

鋼製エレメントを用いた線路下横断工法の 施工に関する考察

Consideration about construction of underpass structure of railway used by steel elements

鈴木尊¹・栗栖基彰²・桑原清³・木戸素子⁴・佐藤豊⁵

Takashi Suzuki, Motoaki Kurisu, Kiyoshi Kuwabara, Motoko Kido and Yutaka sato

¹東日本旅客鉄道(株) 建設工事事務所 構造技術センター(〒151-8578 東京都渋谷区代々木2-2-2)

²正会員 東日本旅客鉄道(株) 建設工事事務所 構造技術センター(〒151-8578 東京都渋谷区代々木2-2-2)

³正会員 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 工事管理室(〒151-8512 東京都渋谷区代々木2-2-6)

⁴正会員 東日本旅客鉄道(株) 上信越工事事務所 工事管理室(〒370-8543 群馬県高崎市栄町6-26)

⁵正会員 東日本旅客鉄道(株) 東北工事事務所 工事管理室(〒980-8580 仙台市青葉区五橋1-1-1)

In construction of underpass structure of railway used by steel elements has 40 or more construction results. Then, the construction accuracy was verified. Construction accuracy makes the target value 1/500 of length to pull. The result settled in a target value was obtained in all that were constructed. About the position in each construction after the upper element construction, it was set up appropriately, and the element were connected with the JES joint, it fitted in the management value. This method can be constructed in good construction accuracy, even if it is any length to pull, soil, and the digging method.

Key Words : underpass structure, steel element, elements joint, tunnel, construction accuracy

1. はじめに

近年、限られた土地の高度利用、都市基盤整備を目的として、営業する鉄道下を横断交差する都市交通や上下水道構造物が計画・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、列車走行の安全性を確保することを第一とし、さらには施工期間が短く経済性の高い構造・施工方法が求められている。

HEP(High Speed Element Pull)&JES(Jointed Element Structure)工法¹⁾²⁾は、線路下横断工事を速く、精度良く安全に施工するために開発された新しい工法である。施工実績としては平成10年度から始まり、既に40件を超えるものとなっている。本工法は特殊な継手を有する鋼製エレメントを用い、線路下をけん引、施工するものである。今回、エレメントけん引時における施工精度について、けん引延長、土質、掘削方式等をパラメータに分析を行ったので、報告する。

2. HEP&JES工法の概要

HEP工法は、鋼製エレメントを発進側から推進機によって挿入する従来の方法にかわって、到達側からPC鋼より線でエレメントをけん引するため、高速で精度良く施工できる工法である。また、JES工法は、けん引するエレメントの軸直角方向に力を伝達することが可能な継手部を有するコの字形の鋼製エレメントを用い、路面下に非開削で箱形ラーメン形状または円形状などの構造物を、延長に制約されずに構築できる工法である。HEP&JES工法は、二つの工法を組み合わせ、双方の利点を生かした合理的な施工技術である。HEP&JES工法の概要を図-1に示す。

JES工法の施工順序は、継手を嵌合しながらエレメントを順次挿入し、上床版・側壁・下床版を構築する。上床版・側壁・下床版と構築される毎に、エレメント内部にコンクリートを充填して構造体として機能させるものとなっている。その後、エレメントで囲まれた内部を掘削し、線路下横断構造物を完成させることになる。JES工法の施工順序を図-2に示す。

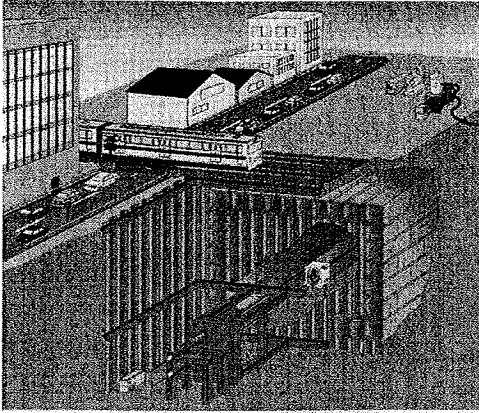


図-1 HEP&JES工法概要図

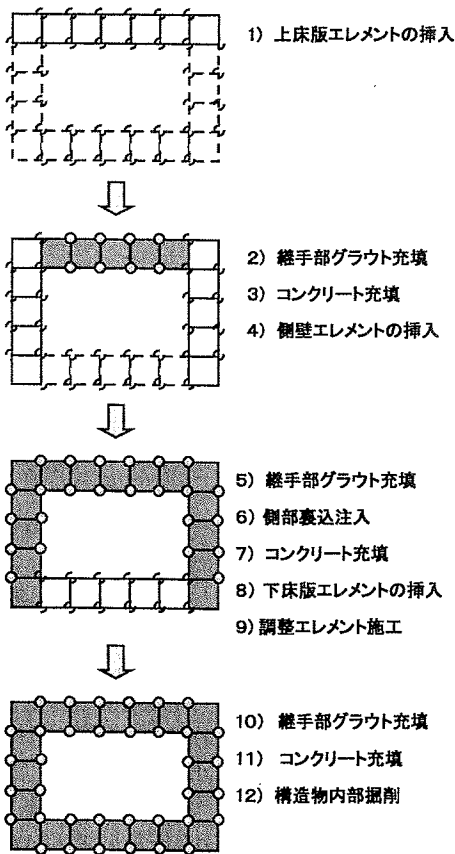


図-2 JES工法施工順序図

3. 調査内容

(1) 調査概要

エレメントをけん引することで構造物を構築する本工法では、そのけん引精度が構造物の最終的な出来形に大きな影響を与えることになる。けん引精度は、けん引延長や掘削地盤の土質、掘削方式などにより異なると考えられるため、それらをパラメータとして施工データを分析した。

a) 上床エレメントけん引時の分析

今回、上床エレメントに着目し、けん引精度を分析することとした。分析方法としては、発進側と到達側のエレメントの高低差（以下出来形精度という）をみることにした。これは、上床エレメントが本工法において初めに施工されるエレメントであるため、そのけん引精度が構造物全体の精度に大きな影響を与えるものだからである。その際に、けん引延長、掘削地盤の土質（砂質土・礫質土・粘性土）、掘削方式（機械施工・人力施工）に着目し、その違いを分析した。

b) 施工段階の分析

上床エレメントのけん引完了後、本工法では側壁部エレメントけん引・コンクリート打設、下床エレメントけん引・コンクリート打設、内部掘削と施工が進んでいく。この施工に伴い発生する上床エレメントの変位量について分析した。

c) 上げ越し量の分析

上床エレメントは、そのけん引完了後、側壁部、下床部と施工が進むにつれて変位することが推定される。この対策として本工法では、上床エレメントをけん引する初めの段階で、あらかじめ、その後の施工に伴う変位量を見込んだ高さに（以下上げ越しという）、上床エレメントの施工位置を設定している。上げ越し量の設定は、各現場毎に行っているが、経験によるところが大きい。そこで、上げ越し量について、けん引延長や土質による上げ越し量の違い、また、上げ越し量と施工に伴う上床エレメントの変位の関係を分析する。

(2) 収集データ

40件余りの施工実績の中で、今回はエレメント橋台や門型などは施工手順が異なるため除外し、箱型ラーメン形式のものを中心に分析することとした。

なお今回は、各施工現場での日常管理として計測、整理、保存されたデータを収集して、分析を行った。

4. 調査結果

(1) 上床エレメントけん引時の分析

a) けん引延長

HEP工法では、けん引延長の1/500の値をけん引精度の管理値として設定している³⁾ため、けん引延長によって管理値が変わる。けん引延長と出来形精度の関係を図-3に示す。なお図中の直線は、けん引延長の1/500の値を示している。

これより、けん引延長が長くなるにつれて出来形精度は大きくなるものの、いずれのけん引延長においても、出来形精度は1/500以内に収まっていることがわかる。ここで、管理精度に対する出来形精度の比を、図-4に示す。これより、全体的に0.6以下に収まるものが多くみられ、いずれのけん引延長においても精度良く施工されていることがわかる。

b) 土質

掘削地盤の土質の違いと、管理精度に対する出来形精度の比を図-5に示す。土質は、大きく砂質土・礫質土・粘性土の3種類に分類した。

これより、砂質土、礫質土よりも粘性土の精度が

比較的良好な傾向が見受けられるが、全体的には、ばらついており、土質による影響はほとんど見られないと言える。

c) 掘削方式

掘削方式の分析は、前項で述べたように、エレメントの出来形精度は掘削地盤の土質の違いにはほとんど影響を受けないことから、ここでは粘性土について着目し行った。掘削方式の違いと、管理精度に対する出来形精度の比を図-6に示す。

これより、人力施工の方が機械施工に対し、非常に精度良く施工できていることが分かる。これは、人力施工は機械施工に比べ施工速度が遅いために、エレメントが変位した場合でも、早い段階でその修正ができるためだと考えられる。これに対して機械施工では、掘削機械の自重によるエレメントの変位や、けん引速度が速いために、変位に対する修正が人力施工に比べ難しいために、このような結果になったものと考えられる。

(2) 施工段階の分析

各施工段階における上床エレメントの変位を図-7

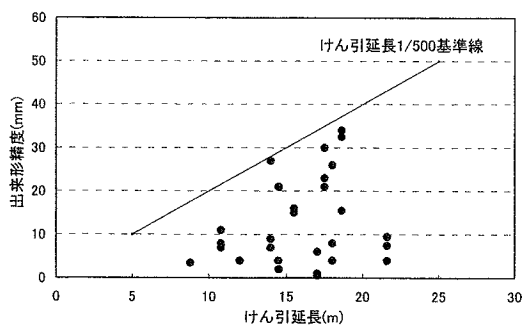


図-3 けん引延長と施工精度

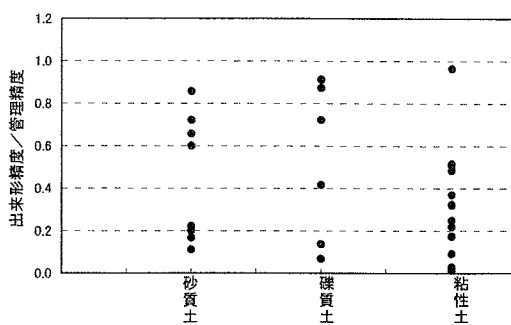


図-5 土質と施工精度

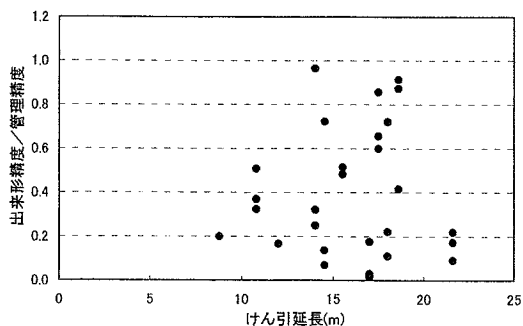


図-4 けん引延長と施工精度(2)

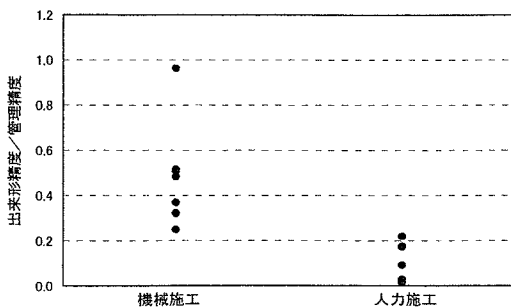


図-6 掘削方法と施工精度(粘性土地盤)

に示す。縦軸は、下床コンクリート打設後における上床エレメントの変位量を基準とし、それに対する各施工段階での変位の比率を表した。これは、各現場において施工時の変位量は様々であったため、比較のために基準の値を決めて、その割合で示した。なお今回は、内部掘削後の上床エレメントの変位のデータ数が少なかったために、その前段階を基準とした。横軸は各現場の施工段階を示す。そのため、傾きには変位速度は考慮されていない。

これより、ほとんどの施工現場において、側壁エレメントけん引から下床コンクリート打設にかけて変位の大部分が発生していることがわかる。側壁エレメントけん引直後（図中③）に着目すると、基準とする変位量に対し2～8割の変位が発生していることがわかる。また、側壁コンクリート打設直後（図中④）に着目すると、基準とする変位量に対し8割以上の変位が発生していることがわかる。これらより、その動きは施工現場によって様々であることがわかり、一概には言い難い。

参考までに、一部のデータによる内部掘削後の変位を基準とした、上床エレメントけん引完了後の変位の割合を図-8に示す。

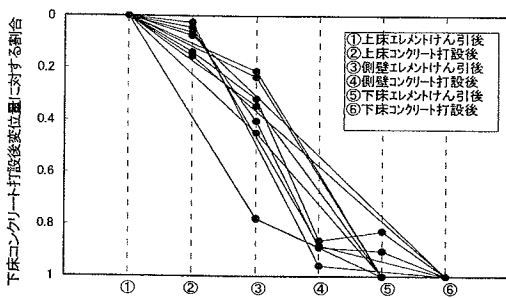


図-7 上床エレメントの変位

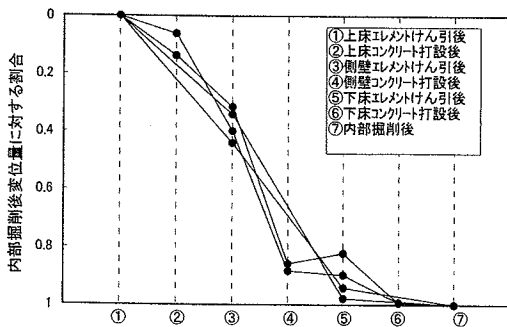


図-8 上床エレメントの変位(2)

これより、側壁エレメント施工から下床エレメント施工にかけて変位の大部分が発生しており、その後の内部掘削時には、ほとんど変位していない状況が見られる。

(3) 上げ越し量の分析

a) けん引延長

けん引延長と上げ越し量の関係を図-9に示す。

これによると、多少のバラつきがあるものの、全体的にはけん引延長が長い程、上げ越し量を大きく設定していることがわかる。

b) 土質

土質と上げ越し量の関係を図-10に示す。

これによると、全体的に見て、粘性土のほうが、上げ越し量を大きく設定していることがわかる。

c) 上げ越しと変位量

上げ越し量と、上床エレメントけん引完了後の変位量を図-11に示す。

これより、上げ越し量を大幅に超えて変位が発生することは無いことがわかる。また、全体的に変位量は小さく出ていることがわかる。

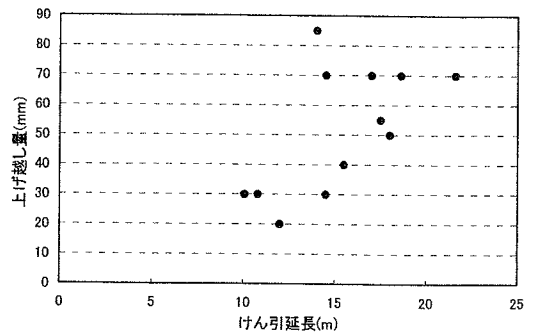


図-9 けん引延長と上げ越し量

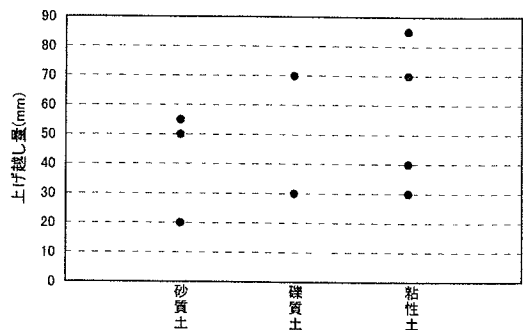


図-10 土質と上げ越し量

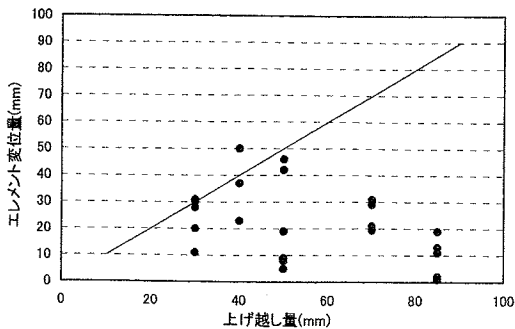


図-11 上げ越し量とエレメント変位

5. 考察

(1) 上床エレメントけん引時の分析

出来形精度は、けん引延長が長い場合では、多少ばらつきがみられるものの、施工上の管理精度であるけん引延長の1/500以内に全ての件名が収まった。また、掘削地盤の土質の影響はほとんど見られず、いずれの土質においても良好な精度で施工が行われていた。掘削方式では、人力施工はもとより、機械施工においても、機械の自重の影響などにより多少精度は落ちるものの、管理精度に十分収まった。以上から、到達側からけん引する本工法は、非常に精度良く施工できることを実証した形となった。

(2) 施工段階の分析

限られたデータでの分析であるが、各施工段階で発生するエレメントの変位は様々であり、一概にその傾向はつかめなかった。しかし、一部の施工現場からは、側壁エレメントから下床エレメントの施工にかけて、変位の大部分が発生している様子がみられた。また、内部掘削後の変位については、ほとんど変位しない様子がみられた。これは、下床エレメントの施工を完了することによって、線路下横断構造物の最終構造系が完成するため、その後の内部掘削時での変位量は少なくなったものだと考えられる。今後は、内部掘削後の変位も合わせてデータ収集を行い、引き続き分析を進めていく。

(3) 上げ越し量の分析

上床エレメントけん引完了後の変位量は、上げ越し量でほぼ吸収することができており、構造物の出来形へ影響を与えることなく、施工されていることが確認された。

ただし、今回の調査では変位量以上に上げ越し量を設定している箇所も多くあり、より精度の高い施工を行うためには、適切な上げ越し量の設定方法を検討する必要がある。

6. まとめ

今回、HEP&JES工法の施工精度について、線路下横断工事の最も重要な施工箇所である上床エレメントに着目し、分析を行った。線路下横断工事は列車を走らせながら施工するため、軌道変状を最小限に留めなければならない。従来の線路下横断工法では、短期間に列車運行に支障するほどの変状を発生させるものがあった。しかし本工法では、列車運行に支障するほどの変位の発生は全く無く、発生する変位量もエレメント挿入段階で徐々に加算されていくものであることから、ほとんど軌道に影響を与えることが無い事が確認された。

また、施工段階において発生する変位に対しても、あらかじめ上げ越し量を設定することにより、構造物として適切な位置への施工が行なわれていることが確認された。

今後も引き続きデータ収集を行い、更なる分析を進めていく。

謝辞：この場を借りて、本報告をまとめる際にご協力いただいた関係者の皆さまに、厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 清水満, 森山智明, 木戸素子, 桑原清, 森山泰明: 鋼製エレメントを用いた線路下横断トンネルの設計法, トンネル工学研究論文・報告集, Vol.8, pp. 407-412, 1988.
- 2) 松沢素子, 富田修司, 森山智明, 清水満: 鋼製エレメントによる線路下横断構造物の合理的構築法, 土木学会年次講演概要集第3部(B), Vol. 55, pp. 440-441, 1988.
- 3) 東日本旅客鉄道(株) 建設工事事部 設備部: JES工法設計・施工の手引き, 2000年8月