

33. 短工期を実現した神戸長田トンネル天井板撤去の取組み

鹿島建設株式会社
阪神高速道路株式会社

○ 村岸 聖介
高田 英樹

1. はじめに

阪神高速道路では、天井板崩落事故のあった笹子トンネルと類似の構造を有するトンネルは32号新神戸トンネルと31号神戸山手線・神戸長田トンネルがあり(図-1)、これまで実施した緊急点検で天井板の落下に対する安全性に問題がないことを確認していた。しかし、国から「常時引張力を受ける接着系ボルトで固定された既存の吊り天井板については、可能な限り撤去されたい」という通知が出され、近年のトンネル換気技術の向上と自動車の排気ガス低減で換気方式の変更が可能となったことも踏まえて検討した結果、長期的な老朽化の可能性は否定できないことから、これら2つのトンネルの天井板を撤去する方針を決定した。

新神戸トンネルの天井板は平成27年2月に撤去が完了し、平成28年1月25日から神戸長田トンネルの上下線合わせて4.4kmの区間において、横流換気方式の換気ダクトを構成する天井板の撤去を白川南～湊川ジャンクション間の終日通行止め14日間で行った(図-2、写真-1)。

本稿では、14日間という短工期で神戸長田トンネルの天井板撤去を実現するために行った取組みとその成果について報告する。



図-1 天井板を有するトンネル(阪神高速道路)



写真-1 天井板撤去前

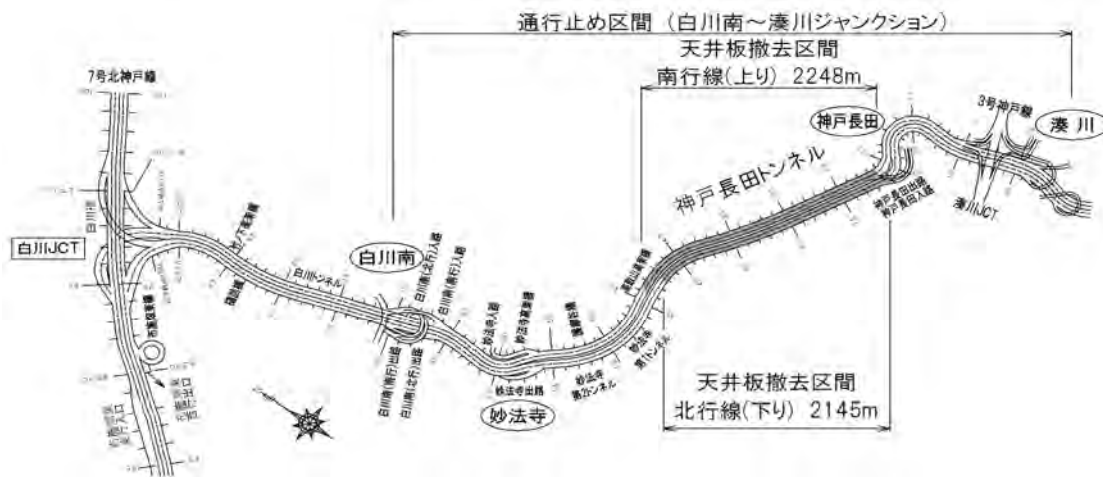


図-2 天井板撤去位置図(阪神高速31号神戸山手線)

2. 天井板撤去工事の概要

2.1 天井板内部の構造

天井板内部の構造は、天井板と隔壁によって送気ダクトと排気ダクトが構成されており、トンネル頂部と左右側壁部の覆工コンクリートには接着系アンカーによって中央金具（隔壁）と端部受台が定着されている（図-3）。中央金具と端部受台には、トンネル軸方向に沿った受け形鋼が設置されており、この受け形鋼の上に押出成形セメント板を並べて固定アングルで押えたものが天井板である（写真-2）。全ての天井板には落下防止ワイヤーを取り付けており、万一の天井板落下に備えたフェールセーフの役割を有している。

また、送気ダクトと排気ダクトを仕切っている隔壁は、中央金具にボルトでALC板を隙間なく連続して取り付けられたものである。

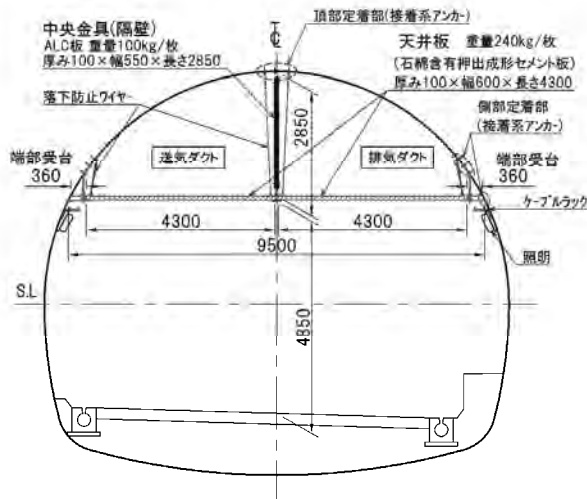


図-3 天井板内部構造 標準断面図

なお、天井板（押出成型セメント板）は、石綿含有製品（非飛散性）であることから、撤去の際には原則として、切断・破碎等の粉塵が発生する行為は行わないことを基本方針とした。



写真-2 天井板内部

2.2 トンネル断面区分と換気方式の変更

トンネル断面区分は図-4 と図-5 に示すようにS、Nの記号で表される標準断面と、それ以外の異形断面となるSL、NLの記号で表される非常駐車帯（拡幅部）、換気塔接続部、および分岐・合流部（開削部・南伸部）がある。異形断面の大半は不規則な天井板構造となっており、天井板撤去に支障となる道路施設や換気設備と近接している箇所があった（写真-3）。

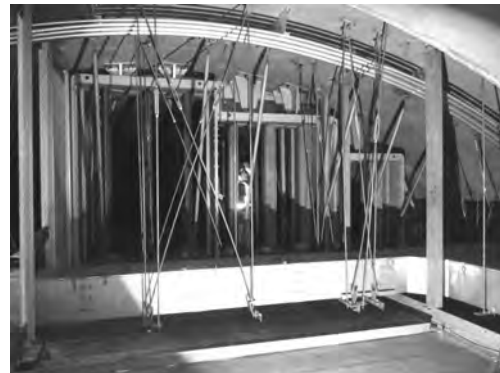


写真-3 換気塔接続部

今回の天井板撤去に伴い、横流換気方式からジェットファンによる縦流換気方式に変更するため、新換気方式の運用に支障となる設備（コーナーバーン、ダンパー）の撤去と、必要となる設備（点検歩廊、金網・風路閉塞）の設置も通行止め期間中に実施した。



図-4 南行線（上り）トンネル断面区分

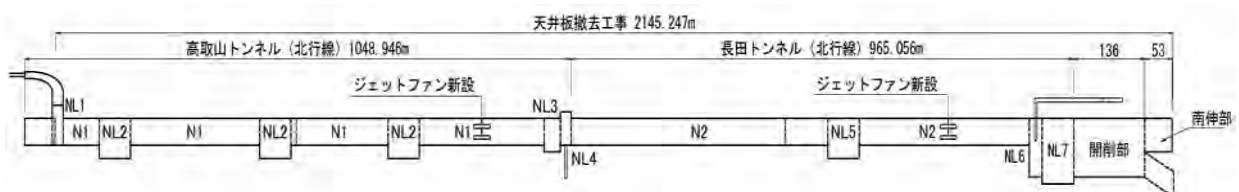


図-5 北行線（下り）トンネル断面区分

2.3 天井板撤去の作業手順

天井板撤去の基本的な作業手順は、次のフローのとおりである。

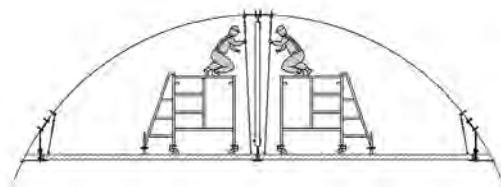
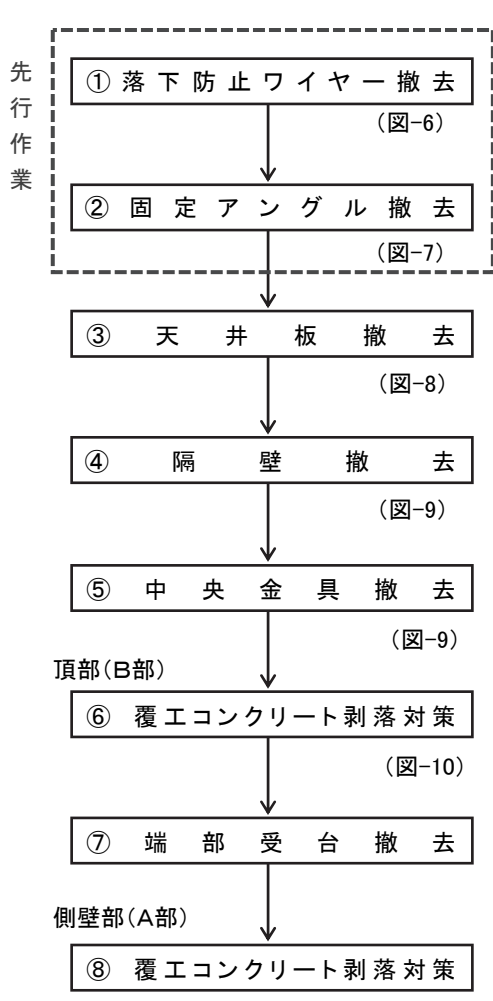


図-6 落下防止ワイヤー撤去 (3,859本)

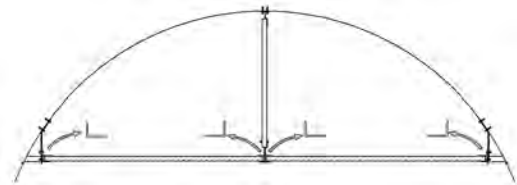


図-7 固定アングル撤去

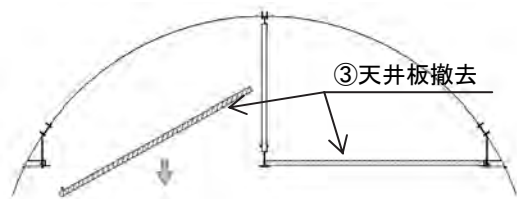


図-8 天井板撤去 (16,710枚)

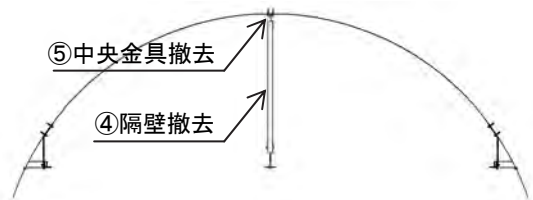


図-9 隔壁撤去 (5,625枚)・中央金具撤去 (834 t)

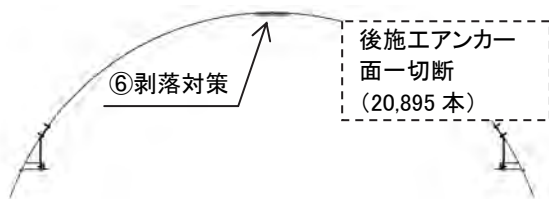
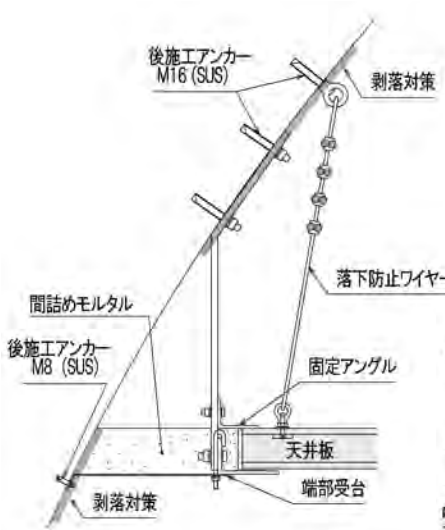


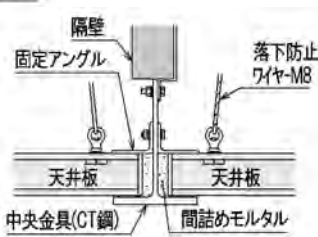
図-10 覆エコンクリート剥落対策 (1,501m²)

A部詳細

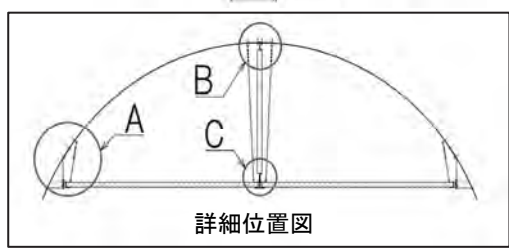
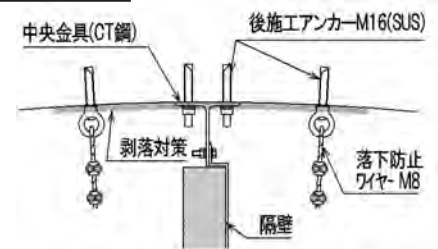


【剥落対策】
後施工アンカー切断部は長期的には落下の恐れがあるため、剥落防止対策として繊維入り補修材を塗布する。

C部詳細



B部詳細



詳細位置図

図-11 天井板構造各部詳細

3. 短工期実現に向けた天井板撤去の取組み

工事着工時点で全国の約 40 ヶ所のトンネルで吊り方式の天井板の撤去が完了していたが、撤去規模と交通規制形態・期間の施工条件の組合せにおいて、同様の実績はなく、以下の課題やリスクに対する取組みを行う必要があった。

- ① 関連工事の作業を考慮すると、トンネル延長 4.4 km を上下線同時で実質 12 日間という短期間で天井板撤去から覆工コンクリート剥落対策まで完了させなければならない（表-1）。

表-1 通行止め期間中の要求工程

工程	数量	日													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
先行作業	5.130m		4日												
天井板撤去	16,710枚	開口部設置0.5日+撤去7日													
隔壁撤去 中央金具撤去	5,625枚 834t					撤去6.5日									
覆工コンクリート 剥落対策（頂部）	1,501m ²								5日						
点検歩廊・トンネル 換気設備改修	26ヶ所	11.5日													
路面清掃・点検	4.4km													1日	
（関連工事） ジェットファン設置 換気総合試験					ジェットファン設置10日							換気総合試験1日			

- ② 作業開始後に、採用した撤去方法の施工面や安全面の問題が露呈した場合、短期間の一発勝負なので見直しによる修正・改善が期間内に間に合わない。
- ③ 供用中の高速道路につき、検討した撤去方法の可否やサイクルタイムの事前検証ができない。
- ④ 標準断面以外の異形断面の一部には、撤去に支障となる設備や機械が使えない狭隘箇所が存在するため、全体工程に悪影響を及ぼすロスが生じる（全体撤去数量の約 20%に相当）。

以下、取組みとその成果について詳述する。

3.1 天井板撤去実証実験設備の活用

神戸長田トンネルは供用中で撤去方法の事前検証ができないので、同じ仕様の天井板モデルを設置し、所定のサイクルタイムで撤去できる方法の開発と検証を行うほか、後述するハンドリングマシンのオペレータの習熟訓練施設として活用した（写真-4）。

この実証実験設備での事前検証により、机上の議論では想定していなかった問題もここで判明するなど、この設備の活用は非常に有効であった。



写真-4 天井板撤去実証実験設備

3.2 天井板撤去にハンドリングマシンを採用

天井板の撤去は、通行止め開始直後から実施するメインの作業であり、撤去対象物の中で最も撤去数量が多い。したがって、16,710 枚の天井板を迅速かつ安全に撤去できる方法を確立することが、短工期実現の成否の鍵を握る重要な取組み課題であった。そこで、全国のこれまでの天井板撤去の実績を調査し、当工事の交通規制と施工条件で適用可能と考えた複数の撤去方法の比較検討を行った。その結果、ハンドリングマシンを使用した撤去方法を採用し、前述の実証実験設備で検証と本番に向けた改善を行った（図-12）。

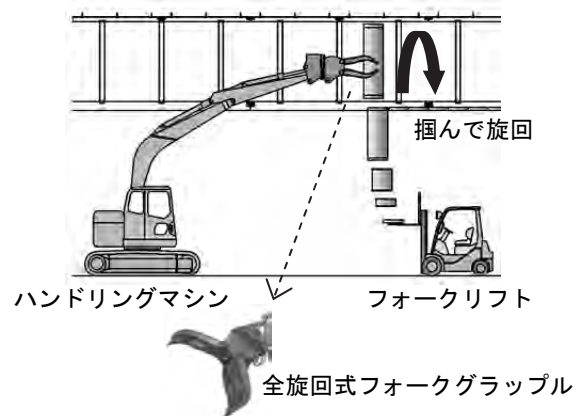


図-12 ハンドリングマシンによる天井板撤去

ハンドリングマシンは、全旋回式フォークグラップルを装備した 0.45m³級油圧ショベルである。撤去は、1 枚ずつ天井板を水平に掴んで上に持ち上げて取り外し、そのまま受け形鋼をかわすために旋回、降下して前方に待機したフォークリフトに受け渡して行う。

配置台数は目標とした撤去サイクルタイム 5 分/枚と要求工程 7 日から算出した 12 台に加え、故障時の予備 2 台で合計 14 台とした。0.45m³級油圧ショベルは、旋回アタッチメントを装備できる配管 5 本仕様のために流通台数が少なく、当初は調達に難航したが、最終的には機械リース会社の協力を得て新規製作するなどして必要台数を確保した。

また、天井板は中空断面構造で、全旋回式フォークグラブで直接掴むと破損するので、それに取り付けるアタッチメントが必要であった。そこで、実証実験設備で試験を繰り返し行い（写真-5）、天井板とのあたり面やその角度、あたり面のゴムの材質や取付け構造に関して、天井板を把持した際に破損せず、旋回しても滑り落ちないアタッチメントの仕様を考案した。



写真-5 実証実験設備での試験

目標とした5分/枚というサイクルタイムを実現し、さらに短縮するため、フォークリフトのみで仮置きから搬出トラックへの積込作業ができるよう、架台の柱をガイドに天井板の上げ下げとフォークを引き抜ける構造の天井板仮置用の専用架台を考案した。これにより、作業員が石綿を含有する天井板に直接接触することなく、機械との接触リスクなしに撤去・積込・搬出の一連の作業を迅速に行うことが可能になった。本番における天井板撤去の一連の流れを写真-6に示す。



写真-6 天井板撤去作業の流れ

一方、従事予定のハンドリングマシンのオペレータ29名には、事前の実証実験設備でこの流れに沿った天井板撤去作業の習熟訓練を数回にわたり実施した。

以上の取組みの結果、ハンドリングマシンによる天井板撤去は目標サイクルタイムの5分/枚を上回る3分/枚を達成した。ハンドリングマシンで直接撤去できない異形断面の狭隘部や道路施設が近接した箇所では、4.9t吊クローラクレーンを使って1枚ずつ慎重に吊り上げて取外しを行ったが、全体の天井板撤去は要求工程であった7日で無事完了した。

3.3 隔壁・中央金具撤去における取組み

天井板以外の隔壁（ALC板）と中央金具の撤去方法についても、実証実験設備で開発と検証を実施し、要求工程以内で無事撤去を完了した。

(1) 隔壁の撤去方法（図-13、写真-7）

中央金具に取り付けられた隔壁の撤去方法は、以下の条件を踏まえて検討を行った。

- ① 天井板の作業時制限荷重が 0.98kN/m^2 で、撤去した隔壁（ 0.98kN/枚 ）を仮置きすると、作業員と使用機材の重量が加わって制限荷重をオーバーする（天井板上の仮置きなし）。
- ② 隔壁は中央金具に3枚1組（重量 2.9kN/組 ）で取り付けられており、隣同士が縦目地の凹凸かみ合わせになっているので、人力で1枚ずつ撤去する場合は縦目地の事前切断が必要になるなど作業効率が大幅に低下する（3枚1組での一括撤去が必要）。

検討の結果、隔壁撤去は、高所作業車から作業員が治具を使って3枚1組の隔壁を反対側に押し出し、 1.3m^3 級ホイールローダに装着した拡大ホッパーに落下させる方法を考案した（撤去した隔壁は 22m^3 産廃コンテナに直接投入、場外搬出）。

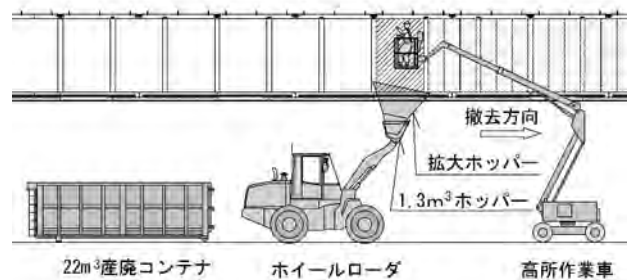


図-13 隔壁撤去時の機械配置（側面）



写真-7 隔壁撤去状況

(2) 中央金具の撤去方法 (図-14, 写真-8)

中央金具は吊鋼材や水平鋼材を個別に分解して撤去すると手間がかかることから、フォークに中央金具撤去用アタッチメントを装着したハイマスト式フォークリフト (2.5t・5.5m) を使い、構造単位 5.4m を 1 組 (重量 6.4kN/組) として中央金具を取り外して地上付近まで下ろす方法を考案した (撤去した中央金具は 4.9t 吊クローラクレーンで地上に吊り下ろし、ガス溶断で切断分割してスクラップ車で場外搬出)。

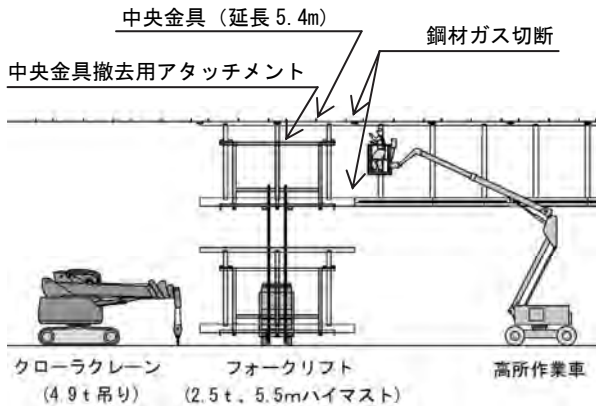


図-14 中央金具撤去時の機械配置 (側面)



写真-8 中央金具撤去状況

フォークの爪に装着した中央金具撤去用アタッチメントは、試作品を製作し、実証実験設備の試験施工で迅速な撤去ができるように改良を重ねて完成させた (写真-9)。



写真-9 中央金具撤去の試験施工

4. おわりに

短工期実現に向けた様々な取組みの結果、天井板撤去はその後の剥落対策も含めて要求工程であった 14 日間で無事完了した。その後、引き続き 1 車線規制で側壁部の端部受台の撤去を進め、全ての撤去を平成 28 年 4 月上旬に終えた (写真-10)。



写真-10 天井板撤去完了

最後に、短工期実現の要因として、これら撤去計画が重要であったことはもちろんであるが、人的な要因も大きかったことを強く述べておきたい。計画準備段階で難航した必要人員の確保や大量の機械調達においては多くの方々から支援や協力があり、撤去工事本番では各々の使命感と情熱が現場全体に満ち溢れ、これらのことも短工期実現の大きな要因となった。14 日間の撤去工事に携わった人は、1 日最大で 445 人、延人数は 5,490 人であった。撤去期間中、40 年ぶりの大寒波が押し寄せた厳しい寒さの中、これだけ大勢の人が短期間に 1 つの目的で結集し、成功に導いてもらったことは、どんなに感謝してもしきれない気持ちである。

参考文献

- 1) 森川信・高橋政秀: 神戸長田トンネル天井板撤去工事, 土木施工 2016 年 7 月号, pp.104~108
- 2) 高田英樹・村岸聖介・久板正弘・宇留島千明・森口智聡・岩本靖: 短工期を実現した天井板撤去の取り組み, (一社) 日本建設業連合会関西支部・(公社) 地盤工学会関西支部・(公社) 土木学会関西支部・(一社) 日本建設機械施工協会関西支部 施工技術報告会講演概要 2017 年 2 月, pp.17~26