

国道7号線における活線トンネルの断面拡大

野間 達也 土屋 敏郎 *1
稲田 修二 *2 濱田 寛正 *2

概 要

幹線国道である国道7号線の鯨ヶ崎トンネル(山形県鶴岡市、トンネル延長 305m)は、昭和 39 年に供用が開始されたトンネルであり、車道 6.5m、歩道 1.2mの狭小な断面のトンネルであるため、歩行者・自転車のすれ違いも困難な状況となっており、これらの解消は急務となっている。トンネルを新設する場合のルート検討や、歩行者用トンネルの新設等各工法について設計段階で比較検討されたものの、現在の鯨ヶ崎トンネルを利用、すなわち車両を通行させながら断面を拡幅する「活線下における断面拡大工事」を採用することになった。

活線下の断面拡大に伴い、片側一車線通行を確保するために通行車両を保護するプロテクターを設置したが、標準設計では掘削断面を確保するためにプロテクターに折れ曲がり箇所(クランク)があり交通障害となることが懸念されたのに対し、直線上のプロテクターを技術提案した。これにより交通障害を解消するとともに、プロテクターの移動に伴う全面通行止め時間を半減させたが、掘削断面が狭隘なものとなった。このため、適切な掘削機械を配置するとともに電撃破碎薬の採用など新工法に取り組み、工期内の竣工に至った。

本報告は、このような今までに例のない大規模な活線下の断面拡大工事について、掘削方法を主眼として示す。

Construction method for cross-sectional enlargement of existing tunnels

Abstract

This paper reports on a project to enlarge the cross-sectional area of the 305m-long Ajigasaki Tunnel (part of Route 7 in Tsuruoka City, Yamagata Prefecture) from 40m² to 80m² whilst keeping one traffic lane open. Protectors were used to keep the traffic and workers separated.

In the standard design, protectors had a cranked part at the middle of the tunnel total length. However, because this profile can hinder traffic-flow, we made the decision to use straight protectors, although this leads to a narrower working space.

Because it was necessary to excavate bedrock / concrete without using blasting methods in a narrow working space, we adopted appropriate excavating machines and developed new fracturing technologies such as the electric shock crush explosive and finished the project ahead of schedule.

In this paper, excavation methods are shown mainly in relation to the enlargement of the Ajigasaki tunnel.

キーワード: トンネル 断面拡大 活線

*1 建設本部 土木エンジニアリングセンター

*2 東北支店土木部

§1. はじめに

幹線国道である国道7号線の鯉ヶ崎トンネル(山形県鶴岡市、トンネル延長 305m)は、昭和 39 年に供用が開始されたトンネルであり、車道 6.5m、歩道 1.2mの狭小な断面のトンネルである。このため、歩行者・自転車のすれ違いも困難な状況となっており、これらの解消は急務となっている。

本線は1日に1万1千台の交通量があるため、トンネルを新設する場合のルート検討や、歩行者用トンネルの新設等各工法について設計段階で比較検討されたものの、地形によりトンネルを新設することは困難であり、現在の鯉ヶ崎トンネルを利用、すなわち車両を通行させながら断面を拡幅する、「活線下における断面拡大工事」を採用することになった。

活線下の断面拡大に伴い、片側一車線通行を確保するために通行車両を保護するプロテクターを設置したが、標準設計では掘削断面を確保するためにプロテクターに折れ曲がり箇所(クランク)があり交通障害となることが懸念されたのに対し、直線上のプロテクターを技術提案した。これより交通障害を解消するとともに、プロテクターの移動に伴う全面通行止め時間を半減させたが、掘削断面が狭隘なものとなった。このため、適切な掘削機械を配置するとともに電撃破砕薬の採用など新工法に取り組み、工期内の竣工に至った。

本報告は、今までに例のない大規模な活線下の断面拡大工事について、掘削方法を主眼として示す。

§2. 標準設計に対する技術提案

図 1 に標準設計におけるプロテクターの配置を、図 2 に技術提案によるプロテクターの配置を示す。

図1に示した標準設計には、以下の課題が残る。

- ① クランクを伴うため、車両走行の支障となる。
- ② プロテクターの移動を前提としており、移動時に全面通行止めとなる。
- ③ トンネル全面の掘削が不可能であり、効率に劣る。

これらの課題を解決するために、図2に示すような直線状のプロテクターとすることを技術提案した。この提案より、以下の結果が得られると考えられた。

- ① 交通車両の安全性を格段に向上させる。
- ② プロテクターの移動に伴う全線通行止めの期間が 2 週間短縮される。
- ③ トンネル断面全てを同時に掘削可能となる。
- ④ ただし、掘削断面が標準案と比較して狭隘なものとなる。

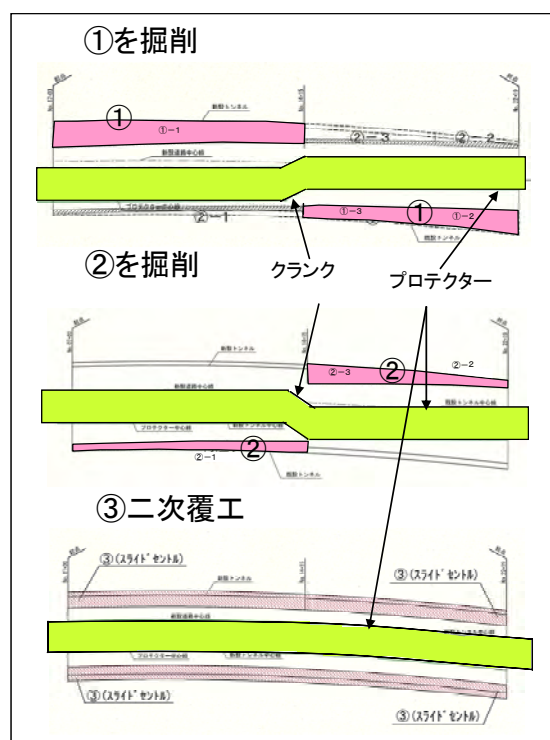


図1 標準設計におけるプロテクター配置

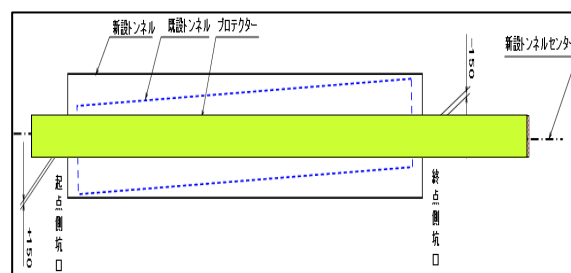


図2 技術提案によるプロテクター配置

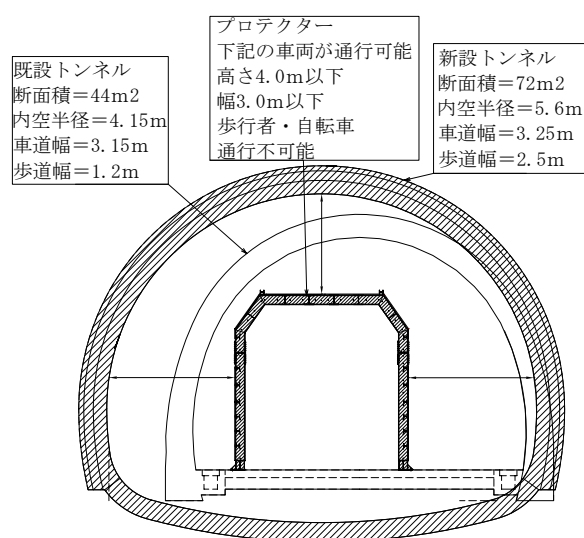


図3 トンネル断面図

図3に提案したプロテクターを設置したトンネル断面を示す。

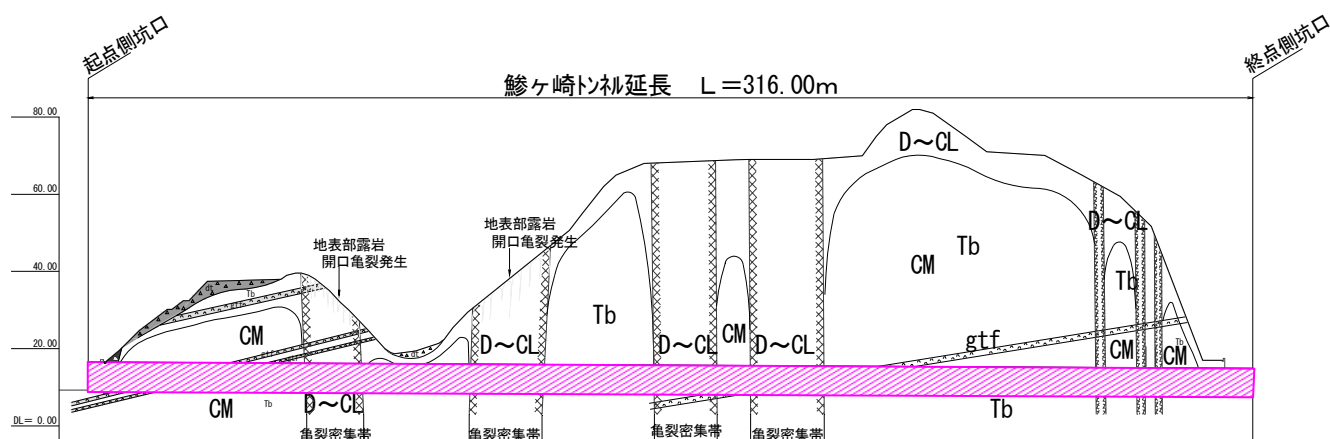


図4 地質縦断面図

§3. 地形および地質

本トンネル付近の地形は、急峻な山地が日本海に張り出し、低地は中小河川沿いに狭小に分布している。このため、現鯨ヶ崎トンネルは、火山砕屑岩類から構成される非常に急峻な斜面、あるいはほぼ垂直に切り立った急崖が海岸線まで及ぶ極めて険しい地形に位置している。

図4に地質縦断面図を示す。トンネルの地質状況は、起点側坑口部で一部崖錐堆積物等が分布し、基盤岩は凝灰角礫岩で、岩盤状況は概ね地表面2～5mは風化したD～CL級岩盤、以深はCM級岩盤の弱風化岩が分布している。この基盤となる凝灰角礫岩の一軸圧縮強度は、基質部で9～32(平均22)MPa、角礫部で66～150(平均106)MPaと強度差が大きい点に特徴があり、CM級岩盤の地山等級をCⅡのL塊状とし、亀裂密集帯のD～CL級岩盤は、CM級岩盤より1ランク下のDⅠとして設計されている。

§4. プロテクターの設置

本工事のような活線下における断面拡幅では、車両を通行させるためのプロテクターは必須となり、また施工中の落盤などの不慮の事態にも対応するように剛構造とする必要がある。プロテクターの断面は図3に示すとおりで



写真1 プロテクター設置状況

あり、静荷重に対しては20t、落石などの動荷重に対しては300kgの耐力を有す。プロテクターの製作は工場加工とし、製作された部材は、特殊車両申請された車両によりトンネル起点側ヤードへ搬入し、組立て時には2台のプロテクターを連結して1基当り12mとする。組立ては主として昼間作業とし、設置開始時間までに5基を組立て、夜間に既設トンネル内に設置する(写真1)。このサイクルを7日間繰返し合計32基(384m)設置した。図5に夜間のプロテクター設置時のサイクルタイムを示すが、午後9時より全面通行止めと片側交互通行を約1時間ごとに5回繰り返した。この全面通行止めに対処するために工事開始前から新聞・ラジオ放送による広報活動等を実施し、周知に努めた。

工種	21:00	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00
準備工	15分									
プロテクター設置 (通行止)	① 54分		② 54分		③ 54分		④ 54分		⑤ 54分	
開放 (片側交互)		54分		63分		54分		54分	片付け 30分	

図5 プロテクター設置時のサイクルタイム

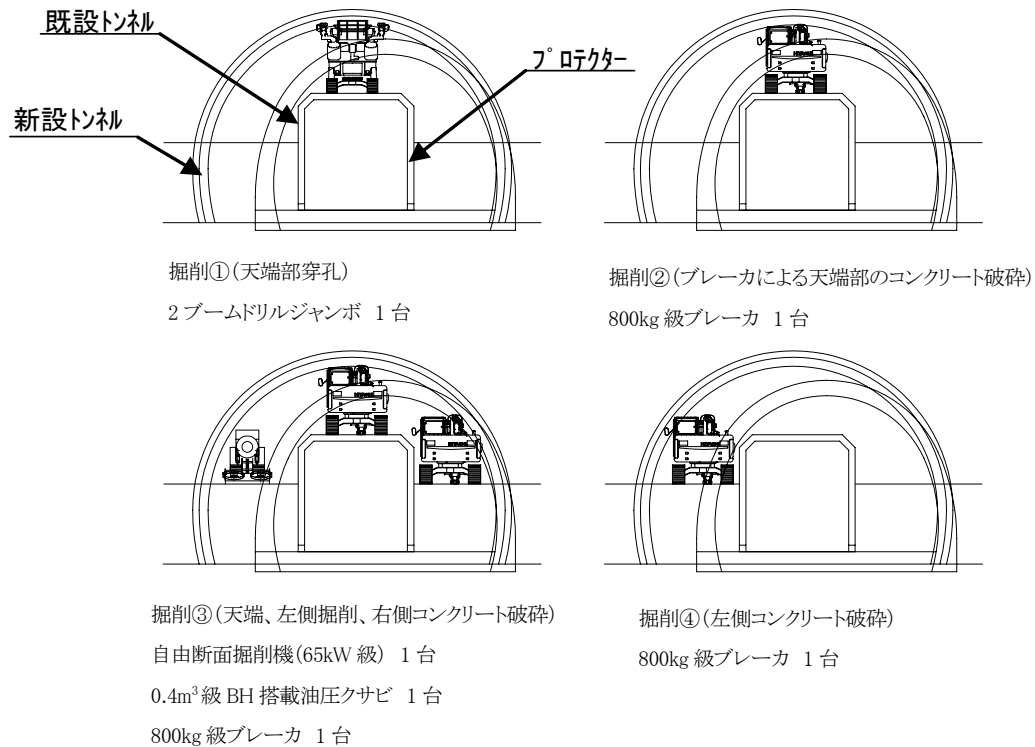


図6 当初掘削計画の配置模式図

§5. 岩盤掘削

5.1 当初の掘削計画

着工時の掘削方法は、以下のとおり計画していた。

- ① プロテクター上部の天端部は、直径 100mm の油圧くさび(ビッカー)による割岩掘削となるため、油圧くさび挿入用の割岩孔をドリルジャンボにより削孔する。
- ② 天端部の割岩掘削前に、800kg 級ブレーカにより既設覆工コンクリートを破碎する。
- ③ 天端部をビッカー、拡幅岩盤部を 65kW 級の自由断面掘削機、拡幅既設コンクリート部を 800kg 級ブレーカにより掘削する。
- ④ 岩盤を掘削後、残存した既設コンクリートを 800kg 級ブレーカにより破碎する。

当初計画に基づく機械の配置模式図を図6に示す。

5.2 掘削計画における課題

実際の施工により、以下の課題が明らかとなった。

- ① 既設コンクリートの強度が想定以上に大きく、大割後の残存コンクリートと隅角部(踏まえ)をブレーカのみで破碎することは困難なため、800kg 級ブレーカのための全面破碎は多大な時間を要す。
- ② プロテクター上部において油圧ショベル 0.4m³ 級に搭載した大型油圧くさびを操作する際、油圧ショ

ベルのブームによりオペレーターの視界は阻害され、割岩作業が困難となる。また、切羽全面を破碎するには想定より削孔間隔を狭くする必要があり、穿孔・割岩時間の増加を招く。

- ③ 硬岩が出現した場合、65kW 級の自由断面掘削機では掘削が困難となることが予想される。

以上より、当初予定のサイクルタイムを確保する為に、掘削工法についての再検討が必要となった。

5.3 変更した掘削工法

検討の結果、掘削機械の大幅な変更と、電撃破碎薬を使用した新工法を採用した。図7に変更後の機械の配置模式図を、写真2、3に掘削状況を、また以下に変更点を示す。

- ① 起点側坑口についてはプロテクター左側、終点側坑口についてはプロテクター両側に小型特殊サイズの 240kW 級自由断面掘削機を導入する。
- ② 起点側の掘削時には、プロテクター上部に 65kW 級の自由断面掘削機を上載することが可能なことより、プロテクター右側と上部に 65kW 級の自由断面掘削機を採用する。
- ③ 硬岩出現時の天端部の掘削については、試験施工を繰り返した結果、大型油圧くさびの代わりに電撃破碎薬を使用することにより硬岩に対しても破碎

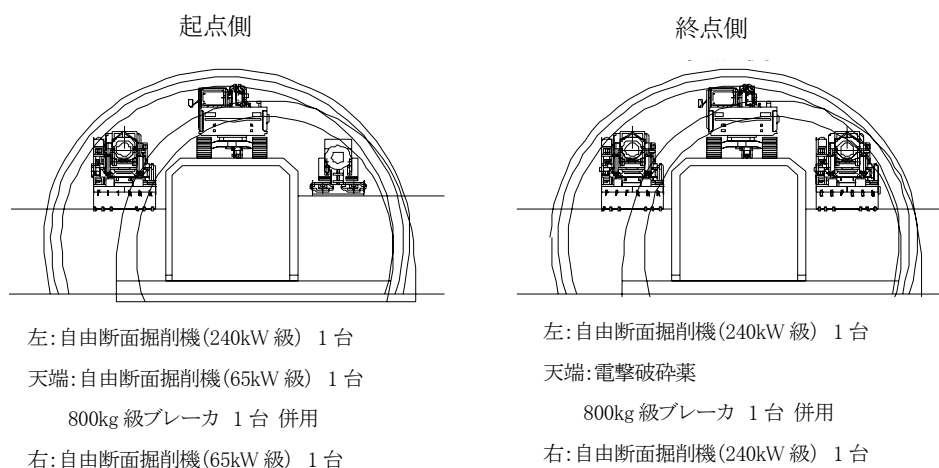


図7 変更後の掘削機械の配置模式図



写真2 起点側掘削状況



写真3 終点側掘削状況

可能なことが判明し、電撃破砕薬を使用することとした（削孔ピッチ 40cm、削孔長 1.5m）。

写真4に電撃破砕薬の装薬状況を、写真5に破碎状況を示す。

電撃破砕薬とは、高分子材料等に高電圧の電流を発生させ、燃焼するときに急激に分子状態になることにより、瞬時に大きな破壊力を生じさせてコンクリート・岩盤等を破碎する方法である¹⁾。破碎能力は、火薬と静的破碎剤との中間に位置し、発破時と同様に点火器が必要であるが、火薬類取締法の規制は受けない。破碎時には騒音は発生するものの振動は伴わず、また対象物にき裂は発生させるものの飛石は無いことより、今回のプロテクターを設置した断面には最適となる。

掘削方法についてはこれらの変更を実施したとともに、効率的な重機の入替えやずり出し時間の短縮によるサイクルタイムの縮減を目的とし、坑口に仮設構台を構築するとともに坑内の中間に非常駐車帯に類する拡幅部、およびプロテクターと上半盤に斜路を設置し、機械の移動



写真4 電撃破砕薬装薬状況



写真5 破碎状況

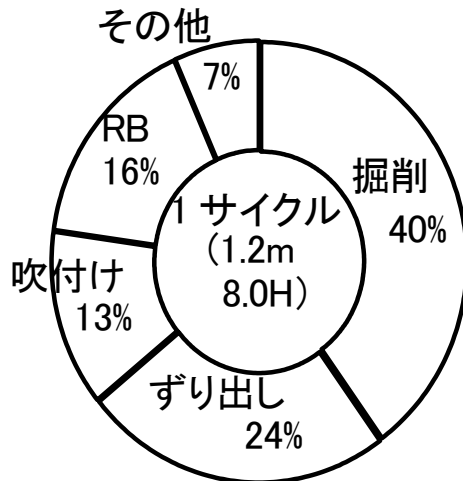


図8 掘削サイクルタイムの一例

距離の短縮や使用しない機械駐機場所として使用した。

5.4 掘削時のサイクルタイム

図8に掘削方法変更後の C II パターンにおけるサイクルタイムの一例を示す。図に示されているように 1.2m の掘削に要する割合は 40%程度であり、進行に要する時間は約 8 時間であった。なお、サイクルタイム中では吹付けコンクリートやロックボルト打設に時間を要しているが、これは狭隘な断面のために小型の吹付けロボットを使用したこと、ロックボルト打設は継ぎノミとならざるを得なかったことに帰因している。

5.5 掘削時の変位について

A 計測を実施することにより掘削したトンネルの安定性を客観的に評価した。本工事においての最大変位量を観測した箇所は起点側坑口より約 80m の低土かぶり部であり、内空変位量 1.8 mm、天端沈下量 4.8 mmであった。この結果は、レベル1(許容管理値 9 mm)の約 20%・50%程度で収束しており、安定性が確保されたことが示されている。

§6. おわりに

本工事は、既設のトンネル内にプロテクターを設置し、終日片側交互通行規制下における活線施工、また狭隘な作業空間という厳しい条件の中での掘削作業となったが、適切な機械の選定と電撃破碎薬等の新工法の採用により、5ヶ月で貫通することができた。

また、提案したプロテクターの設置により、工期内の交通車両無事故の結果となり、さらにプロテクターの移動に伴う全線通行止めの期間を無くすることが可能とな

った。

アセットマネジメントの観点からも、今後は同種の工事が増加するものと見込まれるが、今回の施工が今後の施工に活用できるものと考えられる。

参考文献

- 1) 福井久明, 永石敏之: 電撃パルスと高分子特性を利用した破碎薬, 高分子, 第 57 巻, 7 月号, p.519.



野間 達也

ひとこと

1999～2002 年まで土木研究所との官民共同研究として机上検討したトンネル断面拡大を、実際の施工現場として体験できたことは自分としては意義深いものです。