

# 地盤改良工事における CIM の適用事例

## — WIT 地盤改良管理システム 2020 の機能の紹介 —

若築建設株式会社 技術部 原 稔

地盤改良工事における品質・出来形管理ツールとして、WIT(Wakachiku Intelligence Technology) 地盤改良管理システムを 2016 年に開発した。本システムは、地盤改良工事における品質・出来形情報を 3 次元 CIM モデルの属性データとして一元管理するとともに、動態観測結果や地盤調査結果などの工事関連資料を同 CIM モデルに関連付け、関係者間の情報共有ツールとして多くの現場において運用してきた。本稿では、港湾、海岸、空港等の実現場において本システムを適用した事例紹介と、昨今のシステムの運用を通じて拡充してきた機能とその効果について報告する。

### 1. はじめに

地盤改良は施工箇所が地中の不可視部分であり、施工中や施工後の出来形を原則、直接視認することができない。また、改良仕様が地盤状況に応じて変化するケースや、土質や既設構造物との離隔、埋設構造物の有無によって、同一断面においても薬液注入工法、深層混合処理工法、締固め工法など複数の地盤改良工法を選定するケースもあり、平面図や断面図などの設計図書類だけでは完成後の形状、施工手順をイメージすることが困難な場合がある。また、施工中は周辺地盤の変状が発生することがあるため、動態観測によるモニタリングを行い、施工の進捗との関連性を分析する機会も多い。

このような地盤改良工事の特徴に鑑みて、地盤改良工事における品質・出来形の管理ツールとして、WIT 地盤改良管理システム(以下、本システム)を 2016 年に開発した。本システムの適用第 1 号工事は、陸上サンドコンパクションパイル工法(以下、陸上 SCP 工法)を採用した海岸堤防の液状化対策工事であり(図-1)、これまでに港湾、海岸、空港分野で 13 件の地盤改良工事に適用した実績を有している。その内訳は、陸上 SCP 工法(2 件)、海上 SCP 工法(5 件)、高圧噴射攪拌工法(3 件)、機械攪拌式深層混合処理工法(2 件)、薬液注入工法(1 件)である。大半の工事では動態観測を行っており、その結果もシステム上の様々な表現方法で可視化し、発注者や関係者との合意形成の一翼を担っている。本稿では、現行システムの概要と適用事例の報告、新たに機能拡充した 2020 バージョンの機能とその効果について報告する。

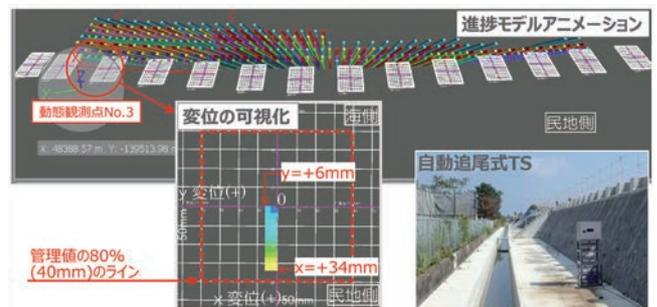


図-1 陸上 SCP 工法の適用事例(海岸工事)

### 2. 現行システムの概要

WIT 地盤改良管理システムの現行バージョンは、3次元 CAD 空間に作成した地盤改良体モデル(設計モデル)に、地盤改良工事において専門工事業者から提出される品質・出来形情報をモデルの属性情報として付与することを基本としている。以下、本システムの構成および機能を示す。

#### 2-1 ソフトウェア群

本システムで採用しているソフトウェア群を表-1に示す。

表-1 WIT地盤改良管理システムのソフトウェア群

項目	ソフトウェア名称
3次元モデル作成	Civil-3D (Autodesk)
モデル閲覧	NavisworksManage (Autodesk)
広域地形モデル等作成	Infraworks (Autodesk)
属性情報管理	Excel (Microsoft)
3次元モデル作成、属性情報付与の効率化、動態観測結果の可視化	Navis+, C-Grout (伊藤忠テクノソリューションズ、CTC)

## 2-2 機能

現行バージョンが有する機能について、以下に列挙する。

### (1) 地盤改良体を3次元モデル化

地盤改良体を CAD 空間上で3次元モデル化し、アニメーション等の機能で施工の進捗をわかりやすく可視化することができる。

### (2) 属性情報の付与(直接付与)<sup>1)</sup>

地盤改良体出来形情報(杭芯座標や施工深度)、品質情報(注入量、砂充填量、圧力等)、施工日等を3次元モデルの属性情報として付与する。この属性情報を利用してヒートマップ等で表示し、出来形、品質の全体傾向を俯瞰して評価することが可能である。

### (3) 属性情報の紐付け(外部参照)<sup>1)</sup>

専門工事業者から提出されるオシログラフ等の施工情報をモデルにリンクさせ、関連資料を一元的に管理する。陸上 SCP 工法における属性情報例を表-2に示す。なお、出来形等の属性情報は改良機から直接取得することが困難なため、国交省での試行工事<sup>2)</sup>同様、施工日報やオシログラフから出力した帳票データを介して本システムに付与している。

### (4) 動態観測結果の可視化

動態観測で得られた地盤や近接構造物の変位データを施工後に本システムに取り込み、等高線等で可視化し施工情報(注入量や注入圧力)や施工進捗と変位の関係について分析することができる。こうした分析結果は、翌日からの施工計画(造成順序等)にフィードバックさせることが可能である。また、自動追尾式トータルステーション(以下、自動追尾式 TS)等のリアルタイム計測機器との連携も可能であり、本システム上で動態観測結果をリアルタイム可視化することもでき、インターネット経由で現場事務所等で動態観測結果を確認できる。

表-2 陸上 SCP工法における属性情報の例

項目	付与方法
杭番、地盤高、造成日(年月日、曜日)、改良機(1号機・2号機) 貫入長(設計・施工)、下端深度(設計・施工)、SCP長(設計・施工)、SD長(設計・施工)、SCP砂量(設計・管理・使用・使用・設計)、SD砂量(管理・使用)、合計砂量(管理・使用)、偏芯量(x,y)事後調査結果(調査日、SCP造成後経過日数、土質条件、調査深度、N値、Fc)	直接付与
オシログラフ、改良機キャリブレーション報告書	外部参照

## 3. 適用事例

### 3-1 港湾岸壁の耐震補強(高圧噴射攪拌工法)

#### (1) 工事概要

本工事では、高圧噴射攪拌工法による固化改良体(改良径φ2.4m～φ3.4m、改良長11.5m～15.5m)を252本造成した。

前述の陸上 SCP 工法では、砂杭1本に対し円柱形状の3次元モデルを1本作成し属性情報を与えた。高圧噴射攪拌工法の場合は、改良体モデルの詳細度は200とし、円柱形状の3次元モデルを深さ方向1ステップ(1.0m)毎に分割して、品質・出来形情報を1ステップの属性情報として付与した。周囲の既設構造物は300とした<sup>3)</sup>。本工事は、別件先行工事において施工済みの改良体の間を間詰め施工するものであり、鋼管矢板式岸壁の控え杭施工後、杭周囲に改良体を造成する手順であったため、施工中は造成中の改良体周囲の地盤や、既設控え杭の変位を動態観測する必要があった。そこで、自動追尾式トータルステーション(TS)による動態観測を行い、施工中にリアルタイムに可視化して管理した。クラウドサービスによる CIM モデルの共有例を図-2に、改良体 CIM モデル図の例を図-3に示す。



図-2 クラウドによる CIM モデルの共有 (港湾工事)

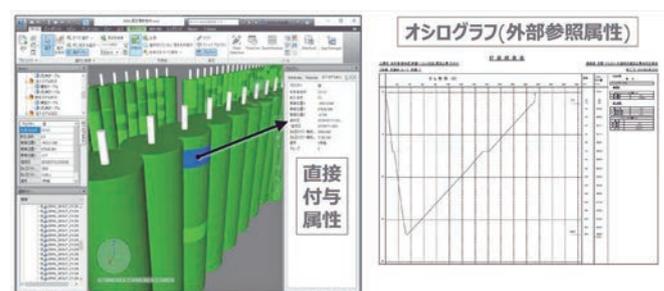


図-3 高圧噴射攪拌工法の適用事例(港湾工事)

### 3-2 供用中空港の液状化対策(CPG 工法)

#### (1) 工事概要

本工事では、コンパクショングラウチング工法(以下、CPG 工法)により換算改良径 $\phi=590\text{mm}$ の改良体を658本造成した。改良長は約4.7m(15ステップ)、改良率は8%である。

#### (2) 改良体 CIM モデルの概要

CPG 工法は、流動性の小さいモルタルを専用ポンプで地盤に静的圧入し、周辺地盤を圧縮強化する締め固め工法であり、深度方向33cmを標準ステップとして造成を行う<sup>4)</sup>。CPG 工法の注入管理表には、ステップ数と各ステップの深度、平均吐出量、注入圧力(最大・最小)、注入量(計画・実施・累積)、実施率が記録される。したがって、改良体 CIM モデルについてもステップ毎に作成した。また、改良体 CIM モデルの改良径は、モルタルの実施注入量より高さ33cm(改良1ステップ分)の円柱として直径に反映させ、モデルは自動作成した。

CPG 工法および前述で紹介した高圧噴射攪拌工法に対しては、Microsoft Excel を用いて CIM モデル形状情報(出来形)と属性情報(品質・出来形)の管理を行っているが、この Excel データを取り込み、本システムの基本ソフトウェアに受け渡しするアドオンソフトウェアとして、C-Grout(CTC)を採用している。これにより、CIM モデル化の作業効率が格段に向上した<sup>5)</sup>。ユーザーは3次元 CAD ソフトウェアの専門的な操作スキルを必要とせず、モデル作成のための数項目の設定を行えば、CAD 作業が自動進行するため、日々の現場での運用が可能となった。

また本工事は、供用中の空港滑走路下の施工であり舗装面の隆起に配慮する必要があったため、施工中は5mメッシュで自動追尾式 TS による動態観測を行い、改良工事の進捗と合わせて隆起量を可視化した。隆起量は、カラーコンター表示とベクトル表示で表現し、それぞれ標高表示、隆起量表示を選択できる。改良体 CIM モデルと隆起量可視化のイメージ図を図-4 に示す。

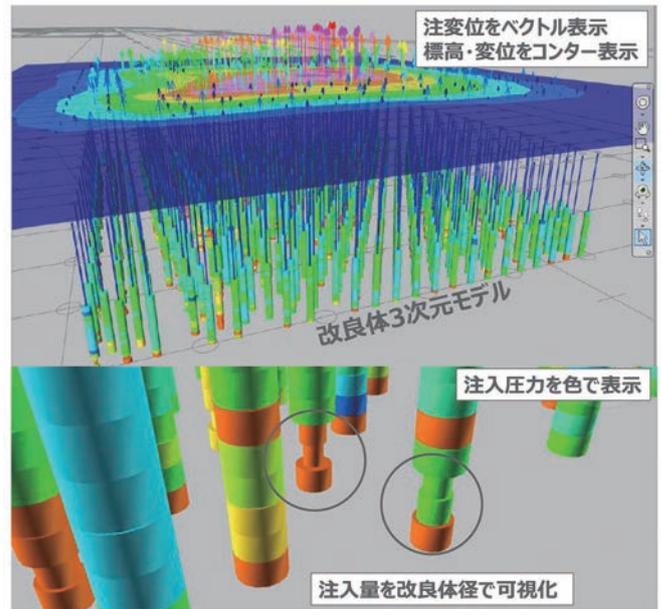


図-4 CPG工法の適用事例(空港工事)

## 4.WIT 地盤改良管理システム 2020 の概要

### 4-1 コンセプト

地盤改良工事は施工箇所が地中の不可視部分であり、施工中や施工後の出来形を直接視認することができないことは冒頭で述べたとおりであるが、直接視認できないことが意図的、偶発的に関わらず出来形不足等の施工不良の要因となり得ることは否定できない。それだけに他工種と比較してより施工の透明性が求められる工種であり、その透明性の質や信頼度を高めること、また関連情報を衆人環視の下に共有することが重要と考える。当社では、2016年の本システムの本格導入以後、適用現場における様々な要望を取り入れ、運用実績を積み重ねてきた。以下では、これまで拡充してきた機能について整理し、「WIT 地盤改良管理システム 2020」として紹介する。

### 4-2 拡充機能

#### (1) 品質確認記録の格納・表示

- 品質管理記録を格納する工種や内容を拡充した。
  - ・高圧噴射攪拌工法、薬液注入工法における強度試験結果
  - ・SCP 工法における事後調査結果(N 値)

#### (2) 出来形確認記録の格納・表示

- 出来形管理記録を格納する項目を拡充した。
  - ・高圧噴射攪拌工法における造成径確認結果(熱電対、サウンディング結果、改良体試掘結果等)

#### (3) 地盤調査記録の格納・表示

- 地盤調査記録を格納する項目を拡充した。

- ・陸上 SCP 工法における施工時の間隙水圧記録等
- (4) 情報共有

本システムにクラウドサービス、VR 技術を連携

- ・一般的なブラウザがあれば専門のソフトウェアがなくとも CIM モデルを閲覧可能であり、工事の進捗、周辺地盤の変位傾向、地盤改良体の各種属性情報を確認できる。
- ・3次元モデルデータをクラウドへアップロードすることで自動で VR 変換し、インターネット環境対応の VR ヘッドマウントディスプレイ(以下、HMD)に自動ダウンロードされる。関係者は PC を起動することなく HMD を覗くだけで、最新の現場状況を 3次元仮想空間で確認できる。

(5) システムによる施工状況確認

本システムを使用して、社内関連部署が現場と連携して地盤改良工事の施工状況確認を行う。現場事務所から日々の施工データ(帳票、オシログラフ、施工日報等)を社内関連部署に報告する。社内関連部署では施工データを CIM モデル化して可視化し、状況確認を行い、施工データに不備等がないか確認する(図-5)。

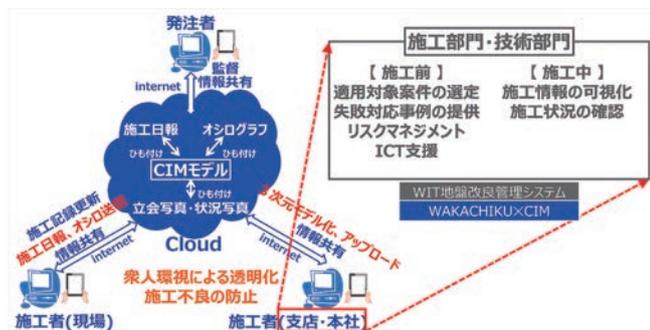


図-5 施工状況確認

4-3 拡充機能の期待される効果

拡充した機能について、今後の現場適用で想定される効果も含め、「期待される効果」を以下に挙げる。

(1) 各種管理記録の格納について

地盤改良工事は、様々な土質条件に対して最も適した工法を選定し、各工法の指定する手順で正しく施工を行う必要がある。工法選定と施工手順を誤ると所定の改良効果が得られないこともある。そのため、施工条件である各種地盤調査記録と結果である品質・出来形確認記録は一元的に管理し、分析することが望ましい。品質・出来形情報をもつ CIM モデルに格納・表示可能とすることで、条件に適合した地盤改良工事品

質の確保を証明する根拠となることが期待できる。

(2) 情報の共有と確認体制について

クラウドサービス、VR による関係者間の情報共有(4-2(4))と社内関連部署による確認体制(4-2(5))により、常に最新の CIM モデルを共有し、施工状況をチェックすることが可能となるため、施工不良に繋がる些細な異常やその兆候を見逃さず、品質を確保する効果を期待できる。

5. まとめ

地中不可視部での施工である地盤改良工事において、所定の品質・出来形を確保していることを確認するためのツールとして、本システムによる地盤改良体の各種情報や関連情報の可視化を積極的に進めているが、本システムの適用にあたっては導入時のコスト負担やオペレータ不足の課題が依然として残っている。課題解決の一つの方法として、3次元モデル等作成作業の効率化が必須であり、CIM モデル作成や動態観測結果の可視化を自動で行う新たなソフトウェアを導入し、その効果を実証してきた。また、施工状況の透明化や関係者間での情報共有のため、CIM モデルに統合する品質・出来形情報、地盤情報の項目を都度拡充し、共有方法としてクラウドサービスや VR を導入した。

今後は、地中不可視部の施工不良を防止するために、本システムを利用した施工状況の確認体制についても、現場適用を積極的に進めていきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省大臣官房技術調査課：CIM 事業における成果品作成の手引き(案)、2019年5月。
- 2) 国土交通省四国地方整備局企画部施工企画課：CIM 及び情報化施工に関する最新情報について《CIM (Construction Information Modeling) と情報化施工》、<https://www.skr.mlit.go.jp/kaisai/demae/pdf/141205-1.pdf>、2014。
- 3) 国土交通省 CIM 導入推進委員会：CIM 導入ガイドライン(案)第1編共通編、p.26、2018年3月。
- 4) 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(2013年版)、p.47、2013年4月。
- 5) 原稔、水野健太：土木学会土木建設技術発表会 2018、地盤改良工における CIM の適用事例、2018年11月。