

# 試験施工を活用したトンネル天井板撤去工事 —高速 2 号東山線トンネル天井板撤去工事—

岩脇菜摘 \* 鈴木重人 \* 坂部光彦 \*\*

名古屋高速 2 号東山線にある東山トンネルは平成 24 年に天井板落下事故があった笹子トンネルと同様の構造であり、長期的な劣化のリスクを減らす必要があることからトンネル全線に渡り天井板を撤去する方針となった。東山トンネルの天井板撤去工事は、約 1 ヶ月の通行止め期間内に天井板撤去から撤去後のトンネル覆工補修工までを終わらせる必要があり、確実な施工方法と工程の厳守を求められるものとなっていた。そこで、東山トンネルと同規模の模擬トンネルを製作し、施工方法の確立とオペレーターの習熟度向上という目的で試験施工および習熟訓練を行った。本稿では、その模擬トンネルの取り組みと本施工について報告する。

キーワード：トンネル、天井板、通行止め、試験施工

## 1. はじめに

名古屋高速道路の高速 2 号東山線は、名古屋市中心部と名古屋市東部を結ぶ延長約 10 km の東西路線で、平成 15 年 3 月に供用を開始して以来約 16 年が経過している (Fig. 1)。高速 2 号東山線は、この路線の東部にある名古屋第二環状自動車道 (名二環) を接続し、名古屋都市圏の高速道路網と一体となって機能している。

また、高速 2 号東山線は、東山トンネルという道路トンネルを有しており、山岳トンネルと開削トンネルから成っている。この山岳トンネル区間の換気方式は横流換気方式であり、トンネル上部に換気ダクトを設け、空気を供給する仕組みとなっている。これは、天井板落下事故があった笹子トンネルと同様の換気方式および構造であり、東山トンネルでは、上下線で合わせて約 4.7 km が天井板を吊り下げる構造となっている。

名古屋高速道路公社では、平成 26 年に土木学会からコンクリートのあと施工アンカーに関する新たな知見が出されたことを受け、この構造について学識経験者による技術検討委員会を設置し、安全面、防災面、環境面について検討を実施した。この検討結果を踏まえ、天井板を吊り下げる構造について長期的なリスクを減らすため、天井板を撤去し、換気方式を縦流換気方式に変更することを決定し、平成 31 年 2 月にトンネル区間を約 1 カ月間上下線全面通行止めにして、天井板を撤去するとともにジェットファンを設置して換気方式を変更する工事を実施した。本稿では、この工事の工期短縮に向けた取り組みとその工事状況について報告する。

## 2. 工事概要



Fig. 1 工事箇所図

工 事 名:	高速 2 号東山線トンネル天井板撤去工事	
発 注 者:	名古屋高速道路公社	
施 工 者:	株式会社熊谷組名古屋支店	
工 事 場 所:	名古屋市中種区四谷通 3 丁目～ 名古屋市名東区藤巻町 3 丁目地内	
工 期 :	平成 29 年 12 月 12 日～令和元年 6 月 28 日	
工事数量 :	工事延長	L=2, 550m
	天井板撤去工	4, 578m
	吸音板撤去工	2, 223m <sup>2</sup>
	トンネル覆工補修工	一式
	試験施工	一式
	閉塞工	一式
	雑工	一式

\* 名古屋支店 東山トンネル天井板撤去作業所  
\*\* 名古屋支店 土木部 技術グループ

### 3. 東山トンネルの概要

東山トンネルの諸元を Table 1 に、東山トンネルの標準断面を Fig. 2 に示す。トンネル断面は、天井板によってダクトと車道側に分かれており、ダクト内部は隔壁によって送気・排気ダクトに分けられる。天井板は隔壁下端の金具と、トンネル覆工側の受台によって支持されている。ダクトを構成している天井板・隔壁・受台は全て高強度コンクリートを用いたプレキャスト製となっており、上り線約 2.5km、下り線約 2.0 km にかけて設置されている。天井板等撤去数量を Table 2 に示す。

Table 1 東山トンネルの諸元

項目	規格	
道路区分	第2種第2級	
設計速度	50km/h	
車線数	4車線	
幅員(一方向)	標準部9.0m 非常駐車帯部10.5m	
最大曲線半径	1,000m	
再急縦断勾配	2.0%	
トンネル区間延長	上り線	3,190m
	下り線	3,560m
非常駐車帯	上下線各5カ所	
避難連絡坑	4カ所(2換気所、2非常口)	
車両転回路	5カ所(東山・緑橋換気所、 東山元町・藤巻非常口、四谷転回路)	
トンネル等級	AA級	
換気方式	集中換気付横流式	

撤去工における通行止め期間は、平成 31 年 2 月 3 日(日)0 時~28 日(木)24 時の約 1 カ月間(26 日間)を上下線全面通行止めで施工することに決定した。2 月は交通量が少なく、他機関工事との重複を避けることが可能なため

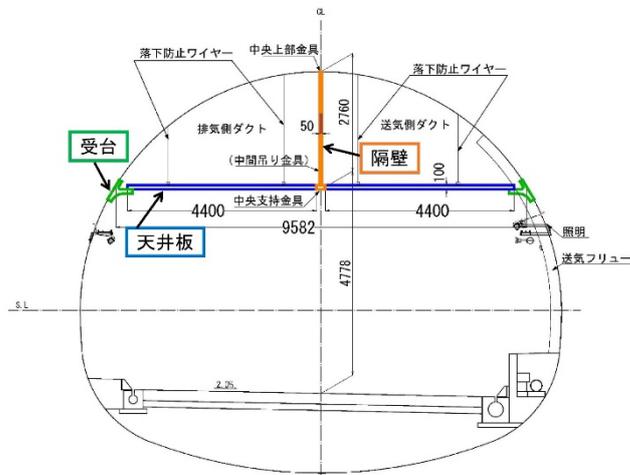


Fig. 2 東山トンネル標準断面図

Table 2 天井板等撤去工数量

工種	項目	規格	数量
天井板撤去工	天井板撤去工	L=2.2~8.2m W=1m t=0.1m 重さ約1t(最大約2t)	8,775 枚 10,212.9 t
	隔壁板撤去工	L=1.7~4.5m W=0.9m t=0.05m 重さ 約300kg(最大約500kg)	4,384 枚 1,350.3 t
	受け台撤去工	L=2.5m 重さ 約500kg	8,476 m 1,907.0 t
	金具等撤去	落下防止ワイヤー 排気孔調整設備等	880.97 t

### 4. 天井板撤去工事概要

天井板撤去工の全体工程表を Table 3 に示す。天井板

Table 3 全体工程表

		平成30年												平成31年				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3		
熊谷組 施工	1. 準備工(事前試験施工)				4日													
	2. トンネル覆工補修工							8カ月										
	3. 試験施工 (模擬トンネル)							5カ月										
	4. 天井板撤去工 吸音板撤去工 閉塞工																	
施設 工事	5. ジェットファン設置工事				9カ月													
	6. 照明取換工事								4カ月									

天井板撤去工事(通行止め)

である。この通行止め期間内に天井板・隔壁・受台を撤去し、補修作業、設備工事のジェットファン設置(他工事)までを行った。

地部においては、はく落対策として、FRP ネット(漏水箇所は線導水)を設置した。

Table 4 補修工の数量・仕様

工種	数量	仕様
①はく落対策工	4236m <sup>2</sup>	FRPネット
②漏水対策工	2325m	線導水
	139箇所	チューブ式導水
③ひび割れ注入工	1734m	エポキシ樹脂注入工法
	22m <sup>2</sup>	CS21塗布工
④断面修復工	287m <sup>2</sup>	左官工・表面保護工

## 5. 施工報告

### 5. 1 試験施工(事前)

トンネル天井板を撤去するにあたり、天井板同士等接続部には無収縮モルタル(鉄筋あり)が間詰めされている。その部分のハツリ・切断作業がどれほど時間を要するのかを把握する目的で、東山トンネルのダクト内に入り、各箇所です実際にハツリや鉄筋切断作業を実施した(Fig. 3)。この試験から施工方法の選定と作業時間を把握し、通行止め時の施工計画に反映させた。

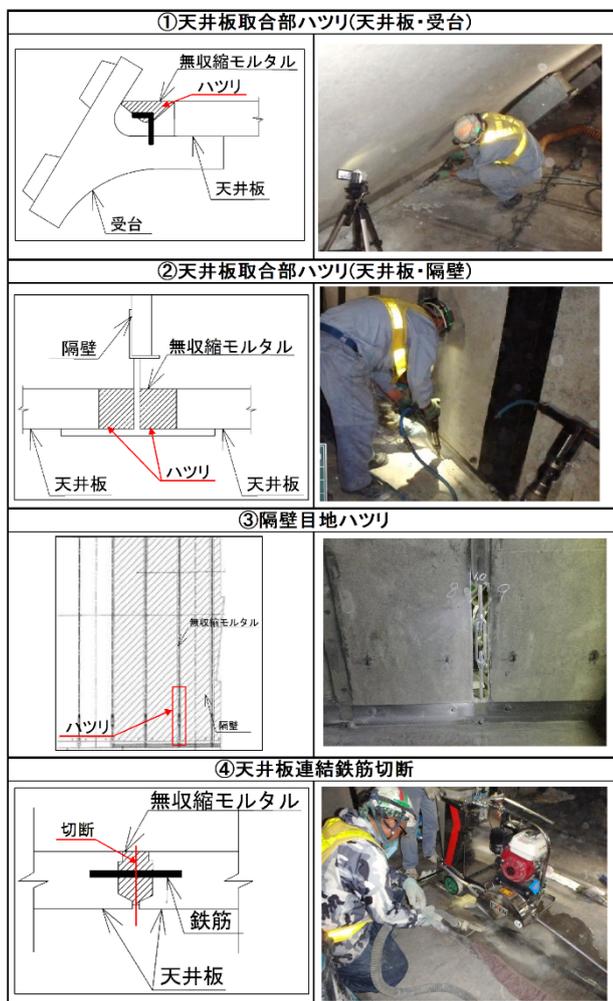


Fig. 3 試験施工 (事前)

### 5. 2 通行止め前の補修工事

天井板撤去工事に先立ち、平成 30 年 6 月から翌年 1 月までトンネル覆工補修工を行った。Table 4 に補修工の数量と仕様、Fig. 4 に補修内容を示す。なおトンネル目

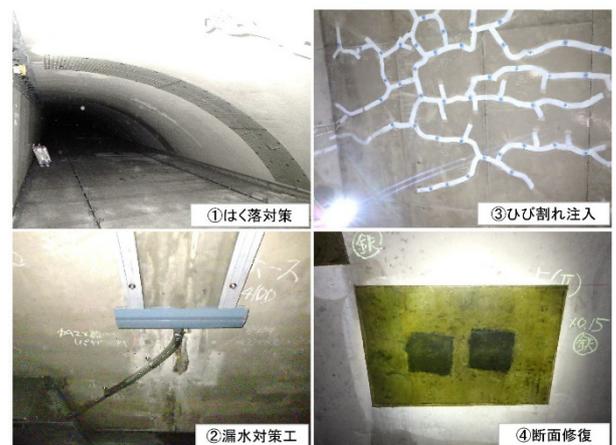


Fig. 4 補修工写真

### 5. 3 試験施工(模擬トンネル)

本工事は、他の天井板を有するトンネルに比べ天井板が強固についていることと、天井板の重量が重いことため施工の難易度が高かった。そのため、実際の東山トンネル断面と同等規模の試験体を整備し、施工方法の詳細について具体的に検討することを目的として、模擬トンネルの試験施工を実施した。また、本工事はの施工量を踏まえると、オペレーターの人員も多く見込まれるため、オペレーター全員に施工方法を訓練し、施工効率を高めることを二つ目の目的とした。模擬トンネルの試験施工の目的を以下に示す。

- ① 撤去方法の確立
  - ・ 撤去の仕方
  - ・ 撤去の手順
  - ・ 重機の選定
  - ・ 治具の選定(製作)
- ② オペレーターの習熟度向上
  - ・ 施工手順の訓練

模擬トンネルの試験ヤードを Fig. 5 に示す。天井板撤

去ヤードでは手前に最も長い長さ 8.1m の天井板まで対応できる模擬トンネル，奥に平均的な天井板である長さ 4.7m の模擬トンネルを整備した。また模擬トンネルの側面部には，隔壁および受台のヤードを整備した。

### 5. 3. 1 天井板撤去方法確立

天井板撤去の具体的な撤去方法については，全国的に過去の実績を調査し，東山トンネルに適用できるように改良および新規方法の検証を行った。その結果，撤去用治具を取り付けたバックホウで天井板を挟んで撤去を行う方法を採用した。その撤去方法を Fig.6 に示す。この方法は施工性が良く，汎用機械を使用するので経済性にも優れており，約 1 カ月間の施工に対応可能であった。

東山トンネルは長さ約 2m～約 8m の天井板が存在する

ため，各長さおよび重量に対応する最適な重機を選定した。最も長い天井板(L=8.2m)については，重量が重いため 20t 級バックホウを採用した。それ以外の天井板の施工については，全て 14t 級バックホウで撤去が可能であったため，流通性の良い 14t 級バックホウを採用した。一方，撤去用治具の構造検討については，天井板を挟む際，アイアンフォークだけでは天井板の中心に力が集中し，天井板を破損させる恐れがあるので，その最適な長さの治具を検証した。さらにバックホウで天井板を掴む際，その掴み具合の安定性の面からゴムを緩衝材として用いることとしたが，天井板を掴む回数を重ねる毎にそのゴムの劣化による掴み具合の悪化を確認した。これに対しては取り換え可能な構造で対応することとした。その結果を，Fig.7 に示す。



Fig. 5 模擬トンネル試験ヤード

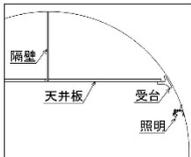
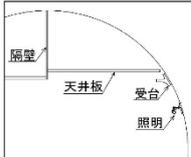
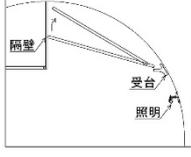
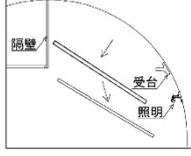
天井板撤去方法	①			解体用フォーク搭載(専用治具)バックホウにより，天井板の中心を挟む
	②			天井板を荷揚げする
	③			荷揚げ後，隔壁側を上げる方向に回転させる ②③を繰り返す ※覆工面・受台に接触しないよう注意
	④			受台側を先にかわすために一旦隔壁側へ天井板を移動させ荷卸し，受台をかわしたら逆方向へ移動させて荷卸しを行う。
	⑤			天井板をフォークリフトに荷渡す。

Fig. 6 天井板撤去方法

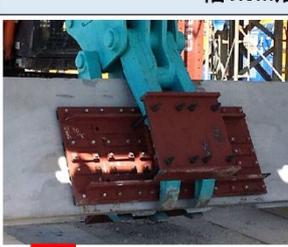
天井板撤去用治具	幅1.5m治具		・治具の幅がフォークリフトの爪の幅より広い ためフォークリフトへの受け渡し不可
	幅1.0m治具		・フォークリフトへの受け渡し可 ・数回使用するとゴムが劣化し，ゴム交換にビス25本取り換える必要有り
	ゴム交換簡易型治具(幅1.0m治具)		<b>採用</b> ・ゴム交換: ボルト2本 ・プレートごと交換することで，簡易にゴム交換が可能

Fig. 7 天井板撤去用治具の改良

施工方法	案1 倒し込み方式	案2 隔壁3枚・中央吊り金具同時撤去方式
写真		
概要	ホイールローダーのバケットに幅4mの拡大バケットを取り付け、隔壁をバケットに倒しこむ 隔壁撤去後に、中央吊り金具を高所作業車・フォークリフトにて行う	フォークリフトに隔壁卸治具を取り付け、隔壁3枚を中央吊り金具と一体化させた状態で降下させて撤去する その後、地上で解体する
施工性	○実績有り ×トンネル工区によっては覆工面に接触する ×別途、中央吊り金具を撤去する必要がある	○隔壁3枚と中央吊り金具を同時に撤去できる △隔壁を解体するスペースが必要
安全性	×転倒の際、隔壁が大きく揺れる	○中央吊り金具と隔壁の分解作業を地上で行うので、落下の危険が少ない
総合評価	×過去に実績はあるが、東山トンネルでの施工は不可	○隔壁3枚と中央吊り金具を同時に撤去できるため、施工性が良い <b>採用</b>
施工効率	58枚/日	86枚/日

Fig. 8 隔壁撤去方法

施工方法	案1 バックホウ方式	案2 ホイールローダー＋鋼板方式	案3 フォークリフト＋鋼板方式
写真			
概要	受台撤去占用のアタッチメントを取り付けた解体用フォーク搭載のバックホウにて掴み、高所作業車で受台のボルトを外した後、受台を引っ張り撤去する	受台の下部に鋼板を差し込み、受台をジャッキとレバーブロックで固定し、高所作業車にて受台のボルトを外した後、ホイールローダーにて引き下ろし撤去する	案2のホイールローダーをフォークリフトに変更
施工性	○撤去速度が速い	△上下前後の複合的な動きをするため、受台下へ鋼板を差し込むのに時間がかかる	○上下・前後方向にそれぞれ独立した動きが可能のため、ホイールローダーより正確な作業ができる
安全性	△受台を外した際のブームの反動で、受台直下にある照明を破損させる恐れがある	○鋼板治具が照明を覆う状態のため、破損の危険性が低い	○鋼板治具が照明を覆う状態のため、破損の危険性が低い
総合評価	△施工スピードは速いが、鋼板方式より安全性が劣るため	△受台撤去は可能であるが、フォークリフトへの代用が可能	○受台直下の照明を傷つける恐れがなく、施工性も良い <b>採用</b>
施工効率	160m/日	100m/日	138m/日

Fig. 10 受台撤去方法

### 5.3.2 隔壁撤去方法の確立

隔壁の撤去方法としては、Fig. 8に示す案1、案2の2案で検討を行った。案1は他トンネルで適用された方法であるが、東山トンネルの構造では、隔壁をホイールローダーに倒し込んだ際、隔壁がトンネル覆工面に接触する可能性が高く、トンネル覆工を損傷させる恐れがあった。そこで、案2のフォークリフトに専用の治具を取り付け、隔壁3枚と中央吊り金具を同時に撤去する方法を考案した。この同時に3枚の隔壁を撤去する方法により、施工性および安全性を向上させることが可能となり、案2を採用することとした。

### 5.3.3 受台撤去方法の確立

受台の直下にはトンネル内設備であるLED照明器具が取り付けられており、この照明を傷つけないよう受台を撤去する必要があった。受台から照明器具までの離隔は最小箇所約200mmしかなく、撤去が非常に難しい構造となっていた(Fig. 9)。そこで、受台は3つの案で検討を行った。検討結果をFig. 10に示す。いずれの案も撤去自体は可能であったが、近接している照明器具の破損リスクを回避し、安定した施工性が確保される案3のフォークリフト+鋼板方式を採用することとした。

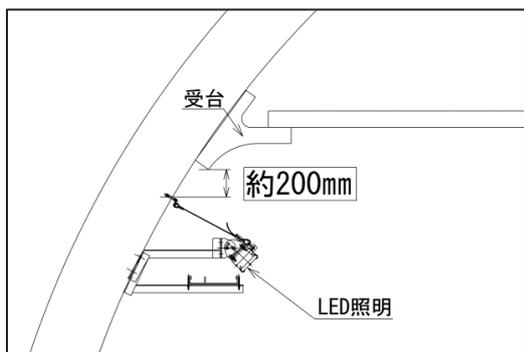


Fig. 9 受台照明離隔

### 5.3.4 オペレーターの習熟度の向上

天井板撤去、隔壁撤去、受台撤去のうち、最も時間を要する天井板撤去作業がクリティカルとなり、オペレーターの習熟度の向上が工期短縮へ直結すると想定したため、主に天井板撤去作業について習熟訓練を行った。天井板の大きさとしては、撤去難易度の高い長さ 8.1m の天井板と、最も枚数の多い長さ 4.7m の天井板の習熟訓練を重点的に行った。その結果をTable 5に示す。この習熟訓練を行うことにより、撤去にかかる時間が短縮され、かつより安全に撤去することが可能となった。

Table 5 習熟訓練結果

天井板	訓練前	訓練後	習熟後から得られる1日(昼夜2方)の撤去枚数
8.1m	24分/枚	15分/枚	68枚/日
4.7m	17分/枚	12分/枚	80枚/日

### 5.4 通行止め期間における本施工

本施工においては、上下線合計11班(上り線6班・下り線5班)、昼夜2交代を施工体制とした。本施工の実施工程をFig. 11に示す。各班毎に「天井板→隔壁→受台」で施工順序を単純化することで、大勢の作業員を一時的に管理し、工事を施工した。各撤去フローをFig. 12に示す。撤去した天井板や隔壁等は、フォークリフトでトンネル内へ仮置きし、先に示した時間の中でトラックに積み込み・搬出を行い、中間処分場へ運搬した。

天井板撤去等の日当たり計画と実施数量の比較をTable 6に示す。天井板・隔壁の撤去においては概ね計画を上回る速度で撤去することができた。一方、受台は無収縮モルタルを撤去する手間により、撤去速度が低下した。受台において撤去速度が低下したこともあったが、

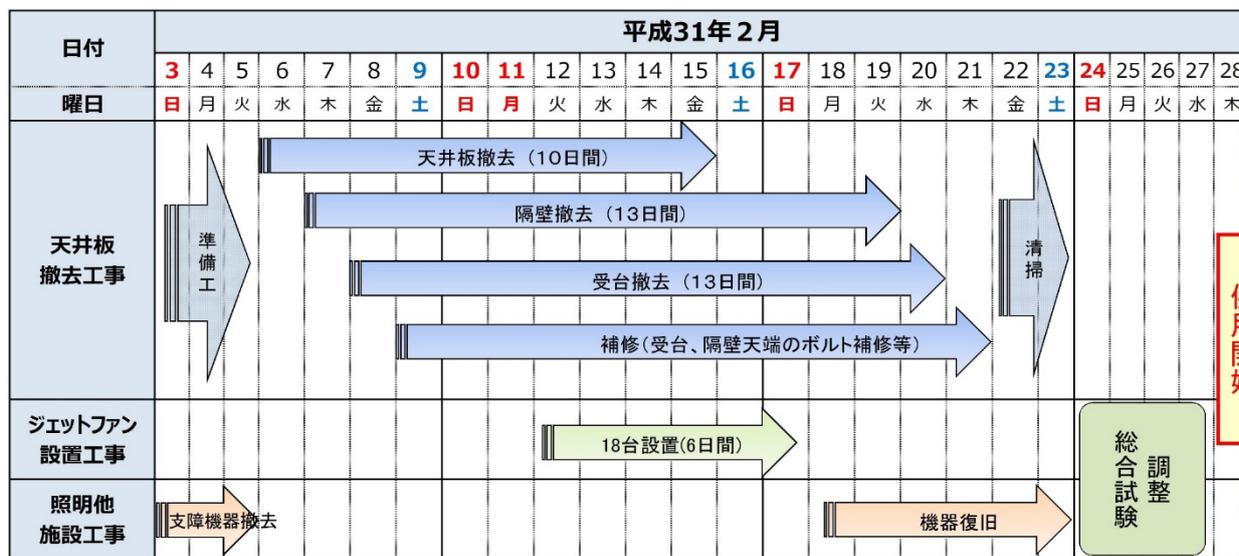


Fig. 11 通行止め期間工程表

全体的に日当たり施工量が計画よりも向上した理由については、撤去を行うにつれてオペレーターの習熟度が増したことや、作業環境への慣れが影響した結果だと考えている。

Table 6 日当たり施工量の比較

	天井板(枚)		隔壁(枚)		受台(m)	
	計画	実施	計画	実施	計画	実施
上り線	80	100	43	58	138	87
下り線	80	97	43	52	138	162
平均	80	99	43	55	138	125

昼夜(2方)・1班当り

天井板等の撤去作業で発生する1日当たりのコンクリート殻は平均1,300tとなった。1.5時間の撤去作業、0.5時間の運搬作業で1日あたりの施工サイクルを計画していたが、0.5時間の運搬時間では車両の搬出入のみで積込時間が確保できず場内には搬出しきれない撤去部材により隔壁撤去、受台撤去の作業に支障をきたした。そこで、計画では24時間を均等に撤去作業、運搬作業としていたが夜間用搬出車両の確保が困難であったため昼中心の運搬とした。昼中心の運搬作業となったため、作業時間の変更を行い昼間のサイクルは1.0時間の撤去作業、0.5時間の搬入車両入替時間、0.5時間の積込時間とし、夜間は撤去作業を主とした作業時間に変更することにより、撤去工の速度の回復を行った。

5.5 反省と改善点

- ① コンクリート殻搬出による撤去作業効率の低下と改善策



Fig. 12 撤去フロー

② 狭隘部のハツリの施工速度の低下と改善策

天井板を撤去するためには、連結してある鉄筋を切断する必要がある。鉄筋切断用のコンクリートハツリ箇所が狭隘部であること、閉所でのハツリ作業による作業環境の悪化により計画工程より大幅な遅延が発生した。

そこで、天井板撤去時の連結鉄筋の状態、ハツリ後の連結鉄筋の点付け溶接の状態から鉄筋を切断することなく天井板を治具により挟みねじることにより撤去できると判断し、試験施工を実施した。試験施工として2ケースで行った。1ケースとして天井板と隔壁、天井板と受台部の鉄筋を切断せず、天井板と天井板の鉄筋は切断し行った。2ケースとしてすべての鉄筋を残した状態で行った。両者とも周りの構造物に損傷を与えることなく撤去できることが確認できたため、天井板撤去作業のクリティカルになっていたハツリ作業をとりやめ工程回復を行った。

6. 終わりに

本施工は短期間ということもあり、模擬トンネルを使用しさまざまな取り組みを行った。2月は年度末ということもあり、人員の確保が困難であった。また、これまで述べたような想定外のことが起こるなど対応に追われることもあったが、計画より1日早い平成31年2月27日24時に無事東山トンネルを開通することができた (Fig. 13)。

謝辞

本工事の施工にあたり、貴重なご助言・ご指導をいただいた多くの関係者の皆様に、この場を借りてお礼申し上げる次第である。



Fig. 13 施工前後

**Tunnel Ceiling Panels Removal Construction Using Test Operation**

Natsumi IWAWAKI, Shigeto SUZUKI and Mitsuhiko SAKABE

Abstract

The ceiling panel removal work for the Higashiyama Tunnel had to be completed from the ceiling panel removal to the tunnel lining repair work after the removal within a one-month closure period, and a strict adherence to the construction method and the work schedule were required. In this paper, we will show the details of the work conducted in the mock tunnel for the purpose of confirming the construction method and improving the efficiency of operators, and report the results of the construction.

Key words: Tunnel, Ceiling panels, Road blocked, Test operation