

点群データを用いた構造物のたわみ判定

電気通信大学 ○水口 七海, 緑川 佳孝, 小平 圭祐, 増田 宏

Evaluation of Deflection of Large- Scale Structures Using Point clouds

The University of Electro-Communications: Nanami MIZUGUCHI, Yoshitaka MIDORIKAWA, Keisuke KOHIRA, Hiroshi MASUDA

Detection of deflection is very important for diagnosis of large-scale structures, such as bridges and steel towers. Deflection has been typically measured using stretched piano wires or measuring instruments, but these methods take a lot of time to measure a wide range of structures. In this research, we aim to develop methods for automatically detecting structural components with large deflection by using point clouds. Since most components of large-scale structures are pipes, steel materials and flat plates, we identify each component from point-clouds, and automatically calculate the amount of deflection using section shapes along the main direction of the component. In our evaluation, our method could detect deflection with practical accuracy.

1. 序論

近年、高度経済成長期に建設された構造物や鉄塔などは修復の時期を迎えている。修復のためには各部材の劣化の度合いの計測は必要不可欠であり、たわみの判定もそれに含まれる。たわみの判定には、橋の場合はピアノ線の伸縮などを用いて計測しており、鉄塔の場合も糸などを用いて行っている。しかしこれらの手法は危険を伴うだけでなく、労働力やコストもかかり、多くの構造物の劣化診断が必要とされている現状に適した手法とはいえない。そこで本稿では、レーザスキャナで得た点群を用いた、たわみ検出手法を検討する。

2. 手法の概要

まず図1に示すように橋や鉄塔などの大型構造物の計測点群を入力として与え、セグメンテーションを行い、数種類の部材形状を抽出する。ここでは、大型構造物を構成する部材として、図1に示すように、平鋼、アングル鋼、平板の4種類の形状を考え、形状ごとにたわみ検出手法を検討する。最終的には、橋や鉄塔などの点群データを与えることで、たわみが大きく修復を必要とする部分だけが視覚的に表示されるようなプログラムの作成を目的としている。

本稿では、まず、円柱と平鋼の二つの形状に対してたわみ検出手法を検討した。実際の円柱と平鋼のたわみの検出では、部材の始点と終点を結んだ直線に基づいてたわみを計測している。このことから、本研究においても、たわみの判定基準として、部材の点群の始点と終点を結んだ線からたわみ量を計算し、実測値と比較するものとする。

3. たわみ検出法

3.1. 円柱のたわみ検出

円柱のたわみの判定には、計測した点群から得られる中心軸を用いる。たわみのある円柱では中心軸が曲線になるので、まず、比較的大きな閾値を用いて基準となる円柱検出を行い、基準円柱の方向ベクトルを算出する。次に、点群をワイヤフレームに変換した後、計算した方向ベクトルに垂直な平面でワイヤフレームを切断する。断面上の点集合に対してRANSAC法と最小二乗法を用いて円弧検出を行い、中心点を算出する。円柱の中心軸は、多数の断面から算出された円弧中心を通る曲線として算出できる。

検出例を図2に示す。図2(a)に示す計測点群に対して基準円柱の検出を行うと、図2(b)のような円柱が得られる。円柱検出には、我々が開発した円柱検出法[1]を用いる。この手法では、点群を再帰的に連結領域に分割し、RANSAC法を用いて曲面検出を行う。

次に、断面を計算する。まず、得られた点群をワイヤフレームに変換する。TLSで計測した点群は格子状に規則正しく並ぶので、隣接する点同士の距離が閾値以下であれば点間にエッジを生成する。閾値には計測原点からの距離に比例する値を用いた[1]。断面

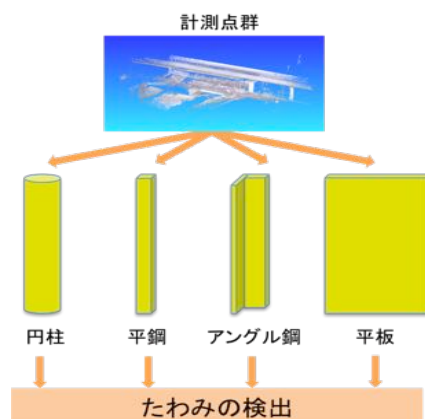


図1 手法の概要

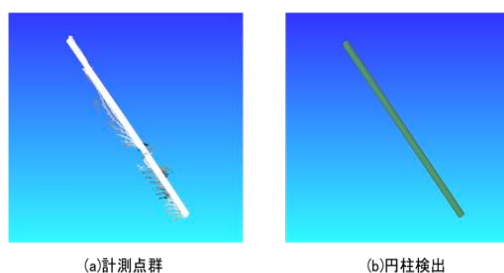


図2 円柱抽出

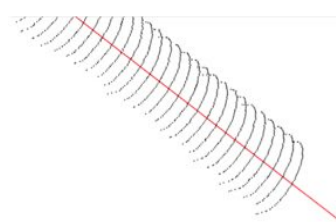


図3 断面検出

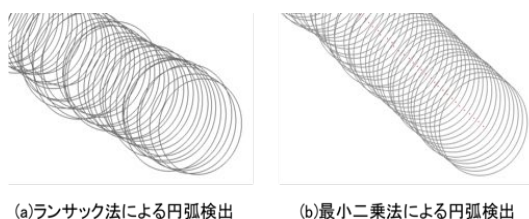


図4 円弧検出



図5 円柱のたわみ

検出では基準円柱として得られた図3の赤線で示した方向ベクトルに対して垂直となる平面で切断する。切断面は等間隔に設定され、ワイヤフレームと平面との交点を切断点として算出する。本稿では5mm幅に切断した。切断点にはドローネ三角形分割を施し、点間距離が閾値以下の線分のみを連結する。連結成分ごとに分割することで図3のような断面が検出できる。

次に、切断した断面ごとに円弧検出を行う。円弧検出では、RANSAC法を用いる。RANSAC法により得られた円弧を図4(a)に示す。断面ごとにおおまかな円弧を求めた後、その円弧に乗っている点だけを求める。それらの点群に対して最小二乗法を用いて再度円弧の検出を行うことで図4(b)に示す円弧が得られる。

図4(b)の赤い点は、円弧検出で得られた中心点を示している。これらの点は、円柱の中心軸上にあると考えられる。取得した中心点と、端点を通る線分を側面から見た図を図5に示す。たわみ量は、直線と円弧中心の距離の最大値として算出できる。

3.2. 平鋼のたわみ検出

平鋼は長方形の部材である。ここでは、長辺に平行な平面で切断した断面点をたわみ判定に用いる。断面点を検出するためにまず平面検出をし、平面領域の境界上の点から長辺を算出する。断面は、長辺の方向ベクトルと平行な平面とワイヤフレームの交点として算出する。平鋼の場合は、交点は直線上に並び、その直線が断面となる。

まず、図6(a)に示す計測点群に対して平面検出を行う。平面検出には、我々が開発した平面検出法[1]を用いる。平鋼がたわんでいる場合、図6(b)に示すように平面検出法によって一つの平面がいくつかの平面に分断される。

次に、検出された平面の法線ベクトルがZ軸となるように座標変換することで、点群をXY平面に投影された長方形として扱う。

長方形の長辺を検出するために、RANSAC法を用いて平面領域の境界上の点から直線検出を行う。得られた直線を図7の赤線で示し、黒の点は平面領域の境界上の点を示している。

検出された長辺の方向ベクトルに対して平行な平面とワイヤフレームの交点を断面点として切断する。断面の検出でも円柱の時と同様の方法を用いて、5mm幅に切断した。実際に切断された断面を拡大表示したものを図8に示す。

平鋼のたわみ量は断面検出により得た断面点をそのまま用いた。図9はそれら断面点のうちひとつの列と赤線で示した端点を通る線分を側面から見た様子を示している。

4. 手法の検証

手法の検証ではサンプル素材を用意し、現場で行われている糸を用いた計測方法で得た実測値と本研究で提案した手法で求めたたわみ量の値を比較した。サンプル素材には、円柱は半径1.6cm、長さ1m、平鋼には幅4cm、長さ1mのものを使用した。地上型レーザスキャナFARO Focus3D×330を用いて、円柱は約5m、平鋼は約8m、対象物から離れて計測した。

4.1. 円柱

本手法で算出された中心線と、円柱の両端を結ぶ線分との距離を算出したグラフを図10に示す。縦軸は両端を結ぶ線分と中心軸との距離であり、横軸は円柱の高さ方向の距離である。外れ値となっているのは、レーザスキャナで計測できなかった部分である。円柱の半径方向には約10点、長さ方向には約636点の点群が計測できた。たわみ量(縦軸の距離の最大値)の実測値は5.8mmであり、点群から算出された値は6.5mmであった。誤差は0.7mmであり、十分な精度であるといえる。

4.2. 平板

平鋼のたわみの算出も円柱と同様に行った。図11にその結果のグラフを示す。縦軸が平鋼の両端を結ぶ線分と検出された断面線との距離であり、横軸は平鋼の長手方向の距離である。平鋼の幅

方向には約15点、長さ方向には約388点の点群が計測できた。たわみ量の実測値は13.8mmであり、点群から算出された値は10.1mmであった。誤差は3.7mmであり、円柱よりやや大きい結果となった。誤差が大きくなった原因については、現在検討中である。

5. 結論と今後の課題

本稿では、構造物の部材のうち、円柱と平鋼のたわみ検出手法を示した。また、検証実験により、手法の有効性を確認した。

なお実際の構造物は反射強度の小さいものも存在し、また、照射角度によっては、点群の密度が低い場合も存在する。今後は、様々な条件下でたわみ量の精度検証を行う必要がある。また、円柱と平鋼以外の構造物を形成する形状についても、たわみ判定の手法の検討が必要である。たわみの可視化手法についても今後実装していく予定である。

参考文献

H. Masuda, T. Niwa, I. Tanaka, R. Matsuoka Reconstruction of Polygonal Faces from Large-Scale Point-Clouds of Engineering Plants, Computer-Aided Design and Applications, 12(5), (2015) 555.

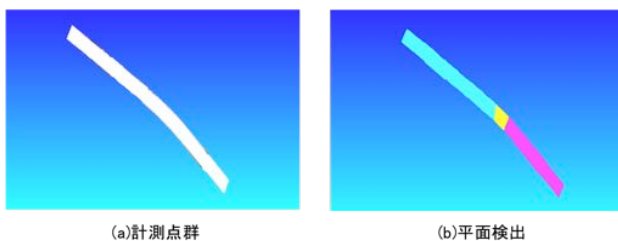


図6 平面検出



図7 平鋼の直線成分の検出

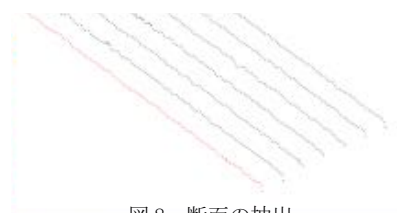


図8 断面の抽出



図9 平鋼のたわみ

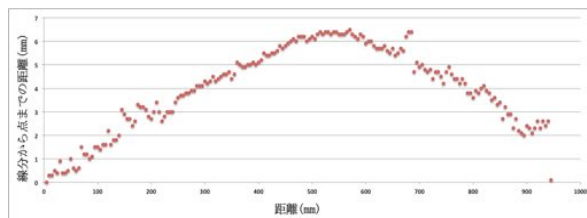


図10 円柱

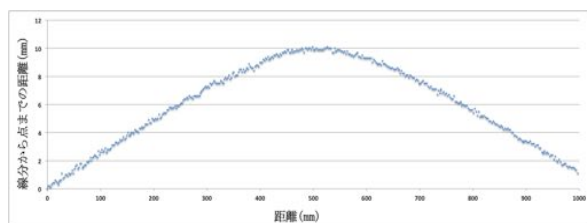


図11 平鋼