

既設NATMトンネルからの活線分岐施工

松野 徹¹・小川弘之²・成田正憲³・中村順一⁴・平森 誠⁵

^{1,2,3}大林・地崎・伊藤特定建設工事共同企業体（〒058-0421 北海道幌泉郡えりも町字庶野262-1）
E-mail:matsuno.toru@obayashi.co.jp

^{4,5}北海道開発局室蘭開発建設部浦河道路事務所（〒051-8524 北海道浦河郡浦河町堺町4丁目8番1号）

本工事は、常時一般車両を通行させながら既設2車線道路トンネル内に分岐部を建設し、分岐部より新トンネル掘削を行う活線分岐工事である。分岐部施工にあたっては、一般通行車両の安全性確保はもちろんのこと、既設道路トンネルは管内唯一の幹線道路であるため、工事による交通規制期間の短縮が重要とされた。さらに、施工断面が狭隘幅断面から偏平大断面へと逐次変化するため、掘削作業性の確保と掘削時のトンネル安定性の確保が必要となった。本稿では活線分岐工事で遭遇した課題およびそれらを解決するために実施した各種対策、改善案について報告する。

Key Words: branch, large flat section, neighboring tunnel, minimum traffic control, extension

1. まえがき

浦河町から釧路市に至る一般国道336号は、主要幹線として沿線住民の生活道路となっている。特にえりも町から広尾町に至る海岸線区間は、日高山脈が急峻な断崖をなして海に落ち込む交通の難所であり、昭和初期に莫大な費用をかけて道路が作られたことから黄金道路と呼ばれている。この区間は、現在でも連続雨量80mmおよび高波の影響でしばしば通行止めとなる（図-1, 2）。

本工事は、えりも町庶野～目黒間における大雨や雪崩等による岩盤崩壊等の危険箇所解消を目的として、既設宇遠別トンネル（延長3,215m）の延伸を行うものである。新設トンネル区間は延長約1,927mであり、完成後は2つのトンネルが一体となり、全長4,941mと北海道最長の道路トンネルとなる（図-2）。工期短縮のため掘削はえりも側、広尾側の両坑口から行うが、えりも側については常時一般車両の通行を確保しながら既設トンネル内に分岐部を施工する活線分岐工事となっている。本稿ではこの活線分岐施工において行った取組みとその結果について報告する。

2. 工事概要

(1) 全体工事概要

全体工事概要を表-1に示す。

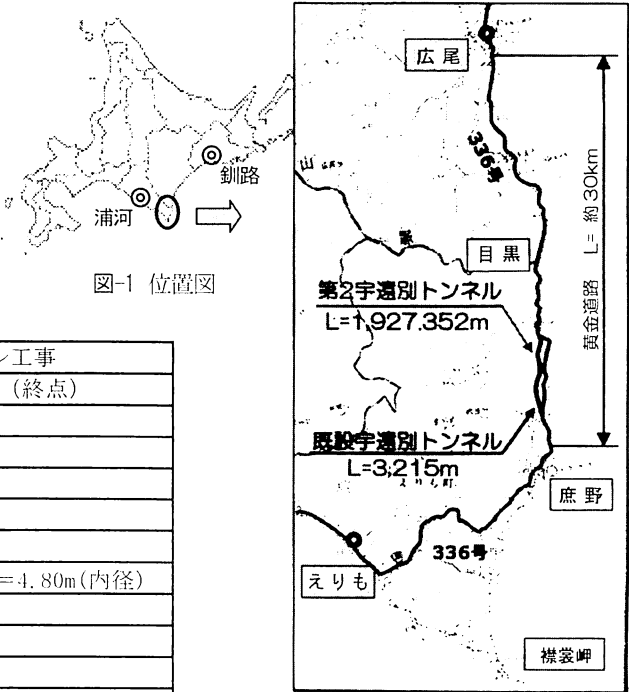


図-1 位置図

表-1 全体工事概要

工 事 名 称		一般国道336号えりも町第2宇遠別トンネル工事	
施 工 場 所		北海道幌泉郡えりも町庶野（起点）～目黒（終点）	
発 注 者		北海道開発局室蘭開発建設部	
工 期		平成19年3月13日～平成22年2月26日	
請 負 者		大林・地崎・伊藤特定建設工事共同企業体	
工 事 概 要	延 長	・L=1,927.352m（両坑口からの施工）	
	用 途	・2車線道路トンネル	
	断 面	・52.6～73.5m ² （仕上り内空断面積） ・R1=4.80m（内径）	
	地 質	・ホルンフェルス	
	支保タイプ	・CH、DI、DII、坑口、分岐部	
	掘削工法	・NATMショートベンチカット工法 ・機械掘削（分岐部） ・発破掘削（一般部）	

図-2 工事位置図

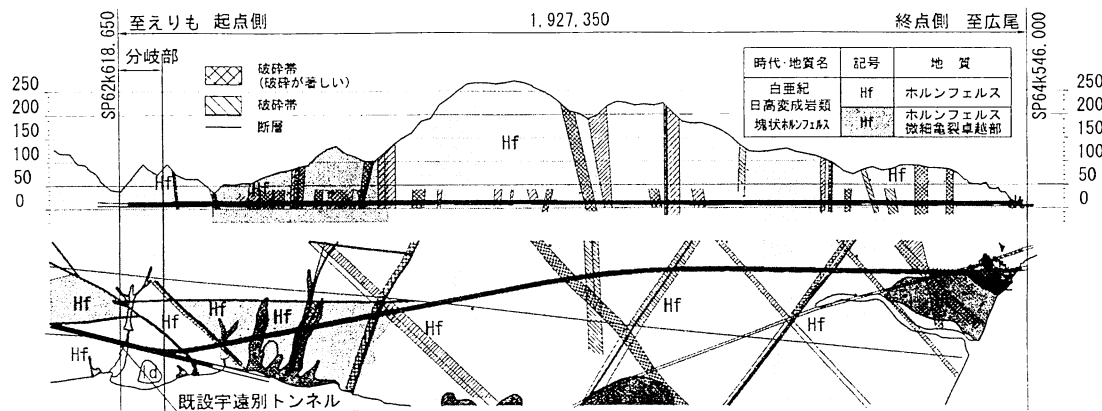


図-3 第2宇遠別トンネル地質縦断面図、平面図

(2) 地質概要

地質の主体をなす中生代白亜紀の塊状ホルンフェルスは、堆積岩（砂岩・泥岩等）がマグマによって熱変成した緻密・堅硬な岩石であり、岩片の一軸圧縮強度は100MPaを超える。しかしながら日高山脈の造山活動に伴い亀裂が全般に発達した状態となっており、地山等級区分でDⅡ～CⅡ級の地山が中心である。また構造運動に起因する断層・破碎帯も数多く存在する。分岐部の地質はCⅡ級の中硬岩に判定されるものであり、既設トンネル掘削時に地山が安定していた区間に分岐部の位置が設定されている。図-3に第2宇遠別トンネルの地質縦断面図、平面図を示す。

(3) 分岐部工事概要

図-4、5に分岐部平面図、断面図を示す。既設トンネルはNATMで施工された2車線道路トンネルである。新設トンネル標準断面は掘削断面積62.8m²であるが、分岐最大拡幅部では掘削断面積83m²、内空幅18.3m、内空縦横比0.602の偏平大断面となる。地山はCⅡ級の中硬岩で、本来発破掘削の対象となる地山であるが、一般車両の通行を確保しながらの施工となるため、掘削方式としてはブレイカーによる機械掘削を採用した。

分岐部1は舗装打替のみである。分岐部2-①は既設覆

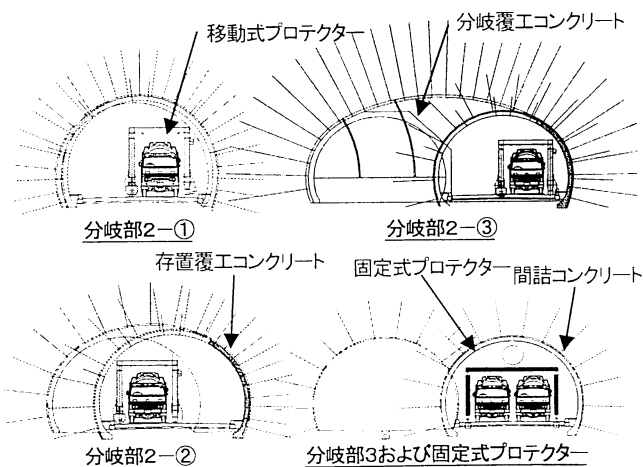


図-5 分岐部断面図

工をすべて撤去して拡幅、分岐部2-②～③は既設覆工を一部残して拡幅を行う。また分岐部2-③は偏平大断面となるため設計で加背が細かく分けられている。分岐部3は新設標準断面となるが、既設トンネルに近接するため、2車線固定式プロテクター（L=25.2m）を設置し、間詰コンクリートで既設トンネルを補強した上での施工となる。

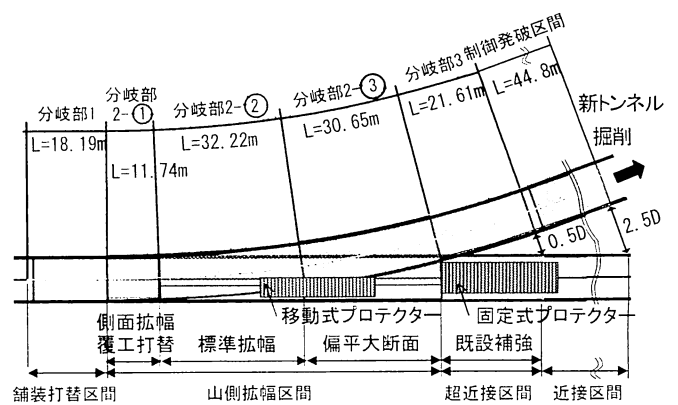


図-4 分岐部平面図



図-6 分岐部施工フロー

図-6 に施工フロー，表-2 に概略実施工程を示す。掘削は分岐部 2→3 の順で行うが，分岐部 2-①～③では，移動式プロテクター（L=6.35m×4 基）を設置し，それを前後左右に移動させて常時一車線を供用しながら拡幅施工を行う。また分岐部掘削完了後，分岐側からも新トンネルの掘削，覆工を行うが，分岐部の覆工に関しては，新トンネルの掘削，覆工が完了し，一般交通を新トンネル側に切り替えた後，一般車両を通して施工を行う予定である。

(4) 今回の活線分岐工事の特徴

山岳トンネルにおける活線分岐工事は，本工事の開始時点で施工実績が 6 件あったが，今回の工事は，既設トンネル側からも新設トンネル区間の掘削を行うこと，既設トンネルが矢板工法ではなく NATM で建設されていることに特徴がある。表-3 にその特徴とそれらに対して今回検討した事項をまとめる。

表-2 分岐部概略実施工程表

工 事 種 別	平成 19 年						平成20年	
	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
既設トンネル内設備移設	■							
補強ロックボルト		■						
既設覆工切断工			■					
固定式プロテクター設置			■					
既設トンネル補強工			■					
移動式プロテクター設置・撤去				■		■		
既設覆工撤去				■				
分岐部 2-①～2-②掘削工				■				
分岐部 2-③掘削工					■			
分岐部 3掘削工							■	
近接区間制御発破掘削								■
新トンネル区間通常掘削								■

3. 本工事の技術的課題と対策

活線分岐工事は施工例も少なく，計画時，施工時にいくつもの技術的課題に遭遇したが，順次対策の検討，実施および改善を行った。その内容を表-4 にまとめる。

表-3 本分岐工事の特徴と検討事項

特 徴	内 容	検討事項
1) 供用中の既設トンネル側からの活線分岐工事	一般に新設トンネル側から掘削して分岐部に合流する方式が，新トンネル掘削時の導線確保に有利であるが，今回の工事では，分岐部側からも活線分岐し，新トンネル掘削を行う。	新トンネル施工時の一般通行車両の安全確保
2) NATM 工法で施工されたトンネルの拡幅	今までは，矢板工法で施工されたトンネルが拡幅されてきたが，当工事は NATM 工法で施工されたトンネルの拡幅である。	NATM トンネルに応じた分岐施工の合理化

表-4 分岐工事における技術的課題と対策

課 題	内 容	対 策
1) 供用中のトンネルにおける一般通行車両の安全性確保および坑内環境維持	- 一般車両通行の妨げにならないよう，分岐部掘削時の粉じん拡散防止が必要 - 支保工（吹付けコンクリート）下で約 2 年間一般車両を通行させるため，コンクリート片等の剥落防止措置実施が望ましい - 新トンネル発破掘削時の飛石・粉じん防止	① 移動式隔壁の運用による発生粉じんの拡散防止 ② FRP メッシュによる吹付けコンクリートはく落防止措置の実施 ③ 発破バルーンの運用による飛石飛散防止と粉じん流出抑制
2) 供用中のトンネルにおける交通規制期間短縮	- 分岐部施工時は片側車線を占有するが，現道は周辺地域における唯一の幹線道路であり，極力交通規制期間を短くすることを要望された - 除雪車通行のため，冬期間までに 1 車線移動式プロテクターを搬出することを要求された	④ 既設トンネル補強ロックボルトの合理化 ⑤ プロテクター設置，撤去の簡略化 ⑥ 既設トンネル覆工の先行撤去
3) 狭隘な作業箇所から偏平大断面まで対応した効率的な掘削	- 通常の施工機械では対応できない狭隘な施工空間（既設トンネル片側車線内）での掘削が必要 - 偏平大断面に対応した効率的な掘削が必要 - 掘削断面が逐次変化するため，各段階に応じた効率的な掘削方法の選定が必要	⑦ 鋼製支保工設置方法の工夫およびエレクター付きジャンボへの改造 ⑧ 断面に応じた施工機械の最適化
4) 偏平大断面におけるトンネル安定性の確保	分岐部 2-③は偏平大断面であり，トンネル施工時の構造的不安定化が懸念された	⑨ 中硬岩における機械掘削，制御発破の実施 ⑩ 計測管理の強化（A 計測，B 計測）
5) 超近接施工における既設トンネルの構造的安定性確保	分岐部 3（新設トンネル開始区間）は既設トンネルとの超近接施工であり，掘削時の振動，衝撃による既設トンネルへの影響が懸念された	

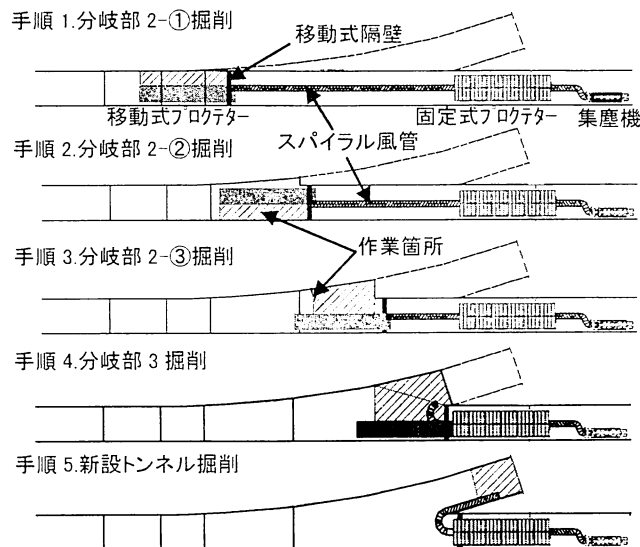


図-7 換気システム運用図

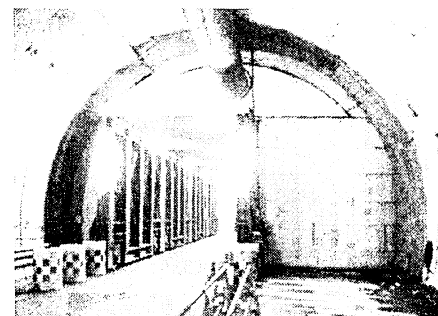


写真-1 移動式隔壁



写真-2 集じん状況

4. 技術的解決策の詳細

(1) 移動式隔壁の運用による発生粉塵の拡散防止

一般車両防護および通行部の粉じん拡散防止対策として移動式隔壁と大容量集じん機（1,800 m³/分）を設置した（図-7、写真-1、2）。このシステムは拡幅作業箇所には隔壁を設け、そこにスパイラル風管を接続し、掘削時の粉じんを集じん機により強制的に吸い出すものである。隔壁は移動式プロテクターと共に容易に移動、設置できるバルーンタイプを採用し、風管は伸縮式のものを使用した。また移動式プロテクター天板、側面を鉄板構造に変更し、掘削時にずりやコンクリート塊がプロテクターを破損し、その中を通行する一般車両へ落下することを防ぐとともに、隙間から粉じんが流入しない構造とした。その結果、分岐部施工時の一般車道部における粉じん濃度実測値は 0.5mg/m³ 以下に収まっており、作業箇所からの粉じん流出が最小限であったことが確認できた。

(2) FRP メッシュによる吹付けコンクリートはく落防止措置

分岐部では、掘削開始から覆工完了まで約2年間、支保工（吹付けコンクリート）下で一般車両を通行させるためにはく離防止対策の実施が望ましいと考えた。そこで表-5 に示す比較検討を行い、覆工コンクリート片のはく落防止に使用される FRP メッシュ（FRP50mm 格子+ネットの製品）の設置を採用した。これは FRP メッシュをアンカーで固定するもので、凸凹のある吹付けコンクリート面にも良く馴染み、軽く、施工性も良好であった（写真-3、4）。

(3) 発破バルーンの運用による飛石飛散防止と粉じん流出抑制

表-5 吹付けコンクリートはく落防止措置の比較

剥落防止措置	特 徴 ・ 問題点	評価
1) 無対策	・ 長期間の存置はコンクリート片剥落の不安がある ・ 漏水時は別途対策が必要	×
2) 防水シート先行設置	・ 漏水処理が可能 ・ 約400℃で発火するため火災時に炎上する ・ 長期間露出していると経年劣化する	△
3) 剥落防止用 FRPメッシュ	・ 老朽化した覆工コンクリート剥落防止用の製品であり、強度・難燃性に信頼性がある。 ・ 漏水は導水材で処理してから設置で対処 ・ 表面の状況に応じて取り外し・再設置可能	○

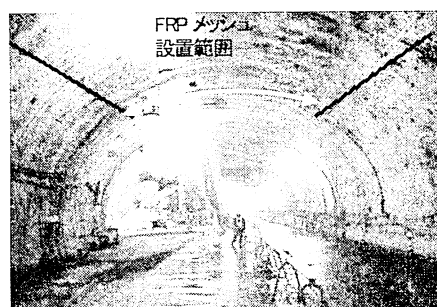


写真-3 FRP メッシュ設置範囲

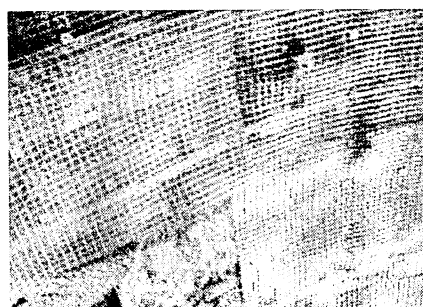


写真-4 FRP メッシュ設置状況



写真-5 発破バルーン

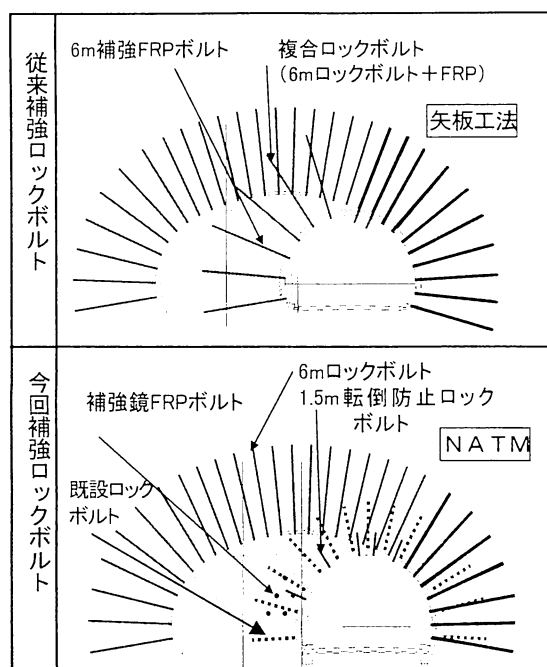


図-8 補強ロックボルトの比較

既設トンネルからの離隔が確保できたのち、新設トンネルは発破掘削を適用するが、分岐部から250 m 区間においては飛石防止、粉じん流出抑制のため発破バルーンを採用した（写真-5）。これは防爆シートを取り付けたバルーン隔壁で、容易に移動可能であるうえ、粉じん流出を遮断して集じん機で処理できるため、既設トンネル坑内の環境維持にも有効であった。

(4) 既設トンネル補強ロックボルトの合理化

矢板工法で施工された既設トンネルを拡幅する場合、従来は図-8上段に示すような補強FRPボルト、複合ロックボルトを事前に打設し地山補強を行っていた。本工事は既設トンネルがNATMで施工されており、地山はロックボルトと吹付コンクリートで既に支保されているため、図-8下段に示す補強ロックボルトの合理化を検討し、採用した。具体的には、拡幅時の6m補強FRPボルトを省略し、代わりに掘削時の既設覆工コンクリートの転倒、崩落防止のため、L=1.5mのロックボルトを約4m²に1本打設することとした。また事前のFEM解析において拡幅掘削時に応力が集中すると予測された既設トンネル側の地山については、施工空間に余裕のある拡幅時の切羽から補強鏡FRPボルトを打設した。

「(10) 計測管理の強化」で後述する計測結果で示すように、地山の発生変位は小さく、ロックボルト支保耐力も十分余裕があったことから、補強ロックボルト合理化が適切であったことを確認できた。この合理化により補強ロックボルトの施工総延長が約10%削減できたことに加え、施工に長い時間を要する1車線占有内でのL=6m長



写真-6 プロテクター搬入



写真-7 覆工先行撤去

表-6 坑内全面通行止め規制

項 目	夜間通行止め
プロテクター搬入	1日2回、延べ5日間 [21:00～23:00 & 1:00～3:00]

尺ボルトの打設数量を約40%削減できたため、1週間程度工程を短縮できた。

(5) プロテクター設置、撤去の簡略化

2車線固定式プロテクター（L=4.3m×6基）および1車線移動式プロテクター（L=6.35m×4基）の坑内設置には、坑内全面通行止めが必要となる。交通規制期間短縮のため、プロテクターを約3km離れた既設トンネルえりも側坑口の坑外ヤードで組み立て、ジャッキアップ架台を設置した専用トレーラ台車により夜間搬入、設置を行った（写真-6）。照明等の付常設備取り付けを加えても1基あたり2時間以内で十分設置可能であり、表-6に示す規制期間で設置を行うことができた。

(6) 既設トンネル覆工の先行撤去

従来の分岐施工では掘削と共に既設覆工を撤去していたが、本工事では既設トンネルがNATMで施工されており、地山が既設のロックボルトと吹付コンクリートで支保されているため、分岐部施工範囲の覆工を先行して撤去した（写真-7）。掘削時の地山からの湧水、はく落等が懸念されたため、吹付けコンクリート機械や導水マット等を準備して施工したが、既設防水シートで縁切りされており、覆工のみを容易に撤去できた。先行撤去によ

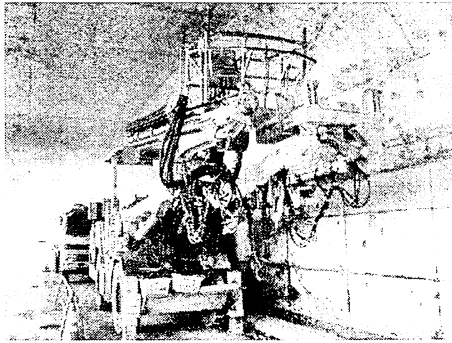


写真-8 エレクター付きジャンボ

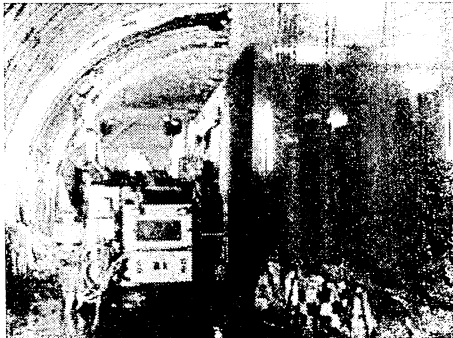


写真-9 狭隘部施工状況

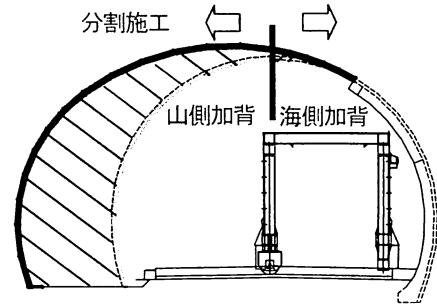


図-9 加背割

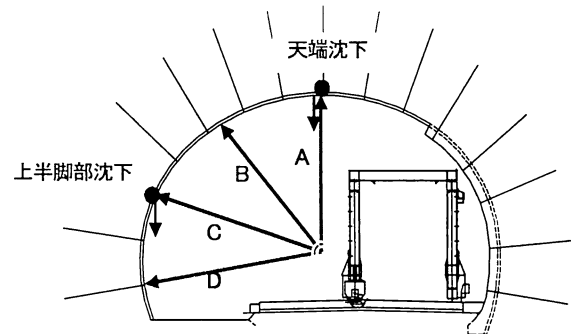


図-10 A計測標準図

りコンクリートガラを掘削残土と分離して効率的に処理できるうえ、狭隘な坑内空間が約30cm広がったため、分岐掘削時の施工機械取り回しに有効であった。

(7) 鋼製支保工設置方法の工夫およびエレクター付き油圧ジャンボへの改造

分岐部では、図-9のような加背割に伴い鋼製支保工も分割設置するが、分割された支保工を狭隘な作業スペースで吹付けコンクリート施工前に仮固定する必要があるため、支保工の設置、仮固定方法に苦慮した。設置に関しては安全性を考えるとエレクター使用が望ましいが、移動式プロテクターの背面が狭隘なので通常のエレクターは使用できない。そこで2ブーム油圧ジャンボを改造

し、左側削岩機を外してエレクターを取り付け、狭隘部施工に使用した（写真-8, 9）。エレクター付きジャンボは、既設トンネルの鋼製支保工撤去にも有効に機能し、作業効率の向上、安全性向上に大きく寄与した。また、鋼製支保工の仮固定方法については、既設トンネルがNATMで施工されていたため、存置既設ロックボルトが利用できることが判明し、これに控え鉄筋を溶接して支保工設置を行った。

(8) 断面に応じた施工機械の最適化

分岐部の掘削では、掘削効率を上げるために施工断面の大きさに応じて最適な機械に入れ替えた。表-7に分岐施工に用いた掘削機械を示す。

表-7 分岐部使用機械の変遷

施工箇所	掘削機械(ブレイカー)	積込機械	運搬機械
分岐2-①	1.3t級	0.25m ³ タイヤショベル	4tダンプ
分岐2-②	1.3t級	0.25m ³ タイヤショベル 0.25m ³ BH	
分岐2-③	1.3t&1.8t級 1.3t & 3.0t級	0.25m ³ タイヤショベル 0.25m ³ ・0.4m ³ BH	4t&10tダンプ
施工箇所	穿孔機械	支保工建込台車	コンクリート吹付機械
分岐2-①	エレクター付き油圧ジャンボ (90kg級・2ブーム・1ゲージ)		吹付けロボット (12m ³ /h)
分岐2-②	改造:フィーダー延長		
分岐2-③	油圧ジャンボ (190kg級: 2ブーム・2ゲージ)	吹付機搭載型 支保工建込台車(25m ³ /h)	

(9) 中硬岩における機械掘削、制御発破の実施

図-4の分岐部2～分岐部3にかけては地質は中硬岩であったが、既設トンネルへの発破振動の影響を抑制するためブレイカーによる機械掘削を行った。また、分岐部3より先の新設トンネルの掘削に関しては既設トンネルから十分なトンネル間離隔距離(25m=2.5D)がとれるまで、2段芯抜きと離隔に応じた1段当たりの火薬量制限(0.8～8.4kg/段)による制御発破を併用した機械掘削を実施した。

(10) 計測管理の強化(A計測, B計測)

分岐部施工時の計測工として、A計測(図-10)を

表-8 A計測結果(天端沈下)

断面	FEM 予測値	実測 最大値
2-②	9mm	4mm
2-③	15mm	10mm

表-9 部材最大発生力と許容値比発生率

断面	ロックボルト軸力				吹付け応力				鋼製支保工応力			
	新設側		既設側		圧縮		軸力		曲げ			
	KN	%	KN	%	N/mm ²	%	KN	%	KN・m	%		
2-③中央	57.4	32.0	72.0	40.0	0.41	2.0	111.2	13.0	4.6	1.0		
2-③終点	39.5	22.0	40.8	23.0	0.94	5.0	87.2	10.0	2.2	0.0		
プロテクター							46.6	2.0	35.7	13.0		

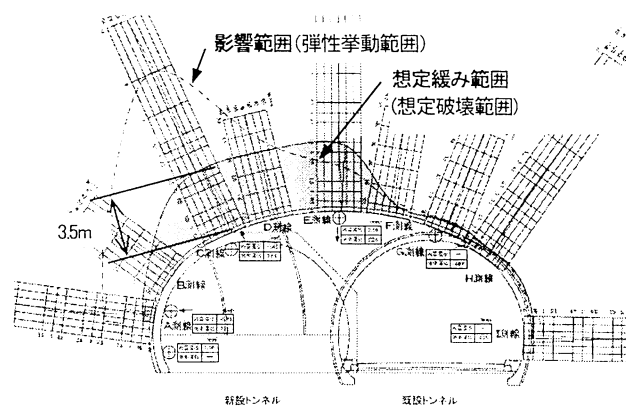


図-11 分岐部 2-③終点部周辺地山挙動推定図

5m 間隔で行うとともに、B 計測として分岐部 2-③の起点、中央、終点の 3 断面に地中変位計、ロックボルト軸力計、吹付コンクリート応力計、鋼製支保工応力計を設置した。また、近接区間施工時の影響を把握するため、固定式プロテクターにも応力計を設置した。

計測結果を表-8、9 に示す。変位は微少で FEM 予測値内に収まり、支保部材の発生力も最大で許容値比発生率 40%と耐荷力に十分余裕がある状態に収まった。支保部材ごとに比較すると、ロックボルト軸力の許容値比発生率が高い。これは図-9 のような加背割で山側を先行施工した場合、次の海側加背掘削時に山側支保端部が解放されて山側支保工が片持ち梁のような状態になり、鋼製支保工や吹付コンクリートが十分に荷重を負担できず、ロックボルトへの負担が大きくなるためと考えられる。図-11 に示す地中変位計やロックボルト軸力計による想定緩み範囲は最大 3.5m 程度であり、ロックボルト長 (L=6m) は妥当であった。また拡張掘削に伴って応力開放が生じる新設トンネル側には緩みが発生しているものの、既設トンネル側に発生する緩みは小さいことが確認できた。

5. まとめ

分岐部の掘削は平成 19 年 12 月に予定どおり分岐部 2-③まで完了した。その後の新設トンネル区間の掘削は分岐、終点の両坑口から行い、掘削完了まで約 1 年 5 ヶ月かかったが、その間も既設トンネルの交通に大きな支障を及ぼすことなく、無事に作業を行うことができた。

トンネルリニューアル市場は拡大が予想され、活線拡張や活線分岐工事は今後も実施されることがあると想定される。当工事の実績が今後の同様な工事で役立てば幸いである。

謝辞：工事の実施に御理解と御協力をいただいた関係各機関ならびに地元関係者の方々に心から感謝の意を表します。

EXTENSION OF EXISTING NATM TUNNEL BY CONSTRUCTING BRANCH WITH MINIMUM TRAFFIC CONTROL

Toru Matsuno, Hiroyuki Ogawa, Masanori Narita,
Jyunichi Nakamura and Makoto Hiramori

This project is to construct a branch in the existing road tunnel of two lanes. The existing road tunnel is extended by excavating a new tunnel from this branch. However, even during the construction period of the branch, traffic of at least one lane was requested to be maintained all the time in order to keep daily lives of local people. Therefore constructing the branch safely in short term was highly required in this project. In addition, since the cross section of the branch varied from a small narrow section to a large flat section, adjustments of construction methods and verification of the tunnel stability were also very important. Detailed construction processes and measures for problems are reported in this paper.