

実測データによるシールドトンネル急曲線部の施工時荷重に関する検討

長岡技術科学大学 地盤工学研究室 松岡 直樹
指導教官 杉本 光隆

1. はじめに

近年、都市の地下構造物はますます輻輳し、シールドトンネルの大深度化、急曲線化が進んでいる。さらに、コスト縮減の流れを受け、セグメントの薄肉化および幅広化、急速施工化等が進んでいる。これらのことから、施工時にセグメントに発生する応力は以前より増大する傾向にあり、施工中のトンネルに発生する不具合が顕在化してきている。

そこで本研究では、施工時荷重による影響が大きい曲線部においてシールド挙動のシミュレーションを行い、得られた施工時荷重を外力としてセグメントの3次元FEM解析を行い、得られたセグメントの変位をセグメントの変位計測データと比較することにより、シールド機動力学モデルで得られる施工時荷重の妥当性を評価した。

2. 研究手順

本研究の手順を以下に示す。

- 1) 急曲線部で生じる不具合の主たる原因となっているシールドテール作用力をシールド機動力学モデルにより定量的に把握する。
- 2) シールド機動力学モデルで得られた急曲線部のシールドテール作用力とジャッキ作用力を入力値として3次元FEM解析を行い、得られた変位分布とセグメント変位計測結果を比較する。

3. モデル

シールド機動力学モデルでは、シールドに作用する力を以下の5つに分類し、その力の釣合いを求めている。

- f_1 : シールド自重による作用力
- f_2 : シールドテール作用力
- f_3 : シールドジャッキによる作用力
- f_4 : 切羽作用力
- f_5 : スキンプレート作用力

4. 現場解析

解析区間：直線部 (2634 ~ 2666Ring)

左曲線 R=16m (2667 ~ 2770Ring)

土被り：13.42 ~ 13.53m

地盤：トンネルは軟弱地盤の下部有楽町層粘性土層上部 (Ylcu 層：N 値=0~2) と下部有楽町層粘性土層下部 (Ylcl 層：N 値=0~6) の境界に位置する。

シールド：泥土圧式中折れシールド

5. シールド機挙動のシミュレーション結果

図1に掘進速度とシールドジャッキ推力の現場計測データを示す。掘進速度が曲線部で著しく低下しているにも関わらず、ジャッキ推力はほぼ一定の値で推移している。したがって、曲線部でテール作用力、スキンプレート作用力が大きく発生していることがわかる。そこで、曲線部で裏込め注入の回り込み固化を考慮するとともに、地盤反力係数を主動状態と受働状態で独立して入力できるようにした。

トンネル横断方向作用力(F_q)とトンネル軸方向作用力(F_r)の変化を図2に示す。これらの図より、曲線部の距離程2655mあたりからシールドテール作用力(F_{2q})が増加し、その反力として地盤反力(F_{5q})も増加していること、軸方向作用力については、地盤反力(F_{5r})による軸方向の摩擦力が増加していることわかる。これらより、裏込め注入材の回り込み固化、主動、受働側の地盤反力係数を考慮することによりシールドの挙動を合理的に評価できることを確認した。

6. 3次元FEM解析によるセグメント変位

シールド機動力学モデルを用いて得られた施工時荷重の妥当性を評価するために、3次元シェルモデルを作成し、FEM解析を実施した。検討する箇所はセグメントの変位が計測されている曲線始点近傍のRing2671とし、解析条件としては、軸方向にジャッキ作用力を、周方向にシールドテール作用力を入力値とした。図3にFEMによる解析値と計測値を示す。この図から、解析結果は実挙

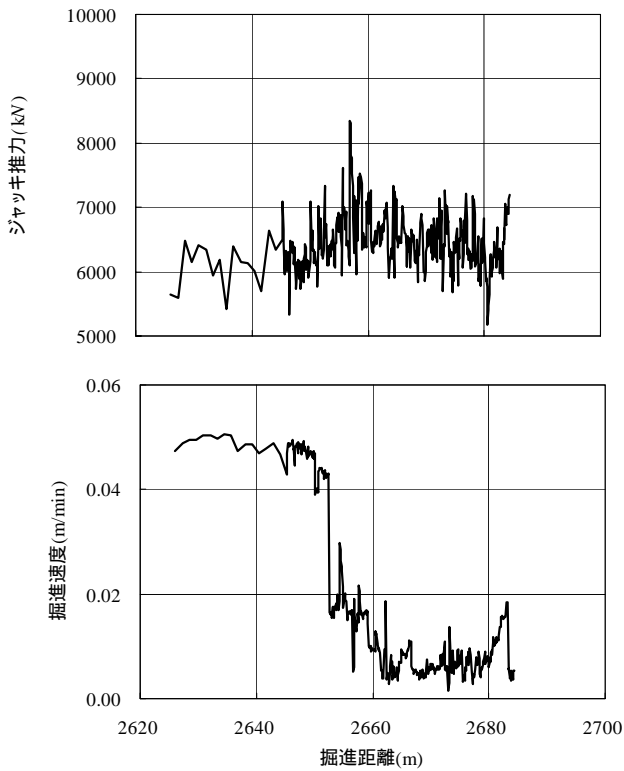


図1 現場計測データ

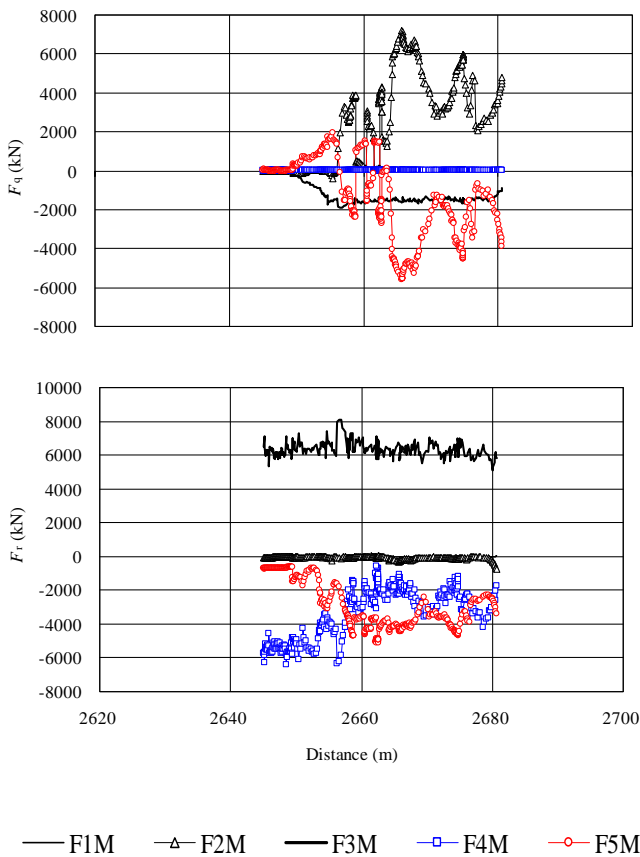


図2 シールド作用力(F_q , F_r)

動を概ね再現できており、シールド機動力学モデルにより得られた施工時荷重は妥当であるといえる。図4にFEMにより得られた地盤変位分布を示す。この図から、施工時荷重による影響が、セグメントエンドから12m位まで及んでいることがわかる。

7. 結論

本研究では、実測データを基にシールドの施工時荷重を把握するとともに、3次元FEM解析結果と計測結果を比較することにより、施工時荷重の妥当性を評価し、以下の結論を得た。

- 1)シールド機動力学モデルによる急曲線部でのシールド機挙動シミュレーション結果は、実際のシールド挙動を再現できた。
- 2)シールド機動力学モデルにより得られた施工時荷重による三次元 FEM 解析値は、計測値を表現でき、シールド機動力学モデルによって施工時荷重を推定できる。

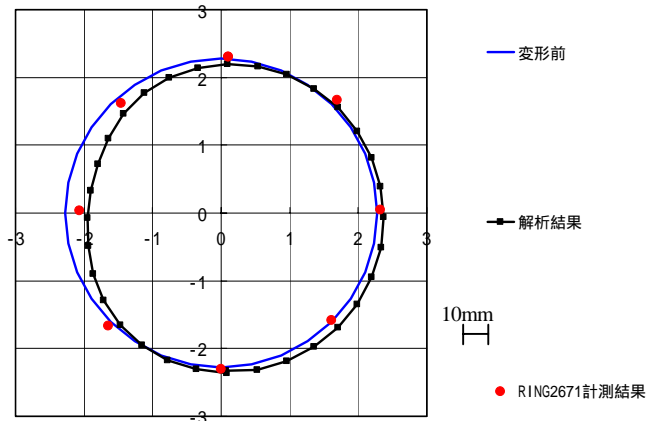


図3 断面変形比較

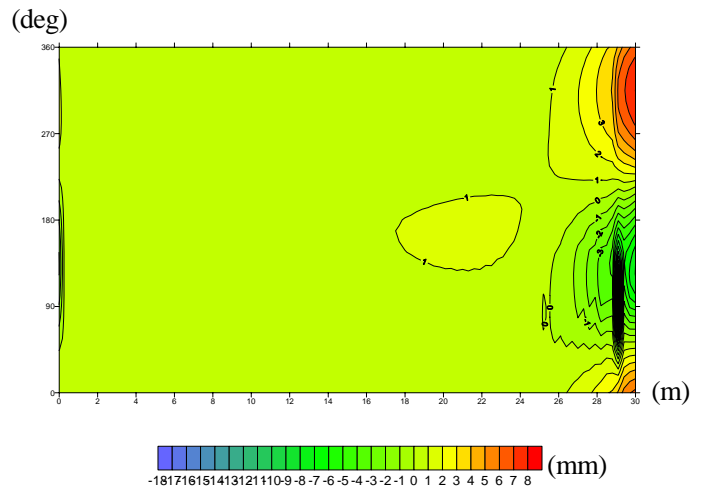


図4 地盤変位分布