

新幹線トンネル耐震工事の施工技術 ー新幹線トンネル覆工修繕ー

東鉄工業(株) 正会員 ○小林 昂樹

東鉄工業(株)
東日本旅客鉄道(株)

鈴木 徳仁
茂木 丈晴

はじめに

新幹線トンネル耐震工事(以下「本工事」)は、2004(平成 16)年の新潟県中越地震によるトンネル覆工崩落等の被害を受けたことから、JR 東日本で進めていた耐震対策である。対策トンネルの位置条件や施工条件を検討し、耐震対策用専用機械を開発するなど、作業の効率化、工期短縮等、早期完了を目指し取組み、2008(平成 20)年 3 月に着工、2014(平成 26)年 3 月に竣工した。

本稿では、新幹線トンネル耐震対策の主な工法と施工条件、開発した専用機械を駆使して早期完了した施工技術について報告する。

1. 主なトンネル耐震対策工法

(1)裏込め注入工

背面に空隙を有し、かつ土被りの浅い箇所を選定し、応力集中による損傷を防止する。

(2)ロックボルト工

トンネル覆工の既往変状箇所において、覆工と地山を一体化し、覆工の大規模崩落を防止する。

(3)表面被覆工(シート工)

覆工コンクリートが設計厚より小さく、また剥落想定箇所を選定し、表面被覆により剥落を防止する。

2. 新幹線トンネル内施工条件と専用機械の開発

(1)現地の位置条件と標準作業サイクル

今回の対策箇所であるトンネルは、白石蔵王駅近くの保守基地から約 5~7km 離れており、実作業を 2 時間程度に制約された。この制約条件をクリアし、新幹線運行に支障しないよう「当日の作業はその日の内に完結」させる必要があった。(図-1)

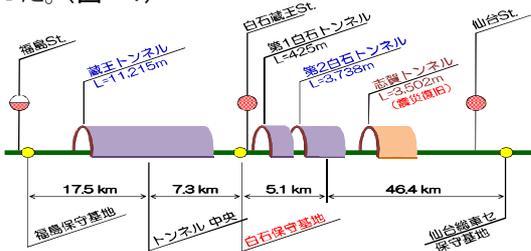


図-1 保守基地からの位置関係

(2)トンネル内の施工条件

(1)の位置条件に加え、架空線・ケーブル類の空間的制約、新幹線運行の安全確保の観点から、資機材や発生材を確実に搬出することが求められた。



写真-1 現場のトンネル内空断面

トンネル断面は幅約 9m、高さ約 7m である。(写真-1)

(3)専用機械の開発

本工事は、2008(平成 20)年に着工し、約 6 年間の実施計画を進めた。途中、東日本大震災によるトンネルの震災復旧工事があったが、作業間合いの拡大や、作業効率の向上を積み重ねた。その一方で飛躍的に施工効率を高める狙いで専用機械を開発した。

開発した専用機械は以下のとおりである。

- ① 高所作業床付新型保守用車MC「Stars」
- ② 広範囲高所作業足場「Star-Wide Lift」
- ③ ロックボルト打設機「Star-Multilink Drill」
- ④ 移動式高所作業足場「Star-Slide Basket」

専用機械開発の結果、当初汎用機使用の場合で、工期約 9 年と見込んでいたが、専用機械編成群を配備したことから大幅な工期短縮が可能となった。(表-1)

表-1 トンネル耐震実施計画と施工実績

主な工程	計画数量	2008(H20)	2009(H21)	2010(H22)	2011(H23)	2012(H24)	2013(H25)	2014(H26)	2015(H27)	2016(H28)	施工実績	
当初想定 of 全体工期	-	-----										
裏込め注入工	削孔 本	3,976	[実施計画]									5,414
	注入 m ³	12,000	[実施計画]									15,969
ロックボルト工	本	5,934	[実施計画]									6,431
表面被覆工(シート工)	m ²	129	[実施計画]									1,669
(震災復旧)志賀トンネル	本	-	[実施計画]									1,119

■ 実施計画 ■ 実績

3. 施工技術

(1)裏込め注入工(削孔、注入)

① 削孔

削孔はφ64mm ビットを取付けたコアチューブを装着したコアカッターで削孔した。削孔位置は、線路キロ程 3m 間隔、1 断面 3 点とした。削孔後、覆工コンクリート厚さ及び空洞深さを測定し、「その合計長」より 50mm 短い塩ビ管(VP50)を覆工内へ挿入、注入孔プレートをコンポジットアンカーにて固定した。(写真-2)



写真-2 削孔状況

② 裏込め注入材料

裏込め注入材料の JETMS(A 材、B 材)は、使用の都度、保守基地に搬入した。A 材は、編成台車に積載した 15 トン横型サイロに積込み、現場で練り混ぜた。また、B 材は基地内プラントの全自動ミキサーで製造し、台車に積載した B 材水槽(10 m³×2)に圧送し貯蔵する。JETMS の配合を表-2 に示す。

③ 注入

注入は A、B 材をスタティックミキサーに圧送して混合攪拌、可塑化させた注入材を φ50mm のグラウトホースで覆

キーワード 鉄道、新幹線トンネル耐震、施工技術、専用機械、工程短縮

連絡先 〒980-0021 宮城県仙台市青葉区中央 3-10-19 東鉄工業(株)東北支店 TEL022-221-6067

工背面空洞に注入した。なお、注入順序は、a、b孔を先

表-2 JETMS 配合表

材 料	A材			B材		
	A液	混和剤	水	B液	混和剤	水
1㎡当り	350kg	1.05kg	216L	90kg	0.45kg	633L
1バッチ当り	350kg	1.05kg	216L	130kg	0.65kg	914L
備 考	比重:A液3.08、混和剤:1.048			比重:B液 2.5、混和剤:1.17		

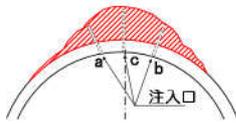


図-2 注入口と注入順序



写真-3 JETMS 注入状況

行し最後に c 孔からも注入した。注入圧は 0.2MPa を上限とした。(図-2、写真-3)

⑤ 品質管理

注入材料 JETMS の品質管理基準を表-3 に示す。

表-3 JETMS 品質管理基準

管理項目	試験仕様	管理基準値	試験頻度	試験場所
生比重	JIS A 313	1.30±0.10	1回/日	現場
フロー値	JIS A 313	80~140mm	1回/日	現場
一軸圧縮試験	JIS A 1216	$\sigma_{28} \geq 1.0N/mm^2$	1回/日(3本/回)	セメント工場

(2) ロックボルト工

ロックボルト工は、トンネル覆工面に専用機を垂直セットする。専用機のガイドセルとブームの回転軸をトンネル中心に合わせるとランプが自動点灯し、確実・容易に削孔位置にセットできる。使用したロックボルトは、地山定着長を 3m 確保するため長さ 4m としたが、現場実作業時間が 1.5 時間程度と厳しかったため、削孔と挿入が同時に行える自穿孔ボルト(IBOロックボルト R32、削孔径 $\phi 50mm$)とし、打設時間の最小化を図った。(図-3)

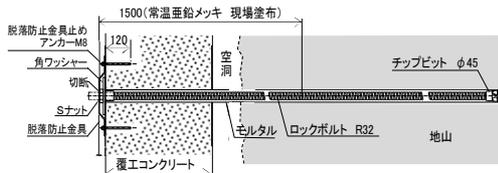


図-3 ロックボルト標準図

① 打設

打設位置は、標準としてひび割れや打ち継ぎ目から最小 50cm 以上の離隔を確保した。また架空線等の支障箇所は位置をずらして打設した。(写真-4)



写真-4 ロックボルト打設

② モルタル注入

グラウト材(IBOドライモルタル)を練混ぜマイポンプにて注入し、口元まで充填していること事を目視により確認した。但し、目視またはリークが確認できない場合には、設計量の 3 倍(3 袋)程度まで注入した。

使用したドライモルタル配合を表-4 に示す。

W/C(%)	IBOドライモルタル	水	練上り量(ℓ/袋)
42.2~50.0	20kg	7.1 ℓ	11.0~11.7

表-4 ドライモルタル配合(1袋当たり)

③ ロックボルト品質管理

ロックボルト品質管理基準を表-5 に示す。

管理項目	試験方法	管理基準値	試験頻度
モルタル充填	目視でリーク確認	リーク確認できない場合、設計数量の3倍程度注入	全本数
ロックボルト引抜き試験	JIS 705	100KN	トンネル延長10m毎
モルタルフロー値測定	JIS R 5201	200±20mm	1回/日
モルタル一軸圧縮試験(3日)	JIS A 1216	$\sigma_3 \geq 10N/mm^2$ 以上	トンネル延長10m毎(3個/回)
コンジョイントアンカー引抜き	-	510kgf以上	1回/90本(3本/回)

表-5 ロックボルト品質管理基準

(3) 表面被覆工(シート工)

設計覆工厚の 2/3 未満の箇所や軸方向ひび割れのある箇所、ひび割れを併合している箇所は、地震時の弱点となるため、ロックボルト工等と組合せて AAA 工法で対策した。手順は、下地処理→プライマー塗布→下塗り→繊維シート貼付け→アンカーピン打設→上塗りとした。

この工法の下地処理は最も重要な手順となるため、覆工表面の水分測定により、含水率の 6% 未満を確認した後、ディスクサンダーで汚れやレイタンス等の脆弱層を取り除いた。含水率の 6% を超えている箇所は、次のような処理を行った。



写真-5 シート工

(写真-5)

表-6 覆工表面含水率 6% を超えている箇所の処理

湿気等による表面濡れ	ジェットヒーター等で乾燥させる。
ひび割れからの漏水	止水材等で漏水を止める。
常に漏水している場合	V カット、排水樋等で漏水処理を行う。

(4) 東日本大震災の対応

工事期間中に平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災を経験し、緊急点検を行った。工事の進捗率は、概ね 50% であったが無傷であった。しかし、対策対象外のトンネル覆工表面及びインバート部に被害が発生した。早期の新幹線復旧を目指し、当現場の機械編成群を投入した。また、インバート部へのロックボルト打設は、急きよ準備機の「Multilink Drill」を下向きマシンに改造し、早期復旧に貢献した。



写真-6 志賀トンネル復旧作業

(写真-6)

おわりに

約 6 年間で振り返ると、延べ作業日数約 1,200 日、延べ従事員約 6 万人を数えた。大規模かつ新技術を必要とする建設工事だけでなく、地味ながら時間と労力、技術が必要なメンテナンス業務に従事できた。ここに、専用機械開発の段階からご支援頂いた関係者の皆様に感謝申し上げます。

《参考文献》

- 1) JR 東日本 仙台支社 東北新幹線トンネル耐震工事記録誌(2014.3)
- 2) 建設機械施工(2014.5 Vol.66) 東北新幹線トンネル耐震対策急速施工技術の開発と実用化 土屋尚登ほか