

# 玉石混じり地盤における地盤切削 JES 工法 による線路下横断工事の施工

石田 将貴<sup>1</sup>・吉田 直人<sup>2</sup>・村田 浩平<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 東日本旅客鉄道株式会社 上信越工事事務所（〒370-8543 群馬県高崎市栄町 6-26）  
E-mail: mas-ishida@jreast.co.jp

<sup>2</sup>正会員 東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センター（〒163-0231 東京都新宿区西新宿二丁目  
6 番 1 号 新宿住友ビル 31 階） E-mail: naoto-yoshida@jreast.co.jp

<sup>3</sup>非会員 鉄建建設株式会社 JV 塩沢作業所（〒949-6408 新潟県南魚沼市塩沢 883）  
E-mail: kouhei-murata@tekken.co.jp

線路下に構造物を構築する場合、開削工法もしくは非開削工法のいずれかを採用することが一般的であるが、本工事では構築する構造物の規模、列車が運行していない時間帯（以下、線路閉鎖間合い）および現場の土質条件などを考慮した経済性比較を行い、鋼製エレメントを用いた非開削工法である HEP&JES 工法を採用した。また、上越線の盛土部分は上下線で異なる構成と地質となっており、玉石・礫等の多くの支障物が存在していることがわかってきた。HEP&JES 工法において、これらの支障物は軌道変状リスクの要因になることから、本現場では施工中の軌道変状リスクをこれまで以上に低減できる、地盤切削 JES 工法を採用した。本稿では、地盤切削 JES 工法を含む、玉石混じりの地盤における線路下横断工事の施工実績について報告する。 **Key Words:** train, under-track crossing, HEP&JES,

## 1. はじめに

新潟県南魚沼市が計画する都市計画道路樋渡東西線整備事業は、上越線の塩沢駅と六日町駅の駅間で立体交差する計画となっている。図-1 に計画位置図を示す。本工事は上越線との交差部を JR 東日本が委託を受け、上越線直下にアンダーパス（以下、樋渡 Bv という。）を構築するものである。

線路下に構造物を構築する場合、開削工法（工事桁工法）もしくは非開削工法のいずれかを採用することが一般的であるが、本工事では構築する構造物の規模、列車が運行していない時間帯（以下、線路閉鎖間合い）および現場の土質条件などを考慮した経済性比較を行い、鋼製エレメントを用いた非開削工法である HEP&JES 工法を採用した。また、上越線の盛土部分は上下線で異なる構成と地質となっており、玉石・礫等の多くの支障物が存在していることがわかってきた。HEP&JES 工法において、これらの支障物は軌道変状リスクの要因になることから、本現場では施工中の軌道変状リスクをこれまで以上に低減できる、地盤切削 JES 工法<sup>1)</sup>を採用した。

本稿では、地盤切削 JES 工法を含む、玉石混じりの地盤における線路下横断工事の施工実績について報告する。

## 2. 工事概要

### (1) 主要寸法

図-2 に側面図、図-3 に JES 函体部の断面図を示す。



図-1 計画位置図

- ・構造形式：1層1径間ボックスカルバート
  - ・函体寸法：幅 12.3m（車道部 7.0m（片側1車線）、歩道部 2.5m）、高さ 9.1m、エレメント延長 15.7m、勾配 3.0%
  - ・最小土被り：施工基面高（FL.）より 1.5m
  - ・地下水位：施工基面高（FL.）より 2.8m
- 線路下横断部の函体は、列車荷重（設計荷重 EA-17）を受けするため、鉄道構造物等設計標準に基づき設計している。なお、本工事では線路直下の道路函体部のほか、隣接する道路部函体工（L=12.0m）、U型擁壁工（L=15.0m）の施工も行う。

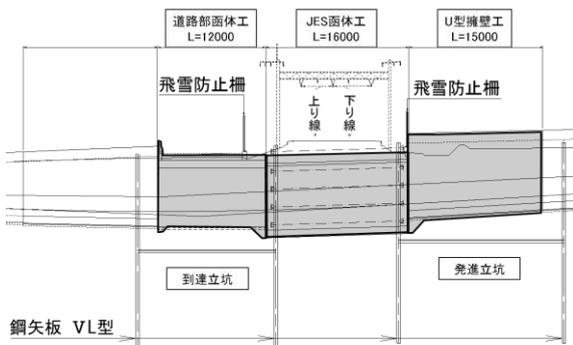


図-2 側面図

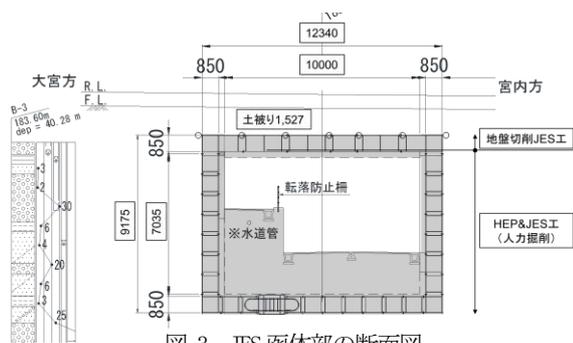


図-3 JES 函体部の断面図

## (2) 全体施工計画

図-4に全体施工計画フローを示す。軌道変状対策として地盤切削 JES 工法の適用の他に、ロングレールの定尺化や簡易工事桁設置を行うこととした。

## (3) 全体工程

図-5に全体工程を示す。本工事は2015年10月～2019年10月までの約4年間の工期である。本現場は豪雪地帯であるため、冬季休工期間（1月上旬～3月上旬）を設けている。HEP&JES 工法による鋼製エレメントけん引工は、上床版及び側壁部1段目を除き、列車運行時間帯による昼夜施工とした。

## (4) 地盤条件

図-6に地質断面図を示す。本工事では、設計時に線路下の盛土部の地質を確認するため、通常のボーリングの他に、斜めボーリングによる調査も合わせて実施した。

上床エレメント付近の地質は、上越線の下り線側は玉石混じりの砂礫、上り線側は砂礫混じりの粘土と異なる性状を示していた。また、玉石の径は近隣の施工実績より最大で800mm程度と想定された。

地下水位は、施工基面高（FL）から2.8m下と高いため、立坑部は鋼矢板で締切り、線路下横断部は葉液注入工（二重管ダブルパッカー工法）で止水を行うこととした。

また、本現場は大規模地震時に液状化する恐れのある地盤であったことから、液状化による道路函体の浮き上がり対策として、鋼製エレメントと函体内部の死荷重により抵抗する設計としており、道路として必要な内空断面に対してエレメントを下方に1段増加させた構造となっている。

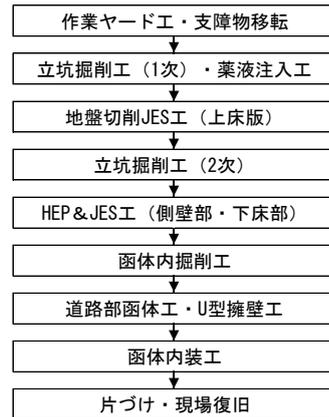


図-4 全体施工計画フロー

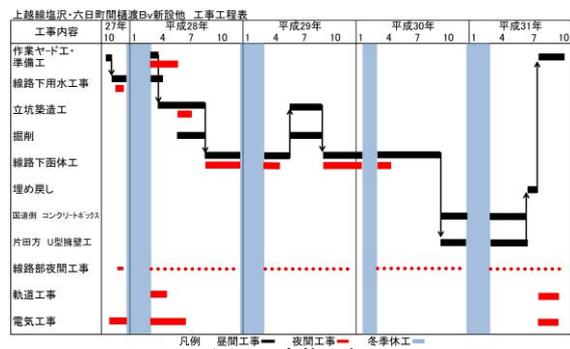


図-5 全体工程

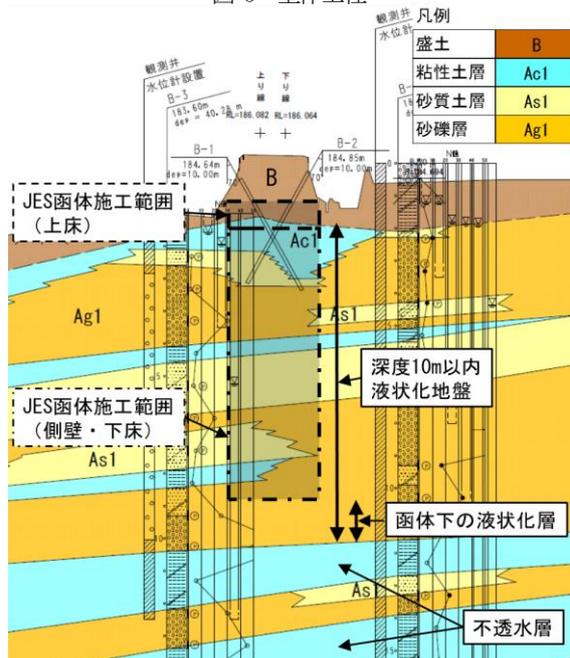


図-6 地質縦断面図

## 3. 施工計画

### (1) 地盤切削 JES 施工計画の概要

HEP&JES 工法（以下、従来工法という。）を含む非開削によるエレメントまたは函体掘進では、支障物がある場合、掘進中に刃口が支障物を押し込むことによる地表面の隆起や、支障物を取り込む際に地山を緩めることによる陥没・沈下の発生が懸念される。

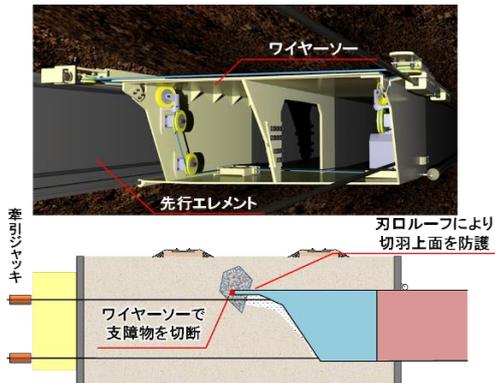


図-7 地盤切削 JES 工法 の概念図

線路下の作業では、地表面（軌道）の隆起、陥没・沈下が列車運転に影響を及ぼす。そこで、地表面（軌道）の変状を最小限に抑えるため、本工事では地盤切削 JES 工法（以下、本工法という。）を採用した。

図-7 に本工法の概念図を示す。過去の施工実績では、エレメントの JES 継手が勘合していない側が沈下する傾向（ローリング）があることが分かっている。そのため、掘進中は、電子レベル計、ピッチング計、ローリング計を設置し施工誤差の確認を行うとともに、刃口下面にテーパを設け刃口下面の掘削土砂のすきとりや突き固めを併用することにより刃口の姿勢制御を行う。また、計測データは中央管理室で集中管理し、リアルタイムに刃口の姿勢を把握できるシステムを構築している。なお、本工法を適用するためには、地盤切削ワイヤおよびブリーを地山に貫入させるためのガイドパイプ（塩ビ管）を事前に設置する必要がある。

本工法は過去に 2 件の施工実績があるが、線路路盤を改良土で置換しての施工や均質な地盤の関東ローム層（電柱基礎等の支障物含む）での施工であり、本現場のように大きな支障物が存在し、地質条件も均質でない条件での施工は初めてであった。そのため、図-8 に示す軌道影響範囲<sup>2)</sup>については、線路閉鎖間合いにて作業を行うこととした。

## (2) 線路閉鎖間合い・軌道計測計画

図-9 に本現場の線路閉鎖間合いを示す。上越線は夜間にも貨物列車が走行するため、線路閉鎖間合いは上り線で 4 間合（114 分、84 分、58 分、153 分）、下り線で 3 間合（139 分、90 分、195 分）である。軌道計測は、リンク式計測器および水準計をレールに設置し、リアルタイムでレールの変位を測定した。測定は 1 分間隔とし、測定器は 2.5m 間隔で設置した。表-1 に軌道変位の管理値を示す。軌道変位は、10m 弦の測定値より警戒値（ $A \times 0.4$ ）、工事中止値（ $A \times 0.7$ ）、限界値（ $A$ ：軌道整備基準値）の 3 段階で管理することとした。

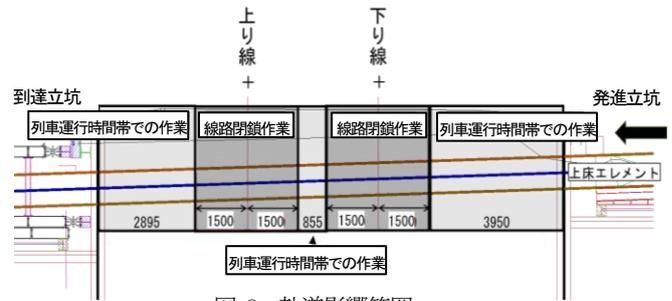


図-8 軌道影響範囲

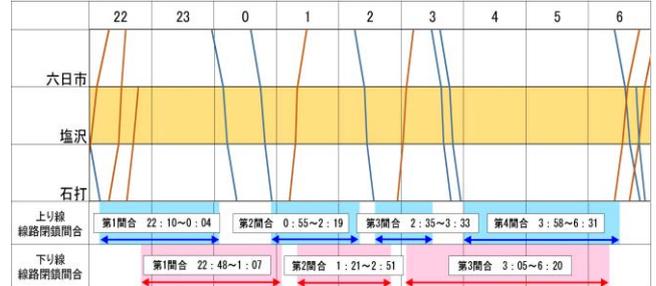


図-9 線路閉鎖間合い

表-1 軌道変位の管理値 (単位: mm)

管理区分	高低	通り	平面性	水準
警戒値 (限界値 $\times 0.4$ )	$\pm 6$	$\pm 6$	$\pm 7$	平面性に 基づき整備
工事中止値 (限界値 $\times 0.7$ )	$\pm 11$	$\pm 11$	$\pm 13$	
限界値	$\pm 15$	$\pm 15$	$\pm 18$	

## (3) 軌道変状対策

### a) ロングレール定尺化

本現場はロングレール区間であるため、伸縮継目の挿入及び定尺化を行った。図-10 に定尺化範囲図を示す。定尺化範囲は、線路下函体構築範囲 12.54m に対する定尺 1 区間と、その両端各 1 区間とし、計 75m とした。両端の各 1 区間も対象としたのは、線路下構築上部の値が大きく変動する区間と、構築の影響を受けないロングレール部との軌道諸元値を擦り付けるためである。ロングレール部との擦り付けのみを考慮するのであれば、もう 1 区間定尺区間とするのが理想である。しかし、既存のロングレール基準杭の位置が近く、もう 1 区間設定することは難しかった為、上記範囲とした。

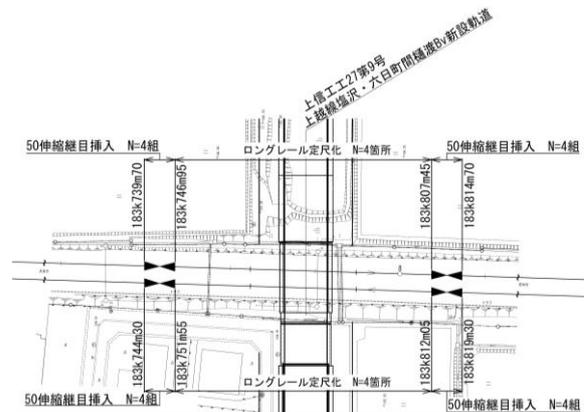


図-10 ロングレール定尺化範囲

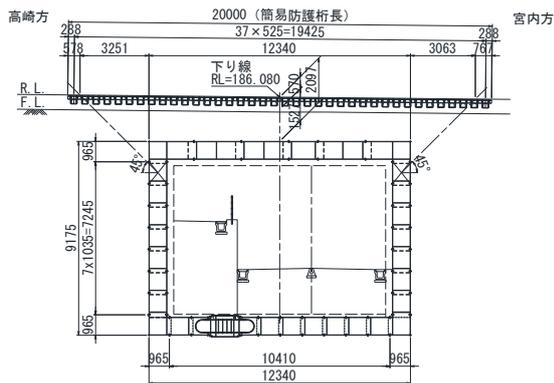


図-11 簡易工事柵設置位置図



図-12 簡易工事柵設置状況

#### b) 簡易工事柵の設置

軌道防護として、簡易工事柵を設置した。図-11 に簡易工事柵設置位置図を、図-12 に設置状況を示す。簡易工事柵設置範囲は図-11 に示すように、鉛直 1 断目エレメントからレール面まで 45 度立ち上げた範囲とした。

#### c) レール張り出し防止杭設置

本現場はレール温度上昇期において、薬液注入工、タイロッド工、立坑一次掘削工、地盤切削 JES 工法を実施する予定であった。そこで、保線技術センターと調整して、レール張り出し防止杭の設置を行った。レール張り出し防止杭の設置本数は、レール張り出し防止マニュアルに記載されている、座屈防止板による道床横抵抗力の強化方法を参考として、3 本に 1 本とした。また、道床安定剤の散布も併せて実施した。図-13 に張り出し防止杭設置範囲図と設置状況を、図-14 に張り出し防止杭設置詳細図を示す。設置範囲は定尺化区間における伸縮継目を除く範囲とした。

### 4. 施工実績

#### (1) ガイドパイプの施工実績

上床版に用いるガイドパイプは、プーリーとの離隔を確保するため、±20mm 以内で地山に貫入する。図-15 にガイドパイプの施工状況（発進立坑側）を、図-16 に鋼管推進状況（到達立坑側）を、図-17 に切削ビットを示す。過去の工事では、施工精度の高い小口径の回転圧入推進工法を採用していた。

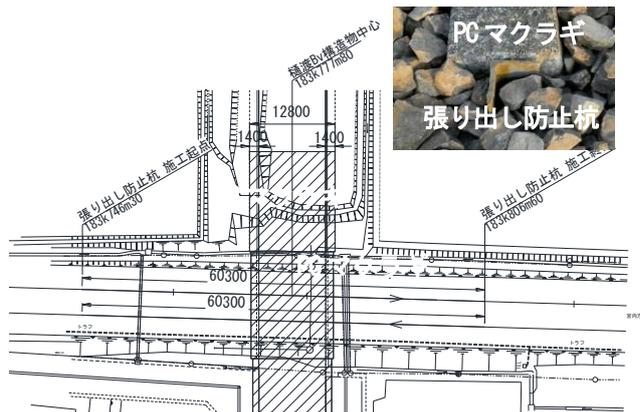


図-13 張り出し防止杭設置範囲図と設置状況

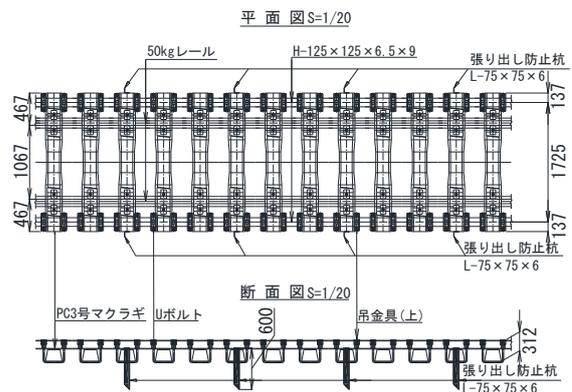


図-14 張り出し防止杭設置詳細図

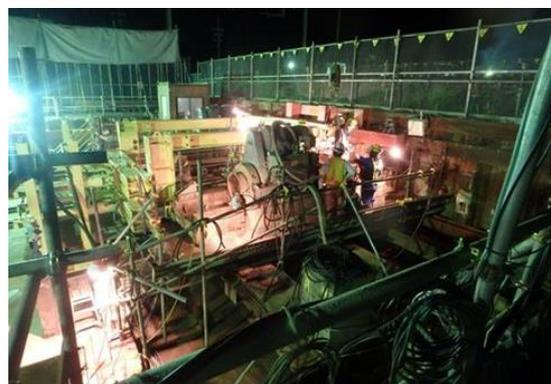


図-15 ガイドパイプ推進状況（発進立坑側）



図-16 鋼管推進状況（到達立坑側）



図-17 切削ビット

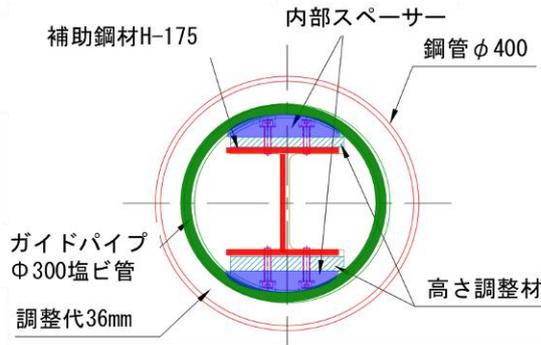


図-18 たわみ抑制用補助鋼材 (H-175)



図-19 裏込め注入状況

しかし今回は、玉石などの支障物が多く、施工精度を満足できないと判断し、切削刃で地山を掘削でき、管内から支障物の取り込み、排出が可能である工法 (SH 工法) を採用した。ただし、SH 工法は最小径が  $\phi 400\text{mm}$  であるため、 $\phi 400\text{mm}$  の鋼管を敷設後に  $\phi 300\text{mm}$  の塩ビ管に置き換えることで対応した。なお、鋼管内に塩ビ管を挿入する際、自重により塩ビ管のたわみが発生するため、図-18 に示す芯材 (H-175) を設置し塩ビ管の精度確保に努めた。また、図-19 に裏込め注入状況を示す。鋼管を引き抜く際、塩ビ管と地山の間に隙間が生じるため、裏込め注入で空間を充填しながら置き換えを行った。

## (2) 地盤切削 JES の施工実績<sup>3)</sup>

図-20 にエレメントの割付図、表-2 にエレメント掘進中の計測項目を示す。

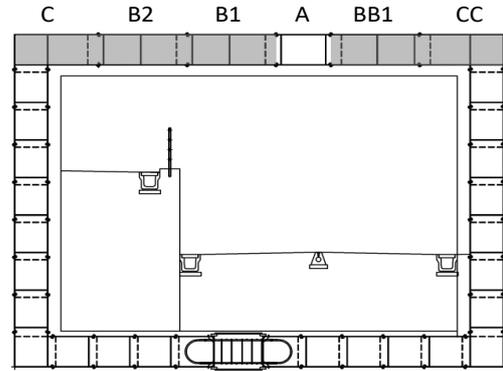


図-20 エレメント割付図

表-2 計測項目

確認項目	計測項目	計測内容	計測方法
基本データ	掘進けん引量	施工せきたエレメント長	ロータリーエンコーダー
	施工時間	エレメントを施工した時間	掘進けん引時間
	けん引力	エレメントけん引に要したジャッキ推力	ジャッキ油圧
	刃口の状況	支障物の有無や地盤状況	目視確認
軌道変位	高低	レール上下方向の相対変位	リンク式計測器
	通り	レール左右方向の相対変位	リンク式計測器
	水準	左レールと右レールの高さ差	水準計
刃口挙動	高さ	計測高さエレメント高さ差	ロータリーレーザー
	ピッチング	エレメント軸の傾斜	ピッチング計
	ローリング	エレメント直角軸の回転角	ローリング計
地盤切削JES装置の稼働状況	ワイヤー速度/ワイヤー張力/モーター駆動電流値/ワイヤー遅れ量	切削ワイヤーの稼働状況および安全	モーター運転時間/プーリー回転速度/駆動電流値/シリンダ空気圧/シリンダストローク

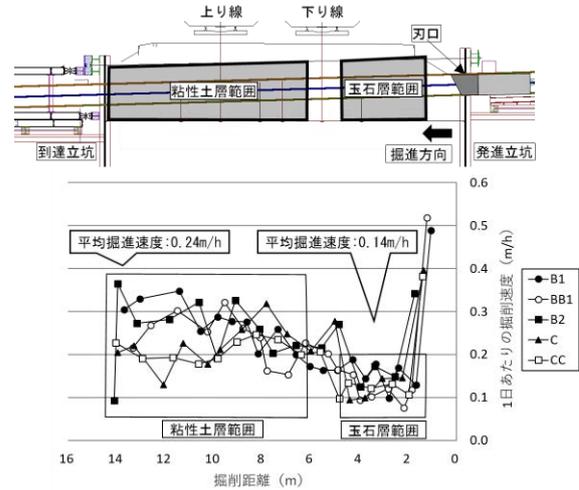


図-21 エレメント掘進平均速度

## a) 施工速度

図-21 にエレメント平均掘進速度を示す。上床エレメントの掘進は人力掘削で行った。上床エレメント掘進時の施工速度は、玉石混じり砂礫 (下り線) で  $0.14\text{m/h}$ 、砂礫混じりの粘土 (上り線) で  $0.24\text{m/h}$  であった。この施工速度の差は玉石の影響が大きいと考えられる。図-22 に切羽部の状況を示す。事前の調査で玉石の直径は最大で  $800\text{mm}$  程度と想定していたが、実際には最大で  $1200\text{mm}$  程度であり、 $100\sim 700\text{mm}$  程度の玉石が大量に出現した。また、切羽の 8 割程度に玉石が積まれているような状況であった。しかし、玉石の出現範囲は限定的であり、発進側の土留めから掘進長  $1\sim 3\text{m}$  の範囲に集中していた。図-23 に玉石の切断状況と出土した玉石を示す。これらの内、刃口上部に出土した玉石は、地盤切削ワイヤで切断できたが、側部及び底部に出土した玉石は、ブ



図-22 切羽部の状況



図-23 玉石の切断状況 (左下) と出土した玉石

レーカーでの破碎を要した。また、玉石の重量が重い為、坑外への搬出には通常用いるベルトコンベアではなく、チェーンブロックを使用した。その為、施工に時間を要する結果となった。

図-24 に掘削距離におけるワイヤの回転力を表すモーターの駆動電流値と地盤状況の関係を示す。切羽が下り線側から上り線側へ進むと、土質が玉石混じりの砂礫から砂礫混じりの粘土へ変化した。粘性土ではワイヤに土がからみつき、ワイヤの駆動装置に負荷がかかったことで、切削効率が落ちる傾向が見られた。また、駆動装置に負荷する電流値の規制値を 21.6A に設定していたが、粘着土の影響で電流値が規制値へ達した為、安全装置により自動停止する事象が発生した。その為、本工事では規制値を 25.0A へ緩和し、負荷が許容値を超える前にけん引を中断し、切削ワイヤの洗浄及び交換を行うことで負荷を軽減した。ただし、これらの作業には時間を要した為、今後、洗浄及び交換作業の効率化が望まれる。

上記のように、上下線で地質が異なることから、ワイヤの回転速度やエレメントのけん引力などの細かい微調整が求められた。

#### b) 施工精度

通常、エレメントの掘進は、施工時の排水等を考慮して上向きに行くことが望ましい。しかし、作業ヤードの条件より、上向きの掘進となるように立坑を計画すると、発進側の立坑が狭隘となる為、本工事のエレメントの掘進は下向きに行くこととなった。下り勾配での施工では、一度刃口が上向きになると、再度下げることが困難とな

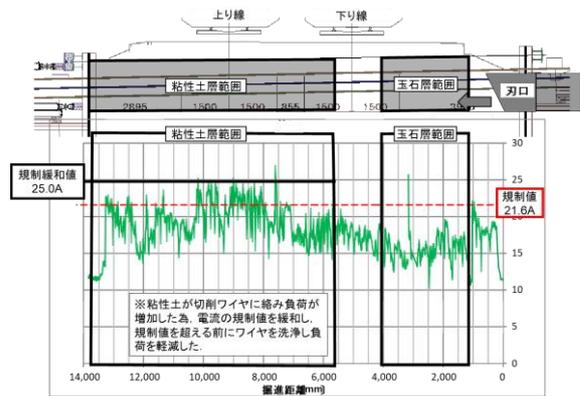


図-24 掘削距離における駆動電流値と地盤状況の関係

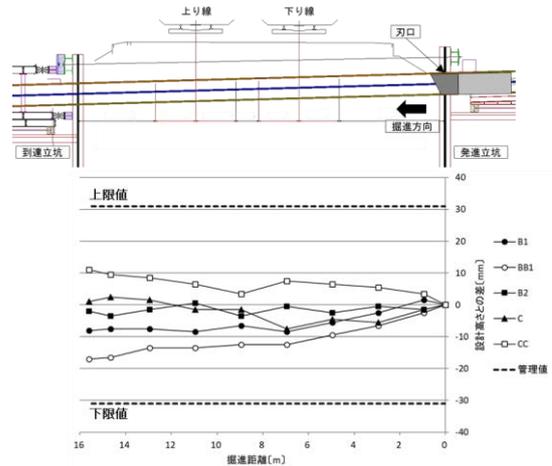


図-25 上床エレメントの施工精度

る為、通常時の上げ越し管理は行わず、軟弱粘性土の箇所や刃口下部の玉石を撤去した際のみ、上げ越しぎみの掘進及び、刃口下部に土のうを設置することで刃口沈下に対応した。エレメントの施工誤差は  $L/500$  ( $L$ : 推進距離) 以下としている。図-25 に上床エレメントの施工精度を示す。縦軸は発進側のエレメントの下端をゼロとしたときの、設計高さに対する計測値との差を示し、横軸は発進側からの掘進距離を示している。エレメントの施工精度はいずれも管理値内に収まり、本現場の施工条件においても良好な施工精度が得られた。

#### c) 軌道への影響

図-26 に BB1 エレメントの軌道 (高低) の計測結果を示す。横軸は作業終了時の刃口の先端位置であり、その時点の軌道 (高低) の計測値を縦軸に示している。上り線、下り線ともに刃口が軌道影響範囲を通過する際に、軌道が緩やかに沈下していることがわかる。これは、エレメント掘進に伴い周辺地盤を緩めた影響と考えられる。しかし、上床エレメントの施工期間中、列車の運行に影響を及ぼすような急激な変位は発生しなかった。通り及び水準についても同様であった。また、変位が警戒値に達した時点で軌道整備を実施した。以上より、本現場のような特殊な地盤条件においても、地盤切削 JES 工法を

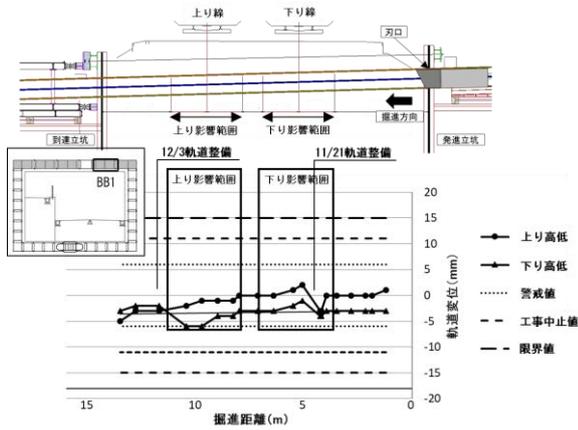


図-26 BB1 エレメントの軌道（高低）の計測結果

適用し、列車運行時間帯での施工ができる可能性があることがわかった。

### (3) 側壁・下床エレメントの施工実績

側壁・下床エレメントの施工は、支障物もなく上床エレメントで軌道も防護されているため、地表面の陥没・隆起のリスクも低いことから、従来工法で施工を行った。また、土かぶりが 2.0m 以上確保できることから、軌道の変状リスクが低いと言え、列車の運行時間帯に昼夜体制でエレメント掘進を行った。側壁・下床エレメントの施工速度は 0.46m/h である。途中、支障物（木片）が出現し、撤去に時間を要したが、それ以外は大きなトラブルはなく施工を完了した。

図-27 に調整エレメントを示す。調整エレメントは主に下床版に使用され、各エレメントの施工誤差を調整している。本工事では、U 型鉄筋定着方式を採用した。

### (4) 中埋めコンクリートの打設

エレメント内部を充填する中埋めコンクリートは、上床エレメント施工完了後、側壁エレメント施工完了後および下床エレメント施工完了後の 3 回に分けて打設を行った。中埋めコンクリートにはエレメント内部の充填性を確保するため、高流動コンクリート（設計基準強度 24kN/mm<sup>2</sup>、スランプフロー 650mm）を使用している。高流動コンクリートの充填確認は、エア抜き用の管からコンクリートが吐出したことを確認して実施しており、吐出確認後エレメントを閉塞して完了とした。

### 5. 端部コンクリートの配筋変更

JES 函体のけん引出来形に伴い、端部コンクリート上床部・下床部の配筋を変更した。図-28 に端部コンクリート配筋変更図を示す。b) で記載しているように、本工事では上床エレメントのけん引において、管理値内ではあるものの、各エレメントで施工誤差が生じた。鉛直・下床エレメントについても同様である。エレメントに誤差が生じている状態で端部コンクリートを当初設計のまま施工すると、端部コンクリート天端面および底面が水平に揃わなくなってしまう。そこで、エレメント天端面



図-27 調整エレメント

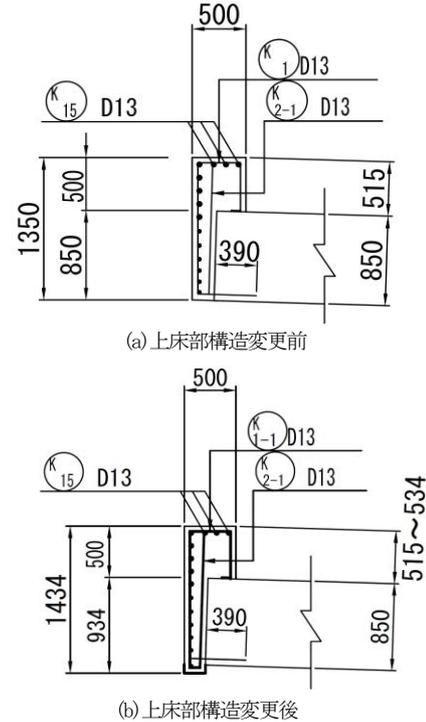


図-28 端部コンクリート配筋変更図

については最も高い位置となったエレメントを基準に、エレメント底面については確保最も低い位置となったエレメントを基準にかぶりをするように配筋した。発進立坑側の端部コンクリート上床部においては、天端面に飛雪防止柵が配置される予定であり、この設置高さが保たれるよう留意した。また、端部コンクリート上床部底面および下床部天端面においては、内空断面を小さくする側の変更であるため、必要とする内空断面を確保していることを確認し、形状を決定した。

### 6. 内装工側壁構造の変更

図-29 に内装工側壁当初設計図を示す。JES 函体の内装工側壁は、当初コストダウンの観点から、エレメント側面より幅 320mm で合成短繊維入りの無筋コンクリートを構築する設計となっていた。しかし、過去に同様の施工をした JES 函体において、側壁エレメントの外部拘束に起因するひび割れが、供用開始後多数確認された。ひび割れによる構造耐力低下や、コンクリートの剥落の

リスクは小さいが、将来的に耐久性の低下が懸念されることから、内装補修を行った事例もある。今回も同様の懸念があったため、側壁表面に高耐久埋設型枠パネル（以下、PIC フォーム）を設置し、エレメントとパネルとの間にコンクリートを打設する設計に変更した。図-30 に内装工側壁変更図を、図-31 に PIC フォームの施工例を示す。PIC フォームは、ステンレス繊維を混入し表面には樹脂を含浸した密実な材質であるため、表面強度が  $130\text{N/mm}^2$  と高く、ひび割れの発生を抑制することができる。また、仮に車両の衝突などにより PIC フォームが破損した場合は、当該箇所を新規パネルと交換することが可能である。この PIC フォームを  $1000 \times 1000\text{mm}$  のサイズを基本として側壁に配置した。

また、As 舗装の下に打設する道路下コンクリートは  $16.0 \times 10.6 \times 1.5\text{m}$  のマスコンクリートであるが、当初設計においては無筋であるにもかかわらず目地等もなく、ひび割れが予想された。そこで、幅  $5.0\text{m}$  を越えないよう目地板を設置し、ひび割れを抑制した。

## 7. おわりに

本稿では、地盤切削 JES 工法を含む、玉石混じりの地盤における線路下横断工の施工実績について報告した。

今回は大量の玉石を含む地盤でかつ施工位置により地質が異なる特殊な条件下であったが、列車の運行や軌道に大きな影響を与えることなく線路下横断工を完了することができた。また、付随する軌道工事、道路施設の構築においても順調に施工を進めている。図-32 に発進側からの線路下横断工施工状況を示す。

最後に、今回の施工実績が、線路下横断構造物の構築方法の効率化や安全性の向上に寄与できれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 本田諭, 齋藤貴, 井上宏和, 尾関聡司: 地盤切削 JES 工法で大規模函体を活線下施工—高崎線桶川・北本間 二ツ家こ道橋新設, トンネルと地下, Vol.44, No.8, 2013.8
- 2) JR 東日本: 非開削工法設計施工マニュアル, 2009.7
- 3) 吉田直人, 石田将貴, 熊倉秀夫, 村田浩平: 玉石混じり砂礫地盤の線路下横断工事に地盤切削 JES を適用, トンネルと地下, Vol.49, No.10, 2018.10

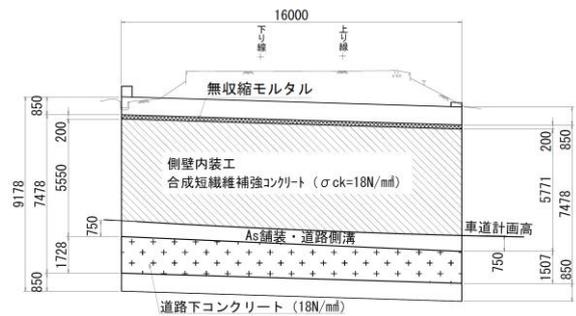


図-29 内装工側壁当初設計図



図-30 内装工側壁変更図



図-31 PIC フォームの施工例



図-32 桶渡 Bv 線路下施工状況 (発進側より)

## Construction of crossing under the track by ground cutting JES method in cobblestone mixed ground

Masaki ISHIDA, Naoto YOSHIDA and Kouhei MURATA

When constructing a structure under a track, it is common to use either the open-cut method or the non-open-cut method, but in this work the scale of the structure to be constructed and the train are operating. Economical comparisons were made in consideration of the time periods and soil conditions at the site, and the HEP & JES method, which is a non-cutting method using steel elements, was adopted. In addition, the embankment of the Joetsu Line has a different composition and geology in the upper and lower lines, and it has been found that there are many obstacles such as cobblestones and gravel. In the HEP & JES method, these obstacles cause the risk of trajectory deformation, so the ground cutting JES method, which can reduce the risk of trajectory deformation during construction, was adopted at this site. In this paper, we report the construction results of under-track crossing work in ground mixed with cobblestone, including ground cutting JES method.