

営業線シールドトンネルの上部掘削に伴うリバウンドについて

小田急電鉄株式会社複々線建設部
 小田急電鉄株式会社複々線建設部
 大成建設株式会社東京支店
 大成建設株式会社東京支店

兜 俊彦
 上野 修彦
 村上 達也
 正会員 ○尾関 孝人

1. はじめに

小田急小田原線連続立体交差事業および複々線化事業は、首都圏の重要路線である小田急電鉄小田原線において、代々木上原駅付近から梅ヶ丘駅付近までの約2.2kmにおける、道路と鉄道の連続立体交差化・線路の複々線化を行うものである。このうち約2kmは地下トンネル構造となるが、2013年3月に在来線の地下化を行い1期工事を完了し、現在は複々線化および駅施設の完成に向け2期工事を進めている。そのうち下北沢駅部付近は、1期工事において構築した営業線が運行するシールドトンネル直上部を開削工法によりボックスカルバートを構築(図1参照)する。シールドトンネルには、上部掘削により土圧が除荷されるためリバウンド変位が生じる。特に、営業線直上かつ平行に掘削する工事は他に事例が少ないこと、また立坑接続付近ではシールドトンネルの土被りが最小で700mm程度となることから、営業線に影響を与えないよう慎重な施工が求められた。本稿では、そのリバウンドが生じるシールドトンネル・営業線軌道の健全性の事前検討、および計測結果について述べる。

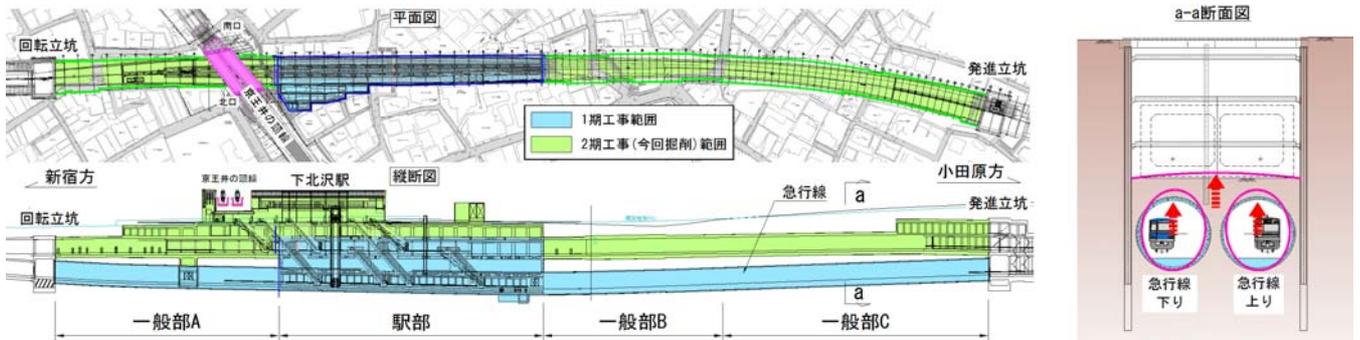


図1 第3工区工事概要

2. リバウンドが生じるシールドトンネル挙動の事前解析

事前解析におけるリバウンド量の算定方法概念図を図2に示す。全体を4区間に分割し二次元弾性全応力FEM解析を実施した。地盤の変位量算出において、三次元弾性FEM解析を行えば三次元効果を適切に評価できるが、解析時間が長くなり効率的ではない。そこで、横断と縦断方向の二次元弾性FEM解析を重ね合わせ三次元効果を評価することで、解析の効率を向上させた。横断方向FEM解析で求められた各区間のリバウンド変位が、縦断方向FEM解析における変位モードで分布するものとし、全体のリバウンド分布を算定する。なお、シールドトンネルが位置する土層は非常に堅固な上総層であるが、その変形係数として $E=25N=200\text{mN/m}^2$ (N 値=80)を用いた。

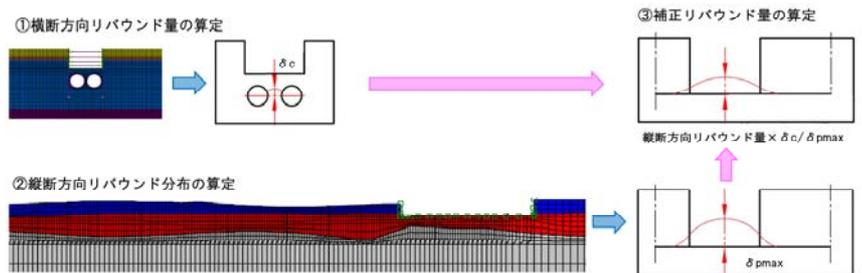


図2 リバウンド量算定方法概念図

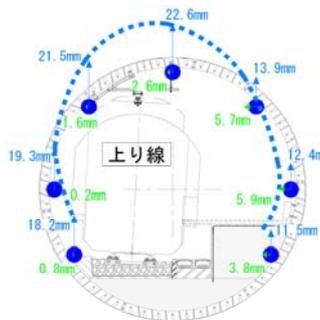


図3 横断方向変位図

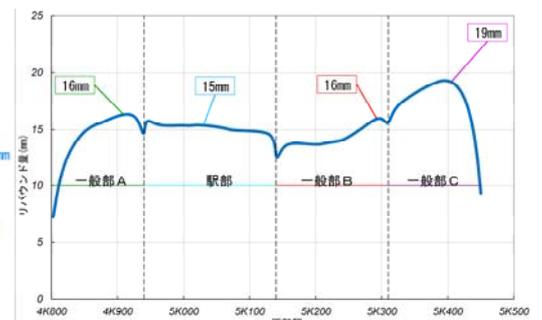


図4 縦断方向変位図

キーワード 鉄道トンネル, 営業線, シールド, 上部掘削, リバウンド

連絡先 〒155-0033 東京都世田谷区代田2-31-27 小田急電鉄(株)複々線建設部下北沢工事事務所 TEL 03-5431-1670

掘削完了後のシールドトンネル横断方向変位は図3に示すように最大で22.6mm，および軌道レベルにおける縦断変位は図4に示すように分布している．なお，図4に示す縦断変位分布を用いて，軌道の健全性検討を実施した．軌道の高低狂い量は10m弦で4mm(<許容値8mm)となり，列車の走行安全性に問題ないことを確認し施工に着手した．

3. 計測概要および掘削完了後の計測結果

本稿では，図1に示す4区間のうち，先行して掘削が完了し，かつ最もリバウンド量が大きくなる一般部Cに着目して述べる．図5に示すように，軌道にはリンク型変位計，シールドトンネルにはひずみ計・トータルステーションを設置し，各構造物の健全性を常時計測した．また，シールドトンネル内の歩廊コンクリートに対して軌道と同レベル位置での定点測量を行い，掘削開始前からのシールドトンネルの縦断変位分布を計測した．

掘削完了後のトータルステーションによるシールドトンネルの横断変位計測結果を図6に，軌道レベルでの定点測量結果を図7に示す．シールドトンネルの横断変位はクラウン位置で最大の8.4mmとなり，事前解析よりも相当小さい値を示した．また，軌道レベル位置での歩廊コンクリート定点測量による縦断変位分布は掘削範囲の中央部で最大の4mmとなり，事前解析と同様の変位分布モードであるものの，横断変位と同様に相当小さい値を示した．

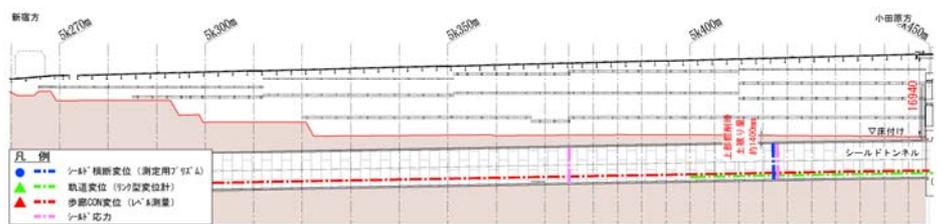
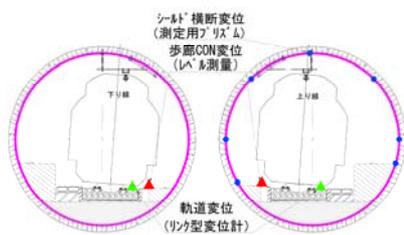


図5 一般部(C)の計測器配置図

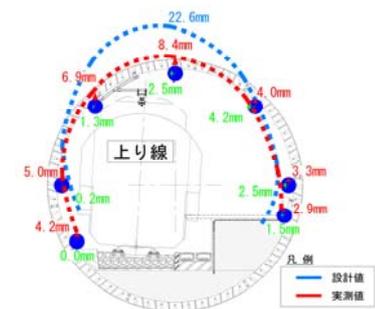


図6 シールド横断方向変位図

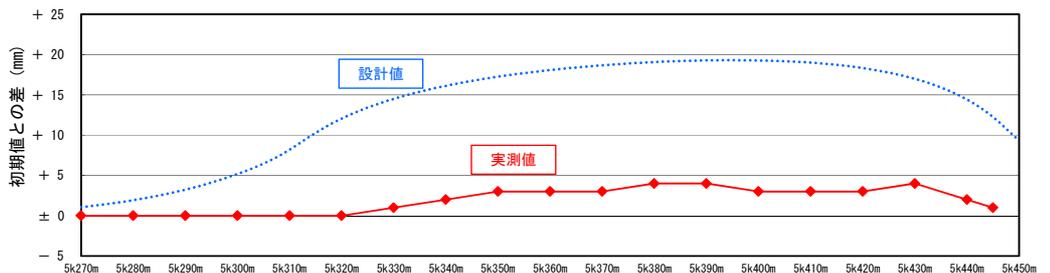


図7 歩廊コンクリート定点測量 縦断方向変位分布

4. 変形係数の見直しによる再解析

前章で示したように事前解析値よりも計測値は相当小さい値を示している．この主たる要因は，シールドトンネルが非常に堅固な上総層(N=50以上)に位置するため，想定よりも地盤のリバウンドが小さかったためと想定される．そこで，2章で述べた事前解析における上総層の変形係数を見直し再解析を実施した．事前解析における上総層の変形係数に対してパラメータスタディを行い，シールドトンネルの変位量が計測値と同程度となる変形係数を求めた．図8に示すように，変形係数を×2.5倍，すなわち500MN/m²とした場合に，解析値(最大9.9mm)と計測値のシールドトンネルの変形量(最大8.4mm)がほぼ同程度となることを確認された．これは，「鉄道構造物等設計標準・同解説 開削トンネル」におけるリバウンド検討を行う際の変形係数の補正方法(N値より変形係数を設定する場合は，E=25Nとした場合の2~4倍，平均3倍)とほぼ同様であることから，妥当な補正值であると判断できる．

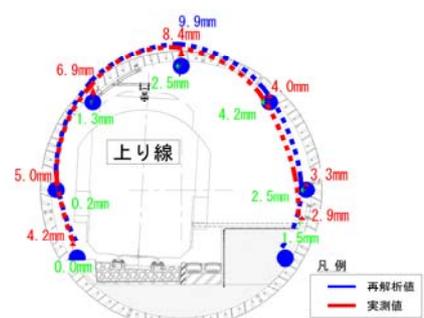


図8 シールド横断方向変位図 (計測値と再解析値の比較)

5. まとめ

常時計測を行いながら施工を進め，全エリアでの掘削を完了した．その他の区間(一般部A，一般部B)についても一般部Cと同様の傾向を示し，シールドトンネル内の営業線の運行に支障を及ぼすことなく施工を完了した．