

# 大口径深層混合処理工法の施工管理システム

## —テノコラム工法—

藤橋 俊 則

テノコラム工法の品質管理は大別すると、①施工前に配合条件を決定する「配合管理」、②施工時に設定された施工条件を満足するための「施工管理」、③施工後に設計で要求された性能を有しているかどうかを確認するために行う「品質検査」に分けられる。本報では「施工管理」の観点から、テノコラム工法の概要および施工管理システムの紹介と大口径のテノコラム工法の施工事例について報告する。

キーワード：機械式深層混合処理工法、品質管理、施工管理システム、リアルタイム施工管理装置、大口径、2吐出口タイプ掘削攪拌装置

### 1. はじめに

テノコラム工法は、セメント系固化材をスラリー（固化材液）として地盤に注入し、地盤と固化材液を掘削攪拌装置により攪拌混合することによって、円柱状改良体（テノコラム：以下コラムという）を築造する深層混合処理工法である。また、土の共回り防止翼を装着した掘削攪拌装置を用いることにより、粘着力の大きい粘性土地盤においても固化材液と地盤との確実かつ良好な混合を可能とした工法である。

深層混合処理工法による改良体は地盤中にあるため、通常目視確認することができない。そのため、設計から要求される品質・出来形を確保するには施工管理を適切に行うことが極めて重要である。

近年の建築分野における構造物が大型化されてきていると共に、工期短縮・コストダウン等のニーズが高まっている。テノコラム工法はこれらのニーズに応えるべく、施工効率の向上を目的として大口径化（最大改良径φ2,600）を実現し、平成20年に改良径φ400～2,600の先端建設技術・技術審査証明<sup>1)</sup>を取得（内容変更と更新）している。

こうした生産性向上を目的とした改良径の大口径化に伴い、品質管理の重要度は益々高まっている。本報告では「施工管理」の観点から、テノコラム工法の概要および施工管理システムの紹介と大口径のテノコラム工法の施工事例について報告する。

### 2. テノコラム工法の概要

#### (1) 施工手順

テノコラム工法の施工手順は、標準的な一工程注入方式（図-1）と、攪拌混合回数を増やしたい場合や固化材添加量が多い場合に固化材液を2回に分けて注入する二工程注入方式（図-2）がある。

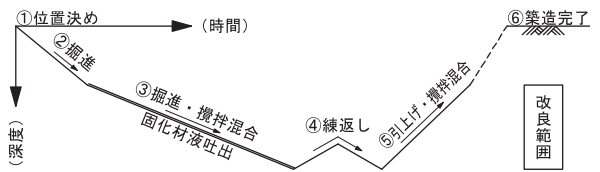
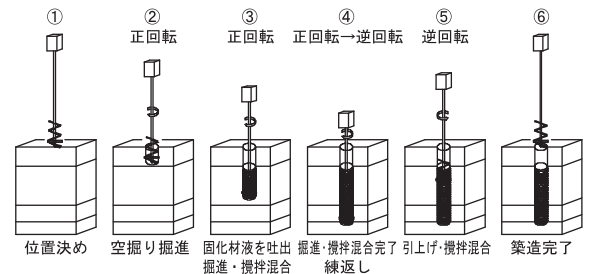


図-1 一工程注入方式の施工手順

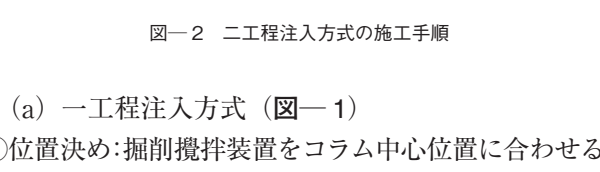
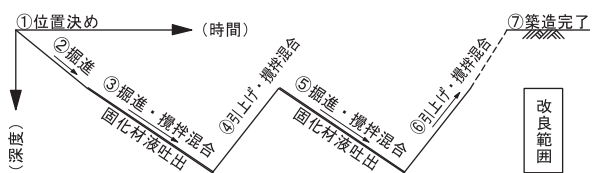


図-2 二工程注入方式の施工手順

#### (a) 一工程注入方式（図-1）

①位置決め:掘削攪拌装置をコラム中心位置に合わせる。

- ②空掘り掘進：固化材液を吐出せずに、空掘り部を所定の深度まで掘進する。
- ③掘進・攪拌混合：固化材液を吐出しながら掘進・攪拌混合する。
- ④練返し：掘進・攪拌混合工程が終了後、固化材液の吐出を停止し先端部の所要区間の練返しを行う。
- ⑤引上げ・攪拌混合：練返し工程が終了後、攪拌軸を逆回転しながら引上げ攪拌混合する。
- ⑥築造完了：掘削攪拌装置を地上に引上げて、コラムの築造を完了する。

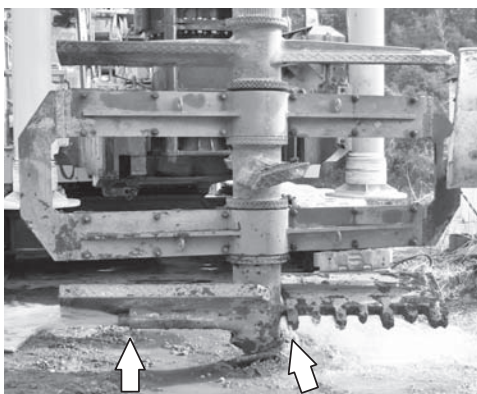
#### (b) 二工程注入方式 (図-2)

- ①位置決め：掘削攪拌装置をコラム中心位置に合わせる。
- ②空掘り掘進：固化材液を吐出せずに、空掘り部を所定の深度まで掘進する。
- ③掘進・攪拌混合：所要添加量の半分の量の固化材液を吐出しながら掘進・攪拌混合する。
- ④引上げ・攪拌混合：固化材液の吐出を停止して、攪拌軸を逆回転しながら引上げ攪拌混合する。
- ⑤掘進・攪拌混合：所要添加量の残りの固化材液を吐出しながら掘進・攪拌混合する。(2回目)
- ⑥引上げ・攪拌混合：攪拌軸を逆回転しながら引上げ攪拌混合する。(2回目)
- ⑦築造完了：掘削攪拌装置を地上に引上げて、コラムの築造を完了する。

#### (2) 掘削攪拌装置

テノコラム工法の掘削攪拌装置は、混合不良の原因となる土の共回り現象を防止するための「共回り防止翼」を装着した掘削攪拌装置を用いる。

大口径のテノコラム工法では、吐出口を掘削軸部(内側)と掘削翼部(外側)の2箇所に設けた「2吐出口タイプ掘削攪拌装置」を使用することにより、大口径のコラムにおいても全断面に均一に固化材液を供給す



掘削翼部吐出口 掘削軸部吐出口  
写真-1 掘削攪拌翼と固化材液吐出状況

ることを可能としている(写真-1)。

2吐出口タイプ掘削攪拌装置の掘削翼部吐出口の位置は、各吐出口から同量の固化材液を吐出するものとして、内側面積  $A1$  と外側面積  $A2$  が同面積となるよう設定している(図-3)。

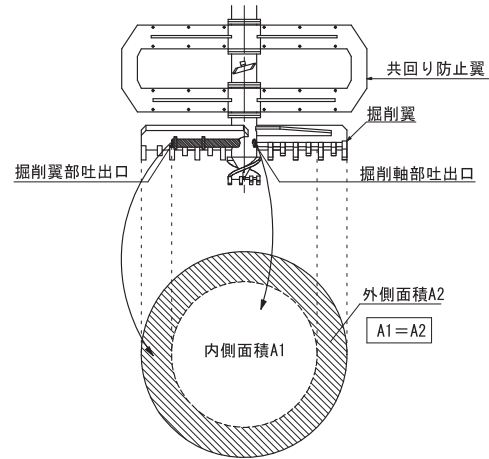


図-3 吐出口位置の設定

### 3. 施工管理システム

所要の品質を確保するためには、固化材液の吐出量を適切に管理できること、かつ地盤と固化材液を十分に攪拌混合すること、またコラム先端部が所定の支持力が発揮できる地盤に支持(着底)させたことを確認することが重要である。以下の①~③に施工管理項目を示す。

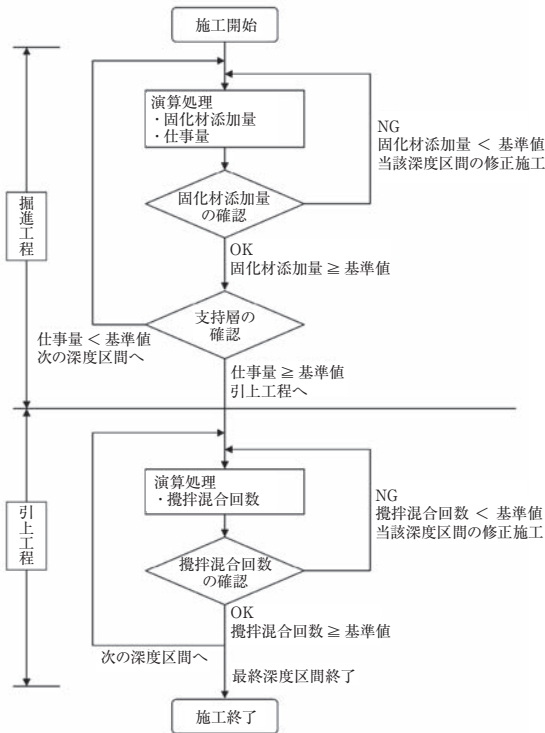
- ①固化材添加量：配合計画通りの固化材量が地盤に添加されているか。
- ②攪拌混合回数：地盤と固化材液が十分攪拌混合されているか。
- ③仕事量による所定地層への着底管理：所定の支持力を発揮できる地盤に支持されているか。

テノコラム工法では、自動で逐次計測を行うリアルタイム施工管理装置からなる施工管理システムを構築しており、オペレータは常に施工状況をリアルタイムでモニタリングしながら施工することができる。施工管理フローを図-4に示す。

#### (1) 固化材添加量管理方法

固化材添加量はコラムの強度品質に影響を与える重要な要因であるとともにコストにも直結する項目である。

固化材添加量は、流量計により測定された固化材液の吐出量と、深度速度検出器より得られた掘削攪拌装置の昇降速度、および改良径、水・固化材比などをリアルタイムで演算処理することにより管理される。施工中になんらかの原因で固化材液の吐出量が必要量を



図一四 施工管理フロー

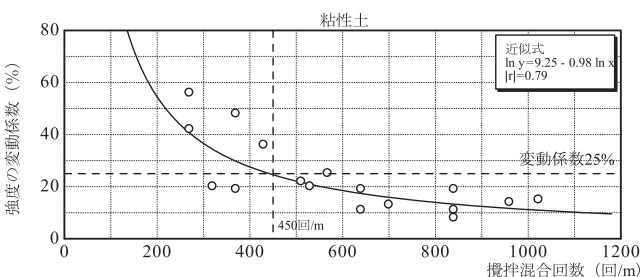
下回ると、所定の管理区間毎に施工管理装置から警報が発せられる。その場合は即時に固化材添加量が計画値を満足するよう修正施工を行う。

なお、リアルタイム施工管理装置は固化材添加量が常に計画値を満足するように、固化材液の吐出量を自動制御する機能を有している。

(2) 攪拌混合回数管理方法

攪拌混合回数は固化材添加量と同様にコラムの品質に及ぼす影響が大きく、重要な管理項目である。

攪拌混合回数は、掘削軸の回転数、掘削攪拌装置の昇降速度、掘削・攪拌翼枚数などから、所定の管理区間ごとにリアルタイムで算出される。テノコラム工法では、攪拌混合回数とコラムの品質（強度バラツキ）との間には、攪拌混合回数を増すと強度バラツキが小さくなるという関係があり、土質毎にテノコラム工法独自の管理基準値を設定している。図一五に粘性土の例を示す。



図一五 粘性土の攪拌混合回数と強度バラツキ

(3) 着底管理方法

鉛直支持力を期待するテノコラム工法の場合、コラム下方の地盤が所定の支持力を発揮する地層であることが必須であり、コラムをその地層に確実に支持させることが重要な管理項目となる。

着底管理では、掘進速度、オーガモータの電流値等を演算処理して掘進攪拌抵抗値（仕事量）を求め、所定の支持層に到達したことの確認を行う。予め土質調査をしたボーリング地点近傍にて試験施工あるいは先行コラムの施工を行い、土質柱状図と仕事量の相関を調べ、着底時の管理基準値を設定しておくことが肝要である。

4. 大口径のテノコラム工法の施工事例

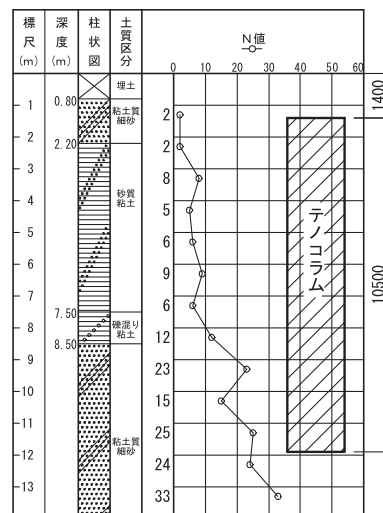
大口径のテノコラム工法では2吐出口タイプ掘削攪拌装置を用いることから、その施工管理においても掘削軸部吐出口と掘削翼部吐出口それぞれの吐出口から固化材液が均一かつ所定量注入されていることを管理する必要がある。このため、施工管理モニタ上で固化材添加量を吐出口毎に管理できるリアルタイム施工管理装置とした。以下に大口径のテノコラム工法の施工事例を示す。

(1) 施工概要

2吐出口タイプ掘削攪拌装置を使った大口径のテノコラム工法の施工概要を表一に、土質柱状図と改良範囲を図一六に示す。

表一 施工概要

場所	東京都八王子市
土質	粘土質細砂、砂質粘土、礫混り粘土
施工数量	φ 1,800 (2吐出口タイプ掘削攪拌装置) 改良長 10.5 m, 空掘長 1.4 m



図一六 土質柱状図と改良範囲

(2) 管理項目と管理基準値

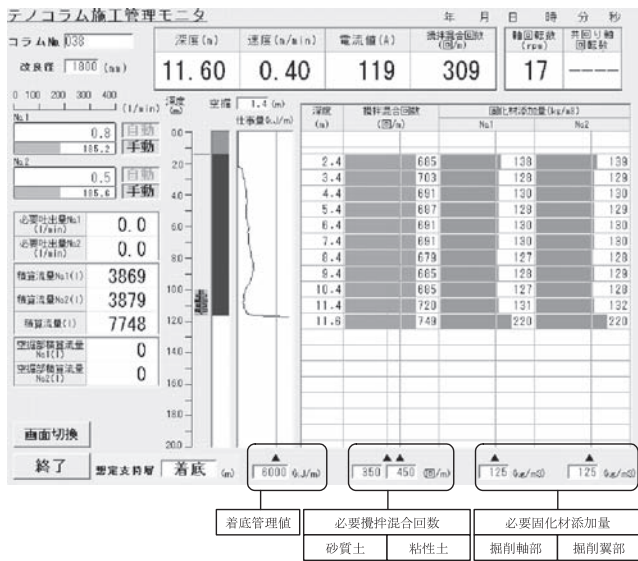
本事例におけるリアルタイム施工管理装置による管理項目と管理基準値を表—2に示す。

表—2 管理項目と管理基準値

管理項目	管理基準値
① 固化材添加量	250 kg/m <sup>3</sup> 以上 〔内側：125 kg/m <sup>3</sup> 〕 〔外側：125 kg/m <sup>3</sup> 〕
② 攪拌混合回数	粘性土：450 回/m 砂質土：350 回/m
③ 着底管理値	6000 kJ/m

(3) 施工管理モニタ

施工中の施工管理モニタの例を図—7に示す。オペレータは特に、掘進攪拌抵抗値より演算処理される仕事量、攪拌混合回数および固化材添加量についてビジュアル的に管理・判断が容易にできるモニタとなっている。



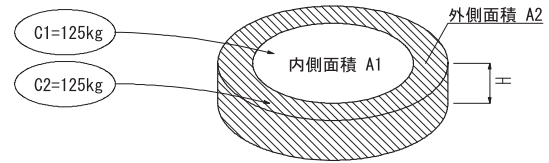
図—7 施工管理モニタ例

(4) 2 吐出口タイプ掘削攪拌装置への対応

従来の1吐出口タイプ掘削攪拌装置では、掘削軸部1箇所の吐出口より吐出した固化材液量から前述の演算処理に基づき固化材添加量を算出し、必要固化材量と対比して管理している。

2吐出口タイプ掘削攪拌装置では、掘削軸部と掘削翼部の2箇所の吐出口より添加される固化材添加量を管理するため、固化材液注入量を吐出口毎に測定し管理する。

図—7に示す管理装置モニタでは、設計固化材添加量 250 kg/m<sup>3</sup> 以上を満足するよう、各吐出口より



C1 : No.1 (掘削軸部吐出口) からの固化材投入量 (kg)  
 C2 : No.2 (掘削翼部吐出口) からの固化材投入量 (kg)  
 H : 改良対象土 1.0m<sup>3</sup> に相当する高さ (m)  
 【H × (A1+A2) = 1.0m<sup>3</sup>】  
 A1, A2 : 内側面積、外側面積 (m<sup>2</sup>) (A1=A2)

図—8 固化材添加量の概念図

添加される固化材添加量をそれぞれ 125 kg/m<sup>3</sup> として設定している。各吐出口から添加される固化材量の概念図を図—8に示す。

以上の施工管理システムにより、2吐出口タイプ掘削攪拌装置を使用した場合の施工管理においても、固化材添加量並びに所要の管理項目を適切に管理することができる。

5. おわりに

施工中に記録・保存された施工データは、後日施工記録帳票として出力される他、詳細な施工状況の分析等にも活用される。このようなデータを蓄積してきたテノコラム工法はユーザーからの信頼を得て、今日までに2万5千件を超える施工実績がある。

今後もより良い施工管理手法・施工管理装置の改良・開発を進め、テノコラム工法をより高品質かつ経済的な地盤改良工法へと発展させるよう努めていきたい。

JICMA

【参考文献】

- 1) 助先端建設技術センター：テノコラム工法先端建設技術・技術審査証明報告書，2008.10.
- 2) 助日本建築センター：改訂版建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法—，pp229～237.2002.
- 3) 村山篤史：大口径機械式攪拌工法—テノコラム工法，基礎工 vol.37 No.5, pp.44～46.2009.

【筆者紹介】

藤橋 俊則 (ふじはし としのり)  
 (株)テノックス  
 技術・開発部

