

帯水砂質地盤におけるシールド地上発進実験 - 影響評価手法の開発 -

大成建設株式会社 正会員 坂井 一雄 青木 智幸
 大成建設株式会社 正会員 工藤 直矢 小池 真史

1. 目的

筆者らは、シールド機を土被りの無いトンネルのアプローチ部から発進させるシールド地上発進技術を確立するために、帯水砂質地盤でシールド地上発進実験を実施した¹⁾。その結果、施工管理手法や地盤変状に関する知見を得ることができた。今後、都市部道路トンネルの掘削工事に対し、本技術を適用するためには、実験結果の活用とともに、事前にシールド機の掘進が周辺地盤に与える影響を定量的に予測する必要がある。

通常、シールドトンネル施工時の地盤変状を数値解析により予測する場合、トンネル横断面を対象とした二次元解析が実施される。しかし、二次元解析ではシールドの掘進過程を応力解放率という概念に置き換える手法を用いるため、切羽土圧や裏込め注入過程などの影響を詳細に考慮することは難しい。また、シールド地上発進のように、掘進に伴って土被りが変化するような施工条件を正確に表現することも困難である。そこで、本研究では、シールド掘進時の施工条件を忠実に反映できる三次元逐次掘削解析手法を開発し、シールド地上発進実験時の周辺地盤の掘削影響評価を目的とした再現解析を実施した。

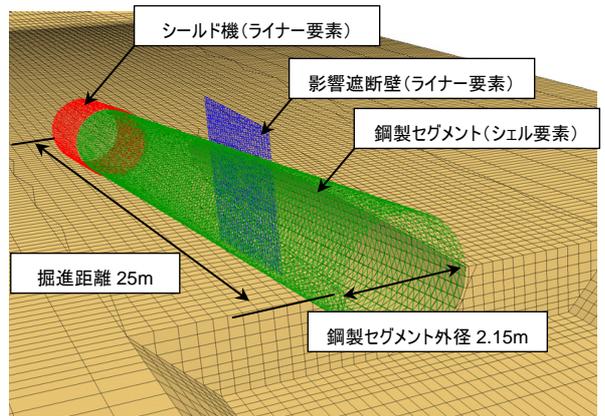


図1 三次元解析モデル

表1 地盤物性値

応力-ひずみ関係	弾完全塑性体
破壊規準	モール・クーロンの破壊規準
単位体積重量(kN/m ³)	19.0
弾性係数(MPa)	5.3(GL0m~GL-3m) 深度に比例(GL-3m以深) ^{*1}
ポアソン比	0.3
粘着力(MPa)	0
内部摩擦角(°)	40
静止土圧係数K ₀ ^{*2}	0.63

*1三軸圧縮試験、標準貫入試験結果を参考に設定。

*2水圧を考慮。

2. 解析条件

2.1 解析モデルと地盤物性値

解析には有限差分解析コードのFLAC3Dを用いた。図1に三次元解析モデルを示す。本解析モデルでは、シールドの掘進過程を忠実にモデル化することを目的にトンネルの縦断方向の要素サイズを20cmとした。

地盤の応力-ひずみ関係は弾完全塑性体とし、降伏条件はモール・クーロンの破壊規準に従うものとした。物性値は、実験対象サイトで実施したボーリング調査結果と室内土質試験結果を参考にして、表1のように設定した。

2.2 シールド掘進のモデル化

砂質地盤の場合、シールド機の掘進により生じる地盤変状は、切羽前沈下(または隆起)、シールド本体通過時沈下およびテールボイド沈下に分類されている²⁾。そこで、本解析では、これらの地盤変状を引き起こす要因として考えられる切羽土圧、余掘り、およびテールボイドの発生・裏込め注入過程を図2のようにモデル化した。以下に各要因のモデル化手法について説明する。

切羽土圧は、切羽前面およびカッターヘッドの外周面方向に節点荷重を与えることでモデル化した。切羽土圧の大きさは、チャンパー内土圧の計測値を参考に決定した。

余掘りは、カッターヘッド(φ=2290mm)とシールド本

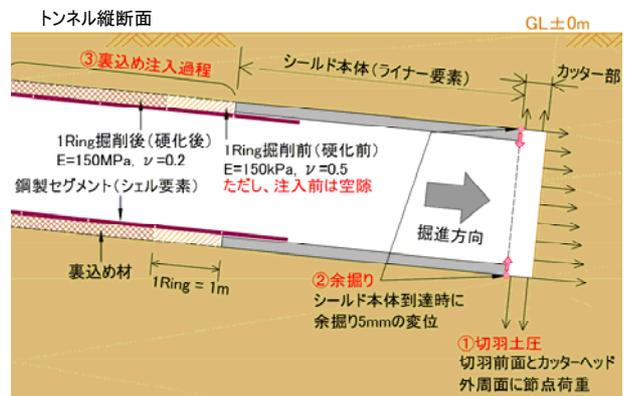


図2 シールド掘進のモデル化(概念図)

キーワード シールド, 地上発進, 地表面沈下, 側方水平変位, 三次元逐次掘削解析

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設㈱技術センター土木技術研究所 TEL:045-814-7236

体(φ=2280mm)の外径差により生じる。カッターヘッド通過後,シールド機周辺の地盤は余掘り分の空隙を埋めるように挙動すると考えられる。そこで,解析ではシールド本体到達時に本体と接する地盤の節点に余掘り分の変位をシールド中心に向かって与えるものとした。

実験では,シールド本体とセグメントの外径差によって生じるテールボイド部(片側 65mm)に,セグメントの注入孔から可塑状裏込め注入材を同時注入した。しかし,注入孔がセグメントリングのトンネル軸方向中央付近にあったため,1Ringの掘進途中からの注入であった。そのため,1Ring掘進中のテールボイド部の状態は,裏込め注入前はほぼ空隙であり,裏込め注入開始後に空隙が充填されたと考えられる。また,各種計測を行いながら掘進したため,1Ringの掘進に半日から1日を費やした。そのため,1Ring掘進後において裏込め材はほぼ硬化したと考えられる。これらを考慮して,解析では次のように裏込め注入過程をモデル化した。裏込め注入前はテールボイド部の状態を空隙とし,裏込め注入時から1Ring掘削時点で,テールボイド部に裏込め材をモデル化したソリッド要素を生成し,硬化前の物性を与えた。1Ring掘削後は物性を硬化後の値に変更した。

3. 解析結果と考察

図3に25m掘進完了時における地表面沈下コンターの解析結果を示す。トンネルの直上で局所的に沈下量が大きい領域が見られる。これはシールドテール通過直後に空隙が生じる断面の直上であり,大きく地盤の応力が解放されたことが原因であると考えられる。

図4および図5に断面19mにおけるシールドテール通過直後の横断方向の地表面沈下,および側方水平変位の解析値と計測値の比較を示す。なお,側方水平変位はシールド中心から横断方向に2m離れた位置の値である。

シールド直上の地表面沈下量は,計測値が22.7mmであるのに対し,解析値では19.9mmであり,同程度である。また,シールドの掘進に伴い沈下を生じるトンネル横断方向の範囲についても,解析で概ね再現できている。側方水平変位は,計測値および解析値ともにトンネル天端よりも上部の地盤が最大で2mm程度掘削側に変位することがわかる。これは,シールドテール通過直後に,トンネル直上の地盤がトンネル内部に落ち込むように挙動したことが原因であると考えられる。

4. まとめ

シールド掘進時の施工過程を反映できる三次元逐次掘削解析を開発し,シールド地上発進実験の再現解析を行った。その結果,実験時の地盤変状に関する計測結果を妥当な精度で再現することができた。今後は,シールド地上発進時の周辺地盤の挙動を事前に予測し,近接構造物の防護方法などを検討する際に,本手法を活用していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 飯島知哉 他:シールド地上発進実験およびその影響評価手法の開発,トンネル工学報告集, pp.299-305, 2010
- 2) 地盤工学会:地盤工学・実務シリーズ3 シールド工法の調査・設計から施工まで, pp.275-279, 2006

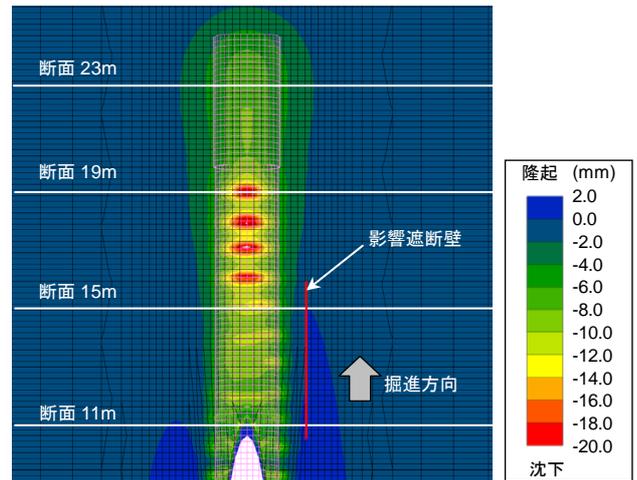


図3 地表面沈下コンター (25m掘進完了時)

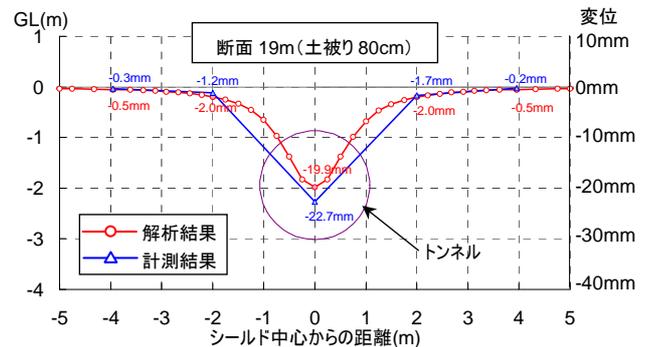


図4 横断面地表面沈下分布 (断面19m)

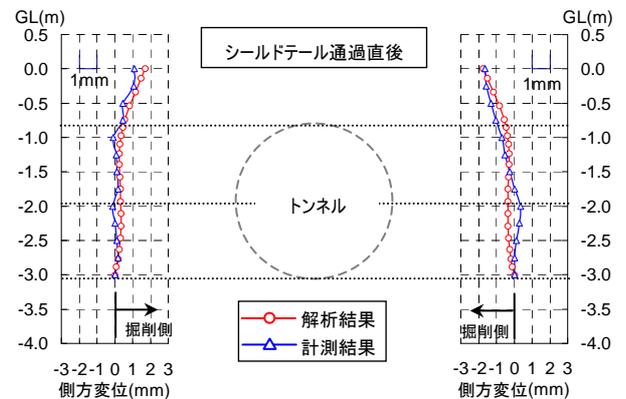


図5 側方水平変位 (断面19m)