共同研究報告書
整理番号第302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に関する設計・施工指針(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302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に関する設計・施工指針(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
		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
	技術研究所　地盤グループ	上席研究員	稲生　道裕
株式会社熊谷組	土木事業本部　トンネル技術部	専門部長	御手洗良夫
	同　トンネル技術部トンネルグループ	部長	益田　光雄
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、主として設計・施工を実施する上での基本的事項について「既設トンネル断面拡大工法に関する設計・施工指針(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、設計・施工技術指針

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、(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、主として設計・施工を実施する上での基本的事項について「既設トンネル断面拡大工法に関する設計・施工指針(案)」としてとりまとめたものである。なお、本報告書の支保構造および防護工の設計に関わる部分は、主として実績調査および模型実験等から得られた知見を基にとりまとめたものであるが、今後、新たな知見が得られれば適宜修正等を加えて活用するものとする。

目　　次

1.　総則 1-1

1.1　目的 1-1
1.2　適用の範囲 1-2
1.3　用語の定義 1-6

2.　計画 2-1

2.1　計画一般 2-1
2.2　構造規格 2-6
2.3　防護工 2-6

3.　調査 3-1

3.1　調査一般 3-1

4.　設計 4-1

4.1　設計一般 4-1
4.2　地山分類 4-3
4.3　断面拡大形状の設定および拡大工法の選定 4-7
4.4　支保構造 4-11
4.4.1　支保構造一般 4-11
4.4.2　ロックボルト 4-12
4.4.3　覆工 4-14
4.4.4　標準的な支保構造の組合せ 4-15
4.5　防護工 4-17
4.6　事前補強 4-23
4.7　坑口の設計 4-26
4.7.1　坑口部の設計 4-26
4.8　安全施設等の設計 4-27
4.8.1　既設トンネルの付属施設等の機能の維持 4-27
4.8.2　保全施設 4-29

5. 施工 5-1

5.1 施工一般 5-1
5.2 施工計画 5-2
5.2.1 施工計画 5-2
5.2.2 環境保全 5-4
5.3 掘削 5-5
5.3.1 掘削一般 5-5
5.3.2 ずり処理 5-6
5.3.3 インバート 5-8
5.4 防護工 5-9
5.5 事前補強 5-10
5.6 保全施設 5-13

参考資料

参考資料－1 活線施工による改築・拡幅事例 1
参考資料－2 改築・拡幅トンネルの支保構造の実績 11
参考資料－3 既設トンネルにおける覆工背面の緩み領域に関する実績 21
参考資料－4 既設トンネルの付属施設等の移設・プロテクタ構造および搬入・交通対策事例 29
参考資料－5 数値解析による断面拡大形状およびプロテクタ設置範囲の検討 41
参考資料－6 斜めに打設するロックボルトの支保効果に関する実験 45
参考資料－7 数値解析によるロックボルトの支保効果に関する検討 49
参考資料－8 緩み域におけるロックボルトの支保効果に関する研究 55
参考資料－9 既設トンネルの断面拡幅時の挙動計測 63

1．総　　則

1．1　目的

本指針（案）は、車両の大型化対応、交通渋滞解消、老朽化対策等によって改築する必要がある既設トンネルの断面拡大にあたり合理的な設計・施工を行うのに必要な一般的な考え方を示すことを目的とする。

【解　説】

近年、建設年次の古いトンネルの中には、断面が狭いために通行車両の大型化や交通量の増加によって交通障害が発生する所、老朽化や土圧の作用によって覆工に変状が現れ、トンネル構造の安全に課題がある所など、渋滞対策・安全対策が必要なトンネルが見受けられる。これまで、これらの対応策には、新設トンネルによる道路改良工事を行うか、迂回ルートの設定が困難な場合には、既設トンネルの断面拡大による拡幅工事が行われてきた。

一方、過去の断面拡大工事は、全国で数多くのトンネルが従来工法（**1.3 用語の定義参照**）によって施工されているが、以下の要因から新設トンネル建設に比べて工事費が割高になることが問題点として指摘されている。

① トンネル全線にプロテクタを設置する必要がある。

② 狭い作業スペースの中で汎用機を使用するため、機械の入替えや掘削土の搬出など施工性が悪く、工期も長くなる。

③ 通常、地山が硬い場合には爆破掘削で施工するのが一般的であるが、活線では適用が制限される。

④ 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困難になる。

しかしながら、用地買収や自然環境への影響等に対する社会的制約や既存ストックの有効活用の視点から、今後、既設トンネルの渋滞対策・安全対策として断面拡大による改築の必要性が高まるものと考えられる。

本指針（案）は、既設トンネルの断面拡大を効率的、経済的に調査、設計、施工できるように既設トンネルの断面拡大を行う際の一般的な考え方を示すものであり、**1．総則、2．計画、3．調査、4．設計、5．施工**から構成される。

しかし、既設トンネルの断面拡大にあたっては、対象トンネルの地山条件、健全度などトンネル断面拡大工事に重要な影響を与える要素が多々あり、その正確な把握が難しいことなどのため、技術的に未解明な点も多く残されており、過去の実績や経験等に基づいて判断しなければならないことが多い。

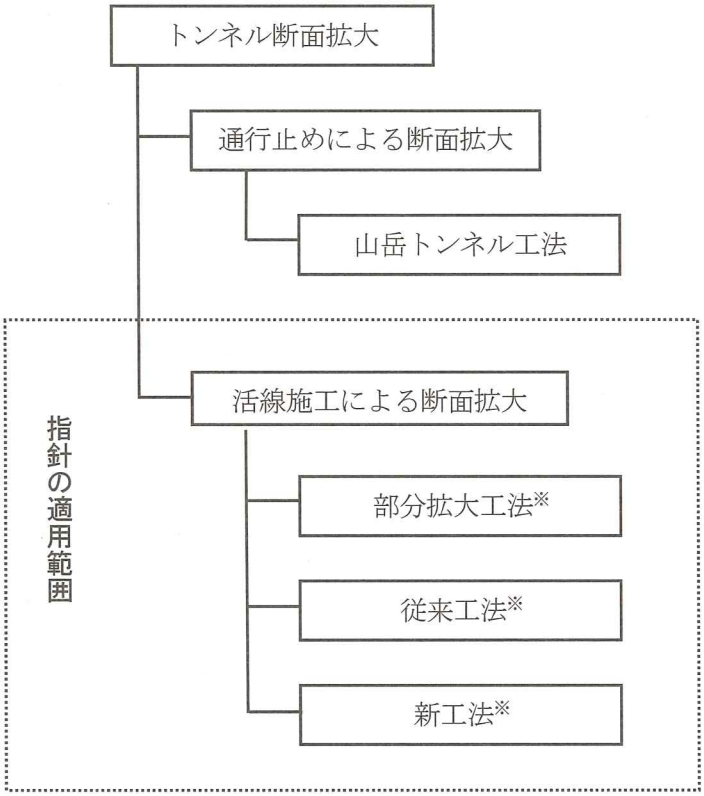
このため、トンネル断面拡大工事においては画一的な判断を行うことが適当でない場合もあり、本指針（案）およびその解説の適用にあたっては、その内容を十分理解し、総合的に検討するとともに、それに基づく適切な判断を行うことが肝要である。

１．２　適用の範囲

本指針（案）は、主として山岳トンネル工法により建設された道路トンネルの活線施工による断面拡大に適用する。

【解　説】

本指針（案）は、主として通常の山岳トンネル工法により建設された道路トンネルを活線施工による断面拡大する場合のトンネル構造に適用するものである（**図-1.2.1**　参照）。



※「1.3　用語の定義」参照

図-1.2.1　本指針（案）の適用範囲

道路トンネルの本体構造の技術的な基準に関しては、道路トンネル技術基準（平成元年 5 月 19 日都市局長・道路局長通達）および同解説（平成 15 年 11 月　社団法人日本道路協会）がある。

本指針（案）作成にあたっては、上記基準を基本としており、本指針（案）に記載されていない範囲については、**表-1.2.1(1)～(3)**により上記基準を適用するものとする。

表-1.2.1(1)　道路トンネル技術基準（構造編）・同解説との適用対応表

適用	道路トンネル技術基準（構造編）・同解説　目次	本指針（案）　目次
	第１編　総則	
	1.　総則	1.　総則
▲	1-1　目的	1.1　目的
▲	1-2　適用の範囲	1.2　適用の範囲
▲	1-3　用語の定義	1.3　用語の定義
	第２編　計画・調査	
	1.　計画	2.　計画
▲	1-1　計画一般	2.1　計画一般
■	1-2　構造規格	2.2　構造規格
	1-3　トンネル位置の選定	
▲		2.3　防護工
	2.　調査	3.　調査
▲	2-1　調査一般	3.1　調査一般
○	2-2　既往資料の収集	
○	2-3　地形図の作成	
○	2-4　地形・地質調査	
○	2-5　気象調査	
○	2-6　環境調査	
○	2-7　施工条件調査	
○	2-8　関係法令等に関する調査	
	第３編　設計	
	1.　概説	4.　設計
■	1-1　設計一般	4.1　設計一般
■	1-2　地山分類	4.2　地山分類
	2.　線形設計	
○	2-1　平面線形	
○	2-2　縦断線形	
○	2-3　併設トンネルおよび他構造物との間隔	
○	2-4　トンネルに接続する道路の線形等	
▲	3.　断面の設計	4.3　断面形状の設定および拡大工法の選定
○	3-1　内空断面	
○	3-2　掘削断面	
	4.　支保構造の設計	4.4　支保構造
■	4-1　支保構造一般	4.4.1　支保構造一般
○	4-2　支保構造の選定	
○	4-3　吹付けコンクリート	
■	4-4　ロックボルト	4.4.2　ロックボルト
○	4-5　鋼アーチ支保工	
■	4-6　覆工	4.4.3　覆工
■	4-7　標準的な支保構造の組合せ	4.4.4　標準的な支保構造の組合せ
	5.　防水工・排水工	
○	5-1　防水工・排水工一般	
○	5-2　防水工	
○	5-3　排水工	

表-1.2.1(2)　道路トンネル技術基準（構造編）・同解説との適用対応表

適用	道路トンネル技術基準（構造編）・同解説　目次	本指針（案）　目次
▲		4.5　防護工
▲		4.6　事前補強
	6.　坑口の設計	4.7　坑口の設計
■	6-1　坑口部の設計	4.7.1　坑口部の設計
○	6-2　坑門の設計	
▲		4.8　安全施設等の設計
▲		4.8.1　既設トンネルの設備機能の維持
▲		4.8.2　保全施設
	7.　その他の構造物の設計	
○	7-1　内装	
	7-2　換気ダクト	
○	7-3　箱抜き等	
○	7-4　トンネル拡幅部・交差部	
	7-5　地下換気所・立坑および斜坑	
○	7-6　トンネル内舗装	
	8.　矢板工法	
	第4編　施工	5.　施工
	1.　概説	
▲	1-1　施工一般	5.1　施工一般
○	1-2　設計の変更	
▲	2.　施工計画	5.2　施工計画
▲	2-1　施工計画	5.2.1　施工計画
○	2-2　安全管理	
▲	2-3　環境保全	5.2.2　環境保全
	3.　掘削	5.3　掘削
▲	3-1　掘削一般	5.3.1　掘削一般
○	3-2　掘削方式	
○	3-3　掘削工法	
○	3-4　爆破掘削	
○	3-5　機械掘削	
▲	3-6　ずり処理	5.3.2　ずり処理
○	3-7　工事中の排水	
	4.　支保工	
○	4-1　支保工一般	
○	4-2　吹付けコンクリート	
○	4-4　鋼アーチ支保工	
○	4-5　変状対策	
	5.　覆工	
○	5-1　覆工一般	
○	5-2　型わくの形式および構造	
○	5-3　型わくの据付	
○	5-4　コンクリートの現場配合	
○	5-5　コンクリートの運搬および打設	

表-1.2.1(3)　道路トンネル技術基準（構造編）・同解説との適用対応表

適用	道路トンネル技術基準（構造編）・同解説　目次	本指針（案）　目次
■	5-6　インバート	5.3.3　インバート
○	5-7　型わくの取外し	
○	6.　補助工法	
	7.　防水工・排水工	
○	7-1　防水工	
○	7-2　排水工	
○	8.　坑口部の施工	
○	9.　不良地山の施工	
	10.　地下換気所・立坑および斜坑	
▲		5.4　防護工
▲		5.5　事前補強
▲		5.6　保全施設
○	11.　施工管理	
○	11-1 施工管理一般	
○	11-2　工程管理	
○	11-3　品質管理	
○	11-4　観察・計測	
○	11-5　測量	
○	第5編　維持・管理	

注）本指針（案）の適用にあたっては、適用欄の記号を参考とする。

■：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説、本指針（案）共に適用する。
○：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説を適用する。
▲：本指針（案）を適用する。

１．３　用語の定義

本指針（案）における用語の定義は、下記に定めるとおりとする。

（１）**断面拡大工法**・・・既設トンネルの断面拡大技術として、下部拡大工法、上部拡大工法、全体拡大工法の３工法に区分され、これらの工法を断面拡大工法という。

（２）**下部部分拡大工法**・・・既設トンネルの幅員を変更しないで舗装厚の縮小や盤下げにより内空高差だけを拡大する工法を言う。

（３）**上部部分拡大工法**・・・既設トンネルの幅員を変更しないでアーチ部の一部もしくは全面を切り広げて、内空高さだけを拡大する工法をいう。

（４）**全体拡大工法**・・・既設トンネルの幅員や内空高さを変更するために断面全体を拡大する工法をいう。全体拡大工法には、拡大方向によって片側拡大工法と両側拡大工法の２工法がある。

（５）**両側拡大工法**・・・既設トンネルの両側に断面全体を拡大する工法をいう。

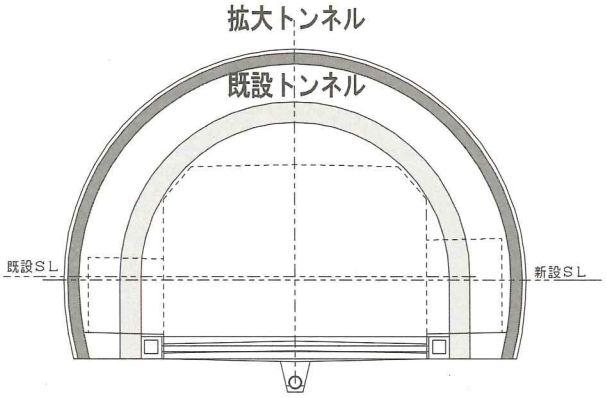


図-1.3.1　両側拡大工法

（6）**片側拡大工法**・・・・既設トンネルのトンネル中心線を移動して、片側に断面全体を拡大する工法をいう。

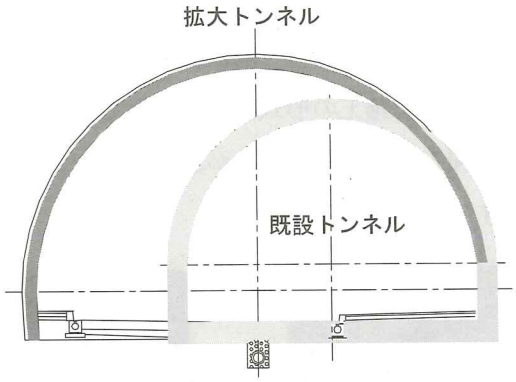


図-1.3.2　片側拡大工法

（7）**従来工法**・・・通行車両の防護および掘削機の作業等に耐えることのできる剛性の高いプロテクタをトンネル延長全線に固定設置し、新設トンネルで使用する汎用掘削機で掘削を行う工法をいう。

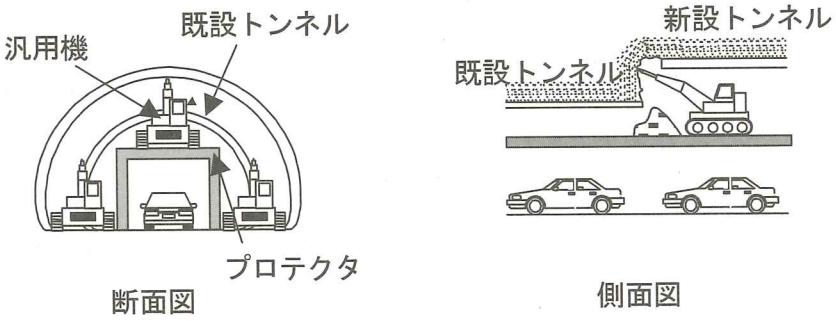


図-1.3.3　従来工法

（8）**新工法**・・・移動式作業構台や拡大用専用掘削機などを用いて断面拡大を行う工法をいう。

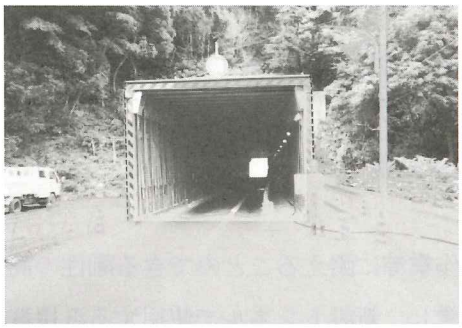
（9）**活線施工**・・・1 車線交互通行や２車線通行にて、供用したままでトンネル断面を拡大することをいう。

（10）**汎用掘削機**・・・新設トンネルで使用する自由断面掘削機、ブレーカ、バックホウ等の掘削機をいう。

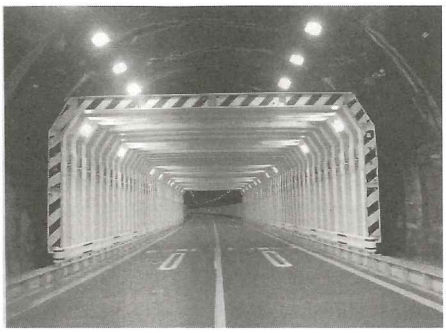
（11）**専用掘削機**・・・既設トンネルの断面拡大工法で使用するために、専用に開発された掘削機をいう。

(12) **半専用掘削機・・・**自由断面掘削機を改良したマルチタイプ掘削機（掘削、覆工撤去、支保工建込み、吹付け、ロックボルト打設等の機能を装備した専用機）をいう。

(13) **防護工・・・**既設トンネルの断面拡大を行う際に、トンネル利用者の安全確保を目的として設置するものをいう。防護工の形式には、鋼材で製作されたもの（プロテクタ）および既設トンネル覆工を利用したものがある。また、鋼製の防護工には施工機械のステージを併用するものもある。



1 車線用防護工



2 車線用防護工

図-1.3.4　防護工の事例

(14) **移動式作業構台・・・**既設トンネルの断面拡大を行う際に、施工機械のステージを移動可能な構造にしたものとして設置するものをいう。移動式作業構台には、防護工を併用するものもある。

(15) **比較的狭いトンネル・・・**1.5 車線程度の道路で大型車のすれ違いが困難なため、交通渋滞を起こしているトンネルをいう。

(16) **比較的広いトンネル・・・**2 車線交通には問題はないが、歩道取り付けなどで断面拡大が必要なトンネルをいう。

(17) **要求性能・・・**断面拡大工法の選定条件で、幅員構成、線形、建築限界の高さ等、断面拡大後のトンネルが必要とする性能をいう。

2．計　　画

2．1　計画一般

1. 既設トンネルの断面拡大の計画にあたっては、安全性、経済性、環境面等を考慮するとともに、トンネル部および前後に接続する道路部の拡幅を含めて総合的に検討するものとする。
2. 断面拡大の計画にあたっては、トンネルの付属施設（非常用施設等）および地下埋設物との関連も考慮する必要がある。

【解　説】

1．について

車両の大型化や交通量の増加に伴い狭隘化したトンネルや老朽化に伴い改築する必要があるトンネルに対して、活線施工による断面拡大をする場合はトンネル内の交通の安全確保はもちろんのこと、災害の未然防止、トンネルのリニューアル、自然環境にも配慮して検討するものとする。

既設トンネルの断面拡大の計画にあたって行う検討の流れを示すと**図-2.1.1**とおりである。

（1）基本調査

基本調査は、既設トンネルの断面拡大の有効性、断面拡大をする場合の現道交通の把握および断面拡大の要求性能等の基本方針、工法選定の条件を決定するために必要な資料を既存文献や現地調査により収集する調査である。主な調査項目は以下のとおりである。

① トンネルの現況
② 周辺環境
③ 交通量状況
④ トンネル周辺の立地・地形・地質
⑤ トンネルの付属施設

（2）基本方針の検討

基本方針では、基本調査資料に基づき、断面拡大の有効性を検討することによって、既設トンネルに対して断面拡大を行うか新設事業を行うかを決定し、既設トンネルを断面拡大する場合には現道交通対策の検討によって、通行規制等による活線施工か迂回路を確保した全面通行止めによる施工かの方針を決定するものである。

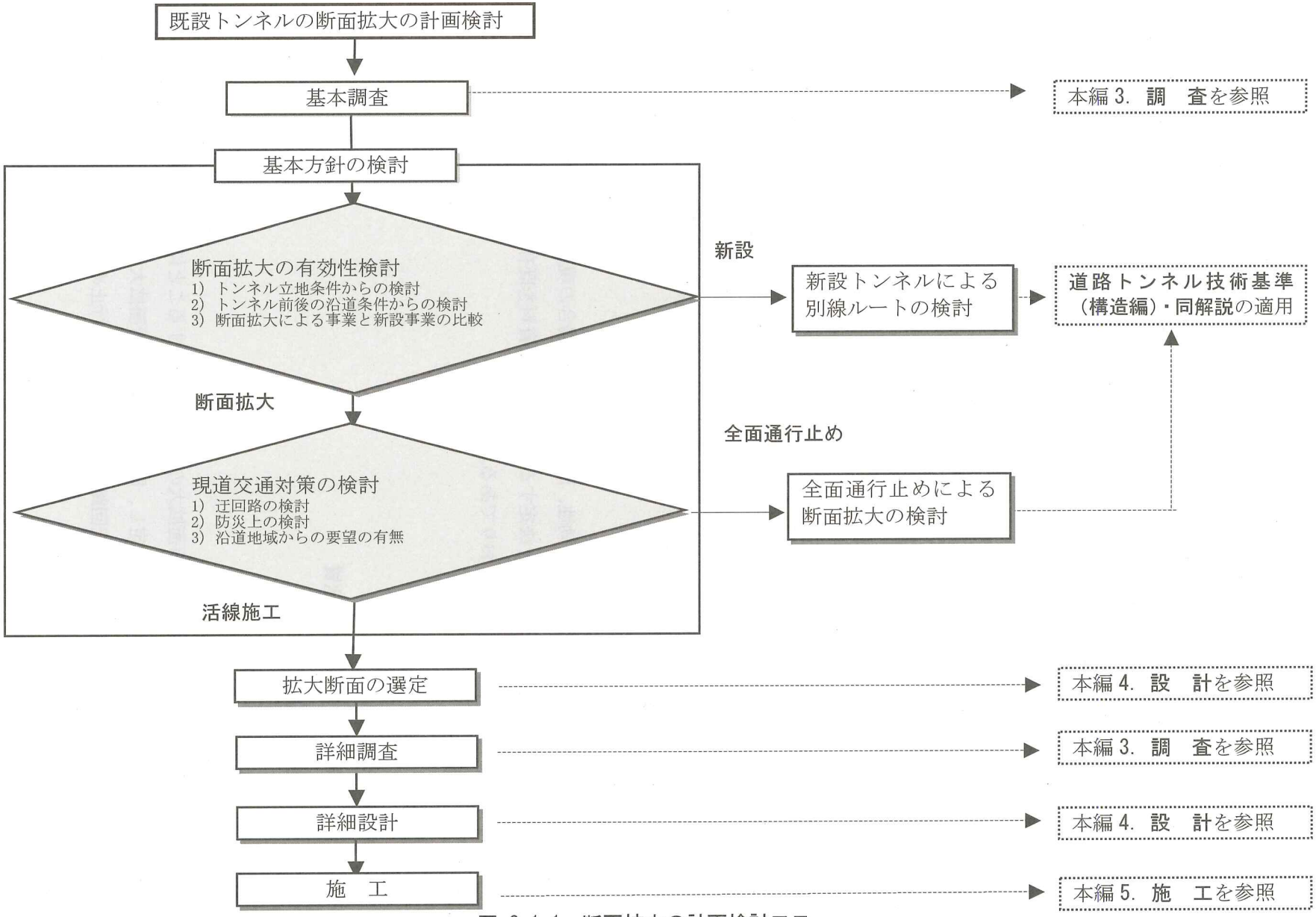


図-2.1.1　断面拡大の計画検討フロー

1）断面拡大の有効性検討

断面拡大の有効性の検討にあたっては、断面拡大事業と新設事業の比較により判定するが、トンネル工事費、明り部工事費、用地費などの路線全体の事業費による経済面の評価だけではなく、**表-2.1.1**に示すような環境保全や地域公共サービスの向上、道路資産価値の向上など総合的な比較検討が必要である。

表-2.1.1　比較検討の項目（例）

検　討　項　目	
道路利用	走行快適性の向上
	交通事故減少
	歩行の安全性・快適性の向上
環　　境	景観の保全・創出、文化財保護
	生態系の保全
	地域環境の保全
住民生活	道路空間の効率的利用
	防災性の向上
	生活機会、交流機会の拡大
	公共サービスの向上
地域社会	資産価値の向上
	公共施設整備費用の節減
事業評価	時のアセスメント（事業再評価）

特に、以下に示すようにトンネルの立地条件や前後の沿道条件については、断面拡大事業が採用される大きな要因となる場合が多い。

①　トンネル立地条件からの検討

海岸、河川沿いにあるトンネルや鉄道、住宅地などに隣接するトンネルについては、新設トンネルによる別線ルートの設定が困難となるため、既設トンネルの断面拡大が有効な手法となる。

②　トンネル前後の沿道条件からの検討

沿道地域の歩行者、自転車利用者を含め道路の利用率が高く生活道路として位置づけられたトンネルについては、既設トンネルの必要性が非常に高いため、断面拡大が有効な手法となる。

2）現道交通対策の検討

断面拡大による事業が実施される場合、新設事業と大きく異なる条件として現道交通の確保がある。現道交通の確保の方法には、通行規制等をかけて車両を通しながら施工する活線施工と迂回路を確保して全面通行規制による施工があるが、これらの選択は以下に示すようなトンネル立地条件や沿道条件などによって決定する。

① 現況の交通サービスをあまり低下させない程度の迂回路の確保が可能か
② 緊急輸送道路に指定されるなど防災上、通行止めが可能か
③ 沿道地域からの要望の有無

（3）拡大断面形状の設定および拡大工法の選定

既設トンネルの断面拡大形状は、要求性能に応じて所要の建築限界が確保できる断面を設定する必要がある。拡大断面形状の設定の後、既設トンネルの諸条件および接続する明かりの道路との一体性および連続性が確保できるように平面線形、縦断線形など考慮した上で、部分的な断面拡大（部分拡大）とするか全体的な断面拡大（全体拡大）とするかなど拡大工法を選定する必要がある。拡大断面の設定および拡大工法選定の一般的な考え方については、本編４．**設計**で記載するものとする。

（4）詳細調査

詳細調査は、選定した断面拡大工法の詳細設計を行うために必要な資料を地質調査や物理試験等によって収集する調査である。主な調査項目は以下のとおりである。

① 施工時の記録に関する調査
② 既設トンネル変状調査
③ 地山条件調査
④ 周辺環境調査

（5）詳細設計

選定した断面拡大工法に応じて、基本調査および詳細調査の結果に基づき本編４．**設計**に従って、拡大トンネルの構造設計、仮設備設計、施工計画を立案する。

（6）施工

詳細設計の結果に基づき本編５．**施工**に従って、断面拡大の施工を行う。

2．について

道路トンネルには、交通の安全を確保するとともに通行の快適性を向上させることを目的として、換気施設、照明施設、非常用施設等の付属施設やその他に通信、ガス、電力、上下水道等の埋設物が設置されている。これらの道路トンネルの付属施設に関する技術基準としては次のものがある。

① 道路トンネル技術基準（換気編）（昭和 60 年 10 月 12 日　都市局長、道路局長通達）
② 道路照明施設設置基準（昭和 56 年 3 月 27 日　都市局長、道路局長通達）
③ 道路トンネル非常用施設設置基準（昭和 56 年 4 月 21 日　都市局長、道路局長通達）
④ 道路トンネル技術基準（換気編）・同解説（平成 13 年 10 月　社団法人日本道路協会）
⑤ 道路照明施設設置基準・同解説（昭和 56 年 4 月　社団法人日本道路協会）
⑥ 道路トンネル非常用施設設置基準・同解説（平成 13 年 10 月　社団法人日本道路協会）

これらの施設の種類および規模は、断面拡大工法の選定に重大な影響を与えるため、十分な調査を行う必要がある。また断面拡大後の付属施設の計画についても併行して必要な精度で行い、両者の相互の関係を把握しておく必要がある。

トンネルの断面拡大の計画にあたっては、トンネルの付属施設（非常用施設等）および地下埋設物について、以下の計画を検討する必要がある。

① 工事中における付属施設等の機能維持
② 断面拡大後の付属施設等の移設計画

２．２　構造規格

断面拡大工法を採用するトンネルの幅員構成、建築限界、線形などの構造規格は、道路構造令の規程によるものとする。

【解　説】

拡大断面の構造規格については、トンネル前後の路線についても配慮して道路構造令の規定を満足しなければならない。

２．３　防護工

活線施工で既設トンネルを断面拡大する場合には、現道交通の安全を確保するための防護工を検討しなければならない。

【解　説】

既設トンネルを活線施工で断面拡大する場合には、現道交通の安全を確保するための防護工を検討しなければならない。防護工は、採用する断面拡大工法によって最も適したものを採用しなければならない。

3．調　　査

3．1　調査一般

既設トンネルの断面拡大にあたっては、安全で合理的な計画、設計、施工および維持管理の基礎資料を得るため、計画の規模に応じて、建設の段階ごとに、系統的に交通量、既設トンネルの健全度、立地条件、地形、地質、環境等に関する調査を実施するものとする。

【解　説】

（1）調査の意義と目的

既設トンネル断面拡大のための調査は、既設トンネルの交通量、既設トンネルの健全度、立地条件、地表および地山の状況など、既設トンネルの状況を事前に把握する目的で行うものである。調査の実施にあたっては、既設トンネルの規模、地形・地質の特性、建設の段階等に応じて、その目的・内容および時期を定め、所要の資料を入手するように努めなければならない。

特に、既設トンネルの施工時記録、変状調査記録、補修記録等は、トンネル周辺地山の状態の把握、施工時の安全性を判定する上で重要な資料となることから、これらの資料の収集が重要である。

また、トンネル周辺地山の地形・地質および湧水に関する条件、いわゆる地山条件および施工時の交通規制条件については、トンネルの設計および施工を著しく左右するものであり、最適な工法の選定がなければ、工費の増大、工程の遅延のみならず、不測の事態を招く場合もある。したがって、的確な調査によりこれらの条件をできるだけ明らかにしておく必要がある。

施工中は、工事が安全かつ合理的に行えるよう、切羽やその周辺地山および支保構造等について、観察・計測・試験等の必要な調査を実施し、その結果は、すみやかに設計・施工に反映するものとする。

特に、既設トンネル断面拡大を活線施工で行う場合には、トンネル利用者の安全確保の面から、防護工の状況観察を行うとともに、交通規制による渋滞状況等についても把握しておくことが重要である。

（2）調査の手順

調査を実施時期とその目的によって大別すると、**図-3.1.1** に示すとおり、既設トンネルの断面拡大のための調査、設計・施工のための調査、施工中の調査の 3 段階に分類され、それぞれの調査目的は、**表-3.1.1** のようになる。

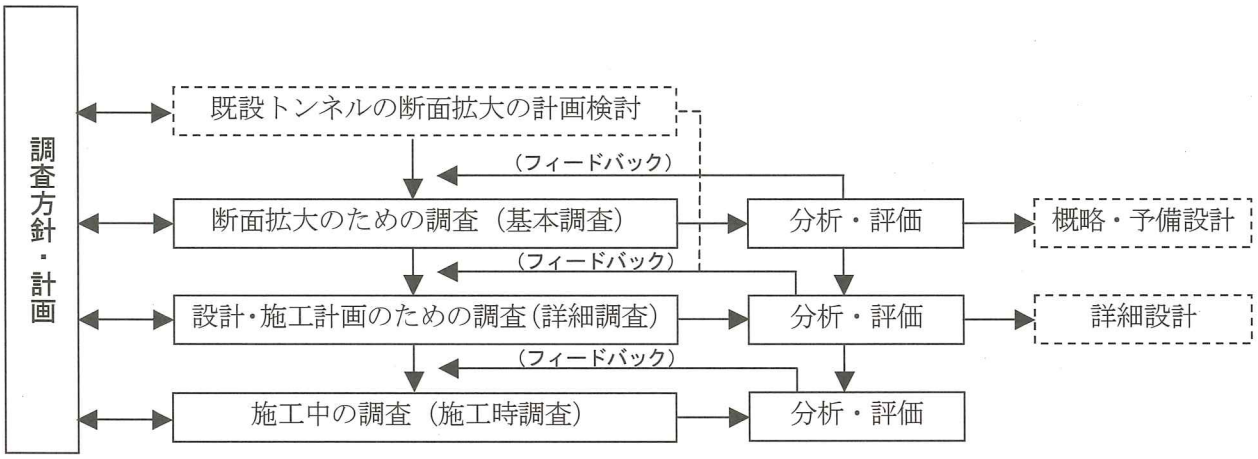


図-3.1.1 調査の手順（文献 1）を加筆修正）

概略設計：既設トンネルの断面拡大を行うか、新設ルートとするか路線全体の整備計画を選定する。

予備設計：立地条件等調査結果に基づきトンネルの位置、延長、概略の構造、施工法、施工計画、建設費およびこれらの比較検討を行う。

詳細設計：予備設計を基にトンネルの詳細な構造、施工法、施設計画、施工計画、環境保全対策および建設費を定める。

表-3.1.1 既設トンネル断面拡大の建設の段階と調査目的（文献２）を参考に作成）

建設の段階		調査目的				摘　要（検討内容）
区分	時　期	目　的		範　囲	着眼点	
基本調査	既設トンネルの断面拡大を行うか、新設ルートとするか選定をするまで (概略･予備設計)	断面拡大のための調査	立地・地形・地質、既設トンネル、交通量、その他環境等の条件に適合した路線の選定と概略の構造、施工法、防護工計画、交通規制計画、施設計画などを検討するために必要な資料および次の段階の調査立案の基礎資料を得ること。	比較路線を含む広範囲	新設ルートとしたときのトンネルおよび既設トンネルの断面拡大にあたって大きな支障となる立地･地形・地質・環境・トンネル利用状況、既設トンネルの状態、施工条件およびその他の支障物件	路線の線形、既設トンネルの健全度、トンネルの位置、延長、概略の構造、施工法、施工計画、建設費およびこれらの比較検討を行う。
詳細調査	断面拡大または新設トンネル建設かを決定以後、工事着工まで (詳細設計)	設計・施工計画のための調査	立地、地形・地質、既設トンネル状態、その他環境等の条件に適合した実施設計・施工計画の作成および積算等に必要な基礎資料を得ること。	トンネル建設関連箇所およびそれらの周辺地	地形・地質、環境、既設トンネル構造等の全般的な諸条件、特に坑口付近の斜面の安定、破砕帯等の弱層部や土被りの小さい箇所等の地山条件、地下水の状況、施工場所の条件	トンネルの詳細な構造、施工法、施設計画、施工計画、環境保全対策および建設費を定める。
施工時調査	施工中	施工中の調査	施工中に生じる問題点の予測および確認、施工管理、補償のための資料を得ること。	トンネル内および施工により影響を受ける恐れがある範囲	切羽の自立性、湧水の状況、当初設計条件と異なる地質等の状況、トンネルの内空変位や地表変位の状況、工事中の環境保全、交通規制による渋滞等	施工を実施するとともに、支保構造等の当初設計、施工法、環境保全対策等の妥当性および設計変更の必要性を検討する。

表-3.1.1に示すように、調査は、建設の段階に応じて実施することが大切であり、また、同一項目の調査が長期にわたる場合もあるため、全体計画を定め、範囲が広く精度の粗い調査から、より範囲が狭くより精度の高い調査へと、それまでの調査成果を参考にしながら、順次、系統的に実施し、全体の精度の向上を図るようにしなければならない。

既設トンネルに関する既存資料が入手可能な場合、支保構造、変状記録等から地質状況を推定する資料とすることができる。設計段階では破砕帯部や坑口などの問題箇所の調査に重点を置き、一般部は施工記録、変状調査記録等の既存資料、施工中における坑内の観察・計測等で得られる情報を有効に利用するのが適当である。

（3）調査項目および準拠する基準

基本調査、詳細調査における調査項目および準拠する基準を**表-3.1.2** に示す。なお、各調査項目のうち、既設トンネル建設時および維持管理時の資料が存在し、追加調査の必要がない場合は実施する必要はない。

これらの調査を、既設トンネルの断面拡大の計画・設計および施工計画の段階で必要に応じて実施し、周辺の地形、地山の物理的・力学的性質、地下水の状況、気象、自然環境、社会環境、施工条件、既設トンネル状況等の諸条件についての資料を得る。

調査は、建設の段階によって得ようとする資料の内容・範囲および精度が異なるため、**図-3.1.1** に示すように必要に応じて、繰り返し実施する。

既設トンネルを断面拡大するために必要となる調査項目のうち、新設トンネル計画時の調査項目と共通なものは「**道路トンネル技術基準（構造編）・同解説**」に、既設トンネル調査と共通なものは「**道路トンネル維持管理便覧**」に準拠するものとする。以下に上記文献に記載のない調査項目について示すものとする。各調査項目は次の点に着目して資料収集、現地踏査、現地調査等を必要に応じて実施する。

① 立地調査

道路線形、断面拡大の方向（両側拡大か片側拡大）および施工方法等の検討を行うために、坑口周辺の地形、地質、道路構造物等の有無のほか、土地利用図等から土地利用状況の把握を行い、立地上のコントロールポイント等を把握する。

② 交通状況調査

断面拡大工法、断面形状、施工方法、施工時の交通規制計画を検討するために、現状の車種別・時間別交通量、歩行者・自転車の数、交通事故発生状況等の把握を行う。

③ 既設トンネルの施設等調査

一般車両供用下での既設トンネルの断面拡大は、新設トンネルと異なり施工中においても現在設置されている施設等の機能を維持することが求められる。したがって、設計図書や各施設の設置状況等の資料等をもとに、既設トンネルに設置されている換気施設、照明施設、非常用設備、埋設物等の状況を把握し、各施工段階における移設計画の検討等を行うための資料とする。

また、施工時調査については、以下のような内容の調査が考えられるため、施工状況に応じて実施することが望ましい。

① 事前補強したロックボルト等支保の効果
② 周辺地山の緩み範囲や挙動
③ 未拡大部の既設トンネルの挙動
④ 拡大部のトンネルの挙動
⑤ 一般車両の通行状況
⑥ 防護工の状況
⑦ 一般車両に対する騒音・粉塵状況

表-3.1.2 (a) 調査項目および準拠する基準（地形図作成、立地調査、地形調査）

項　目	基本調査		詳細調査	準拠する基準
	既存資料	既存資料がない場合の追加調査		
地形図作成	地形図	• （地形図） （1/50,000～1/5,000） • 現地踏査 • （地表地質踏査）	• （地形図） （1/5,000～1/1,000）	道路トンネル技術基準（構造編）・同解説
立地調査	土地利用図	• （土地利用状況調査）		
交通状況調査	交通量調査結果 交通事故調査結果 歩行者・自転車の交通量		• （交通量調査結果） • （交通事故調査結果） • （歩行者・自転車の交通量）	
地形・地質調査	施工時の記録 地表地質踏査結果 物理探査結果 ボーリング調査結果	• 現地踏査	• 現地踏査 • （地表地質踏査） • （物理探査） • （ボーリング）	道路トンネル技術基準（構造編）・同解説

注）（　　）は既設トンネルの既存資料が十分揃っている場合に調査が省略できる項目を示す。

表-3.1.2 (b) 調査項目および準拠する基準（既設トンネルの施設等調査、気象、環境、施工条件、関係法令調査）

項　目	基本調査		詳細調査	準拠する基準
	既存資料	既存資料がない場合の追加調査		
既設トンネルの施設等調査	施工時の記録 非常用施設設置状況 照明施設設置状況 換気施設設置状況 埋設物設置状況		• （非常用施設設置状況調査） • （照明施設設置状況調査） • （換気施設設置状況調査） • （埋設物設置状況調査）	
気象調査	気象調査		• （気象調査）	道路トンネル技術基準（構造編）・同解説
環境調査	自然環境調査 社会環境調査 生活環境調査		• （自然環境調査） • （社会環境調査） • （生活環境調査）	
施工条件調査	施工条件調査	・施工条件調査	• 施工条件調査	
関係法令に関する調査	関係法令に関する調査	・関係法令に関する調査	• 関係法令に関する調査	

注）（　　）は既設トンネルの既存資料が十分揃っている場合に調査が省略できる項目を示す。

表-3.1.2（c）調査項目および準拠する基準（既設トンネル構造調査）

<table>
<tr><th rowspan="2">項目</th><th colspan="3">基本調査</th><th rowspan="2">詳細調査</th><th rowspan="2">準拠する基準</th></tr>
<tr><th colspan="2">既存資料</th><th>標準調査A</th><th>標準調査B</th></tr>
<tr><td rowspan="14">既設トンネル
構造調査</td><td rowspan="10">建設時および供用後の対策時</td><td>設計図</td><td rowspan="14">・（目視によるクラック調査）
・（ひび割れ簡易調査）
・（簡易覆工強度調査）</td><td rowspan="14">・(簡易ボーリング調査)
・(覆工強度調査)
・(簡易トンネル断面測定)</td><td rowspan="14">・（地下レーダー探査）
・（ボアホールスキャナ観察）
・（コンクリートコアの圧縮強度試験）
・（コンクリートコアの中性化試験）
・（地山試料試験）
・（漏水水質調査）
・（ボーリング調査）
・（地山挙動調査）
・（トンネル内外の気温調査）</td><td rowspan="14">道路トンネル
維持管理便覧</td></tr>
<tr><td>工事記録</td></tr>
<tr><td>掘削に伴う地山変化記録</td></tr>
<tr><td>各種試験報告</td></tr>
<tr><td>検査記録 内空断面 出来形調査</td></tr>
<tr><td>検査記録 内空変位 地表・天端沈下</td></tr>
<tr><td>覆工の補強・補修記録</td></tr>
<tr><td>漏水防止工の施工記録</td></tr>
<tr><td>路面の変状記録(修繕記録)</td></tr>
<tr><td>気温・降水量の測定記録</td></tr>
<tr><td>明り部の災害歴の記録</td></tr>
<tr><td rowspan="4">変状調査記録</td><td>点検記録</td></tr>
<tr><td>目視記録</td></tr>
<tr><td>測定記録</td></tr>
<tr><td>記録写真</td></tr>
</table>

注)（　　）は既設トンネルの既存資料が十分揃っている場合に調査が省略できる項目を示す。

「標準調査A」はトンネル調査に際し、まず実施すべき項目であり、外観調査を主体とした調査である。「標準調査B」は標準調査Aに追加して実施する調査である。

第３章　参考文献

1)（社）日本道路協会：「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説」，平成元年 6 月
2)（社）土木学会：「トンネル標準示方書（山岳工法編）・同解説」，昭和 61 年 11 月

4. 設　計

4．1　設計一般

既設トンネルの断面拡大の設計は、トンネル利用者、工事中の安全性および経済性を考慮して行わなければならない。

【解　説】

施工中のトンネル利用者の安全性の確保にあたっては、以下の点に留意して設計するものとする。

① 迂回路が確保できる場合には、迂回路の通行可能車両の特定、迂回路周辺の斜面および道路構造物の安全性を確認する。

② 防護工を設置する場合には、通行可能車両の特定、防護工の延長等を検討する。

③ 施工中の交通規制による交通渋滞についても事前に予測するものとする。

また、既設トンネルの断面拡大を活線施工で行う場合では、狭隘な施工空間の中での作業となること、一般車両の通行があることなどに対する作業員の安全確保についても考慮して設計するものとする。

トンネル構造の設計では、**図-4.1.1** に示すように、基本要素決定後の調査および現場における観察、計測結果が当初の設計条件に適合しない場合、工事の安全性および経済性を確保するために、必要に応じて断面拡大構造、地山等級を変更することが重要である。

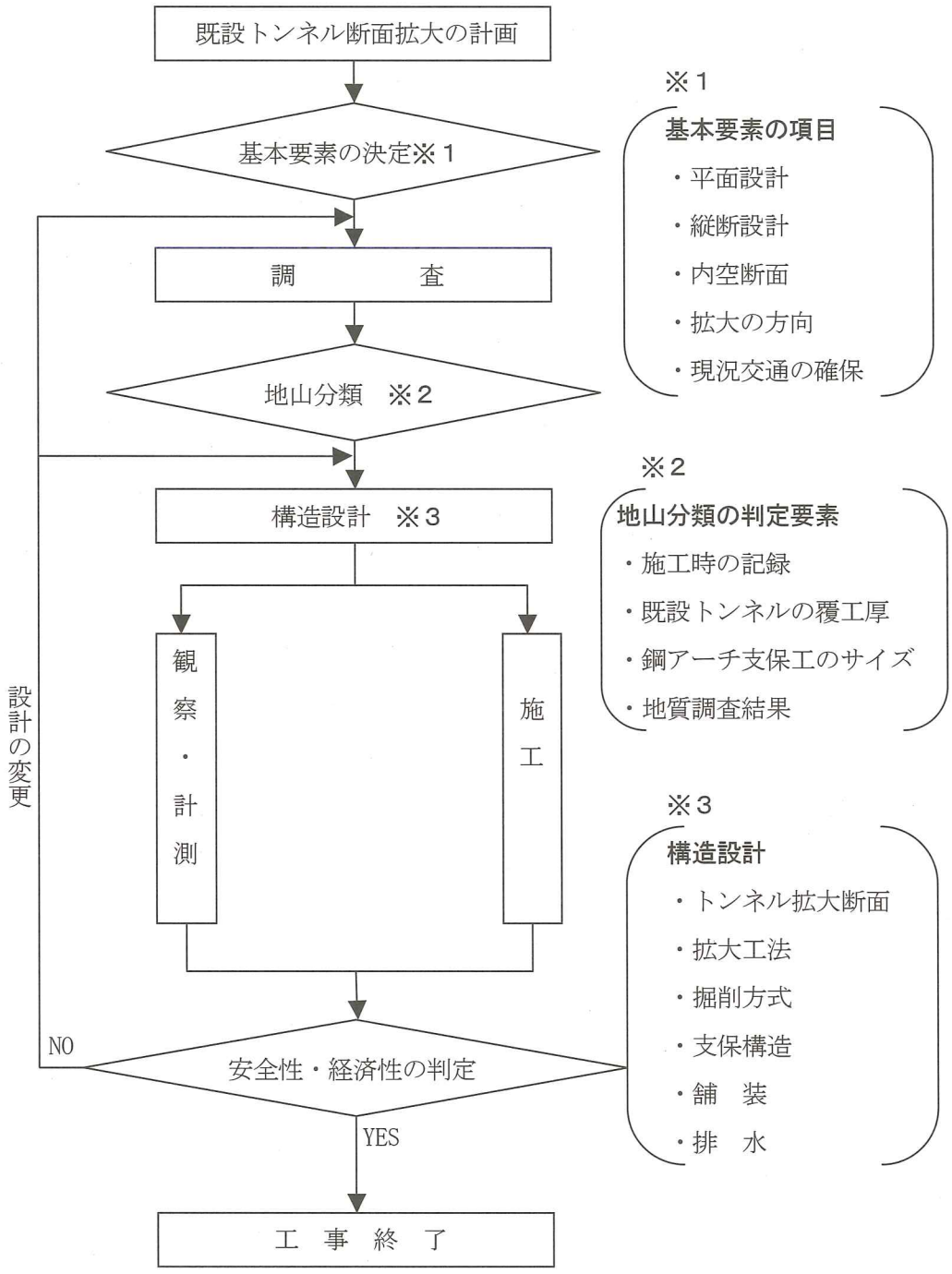


図-4.1.1　トンネル構造の設計と施工の流れ

４．２　地山分類

既設トンネルの断面拡大の設計・施工にあたっては、地質調査などの結果に技術的判断を加えて地山分類を行わなければならない。

【解　説】

既設トンネルの断面拡大の設計・施工にあたっては、新設トンネルと同様に、**表-4.2.1** に示す地山分類に基づき、既設トンネルの施工時の記録、地表地質踏査・ボーリング調査および物理試験等の調査結果により地山判定を行うものとする。

また、トンネルの施工時期別に以下に示す手法で地山判定の参考資料を得ることもできる。

①　昭和 50 年頃～平成元年頃

矢板工法により施工されたトンネルについては、設計図書や施工記録などの既存資料や詳細調査により既設トンネルの支保構造と覆工を把握することによって、**表-4.2.2** と**表-4.2.3** に示す支保構造などの基準と**表-4.2.4** に示す地山分類表を対比させて地山判定の参考とする（**表-4.2.2～表-4.2.4** は「**道路トンネル便覧　S50.1　日本道路協会**」に記載）。

②　平成元年以降

「**道路トンネル技術基準（構造編）・同解説**」に記載された地山分類表が参考になる。

なお、昭和 50 年以前の矢板工法により施工されたトンネルについては、支保構造の判断基準と地山分類との関連が明確でないが、施工時の記録等により支保構造が地山判定の参考になる場合がある。

さらに、覆工コンクリートの変状状況で、外的要因と考えられる変状が発生している場合には、地山状況を踏まえて地山分類を検討するものとする。

また、既設トンネルの掘削中に出現した断層・破砕帯区間については掘削後の経年変化もあり、新設トンネルの掘削時に採用する補助工法が必要かどうかも地山状況、覆工の変状等を考慮して検討するものとする。

表-4.2.1　地山分類表[1)]

地山等級	岩石グループ	代表岩石名	弾性波速度 Vp(km/s) 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0	地山の状態 岩質，水による影響	地山の状態 不連続面の間隔	地山の状態 不連続面の状態	コアの状態，RQD(%)	地山強度比	トンネル掘削の状況
B	H塊状	花崗岩，花崗閃緑岩，石英斑岩，ホルンフェルス		・新鮮で堅硬または，多少の風化変質の傾向がある。 ・水による劣化はない。	・節理の間隔は平均的に 50cm 程度。 ・層理，片理の影響が認められるがトンネル掘削に対する影響は小さい。	・不連続面に鏡肌や挟在粘土がほとんどみられない。 ・不連続面は概ね密着している。	コアの形状は岩片状～短柱状～棒状を示す。 コアの長さが概ね 10cm～20cm であるが 5cm 前後のものもみられる。 RQDは 70 以上。	———	岩石の強度は，トンネル掘削によって作用する荷重に比べて非常に大きい。 不連続面の状態も良好でトンネル掘削によるゆるみはほとんど生じない。掘削壁面から部分的に肌落ちする場合もある。切羽は自立する。 掘削幅 10m 程度のトンネルでは，掘削にともなう内空変位は 15mm 程度以下の微小な弾性変形にとどまる。
		中古生層砂岩，チャート							
	M塊状	安山岩，玄武岩，流紋岩，石英安山岩							
		第三紀砂岩，礫岩							
	L塊状	蛇紋岩，凝灰岩，凝灰角礫岩							
	M層状	粘板岩，中古生層頁岩							
	L層状	黒色片岩，緑色片岩							
		第三紀層泥岩							
CⅠ	H塊状	花崗岩，花崗閃緑岩，石英斑岩，ホルンフェルス		・比較的新鮮で堅硬または，多少の風化変質の傾向がある。 ・固結度の比較的良い軟岩。 ・水による劣化はない。	・節理の間隔は平均的に 30cm 程度。 ・層理，片理が顕著でトンネル掘削に影響を与えるもの。	・不連続面に鏡肌や挟在粘土がごく一部みられる。 ・不連続面は部分的に開口しているが開口幅は小さい。	コアの長さが概ね 5cm～20cm であるが 5cm 以下のものもみられる。 RQDは 40～70。	——— 4 以上	岩石の強度は，トンネル掘削によって作用する荷重に比べて大きい。 不連続面の状態も比較的良好でトンネル掘削によるゆるみは部分的なものにとどまる。比較的すべりやすい不連続面に沿って，局部的に抜け落ちする場合もある。切羽は自立する。 掘削幅 10m 程度のトンネルでは，掘削にともなう内空変位は 15～20mm 程度以下の小さな弾性変位にとどまる。
		中古生層砂岩，チャート							
	M塊状	安山岩，玄武岩，流紋岩，石英安山岩							
		第三紀砂岩，礫岩							
	L塊状	蛇紋岩，凝灰岩，凝灰角礫岩							
	M層状	粘板岩，中古生層頁岩							
	L層状	黒色片岩，緑色片岩							
		第三紀層泥岩							
CⅡ	H塊状	花崗岩，花崗閃緑岩，石英斑岩，ホルンフェルス		・比較的新鮮で堅硬または，多少の風化変質の傾向がある。 ・風化・変質作用により岩質は多少軟化している。 ・固結度の比較的良い軟岩。 ・水により劣化や緩みを部分的に生じる。	・節理の間隔は平均的に 20cm 程度。 ・層理，片理が顕著でトンネル掘削に影響を与えるもの。	・不連続面に鏡肌や薄い挟在粘土が部分的にみられる。 ・不連続面が開口しているが多くなり，開口幅も比較的大きくなる。 ・幅の狭い小断層を挟むもの。	コアの長さが 10cm 以下のものが多く，5cm 以下の細片が多量に取れる状態のもの。 RQDは 10～40。	——— 4 以上	岩石の強度は，トンネル掘削によって作用する荷重に比べてあまり大きくはないが，概ね弾性変形をとどめる程度である。 岩石の強度は大きくても不連続面の状態が悪く，掘削によりすべりやすい不連続面に沿って岩塊が落下しようとしてゆるみが大きくなる。 切羽はほぼ自立する。 掘削にともなう内空変位は，岩石の強度が作用する荷重に比べて小さい場合には，掘削幅 10m 程度のトンネルで弾塑性境界である 30mm 程度発生するが，2D 離れるまでにほぼ収束する。
		中古生層砂岩，チャート							
	M塊状	安山岩，玄武岩，流紋岩，石英安山岩							
		第三紀砂岩，礫岩							
	L塊状	蛇紋岩，凝灰岩，凝灰角礫岩							
	M層状	粘板岩，中古生層頁岩							
	L層状	黒色片岩，緑色片岩							
		第三紀層泥岩							
DⅠ	H塊状	花崗岩，花崗閃緑岩，石英斑岩，ホルンフェルス		・岩質は多少硬い部分もあるが，全体的に強い風化・変質を受けたもの。 ・層理，片理が非常に顕著なもの。 ・不連続面の間隔は平均的に 10cm 以下で，その多くは開口している。 ・不連続面の開口も大きく鏡肌や粘土を挟むことが多い。 ・小規模な断層を挟むもの。 ・転石を多く混じえた土砂，崖錐等。 ・水により劣化や緩みが著しい。			コアは細片状となる。時には，角礫混じり砂状あるいは粘土状となるもの。 RQDは 10 程度以下。	4～2	岩石の強度は，トンネル掘削によって作用する荷重に比べて大きくなり，弾性変形とともに一部塑性変形を生じる。 岩石の強度は弾性変形をとどめるに足りるほど大きくても，不連続面の状態が非常に悪く，掘削により多くのすべりやすい不連続面に沿って地山の緩みが拡大する。切羽の自立が悪く，地山条件によってはリングカットや鏡吹きを必要とする。 掘削にともなう内空変位は，岩石の強度が作用する荷重に比べて小さい場合には，インバートで早期に閉合しないならば，掘削幅 10m 程度のトンネルで 30～60mm 程度発生し，切羽が 2D 離れても収束しないことが多い。
		中古生層砂岩，チャート							
	M塊状	安山岩，玄武岩，流紋岩，石英安山岩							
		第三紀砂岩，礫岩							
	L塊状	蛇紋岩，凝灰岩，凝灰角礫岩							
	M層状	粘板岩，中古生層頁岩							
	L層状	黒色片岩，緑色片岩							
		第三紀層泥岩							
DⅡ	H塊状	花崗岩，花崗閃緑岩，石英斑岩，ホルンフェルス						2～1	岩石の強度は，トンネル掘削によって作用する荷重に比べて小さく，弾性変形とともに大きな塑性変形を生じる。 岩石の強度が小さいことに加えて，不連続面の状態も非常に悪く，掘削により多くのすべりやすい不連続面に沿って地山の緩みが拡大し変位も大きくなる。切羽の自立が悪く，地山条件によってはリングカットや鏡吹きを必要とする。 掘削にともなう内空変位は，インバートで早期に閉合しないならば，掘削幅 10m 程度のトンネルで 60～200mm 程度発生し，切羽が 2D 離れても収束しない。
		中古生層砂岩，チャート							
	M塊状	安山岩，玄武岩，流紋岩，石英安山岩							
		第三紀砂岩，礫岩							
	L塊状	蛇紋岩，凝灰岩，凝灰角礫岩							
	M層状	粘板岩，中古生層頁岩							
	L層状	黒色片岩，緑色片岩							
		第三紀層泥岩							

注-1) 本分類にあてはまらないほど地山が良好なものを地山等級A，劣悪なもの（掘削幅 10m 程度で内空変位 200mm 以上）を地山等級Eとする。

注-2) H，M，Lの区分：岩石の初生的な新鮮な状態での強度により，一軸圧縮強度で次のように区分する。

H：qu≧80N/mm²　M：20N/mm²≦ qu＜80N/mm²　L：qu＜20N/mm²

注-3) 塊状，層状の区分

塊状：節理面が支配的な不連続面となるもの。

層状：層理面あるいは片理面が支配的な不連続面となるもの。

注-4) 内空変位とは，トンネル施工中に実際に計測されるトンネル壁面間距離の変化で，掘削以前に変位したものは含まない。

注-5) ゆるみとは，土圧によって閉鎖されていた岩盤中の不連続面が，トンネル掘削により応力を解放することで開口し，それに沿って岩塊が重力により落下しようとすることをいう。

注-6) 岩石の強度とは，割れ目の影響を受けない岩石の強度のことをいう。

表-4.2.2　鋼アーチ支保工の使用量の目安（参考）[2)]

地山分類	内空幅 8.5m程度		内空幅 10m程度	
	種　　類	建込み間隔	種　　類	建込み間隔
A	H－150	1.50 m	H－175	1.50 m
B	H－175	1.30 m	H－175	1.10 m
C	H－200	1.20 m	H－200	1.00 m
D	H－200	0.90 m	H－200	0.75 m
E	－		－	

表-4.2.3　覆工の設計巻厚の目安（参考）[2)]

地質分類	設計巻厚	備　　考
A	45 cm	施工上可能であれば 45cm 以下でも良い。
B	45 cm	〃
C	60 cm	裏込め注入を行う。支持力の不足する場合および側圧のある場合はインバートを設ける。
D	60 cm	〃
E	－	地山の挙動に合せて設計する。2 重巻き、鉄筋コンクリート覆工等、必要により形状を変更する。

注）この表は、鋼アーチ支保工等を用いて掘削し、場所打ちコンクリートにより覆工を行う場合についてのものである。

表-4.2.4　地山分類（参考）[2)]

岩質判定基準						
地山区分	岩石区分(注)	弾性波速度 (km/sec) 1 2 3 4 5 6	地質状態	ボーリングコアの状態	ハンマーの打撃による岩の割れ方	キレツの間隔および状態
A	a b c d		(1) 岩質は非常に堅硬かつ新鮮なもので大塊状を呈し，層相変化が少く，割れ目がほとんどないもの。	コア採取率は概ね90%以上で完全な柱状を呈し，細片は殆んど含まない状態のもの。	ハンマーがはね返る。強くたたくとかろうじて新鮮な面で割れる。	50cm以上 少ない， あっても密着。
B	a b c d		(1) 岩質はかなり堅硬であっても風化作用のため，変質した傾向がみられるもの。キレツには粘性土をはさまない。 (2) 岩質は堅硬であるが厚い層状をなす岩で層理あるいは片理が認められ，その面に沿って割れ易いもの。	コア採取率は概ね70%以上で完全な柱状を示さないものを有し，多少の細片を含む。コアの大半がほぼ5cm以上のものが取れる状態のもの。	ハンマーで強くたたけば割れるが，ほとんどがキレツあるいは節理などに沿って比較的大きく割れる。	10~50cm 開口のこともあるがキレツ面に粘土をはさまない。
C	a b c d		(1) 風化作用を受けて岩石に変質をおこしているもの。 (2) 岩質は比較的堅硬であってもキレツが多く小塊状を呈しているもの。キレツは薄い粘性土をはさむ。 (3) 層理や片理の顕著な岩で，非常に薄く割れ易い性質のもの。	コア採取率は概ね40~70%で，キレツが多く，またくだけ易いために小さくなり5cm以下の細片が多量に取れる状態のもの。岩石区分c.dのものではコア採取率100%の柱状コアがとれる。	ハンマーで容易に割れる。比較的キレツ面などに沿って小片に割れ，むしろキレツ以外の面で割れることが困難である。	2~10cm キレツ面に粘土をはさむことが多い。
D	a b c d		(1) 著しい風化変質作用を受け，中には多少硬い部分も残っているが，一部はすでに土壌化した部分がみられるもの。割れ目が極めて多いものでキレツ以外の部分からでも容易に割ることができる程度のもの。 (2) 粘土化のあまり進んでいない破砕帯で，粘性土と細片状の岩片の混合した状態になっている時にはいくぶん硬いところも含まれているもの。 (3) 土砂，崖錐地帯はど。	コア採取率は低下し，概ね40%以下となることが多く，コアは細片となるが，時には角礫混り砂状あるいは粘土状となるもの。	ハンマーで容易に崩れる。岩はもろく，指先で容易に割れる。キレツ面以外でも容易に割れることができる。	キレツの存在がはっきりしなくなる。
E	a		(1) 著しい偏圧を受けるようなかなり幅を有する断層破砕帯や大きな崖錐地帯など。	粘性土でなければコアの採取は困難である。		

(注) a；変成岩（千枚岩，片岩，片麻岩，ホルンフェルス等）
深成岩（はんれい岩，かんらん岩等）
中古生層（粘板岩，砂岩，礫岩，硬砂岩，石灰岩，珪岩，輝緑凝灰岩等）

b；火山岩（流紋岩，石英粗面岩，安山岩，玄武岩等）
脈　岩（斑岩，ひん岩，輝緑岩等）
深成岩（花崗岩，閃緑岩等）

c；第三紀層（頁岩，砂岩，礫岩，石灰岩，凝灰岩，角礫凝灰岩，集塊岩等）

d；第四紀層（粘土，シルト，砂礫，火山灰，崖錐層等）

4．3　拡大断面形状の設定および拡大工法の選定

1. 本技術指針（案）で取り扱う断面拡大工法による内空断面は、断面拡大の要求性能から決まる断面と施工条件を考慮した断面との比較によって決定するものとする。
2. 既設トンネルの断面拡大では、要求性能に応じて断面拡大工法を選定する必要がある。

【解　説】

1．について

本技術指針（案）で取り扱う断面拡大工法では、断面拡大の要求性能から必要となる道路規格による建築限界から決定される内空断面が、掘削機等の施工機械が効率的に稼動するために必要な空間の確保を条件に決定される内空断面よりも狭い断面になることがある。その場合、施工条件によっては内空断面の広い拡大トンネルのほうが施工性が良いために経済的になることも考えられる。

そのため、断面拡大トンネルの構造規格については、建築限界を条件とした内空断面と施工効率を考慮した内空断面との比較によって決定しなければならない。

2．について

既設トンネルの断面拡大では、要求性能に応じて部分拡大工法による断面拡大か全体拡大工法による断面拡大かを選定する必要がある。断面拡大工法の選定にあたっての一般的な流れは、**図-4.3.1** に示すとおりである。

既設トンネルの拡大断面は、要求性能により、**1）高さのみの拡大、2）幅のみの拡大、3）幅、高さの拡大**　に分類される。

高さのみの拡大において、トンネル前後の道路の構造、縦断勾配等から縦断線形を下げられる場合には、下部部分拡大工法、縦断線形が下げられない場合には上部部分拡大工法を適用する。

幅のみ拡大と幅、高さの拡大において、道路中心線を大きく移動できる場合には、片側断面拡大工法、移動できない場合には、両側拡大工法を適用する。

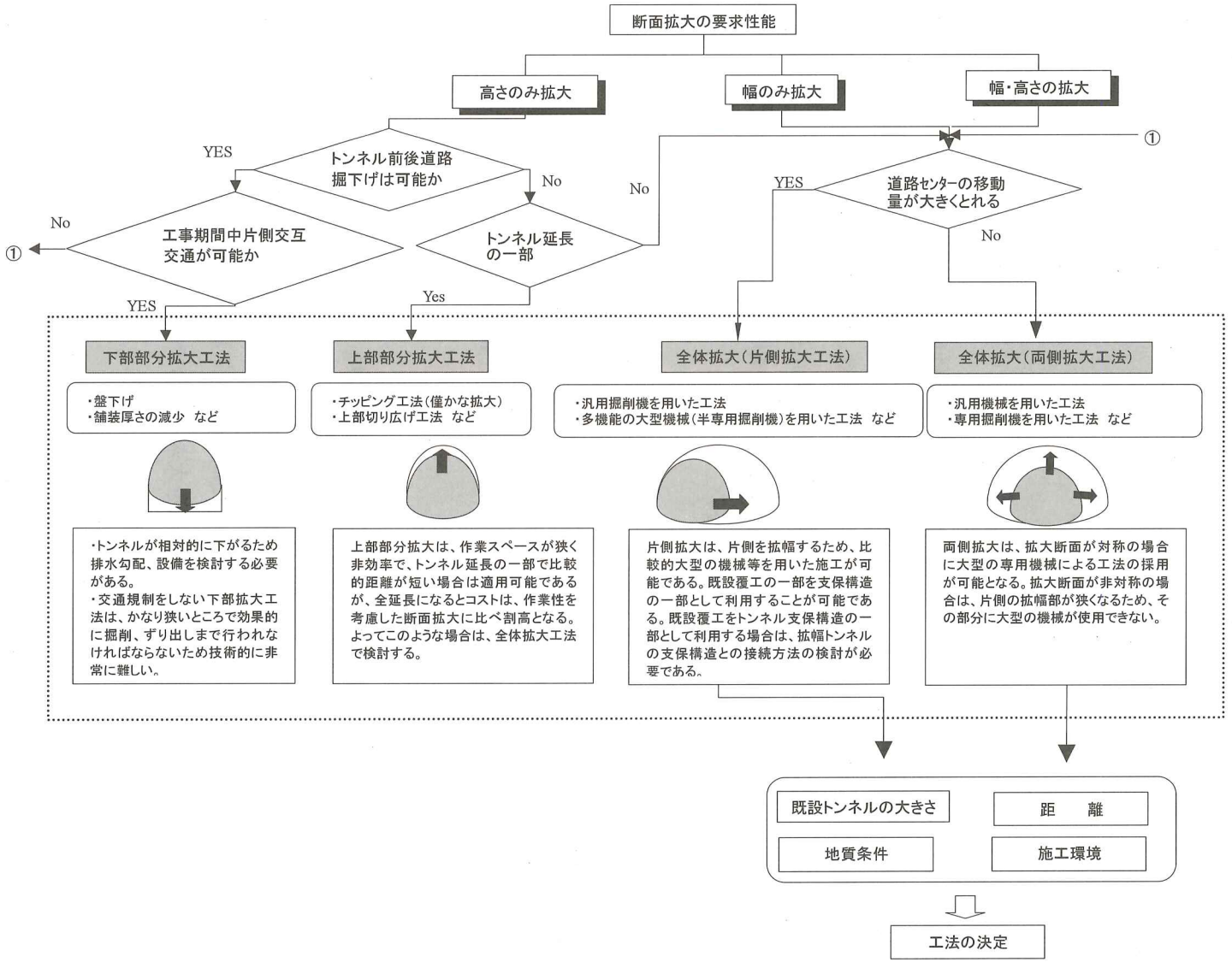


図-4.3.1　断面拡大工法の選定フロー図

（1）下部部分拡大工法

下部拡大工法は、トンネル前後の道路の盤下げが可能かつ工事中の交互交通が可能な条件の場合に適用する工法である。同工法の概念図を図-4.3.2 に示す。

本工法は、既設トンネルの幅員を変更しないで舗装厚の縮小や盤下げにより内空高さだけを拡大する工法である。前後の道路（明り部）、沿道とのすり付けが必要となることやトンネルが相対的に下がることへの排水勾配、施設を検討する必要がある。

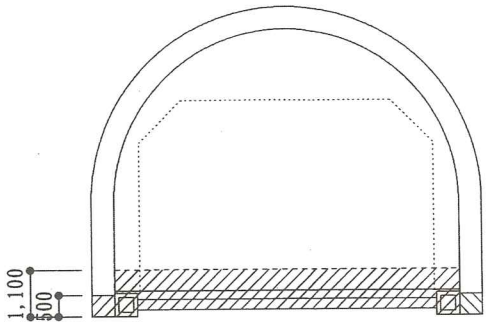


図-4.3.2　下部拡大工法の概念図

（2）上部部分拡大工法

上部拡大工法は、トンネル前後の道路の盤下げが不可能かつトンネル延長の一部が障害となって拡大する条件の場合に適用する工法である。同工法の概念図を図-4.3.3 に示す。

本工法は、既設トンネルの幅員を変更しないでアーチ部の一部もしくは全面を切り広げて、内空高さだけを拡大する工法である。作業スペースが狭く非効率になることで全体拡大工法に比べて工事費が割高になるため、トンネルの一部で比較的施工延長が短い場合に適用可能である。

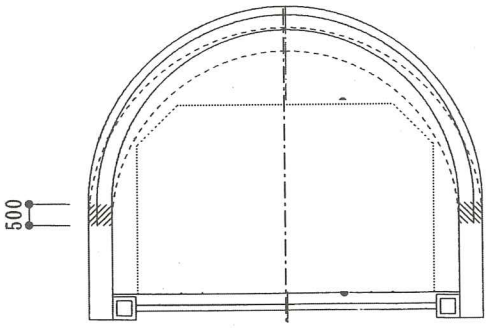


図-4.3.3　上部拡大工法の概念図

（３）片側拡大工法

片側拡大工法は、トンネル前後の道路線形を変更することが可能であるなど、トンネルセンターの移動量が大きく取れる条件の場合に適用する工法である。同工法の概念図を**図-4.3.4** に示す。

本工法は、既設トンネルの片側に拡大断面を確保する工法であり、施工は大型機械の利用が可能であるので施工性はよい。ただし、既設覆工を支保工の一部として利用するため、既設トンネル覆工の健全度、接続部について構造等の検討が必要となる。

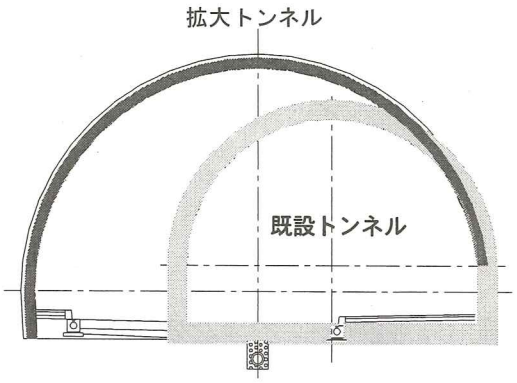


図-4.3.4　片側拡大工法の概念図

（４）両側拡大工法

両側拡大工法は、トンネルセンターの移動量が大きく取れない条件の場合に適用する工法である。同工法の概念図を**図-4.3.5** に示す。

本工法は、既設トンネルを中心に同心円で左右均等に拡大する工法（同心円拡大型）とトンネル中心を少し移動して両側に拡大する工法（センターシフト型）がある。施工を容易にするために片側の拡大幅は汎用掘削機等が使用できる幅とすることが望ましい。

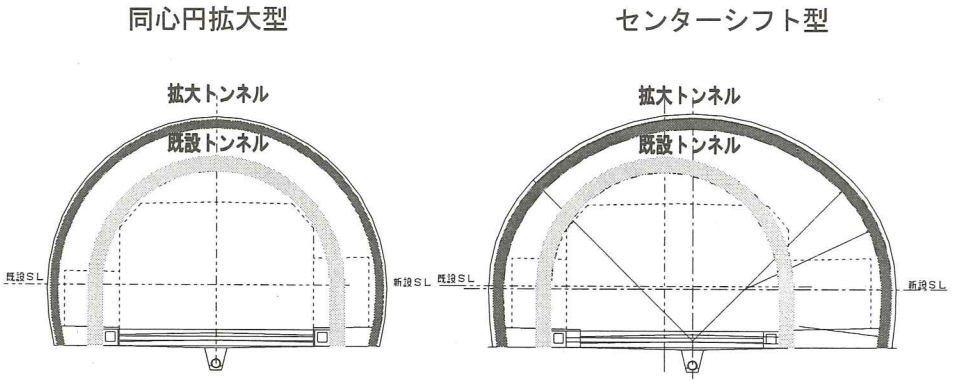


図-4.3.5　両側拡大工法の概念図

４．４　支保構造

４．４．１　支保構造一般

既設トンネルの断面拡大における支保構造は、断面拡大トンネル固有の特徴を十分考慮し、施工性も考慮して検討するものとする。

【解　説】

既設トンネルの断面拡大における支保構造については、従来は特に定められたものがないため、これまでの施工実績では新設トンネルの支保構造を基本として、個別のトンネル毎に設定していたのが現状である。しかし、既設トンネルの断面拡大においては、トンネルが既に掘削されているために、天端に緩みが発生している場合が多いことやトンネル周辺の地山に応力再配分が発生していることなどにより、断面拡大の掘削時の地山挙動は通常の新設トンネルの掘削時とは異なることが考えられる。また、活線による断面拡大の施工を行う場合には、通行車両の安全を確保するための防護工等を設置するために限られた空間内での作業となり、施工上の制約条件によって支保構造の設置は影響を受けることが多い。特にロックボルトの打設については、一度に長いボルト打設が困難なことから、短いボルトを何回か継いで必要な長さのロックボルトを施工したケース、上半先進工法の場合にフォアパイリングのみでロックボルトを省略したり、斜めロックボルトを採用したケース、側壁導坑先進工法の場合にロックボルトを省略したケースなどが見られる。

また、断面拡大掘削時におけるロックボルトの効果・挙動に関しては、現場計測[3)]、模型実験等[4) 5)]によれば以下の知見が得られている。

① 拡幅後のトンネルのロックボルトに発生する軸力は小さく、また、側壁部にロックボルトを斜めに打設した場合とトンネル壁面に垂直に打設した場合とでは顕著な差は認められない場合がある。

② 土砂地山における天端の安定に対するロックボルトの効果は、斜めにロックボルトを打設した場合でも、配置や長さを適切に設定することにより通常のパターンボルトと同程度の支保効果が期待できる。

さらに、活線により一般車両を通行させながらの施工の場合で、防水シート設置後、覆工打設前にプロテクタなしで車両を通行させる施工法を採用する場合には、良好な地山でも事前に鋼アーチ支保工を設置するなど通行車両の安全性を確保する観点からの検討も必要である。

したがって、既設トンネルの断面拡大における支保構造は新設トンネルの支保構造を基本とするが、上述した断面拡大トンネル固有の特徴および、施工性も考慮して検討するものとする。

4．4．2　ロックボルト

1. ロックボルトの形式，配置および長さ等については、断面拡大掘削時のトンネル挙動と施工条件を考慮して、設計するものとする。
2. ロックボルトには、適切な肌落ちの防止対策を検討するものとする。

【解　説】

1．について

（1）ロックボルトの形式

ロックボルトの形式については、「**道路トンネル技術基準（構造編）・同解説**」に記載するものに準拠するものとする。

ただし、断面拡大工法においては、地山条件によっては自穿孔ロックボルト、施工条件によっては継ぎボルトの採用も検討するものとする。

（2）ロックボルトの配置と長さ

一般的なロックボルトの配置と長さについては、「**道路トンネル技術基準（構造編）・同解説**」に記載するものに準拠するものとする。

ただし、断面拡大工法においては、施工条件によっては斜めにロックボルトを打設することも検討するものとする。なお、ロックボルトの天端の安定効果に対しては、土砂地山を対象とした模型実験[4) 6)]および数値解析結果[5) 6)]からは以下の知見が得られている。

① 標準支保パターンのロックボルト（以下「パターンボルト」という。）が打設できない場合には、配置や長さを適切に設定することにより斜めにロックボルトを打設する方法を採用しても坑壁に対して45°程度以上であれば、一定の支保効果が得られる。

② 斜めにロックボルトを打設する場合の長さは、坑壁から直角方向の投影長さ（**図-4.4.1**参照）がパターンボルト以上であれば、パターンボルトと同様の安定効果が得られる。

③ 緩み領域が既に発生している場合、緩み領域よりある程度長いロックボルトを打設することで、緩み領域が発生する前に打設したロックボルトと同程度の効果が期待できる。

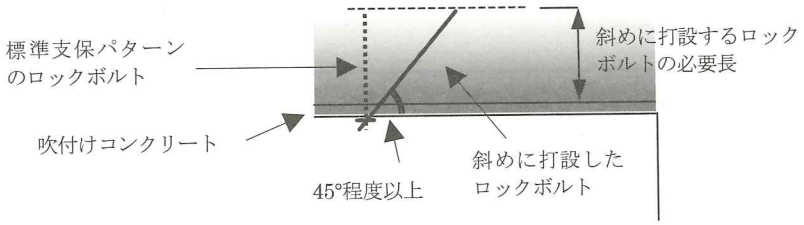


図-4.4.1　斜めにロックボルトを打設する場合に直角に打設したロックボルト
と同様の安定効果を得るのに必要な斜めロックボルトの長さ

2．について

ロックボルト間の掘削面付近の肌落ち防止対策については、「**道路トンネル技術基準（構造編）・同解説**」に記載するものに準拠するものとする。

４．４．３　覆工

覆工はその目的、作用荷重に対して合理的な構造でなければならない。

【解　説】

断面拡大トンネルの覆工における基本的な構造およびコンクリートの強度については、「**道路トンネル技術基準（構造編）・同解説**」に記載するものに準拠するものとする。

覆工には、一般に現場打ちによる無筋コンクリートを用いるが、施工性を考慮して専用台車を用いたプレキャスト版による覆工コンクリートの適用も考えられる。ただし、プレキャスト版の適用にあたって、支保工設置後、引き続いて切羽直近の位置にプレキャスト版を設置する場合にはプレキャスト版に作用する荷重の検討とともに、構造の妥当性について十分な検討を行う必要がある。

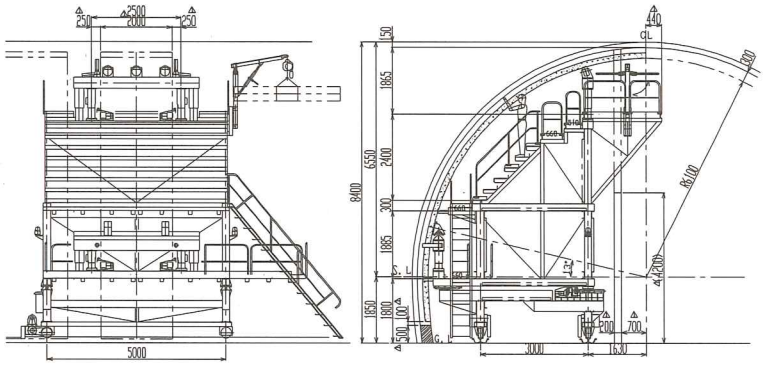


図-4.4.2　プレキャスト版を用いた覆工コンクリートの例

また、下部拡大工法においては、側壁脚部の抜き掘りにより盤下げするため、覆工コンクリートの厚さは、既設コンリートと同程度とするものとする。

４．４．４　標準的な支保構造の組合せ

既設トンネルの断面拡大における支保構造については、地山分類に応じて新設トンネルにおける標準的な組合せを採用するものとする。

【解　説】

既設トンネルの断面拡大における支保構造については、地山分類に応じて新設トンネルにおける標準的な組合せを採用するものとする。

支保構造の標準的な組み合わせは、**表-4.4.1** に示すとおりとする。

表-4.4.1　標準的な支保構造の組み合わせの目安（標準断面トンネル　内空幅 8.5～12.5m程度）（文献１）を加筆修正）

地山等級	支保パターン	標準1掘進長 (m)	ロックボルト				鋼アーチ支保工			吹付け厚 (cm)	覆工厚		変形余裕量 (cm)
			注7) 長さ (m)	施工間隔 周方向 (m)	施工間隔 延長方向 (m)	注8) 施工範囲	注9) 上半部種類	下半部種類	建込間隔 (m)		アーチ・側壁 (cm)	インバート (cm)	
B	B-a	2.0	3.0	1.5	2.0	上半 120°	—	—	—	5	30	0	0
CI	CI-a	1.5	3.0	1.5	1.5	上半	—	—	—	10	30	(40)	0
CII	CII-a	1.2	3.0	1.5	1.2	上下半	—	—	—	10	30	(40)	0
	CII-b						H125	—	1.2				
DI	DI-a	1.0	3.0	1.2	1.0	上下半	H125	H125	1.0	15	30	45	0
	DI-b		4.0										
DII	DII-a	1.0 以下	4.0	1.2	1.0 以下	上下半	H150	H150	1.0以下	20	30	50	10

注 1）支保パターンのａ、ｂ の区分は、地山等級が CII、DI の場合はｂを基本とし、トンネル掘削に伴う変位が小さく、切羽が安定すると予想される場合はａの適用を検討する。

注 2）インバートについて

① （　）内に示した地山等級範囲において、第三紀層泥岩、凝灰岩、蛇紋岩などの粘性土岩や風化結晶岩、温泉余土などの場合は（　）の厚さを有するインバートを設置する。

② 早期の断面閉合が必要な場合は、吹付けコンクリートにてインバート閉合を行うものとするが、その厚さについては上・下半部の吹付厚さを参考にして個々に決定するものとする。また、吹付けコンクリートによるインバートはインバート厚さに含めることができるが、現場打ちコンクリートによるインバート部分の厚さがアーチ・側壁の覆工コンクリート厚さを下回ってはならない。

③ 地山等級が DI であっても、下半部に堅岩が現れるなど岩の長期的支持力が十分であり、側圧による押し出しなどもないと考えられる場合はインバートを省略できる。

注 3) 金網について

① 地山等級がDIにおいては、一般に上半部に設置する。なお、DⅡにおいては、上半・下半部に設置するのが通例である。

② 鋼繊維補強吹付けコンクリート(SFRC)などを用いる場合は、金網を省略できる。

注 4) 変形余裕量について

地山等級がDⅡにおいては、上部半断面工法の場合は上半部に、補助ベンチ付き全断面工法は掘削に時間差が無いため上・下半部に変形余裕量として10cm程度見込んで設計するのが通例である。なお、変形余裕量は実際の施工中の計測により適宜変更していく必要がある。

注 5) 地山等級A、Eについては、地山条件にあわせて、それぞれ検討するものとする。

注 6) 標準断面の適用範囲であっても、大断面との境界付近で上半三心円などの偏平な断面を採用する場合には、大断面の支保パターンの適用を検討する。

注 7) 地山状況によっては、側壁部もしくは全体のロックボルトを省略できる。ただし、ロックボルトの省略を行う場合には、鋼アーチ支保工もしくは吹付けコンクリートの支保規模のアップを検討するものとする。

注 8) 防水シート設置後、覆工打設前にプロテクタなしで車両を通行させる場合には、良好な地山でも事前に鋼アーチ支保工を設置するなどにより通行車両の安全性の確保も兼ねた構造とする。

注 9) 既設トンネルの覆工の一部を断面拡大トンネルの支保工として利用する場合、接続部の支保構造は、既設覆工へ軸力の伝達がスムーズに行われるよう配慮しなければならない。

４．５　防護工

1. 既設トンネルを断面拡大する場合には、防護工を設置しトンネル利用者の安全を確保する必要がある。防護工は、既設トンネルの断面拡大工法によって設置延長、規模等が異なるので既設トンネルの現況を十分に把握した上で、防護工の延長、規模を検討するものとする。
2. 防護工を作業構台として使用する場合には、施工機械や資材の荷重を考慮して設計するものとする。また、機械や資材の昇降設備も設置するものとする。

【解　説】

１．について

既設トンネルを断面拡大する場合には、 トンネル利用者の安全を確保するために防護工を設置する必要がある。防護工は、プロテクタを設置するもの、既設トンネルの覆工を利用する等、様々な手法があり、プロテクタはさらに、既設トンネルの断面拡大工法により固定式、移動式、形状は門型等に分類される。また、防護工の内空断面によって、車線規制方法が１車線規制用と２車線対応用のものがある。このため、既設トンネルの平面・線形・トンネル断面を十分に把握した上で検討する必要がある。

２．について

プロテクタは、**図-4.5.1、4.5.2** に示すとおり前方防護を目的とした防護工、掘削・支保工を施工するため重機が載る作業用防護工、重機・資材の昇降ができる防護工とに基本的には分類できる。

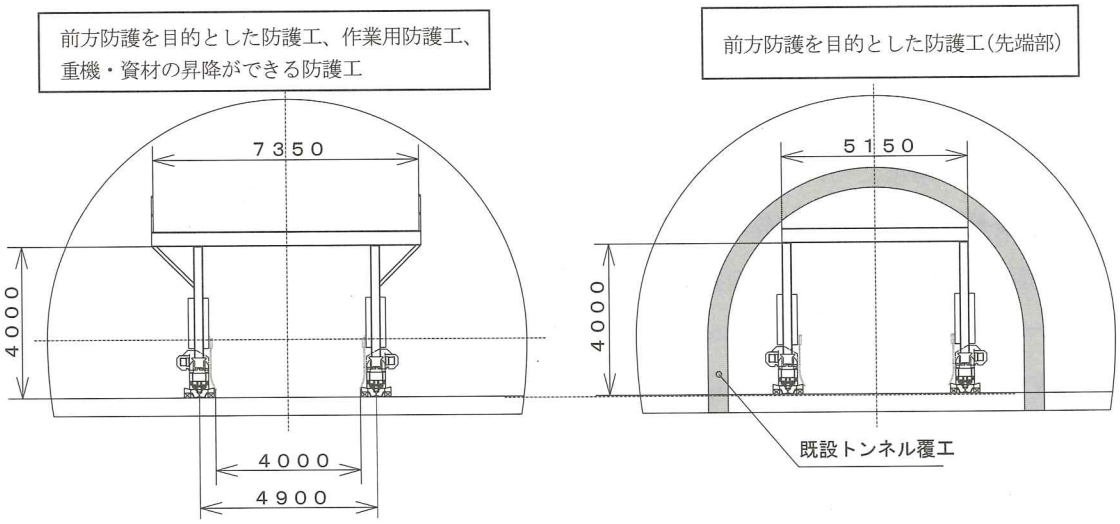


図-4.5.1　移動式構台の正面図の例

プロテクタを利用する場合には、以下に分類したプロテクタの機能に応じて設置延長や構造などを検討することが望ましい。

（1）切羽先方の覆工の落下等からトンネル利用者を保護する区間（前方防護を目的とした防護工区間）

プロテクタの設置延長は、地山状態を検討し決めることが必要であるが、掘削による既設覆工への影響範囲は、既設トンネルの断面拡大時の現場計測[3)]からは切羽から前方へ最大で 1.5D～2D（D：拡幅トンネル幅）程度、数値解析結果[7)]からは、切羽から前方へ 0.5D 程度の結果が得られている。また、これまでの実績では、2 車線を 3 車線に拡幅した際に固定式のプロテクタを採用した事例では、拡幅端部から 1 D の範囲まで防護を行った例、トンネル幅約 4.5m を約 10m のトンネルに拡幅した際に移動式のプロテクタを採用した事例では切羽面の前後に 0.4D 程度の長さのプロテクタを用いた例などがある。

プロテクタの構造は、岩塊落下によるプロテクタへの衝撃荷重（Pmax）を次式[8)]を参考に算出し、設計している例がある。なお、次式の落石質量 m および落下高さ Hの設定については、これまでの実績では岩塊もしくはコンクリート塊として φ30cm のものが 1.0mの高さから、50cm 角のものが 2.0mの高さから落下することを想定した設定例などがあり、これら実績も参考にしながら、地山状況、掘削方式などを考慮して決定する必要がある。

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

Pmax：落石の衝撃力（kN）

m：落石質量（t）

g：重力の加速度（m/s²）

H：落下高さ（m）

λ：被衝突体のラーメの定数

非常に柔らかいもの……1,000 kN/m²

柔らかいもの……3,000～5,000 kN/m²

固いもの……10,000 kN/m²

実際の計算においては、落石質量、落下高さ、ラーメ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して検討を行うことが必要である。

① 落石質量は掘削により破砕する岩塊の大きさで決定されるため、地山条件や施工方法を考慮して掘削時に発生する岩塊の実情を踏まえ、設定する必要がある。

② ラーメ定数の設定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 kN/m²が用いられているが、プロテクタの設計においては緩衝材の検討を行ったうえでラーメ定数を決定する。

③ 爆破掘削を採用する場合には、爆破時に耐えられる強度の構造にする必要がある。この場合は、爆破の衝撃圧・ガス圧による岩塊速度を想定したうえで衝撃荷重の算定を行った例がある。また、防護工内部を簡易に補強できる構造とするなどの工夫も必要である。

（2）トンネル施工機械が稼動する区間（掘削・支保工を施工するため重機が載る作業用防護工区間）

本区間の防護工は、トンネルの掘削機、ショベルカー、ロックボルト打設機、コンクリート吹付け機のうち、その最大の荷重を防護工の横断方向のスパン中央に作用させて設計する。ただし、施工方法によっては各重機が並行してプロテクタ上に載る場合や掘削時に機械動作による動的な荷重が作用する場合等も考えられるので、各施工方法の状況に応じてプロテクタの構造安定性について確認しておく必要がある。プロテクタの設置延長は、工法により施工が円滑にできる延長とする。

（3）施工機械および資材の昇降機能を有する区間（重機・資材の昇降ができる防護工区間）

プロテクタの設置延長は使用する重機に適した延長とする。また、使用する重機が安全に昇降できる構造とする。

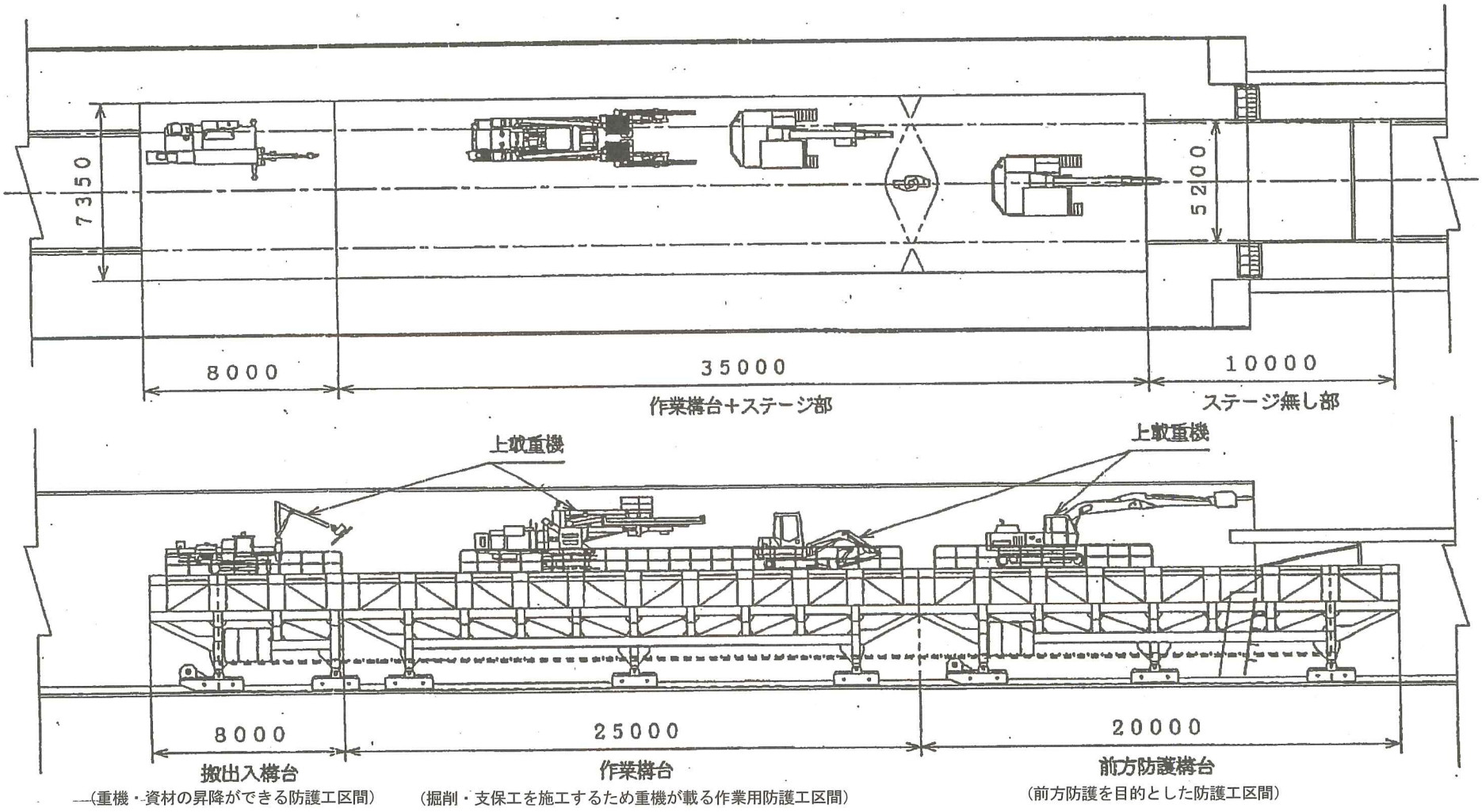


図-4.5.2　移動式構台の平面図・側面図の例

既設トンネルの覆工を利用する場合は、ロックボルト、金網、鋼アーチ支保工などによる事前補強を行う必要がある。**図-4.5.3** に示す補強検討事例は、片側を断面拡大する場合に金網＋鋼アーチ支保工とロックボルトおよび充填コンクリートによる補強方法である。

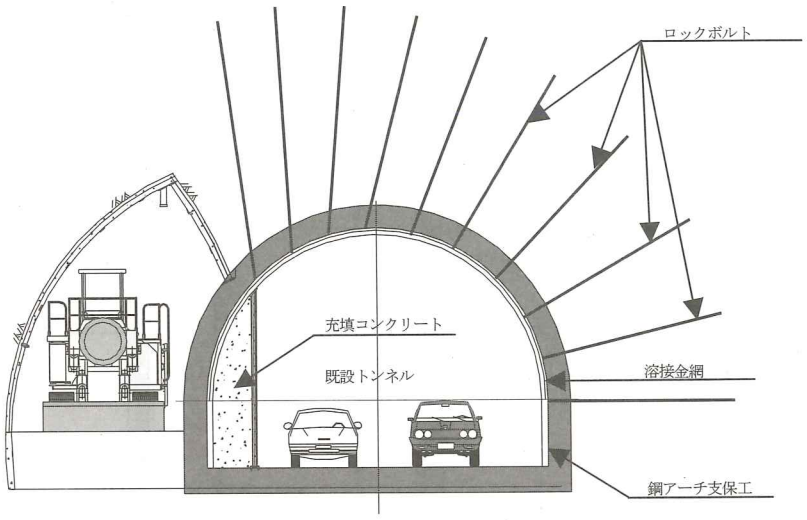


図-4.5.3　既設トンネルの覆工を利用する場合の補強検討事例

下部拡大工法では、トンネル利用者の通行帯を確保するために、**図-4.5.4** に示すような、施工箇所の上方を跨ぐ移動式の桟橋を検討することとする。

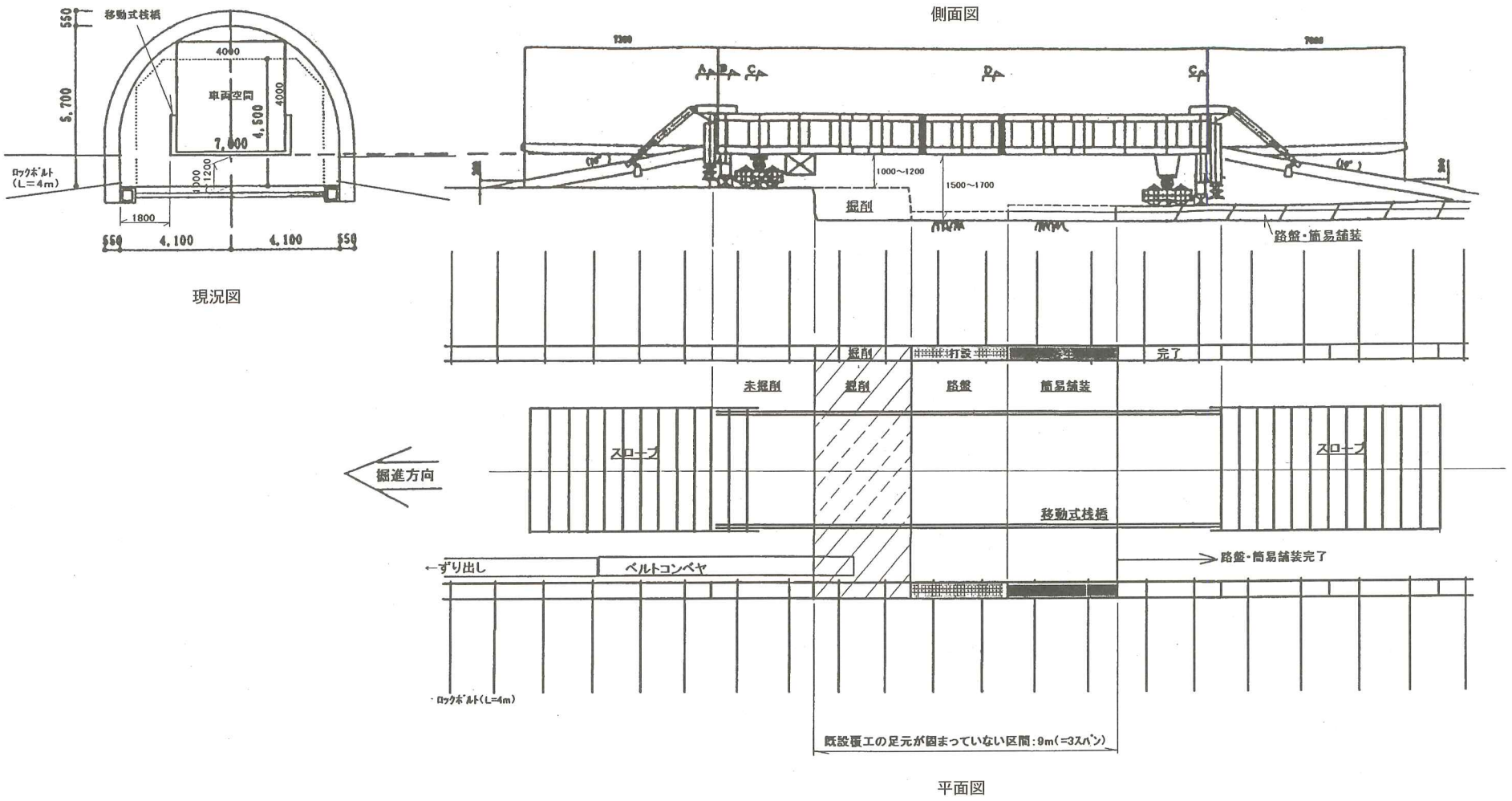


図-4.5.4　移動式桟橋の例

４．６　事前補強

施工中の安全確保および作業効率の向上を目的に、既設トンネルに対して事前補強が必要な場合には、既設トンネルの状況と断面拡大の施工法に応じた事前補強工を検討しなければならない。

【解　説】

既設トンネルを断面拡大する場合には、既設トンネル覆工背面に空洞があると施工中などに岩塊が落下して既設トンネル覆工に損傷を与え、作業員やトンネル利用者の安全確保に重大な影響を及ぼすおそれがある。このため、調査資料などにより事前補強の必要性を検討して、既設トンネルの状況に応じた事前補強工を設計する。

また、断面拡大時に作業スペースが確保できない場合には、施工サイクルの向上を目的として事前に既設トンネル覆工からロックボルトを打設する方法も検討する必要がある。

事前補強は、以下の目的によって行うものとする。

①　拡大掘削時の切羽周辺地山補強

②　切羽前方の未掘削区間の既設覆工コンクリートの補強あるいは荷重分散（既設覆工崩落防止など）

③　片側拡大工法における既設覆工コンクリートの地山との縫い付け補強

④　補強ロックボルトに代表される拡大断面用支保部材としての兼用

また、代表的な事前補強工法には、以下のものが挙げられる。

①　裏込注入工（コンタクトグラウト系）

②　地山強化注入工（コンソリデーショングラウト系）

③　事前補強ロックボルト工

（1）裏込注入工

裏込注入工は、既設トンネル覆工と背面地山との隙間にグラウト充填して、掘削により緩んだ地山荷重を既設覆工へ均等に負担させるとともに、地山の崩壊を防止する。

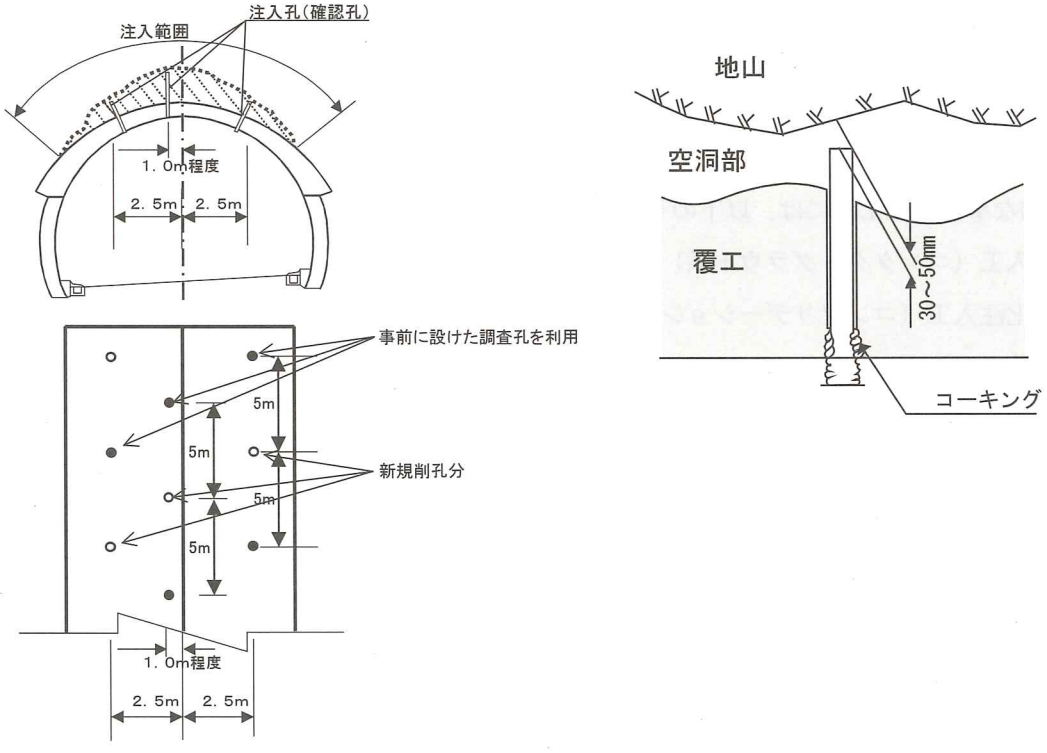
裏込注入工は、背面地山が自立性の低い状況の場合に、特に必要不可欠な補助工法である。また、薬液注入工の事前準備工として薬液が不必要箇所へのリーク防止としての役割も有している。

裏込注入工の採用に当たっては、背面地山の自立性、トンネル覆工コンクリートの健全性および背面空洞の状況等から拡大掘削による既設覆工および周辺地山への影響を考慮した検討を行う。

なお、背面空洞には、覆工と矢板間および矢板より外側の地山空洞があり、特に天端から肩部にかけて空洞が大きい傾向にあることを考慮するものとする。

裏込注入の設計にあたっては、空隙の状況や地質に応じて、注入管の配置・長さ・大きさ等を決める必要がある。注入口の配置は、注入材などにより異なるので、実例を参考とするか試験施工によって決めるのが望ましい。なお、図-4.6.1に一例を示す。

裏込注入材としてはセメント系と非セメント系がある。セメント系ではモルタル系と可塑性モルタル系、非セメント系ではウレタン系などがあり、湧水状況や地山条件などに応じて材料を選定するものとする。



(a)注入管配置[9)]　　(b)注入管取付け詳細[10)]

図-4.6.1　注入孔設置例

（２）地山強化注入工

地山強化注入工は、既設トンネル覆工内面からボーリングを行って、トンネル周辺地山内に薬液を注入して強化改良することで、切羽崩壊および既設覆工の変状発生を防止する。

ボーリングマシンを使用しての注入作業が一般的ではあるが、注入による地山改良効果とロックボルト補強効果を兼ねる方式も採用されている。

対象地質としては、未固結の土砂地山、亀裂によるブロック崩壊型地山がある。

地山強化注入材としては懸濁型、溶液型およびウレタン系などがあり、状況に応じた材料を選定する。

（３）事前補強ロックボルト工

断面拡大時にロックボルトを打設する作業スペースが確保できない場合には、既設トンネルの覆工内より事前にロックボルトを打設することも検討することとする。

この場合には、トンネル掘削時の障害とならないようにＦＲＰボルトの使用等についても考慮する。

また、既設トンネルの幅が狭くロックボルトを打設する場合にトンネル利用者の通行に支障がある時はロックボルトを斜めに打設することや継ぎボルト等についても考慮する必要がある。

覆工背面には矢板および緩んだ地山が存在することが多いことから、ロックボルトの穿孔作業に手間取る場合があるので、条件に適合した穿孔機の選定および自穿孔型ロックボルトの採用についても考慮する必要がある。

斜めにロックボルトを打設する場合には、十分な効果が得られるボルト長、打設角度についても検討することとする。

ロックボルトの設計は「**道路トンネル技術基準（構造編）・同解説**」に記載するものに準拠するものとする。

（４）その他の事前補強工法

その他の事前補強工法には、以下のものが挙げられる。

① 内梁支保工（既設覆工内側に梁材として支保工を建込む）
② パイプルーフ工
③ アンカー工
④ 水抜き工

４．７　坑口の設計

４．７．１　坑口部の設計

既設トンネルを断面拡大する場合の坑口部の設計については、安定性、経済性、施工性、景観等を考慮して決定しなければならない。

【解　説】

既設トンネルを拡大する場合の坑口位置は、横断方向上には大きく変更できないが、縦断方向上には、坑口部の安定性、経済性、施工性、景観等を考慮して検討を行い、最適な位置を決定しなければならない。

例えば、**図-4.7.1** に示すように、既設トンネルを拡大する場合、トンネル断面が大きくなることで現況の位置では坑口背面の地山を大きく切土するため、坑口部の安定性や施工性を考慮して坑口位置を明り側に出して余計な切土をしない方法を選択する場合もある。

また、斜面崩壊、落石等の履歴がある場合にはその対策についても坑口位置を含めて検討する必要がある。

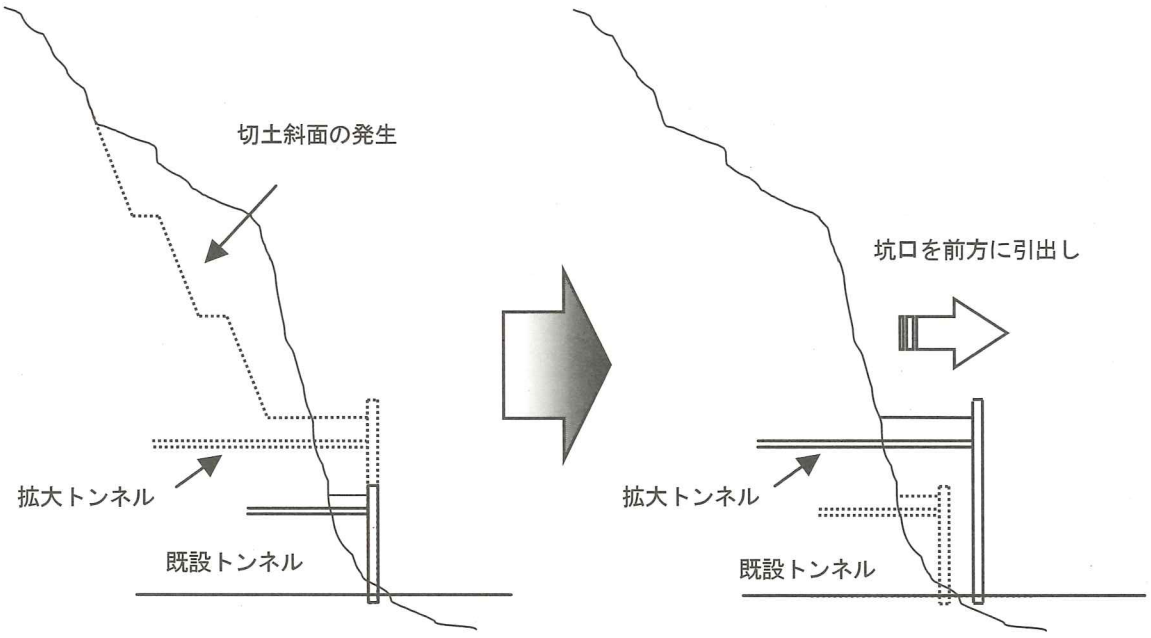


図-4.7.1　坑口位置の検討に関する例

４．８　安全施設等の設計

４．８．１　既設トンネルの付属施設等の機能の維持

既設トンネルの換気施設、照明施設、非常用施設については、断面拡大工事中もその機能を維持するように努めなければならない。

【解　説】

既設トンネルを拡大する場合には、拡大工事が完了し、新しい施設が機能するまで既設トンネルの施設機能を維持する方法を検討することとする。

また、トンネル断面内にはトンネルの付属施設以外に、埋設管が設置されていることもあることから、これらを含めた施設移設計画が必要である。

特に、換気施設については、現況交通量から必要となる換気施設と施工箇所で必要となる工事用換気施設は分けて検討することとする。

既設トンネルの断面拡大を行う際には、既設トンネルの延長が長くなるほど、現況付属施設の工事中の機能維持には多大な費用がかかる。このため、設計段階において施設の機能維持について十分に検討することとする。

以下に既設トンネルの付属施設等の機能維持について、実際に行われた事例を紹介する。

１）照明施設

延長の短いトンネルでは、照明施設だけの場合が多い。

延長約100mのトンネルの拡大事例やトンネルの一部区間（30m）におけるトンネルの改築事例などでは、プロテクタに照明施設を設置して、工事中の機能を維持した。

2）非常用施設

高速道路トンネルで施工された延長約 170m区間の断面拡大工事の事例では、部分的な拡大工事（2車線から3車線）であったが既設トンネル内に非常用施設があったため、プロテクタ内に非常用施設を設置して工事中の機能を維持した。

設置方法は、事前の補強ロックボルト打設時に既設側溝を利用してケーブルの配線・配管を行い、プロテクタ組み立て時に機材を据付け、プロテクタ設置時に結線をした。

図-4.8.1 にプロテクタ内の付属施設配置図を示す。

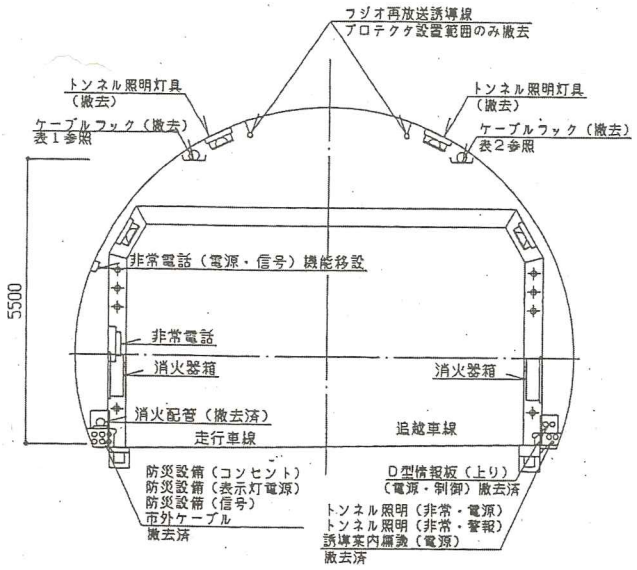


図-4.8.1　非常用施設のプロテクタ内の配置の事例

3）地下埋設物等

延長約 100mのトンネルの事例では、電線、通信ケーブル、光ケーブルの移設を行った。

図-4.8.2 に示すように、断面拡大後のトンネル支保構造に影響しない位置に水平ボーリングにより埋設物専用の切回し孔を掘って移設を行った。

移設後の落石対策として埋設物防護工を施工した。



図-4.8.2　地下埋設物の移設状況の事例

４．８．２　保全施設

既設トンネルを活線で断面拡大する場合には、現道交通の円滑な流れと安全を確保するために必要な保全施設を設置しなければならない。

【解　説】

既設トンネルを活線で断面拡大する場合には、保全施設の設置を検討することとする。

（１）工事事前予告について

トンネル工事に着手する以前に、通行車両および周辺住民に工事着手を知らせる広報を行わなければならない。設計段階では、工事中に高さ制限等で既設トンネルに設置する防護工内を走行できない特殊車両等の迂回路を検討し、必要により工事の事前予告にこの迂回路を明示した地図などの広報を行うこととする。

（２）交通規制・交通誘導について

既設トンネルを活線で断面拡大する場合には、車線規制・車線変更等の交通規制が発生する。設計段階では、交通規制および交通誘導の方法について、現道交通の円滑な流れと安全の確保を主眼に検討することとする。

第４章　参考文献

1) (社)日本道路協会：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説」，平成 15 年 11 月
2) (社)日本道路協会：「道路トンネル便覧」，昭和 50 年 1 月
3) 石村利明，真下英人，森本智：「既設トンネルの断面拡大時の挙動計測」，土木学会第 33 回岩盤力学に関するシンポジウム，平成 16 年 1 月
4) 蒲田浩久，真下英人，森本智：「既設トンネル断面拡大時の支保構造　－ロックボルトに着目して－」，土木技術資料 44-12，P32～37，平成 14 年 12 月
5) 蒲田浩久，真下英人，長谷川哲也：「土砂地山におけるロックボルトの効果に関する基礎的研究」，(社)土木学会トンネル工学研究論文・報告集，第 10 巻，P147～P152，平成 12 年 11 月
6) 森本智，真下英人，蒲田浩久：「打設時期の違いによるロックボルト効果に関する基礎的研究」，(社)土木学会トンネル工学研究論文・報告集，第 12 巻，P413～P418，平成 14 年 11 月
7) 蒲田浩久，真下英人：「既設トンネル断面拡大時の地山変位について」，(社)土木学会第 55 回年次学術講演会論文集Ⅲ，平成 12 年 9 月
8) (社)日本道路協会：「落石対策便覧」，平成 12 年 6 月
9) 日本道路公団技術部：「矢板工法トンネル背面空洞注入工設計・施工指針」，平成 14 年 10 月
10) 真下英人，石村利明：「道路トンネル変状対策工マニュアル(案)」，平成 15 年 2 月

5．施　工

5．1　施工一般

既設トンネルの断面拡大工事の施工は、設計図書に基づき、工事の安全と円滑な進捗および周辺環境に与える影響に留意して行うものとする。

【解　説】

既設トンネルの断面拡大工事も一般の土木工事と同じく、仕様書・設計書・設計図等の設計図書に基づいて施工しなければならない。

特に、既設トンネルの断面拡大を行う場合には、既設トンネル内に防護工等を設置してトンネル利用者の安全確保に十分に配慮した上で施工しなければならない。

トンネルは延長方向に長い地中構造物であり、地質・湧水等の地山条件を全長にわたって的確に予想することは極めて困難である。このため、一般に計画・設計の段階では、不確定ないし不可知な要素を多く残した状態で作業を進めざるを得ないという特殊性を持っている。

したがって、トンネルの施工にあたっては、設計の意図を十分に理解したうえで地山条件に的確に対応するとともに安全の確保と円滑な進捗に留意して進める必要がある。

既設トンネルの断面拡大は、新設トンネルと違い作業スペースに制限を受ける。施工計画を立案するうえで、作業の安全性、効率性についても十分に検討する必要がある。

５．２　施工計画

５．２．１　施工計画

施工に当たっては、設計図書・工事規模・工期・地山条件・立地条件・現道交通条件に適合した施工計画を立案するものとする。

【解　説】

トンネルの施工に際しては、現地の特殊性等を十分に加味して、下記の各項目についてきめ細やかな施工計画を立案するものとする。

１）施工法

施工条件、立地条件を考慮し最適な施工法を立案する。

① 事前補強（裏込注入工、ロックボルト工等）
② 掘削方式（爆破掘削、機械掘削等）
③ 拡大工法（下部拡大工法、上部拡大工法、片側拡大工法、両側拡大工法）
④ 防護工設置（プロテクタ、既設トンネルの覆工利用）
⑤ 坑内運搬方式（タイヤ方式、ベルトコンベヤ方式等）
⑥ 支保構造（吹付けコンクリート、ロックボルト、鋼アーチ支保工、覆工等）
⑦ インバート（半断面抜掘り方式、全断面片押し方式）
⑧ その他（防水工、排水工、舗装工、付帯工等）

２）工事用設備

施工法に基づいて必要な工事用設備等を選定し、その配置計画を行う。

① 給気設備（コンプレッサー容量、台数等）
② 給排水設備（水源、給水、排水、汚濁水処理等）
③ 換気設備（換気方式、送風機等）
④ 防護工（移動式作業構台、プロテクタ）
⑤ 電気設備（受配電、照明等）
⑥ その他（コンクリートプラント、材料置き場、倉庫、鍛冶場等）

３）人員配置計画

工期、作業内容等を勘案して、適切な人員配置計画を行う。また、法令等に定められた責任者の選任を行う。

４）工　程

各作業別に、サイクルタイムを算定し、工事工程表を作成する。

５）安全管理

安全管理については、**「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説」**に記載するものに準拠するもの

とする。

6）環境保全

環境保全については、**5．2．2「環境保全」**に記す。

7）施工管理

施工管理の諸基準を定めるとともに、工事中の記録項目および様式を決める。

8）その他

トンネルは一般的に単独で施工することは少なく、近接および隣接して他工事が併行または同時に行われることが多い。工事計画にあたっては、これらの工事と調整し、施工上・工程上相互に支障のないよう留意しておく必要がある。

また、事前補強を施工する際には交通規制が発生するので、トンネル利用者の安全を確保するために保安設備についても十分に検討する必要がある。

５．２．２　環境保全

1. 施工にあたっては、周辺の環境への影響を考慮し、必要に応じて騒音、振動、水質汚濁、コンクリート塊の処理等に関する適切な措置をとるものとする。
2. 施工にあたっては、所要のトンネル坑内の環境を確保しなければならない。

【解　説】

１．について

トンネル工事が、周辺の環境に影響を与える要因としては、騒音・振動・地下水位の変動・渇水・水質汚濁・地表面の沈下等がある。工事に先立ちこれらの現象が予測される場合には、事前に調査を行い、対応策を検討しておく必要がある。さらに、工事中に予期せぬ事態が発生した場合は、速やかに適切な措置をとるものとする。

また、既設トンネルを取り壊した際に、コンクリート塊、鋼アーチ支保工等の廃棄物が発生するが、分別処理および有効利用等を行い地球環境に配慮した措置を検討するものとする。

２．について

断面拡大のトンネル工事にあたっては、施工中に発生する掘削ずり、粉じん、工事用車両からの排気ガス等によりトンネル坑内の環境が悪化することが予想されることから、一般車両の円滑な交通の妨げ、あるいは工事の妨げとならないよう検討を行い、適切な措置を講ずるものとする。

５．３　掘削

５．３．１　掘削一般

掘削にあたっては、設計で定めた拡大工法に応じて、地山条件、立地条件、工期等を十分に考慮して、掘削方式、加背割り、施工機械等について選定するものとする。

【解　説】

掘削方式（機械掘削、爆破掘削等）、加背割り、施工機械（汎用機、専用機等）の選定については、設計で定めた拡大工法（下部拡大工法、上部拡大工法、片側拡大工法、両側拡大工法）に応じて、地山条件、既設トンネルの大きさ・距離、施工環境、工期などを十分に考慮して慎重な検討が必要である。

以下に拡大工法別の掘削方式および施工機械を示す。

表-5.3.1　拡大工法別掘削方式と施工機械の組み合わせ例

拡大工法		掘削方式	施工機械
全体拡大	両側拡大工法	機械掘削	汎用掘削機
			専用掘削機
		爆破掘削	専用・汎用掘削機併用
	片側拡大工法	機械掘削	汎用掘削機
			半専用掘削機
部分拡大	下部拡大工法	機械掘削	汎用掘削機
	上部拡大工法	機械掘削	汎用掘削機

５．３．２　ずり処理

ずり処理の計画にあたっては、掘削工法、勾配、延長等を十分考慮して全体に均衡のとれた積込み機械、運搬機械、土捨設備等を定めるものとする。

【解　説】

ずり処理は作業空間が狭いために新設に比べて時間がかかるので、ずり処理を効率化することがトンネル工事のスピードアップとコストダウンにつながる。

このためには、ずりの大きさとずり量に応じて、ずり積機械・ずり運搬機械・土捨設備等が全体としてバランスの取れた能力のものとする。

両側拡大工法は、既設トンネルの断面の両側でずりが発生する。その処理には片側に集めて搬出するか、できない場合は両側からずりが搬出されるので、現道両側にずり処理できるヤードが必要である。その一例を**図-5.3.1**に示す。

（１）ずり積作業

ずり積機械は、掘削断面・岩質・一掘削当たりずり量等を考慮し、運搬機械と均衡の取れたものを選定するものとする。

ずり積機械の機種は、切羽の大きさによって異なり、また、タイヤ方式とレール方式によっても異なる。

断面拡大トンネルの施工では、作業スペースの確保が難しく、大型車両の使用が困難である。機械の選定にあたっては施工性を考慮する必要がある。

（２）ずり運搬

ずり運搬方式は、掘削工法・掘削断面・勾配・掘削延長等を考慮し、円滑かつ効率的となるよう選定するものとする。断面拡大トンネルの施工では、作業スペースの制約から、小ダンプやベルトコンベヤ等の使用を検討する必要がある。

（３）土捨設備

新設トンネルからのずりは、タイヤ方式で流用先が比較的近距離の場合は直接運搬する場合があるが、断面拡大トンネルの場合は大型車両の使用が困難であるため、坑口付近に積替え設備を設けることを検討する。ずりの積替え設備については、作業性や緊急の場合に備え、ストック量に余裕のある容量を確保しておくことが必要である。

発生するずりは既設トンネルの覆工コンクリート、支保工等の産業廃棄物が含まれている。したがって、場外搬出前に分別や二次処理が必要となる。

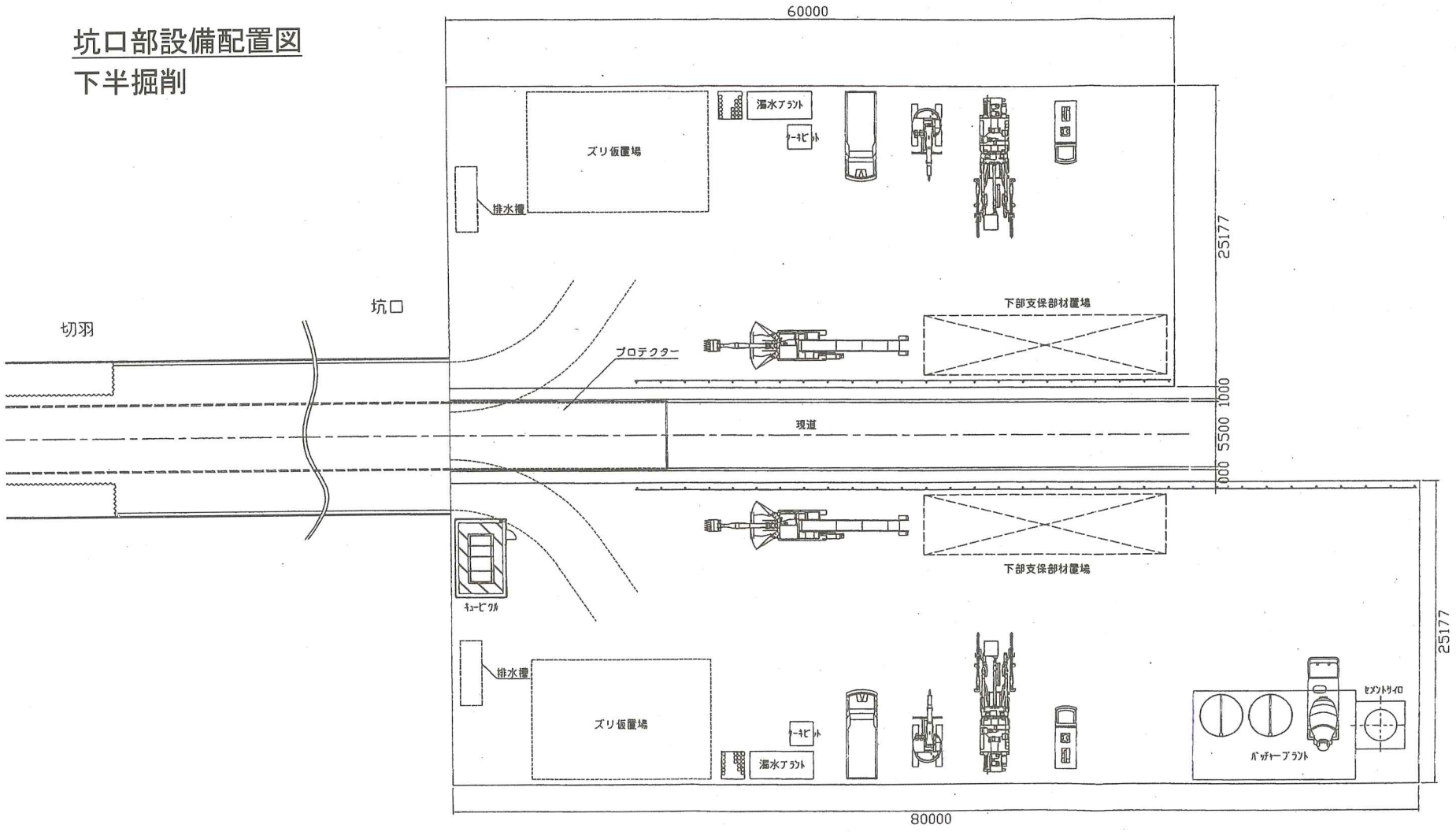


図-5.3.1　仮設備配置計画

５．３．３　インバート

インバートの施工にあたっては、一般車両の交通に支障を及ぼさないよう適切な方法で確実に実施しなければならない。

【解　説】

既設トンネルの断面拡大を行う場合のインバートの施工は、一般車両の交通に支障を及ぼさないよう適切な施工法とする必要がある。通常の新設トンネルにおけるインバートの施工は、覆工の打設前に先行して実施されるのが通常であるが、既設トンネルの断面拡大においては、一般車両の安全の確保の面からプロテクタの撤去前に覆工の打設を先行する場合がある。

覆工の打設後にインバートの施工を行う場合には、インバートの打設が逆打ちとなるため、インバートとしての機能が十分発揮できるように、覆工の打設を行う前に必要により根足コンクリート等の施工を行うなど、覆工からの軸力が確実に伝達できるような接続方法とするとともに、コンクリートの未充填がないよう確実な打設を行わなければならない。

また、一般車両を通行させながらのインバート施工となるため、インバートの施工は片車線ごとの施工方法か、もしくは移動式の桟橋を用いた施工方法等となるが、いずれの施工方法においても一般車両の交通に対する配慮の検討を行う必要がある。

５．４　防護工

既設トンネルの断面拡大を活線施工で行う場合には、トンネル利用者の安全を確保することを目的として防護工を設置するものとする。

【解　説】

既設トンネルの断面拡大を活線施工で行う場合には、トンネル利用者の安全を確保することを目的として防護工を設置する。

防護工には、鋼材で製作されるタイプ（プロテクタ）と既設トンネルの覆工を利用するタイプがあるため、断面拡大の工法によってどちらのタイプを採用するかを検討する必要がある。

防護工の機能には、トンネル利用者の安全確保のほかに、施工機械のステージ、施工機械・資材等の昇降設備などを付加したものもある。

また、下部拡大工法においては、トンネル利用者の通行帯の確保のために移動式の桟橋を設置することを検討する。この場合には、最小の建築限界が確保できるかどうかも検討するものとする。

プロテクタタイプの防護工については、以下に示す留意点に注意して施工するものとする。

① 防護工の組立て・解体は、現道沿いに確保する組立・解体ヤード内で行うため、採用する断面拡大工法に応じた必要なスペースを仮設備ヤードに見込んでおく必要がある。

② 組立・解体ヤードは、１ブロックづつ組立てた防護工を現道利用して既設トンネルまで運搬するため、できるだけトンネル坑口に近い場所を確保することが望ましい。

③ 防護工の移動・設置は、１ブロックづつ現道を移動して坑内に引き込むことが多いため、作業は夜間・通行止めによって行わなければならない。したがって、事前に規制に対する関係機関との調整が必要となる。

５．５　事前補強

活線施工における事前補強は、一般車両に対して施工設備・機械および作業員を隔離し、相互の安全を確保して施工する必要がある。

【解　説】

活線施工における事前補強は、既設トンネル内で車線規制を行いながら施工することになるため、**写真-5.5.1**に示すように通行帯を走行する一般車両に対して施工設備・機械および作業員を防護壁などにより隔離して、相互の安全を確保して施工する必要がある。

そこで、次に代表的な事前補強工法について、工法別に施工における留意点を述べる。

（１）裏込注入工

① 覆工の亀裂、打継ぎ目があると注入材料が漏れる恐れがあるので、コーキング等を事前に実施する。

② 対象区間の両側妻部には注入材の流出止めのバルクヘッド（隔壁）を構築する必要がある。バルクヘッド形成には高発泡のウレタンを使用することが多い。

③ 狭隘な既設トンネル内で１車線規制による裏込注入作業となることから、グラウト孔穿孔作業時を含めて施工機械、資材等の通行帯への突き出し防止および削孔水、注入材等の飛散防止のため仮囲い等の対策を行う必要がある。また、作業員に対する交通安全対策にも十分な配慮をする必要がある。

（２）地山強化注入工

① 瞬結タイプを除く薬液については既設覆工背面空洞に流出する恐れがあるので、事前に裏込注入により空隙を充填しておく必要がある。

② 狭隘な既設トンネル内で１車線規制による薬液注入工事となることから、施工機械、資材等の通行帯への突き出しおよび薬液、削孔水等の飛散防止のため仮囲い等の対策を行う必要がある。また、作業員に対する交通安全対策にも十分な配慮をする必要がある。

③ 坑口部について坑外から施工する場合にも同様の配慮が必要である。

④ 穿孔・注入作業は足場上での作業となることから、安定な足場、手摺りおよび昇降設備の設置が必要である。

（３）事前補強ロックボルト工

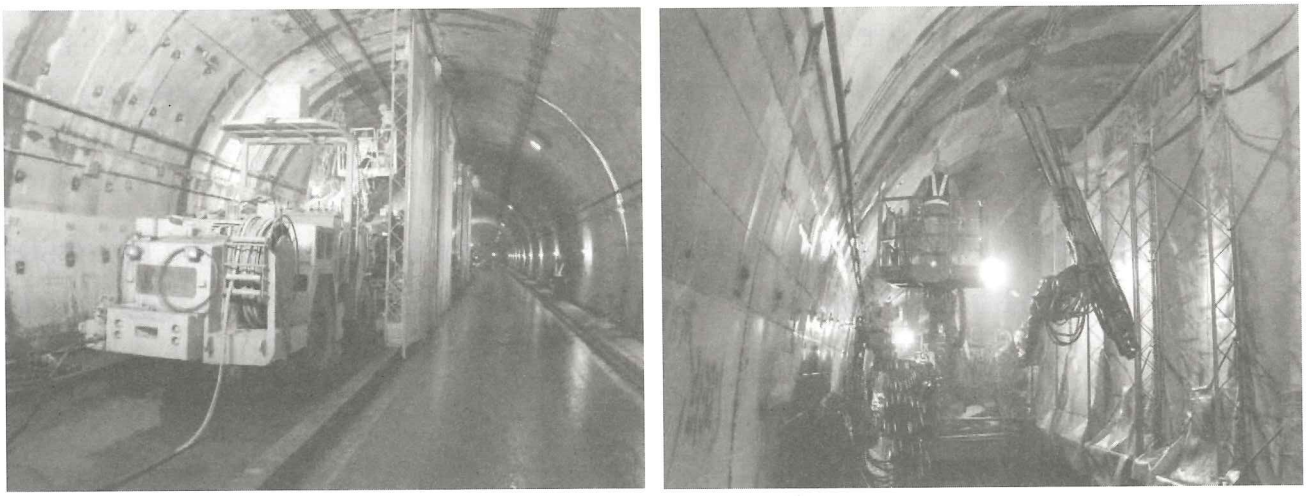
① 定着材式のロックボルトの場合には、定着材が覆工背面の矢板等による空洞にリークして十分な定着が確保できなくなるので、事前に裏込注入による空洞充填が必要である。

② トンネル掘削方式が機械掘削の場合には、掘削断面内に鋼製ロックボルトが出てくると掘削の施工性が著しく低下するので、掘削断面部分はＦＲＰ材料となるようなロックボルトの採用を検討する必要がある。

③ 狭隘な既設トンネル内で１車線規制によるロックボルト打設となることから、施工機械、資材等の通行帯への突き出し防止および削孔水、定着材等の飛散防止のため仮囲い等の対策を行う必要がある。また、作業員に対する交通安全対策にも十分な配慮をする必要がある。

④ 事前ボルトを拡大トンネルのシステムボルトとなるような打設パターンで行う場合には、掘削・吹付け後に座金の取り付けまでを完了させる。

写真-5.5.1にロックボルト打設における防護壁および打設状況の例を示す。



(a)一般車両等に対する防護壁の例　　(b)ロックボルト打設状況

写真-5.5.1　ロックボルト打設時における防護壁および打設状況の例

（４）その他の事前補強工法

１）内梁支保工

① 内梁支保工は通行帯の関係で片側ずつの建込みとなることから、既設覆工からの固定を確実に行う必要がある。

② 既設覆工を支保するために支保工との隙間へのブロッキングを確実に実施することが重要である。さらに継間パイプ等により支保工間の連結を行って補強する。

③ 覆工の状態により矢板、ライナープレート等を設置して被覆する。

④ 狭隘な既設トンネル内で１車線規制による支保工建込みとなることから、施工機械、資材等が通行帯に突き出さないよう仮囲い等の対策を行う必要がある。また、作業員に対する交通安全対策にも十分な配慮が必要となる。

２）パイプルーフ工

① 既設トンネル坑口部明かり区間での施工となるので、作業用架台は通行帯をまたぐように設置してボーリングおよび鋼管打設を行う。

② ボーリングによる掘削ずり、スライム、削孔水および資材等が下方の通行帯に落下しないように防護する必要がある。この時、同様の防護設備を設置した拡大作業用プロテクタの兼用も考えられる。

３）アンカー工

① 狭隘な既設トンネル内で１車線規制によるアンカー打設作業を行うため、施工機械、資材等が通行帯に突き出さないよう仮囲い等の対策を行う必要がある。また、作業員に対する交通安全対策にも十分な配慮をする必要がある。

４）水抜き工

① 狭隘な既設トンネル内で１車線規制による穿孔作業あるいは水抜きボーリングを行うことから、施工機械、資材等が通行帯に突き出さないよう仮囲い等の対策を行う必要がある。また、作業員に対する交通安全対策にも十分な配慮をする必要がある。

② スライム、削孔水および湧水が通行帯の舗装面に流入しないよう排水処理は確実に行う。

５．６　保全施設

既設トンネルを活線施工で断面拡大する場合には、トンネル利用者の安全を確保するために下記の保全施設の設置を検討するものとする。

１．工事の情報提供設備

２．工事に伴う車両の交通規制の方法

【解　説】

既設トンネルを活線施工で断面拡大する場合には、トンネル利用者の安全を確保するとともに、工事の安全と円滑な進捗のために下記の保全施設を検討するものとする。

１．について

既設トンネルを活線施工で断面拡大する場合には、交通規制、車線変更等によってトンネル利用者の通行に影響を与える。このため、工事の事前予告、工事規制等の工事に関する情報を提供することで、トンネル利用者が安心して通行できるようにする必要がある。

例えば、工事前には、**写真-5.6.1** に示すように既設トンネルのある道路が走る周辺の都市などに、横断幕を設置して事前予告を行うことや、工事中には、**写真-5.6.2** に示すように道路情報板を利用した通行規制の案内や**写真-5.6.3** に示すような工事予告案内板を設置してトンネル利用者に工事情報を提供するものとする。

また、そのほかにパンフレットやチラシなどを配布して、工事情報を周知することが望ましい。

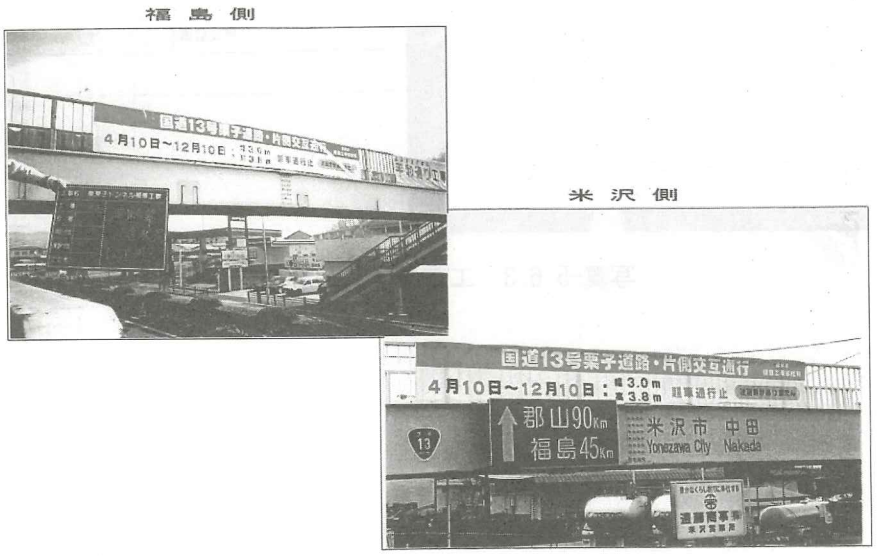


写真-5.6.1　横断幕による工事予告の例

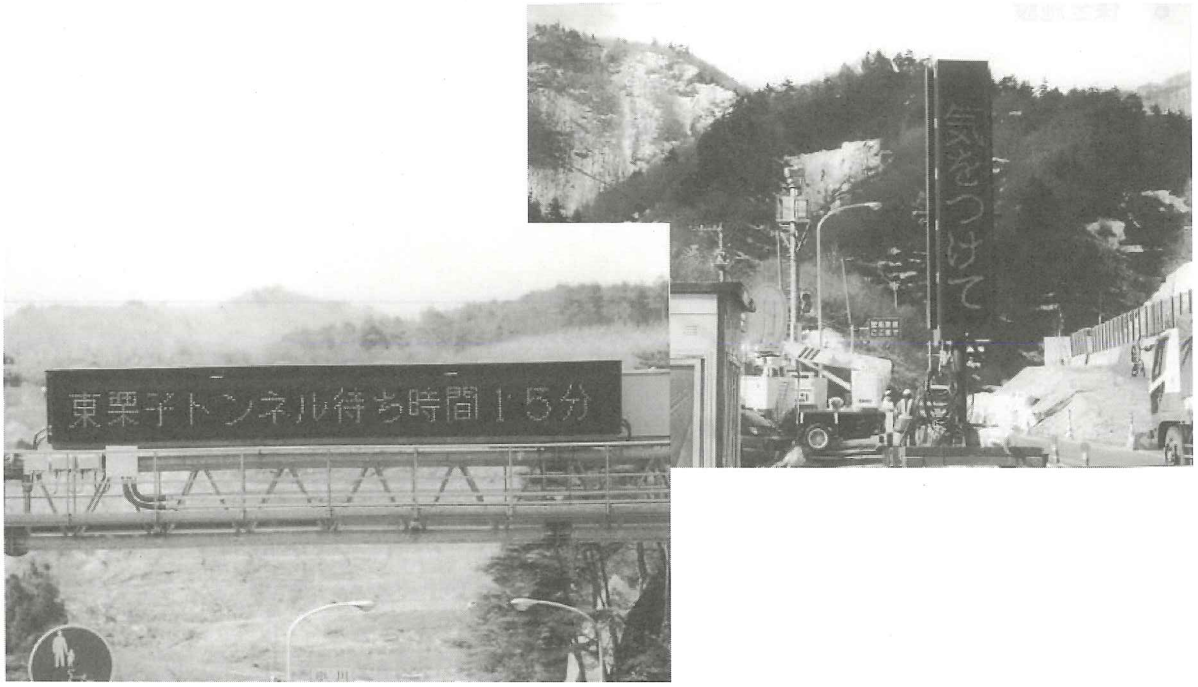


写真-5.6.2　電光掲示板による案内の例

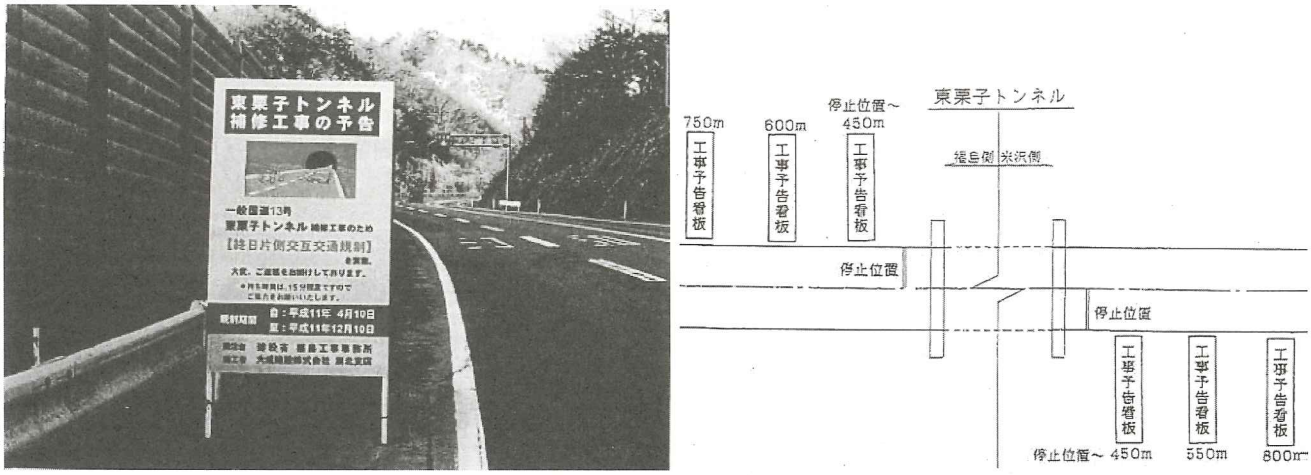


写真-5.6.3　工事予告案内板の例

2．について

通行規制、車線規制、通行車両の高さ制限について、現道交通の円滑かつ安全な流れを確保するために規制内容を知らせる保安施設を検討しなければならない。

例えば、車線規制では**写真-5.6.4** や**写真-5.6.5** に示すような交通規制中の“待ち時間”が確認できる施設や規制用の信号機などを設置する。通行車両の高さ制限に対しては、**写真-5.6.6** に示すような高さ制限の確認用ゲートや感知センサーを前後に設置する必要がある。

また、特殊車両等の工事中に通行制限を受ける車両の迂回路についても事前に決定して工事中は迂回路を案内する必要がある。



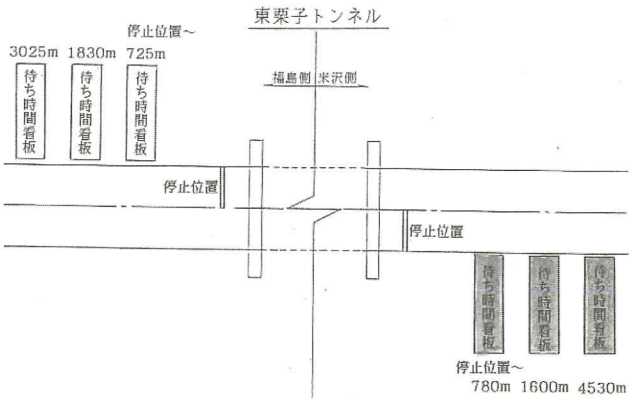


写真-5.6.4　交通規制中の“待ち時間”の表示



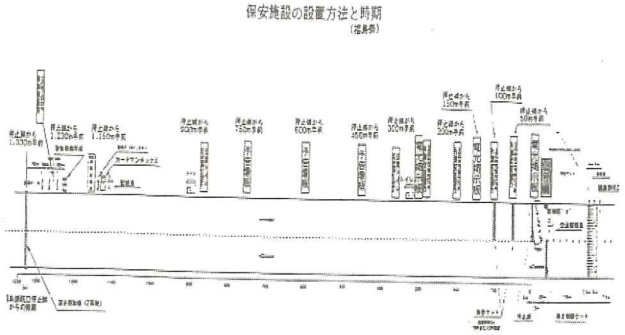


写真-5.6.5　交通規制用の信号機



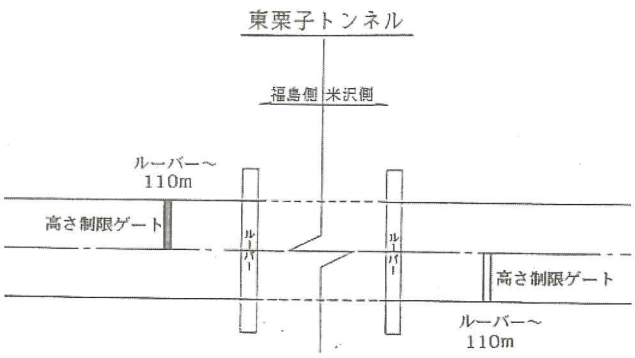


写真-5.6.6　車両通行制限確認用ゲート

参考資料　目次

参考資料－１　活線施工による改築・拡幅事例 ……1
参考資料－２　改築・拡幅トンネルの支保構造の実績 ……11
参考資料－３　既設トンネルにおける覆工背面の緩み領域に関する実績 ……21
参考資料－４　既設トンネル付属施設等の移設・プロテクタ構造および搬入・交通対策事例 ……29
参考資料－５　数値解析による断面拡大形状およびプロテクタ設置範囲の検討 ……41
参考資料－６　斜めに打設するロックボルトの支保効果に関する実験 ……45
参考資料－７　数値解析によるロックボルトの支保効果に関する検討 ……49
参考資料－８　緩み域におけるロックボルトの支保効果に関する研究 ……55
参考資料－９　既設トンネルの断面拡幅時の挙動計測 ……63

参考資料－1

活線施工による改築・拡幅トンネルの施工実績

目　次

１．概要・・・

表－１（c） 活線施工による改築・拡幅トンネルの事例一覧

事例 番号		13	14	15	16	17	18
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幅工事である。	狭小なトンネル（幅員4.5m）を供用しながら、幅員6.0m片側歩道2.5mのトンネルに拡幅する。防護工としてライナープレートと鋼アーチ支保工で、発破により掘削を行った。	トンネル本体の老朽化が著しくまた車道幅が狭いためトンネル内での大型車の対面通行が不可能に近い状態である現況トンネルの拡幅を行い、通行車両の安全を図る。	トンネル本体の老朽化が著しくまた車道幅が狭いためトンネル内での大型車の対面通行が不可能に近い状態である。現況トンネルの拡幅を行い、通行車両の安全を図る。	完成後30数年経過しているため、天井版、内装版等の各種施設の老朽化が著しい事と、外力による覆工コンクリートへの影響による変状現象のため、抜本的な対策が必要とされた。さらに、特に変状の著しい30m区間は全面改築を実施し、インバート付きの新設断面に再構築する事が必要となった。	トンネル入り口のカーブ区間の視距拡大
改築（拡幅）の目的		分岐合流部の施工	渋滞解消	渋滞解消	渋滞解消	変状区間の覆工打ち替え	坑口部線形改良（視距確保）
既設トンネル工法		在来	在来	NATM	NATM	在来	NATM
施工日		H7	S63	S62	H5	H11	H4
施工期間（月）		28	16	6	-	10	16
トンネル延長		795	88.3	80	95	2376	902
施工延長		78.7	97.5	80.0	124.0	30.0	60.0
改築の規模（内空幅）	旧	7.0	4.8	6.1	7.0	8.8	8.6
	新	17.5	9.25	11.4	11.5	8.8	15.0
改築の規模（車線数）	旧	2.0	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	新	2.0	2.00	2.0	2.0	2.0	2.0
既設トンネル断面積(m2)		40.0	21.00	33.7	33.7	67.5	49.2
拡幅部トンネル断面積(m2)		150.0	74.90	64.5	55.7	67.5	99.3
拡幅率		2.50	1.93	1.87	1.64	1.00	1.74
既設トンネルの位置		側壁	底 設	底 設	底 設	中央	側 壁
地 質		輝緑凝灰岩	砂岩	凝灰質砂岩	砂岩・礫岩	砂岩泥岩	風化花崗岩
地山の硬軟		硬岩	軟岩	軟岩	軟岩	中硬岩	土砂、軟岩
地山強度（qu；kgf/cm2）		1000	100	200	80	500	N値24、50以上
支保構造	標準パターンの有無	非標準	非標準	標準	－	－	－
	非標準の場合の支保パターン	地中交差拡幅部は、既設覆工コンクリートを1部利用し、新設支保と接続ししている。また、掘削断面積は最大150m3と大断面であるため、特殊な支保パターンとなっている。 鋼アーチ支保工：H-125～H-200，吹付けコンクリート：100～250mm	鋼アーチ支保工 H200ピッチ0.75～1.0m 内梁(STK鋼管φ60.5mm)を設置 覆工 60cm	－	－	－	－
	その他、支保構造に関する情報	－	－	ＤⅠ～ＤⅢパターンボルト	－	－	－
交通規制		交互交通	交互交通 （夜間全面通行止め）	交互交通	交互交通	交互交通	交互交通
トンネル内交通確保		プロテクタ	既設トンネルをﾌﾟﾛﾃｸﾀとして使用（ライナープレート内巻）	プロテクタ	プロテクタ	プロテクタ	プロテクタ
プロテクタ方式		固定式	固定式	固定式	固定式	固定式	固定式
プロテクタ寸法	長さ(m)	132	98.4	130	282	73.2	78
	高さ(m)	3.5	－	4.0	4.1	4.1	4.0
	幅(m)	4.0	－	4.05	3.5	4.0	4.1
掘削方法		割岩	発破(40)、機械(60)	機械	機 械	機械	機械
使用機械		スリットジャンボ，大型ブレーカ	ジャイアントブレーカ	ロードヘッダMRH－S45	ロードヘッダMRH－S45	油圧ブレーカ（リモコン式）	ロードヘッダ
支保取り壊し		大型ブレーカによる取壊し	油圧式ジャイアントブレーカ	ロードヘッダMRH－S45（取壊しと掘削同時作業）	ロードヘッダMRH－S45（取壊しと掘削同時作業）	油圧パッカーおよび油圧ブレーカ2台	油圧ブレーカ
ズリ処理		ダンプトラックにて搬出	坑内 トラクターショベル 坑外 ダンプトラック(0.2km)	ロードホールダンプ（1.7m^3） ホイールローダ（cat930）	ロードホールダンプ（1.7m^3） ホイールローダ（cat930）	ベルトコンベア＋2tダンプトラック＋ミニバックホウの組み合わせ	トラクターショベル、10tダンプトラック
事前補強		・裏込め注入 ・補強ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ	既設トンネルの防護工として、鋼アーチ支保工(H-150)を1.2mピッチに建て込み。支保工の外側にライナープレート(t=2.7mm)を取り付ける。	－	－	裏注,補強RB	－
事前調査		交差部は扁平率0.47の断面（0.57以下）	アーチ部に空洞3箇所	先行変位を測定、切羽通過まで0.35mm、最終変位0.6mm程度 旧トンネル覆工背面には空隙があり拘束力がないため、上方へ押し上げられる。一方側壁は内側に押し出すように働く。		地下ﾚｰﾀﾞ,ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査,内空断面調査,ｺﾝｸﾘｰﾄの圧縮強度・中性化試験,ｸﾗｯｸ調査	

表－１（d） 活線施工による改築・拡幅トンネルの事例一覧

事例 番号		19	20	21	22	23	24
工事概要		建築限界の確保と歩道設置	落盤事故防止対策として、既設トンネル背面の空洞充填と漏水補修、舗装補修、内外装工事を行った。	ダムを着手するための道路整備、トンネル拡幅部5箇所：拡幅延長228.7m拡幅断面積11.8m^2、吹付けコンクリート2,177m^2、ロックボルト898本、グラウト工486m^3、ずり運搬3,080m^3	素掘り状態の延長：34．4mの道路トンネルの全面拡幅を実施した。工事は、現況の交通を確保しながらの施工で、仮設のプロテクタを設置し、一般車両の安全を確保した。	盤ぶくれによる変状区間のインバート施工	供用しているトンネルの拡幅工事で掘削断面積が105.0m^2（内空断面積75.0m^2）の大断面である。土被りも4mと薄い。
改築（拡幅）の目的		建築限界の確保と歩道設置	トンネルの老朽化	待避所新設	主要道路の格上	盤ぶくれ対策インバート工事	渋滞解消
既設トンネル工法		NATM	在来	NATM	在来	在来	在来
施工日		H1	H5	S62	H3	S62	S63
施工期間（月）		24	24	20	9	8	16
トンネル延長		124	216	180	34.4	2620	32.3
施工延長		124.0	216.0	135.0	34.4	90.0	45.0
改築の規模（内空幅）	旧	7.0	8.7	5.7	5.0	8.0	5.5
	新	11.5	8.7	7.2	10.0	8.0	11.3
改築の規模（車線数）	旧	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0
	新	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
既設トンネル断面積(m2)		80.0	36.0	26.5	－	58.2	20.4
拡幅部トンネル断面積(m2)		105.0	36.0	38.3	75.0	81.7	75.0
拡幅率		1.64	1.00	1.26	2.00	1.00	2.05
既設トンネルの位置		底 設	－	側壁	側 壁	－	側 壁
地 質		砂岩・泥岩互層	－	砂岩	角礫岩	玄武岩質安山岩	砂礫
地山の硬軟		土砂、軟岩	軟岩	中硬岩	中硬岩	軟岩	土砂
地山強度（qu；kgf/cm2）		400	－	1000	－	－	－
支保構造	標準パターンの有無	標準	－	非標準	標準	－	標準
	非標準の場合の支保パターン	－	－	既設支保通りに、吹付けコンクリートとロックボルトだけの支保で、鋼アーチ支保工はない。一進行長は1m。	－	－	－
	その他、支保構造に関する情報	DⅠパターン、鋼アーチ支保工H200@0.75m	－	－	既設トンネルは素掘	－	－
交通規制		交互交通、迂回路	交互交通	交互交通（夜間通行止め）	交互交通	交互交通	交互交通
トンネル内交通確保		プロテクタ	プロテクタ	プロテクタ	既設トンネルをﾌﾟﾛﾃｸﾀとして使用	なし	プロテクタ
プロテクタ方式		固定式	移動式	移動式	固定式	なし	固定式
プロテクタ寸法	長さ(m)	156	9	4.5	35	なし	55
	高さ(m)	3.9	4.0	3.4	－	なし	4.6
	幅(m)	4.1	4.78	3.2	－	なし	5.04
掘削方法		機械	－	機械(30)、発破(70)	制御発破	機械	機 械
使用機械		ﾛｰﾄﾞﾍｯﾀﾞ､ｶｯﾀﾛｰﾀﾞ	－	ブレーカ	－	ブレーカ800kg級	0.4m^{3}BH,0.25m^{3}ｼｮｰﾄﾘｰﾁBH
支保取り壊し		ブレーカ0．2m^3	覆工の壊しなし	ハンドカッタにて覆工に目地を入れて、ブレーカで壊し	－	ブレーカ800kg級にて舗装、梁版を取り壊し、バックホウにて積込み、ダンプトラックで搬出。	・新設トンネル中央部に仮設の中壁を設置して、一般車両を新設トンネル側に切替えて0.7m3油圧ブレーカおよび0.4m^{3}バックホウで既設トンネルを取壊した。
ズリ処理		ブレーカ0．2m^3	－	4tダンプによる搬出	－	覆工コンクリートにロックボルト打設および水抜きボーリングを施工。 覆工コンクリートにロックボルト打設および水抜きボーリングを施工。	・1.0m^{3}のホイール式サイドダンプローダで坑内から坑外まで運搬し、坑外で4tダンプトラックに積込み搬出
事前補強		－	－	ロックボルト、グラウト工	－	覆工コンクリートにロックボルト打設および水抜きボーリングを施工。	・上部半断面（120度）パイプルーフ工法（φ114.3mm×6mm、n=49本）L=1,333m ・上半上段部（ﾊﾟｲﾌﾟﾙｰﾌ外周2m含む）薬液注入による地盤強化（瞬結用半懸濁型水ガラス系） ・上半下段部（上段支保工脚部、下段支保工部）ウレタン注入による地盤強化（TBU薬液）
事前調査		現トンネルの天端から4.0m程度がゆるみ坑内に崩落した箇所もあった。旧トンネルに鉄筋が入っているため油圧ブレーカ使用。 覆工の壊しのサイクルタイムに大きく影響している。（上半 月進25m/月）		完成断面扁平な形をしている。			土被りの小さいトンネル パイプルーフ、薬液注入

表－１（e） 活線施工による改築・拡幅トンネルの事例一覧

事例 番号		25	26	27	28	29	30
工事概要		本工事は，トンネル内での分岐合流部の施工である．施工方式は機械掘削方式で，既設トンネルとの接合部は，2車線プロテクタを既設トンネル内に設置し，交通解放しながらの施工である．	付け替え道路が設置できないため，交通を遮断する事無く施工。既設トンネル内にプロテクタを先行施工．掘削工法は，上半リングカット先進工法(一部中段導坑)，補助工法として，坑口部にエアモルタル，全区間に薬液注入工を実施．	道路の安全性を確保するために曲線部の拡幅および非常駐車帯の新設を行うものである．	老朽化に伴う覆工の強度不足、漏水、空洞化等が発生している。また、幅員が6m未満と狭く、大型車両のすれ違いが困難なため、拡幅を伴う抜本的な補修を行った。	老朽化に伴う覆工の強度不足、漏水、空洞化等が発生している。また、幅員が6m未満と狭く、大型車両のすれ違いが困難なため、拡幅を伴う抜本的な補修を行った。	トンネルの坑口から170m間を現在の2車線から3車線に拡幅することにより、トンネル内に合流のための擦り付け区間を設けるものである。
改築(拡幅)の目的		分岐・合流部の施工	渋滞解消	曲線部拡幅・非常駐車帯の新設	渋滞解消、トンネルの老朽化	渋滞解消、トンネルの老朽化	ランプ部の合流車線設置
既設トンネル工法		在来、NATM	在来	在来	在来	在来	在来
施工日		H9	S61	H9	H8	H9	H11
施工期間(月)		25	15	4	18	18	25
トンネル延長		2288	33.25	45	56	69	975
施工延長		224.8	40.0	45.0	56.0	69.0	170.0
改築の規模(内空幅)	旧	10.8	4.9	6.5	7.0	6.5	11.0
	新	23.6	10.0	7.5	13.1	13.1	17.0
改築の規模(車線数)	旧	2.0	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	新	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0
既設トンネル断面積(m2)		59.0	9.4	28.0	32.0	30.0	75.0
拡幅部トンネル断面積(m2)		81.3	56.8	46.5	75.2	76.4	160.0
拡幅率		2.19	2.04	1.15	1.86	2.02	1.55
既設トンネルの位置		側壁	底 設	側壁	側壁	側壁	側壁
地 質		凝灰角礫岩	風化花崗岩	強風化花崗岩	泥岩	泥岩	砂岩、頁岩、凝灰岩
地山の硬軟		軟岩	土砂	中硬岩	軟岩	軟岩	硬岩
地山強度(qu;kgf/cm2)		－	200	－	－	－	3000
支保構造	標準パターンの有無	標準	非標準	標準	標準	標準	非標準
	非標準の場合の支保パターン	分岐部は，H-200の鋼アーチ支保工と吹付けコンクリート(t=20cm)	吹付けコンクリート20cm＋H150鋼アーチ支保工、鉄筋コンクリート	吹付けコンクリート，鋼アーチ支保工，ロックボルト(DⅠ，DⅠ-i)	土被りが最大で23m程度で、地山のｸﾞﾗﾝﾄﾞｱｰﾁの形成範囲(1.5D=20m)がほとんどない状態であり、本トンネルの大部分は地山強度の低い坑口部に相当するため、支保構造は、土荷重の作用に抵抗可能な剛構造とし、坑口部支保構造に準じる。	土被りが最大で23m程度で、地山のｸﾞﾗﾝﾄﾞｱｰﾁの形成範囲(1.5D=20m)がほとんどない状態であり、本トンネルの大部分は地山強度の低い坑口部に相当するため、支保構造は、土荷重の作用に抵抗可能な剛構造とし、坑口部支保構造に準じる。	拡幅トンネルが、内空幅15.6mの大断面トンネルであるため、建設省大断面Ⅱ、JH3車線トンネル、第2東名の支保パターンを参考とし、建設省大断面Ⅱに準じて設定。
	その他、支保構造に関する情報	－	－	PC板	ロックボルトは水平に片側2本の変則配置	ロックボルトは水平に片側2本の変則配置	－
交通規制		なし	なし	地元許可車輌および工事関係車輌の通行確保	交互交通	交互交通	なし
トンネル内交通確保		プロテクタ	既設ﾄﾝﾈﾙをﾌﾟﾛﾃｸﾀとして使用	プロテクタ	プロテクタ	プロテクタ	プロテクタ
プロテクタ方式		固定式	固定式	移動式	固定式	固定式	固定式
プロテクタ寸法	長さ(m)	144	－	6	84	90	205
	高さ(m)	4.0	－	3.8	3.9	3.9	4.15
	幅(m)	6.6	－	3.15	4.85	4.85	7.5
掘削方法		機 械	機 械	機 械	機 械	機 械	機械、割岩
使用機械		自由断面掘削機RH-8J，ﾌﾞﾚｰｶ	0.15m3ﾌﾞﾚｰｶ＋人力掘削	ﾊﾞｯｸﾎｳ，ﾌﾞﾚｰｶ	ｶｯﾀｰﾛｰﾀﾞ CL9E	ｶｯﾀｰﾛｰﾀﾞ CL9E	ブレーカ800kgf級
支保取り壊し		ﾌﾞﾚｰｶによる取り壊し	午前0時～午前5時の夜間作業 油圧ｺﾝｸﾘｰﾄ破砕機を取り付けたバックホウ(0.45m³)主体，一部下半部はﾌﾞﾚｰｶｰ(0.45m³)	800kgおよび200kg級大型ﾌﾞﾚｰｶで取り壊し	低振動破砕薬(ガンガイザー破砕薬)使用	低振動破砕薬(ガンガイザー破砕薬)使用	ブレーカ800kgf級
ズリ処理		ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸで搬出し，ガラは産廃処分場へ	－	1次仮置き場で分別，コンクリートガラのみ指定搬出ズリは1次仮置き場の整地に使用	キャリーダンプ(6t級)により搬出する。	キャリーダンプ(6t級)により搬出する。	ロードホイールダンプおよびシャフローダによる積込みダンプ運搬
事前補強		既設トンネルの分岐される範囲は裏込め注入，補強ロックボルトを施工，覆工とプロテクタ間の空隙はエア・モルタルで充填	坑口部にエアーモルタル工，全線に薬液注入工	地山空隙充填(ウレタン注入)	特になし	特になし	拡幅終点以奥10m区間、ロックボルトによる既設覆工補強。 坑口から100m間、パイプルーフ(φ508mm×25本)による先受け工。
事前調査		扁平断面(分岐)	上部地山の緩み、崩壊を防ぐため3m範囲で薬液注入した。				

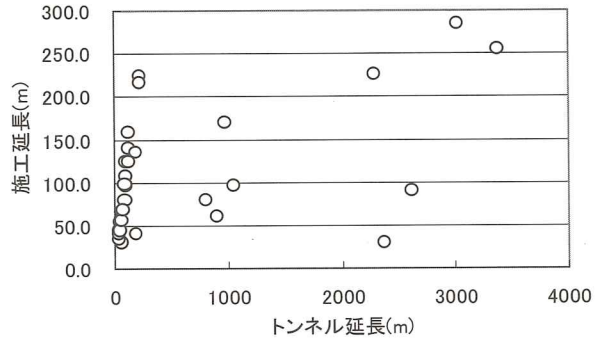
３．収集事例の特徴（トンネル諸元）

表－１に示した活線施工による改築・拡幅を行った事例のトンネル諸元、改築・拡幅の目的、交通規制方式、掘削方式、支保構造の種類の概要について以下に整理する。

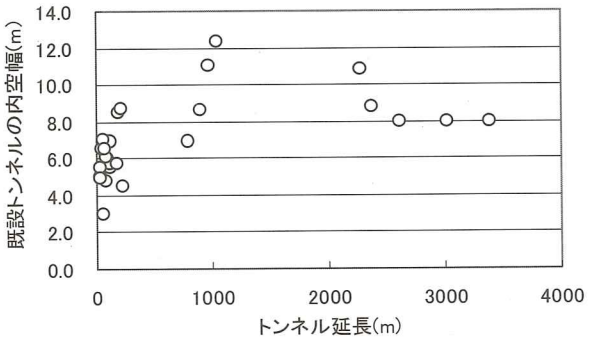
３．１　トンネル諸元

図－１に活線施工による改築・拡幅を行った事例のトンネル延長、施工延長、トンネルの内空幅、トンネル断面積、拡幅率（改築・拡幅トンネルの内空幅/既設トンネルの内空幅）についての各関係を示す。これより、以下の傾向が見受けられる。

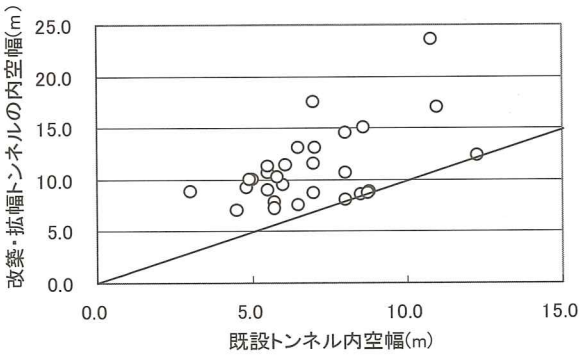
- 工事を実施したトンネル延長は、最大約 3400m があるが、工事の多くは 200m 多い。
- 実際に改築・拡幅工事を実施した施工延長は最大で 300m 程度までである。
- 工事を実施した既設トンネルの内空幅は、最小 3m、最大約 12m がある。
- 工事を実施した拡幅率は、1.0（改築）～約 3 程度までであり、多くは 2 程度以下である。



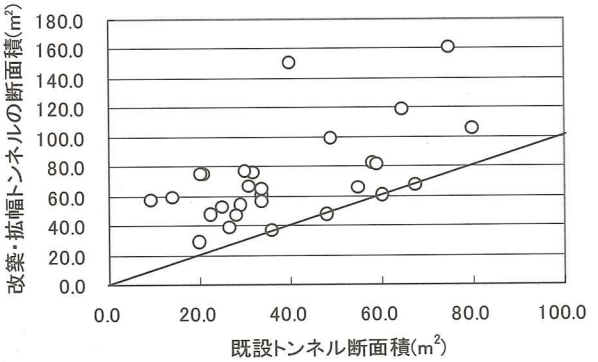
(a) トンネル延長と施工延長



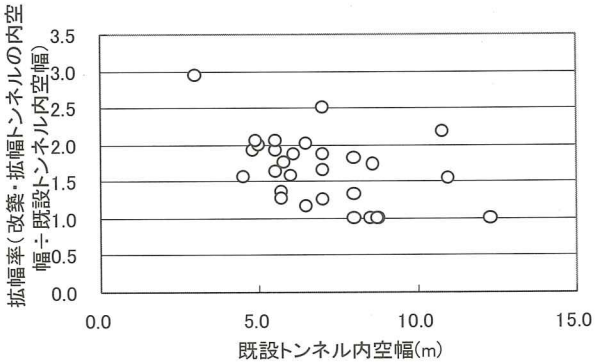
(b) トンネル延長と既設トンネルの内空幅



(c) 既設および改築・拡幅トンネルの内空幅



(d) 既設および改築・拡幅トンネルの断面積



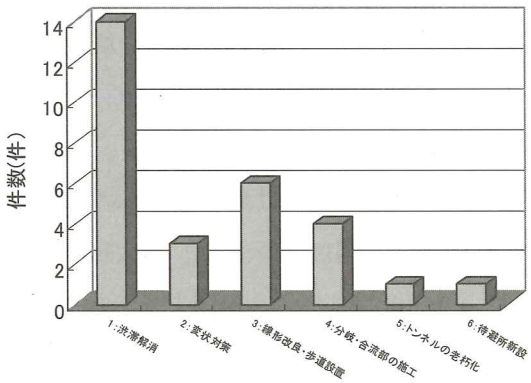
(e) 既設トンネルの内空幅と拡幅率

図－１　活線施工による改築・拡幅を行った事例のトンネル諸元

３．２　改築・拡幅の目的

図－２に活線施工による改築・拡幅を行った事例の工事目的を示す。これより、以下の傾向が見受けられる。

・　工事目的は、渋滞対策が最も多く 14 件、次いで線形改良・歩道設置、分岐合流部の施工となっている。



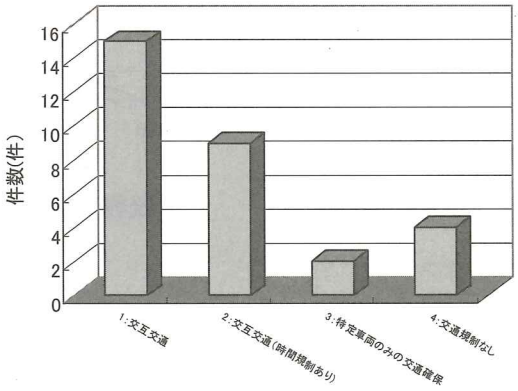
図－２　改築・拡幅を行った事例の工事目的

３．３　交通規制方式

図－３に活線施工による改築・拡幅を行った事例の交通規制方式を示す。これより、以下の傾向が見受けられる。

・　交通規制方式は、交互交通が 15 件と最も多く、次いで時間規制を伴った交互交通が 9 件となっている。

・　規制を実施せずに行った事例が 4 件ある。なお、4 件のうち 3 件が分岐・合流部の施工、ランプ部の合流車線の追加など、工事箇所の内空幅が比較的大きい場合である。

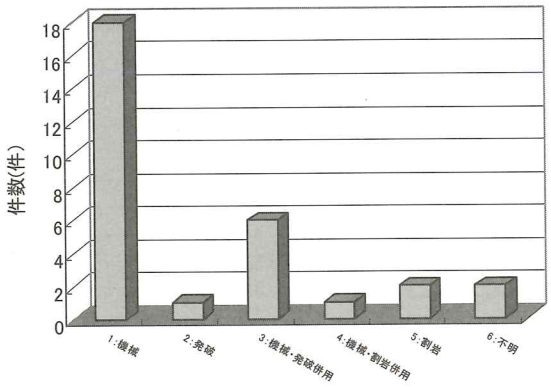


図—３　改築・拡幅を行った事例の規制方式

３．４　掘削方式

図－４に活線施工による改築・拡幅を行った事例の掘削方式を示す。これより、以下の傾向が見受けられる。

- 機械による掘削が 18 件と最も多く、ついで機械・発破の併用 6 件、割岩 2 件となっている。
- 発破を用いた掘削は多く採用されていない。

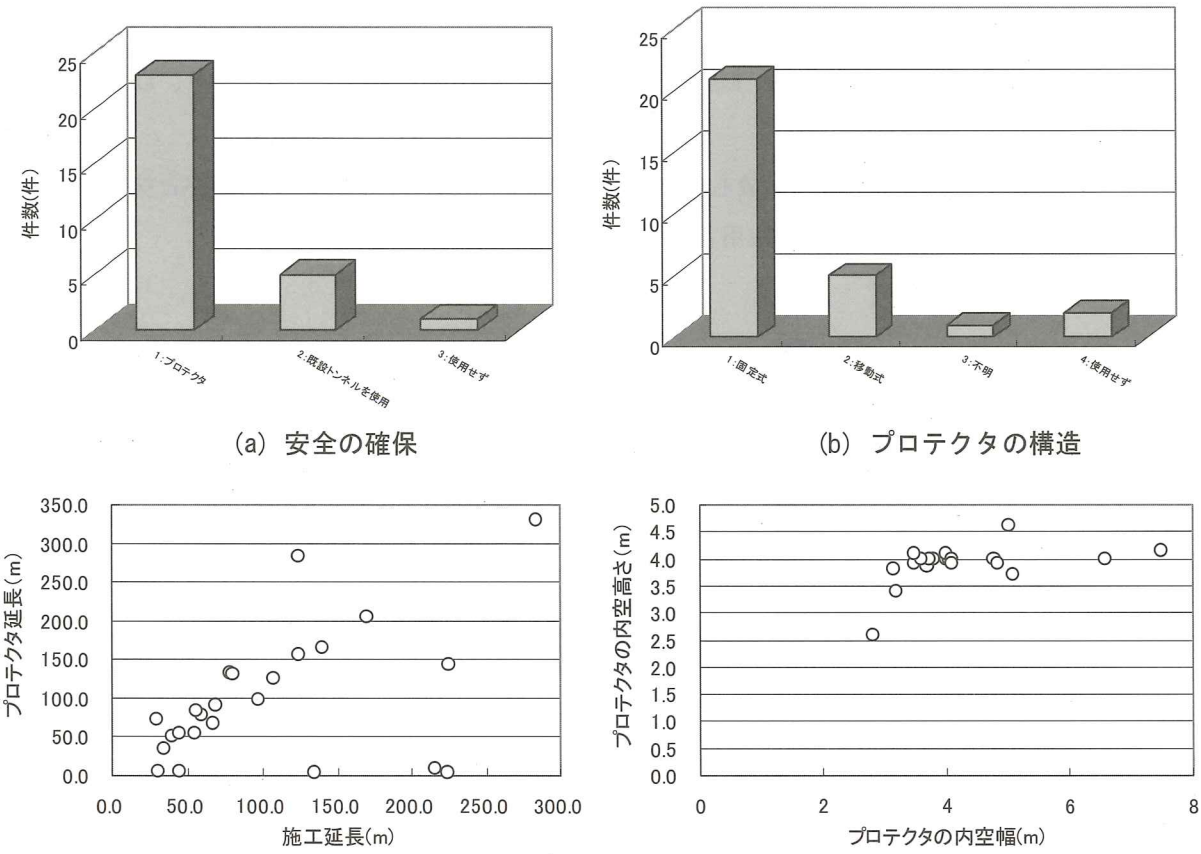


図－４　改築・拡幅を行った事例の掘削方式

３．５　安全の確保、プロテクタの構造・寸法

図－４に活線施工による改築・拡幅を行った事例の掘削方式を示す。これより、以下の傾向が見受けられる。

- 安全の確保は、プロテクタを用いての工事が 23 件と最も多い。次いで既設トンネルをプロテクタとして利用する事例が 5 件となっている。
- プロテクタの構造は、固定式によるものが 21 件、次いで移動式が 5 件となっている。
- プロテクタの延長は、施工延長と同程度かそれ以上の長さの事例が多い。
- プロテクタの高さは約 4m が多い。幅については約 3m から約 8m とばらついているが 4m 程度が多い。



(a) 安全の確保　　(b) プロテクタの構造

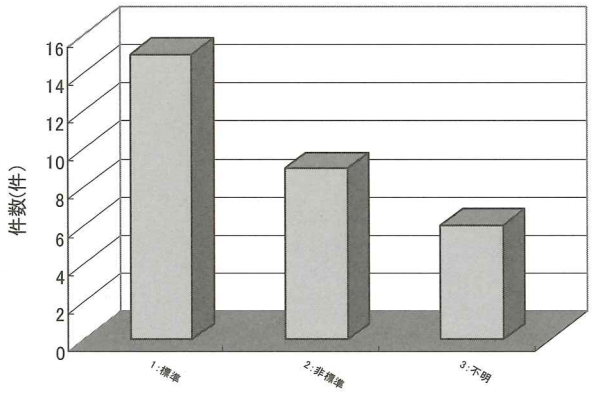
(c) 施工延長とプロテクタの延長　　(d) プロテクタの高さと幅

図－４　安全の確保、プロテクタの構造・寸法等

３．６　支保構造の種類の概要

図－５に活線施工による改築・拡幅を行った事例の支保構造の種類を示す。これより、以下の傾向が見受けられる。なお、支保構造の特徴についての詳細は、参考資料－２に示す。

・改築・拡幅時の支保構造は、新設トンネルで用いる標準支保パターンを採用しているケースが 15 件と多く、それ以外の支保構造を採用しているケースで 9 件となっている。



図－５　改築・拡幅を行った事例の支保構造の種類

参考資料－２

改築・拡幅トンネルの支保構造の実績

目　次

１．概要……11
２．対象トンネルおよび支保構造および補助工法の実績……11
３．改築・拡幅トンネルの支保構造の特徴……13
添付資料……16

１．概要

既設トンネルを断面拡大する場合、新設トンネルを掘削するときと異なり、トンネル周辺の地山のゆるみ範囲や、施工スペースの制約を考慮する必要がある。既設トンネルを断面拡大したこれまでの事例では、新トンネルの支保構造および補助工法の採用に関して、個々に地山条件を考慮した検討が行われてきている。ここでは、既設トンネルを断面拡大したこれまでの施工事例における支保構造および補助工法について整理を行い、その考え方の整理を行う。

２．対象トンネルおよび支保構造および補助工法の実績

活線施工による改築・拡幅トンネルの施工実績は、参考資料－１の表－１にまとめた。ここでは、このうち採用した支保構造および補助工法が明らかなトンネルを対象として改築・拡幅時の支保構造の特徴について整理する。対象トンネルの概要および採用された支保構造および補助工法を表－１に示す。また、改築・拡幅トンネルの実績における施工延長・地山強度と支保構造、補助工法の関係を図―１および図－２に示す。なお、代表的なトンネルの事例について、添付資料として示す。

表－１　対象トンネルおよび支保構造および補助工法

トンネル名	活線状態	延長(m)	最大土被り(m)	新設断面積(m^2)	岩種	施工	支保構造	補助工法	摘要
Aトンネル	○	34.5	—	75.0	火山角礫岩,火山性砕岩	NATM(上半先進)	標準支保（CⅠ相当）	地山改良工（天端部）	既設トンネルは素掘り
Bトンネル	○	40.0	9	56.8	中生代領家変成帯の強風化花崗岩（マサ化している）	在来工法(中段導坑、上半先進)	吹付けコンクリート t=20cm、鋼アーチ支保工 H150		
Cトンネル	△	55.0	20	54.9～58.8	緑色片岩	NATM(上半先進)	標準支保（CⅡ,DⅢ）、側壁部のみロックボルト設置	フォアポーリング（部分的にウレタン注入）	
Dトンネル	○	56.0	23	75.3	第三紀堆積軟岩である泥岩が主体	NATM(上半先進)	標準支保（DⅢ）、ただし、ロックボルトは水平に片側２本の変則配列	フォアポーリング	土被り 1.5D 以下であり、坑口パターンを採用
Eトンネル	○	80.0	15	56.0	凝灰質砂岩,礫岩の互層	NATM(3分割施工)	標準支保、ＤⅠ～DⅢパターンボルト（人力施工＋継ぎボルト）	坑口部フォアポーリング	新設と同様
Fトンネル	○	97.0	40	66.0	崖錐堆積物,凝灰岩	NATM(—)	標準支保、ロックボルト天端部 L=3.0m、40° 斜めうちボルト	先行ボルト（天端部）	
Gトンネル	△	97.5	50	74.9	第三紀堆積軟岩、砂岩(qu=10MPa)	在来工法(上半先進、ﾘﾝｸﾞｶｯﾄ)	標準支保（在来支保のためボルトなし）、鋼アーチ支保工（H150@0.75～1.0m）内梁（STK 鋼管φ60.5mm）	特になし	
Hトンネル	○	107.5	30	60.8	安山岩質凝灰角礫岩(qu=13.5MPa) 安山岩礫(qu=60～80MPa)	NATM(上半先進)	標準支保（CⅡ,DⅠ,E）、鋼アーチ支保工（H125@1.0m）、吹付けコンクリート t=15～20cm、ロックボルト(パターンボルト L=4.0m（人力施工＋継ぎボルト）	先行ボルト（天端部）	新設と同様
Iトンネル	○	124.0	30	105.0	第三紀葉山層群　砂岩、泥岩の互層(qu=40MPa)	NATM(側壁導坑先進)	標準支保（ＤⅠ）、鋼アーチ支保工(H200@0.75m)	側壁導坑先進、全線フォアポーリング	新設と同様
Jトンネル	○	142.0	20	66.33	第三紀鮮新世　細流砂岩	NATM(側壁導坑先進)	鋼アーチ支保工(H200)、吹付けコンクリート t=25cm	側壁導坑先進 全線フォアポーリング L=3.0m × 20 ～ 21 本 @600mmctc1.0m	
Kトンネル	○	181.0	—	56.0	新第三紀鮮新世の凝灰岩(qu=0.3～0.8MPa)	NATM(上半先進)	支保不明（C,D）、人力施工＋レッグによる継ぎボルト		
Lトンネル(待避所)	△	225.0	—	38.3	砂岩	NATM(—)	鋼アーチ支保工なし、吹付コンクリートとロックボルトだけの支保		既設支保どおり 1進行長は 1.0m
Mトンネル	○	265.0	—	65.2	日高層群の粘板岩類を基盤上部に火山礫層,溶結凝灰岩,段丘堆積物	NATM(上半先進)	鋼アーチ支保工(H200)、吹付けコンクリート t=30cm,30N/mm^2 補強ボルト L=6.0m@1.0m	分岐部に補強ロックボルト	本坑と迂回坑の相互干渉を考慮し応力計算により決定
Nトンネル	○	283.8	—	88.1～187.6	布引花崗閃緑岩	NATM(上半先進)	吹付けコンクリート t=15～20cm、ロックボルト L=4.0m(@1.2～1.5m)		拡幅断面の変化等により支保を変更
Oトンネル	×	1440	—	—	砂岩泥岩互層,頁岩	NATM(上半先進)	鋼アーチ支保工(H200@1.0)、吹付 t=25cm ロックボルト L=4.0m、西工事では地盤改良によりロックボルト省略	長尺先受工、注入式フォアポーリング	

○：活線、△：部分停止、×：一般車両なし、
フォアポーリング：先受長さ 5m 程度まで

３．改築・拡幅トンネルの支保構造の特徴

図－１、図－２、添付資料から、以下のことが確認できる。

①地質が軟弱な場合は、施工延長にあまり関係なくフォアポーリングを実施しているケースが多い。

②地質の軟硬に関わらず、上下半分割施工の実施例が多い。

③鋼アーチ支保工はH-200@0.75～1.0mの使用例が多い。設計の考え方として、坑口部の支保パターン（DⅢ）に準じている。

④地山が堅硬な場合、鋼アーチ支保工は採用していない例もある。

⑤ロックボルトに関しては，各施工条件によって施工法，仕様を変えている。また、ロックボルト、フォアパイリング等ボルト打設に関しては、大きく分類して以下のようなタイプの実積がある。

(a)パターンボルトを基本としたもの（標準パターン）

・自穿孔ボルトＬ＝４ｍをレッグドリルにより施工、１ｍ×４本継ぎ

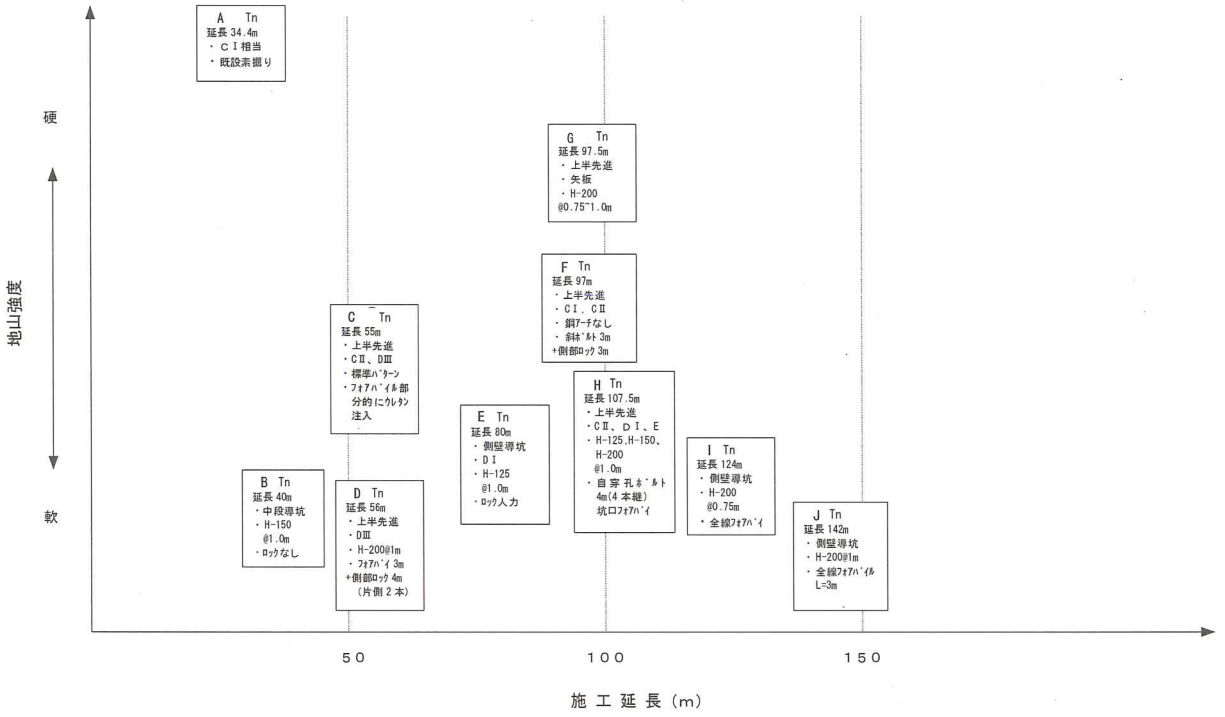
(b)・フォアパイリングを基本としたもの

・上半フォアパイリングのみの例

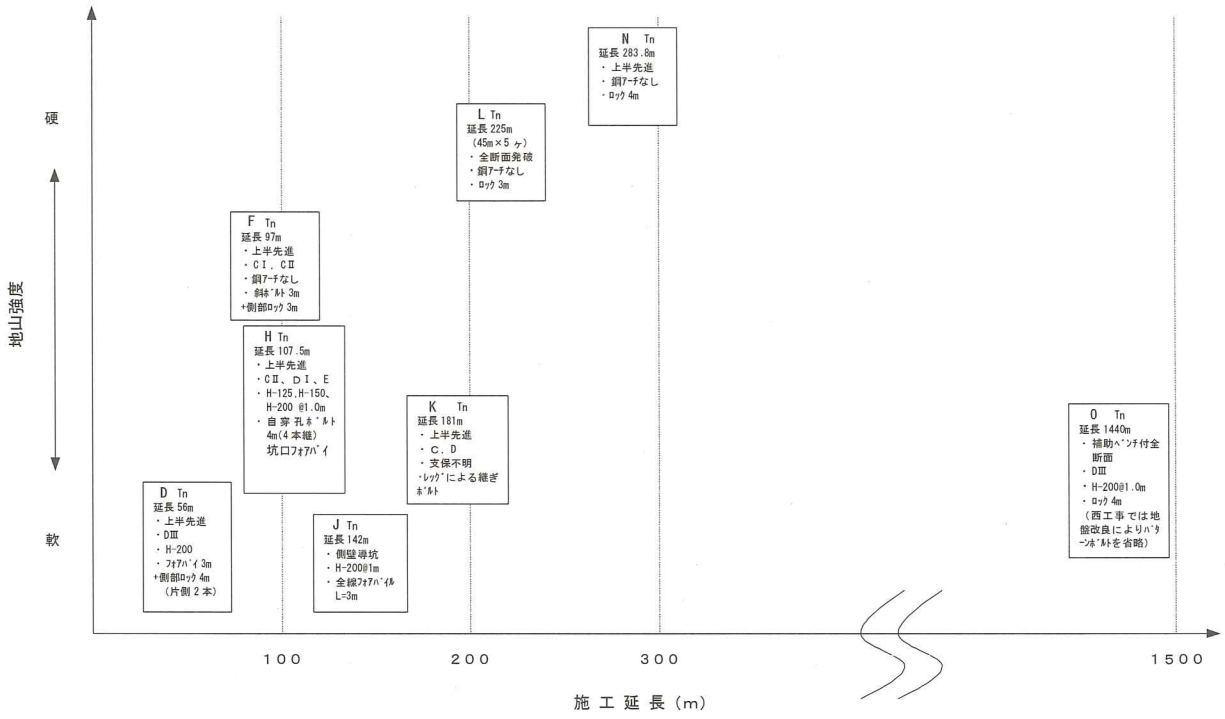
・上半フォアパイリング＋ロックボルト補助打設（変則配置し側部ロックボルトを省略）した例

上半肩部水平にＬ＝４ｍを片側２本（上半完了後、下半施工前に施工）

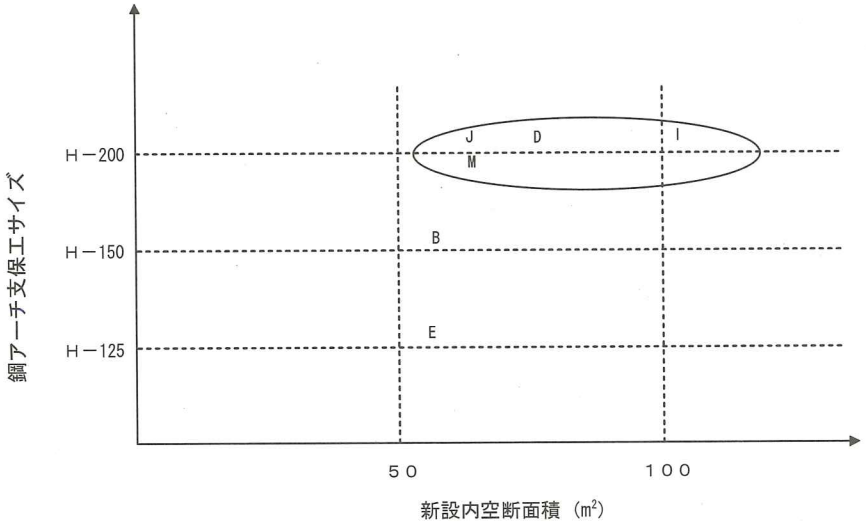
・上半フォアパイリング＋側部ロックボルトの例



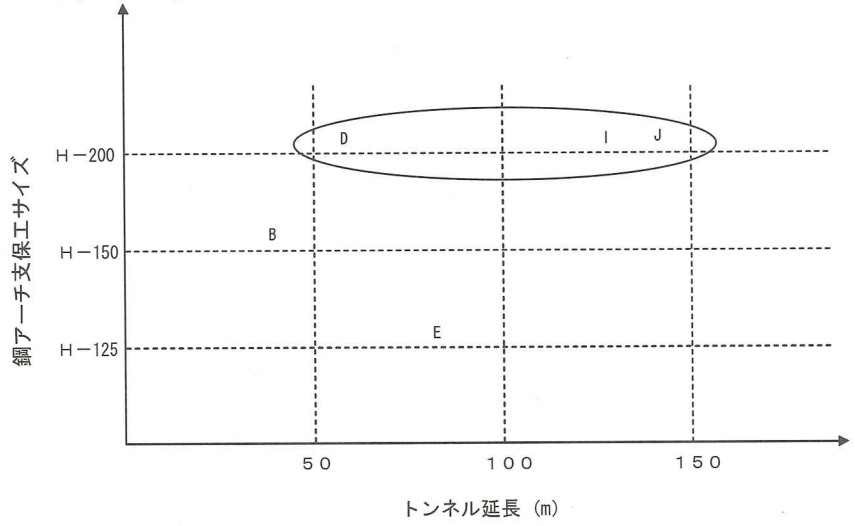
図－１(a)　断面拡大トンネル実績における施工延長・地山強度と支保構造,補助工法の関係



図－１(b)　断面拡大トンネル実績における施工延長・地山強度と支保構造,補助工法の関係



図－２（a）　断面拡大トンネル実績における新設内空断面積と鋼アーチ支保工サイズの関係



図－２(b)　断面拡大トンネル実績におけるトンネル延長と鋼アーチ支保工サイズの関係

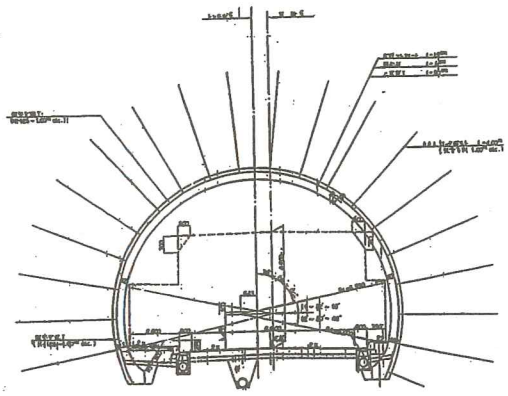
＜パターンボルトを基本としたもの（標準パターン）＞

添付資料

（1）トンネル名　Hトンネル[1)]

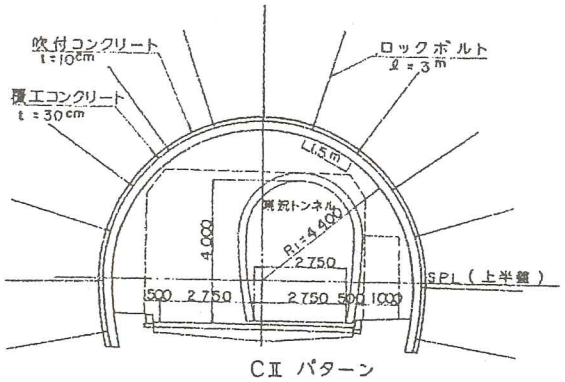
・既設トンネル年代：昭和36年頃竣工
・新設トンネル年代：平成2年8月～平成4年12月
・鋼アーチ支保工：DI　H-120@1.0m
・吹付けコンクリート厚：t=　15cm
・ロックボルト：自穿孔ボルトL4m×12本／断面、ctc 1.0m、施工はレッグドリルによる削孔、1m×4本継ぎ
・補助工法：坑口部　充填式フォアポーリング（D25×L3m@0.6m）施工はレッグドリルによる削孔

①-2　新設トンネル標準断面図(DIパターン)



（2）トンネル名　Cトンネル[2)]

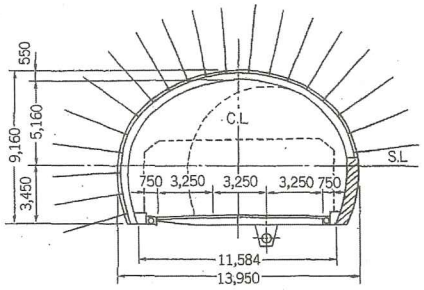
・既設トンネル年代：昭和24～27年
・新設トンネル年代：昭和63年11月～平成元年8月
・鋼アーチ支保工：CII、DIII
・吹付けコンクリート厚：t=　10cm（CII）、20cm（DIII）
・ロックボルト：L3m×8本／断面
・補助工法：既設トンネル背面にモルタル注入、事前補強ボルトL=3m@0.6m、ctc 1.5m



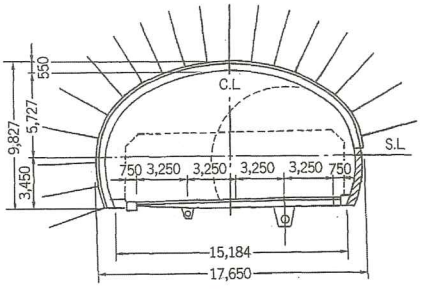
CII パターン

（3）トンネル名　Nトンネル[3)]

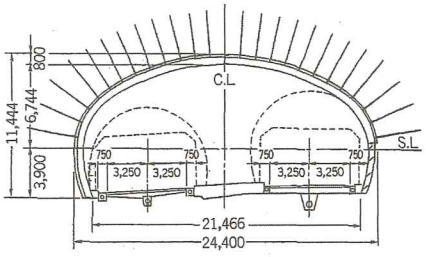
・既設トンネル年代：昭和50年3月
・新設トンネル年代：平成元年3月～平成4年3月
・鋼アーチ支保工：岩質区分　A、B、C
・吹付けコンクリート厚：t＝　20cm（A（最大拡幅部）、15cm（B,C）
・ロックボルト　：L=4m@1.2m（A（最大拡幅部）、L=4m@1.5m（B,C）
・補　助　工　法　：側壁補強ロックボルト（拡幅後も残る既設の覆工コンクリート部分に打設）
　　L=4m×3本/断面、ctc 1.0～1.5m



J-1（岩質区分C）



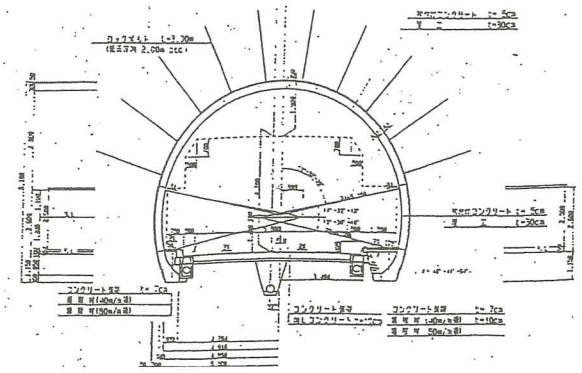
J-2（岩質区分B）



J-3（岩質区分A）

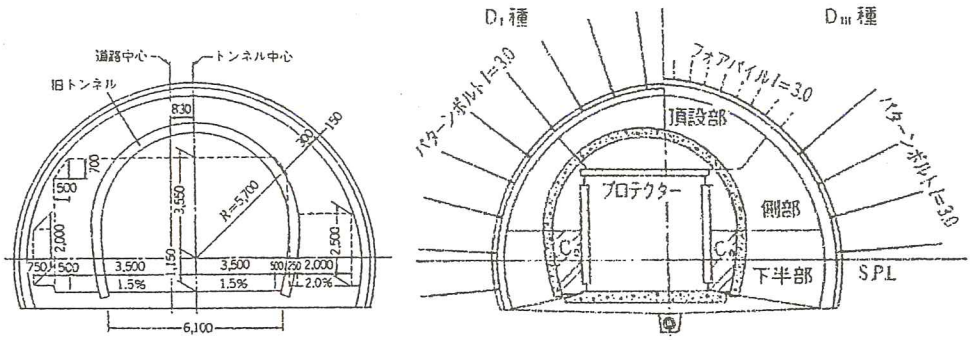
（4）トンネル名　Aトンネル

・既設トンネル年代：
・新設トンネル年代：平成3年5月～平成4年2月
・鋼アーチ支保工：CI
・吹付けコンクリート厚：t＝　5cm
・ロックボルト　：L＝3m×10本／断面



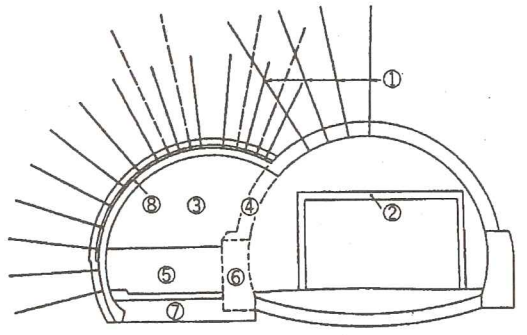
（5）トンネル名　Eトンネル[4)]

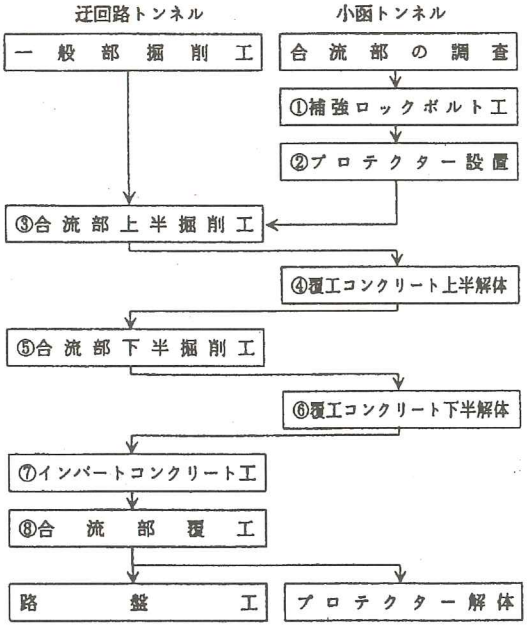
・既設トンネル年代：
・新設トンネル年代：昭和62年9月～昭和63年3月
・鋼アーチ支保工：H-125@1.0m（DⅠ）、H-200@1.0（DⅡ、DⅢ）
・吹付けコンクリート厚：t=　15cm（DⅠ）、t=25cm（DⅡ、DⅢ）
・ロックボルト：L=4m（DⅠ、DⅡ、DⅢ）



（6）トンネル名　Mトンネル

・補助工法　：補強ロックボルト（TD24、L=6.0m）
　　周方向間隔1.0m、トンネル延長方向1.0m

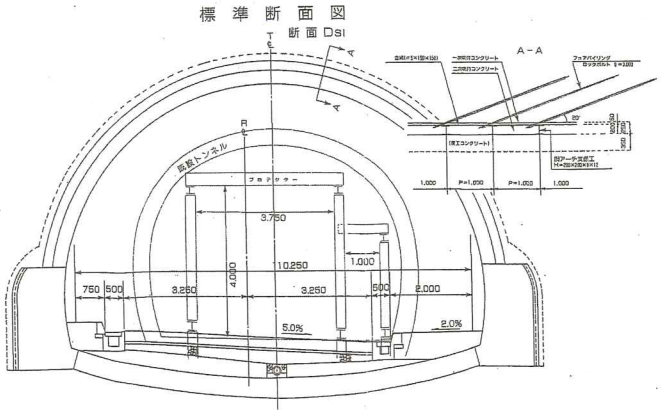




＜フォアパイリングを基本としたもの（１）＞
上半フォアパイリングのみ

（１）トンネル名　Ｊトンネル[5)]

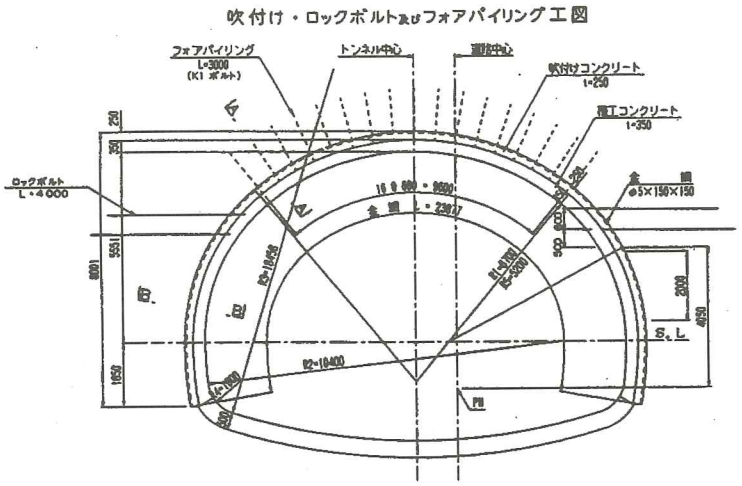
・既設トンネル年代：昭和34年
・新設トンネル年代：昭和63年11月～平成2年3月
・鋼アーチ支保工：H-200@1.0m
・吹付けコンクリート厚：t=　25cm
・補　助　工　法　：フォアパイリングL3.0m×20本or21本／断面、ctc 1.0m



＜フォアパイリングを基本としたもの（２）＞
ロックボルト補助打設（変則配置し側部ロックボルトを省略）

（１）トンネル名　Ｄトンネル

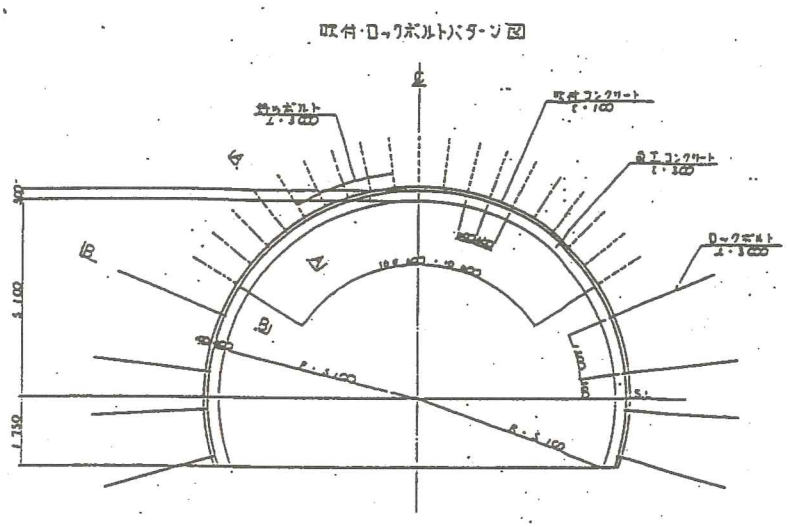
・既設トンネル年代：昭和13年6月竣工
・新設トンネル年代：平成8年3月～平成9年8月
・鋼アーチ支保工：H-200@1.0m
・吹付けコンクリート厚：t=　25cm
・ロックボルト：φ25、L4m×4本／断面（肩部水平の変則配置）、ctc 1.0m
　上半完了後、下半施工前に上半盤から水平に施工。
・補　助　工　法　：フォアパイリング　L3m@0.6m、17本／断面、ctc 1.0m
　（ＫＩボルト）



＜フォアパイリングを基本としたもの（3）＞
上半フォアパイリング＋側部ロックボルト打設

（1）トンネル名　Fトンネル

・既設トンネル年代：不明
・新設トンネル年代：平成元年11月～平成2年9月
・鋼アーチ支保工：なし
・吹付けコンクリート厚：t＝ 10cm
・ロックボルト：L3m×8本／断面
・補助工法：斜めボルト40°　L3m@0.6m、19本／断面、ctc 1.5m



参考文献

1) 林実雄、西沢勝一、畠山実：「交通開放下でのトンネル拡幅工事」、第20回日本道路会議一般論文集、平成5年10月
2) 中善弘、鎌田義人、米田裕樹：「発破掘削によるトンネル拡幅工事」、第18回日本道路会議一般論文集、平成元年10月
3) 横関義美、岩浪和昌：「大断面拡幅工事に挑む　神戸市第2布引トンネル」、トンネルと地下第23巻2号、1992年2月
4) 片桐真次、秋山喜久男：「鉄道トンネルに近接した国道トンネルの拡幅」、第18回日本道路会議一般論文集、平成元年10月
5) 浜本勲、森川吉明、山下忠男：「灘浦トンネル活線拡幅工事」、第18回日本道路会議一般論文集、平成元年10月

参考資料－３

既設トンネルにおける覆工背面の緩み領域に関する実績

目　次

１．概要……21
２．対象トンネルおよび覆工背面の緩み領域の計測事例……21
３．覆工背面の緩み領域の特徴……21
添付資料……14

１．はじめに

既設トンネルは覆工背面に緩み領域が生じていると考えられる。特に天端付近は緩み領域が大きく、側壁部は比較的締まっているといわれている。ここではトンネル改築時に計測されたトンネル覆工背面の緩み領域の測定結果をまとめ、その傾向を把握する。

２．対象トンネルおよび覆工背面の緩み領域の計測事例

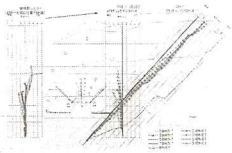
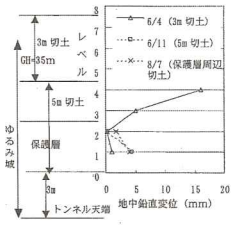
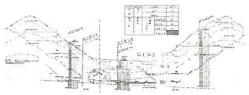
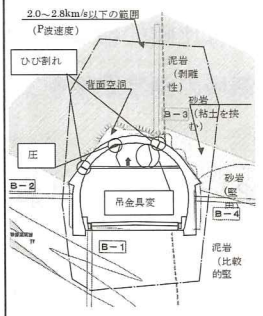
表－１(1)～表－１(2)に既設トンネルにおける覆工背面の緩み領域に関して計測された事例一覧を示す。表には、活線施工による改築・拡幅トンネル以外の事例として、トンネル上部の地山切取りを実施した天満トンネル、級坂トンネル、和田トンネルの工事事例や、全面通行止めを行って改築した天王山トンネルの工事事例も示した。また、代表的なトンネル事例について添付資料を示す。

３．覆工背面の緩み領域の特徴

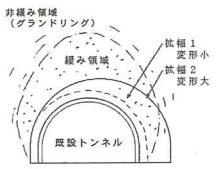
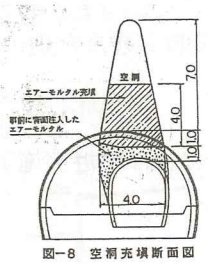
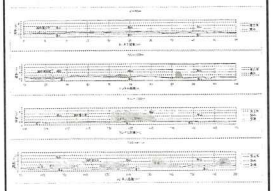
調査事例数が限られているが、地山により大きさは異なるものの、特に、天端から肩部にかけての覆工背面の空洞や緩み領域が形成されている報告が多いことが分かる。

覆工背面の地山状態は、改築・拡幅トンネルの掘削時の安定性、支保構造の決定する際に影響を与えることから、設計、施工計画を作成する時に既設トンネル覆工周辺の調査を行い、その状態を把握することが必要である。

表－１(1)　既設トンネルにおける覆工背面の緩み領域に関して計測された事例

	天満トンネル	吸坂トンネル	和田トンネル	東栗子トンネル
既設トンネル竣工日(年)	1938	1961	1961	1965
改築方法	開削工法	開削工法	開削工法	覆工打替
トンネル延長(m)	34	126	100	2376
トンネル幅(m)	6	8	8.8	10
地質	頁岩 (摂理の発達したシルト岩)	砂礫層	シルト岩	砂岩
最大土被り	25m	23m	25m	―
地盤変形係数(MPa)	1000～3000MPa	11～60MPa	8.75～1071MPa	―
ゆるみ、空洞状況調査方法	・レーダー探査 ・施工時観察	・ボーリング調査 ・施工時観察	・施工時観察	・弾性波探査 ・ボーリング調査
ゆるみ範囲	トンネル全体に渡り、天端から両肩部にかけて空洞が認められた。特に両坑口の空洞は大きく最大1mに達する。 覆工背面未充填部では地山の摂理が開口し緩んだ地山が覆工上へ堆積していた。 	トンネル直上部には、N値および弾性波速度より約8mの緩み層が確認された。 天端に崩積土はあるが、特に空洞はなかった。一方、肩部、側壁部には7～12cm程度の背面空洞が確認された。 	トンネル周辺背面は、施工時に玉石が詰められており、特に空洞はなかった。ただし、トンネル周辺には2m程度の緩み域(風化体)が確認された。 	背面空洞は、最大で天端部で約50cm、肩部は20～50cm程度あり、緩み範囲としては、速度低下範囲上方9m、下方5.5m程度と推定された。 
参考文献	真下英人、蒲田浩久:「既設トンネルに及ぼす近接施工の影響に関する現場計測報告書」、土木研究所資料第3824号、平成13年3月	真下英人、蒲田浩久:「既設トンネルに及ぼす近接施工の影響に関する現場計測報告書」、土木研究所資料第3824号、平成13年3月	真下英人、蒲田浩久:「既設トンネルに及ぼす近接施工の影響に関する現場計測報告書」、土木研究所資料第3824号、平成13年3月	真下英人、石村利明、蒲田浩久、森本智:「既設トンネルの補修・補強技術の開発」、土木研究所資料第3870号、平成13年度重点プロジェクト研究報告書、平成14年3月 新田定男:「既設トンネルでの活線による覆工改築」、第23回日本道路会議、平成11年10月

表－１(2)　既設トンネルにおける覆工背面の緩み領域に関して計測された事例

	天王山トンネル	奥野井トンネル	大蔵トンネル
既設トンネル竣工日(年)	1963	1945	1973
改築方法	断面拡幅	断面拡幅	断面拡幅
トンネル延長(m)	1488	50	975
トンネル幅(m)	10	2.75	11
地質	砂岩、頁岩	緑色片岩	砂岩、泥岩、頁岩互層
最大土被り	150m	200m	約30m
地盤変形係数(MPa)	10～500MPa	―	―
ゆるみ、空洞状況調査方法	・孔内水平載荷試験 ・孔内弾性波速度 ・真空透気試験	ボアホールスキャナ観測結果	・ボーリング調査 ・レーダー探査 ・ボアホールスキャナ観測結果 ・施工時観察
ゆるみ範囲	天端部では、既設トンネル覆工面より8m付近(真空透気試験)、肩部では3～5m付近(速度検層)、側壁部では約4m(真空透気試験)までが速度低下範囲と考えられた。  	既設トンネル覆工背面に約1.1.mの空洞が確認された。 また、既設トンネル施工時にできたと考えられる崩落跡(高さ9m、幅4m)が拡幅時に出現した。  図－8　空洞充填断面図	岩質区分E、D区間:緩み範囲は、覆工背面から1m未満と薄く、また、縦断方向への延長も1.5～4m程度と短い。緩みの性状は、土砂から軟岩の地山が覆工背面の空隙へ堆積したものと考えられた。 岩質区分C区間:最大緩み深さは1.3m～2.3mと比較的大きい。かつ縦断方向への延長も最大で12mと長い。 
参考文献	北田正彦ほか:「35年前に施工された在来トンネルの拡幅時における挙動計測」、(社)土木学会トンネル工学研究論文・報告集第9巻、平成11年11月	中善弘、鎌田義人、米田裕樹:「発破掘削によるトンネル拡幅工事」、第18回日本道路会議一般論文集、平成元年10月	福岡北九州高速道路公社:「北九州高速4号線大蔵トンネル拡幅工事工事誌」、平成15年3月

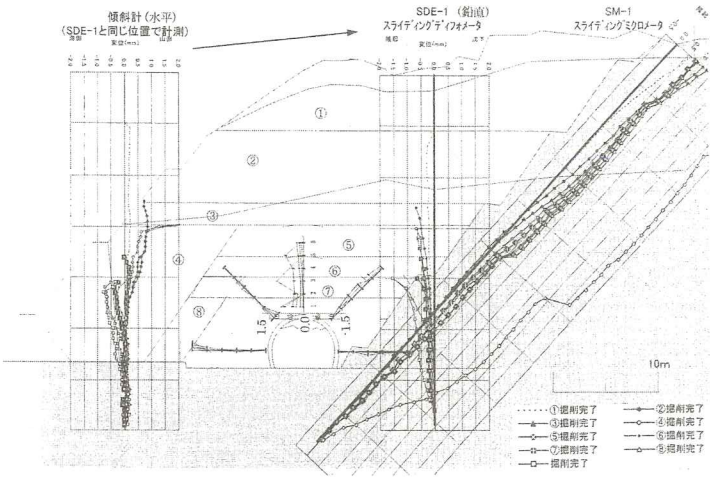
添付資料

（1）天満トンネル

昭和 10 年の施工された天満トンネル（和歌山県那智勝浦町、2 車線道路トンネル）である。幅員確保のため、開削撤去することとなった。工事の安全性の確保、トンネルへの切土の影響、覆工背面への充填状況と効果を把握するために観測を行った。

(1)概要

トンネル名	天満トンネル
既設トンネル竣工（年）	1938 年
改築方法	開削工法
トンネル延長	34m
トンネル幅	6m
地質	頁岩（節理の発達したシルト岩）
最大土被り	25m
地盤変形係数	1000～3000Mpa
ゆるみ、空洞状況調査方法	レーダー探査、施工時観察



(2)緩み領域

覆工背面未充填部では地山の節理が開口し緩んだ地山が覆工上に堆積していた。

(3)参考文献

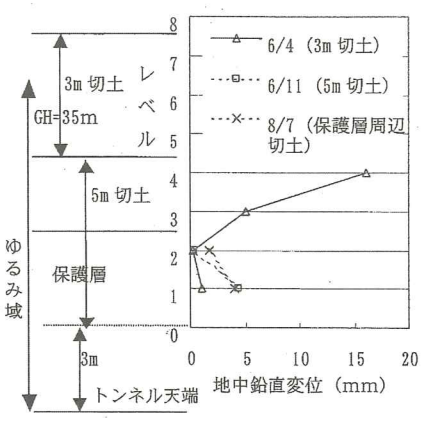
真下英人，蒲田浩久：「既設トンネルに及ぼす近接施工の影響に関する現場計測報告書」，土木研究所資料第 3824 号，平成 13 年 3 月

（2）吸坂トンネル

道路拡幅のため、既設トンネル（全長 126m、最大土被り 23m）を撤去し、4 車線化を計った。トンネルを供用しながら、トンネル周辺 5m を残してトンネル上部より水平に切土を行い、切回し後、トンネルを撤去した。

(1)概要

トンネル名	吸坂トンネル
既設トンネル竣工（年）	1961 年
改築方法	開削工法
トンネル延長	126m
トンネル幅	8m
地質	砂礫層
最大土被り	23m
地盤変形係数	11～60Mpa
ゆるみ、空洞状況調査方法	ボーリング調査



(2)緩み領域

緩み域を右図に示す。

(3)参考文献

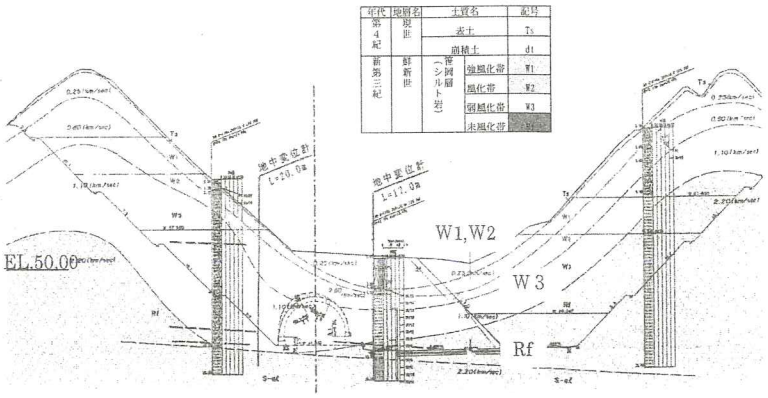
真下英人，蒲田浩久：「既設トンネルに及ぼす近接施工の影響に関する現場計測報告書」，土木研究所資料第 3824 号，平成 13 年 3 月

（3）和田トンネル

道路の拡幅工事にともない、既設トンネル（全長 100m、最大土被り 25m）を撤去し、新設の道路を近接して施工を行った。

(1)概要

トンネル名	和田トンネル
既設トンネル竣工日（年）	1961 年
改築方法	開削工法
トンネル延長	100m
トンネル幅	8.8m
地質	シルト岩
最大土被り	10～25m
地盤変形係数	8.75～1071Mpa
ゆるみ、空洞状況調査方法	ボーリング調査



(2)緩み領域

トンネル周辺背面は、施工時に玉石が詰められており、特に空洞はなかった。ただし、トンネル周辺には 2m 程度のゆるみ域（風化帯）が確認された。

(3)参考文献

真下英人，蒲田浩久：「既設トンネルに及ぼす近接施工の影響に関する現場計測報告書」，土木研究所資料第 3824 号，平成 13 年 3 月

（4）東栗子トンネル

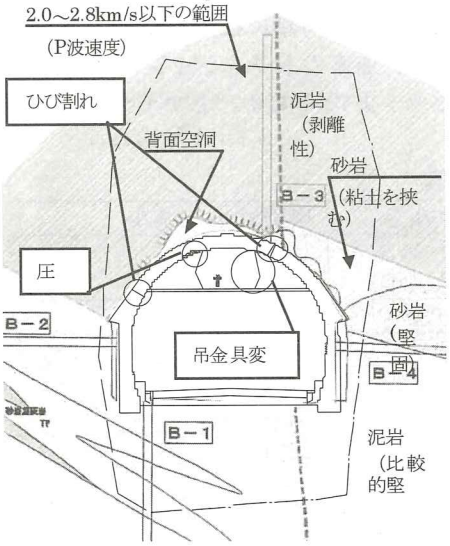
完成後 30 数年経過し、天井版、内装版等の各種施設の老朽化が著しいこと、外力による覆工コンクリートへの影響による変状現象のため、抜本的な対策が必要となれた。そこで、特に変状の著しい 30m 区間の全面改築を実施し、インバート付の新設断面を再構築した。

(1)概要

トンネル名	東栗子トンネル
既設トンネル竣工日（年）	1965 年
改築方法	覆工打替え
トンネル延長	2376m
トンネル幅	10m
地質	砂岩
最大土被り	
地盤変形係数	
ゆるみ、空洞状況調査方法	弾性波探査 ボーリング調査

(2)緩み領域

緩み域を右図に示す。



(3)参考文献

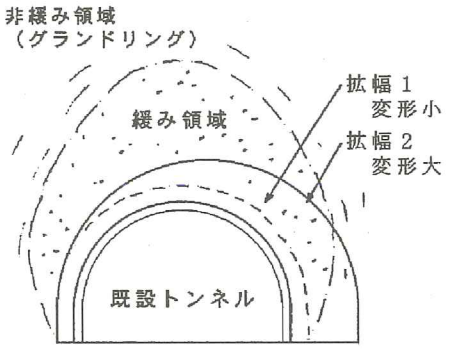
・真下英人，石村利明，蒲田浩久，森本智：「既設トンネルの補修・補強技術の開発」，土木研究所資料第 3870 号，平成 13 年度重点プロジェクト研究報告書，平成 14 年 3 月
・新田定男：「既設トンネルでの活線による覆工改築」，第 23 回日本道路会議，平成 11 年 10 月

（５）天王山トンネル

既設覆工を取り壊し、地山をごく僅かであるが拡幅掘削し、従来のロックボルト、吹付けコンクリートで支保を行い、地山が安定した後、覆工コンクリートを打設する改築を行った。

(1)概要

トンネル名	天王山トンネル
既設トンネル竣工日（年）	1963 年
改築方法	断面拡大
トンネル延長	1488m
トンネル幅	10m
地質	砂岩、頁岩
最大土被り	150m
地盤変形係数	10～500Mpa
ゆるみ、空洞状況調査方法	坑内水平載荷試験 坑内弾性波速度 真空透気試験



(2)緩み領域

真空透気試験、速度検層より、天端部では旧覆工面より 8m 付近、肩部では 3～5m 付近、側壁では 4m 付近がゆるみ領域であると推定される。

(3)参考文献

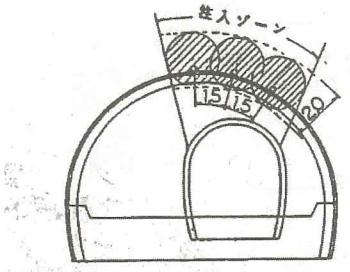
北田正彦ほか：「35 年前に施工された在来トンネルの拡幅時における挙動計測」，(社)土木学会トンネル工学研究論文・報告集第 9 巻，平成 11 年 11 月

（６）奥野井トンネル

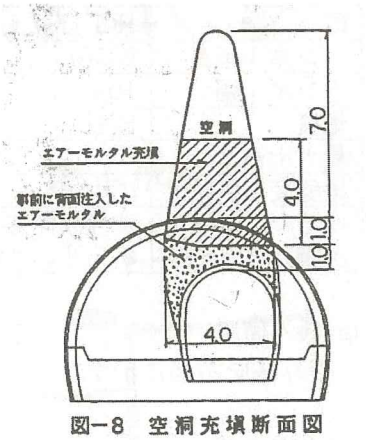
交通量の少ない時期に掘削を行い、通行車両を時間制限することにより、既設トンネル全長のプロテクタを省略して、通常のドリルジャンボ、トラクタショベル等大型機械による施工を行った。NATM に上半先進ベンチカット方式により、１サイクルずつ既設トンネルを取り壊しながら進行する方法をとっている。

(1)概要

トンネル名	奥野井トンネル
既設トンネル竣工日（年）	1945 年
改築方法	断面拡大
トンネル延長	50m
トンネル幅	2.75m
地質	緑色片岩
最大土被り	200m
地盤変形係数	－
ゆるみ､空洞状況調査方法	ボアホールスキャナ観察



図－7　岩盤固結　ウレタン圧入



図－8　空洞充填断面図

(2)緩み領域

既設トンネル覆工上部に緩みが生じており、掘削断面外の上部までに至り、切羽の天端および鏡面が自立せず崩壊したため、岩盤固結工法により対応した。

(3)参考文献

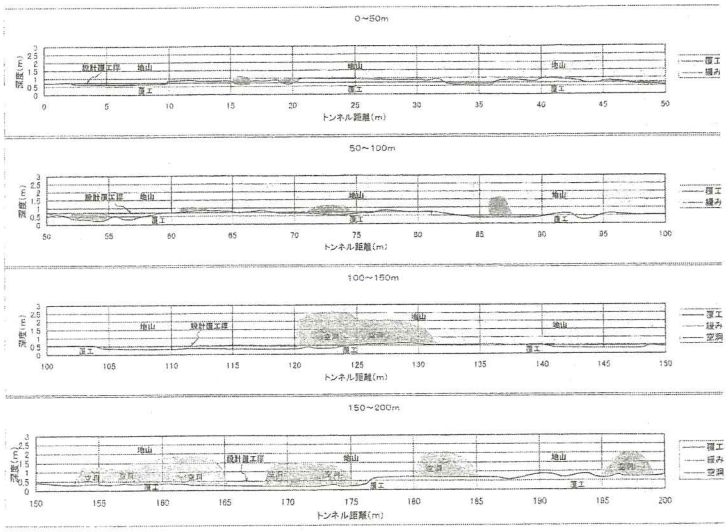
中喜弘ほか：「発破拡幅によるトンネル拡幅工事」，第 18 回日本道路会議，平成元年 10 月

（7）大蔵トンネル

坑口部にジャンクションが建設されることにともない、坑口部 170m を 2 車線から 3 車線に拡幅する工事を行った。レーダー探査、ボーリング、ボアホールスキャナ観測結果を基に解析を行った。

(1)概要

トンネル名	大蔵トンネル
既設トンネル竣工日（年）	1973 年
改築方法	断面拡大
トンネル延長	975m
トンネル幅	11m
地質	砂岩、泥岩、頁岩互層
最大土被り	125m
地盤変形係数	600Mpa
ゆるみ、空洞状況調査方法	ボーリング調査、レーダー探査、ボアホールスキャナ観察



(2)緩み領域

数箇所で地山の緩みと思われる領域が抽出された。これらの緩み深さはすべて坑口背面から 1.0m 未満と比較的薄く、また、縦断方向への延長も 1.5m～4m 程度と短い。覆工背面の空隙へ土砂状の地山表面が緩んで崩れ、堆積したものであると予想される。

(3)参考文献

福岡北九州高速道路公社：「北九州高速 4 号線大蔵トンネル拡幅工事工事誌」，平成 15 年 3 月

参考資料－４

既設トンネルの付属施設等の移設・プロテクタ構造および搬入・交通対策事例

目　次

１．概要……29
２．大蔵トンネルの事例……29
　２．１　工事概要……29
　２．２　既設トンネル内の付属施設等の移設……30
　２．３　プロテクタの構造……31
　２．４　プロテクタの設置……31
　２．５　プロテクタの撤去……34
　２．６　交通対策……35
３．敷島内トンネルの事例……37
　３．１　工事概要……37
　３．２　既設トンネル内の付属施設等の移設……37
　３．３　プロテクタの構造および搬入方法と工期……38
　３．４　プロテクタ内設備……39
　３．５　交通対策……39

１．概要

既設トンネルを活線施工で改築・拡幅する場合には、道路トンネル内に設置してある換気、照明、非常用施設等の各施設についての機能維持および工事中における交通対策を十分考慮する必要がある。ここでは、トンネル内の諸施設事例の移設事例およびプロテクタのトンネル内への搬入、工事中における安全対策について大蔵トンネル、敷島内トンネルの２つの工事事例について紹介する。

２．大蔵トンネルの事例

２．１　工事概要

大蔵トンネル拡幅工事は、北九州市の都市高速４号線に位置する延長 975m のトンネルで、大蔵トンネル（上り線）の坑口から 170m間を現在の２車線から３車線（掘削断面積 155㎡）に拡幅するものである。拡幅施工は、トンネル坑内に車輌防護のためのプロテクタを設置することで、２車線の交通を供用しながら実施した。トンネル内にプロテクタ（設置延長：205m、内空高さ：4.15m、内空幅：7.50m）を設置した。活線拡幅した事例はいくつかあるものの、本工事のように都市高速という重交通下で２車線を供用しながら３車線に拡幅する工事は、わが国初めてのものである。本事例では、大蔵トンネル拡幅工事における活線拡幅にあたり、既存ユーティリティーの移設・盛替え、プロテクタの設置撤去および交通対策について以下に記述する。

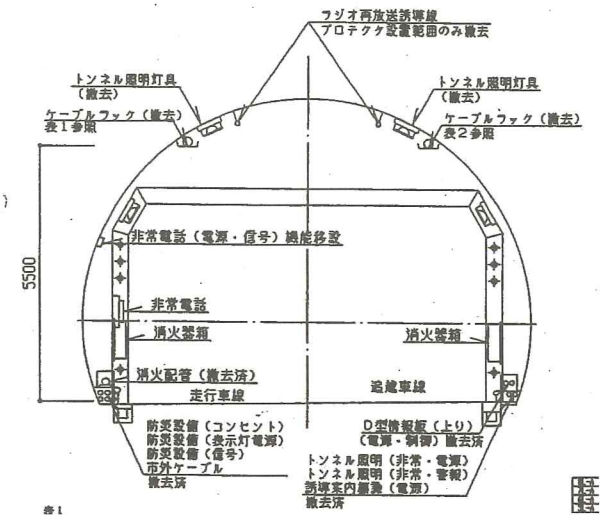
２．２　既設トンネル内の付属施設等の移設

既設トンネル内の既存ユーティリティーとしては、照明、非常電話、消火設備、防災設備用各種ケーブルの設置・盛替えがある。図－２．１の断面図に既設トンネルの設備配置図と撤去・盛替え図を示す。

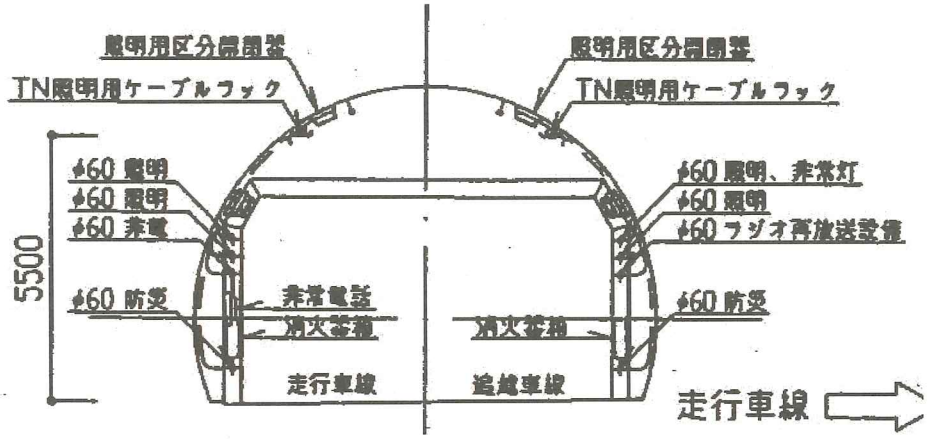
プロテクタ設置にあたり、設置箇所の設備の盛替えを順次すすめていった。

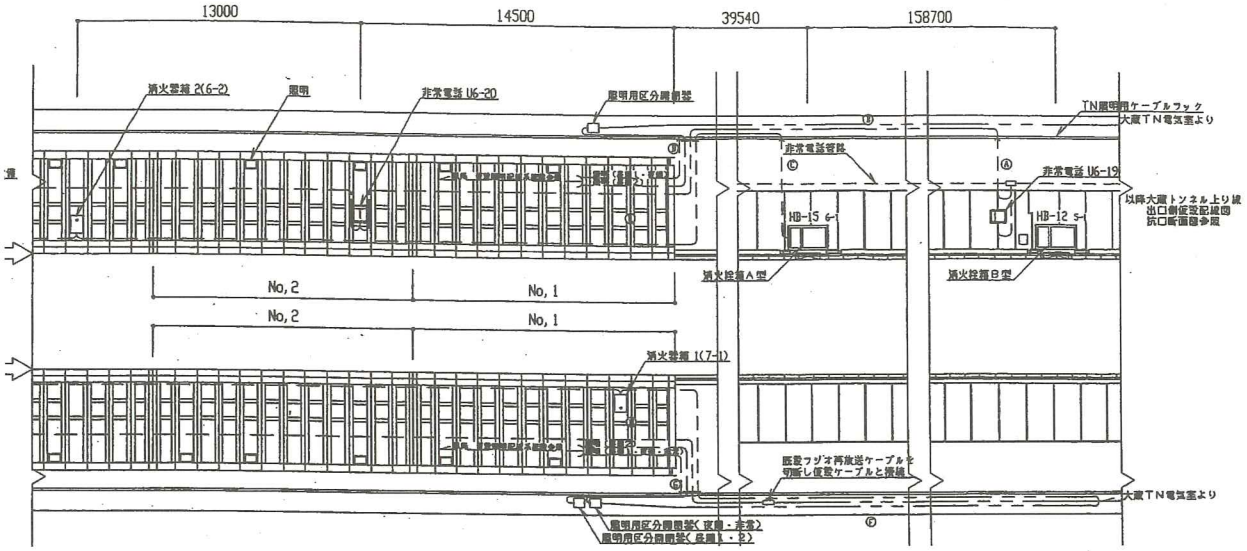
また、プロテクタ内配線図を図－２．２に示す。

プロテクタ内設備の写真を写真－２．１に、トンネル完成後の写真を写真－２．２に示す。



図－２．１　既存ユーティリティー撤去・盛替え

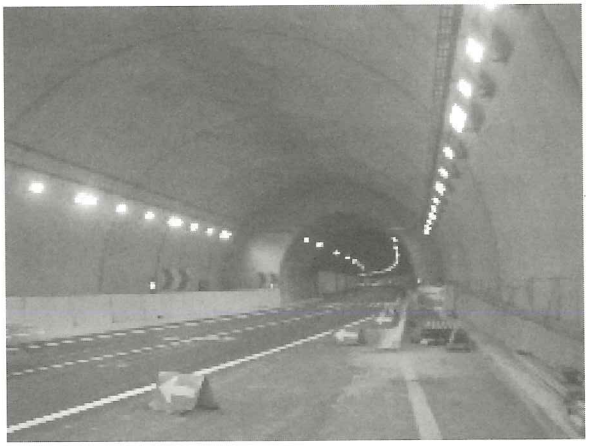




図－２．２　プロテクタ内設備設置図



写真－２．１　プロテクタ内設備状況



写真－２．２　完成後の坑内設備状況

２．３　プロテクタの構造

１車線のプロテクタを設置してトンネル拡幅を実施した例はいくつかあるが、２車線のプロテクタによる施工事例はほとんどない。そのため、プロテクタの構造、設置方法については、様々な検討を加える必要があった。本工事におけるプロテクタの特徴を以下に示す。

・道路２車線を確保した大断面のプロテクタである。

・プロテクタ上から本格的に３車線の超大断面トンネルを掘削、構築する。

・プロテクタの内空を最大限大きく確保するため、既設トンネルの内空ぎりぎりにプロテクタを設置する。

本トンネルでは、プロテクタ上から本格的に３車線の超大断面トンネルを掘削する。そのため、プロテクタは、上部に、大型の重機が載って作業可能で、掘削ずりの落下等による衝撃に耐える構造とした。

２．４　プロテクタの設置

プロテクタは、現場の組み立てヤードの関係から、１ブロックの長さを12mとし、１日に１ブロックずつ、昼間に組立てを行い、夜間にトンネル内へ搬入・設置するものとした。また、プロテクタは、現場での組立時間を短縮するため、工場でプレキャスト化（１ブロック当たり10ピース）したものを組立ヤードに搬入することとした。プロテクタの坑内への搬入・設置作業については、以下の厳しい条件での施工が求められた。

・既設トンネルとプロテクタ肩部とのクリアランスが５cm程度と非常に小さい。

・プロテクタの重量が１ブロック当たり60ｔと重い。

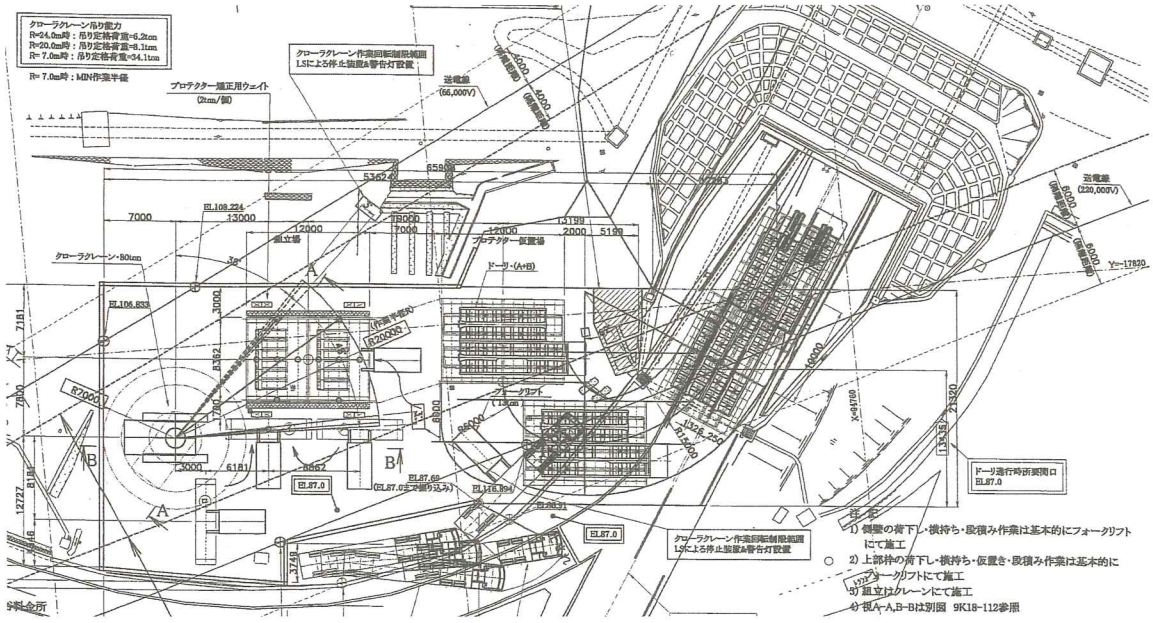
・夜間の全面通行止めにおける作業時間が22:00～５:00までに限られる。

これらの厳しい条件下でのプロテクタの搬入・設置工を可能にするために、特殊大型台車（ユニットドーリ）を採用した。ユニットドーリは、もともと、プラント、長大橋梁などの超重量物の輸送・据付等に

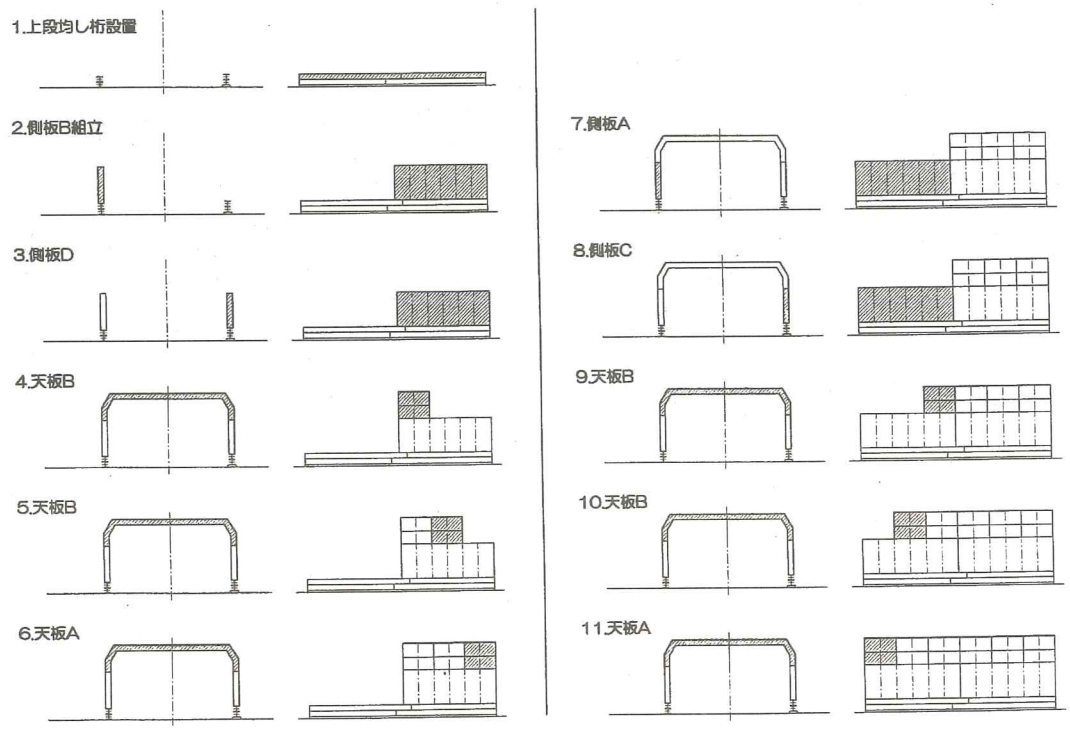
用いられているもので、プロテクタ設置工では初めての適用となる。台車は、１台の大きさが３ｍ×10m程度の動力付きであり、１台当たり 100t 程度の重量を運搬可能である。この台車を前後、左右につなぎ合わせることにより、最大数千ｔもの重量物の運搬を可能とする。荷の積み卸し（据付）は、油圧サスペンションにより、本体（プラットホーム）を上下することで、自力にて行い、走行は、通常走行以外に、360°の旋回、斜行、横走行が可能である。精度面では、走行・据付とも、前後、左右に５mm 以内を確保可能である。今回は、プロテクタ運搬時の荷の安定を確保するために、台車を２台左右につなぎ合わせて用いた。

プロテクタの設置は、厳しい条件にも関わらず、トラブルもなく、全線 205m、17 ブロックを、17 日の夜間通行止めで施工完了した。

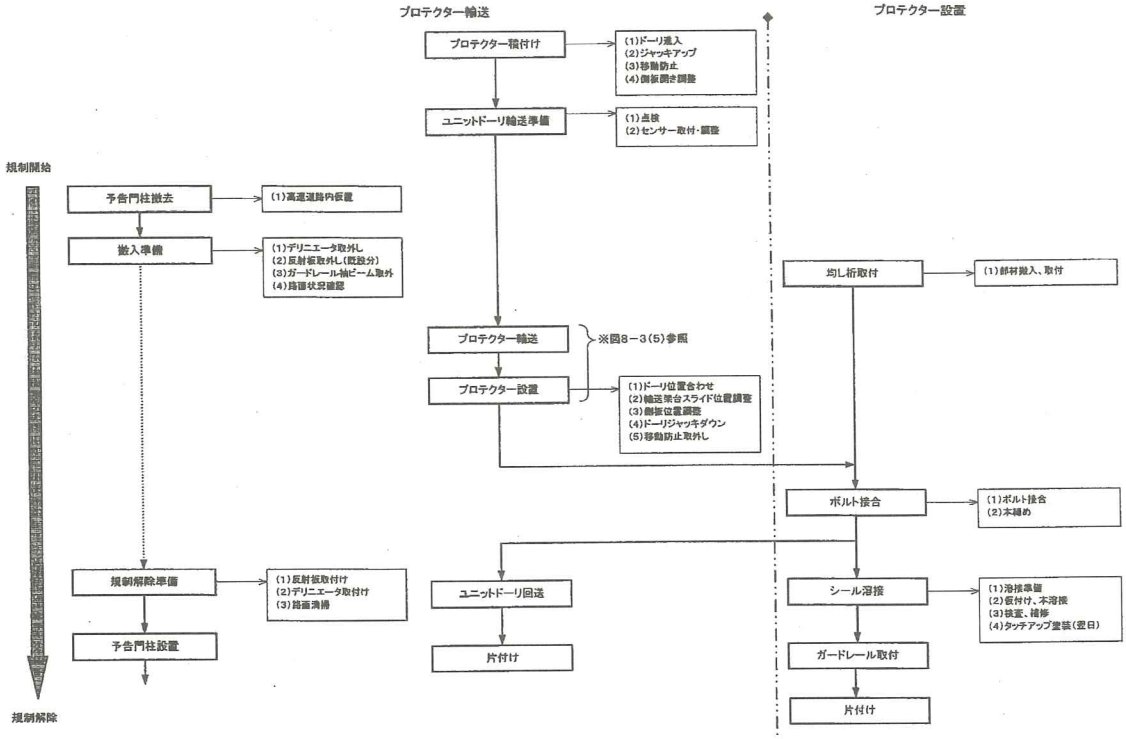
組み立て位置平面図を図－２．３に、プロテクタ組立て順序図を図－２．４に、また、施工フローを図－５に示す。プロテクタ設置状況の写真を、写真－２．３，写真－２．４に示す。



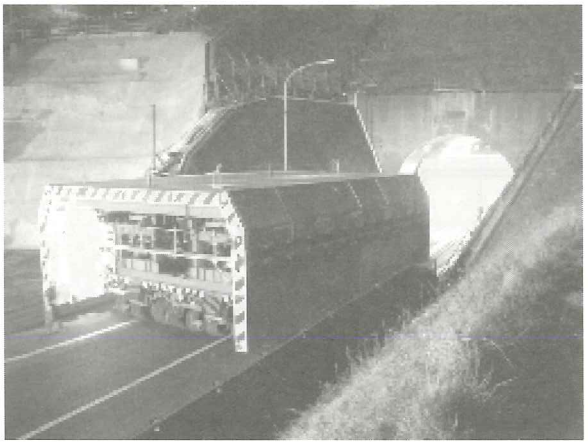
図－２．３　坑外プロテクタ組立て平面図



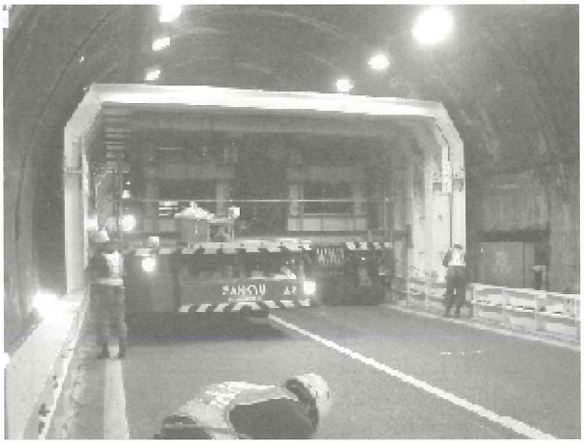
図－２．４　坑外プロテクタ組み立て順序図



図－２．５　坑外プロテクタ組み立てフロー



写真－２．３　プロテクタ搬入状況

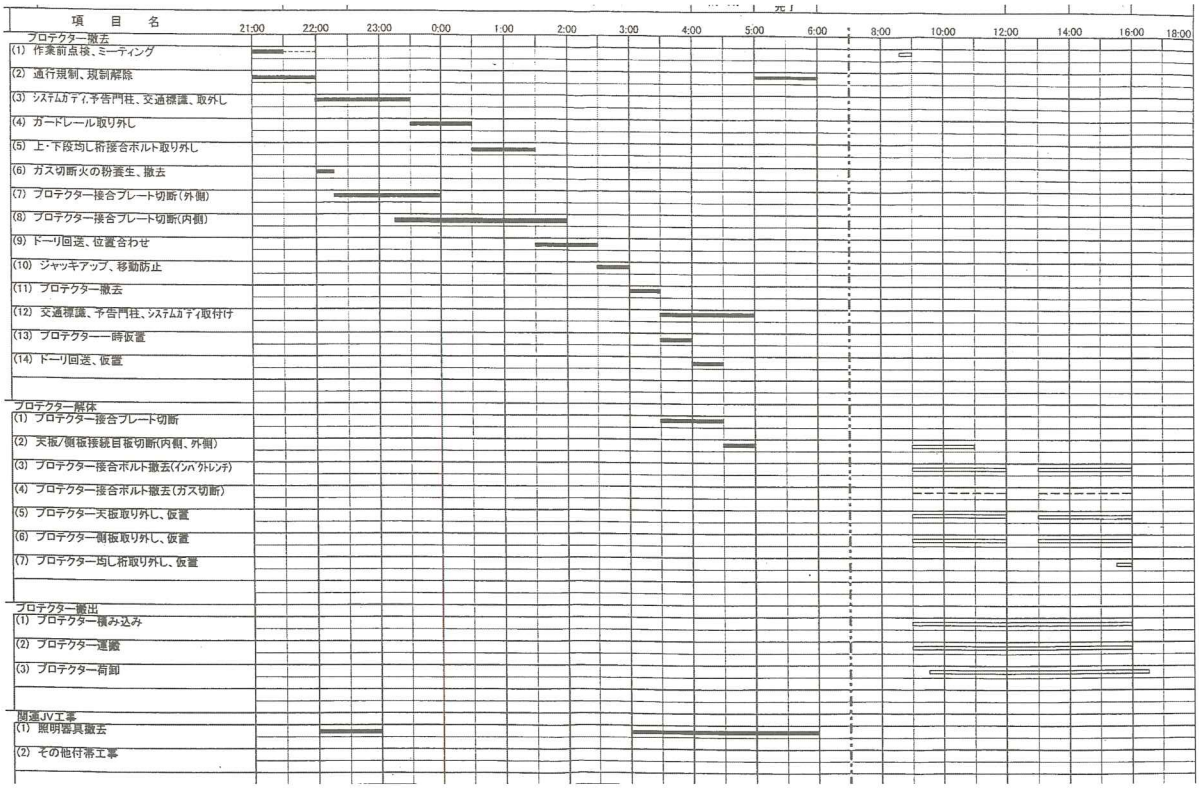


写真－２．４　坑内搬入状況

２．５　プロテクタの撤去

プロテクタの撤去については、設置同様、ユニットドーリを用い、9日間の夜間交通止めにて全線のプロテクタを撤去した。プロテクタ撤去時のサイクル表を表－２．１に示す。

表－２．１　撤去時サイクル表

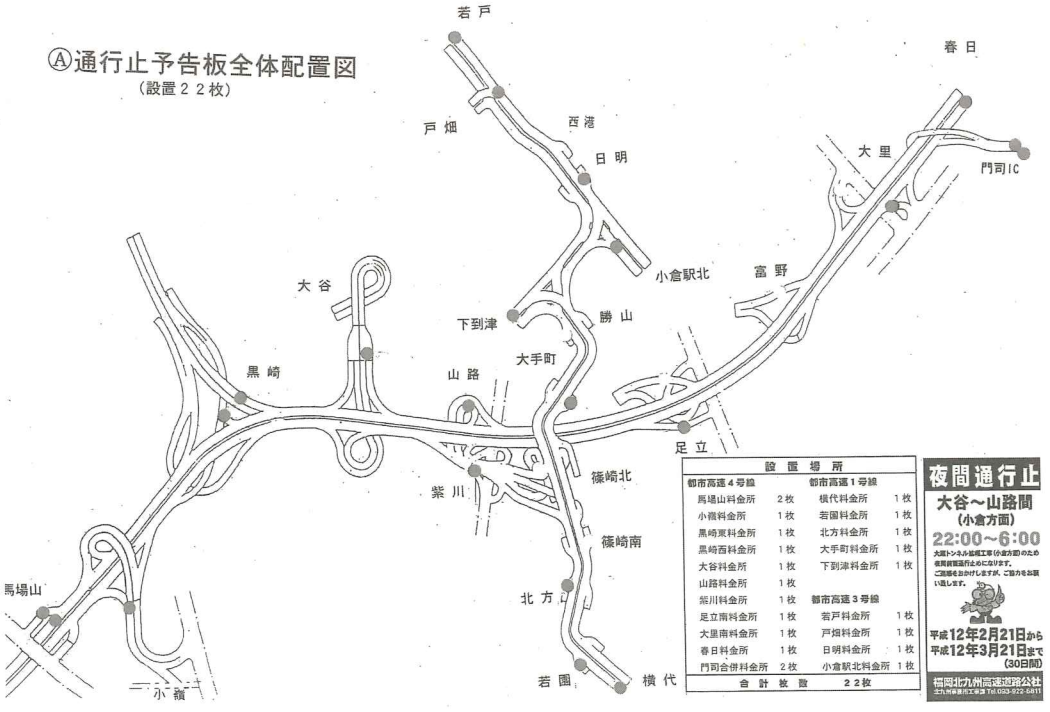


２．６　交通対策

主な交通対策を、表－２．２に示す。また、交通止め予告板配置図を図－６にまた、交通対策として、プロテクタの内空は、正規の建築限界を確保することができないため、警察との協議により、高さ 3.8m以上の特殊車輌を排除することで、車線幅を 3.25m、高さを 4.15mとした。そのときの交通規制としては、各料金所に車高制限用チェックバーを設け、また、プロテクタ進入坑口位置に車高制限表示用の標識を設けた。

表－２．２　　主な交通対策

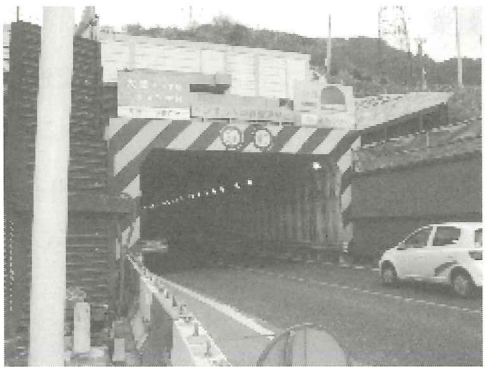
名称	設置場所	数量	規格	内容
A 通行止め予告板(各料金所)	1号線:槇代、岩国、北方、大手町、下到津 2号線:小倉駅北、日明、戸畑、若戸 4号線:春日、大里、足立、紫川、山路、大谷 黒崎(東、西)、小嶺、馬場山2 その他:門司IC2	22*	W900×H1,800	ポリ合板、30ミリ角木枠、シルク印刷
B 協力お願い板(各料金所)	大谷、黒崎2、小嶺、馬場山3	7	W900×H1,800	アルポリック板、35×45角木枠、CF文字、白加工
C 通行止め時広報看板(大谷料金所)	大谷料金所手前街路上	1*	W900×H1,800	ポリ合板、30ミリ角木枠、シルク印刷
D 通行止め時広報看板(馬場山～黒崎)	馬場山料金所手前2、小嶺料金所、黒崎(東、西)料金所	5*	W900×H1,800	ポリ合板、30ミリ角木枠、シルク印刷
G 通行止め予告板	馬場山ランプ付近2、小嶺ランプ付近3、黒崎ランプ付近3、 大谷ランプ付近1、直方P.A1、古賀S.A2	12*	W900×H1,800	ポリ合板、30ミリ角木枠、シルク印刷
Z 車高警告板(街路上)	馬場山ランプ付近1、小嶺ランプ付近2、黒崎ランプ付近2、 大谷ランプ付近1	6	W900×H1,800	アルポリック板、35×45角木枠、CF文字、白加工
Z 車高警告板(料金所手前)	馬場山料金所付近2、小嶺料金所付近1、黒崎料金所付近2、 大谷料金所付近1	6	W900×H1,800	アルポリック板、35×45角木枠、CF文字、白加工
K 警告板(高さ制限)	黒崎～大谷本線上6(2枚一組)	12	W600×H1,500	アルミ基板(平リブ)、板面サイン(反射シート) 支柱(白)φ76.3×t3.2×H2,800
K 標識(工事中)	黒崎～大谷本線上6	6	W600×H2,800	アルミ基板(平リブ)、板面サイン(反射シート) 支柱(白)φ76.3×t3.2×H2,800、静電紛体、部材
L～Y 通行止め時迂回路看板	八幡消防署前交差点1、春の町交差点1、春の町5丁目交差点1、戸畑バイパス交差点3、中央町3丁目交差点1、大蔵公園前1、七条橋交差点1、清田2丁目1、金比羅町1、上到津1、上到津3丁目1、清水交差点1、紫川インター付近2	16	W800×H1,200	ポリ合板、30ミリ角木枠、シルク印刷、CF文字、反射シート
S 大看板	河頭トンネル～大谷トンネル2	2	W2,700×H2,700	鉄骨、骨組み、亜鉛引鉄板
E 通行止め時横断幕 (都市高速本線上、九州自動車道)	JH若宮～八幡1、JH小倉南～八幡1、馬場山～大谷4	6*	W800×H10,000	ターポリン、CF文字(反射シート)
F 通行止め時横断幕(主要街路上)	馬場山ランプ付近2、小嶺ランプ付近3、黒崎ランプ付近2、 大谷ランプ付近2	9*	W800×H10,000	ターポリン、CF文字(反射シート)
T 懸垂幕(通行止め)	馬場山ランプ付近1	1	W1,100×H6,000	夜間対応、CF文字(反射シート)
U 懸垂幕(高さ制限)	河頭トンネル～大谷トンネル1	1	W1,100×H6,000	夜間対応、CF文字(反射シート)
W 横断幕(高さ制限)	JH若宮～八幡1、JH小倉南～八幡1	2	W800×H10,000	ターポリン、CF文字(反射シート)



図－２．６　通行止め予告板設置全体位置図



写真－２．５　車高制限用チェックバー



写真－２．６　坑口車高制限予告用標識



写真－２．７　プロテクタ終端部

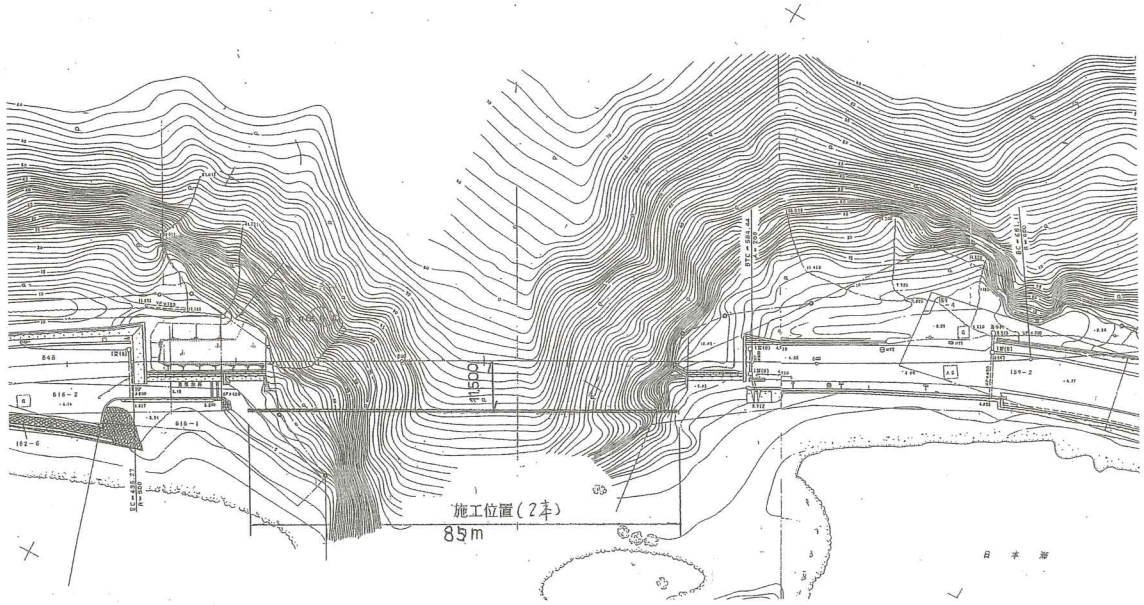
３．敷島内トンネルの事例

３．１　工事概要

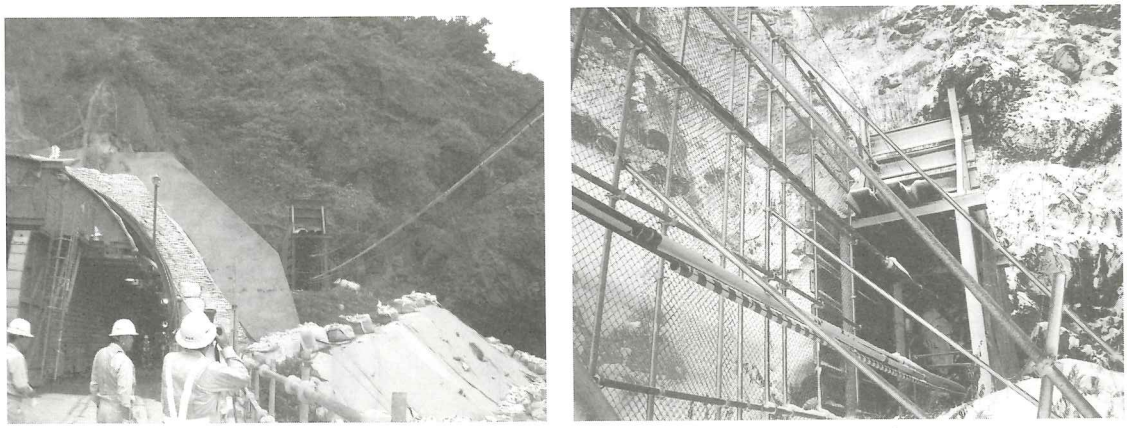
敷島内トンネルは、北海道岩内郡岩内町の国道　号にあり、昭和 37 年に竣工したトンネルである。このトンネルは内空断面積が約 31m2、幅員 6m 程度の狭隘であり、大型車のすれ違いが困難な状況にあった。そのため、トンネル断面を内空断面積 62.9m2、幅員 9.75m と拡大した。工事は、1 車線の交互交通による活線施工で行われ、供用中における通行車両の安全の確保は、プロテクタを設置し実施された。

３．２　既設トンネル内の付属施設等の移設

北電線、ＮＴＴケーブル、光ケーブルの移設を行った。既設トンネルセンターより 11.5m（拡幅トンネルロックボルト端部から 2m離す）海側に水平ボーリング（φ146、L=85m、２本）を行い、孔壁防護の鉄管（φ114）を挿入した後移設を行った。移設後の落石対策として防護工を施工した。図－３．１にトンネル付近の平面図を、写真－３．１に起点側坑口周辺の状況を示す。



図－３．１　トンネル位置の平面図



写真－３．１　坑口周辺状況

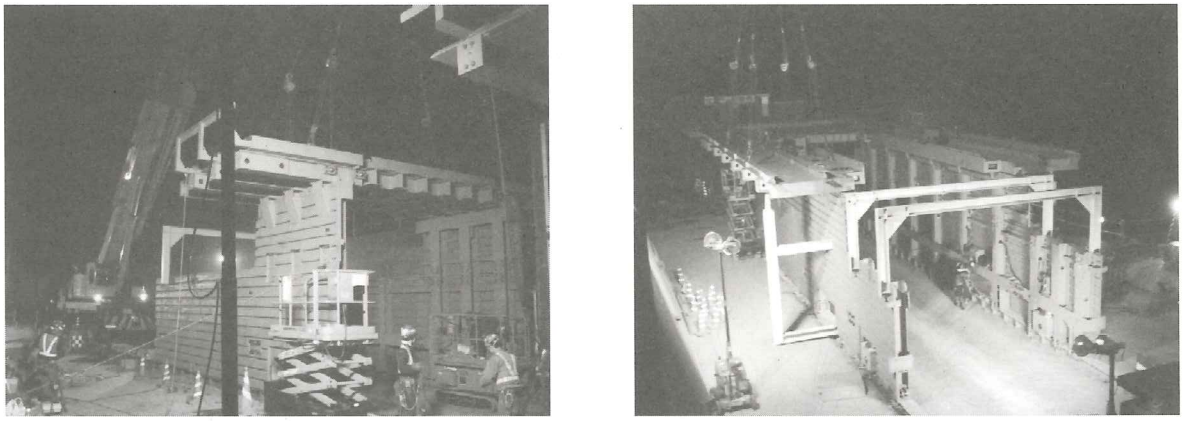
３．３　プロテクタの構造および搬入方法と工期

プロテクタは前方架台（L=10m）、中間架台（L=10m、２基）後方架台（L=16.5m）に分割されている。プロテクタの組立・解体は坑口前で夜間全面通行止め（22:00～5:00 土日祝日除く）で行った。掘削の進行に伴ってレール式で移動するシステムである。写真－２にプロテクタ組立状況を、図－３．２にプロテクタ構造図を示す。なお、組立および解体は、下記の期間で実施した。

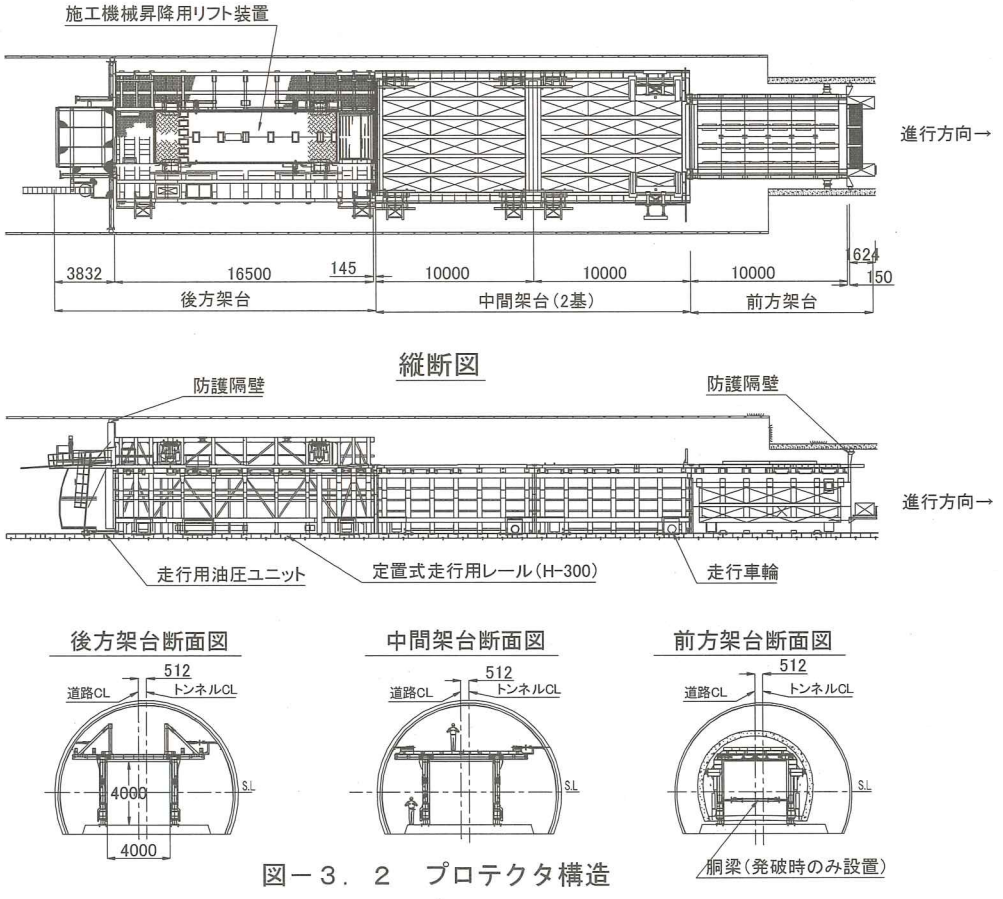
組立期間：平成 12 年 12 月 4 日～12 月 22 日（前方架台、中間架台１基）

平成 13 年 4 月 2 日～4 月 20 日（中間架台１基、後方架台）

解体期間：平成 13 年 10 月 29 日～11 月 22 日



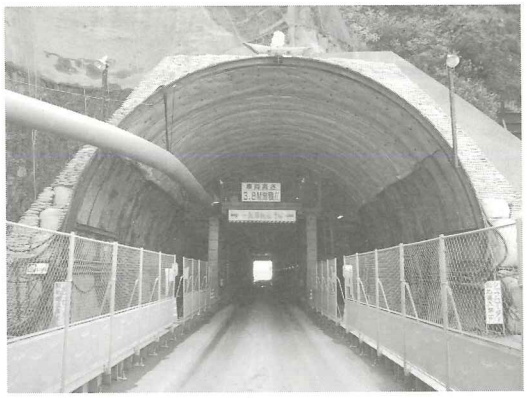
写真－３．２　プロテクタ組立状況



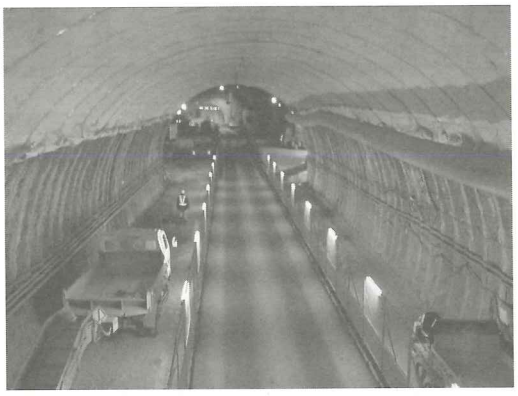
図－３．２　プロテクタ構造

３．４　プロテクタ内設備

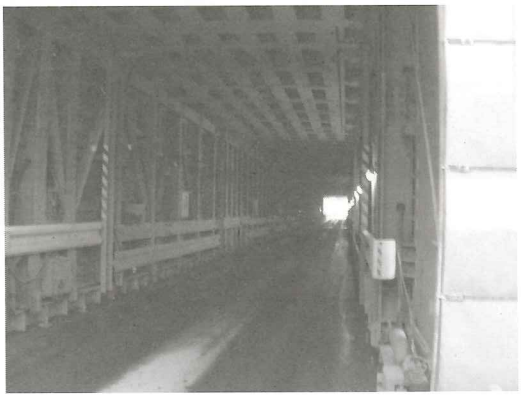
移動式プロテクタであるためプロテクタ後方ではフェンスを設置して一般交通を分離している。プロテクタ内部にはガードレールと照明を設置している。プロテクタ設備状況を写真－３．３に示す。



(a) プロテクタ前方



（b）プロテクタ後方



（c）プロテクタ内部

写真－３．３　プロテクタ設備状況

３．５　交通対策

工事期間中においては、一般車両は終日一車線交互通行とし、さらに、プロテクタの組立・解体時には夜間の全面交通止めおよび、拡幅掘削における発破時も 20 分間の一時全面交通止めとした。図－３．３に示すように交通規制は信号機を使用し、起点側は隣接する鳴神トンネル岩内側坑口から終点側は敷島内トンネル寿都側坑口までの区間とした。さらに、自転車、歩行者および緊急車両等に対応するため交通誘導員を起点、終点信号箇所に各々１名、敷島内トンネル起点坑口付近に注意喚起のための誘導員１名の計３名配置した。

また、プロテクタの内空は高さ４ｍ×幅４ｍであり、それを越える大型車両はプロテクタ内を通過することが不可能なため、高さ制限表示バーを設置して高さ 3.8m を越える車両の規制を行った。さらに、歩行者については交通誘導員により連絡車で輸送を行い、自転車については信号機の指示によらず、交通誘導員の誘導のもとに通行完了まで一般車両を待機してもらうなどの対策をとった。交通規制状況を写真－３．４に示す。

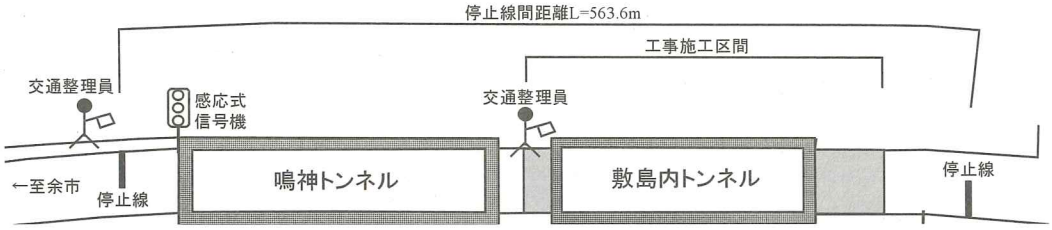
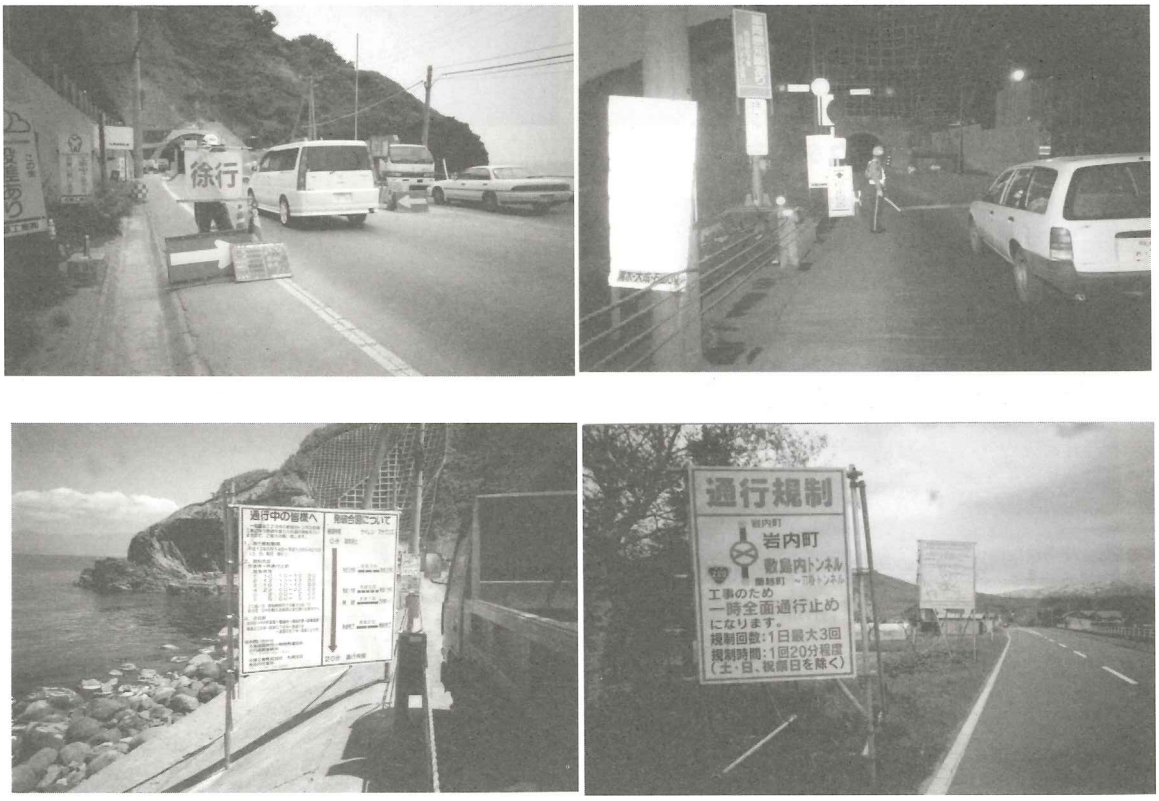


図-３．４　交通規制図



写真－３．４　交通規制状況

参考資料－５

数値解析による断面拡大形状および プロテクタ設置範囲の検討

目　次

１．概要……41
２．検討方法……41
３．検討結果……42
　３．１　断面拡大形状の違いについて……42
　３．２　既設トンネルの影響について……43
４．結論……43

１．概要

断面拡大形状およびプロテクタ設置範囲について、二次元解析により、拡大の要求性能、経済性、施工性などから考えられる拡大方法の違い（図-1）による支保構造に発生する断面力の特徴を明らかにする。次に既設トンネルの影響を直接評価出来る三次元解析により、施工時の既設トンネルの残し方による地山変形、既設トンネル覆工への影響範囲の違いを明らかにし、移動式プロテクタを用いる際の設置範囲について検討した。

２．検討方法

拡大方法の違いについては、図-1 に示すモデルを用いて、土被り 50m のＣⅡクラス支保（E=1000Mpa）の比較的良い弾性地山を想定し、二次元有限要素解析（既設トンネルを施工時からモデル化し、応力開放率を用いて３次元性を評価）を行った。

既設トンネルの残し方の違いについては、二次元解析の全周拡幅モデル（図-1）を対象に、拡大時に既設覆工を同時に壊して行くケース（case1）、既設の覆工を残してプロテクタとして利用し拡大後に取壊すケース（case2）、及び比較のため新設で施工したケース（case3）に対して三次元有限要素解析（図-2）を行った。解析ステップは、施工過程を再現して、step1 初期応力解析、step2 既設トンネル構築、step3 拡大掘削（１ｍ掘進）、step4 拡大掘削（１ｍ掘進＋step3 掘削部一次支保施工）とし、その後は step4 を繰り返し、所定の位置まで掘削した。

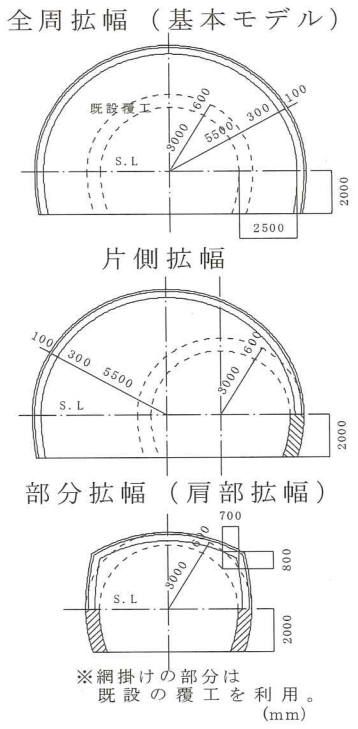


図-1 解析モデル

3．検討結果

3．1　断面拡大形状の違いについて

図-3 は、二次元解析により求められた全周拡幅とそれ以外の拡幅方法を用いた場合の支保構造に発生する断面力を示したものである。なお、支保の最下端に大きな断面力が発生しているが、これは解析モデル固有の問題であり分析上は考慮しない。

経済性、施工性を考え片側に拡大し、既設覆工の一部を利用する片側拡幅は、既設覆工の剛性と新設支保の剛性の違いが大きいため、取合部に全周拡幅に比べ大きなせん断力が働くことが分かった。したがって既設トンネルとの結合部では十分なせん断強度を確保することが必要である。

必要最低限の拡大をする肩部拡幅は、隅部で若干モーメントが発生するが、今回の地山条件では相対的に覆工剛性が小さいため応力集中は小さかった。ただし覆工の剛性が上がると隅部での応力集中が大きくなること、および比較的大きなせん断力が作用していることを考えると、適用条件についてはより詳細な検討が必要である。また既設トンネルとの取合部については、片側拡幅と同様にせん断力が働いている。

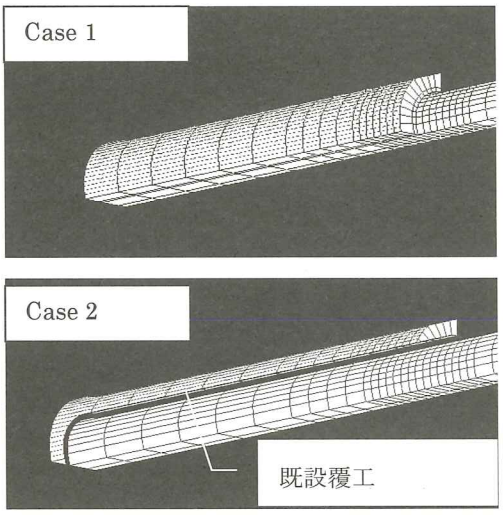


図-2　三次元解析モデル図

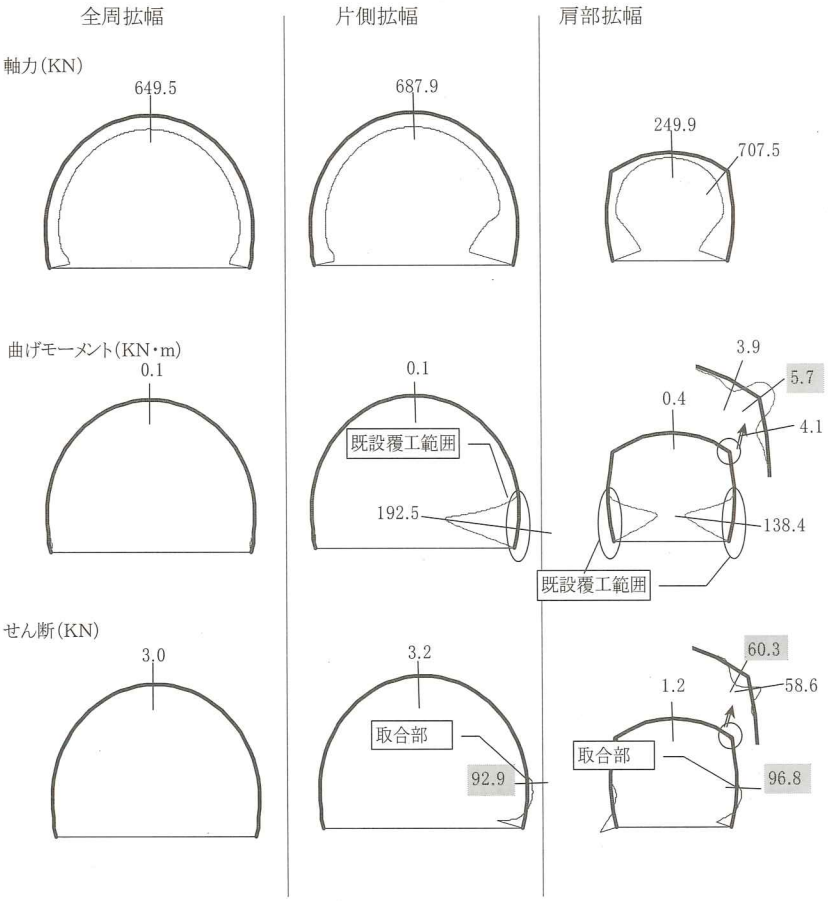


図-3　支保断面力結果

3．2　既設トンネルの影響について

図-4 は、三次元解析 case1～3 の天端変位を切羽面との距離で整理したものである。縦軸は最大変位量で無次元化（case1,2 は既設トンネル施工後からの変位量で整理）している。これらを見ると case 1 ,3 では、掘削面積が異なるにも関わらず先行変位が出始める位置（-1D）、収束距離(2D)などがほぼ同じであることが分かる。一方 case-2 は、収束距離はほぼ同じであるが、変位が出始める位置が-0.5D 程度と小さな値になっており、先行変位率も 20%と小さくなっている。このことは二次元解析により支保設計を行う時の応力開放率として、既設覆工を同時に取壊す場合は新設のものと同程度の値を用い、既設覆工を残す場合は新設のもより小さくする必要があることを示している（ただしこの値は既設覆工の剛性に依存する）。また先行変位が抑えられる理由は、地山が変形しようとするのを既設トンネルがその縦断方向の剛性で抵抗しているためである。

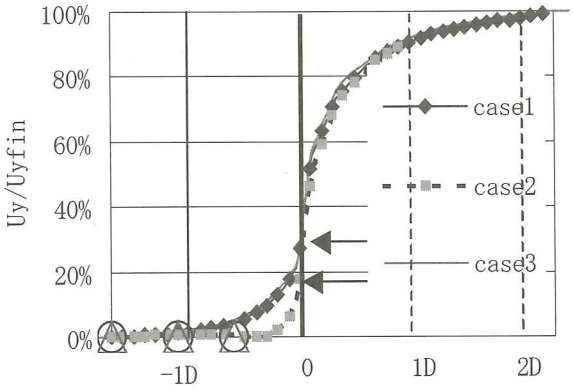


図-4　地山変位図（天端変位）

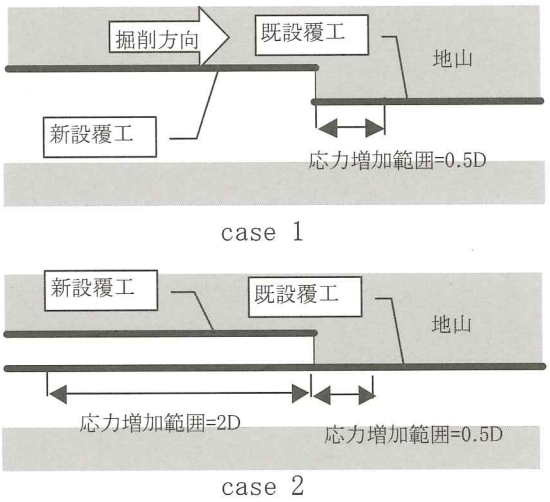


図-5　既設覆工影響範囲

図-5 は、三次元解析により求まった掘削に伴う既設覆工の応力増加範囲を示したものである。case1 では切羽から前方約 0.5D である。また既設トンネルを残してプロテクタとして利用する case2 の場合は前方 0.5D、さらに切羽から手前約 2.0D が影響範囲（引張応力が発生）となった。

4．結論

本数値解析による検討結果より、断面拡大形状の違いにより支保構造に発生する断面力が大きく異なること、施工時の既設トンネルの残し方により地山変形、既設トンネル覆工への影響範囲が異なることなどが明らかになった。

参考文献

1) 蒲田浩久・真下英人：「既設トンネル断面拡大時の地山変位について」、(社) 土木学会第 55 回年次学術講演会論文集 Ⅲ、P208-209、平成 12 年 9 月

参考資料－６

斜めに打設するロックボルトの支保効果に関する実験

目　次

１．概要……45
２．斜めに打設するロックボルトの支保効果……46
　２．１　実験方法……46
　２．２　実験結果……46
３．結論……48

１．概要

断面拡大トンネルの支保構造（鋼製支保工、吹付けコンクリート、ロックボルト）の実績調査では、支保構造の中でもロックボルトに関しては、新設と同様に地山に直角にパターンボルトを打設した事例はそれほど多くなく、施工性から新設に比べ変則的パターンを採用してきた事例が多い。さらに、パターンボルトを採用したトンネルでも施工空間が狭いため、人力施工で継ぎボルトになるため非常に苦労したと報告されている。また、改築・拡幅時は、新設トンネルと異なり既設トンネルの天端部の地山はゆるんでいる場合が多く、ボルト長の決め方など設計上不明な点が残されている。このようにロックボルトに関して、その効果のメカニズムを明らかにして、合理的な設計を行うことは、断面拡大トンネルの支保設計をする上で特に重要である。このため、ここではロックボルトに着目して、作業上の制約からトンネル進行方向に対して斜めにロックボルトを打設する斜めボルトの支保効果を遠心力載荷模型実験により明らかにした。

2．斜めに打設するロックボルトの支保効果

2．1　実験方法

実験装置（図-1）は、内寸 140×500×400 の模型容器に、アクリル製の半円筒の支保模型とトンネル掘削を模擬するアクリル製の半円柱（D=80mm）のトンネル掘削模擬装置が設置してある。実験は、模型地山にロックボルトとトンネル模型を設置し、所定の遠心加速度(20g)まで遠心載荷を行い、その状態でトンネル掘削模擬装置を引き抜いて 1.0D の素堀区間を設け応力解放を行い、その時の地山安定状態を確認することで、ロックボルトの支保効果を調べた。模型地山は、不飽和状態にして少量の粘着力を確保した豊浦標準砂を 2cm 毎に締め固めて作成した。表-2 に物性値を示す。なお、土被り比 H/D（H:土被り、D：ﾄﾝﾈﾙ径）は１とした。

ロックボルトは、表面に砂を付着させた直径 1.6mm のりん青銅を用い、地山作成後にトンネル掘削模擬装置を引き抜き、地山を素堀状態にして、前面のアクリル板を一旦取り外し、所定の位置に挿入した。図-2 にロックボルトの配置図を示す。

実験ケースは、打設範囲θを 45°に固定して、ロックボルトの長さＬ（0.5D,0.25D）、横断方向ピッチα（22.5°,11.25°）を変化させた 3 種類の横断配置パターンについて、斜め打設角度φ（90～15°）、縦断方向ピッチｄ（0.1D、0.2D）を変化させた場合について行った。なお、これまでの実験結果[1)]から、肩部から上方に打設されたボルトの方が側壁部に打設されたボルトより天端安定に高い効果あることが分かっているため打設範囲θを 45° と固定した。

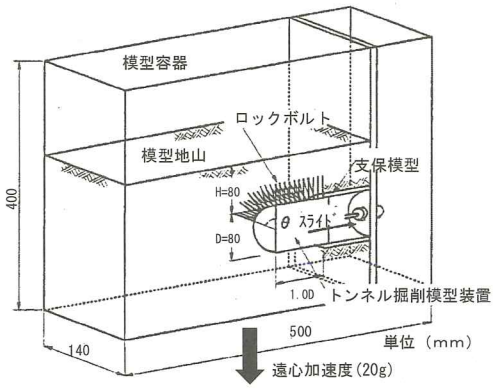


図-1　実験装置

表-2　実験材料の物性値

地山材料（標準砂）	単位体積重量 γ_t (kN/m³)	15.1
	含水比 w（%）	6.5
	粘着力 c（kPa）	4.6
	内部摩擦角 φ（deg）	34.5

c、φは一面せん断試験より求めた。
(垂直応力2.9～14.7kN/㎡)

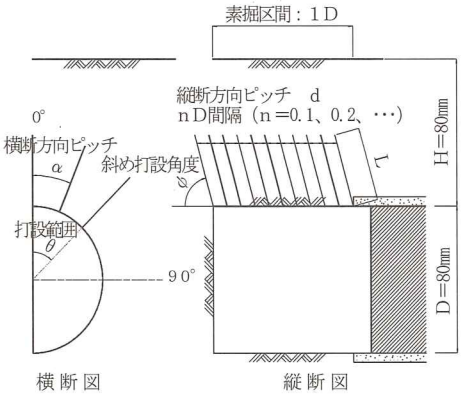
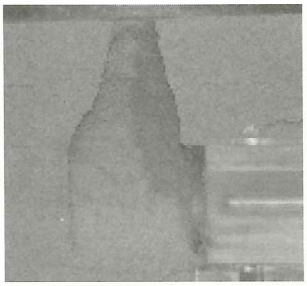


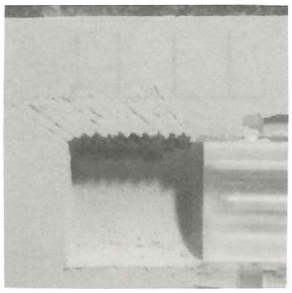
図-2　ボルト配置図

2．2　実験結果

写真-1(a)に無対策時、(b)に天端部にロックボルトをφ=45° で打設した時の実験結果を示す。無対策では、遠心加速度 20g の状態でトンネル掘削模擬装置を引き抜くと、トンネル天端を底辺とした地表面にまで達する三角錐状の天端崩壊が発生している。一方、斜めボルトを打設した場合は天端崩壊



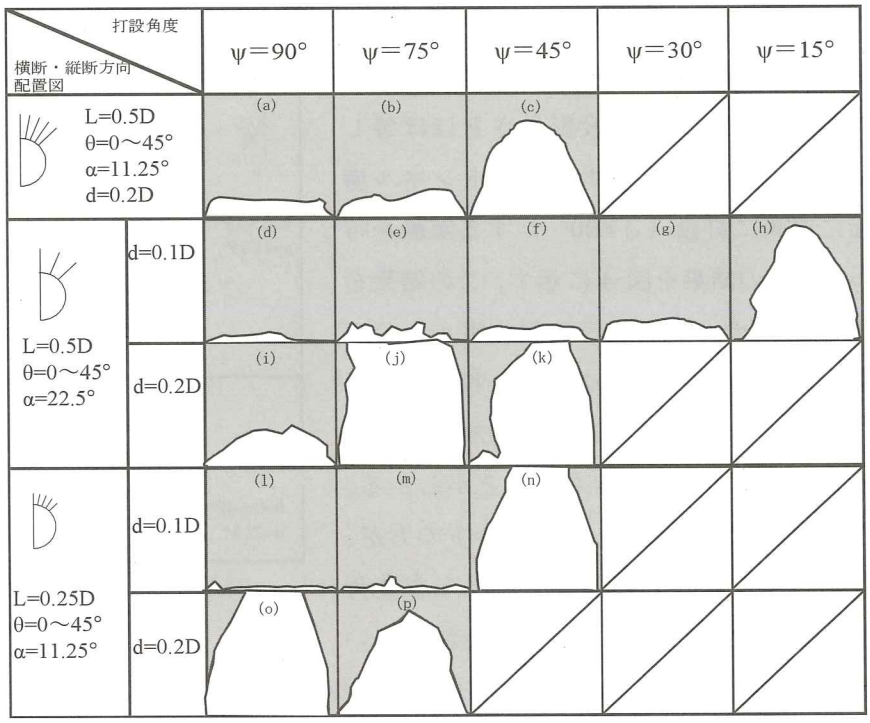
(a)無対策



(b)斜ボルト

写真-1　天端崩壊状況

図-3　天端状況図一覧（斜め打設角度および配置）



が発生せず、支保（天端安定）効果があることが分かる。図-3 は、斜めの打設角度、横断方向の配置等を変化させた一連の実験結果（天端部崩壊状況のスケッチ図）をまとめたものである。これを見ると、全体に打設角度を小さくする（斜めに打設する）と天端安定が悪くなる傾向があることが分かる。この結果から、天端を安定させるためにはある程度の角度が必要であると考えられるが、(d)～(h)の結果から、ある長さ以上のボルトを密にして打設すれば、ϕ=30° 程度までは斜めに打設しても直ボルトと同程度の支保効果が発揮される場合があることがわかる。

次に、斜めに打設した場合のボルト長および縦断方向のピッチの影響について見てみる。(f)と(n)の結果を比較すると、横断方向のボルト本数が少ないにも関わらず、ボルト長の長い方(f)が天端が安定していることから、ボルト長が長い方が効果的であると言える。また、縦断方向のピッチについてもそれぞれの配置パターンにおいて縦断方向の間隔を狭くすることで天端の安定性が向上していることから、縦断方向を密に打設すると支保効果が向上することがわかる。以上の結果を総合すると、同じ長さのロックボルトにより天端安定を図るためにはトンネル壁面に直角に打設するのが最も効果的であるが、作業空間などの関係上、直角にロックボルト打設できない場合には、ボルトを長くすることや縦断方向に密に打設することで、斜めに打設しても直ボルトと同程度の天端安定（支保）効果を確保できる場合があるものと考えられる。

ところで、斜めボルトの支保効果は、ボルト直角方向の投影長さで評価されることが多いが、それを検証するために、斜めボルトの直角方向の投影長さとほぼ等しくなる長さを有するボルトをトンネル壁面に直角に打設（ϕ=90°）する実験を行った。その結果を図-4 に示す。この結果を見ると、(c)，(h)のように斜めボルトで天端効果が期待できない場合は、投影長がほぼ等しいロックボルトを直角方向に打設しても効果が期待できないことがわかる。さらに、(g)のように、斜めボルトの方が、投影長がほぼ等しいロックボルトを直角方向に打設した場合よりも効果が大きい場合も見られる。以上のことから、斜めボルトの支保効果は、斜めボルトの直角方向の投影長さがほぼ等しいロックボルトをトンネル壁面に直角方向に打設した場合とほぼ等しいか、やや大きいと評価できるものと考えられる。

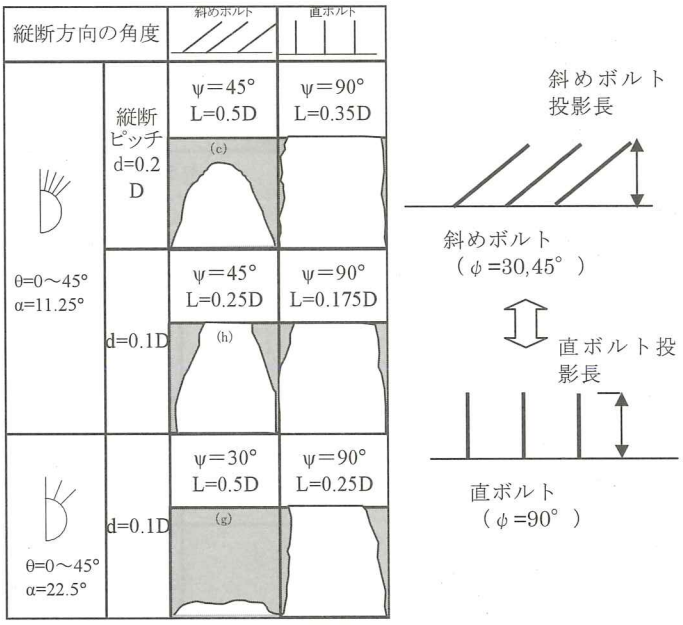


図-4　天端状況図一覧
（投影長が等しいボルトの比較）

3．結論

本研究では、ロックボルト支保効果に関して、トンネル進行方向の打設角度の影響を明らかにすることを目的とした斜めボルトに支保効果に関する遠心載荷実験を実施した。その結果、以下のことが明らかになった。

① 支保（天端安定）効果は、直ボルトが最も高いが、配置や長さを適切に設定することにより、斜めボルトでも直ボルトと同程度の支保効果が期待できる場合がある。

② 斜めボルトの支保効果は、斜めボルトの直角方向の投影長さと同じ長さのボルトをトンネル壁面直角方向に打設した場合とほぼ同等かやや高いと評価できる。

参考文献

1) 蒲田浩久・真下英人・森本　智：「既設トンネル断面拡大時の支保構造－ロックボルトに着目して－」、土木技術資料 44-12、P32-P37、平成 14 年 12 月

参考資料－７

数値解析によるロックボルトの支保効果に関する検討

目　次

１．概要 …… 49
２．数値解析 …… 50
　２．１解析方法 …… 50
　２．２解析結果 …… 51
　　(1)　直ボルトの効果について …… 51
　　(2)　斜めボルトの効果について …… 52
３．結論 …… 53

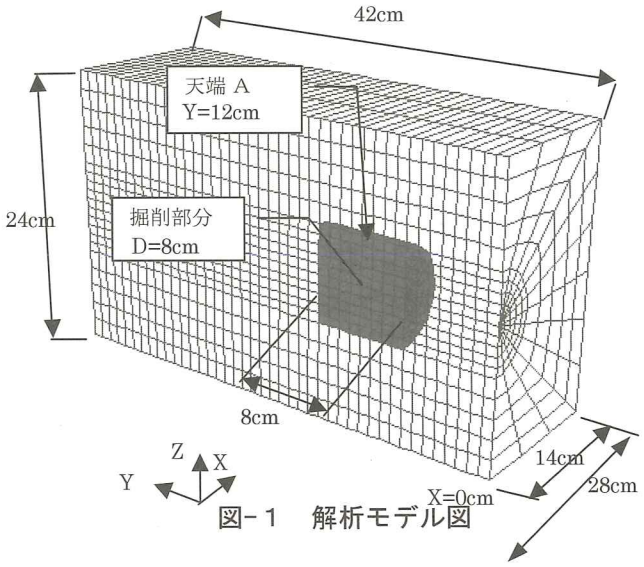
１．概要

断面拡大トンネルの支保構造（鋼製支保工、吹付けコンクリート、ロックボルト）は、新設時の標準的なパターンボルトを採用する場合が多いものの、ロックボルトに関しては新設と同様に地山に直角にパターンボルトを打設した事例はそれほど多くなく、施工性から新設に比べ変則的パターンを採用してきた事例が多い。さらに、パターンボルトを採用したトンネルでも施工空間が狭いため、人力施工で継ぎボルトになるため非常に苦労したと報告されている。また、改築・拡幅時は、新設トンネルと異なり既設トンネルの天端部の地山はゆるんでいる場合が多く、ボルト長の決め方など設計上不明な点が残されている。このようにロックボルトに関して、その効果のメカニズムを明らかにして、合理的な設計を行うことは、断面拡大トンネルの支保設計をする上で特に重要である。このため、ここではロックボルトに着目して、作業上の制約からトンネル進行方向に対して斜めにロックボルトを打設する斜めボルトの支保効果について、参考資料－６で示した遠心載荷実験結果を数値解析により検討した。

2．数値解析

2．１　解析方法

三次元弾塑性解析を用いて実験結果（参考資料－６）との比較を行った。解析手法は、非線形性が強い土砂地山を対象とするため、非線形問題、大変形問題への適用性が高いと考えられている陽解法に基づく有限差分解析法（解析ｺｰﾄﾞ FALAC3D）を用いた。解析領域は、参考資料－６に示した斜めに打設するロックボルトの支保効果に関する遠心力載荷実験模型の寸法と同じとしたが、実際の計算はボルトの配置の関係もあり模型地山の倍の領域（280×240×420）のモデルとした。図-１にモデル図を示すが、ここでは分かり易くするため解析モデルの半分を示している。要素数は10080である。地山の破壊基準はMohr-Coulombを用い、ロックボルトは、軸力のみ作用するｹｰﾌﾞﾙ要素を用いた。解析定数は実験条件と同じとしたが、粘着力については、違いがより明確に出るように若干小さな値を採用した（表-１）。なお、ｹｰﾌﾞﾙ要素の付着剛性、付着強度は、仮想ｸﾞﾗｳﾄ径(3mm)を考え、ｸﾞﾗｳﾄ材として地山物性値を用いて算定した。



図－１　解析モデル図

表－１　解析定数

地 山 (Mohr-Coulomb)	単位体積重量 γ_t (kN/m³)	15.1
	弾性係数 (Mpa)	20
	ﾎﾟｱｿﾝ比	0.3
	粘着力 c (kPa)	1.0
	内部摩擦角 ϕ (deg)	34.5
ロックボルト (ｹｰﾌﾞﾙ要素)	弾性係数 E (kN/mm²)	117.6
	ボルト径 (mm)	1.6
	付着剛性 (kN/m/m)	7.67e+03
	付着強度 (kN/m)	5.03e-03

計算は、－20g をＺ方向に載荷して初期応力状態を解析し、次に初期応力状態から実験と同様に図-１の着色部分を取除いてトンネル掘削を模擬した。ロックボルトのあるケースは、初期応力解析後の状態にロックボルトを設置し、その後トンネル掘削を行った。

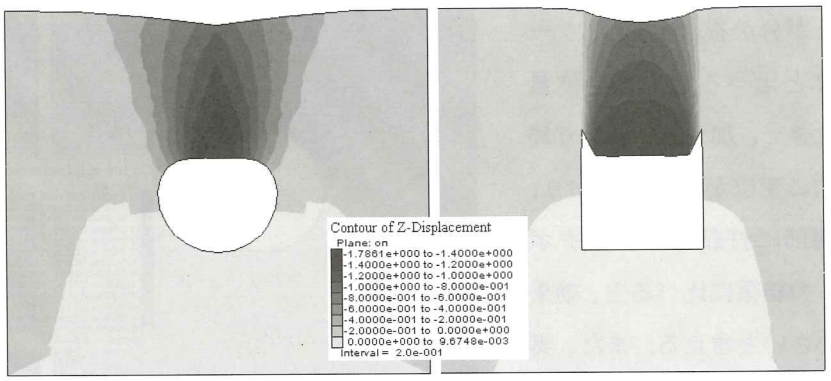
トンネルの安定状況の違いは、図-5 に示す天端Ａのｚ方向の変位量の大きさで判定できる。さらに、有限差分法では、運動方程式と構成側をｽﾃｯﾌﾟ毎に繰り返し、釣り合い状態を求めるため、安定化する場合（釣り合い状態の存在する場合）は、ｽﾃｯﾌﾟの増加に伴い変位が一定値に収束して行く。一方、崩落するような不安定化する場合は、ｽﾃｯﾌﾟの増加に伴い変位は収束せず発散する方向に進む結果となる。このように収束状況の違いによっても天端安定状況の違いが判定できると考えられる。以上のように、絶対変位量及び収束状況の両方によって天端安定状況を評価した。

２．２　解析結果

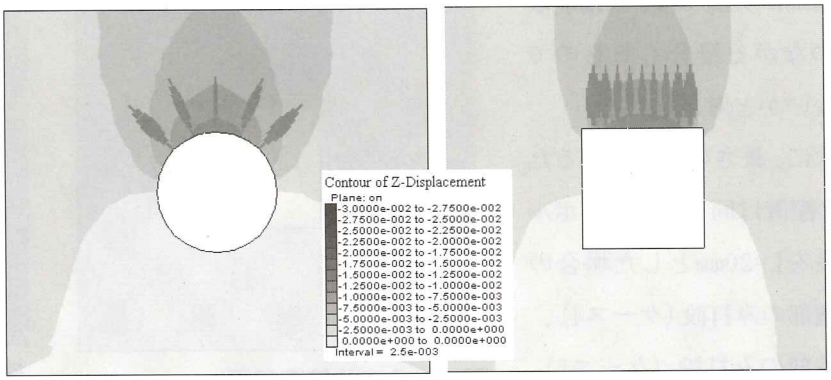
(１)直ボルトの効果について

無対策時（ケース1）、天端部のみボルト打設（ケース2：実験ケース(e)に対応）、側壁部のみボルト打設（ケース3）について計算を行った。ロックボルトはϕ=1.6mm L=40mm, α=22.5° d=0.1Dで、ケース2は打設範囲0～45°、ケース3は打設範囲45～90°とした。図-２にそれぞれのケースの解析結果（Z変位等高線図）を示しているが、それぞれの結果は横断方向と縦断方向での切断面で表示し、さらに、ロックボルトのあるケースは、その軸力分布結果を示している。収束状況を見るため、図-３に天端AのZ方向変位量と解析ｽﾃｯﾌﾟ数の関係を示している。

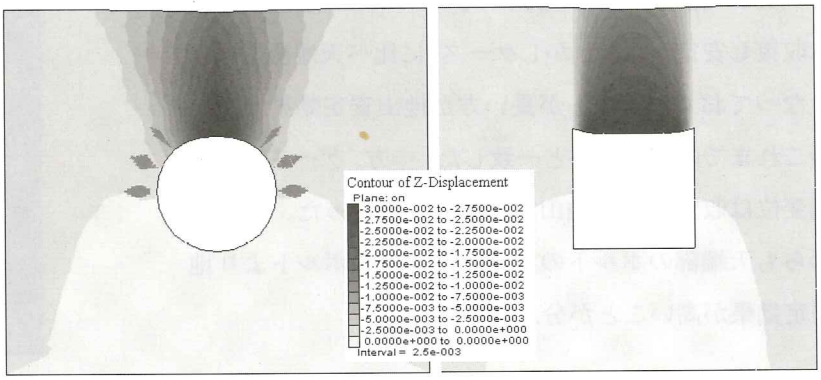
無対策時は、図-２(a),(b)から実験結果と同じように天端部が大きく変形していることが分かる。図-３からも、一定に収束せず発散しているのが分かり、無対策では、天端が崩壊する状況が発生している。次に、図-２(c)、(d)から、天端部のみロックボルトを設置した場合、天端変位が無対策時に比べ大きく抑制され、図-３からも天端変位は収束し安定していることが分かる。実験結果と同様、天端部のロックボルトに地山安定効果があることが分かる。一方、側壁部のみロックボルトを設置した場合も、実験結果では崩壊したが、解析結果では、図-２(e),(f)及び図-３の収束状況から、地山安定効果がある



(a) Y=12cm 横断面(ケース１)　(b) X=0cm 縦断面（ケース１）
(XZ 平面)　(YZ 平面)



(c) Y=12cm 横断面(ケース 2)　(d) X=0cm 縦断面（ケース 2）



(e) Y=12cm 横断面(ケース 3)　(f) X=0cm 縦断面（ケース 3）

図-２　Z 変位等高線図

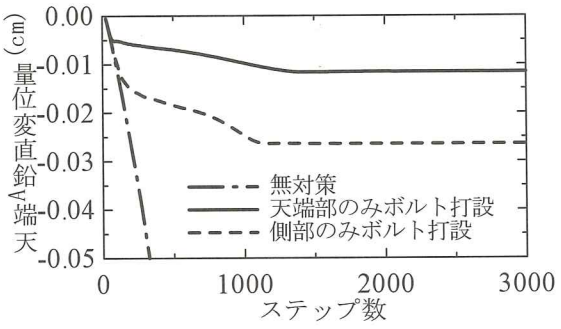


図-３　天端変位と解析ｽﾃｯﾌﾟ数の関係
（直ボルトの配置の影響）

ことが分かる。ただし、ケース２と比べると天端変位量は大きく、加えて、かなり局所的に変位が発生しており、天端部に打設したロックボルトの結果に比べると、効果は小さいと言える。また、実際は地山が粒状体であることを考えると、この部分の変位増加が実験では、天端崩壊につながる場合もあるのではないかと考えられる。

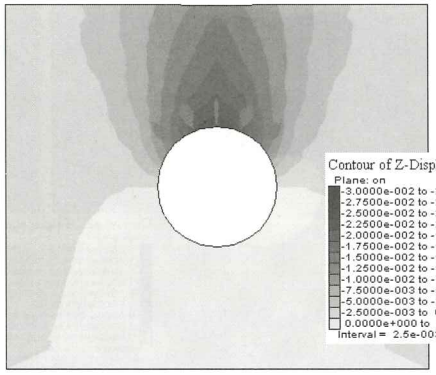


図-４ Ｚ変位等高線図(ケース 4)
Y=12cm 横断面

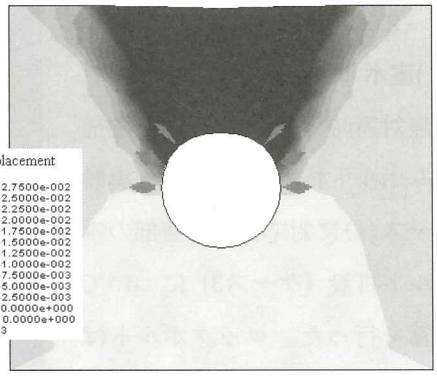


図-５ Ｚ変位等高線図(ケース 5)
Y=12cm 横断面

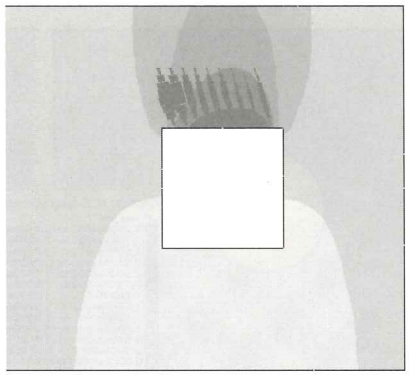


図-６ Ｚ変位等高線図
(ψ=75° ケース 6) X=0cm 縦断面

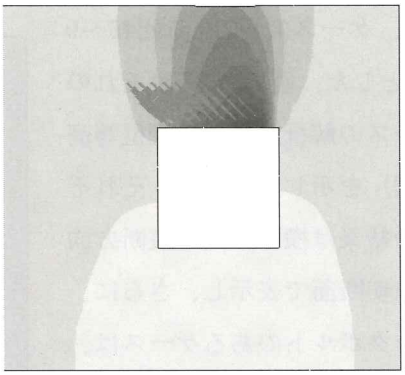


図-７ Ｚ変位等高線図
(ψ=45° ケース 7) X=0cm 縦断面

次に、長さの効果を見るため、配置は同じとして、ボルト長をL=20mmとした場合の天端部のみ打設(ケース4)、側壁部のみ打設（ケース5）の計算を行った。図-４、５にケース4､5の結果をそれぞれ示す。ケース4の変位は最終的に収束し安定した。しかしケース2に比べ天端変位は大きくなっており、ボルトが長い方が地山安定効果は高いとのこれまでの実験結果と一致した。一方、ケース5では、天端変位は収束せず、地山は安定化しなかった。この結果からも天端部のボルトの方が、側壁部のボルトより地山安定効果が高いことが分かる。

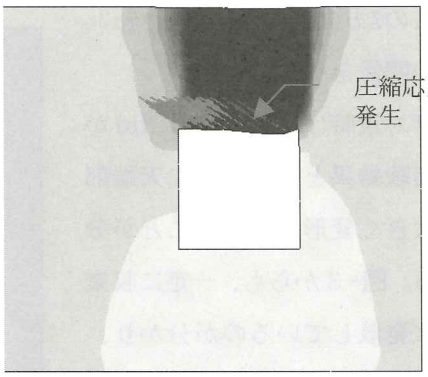


図-８ Ｚ変位等高線図
(ψ=30° ケース 8) X=0cm 縦断面

(２)斜めボルトの効果について

斜めボルトの効果を確認するため、ケース2（θ=0～45°, L=40mm, α=22.5°, d=0.1D）と同じ配置で、斜め打設角度ϕを75､45､30°と変えた場合の計算を行った。それぞれ実験ケース(f)､(g)､(h)に対応している。図-６～８は、それぞれに対応した解析結果（X=0cm縦断面）、図-９は、天端Ａの Ｚ変位量と解析ｽﾃｯﾌﾟ数の関係を示している。

図-６からϕ=75°では、図－２(d)のϕ=90°の結果と

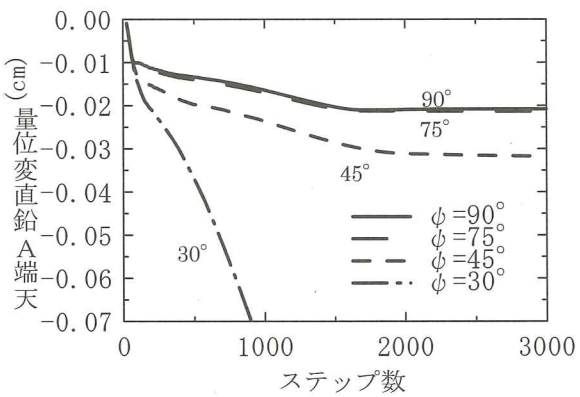


図-９ 天端変位と解析ｽﾃｯﾌﾟ数の関係
（斜めボルト効果）

比較して、ボルト軸力がやや左右非対称となっているが、天端変位量もほぼ同じく地山は安定した。図-９の収束状況からも、ϕ=90°とほぼ同じになっているのが分かる。図-７の45°の場合は、さらに、ボルトの軸力分布・変位分布が非対称形となったが、図-９から分かるように最終的には収束し地山は安定した。一方、ϕ=30°まで傾斜させると、図-８から急激に変位が大きくなり、一部のボルトに圧縮応力が発生しているなど地山が不安定しているのが分かる。さらに、図-９からも天端変位は、収束していないことが分かる。これらの結果は、実験結果の直ボルトが最も地山安定効果が高く傾斜するに従いその効果は下がる傾向と一致している。また、実験結果ではϕ=30°まで安定化し15°で不安定化したが、数値解析においても、45°から30°で急激に地山安定効果無くなる傾向が再現された。

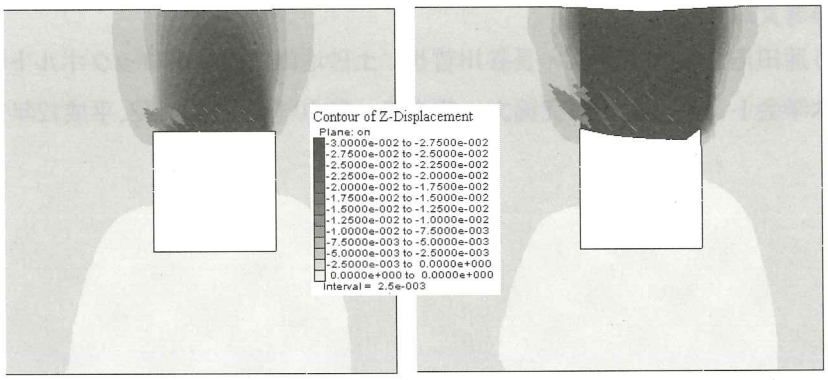


図-１０　Ｚ方向変位図（ｹｰｽ9）
(X=0cm 縦断図)

図-１１　Ｚ方向変位図（ｹｰｽ10）
(X=0cm 縦断図)

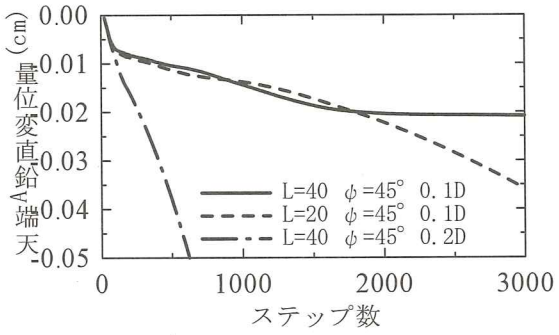


図-１２　天端変位と解析ｽﾃｯﾌﾟ数の関係
（斜めボルトの縦断ピッチ、長さの影響）

次に、ボルトの長さと縦断方向のピッチと影響を見るためケース7（L=40mm, d=0.1D, θ=0～45°, α=22.5°, ϕ=45°）のボルト長L=20mmとしたケース9および縦断方向のピッチをd=0.2Dとしたケース10（実験ケース（ｋ）に対応）を計算した。　図－１０、１１にケース9, 10の結果を示している。図-１２は、天端Ａのｚ変位量と解析ｽﾃｯﾌﾟ数の関係を示している。これらを見ると、どちらのケースも図-７のケース7の結果に比べ、天端変位が大きくなっており、さらに、図-１２からも天端変位は収束せずに発散していくことが分かる。この結果より、ボルト長を短くすること、縦断方向のピッチを広げることは、それぞれ地山を不安定化させることになることが分かり、実験結果と同様な傾向となった。

３．結論

本研究では、天端部のロックボルトに関して、トンネル進行方向の打設角度の影響を明らかにすることを目的とした三次元弾塑性解析（FDM）を実施した。その結果、天端部のみに打設された直ボルト（打設角度=９０°）の地山安定効果をｼﾐｭﾚｰｼｮﾝすることができた。さらに、解析では、側壁部にのみ打設された直ボルトでも、天端部のみの打設より効果は低いものの、地山安定効果があることが示された。また、斜めボルトに対する解析結果では、ボルトの打設角度が小さくなると地山安定効果が小さくなること、ある角度より小さくなると急激に効果が期待できなくなることなど、実験結果と同じ傾向を再現することができた。

参考文献

1)蒲田浩久・真下英人・長谷川哲也：土砂地山におけるロックボルトの効果に関する基礎的研究、(社)土木学会トンネル工学研究論文・報告集、第10巻、P147-152、平成12年11月

参考資料－８

緩み域におけるロックボルトの支保効果に関する研究

目　次

１．概要 …… 55
２．実験方法 …… 56
３．実験結果 …… 56
　３．１　土被り３Ｄの場合 …… 56
　　(1)　無対策の場合 …… 56
　　(2)　降下前打設のロックボルトの効果 …… 57
　　(3)　降下後打設のロックボルトの効果 …… 58
　３．２　土被り１Ｄの場合 …… 58
４．数値解析 …… 59
　　(1)　解析方法 …… 59
　　(2)　解析結果 …… 60
５．結論 …… 61

１．概要

ロックボルトは、新設トンネルの支保部材や既設トンネル拡幅時における天端の補強材として使用されている。その効果のメカニズム解明に関しては、これまで岩盤を対象としては多く実施され、縫い付け効果、内圧効果、アーチ効果、地山改良効果などいくつか提案されている。

新設トンネルのロックボルトは、掘削後の応力解放がある程度進んだ段階で打設される場合が多く、打設時期が遅れることによってはゆるみ域が形成されている場合があり、また、既設トンネルの改築に際しては、既に発生しているゆるみ域に打設することになるが、ロックボルトはゆるみ域内で止めた方が良いのか、ゆるみ域内を越えて安定した地山まで打設した方が良いのかが課題になる。そこで、本研究では、ボルトの打設時期の違い（ゆるみ域の有無）およびゆるみ域に打設されるロックボルトの長さが、ロックボルトの支保効果へ及ぼす影響を把握することを目的として、ボルトの打設時期を変化させた落戸実験およびその数値解析を実施した。

2．実験方法

図-1 に実験装置を示す。矩形の落戸模型（B:300×D:100×T:250(mm)）は、地山作成後にロックボルトが打設出来るよう側部に開口部を設けてある。地山材料は乾燥状態にある珪砂 4 号(γ=15.7kN/m^3)を使用し、密度が一定となるように 10cm の高さから自由落下させて作成した。ロックボルトはϕ=1.6mm のリン青銅丸棒に定着力を確保するため表面に砂を付着させたものを使用し、縦断方向 8 列（30mm 間隔）横断方向 5 列（18mm 間隔）を配置した。実験は、①地山作成直後にボルトを設置して、落戸を降下させるケース（降下前打設）②無対策状態で一旦ある程度落戸を降下させ地山にゆるみを与え、降下床を停止した状態でロックボルトを打設して、その後再度降下させるケース（降下後打設）について実施し、それぞれについて、土被り（3D, 1 D）、ボルト長さ（1.0D,1.5D,2.0D）を変化させた。

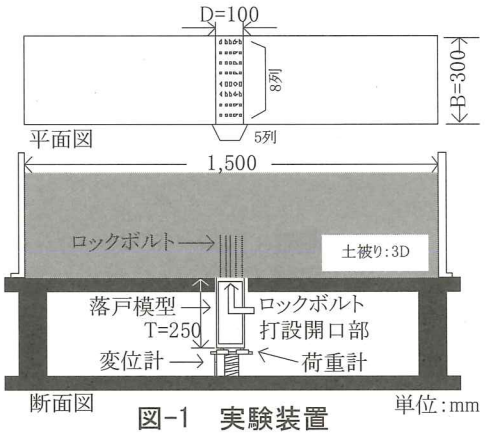


図-1　実験装置

3．実験結果

3．1．土被り3Dの場合

(1) 無対策の場合

図-2 に土被り 3D の場合の落戸降下量と落戸荷重の関係を示す。無対策での落戸模型にかかる荷重は降下開始後すぐに減少を始め、降下量約 3mm 以降はほぼ一定値となった。図-3 は降下前と 20mm 降下後の写真から読み取ったデータを基に作成した鉛直変位量等高線図(2mm ピッチ)であるが、最終形状として幅 10cm、高さ 10cm 程度の三角形の共下がり領域が確認できる。さらに、その形成過程を見てみる。図-4 は、各降下量毎の画像より求めた無対策時の落戸降下量と模型中央での各深さ(H:落戸からの距離(cm))の沈下量の関係を示す。なお、この図で直線の傾きが 45° に近いほど、地山が落戸と共下がりをしていることを意味している。地山は荷重が一定値となる降下量 4mm 付近から、落戸と共下がりしようとする領域（H=0～10cm）とアーチ効果により自立しようとする地表面側の領域（H=17.5～30cm）に分かれていくことがわかる。この分離過程により三角形が形成される。なお、ゆるみ域の定義は明確にされていないが、本報告においてはこの共下がり領域がゆるみ領域に相当するものと考えた。

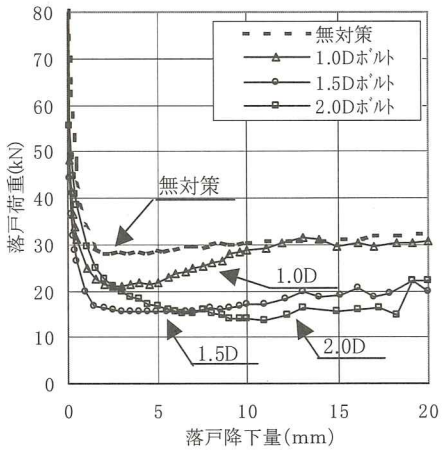


図-2　荷重降下量図
（降下前打設）

(2)降下前打設のロックボルトの効果

降下前にロックボルトを打設することで、共下がり領域ができる前に打設した場合（事前打設）のロックボルトの効果を確認した。図-2 より、1.0D ﾎﾞﾙﾄは降下量 6mm 程度までは荷重低減効果がみられるが、その後、降下量が増加すると効果は徐々に減少し、最終的には無対策と同じ荷重に戻った。一方、1.5D ﾎﾞﾙﾄは 1.0D ﾎﾞﾙﾄに比べ荷重低減効果が大きく、その後、降下量が増加してもその効果は変わらず、最終降下量 20mm までほぼ同じ荷重低減効果を示した。さらに、ボルト長を 2.0D と長くした場合でもその荷重低減効果は 1.5D ﾎﾞﾙﾄのケースと変わらない結果となっていることがわかる。この結果はロックボルトが効果的に働くための最適な長さが存在することを示している。

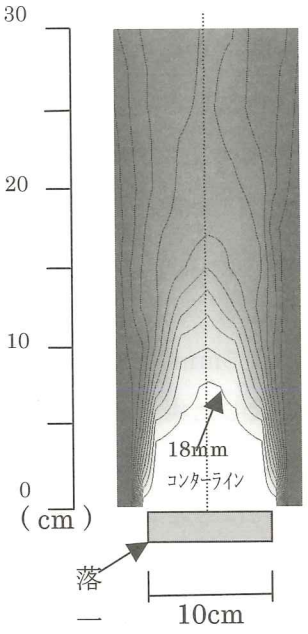


図-3　鉛直変位等高線図（無対策）
（2mm ピッチ）

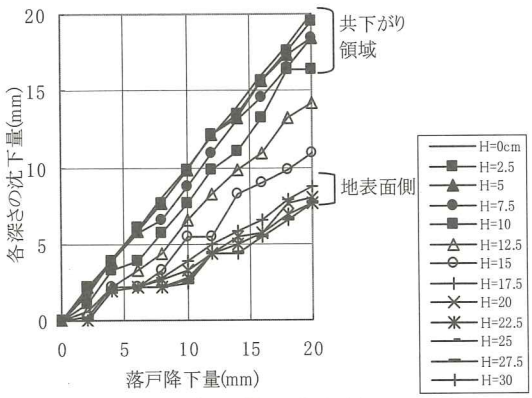


図-4　降下量－各深さの沈下量（無対策）

次にこのロックボルトの効果のメカニズムについて考えてみる。図-5 に、1.0D,1.5D,2.0D ﾎﾞﾙﾄの落戸降下量と各層沈下量の関係をそれぞれ示す。1.0D ﾎﾞﾙﾄの場合は、荷重低減効果が小さくなる降下量 6mm 付近までは地山が一体化しているが、その後、無対策（図-4）と同様に共下がり領域（高さ 12.5cm 程度）と地表面側領域に分離して行くのがわかる。一方、1.5D ﾎﾞﾙﾄ,2.0D ﾎﾞﾙﾄについては共下がり領域が形成される現象は最後までみられず、地山が一体化し、地表面まで連続的に変形していることがわかる。さらに、無対策より地表面沈下量が大きくなることも特徴的である。図-6 は、20mm 降下時の無対策,1.5D ﾎﾞﾙﾄの鉛直変位等高線図を比較したものであるが、これからもロックﾎﾞﾙﾄがある場合は、共下がり領域が無対策に比べ小さく抑えられていることがわかる。以上のように、ロックボルト

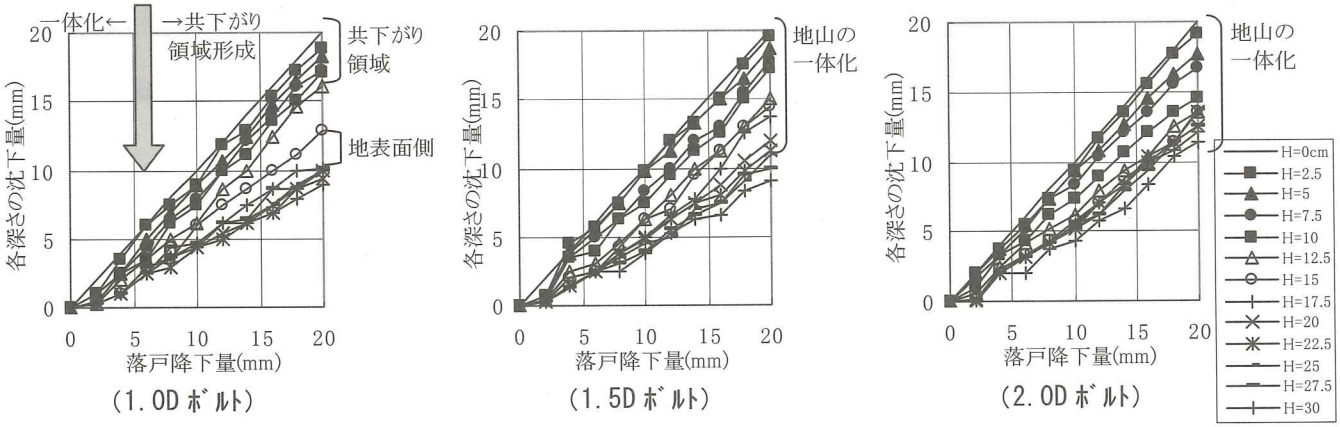


図-5　降下量－各深さの沈下量

を打設することで地山が一体化し、無対策時にくらべ共下がり領域が小さくなり、荷重低減効果が得られると考えられる。また、共下がり領域高さ程度の長さのロックボルト(1.0D)では、初期（降下量の小さい）段階では効果があるものの、降下量が大きくなると効果はなくなる。

(3)降下後打設のロックボルトの効果

無対策の場合に共下がり領域が形成される 5mm まで降下させ、共下がり領域（ゆるみ領域）に打設した場合（降下後打設）のロックボルトの効果を確認した。図-7 に落戸降下量と荷重の関係を示す。共下がり領域内にとどまる程度の長さ 1.0D についてみてみる。既に発生している共下がり領域にロックボルトを打設することにより、一度形成されたアーチ効果が破壊され荷重が上昇するが、再度降下を開始すると急激に荷重が減少し、荷重低減効果が現れた。しかし、降下前打設と比較すると降下後打設は荷重低減効果の絶対量は小さく、さらに降下量が増加すると降下前打設の曲線に重なり、荷重低減降下はなくなった。一方、共下がり領域よりも長い 1.5D ﾎﾞﾙﾄでは、降下前打設時とほぼ同程度の荷重低減効果を示した。以上のことから、共下がり領域（ゆるみ領域）が既に発生している場合は、共下がり領域よりある程度長いロックボルトを打設することで、共下がり領域ができる前に打設したロックボルトと同程度の効果が期待できることがわかった。

３．２．土被り 1D の場合

次に、土被りの影響を見るため、土被り１D の場合の降下前打設および降下後打設のボルト（ボルト長さ 1.0D）の効果の違いを検討した。図-8 に落戸降下量と荷重の関係を示す。降下前打設の傾向は、土被り 3D の 1.0D ﾎﾞﾙﾄの場合と同じであり、降下量 5mm 程度までは荷重低減効果がみられるが、その後、効果は徐々に減少し、最終的には無対策と同じ荷重に戻った。一方、降下後打設の傾向は、土被り 3D の場合と同様に降下前打設 5mm 程度以降の荷重降下量曲線に重なるが、降下前打設の場合でも降下量 5mm 程度でロックボルトの効果は減少し始めるため、ほとんど効果の現れない結果となった。以上のことは、土被りが小さ

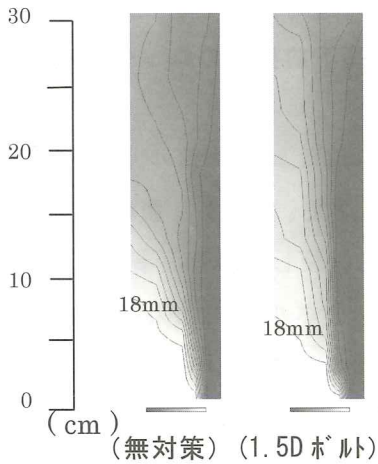


図-6　鉛直変位等高線図
(2mm ピッチ)

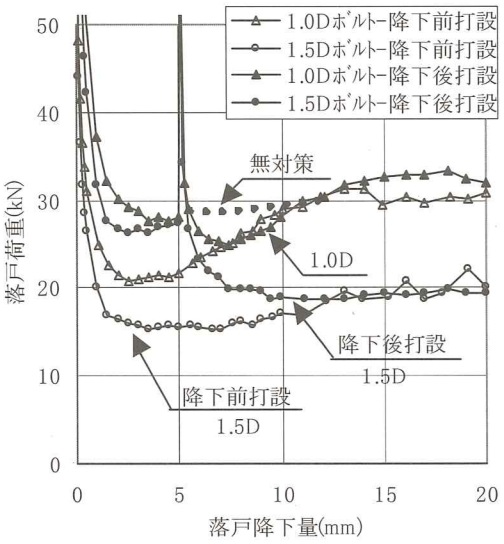


図-7　荷重降下量図
(降下後打設)

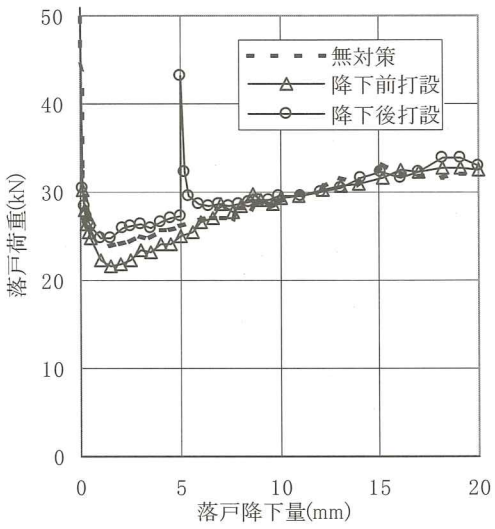


図-8　荷重降下量図
(土被り：1D)

い場合のボルトの効果は、打設時期の影響が大きく、緩ませてから打設した場合は効果がほとんど期待できないことを意味していると考えられる。これは、実際の地山では、低土被りの場合、天端部のボルトに支保効果が現れにくい場合が多いことに対応しているものと考えられる。

4．数値解析

(1)解析方法

落戸実験結果の検証をするため数値解析を実施した。解析手法として大変形・非線形性の高い現象の再現に向いている有限差分法を用いた。解析コードはFLAC2Dである。解析モデルは、実験と同じ大きさとし、図-9に示す。解析手順は実際の実験と同様に行う。①初期応力の解析を実施する②落戸に相当する部分(10cm)の支点に微小の強制変位（0.05mm）を与える。③この状態で解が収束するまで計算を行う。このステップを繰り返し、所定の降下量になるまで解析を行う。なお、各解析収束後、落戸部分の支点反力を合計し、奥行き方向の長さをかけた値が落戸荷重となる。解析定数を表-1に示す。地山構成則はモールクーロンの式を用いた。また、ボルトは軸剛性のみ働くケーブル要素を用いた。

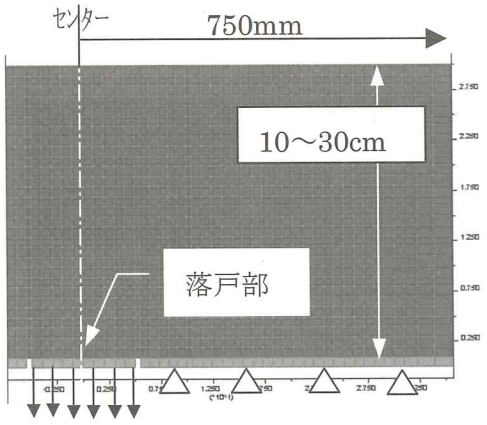


図-9　解析モデル図

表-1　解析定数

地山(モール・クーロン)	単位体積重量 γ_t	16.0
	弾性係数（Mpa）※	1
	ﾎﾟｱｿﾝ比	0.3
	粘着力 c（kPa）	0.0
	内部摩擦角 ϕ（degree）	34.5
	ﾀﾞｲﾚｲﾀﾝｼｰ ϕ（degree）	10.0
ロックボルト(ｹｰﾌﾞﾙ要素)1本当り	弾性係数 E（kN/mm^2）	117.6
	ボルト径（mm）	1.6
	面積（mm^2）	0.000201
	周長(mm)	5.03
	降伏耐力（kN）	0.402
	付着剛性 Kb (kN/m/m)	3.844E+2
	付着強度 cb (kN/m)	0.0
	摩擦角度 ϕ（degree）	34.5

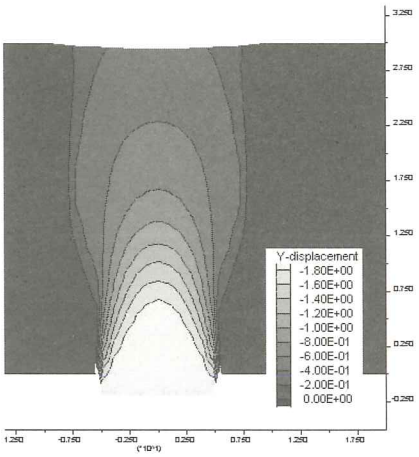


図-10　鉛直変位等高線図
（無対策）

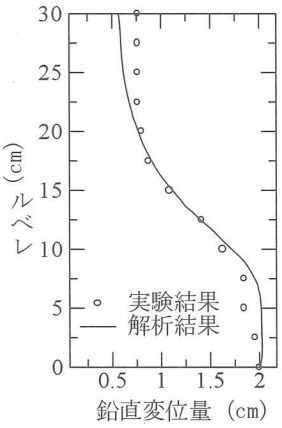


図-11　鉛直変位量図
（ｾﾝﾀｰﾗｲﾝ）

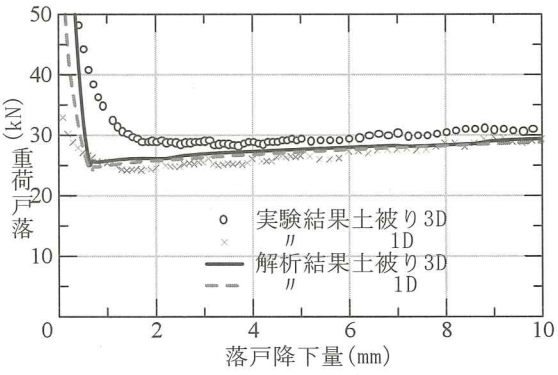


図-12　荷重降下量図
（無対策）

(2)解析結果

a)無対策

最初に土被り３Ｄの無対策時の解析を行った。図-10 に 20mm 降下時の鉛直変位等高線の結果を示す。図-3 の実験結果と比較すると、実験結果と同じように、落戸直上には三角形の共下がり領域が形成されているのが分かる。また、その形状・大きさもほぼ同じである。さらに、落戸中央の高さ方向の各レベルでの鉛直変位量の解析結果と実験結果の比較を図-11 に示すが、定量的にも良い一致を示していることが分かる。次に、図-12 に落戸荷重と降下量の関係の結果を示すが、実験結果と比較すると、最小荷重に到達するまでの降下量は解析結果の方が小さいものの、最小荷重値は良い一致を示していと言える。なお、同図には土被り 1D の結果も併記してあるが、実験結果と良い一致を示している。

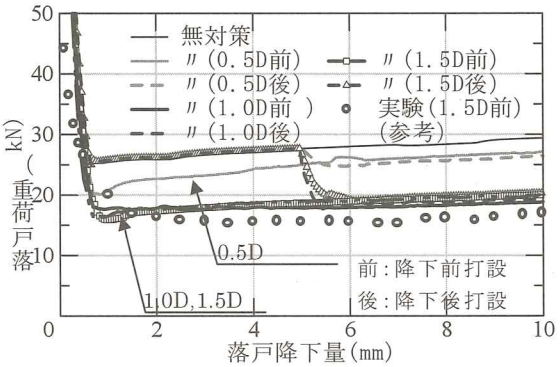


図-13　荷重降下量図
（土被り：3D）

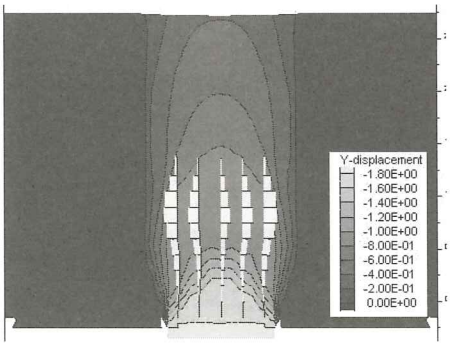


図-14　鉛直変位等高線図
（1.5D ボルト）

b)対策工（ボルトあり）

図-13 に土被り 3D でボルトを打設した場合の荷重-降下量の結果を示す。なお、ボルトの解析は落戸降下量 10mm までの結果で比較した。1.5D ﾎﾞﾙﾄの降下前打設の解析結果と実験結果を比較すると、ほぼ同程度の荷重低減効果となっているのがわかる。図-14 に鉛直変位等高線図を示すが、無対策に比べ、共下がり領域は小さく、地表面変位が大きくなっており、実験結果の傾向と一致している。次にボルト長の違いを見てみると、図-13 の 1.0D ﾎﾞﾙﾄの荷重-降下量曲線は1.5Dﾎﾞﾙﾄのものとほぼ一致し、1.0Dﾎﾞﾙﾄは1.5Dﾎﾞﾙﾄと同程度の効果となった。0.5D ﾎﾞﾙﾄの場合は、最初は効果あるものの徐々にその効果が小さくなる傾向となった。一方、実験では 1.5D ﾎﾞﾙﾄ以上の効果は同じで、1.0D ﾎﾞﾙﾄ以下の場合は荷重低減効果が持続しない結果であった。

このように、実験では1.0Dﾎﾞﾙﾄから、解析では0.5Dﾎﾞﾙﾄからと異なる結果となったが、これは地山を連続体としてモデル化しているが、実際は粒状体の地山であることの影響であると考えられる。次に、降下後打設の効果を見てみる。図-13 の降下後打設の結果を見ると、いずれのボルト長の場合も実験結果と同様に、ボルト打設後の荷重降下量曲線は降下前打設の曲線と一致する結果となり、降下後打設の荷重低減効果が確認できた。

図-15 に土被り１D の結果を示す。降下前打設の場合を見ると、実験結果より若干大きいものの荷重低減効果が確認できる。一方、降下後打設は、降下前打設に比べてさらに小さな効果しか現れていない。土被り 3D の場合と比較すると荷重低減効果の大きさが小さくなっており、さらに降下後打設の場合は、より顕著になっていることなど、実験結果と同様な傾向を示し、打設時期の違いに対する土被りの影響が大きいことが示された。なお、解析が 4mm 程度降下時に終了しているのは、この時点でボルトと地山の相対変形が大きくなり、計算が発散したためである。土被り 1D の場合は土被り 3D の場合と異なり、地表面まで大きな変形が発生するため、追随できなくなったと考えられる。降下後打設に関しても同様に 9.5mm 降下時に発散した。

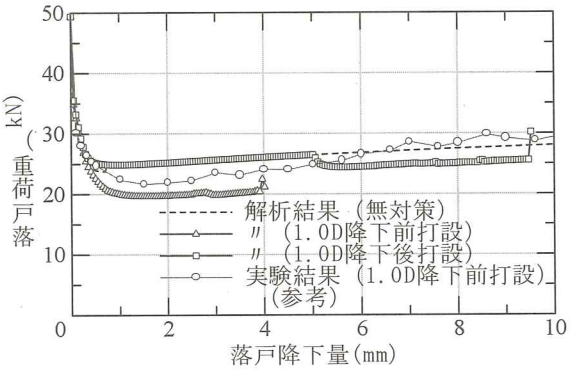


図-15　荷重降下量図
（土被り：１D）

５．結論

ボルトの打設時期の違い（ゆるみ域の有無）およびゆるみ領域に打設されるロックボルトの長さがロックボルトの支保効果へ及ぼす影響を把握することを目的として、ボルトの打設時期およびロックボルト長を変化させた落戸実験および数値解析を実施した。その結果以下の知見が得られた。

① 土被りが３D の場合は、ゆるみ域（共下がり領域）よりある程度長い（1.5D）ロックボルトを打設した場合は、ゆるみ域が形成された後に打設（降下後打設：5mm 降下時）しても、形成される前にロックボルトを打設（降下前打設）した時と同程度の支保（荷重低減）効果があることがわかった。一方、ゆるみ域高さ程度のボルト長(1.0D)では、降下前、降下後打設とも、降下量が小さい段階では支保効果は認められるが、降下量が大きくなると、最終的にどちらのケースも支保効果がほとんどなくなることがわかった。

② 土被りが 1.0D の場合は、土被り 3D に比べると荷重低減効果が小さく、特に、降下後打設ではほとんど効果がない場合があり、打設時期の影響が大きいと言える。これは、実際の新設トンネルでは、低土被りの場合、天端部のボルトに支保効果が現れにくいことに対応しているものと考えられる。

③ 有限差分法による数値解析を行ったが、無対策時、ロックボルト打設時とも実験結果の妥当性が検証できた。

④ 解析による実験結果および数値解析結果から総合的に判断すると、土砂地山のロックボルトの効果としては、地山のブロック化（地山の一体化）と考えることができる。

参考文献

1) 森本　智、真下英人、蒲田浩久：「打設時期の違いによるロックボルト効果に関する基礎的研究」、(社)土木学会トンネル工学研究論文・報告集　第12巻、P413-418、平成14年11月

参考資料－９

既設トンネルの断面拡幅時の挙動計測

目　次

１．概要 …… 63
２．現場計測の概要 …… 64
３．Ａトンネル …… 64
　３．１　トンネル概要 …… 64
　３．２　計測項目および計測方法 …… 64
　３．３　計測結果 …… 64
４．Ｂトンネル …… 65
　４．１　トンネル概要 …… 67
　４．２　計測項目および計測方法 …… 67
　４．３　計測結果 …… 67
５．Ｃトンネル …… 69
　５．１　トンネル概要 …… 69
　５．２　計測項目および計測方法 …… 69
　５．３　計測結果 …… 69
６．Ｄトンネル …… 70
　６．１　トンネル概要 …… 70
　６．２　計測項目および計測方法 …… 70
　６．３　計測結果 …… 70
７．まとめ …… 71

１．概要

断面拡幅・改築時のトンネルの支保構造は、新設トンネルの設計方法に準拠して新設トンネルと同規模の支保構造を採用している場合が多いものの、特に明確な設計方法がないのが現状である。そのため、既設トンネルが存在することによる先進導坑としての効果や既設トンネル掘削によるトンネル周辺部の緩み域の存在などを考慮した、より合理的な断面拡幅・改築用のトンネル支保構造の設計方法が求められている。

ここでは、断面拡幅・改築を行うトンネルの支保構造の設計方法の確立に必要となる基礎的なデータを収集することを目的として、断面拡幅を行ったトンネルにおいて、既設トンネルの変形・覆工のひずみ、拡幅トンネルの支保部材に作用する応力等の計測を行ったので、計測の概要とその結果について述べる。

2．現場計測の概要

現場計測は表-１に示す４本のトンネルで実施した。いずれも既設トンネルの断面拡幅工事であり、Ａ～Ｃトンネルでは車両を通しながらの活線施工である。Ａ・Ｂトンネルは、断面拡幅掘削時の既設覆工への影響把握のため覆工表面ひずみ、天端および内空変位測定を、また、拡幅トンネルの支保構造の挙動を把握するための鋼ｱｰﾁ支保工応力、吹付けコンクリート応力ならびにロックボルト軸力の計測を行った。さらにＢトンネルにおいては、一部側壁部に斜めにロックボルトを打設した区間での計測を実施し、斜め打設の影響を把握した。さらに、Ｃ・Ｄトンネルは事前補強として断面拡幅掘削前に打設したロックボルトについて、その効果を確認するためのロックボルト軸力測定を行った。以下、各トンネルについてトンネル概要、計測項目および方法、計測結果を示す。

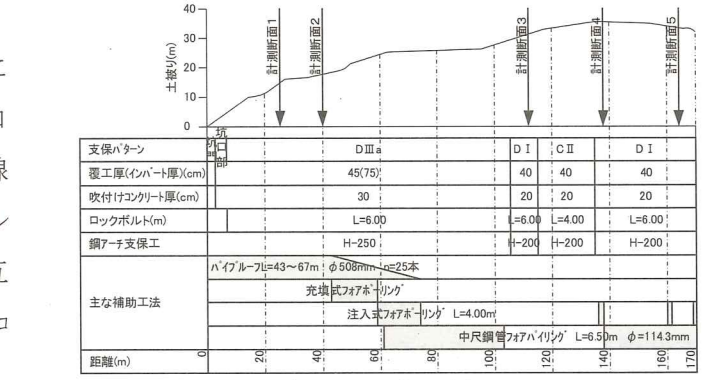
表-１　計測トンネル一覧

トンネル名		Aトンネル	Bトンネル	Cトンネル	Dトンネル
既設トンネル工法		在来工法 1973年供用	在来工法 1950年供用	在来工法 1962年供用	在来工法 1938年供用
延長(m)		975.0	115.5	146.0	81.9
内空幅(m)		9.8	6.0	6.0	6.0
内空高さ(m)		6.3	4.9	5.0	5.1
覆工厚(cm)		50～70	30	35	30
拡幅トンネル工法		NATM	NATM	NATM	NATM
延長(m)		170	120	146	102
内空幅(m)		15.6	12.5	9.75	12.5
内空高さ(m)		8.0	7.0	7.1	7.0
覆工厚(cm)		45,40	30,35	30	30,35
主な地質		砂岩、頁岩、凝灰岩 互層	泥岩	安山岩	シルト質泥岩
地山強度(N/mm2)		16～30	1～9	13,150	4～10
最大土被り(m)		約38	約38	約42	約30
掘削方式		機械掘削	機械掘削	爆破掘削	機械掘削
計測項目	既設覆工側の計測	覆工のひずみ 天端沈下 内空変位	天端沈下 内空変位	－	－
	新設覆工側の計測	鋼ｱｰﾁ支保工応力 吹付けｺﾝｸﾘｰﾄ応力 ロックボルト軸力	鋼ｱｰﾁ支保工応力 吹付けｺﾝｸﾘｰﾄ応力 ロックボルト軸力	－	－
	事前ロックボルトの計測	－	－	ロックボルト軸力	ロックボルト軸力

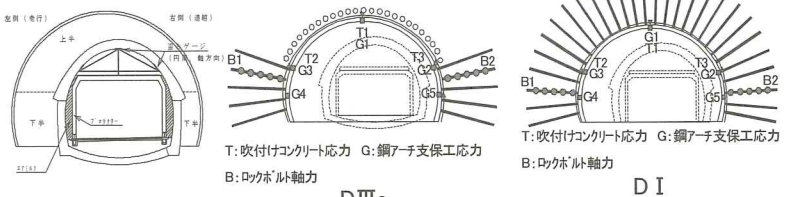
3．Ａトンネル

3．１　トンネル概要

Ａトンネルは、1973 年に在来工法によって施工されたトンネルであり、坑口部 170m 区間を現在の２車線から３車線に断面を拡幅するものである。トンネル周辺の地質は、砂岩、頁岩、凝灰岩の互層からなる。坑口 150m 付近のﾎﾞｰﾘﾝｸﾞｺｱによる地山の圧縮強度は約 16～30N/mm² が得られている。なお、拡幅トンネルの支保構造は、新設トンネルの ３ 車線断面に適用される標準支保ﾊﾟﾀｰﾝに準拠して決定された。



(a) Ａトンネル縦断図



(b) トンネル断　　(c) 拡幅計測断面図

図-１　Ａトンネルの計測概要図

3．２　計測項目および計測方法

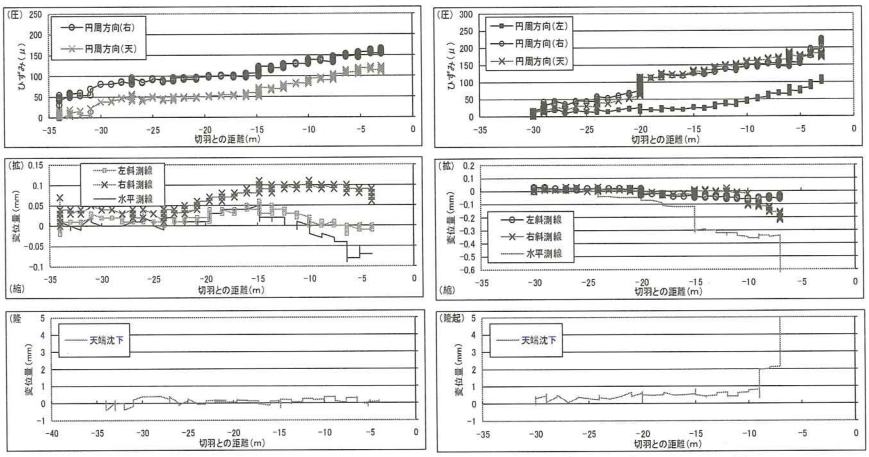
Ａトンネルの既設覆工の計測は、図-１(a)に示す計測断面 4, 5 において図-１(b)に示すようにﾌﾟﾛﾃｸﾀ上部の空間を利用して天端付近およびｱｰﾁ肩部にひずみｹﾞｰｼﾞを貼付し、覆工のひずみを計測するとともに、壁面間の２点間距離を変位計により４測線の内空変位、天端沈下計測を行った。一方、拡幅トンネルの支保構造の計測は、計測

断面 1～4 において図-１（c）に示す各点で鋼ｱｰﾁ支保工応力、吹付けコンクリート応力ならびにロックボルト軸力を行った。

３．３　計測結果

（１）既設覆工の計測結果

計測断面 4 と計測断面 5 の切羽の進行に伴う既設覆工コンクリートの円周方向のひずみ、内空変位量、天端沈下を図-２に示す。



(a) 計測断面 4　　(b) 計測断面 5

図-２　既設覆工の計測結果

計測断面 4 では、覆工コンクリートの円周方向のひずみは切羽が 30m(2D、D:拡幅後のトンネル幅)程度で一旦増加し、さらに 15m（1D）程度まで近づくと再び増加傾向を示す。内空変位は 25m（1.5D）程度まで切羽が近づくと水平測線および左･右斜測線の変位が、円周方向のひずみの変化に対応して変化し、切羽が 15m(1D)程度まで近づくと、それまで拡大傾向にあった内空変位が全体的に収縮側に変化しており、掘削による影響が現れている。ただし、天端沈下の変化は認められない。計測断面 5 では、覆工コンクリートの円周方向のひずみは、切羽が 25m(1.5D)程度まで近づくと顕著な増加傾向を示し、さらに切羽が 3m 程度まで近づくと急激な増加を示す。内空変位は、25m 程度まで切羽が近づくと水平測線および左･右斜測線の変位が縮小側へ変化し、切羽が 10m(0.6D)程度近づくと天端沈下が地山側へ隆起する方向へ変化している。

（２）拡幅トンネルの支保構造の計測結果

１）天端変位および内空変位

図-３に天端変位および内空変位の最終値を示す。坑口付近の計測断面 1、2 は、土被りが 20m 程度以下と薄く、内空変位はそれほど大きくないものの天端変位は大きく、沈下卓越型の変状を示した。この区間は、建設当初より地質が悪く、天端上部にゆるみ域が確認されたため、当初設計よりﾊﾟｲﾌﾟﾙｰﾌ工法を採用したＤⅢa 区間であった。一方、坑口より 100m以上の　距離にある計測断面 3、4 は、長さ 6.5mの注入式中尺鋼管ﾌｫｱﾎﾟｰﾘﾝｸﾞを採用したＤＩ区間であったが、天端沈下および内空変位ともに 10mm 以内であり、ＤＩ区間としては比較的変位が小さい結果となった。

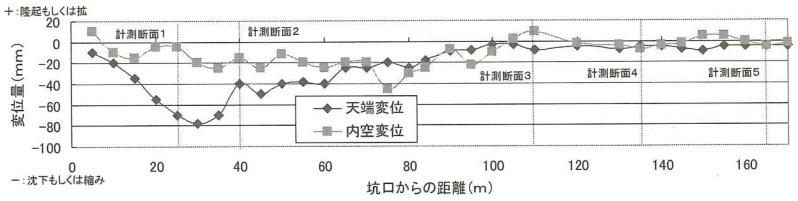


図-３　天端沈下および内空変位結果

２）鋼ｱｰﾁ支保工応力および吹付けコンクリート応力

図-４、５に計測断面 3 の鋼ｱｰﾁ支保工応力および吹付けコンクリート応力の経時変化を示す。それぞれ天端の測点を除き、支保建込み後、徐々に応力が増加するものの下半掘削の影響により一旦低下

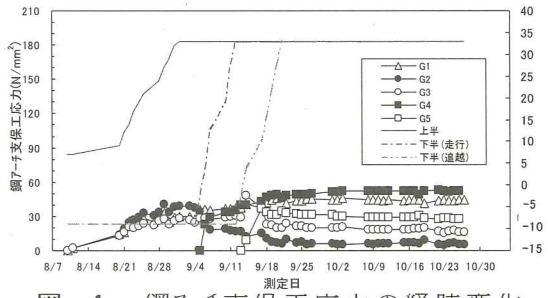


図-４　鋼ｱｰﾁ支保工応力の経時変化
(計測断面 3)

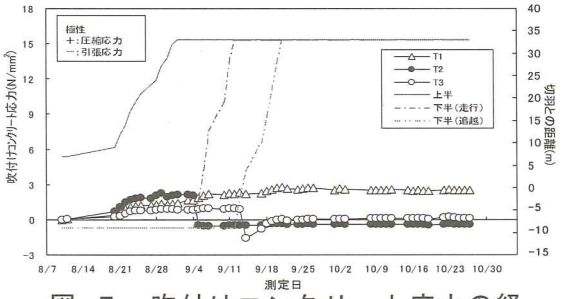


図-５　吹付けコンクリート応力の経時変化

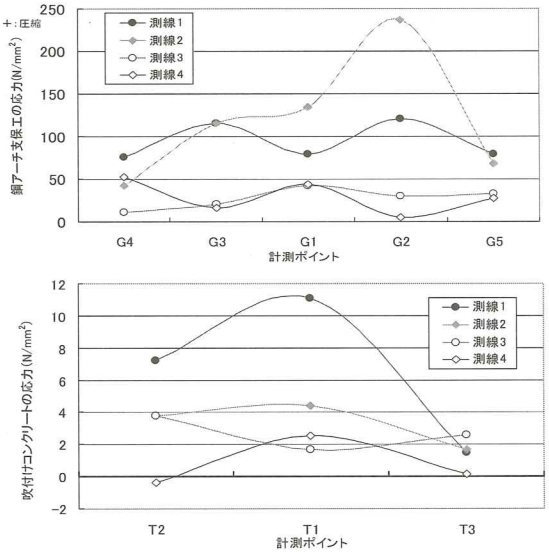


図-６　各支保部材の最終値

し、その後、再び増加する傾向を示す。ただし、増加後のそれぞれの支保に発生する応力はともに小さい。他の計測断面でも経時変化の挙動はほぼ同様であった。図-６に各支保の収束したと考えられる最終値を示す。鋼ｱｰﾁ支保工応力は、土被りが 20m 程度以下と薄い計測断面 1、2 の一部の測点では約 240N/mm² 程度と比較的大きな応力となっている。土被り 30m程度以上の計測断面 3、4 では支保ﾊﾟﾀｰﾝはともにＤＩであるが、一部の測点で最大約 60N/mm² の応力となっているものの、全体的に見れば 20～30N/mm2 の応力と比較的小さい。吹付けコンクリート応力も土被りの薄い地点で約 10N/mm2 を超える部分があるが、他は 4N/mm² 以下と小さい。

３）ロックボルト軸力

図-７にロックボルト軸力を示す。鋼ｱｰﾁ支保工応力、吹付けコンクリート応力が大きい計測断面 2 では、B2 のボルト中央部で最大軸力 120kN 程度が発生している。しかし、計測断面４のロックボルト軸力はいずれも壁面近傍で最大 60ｋＮ以下と小さい。

以上より、土被りが薄い部分で鋼ｱｰﾁ支保工応力、吹付けコンクリート応力の一部が高くなる場合があるが、ある程度の土被り以上の場合には、各支保の応力は小さく、また、ロックボルト軸力も小さいことから、支保構造の規模としては耐力に十分余裕があるといえる。

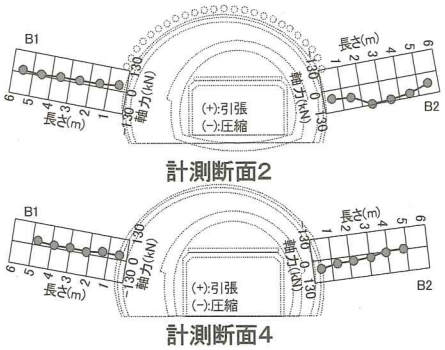


図-７　ロックボルト軸力

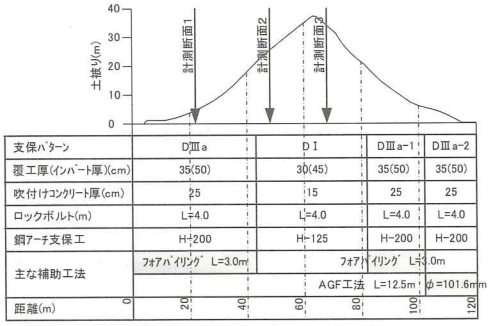
４．Ｂトンネル

４．１　トンネル概要

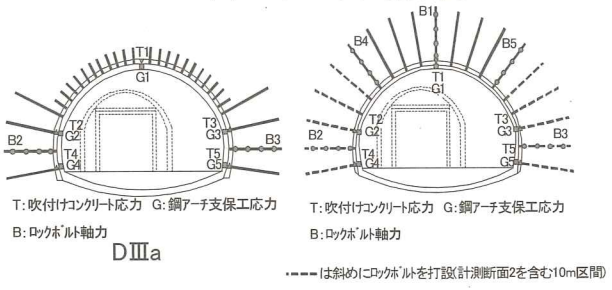
Ｂトンネルは、1950 年に在来工法によって施工された幅員 6m 程度の狭隘断面のトンネルであり、大型車のすれ違いが困難なことから、断面を拡幅するものである。トンネル周辺の地質は、塊状の泥岩が主体であり、全体的に弱風化となっている。ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞｺｱによる地山の圧縮強度は 1～9N/mm² が得られている。

４．２　計測項目および計測方法

Ｂトンネルの既設覆工の計測は、図-８に示す計測断面 1、2 の 2 地点でﾌﾟﾛﾃｸﾀ上部の空間を利用して天端沈下、内空変位の計測を実施した。拡幅トンネルの支保構造の計測は、坑口部ＤⅢa 区間の計測断面 1、支保ﾊﾟﾀｰﾝＤＩ区間の計測断面 2、3 の各断面で鋼ｱｰﾁ支保工応力、吹付けコンクリート応力ならびにロックボルト軸力の計測実施した。計測断面 2 では試験的に計測断面をほぼ中心としてトンネル延長方向 10m の区間に両側壁部 5 本のロックボルトを通常のロックボルトと同じ材質・長さのボルトを斜め前方 45 度に打設し、計測断面 3 との比較を行った。施工手順は、上半掘削、下半左掘削、下半右掘削、下半左下掘削、下半右下掘削の順に実施した。



(a) Ｂトンネル縦断図



(b) 計測断面図　ＤＩ

図-８　Ｂトンネルの計測概要図

４．３　計測結果

（１）既設覆工側の計測結果

既設覆工の天端沈下の測定結果を図-９に示す。両計測断面での天端沈下はともに 0.5mm 以内と非常に小さい。また、内空変位も 0.2mm 以内と非常に小さい値であった。本計測結果からは拡幅トンネルの切羽の進行に伴う顕著な変化は認められなかった。

（２）拡幅トンネルの支保構造の計測結果

１）天端変位および内空変位

拡幅トンネルの天端沈下、内空変位を図-９に示す。天端沈下量は、坑口部ＤⅢa およびトンネル中央付近の支保ﾊﾟﾀｰﾝＤＩ区間においても最大約 20mm 以内と小さい。内空変位は、計測位置により異なり、計測断面 1 でほぼゼロ、計測断面 2 で地山側へ、計測断面 3 で内空側へそれぞれ変化した。

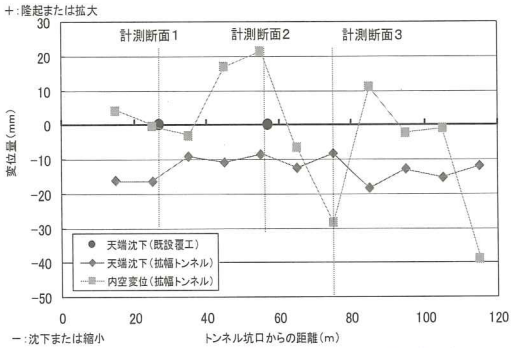
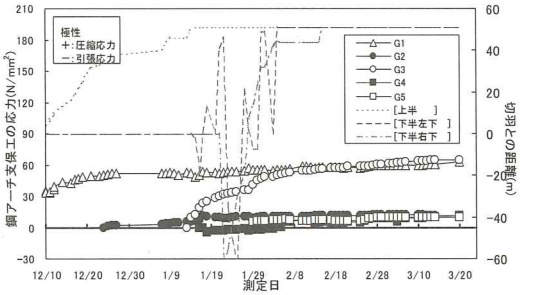
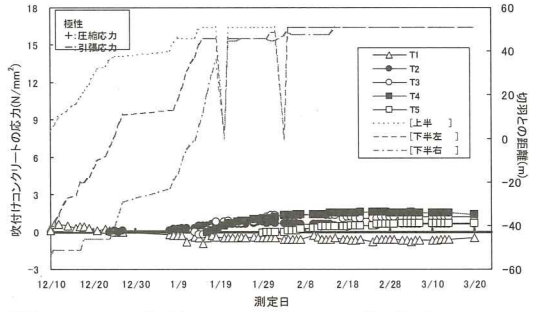


図-９　天端沈下および内空変位

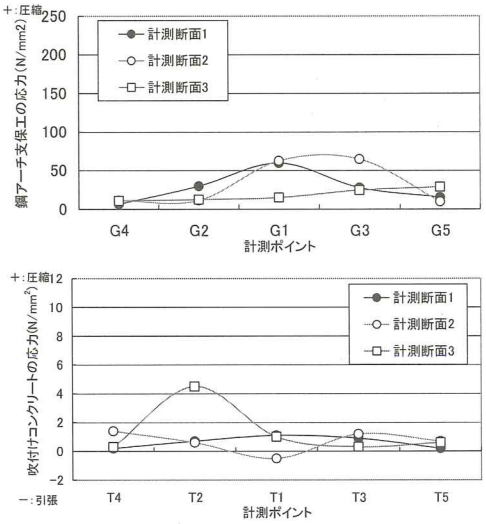
２）鋼ｱｰﾁ支保工応力および吹付けコンクリート応力



図−１０　鋼ｱｰﾁ支保工応力の経時変化（計測断面 2）

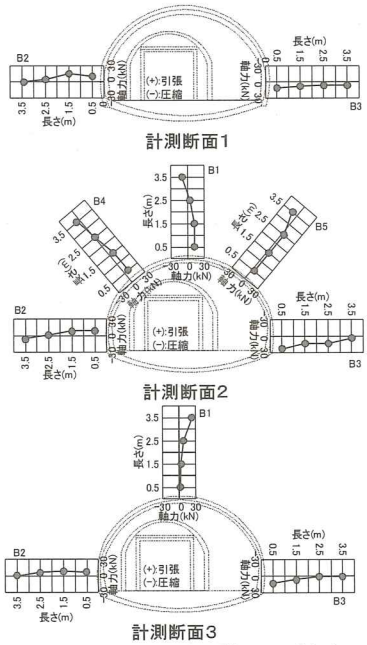


図−１１　吹付けコンクリート応力の経時変化（計測断面 2）



図−１２　各支保部材の最終値

図-１０、１１に計測断面 2 の鋼ｱｰﾁ支保工応力および吹付けコンクリート応力の経時変化を示す。鋼ｱｰﾁ支保工応力は、切羽の進行に伴って増加する傾向を示し、特に G1 および G3 の応力が高くなっている。一方、吹付けコンクリート応力は、2N/mm² 以下と全体的に小さく、切羽進行に伴う掘削による顕著な変化は認められない。図-１２に各支保の収束したと考えられる最終値を示す。図より、鋼ｱｰﾁ支保工応力は、土被り約 10m 以下の計測断面 1 と土被り約 30m の計測断面 3 では、それぞれ最大で約 60N/mm²、約 30N/mm² と土被りの小さい計測断面 1 が大きい。また、斜めにロックボルトを打設した区間の計測断面 2 の応力は坑口付近と同程度となり若干計測断面 3 より大きいが、支保耐力に対して十分余裕のある範囲に収まっている。また、吹付けコンクリート応力についても最大で約 4N/mm² 程度と小さく、各支保部材には大きな荷重は作用していないものと考えられる。



図−１３　ロックボルト軸力

３）ロックボルト軸力

図-１３に収束したと考えられる計測断面 1〜3 のロックボルトの軸力分布を示す。軸力は全ての計測断面ともに引張側で最大 20kN 程度と極めて小さい値を示しており、側壁部については打設角度による顕著な差は認められない。

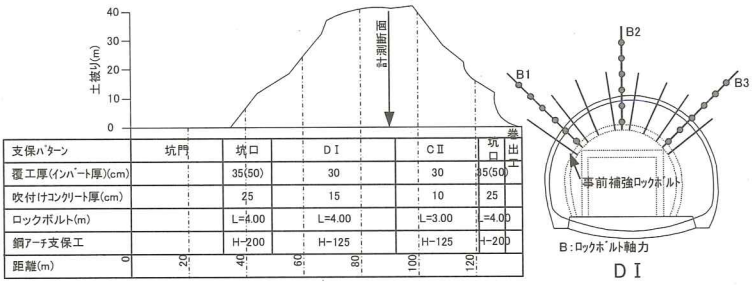
以上より、側壁部のロックボルトを斜めに打設した場合でも、鋼ｱｰﾁ支保工応力に一部で高い値が発生したものの支保部材の耐力に対して十分余裕のある状態であり、ロックボルトの軸力も壁面に垂直

に打設した場合と斜めに打設した場合とで顕著な差が認められないことから、本トンネル条件下では側壁部の一部を斜めに打設してもその影響は小さいものと考えられる。

５．Ｃトンネル

５．１　トンネルの概要

Ｃトンネルは、1962 年に在来工法によって施工された幅員 6m 程度の狭隘断面のトンネルであり、大型車のすれ違いが困難なことから断面を拡幅するものである。トンネル周辺の地質は、安山岩を主体とした地山の圧縮強度が平均 150N/mm² 程度の塊状であり、地山の一部に平均 13N/mm² 程度の破砕・風化部が介在している。



(a) トンネル縦断図　　(b) 計測断面図

図-１４　Ｃトンネルの計測概要図

５．２　計測項目および計測方法

Ｃトンネルでは、図-１４に示すように掘削前に天端部に補強目的で全線に渡り長さ 3m の FRP 製のロックボルトを打設した。ロックボルトの軸力は、計測断面のみに打設した長さ 6m の３本のロックボルトに対して測定した。計測断面は、ほぼ中央の位置で実施した。なお、施工は既設トンネルの舗装および路盤採石を全線に渡り撤去した後に、トンネルの拡幅掘削を実施した。

５．３　計測結果

図-１５に路盤掘削からトンネル掘削によりロックボルトが切断されるまでの天端（B2)のロックボルト軸力の経時変化を示す。図から、路盤掘削とともにすべてのロックボルトで引張力が発生している。これは、路盤掘削により覆工が下方に変形したことに対応したものと考えられる。一方、トンネル拡幅掘削時はほぼ全体に切羽が近づくに伴い圧縮力が発生した。軸力分布から、路盤掘削にともないトンネル周辺 2～3mまで 60～70ｋN と比較的大きな引張軸力が発生している。図-１６は、天端のボルトのトンネル拡幅による影響を見るため、天端のボルト(B2)についてトンネル拡幅前のデータを基準（軸力=0）として、切羽との距離で整理するとともに、トンネル拡幅前および計測断面におけるトンネル拡幅直前時のロックボルトの軸力分布を示す。切羽との影響を詳しく見ると、切羽が 10m（1D)程度の接近した段階から軸力に有意な変化が見られ、圧縮力が

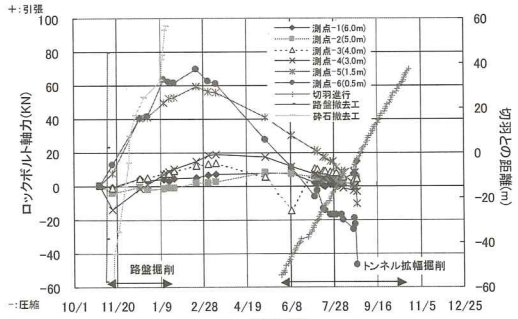


図-１５　拡幅時のロックボルト軸力変化(B2)

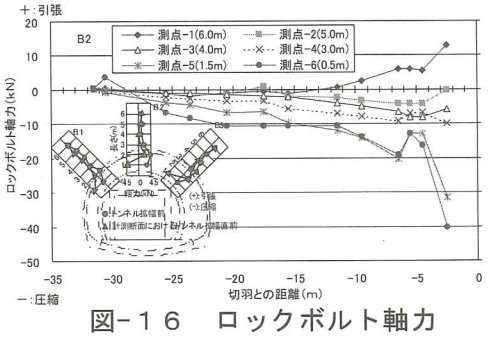


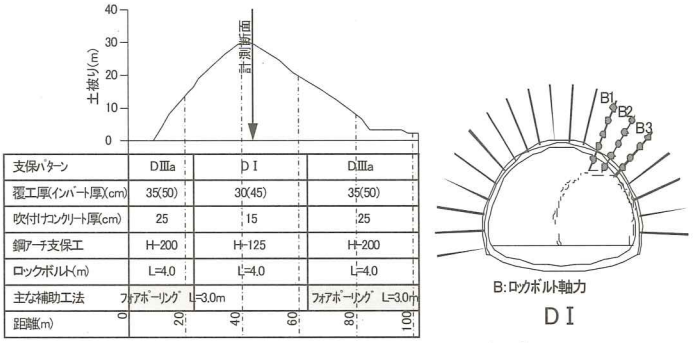
図-１６　ロックボルト軸力

増加している。さらに、2.5m（0.25D）程度からはその変化は急激に増加し、拡幅に伴う既設トンネルの影響範囲としては1D程度と考えられる。また、ロックボルトの軸力分布図から、トンネル拡幅時に切羽接近に伴いトンネル周辺3m程度まで圧縮力が発生し、トンネル壁面近傍が最大となっているのが特徴的である。

６．Ｄトンネル

６．１　トンネルの概要

Ｄトンネルは、1938 年に在来工法によって施工された幅員6m程度の狭隘断面のトンネルであり、大型車のすれ違いが困難なことから、トンネル拡幅するものである。トンネル周辺の地質は、塊状の泥岩が主体であり、全体的に弱風化となっている。ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞｺｱによる地山の圧縮強度は4～10N/mm²が得られている。



(a)トンネル縦断図　　(b)計測断面図

図-１７　Ｄトンネルの計測概要図

６．２　計測項目および計測方法

計測は図-１７に示すようにトンネルの中央付近の支保ﾊﾟﾀｰﾝＤⅠ区間10mに事前に３本のロックボルトの打設を行い、ほぼ中間の１断面で既設トンネルの拡幅掘削時におけるロックボルトの挙動計測を行った。なお、事前に打設したロックボルトは、削孔径φ50mmの全面接着方式の自穿孔ロックボルトであり、拡幅トンネルのﾊﾟﾀｰﾝボルトの一部として使用するため、拡幅掘削に伴い切羽が到達した段階で拡幅断面掘削部分のロックボルトの一部を一時的に切断して計測を継続した。

６．３　計測結果

図-１８にロックボルト(B2)の切羽の進行に伴う経時変化と切羽通過直前および収束したと考えられるロックボルト軸力分布を示す。図より、当初は切羽の進行に伴って大きな軸力の変化は認められないが、その後、切羽通過後に引張軸力が増加し 10～20m 程度切羽が通過後にある一定の値に収束している。この軸力の変化は、事前にロックボルトを打設することで、切羽掘削時に天端から肩部にかけて地山掘削に伴う地山の変形を抑制する効果などが期待できることを示しているものと考えられる。なお、本トンネルの拡幅掘削時の内空変位は、最大で約5mm程度と非常に小さい結果であった。ロックボルトの軸力は深度3.36m付近（ボルト切断後はトンネル壁から1.5m）で最大値を示した。他の２本のロックボルトの切羽進行時の経時変化もほぼ同様であり、また、各ロックボルトとも最終的に最大でも20kNと非常に小さい軸力しか発生していない。

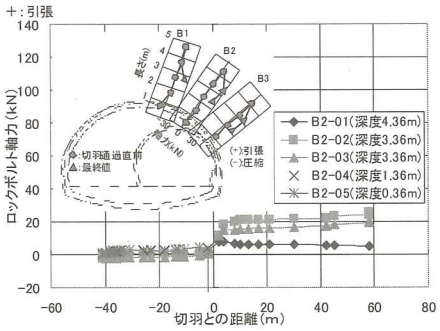


図-１８　ロックボルト軸力

7．まとめ

断面拡大を実施した４本のトンネルにおける現場計測結果から、次のことが明らかとなった。

(1) 断面拡幅による既設トンネルへの影響範囲は、最大でも切羽前方 1.5D～2D 程度までである。

(2) 断面拡幅トンネルの鋼ｱｰﾁ支保工、吹付けコンクリートに発生する応力は、土被りが薄い坑口部等で一部高くなる場合があるが、ある程度の土被り以上の場合は比較的小さい。

(3) 断面拡幅トンネルのロックボルトに発生する軸力は小さい。また、側壁部にロックボルトを斜めに打設した場合とトンネル壁面に打設した場合との顕著な差は認められない。

(4) 断面拡幅前に補強目的で事前にロックボルトを打設した場合、切羽掘削時に天端から肩部にかけて地山の変形抑制の効果が期待できる。

参考文献

１）石村利明、真下英人、森本智：既設トンネルの断面拡大時の挙動計測，（社）土木学会第 33 回岩盤力学に関するシンポジウム，平成 16 年１月