

早期閉合における 2次元 FEM 解析による変位及び支保工応力の再現性について

戸田建設 (株) 正会員 ○内藤 雅人
 戸田建設 (株) 正会員 三上 英明
 戸田建設 (株) 正会員 生島 直輝

1. 工事の特徴

本工事は、新名神高速道路の大阪 JCT～城陽 JCT 間に位置する宇治田原トンネルの東工区（上り線 1,162m, 下り線 932m）を施工するものである。本トンネルは三車線断面（掘削断面積 145.272m²）の超大断面トンネルであり、さらに、坑口部では脆弱な崖錐堆積物が分布し、且つ土被り 4～7m の小土被り区間が約 80m 続くことから、トンネルおよび周辺地山の不安定化が懸念され、各種補助工法と早期閉合等の対策検討が重要課題とされた（図-1, 2）。

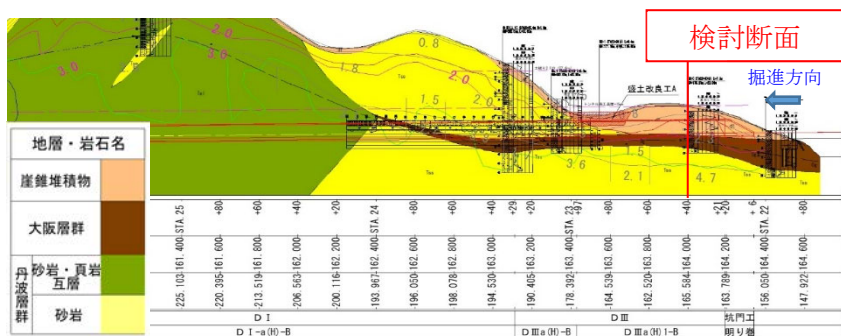


図-1 地質縦断図(上り線)

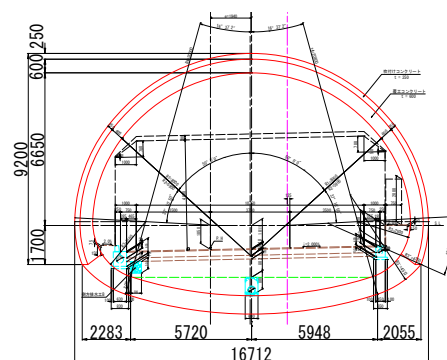


図-2 支保工断面図 (DIII a (H) 1-B)

2. 着目点

本トンネル断面は、前述のとおり山岳道路トンネルの中でも掘削断面積が非常に大きいため、坑口部を含む小土被り区間を対象に 2次元 FEM 解析を行い、各種補助工法の対策検討、周辺地山の安定性検討を実施した。解析結果に基づき、アーチ部 180° 範囲注入式長尺鋼管先受け工、注入式脚部補強工、インバートストラット併用による早期閉合を施工した結果、最終変位量は解析結果の 70%程度 の値となり、安全に掘削を完了した。

早期閉合に適用した 2次元解析方法は、既往文献^{*1}を参考に、全断面掘削ステップで $\alpha=20\%$ 、全断面支保ステップで $100-\alpha=80\%$ で算定したが、当解析方法は最終変位を推定するための解析方法であり、文献内では、掘削時の支保応力等は検証されていない。今後の下り線掘削においては、上り線の支保工および覆工への影響が懸念され、簡易な 2次元モデルを用いて変位および支保工応力等を精度よく推定するための早期閉合の解析手法を検討することが重要と考えた。そこで、解析ステップおよび応力開放率を変えた 3 ケースの 2次元解析を実施し、これらによる支保応力結果と 3次元解析より得られた支保応力を比較することで、各ケースの妥当性を検証し、早期閉合を考慮した 2次元解析方法の提案を試みた。

3. 解決方法

変位計測結果よりトンネル周辺地盤の物性値を推定するため 3次元モデルによる逆解析を実施した（図-3）。3次元逆解析より得られた物性値を用いて、以下に示す解析ステップを変えた 3つの解析ケース（表-1）で、3次元解析に対する変位、支保工応力の再現性を比較した。

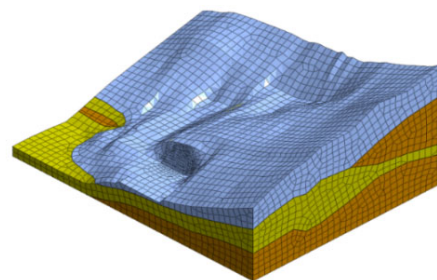


図-3 3次元解析モデル

キーワード 2次元解析, 応力開放率, 早期閉合

連絡先 〒104-0032 東京都中央区八丁堀 2 丁目 8 番 5 号 戸田建設 (株) TEL 03-3535-1354

解析ケース①では、既往文献^{※1}より全断面掘削と全断面支保を2ステップで再現した2次元解析を実施した。解析ケース②では、上半・下半・インバートのステップを掘削時、支保時でそれぞれ応力開放率を設定した6ステップの2次元解析を実施した。解析ケース③では、上半・下半・インバートの切羽離れに応じた応力開放率を求め、加背ごとに解放率を与えることで早期閉合の効果を評価した例^{※2}を参考に、3次元解析より得た特性曲線より設定した4ステップの2次元解析を実施した(図-4)。

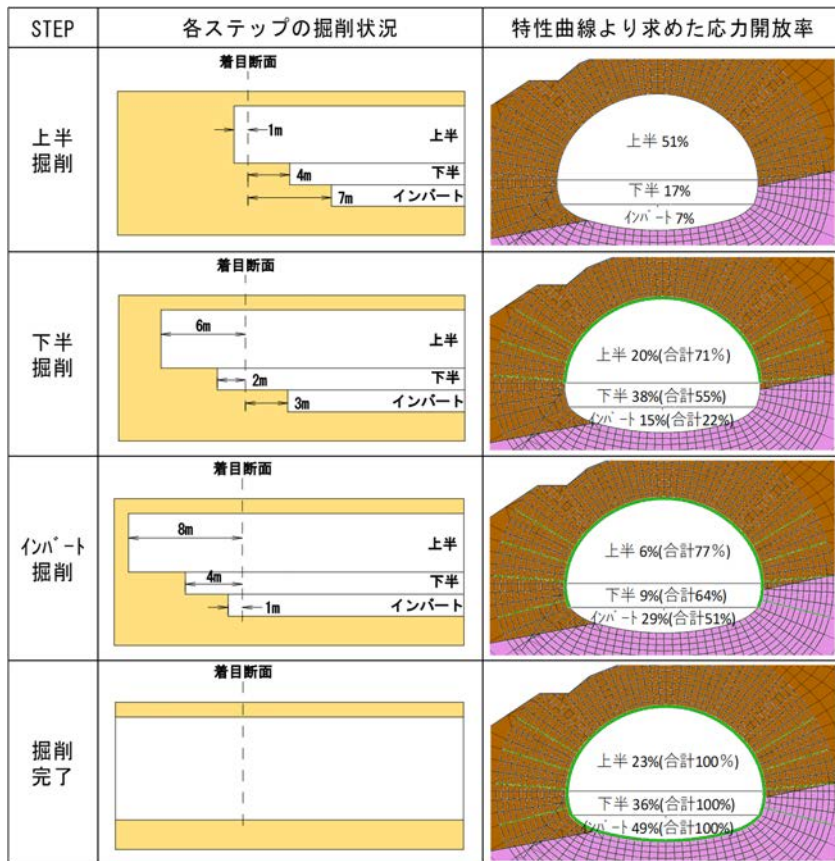


図-4 特性曲線より求めた応力開放率設定の概要

表-1 解析ケース一覧

解析ケース	解析ステップ	応力開放率
①-1	2ステップ (全断面掘削-全断面支保)	20%-80%
①-2		30%-70%
①-3		40%-60%
②-1	6ステップ (上半掘削-上半支保 -下半掘削-下半支保 -インバート掘削-インバート支保)	20%-80%
②-2		30%-70%
②-3		40%-60%
③	4ステップ	

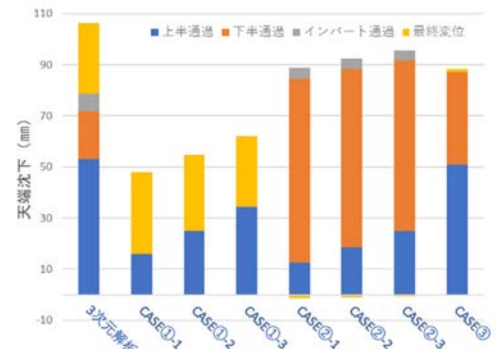


図-5 切羽進行ごとの天端沈下の変位量

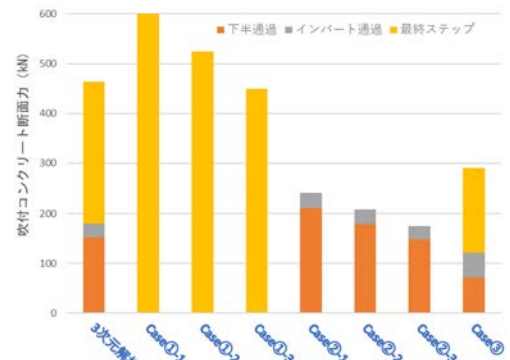


図-6 切羽進行ごとの吹付けコンクリートの断面力(軸力)

4. 得られた結果

天端沈下量, 吹付コンクリート断面力を比較した解析結果を図-5, 6 に示す。最終変位量が3次元解析と最も近い傾向があるのはCASE②-3, 吹付コンクリートに作用する断面力の最終値が最も再現されるのはCASE①-3であった。複数のケースで早期閉合掘削における2次元解析手法を検証したが, 変位量, 支保工応力ともに精度よく再現できる理想的な解析手法は導くことができなかったが, 当現場条件における2次元解析の特徴を把握できた。これにより, 多くの時間を要する3次元解析を用いなくとも, ある程度の再現性がある2次元解析が可能となり, 今後の早期閉合を適用した際の安定検討や下り線掘削時の上り線支保・覆工への影響検討へ反映させるつもりである。

5. 参考文献

- ※1 真下英人, 水川雅之, 日下敦, 『トンネル早期閉合効果に関する解析的検討』, トンネル工学報告集, 第17巻, 2007. 11
- ※2 大塚勇, 今塩屋勝, 吉川真仁, 高橋聡尚, 篠崎哲明 『I期線トンネルに近接するII期線トンネルの影響予測と対策工について』, トンネル工学報告集, 第26巻, 2016. 11