

地盤切削ワイヤを使用した小断面ボックスの 非開削施工

COMPASS 工法（地盤切削・函体掘進タイプ）の開発と適用

矢 島 岳・光 本 英 士

道路や鉄道の下にアンダーパスを構築する場合、R&C 工法や HEP&JES 工法に代表される非開削工法が採用されてきた。近年では、歩道や水路用の小断面アンダーパスの需要が高まっているが、先述した工法は大断面施工を対象に開発されており、小断面施工に対しては過剰な仕様となってしまう。COMPASS 工法（COMPAct Support Structure method）は小断面施工を対象に開発された非開削工法であるが、施工方法に起因する適用範囲の制限があった。そこで、適用範囲を拡大すべく COMPASS 工法（地盤切削・函体掘進タイプ）（以下「本工法」という）の開発を行った。本稿では本工法の特長および実施工の結果について報告する。

キーワード：アンダーパス、非開削工法、小断面施工

1. はじめに

近年、都市交通の過密化や集中豪雨等の雨水浸水対策やバリアフリー化に向けて、線路や道路下を横断する小断面ボックスを施工する需要が増加している。

線路や道路下の短いトンネルを構築する工事では、直上部の線路や道路への影響を最小限にするため、多くの場合で非開削工法が採用されている。しかし、R&C 工法や HEP&JES 工法に代表される従来の非開削工法は、車道ボックスのような大断面の施工を目的に開発されているため、小断面施工に対しては仮設備や規格が過剰な仕様となっており、コストが増加する要因となっていた。

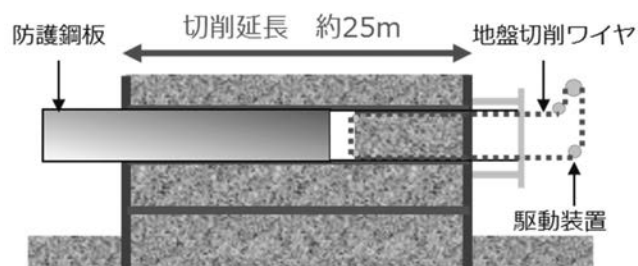
本工法は、小断面の人道や、水路ボックスカルバートなどの構造物の構築を目的に開発された非開削工法である¹⁾。パイプルーフ等の大掛かりな防護工を必要としないため、コストを低減させつつ低土かぶりでも施工できる工法となっているが、施工延長に制限があるため適用範囲が限られていた。この課題を解決するために本工法を開発し、実施工を行った。本稿では本工法の特長および実施工の結果について報告する。

2. 従来型 COMPASS 工法の概要

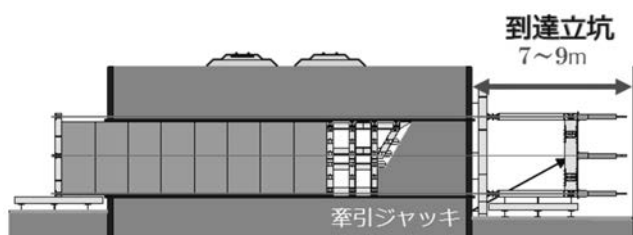
従来型 COMPASS 工法（以下、従来工法という）は、地表面の変状を抑制するために、図一 1 に示す施工概要図²⁾のように、地盤切削ワイヤで地盤を切削し

ながら鋼板（以下、防護鋼板という。）を先行挿入しボックスカルバート全周の防護を行う。その後、図一 2 に示すように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、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。防護鋼板を地盤切削しながら挿入することから、支障物等に起因する地表面の隆起及び陥没のリスクを大幅に軽減することが可能な工法となっている。

従来工法の課題として、到達立坑側に設置した地盤



図一 1 従来工法鋼板挿入概要



図一 2 従来工法掘進概要

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度があり長距離の施工ができず、施工団体延長が約25 mに制限されていた。また、従来工法では到達立抗側でスライド刃口を回収するスペースが必要なため、到達立坑に一定の面積が必要となり、狭隘な施工条件下では適用が困難といった課題があり、適用範囲上の制約となっていた。

3. 本工法の開発

従来工法の利点を生かしつつ先述の課題を解決するために、新たに3つの機能を備えた本工法を開発した³⁾。工法概要を図一3に施工形式図を図一4、刃口図面を図一5、6に示す。3つの機能については以下のとおりである。

(a) 地盤切削機構

刃口先端に装備された地盤切削ワイヤにより地盤を切削し、その切削溝に刃口上床の突出部分（先行ルーフ）を挿入しながら掘進することで、切羽の安全性を確保して作業することができる（地盤切削機構）。また、支障物等も地盤切削機構により支障部分のみを切断・取込みできるため、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。また、刃口本体に地盤切削機構を収納することで、施工可能

延長を無制限化した。

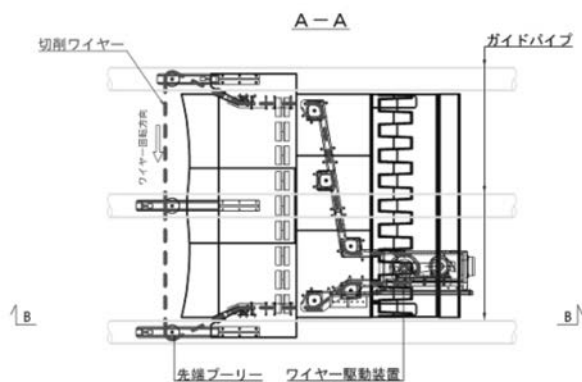
地盤切削ワイヤは $\phi 5$ mmの高張力鋼ワイヤを素線として、ダイヤモンドチップが焼結されたビーズを一定間隔に圧着し、表面は耐熱ゴムで被服された構造となっている。地盤切削は無水にて行うことから、切羽や地山に緩みを生じさせない。また、チップの磨耗やワイヤの破断等により交換が必要な場合は、刃口内部から交換作業を行うことができる。

(b) 姿勢制御アダプター

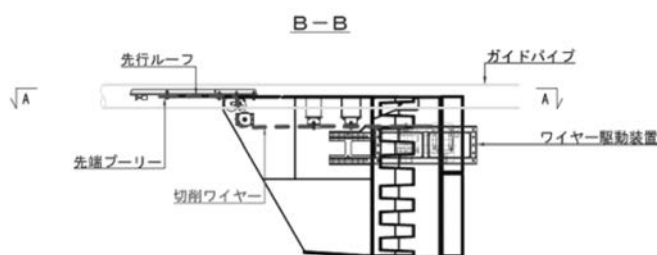
刃口と後続ボックス間に姿勢制御アダプターを設置することで、施工精度の向上と刃口姿勢修正時に発生する地表面変状の抑制を可能とした。姿勢制御アダプターはシールドマシンの中折れ機構のような仕組みになっており、アダプター内の上下に設置された油圧ジャッキのストローク差で刃口の角度を調整する。アダプターの伸縮部は櫛型の形状となっており、外部への開放面積を減少しているほか、外周に鋼版を設置し



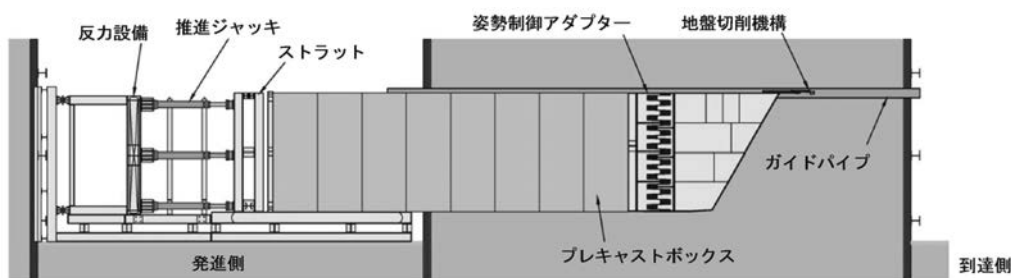
図一3 本工法施工概要



図一5 刃口平面図



図一6 刃口縦断面図



図一4 本工法施工形式図

土砂の流入を防止する。

(c) ピース構造の刃口

刃口および姿勢制御アダプターを分割解体可能なピース構造とすることで、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。また、ピース構造とすることにより解体作業は大型の揚重機械を必要とせず、チェンブロック等で分解することができる。ピースは刃口の大きさにもよるが1～2m程度の大きさであり、解体後は函体内を通して発進側へ送り出して回収することもできる。解体に必要な作業スペースは、奥行きが2～3m、幅は刃口幅+1～2mである。

上記特徴の副次的な効果として、従来工法では防護鋼板を函体全周に挿入するため、8本のガイドパイプを施工する必要があったが、本工法では地盤切削ワイヤを支持するプーリーを防護する目的で施工されるため、その必要本数は2～3本となっている。

以上の機能により従来工法で用いていた防護鋼板を施工する必要がなくなり、線路や道路直下での作業期間が短縮できるほか、ガイドパイプの施工本数も半数以下になることから、全体的な工期短縮も期待できる。

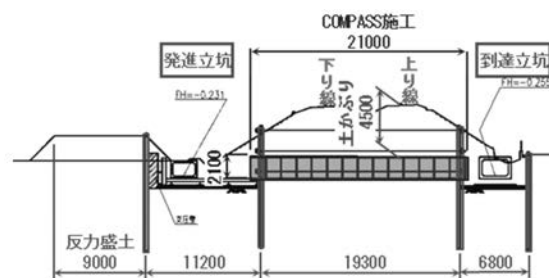
4. 現場への適用

(1) 全体概要

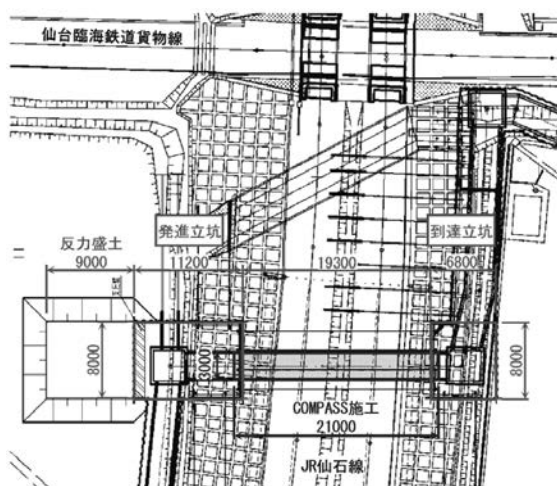
本工法が初適用されたのは宮城県多賀城市における雨水幹線の構築である。本工事は、宮城県多賀城市八幡地区の浸水被害解消を目的に、JR 東日本仙石線中野栄・多賀城間 11 k 308 m 付近において、線路下を横断する水路（RC ボックスカルバート：幅 3.0 m、高さ 2.1 m、延長 21.0 m）を非開削工法（COMPASS 工法）にて新設する工事である。写真—1 は立坑構築などの仮設工が終わり、線路下横断部分を施工する直前の施工箇所全景を表している。図—7～8 に縦断面図、平面図を示す。前項で示したように本工法の特



写真—1 適用現場全景



図—7 施工縦断面図



図—8 施工平面図

徴の一つに到達立坑を狭くできることが挙げられる。しかし、本工事では到達立坑に、外寸法 3.8 m × 3.8 m の特殊マンホールを設置するため、到達立坑の大きさはそれに即した寸法となっている。

本工法で構築する部分のおもな諸元は以下のとおりである。

構造形式：1 層 1 径間ボックスカルバート
構造寸法：幅 3.0 m、高さ 2.1 m、延長 21.0 m
土かぶり：4.5 m

(2) 施工状況

函体推進状況を写真—2、内部掘削状況を写真—3 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。本工法では、小型の建設機械による刃口内部からの掘削を想定しているが、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、列車運行時間外の夜間線路閉鎖間合いでの施工であることから、日々の作業終了時には切羽に横矢板による土留めを行い、作業休止時の切羽崩壊を防止した。

(3) 刃口管理

刃口の姿勢や推進ジャッキの操作、地盤切削装置の



写真一2 函体掘進状況



写真一3 内部掘削状況



写真一4 刃口制御パネル

操作や監視は、写真一4に示す1台の制御パネルに集約されている。

地盤切削装置はワイヤ速度、駆動電流値、シリンドーストロークで管理する。地盤切削ワイヤに常に適度な張力を持たせるため、エアシリンドー付きのプーリーで地盤切削ワイヤを緊張している。地盤切削時や支障物切断時は、地盤切削ワイヤのたわみによりシリンドーが押し込まれる。このときのシリンドーの変位量を監視することで支障物の有無や推進速度の調整を行う計画とした。しかし実施工では支障物がないことも

合いあまってシリンドーの変位はほとんど現れず、切削抵抗に起因する駆動電流値の増加のほうが鋭敏であることから、駆動電流値の上限を管理値として推進操作を行った。

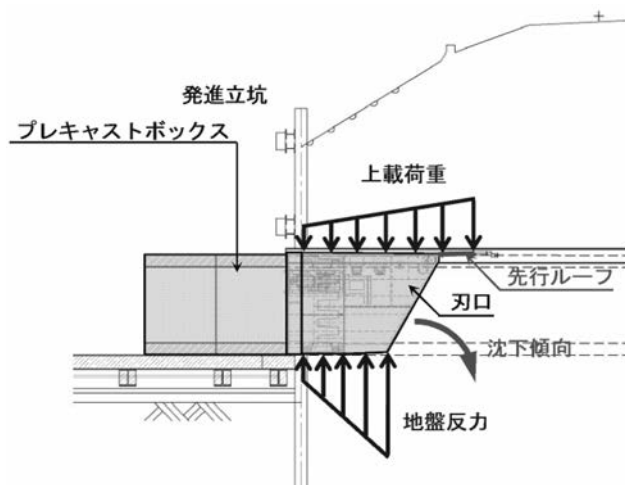
(4) 施工結果

(a) 施工精度

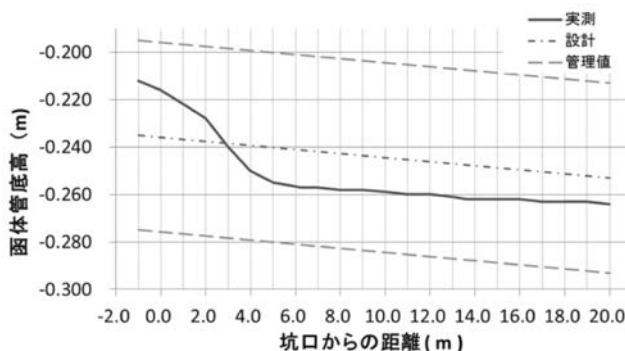
本工法では、刃口先端の先行ルーフが突出していることに加え、刃口側面に傾斜がついた形状をしていることから、図一9に示すように刃口への上載荷重が偏心して下方地盤に伝わると想定された。特に初期掘進時には設計勾配以上の沈下傾向が生じる恐れがあったため、施工では発進立坑において、刃口およびボックスを30 mm 上げ越して発進した。ボックス管底高の出来形図を図一10に示す。函体掘進初期には設計勾配以上の沈下傾向が確認されるものの、それ以降はほぼ設計勾配となっており、ボックス基準高の管理値である ± 40 mm 以内で施工することができた。

(b) 軌道に対する影響

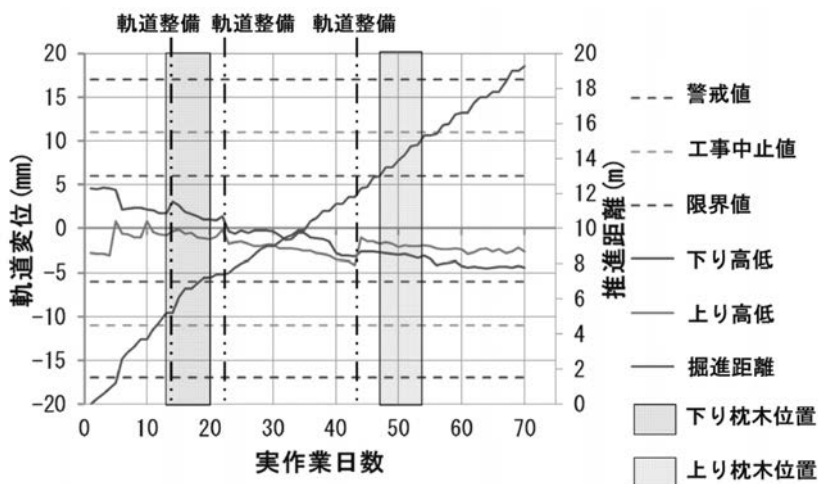
上下線軌道の全体監視における計測結果から、ボッ



図一9 上載荷重と地盤反力



図一10 ボックス管底出来



図一 11 軌道高低変位

クス直上の計測点について、各作業日ごとの軌道（高低）の計測結果に、作業終了時における刃口先端位置をプロットしたものを重ね合わせた図を、図一 11 に示す。図中の網掛けは、上下線軌道の枕木の直下に刃口先端が位置していた期間を表している。函体推進作業中、軌道が継続的に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、軌道変位は 10 m 弦でおおむね 5 mm 以内で推移した。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 3 mm を超過する変状は生じなかったことから、軌道への影響は小さいことが確認できた。



写真一 5 施工完了

J C M A

5. おわりに

従来の COMPASS 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結果、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。また、函体出来形も所定の管理値を満足するものであった。施工完了状況を写真一 5 に示す。本工法は、地表面に変状を与えないことでリスク低減が図れることから、鉄道工事にかかわらず、同種のリスクを抱える非開削工法による小断面のアンダーパス工事に適用が可能である。今後も実施工を重ね、本工法の更なる改良を目指していく。

《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: 3 m の土かぶり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

〔筆者紹介〕

矢島 岳 (やじま かく)

鉄建建設(株)

土木本部 地下・基礎技術部 地下構造グループ
課員



光本 英士 (みつもと えいじ)

鉄建建設(株)

東北支店 多賀城八幡作業所 所長 (当時),
千秋山崎作業所 所長 (現)

