレクタージャンボ	ノズル付き	○	○	○
ずり積機	ブレーカ付き	—	○	○
ダンプトラック	4 t	—	○	○
クローラドリル	1 ブーム	—	○	○
モルタル台車		○	○	○
トラック	2.9 t 吊	○	○	○
トラックミキサ	小型	○	○	○

⑤ フラットステージ（移動式作業構台）

第 1、第 2、第 3 フラットステージを使用する。

１．２　断面数量



サイクルタイム試算断面

トンネル断面数量表

項目		単位	CⅡ	DⅠ	DⅢ
設計断面積	上半	m^2	36.700	36.700	36.700
	下半	m^2	12.961*2	12.961*2	12.961*2
	計	m^2	62.622	62.622	62.622
支払断面積	上半	m^2	39.023	39.023	39.023
	下半	m^2	13.606*2	13.606*2	13.606*2
	計	m^2	66.235	66.235	66.235
既設覆工断面積	上半	m^2	4.357	4.357	4.357
	下半	m^2	2.811*2	2.811*2	2.811*2
	計	m^2	9.979	9.979	9.979
吹付け厚		cm	10	15	25
吹付け周長	上半	m	17.354	17.196	16.878
	下半	m	4.965*2	4.965*2	4.965*2
	計	m	27.284	27.126	26.808
覆工厚		cm	30	30	35
覆工支払断面積	上下半	m^2	10.237	10.177	11.348
	計	m^2	10.237	10.177	11.348
防水シート周長		m	27.284	27.126	26.808
金網設置周長	上半	m	－	17.196	16.878
	下半	m	－	－	4.966*2
	計	m	－	17.196	26.81
鋼アーチ支保工	上半	基	H125	H125	H200
	下半	基	－	H125	H200
ロックボルト CⅡ=3.0m DⅠ、DⅢ=4.0m	上半	本	12	14	0
	下半	本	3*2	4*2	4*2
	計	本	18	22	8
フォアポーリング L=3.0m	上半	本	―	―	21
	計	本	―	―	21

1．3　サイクルタイム

サイクルタイム（上半）

項　目				単位	CⅡ	DⅠ	DⅢ	摘　　要
設計掘削断面積（余堀含まず）			A1	m^2	36.7	36.7	36.7	
掘削断面積（余掘含）			A2	〃	39.0	39.0	39.0	
取り壊しｺﾝｸﾘｰﾄ面積			A3	〃	4.4	4.4	4.4	
1サイクル当り進行長			B	m	1.2	1.0	1.0	
掘削機械作業能力(地山)			C1	m^3/h	12.0	13.6	13.6	1300kg級ブレーカ能力の80%（作業効率）
掘削機械作業能力(ｺﾝｸﾘｰﾄ)			C2	〃	4.0	4.0	4.0	明かり硬岩掘削（1300kgブレーカ　41m3/日）の80%（作業効率）
1ｻｲｸﾙ当り吹付面積			M	m^2	17.4	17.2	16.9	
吹付設計厚さ			N	m	0.10	0.15	0.25	
補正係数			K		2.1	1.9	1.7	
1ｻｲｸﾙ当りﾎﾞﾙﾄ本数			P1	本	12.0	14.0	0.0	
ロックボルト長さ			L1	m	3.0	4.0	0.0	
1ｻｲｸﾙ当りﾌｫｱﾎﾟｰﾘﾝｸﾞ本数			FP	本	0.0	0.0	21.0	
ﾌｫｱﾎﾟｰﾘﾝｸﾞ長さ			L2	m	0.0	0.0	3.0	
掘削	掘削	準備		分	40	40	40	前部・中間作業構台移動(準備含む):30分プラス
		既設覆工取り壊し		〃	78	65	65	A3×B×60/C2
		地山掘削		〃	234	172	172	A2×B×60/C1
	ずり出し	ずり出し		〃	35	35	35	積込み10分＋10分/片道×2＋坑外処理15分=45分 1回につき約10m3とすると、3回の搬出となり、3*45=135分で地山掘削と覆工取り壊しｻｲｸﾙに含まれる。ただし、最後の1回分の搬出時間(20分＋15分)は別途計上する必要がある。このとき、同時に不要となる機械を坑外へ搬出する。
		跡片づけ（機械搬入含む）		〃	10	10	10	
		測量（機械搬入含む）		〃	10	10	10	
		小計		〃	407	332	332	
支保工	吹付け	吹付準備		〃	10	10	15	DⅢは一次、二次吹付けを考慮
		吹付		〃	23	31	45	M×N×K×60/9.6（＝12m3/h×0.8（作業効率））
		跡片づけ		〃	10	10	15	DⅢは一次、二次吹付けを考慮
		小計		〃	43	51	75	
	ロックボルト	ロックボルト準備		〃	10	10	10	
		穿孔		〃	84	126	105	ロッド継ぎ足し　P1×7, P1×9, FP×5　DⅢはﾌｫｱﾎﾟｰﾘﾝｸﾞ
		跡片づけ		〃	10	10	10	
		小計		〃	104	146	125	
	金網設置			〃	0	30	30	
	支保工	支保工準備		〃	10	10	10	
		支保工建込		〃	30	30	30	
		小計		〃	40	40	40	
	その他損失			〃	60	60	60	支保工切断等を含む
計　　Q				〃	654	659	662	
一日当り進行長				m/日	2.00	1.60	1.60	540×B×2(方)／Q
一月当り進行長				m/月	46.0	36.8	36.8	540×B×2(方)×23日／Q

サイクルタイム（下半，片側）

項目			単位	CⅡ	DⅠ	DⅢ	摘要
設計掘削断面積（余堀含まず）		A1	m^2	13.0	13.0	13.0	
掘削断面積（余掘含）		A2	〃	13.6	13.6	13.6	
取り壊しｺﾝｸﾘｰﾄ面積		A3	〃	2.8	2.8	2.8	
1サイクル当り進行長		B	m	1.2	1.0	1.0	
掘削機械作業能力(地山)		C1	m^3/h	6.4	8.0	8.0	800kg級ブレーカ能力の80%（作業効率）
掘削機械作業能力(ｺﾝｸﾘｰﾄ)		C2	〃	4.0	4.0	4.0	
掘削機械作業能力(ずり出し)		C3	〃	15.0	17.0	17.0	自由断面掘削機の標準積算能力（下半）
1ｻｲｸﾙ当り吹付面積		M	m^2	5.0	5.0	5.0	
吹付設計厚さ		N	m	0.10	0.15	0.25	
補正係数		K		1.9	1.7	1.5	
1ｻｲｸﾙ当りﾎﾞﾙﾄ本数		P	本	3.0	4.0	4.0	
ロックボルト長さ		L	m	3.0	4.0	4.0	
掘削	準備		分	10	10	10	
掘削 ずり出し	既設覆工取り壊し		〃	51	42	42	A3×B×60/C2
掘削 ずり出し	地山掘削			153	102	102	A2×B×60/C1
掘削 ずり出し	ずり出し		〃	65	48	48	A2×B×60/C3
掘削 ずり出し	跡片づけ		〃	30	30	30	機械移動時間含む
掘削 ずり出し	測量		〃	10	10	10	
掘削 ずり出し	小計		〃	319	242	242	
支保工 吹付け	吹付準備		〃	10	10	10	
支保工 吹付け	吹付		〃	6	8	12	M×N×K×60/9.6
支保工 吹付け	跡片づけ		〃	10	10	10	
支保工 吹付け	小計		〃	26	28	32	
支保工 ロックボルト	ロックボルト準備		〃	10	10	10	
支保工 ロックボルト	穿孔		〃	21	36	36	P×7　P×9
支保工 ロックボルト	跡片づけ		〃	10	10	10	
支保工 ロックボルト	小計		〃	41	56	56	
支保工	金網設置		〃	0	0	20	
支保工	支保工準備		〃	0	10	10	
支保工	支保工建込		〃	0	25	25	
支保工	小計		〃	0	35	35	
その他損失			〃	60	60	60	支保工切断30分、機械入れ替え30分
計 Q			〃	446	421	445	
一日当り進行長			m/日	2.90	2.60	2.40	540×B×2(方)／Q
一月当り進行長			m/月	66.7	59.8	55.2	540×B×2(方)×23日／Q

2．出願特許

申請特許名	出願人	発明者	申請年月日 (特許番号)	公開日
既設トンネルの 拡大工法	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	真下英人 蒲田 浩久 中森 純一郎 大浦 道哉 藤井 剛 武内 秀木 山本 一郎 鈴木 祥三 木村 哲 井上 博之 森田 篤 手島 隆治	2002.03.19 特願2002-076398	