

ケーブルボルトによるトンネルの事前補強効果について

山口大学 学生員○中川 倫孝
山口大学 学生員 武田 智治
山口大学 正会員 清水 則一

1. はじめに

第二東名・名神高速道路などの広規格道路の建設等により、トンネルの大断面化が進みつつある。第二東名・名神高速道路では、掘削断面積が約200㎡の大断面となっている^{1), 2)}。大断面トンネルの合理的な施工方法として地山の事前補強が考えられるが、その方法の一つとしてケーブルボルトの利用がある。しかし、ケーブルボルト工法は硬岩地山が主である諸外国での施工実績はあるものの、比較的脆弱な日本のトンネル地山への適用性については十分に明らかでない³⁾。

そこで本研究では、大断面トンネルを対象としてケーブルボルトの作用効果を調べるために数値解析を行った。なお、解析には有限差分法に基づく解析コードであるFLAC(Fast Lagrangian Analysis of Continua, ITASCA社製)⁴⁾を用いた。

2. 解析条件

解析するトンネルの断面として、第二東名高速道路 清水第三トンネルの断面形状を参考にした。なお、土被りはトンネルの高さと同じとした(図1参照)。解析モデルとして、弾性体, Mohr-Coulombの降伏基準に従う弾・完全塑性体, Mohr-Coulombの降伏基準に従う弾・ひずみ軟化塑性体を仮定した。また、地山物性値は日本道路公団のDⅡ区分を参考にして、 $\rho = 2100 \text{ kg/m}^3$, $E = 147 \text{ MPa}$, $\nu = 0.35$ と仮定した。また C , ϕ については、弾性体, 弾・完全塑性体は $C = 0.098 \text{ MPa}$, $\phi = 30^\circ$ とし、弾・ひずみ軟化塑性体は図2に示す値を使用する。ケーブルボルトは約2mピッチでトンネル坑壁面に垂直になるように長さ10mのケーブルボルトをトンネル上半片側に7本挿入する(図3参照)。ケーブルボルトの物性値は表1に示す値を使用する。

3. 解析結果

まず、弾性体, 弾・完全塑性体, 弾・ひずみ軟化塑性体のトンネルを素掘で解析した。図4はその際の最大せん断ひずみ分布である。最大せん断ひずみの間隔は0.25%である。図4を見ると、(b)の弾・完全塑性体は(a)の弾性体のトンネルに比べ、トンネル壁面肩部から地表面に向かって最大せん断ひずみの集中が表れた。また、(c)の弾・ひずみ軟化塑性体のトンネルは最大せん断ひずみの集中がトンネル壁面肩部から地表面まで達している。これは、弾・ひずみ軟化塑性

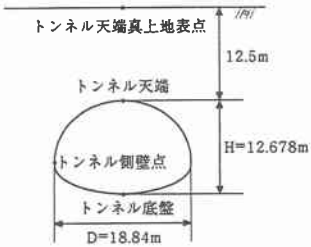


図1 トンネル断面のモデル

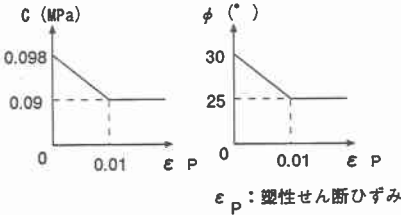


図2 粘着力と内部摩擦角

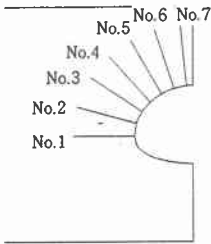


図3 ケーブルボルトの位置

表1 cable物性値

ケーブル弾性係数	E (MPa)	2.00E+05
グラウト付着剛性	kbond (MN/m/m)	6.50E+03
グラウト付着強度	sbond (MN/m)	0.3
ケーブル引張降伏	yield (MN)	0.2
P S工断面積 (φ15.2mm)	area (m²)	1.81E-04

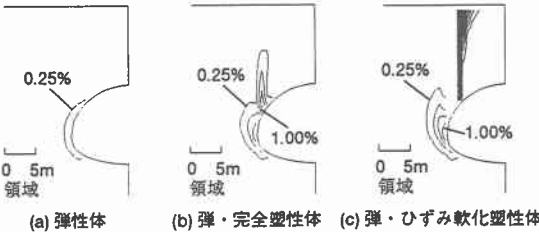


図4 最大せん断ひずみ分布（素掘時）

体のトンネルの上部が崩落するような不安定な挙動を示しているためだと思われる。図5は地山特性曲線である。地山特性曲線として、図1に示すようにトンネル天端真上地表点(下向き正)、トンネル天端(下向き正)、トンネル側壁点(右向き正)、トンネル底盤中央点(上向き正)の4つの点の変位を調べた。素堀の解析結果(図5白ぬき記号)から、図5-(b)の弾・完全塑性体は(a)の弾性体のトンネルに比べ、地山の変位が大きいが変位は収束していることがわかる。それに対し、(c)の弾・ひずみ軟化塑性体のトンネルは、応力解放率90%以降に地山の変位が発散し、トンネル上部の領域が内空へ向かって大きく変位している。

次に、ケーブルボルトをトンネル掘削前に打設した解析結果を示す。図6はその際の最大せん断ひずみ分布である。図6から、弾性体のトンネルについてはあまり違いが見られなかったものの、弾・完全塑性体のトンネルは、ケーブルボルトを打設することによって、素堀時にトンネル壁面肩部から地表面に向かって表れた最大せん断ひずみの集中がなくなっていることがわかる。弾・ひずみ軟化塑性体のトンネルに対しては、素堀時にトンネル壁面肩部から地表面まで達していた最大せん断ひずみの集中がなくなり、トンネル上部が崩落するような不安定な挙動を抑制している。ケーブルボルトを打設した場合の地山特性曲線(図5黒記号)を見ると、弾性体、弾・完全塑性体ともに地山の変位が抑制されていることがわかる。弾・ひずみ軟化塑性体のトンネルに対しては、素堀で解析を行ったときには変位が発散していたトンネル天端真上地表点とトンネル天端の変位が収束している。

以上の結果より本解析では、ケーブルボルトによってトンネル地山の事前補強効果が得られた。

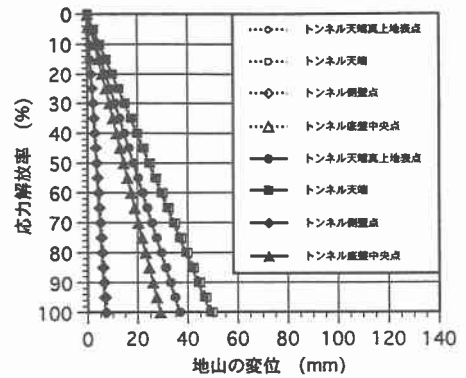
4. 結論

数値シミュレーションの結果から、ケーブルボルトによる地山の事前補強は、脆弱な地山の大断面トンネルにおいても効果が得られる可能性があることが示された。

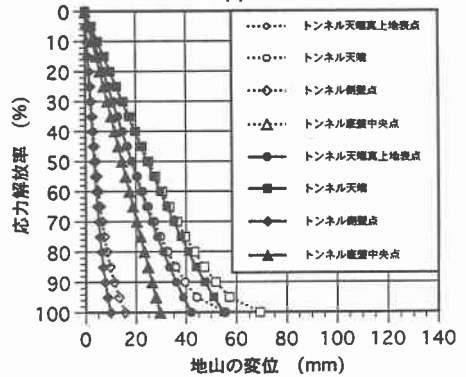
この他にも、ケーブルボルトの打設方向の最適性についての議論も可能である⁵⁾。

参考文献

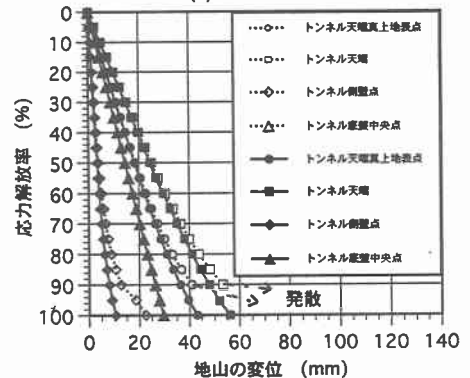
- 1) 坂本健次. トンネルと地下, Vol.27(4), 1996, p.5
- 2) 田中一. トンネルと地下, Vol.28(6), 1997, p.15
- 3) 清水則一 他. トンネルと地下, Vol.28(4), 1997, p.43
- 4) FLAC ver 3.3 マニュアル, ITASCA, 1995
- 5) 中川倫孝. 山口大学卒業論文, 1998



(a) 弾性体



(b) 弾・完全塑性体



(c) 弾・ひずみ軟化塑性体

(白印: ケーブルボルトなし, 黒印: ケーブルボルトあり)

図5 地山特性曲線

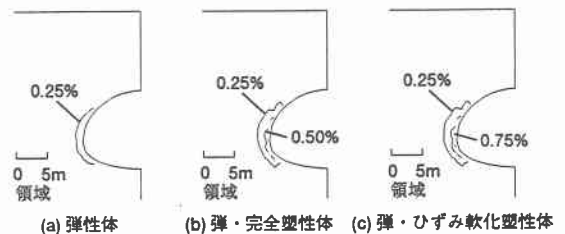


図6 最大せん断ひずみ分布 (ケーブルボルト打設時)