

Ⅲ-B31 垂直縫地ボルト補強の作用効果に関する研究

東京都立大学 学生員 細井 秀憲

正会員 西村 和夫

正会員 土門 剛

1. はじめに

トンネル坑口部等の比較的土被りが小さい箇所において、トンネル掘削に伴って生じる切羽の崩壊、支保荷重、地表面沈下の増加、および斜面の崩壊といった諸問題に対して用いられる垂直縫地ボルト工法は、施工性、経済性に優れた補助工法である。しかし、この工法の作用機構は未だ説明されておらず、その有効性も現場での経験的なものにすぎない。さらに一般的に用いられている現設計法は、地山の滑りに対する必要抑止力を補強材のせん断抵抗力によって確保するという考え方に従っているが、現場での計測データからは補強材には、曲げモーメントやせん断力よりも軸力の卓越した結果が得られており、従来の設計法の考え方とは異なっていることが予想された。そのため、これまで数年にわたり実験土槽中央に設けた落し戸を降下させて掘削時の地山の緩みを模擬する模型実験を行い、補強効果や作用機構の解明を行ってきたが、この落し戸実験では、実際の掘削時に生じるトンネル側方の緩みを考慮した検討ができなかった。そこで本研究では側方を含めたトンネル周辺全体に内空変位を与えた実験を行い、当工法による補強効果と作用機構の検討を行うことを目的にしている。

2. 実験概要

図-1のような実験土槽内に、長さ 50mm、直径 1.6mm と 3mm の 2 種類のアルミ棒を重量混合比 3:2 で配合した土被り 1D の粒状体地山 ($\gamma = 2.14 \text{ gf/cm}^3$, $c = 0 \text{ gf/cm}^2$, $\phi = 30^\circ$) を作成し、それを軸力モデルとなる補強材 (ボールチェーン) で補強した。実験は、土槽中央に設けたアクリル製のトンネル模型に予め被せておいた、厚さ 0.27mm のシート 30 枚 (計 8mm) を 1 枚ずつ順次引き抜き、トンネル周辺に緩みを与える方法で行う。その際、補強材の補強幅と補強ピッチを実験パラメーターとして、各段階でトンネルに作用する荷重をロードセルで、地表面沈下量をレーザー変位計で計測し、地山の変形状態は正面から撮影した写真で解析する。

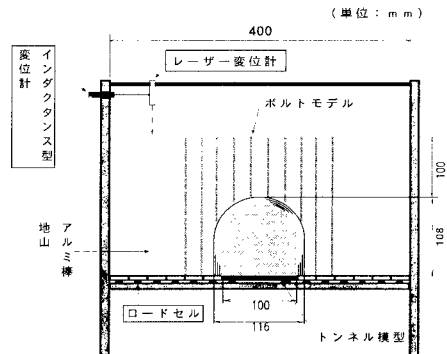


図-1 実験装置

3. 実験結果と考察

1) トンネル荷重 (図-2)

荷重は初期値で正規化している。トンネルに作用する荷重は、トンネル直上で鉛直方向にのみ内空変位を与えた無補強のケース (無補強 (鉛直)) と、トンネル周辺全体に内空変位を与えた無補強のケース (無補強) から、地山内の緩み領域がトンネル側方にまで広がったことによって、荷重の最低値が 7 倍に増加している。また、トン

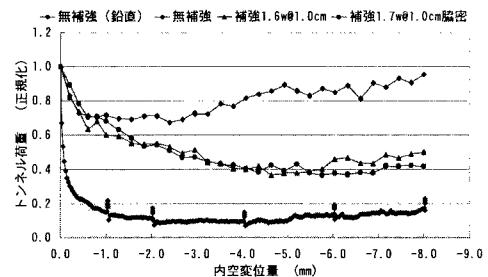


図-2 トンネル荷重

キーワード：垂直縫地ボルト、模型実験、地山内せん断ひずみ

連絡先：〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 Tel : 0426-77-1111 Fax : 0426-77-2772

ネル径の 1.6 倍の補強幅でトンネル直上、サイド共に均一に 1.0cm ピッチで補強したケース（補強 1.6w@1.0cm）とトンネル直上の補強ピッチを 1.0cm、サイドを 0.8cm で補強した補強形式の異なるケース（補強 1.7w@1.0cm 脇密）の両ケースでは、トンネル直上の補強ピッチが同じであるためか、違いは表れなかった。しかし、トンネル周辺全体を緩ませた無補強のケースと、補強をしたケースとを比較すると、内空変位の進行に伴う荷重の増加を抑制するというこれまでの実験と同様な補強の有効性が認められる。

2) 地表面沈下（図-3）

地山内の緩み領域拡大により沈下幅、沈下量共に増加している。補強による沈下の際だった抑制効果は認められないが、補強幅 1.6w の補強では補強範囲の外側境界で急激な沈下が発生しているのに対し、補強幅が 1.7w の補強ではそれが見られない。これはトンネル周辺での地山の緩みによって地表付近の地山が補強材に引き込まれ、補強材の有る所と無い所の境で急激な沈下が発生するためである。そのため地表面沈下を抑制するには、均一なピッチで十分な補強幅にする必要があるが、幅をあまり広げない代わりにトンネル両側のピッチを密にする方法も有効と考えられる。

3) 地山内せん断ひずみ分布（図-4）

地山内部のせん断ひずみは、トンネル両下端より斜め上に向かって発生している。特に無補強のケースでは局所的なせん断ひずみの発生が明確に表れ、トンネル天端部は剛体的に沈下していることが分かる。これに対しトンネル両サイドの補強を密にしたケースでは、この局所的なせん断ひずみが、周辺の地山に分散されて緩和しており、連続体の挙動に近いものとなっている。トンネル坑口部において地山の緩みに伴う局所的なせん断面の存在は、支保荷重、地表面沈下の増加、斜面崩壊の原因にもつながる恐れがあるため、縫地ボルト補強のこの作用効果は重要なものと思われる。

4. まとめ

今回の実験はこれまで行ってきた実験に比べ、基本的な作用効果は同じであるが、地山内の緩み領域が広がったためトンネル荷重、地表面沈下共に増加する結果となった。そのため今後は、実験土槽の大きさと、写真解析の範囲を広げ、より詳細な実験を行う必要がある。

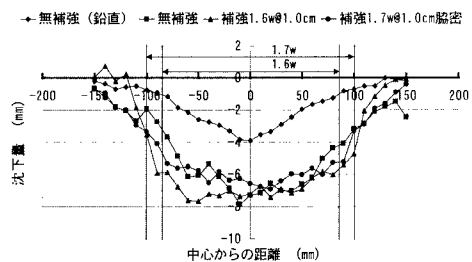


図-3 地表面沈下グラフ

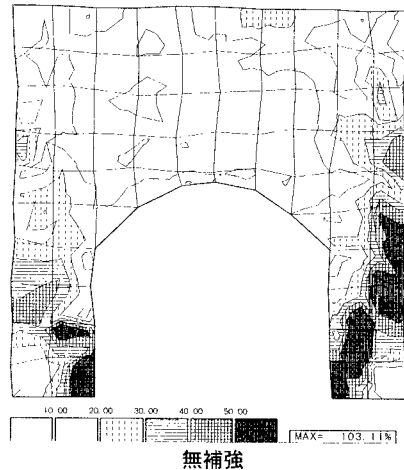


図-4. 1 地山内せん断ひずみ分布

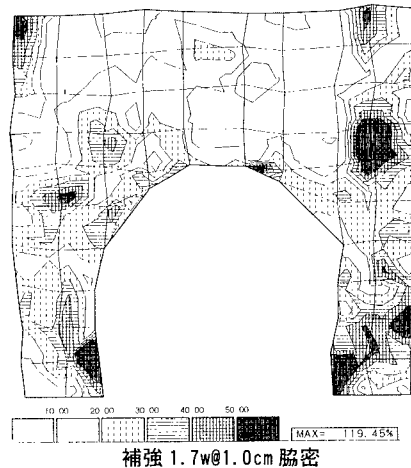


図-4. 2 地山内せん断ひずみ分布