

フジタ工業（株）技術研究所 望月 美登志 福島 伸二 香川 和夫

1 まえがき

都市部のトンネル施工にNATM工法を適用する場合、地山が未固結で土被りが浅いため、切羽の自立性や構造物に影響を及ぼす地表面沈下などが問題となる。そこで本研究は切羽の安定や地表面沈下を防止するために採用される各種補助工法（斜めボルト、プレライニング、鏡止めボルト、縫地ボルト）の効果について二次元縦断土槽を用いた模型試験により調べた結果を報告するものである。

2 試験方法

実験に用いた土槽は長さ88cm、幅30cm、高さ191cmの二次元縦断土槽で、トンネルは二次元化して直方体の箱（幅30cm、高さ50cm）を後方に引き抜くことでトンネル掘削を再現するものであり、地山材料としては乾燥状態の遠州浜岡砂を用いている。本実験においてはトンネル高さ（径） D と土被り H の比を $H/D=1.0$ で一定としている。尚、土槽及び試料作製、計測、試験方法等の詳細については参考文献^{1), 2)}を参照されたい。今回行った補助工法は4種類で、以下に示す方法でモデル化を行なっている。

(1) 斜めボルト：直径 $d=2\text{mm}$ 、長さ $L_R=15, 30, 60\text{cm}$ の針金の表面にアルダイトで砂を付着させ、これを図-1(a)に示すように一定間隔 $\Delta w=1.0\text{cm}$ ($n=30$ 本)で支保工代りのガイド板先端に固定し、トンネル切羽より5cm手前の天端部に水平方向から角度 $\theta=0, 15, 30, 45^\circ$ 方向に配置させたもの。

(2) プレライニング：厚さ $t=0.3, 0.5, 1.0\text{mm}$ 、幅 $W=30\text{cm}$ 、長さ $L_R=10, 20, 30\text{cm}$ の銅板を斜めボルトと同様天端部に水平方向に固定させたもの。

(3) 鏡止めボルトボルト：表面にアルダイトで砂を付着させた直径 $d=2\text{mm}$ 、長さ $L_R=30\text{cm}$ の針金の一端にベアリングプレートを模した $2\text{cm} \times 2\text{cm}$ のボール紙を固定し、これをトンネル切羽部分に均等な間隔（ $\Delta w=\Delta h=2.5, 5.0, 10\text{cm}$ ）で配置したもの（図-1(b)）。

(4) 縫地ボルト：表面にアルダイトで砂を付着させた直径 $d=2\text{mm}$ 、長さ $L_R=50\text{cm}$ の針金を、図-1(c)に示すように地表部分から角度 δ （ $=60, 90^\circ$ ）の方向に均等の間隔で配置させたもの（ $\delta=60^\circ$ の場合は、一列ごとに向きを反対にして千鳥に配置している）。

3 試験結果

ここでは各種補助工法について地表面沈下を基準に考え、補強効果に影響を及ぼす要因についてまとめた。

3.1 斜めボルトにおける補強材角度の影響

斜めボルトに関しては、補強材角度と長さを変えた場合の効果について調べたが、長さの影響（ボルトが長くなればなる程、効果が大きくなる）は角度の影響ほど大きくないため、ここでは角度の影響についてのみ説明する。図-2に角度 θ を変えた場合の地表面沈下と引き抜き量の関係を示す。同図より、 0° （水平）ではほとんど効果がなく、

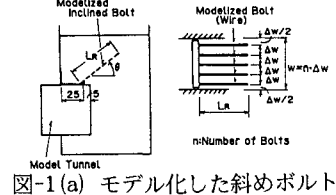


図-1(a) モデル化した斜めボルト

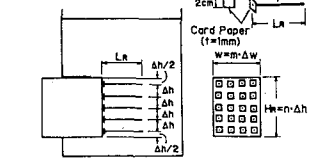


図-1(b) モデル化した鏡止めボルト

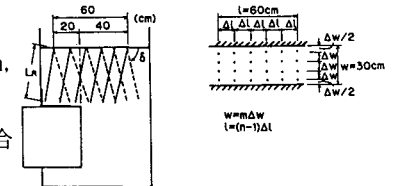
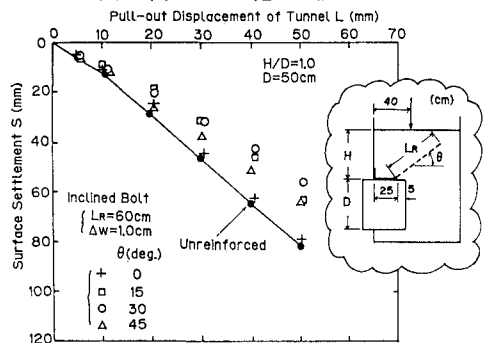


図-1(c) モデル化した縫地ボルト



15~30° の間で最大の効果を発揮していることがわかる。

3.2 プレイニングにおける長さの影響

プレイニングにおいては補強材の長さの影響がもっとも大きく、図-3に銅板の長さを変えた場合の地表面沈下と引き抜き量の関係を示す。同図より $L_R=20\text{cm}$ から 30cm にかけて効果が急に大きくなっている。これは銅板が $L_R=30\text{cm}$ ですべり線の奥に入るようになるためと考えられる。

3.3 鏡止めボルトにおける補強効果

図-4(a) に鏡止めボルトの長さを変えた場合の地表面沈下と引き抜き量の関係を示す。同図よりボルトの長さが長いほど効果は大きい、他工法と比べると沈下の抑制量が小さいことがわかる。しかしながら、無補強（図-4(b)）と補強した場合（図-4(c)）の変位ベクトル図を比較すると、切羽の安定には非常に効果があることがわかる。

3.4 縫地ボルトにおける補強材角度の影響

図-5に縫地ボルトの配置角度を変えた場合の地表面沈下と引き抜き量の関係を示す。同図より鉛直方向の配置の場合はほとんど効果がないが、 $\delta=60^\circ$ の場合、沈下を抑制する効果があることがわかる。

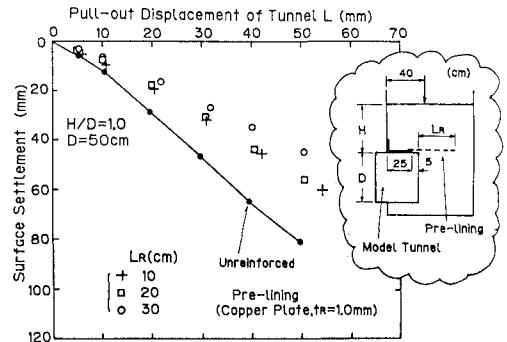


図-3 プレイニングにおける長さの影響

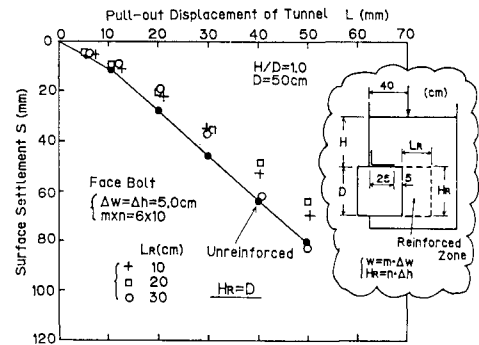


図-4(a) 鏡止めボルトにおける長さの影響

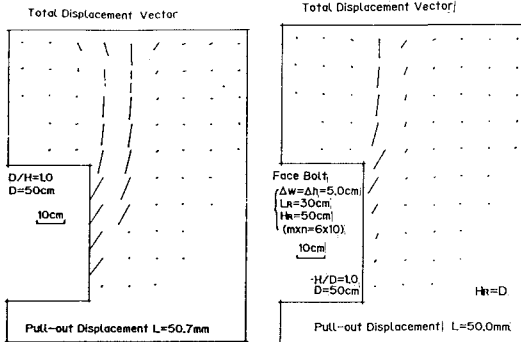


図-4(b) 無補強

図-4(c) 鏡止めボルト

変位ベクトル図

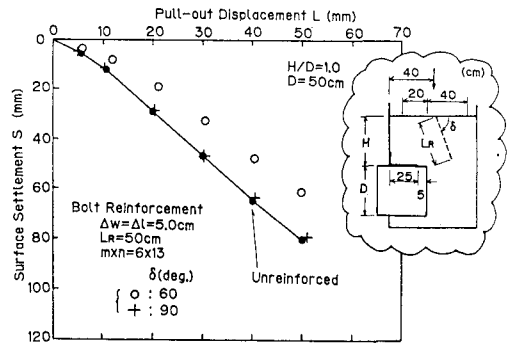


図-5 縫地ボルトにおける角度の影響

4 あとがき

以上の結果により各種補助工法における効果の特徴がわかった。今後は、微小引き抜き領域での効果確認実験や横断土槽を用いた模型実験を行ない、土被りの浅い未固結な砂質地山に適した補助工法の確立に努力していくつもりである。

参考文献

- 1) 福島他「土被りの浅い砂質地山トンネルの縦断模型試験」第23回土質工学研究発表会 1988
- 2) 望月他「土被りの浅い砂質トンネルの補助工法に関する模型実験」第23回土質工学研究発表会 1988