施工速度向上を目指したエレメント施工法の開発

丸子　文之[1]・大塚　隆人[2]・森山　智明[3]・山田　宣彦[4]・桑原　清[5]

[1]正会員　JR東日本　東北工事事務所（〒980-0811 宮城県仙台市青葉区一番町一丁目3番1号）
E-mail:f-maruko@jreast.co.jp

[2]正会員　JR東日本　東北工事事務所（〒980-0811 宮城県仙台市青葉区一番町一丁目3番1号）
E-mail: taka-ootsuka@jreast.co.jp

[3]正会員　JR東日本　東北工事事務所（〒980-0811 宮城県仙台市青葉区一番町一丁目3番1号）
E-mail: tomo-moriyama@jreast.co.jp

[4]正会員　鉄建建設株式会社　土木本部（〒101-8366 東京都千代田区神田三崎町二丁目5番3号）
E-mail: nobuhiko-yamada@tekken.co.jp

[5]フェロー会員　株式会社ジェイテック 技術企画本部（〒101-0051 東京都千代田区神田神保町三丁目12番3号）
E-mail: kiyoshi-kuwabara@j-t-e-c.co.jp

線路下横断構造物を新設する場合に適用される非開削工法の一つであるHEP&JES工法は，通常，到達立坑側から1つのエレメントをPC鋼より線を用いてけん引し，けん引設備を盛替えながら順次施工していく．これに対して，エレメントの施工速度を向上させ，工期短縮とコストダウンを図ることを目的に，先行エレメントの刃口と後行エレメントの刃口をPC鋼棒により接続し，後行エレメントの刃口内部にセンターホールジャッキを配置したけん引設備を設けることで，エレメントを連続的に施工する工法（以下，本工法という．）を開発した．本工法で実施した施工試験の内容について報告する．

Key Words : *structures that cross the train track, construction test, continuous construction of elements*

1.　はじめに

線路直下を横断する函体新設工事において，分割した小断面のエレメントを掘進してつなぎ合わせることで，函体を構築する非開削工法がある．その中の一つであるHEP&JES工法について，エレメントの施工速度を向上させ，工期短縮とコストダウンを図ることを目的に，エレメントを連続的に施工する工法を開発し，施工試験を行った．本稿では，施工試験の内容について報告する．

2.　工法概要

HEP&JES工法とは，応力の伝達が可能な特殊な継手（JES継手）を有する鋼製エレメントを嵌合させて函体を形成するJES工法（Jointed Element Structure method）と到達側に設置したけん引装置によりエレメントを土中に挿入するHEP工法（High Speed Element Pull method）を組み合わせた工法である．

従来と本工法との比較を図-1に示す．HEP&JES工法では，けん引設備を盛り替えながらエレメントを1本ずつけん引している．これに対して，本工法は，基準エレメントを施工後，先行エレメントの刃口（以下，先行刃口という．）と後行エレメントの刃口（以下，後行刃口という．）をPC鋼棒により接続し，後行刃口内部にセン

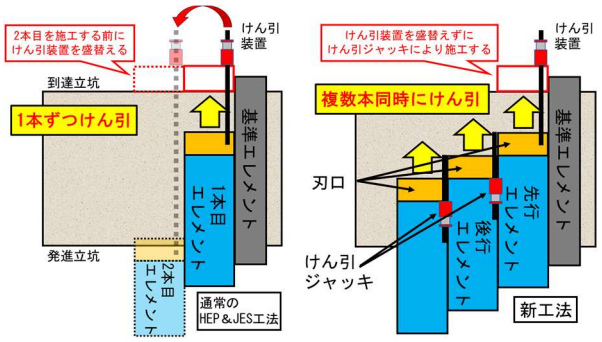

図-1　従来と本工法の比較

ターホールジャッキ（以下，ジャッキという．）を配備して刃口内部にけん引設備（以下，刃口内けん引設備という．）を構築することで，複数本を同時にけん引可能な施工方法とした[1]．刃口構造を**図-2**に示す．先行刃口にPC鋼棒3本を治具により固定し，PC鋼棒を後行刃口のジャッキに接続する構造である．

本工法の掘進手順を**図-3**に示す．

① 刃口位置をずらして先行・後行エレメントの掘削を同時に行う．
② 後行刃口内のジャッキの固定を解除してPC鋼棒が自由に移動可能な状態とする．
③ 通常のHEP&JES工法と同様に到達側のけん引設備で先行エレメントをけん引する．
④ 後行刃口内のジャッキを再度固定する．
⑤ 先行エレメントを反力として，刃口内けん引設備により，後行エレメントのけん引を行う．

上記の手順を繰り返すことを基本サイクルとしている．

3. 施工試験

(1) 試験概要

施工試験の概要を**図-4**，試験条件を**表-1**に示す．エレメントは高さ0.85m，幅約2.0mの幅広エレメントを使用した．刃口内けん引設備のジャッキは，けん引力700kN，ストローク400mmを3つ配置してφ32mmのPC鋼棒と接続する構造とした．地盤や土被りは地表面への影響が厳しい条件を想定して緩い砂質土とし，土被りは1.0mと設定した．鋼材で模擬した基準エレメントをあらかじめ埋設し，そこに先行エレメントを接続して到達立坑側のけん引設備により2.0m程度掘進したのち，刃口内けん引設備を後行刃口と接続する．先行と後行を同時に掘削したうえで，先行エレメントのけん引（到達立坑のけん引設備を使用），後行エレメントのけん引（刃口内けん引設備を使用）を交互に進めるサイクルとした．

発進，到達立坑間は24.6mとし，けん引距離は先行エレメントが20m，後行エレメントが18mに達するまで掘進する．先行エレメントと後行エレメントの刃口の離隔については，前段で実施した土層試験結果を参考にしつつ，まくら木の下に両方の刃口が同時に入らない配置を考慮して約2.0～4.0mとした．なお，広幅エレメント施工時にローリングや沈下が生じた場合，施工精度に影響を及ぼすため，隣接エレメントへの影響も含めて検証することを目的に，縦断勾配を設けず水平に施工した．

(2) 確認項目および計測方法

本工法の施工性や地表面への影響を確認するため，**表**

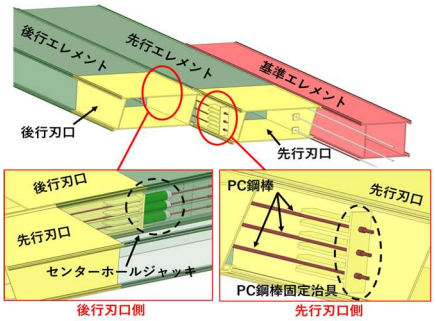

図-2 刃口構造

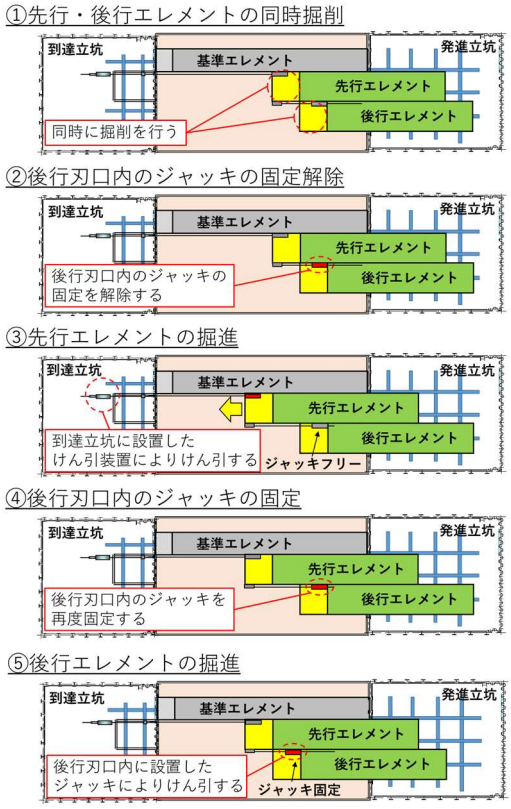

図-3 掘進手順

表-1 試験条件

先行エレメント	断面	高さ0.85m　幅2.07m
	延長	延長20.0m
後行エレメント	断面	高さ0.85m　幅1.99m
	延長	延長18.0m
地盤条件		砂質土
土被り		1.0m
掘進延長		1サイクル延長0.30m

表-2 確認項目および計測方法

項　目	計測項目	計測方法
エレメント出来形	移動距離	ロータリーエンコーダ
	刃口姿勢	ローテーティングレーザー 電子レベルメジャー
	敷設精度	測量
地表面変位	鉛直変位	地表面変位計測 (5点/断面×10断面＝50測点)
けん引力	ジャッキ	圧力計
サイクルタイム	掘削・けん引	
	エレメント接続	

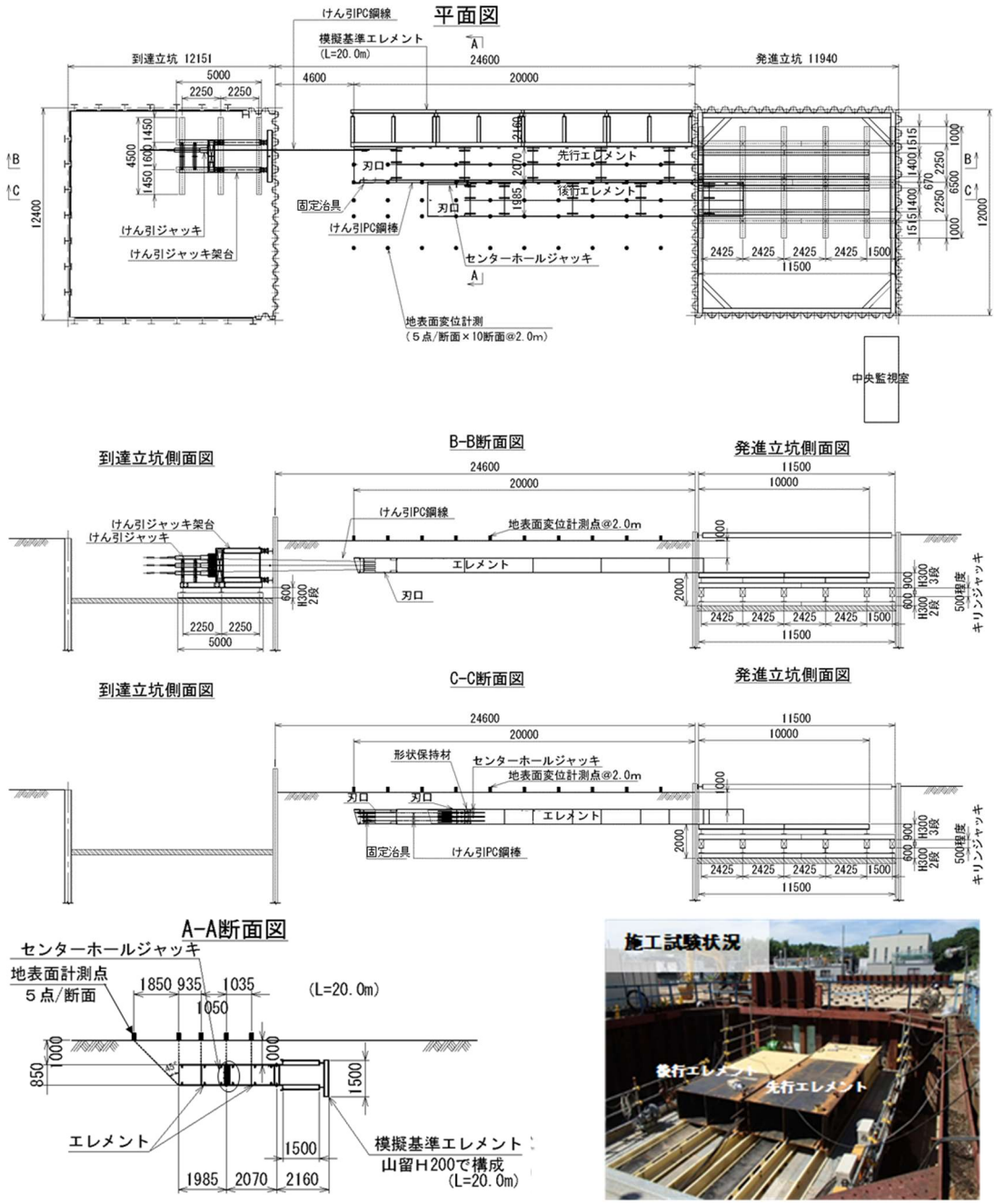

図-4 施工試験の概要

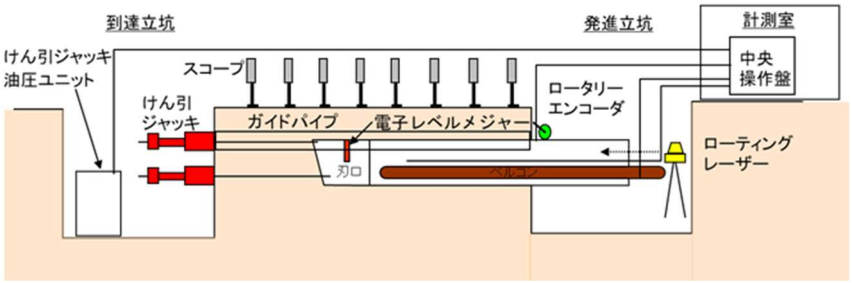

図-5 計測機器

-2に示す確認項目に対して計測を実施した.

a) **エレメント出来形**

図-5に施工試験で使用した計測機器およびその配置を示す. 掘進中は, ローテーティングレーザーおよび電子レベルメジャーを使用して, 刃口姿勢を計測するとともに, ロータリーエンコーダを使用してけん引距離を計測し, 掘進完了後にはレベル測量によりエレメントの出来形を確認した. エレメントのJES継手部の遊間は直接

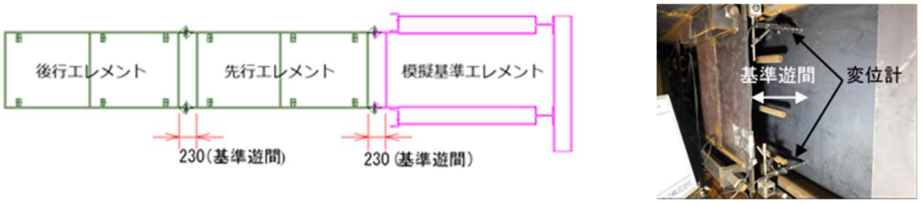

図-6　継手遊間計測図

図-7　地表面変位計測状況

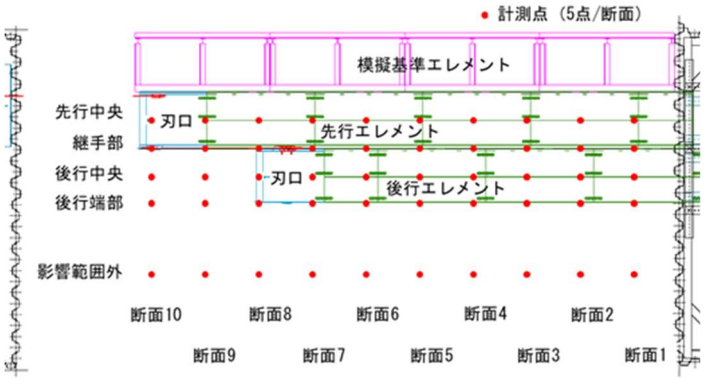

図-8　地表面変位計測位置図

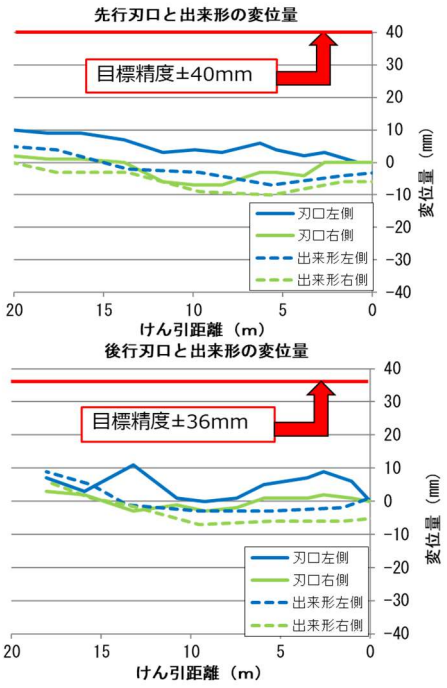

図-9　刃口とエレメント出来形

測定ができないため，図-6のようにエレメントの側壁間（基準遊間：230mm）に変位計を設置し，掘進位置を把握しながら，刃口後端部付近からのローテーティングレーザーでけん引中の左右方向への刃口の挙動を計測した．

b)　地表面変位の計測

地表面の鉛直変位は軌道スコープと地表面ターゲットを用いて計測した．図-7，図-8に示すように，計測断面は発進立坑から2.0m離れた位置を始点として，2.0m間隔で10断面設け，1断面あたりの測定点を5点（先行エレメント中央，先行エレメントと後行エレメントの継手部，後行エレメント中央，後行エレメント端部，影響範囲外）とした．なお，掘進中は1分間隔で測定を行った．

c)　けん引力

到達立坑および刃口内部のけん引ジャッキのけん引力は，けん引距離を計測しながら圧力計により計測した．

d)　サイクルタイムの計測

掘削およびけん引の施工時間を計測するとともに，本工法の刃口やけん引設備，エレメントを接続するための時間を計測した．

4.　試験結果

(1)　エレメント出来形

図-9に，刃口およびエレメント出来形の計測結果を示す．横軸はけん引距離，縦軸は初めに刃口を水平に設置した位置を0とした変位量である．刃口の計測は施工当日の掘進量に合わせて0.9～2.4mピッチで刃口左右の高さを計測し，エレメント出来形は掘進完了後に縦断方向のエレメント端部の位置で左右の高さを計測した．先行・後行エレメントともに，幅広エレメントを使用しても，ローリングや沈下による大きな変位が生じることなく，施工精度の許容値（L/500，L:掘進延長）に十分に収まる精度であった．

図-10に継手の遊間の計測結果を示す．横軸はけん引距離，縦軸は基準遊間（230mm）からの変位量である．先行エレメントでは後行エレメントけん引時の影響は見られなかった．後行エレメントでは変位計が途中で動い

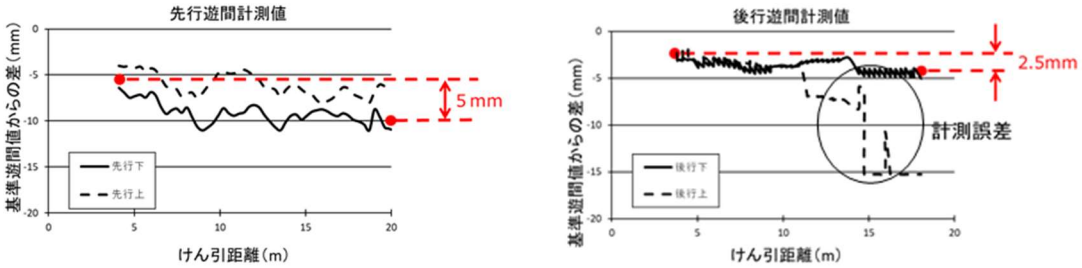

図-10　継手の遊間計測結果

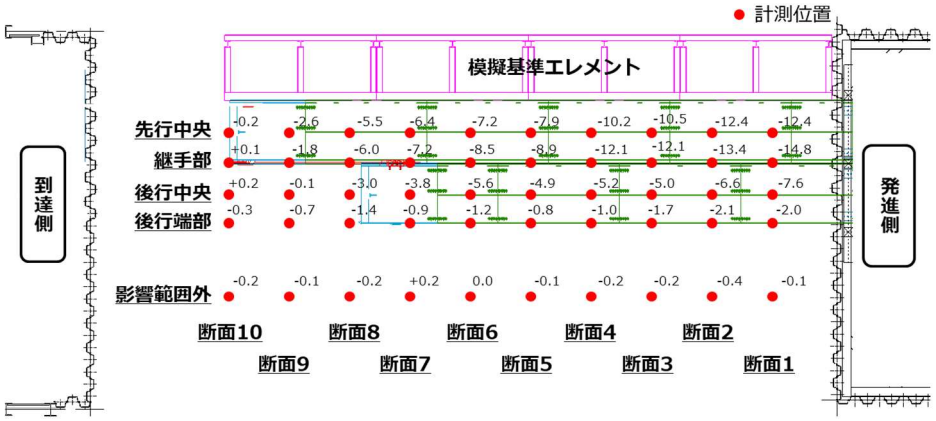

図-11　試験終了時点の地表面計測結果

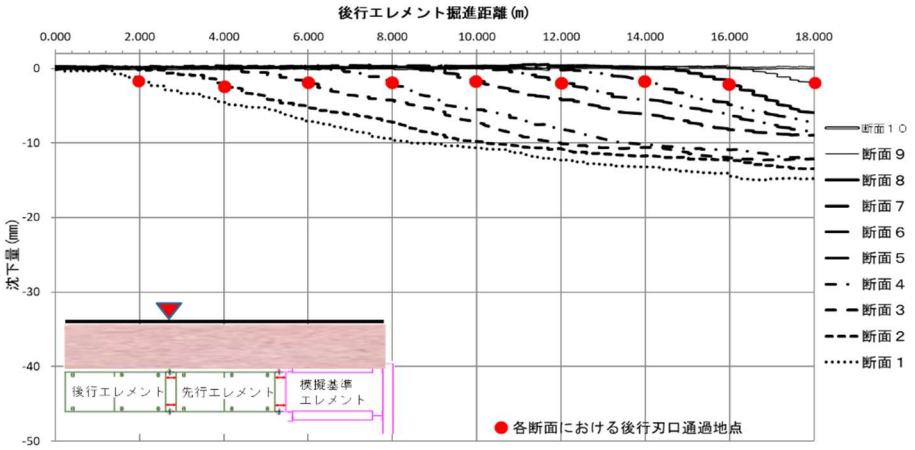

図-12　地表面変位と後行エレメント推進距離の関係（エレメント接続

たため，けん引距離が10m付近以降の計測ができなかった．

先行・後行エレメントともに，施工に伴い遊間が小さくなる傾向が見られた．これは上床・下床エレメント施工時に見られる現象であり，地盤内ではエレメントに側圧が作用することに起因する．

(2)　地表面変位

図-11に，掘進完了後の全測点の地表面計測結果（図中の数値）を示す．全体的に沈下傾向があり，先行・後行エレメント間の継手部の沈下が最も大きい．また，継手部の各断面における地表面変位と後行エレメント掘進距離との関係を図-12に示す．沈下は後行エレメントの刃口通過約1m手前から通過後にわたり生じていることがわかる．

沈下量は，掘進18mに対して最大14.8mm（1m当たり1mm未満）であり，夜間線路閉鎖間合いでの日進量が1m程度であることを鑑みると，軌道へ有害な影響を与えるようなものではないと考えられる．

(3)　けん引抵抗力

図-13には先行・後行エレメントのけん引力の実測値の最大・最小値および設計値を示す．先行・後行エレメントのいずれにおいても設計値を大きく超えることはなく，けん引不能や対策が必要になる事象は生じなかった．

特に後行エレメントのけん引力は設計値の50%程度と

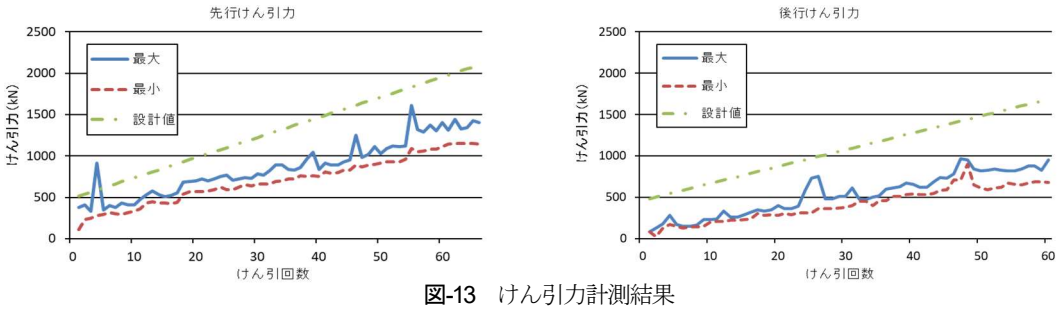

図-13　けん引力計測結果

表-3　施工時間計測結果

	先行エレメント		後行エレメント	
	回数	平均	回数	平均
掘削	67 回	23 分	60 回	22 分
けん引	67 回	5 分	60 回	5 分
ｴﾚﾒﾝﾄ接続	4 回	100 分	4 回	120 分

小さく，これは到達立坑からPC鋼より線を用いてけん引した場合，PC鋼より線の延長も長くなるため，伸びも大きくなるが，本工法では，伸びの小さいPC鋼棒を使用し，けん引するPC鋼棒の延長も短いことから，けん引力が十分に伝達され，従来の工法よりもけん引抵抗力が抑制できたと推測される．

(4)　サイクルタイム

表-3に施工時間の計測結果を示す．掘削とけん引の作業時間はばらつきが少なく，合計30分程度で300mmの掘進が可能である．施工試験の先行・後行エレメントの掘削とけん引の施工時間は，従来工法で1つのエレメントを交互に掘削とけん引を繰返す場合と同じ30分程度であるため，本工法では，時間のかかる掘削作業を先行刃口・後行刃口2本同時に施工できることから，施工量がおよそ2倍になる[2]．

エレメントの接続時間は，エレメント同士の嵌合，ジャッキやケーブルの切り回しと接続を行うため，従来工法より時間を大きく要している．しかし．この作業は昼間間合いなどの時間的な制約のない時間帯に可能な作業であり，夜間線路閉鎖間合いの作業には影響を及ぼさない．また，作業員も不慣れであったことを考慮すると，今後，経験を積んでいくことで，接続時間も短縮されると考える．

5.　まとめ

本稿では，HEP&JES工法において，施工速度向上を目指し，エレメントを連続的に施工する工法の施工試験を実施し，結果について報告した．この施工試験の結果からは以下の知見が得られた．

a) 広幅エレメントを使用して掘進したが，ローリングや沈下による大きな変位が生じることなく，十分な施工精度を確保できることを確認した．
b) 地表面変位については，先行・後行エレメントの継手部で一番大きく沈下する傾向が確認されたが，日進量から考えると軌道への影響は小さい．
c) けん引力の実測値は設計値を下回っており，刃口内に設置したけん引設備の優位性を確認した．
d) 施工に時間を要する掘削作業を同時に施工することで大幅な工程短縮が図られることを確認した．

参考文献

1) 加藤ら：施工速度向上を目指したエレメント施工法の開発（その１），第 75 回年次学術講演会,2020.9
2) 中村ら：施工速度向上を目指したエレメント施工法の開発（その２），第 75 回年次学術講演会,2020.9

（2020.8.7受付）

DEVELOPMENT OF ELEMENT CONSTRUCTION METHOD AIMED AT IMPROVING CONSTRUCTION SPEED

Fumiyuki MARUKO, Takahito OOTSUKA, Tomoaki MORIYAMA,
Nobuhiko YAMADA and Kiyoshi KUWABARA

The HEP&JES method, which is one of the non-cutting methods applied when a trans-line crossing structure is newly constructed, usually tows one element from the reaching pit side using a wire from PC steel, and sequentially constructs while replacing the towing equipment. On the other hand, in order to improve the construction speed of the element and to shorten the construction period and reduce costs, we have developed a method to connect the pre-blade opening and the rear blade opening with a PC steel rod and tow it with a center hole jack in the rear blade. We report on the contents of the construction test.