

III-381

トンネル坑口付近における鉄筋補強土工法に関する遠心模型実験

日特建設 ○美甘浩一

山田 浩 中山守人

中央大学 藤井斉昭

藤井克巳 本間和人

1. はじめに

トンネル坑口付近の補強対策工として鉄筋による補強土工法が、その経済性、簡便さにより施工される例が増加しており、近年その評価も高まりつつある。本工法は、鉄筋を地盤中に打設することによって地盤変形を拘束するという補強土の概念に基づき、地盤の一体化をはかるものである。本工法の設計手法は、現在、仮想すべり面に対する鉄筋のせん断、曲げ、及び引抜き抵抗力で補強するという考え方が一般的であるが、トンネル掘削に伴う坑口付近の崩壊メカニズム、及び鉄筋の補強効果については十分に説明されていないのが現状であり、これらを考慮した合理的設計法の確立が望まれている。

本実験は、この種の補強土工法に関して遠心装置を用いた室内モデル実験を行い、トンネル掘削に伴う地盤内の挙動を調べ、適切な補強方法、及び設計手法を見出すための基礎データを得る目的で行ったものである。これに関する従来の研究は、二次元状態におけるトンネル掘削モデルで、しかも瞬時にトンネル部分の応力を開放するものであるが、本研究では坑口側から段階的に応力を解放し、トンネル掘進を実際の施工レベルに合わせて再現した点が特徴である。

2. 実験概要

実験は、図-1のようにトンネル坑口をモデル化した地盤を作成し、トンネル掘削を行った時の地盤の挙動、また、補強材を打設した時の補強効果について調べた。トンネル模型は直径50mm、奥行き300mmで、坑口側から順に上部断片が5mmずつ落下するいわゆる連続した「落とし戸」の実験を想定したものである。

実験は遠心加速度60Gの下で行っており、遠心模型の相似則によると補強材径30mm、トンネル径3mの実物規模のものに相当する。なお、模型でのトンネル掘進速度は、一定の速度制御（約0.19cm/s）の下で実験を行った。

a) モデル地盤、及び補強材

モデル地盤には気乾状態の豊浦標準砂を用い、トンネル模型を土槽内に設置した後、ふるいを用いた空中落下法によりトンネル坑口部の土被り5cm、斜面傾斜角度30度のモデルを作成した。平均相対密度は約80%である。補強材には、直径0.5mm、長さ50mmのピアノ線の表面に接着材を用いて砂をまぶしたものを使用した。補強材の配置はトンネル上部を覆うように格子状に、ピッチ25mmで一定とし、挿入角度（水平、鉛直、法線）による補強効果の定性的な違いを調べた。

b) 測定

りん青銅板（ $EI=8.68\text{kgcm}^2$ ）をトンネル上部二カ所（I、II）に配置

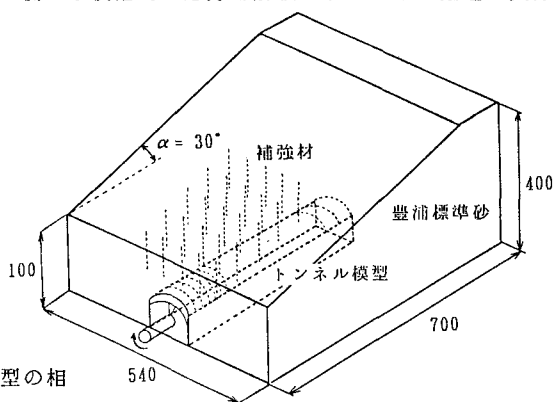


図-1 トンネル坑口模型実験装置

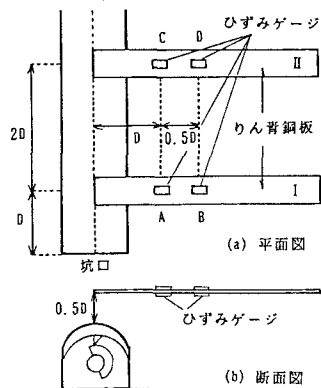


図-2 トンネル及びひずみ測定位置

し、トンネル掘削に伴う地盤内部のゆるみをりん青銅板に取りつけたひずみゲージによって測定した。(測定箇所は図-2参照)

3. 実験結果

本研究は緒についたばかりで、地盤内部の変形モードなどまだ十分に明らかにされていないが、ここではトンネルの掘進に伴い図-2に示す位置に置かれた銅板のひずみ量の変化についてのみ報告する。図-3、図-4(a)(b)(c)はいずれも横軸に時間軸を、縦軸に銅板のひずみ量をとったもので、図-3は無補強の場合を、図-4(a)(b)(c)はそれぞれ補強材を坑口斜面に水平、鉛直、法線方向に打設した場合を表している。

各図の横軸上に記されている矢印は、トンネル切羽がひずみ測定用銅板のⅠ、及びⅡの位置を通過した時刻を示している。図-3、4より、トンネル切羽がひずみ測定位置を通過する0.5D前からひずみが検出され、通過0.5D後ではほぼ一定値となる傾向が現れた。

銅板のひずみの大きさは、補強材を水平方向に打設した場合が最も小さく、鉛直の場合が最も大きい値を示す。すなわち、地盤に埋め込まれた銅板のたわみ量が水平、法線、鉛直の順に大きくなっていることから、トンネル掘削による地盤のゆるみは補強材を水平方向に打設した場合が最も小さいと言える。

また、トンネルから等距離にあるひずみ測定位置で比較すると、土被りの小さい坑口側Ⅰ地点の方が、土被りの大きいⅡ地点に比べひずみ量は大きい値を示し、坑口側の方が掘削によるゆるみの大きいことが推察される。

次に、測定されたりん青銅板の曲げひずみから地盤内部の変位量を概算した。図-2に示す銅板Ⅰ、ⅡのB、及びD点でのひずみ量は非常に微小であることから、この点を固定とした片持ち梁を仮定し、トンネル直上のたわみ量を求めた。その結果、無補強の場合は坑口に近い銅板Ⅰで約5mm(これはトンネル上部の落下高に等しい)、銅板Ⅱで約2.5mm、水平補強の場合は銅板Ⅰで約1.7mm、銅板Ⅱで約1.2mmであった。

4. おわりに

補強材を斜面に打設することによって、トンネル掘削による地盤内のゆるみは減少することが今回のモデル実験で確認された。なお、今回の実験ではトンネル掘削後も地表面の変化が認められなかったが、今後、地表面沈下抑制という観点から坑口部の土被り厚を変え、表層を変化させた場合の実験も行っていく必要がある。

参考文献 1) 真下、石村、: 斜面下トンネルの縫地ボルト効果に関する遠心力模型実験: 土木学会第42回年次学術講演概要集Ⅲ 2) 吉田、溜淵、: トンネル掘削による地表沈下に対する縫地工の効果について: 第22回土質工学研究発表会講演集2分冊の2

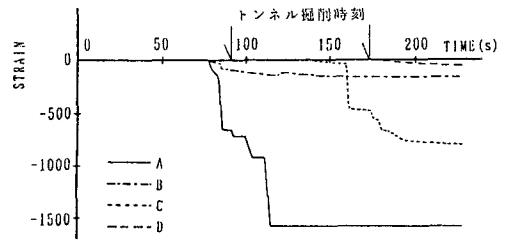


図-3 トンネル掘進中のひずみ変化
(無補強)

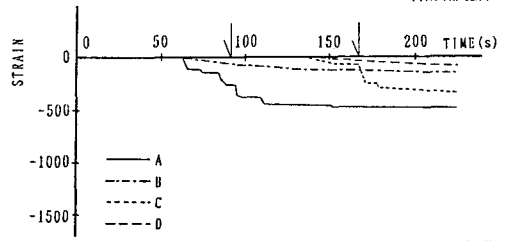


図-4 (a) トンネル掘進中のひずみ変化
(補強材: 水平方向)

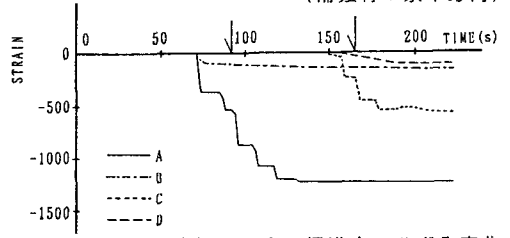


図-4 (b) トンネル掘進中のひずみ変化
(補強材: 鉛直方向)

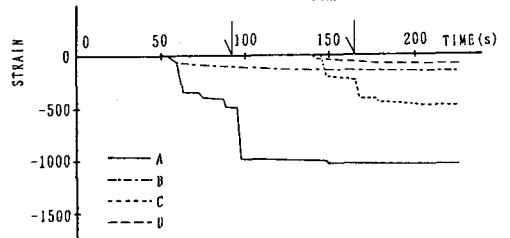


図-4 (c) トンネル掘進中のひずみ変化
(補強材: 法線方向)