地盤切削機構を有する小断面ボックス推進工法の施工事例

本柳　亮[1]・本田　諭[2]・高山　真揮[3]・光本　英士[4]

[1]JR東日本　構造技術センター（〒163-0231 東京都新宿区西新宿二丁目6番1号 新宿住友ビル31階）
E-mail:r-motoyanagi@jreast.co.jp

[2]正会員　JR東日本　構造技術センター（〒163-0231 東京都新宿区西新宿二丁目6番1号 新宿住友ビル31階）
E-mail: hondas@jreast.co.jp

[3]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: masaki-takayama@tekken.co.jp

[4]鉄建建設株式会社　東北支店（〒980-0014 宮城県仙台市青葉区本町1-12-7 三共仙台ビル4階）
E-mail: eiji-mitsumoto@tekken.co.jp

従来の線路下横断構造物を改良した工法が開発された．開発された工法は，地盤切削ワイヤにより地盤を切断することにより，従来工法と同様に地表面上の変位を抑制することができ，刃口姿勢を制御し方向を修正しながら掘進することが可能である．また，従来工法では刃口回収のために立坑スペースの確保が必要であったが，刃口を分割構造にすることで狭隘条件下でも施工が可能になった．この工法が今回初めて実施工に適用され，施工中の計測結果から地表面への影響が小さく，列車運行に対する安全性を確認した．施工精度については，掘進初期に沈下傾向であったが，所定の出来形を満足できることを確認した．

Key Words :*non-open cut method,small section underground structure,ground cutting wire saw*

1.　はじめに

非開削による小断面ボックスカルバート（以下，函体という．）の構築工法のひとつに，地表面の変状を抑制するため，地盤切削ワイヤを用いて，函体の外周の地盤を切削しながら防護鋼板を引き込んだのち，防護鋼板内部を函体掘進する工法（以下，従来工法という．）がある．従来工法には施工延長および到達立坑スペースに制約があり，これらの課題を解消するため改良した鋼板省略・函体推進タイプ（以下，本工法という．）を開発し，初めて実施工に適用した．本稿では，その工事概要，施工計画および，その施工実績について報告する．

図-1　位置計画図

図-2　施工箇所全景

2.　工事概要

(1)　概要

宮城県多賀城市流域関連公共下水道事業において，浸水被害解消を目的に，六貫田雨水幹線事業が行われている．**図-1**に計画位置図を示す．本工事はこのうち，仙石

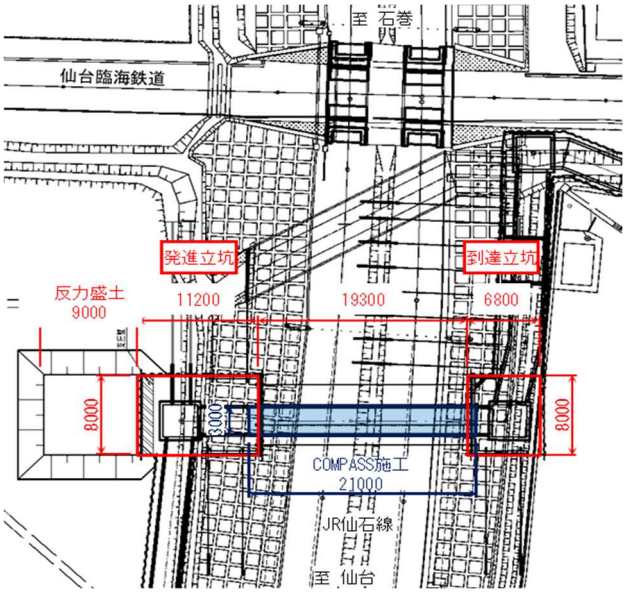

図-3　平面図

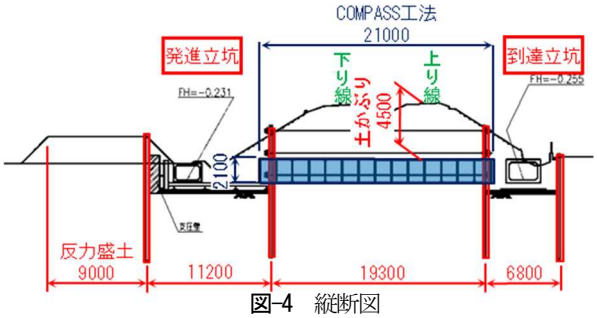

図-4　縦断図

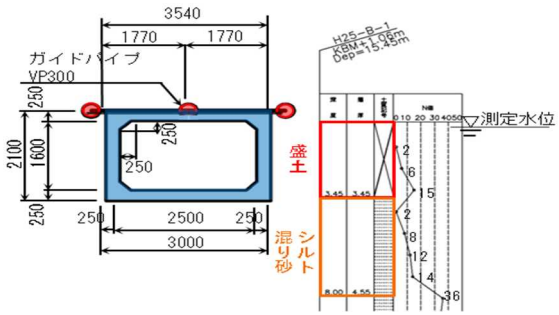

図-5　断面図

線の線路下を横断する水路を構築するものである．

図-2に施工箇所全景を示す．立坑構築などの仮設工が終わり，線路下横断部分を施工する直前の状況である．

(2)　主要寸法

図-3 に平面図，図-4 に縦断図，および図-5 に断面図と柱状図を示す．函体の延長は21.0mである．函体断面は 1 層 1 径間，内空断面は幅 2.5m，高さ 1.6m，部材厚は上床版，下床版，側壁ともに 250mm，1 ブロックの部材長は 1.5m である．

発進立坑の寸法は11.2×8.0m，到達立坑の寸法は6.8×8.0mである．発進立坑側にはボックス推進に必要な反力盛土を設置している．また，発進立坑側は雨水管路の上流側となる．到達立坑側は立坑設置箇所の近くにマンションがあり，作業スペースに制約がある．発進側からの掘進は0.8‰の下り勾配となっている．

(3)　地盤条件

施工箇所は鉄道盛土両側の法尻付近で，T.P.+1.0m程度の沖積低地に位置する．土かぶりは施工基面高より4.5mである．函体を掘進する盛土部は，平均N値7程度であり，地下水位はボックス上床版付近の高さであった．

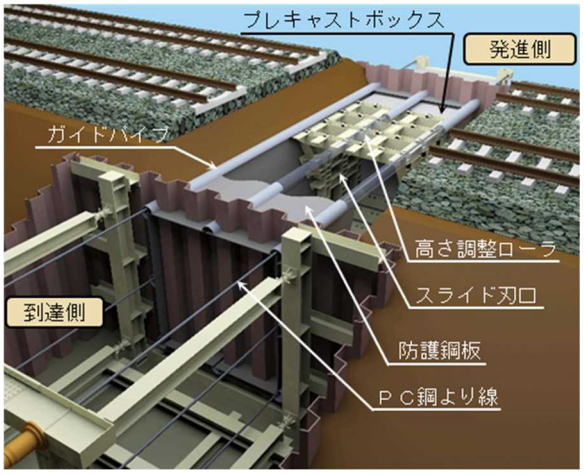

図-6　従来工法の施工概要図

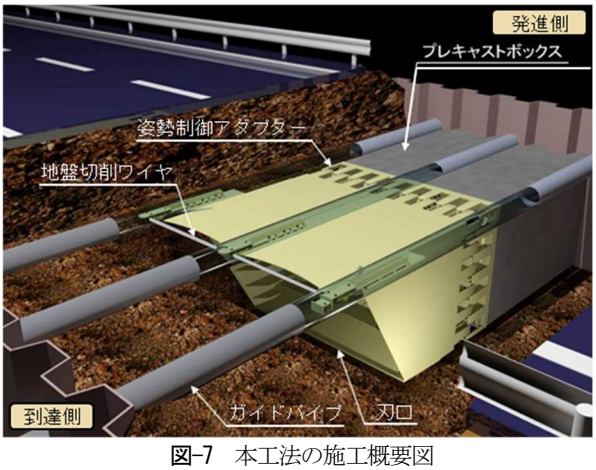

図-7　本工法の施工概要図

3．施工計画

(1)　本工法の概要

図-6 に従来工法の施工概要図を示す[1)2)]．従来工法は地表面の変状を抑制するために，地盤切削ワイヤで地盤を切削しながら鋼板（以下，防護鋼板という．）を先行挿入し，全周の防護を行う．その後，防護鋼板で囲まれた内部を掘削しながら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いう．）を掘進（けん引あるいは推進）して函体の構築を行う工法である．

従来工法の課題として，到達立坑側に設置した地盤切削装置ユニットにより地盤切削ワイヤを回転させるため，この機械能力から地盤切削ワイヤの長さに限界があり，施工延長が約 20m に制限されていた．また，到達立坑側でスライド刃口を回収するスペースが必要なため，到達立坑に一定面積が必要となり，狭隘な施工条件下では適用が困難であった．

そこで，地表面の変状に対するリスクを抑えながら小断面函体を構築する工法として，従来工法の利点を生かしたまま，これらの課題を解決した鋼板省略・函体推進タイプを開発した [3]．本工法の施工概要図を**図-7** に示す．**図-8** に施工模式図を，**図-9** に施工手順図を示す．

本工法の主な特長は次のとおりである．

①刃口のルーフ先端に装備した地盤切削ワイヤを回転させ支障物を切断しながら掘進する（以下，地盤切削機構という．）ことで，地盤切削ワイヤの切削溝に刃口より突出したルーフ（以下，先行ルーフという．）が先行貫入されるため，過度の取り込みによる地表面の陥没を防止する．また，刃口が支障物を押し込むことによる地表面の隆起を回避することができる．

②刃口本体に地盤切削機構を設置することで，施工延長を無制限化した．

③刃口および姿勢制御アダプターを分割解体可能な構造とすることで，到達立坑の大きさに制限がある場合においても刃口の回収を可能とした．

(2) 補助工法の検討

本工法では，掘進作業中に刃口切羽面が開放されることから，切羽面の崩壊を防ぐために，刃口より突出した先行ルーフを地盤切削ワイヤに追従して地盤に貫入させる仕様としている．しかし，本工事では刃口面の地盤が緩い砂質土であるため，切羽面での土砂崩壊の発生が懸念された．そこで，切刃面の円弧すべりに対する安定検討を実施した．検討断面を**図-10** に，検討結果を**表-1** に示す．円弧すべりに対する照査式を式(1)とした．

$$F_s = \frac{M_R}{M_D} = \frac{f_{rs} \cdot \Sigma(cL + W\cos\alpha\tan\varphi)}{\Sigma W \sin\alpha} \qquad (1)$$

ここに，

F_s：安全率

M_R：抵抗モーメント(kN･m)

M_D：滑動モーメント(kN･m)

f_{rs}：抵抗係数，W：スライス重量(kN/m)

α：スライス底面の角度(°)，φ：内部摩擦角(°)

c：粘着力(kN/m^2)，L：スライス底面の長さ(m)

計画安全率は 1.20 とし，抵抗係数は施工時の 0.83 を

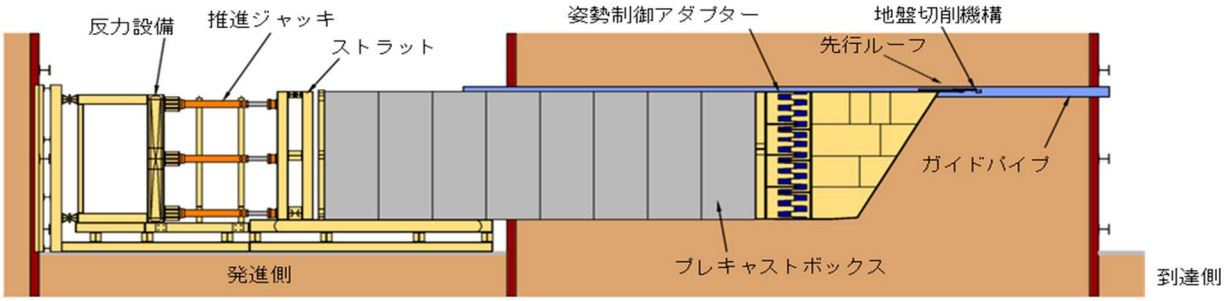

図-8 施工模式図

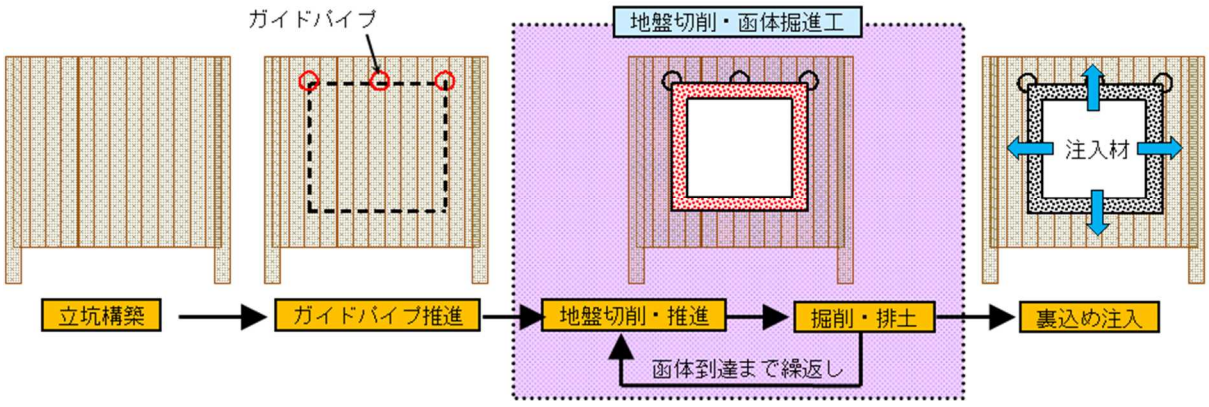

図-9 施工手順図

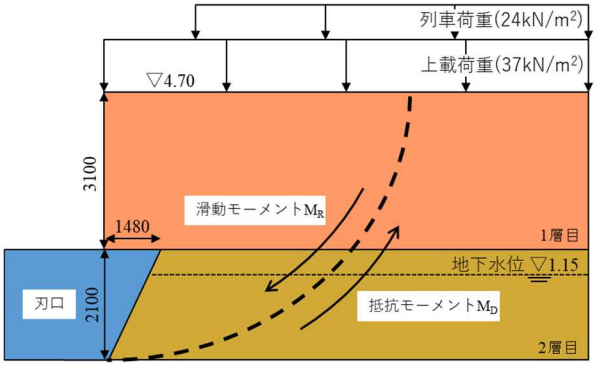

図-10　円弧すべりに対する安全検討断面

表-1　円弧すべりに対する安全検討結果

		地盤改良前	地盤改良後
土質条件（1層目）	C（kN/m2）	0.0	0.0
	φ（°）	30.0	30.0
土質条件（2層目）	C（kN/m2）	0.0	100.0
	φ（°）	30.0	30.0
抵抗モーメント	MR(kN・m)	27.7	4655.9
滑動モーメント	MD(kN・m)	212.8	3062.4
安全率		0.13	1.52
判定		NG	OK

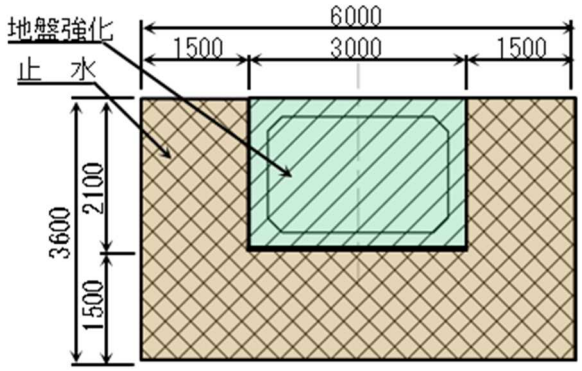

図-11　薬液注入工の断面図

用いた[4]．結果，円弧すべりに対する安全率は 0.13 となったため，掘削断面に地盤強化を目的とした薬液注入を計画した．薬液注入による効果は，粘着力を 100kN/m² とすることとした．地盤強化後の円弧すべりに対する安全率は 1.52 となり，切羽面が安定することを確認した．

また，地下水位が高いことから，刃口内部への地下水流入を防ぐために止水目的の薬液注入を計画した．薬液注入工の断面図を**図-11** に示す．薬液注入範囲や注入率（止水：43%，地盤強化：36%）については，注入目的に応じて設定した[5]．

(3)　軌道監視

軌道監視方法は，施工範囲全体に渡る緩やかな変状を把握するため，施工範囲全体の軌道の動きを施工期間中継続的に監視する「全体監視」，およびプレキャストボックス上部で発生する可能性がある急激な変状を把握するため，「重点監視」を計画した[5]．全体監視の管理値は**表-2** による[6]．重点監視は，函体推進作業時にプレキャストボックス上部の計測を行った．管理値は，当夜作業開始時からの変位で 3mm とした．推進中に 3mm を超えた場合は，一時作業を中断し，軌道工による軌道検測，および必要に応じて軌道整備を実施する計画とした．

表-2　全体監視管理値

	警戒値（α x0.4）	工事中止値（α x0.7）	限界値（α）
高低	±6	±11	±17
通り	±6	±11	±17
水準	±7	±12	±18

※限界値(α)は整備基準値

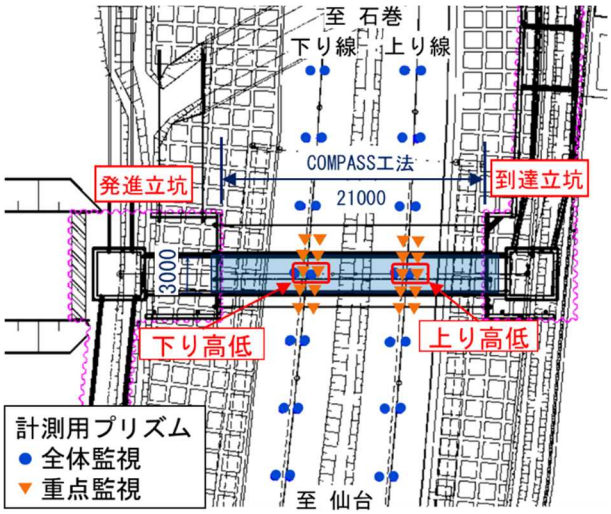

図-12　計測用プリズム設置平面図

図-12に計測用プリズムの設置平面図を示す．本工事では，上下線軌道の左右のレールの側面に計測プリズムを設置し，トータルステーションにより自動で計測を行った．

4．施工結果

(1)　函体推進工

函体推進状況を**図-13**，内部掘削状況を**図-14** に示す．補助工法として施工した薬液注入により，切羽の自立性は良好であった．今回は断面が小さいことから人力のみによる掘削とした．また，日々の作業終了時は切羽崩壊の防止のため，切羽に横矢板で土留めを行った．

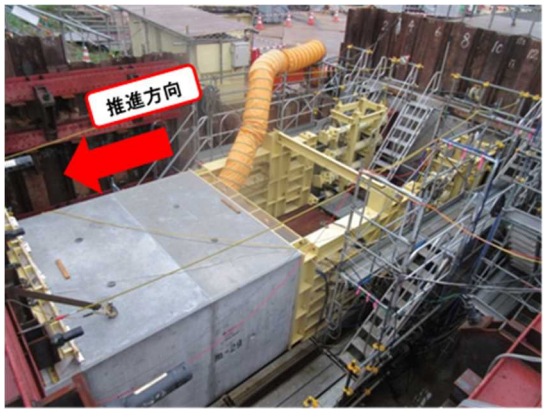

図-13　函体推進状況

図-14　内部掘削状況

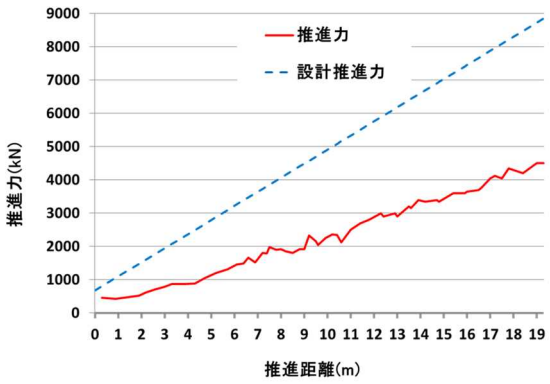

図-15　推進力の計測結果

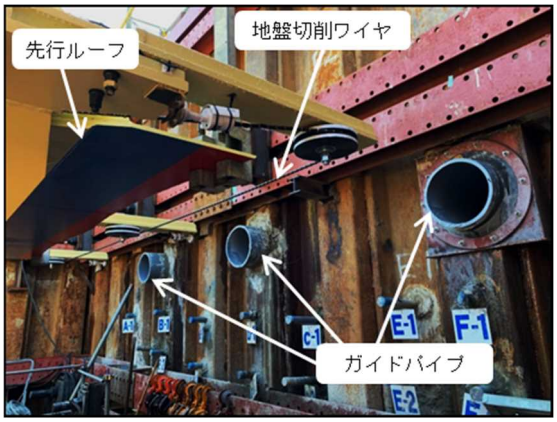

図-16　刃口先端ルーフ

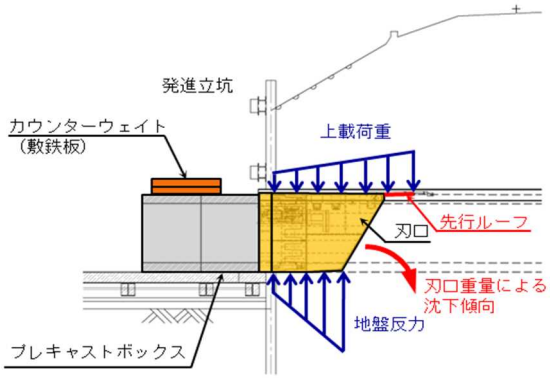

図-17 沈下傾向の概念図

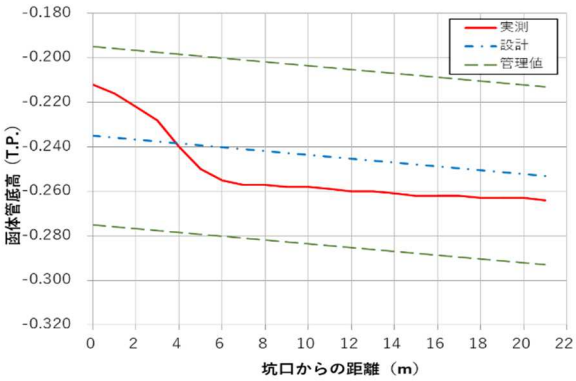

図-18　プレキャストボックスの出来形図

図-15 に推進力の計測結果を示す．最大約 9,800kN の計画であったが，実際は最大で約 4500 kN であり，推進ジャッキの能力内での施工を行うことができた．

(2)　施工精度

図-16 に先端ルーフ，図-17 に沈下傾向の概念図を示す．本工法では，刃口先端の先行ルーフが突出しているため，刃口への上載荷重が偏心して下方地盤に伝わる．また，刃口内に駆動機械を設置している影響により，刃口重量が重く沈下が想定された．そこで，施工では発進立坑において，刃口およびプレキャストボックスを 30mm 高く設置して発進した．また，沈下傾向の抑制対策として，プレキャストボックスにカウンターウェイトとして敷鉄板を設置した．

図-18 にプレキャストボックスの出来形図を示す．函体推進初期に想定されていたように沈下傾向が確認されたが，刃口の姿勢制御により，基準高の管理値である±40mm 以内で施工することが可能であった．

(3)　軌道に対する影響

図-19に軌道変位の計測結果を示す．プレキャストボックス直上の上下線軌道の計測点について，左縦軸に軌道（高低）の計測結果，横軸に実作業日数を示した．また，右縦軸を推進距離とし，推進距離と実作業日数

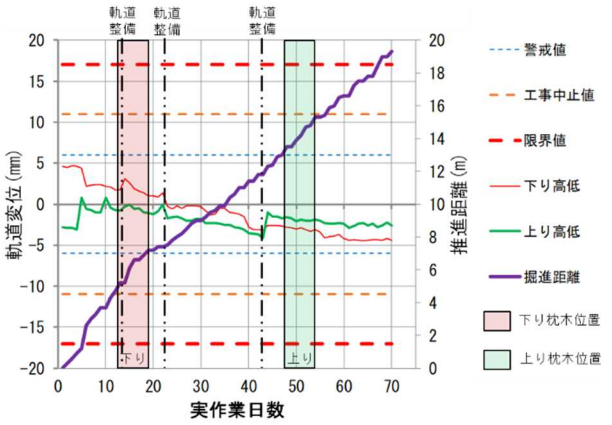

図-19　軌道変位の計測結果

の関係も合わせて示した．図中の網掛けは，上下線軌道のまくら木の直下に刃口先端が位置していた期間を示した．函体推進作業中，軌道が緩やかに沈下していることが確認された．なお，計測値が急激に変化している箇所は軌道整備を実施した作業日である．軌道整備を行いながらではあるが，全体監視による結果では，軌道変位は10m弦でおおむね5mm以内で推移し，警戒値を超えることはなかった．また，重点監視による結果では，日々の施工において軌道変位が3mmを超過する変状は生じなかった．以上のことより，軌道への影響は小さいことが確認できた．

5.　おわりに

本工事において従来工法を改良，発展させた新たな工法を開発し，初めて実施工に適用した．適用に際し，施工条件や地盤条件を勘案して，軌道計測や補助工法等の施工計画を立案した結果，出来形は所定の管理値を満足することができた．また，軌道への影響を抑え安全に函体掘進が行えることを確認した．

本工法は，従来工法の利点である地表面の変状を抑制することによりリスク低減が図れ，かつ施工延長や狭隘スペースといった課題を解消した．本工法は鉄道工事にかかわらず，同種の課題を抱える非開削工法による小断面函体構築工事に適用することが可能である．

参考文献

1) 清水満，藤沢一，栗栖基彰，鈴木尊，長尾達児：新しい小断面地下構造物の構築工法の開発，トンネル工学報告集，第14巻，pp.413-419，2004.11
2) 西村知晃，唐戸裕二，栗栖基彰，鈴木勇造：3mの土かぶりで地盤切削ワイヤーを用いた非開削工法により小断面函体を構築，トンネルと地下，Vol.48，No.3，pp.7-16，2017.3
3) 郡司圭悟，本田諭，齋藤貴，中村征史，長尾達児，桑原清：地盤切削機構を有する小断面ボックス推進工法の開発，トンネル工学報告集，第26巻，IV-1，2016.11
4) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説土構造物，2013.6
5) 東日本旅客鉄道：設計マニュアルⅦ　仮設構造物編　注入の設計マニュアル，2015.7
6) 東日本旅客鉄道：設計マニュアルⅣ　地下・トンネル構造物編　非開削工法設計施工マニュアル，2020.6

（2020.8.7受付）

THE NEW JACKING METHOD FOR CONSTRUCTION OF A SMALL SECTION UNDERGROUND STRUCTURE APPLIED FOR THE FIRST TIME TO ACTUAL CONSTRUCTION

Ryo MOTOYANAGI, Satoshi HONDA, Masaki TAKAYAMA
and Eiji MITSUMOTO

It was developed a new construction method fo constructing a small section structure under railway tracks by non-open cut method.It was developed by improving the COMPASS method.It has the following 3 characteristics;1) Ground surface displacement is reduced by a groud cutting wire saw in front of a cutting edge. 2) the cutting edge achieves detailed excavation control by The depth to scrape. 3) Vertical shaft space is minimized by a dividable structure of the cutting edge. As a result of the first time actual construction,we confirmed this method was safe and accurate.