

地盤切削JES工法を用いた線路下横断構造物 の非開削施工

NON-OPEN CONSTRUCTION FOR A STRUCTURE CROSSING UNDERNEATH A RAILWAY BY CUTTING JES METHOD

高橋 保裕^{1*}・櫻井 照信¹・齋藤 貴²・山村 康夫³

In cases of existing a gravel layer or boulders, the ground around the element is loosened after gravel and boulders have been entirely removed. The smaller the overburden, the higher the risk of subsidence of the rail track or road surface.

The development discussed in this paper is aimed at performing excavation without overbreak. The new technique uses a ground cutting wire to construct a crossing structure without affecting the railway track or the road above the structure.

This paper reports the Results of Foundation cutting JES method.

Key Words : JES method, Non-open construction, wire saw, construction of under the railroad

1. はじめに

近年，道路等との平面交差の解消を目的として，既設の鉄道直下を横断する地下構造物(以下，線路下横断構造物)を新設する工事が増加している．JR東日本では，線路下横断構造物を施工する際，地盤隆起や沈下といった地盤変状によって列車運行に影響を及ぼすことが懸念されるため，線路直下の範囲は列車運行時間外の短時間での施工を基本としてきた．しかし，これに伴い工期・工費が増大していた．

このような状況を踏まえ，施工時に生じる地盤変状を抑制し，列車運行時間帯にも線路下横断構造物を施工可能となる非開削工法として，「地盤切削JES工法」の開発を行ってきた^{1),2)}．

平成22年末より，横浜線片倉・八王子間打越こ道橋新設工事にて，地盤切削JES工法を用いた初めての実施工を行った．本稿では，実施工の概要および，得られた知見について報告する．

2. 地盤切削JES工法の概要

JR東日本では，線路下横断構造物の施工法として，非開削工法のHEP&JES工法(以下，従来工法とする)を多く

採用してきた．

従来工法では，刃口を地山に圧入させながら，刃口内部のカッターにより地盤を掘削する機械掘削が一般的であった．しかしこの工法では，対象地盤が礫層や玉石混じり層の場合，礫や玉石の大きさによっては，掘進に支障することがある．また，鉄道盛土の内部には，通常の埋戻し土だけでなく，過去の工事の際に残置された構造物基礎あるいはコンクリートガラ等の支障物が含まれていることも少なくないため，土被りの少ない上床版施工では人力掘削も行われてきた．機械掘削，人力掘削のいずれの場合でも，土被りが小さい箇所での刃口挿入の際に，地盤内の支障物により，地盤変状を発生させるおそれがあった．具体的には，刃口で支障物を押し込むことによる地盤隆起，玉石等を撤去した後に生じた空隙部の充填不良に伴う陥没・沈下といった地盤変状リスクがあり，施工時にこれらの発生が懸念されていた．

今回報告する地盤切削JES工法は，従来工法をベースとして，刃口前面上部に地盤切削ワイヤーを組み込んだ工法である(図-1，写真-1)．地盤切削ワイヤーの回転により，刃口前方の支障物を含む地山を切削し，刃口ルーフを挿入し，ルーフ下面を人力により掘削を行う．そのため，従来工法で懸念された支障物の押し込みによる地盤の隆起や，支障物取り込みによる刃口上部の空隙の発生といった地盤変状リスクの抑制が期待される(図-2)．

キーワード：JES工法，非開削施工，ワイヤーソー，線路下施工

¹正会員 東日本旅客鉄道株式会社 東京工事事務所（〒151-8512 東京都渋谷区代々木2-2-6），E-mail: takahashiyasuhiro@jreast.co.jp

²正会員 東日本旅客鉄道株式会社 建設工事部（〒151-0053 東京都渋谷区代々木2-2-2）

³正会員 鉄建建設株式会社 エンジニアリング本部（〒286-0825 千葉県成田市新泉9-1）

なお、地盤切削ワイヤーを取り回すためのプーリーを収めるガイドパイプを、1エレメント（幅2.2m×高さ0.85m）あたり2本ずつ、水平ボーリング工法または開削工法にて敷設する必要がある。このガイドパイプ内における地盤切削ワイヤーの位置を一定に保つため、刃口左右にガイドローラーおよびソリを装備している。

3. 施工現場の状況

(1) 工事の概要

横浜線片倉・八王子間打越こ道橋新設工事は、八王

子都市計画道路とJR横浜線の交差部に地下函体(高さ8.2m, 幅員16.5m, 延長17.5m, 土被り0.8m, 斜角54°)を築造する工事である。道路の切り回しを行うため2期に分けて施工を行っており(写真-2), 1期工事では従来工法を用いて上床版3エレメント(A~C)を施工した。2期工事では、上床版5エレメント(G1~G4, H)を施工し、このうち3エレメント(G2~G4)について地盤切削JES工法で施工した(図-3)。なお、G1エレメントについては、1期工事との取り合い部となりガイドパイプが片方しか敷設できないため、また隅角部に位置するHエレメントは、エレメント幅が1.0mと狭くエレメント内に地盤切削装置が設置できないため、それぞれ従来工法にて施工を行った。

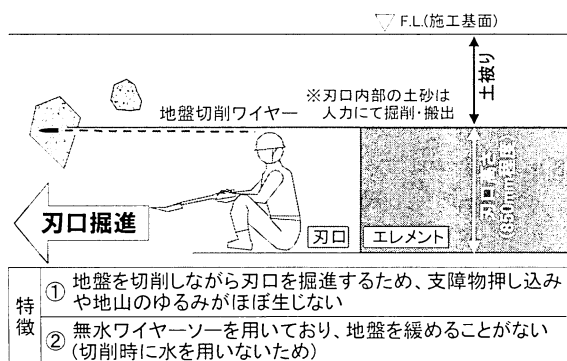


図-1 地盤切削 JES 工法 概要図

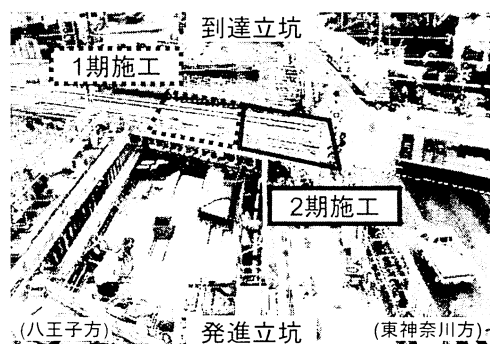


写真-2 工事現場全景(1期施工時)

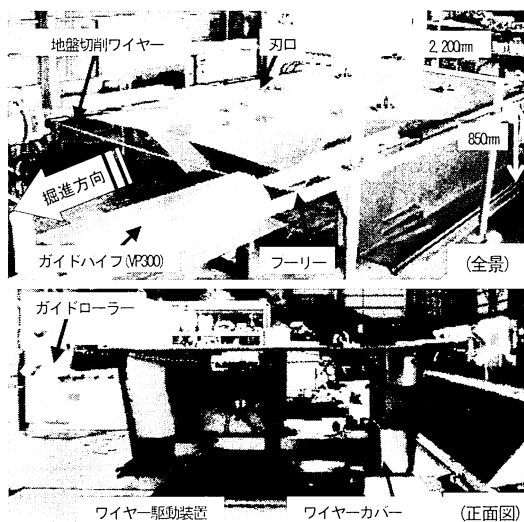


写真-1 地盤切削 JES 工法 刃口

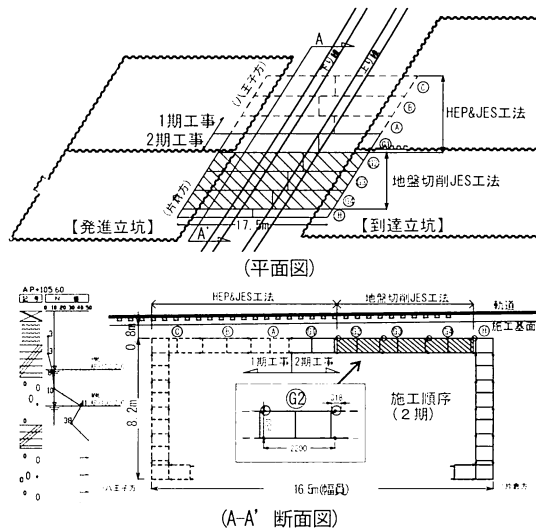


図-3 エレメント割付け図

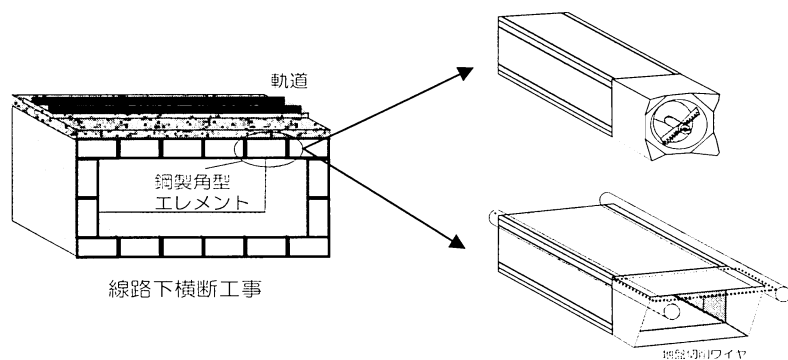
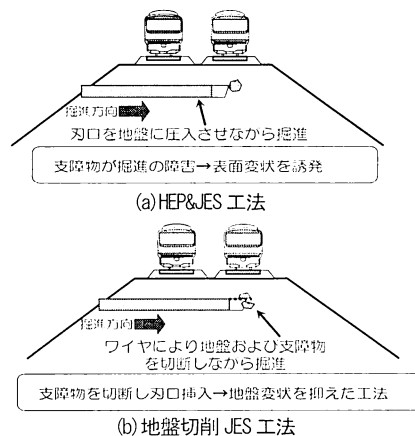


図-2 エレメント掘進方法の比較



地盤切削JES工法は列車運行時間帯でも安全に施工できることを目的として開発された工法であるが、今回は初めての実施工となるため、従来工法の施工に準じて、夜間、列車運行時間外(0時30分～4時30分)で施工した。

(2) 土質条件

本現場の土質条件は、図-3に示すように深度3.6mまでN=2,3程度のローム層であり、以深は密な礫層(N>50)で構成される。事前に埋設物確認を行った際、既設杭および埋設物(旧軌きょうなど)が確認されたため、列車運行時間外に軌道上から開削により撤去した。その際、既設杭は砂利に、埋設物は水砕スラグを主成分とした水硬性の透水性路盤材(1.0m厚)に置き換えた。また埋設物の撤去と併せ、地盤切削JES用のガイドパイプ4本の敷設を行い、透水性路盤材による埋戻しを行った。

それに伴って、本現場の線路下は、透水性路盤材による埋戻し層となっている。特に、従来工法で施工した1期工事に比べ、地盤切削JES工法で施工する2期工事は埋め戻し範囲がより広範囲となっている。なお、採取した透水性路盤材の一軸圧縮強度は、平均値で $q_u=13.1\text{N/mm}^2$ (MAX $q_u=21.8\text{N/mm}^2$)であった(図-4)。

4. 地盤切削JES工法の概要

(1) 主要設備

地盤切削JES工法では、刃口内に地盤切削ワイヤーを取り回すためのプーリーやワイヤー駆動装置といった各種設備(以後、地盤切削装置とする)を装備している。また、エレメントの施工管理を行うために、表-1、図-5に示す各種計測機器を設置した。これらの計測機器によって得られる値は、掘進作業中、管理室にて常時監視を行った。

(2) 軌道計測

線路下横断構造物を施工する際には、列車の走行安全性を確保しながら工事を行うため、軌道の隆起・沈下・通り狂いといった変状を把握する必要がある。本現場においても、リンク型計測器および水準計を上下線に各々2.5mピッチで設置し、軌道の高低・通り・水準について常時監視を行った。計測機器の設置位置を図-6、写真-3に示す。

軌道の管理値については、本現場の軌道の整備基準値19mmを限界値とし、工事中止値 $\pm 13\text{mm}$ (限界値 $\times 0.7$)、警戒値 $\pm 7\text{mm}$ (限界値 $\times 0.4$)として設定した。

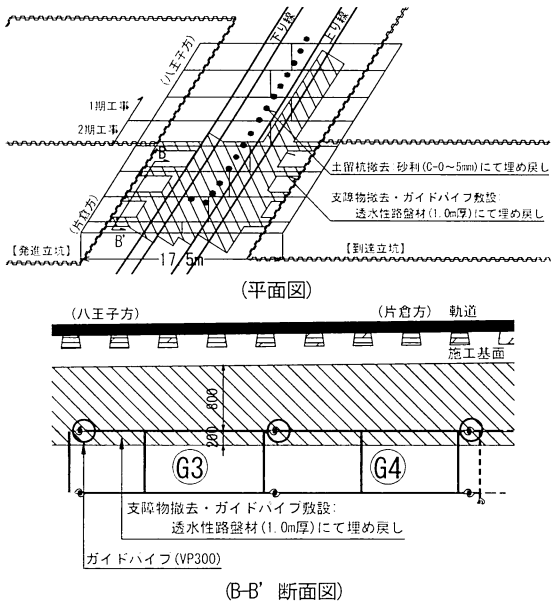


図-4 埋め戻し範囲図

表-1 常時計測項目

計測項目		計測機器
エレメント	掘進距離・速度	ロータリーエンコーダー
	ジャッキ推力	圧力トランスミッター
	ワイヤー走行時間	モーター(運転時間)
地盤切削装置	ワイヤー速度	主・副プーリー(回転速度)
	ワイヤー抵抗	モーター(駆動電流値)
	ワイヤー張力	テンション用シリンダ空気圧
	ワイヤー遅れ量	テンション用シリンダストローク

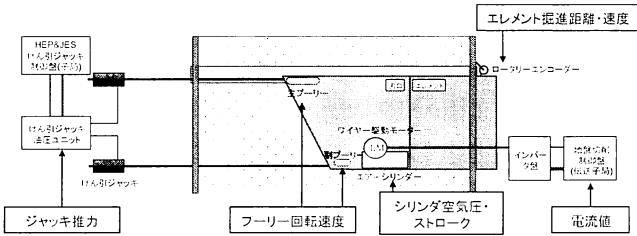


図-5 常時計測機器の設置箇所

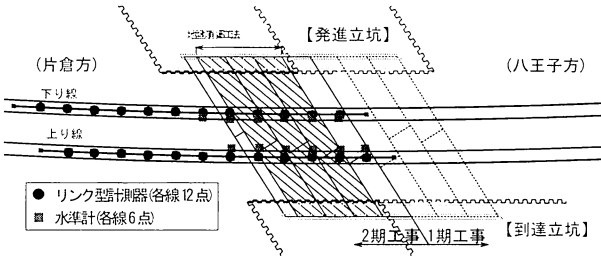


図-6 計測機器設置位置(平面図)

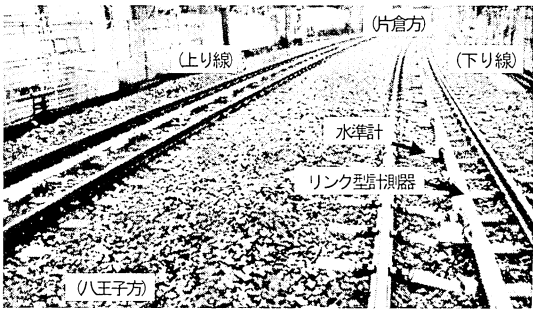


写真-3 計測機器設置状況

5. 施工結果報告

(1) 施工期間及び施工範囲

上床版3エレメントの施工に要した作業日数のうち、地盤切削JES工法による施工を行った範囲を表-2、図-7に示す。この範囲における施工結果について、以下に報告する。

(2) 切削状況

1期施工では、松杭やコンクリートブロック、鋼棒などの支障物と遭遇する度に、施工を中断し支障物撤去を行っていた。

2期施工でも、G2エレメント施工中、事前の埋設物調査において把握できなかった既設コンクリート杭(旧電柱基礎)に遭遇したが、けん引力値の上昇や軌道の隆起等を生じることなく切削できた(写真-4)。また透水性路盤材に置き換えた層でも、支障なく切削できた。

G2～G4の3エレメント施工中、地盤切削ワイヤーの破断や摩耗による交換は生じなかった。今回、ダイヤモンドビーズ径 $\phi 10.5\text{mm}$ の地盤切削ワイヤーを用い、 $\phi 9.0\text{mm}$ を下回った時点で交換することとした。G2エレメントにおいて14.1m切削後のダイヤモンドビーズ径は $\phi 10.0\sim 10.2\text{mm}$ であり、顕著な摩耗は認められなかった(写真-5)。

(3) 掘進速度

1期工事で行った従来工法と地盤切削JES工法の掘進速度について、地山の状態別の比較結果を図-8に示す。ローム層での掘進速度は、従来工法による実績(0.37m/h)に対し、地盤切削JES工法は 0.31m/h であった。一方、透水性路盤材層では、従来工法の実績(0.24m/h)に対し、地盤切削JES工法では 0.31m/h であった。

従来工法では、ローム層に比べ透水性路盤材層では掘進速度が6割まで低下したのに対し、地盤切削JES工法では、ローム層と透水性路盤材層の掘進速度がほぼ同等であった。掘進速度に違いが生じた要因として、従来工法では、透水性路盤材層などでは余掘りを招かないように慎重に施工せざるを得なかったが、地盤切削JES工法では地盤を切削しながら掘進するため、地山の状態によらず、安定した速度で施工できたことによるものと考える。

(4) エレメント天端と地山の間に生じた空隙の度合い

JES工法では、エレメントと地山の空隙を充填するために裏込注入を行っている。そこで、刃口上部に対し、エレメント掘進方向1mあたりの裏込注入の量を比較し、刃口天端と地山の間に生じた空隙の度合いを把握した。

1期工事における従来工法と、地盤切削JES工法で施工した範囲の裏込注入量の実績の比較結果を図-9に示す。

表-2 上床版3エレメントの作業日数

エレメント	全掘進日数	地盤切削JES工法	
		掘進日数	掘進距離
G2	22日	11日	5.6m
G3	25日	9日	7.7m
G4	23日	16日	9.7m

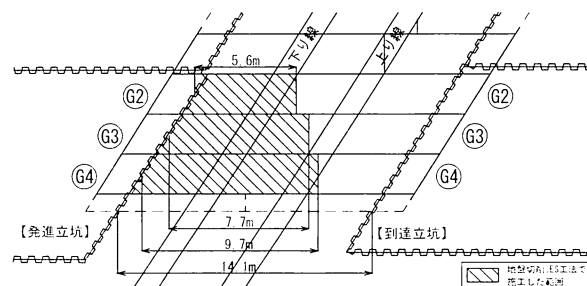


図-7 地盤切削 JES 工法による施工範囲



写真-4 地盤切削ワイヤーによる切削面の状況

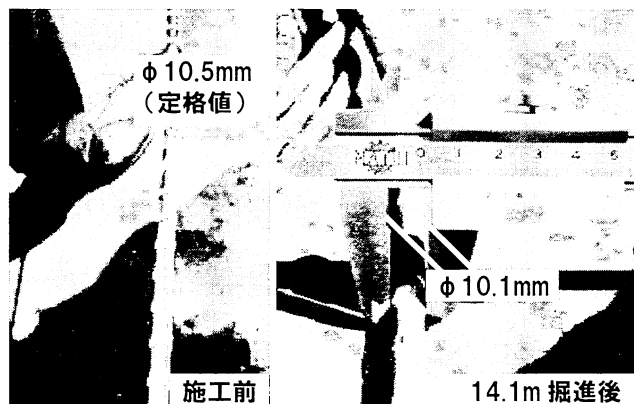


写真-5 地盤切削ワイヤーの摩耗状況

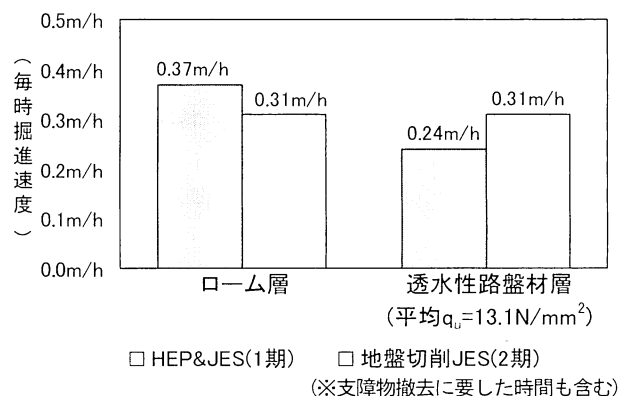


図-8 掘進速度の比較

地盤切削JES工法の施工範囲における裏込注入量は平均18ℓ/mであり、従来工法の平均値52ℓ/mを大幅に下回った。これは、従来工法では支障物撤去時や、路盤材層を掘削する時に空隙を生じることがあったが、地盤切削JES工法では支障物含む地山を地盤切削ワイヤーで切削するため、刃口と地山の間に生じる空隙を抑制できたためと考える。

(5) エレメントけん引力

エレメントのけん引力値は、従来工法の値とほぼ同等であった。例として、1期工事におけるBエレメントとG4エレメントのけん引力値の比較を示す(図-10)。

エレメントのけん引力値に影響を及ぼす要素として、①エレメント全周摩擦抵抗、②継手部摩擦抵抗、③先端抵抗の3項目が挙げられる³⁾。地盤切削JES工法では刃口ルーフ面の地山をあらかじめ切削しているため、③上フランジ部の先端抵抗は低減されるが、縦ウェブや下フランジに生じる貫入抵抗は変わらない。また、①エレメント全周摩擦抵抗、②継手部摩擦抵抗も同一と考えられるため、従来工法と地盤切削JES工法でけん引力値に顕著な差が生じなかったと考える。

(6) 軌道変位計測結果

a) 軌道計測結果(全体)

先に述べたとおり、本現場では施工期間中の軌道監視として、リンク型計測器および水準計を用い、軌道の高低・通り・水準を常時計測した。このうち、軌道の高低について、各エレメント直上の計測機器の設置箇所を図-11に、計測結果を図-12に記載する。

軌道計測の結果、G2～G4エレメントの施工期間中、警戒値(±7mm)を超える軌道変位は生じなかった。従来工法では、上下線の線路中心から1.5mの範囲(以後、影響範囲 図-13)に刃口先端部が到達する際に3mm～5mm程度の軌道の隆起を生じ、刃口が軌道中心を通過後は緩やかな沈下を生じる傾向が見られた。しかし、地盤切削JES工法では、刃口先端部が影響範囲に差し掛かった箇所においてもほとんど隆起を生じておらず、地盤切削JES工法による軌道隆起の抑制効果が確認された。沈下

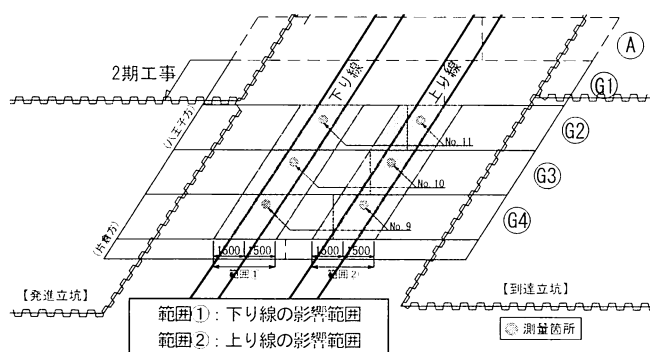


図-11 計測機器の設置箇所

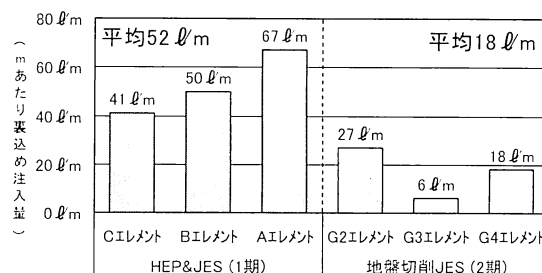


図-9 空隙度合いの比較

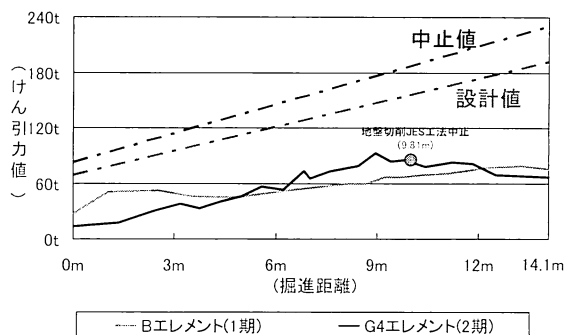


図-10 けん引力値の比較

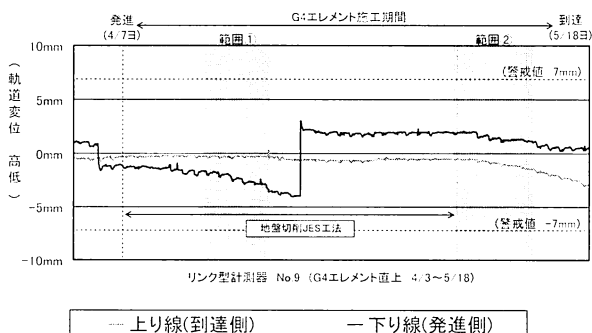
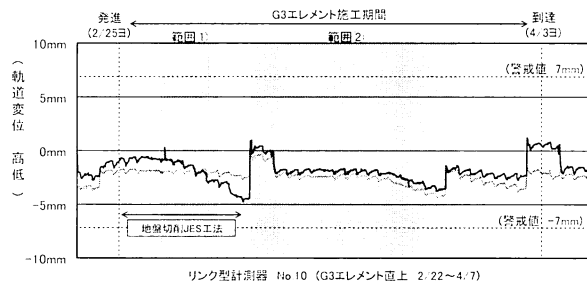
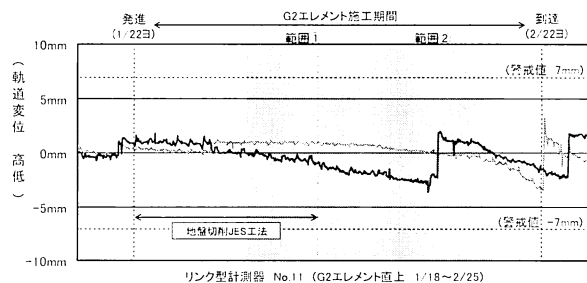


図-12 軌道変位(高低) 計測結果

については、従来工法同様に、軌道下を刃口が通過している間は継続して沈下を生じているが、急激な沈下は生じなかった。

b) 軌道計測結果(日単位)

各エレメントについて、掘進作業を行った日の軌道変位量(高低)を図-14に示す。ここでいう軌道変位量とは、本現場の線閉着手時刻である0時30分から翌日の同時刻までに生じた変位量を意味するものである。

G2エレメント施工期間で0.6mm/日、G3エレメント施工期間で1.3mm/日、G4エレメント施工期間で0.9mm/日がそれぞれ最大値となった。いずれも警戒値(±7mm)に対して小さな値であり、けん引掘進作業終了後の軌道整備で対応できる範囲であった。なお、軌道整備を行った日には、リンク型計測器を止めて軌道整備を行った時間に生じた変位は除外している。

c) 掘進中の軌道変位

地盤切削JES工法による掘進作業中の軌道変位量を確認するため、地盤切削JES工法による施工期間に生じた軌道変位について、線路閉鎖間合(0:30～4:30)に生じた軌道の隆起・沈下の最大値と、それ以外の時間帯(4:30～0:30)の隆起・沈下の最大値を表-3に整理した。

その結果、地盤切削JES工法による掘進作業中には、ほぼ軌道変状が生じていないことが分かった。特に隆起については、最大で0.2mmと小さく、掘進を行わなかった日とほぼ同等である。1期工事の際は、Aエレメントで最大0.8mm、Bエレメントで最大1.3mm、Cエレメントで最大1.5mmの軌道隆起がそれぞれ生じており、地盤切削JES工法による軌道隆起の抑制効果を示すものと考えられる。

一方、列車の運行時間帯には、最大-1.4mmの沈下が生じているが、列車運行には問題のない値である。

6. まとめ

本現場での施工を通じ、地盤切削JES工法について得られた知見を以下に整理する。

- 1) 地盤切削 JES 工法により軌道隆起の抑制効果が得られる。
- 2) 刃口天端と地山の間に生じる空隙の発生を抑制できる。
- 3) 支障物の有無や地盤の条件によらず、安定した掘進速度の施工が可能である。
- 4) 1日あたりの軌道変位量は、日々の軌道整備で対応できる範囲である。

今回の施工を通じ、地盤切削JES装置の機能および地盤切削JES工法の適用により軌道変状リスクの抑制が可能になったことが確認できた。今後、更に検討を重ね、列車運行時間帯も含めた24時間施工につなげたい。

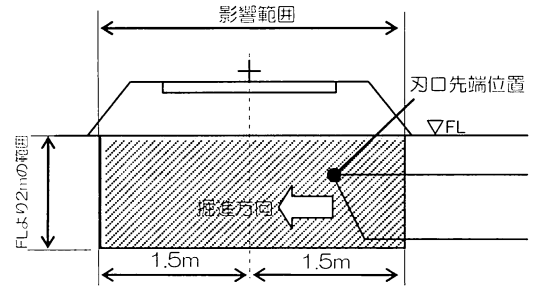


図-13 影響範囲(人力掘削時)

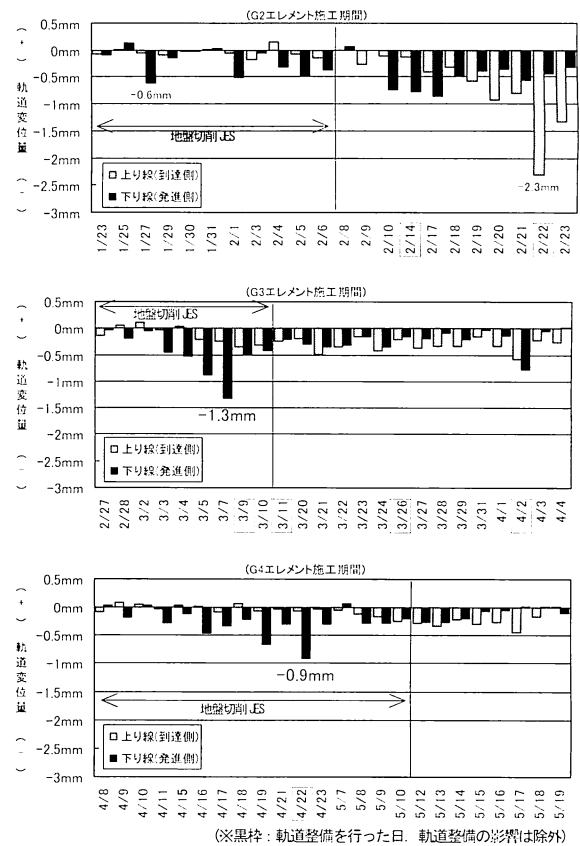


図-14 掘進作業日の軌道変位量(高低)

表-3 状況別の軌道変位量

		掘進作業を行った日				掘進作業を行わなかった日			
		線路閉鎖間合		線路閉鎖間合外		線路閉鎖間合		線路閉鎖間合外	
		隆起	沈下	隆起	沈下	隆起	沈下	隆起	沈下
G2 (1/22㊦～2/22㊦)	上り線	0.1	-0.1	0.2	-0.1	0.6	-0.6	0.6	-0.1
	下り線	0.1	-0.2	0.1	-0.6	0.3	-0.2	0.5	-0.9
G3 (2/25㊦～4/3㊦)	上り線	0.2	-0.2	0.0	-0.4	0.1	-0.1	0.1	-0.2
	下り線	0.1	-1.4	0.2	-0.5	0.5	-0.3	0.2	-0.2
G4 (4/7㊦～5/18㊦)	上り線	0.1	-0.1	0.1	-0.1	0.0	0.0	0.1	-0.2
	下り線	0.2	-0.2	0.1	-0.9	0.0	-0.1	0.2	-0.1

参考文献

- 1) 有光ら: 地表面変位を抑えたエレメント掘進工法の実証試験, トンネル工学報告集, Vol19, pp.285～290, 2009
- 2) 中村ら: 地盤切削 JES 工法の開発, 地下空間シンポジウム論文・報告集, vol15, pp.190～206, 2010
- 3) 非開削工法設計施工マニュアル, JR 東日本, pp.8-29, 2009
- 4) 非開削工法設計施工マニュアル, JR 東日本, pp.9-4, 2009