

# 施工進捗と変位状況をリアルタイムに現地に3Dで可視化 施工影響 XR ウォッチャー

大角 藤子・陳 庭松・宮田 岩 往

地盤改良の施工において、周囲に影響を及ぼしていないことを施工中に監視することが公衆災害を防ぐうえで重要である。そこで、施工深度や周辺地盤の変位などをセンシングし、その情報を可視化することで監視業務を高度化させるシステムを開発した。センシングデータがクラウドを経由して監視員の端末上にリアルタイムでXR表示されるため、施工位置や変位の異常を視覚的に直感的に把握可能であり、監視業務の効率化が実現される。本システムを実際の施工に合わせて試行した結果、従来の監視業務の課題が解決され、施工品質の向上および公衆災害の防止につながれることを確認した。

キーワード：地盤改良、動態観測、IoT センサ、XR、可視化

## 1. はじめに

近年、国土交通省はICT活用工事の基準整備を進めており、地盤改良工は2019年に5番目の対象職種となった<sup>1)</sup>。これにより、施工機械の位置誘導や品質管理を目的としたICTツールが開発されてきた<sup>2)</sup>。

その一方で、地盤改良の施工は周辺地盤の土圧に影響を及ぼすため、地盤の隆起などの公衆災害のリスクを伴う<sup>3)</sup>。このような災害の防止のため、施工中は近接地盤の隆起を測定し、周辺に危害を及ぼすような地盤変状が認められた場合は作業を中止するよう求められている<sup>4)</sup>。

そこで、公衆災害防止に向け、XR (Cross Reality) 技術を用いた施工影響 XR ウォッチャー (以下、本システム) の開発を進めている。XR技術により、施工中の地盤変状をリアルタイムで可視化し、安全管理の高度化を図る。XRとは、VR (Virtual Reality, 仮想現実)、AR (Augmented Reality, 拡張現実)、MR (Mixed Reality, 複合現実) の総称であり、その中で今回はARとMRを対象とした。

## 2. 地盤改良時の監視業務の課題

地盤改良工事においては、監視員が周辺への影響を監視し、異常が発生した場合に即座に施工を停止できる体制を整えて施工を行っている。監視員は施工機械の制御担当者と連携し、施工進捗に応じて重点監視箇所を選定する。同時に周辺地盤の隆起や沈下などの動

態観測を随時確認して監視を行う。

図-1は、地下構造物に隣接した工事における監視員の業務フローを示しており、太枠部分は本システムにより代替される業務である。地下構造物内からは施工位置を直接視認できないため、監視員は図面から地上の施工機械と自身の位置関係を把握し、施工位置を推定する。動態観測の計測位置についても同様で、図面上の三人称視点から実際の一人称視点への変換が求められる。

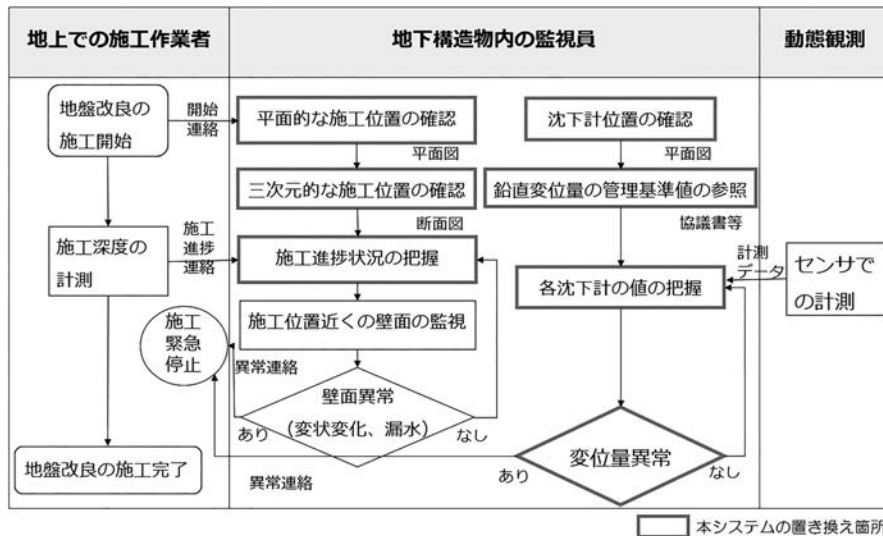
現状の位置関係の把握方法は、現場経験が浅い監視員は図面と実空間の位置関係の習熟に時間を要し、人材不足の一因となっている。また、空間位置の誤認により、監視業務が適切に実施されないリスクも存在する。

監視員は自己位置から施工位置や沈下計位置を正確に把握し、施工開始とともに施工機械担当者と連携し、進捗に応じて監視ポイントを調整する。このプロセスは個人の空間把握能力に大きく依存している。さらに、監視員は施工進捗を確認しながら、地下構造物の変状や漏水、周辺地盤の隆起・沈下を監視し、異常を検知した場合は直ちに施工を停止し、公衆災害を防止する。

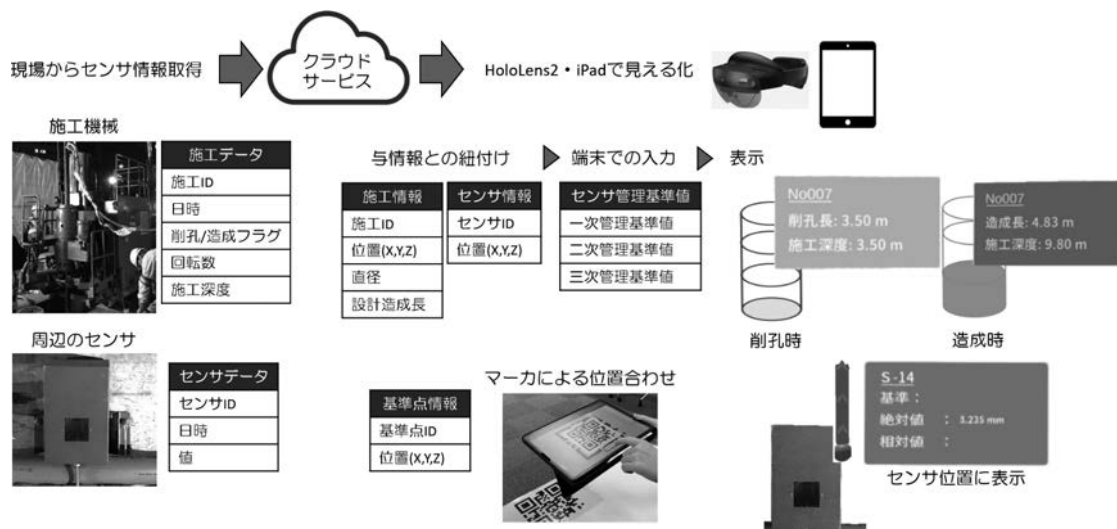
## 3. 本システムおよび機能の概要

### (1) システム概要

施工位置や動態観測位置を現地にリアルタイムに表示するシステムを開発した。現地位置に合わせて、現地の光景に重ね合わせて可視化表示する特性上、タブ



図一 監視業務のワークフロー図と本システムによる置き換え箇所



図二 システム構成およびデータ構成概要

レット端末 (iPad Pro) を用いた AR 技術と MR ゴーグル (HoloLens2) を用いた MR 技術を利用した。

タブレット端末 (iPad Pro) と MR ゴーグル (HoloLens2) を使用したシステム構成とデータ構成を図一 2 に示す。施工機械やセンサからのデータはクラウドストレージにアップロードされ、CSV ファイルとして保存される。クラウドストレージを利用する理由としては、汎用性を高め、API が公開されていないセンサとも接続可能にするためである。

各改良体の直径と施工機械の設置位置、動態観測センサの設置位置、表示位置の位置合わせに使う監視場所付近の基準点の位置情報については、事前に端末側に入力しておく。

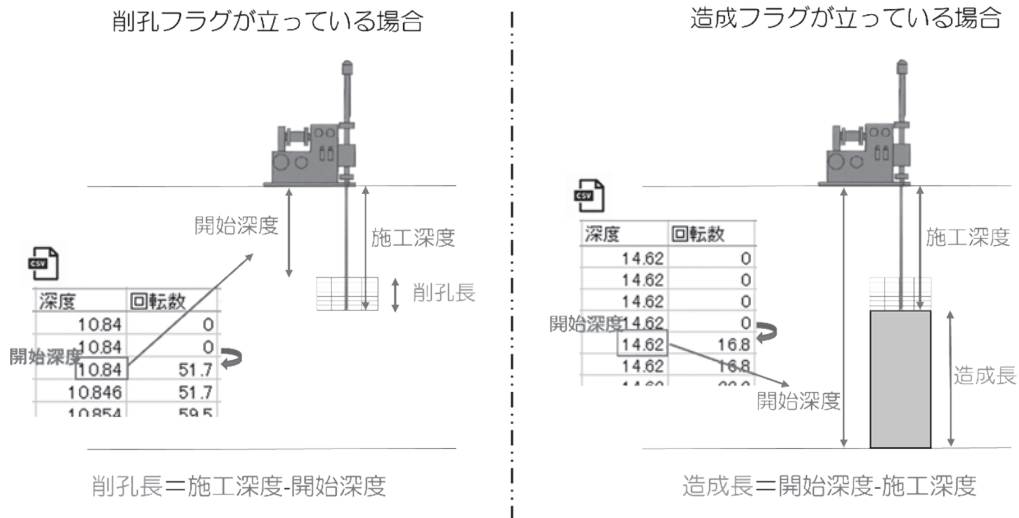
使用する際は、QR マーカを読み込むことで、クラウドストレージから位置情報を取得し、データを可視

化表示する。

## (2) 施工データの可視化機能

施工機械に施工深度やロッドの回転数を取得するセンサを取り付けることにより、施工データがクラウドストレージを経由して端末の画面に表示される。画面上では、現地の光景の中に施工進捗状況を示す三次元モデルが重ね合わせて表示されるため、図面から現在位置と施工位置を考える必要がなくなる。また、自動で深度情報が取得されるため、従来は施工機械側の担当者と連絡を取り合う必要があったが、本システムにより連絡が不要となり、より精度よく高頻度に進捗を把握できるようになる。

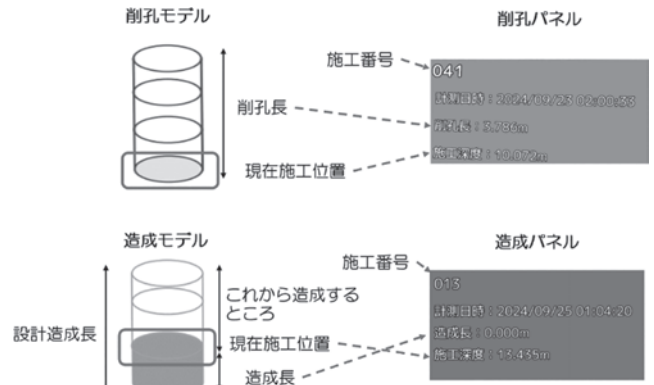
施工機械に取り付けたセンサから、改良体番号を示す ID、日時、施工状態 (削孔 / 造成) を示すフラグ、



図一 3 削孔/造成モデルの生成方法

ロッドの回転数、施工深度の情報を取得する。改良体番号を示す ID により、事前に与えられていた施工機械の設置位置の情報との紐付けが行われる。図一 3 に示す通り、ロッドの回転数の情報により、回転が始まった施工深度を施工開始位置とし、そこを基準として三次元モデルが表示される。

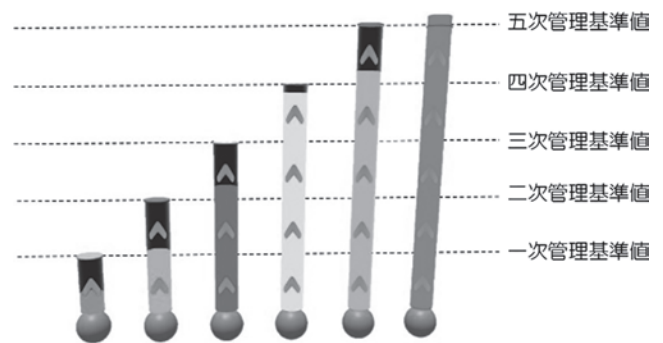
表示される三次元モデルは、削孔した後に改良体を造成していく高圧噴射攪拌工法などを想定しているため、削孔はワイヤフレームで、造成は円柱形として表現した。さらに造成時は、設計造成長を事前に入力しておくことで、残りの施工量がわかるように、これから造成するところをワイヤフレームで表示する(図一 4)。



図一 4 削孔モデルと造成モデルの見方

(3) 動態観測データの可視化機能

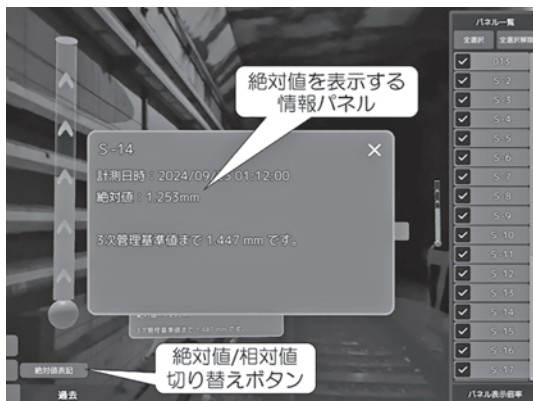
動態観測の情報についても、センサからリアルタイムでクラウドストレージにデータをアップロードできるようにし、端末画面上で計測位置に表示する。その際に数値データだけではなく、三次元モデルとして可視化する。例えば、鉛直変位量を可視化する場合は、変位方向を矢印の向きで、変位量を矢印の長さで表現し、管理基準値を閾値として、変位量に応じて矢印を一次～五次管理基準値に色分けして表示している(図一 5)。一次管理基準値以下から五次管理基準値以上の 6 段階の色は、緑→青→黄→橙→赤のグラデーションで段階表示されている。また、単純な計測データだけでなく、過去のある任意の時点からの変化量も表示できるようにした。それにより、地盤改良の施工に起因する計測値の変化量がわかりやすくなる。



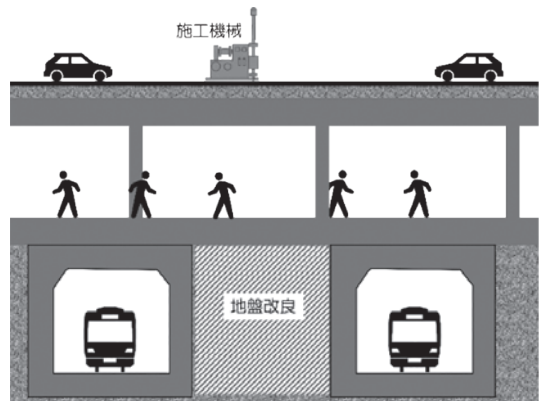
図一 5 管理基準値と表示の例

れるパネルの例を図一 6 に示す。画面左下にある切り替えボタンにより、単純な鉛直変位量をそのまま示した「絶対値表示」と、基準とする日時からの相対的な鉛直変位量を示した「相対値表示」の 2 つのモードを切り替えることができる。

沈下計を可視化した際に三次元モデルの横に表示さ



図一六 絶対値表示と絶対値/相対値の切り替えボタン



図一七 試行現場の模式的な断面図

#### 4. 現場での試行によるシステム有効性確認

##### (1) 試行現場概要

本システムの試行は、大阪駅前の地下道撤去・新設工事現場にて実施した。当該現場は、地上部分が交通量の多い交差点であり、地下一階部分に梅田駅改札に繋がる地下歩道があり、地下二階に地下鉄の軌道が走るトンネル躯体が存在する構造になっている（図一七、写真一1）。このような現場は立体構造の把握が難しいうえに、施工の影響で隆起沈下や漏水・変状変化が起きると甚大な社会的影響を及ぼすため、特に公衆災害を防止することが重要である。

施工中、地下鉄躯体壁面に5mおきに水盛式沈下計を設置し、1分ごとに鉛直変位量を観測した（図一八）。本システムを導入する前に、施工進捗は、施工機械のロッド残尺を計測して施工深度を算出し、1m進むごとに連絡担当者がチャットで監視員に連絡した。

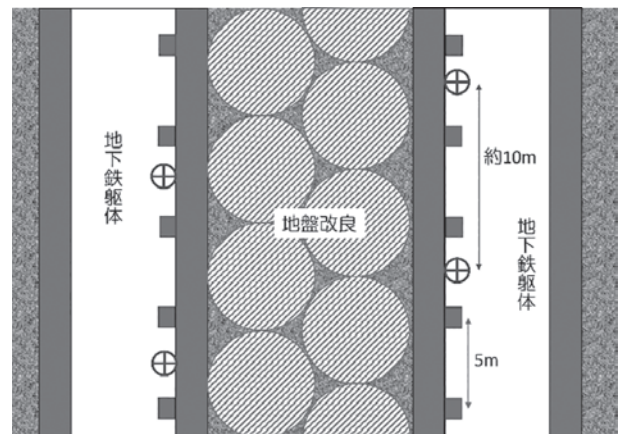
施工は夜間に行われ、監視員は地下鉄躯体内で沈下計のデータと施工進捗状況をタブレット端末で確認しながら、施工位置を推定しつつ躯体壁面の異常を監視した。

##### (2) 試行内容

従来の手動による検尺に替わり、施工機械にセンサーを取り付け、1秒ごとに施工データを取得し、施工進捗状況を把握した。データは現場に設置したパソコンに送り、そこからクラウドストレージにCSVファイルとして常時同期更新されるように設定した。また、地下鉄躯体に取り付けられている沈下計のデータも、同様にクラウドストレージにCSVファイルとして書き込まれていくように設定した。これらのデータが安定してアップロードされるよう、携帯回線ではなく有線LANケーブルを接続した。沈下計位置と施工機械の位置は事前に設定ファイルに入力しておくことで、



写真一1 交差点を占有しての地盤改良施工状況



■ 沈下計 ⊕ 基準点（QRマーカ設置可能場所）

図一八 地下鉄躯体レベルでの模式的な平面図

端末側に反映される。

表示位置の位置合わせは、端末でQRマーカを読み込んで行う。施工位置の日ごとの変化に対応するため、図一八に示したように約10m間隔で基準点を設置し、最寄りの基準点にQRマーカを配置して読み込めるようにした。QRマーカを床に設置すると、QRマーカの左上を原点として仮想空間の座標を配置する（図一九）。また、基準点の真上にQRマーカを設置できない場合（例：沈下計の箱の角が基準点の場合）で

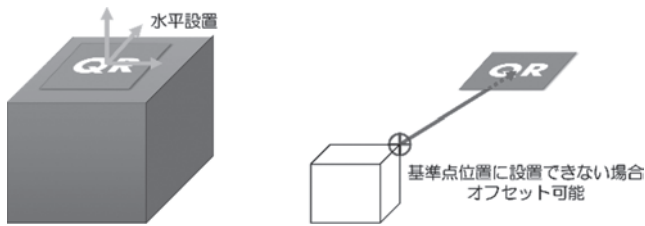


図-9 QR マーカの設置方法



写真-2 HoloLens2 を用いた試行状況

も、基準点位置をオフセットできる機能を追加した。

端末は、AR 端末として iPad Pro (第5世代)、MR 端末として HoloLens2 を使用した(写真-2)。通信回線は、現場内で携帯回線が利用可能だったため、iPad Pro は携帯回線を、HoloLens2 は iPad Pro からのテザリングで接続した。いずれも下り速度 40 Mbps 以上を確保し、問題なく使用できた。

### (3) 試行結果

本システムの試行により、施工位置が視覚的に明確化され、監視すべき位置が明瞭となった(図-10, 11)。これにより、適切な位置に注意を払って監視業務を遂行できるようになった。また、施工進捗がリアルタイムで把握できるため、ロッドの段取り替えなど地上の施工機械の状況も推察でき、より緊密な連携が可能となった。

さらに、沈下計が示す鉛直変位量が管理基準値に対してどの程度の許容量があるのか、危険な場所はどこなのが画面を見ただけで判別できるようになった。これにより、上限下限それぞれ3段階ずつあった管理基準値の6つの数値を覚えておく必要がなくなった。

端末による表示精度の違いを検証したところ、LiDAR 機能を搭載した iPad Pro (第5世代) および HoloLens2 では表示位置のずれが少なく、監視業務を遂行可能であることを確認した。

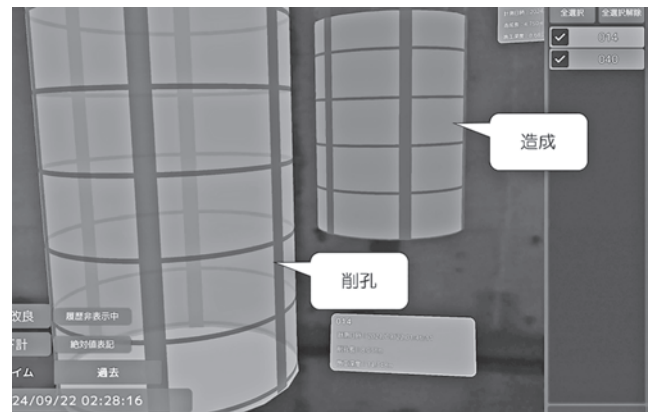


図-10 削孔モデルと造成モデルの表示



図-11 沈下計モデルの表示

iPad Pro は没入感に乏しく、奥行き感が把握しにくいいため、表示されている三次元モデルが躯体壁面の奥にあるのか手前にあるのか、判別が困難である。しかし、iPad Pro は複数人で一つの画面を共有でき、共通認識を持ちながら会話できるため、監視員が複数人いる場合のコミュニケーションツールとして有効である。

## 5. おわりに

地盤改良の施工データと動態観測の計測データを、リアルタイムに AR や MR で可視化するシステムを開発した。現場で試行を行い、現地位置に合わせて可視化することで、空間把握能力の個人差を補完するだけでなく、情報伝達が円滑化することも確認できた。また、監視業務がより確実に行えるため、公衆災害の防止に役立つ。

現段階では可視化できる計測データは沈下計だけであるが、データをクラウドストレージサービス経由にすることで汎用性を持たせているため、様々な IoT

センサのデータを可視化していくことが可能である。今後は、傾斜、地下水位、施工位置近くの井戸水のpHなど、地盤改良の多様な影響を可視化し、適用現場を増やしていきたいと考えている。

J C M A

《参考文献》

- 1) 国土交通省, 「ICT 施工の対象工種の拡大に向けた取組」, 2023, <https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/content/001631709.pdf> (参照 2025-02-21)
- 2) 土木学会建設技術研究委員会建設技術体系化小委員会, 「CIM, ICT 関連技術の体系化に関する調査報告書」, 2020, <https://committees.jsce.or.jp/sekou05/node/42> (参照 2025-02-21)
- 3) 平出亜, 柿原芳彦 「深層混合処理の施工に伴う周辺地盤変位のメカニズムと変位予測についての考察」, 応用地質技術年報, p19-p38, 1997
- 4) 国土交通省, 「建設工事公衆災害防止対策要綱 土木工事編」, 国土交通省告示第 496 号 第 8 章 第 54, 2020, <https://www.mlit.go.jp/tec/content/001305480.pdf> (参照 2025-02-21)

[筆者紹介]

大角 藤子 (おおすみ ふじこ)  
 ㈱奥村組  
 ICT 統括センター イノベーション部  
 DX 推進課



陳 庭松 (ちん ていしょう)  
 ㈱奥村組  
 ICT 統括センター イノベーション部  
 DX 推進課



宮田 岩往 (みやた いわお)  
 ㈱奥村組  
 ICT 統括センター イノベーション部  
 AI・データ活用推進課

