

新しい構造形式を用いた歩道函体の非開削施工

福島 啓之^{1*}・玄順 貴史²・高橋 正晴³

¹正会員 東日本旅客鉄道株式会社 東北工事事務所 工事管理室（〒980-8580 宮城県仙台市青葉区五橋1-1-1）

*E-mail:hi-fukushima@jreast.co.jp

^{2,3}正会員 東日本旅客鉄道株式会社 東北工事事務所 郡山工事区（〒963-8801 福島県郡山市向河原町149番地）

本工事は、供用中の鉄道線路下に片側2車線・両側歩道の1層4径間のこ道橋を非開削工法により新設するものである。

本工事では、車道部と歩道部の施工に2種類の非開削工法（JES工法とCOMPASS工法）を用いて、歩道部を小さくし、下に凸な新しい構造形式を採用した。その結果、新幹線高架橋や在来線の軌道に影響がなく施工できた。

歩道部に採用したCOMPASS工法は、内空高3.5m×幅3.0m程度の地下構造物を構築する方法であり、ワイヤーソーにより地盤を切削しながら複数の防護鋼板を挿入し、その内部を掘削し構造物を構築するものである。

本論文では、新しい構造形式を選定した構造計画と歩道函体の施工について報告する。

Key Words : two non-open cut methods, crossing structure under railways, pre-cast box calvert, shorten the construction schedule, easier execution

1. はじめに

本工事¹⁾は、東北本線南福島・福島間において、東北本線と東北新幹線および福島市道の直下を横断する延長58.6mのこ道橋を新設する工事である。東北新幹線および市道との交差部は開削工法により、また、東北本線との交差部は非開削工法により函体を構築し、アプローチ部はU型擁壁を構築している（図-1）。道路断面の構成は、片側2車線の車道と両側に歩道を設けた1層4径間である。土質は、粘性土と砂礫土の互層が約30m堆積し、こ道橋新設箇所はN値10程度の粘性土である。土被りは約1.0mで、地下水位はGL-1.0mである。

本工事では、非開削工法区間において、車道部と歩道部の施工に2種類の非開削工法（JES工法とCOMPASS工法）を用いて歩道部を小さくし、下に凸な構造形式としている。歩道部の函体施工に小断面を対象に開発したCOMPASS工法を採用した。ここで、JES工法²⁾とは、力の伝達が可能なJES継手を有する鋼製エレメントを地中に挿入し本体利用することで、地下構造物を構築する工法である。COMPASS工法³⁾とは、防護鋼板を構造物外周形状に合わせ4辺挿入し、その内部を掘削し構造物を構築する方法である。

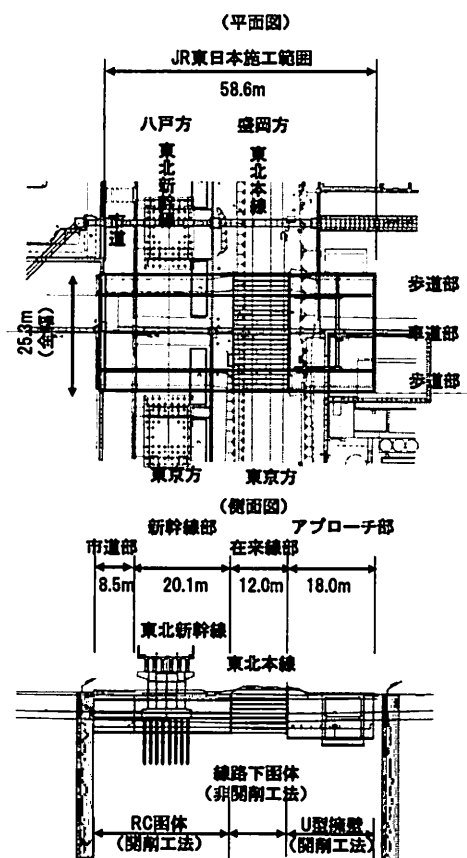


図-1 こ道橋の平面図・側面図

本稿では、新しい構造形式を選定した構造計画とCOMPASS工法を適用した歩道函体の施工および施工結果について報告する。

2. 構造計画

表-1に構造形式の比較を示す。上床版にJESエレメントを用いた3案の構造形式を比較検討した。形式①は一般的な構造形式で、車道の断面高さに合わせて歩道部も構築し、歩道の縦断計画にあわせ歩道断面下を埋戻すものである。形式②は車道と歩道の外周を囲むようにJES工法で施工する方法である。形式③はJES工法により上床版および車道部を施工し、歩道部の施工はCOMPASS工法を採用する方法である。これらの3案について、施工時に立坑が近接施工となる新幹線高架橋への影響検討およびコスト比較を行なった。

新幹線高架橋への影響を少なく抑えるために、高架橋のフーチング底面深さと立坑掘削深さを比較した。

図-2に形式①を採用した場合の高架橋フーチングと立坑掘削深さの関係を示す。形式①を採用した場合、フーチング底面深さより立坑の掘削深さが深く影響が大きい。一方、形式②および形式③を採用した場合の掘削深さは、フーチング深さと同程度となるため、高架橋への影響は小さくなる。さらに、立坑掘削時の高架橋への影響を把握するため、FEM解析を実施し掘削に伴う高架橋の変形状況を確認した。図-3に形式③を採用した場合のFEM解析結果を示す。許容値としては、新幹線軌道整備基準値(275km/h以上)の「水準」を用いて、 $7.0\text{mm} \times 0.7 = 4.9\text{mm}$ とした。

コスト比較では、形式①および形式②では、エレメント数が多く、エレメントけん引工の費用が形式③を上回

る。これに対して形式③はエレメント数が少なくできエレメントけん引工の費用を抑えられるが、歩道部の施工に採用するCOMPASS工法の費用がかかる。3つの形式のコストを比較した結果、形式③が最も安価となった。

したがって、掘削による新幹線高架橋への影響が少なく、コストが安価な形式③(JES工法+COMPASS工法併用形式)を採用することにした。形式③において、車道部と歩道部をそれぞれ単独構造とする案もあったが、JES工法による上床エレメントを張出しとして上載荷重を支持した。これにより歩道函体施工時の軌道への影響を抑えるとともに、歩道の施工時間帯を列車を運行させる日中の間合の中でもできる。

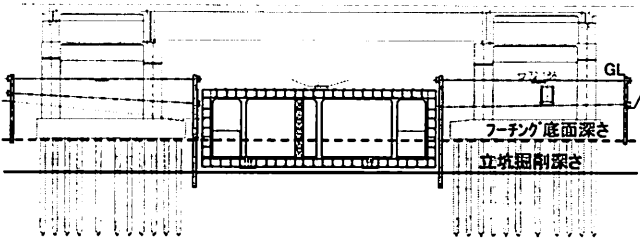


図-2 高架橋フーチングと立坑掘削深さの関係

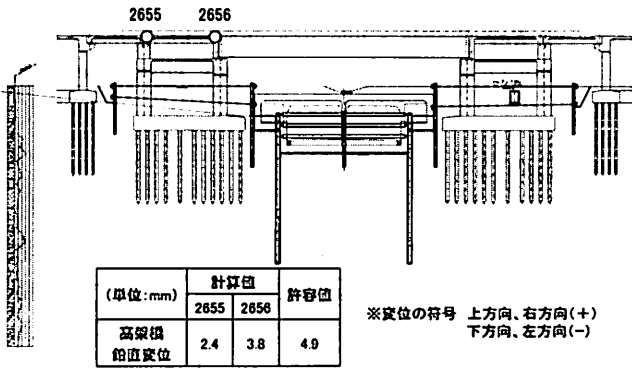
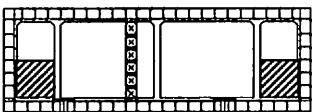
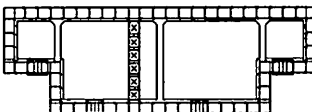
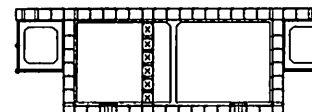


図-3 FEM解析結果

表-1 構造形式の比較

	形式①	形式②	形式③
断面	 JES工法による矩形型	 JES工法による逆凸型	 JES工法とCOMPASS工法の併用型
立坑掘削による高架橋への影響	新幹線高架橋のフーチングより立坑掘削深さが深い。よって新幹線高架橋への影響が大きい。	新幹線高架橋のフーチング底面深さと立坑掘削深さがほぼ同程度である。よって新幹線高架橋への影響が小さい。	
JESエレメント本数	64本	64本	58本
コスト	1.00	0.94	0.91

3. 施工

歩道函体の施工にはCOMPASS工法を採用した。以下に、COMPASS工法として取り組んだ幅4mの地盤切削・防護鋼板挿入と歩道函体の構築について述べる。

(1) COMPASS工法の施工順序と特徴

COMPASS工法とは、仕上がり内空で3.5m×3.0m程度の小断面の横断構造物を構築する非開削工法である。図-4にCOMPASS工法の施工順序を示す。まず切削機械をけん引するためのガイドパイプ（塩ビ管φ300）を施工する。地盤切削にはφ11mmの地盤切削ワイヤーを使用し、ワイヤーにより先行切削した後に、切削した隙間に防護鋼板（t=22mm）を挿入する。防護鋼板を構造物外周形状に合わせ4辺に挿入したあと、防護鋼板で囲まれた内部を掘削し、随時支保工（H-250）を建て込み、場所打ちでコンクリートを打設してボックスカルバートを構築する施工順序である。

工法の特徴は、1) ワイヤーの切削によりできた隙間に防護鋼板を挿入し周囲を囲むため、地表面の変状が少ないこと、2) 適用対象土質は粘性土や砂質土のみならず、玉石や礫混り地盤など様々な地盤もワイヤー切断が可能であることが挙げられる。

(2) 幅4mの地盤切削・防護鋼板挿入

a) 施工試験

図-4に示すとおり、これまでの地盤切削・鋼板挿入方法は、幅2mの防護鋼板（t=22mm）を鉛直方向に側壁上側と側壁下側に分けて施工していた。しかし、本現場では作業を効率的に行なうため、幅2mの防護鋼板を2枚連結し幅4mとして鉛直に施工することにした（図-5）。

そこで、幅4mの防護鋼板を鉛直方向に地盤切削・鋼板挿入が可能か、ガイドプリー（塩ビ管内を走行する機械）が隅角部JESエレメント内の走行が可能かを確認するために施工試験を実施した。

図-6に施工試験概要図、写真-1に防護鋼板挿入状況を

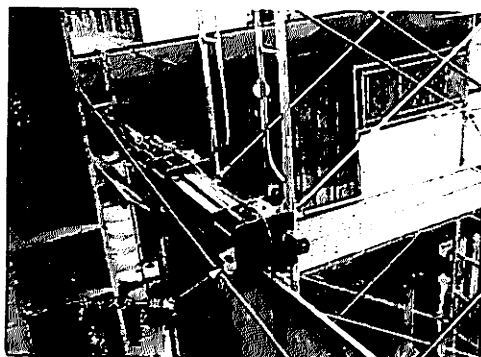


写真-1 鋼板挿入状況（施工試験）

示す。中間ガイドプリーは、幅が2倍に広がることによるワイヤーの遅れを防止するために設置した。模擬地盤には数種類の大きさの異なる礫を混入し、地盤の切削

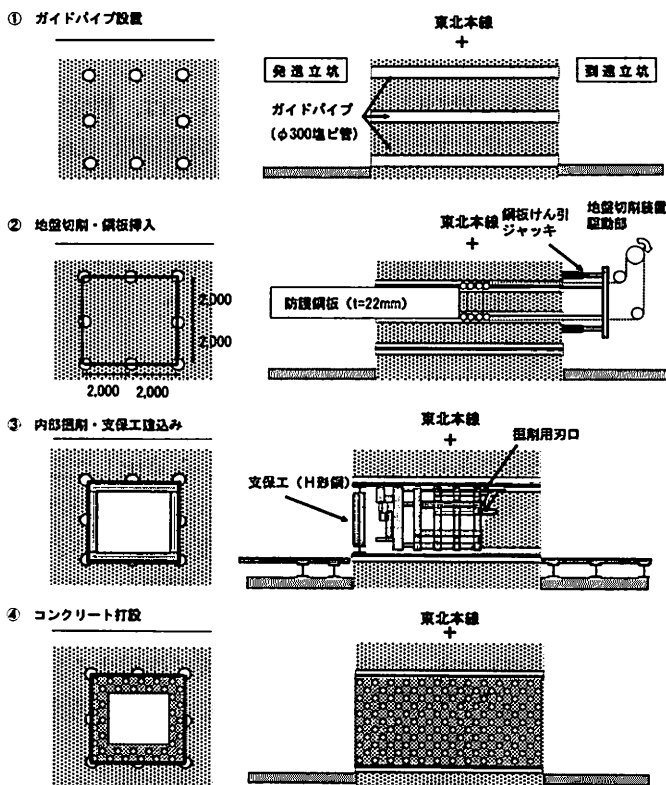


図-4 COMPASS工法の施工順序

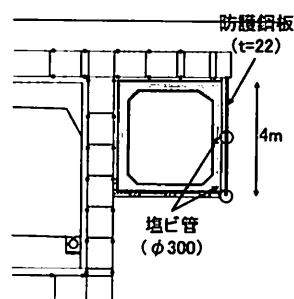


図-5 防護鋼板施工図

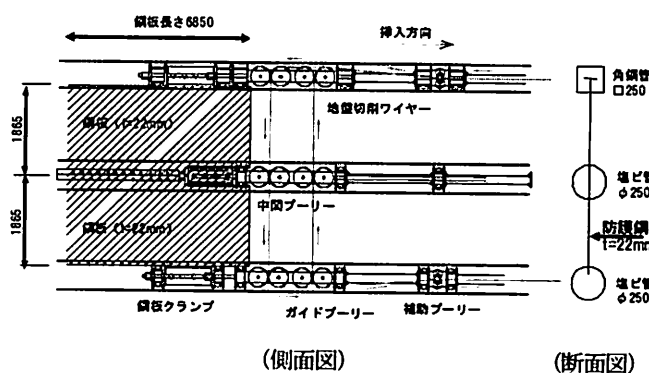


図-6 施工試験概要図

状況を確認した。施工試験の結果、中間ガイドプリー
の設置効果もあり、高さ4mの地盤切削および防護鋼板
のけん引が可能であることが確認できた。また、エレメ
ント内のガイドプリーの走行性についても問題ないこ
とを確認できた。

b) 実施工

図-7に防護鋼板挿入図を示す。実施工では、地盤切削
にφ11mmのワイヤーを用い、幅2mの防護鋼板（L6m×
t22mm）をボルトで連結して、幅4mの防護鋼板とした
後に縦向きにけん引した。けん引方向の連結は溶接によ
り延長12mとし、PC鋼より線（φ28.5×3本）とけん引ジ
ャッキ（2000kN×3本）を用いてけん引した。

c) 施工結果

図-8にけん引距離とけん引力の関係、写真-2に防護鋼
板挿入状況を示す。最大けん引力は東京方で932kN、青
森方で954kNであり、過去の施工実績から算出した設計
けん引力と比較し140%と大きい値を示した。設計けん
引力を上回っているものの、けん引速度から選定された
けん引ジャッキの能力には余裕があり、問題なく施工が
できた。設計けん引力を上回った原因は、土質が粘性土
（N値10程度）であったため、防護鋼板に作用する粘着
力の影響と幅4mの側圧が大きく作用したものと考えら
れる。

図-9にけん引距離とけん引速度の関係を示す。先に施
工した青森方のけん引速度は、これまでの実績より
10mm/min程度から始め、その後段階的に上昇させてい
った。速度向上によるけん引力の大きな上昇は見られず、
けん引速度は最大25.0mm/minであり、平均15.0mm/minで
あった。平均けん引速度はこれまでの実績（幅2mのけ
ん引で20～30mm/min程度）と比較すると低い値である
が、高さ4mの鋼板を挿入した点を考慮すると、実質、
従来と同程度の施工速度であったといえる。なお、鋼板
挿入に伴う軌道変位はほとんどなかった。

(3) 歩道函体の構築

a) 構築方法の改善

工期短縮が求められていたため、歩道函体の構築方法
を見直すこととなった。従来、函体構築は図-4に示すと
おり、内部掘削、支保工建込みの後に、鉄筋を組みコン
クリートを打設していた。この方法では、支保工建込み
やコンクリート打設など狭隘な箇所での作業が多い。さ
らに、従来の方法では、各作業がクリティカルとなり、
並行作業ができない。そこでプレキャストボックスカル
バート（以下：プレキャストボックスとする）をけん引
する方法に変更した。図-10に変更後の施工順序を示す。
なお、COMPASS工法において、プレキャストボックス
をけん引して函体を構築する方法は、当現場が初めてで
ある。

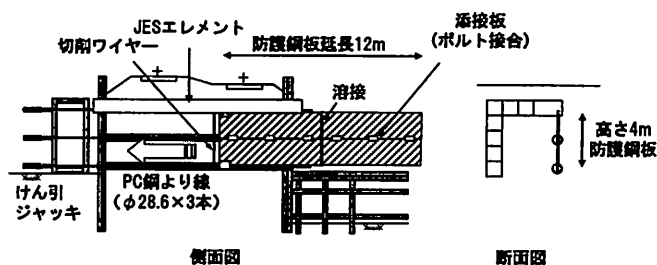


図-7 防護鋼板挿入図

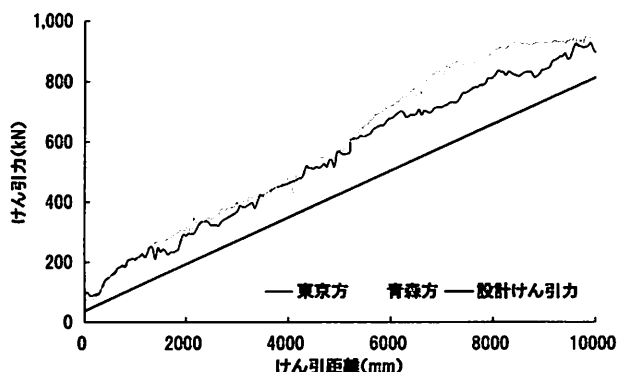


図-8 けん引距離とけん引力の関係（鋼板挿入）

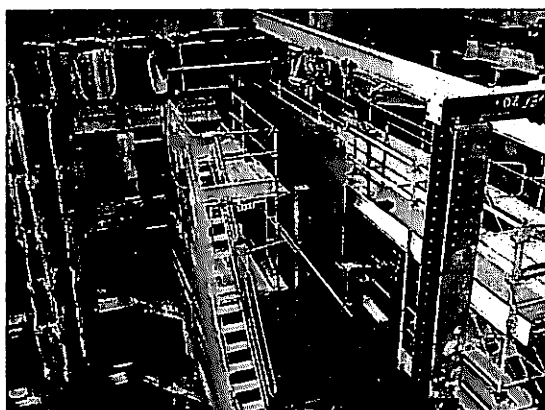


写真-2 鋼板挿入状況（実施工）

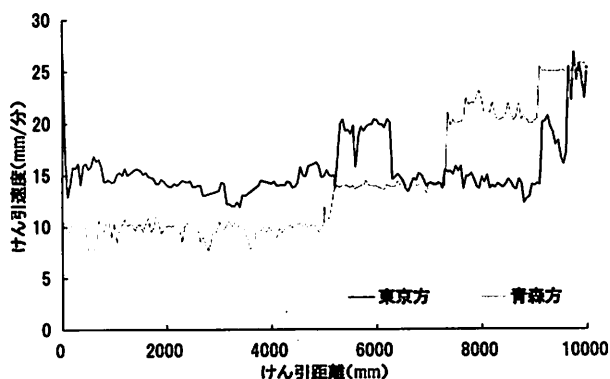


図-9 けん引距離とけん引速度の関係（鋼板挿入）

b) 検討事項

設計における検討した内容は、プレキャストボックスの1ブロックの長さや部材厚である。プレキャストボックスの長さは立坑の大きさおよびクレーン能力から1ブロック長を1.5mとし、函体ブロック同士を橋軸方向にPC鋼棒で連結する方法とした。プレキャストボックスの設計では、張出した上床エレメントを片持ち梁として設計したが、最終的に上床エレメントとプレキャストボックスの隙間を裏込め注入するため、列車荷重を考慮した設計も行なった結果、部材厚は250mmとした。

施工におけるリスク検討では、歩道施工部の上にはJESエレメントがあり、軌道への影響はないと予想されたが、上り線影響範囲を初めてけん引する作業時は、線路閉鎖(=列車を走らせない状態)とし、軌道変状の有無や地山の自立性の確認を行なった。施工の結果、問題ないことが確認できたので、それ以降の作業は昼夜作業とした。内部掘削時の側壁防護鋼板の変状対策として、刃口と防護鋼板の隙間に固定ローラーを設置し、プレキャストボックスと防護鋼板の隙間には半割り鋼管を1m間隔に設置した(図-11)。さらに、函体の沈下対策として刃口前方下端に鋼材を取り付け、上下左右のジャッキを調整する掘削方法とするリスク対策を行なった。

c) プレキャストボックスのけん引・貫入方法

図-12にプレキャストボックスの施工順序図を示す。プレキャストボックス(内空幅3m×内空高3.2m×長さ1.495m×8ブロック)のけん引は、発進側にセットした刃口とプレキャストボックスをPC鋼棒(φ32mm×4本)により一体化し、プレキャストボックスの最後尾に押し輪をセットし、到達側に設けたけん引ジャッキにより引き込む方法とした。引き込み架台上にスペースが出来た時点で次のプレキャストボックスを取り降ろし、けん引・貫入作業を繰り返し行なった。ボックス同士の連結はPC鋼棒により縦締めすることとし、その緊張力は連

結部に用いる止水ゴムの止水性を満足できる大きさとし150kNとした。プレキャストボックスのけん引は、地山の自立性を確認しながら、作業時間に合わせて1回あたり0.5～1.0m程度の内部掘削とプレキャストボックスけん引を交互に行なった。

d) プレキャストボックスのけん引・貫入結果

図-13に函体けん引時のけん引距離とけん引力の関係を示す。設計けん引力は、刃口式推進工法の下水道協会式に準拠し算定した。最大けん引力は東京方、青森方とも730kN程度となり、設計けん引力に対して6割程度で

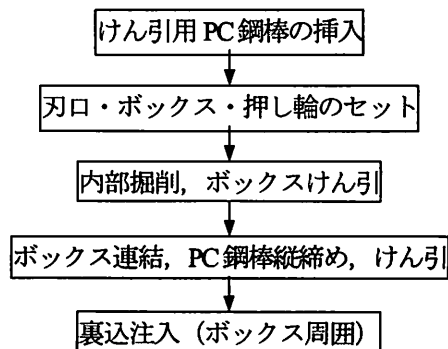


図-10 変更後の施工順序

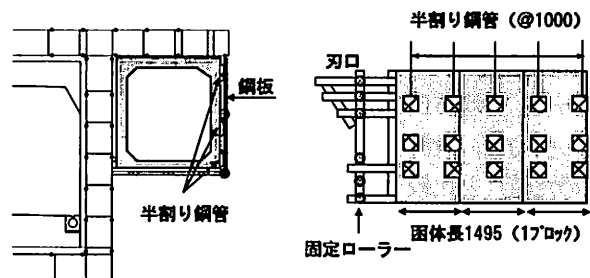
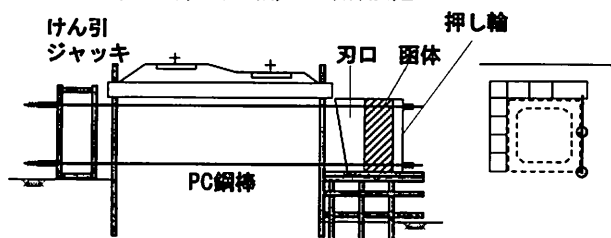
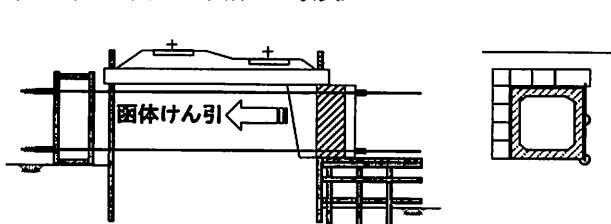


図-11 側壁防護鋼板の変状対策

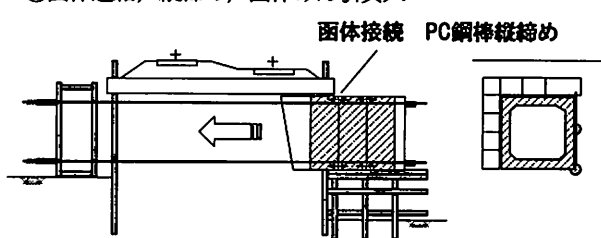
①刃口組立, 函体, 押し輪, PC 鋼棒設置



②鏡切, 内部掘削・函体けん引貫入



③函体連結, 縦締め, 函体けん引貫入



④函体けん引完了, 裏込め注入

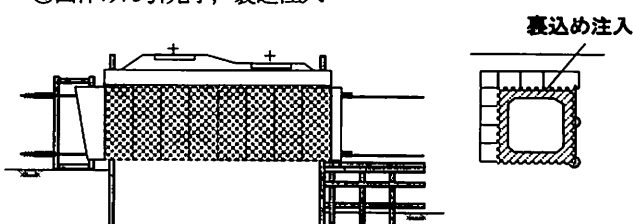


図-12 プレキャストボックスけん引方法

推移した。この理由は、エレメントおよび鋼板に囲まれた内部の函体けん引であったため、貫入に伴う函体周囲の摩擦抵抗が想定より小さかったためと考えられる。

図-14に青森方の函体けん引時の軌道高低変位を示す。計測位置はプレキャストボックスの直上であり、施工開始から施工完了まで高低変位は1mm以下であり、軌道変位は発生しなかった。

線路下函体の構築に要した施工日数は、当初と比較すると、内部掘削・支保工建込から函体構築まで49日と試算された施工日数を38日に短縮でき、11日間（22%）の工期短縮が図れた。在来線部（延長12m）の施工日数は、東京方4.5日、青森方5日（昼夜施工）であり、1日あたり1.5～2.0mの進捗であった。

4. まとめ

本工事では、非開削工法による歩道函体の施工に取り組んだ（写真-3）。以下に得られた知見を示す。

(1)構造形式

- ・JES工法とCOMPASS工法の2つの非開削工法を併用した構造形式を採用し、高架橋および軌道への影響を抑制できた。

(2)側壁防護鋼板の施工

- ・けん引速度（鋼板移動速度）は、最大で約25mm/minであり、平均15.0mm/minであった。
- ・けん引力は、設計けん引力（同種地盤の施工実績から求めた値）と比較し、140%と高い結果であった。

(3)歩道プレキャストボックスの施工

- ・けん引力は、設計けん引力と比較し6割程度であった。JESエレメントと防護鋼板に囲まれた内部のけん引であったため、プレキャストボックス周囲の摩擦抵抗が小さくなったと考えられる。
- ・軌道変位は1mm以下であり、歩道プレキャストボックスけん引に伴う軌道変状は発生しなかった。歩道上部に張出したJESエレメントが防護工となったものと思

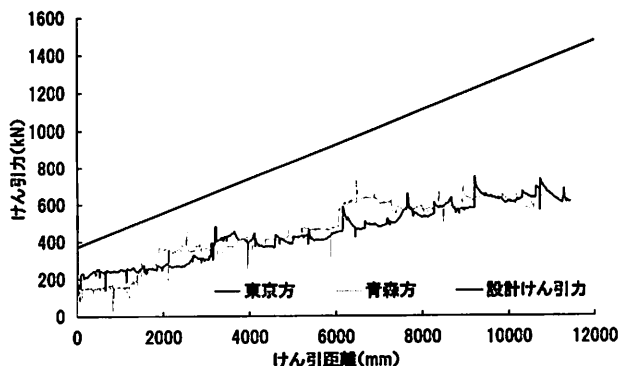


図-13 けん引距離とけん引力の関係（函体けん引）

われる。

- ・施工日数では、従来の場所打ち構築方法と比較し、22%工期短縮を実現した。施工速度（函体けん引・貫入と内部掘削含む）は、1日あたり1.5～2.0mであった。

歩道プレキャストボックスの施工に採用したCOMPASS工法は、今後も鉄道と道路などの立体交差化のニーズに応えられるようにさらなる改良を重ねていく予定である。本工事が類似工事を計画する際の参考になれば幸いである。

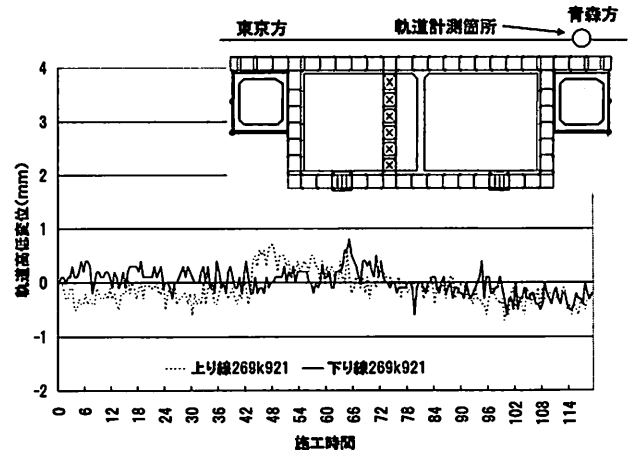


図-14 函体けん引時の軌道高低変位

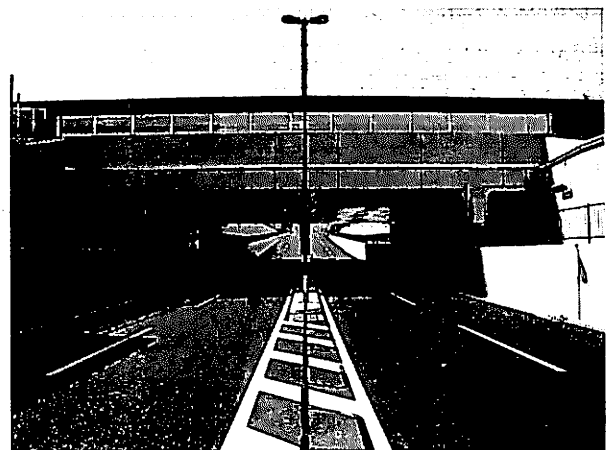


写真-3 完成写真

参考文献

- 1) 澤村, 福島, 玄順, 徳本: JES と鋼板挿入工法の組み合わせによるアンダーパスの急速施工, トンネルと地下, Vol.40, P7, 2009
- 2) 森山, 桑原, 茂木, 三島: 鋼製エレメントを用いた新しい線路下横断工法の開発, 複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 4巻 P263-268, 1999
- 3) 清水, 藤沢, 栗栖: 新しい小断面地下構造物の構築工法の開発, 第14回トンネル工学研究発表会, 第14巻 P413, 2004