

### 押し出し性地山での核形状の違いがトンネル挙動に及ぼす影響

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 青木 一男  
 大阪工業大学工学部 正会員 吉岡 尚也  
 大阪工業大学工学部 正会員 長谷川 昌弘  
 大阪工業大学大学院 学会員 菅 浩亮

#### 1. はじめに

岩の一軸圧縮強さが地山の初期応力の 2 倍より小さいことが多い新第三紀層の泥岩や凝灰岩などにおいては、押し出し性地山の現象に遭遇することが稀ではない。このような地山において地山の支持力を利用して切羽の安定性を保つリングカット工法で施工を行うと、省資源、経済的に切羽の押し出し量を抑制できる<sup>1)</sup>。しかしながら、押し出し性の現象が顕著な場合にはトンネルの安定性を如何にして確保するかが重要な課題となる。ここでは、特に切羽面の安定性を向上させる目的で核部分の形状を大きくした場合や、長尺鏡ボルトを併用した場合について三次元数値解析を行い、その結果に基づいて考察を行った。

#### 2. 解析概要

Aydan<sup>2)</sup>らは、地山強度比が 1.6~2.0 以下になると押し出し性の現象が現れることを指摘している。ここでは押し出し性の現象が顕著になると考えられる地山での挙動を考察するため、地山強度比を 1.0 に設定した。

トンネルの掘削は図-1 に示すように、ショートベンチカット工法、リングカット工法で行い、さらに切羽の安定性を向上させる目的で長尺鏡ボルトを併用するものも解析した。ただし、リングカット工法においては核形状の違いがトンネル切羽周辺地山の安定性に及ぼす影響を把握するとともに、長尺鏡ボルトの打設本数の違いが切羽の安定性に及ぼす影響についても検討した。

トンネルの支保工規模は、Hoek<sup>3)</sup>らが提案した手法で予測を試みた<sup>1)</sup>。その結果、吹付けコンクリート厚さ 0.2m、長さ 4m のロックボルトを 1 断面 18 本、奥行き方向には 1m 間隔で打設するものとした。

解析領域は、土かぶり厚さが 100m<sup>1)</sup>、インバートより下部の領域は 60m、横断方向の領域は 100m、トンネル掘進方向の領域は 100m に設定した<sup>4)</sup>。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、トンネル坑口と奥行き端部の地山面は縦断方向、底面は上下方向を拘束、地表面は自由境界とした。

解析手順は、まず自重解析を行い、つぎに実施の掘削手順を考慮し上半部分を 1m ずつ掘削した。支保部材としてのロックボルト、吹付けコンクリートは切羽面より 1m 手前まで施工されるものとした。また、核部分がある場合は、ロックボルトはさらに 1m 遅れて設置されるものとした。下半部分については、上半部分が 10m 掘削された後、併進させた。

地山の力学モデルは、弾完全塑性体、降伏判定にはモールクーロンの降伏基準を用いた。支保工、補助部材は、ロックボルトと長尺鏡ボルトはケーブル要素、吹付け

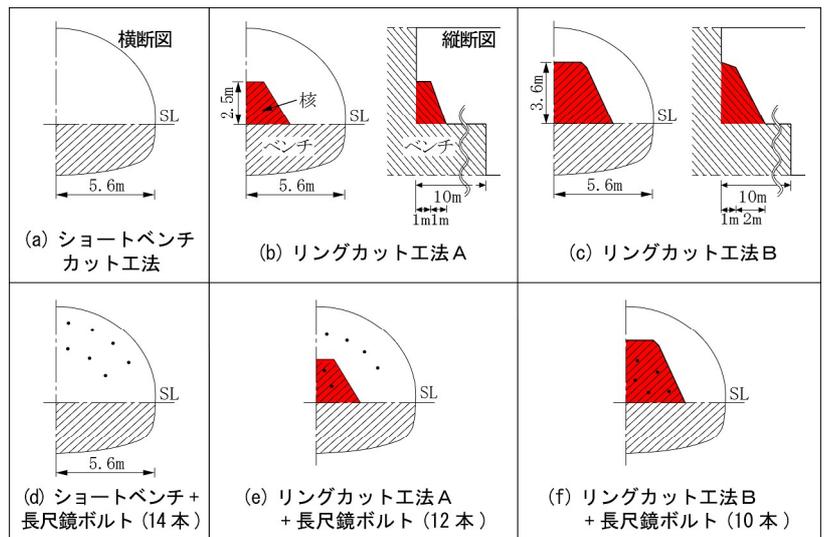


図-1 掘削工法

キーワード リングカット工法, 押し出し性地山, 数値解析

連絡先 〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1 大阪工業大学大学院 TEL 06-6954-4375

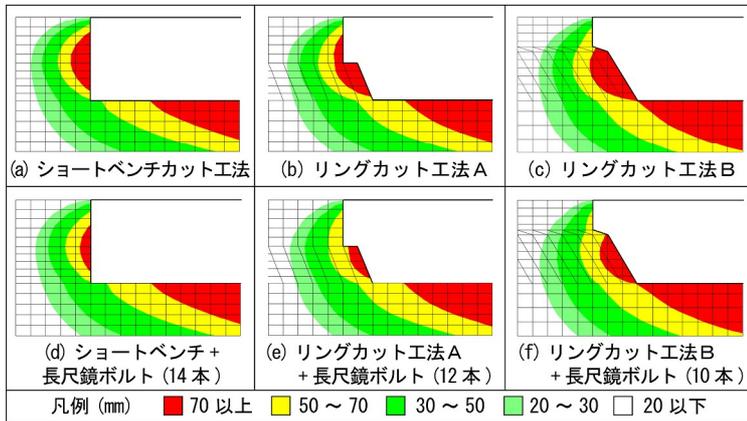


図-2 押し変形量のコンター

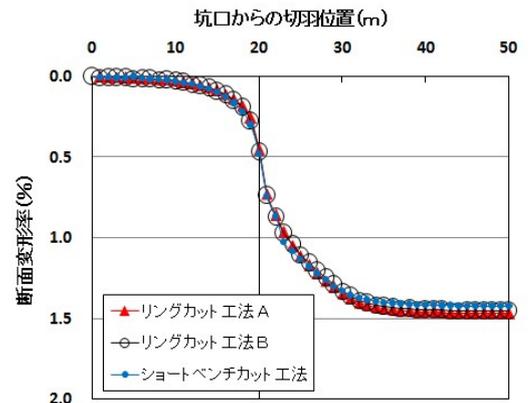


図-3 断面変形率

コンクリートはシェル要素でモデル化した。解析には、文献 1)に示した入力定数を用いた。

### 3. 解析結果および考察

図-1 に示した工法で 50m までトンネルを掘削した時の縦断方向における切羽の押し変形量をコンターで示すと図-2 のようになる。図-2 の赤色で示した部分は、田中ら<sup>1)</sup>が切羽崩壊の可能性が高いと指摘している切羽の押し量が 70mm を越える領域である。

まず、図-2(a)(b)(c)の工法に着目すると、ショートベンチカット工法で掘削を行なった場合、切羽前方 1.2m 程度にまで赤い領域が生じているが、核を残したリングカット工法 A では切羽前方 0.6m 程度にまで制限されていることがわかる。一方、核を大きく残したリングカット工法 B では、押し量が 70mm を超える領域が核部分のみに限定されている。このようにリングカット工法では、切羽面に残した核部分の岩塊が抵抗力を發揮し、切羽の押し変形量が抑制されたものと考えられる。しかしながら、図-2(a)(b)の工法では切羽面の崩壊が懸念されるため、何らかの補助工法の併用が必要であると考えられる。

長さ 12.5m の長尺鏡ボルトを併用した場合の切羽押し変形量のコンターを図-2(d)(e)(f)に示す。ショートベンチカット工法では、1 断面 14 本の長尺鏡ボルトを併用しても切羽前方 0.7m 程度まで赤いコンターの領域が発生していることがわかる。一方、核部分による切羽面への抵抗力を期待し、長尺鏡ボルトの併用本数を 12 本に低減させた図-2(e)に着目すると、コンターの赤い領域は核のごく僅かな部分に限定されていることがわかる。また、図-2(f)についても、1 断面 10 本の長尺鏡ボルトを併用することで、図-2(c)の併用していない場合よりも核部分の赤い領域が約 0.5m 程度減少していることがわかった。このように長尺鏡ボルトの打設本数を減じてもリングカット工法では核部分が切羽面への抵抗力を増大させるため、トンネル切羽の安定を確保しやすくなるものと考えられる。

図-3 は、図-1(a)(b)(c)の工法でトンネルを掘削したときの坑口より 20m 地点における切羽進行に伴う側壁部分での断面変形率を示したものである。図-1 に示した掘削工法でトンネルを掘削した場合の断面変形率はほぼ同様であるため、リングカット工法は切羽の安定性には寄与する反面、断面変形率の抑制効果には寄与しないことがわかった。

### 4. まとめ

考察の結果をまとめると、1) 核の形状を大きくすると切羽面の押し変形を抑制する効果が增大すること、2) リングカット工法は断面変形率抑制には寄与しないことがわかった。なお、大成建設(株) 青木智幸氏にはリングカット工法の核形状についての貴重なご意見をいただいた。ここに記して謝意を表します。

**参考文献** 1) 林久資ほか：押し性地山でのリングカット工法の適用性について、第 12 回岩の力学国内シンポジウム、pp.595-600、2008。  
 2) アイダンオメールほか：スキューズィング地山におけるトンネルの変形挙動とその予測方法について、土木学会論文集、No.448/III-19、pp.73-82、1992。3) Evert, H.ほか：Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rock masses. *Tunnels and Tunneling International*, pp. 1-21, 2000。4) 林久資ほか：数値解析結果に基づくトンネルリングカット工法の作用効果、地盤工学研究発表会、pp.1483-1484、2007。5) 田中一雄ほか：切羽変位計測による切羽崩壊予測の一試み、トンネルと地下、Vol.27, No.6、pp.55-60、1996。