

TOF方式距離画像センサの建設現場適用のための計測精度検証

飛島建設 技術研究所 正会員○松元 和伸 正会員 松田 浩朗
 飛島建設 建設事業本部 正会員 築地 功 正会員 熊谷 幸樹

1. はじめに

建設分野において、構造物の形状や変位を計測することは、調査・計画・設計・施工・維持管理の各段階で非常に重要である。従来は、計測機器を計測地点に設置した直接計測や、トータルステーションによる遠隔計測など、点や線状の計測が行われてきた。最近では、形状や変位を面的に捉えるレーザプロファイラが実用化¹⁾され始めているが、計測とその後の解析処理に多大な時間がかかるためリアルタイム性に劣り、コスト面の負担も大きい。一方、セキュリティ²⁾、物流³⁾分野で利用が進む距離画像センサは、対象物までの距離を面的かつリアルタイムに計測可能であり、その計測精度や適用条件を確認しておくことで、建設分野へ適用が拡大できる可能性がある。

本稿は、距離画像センサには各種方式があるが、建設分野、特に現場への適用を想定し、長距離計測が可能で耐環境性の高いTOF(飛行時間計測)方式の距離画像センサを用いた計測精度検証の結果を報告する。

2. 実験概要

実験に使用した距離画像センサ(MESA社製SR4000)を写真-1に示す。計測可能な距離は10m以下、視野角69(水平)×56°(鉛直)、有効画素配列は176(水平)×144ピクセル(鉛直)である。最大50fps(frames per second)で連続計測が可能である。

実験は、コンクリート壁面より約3m離れた位置に距離画像センサを固定し、距離計測を行った(写真-2)。まず、対象範囲の計測位置の違いによる計測距離のばらつきを調べ、次に、照度の違いによる計測距離のばらつきを検証した。照度は0~100ルクスまで5段階に変化させた。さらに、壁面に大きさや高さの異なる突起物(大きさは3×3cm, 5×5cm, 10×10cmおよび20×20cmの4種類で、高さ(h)は1~5cmの5段階)を配置し、形状の認識能力を検証した。図-1に、距離画像センサより得られる反射強度画像上に実験データの評価位置(a~e, A-A~E-E)と突起物寸法を示す。



写真-1 距離画像センサ



写真-2 実験状況写真

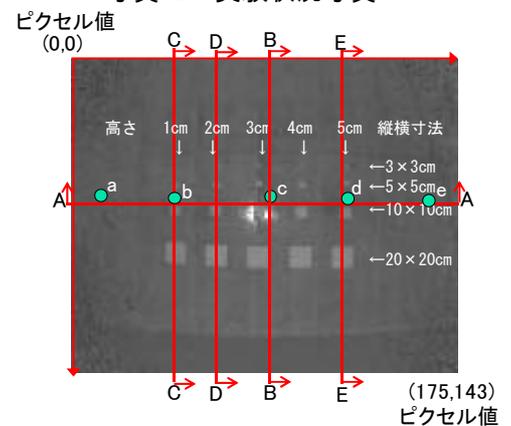


図-1 実験データの評価位置と突起物寸法図

3. 実験結果および考察

図-2に、a~e(図-1参照)の位置で得られた計測距離の時系列データ(照度100ルクス:94msec×100個)を示す。中心部に近い位置(b, c, d)のばらつきは小さく、外側(a, e)になるほどばらつきが大きいことがわかる。標準偏差は中心部のcが0.3cm, b, dは1.1cm, a, eは2.2および2.4cmであるが、各位置での計測距離のデータは正規分布であることを確認しており、一定時間の時系列データ(約10秒間に得られる100個のデータ)を統計処理することで計測誤差を取り除くことができる。

図-3に、A-AおよびB-B断面(図-1参照)の各ピクセルの計測距離の標準偏差を示す。計測領域の外側ほどばらつきは大きいですが、外周部より20~30ピクセル程度より内側のデータを利用することで標準偏差1cm程度の計測距離が得られる。

キーワード: TOF, 距離画像センサ, 計測, 建設現場

連絡先: 〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬5472 飛島建設技術研究所 TEL 04-7198-7572, FAX 04-7198-7586

図-4 に、照度を 0~100 ルクスまで 5 段階に変化させた時の反射強度画像中心位置 (c) における計測距離の標準偏差を示す。照度が小さい(暗い)場合の方が計測距離のばらつきは小さく精度は高いが、反射強度画像は真っ暗となり対象物のパソコン画面上での目視認識ができないことになる。トンネル切羽作業時は 70 ルクスが規定照度であり、規定照度より大きい 100 ルクス程度の照度下の建設現場での利用を想定すれば、標準偏差 0.6cm 程度が確保できることがわかる。

図-5 に、突起物を配置した壁面の計測距離データから壁面のみでの計測距離データを引いた突起形状のデータ(照度 100 ルクス)を示す。左から、C-C 断面(h=1cm), D-D 断面(h=2cm) および E-E 断面(h=5cm) のデータである。C-C 断面では高さ 1cm の突起形状は認識できておらず、その他の断面でも計測高さは 1~3cm 小さな値を示している。標準偏差が 1cm 程度あること、およびセンサがノイズ除去のため近傍 5x5 ピクセルを平滑化している影響が大きいと考えられる。また、全ての断面で、3x3cm の形状の突起は認識できていない。これは、3m 離れた場合の 1 ピクセルあたりの分解能が 2.3cm であり、3x3cm の形状は 1 ピクセルに相当することから、認識が困難であったためと考えられる。5x5cm は 2 ピクセル相当であるが、10x10cm 以上の形状であれば、4 ピクセルを超えるため、平滑化による影響は少なくなり、計測した突起高さはそれぞれ 1~2cm 程度小さな値を示している。計測値が小さな値となっている点は、実験ケースを増やして再現性を確認する必要がある。

4. まとめ

以下に、距離画像センサを用いた計測精度検証の結果についてまとめる。

- 1) 連続した計測距離データはばらついていて、統計処理により計測誤差を取り除くことができる。
- 2) 外周部より 20~30 ピクセル程度より内側のデータを利用すれば、標準偏差 1cm 程度で計測距離が得られる。
- 3) 照度が小さい建設現場(100 ルクス程度)での使用を想定すると、標準偏差 0.6cm 程度の計測距離が得られる。
- 4) 3m 離れた場合、10x10cm 程度の形状であれば、1~2cm 程度の誤差で計測可能であるが、計測値が小さな値となる点は、今後追加実験による確認が必要である。

以上より、100 ルクス程度の照度下の建設現場における、10cm 程度以上の形状や変位の計測(1~2cm 程度の誤差)であれば、距離画像センサを適用できる可能性を示した。なお、本研究は、JSPS 科研費 24510243 の助成を受けたものである。

参考文献

1) 土肥泰之, 谷本親伯, 小泉圭吾, 津坂仁和: 3Dレーザースキャナーを用いたトンネル壁面のき裂抽出に関する研究, 土木学会第62回年次学術講演会, VI-052, pp.103-104, 2007. 2) 萩尾健一, 藤井裕之, 河原英喜, 坂本健二: TOF型距離画像センサを用いた高精度「共連れ検知センサ」, パナソニック電工技報, Vol55, No.1, pp.43-48, 2007. 3) 林佑樹, 佐田達典, 石坂哲宏, 一見健太: 距離画像センサを用いた車両走行検知手法に関する研究, 土木学会第66回年次学術講演会, CS9-015, pp.29-30, 2011.

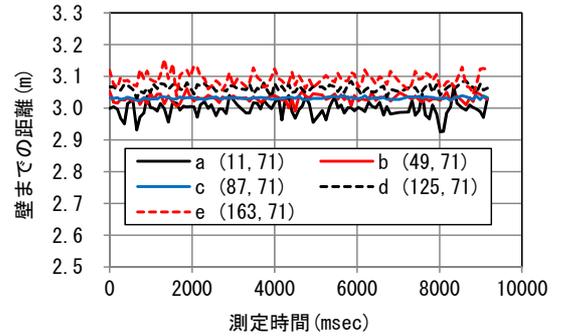


図-2 計測距離の時系列データのばらつき

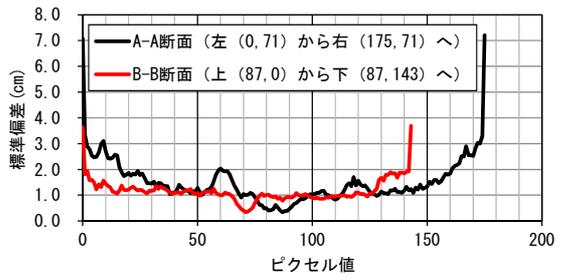


図-3 各ピクセルの計測距離の標準偏差

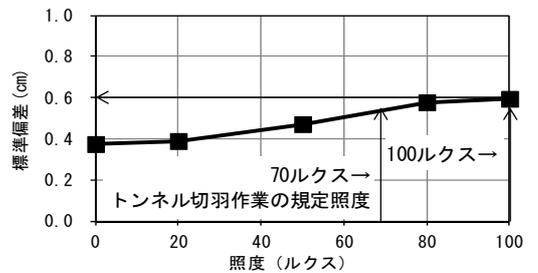
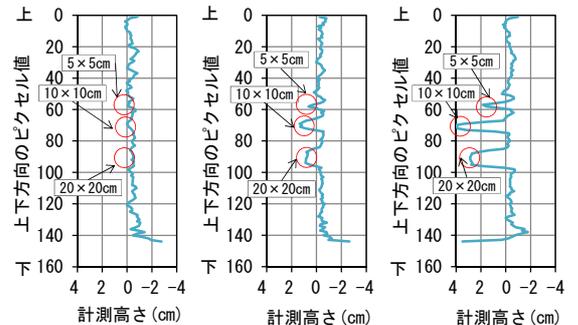


図-4 照度の違いによる計測距離の標準偏差



(a) C-C (h=1cm) (b) D-D (h=2cm) (c) E-E (h=5cm)
図-5 突起形状のデータ