

鉄道線路直下のダブルパイプルーフ施工時における地盤挙動に関する検討

地域地盤環境研究所 正会員 ○山内 雅基, 稲垣 祐輔
大鉄工業 正会員 大谷 良輝, 岡崎 光宏

1. はじめに 一般国道2号のバイパス整備事業は、JR山陽本線有年～上郡駅間で立体交差する。そのため、フロンテジャッキング工法を用いて線路下地下道(幅員 32.5 m, 延長 21.6 m)を築造する¹⁾。頂部パイプルーフ(φ812.8 mm)の推進対象地盤は、盛土(B層(礫混り砂), N値=6, 最大粒径 100 mm 程度)であり、ダブルパイプルーフ推進施工に伴う切羽崩壊および直上線路への影響が懸念された。ここでは、推進時における切羽前面地盤の3次元的な変形挙動の分析と、軌道変位計測との比較について報告する。

2. 解析条件 本工事の平面図を図-1に、断面図を図-2に示す。軌道と路盤の鉛直変位計測には、デジカメ式レールウォッチャー計測(画像解析式)を用いた。本検討では、基準列のダブルパイプルーフ1本の推進影響を解析した。有限要素メッシュ図を図-3に、土質定数を表-1に示す。地盤の構成則については、弾完全塑性モデルの一つであるMohr-Coulombモデルを用いた。地下水位(GL-3 m)がパイプルーフ以深であるため、有効応力解析を実施した。土質定数はN値より設定し、切羽前面と軌道の変形抑制を目的としたB層中の地盤改良部には二重管ダブルパッカ工法(改良率40%以上)を用いることから、粘着力 $c=50 \text{ kN/m}^2$ を付加した²⁾。施工ステップは、(1)推進刃口の挿入と同時に掘削、(2)掘削箇所パイプルーフ挿入、(3)前述の(1)(2)を繰り返すことで再現した。列車荷重は、切羽前方地盤の塑性化が進展しやすくなるように死荷重とした。

3. 解析結果 解析結果を図-4に示す。切羽が線路直下に到達した際、切羽前方地盤の未改良部におけるせん断ひずみは0.6%程度で収束した。推進刃口部のテール部が通過した際には軌道沈下量が3 mmとなったが、許容値(7 mm)内に収束した。塑性範囲は、主としてパイプルーフ推進方向に対して切羽斜め上部の地表面に向かって進展しており、一度塑性化した領域が応力の再配分により弾性範囲内に戻っている領域も見受けられる。

4. 計測結果との比較 計測値と解析値の比較を図-5に示す。なお、線路縦断方向分布は、当該計測範囲端部の鉛直変位で基準化している。線路横断方向の地表面沈下分布(計測値)は、切羽位置付近で沈下が大きくなり、切羽前方地盤で若干隆起する挙動を示した。解析値は、切羽位置付近での沈下傾向など、定量的にもおおそ一致した。

キーワード フロンテジャッキング工法, 切羽安定, 3次元FEM解析, 弾塑性構成モデル, 現場計測工法

連絡先 〒540-008 大阪府大阪市中央区大手前2-1-2 国民会館大阪城ビル4F TEL: 06-6943-9706

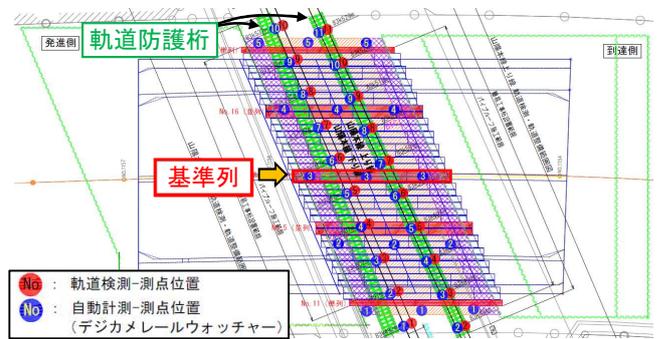


図-1 平面図および計器配置図

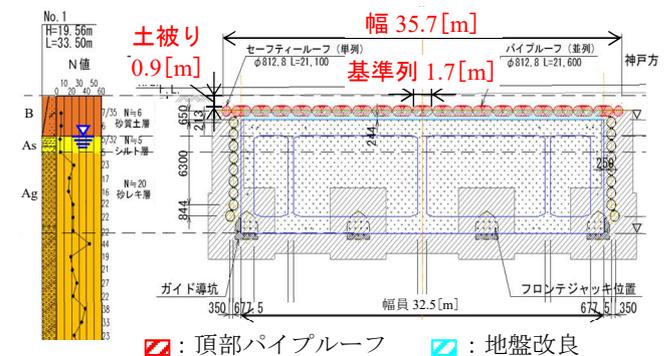


図-2 断面図(線路縦断方向)

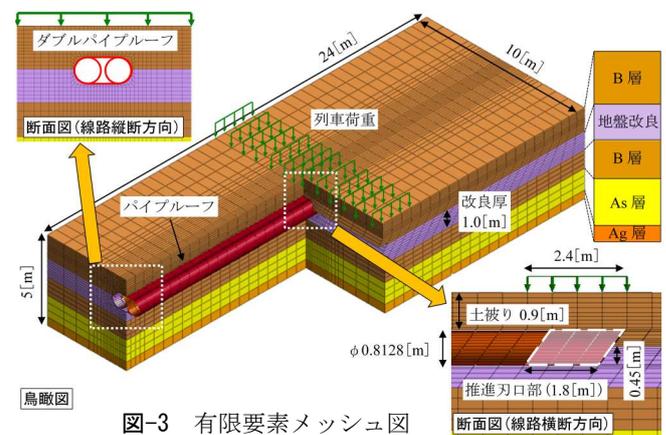


図-3 有限要素メッシュ図

表-1 土質定数

| 土層 | 層厚 [m] | 平均 N値 | 単位体積 重量 γ , [kN/m ³] | 粘着力 c [kN/m ²] | 内部 摩擦角 ϕ [°] | 変形 係数 E [kN/m ²] | ポアソン 比 ν [-] | 静止土圧 係数 K_0 [-] |
|------|-----------|----------|--|------------------------------------|----------------------------|---|---------------------------|----------------------------|
| B | 3.326 | 6 | 18 | 0 | 31 | 15,000 | 0.33 | 0.48 |
| 地盤改良 | - | - | 18 | 50 | 31 | 15,000 | 0.33 | 0.48 |
| As | 1.2 | 2 | 16 | 0 | 28 | 5,000 | 0.35 | 0.53 |
| Ag | 0.474 | 23 | 18 | 0 | 35 | 57,500 | 0.30 | 0.43 |

一方、線路縦断方向の相対変位量では、解析値が下に凸な沈下分布を示したのに対して、計測値はほとんど発生しない挙動を示した。これは、小土被り条件下における不測の陥没に備えて設置した軌道防護柵¹⁾により、軌道の不等沈下が抑制されたためと考えられる。解析結果からは、地盤改良によって切羽前方の塑性化範囲を抑えたことにより軌道変位が抑制される3次元弾塑性挙動を確認した。計測値は解析値と概ね整合していることから、実施工でも上記と同様の挙動をしていると考えられ、地盤改良の効果が発揮されたものと考えられる。

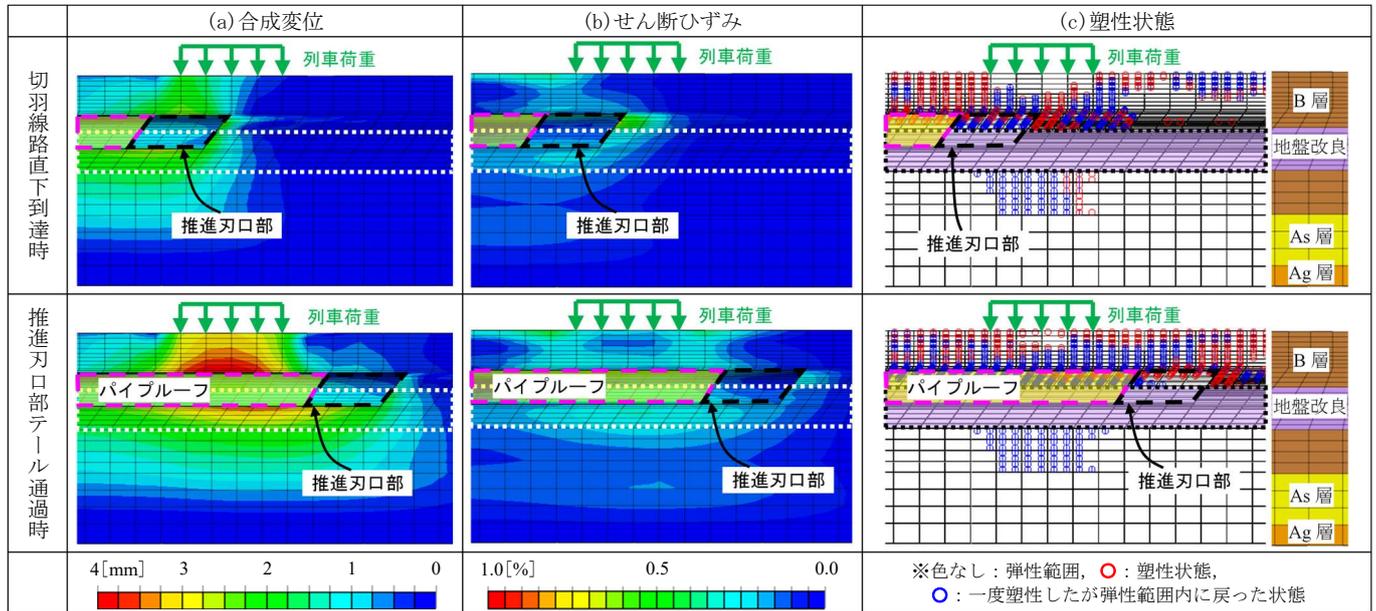


図-4 3次元弾塑性 FEM 解析結果(線路横断方向(パイプルーフ推進方向)断面)

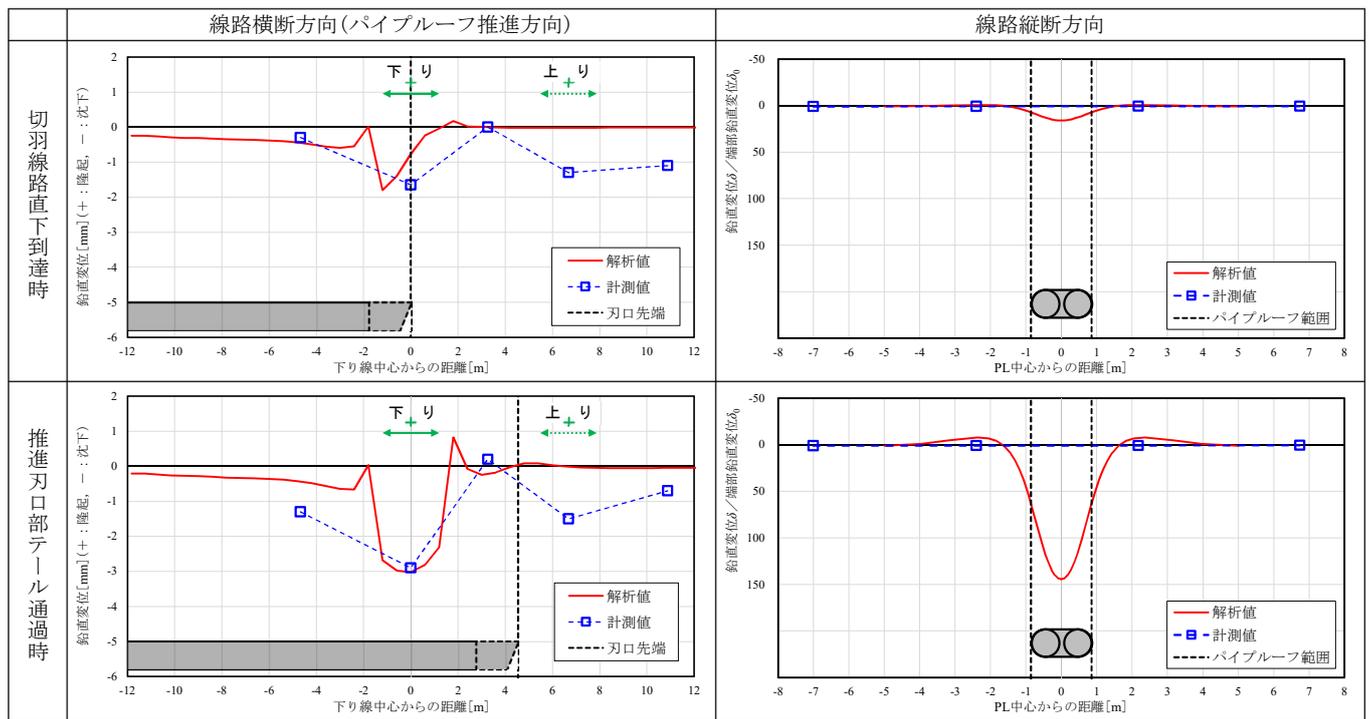


図-5 地表面沈下分布に関する計測値と解析値の比較

5. おわりに ダブルパイプルーフ推進施工に伴う軌道路盤への影響について、3次元弾塑性 FEM 解析を用いて検討した結果、切羽通過前後の地盤挙動について、解析値は計測値を定量的かつ定性的に概ね表現できることを確認した。今後は、本結果も含めて、エレメント推進に伴う切羽前方地盤における地盤改良の必要性を判断する基準について検討する予定である。

参考文献 1) 山地他：鉄道線路直下におけるダブルパイプルーフの施工検討・施工管理，土木学会全国大会第77回年次学術講演会(投稿中)，2022。2) (財)鉄道総合技術研究所：注入の設計施工マニュアル，pp.169-170，2011。