

鉄道直下における薬液注入工法の注入パイプに着目した性能比較

東鉄工業(株) 正会員 ○佐藤 将樹
 東鉄工業(株) 草野 英明
 日特建設(株) 竹内 仁哉
 東日本旅客鉄道(株) 飯塚 潤平

1. はじめに

鉄道直下の薬液注入は、注入圧力により軌道隆起を発生させるリスクが非常に高く、慎重な施工が必要とされる。そのため、鉄道直下では注入圧力を極力上げることの無いよう、ゲルタイムの長い二重管ダブルパッカ工法が多く採用されてきた。一方、二重管ダブルパッカ工法は技術的に確立された工法ではあるが、注入時に使用する注入パイプの形状については 33cm 毎に吐出孔を設けた円形状のパイプを利用することが多く、注入圧力の上昇に起因する軌道隆起を生じさせた例も少なくない。

本稿では新たに開発した新型の多角形注入パイプと、従来型の円形注入パイプ（図-1）を鉄道直下の同一条件の下、二重管ダブルパッカ工法の注入パイプとして使用し、注入初期から末期にかけての注入圧力変動と、それに伴う軌道隆起の結果を報告する。



図-1 注入パイプ 左:新型 右:従来

2. 施工条件

(1) 土質条件

注入対象地盤は更新世の段丘堆積物層内であり、細砂～礫混じり細砂からなる砂質土を主体とする部分である。層厚は 3～4.5m、N 値は 26～43 程度で部分的に粘土質な薄層を挟在している。表-1 に対象地盤の物理特性を示す。

表-1 対象土の物理特性

項目	値・分類
湿潤密度 ρ_t g/cm ³	1.847 ~ 1.828
自然含水比 W_n %	22.1 ~ 27.1
細粒分含有率 F_c %	8.9 ~ 14.3
均等係数 U_c	4.93 ~ 7.99
地盤材料の分類名 分類記号	細粒分礫まじり砂 (S-FG)

(2) 薬液注入工法について

注入工法は二重管ダブルパッカ工法を採用し、西口側の施工は新型注入パイプを、東口側は従来型注入パイプを使用した（図-2）。従来型は一次、二次注入を同一のバルブから吐出し、33cm 間隔でステップアップしながら施工するのに対し、新型は一次、二次注入バルブを分離し、二次注入は長い区間から材料を吐出させる構造となっている（図-3）。

特に新型については、二次注入用バルブを六角形断面の柱状形状とし、各頂点部に多数のスリットを設け、断面を六角形とすることで注入パイプ周りのシールグラウトを規則的にクラッキングさせて、地盤中に注入材料を均等に浸透させることができる¹⁾という特徴を持っている。

(3) 施工条件

注入工事の施工条件は、東西で使用した注入パイプが異なる以外はすべて同一である。その条件を表-2 に示す。注入材料については、一次注入材料として CB（セメントベントナイト）、二次注入材料として中・酸性系溶液型注入材料を使用した。

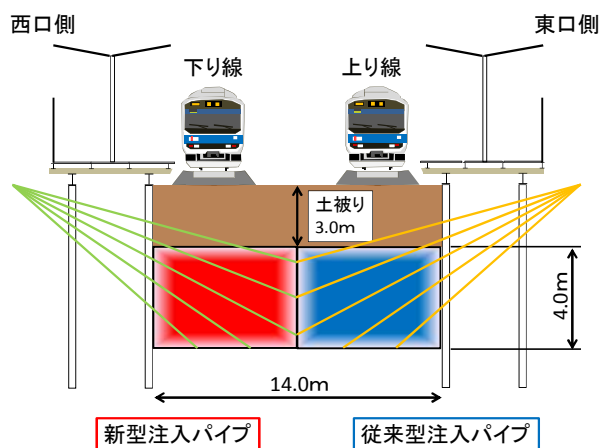


図-2 薬液注入範囲図

キーワード ダブルパッカ工法 注入圧力 鉄道直下薬液注入

連絡先 〒310-0015 茨城県水戸市宮町 2-7-7 東鉄工業(株)水戸支店土木部 TEL 029-231-6231

連絡先 〒103-0004 東京都中央区東日本 3-10-6 平和東日本橋ビル 日特建設(株) TEL 03-5645-5113

3. 施工結果

(1) 注入データと比較方法について

今回、新型注入パイプと従来型注入パイプの注入特性比較を行うに際し、注入データは電磁流量計を用いてチャート紙とデジタルデータ(5秒間隔)の両方を取得し、データ分析・比較には、デジタルデータ(csvファイル)を使用した。注入特性の比較は、注入速度がすべて同一であり、施工順序もほぼ同一なので、注入圧力に着目した。また東西ではほぼ左右対称な配孔条件なので、同じ注入孔番の地質条件は同一であると仮定した。

(2) 注入圧力

各注入孔の平均注入圧力を算出し、注入順序を考慮してプロットした結果を図-4に示す。注入初期～中期までは、新型注入パイプと従来型注入パイプに大きな差異は無く、類似した圧力変化を示したが、注入末期では、新型の平均注入圧力が従来型に比べて0.1～0.3MPa程度低い傾向が表れた。一般に施工進捗と共に注入圧力は上昇し軌道隆起リスクが高まる傾向にあると言われるが、今回の施工結果から、新型注入パイプにその傾向はなく、圧力上昇に伴う軌道隆起リスクが低減されたと言える。

(3) 注入圧力のバラツキ

各注入孔の注入圧力の標準偏差を算出した結果を図-5に示す。新型注入パイプは従来型注入パイプに比べて標準偏差が概ね小さくなった。この結果は新型注入パイプの注入圧力変動が小さく、比較的安定した注入圧力を計測したことを示している。新型注入パイプは浸透源長が長いため、地層内の地盤状態の局所的な差異(締めり具合など)によって生じる注入圧力の変動を受けにくいからと考えられる。

(4) 軌道変状について

軌道の最大隆起量は、10m弦による計測で新型注入パイプ2mm、従来型注入パイプ4mmであった。レベル測量による値も同様の傾向を示したため、軌道へ与える影響は、新型注入パイプに優位傾向が見られた。

4. まとめ

今回の施工により、軌道隆起に大きな差は生じていないが、新型注入パイプを使用することで注入末期の圧力上昇抑制による軌道隆起リスクを低減できる傾向にあることが判明した。本報告が、鉄道直下における薬液注入において、参考になれば幸いである。

参考文献：1) 竹内仁哉, 竹谷裕, 田中俊行：多角形縦スリットを用いた地盤注入工法の開発 その1－注入パイプの形状に関する検討－, 土木学会第68回年次学術講演会, 2013.

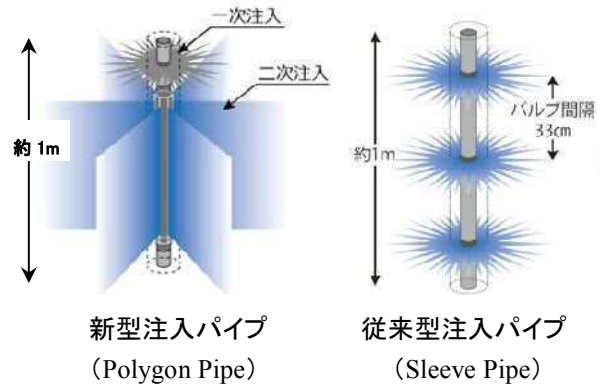


図-3 地盤注入イメージ

表-2 施工条件一覧

位置	西口側	東口側
種別	新型注入パイプ	従来型注入パイプ
注入孔間隔	1.0~1.2m 間隔	2列配置(千鳥)
注入速度	一次注入: 8L/min(一定速度) 二次注入: 9L/min(一定速度)	
注入率	一次注入: 5% 二次注入: 35.5%	

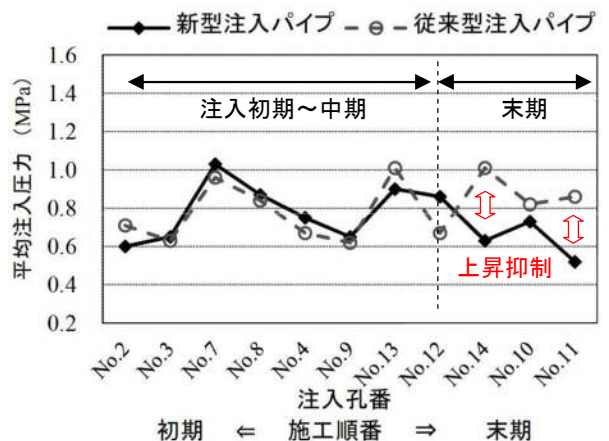


図-4 各孔の平均注入圧力の比較

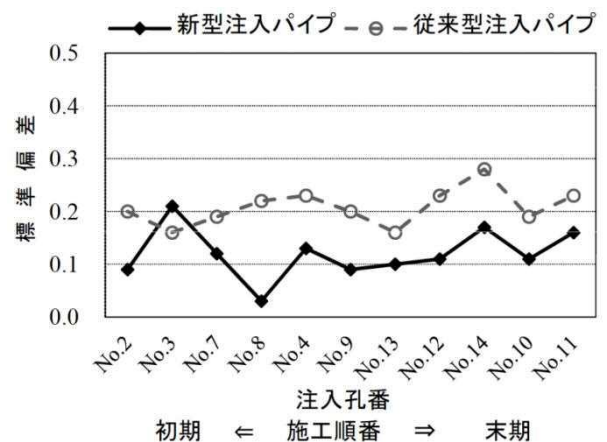


図-5 各孔の注入圧力の標準偏差