

近接トンネルの安定性の評価と設計に関する研究

九州大学工学部

正員 江崎哲郎 蔣 宇静

学生員 藤田亮一 ○阿部浩二

住友建設(株)

正員 森 信介

西日本技術開発(株)

正員 森 二郎

1. はじめに

最近のトンネル工事の課題の一つとして、近設施工による既設構造物への影響評価とその設計法が挙げられる。トンネル周辺の用地取得の点からは、できるだけトンネルを近接させて設けることが有利であるが、安全な接近距離やピラー部の支保設計はまだ十分に解明されていない。本研究では、近接施工におけるトンネルの安定性を調べるために、底面摩擦模型実験装置¹⁾を用いて、トンネルの中心間距離による新旧トンネルの相互の影響度合いの変化、またピラー部にロックボルトを打設することにより、近接トンネルの安定性の向上効果を実験的に明らかにすることを目的とする。

2. 実験概要

実験に用いた模型材料は、硫酸バリウム、酸化亜鉛、ワセリンを重量比で 70:21:9 の割合で配合したものを使用した。単位体積重量が $19\text{N}/\text{cm}^3$ 、一軸圧縮強度が 0.15MPa 、ヤング率が 50MPa 、粘着力が 0.92MPa 、内部摩擦角が 32° である。応力スケールを 3.5 としたため、一軸圧縮強度が 0.52MPa 、ヤング率が 175MPa である軟弱地山を想定している。トンネルの断面形状は直径(D) 10m の円形で深さは 50m とする。新設トンネル(Tunnel 2)は、既設トンネル(Tunnel 1)に平行して同じ大きさで掘削される。2つのトンネルの中心間距離を $1.6D$ (Case 1)、 $1.8D$ (Case 2)、 $2.0D$ (Case 3) とし、中心間距離による相互の影響度合いを調べた。

また、ロックボルトのモデル化は、ヤング率、軸力、岩盤との接着性に着目し検討した。原型で D32 の異径鉄筋(ヤング率 $2.1 \times 10^4 \text{MPa}$ 、引張耐力 0.28MN) の全面接着型と想定すると、本実験条件では、市販のアルミ箔(箔厚 15μ 、ヤング率 $7.0 \times 10^4 \text{MPa}$ 、引張強度 54.8MPa 、幅 5mm) が最適なモデルであることが分かった。これを、ビットのりでピラー部の模型表面に貼付した。

3. 実験結果と考察

(1) 無補強の場合

Fig.1は、それぞれ Case 1, Case 2 および Case 3 において Tunnel 1 に近接して Tunnel 2 を掘削した場合の周辺地山の破壊状況である。いずれも、Tunnel 1 のみを掘削した場合には、トンネルの天盤が沈下したため、トンネルの断面形状が楕円形となった。トンネ

ルの両側壁面には、円弧状のき裂が生じた。

その次に Tunnel 2 を掘削する場合、トンネルの中心間距離によって相互の影響度合いが相当に変わることがこの図より分かる。Case 1 では、Tunnel 1 の両側面の破壊はさらに進み、それに伴い Tunnel 2 にも同様のき裂が生じ、ピラー部は完全に破壊してしまったため

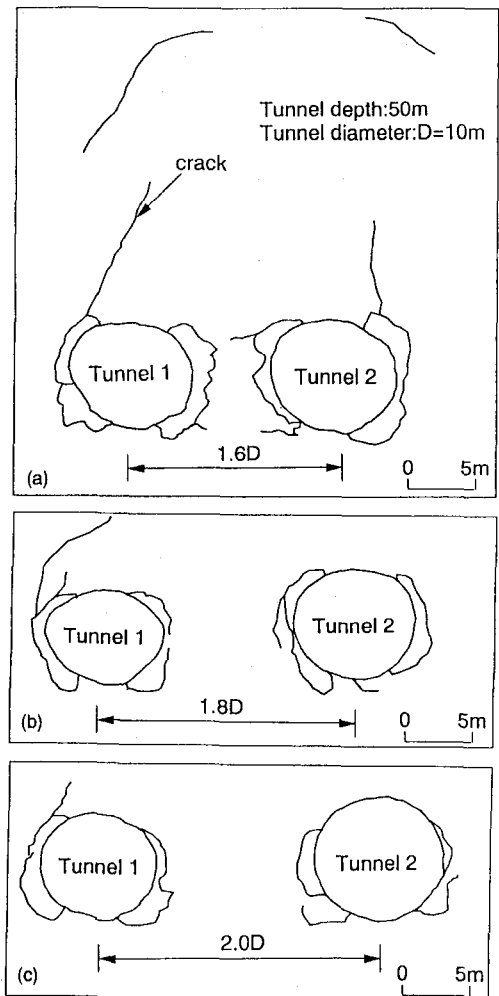


Fig.1 Propagation of crack, without bolting and the distance between double tunnel centers is (a) $1.6D$ (b) $1.8D$ (c) $2.0D$, respectively.

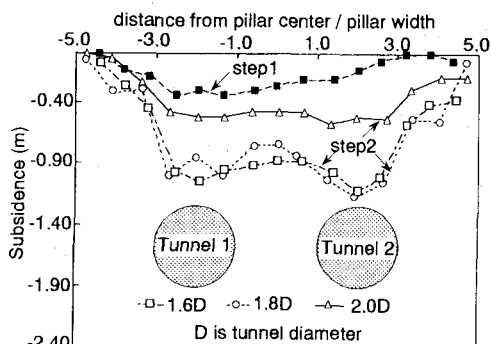


Fig.2 Subsidence of immediate roof level without bolting (step1: before excavating Tunnel 2, step2: after excavating Tunnel 2).

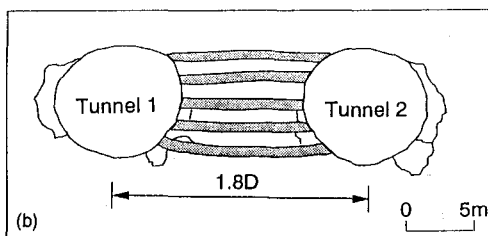
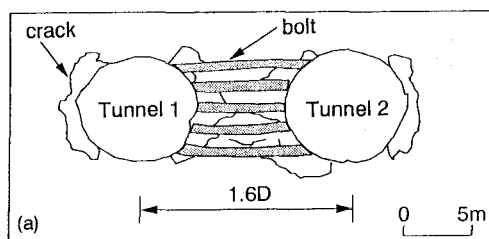


Fig.3 Propagation of crack, with bolting and the distance between double tunnel centers is (a) 1.6D (b) 1.8D

天盤からトンネル直径の2倍程度の高さまでにき裂が発生し、トンネルの側壁に向かう大きなアーチ状のき裂が観察された。Case 2の場合、Case 1と同様にトンネルの両側面の破壊と天盤部の沈下が見られたが、2つのトンネル上方のアーチ状のき裂は見られなかった。Case 3の場合、相互の影響がほとんどなくなるため、ピラー部のき裂の発生が見られず安定であった。

Fig. 2 は、Tunnel 2の掘削によるトンネル直上方の天盤の沈下曲線を示す。比較のために、Tunnel 1のみ掘削した場合も同図に示す。Case 3の場合、ピラー部が安定のため沈下が小さい。これに対しCase 1, Case 2の場合、ピラー部の破壊により2つのトンネルがつながったような大きな沈下が見られる。以上より、中心間距離が1.8Dより小さければ、トンネルが相互に影響してピラー部が破壊し不安定となることがわかる。

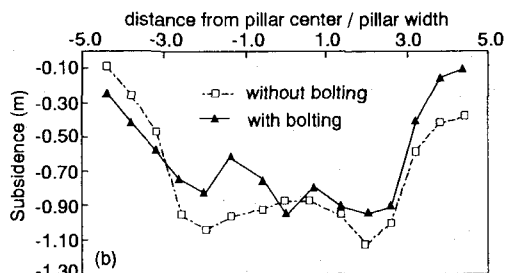
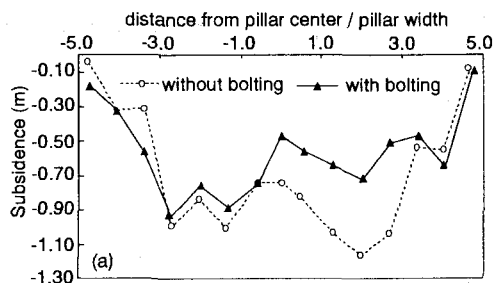


Fig.4 Subsidence of immediate roof level according to two cases. (a) 1.6D (b) 1.8D (D is tunnel diameter).

(2) ピラー部にロックボルトを打設した場合

Fig. 3はCase 1, Case 2において、ピラー部に等間隔に5本のボルトを打設した場合の状況を示す。いずれもピラー部側面の破壊やトンネル内への押し出しはロックボルトに抑制されている。前者には、無補強状態のトンネル上方のアーチ状のき裂は生じなくなったがピラー部にはき裂が見られる。それに対し後者では、ピラー部はき裂が見られず、安定となっている。

また Fig. 4は、それらの場合に対するトンネル直上方の天盤の沈下曲線を示す。どちらのケースともボルトの打設による沈下量の抑制効果が見られるが、ピラー部に関して、中心間距離が1.6Dよりも1.8Dの方が効果は大であることがわかる。

これで、ボルト打設により中心間距離を1.8Dにまで接近させることが可能であると考えられる。

4. おわりに

本研究では、近接トンネルの中心間距離による相互の影響度合い、またピラー部にロックボルトを打設することにより、近接トンネルの安定性の向上効果を実験的に明らかにした。今後は、ロックボルトとライニングを組み合わせた支保を想定し、支保効果のメカニズムの解明と、最適な支保の設計を検討していく。

参考文献

- 1) 江崎哲郎他：第25回岩盤力学シンポジウム講演集，pp. 372-375, 1993.