

3次元数値解析による鏡ボルト工法の地山の性質の違いによるトンネル切羽安定性の評価

山口大学大学院 学生会員 ○今井政孝
 ライト工業(株) 正会員 中野慶彦
 山口大学大学院 学生会員 千々和辰訓
 山口大学大学院 正会員 進士正人

1. はじめに

近年、トンネル断面の大断面化などにより、山岳トンネル工法における切羽安定性の確保が重要となっている。その中でも全断面掘削に対応でき、なおかつ経済性および安全性の高い新たな切羽安定化対策の方法が求められている。特に、鏡ボルト工法や球面切羽は、北陸自動車道 山王トンネル¹⁾などで施工され、一部、その支保効果が検証されている。そこで、本研究では、三次元数値解析を用い、切羽の自立が困難になると想定される砂質土系地山、粘性土地山それぞれに対して、補助工法として鏡ボルト工法を用いた場合の、ボルトの打設長、切羽形状の違いによる切羽補強効果を比較する。そして、ボルト打設仕様の違いによる切羽補強効果を切羽の押出し量の差として定量的に判断することを目的とする。

2. 解析条件

2-1 地山のモデル化

本研究で用いた地山モデルを図-1に、各解析物性値を表-1に示す。表-1に示すとおり、地山モデルは旧日本道路公団が設定した地山等級DIIの物性値を基本とし、Mohr-Coulombの破壊基準に従う弾塑性体とした。その上で、粘着力、内部摩擦角を低下させることによって砂質土系地山、粘性土系地山を表現した。土被りは100mを想定し、地山モデルに上載荷重を加え、静水圧状態とした。トンネル断面は、二車線高速道路トンネルの標準断面をモデル化した。掘削手順は、重力解析の後、境界から検討断面までの距離4D(D:トンネル掘削径10m)を一括掘削し、早期閉合という意味合いをかねて直後に切羽1m手前までインバートを含めた支保工を設置した。

2-2 鏡ボルト工法のモデル化

鏡ボルトの物性値を表-2に示す。ボルトには掘削時に撤去可能なGFRPボルト(φ76mm)を用いた。鏡ボルトのモデル化については、ボルト自体の破断、注入材の付着切れ等を考慮せず、ボルトと注入材が地山と密着した状態を表現するため、線形弾塑性体挙動のBeam要素としモデル化した。なお、部材と注入材はその剛性を合成し、一体部材としてモデル化した。打設仕様については図-2に示すとおり、半断面に1.5m間隔で14本を格子状³⁾に配置した。

3. 解析の整理

3-1 打設長の違いによる切羽安定効果への影響

砂質土地山と粘性土地山それぞれの直立切羽ケースにおける打設長の違いによるトンネルセンター上の切羽押出し量の比較を図-3、図-4に示す。打設長は1m～12mまで10パターンについて解析を行った。この結果より打設長が長くなるにつれ押出し量抑制効果が高くなることがわかる。しかし、砂質土系地山では打設長6m以上、粘性土地山では打設長12m以上で押出し量はほぼ一定となり、粘性土地山の方が鏡ボルトの打設長の長さに対する影響を強く受けることが分かる。

キーワード: 球面切羽, 鏡面ボルト, 数値解析, トンネル, 補助工法

連絡先: 〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1 TEL 090-1975-5903 E-mail: imai@rock.civil.yamaguchi-u.ac.jp

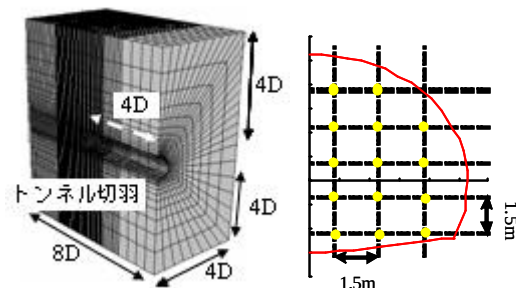


図-1 地山モデル

図-2 鏡ボルト配置図

表-1 各種物性値

	密度 ρ (N/m ³)	弾性係数 E (MPa)	ポアソン比 ν	粘着力 C (MPa)	内部摩擦角 ϕ (°)
砂質土系地山	210	150	0.35	0.015	30
粘性土系地山	210	150	0.35	0.12	10
合成支保工	251	8,134	0.2		
インバート	240	22,000	0.2		

表-2 鏡ボルト物性値

	密度 ρ (N/m ³)	弾性係数 E (MPa)	断面積 (m ²)	断面二次モーメント (m ⁴)
GFRPボルト	175	20,000	1.71×10^{-3}	1.00×10^{-6}

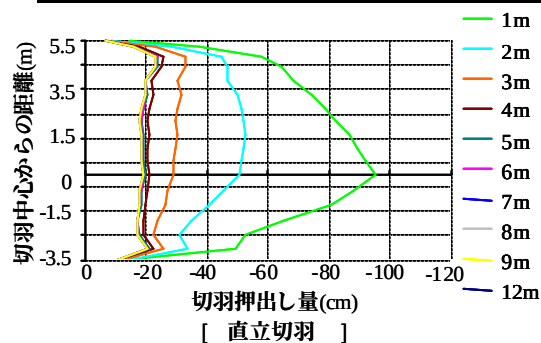


図-3 打設長の違いによる影響(砂質土系地山)

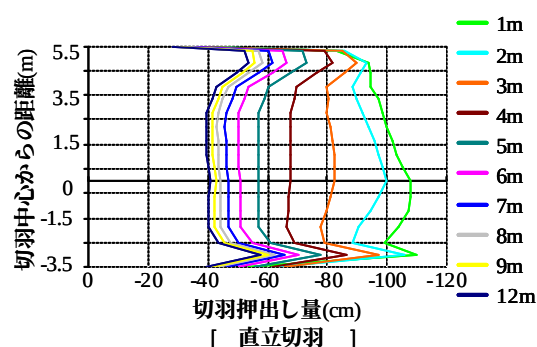


図-4 打設長の違いによる影響(粘性土系地山)

3-2 切羽形状が及ぼす切羽安定効果への影響

図-5に本研究で検討した直立切羽, 球面切羽それぞれにおける鏡ボルトの打設形状を示す。球面切羽は大型施工機械による高速掘削によって, 切羽面そのものに曲率を持たせドーム状に掘削することで, 切羽面そのもののアーチ効果を期待するものである。

図-6, 図-7に砂質土系地山と粘性土系地山それぞれの切羽周辺地山の等変位分布図を示す。砂質土系地山の球面切羽では天端部に変位が集中している。これは, 直立切羽では切羽前方の地山自身が三次元的に天端部地山を支保する役割を果たしているからである。一方, 球面切羽ではその支保効果が望めないためと考えられる。また, 粘性土系地山の切羽周辺地山では変位が切羽面と天端部に分散されており, 切羽面でのアーチ効果が発揮されていることがわかる。これは粘性土系地山の粘着力によるものと考えられる。

3-3 打設形状が及ぼす切羽安定効果への影響

次に, 打設長6mの時の切羽形状の違いによるトンネルセンターの切羽押し出し量の比較を砂質土系地山, 粘性土系地山それぞれについて行った結果を図-8, 図-9に示す。図から最も押し出し量を抑制しているのは直立切羽であることがわかる。これは, 先にも述べた, 切羽自身による変位抑制効果が低いためと思われる。よって, 球面切羽では鏡吹付けなどの補助工法の採用や切羽の形状等を再検討が必要であると言える。また, 球面切羽における打設方向の違いによる比較では, ボルトを放射状に打設した方が水平打設に比べ, 押し出し量を抑制できている。これは, 図-6からもわかるように, 砂質土系地山では切羽周辺の変位量は切羽上方に発生するため, 放射状に打設した方が地山の変形の抑制効果が高いためと考えられる。一方粘性土系地山では, 押し出し量の最大の値は砂質土系地山と同様に球面切羽の方が大きくなっているが, 切羽面の上下端で直立切羽においては大きな押し出し量が見られるのに対して球面切羽では押し出し量が抑制できていることが分かる。これは, 粘性土系地山では, 球面切羽のアーチ効果がうまく働き切羽面の上下端の変位をうまく抑制できているためだと考えられる。また, 両図より球面切羽では水平打設より放射打設の方が押し出し量を抑制できていることが分かる。また, 図-8, 図-9両図より, 鏡ボルト工法は砂質土系地山の方が粘性土系地山よりいっそう効果があることがわかる。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に述べる

- ・ 鏡ボルト工法を採用した際, 砂質土系地山では球面切羽よりも直立切羽の方が切羽安定効果は高く, 粘性土系地山では直立切羽と球面切羽共に同程度の切羽安定効果が得られることがわかる。
- ・ ボルトの打設長が増加すると, 変位抑制効果は高くなり, ある程度の長さまでになるとその効果はなくなるが, 砂質土系地山より粘性土系地山の方がボルトの打設長の影響を大きく受ける。
- ・ 球面切羽への鏡ボルトの打設形状は砂質土系地山, 粘性土系地山共に放射状に打設した方が切羽面の押し出し量抑制効果は優れている。

参考文献

- 1) 田名瀬寛之, 芹川博, 山本宏司, 菅正: 軟岩トンネルのTWSによる施工, トンネルと地下 第29巻11号pp.15~23 1998.11
- 2) 平田亮: 地山条件の違いによる補助工法の地山補強効果に関する数値解析的評価, 山口大学, 修士論文, 2005
- 3) 道廣一利, 吉岡尚也: 鏡止めボルトの作用効果を三次元FEMで解析, トンネルと地下 第33巻6号pp.43~48 2002.6
- 4) 中野慶彦: 3次元数値解析による鏡ボルト工法のトンネル切羽安定性の評価, 山口大学, 卒業論文, 2006

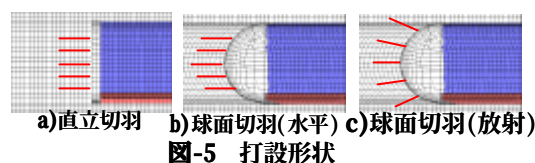


図-5 打設形状

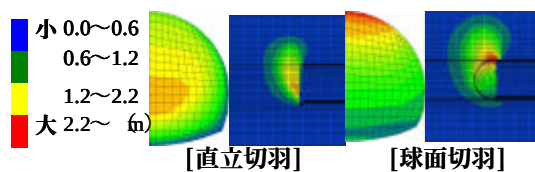


図-6 切羽周辺地山の挙動(砂質土系地山)

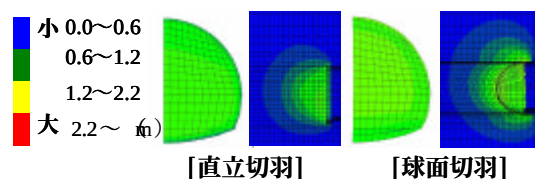


図-7 切羽周辺地山の挙動(粘性土系地山)

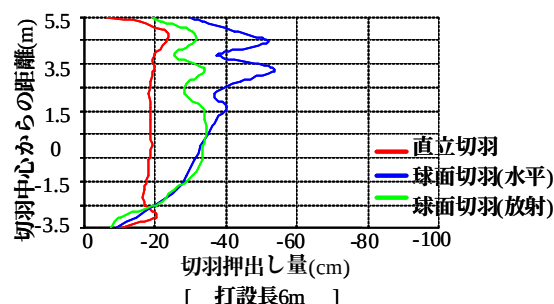


図-8 切羽形状の違いによる影響(砂質土系地山)

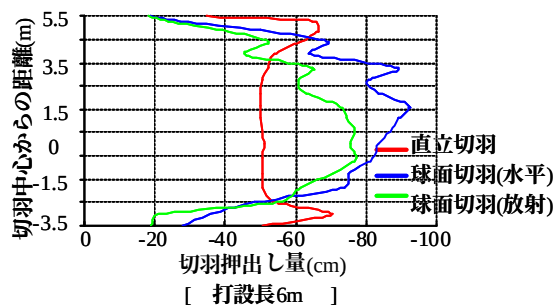


図-9 切羽形状の違いによる影響(粘性土系地山)