

# 列車運行時間帯における立体交差工事の施工

## 高崎線桶川・北本間二ツ家こ道橋新設工事 地盤切削 JES 工法

西村 知 晃・中山 泰 成・尾 関 聡 司

高崎線桶川・北本間二ツ家こ道橋新設工事では、営業線直下に非開削で1層4径間のボックスカルバートを構築する。本工事において、低土被り条件下で地表面の影響を抑えるために開発した地盤切削 JES 工法（以下「本工法」という）を、上床版の施工に採用した。「本工法」は、線路下横断工法として施工実績の多い HEP&JES 工法をベースに、更なる安全性向上を目指し開発した工法である。今回、「本工法」を列車運行時間帯で初めて施工し、目的としていた工期短縮を実現するとともに、「本工法」の安全性を実証することができた。

キーワード：立体交差，アンダーパス，非開削，鋼製エレメント，地盤切削，低土被り

### 1. はじめに

近年、踏切での交通渋滞解消を目的として、営業する鉄道下を交差する構造物が計画・施工されるケースが増えている。線路下を横断して構造物を構築する場合、列車運行の安全性を確保することが第一であり、軌道変状が少ない施工方法が求められる。このような状況の下、軌道への影響を抑えた線路下横断工法として、HEP&JES 工法<sup>1)</sup>を開発し、多くの施工を行ってきた。HEP 工法 (Highspeed Element Pull method) とは、到達側に設置したけん引装置で、エレメントとその先端に直結した掘削装置を PC 鋼より線にて到達側に引き込む工法である。JES 工法 (Jointed Element Structure method) とは、軸直角方向に力の伝達可能な継手を有する鋼製エレメントを嵌合させ本体利用することで、路線下横断構造物を短期間に安全に構築する工法である (図-1)。

しかしながら、土被りが小さい場合や支障物が多い施工条件下でのエレメント掘進は、施工に伴う隆起や沈下といった地盤の変状により列車運行に影響を及ぼすことが懸念される場合、線路直下の施工は列車運行時間帯外に行うことが多かった。この場合、作業可能な時間が夜間の短時間に限られるため、工費・工期が増大することが課題となっていた。

そこで、施工時に発生する地盤変状を抑制し、列車運行時間帯でも施工可能な線路下横断構造物の構築工法として「本工法」を開発した<sup>2)~4)</sup>。

「本工法」を、平成 24 年 9 月から 12 月にかけて、高崎線桶川・北本間二ツ家こ道橋新設工事のボックスカルバート上床版施工に採用し、初めて列車運行時間帯での施工を行った。本稿では「本工法」の概要、施工計画および施工結果について報告する。

### 2. 工事概要

高崎線桶川・北本間二ツ家こ道橋新設工事は、JR 高崎線と国土交通省が事業主体となって計画・整備している一般国道 468 号線首都圏中央連絡自動車道（以下、圏央道という）及び主要地方道東松山桶川線（以下、県道という）の立体交差工事である (図-2)。

新設する構造物は、施工延長 35.4 m、幅 49.0 m、高さ 8.9 m の 1 層 4 径間のボックスカルバートであり、中央 2 径間が圏央道、その両端の径間が県道となっている。延長 35.4 m のうち、線路直下の 16.7 m が JES エレメントによる函体で、その上床版エレメント

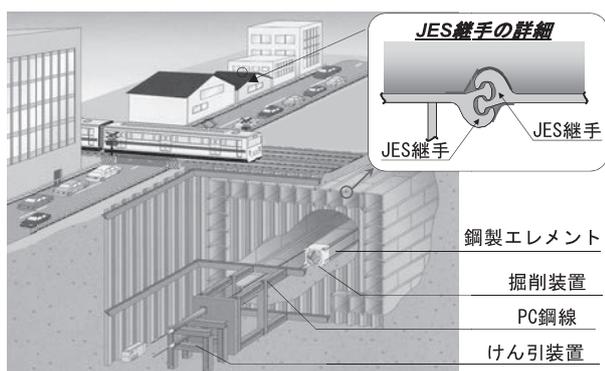
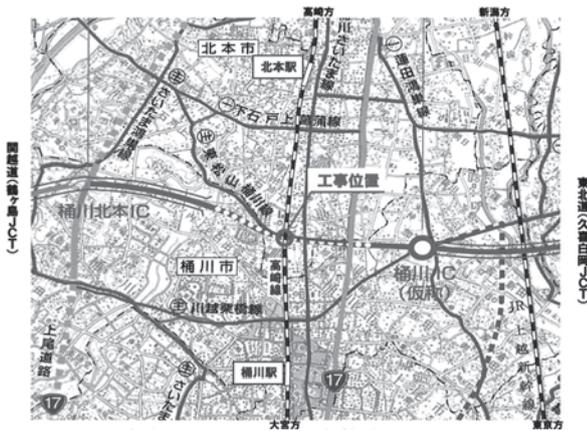
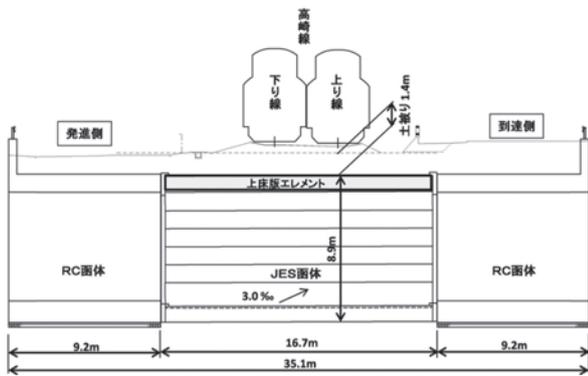


図-1 HEP&JES 工法の概要図



図一 現場位置図



図一 3 函体縦断面図

の施工に「本工法」を採用した。土被りは施工基面 (F.L.) から 1.4 m、縦断勾配は発進側から到達側に向けて 3.0% の上り勾配となっている (図一 3, 4)。

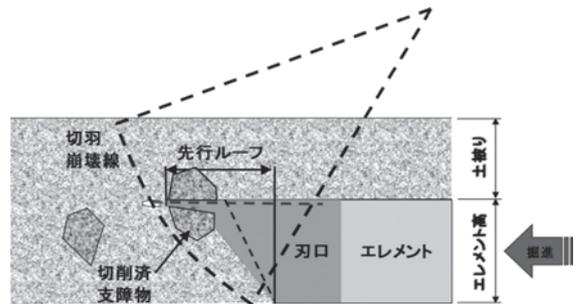
上床版位置の地盤条件は、N 値が 2 ~ 4 程度のローム層であり、地下水位 (GL-4.3 m) より浅い。軌道構造は有道床バラスト軌道であり、安全対策として地表面変状時の軌道変位抑制のため、事前に施工区間に簡易工事桁を設置している。

### 3. 「本工法」の概要

開発した「本工法」は、HEP&JES 工法を改良した工法である。HEP&JES 工法では、刃口に地山を圧入

させながら刃口内部のオーガーにより地盤を掘削する機械掘削が一般的である。しかしながら、対象地盤が玉石混じりの場合やコンクリート塊などの支障物がある場合、特に土被り厚さが小さい条件では、刃口で支障物を押し込むことによる地盤隆起が懸念される。このリスクに対して従来では、機械掘削から刃口内部に人が入って掘進を行う人力掘削に変更し、支障物を撤去しながら掘進を行うことで対処してきたが、これら支障物を撤去した跡の空隙部の充填不足に伴う地表面陥没、沈下のリスクや、また依然として支障物の押し上げによる地表面隆起のリスクは残った。

これらの課題を解決するため、HEP&JES 工法をベースとして、刃口前面上部に地盤や支障物を切削するダイヤモンドワイヤーソー (地盤切削ワイヤーという) を組み込んだ「本工法」を開発した。「本工法」は、地盤切削ワイヤーで切削した溝に刃口前方ルーフが常時挿入された状態で人力掘削にて掘進するため、切羽の崩壊に対する安全性が向上し、また刃口上方の過掘りを防止できるため、地表面の沈下を抑制できる。さらに、支障物が存在した場合でもその支障物を切削しながら掘進を進めるため、支障物を押し込むことによる地表面隆起も抑制できる (図一 5)。

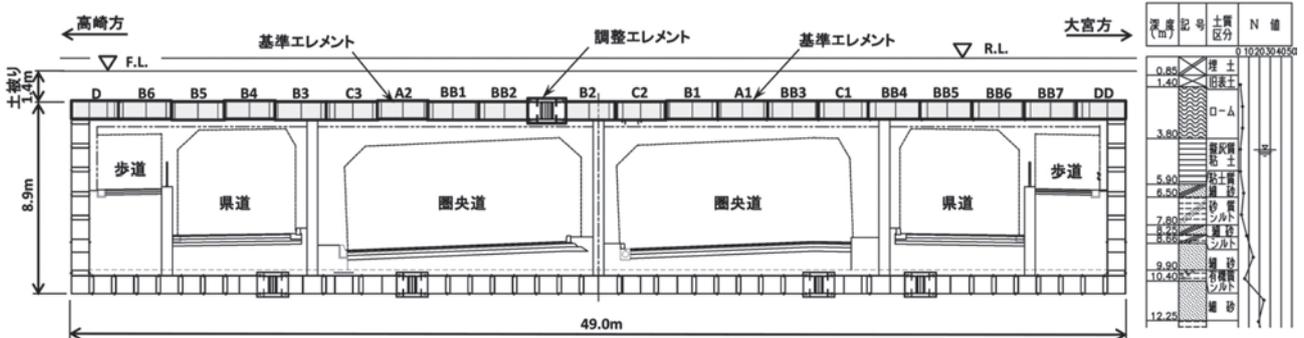


図一 5 「本工法」のイメージ図

「本工法」の主な特徴を以下に示す。

#### ① 刃口およびエレメント寸法

刃口および鋼製エレメントは、地盤切削機構の設置および作業性を考慮して 2070 ~ 2280 mm の幅を基本



図一 4 函体横断面図

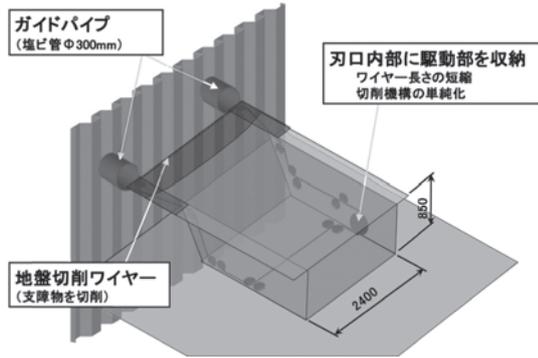


図-6 「本工法」の概要図

としている。広幅のため、作業効率が向上するとともにエレメント施工本数を減じることができ、工期短縮が図れる（図-6）。

②地盤切削機構

地盤切削ワイヤーは、ワイヤー洗浄水が地盤を緩めることを防止するために、無水エンドレスワイヤーを使用し、刃口内部に装備した駆動装置により回転させる。ワイヤーは、推進工法にてあらかじめ設置したガイドパイプ（塩化ビニル管 VP300）内に刃口先端の駆動プーリーを通過させることで先行切削を可能としている。また、掘進の途中で切削装置の交換が必要となった場合は、刃口内部から交換が可能な構造となっている。

③軌道変位対策

切羽の崩壊に伴う軌道の高低変位を防ぐため、刃口前面の三次元円弧すべりの検討を行い、従来の人力掘進用の刃口よりも約 600 mm 刃口ルーフを延長した。また、軌道の通り変位に対しては、刃口上部の土塊の滑動について検討を行い、必要に応じて摩擦低減対策を行う。

④姿勢制御

刃口底面には基準エレメントでは全面に 30 mm、一般部エレメントは JES 継手が勘合されていない側

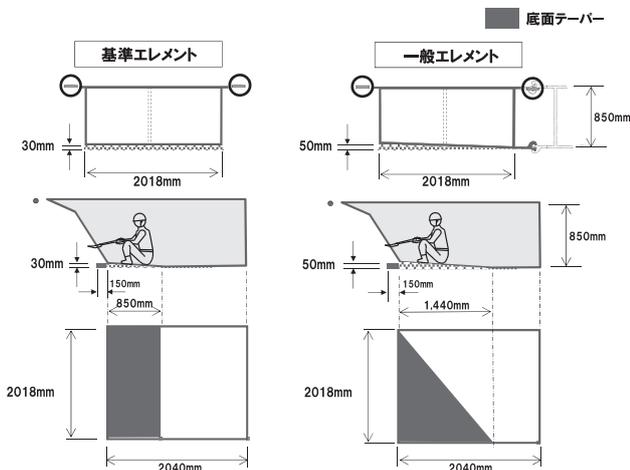


図-7 刃口底面テーパ形状概略図

表-1 掘削パターン表

エレメント計測高に 対する刃口の許容高さ 【高さ】	刃口駆動修正力 の強さと向き	刃口 レベル	掘削パターン（標準エレメント）	掘削パターン（基準エレメント）
6mm ≥ h > 3mm	6mm ↑ 高位置②	1	A : 40mmずき取り 40mm 20mm	A : 25mmずき取り 25mm 25mm
3mm ≥ h > 0mm	3mm ↑ 高位置①	2	B : 30mmずき取り 30mm 15mm	B : 20mmずき取り 20mm 20mm
0mm ≥ h > -2mm	0mm ↑ 標準高さ	3	C : 20mmずき取り 20mm 10mm	C : 15mmずき取り 15mm 15mm
-2mm ≥ h > -4mm	-2mm ↓ 低位置①	4	D : 10mmずき取り 10mm 5mm	D : 10mmずき取り 10mm 10mm
-4mm ≥ h > -6mm	-4mm ↓ 低位置②	5	E : 50mm突き出し 50mm 25mm	E : 30mm突き出し 30mm 30mm
-6mm ≥ h > -8mm	-6mm ↓ 低位置③	6	F : 25mm突き出し 25mm 12.5mm	F : 15mm突き出し 15mm 15mm
-8mm ≥ h > -10mm	-8mm ↓ 低位置④	7	G : 断面通り	G : 5mmずき取り 5mm 5mm

※ -10mm ≥ h の場合、ワイヤーによる刃口引き上げを制御すること。

に 50 mm の片テーパが設けられている（図-7）。このテーパ部の地山掘削量を調整することで、刃口の姿勢制御が可能となっている（表-1）。また、掘進中の刃口の姿勢をリアルタイムに把握するために、刃口高さ、ローンリングおよびピッチングを常時計測しており、この計測データに基づきテーパ部の掘削パターンを選定することで、刃口の姿勢を制御する。

4. 施工計画

(1) 軌道監視

営業線直下での施工となるため、施工期間中はリンク型軌道計測器および水準計を軌道に設置し、軌道変位を3分間隔で計測した。計測点は上り線、下り線とも 2.5 m 間隔であり、上床版エレメントの幅は 2.4 m であることから、各エレメントの直上に必ず計測点が設けられている。県道と交差している二ツ家踏切部は、リンク型軌道計測器および水準計が設置できないことから軌道スコープにより舗装版両端の挙動を光学的に計測した。

表-2 軌道の管理値

	高低	通り	水準	平面性
警戒値 (= A × 0.4)	8 mm	8 mm	7 mm	7 mm
工事中止値 (= A × 0.7)	15 mm	15 mm	12 mm	12 mm
限界値 (A)	22 mm	22 mm	18 mm	18 mm
運転規制値及び 規制内容	24 mm *45 km/h 以下の徐行	24 mm *45 km/h 以下の徐行	21 mm *運転中止	21 mm *運転中止
運転規制値までの 余裕	2 mm	2 mm	3 mm	3 mm

軌道変位量の管理値については、大きな軌道変位が発生して徐行や運転中止が必要となる運転規制値に対して2～3mmの余裕を持たせて限界値を設定し、限界値の0.4倍を警戒値、0.7倍を工事中止値とした(表一2)。

## (2) 施工ステップ

「本工法」は、別工事で夜間線路閉鎖間合での施工実績はあるが、列車運行時間帯での施工は今回が初めてとなることから、以下のステップを踏むことにより、軌道への影響が小さいことを検証した後、列車運行時間帯での施工を開始した。なお、各ステップの移行判断基準は、軌道影響範囲の作業終了後に行った軌道整備直後の軌道計測値と、翌作業日の作業終了後軌道整備前の軌道計測値の差分を、エレメント掘進に伴う軌道変位の1日の進行量とし、この値が表一2の警戒値以下であることとした。ここで、翌作業日の軌道整備前の値を用いたのは、軌道整備を行っても昼間に作用する列車荷重とその衝撃により、軌道変位の進行が想定されたため、安全側判断になるよう留意したからである。また、移行判断基準に満たない場合には、次に施工するエレメントで、再度、同ステップ条件で施工することとした。

### (a) ステップ1

基準エレメント2本の施工において、上り下りそれぞれの軌道直下3mの範囲を軌道影響範囲とし、その範囲は線路閉鎖間合、影響範囲外は夜間作業にて施工する。

### (b) ステップ2

基準エレメント2本の両隣の4本の一般部エレメントにおいて、軌道影響範囲の施工を一部夜間作業(下り線直下は23:40、上り線直下は21:00に施工を開始)で施工する。影響範囲外は夜間作業にて施工する。

### (c) ステップ3

調整エレメントを除いた残り14本の一般部エレメントについては、昼夜作業(昼間作業班、夜間作業班の2方体制)で施工する。

なお、調整エレメントは、「本工法」の適用が困難なため、軌道影響範囲は通常の線路閉鎖間合で施工した。

## 5. 施工結果

「本工法」の施工状況を写真一1に示す。施工は最大4班体制(昼夜8班体制)で実施し、大きなトラブルが発生することなく、ほぼ計画工程の5ヶ月で掘進を完了することができた。以下に施工結果を示す。



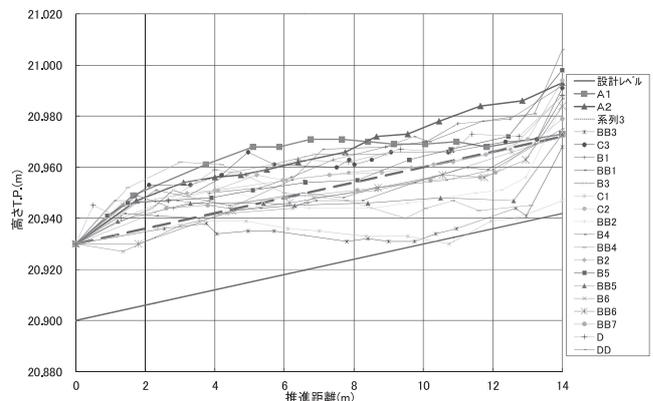
写真一1 施工状況 (発進立坑)

### ①施工速度

エレメント1本を施工するのに要した作業日数は、作業時間が主に夜間線路閉鎖間合となるステップ1,2の15日前後に対し、ステップ3では4～7日であった。

### ②施工精度

上床エレメントは、発進立坑において設計高さより30mm高く据えて発進させ、到達立坑に向けて0.3%の上り勾配で掘進した。施工精度の目標値はけん引距離の1/500 = 28mm (= 14m/500)であり、概ね目標値以内で施工できており、掘削パターンの管理により刃口の高さ管理が可能であることが確認できた(図一8)。



図一8 刃口軌跡図

### ③けん引力

エレメントの設計けん引力は、HEP&JES工法と同様に刃口の先端抵抗、エレメントの周面摩擦および継手抵抗から計算し掘進管理した。エレメントけん引力図を図一9に示す。けん引力は、エレメント設計けん引力以下で推移しており、これは、「本工法」では地盤を切削しながら掘進するため、先端抵抗が少ないことが要因であると考えられる。

### ④軌道への影響

ステップ1およびステップ2における、軌道の高低変位の進行量の最大値は、-4.4mmであった。軌道計測4項目全てにおいて警戒値に相当する軌道変位の進行は生じなかったため、当初計画どおりステップ3

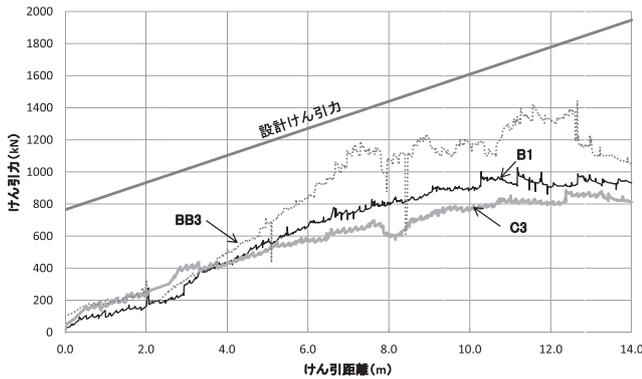


図-9 けん引カ図

において昼夜施工を開始することができた。

ステップ3においても、刃口が軌道直下を通過中に大きな軌道変位は発生せず、また刃口通過後の軌道変位の沈下量は概ね4mm以下であった。計測値の一例として、基準エレメントの計測結果を図-10に示す。

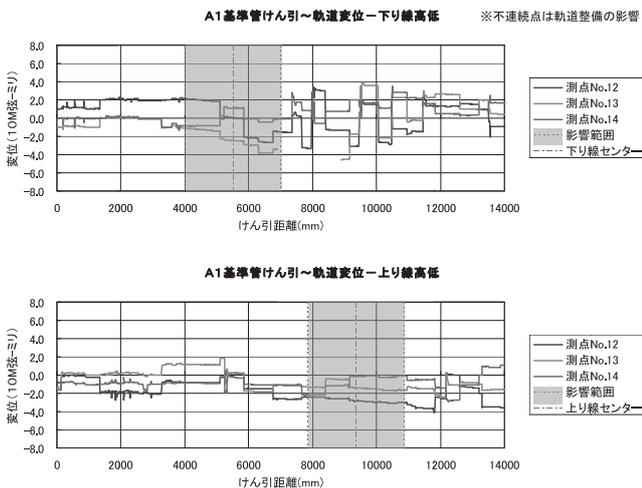


図-10 軌道変位計測結果図 (A1)

### ⑤支障物の切削

上床エレメント掘進中に、玉石(径100mm～200mm程度)、木製電柱下部、コンクリート製支線アンカー基礎と遭遇したが、いずれも軌道に影響を及ぼすことなく円滑に切断し刃口内部へ取り込むことができた(写真-2)。

### ⑥地盤切削ワイヤーの耐久性

今回、地盤切削ワイヤーは1エレメント毎に新品を使用することとしていたが、20エレメント中10エレメントで掘進途中にワイヤーが破断した。破断したワイヤーには、磨耗が見られず、破断面から疲労によるものと推定された。施工前に実施した耐久性試験では破断は発生しなかったことから、今後は、地盤条件など施工条件に応じてワイヤーの選定を行うことを考えている。



支障物取込み状況(支線アンカー)

木製電柱下部

写真-2 支障物切削状況

## 6. おわりに

今回、土被り1.4mの上床版エレメントにおいて、「本工法」地盤切削 JES 工法で初めて列車運行時間帯での施工を行った。その結果、列車運行に支障するような軌道変位を発生させることなく、概ね目標値の精度で施工することができた。また、予定通りの工期で掘進を完了し、目標としていた工期短縮を実現することができた。本稿が工期短縮のみならず、より高い安全性が求められるアンダーパス工事への、「本工法」地盤切削 JES 工法の適用検討の参考になれば幸いである。

J C M A

### 《参考文献》

- 1) 財先端建設技術センター：先端建設技術・技術審査証明 報告書 HEP&JES 工法(更新)、2005.11
- 2) 小泉秀之他：地表面変位を抑えたエレメント推進工法の開発、第44回地盤工学研究発表会、pp.1289-1290、2009
- 3) 小泉秀之他：地盤切削ワイヤーを用いたエレメント掘進、第46回地盤工学研究発表会、pp.1393-1394、2011
- 4) 桑原 清、有光武、高橋保裕、中井寛：地盤切削 JES 工法を用いた線路下横断工事、地盤工学会誌 60 (8)、pp.10-13、2012

### 【筆者紹介】



西村 知晃(にしむら ともあき)  
鉄建建設㈱  
土木本部 エンジニアリング部  
課長代理



中山 泰成(なかやま たいせい)  
東日本旅客鉄道㈱  
上信越工事事務所 北関東・長野課  
課員



尾関 聡司(おぜき さとし)  
鉄建建設㈱  
関越支店 鉄建・鹿島・佐藤共同企業体  
監理技術者