

環境にやさしいトンネルリングカット工法の適用限界

大阪工業大学大学院 学会員 ○林 久資
 大阪工業大学工学部 正会員 長谷川 昌弘
 大阪工業大学工学部 正会員 吉岡 尚也

1. 序

先人たちの創意と工夫によって見出されたリングカット工法は、人工的な補助部材を多用することなく地山が持つ支持力を利用して切羽の安定性を確保しようとするものである。言い換えると、補助部材の廃棄による環境負荷を低減できるため、環境にやさしいトンネル施工法とも言える。しかしながら、トンネルが掘削される地山の強度・変形特性によっては、環境にやさしいリングカット工法の特徴を十分に生かしきれないことも考えられる。そのため、どのような強度・変形特性を有した地山において適用できるか否かを把握しておくことは重要であり、数値解析的な検討を通じてリングカット工法の適用性について検討する。

2. 解析概要

トンネルは、一軸圧縮強度が岩石と土の境界領域に相当する都市部の地盤内に浅い土かぶりで掘削されるものとする。トンネル掘削工法としてはいろいろな工法が考えられるが、ここでは環境にやさしいリングカット工法の適用限界を把握するために、FLAC3D（有限差分法）を用いて3次元弾塑性解析を行った。

図-1に掘削工法を示す。下半はベンチ長12mのショートベンチを基本とし、核のないショートベンチカット工法、上半に横断方向には台形形状、縦断方向には内部摩擦角を考慮して斜部を有する核を設けたリングカット工法A、これに奥行き1mの核を付足したリングカット工法B、およびリングカット工法Bに奥行き2mの核を付足したリングカット工法Cとした。

2-1. 解析領域と境界条件

トンネル土かぶりを30mとした場合、トンネルの下部や側方などの領域は、種々な検討を行った結果、奥行き方向の領域はトンネルを50m掘削するものとして100m、インバートより下の領域は45m、横断方向は70mとした¹⁾。境界条件は、トンネル掘削方向の地山側面についてはトンネル横断方向を、トンネル坑口と奥行き端部の地山面は縦断方向を拘束し、底面は上下方向を拘束した。また、地表面は自由境界とした。

2-2. 入力定数の設定方法および力学モデル

解析に必要な地山の入力定数は、以下の考えに基づいて設定した。岩石と土の境界は一軸圧縮強度が1000 kN/m²であることを考慮し²⁾、地山の変形係数Dはその約100倍とした。内部摩擦角 ϕ と粘着力cは、それぞれ15°、100 kN/m²に設定した³⁾。単位体積重量 γ_t は18 kN/m³とした。しかし、地盤が風化作用などを受けて軟弱化した場合、強度特性としての内部摩擦角はほとんど変わらないが、粘着力は低下することが指摘されている⁴⁾。そこで、リングカット工法の適用限界を把握するために、粘着力を低下させることで、強度特性の限界を見極めることとした。具体的には、cを100 kN/m²から50 kN/m²まで順次低下させて解析し、許容される切羽の押し出し変形量を考慮し、変形量の観点から適用限界を把握するものである。

地山の力学モデルは弾完全塑性体とし、降伏判定にはモール・クーロンの降伏基準を用いた。また支保部
 キーワード リングカット工法, 弾完全塑性体, 数値解析

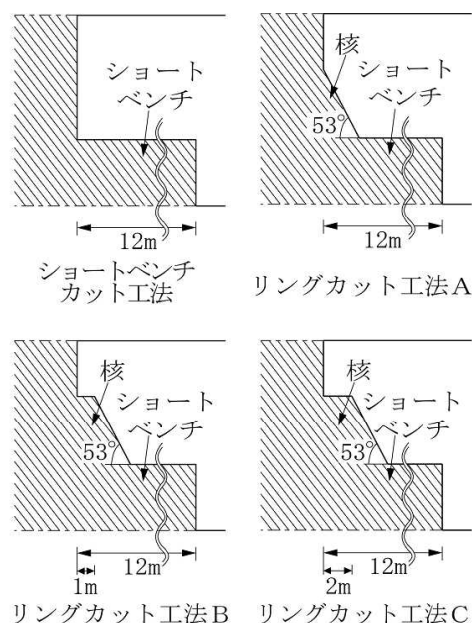


図-1 解析に用いた工法

材は、ロックボルトをケーブル要素、吹付けコンクリートをシェル要素でモデル化した。

解析は、ステップ1で地山の初期応力解析を行い、ステップ2でトンネルを奥行き50mまで一括で掘削した。また、支保部材は掘削と同時に施工されるものとした。

3. 解析結果と考察

図-2は、 ϕ が 15° で c が 100kN/m^2 のような地山に、図-1に示した工法でトンネルを掘削した時の上半切羽の押し出し量をコンターで示したものである。凡例の変形量は、70mm以上を赤色で示した。これは、押し出し変形量が70mmを越えると、切羽崩壊が生じる可能性の高いことを多くの事例に基づいて指摘しており(田中ら⁵⁾、ここでもトンネル切羽面の安定性を変形上の問題として捉えるためである。図-2では、押し出し変形量がどの掘削工法とも50mm以下に抑制されており、ショートベンチカット工法による掘削も可能であると言える。

図-3は c が 75kN/m^2 に低下したときの結果である。粘着力が25%低下すると、切羽面に最大で60mmの押し出し変形量が生じるようになる。しかしながら、リングカット工法は地山が持つ支持力を利用する工法であるため、ショートベンチカット工法よりも切羽の押し出し量が抑制されていることがわかる。

さらに地山が軟弱化し c が 60kN/m^2 に低下した場合の解析結果を図-4に示す。ショートベンチカット工法に着目すると、切羽面の大部分が70mm以上の押し出し量を示しており切羽崩壊の危険性が高いと考える⁵⁾。一方、リングカット工法を適用した場合は、切羽の押し出し量はかなり抑制されているが、70mmを超える押し出し量が生じるため、リングカット工法の適用が難しくなる地山であると考えられる。

c が 50kN/m^2 の場合の解析結果を図-5に示す。全工法とも切羽の押し出し量が70mmを越えており、補助工法を併用し切羽を安定させる必要がある。しかし、このような条件下でもリングカット工法で掘削すると切羽の押し出し量が抑制されるため、軽微な補助工法の併用で切羽の安定性を確保できると考える。

4. まとめ

岩石と土の境界付近の強度を有する都市域の地山内に浅い土かぶり度でトンネルが掘削される場合、 $\phi=15^\circ$ で c が 60kN/m^2 程度の地山がリングカット工法を適用するうえでの限界であることが判明した。なお、この研究の一部は(社)近畿建設協会からの支援を得て行った。ここに謝意を表します。

参考文献 1)林久資他:地山の強度定数がリングカット工法に及ぼす影響,トンネル工学報告書, pp. 1-6, 2007. 2) ISRM: Rock Characterization, Testing and Monitoring, Pergamon, London, pp. 169-211, 198. 3) Hoek, E, et al: Support of Underground Excavations in Hard Rock, A. A. BALKEMA / ROTTERDAM / BROOKFIELD, pp. 27-47, 1995. 4)竹林亜夫他:地山の内部摩擦角に着目したトンネルの岩盤分類の提案, 土木学会第58回年次学術講演会, pp. 109-110, 2003 5) 田中一雄他:切羽変位計測による切羽崩壊予測の試み,トンネルと地下, pp. 55-60, 1996.

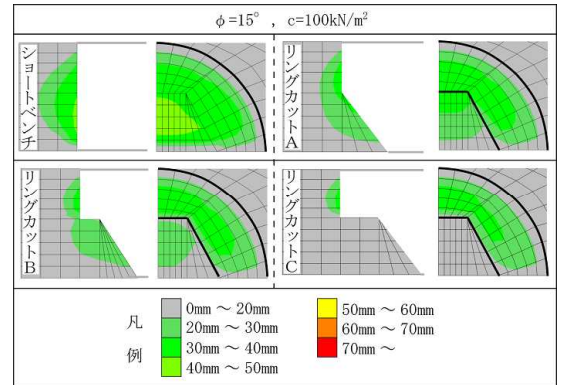


図-2 $\phi=15^\circ$, $c=100\text{kN/m}^2$ の場合

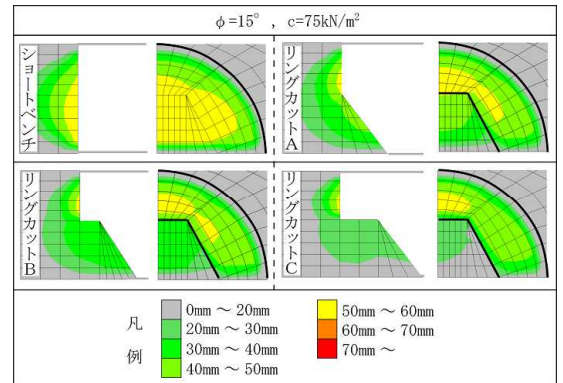


図-3 $\phi=15^\circ$, $c=75\text{kN/m}^2$ の場合

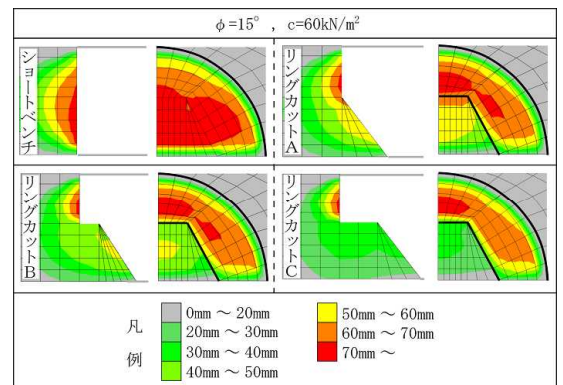


図-4 $\phi=15^\circ$, $c=60\text{kN/m}^2$ の場合

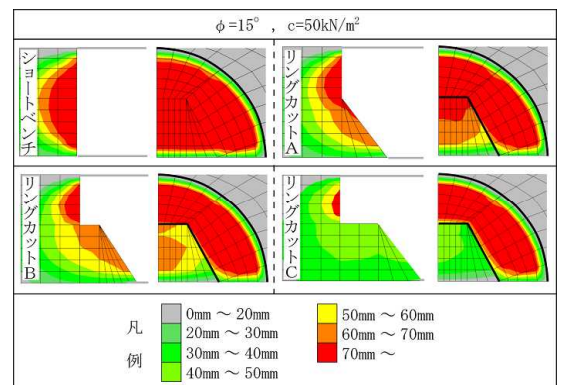


図-5 $\phi=15^\circ$, $c=50\text{kN/m}^2$ の場合