

JR 軌道直下低土被り部における R&C 工法の施工報告 (その 1)

Construction report of the Roof & Culvert Method of Small Overburden Thickness Under the Railroad

中村 浩* 宇都 智治*
 Hiroshi Nakamura Chiharu Uto
 井上 健*
 Ken Inoue

要 約

本工事は、県道高崎大分線改築事業に伴い、JR 日豊本線直下にアンダーパスとなる 2 径間ボックスカルバート (W14.1 m×H7.2 m×L10.5 m) を新設する工事であり、事業主体である大分県が九州旅客鉄道(株)に委託している。ボックスカルバートの新設に当たっては JR 営業線の運行に支障をきたさないよう非開削工法が採用され、土被り・周囲の環境条件から R&C 工法 (ルーフ & カルバート工法) が選定されている。なお、施工は現在まで薬液注入工、立坑構築、箱形ルーフ推進、ガイド導坑までが完了している。本稿では、営業線直下での上記工種における留意点、特に軌道変位抑制を主体にその対策と成果について報告する。

目 次

- § 1. 工事概要
- § 2. R&C 工法
- § 3. 軌道変位に対する課題と対策
- § 4. おわりに

§ 1. 工事概要

1-1 工事概要

- 工事件名：西大分駅構内御幸 Bv 新設他・他 2・他 3
- 発注者：九州旅客鉄道(株) 建設工事部
- 工 期：平成 26 年 12 月 26 日～平成 31 年 3 月 14 日
- 工事内容：

仮土留工	126.8 m	ガイド導坑工	2 本
薬液注入工	348,500 ℓ	函体構築工	371.7 m ³
床掘	2308.9 m ³	函体推進工	14.0 m
箱形ルーフ推進工	28 本	(L=10.0 m*24 本, L=12.1 m*4 本)	

1-2 地形・地質概要

函体施工箇所の上側には既設擁壁が存在し、レール・バラストを含む約 0.6 m の軌道構造の下は 4.5 m の盛土、若干の粘性土を挟み礫質土、砂質土が分布している。地下水位は発進立坑施工ヤード盤から GL-1.5 m～2.0 m となっている。

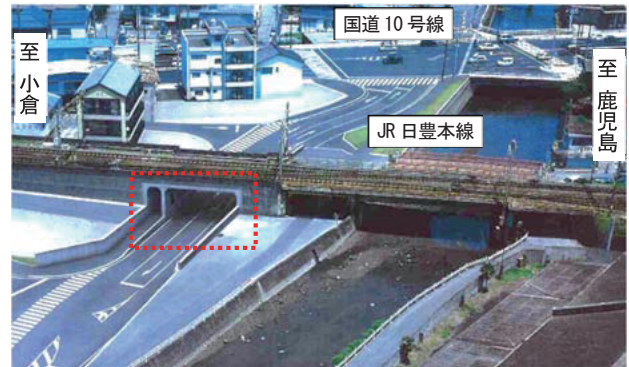
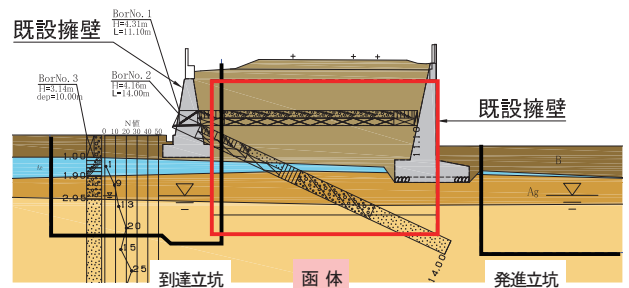


写真-1 完成予想図



凡 例

地質時代	地層名	土質名	記号	N 値範囲
現世	盛土層	礫質土	B	7~14
新生代	沖積層	粘性土	Ac	1/55
		礫質土	Ag	9~21
		砂質土	As	8~33

注) 盛土層の土質・N 値は基礎地盤

図-1 土質分布図

* 九州 (支) JR 西大分駅 (出)

1-3 現場特性・施工条件

(1) 軌道分岐

函体推進部直上には軌道分岐があり（写真-2）、分岐はトングレールが左右に動き列車を目的の進路へ導くもので、トングレールと基本レールとの密着性が重要となる。軌道の変位に伴い、これを損なえば不転換を起し輸送障害となる。このため、軌道変位については、通常路線以上に注意を払う必要があり、計測管理が求められた。

(2) 軌道変位と計測管理

表-1 に当該区間における軌道変位管理基準値を示す。計測は発注者指定の軌道変位自動測定器が設置されており（図-2）、指定の時間や基準値を超えた時点でインターネット回線を通じ各管理者の通信機器にデータが送信される。また、軌道下での施工時には常時軌道整備業者による監視及び分岐器の転換試験が行われる。

表-1 軌道変位管理基準値

	警戒値	工事中止値	限界値
	限界値×0.4	限界値×0.7	
高低変位	6	11	17
通り変位	6	11	17

九州旅客鉄道(株)「土木工事施工管理マニュアル」

(3) 線路閉鎖工事

軌道直下における施工については、輸送障害を防止する目的で、終電から始発までの時間帯で線路を閉鎖しての施工と定められている。作業時間は1:19から4:42までの約3時間20分となっているが、この時間帯の中で軌道計測、分岐の転換試験、列車運行に関する手続き等に要する時間（30分）を確保する必要があるため、実働時間は2時間50分となる。なお、予定終了時間を過ぎても安全性が確保できない場合は輸送障害となり事故扱いとなる。

§2. R&C 工法

2-1 R&C 工法について

R&C 工法とは、軌道や道路の防護工として矩形断面の鋼製ルーフ（□800×800）をボックスカルバートの外縁に合致するよう横断区間の全域に貫通させ、明り部で構築したボックスカルバート内で切羽掘削を行いながら推し進め、鋼製ルーフと置換する地下構造物設置工法である。その特徴としては、

- ①低土被りでの構造物の設置が可能
- ②FC プレートの設置により地山との縁切りが行われ
函体推進時に軌道の横ずれを防止できる
といった点が挙げられる。

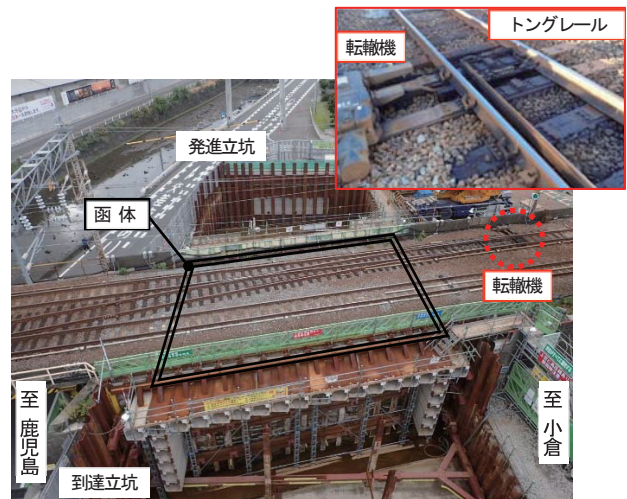


写真-2 軌道状況

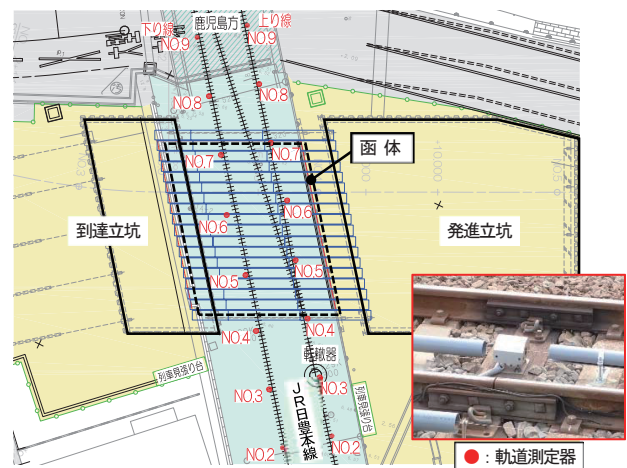
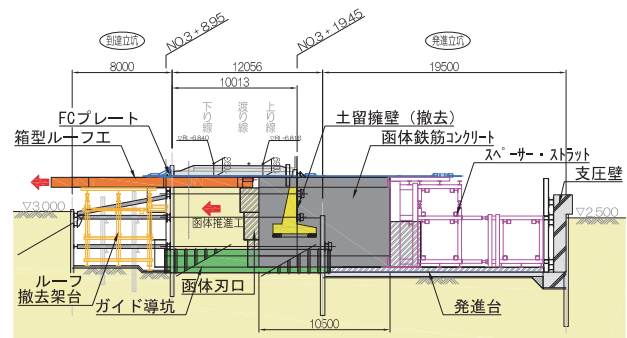
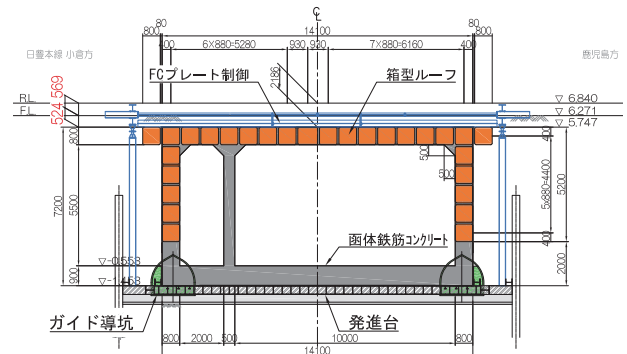


図-2 軌道測定器位置図



(a) 縦断面図



(b) 横断面図

図-3 全体概略図

2-2 原設計における施工手順

- 第1工程 薬液注入にてガイド導坑部・既設擁壁背面の地盤改良を行う。その後、発進・到達立坑を構築する。到達立坑については、既設の土留擁壁の取り壊しを並行して行う。
- 第2工程 支圧壁を構築し、箱形ルーフ推進架台を組立てる。次に函体上床版と合致する水平部の箱形ルーフを人力掘削・油圧ジャッキ（1500 kN*2台/ルーフ1本）で推進する。
- 第3工程 推進架台を組替え、側壁部と合致する鉛直部の箱形ルーフを水平部と同様に推進する。
- 第4工程 ルーフ推進設備を撤去し、ガイド導坑を構築する。次に、函体推進時のレールとなる鋼材を敷設し、その上に刃口・函体を構築する。
- 第5工程 函体後部に推進設備の設置及び到達立坑内にルーフ撤去用の架台を組立てる。函体内での切羽掘削は機械・人力併用で行い、油圧ジャッキ（1500 kN*21台）で推進する。なお、鏡の撤去に際しては、その一部が既設擁壁となっているため、掘削と同様に刃口内で取り壊しを行う。また、推進の進捗に合せスペーサー類を組立て・設置する。到達側では推進に伴い押し出される箱形ルーフを順次撤去する。
- 第6工程 所定の位置まで推進が完了したら推進設備、刃口を撤去する。

§3. 軌道変位に対する課題と対策

3-1 薬液注入工

(1) 概要

薬液注入工の目的は以下の3点となる

- ①ガイド導坑(山岳トンネル矢板工法)の遮水・掘削防護
- ②函体推進時における刃口下端での地山崩壊・沈下防止
- ③鏡切断時の既設逆T擁壁背面地盤のゆるみ防止

工法については当初2重管ダブルパッカー工法で計画されていた。対象地質と注入率を表-2に示す。

表-2 対象土質と注入率

対象地質	N値	分布率	注入率
砂質土	5程度	74%	40.5%
礫質土	20程度	23%	36.0%
粘性土	20程度	4%	24.0%

(2) 課題と対策

一般的に軌道の整備は沈下に対するものに比べ、隆起に対してのものに労力を要する。弊社における過去の類似工事実績より、従来工法で最も周辺地盤への影響が少ないとされている2重管ダブルパッカー工法での施工においても、道路盤の持ち上がりやリークが報告されている。このため、発注者との協議の上DCI多点注入工法に変更し施工を行った。

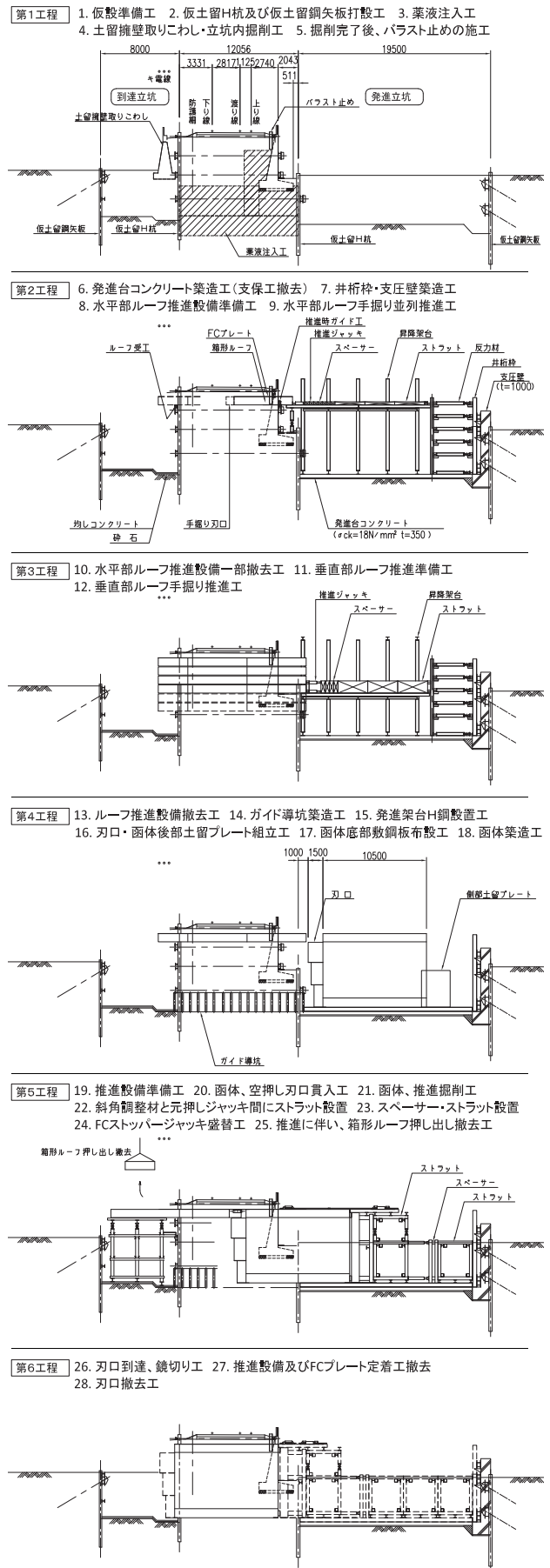


図-4 施工手順図

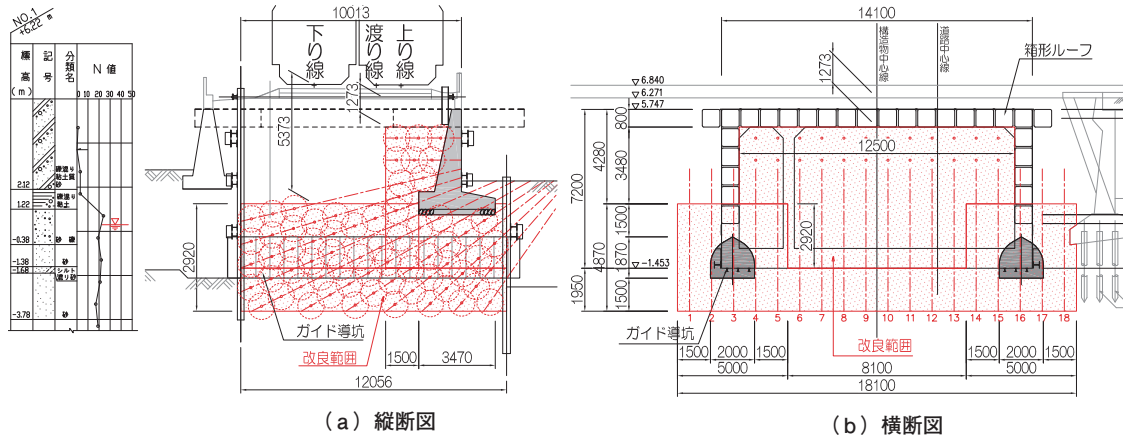


図-5 薬液注入工概略図

(3) DCI 多点注入工法について

DCI 多点注入工法 (Displacement Control Injection Method) の特徴としては、注入速度が 1~6 l/分と 2 重管ダブルパッカー工法の半分程度と非常に低速であるため、浸透性に優れ均一な改良が可能であるということと、同様の理由で周辺地盤への影響も少ないことが挙げられる。また、注入速度の低下による工程のロスも最大 32 点の同時注入でカバーされている。さらに、注入圧力の増加に伴う速度の自動制御と各種計測システムとの連動により変位に応じた注入速度の設定が可能である。

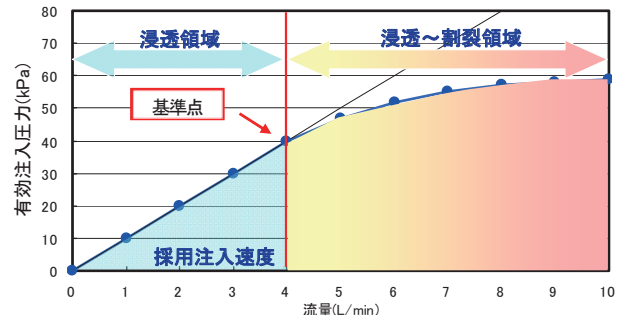


図-6 注入速度と圧力の相関図

(4) 注入方法

注入は任意のポイントを最大 32 点同時に行うことができる。1P の対象土量を 1 m³ とし、基本配置間隔を @1.0 m で計画した。注入速度については、土質毎に注水試験を実施し、注入速度と圧力の関係から薬剤の浸透領域と割裂領域との境界を見極め決定した (図-6 は注入速度と圧力の相関例)。本注入はこれに安全率を 9 割乗じた毎分 2.5 l ~ 3.5 l の速度で行い、変位計測システムと連動させ警戒値を超えた時点で注入速度を 80% まで落とすこととした。なお、注入順序は軌道近くから下方に向けて行い、軌道方向への圧力逸散を防止することとした。

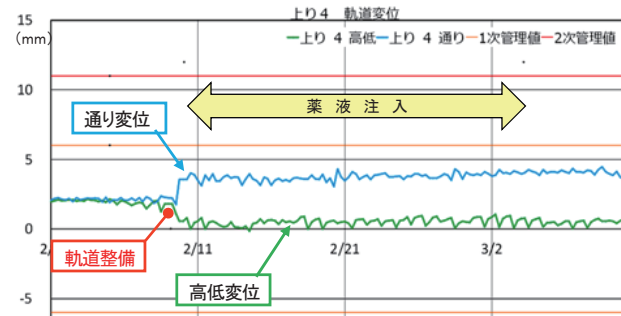


図-7 薬液注入期間中の軌道変位図 (上り線 No.4)

(5) 成果

図-7 に上り線 No.4 地点 (図-2) での注入期間中の軌道変位の推移を示す。注入期間中は軌道変状・軌道整備もなく所定の量を注入することができた。また、軌道変状による注入速度の制限もかからず計画工程通りに終

えることができた。なお、本来の目的である止水効果については、現場透水試験を実施し効果を確認した。試験はガイド導坑掘削部における砂質土層、礫質土層で行い、原地盤 1.21 × 10³ cm/sec に対し砂質土層で 0.7 × 10⁷ cm/sec、礫質土層で 0.6 × 10⁶ cm/sec と目標値 1.0 × 10⁴ cm/sec を満足する結果となり、ガイド導坑掘削時も湧水は確認されなかった。既設擁壁背面地盤のゆるみ防止効果については、箱型ルーフ推進時に切羽が自立していたことから効果が得られたと考えられる。

表-3 2重管ダブルパッカー工法との比較

工 法	2重管ダブルパッカー工法	DCI 多点注入工法
適用地盤	どのような地盤にも適用可	C = 40 kN/mm ² 以上の粘性土以外の地盤
注入方式	1 ショット	1 ショット
注入速度	8 ~ 12 l/分	1 ~ 6 l/分
施工性	8 孔/セットの同時注入が可能	32 ポイント/セットの同時注入が可能
特 徴	従来工法の中では周辺地盤への影響が最も少ない工法として採用実績が多い。	低速注入により浸透性に優れ、地盤への影響も少ない。
工 期	60 日 (注入のみ)	20 日 (注入のみ)
経済性		2重管ダブルパッカー工法 + 5%

3-2 到達立坑の施工

(1) 概要

到達立坑の前面軌道側の掘削深度は軌道基面から 8.17 m で、仮土留については親杭横矢板形式山留工 (H-300 L = 12.0 m @ 1.1 m) で計画されており、支保工は 3 段のタイケーブルが配置されている。なお、軌道基面と施工ヤード盤は 3 m 程度の高低差があり、既存の逆 T 擁壁により土留がなされている。立坑の構築に際しては、親杭設置後、擁壁の取り壊しから掘削、タイケーブルの設置までを順序立てて行う必要があった。

(2) 課題と対策

本工事の設計は平成 16 年に実施されており、仮土留の設計についても当時の指針に準拠して慣用法により行われおり、掘削に伴う土留壁の変位検討がなされていなかった。このため、発注者との協議の上、弾塑性法による解析を行い土留壁の変位に伴う軌道への影響検討を行うこととした。解析の結果、土留変位は 1 次掘削完了時点において頭部で最大 180 mm の倒れ、背面地盤の沈下量も土留壁際で 300 mm となり、軌道へ悪影響を及ぼすことが予想された。この結果を踏まえ、土留の変位抑制を目的に前章で述べた薬液注入範囲を軌道直下全面に拡大し土留背面の地山強化を提案したが、工事費の大幅な増額と発注者の過去の実績等を理由に提案は受理されなかった。

(3) 対策

前述した対策工の代替工として、以下の創意工夫を実施した。

- ① 1 次掘削深さをタイケーブル -1.0 m から -0.5 m とする。
- ② 原設計昼間施工から夜間線路閉鎖作業に変更し、軌道監視・整備体制の要請する。
- ③ 土留変位基準値を 50 mm と設定し、これを超えたら既存擁壁を反力に切梁 (土留サポート) を設置する。
- ④ 親杭同士を溝形鋼にて頭部連結し独立した倒れを抑制する。
- ⑤ 既設擁壁の撤去は、横矢板設置のため掘削と並行して機械撤去で行う計画であったが、1 次掘削時点で切梁の反力として存置しておく必要があり所定の掘削深度に合せた撤去が必要となることからワイヤーソーイングによる分割撤去に変更する (写真-3)。



写真-3 擁壁分割撤去状況

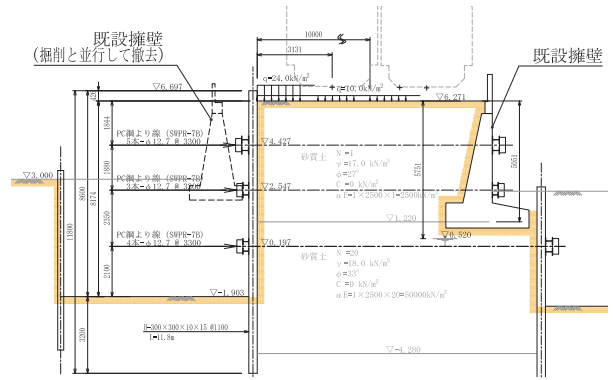


図-8 軌道下土留支保工概略図

(4) 成果

掘削時には光波測距儀により土留壁頭部の変位計測を行った。1 次掘削完了時点で最大 30 mm 程度の変位が生じたが、軌道変状もほとんどなく完了することができた (図-9)。杭頭部の連結等の対策は行っていたものの、解析時より実際の変位が大幅に小さくなった要因としては、掘削時の余堀りを小さくしたこと、設計で用いた土質条件より実際の地山の強度が大きかったこと、上載荷重となる列車荷重は計算上常時載荷されているが、実際は断片的であること等が考えられる。また、バラスト軌道であるため、土留壁の変位による背面地盤の変状が緩和されたと推測する。

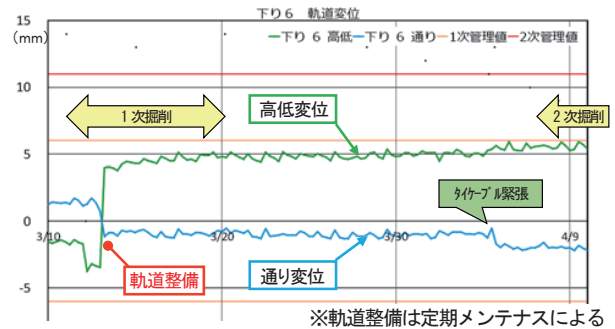


図-9 1次掘削期間中の軌道変位図 (下り線 No.6)

3-3 箱形ルーフ推進施工

(1) 概要

箱形ルーフは函体推進時の軌道沈下を防止する桁の役割を担っており、函体外面に沿って配置されている (図-10)。その構造は外形 800 mm の矩形で、施工は管内での人力切羽掘削にて 30 cm ~ 50 cm の先行掘りを行い、油圧ジャッキ (1500 kN * 2 台/本) にて推進するといったものである。

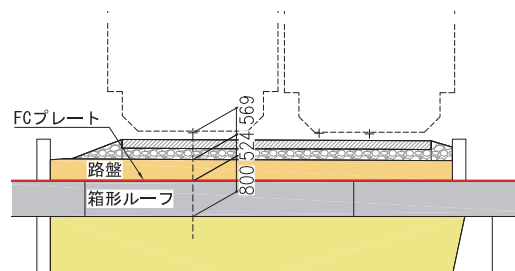


図-10 軌道下断面図

(2) 課題

箱形ルーフ上の土被りは設計上レールレベルから 1.1 m 程度となっているが、実際はバラストを含む軌道構造を差し引いた路盤部の 50 cm 程度となる。また、長年の軌道整備におけるバラストの補填により、土被は計画よりさらに小さくなっていることが想定された。こうした条件下で、掘削時の切羽崩壊がバラスト層の崩壊、軌道沈下へ直結することが懸念された。

(3) 対策

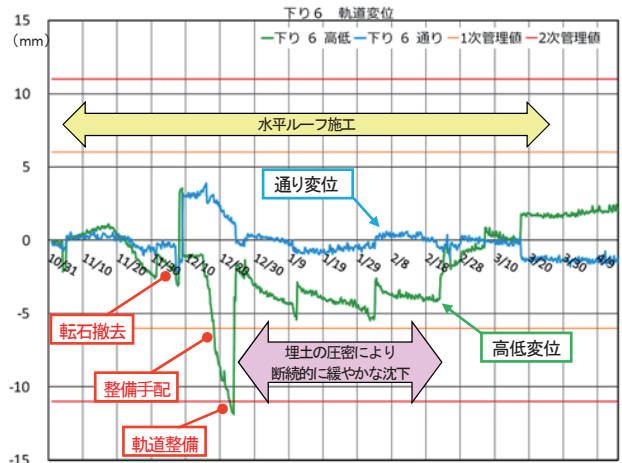
- ①切羽面までにバラスト層が達していることを想定し、事前にルーフ刃口にリッパーを取付け、刃口をバラストに貫入させ崩壊を防ぐ
- ②万が一のバラスト層崩壊に備え、軌道基面上に予備のバラストを仮置きしておく。また、軌道基面上への重機の乗入れが困難なため人力での運搬を想定し、バラストは土嚢に詰めることとした。

(4) 支障物への対応

前述した対策を講じたが、バラスト層は切羽まで達しておらず、また路盤も堅固であったため切羽の崩壊なく施工は完了した。しかし、掘削時多数の転石が出土したため、これを撤去しながらの施工となった(写真一4)。支障物が確認された場合、奥行や高さといった形状が判定できず、撤去に要する時間の判断も難しい。本工事は、時間的制約条件下にあったため、定められた時間内に推進を行い、鏡押えまでを完了させる必要があった。転石の撤去は対象に打込み式アンカーを取付け、レバブロックにより引き出すか、これで対応できない場合は削岩機・セリアによる割岩となる。これらに要する時間と管内からの持ち出し、空隙部の間詰め、推進に要する時間は 1 時間 30 分程度となるため、作業終了予定時間から逆算し撤去を行うかの判断を行わなければならない。また、こうした情報は発注者・軌道整備業者と随時共有し、特にルーフ上端付近に出土した場合はこれがバラスト層まで達している可能性もあり、撤去と同時にバラスト層が崩落することも想定されたため、撤去に際しては軌道整備の体制を整えることとした。



写真一4 ルーフ内支障物



図一11 ルーフ推進期間中の軌道変位図 (下り線 No.6)

(5) 成果

図一11 に下り線 No.6 地点(図一2)でのルーフ推進期間中の軌道変位を示す。ルーフ上端に出土した転石撤去後 10 日間で 10 mm 程度の沈下が見られ、警戒値到達時点で軌道整備の手配を掛けた。整備後緩やかに継続して沈下が見られるが、これは転石撤去後に間詰めした土嚢内の土砂が圧密したことによるものと考えられる。

§ 4. おわりに

本工事は、JR 営業線軌道直下を R&C 工法によりボックスカルバートを構築する工事であり、軌道に大きな影響を与える懸念があった。特に当該区間には分岐が位置していたため、通常の路線以上に軌道変状への対策と管理が求められた。工事は現在箱形ルーフの設置までが完了しており、これまで列車運行に支障をきたすことなく推移している。薬液注入工については、DCI 多点注入工法の採用により軌道に影響を与えることなく完了することができた。なお、工法変更により工事費は増額となったが、今後実績が増えれば、軌道変状に伴う整備費用等の支出を抑えることができるため、発注者としても事業全体を見ればメリットが大きいと思われる。箱形ルーフ推進については、地中障害の撤去により軌道変状が発生し軌道整備が実施された。過去の実績からも撤去後に地表面の沈下が発生しているが、依然として有効な手段が確立されていないため、こうした危険要因を事前に抽出、発注者との共有を図り管理・整備体制を確立しておくことが重要であると考えます。

最後に、本工事の課題に対し一般土木委員会、本社土木設計部をはじめ関係各位には多大なご支援を賜りました。ここに改めて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 原田, 上田: 九州自動車道路下における R&C 工法による道路トンネルの施工, 西松建設技報 Vol. 34, 2011.
- 2) 岩川, 小松: 国道 1 号線道路下への R&C 工法適用時の安全対策と計測結果, p 西松建設技報 Vol. 37, 2014.