

1

COMPASS工法の改良—二重鋼板による土砂押し出し方法の検討

松友 啓志^{*1}・長尾 達児^{*2}・栗栖 基彰^{*3}

概 要

COMPASS工法における現状の施工手順は、鋼板挿入後、支保工を建て込みながら内部土塊の掘削を行い、場所打ちで構造物を構築することを標準としている。

しかし、狭隘箇所での内部土塊掘削作業や、閉鎖空間への高流動コンクリート打設作業は施工性・コストの両面から改善の余地がある。今回、COMPASS工法の更なる施工性の向上とコストダウンを念頭に、大幅な施工内容・手順の変更を加え改良工法の実証実験を行った。

キーワード：COMPASS工法・線路下横断・急速けん引

IMPROVEMENT OF THE COMPASS METHOD: A STUDY OF THE SOIL DISCHARGE
TECHNIQUE USING DOUBLE STEEL PLATESHiroshi MATSUTOMO ^{*1}, Tatsuji NAGAO ^{*2}, Motoaki KURISU ^{*3}

Abstract

The current standard practice of the COMPASS method is the following: insert steel plates, then excavate soil inside the installed steel plates while erecting supports, and construct a structure by casting concrete in place.

However, there is room for improvement to facilitate work and reduce cost for inner soil excavation in a narrow area and for placing superplasticized concrete into an enclosed space.

In view of extensive modification to the construction techniques and sequence of the COMPASS method, experiments were conducted with the modified method to demonstrate that it would make work easier and reduce costs.

Keywords: COMPASS method, crossing underneath a railway track, rapid pull

*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工法の改良—二重鋼板による土砂押し出し方法の検討

松友 啓志*1・長尾 達児*2・栗栖 基彰*3

1. はじめに

COMPASS (COMPAct Support Structure) 工法は、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。

しかし、狭隘箇所での内部土塊掘削作業や、閉鎖空間への高流動コンクリート打設作業は施工性・コストの両面から改善の余地がある。

今回、COMPASS工法の更なる施工性の向上とコストダウンを念頭に、大幅な施工内容・手順の変更を加えた改良工法の実証実験を行った。本報は、その実験結果について報告するものである。

2. 検証試験

2.1 試験概要

現在のCOMPASS工法の施工手順のうち、作業が煩雑である内部掘削→鋼製支保工建て込み→コンクリート打設の工程を簡略化するため、立坑内からコンクリート函体を押し込み、鋼板で囲まれた土塊と置き換えることにより構造物を構築することとした。

検証試験は、土塊を引き出しながら、函体を土中に埋設することが可能なのか、その際にどのような設備が必要となるのかを確認した。また、実験中は各種計測を行い、各部の挙動や影響範囲などを探った。

2.2 改良工法の施工手順

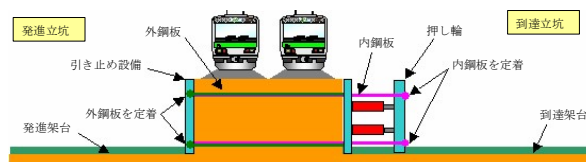
(1) 重ね合わせ鋼板の地盤内挿入

従来の $t=22\text{mm}$ の一枚ものの鋼板に変えて、2枚の鋼板の間に潤滑材を挟み従来厚さと同等とした重ね合わせ鋼板を、地盤内に挿入する。外側の鋼板は土中に存置し、内側の鋼板は土塊と共に到達側へ引き出される。



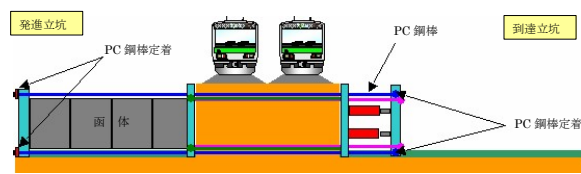
(2) 発進架台・到達架台の設置

到達立坑に土塊および内鋼板けん引用のジャッキ設備、押し輪を設置する。また内鋼板は押し輪に定着するため延長する。外鋼板は発進立坑側で引き止め設備によって固定する。



(3) 函体の設置

到達立坑に設置した土塊けん引用の押し輪よりPC鋼棒をガイドパイプ内に通して発進立坑に函体を設置し、函体最後部で定着する。定着部には方向修正機能を持たせる。



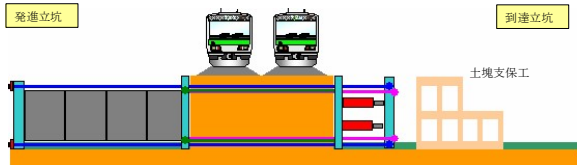
*1 エンジニアリング本部 土木技術部 地下構造グループ

*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

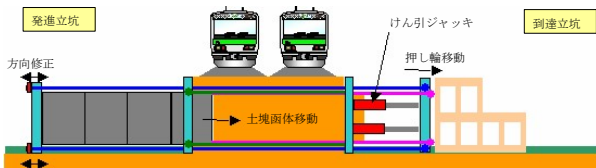
(4) 支保工の設置

到達立坑にはけん引によって引き出された、内鋼板によって囲まれた土塊を支保するための支保工を設置する。この支保工は鋼板の撤去、土塊の掘削作業の支障とならない構造とする。



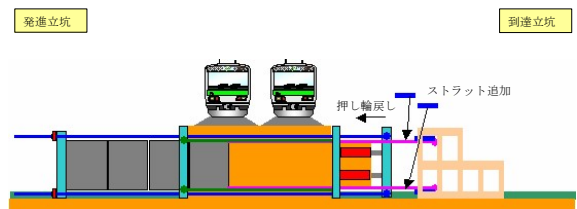
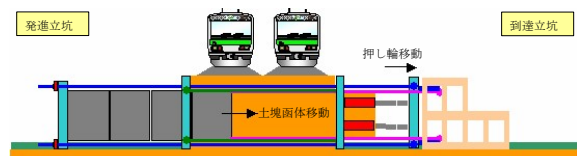
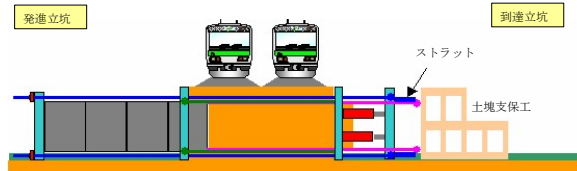
(5) 土塊および函体のけん引

到達立坑に設置したけん引ジャッキにより押し輪を移動することで、内鋼板に囲まれた土塊および函体をけん引する。方向修正が必要な場合は、土塊の調整はけん引ジャッキで、函体は函体最後部の定着部で調整を行う。



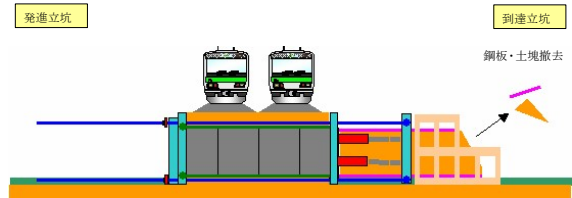
(6) ストラットの設置

夜間線路閉鎖作業で効率良く作業を進めるため、内鋼板定着部と押し輪の間にはストラットを設置することとし、段取り替え時間を短縮する。土塊支保工とストラットは支障しない構造とする。



(7) 土塊掘削

(6) の作業を繰り返しながら、函体を所定の位置までけん引する。引き出された内鋼板で囲まれた土塊は到達立坑の延長に合わせ撤去を随時行う。



2.3 改良工法における基本条件

改良工法の基本条件を以下に列挙する。

- ・ 内鋼板は発進立坑よりけん引方式により到達立坑に引き込むこととする。
- ・ 内鋼板と函体を直接接続して函体を引き込まない。
- ・ 函体および土塊のけん引作業は夜間線路閉鎖にて行うこととし、施工速度 4.0m/2h (1夜) を目標とする。
- ・ 準備・段取り替え・土塊掘削作業は線路閉鎖時間外で行う。

2.4 確認項目

試験により確認する項目は以下とした。

- (I) けん引時の函体および内鋼板 (土塊) の移動距離・速度
- (II) けん引時の内鋼板および内部土塊の挙動
- (III) けん引時の地表面、上部外鋼板および函体の挙動
- (IV) 施工サイクルタイム

2.5 試験設備

COMPASS工法では標準断面を 4.0m × 4.0m, 施工延長の最大値を 15.0m としている。今回の試験では断面寸法を約 2.0m × 2.0m, 延長 7.7m と約 1/2 に規模を縮小して試験を行った。側面図、断面図および RC 函体と鋼板との位置関係を図-1, 図-2 に示す。

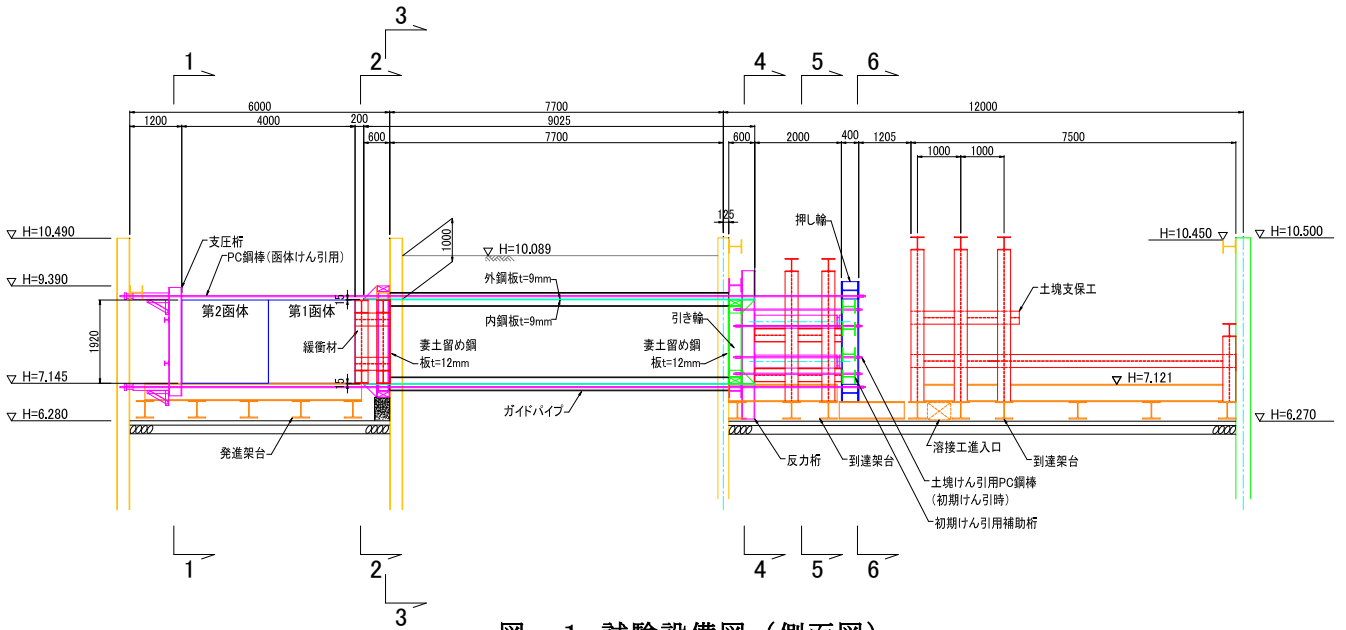


図-1 試験設備図 (側面図)

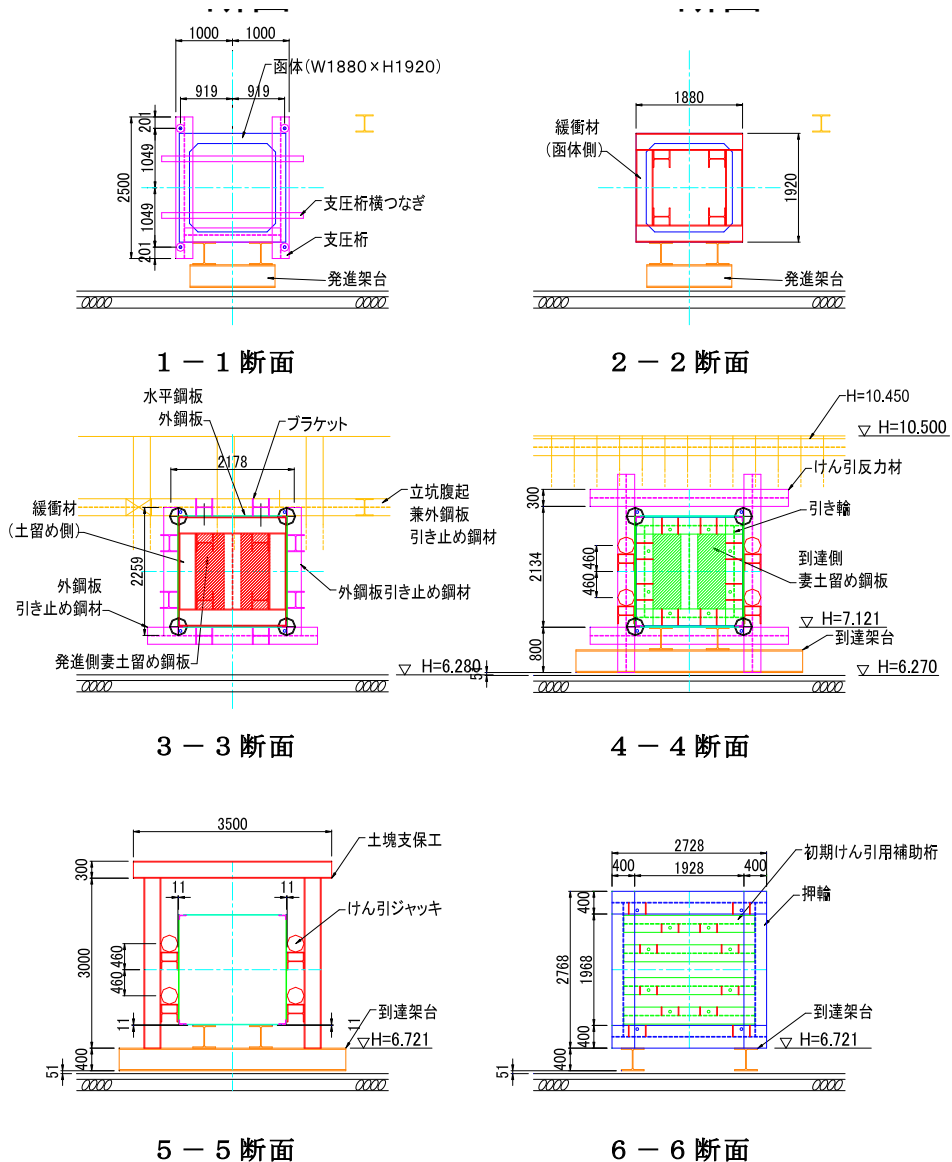


図-2 試験設備図 (断面図)

3. 試験結果

3.1 けん引力・速度

試験開始から終了までのけん引力およびけん引速度を図-3に示す。ここでのけん引速度は、けん引距離約50mm毎のけん引時間から算出したものである。図中には、要素試験結果より求めたけん引力推定値および実測値の回帰直線を併せて示した。

けん引力は、試験開始から1000mm程度までは低下傾向を示したが、その後はけん引距離の進捗に伴い増加傾向に転じ、7300mm近傍で最大値354kNを示した。また、図から明らかのように、けん引力は推定値を大きく下回る結果となった。通常けん引時において、けん引速度を50mm/min～100mm/min、100mm/min～200mm/minと変化させたが、けん引力には顕著な変化はみられなかった。

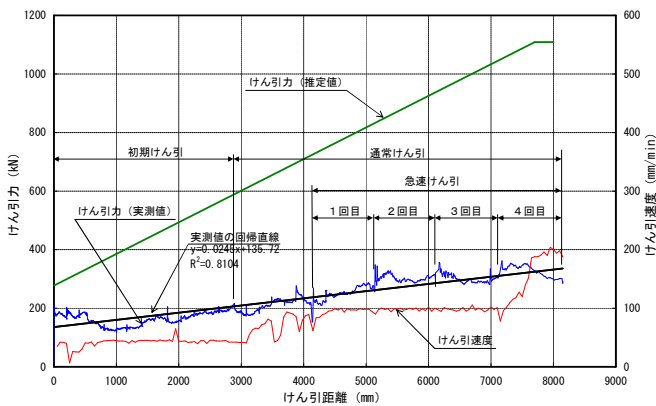


図-3 けん引力およびけん引速度図

3.2 変位量

(1) 内鋼板内空変位量

試験開始から終了まで図-4に示す測点で変位計を用いて変位測定を行った。各測点の変位量を図-5、図-6に示す。図中、各測定位置について初期値にばらつきがみられるが、これは計測機器を設置した後に埋戻し等の作業を行った影響により生じたものである。なお、横軸は発進立坑からの測定位置の距離とした。

鉛直変位量は、SV-1において測定可能な値(-25mm)を超える結果となった。水平変

位量は模擬地盤内においてSH-2に最大で8mm程度の変動がみられた。

鉛直および水平変位量は、各測定点で測定値に多少の差異があるものの同様な変形モー

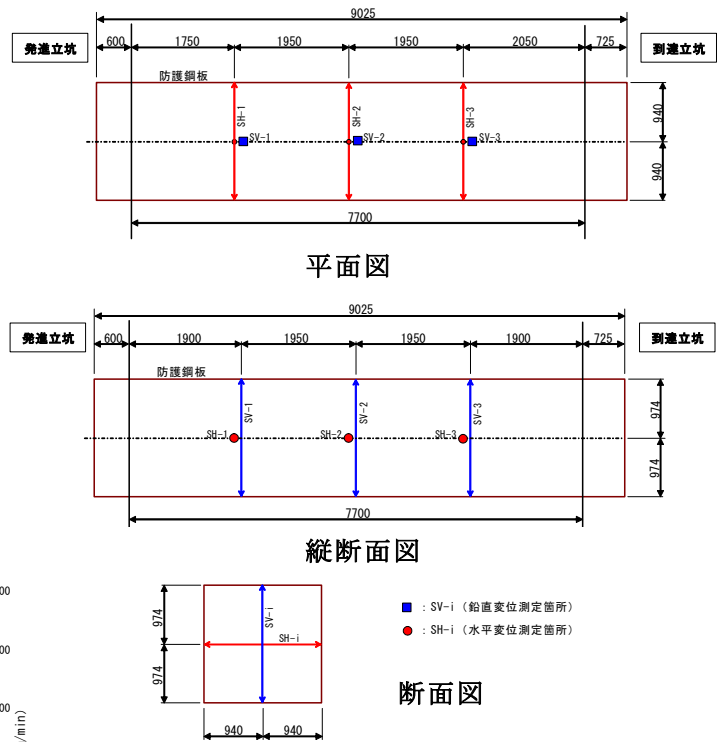


図-4 内鋼板内空変位測定位置図

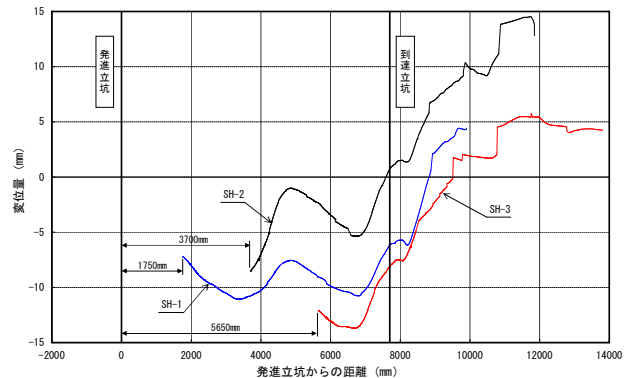


図-5 内鋼板内空変位量図 (鉛直)

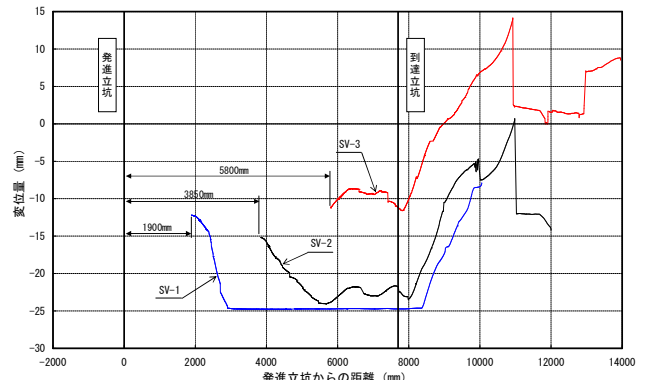


図-6 内鋼板内空変位量図 (水平)

ドを示した。これは、試験開始前の鋼板形状の影響によるものと考えられる。

(2) 内部土塊変位量

試験開始から終了までの内部土塊のけん引方向への変位量として、図-7に示す土塊中に埋設した計測用鋼板の位置を、変位計を用いて測定した。測定結果を図-8に示す。なお、測定値はけん引方向への変位を負とした。また、図中には測定位置が到達立坑に達した時点を「到達立坑」として併せて示した。

最大変位は、SoU-1（発進立坑側の上部の測定点）で発生し、けん引距離約500mmの時点で発進立坑側に最大1.2mm、けん引距離約7100mmの時点で到達立坑側に最大2.7mmとなった。SoU-1以外の測定点の変位量はほとんど動きがなく、試験開始から終了までの累計で1mm以下であった。

なお、各測定点ともに地表面計測のため、

けん引の一時中断、再開を行なった際に微小ではあるが、値の変動がみられた。

3.3 変状測定

(1) 地表面の変状測定

試験開始から終了まで図-9に示す測点にて地表面変状測定を行った。測定結果を図-10、図-11に示す。

鉛直変位は、隆起が最大10mm、沈下が最

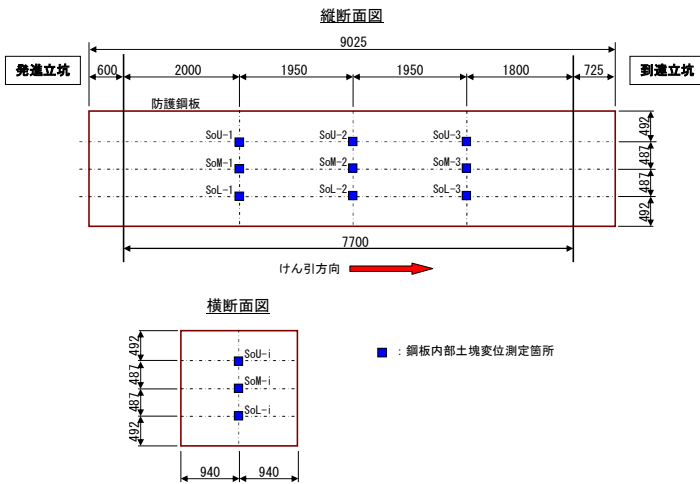


図-7 内部土塊変位測定位置図

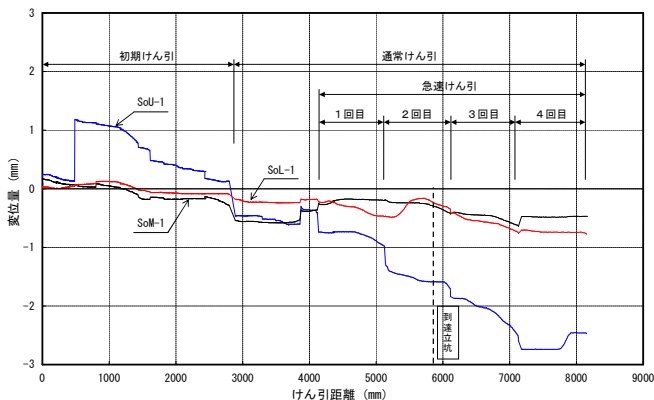


図-8 内部土塊変位図

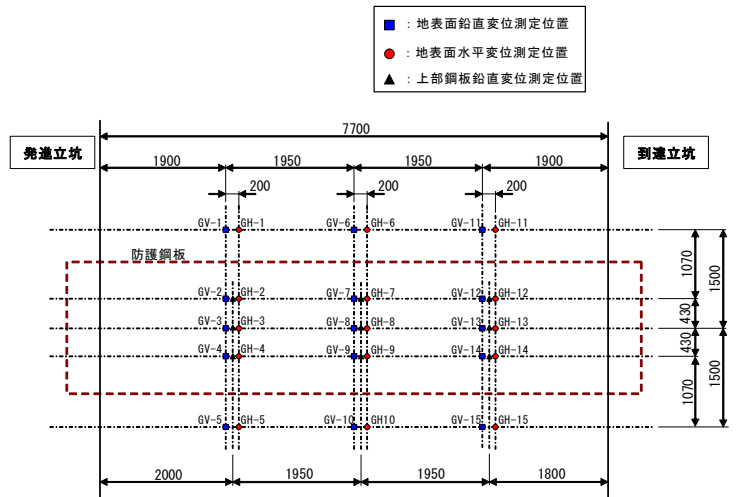


図-9 地表面の変位測定位置図

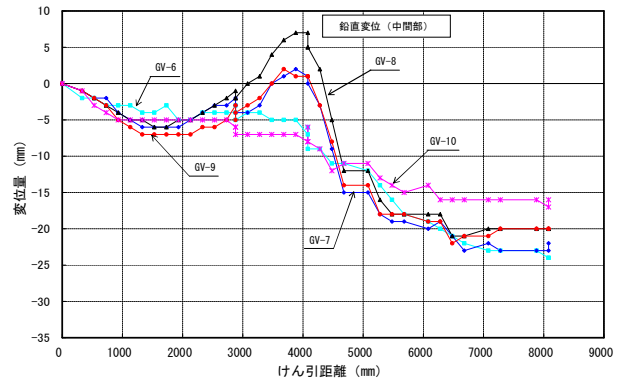


図-10 地表面の変位測定結果（鉛直）

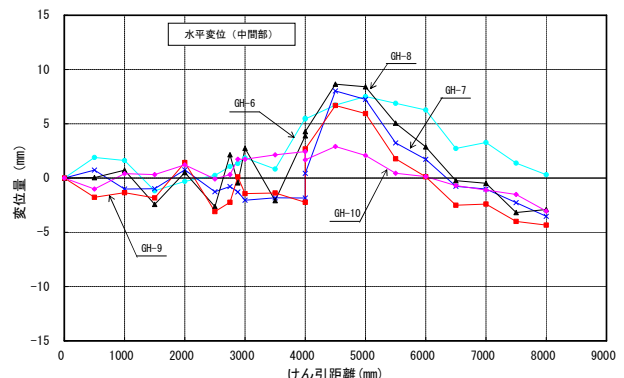


図-11 地表面の変位測定結果（水平）

大 32mm であった。変形モードは沈下→隆起→沈下といった凹凸を示した。具体的には、試験開始とともに沈下が序々に進行し、測定位置に緩衝材（土塊と函体の間に設置した鋼材）が近づくと隆起が生じ、緩衝材が通過すると再び沈下に転じる傾向を示した。緩衝材通過後の沈下量は、外側鋼板とボックスとの隙間（設計 15mm）の影響により通過前の沈下に比べ大きな値となっている。

水平変位は、到達側への変位が最大 12mm、発進側への変位が最大 10mm であった。水平変位の変形モードは鉛直変位と関連して、沈下時は発進側への変位、隆起時は到達側への変位が生じた。

(2) 上部外鋼板変状測定

試験開始から終了まで図-9に示す測点にて上部鋼板の鉛直変位測定を行った。測定結果を図-12に示す。上部鋼板の鉛直変位量は、隆起が最大 26mm、沈下が最大 24mm であった。変形モードについては、地表面変

状測定結果と同様に凹凸を示した。図-13にけん引横断方向の各測定断面の地表面変状測定結果と上部外鋼板鉛直変位測定結果を重ね合わせて示した。これらより、各測定断面において、隆起後の相対沈下量は、地表面および鋼板のいずれも 25mm 程度となっていた。

(3) 函体の挙動

試験の開始から終了まで、けん引時の函体の挙動を把握するため、図-14に示す位置にて函体の底版高さの測定を行った。測定

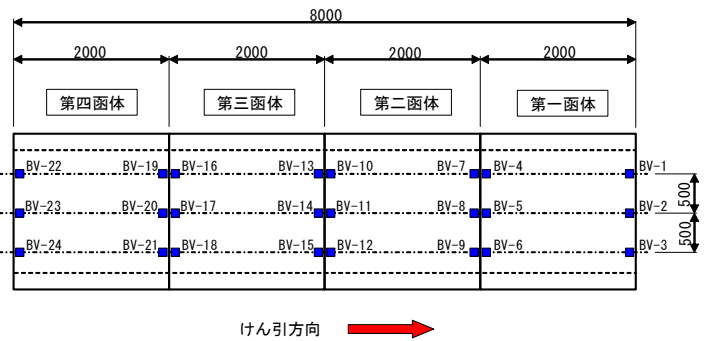


図-14 函体の挙動測定位置図

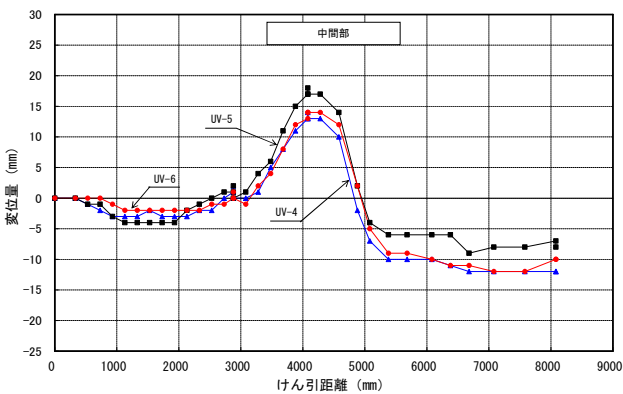


図-12 上部外鋼板鉛直変位測定結果

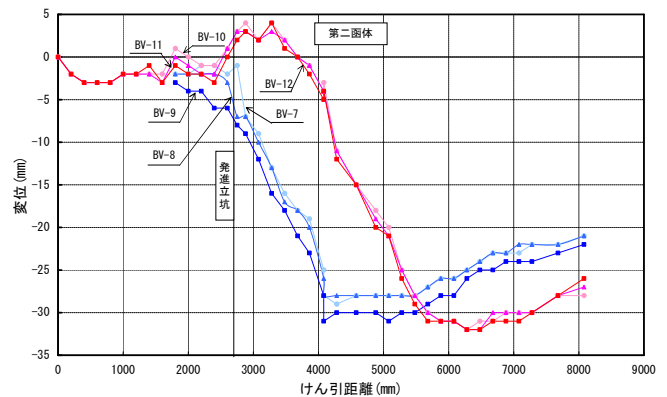


図-15 函体の挙動測定結果

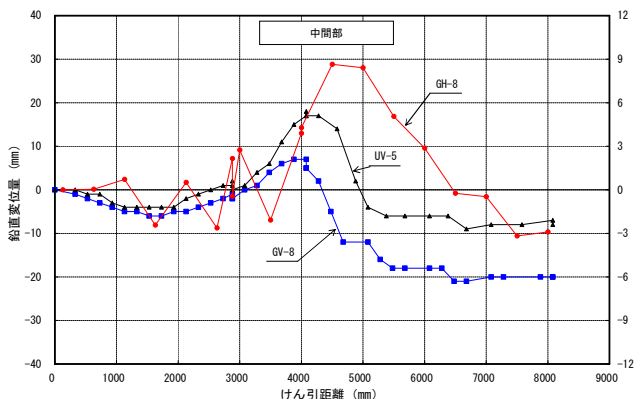


図-13 変位測定結果

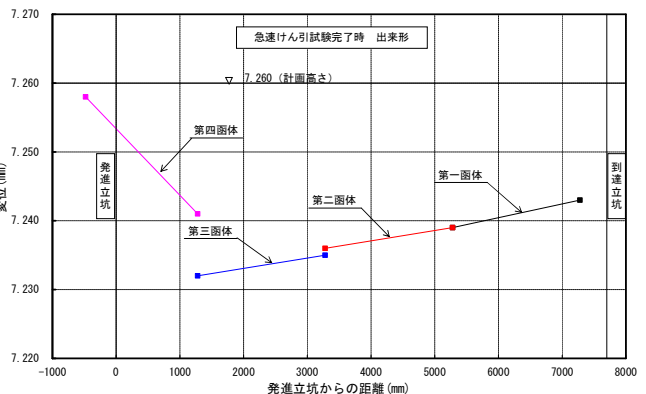


図-16 函体の底版出来形

結果を図-15, 図-16に示す。測定結果より, 第一函体~第三函体において 30mm 程度の沈下が発生した。発生位置はほぼ模擬地盤内へ函体が全てけん引敷設された位置で, 概ね発進立坑から 2.0m 程度の位置となっている。何れの函体も, 模擬地盤内に先端部が到達すると先端が下側に傾き, 函体全てが模擬地盤内にけん引敷設された後, 先端が上向きに転じていた。

3.4 サイクルタイム

急速けん引試験は, 図-17に示す作業サイクルで行った。本工法は, 線路閉鎖間合いのうち 2 時間にて 4.0m のけん引を目標としている。試験では, 1m のけん引を 4 回行い各回のサイクルタイムを測定した。サイクルタイムの集計表をグラフ化したものを図-18に示す。

1 サイクルの所要時間は回数を重ねる毎に短縮され, 第 3 回で概ね 30 分程度となった。最終的に 4.0m のけん引に要した時間は 1 時間 46 分であり, 目標としている 2 時間以内でけん引することができた。

4. 考察

本実験の結果得られた知見をまとめると以下の通りである。

試験開始から終了まで, 計画していた施工手順および施工設備システムに大きな問題はなく, けん引速度約 50~200mm/min, 最大けん引力 354kN で土塊および函体を順調にけん引することができた。

また, けん引作業時間は, “夜間線路閉鎖間合いのうち 2 時間で 4.0m のけん引作業を行う” という目標に対して 1 時間 46 分で 4.0m のけん引作業を行うことができ, 改良工法の実用性を実証する結果となった。

しかしながら, 地表面変状測定結果や函体挙動測定結果では, 地表面に最大で 10mm の隆起, 32mm の沈下と, 水平方向に±10mm 程度の変位が, 函体に 330mm 程度の沈下が発生

した。そのため, 実施工では軌道を浮かした状態でけん引作業を行い, 過大な軌道変状を防止するとともに, 函体の出来形確保のために防護鋼板の上げ越しや内空の拡大といった対策が必要になると考える。

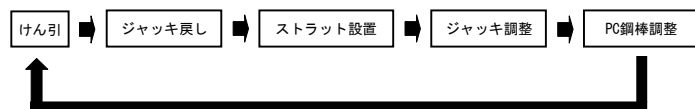


図-17 作業サイクル

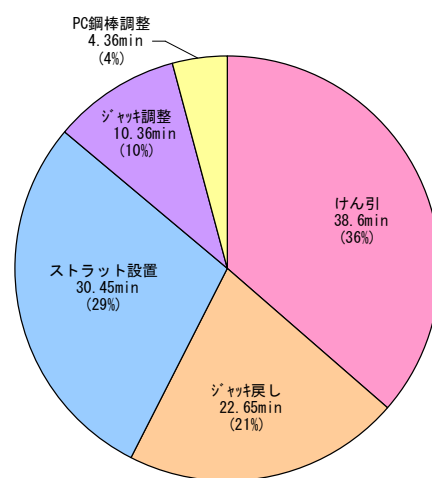


図-18 サイクルタイムの測定結果

参考文献

- 1) 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
- 2) 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, 平成 16 年 9 月
- 3) 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, 平成 16 年 9 月
- 4) 清水, 渡邊他: 小断面アンダーパス工法の開発, 土木学会, 土木建設技術シンポジウム 2006, VI-11, 平成 18 年 7 月