

垂直縫地ボルトの補強効果

首都大学東京 学生会員 ○高橋 能久
 首都大学東京 正会員 西村 和夫
 首都大学東京 正会員 土門 剛

1. 目的

トンネル坑口部は、山岳トンネルを掘る際に最も崩れやすい部分である。その理由として、土被りが小さいためにアーチ作用が期待できず地山の安定を得難いこと、地質的弱部の存在が多いため、掘削で応力解放が生じると崩壊しやすくなることなどが挙げられる。垂直縫地ボルト工法は、坑口部の悪条件を改善し、諸問題を未然に防止するための対策補助工法の一つとして用いられている。

本工法は、トンネル掘削に先立ち地表より孔径 100mm 程度のボーリングを千鳥格子状に行い（図 1.1）、D32mm 程度の鉄筋を建て込み、モルタルを充填して地山に定着させるもので、掘削により影響を受ける周辺地山を事前に補強することが可能である。本工法はトンネルに作用する土圧の軽減、地表面沈下の抑制などに効果があることが経験的にわかっている。

本研究では表 1.1 に示すように、補強間隔の大小および根入れ部補強の有無をパラメータに、それらの作用効果を確認する。なお表中の W はトンネル幅(150mm)を表す。

表 1.1 実験ケース

	ケース 1	ケース 2	ケース 3
補強	無	有	有
補強幅		2.4W	2.4W
補強間隔		15mm	30mm
根入補強		有	有

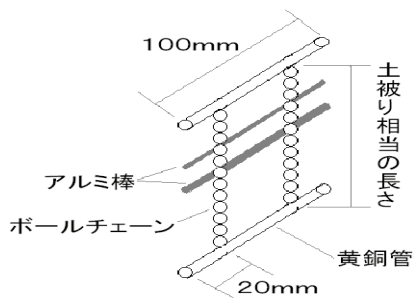


図 2.1 ボルトモデル

2. 実験方法

2.1 使用材料

長さ 100mm で、直径 1.6mm、3.0mm のアルミ棒を所定の配合比で混合して地山材料とし、ボルトモデル(図 2.1)は直径 3.2mm の球を連結したステンレス製ボールチェーン 2 本に、長さ 100mm の黄銅管を連結した二次元モデルとする。トンネル模型は上半部が半円、下半部が矩形の幅 150mm、高さ 100mm のアクリル製のものとし、トンネル模型に厚さ 0.2mm×6 枚、0.3mm×29 枚、計 35 枚のテフロンシートを巻きつける。

2.2 実験装置（写真 2.1）

幅 750mm の実験槽の中心にトンネル模型を設置し、模型頂部から 150mm の高さまでアルミ棒を

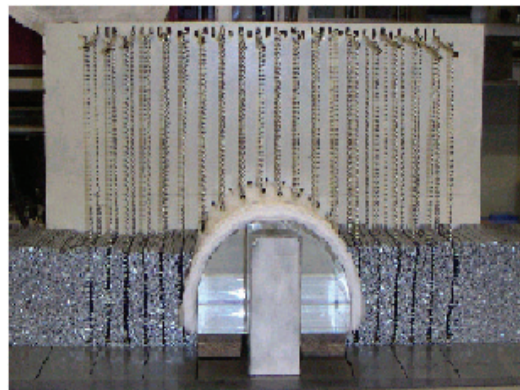


写真 2.1 実験装置

キーワード 垂直縫地ボルト, 根入れ長, 補強幅, 補強密度, 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 都市基盤環境コース TEL 0426-77-1111 (4581)

積み上げる。垂直縫地ボルト補強実験をするケース 2 および 3 では地山内にボルトモデルを埋設する。

2.3 実験手順

トンネル模型に巻きつけたテフロンシートを外側から一枚ずつ引き抜くことによりトンネル外周全体に内空変位を与える。その際、引き抜くごとにトンネル模型と地山底部に作用する荷重を、また地山に設置した評点を画像処理で追尾することにより地表面沈下量および地山内変位を計測する。

3. 実験結果

3.1 トンネル作用荷重（図 3.1）

横軸にテフロンシートを引き抜くごとに与えられる内空変位をトンネル模型の直径で除したものを、縦軸に荷重を初期荷重で除したものと取る。ケース 1 と比較してケース 2 および 3 のトンネル作用荷重が減少していることがわかる。これは補強材による吊り下げ効果が地山内に発揮されたためと考えられる。ケース 1 は横軸 0.025 以降に若干の増加傾向が見られるが、ケース 2 は減少を続けている。これは補強材が地山のゆるみを抑え、ゆるみによる荷重増加を抑制したためと考えられる。一方、ケース 3 は有補強でも増加が見られる。これは補強間隔が広いいため、十分な補強効果が得られなかったものと考えられる。

3.2 最終地表面沈下量（図 3.2）

横軸にトンネル中心からの水平距離を、縦軸にテフロンシートを全て引き抜いた時（内空変位量 9.9mm）の地表面沈下量をとる。-180mm と 180mm のラインは補強範囲を表す。ケース 2 では、トンネル直上の沈下量が減少し、沈下形状は鍋底形を呈している。これは補強材による地山吊り下げ効果に加え、補強範囲内の地山が一体化したことによりトンネル直上の沈下を周囲に伝達したものと考えられる。補強間隔が広いケース 3 は無支保のケース 1 と大差なく、補強による効果が発揮されていないといえる。

3.3 最大せん断ひずみ図（図 3.3）

トンネル模型の正面から高解像度カメラで 40mm ごとに打ち込んだ標点を読み取り、逆解析により最大せん断ひずみを表した。青から赤くなるほどせん断ひずみが大きくなっている。上の図が無補強、下の図が有補強を示す。図から見て分かるようにトンネル下半部までの根入れによって明らかに有補強ではトンネル周辺、特に下半側部のひずみが大幅に軽減されている。

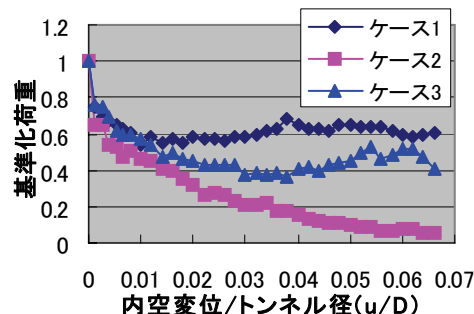


図 3.1 トンネル作用荷重

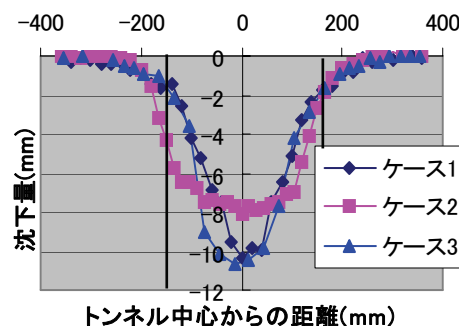


図 3.2 最終地表面沈下

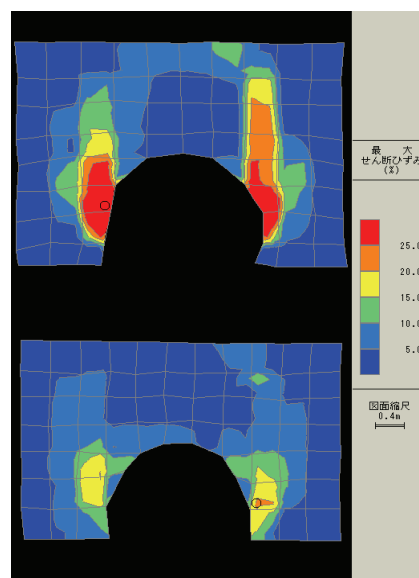


図 3.3 最大せん断ひずみ

4. 結論

今回の実験で垂直縫地ボルトの補強間隔を狭めることによる補強効果の向上、広い補強間隔では効果が小さいことがほぼ確認できた。今後は実験作業を改善することに加えて、根入れ部を補強しないケースの実験を行い、今回のケース 2 および 3 の結果に根入れ補強の効果が表れているのかどうかを確認する。