

3 7. 道路改良工事における切削オーバーレイ工法への モバイルマッピングシステムの適用

大阪大学
関西工事測量株式会社
関西工事測量株式会社

矢吹 信喜
○中庭 和秀
木寺 浩紀

1. はじめに

道路の舗装面は経年に伴い、摩耗によるわだち掘れ、隆起や沈下あるいはひび割れなどが生じる。そのため劣化した舗装などを修繕する道路改良工事が必要に応じて行われる。道路改良工事には、その目的により種々の工法がある。劣化し不陸などが生じた舗装面をある程度切削し、厚さ数 cm～10cm 程度の舗装を行い道路を修繕する方法は、切削オーバーレイ工法と呼ばれており、広く一般的に使用されている。

切削オーバーレイ工法では、図-1 に示すように、まず事前に通常 20m おきの各断面において 1m ピッチに路面にマーキングを行い、一点ずつ水準測量器を用いた手作業により、標高を計測する。本来の道路舗装標高と実際の各点の標高との間には差が生じているから、その差と切削すべき古い舗装厚から実際の切削厚を定める。断面データは 20m おきであるから、断面と断面の間の切削厚はオペレータが線形補間により調整しながら、路面切削機により古い舗装面を切削する。

この方法のうち、特に路面の高さを計測する作業は、時間と労力がかかる上に、交通規制が必要なため、自然な交通流を大きく妨げてしまうという問題がある。また、測量において高さを誤って高く計測した点があると、切削厚が必要以上に大きくなり、そのため切削量のみならず、舗装工の数量も必要量よりも多くなってしまいう問題もある。

また、交通規制をせずに路面の高さを計測する方法としてノンプリズムトータルステーションや固定式レーザースキャナを用いて計測を行う方法も開発されているが、通行車両等によって光線が度々遮断されるため交通量の多い道路での適用は困難である。また、遠距離では路面と光線との角度が浅くなるため誤差が大きくなる。そのため、機器の移動回数が増えることにより、時間やコストの優位性を得ることは難しいと考えられる。

一方、近年、モバイルマッピングシステム（以下、MMS と記す）が注目され、普及し始めている。MMS は、3 次元レーザースキャナ、GPS（全地球測位システム）、加速度計とジャイロスコープからなる IMU（慣性姿勢計測装置）、タイヤの回転から移動距離を計測するオドメトリ、およびデジタルカメラを同軸上に装備した移動体（車両）測量器で、走行しながら周囲の 3 次元点群データを効率的に収集できるシステムである。写真-1～写真-4 に MMS の一例を示すこのシステムは、公共測量規定における 1/500 の精度を持ち、30 以上の自治体で公共測量として採用している。MMS は、絶対精度（移動体測量による座標取得の正確度）は 10 cm 以下であるが、相対精度（座標取得の安定度）は 1cm 以下と高いことから、道路の各横断面の形状を相対的に精度よく計測できる。また、デジタルカメラによる画像と 3 次元点群データを重ね合わせて表示することにより、画像上の物体表面の任意の位置の座標を周辺の点群データから内挿することにより求めることができる。

そこで、本研究では、MMS を用いて路面上の標高値を計測することにより切削厚を自動的に求め、これを情報化施工における路面切削機のマシンコ

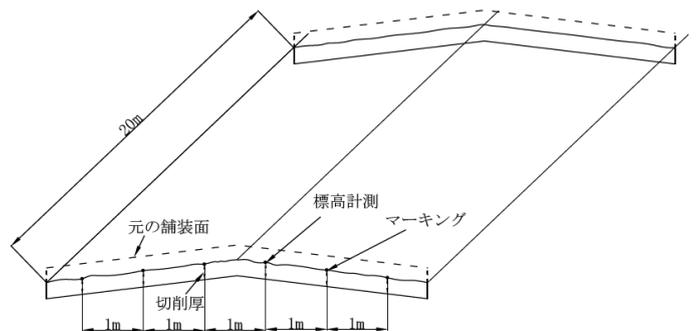


図-1 切削オーバーレイ工法の概念図

ントロールのデータとして利用する新しい方法を提案する。また、大阪大学吹田キャンパスの道路上において、従来の水準測量器を用いた手作業による計測値と本手法による計測値の差を求める実験を行い、本提案手法の実務への適用性を検討する。

2. MMS を用いた提案手法の概要

本研究で提案する手法では、まず、図-2 に示すように事前に道路の側溝付近の路面上に約 10m 毎に白ペイントなどで小さくマーキングする。このマークは、MMS のデジタルカメラによって撮影されることを前提とするため、撮影できないような場所にマークをしないようにする。次に、MMS を走行させながら、道路面上の点群データを得る。点群データが取得できたら、デジタル写真画像と点群データを重ね合わせることにより、白ペイントを施した約 10m 毎の横断面における点群データを取り出し、白ペイント上に人間が点をプロットし、端点とする。白ペイントは左右両側に施してあるので、両端点を結ぶことにより横断面が決定される。

次に、図-3 に示すように、横断面周辺の点群データから TIN (不整三角網: Triangulated Irregular Network)¹⁾ を発生させ、TIN と横断面の交線を計算することにより、道路表面の横断形状が求まり、1m ピッチの標高を求めることができる (図-4)。しかし、ここで問題となるのは、MMS は鉛直方向の絶対精度がやや低いため、これらの標高値には数 cm 程度の誤差が含まれているということである。一方で、MMS は横断方向の相対精度は高く、その誤差は数 mm と小さいという性質がある。そこで、本研究では、白ペイント上の標高値を水準測量器による方法で正確に計測しておき、両端点における MMS により求めた標高値との差分を横断面内で端点からの距離に応じて比例配分することにより、横断形状を補正することとした。白ペイントは道路の側溝付近であるから、水準測量器による測量を行う際、交通規制を行う必要はない。図-5 に示すように、両端点の距離を d 、左端点および右端点の MMS による求めた標高値と水準測量器により求めた正確な標高値との間の差を各々、 E_L 、 E_R とすると、左端点から p の距離にある点における MMS の標高の補正值 E_p は、

$$E_p = \frac{(d-p)E_L + pE_R}{d} \quad (1)$$

となる。

これにより求めた 1m ピッチの補正された路面標高から切削厚を決定する。



写真-1 MMS の側方からの外観



写真-2 MMS の車外搭載機器の上方からの外観



写真-3 MMS の車内搭載機器



写真-4 MMS の車内搭載機器

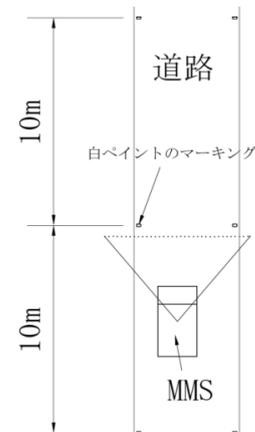


図-2 白ペイントでマーキングした道路と MMS

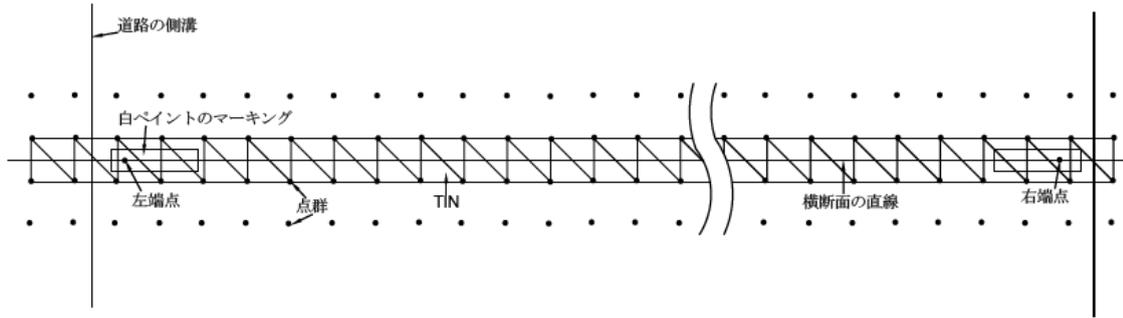


図-3 点群データから発生させた TIN と端点

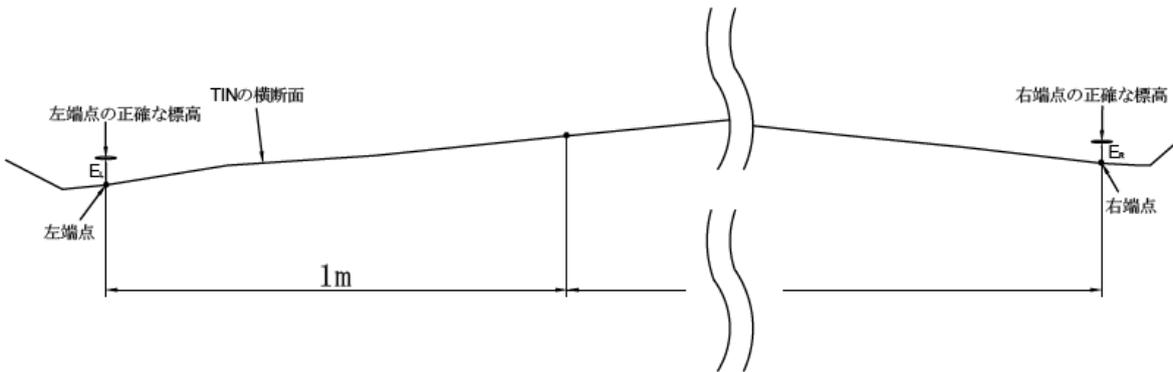


図-4 TINの横断面と端点の正確な標高

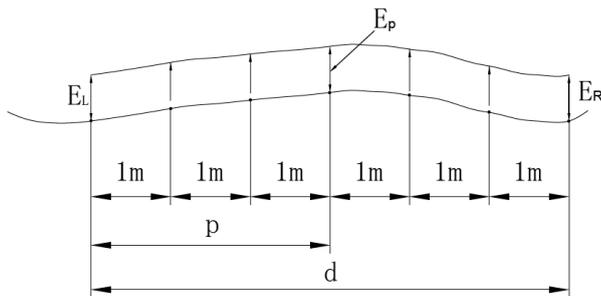


図-5 左端点から p の距離にある点の補正值を求める方法

本手法の長所は、従来の手法で必要だった交通規制を行わなくて済む点である。次に、端点での水準測量器による計測はあるものの、1mピッチの横断方向の計測がなく、MMSで計測走行するだけで良いので、短時間で効率的に行える点である。従来の方法では、野帳に記入したデータをパソコンなどに入力する際にミスが頻発するが、本手法ではそうしたリスクが少なくなり、ほぼ自動的に路面形状を計測でき、切削厚を決定できることである。

3. 計測実験

本手法によって得られる横断面上の標高データの精度は数 mm と予測されるが、実際に計測したことがなかったため、実験により計測し、検証することとした。

実験対象は、大阪大学吹田キャンパスの S4 棟の南側に位置し、歩道および街路樹、植込みなどを有する片側 1 車線の道路とした (図-6, 写真-5~写真-7)。計測距離は、180m で、東側の起点から 100m の区間は直線で、その後、南にカーブしながら登っており、車道の幅は 5.2~7.3m であった。測点番号としては、起点を No.0 とし、10m 毎に No.1, 2, ... とし、終点を No.18 とした。また、1m ピッチの点は、左端点からの距離 (整数) を測点番号にハイフンを介して付した。例えば、No.1 の測点で、左端点から 3m の距離の点は、1-3 となる (図-7)。

従来の水準測量器による手法では、Auto Level (Topcon AT-G3) と巻尺、スタッフを用いた (写真-8, 写真-9)。MMS による提案手法については、三菱電機の MMS-X 220²⁾ を用いた。本機器は、プログレッシブスキャンデジタルカメラ 2 台 (500 万画素, 水平方向視野角 80°, 垂直方向視野角

64°), レーザースキャナ2台(前方向上向き25°および前方向下向き25°)などをフォルクスワーゲン Golf Touran に搭載したものである。

実験ケースとしては, MMS の走行速度を 20km/h と 40km/h の 2 ケース, MMS に搭載している GPS が 5 基以上の人工衛星を捕捉している場合を OK,

ビルディング等の障害物によって捕捉衛星が 5 基未満を NG とする 2 ケース, 起点から終点までの方向を走行した場合を往路 a, 逆を復路 b とした 2 ケースを設け, 2×2×2 の総計 8 個のケースについて実験を行った。

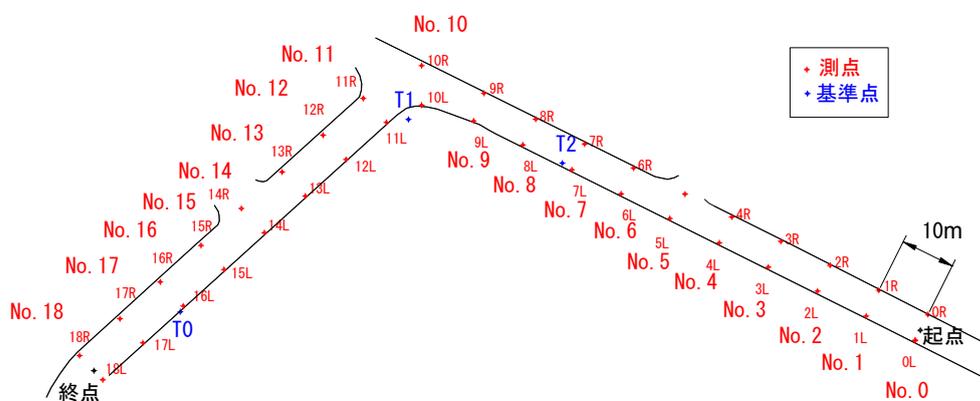


図-6 実験の対象とした道路の平面図



写真-5 測点 No. 6 付近から起点方向を望む



写真-6 測点 10R 付近から測点 10L 方向を望む



写真-7 測点 No. 12 付近から終点方向を望む

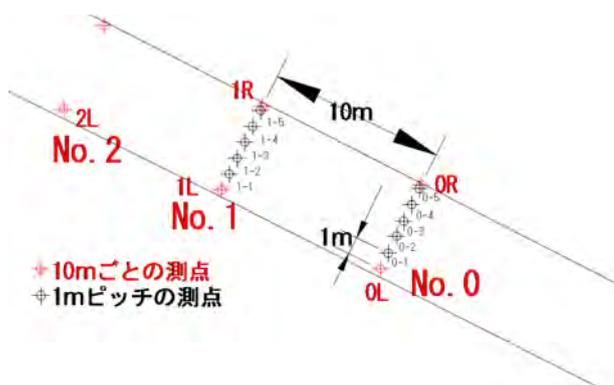


図-7 測点位置の概略図(起点付近)



写真-8 1m毎の測点の設置状況（白ペイントが見える）



写真-9 Auto Levelによる1m毎の測点の標高計測

表-1 実験結果

測点No.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	平均
OK20a	2.8	7.0	2.8	18.4	8.8	2.6	4.2	3.8	5.2	3.4	2.7	5.8	5.2	5.2	3.3	3.2	3.2	4.2	5.8	5.1
OK20b	3.4	4.2	6.6	14.2	6.0	3.8	4.0	5.6	4.6	6.0	12.0	5.2	3.2	6.3	4.5	5.7	2.3	5.3	9.5	5.9
OK40a	4.6	7.8	1.8	24.0	10.2	5.4	2.2	5.2	7.0	4.6	7.0	8.5	6.8	3.2	3.0	2.5	2.2	8.8	9.5	6.5
OK40b	6.6	3.2	5.8	20.2	6.0	4.2	1.4	8.2	5.6	9.2	23.3	3.5	4.7	3.0	5.0	1.3	3.8	4.0	2.5	6.4
NG20a	5.0	6.2	3.6	10.8	11.0	3.4	5.4	5.8	18.4	5.8	3.9	8.5	3.2	3.7	3.0	5.8	9.7	11.0	6.5	6.9
NG20b	3.0	8.2	6.2	5.4	5.2	3.8	2.6	3.2	3.8	4.2	9.9	3.8	5.0	4.2	4.2	4.2	3.0	5.3	4.2	4.7
NG40a	6.4	9.6	5.2	5.4	16.2	3.2	2.0	6.4	5.0	6.2	3.9	5.5	3.2	2.0	2.3	2.8	5.3	3.7	6.5	5.3
NG40b	6.4	5.6	5.4	6.4	5.2	4.6	4.0	4.4	4.8	8.0	22.4	6.3	5.5	3.5	7.0	5.8	3.8	3.0	10.3	6.5

4. 実験結果と考察

従来方法を正の値と仮定し、MMS による提案手法による標高値との差を誤差とし、その誤差の絶対値の平均を各測点の横断面毎に計算して整理したものを表-1 に示す。

実験結果を見ると、絶対値の誤差の平均は数 mm であることがわかる。次に、GPS で人工衛星を 5 個以上捕捉している OK とそうでない NG との差はあまりないことがわかる。これは、GPS の絶対誤差は、本手法ではあまり影響がないことが原因だと考えられる。また、MMS の速度が 20km/h と 40km/h の場合の違いもあまりないことがわかる。これも GPS の絶対誤差の影響が小さいことによると考えられる。

しかし、測点 No.10 の往路 a と復路 b のデータを比較すると、復路 b の誤差の方が大きい。これは、図-8 に示すように、No.10 が往路から見れば、ちょうど左カーブに入る場所であり、往路では車体がまだ傾く前であるのに対し、復路では、カーブの終わりに近い場所であるので、車体が大きく傾いたままの状態であることが原因と推測される。

また、測点 No.3 の誤差が他の測点よりも大きいことがわかる。これは、図-9 に示すように、No.3

の白ペイントを塗った部分に段差があったため、実際の高さと周辺の点群データから内挿して求めた白ペイントの位置の標高値に大きな違いが生じてしまったからである。こうした誤差が生じないようにするためには、白ペイントを段差のある位置に塗るのではなく、図-10 に示すように、端点となる位置から最低でも 10~15cm は離すことが必要であることがわかった。

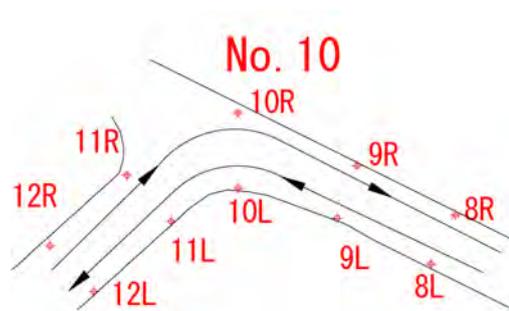


図-8 測点 No. 10 における往復のルートの違い

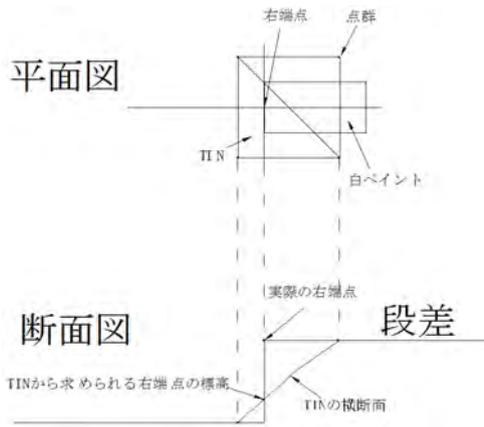


図-9 測点 No. 3 の右端点の段差と誤差の関係

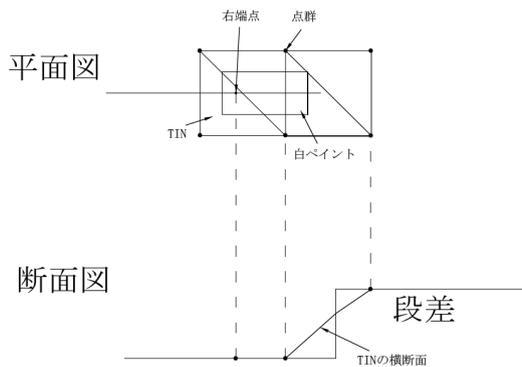


図-10 段差付近で白ペイントを塗布する位置

5. 結論

本論文では、道路改良工事の工法の一つである切削オーバーレイ工法を用いる場合、従来の水準測量器を用いた手作業では、交通規制が必要であり、時間と労力がかかることを指摘し、10m 毎に白ペイントを路肩付近に塗った上で MMS を用いて路面上のデータを計測し、処理を施すことにより切削厚を決定できる新しい手法を提案した。この方法を用いることにより、ほぼ自動的に切削機のマシンコントロールに必要なデータを作成することができ、情報化施工に資するものと考えられる。誤差を評価するために、大阪大学内の道路で計測実験を実施したところ、絶対値で誤差が数 mm であることなどがわかった。

今後の課題としては、さらに、種々の異なる条件を持つ道路で計測実験を行い、誤差評価を実施していくことが挙げられる。さらに、従来方法では、10m 毎の測点の横断面のデータしか得られなかったが、MMS を用いた本手法では、測点の数をもっと増やしても効率はあまり変わらないことから、より精度の高い切削厚を決定する手法になり得ると期待される。

参考文献

- 1) 矢吹信喜・蒔苗耕司・三浦憲二郎：工業情報学の基礎，理工図書，2011.
- 2) 三菱モービルマッピングシステム，<<http://www.mitsubishielectric.co.jp/pas/mms/>>，(入手 2011.7.27).