

(79) 空港の地盤改良工事の削孔管理への BIM/CIM および AR の活用

甲斐 雅比呂¹・堤 彩人¹・山本 敦¹・曾和 洋平²・檜山 和男³

¹正会員 五洋建設株式会社 土木本部土木設計部 (〒112-8576 東京都文京区後楽 2-2-8)
E-mail: masahiro.kai@mail.penta-ocean.co.jp

²五洋建設株式会社 九州支店 (〒812-8614 福岡市博多区博多駅東 2-7-27)
E-mail: youhei.sowa@mail.penta-ocean.co.jp

³正会員 中央大学 理工学部都市環境学科 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)
E-mail: kaz.90d@g.chuo-u.ac.jp

近年、BIM/CIM の活用による工事の効率化・高度化が期待されている。一方、AR (Augmented Reality) 技術などが一般的なものとなり、建設業においても AR 技術を施工管理に活用する取り組みがなされている。本稿では、空港での曲がり削孔式浸透固化処理工法による地盤改良工事において、削孔管理に BIM/CIM および AR を用いた事例を報告している。削孔計画や削孔実績管理として BIM/CIM モデルを作成し、埋設物や削孔経路・削孔軌跡等を可視化することで、視覚的な検討・管理を行った。また、それらの BIM/CIM を現場で施工中に活用するために AR 技術を用いた効果的な表示方法を検討した。結果、埋設物や削孔経路などの地中のモデルをそのまま表示しただけでは、モデルが浮いて見えてしまう等の課題が発生したが、その課題解決には、開口部モデルを使用することが有効的であること等が示された。

Key Words: BIM/CIM, ground improvement, permeable grouting method, horizontal directional drilling

1. はじめに

近年、建設業における人材不足が深刻な問題となっている。人材不足解消の対策として、国土交通省は 2015 年に i-Construction の導入を表明し、ICT 施工の導入等による生産性の向上と労働環境の改善等を目標とした取り組みを進めている。この一環として、令和 5 年度より小規模工事を除く全ての公共工事において BIM/CIM が原則適用されることが決定しており、BIM/CIM の活用による工事の効率化・高度化も期待されている。

一方、社会全体の情報化技術の発展に伴い、AR (Augmented Reality) 技術が一般的な技術として日常生活レベルで普及してきている。AR 技術はカメラの画面などを通して現実空間に仮想のオブジェクトを重ね合わせて表示する技術であり、建設業においても AR 技術を施工管理に活用する取り組みが増えつつある^{1),2)}。

本稿では空港における地盤改良工事の施工管理において、BIM/CIM を活用した事例を紹介する。また、作成した BIM/CIM モデルを現場で施工中に活用するために、AR 技術の応用方法について検討を行ったため、その結果についても報告する。

2. 工事概要

BIM/CIM と AR の活用は、「令和 2 年度福岡空港滑走路外地盤改良工事」において実施した。本工事は、福岡空港の滑走路と誘導路直下の液状化層の地盤改良を行うものである。本工事は滑走路を供用しながらの施工となるため、夜間の飛行機の離着陸のない時間帯という、限られた時間での施工となり、さらに滑走路の舗装の損傷を避ける必要があった。このような背景から本工事では緑地帯からの施工が可能な曲がり削孔式浸透固化処理工法³⁾が採用された。同工法は、曲がり削孔機によって地盤内の削孔を行った後、薬液を浸透注入し地盤内の間隙水を薬液に置換することで、液状化対策を行うものである。図-1 に断面模式図、図-2 に平面模式図を示す。

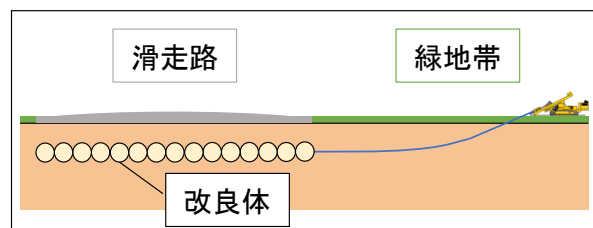


図-1 断面模式図

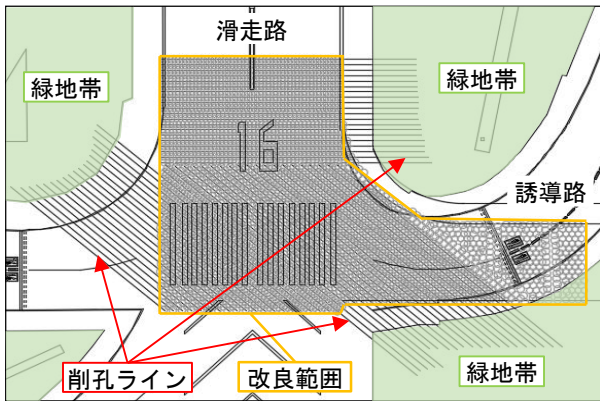


図-2 平面模式図

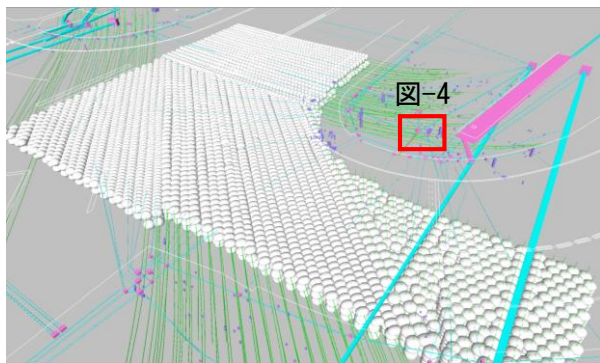


図-3 モデル全景

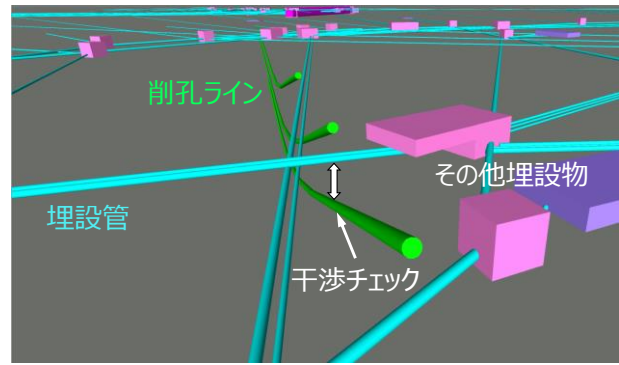


図-4 設計削孔ラインと干渉チェック

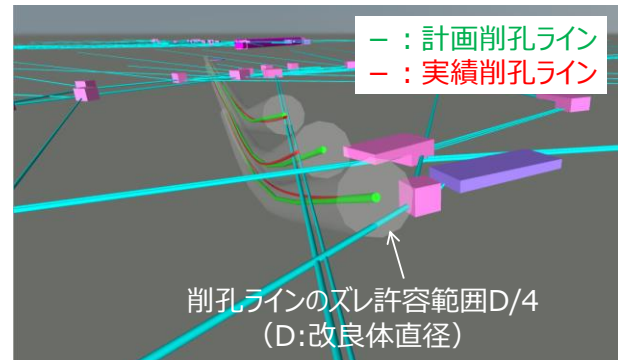


図-5 削孔実績の管理

3. BIM/CIM モデルの活用事例

本章では曲がり削孔の経路の検討（施工計画）と施工実績の管理において BIM/CIM を活用した事例について紹介する。

(1) 施工計画における BIM/CIM の活用

施工対象範囲の地中には、管路や灯火が埋設されている。施工時には、これらの地中構造物や埋設物を三次元的に交わす削孔が求められるため、施工計画において BIM/CIM を用いて削孔経路を検討した。

埋設物の有無は埋設物位置図等で確認することができるが、正確な位置を把握するには埋設物調査が必要となる。そこで、削孔工に先立ち、レーダー探査と試掘調査により埋設物の位置を特定し、これらの情報を BIM/CIM に統合した。施工計画では、3D モデル空間において計画削孔ラインと埋設物の干渉の有無を視覚的に確認しながら合理的な削孔経路の検討を行った（図-3、図-4）。なお、BIM/CIM の作成には Gi-CIM⁹⁾を用いた。

(2) 削孔実績管理における BIM/CIM の活用

削孔出来形管理では、挿入式管路計測装置により削孔軌跡の空間座標を取得し、削孔出来形が所定の管理基準値内に収まっていることを確認する（合否判定）。これまでの多くの工事では、合否判定は 2D-CAD で削孔出来

形（実績削孔ライン）を図化し、計画の削孔ラインとの離隔を計測することで実施してきた。一方、本工事では、削孔軌跡の座標データを基に Gi-CIM を用いて実績削孔ラインを 3D 化し合否判定を行った。実績削孔ラインと計画削孔ラインに加えて、削孔の誤差の許容範囲を明示する 3D モデルを表示し（図-5）、基準値以内で削孔が行われているということを視覚的に確認することができた。

4. AR を用いた削孔管理方法の検討

BIM/CIM モデルの施工中における高度な活用を目的として、AR 技術を用いた削孔管理方法の検討を行った。今回は削孔オペレータが現場で削孔ラインと埋設物の位置関係を確認し、両者の接触リスクをイメージしやすくすることを目的として、AR による 3D モデルの効果的な表示方法について検討した。

(1) 地中表示の際の問題点と使用アプリケーション

AR を導入すると、削孔ラインと埋設物のモデルを現地に実際のサイズで投影（重畳表示）することが可能となる。しかしながら、地中構造物を現実空間に重畳表示する場合には、AR モデルが空中に浮いて見えてしまう問題があることが指摘されている（例えば、洲崎ら⁹⁾）。

今回の検討では、AR モデルの作成および投影に 2 種

類のアプリケーション（以降、アプリとする）を用いて、課題の解決を図ることとした。

一つは、簡易な操作でBIM/CIMをAR化することができるメリットを有し、また汎用性の高いアプリ「Mixpace」⁹⁾を選定した。

もう一つは、中央大学が開発したARアプリ（以降、「Chuo-AR」とする）を選定した。「Chuo-AR」は地中構造物を効果的に表示するための機能を標準装備していることに加え、表示方法や操作性の自由度が高いことが特徴である。

(2) 実験概要

使用したモデルの一覧を表-1に示す。Mixpaceにおいては地中にあるはずのモデルが浮いて見えてしまう問題の解決のために、補助モデルとして後述するマスキングモデルとメッシュモデルの2つのモデルを作成した。また、洲崎らの報告⁹⁾ではその問題に対する開口部モデルの有効性についても報告されていたため、Chuo-ARの機能の一つである開口部モデルを使用し、Mixpaceを用いた場合との見え方の比較を行った。実験ケース一覧を表-2に示す。

(3) 実験結果

各実験ケースに基づきモデルを重畳表示した結果を以下に示す。

a) 削孔ラインモデルと埋設物モデルの投影（ケース①）

モデル投影前の様子を図-6に示す。これに、地中に存在している削孔ラインモデルおよび埋設物モデルをすべて重畳表示したのが図-7である。図-7の通り、地中に存在するはずのモデルが浮いて見えてしまうこと、地表面がモデルで覆われ背景の様子が分からなくなってしまうこと等の課題が確認された。

表-1 使用モデル一覧

	モデル名	モデルの有無	
		Mixpace	Chuo-AR
メインのモデル	削孔ラインモデル	○	○
	埋設物モデル	○	○
補助モデル	マスキングモデル	○	-
	メッシュモデル	○	-
	開口部モデル	-	○

表-2 実験ケース一覧

	実験内容
ケース①	削孔ラインモデル、埋設物モデルの投影
ケース②	表示する範囲の限定（マスキングモデルの使用）
ケース③	メッシュモデルの使用
ケース④	開口部モデルの使用

b) 表示する範囲の限定（ケース②）

マスキングモデルを用いて投影位置の前方10m×10mの範囲のみを表示した結果を図-8に示す。今回は削孔ラインモデルと埋設物モデルの接触のリスクが考えられる部分が投影地点から比較的近い位置にあったことから、それらの位置関係を把握するうえではこの表示範囲で十分であることが分かった。また、着目したモデルの位置関係を把握するうえでは、表示範囲を限定し情報量を絞ることで（不要なモデルを非表示とすることで）、視認性が向上することを確認した。また、単純にモデルの表示範囲が狭いほど違和感も小さくなることが分かった。

c) メッシュモデルの使用（ケース③）

モデルが地中にあるように見せるための方法としてメッシュモデルの適用性を検討した。メッシュモデルは3D-CAD上の地表面に3Dポリラインを5cm間隔でメッシュ状に配置したものであり、現実空間上の地表面の起伏も再現している。メッシュを重畳表示すると、遠近感により遠方のメッシュの表示密度が増加するため、着目している近距離の地中のみが透けて見える効果があることを確認した。また、緑地帯と舗装部分でそれぞれ着色を行い、より現実の様子に近づけることを試みた。メッシュモデルを使用することにより、地中のモデルが地表面より下にあることが認識しやすくなった（図-9）。ただ、メッシュモデルによって地表面が覆われてしまうことで現実感が薄れてしまうことが分かった。

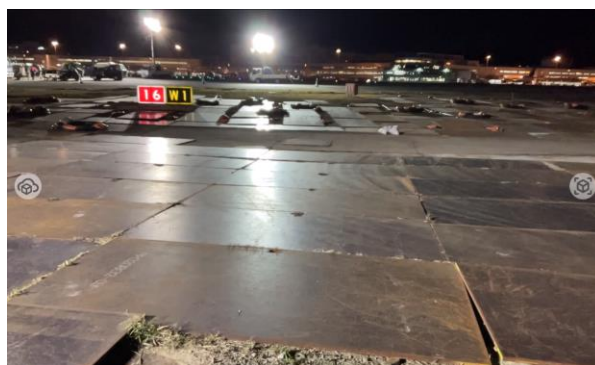


図-6 モデル投影前



図-7 削孔ラインモデルと埋設物モデルの表示

d) 開口部モデルの使用 (ケース④)

開口部モデルとは、開口部の外側の領域においては埋設物モデルを透明化するマスキング処理を施すことで、開口部の内部にのみモデルを表示するというもので、開口部内をのぞき込んだときにのみ地中のモデルを視認できる。このことにより現地に立坑を掘っているかのような表現が可能になる。開口部の大きさは 10m×5m である。図-10 に「Chuo-AR」を使用し、削孔ラインモデル、埋設物モデルに加えて、開口部モデルを投影した様子を示す。開口部モデルを表示することで、モデルが浮いて見える問題を解決することができた。また、モデルが地表面から地中へ伸びる垂直な壁と交わることで、モデル



図-8 表示範囲の限定



図-9 メッシュモデルの使用

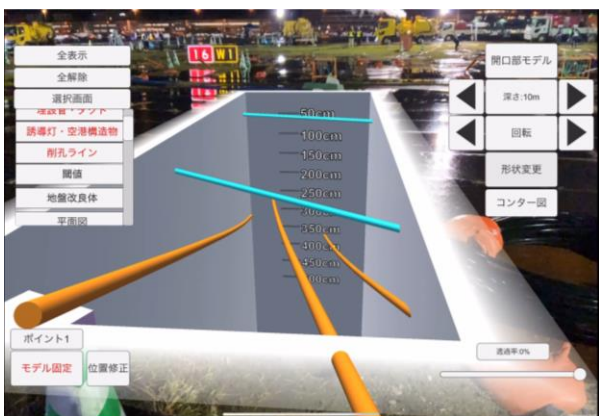


図-10 開口部モデルの使用

の現実空間での平面的な位置の把握が容易になった。さらに開口部の内壁に記載した深度表示からモデルの深度も把握することが可能になった。このように地中という何もない空間でも、開口部モデルによって交点という目印ができることで、モデルの三次元的な位置関係を把握しやすくなることを確認した。

5. おわりに

本稿では空港の地盤改良工事における BIM/CIM と AR の活用事例について紹介した。本工事では複雑な削孔を行う必要があったため、BIM/CIMモデルを用いた三次元的な施工計画と削孔実績の管理を行った。また、作成したモデルを現地で活用する手段として AR 技術を用いた検討を行った。AR による検討からは以下の結論を得た。

- ・画面に表示するモデルは、表示範囲を限定するなどして最低限にした方がよい。
- ・地中のモデルを表示する際は、開口部モデルを用いることで、モデルが浮いて見えてしまうような違和感を改善できる。また、垂直な壁を表示することでモデルの三次元的な位置関係を把握しやすくなる。

最後に、地盤改良工事は地中という見ることのできない範囲を対象としていることから、BIM/CIM や AR による可視化は、施工品質の向上や省力化・効率化に有効であると思われる。今後は今回の結果も踏まえ、BIM/CIM の新たな活用方法やリアルタイム可視化も含めた、AR による施工管理についてもさらなる検討を行っていくつもりである。

参考文献

- 1) 児玉浩一, 柳川正和: 建設現場における VR, AR の技術導入と課題, 土木建設技術発表会概要集, pp.1-4, 2020.
- 2) 山口麗華, 上田純広, 山沢哲也, 大家史: AR による三次元 FEM 解析結果の可視化, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol.44, pp.85-88, 2019.
- 3) 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), 2020.
- 4) 堤彩人, 山本敦, 地盤改良工事の見える化技術-Gi-CIM: Ground Improvement Construction Information Modeling - : 五洋建設技術年報, vol52, pp.12-17, 2022.
- 5) 洲崎文哉, 樫山和男, 琴浦毅, 石田仁, 吉永崇: ARKit を用いた地下埋設物の AR 可視化システムの構築と重畳の高精度化の検討, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol.45, pp.13-16, 2021.
- 6) 甲斐雅比呂, 堤彩人, 山本敦, 曾和洋平, 佐川隆亮, 樫山和男, 洲崎文哉: 空港の地盤改良工事における AR の活用事例 -滑走路面隆起量の可視化-, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol77, VI-73, 2022.