

強度低下によるトンネル崩壊プロセスの分析に関する基礎研究

| | | |
|----------------|------|--------------------|
| 神戸大学工学部 | 正会員 | 芥川真一 [*] |
| 神戸大学大学院自然科学研究科 | 学生会員 | 高野晃佑 ^{*)} |
| 神戸大学大学院自然科学研究科 | 学生会員 | 西田愛 [*] |

1. 概要

土被りの浅い NATM トンネルでは、地上の構造物や地下の埋設物へ与える影響を最小限に抑えるために、施工時には周辺地山や地表面の変位には細心の注意を払う必要があるが、いくつかの悪条件が重なった場合、変形が異常に大きくなったり、崩落などの事故が発生することがある。本報では、土被りの浅い NATM トンネルの崩落挙動を、実計測データを参考にしながら再現した例について報告する。

2. 研究背景と目的

今回対象とするトンネルは、なだらかな丘陵地帯に位置し、平均土被りは 8m である。トンネル上部の田畑が陥没し、土砂がトンネル内を埋めた。その原因として、周辺が軟弱地盤であること、また、地下水脈が複雑で、地下水位が地表面近くまで上昇し、それによる水圧が作用していたこと、インバート（トンネルの底盤部分）のコンクリートが施工中であったことが挙げられた。本研究では、それらの諸要因を考慮し、トンネルの崩落挙動について考察することを目的とする。

3. 使用解析ツール

今回用いたひずみ軟化挙動を表現できる解析ツール¹⁾は、地山のせん断に対する変形係数（異方性パラメータ）と摩擦側における強度定数を同時に低下させる解析手法で、特に土被りの浅い NATM トンネルの変形挙動を再現するのに効果的である。ここで、異方性パラメータとは、せん断弾性係数と弾性係数の比とする。また、この解析ツールを用いると、すべり面が地表面まで卓越するような変位データも再現することができる。

4. 解析パターンと結果

諸要因を参考にして解析パターンを設定した。まず、地下水位の上昇については、水圧の作用する地層を、トンネル周辺の粘土層のみとする場合と、天端以上の砂層にまで及ぶ場合での解析結果を比べることで判定する。次に、インバートについての問題は、他の条件は同じで、インバート部を掘削する、もしくは、掘削後コンクリート打設を行い、リング構造を形成するケースの、ふたつを考慮して分析する。これらの解析パターンとその結果を表-1にまとめる。Case1 と Case3 を比べると、地下水位の状況から判断されるように、軟化する地層は上部の砂層まで及んでいる、つまり、地下水位は地表面近くまで上昇し、その影響がトンネル崩壊につながっている可能性があることがわかる。さらに、Case3, 5, 6 を比べると、インバートが施工中で閉合していないことも、崩壊につながっている要因であると判断できる。

次に、Case1, Case3 について、不釣合い力率と、最大せん断ひずみの比較・検討を行う。ここで、不釣合い力率とは、外力と内力の差ベクトルのノルムを、外力ベクトルのノルムで除したものである。図-1 では、不釣合い力率の解析段階ごとの推移グラフを示す。このインデックスは荷重増分を与えた直後に増加し、その後、繰り返しステップごとに応力が再配分される過程で次第に小さくなるものである。

キーワード NATM トンネル, ひずみ軟化解析

連絡先 ^{*})〒658-8501 神戸市灘区六甲台町 1 - 1 TEL 078-803-6015 FAX 078-803-6069

表1 解析ケースとその内容

| | Case1 | Case2 | Case3 | Case4 | Case5 | Case6 |
|-----------|-------|---------|--------|---------|--------|--------|
| 軟化する地層 | 粘土層のみ | 粘土層のみ | 粘土層と砂層 | 粘土層と砂層 | 粘土層と砂層 | 粘土層と砂層 |
| 低下するパラメータ | 残留値のみ | 残留値と初期値 | 残留値のみ | 残留値と初期値 | 残留値のみ | 残留値のみ |
| インバート掘削 | する | する | する | する | しない | する |
| インバート閉合 | しない | しない | しない | しない | しない | する |
| 崩落挙動を示したか | × | × | | | × | × |

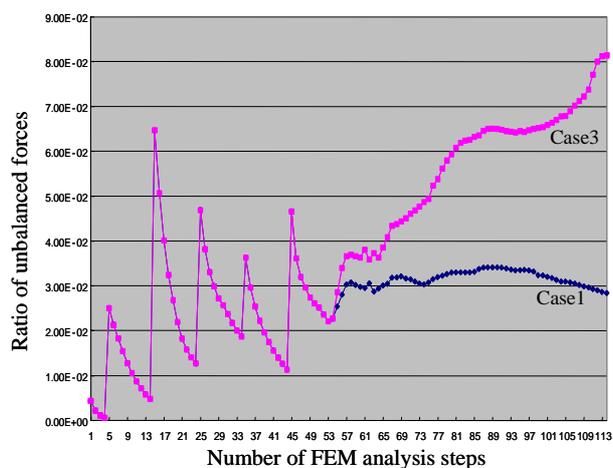


図-1 不釣り合い力率の推移

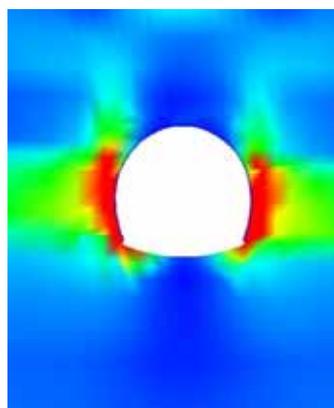


図-2 Case 1におけるひずみ分布

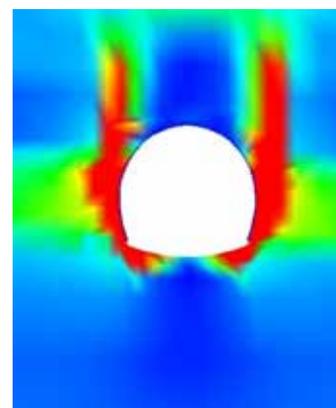


図-3 Case 3におけるひずみ分布

図-2, 3では、最大せん断ひずみ分布の最終段階での比較図を示しており、赤が濃い部分で、ひずみが多く発生している。これによると、切羽が研究断面に到達するまではともに同じ挙動を示し、通過し周辺地盤の物性値が下がりだすと、その差が顕著に現れてくることがわかる。そして、最終的には、Case3 では崩壊挙動を示し、Case1 では示さないことがわかる。

5. まとめ

本研究では、周辺地盤が軟弱で土被りの浅い NATM トンネルの崩落事象には、地下水位の上昇による周辺地盤の強度低下と、インバートの閉合状態が大きな影響を与えることが考察された。また、ひずみ軟化手法を用い、地盤内の挙動を強度低下の概念に基づいて解析する方法で、複雑な変形挙動を合理的に再現できることがわかった。

参考文献

- 1) Jaeho LEE, Shinichi AKUTAGAWA, Takashi KITAGAWA, Atsumi ISOGAI and Takeshi MATSUNAGA
STRAIN SOFTENING ANALYSIS FOR IDENTIFICATION AND PREDICTION OF DEFORMATIONAL BEHAVIOR OF A SHALLOW NATM TUNNEL
Journal of Tunnel Engineering, 2005.