MMS 点群データを活用したインフラマネジメント

InfraDoctor によるスマートインフラマネジメント

永 田 佳 文・津 野 和 宏

GIS プラットフォームと三次元点群テータを用い、道路・構造物の維持管理業務を支援し、インフラマネジメントの効率および確実性の向上に資するシステムの共同開発を行った。

三次元点群データは、主としてレーザスキャナを搭載した MMS と呼ばれる車両を用いて道路上を走行しながら取得し、同時に全方位動画も収録する。三次元点群データは各計測点が位置情報を有するため、パソコン画面上で寸法や距離の計測が可能である。

MMS によって事前に取得した点群データから、二次元の CAD 図や三次元モデルを半自動的に作成することができる。鉄道や街路等管理者の異なる構造物が輻輳するような個所でも、全体的な図化やモデル化が可能となった事例について紹介する。

キーワード: MMS 点群,維持管理, GIS プラットフォーム, 3D モデル作成

1. はじめに

高度成長期時代に作られた構造物の高齢化が進むと 同時に、少子高齢化により労働人口減少に伴う技術者 不足が大きな社会問題として指摘されている。このよ うな状況において、インフラの維持管理業務の効率化・ 高度化が求められている。また、2013年に国土交通 省は「社会資本メンテナンス元年」と位置付け、構造 物の点検・診断、補修・補強に対して総合的かつ横断 的な取組方針を打ち出し、同年6月道路法等の一部改 正する法律が公布され、道路構造物を適正に管理する ために5年に1度の近接目視による点検が法制化され た。その一方で、センサ技術の発展、中でも LiDAR (Light Detection and Ranging) は小型化, 低価格化 が進み、UAV(Unmanned Aerial Vehicle)向けや自 動運転を目指した一般車両への搭載型も開発されてい る。ここで取得されるポイントクラウドの利用目的に 応じた処理技術が、インフラの維持管理への適用が今 後ますます求められている。

MMS(Mobile Mapping System)の開発・導入が始まって10年近くが経過し、MMSで取得したポイントクラウドの代表的な活用事例として、道路台帳附図を対象とした地形図作成があるが、そもそもこのデータは直接計測された3次元(3D)かつ高密度なデータであるため、道路及びその周辺空間の基礎的な3Dデータとしてさらなる活用が期待されている。そ

こで、道路及び構造物の維持管理支援システムの開発の中で、MMSにより取得したポイントクラウドの高度利活用を行った事例を報告する。

2. MMS ポイントクラウド

MMS は交通規制を行うことなく、一般車両と同じ速度で道路を走行しながら搭載されたセンサによりポイントクラウドや全周囲画像等、各種データを収集する。MMS には LiDAR が搭載されており、装置によっては道路から数 100 m 離れた対象物を計測することができる。このため、複雑な構造を持つ都市型道路に適した計測手法といえる。そこで筆者らは、首都高速道路の一部を対象とし、道路構造物の維持管理のための MMS によるポイントクラウドを取得した。

本開発で使用した MMS の仕様を図一1に示す。



図—1 MMS (Mobile Mapping System)

LiDAR は、計測距離 800 m、ショット数 110 万 / 秒、測定確度は 150 m 離れた場所で 5 mm 程度の性能を持つ。これを車両屋根後部に走行方向に向かってスキャンラインを 45°傾けた向きで 2 機搭載し、道路空間の計測時の死角をなるべく減らすように配置している。表―1 には、走行速度と測定対象物までの距離に応じたポイントクラウド密度を示す。この車両にて実際に計測したポイントクラウドを、図―2 に示す。道路はもちろん、道路から少し離れた場所にある構造物の形状も取得できていることが確認できる。

表一 1 MMS により取得された走行速度とポイントクラウド密度

走行速度	20km/h	の場合
------	--------	-----

走行速度	60km/h	の場合
------	--------	-----

照射距離 (m)	点密度 (点/㎡)
2.5	16,836
5	8,418
10	4,592
25	1,804
50	886
100	447
200	223
400	111

照射距離 (m)	点密度 (点/㎡)	
2.5	5,646	
5	2,823	
10	1,540	
25	605	
50	297	
100	150	
200	75	
400	37	

- >推奨の機器設定を行った場合の理論値
- >実際の点密度は、上記の値に対して、実際の反射率(路面の場合は約60%)を 乗じた値となる



図-2 ポイントクラウド 3D 表示

3. 道路・構造物維持管理支援システム概要

MMSにより取得したポイントクラウドを用いて道路をはじめとする構造物の維持管理業務を支援するためのシステムとして、図一3に示すようなシステム構成の検討、構築を行った。

以下に主な機能について説明する。

(1) GIS プラットフォーム

一般に、構造物の3D計測を行う場合には、地上据 置型LiDARを使用し、取得されたポイントクラウド



図一3 システム概要

は任意座標で管理されることが多い。これに対して. MMS によるポイントクラウドは、地球上にマッピン グできる測量座標を持つため、現実世界の位置と重ね 合わせて使用することができる。また、首都高速道路 の総延長は約310kmであり、そのネットワークは東 京都とその周辺の広範囲にわたるため、地図と関連付 けてポイントクラウドを管理することにより情報管理 者にとっての利便性は飛躍的に向上する。そこで本開 発では、地理空間データを取り扱う地理情報システム (GIS: Geographic Information System) をベースと したクラウド型のプラットフォーム (以降, GIS プラッ トフォームとする) を開発し、ポイントクラウドはも ちろん、地図上に関連付けられる台帳等のデータの一 元管理を図った。これにより、情報管理者は地図に関 連付けられるデータを GIS プラットフォームで統合 管理することができ,また,情報利用者はインターネッ トに接続された PC あるいはタブレットから、地図を ベースとしたインタフェースにより情報の取得ができ る形とした。図—4にGISプラットフォームの動作 画面事例を示す。



図―4 GIS プラットフォーム動作画面事例

図―4において、左側に全体を概覧できる地図を表示し、その中に MMS の走行軌跡を太線で示している。右側には色付きポイントクラウドが 3D 表示され、視点位置と方向を左側の地図の中に扇形のシンボルで表し

ている。この画面内で、情報利用者はマウス操作等により、概覧地図上から走行軌跡線上の任意の場所を指示することで、容易に見たい場所のポイントクラウド鳥瞰図等を表示することができる。また、表示方向、拡大率等も変えて表示するだけではなく、MMS 走行方向に向かってアニメーション表示することも可能である。

(2) 道路管理台帳・点検結果台帳管理

GIS プラットフォームでは、GIS の典型的な機能の一つである台帳管理機能を持ち、アプリケーション機能として道路管理台帳機能、点検結果台帳機能を実装した。また GIS プラットフォームでは、ここで統合管理された全てのデータを対象とした一括検索機能である、インテリジェントサーチ機能(図一5)を備えている。例えば、ある構造物で補修作業が必要となり、同じ構造を持つ場所に対して必要に応じて予防補修を計画するといったユースケースを想定した場合、GIS プラットフォームでは、構造形式や部材名称等のキーワードを入力するだけで、該当する場所、写真、台帳、点検記録、図面等を瞬時に検索・閲覧することができる。この機能により、紙で管理されていた台帳の調査、別システムを使用した検索に係る作業時間の大幅な短縮を実現した。

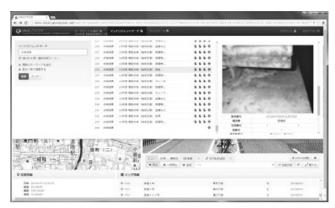
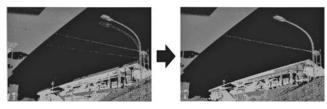


図-5 インテリジェントサーチ機能による検索結果画面

(3) MMS ポイントクラウド自動レジストレーション

MMSで首都高速道路及びその周辺構造物のデータを取得する場合には、主に橋梁構造物から構成されている対象物を可能な限り多方面から計測するため、首都高速道路本線に加え、高架橋下の道路からも計測する。この結果、同じ対象物を複数回計測することになり、これらのデータを重ね合わせると、LiDARから対象物までの計測距離に応じて数10cmずれることがある。つまり複数の計測コースで取得したポイントクラウドは、それぞれ測量精度は確保されたデータであっても、重ね合わせると同じ構造物であってもデータにギャップが生じる。これまでは、手作業でこのよ

うなギャップを調整していたため、作業時間がかかるばかりではなく、作業者による品質のバラつきの問題もあった。すなわち、MMS 計測後のデータ提供までの処理において、この工程が処理時間及び品質のボトルネックとなっていた。そこで筆者らは、MMS によるポイントクラウドのギャップを自動調整する自動レジストレーション機能(図一6)を開発した。これにより、従来の作業に係る時間と比べ約 1/10 の処理時間に短縮することができ、MMS 計測後に GIS プラットフォームに登録できるポイントクラウド提供に係るリードタイムを大幅に短縮することができた。



図一6 自動レジストレーション処理前,処理後の画像

(4) 3D 寸法計測

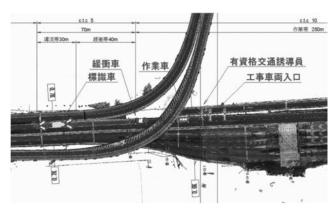
道路構造物補修や補強の設計,点検や工事の施工計画の立案等の維持管理業務において,道路幅員や構造物の各種寸法を正確に把握することが求められる。ポイントクラウドを構成する各点は,それぞれが測量精度を持っているため,これを利用することで正確に寸法を計測することができる。例えば,ダブルデッキ構造の道路において下部道路面から上部道路部の主桁までの高さを求める等,MMSを用いれば交通規制無しに高精度なデータを取得することが可能であるため,計測に関する労力や時間を大幅に削減することができる。筆者らは、寸法計測をよりわかりやすいインタフェースで行う方法として、MMSで同時に取得する全方位画像を表示させ、そこにポイントクラウドをマッピングし、映像の中から測りたい場所の寸法を計測することができる機能(図一7)を開発した。



図-7 3D 寸法計測機能

(5) 協議用図面作成

車線を規制して工事や補修作業等を行う際には、事 前に関係機関と調整するため、当該箇所、規制開始及 び終了場所等を記入した協議用図面を作成する。これ までは紙の道路図面上に必要事項を手作業で記入し, 協議用図面を作成してきた。ポイントクラウドは各点 に色情報に加えて反射強度情報も持っており、反射強 度を色として濃淡表示すると. 路上の白線部分が明確 にわかる特徴がある。この特徴を利用して反射強度表 示したポイントクラウドを真上から投影表示すると. 道路上の実際のマーキングが鮮明に表示され、写真図 のようになる。そこで、これを協議用図面の背景図と し、半自動でパイロンを一定間隔で配置したり、実寸 の工事車両を置いたりする等、効率的に協議用図面を 作成することができる機能の開発を行い、協議資料作 成業務の効率化を図った。図―8にこの機能を用い て作成した協議用規制図の例を示す。なお、ここで作 成された成果は全て3Dデジタルデータであるため、 規制時の状態を運転者の視点でドライブスルー表示す ることができ、事前に適切な規制であるかどうかの チェックを行うこともできる。



図一8 協議用規制図

(6) 2D CAD 図作成

補修や補強工事等が度重ねて行われた箇所は、設計図と現況が乖離している場合が少なくない。そこで筆者らは、ポイントクラウドを利用して構造物の輪郭線を自動抽出し、2次元のCAD(Computer Aided Design)図面作成を支援する機能(図一9)を開発した。この機能を利用することで、図面そのものが無い構造物の維持管理を行うための一般図や、管理者が異なる構造物を含む図面を容易に作成することができるようになり、設計業務、点検業務、測量業務、施工計画業務の効率化を実現した。なお、構造物の輪郭線を確実に取得するためには、対象となる構造物の表面の点群データが取得されている必要があるため、首都高速道路の

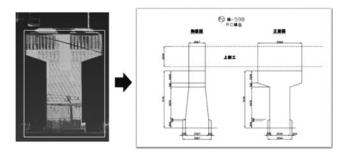
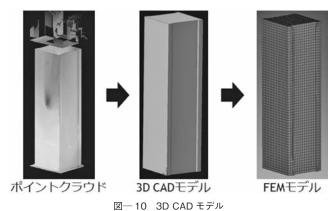


図-9 2D CAD 図作成

場合は、首都高速道路本線だけではなく、首都高速道路の高架橋下の道路を走行して計測する。しかしながら、このような計測を行っても、MMSでは計測できない箇所も存在する。その場合には地上据置型レーザ計測装置、UAV等を用いて撮影した多視点画像からSfM(Structure from Motion)技術により作成したポイントクラウド等で補完を行う。

(7) 3D CAD モデル作成

MMSによるポイントクラウドから平面及び曲面を自動抽出することで、構造物の3D CAD モデルを自動で作成する機能を開発した(図—10)。これにより、現況の形状のFEM(Finite Element Method)モデルを容易に作成することができ、設計業務、施工計画業務の効率化を実現した。また、ここで作成された3Dモデルは、CIM(Construction Information Modeling)のデータとしても活用することを検討している。

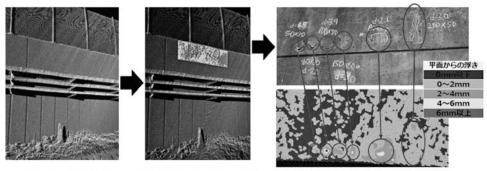


M 10 0D OAD 1

(8) 変状検出

ポイントクラウドから構造物の基準面を作成し、その基準面から個々の点との差分を求めることで変状を 検出する機能を開発した。これにより、コンクリート の浮き・剥離損傷等の早期発見やスクリーニング点検 を実用化し、点検業務の高度化を図る。

図― 11 は、損傷がある構造物のポイントクラウドを MMS により取得し、どの程度の変状が検出できる



ポイントクラウド 構造物

構造物の基準面を作成

変状検出した構造物の画像

図-11 変状検出

か検証を行った結果である。MMS レーザ計測装置から対象物までの距離が約5mであったため、理論上、相対値で2mmの計測精度でポイントクラウドが取得できているとみなすことができる。これに対して、開発した機能で基準面を作成、その差分を色別表示した図と、実際の構造物の損傷箇所を比較すると、損傷個所の広がり状況に応じて4mm以上のギャップは把握できることが確認された。点検業務の現場からは2mm~3mm程度のギャップ検出が求められているため、引き続きポイントクラウドの処理方法、映像等他のデータの組み合わせ、あるいは計測方法等様々な方法やツールによる改良を行っている。

(9) 重機シミュレーション

これまでは、橋梁点検車や高所作業車等の重機を使った構造物点検や補修作業を行う際には、対象となる現場のしゅん工図や写真により事前検討を行った上で、現場にてその場所の現況に合わせながら作業を行ってきた。そこで、本開発にて橋梁点検車両等を3Dモデル化し、ポイントクラウド上で動的シミュレーションを行う機能(図—12)を提供した。これにより、最適な重機の選定、配置場所の確認、周辺構造物との

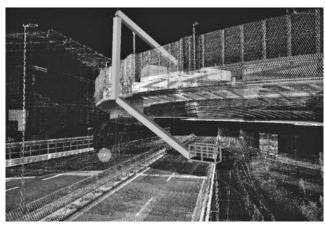


図-12 重機シミュレーション

干渉チェックを事前に行うことができ、設計業務及び 施工計画業務の効率化、現場作業の時間短縮を実現し た。

4. おわりに

これらの MMS の機能はシステム化され, 首都高速 道路(株), 首都高技術(株), (株)エリジオンおよび朝日航洋 (株)の4社により共同開発し,「InfraDoctor」として,



CIM(Construction Information Modeling)

- ・電子データを用いた**情報化施工**
- ・3次元CAD図面や施工シミュレーション等**電子データの活用**
- ·建設時の初期状態(材料、施工状況、出来形等)の記録

InfraDoctor

- ・GIS上で各種台帳を一括管理(<u>CIMデータ、点検・補修履歴、三次</u> 元点群データ、全周囲動画等)
- ・構造物の変状や変位計測による点検業務支援
- ・点検シミュレーション、構造図や規制図等の作成による点検計画作成支援
- ・台帳の情報と三次元点群データから、施工状況や点検、計測結果を 反映した解析モデルや入力データを作成

適時補修·補強

- ・InfraDoctorからの解析モデル、入力データで迅速な構造性能評価、 劣化進行の予測、補修補強設計
- 適時補修・補強の実施

図—13 InfraDoctor とインフラマネジメントシステム

首都高速道路㈱及びグループ会社で運用を始めている。この技術は、行政機関及び民間企業の道路管理者にも有用と考えられるため、国内外を問わず積極的な展開を検討している。

近年、CIM(Construction Information Modeling)による三次元電子データを用いた施工管理が実用化されている。ここから材料、施工、出来形等に関する各種初期データを InfraDoctor に移行し、ICT および IoT を活用して、各種点検・管理データを統合することが可能となる(図—13)。この結果、構造物を総合的に診断・評価するとともに構造解析等により、精度の高い性能評価、劣化診断、劣化予想を行うことで適時・的確な補修・補強の実施が可能となり、効率的でシームレスな社会インフラの維持管理を実現することを考えている。

さらには、高齢化が進む膨大なインフラの維持管理 に向け、少子高齢化に伴う生産年齢人口減少によるエ ンジニアの減少に備え、技術開発による生産性の向上 が求められている。このInfraDoctorのデータを始め、 損傷・補修データ、センシングデータを IoT により 関連させ、さらにロボット技術、画像処理技術、分析・ 解析技術、人工知能(AI)等、幅広い異分野の技術 の統合により、総合的な分析・判断を目指していく所 存である。

J C M A



[筆者紹介] 永田 佳文(ながた よしふみ) 首都高速道路㈱ 保全・交通部 保全企画課 課長



津野 和宏 (つの かずひろ) 首都高技術(株) 技術部 次長

