

大震災を想定した建物三次元点群データを用いた損傷分析の分散処理に関する研究

佐々木歩夢¹ 碓崎賢一² 荒木俊輔³

概要: 近い将来発生が予測されている建物密集地域での大規模地震では、大量の建物が同時多発的に被害を受け、それらを迅速に調査することが求められる。しかし、現行の現地調査方式では、調査が長期化することが大きな課題である。そこで我々は、地上型レーザースキャナ(TLS)により高速かつ網羅的に対象の形状情報を取得できる三次元点群データを用いた建物損傷調査法を研究している。本研究では、TLSの計測点群から評価対象の建物の自動抽出、建物壁面の自動抽出、計測データの高精度化処理を行い、計測データを損傷調査に適した形に規格化する方法を示す。また、それらの処理を計測実施者ごとに分散処理させるシステムを提案する。

キーワード: 三次元点群データ, 損傷調査, 分散処理, 地上レーザースキャナ

A Research on Distributed Processing of Damage Investigation using 3D Point Cloud of Buildings assuming a Major Earthquake

Ayumu SASAKI^{†1} Ken'ichi KAKIZAKI^{†2} Shunsuke ARAKI^{†3}

Abstract: Safety and structural assessment of damaged buildings after earthquake by visual observation is a highly risky and long-term work. Terrestrial laser scanners, a non-contact active measurement technique, can quickly acquire detailed 3d shape information of the entire building structure. In our study, we propose a damage detection investigation system based on TLS data to show how to automatically evaluate extracted buildings. Firstly, we automatically extract building walls. Then, we process the measured data for higher accuracy. Finally, the measured data is normalized into an easy-operated form for damage investigation.

Keywords: 3D Point Cloud, Damage Investigation, Distributed Processing, Terrestrial Laser Scanner

1. はじめに

近年、日本では東日本大震災や熊本地震など膨大な建物が被害を与える災害が多発し、また、東海、南海、東南海地震といった首都圏を含む人口・建物密集地域での大地震も予想されている。

このような地震が発生した場合、災害の現況把握や二次災害の防止などを目的として建物の損傷調査が実施される[1]。現在の損傷調査は、専門の教育を受けた建築技術者が被災地に赴き、建物を一軒ずつ目視で調査・記録する方法が一般的である。しかし、この方法では調査員が被災地に移動する手間と時間が大きい問題から、動員できる人数が限定され、調査が長期化する他、被災地での作業時間も長く、調査員が二次災害を受ける危険性も高まる。

そこで我々は、地上型レーザースキャナ(TLS)で被災建物の損傷を含めた形状情報を短時間かつ高精度で計測することで、被災地での作業時間を短縮することを考えた。また、TLSで取得された被災建物の計測データを用いて、自動処

理システムにより損傷評価を迅速かつ高精度で行える手法を提案する。

2. 現在の建物損傷調査とその課題

2.1 現在の建物損傷調査

日本において、地震が発生した場合、被害認定のための建物損傷調査が行われる。調査の流れは以下の通り。

- (1) 災害対策本部が結成される
- (2) 近隣地域から調査員が被災地に集められる
 - ・ 調査員は専門の教育を受けた建築技術者から選ばれる
- (3) 2~3人の班で被災地を周り、建物を1つ1つ目視で調査する
 - ・ 調査では写真撮影、傾斜の測定、建物主要部位(外壁、柱、梁など)の診断を行う
 - ・ 図1に示すフローに従って建物の損傷率を判定する
- (4) 結果は調査票に書かれ、管理・保存される

¹ 九州工業大学情報工学府情報創成工学専攻
(〒820-8502 飯塚市川津 680-4)
Graduate School of Computer Science and Systems Engineering,
Kyushu Institute of Technology

² 九州工業大学大学院情報工学研究院 教授・博士(工学)
Prof., Graduate School of Computer Science and Systems Engineering,
Kyushu Institute of Technology, Dr. Eng.

³ 九州工業大学大学院情報工学研究院 准教授・博士(情報工学)
Assoc. Prof., Graduate School of Computer Science and Systems Engineering,
Kyushu Institute of Technology, Dr. Info. Eng.

2.2 建物損傷調査の課題

現在の損傷調査法は、作業の殆どが人の手で行われていることや、大勢の調査員を被災地に集める手間が大きい問題から、調査が長期化することが課題となっている。実際、2016年に発生した熊本地震では、約6ヶ月の間、調査が続けられた [2]。

<被害認定フロー（地震による被害 非木造）>

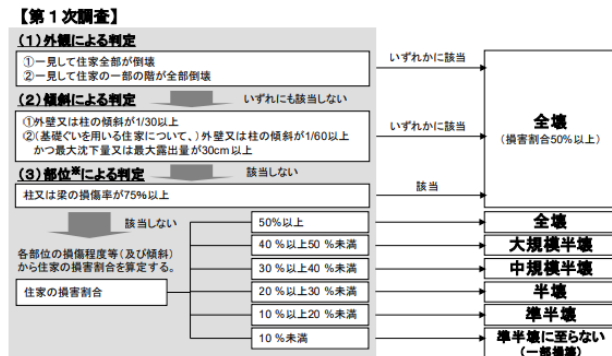


図1 地震災害時の被害認定調査フローチャート

また、調査員が損傷建物に接近するため、二次災害の危険性が高い問題や、損傷建物の状態を写真などでしか残せず再調査が困難である問題も存在する。

そこで我々は、地上型レーザースキャナ(TLS)と、それにより取得される三次元点群データを活用した建物損傷調査法を提案する。

3. 損傷調査における三次元点群データの利用

3.1 レーザースキャナ

3.2 三次元点群データ

三次元点群とは、レーザースキャナによって取得される対象物の三次元形状情報を複数の点の集合で表現するデータである。図2に建物の三次元点群データとその窓付近を拡大した図を示す。このように、対象物の表面形状を網羅的かつ高精度に取得することができる。そのため、比較的単純な構造であるコンクリート造建物に対しては、三次元点群データによる損傷評価の有効性が示されている [3]。

コンクリート造建物は「災害対応の拠点となる公共施設」「人が多く住むマンション」「多くの企業が活動しているビル」といった被災時に調査する価値の高い施設であることが多いため、TLSを用いた損傷調査はコンクリート造建物に限定して行ったとしても有効に活用出来る。

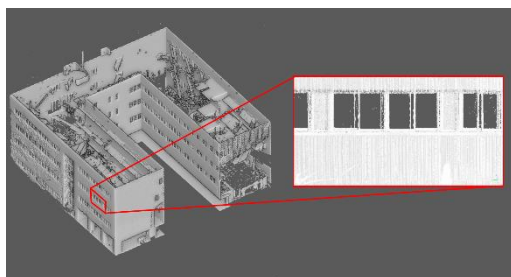


図2 コンクリート造建物壁面の三次元点群データ

3.3 三次元点群データの損傷調査への利用

2.2節で述べたように、現行の損傷調査法は、調査員が被災地に移動する手間が大きい点と、調査が殆ど人力で行われていることが課題となっている。そこで、三次元点群データが電子的であることを活かし、計測データを、ネットワークを介して全国の調査員に共有することが考えられる。

また、点群データを損傷調査に利用するために計測データの高精度化や建物ごとの切り分けなどの規格化処理を技術者の手作業で行うが、非常に手間がかかるため、各処理を自動化することが求められる。

そこで、ネットワーク上で配布された計測データを遠隔地の調査員が受け取り、それを手元のデバイスで規格化処理して損傷調査ができるシステムを提案する。

我々が提案する点群損傷調査システムを取り入れた建物損傷調査の流れは以下のようになる。

- (1) 災害対策本部が結成される
- (2) 近隣地域から計測員が被災地に集められる
 - ・ 計測員はTLSを扱える人が選ばれる
- (3) 計測員が被災地を周り、建物をTLSで計測していく
- (4) 計測データをネットワーク上で共有する
- (5) 計測データを自動処理する
- (6) 処理後のデータを調査員が確認し、損傷評価する
- (7) 調査結果と三次元点群データを管理・保存する

この手法では、被災地でデータ計測を行う計測員と、計測データを受け取り処理する調査員で分業ができるため、一人当たりの負担が削減される。

TLSは取り扱いの方法さえ覚えてしまえば、誰でも特別な技術なしに使用できるため、平時に地方自治体で研修などを行っておくことで、震災時に計測員の人数を集めることも容易になる。

また、1回10~30分程度で終わること、一度の計測で複数の建物を計測できることから、現在の調査法と比べ被災地での作業時間を大幅に短縮できる。

更に、TLSは被災建物から離れて計測できるため、二次災害の危険性も解消される。

こうして取得された建物の三次元点群データは、電子データであるためWebを介して配布することができ、遠方の調査員もPCなどの端末から調査に参加出来る。また、配布する点群データに、高精度化や損傷可視化などの処理を自動的に行い、短時間で調査員が確認しやすい形にする。調査後は、結果と点群データを合わせて保存しておき、再調査や調査員育成の資料などに活用することも考えられる。

4. 建物損傷自動評価システム

4.1 点群損傷調査システムへの要求

被災建物の計測データをネットワーク上にアップロードし、それを処理する仕組みについて考える。

単純な仕組みとしてまず、計測者が点群データをサーバにアップロードし、サーバによってそれらの点群データを

処理・管理する方法が挙げられる。イメージ図を図 3 に示す。

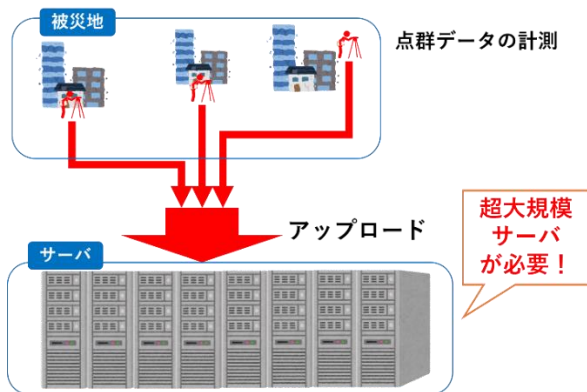


図 3 サーバによる集約処理・管理のイメージ図

しかし、震災時に非常に多くの建物が同時に被害を受け（熊本地震の例では約 20 万軒 [2]）、それらの高密度点群データがアップロードされることを考えると、要求されるサーバの性能が非現実的なまで高くなる。また、計測データへの規格化処理も必要だが、サーバで集約的に行うことは難しい。

したがって、点群損傷調査システムへの要求は以下の通りである。

- (1) 膨大な計測データを計測対象の建物（または計測地点）ごとに分散して処理ができるようにする
- (2) ネットワーク通信量をできるだけ小さくするために点群のデータサイズを小さくする
- (3) 要求されるサーバの性能を低くするために、保管される点群のデータサイズを小さくする
- (4) 浮きや剥落といった数ミリの損傷を調査するため、点群データを高精度化する

これらの要求を満たす方法として、計測実施者が各々のローカルな計算資源を用いることで分散的に被災建物の点群データを規格化（調査対象ごとの分割、データサイズ削減、高精度化）し、それをサーバにアップロード、調査員はサーバで保守管理されている点群データを調査する方法を考えた。イメージ図を図 4 に示す。

本章では、膨大な計測データに対する分散処理手法、および計測実施者が行う規格化処理について解説する。

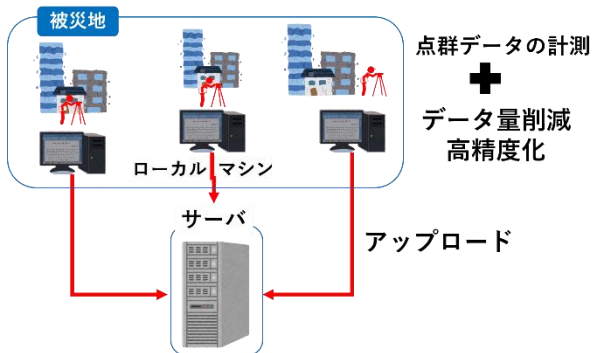


図 4 計測者ごとに処理を分散する手法のイメージ図

4.2 ブラウザ利用による分散処理

4.1 項で述べたように、本システムではネットワーク上で大規模な点群データを短期間に処理することが求められる。

ネットワーク上で三次元点群データを表示し、様々な処理を行うシステムとして Potree [4]などが挙げられるが、Potree のように点群をサーバで集約的に処理する仕組みでは、大震災に対応するために超大規模なサーバ設営が必要となり現実的ではない。そのため、処理をシステム利用者ごとに分散する仕組みが必要になる。

そこで我々は、Web ブラウザを用いた処理システムを提案する。開発言語には JavaScript を利用する。

JavaScript は、主に Web 開発で用いられるプログラミング言語で、実行環境が多様であることが特徴として挙げられる。GoogleChrome や MicrosoftEdge など、主要なブラウザで動作し、ブラウザをインストールしたローカルデバイスで処理を実行できる。更に、Node.js という環境によりサーバサイドの処理もローカル処理と同じシステム内で実行することが可能である。つまり、サーバから逐次処理内容をブラウザに提供し、処理自体はブラウザが実行することで、システム利用者が各々自身のローカルな計算資源を用いて処理を実行する分散処理が実現され、サーバの性能に依存せず大規模な処理が行える。

JavaScript はインタプリタ言語なため、C 言語のようなコンパイラ言語と比べ処理が遅く、大規模な処理を実装するには不向きという懸念もあるかもしれない。しかし、GoogleChrome、MicrosoftEdge、Node.js は V8 [5] という JavaScript エンジンが導入されており、JavaScript でコンパイルするため、C 言語などと同等の高速な処理が行える。したがって、大規模な計算処理においても問題なく動作すると考えている。

また、デスクトップアプリケーションと異なり、ブラウザからシステムにアクセスする度に最新の環境が提供されるため、利用者側がバージョン管理などの環境統一を気にせずに済むという利点もある。

4.3 計測データの規格化処理

TLS の計測データをそのまま損傷調査に利用するには、データが建物ごとに分かれていない点、データサイズが非常に大きい点、誤差が含まれる点など、様々な問題がある。そのため、以下の処理を規格化処理として行う必要がある。

- ・計測データから建物ごとに切り分ける処理
- ・建物データから壁面を抽出する処理
- ・データ量削減と誤差軽減を行う統計的処理

しかし現在、これらの規格化処理は、点群専用のビューワーを用いた手作業で行われています。これには、時間がかかる点、大規模点群をビューワーで描画するために高いデバイス性能が必要な点、作業員によって処理の基準が異なる点が問題となる。

そこで、規格化処理を自動的に行うシステムを導入する。

これにより、処理の高速化、ビューワーによる描画を介さない処理、基準の統一を図る。

4.4 計測データから調査対象を抽出

4.1 項、4.3 項で述べたように、本システムでは計測データを入力として、自動的に建物を抽出し、単一の建物のみが含まれた点群データを出力することが求められる。そこで、基盤地図情報 [6] を用いて建物領域を特定し、計測データから自動的に領域内の点のみを抽出する。

基盤地図情報は、国土地理院が基準として整備している地理情報であり、xml 形式で海岸線や標高点、道路線などの 13 項目が定められている。建物抽出処理には、その中の建築物の外周線を利用する。

建物の外周線が定義されている xml ファイルを図に示す。図の赤枠部分のように、外周線情報は幅・奥行き方向の二次元座標の集合として表現されている。それぞれの座標を直線で繋ぐと図ようになる。

つまり、建物の外周線は多角形として捉えることが可能なため、点の多角形に対する内外判定により、計測データの点をそれぞれ建物内か建物外かで選別することができる。内外判定には Crossing Number Algorithm を利用した。

この際、建物の外周線に高さ方向が存在しないことで、高さの内外判定が行えないが、現実に建物の上に別の建物が存在するようなことは殆どあり得ないため、高さは無視して内外判定を行うこととする。

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<Bld gml:id="K18_4702512090_2">
  <fid>47025-12090-s-13692</fid>
  <lfSpanFr gml:id="K18_4702512090_2-1">
    <gml:timePosition>2021-12-22</gml:timePosition>
  </lfSpanFr>
  <devDate gml:id="K18_4702512090_2-2">
    <gml:timePosition>2022-09-07</gml:timePosition>
  </devDate>
  <orgGLvl>2500</orgGLvl>
  <loc>
    <gml:Curve gml:id="K18_4702512090_2-g" srsName="fguid:jgd2011.b">
      <gml:segments>
        <gml:LineStringSegment>
          <gml:posList>
            33.583381917 130.625000000
            33.583380750 130.625007808
            33.583344583 130.625000000
          </gml:posList>
        </gml:LineStringSegment>
      </gml:segments>
    </gml:Curve>
  </loc>
  <type>普通建物</type>
</Bld>
```

図 5 建物の外周線の xml ファイル

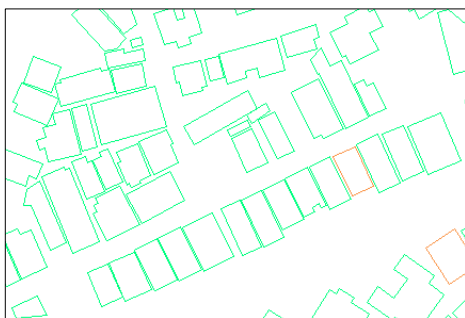


図 6 建物の外周線情報

4.5 点群データから建物壁面を抽出

損傷調査では、建物全体の損傷率を割り出すため、建物の主要部位ごとに調査を行い、それぞれ損傷を確認する。そのため、前項で切り出した建物の点群データを更に壁面ごとに細分化したいという要求がある。

ただし、TLS の計測地点ごとの微妙な誤差やレーザーの照射角度により、点群データが実際の建物よりも傾いて計測されることがある。したがって、損傷調査へ利用するために切り抜いた壁面の向きを統一することが求められる。

そこで、建物の三次元点群データを入力として、建物壁面の点のみを取り出し、その壁面が幅・高さ平面と並行になるように回転を行う。

すべての壁面の向きが幅・高さ平面と並行に統一されたことにより、壁面の凹凸を単純な奥行き方向の変位量として捉えられるようになった。本研究の建物損傷調査で対象とするコンクリート造建物は壁面が単一の平面で構成されることが多い。つまり、壁面の凹凸=損傷となるため、点群の奥行き座標で色分けし、損傷を可視化することに利用できる。

また、4.6 項にて後述する点群データの高精度化処理において、どの壁面であっても一律、奥行き座標に対して実行できるようになる。

建物の三次元点群データから壁面を抽出する処理は、三次元点群データから平面を推定するアルゴリズムである RANSAC [7] [8] を用いて実装する。

本研究で調査対象とするコンクリート造建物は比較的単純な構造をしていることもあり、入力データ（建物抽出処理を行った計測データ）は、高々 3 つの壁面を持っている。

したがって、今回は RANSAC で得られた候補の内、上位 3 つを壁面として抽出する。この際、地面や屋上側の面が抽出されることを防ぐため、RANSAC にて平面方程式が得られた段階で、その平面が地面と水平に近ければ排除することとした。また、推定された平面の内、2 位~3 位の平面は、1 位の平面の近傍点数に対して極端に近傍点数が少ない場合、壁面ではないとみなし除外する。

壁面の回転は、RANSAC で得られる平面方程式と幅・高さ平面のなす角を求め、その値だけ点群に三次元空間上の回転座標変換を行う。

4.6 点群データの高精度化処理

TLS の計測データには、約 5 mm 程度の計測誤差が含まれるが、損傷調査では浮きや剥落といった微小な損傷を確認しなければならないため、1 mm 単位の精度が要求される。したがって、点群データの高精度化処理が求められる。

更に、損傷調査では膨大な点群データが処理され、それらを管理・保存するため、なるべくデータ量を削減したいという要求がある。

そこで、点群データの高精度化手法として我々が研究している点群の統計的性質による点の座標の真値推定を利用

した [9].

まず, 4.5 項で抽出と回転を行った建物壁面の点群を入力とする.

次に, 図 7(a)に示すように, 壁面点群を一边 1 cm 程度の正方形にメッシュ分割する.

そして, メッシュごとにその内部に含まれる点の座標値を平均化し, 代表点をとる (図 7(b)). この際, 壁面が幅・高さ平面と並行になっており, 壁面の形状を奥行きの変位量で表現できているため, 点群に必要な座標は奥行き座標のみである. したがって, 計測データから奥行き座標のみを平均化し, 幅・高さ座標はそれぞれメッシュの中央になるよう新たに設定する.

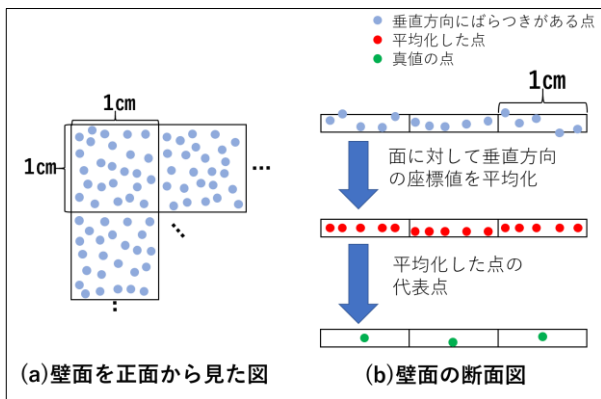


図 7 統計処理による真値推定のイメージ図

この統計処理により, 大数の法則から, メッシュ内の点数を n とした場合の誤差は $\frac{1}{\sqrt{n}}$ に軽減される. また, 平均化によりメッシュ内の点数が $\frac{1}{n}$ になるため, データ量軽減にも寄与する. 図 7 の例だと, メッシュごとに 25 点存在するため, 誤差は $\frac{1}{5}$, データ量は $\frac{1}{25}$ に軽減される.

5. 提案システムの評価

4 章にて提案した Web ブラウザ上で稼働する計測データの規格化処理システムを実装する. また, コンクリート造建物群の計測データを入力としてシステムの動作確認, 及び評価を行う.

動作確認の環境情報を表 1 に示す.

表 1 動作確認の環境

CPU	メモリ	ブラウザ
Intel(R) Core(TM) i5-2500	16GB	Google Chrome

また, 国立大学法人九州工業大学飯塚キャンパスを対象として, それぞれ異なる計測点から取得した 8 つの計測データを用いて動作確認を行った.

点群データの詳細を表 2 と図 8 に示す. 数字がそれぞれの計測地点の位置を表している. 調査対象とした建物は図の赤枠で囲まれている飯塚キャンパスの講義棟である.

また, 計測には FARO Focus Premium 350 を使用した.

表 2 動作確認に使用した点群データの情報

計測地点	点数	データ量	備考
1	159,353,166	4.39GB	色情報, スカラー値 なし
2	94,686,553	2.65GB	
3	42,505,173	1.16GB	
4	30,853,217	0.87GB	
5	33,653,133	0.95GB	
6	95,657,785	2.64GB	
7	97,445,153	2.66GB	
8	94,655,650	2.5GB	
合計	648,809,830	17.82	

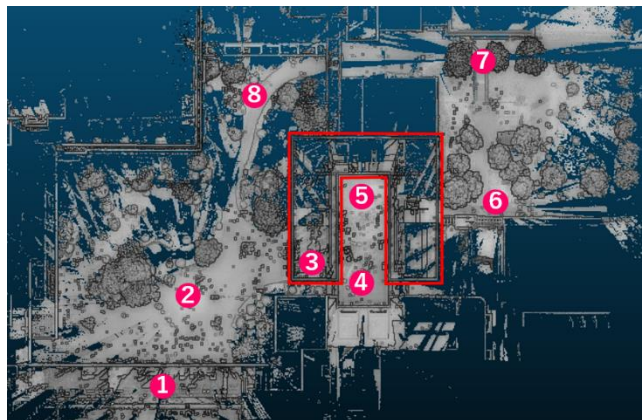


図 8 飯塚キャンパスの点群データを真上から見た図

5.1 建物抽出処理の動作確認

8 つの計測データに対し建物抽出処理を行い, 得られた結果に赤く色を付けた. 抽出された建物の点群データと計測データを重ねて表示した図を図 9 に示す.

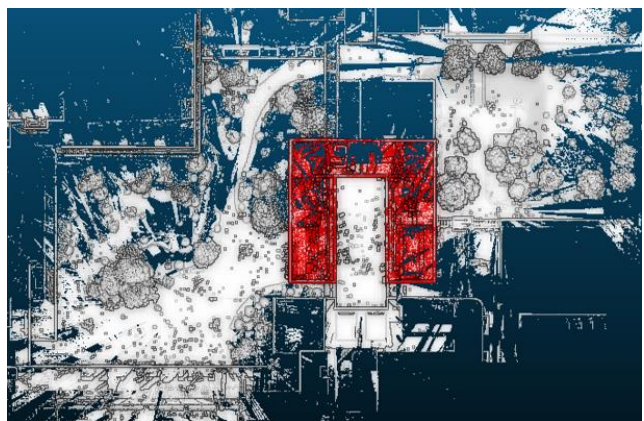


図 9 建物の点群データと計測データの比較

これにより, 図 8 にて示した調査対象である講義棟部分が正しく切り抜かれていることが分かる.

5.2 壁面抽出処理の動作確認

建物抽出済の計測地点 7 のデータに対して RANSAC による壁面抽出を行う. 計測地点 7 の点群データを図 10 に示す. 壁面抽出処理の結果, 図 10 に示した面 1, 面 2, 面 3 の順に壁面が推定された. それぞれを図 11 に示す. ただ

し、面3に関しては、点数が80133点と面1の2242427点と比較して極端に低く3割を下回ったため、壁面抽出の結果からは除外されている。

それぞれの面を図10と比較すると、面1が建物右側の面、面2が左側の面といったようにそれぞれ正しく抽出できていることが分かる。

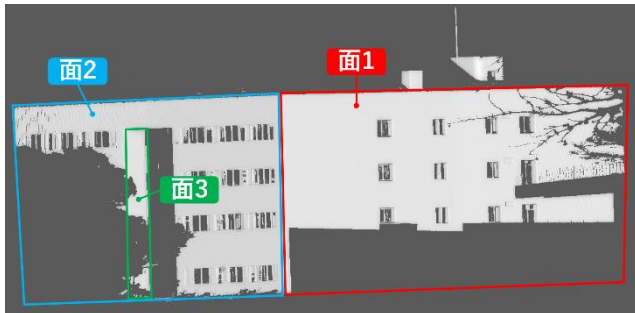


図10 計測値7の建物点群データ

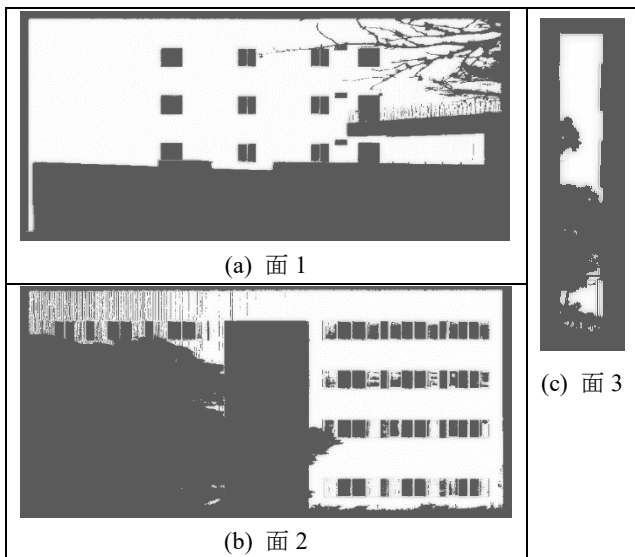


図11 推定された壁面

5.3 壁面方向の統一および高精度化処理の評価

続いて、壁面の方向を統一し、高精度化処理を施す。メッシュサイズは50×50mmに設定した。

本項では、得られた点群について(1)高精度化処理後の点群の定性的評価、(2)高精度化によるデータ量削減の結果、(3)壁面方向統一の評価、(4)誤差軽減の結果を示す。

5.3.1 高精度化処理後の点群の定性的評価

高精度化処理を行った点群データが十分に建物の表面形状を表現できていて、損傷調査に利用できるか評価する。

評価方法として、同じ壁面を対象として計測した2つの点群データを比較する。同じ壁面を計測しているため、理論上同じ座標データが得られるはずである。したがって、高精度化処理を行った2つの点群データの座標に同じ特徴が見られたなら、壁面の表面形状を十分に表現できていると見なせる。

今回は、図12に示す面4を対象として評価を行う。計測地点4と5から取得した点群データに対して壁面抽出まで行った所、両方とも面4が抽出されたため、それら2つ

の点群を評価用データとした。

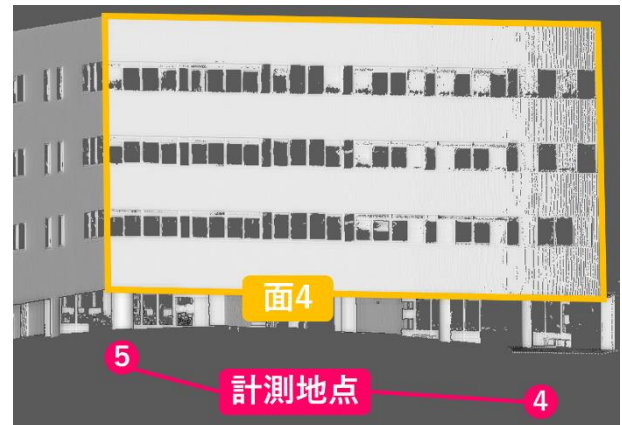


図12 評価対象の壁面と計測地点

高精度化された2つの点群に対し、壁面の奥行き方向の座標で色分けを行い、その一部を拡大した図をに示す。

(a)と(b)の壁面全体を比較して見ると、奥行き方向、つまり建物の凹凸に似通った特徴があることが分かる。また、赤枠部分を拡大した図を比較すると、異なる計測地点の点群データに同じ特徴が現れていた。したがって、高精度化された三次元点群データは十分に建物の表面形状を表せていると判断できる。

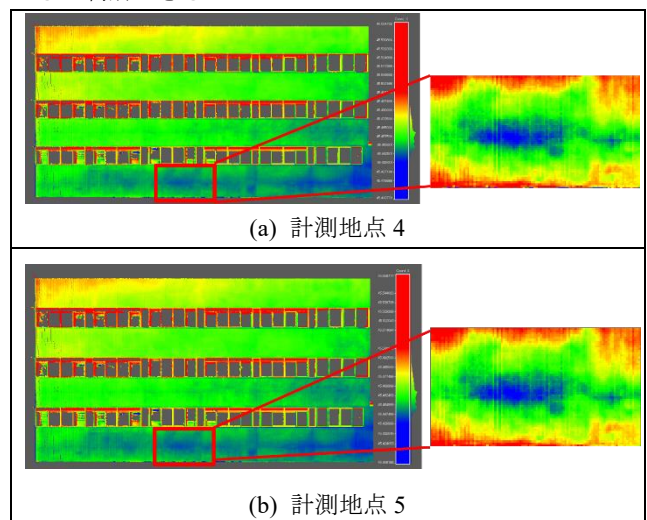


図13 高精度化された点群を奥行き座標で色分けした図

5.3.2 高精度化によるデータ量削減の結果

高精度化処理の前後でどの程度データ量が削減されたかを比較する。表3に計測地点4の面4の点数が高精度化処理でどう変化したかを示す。表から、高精度化前後で点数が約279万点から14万点に減っていて、おおよそ95%の点を削減できていることが分かった。また、点群の座標情報を記述したファイルのデータ量も、93%程度削減することができた。したがって、高精度化処理により建物の形状情報を保持したまま、大幅にデータ量が削減できるようになった。

表 3 高精度化前後での点数の変化

	点数	データ量[MB]
高精度化前	2,789,418	76.9
高精度化後	136,328	5.4

5.3.3 壁面方向統一の評価

壁面方向の統一により、どの程度三次元点群データの壁面のずれが改善されたかを評価を行う。

評価方法として同じ壁面を対象として計測した2つの点群データの差分を計算する。2つの点群データは同じ壁面を計測しているため、理論上壁面垂直方向の差分が0となるはずである。逆説的に言えば、差分の値がそのまま計測誤差によるずれであると見なせる。

評価対象には、計測地点4と5から取得した面4の点群データを用いる。

まず、方向統一前の点群データの壁面垂直方向の差分を取り、その値で色分けを行ったものを図に示す。色分けは、-0.06mから0.06mの範囲で青>緑>黄>赤に変化するよう設定している。図のカラースケールから0.045m付近をピークとして、殆どの点が0.03mから0.06mのずれが生じていることが分かった。色の分布も併せて見ると一方の点群データは明らかに壁面左側が奥に傾いた形で計測されていると判断できる。

次に、方向統一を行った2点群の差分を図に示す。図のカラースケールから、-0.007m付近をピークとして0mに近い範囲に分布している。統一前と比較するとずれが0.11倍まで縮減できていることが確認できた。

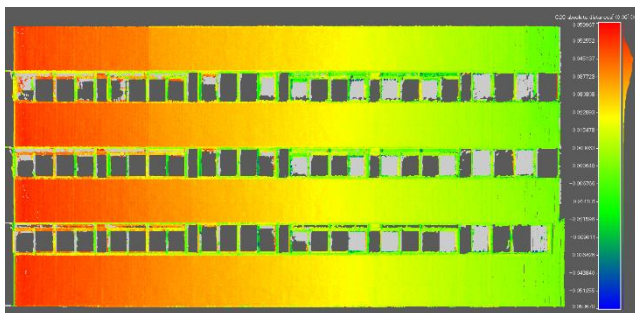


図 14 壁面方向統一前の差分

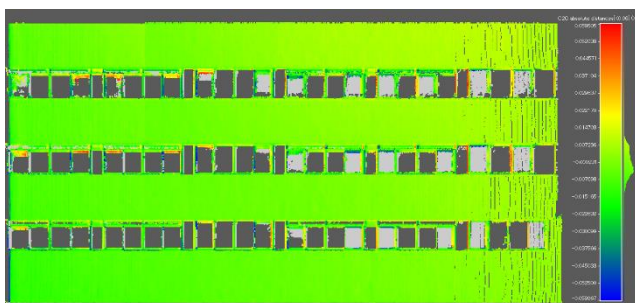


図 15 壁面方向統一後の差分

5.3.4 誤差軽減の結果

計測地点4-面4の点群を例に高精度化によってどの程度誤差が軽減されたかを確認する。

まず、計測地点4-面4の点群を図に示す。高精度化処理

で平均を取る際に用いた点の数(=メッシュ内の点数)によって色分けを行っている。また、点数の分布のヒストグラムを図にその代表値を表に示す。

図から、壁面の右下から左上にかけて点数が少なくなっていることが分かる。計測地点4が壁面右下にあり、TLSから近い位置の壁面はより多くの点を計測できたため、このように点数が分布している。今回は、このようなデータを用いたが、本来は点の密度が均一になるように計測されることを想定している。

また、代表値から誤差は平均的に $\frac{1}{\sqrt{20.46}} \approx 0.22$ 倍に縮減されていることが分かった。点の密度差が大きく平均値への影響が懸念されるが、少なくとも最頻値的に $\frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0.57$ 程度には建物全体の誤差軽減ができていていると考えている。

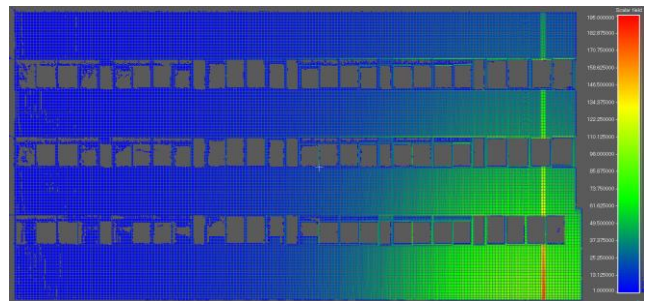


図 16 メッシュ内の点数で色分けした壁面

表 4 メッシュ内の点数の代表値

代表値	点数
平均値	20.46
最頻値	3
最小値	1
最大値	195

5.4 処理時間

提案システムに計測データを入力し、結果として壁面が出力されるまでにかかる時間を計測する。シングルスレッドで処理した場合と、4スレッドの並列処理を行った場合に比べて計測を行った。

処理(作業)内容は、(1)ファイルの読み込み、(2)評価対象建物の抽出、(3)壁面抽出、(4)高精度化処理に細分化し、それぞれの時間を計測した。結果を表5に示す。

表 5 点群規格化の処理時間の比較

	提案システム	
	1スレッド	4スレッド
読み込み	20分3秒	5分44秒
建物抽出	2分12秒	53秒
壁面抽出	1時間57分21秒	45分15秒
高精度化	7秒	2秒
合計	2時間17分44秒	51分54秒

技術者にこのような三次元点群データの処理作業を依

頼した場合、一般的に2週間程度の時間が要求される。

我々の提案システムは、2時間強という短時間でその作業が行うことができた。また、システムは常時稼働させることができるため、高効率に処理を実行できる。

したがって、提案システムは現行の点群処理法と比較して超高速に点群データの規格化および評価が行える。

5.5 提案システム全体を通してのデータ量の推移

提案システムにより、計測データのデータ量がどの程度削減されたかを確認する。三次元点群の点数とデータ量の推移を表6に示す。

表6 点群データのデータ量の推移

	点数	データ量[GB]
計測データ	648,809,830	17.8
建物抽出後	90,309,957	1.54
壁面抽出後	32,440,631	0.896
高精度化処理後	1,463,548	0.058

表から、各処理によってデータ量が大幅に小さくなっていることが分かる。したがって、提案システムにより、損傷調査に十分な精度を確保しつつ三次元点群データのデータ量を縮減できるようになった。また、建物単位にデータが区切られることで、管理が容易になる。

6. まとめ

本研究では、TLSで計測されたコンクリート造建物の三次元点群データを自動的に損傷調査に適した形に規格化する方法を示した。また、それらの処理を計測実施者ごとに分散処理させるシステムを提案し、評価を行った。

提案システムにより、TLSの計測データに対し「評価対象の建物のみを抽出」「建物の壁面を推定し、向きが同じになるように回転」「真値推定による高精度化」の3つを自動的に実施できることを確認した。また、結果として得られた壁面の点群が損傷評価に有効に利用できることを示した。更に、提案システムが従来の方法と比較して高速に計測データを損傷調査に適した形に規格化できることを示した。

謝辞

検証のために、レーザースキャナで計測を実施していただいたクモノスコーポレーション株式会社の諸氏に感謝いたします。

参考文献

- [1] 内閣府, “災害に係る住家の被害認定基準運用指針,”
https://www.bousai.go.jp/taisaku/pdf/r303shishin_all.pdf.
- [2] 熊本県危機管理防災課, “熊本地震等に係る被害状況について,”
<https://www.pref.kumamoto.jp/soshiki/4/51503.html>.
(参照 2023-02-17)

- [3] 平河, 曾, 荒木, 碓崎, 向井, 石井, “大地震により損傷した鉄筋コンクリート造建築物の三次元点群データによる壁面損傷性状評価手法に関する研究”,
第26回 GISA 学術研究発表大会, 2017, pp.1-4, B-5-3.
- [4] M.Schuetz, “Potree: Rendering Large Point Clouds in Web Browsers”, Master Thesis, 2016,
the Vienna University of Technology.
- [5] Google, “V8 Project,”
<https://v8.dev/>, (参照 2023-02-17).
- [6] 国土地理院, “基盤地図情報サイト,”
<http://www.gsi.go.jp/kiban>, (参照 2023-02-17).
- [7] M. A. Fischler, R. C. Bolles, “Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography”,
Communications of the ACM, 1981,
vol. 24, no. 6, pp. 381–395.
- [8] R.Raguram, O.Chum, M.Pollefeys, J.Matas, and J.Frahm,
“Usac: A universal framework for random sample consensus”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence(PAMI), 2013.
- [9] 碓崎, 向井, 荒木, “高密度計測による計測値の真値推定と二時期の計測データの差分算出による高精度三次元レーザー計測法”, 日本建築学会技術報告集, 2022, 28巻, 68号, pp.515-520.