

## 建設現場三次元情報の可視化および分析の取り組み

鹿島建設(株) 正会員 ○山口麗華 上田純広 紀伊吉隆 佐々木智大

### 1. 背景・目的

CIM・三次元解析・計測技術の発展と、大規模で複雑な工事の増加に伴い、建設現場で得られるデータが増加・複雑化している。生産性向上の取り組みの中で、CIMを中心とした建設施工時のPDCAサイクルを円滑に回し、設計～施工～計測の各フェーズのデータを分かりやすく比較・検討できるようにすることが、合理的かつ迅速な意思決定に寄与すると考えられる。そのためには、膨大で多種多様なデータを可視化・分析することが求められるが、CIMを利活用した分析手法は確立しておらず、結果的にデータの利活用が不十分になっている。今回、意思決定への効率的なデータ利活用を進めるため、建設施工時の横断的なデータの可視化・分析に取り組んだ。本稿では、CIM・解析・計測のデータを、ブラウザ上およびiPadアプリでのAR(Augmented Reality: 拡張現実感)により可視化した事例、またデータの二次利用として、過去の施工時計測データを分析した事例を報告する。

### 2. 三次元位置情報の重要性

建設現場のデータの多くは、構造物と同様に位置情報を持ち、施工状況に伴い日々移り変わる現場の状況に合わせて、常にその相対位置やデータの属性値は変化していく。データに位置情報を紐づけると、必ず地球上の一箇所に位置付けられるため、三次元空間上で可視化することで、位置関係からデータ毎の関連性を直観的に理解することができる。さらに時系列変化を追うことにより、その位置情報との関連性を考慮しながら、なぜそうなったかなどの背景を検討することが容易になる。

### 3. 可視化・分析の取り組み事例

#### 3. 1 CIMモデルおよび光ファイバセンサ計測ひずみデータの可視化

ロックフィルダム工事におけるカーテングラウチングに伴う岩盤目開き試験の光ファイバセンサによる計測データ(ひずみ)をブラウザ上でCIMモデルと重畳し、時系列変化の可視化を行った(図-1)<sup>1)</sup>。高密度高頻度の計測によりそのデータ量は膨大であるため、実験日報や施工記録等と照らし合わせ、位置情報を与えた上で可視化に使用するデータを絞り込んだ。計測・解析結果の汎用的な可視化フォーマットであるVTK形式に変換後、ブラウザで地球儀上に様々な三次元モデルを表示可能なオープンソースライブラリのCesium上で時系列データを扱える形式に変換した(図-2)。光ファイバセンサ計測結果、CIMモデル共に三次元位置情報が与えられているため、Cesium上で相対的な位置関係を直観的に確認することができた。また、光ファイバセンサ計測結果の時系列変化を確認することで、グラウチングに伴いひずみが生じた箇所を容易に理解することができ、迅速な施工へのフィードバックが期待できる。

#### 3. 2 三次元FEM解析結果(地盤凍結実験における予測凍土厚)のAR可視化

地盤凍結工法における凍結膨張の制御技術向上に向けた実証実験(凍結深度10~20m)において、地上からは地下で地盤が凍結していく様子を目視で確認できないため、事前のFEM解析結果(予測凍土厚)の時系列変化および凍結管等の三次元モデルを、iPadアプリでのAR表示により可視化した(図-3)<sup>2)</sup>。FEM解析は凍結潜熱を考慮した三次元熱伝導解析を行い、得られた0°C等値面の三次元形状をVTK形式に変換後、ARに適用可能な三次元モデルに変換した(図-2)。現地では予め形状・向き・大きさと三次元モデルとの相対位置情報をアプリに埋め込んだARマーカーを用いて位置合わせし、iPad画面の操作で適宜三次元解析結果を切替えることで、経時的に凍土厚が変化する様子を、実験場内を移動しながら様々な方向から視点を変えて確認することができ、実験状況の効率的な理解に繋がった。

キーワード：CIM、FEM解析、可視化、AR、VTK、統計学的手法

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設(株)土木設計本部解析技術部 TEL 03-6229-6326

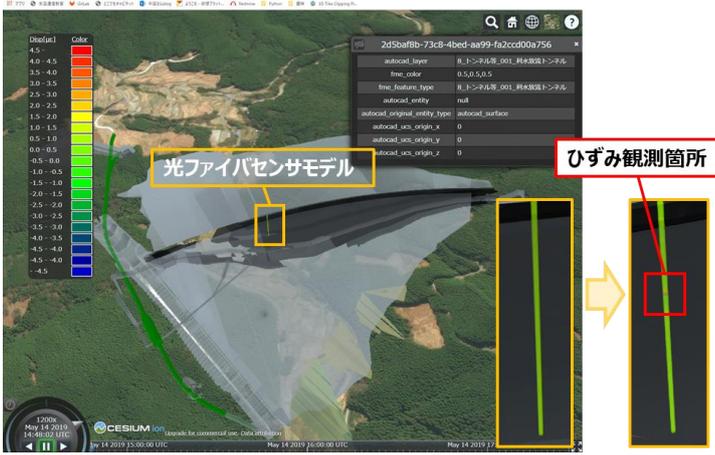


図-1 ブラウザ上での CIM・光ファイバ計測ひずみの可視化

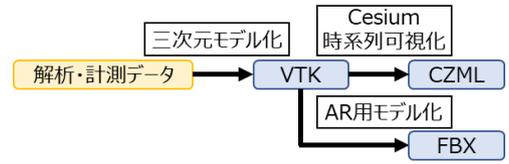


図-2 データ変換フロー

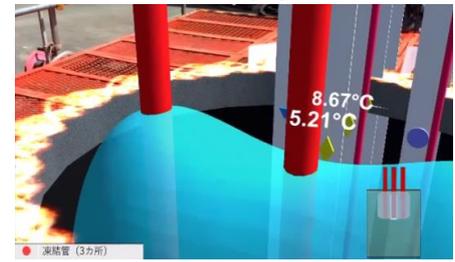


図-3 ARによる予測凍土厚の可視化

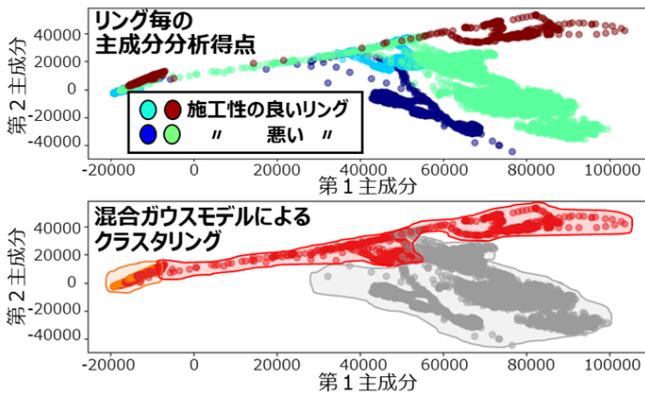


図-4 主成分分析によるリング分類(上)とクラスタ分析(下)

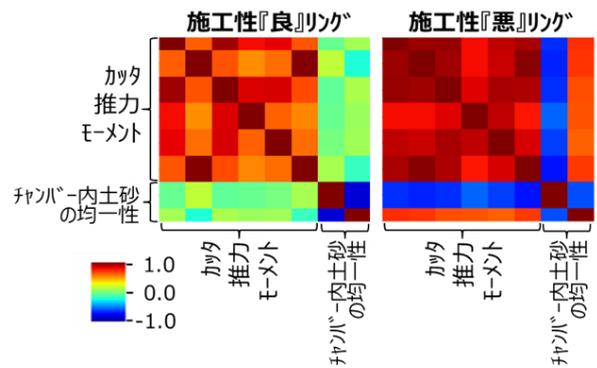


図-5 施工性別の相関係数ヒートマップ

### 3. 3 シールドトンネル施工時の計測データ分析

シールド掘進管理システム(Kajima Shield Control System : KSCS)<sup>3)</sup>は、シールド機および周辺設備からの計測データを自動収集し、施工中リアルタイムに数値に基づいた情報化掘進管理を行えるシステムであり、着工～竣工までのデータを現場毎に蓄積可能である。現状は施工中に現場担当者が膨大な計測データを眺め、チャンバ内土砂性状や施工性の良し悪しを判断しており、担当者の能力や経験に依存する。また、その判断の振り返りや他への共有手段が無くその場限りとなっているため、統計学的手法によりこの判断指標の見える化を試行した。既に竣工済み現場の KSCS 計測データのうち、土砂性状に関する 265 の計測項目に対して主成分分析すると、カット・モーメント・推力に関する計測項目のみで概ねリング毎に分類可能であった(図-4 上)。また、これらの計測項目と主成分分析には大きく寄与しないチャンバ内土砂の均一性ととの相関関係により、リング毎の施工性の良し悪しを把握することができた(図-5)。施工性のクラスタ分析によるラベル付けを行うことで(図-4 下)、施工性の判断指標としての活用や、加泥・排土の最適化に繋がると期待できる。

### 4. まとめ

多種多様で常に変化する建設現場のデータに三次元位置情報を加え、時系列変化を可視化することで、データを効率良く直観的に捉えられ、合理的かつ迅速な意思決定に寄与できることが分かった。膨大な計測データであっても、統計学的手法でデータの次元を減らし相関分析することで、現場担当者の判断指標を説明性の高い形で見える化できた。本稿の可視化・分析手法は、オープンソースを中心に開発しているため汎用性が高く、どのような対象でも適用可能である。今回データの取捨選択を行う際、位置・時間の情報以外に、実験日報や施工記録等の背景情報が必要不可欠であるとわかった。このような現地の情報と、データの取捨選択から得た知識をデータとどのように連携させ、可視化・分析に繋げていくべきであるか、今後検討していく必要がある。

### 参考文献

- 1) 小原ら:光ファイバによるダム基礎処理工における施工管理法の高度化, 第75回土木学会年次学術講演会, 2020
- 2) 佐藤ら:光ファイバを用いた凍土モニタリング技術の検証, 第75回土木学会年次学術講演会, 2020
- 3) シールド掘進管理システム「Kajima Shield Control System」  
[https://www.kajima.co.jp/tech/c\\_shield\\_tunnel/management/index.html](https://www.kajima.co.jp/tech/c_shield_tunnel/management/index.html)