

(33) 道路橋の維持管理のための3次元モデルの自動作成に関する研究

Research for Generating 3D Model for Maintenance of Highway Bridge

田中成典¹・北川悦司²・姜文淵³・安彦智史⁴・川野浩平⁴

Tanaka Shigenori, Kitagawa Etsuji, Jiang Wenyan, Abiko Satoshi, and Kawano Kouhei

抄録：高度経済成長期に集中整備されてきた高架道路橋は、一斉に老朽化の時期を迎えている。そのため、計画的に道路機能を保全する技術が求められている。高速道路などの高架道路橋は、維持管理の範囲が広い上、路線測量や保全工事の際には一時通行止めなどの処置が必要であり、容易には行えない。そこで、本研究では、MMSによる路線測量に着目した。MMSによる路線測量を行うことで、高架道路橋の現況データを効率的に取得することが可能である。本研究では、高架道路橋に特化したMMSの点群データを間引きする手法を提案し、工事完成図等作成要領に即した3次元モデルを作成する。さらに、工事区間の目安となる高架道路橋のジョイント部を検出し、3次元モデルを上部工ごとに管理できる仕組みを提案する。そして、実証実験により、本手法の有効性を検証した。

キーワード：MMS, 高架道路橋, 維持管理, 3次元モデル

Keywords : MMS, Highway bridge, Maintenance, 3D model

1. はじめに

高架道路橋における維持管理は、高度経済成長期に集中整備されてきたため、老朽化の時期を迎えている^{1),2)}。そのため、計画的に高架道路橋の現況を把握し、適切な維持管理を行うことで、道路機能を保全する技術が求められている^{3),4)}。しかし、高速道路などの高架道路橋は、維持管理範囲が数kmに及ぶ上に、常に車両が走行している。そのため、現況を把握するための路線測量を行う場合や、実際の剥離箇所の測定、保全工事などをするためには、一時通行止めなどの処置を行う必要があり、容易に行うことはできない問題⁵⁾がある。この問題に対して、車載レーザ測量によるモバイルマッピングシステム⁶⁾（以下「MMS」）を利用した3次元現況図の作成手法が研究されている。MMSを用いることで、レーザセンサによる3次元点群情報、カメラによる色情報、GPSによる位置情報を複合的に取得することが可能である。また、道路などの通行止めを行う必要がないため、容易にデータ収集を行うことが可能である。しかし、MMSから取得できる点群は膨大な量があり、無加工で利用することはできない⁷⁾。そこで、本研究では、高架道路橋に特化したデータの点群間引き手法を提案することで、道路維持管理の場面で容易に利用可能な3次元現況図の作成を実現する。具体的には、MMSから取得できる高架道路橋の3次元点群データから、道路中心線を抽出し、道路中心線を基準とした縦断面を抽出する、そして、点群の形状特徴から一定間隔の横断面を抽出する。これにより、

不必要な点群を間引くとともに、工事完成図等作成要領⁸⁾に即した3次元現況図を作成する。さらに、高架道路橋を対象とした工事計画の立案では、ジョイント部で分割された上部工単位で立案される事が想定される。そこで、本研究では、MMSから取得できる色情報を利用することで、高架道路橋のジョイント部を検出し、3次元モデルを上部工ごとに管理できる仕組みを提案する。これにより、高架道路橋の維持管理に特化した扱いやすい3次元現況図構築手法を提案する。

2. 研究の概要

本研究では、まず、高架道路橋の3次元点群データから、工事完成図等作成要領に即した3次元モデルを作成する。なお、本研究において、工事完成図等作成要領に即した3次元現況図とは、JPGIS形式に変換可能な平面図、縦断図と横断図を保持した3次元モデルの形式で出力するものとする。次に、3次元点群データの色情報を用いて高架道路橋のジョイント部を検出し、上部工ごとに管理可能な3次元現況図構築システムを提案する。本システムの概要を図-1に示す。本システムは、点群解析機能、3次元モデル作成機能と高架道路橋分割機能の3つの機能で構成される。入力データは、高架道路橋をMMSで走行した結果得られた点群座標データとする。点群座標データとは、高架道路橋を計測した3次元の座標情報と、座標位置に対応した色情報の組み合わせである。出力データは、上部工ごとに分割された3次元現況図とする。

1：正会員 工博 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, Tel :072-690-2154, E-mail : tanaka@res.kutc.kansai-u.ac.jp)

2：正会員 情博 阪南大学 准教授 経営情報学部 (〒580-8502 大阪府松原市天美東5丁目4番33号)

3：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)

4：学生会員 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)

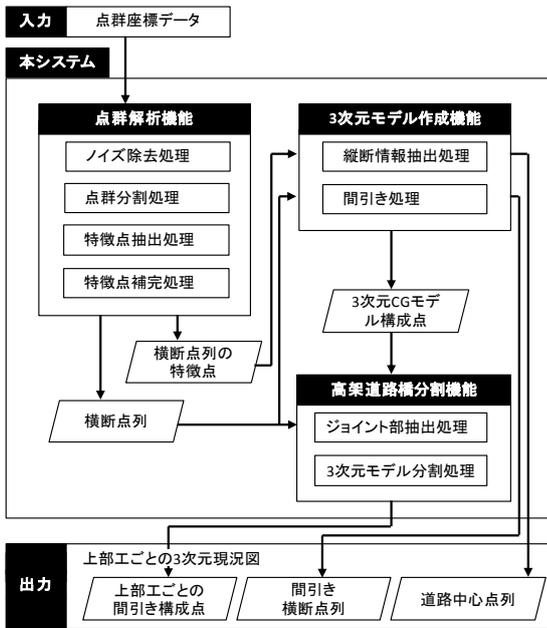


図-1 本システムの概要

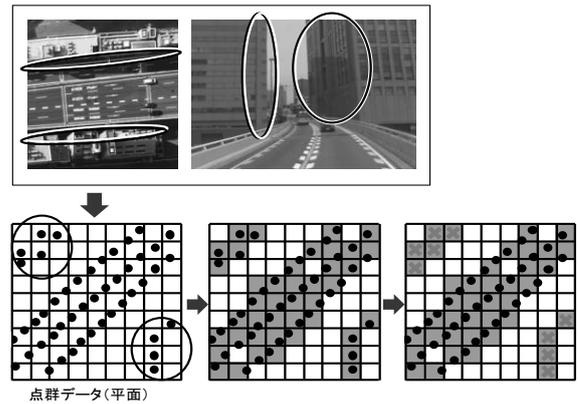


図-2 ノイズ除去のイメージ

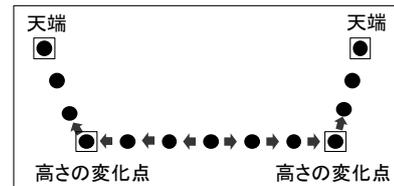


図-3 特徴点抽出のイメージ

(1) 点群解析機能

点群解析機能は、点群座標データを入力として、ノイズデータを除去し、高架道路橋の横断点列と横断点列の特徴点を出力する。横断点列とは、レーザラインスキャナによって得られた高架道路橋の横断方向に連続した計測点列である。点群解析機能は、ノイズ除去処理、点群分割処理、特徴点抽出処理および特徴点補完処理の4つの処理で構成される。

a) ノイズ除去処理

ノイズ除去のイメージを図-2に示す。入力データである点群座標データは、ビルや電信柱などの高架道路橋以外を示す点群座標データが混在する。そのため、本処理では、まず、点群座標データから、x, y 値を用いて水平方向のラベリングを行う。そして、ラベリングの結果に対して、最大のクラスタを高架道路橋とし、他のクラスタに含まれている点群をビルなどのノイズとして除去する。

b) 点群分割処理

点群分割処理では、MMS に搭載されているレーザスキャナの特徴性を利用し、高架道路橋の点群座標データを横断点列ごとに分割する。

c) 特徴点抽出処理

特徴点抽出処理のイメージを図-3に示す。本処理では、3次元モデルを作成するための特徴点を横断点列ごとに抽出する。まず、各横断点列に対して、横断点列の中央の点から両側外側へと高さの変化する点を探索する。そして、閾値を超える高さの変化量の点を路面と壁の交差点として抽出する。そして、横断点列の両側端の点を壁の天端を示す点として抽出する。

d) 特徴点補完処理

特徴点補完処理のイメージを図-4に示す。本処理では、走行車両などの障害物によるデータ欠損が生じた横断点列の特徴点を前後の横断点列を用いて補完す

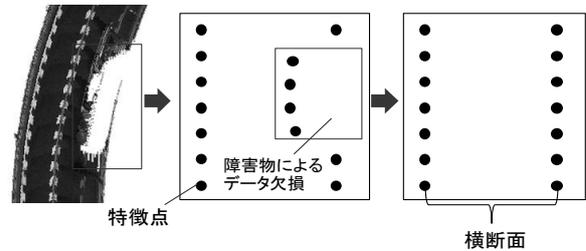


図-4 特徴点補完のイメージ

る。まず、各横断点列の路面幅の長さ（以下、「断面幅」）を計算する。次に、前後の横断点列と比較して断面幅の変化量が閾値以上の横断点列は、障害物によるデータ欠損と判断し、前後の断面の特徴点の位置情報から本来の特徴点位置を推定する。そして、推定結果を用いてデータ欠損の生じた横断点列の特徴点を補完する。

(2) 3次元モデル作成機能

3次元モデル作成機能は、点群解析機能によって得た各横断点列と特徴点を入力データとして、高架道路橋の道路中心線を示す点列（以下、「縦断情報」と）、一定間隔の横断点列および特徴点（以下、「3次元モデル構成点」）を出力する。3次元モデル作成機能は、縦断情報抽出処理および特徴点間引き処理の2つの処理で構成される。

a) 縦断情報抽出処理

縦断情報抽出処理のイメージを図-5に示す。本処理では、まず、各横断点列の断面幅における構造上の中心点として抽出する。次に、この中心点の集合を縦断情報として抽出する。

b) 間引き処理

間引き処理のイメージを図-6に示す。本処理では、間引き処理によって、3次元モデルを作成する上で負

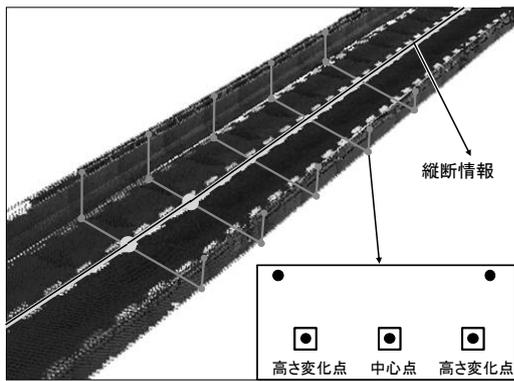


図-5 縦断情報抽出のイメージ

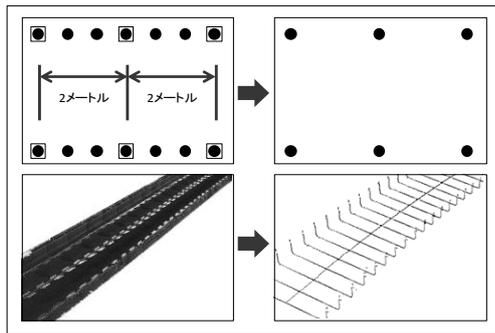


図-6 特徴点間引きのイメージ

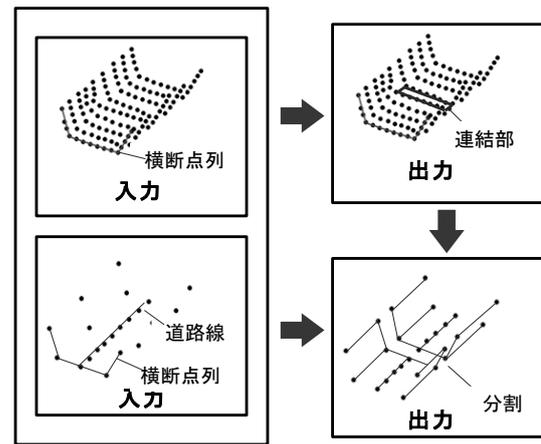


図-7 高架道路橋分割のイメージ

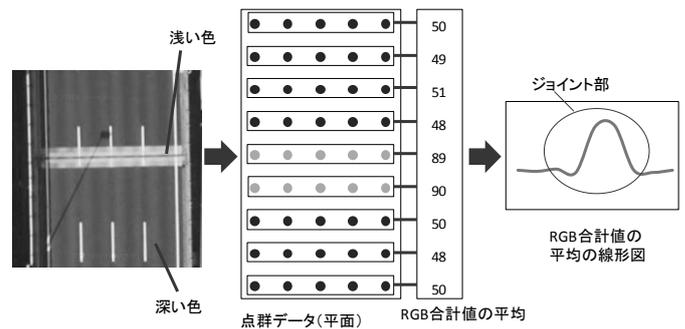


図-8 ジョイント部抽出のイメージ

担となる MMS による点群座標データの膨大なデータ量を削減する。具体的には、まず、一定の間隔で間引きを行った特徴点を 3 次元モデル構成点として出力する。次に、高架道路橋の詳細な断面形状を示す情報として、特徴点と同様に間引きを行った横断点列を出力する。そして、各間引き結果を、3 次元現況図の平面情報と横断情報として出力する。

(3) 高架道路橋分割機能

高架道路橋分割機能のイメージを図-7に示す。本機能は、点群解析機能によって得た各横断点列と 3 次元モデル作成機能によって得た 3 次元モデル構成点を入力データとして、高架道路橋のジョイント部ごとに分割した上部工ごとの 3 次元モデル構成点(以下、「上部工モデル構成点」)を出力する。高架道路橋分割機能は、ジョイント部抽出処理および 3 次元モデル分割処理の 2 つの処理で構成される。

a) ジョイント部抽出処理

ジョイント部抽出処理のイメージを図-8に示す。本処理では、高架道路橋を分割するためのジョイント部を抽出する。まず、点群座標データから路面標識などを示す点群を色情報 (RGB の合計値) を用いて除去する。次に、各横断点列のグレースケール値の平均を算出する。そして、横断点列の算出結果を前後の横断点列で比較し、閾値以上の変化量の場合は、ジョイント部として抽出する。

b) 3 次元モデル分割処理

3 次元モデル分割処理では、抽出されたジョイント部ごとに 3 次元モデルを分割し、上部工ごとの 3 次元モデルを構築する。

表-1 実験データの詳細

計測距離	点数	計測誤差
約 1.7km	約 120 万点	絶対精度 10cm 以内 相対精度 1cm 以内

3. システムの実証実験

実証実験では、距離計測の測量精度とジョイント部の抽出精度を検証し、本システムの有用性を確認する。

(1) 実験データ

本研究では、実験データとして、高架道路橋の移設などの道路工事が検討されている大阪の阪神高速 1 号環状線を走行して計測した結果(約 1.7km)を用いた。

(2) 実験内容

本研究の実験内容を以下に示す。

a) 距離計測の実験

本実験では、提案手法により生成される 3 次元モデルの基準となる実験データの測量精度を評価する。まず、実験データから 4 車線の両幅を指定して 2 点間距離を計測する。次に、各車線の両幅を指定して 2 点間距離を計測する。そして、各 2 点間距離が国土交通省の定める車線幅⁹⁾に収まるかを確認して、実験データから作成される 3 次元モデルの精度上限を確認する。

b) ジョイント抽出精度の実験

本実験では、提案手法により特定されるジョイント部の抽出精度を評価する。実験データから提案手法を

表-2 距離計測結果

計測箇所	計測距離	平均値
車線 A	3.2600m	3.2778m
車線 B	3.2228m	
車線 C	3.3140m	
車線 D	3.2882m	
4 車線	13.3218m	—

用いて上部工のジョイント位置を特定し、実際のジョイント位置と比較してジョイント部の抽出を正しく出来ているのか確認する。

4. 実験結果と考察

実験結果と考察では、距離計測の実験とジョイント部抽出精度の実験結果について考察する。

(1) 距離計測の実験

実験データから1車線および4車線の幅を2点間計測した位置を図-9に示す。また、各計測結果を表-2に示す。表-2から、各車線の計測結果の平均値が約3.2778mとなり、全ての計測箇所の計測距離における2点間の測量精度は±25cmの測量誤差となった。このことから、道路構造令⁹⁾で定められた車道幅の3.25mにほぼ準拠しており、公共座標値としての精度検証として、地図情報レベル500を満たす精度であることがわかる。以上のことから、実験データが道路の維持管理を目的とした3次元モデルを作成する上で問題ない精度を保持している事が分かる。

(2) ジョイント抽出精度の実験

ジョイント部の抽出精度の検証実験では、まず、本手法で特定した上部工のジョイント部と正解データを比較した結果を表-3に示す。表-3から本手法で特定した28件のジョイント部は全て正解データと一致したことから、誤抽出することなく高い精度で連結部を特定できたことが分かった。しかし、連結部と周辺の路面の色が近似する場合は、正しく上部工を分割できないことが分かった。これは、ジョイント部における横断点列のRGB合計値の平均値と前後の路面との差が見られないためである。

5. おわりに

本研究では、高架道路橋の点群座標データから橋梁維持管理に利用できる3次元モデルを自動作成する手法を提案し、実証実験の結果から本システムの有用性を確認した。しかし、上部工のジョイント部と路面の点群座標データが保持する色情報が近似する場合や道路に分岐が存在する場合、上部工ごとに正しく3次元モデルを作成できない事例が見られた。そのため、今

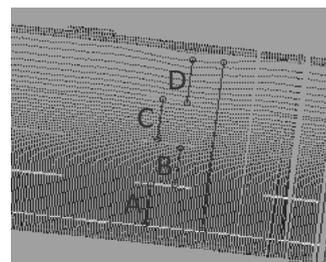


図-9 距離計測位置

表-3 ジョイント部の抽出結果

正解データ	29件
本手法で特定したジョイント部	28件
特定結果と正解データが一致	28件

後の課題として、点群座標データと同時に撮影したビデオ映像を併用することで、より頑健な手法を目指す。

謝辞: 本研究を遂行するにあたり、2010年度関西大学研究促進費の助成を受けた。ここに記して、感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 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年.
- 2) 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年.
- 3) 今野将顕, 宮本文穂, 中村秀明, 石田純一: 多目的最適化による複数橋梁の維持管理計画策定方法の開発, 応用力学論文集, 土木学会, Vol.7, No.2, pp.1149-1158, 2004年.
- 4) 石田純一, 岡崎光央, 河村圭, 宮本文穂: 山口県における計画的橋梁維持管理の導入手法と実用的データベースシステムの開発, 土木学会論文集F, 土木学会, Vol.64, No.1, pp.72-91, 2008年.
- 5) 河村圭, 石田純一, 宮本文穂, 中村秀明: 山口県における橋梁通常点検の実施とその有効性, 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.29, No.3, pp.1705-1710, 2007年.
- 6) 三菱電機: 三菱モービ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2012.7.12).
- 7) 田中成典, 今井龍一, 中村健二, 川野浩平: 点群座標データを用いた3次元モデルの生成に関する研究, 土木情報利用技術論文集, 土木学会, Vol.19, pp.165-174, 2010年.
- 8) 国土交通省: 道路工事完成図等作成要領, <http://www.nilim-cdrw.jp/dl_other.html>, (入手2012.7.12).
- 9) 国土交通省: 道路構造令, <<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S45/S45SE320.html>>, (入手2012.7.12).