

切羽補強工法によるトンネル周辺地山への先行変位抑制効果に関する解析的検討

鹿島建設株式会社 正会員 横田 泰宏, 李 濟宇, 伊達 健介, 山本 拓治

1. はじめに

長尺鏡ボルトを使用した切羽補強工の、切羽の押し出し変位並びに天端、地表面沈下に対する補強効果は、既往の研究や実施工により確認されており、筆者らも遠心模型実験をもとにその効果を確認してきた。しかし、実設計を行う際に最適な鏡ボルト仕様を求める設計フローを示している研究成果は多くない。そこで、筆者らは切羽補強工の仕様に応じた応力解放率の目安を把握することができれば、通常用いられる二次元数値解析を用いても精度良く評価可能であると考え、切羽補強工を含むトンネル切羽付近の三次元問題を二次元問題として取り扱う場合の、切羽通過時の応力解放率を求めることを目的に、三次元数値解析を用いてパラメトリックスタディを実施してきた。本稿では、地盤条件及び補強工仕様の違いが及ぼす先行変位率の変化に着目し、切羽補強工がトンネル周辺の地山変位を抑制する効果について定量的な評価を行った結果を報告するものである。

2. 数値解析概要

数値解析には、三次元有限差分法(FAC3D)を用いた。図-1に解析モデル、図-2に掘削のモデル化手順を示す。また、数値解析に用いた物性値を表-1に示す。モデル化の詳細並びに物性値の設定方法は、既往の研究報告のとおりである⁽¹⁾。パラメトリックスタディには、ボルトの付着強度、土被り、先受け工の有無を考慮した。ボルト長とラップ長に関しては、それぞれボルト長1.0D、ラップ長3.0mと設定した。

3. 解析結果及び考察

筆者らは同条件で行った計算結果をもとに、切羽押し出し変位や天端沈下について検討をおこなってきた⁽¹⁾。本稿では、地表面沈下及び内空変位について考察を加える。図-3, 4, 5に土被り0.5Dにおける切羽進行と天端沈下、地表面沈下及び内空変位の関係を表した地山変位特性曲線を示す。解析メッシュのトンネル縦断方向の中央である30m地点を観測点とし、その位置を切羽位置0mで表示した。また、内空変位は、図-5中に示したスプリングライン上のBC点の変位量とした。それぞれの地山変位特性曲線を見てみると、どの変位量も切羽位置が観測点のおよそ1.0D手前を過ぎると急増するが、その傾向はそれぞれ異なることが確認できる。例えば、地表面沈下については、天端沈下や内空変位と比較するとやや変位が早く発生し始め、緩やかな曲線を描くことが分かる。一方、内空変位については、切羽位置が観測点の直前に到達するまで変位量は急増しないことがわかる。鏡ボルトを打設した場合は、地山特性曲線が全体的に上方へシフトするものの、これらの全体的な傾向については鏡ボルトがない場合と同様である。ただし、その補強効果については、違いが見られる。まず、

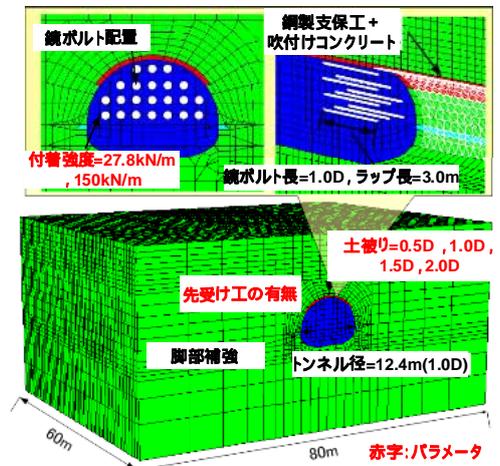


図-1 解析モデルとパラメータ

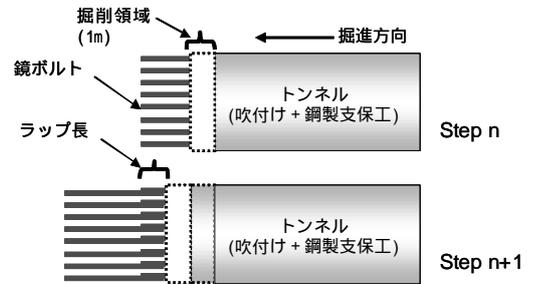


図-2 掘削のモデル化

表-1 解析物性値

地盤		先受け工	
構成則	Mohr-Coulomb	構成則	Mohr-Coulomb
弾性係数(MPa)	50	弾性係数(MPa)	2160
密度(g/cm^3)	1.8	ポアソン比	0.35
ポアソン比	0.35	内部摩擦角($^{\circ}$)	35
内部摩擦角($^{\circ}$)	35	粘着力(kPa)	20
粘着力(kPa)	20	引張耐力(kPa)	4
引張耐力(kPa)	4	ダイレタンシー角	0
ダイレタンシー角($^{\circ}$)	0		
脚部補強		支保工(吹付けコン+鋼製支保工)	
構成則	Mohr-Coulomb	構成モデル	Shell
弾性係数(MPa)	50	弾性係数(MPa)	9300
ポアソン比	0.35	密度(g/cm^3)	2.45
内部摩擦角($^{\circ}$)	35	ポアソン比	0.25
粘着力(kPa)	100	厚さ(m)	0.25
引張耐力(kPa)	20		
ダイレタンシー角($^{\circ}$)	0		
鏡ボルト			
構成モデル	Cable	補強材円周長(m)	0.157
弾性係数(MPa)	3.4×10^4	付着強度(kN/m)	150, 27.8
断面積(m^2)	2.4×10^{-3}	付着剛性(MN/m 2)	75, 13.9

キーワード 切羽補強工, 長尺鏡ボルト, 先行変位率, 三次元数値解析, 有限差分法

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 土質基礎・岩盤構造グループ TEL 042-489-7088

天端沈下や地表面沈下に比べ、鏡ボルトによる内空変位の補強効果は小さい。ここで、観測点におけるせん断ひずみ分布図(図-6)の内、1.0%以上ひずみが発生した範囲に着目すると、鏡ボルトの打設に伴い、縦断面図の天端付近や横断面図のトンネル肩部に見られたせん断ひずみの発生が抑制され、その範囲が、縮小していることが確認できる。一方、内空変位に影響を及ぼすスプリングライン近傍のせん断ひずみ分布には顕著な変化が見られない。したがって、鏡ボルトによる内空変位抑制効果が大きくない原因は、鏡ボルトを打設することによってトンネル切羽前面や肩部に関しては塑性領域の発生が抑制される一方、トンネルスプリングライン付近に発生した塑性領域には大きな変化が見られないことに起因するものと思われる。次に、鏡ボルトの打設に伴う先行変位率の変化について考察する。先行変位率とは、図-3中に示したとおり、最終変位と切羽到達時までに発生した変位の割合で定義される。図-7に、各計測工の先行変位率の低下幅(=無補強時の先行変位率-補強時の先行変位率)を土被りごとに比較した結果を示す。ABCは図-5中に示したABC3点で作られる三角形の面積収縮量の先行変位率低下幅を算出した結果である。天端沈下では、土被りが深くなるにつれて低下幅はやや小さくなるが、おおよそ12%程度の補強効果が確認できる。地表面沈下については、0.5Dから1.0Dのように土被りが浅い場合には、天端沈下と同様に大きな補強効果が得られるが、土被りが深くなるに従い補強効果は少なくなる。内空変位については、前述したとおり鏡ボルトによる補強効果は少なく、先行変位率の低下幅も小さい。また、トンネル収縮量を示すABCを見ると、土被りの増加に伴い、低下幅も増加することが確認でき、土被りが2.0D以上となると、約12%程度となっており、天端沈下と同等の補強効果が得られている。なお、図-7に示した以外の条件においても、低下幅に大小の違いは見られるものの、類似した傾向及び数値が得られており、今後はより多様な条件に対応すべくデータの蓄積を図ってきたい。

4. おわりに

本稿では、地盤条件及び補強工仕様の違いが、各計測工へ与える補強効果の差異について着目し、先行変位率低下幅を用いて、定量的な評価をおこなった。今後、これらの結果をもとに、切羽補強工の三次元効果を考慮した二次元数値解析の応力解放率について定量的に評価を行っていく予定である。

参考文献

- (1) 平成19年度トンネル工学報告集 第17巻
2007年11月 pp15-20

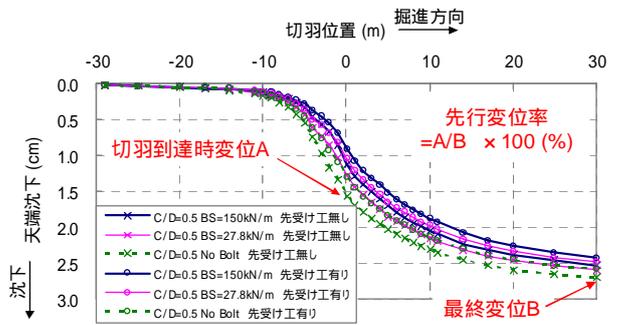


図-3 天端沈下 C(土被り)/D(トンネル径)=0.5

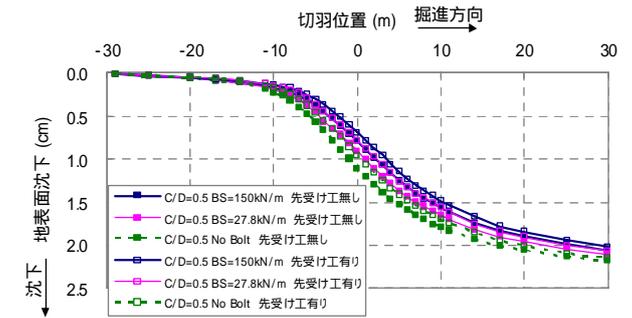


図-4 地表面沈下 C/D=0.5

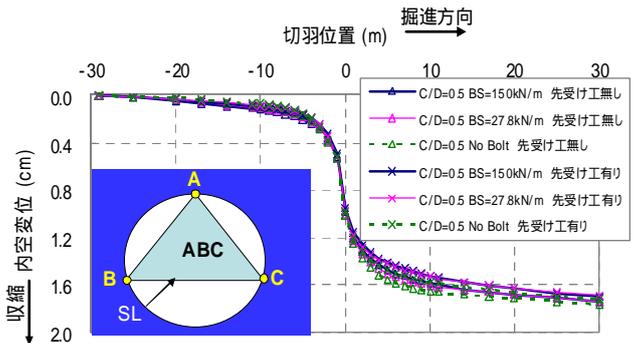


図-5 内空変位 C/D=0.5

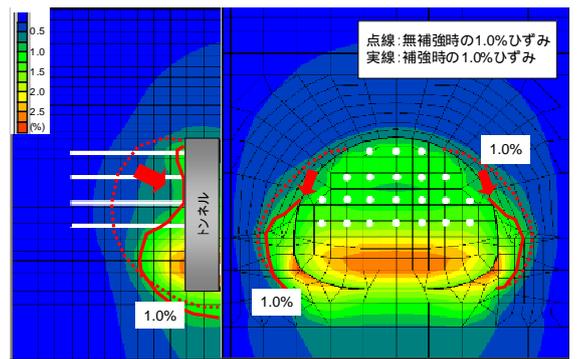


図-6 せん断ひずみ分布図(左:縦断面図/右:横断面図)

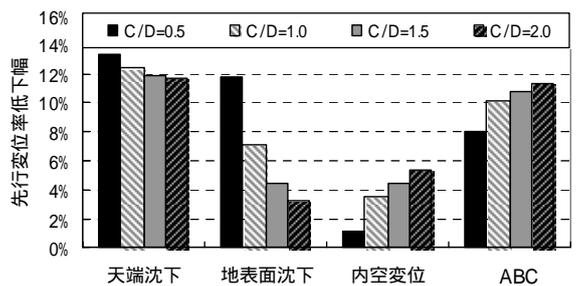


図-7 先行変位率低下幅 (先受け工無し/付着強度 150kN/m)