

根入りを考慮した垂直縫地ボルトの補強効果

首都大学東京 会員 ○土門 剛
 (株)ゼファー 高橋 能久
 首都大学東京 会員 西村 和夫

1. 研究の目的

土被りの少ないトンネル坑口部や低土被り部では、トンネル施工時におけるグラウンドアーチが形成され難い。そのため、トンネル掘削に伴う応力解放により、トンネル周辺部は不安定化しやすく、切羽崩壊や地表面沈下などを生じやすい。これらの問題に対処する補助工法の1つとして、垂直縫地ボルト工法が挙げられる。

本工法は、トンネル掘削に先立ちトンネル周辺部に地表面から削孔して鉄筋等のボルト材を垂直に設置し、地山に定着させて周辺地山の安定化を図る工法である。垂直縫地ボルトは、掘削に先立って地上から施工できることから、トンネル掘削サイクルに与える影響が少ないという利点を有する。一方、多くの現場での施工実績はあるが、その効果は定性的な把握にとどまっており、定量的な設計手法が存在しない。本報告は、垂直縫地ボルトの作用効果を解明し、定量的な評価を行った上で、簡便な設計モデルを構築することを目的とする一連の研究の一部である。

2. 実験方法

2.1. 実験材料

地山材料:長さ100mm、直径1.6mmおよび3.0mmのアルミ棒を重量混合比3:2で混合したものを使用した。この材料は、内部摩擦角約 30° 、粘着力は 0kN/m^2 である。

垂直縫地ボルトモデル:垂直縫地ボルトには軸力が卓越していることが実計測から明らかになっているため、モデルにおいても軸力卓越の部材となるよう、直径4.0mm、長さ100mmの黄銅管に連結した直径3.2mmのスチール製ボールチェーンを2本並列させたものを使用した(図1)。

2.2. 実験装置(写真1)

実験槽:実験槽は幅740mmの鋼製矩形フレームを使用した。この槽に、トンネル模型天端部から1D(D:トンネル幅)まで地山材料を積み上げた。

トンネル模型:幅100mmの亚克力製トンネル模型を使用した。トンネル模型上半には、厚さ $0.2\text{mm} \times 5$ 枚、 $0.3\text{mm} \times 17$ 枚のテフロンシート巻きつけ、最外部から1枚ずつシートを引き抜くことで地山に内空変位を与えた。

計測項目と計測装置:テフロンシートを1枚引き抜く毎(引き抜かれたシートの厚さが内空変位に相当する)のトンネル模型に作用する荷重をロードセルで、地山内変位、地表面沈下量を高解像度カメラで読み取った。

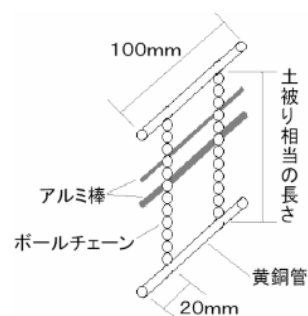


図1 ボルトモデル図

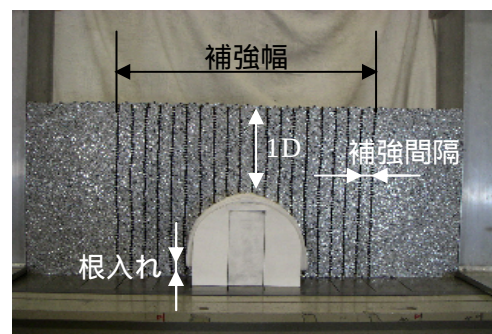


写真1 実験装置写真

表1 実験ケース

ケース名	補強	補強幅	補強間隔
A	無	—	—
B	根入れ有	1.7D	10mm
C	根入れ無	1.9D	10mm
D	根入れ有	1.9D	10mm

キーワード 垂直縫地工法 補強材 根入れ効果 地表面沈下

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 都市環境学部 都市基盤環境コース TEL 0426-77-1111(4578)

2.3. 実験ケース

ここでは代表的なケースのみ示す(表1)。

根入れについては,根入れ有をトンネル下方地山までボルトモデルを埋設したものとし,根入れ無をトンネル側部まで埋設したものとした。

3. 実験結果

図2は,横軸に内空変位をトンネル幅で除した基準化内空変位を,縦軸に各内空変位におけるトンネル作用荷重を初期荷重で除したものを示している。

トンネル模型に作用する荷重は,無補強ケースAでは基準化内空変位0.02まで荷重が減少し,その後元の荷重値に近づく一般的な粒状体地山の挙動を示している。補強有りのケースB, C, Dでは,荷重値が0へ収束する連続体に近い挙動を示した。ケースBとケースCはほぼ同じ挙動をしており,根入れを深くすることによりその分補強幅を狭められる可能性があることを示している。

図3は最大内空変位時の地表面沈下量を示している。本図によると,無補強ケースAは字型の沈下形状となりトンネル模型直上で急勾配を示した。また補強有りケースB, C, Dでは,最大沈下量が緩和され,補強幅を広げることでトンネル上部地山の沈下を周辺地山によって負担させ,沈下範囲が広がり沈下形状がなだらかな形に変化している。これは補強によって地山を一体化させることで,連続体の挙動に近づいていることを再度示している。

図4は,画像解析結果による最大内空変位時の最大せん断ひずみ分布を示している。図中縦2本の黒線は補強範囲を示す。ケースAではせん断ひずみがトンネル側部付近から地表面に向かって広がっている。一方補強を行ったケースC, Dではせん断ひずみの分布範囲を水平方向へ広げることで,ひずみ量を緩和している。また,根入れにより分布範囲およびひずみ量ともに他に比してさらに緩和されている。これは根入れにより軸力が増加し,トンネル側方土圧を緩和したためと考えられる。

4. 結論

今回の実験で以下のことがわかった。

- ・ 補強を行うことで地山を一体化させ,地山を連続体的な挙動に近づけることができる。
- ・ 補強により最大地表面沈下量が緩和され,また補強幅を広げることで沈下範囲を広げることができる。
- ・ トンネルに内空変位を与えたとき,補強効果によって広範な領域に荷重を分散させ地山内の応力集中を緩和させる。
- ・ 根入れを行うことでトンネル下方地山から支持力を得て,地山内の局所的なせん断ひずみを緩和する効果がある。

これらの結果をもとに二次元状態での簡便モデルを構築することで,垂直縫地ボルトの合理的設計法の構築を目指す。

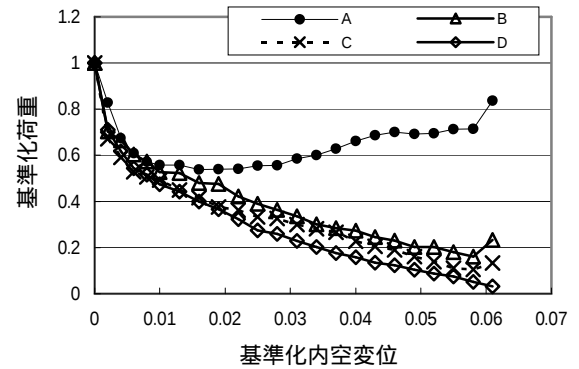


図2 基準化トンネル作用荷重

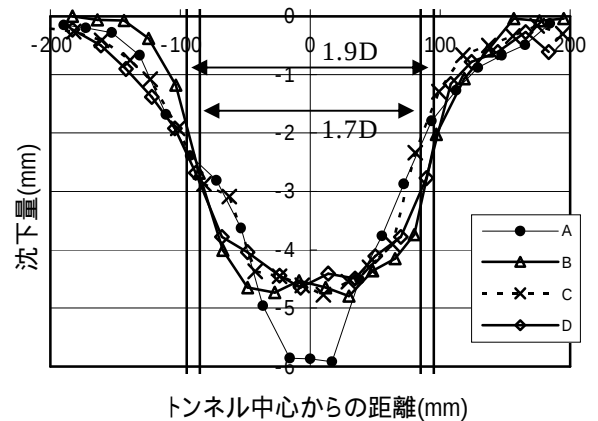


図3 最終地表面沈下量

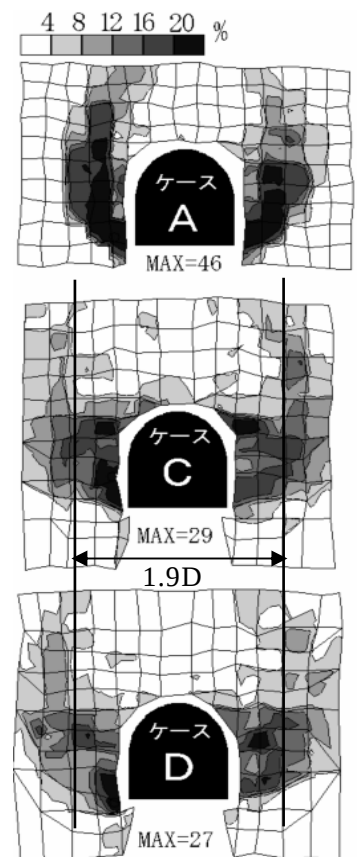


図4 最終せん断ひずみ図