

適用範囲の拡大を目的とした長距離 J E S 推進機構の開発

十二 正義*1・中井 寛*2

概 要

近年、踏切解消対策として実施されている連続立体交差事業では、都市部の用地取得が困難であることから、直上直下立体交差手法の活用が検討されており、その活用促進に向けては、コストの低減、適用条件等の課題も多く、一層の技術開発の促進が期待されている。

そこで、J E S 工法を併用した新しい直下式地下化工法について技術検討を行い、従来工法に対する優位性を確認した。また、本工法の適用に不可欠となる J E S エレメントの長距離推進技術の実証実験を行い、エレメント中間部に中押し装置を装備することによる推進力の分散・低減効果によって長距離 J E S 工法が適用可能となることを確認した。

キーワード：営業線直下・連続立体交差・J E S 工法・長距離推進・中押し装置

DEVELOPMENT OF LONG-DISTANCE JES DRIVING MECHANISM
AIMED AT WIDER APPLICATION

Masayoshi JUUNI*1, Hiroshi NAKAI*2

Abstract

In recent continuous grade-separated crossing projects for eliminating grade crossings, construction of a new railway track just above or just below the existing track is usually planned, since it is difficult to obtain new land for the railway infrastructure. For promoting this method of construction, there are a lot of issues such as cost reduction and applicable conditions of the technique. Under these circumstances, further technological development is expected.

Construction of a new underground structure just below the existing structure, also using the JES method, was studied and its superiority to the conventional methods was validated. In addition, demonstration tests, indispensable for wider application of the JES method were made for the technique of long-distance driving of JES elements. As a result, extensive applicability of the long-distance JES driving was confirmed, by the use of an intermediate thruster provided at the mid-point of the element, which distributes and reduces necessary driving force.

Keywords: just below the railway in service, continuous grade separated crossing, JES method, long-distance driving, intermediate thruster

*1 Construction Technology Group, Research and Development Department, Engineering Division

*2 Underground structural group, Civil Engineering Technology Department, Engineering Division

適用範囲の拡大を目的とした長距離JES推進機構の開発

十二 正義*1・中井 寛*2

1. はじめに

近年，国交省において，都市部の踏切による交通渋滞等の解消に対する取り組みとして，鉄道の連続立体交差化による踏切の除去が実施されている。その際の施工手法としては，営業線の運行への影響を最小限とするため，仮線方式が一般的であり，直上直下立体交差手法の活用事例が少ない。

しかし，仮線方式による立体交差化にあたっては，用地取得に伴う事業の長期化等が問題になることが多く，このような課題の解決策として，直上直下立体交差手法の活用が期待されている。一方，直上直下立体交差手法の活用促進に向けては，コストの低減，現場適用条件の改善等解決すべき課題も多く，一層の技術開発の促進が必要となっている。本検討では，直上直下立体交差手法の推進を図るため，直下式地下化工法に着目し，線路下横断工等で実績があるJES（Jointed Element Structure）工法¹⁾を併用した新しい直下式地下化工法について，工法の適用性および実用性を検証するために実施した技術検討および実証実験について報告する。

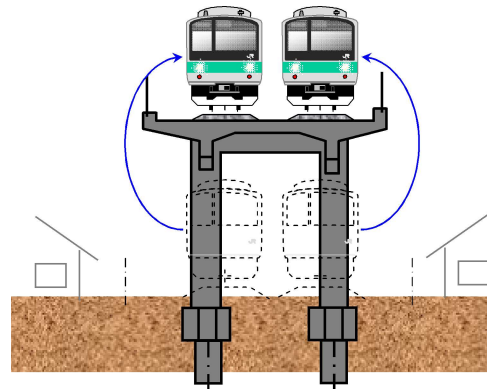


図-1 直上高架工法概要図

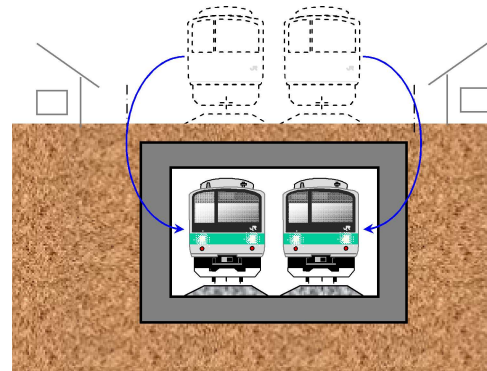


図-2 直下式地下化工法概要図

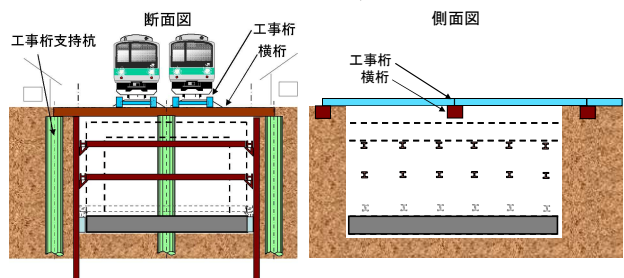


図-3 開削・工事桁工法概要図

2. 従来工法の課題

現在，直下式地下化工法として，開削・工事桁工法（図-3）とシールド工法（図-4）が一般的である。

2.1 開削・工事桁工法

立体交差手法として開削・工事桁工法を用いる場合，都市部の連続立体交差事業では，多数の工事搬入路の確保や営業線用地外の施工ヤードの取得が困難等の理由により，施工

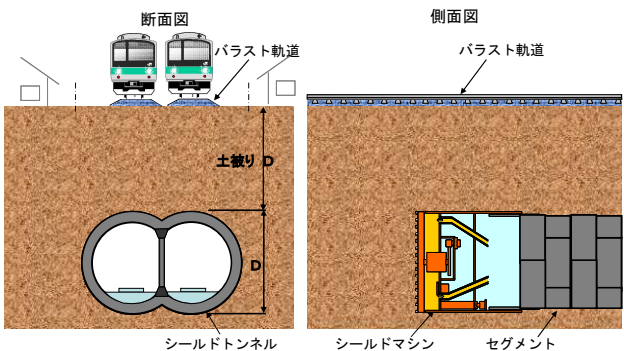


図-4 シールド工法概要図

*1 エンジニアリング本部 研究開発部 施工技術グループ

*2 エンジニアリング本部 土木技術部 地下構造グループ

区間の分割，同時施工が計画し難い傾向にある。また，全延長に渡って，仮土留壁や工事桁支持杭の打設，工事桁の架設，工事桁直下の掘削，工事桁撤去等，列車運行に影響を与える可能性のある工種については，線路閉鎖間合い作業，もしくはき電停止作業に限定される。このように，作業時間帯の制約を受ける工種が，全体工事の大半を占めることによって，機械設備や作業の効率が大幅に低下し，単位作業当りに要する工期及び工費が増大する。

さらに，土留め壁や工事桁支持杭の施工ヤードとなる用地の確保が必要であり，土留め壁体の剛性が小さいため，掘削に伴って生ずる土留め壁の変形によって，周辺の地表面や民家の傾斜等の発生が懸念される。

2. 2 シールド工法

シールド工法の場合は，営業線直下においては，土被りを 1D（シールド径）程度以深にする必要がある。したがって，立坑の掘削深度が深く大規模になり，土留め壁の高剛性化や土留め壁長および工事桁支持杭長の延長が必要となる。また，構造物が深部に位置することに伴って，アプローチ部の施工区間の延長が必要となり，全体事業費が増大する。

また，シールド機による施工区間が短い場合には，機械設備費等の比率が増大し，工事費が割高になる等の問題がある。さらに，1D程度の深度では，営業線直下の土被りが浅い位置での掘進作業となるため，軌道変状の抑制対策として，入念な切羽圧力管理および泥水の品質管理が必要となることや，軌道計測および徐行，場合によっては，全長に渡る軌道防護工が必要となること等，不測の事態に対する列車運行の安全性の確保が課題となる。

3. 新工法の概要

従来工法の課題及び問題点を解決する方策として，JES工法を併用した新しい地下式連続立体交差工法を考案した（図-5）。

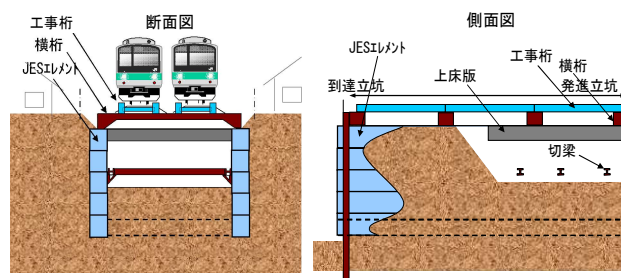


図-5 新工法概要図

3. 1 工法概要

本工法は，開削・工事桁工法を改良したものであり，工事用進入路が確保できる踏切付近の線路下に限定的に設置した立坑間の本体構造物側壁部に，非開削によってJESエレメントを推進し，JESエレメントを土留壁および本体構造として兼用することで，営業線直下に地下構造物を構築する工法である。

本工法の特徴は，営業線の影響範囲外となる側壁部に，土留壁と兼用するJESエレメントを昼間作業にて推進することにより，夜間の軌道上からの作業が減少し，工期の短縮，工事費の削減が図れることである。

また，本工法では，側壁部となるJESエレメントが，本体構造物としての剛性を有しているため，土留壁として兼用することにより，掘削に伴う土留壁の変形を抑えることとなり，営業線及び近隣環境への影響を低減できる。本工法においても，営業線は工事桁で仮受けすることとなるが，JESエレメントによる側壁部は工事桁の基礎としても利用することができるため，工事桁支持杭が不要となり，支障物の少ない地下空間を確保し，構造物を築造する際の施工性の向上を図ることができる。

3. 2 新工法の課題

立坑位置が踏切付近に制約されると，立坑の配置間隔は200～300mとなるが，従来のJES工法の施工延長の実績は，HEP工法（エレメントけん引工法）による，けん引延長100m程度である。

HEP工法による長距離施工では、けん引ワイヤーの伸びによりけん引力が伝達不能となる。また、元押しによる推進工法で施工する場合は、推進ジャッキの能力が大容量となるとともに、エレメントの座屈等により施工が困難となる（図-6）。

したがって、連続立体交差におけるJESエレメントの長距離施工を行う場合、周面摩擦抵抗の増加による過大な推進力に対応できる長距離推進技術が必要となる。

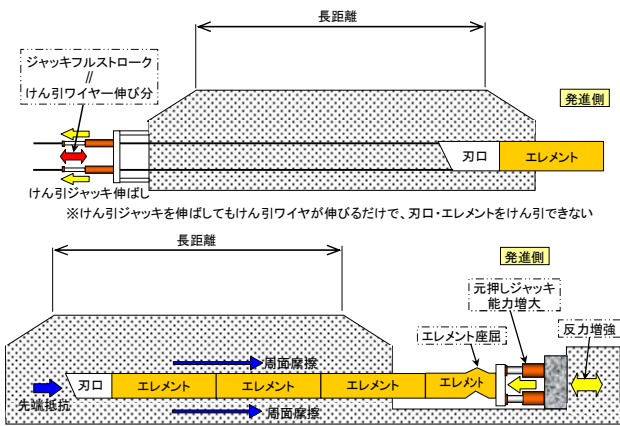


図-6 現状のけん引(推進)技術の課題

3.3 課題に対する対応策

JESエレメントの長距離施工を行うにあたり、推進力の分散・低減を目指し、矩形対応型の中押し装置を開発した（図-7）。

施工延長に応じて30~50m毎に複数箇所配置された中押し装置が、元押し装置と連動し

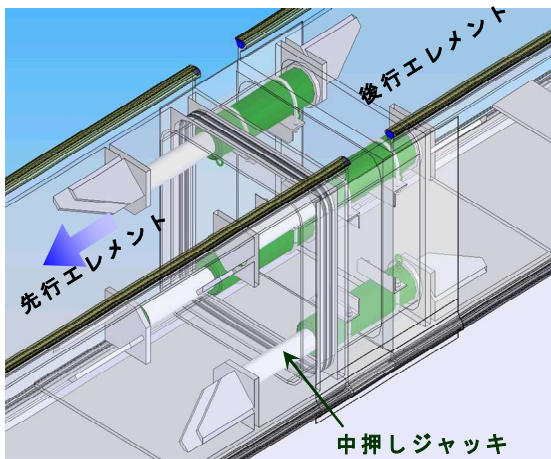


図-7 矩形対応型中押し装置概要図

て伸縮を繰り返すことによって、エレメントの推進力は各推進装置に分散され、施工延長の制限を受けず推進可能となる（図-8）。

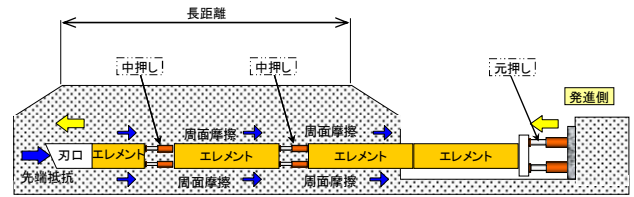


図-8 エレメント長距離推進概要図

4. 実証実験概要

今回、開発した矩形対応型の中押し装置の妥当性を確認するために、実物大のエレメントと中押し装置を用いて実証試験を実施した（図-9）。

実証実験では、立坑間距離30mの模擬地盤を造成し、中押し装置を有するJESエレメントを推進した。発進立坑内には、反力設備、元押し推進装置および中押し装置の油圧ユ

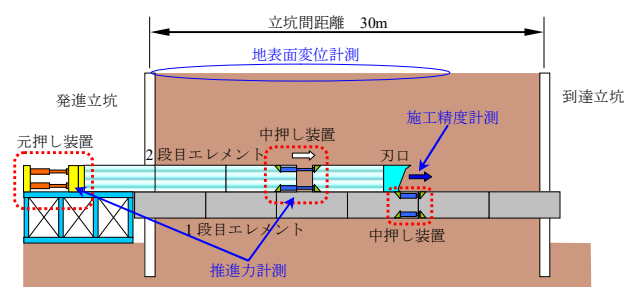


図-9 実験概要

ニットを設置し、JESエレメントには、上下2段それぞれ中間部1箇所の中押し装置を装備した。推進は中押し装置と元押し装置を交互に使用して行い、推進力や施工精度及び地表面変位等を測定した。

5. 実証実験結果

5.1 推進力

今回の実証実験におけるエレメント推進力と推力算定式²⁾を参考に定めた設計推進力(計算値)との関係について、1段目エレメント推進力図(図-10)、及び2段目エレメント推進力図(図-11)に示す。各推進設備に作用する推進力は、①元押し装置(推進長に比例して、推進力は上昇する)、②中押し併用元押し装置(中押し以降の推進力のみ負担する)、③中押し装置(推進するエレメント長が変わらないため、ほぼ一定となる)の様に分類した。

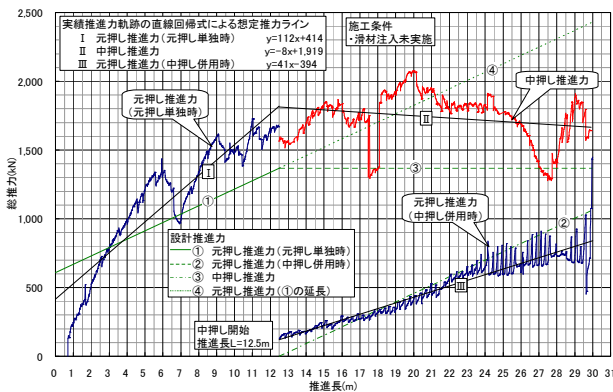


図-10 推進力図(1段目推進時)

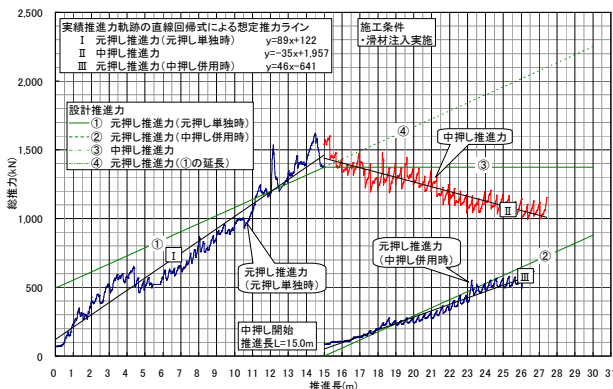


図-11 推進力図(2段目推進時)

押し推進のみの場合(0~12.5m)において、実測値が設計値に対し大きくなっている。これは、1段目の施工が滑材注入を実施していないため、想定以上に推進に伴う周面摩擦抵抗が大きくなったものと考えられる。中押し併用後(12.5~30m)の中押し推進力についても同様に推移している。

1段目の実験結果を反映して2段目の推進では、刃口貫入抵抗と周面摩擦抵抗の低減を図るため、刃口形状の改良及び滑材注入を実施した。その結果、元押し単独時と中押し併用時の双方とも、計算値に近い値で推移しており、中押し装置を配置することが、エレメント推進に伴う周面摩擦抵抗の低減に対して有効であることを確認した。

5.2 推進精度

実施工において後行エレメントの基準となる、1段目エレメント推進時の水平方向および鉛直方向の蛇行量をそれぞれ表-1、表-2、図-12、図-13に示す。

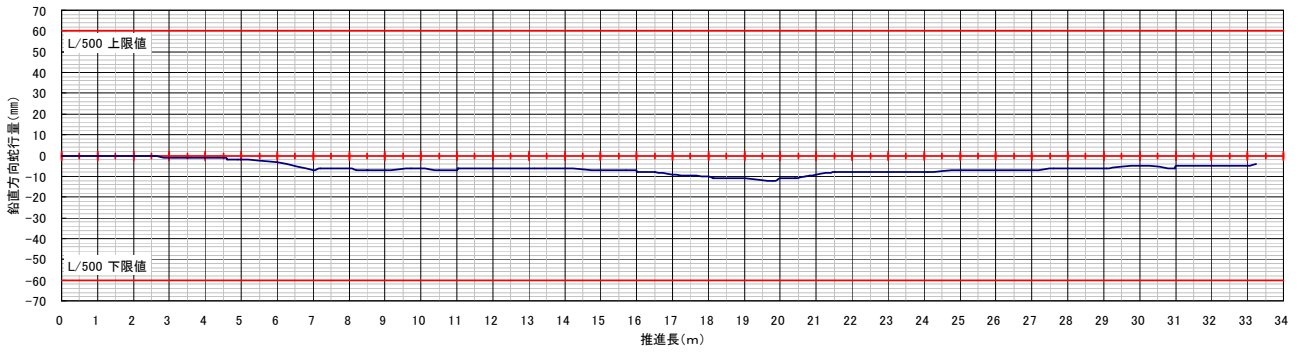
水平方向の蛇行量は、発進直後に右向き傾向が現れたが、刃口部とエレメント部の接合面に方向修正ジャッキを装備し、これを伸縮させることによって方向制御を行い、左方向

表-1 水平方向蛇行量

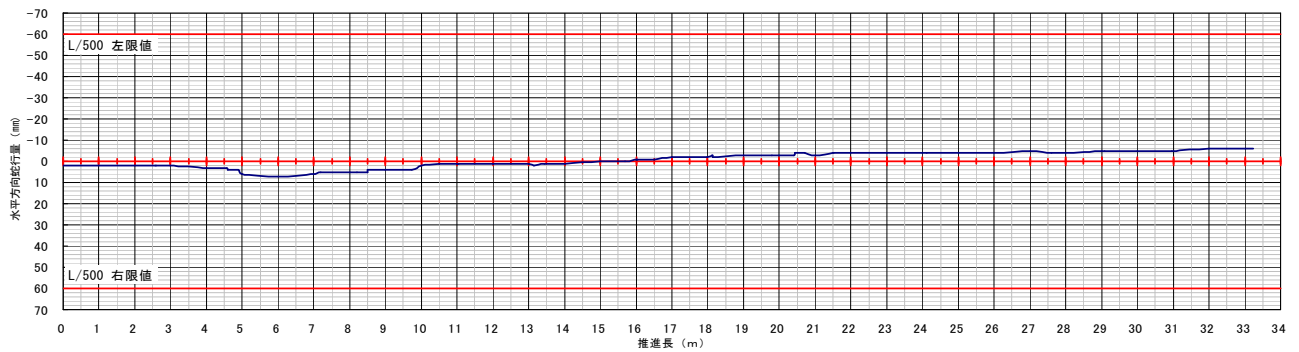
| | 蛇行量 |
|--------------|---------------|
| 発進時蛇行量 | 右 2 mm |
| 到達時蛇行量 | 左 6 mm |
| 推進時蛇行量 | 右 6 mm~左 7 mm |
| 施工精度 (L=30m) | 1/5000~1/4286 |

表-2 鉛直方向蛇行量

| | 蛇行量 |
|--------------|---------------|
| 発進時蛇行量 | ±0 mm |
| 到達時蛇行量 | 下 4 mm |
| 推進時蛇行量 | ±0 mm~下 12 mm |
| 施工精度 (L=30m) | 0~1/2500 |



図－1 2 水平方向蛇行量



図－1 3 鉛直方向蛇行量

7mm～右方向 6mm の範囲の施工精度を確保できた。

鉛直方向の蛇行量は、発進後推進長 4m 付近より下向き傾向が現れたことから、刃口部に装備した鉛直蛇行修正装置（スタビライザー）を使用して姿勢制御を行うことにより、最大蛇行量として下方に 12 mm 生じたものが、到達時には下 4 mm まで回復した。

従来のエレメント掘進方法の施工実績では、エレメントの掘進精度は、掘進延長の 1/500～1/1000 程度であり、その条件をそのまま適用した場合には、掘進延長が 300m の場合では、施工誤差が±300mm～600mm となるが、今回の実証実験の結果、1 本目の基準エレ

メントの施工を人力掘削で行い、水平方向の精度が 1/4000～1/5000 程度、鉛直方向精度は 1/2500 程度であり、方向修正が可能であることを確認した。

5. 3 地表面変位

今回の実証実験では、2 段目エレメントの土被りを実施工相当の 1m とした。2 段目エレメント推進時の地表面の変位結果を表 3、図 14、15 に示す。

地表面変位は、刃口通過時に地表面の隆起が発生し、中押し装置通過後に徐々に沈下しているが、これらの変状は数ミリ程度と極めて微量であった。また、工法の特徴として、営業線に影響の無い程度の離隔を確保した位

表－3 地表面変位計測結果（2 段目エレメント施工時）

| | B 1 5m 地点 | B 2 7.5m 地点 | B 3 10m 地点 | B 4 12.5m 地点 | B 5 15m 地点 |
|------------|--------------|----------------|---------------|-----------------|---------------|
| 最大隆起量 (mm) | 3.00 | 2.53 | 0.92 | 2.40 | 2.88 |
| 最大沈下量 (mm) | 0.06 | 0.03 | 1.06 | 0.06 | 0.68 |

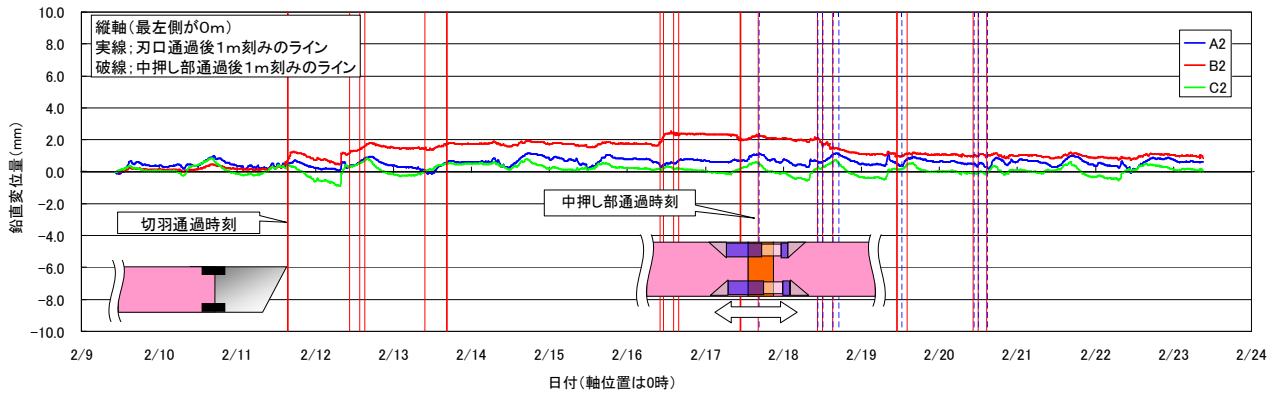


図-14 地表面変位量〔発進立坑より7.5m地点〕(2段目推進時)

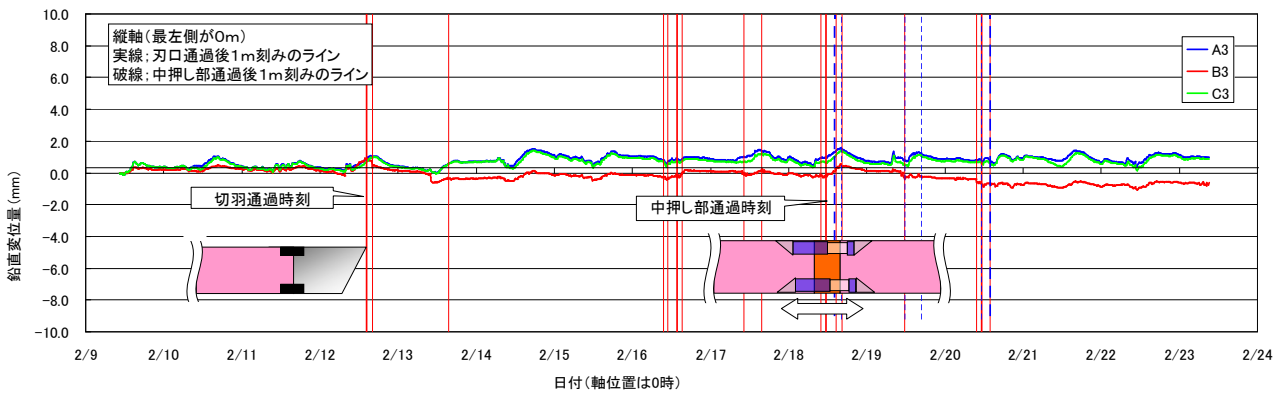


図-15 地表面変位量〔発進立坑より10m地点〕(2段目推進時)

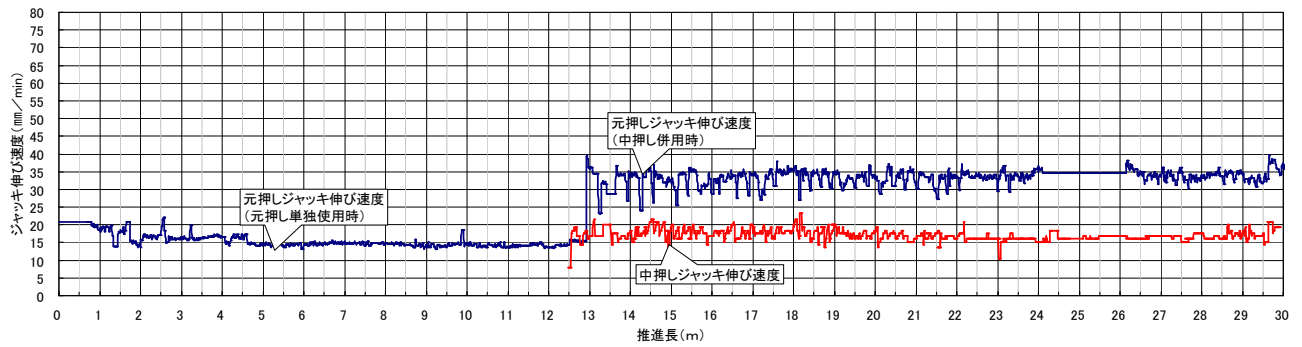


図-16 推進ジャッキ伸び速度推移図(1段目推進時)

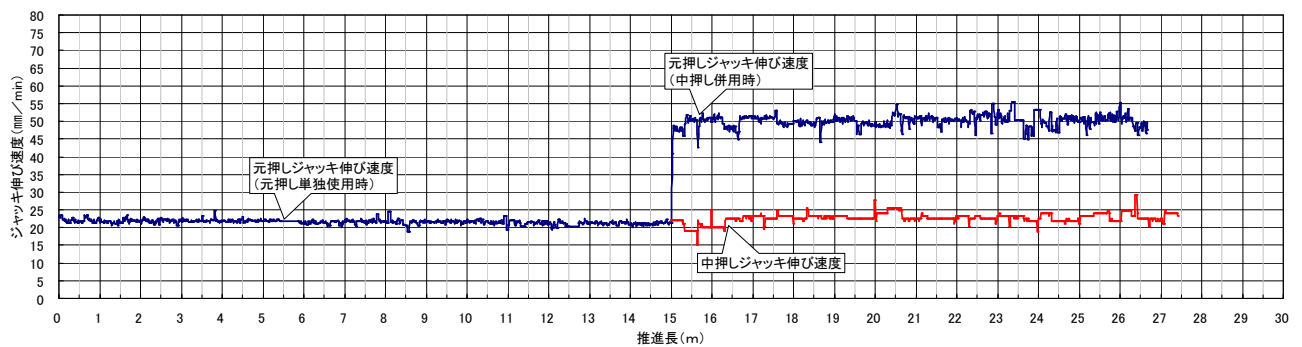


図-17 推進ジャッキ伸び速度推移図(2段目推進時)

置にエレメントを配置することから、営業線や周辺家屋に対する影響は、極めて軽微であると考えられる。

5. 4 施工速度

実験による平均日進量（表-4）は、1 段目エレメント施工時では 1.8m/日、2 段目エレメント施工時では 2.7m/日であるが、「掘削方式」「エレメント寸法」「土質」「施工延長」等の施工条件により変化すると考えられる。

ジャッキ伸び速度（表-5, 図-16, 17）は、1 段目エレメント施工時において、人力方式による掘削と施工精度に管理重点をおいていることから、2 段目エレメント施工時に比べ3割程度遅い速度となっている。切羽の断面積を考慮すると、2 段目エレメント施工時の平均速度は約 22 mm/min であり、1

表-4 推進工施工速度

| | 1 段目エレメント 施工時 | 2 段目エレメント 施工時 |
|-------------|------------------|------------------|
| 推進長 (m) | 30.000 m | 27.060m |
| 所要日数 (日) | 17 日 | 10 日 |
| 平均日進量 (m/日) | 1.8 m/日 | 2.7 m/日 |

表-5 推進ジャッキ伸び速度（平均）

| | 1 段目エレメント 施工時 | 2 段目エレメント 施工時 |
|---------------------------|------------------|------------------|
| 元押しジャッキ伸び速度 (元押し推進単独時) | 15.3 mm/min | 21.9 mm/min |
| 元押しジャッキ伸び速度 (中押し推進併用時) | 33.4 mm/min | 50.2 mm/min |
| 中押しジャッキ伸び速度 | 17.0 mm/min | 22.6 mm/min |

分間に 0.033m³（約 60 kg）の土砂を掘削（搬送）していることに相当し、坑内幅 1.2m という狭隘な作業環境においては、掘削速度（ジャッキ伸び速度）として妥当な速度であったと考えられる。

6. まとめ

本工法は、営業線に影響が無い側壁部に、土留め壁兼用の J E S エレメントを昼間作業にて推進することにより、従来工法に比べ、夜間線路閉鎖による軌道上からの作業工種の減少による工期の短縮、工事費の削減を図ることができるとともに、非開削で剛性の高い土留め壁を構築することができるため、営業線及び近隣環境への影響を低減できる。

試験結果より、J E S エレメントに中押し装置を装備することで、理論通りに推進力の分散と低減を図れることを実証した。施工精度、施工速度及び地表面への影響に関しても、従来の J E S 工法と同等な性能・挙動であることから、長距離推進における中押し方式の妥当性を確認できた。

今後は、機械掘削の適用、施工速度向上等による更なるコストダウンについて検討する。

なお、本研究は、国土交通省都市・地域整備局の実施する「直上高架化等の改善方策に関する検討業務」の一環として実施したものである。

参考文献

- 1) 清水満他：鋼製エレメントを用いた線路下横断トンネルの設計法，第 8 回トンネル工学研究発表会，1998.11
- 2) H E P & J E S 工法技術資料 追加改訂版：鉄道 A C T 研究会，平成 18 年 8 月