

COMPASS工法の開発 —実施工に向けて—

松友 啓志*1・長尾 達児*2・栗栖 基彰*3

概 要

近年、路線下横断構造物の構築においては、安全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、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、経済的な小断面構造物を構築する工法（COMPASS工法）を開発した。

本報告は、実施工に向けて実施した各施工性確認試験、性能確認試験の結果について報告するものである。

キーワード：小断面構造物、地盤切削、鋼板挿入、COMPASS工法

DEVELOPMENT OF THE COMPASS METHOD: FOR PRACTICAL APPLICATION

Keiji MATSUTOMO*1, Tatsuji NAGAO*2, Motoaki KURISU*3

Abstract

In recent years, many projects for building structures below and across railway tracks adopted non-open cut methods for reasons of economic efficiency and ease of work.

However, such methods are intrinsically intended for tunnels with relatively large cross-sections like road tunnels, requiring therefore large-scale railway protection works. They entail a huge cost if they are applied to any structure with a small cross-section like an underground footpath or a water channel. For this reason, the COMPASS method was developed. In this method, steel plates are inserted by cutting the ground to create simple railway protection, thus enabling construction of an economical small cross-section structure. This paper reports various tests that verify ease of work and performance, targeting utilization at actual project sites.

Keywords: small cross-section structure, ground cutting, steel plate insertion, COMPASS method

*1 Underground Structure Group, Civil Engineering Technology Department, Engineering Division

*2 Manager, Underground Structure Group, Civil Engineering Technology Department, Engineering Division

*3 Manager, Foundation/Geotechnical Engineering Group, Civil Engineering Technology Department, Engineering Division

COMPASS工法の開発 —実施工に向けて—

松友 啓志*1・長尾 達児*2・栗栖 基彰*3

1. はじめに

近年，都市計画では，鉄道や道路を横断するアンダーパス構造物の採用が増加している。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が適用されていた。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

2.1 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。

2.2 地盤切削機構及び施工手順

本工法の地盤切削には，コンクリート等の切断に用いるワイヤー(φ11mm)を採用してい

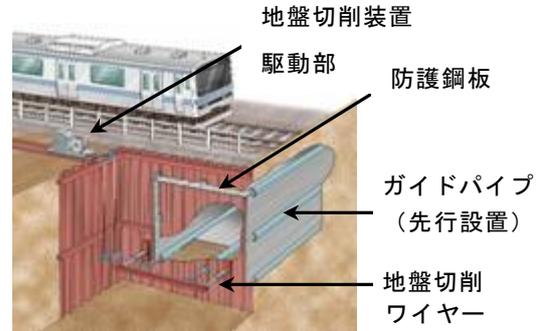


図-1 COMPASS工法施工概要

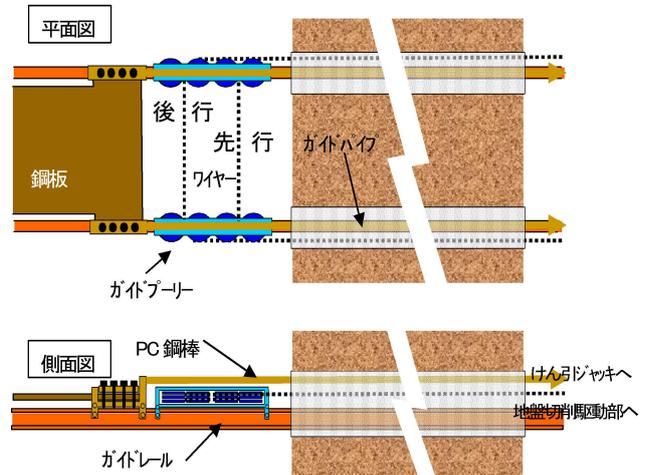


図-2 地盤切削機構詳細図

る。図-2に示すように防護鋼板の板厚は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行なっている。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ーリーの回転により行う。また，ガイドプーリーとは別の台車上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。

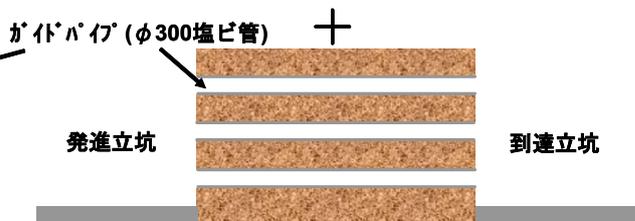
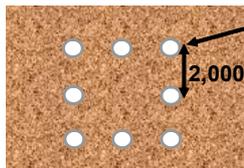
*1 エンジニアリング本部 土木技術部 地下構造グループ

*2 エンジニアリング本部 土木技術部 地下構造グループリーダー

*3 エンジニアリング本部 土木技術部 基礎・地盤グループリーダー

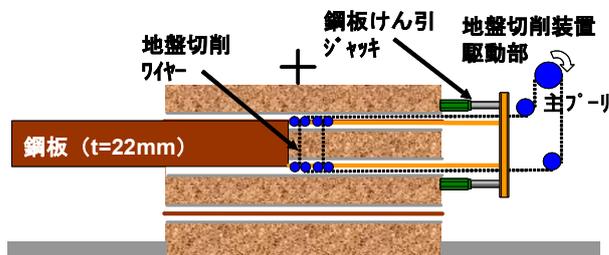
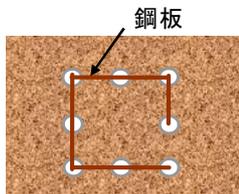
①ガイドパイプ設置

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。



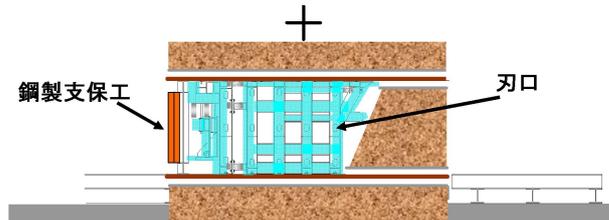
②地盤切削・鋼板挿入

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。



③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。



④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・上床版と順次コンクリートを打設する。

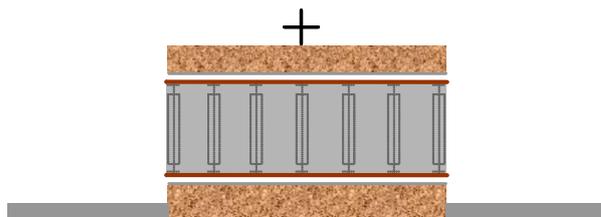
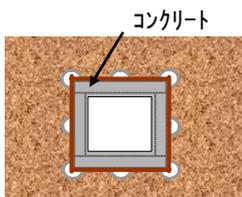


図-3 施工順序図

2.3 開発課題

工法の実用化にあたっての課題は以下の通りである。

- a) 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り、挿入時に地山と鋼板との摩擦や付着により上載土を動かす恐れがある。
- b) 地盤の切削中に再接続が不可能な位置にてワイヤーが破断した場合の対処方法の確立。
- c) 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。
- 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てん性が必要。

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

3.1 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φ80～350mm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。

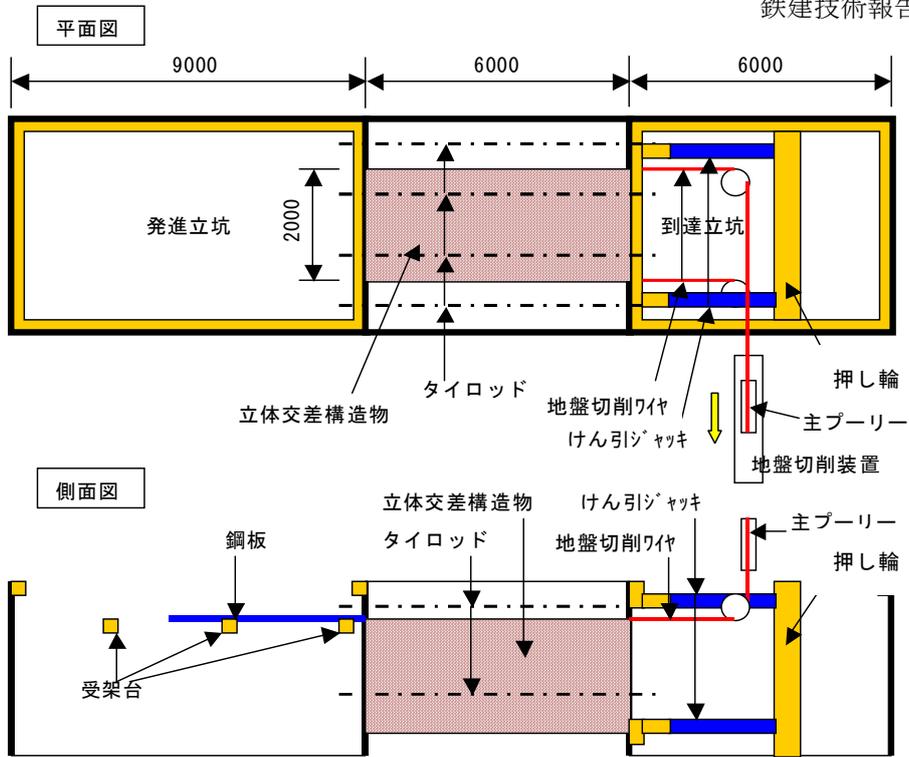


図-4 地盤切削・鋼板挿入試験概



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

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	レベル
	その他	〃 500mm毎	
水平変位	上床	鋼板進度100mm毎	光波測量器
	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

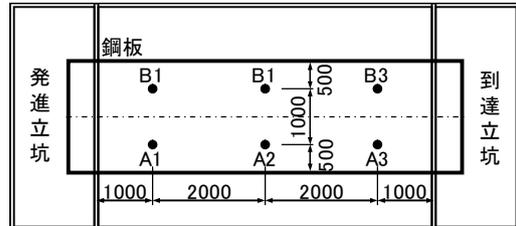


図-5 変位計測位置平面

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。

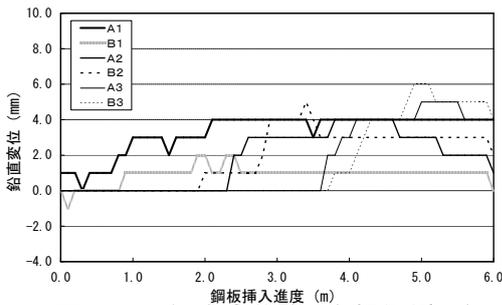


図-6 鉛直変位(上床鋼板挿入)

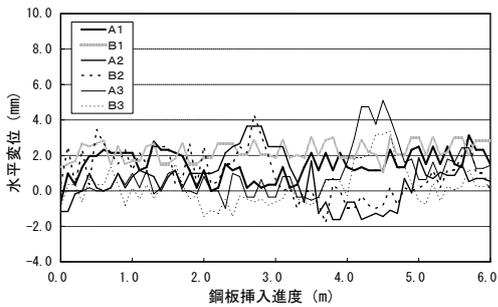


図-7 水平変位(上床鋼板挿入時)

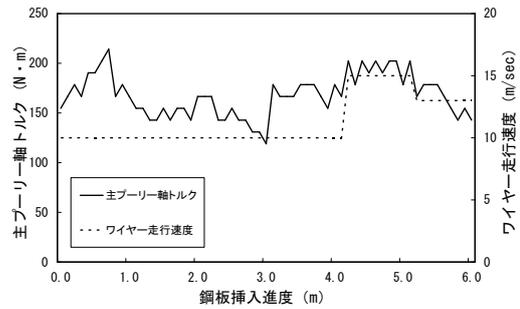


図-8 主プーリー軸トルク及びワイヤー走行速度(上床鋼板挿入時)

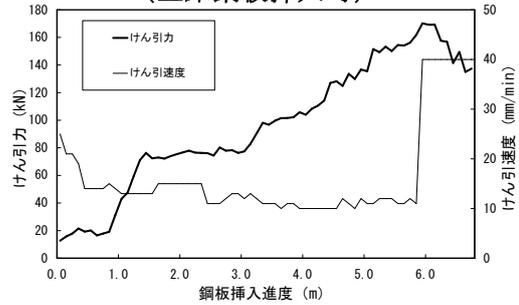


図-9 けん引速度とけん引力(下床鋼板挿入時)

(2) 試験結果

a) 鋼板挿入状況

鋼板の挿入は礫による支障がなく、計画通り鋼板を挿入、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。

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。鉛直変位は最大 6mm, 水平変位は到達立坑側へ最大 5mm, の変位が見られた。

c) 主プーリー軸トルク、ワイヤー走行速度

図-8に上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、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考えられる。

d) けん引速度およびけん引力

図-9に下床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。

3. 2 ワイヤー破断時復旧試験

(1) 試験概要

地盤切削中にワイヤーが磨耗、破断した場合を想定し、その対処法のひとつとして、破断したワイヤーを到達立坑に回収し、ワイヤーをつなぎ直し、到達側から鋼板位置までガイドプーリーを用いて、押切りの形で切削挿入を行った。

試験は、延長 4.0m, 幅 2.5m の模擬地盤を構築し、ワイヤー破断~到達側からの地盤切削(押切り)による押し戻しまで、一連の作業を実施した。なおガイドプーリーは、補助プーリーに連結した鋼材を、到達側鏡面に設置したレバブロックでワイヤーを介してけん引することで間接的に押し戻した。図-10に試験概要図を、図-11に手順図を示す。計測は、地表面変位に加え、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-2に示す。図-12に地表面変位の測定位置を示す。

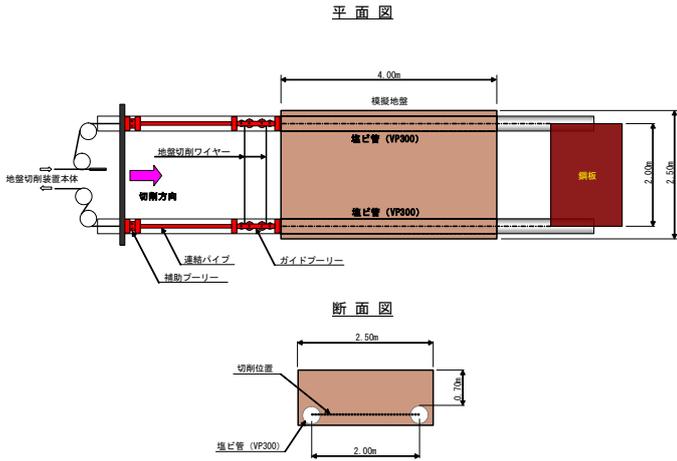


図-10 試験概要

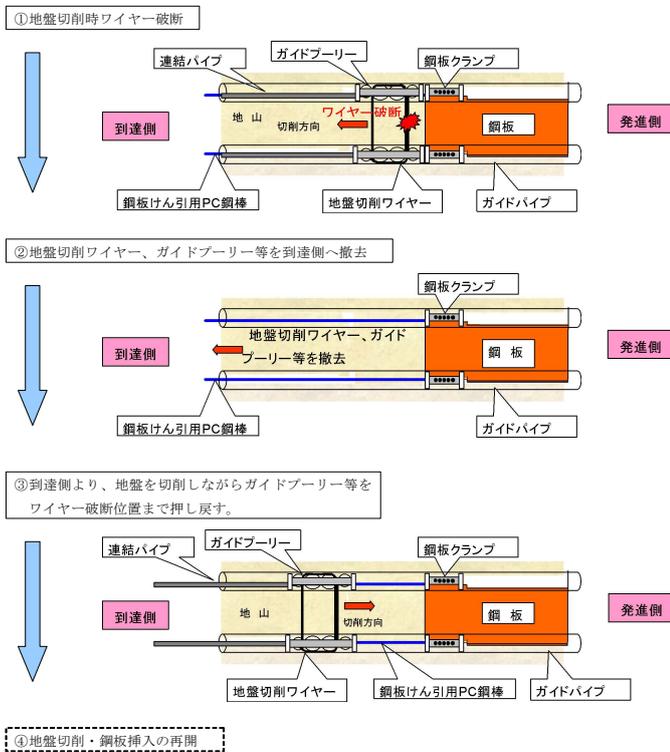


図-11 試験手順図

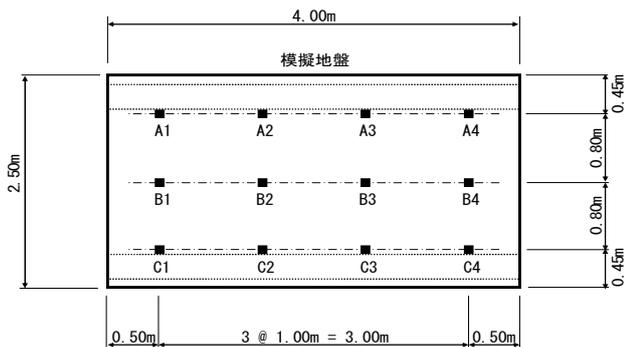


図-12 測定位置平面

(2) 試験結果

a) 地表面変状

切削距離と各測点の変位量の関係を図-13に、切削距離500cmの各測点の変位量を図-14に示す。

沈下量は、到達・発進側となる端部の中央位置が大きく、最大値は到達中央のB1測点で21mmであった。地盤切削・鋼板挿入試験に比べ沈下量が大きくなった原因としては、地盤切削ワイヤーに後続する鋼板が無かったことや、先行ワイヤーが2段であったことも考えられる。また、到達側の変位が大きくなったのは、模擬地盤端部に位置するため土留め壁との縁が切れている状態にあることに加え、0~100cmにおける切削速度が他区間に比べ遅かったことが考えられる。なお中央に比べ側部の変位が小さくなっているが、これは測点下のガイドパイプの影響であると考えられる。

表-2 計測項目

計測項目	測定項目	測定頻度	測定器
地盤強度	N値	試験前	簡易貫入試験
地表面変状	鉛直変位	ワイヤー進捗50mm毎	レベル
地盤切削管理	主ローラー軸トルク	〃	ローラー圧力計
	押し込み速度	〃	ストローク計
	押し込み力	〃	荷重計

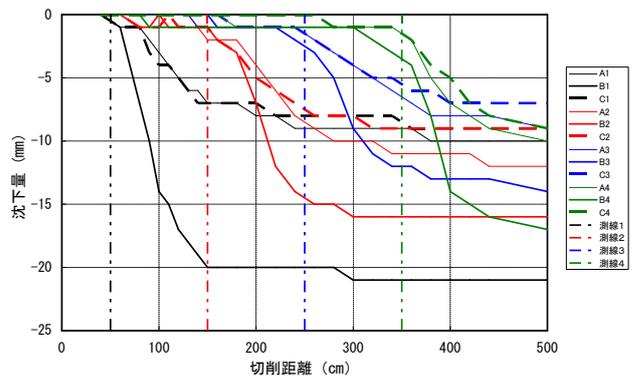


図-13 切削距離と変位量

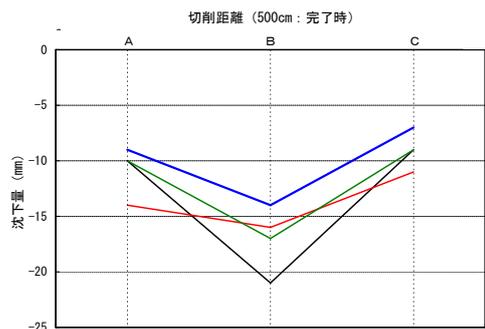


図-14 切削距離(500cm)の変位

b) 地盤切削管理

(1) 切削速度

模擬地盤切削開始から完了までの時間と距離の関係を図-15に示す。なお切削距離は、先行するワイヤー（2段）の位置を基準としている。試験初期はワイヤー破断を懸念し慎重に切削を行ったため、切削速度が上がらなかったが、その後は順調に地盤切削を行うことができ、模擬地盤切削完了時の平均切削速度は9.3mm/minとなった。

(2) 主プーリー軸トルク値および推進力

試験における主プーリー軸トルク値と切削速度の関係を図-16に、主プーリー軸トルクと推進力の関係を図-17に示す。本試験結果より、通常的地盤切削と同様に主プーリー

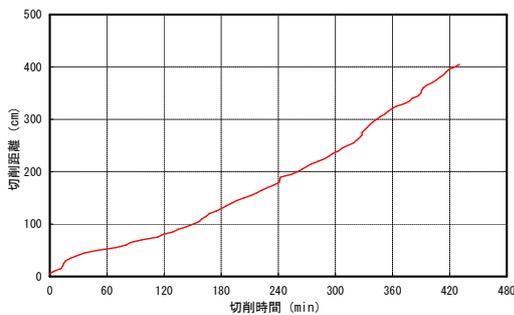


図-15 地盤切削の時間と距離

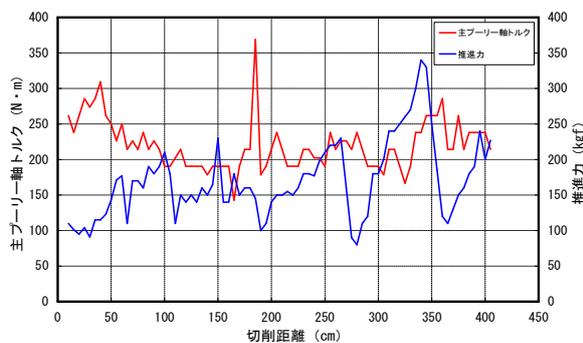


図-16 主プーリー軸トルク値と切削速度

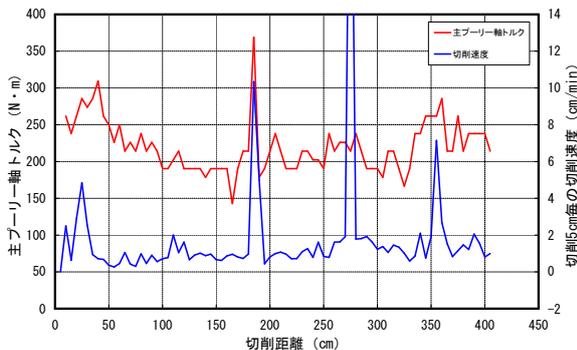


図-17 主プーリー軸トルク値と推進力

主プーリー軸トルクによる地盤切削管理が可能であることが確認できた。主プーリー軸トルク 214~238N・m を目安に推進力を調整することで安定した地盤切削が可能であると考えられる。なお、試験中のワイヤー速度は10m/sであった。

4. 鋼板内部刃口掘削試験

4.1 鋼板内部刃口掘削試験

(1) 鋼板内部刃口掘削試験概要

本試験の施工手順を図-18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て掘削し、鋼製支保工（H-250×250，1.0mピッチ）の設置を行った。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-19に測定位置平面図を示す。

(2) 試験結果

試験終了時の鉛直変位測定結果を図-20に示す。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分かった。

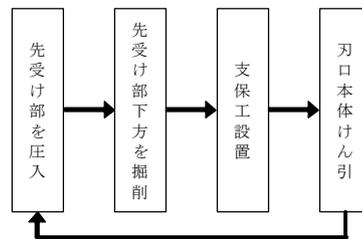


図-18 試験施工手順



図-19 鉛直変位測定位置平面

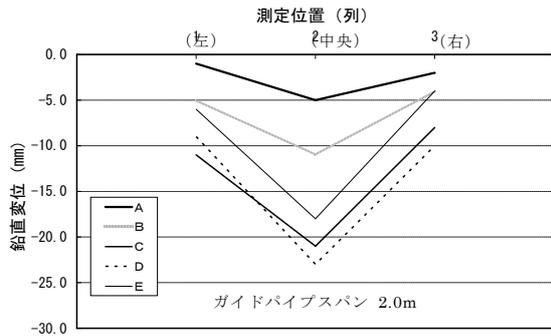


図-20 鉛直変位測定結果 (試験完了時)

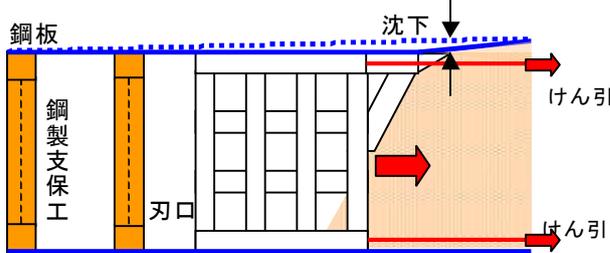


図-21 掘削時の沈下原因の模式図

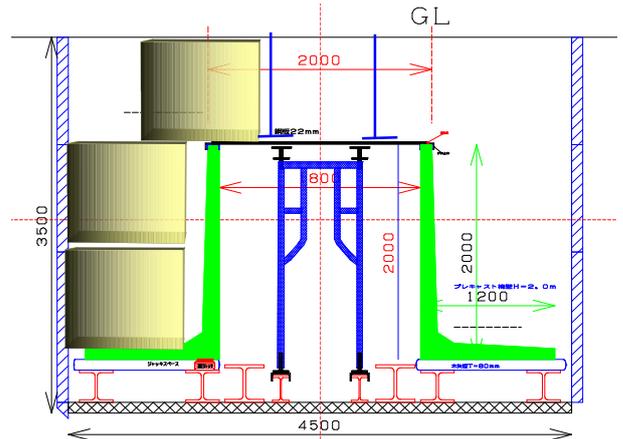


図-22 試験概要図

表-3 計測項目

計測項目	測定項目	測定頻度	測定器
鋼板変位	鉛直変位	進度 200mm 毎	レベル
掘削管理	油圧ジャッキ圧力	"	圧力計
	ロードセル荷重値	"	ロードセル

4. 2 高さ調整ローラー確認試験

(1) 試験概要

試験(1-1)において、掘削時に約 20mm の沈下が生じた。沈下の原因としては、図-21 に示すように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想定された。そこで、鋼板の出来形に追随し、これを保持する機構として高さ調整ローラーを考案し、実用化の検討を行った。

発進・到達立坑間に、L型擁壁および鋼製足場で支持した鋼板 (t=22mm) の上に大型土嚢を設置し、延長 6.0m の模擬地盤を作製した。試験概要図を図-22 に示す。試験は発進立坑から到達立坑までの L型擁壁内を、高さ調整ローラーが取り付けられた模擬刃口のけん引、刃口前方の鋼製足場の撤去および刃口後方の鋼製足場の再設置を繰り返して行った。

計測は、鋼板の鉛直変位に加え、高さ調整ローラーが鋼板を支持していることを確認するために、L型擁壁下にロードセルを 3 箇所設置し、模擬刃口けん引時のロードセルの荷重値を測定した。本試験での計測項目を表-3 に示す。図-23 に地表面変位の測定位置平面図を示す。

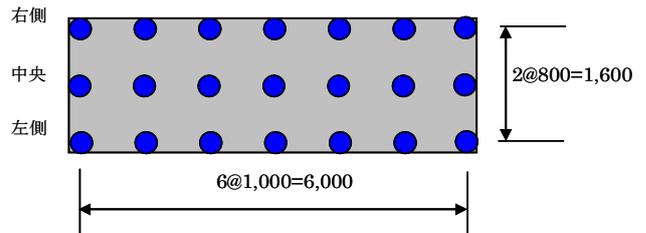


図-23 計測位置

(2) 試験結果

a) 鋼板変位

模擬刃口のけん引時の鋼板変位図およびけん引途中に実施した油圧変動時の鋼板変位を図-24 に、試験状況を写真-4 に示す。高さ調整ローラーの圧力を高めに設定したため、鋼板の変位は隆起傾向となった。しかし、けん引途中で実施した圧力上昇 (3.0MPa → 3.9MPa) において、鋼板変位は圧力に応じて変化しており、実施工においては油圧を適切に設定することにより、鋼板変位は抑制可能であると考えられる。

変位図において、鋼板左右に比べ中央変位が大きく見られるが、これは実験準備段階において鋼板にうねりを持たせるために鋼板を持ち上げた際に、鋼製足場が負担していた荷重が抜けてしまい、中央部にたわみが発生してしまったためと考えられる。

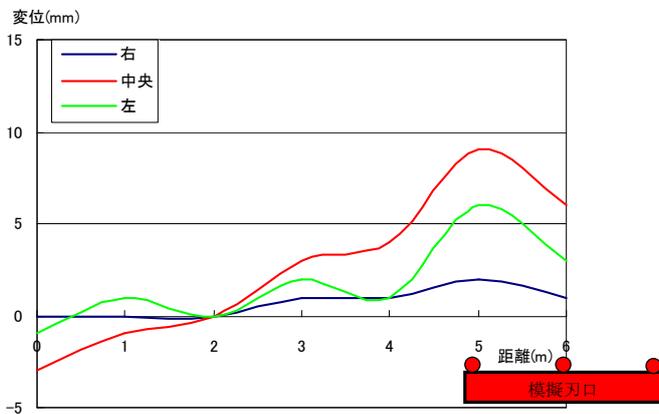
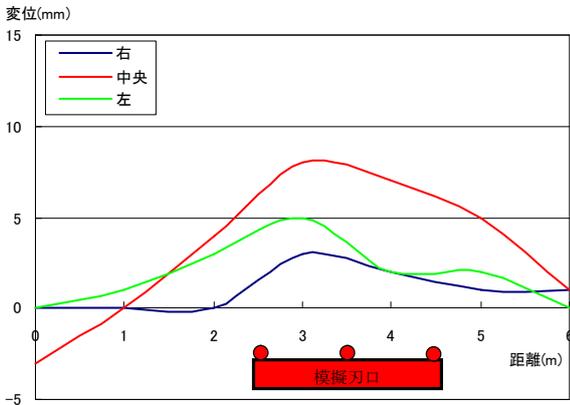
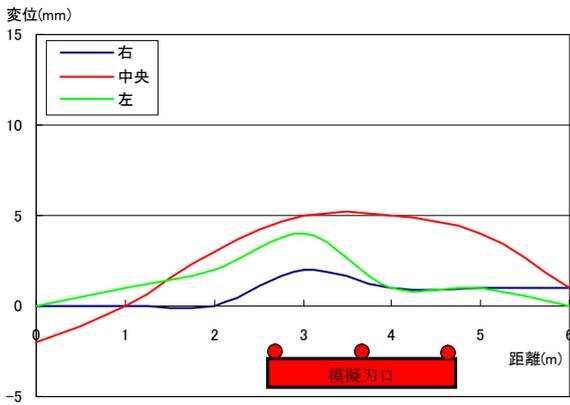
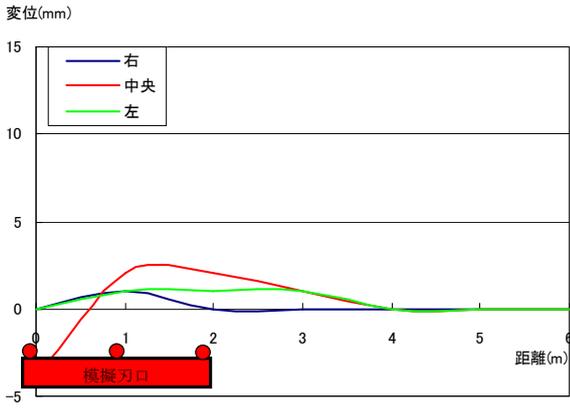


図-24 鋼板変位図



写真-4 高さ調整ローラー試験状況

b) ロードセル荷重

図-25より、ロードセルの荷重値は、模擬刃口通過時に減少する傾向が見られた。これは、上載荷重がL型擁壁および鋼製足場から模擬刃口（高さ調整ローラー）へと受け替わったことを示していると考えられる。図-26に示すように、模擬刃口けん引中に高さ調整ローラーの油圧には大きな変動は見られなかった。

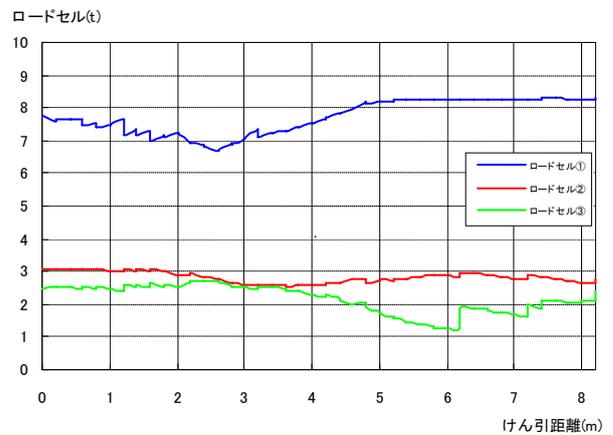


図-25 けん引距離とロードセル荷重値

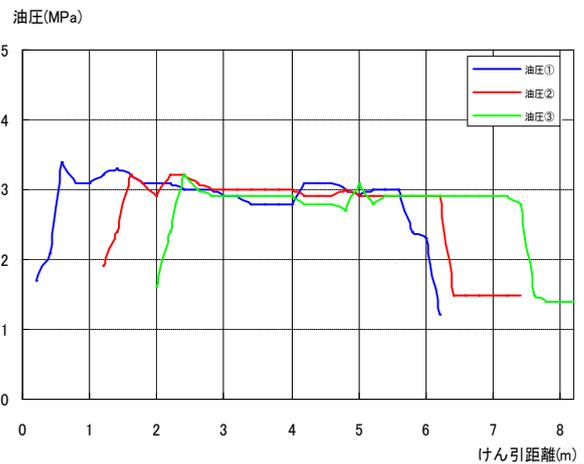


図-26 けん引距離と高さ調整ローラー油圧

5. 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-27に、試験状況を写真-5に示す。

(2) 試験結果

充てん状況のうち流動状況を写真-6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。

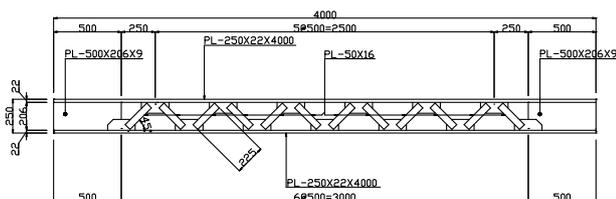


図-27 支保工概要図



写真-5 支保工設置状況



写真-6 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り、軌道に悪影響を与えるほどの変位は生じない。
- (2) 地盤切削ワイヤー破断時の復旧方法として、切削設備を到達側へ引抜き、到達側から押切りにて地盤を切削しながらガイドプーリー等を破断前の位置に戻すことが可能である。
- (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) 上床鋼板の隆起・沈下抑制の機構として、高さ調整ローラーの実用性を確認できた。
- (5) 上床版は、トラス形状の支保工を用い、高流動コンクリートにより十分充てんできる。これらの結果から工法の実用性を実証することができた。今後予定されている本施工で検証を行い、さらなる工法の確立を目指す。

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, VI-168, H15.10
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, VI-167, H15.10
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, VI-217, H16.9
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, VI-218, H16.9
- 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, H16.11