

トンネル下まで根入れした垂直縫地ボルトの補強効果

東京都立大学 正会員 高橋能久

東京都立大学大学院 正会員 土門 剛・西村和夫

日本道路公団試験研究所 正会員 城間博通

1. 目的

坑口部は、土被りが小さくアーチ効果による安定を十分に得られないこと、また、地山が未固結であったり、偏圧を受けていることも多いことから、トンネル掘削による応力解放によって崩壊しやすい箇所である。そのため、トンネル坑口部では様々な補助工法が用いられるが、本研究が対象とする垂直縫地ボルト工法もその補助工法の一つである。

本工法は地表面から垂直に削孔をおこない、その孔に32mm程度の鉄筋を挿入し、その後モルタルなどを注入し、図1.1、1.2のように多数のモルタル鉄筋柱を千鳥格子状に坑口部に配置する。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。

本研究室はJH試験研究所と共同で十数年にわたり本工法の力学的作用効果の解明、設計手法の確立を目的とし室内模型実験を実施してきた。それにより、基本的な作用効果を確認することができた。本研究では解明すべきテーマとして、トンネル脇の補強、特にトンネルより下まで脇の補強(根入れ)をしたときの補強効果を確認することを目的とする。

2. 実験方法

2.1 使用材料および実験装置

地山材料は長さ100mmで直径1.6mm、3.0mmの二種のアルミ棒を所定の配合比で混合したものとし、ボルトモデルは直径3.2mmのボールチェーン(図2.1)とした。トンネル模型は上半部が半円で、下半部が矩形の幅150mm、高さ100mmの亚克力製とした。トンネル模型の周辺には厚さ0.2mm×6枚、0.3mm×29枚の計35枚のテフロン製のシートを巻きつけ、これを実験槽底板(幅680mm)の中心に置き、トンネル模型の頂部から150mm(1D)まで地山材料を積み上げる。垂直縫地ボルト補強実験をする際には地山内にボルトモデルを埋設する(写真2.1)。なお、今回の補強間隔は15mmとした。

2.2 実験手順

トンネル模型周辺のテフロンシートを外側から一枚ずつ引き抜いていくことにより内空変位を与える。一枚抜くごとに、トンネル模型と地山モデルの底板に作用する荷重を、画像処理により地表面沈下量などを計測する。

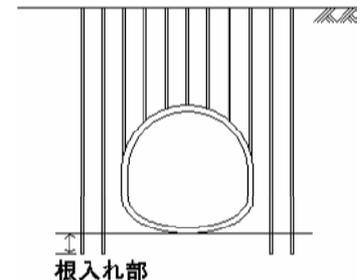


図1.1 垂直縫地ボルト平面図

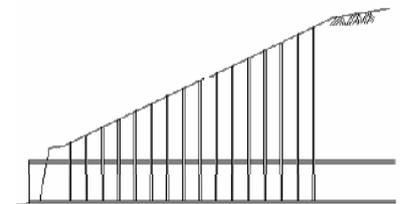


図1.2 垂直縫地ボルト縦断面図

断面A-A'

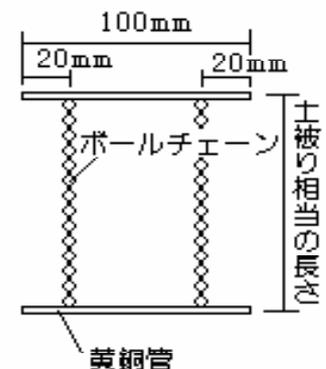


図2.1 垂直縫地ボルトモデル図

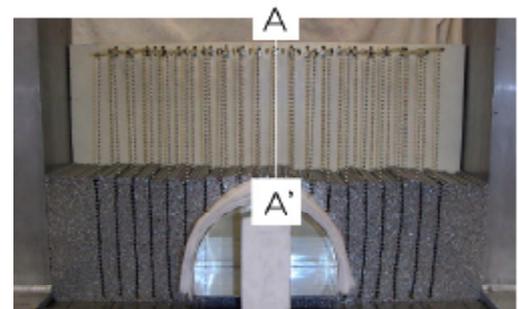


写真2.1 実験装置

キーワード 垂直縫地ボルト, 補強幅, 補強密度, 地表面沈下, 作用荷重

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 東京都立大学 TEL: 0426-77-1111

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ことによって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とり、縦軸に荷重を初期荷重で除したものをとった。全体的に無補強ケースよりも有補強ケースがトンネルに作用する荷重が減少していることがわかる。これは補強材が吊り下げ効果を発揮するためと考えられる。横軸0.04以降でも、有補強ケースは荷重減少の傾向を見せているが、無補強ケースはやや増加する傾向がみられる。これは、縫地ボルトが地山のゆるみをおさえ、ゆるみによる荷重増加を抑制しているためであると考えられる。実際の挙動に合わせてトンネル周縁にゆるみを与えているため、土圧 - 変位曲線は落し戸実験結果と異なって緩やかな減少傾向を示す。つまり、トンネル側壁部のゆるみの影響が大きいことがわかる。

3.2 最終地表面沈下量(図3.2)

縦軸はテフロンシートをすべて引き抜いたときの地表面の沈下量を、横軸はトンネル中心からの水平距離を表す。また、-180～180mmの範囲は有補強ケースにおける補強区間を表す。無補強ケースと比較して有補強ケースは、トンネル直上の沈下量が減少している。これは、補強材が地山に吊り下げ効果を与えたこと、また、補強材を挿入することで地山が一体となり連続体に近い変形挙動を呈したことによるものと考えられる。

3.3 トンネル周辺荷重(図3.3,3.4)

図3.3および3.4はそれぞれ無支保および有支保のトンネル周辺の底板の作用荷重を示している。図中凡例にある数値は内空変位をトンネル径で除したもので、値が大きいほどシートを多く引き抜いた、つまり内空変位を与えたことを示す。両図から、全体的な荷重増加は有補強ケースの方が小さいことがわかる。ただし、有補強ケースの横軸±100mm付近で左右非対称となっており、これまでの数回の実験においても同様な挙動がえられたことから、実験上の問題と考えられる。

4. 結論

今回の実験で垂直縫地ボルト補強による効果が定性的にほぼ確認することができた。今後、実験手法の改善を加え、さらに実験ケースを増やし、様々な条件下においてどのような挙動を示すのかを明らかにしていく。

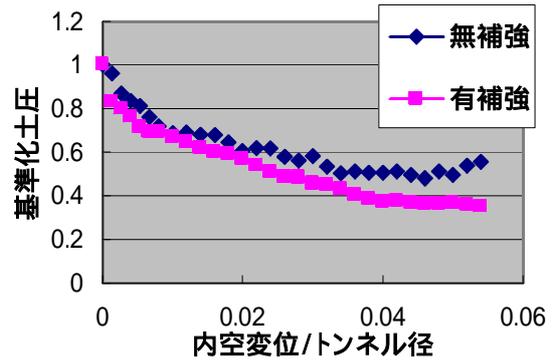


図3.1 トンネル作用荷重

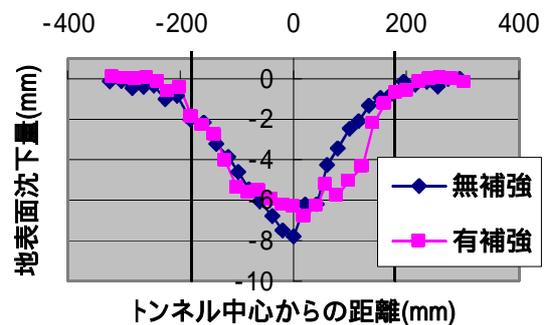


図3.2 最終地表面沈下量

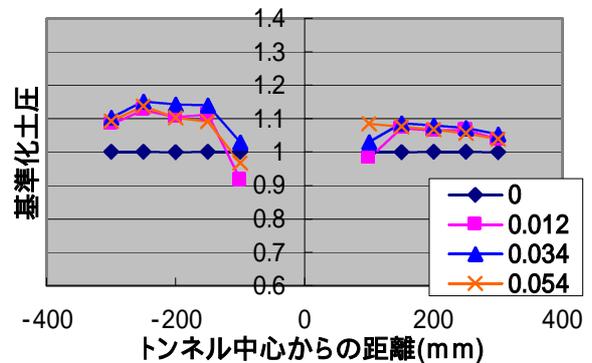


図3.3 トンネル周辺荷重（無補強）

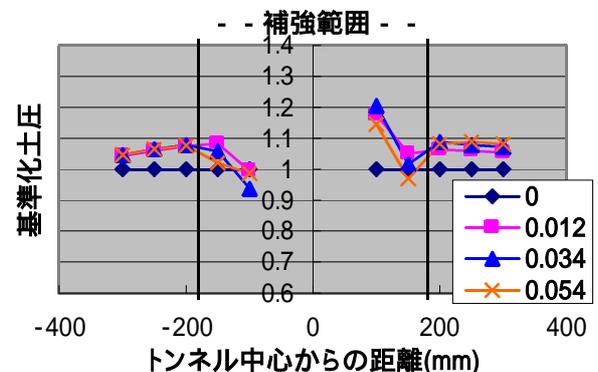


図3.4 トンネル周辺荷重（有補強）