

図-9 断面図

表-6 試験結果

工種	削孔径φ (mm)	削孔長L (m)	設計		試験結果			
			極限引抜き力 (kN)	τ値 (N/mm <sup>2</sup> )	引抜き試験結果 (kN)	換算τ値 (N/mm <sup>2</sup> )		
中径棒状補強土工	115	2.0	10.03	0.0139	77.3	1.0	0.107	1.0
ロータスアンカー	115 <sup>注1)</sup>	2.0	20.07	0.0278	122.5	1.6 <sup>注2)</sup>	0.17	1.6 <sup>注2)</sup>

注1) 繰返し注入による補強体径 (φ230mm)

注2) 中径棒状補強土工の試験結果を1.0とした場合の比率

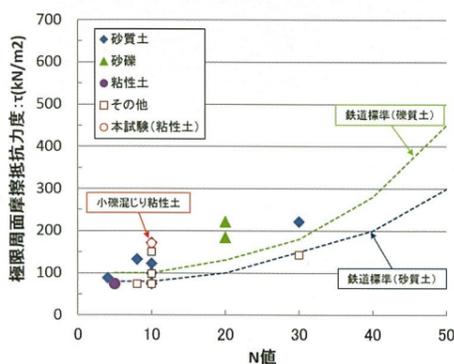


図-10 極限周面摩擦抵抗力度とN値の関係

今後、想定される大規模地震に対し、既設盛土や土構造物の耐震性能の確保が急務であると考えられる。しかし、既設盛土では施工が古い場合や、施工延長が長い場合、既往図書による確認や、地質調査などが実施できないのが現状である。

【事務局だより】

平成26年度 RRR 工法技術講習会を開催いたしました。  
平成27年1月30日(金)、東京都飯田橋において、技術講習会を開催いたしました。  
220名と、定員をはるかに超えるお申込みをいただきました。  
東京理科大 龍岡教授、鉄道総合技術研究所 館山事業推進室長の特別講演の他に、ジオシンセティックス補強土構造物の施工事例などもご報告いただき、盛況のうちに終了いたしました。

平成27年度定時総会開催のご案内

下記のとおり開催致します。ご多用とは存じますが、万障お繰り合わせのうえご出席下さるよう御案内申し上げます。

- 開催日時：平成27年6月3日(水)  
定時総会 16時30分～17時30分  
懇親パーティ 17時30分～19時まで

【編集委員会名簿】

委員長：今村真一郎(西松建設) 幹事：田村幸彦(株式会社複合技術研究所) 事務局：岡本正広(株式会社複合技術研究所)  
委員：神田隆真(前田建設工業)・川島則子(株式会社クラレ)・西村 淳(三井化学産資)

【協会事務局】

〒160-0004 東京都新宿区四谷1-23-6 協立四谷ビル 5F (株)複合技術研究所 内  
電話 03-5368-4103 FAX 03-5368-4105 ホームページ・アドレス http://www.RRR-SYS.GR.JP

施工の際も制約が多く施工ヤードの狭い都市部での施工や、住宅が近接する場合などが考えられる。本工法は、補強体径の造成が削孔径に依存しないため、比較的軽量の削孔機で施工でき、前述の諸問題に対応が可能である。

今後も更なる技術の改良を行い、施工実績を増やし、データの蓄積と性能の向上に努めていきたいと考える。

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、平成24年1月
- 4) 基礎工：繰返し注入を用いた地山補強土工法「ロータスアンカー工法」の開発、平成25年11月
- 5) ライト工業：ロータスアンカー工法設計・施工マニュアル、平成26年7月

2. 開催場所：ホテルメトロポリタン エドモント 悠久の間 (2F)  
(東京都千代田区飯田橋3丁目10番8号 電話 03-3237-1111)



# RRR 工法協会だより

Reinforced-soil Railroad / Road structures with Rigid facing

No. 35 2015. 03

## 繰返し注入を用いた地山補強土工法「ロータスアンカー工法」の開発

ライト工業(株)、(公財)鉄道総合技術研究所、(株)複合技術研究所

### 1. はじめに

地山補強土工法は、既存の地山(自然斜面や盛土)の内部に補強材を配置して地山を安定化させる技術であり、既存斜面の安定化や地山を切土して新たな急勾配のり面や鉛直に近い壁面を形成する場合に適用される。

地山補強土工法は、補強材径によって、小径(φ50~100mm程度)のネイリング、中径(φ100~300mm程度)のマイクロパイル、大径(φ300~500mm程度)のダウリングに分類される<sup>1)</sup>。

中径~大径の補強土工法である「ラディッシュアンカー工法」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、周囲摩擦抵抗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。しかし、地盤が硬質の場合や大きな礫が混在すると攪拌率が低下し、施工が困難となる課題があった。この課題を解決すべく、「ロータスアンカー工法(以下本工法と略す)」を開発した。

本稿では開発時の効果の検証と施工事例について報告する。

### 2. ロータスアンカー工法の概要

本工法は、二重管ダブルパッカーによる繰返し注入技術を用いて、中径の補強体を造成する工法である。

図-1および写真-1に示すように、専用の注入パイプ「インジェクションパイプ」の使用による、所定位置での繰返し注入により、球根状の補強体が築造できる(写真-2)。また、繰返し

の加圧注入が可能のため、図-2に示すように串団子状の改良体を造成できるので、無加圧の従来工法に比べて、1.5~2.0倍程度の引抜き耐力が得られる<sup>2)</sup>。削孔機は、ロータリーパーカッション方式の小型削孔機を使用するため、ラディッシュアンカー工法では適用が困難であった硬質地盤や10mを超える長さにも対応可能である。

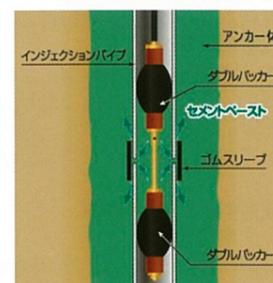


図-1 ダブルパッカー注入模式図



写真-1 インジェクションパイプ



写真-2 繰返し注入による補強体の造成例

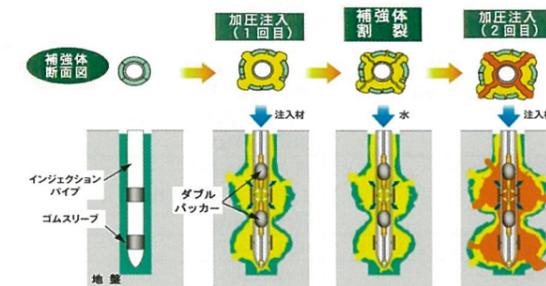


図-2 補強体径増加の概念図

### 3. 繰返し注入による補強効果の検証

#### 3.1. 補強体の造成確認

既設盛土への適用に際し、使用する部材の仕様決定、注入量と造成される補強材径などを確認した。

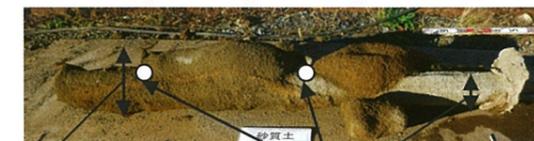
通常、地山補強土工法ではグラウトを定量で注入し補強体を造成するが、本工法の特徴である繰返し注入による補強体径の増加を実際の地盤で確認するため、砂質土及び粘性土を1層30cmで転圧し、N値7~14程度に締め固めた人工地盤を造成した。その地盤に繰返し注入を行い、掘り起こしによる補強体の検証と仕様を決定した。試験概要を表-1に示す。

表-1 試験概要

試験場所	栃木県下野市 ライト工業栃宇宮機材センター
試験年月	平成24年10月~12月
地盤条件	コーン指数(qc)1,000~1,800kN/m <sup>2</sup> (N値7~14程度)に締め固めた 砂質土、粘性土
埋戻土の条件	1層30cmをランマー、プレートで転圧
削孔径	φ125mmを想定
削孔長	2.0m
補強材	・インジェクションパイプIP50 ・外径φ60.5 ネジ節異形棒鋼D35 ・グラウトの逸脱防止のため、口元にパッカーを設置

異なる地盤条件での補強体の造成状況とインジェクションパイプの注入位置の違いによる補強体の造成状況を確認した。写真-3に砂質土を例とした場合の補強体の造成状況を示す。

削孔径をφ125mmと想定した置換注入の後、繰返し注入を行った結果、補強体の最終造成径は平均で削孔径の2倍の径を得られることが確認できた。また、繰返し注入の位置は1m間隔で十分補強体が造成できることを確認した。



補強体径 ≒ 削孔径 × 2  
写真-3 補強体の造成(全景)

#### 3.2 地盤変位と引抜き抵抗力の検証

本工法の特徴である繰返し加圧注入は、鉄道軌道直下の盛土で適用する場合には、注入時の地盤変位が懸念される。そこで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囲摩擦抵抗力の差を確認・検証した。

試験概要および使用機械の諸元を表-2、表-3に示す。本試験に先立ち、地盤変位を計測しながら注入速度を一定とし

表-2 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	φ115mm
削孔長	3.0m
補強材	インジェクションパイプ IP50 外径φ60.5 ネジ節異形棒鋼 D35、ゲビンデスタープ 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-3 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

て、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を目的として予備試験を実施した。その結果から、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、盛土先端に H 鋼による不動点を設置しその不動点に変位計を固定し、データロガー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。

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-3 に地盤変位計測箇所と変位量の測定結果例を図-4 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。

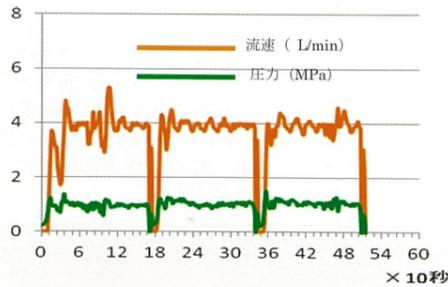


図-3 繰返し注入時の流速と圧力管理結果

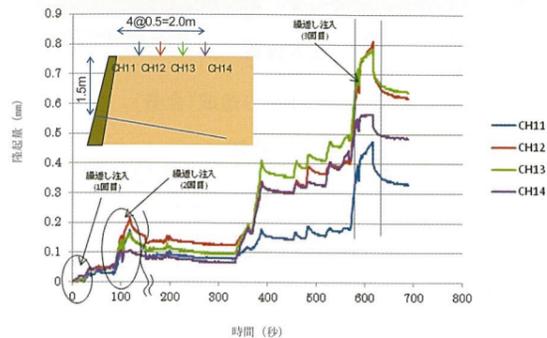


図-4 繰返し注入時の盛土変位量

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、土かぶり 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。

本工法では、図-2 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、周面摩擦抵抗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<sup>2)</sup>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抗力度  $\tau$  と土質の違いおよび N 値との関係をまとめたものを図-5 に示す。なお、本試験の周面摩擦抵抗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<sup>3)</sup>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体径が削孔径の 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。

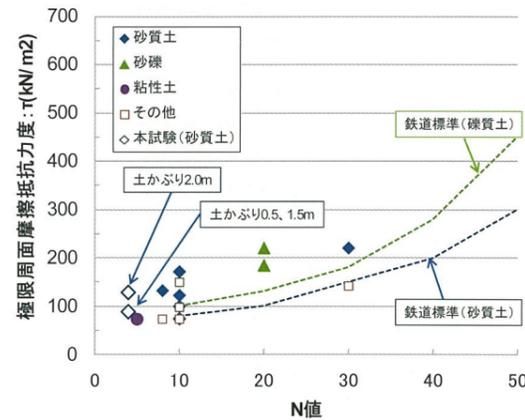


図-5 極限周面摩擦抵抗抗力度と N 値の関係

### 3.3. 試験のまとめ

繰返し注入を用いた補強土工法である「ロータスアンカー工法」を新たに開発し、既設盛土・切土などへの適用を想定した施工試験を実施した。

また、本工法の施工試験により、注入時の速度および圧力と地表面の隆起量とを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。

## 4. 鉄道盛土の補強事例

### 4.1. 工事概要

JR 山陽本線広島・横川間の新駅設置工事において、本工法が初めて採用された事例を報告する。

既設盛土にアンカーを打設・補強し、張出しホームを新設する工事で、必要な周面摩擦抵抗抗力が得られにくい地盤のため、ラディッシュアンカー (φ200mm, L=9.0m) が計画されていた。しかし、擁壁背面に径 100mm 以上の礫や支障物が出現し、ラディッシュアンカー工法では施工が不可能であったため、同程度の改良体を造成でき、礫及び支障物があっても施工可能で、当



図-6 施工箇所

初計画から大幅な工法変更がないため、工期が遅延することのない本工法を提案し、採用された。

次の図-6~8、表-4 に本工事の概要を示す。

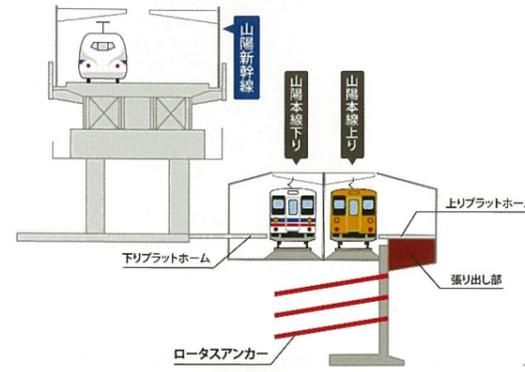


図-7 施工位置

表-4 工事概要

施工場所	広島県広島市中区白島地先
試験年月	平成 25 年 9 月~11 月
削孔径	φ115mm (改良径φ230mm)
削孔長	L=9.0m
施工本数	51 本
補強材	インジェクションパイプ IP50 外径φ60.5 ネジ節異形棒鋼 D29 SD345

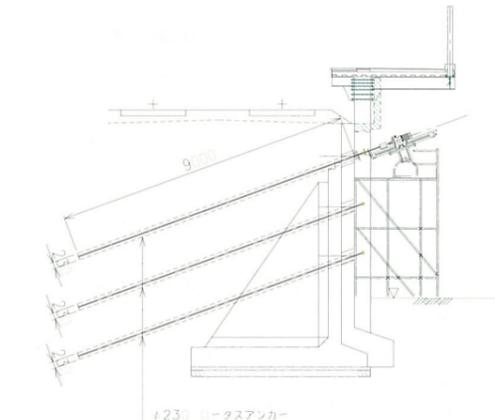


図-8 断面図

### 4.2. 施工結果

本工事は営業線軌道直下 1.5m での施工のため、加圧注入により補強体を形成する本工法は、繰返し注入の際に軌道変状が懸念された。そこで、開発時の実験結果で確認できた注入時の圧力を最大 2.0MPa、注入速度を 5.0L/min 以下とし、線閉時に試験施工として 3 本施工した。

その結果、軌道の変状は 0.1mm 以下とほぼ施工時の変状としては無視できる値であったため、残りの施工箇所は昼間の施工とした。

本施工においては支障物や礫を打撃により、押し出しながら当初の計画通りに行ない、軌道変状は最大 0.4mm とほぼ軌道の変状がないという結果となった。

施工時は、開発時の実験と同様、注入速度、注入圧力を管理しながら施工することによって、軌道変状などの影響がほぼないことが確認できた。

## 5. 道路盛土の耐震補強例

### 5.1. 工事概要

既設道路盛土のり面の耐震補強工事で本工法が採用された事例を報告する。

兵庫県神戸市の道路ボックスカルバート上に構築された高盛土が変形し、パラペットの破損が見受けられた。地質調査や観測を実施し、安定解析の結果、安全率が 1.0 を下回ることが確認され、主要幹線道路直上という条件から、レベル 2 地震動に対しても安全とすることが求められた。

対象となる盛土がボックス直上であり長尺なアンカーや杭などによる対策が不可能であったため、短尺で高い周面摩擦抵抗抗力が期待できる本工法と、剛な壁を有する補強土擁壁を組み合わせた対策工が採用された。のり面補強の工事概要と現場全景をそれぞれ表-5、写真-4 に示す。

表-5 工事概要

施工場所	兵庫県神戸市妙法寺地区
施工年月	平成 26 年 5 月~9 月
地盤条件	粘性土主体層、礫混じり砂質土主体層の互層 (N 値 10 程度)
削孔径	φ115mm (改良径φ230mm)
削孔長	L=12.4m~14.0m 合計 1,280m
施工本数	96 本
補強材	インジェクションパイプ IP50 外径φ60.5 ネジ節異形棒鋼 D22 SD345



写真-4 現場全景

### 5.2. 極限周面摩擦抵抗抗力度の確認

本工法の補強体の品質は、引抜き試験を実施し、補強体の引抜き抵抗抗力を確認することにより行う。引抜き試験は設計引抜き抵抗抗力を確認する「受入れ試験」と設計で採用した土質定数の妥当性 (極限周面摩擦抵抗抗力度: 以降  $\tau$  値と略す) を検証する「適合性試験」がある。前者は実際に施工するものと同じ本設のアンカーを試験するもので、後者は本設のアンカーではなく、試験体を造成して実施するものである。

本工事は、既設道路盛土における最初の施工事例であることから、適合性試験を実施し、 $\tau$  値の評価を行った。試験では本設とは別に補強体を造成し、 $\tau$  値を確認した。さらに、従来の中径棒状補強土工による極限引抜き試験も合わせて実施した。試験結果を表-6 に、試験状況を写真-5 にそれぞれ示す。

試験結果は、設計に用いられた  $\tau$  値を上回り、開発時に実施した引抜き試験と近似した結果 (図-10) であった。このことから、実現場における極限引抜き試験により本工法の補強体が設計どおり造成できているといえる。また、粘性土の地盤においては、通常の中径棒状補強土工に比べ、1.5 倍程度の引抜き強度が得られた。これは開発時の値と同程度のものであった。



写真-5 試験状況

### 6. まとめ

繰返し注入方式による地山補強土工「ロータスアンカー工法」の開発時の効果の検証及び既設盛土における施工事例について報告した。本工法が既設盛土の耐震補強対策や周面摩擦抵抗抗力が得られにくい、盛土補強土工としての効果が十分得られ、実際の施工においても品質や施工性等に問題ないことが確認できた。