

CCTV カメラ画像を点群データに重畳し 画像内の対象物を計測する精度の理論と分析

森 田 健 司*
今 野 新*
関 谷 浩 孝*
蘆 屋 秀 幸**

国土交通省では河川や道路の管理のために約 2 万台の CCTV カメラを整備、運用している。これら CCTV カメラの高度利用への期待が高まっている。国総研では、点群データに CCTV カメラ画像を重畳し、その画像上で被害箇所を指定することにより、点群データの座標情報から被害規模（幅や高さ）を計測する技術を開発している。

この技術を実装したシステムにより、点群データと実運用中の CCTV カメラ画像から対象物を計測し、その精度を分析した。分析の結果、測定者による計測誤差は、計測精度を理論的に整理した値に概ね近い値となった。本システムは対象物のおおよその寸法を把握するのに実用上、十分な精度で計測できることを示した。

1. はじめに

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に活用しているが、昨今の画像処理技術の進展により画像処理による CCTV カメラ利用の高度化に対する期待が高まっている。

また、i-Construction により調査・測量から設計、施工、検査、維持管理・更新までの建設生産プロセスにおいて 3D データ（座標情報を有する点群データ）の流通、蓄積が進みつつある。

国土技術政策総合研究所（以下、「国総研」という。）では、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム（Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program : SIP）「レジリエントな防災・減災機能の強化」の一環として、CCTV カメラ周辺の点群データと CCTV カメラ映像から作成した静止画（以下、「CCTV カメラ画像」という。）を用いて、被害規模を計測する技術の開発に取り組んでいる。点群データに CCTV カメラ画像を重畳し、その画像上で計測対象となる「対象物」を指定することにより、点群データの座標情報から対象物の幅や高さを計測する技術（以下、「画像計測技術」という。）である（図-1）。

この画像計測技術により、CCTV カメラ映像の単なる監視に留まらず、河川や道路の被害箇所の CCTV カメラ画像と点群データを重畳により被害規模を計測することができ、既存の CCTV カメラの有効活用が図れる。

SIP における実験として、これまで被害規模を模擬的

に再現し、画像計測技術により把握可能な被害規模を明らかにするための実験^{1) 2)}を行ってきた。これらの実験から、河川管理者へのヒアリングにより実フィールドでの計測精度を明らかにする必要性を確認した。

画像計測技術を実装したシステム（以下、「画像計測システム」という。）を活用するために、計測精度を理論的に整理した上で、点群データと運用中の CCTV カメラを用いて実フィールドで対象物を計測し、その誤差について分析した。本稿では、この分析結果を報告する。

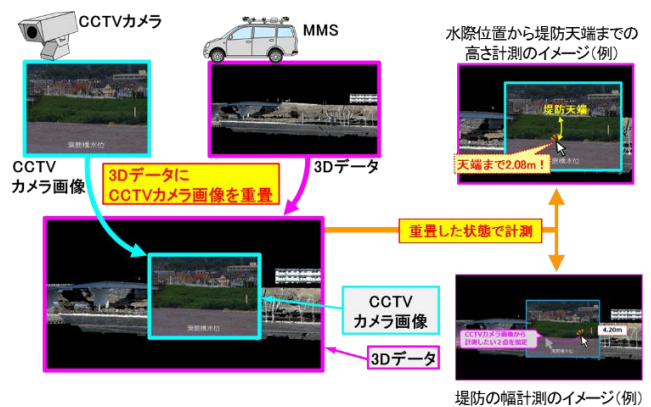


図-1 画像計測技術のイメージ

なお、本研究では、簡易設置が可能で点群データの取得が短時間でできる地上レーザスキャナを用いた。また、国土交通省の CCTV カメラには一般的に HD（High Definition）画質と SD（Standard Definition）画質の 2 種類の画質のカメラで運用されていることから、それぞれの画質で分析した。

* 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

** 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

2. 画像計測システムの理論上の精度

(1) 画像計測システムによる計測

本研究では、国総研が開発した画像計測システムを利用した。画像計測システムは、点群データに CCTV カメラ画像を重畳させ、その画像上の2点をマウスにより指定し、2点間の距離または高低差を計測する(図-2)。画像計測システムでは、指定した位置に最も近い点群データ(点)の座標を計測値とするため、点群データの密度(間隔)と CCTV カメラ画像の分解能により計測精度が左右される(図-3)。点群データの密度と CCTV カメラ画像の分解能の関係から、画像計測システムにおいて最も大きくなる誤差(以下、「最大誤差」という。)を画像計測システムの理論上の計測精度とした。

(2) 画像計測システムの最大誤差の計算方法

指定された画素が点群データの間隔の中心位置にある場合に、画像計測システムの最大誤差となる(図-4)。以下では HD 画質における最大誤差 E の計算方法を記述する。SD 画質の最大誤差は、同様の方法で計算できるため、本稿での記述は割愛する。

図-4における水平成分の最大誤差 E_h は、水平成分の点群の間隔を P_h 及び、水平成分の分解能を C_h とすると、式-1により求まる。ただし、 P_h が C_h より大きい場合とする。垂直成分の最大誤差 E_v も同様に求まる。

$$E_h = \frac{P_h - 3 \times C_h}{2} + 2 \times C_h = \frac{P_h + C_h}{2} \quad \text{式-1}$$

最大誤差 E は水平成分の最大誤差 E_h 及び、垂直成分の最大誤差 E_v から式-2で表される。

$$E = \sqrt{E_h^2 + E_v^2} = \sqrt{\left(\frac{P_h + C_h}{2}\right)^2 + \left(\frac{P_v + C_v}{2}\right)^2} \quad \text{式-2}$$

P_h は、レーザ測定範囲(m)を測定範囲の点群数で除したものであることから、地上レーザスキャナから計測箇所までの距離を L_s 、地上レーザ測距点群数(水平)の点数を T_h 及び、地上レーザ測距の角度 θ_1 (水平)とすると式-3のとおりであり、垂直成分の点群の間隔 P_v も同様である(図-5)。

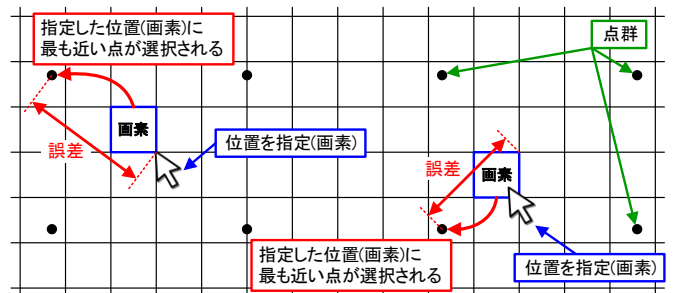
$$P_h = \frac{L_s \times \tan\left(\frac{\theta_1}{2}\right) \times 2}{T_h} \quad \text{式-3}$$

C_h は、CCTV カメラから対象物までの距離を L_c 、CCTV カメラの CCD 素子サイズ(水平)を S_h 、試験画像の画素数(水平)を G_h 及び、撮影時の焦点距離を f とすると式-4により求まる。試験画像の垂直成分の分解能 C_v も同様に求まる³⁾(図-6)。

$$C_h = \frac{L_c \times S_h}{G_h \times f} \quad \text{式-4}$$



図-2 画像計測システムの計測方法



～ 選択する位置により誤差が異なる。
点群の間隔と画素の分解能から最大誤差が決まる。～

図-3 画像計測システムにおける計測

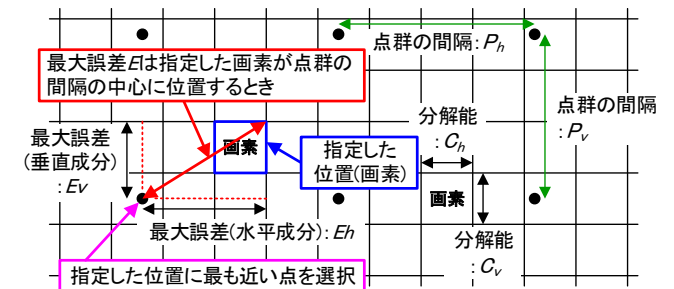


図-4 最大誤差の計算 (HD 画質の場合)

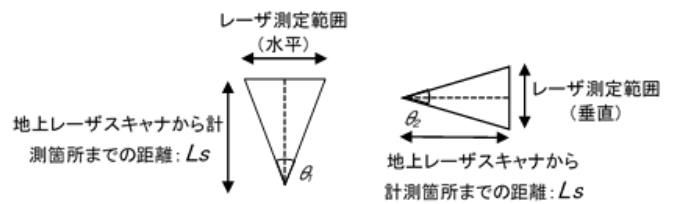


図-5 レーザ測定範囲の算出

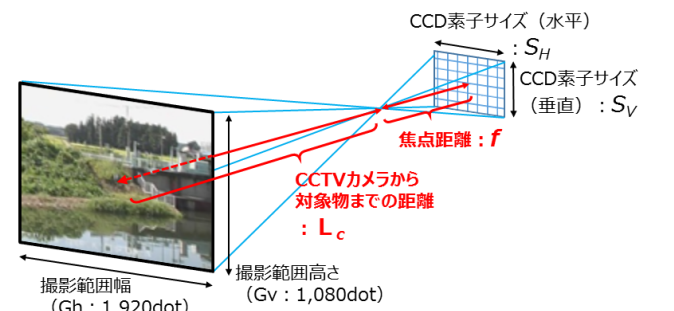


図-6 最大誤差の計算 (SD 画質の場合)

図-6 撮影範囲の算出 (HD画質の場合)

3. 実フィールドでの計測と最大誤差の算出

(1) 実フィールドでの計測と最大誤差の算出の概要

画像計測システムの計測精度に影響を与える要素として、次の4点が考えられる。1つめは、GPSの受信精度なども含む点群データの精度、2つめは、取得機器に依存する点群データの密度、3つめは、システムのソフトウェアに依存するCCTVカメラ画像を点群データへ重畳する精度、4つめは、カメラ機種に依存するCCTVカメラ画像の解像度(カメラ画質)である。カメラ画質を変えた場合における、最大誤差と画像計測システムで同一条件で複数の測定者が計測した値の誤差を分析した。

関東地方整備局の下館河川事務所の協力を得て、鬼怒川66.75kp付近の勝瓜地先下流カメラ及び、その周辺を試験フィールドとした。分析に際して試験フィールドで点群データの取得及び、試験用のCCTVカメラ画像(以下、「試験画像」という。)の作成を行った。また、試験フィールドにおける理論上の最大誤差の算出を行った。次項よりそれぞれの手順について記述する。

(2) 点群データの取得

表-1に示す諸元の地上レーザスキャナにより、対象のCCTVカメラの撮影位置周辺の点群データを取得した。

(3) 試験画像の作成

試験画像は、試験対象のCCTVカメラの対岸に対象物を設置したものを撮影した映像から、静止画像を切り出して作成した。試験フィールドの対象物として堤防へブルーシートを設置し(図-7)、計測することとした。試験画像の画質による計測精度への影響を分析するために、HD画質とSD画質の2種類の試験画像を作成した。対象物とCCTVカメラの位置図を図-8に示す。

(4) 試験環境における理論上の最大誤差の算出

(a) 算出条件

点群データ取得時の条件及び、試験画像作成時の撮影条件を最大誤差を求めるための算出条件とした(表-2)。

(b) 最大誤差の算出

式-1から式-4及び、表-2から、HD画質とSD画質それぞれの1点あたりの最大誤差及び、2点間計測による最大誤差の算出した結果を表-3に示す。

4. 画像計測システムによる計測と精度分析

(1) 画像計測システムによる対象物の計測

(a) 点群データの読み込みとCCTVカメラ位置の設定

取得した点群データを画像計測システムに読み込む。次に、点群データとあわせて取得したCCTVカメラの位置情報に基づいて、CCTVカメラ位置から試験画像の撮影方向を向いたカメラ視点の表示設定を行う。

(b) 試験画像の読み込みと点群データへの重畳

試験画像を画像計測システムに読み込み、点群データ上に重畳表示させる。点群データ取得時に設置した標定点を用いて、手動で試験画像の重畳位置を調整し、重畳位置を画像計測システムへ登録する。

表-1 地上レーザスキャナの諸元

レーザクラス	JIS C 6802 クラス 1M
測距距離	10~300m (晴天時の標準値。対象物の反射率により異なる)
測距精度	±50mm
エリア測距ポイント数	約518400点/エリア(水平48° × 垂直6.25°) ・水平48° につき1920点 ・垂直6.25° につき270点



図-7 対象物設置の様子



図-8 対象物とCCTVカメラの位置図

表-2 試験環境における最大誤差の算出条件

地上レーザスキャナから計測箇所までの距離	LL=118m
地上レーザ測距点群数	LH=水平1920点(θ1=48°)
	LV=垂直270点(θ2=6.75°)
CCTVカメラから対象物までの距離	CL=655m
CCTVカメラ画像の画素数(画素)	HD:GH=1920(水平)×GHV=1080(垂直)
	SD:GSH=720(水平)×GSV=480(垂直)
CCTVカメラのCCD素子サイズ(mm)	HD:SHH=6.0(水平)×SHV=3.4(水平)
	SD:SSH=4.6(水平)×SSV=3.4(水平)
焦点距離(試験画像取得時)	f=100mm

表-3 HD画質及びSD画質における最大誤差

	1点あたりの最大誤差(cm)	2点間計測による最大誤差(cm)
HD画質	$E_0 = \pm 5.21$	$E_0 \times 2 = \pm 10.42$
SD画質	$E_0 = \pm 6.88$	$E_0 \times 2 = \pm 13.76$

(c) 対象物の計測

対象物の水平方向の距離と高低差を計測した。水平距離は、対象物の左下端点と下辺目盛り位置(1m、3m、5m)を指定して計測した。高低差は、対象物の左下端点と左辺目盛り位置(1m、3m)を指定して計測した。水平距離、高低差ともに HD 画質、SD 画質それぞれ、同じ計測パターンで計測した(図-9)。

画像計測システムによる計測は、測定者による2点指定であるために、計測結果にばらつきが発生しうる。このため、本研究においては、測定者10人により、それぞれ計測パターンを複数回計測した。計測結果と対象物の実寸との差のRMS(以下、「誤差平均」と言う。)を求めた。誤差平均と最大誤差を表-4に示す。

(2) 画像計測システムの全平均誤差と最大誤差の分析

表-4に示す10パターンの計測のうち、誤差平均が最大誤差に近い値ないし、最大誤差を下回る値が得られたのは、HD画質においては4パターン(パターン2、3、4及び5)、SD画質においては3パターン(パターン1、3及び4)であった。HD画質とSD画質の誤差平均を比較した場合、HD画質の方が誤差平均の値が小さく、分解能に応じた結果が出ている。

平均誤差が最大誤差を上回った3パターン(HD画質1パターン、SD画質2パターン)においても、誤差平均は最大誤差の2倍以内に収まった(図-10)。最大誤差が2倍の場合においても、CCTVカメラ位置から測定位置までの距離が655mの時に最大23.9cmの誤差であることから、対象物のおおよその寸法を把握するには実用上、十分な精度と言える。

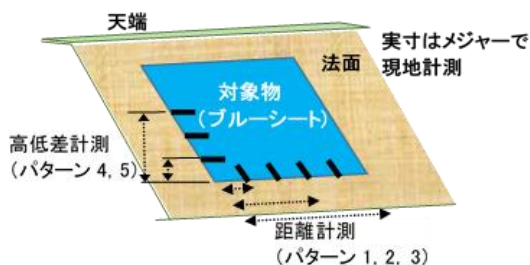


図-9 計測パターン

表-4 誤差平均と最大誤差

計測パターン	HD画質		SD画質	
	計測誤差平均(cm)	理論上の計測精度(cm)	計測誤差平均(cm)	理論上の計測精度(cm)
パターン1	18.94	±10.42	14.65	±13.76
パターン2	8.26		23.08	
パターン3	13.14		14.64	
パターン4	4.78		7.32	
パターン5	5.97		23.90	

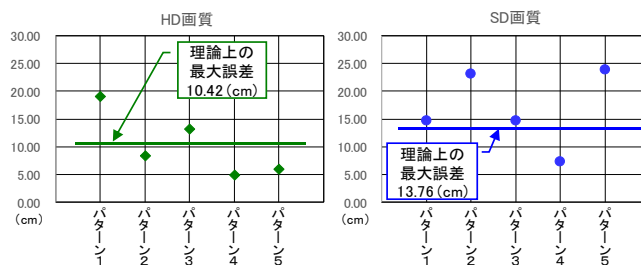


図-10 誤差平均と最大誤差の比較(HD画質、SD画質)

5. まとめ

実フィールドでの画像計測システムの計測精度を明らかにすることを目的に、計測精度を理論的に整理し、点群データと実際に運用中のCCTVカメラで実フィールドの対象物を計測し、その誤差を分析した。

分析の結果、測定者による実フィールドの計測結果から得られた誤差平均は、理論上の計測精度に概ね近い値を示した。また、誤差平均が理論上の計測精度を上回る場合においても理論上の計測精度の2倍程度に収まり、本システムは遠隔から対象物のおおよその寸法を把握するのに実用上、十分な精度で計測できることを示した。

SIP最終年度である今年度には、画像計測システムを活用するための画像計測システムの機器仕様書(案)と導入ガイドライン(案)をとりまとめ、公表する予定である。

謝辞：本研究は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「レジリエントな防災・減災機能の強化」(管理法人：JST)によって実施されました。

参考文献

- 1) 森田健司、関谷浩孝、今野新：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、2016年度土木情報学シンポジウム講演集 Vol.41、pp.209-212.
- 2) 森田健司、今野新、関谷浩孝、前田安信：3Dデータへ画像データの手動重畳による水位計測精度、2017年度土木情報学シンポジウム講演集 Vol.42、pp.185-

188.

- 3) 高木幹雄、下田陽久：新編 画像解析ハンドブック、財団法人 東京大学出版会、pp.122-128、2011.