

MMS レーザ点群を利用した路面不陸箇所抽出手法

山本耕平・青木一也・西村修

METHOD FOR ACQUIRING PAVEMENT SURFACE DISTRESS

ON 3D POINT CLOUDS FROM MOBILE MAPPING SYSTEM

Kohei YAMAMOTO, Kazuya AOKI and Osamu NISHIMURA

Abstract: This paper proposes a methodology to evaluate the pavement surface distress for maintenance planning of road pavement using 3D point clouds from Mobile Mapping System (MMS). The methodologies for a simplified evaluation for pavement surface and assessment of damaged pavement section are proposed using 3D point clouds data to build urban 3D modeling. The simplified evaluation results of road surface were able to provide useful information for road administrator to find out the pavement section for a detailed examination and for an immediate repair work. In particular, the regularity of enumeration of 3D point clouds was evaluated using Chow test and F-test model by extracting the section where the structural change of a coordinate value was remarkably achieved. Finally, the validity of the current methodology was investigated by conducting a case study dealing with the actual inspection data of the local roads..

Keywords: MMS (mobile mapping system), 舗装 (pavement), インフラ管理 (infrastructure Management) , 劣化(deterioration), チョウテスト(chow test)

1. はじめに

近年、老朽化が進む道路、橋梁、トンネルの安全性に対する不安が高まっている。このような中で、自治体では補修費予算の減少と要補修ストックの増加が道路ストック維持管理上の重要な課題となっている。

国土交通省道路局は、自治体に対して、総点検実施要領（案）で、わだち掘れ、ひび割れ、平坦性に加えて、ポットホール、パッチングなど、第三者被害を防止する観点から、損傷箇所への措置を指示している。

しかし、従来の MCI（維持管理指数）ではポットホールのような不陸箇所の抽出及び評価の方法は定まっていない。

そこで、筆者らはモービルマッピングシステム

（以下 MMS と称す）で取得した 3D 点群データを用いて、ポットホール、パッチングなどの路面の損傷（以下、不陸と呼ぶ）の状態を統計手法で評価し、不具合が生じている箇所の抽出手法を検討した。

2. 損傷箇所の抽出手法

図-1 に抽出手法のフロー図を示す。MMS で計測された 3D 点群データの規則性を単純な回帰分析を用いて評価し、ある任意の地点における道路の横断方向の平坦性を、回帰分析の結果から評価する。回帰分析のパラメータの値を用いて、路面状態に構造的な変化が生じている箇所を検定モデルにより抽出する。具体的には、構造変化の F 検定モデルにより路面の局部的な変化を抽出し、相対評価による路面状態を評価する。

2.1 MMS による道路計測

MMS に搭載されたレーザスキャナで取得された距離、レーザ照射角度ならびに MMS の位置姿勢に関するデータから 3D データを生成し地図座標に変換する。時速 40km 程度のスピードで走行した

山本耕平 〒153-0043 東京都目黒区東山 2-8-11

株) パスコ 研究開発センター

Phone: 03-3715-4011

E-mail: kootho1810@pasco.co.jp

MMS では 1 回転の走査で得られるレーザデータはスキャンレート 75Hz 以上で計測した場合、進行方向には 10cm 以下の間隔でレーザ点群が取得される。横断方向には、5 cm~12 cm の間隔でレーザ点群が取得される。

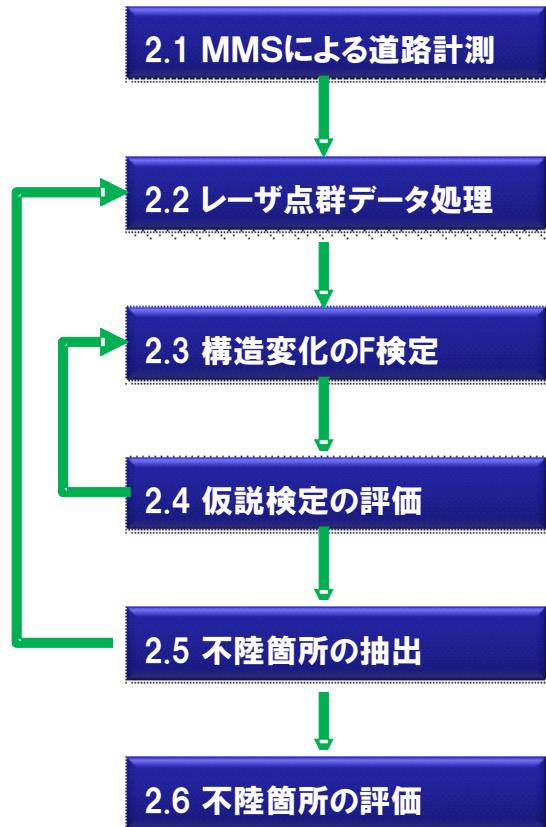


図-1 抽出手法のフロー図

2.2 レーザ点群データ処理

MMS によって取得された路面上の 3D 点群データ用いて舗装路面の評価する。

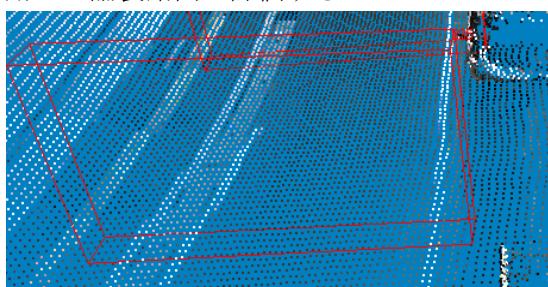


図-2 レーザ点群データ処理

図-2 に示すように、評価対象とする道路横断面のデータを 50cm 幅に設定し点群データを集約する。レーザ点群データが極めて短い間にデータ取得されるため、同一時間の取得データとみな

せる。そのため、位置精度が均一なレーザ点群を用いることが可能となる。

道路幅員（約 5m）× 縦断方向（50cm）の範囲の約 250 点を 1 断面の評価データとして抽出する。各断面を縦断方向に対して連続的に 5m ピッチにて取り出す。

2.3 構造変化の F 検定

路面横断の不陸箇所を、構造変化の F 検定モデル (Chow test) を用いて評価する。Chow test は、分析対象の範囲内にて構造的変化が起こったと考えられる分割地点を設定し、「その地点の前後の回帰係数が等しい」という仮説を F 値によって検定するモデルであり、計量経済学の構造変化分析に用いられるモデルである。

図-3 に示すように、道路の横断方向に対して、MMS によって取得した点群データを配置する。

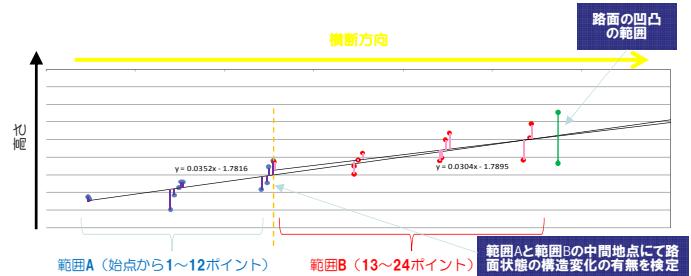


図-3 構造変化の F 検定

図中に示したように、任意の評価点を設定し、その評価地点を境界として、①範囲 A, ②範団 B, ③範団 A~B において、それぞれ座標 (x, z) 値を用いて回帰分析（最小二乗法）を実行し、それぞれの残差平方和 RSS1, RSS2, RSS (RSS : Residual Sum of Squares) を算出し、以下の式により F 値を算出する。

$$F = \frac{RSS - (RSS1 + RSS2)}{RSS1 + RSS2} \times \frac{n1 + n2 - 2(k+1)}{k+1}$$

RSS1: 範団 A の残差平方和

RSS2: 範団 B の残差平方和

RSS : 範団 A~B の残差平方和

n1: 範団 A のサンプル数 (MMS 計測値の数)

n2: 範団 B のサンプル数 (MMS 計測値の数)

k : 説明変数の数

2.4 仮説検定の評価

以下の仮説を設定する。

- 帰無仮説 H0 : 範団 A と範団 B の路面状態が同等
- 対立仮説 H1 : 範団 A と範団 B で路面状態に変化（路面凹凸有り）

評価対象の横断面の (x, z) 座標の集合体を取り出

し、任意の分割地点を設定し、その前後にて回帰分析を行う。回帰分析の結果からF値を算出し、有意水準95% ($\alpha=0.05$)にて仮説が棄却される場合、路面の不陸生じている箇所として評価する。

2.5 不陸箇所の抽出

F値の大小によって、路面不陸の度合い、棄却ポイントの発生割合にて、路面性状の損傷度合いを評価する。

2.6 不陸箇所の評価

以上の方法を用いて、路面の不陸箇所を評価する。道路の縦断方向に対して評価断面を取得し、連続的に評価を行い、相対評価によって、路面の損傷箇所を発見する。

3. 結果

3.1 計測結果

本稿で提案する路面の評価モデルを、実際の道路を対象に適用する。ある自治体が管理する道路の舗装を対象に、実際にMMSにより路面の3D点群データを計測し、そのデータの集合を用いて、Chow testを実行し、路面の不陸を評価した。さらに、同一の舗装区間にて、従来の路面性状調査による評価を行い、路面性状調査による評価結果と、本稿で提案するChow testによる評価結果を比較し、本稿が提案する方法論の妥当性を評価した。

図-4にMMSの計測結果を示す。評価対象とする道路は、自治体が管理する約6km区間であり、片側一車線の準幹線道路である。道路が供用されてから約30年が経過しており、その間、損傷した箇所については切削オーバーレイ等の補修が実施された。さらには、ガス管や下水道管路の埋設工事等の占用工事のために舗装路面が掘り起こされ、その復旧後が数多く残っている。道路の不陸は、単純な損傷のほか、占用工事の復旧後による段差等も大きく影響を及ぼしている。



図-4 MMSの計測結果

3.2 抽出結果

まず、任意の舗装断面を抽出し、MMSによる3D点群データを用いてChow testを行った結果を、図-5および図-6に示している。これらの図には、Chow testにて算出したF値と3D点群の座標値(XZ値)をプロットしている。横軸に道路の横断方向、縦軸にz値及びF値を表示している。まず、図-5に示した断面では、路面に窪みが生じている箇所が1箇所存在しており、同箇所のF値が高い値を示している。次に図-6に示した断面では、路面の凹凸が全体的に広がっており、凸が全体的に広がっており、F値の分布の横断方向に散らばりが生じている。

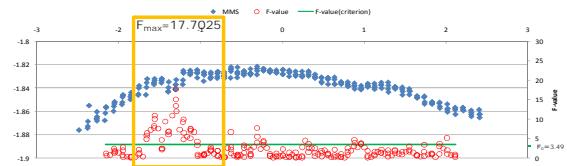


図-5 1箇所の局部的な凹凸

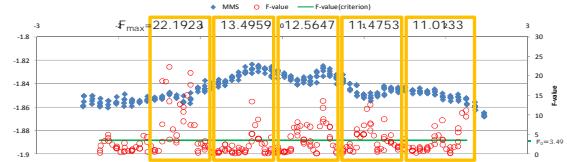


図-6 全体的に広がった凹凸

4. 考察

我が国における路面性状調査では、ひび割れ、わだち掘れ、IRI(平坦性)の評価結果を統合したMCI(Maintenance Condition Index)が一般的に用いられる。このMCIの値は、最大10から最小0までの値をとり、値が大きいほど、路面の状態が良いことを示す。本適用事例では、MMSの3D点群データを用いたChow testの結果とMCIの結果を比較する。

Chow testによる評価結果は、路面性状調査により算出したMCI値と比較して考察する。路面性状調査とMMS調査では、評価区間が異なるため、一対一の相対関係を評価することができない(路面性状調査は50mを評価単位とする)。

このため、両値による相関分析等ではなく、評価結果を図示することにより全体の傾向を把握することとした。

図-7上段の図は、評価区間におけるF値の最大値を示している。一方、下段の図は、評価区間において路面の不陸が生じている箇所の割合を

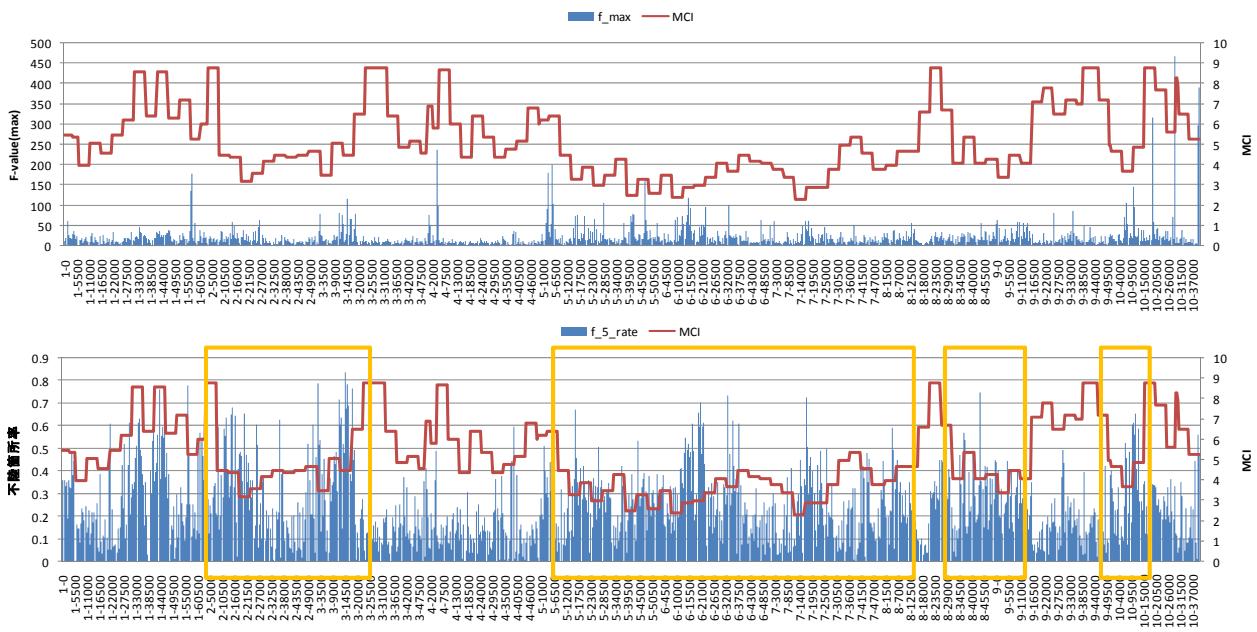


図-7 MCI との比較

示している。F 値の最大と MCI の関係では、図中からはあまり関係性が見出せない。これは、路面性状調査による MCI 値が局所的評価ではなく面的に評価しているためである。一方、不陸箇所の割合と MCI 値では、劣化が進行している舗装区間を示す箇所が概ね一致している。

以上の評価から、本稿が提案する評価手法は、マクロ的（全体的な評価）とミクロ的（局所的評価）の両側面の評価が可能であることが言える。つまり、路面性状調査結果（MCI 値）では評価されない局所的損傷箇所を評価することが可能である。

5. おわりに

本研究では、MMS で取得した 3D 点群データを用いて、ポットホール、パッチングなどの路面の損傷（不陸）の状態を統計手法で評価し、不具合が生じている箇所の抽出手法を検討した。

その結果、道路区間全体に対しての評価が可能で、また、F 値が大きい場合、局所的な損傷箇所を抽出し位置が特定できる。

今後は、道路ストック総点検以外の目的で取得された MMS や地上レーザスキャナの 3D 点群データを用いて、定量的かつ自動的に不陸箇所を抽出して舗装維持管理の指標を更新する手法を検討する予定である。

謝辞

株バスコ研究開発センターの島村秀樹、吉村充

則の両博士に有益なご助言をいただきました。お礼申し上げます。

参考文献

- 国土交通省道路局 (2013) 「総点検実施要領（案）【舗装編】」
- 森棟公夫(1999)「計量経済学」東洋経済新報社
- Madanat, S. (1993) Incorporating inspection decisions in pavement management, Transportation Research, Part B, Vol. 27B, pp. 425–438.
- Madanat, S. and Ben-Akiva, M. (1994) Optimal inspection and repair policies for infrastructure facilities, Transportation Science, Vol. 28, pp. 55–62.
- Aoki, K., Mori, H. and Okada, K. (2011) Effect of Pavement Service Level upon Operation Timing of Periodical Inspection Policy, 7th International Conference of Pavement Technology.