

加圧注入型地山補強土工法の開発と施工

倉上 由貴* 中島 進* 別府 正顕** 矢崎 澄雄***

Development and Construction of Ground Reinforcement Method using Pressurized Injection Materials

Yuki KURAKAMI Susumu NAKAJIMA Masaaki BEPPU Sumio YAZAKI

A new method called Lotus anchor method was developed as a soil reinforcement method using grout injection. This method enables the construction of ground reinforcement with a diameter larger than the boring diameter ($\phi=115$ mm) by pressurized injection. The pullout test results showed that the design pullout resistance can be evaluated reasonably by setting the reinforcement diameter twice than that of the boring diameter. It was also confirmed that the proper management of injection pressure and injection rate secures the safe construction. Using an ordinary soil reinforcement method, we need a large construction machine with a width of about 5 m, on the other hand only a width of just 3 m will do for the developed method. Moreover, using a small core drill machine, required space can be reduced to just a 1 m site width, allowing the construction in narrow place.

キーワード：地山補強土，加圧注入，補強材，引抜き試験，ロータスアンカー工法

1. はじめに

加圧注入型の地山補強土工法として開発した「ロータスアンカー工法」¹⁾は2013年の開発以降、狭隘部の旧式擁壁や盛土・切土の補強工事を中心に施工されており、2022年6月末時点で施工総延長は23kmを超えている。

地山補強土工法とは、自然斜面や切土・盛土の内部に棒状の補強材を配置して地山を安定化する技術である。ここで、図1に地山補強土工法の基本的な構造を示す。補強材は芯材と定着材（グラウト材）から構成され、一般的な新設を対象とした施工手順は、初めに削孔を行い、その中心位置に棒状の引張芯材を挿入し定着材（グラウト材）を注入する。地山を掘削した場合は、表面を壁面工等で被覆し、補強材と表面材を頭部定着材で連結することにより地山の安定化を図る。補強材抵抗力の発現機構として、地盤内に造成された補強材の周面摩擦力が構造物の抵抗力として付与されることから、地山補強材は太く長いほど、大きな抵抗力が期待される。地山補強材は2

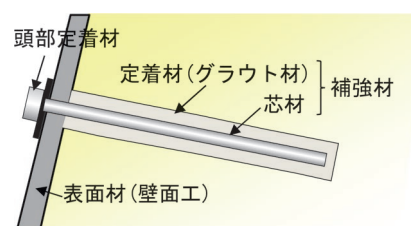


図1 地山補強土工法の基本的な構造

章で後述するように補強材の直径に応じて表1のように分類される。地山補強材はいくつかの種類があるが、従来の工法では、定着材の注入を無加圧注入とする工法が一般的であるため補強材径と同一の削孔径が必要となる。

近年では、擁壁・橋台などの既設構造物の補強にも地山補強土工法が適用されている。既設構造物を対象とした補強工事では、営業線に近接した施工であることや、都市部では狭隘箇所での施工も多く、空間的・時間的な制約がある。そのため、工事費の増加、工事期間の長期化を招くなど施工面でいくつかの課題がある。

表1 地山補強土工法の分類

分類	工法	削孔			注入	
		削孔方法	削孔径 (mm)	補強材径 (mm)	グラウト材	注入方式
ネイリング	ロックボルト	一般の削孔機	$\phi 40 \sim 90$	$\phi 40 \sim 90$	セメント ミルク	無加圧式
マイクロ パイリング	キャロットアンカー工法	ロータリーバーカッシ	$\phi 170$	$\phi 170$		無加圧式
	ロータスアンカー工法（開発工法）	ヨン削孔機	$\phi 115$	$\phi 170, \phi 230$		加圧式
ダウアリング	ラディッシュアンカー工法	機械攪拌混合方式	$\phi 300 \sim 500$	$\phi 300 \sim 500$		無加圧式

* 構造物技術研究部 基礎・土構造研究室
 ** ライト工業株式会社
 *** 株式会社複合技術研究所

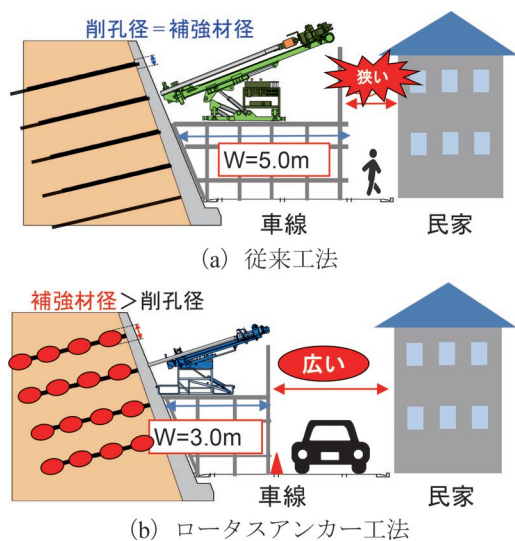


図2 地山補強土工法の比較

従来工法（無加圧注入工法）の課題を解決するために、加圧注入により補強材を拡大造成させることで高い引抜き抵抗力を得る地山補強土工法として「ロータスアンカー工法」を開発し、多くの現場で実用化されている。本稿では、開発過程で実施した試験施工や引抜き抵抗特性の評価、その後の実施工例、さらなる効率化・品質向上に向けた施工管理方法について報告する。

2. 加圧注入型地山補強土工法の開発と概要

2.1 従来工法の特徴とその課題

地山補強材は補強材の直径に応じて、小径（φ50～100mm程度）のネイリング、中径（φ100～300mm程度）のマイクロパイリング、大径（φ300～500mm程度）のダウアリングに分類される。表1には、加圧注入型補強土工法として2013年に開発したロータスアンカー工法を含む、鉄道構造物で多く使用される工法を示す。

ネイリングは、山岳の硬質な地質を対象としたNATM工法で用いられるロックボルトの技術を基本としているため、補強材径は小径である。しかしながら、盛土は山岳地盤と比べると軟質で、ネイリングにより盛土の安定化に必要な周面摩擦力を確保するためには、長尺化・高密度化となる場合が多い。

ダウアリング工法の一つである「ラディッシュアンカー工法」は機械攪拌により固化材であるセメントミルクを注入しながら地盤を攪拌混合すると同時に芯材を打設することで、直径300～500mmに及ぶ太径補強材を構築するものである。補強材径が太く表面積が大きいため、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。しかし、施工上の問題点として、地盤が硬質な場合や大きな礫が混在すると攪拌能力が低下し、施工が困難な場合がある。

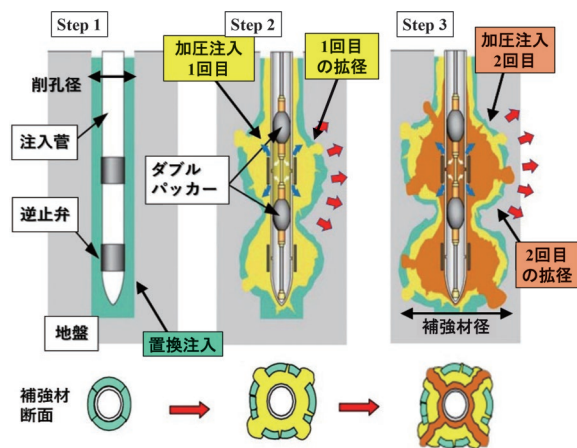


図3 施工手順

マイクロパイリング工法の一つである「キャロットアンカー工法」は、先行的に地盤を削孔して、削孔部をセメントミルクに置き換えるとともに中心位置に芯材を挿入し、直径170mmの中径補強材を構築するものである。高出力のロータリーパーカッションドリルを用いて削孔することにより、礫や玉石などを含む地盤や硬質地盤においても施工が可能な工法である。

このように、地盤や現場の状況に応じて地山補強材の種類を選定するものの、従来の地山補強土工法を既設構造物の補強に用いた場合、以下の課題があった。

- ① 地山補強材は太く長いほど、大きな抵抗力が期待されるが、削孔径・補強材径に応じて施工機械が大型化し、都市部などの狭隘箇所での施工が困難となる。一般的に施工時に3.5～5.0m程度の幅が必要となる（図2(a)）。一方で、小型の施工機械を使用して小径の補強材を適用すると補強材が長くなり、削孔本数も増加する。
- ② 擁壁などの既設構造物を補強する場合には、コンクリート壁面を削孔する必要がある。削孔径が大きいとコアボーリングのための準備工も大規模となり、工事費・工事期間に占める準備工の割合が大きくなる。
- ③ 削孔から補強材造成、芯材挿入までを一施工で完了させる必要があるが、例えば終電から始発までの夜間間合いで施工する場合など、時間的な制約がある場合には工期が長くなりやすい。

そこで、これらの課題に対応するため、小型機械による施工が可能で、さらに補強材径の拡大を可能とする加圧注入型の地山補強土工法（ロータスアンカー工法）を開発した経緯がある。

2.2 加圧注入型の地山補強土工法

加圧注入型の地山補強土工法であるロータスアンカー工法の概要と施工手順について述べる。図3にロータス

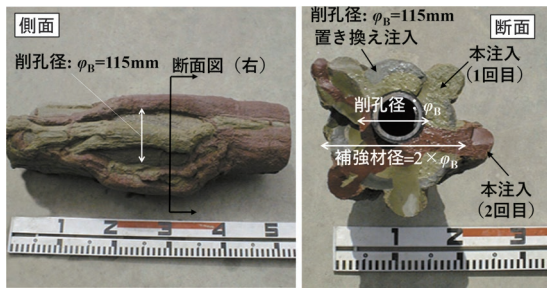


図4 繰返し加圧注入による補強材の側面と断面

アンカー工法の施工手順を示す。ロータリーパーカッションドリルにより地盤の先行削孔 ($\phi 115\text{mm}$) を行い、削孔部分に注入管を挿入して、孔内および注入管内部をセメントミルク（グラウト材）で置換注入する（STEP1）。キャロットアンカー工法と同様にロータリーパーカッション式の削孔機を用いることにより、礫や玉石などを含む地盤や硬質地盤においても施工が可能である。また、置換注入することで削孔した地盤の崩壊を防止することができるため、削孔と加圧注入を別工程で実施することが可能となる。次に、置換注入部を水による加圧で割裂したうえで、二重管ダブルパッカーからグラウト材を加圧注入して補強材を拡大造成する（STEP2）。より大きな補強材抵抗力が必要な場合や、想定より地山が軟弱でさらなる拡張が必要な場合には、繰返し加圧注入を行うことで補強材の拡張も可能である（STEP3）。後述する引抜き試験の結果より、削孔径 $\phi 115\text{mm}$ に対して、砂質土地盤では 2.0 倍 ($\phi 230\text{mm}$)、粘性土地盤では 1.5 倍 ($\phi 170\text{mm}$) の補強材径を造成することが可能となっている。図 4 は繰返し加圧注入工法により造成された補強材の側面と断面を示す。加圧注入により削孔径に対して補強材径を平均的に 2 倍程度まで拡大できていることが分かる。開発工法により、上述した課題に対して、下記の特徴で解決できる。

- ・削孔径が小さいため、占有幅 2.5~3.5m 程度の小型の削孔機械による狭隘箇所での施工が可能である（図 2 (b)）。特に狭隘な場合、可搬型の削孔機を用いることで最低 1.0m 程度の占有幅でも施工が可能である。
- ・削孔径が小径であることから、既設構造物のコンクリート壁面の削孔量を低減することが可能である。
- ・削孔工と加圧注入による補強材の造成を別工程で施工することが可能なため、工事可能な時間に制約のある既設営業線に関係する工事では工期を大きく短縮することも可能である。

ただし、本工法の拡張技術は、グラウンドアンカーに適用していた技術を応用するものであり、地表面から比較的深い位置に存在する岩盤への定着により斜面の安定化を図るグラウンドアンカーとは異なる。そのため、土被り圧が小さい場所に適用し、周面摩擦力の評価が重要と

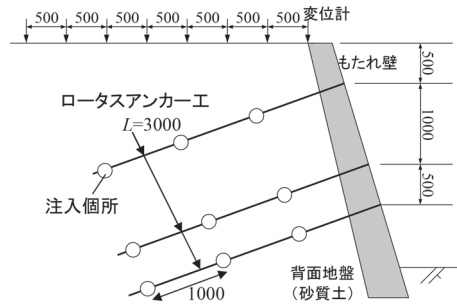


図5 試験施工の概要（単位：mm）

なる地山補強土工法のロータスアンカー工法においては、設計・施工法の両面で、いくつかの課題があり、試験施工により検討をしたので 3 章ではその結果を報告する。

3. 試験施工による設計・施工法の確立

3.1 試験施工の概要

引抜き抵抗の評価法および安全に施工可能な繰返し注入の仕様設定のために、鉄道総研の盛土試験場で試験施工を行った。図 5 に試験施工の実施概要を示す。砂質土盛土に構築された既設もたれ壁に、土被り（打設位置）0.5m、1.5m、2.0m の位置で長さ 3m の地山補強材を施工した。また、補強材の引抜き抵抗力を評価するための比較対象としてロックボルトも打設した。

3.2 施工時の地盤隆起について

加圧注入の施工管理条件を検証する目的で予備試験を実施した。このときの仕様は、RSI グランドアンカー²⁾の基準に準じて、加圧注入量は目標補強材径 ($\phi 230\text{mm}$) の約 3 倍（削孔径に対して 6 倍）となるように設定し、繰返し注入回数は 3 回、注入速度 8L/min、上限の注入圧力 4MPa、加圧注入位置を 1m ピッチとした。3 回の繰返し注入の結果、最大で累計 26mm 程度の大きな隆起量が見られた。これは、RSI グランドアンカー²⁾ではアンカー体の土被り 5m 以上を標準としているが、地山補強土工法では、土被り 0.5m 程度の小土被りを対象としていることに起因する。

予備試験の結果を踏まえて、本試験では、グラウト材の加圧注入量を目標補強材径 ($\phi 230\text{mm}$) 相当の体積に再設定した。この設定は、注入圧力により地盤を割裂させ地盤内が補強材に置き換わる割裂注入の考えに基づいて設定している。この加圧注入量の再設定に加えて予備試験の結果から、地盤隆起が生じないように、注入速度 2~5L/min、圧力 1.5MPa 以下の管理値を設定した。特に土被りが小さい最上段においては、割裂注入の考えに基づき加圧注入をすると、グラウト材が地表面に流出する恐れがあるため、異常流出や地盤の変位量が許容値を

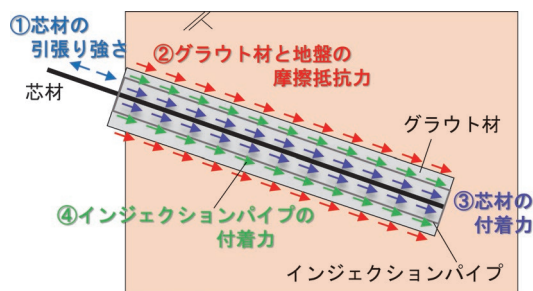


図6 地山補強材に発生する抵抗力

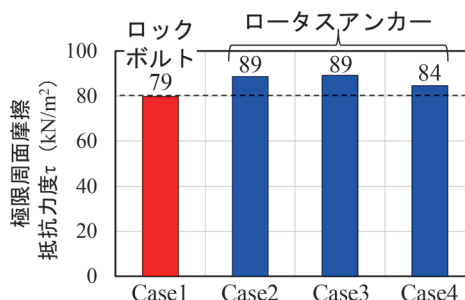


図7 極限周面摩擦抵抗力度の比較

表2 引抜き試験一覧

	Case	土被り	加圧注入により造成される目標補強材径		極限引抜き抵抗力	
			(mm)	比率	(kN)	比率
ロックボルト	1	1.5m	115mm*	1倍	72	1倍
ロータスアンカー	2	0.5m	230mm	2倍	160	2.2倍
	3	1.5m	230mm	2倍	161	2.2倍
	4	2.0m	345mm	3倍	229	3.2倍

※ロックボルトは無加圧注入である

超過しないように注入速度を調整した。なお、軌道の変位制限値を参考に、本試験では地盤の許容変位量を5mm以内に設定した。実際の鉄道構造物では軌道荷重が存在するが、本試験施工では軌道荷重がないため、より地盤変位が発生しやすい条件下での試験である。

試験施工では注入管理を行うことにより、土被り0.5m、1.5m、2.0mで、隆起量の最大値はそれぞれ4.02mm、0.81mm、1.52mmであった。試験施工の結果では、注入速度、注入圧力の制限値を設定した注入管理を行うことによって土被り1.5m程度以上の場合には軌道レベルでの変位に殆ど影響がないことが確認された。

3.3 引抜き抵抗力の評価

ロータスアンカー工法により造成した地山補強材に引抜き力が作用したときに、図6のような抵抗力が発生する。設計での引抜き抵抗力は、①芯材の引張り強さ、②グラウト材と地盤の摩擦抵抗力、③芯材の付着力、④インジェクションパイプの付着力のうち最小値で決定する。標準的な設計では、②グラウト材と地盤の摩擦抵抗力により決定されることが多い。しかし、ロータスアンカー工法で造成した補強材の直径は均一でないため、摩擦抵抗力の評価を直径が均一な通常の地山補強材と同様に評価することが可能か明らかではない。

そこで、試験施工で構築した補強材の引抜き試験を実施し、加圧注入型の補強材の極限引抜き抵抗力（補強材と地盤の摩擦力）を確認した。表2には、引抜き試験の条件と結果の一覧を示す。ここで、無加圧注入型でロータスアンカーの削孔径と同一の補強材径に設定したロックボルト（Case1）を比較対象とした。Case2~4ではロー

タスアンカーを対象としており、削孔径φ115mmに対して、Case2、3では削孔径の2倍（φ230mm）を目標補強材径とし、Case4は3倍（φ345mm）を目標補強材径として加圧注入を行った。

Case1の極限引抜き抵抗力を基準にすると、注入量が削孔径の2倍に相当するように加圧注入したCase2、3の極限引抜き抵抗力は2.2倍と2倍以上であり、補強材径が2倍以上確保されていると見なすことができる。ロータスアンカーの引抜き抵抗力の発現機構として、ロックボルトと同様の摩擦成分の他に、節状に形成された補強材が土中引抜きの際に受働破壊を伴い大きな抵抗力を発揮することが考えられる。Case4では、目標補強材径3倍に相当する注入量で造成した極限引抜き抵抗力がCase1の3.2倍に増大した。これは、注入量を通常の3倍を超える量を注入することで、グラウト材と地盤の摩擦抵抗力をさらに増大させることが可能であることを示唆している。ただし、掘り起こした結果からインジェクションパイプとグラウト材の付着切れが発生したことにより引抜けている可能性が確認され、表2に示した引抜き抵抗力は図6に示す抵抗メカニズムのうち④で破壊が生じた可能性があることを示唆している。このような場合には、インジェクションパイプとグラウト材との付着切れが生じないように地山補強材の長さを伸ばすなどの摩擦抵抗力を増やす対応が必要である。

一般に地山補強土工法の設計では、グラウト材と地盤の摩擦抵抗力により引抜き抵抗力が決定される。グラウト材と地盤の摩擦抵抗力は、単位面積当たりの極限周面摩擦抵抗力度 τ に補強材の周面積を乗じて算定する。

図7に各ケースの極限周面摩擦抵抗力度を示す。実際にはロータスアンカーは補強材径が不均一であるものの、注入量に応じた目標補強材径を補強材の直径として設定した極限周面摩擦抵抗力度 τ をロックボルト（Case1）の値と比較した結果である。Case2、3、4ともにロックボルト（Case1）と同程度の極限周面摩擦抵抗力度が得られた。このことは、ロータスアンカーにおけるグラウト材と地盤の摩擦抵抗力が注入量に応じた目標補強材径から設定した周面積に、既に豊富な実績がある従来工法の極限周面摩擦抵抗力度を乗ずることで設定

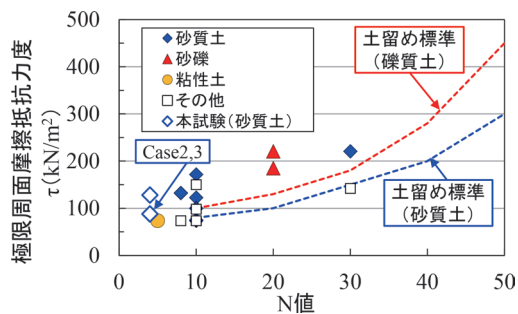


図8 極限周面摩擦抵抗力度とN値の関係

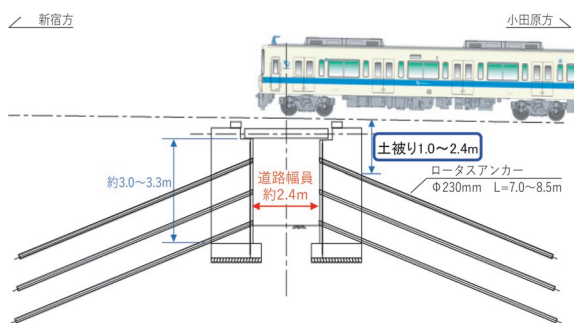


図9 既設橋台耐震補強断面図(事例1)⁴⁾

可能なことを示唆している。このことを確認するために、図8には、本試験の結果と、施工現場で実施した引抜き試験で得られた引抜き抵抗力度から前述した方法により算定した極限周面摩擦抵抗力度を土質毎にN値との関係として整理している。併せて鉄道構造物等設計標準・同解説(土留め構造物)(以下、「土留め標準」と称す)³⁾における推定値を破線で示す。ロータスアンカーの試験結果については、前述した通り目標補強材径を削孔径の2倍に設定して極限周面摩擦抵抗力度を求めている。本試験対象である砂質土盤のN値は4であり、極限摩擦抵抗力度は、土留め標準におけるN値10相当の地山を対象とした推定値と同等以上であった。以上より、ロータスアンカー工法においても、従来工法の極限周面摩擦抵抗力度に目標補強材径から算出した周面積を乗じて引抜き抵抗力度を算出することの妥当性が確認された。

実際には節状の補強材が連続的に造成されることで、一様な径の補強材より大きな引抜き抵抗の発現が期待されるものの、設計では補強材径を削孔径の2倍(目標補強材径)としたロックボルトの推定値を極限周面摩擦抵抗として評価することで、安全側に設計上の引抜き抵抗を設定することが可能なことを確認した。

4. 既設構造物補強での適用事例

本章では鉄道現場で適用された事例の一部を紹介する。一つ目の事例は、鉄道直下での橋台の耐震補強現場である⁴⁾。本適用箇所の断面図を図9に示す。補強対象と

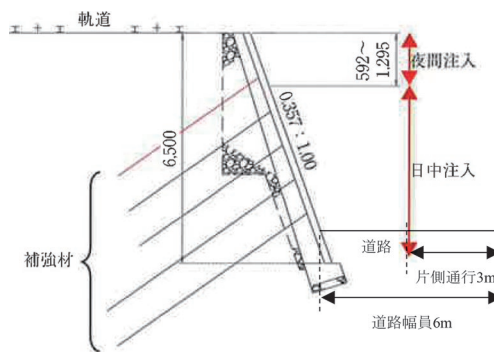


図10 既設擁壁補強断面図(事例2)⁵⁾

なる橋台は、幅員2.4mと非常に狭い道路に面しており、施工機械の搬入が困難である。さらには、営業線直下での施工となり、軌道への影響を最小限にしなければならない。対象橋台の周辺状況から、小型機械で大径の補強材を構築できる工法かつ、小径の削孔が可能なロータスアンカー工法が採用された。本現場は非常に狭隘な箇所であるためコアドリルを用いた。図9に示すように補強材を3段施工する必要があり、最上段の土被りは最小で約1.0mと線路直下での施工である。安全性を考慮し、最上段は線路閉鎖での施工として、隆起の有無を確認した。最上段の補強材は、最大圧力0.8~1.6MPaと規定(1.5~2.0MPa)の範囲内で、軌道隆起は確認されなかった。2段目以降では、最上段よりも土塊重量も増加するため、軌道隆起は生じないと判断して、昼間に施工した。昼間施工でも安全に施工を完遂し、工期短縮・コスト削減を図ることができた。また、歩行者の少ない昼間に施工したことで、近隣住民への影響も最小限に抑えることができた。

二つ目の事例は、既設もたれ擁壁の補強現場である⁵⁾。当初設計では、φ150mmの棒状補強材で擁壁を補強する仕様としていたが、この径での補強材を施工するためには、大型の削孔機が必要で施工幅4.5~5.0mが必要であった。当該現場条件としては図10に示すように、道路幅員がのり尻から約6.0mあるが、幅3mの片側通行帯を確保する必要があるため、施工用地幅として確保可能な幅は約3.0mであり、当初計画していた大型の削孔機での施工は困難である。この条件下で施工可能な工法として、ロータスアンカー工法と機械攪拌混合方式によるマイクロパイリングが挙げられるが、現場の土質条件として擁壁背面にぐり石があるため、攪拌混合工法での施工にはケーシングが必要となるなどの課題があった。よって、当該現場では小型削孔機かつ高い削孔能力を有するロータスアンカー工法が採用された。削孔機は施工用地幅に収まるスプリングドリルを用いた。重量が約490kgであり、削孔機としては比較的軽量で、足場上の移動も容易である。5段の補強材のうち最上段では土被

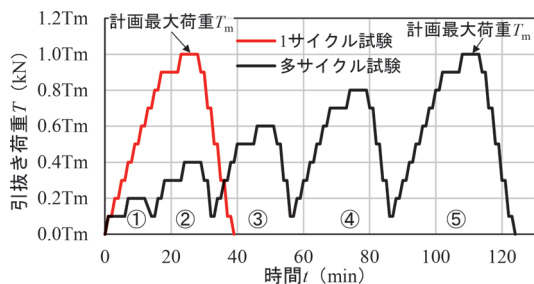


図 11 1 サイクル試験と多サイクル試験の概念図

り 0.59～1.29m かつ軌道直下での施工である（図 10）。最上段の施工では軌道隆起が生じる懸念があるため、削孔は昼間施工し、加圧注入を夜間と別施工し、軌道変位量を計測した。加圧注入時の軌道変位量は、鉛直：+0.3mm～-0.6mm、水平：+1.2mm～-1.6mm といずれも管理値±3.5mm の範囲に収まっていた。この結果に基づき、2 段目以深は、加圧注入時に管理値以上の変位は生じないものと判断して、削孔・加圧注入とのに昼間に施工した。最終的に安全に施工を完遂した。

5. 品質確認方法と施工上の留意点

前章で述べた通り、ロータスアンカー工法は 2013 年に開発されて以降、様々な現場で適用がなされてきた⁶⁾。これまでの施工実績から施工時の留意点や品質確認方法について得られた知見を活用して、令和 4 年に施工マニュアルを改訂⁷⁾した。

5.1 品質確認方法

補強材の品質確認は引抜き試験により行われており、その種類として、極限周面摩擦抵抗力を確認するための適合性試験と、設計引抜き抵抗力を確認するための受入れ試験がある。また、試験の载荷方法として、1 サイクル試験と多サイクル試験に分類され、前者は試験を簡易にできるメリットがあり、後者は繰り返し载荷条件に対する適応性が高いなどのメリットがある。図 11 に 1 サイクル試験と多サイクル試験の概念図を示す。1 サイクル試験は、計画最大荷重 T_m まで段階的に引抜き荷重を与えて引抜けないか確認をする方法である。一方で、多サイクル試験は、計画最大荷重 T_m に対して、最大荷重を徐々に増加させながら多数サイクル試験を行う方法である。1 サイクル試験よりも多サイクル試験の方が試験の所要時間も長くなるのが分かる。従来工法では、受入れ試験により 1 サイクル試験を全本数の 3% 以上実施することとしている。

一方で、ロータスアンカー工法の旧施工マニュアル⁶⁾では、多サイクル試験を実施することを基本としている。これは、ロータスアンカー工法では補強材を削孔径から

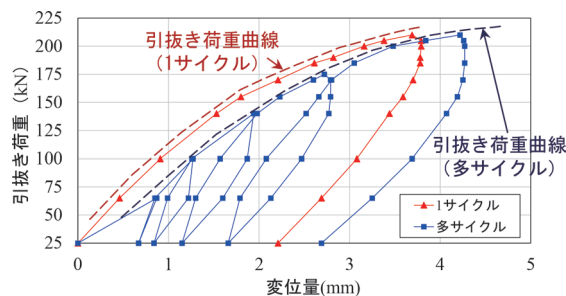


図 12 現場での受け入れ試験の結果

拡大造成して、設計で見込んだ補強材径の造成と対応する引抜き抵抗力の発現について、慎重に確認することを意図していたためである。しかし、前述した通り施工実績が増加してきたため、加圧注入量と引抜き抵抗力との関係や試験サイクル数の違いによる影響を検討することで、より合理的な品質管理が可能になると考えられる。

その取り組みの一環として、在来線鉄道盛土で施工した補強材の受入れ試験を行い、1 サイクル試験と多サイクル試験の違いを確認した結果を図 12 に示す⁸⁾。図中には、各サイクルの最大値を包含した曲線を引抜き荷重曲線として記載している。1 サイクルと多サイクル試験の引抜き荷重曲線は同様であり、試験後の残留変位量にも大きな差は見られなかった。また、多サイクル試験では、履歴荷重内で変位量がほぼ一致しており、進行性が殆ど生じないという履歴特性が明らかとなった。これより、新規荷重を与えた際に、支配的な変位量が発生していることが示唆される。上記の結果より、ロータスアンカー工法においても、受け入れ試験は、1 サイクル試験としても問題がないと考えられる。これらの結果を踏まえつつ、改訂施工マニュアル⁷⁾では、受け入れ試験は原則として 1 サイクルで行うことに変更した。

5.2 施工上の留意点

軌道直下など重要構造物に近接した箇所施工する場合には、軌道隆起が発生しないように計測管理することが重要である。地盤を隆起させずに安全に施工できるように、施工マニュアルでは、注入速度の範囲（2～5L/min）、注入圧の上限值（1.5～2.0MPa）に関して管理値を規定している。しかし、現場毎に地盤の性状にはバラツキがあり、地盤毎に注入圧力の変動や上限圧力も異なることが想定されるため、本来は最初に試し注入を行い、当該地盤に適した注入速度・圧力の管理基準値を設定することの重要性を追記した。また、加圧注入時にグラウト材が全て地山に注入されずに、インジェクションパイプの口元周辺から流出することがある。この場合、必要注入量が確保されず、地山補強材の造成が不十分となる恐れがあるため、加圧注入の際には周辺地盤の計測管理を行うとともに、注入口周辺の状況確認について追記した。

6. まとめ

本報では、以下の結論が得られた。

- (1) 加圧注入により、削孔径 115mm に対して 1.5～2.0 倍の補強材径の造成が可能となり同削孔径の無加圧注入工法よりも補強材の打設本数・長さを低減することができる。
- (2) 小型の削孔機械を用いることで狭隘部での施工が可能となった。擁壁・橋台などの補強では削孔径が小径であるためコンクリート壁面の削孔量を低減することができる。
- (3) 試験施工ならびに現場の実績から、土被り 1.5m では割裂注入の管理で施工することが可能で、1.5m 以浅でも注入速度や注入圧力の管理を行うことにより安全に施工ができる。
- (4) より合理的な品質管理ならびに施工時の留意点について追記し、施工マニュアルを改訂した。

文 献

- 1) 中島進, 大橋潤一, 高橋徳, 別府正顕, 横田弘一: 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, 基礎工, Vol.41, No.11, pp.74-76, 2013

- 2) RSI アンカー協会: RSI グランドアンカー工法 設計・施工マニュアル, 2021
- 3) 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, 丸善出版, 2012
- 4) 出川博, 山元剛, 別府正顕: 鉄道軌道直下において繰返し注入型地山補強土工法「ロータスアンカー工法」を用いた耐震補強事例について, 土木学会年次学術講演会, Vol.72, pp.1203-1204, 2017
- 5) 別府正顕, 中島進, 田村幸彦: 狭隘箇所での地山補強材擁壁補強 - ロータスアンカー -, 基礎工, Vol.44, No.7, pp.70-72, 2016
- 6) RRR 工法協会: RRR-Nail ロータスアンカー工法 施工マニュアル, 2017
- 7) RRR 工法協会: RRR-Nail ロータスアンカー工法 施工マニュアル, 2022
- 8) 倉上由貴, 西田寿生, 吉田晋, 矢野康平, 藤村将治, 歳藤修一: ロータスアンカー工法の品質確認方法に関する一考察, 地盤工学研究発表会, Vol.56, 13-7-4-02, 2021