

(57) CCTV カメラ画像と 3D モデル, 点群データを用いた変状計測に関するデータの取得

森田 健司¹・関谷 浩孝²・今野 新³

¹ 非会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター
社会資本情報基盤研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)
E-mail: morita-k924a@nilim.go.jp

² 正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター
社会資本情報基盤研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

³ 非会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター
社会資本情報基盤研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

国土交通省では河川や道路の管理のために全国に約 2 万台の CCTV カメラを整備、運用している。これらの CCTV カメラを用いて災害による被害の状況を効率よく把握できるようにするために、CCTV カメラ画像による異常の自動検知や被害箇所の計測などの画像処理の高度化が有効である。

本研究では、CCTV カメラ画像（以下、試験画像）とその当該地点の 3D モデル及び点群データ（以下、3D データ）から、被害箇所（変状）の計測する方法とその精度に関する検討を行った。

被害を模した試験画像の取得と 3D データの取得・作成を行い、試験画像を 3D データに重ね合わせ、変状の計測とその精度について検討した。

検討の結果、試験画像から得られる理論的分解能に対して概ね 2 倍程度の誤差に収まることがわかった。

Key Words: seismic damage, camera image, MMS, UAV, 3D Model

1. 背景

国土交通省では河川や道路の管理のために全国に約 2 万台の CCTV カメラを整備、運用している。

これらの CCTV カメラは地震発生時などにおいても被害状況の確認・把握に活用しているが、広域災害においては被害状況を効率よく把握できるようにする必要がある。

被害状況を効率よく把握する手段として、CCTV カメラ画像による異常の自動検知や画像上での被害箇所の計測などの画像処理の高度化が有効である。

また近年、画像処理技術やレーザ計測技術などの進展や普及に伴い、より高度な技術が利用しやすくなってきている。

このような背景を踏まえ、今回撮影した CCTV カメラ画像とその当該地点の 3D モデル及び点群データ（以下、3D データとする）から、被害箇所（変状）の計測する方法とその精度に関する検討を行った。

2. 試験画像の撮影準備及びデータ取得作業

(1) 模擬再現手法

被害を模した CCTV カメラ画像（以下、試験画像とする）の取得を行うために撮影地点に模擬サンプルを設置し、再現することとした。地震による河川堤防の天端の亀裂、路面の段差を試験用に再現するために模擬サンプルとして段差には角材を、亀裂には黒いウレタンクッションシールをそれぞれ用いた。亀裂の幅については過去の地震の事例を参考に幅を設定した¹⁾。

(2) 撮影場所の選定

河川（堤防）、道路の撮影場所として、後述する UAV による撮影も考慮し、次の条件を満たす場所を選定した。

- ・交通規制などを行う必要がない
- ・MMS 車両の通行が可能である
- ・DID 地区以外で周辺の民家から安全な距離を保つことができる
- ・100m 程度の見通しがある など

(3) カメラの選定と設置

試験に用いた CCTV カメラは、国土交通省が定めた仕様を満たす機種を選定した。解像度などによる計測精度の違いを把握するために SD カメラと HD カメラの 2 種類による同時撮影を行った。SD カメラと HD カメラを高所作業車の作業床に並べて、それぞれのカメラのレンズの位置が路面から 8m の高さになるように設置した。CCTV カメラの設置後、TS（トータルステーション）及び GNSS 測量によるカメラの位置・姿勢を計測した。また、MMS と UAV による計測も行い、点群データからも CCTV カメラの位置を確認した。

(4) 画像標定用基準点の設置

a) MMS/UAV 用基準点の設置

MMS/UAV の位置精度確保と、試験画像と 3D データの重ね合わせ精度確保のため、基準点の設置を行った。設置した基準点の内 2 点を GNSS 測量によって絶対位置を計測したのち、TS 測量により残りの基準点の計測を行い、すべての点を絶対位置で整理した。

b) 画像標定用基準点の設置

試験画像の模擬サンプル取得位置（10m/50m/100m）に標識を設置し、画像標定用の基準点とした。

(5) 撮影

河川では亀裂（縦・横）に対応する模擬サンプルを堤防天端に設置して撮影を行った。同様に、道路では段差に対応する模擬サンプルを路面に設置して撮影を行った。撮影は昼・夕～夜に実施し、昼は 10m、50m、100m の距離にある模擬サンプルに対して、夕～夜はカメラの撮影能力を考慮し 50m の距離にある模擬サンプルに対してのみ映像を取得した。撮影倍率は標準倍率、5 倍ズーム、10 倍ズーム、20 倍ズームでも撮影を実施した。

3. 3D モデルの作成及び点群データの作成

(1) 点群データの取得

選定した河川と道路の撮影場所で MMS の計測を実施した。計測は、模擬サンプルの設置前の状態で 100m 程度の区間を走行しながら実施した。

(2) 3D モデルの作成

道路の撮影場所においては UAV により撮影した画像から 3D モデリングソフトウェアを用いて 3D モデルを生成した。生成した 3D モデルの道路面はほぼ平坦に再現されており、MMS 点群との差は路面上で±2cm 程度であった。

なお、河川の撮影場所においては強風により UAV 撮

影を行うことができなかったため、MMS 点群を間引き、メッシュ化したモデルを生成した。

4. 試験画像と 3D モデル及び点群データとの重ね合わせによる計測データ取得

(1) 試験画像と 3D モデル及び点群データとの重ね合わせ

a) 重ね合わせ条件の検討

試験画像を 3D データに重ね合わせる方法を検討した。重ね合わせに当たっては、撮影時の画面距離と CCTV カメラの 3 次元位置情報ならびに画像標定用基準点の情報が必要である。重ね合わせるための条件の整理を標定と呼び、標定は以下の方法で行うことができる。

- ・対話的手法：3D データと重ね合わせながら、画面上でオペレータが画面距離（拡大縮小に当たる）などを最適な条件に調整する。
- ・2点標定：画面内の座標既値の位置を計測することにより、画面距離を決定する。これは最低2点を自動もしくは手動で計測することによって決定できる。

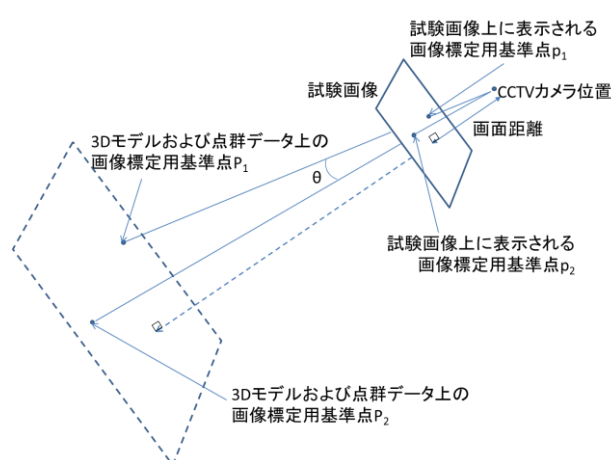


図-1 2点標定のイメージ

b) 重ね合わせの実施

取得し作成した 3D データに試験画像の重ね合わせを行った。重ね合わせに当たっては、撮影した映像から各 1 フレームずつ静止画として保存し、10m・50m・100m に設置された標定点の内カメラ側に近い 2 点を用いて 2 点標定を行った。

標定結果を用いて試験画像と 3D データの重ね合わせを行った。今回は重ね合わせのためのソフトウェアとして、汎用 CAD ソフトを利用した。

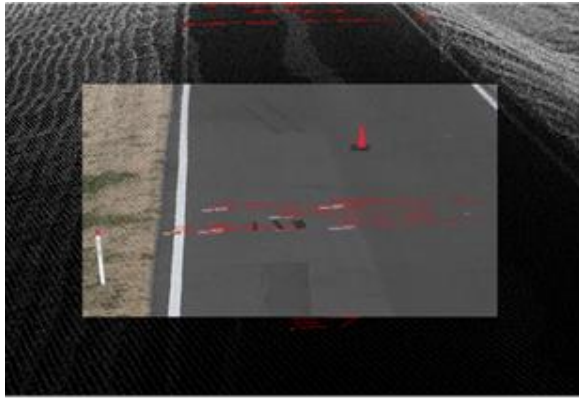


図-2 試験画像と 3D モデルと点群データとの重ね合わせの例
河川 (HD, 50m, 10倍)

(2) 変状計測方法の検討

a) 亀裂の幅の計測

亀裂の幅の計測には、次の3つの方法が考えられる。

方法 1：試験画像上で 2 点を指定し、その間の 3D データ上の実座標を求めて距離を計測する

方法 2：試験画像上で 2 点を指定し、画素間隔を求めた上で画素あたりの実距離（分解能）を乗じる

方法 3：試験画像上に画素間隔に応じたメジャーを表示し、目視でスケールを読み取る

方法 1 は厳密ではあるが、試験画像から 3D データ上の 2 点を指定する必要がある。また、試験画像の解像度が 3D データの解像度より高い場合は 3D データ上に計測したい 2 点の情報の内挿計算が必要となる。

方法 2 は分解能を決める上で十分な位置の指定ができればよい。試験画像を重ね合わせる 2 点標定において用いる、3D データ上の既知の 2 点間の距離と試験画像上での 2 点間の画素数から 1 画素あたりの実距離が求められることができる。これを理論的分解能とする。実際の分解能はカメラから対象までの距離に応じて決まる。

方法 3 は直感的であり、カメラから対象までの距離と俯角に応じたスケールを表示すればオペレータが容易に読み取ることが可能である。

b) 段差の計測

段差計測については、次の前提の下で計測を行った。

- ・段差の前後の路面は変化していない
- ・段差は鉛直方向にのみ生じる

段差の計測については段差発生前に取得した 3D データを使用するため、段差発生後に存在するはずの位置には点群データが存在しないことから、試験画像上の 2 点実座標による計測が不可能であるため、段差の計測には次の 2 つの方法が考えられる。

方法 1：試験画像上で縦方向に 2 点を指定し、高さ方向の画素間隔を求めた上で画素あたりの実距離（分解能）を乗じる。

方法 2：試験画像上に画素間隔に応じたメジャーを表示し、目視でメジャーを読み取る。

(3) 計測と精度評価

a) 亀裂幅の計測の精度

亀裂幅の計測精度は、遠くになればなるほど計測精度は悪くなる。これは距離に応じて 1 ピクセルあたりの分解能が悪くなることによる。今回の精度評価に当たっては、画面に重畳された亀裂毎に 2 箇所の亀裂幅を計測し、それぞれの誤差を求めた。亀裂幅の計測を検証するに当たっては、画像上の任意の位置の座標が得られなければならない。そこで 3D データから生成した DEM に基づいて試験画像のオルソフォトを作成し、このオルソフォト上で座標を読み取ることにより亀裂幅の計測を行った。

(図-3、図-4)

亀裂計測結果から計測誤差は概ね理論的分解能の 1～2 倍程度の間に収まることがわかった。

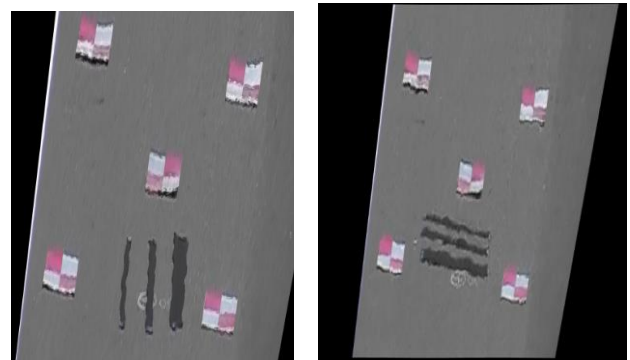


図-3 亀裂計測用オルソフォト例（左：縦亀裂、右：横亀裂）

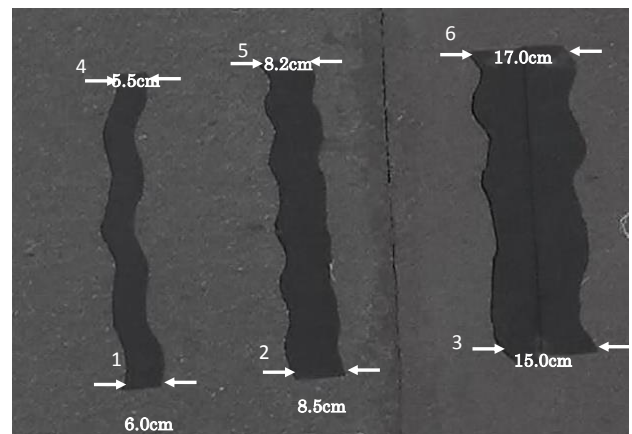


図-4 亀裂差の計測位置

b) 段差計測の精度

段差計測に当たっては、図-5 に示すように模式的に作成した段差の 3 か所のピクセル高さを計測し、標定結果から求めた分解能を乗じた値を計測値とした。

段差計測の結果、計測誤差は概ね理論的分解能の 1～2 倍程度の間に収まることがわかった。

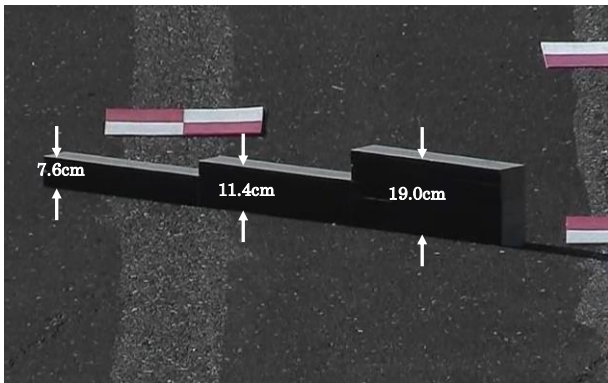


図-5 段差計測位置

c) 精度の考察

図-6 に亀裂及び段差の理論的分解能と RMS 誤差との関係を示す。誤差の要因が明らかな 3 サンプル以外は、概ね理論的分解能の 2 倍もしくはそれ以下に収まっている。ただし、理論的分解能が小さい部分については誤差が 2 倍より大きくなる傾向がある。理論的分解能が小さい部分は、様々な要因による系統誤差の方が計測誤差よりも大きくなるからである。

図-6 より、理論的分解能が 1cm より小さい時は誤差 2cm 以内、1cm 以上の時は理論的分解能の 2 倍程度の誤差を見込めばよいことがわかる。

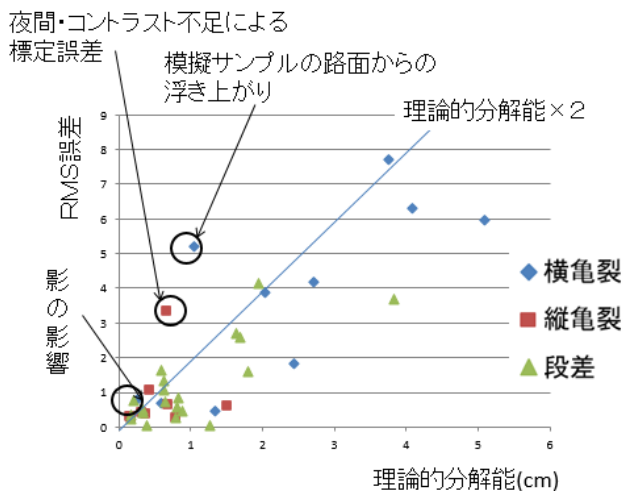


図-6 理論的分解能と RMS 誤差の関係

5. まとめ

CCTV カメラ画像と 3D データの重ね合わせにより亀裂及び段差を模したサンプルを計測した結果、理論的分解能の 1~2 倍の誤差で計測できることがわかった。今後、本計測方式による計測技術の実用性を高めるため以下の課題についての検討を行う。

(1) 自動標定による重ね合わせ

今回手動で実施した標定（2 点標定他）をマッチング処理などを用いて自動的に評定する方法の検証を行う。これにより、計測までの操作がより簡便になることが期待できる。

(2) 3D データの少ない範囲での標定

MMS や UAV による 3D モデルの作成や点群データが充実していない箇所での計測も行えるよう、MMS 以外の広域 3D モデルなどの利用の検討を行う。

(3) 高ズーム倍率時の標定

高ズーム倍率の画像による重ね合わせは理論的分解能が上がることを期待できるものの、画像内に適切な標定用基準点が得られない可能性が高い。適切な標定用基準点を確保しつつ、出来るだけ高倍率な画像が得られる方法の検討と検証を行う。

参考文献

- 1) 依藤光代，常田賢一：地震時の段差被害に対する補修と交通開放の管理・運用方法について，平成 19 年度近畿地方整備局研究発表会，防災・保全部門，No.16，pp.1-4，2007.