

活線改築による道路トンネルの施工

Widening construction while keeping one-lane line under use

鈴木雅行¹・今川敬行²・古川浩司²・安田善一³・福島一也⁴

Masayuki SUZUKI, Takayuki IMAGAWA, Koji FURUKAWA, Zenichi TASUDA and Kazuya FIKUSHIMA

¹フェロー会員 博士(工学) ハザマ 技術第二部(〒105-8479 東京都港区虎ノ門二丁目2-5)

E-mail:suzukim@hazama.co.jp

²正会員 ハザマ 関東支店 土木部(〒105-8479 東京都港区虎ノ門二丁目2-5)

³千葉県 君津地域整備センター上総出張所 (〒292-0421 千葉県君津市久留里市場473-9号)

⁴飛島建設株式会社 九州支店土木部工事課(〒810-0044 福岡市中央区六本松三丁目11-28)

The FUDAGOU tunnel construction is the road tunnel of the prefectural highway number 81 line which is located in the place between mountains department of the Chiba Pref. south. This tunnel of existing is a tunnel the Shogi style of the element digging that was made in 1992. Until the present, this tunnel of existing has been done for the attendant as 1 lane tunnel of one side alternate traffic.

This paper is the one that I explained about the construction work that enlarges it to 2 lane tunnels the small section tunnel of existing without stopping the traffic vehicle. It is the one that gave execution to 2 lane section tunnels from 1 lane section tunnel, after steelwork protector for the traffic vehicle protection are established into the small section tunnel of existing.

Key Words : mountains tunnel, width digging, steelwork vehicle protection frame, NATM

1. まえがき

近年、老朽化したトンネルのリニューアルを目的として、従来の狭小断面トンネルを拡幅する工事が計画され、特に、交通切り回しが困難な場合は活線施工を余儀なくされるケースが見られる。その場合には、極力交通止め期間を短くした活線施工が求められる。今回施工した札郷(ふだごう)トンネルは、千葉県中央部に位置する県道 81 号線(市原天津小湊線)の山間部に位置する延長 146m の道路トンネルである(図-1 参照)。既設の札郷ずい道は、明治 35 年に竣工した素掘りの将棋型トンネルであり、吹付けモルタル等による維持補修を繰り返しながら、片側交互通行の 1 車線トンネル(交通規制幅 3.0m、同高 3.0m)として現在まで供用されてきた(写真-1 参照)。

本トンネルについては、地元生活道路(現交通量:約 1,030 台/日)として必需路線であり、行楽シーズンにおける交通渋滞の緩和、ならびに現状通行不可能な観光バスなど大型車両の通行を確

保する目的で、対面 2 車線トンネルとして計画された。特に、トンネル周辺には迂回路が無く、周辺の大学演習林に対する環境影響も考慮し、現道を活かした車両防護設備(以下、プロテクターと呼ぶ)による既設狭小断面の活線拡幅を行なった事例について報告するものである。

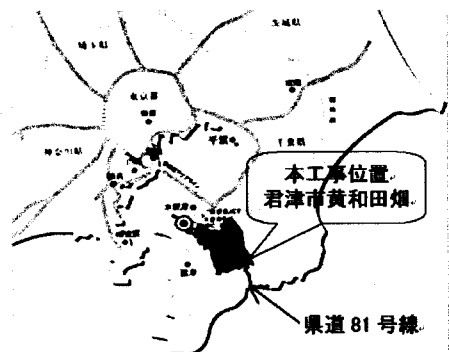
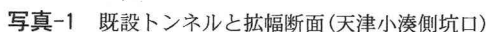


図-1 位置図



本工事の工事概要を以下に示す。

拡幅工) 工事

施工場所：千葉県君津市黄和田畑

工事内容：トンネル延長 L=146m

(既設トンネル L=136m)

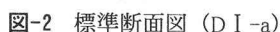
内空断面積 $A=54.5\text{m}^2$

プロテクター工 L=168m

トンネル施工法

上下半交互併進ショートベンチカット工法

機械掘削方式, タイヤ運搬方式

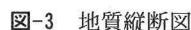


工事箇所 の地形は、清澄山系に属し急峻な地形を呈している。図-3 に示したように、両坑口とも急峻な斜面で、トンネル上部の地形は切り立っており、最大土被りは60m程度となっている。

本トンネルの掘削対象地山は、新第三紀鮮新世の安房層群清澄層であり、古海底扇状地堆積物で

あると推定されている。事前調査結果によると、砂岩・泥岩互層で泥岩の割合は1割程度である。トンネル区間においては、一部の小破碎帯を除いて地層の走向傾斜は変化が少なく一定で、連続性のある地山となっている。地山の一軸圧縮強度は4.5MPa程度であり、比較的自立性の良い地山であると判断された。以上の事前調査結果から、本トンネル支保パターンはトンネル中央部がCⅡ-aが主体で、坑口部でDパターンが採用されている。

ただし、既設トンネルの側壁面で実施された坑内弾性波探査結果では、トンネル壁面から最大1.8m程度の領域で弾性波速度が $V_p=0.9\sim 1.3\text{km/s}$ 、これ以奥の領域では弾性波速度が $V_p=1.5\sim 2.0\text{km/s}$ となっており、既設トンネル周辺には既設トンネルの掘削およびそれ以後に生じたと推定される地山の風化により生じたと考えられる緩み領域が存在することがわかった。また、供用中の既設トンネルの吹付けモルタル面には断層破砕帯箇所において網目状の亀裂箇所があり、遊離石灰なども確認された。



(1) 狭隘な既設トンネル内でのプロテクター工

既設トンネルは1車線交互通行のトンネルで狭隘なことから、鋼製門型プロテクターの坑内組立ては不可能な状況であった。また、詳細測量の結果、既設トンネルの内空断面や道路勾配が不均一なため、プロテクター設置に必要な内空確保にも懸念が生じた。

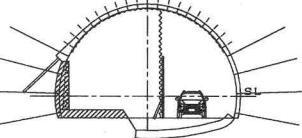
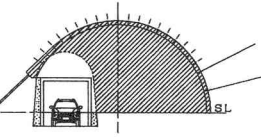
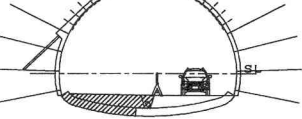
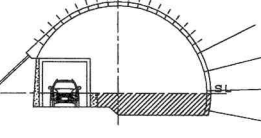
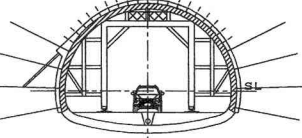
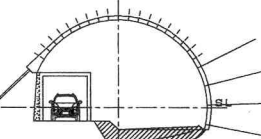
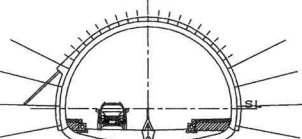
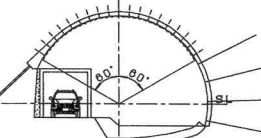
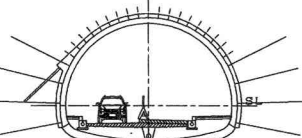
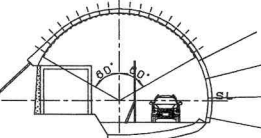
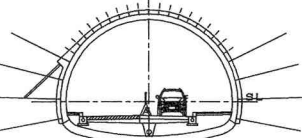
① 準備工 プロテクター設置 モルタル充填 坑口押さえ盛土（17E19F） （夜間通行止め） 	準備工 既設トンネル調査の実施。 ・トンネル破損状況 ・事前内空断面測量 ・事前調査掘削 ・既設7F8移設 プロテクター工 ・夜間通行止めに伴って既設トンネル内にプロテクターを設置する。 モルタル充填 ・プロテクターと地山間の空隙間詰処理。	⑦ 左側壁部掘削・支保 	左側壁掘削 ・プロテクター撤去後の左側壁（間詰モルタルおよび仮設受け含む）の掘削を行う。 ・施工箇所には防護ネットを行い一般車への飛び石および粉じんを防護した。
② 上半掘削・支保 	上半掘削 ・一般車をプロテクター内に通しながらツインヘッダーによるトンネル掘削作業を行う。 ・左側壁部は、既設トンネル壁を利用した上半閉鎖となる。そのため、左側壁側はフットバイルによる脚部補強を行う。 ・ロックボルトは、左側壁部を除いて打設する。	⑧ 左側インバート工 （掘削、コンクリート打設、埋戻し） 中央排水工 （一般車両は片側通行） 	左側インバート工 ・左側インバートの施工を行う。 インバート掘削法には仮設受けを實施し一般車路防護を行った。
③ 下半右側掘削・支保 	下半掘削 ・上半同様施工を行う。プロテクター脚部付近の余堀に注意する。	⑨ 覆工防水工 覆工コンクリート工 坑門工 	防水シート工、補強鉄筋工 ・シート台車による防水シート作業を行う。一般車の切り廻しはシート台車の下を通過させる。 覆工 ・覆工コンクリートおよび坑門作業を行う。 ・一般車の切り廻しはセントル下方を通行させた。換コンや湧き水等が一般車にからまないよう鉄板浴槽と防水シートの2重防護で対応した。
④ 右側インバート工 （掘削、コンクリート打設、埋戻し） 	インバート工（右側） ・当初施工手順を変更し、プロテクター供用期間延長および切り廻し回数を減らすため、当初左半断面インバート先行を右側断面先行に変更した。（FE解析および坑内計測結果） ・一般車をプロテクター内に通しながらインバート作業を行う。 ・施工ジョイントは機械式継ぎ手を使用した。	⑩ 路側排水工、側帯部舗装工 （一般車両は片側通行） 	路側排水工 ・次工程の舗装作業における切回し道路を考慮した作業スペースを確保できる事を確認のうえ、両サイドを先行して施工する手順を変更する。工後の短縮。
⑤ 仮設防水工 	仮設防水工 ・厚さ0.3mmの緩衝材無しの防水シートを上120度設置する。 プロテクター撤去後の受け面に対し、一般車両への浮石・湧水等の防護処理。	⑪ 右側舗装工、路盤工 （一般車両は片側通行） 	舗装工（右側） ・舗装工についても分断施工を実施し、右側断面を先行して施工する。作業スペースが狭い中で機械施工によるコンクリート作業を行った。
⑥ プロテクター撤出 （夜間通行止め） 	坑内切回し道路整備 ・防護網の設置、仮設道路の整備を行い、一般車路の切り廻しを行う。 プロテクター撤去 ・夜間通行止めに伴って移動式架台を使用し、プロテクターをブロック荷にプラントへ仮搬送。プラントで解体および撤出を行う。	⑫ 左側舗装工 （一般車両は片側通行）  完 成	舗装工（左側） ・舗装工についても分断施工を実施し、右側断面を先行して施工する。作業スペースが狭い中で機械施工によるコンクリート作業を行った。 完 了

図-4 全体施工フロー

また、坑内作業においては一般車両の通行止めが夜間に限られるため、プロテクター組立ての施工性を向上させる対策が必要であった。

(2) 活線拡幅における断面分割施工

トンネル拡幅掘削にあたり、プロテクターが拡幅断面の片側に位置していることから、活線拡幅にあたって、掘削、支保工、インバートおよび舗装に至るまで、一般通行車路を切回しながらトンネル掘削を行わねばならなかった。このため、拡幅トンネル施工中の地山およびトンネル支保工の安定性を事前に十分検討する必要があった。

5. 全体施工フロー

本工事の全体施工フローを図-4 に示す。①夜間通行止めによるプロテクター設置後に、②上半掘削、③下半右側の掘削を経て、④右側インバート工（掘削、コンクリート打設、埋戻し）を施工する。次に、一般通行車路を切り回すため、⑤仮設防水シートを施工し、⑥夜間通行止めにてプロテクターを搬出、拡幅断面右側に一般通行車路を確保したのち、⑦左側壁部の掘削、⑧左側インバートおよび中央排水を施工する。この後に、セントル下一般車両を通行させながら、⑨覆工防水工・覆工コンクリート工・坑門工を施工し、⑩路側排水工・側帯部舗装工を施工。その後、左右に一般通行車路を切り回しながら、⑪⑫でコンクリート舗装を左右2分割で施工し、完成に至る施工手順を採用した。

6. プロテクター工

(1) プロテクターの構造

プロテクターの内空寸法については、関係機関と協議した結果、既設トンネルの交通規制幅として、内空幅 3.0m、高さ 3.0m内に設置可能で、緊急車両である消防車が通行可能な断面として、プロテクターの内空寸法は幅 2.72m、高さ 2.80mと設定された。また、プロテクターの断面形状は、上半鋼製支保工の建込み、および、上半左脚部のフットパイル打設による作業がプロテクター上で発生するため、門型を採用した。プロテクターの構造としては、トンネル掘削時のずりや落下や施工機械の接触などを考慮して、50cm 角の岩塊が高さ 2.0mから落下した場合の衝撃に耐え得る構造条件で設計を行った（図-5 参照）。以上から、プロテクターの構造は、H 型鋼（H-200×200）で構成された門型に外周全面を鋼板で覆った構造とした。

(2) 準備工

既設トンネルは非常に狭隘でかつ不均一な内空断面であったことから、プロテクターを設置するに当り、プロテクターの外寸法および坑内搬入、組立て

時の施工クリアランス等を事前に調査する必要があった。そのため、トンネル全長にわたり所要の精度が確保でき測定時間の短いノンプリズムによる3次元計測により既設トンネルの内空断面計測を行った。その結果、必要内空が確保されていない部分が全長の約 60%を占めることが判明した。このため、プロテクター設置に先立ち、21:00～5:00 までの夜間通行止めにてプロテクター設置のため事前掘削を行い、プロテクターが設置可能な断面に拡幅した（写真-2、図-6）。事前掘削では、プロテクター運搬に必要な最低クリアランスを 20cm として、掘削範囲を決定した。本作業には3週間程度を費やした。

(3) プロテクターの設置

既設トンネルは狭隘なことから、プロテクター設置の際に作業員がプロテクターの外周側から組立て作業をすることが不可能であった。このため、プロテクター内側からの施工方法について検討し、特殊ジャッキを装備した 11t ダンプトラックにより坑外で仮組みしたプロテクターを坑内に搬入し、組立てることとした。

a) プロテクターの基礎工

プロテクターの設置に際し、脚部を固定し安定させるために、プロテクターの搬入に先立ちトンネル縦断方向にH型鋼による基礎の施工を行なった。施工は夜間通行止めにて施工したが、狭隘な既設トンネル内に一般通行車路を確保しなければならないことから、左右片側ずつの施工とした。限られた作業スペースおよび作業時間の中で、掘削から設置までの所要期間は2週間程度となった。

b) プロテクターの製作

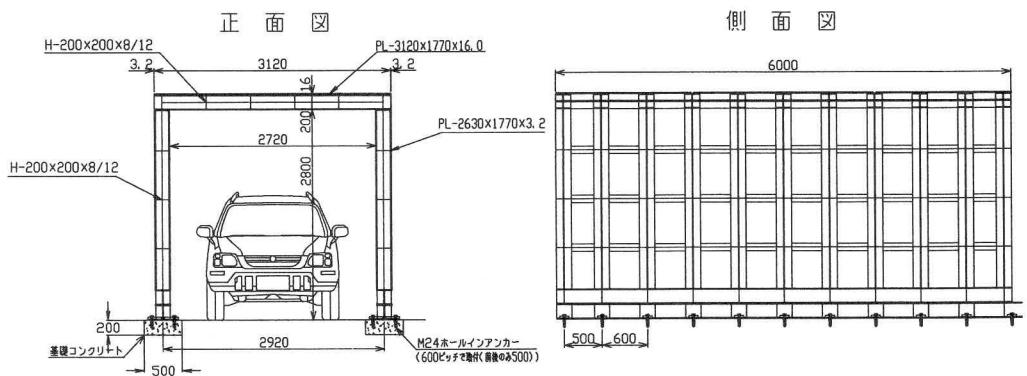
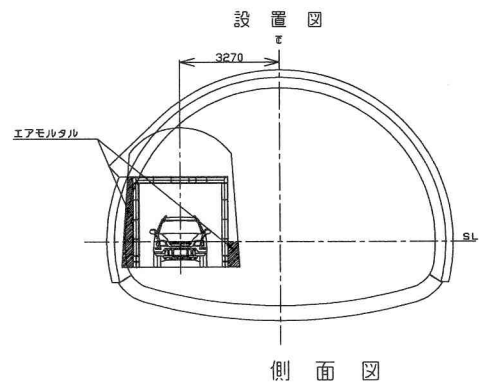
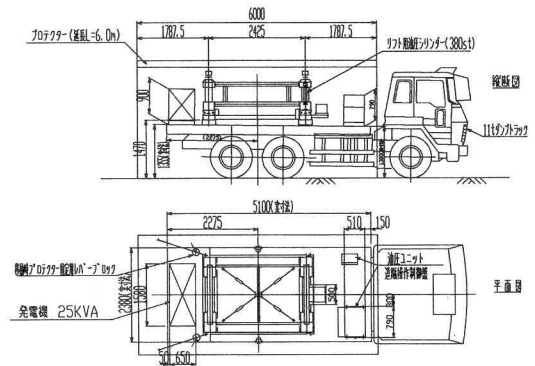
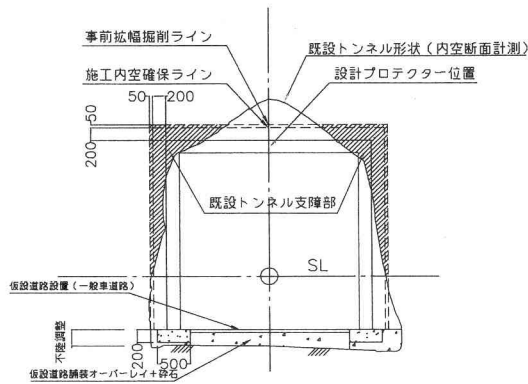
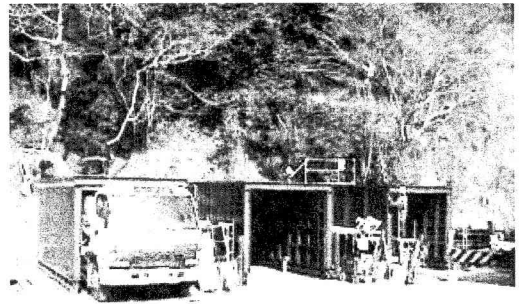
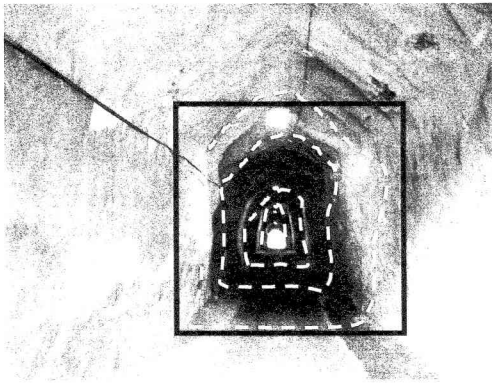
坑外仮設ヤードにおけるプロテクターの仮組立作業の効率化を図るため、工場でプロテクターを天井板1ピース、側壁板2ピースの3ピースに分割して製作し、これを仮設ヤードに搬入した。プロテクター製作の所要期間は28ブロック（L=6m/ブロック）で1ヶ月であった。

c) プロテクターの坑内仮組立て

プロテクター設置の坑内作業をできるだけ少なくするため、仮設ヤード内でプロテクターの仮組立作業を行った。仮組立ては1ブロック6m単位で行い、1日あたりのプロテクター設置ブロック数を考慮して、3ブロックのストックを可能とする仮組立ヤードを確保した（写真-3）。

d) プロテクターの設置

プロテクターの坑内への運搬・設置に際しては、特殊ジャッキを装備した 11t ダンプトラックにより、坑外にて仮組立したプロテクターを坑内へ搬入し、設置を行った（図-7、写真-4）。仮組立ヤードから坑内までの運搬路は、重量物の運搬に対し円滑な走行ができるように仮設舗装を行った。本施工方法に



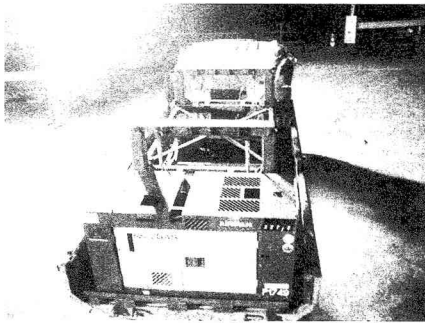


写真-4 プロテクター搬送装置



写真-6 プロテクター設置完了（起点側）

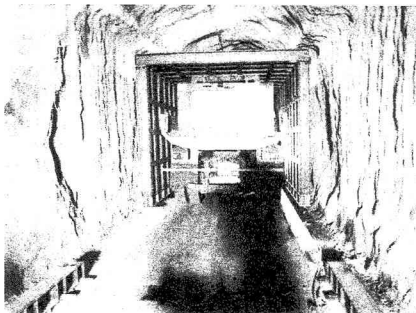


写真-5 プロテクター設置状況

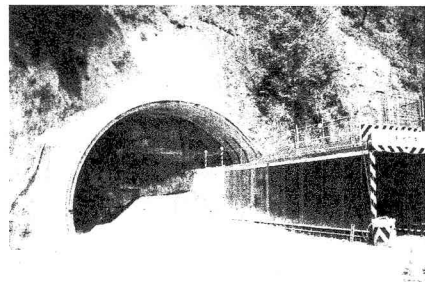


写真-7 プロテクター設置完了（終点側）

表-1 プロテクター施工サイクル

プロテクター施工日数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
プロテクター仮組立 【仮設ヤード昼間作業】	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
ブロック数/日	1	1	3	3	3	3	4	4	3	3					
プロテクター搬入設置 【坑内夜間作業】			■	■	■	■	■	■	■	■	■				
ブロック数/日			2	3	3	3	3	4	4	3	3				
間詰処理 (エアモルタル打設) 【坑内夜間作業】												■	■	■	■
ブロックジョイント止水処理 (溶接・止水テープ処理) 【坑内夜間作業】											■	■	■	■	■
交通規制 (21:00～5:00 夜間通行止め)		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

より、プロテクター設置時間が短縮でき、効率のよい施工が可能となった（写真-5～7 参照）。

e) プロテクターの止水処理

プロテクターと地山の隙間は、拡幅断面の脚部補強およびプロテクターの滑動防止のため、エアモルタルを打設する必要がある。このため、プロテクターのジョイント部に、溶接および止水テープによる止水処理を全線に施した。これにより、ロックボルトおよびフットパイルなどの施工時において、穿孔水がプロテクター内部（一般通行車路）に漏水することなく施工することができた。

(4) プロテクターの施工サイクル

プロテクターは、21:00～5:00までの夜間通行止めにて1日最大4ブロックの設置が可能となり、全

ブロックの設置日数は10日であった（表-1）。ただし、準備工から止水処理までの総所要期間は、合わせて2.5ヶ月を要した。

7. 活線拡幅における断面分割施工

(1) トンネル掘削工

トンネルの拡幅掘削にあたって、まず右側断面の上下半掘削は、プロテクター内に一般通行車路を確保して施工を行い、その後左側側壁部は、プロテクター撤去後に一般通行車路を拡幅断面右側に確保して、間詰モルタルの撤去と同時に左側の下半掘削を行った（図-8）。

トンネル掘削時の切羽観察から、既設トンネルの周辺地山は全般的に風化が進んでいたものの、

10cm 程度の吹付けモルタルの支保工により全体的に自立していた。さらに、坑口部を除き湧水のない砂岩優勢の良好な地山が続いた。拡幅掘削においては、ツインヘッドによる切削土がプロテクター上でクッション材の役割を果たし（写真-8）、掘削によるプロテクターの損傷、変形および滑動などではなく、プロテクターの組立てボルトの緩みも見受けられなかった。

(2) プロテクター上部狭隘部の上半脚部補強対策

図-9 に示すように、本トンネルでは、左側の上半支保工脚部の支持力不足が懸念された。よって、小断層部を含む両坑口のDⅢ-a およびDⅠ-a 区間において、上半支保工脚部支持力の補強を目的としてウイングリブとフットパイルを施工した（図-9、写真-9 参照）。

フットパイルは、穿孔角度と打設用機械の関係上プロテクター上部での作業となるため、軽量かつ小型のスキッド型ロータリーパーカッションドリルにより施工を行った。フットパイルは鋼管径 $\phi 114.3\text{mm}$ 、杭長 3.0m、縦断方向打設ピッチ 1m で、セメント系急硬化混和材による限定加圧注入方式を採用した。フットパイル施工箇所の天端沈下量と内空変位量は小さく、脚部補強の効果が十分発揮できた。

(3) 解析による施工手順の安定性確認

トンネル拡幅掘削に際して、左側壁部の掘削前に、右側インバートを掘削することになるため、トンネル構造が一時的に不安定になることが懸念された。このため、掘削手順を考慮した二次元 FEM を用いた非線形弾性解析により、施工手順の安全性を確認することとした。解析の結果、表-2 に示すように、特に大きな変形は発生せず、鋼製支保工およびフットパイルの発生応力も許容応力度内であることが確認された。

以上の検討結果から、トンネル施工時の安全性が確保できることを確認し、インバートの先行施工を実施した（写真-10）。

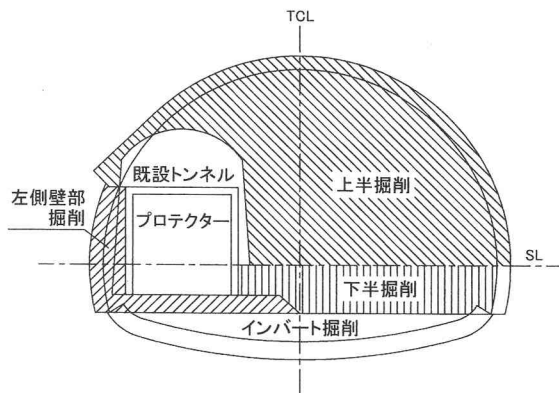


図-8 加背割り図

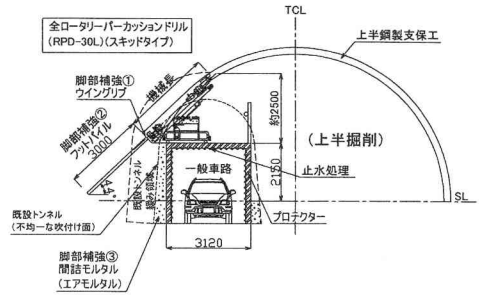


図-9 上半支保工左脚部補強対策図

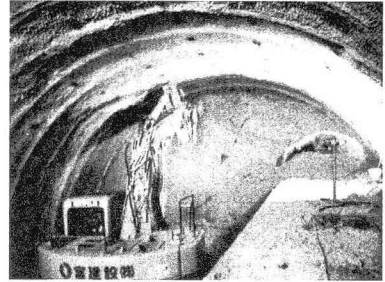


写真-8 ツインヘッドによる掘削状況

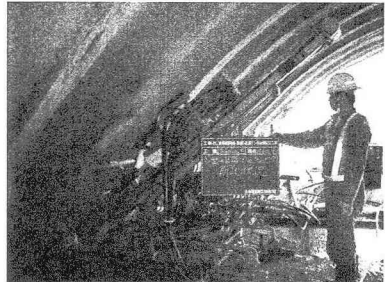


写真-9 フットパイル施工状況

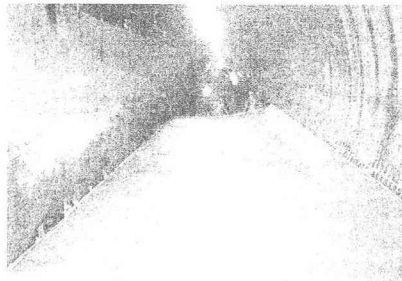


写真-10 右側インバート施工状況



写真-11 チェックバー

8. 一般通行車両に対する安全対策

本工事は、トンネル断面内で一般通行車路を切り回しながらの施工となる活線拡幅工事であり、一般通行車両に対する種々の安全対策を施した。

プロテクターの設置に際しては、高さ制限を一般通行車両に警告するチェックバーをトンネルの起点側と終点側に設置した（写真-11）。また、防水シートおよび覆工コンクリートの施工時には、シート台車・セントル台車の下を一般車両が通行するため、台車の下部に鉄板溶接および防水シートによる2重防護を施した（写真-12）。

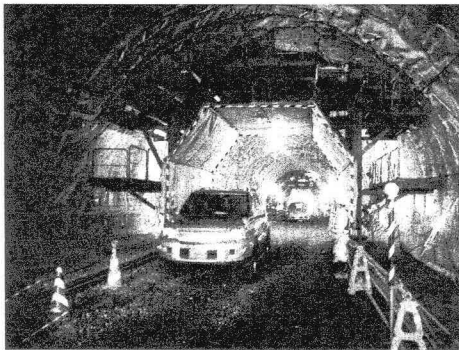


写真-12 シート台車・セントル台車

9. あとがき

活線改築の特徴であるプロテクターの設置にあたって、既設トンネルが狭隘でかつ不均一な内空断面であったことから、既設トンネルの事前掘削等の準備工に、予想以上の期間を要した。

全体実施工程については、プロテクター設置後の拡幅掘削において、砂岩優勢層の良好な地山が続いたことに加え、施工中の地山およびトンネル安定性の検討により、インバートの施工時期をトンネル全体の下半掘削完了後に実施する当初設計に対し、右側のインバートを先行施工することで断面分割の施工手順を変更し、当初工程を1.5ヶ月短縮することができた（表-3）。

最後に、本トンネルの施工に際して、多くの方にご多大なるご指導ご支援を頂いた。本紙面を借りて謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 鈴木雅行，今川敬行，安田善一：狭小断面道路トンネルにおける活線拡幅の施工，VI-035，土木学会第60回年次学術講演会概要集

表-2 FEM 解析結果による最大変位量の比較と実測結果

検討ケース	地表面沈下量 (トンネル直上) [mm]	トンネル 天端沈下量 [mm]	内空変位量 (S.L) [mm]	内空変位量 (脚部) [mm]
解析結果	2.9	4.6	1.6	1.0
実計測結果	1.8	5.0	1.8	0.9

表-3 全体実施工程

工種	平成15年			平成16年												平成17年		
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
1.準備工																		
2.仮設備工																		
3.プロテクター製作・設置				L=168m 夜間通行止め				撤出 夜間通行止め										
4.トンネル工事 (1)坑口処理工 (2)トンネル掘削工 (3)インバート工 (4)坑門工 (5)トンネル覆工 (6)中央排水工 (7)路側排水工							L=146m		L=86m	終点側	起点側							
									L=146m		L=144.6m							
													L=146m					
5.舗装工														L=146m	養生			
6.明かり工事（法面工）													98m ²					
7.片付け																		