

様々なパターンに打設した切羽ボルトの効果に関する模型実験

首都大学東京 正会員 ○土門 剛

韓国建設技術研究院 正会員 徐 景源

施工技術総合研究所 正会員 鈴木健之

首都大学東京 正会員 西村和夫

1. 目的

トンネル掘削中、切羽あるいは鏡面は常に無支保状態となっている。したがって、地山が脆弱な場合には切羽崩壊が生じやすい。実際、崩壊事例全体の約 65%が切羽に集中していると報告されている¹⁾。

現在、切羽崩壊を抑止する目的で施工されている主な対策工は、切羽およびその前方地山の先行補強を目的とした先受け工と、切羽の水平変位（押出し変位）抑制を目的とした切羽ボルトに大別され、両工法を併用する場合も多い（図-1）。しかし、両工法は、効果の程度は不明確ではあるものの両工法とも先行補強や押出し変位抑制双方の機能を有しており、機能の重複があると考えられる。さらに、異なる工法を併用することは、施工のサイクルタイムが増加するだけでなく、先受け工は切羽ボルトの2倍程度の工費を要するなど経済的な短所もある。

本研究では切羽ボルトの打設パターンを変えることによって、先受け工の主目的である切羽および周辺地山の補強効果を切羽ボルトに持たせ、それによって先受け工の軽減を図れるかどうかについて模型実験により検証した。

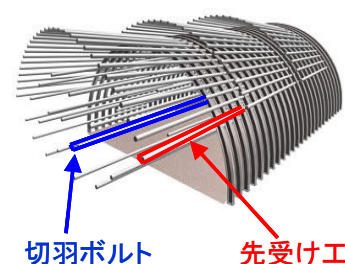


図-1 切羽ボルトと先受け工併用の模式図

2. 模型実験概要

実験の対象である切羽ボルトは、従来、切羽面に水平に打設されることが推奨されている。それは、主目的が切羽の水平変位の抑制にあるからである。しかし、本研究では切羽ボルトによる先受け工の代替を目的としているため、切羽ボルトに様々な角度で打設し、そのときの補強効果を検討した。

2.1 実験材料

本実験では新たな地山材料として、銅散弾、酸化亜鉛、ワセリンを 200 : 0.3 : 1 の重量割合で混ぜ合わせたものを使用した。この材料は、水を使用しないため物性値が非常に安定しているが、ワセリンを使用しているため一定の温度管理が必要である。この材料により、逐次掘削（手掘り）による切羽ボルトの三次元的な評価が可能となった²⁾。

切羽ボルトモデルには、長さ 16cm、2mm 角の亚克力棒に、地山との付着を効果的に発現させるため、標準砂を付着させ直径 3 mm の丸棒とした。ボルトあるいは地山ーボルト間の物性は、予備実験時のボルトの引抜試験によって求めた。

2.2 実験方法

実験土槽に地山材料を締め固めしながら詰め、高さ 30cm の地山を作製した。

掘削は、STEP.1 トンネル模型を 2cm 先行させる

STEP.2 手掘りによる 2cm 掘削

STEP.3 崩れてくる地山材料が安定するのを待つ

という流れで行なった。最終的に $D=16\text{cm}$ のトンネル（土被り $22\text{cm}=1.4D$ ）を $44\text{cm}=2.8D$ 掘削した。

キーワード トンネル、切羽ボルト、打設角度、模型実験、軸力

連絡先 〒192-0397 八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 都市環境学部 TEL0426-77-1111（代）

2.3 実験パターン

切羽外周に沿って 4 本，中央部に 2 本，計 6 本／断面の切羽ボルトを打設し，ラップ長は 8cm（0.5D）とした．外周部のボルトには角度を持たせ，中央部は水平とした．外周部のボルトの角度は，水平（現行パターン），上向き 30°，放射状 30° の 3 パターン（図-2）とし，それらと切羽ボルトなしの計 4 パターンを比較した．

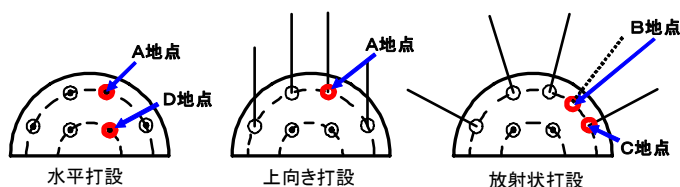


図-2 切羽ボルト打設パターンと軸力計測位置

2.4 計測項目

地表面に変位計を縦断方向（10 個）横断方向（3 個）配置し，地表面沈下量を計測した．軸力は切羽ボルトの両側にひずみゲージを各 8 個ずつ貼り付け，それを基に軸力を求めた．軸力測定位置は図-2 の通りである．

3. 実験結果および考察

3.1 地表面沈下（図-3）

ボルトなしとボルトありでは大きな差が見られた．また，縦横断各方向共に上向き打設が最も抑制効果を見せた．放射状打設では切羽後方においてボルトがなくなる水平打設とほとんど変わらなかった．これらのことより特に上向き打設の地表面沈下抑制効果を確認できた．

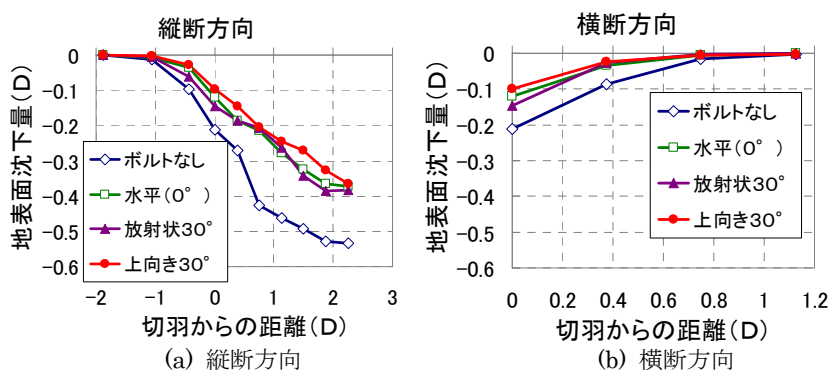


図-3 地表面沈下量（2.7D 掘削時）

3.2 軸力

(1) 打設位置と軸力分布（水平打設）（図-4）

最大軸力が発現した掘削ステップにおける天端付近と中央部の水平打設の比較では，ともに切羽前方に軸力のピークが見られた．

最大軸力は中央部のほうが大きい．これは，切羽中央部の水平変位が最も大きいからである．それゆえ切羽外周のボルトに角度を持たせてもそれほど水平変位抑制に影響が生じない結果となったと考えられる．

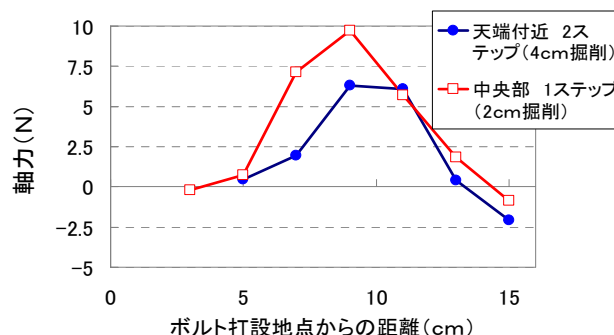


図-4 打設位置による軸力分布（水平打設パターン）

(2) 各打設パターンと軸力分布（図-5）

最大軸力の大きさが上向き（A）→放射状（B）→放射状（C）の順となった．これは，切羽ボルトの打設方向が沈下方向から逸れるほど軸力が小さくなるためと思われる．

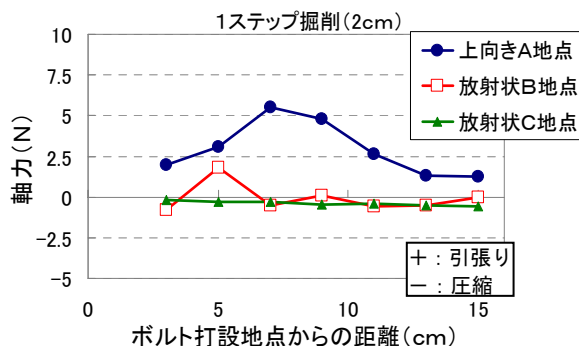


図-5 各打設パターンの軸力分布

4. 結論

以上の実験結果より，切羽ボルトの上向き打設では沈下抑制効果が確認できた．ただし，本実験では角度を 30° としたが，これは予備実験，解析を基に予想した変形モードを考慮したものであり，適切な打設角度は打設される地山の変形モードに応じて設定しなければならない．

参考文献

- 1) JTA 安全環境委員会：トンネル工事における災害事例調査，トンネルと地下，pp.307～313，1993.4.
- 2) 徐・土門・西村：トンネル補助工法に関する模型実験，地下空間シンポジウム論文・報告集，第 11 巻，土木学会，pp.217～222，2006.