

## (55) 施工実績を基にした BIM/CIM による 削孔出来形管理方法の適用事例

岡本 彩加<sup>1</sup>・堤 彩人<sup>2</sup>・山本 敦<sup>3</sup>・鈴木 定義<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 五洋建設株式会社 土木設計部 (〒112-8576 東京都文京区後楽 2-2-8)

E-mail: ayaka.okamoto@mail.penta-ocean.co.jp

<sup>2</sup>正会員 五洋建設株式会社 土木設計部 (〒112-8576 東京都文京区後楽 2-2-8)

<sup>3</sup>正会員 五洋建設株式会社 土木設計部 (〒112-8576 東京都文京区後楽 2-2-8)

<sup>4</sup>正会員 五洋建設株式会社 札幌支店 (〒060-0005 北海道札幌市中央区北 5 条西 2 丁目 5 JR タワーオフィスプラザさっぽろ 10 階) .

曲がり削孔式浸透固化処理工法は、削孔軌跡を2種類の方法で計測し、削孔機操縦者が2D計測結果(平面、断面)を基に削孔進路を予測しながら軌道修正することで削孔している。一方で、2回曲がり削孔は一般的な1回曲がり削孔と比較して削孔精度の確保が難しく、施工後に行う削孔出来形管理表の作成にも時間がかかるという課題があった。そこで、施工中に削孔出来形を3Dで確認でき、削孔出来形管理表作成時間を大幅に短縮できる「施工実績を基にした BIM/CIM による削孔出来形管理方法」を考案した。本論文では、考案した管理方法と新千歳空港滑走路直下の地盤改良工事における活用事例を報告する。

**Key Words:** BIM/CIM, Ground Improvement, Chemical Grouting, Permeable Grouting Method

### 1. はじめに

2023年度に前倒しされた公共工事における BIM/CIM 原則適用を目前にして、様々な BIM/CIM 活用技術の開発が進んでいる。当社においても地盤改良工事における施工情報を3次元的に統合・可視化するための BIM/CIM 活用技術<sup>1)</sup>を開発し、改良を重ねてきた。本論文では、曲がり削孔式浸透固化処理工法による地盤改良工事を対象とし、施工中に3Dで削孔出来形を確認可能な機能、および削孔出来形管理表作成の省力化を実工事に適用した事例を報告する。

### 2. 既往の研究や取り組み

地盤改良工事の BIM/CIM 活用技術は、サンドコンパクションパイル工法<sup>2)</sup>(以下、SCP工法)やセメント系固化材を用いた地盤改良工法<sup>3)</sup>(以下、セメント系地盤改良工法)を対象としたものが多く、薬液注入工法を対象としたものは少なかった。そのため、地盤改良工事に伴う削孔の3Dモデルは、鉛直方向のものが多く、改良体の3Dモデルの形状は、円柱<sup>4)</sup>あるいは改良範囲全体<sup>5)</sup>

を1つのモデルとしたものが大半を占めていた<sup>6)</sup>。

しかしながら、空港における地盤改良工事では、改良体が楕円体に近い形状をとり、改良体数も多くなりがちな静的圧入締め固め工法<sup>7)</sup>(以下、CPG工法)や削孔方法が特殊な曲がり削孔式の浸透固化処理工法(以下、曲がり削孔 PGM)が多く適用されているため、楕円体の改良体を簡単な操作でモデリングでき、特殊な曲がり削孔モデルも作成可能な BIM/CIM 活用技術が必要であった。

そこで筆者らのグループは、パラメトリックモデリングで大量の改良体を簡単に作成でき、曲がり削孔 PGM にも適用可能な「地盤情報の見える化ツール Gi-CIM」を開発した。Gi-CIM は、曲がり削孔だけでなく、鉛直方向および斜め方向の削孔もモデル化でき、楕円体だけでなく円柱の改良体も作成できるため、多様な地盤改良工事で活用されてきた<sup>1,8)</sup>。しかしながら、曲がり削孔 PGM においては、地盤内で削孔方向を途中で曲げることに加え、削孔長が長距離(最大 180m)<sup>9)</sup>になるという特性上、鉛直削孔に比べて削孔精度の確保が難しく、削孔精度が削孔機操縦者の技量や経験に依存する面が多いといった課題があった。そこで、施工中に削孔出来形や取るべき削孔進路(削孔計画ライン)を確認できれば、経験の大小にかかわらず一定の精度確保が期待できると考

えた。さらに、曲がり削孔 PGM は、削孔軌跡が直線部においても複雑に蛇行しているため、削孔出来形管理表作成に多くの時間がかかっていた。

以上の背景を踏まえて、筆者らは、施工中に削孔出来形を 3D で確認することができ、削孔出来形管理表作成を省力化した管理方法（以下、3D 削孔出来形管理方法）を考案した。

### 3. 新千歳空港での活用事例

#### (1) 工事概要

本工事は、新千歳空港 B 滑走路 1 号沢函渠横断部周りの液状化対策を行うものであった。工事概要および施工平面図を表-1、図-1 に示す。

#### (2) 施工上の課題

本工事では、以下のような課題があった。

##### a) 高精度な削孔管理

滑走路下を横断する函渠直下を改良するため、鉛直方向 1 回、水平方向 1 回の 2 回曲がり削孔をする必要があった。削孔軌跡は、2 種類の方法で計測（図-2）しており、削孔機操縦者のモニターに平面位置・断面位置・削孔方向が表示される（図-3）。従来の削孔機操縦者はこれらの 2D 情報を基に、その後の削孔進路を予測しながら

ら削孔していた。しかしながら、2 回曲がりの削孔では、鉛直・水平の 2 方向に削孔を制御する必要があるため、一般的な 1 回曲がりの削孔よりも削孔精度の確保が難しく、施工中に削孔出来形を立体的に把握できる管理方法が求められていた。

高精度な削孔管理が必要なもう一つの要因として、上流側と下流側の削孔終端が同一線上かつ約 1.0m しか離れていないことが挙げられる。一方が削孔終端部を超えて掘りすぎてしまった場合、もう一方の改良範囲を乱してしまい注入時の薬液リークといった品質低下を招く恐れがあった（図-4）。

	固定式位置検出装置	挿入式管路計測装置
精度	低(1/100)	高(1/500)
計測頻度	3m掘削ごとに3回	直線部/曲線部/改良範囲内に応じて適宜設定
用途	削孔中の方向制御	固定式の位置補正 出来形管理



図-2 曲がり削孔位置検出システム

表-1 新千歳空港の工事概要

工事件名	新千歳空港 B滑走路液状化対策外工事
発注者	国土交通省 北海道開発局 札幌開発建設部
施工場所	北海道 苫小牧市
工期	自)令和3年6月8日～至)令和4年3月10日
工事内容	浸透固化処理工法
	曲がり削孔:6本(平均延長117.0m) 一改良体:126球(21球/本)
	鉛直削孔:160本(平均延長14.7m) 一改良体:562球

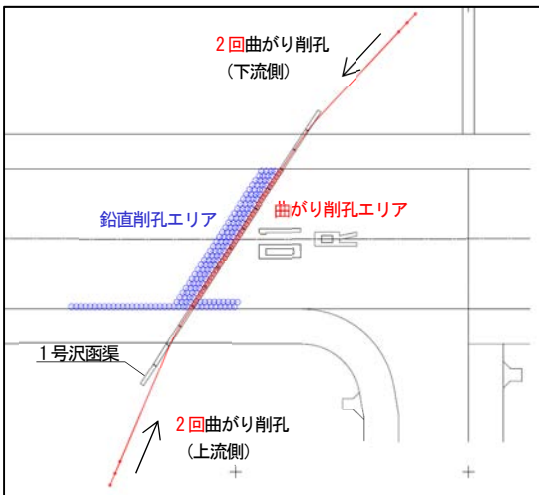


図-1 施工平面図



図-3 曲がり削孔機 2D 操縦モニター

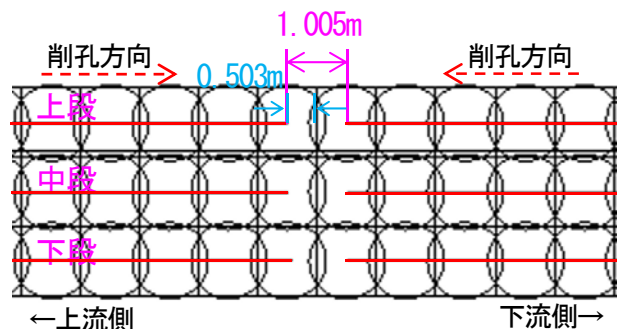


図-4 削孔終端の断面図

b) 削孔出来形管理表作成の省力化

曲がり削孔 PGM では、所定の改良範囲に薬液を浸透させるため薬液注入位置を管理しており、薬液注入位置のズレ量（計画注入位置座標に対する実績注入位置座標のズレ  $\Delta S = (\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2)^{0.5}$ ）を出来形管理表に整理して提出しなければならない。従来は、削孔軌跡を基に再作図した 2D 図面から平面方向と断面方向の差を改良体ごとに手作業で計測（図-5）し  $\Delta S$  を算出していたため、削孔出来形管理表の作成に時間を要していた。

(3) 施工実績を基にした 3D 削孔出来形管理方法の概要

本管理方法に必要なソフトウェアを表-2 に示し、3D 削孔出来形が作成されるまでの流れを以下に示す。

- ①削孔機に接続されている計測 PC から挿入式管路計測装置で計測した削孔軌跡の X,Y,Z 座標（以下、ジャイロデータ）をクラウドにアップロードする。
- ②現場事務所等にある BIM/CIM 用 PC がクラウドから任意の時間間隔（最小 5 分）でジャイロデータを読み込み、自動で 3D 削孔出来形を作成し、クラウドへアップロードする（図-6）。
- ③タブレット等を通してクラウドにアクセスし、3D 削孔出来形を確認する。その際、計画削孔位置に対するズレが規格値以内（図-7）か、地下埋設物との離隔は適切か等を確認する。

表-2 使用するソフトウェア

項目	ソフトウェア	提供会社
形状作成	Civil3D	Autodesk
属性付与	C-Grout	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
情報の統合管理	Navisworks Manage	Autodesk
情報共有（クラウド連携）	CIM-LINK	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社

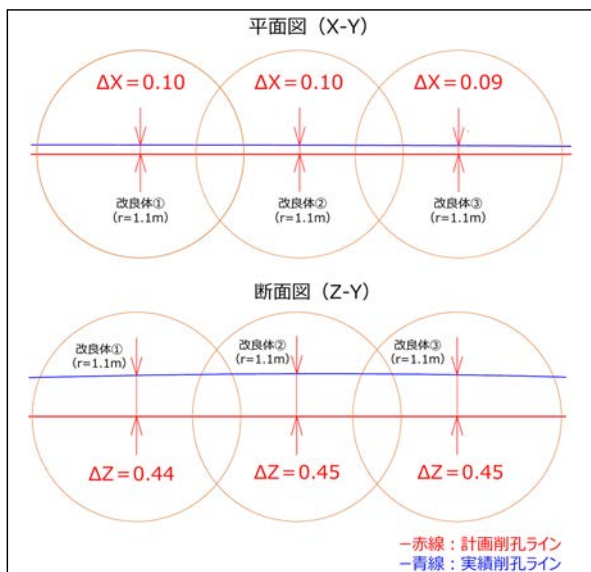


図-5 注入位置のズレ(m)計測例

(4) 3D 削孔出来形管理の効果

a) 高精度な削孔管理

本管理方法を用いることで、削孔機操縦者は3~9m削孔するごとに削孔出来形を 3D で確認し（図-8）、削孔出来形と計画削孔ラインを 3D で比較することで、その後の削孔進路を視覚的に把握できるようになった。これより、早期の軌道修正が可能になり、高精度な削孔管理に繋がった。また、上流側および下流側の削孔終端部のズレ量の最大値は 0.383m (<0.503m(図-4)) であったため、他方の改良範囲を乱すことなく削孔することができた。さらに、現場職員は削孔位置から離れた場所においても計画削孔位置に対する削孔出来形のズレが規格値以内に収まっていることや、埋設物との離隔が概ね計画通りにとれていることを迅速に確認できた（図-9）。

b) 削孔出来形管理表作成の省力化

計画削孔ラインと施工実績を基に 3D 化した削孔出来形から、薬液注入位置のズレ量  $\Delta S$  を自動で算出し（図-10）、一覧表で出力した。これにより、本工事の曲がり削孔 1 本あたりの削孔出来形管理表作成時間を 87%（24分から3分へ）短縮することができた（表-3）。なお、ここでは、3D モデルおよび 2D 図面（平面、断面）の作成時間は含んでいない。

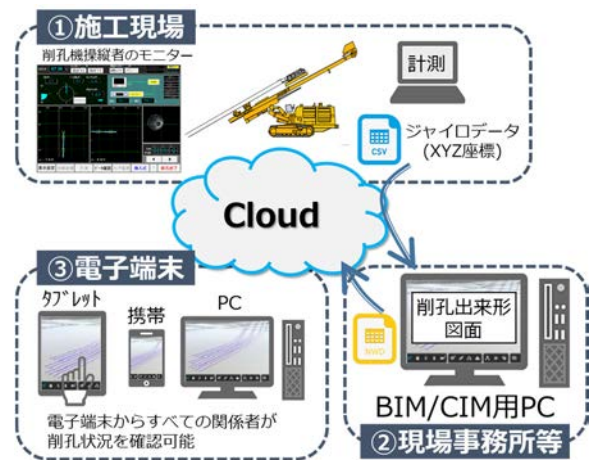


図-6 施工実績を基にした 3D 削孔出来形管理の概要



図-7 クラウドから確認した 3D 削孔出来形

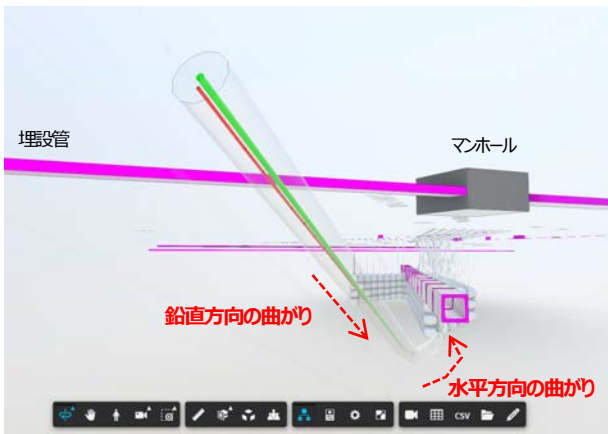


図-8 削孔出来形の3Dによる確認



図-9 削孔位置から離れた場所で削孔出来形を確認

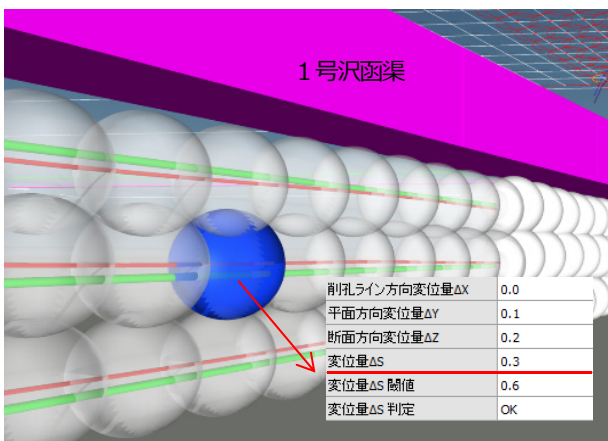


図-10 注入位置のズレ量を自動算出

表-3 出来形管理表作成時間の短縮

	出来形管理表作成時間	
	削孔1本 (改良体30個)	全削孔6本 (改良体180個)
従来法	24分	144分
3D削孔出来形 管理法	3分	18分
短縮時間	21分(87%減)	126分(87%減)

#### 4. まとめ

3D 削孔出来形管理方法は、施工実績を基に削孔出来形を忠実に 3D 化し、かつ施工中にクラウドを通して多地点で削孔状況を共有することができる手法である。

本活用事例では、3D 削孔出来形管理方法を用いることで、削孔機操縦者が従来のように 2D 情報を基にして削孔進路を予測せずとも、それまでの削孔軌跡およびその後取るべき削孔進路(削孔計画ライン)を 3D で把握することができた。その結果、すべての削孔ラインにおいて薬液注入位置のズレを規格値以内に収め、埋設物との離隔も計画通りにとることができた。さらに、削孔出来形管理表の作成においては、従来法と比較して 87% の時間短縮となり、現場作業の省力化に繋がった。省力化の効果は、削孔本数、または改良体個数が多いほど大きくなると考えられる。

今後は、本管理方法の適用工種の拡大に向けて検討を重ねたい。

**謝辞：**本取組みを実施するにあたり、発注者である国土交通省北海道開発局札幌開発建設部の関係者の皆様には、データ収集等において多大なご協力をいただいた。ここに深く謝意を表する。

#### 参考文献

- 1) 増田雄太郎, 陳恩施, 堤彩人, 山本敦: 曲がりボーリングを用いた地盤改良工事に対する BIM/CIM の適用事例, 第 55 回地盤工学会研究発表会, DS-8-06, 2020.
- 2) 菅章吾, 鈴木亮彦, 伊藤竹史: ICT を活用した地盤改良工法の新施工管理システム Visios-3D, 一般社団法人日本建設機械施工協会誌 建設機械施工, Vol.71, No.3, p82-86, 2019.
- 3) 田中洋一: 地盤改良工における ICT を用いた効率化・省力化の推進, 【土木・建築基礎工事と機材の専門誌】基礎工, Vol.46, No.7, p13-16, 2018.
- 4) 前田庫利, 宮下恵: 地盤改良の BIM/CIM 活用事例-BIM/CIM 実務の創意工夫-, 総合土木技術誌 土木施工, 第 63 巻, 第 4 号, p104-107, 2022.
- 5) 一般社団法人 日本建設業連合会: 2017 施工 CIM 事例集~施工 CIM の解説~, p111-p112, 2017.
- 6) 一般社団法人 日本建設業連合会: 建設 DX 事例集, p19-p20, p117-p118, 2022.
- 7) 一般財団法人 沿岸技術研究センター: 液状化対策としての静的圧入締固め工法技術マニュアル: コンパクショングラウチング工法(2013 年度版), p7, 2013.
- 8) 陳恩施, 堤彩人, 山本敦, 後藤雄平, 佐々木将二: 住宅地の地盤改良工事における BIM/CIM の活用事例, 第 76 回土木学会年次学術講演会, VI-702, 2021.
- 9) 一般財団法人 沿岸技術研究センター: 浸透固化処理工法技術マニュアル(改訂版), p73, 2020.