

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)

地層科学研究所 正○福田 毅 日本工営 正 小谷 拓
鉄道総合技術研究所 正 嶋本敬介 神戸大学 正 芥川真一
中央復建コンサルタント 正 山本雅広 首都大学東京 正 土門 剛

1. はじめに

近年、土被りが小さく、計画路線上に建物が存在している都市部のトンネル工事において山岳工法が採用される場合が増えている。このため、トンネル掘削にともなう地表面沈下の発生が建物や構造物に影響をおよぼすことが懸念されている。よって、適切な補助工法の選定を含めた掘削の影響評価が重要となっている。

このような背景を踏まえ、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、既往の研究や対策工選定の現状を調査分析するとともに、事前調査や施工中のモニタリング手法、地表面沈下の予測手法、対策工の合理的な選定法等の検討を行っている。本報告は、地表面沈下予測手法に関する活動状況の一部である地表面沈下の数値解析について紹介する。

2. 数値解析による地表面沈下予測手法の課題

土被りが小さく地表面沈下が懸念される場合には、その影響を予測し、許容される影響量以内となるように施工方法や補助工法が選定される。この評価手法として、従来は経験的に概略予測を行うものであったが、現在ではコンピュータの進歩により数値解析が採用されるケースが多くなった。事前解析を例にとると、図-1のような流れで許容値が設定される。一方で、調査および討議を通じて数値解析の技術課題として次のような点を挙げた。

- ① 地山特性の把握、解析パラメータの設定について
- ② 解析次元数の決定、解析領域の設定、境界条件について
- ③ リバウンド、共下がり現象の問題について
- ④ 側圧係数の設定について
- ⑤ すべりなど不連続挙動の評価について
- ⑥ 計測データ分析による再現解析について
- ⑦ 施工中の管理手法および対策工選定への数値解析の活用
- ⑧ 事後評価への活用について

本報告では、これらの課題の内「解析領域設定とリバウンド」および「二次元解析と三次元解析の違い」に着目してその概要を述べる。

3. 地表面沈下に着目した解析領域の設定とリバウンド問題

一般に、解析領域は「地盤は無限に広がっていると考え、境界からの影響を取り除くために解析領域は十分大きくとる」という思想を基本とし、下方領域については2~4D(D:トンネル代表径)程度、側方領域については4~5D程度とする場合が多い。しかし、土被りの浅いトンネルを対象とした解析では、「リバウンド(トンネルの浮き上がり)」が課題となることが知られている。つまり、解析領域の設定によってはこのリバウンド現象により地表面沈下量を過小評価する可能性が懸念されるため、側方・下方領域の設定に工夫がなされる。ここで、土被りを1D、2Dと固定し、それぞれについて下方境界を0.5D、1D、2Dと変化させたパラメータスタディを行った検討事例を参考として図-2に示す。

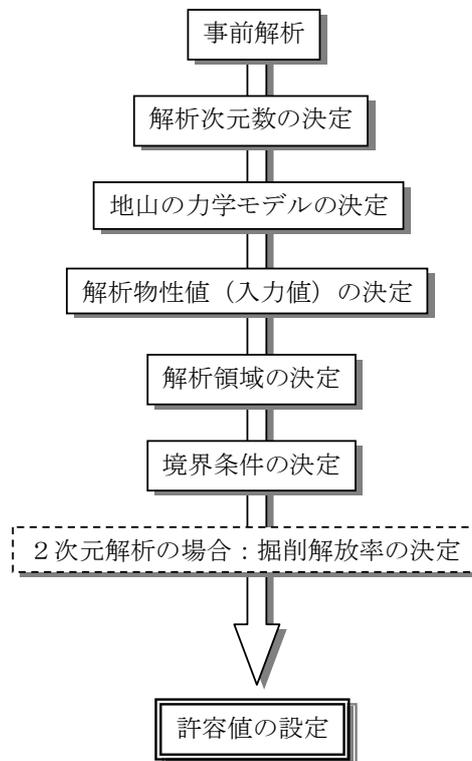


図-1 事前解析の手順

キーワード 地表面沈下予測手法, 解析領域, リバウンド, 掘削解放率

連絡先 〒112-0004 東京都文京区後楽2丁目2番20号井上旭門ビル3F (株)地層科学研究所 TEL.03-5842-7677

検討事例では、下方領域の設定は解析結果に大きな影響をおよぼし、特に下方領域を大きくとると地表面に与える影響を過小評価することとなるため、危険側の設計となる可能性が高い。よって、地表面沈下量を評価する上で解析領域の設定には十分な注意が必要である。

4. 二次元解析と三次元解析の違い

二次元解析と三次元解析の地表面沈下分布の相違の例を図-3に示す。図に示されるように、トンネル掘削や地表面沈下の現象は本来三次元的な事象であるため、三次元解析で検討することが望ましい。しかし、コンピュータの発達で比較的容易に三次元解析を実施することが可能となってきたものの、三次元モデルを作成するのは簡単なことではない。このため、現在でも二次元の力学問題に置換する特性曲線法を利用して解析される場合がある。

このような背景において、二次元解析を実施する上で注意しなければならない点は、「特性曲線法による二次元解析が必ずしも三次元逐次掘削解析と同等の結果となるわけではない」ということである。この点について検討した事例¹⁾を紹介する。この事例は、三次元解析結果と応力解放率等をパラメータとした二次元解析結果を比較することで、トンネル掘削時の挙動に対する二次元解析の適用性を検討している。検討結果を図-4に示すとともに、以下のことが指摘されている。

- ・ 三次元解析結果に一致する応力解放率は、着目点の相違(先行変位か最終変位か、地表面沈下か天端沈下か)によって異なる。
- ・ 三次元解析結果に一致する応力解放率は「一次インバートの閉合時期」、「支保工剛性」、「地山のモデル化」、「物性値」、「土被り」等によって影響を受けるため、二次元解析はあくまでも大まかな目安を得るものであることに留意する必要がある。

この事例などより、二次元解析結果の評価方法の確立が望まれる。

5. おわりに

本報告は、予測・評価WGで実施した地表面沈下予測手法に関する調査結果の一部である地表面沈下の数値解析について報告した。現在、山岳トンネルにおける地表面沈下の予測評価と合理的対策工の選定を行う上で実務者にとって有用なライブラリーとして取りまとめを行っている。

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, トンネル工学研究論文・報告集, 第17巻, pp.35-41, 2007.

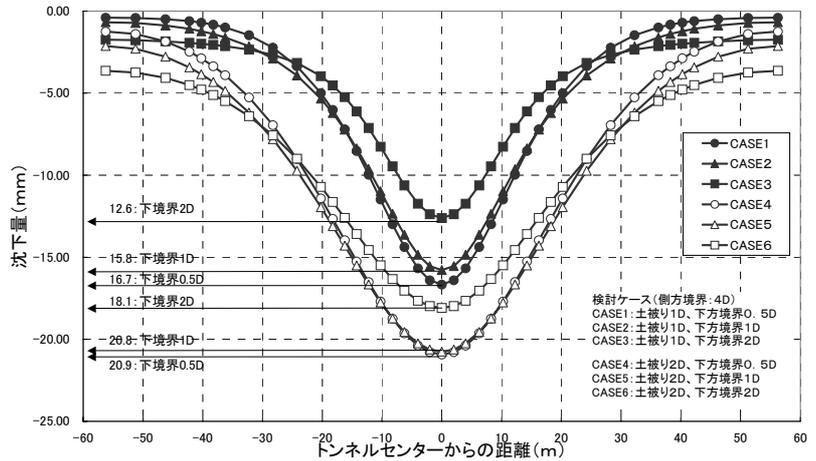


図-2 下方境界と地表面沈下量の検討事例

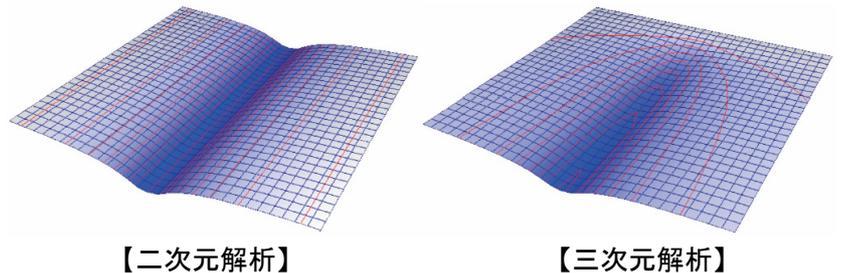
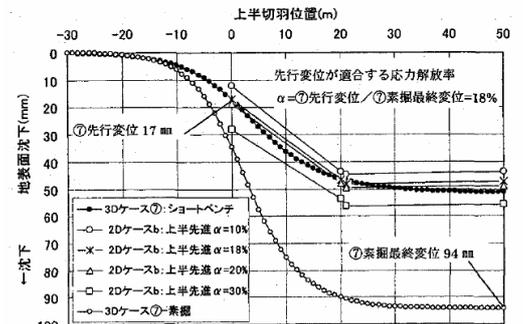
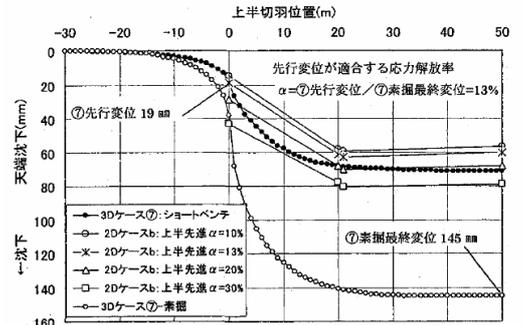


図-3 二次元解析と三次元解析の地表面沈下分布の相違の例



【地表面沈下に着目】



【天端沈下に着目】

図-4 ショートベンチ工法における二次元解析と三次元解析の比較