実験と解析による切羽ボルトの効果について

首都大学東京	正会員	○西村	和夫
首都大学東京	正会員	土門	岡川
中日本高速道路(株)	正会員	佐藤	淳
大宇建設技術研究院		徐	景源

1. 目的

トンネルで用いられる先受け工や切羽ボルト工はすでに主たる補助工法の一つとなり,多くの使用実績があ るが,打設パターンは画一的である.もともと自由度のある工法であることから,応力状態も含めた地山条件 に応じた多彩なパターンの試みがあって良いと考えている.著者らは切羽ボルトに関し,実スケールの数値解 析と基本的な挙動を確認するための小型模型実験を行って発表してきた.本稿では小型模型実験に関する数値 解析も含めた切羽ボルトの打設方向のパターンの違いによる地山挙動の特徴についてまとめた.

2. 実験および解析モデル

一般に先受け工および切羽ボルト等の実験では、トンネルの掘削過程を再現する実験は手間が掛かることか ら、逐次掘削を再現する模型実験は少ない.代わりに模型地盤にボルトを設置しておき、切羽留め板等を取り 外すことで掘削の一過程をモデル化する方法が一般的であった.このような実験では切羽前方の一掘削過程を フォローすることはできても、さらなる掘削過程における地山の状況、掘削後の切羽後方の地山の状況を把握 することはできない.本実験では実際の施工のように、掘削→ボルト打設→掘削+ボルト切断の作業行程をモ デル化し、切羽ボルトの補強効果について検討した.実験装置の写真および解析領域を**写真-1、図-1**に示す.

(1) 実験材料

模型地盤には銅粒子,ワセリン,酸化亜鉛を200:1:0.3の重量比で練混ぜた材料を用いた.銅粒子の有効径 (D₁₀)は0.88mm,均等係数(U_c)は2.18, D₆₀は1.92mmである.模型地盤は高さ30cmを6層に分けて, 1層ごとに23gf/cm²の荷重で締固めを行い,計6回の締固めを行った.**表-1**に作製した地盤の物性値を示す.

(2) ボルトモデル

切羽ボルトはアクリル製の長さ160 mm, 一辺2 mm の正方形の棒にエポキシ樹脂で砂を付着させたものを







図-1 解析領域

衣− 地盤の物性∥	表-1	地盤の物性値
------------	-----	--------

密度	内部摩擦角	粘着力	弾性係数	ポアソン比
(g/cm^3)	(°)	(kPa)	(kPa)	(v)
5.4	35	0	2900	0.45

キーワード 切羽ボルト,打設角度,模型実験,数値解析,トンネル,地表面沈下
連絡先 〒192-0397 八王子市南大沢1-1 首都大学東京 都市環境科学研究科 TEL 0426-77-2785

土木学会第63回年次学術講演会(平成20年9月)

用いた.砂を付着すると直径約3 mmの円形棒の形になる.切羽ボ ルトの打設はトンネルを1ステッ プ(20mm)掘削後,地山に差込 む方法で打設し,次の掘削時,切 羽後方の1ステップ分(20mm) を切断しながら掘削を進めた.こ のとき,軸力の計測は土槽20~ 36cm 区間を掘削しながら行った

(3) 実験・解析ケースと手順

ケースは図-2,3 に示すような 各4ケースとした.最初に実験-1, 続いて FLAC3D による解析での 再現と検証,続いて実験-2 と解析,



最後に実規模での解析の研究フローとした.

3. 考察

実験1 (図-2) に関し、放射状 15° は次の打設シフト(3ステップ)のときに先行ボルトがちょうどトン ネル外周に位置し、切羽から外へはずれる.30° は2ステップで切羽からはずれる.図-4 から地表面沈下に 対し、当然ではあるがトンネル外周に残置されるボルトの効果より直接ボルトで切羽を押さえる効果が勝るこ とが分かる.同様の傾向が解析(図-5)でも確認できるが、実験より差が大きく生じている.トンネル軸に垂 直な鉛直面でのボルト打設範囲を横軸に、縦軸に変位

低減率を図-6 に示す. 放射状は切羽面打設密度が次第 に低下するが, 切羽面水平変位への角度変化(0°と 15,30°)の影響が大きい.一方, 地表面沈下への打設 角度(0,15,30°の差)の影響は相対的にそれほど大 きくないことが分かる.

実験2において、切羽面にボルトを配置したうえで 外周部ボルトの打設パターンを変化させた.

紙面の都合上,詳細は省くが,地表面沈下への打設 角度の影響は実験では上向き 30°が一番少なく,解析 では水平と上向き 30°がともに一番少なかった.なお, 解析での水平変位は水平打設が最小であった.



図-6 2.8D (44cm) 掘削-解析

