

3次元モデルによるシールド掘削影響解析

鹿島建設(株) 正会員 ○小坂 琢郎 大谷 芳輝 玉田 康一
鹿島建設(株) 正会員 梶川初太郎 石黒 沙英
リテックエンジニアリング(株) 山本 英雄

1. はじめに

近年、都市部道路トンネルの構築工法としてシールド工法が多数計画されているが、小土被りからの発進・到達や、過密化した地下利用の制約から、供用中の構造物近傍を大断面シールドが通過する機会が多くなってきており、シールド掘進による周辺環境への影響を精度良く予測・評価する解析手法の重要性は高まっている。

このような状況のなかで、筆者らは、これまで掘削解放率が主な変位量決定要因であった2次元モデルによる掘削影響解析を進化させ、施工管理を反映して、より高精度にシールド掘進による影響を再現することを目的に、3次元モデルによる掘削影響解析手法を開発したので紹介する。

2. 3次元モデル

2.1 特徴

3次元モデルは、シールド掘進時の切羽圧、裏込め注入圧、裏込め注入材硬化過程、オーバーカットなどのシールドの施工状態を忠実に再現できる逐次掘削解析モデルである。適用メリットとしては、①シールド縦断方向の変位分布を把握できること、②縦断方向の土被り・地盤特性の違いを評価できること、③切羽圧、オーバーカットなどの詳細な施工情報を施工ステップに応じ直接モデルに入力して周辺地盤への影響を解析(予測)できることなどが挙げられる。

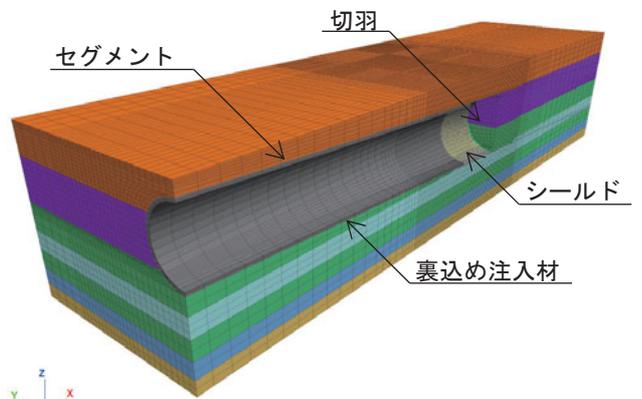


図-1 3次元解析モデルのメッシュ図

2.2 解析モデル

解析プログラムには、有限差分法解析コードのFLAC3Dを用いた。地盤の応力-ひずみ関係は弾塑性体とし、モール・クーロンの破壊基準を適用した。

2.3 シールド掘進のモデル化

シールドは、常に切羽、テールで圧力を維持しながら逐次、掘進する。切羽には掘進と同時に掘削面に切羽圧が作用し、テールでは掘進と同時に空隙(テールボイド)が生じ、裏込め注入圧が作用する。また、裏込め注入材は、打設された後、時間とともに強度が増加する。

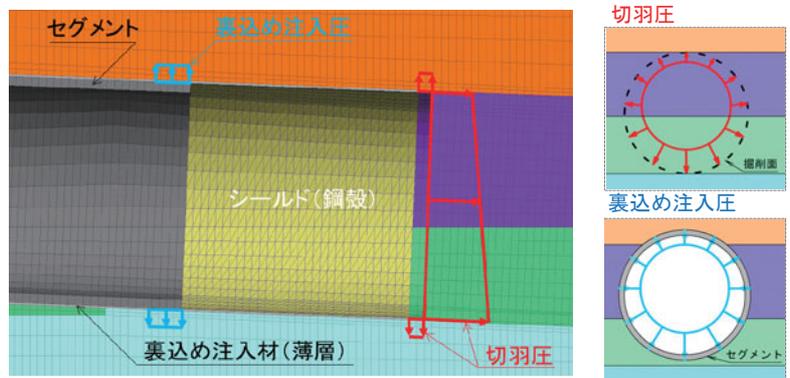


図-2 3次元解析モデルの概念図

以上を再現するため、3次元メッシュ(図-1参照)はシールド進行方向に対して極力細かく分割し、各ステップで切羽掘削面に100%の掘削解放力を与えると同時に、切羽圧を分布荷重として与え、順次発生するテールボイドには同様に裏込め注入圧を与えた(図-2参照)。また、テール部では、一定区間の裏込め注入材には未硬化の若材齢時の剛性を与え、それより後方の材料には硬化後の剛性を与えた。なお、オーバーカットによる余掘り部の沈下を再現するため、切羽圧・裏込め注入圧の影響を受け難いシールド中央部でオーバーカット分の強制変位を付与した。

キーワード 3Dモデル, 掘削影響解析, 小土被り, 切羽圧, 裏込め注入圧, オーバーカット

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂6丁目5-30 鹿島建設(株) 土木設計本部地下空間設計部 TEL03-6229-6617

3. 東京港トンネル発進部の影響解析

解析モデルの再現性確認のため、東京港トンネル(外径φ12m, セグメント厚500mm, 幅2.0m)の施工時の変位計測データを活用した。

東京港トンネルでは、発進部において、約4mの小土被りでのシールド施工時の地盤挙動把握のため、地表面変位のリアルタイム計測を実施した。東京港トンネルの工事諸元を表-1に、解析に用いた地盤の物性値を表-2に示す。

3次元モデルに付与する切羽圧や裏込め注入圧は、実シールド掘進データ(時系列データ)を整理したうえで、モデルに付与した。

3次元モデル(図-3,4参照)では、40cmごとにシールドを掘進させながら、切羽圧は40cm, 裏込め注入圧は80cmごとに作用させ、セグメントは同80cmごとに剛性を付与した。

図-5に計測断面における地表面鉛直変位解析結果を、図-6,7に鉛直変位の分布図を示す。切羽通過前は切羽圧により3mm程度隆起し、その後、切羽の通過とともに変位が増加し、テール通過時には裏込め注入圧の影響を受け、最終的には15mmの沈下が生じた。これらの計測結果に対して、解析結果は、概ね一致した。

本解析結果より、開発した3次元モデルでは、切羽圧の影響(切羽前沈下・隆起)や、シールドからの圧力が減少し、オーバーカット相当の変位が生じる事象(通過時沈下・隆起)、テールボイド発生とそれに対する裏込め注入圧の影響(テールボイド沈下・隆起)を精度良く再現できることが確認できた。

表-1 工事諸元

工事名称	357号東京港トンネル工事
発注者	国土交通省関東地方整備局 川崎国道事務所
型式	泥土圧式シールド
シールド延長	1,470m
施工時期	H23.6~H25.3
外径	12.0m
土被り	2.7m~6.7m(発進部計測区間)
最大勾配	4%

表-2 地盤の物性値

層名	γ (kN/m ³)	E (kN/m ²)	ν	C (kN/m ²)	ϕ (deg)
Ts	18.6	11,200	0.45	37	6
Ac1	16.9	8,400	0.45	39	10
Ag1	20	110,000	0.3	0	29
Ag-cs	16	22,000	0.45	37	0
Ag2	20	110,000	0.3	0	29
Ac2	15	28,000	0.45	78	0
As	18.7	5,600	0.4	3	35

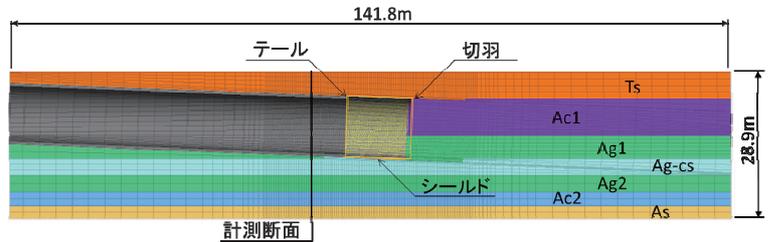


図-3 3次元解析モデルの縦断面図

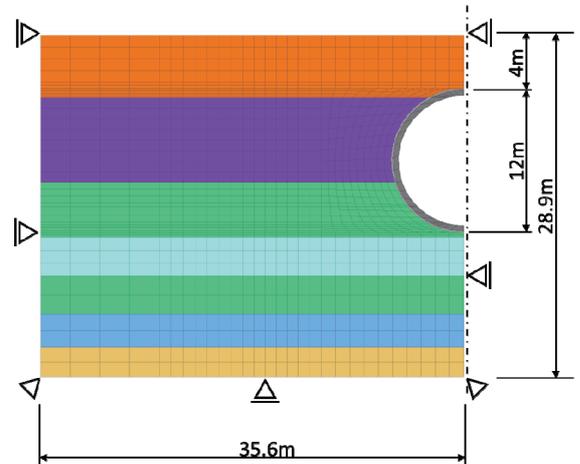


図-4 計測断面のモデル図

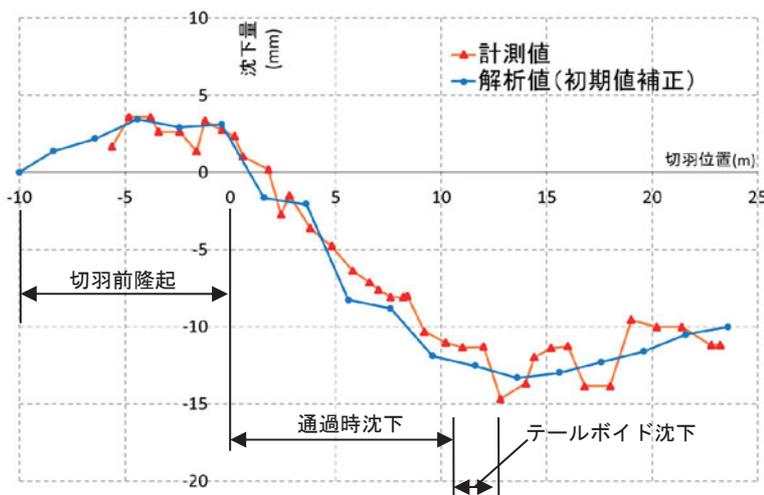


図-5 計測断面地表面の鉛直変位

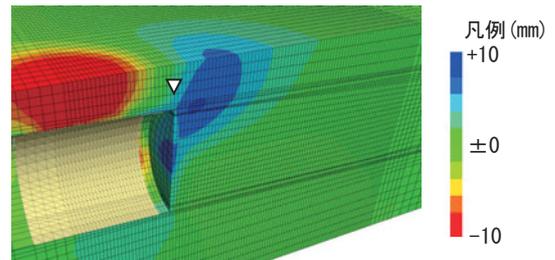


図-6 鉛直変位の分布図(切羽計測断面到達時)

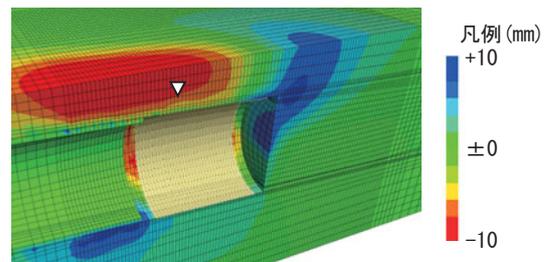


図-7 鉛直変位の分布図(テール計測断面通過時)

4. おわりに

以上、3次元モデルによるシールドの掘削影響解析について報告した。

今後、計測による検証を進め、より高精度で、汎用性の高い3次元モデルを構築すべく、鋭意開発を進めて行く。