

(38) センシングデータと BIM/CIM モデルを 関連付けた施工システムの開発

高尾 篤志¹・矢吹 信喜²・宮田 岩往³・大塚 義一⁴・平井 崇⁵

¹ 正会員 株式会社奥村組 (〒108-8381 東京都港区芝 5-6-1)

E-mail: atsushi.takao@okumuragumi.jp

² フェロー会員 大阪大学教授 大学院工学研究科 環境エネルギー工学専攻

(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

E-mail: yabuki@see.eng.osaka-u.ac.jp

³ 正会員 株式会社奥村組 (〒108-8381 東京都港区芝 5-6-1)

E-mail: iwao.miyata@okumuragumi.jp

⁴ 正会員 株式会社奥村組 (〒108-8381 東京都港区芝 5-6-1)

E-mail: yoshikazu.otsuka @okumuragumi.jp

⁵ 非会員 株式会社奥村組 (〒108-8381 東京都港区芝 5-6-1)

E-mail: takashi.hirai @okumuragumi.jp

施工現場において、IoT センサの設置により計測工の省力化が図られている。しかし、日々形状が変化する施工現場においては、センサの盛り替え等による、計測項目の変化によらないセンサデータの変動が発生するため、技術者がセンサデータと現場状況から対応策を判断するための妨げとなっている。そのため、センサデータを BIM/CIM モデルと関連付けることによって、施工進捗に伴うセンサ情報の変動傾向を可視化できるシステムの構築を行い、BIM/CIM モデルの活用による計測工を効率化する手法を提案する。BIM/CIM モデル上でセンサを一元管理することで、設置位置・部材などのセンサの情報を容易に共有でき、工程情報と連動してセンサデータを見える化することで、技術者がセンサデータと現場状況の関連性を視覚的に把握し、技術的判断が迅速に行える。

Key Words: BIM/CIM, sensor data, 4d model, visualization, construction management

1. はじめに

建設施工分野の生産性向上は喫緊の課題であり、そのため ICT 活用、とりわけ、BIM/CIM (Building/Construction Information Modeling, Management) や IoT センサの活用による施工情報の一元管理・3次元可視化による効率化の取り組みが行われている。しかし、BIM/CIM が積極的に活用されている事例がある一方で、日常的な施工管理において BIM/CIM を活用した事例は多くない。また、IoT センサの設置により自動的に情報を収集し、構造物等の管理・監視に係る労力が削減されているが、センサの管理業務について別の労力が発生している。計測値が管理値を超えた場合は、センサの管理システムより担当技術者へ警告が発せられるが、日常的にセンサの値を管理し、施工の進捗により管理値を再設定するような場合にはデータ整理が発生し、技術者の労力を要する。施工現場に

おいては、日々の施工により現場の状況が変化し、時にはセンサの盛り替えによる、設置位置・設置部材の変更が発生する。また、技術者はセンサデータの値の変動から、現場状況を把握し、その対応策を判断する必要があるが、センサデータのみでは、変化している現場状況とセンサデータの関連性を読み解くことは困難である。そのため、技術者がセンサデータと現場状況の関連性を容易に把握し、技術的判断の助けとなるシステムが必要となる。

そこで、筆者らは BIM/CIM の活用による視覚的な情報共有が可能となる点に着目し、センサデータを BIM/CIM モデルと関連付けることによる、施工進捗に伴うセンサ情報の変動傾向を可視化できるシステムの構築を行う。3次元モデルに対して工程情報を付与した4次元モデル¹⁾にセンサ情報を付与することで、3次元形状に加え時間軸とそれと連動したセンサの計測値情報を持

つ施工システムを構築する。システム上のセンサの3次元モデルにおいて、工程情報と連動してセンサデータを見える化することで、施工の進捗に伴うセンサの計測値の変化を明確にし、モデル上でセンサを管理することで、センサの位置・計測管理情報を視覚的に共有することが可能となる。これにより、日々のセンサ管理業務において、視覚的に状況を確認することができ、効率的に業務を遂行できる。

3次元モデルとセンサデータの関連付けに関して、小山らによって、IFCを拡張した橋梁データモデルの開発およびセンサデータモデルとそれを連携するデータモデルの開発が行われている²⁾。開発されたデータモデルを利用することで、3次元モデル上において、センサデータを構造物のモデルと関連付けて管理することが可能となる。

しかし、データモデルは既に完成している構造物に設置するセンサを対象としており、主に維持管理におけるモニタリング時に使用されるセンサ利用が想定されている。したがって、モニタリング途中において頻繁に状況が変化するような事態は想定されていない。

一方、施工段階において活用されるセンサについては、センサが設置されている構造物の状態が日々変化し、場合によっては設置したセンサそのものの移動も起こりえる。そのため、3次元モデルとセンサデータを連携する場合は、時間変化に対応して3次元モデルとセンサデータを連携して、管理することが求められる。既存のデータモデルでは3次元モデルやセンサモデルそのものの時間変化に対応していないため、施工段階における日々変化する状況に対応して、3次元モデルと連携してセンサデータを表示することができない。

センサデータを施工の進捗に伴って可視化するために、4次元モデルに対して、センサデータを付与する必要がある。しかし、既存のデータモデルは工程情報を保持していないため、4次元モデルに対してセンサデータを付与する手法を構築し、施工の時系列変化に伴うセンサデ

ータの可視化を行う。

2. 施工システムにおけるセンシングデータの可視化

センシングデータをシステム上において、可視化するためセンシングデータと連携可能な4次元モデルのを築し、センサデータのデータベース化およびモデルとの関連付けを行う(図-1)。以下にその手法を述べる。

(1) 4次元モデルの構築

センシングデータをシステム上において表現するための基礎として、センシングデータと連携可能な形式で4次元モデルを構築する。工程データは各工種毎に分割されており、工種に対して、ID・名称・計画開始日/終了日・実績開始日/終了日が割り当てられている。

3次元モデルと工程情報を連携させる際に、工種ごとのIDを3次元モデル上のオブジェクトのIDと関連付けを行う。オブジェクトを関連付けられた工程情報を基に表示非表示を切り替えることにより、4次元モデル上において、時間変化を伴う表示を行う。

工程データとオブジェクトの関連付けにおいて、例えば、コンクリート躯体の構築の場合は、一つのオブジェクトに対して、鉄筋組立、型枠組立、コンクリート打設、養生等複数の状態が存在することになるため、一つのオブジェクトに対して複数の工程データの関連付けを可能とする。

工程データについて、初期モデルを構築する際は計画開始日/終了日のみ入力し、施工の進捗とともに実績開始日/終了日を入力し、工程データの更新を行う。実績の工程情報の入力により、通常施工ステップ単位に分割されている4次元モデルの工程情報を日毎の時間経過に合わせることで4次元モデル上に日々の施工状況が反映され、センサの日々の計測値との連携が可能となる。

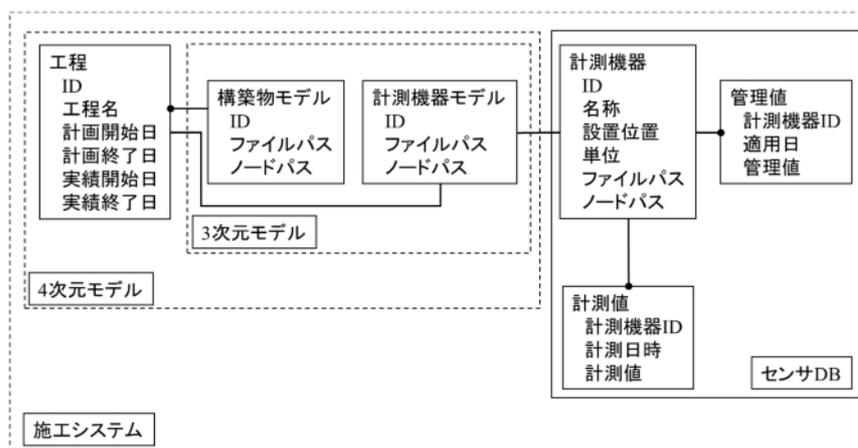


図-1 モデルとセンサデータの関連付け

(2) センシングデータの連携

センサから取得されるデータを施工システムと連動したデータベースに取込み、センサの3次元モデルを介して、BIM/CIMモデルと連携を行う。センサから出力されるデータについて計測値データと管理値データの2種類に分け、個別にデータベースへ取込みを行う。

計測値データは各センサが特定の時間間隔で取得している情報である。また、管理値データは計測値の閾値を示すものであり、計測値が管理値を超過した際に警告を発するなどの管理を行うために用いられる。計測値データと管理値データをBIM/CIMモデルと連動したデータベースに取込むことで、モデル上において計測情報管理を可能とする。

計測値データの出力形式にはCSV形式を使用する。計測値データはセンサ情報と計測機器情報により構成されている。センサ情報は、「計測機器ID」、「センサの計測項目」、「センサの設置位置情報」となっており、計測値情報は「計測日」と「計測値」となっている。

計測値データは、センサにより計測頻度が異なるためモデルと連携する際に、代表値を決定する必要がある。システム上において、計測値データを表現する際は、最新の施工進捗に合わせた状態が望ましいため、計測値データの代表値はセンサの最新の値を採用する。

管理値データは、計測値データと同様のセンサ情報と「適用日」、「管理値」から成る管理値情報から構成されている。管理値については、施工の進捗に伴い変更および追加があるため参照する日時により適用する管理値の値を定めている。

管理値の種類については、「+1次管理値」「+2次管理値」「+3次管理値」「-1次管理値」「-2次管理値」「-3次管理値」の6種類を使用する。管理値の設計値に対して、設計値×0.8を1次管理値、設計値を2次管理

値、設計値×1.2を3次管理値（限界管理値）とする。

データベースに取り込んだセンシングデータについては、センサ情報を基にした属性情報とともに格納される。センサ情報は表-1に示すように「計測機器ID」、「名前」、「距離程、深度（センサ設置位置）」、「単位」、「モデルレイヤのファイルパス」、「ノードパス」により構成されている。「計測機器ID」は計測機器情報および管理値情報と紐づいており、計測機器IDを通じて、指定された日時の計測値および管理値を参照する。

3次元モデルとの関連付けにおいては、センサの3次元モデルを作成し、オブジェクトのIDと計測機器IDを関連付けることで、4次元モデル上の時間変化に伴って、センサモデルにセンシングデータの情報を反映する。

(3) 施工システムにおけるセンシングデータの可視化

システム上において、工程の進捗に合わせて、センサデータを表示することで、施工進捗とセンサデータの関連性を可視化する。センサの3次元モデルを表示している時間軸から、関連付けられているセンサデータの値を参照して、モデル空間における表現を変化させる。センサデータの表現方法として、モデル表現、一覧表示、経時図表示を採用した。モデル表現については、計測値が管理値を超過する場合に、センサの3次元モデルの色を変更し、視覚的に警告を発する。また、一覧表示は、計測項目ごとに時間軸にそって、計測値を表示し、計測値が管理値を超過する場合は、段階的に一覧のセルの色を変更する。経時図表示は、時間軸にそった対象となるセンサ単体の計測値および管理値を折れ線グラフの形式で表示する。また、計測値の一覧から、計測値を選択することで、モデル空間上の表示を選択したセンサモデルへ遷移させることができる。

これらの可視化データにより、技術者はシステム上に表現されている現場状態とセンサデータの計測値やデータの傾向からセンサデータが示す現場状態を容易に把握し、技術的な判断を実施することができる。

3. 適用事例

鉄道地下化事業において開発した施工システムの適用を行った。適用対象とした工事は、供用中の軌道の近傍において、立坑を掘削し、地下化する鉄道の函体の築造を行っている。そのため、工事による軌道への影響をいち早く確認するために、施工範囲各所にセンサを設置し、仮土留めの変位、軌道の施工基面の変位、既設の電車線設備の変位、周辺構造物および地盤の変位の計測を行っている。事業の工事区間の630mにおいて9種類のセンサを設置し、11項目の計測を実施している。計測項目

表-1 センサデータベース属性

カラム名 (論理名)	カラム名 (物理名)	型
Id	Id	integer
名前	Name	text
距離程	Kilopost	text
深度	Depth	text
単位	Unit	text
モデルレイヤのファイルパス	LayerFilePath	text
ノードパス	NodePath	text

表-2 計測項目一覧

	計測項目	計測機器名称	計測単位	計測頻度
01	施工基面沈下	水盛式沈下計	mm	1回/5分
02	架線柱傾斜	小型傾斜計	°	3回/日
03	切梁軸力	ひずみ計	ひずみ	1回/30分
04	土留壁水平変位	多段式傾斜計	°	1回/30分
05	リバウンド	岩盤変位計	mm	1回/30分
06	切梁軸力(盛替梁)	ひずみ計	ひずみ	1回/30分
07	構内地下水水位	間隙水圧計	kPa	1回/30分
08	構外地下水水位	水位計	kPa	1回/日
09	中間杭変位	水盛式沈下計	mm	1回/30分
10	土留壁内空変位	レーザー距離センサ	mm	1回/30分
11	切梁温度	温度計	°C	1回/30分

は表-2に示す通りである。

図-2に示す設置センサの計測データを管理している計測管理システムより CSV 形式で出力したセンサデータを変換後データベースに取込み、BIM/CIMモデルと関連付けを行った。4次元モデルにおいて、登録された工程情報を基に施工シミュレーションを実施し、施工状況の再現とともにセンシングデータの表示を行った。その結果、工程の進捗にともない、1次管理値を超過した部分について、計測機器の3次元モデルの強調表示・一覧表示における該当箇所の確認ができた(図-3)。また、取り込んだ計測機器データを図-4に示すように、経時図に表現し、時間経過に伴う変動の傾向を把握することができた。水盛沈下計による施工基面沈下において、仮土留めの二次掘削の開始時点において、発生した沈下が1次管理値を超えてセンサ管理システムが警告を発出する以前に、施工による影響発生を確認できた。これにより、施工進捗にともなう周辺への影響をセンサの値を基に視覚的に確認できた。

4. 結論

施工段階における計測工の効率化を目的に、4次元モデルに対して、センサ情報と関連付けた施工システムの構築を行った。工程情報と連動してセンサデータを見える化することで、施工の進捗に伴うセンサ情報の変動傾向を明確にでき、モデル上でセンサを管理することで、センサの位置・計測管理情報を視覚的に共有することが可能となった。

実現場において、開発したシステムを適用し、施工状況と連動したセンサデータの可視化が行えることを確認した。今後は今回試行した以外のセンサやその他の施工管理情報も取込み、モデル上における情報の一元管理に



図-2 設置センサ一覧

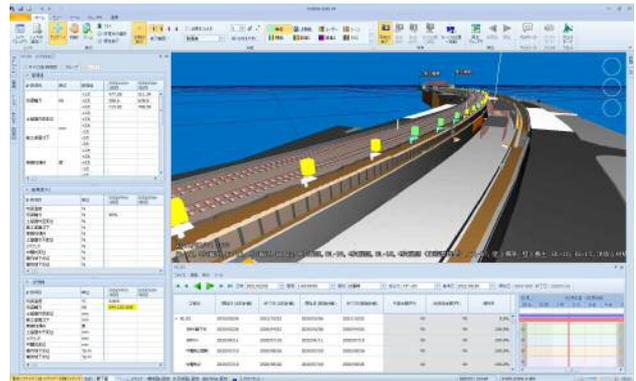


図-3 計測データモデル表現および一覧表示

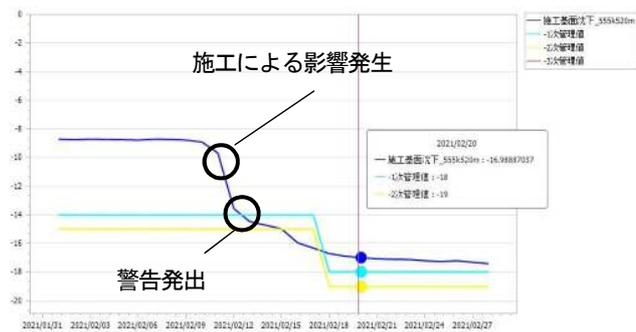


図-4 経時図表示

対応できるよう改良を行っていく予定である。

現在、センサ情報の施工システムへの反映は日単位であるため、センサデータをリアルタイムに反映することにより、計測値の変化に対して迅速に対応できるよう改良を進める。

謝辞：本研究にあたり、西日本旅客鉄道株式会社からご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：設計－施工間の情報連携を目的とした4次元モデル活用の手引き(案)令和2年3月, p.1, 2020
- 2) 小山誠稀, 矢吹信喜, 福田知弘：橋梁とセンサの連携データモデルに基づくデータベースの構築と検証, 土木学会論文集 F3(土木情報学), Vol.77, No.2, pp.I_97-I_113, 2021.