移動計測車両による法面モニタリング手法のための解析手法の精度検証

岡山大学　学生会員　○佐守　直人
岡山大学大学院　正会員　西山　哲
岡山大学大学院　正会員　崎田　晃基
国際航業株式会社　正会員　藤木　三智成
国際航業株式会社　小野　尚哉

1. はじめに

近年，老朽化による道路法面の変状が問題となっており，道路法面の変状モニタリングが必要となっている．しかし，自治体の技術者不足あるいは財源の不足が問題となり，いかに効率的に維持管理をするかが課題である．これに対してレーザ計測機器を用いた技術が普及しつつあり，点群の解析により構造物の変位・変状を定量化する手法は維持管理の面で期待される．

そこで本研究では従来の人による維持管理に代わる技術として期待される，移動計測車両(MMS)，差分解析手法を用いた．

そして，はらみだしの可能性を持った道路法面に対し，その法面の変動を面的に評価した．また法面点検技術における差分解析の検証を行うことで，移動計測車両による法面モニタリング手法のための解析手法の精度検証を行った．

2. 実験概要

本研究で用いる MMS，差分解析手法，使用機器について述べる．

2.1 移動計測車両(MMS)

MMS(Mobile Mapping System)とは，GNSS/IMU，デジタルカメラ及びレーザスキャナ，走行距離計などを搭載した移動計測車両のことである．この車両を用いることで車両の位置・姿勢を求め，レーザ点群データ，全周囲画像，スポット画像を取得することができる．

2.2 差分解析手法

差分解析手法とは ICP(Iterative Closest Point)と呼ばれる SLAM 技術の 1 手法を応用した解析手法である．

また ICP についても以下に述べる．レーザやステレオカメラなどで取得した 2 時期の点群データを使用して，それら 2 時期の対応する点群が一番マッチする位置を計算する．これを応用し，マッチングの参照元となるデータ（基準データ）に対して，2 時期目のデータ（参照データ）が最もフィットする移動ベクトルを算出し変位を求めることのできる手法である．

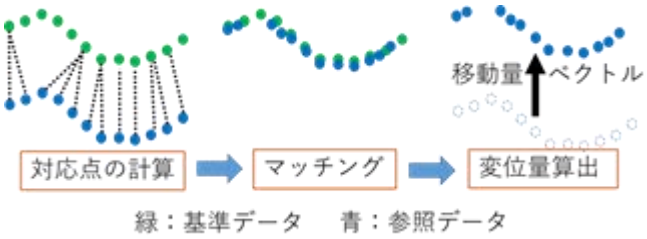


図 2　ICP 解析簡略図

MMS で得られた 3 次元データの変位･変状を定量化することができるため，本研究ではこの差分解析手法を用いた．

2.3 使用機器

本研究では，強制変位板を用いた MMS による差分解析手法の精度検証と法面での実証実験の 2 つの実験を行った．それらの実験で用いた機器を以下に述べる．

2.3.1 強制変位板を用いた MMS による差分解析手法の精度検証　使用機器

・据え置き型レーザスキャナ（表 1）
・MMS（表 1）
・2 枚のアクリル板を用いた強制変位板

表 1　レーザスキャナ，MMS スペック

	据え置き型レーザスキャナ	MMS
機器名	Lina scan Station P40/P60	Sick LMS511-20100S01
フットプリント（mrad）	0.23	4.7
点密度（点/m2）	75487~76443	1197~1909
板奥行き方向の標準偏差(mm)	1.06~1.18	3.74~4.39

キーワード　法面，MMS，ICP，差分解析
連絡先　〒700-8530　岡山市北区津島中 3-1-1　環境理工学部棟　ＴＥＬ080-6264-4760

2.3.2 法面での実証実験　使用機器

・MMS(表 2，図 3)

・据え置き型レーザスキャナ(表 2)表 2　MMS 車両，機器スペック

表 2　MMS 車両，解析ソフトスペック

計測車両 (Pegasus2)	車外	機器	400万画素スポットカメラ	8
			レーザースキャナ（位相差式、1秒間に100万点のスキャン）	1
			GNSS受信機	2
			IMU	1
			DMI	1
			カメラ・レーザ制御パソコン	2
	車内	解析ソフト	IntertialExolorer	1式
			Radmin	1式
			AutoP	1式

図 3　MMS 車両，解析ソフトスペック

3.　強制変位板を用いた MMS による差分解析手法の精度検証

この実験は既往実験であり，「移動計測車両による法面モニタリング手法」を参考にした．

3.1 実験概要

強制変位板を用いて，1 時期目のデータと 2 時期目のデータを得る．1 時期目のデータは変位板を動かさず，変位のないデータを，2 時期目は可動板をレーザスキャナ側に前後させることでそれぞれ 0,1,2,5,10,20,25mm の変位を与えたデータを三次元レーザ計測から取得する．

計測は変位装置から約 10m の距離から据え置き型と MMS で行った．この解析結果と真値となる装置の変位を比較し検証を行う．

3.2 実験結果

2 時期の変位を定量化するため ICP による解析を行った結果を示す．据え置き型の機器により正面から計測された 25mm の変位時のデータを示す．解析には計算効率化のため，0.1m メッシュに加工したデータを用い，メッシュごとに変位量を表示している(図 4)．向かって左側の板が不動板であり，右側が可動板である．

解析結果の誤差は，不動板の方は最大で 2mm，可動板の方は最大で 29mm，最小で 25mm であった．今回作成した変位装置は可動板の内側で最大 5mm の誤差を持つ．そのため，この誤差が影響したものと考えられる．

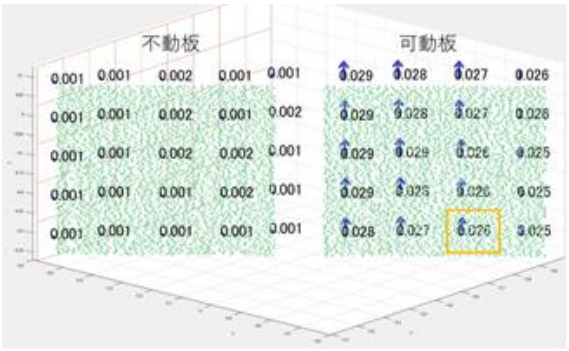


図 4　ICP 解析結果(25mm 変位時 単位は m)

これらすべての計測条件の結果を図 5 に示す．上述したように，変位装置が持つ誤差を考慮し，図 4 のオレンジ枠のメッシュの結果を用いてグラフを作成している．この部分はマイクロメータに固定されており，変位量が正確に示していると考えられるためである．この結果，正面からの計測ではマイクロメータによる変位量に対して概ね近い値を示しており，変位量の大きさに関わらず ICP の解析結果が 1mm 大きく出ており，標準偏差が 1mm であることを考えると妥当な誤差である．

次に MMS の結果は，変位が 2，1，0mm の際は誤差が大きくなり，最適な変位量が検出できていない．しかし，5mm までの変位は解析結果が最大で 2mm の誤差で収まっている．つまり，5mm 以上の変動に関しては変状の抽出が可能である．

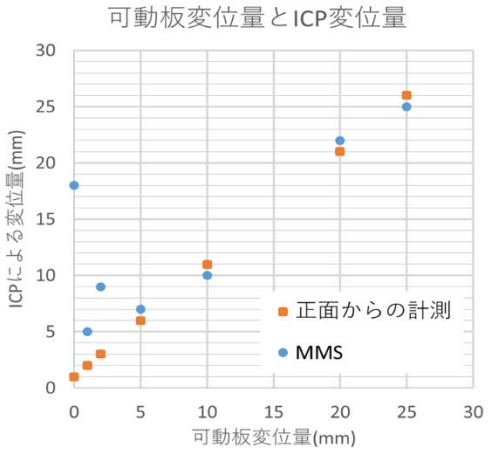


図 5　変位量に対する解析結果まとめ

4.　法面での実証実験

4.1 実験概要

はらみ出しの可能性を持った法面に対し，MMS と差分解析手法を用いて，実際にはらみ出しが起きているか検証した(図 6)．2018 年 1 月 13 日に 1 時期目の計測，2018 年 5 月 28 日に 2 時期目の計測をし，法面の対向車線の追

い越し車線を時速 50km で走行し，データを得た．

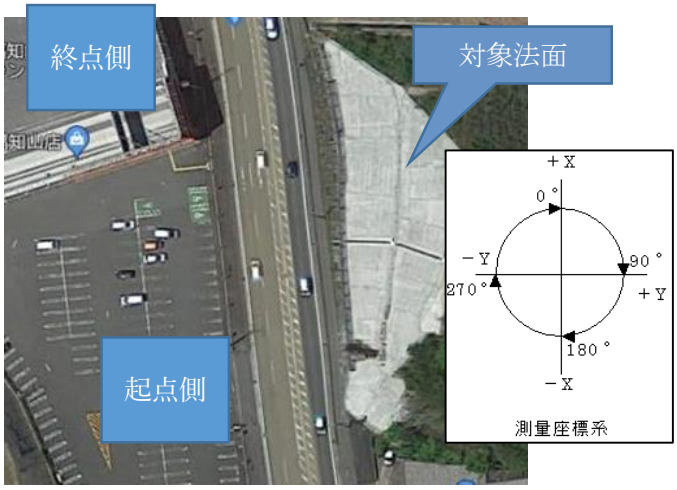


図 6　法面の 2 時期比較箇所と座標系の関係

そして，得られた 2 時期のデータの品質の検証，それらの絶対精度向上の調整計算を行うことで，法面全体の 2 時期比較を行った．

また前述の「強制変位板を用いた MMS による差分解析の精度検証」で用いたレーザスキャナは Sick LMS511-20100S01 であったが，今回の実験では Pegasus2 を利用した．そのため法面の一部で強制変位を行い，その箇所で 2 時期の比較を行い，Pegasus2 のレーザスキャナで法面を測量した際の精度を検証した．

4.2 法面の一部で強制変位を行った箇所の 2 時期比較

表 3 のパターン 1, 2 をそれぞれ 1 時期目と 2 時期目で合計 4 つのデータを取得した．また法面の 4 格子内で①変化なし，②はつり落とし，③シート設置（10mm 厚），④のシート設置（20mm 厚）の強制変位を付けた．

表 3　2 時期比較を行ったデータ

	速度	DOP	叩き落し・模擬変状	車線
パターン1	50	良	無	同一車線
パターン2	50	良	無	

はつり落としは図 7 のように最大 4cm 程度のくぼみを作った(左がはつり落とし前，右がはつり落とし後)．シートについては 10mm 厚，20mm 厚，どちらとも図 8 のように一辺 50cm の正方形である．

図 7　はつり落としの様子

図 8　シート設置後の様子

これらの強制変位を図 9 のように設置した．ただし表示方向は正面である．

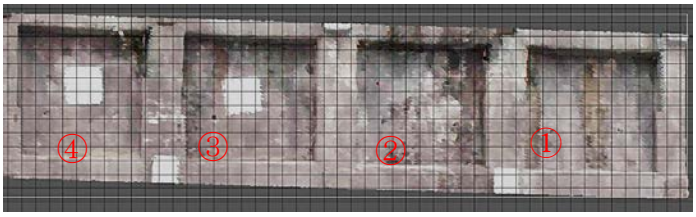


図 9　強制変位を行った法面の様子

比較結果は図 10 のように強制変位箇所の変化を明瞭に確認でき，それ以外に目立った変位は認められない．

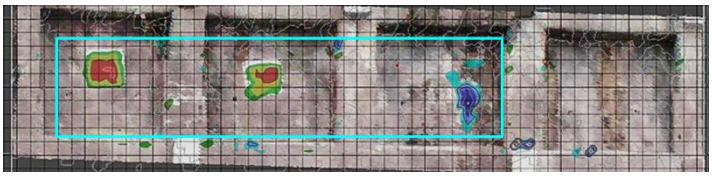


図 10　強制変位法面　比較結果

4.3 2 時期のデータの品質の検証

下記の 2 つの計測データの比較により，MMS レーザデータの絶対精度検証を行った．

・実測によるターゲット中心座標値（絶対値と仮定）

・MMS 計測点群データ中のターゲット中心座標値（生値）

表 4　2 時期の MMS レーザデータ計測精度　総括

	dxy(m)	dh(m)
最大値	0.077	0.091
最小値	0.001	0.000

MMS 計測データは，TS 実測値に対し最大で 0.1m 未満の差であり，地図情報レベル 500 の精度 0.15m内に達しており，MMS 計測精度としては全体に良好であると言える．

4.4 絶対精度向上の調整計算

表 4 より，MMS レーザの精度は誤差が横方向では 0.077m，縦方向では 0.091m 存在することがわかる．この誤差をなくすため，以下の 2 つの方法で調整計算を行った．

・地表の特徴部（白線，縁石等）を評定に利用した従来の方法

・ターゲットを評定に利用した方法

なお比較の前提として，1 時期目(2018 年 1 月)と 2 時期目(2018 年 5 月)の観測値の差が機械精度の範疇である．よって，ターゲットに有意な変化は生じていないものと仮定し，実測に伴う誤差が介在することを防ぐために，1 時期目の実測値を 2 時期目の標定においても正値として採用した．

調整計算後の位置精度は，従来の地物（白線，縁石等）を用いた方法よりターゲットを用いた方法の法が向上する．またレーザ点群からターゲット中心を求めた場合，実測値とほとんど差異がない，という結果になった．

4.5 起点側法面の 2 時期比較

図 11 は起点側の法面の 2 時期差分画像である．この図は奥行き方向の変化量(m)を可視化したものであり，ここでは機器精度限界より差異 1 ㎝未満と変状状況から異常値と考えられる 10 ㎝以上を誤差と評価し，除外した．同様に図，右下の差分量はコーン・植生によるノイズとして除外した．

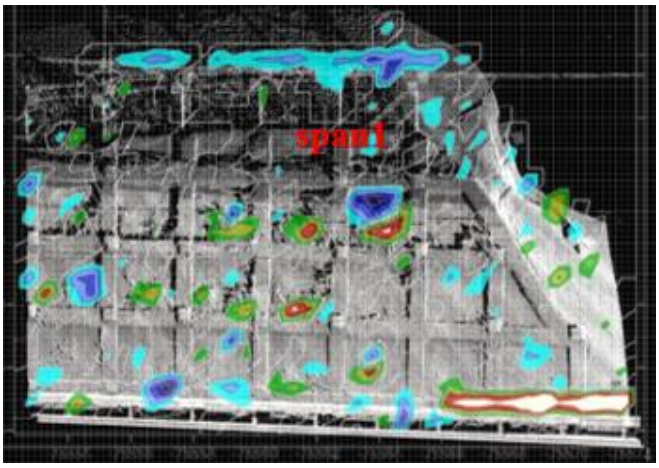
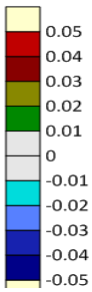


図 11　起点側法面の 2 時期比較



※奥行き方向の変化量を可視化したもの
ここでは，機器精度限界より差異 1cm 未満と変状状況から移譲と考えられる 10cm 以上を誤差と評価し，除外した．

図 12　2 時期間の差分量(m)

5.　まとめ

5.1 強制変位板を用いた MMS による差分解析手法の精度検証

本研究では法面計測における変位量解析を目的とした解析手法を用い，据え置き型のレーザスキャナと MMS による計測結果から精度検証を行った．

今回は変位量に対して，ICP の解析結果の精度を比較した．しかし，地上据え置き型に比べ，MMS の解析結果には自己位置精度や点密度など様々な誤差要因による影響が出ることが考えられ，今後はこれらを踏まえた精度検証が必要である．

5.2 法面での実証実験

今回の 2 時期比較は，実法面を対象とした差分解析を実施した．植生などのデータをクリーニングせずに利用したが，構造物に局所的な変化が生じる場合は，実際の変位が目立ちにくい．変化の懸念される起点側に広範囲に及ぶ変化は見られず，2018 年の 1～5 月にかけては変化量 1㎝を超える変状の進行は生じていない．

謝辞

本研究は JSPS 科研費 16K01329 の助成を受けたものです．

参考引用文献

1）Besl, P.J and McKay, N.D.(1992):A Method for Registration of 3-D Shapes, IEEE Pattern Anlysis and Machine Intelligence,Vol.14,No.2, pp.239-256.

2）MMS（画像・レーザ）データの活用技術の開発