

小口径推進工法における裏込め注入工法の開発

岩瀬 隆*1・泉 宏和*2

概 要

線路下の横断管路敷設には小口径推進工法が用いられることが多いが、テールボイドや掘削に伴う地山の緩みへの対策は行われておらず、施工後の軌道の沈下には軌道整備で対処しているのが現状である。そのため、軌道整備が容易に行えない TC 型省力化軌道等の直下横断施工では、推進後に速やかに裏込め注入を実施するなどの対策が必要である。

本開発は、推進管を多孔管化して、本管挿入後の中詰注入時に同材料を管外に漏出させることでテールボイドを充填するものである。ヤードでの施工試験の結果、施工性、充填性および上載地盤への载荷に対する沈下抑制効果の確認を行い、良好な結果を得た。

キーワード：小口径推進工法，テールボイド，裏込め注入，TC 型省力化軌道，沈下対策

DEVELOPMENT OF A UNIQUE BACKFILLING TECHNIQUE
FOR THE SMALL DIAMETER PIPE JACKING METHOD

Takashi IWASE *1, Hirokazu IZUMI *2

Abstract

The small diameter pipe jacking method is widely used especially when laying a traverse pipe under a railway. Up to now, no special measures for production of tail voids and loosening of in-situ ground following the excavation have been taken, and if the ground settles after laying the pipe, the current common solution is corrective maintenance of the railway itself. However, in the case where a pipe is traversed just under a TC type labor-saving railway allowing very little room for corrective maintenance of the railway, backfilling needs to be done immediately after pipe jacking. For this project, we used a jacking pipe with perforations from which, after insertion of the pipe, filled material is forced out to backfill tail voids. The results of a test at the yard showed and confirmed that this method is very effective in achieving workability, filling performance as well as good results in controlling the settlement under the ground load from above.

Keywords: small diameter pipe jacking method, tail void, backfilling, TC type labor-saving railway, settlement measures

*1 Construction Technology Research and Development Group, Engineering Department, Civil Engineering Division

*2 Under Ground Structure Engineering Group, Engineering Department, Civil Engineering Division

小口径推進工法における裏込め注入工法の開発

岩瀬 隆*1・泉 宏和*1

1. はじめに

線路直下に横断管路（給・排水管，電路敷設用管など）を敷設する際，施工上の安全性および精度管理の必要性からさや管方式の小口径推進工法が用いられることが多い。これは鋼製のさや管を推進工により敷設した後，内部に塩ビ管などの本管を設置し，空隙に中詰めを行うものである。小口径推進工法は，通常，施工延長が比較的短く，線形も直線であることから，推力低減や方向修正のためのオーバーカット量を小さく設定でき，地表面の影響は小さいものと考えられている。そのため，テールボイドや掘削時に生じる地山の緩みに対しては直接的な対策は行われておらず，施工後に生じる沈下は軌道整備を実施することで対処しているのが現状である。

しかしながら，直結軌道や TC 型省力化軌道直下を横断する場合は，軌道整備が容易にできないため，テールボイドの発生等による路盤面の沈下を抑制することが必要となる。

本開発は，中・長期的な沈下の抑制を主目的として，さや管に注入孔を設けて多孔管化しておき，推進・本管挿入後の中詰め注入時に注入材量を管外に漏出させてテールボイドを充填するものである(図-1)。

試験方法は，要素試験として，気中にてさや管内に本管を挿入完了した状態のモデル（長さ 1m）に，テールボイドを模擬した透明管を被せ，さや管～本管間に中詰め注入を実施し，注入孔からの吐出状況を観察した。所定の注入圧力以下でテールボイドに確実に充填可能なさや管 1m 当たりの必要箇所数および配置を決定した。

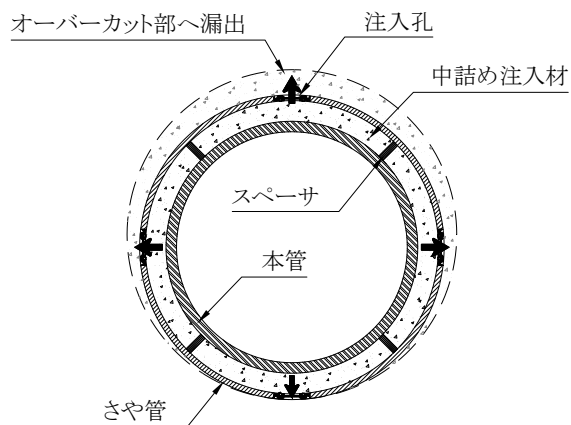


図-1 注入方法概要図

試験施工は小口径推進工法の中でも線路横断管路敷設で多く用いられている圧入二工程式により，延長 11m のさや管（鋼管 φ500）を実際に推進工により敷設した。設定土被りは 0.8m とし，本管（塩ビ管 φ400）挿入の後，中詰め・裏込め注入を実施した。注入完了後，上載地盤に振動ローラーを用いて列車荷重に相当する荷重を載荷し，地盤の変位を測定した。その後，推進管と裏込め材の掘り出しを行い，テールボイドの充填状況を確認した。

2. 注入機構

さや管に設ける注入孔に必要なとされる機能は，推進中，外部の土砂が管内へ侵入するのを防ぎ，注入時は注入材の通過を阻害しない逆止弁の機能であり，加えて，推進時の抵抗とならず，スクリーオーガーでの掘削土の排出に支障をきたさないことである。そのため，注入孔は，図-2に示すようにさや管の厚さ（9.5mm）に収まる構造とした。

*1 土木本部 エンジニアリング部 施工技術研究開発グループ

*2 土木本部 エンジニアリング部 地下構造技術グループ

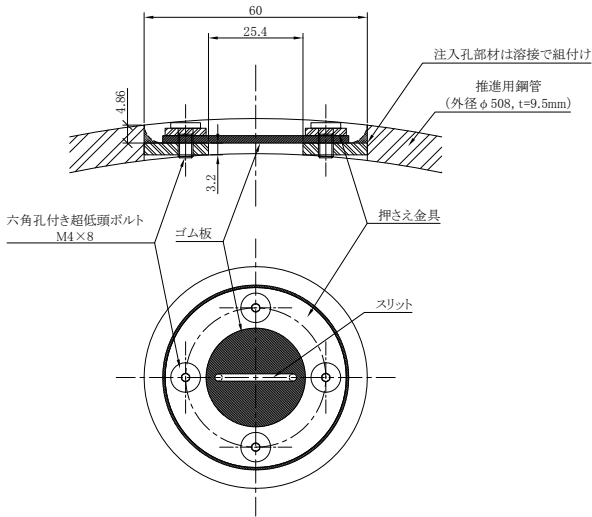


図-2 注入孔構造図

一般の逆止弁構造は、弁本体での圧力損失が大きく、本開発の想定条件のように低土被りの場合、注入圧力上限値に対して圧力損失が無視できない大きさとなる。注入圧力の把握は地山に注入された材料の圧力を直接測定する以外になく、施工延長に応じて複数の計測器を設置しなければならない。施工後の回収はできないため非常に不経済になる。

そこで、低土被り (=低土圧) であることから、土砂の流入防止能力を最小限に留め、スリ

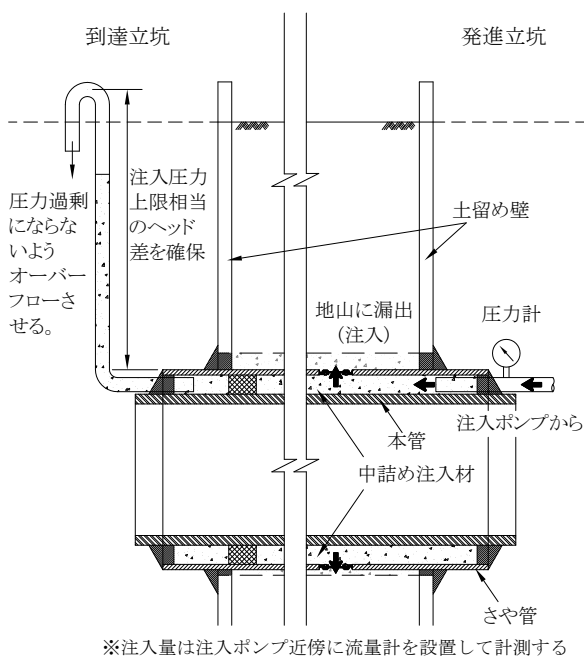


図-3 注入管理方法概要図

ットを入れたゴム板のみの簡素な構造とした。注入孔部での圧力損失を小さくすることで注入材のさや管内圧≒注入圧力となるようにし、さや管内圧を制御することで注入圧を管理するものとした。具体的には注入材は発進（もしくは到達）立坑内からポンプでさや管内に中詰め兼裏込め注入材を注入するが、もう一方の立坑で、注入圧力上限相当の高さの配管をさや管内に接続しておき、この管から注入材をオーバーフローさせることで注入圧力上限を超えないように管理する(図-3)。

3. 注入材料

注入材料は「推進工法用設計積算要領¹⁾」記載の配合例を基本とし、試験練りの結果からブリージングを抑えた修正配合(表-1)を採用した。同材料の試験結果を表-2に示す。

表-1 注入材配合

材料名	セメント	ベントナイト	水
1m ³ 当たり	429kg	172kg	795kg

表-2 圧縮強度試験結果(σ28)

P ロート流下値【秒】	圧縮強度【N/mm ² 】	密度【g/cm ³ 】
17.2	3.82	1.45
17.7	3.26	1.45
18.1	3.95	1.45

4. 要素試験

注入孔からの注入材の吐出状況の確認、推進管単位長さ当たりの注入孔の個数および配置方法の検討を行うため、本管として VU400(外径φ420mm, t=11.8mm)を内側にセットしたさや管(外径φ508mm, t=9.5mm)に推進時の掘削孔壁を模擬した透明パイプ(内径φ518)を被せたモデルを作製し、気中での注入試験を行った。

注入孔の配置パターンは推進管 1m 当たり 4 孔螺旋状配置と 8 孔千鳥配置(上下 2 孔/左右 2 孔の交互×2)の 2 種類とした(図-4)。注入圧力上限は線路下横断で実績の多い非開削工法で

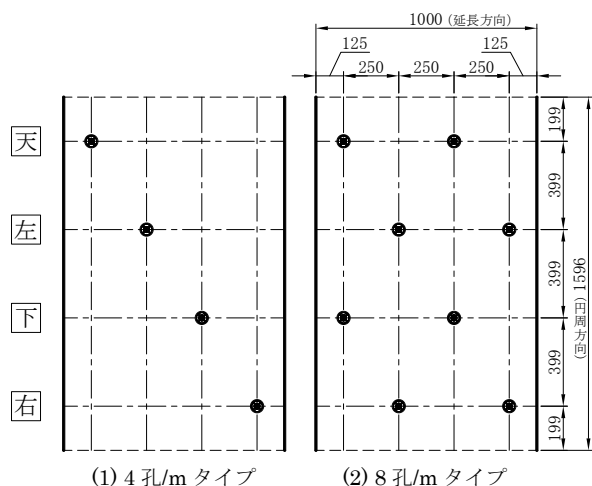


図-4 注入孔配置図 (展開図)



写真-1 注入材吐出状況

ある HEP&JES 工法の裏込注入圧管理²⁾に倣い、

$$\begin{aligned} \text{管理圧力上限値} &= \text{初期圧} + \text{上載土重} \times 0.8 \\ &= \text{初期圧} + \text{注入圧力上限値} \end{aligned}$$

とし、表-3 に示す施工条件から算定した。

表-3 要素試験設定条件

土質	砂質土
単位体積重量	18.0kN/m ³
土被り	0.8m

$$\begin{aligned} \text{注入圧力上限値} &= 18.0\text{kN/m}^3 \times 0.8\text{m} \times 0.8 \\ &= 11.52\text{kN/m}^2 (= \text{kPa}) \end{aligned}$$

注入孔からの注入材の吐出状況を写真-1 に示す。各注入孔での吐出累計が増してゆくにしたがって吐出量が低下する傾向がみられた。注入孔に設けたゴム板のスリット幅が狭いため、注入材を構成するセメントやペントナイト粒子がスリット内側に滞留・堆積して注入材の通過を妨げていることを確認したため、試験施工ではスリット幅を 2mm 程度まで拡大することとした。

充填性は、8 孔/m タイプは、到達側の圧力調整管の立ち上げ高さを 1m としたままで模擬テールボイドを完全充填することができた。一方、4 孔/m タイプでは、圧力調整管の立ち上げ高さを 1m から 2m に引き上げなければ完全充填することができなかった。以上の結果から、4 孔/m の配置では完全充填のためには注入圧力を上げ



写真-2 注入状況(8 孔/m タイプ)



写真-3 注入完了(8 孔/m タイプ)

る必要があること、また注入圧力の増大は地表面の隆起リスクを高めることから、試験施工では注入孔の配置パターンを 8 孔/m タイプとすることとした。

5. 試験施工

試験施工は、建設技術総合センター内試験ヤードにて圧入二工程式でφ500、延長11mのさや管（立坑土留間10m）を敷設したのち、本管（塩ビ管φ400）を挿入、中詰め・裏込め注入を実施した（**図-5**、**写真-4**）。注入孔は、推進管全長11mのうち到達立坑寄りの5m（先頭管を除く）に8孔/mの割合で設けた。総注入量は6500で中詰め量が542.30であることから、地山への注入量は107.70であった。

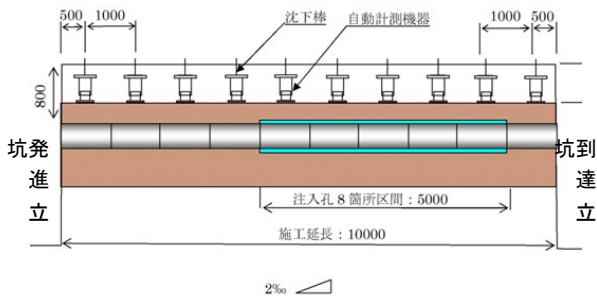


図-5 試験施工概要図



写真-4 中詰め・裏込め注入状況



写真-5 充填状況掘出し確認全景(右側)

注入完了後、上載地盤に振動ローラーを用いて列車荷重に相当する荷重を載荷し地盤の変位を測定した。推進開始～裏込め注入～載荷試験を通じて変位はみられず、沈下抑制効果のあることが確認できた。

その後、推進管を掘削して露出させて注入材の充填状況を確認し（**写真-5**、**6**），その厚さを計測した。計測結果を**図-6**に示す。注入材は主に推進管の上側に注入されており，平均厚さは上：16mm，右：14.4mm，左：10mm，下：0mmであった。最大厚さは管上部において30mmに及ぶ箇所がみられた。

今回の掘進では、掘削カッターの外周ビットの張り出し量を5mmとし、掘削外径を推進管よりも10mm大きく設定したが、蛇行やカッター回転のぶれによって余掘量が大きくなっていたことが想定される。下半については、ほとんど注入材が充填されていなかったことから、掘削カッターによって作られた孔壁の底面上に推進管が密着し、上側に空隙を作った状態で推移していったと思われる。このことから、推進管下半への注入孔の配置は有効ではないことを確認した。

注入材の充填範囲と、注入孔を配置した区間を比較すると、注入孔設置区間の前後1mは推進管上部まで注入材が充填されており、発進立坑側においては、さらに約1m遠方まで充填範囲が広がっていることから、地山と推進管との間隙においても、注入材の流動性が良かったこ



写真-6 充填状況掘出し確認全景(左側)

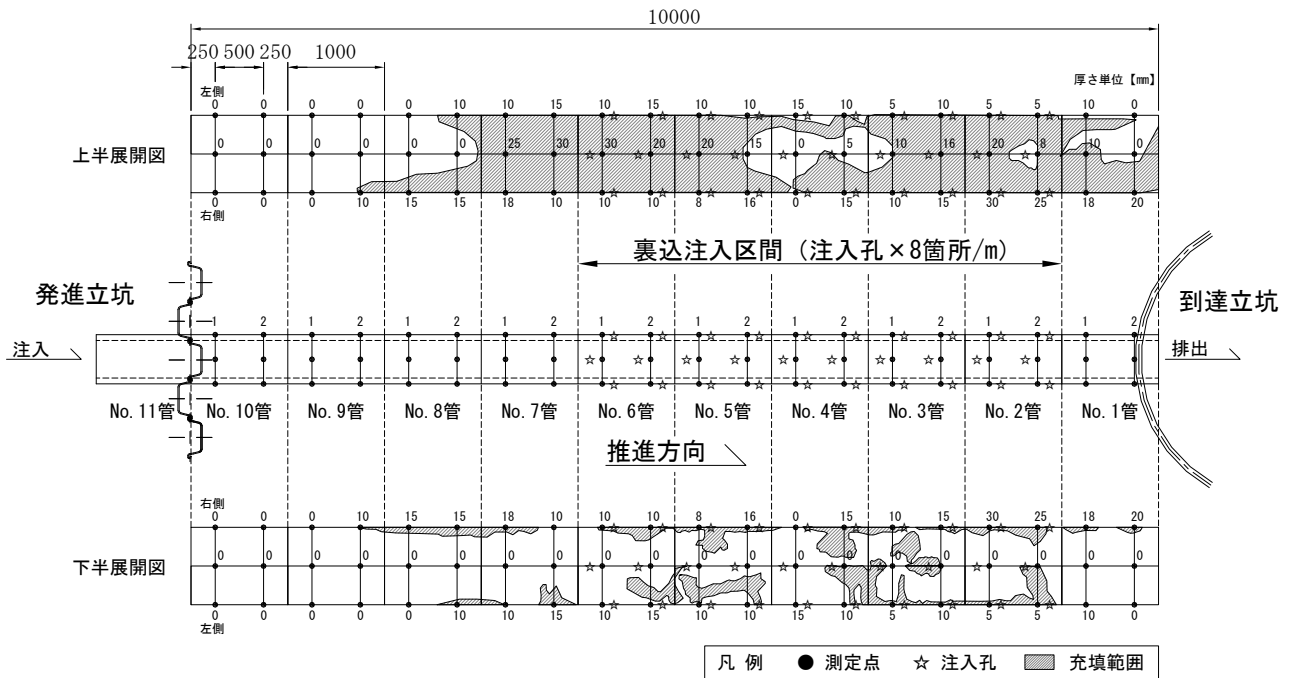


図-6 掘出し確認結果

とがわかる。有効注入範囲を注入孔設置区間長に前後 1m ずつを加えた 7m とすると、余掘り量に対する充填率は 127%であった。

注入材の掘出し確認後、さや管を切開して中詰め充填材の充填状況を確認した(写真-7)。管頂部にエア溜まり等による大きな未充填箇所はみられず、今回の裏込め注入孔の配置は、中詰め充填時の空気およびブリージング水の排出にも効果があったものとする。

6. まとめ

要素試験により、注入孔部での材料の吐出状況を確認し、適切なスリット幅(2mm)と注入孔配置個数(8 孔/m)を決定した。この結果に従い

注入孔を配置した推進管(さや管)を用いて試験施工を実施し、余掘り部分への注入材の充填性が良好であることを確認した。載荷試験においても沈下を示す計測結果はみられなかったことから、本裏込め注入工法により、推進工完了後の上載地盤の沈下抑制に十分な効果が期待できると言える。また、小口径推進工法では余掘り量は比較的小さいものと認識してきたが、硬化した充填材厚の測定結果から、施工条件によっては、掘削カッター外周ビットの張り出し量で設定した余掘り量よりも大きくなりうる事が確認され、この点についてもこの部分に空隙を残さない本工法は有用であるとする。

今後、より早期に余掘り部分への充填を可能にするため、遅硬性滑材を活用した掘進同時注入方法を検討してゆく予定である。

参考文献

- 1) 社団法人日本下水道管渠推進技術協会編：推進工法用設計積算要領「鋼製管推進工法 鋼製さや管推進工法編」, 2000
- 2) 東日本旅客鉄道株式会社, 構造技術センター編：設計マニュアル, VI 地下・トンネル構造物編, 非開削工法設計施工マニュアル, pp. 8-33, 2009



写真-7 中詰め充填状況確認