

VI-142

垂直縫地ボルトの作用効果に関する研究

東京都立大学 (学) 西岡和也 (正) 西村和夫 (正) 土門剛
日本道路公団試験研究所 中田雅博

1 はじめに

垂直縫地補強工法は、トンネル坑口部や土被りの小さい箇所では採用される補助工法の1つであり、斜面や切羽の安定、地表沈下の抑制、トンネル土圧の低減等の効果があることがわかっている。しかしその設計手法は未だ確立されておらず、設計の根拠が曖昧なのが現状である。現場の計測データからは、ボルトの軸力の推移が卓越しており従来の設計の考え方とは異なることが予想された。これまでこの軸力に着目した模型実験により補強効果や作用機構の検討を行ってきたが、今回は二次元落し戸実験装置を用いて実験の基準値となる平板落し戸実験に続いて新たに半円形落し戸実験を行い、主としてトンネル形状の違いによる補強効果の把握を実験と地山内部の変形の写真解析から検討する。以下実験の結果を主にここに報告する。

2 実験概要

地山材料として長さ5cm、直径1.6mmと3mmのアルミ棒を重量比3:2の割合で混合した粒状体地山(単位体積重量 $=2.14\text{gf}/\text{cm}^3$ 粘着力 $=0\text{kgf}/\text{cm}^2$ 内部摩擦角 $=30^\circ$)を用い、落し戸を降下させることでトンネルの掘削を模擬する。縫地モデルとして主として引張り力を受けもたせるために、直径3mmの球を繋いだボールチェーンを頭部で2本連結したものをを用いた。実験パラメーターとして、補強材無しのケースと、トンネル幅 $W(=10\text{cm})$ を基準に、補強幅を1W、2W、3W、補強ピッチを1cm($W \times 1/10$ 間隔)、2cm($W \times 2/10$)、落し戸形状を平板、半円形(直径 $10\text{cm}=D$ 、高さ $5\text{cm}=1/2 D$)とし、計14ケースについて実験を行った。計測は、落し戸荷重を装置底部に配置したロードセルで、地表沈下を上部よりレーザー変位計で測定し、正面から地山の变形を写真に撮り、解析を行う。なお、土被りを1Dとして固定し、降下速は $2\text{mm}/\text{min}$ 、実験結果と解析結果を比較しやすくするために落し戸を断続的に止め、計測と写真撮影を同時に行った(図-1)。

3 実験の結果と考察

図-2に落し戸降下に伴う落し戸荷重の最小値を示す。なお、落し戸荷重は初期荷重で正規化してある。この図から、落し戸形状が円形であることの形状効果のみで最小荷重はおおよそ40%以下に減少する。また、補強効果の現れ方は落し戸形状によって異なる事もわかる。平板の場合2cmピッチでは補強幅を上げる

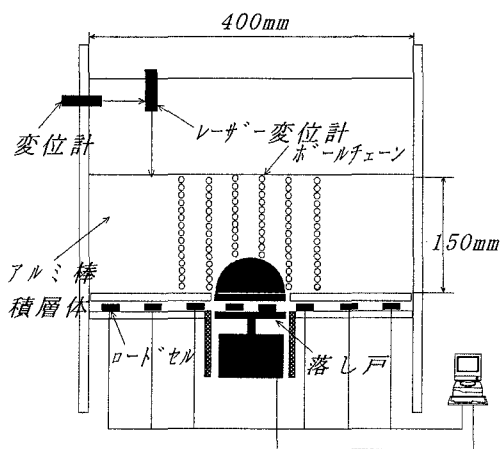


図-1 実験装置模式図

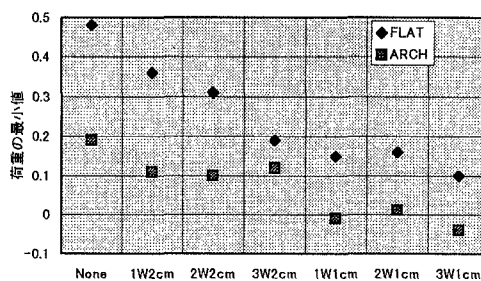


図-2 落し戸荷重の最小値

キーワード: 垂直縫地ボルト工、2次元実験、低土被り、坑口部、補助工法

連絡先 : 192-03 東京都立大学大学院工学研究科 (代)0426-77-1111 (内)4566, 4567

につれ無補強時の70%～40%弱に減少する。1cmピッチでは補強幅を拡げても大きな変化は無い。半円形の場合は2cmピッチでは無補強時の約50%に、1cmではほとんど荷重がかからず自立に近い状態となる。

図-3に、落し戸にかかる荷重の低減過程を示す。無補強時の最小荷重後の荷重増加は、半円形落し戸に比較して平板落し戸で顕著である。補強ピッチが密な方が荷重が減少し、補強幅は荷重低減に効果が無くピッチの効果と判断できる。

図-4, 5に固定床上の荷重分布を示す。落し戸形状にかかわらず補強ピッチが密な方が周辺部への荷重伝達範囲が大きいが、形状効果により半円形落し戸では、より滑らかな荷重分布傾向が現れる。補強範囲を拡げても平板ではその効果は少ないが、半円形では分散効果が見られる。

地表面沈下量については、半円形落し戸では形状効果により沈下量が少なくなり、平板ほど顕著ではないが、1cmピッチでは沈下量、沈下勾配ともに緩和されるが、2cmピッチでは沈下量が無補強時よりも増加し、勾配も緩和されない。

以上をまとめると、補強ピッチを狭くすることにより、最小荷重、その後の荷重増加、周辺部への荷重分散に効果があり、落し戸直上の地表面沈下量を減少させるが沈下範囲は増加する。結果としてせん断変形の緩和に効果がある。しかし不十分なピッチでは、地表面沈下量は増加する。補強ピッチが十分であれば補強幅を拡げることは、落し戸にかかる荷重に影響を及ぼさないが、周辺部への荷重分散効果が大きくなり、極端な応力集中を緩和し、地表面沈下の領域は広がるが沈下量は緩和され、結果としてせん断歪が緩和される。トンネル形状を平板から半円形に変えることによる形状効果により、周辺部に、幅の広い地山内アーチが生じ、極端な応力集中とせん断歪の発生を避け、円滑に荷重を周辺部に伝達すると考えられる。このため、補強の幅やピッチを変えることの効果は絶対値でみれば平板落し戸ほど生じない。補強効果は、形状、補強幅、補強ピッチが相加的に作用するのではなく、補完的に作用していると考えるのが妥当と考えられる。

4 おわりに

補強ピッチは地表沈下量の抑制と落し戸にかかる荷重の低減に、補強範囲は地表沈下の抑制に効果があることが確認できた。落し戸を止めることにより荷重が直に立ち上がっているのは、半円形で顕著であるが、粘着力は無いので時間依存性があるとは考えにくく原因を確認する必要がある。今後は、より実状に近い落し戸の設置を行い、ボルトの長さに変化をつけたり設置間隔に変化をつけたいと考えている。また、現在実施中の逆解析や個別要素法と関連づけて補強メカニズムを解明し、設計手法に反映するよう考えている。なお、解析結果については発表の際に補足する。

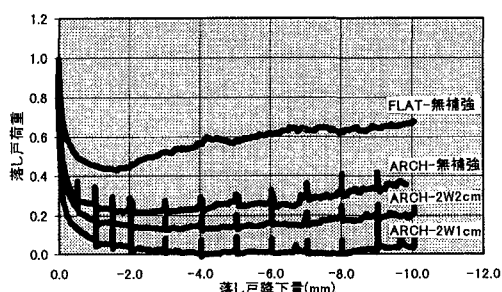


図-3 荷重—変位曲線

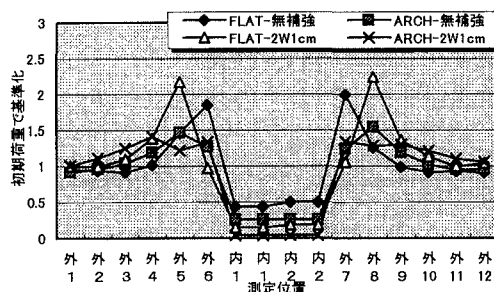


図-4 荷重分布図(形状)

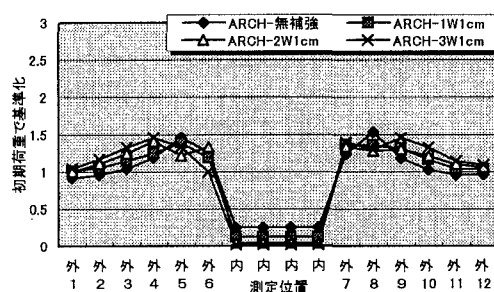


図-5 荷重分布図(範囲)