

トンネル掘削における切羽ボルトの効果に関する解析的研究

宮崎大学大学院 学生会員 吉田 浩紀
 宮崎大学 学生会員 穴井 翔悟
 宮崎大学 正会員 瀬崎 満弘

1. 背景と目的

近年、山岳トンネルは軟弱地山でのトンネル施工などの厳しい条件下でのトンネル掘削が増加している傾向にある。それに伴い、地表面沈下等の要因であるトンネル掘削時の先行ゆるみの抑制を目的とした様々な補助工法が開発され採用されている。その補助工法の一つである切羽ボルト工法は、解放面自由である鏡面を長尺のボルトで補強することにより、鏡面の安定化を期待できる工法である¹⁾。しかし、日南層群のような脆弱地盤においての沈下抑制機構について十分に検討されているとは言い難い。そこで本研究では、日南層群を地盤条件に置き、三次元有限差分法(FLAC3D)を用いて切羽ボルトによる地山補強効果についての検討を目的として研究を行った。

2. 解析条件

トンネル断面は、現在、清武～日南間を結ぶ東九州自動車道に建設中のYトンネルを参考にモデル化した。解析モデルの全体像を以下の図1に示す。

黄線で示す部分が掘削部分で、掘削の対称性から半断面のモデルとした。また、境界条件は、上面部分の地表面は自由面とし、他の5面に関しては掘削の影響が及ばないようにするためローラー境界とした。切羽ボルトによる地山補強効果の検討にあたり、ボルト本数を0、10、20、27本と異なる4つのケースを設定し、比較解析を行った。打設位置については図2に示す。本研究では、長さ12mの切羽ボルトを6m毎

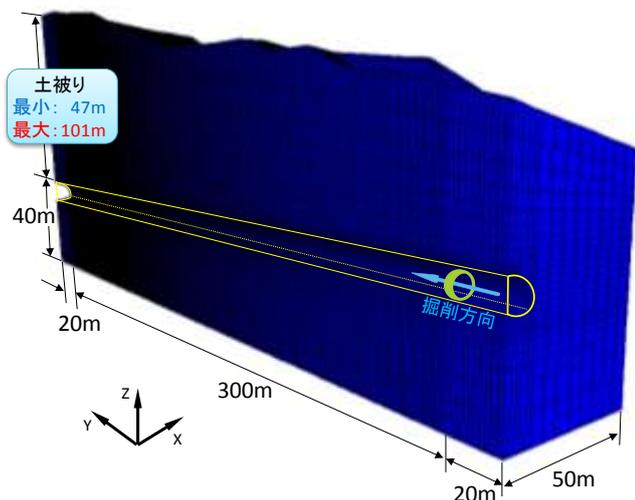


図1 解析モデル全体像

に配置-a、配置-bに交互に打設している。

また、解析に使用した物性値を表1に示す。地山の物性値は、起点側坑口部で実施した地質調査により設定し、支保および切羽ボルトの物性値は、既往の研究を参考に設定した²⁾³⁾。

3. 解析結果

■天端沈下量について

切羽ボルトの地山補強効果を評価するため、掘削始点から18m離れた地点の切羽面の天端に着目した。その天端沈下量の経距変化図を以下の図3に示す。

この図の横軸は、18m地点の切羽位置までの距離を示しており、縦軸は18m地点の天端の沈下量である。また、36m掘削地点の沈下量を最終沈下量とした。

ここで、沈下量の抑制効果を表す指標として、式(1)に示す天端沈下の抑制率 α を定義する。 α が大きいほど、天端沈下に対する抑制効果は大きいことを表す。また、代表ケースの天端沈下の抑制率 α をまとめたものを表2に示す。

表1 解析用物性値

	名称	単位	入力値
地山 (日南層群)	弾性係数	MPa	45
	体積弾性係数	MPa	37.5
	せん断弾性係数	MPa	17.3
	ポアソン比	-	0.3
	単位体積重量	kN/m ³	18
	内部摩擦角	°	20
	粘着力	KPa	30
	引張強度	KPa	0
吹き付け コンクリート	弾性係数	GPa	10.5
	ポアソン比	-	0.25
	厚さ	m	0.4
	単位体積重量	kN/m ³	25
切羽ボルト	弾性係数	GPa	45
	断面積	m ²	1.57*10 ⁻³
	降伏限界	kN	250
	せん断剛性	MN/m ²	17.5
	付着強度	kN/m	200
	ボルト長さ	m	12

表2 天端沈下量の抑制率の比較

切羽ボルト本数	U _f (cm)	U _n (cm)	U _n -U _f (cm)	α (%)
10本	23.7	32.8	9.1	27.7
20本	18.7	32.8	14.1	43.0
27本	16.6	32.8	16.2	49.4

$$\alpha = \frac{U_n - U_f}{U_n} \times 100 \quad (1)$$

α : 天端沈下の抑制率 (%)

U_f : 切羽ボルトがある場合の最終沈下量(cm)

U_n : 切羽ボルトがない場合の最終沈下量(cm)

天端沈下の経距変化図より、1D(トンネル直径)以内に全変位の約70%発生しており、切羽近傍での掘削が天端沈下に及ぼす影響の大きさを示している。また、切羽到達前に先行的に沈下している割合が高い結果となった。天端沈下の抑制率に関しては、ボルト27本で約50%と、切羽ボルト打設により沈下量を半分にまで抑制している。

■切羽周辺の沈下分布について

36m掘削地点における切羽周辺の沈下量分布図を図4に示す。横断面図より、掘削断面直上での沈下量を抑制している。しかし、トンネル断面から外側に外れると切羽ボルトの沈下抑制効果はあまり見られない。縦断面図では、鏡面前方の沈下を抑えていることが分かる。また、トンネル掘削済み区間のトンネル断面直上での沈下も抑制されている。

4. 結論

今回の研究で得られた知見を以下にまとめる。

①切羽ボルトによって、天端沈下量を半分にまで抑制している。切羽到達前に先行的に沈下している割合が高いことから、日南層群において切羽前方の先行的な沈下量を抑制することが重要であるということを示している。

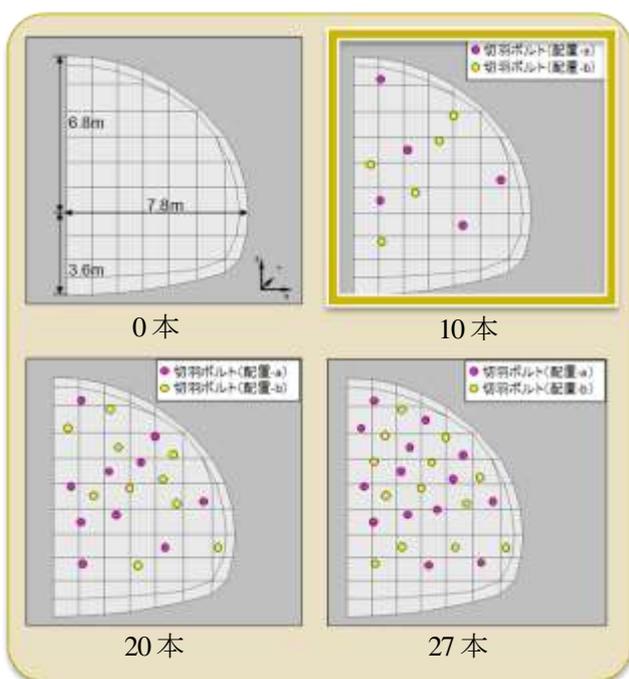


図2 切羽ボルト打設位置

②切羽周辺の沈下量分布については、切羽ボルトにより掘削断面直上と鏡面前方で減少している。しかし、トンネル断面から外側に外れると切羽ボルトの沈下抑制効果はあまり見られない。このことから切羽ボルトによって切羽周辺とトンネル真上の地山を補強している効果があることが分かる。

以上に示した知見は本研究で取り扱った限られた地盤条件の範囲に限定されるが、日南層群における切羽ボルトの地山補強効果とその沈下機構について評価することができる。

参考文献

- 1) 大塚 勇他：長尺止めボルトによる地表面沈下の抑制効果に関する解析的検討,土木学会論文集C,Vol.62,No.1,pp.151-156
- 2) 西崎 晶士他：長尺鏡ボルト工の適正配置に関する解析的評価,トンネル工学報告集,第14巻,pp.31-36
- 3) 新技術相互活用分科会：山岳トンネルにおける三次元解析の現状と課題,pp.6-30,pp.162-183,2006

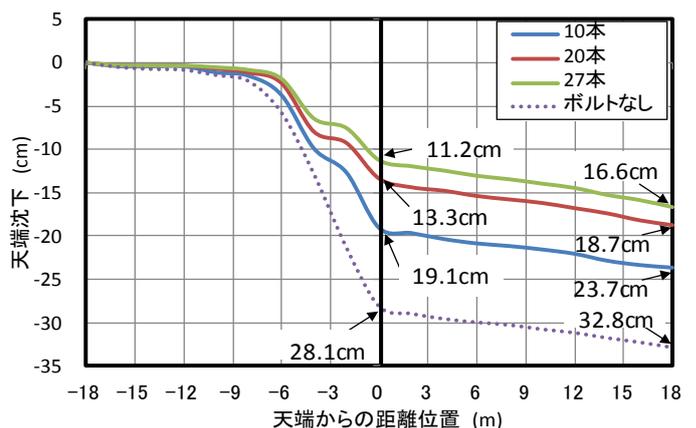


図3 天端沈下の経距変化図

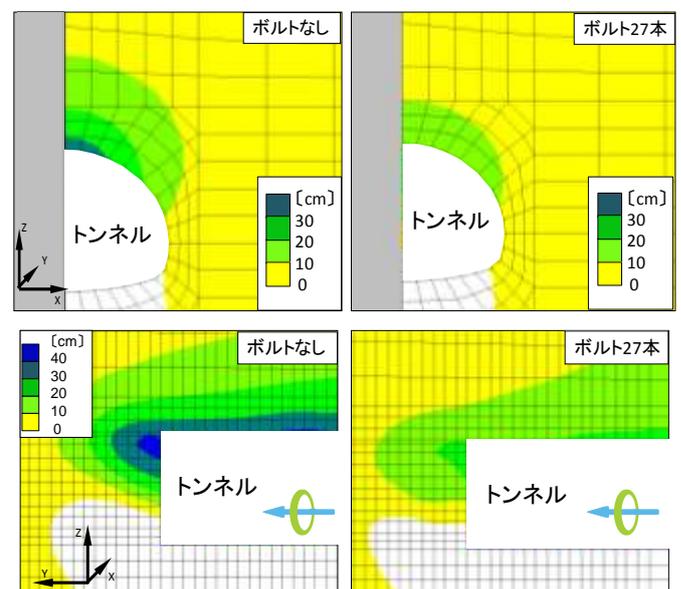


図4 切羽周辺の沈下分布 (上:横断面図、下:縦断面図)