

多視点画像から復元した 3 次元形状に基づく建築物の倒壊判定法 A Method to Investigate Damage of Building Based on 3D Shape Reconstructed from Multiple Viewpoint Images

武田 隆雅[†] 小林 洸陽[†] 宍戸 英彦[‡] 亀田 能成[‡] 北原 格[‡]
Takamasa Takeda Koyo Kobayashi Hidehiko Shishido Yoshinari Kameda Itaru Kitahara

1. はじめに

大地震のような大規模災害が発生時には、被災状況の迅速な把握が重要となる。全半壊家屋数は、災害対策を策定するために必要な情報の一つであるが、従来行われている震度分布に基づく判定法では、全半壊の推定精度は数百～数千件単位にとどまっている[1]。ドローンを用いて撮影した多視点空撮画像から撮影空間の 3 次元形状復元することで、被災状況把握の精度向上を目指す研究に注目が集まっている[2]。建築物の 3 次元形状を観察に基づいたクラウドソーシング判定処理によって、直感的かつ迅速な倒壊判定を可能としているが、大規模災害時における処理時間や人的リソースの問題は以前存在している。本研究では、多視点空撮画像から復元された 3 次元点群に基づいた倒壊判定システムの構築により上述した問題の解決を試みる。

倒壊判定の基準は、内閣府が定義した建物被害における全壊の定義に従う[3]。図 1 に示すように、D5+は建築物全体がほぼ形を残らない倒壊状況を表し、最も被害が大きい。D5-は 1 階が潰れ、内部空間が大きく欠損する状態を表す。D4 は建築物が傾く程度の倒壊状況を表し、D3 以降は建築物内部の破損で分類されている。本研究では、建築物の 3 次元形状が変化する D4 以上の被害分類を倒壊判定対象とし、D4 未満、D4、D5 の三つの倒壊状況を分類する 2 種類の倒壊判定法を提案し、T 検定を用いてその有効性を検証する。

D4	(2階倒壊型) U44	(1階倒壊型) G44	(2階倒壊型) G44	(1階倒壊型) G44	(1階倒壊型) S44	柱・梁の破損 (内部空間の欠損)
D5-	(2階の崩落) U45-	(1階も被害大) U45+	(1階の崩落) G45-	(2階も被害大) G45+	(1階倒壊型) S45-	内部空間の 著しい欠損
D5+	(屋根の崩壊) D45-	(瓦葺化) D45+	2階の屋根が接地 完全に瓦礫化			

図 1 建築物被害における全壊の定義 (抜粋) [3]

2. 3 次元形状に基づく建築物の倒壊判定法

図 2 に示すように、発災前後の建築物の多視点画像を撮影し 3 次元形状を復元する。それらの 3 次元形状の定量的な比較に基づいた建築物の倒壊状況判定法について述べる。ここでは倒壊判定法として、最近傍距離平均法と空間オーバーラップ法を提案する。多視点画像から 3 次元形状を復

元は、多視点画像間の対応点情報に基づいてその 3 次元位置と撮影カメラのパラメータを同時に推定する Structure from Motion (SfM) [4]によって行う。SfM で生成したカメラパラメータと 3 次元点群にパッチベースの多眼ステレオ処理 (Patch-based Multi-view Stereo Software (PMVS) [5]) を適用し、密な 3 次元点群を生成する。

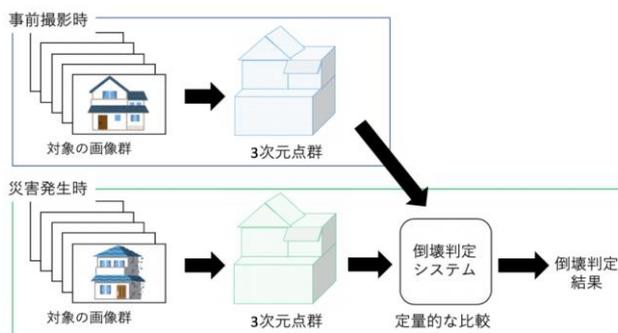


図 2 建築物の倒壊判定システムの流れ

2.1 最近傍距離平均に基づく倒壊判定

発災前後の建築物は、倒壊被害が激しくなるにつれ壁や屋根の位置・角度などの見かけが大きく変化することから、発災前後の 3 次元点群の平均距離を比較することで倒壊状況を判定する。

比較するためには発災前後の 3 次元点群を重ね合わせる必要がある。SfM によって生成される 3 次元点群の座標系は、対応点の 3 次元分布に基づいて設定されるため、撮影毎に原点や各軸の方向が変化する。異なる撮影画像から復元された 3 次元点群に対して統一的な座標系を設定するために、多視点画像撮影時にマーカー 4 点も撮影し、その対応関係から、発災前後の 3 次元点群間の剛体変換とスケール値を求める。

図 3 に、発災前の 3 次元点群を黄色で、発災後の 3 次元点群を青色で表す。発災後の 3 次元点群の任意の点に対して、発災前の最近傍点 (発災前の 3 次元点群中で最もユークリッド距離が短い点) を探索し、探索の結果得られた 2 点間の距離を算出する。同様の処理を全ての 3 次元点群に対して行い、その平均値を計算する。最近傍距離平均が大きいほど発災前よりも建築物の形状が変化し、最近傍距離平均が小さいほど建築物が小さく倒壊していることから、最近傍距離平均値の閾値処理によって建築物の倒壊判別を実現する。

[†] 筑波大学 大学院システム情報工学研究科

University of Tsukuba

[‡] 筑波大学 計算科学研究センター

Center for Computational Science

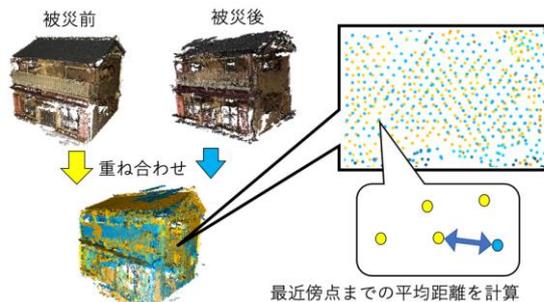


図3 最近傍距離平均に基づく倒壊判定

ない。ペーパークラフトをマーカのついた台紙の上に設置し、マーカを手がかりとして3次元点群間のスケールと剛体変換を算出した。



図5 ペーパークラフトを用いた倒壊具合の再現

2.2 空間オーバーラップに基づく倒壊判定

発災前後における建築物は、前節で述べた倒壊の特徴に加え、内部空間の形状変化がする性質がある。本節では、内部空間のオーバーラップ率を求めることにより倒壊状況を判定する手法について述べる。多視点画像から復元された3次元点群は、建築物表面の形状情報であるため、建築物の内部は空洞である。本手法ではボクセルデータを用いて内部の3次元形状を表現する。

3次元空間を格子状に分割したボクセルデータを生成する。この時、ボクセルを生成する範囲は復元された建築物を包含する領域(直方体)とする。3次元点群に対応するボクセルの最近傍点を探索し、建築物の外面ボクセルを決定する。任意のボクセルに対してx,y軸の正負方向とz軸の正方向に外面ボクセルが存在するか探索し、5方向全てに外面ボクセルが確認された場合は、そのボクセルを内部ボクセルと定める。なお、z軸の負の方向は、建築物の底面が撮影画像群として復元されないため探索を行わない。生成した外面ボクセルと内部ボクセルを図4に示す。図中のボクセルは視認性を高めるため、地面からの高さによって色相を変化させている。発災前の各内部ボクセルに対して、発災後も存在が確認されたボクセル数を発災前の全内部ボクセルで割ることで建築物の内部空間のオーバーラップ率を算出する。

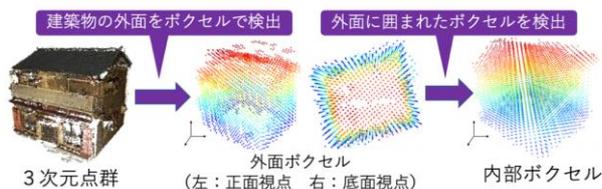


図4 空間オーバーラップ法を用いた倒壊判定

3. 倒壊判定処理の検証実験

3.1 実験環境

本研究の撮影対象は、家屋等の建築物であるが、同一の建築物の非倒壊時と倒壊時の多視点画像を撮影し、各々の3次元形状を復元することは難しい。そこで、本実験では図5のようにペーパークラフトを用いて同じ建築物の三つの被害分類(倒壊なし、D4、D5)の倒壊形状を再現し、多視点画像を撮影した。倒壊が激しい場合には、建築物周辺にがれきが発生するが、判定時には建築物の3次元形状データを切り取って利用するため、本実験では再現してい

3.2 倒壊判定処理の検証

三つの被害分類の判定結果間の有意差を検証し、提案手法の有効性を確認する。ペーパークラフトを用いた各被害分類のモデルを各々20回撮影し、そこから3次元形状データセットを復元する。最近傍距離平均法及び空間オーバーラップ法を用いた倒壊判定を行い、各判定結果から「倒壊なしとD4」、「D4とD5」についてT検定を実施した。算出されたp値の結果を以下の表に示す。全ての場合において、有意水準5%の有意差が確認されたことから、最近傍距離平均法及び空間オーバーラップ法を用いて生成したデータは倒壊判定に有効なデータであることが確認された。

表1 検定の結果

	「倒壊なし」と「D4」	「D4」と「D5」
最近傍距離平均法	$6.97 \times 10^{-8}\%$	$4.57 \times 10^{-1}\%$
空間オーバーラップ法	$7.95 \times 10^{-2}\%$	$6.31 \times 10^{-2}\%$

4. まとめ

本稿では、多視点画像から復元した3次元形状から最近傍距離平均値と空間オーバーラップ率を算出することにより、建築物の倒壊を判定する手法を提案した。判定結果の有効性をT検定を用いて検証した。本研究はJST、CREST JPMJCR16E3の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 内閣府 防災対策実行会議(第2回)資料3”災害情報の収集と分析について”
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/jikkoukaigi/02/>
- [2] 小林洸陽, 亀田能成, 宋戸英彦, 北原格, ”3次元画像処理とクラウドソーシングによる被災状況マップ生成法” 信学技報, vol. 118, no. 502, MVE2018-60, pp. 37-42, 2019年3月.
- [3] 内閣府 首都直下地震対策専門調査会(第8回)参考資料2”東海地震及び東南海・南海地震に係る被害想定法について”
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/shutochokkajishin-senmon/8/>
- [4] C. Wu, "Towards Linear-Time Incremental Structure from Motion", Proceedings of the 2013 International Conference on 3D Vision pp.127-134 2013
- [5] Patch-based Multi-view Stereo Software (PMVS-Version2)
<https://www.di.ens.fr/pmvs/>