

摂南大学大学院工学研究科 学生員 ○櫻井 宏親
 摂南大学工学部 正会員 道廣 一利
 大阪工業大学短期大学部 正会員 吉岡 尚也

1. はじめに

トンネルを掘削するには、切羽の自立が前提となるため、これまでは上半工法が主流であった。しかしながら、トンネル技術者の創意と工夫により、これまでの上半工法から補助ベンチ付き全断面工法へと移行し、施工面での技術革新がはかられた。

補助ベンチ付き全断面工法は、作業空間が広く取れるため、大型施工機械の投入が可能となり、施工の急速化、早期に断面の閉合が可能となる利点がある。その反面、掘削による応力開放の面積が大きくなるため、地山の状態が悪くなければ、ゆるみの増大を引き起こす可能性が生じる。

そこで本稿では、補助工法の必要性を検討するために、3次元の数値解析により切羽の押し出し量について比較・検討を行った。なお、トンネルの掘削は補助ベンチ付き全断面工法を基本としたが、地山等級がD_{II}の場合には、上半工法についても解析を行った。

2. 解析概要

土かぶり高さ100mの地山に2車線の高速自動車トンネルが構築されることを想定し、3次元有限要素法による弾塑性解析を行った。降伏の判定には、ドラスカー・ブラガーの降伏基準を用いた。解析モデルは対称性を考慮して、トンネル中心軸を対称とした半断面とした。解析モデルを図-1に示す。

吹付けコンクリートは、シェル要素でモデル化した。地山の弾性係数については、セラフィムら¹⁾の提案式を用いて弾性係数の値を推定した。吹付けコンクリートの弾性係数については、土屋²⁾の提案した値を用いた。

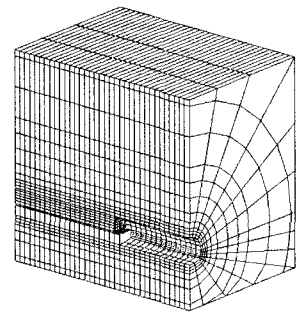


図-1 解析モデル

3. 結果と考察

図-2は、地山等級C_{II}に補助ベンチ付き全断面工法により約3D程度トンネルを掘削したときの切羽横断方向の押し出し量のコンターを示したものである。ここでの切羽の押し出し量は4mm以下となっている。地山等級B、C_Iについても解析を行ったが、トンネル切羽面の押し出し量は、図-2に示したC_{II}の結果よりも切羽の押し出し量が、小さくなっていることがわかった。図-3は、地山等級がD_Iにおける切羽の押し出し量を示したものである。17mm程度の押し出し量がトンネル上半において全体的に発生している。

図-2および図-3に示した解析の結果より、地山等級B～D_Iについては切羽の押し出し量が若干見られたが、補助工法を用いなくても補助ベンチ付き全断面工法によりトンネルが掘進されているという現場での実績が解析的にも裏づけられた。

図-4は、地山等級D_{II}の場合の切羽の押し出し量を示したものである。トンネル中心付近で最大75mmの押し出し量が発生しており、他の地山等級と比較すると著しく増加しているため、何らかの補助工法の採用が望ましいと考えられる。そこで、地山等級D_{II}なる地山を上半工法で掘削したときの解析も行った。トンネルを上半工法により約3D程度掘削したときの切羽の押し出し量が図-5となっており、60mm程度の押し出し量

がトンネル中心付近に発生していることがわかる。補助ベンチ付き全断面工法により掘削した場合と比較すると、切羽の押出し量が抑制されていることがわかる。

図-6 は、地山等級 D_{II} において、補助ベンチ付き全断面工法と上半工法を用いた場合のトンネル掘削方向における天端の変位を示したものである。切羽前方においては、上半工法の方が地山の先行変位を抑制していることがわかる。一方、切羽後方においては、補助ベンチ付き全断面工法の方が変位は抑制されている。このことより、内空変位が著しく生じ、早期に断面を閉合したい場合には、上半工法に比べ補助ベンチ付き全断面工法が有利であることがわかる。したがって、何らかの補助工法を用いて、補助ベンチ付き全断面工法により、切羽の安定性を確保するのが好ましいと考えられる。

4. おわりに

数値解析を通じて得た結果をまとめると以下ようになる。

①補助ベンチ付き全断面工法により、トンネルを掘削した場合、地山等級が $B \sim D_I$ については、補助工法を用いなくとも切羽の自立が保たれる。

②切羽の自立が困難になると考えられる地山等級 D_{II} においては、トンネル全体の安定性を考慮すると、何らかの補助工法を用い、補助ベンチ付き全断面工法によりトンネルを掘削し、早期に断面を閉合する方が、上半工法で施工するよりも得策であると考えられる。

今後は、補助ベンチ付き全断面工法によりトンネルを掘削した際に、鏡止めボルト程度の補助工法により切羽の安定性が確保できれば経済的な施工が行えるものと考えられるので、鏡止めボルトの打設間隔などに関する研究成果を公表していく予定である。

なお、数値解析を行うにあたりソフトブレーン(株)の協力を得たことをここに記して謝意を表す。

<参考文献>

- 1)Serafim, J.L.etc.:Considerations of the geomechanics classification of Bieniawski of International Symposium on Engineering Geology and Underground Construction LNEC, Lisbon, Portugal, Vol.1, pp.33-42, 1983
- 2)土屋敬：トンネル支保の地山物性値に関する研究，土木学会論文集，第364号，Ⅲ-4，pp.31-40，1985

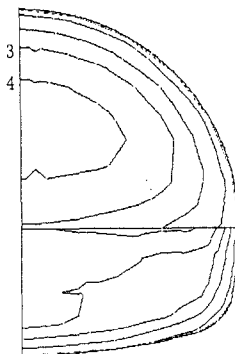


図-2 地山等級 C_{II}

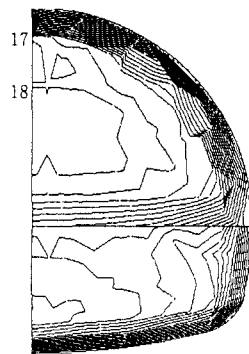


図-3 地山等級 D_I

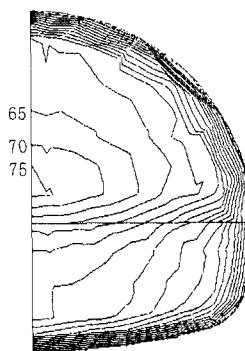


図-4 地山等級 D_{II}

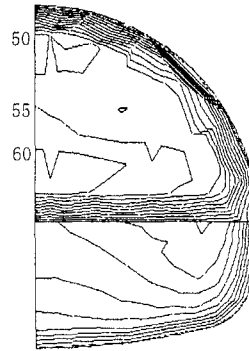


図-5 上半工法

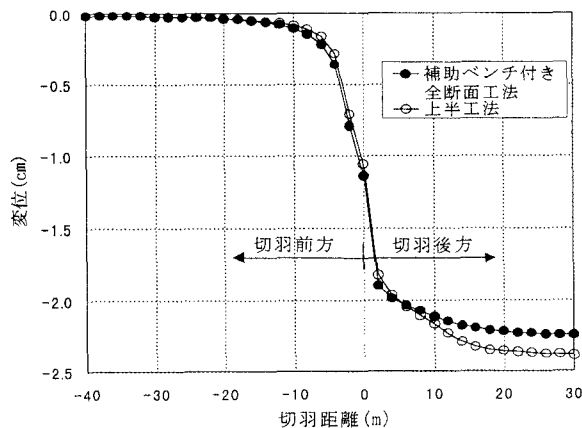


図-6 天端の変位