

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
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	菅 浩亮

1. 研究目的

都市部の浅い軟弱な地山条件下でトンネルを掘削する際には、切羽の安定対策や地表面の沈下対策などを考慮する必要がある。そのような場合、NATM に補助工法を併用することでトンネルを掘削・構築するが可能となった。しかし、補助工法の併用は資源を使い、補助部材の廃棄による環境負荷を大きくする。さらに、補助工法の効果は十分に解明されていないのが現状である。本研究では補助工法の効果を解明するため、上半脚部を改良した工法と上半切羽に長尺鏡ボルト打設した工法に着目し、これらの補助工法が切羽の挙動、地表面沈下量、天端沈下量に及ぼす影響を把握することを主たる目的とした。

2. 解析概要

2-1. 解析に用いた工法

補助工法の効果を検討するため掘削工法を図-1(a)～(c)のように設定した。図-1(a)はベンチ長 10m のショートベンチカット工法、(b)は上半脚部に改良体(改良体の形状は 1.5m×1.5m の正方形断面とし、切羽進行に伴い 1m 先行して改良)を設けた工法、(c)は上半切羽に長尺鏡ボルト(長さ 12.5m, ラップ長 3.5m, 1 断面 14 本)を打設した工法である。都市部の軟弱な地山条件下においてこれらの工法を適用して施工した場合、地表面沈下や天端沈下がどのような影響を受けるのかを把握するために数値解析を行った。

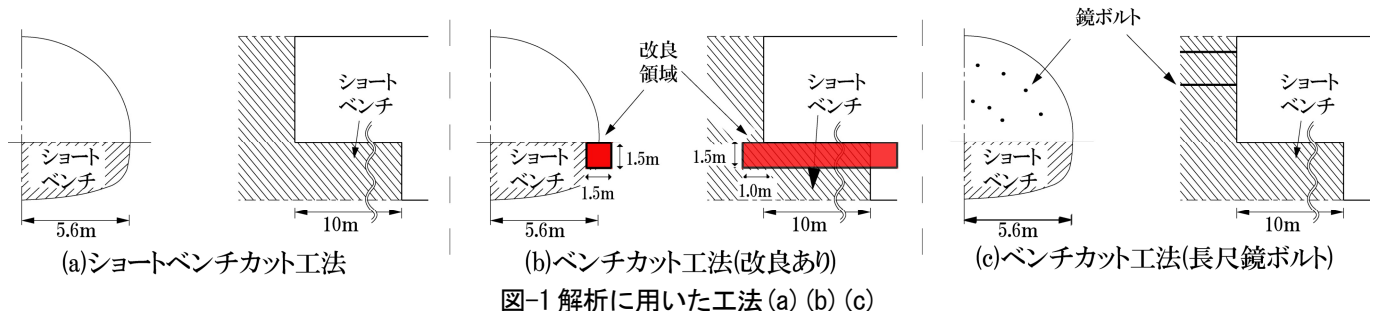


図-1 解析に用いた工法 (a) (b) (c)

2-2. 解析領域および境界条件

トンネル土被りは 20m とし、トンネルインバートより下部は 35m, 横断方向は 50m, 奥行方向は 100m なる領域を設けた。トンネルの断面形状については、道路トンネルの D_{IIa} タイプを採用した。境界条件は、地山側面は横断方向、前面と背面は縦断方向、底面は上下方向に拘束し、地表面は自由とした。

2-3. 入力定数および力学モデル

浅い土被り下で施工された事例を既往の文献で調べた。その結果をまとめたものが表-1 である。表-1 では様々な補助工法が多用されているが、ここでは支保工脚部の地盤改良と長尺鏡ボルトに着目した。

表-1 施工事例

事例	土かぶり (m)	強度・変形特性			補助工法
		粘着力 _c (kN/m ²)	内部摩擦角 φ (°)	変形係数 D (kN/m ²)	
①	6～11	10～500	0～45	15000 ～140000	クロスジェット工法、 ウレタン系注入式、 ロディンチューブ工法
②	2～17	データなし			トレヴィチューブ、脚部補強工、 セメント改良
③	7～130	データなし			ウレタン系注入式トレヴィチューブ、 インバート吹付け、サイドパイル
④	10～15	データなし			AGF工法、LW注入 パワーブレンダーを用いた 深層混合工法
⑤	10～20	データなし			充填式フォアボーリング、 ファイバーボルト、セメント注入
⑥	5～20	0～140	0～35	10000 ～17000	シリカレジ注入、 インバートストラット
⑦	10	33～136	0～20	14000 ～110000	AGF工法、注入式サイドボルト、 シリカレジ注入式短尺フォアパイ リング、長尺鏡ボルト
⑧	4～7	データなし			トレヴィチューブ、 支保工脚部の地盤改良、 サイドパイル、フットパイル

解析に用いる地山の変形係数 D は 40000kN/m^2 、粘着力は 150kN/m^2 、内部摩擦角 ϕ は 0° 、単位体積重量 γ_t は 15kN/m^3 と設定した。改良部分の変形係数 D は 3 倍の 120000kN/m^2 、内部摩擦角 ϕ は 20° にそれぞれ増加するものとした。長尺鏡ボルトについては大塚ら¹⁾の文献の値を用いた。鋼製支保工はトンネル標準示方書²⁾、吹付けコンクリートは土屋ら³⁾、コンクリート標準示方書⁴⁾の値を用いた。

地山の力学モデルは弾完全塑性体とし、降伏の判定にはモール・クーロンの破壊基準を用いた。また、鋼製支保工はビーム要素、吹付けコンクリートはシェル要素でモデル化を行った。

3. 解析結果および考察

(1) 地表面沈下量、天端沈下量

図-2、図-3 はそれぞれ地表面沈下量、天端沈下量と切羽からの距離の関係を示したグラフである。この二つのグラフから、改良を行った工法と行っていない工法とでは地表面沈下量、天端沈下量共に約 5mm の沈下抑制効果があることがわかる。これは上半脚部を改良したことにより、脚部地盤の強度増加がグラウンドアーチの形成に寄与したものと推測される。つぎに、長尺鏡ボルトを併用した場合は、ここで設定した地山の性状下では地表面沈下量と天端沈下量を抑制する効果は得られないことが判明した。

(2) 切羽の押し出し変形量

押し出し変形量が 70mm を超えると切羽崩壊の危険性が指摘されている⁵⁾。しかし、どの工法においても 70mm を超える押し出し変形量は見られなかった。また、改良を行った工法(b)と行っていない工法(a)を比較すると、切羽の押し出し変形量に違いは見られなかった。一方、長尺鏡ボルトを併用した工法(c)では、切羽の押し出し変形量が抑制されていることがわかった。

4. まとめ

三次元数値解析を通じて得られた結果をまとめるとつぎのようになる。

①上半脚部の改良は、地表面沈下量や天端沈下量の抑制に効果を発揮する。

②切羽の押し出し変形量を抑制するには長尺鏡ボルトが有効である。

5. 参考文献

- 1)大塚勇，青木智之，小川哲司，足達康軌，田中崇生：各種ボルト材による鏡ボルトの岩盤補強効果について，第 33 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.73-78，2004.
- 2)土木学会トンネル工学委員会：トンネル標準示方書〔山岳工法〕・同解説，pp.84-86，2006.
- 3)土木学会コンクリート委員会：コンクリート標準示方書〔設計編〕，pp.17-40，1997.
- 4)土屋敬：トンネル設計のための支保と地山物性に関する研究，土木学会論文集，No.364/III-4，pp.31-40，1985.
- 5)田中一雄，川上純，池田宏，恰土一美：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.

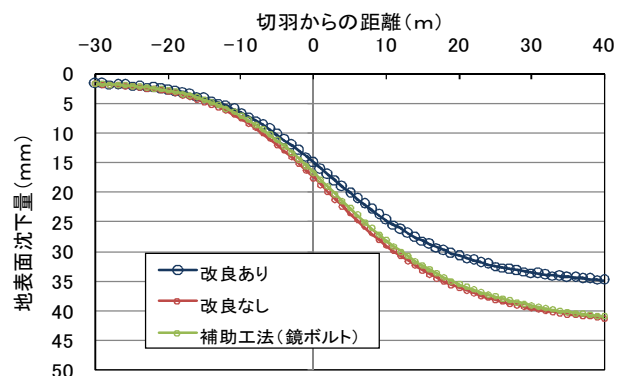


図-2 地表面沈下量

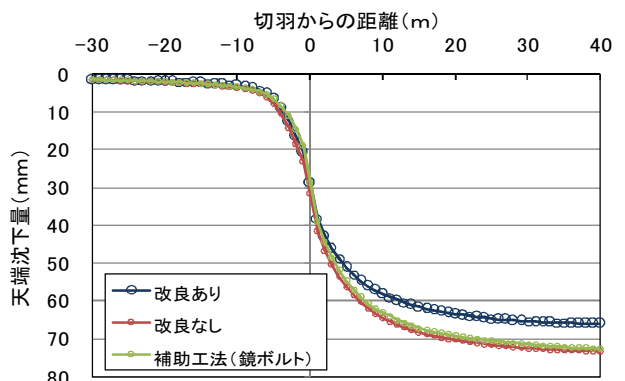


図-3 天端沈下量

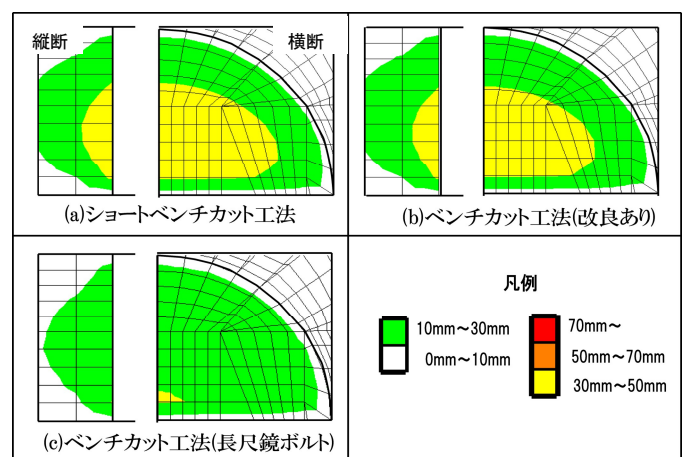


図-4 切羽の押し出し変形量