

山岳トンネルにおける地表面沈下の数値解析に関する考察（その2）

(株) 地層科学研究所 正会員 ○菅原 健太郎

清水建設(株) 正会員 熊坂 博夫 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 安田 亨

(独) 土木研究所 正会員 日下 敦 (株) 奥村組 正会員 浅野 剛

1. はじめに

土木学会トンネル工学委員会技術小委員会内に「山岳トンネルの地表面沈下検討部会(部会長 長崎大学 蔣教授)」を設置し、予測・評価 WG では、地表面沈下の予測手法や評価手法についての検討を行っている。本報は、「山岳トンネルにおける地表面沈下の数値解析に関する考察(その1)」に続き、施工中における再現解析と評価に関して検討を実施しているので、その一部を報告する。

2. 情報化施工と地表面沈下

トンネル建設における情報化施工の目的は、調査やそれに基づく解析などによる事前検討との「整合性」や「差」を常に観測し、必要に応じて対策を実施することである。この事前検討との「差」を評価するためには、施工前に許容値を設定しておくのが一般的である。施工中に得られる観察・計測結果は、この許容値と比較することで「差」の大きさや想定されていた挙動との相違が評価される。「差」が大きい場合には、設計の見直しも含め、種々の対策が検討または実施されることとなる。近年、この情報化施工の流れの中において、数値解析が採用されることが多くなってきている。

数値解析を用いて施工中の地表面沈下挙動を評価する場合、はじめに、観察・計測結果と事前検討との「差」を確認する。次に、必要に応じて物性値を見直し、既施工区間や未施工区間の沈下を予測し、「適切な支保パターンや補助工法の検討」を実施する。最後に、予測解析結果から許容値の見直しを実施し、施工中の観察・計測結果をフィードバックする作業を繰り返す。

3. 解析手法・次元の選定

地表面沈下を予測する場合、切羽到達前の先行変位を把握することは重要である。トンネル軸方向の地表面傾斜変化が問題となる場合、解析次元の選定ミスにより評価が難しくなる場合があるので注意が必要である。

地表面沈下の予測・評価を実施するにあたり、解析次元の違いによる特徴(表-1)を以下に述べる。なお、内容の一部は紙面の都合上割愛する。

(1) ①解析時間について

施工中の検討は、迅速な対応が求められる。この場合、解析に要する時間が問題となる場合があるが、近年のコンピュータ技術の向上により、多くの計算量が必要となる場合においても実務的に計算が可能となっている。また、三次元解析を採用する場合、「地質学的判断に基づき複雑な地盤構成を簡略化、または均一とみなす」、「1掘進長を大きくとることで、解析ステップ数を減少させる」、等の工夫より計算負荷を低減することが可能である。ただし、その手法が適当であるか否かは、事前に検討しておく必要がある。

(2) ⑦切羽前方の評価(前方ゆるみ、先受け・鏡ボルトの効果)

二次元解析の場合、先受け工の効果は、等価弾性係数 E を求め、施工範囲内の剛性を向上させる方法や、解放率を用いた事例がある。鏡ボルトの効果に関しては、軸対称モデルを用いた簡易評価モデルが提案されている¹⁾。三次元解析の場合、先受け工や鏡ボルトに代表される前方補強効果はパイル要素などを用いることで詳

表-1 解析次元の違いによる特徴の比較

項 目	二次元	三次元
① 解析時間	○	△
② 先行変位量の評価	○	○
③ 最終沈下量の評価	○	○
④ 傾斜角(横断)の評価	○	○
⑤ 傾斜角(横断以外)の評価	×	○
⑥ 切羽面の評価	×	○
⑦ 切羽前方の評価	△	○
⑧ 加背割の影響評価	△	○

○: 可, △: 可(条件付きで), ×: 不可

キーワード 地表面沈下, 山岳トンネル, 情報化施工, 再現解析

連絡先 〒112-0004 東京都文京区後楽 2-2-20 (株)地層科学研究所 土木設計・計測事業グループ TEL 03-5842-7677

細にモデル化することが可能である。

(3) ⑧加背割の影響評価 (対策のタイミングと早期閉合)

地表面への影響を抑制する目的で、掘削方法の変更について検討する場合がある。例えば、インバート早期閉合に代表されるベンチ長が短い場合、先進切羽による変形が収束する以前に、後進切羽が通過する。二次元問題で掘削解放率を用いる場合は、解析対象断面において、先進切羽の掘削相当外力が100%解放される前に、後進切羽の相当外力が解放されることを意味しており、掘削解放率の考え方が複雑化される。このような検討が対象となる場合においては、二次元解析では厳密に再現できない可能性があり、三次元解析による検討が望ましい(例えば文献²⁾)。

4. 問題が発生する場合の予測例(対策効果を含む)

既施工区間のフィードバックにより、未施工区間の地表面沈下を予測し、補助工法の検討を実施(図-1)した事例を以下に示す。

計測結果による変位量は、事前解析結果よりも大きいことから、当初設定の許容値を超過する可能性がある。そこで、事前予測に用いられた地山物性値は、フィードバックによる再現解析により見直すこととした。その結果、地表面への影響が大きくなることが判明(図-2の破線、図-3左)し、対策工を用いた沈下抑制効果の検討を実施した。種々の検討から、掘削による切羽前方ゆるみに起因する影響が支配的であると判断し、長尺鏡ボルトと長尺先受け工の組み合わせを採用した。再予測による結果から、先行変位や既施工区間に対する抑制効果(図-3右)の可能性を確認することができた。この一連の結果をもとに、地表構造物の管理値、施工性、経済性の観点も含め、補助工法の導入が決定された。

本報告では、他の補助工法の採用による抑制効果例は割愛するが、インバート早期閉合効果が有効である事例も報告されている(例えば文献³⁾)。

5. おわりに

以上、予測・評価WGの数値解析に基づく予測手法と評価の一部を報告した。なお、沈下部会の成果は、トンネルライブラリーとして、平成22年度中の発刊を予定している。

参考文献 1)宮野前俊一、森田篤、酒井照夫、松井幹雄、梨本裕、大久保誠介：長尺鏡ボルト工の地山補強効果に関する簡易評価モデルの提案，土木学会論文集F，Vol.62，No. 2，pp.258-267，2006。

2)森崎泰隆，御手洗良夫，蔣宇静：一次インバートの閉合距離が地表面沈下に与える影響に関する解析的検討と適用事例，土木学会論文集F，Vol. 64，No. 3，pp.227-236，2008。

3)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。

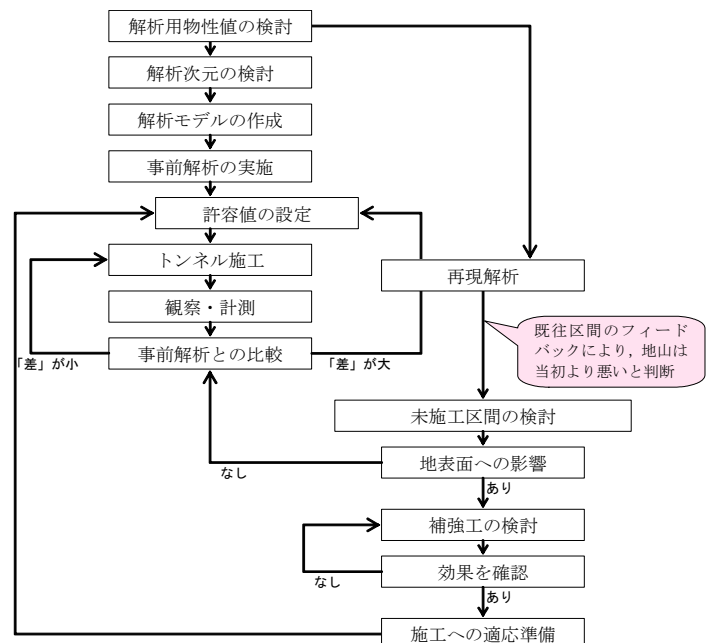


図-1 検討フロー

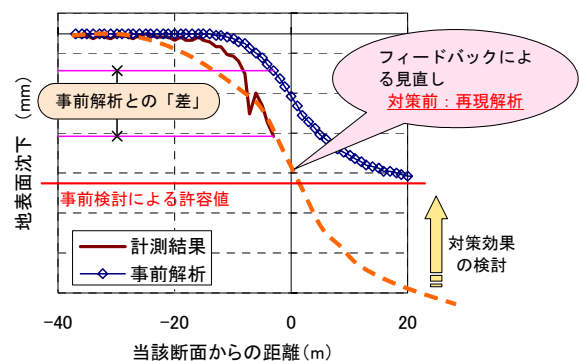


図-2 計測結果からの再予測例

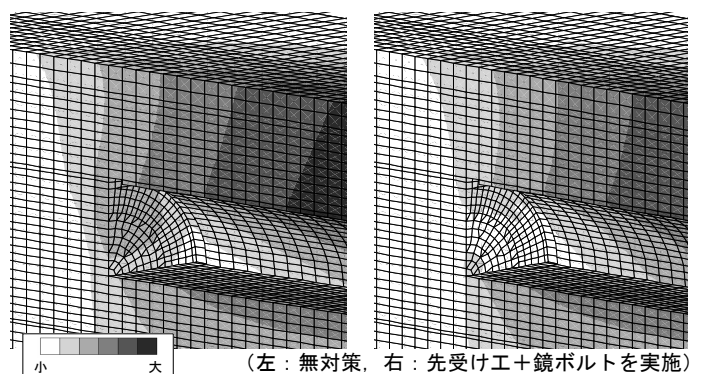


図-3 変位分布図