

ルーズな堆積土砂部におけるトンネル掘削の施工事例

前田建設工業（株）中部支店 尾鷲第4トンネル作業所 正会員 松澤 郷至
前田建設工業（株）中部支店 尾鷲第4トンネル作業所 正会員 ○ 林 敦史

1. はじめに

国道42号熊野尾鷲道路（Ⅱ期）の尾鷲第4トンネル（全長 2,477m）のうち尾鷲第4トンネル南部工事の坑口部は、採石場跡地であり、閉山時に盛られたルーズな堆積土砂により構成されていた。それは、脆弱な土砂に巨礫が混在し、空隙も多い状態であったため、トンネル切羽の自立性に乏しく、多大な補助工法が必要であった。本稿ではこれらの施工実績について報告する。

2. 補助工法の選定

対象となる区間（坑口より 82.0m 間）では、自立性の乏しい堆積土において安全で確実な掘削を実現するため、トンネル上部の外周 5m 範囲を改良（ゾーン注入）を行う必要が生じた。そこで、以下の4つの方法によりその改良（ゾーン注入）を実施することとした。

- ① 坑口上部からのゾーン注入（薬液注入工）：坑口より 40m までの区間においては、坑口上部からの薬液注入工（1次注入材：セメントベントナイト、2次注入材：水ガラス系注入材）によるゾーン注入方法を採用。
- ② 薬液注入工の逸走防止対策：ルーズで不均一な堆積土（巨礫や空隙を含む）であるため、通常の薬液注入工では、注入した薬液の逸走が著しく、注入効果を見込めないことが試験施工により確認できた。このことから薬液注入範囲の外周への懸濁型特殊シリカ系注入材の注入による逸走防止壁の構築を採用。
- ③ 薬液注入工区間における天端・切羽の崩落防止対策：上記①②の補完対策として、長尺鋼管フォアパイリング（@ 9.0m, 27本, 4シフト）を採用。
- ④ 坑内からのゾーン注入（小口径長尺鋼管フォアパイリング）：坑口より 40m 以深の区間においては、坑内からの小口径長尺鋼管フォアパイリング（@2.0m, 30.5本, 23シフト）によるゾーン注入方法を採用。

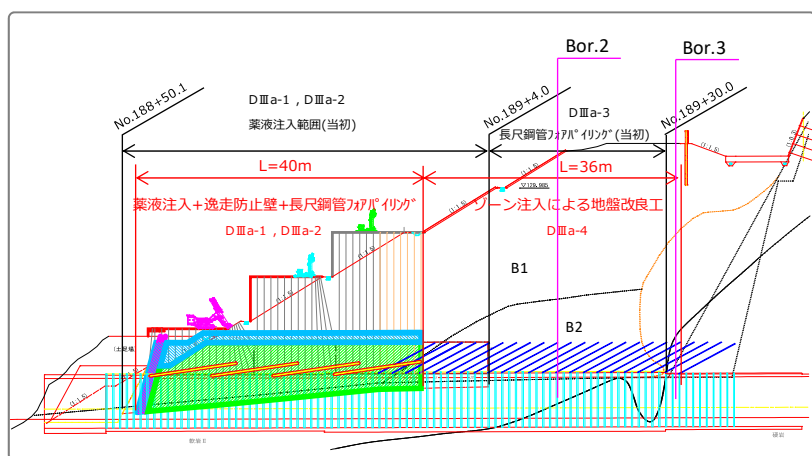


図-1 対策工の実施概要図

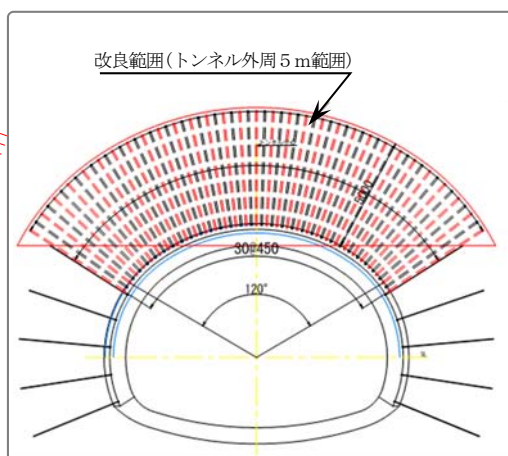


図-2 改良範囲の概要図



写真-1 坑口部遠景と注入実施状況



写真-2 当該区間（0～80m）における切羽状況



写真-3 坑内ゾーン注入実施状況

キーワード 山岳トンネル 盛土地山 薬液注入工 補助工法 制御発破

連絡先 〒460-0008 愛知県名古屋市中区栄5-25-25 前田建設工業(株) 中部支店 土木部 尾鷲第4トンネル作業所
TEL 052-262-1267 FAX 052-262-1275

3. 改良効果の確認とその結果

前述の対策工は、改良効果を最大限発揮させ、トンネル上部の外周 5 m 範囲を確実に改良することが最大の命題であった。そのため、以下方法により注入効果の確認を行い、その都度施工方法や仕様を選定しながらの施工を行った。

- ① 薬液注入工における注入効果の確認方法
- i. 試験施工ヤードにおける試験施工の実施：本施工箇所とは別に試験施工ヤードを設け、そこで試験施工を 2 回実施した。1 回目の試験施工で注入材の逸走度合いを確認し、逸走防止壁の設置と 1 次注入の分割施工の実施を、2 回目の試験施工で注入材の種類と各注入の注入率・注入仕様（注入速度や規定注入圧等）を決定した。

ii. 本施工時における強度確認の実施：試験施工結果より定めた施工法及び仕様で実施した本施工で、鉛直ボーリングやラムサウンディング試験により改良完了後の地盤強度を測定し、注入仕様（注入速度や規定注入圧等）の再設定を繰り返しながら施工を行った。

iii. 注入材の逸走有無の確認実施：注入材の逸走有無を確認するため、逸走防止壁部での透水試験や充填検知センサーによる全注入箇所における注入材水位の確認を実施しながら施工を行った。
- ② 小口径長尺鋼管フォアパイリングによる改良効果の確認
- i. FEM 解析による内空変位の予測と計測管理値の再設定の実施：該当区間の施工に先立ち FEM 解析を実施し、発生する内空変位の予測と計測管理値の再設定を行い、改良効果の判断指標を策定した。

ii. 高頻度及び高精度の計測管理の実施：内空変位計測の実施頻度を 2m 毎に実施するとともに、3D レーザースキャナーを利用した連続した面的な変位計測を行った。また、解析により決定した管理値と実計測値との比較を行うことで、改良効果の確認を行った。

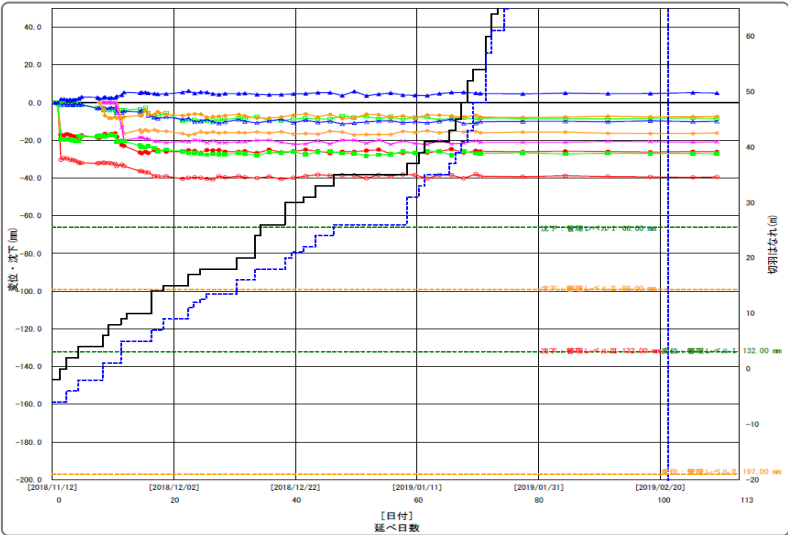


図-3 内空変位グラフ（代表地点）

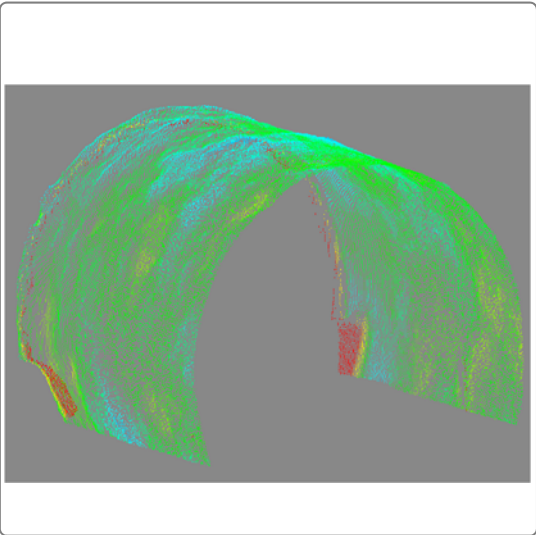


図-4 3Dレーザースキャナー測定図

これらの対策と管理の実施により、地表面沈下及びトンネル内部の天端沈下において、最大 5 cm 程度の変位（FEM 解析により予測した変位量とほぼ同等値）が発生したが、掘削初期における一時的変位の発生のみで、大きく継続的な変位の発生や天端・切羽の崩落につながるような変位の発生はなく、該当区間の施工を終えることができた。

4. 掘削方法について

該当区間においては、これまで記載した通りに多くの対策工の実施が必要であった一方で、切羽肩部より下方が非常に硬質な花崗斑岩に覆われていた。そのため、多くの火薬を使用した発破掘削が必要であり、掘削時の発破振動の伝播により形成した改良部分の破壊・劣化が懸念された。そこで、発破振動値の管理値（右表）をあらかじめ設定し、これに基づいた発破設計を行った。作成した発破パターンを基に導火管付雷管（14 段、コネクター 2 種類）を使用した多段制御発破、加えて削孔装薬前に行う堆積土部分の先行機械掘削により、前述の改良区間の破壊・劣化の発生を抑制することができた。

5. おわりに

平成 29 年 12 月の試験施工開始より約 13 か月の期間を経て平成 31 年 01 月に該当区間の掘削を無事完了することができた。この施工事例が今後の類似工事を進めるうえで一助となれば幸いである。

表-1 岩盤に対する損傷影響の目安（現場技術者のための制御発破工法の実例【ジオフロンテ協会】）

最大変位速度 (cm/sec換算)	岩盤に対する影響
25.4cm/sec以下	いかなる損傷もなし
25.4～63.5cm/sec	小さな引張剥離が発生
63.5～254.0cm/sec	強い引張剥離と、 いくつかの放射状亀裂発生
254.0cm/sec 以上	完全に破壊される