

ARによる三次元FE解析結果および計測結果のリアルタイム可視化

鹿島建設(株) 正会員 山口麗華 上田 純広 ○井筒 竜宇 山沢 哲也

1. AR技術がもたらす生産性の向上

経産省の「DXレポート」¹⁾ (2018年)に前後して、土木分野においても、様々な企業がデジタル技術を活かした業務の効率化や企業風土の改革に取り組んでいる。当社においても、現場の見える化技術の開発が推進され、デジタル技術による生産性向上に取り組んでいる²⁾。

一方、近年のCIMや三次元FE解析、各種計測技術の発展によって、土木分野においても三次元情報が増加・複雑化している。現地一品生産を特徴とする土木分野においては、設計情報やFE解析結果と現場や実験で得られた計測結果を現地でリアルタイムに比較し、その差異を分析することが、施工中の品質マネジメントにおける合理的な意思決定に寄与し、結果的に生産性向上をもたらすと考える。デジタル情報の中でも、AR技術は、HMD (Head Mounted Display) のような特別な装備等を必要とせず、導入の手軽さや普及性に優れることから、主にゲーム分野において技術進展が著しい。

図-1に、重ね合わせる情報の種類と想定される利用場面について示す。本稿では、高度付加価値情報としてFE解析結果や計測結果を取り上げ、ARによるリアルタイム可視化の効用について、事例を通じて述べる。

2. リアルタイム可視化のためのアプリケーション開発

(1) 開発環境 開発環境は、三次元ゲームエンジンであるUnityを用いた。ARが大きく発展したゲーム分野とは異なり、土木分野では可視化対象が大規模であり、地下やトンネル坑内等、非GPS環境における利用が想定される。そのため、構造物とタブレット端末iPadとの位置合わせには、GPSに依存しないARマーカー(図-2)による相対的な位置合わせ手法を採用し、AR開発キットの一つであるVuforiaの機能を使用した。

(2) CIMモデルの変換 Unityは、FBX・DAE・3DS・OBJ・SKP等の拡張子を持つ三次元モデルを扱うことができる。この中でFBX形式は、構造物の種類や部材の階層毎に、三次元データの面情報やマテリアル情報を保持可能である。また、Navisworks (Autodesk社)から直接出力できることから、CIMモデルの変換形式に適している。そこで、RevitやCivil 3D (共にAutodesk社)によってモデル化したCIMモデルを、Navisworksを経由してFBX形式で出力し、Unityに取り込んだ。

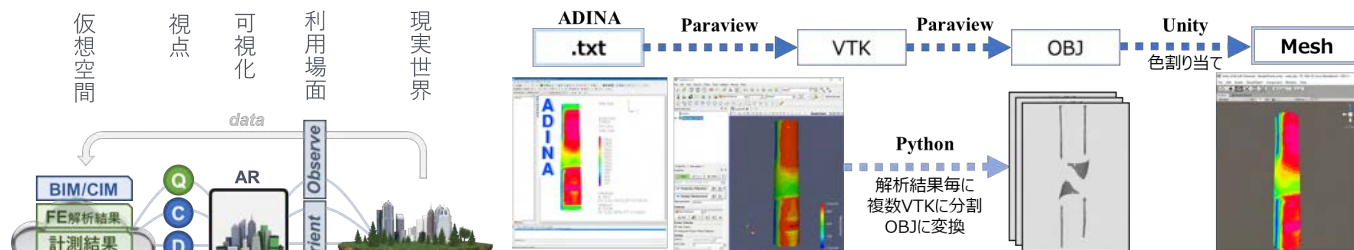


図-3 三次元FE解析結果の変換フロー

図-1 CIM-hub 構想とARの利用場面

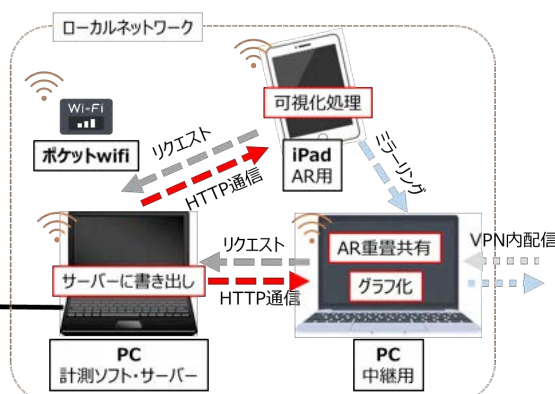


図-4 計測データの移動経路

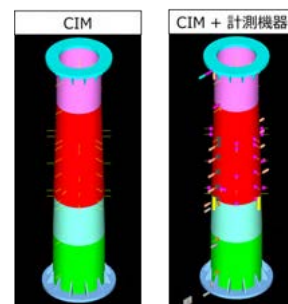


図-5 計測機器のモデル化

キーワード BIM, CIM, FEM, FEA, 計測, AR (拡張現実感)

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. 03-6229-6681

(3) **FE 解析結果の変換** FE 解析結果についても、CIM モデルと同様に FBX 形式で出力する手法³⁾を提案してきたが、データ量が膨大であるため、データ変換に時間を要していた。そこで、短時間で効率よくデータ変換をするために相対的にデータ量の少ない OBJ 形式を採用することにした。FE 解析結果は、まず汎用可視化書式である VTK (Visualization Toolkit) 形式に変換し、凡例カラーテーブルの色毎のモデルに複数分割後、それぞれ OBJ 形式に変換する。Unity では、分割した OBJ 形式の三次元モデルを全て読み込み、それぞれにマテリアル情報の割り当てを行うことで、コンター表現を実現した (図-3)。なお、VTK 形式から OBJ 形式への変換処理については、オープンソースアプリケーションである Paraview を経由し、Python プログラムによって自動化している。このため、以前は半日程度を要していた Unity への取り込みまでの作業時間は、それに続く、同規模モデルで数分程度まで圧縮され、大幅な効率化を実現した。

(4) **計測結果の読み込み** 現場で得られる計測結果については、PC に情報が集約される。この計測結果を iPad へ送信する手段として、HTTP 通信を利用した。具体的には、計測 PC にウェブサーバーを立ち上げ、iPad 側で更新が必要な時点で、サーバーに情報送信を要求する (図-4)。受け取った計測情報は、計測機器をそれぞれ三次元モデルとし、実際の計測位置にデフォルメ表示した (図-5)。

3. AR の構造実験への適用とその効用

図-6、図-7 に構造実験における AR アプリ適用の様子を示す。本実験は、変位計・ひずみゲージ等合計 278 チャンネルの計測数であり、合計 20 回の交番载荷によって試験体に発生する変位やひずみ変化を都度観察し、部材健全性を確認しながら実験を遂行する必要があった。このため、作成した AR アプリを適用し、使用性を検証した。AR アプリでは、次のような工夫によって、技術者の迅速な意思決定を促進している。

- ① CIM モデルの透過度を UI で設定可能とし、半透明表示することで試験体内部等の不可視領域も確認可能
- ② ひずみゲージによって計測される各種ひずみだけでなく、主ひずみ等の計算結果も色表示する
- ③ 詳細にひずみ値等を知りたい場合は、デフォルメした計測機器オブジェクトをタップすることで値表示する
- ④ 計測結果だけでなく、解析結果も载荷状況に応じて入替え可能

これらの結果、実際に肉眼では確認が困難な箇所についても、計測結果を FE 解析結果とリアルタイムに比較することで、一目で状況を把握し、効率的に実験を進めることができた。具体的には、载荷サイクルタイムの短縮化、異常値発見の容易さや現象把握の迅速化がもたらす安全の確保、遠隔地技術者への情報説明の省力化といった効用があった。なにより網羅的に各種情報を空間把握できることの利便性は、従来手法では実現できない大きな価値をもたらした。なお、AR アプリ画面を含む実験場の様子は、遠隔地技術者のために映像配信した。

4. 結語

2018 年から取組みを開始した AR アプリ開発について、今回、CIM モデル・計測結果・三次元 FE 解析結果を現実世界にリアルタイム可視化する機能を追加した。併せて汎用化・データ変換の高速化も推進し、AR アプリ作成工数の縮減も果たしている。開発した AR アプリは、構造実験にて使用性を検証し、合理的意思決定のためのビューアとして有効に機能することを確認した。今後は、時系列計測データに対する分析機能等を追加し、さらなる意思決定のための可視化ツールとして発展させていきたい。

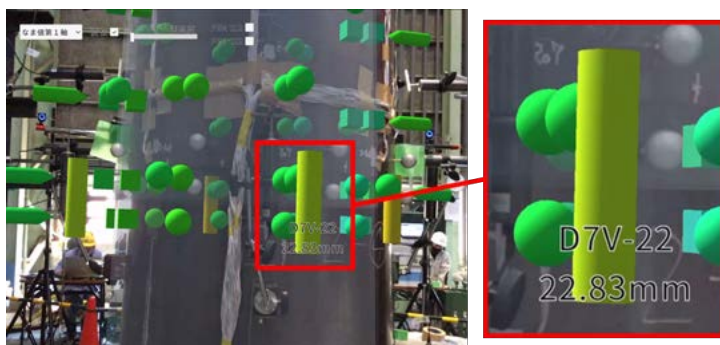


図-6 CIM と計測結果との重ね合わせ、計測値表示例

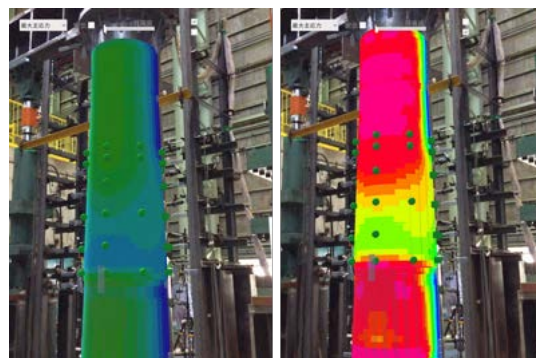


図-7 解析結果と計測結果との比較例

参考文献

- 1) 経済産業省：DX レポート <https://www.meti.go.jp/press/2018/09/20180907010/20180907010-3.pdf>, 2018.
- 2) 上田純広, 山沢哲也, 大家史：三次元解析と CIM の連携による設計合理化システム構築への取組み, 土木学会第 73 回年次学術講演会公演概要集, 2018.
- 3) 山口ほか：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, 土木学会, Vol. 44, pp. 85-88, 2019.