

1車線を確保した活線下でのトンネル拡幅事例

本住武司・高橋裕之

1. はじめに

千葉県館山市を起点として木更津市に至る国道127号のうち、南房総市富浦から富津市湊間は、東京湾に沿って海と山に挟まれた狭隘な地形の中を通過する（図-1）ため、多くのトンネルがある。これらのトンネルは昭和10～20年代に緊急整備されたもので、内空幅が6m程度しかなく、大型車のすれ違いが困難であり、円滑な交通の妨げになっているばかりか、歩行者や自転車の通行が危険な状況にある。加えて、古いものでは供用後約80年が経過し、老朽化が進んでいる。関東地方整備局千葉国道事務所では、こうした状況に対応するため、順次トンネルの改良工事を進めている。本報文では、1車線の通行を確保した活線下でトンネルを拡幅した坂下トンネル工事^{1),2),3)}において、得られた課題をもとに、活線下でのトンネル拡幅工事の施工性の向上について考察する。

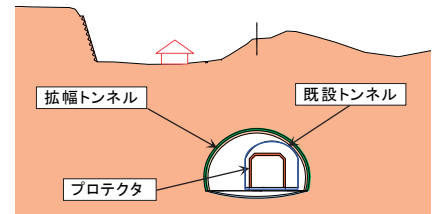


図-2 トンネル拡幅断面図

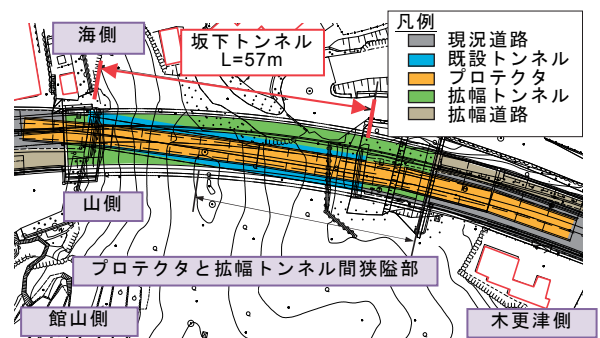


図-3 坂下トンネル平面図



図-1 施工位置図

に挟まれた立地のため、迂回路は山を越えたルートとなり、通行止めによる迂回には数倍の時間がかかる。そのため、通行車両の防護に鋼製のプロテクタを使用して工事中も一般車両の通行を確保する活線施工とし、通行止めによる影響を最小限に抑える施工を行った。

2.2 地形及び地質概要

坂下トンネルは、木更津側から斜面直交型で進入し、最大土被りは約25mである。地山は第三紀層砂質泥岩、泥岩、砂岩互層の各岩石が分布するL（軟質岩）層状岩盤で、圧縮強度は2～3MPa程度である（図-4）。

2. 坂下トンネル

2.1 坂下トンネルの概要

延長57mの坂下トンネルは、沿線の中で周辺に住宅地が多く、トンネル上部には不動尊や住宅があるため、開削工法ではなくNATMによる拡幅を採用した（図-2、図-3）。地域住民のライフラインでもある国道は通行量が多く、また、海と山

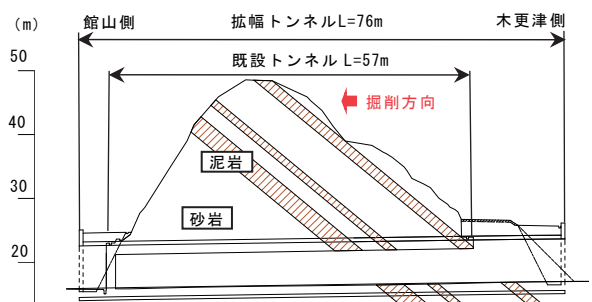


図-4 坂下トンネル全体図

2.3 プロテクタによる通行車両の防護

プロテクタの内空断面は、大型車両一台が通行できる幅 4m、高さ 4m とした。現場での組立工程を短縮するため、工場であらかじめ運搬可能な大きさのユニット型のパネルに加工しておき、現場に近接した作業ヤードにおいて、トレーラで運搬可能な 6m スパンごとに組み立てた。プロテクタの設置時は、夜間通行止めをして、低床トレーラの荷台に設置した専用の運搬架台で、プロテクタをジャッキアップしてトンネル内に運搬し、ジャッキダウン後に固定した（図-5）。プロテクタの構造は、65kW 級ロードヘッダの荷重 (=20tf) を上載荷重として決定した。既設トンネルとプロテクタの間は、エアモルタルを充填して安定を確保した。

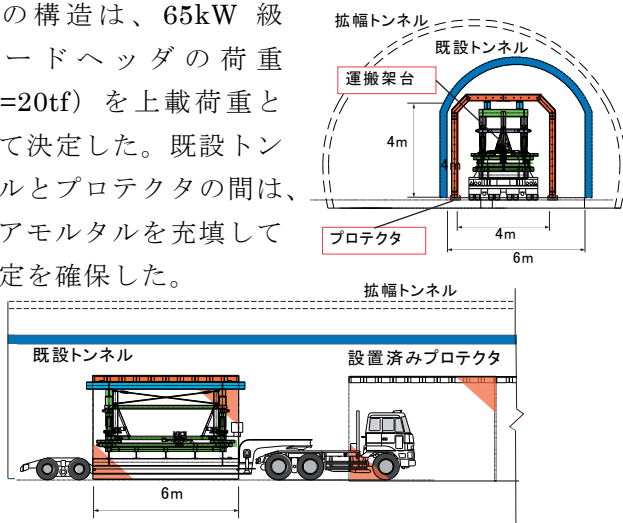


図-5 プロテクタの運搬・設置

2.4 トンネル断面形状と支保パターン

トンネル断面形状と支保パターンを図-6に示す。支保パターンは、トンネル全線で土被りが2D(D：拡幅トンネル掘削幅)以下であったため、DIII aパターンとした。坑口部は切羽の肌落ちが発生したため、注入式フォアポーリングを実施した。掘削の加背割を上半、中半（海側、山側）、下半（海側、山側）に区分して施工機械の選定を行った。

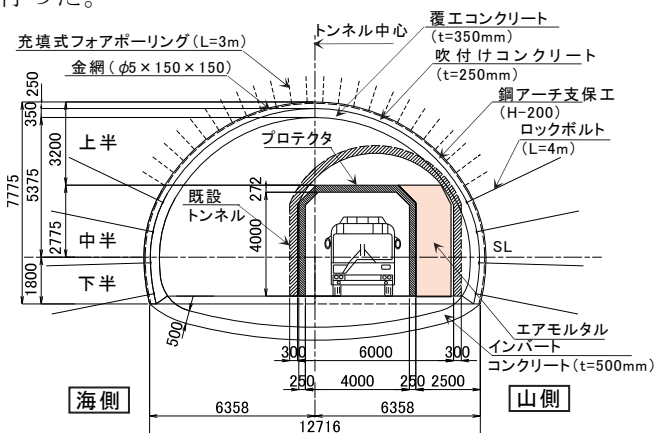


図-6 トンネル断面形状と支保パターン

2.5 ロックボルトの部分的な先行打設

通常、トンネル掘削時に左右のロックボルトを打設するが、プロテクタと拡幅トンネル間の狭隘部では、打設作業のスペースを確保できなかったため、プロテクタ設置前の夜間通行止め期間内にロックボルトを先行打設し、掘削時に切断、定着させた（図-7）。

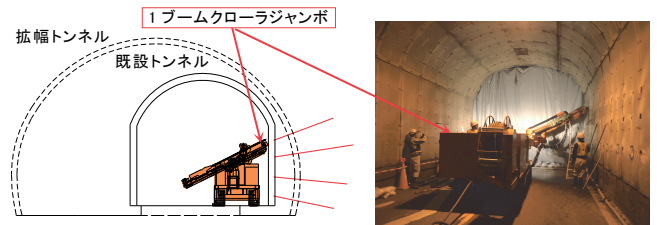


図-7 ロックボルト打設状況

2.6 掘削工

上半掘削は65kW級ロードヘッダ（掘削能力13.8m³/hr）で掘削し、隣に配置した0.15m³バックホウでずりを集め、ベルトコンベアに積込み2tダンプで坑外に搬出した（図-8）。中半・下半（海側）の掘削は1,000kg級ツインヘッダ（掘削能力2.35m³/hr）で掘削し、後方の0.25m³バックホウで4tダンプに積込み搬出した（図-9）。掘削幅の狭い中半・下半（山側）の掘削は、250kg級ブレイカ（掘削能力1.9m³/hr、0.15m³バックホウ）で掘削し、2tダンプに積み込み搬出した（図-10）。

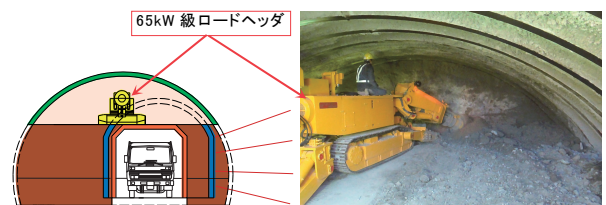


図-8 上半掘削状況

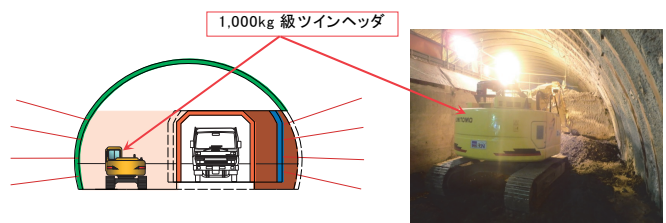


図-9 中半・下半（海側）掘削状況

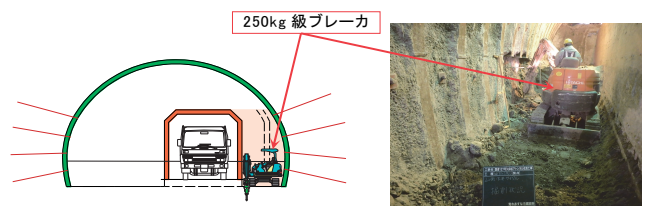


図-10 中半・下半（山側）掘削状況

2.7 掘削状況

掘削時の切羽は緩んだ状態で、既設トンネル上部は破碎された状態であったが、切羽鏡面は自立していた(図-11)。地山等級はD等級で、亀裂間隔は20cm以下で亀裂状態は密着しており、湧水も無く、水による劣化も見受けられなかった。

トンネルの坑内変位は、天端沈下が7.8mm、内空変位が1.1mmと小さく、管理基準値のレベルI以下であった。既設覆工背面には空洞が点在していたが、トンネル掘削への影響はなかった。

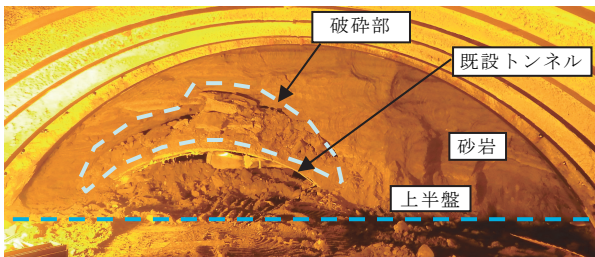


図-11 切羽状況(上半掘削時)

2.8 施工上の課題

(1) サイクルタイムの延伸

本工事の拡幅工法の実績におけるサイクルタイムとNATMによる標準工法の積算上のサイクルタイムを比較する。拡幅工法では、サイクルタイムが約2,293分となり、標準工法でのサイクルタイム(624分)の約4倍の長さとなった(図-12)。

なお、標準工法のサイクルタイムは、既設トンネルが存在せずに拡幅トンネルと同形状の掘削断面をすべて地山として上半掘削及び、下半掘削するものと仮定して算出した。サイクルタイムの延伸の主な理由として、掘削・ずり出し工、吹付けコンクリート工の施工性の低下が挙げられるため、以下にその状況を記述する。

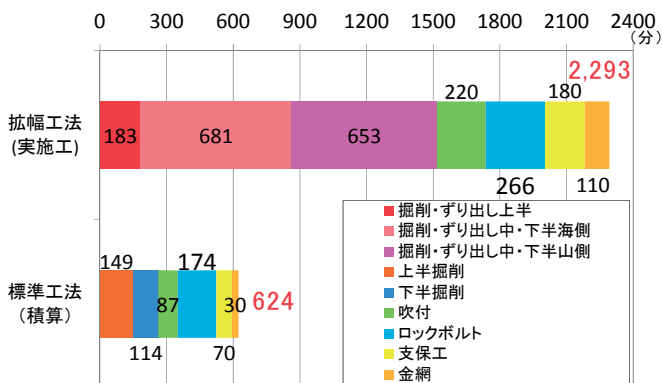


図-12 1掘進長当りのサイクルタイム

(2) 掘削・ずり出し工の施工性の低下

掘削・ずり出し工の施工性の低下の要因として、

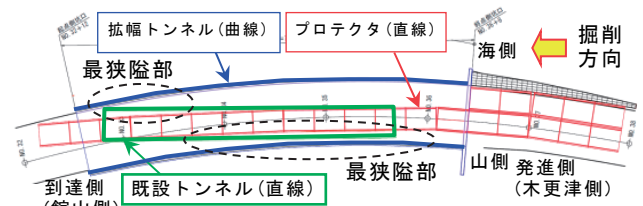


図-13 トンネルの平面線形

中半・下半断面でプロテクタと拡幅トンネル間が狭隘となり、大型機械が入らなかったことが挙げられる。狭隘となった要因として、前後の道路との接続のために拡幅トンネルは曲線(半径250m)とせざるを得ないが、既設トンネルは直線であるため、プロテクタを曲線に沿って配置できなかったことによるものである(図-13)。最も狭隘となった箇所(幅2.5m)での施工においては、小型の250kg級ブレイカ(掘削能力1.9m³/hr)で掘削したため、掘削時間が増加したとともに、バックホウの旋回が困難となり、バックホウ本体が坑口まで排土板でずりを掻き出して運搬したことから、施工効率が低下した。また、山側では到達側に近づくにつれて施工空間が広がっていくものの、発進側から大型機械を入坑させることができず、全ての区間を小型の機械で施工することとなり、掘削・ずり出し工の施工性は低下した。

(3) 吹付けコンクリート工の施工性の低下

吹付け作業は、上半断面が扁平かつ狭隘なため、吹付け機械のノズル部を吹付け面に直角に向けるのが困難であったため、リバウンドが大量に発生し、吹付け時間が増加した。

3. 活線下でのトンネル拡幅の施工性向上に関する考察

3.1 施工性向上のための条件

工事ごとに条件が様々であり、今後のトンネル拡幅工事の参考のため、本工事の条件下において得られた施工性低下の要因について、その改善方法とそれにより得られる施工性向上の可能性について、道路線形、プロテクタの配置、断面拡大方法を変更し、サイクルタイムを試算して確認した。

(1) 既設トンネルと拡幅トンネルの線形

プロテクタと拡幅トンネルの線形を並行にして、中半・下半の断面変化を全線でなくし、狭隘な断面区間が発生しない条件とする(図-14)。

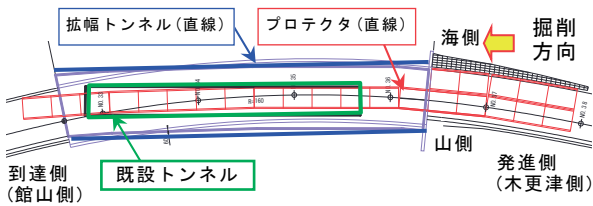


図-14 トンネルの平面線形の見直し

(2) 中半・下半掘削断面幅の拡大

実施工との比較のため、掘削断面積は同一とし、プロテクタの配置を変えることで、中半・下半の狭隘部(図-15)をなくし、大型機械の施工を可能とした場合を試算する。

拡大方法は、既設トンネルの両側への断面拡大を行う両側断面拡大工法(図-16)と、片側への断面拡大を行う片側断面拡大工法(図-17)とする。両側断面拡大工法は、上半には、65kW級ロードヘッダ(掘削能力13.8m³/hr)、中半・下半の掘削の両側に1,300kg級ブレイカ(掘削能力17m³/hr)を使用する。片側断面拡大工法は、上半、中半・下半掘削の全断面で3,000kg級ブレイカ(掘削能力28m³/hr)を使用する条件とした。

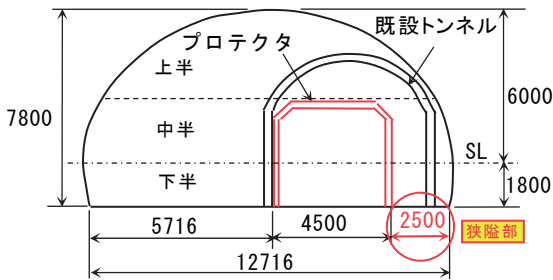


図-15 実施工での狭隘部

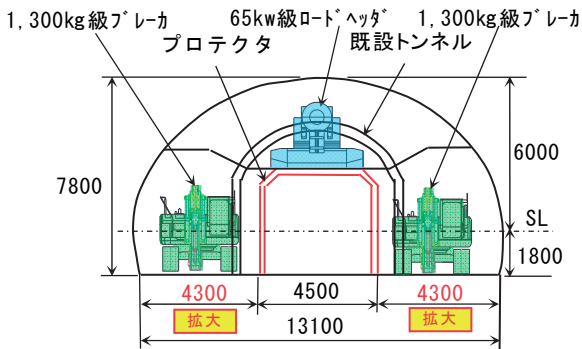


図-16 両側断面拡大工法

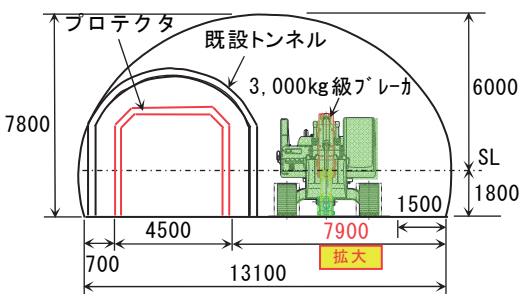


図-17 片側断面拡大工法

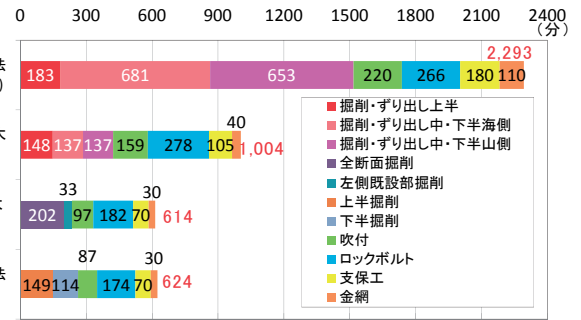


図-18 1掘進長のサイクルタイム

3.2 サイクルタイムの試算

1掘進長のサイクルタイムの試算では、実施工に対して、両側断面拡大工法が約50% (2,293分→1,004分)、片側断面拡大工法が約30% (2,293分→614分)となった(図-18)。よって、掘削断面幅の拡大により、中半・下半の施工性の向上が期待できる。

4. おわりに

本報文では、坂下トンネルの施工結果の分析により確認された活線下でのトンネル拡幅の施工上の課題について、解消方法を検討した。その結果、道線形や掘削断面形状が施工性に与える影響の目安が確認された。また、今後は掘削・支保作業を1台の機械で行い機械の入れ替えをなくす一体型機械や、狭隘断面对応型のロックボルト施工台車等の新たな機械・設備の開発等により施工性向上に向けて取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) 近藤誠一郎、町永正樹、岩田航司：NATMおよび開削工法による国道トンネルの活線拡幅工事、土木施工、Vol.56、2015.11
- 2) 町永正樹、岩田航司：NATMおよび開削工法による供用中のトンネル拡幅工事、第78回(山岳)施工体験発表会、2016.6
- 3) 近藤誠一郎、町永正樹、渡部隆広：NATMおよび開削工法による供用中のトンネル拡幅工事、基礎工、Vol.44、2016.1

本住武司



国土交通省関東地方整備局
千葉国道事務所 工務課長
Takeshi MOTOZUMI

高橋裕之



青木あすなろ建設(株)エンジ
ニアリング事業部トンネル
地下技術グループリーダー
Hiroyuki TAKAHASHI