

## 鏡ボルトによるトンネル切羽の補強効果の数値解析検証（その1）

- 地山安定効果について -

大林組 技術研究所 正会員 ○杉江茂彦 鈴木和明

土木技術本部 正会員 木梨秀雄

## 1. はじめに

都市圏での山岳トンネル工法の適用実績が増すなかで地山の安定確保と施工効率の向上をめざした対策工法がいくつか提案されてきた。著者ら<sup>1)</sup>は長尺先受け工法(アンブレラ工法)の適用効果を3次元FEM解析(解析コード:GRASP3D<sup>2)</sup>)を用いて、同対策工の効果を十分に発揮させるためには脚部地盤の支持力の確保が重要であることを指摘した。これに続き、本報文では切羽面に鏡ボルトを設けた場合の地山安定効果の解析検証(同解析コード<sup>2)</sup>、<sup>3)</sup>)の結果を報告する。

## 2. 解析方法

土被りが20m程度と浅く未固結な土砂地山に、三車線道路の幅員を包含できる規模の大断面トンネルを上半掘削施工する場合を想定した。ここで掘削工ならびに支保工・長尺先受け工の施工過程を模擬した。鏡ボルトは最終の掘削段階の事前に設けた。用いた有限要素メッシュとトンネルの形状・構造のモデル概要を図-1に示す。

## 2.1 地山のモデル化

地山の初期土被り圧ならびに初期水平応力は湿潤単位体積重量  $\gamma_t=19.6\text{kN/m}^3$ 、側圧係数  $K_0=0.43$  とした自重計算からもとめた。地山強度比  $C_f$  (一軸圧縮強度  $q_u$  と初期土被り圧  $\gamma_v$  の比) を1.0とし、変形係数  $E=300 \cdot q_u$  ポアソン比を  $\nu=0.3$  とした。

地山の降伏判定には、Drucker-Pragerの規準を用い、降伏後の地山要素の剛性を10分の1に低減させるとともにポアソン比を  $\nu=0.495$  とした。地山の内部摩擦角は  $\phi=20$  度とし、粘着力は  $C=q_u / \{2 \cdot \tan(45 + \phi/2.0)\}$  よりもとめた。

## 2.2 支保工・補助工のモデル化

鏡ボルトのモデル化に例えば吉岡・木梨ら<sup>3)</sup>は3次元有限差分法解析(解析コード:FLAC3D)の中でケーブルボルト要素<sup>4)</sup>を用いている。ここでは簡便にトラス要素で模擬し地山との接触条件は常に定着とした。トラス要素の定数値は、グラスファイバー製<sup>5)</sup>の鏡ボルト(変形係数  $E=85\text{kN/mm}^2$ 、直径  $\phi=2.8\text{cm}$ )が切羽上半部に  $2\text{m}^2$  に一本の割合で打設される場合を想定して与えた。

長尺先受け工(ここでは打設長12m、厚さ30cm、ラップ長4mのソイルセメント改良体)は該当部の地山のソリッド要素を打設の進行に応じて弾性体(変形係数  $E=1\text{kN/mm}^2$ 、ポアソン比  $\nu=0.3$ )に材料変更することで模擬した。ラップ部の変形係数は先の値の2倍とした。支保工は厚さ25cmの吹付コンクリートとH-25 $\alpha$ トンネル軸方向ピッチ1mの鋼製支保工を想定し弾性体シェル要素で模擬した。ここで吹付コンクリートと鋼製支保工の両者の曲げ剛性(EI)を合成して得られる変形係数  $E=20\text{kN/mm}^2$  とポアソン比  $\nu=0.2$  を用いた。

## 3. 鏡ボルトによる地山安定効果

鏡ボルト打設後に4m(1メッシュ分)掘削した時点の結果を以下に述べる。Mohr-Coulombの破壊規準によるモデ

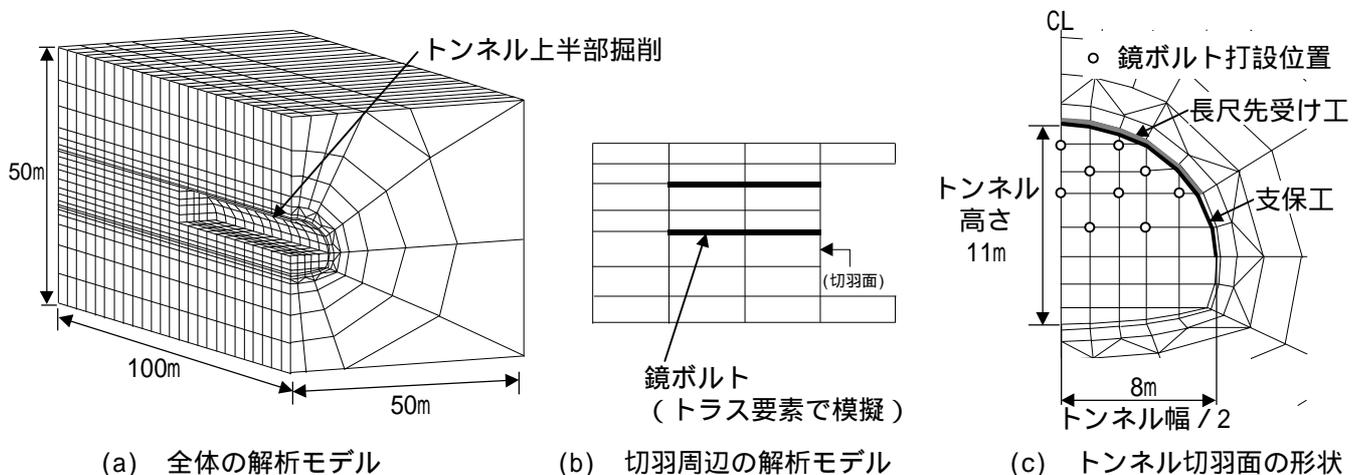


図-1 解析モデル(掘削計算後の形状で表示)

キーワード : 都市NATM、3次元有限要素法解析、鏡ボルト、切羽安定効果

連絡先 : 東京都清瀬市下清戸4-640 TEL:0424-95-1097 FAX:0424-95-0903

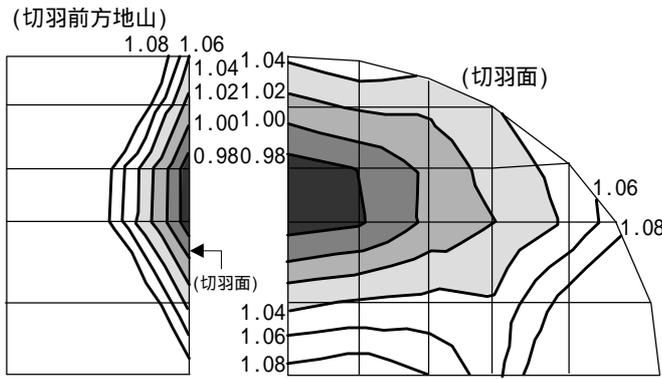
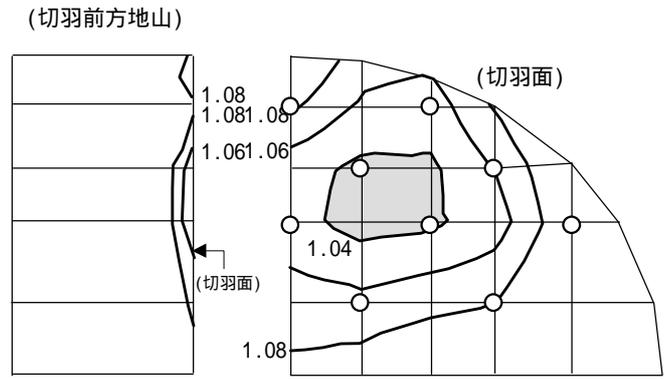


図 - 2 切羽部の局所安全率コンター  
(鏡ボルトが無い場合)



(Mohr-Coulomb破壊基準)

図 - 3 切羽部の局所安全率コンター  
(鏡ボルトがある場合：掘削後の打設長8m，1本/2m²)

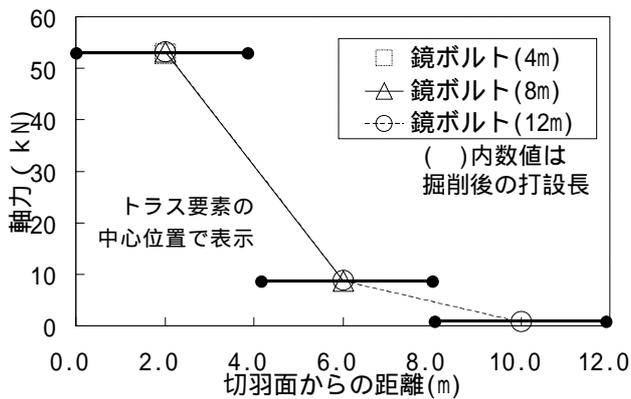


図 - 4 鏡ボルトの張力（一本当たりの値の平均値）

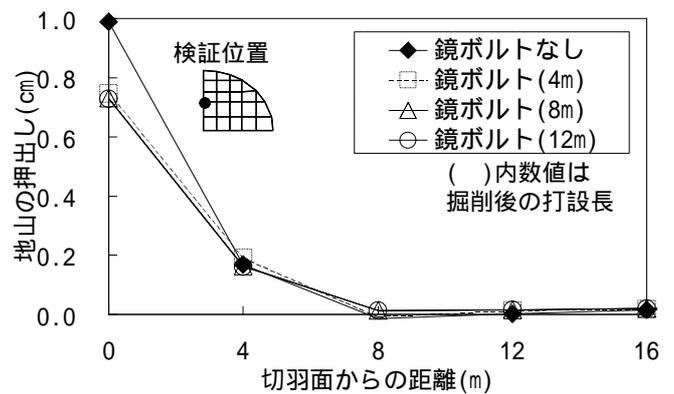


図 - 5 切羽前方地山の押し出し変位量

ル地山の初期の局所安全率LSFは一律に2.0である。鏡ボルトが無い場合の掘削後の切羽付近の同規準による局所安全率のコンターを図 - 2 に示す。切羽の中央付近にLSFが1.0を下回る領域、すなわち破壊領域が生じている。切羽前方の地山では破壊領域は4 mの幅で設けた要素1メッシュ分の範囲に留まっている。Drucker-Pragerの降伏規準においても同範囲は塑性と判定された。この結果にもとづき鏡ボルトの長さを以下の3ケース設けた。掘削後に切羽地山に鏡ボルトの打設長が4 m残る場合(塑性域内のみみ打設)同様に打設長が8 mおよび12 m残る場合の3ケースである。図 - 3 は鏡ボルトの打設長が掘削後に8 m残る場合の局所安全率コンターである。鏡ボルトが無い場合に比べてLSFの値が増し破壊領域が無くなっており、地山の安定性が向上していることがわかる。他の2ケースの打設長で計算した結果においても切羽地山の局所安全率コンターは概ね同様であった。

図 - 4 に鏡ボルト(トラス要素)で生じた引張軸力を示す。各位置で鏡ボルト1本当たりの値を平均し、要素中心位置でプロットしている。図 - 5 に切羽の前方の地山の押し出し量を示す。発生した軸力値は、実用されているガラスファイバー製の鏡ボルトの引張強度の1/2以下の値であった。また掘削後の打設長が12 mの場合では、鏡ボルトの端の軸力がほぼ0値となっている。これに連動する計算結果として同位置での地山の押し出し量はほぼ0値になっている。実務設計においては軸力と変位が0値となる位置を精度良く予測して打設長を決める必要がある。

4. おわりに

土砂地山での山岳トンネル工法の施工過程を3次元FEM解析で模擬し、切羽に鏡ボルトを設けることで切羽前方地山の安定性が向上することが確認できた。後続発表<sup>6)</sup>では鏡ボルトによる切羽面の押し出し変位の抑制効果を述べる。

(参考文献)

1) 杉江茂彦・吉岡尚也・藤原紀夫：大断面トンネルの周辺地山の3次元挙動解析、第27回岩盤力学シンポジウム講演論文集、1996 2) Ohta, H., Iizuka, A., Omote, Y. and Sugie, S.: 3-D analysis of soil/water coupling problems using elastoviscoplastic constitutive relationships, Proc. 7th Int. Conf. Computer Methods and Advances in Geomechanics, Vol.2, pp.1191-1196, 1991 3) 吉岡尚也・木梨秀雄・道廣一利・谷本親伯：鏡止めボルトによるトンネル切羽面の補強効果、土木学会論文集、No.638/III-49, pp.389-394, 1999 4) Brady, B and Lorig, L.: Analysis of rock reinforcement using finite difference methods, Computers and Geomechanics, pp.123-149, 1988/1993 5) 今田徹・岡林信行・野間正治：最新山岳トンネルの施工、鹿島出版会、pp.146-147, 1996 6) 鈴木和明・杉江茂彦・木梨秀雄：鏡ボルトによるトンネル切羽の補強効果の数値解析検証(その2) 第59回土木学会年次学術講演会、第 部門(発表予定)、2004