

(38) 特性が異なるMMSの点群データを用いた 高架道路橋のSXF図面の自動生成に関する 発展研究

姜 文淵¹・田中 成典²

¹非会員 関西大学大学院 総合情報学研究科 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1番1号)
E-mail:jwy0086@yahoo.co.jp

²正会員 関西大学教授 総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1番1号)
E-mail:tanaka@res.kutc.kansai-u.ac.jp

高度経済成長期に建設された高架道路橋では、設計時や竣工時の図面が紙媒体であることから廃棄されているケースが多々あるため、維持管理業務において支障をきたしている。そこで、著者らはMMSの点群データから高架道路橋の維持管理用のSXF図面の自動生成を試みてきた。しかし、多くのMMSは、レーザスキャナの取り付け位置の違いによりラインスキャンの方向が異なったり、レーザの種類により点群密度が異なることにより、取得した点群データの特性が異なる。そのため、特性の異なるMMSの点群データに対してこれまでの解析アルゴリズムをそのまま適用できない。そこで、本研究では、その現象を確認し、既存手法がそのまま適用できない原因を解明する。そして、点群解析手法の改善により、様々なMMSの点群データからSXF図面の自動生成を実現することを目指す。

Key Words : highway bridge, MMS, laser scanner, line scan, point cloud data, SXF

1. はじめに

我が国では、高度経済成長期に集中整備されてきた多くの道路橋が老朽化を迎えている¹⁾。特に、高架道路橋については、適切な長寿命化修繕計画の策定が急務である。適切な点検・補修計画の策定、および工法の選定には、現況の正確な把握が必須であり、建設当時の設計図や竣工図が必要となる。しかし、高度経済成長期に建設された多くの道路橋は、紙媒体の図面が保存期間の30年²⁾を経過した後に廃棄されていることが多いため、維持管理業務において支障をきたしている。このような状況下では、現況に基づいた詳細図を作り直す必要がある。この問題に対して著者らは、Mobile Mapping System (以下、MMS という)を用いて、高架道路橋上部工の維持管理のための2次元SXF図面の自動生成³⁾を試みてきた。既研究⁴⁾では、3次元データを生成するため、MMS⁷⁾のラインスキャン方向と横断点列の密度を考慮し、横断面の生成と特徴点の抽出を行っている。しかし、多くのMMSは、レーザスキャナの取り付け位置の違いによりラインスキャンの方向が異なったり、レーザの種類により点群密度が異なることにより取得した点群データ

の特性が異なる。そのため、特性が異なるMMSの点群データに対してこれまでの解析アルゴリズムを適用すると、点群の解析精度が大幅に落ちる場合がある。そこで、本研究では、異なるMMSの点群データの特性を分析し、既存の点群解析手法が適用できない原因を究明することにより解析手法を改善する。それにより様々なMMSの点群データから高精度のSXF図面の生成を目指す。

2. MMS点群データの分析

本章では、三菱電機社のMMS-Xと3D Laser Mapping社のStreetMapperの2種類のMMSの点群データの特性を分析することで、既研究⁵⁾の提案手法が適用できない原因を究明し、改善の方向性を示す。それぞれのMMSの仕様を表-1に示す。なお、本論文では、レーザスキャナのラインスキャンの方向と横断点列の密度の2つの面から、MMS点群データを分析する。

(1) ラインスキャンの方向

MMS-Xでは、図-1に示すようにレーザスキャナが4台

表-1 2種類のMMSの仕様

MMSタイプ	MMS-X 440	StreetMapper
レーザ スキャナ	Sick社 LMS291 (4台)	RIEGL社 VQ-250 (2台)
絶対精度	10cm	10mm
相対精度	1cm	5mm
最大取得点数	27,100点/秒 (1台)	300,000点/秒 (1台)
最大到達距離	65m	500m

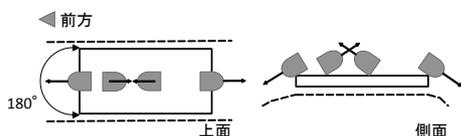


図-1 MMS-Xのレーザスキャナの配置

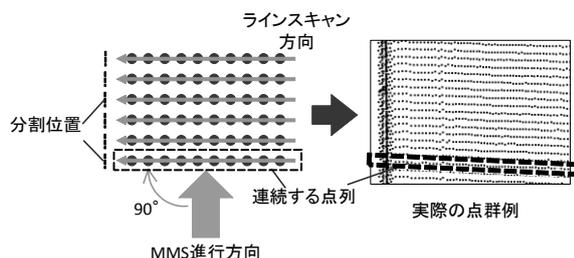


図-2 MMS-Xから取得した点群データの特性

搭載されている。レーザスキャナの向きは車両の進行方向と一致している。そのため、MMS-Xのラインスキャンの方向は図-2に示すように進行方向と直角である。既研究⁵⁾では、この特性を利用し、進行方向に対して横断的に点群を分割することで、高架道路橋の横断面を取得している。

一方、StreetMapperでは、図-3に示すようにレーザスキャナが2台搭載され、それぞれ左後方と右後方に向いている。StreetMapperの点群を分割した場合、ラインスキャンにより取得した点列の方向とMMSの進行方向との間に約45°の夾角が形成(図-4)される。そのため、取得した点列は、高架道路橋の横断面として使用できない。そこで、横断面を取得するには、横断方向を算出して新たな点群分割手法が必要である。

(2) 横断点列の密度

MMSの点群密度においては、走行線から遠いほど連続する2点間の距離が大きくなる。既研究⁵⁾では、この特性と路面の横断勾配を考慮し、断面の変化点を探索している。しかし、図-5に示すように、横断面においてStreetMapperの点群データの2点間距離の変化は、MMS-Xより非常に激しい。このことにより、既研究⁵⁾の手法をStreetMapperの点群データに適用した場合、変化点の抽出精度が大幅に落ちるため、2点間の距離に依存しない変化点の抽出手法が必要である。

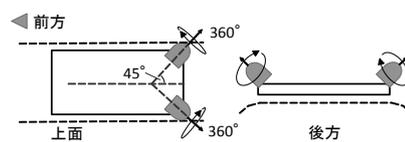


図-3 StreetMapperのレーザスキャナの配置

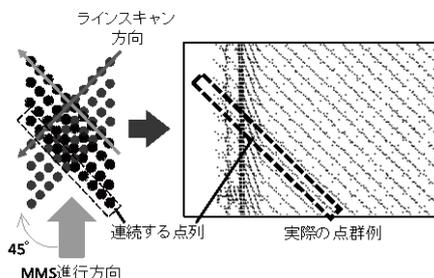


図-4 StreetMapperから取得した点群データの特性

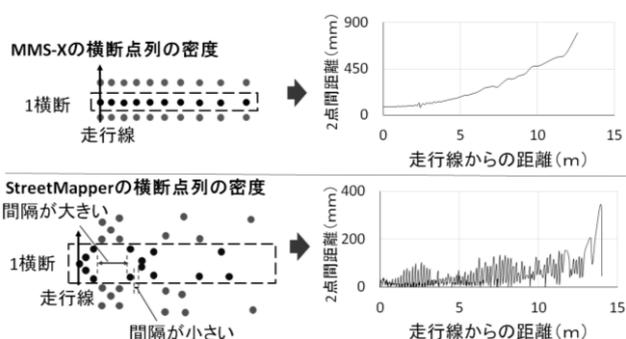


図-5 横断点列の密度の変化の比較

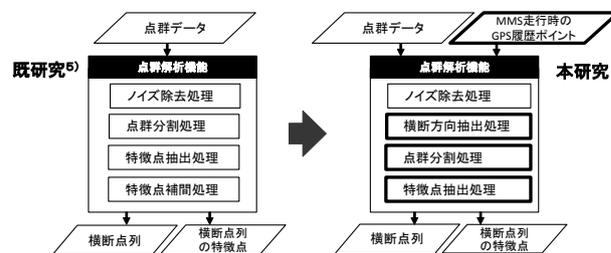


図-6 点群解析機能の修正

3. システムの改善

本研究では、第2章で示した課題に対して、既存システムの点群解析機能を改善する。具体的には、図-6に示すように点群分割処理と特徴点抽出処理の修正と横断方向算出処理の追加を行う。また、データ欠損部において、補間処理により生成された点群が直線に近似し、線形種類の判定精度が落ちるため、特徴点補間処理を削除する。なお、横断方向を抽出するため、MMS走行時のGPS履歴ポイント(図-7)を入力データとして使用する。

(1) 横断方向算出処理

本処理では、高架道路橋の横断面を生成するため、横

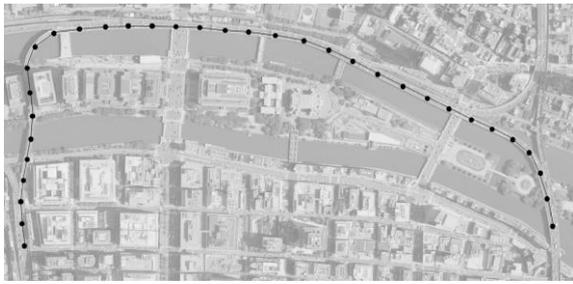


図-7 MMSの走行時のGPS履歴ポイント

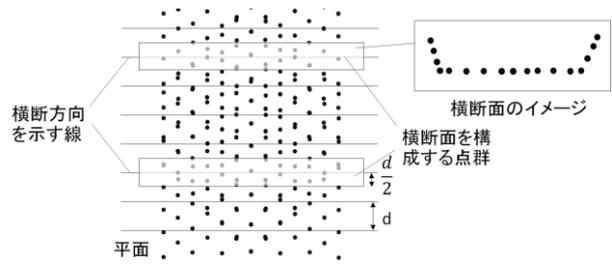


図-9 点群分割処理

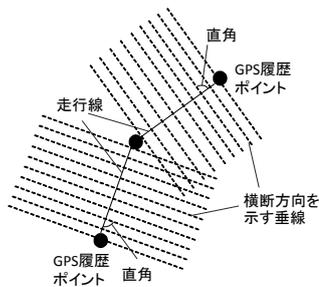


図-8 横断方向の抽出

断方向を算出する。これにより、レーザスキャナの設置角度に関わらず横断面を生成できる。具体的には、図-7に示すようにMMSの走行時のGPS履歴の各ポイントで結んだ線分を走行線とする。次に、図-8に示すように、走行線のそれぞれの線分に対して、直角に引いた垂線方向を横断方向とする。

(2) 点群分割処理

本処理では、横断ごとに点群を分割し、横断面を生成する。具体的には、図-9に示すように一定の間隔 (d とする) ごとに横断方向を示す垂線を計算し点群の各点からの距離によりグルーピングを行う。横断方向を示す垂線から距離が $d/2$ 以内の点の集合を1つの横断面とする。

(3) 特徴点抽出処理

既存手法では、横断点列の密度変化により、断面変化点の抽出精度が大幅に落ちる場合がある。そのため、本処理では、三角形の頂点が対辺から最も遠い位置に存在するという特性に注目して変化点の抽出手法を改善する。具体的には、まず図-10に示すように走行線を示す点と壁の頂点と直線で結ぶ。そして、結んだ直線に下ろした垂線が最も長い場合の点を断面変化点とする。

4. システムの実験

本実験では、改善手法の有用性を確認するため、2種類のMMSの点群データから生成したSXF平面図と現況CAD図面の正解データとを比較する。ただし、本実験

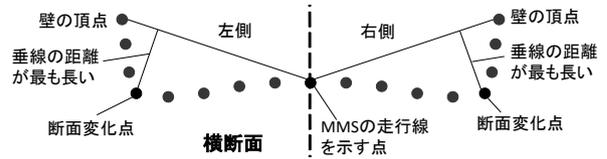


図-10 特徴点抽出処理



図-11 MMSでの計測範囲

では、既研究⁹⁾と同様に抽出できないジョイントを手動により追加する。

(1) 実験データ

本実験では、MMS-X (三菱電機社) と StreetMapper (3D Laser Mapping社) から取得した点群データを使用する。また、MMSの計測範囲は、阪神高速1号環状線の一部 (図-11) とする。

(2) 実験内容

本研究では、2つの実験を行う。1つ目は線形の近似率の評価実験である。具体的には、各線形の両側と中央の3点を評価点とする。そして、全体の評価点から正解データとの相関係数と平均二乗誤差より検証する。2つ目はSXF図面の外観精度の評価実験である。具体的には、出力のSXF平面図と正解データの平面図を重ね合わせて、面積の一致率を算出し外観精度を用いて検証する。

5. 実験結果と考察

(1) 線形の近似率の評価実験

実験結果 (図-12, 図-13, 表-2) から、両方のデータにおいて、同程度の精度で近似線を生成できることが分かった。このことにより、特性が異なるMMS点群データにおいて、本研究で提案した手法によりSXF図面の生

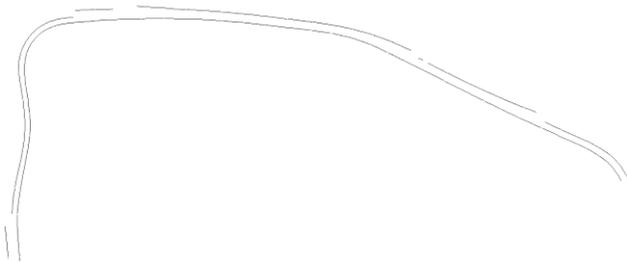


図-12 MMS-Xの点群データから生成した SXF 図面

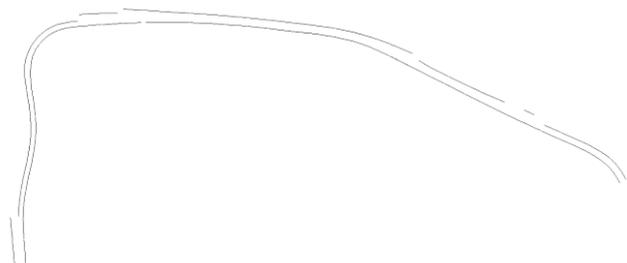


図-13 StreetMapperの点群データから生成した SXF 図面

表-2 SXF 図面の線形近似率の実験結果

	MMS-X	StreetMapper
相関係数	1.00000	1.00000
平均二乗誤差	0.731m	1.015m

表-3 SXF 図面の外観精度の実験結果

	MMS-X	StreetMapper
SXF 図面のみ 存在する範囲	496.57 m ² (2.1%)	942.73 m ² (3.8%)
正解データのみ 存在する範囲	896.94 m ² (3.8%)	1491.21 m ² (6.1%)
SXF 図面と正解データが 完全に一致する範囲	22246.27 m ² (94.1%)	22071.33 m ² (90.1%)

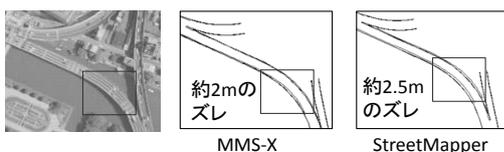


図-14 ズレの箇所

成が可能となった。また、平均二乗誤差から、生成した図面の精度が地図情報レベル1,000の精度の30cmに満たしていないことも分かった。

図面(図-12, 図-13)を詳細に確認した結果、30cm以上の誤差がある多くがクロソイド曲線部に集中している。原因は線形の幾何情報の誤判定によりクロソイド曲線の算出精度が大幅に落ちていることが考えられる。これを解決するには、幾何情報の判定精度を向上させる必要がある。

(2) SXF図面の外観精度の評価実験

実験結果(表-3)では、MMS-Xのデータから生成し

たSXF図面の約94.1%の面積が正解データと一致した。また、StreetMapperのデータから生成したSXF図面の約90.1%の面積が一致した。このことから、異なるMMSの点群データにおいて、改善手法により高架道路橋全体の形状を精度よく生成できることが分かった。

一方、図-14に示す箇所で形状が一致していない箇所が多く存在する。MMSの計測結果と正解データでは、同程度の位置ズレが見られることから、図-14のズレはGPSのズレだと考えられる。これを解決するには、入力点群データをトータルステーションにより計測した評定点で補正する必要がある。

6. おわりに

本研究では、様々な種類のMMSから取得した計測結果から、SXF図面を生成できるように既研究の手法を改善した。実証実験では、特性の異なる2種類の点群データから生成したSXF平面図と現況図を比較した。実験結果から、両方は同程度の精度でSXF図面の生成が可能であることが分かった。ただし、SXF図面の精度はGPS精度に大きく依存することも考えられる。

今後は、実務に向けて図面の精度を向上させるため、線形の不自然な接続の解消を目指す。

参考文献

- 1) 中村秀明, 鬼丸浩幸, 河村圭, 宮本文穂: Bridge Management Systemによる複数橋梁の維持管理計画策定, コンクリート工学年次論文集, 日本コンクリート工学協会, Vol.23, No.1, pp.1219-1224, 2001.
- 2) 横山博司, 中村秀明, 河村圭, 宮本文穂: Bridge Management Systemにおける劣化要因を考慮した維持管理対策の選定, コンクリート工学年次論文集, 日本コンクリート工学協会, Vol.23, No.1, pp.1225-1230, 2001.
- 3) 国土交通省: 土木工事における発注者の業務効率化実施方針, <<http://www.mlit.go.jp/tec/sekisan/sekou/pdf/220929kouritsuka02.pdf>>, (入手 2015.6.30) .
- 4) 国土交通省: 地方整備局文書管理規則, <http://www.mlit.go.jp/page/kanbo01_hy_000166.html>, (入手 2015.6.30) .
- 5) 田中成典, 北川悦司, 姜文淵, 安彦智史, 川野浩平: 道路橋上部工の維持管理のための3次元現況図の自動生成に関する研究, 土木学会論文集 F3(土木情報学), 土木学会, Vol.68, No.2, pp.I_181- I_189, 2012.
- 6) 姜文淵, 田中成典: 高架道路橋上部工の維持管理のためのSXF図面の自動生成に関する研究, 土木学会論文集 F3(土木情報学), 土木学会, Vol.70, No.2, pp.I_319- I_327, 2014.
- 7) 三菱電機: 三菱モバイルマッピングシステム高精度GPS移動計測装置, <<http://www.mitsubishielectric.co.jp/pas/mms/>>, (入手 2015.6.30) .