

ロックボルトによって補強された近接トンネルの挙動

九州大学工学部

正 員 江崎哲郎 蔭 宇静

学生員○末松史朗 阿部浩二

住友建設(株)

正 員 大久保達也

1. はじめに

高速道路の建設や地下空間の利用では、複数のトンネルが立体的に錯綜する場合が多くなることが想定され、従来のように単一のトンネルとしてではなく、近接する複数のトンネルの相互影響、ピラー部の安定性、また、打設されるロックボルトの力学的効果を考慮した設計を検討する必要があると考えられる。

本論文では、並行して近接されるトンネルにおいて、ロックボルト打設による近接トンネルの安定性の向上効果を底面摩擦模型実験装置¹⁾を用いて明らかにし、安全で最短な中心間距離及び合理的なロックボルトの設計法を検討する。

2. 模型実験概要

模型材料には、硫酸バリウム、酸化亜鉛、ワセリンを重量比 70:21:9で配合したものを用い、幾何学的スケールを100~150、力学的スケールを2.87としたため、一軸圧縮強度4.54kgf/cm²、ヤング率1485kgf/cm²、粘着力2.73kgf/cm²、内部摩擦角32.8°の原地盤が想定される。また、初期応力の側圧係数は0.5とする。

模型実験では、近接トンネルの掘削手順として、まず、深度50mに位置する直径10mの円形トンネルを掘削し、その横に同じ大きさの新設トンネルを近接して並行に掘削する。

3. ロックボルトのモデル化

ロックボルトに発生する軸力を模型内で忠実に再現するために、ヤング率と引張強度に着目しモデル化を行った。本模型実験の力学的スケールでは、原型のロックボルトを異形鉄筋(ヤング率 2.1×10^5 kgf/cm²、引張強度49kgf/mm²)とすると、直径1mmのアルミ棒(ヤング率 7.0×10^5 kgf/cm²、引張強度20kgf/mm²)が適当なモデルの材質であることが分かる。

アルミ棒は、その表面にエポキシ系接着剤で標準砂を均一に接着し、模型における所定位置に埋設する。

模型実験におけるロックボルトの打設密度は、模型と原地盤の間におけるロックボルトと岩盤との間の付着面積に対する一本のロックボルトの支保面積との比

が同じとなるように決定した。

4. 近接トンネルにおけるロックボルトの補強効果

(1)実験モデルの設定

中心間距離については、1.8Dと1.6D(Dはトンネル直径)を考え、ロックボルトの打設パターンを変化させる。Pattern 1ではトンネル全周に放射方向に沿って長さ4mのロックボルトを等間隔で15本打設する。また、近接した2つのトンネルの間に設けたピラー部において、Pattern 2とPattern 3では、Pattern 1よりロックボルトをそれぞれ25%と50%増加させる。

(2)実験の挙動

Fig.1には、中心間距離が1.8Dのときのトンネルの変形形態と、トンネル周辺に観察された亀裂の進展状況及び推定された塑性領域を示す。Pattern 1では、新旧トンネルの側壁面に円弧状の亀裂が生じ、トンネルの天盤が大きく沈下した。ピラー部では壁面に生じた亀裂が水平方向に進展したため、全体が不安定であった。ピラー部に対するボルトを、Pattern 1より25%増加させた(Pattern 2)場合、亀裂の進展は抑制され、トンネル周辺の地山が安定となった。

Fig.2は中心間距離を1.6Dに接近させた場合の実験結果を示す。1.6Dの場合には、1.8Dの場合にトンネルが安定したPattern 2を用いても、新旧のトンネルともに側壁面に亀裂が生じ、ピラー部には水平方向につながるような亀裂が観察された。一方、ピラー部に対して打設したロックボルトをPattern 1より50%増加させた場合(Pattern 3)には、既設トンネル側壁面に亀裂が生じたものの、新設トンネルやピラー部では生じておらず、トンネル周辺の地山は安定したといえる。

(3)打設パターンと中心間距離との関係

Fig.3は、ロックボルトの打設パターン及び中心間距離による、トンネルの天盤と下盤間の壁面ひずみを、新旧トンネルについて示し、比較のため、既設トンネルのみを掘削した場合と無ロックボルト補強で単一トンネルを掘削した場合の結果を合わせて示す。

既設トンネルのみを掘削した(Single tunnel)場合、

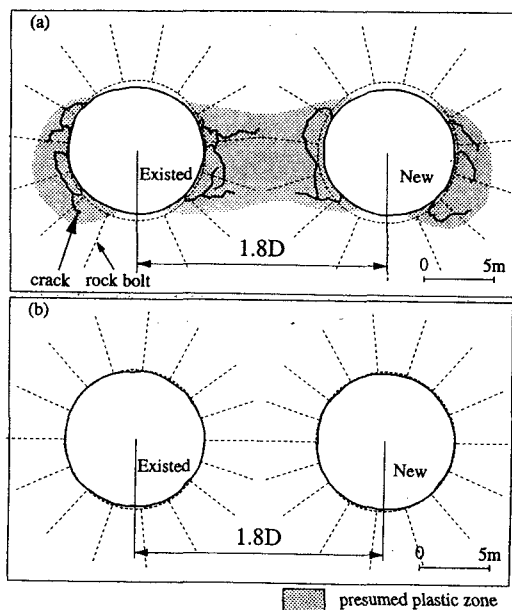


Fig. 1 Propagation of crack and plastic zone, (a) pattern 1 and (b) pattern 2.

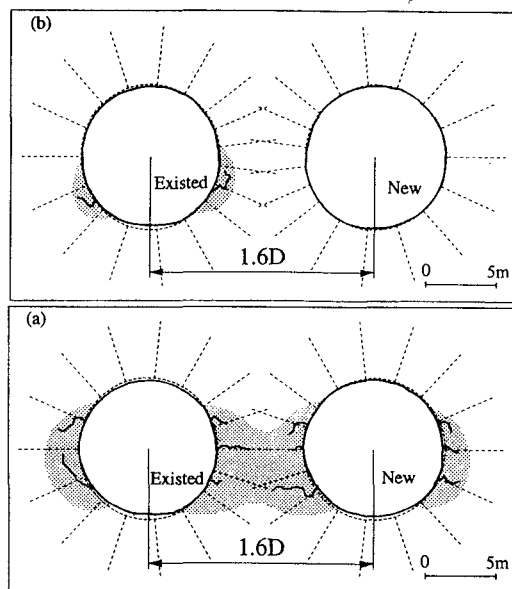


Fig. 2 Propagation of crack and plastic zone, (a) pattern 2 and (b) pattern 3.

壁面ひずみは0.2%程度と小さいのに対して、中心間距離が1.8Dの場合は、ロックボルトの打設パターンにPattern 1を用いても、トンネル壁面に大きなひずみが発生している。しかし、ピラー部に対するロックボルトの打設本数をPattern 2のように増設すると、壁面に生じたひずみが大幅に減少していることが観察された。ロックボルトの打設パターンがPattern 2と同じで、

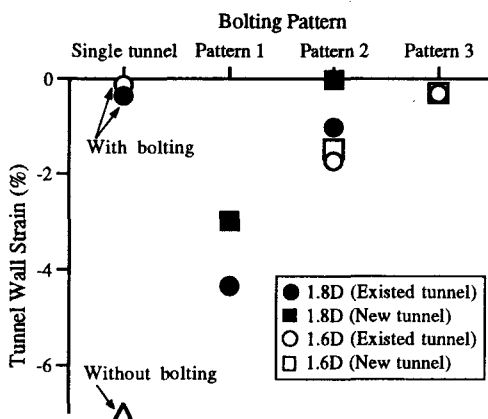


Fig. 3 The effect of rock bolting on tunnel strain (Single tunnel : before excavating new tunnel, pattern 1, 2 and 3 : bolting pattern in the Existed and New tunnel).

中心間距離を1.8Dから1.6Dまでに接近させると、トンネル間の相互影響が大きくなり、壁面ひずみは増加するが、ロックボルトの打設本数をPattern 3のように増設すると、効果的に抑制されることも本実験において明らかになった。

5. おわりに

本研究は、トンネルの近接施工におけるロックボルトの補強効果について、実験的な検討を行った。近接トンネル施工でのロックボルトの合理的な打設パターンについては、単一トンネル場合の設計はそのまま適用できず、新旧トンネルの安定性を新たに評価した上で設計する必要があることが分かる。ピラー部におけるロックボルトの補強効果は、中心間距離によって大きく異なるが、その打設パターンを適切に設計することで、中心間距離の接近が可能である。本実験条件下では、1.6D程度までに縮めることができた。今後は、数値解析等を行い、ロックボルト支保の設計法を提案していく予定である。

なお、本研究は、九州大学及び住友建設(株)技術研究所の共同研究Aによるものであることを付記しておく。

参考文献

- 1) 江崎他：大深度地下利用のための定量的模型実験装置の開発，第22回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.186-190，1990。
- 2) 江崎他：近接トンネルにおけるロックボルトの補強効果に関する研究，第26回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.356-360，1995。