

鏡ボルトの打設本数が浅い土被りのトンネル挙動に及ぼす影響

大阪工業大学大学院	学会員	菅 浩亮
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
大阪工業大学大学院	学会員	東 亮太

1. はじめに

近年、都市部における軟弱地山でも都市 NATM での施工例が増加している。これは、補助工法の技術革新が起因していると考えられるが、環境負荷低減が求められている今日、補助部材の削減および適切な量の把握が課題となっている。そこで、核を残すことで切羽の安定性を確保するリングカット工法に着目した。また、鏡ボルト（GFRP 管）をリングカット工法と併用すれば、切羽が不安定な場合でも、その他の掘削工法と比べ打設本数を削減できるのではないかと考えた。ここでは、打設本数の違いがトンネル挙動に及ぼす影響を数値解析的に検討した。

2. 解析概要

解析のための掘削工法を図-1 に示す。全解析パターン共にベンチ長を 10m とした。掘削工法(a) は、リングカット工法、掘削工法(b) は掘削工法(a) に鏡ボルトを 10 本併用した場合である。掘削工法(c) はショートベンチカット工法、掘削工法(d) は掘削工法(c) に鏡ボルト 14 本併用した場合である。また、鏡ボルトはラップ長を 3.5m とし、全長 12.5m の GFRP 管を用いた。数値解析には FLAC3D（有限差分法）を使用した。

トンネルは都市部での浅い土被りのトンネルを想定し、土被りを 30m とした。解析領域には、横断方向と奥行き方向を 100m、インバート下部には 60m の領域を設けた。境界条件は、地表面を自由とし、底面は鉛直方向の挙動を拘束した。また、トンネル縦断方向の両側面は横断方向を、横断方向の両側面は縦断方向を拘束した。

解析手順として、まずステップ 1 で初期応力解析を行う。その後ステップ 2 以降は実施工を考慮し、1m ずつ掘削した。支保工については、吹付けコンクリートは一間遅れ、ロックボルトはショートベンチカット工法では一間、リングカット工法では核を残しているため二間遅れで施工されるものとした。なお、上半が 10m 掘削された後は下半およびインバートを同時進行させた。地山強度は D 相当を想定し、他の入力定数は文献 1) を参考にした。

3. 解析結果および考察

図-2 に各掘削工法における上半切羽の押出し変形量を示す。変形量が 70mm を超える場合は切羽崩壊の危険性が指摘されており²⁾、その範囲は赤色で示した。リングカット工法の(a)とショートベンチカット工法の(c)両者を比較すると、(a)では核が抵抗力を発揮し変形量を抑制しているが、その反面、変形量が核部分に集中にしている。した

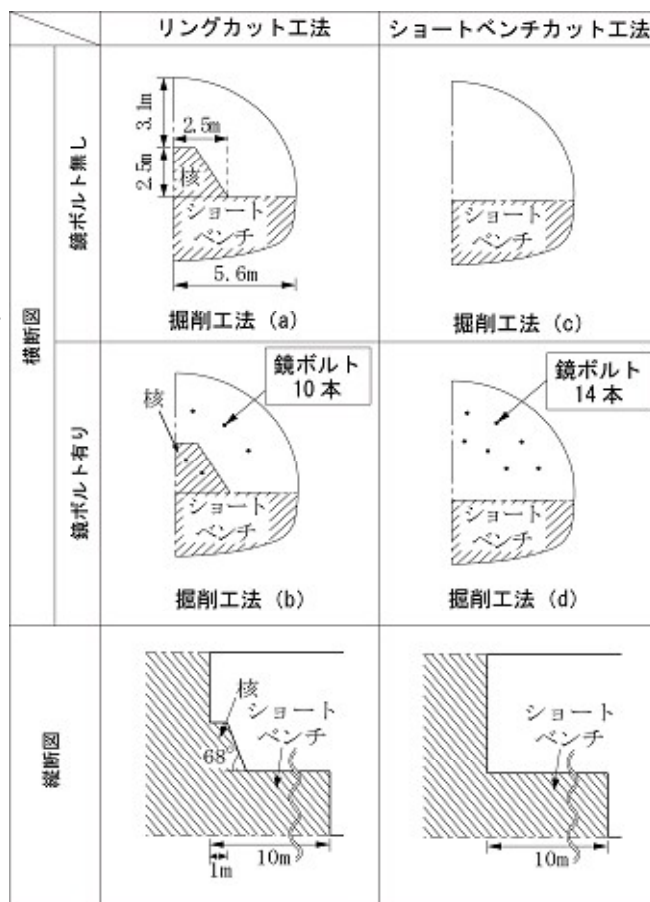


図-1 解析のための掘削工法

キーワード リングカット工法、鏡ボルト、浅い土被り

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:06-6954-4109(内線:4325)

がって、両工法とも切羽の安定を確保するためには、補助工法を併用することが望ましい。

そこで、核部分と切羽面に鏡ボルトを 10 本打設した(b)に着目すると、70mm 以上の領域は無くなり、切羽の安定性が確保されたと言える。一方、鏡ボルトを 14 本打設した(d)でも切羽の安定性が確保されている。ここで、(b)と(d)を比較すると、(b)では打設本数が 4 本少ないにも関わらず(d)と同等の効果が得られた。言い換えると、核部分にも鏡ボルトを打設することで、上半切羽の押し出し変形量を効率的に抑制できることを示唆した結果である。

図-3 に掘削工法(b)と掘削工法(d)の断面変形率を示す。20m 地点における S.L.より 1m 上部での断面変形率と切羽位置との関係を示したものである。なお、断面変形率は側壁間の変形量を掘削幅で割ったものを百分率で表した。切羽が到達する直前の 19m 地点まで両者共に断面変形率はほぼ 0%で推移し、切羽が到達すると同時にトンネル断面が変形している。これは、地山の拘束力が切羽到達と共に解放された結果である。断面閉合後は、切羽の進行とともに収束に向かっている。また、上半切羽の到達から断面閉合までに変形が生じていることが特徴的である。つぎに、収束時の断面変形率に着目すると、(b)の断面変形率は(d)より僅かに大きくなっている。しかしながら、断面変形率にして 0.1%程度の差であり、鏡ボルトの打設本数の違いが断面変形率に影響しているとは考えられない。

図-4 に坑口より 20m 地点における S.L.より 1m 上部の側壁部の地山特性曲線を示す。トンネルの掘削が開始されると押し出し応力が減少するとともに断面変形率が増加し、上半切羽通過後に押し出し応力は最小値を示す。これは、切羽通過後は一時的に無支保状態となることに起因するものと考えられる。支保工施工後は押し出し応力が増加に転じ、断面変形率も増加している。しかし、トンネルの断面が閉合されると押し出し応力のみが増加し、断面変形率の増加は見られなくなって、トンネルの力学的釣り合いが得られる様子が読み取れる。この押し出し応力を支保内圧と見做すと、両工法とも地山の初期応力の約半分に相当する支保内圧が発揮されているものと考えられる。

4. まとめ

得られた結果をまとめると、1) 鏡ボルトは押し出し変形量の抑制効果が顕著で、核部分に打設すれば効率的に変形量を抑制できること、2) 鏡ボルトの打設本数の違いは、トンネルの断面変形率や地山の押し出し応力などに影響しないことなどが判明した。

参考文献

- 1) 菅浩亮ほか：都市域地盤におけるトンネル鏡ボルトの作用効果，平成 21 年度土木学会関西支部年次学術講演会(投稿中)，2009
- 2) 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, pp55-60, 1996

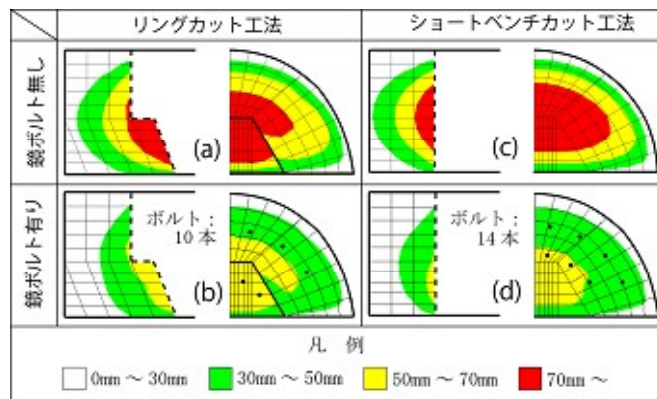


図-2 上半切羽の押し出し変形量

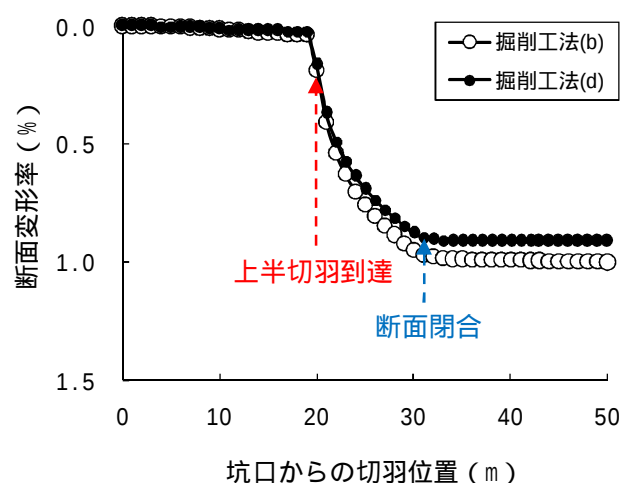


図-3 断面変形率

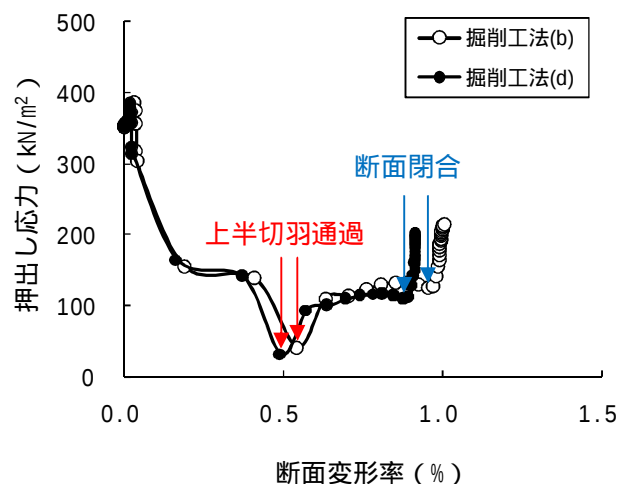


図-4 地山特性曲線