

繰返し注入による地山補強土工法「ロータスアンカー工法」の鉄道盛土への適用性について

ライト工業(株) 正会員 ○別府 正顕
(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 中島 進
(株)複合技術研究所 正会員 田村 幸彦
ライト工業(株) 正会員 高橋 徳

1. 目的

既存の鉄道や道路に造成されている盛土の補強対策における、地山補強土工法の施工実績は豊富である。地山補強土工法は、補強材径でネイリング（小径）、マイクロパイル（中径）、ダウアリング（大径）に分類され¹⁾、適用地盤等によって使い分けられる。ダウアリングの代表的な工法であるラディッシュアンカーは、攪拌翼を用いて地山を改良しながら補強体を造成する工法で、周面摩擦力が得られにくい盛土や崩壊性の地山では特に補強効果を発揮する。反面、地盤が硬質の場合や大きな礫が混在すると、攪拌能率が低下し、補強材の造成が困難となる場合がある。それを補完する工法として「ロータスアンカー工法」を開発した。

ロータスアンカー工法は、インジェクションパイプと二重管ダブルパッカーにより繰返し注入を行い、補強材を造成する工法である（図1）。

繰返し加圧注入を行うという特徴から、鉄道軌道直下の盛土でロータスアンカーを適用する場合には、注入時の地盤変位が懸念される。本試験では盛土地盤を想定して、繰返し注入時の地盤変位を計測し、鉄道軌道下での適用性を検証した。さらに、補強材の引抜き試験を行い、通常の地山補強土工法との周面摩擦抵抗の差を確認し、ラディッシュアンカーを補完する工法となるか検証した。

2. 試験概要

試験概要および使用機械を表1、表2に示す。
本試験に先立ち、予備試験を行った。予備試験では地盤変位を計測しながら注入速度を一定として試験を行い、地盤変位と注入量、注入圧力、注入速度の相関を把握することで、本試験における注入仕様の目標値を設定した。本試験では、グラウトの注入量、注入圧力、注入速度以外は予備試験と同条件で行っており、使用機械も同様のものとした。予備試験、本試験ともに地盤変位の計測は、盛土天端にH鋼による不動点を設置しその

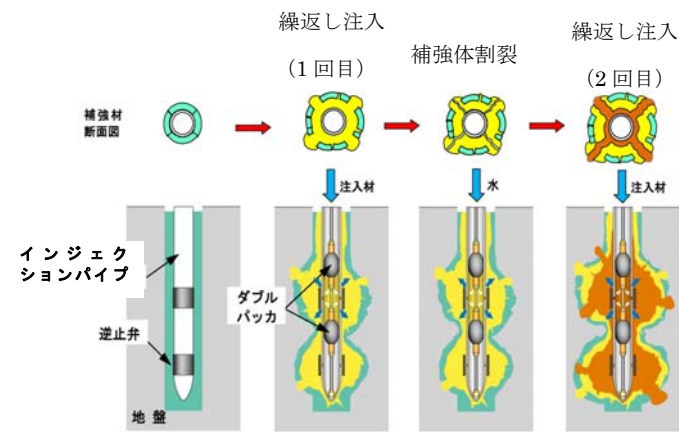


図1 繰返し注入による補強材造成

表1 試験概要

試験場所	東京都国分寺市 (公財) 鉄道総合技術研究所 盛土試験場
試験年月	平成 25 年 5 月～7 月
地盤条件	砂質土 (N 値 4 程度の稲城砂)、粘性土
削孔径	φ 115mm
削孔長	3.0m
補強材	インジェクションパイプ IP50 外径 φ 60.5 ネジ節異形棒鋼 D35、ゲビンデスターブ D32
土かぶり	0.5、1.5、2.0m (砂質土)、3.0m (粘性土)
削孔角度	水平、下向き 20°

表2 使用機械

名称	規格
削孔機 (ESD-40)	高さ×幅×長さ 1.1m×1.27m×2.73m 重量：490kg
削孔ユニット	高さ×幅×長さ 1.13m×0.8m×1.1m 重量：530kg
インジェクションポンプ	0.05～10MPa
流量計	0～60L/min
ミキサ	200L×2
発電機	60kVA、125kVA

キーワード 地山補強土、繰返し注入、鉄道軌道

連絡先 〒102-8236 東京都千代田区五番町 6 番地 2 ライト工業（株）施工技術本部防災技術部 TEL 03-3265-2454

不動点に変位計を固定し、データログで変位量を読み込むことで行った。本試験では地盤変位を観測し、変位量に応じてグラウトの流速、圧力をリアルタイムに制御しながら補強材の造成を行った。

3. 試験結果

予備試験の結果から、繰返し注入の条件として注入速度を 2～5L/min、注入圧力を 1.5MPa 以下と設定し、本試験で、削孔径（φ115）の2倍の造成径が確保できるグラウト量を3回に分けて加圧注入した。地盤変位量の目標値は、鉄道事業者が工事における軌道の変位量の制限値を参考として、目標値を 5mm 以内とした。注入速度、圧力の管理結果例を図2に地盤変位計測箇所と変位量の測定結果例を図3に示す。

結果は、土被り 1.5m での注入時における地盤変位が累計で最大約 0.8mm の隆起が生じた。

なお、実際の鉄道盛土では軌道荷重が存在するため、本試験は実際よりも地盤変位が起きやすい条件下での試験である。これらの条件を考慮すると、今回の試験結果は、土被り 1.5m でロータスアンカーを打設する場合、地表面の変位を計測するとともに、注入速度と注入圧力を制御しながら施工を行うことで、鉄道軌道下においても十分に適用可能であることを示している。

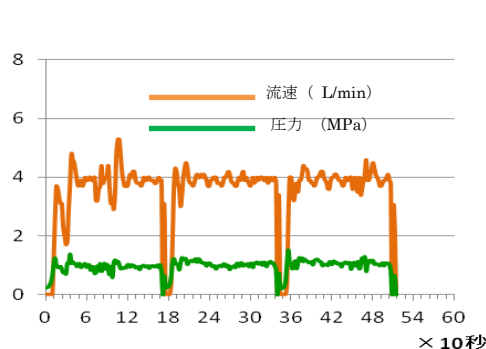


図2 繰返し注入時の流速と圧力管理結果

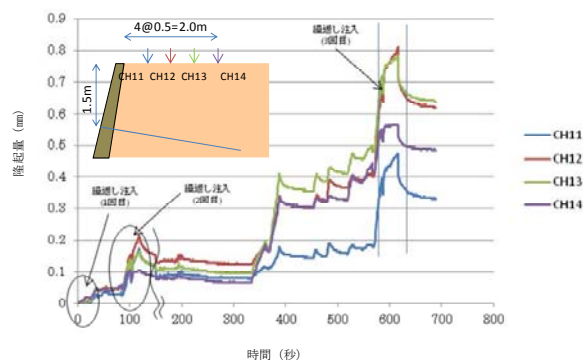


図3 繰返し注入時の盛土変位量

ロータスアンカー工法では、図1に示すように加圧注入により補強体を造成するため、補強体の造成径が一定とならず、周面摩擦力抵抗力度の評価も課題であった。本技術は繰返し注入型グラウンドアンカーの注入方法を応用したものであり、引抜き試験の実績²⁾によれば補強体の造成径は概ね削孔径の2倍程度である。この試験実績および本試験の引抜き試験結果（砂質土）から得られた極限周面摩擦抵抗力度 τ と土質の違いおよびN値との関係をまとめたものを図4に示す。なお、本試験の周面摩擦抵抗力度も補強体の造成径を削孔径の2倍として算出している。この結果を鉄道標準³⁾における地山補強土の摩擦抵抗の推定値と比較すると、試験結果の方が推定値よりも上回っており、ロータスアンカーの補強材径が削孔径の2倍と想定して鉄道標準の推定値を採用して設計を行っても安全側の評価となることを示している。

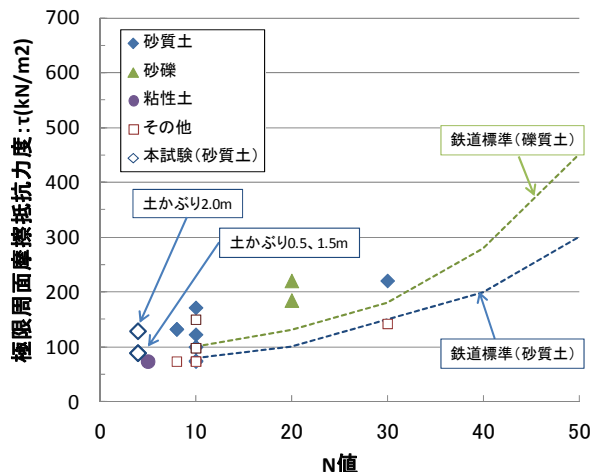


図4 極限周面摩擦抵抗力度とN値の関係

4. まとめ

ロータスアンカー工法の施工試験により、注入時の流速を地表面の隆起量と併せて管理することで、地表面の隆起を数ミリ程度に抑制できる事と、補強体径が削孔径の2倍に仮定することで、引き抜き抵抗が安全側に評価しうることを確認した。

参考文献

- 1) (公社) 地盤工学会：地山補強土工法設計・施工マニュアル, 平成 23 年 8 月
- 2) (一財) 土木研究センター：RSI グラウンドアンカー建設技術審査証明報告書, 平成 23 年 6 月
- 3) (公財) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 土留め構造物, 2012.