

第Ⅲ部門

都市域地盤におけるトンネル鏡ボルトの作用効果

大阪工業大学	大学院	学生員	○菅 浩亮
大阪工業大学	大学院	学生員	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	学生員	東 亮太

1. はじめに

従来シールド工法を適用していた都市部での軟弱地山でも近年、補助工法の進歩により NATM によるトンネル掘削が可能となった。補助部材の多用は資源の枯渇や環境負荷の増加に繋がることから、切羽面に核を残し地山の安定化を図る「リングカット工法」に着目した。また、補助工法の作用効果は未解明な部分も多く、合理的なトンネル掘削方法の提案には補助工法の作用効果を十分に把握することが重要と考え、三次元数値解析を通してトンネル鏡ボルトの作用効果の解明を行う。

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は 10m とし、リングカット工法およびショートベンチカット工法における鏡ボルトの有無による影響を考察した。打設パターンはリングカット工法で 14 本と 10 本、ショートベンチカット工法では 18 本と 14 本の鏡ボルトを一断面に打設するものとして解析を行った。なお、鏡ボルトは全長 12.5m の GFRP 管を用いラップ長は 3.5m と設定した。

土被りは、都市部での小土被り道路トンネルを想定して 30m とした。そして、横断方向と奥行方向には 100m、インバート下部には 60m の解析領域を設けた。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、トンネル縦断方向の両側面は、横断方向の挙動を固定した。一方、横断方向の両側面は、縦断方向の挙動を拘束した。

解析手順はステップ 1 で初期応力解析を行い、ステップ 2 以降は実施工を考慮し 1m ずつ掘削した。その際、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一間遅れ、リングカット工法では核が残されているため二間遅れとした。上半が 10m 掘削された後は、上半と下半及びインバートを同時進行させた。

また、解析で用いた入力定数を表-1¹⁾に示す。

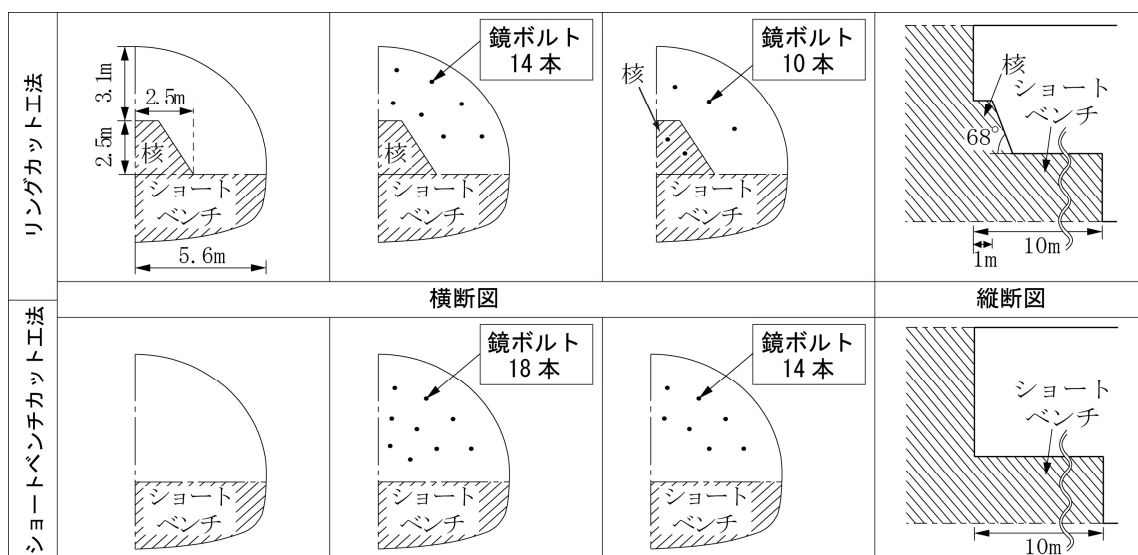


図-1 解析のための掘削工法

3. 解析結果および考察

図-1 に示した工法で掘削したときの上半切羽の押し変形量のコンターを図-2(a)～(f)に示す。押し変形量が70mm 以上になると切羽崩壊の危険性が指摘されており²⁾、その領域を赤色で示した。鏡ボルトを併用していないリングカット工法(a)とショートベンチカット工法(d)と比べると、リングカット工法は核が抵抗力を発揮し押し変形量を抑制していることがわかる。しかしながら、70mm を超える領域が核部分に集中しており、核部分の崩壊が懸念される。そのため、リングカット工法においても鏡ボルトを併用した場合について解析した。

鏡ボルトを14本併用した(b)の場合は、併用しなかった(a)に比べて押し変形量が抑制されているが、核部分に70mm を超える領域が僅かに生じている。そこで、鏡ボルトを核部分へ打設することと打設本数の削減を考慮し、鏡ボルトを10本併用した(c)に着目すると、核部分での崩壊の危険性が解消されたことがわかる。このことはリングカット工法における核の抵抗力を有効に利用し、併せて核部分にも鏡ボルトを併用することで効率的に切羽の押し変形量を抑制できることを示唆している。

一方、ショートベンチカット工法に鏡ボルトを18本併用した(e)の場合は、切羽全面において押し変形量が抑制されている。これでは打設本数が過大であると考えられるため、4本減らして鏡ボルトを14本併用したときの結果を(f)に示す。(f)と(c)に示した結果を比べると切羽面での押し変形量はほぼ同様になっている。言い換えると、切羽の安定性を確保するためにリングカット工法で鏡ボルトを(c)のように配置した場合には、ショートベンチカット工法では14本打設しないと同等の効果が得られないことがわかった。これらのことからリングカット工法は補助部材削減の可能性を有しているものと考えられる。

各掘削工法における地表面沈下量を図-3に示す。図より核を残したことや鏡ボルトを併用したことによる地表面沈下抑制効果がないことが読み取れる。

4. まとめ

得られた結果をまとめると、1) リングカット工法は切羽安定対策に有効である。2) 鏡ボルトは押し変形量の抑制効果が顕著であり、核に打設することで変形量を有効に抑制できる。3) 核を残すことで補助部材の削減が可能である。

表-1 入力定数¹⁾

		項目	入力値 (単位)
地山		側圧係数	0.57
		粘着力	60kN/m ²
		内部摩擦角	15°
		変形係数	1.0×10 ⁵ kN/m ²
		ポアソン比	0.3
		単位体積重量	18kN/m ³
吹付けコンクリート		変形係数	3.4×10 ⁶ kN/m ²
		ポアソン比	0.2
		吹付け厚	0.2m
ロックボルト	異形棒鋼 (SD345)	断面積	5.07×10 ⁻⁴ m ²
		弾性係数	2.0×10 ⁸ kN/m ²
		引張り強度	175kN
		せん断剛性	1.1×10 ⁴ kN/m ²
	定着材	粘着強さ	230kN/m
		摩擦角	30°
		穿孔外周	0.132m
長尺鏡ボルト	GFRP管	弾性係数	2×10 ⁷ kN/m ²
		断面積	1.71×10 ⁻³ m ²
		単位体積重量	17.5kN/m ³
	定着材	せん断剛性	8.19×10 ⁵ kN/m ²
		粘着強さ	76kN/m

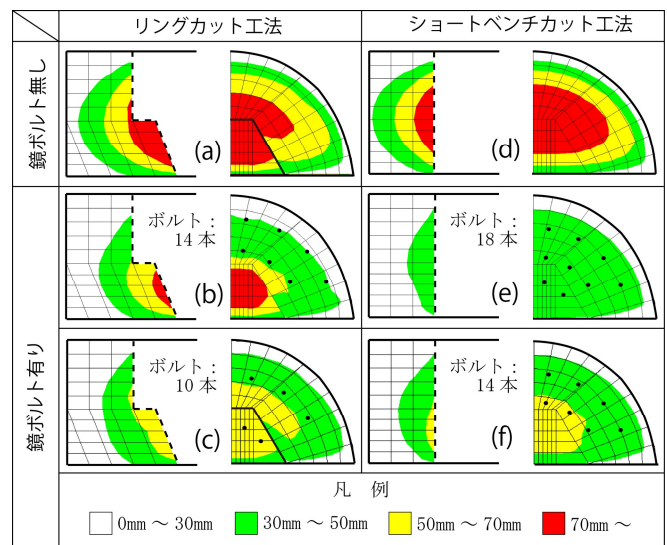


図-2(a)～(f) 上半切羽の押し変形量

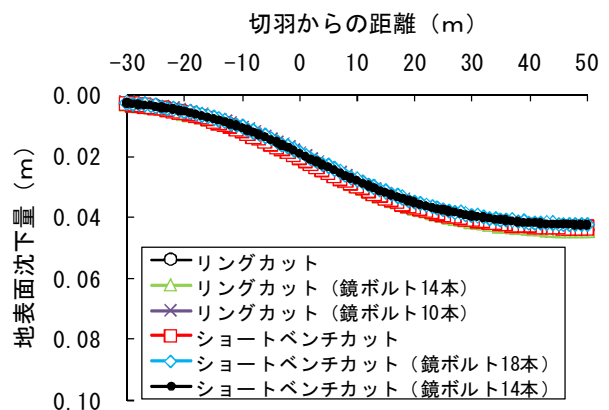


図-3 地表面沈下量

参考文献 1) 菅浩亮ほか: 浅い土被り下で側圧係数がトンネルリングカット工法に及ぼす影響, 第38回岩盤力学に関するシンポジウム, pp235-238, 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