

# 新しい小断面地下構造物の構築工法の開発

Development of the New Method of Construction for building a Small Section Underground Structure

清水満<sup>1</sup>・藤沢一<sup>2</sup>・栗栖基彰<sup>1</sup>・鈴木尊<sup>3</sup>・長尾達児<sup>4</sup>

Mitsuru Shimizu, Hajime Fujisawa, Motoaki Kurisu, Takashi Suzuki and Tatsuji Nagao

<sup>1</sup>正会員 東日本旅客鉄道㈱ 建設工事事務 構造技術センター (〒151-8578 東京都渋谷区代々木 2-2-2)

<sup>2</sup>正会員 東日本旅客鉄道㈱ J R 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)

<sup>3</sup>東日本旅客鉄道㈱ 建設工事事務 構造技術センター (〒151-8578 東京都渋谷区代々木 2-2-2)

<sup>4</sup>鉄建建設㈱ エンジニアリング本部 土木技術部 (〒101-8366 東京都千代田区三崎町 2-5-3)

This study proposes a new construction method an underground structure under the railway track by the non-open cut method. This method is the small section underground structure construction method cutting of ground with a wire saw, insertion of steel plate, excavate inside the steel plate with a cutting edge, and placement of upper slab concrete. The tests proves process of this method were verified this method efficiency and feasibility.

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

## 1. はじめに

従来の非開削工法による線路下横断工は、主に大断面の車道ボックスを対象としていたことにより、そのまま人道、水路ボックス等の小断面構造物に適用した場合、構造物規模に対し防護工が過大となり、工事費のうち防護工（補助工法を含む）の占める割合があまりにも大きいことが指摘されてきた。また、JES工法のように防護工を別途必要としない工法においても、エレメント形状の制限により小規模構造物では過大な構造となり、割高となることは避けられなかった。そこで、合理的な構造断面を実現でき、従来工法に比較して経済的な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。本工法は、鋼板と鋼製支保工からなる線路防護工下で、合理的な断面を有する構造物を構築するものである。鋼板の設置は地盤切削ワイヤーにて地盤を先行切削し、切削した地盤中に鋼板をけん引挿入することによって行われる。地盤中に設置された鋼板は線路防護工の一部をなす他、構造物構築の際の外型枠として用い、鋼製支保工は構造物の一部となる。本研究では、COMPASS工法の実用化にあたり一連の施工試験を実施したの

で、その結果について報告する。

## 2. COMPASS 工法の概要および課題

### (1) COMPASS 工法の概要

COMPASS 工法の施工手順を図-1 に示す。本工法は、地盤切削ワイヤー (φ11mm) を2段配置して地盤を先行切削し、切削した地盤中に防護用の鋼板 (板厚 22mm) を挿入した後、鋼板内部に構造物を構築するものである。鋼板内部に構築される構造物は、鋼板内部掘削時に建て込まれた支保工 (下床版および側壁は H 形支保工、上床版はトラス形支保工) を撤去することなく、コンクリートで巻き込むことにより、支保工を主部材とする SRC 構造としている。

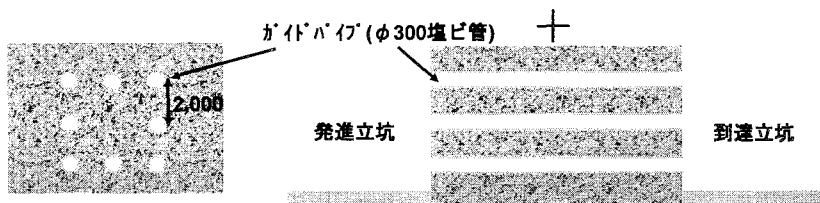
### (2) 課題

工法の実用化にあたっては以下の課題があった。

- ①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。
- ②従来のパイプルーフ等と比べ、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。

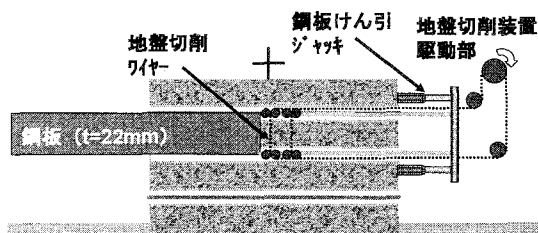
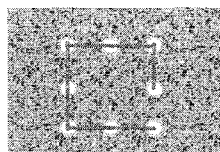
### ①ガイドパイプ設置

地盤切削ワイヤー走行用のガイドブーリーを挿入するため、小口径推進工法等により、ガイドパイプを設置する。



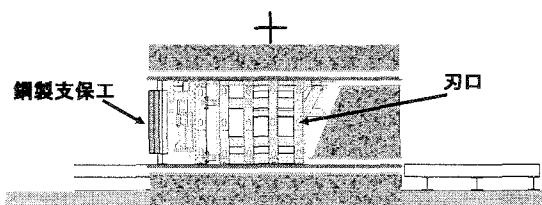
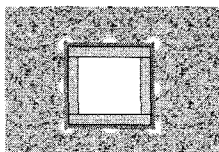
### ②地盤切削・鋼板挿入

地盤切削ワイヤーにより地盤切削を行い、その後方から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、掘削用刃口をけん引しながら掘削を行う。その後方から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、型枠支保工を組み立て、側壁、上床版コンクリートを打設する。(漏水が懸念される場合は、鋼板のジョイント部に止水対策を施す。)

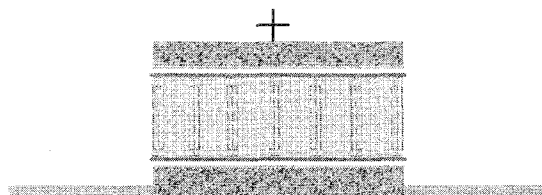
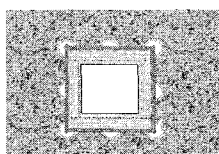


図-1 COMPASS 工法の施工手順

③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。

④鋼板および型枠に囲まれた閉空間に打設することになる、上床版コンクリートの充てん性。

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-2に、試験状況を写真-1,2に示す。

試験は、発進・到達立坑間（延長 6.0m）に  $\phi 80 \sim 350\text{mm}$  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、 $2.0\text{m} \times 2.0\text{m}$  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。

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な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

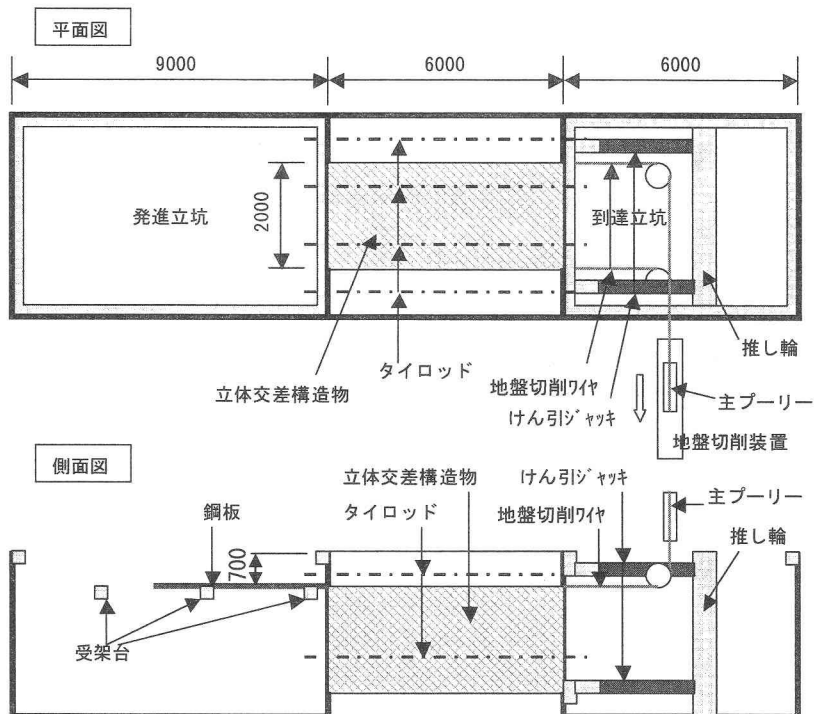


図-2 地盤切削・鋼板挿入試験概要図

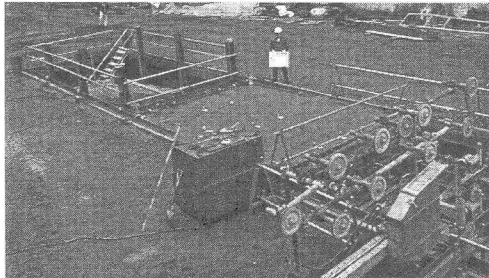


写真-1 地盤切削・鋼板挿入試験状況（全景）

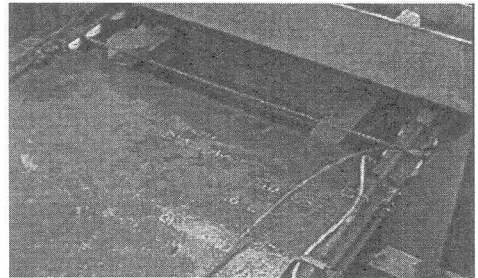


写真-2 地盤切削・鋼板挿入試験状況（発進立坑）

リー軸トルクとは、地盤切削ワイヤ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<sup>1)</sup>。図-3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<br>その他 // | レベル     |
| 水平変位      | 上床 鋼板進度100mm毎<br>その他 // | 光波測量器   |
| 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     |

## (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-3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、地盤切削ワイヤの破断なども生じなかった。写真-4に地盤切削ワイヤにて切削された礫を示す。

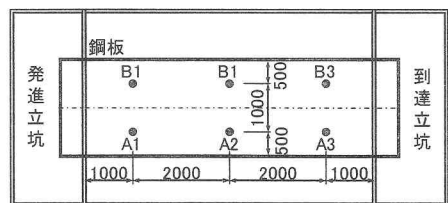


図-3 変位測定位置平面図



写真-3 鋼板挿入完了状況

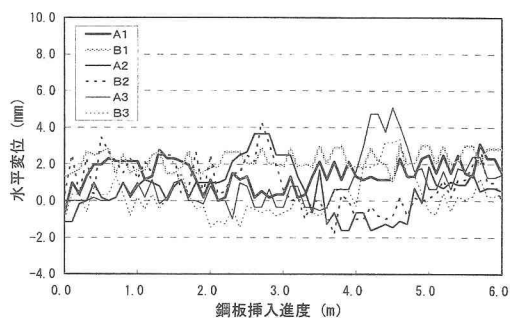


図-5 水平変位 (上床鋼板挿入時)



写真-4 切削された礫

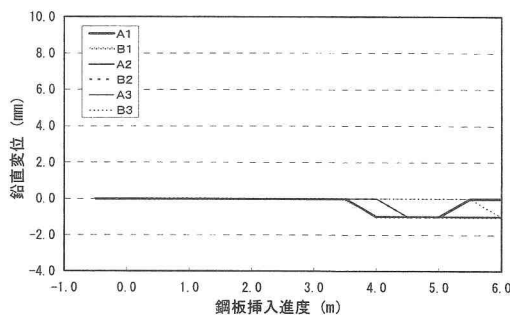


図-6 鉛直変位 (下床鋼板挿入時)

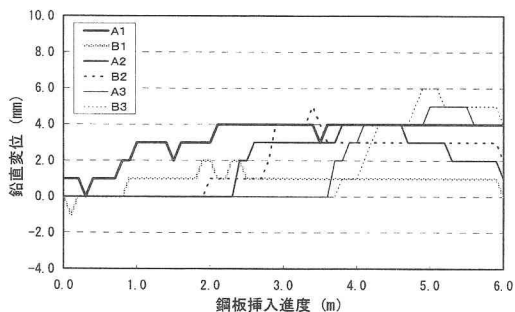


図-4 鉛直変位 (上床鋼板挿入時)

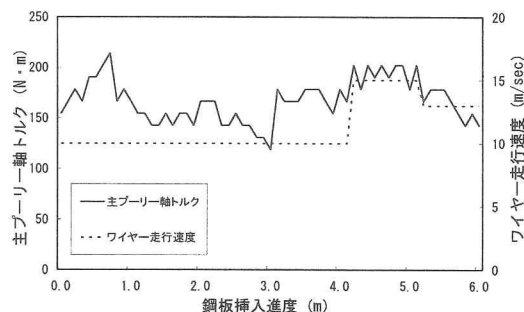


図-7 主プーリー軸トルクおよびワイヤー走行速度 (上床鋼板挿入時)

#### b) 鉛直変位および水平変位

図-4, 5 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-6)

#### c) 主プーリー軸トルクおよびワイヤー走行速度

図-7, 8 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

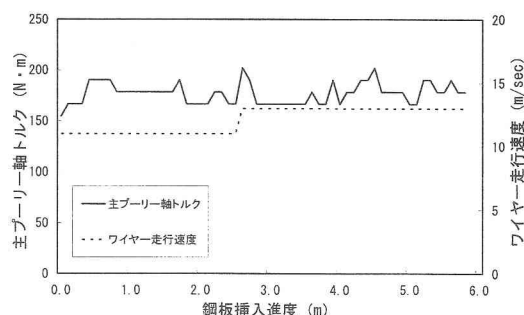


図-8 主プーリー軸トルクおよびワイヤー走行速度 (下床鋼板挿入時)

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

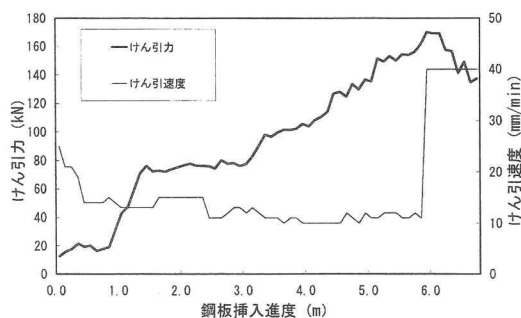


図-9 けん速度とけん引力（下床鋼板挿入時）

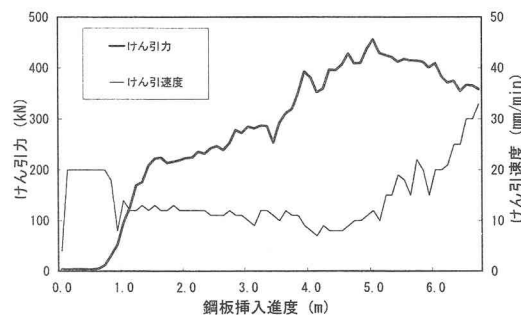


図-10 けん速度とけん引力（鉛直鋼板挿入時）

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る。

#### d) けん引速度およびけん引力

図-9、10 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。

### 3. 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-11 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て掘削し、鋼製支保工（H-250×250、1.0m ピッチ）

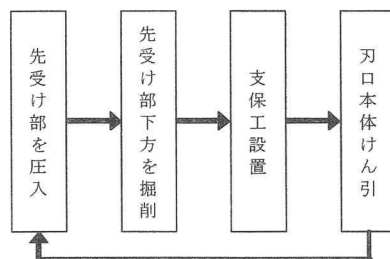


図-11 試験施工手順

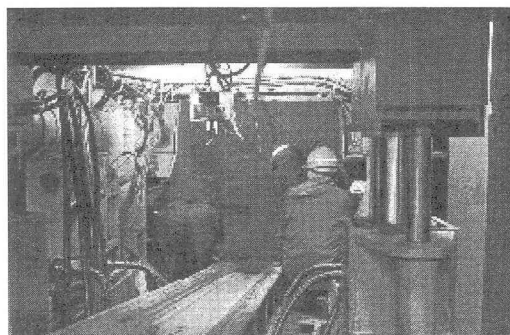


写真-5 試験状況（掘削時）

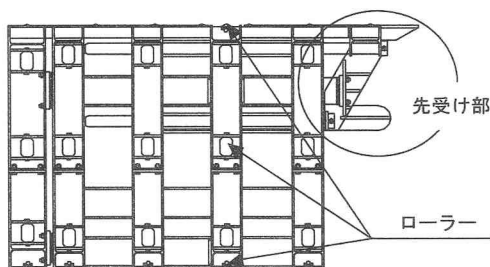


図-12 刃口概要図

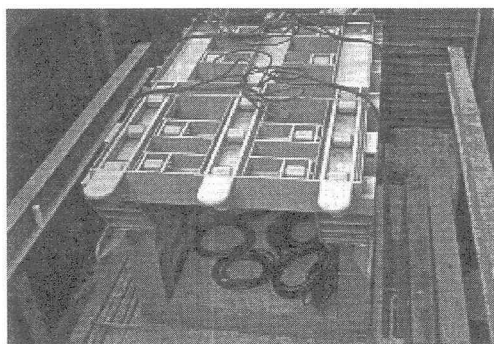


写真-6 刃口全景

の設置を行った。図-12 および写真-6 に刃口の概要を示す。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

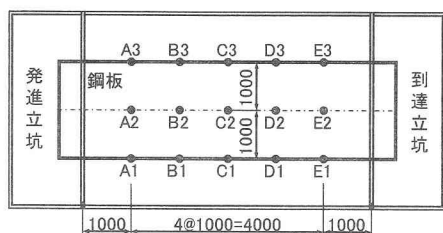


図-13 鉛直変位測定位置図

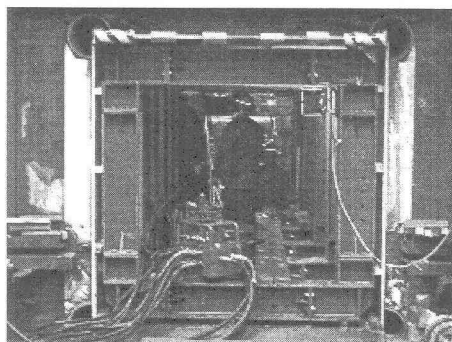


写真-7 試験完了状況

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引くことにより行った。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-13に測定位置平面図を示す。

## (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生じてなく、沈下は掘削時に発生したものであることがわかった。

掘削時の沈下の原因としては、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-15)。これについては、刃口に取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。

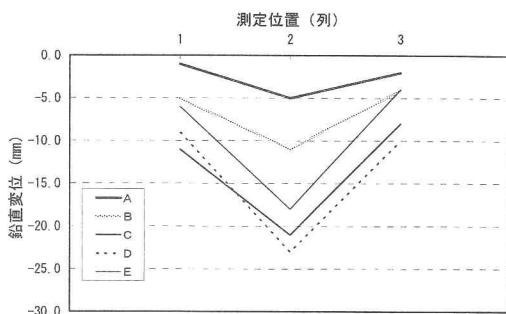


図-14 鉛直変位測定結果(試験完了時)

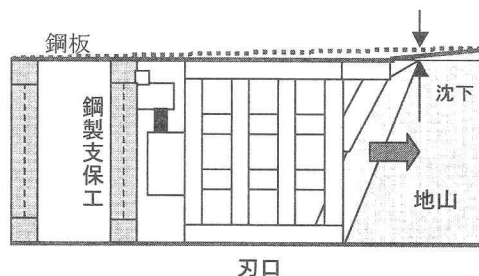


図-15 掘削時の沈下原因の模式図

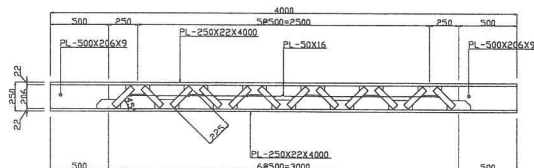


図-16 支保工概要図

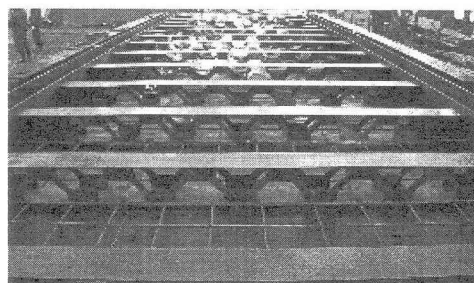


写真-8 支保工設置状況

## 4. 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-16に、試験状況を写真-8、9に示す。

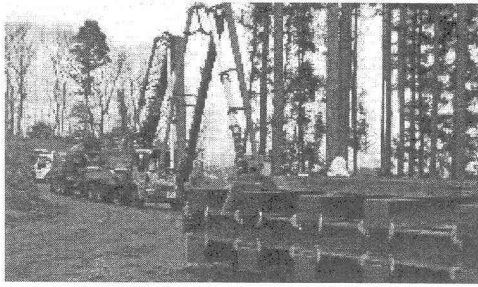


写真-9 コンクリート打設状況

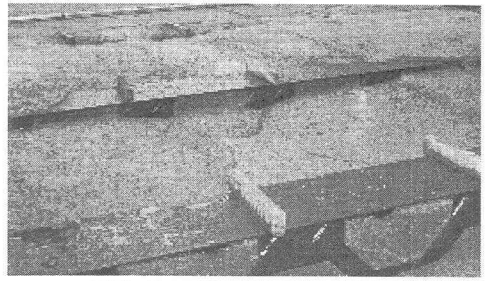


写真-10 コンクリート流動状況

## (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-11)。

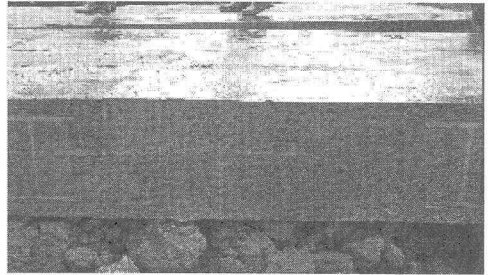


写真-11 コンクリート充てん状況

## 5. 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。

## 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, 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, VI-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パートの構築 (その 1), 土木学会第 59 回年次学術講演会, VI-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パートの構築 (その 2), 土木学会第 59 回年次学術講演会, VI-218, 平成 16 年 9 月