

三次元計測点群を用いた大型構造物の劣化診断（第3報）

電気通信大学 ○篠崎 有希, 小平 圭祐, 鈴木 晶也, 増田 宏

Diagnosing Deterioration of Large Structure Using Point-Clouds

The University of Electro-Communications: Yuki SHINOZAKI, Keisuke KOHIRA, Masaya SUZUKI, Hiroshi MASUDA

Large-scale infrastructures have to be repeatedly maintained in their long lifecycle. In conventional diagnosis for large-scale infrastructures, inspectors visually estimate the amount of scaffold and wear to decide whether restoration is required. To precisely and efficiently estimate the amount of scaffold and wear, dense point-clouds of infrastructures would be useful. In this paper, we propose methods for diagnosing deterioration by estimating reference surfaces using point-clouds. To detect small deterioration such as cracks, registration errors cannot be ignored. In our method, we divide inspected regions into grids, and combine the results from multiple point-clouds. Since sizes of detectable deterioration depend on resolutions of reference surfaces, we introduce multi-resolution methods for detecting various scales of deterioration.

Key words: point-cloud, maintenance, point processing, deterioration diagnosis, terrestrial laser scanner.

1. 緒言

長年運用された燃焼炉などの大型構造物は、壁面に付着物や損耗が発生する。その劣化診断は主に目視によって行われる。しかし目視診断では作業者の勘や経験に依存する。また、損耗の度合いも定量的に計測されていないという問題がある。付着物や損耗の箇所や量が三次元点群データを用いて算出できるならば、劣化状況について定量的判断が可能となり、正確な劣化診断と適切な修復作業計画が可能になると考えられる。

点群を用いた壁面の付着物や損耗の検出には、劣化が発生する以前の状態を表した基準面を定め、実際の点群との差分を算出することが必要となる。しかし、大型構造物においては、設計上は壁面が平面や円柱であったとしても、実際に建造された構造物では図面とのずれが発生することが多い。したがって、基準面を平面や円柱のような単純な形状によって定めた場合、建造時に生じた壁面のうねりや歪みを、付着物や損耗による劣化として誤検出する可能性がある。

本研究では、地上型レーザスキャナで計測された点群から、燃焼炉の壁面の付着物と損耗を検出することを目的とする。

前報では、複数のスキャン位置から取得した点群のデータ群を円筒座標系に変換し統合し、基準面を自由曲面として算出して、基準面と計測点群の差分を求めて劣化検出を行う手法を提案した[1]。本報では自由曲面を用いた場合の劣化検出について精度の検証を行う。また、検証結果をもとに、より小さな劣化まで検出を行うことのできるよう、手法の改善を行う。

2. 自由曲面を用いた基準面

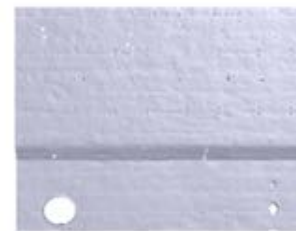
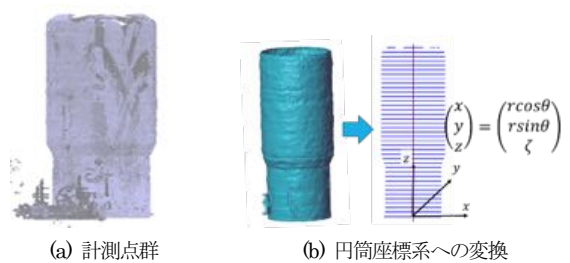
2.1 B-Spline 曲面の生成

まず、前報で述べた手法について説明する。この方法では、すべての点群をレジストレーションした後、図1のように、壁面として抽出された点群を円柱座標に変換する。このとき、円柱は θ - ζ 平面に平行な平面、円錐は傾きを持った平面となるので、RANSAC法を用いて点群から平面検出を行って、円柱部と円錐部に分割する。

分割した各面に対し、B-Spline曲面を当てはめる。このとき、B-Spline曲面の制御点を少なくすれば、凹凸の少ない大局的な曲面が得られる。この曲面は、建造時の大きなうねりのみを反映した形状と考えられる。一方、制御点を多くすれば、ある程度小さい劣化の凸凹まで再現したB-Spline曲面が生成できる。これら2つの曲面の差分を計算することで、劣化検出ができる。図2は、実際の点群にこの手法を適用した結果である。

2.2 検出結果の評価

本研究では、まず、前報で提案した手法の評価を行うために、B-Spline



(c) 円筒座標系に変換された壁面
図1 例題として用いた点群

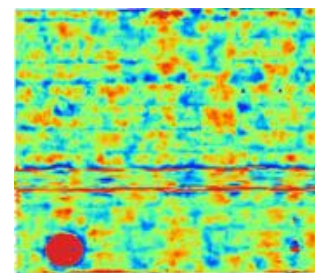
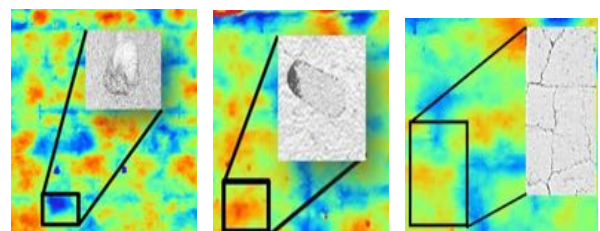


図2 B-Spline 曲面を基準面とした場合の差分分布



(a) 検出成功例 (b) 検出失敗例

図3 精度検証



図4 単一の計測点群

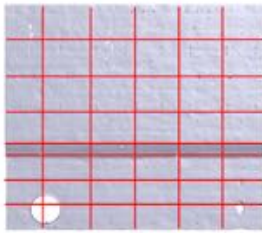


図5 格子状の領域分割

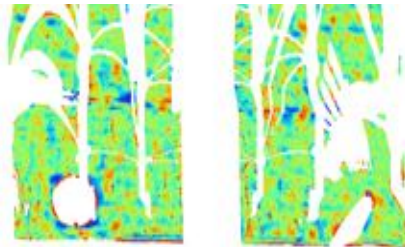


図6 単一データを用いた場合の差分分布

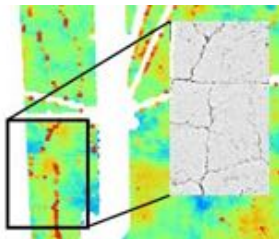


図7 改善手法による差分検出結果の検証

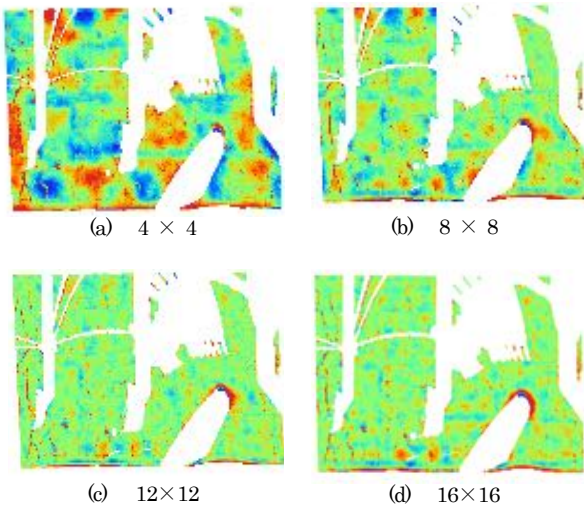


図8 多重解像度による差分分布

曲面同士の差分検出を行った結果と、元の点群との比較を行った。図3にその結果を示す。なお、今回用いた点群データは12箇所から計測され、点の数は約4億5000万点である。図3から、比較的大きな凹凸の劣化は検出に成功していることが確認できる。一方、亀裂のような比較的小さな劣化については検出を行うことができていない。これはレジストレーション時の誤差が主な原因である。複数の点群をレジストレーションした点群を処理しているため、点群の誤差が平均化され、細かな劣化が消失していると考えられる。また、この誤差は円柱や円錐部のつなぎ目の連続性にも影響を及ぼしている。

3. 様々なスケールの劣化検出

3.1 微小な劣化の検出

前章の手法では、比較的小さな劣化の検出は難しいことがわかった。そこで、亀裂をはじめとする劣化の検出を行うために、スキャンデータを統合することなく、劣化検出を行うことを考える。

各スキャンデータには、図4に示すように、オクルージョンのために点群が取得できない箇所が存在する。そこで、図5のように、円柱座標系に変換した点群の領域を格子状に分割し、各格子に含まれる点の個数が十分に大きい点群からの劣化検出の結果を該当領域の結果とする。点の個数が十分に大きい場合、点密度が大きくなるため、該当領域の検出結果の信頼性の向上が見込まれる。

微小な劣化を検出するためには、基準面として用いるB-Spline曲面の制御点の個数を多くし、壁面の点群を平面状に展開した形状と基準面との差を算出する。制御点の個数を十分多く設定することで、図6のような差分検出結果が得られる。図7は、大きな差分として得られた箇所の壁面を示したものであり、亀裂のような細かな劣化が検出できていることが確認できる。また、円柱や円錐部のつなぎ目についても、改善前は不連続性が目立っていたが、不連続性が小さくなっていることがわかる。

3.2 多重解像度による劣化検出

小さい劣化を検出するためには、基準面として用いるB-Spline曲面の制御点の個数を多くする必要があるが、一方で、大きな劣化は検出されなくなる。制御点数が大きい場合、凹凸をより良く反映した基準面が生成されるため、比較的大きな劣化は基準面に吸収されてしまうからである。制御点の違いにより検出されるものが変わるため、目的に応じて制御点数を変化させる必要性が生じてくる。

そこで、本手法では、あらかじめ、複数の解像度で劣化検出をして、その結果をユーザに提示するものとする。図8は、制御点数を変えたときの劣化検出の結果を示している。この例で示すように、解像度を変化させることで、比較的大きな劣化から、亀裂のような小さい劣化までが検出できていることがわかる。

なお、この例題においては、大きな劣化は付着物や損耗であり、小さな劣化は壁面の亀裂となっている。劣化のモードの識別については今後の課題である。

4. 結言

本研究では、B-Spline曲面を用いた劣化検出において、微小な劣化を検出する手法について検討した。検査したい領域を細分化し、劣化検出の結果をパッチワークのように張り合わせることで、レジストレーションによる誤差の影響をなくし、また多重解像度で劣化検出を行うことで、様々なスケールの劣化検出ができることを示した。形状が変化する部位においても不連続性が改善することも確認した。今後の課題として各スキャンデータから得られた結果の統合を行い、劣化の高い詳細度と信頼性の両立を目標とする手法の検証を行う。また、目的に応じた最適な制御点のパラメータの設定手法や劣化モードの同定手法についても検討する予定である。

参考文献

[1] 篠崎 有希, 小平 圭祐, 鈴木 晶也, 増田 宏: 三次元計測点群を用いた大型構造物の劣化診断, 精密工学会春季講演会 2017