

簡易な線路防護工を用いた 非開削工法の施工事例

Construction case with non-open cut method that uses simple railway track
defense worker

福島啓之¹・森山智明²・和田好人³・若林正三⁴・佐藤吉寛⁵
Hiroshi Fukushima, Tomoaki Moriyama, Yoshihito Wada, Syouzo Wakabayashi
and Yoshihiro Sato

¹正会員 東日本旅客鉄道(株) 構造技術センター (〒151-8578 東京都渋谷区代々木二丁目2番2号)

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

²正会員 東日本旅客鉄道(株) 構造技術センター (〒151-8578 東京都渋谷区代々木二丁目2番2号)

³東日本旅客鉄道(株) 大宮支社 (〒330-9555 埼玉県さいたま市大宮区錦町434番地4)

^{4,5}東日本旅客鉄道(株) 長野支社 長野土木技術センター (〒380-0935 長野県長野市中御所1-8-13)

The COMPASS method is a technique for constructing small-section crossing structures such as walkways and channels, beneath railway tracks and roads.

This method consists of the following steps. The ground is cut with wires, and four-sided steel plates are inserted, tracing the perimeter of the structure. While the inside of the steel plate walls is excavated and supports (H steel shapes) are erected, concrete is placed to build the structure.

This manuscript introduces two construction cases adopted of COMPASS method, and reports the construction result.

Key Words : *underground structure, cutting the ground, insertion of steel plate*

1. はじめに

非開削工法により線路下および道路下に人道橋や水路等の小規模な横断構造物を構築する場合は、これまでエレメントをけん引する方法や、函体をけん引および推進する方法が採用されていた。しかし、エレメントをけん引する方法では、車道と歩道を組み合わせた大きな断面を対象としており、小断面の横断構造物に対しては部材厚が大きく不経済な構造となっていた。また、函体をけん引および推進する方法は、線路下を防護用エレメントと函体が2回にわたり通過するため、軌道変状の影響が懸念されるなどの問題点があった。

そこで、人道橋や水路等などの小規模な構造物を対象とし、簡易な線路防護工（以下：防護鋼板という）を用いたCOMPASS工法（COMPASS Support Structure method）を開発した。¹⁾²⁾³⁾

本稿では、COMPASS工法を採用した施工事例を2

件紹介し、その施工結果と施工結果を基に改善した点について報告する。

2. COMPASS工法の概要および特徴

(1) COMPASS工法の概要

COMPASS工法は、非開削工法により仕上がり内空で3.5m×3.0m程度の小断面の横断構造物を構築する工法である。図-1にCOMPASS工法概要図、図-2に施工順序図を示す。地盤の切削にはφ11mmの地盤切削ワイヤーを使用し、2段配置した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辺挿入が完了すると、防護鋼板で囲まれた内部を掘削しながら支保工であるH形鋼を建て込み、支保工を巻き込みながらコンクリートを打設することで構造物を構築するものである。

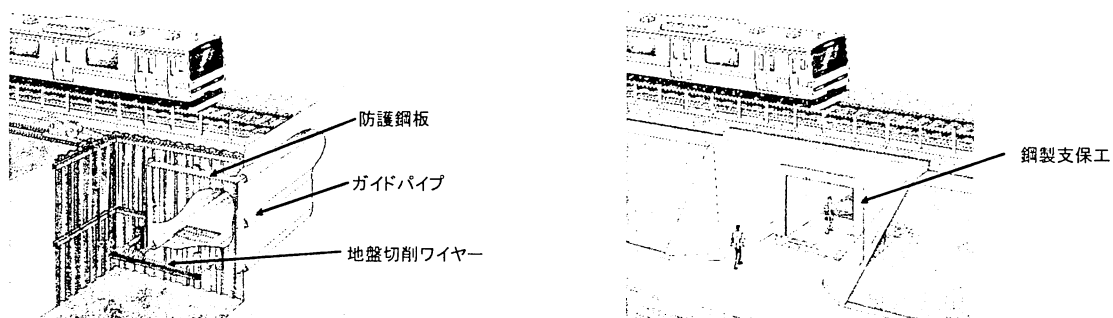
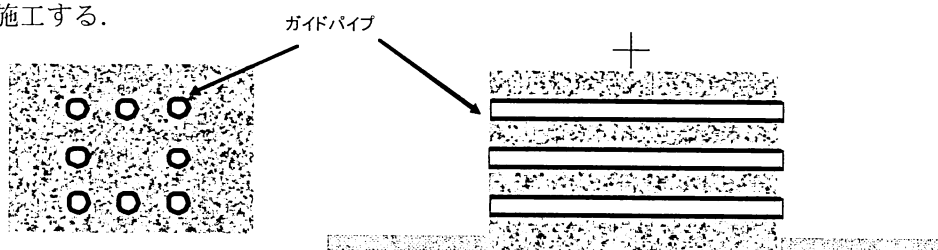


図-1 COMPASS 工法概要図

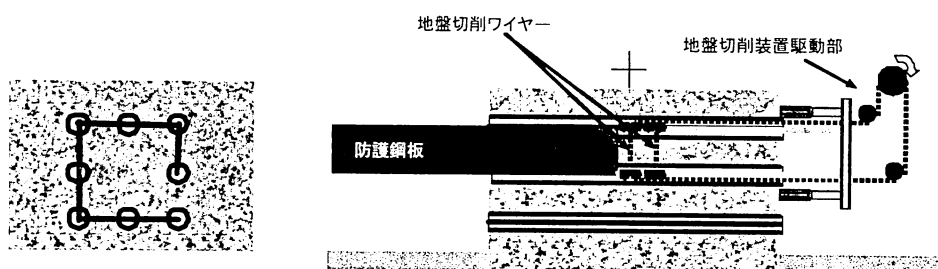
①ガイドパイプ設置工

地盤切削ワイヤー走行用のガイドプリーを挿入するために、小口径推進工法によりガイドパイプを施工する。



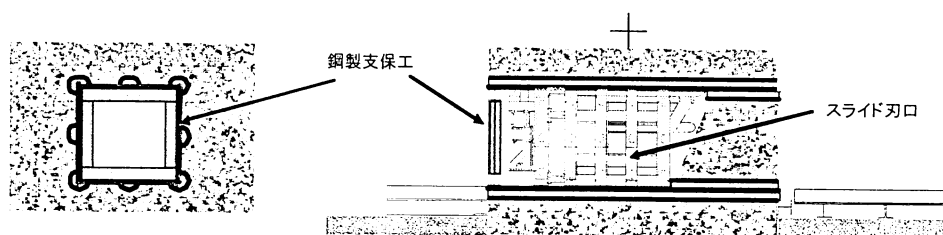
②地盤切削・鋼板挿入工

地盤切削ワイヤーにより地盤を切削し、その後方より防護鋼板を挿入する。



③内部掘削・支保工建て込み工

防護鋼板で囲まれた内部をスライド刃口を用いて内部掘削し、その後方より支保工の建て込みを行なう。



④函体構築工

支保工を巻き込みながら、下床版→側壁→上床版の順にコンクリートを打設する。

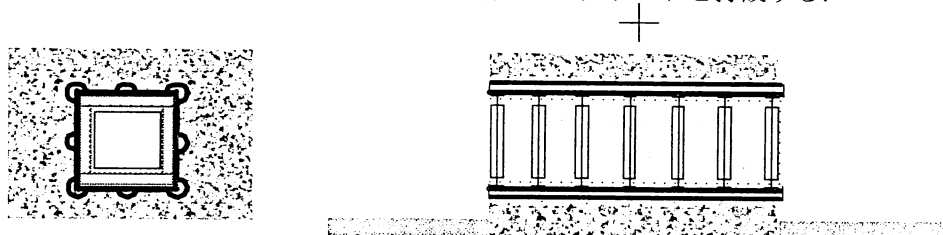


図-2 施工順序図

(2) COMPASS工法の特徴

COMPASS工法の特徴は、大きく分け3つある。1つは、地表面の隆起や沈下が非常に少ないことである。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、地表面の変状が小さく、土被りが小さい場所にも適用できる。2つ目は、対象土質は粘性土や砂質土のみならず、玉石や礫混じり地盤など様々な地盤である。様々な種類の地盤を用いた施工試験により、ワイヤーの切削能力を確認している。3つ目は、内部掘削は、スライド刃口を用いた安全な掘削方法である。スライド刃口を地山に先行貫入し、防護鋼板の支持と地山の安定を確保できる構造である。防護鋼板の支持は、一定間隔に配置した支保工により支持される。

3. 施工事例（事例1）

(1) 工事概要

施工概要図を図-3に示す。本工事は、JR線の線路下に管理用通路を非開削工法により構築する工事である。ボックスの寸法は、外寸で幅4.06m×高さ3.58m×延長9.4mで、内空は、幅3.0m×高さ2.55mである。地質条件は、盛土の礫混じりの緩い砂層で、N値は10程度である。地下水は下床版より2m以深に存在し、土被りは800mm程度である。なお、軌道と函体の交差角は、90°である。

軌道変状対策として、マクラギ張りの設置や道床安定剤の散布を行ない、リンク式自動計測器による計測を行ない、酷暑期の施工を実施している。

(2) 主な工種

a) ガイドパイプ設置工

ガイドパイプの施工は、防護鋼板の施工精度に関係し、構造物の仕上がり精度に大きく影響を与える。

そのため施工精度は、推進延長の1/500とし、15mmと設定した。推進延長や地盤条件から、小口径推進工法（アイアンモール工法）により施工した。合計8本のガイドパイプ（φ300の塩ビ管）を施工し、全本数とも目標の精度内で施工を完了した。

b) 地盤切削・鋼板挿入工

図-4と写真-1に切削概要図と上床鋼板挿入状況を示す。防護鋼板の施工順序は図-5に示す通り、上床→側壁上部→下床→側壁下部とした。到達側に押し輪とけん引ジャッキをセットし、発進側には防護鋼板をセットする。押し輪と防護鋼板を挟む鋼板クランプをPC鋼棒により連結する。防護鋼板の前方には、先行ワイヤーと後行ワイヤーが配置され、ジャッキで押し輪を押すことにより、地盤切削と防護鋼板の挿入が同時にできる機構となっている。先行ワイヤーが1段11mmの溝を切削し、後行ワイヤーで2段22mmの溝を切広げ切削し、後行ワイヤーの後方から防護鋼板22mmを挿入する。

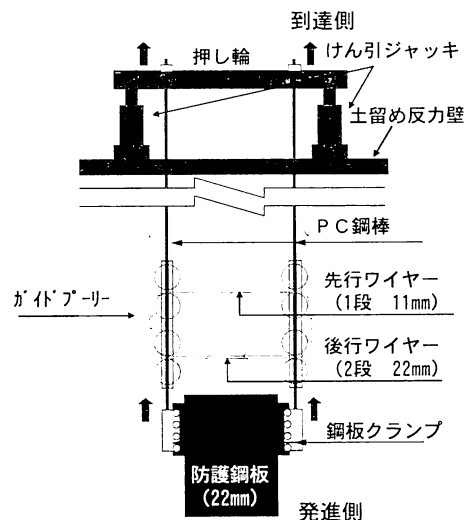


図-4 切削概要図

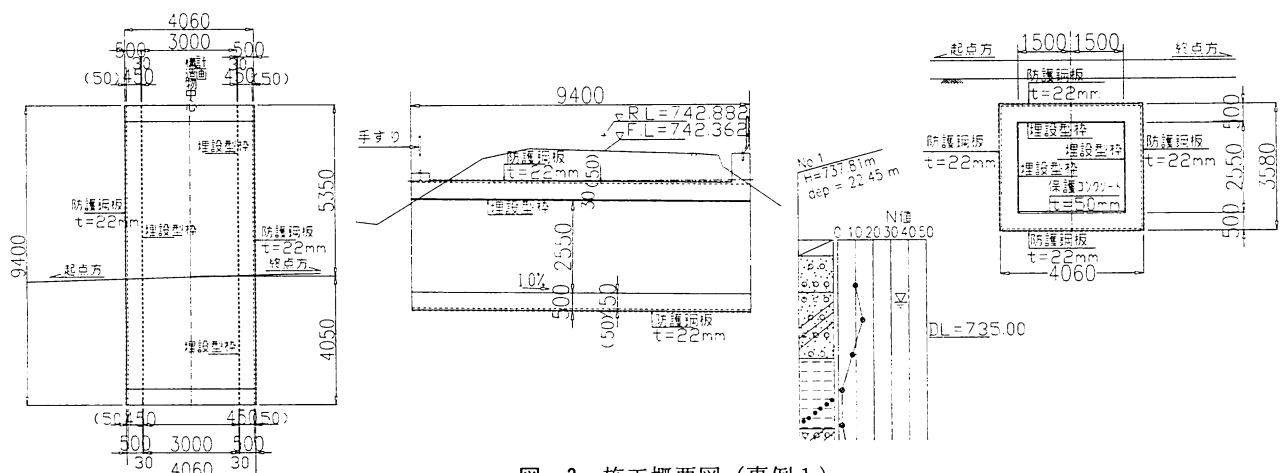


図-3 施工概要図（事例1）

施工実績も少ないことから、上床鋼板と側壁上部鋼板は線路閉鎖作業とし、下床鋼板と側壁下部鋼板は昼間列車間合い作業とした。

c) 内部掘削・支保工建て込み工

写真-2に内部掘削状況、写真-3に支保工建て込み状況を示す。内部掘削は、スライド刃口を用いて、切羽の安定角を確保しながら、小旋回型油圧ショベル（ 0.07m^3 ）により掘削し、排土はベルトコンベアを用いた。スライド刃口と防護鋼板の隙間には、防護鋼板の施工誤差や不陸に対応するため、高さ調整ローラーを設置し、軌道の高低、通り、水準等の値を確認し、施工を進めた。

内部掘削後に連動して建て込む鋼製支保工は、立坑内で事前に組立て、スライド刃口のけん引に伴い、最も後方の支保工より1mピッチで建て込んだ。防護鋼板と鋼製支保工の間は、固定ローラーを配置し、鋼製支保工が所定の高さに建て込みができるようにした。

d) 函体構築工

コンクリート打設は、下床版、側壁、上床版の順に施工した。上床版の施工は、コンクリートの打設圧により鋼板を押し上げる可能性が懸念されたため、線路閉鎖作業とした。上床版は、支保工がトラス形式であるため、充填性を考慮し、高流動コンクリートを用いた。また打設方法は、1ブロック毎の施工では、エア溜まりの発生により未充填箇所を残す可能性があったため、片押しによる施工とした。

(3) 施工結果

a) けん引力とけん引速度

図-6、図-7に下床鋼板挿入時と側壁鋼板挿入時のけん引力とけん引速度の関係を示す。けん引力は、けん引距離が長くなるにつれて大きくなり、下床鋼板施工時に最大値785kNを示した。下床鋼板施工時にけん引力が最大値を示した理由は、土かぶり荷重が大きく、鋼板と土の間の摩擦が大きかったためと考えられる。

下床鋼板施工時は、ワイヤーの交錯などによる切削機械のトラブル等もあり、けん引速度にばらつきがあったが、側壁鋼板施工時には平均20mm/min程度の速度で施工できた。両グラフの7m付近でけん引力が下がり、けん引速度が上昇する値を示しているが、到達側の土留め壁を抜け、ワイヤーによる切削抵抗が無くなったためと推測される。

b) 上床鋼板の挙動計測

側壁鋼板および下床鋼板の施工時に上床鋼板の挙

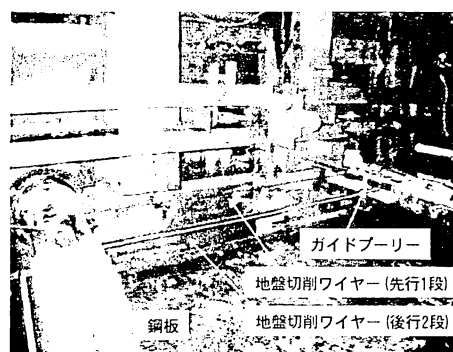


写真-1 上床鋼板挿入状況

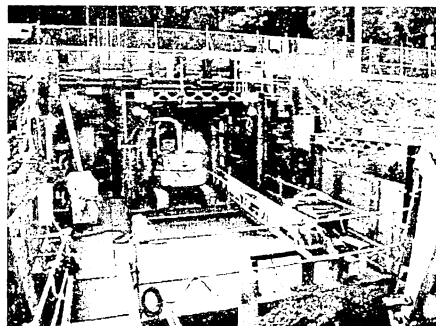


写真-2 内部掘削状況

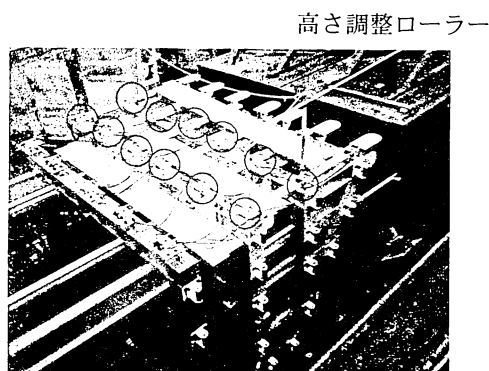


写真-3 支保工建て込み状況

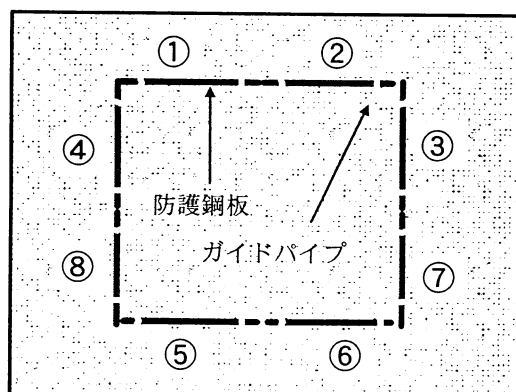


図-5 防護鋼板の施工順序図

動を把握する目的で、上床鋼板中央付近の線路直角方向の挙動を計測することとした。

下床鋼板および側壁鋼板施工時に上床鋼板中央付近のたわみ量が大きくなる傾向となり、軌道への影響が懸念された。上床鋼板が大きく変形した理由は土砂がワイヤーに絡まないように使用した洗浄水と2本の後行ワイヤーにより地山を緩め、緩めた土砂を予想以上に引き込んでしまい、上部土砂が沈下する傾向を示したものと思われる。

c) 軌道変位計測

図-8に軌道計測箇所、図-9、図-10に下鋼板挿入時の軌道変位（高低、通り）の計測結果を示す。軌道変位は合計8箇所で測定した。管理値は、列車速度に応じた整備基準値を用いて、警戒値および工事中止値を設定した。高低変位は、下床鋼板挿入の直上の測点3、4、5、6で沈下する傾向を示し、相対的に端部の測点1、2、7、8が隆起する傾向を示した。高低変位量は、+4mm～-4mm程度であったが、緩やかな変状であり、軌道整備を行ない、警戒値を超えるような値は発生していない。通り変位は、+1mm～-1.5mm程度の範囲であった。

4. 施工事例（事例2）

(1) 工事概要

施工概要図を図-11に示す。本工事は、JR線の線路下に歩道を非開削工法により新設する工事である。ボックスの寸法は、外寸で幅4.54m×高さ3.72m×延長11.0mで、内空は、幅3.5m×高さ2.7mである。地質条件は、盛土および凝灰質粘土で、N値は10程度線路と歩道の交差角は、60°程度である。土被りは1700mm程度である。

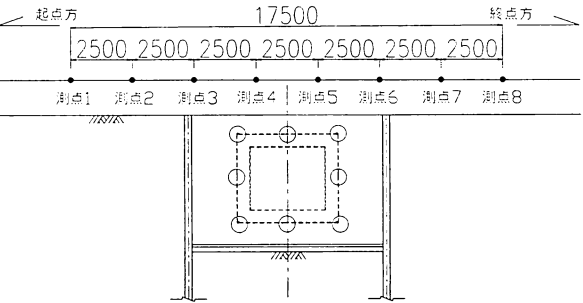


図-8 軌道計測箇所

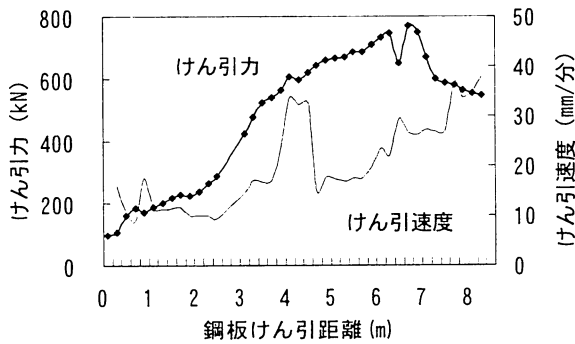


図-6 けん引力とけん引速度の関係
(下床鋼板挿入時)

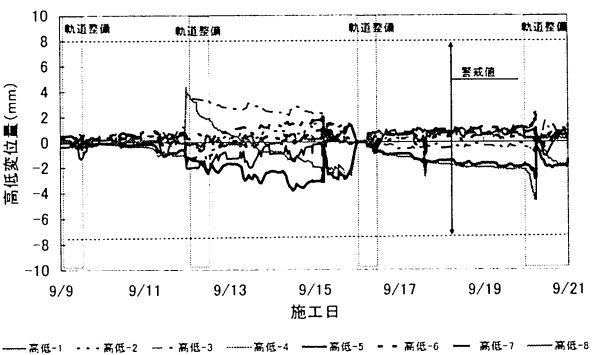


図-9 軌道変位（高低）

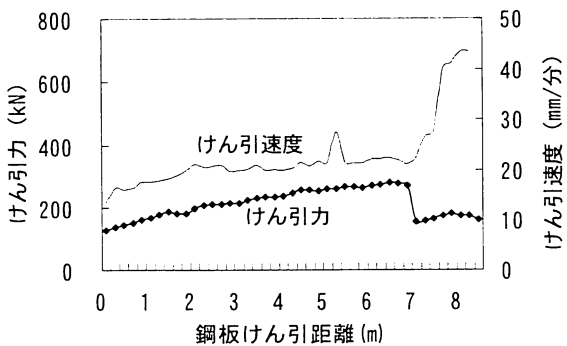


図-7 けん引力とけん引速度の関係
(側壁鋼板挿入時)

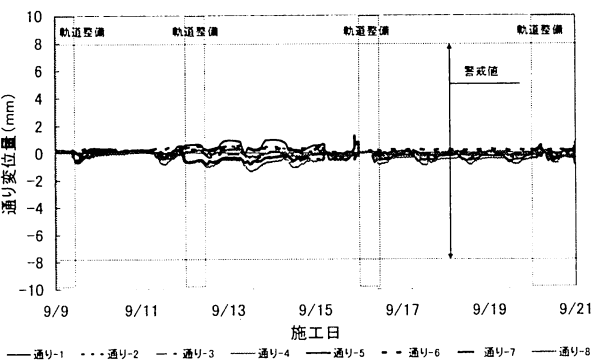


図-10 軌道変位（通り）

(2) 改善点

事例1の施工結果において、上床鋼板の沈下発生したため、事例2の施工にあたっては、以下に示す項目に着目し、改善することとした。

a) 防護鋼板の施工順序の見直し

当初は、上床→側壁上部→下床→側壁下部の順で施工したが、下床鋼板の施工により上床鋼板が沈下したため、上床鋼板より下鋼板を先行施工する下床→上床→側壁上部→側壁下部の順序に変更した。

b) 切削ワイヤーの数の変更

当初は、挿入する鋼板の厚さ(t=22mm)を考慮し、後行ワイヤーは11mm×2段とし切削していた。変更後は、切削幅を小さくし、また施工中にワイヤーが交差し、切削不能となることを防止し、かつワイヤーによる引き込み土量を少なくするため、本数は1列の11mm×1段とした。

c) ガイドプーリーの構造変更

けん引には、PC鋼棒を用いていたが、けん引途中で盛替えが発生し、作業の一時中断が発生していた。盛替えを無くし、施工性およびけん引速度の向上を図るためPC鋼線に変更した。さらに、ガイドプーリーに連結するPC鋼線の位置を下部から上部に変更し、塩ビ管の下部に開口を設け、切削土砂の排土を

(3) 改善後の施工結果

改善後の施工結果は、改善前(=事例1)と改善後(=事例2)の比較結果について示す。

a) けん引力とけん引速度

図-12、図-13にそれぞれ改善前後のけん引力とけん引速度の比較図を示す。けん引力は、事例1の下床鋼板施工時に切削機械のトラブルが発生し、大きな値を示しているが、下床鋼板以外については、事例1、2で大きな差は見られなかった。事例2のけん引力は、230～350kNを示しており、事例1に比べ各鋼板ごとのばらつきも小さくなり、施工性の向上が図られた。事例2のけん引速度は、各鋼板とも事例1より向上しており、平均で20～30mm/min程度となっている。事例1に比べ、全鋼板の平均で35%程度の速度向上が見られた。

b) 軌道変位計測

図-14、図-15にそれぞれ上床鋼板施工時の軌道変位（高低・通り）の推移を示す。図-16に軌道計測及び鋼板計測箇所を示す。軌道計測は、2.5m間隔に5測点、鋼板計測は、1m間隔に7測点で測定した。事例1同様に鋼板施工箇所の直上の変位が沈下傾向を示し、端部は隆起傾向を示している。緩やかな軌道変状であったため、軌道整備を定期的の実施対

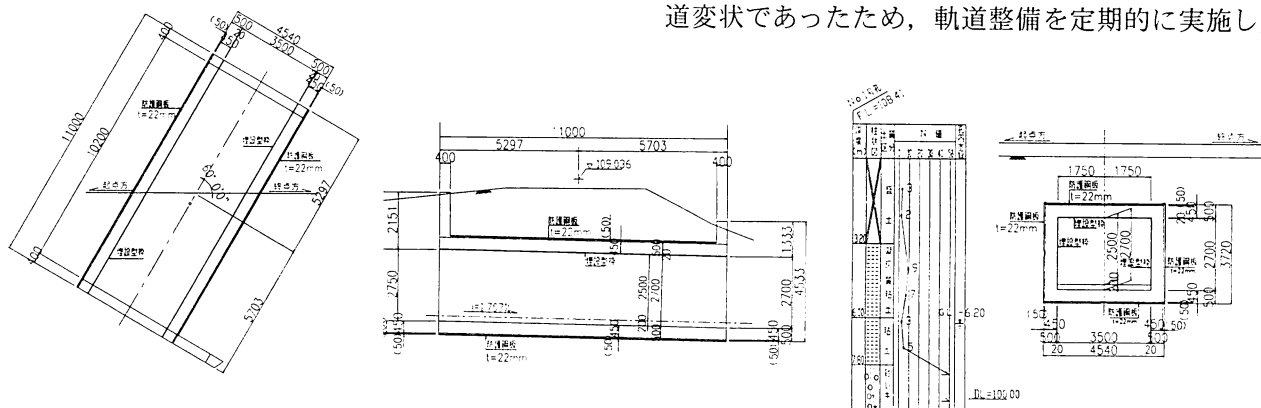


图-11 施工概要图 (事例 2)

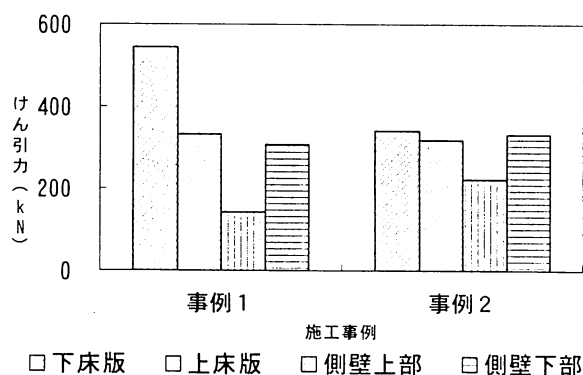


図-12 けん引力の比較（事例1、事例2）

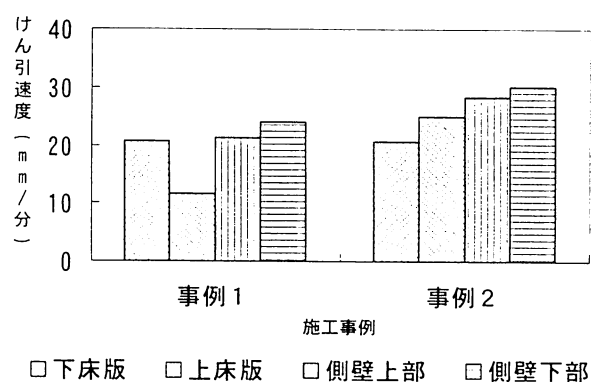


図-13 けん引速度の比較（事例1、事例2）

応した。なお、ワイヤーが破断するトラブルもなく順調に施工できた。

c) 上床鋼板の挙動計測

図-17に上床鋼板の挙動計測結果を示す。事例2の上床鋼板の挙動計測は、下床鋼板→上床鋼板の順で施工したため、側壁鋼板施工時の値を示している。事例1では、下床鋼板から側壁下部鋼板を挿入時に大きな沈下が発生していたが、事例2は、上床鋼板の変形量は+2mm～-1mm程度と小さく、改善の効果があったと考えられる。

5. まとめ

小断面の横断構造物を対象とした非開削工法を開発し、2件の現場に採用した。また、事例2の施工にあたり、施工順序の変更やけん引設備の改善を行ない、大きな軌道変状を発生させずに、施工を完了できた。改善効果としては、施工性の向上および切削速度の向上による軌道変状のリスクの低減が図れた。2件の施工結果より以下のことが得られた。

- (1) 防護鋼板の挿入に伴う軌道への影響は、緩やかな変状はあるが、軌道整備を行なうことで対応可能である。
- (2) 施工順序は、下床→上床→側壁上部→側壁下部

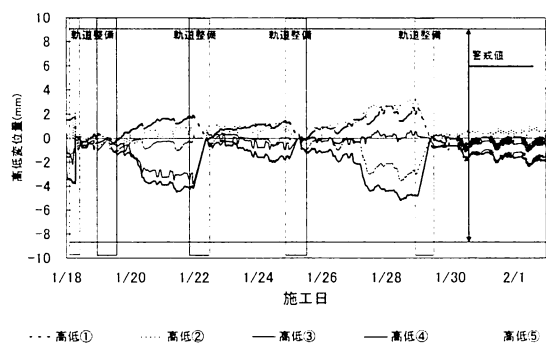


図-14 上床鋼板施工時の高低変位 (事例2)

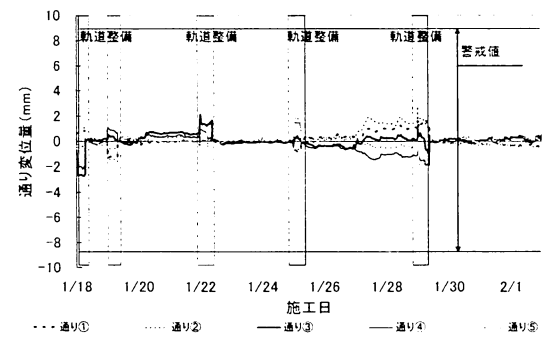


図-15 上床鋼板施工時の通り変位 (事例2)

の順に施工することにより上床鋼板の沈下の影響をより小さく抑えることが可能である。

(3) 切削ワイヤーは、1列 (11mm×1段) で施工したほうが、軌道への影響が少なくなった。また、けん引速度が向上し、けん引力のばらつきも小さくなり、施工性の向上が図れた。

今後は、今回得られた知見を次の施工現場へ反映し、安全で品質のよい横断構造物の構築に努めていく。また、COMPASS工法においては、さらなるコストダウンを図り、競争力の高い工法に改良を重ねていく所存である。

参考文献

- 1) 有光, 長尾, 五十嵐: 地盤切削を用いた小断面ボックスカルバートの構築 (その1), 土木学会第59回年次学術講演会, VI-217, 2004年9月
- 2) 安保, 有光, 五十嵐: 地盤切削を用いた小断面ボックスカルバートの構築 (その2), 土木学会第59回年次学術講演会, VI-218, 2004年9月
- 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年11月

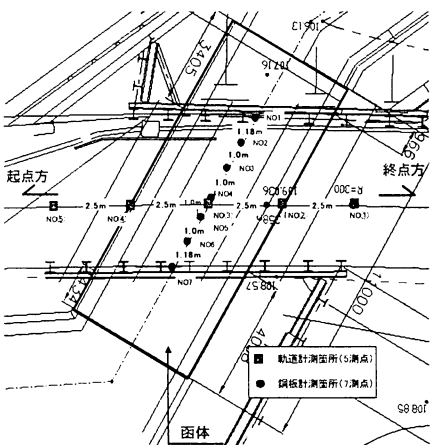


図-16 軌道および上床鋼板計測箇所

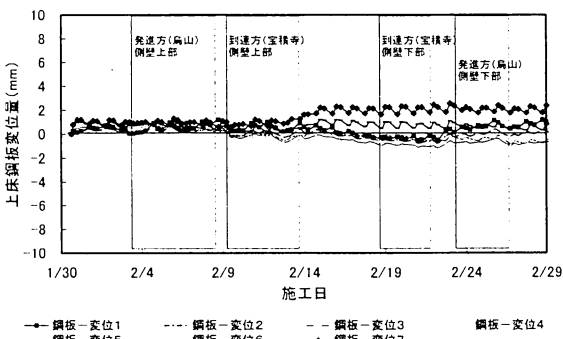


図-17 上床鋼板の挙動 (事例2)