

令和 6 年 5 月 31 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14223

研究課題名（和文）非GNSS環境下における点検結果の効率的なBIM/CIMモデル反映に関する研究

研究課題名（英文）Research on the Efficient Reflection of Inspection Results into BIM/CIM Models in Non-GNSS Environments

研究代表者

川野 浩平（Kawano, Kohei）

九州大学・工学研究院・助教

研究者番号：30622948

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：橋梁を対象とした三次元モデルの作成技術とマッチング技術12件を調査・整理し、点検位置と三次元モデルのマッチングに有用と思われる技術を明らかにすることが出来た。次に、点検記録管理に適した橋梁の3次元モデルを検討し、点検結果をマッチングする維持管理プラットフォームを構築することが出来た。そして、維持管理を担当する実務者からの意見を踏まえて、自己位置を推定しながら点検業務を支援するツールを開発する上で留意すべき要件を整理できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我が国ではBIM/CIMモデルを活用した建設土木事業全体の生産性向上について取り組んでいる。本研究では、その下流工程である維持管理・更新の段階において、非GNSS環境下で点検作業者が効率的にBIM/CIMモデルへ点検結果を反映するために必要となる技術を調査・整理した。これにより、LiDAR搭載型スマートフォンという一般普及している端末を用いて、構造物の損傷箇所をBIM/CIMモデルへ効率的に反映するための基礎技術を開発した。

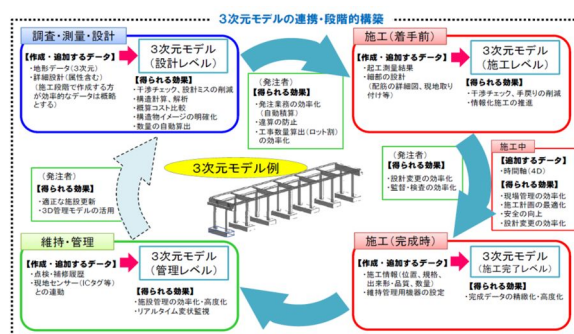
研究成果の概要（英文）：We investigated and organized 12 technologies related to the creation and matching of 3D models for bridges and were able to identify technologies that seem useful for matching inspection locations with 3D models. Next, we examined 3D models of bridges suitable for inspection record management and were able to build a maintenance management platform to match inspection results. Furthermore, based on the opinions of practitioners responsible for maintenance management, we were able to identify the requirements to consider when developing tools to support inspection tasks while estimating one's own position.

研究分野：土木情報学

キーワード：BIM/CIM 維持管理 SLAM

1. 研究開始当初の背景

近年、我が国では、ICT(Information and Communications Technology: 情報通信技術)等の活用による建設生産プロセスの生産性及び品質の向上に向けて、産学官が連携し様々な技術の検討・開発がなされている。その中でも、BIM (Building Information Modeling) /CIM (Construction Information Modeling / Management) モデルの活用は、従来の二次元図面から三次元モデルへの移行による業務変革が期待されている。こうした背景の中、国土交通省では、平成 24 年度より、BIM/CIM モデルの活用について検討と現場試行を重ねて得られた成果を CIM 導入ガイドライン(案)として整理している。この中で、BIM/CIM モデル活用の効果として、測量・調査、設計、施工、維持管理・更新の各段階において、情報を充実させながら BIM/CIM モデルを連携・発展(図 1)させ、併せて事業全体にわたる関係者間の情報共有を容易にすることで、一連の建設生産・管理システム全体の効率化・高度化が期待されている。



【図出展】国土交通省：CIM 導入ガイドライン(案)

図 1 BIM/CIM の概念図

一方、実世界における現場環境は時々刻々と変化することから、下流工程である維持管理・更新の段階においても、点検結果を反映するなど BIM/CIM モデルの持続的な更新による情報鮮度の確保が肝要である。これについて、GNSS (Global Navigation Satellite System: 全球測位衛星システム)環境下では、点検者の位置と方位の情報を用いて損傷箇所を BIM/CIM モデルへ効率的に反映することで、事務所へ点検結果を持ち帰った後の作業(内業)の省力化が期待できる。しかし、橋梁の床版下やトンネル内部などの非 GNSS 環境下では、位置情報を正確に反映することが困難である。そのため、従来通りの現場作業(外業)と事務所作業(内業)に加えて BIM/CIM モデルの更新作業を実施する必要がある。非 GNSS 環境下では、BIM/CIM モデルの活用による点検業務の劇的な生産性向上が期待できない。以上のことから、維持管理・更新段階の点検業務における BIM/CIM を活用した生産性向上の実現には、その障害となる非 GNSS 環境下での構造物の損傷箇所を BIM/CIM モデルへ効率的に反映する技術の確立が必須と言える。

2. 研究の目的

本研究の目的は、建設生産・管理システム全体の効率化・高度化への貢献を目指して、維持管理・更新段階における点検結果を反映した BIM/CIM モデルの効率的な作成とする。そのために、非 GNSS 環境下における点検作業者の位置をリアルタイムに追跡し、構造物の損傷箇所を BIM/CIM モデルへ効率的に反映する手法を開発する。さらに、過去に記録した損傷箇所や事前の点検計画で確認を要すると認められた箇所へ、点検作業者を効率的に誘導する手法を開発し、ヒューマエラーの防止と点検業務の生産性向上に寄与する。

3. 研究の方法

(1) 非 GNSS 環境下における点検作業者の位置をリアルタイムに追跡する技術として、3次元モデルの作成技術および3次元モデルのマッチング技術について調査し、該当する技術を利用した具体的な製品を整理する。

(2) 本研究で対象とする構造物のひとつである橋梁を対象として、国土交通省が提供する点検要領だけでなく、実際に維持管理を担当する企業の協力を得て、実際に現場で記録している点検簿および点検結果の管理システムを調査する。また、この調査結果を踏まえて、点検記録管理に適した橋梁の3次元モデルが具備する要件を整理する。

(3) 上記(1)および(2)を踏まえて、点検作業者の自己位置を推定しながら対象物の3次元モデルを作成するシステムを開発する。本研究では、BIM/CIM モデルの活用による点検業務の生産性向上を目指すため、点検作業者は意図的に3次元モデル作成用の計測を行うのではなく、ヘルメットに計測機器を固定するなど、ハンズフリーかつ自然体で行われることを前提とする。

具体的には、対象構造物の3次元モデルを1度 SLAM 技術で作成している前提で、2度目以降にその場を撮影したデータと1度目に作成した3次元モデルをマッチングすることで、撮影者の位置を推定するシステムを開発する。

4. 研究成果

(1) 代表的な3次元モデルの作成技術について調査した結果を以下の表1、3次元モデルのマ

ッチング技術を表2に示す。なお、SLAM 技術については当初、レーザ測量機器の携帯が現実的でないという理由からウェアラブルカメラによる撮影を想定してカメラ画像を利用する V-SLAM に調査対象を限定していたが、LiDAR 搭載型のスマートフォン端末の利用を視野に入れて、これを用いた SLAM 技術も調査対象とした。

表1 代表的な3次元モデル作成技術および該当製品

分類	形態	概要	該当製品
寸法モデル化	パラメトリック	橋台、橋脚、ボックスカルバートなど、適用構造を選択したうえで必要な寸法入力を行うことで自動的に構造物モデルを作成する。適用範囲は限定される。	V-nasClair STR-Kit, BeCIM / MB
	2次元図面からの3次元化	2次元 CAD 図面を下敷きとして厚み付けや引き延ばし機能により、半自動的に構造物モデルを作成する。適用範囲は比較的広い。	Click-3D
SfM	ハンディデジカメ	60%～80%程度相互にラップして撮影した多数のデジタル写真を合成し立体モデルを作成する。ハンディデジカメでは撮影が困難な狭所や立ち位置が危険な個所などには、ドローン搭載カメラによるデジタル写真のラップ撮影が有効である。 SfM: Structure from Motion	Metashape
	ドローン搭載型		Context Capture, Image Master Pro
レーザスキャン	固定設置型	最も一般的なレーザースキャナ。設置点を複数個所設けて対象をスキャンし、後処理で複数のスキャンを合成し高密度な点群を生成する。併設したデジタルカメラ映像により点群に色情報を付加できる。計測精度が高い。	FOCUS シリーズ / SCENE
	自動車搭載型	自動車に搭載したレーザースキャナで移動しながら連続的にスキャンする。GPS, IMU を内蔵しており連続スキャンを自動的に合成して広範な環境点群モデルを迅速に生成できる。計測精度が高い。機材が高価。	三菱モービルマッピングシステム
	ドローン搭載型	ドローンに搭載したレーザースキャナで移動しながら連続的にスキャンする。GPS, IMU を内蔵しており連続スキャンを自動的に合成して広範な環境点群モデルを迅速に生成できる。計測精度はMMS に比べ低い。MMS に比べ機材が廉価。	Metashape
	SLAM	レーザースキャナと IMU を内蔵し、移動しながら自己位置と周辺の3次元点群マップをリアルタイムに自動生成する技術。ハンディタイプであり、手持ちでの対象物周辺の歩行計測に適する。GPS が不要であり、適用条件が広い。令和6年現在、最も導入障壁が低い。SLAM: Simultaneous Localization and Mapping	AR-Stencil2, Leica Pegasus: Backpack, NavVis M3 Trolley, iPhone 13 以降の機種 + AppStore ソフトウェアの組み合わせ (PolyCam 等)

表2 代表的な3次元モデルのマッチング技術

ICP アルゴリズム (Iterative Closest Point)	ICP アルゴリズムは、3D 点群データ間の位置合わせを行う手法である。まず、一方の点群から他方の点群への最も近い点を見つけ、対応点ペアを基に最適な変換行列 (回転と平行移動) を計算する。このプロセスを繰り返して収束し、点群間の位置ズレを最小化する。ICP は、ロボティクスや自動運転車の環境認識、3D スキャンデータの統合など、さまざま
--------------------------------------	--

	まな応用で利用されている。
SIFT アルゴリズム (Scale-Invariant Feature Transform)	SIFT アルゴリズムは、画像からスケールや回転に対して不変な特徴点を抽出し、これを用いて画像間のマッチングを行う手法である。画像の各スケール空間で特徴点を検出し、周辺の勾配情報を基に特徴ベクトルを生成する。画像認識、物体認識、画像ステッチングなどに広く活用されている。計算コストが高い反面、高い頑健性と精度が特徴である。
SURF アルゴリズム (Speeded Up Robust Features)	SURF アルゴリズムは、SIFT を基にした高速な特徴点抽出・マッチング手法である。ハールウェーブレットと積分画像を用いて特徴点を検出し、特徴ベクトルを生成する。スケールや回転に対して不変な点は SIFT と同様であるが、計算の効率化によりリアルタイム処理が可能。画像認識や物体追跡、3D 再構築などに利用されている。
FPCS アルゴリズム (4-Point Congruent Sets)	FPCS アルゴリズムは、3D 形状のマッチングに使用される手法である。各点群からランダムに 4 点を選び、その距離比や角度を基に他の点群から対応するセットを探す。これにより、3D スキャンデータや CAD モデルの比較が可能で、部分的な重なりやノイズにもロバストに対応できる。FPCS は効率的な計算が可能で、産業用 3D 形状検査や医療画像解析など幅広い分野で活用されている。

代表的な 3 次元モデル作成技術の調査により、令和 3 年 9 月に発売された iPhone 13 Pro には LiDAR が搭載されており、手のひらサイズの端末で SLAM による 3 次元モデルリアルタイム生成が可能であることが分かった。また、代表的な 3 次元モデルマッチング技術の調査から、点検作業者のリアルタイムな位置特定には、ICP アルゴリズムおよび SURF アルゴリズムが有力であることが分かった。

ICP アルゴリズムおよび SURF アルゴリズムの実装について調査したところ、ICP アルゴリズムは Open3D または PCL (Point Cloud Library) with Python Bindings、SURF アルゴリズムは OpenCV がそれぞれライブラリとして公開されている事が分かった。

(2) 本研究で対象とする構造物のひとつである橋梁を対象として、実際に維持管理を担当する企業の協力を得て、実際に現場で記録している点検簿および点検結果の管理システムを調査した。図 2 に点検記録の管理フローを示す。まず、平面図または断面図の紙ベースの点検基図に現場で点検結果を記録する。次に、CAD を用いて現場で記録した点検基図を清書する。最後に、点検補修管理システムと呼ばれる維持管理データベース上で、点検結果が記録された DWG ファイル形式の点検基図を登録する。また同時に、変状の点検記録とそれらを撮影した写真もデータベース上に登録される。しかし、点検補修管理システムに登録されている点検記録は点検者が自由記述で記入している項目があり、記入された情報からは変状箇所的位置を把握できない場合や表記ゆれが発生している項目があることが分かった。

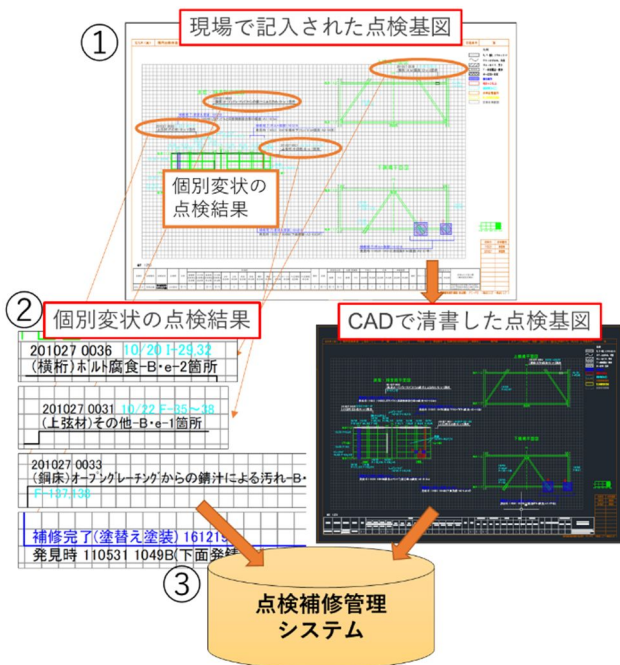
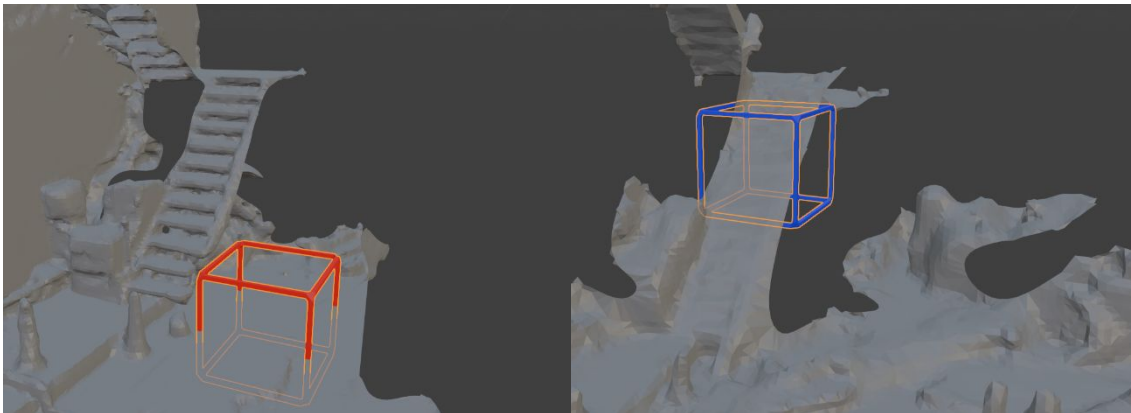


図 2 実際の点検記録管理フローの事例

以上のことから、既存の点検基図に記録されている点検記録を作成した 3 次元モデルの対応する箇所に格納するためには、3 次元モデル上の各部材と現実の各部材とを一位に紐づける固有のコードが必要であると考えられる。そこで、本研究では管理対象の点検データベースで部位に係る項目を連結した管理コードの生成規則を考案し、点検結果とマッチング可能な維持管理プラットフォームを構築した。

本成果は「3 次元モデルを活用した関門橋の維持管理プラットフォームの構築」と題して、2021 年 10 月の地理情報システム研究発表大会で公表し、講演論文集に掲載された。

(3) 橋梁の内部構造を計測して作成した 3 次元モデルの例と、ICP アルゴリズムを用いて二度目に作成した 3 次元モデルを一度目に作成した 3 次元モデルにマッチングさせた結果を図 3 に示す。図 3 から、一度目に作成した際には SLAM により階段の形状を詳細に再現できているのに対して、点検作業者の動作を意識し自然体で作成した二度目の 3 次元モデルは階段の形状を再現できていない事が分かる。二度目の 3 次元モデルにおける階段は「斜めに傾いた板」状のオブジ



1度目のSLAMモデリング

2度目のSLAMモデリング

【凡例】青枠：撮影者周辺の2m×2m範囲 赤枠：自己位置推定結果

図3 橋梁の内部構造をモデリングし撮影者の位置をマッチングした結果



1度目のSLAMモデリング

2度目のSLAMモデリング

図4 屋内をモデリングし消火栓前の自己位置をマッチングした結果

エクトになっており、ICP アルゴリズムは一度目の3次元モデルにおける床面と誤認している。このことから、iphone 13 pro に搭載されたLiDAR計測による範囲および精度では、階段など多くの面が交差する複雑な形状を自然体で捉えることは難しいことが分かった。

上記を踏まえて、単純な通路形状を対象にしてICP アルゴリズムの発展形である色情報を使ったICP (Colored Point Cloud Registration) アルゴリズムを用いて九州大学構内の3次元モデルを作成し、同様に自己位置推定を実施した結果を図4に示す。図4では、点検箇所に見立てた消火栓の前で一度立ち止まり、頭部に装着したiphone 13 pro に搭載されたLiDARを点検箇所に向ける動作を行った。そうして得た2度目のSLAMモデリング結果と1度目のSLAMモデリング結果をColored ICPアルゴリズムでマッチングしたところ、図4の1度目のSLAMモデリング右上の赤枠で示すとおり、誤った消火栓を自己位置として推定する結果となった。これは、同一規格の消火栓が1度目のSLAMモデリング内に含まれていたことが原因であり、実際の橋梁点検等でも同一規格の橋脚を誤って自己位置と推定することが予測される。

そこで、事前の点検計画で策定した動線に追従する形で自己位置を推定する方策についてあらためて検討した。具体的には、1度目のモデリングに対して進行方向を設定し、前処理として進路周辺の点群のみにトリミングして再度Colored ICPアルゴリズムによるマッチングを実行したところ、正しい自己位置を推定できたことを確認した。

本成果は、2024年9月開催の第49回土木情報学シンポジウムに投稿を予定している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 境田伸哉, 三谷泰浩, 谷口寿俊, 本田博之, 川野浩平, 宮脇智士
2. 発表標題 3次元モデルを活用した特殊橋の維持管理プラットフォームの構築
3. 学会等名 土木学会西部支部
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮脇智士, 三谷泰浩, 谷口寿俊, 本田博之, 川野浩平, 境田伸哉
2. 発表標題 3次元モデルを活用した特殊橋の維持管理プラットフォームの構築
3. 学会等名 地理情報システム学会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------