走行車両からの撮影画像を用いた高速道路路面の平坦性評価に関する研究

広島大学工学研究科　学生会員　○伊東達彦
広島大学工学研究院　　正会員　　一井康二

1. はじめに

現在，舗装路面の維持管理では，主に路面の損傷の位置や状況の確認を目的とした巡回パトロールが行われている．しかし，目視を主体とした調査になるため，労力や時間を必要とすることに加えて，調査の精度が実施する者の経験に左右され，定量的な評価とは言い難い．また，目視点検以外の調査機器を用いるような方法では，高コストになる．

ここ数年，画像解析の分野では，デジタルカメラ画像による 3 次元形状復元が可能となってきている．特に，画像の特徴量を SIFT(Scale Invariant Feature Transformation)[1)]により求め，特徴量によりカメラパラメータを逆算し，対象物の表面形状を 3 次元点群として復元する技術が確立されてきた．このため，デジタルカメラの撮影位置の情報を与えることなく，極めて簡便に 3 次元形状の復元が可能となっている．そして，この手法では簡便に構造物の 3 次元形状を記録できるため，形状の変化を把握することで，土木構造物の維持管理の高度化が期待できる．現在，土木分野における SIFT を用いた画像解析の適用性について研究が進められており，例えば，各種土木材料や消波ブロックへの適用性検討がなされ，簡便で効率の良い維持管理手法が構築できる可能性が指摘されている [2,3)]．そこで本研究では，高速で走行する車両上から舗装路面を撮影し，復元形状を定量的に把握して，形状の変化を評価できる手法の開発を目指した．

2. デジタルカメラ画像による 3 次元形状復元の原理

デジタルカメラ画像の 3 次元形状復元の流れは，3 段階に分けられる．3 次元形状復元の概要を図-1 に示す．まず画像処理アルゴリズムである SIFT を用いて画像内の特徴点の検出を行う．特徴点とは，周囲の色と比べて，自身の色が大きく異なる点のことをいい，画像中の物体のコーナーやエッジに与えられるものである．エッジやコーナーの 3 次元位置が得られることにより，形状の認識ができる．特徴点の検出は SIFT により自動で行われるため，手動で特徴点を検出する際に比べ，作業時間を短縮することが可能となる．次に，その特徴点が他の画像においてどこにあるか対応付けする．対応付けとは，検出した特徴点が他の画像において，どこにあるかを探し出すことである．各特徴点には，特徴量（特徴点の周囲画素の情報）が記録されている．また，特徴点検出の際に，特徴量の類似性を用いて対応付けがなされる．そして最後に，対応づけられた特徴点の座標値を用いて，3 次元形状復元を行う．カメラから特徴点へと線を引き，対応する特徴点を通る 2 本の直線の交点が復元した 3 次元形状上の点となる原理である．検出した特徴点ごとにこの作業を行うことにより，3 次元形状復元を行うことができる．

3. 高速走行中に撮影された画像を用いた復元形状

図-3 に本研究で用いた走行車両を示す．ルーフトップに設置したベースキャリアに鉄製のアングルを固定した．そして，アングルに三脚の雲台を設置し，カメラを固定している．カメラは合計 2 台 設置しており，レリーズを用いて助手席から 2 台同時にシャッターを押すことができる．

本研究では，中国自動車道の新見 IC~高田 IC 区間の 30 箇所（路面の状態の良い地点と悪い地点を幅広く含むように選択）において，時速 80km/h で走行中に路面を撮影した画像を用いて，路面の 3 次元形状を取得した．そして，得られた復元形状を実スケールに調整し，復元精度の検討を行った．

3 次元形状復元は，カメラ 2 台について 5 枚ずつの画像を用いた．図-4 に復元形状の例を示す．復元した 30 ケースの形状を全て実スケールに調整し，カメラ A 直下の路面の高さを評価した．得られたカメラ位置および復元形状は無次元の座標値で表される点群であるため，単位およびスケールが分からない．そこで，角田ら [4)]の提案に基づき，カメラの位置情報を用いて，復元形状を定量把握する．図-5 にカメラ間の相対位置を用いたスケール調整の概念図を示す。すなわち，同一車両を用いた撮影であれば，カメラ間の相対位置は毎回一定である．そこで，事前にスケーラーを撮影し，形状復元することで，メートル単位系によるカメラ間の相対位置を把握しておく．その後の撮影では，既に得られたメートル単位系で表されたカメラ間の相対位置を利用することで，復元形状をメートル単位系で表すことが可能となる．

実スケールに調整した後のカメラA直下の路面形状を図-6に示す．路面の形状を正確に評価するためには，精度の悪いデータを取り除く必要がある．そこで，精度評価のため，進行方向手前から0.3mごとに路面の凹凸の程度を求めた．図-7に，全30ケースについての0.3mごとの高低差の平均値と標準偏差を示す．図-7では，復元距離が2.7mより長くなると，路面高さのばらつきが大きくなっている．路面高さのばらつきが急激に大きくなることは考えにくいので，復元できた範囲の端部では復元精度が悪いことがわかる．

図-3　本研究での撮影システム

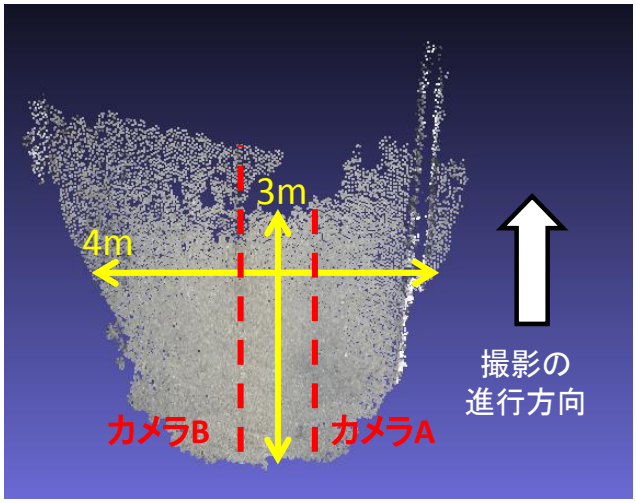

図-4　形状復元の範囲の例

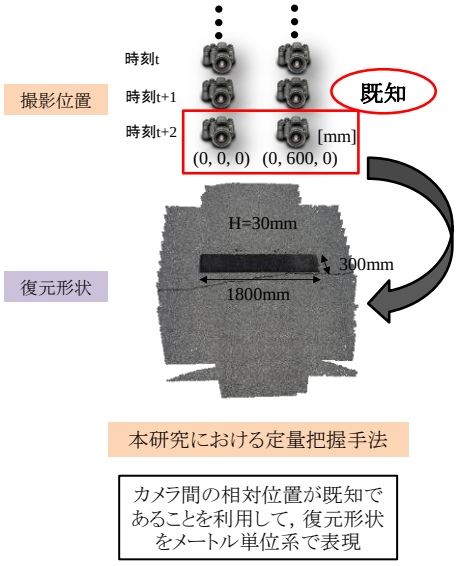

図-5　カメラ間の相対位置を利用したスケール調整の概念図[4]

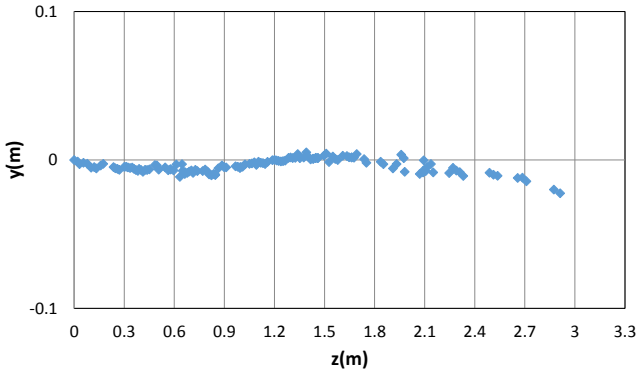

図-6　カメラA直下の路面形状

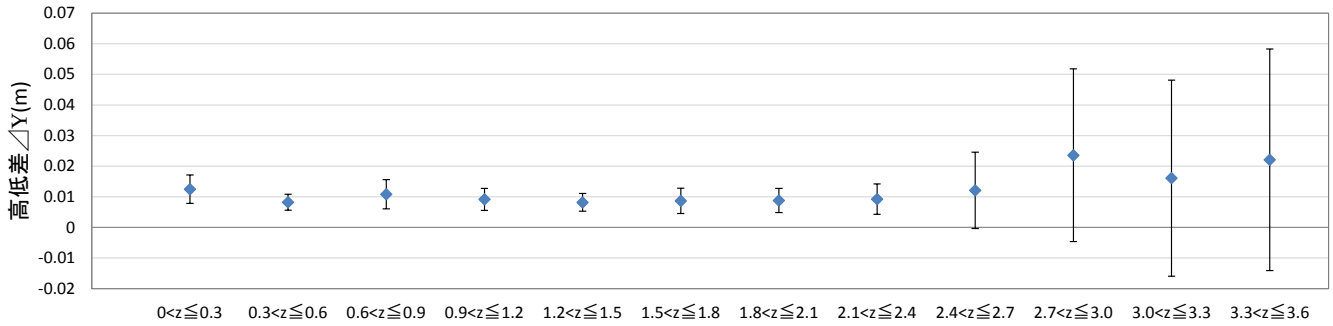

図-7　0.3mごとの高低差の平均値と標準偏差(30地点)

4.　3 次元形状の広範囲化

図-4 に示した形状復元の例は，距離が約 3m という小範囲である．しかし，道路路面の状況を把握するためには，広範囲の形状を把握する必要がある．そこで，本研究では，復元距離が小範囲の復元形状をつなぎ合わせることで，復元範囲を広げる手法を検討した．

3 次元形状復元を行うと，復元形状に加えて，カメラの撮影位置を得ることができる．そこで，複数の 3 次元形状復元に対し，カメラの撮影位置を重ね合わせ，復元形状をつなげて復元距離を長くする．まず，各カメラ 5 枚ずつの画像で形状を復元する（set1）．次に，各カメラ 1 枚ずつをずらした別の 5 枚（従って 4 枚は共通）で復元する（set2）．図-8 に復元に使用する画像の選び方を示す．そして，共通する計 8 枚の画像を用いて，復元形状同士を重ね合わせた．ここで，x 軸：進行方向右向きを正，　z 軸：進行方向を正，y 軸：進行方向鉛直下向きを正とする．

カメラの推定結果には誤差によるずれが図-9 に示すように発生し，路面形状に誤差が生じる．そこでとりあえず，図-10 のように路面形状にずれが生じる場合は，最初の交点までは set1 にし，その後から先は set2 の復元形状を用いて，図-9 のようにつなぎ合わせることとした．この作業を繰り返すことで，長距離の復元を試みた．

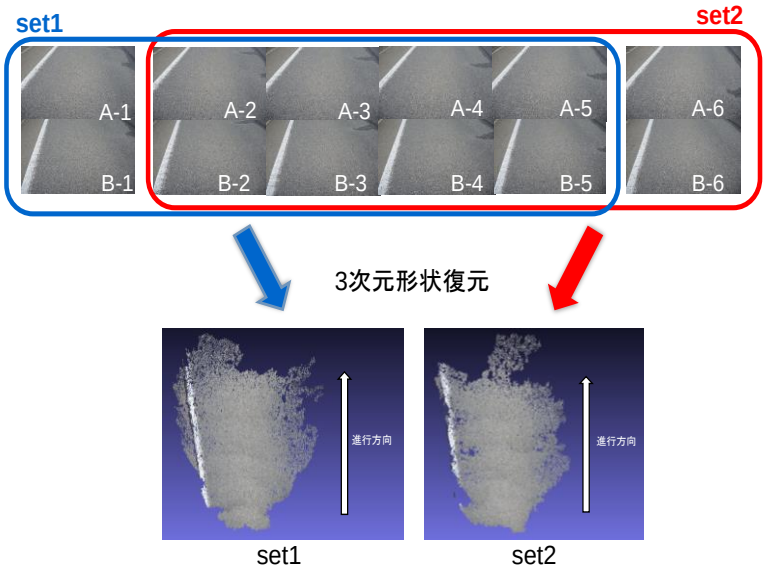

図-8　復元に使用する画像の選び方

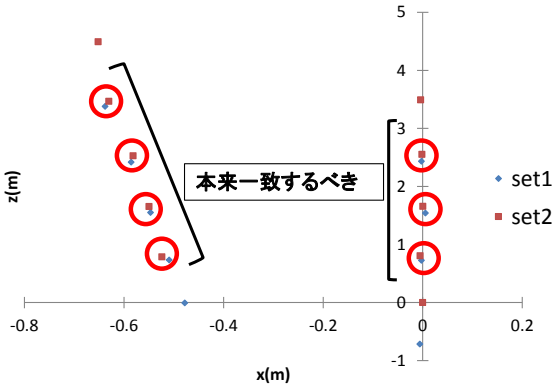

図-9　カメラの撮影位置のずれ

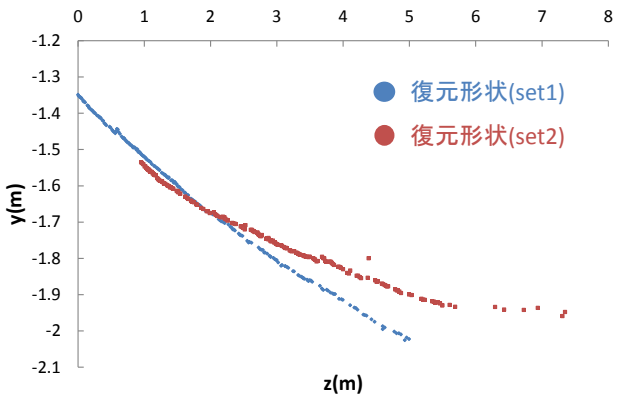

図-10　路面形状のつなぎ合わせ（補正前）

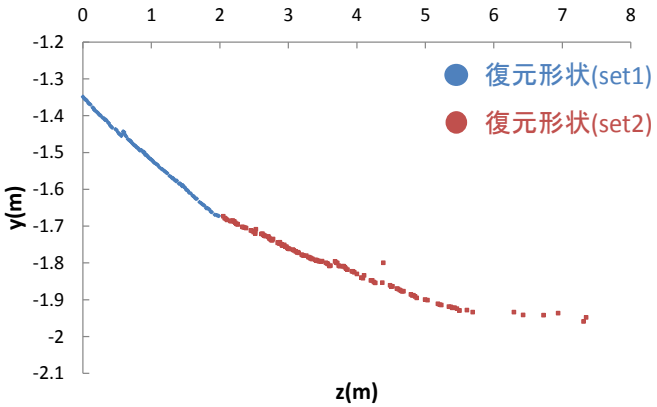

図-11　路面形状のつなぎ合わせ（補正後）

路面の状態が良い地点と悪い地点において，5 つの復元形状をつなぎ合わせた結果を図-12 に示す．つなぎ合わせ結果より，どちらの復元形状も約 10m の距離を得ることができた．しかし，路面の状態が良い地点と悪い地点の凹凸の程度はあまり変わらない結果となった．また，路面高さ（y 軸）は進行方向（z 軸）にほぼ水平にならなければならないが，大きく変動する結果となっており，復元形状の精度に問題があることがわかる．

つなぎ合わせに使われた復元形状の全ての画像を用いて一回で復元し，路面の状態が良い地点と悪い地点で，つなぎあわせた形状との比較を行った結果を図-13,14 に示す．どちらの方法でも，ほぼ同じ距離の復元ができている．しかし，どちらも路面の高さが大きく変動しているので，復元精度が低いことがわかる．これは，高速で画像を撮影していることに起因していると考えられるが，今後，誤差の発生メカニズムを解明して，補正方法を検討する必要がある．

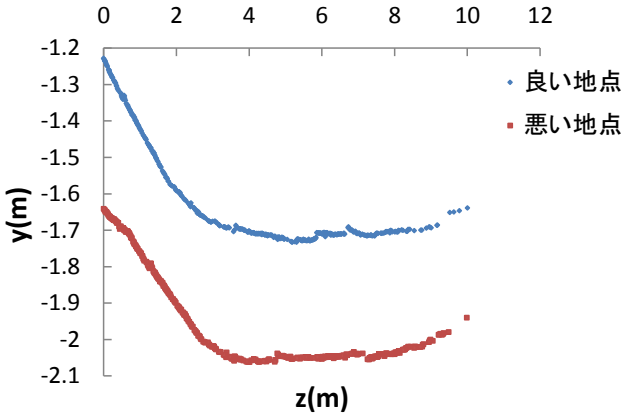

図-12　2 地点のつなぎ合わせ結果

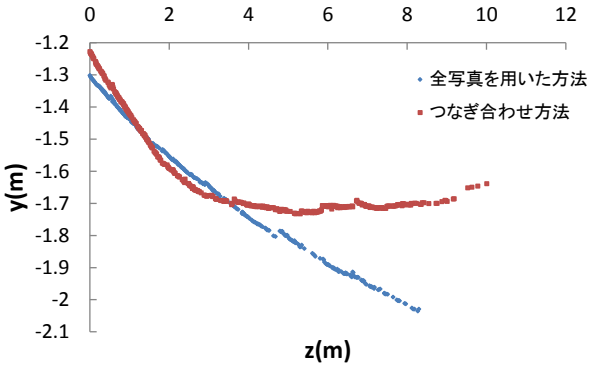

図-13　二つの方法の比較（路面の状態が良い地点）

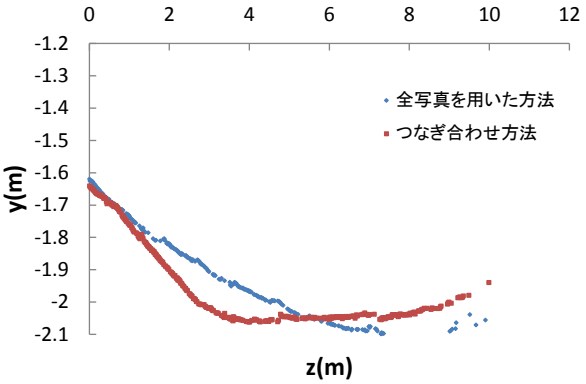

図-14　二つの方法の比較（路面の状態が悪い地点）

5.　まとめ

1) 時速 80km/h で走行する車両から路面を撮影し，得られた画像を用いた形状復元が可能であることを示した．
2) 小範囲の復元形状をそれぞれのカメラ位置の情報を用いてつなぎ合わせることで，長距離の定量把握を行うことができることを示した．しかし，カメラ位置の推定精度の問題から，復元形状が正確に整合しない結果となった．
3) 小範囲の復元形状同士をつなぎ合わせて約 10m の範囲の凹凸を評価する方法と，多くの写真を用いて約 10m の復元を行って凹凸を評価する方法の比較を行ったが，どちらも復元精度に問題がある結果となった．

参考文献

1) David Lowe : Distinctive image features from scale-invariant keypoints, International Journal of Computer Vision, Vol.60, No.2, pp.91-110, 2004.
2) 角田光法，一井康二：土構造物の維持管理への SIFT を用いた画像解析の適用性に関する研究：地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム，地盤工学会関西支部，pp.5-10，2011.
3) 一井康二・玉木徹：画像解析を用いた護岸消波工の積層構造分析技術の開発と維持管理及び長寿命化への応用，平成 22 年度中国地方建設技術開発交流会，2010.
4) 角田光法，栗原大，一井康二，玉木徹：画像解析を用いた道路路面の段差量把握の精度評価，第 48 回地盤工学研究発表会，p305-306，2013.