

災害復旧事業におけるトンネルの掘削工程短縮への取り組みについて

安達 健一¹・金岡 幹²・秋保 琢³・郡司 恭志⁴

¹ 正会員 清水建設株式会社 九州支店土木部 (〒816-8607 福岡県福岡市中央区渡辺通三丁目 6-11)

E-mail: k-adachi.q@shimz.co.jp

² 正会員 清水建設株式会社 土木技術本部 地下空間統括部 (〒105-8007 東京都中央区京橋二丁目 16-1)

E-mail: m_kanaoka@shimz.co.jp

³ 正会員 清水建設株式会社 九州支店土木部 (〒816-8607 福岡県福岡市中央区渡辺通三丁目 6-11)

E-mail: akiho@shimz.co.jp

⁴ 正会員 清水建設株式会社 九州支店土木部 (〒816-8607 福岡県福岡市中央区渡辺通三丁目 6-11)

E-mail: gunji@shimz.co.jp

二重峠トンネルは、延長約 3.7km の避難坑を有する長大トンネルであり、本坑の掘削断面積は約 106m² の大断面トンネルである。熊本地震の災害復旧事業として計画された北側復旧ルート延長約 13km の早期完成を目指す中で、このトンネルの工期短縮が課題であり、設計段階から施工者独自のノウハウを取り入れる発注・契約方式（技術提案・交渉方式（技術協力・施工（ECI タイプ））が採用された。ECI 協議において掘削工程短縮の取り組みとして、1) 支保工構造の合理化、2) 施工機械の高能力化と予備機の配置、3) 本坑 2 箇所でのトンネル掘削、4) 3 班 2 交替制による掘削稼働日の確保、5) 工程短縮を考慮した仮設計画などを提案し、施工、運営を進めた。トンネル掘削工程短縮のための提案施工実績について報告する。

Key Words: NATM, ECI, rapid construction, The 2016 Kumamoto Earthquake, disaster recovery project

1. はじめに

2016 年 4 月に発生した熊本地震により、熊本と大分を結ぶ主要な交通ルートである国道 57 号が寸断された。災害復旧時の代替路確保および早期の災害復旧を目指し、阿蘇の外輪山をトンネルで抜ける延長約 13km の「国道 57 号 北側復旧ルート」事業が計画され、二重峠トンネルは北側復旧ルートのうち、全長が 3,659m の本坑（掘削断面積 106m²）と 3,652m の避難坑（掘削断面積 50m²）で構成される 2 車線道路トンネルである（図-1）。災害復旧事業として北側復旧ルートの早期完成を目指す中で、このトンネルの工事期間を短縮することが課題であったため、設計段階から施工者独自のノウハウを取り入れる発注・契約方式（技術提案・交渉方式（技術協力・施工（ECI）タイプ））が採用された。

二重峠トンネル（大津工区）工事は、本坑 1,839m、避難坑 1,833m であり、坑口部ではトンネル直上に既設県道（以下、ミルクロード）が位置し、最小土かぶり 9m で立体交差する。熊本地震発生以降、ミルクロード

は、国道 57 号の代替道路であり、交通量が非常に多い（2 万台/日）。当該箇所の地質は、不良地山が分布し、地表面沈下が生じ、道路利用者に甚大な影響を及ぼす可能性があるため、慎重な施工が求められた。本稿では、トンネル掘削工程短縮のための提案施工実績について報告する。



図-1 トンネル位置図

2. トンネル掘削工程短縮のための主な提案

(1) 主な提案内容

本工事では、トンネル掘削工程短縮のため、以下の内容を提案した。

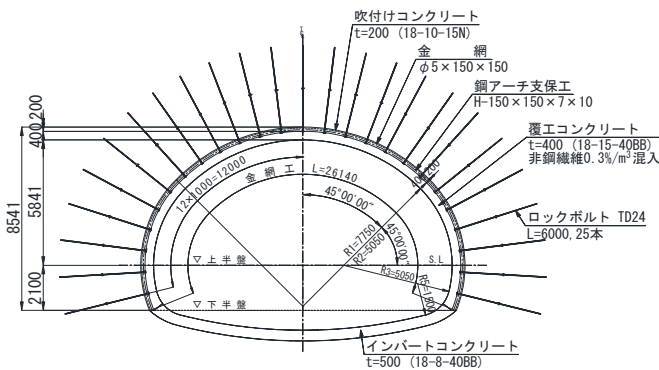
- 1) 支保工構造の合理化
- 2) 施工機械の高能力化と予備機の配置
- 3) 本坑2箇所でのトンネル掘削
(先行する避難坑を大断面化し利用)
- 4) 3班2交替制による掘削稼働日の確保
(土日祝日も稼働)
- 5) 工程短縮を考慮した仮設計画

(2) 支保構造の合理化

図-2 に国交省の標準の支保パターンを、図-3 に本工事で提案した支保パターンをそれぞれ示す。高強度吹付けコンクリート、高耐力ロックボルト、高規格鋼製支保工を採用し、吹付けコンクリートの薄肉化やロックボルトの本数を削減することでサイクルタイムの向上を図った。

(3) 施工機械の高能力化と予備機の配置

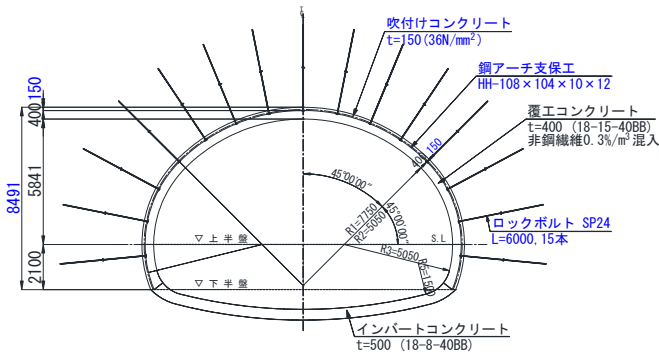
本坑を施工した機械編成を表-1 に示す。標準的な機械編成に対し、各機械を高能力化した編成で施工を行った。また、掘削稼働日の確保と機械メンテナンスおよび故障による工程ロスの影響を削減するため、各機械の予備機を配置した。



国土交通省標準諸元表

ロックボルト	鋼アーチ支保工	吹付けコンクリート厚	覆工厚	金網	変形余裕量		
					上半	下半	インバート
長さ	周方向延長方向	上半	下半	アーチインバート			
6.0m	1.0m	1.0m					
耐力176.5kN以上		H-150	20cm	40cm	50cm	0cm	0cm
			$\sigma_{ck}=18\text{N/mm}^2$	上・下半	0cm	0cm	0cm

図-2 標準支保パターン (DI)



二重峠トンネル諸元表

ロックボルト	鋼アーチ支保工	吹付けコンクリート厚	覆工厚	金網	変形余裕量		
					上半	下半	インバート
長さ	周方向延長方向	上半	下半	アーチインバート			
6.0m	1.6m	1.0m					
耐力290kN以上		HH-108	15cm	40cm	50cm	0cm	0cm
			$\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$	上・下半	0cm	0cm	0cm

図-3 提案支保パターン (DI)

表-1 施工機械編成 (標準との比較)

本坑 (CⅡ・DⅠ)	標準積算編成			実施工編成(1切羽当たり)			
種別	名称	形状寸法	数量	名称	形状寸法	数量	摘要
穿孔	3ブーム2バスケット ホイールジャンボ	トンネル工事用排出ガス対策型 油圧削岩機170kg級	1台	3ブーム2バスケット ホイールジャンボ	トンネル工事用排出ガス対策型 油圧削岩機220kg級	1台	予備機1台
				2ブーム2バスケット ホイールジャンボ	トンネル工事用排出ガス対策型 油圧削岩機220kg級	1台	
ずり出し	ホイールローダー	トンネル工事用排出ガス対策型 サイドダンプ式 山積2.3m ³	1台	ホイールローダー	トンネル工事用排出ガス対策型 サイドダンプ式 山積3.1m ³	2台	
	ダンプトラック10t級	トンネル工事用オンロード型10t積	5台	ダンプトラック	坑内用 オンロード30t級	6台	予備機2台
吹付け コンクリート	コンクリート吹付機	湿式吹付・吹付ロボット一体・エアコンプレッサ搭載・吹付範囲半径7m級	1台	エレクター機能付き 吹付け機	吹付けロボット、コンプレッサ 急結材供給装置搭載型 6～20m ³ /hr級	2台	予備機1台
支保工建込	3ブーム2バスケット ホイールジャンボ	トンネル工事用排出ガス対策型 油圧削岩機170kg級	(1台) 兼用				
ロックボルト工	3ブーム2バスケット ホイールジャンボ	トンネル工事用排出ガス対策型 油圧削岩機170kg級	(1台) 兼用	3ブーム2バスケット ホイールジャンボ	トンネル工事用排出ガス対策型 油圧削岩機220kg級	(1台)	穿孔と兼用
				2ブーム2バスケット ホイールジャンボ	トンネル工事用排出ガス対策型 油圧削岩機220kg級	(1台)	穿孔と兼用
補助工法	3ブーム2バスケット ホイールジャンボ	トンネル工事用排出ガス対策型 油圧削岩機170kg級	(1台) 兼用	3ブーム2バスケット ホイールジャンボ	トンネル工事用排出ガス対策型 油圧削岩機220kg級	(1台)	穿孔と兼用

(4) 本坑2箇所でのトンネル掘削

図4に示すように、避難坑から作業坑を掘削し、本坑を2箇所と同時に施工することで工程短縮を図った。本坑2箇所施工を実現するため、図5に示すように避難坑を通常の20m²程度の断面から50m²の断面に変更して施工を行った。これにより坑内での大型ダンプ(30t)の離合が可能となる。また避難坑掘削も大型機械を導入し、先行掘進のための進捗の確保を図った。先行する避難坑の地質評価の情報は、本坑掘削における調査坑として、本坑掘削中のスムーズなパターン変更実現のために利用した。

(5) 3班2交替制による掘削稼働日の確保

表2に示すように、掘削を各切羽3班編成で施工した。通常の2班2交替制に比べ、作業員の増員が必要となる

が、個人の休日(月平均9日)を確保した上で、休工日を設定することなく掘削を連続で行うこととした。掘削期間中は、月平均27日以上稼働(標準積算より6日追加)することで、約13m/月の工程短縮を図った。

(6) 工程短縮を考慮した仮設計画

図6に本工事で計画・実施した仮設設備の配置図を示す。工事の早期着手ならびに、隣接工区作業の影響を受けにくくするため、既設県道からトンネル坑口を結ぶ「緊急搬入路」を造成した。当初設計では、坑口前の狭小スペースに仮設備を配置する計画であったが、本線外に仮設ヤードを確保し、急速施工に伴う資材ストックなどに利用できるようにした。また、避難坑・本坑の同時掘削を可能とするため、骨材自動供給式、製造能力80m³/hの吹付けコンクリート製造用バッチャープラント

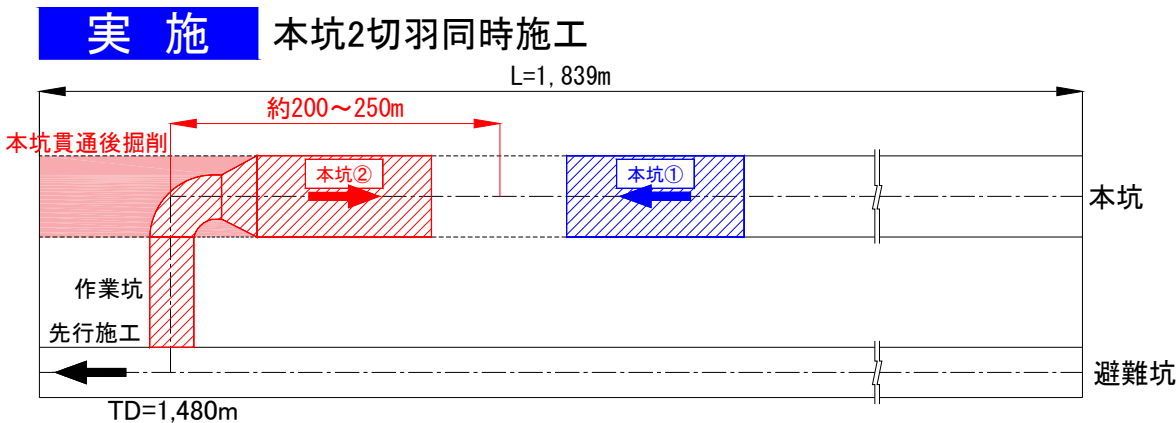


図4 本坑2箇所同時施工イメージ図

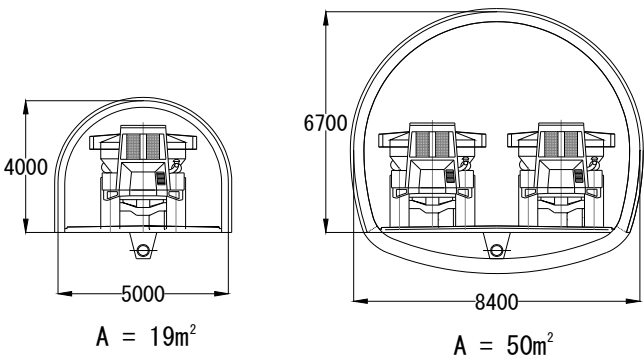


図5 避難坑断面の比較イメージ図

表2 3班2交替制のシフト例

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	勤務日数 月当たり
A班	夜	夜	休	休	休	昼	昼	昼	昼	昼	昼	休	休	休	夜	夜	夜	夜	夜	夜	休	休	休	昼	昼	昼	昼	昼	昼	休	20
B班	昼	昼	昼	昼	昼	休	休	休	夜	夜	夜	夜	夜	夜	休	休	休	昼	昼	昼	昼	昼	昼	休	休	休	夜	夜	夜	夜	20
C班	休	休	夜	夜	夜	夜	夜	夜	休	休	休	休	昼	昼	昼	昼	昼	休	休	休	夜	夜	夜	夜	夜	夜	休	休	休	昼	19

を1基採用した。結果として、隣接工区の作業に影響されることがなく、トンネル掘削着手までの期間を1.5ヵ月短縮することができた。また、本線外の仮設ヤードの確保や製造能力の高いバッチャープラントの採用などにより、急速施工に対応することができた。

3. 施工実績

写真-1、写真-2 に施工状況の写真を示す。本工事の標準工程と実際に施工した工程を表-3 に示す。掘削サイクル向上や本坑2箇所同時掘削などにより、最終的には本坑 1,839mと避難坑 1,833mの掘削を 18.5 ヶ月で完了することができた。



図-6 仮設備配置図



写真-1 避難坑掘削状況



写真-2 本坑掘削状況

表-3 掘削工程比較表

項目(数量)			工期(ヶ月)																																							
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
標準 工程	準備工	(1式)	掘削期間36ヶ月																																							
	避難坑	トンネル掘削工	1,653 m																																							
	本坑	トンネル掘削工	1,659 m																																							
実績	準備工	(1式)	掘削期間18.5ヵ月																																							
	避難坑	トンネル掘削工	1,653 m																																							
	本坑①	トンネル掘削工	1,473 m																																							
	本坑②	トンネル掘削工	186 m																																							

4. おわりに

本工事では、設計段階から施工者が参画する、ECI 方式で発注され、早期開通に向けた取り組みとして、1)支保構造の合理化、2)施工機械の高能力化と予備機の配置、3)本坑 2 箇所でのトンネル掘削、4)3 班 2 交替制による掘削稼働日の確保、5)工程短縮を考慮した仮設計画などを提案し、施工、運営を進めた。その結果、掘削期間を標準工程と比較して、大幅に短縮することができた。

謝辞：最後に、本工事の実施にご理解とご協力を頂いた関係者各位ならびに地元住民の皆様に心から感謝の意を表すとともに、本工事の成果が熊本震災復興に貢献できれば幸いである。

(2019. 8. 9 受付)

EFFORTS TO SHORTEN TUNNEL EXCAVATION PROCESSES IN DISASTER RECOVERY PROJECTS

Kenichi ADACHI, Miki KANAOKA, Taku AKIHO and Yasushi GUNJI

Futaeno-toge tunnel is a large section tunnel with a long tunnel having an evacuation tunnel of about 3.7 km in length. The excavation cross-sectional area of the main tunnel is a large tunnel of about 106 m². The shortening of construction period of this tunnel was a problem in aiming at the early completion of Northern Restoration Route extension of about 13 km planned as a disaster recovery project of the Kumamoto earthquake, and ECI(Early contractor involvement) was adopted. As a challenge of the excavation process shortening in the ECI conference, 1) rationalization of the tunnel supporting structure, 2) capacity enhancement of the construction machine and arrangement of the spare machine, 3) tunnel excavation at 2 places of the main tunnel, 4)Securing drilling operation days through a three-team, two-shift system, 5) temporary construction plan considering the process shortening, etc. were proposed, and construction and management were advanced. Proposals for shortening tunnel excavation process and construction results are reported.