

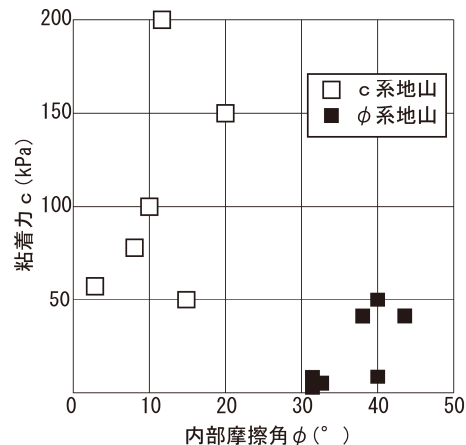
地山強度定数が切羽安定対策に及ぼす影響

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
大阪工業大学大学院	学生員	東 亮太
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. はじめに

都市部において NATM によるトンネル掘削事例が増加している。NATM は、切羽面が解放されているため、変位の制限が厳しい都市部では、切羽の安定性確保が重要な課題となる。切羽安定対策としては、鏡ボルトの採用実績が多いが、近年はトンネル施工に限らず省資源化が求められている。そこで、切羽面に核を残すことで安定性を確保する核残しに着目した。核残しを併用することで、鏡ボルトの打設本数削減が期待できる。

図-1 に実現場における粘着力 c と内部摩擦角 ϕ の関係¹⁾を示す。同図から粘性土系地山の c 系地山と砂質土系地山の ϕ 系地山に大別できる。ここでは、地山条件に応じて強度定数が変わることによって切羽安定対策に及ぼす影響を三次元数値解析的に検討する。

図-1 実現場における c と ϕ の関係¹⁾

2. 解析概要

検討する切羽安定対策を図-2 に示す。ベンチ長 10m のショートベンチカット工法を基本とし、対策を行わない場合、鏡ボルトを 14 本併用した場合と、核残しと鏡ボルトを 10 本併用した場合を検討する。なお、鏡ボルトはグラスファイバー補強プラスチック (GFRP) 管を用いるものとし、全長を 12.5m、ラップ長を 3.5m と設定した。

土被りは、都市部のトンネルを想定し 30m とした。掘削の影響を受けないように横断域 100m、インバート以下に 60m、縦断域 100m の解析領域を設け、50m の逐次掘削解析を行った。

また、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。

支保工は、吹付けコンクリートを一間遅れ、ロックボルトをショートベンチカット工法で一間遅れ、核残しでは二間遅れで施工されるように設定した。これは、ロックボルトの斜め打ちを避けるためであるが、断面変形率などに影響を及ぼさない²⁾ので、問題無いものと考えた。地山強度定数は、 c 系地山では $c=60\text{kN/m}^2$ 、 $\phi=15^\circ$ 、 ϕ 系地山では $c=10\text{kN/m}^2$ 、 $\phi=30^\circ$ とした。いずれも図-1 における下限付近の値である。その他の入力定数については、文献 3) を参考にした。

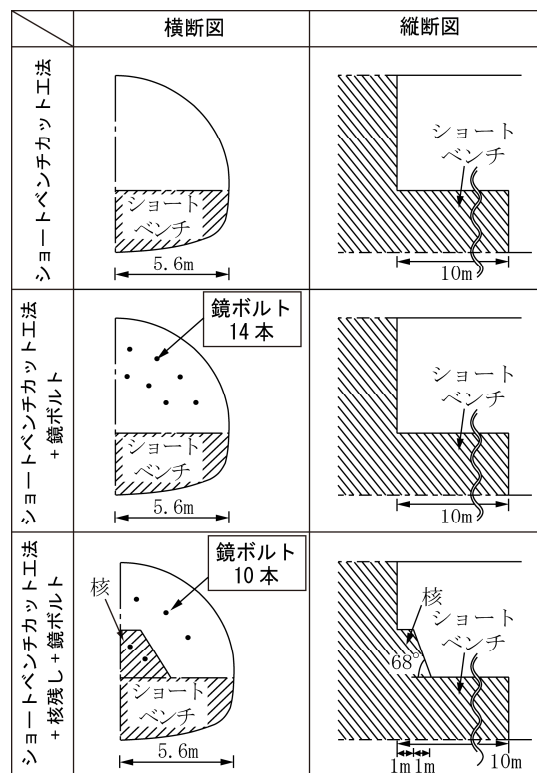


図-2 検討する切羽安定対策

キーワード 核残し、鏡ボルト、地山強度定数、三次元数値解析

連絡先 〒535-8585 大阪工業大学大学院 地盤・測量研究室 TEL 06-6954-4109

3. 解析結果および考察

図-3 に上半切羽の押出し変形量のコンターを示す。まず、c系地山に着目する。(a)では70mm以上の変形が生じているが、切羽安定対策を施した(b)と(c)では、押出し変形が抑制されている。また、(b)と(c)の両者を比較すると、後者は打設本数が少ないのにも関わらず、同程度の押出し変形量を示した。つまり、核残しの併用による打設本数削減の可能性が示唆された。これは、核の抵抗力により切羽の安定性が向上したことに起因するものと考えられる。一方、φ系地山の場合では(d)で広い範囲に70mm以上の変形が生じている。また、(e)と(f)を比較すると、僅かに(f)で変形量が増加しているが、大きな差異はみられなかった。ここで、c系地山とφ系地山の結果を比較すると、φ系地山では核残しや鏡ボルトによる変位抑制効果が顕著に現われていることが読み取れる。

つぎに、図-3の(c)における応力再配分過程を図-4に示す。C.L.上のS.L.から2m上部の要素における最大・最小主応力と切羽位置との関係を示したものである。同図より、約40m地点から主応力が顕著な増加傾向を示し、43m地点では主応力差が最大となり、塑性化が始まっていることが読み取れる。その後、最大・最小主応力ともに減少に転じ、最小主応力についてはゼロまで減少せずに、100kN/m²程度となった。これは、核の抵抗力に起因するものと推察される。

図-5に図-3の(f)における応力再配分過程を示す。図-4とほぼ同傾向を示した。しかし、φ系地山では45m地点より塑性化しており、c系地山と比べ塑性化の始まるタイミングが遅れることがわかった。言い換えるとc系地山では塑性化が早くから進行するが、φ系地山では核残しや鏡ボルトの地山補強効果が顕著に現れることが示唆された。また、図-3の(a)と(d)より切羽安定対策を行っていない場合は、c系地山に比べφ系地山は押出し変形量が増大することがわかる。つまり、切羽安定性の観点から考察すると、軟弱なφ系地山では、核残しの切羽周辺地山の補強効果や鏡ボルトの切羽前方の拘束効果が作用した際に、その効果が顕著に発揮され、地山が効果的に補強されるものと推察される。なお、図-3のその他の工法においても同様の傾向を示した。

4. まとめ

実現場における地山強度を想定しc系地山・φ系地山に応じて地山の強度定数を変えて解析を行い、それがトンネル挙動に及ぼす影響を数値解析的に検討した。その結果、

- 1) 強度定数に関わらず核残しの併用により鏡ボルトの打設本数削減の可能性があること
- 2) φ系地山では、核残しや鏡ボルトによる地山補強効果が顕著に現れることが判明した。

参考文献

- 1) 岡部正他：数値解析によるc系地山、φ系地山の挙動の比較，トンネル工学研究論文・報告集第13巻，pp.157-162，2003。
- 2) 林久資他：リングカット工法で掘削されたトンネルの挙動，岩盤力学に関するシンポジウム講演集，37巻 pp.131-134，2008。
- 3) 菅浩亮他：土被りの違いがトンネル周辺地山の挙動に及ぼす影響，岩盤力学に関するシンポジウム講演集，39巻 pp.1-4，2009。

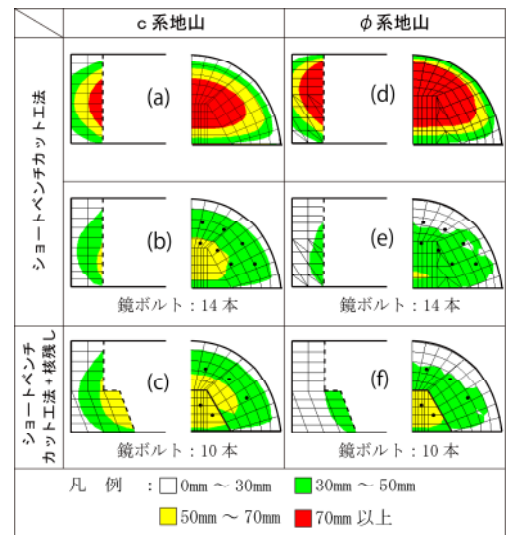


図-3 上半切羽の押出し変形量のコンター

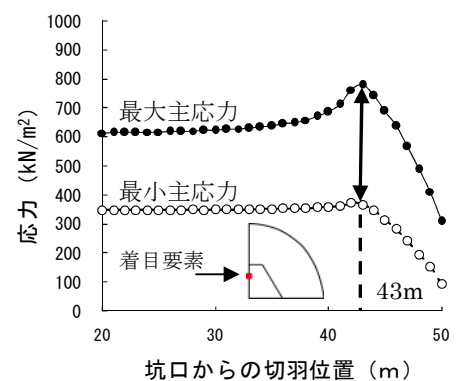


図-4 核残しと鏡ボルトを併用した場合の応力再配分過程 (c系地山)

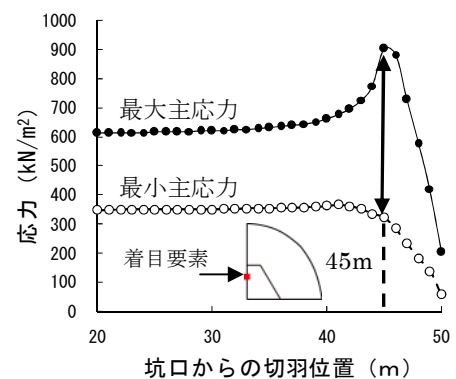


図-5 核残しと鏡ボルトを併用した場合の応力再配分過程 (φ系地山)