

トンネル天井板撤去工事における施工の工夫 —六甲山トンネル改築事業—

木村健輔 * 吉井孝彰 **

六甲山トンネル改築事業は、老朽化したトンネルの長期的な安全性・経済性を確保する目的で、トンネル内の天井板を撤去して換気方式を半横流式から縦流式に変更する大規模修繕工事である。工事条件として、交通量が多く適切な迂回路がないため、夜間のみ通行止めで工事を行うことが要求され、通行止め期間にも制限があった。このため、施工サイクルの工夫や残置設備の養生、ならびに施工スペースの制約を考慮した作業方法により施工した工事について報告する。

キーワード：トンネル天井板撤去, 交通規制, 夜間作業

1. はじめに

六甲有料道路は昭和 42 年に神戸市により建設された道路で、六甲山系により分断された神戸市域を南北に結ぶ生活道路であり、また山陽自動車道・中国自動車道とも連絡する重要な道路である。六甲有料道路の中央部に位置する六甲山トンネルは、全長 2,855m の 2 車線対面通行のトンネルで、建設当時は道路トンネルとしては世界で 5 番目の長さであったと言われている。建設後 50 年以上が経過し、覆工コンクリートや天井板および換気所には経年劣化が多く見受けられるようになったことから、長期的な安全性・経済性を確保する目的で、大規模改修工事を行うこととなった (Photo. 1)。

本事業は、これらの改修に合わせて、六甲山トンネルの天井板を撤去し換気方式を半横流式から縦流式に変更するとともに、第 1・第 2 換気所を撤去して新たに坑門を設置する工事である (Fig. 1) (Fig. 2)。



Fig.1 工事位置図



Photo. 1 改良前・改良完了

2. 工事概要

工事概要および工事数量について、Table 1 および Table 2 に示す。

Table 1 工事概要

工 事 名	六甲山トンネル改築工事
発 注 者	神戸市道路公社
施 工 者	株式会社 熊谷組
工 期	平成 29 年 4 月 6 日
	平成 31 年 3 月 10 日

* 関西支店 土木事業部 土木部 技術グループ
** 関西支店 土木事業部 土木部 六甲山トンネル作業所

Table 2 工事数量

工種	単位	数量
天井板撤去工	m ²	20,070
内装板撤去工	m ²	1,296
換気所解体工	棟	2
坑門構築工	基	2
換気設備改良工	基	14
照明設備	式	1

六甲山トンネルは、天井板上部の空間を換気ダクトとして利用する半横流式が採用されている。3箇所の換気所からトンネル天井板上部に外気を取り込み、天井板にある換気孔から天井板下部の走行空間に外気を流し込み、排気ガスを両坑口から排出する換気方式であった。本工事では、天井板を撤去するほか3つの換気所のうち両坑口の2カ所を撤去して、ジェットファンを設置し、トンネル内の空気を一方向に流すことにより、片側の坑口から排気ガスを排出する縦流式の換気方式に改築する工事である (Fig. 2) (Fig. 3)。

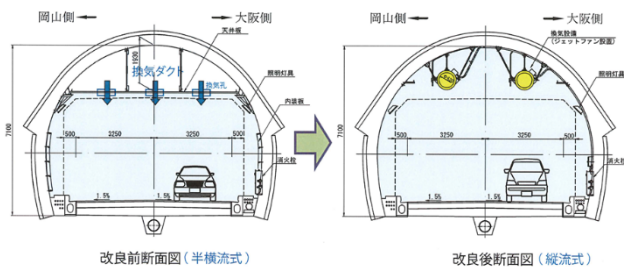


Fig. 2 トンネル断面図 (改良前・改良後)

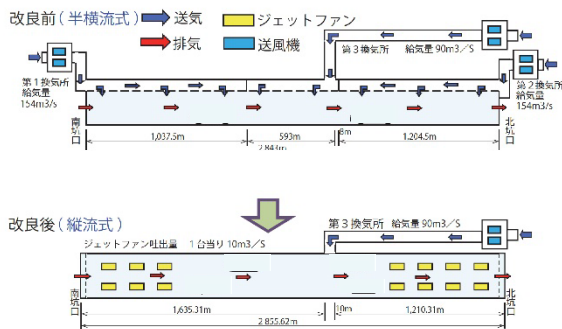


Fig. 3 トンネル縦断面図 (改良前・改良後)

3. 本工事の課題

本工事の特徴として主に以下の3つが挙げられる。これらは本工事における主たる工種である天井板の撤去方法に関するもので、すべての条件を考慮した施工方法が求められた。

3. 1 施工時間の制限

六甲山トンネルの日当たりの通行量は、約 17,000 台で適切な迂回路がなく、終日通行止めは市内の道路交通に

多大な影響を与える。そのため、夜間のみの通行止めとし、通行止め期間を

最大 6 ヶ月間、通行止め時間を 22:15~6:00 とし、朝 6 時には、道路を開放する必要があった。

また、通行止め期間中は、地域生活に多大な影響を及ぼすため計画時の工程を厳守しなくてはならず、これらを考慮した施工の工夫を検討する必要があった。

3. 2 夜間作業時における工事制約

本工事においては、工事期間中も通行止め時間帯以外は、トンネルを開放しなくてはならないため電気設備や消防設備などすべての設備を残した状態で施工しなくてはならなかった。夜間の天井板撤去時には、現状のトンネル照明を生かしつつ作業を行う必要があるとともに、天井板の下部に設置されているケーブルラックやトンネル照明器具が天井板撤去の支障となるため、これらの養生対策の工夫を検討する必要があった。

3. 3 施工スペースの制約

六甲山トンネルは建設当時の道路構造令による建築限界に基づいて建設されており、トンネル断面約 55 m²と非常に小さいため、施工スペースを考慮した施工方法の工夫を行う必要があった。

4. 工事課題に対する施工の工夫

4. 1 施工時間の制限に対する工夫

本工事では、撤去した天井板を日々搬出して交通規制の解除を実施する必要があった。このため、トレーラーの荷台にリフターを設置して天井板を載せ、搬出する方法を採用した。

トレーラーの荷台形状については、当初、低床トレーラーで設計されていた。しかし、天井板撤去後の運搬ルートは急こう配の道路が多くあるため、事故防止のために中床トレーラーを選択した (Photo. 2)。



Photo. 2 中床トレーラー

また、施工サイクルの構成については、交通規制解除に要する跡片付け時間 (60 分) を考慮して、23 時~翌 4 時

の5時間で、Fig. 4より1サイクルの所要時間は150分となるため、1日の施工は2サイクルとなる。

1サイクル		2サイクル	
運搬台車搬入 施工位置セット	min 50.0	AB天井板支持 リフトアップ	min 10.0
AB天井板支持 リフトアップ	min 10.0	天井板吊具ガス切 断 撤去材荷卸し	min 45.0
天井板吊具ガス切 断 撤去材荷卸し	min 45.0	天井板A撤去	min 7.5
天井板A撤去	min 7.5	A台車設備撤去 2サイクル施工位置 移動	min 15.0
A台車設備撤去 2サイクル施工位置 移動	min 15.0	天井板B撤去	min 7.5
天井板B撤去	min 7.5	B台車設備撤去 2サイクル施工位置 移動	min 15.0
B台車設備撤去 2サイクル施工位置 移動	min 15.0		

実施工時間:300分

Fig. 4 施工サイクル

当トンネルは適切な迂回路が無いことから夜間の通行制限といえども、地元住民の生活に大きな影響をあたえる。施工時間を延ばすことは困難なため、当初計画の12mのリフターを、天井板運搬時の支障にならない最大の延長17mに改造することで、1施工当たりの天井板撤去延長を5m伸ばし、工程短縮を行った (Photo. 3) (Fig. 5)。

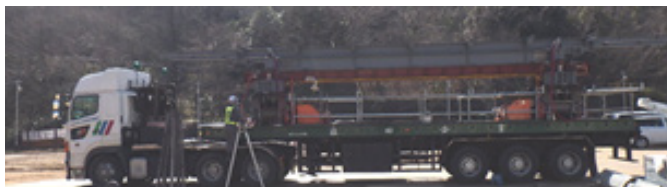


Photo. 3 リフターを延長したトレーラー

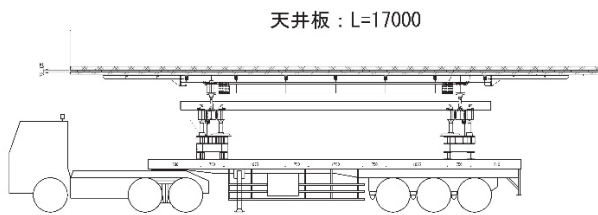


Fig. 5 リフター延長概要図

4. 2 夜間作業時における工夫

本工事を実施するにあたり、照明設備等は継続使用するために残置することになっていた。このため、天井板撤去時のリフトダウンにおいて天井板が接触する恐れがあり離隔を確保する必要があった。既設構造物を損傷させず、天井板を移動する設備として、リフターに横移動装置を設置した (Photo. 4)。

天井板を横移動するためには、天井板を横断方向にて2分割にする際の幅が必要であった。

2サイクル施工 (天井板2段重ね) を実施するために中央部での切断撤去幅を拡幅した。



Photo. 4 横移動装置

1サイクル目で撤去した天井板がブラケットに干渉するのを防ぐために、横移動量は200mmである。横断方向に2分割で施工を行うため、400mmの切断幅で天井板の撤去作業は可能になる (Fig. 6)。

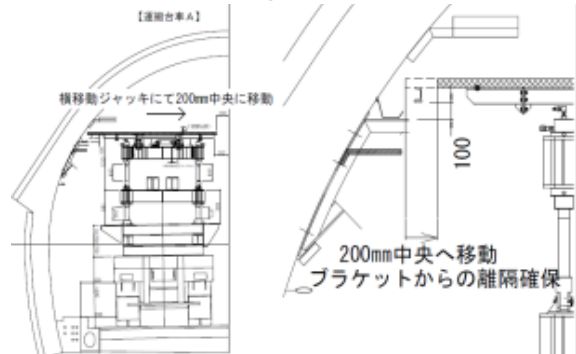


Fig. 6 横移動装置使用状況図

これにより、ブラケットと接触しないように天井板を中央側に移動させるクリアランスを確保することができた。天井板の横移動装置については、繊細な操作が必要になるため、手動油圧ジャッキを採用した。横移動ジャッキにてトンネル中心側に200mm移動が可能となるとともに、機械制御式の油圧ジャッキでは困難な繊細なジャッキ操作と微調整により天井板の移動状況・既設構造物との離隔を確認して慎重に作業を行うことができた。天井板撤去作業時のリフター設置状況を示す (Photo. 5)。



Photo. 5 リフター設置状況

4.3 施工スペースの制約に対する工夫

施工時間の制限により、1日に2サイクルの施工となったが1サイクル毎に撤去した天井板を搬出するのは、トレーラーの移動時間に伴う施工時間にロスが発生する。搬出時間のロスをなくすために、天井板を2段重ねにして搬出作業を2サイクルで1回とする計画を行った。

当工事では、トンネルの施工延長が長いため、3班に分かれて天井板の撤去作業を実施した。各班は、両坑口付近と中央部に分かれて施工を行うため、搬出作業は、天井板が撤去されていないエリアも通行する必要があった。断面約55㎡と非常に小さいため、天井板の設置位置も低く、トンネル外部での運搬作業に有利な中床トレーラーが、トンネル内部において、撤去後リフターに積載された天井板と既設天井板とのクリアランスを十分に確保する必要があった。

天井板は、厚さ45mmのデッキプレートであるが、万一の火災時には換気の逆転運転が必要となるので、溝は浮き上がり防止のためモルタルで埋められている。天井板の両端部はトンネルの覆工に設置されたブラケットに溶接支持され、中央部の2カ所を鋼材により吊り下げられた3径間連続梁構造である。吊り金具と天井板との接続部にはC形鋼(H=125mm)を配置して溶接固定を行っている。

ジャッキによる天井板の鉛直方向の移動については、天井板の厚さ45mmと残置されたC形鋼材(H=125mm)を考慮して、天井板運搬時には、C形鋼材と残置された天井板とのクリアランスを100mm確保することを条件として検討を実施した。撤去を実施する天井板の構造をFig.7に示す。

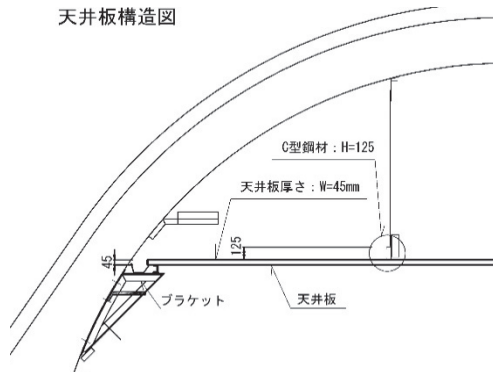


Fig.7 天井板構造図

天井板撤去の手順をSTEP1～STEP4に分けて示す。

<STEP1>

天井板とブラケットの縁切りが必要なためジャッキアップを100mm実施する。

ジャッキアップに伴い、天井板とリフターが接した状態で天井板から吊具の切断撤去作業を実施する。次に、<STEP2>にてジャッキダウンする際、照明設備等の既設構造物と天井板が接触しないように、横移動ジャッキを使用してトンネル中心方向に200mm移動させる必要がある。このため、天井板のトンネル中心部を幅400mmで分

割切断して天井板を横移動できるように準備を行う。

以上の作業が完了した後に所定の縁切り高さまでジャッキアップ100mmを実施する (Fig.8)。

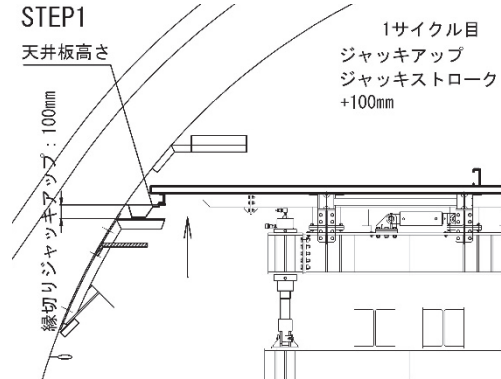


Fig.8 STEP1 天井板縁切り

<STEP2>

天井板を既設の天井板よりも下げるためにジャッキダウンを実施する。この際、天井板天端側には、C形鋼材(H=125mm)が残置されているため、クリアランスを含めたジャッキダウンストロークは、C形鋼材(125mm)、天井板厚さ(45mm)、ジャッキアップ量(100mm)を合計した270mmと既設天井板とのクリアランス100mmで、合計で370mmが必要である。

STEP1とSTEP2より、1サイクル施工に必要なジャッキストロークは、ジャッキアップ100mmとジャッキダウン370mmの合計270mmのジャッキストロークで施工を行えるため、一般的な油圧ジャッキ(ストローク:400mm)で施工可能である (Fig.9)。

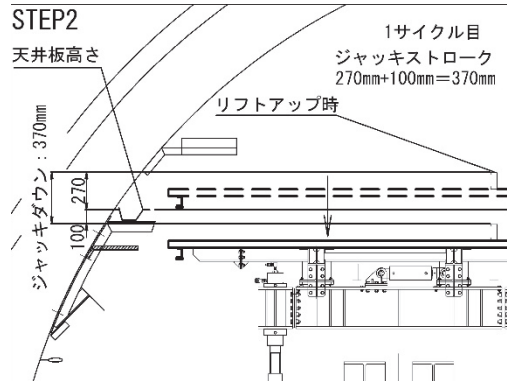


Fig.9 STEP2 天井板ジャッキダウン

次に、天井板を2段に重ねる施工手順をSTEP3, STEP4に示す。

<STEP3>

天井板を2段に重ねるために、1段目のC形鋼材と干渉しないように厚さ150mmの緩衝材を天井板天端に設置する。STEP2作業終了時に撤去された天井板位置は、既設天井板から、C形鋼材(125mm)とクリアランス(100mm)の合計225mm下がりにあり、天井板と緩衝材が接するためには、緩衝材(150mm)を差し引いた75mmジャッキアップを実施する。次に、天井板の縁切りに必要な100mmのジャッ

キアップを行うため、アップストロークは合計で 175 mm となる。STEP2 のストローク 370 mm から 175 mm を引いたジャッキストローク 195 mm で縁切りが完了する (Fig. 10)。

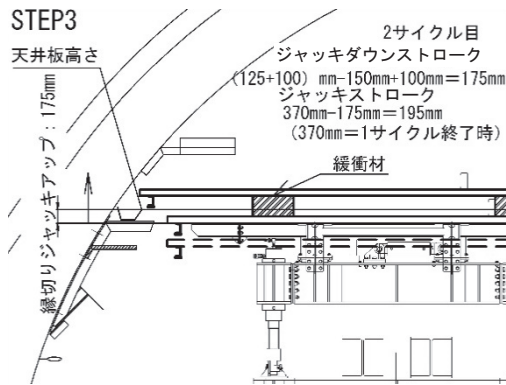


Fig. 10 STEP3 2 サイクル天井板縁切り

<STEP4>

1 段目の STEP2 と同様の手順にてジャッキダウンを実施する。STEP2 と同様にクリアランスを含んだ 370 mm のジャッキダウンを実施するため、ストロークとしては、 $195\text{ mm} + 370\text{ mm} = 565\text{ mm}$ となる。

施工に必要なストローク長が 400 mm を超えるため、ストローク長が長い特殊ジャッキを使用する方法も検討を行ったが、コスト低減のために、一般的な油圧ジャッキ (ストローク: 400 mm) を 2 本使用してストローク長を確保する方法を採用した (Fig. 11)。

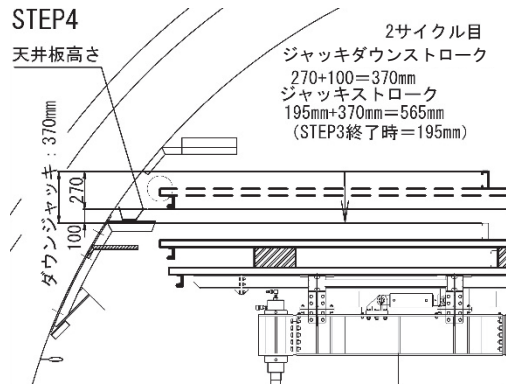


Fig. 11 STEP4 2 サイクル天井板ジャッキダウン

また、鉛直油圧ジャッキに関しては、鉛直ジャッキの伸縮スピードの誤差による天井板の偏心防止と横断勾配・縦断勾配に対する対策として各油圧ユニットを単体毎に配置して、鉛直ジャッキを個別に稼働させることで架台を水平に保ち安全に天井板を撤去する事を可能とした。

5. まとめ

本施工では、夜間のみ通行止めで施工を行うために、中床トレーラーに天井板撤去用の架台を組み施工を行うことで、天井板を施工時間内にトンネルから搬出することを可能とし市民生活への影響を最小限に留める施工が可能となった。

6. おわりに

施工期間中には、平成 30 年 7 月豪雨があり神戸市内でも各地で災害が発生し、本工事の迂回路としていた表六甲ドライブウェイも被災により通行止めとなったが、日々通行止めを解除する本工事では、工事を中断することで、緊急車両の通行や市民生活への影響を最小限に留めることができた。

今後も、わが国では社会インフラの改修工事が多くなると考えられるが、道路のような市民生活に密着した施設の場合、工事計画において、災害発生時の対応を考慮しておく必要があると思われる。

謝辞

最後になりましたが、工事による 169 日間の夜間通行止めで、深夜・早朝の通勤等で迂回路使用等のご協力をいただいた地域住民の皆様と工事・施工にあたりご指導いただきました発注者様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

土木施工 2019 7 月号 インフラ維持補修・更新 2019 P122~P125

Contrivance in Construction of Tunnel Ceiling Board Removal Work

Kensuke KIMURA and Takaaki YOSHII

The Mt. Rokko Tunnel rehabilitation project is a large-scale repair project to remove the ceiling board in the tunnel and change the ventilation system from the half cross flow type to the vertical flow type in order to secure long-term safety and economy of the aged tunnel.

As the construction condition, since the traffic volume was high and there was no appropriate detour route, it was required to carry out the construction during the traffic closure period only at night, and there was also a limit on the traffic closure period.

Therefore, this paper reports the construction carried out by the operation method considering the contrivance of the construction cycle, the curing of the remaining equipment, and the constraint of the construction space.

Key words: Tunnel ceiling board removal, Traffic regulation, Night work