

鏡ボルトの打設角度が補強効果に及ぼす影響

首都大学東京 学生会員 ○徐 景源
首都大学東京 正 会 員 土門 剛
首都大学東京 正 会 員 西村和夫

1. はじめに

現在、鏡ボルトの施工基準では、穿孔は可能な限り精度を確保して水平に削孔する必要があると言われているが、実際の現場での作業時には地質条件や作業条件などによって本来の削孔線から外れる場合が生じやすい。また、穿孔のずれによりボルトの分担面積が大きくなれば本数を増して補う必要があると言われている¹⁾。ところが、ボルトの角度のずれによりどの程度切羽補強効果が低下するのか、どの程度本数を増して補うか等については、まだ不明な点が多いのが現状である。

そこで、鏡ボルトの打設時に生じる水平からの穿孔ずれをモデリングし、合理的な鏡ボルトの設計手法を確立するための基礎データを得ることを目的として、有限差分法(FLAC3D)を使用して、打設角度のずれによる補強効果を分析した。

2. 解析のモデル化の考え方

実際の現場で鏡ボルトを打設する時、削孔による角度のずれがどの方向にどの程度生じるかは同じ打設シフトにおいても異なる。これらをモデル化するため次のようにボルトの打設角度のずれをパターン化して単純化させた。図1に鏡ボルトずれの角度のパターンの一例を示す。長さ12mのボルトを24本（全断面）、3列の円周状で水平（0°）に打設することを基本とする。打設角度のずれは外側1列目のボルトをトンネルの上半中央を原点として原点を通るトンネル軸線とボルト打設方向が成す角度をトンネル軸線方向（Y方向）に9°、18°、27°の角度で同心放射状に角度を広げて打設することでパターン化した。2列目のボルトは1列目のボルトの半分の角度で打設し、中央に位置する3列目のボルトはすべて水平（0°）に打設する。鏡ボルトのラップ長は6mであり、グラウトの付着特性は御手洗ら²⁾の室内実験を参考ににした。

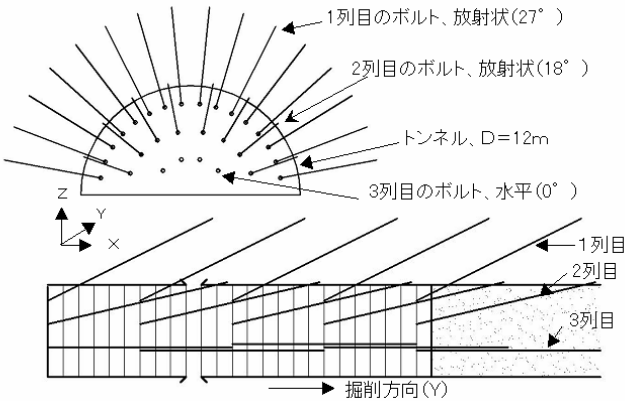


図1 鏡ボルトの配置の一例（放射状27°）

表1に解析モデルの地盤と支保工の物性値を示す。支保工は吹付けコンクリートと鋼製支保工の合成部材としてモデル化を行い、ロックボルトは省略した。吹付けコンクリー

表1 地盤と支保工の物性値

	単位体積重量 (γ) KN/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) 度
地盤	16	20	0.35	0.02	30
支保工	23.8	8.65E3	0.25	厚さ0.25m	

トは1ステップ遅れて打設すると考えた。解析領域の幾何学的形状は土被り20m、トンネルの半径6m、横断方向42m、縦断方向110mとした。初期応力状態は重力により発生させ、初期の側方土圧係数は0.55であり、掘削は右から1mずつ逐次掘削を上半のみ行った。また、地盤は弾塑性モデルとし、破壊基準は

表2 解析ケース

	鏡ボルトの打設角度のずれ
水平（0°）	1, 2, 3列のボルトを水平（0°）に打設
9°	1列目；9°、2列目；4.5°、3列目；0°
18°	1列目；18°、2列目；9°、3列目；0°
27°	1列目；27°、2列目；13°、3列目；0°

キーワード トンネル、長尺鏡ボルト、打設角度、押し出し変位

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 都市基盤環境コース TEL 0426-77-1111 (4581)

Mohr-Coulomb 基準を採用した。表 2 に解析ケースを示す。鏡ボルトの効果に対しては数多くの研究がなされており、本報告では水平に打設したものと角度のずれに着目したモデルの比較を行った。

3. 解析結果と考察

図 2 にボルトの打設密度を示す。水平 (0°) の場合は一定の密度であるが、角度があるモデルは掘削と同時に低くなるのが分かる。以下に、このような角度のずれによる切羽変位と天端沈下量を着目して水平 (0°) 打設との差を述べる。

図 3 に変位がもっとも厳しい切羽高さ 3m 地点 (切羽中央部) での変位の推移を示す。図中の「減」と「増」は水平 (0°) 打設と比べた変位の増減を意味し、「A」、「B」及び「C」は打設角度があるため掘削領域から

ボルトが逸れる地点を意味する。1 シフト分 (6m) の中で変位が一番大きくなる 5m 地点 (次のシフトを打設する前の切羽) では水平 (0°) 打設と比べると、 9° 打設は 36%、 18° は 49%、 27° 打設は 62% まで変位が増加することが分かる。

図 4 に打設角度のずれによる天端沈下量を示す。天端付近にあった 1 列目のボルトは切羽が進行するに伴って上方に逸れていくため、A と B 地点から変位が急激に増えて行くのが分かる。最大変位が発生した打設後 5m 地点では水平 (0°) 打設より 9° 打設においては 20%、 18° 打設においては 23%、 27° 打設においては 28% 増えている。

すなわち、同様な施工条件を想定してもボルトのずれによって補強効果が大きく異なることが分かる。

4. おわりに

以上の結果から同一の鏡ボルトをもとに補強効果を最大限に発揮させるためには、施工時にできる限り削孔の精度を確保することが重要である。また、施工上、打設角度のずれが避けられない場合はボルト本数を補う必要があると考えられる。

参考文献

- 1) ジェオプロンテ研究会、長尺鏡ボルトの適用に際して (案)、pp.12-15, 1996 年 6 月
- 2) 御手洗 良夫、松尾 勉、手塚 仁、岡本 哲也、西村 誠一、松井 保、山岳トンネルにおける長尺鏡補強工の作用効果の評価、土木学論文集、No.743/III-64、pp.213-222、2003.9

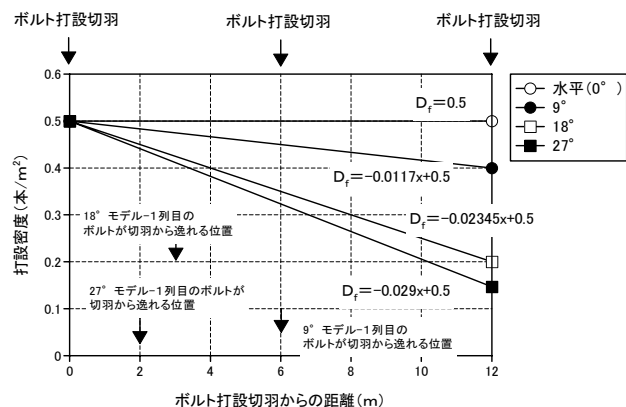


図 2 打設密度の変化

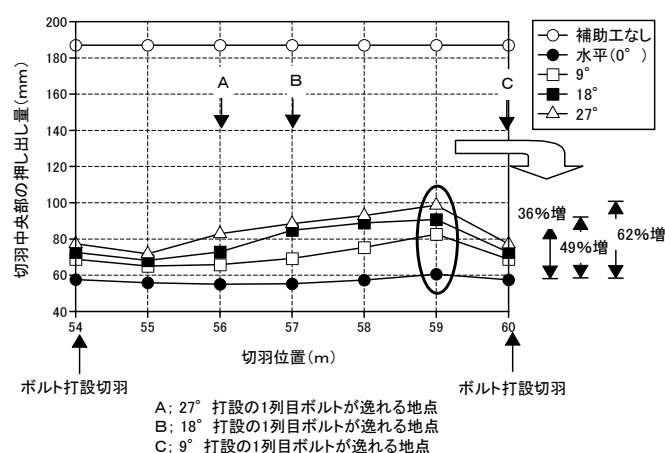


図 3 打設角度のずれによる切羽中央部の変位

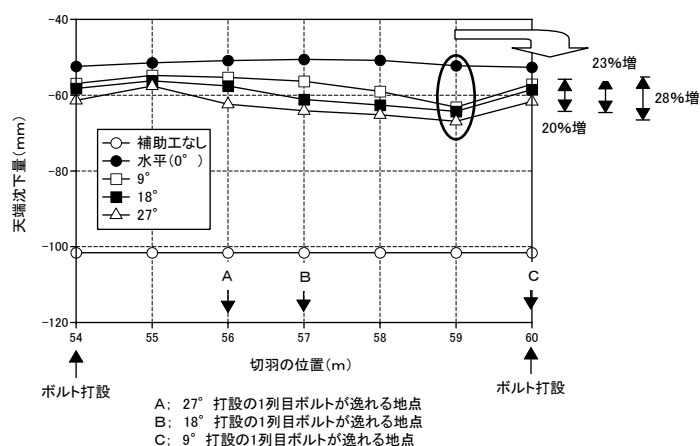


図 4 打設角度のずれによる天端沈下量の差