

未固結地山に対する注入式長尺先受け工注入方式の検討

鹿島建設(株) 正会員 ○佐藤 一成 山本 拓治 小泉 悠
梅下 浩樹 栗田 学

1. はじめに

圏央道山口トンネルの地質は乾燥流砂が発生しやすい自立性の乏しい未固結の砂質土である。そのため、崩落防止を目的とした先受け工法や切羽補強工法が計画されていた。また、圏央道の早期開通のために、急速施工の達成が望まれていた。このようなトンネルを、安全かつ急速に施工するためには、地山に適した注入材の選定と、その注入材を均質に注入できる施工システムの開発、及び注入時間を短縮できる設備の開発が必要であった。注入材は、同種の地質を有する隣接のトンネルで有効性が認められていた水ガラス系溶液型注入材を使用した¹⁾²⁾。用いた注入材はA液(水ガラス)とB液(硬化剤)を混合することで作液する。注入材はサンドゲルで1N/mm²以上の強度発現でき、B液の調整剤の分量を変えることで、ゲルタイムを3~45分まで調整可能である。従来の注入システムは、1室1バルブから3室3バルブの施工³⁾が一般的であったが、本工事では、1鋼管内に4セットの注入管をセットし、各注入

範囲間をパッカーで区分けをした4室4バルブ同時注入(図1参照)を実現することにより、施工時間の短縮を目指した。本論では室内注入試験で注入方式の有効性を検証し、施工に適用した結果を報告する。

2. 地質状況

地質はトンネル切羽部および天端は砂質土であり、細粒~極細粒の密な砂層である。その物性は、細粒分質土[SF](細粒分23~35%)、細粒分まじり砂[S-F](細粒分7%、均等係数2未満)で、比較的均質な砂である。地下水位はトンネル底盤レベルにあり、大量の湧水は考えられないが、地下水位より上の砂層は、トンネル掘削により、乾燥流砂による天端・切羽崩落が起きやすい地質であった。地質調査結果では、含水比は12.2%であり、乾燥流砂を引き起こす指標である15%以下であった。地山の粒度より推定された透水係数は、細粒分質土[SF]で1.1~4.0×10⁻⁴(cm/s)、細粒分まじり砂[S-F]で1.4~3.0×10⁻³(cm/s)であった。

3. 室内注入試験

4室4バルブ同時注入が注入材の改良範囲に及ぼす影響の検討を、隔壁の有無と、注入地盤の飽和度をパラメータとし、試験地盤への改良効果を評価した。注入試験のケースを表1に示す。室内試験は、図2に示すような3次元注入試験装置を用いた。なお、現場では4室4バルブの注入が行われるが、試験設備の都合上、室内試験では3室3バルブと1室3バルブの試験を行った。試験地盤は山口トンネル現場の条件を想定し、天端地盤の細粒分含有率とほぼ等しい東北ケイ砂7号と、トンネル断面の細粒分含有率に等しい東北ケイ砂8号を試料として用いた。不均質な地盤を再現するため、図2に示すように、上下層に7号砂を、中間層により細かな8号砂を配置した。含水比は、流砂を引き起こしやすい15%の不飽和地盤と、飽和地盤とした。トンネル断面から天端地盤の間隙比が0.81~0.846であったので、室内試験では0.82とした。注入材は水

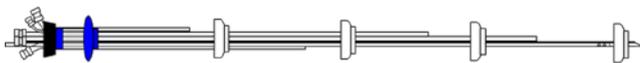


図1. 4室同時注入インサートホース

表1. 試験地盤ケース

ケース	隔壁	室数・バルブ数	注入地盤の飽和度
1	有	3室3バルブ	48%
2	無	1室3バルブ	48%
3	有	3室3バルブ	100%

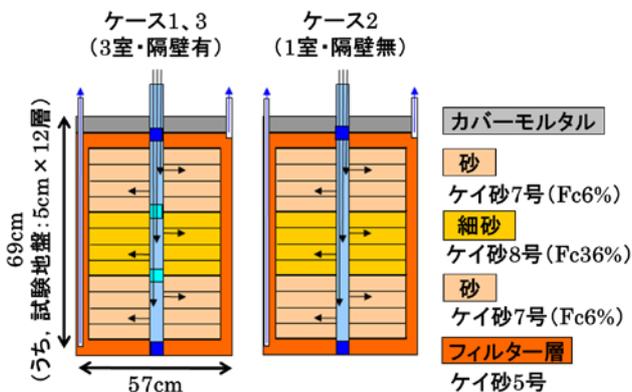


図2. 試験地盤

キーワード 注入方式, 未固結地山, 水ガラス系溶液型注入材

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 TEL042-489-6668

ガラス系溶液型注入材を用い、ゲル化時間は注入時間+10分の30分とし、調整剤の分量を決定した。

試験結果を図3に示す。隔壁を設けたケース1の改良出来形は、中間層部分で改良径が多少小さくなったものの、ケース2に比較してより均等な円柱状に近くなった。ケース2の改良体は、中間層部分の改良径が小さく、上層部分の改良径は設計改良径を上回った。これは、細粒分の多い中間層に浸透しなかったグラウトが、隔壁が無いために上方へ回り、上部のバルブから吐出されたものと考えられる。また、ケース3では、他の2ケースに比べさらに円柱状に近い形になった。以上の事から、飽和地盤の方が不飽和地盤より、均質な改良が可能なことがわかり、さらに、隔壁を設けることで不均質な改良が緩和されることが分かった。

4. 施工実績

施工概要一覧表を表2に支保パターン図を図4、図5に示す。注入は4台の注入ポンプを2セット、4台同時注入インサートホースにて行うことで、均一な改良体を造成し、確実な改良体のラップを確保できた。改良体の形状はフェノールフタレイン溶液を噴霧し反応を確認し、改良体の強度は、土壤硬度計にて1N/mm²以上を確認した。また、注入時間は合計8台の注入ポンプを使用することで急速施工を達成した。

注入式長尺先受工の施工総本数は3,840本、長尺GFRP鏡ボルトの施工総本数は874本、補助工法における総注入量は計画注入量の1.2倍の4,794千m³であった。工事では、注入式長尺先受工の鋼管間からの抜落ちは発生せず、鋼管下の抜落ちも非常に少なく確実な注入により、切羽の天端崩落を防止できた。

5. まとめ

室内注入試験では、現場の地山条件を模擬した細粒分含有率が異なる3層の試験地盤に対して、3室3バルブ同時注入を行った。結果として3室3バルブ同時注入が1室3バルブの時よりも、均質な改良体を得ることができた。

施工実績では、4室4バルブ同時注入を行う事で、改良体強度1N/mm²以上で鋼管間の抜け落ちもなく、切羽の天端崩落を防止できかつ、急速施工を達成した。

参考文献

1) 山本, 日比谷, 伊達, 関, 下田: トンネル先受け工法に用いる新しい注入材の検討, 第36回地盤工学研究発表会, pp1921-1922, 2001

2) 若狭, 寺嶋, 稲葉: 含水未固結地山におけるトンネル掘削, トンネル工学報告集第16巻, pp.171-178, 2006
 3) 賀川, 和泉: 未固結砂地盤での確実な注入方式の確立, トンネル工学報告集第21巻, pp.43-50, 2011

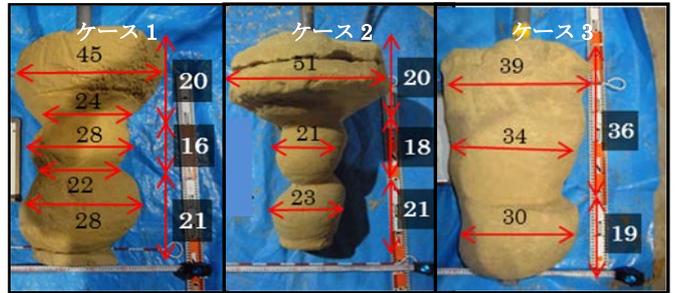


図3. 室内注入試験改良体出来形 (単位 cm)

表2. 施工概要一覧表

先受け工法仕様	注入式長尺先受け工 拡張タイプ
ボルト長・径	L=13.59m・鋼管径Φ76.3mm
シフト長・ラップ長	6.0m・7.5m
打設間隔・改良径	@300mm・φ500mm
注入材・量	水ガラス系溶液型注入材 969~1938L/本

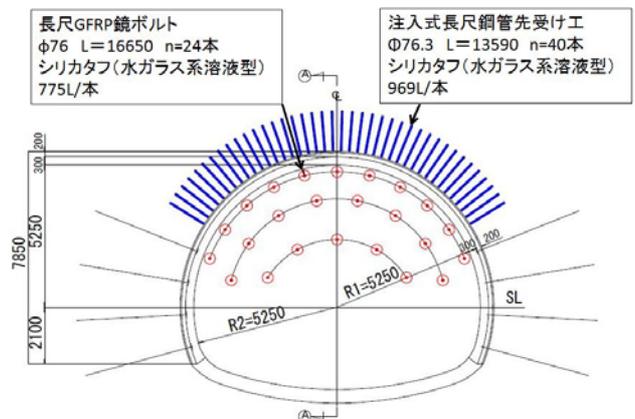


図4. 支保パターン断面図

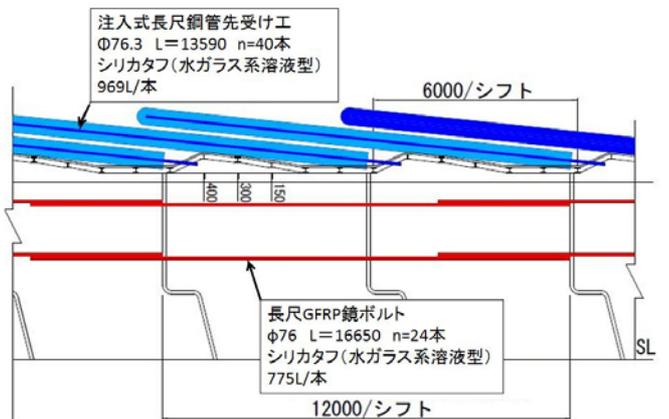


図5. 支保パターン縦断面図