

鏡ボルトの効果的な配置に関する解析的検討

大林組 正会員 ○中岡 健一
大林組 正会員 畑 浩二

1. 目的

山岳トンネルの切羽の安定性を確保するために施される鏡ボルトは、経験的な観点から、鏡全面に分散して打設されることが一般的で、その配置に関する標準的な設計方法は確立されていない。鏡ボルトの効果的な配置を目指し、本数を削減しつつ、必要な機能を維持するためには、変形挙動に対応した集中的な配置が重要と考える。本報告では鏡ボルトを①鏡の上部のみに配置したケースと、②下部のみに配置したケースについて解析を行なう。そして、それぞれの領域の鏡ボルトが、切羽の安定性に寄与する効果について考察する。

2. 解析条件

地山要素に弾塑性モデルを適用したひずみ軟化解析¹⁾とする。材料の軟化は、降伏した時点からのせん断ひずみの増分に応じて、粘着力と内部摩擦角を直線的に低減させることにより考慮する。解析に用いた物性値を表-1に、用いた物性による一軸圧縮試験の解析結果を図-1に示す。支保工は吹付けコンクリートとして厚さ20cm、鏡ボルトは長尺の長さ10mの弾性体とした。地山の側圧係数は0.5とした。解析ステップは①自重解析、②トンネル掘削・支保工構築解析の2つとし、切羽の進行は考慮しない。

3. 解析モデル

解析モデルを図-2に示す。トンネルの断面は、新幹線標準断面の上半と同じとし、トンネルの高さは5.8mである。天端における土被り高さはトンネルの高さの1.6倍とした。鏡ボルトの配置を図-3に示す。解析ケースは、鏡ボルト無し (Case1)、鏡ボルトを上部のみ配置 (Case2, 図中○印)、同じく下部のみ配置 (Case3, 図中△印)、の3ケースとする。Case2およびCase3の鏡ボルトは同じ本数(7本)とした。地盤と支保工要素の数は132,715、鏡ボルト要素の数は140である。

4. 解析結果

図-4に各ケースの切羽の押し出し量、図-5に最大せん断ひずみの分布を示す。図-4から、鏡の上部に鏡ボルトを打設したCase2は、鏡の下部の押し出し量が大きく、下部に打設したCase3は上部の押し出し量が大きくなっている。最大の押し出し量は同程度である。ここで、Case1の変形量は10分の1にスケールダウンして表示している。また、Case1の変位速度は最終計算ステップ(25,000step)においても低下する傾向は見られず、切羽は自立しない。Case2およびCase3においても変位速度は完全に収束しているとは言い切れず、計算をさらに継続することで、変位は増加する可能性がある。ただし、各ケースの結果を定性的に比較することは可能と判断した。

表-1 解析に使用した物性

項目	数値
変形係数 (MPa)	100
ポアソン比	0.3
粘着力 (kPa)	16 → 8
内部摩擦角 (°)	27 → 22

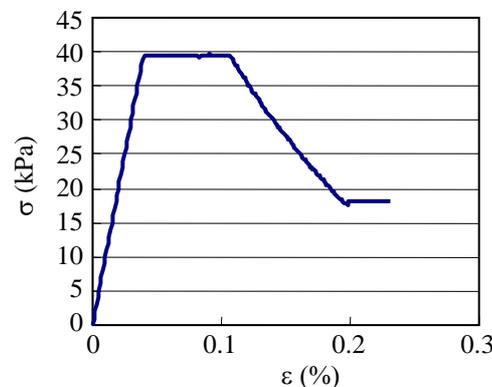


図-1 一軸圧縮試験の解析

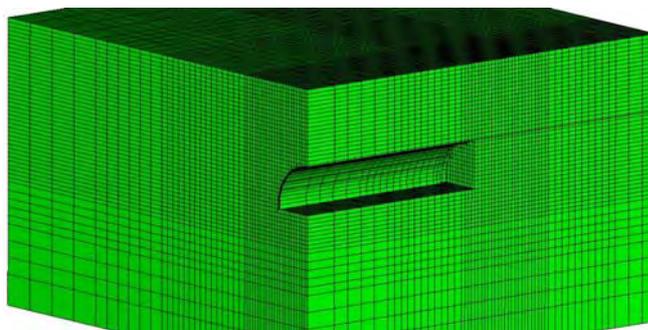


図-2 解析モデル

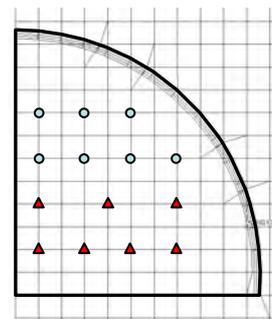


図-3 鏡ボルトの配置

キーワード 鏡ボルト, ひずみ軟化モデル, 切羽安定性, 山岳トンネル

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-460 (株)大林組 技術研究所 TEL042-495-1015

図-5(左) から、鏡ボルトを施さないケースでは、切羽下端から地表面へと伸展するせん断帯が認められる。図-5(中央) から、鏡の上部に鏡ボルトを施したケースでは、切羽下端からせん断ひずみ大きい領域が発生しているものの、上部の鏡ボルトよりも上方へはせん断帯が伸展しにくい傾向が見られる。一方、図-5(右) から、鏡の下部に鏡ボルトを施したケースでは、鏡ボルトを施さないケースと相似的なせん断帯が、鏡ボルトを施した領域から地表へと伸展している。両者の違いは以下のように考えられる。

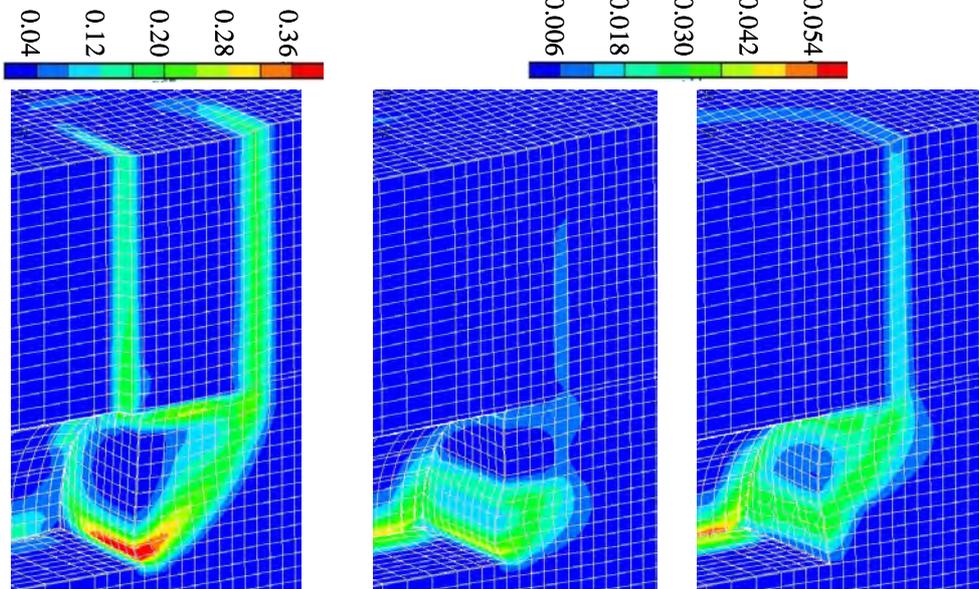
- Case2: せん断帯と鏡ボルトが斜めに交差する場合、せん断帯に沿ってせん断変形が生じると、鏡ボルトは伸張されて機能を発現する。そのため、切羽下端から斜めに発生したせん断帯は鏡ボルトとの交点で、鏡ボルトと直交するように折れ曲がり、直上に向かう。その結果、鏡背後の土塊の奥行きが小さくなり、重量が小さくなる。また、せん断帯との交点は壁面から奥にあるため、地山の応力が有効に鏡ボルトに伝達される。
- Case3: 鏡ボルトは切羽下端からせん断帯が伸展することを抑制するが、打設領域より上部の抑制効果はない。また、せん断帯と鏡ボルトの交点は壁面に近いため、地山の応力が鏡ボルトに伝達されにくい。そのため、鏡でのせん断帯の位置は、上段の鏡ボルトの標高よりも低い位置となっている。

図-6 に Case2 と Case3 における鏡直上の地表面沈下量を示す。地表面沈下量は鏡ボルトを上部に打設した Case2 が下部に打設した Case3 の 70% と小さくなり、抑制効果が高いと考えられる。

5. まとめ

本報告では、すべりによる崩落が生じるような強度特性の地山に対し、鏡ボルトを鏡の上部のみと、下部のみに配置した解析を行なった。その結果、上部に鏡ボルトを打設する方が、下部に打設するよりも有効である、という傾向が得られた。ただし、鏡ボルトが切羽の安定性に影響を及ぼす方法は、膨張性を示す地山などでは異なると考える。以下に、今後の課題を挙げる。

- 土被りの違いによる影響の検討。
- 強度特性(粘着力が支配的な材料か、内部摩擦角が支配的な材料か)による影響の検討。



Case1: 鏡ボルトなし

Case2: 鏡ボルトを上部に配置

Case2: 鏡ボルトを下部に配置

図-5 最大せん断ひずみ

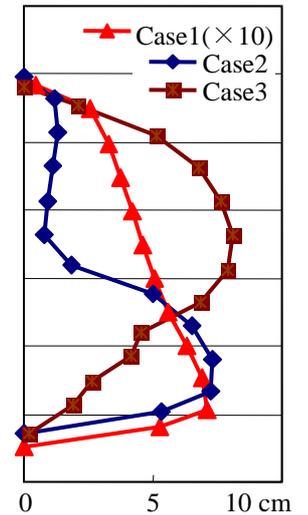


図-4 切羽の押し出し量

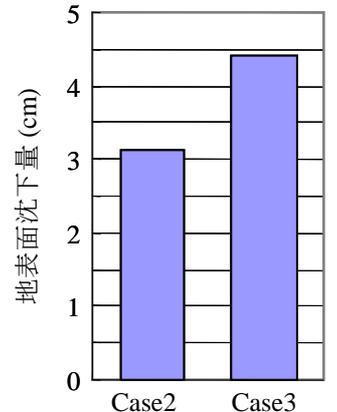


図-6 切羽直上の地表面沈下量

参考文献

1) 中岡健一, 畑浩二, 芥川真一: ひずみ軟化モデルの粘性改良土および砂質土への適用性に関する研究, トンネル工学論文集第 19 巻, pp. 51-58, 2009.