

2

変位制限の厳しい条件下での小口径推進工法の開発

岩瀬 隆^{*1}・長尾達児^{*2}・栗栖基彰^{*3}・泉 宏和^{*4}

概 要

現在、線路下を横断する管路の敷設には小口径推進工法が多く用いられている。この工法では、一般に敷設した管路の裏込め充填は行われていない。軌道構造として TC 省力化軌道を採用している区間では、軌道整備の実施が容易でないことから許容される軌道変位量が厳しく制限されているため、施工中に生じた空隙は速やかに充填して沈下の要因をなくすことが求められている。

本開発では、適用事例の多い圧入二工程方式を対象として、これらの工法の施工設備に大きな変更を行わず、掘進同時注入機能を追加できる機構（先導体、注入システム）の開発を行った。

本稿では、試験概要と注入機構の要素試験、試験ヤードにおける模擬施工試験の結果について報告する。

キーワード：軌道下横断，小口径推進工法，掘進同時注入，遅硬性滑材

DEVELOPMENT OF A SMALL-DIAMETER PIPE JACKING METHOD FOR SITES
WITH STRICT LIMITS ON IRREGULARITIESTakashi IWASE ^{*1}, Tatsuji NAGAO ^{*2}, Motoaki KURISU ^{*3}, Hirokazu IZUMI ^{*4}

Abstract

At present, the small-diameter pipe jacking method is often used for installing pipelines that cross under railroad tracks. This method generally does not include backfilling of pipelines installed. In a section where a TC-type track is used for low maintenance, the amount of track irregularity allowed is strictly limited because track maintenance is difficult. Accordingly, voids generated during construction must be promptly filled to eliminate settlement.

For the present project, we have focused on the jacking two-process method, which has been utilized numerous times, and developed a mechanism (lead jacking machine and injection system) that allows addition of simultaneous excavation and injection function without making any major change to the construction equipment for these methods. This paper summarizes the tests conducted and reports on the results of the element test of the injection mechanism and simulated construction test in a test yard.

Keywords: crossing under tracks, small-diameter pipe jacking method, simultaneous excavation and injection, hardening deceleration lubricant

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

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

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

*4 Civil Engineering Business Department, Tohoku Branch

変位制限の厳しい条件下での小口径推進工法の開発

岩瀬 隆*1・長尾達児*2・栗栖基彰*3・泉 宏和*4

1. はじめに

現在、線路下を横断する管路の敷設には、小口径推進工法が用いられるケースが多い。一般にこの工法では敷設した管路の裏込め充填は行われておらず、長距離推進を目的として滑剤注入機構を備えた一部の施工機械以外ではそのための機構を備えていないのが現状である。このことが施工中及び施工後の沈下の要因となっている。

線路下横断管路の施工には、①比較的短距離である。②線形が直線である。③敷設精度がよい。④低コスト。といった条件から、圧入二工程方式が採用されることが多いが、これらの工法の施工機械には裏込め注入機能は一般に備わっていない。

また、線路下横断管路の施工に伴って生じた沈下に対しては軌道整備を行って対応するのが一般的であるが、軌道構造として TC 省力化軌道を採用している区間では軌道整備が容易に行えないため、許容される軌道変位量が厳しく制限されており、このような軌道構造区間への小口径推進工法の適用には、掘進時に生じた地山の緩みや、余掘り部分への対策が課題となっている。

さらに、鉄道関連施設の一部や、地盤切削機構を併用したアンダーパス築造工の仮設工としてとして施工される管路の場合、土被りが(1m程度の)非常に小さいものが多く、裏込め注入を実施する場合、その圧力管理はより緻密なものが要求される。

本開発では、掘進時に速やかに推進管外周へ

の裏込め注入が実施可能で、より緻密な圧力管理が可能な小口径推進工法向け掘進同時注入機構を開発した。本稿では、要素試験、模擬施工試験の結果を報告する。

2. 試験概要

本開発では、当社保有技術である COMPASS 工法¹⁾や地盤切削 JES 工法²⁾のガイド管として、スピイダー工法での塩ビ管 φ300mm (VP-300)の推進・敷設をモデルケースとした。推進工二工程目である塩ビ管推進時に同時裏込め注入機構を可能にする先導体を試作し、要素試験として気中にて注入機能の確認を実施した。その後、試験ヤードにて模擬施工試験(L=10m)を実施し、充填性と地表面への影響を確認した。注入材は可使時間の長い可塑状充填材である SC フィラーを採用した。

3. 掘削同時注入用先導体概要

平成 25 年度の技術開発では、小口径推進工法で敷設される鞘管に予め注入孔を設けておき、推進工及び本管敷設完了後に行われる中詰めモルタル充填の際に、同じ材料をさや管外に漏出させることで裏込め注入を実施する方法³⁾を開発し、その充填性を確認した。

しかし、この方法では、推進管を直接利用する(本管挿入、中詰めを行わない)今回のモデルケースには適用できない。通常、推進工施工中の推進管内は、ほぼ全内空を排土スクリーパーに占有されるが、本開発では、推進管の内側に推進管内径より径を絞った排土用インナーチ

*1 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

*2 建設技術総合センター 研究開発センター 副所長

*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 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

ューブを設けて確保した空間に注入機構を設置した掘削同時注入用先導体を試作した（図－1、写真－1、写真－2）。

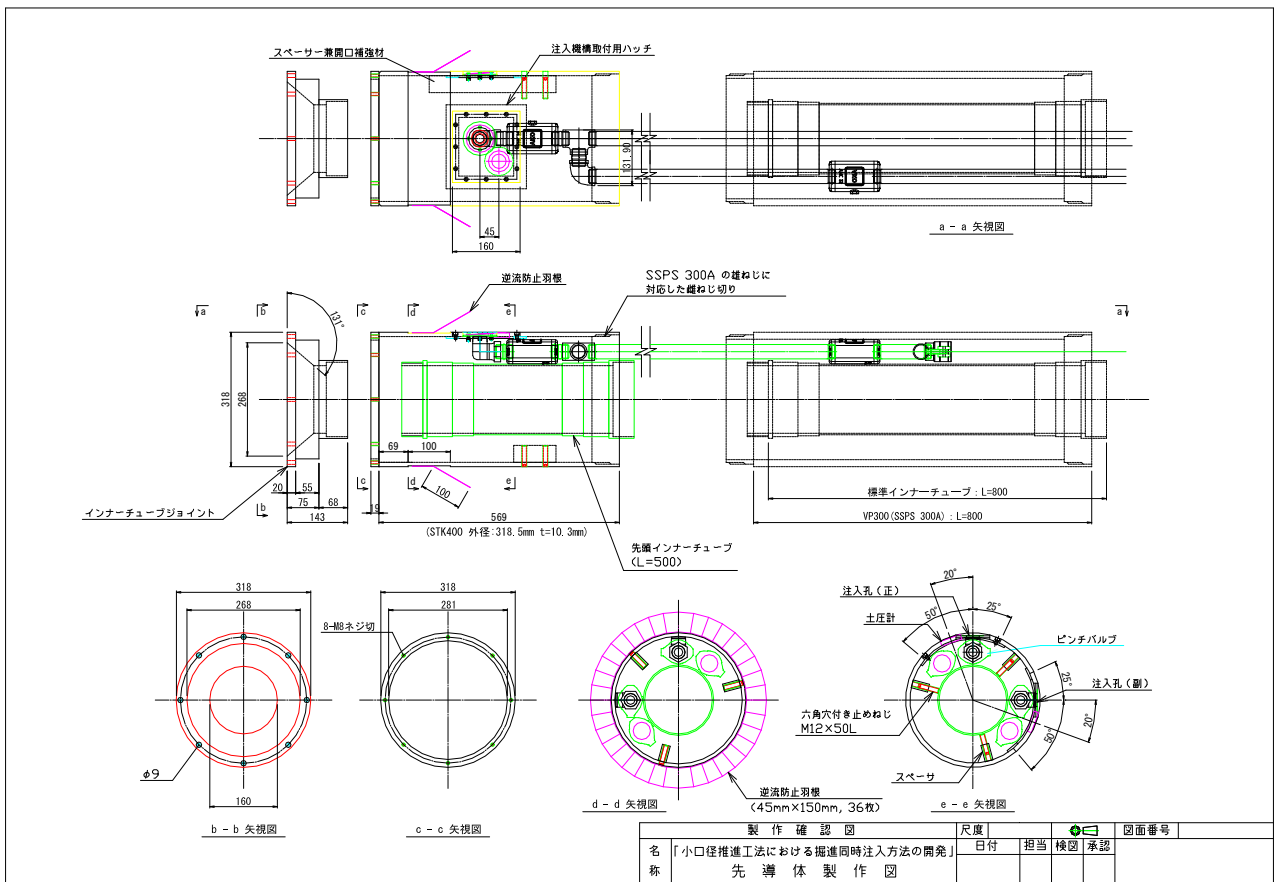
以下に本先導体の特徴をまとめる。

- ・ 注入材が切羽（掘削開放面）側へ漏出することを防ぐ逆流防止羽根を備える。
- ・ 土砂や注入済み材料の注入管への流入を防ぐ逆止弁構造を持った注入孔を備える。
- ・ 地山に注入された注入材の圧力を直接計測する土圧計を備える。

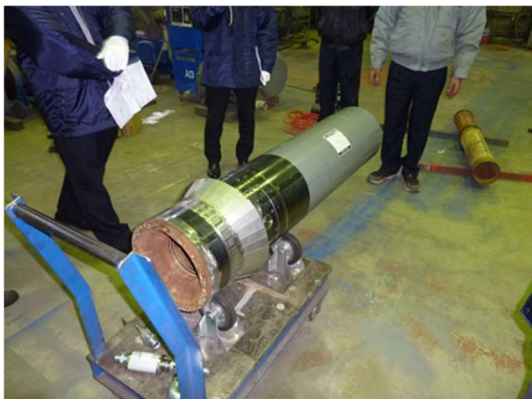
- ・ 注入システムの洗浄機能を有する注入機構を備える。
- ・ $\phi 1.5\text{m}$ 円形立坑内で施工できる推進機（SR-30FT）で使用が可能。

4. 注入機構概要

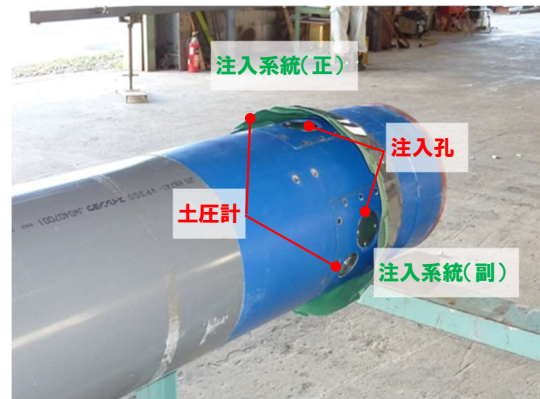
注入機構の概要を図－2に示す。注入機構は、実施工において週末を挟んで施工する場合や線路閉鎖が取れない場合など、休工を数日挟む場合を想定し、注入ホース内に滞留している注入



図－1 同時裏込め注入用先導体製作図



写真－1 先導体（前方より）



写真－2 先導体（後方より）

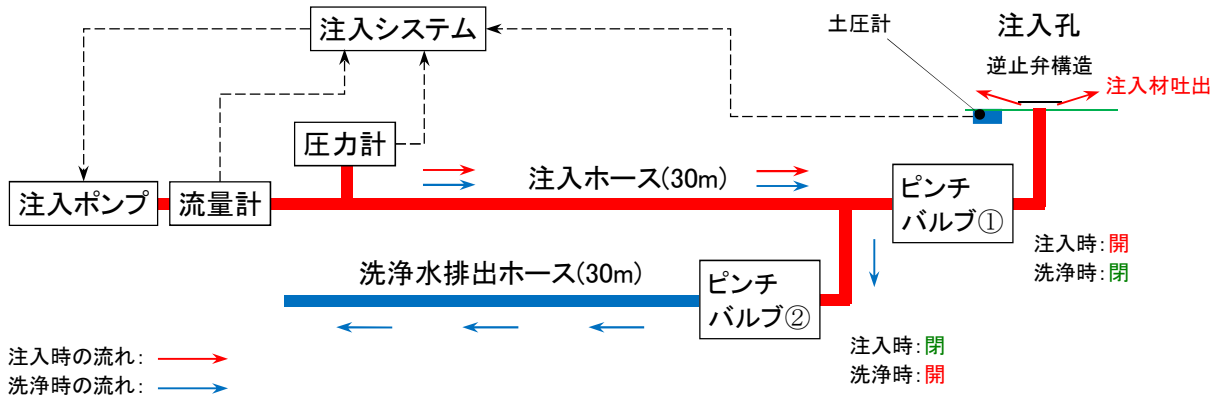


図-2 注入機構概要図

材を排出して注入システムを洗浄できる機能を持たせている。また、注入孔直近の地山側に注入圧を検知する土圧計を備えており（写真-2）、配管長や注入孔に設置した逆止弁などに起因する注入システムの圧力損失の影響を受けることなく正確な注入圧を計測でき、その値をもとに注入ポンプを制御することでより緻密な注入圧管理が可能である。以上の2点が本注入機構の最大の特徴となっている。

また、これらを収容する空間は、掘進中の排土能力の低下を抑え、掘削径φ200mmの推進工に用いられるインナーチューブを採用したため、注入機構を収容する空間は推進管(VP300)の内面から約60mmの円筒状に制限された。そのため、注入機構を構成する機器は、より小型のものを選定し、特に注入システムの注入/洗浄の切替を行うバルブは、圧縮空気です遠隔操作を行うピンチバルブを採用した（写真-3）。



写真-3 空圧式ピンチバルブ

5. 注入材料

注入材料は可使時間の長い可塑状充填材であるSCフィラー（写真-4）を採用し、配合は推進工法裏込め注入用とした。

配合を表-1に規格値を表-2に示す。

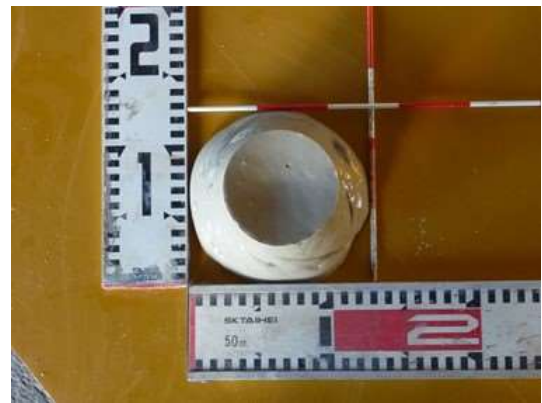


写真-4 SCフィラー

表-1 SCフィラー推進工法裏込め注入用配合 (1m³)

A液(500L)		
セメント	SC-A (可塑促進剤)	水
125kg	10kg	454kg
B液(500L)		
特殊ベント ナイト	SC-B (可塑安定剤)	水
62.5kg	3kg	475kg

表-2 SCフィラー推進工法裏込め注入用配合規格値

フロー値	120mm±40mm
ブリージング率	1%以下
一軸圧縮強度(σ ₂₈)	0.10N/mm ² 以上

6. 要素試験

試作した先導体と注入機構の機能を確認するため、先導体部に掘削孔壁を模擬した透明パイプ(内径φ340mm, L=1m)を被せて模擬注入を行った。

掘削推進の進捗に伴い生じる余掘り部分を模擬するため、透明パイプ延長の中央で二つの区間に分け、初回の注入のあと所定の日数を空け、透明パイプ内に先導体を約40cm前進させて2回目の注入を実施した。試験間隔(日数)を変えて再度模擬注入を行い、合計4回の注入試験を実施した。要素試験概要図を図-3に、各注入試験の実施間隔等、試験パターンを表-3に示す。なお、試験に用いた注入ホースは、複線横断の施工を想定し30mとした。

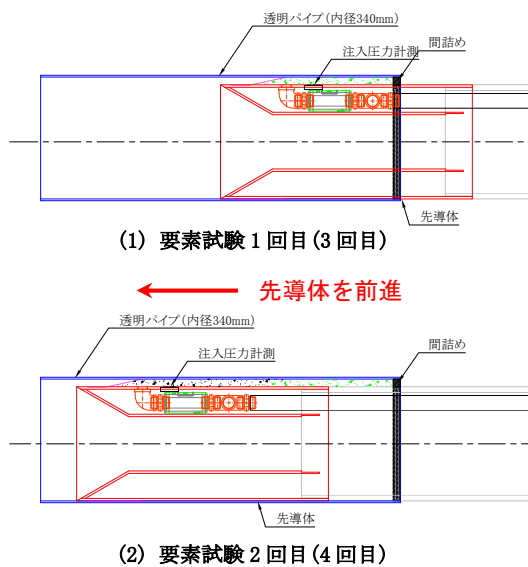


図-3 要素試験概要図

表-3 要素試験パターン

回数	実施間隔	洗浄範囲	記事
1回目	—	なし	
2回目	1回目の翌日	ホース内のみ(注入孔部以外)	先導体を40cm前進
3回目	2回目の5日後	ホース内のみ(注入孔以外)	透明管再セット
4回目	3回目の7日後	ホース内のみ(注入孔以外)	先導体を40cm前進

これにより、逆流防止羽根によるシールの効果、注入系統の洗浄機能、休工後に再注入が可能であること(注入経路に閉塞を生じないこと)を確認した(写真-5~写真-7)。



写真-5 3回目注入状況

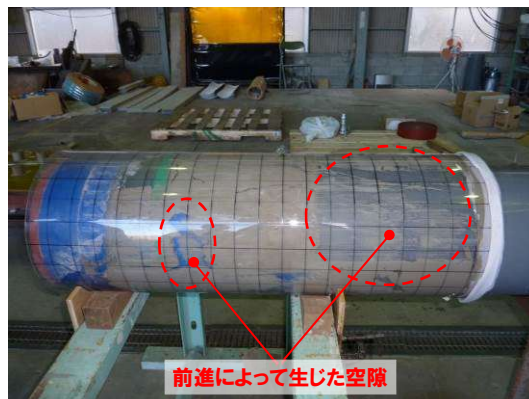


写真-6 4回目注入前(先導体前進後)



写真-7 4回目注入完了

7. 模擬施工試験

建設技術総合センター試験ヤード内既設試験用立坑を発進立坑とし、試験区間長10.5mを隔ててライナー立坑を作成し到達立坑とした。土被りは1mとし、推進計画線直上の地表面には

変位計測用の電子スタップ（回転式レーザーレベル用受光器）を2m間隔で設置して、試験中の地表面変位を自動計測した。模擬試験施工概要図を図-4に示す。

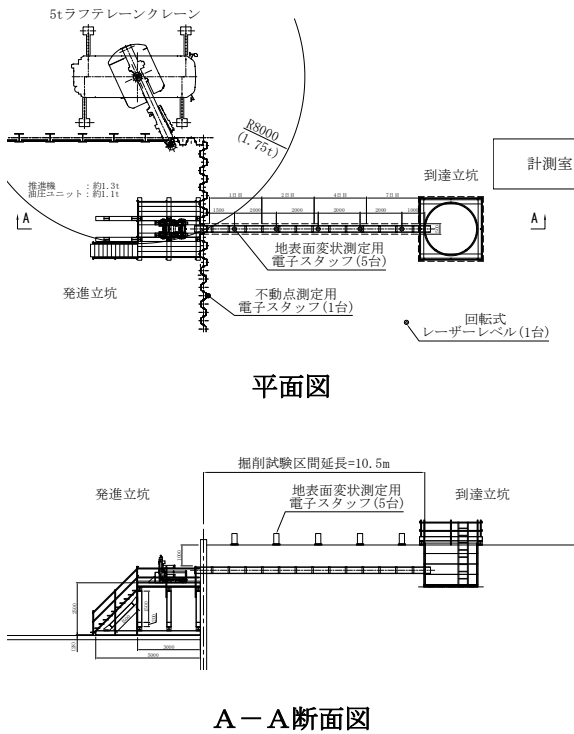


図-4 模擬施工試験概要図

注入管理圧は HEP&JES 工法⁴⁾における管理圧設定方法に準じ、14.4kPa(=上載荷重×0.8)とした。

推進試験は推進・注入、推進管接続の1サイクルが800mmであるため、試験パターンを切り替える際には、このサイクルに従った。試験パターンは充填性のよい施工方法を模索するため、以下の条件で実施した。

- ① 掘進と注入を交互にする。
- ② 低速で掘進しつつ注入を行う。
- ③ 可塑促進剤 (SC-A) を調整して流動性を高める。

実施区間と内容を表-4に、実施状況を写真-8、写真-9に示す。

充填状況については、推進工完了一ヶ月後に推進管を掘削露出させ、硬化した注入材の厚さを0.5m間隔で計測して確認した。

表-4 試験実施パターン一覧

推進管 No.	距離程 [m]	管理圧力 [kPa]	注入方法	記事
1	0~0.7	14.4	坑口充填と同時	
2	0.7~1.5			
3	1.5~2.3		掘進同時	
4	2.3~3.1			
5	3.1~3.9			
6	3.9~4.7		掘進・注入交互	
7	4.7~5.0			
8	5.0~5.5	21.6	掘進・注入交互	30mm/分
9	5.5~6.3			管理圧力 x1.5
10	6.3~7.1		14.4	掘進同時
11	7.1~7.5			
12	7.5~7.9			
13	7.9~8.7	可塑促進剤なし		
14	8.7~9.5			
14	9.5~10.3			
14	10.3~11.1		無し	到達空押し



写真-8 推進同時注入状況

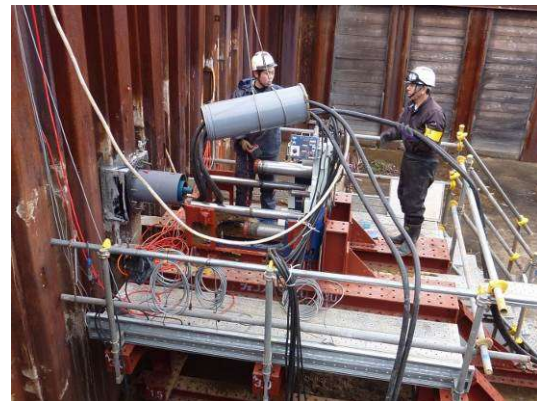


写真-9 推進管接続状況

8. 試験結果

8.1 施工性

注入作業は、先導体外周面に取付けた土圧計により検出した注入圧力による注入ポンプの自動制御を行ったため、推進開始時に「注入開始」を、推進終了時に「注入終了」のスイッチを押すだけで済み、注入圧によるポンプの自動起動/

停止，流量，注入材の監視のみで，特別な管理作業は必要としなかった。

推進管の接続作業は写真-9でわかるように，注入管，同洗浄管，ピンチバルブ操作用エアホース類を中に通しての作業となるため，平均50分を要し，これらが無い場合に比して30分程多くかかった。

8.2 注入材充填状況

本注入機構の自動注入機能による掘進同時注入時のデータを図-5に示す。設定した管理圧力14.4kPaに対して平均13.3kPaの注入圧で注入することができている。また，掘削土への注入材の混入も見られなかったことから，先導体に取り付けた逆流防止羽根により切羽側への注入材流出が抑えられ，余掘り部分の注入圧力を

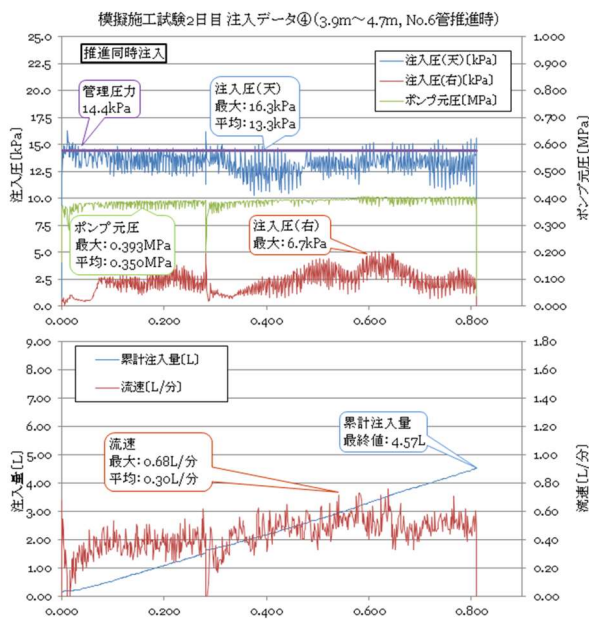


図-5 同時注入時データ

保持することができたといえる。

推進試験後の注入材掘出し確認状況を写真-10，写真-11に，測定結果を図-6に示す。

この結果から，掘進長8mまでの区間で，①掘進同時注入，②掘進/注入交互，③低速での掘進同時注入の3パターンを実施したが，実際の注入厚には大差はなかった。8m以降，注入材の可塑促進剤添加量を減じて流動性を増した区間では充填性が改善していることを確認することができた。また，注入材の一軸圧縮強度試験



写真-10 注入材厚確認(全景)



写真-11 注入材厚測定状況

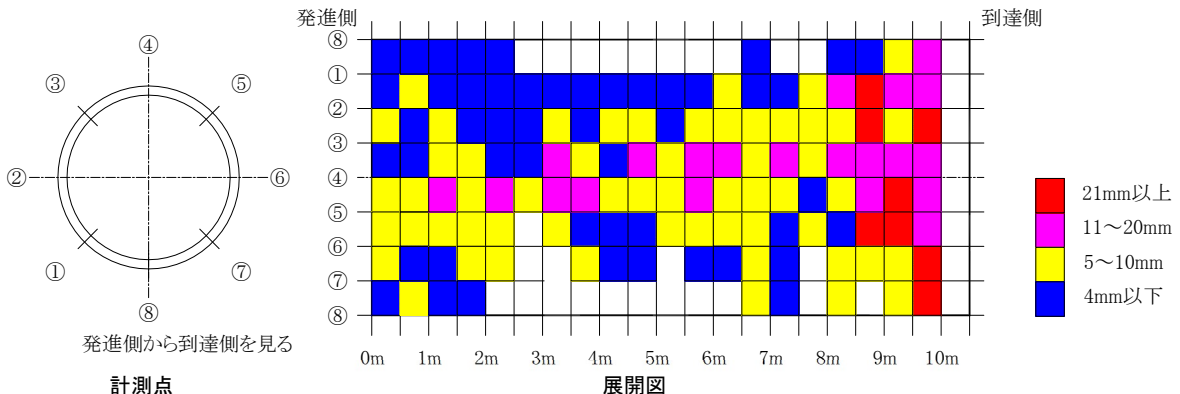


図-6 注入材厚測定結果

の結果（表－5）から可塑促進剤の添加量を減らしても強度が低下しないことを確認した。

表－5 可塑促進剤添加量と一軸圧縮強度

配合	一軸圧縮強度(σ_{28})
標準配合	0.138 N/mm ²
可塑促進剤 1/4	0.140 N/mm ²
可塑促進剤無し	0.187 N/mm ²

8.3 地表面への影響

推進試験中の地表面変位計測データを図－7に示す。

いずれの計測点も、先導体通過後、沈下傾向が現れているが、いずれも1mm以内であった。また、注入による目立った隆起も生じなかった。

9. まとめ

今回試作した掘進同時注入用先導体及び注入機構は、従来の注入経路中間で注入圧力を検出するものと異なり、実際に地山にかかっている注入材圧力を直接測定するため、注入孔部に設けた逆止弁で生じる圧力損失の影響を受けずに正確な注入圧管理ができることを確認した。この注入圧管理方法は、特に低土被りで管理圧力が小さい場合に有効であり、この有効性は、地表面変位計測結果に注入による隆起傾向が観測されなかったことから伺える。

また、逆流防止羽根が有効に機能し、切羽開放面への裏込め材流出防止と余掘り部分への充填性確保に効果があった。

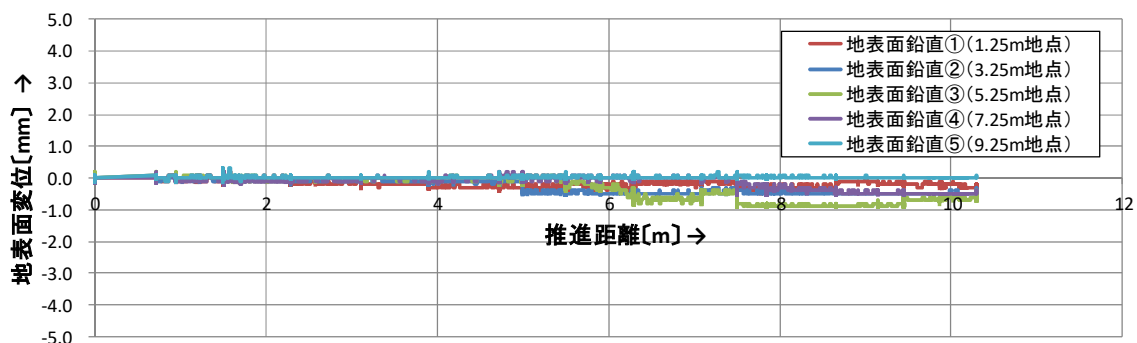
注入材の充填性は、同時注入時の掘進速度には関連が小さく、注入材の流動性によるところ

が大きい。そのため、施工時の注入材の性状管理が重要である。

注入機構の自動化により注入作業自体の施工性はよいが、注入機構を付加することによる推進管接続作業の施工性の低下は小さくなく、今後、注入機構の簡素化、サイズダウン等の改良が必要と考える。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 遊座啓史，佐々木和徳，泉宏和：小口径推進工法における裏込め注入方法の検討，第69回土木学会年次学術講演会，pp.06-1297-06-1298，2014
- 4) (一財)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



図－7 地表面変位計測結果