

COMPASS工法における新しい軌道変位制御手法の開発

泉 宏和*1・岩瀬 隆*2・栗栖基彰*3・長尾達児*4

概 要

小断面ボックスカルバート（4m×4m 程度）を対象として、地表面への影響を最小限に抑制し、施工延長に制限を有しない函体推進工法の開発に着手した。

第一段階として、考案した制御機構による地盤面の高さ制御が可能であることを、実証実験によって確認した。また、この実験において、掘進中の刃口の姿勢制御が軌道変位抑制に対し、重要であることを確認したため、第二段階として、刃口姿勢を綿密に管理可能な刃口機構の開発を行った。

本稿では、開発概要および今年度までに実施した試験概要・試験結果について報告する。
キーワード：線路下横断構造物・小断面ボックスカルバート・地盤切削・軌道変位制御機構・刃口姿勢制御機構

DEVELOPMENT OF A NEW TECHNIQUE FOR CONTROLLING TRACK IRREGULARITIES BY THE COMPASS METHOD

Hirokazu IZUMI *1, Takashi IWASE *2, Motoaki KURISU *3, Tatsuji NAGAO *4

Abstract

For the construction of box culverts with a small section (approx. 4 m x 4 m), we have begun development of a box culvert jacking method, which is applicable for a wide range of projects without any restriction in the lengths of construction structures, and is able to minimize ground surface effect.

First, we conducted a demonstration test of the control system we have developed, and verified that it is able to control the level of the ground surface. Through this experiment, it was confirmed that controlling the cutting edge in good posture during operation is important to control track irregularities. As the second step, we developed a cutting mechanism capable of minutely controlling the posture of the cutting edge. This paper reports an overview of the development, and the tests conducted to date and the results.

Keywords: crossing structure under a track, box culvert with small section, ground cutting, system of controlling track irregularities, system of controlling the posture of the cutting edge

*1 Civil Engineering Business Department, Tohoku Branch

*2 Construction Technology Group, Research and Development Center, Construction Technology General Center

*3 Manager, Under Ground Structure Group, Civil Engineering Technology Department, Civil Engineering Division

*4 Deputy General Manager, Research and Development Center, Construction Technology General Center

COMPASS工法における新しい軌道変位制御手法の開発

泉 宏和*1・岩瀬 隆*2・栗栖 基彰*3・長尾 達児*4

1. はじめに

軌道変位制限の厳しい条件下における小断面の線路下横断構造物を非開削で構築する工法として、HEP&JES工法¹⁾や地盤切削JES工法^{2)~8)}、COMPASS工法（COMPAct Support Structure method）^{9)~11)}等がある（図-1～図-3）。しかし、施工対象が小断面のボックスカルバートの場合、JES工法では対象とする構造物に対して、部材寸法が過大となり不経済である。また、函体自体を推進（けん引）する方法では、掘進施工時の地表面への影響が大きいという課題がある。さらに、COMPASS工法の場合は、掘進延長が20m未満に限定される制約がある。

そこで、人道や水路といった小断面ボックスカルバート（4m×4m）を対象とし、地表面への影響を最小限に抑制することを目的とした、COMPASS工法の新しい地盤切削機構による函体推進工法を開発した。

本稿では、工法概要および試験結果について報告する。

2. COMPASS工法の概要

COMPASS工法は、線路または道路下横断構造物のうち、主に小断面の人道、水路ボックスなどの構造物を構築する非開削工法である。図-4にCOMPASS工法の施工順序を示す。

施工は、まず地盤を切削するワイヤーなどを配置するためのガイドパイプ（塩ビ管V P 300）を2m間隔程度に敷設する。次に計画構造物の外周4面を地盤切削ワイヤー（φ11mm）によ

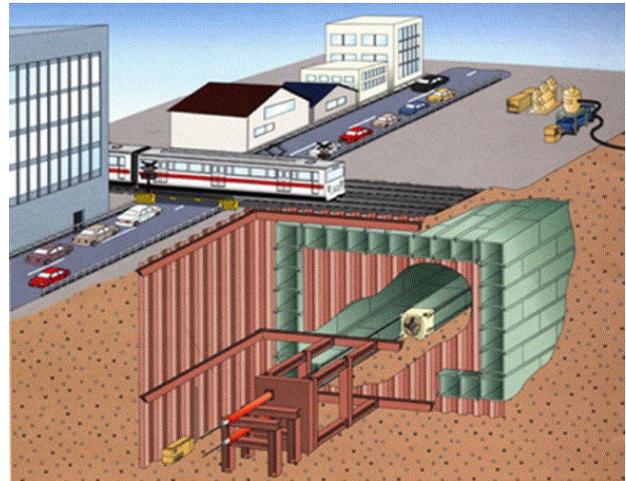


図-1 HEP&JES工法概要図

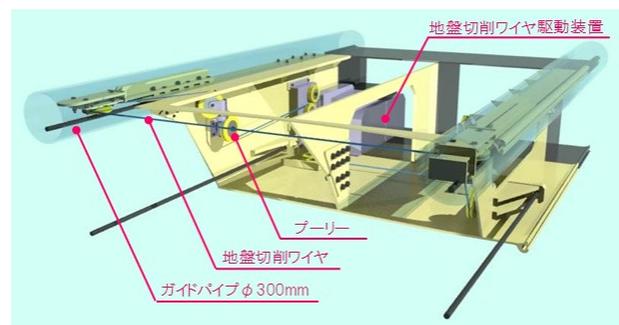


図-2 地盤切削JES工法概要図



図-3 COMPASS工法概要図

*1 土木本部 土木技術部 地下構造グループ (現) 東北支店 土木営業部

*2 建設技術総合センター 研究開発センター 施工技術グループ

*3 土木本部 土木技術部 地下構造グループ グループリーダー

*4 建設技術総合センター 研究開発センター 副所長

り地盤を切削した後に、防護鋼板（ $t=16\sim 22\text{mm}$ ）をけん引挿入する。そして、防護鋼板に囲まれた内部をスライド刃口後方にプレキャストボックスを携えて、内部を掘削しながら函体掘進をする。

COMPASS 工法の主な特長を以下に示す。

- ・ 事前に地山に防護鋼板を挿入しておくことにより、掘削時には陥没の危険なく施工することができる。
- ・ 地盤切削ワイヤーにより地盤を切削すると同時に防護鋼板を挿入するため、地表面の陥没、隆起が発生しにくい。

- ・ 掘削には、防護鋼板の先行支持や出来形に追従できる機能を有しているスライド刃口を用いるため、安全な掘削が可能である。

3. 開発の流れ

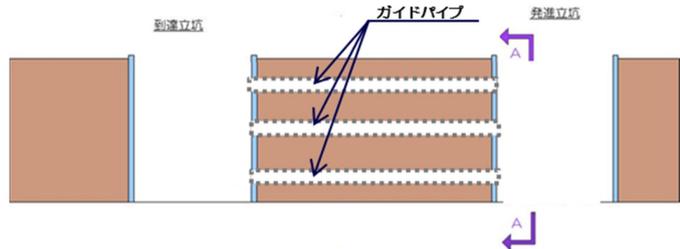
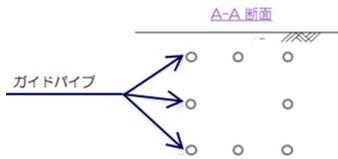
掘削装置概要図を図-5に示す。開発は以下に示す流れに沿って実施した。

(1) 軌道変位制御機構の開発

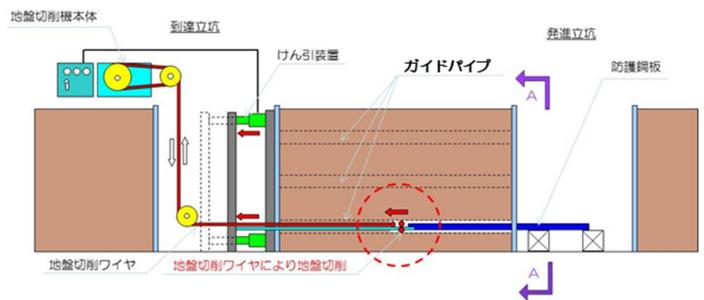
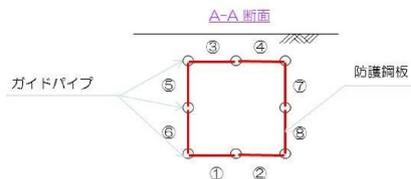
下記事項に対する要素試験、掘進試験を実施。

- ・ 地盤切削機構を有する刃口を使用し、刃口による支障物の押し上げを防止する。
- ・ 変位制御ジャッキによる沈下抑制。

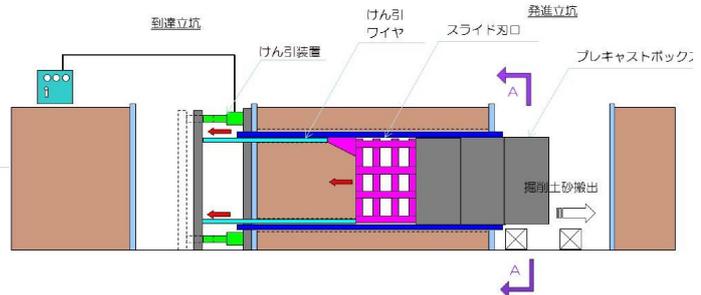
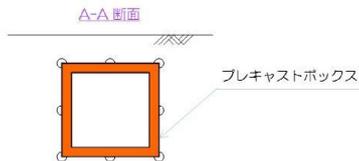
①ガイドパイプ設置工



②地盤切削・鋼板挿入工



③内部掘削・函体けん引工



④裏込め充填工

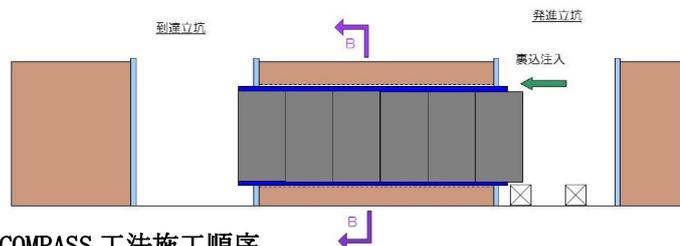
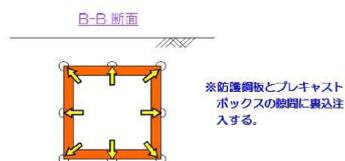


図-4 COMPASS 工法施工順序

(2) 刃口姿勢制御機構の開発

下記事項に対する要素試験，気中掘進試験を実施。

- ・ 刃口とボックスカルバートの間に接続する姿勢制御アダプターを設計・製作し，刃口姿勢修正を推進距離に応じて緩やかに行う。

(3) 地盤切削刃口+姿勢制御アダプターによる実証試験の実施

ただし，(3)は今年度実施中であるため，本報告は(1)および(2)の項目とする。

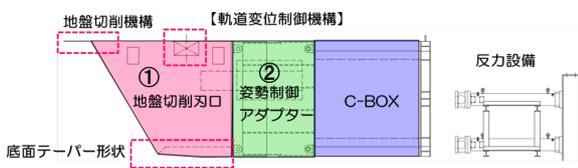


図-5 掘削装置概要図

4. 軌道変位制御機構の開発

4.1 試験概要

省力化軌道の下に小断面の線路下横断構造物を施工する際，開削・非開削のいずれであっても省力化軌道の撤去が必要であり，コスト・工期の増大要因となっている。そこで，省力化軌道を維持した状態で非開削工法の施工を可能とすることを目的とし，軌道変位を制御しながら小断面函体を施工する工法の開発を実施した。

具体的には，地山のゆるみの抑制および軌道（地盤）変位量の制御手法として油圧ジャッキおよび袋体内注入方式（図-6）を，また，刃口の姿勢を制御する手法としてテーパ形状刃口による底盤すき取り量調整方式（図-7）を採用した軌道変位制御機構を，TC型省力化軌道下に施工する人道地下道を想定して実証試験を行い開発した。

4.2 試験方法

実際の人道地下道では 4m×4m 程度のボックスカルバートが敷設されるが，本実証実験では，1/2 に縮小した 2m×2m のボックスカルバートを推進工法で敷設した。このとき，掘削による刃口上面の地山のゆるみの解消および，刃

口直上における沈下量の補償を「油圧ジャッキ+袋体内注入方式」にて実施した。

地表面変位は，レーザーレベル+電子スタッフによる自動計測点を注入バッグ布設線直上に 5 測線設け，地表面の挙動を連続計測した。また，5 測線上以外で地盤こう上・バッグ注入を行う際には，別途電子スタッフを 2 台用意し，作業箇所直上の地盤高の変位を随時盛替えながら自動計測した。電子スタッフによる計測結果から，油圧ジャッキによるこう上とバッグ注入の間の経時変化を確認した。また，試験区間終端に活荷重載荷区間を設け，当日の作業終了後（1 時間程度）に振動ローラーを走行させ，活荷重載荷前後での地表面高の変化を確認した。そして，試験完了後に掘り起こしを行い，注入バッグへの影響を確認した。

掘削は地盤切削刃口を用いて人力にて行い，姿勢制御手法は，地盤切削 JES 工法の刃口（基準エレメント用）に準じ，刃口底面のテーパ形状と切羽底面の掘削残し量調整によるものとした。試験フローを図-8 に，試験概要を図-9，図-10 に示す。

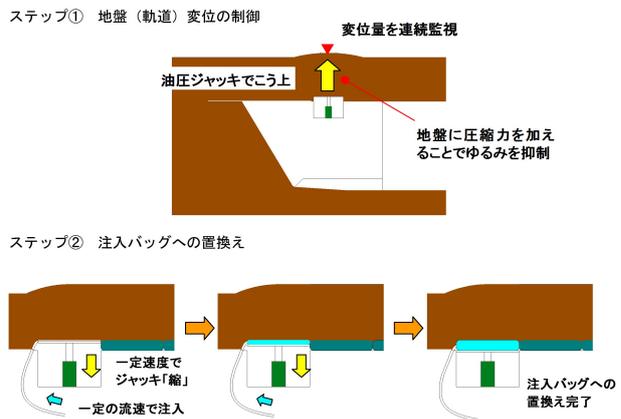


図-6 軌道変位制御概念図
(油圧ジャッキ+袋体注入方式)



図-7 掘削装置概要図（テーパ形状刃口による底面すきとり量調整方式）

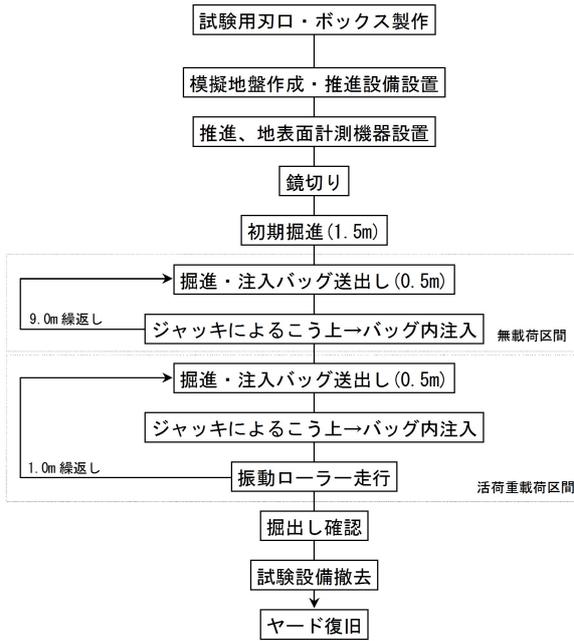


図-8 試験フロー

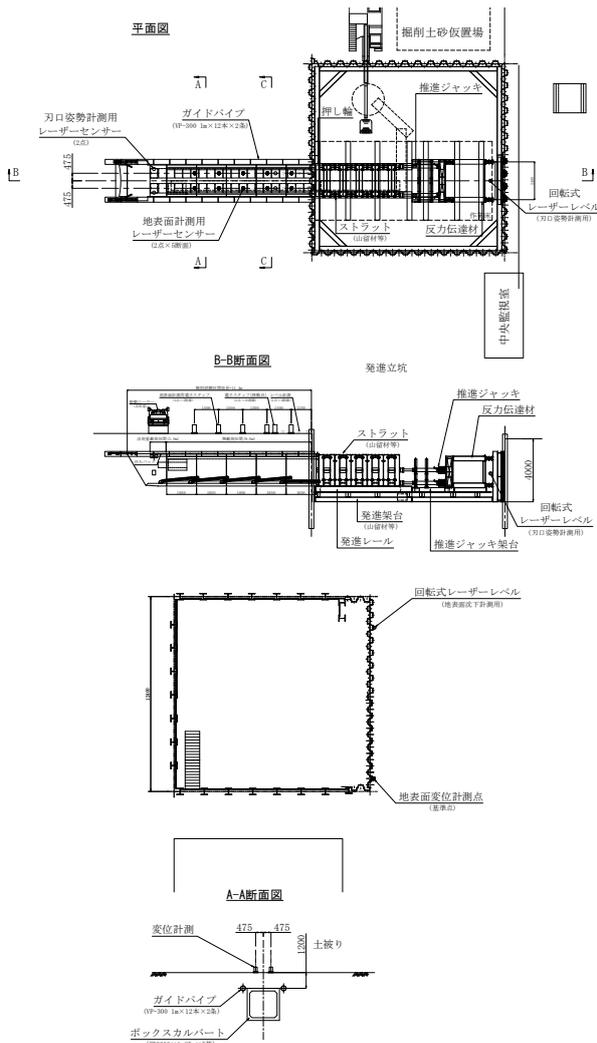


図-9 試験概要図

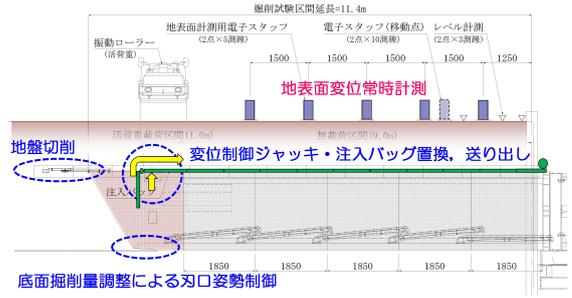


図-10 試験概要図

4.3 試験結果

試験状況を写真-1～写真-3に、また、掘進結果の出来形と地表面変位計測結果を図



写真-1 地盤切削刃口

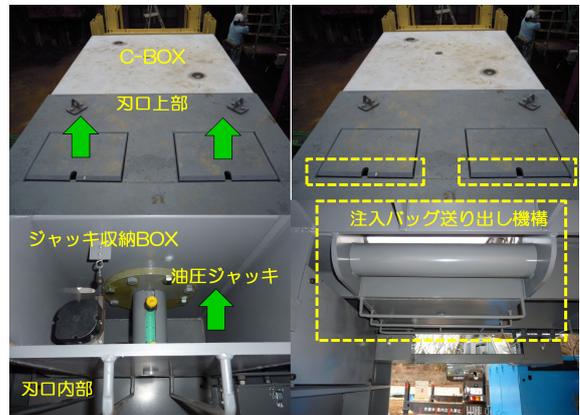


写真-2 変位制御ジャッキ

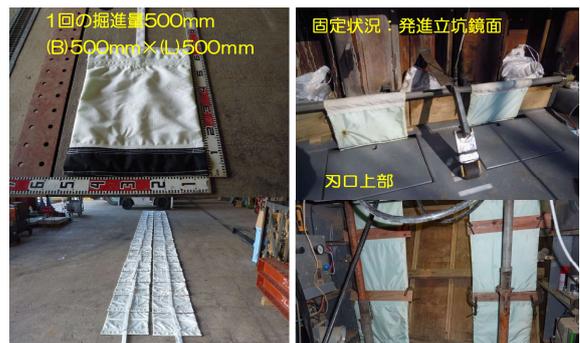
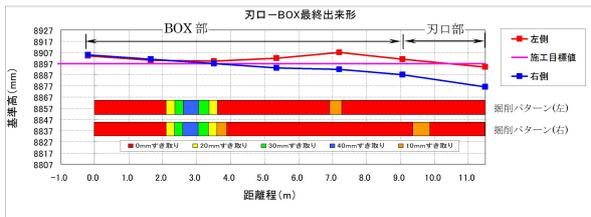


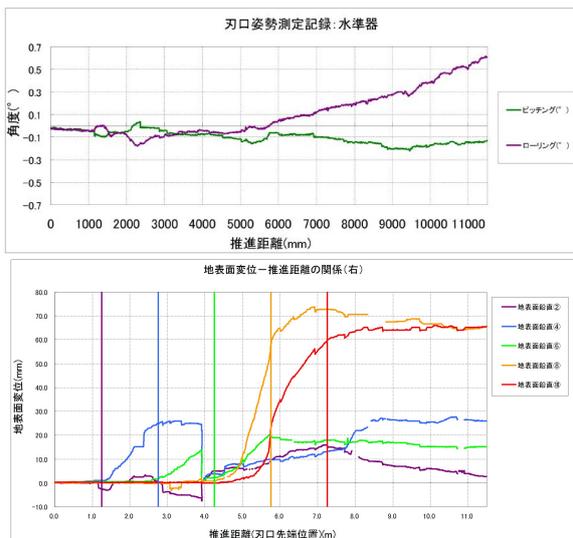
写真-3 注入バッグ

－11, 図－12 に示す。

刃口底面のテーパと、掘削時の底盤のすきとり量の調整による刃口方向制御を行った結果、目標高に対する偏差は、刃口で 20mm 以内、ボックスカルバートでは 10mm 以内で管理することができた。しかしながら、刃口のピッチングを急激に上向きに修正した際に上部地盤を押し上げ、地表面変位は最大で 70mm となった。



図－11 刃口-BOX 出来形



図－12 地表面変位計測結果

4. 4 考察および課題

(1) 軌道変位制御手法

- ・ ジャッキによる地盤のゆるみ制御から袋体注入による制御方法を確立した。
- ・ 掘進と同時に注入バッグを地山へ送り出す機能は有効であった。
- ・ 課題として、ジャッキ能力、袋体耐力の見直しが必要である。

(2) 刃口姿勢制御手法

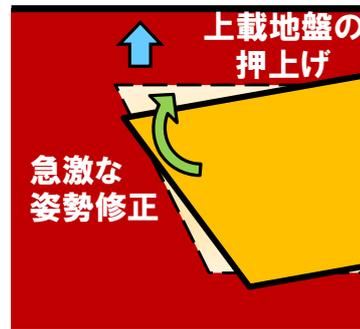
- ・ 地盤切削機構+テーパ刃口による姿勢制御方法は有効であったが、COMPASS 工法

の一般的な施工断面に比べ断面が大きくなると、姿勢制御効果の予測が難しいことが分かった。そのため、適正なテーパ量の検討が必要である。

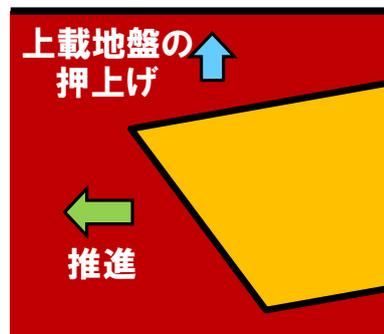
(3) 地表面への影響

- ・ 刃口の姿勢制御時に最大で 70mm 程度の隆起が発生した。
- ・ 掘進試験における課題を図－13 に示す。

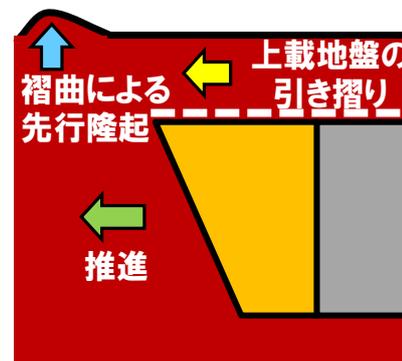
①刃口姿勢の急激な修正による隆起



②刃口のピッチングが下向きのまま掘進したことによる隆起



③上部地盤の引き摺りによる前方地盤の褶曲や競り上がりによる先行隆起



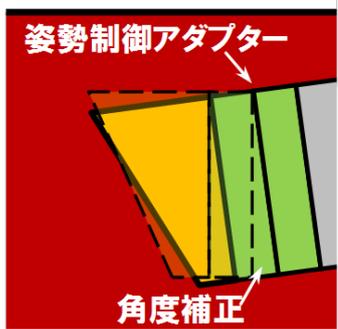
図－13 掘進試験における課題

5. 刃口姿勢制御機構の開発

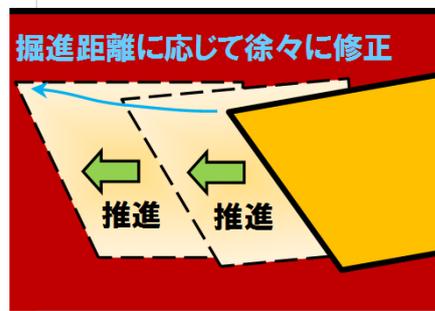
5.1 掘進試験における課題に対する対策

図-13で挙げた課題に対する対策として、地表面への影響低減を考慮した図-14に示す事項を検討し、刃口姿勢制御アダプターを開発した。

- ① 刃口の姿勢を設計勾配に合わせてるように維持，修正する。



- ② 姿勢の修正は，掘進距離に応じて緩やかに行う。



- ③ 中押し機構を備え，中押しと元押しに分けて交互に掘進することで上部地盤の前方への押し出し力を分割し，上部地盤との摩擦低減を図る。

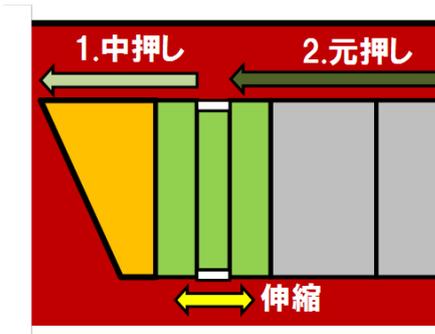
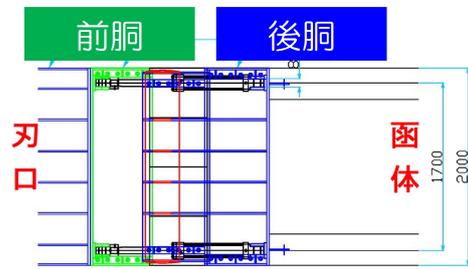


図-14 課題に対する対策

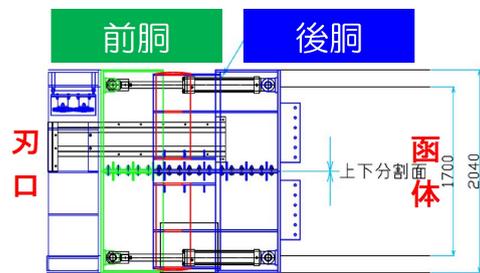
5.2 姿勢制御アダプター

姿勢制御アダプターは，刃口の姿勢を緻密に制御することと，中押し推進の手法を取り入れることにより，前項で挙げた課題を解決することができると思込まれる。

本開発で想定した 4m×4m 程度の小断面ボックスカルバートの掘削推進において，地盤切削 JES 工法と同等の地表面変位抑制能力の実現は，非開削工法における施工効率の向上に貢献する。製作した姿勢制御アダプターを図-15，写真-4に示す。姿勢制御アダプターは，ソケット状の前胴と後胴を4本のジャッキで接続す



平面図



側面図

図-15 刃口姿勢制御アダプター

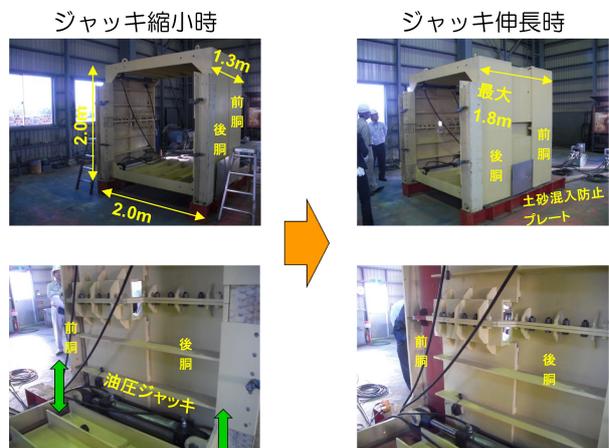


写真-4 刃口姿勢制御アダプター

る構造である。油圧ジャッキの性能は、250kN、ストローク 500mm である。

5. 3 気中掘進試験

姿勢制御アダプターの性能確認を行うため、気中での掘進試験を実施した。

試験は、通常の推進工事と同様に、元押しジャッキで刃口およびボックスカルバートを推進し、1m 毎にストラットの挿入、カルバートボックスの連結を繰り返し、10.75m の推進を行い、刃口姿勢の制御状況を確認した。

推進は気中で行い、刃口底面のテーパー形状と底盤のすきとり量を変えることで姿勢変化傾向を与え、それに対する刃口ピッチ角修正能力を確認した。そのため、ボックス底面の計画高より 100mm 程度高く地盤を盛り試験区間とした。

確認項目として、姿勢制御アダプターにより刃口姿勢を、次の 3 通りに修正することとした。

- ① 水平維持 ($0^\circ \Rightarrow 0^\circ$)
- ② 下降 ($0^\circ \Rightarrow -0.20^\circ$)
- ③ 上昇 ($-0.20^\circ \Rightarrow 0^\circ$)

推進・姿勢制御機能の確認試験概要図を図-16 に示す。

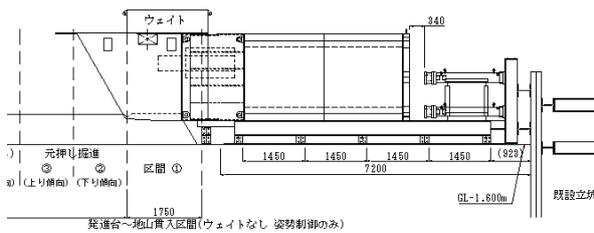


図-16 性能確認試験概要図

5. 4 気中掘進試験結果

気中掘進の主な試験結果を図-17 に示す。

図-17 の①では、姿勢修正率 $0.1^\circ / 200\text{mm}$ の入力値に対し、設定通りに刃口のピッチングを修正できた。図-17 の②では、姿勢修正率 $0.1^\circ / 100\text{mm}$ の入力値に対し、刃口のピッチングの目標値 $0^\circ \Rightarrow -0.20^\circ \Rightarrow 0^\circ$ の設定通りにピッチングを修正することが可能であることを確認した。

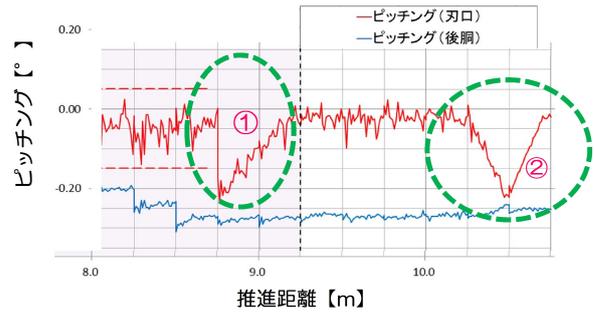


図-17 刃口の姿勢変化試験結果

5. 5 考察

掘進試験では 3 ケースの推進形態で試験を実施し、姿勢制御アダプターが以下の 2 形態の掘進時に良好な性能を示すことを確認した。

- ① 中押しジャッキによる姿勢制御+元押し
- ② 中押し⇒元押し (元押し時中押しジャッキ同調)

6. まとめ

一連の実験により得られた知見を以下にまとめる。

- ・ 地盤切削刃口+姿勢制御アダプターによるボックス推進工法を開発した。
- ・ 気中確認試験において、刃口姿勢制御結果は良好であった。
- ・ 地盤切削 JES 工法の一般的な施工断面に比べ、掘進断面が大きくなるとテーパー形状刃口の掘進管理、効果予測が難しい。そのため、緊急時用の刃口姿勢制御方法とする。
- ・ 変位制御ジャッキ、注入バッグの送り出し機能が有効であることを確認した。

7. 今後の予定

- ・ 地盤切削刃口および姿勢制御アダプターの改良。
- ・ 地盤切削ワイヤーの改良。
- ・ 地盤切削刃口+姿勢制御アダプターの土中における掘進試験の実施。

参考文献

- 1) (財) 先端建設技術センター：先端建設技術・技術審査証明 報告書 HEP&JES 工法(更新)，2005.11
- 2) 小泉秀之他：地表面変位を抑えたエレメント推進工法の開発，第 44 回地盤工学研究発表会，pp.1289-1290，2009
- 3) 小泉秀之他：地盤切削ワイヤーを用いたエレメント掘進，第 46 回地盤工学研究発表会，pp.1393-1394，2011
- 4) 桑原清，有光武，高橋保裕，中井寛：地盤切削 JES 工法を用いた線路横断工事，地盤工学会誌 60(8)，pp.10-13，2012
- 5) 泉宏和，岩瀬隆，中井寛，齋藤貴，藤本幸夫：地盤切削 JES 工法における刃口姿勢制御手法の施工確認試験，第 48 回地盤工学研究発表会，pp.1489-1490，2013
- 6) 本田諭，齋藤貴，清水満，長尾達児，栗栖基彰：地盤切削 JES 工法の施工確認試験と実施工への適用について，第 68 回土木学会年次学術講演会，pp.573-574，2013
- 7) 本田諭，齋藤貴，中山泰成，滝沢聡，尾関聡司，西村知晃：地盤切削 JES 工法を用いた線路下横断工の施工について，第 48 回地盤工学研究発表会，pp.1491-1492，2013
- 8) 西村知晃，中山泰成，尾関聡司：地盤切削 JES 工法による立体交差工事－高崎線桶川・北本間二ツ家こ道橋新設工事－，土木施工，vol.54，No.8，pp.32-35，2013.8
- 9) 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
- 10) 金木健一，荒木信博，山口高嶺，功刀雅博：線路下を鋼板で先行防護し小断面地下通路を構築，トンネルと地下，Vol.45，No.11，pp.7-14，2014.11
- 11) 泉宏和，唐戸裕二，平秀夫：COMPASS 工法による線路下横断水路の施工，第 70 回土木学会年次学術講演会，pp.1389-1390，2015