

小断面アンダーパス工法の開発

清水 満¹・渡邊明之²・鈴木 尊¹・玄順貴史²
長尾達児³・栗栖基彰³・萩原義雄³・前田智宏³

¹正会員 東日本旅客鉄道(株) 建設工事事務部 構造技術センター (〒151-8512 東京都渋谷区代々木 2-2-2)

²正会員 東日本旅客鉄道(株) JR 東日本研究開発センター フロンティアサービス研究所
(〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町 2-0)

³正会員 鉄建建設(株) エンジニアリング本部 (〒101-8366 東京都千代田区三崎町 2-5-3)

近年、路線下横断構造物の構築においては、経済性および施工性等から非開削工法が多く適用されるようになった。しかし、各工法は道路トンネルのような比較的大断面を対象にしており、各工法の特性上大掛かりな路線防護工が必要なため、人道もしくは水路等の小断面構造物に適用した場合、不経済となってしまう。このため、地盤切削によって鋼板を挿入して簡易な路線防護工を施工し、小断面構造物を構築する工法を開発した。

経済的な小断面路線下横断構造物を構築することを目的として、これまで実証実験を実施してきた。本論文では本工法と実証実験のこれまでの経過を報告する。

キーワード：小断面アンダーパス・地盤切削・鋼板挿入・ワイヤーソー・COMPASS

1. はじめに

近年、都市計画では、営業する鉄道や道路を横断するアンダーパス構造物の設計・施工が増加している。このような中、人道や水路ボックスなどの比較的小断面の横断構造物の施工においても、大断面の車道ボックスを対象としたアンダーパス工法を適用することが多くあった。このため、構造物規模に対し、工法上必要となる上部交通防護工及び補助工法が過大となることや、構造物の部材断面が大きくなるなど、不経済となることが指摘されていた。そこで、合理的な構造断面を実現でき、従来工法と比較して経済性に優れた小断面立体交差構造物の構築工法として COMPASS (COMPAct Support Structure) 工法を開発した。ここでは、COMPASS 工法の実用化にあたり実施した一連の施工試験の結果について報告する。

2. 工法概要及び開発課題

(1)COMPASS 工法の概要

COMPASS 工法(図-1)は、計画構造物の外周の地盤を地盤切削ワイヤーにより切削し、その後方から防護用の鋼板を挿入したのち、防護用の鋼板で囲まれた内部を刃口を用いて掘削しながら支保工を建込み、その支保工を巻き込んでコンクリートを打設することにより、非開削で小断面の横断構造物(SRC構造)を構築する工法である。

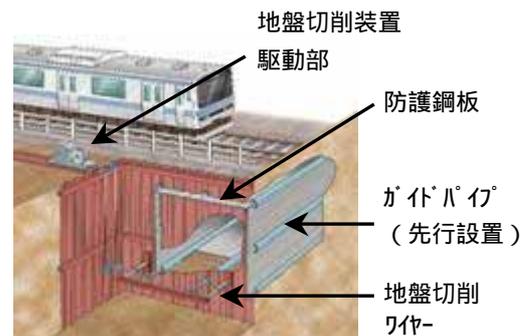


図-1 COMPASS 工法施工概要図

(2)地盤切削機構及び施工手順

本工法の地盤切削機構（図-2）は，一般的な切削で使用するワイヤー（11mm）を採用している．防護鋼板の板厚は22mmであるため，ワイヤーは先行1段・後行2段となるように取り回しをおこなっている．これにより，1段の先行ワイヤーで地盤を切削後，2段にセットされた後行ワイヤーで切削幅を広げ，防護用鋼板の挿入が可能となっている．ワイヤーの駆動は，到達側に設置されている地盤切削装置の主プリーの回転により行う．また，ガイドプリーとは別の台車に取り付けた鋼板をPC鋼棒を介して到達側に設置したジャッキによりけん引することにより，地盤内に鋼板を挿入する．施工手順を図-3に示す．

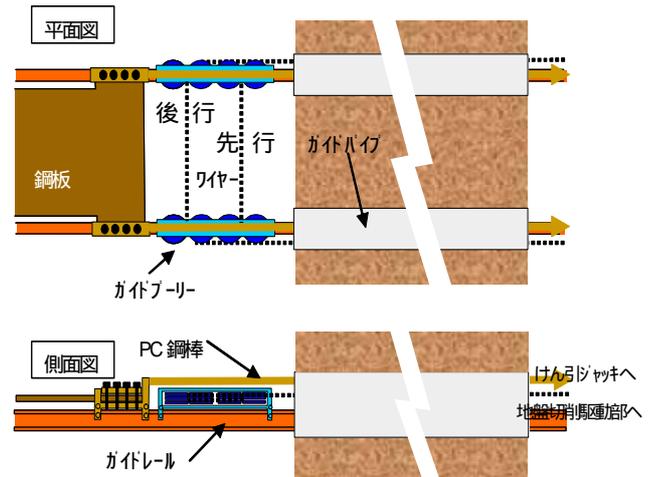
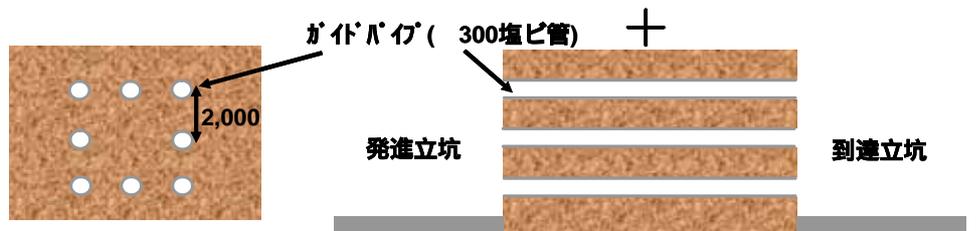


図-2 地盤切削機構詳細図

ガイドパイプ設置

切削装置走行用のガイドパイプを，小口径推進工法等により設置する．



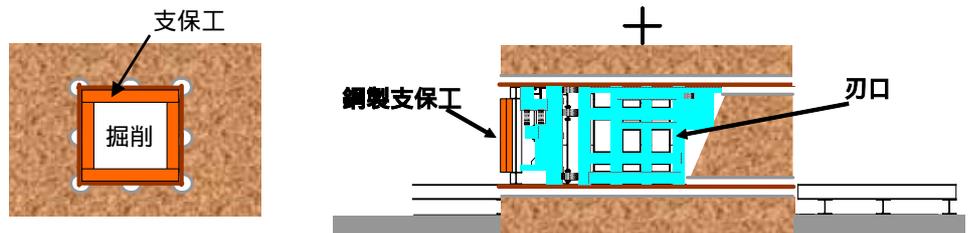
地盤切削・鋼板挿入

地盤切削ワイヤーにより地盤切削を行い，同時にその後方に鋼板をけん引挿入する．



掘削・支保工建て込み

鋼板により4辺囲まれた中を，刃口をけん引しながら掘削を行う．その後方で支保工の建て込みを行う．



コンクリート打設

下床版コンクリート打設後，型枠支保工を組み，側壁・上床版と順じコンクリートを打設する．

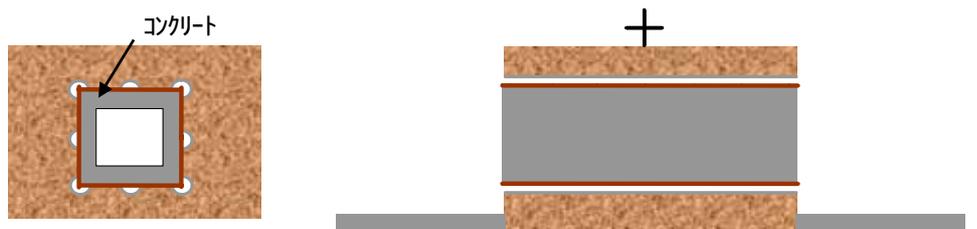


図-3 施工順序図

(3)開発課題

工法の実用化にあたっては以下の課題がある。

- a) 鋼板挿入時に地山と鋼板との摩擦や付着により上載土を水平方向に動かす恐れがある。
- b) 従来防護工（パイプルーフ等）に比べ、剛性の低い鋼板を防護工としているため、過大な鉛直変位が生じる恐れがある。
- c) 鋼板挿入は、礫や玉石等の障害物がある地盤でも行える必要がある。
- d) コンクリートは、鋼板および型枠に囲まれた閉空間に打設することになり、上床版コンクリートには自己充填が必要。

そこで、地盤切削・鋼板挿入試験、鋼板内部刃口掘削試験、上床版コンクリート打設試験を実施し、工法の実用性を確認した。

3. 地盤切削・鋼板挿入試験

(1)試験概要

試験概要を図-4に、試験状況を写真-1,2,3に示す。試験は、発進・到達立坑間(延長6.0m)に80~350mmの礫を20%混入させて作成した模擬地盤において、到達立坑脇に設置した地盤切削装置により地盤切削ワイヤーをけん引切削すると同時に、押し輪、ジャッキからなるけん引装置により鋼板のけん引を行った。

使用した鋼板は、幅2.0m、厚さ22mmである。鋼板は、上床、下床、鉛直(左右)の順序で挿入し、2.0m×2.0mの矩形に閉合させた。なお、作成した模擬地盤は、簡易動的コーン貫入試験を実施した結果、N値換算で概ね5程度であった。

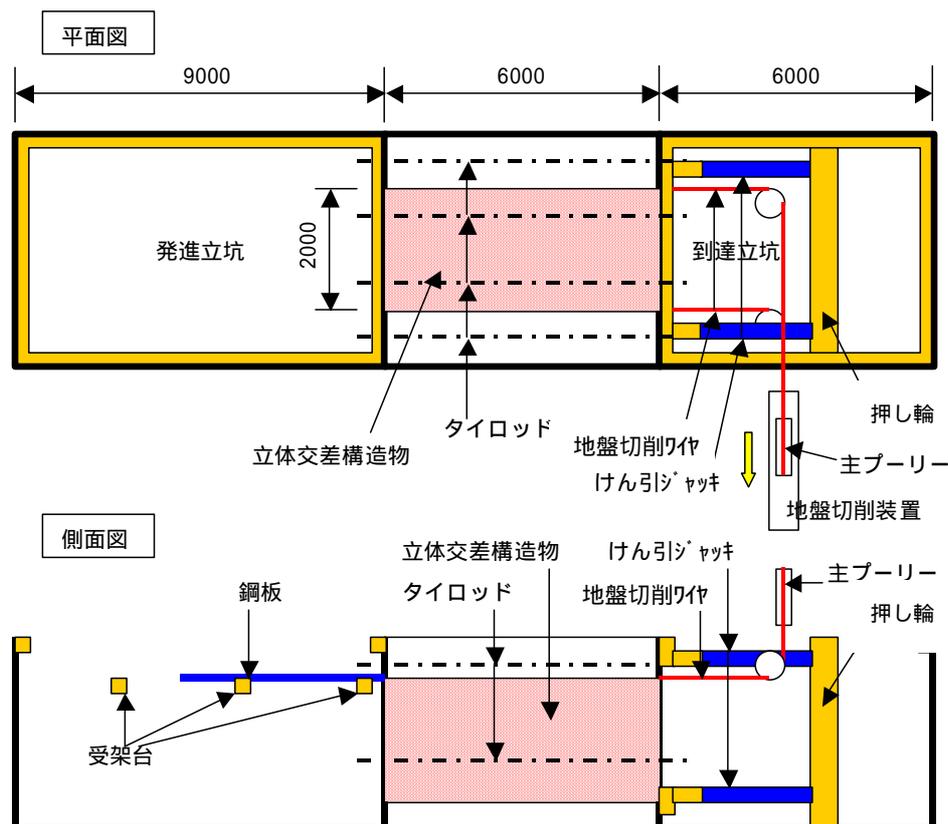


図-4 地盤切削・鋼板挿入試験概要図



写真-1 地盤切削・鋼板挿入試験状況（全景）



写真-2 地盤切削・鋼板挿入試験状況(発進立坑)



写真-3 ガイドプーリーと切削ワイヤー

計測は、鉛直および水平変位に加え、実施工において重要と考えられる施工管理項目についても実施した。本試験での計測項目を表-1 に示す。ここで、主プーリー軸トルクとは、地盤切削ワイヤーを回転させている油圧プーリーのトルク値のことであり、礫切削時や急激にけん引速度を上げた場合にトルク値が上昇する。図-5 に鉛直および水平変位の測定位置平面図を示す。なお、鉛直および水平変位は土被り0.3m の位置で測定している。

表-1 計測項目

計測項目	測定頻度	測定器
鉛直変位	上床	鋼板進度100mm毎
	その他	" 500mm毎
水平変位	上床	鋼板進度100mm毎
	その他	" 500mm毎
鋼板けん引力	鋼板進度100mm毎	ロードセル
鋼板けん引速度	"	ストローク計
主プーリー軸トルク	"	プーリー圧力計
ワイヤー走行速度	"	回転計

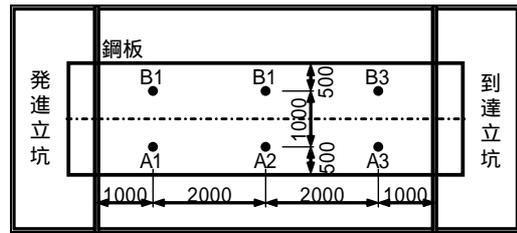


図-5 変位計測位置平面図

(2) 試験結果

a) 鋼板挿入状況

鋼板挿入完了時の状況を写真-4 に示す。礫により鋼板の挿入を支障されることなく、計画どおり鋼板を挿入、閉合することができた。また、地盤切削ワイヤーの破断なども生じなかった。



写真-4 鋼板挿入完了状況

b) 鉛直変位および水平変位

図-6,7 に上床鋼板挿入時の鉛直変位および水平変位を示す。水平変位は、到達立坑側への変位を正、発進立坑側への変位を負で表している。何れの結果も測定箇所によるばらつきは見られたが、鉛直変位は最大6mm、平均すると3~4mm程度の隆起が、水平変位は到達立坑側へ最大5mm、平均すると2~3mm程度到達立坑側へ変位が発生した。

なお、鉛直・下床鋼板挿入時には、鉛直・水平とも変位はほとんど見られなかった(図-8)。

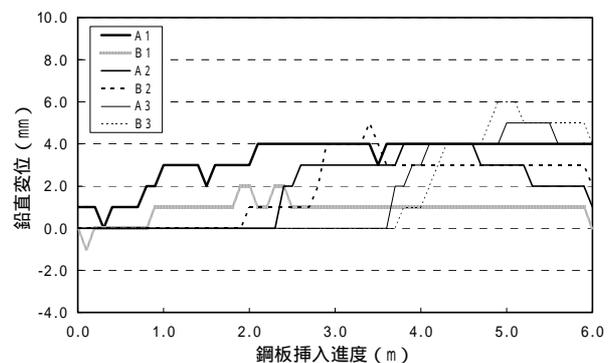


図-6 鉛直変位（上床鋼板挿入時）

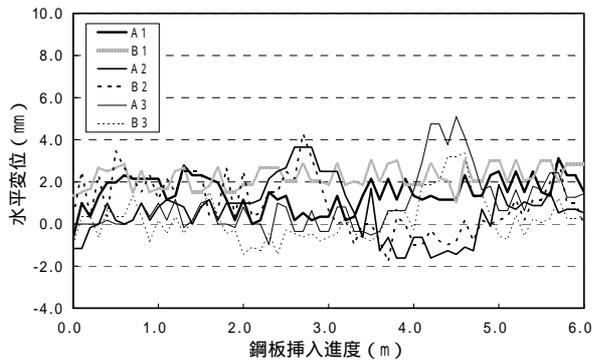


図-7 水平変位 (上床鋼板挿入時)

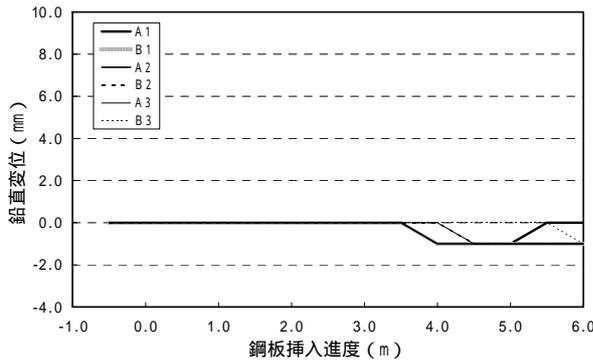


図-8 鉛直変位 (下床鋼板挿入時)

c)主プーリー軸トルクおよびワイヤー走行速度

図-9, 10 に上・下床鋼板挿入時の主プーリー軸トルクとワイヤー走行速度の測定結果を示す。本試験では、地盤切削ワイヤーの走行速度を 10~15m/sec に変化させたが、主プーリー軸トルクに目立った変化はなく、安定した地盤切削が行えていることがわかる。なお、本計測結果図には見られないが、地盤切削ワイヤーが礫等の障害物にあたると、主プーリー軸トルクが敏感に反応しており、主プーリー軸トルク値が実施工においても特に有効な管理項目になるものとする。

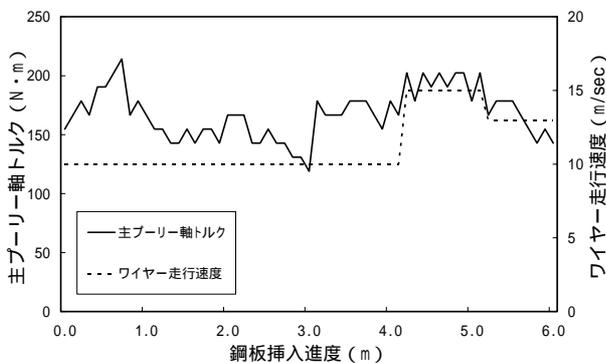


図-9 主プーリー軸トルク及びワイヤー走行速度 (上床鋼板挿入時)

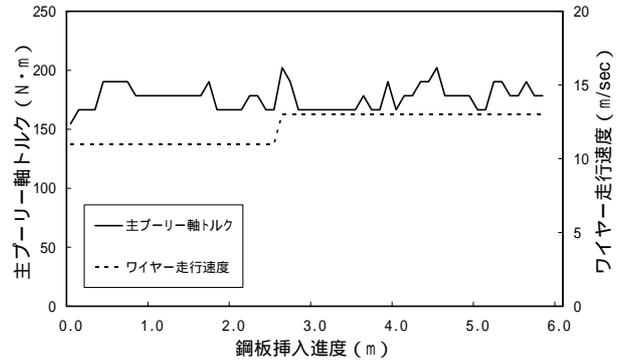


図-10 主プーリー軸トルク及びワイヤー走行速度 (下床鋼板挿入時)

d)けん引速度およびけん引力

図-11, 12 にそれぞれ下床鋼板挿入時と鉛直鋼板 (発進立坑から見て右側鋼板) 挿入時のけん引速度およびけん引力の測定結果を示す。これらから、けん引速度を一定に保つと、鋼板と地山との摩擦面積の増加に伴いけん引力の上昇していることが確認できる。

ところで、鉛直鋼板挿入時のけん引力は、下床鋼板挿入時に比べ大幅に値が増加している。これは、本試験では鉛直鋼板を上床・下床鋼板の挿入後に上床・下床鋼板と継手により噛み合わせて挿入したため、その噛み合わせ抵抗が表れたものと考えられる。

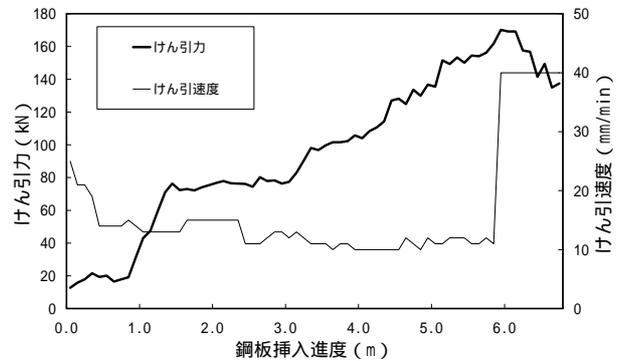


図-11 けん引速度とけん引力 (下床鋼板挿入時)

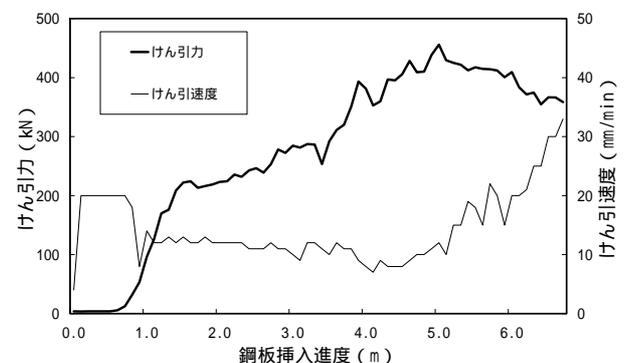


図-12 けん引速度とけん引力 (鉛直鋼板挿入時)

4 . 鋼板内部刃口掘削試験

(1) 試験概要

本試験の施工手順を **図-13** に、鋼板内部掘削状況を **写真-5** に示す。試験では、地盤切削・鋼板挿入試験で挿入された鋼板内を鋼板内部掘削専用の刃口に掘削し、鋼製支保工 (H-250×250, 1.0m ピッチ) の設置を行った。**写真-6** に刃口の全景を示す。この刃口は、先受け部が刃口本体から油圧ジャッキにより伸縮可能になっており、地山内に先行して圧入することができる。また、鋼板に接する4面にはローラーが付いており、刃口の進捗に伴い鋼板を支持するとともに刃口と鋼板間の摩擦低減を図っている。刃口のけん引は、刃口に取り付けたPC鋼棒を到達立坑に設置した4本の油圧ジャッキでけん引することにより行った。本試験においても、鉛直変位は地盤切削・鋼板挿入試験同様、上床鋼板上部の土被り0.3mで測定した。**図-14** に測定位置平面図を示す。

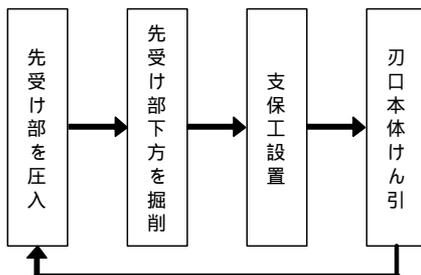


図-13 試験施工手順



写真-5 内部掘削状況



写真-6 刃口全景

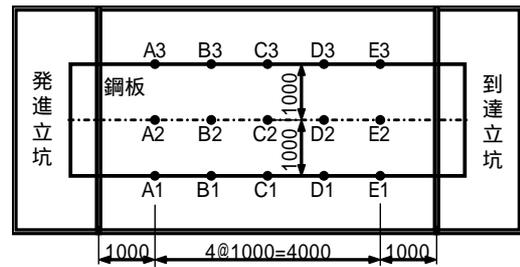


図-14 鉛直変位測定位置平面図

(2) 試験結果

写真-7 に試験完了時の状況を、**図-14** に試験終了時の鉛直変位測定結果を示す。本試験では、最大23mmの沈下が生じた。各施工段階での沈下量を調べると、先受け部圧入時、および支保工建て込み時は若干の隆起傾向が見られたが、刃口けん引時はほとんど変位がなく、沈下は掘削時に発生したものであることがわかった。

掘削時の沈下原因としては、鋼板がやや上向きに挿入されていたことにより、水平にけん引掘進された刃口との間に隙間が生じ、この隙間分沈下したものと考えられる (**図-16**)。これについては、刃口に取り付けられたローラーを、高さ調整が可能なものに変更することで沈下抑制は可能であると考えている。



写真-7 試験完了状況

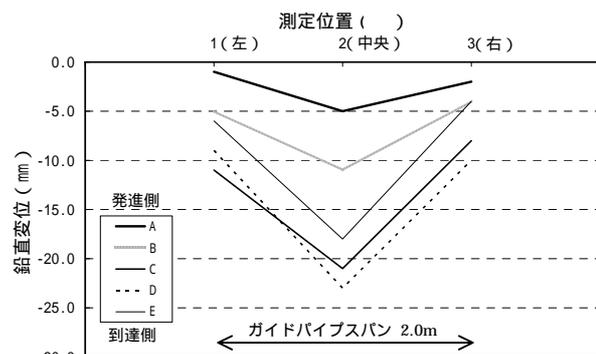


図-15 鉛直変位測定結果 (試験完了時)

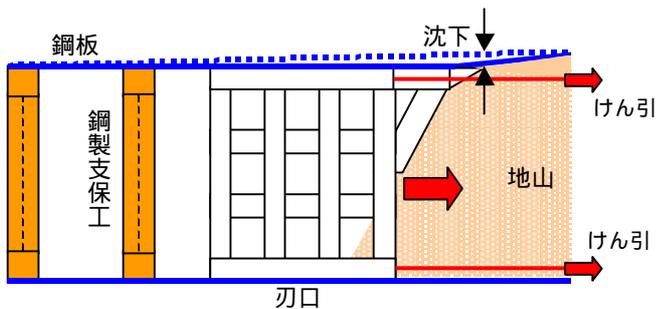


図-16 掘削時の沈下原因の模式図

5. 上床版コンクリート打設試験

(1) 試験概要

本試験では、上床版を模擬した型枠（幅 4.0m、長さ 15.6m、高さ 0.35m、支保工ピッチ 1.0m）の片側から高流動コンクリート（ランク 2 相当）を打設し、その充てん性を確認した。本試験に使用した支保工の概要図を図-17 に、試験状況を写真-8、9 に示す。

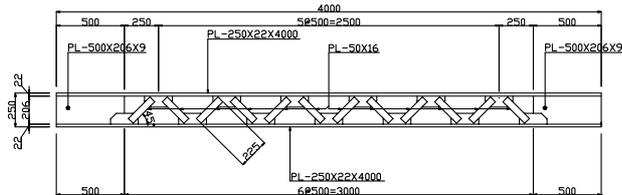


図-17 支保工概要図



写真-8 支保工設置状況



写真-9 コンクリート打設状況

(2) 試験結果

充てん状況のうち流動状況を写真-10 に示す。充てんは、中央部および端部とも骨材の偏りはなく、均一に分布していることが確認でき、材料分離等の品質劣化は見られなかった。また、端部の H 形支保工およびトラス形支保工回りにも十分充てんされていることが確認できた。



写真-10 コンクリート流動状況



写真-11 支保工まわりコンクリート充填状況

6. まとめ

今回、COMPASS 工法の施工試験を実施し以下の結果が得られ、工法の実用性を実証することができた。

- (1) 本試験で採用した地盤切削・鋼板挿入機構により、幅 2.0m、厚さ 22mm の鋼板を礫混じり地盤に挿入することが可能である。
- (2) 鋼板挿入時には、軌道に悪影響を与えるほどの変位は生じない。
- (3) 鋼板内部掘削時に 23mm 程度の沈下が生じたが、刃口の構造を変更することで沈下抑制は可能である。
- (4) 上床版のコンクリートは、トラス形状の支保工

を用い，高流動コンクリートを使用することにより十分充てんできる．

今回の報告以降も様々な改良を行い，COMPASS 工法は実施工レベルまでの開発を終えている．今後，更なるコストダウンや施工性の向上を目指し，継続的に開発を行う予定である．

参考文献

- 1) 大田，伊藤他：地中鋼板挿入試験について（礫質土地盤への適用），土木学会第 58 回年次学術講演会， -168，平成 15 年 10 月
- 2) 有光，長尾他：地中鋼板挿入試験について（砂地盤および粘性土地盤への適用），土木学会第 58 回年次学術講演会， -167，平成 15 年 10 月
- 3) 有光，長尾他：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， -217，平成 16 年 9 月
- 4) 安保，有光他：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， -218，平成 16 年 9 月
- 5) 清水，栗栖他：新しい小断面地下構造物の構築工法の開発，土木学会トンネル工学報告集，第 14 巻，平成 16 年 11 月