

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Spatial Roughness Learning with Neural Networks for Collapsed Building Detection Using Post-Earthquake 3D Point Clouds
著者(和文)	修浩毅
Author(English)	Haoyi Xiu
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12484号, 授与年月日:2023年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:松岡 昌志,山中 浩明,浅輪 貴史,藤田 康仁,大風 翼
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12484号, Conferred date:2023/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第 号			学位申請者氏名		修 浩毅	
論文審査 審 査 員		氏 名	職 名		氏 名	職 名	
	主査	松岡 昌志	教授	審査員	大風 翼	准教授	
	審査員	山中 浩明	教授				
		浅輪 貴史	准教授				
		藤田 康仁	准教授				

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は、「Spatial Roughness Learning with Neural Networks for Collapsed Building Detection Using Post-Earthquake 3D Point Clouds」と題し、以下の 5 章により構成されている。

第 1 章「Introduction」では、ライダー点群データを用いた深層学習に基づく倒壊建物の検出について、これまで不十分な点があることを述べた上で、その原因として、1) 学習および評価に適した点群データセットが存在しないために検討ができないこと、2) 深層学習モデルの倒壊建物の検出への適応性について不明なことをあげている。そこで、本研究では、これらの課題を解決すべく、倒壊建物が有する点群データの空間的な特徴をラフネスとして効率よく学習する深層学習モデルを構築し、地震の被災地を観測したライダー点群データに応用してモデルの有効性を検証することを目的としている。

第 2 章「Development of the Mashiki Dataset and Benchmarking」では、2016 年の熊本地震後に益城町を航空機により観測したライダー点群データおよび現地調査記録に基づき、1) 現地調査からの情報抽出、2) 建物の位置情報の調整、3) 建物への被害情報の付与、4) 被害の目視判読、5) 建物のフィルタリングの 5 つのステップからなるワークフローを設計することで、効率よく点群データセットを構築している。そして、構築した点群データセットを用いて、既存の深層学習モデルの性能分析を行っている。その結果、標準的かつ高性能な深層学習モデルとして評価の高い PointNet++は、大きな損傷がみられる倒壊建物を検出できるものの、検出が困難な建物が多くあることを明らかにしている。

第 3 章「Development of Laplacian-Enhanced Neural Network (LE-Net)」では、点群データから建物の損傷の空間的な特徴を効果的に学習する LE-Net を開発している。まず、建物損傷の空間分布を表す指標として離散ラプラシアンにて計算されるラフネスに着目しているが、これは倒壊建物を含むすべての地物の不連続性に等しく反応してしまうため、その問題を回避するために、ラフネスとその分布パターンを選択的に学習するラプラシアンユニットを提案している。そして、ラプラシアンユニットを PointNet++の層構成に追加することで PointNet++を拡張した新たな深層学習モデル (LE-Net) を開発している。

第 4 章「Collapsed Building Detection Using LE-Net」では、倒壊建物の検出について LE-Net の包括的な評価を行っている。まず、益城町の点群データセットを用いて、LE-Net の性能分析を行ったところ、既存の PointNet++より高い精度で倒壊建物を検出できることを明らかにして

いる。また、点群データ密度に対するロバスト性、計算効率および検出精度の点で LE-Net が既存の深層学習モデルと比較して優れていることを明らかにしている。次に、ラフネスとその分布パターンを選択的に学習させた効果について視覚的に分析したところ、LE-Net は複数の損傷箇所を正しく特定し、損傷箇所が混在する場合に倒壊建物として検出できることを示す一方で、損傷が局所的な場合には倒壊建物と分類することが難しいという限界も示している。そして、LE-Net からの倒壊建物検出の実利用シナリオを想定し、学習および検証に用いていない地区の点群データに適用して、LE-Net の汎用性も確認している。さらに、2010 年のハイチ地震後のポルトープランスにて取得した点群データに LE-Net を適用した。その結果、ポルトープランスの建物は構造や倒壊パターンが益城町とは異なるために検出精度が低くなるものの、PointNet++と比較して優れた適応性と移植性を持つことを明らかにしている。

第 5 章「Conclusions」では、本研究で得られた成果の総括と LE-Net の適用範囲について示し、今後の課題について述べている。

以上を要するに、本論文は、地震の被災地を観測した点群データのみから倒壊建物を検出する手法の開発のために、倒壊建物およびそれ以外の地物の点群データセットを構築し、損傷の空間的な特徴を効率的に学習する深層学習モデルを提案しており、既存の深層学習モデルと比較して、検出性能や適応性および移植性が優れていることを明らかにしている。これらの成果がもたらす地震工学や防災分野への貢献は大きい。よって、本論文は、博士（学術）の学位論文として十分価値があるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」