

航空写真判読による2016年熊本地震における 本震前の応急危険度判定調査の有効性に関する基礎的検討

Effectiveness of Rapid Safety Assessment of Buildings after Foreshock of the 2016 Kumamoto Earthquake using Aerial Photographs

上岡 洋平¹, 田中 聡¹, 阿部 郁男¹

Yohei UEOKA¹, Satoshi TANAKA¹ and Ikuo ABE¹

¹ 常葉大学大学院 環境防災研究科

Graduate School of Environment and Disaster Research, Tokoha University

This paper presents a study on effectiveness of rapid safety assessment of buildings after the foreshock of the 2016 Kumamoto earthquake using aerial photographs. The 2016 Kumamoto earthquakes are a series of earthquakes, including a Mw7.0 mainshock and a Mw6.2 foreshock earthquake. Since these two earthquakes occurred within 28 hours, the rapid safety assessment could not be carried out after foreshock. In this study, utilizing aerial photographs, the building damage situation after the foreshock is estimated as accurate as possible. Based on the estimated damage situation, the rapid safety assessment is carried out and the effectiveness of the assessment is evaluated.

Keywords: the 2016 Kumamoto earthquake, aerial photographs, building damage, rapid safety assessment

1. はじめに

2016年4月14日21時26分に熊本県熊本地方を震源とするMw6.2の地震が発生した(以下, 前震)。さらに, 28時間後の4月16日1時25分には熊本県熊本地方を震源とするMw7.0の地震が発生した(以下, 本震)。さらに引き続いて, M6クラスの地震が複数回発生しており, 気象庁はこれら一連の地震を, 平成28年(2016年)熊本地震と命名した。

この震災の特徴の一つとして, 同じ地域で短時間に震度7を2回観測したことである。これら震度7を2回観測した熊本県上益城郡益城町(以下, 益城町)では多数の建物が崩壊し, 建物崩壊による死者は20名にのぼる。この震災では, 前震において比較的軽微な損傷であったと考えられる建物が, 本震によって倒壊したという事例が数多くあると言われている。実際, 著者らの現地調査においても, 多くの住民から前震ではまだ住居可能であると思われていた住宅が本震で倒壊したとの証言も得た。また, 前震のあと, いったんは建物外に避難していた人が, 夜になって自宅に戻り, 本震によって建物が崩壊し, 死傷者が発生した事例も報告されている¹⁾。

災害発生後の建物の安全性を評価するしくみとして, 応急危険度判定調査²⁾がある。この調査は, 余震等による建物倒壊や落下物などからの二次災害の防止を目的として, 訓練を受けた建築専門家が被災建物を調査し, その安全性を危険(赤), 要注意(黄), 調査済(緑)の3段階で評価し, 建物の使用者や所有者にアドバイスするしくみである。応急危険度判定調査は, 前提として本震より大きな地震が作用した際の安全性を判断するもので

はない。また制度として, 建物の安全性を保証するものではない。しかし建物の専門家でない被災者からみれば, 特に緑判定は, 建物の安全性が専門家によって確認されたと理解される可能性が高い。したがってたとえ2回目の地震が1回目より大きな地震であったとしても, 緑判定の建物が倒壊した場合には, 大きな問題となる可能性がある。実際に2011年2月にニュージーランドで発生したクライストチャーチ地震では³⁾, 前年(2010年)9月に発生した地震の際に緑判定であったCTVビルが倒壊し, 多数の死傷者が発生した。この原因究明のため, カンタベリー地震王立委員会が設置された。結果として建物の設計・施工に不適切な点があったとの結論となったが, 応急危険度判定調査についてもさまざまな改善点が提案されている。

そこで, このような本震クラスの地震がある時間間隔において連続して発生するシナリオに対して, 現行の応急危険度判定調査の有効性や改善点について事前に検討を加えておくことは, 今後の災害対策を考える上で有用であると考えられる。

熊本地震における応急危険度判定調査は⁴⁾, 前震発生の翌日4月15日に熊本県から九州ブロック被災建築物応急危険度判定協議会に派遣要請があった。それを受け, 16日からの派遣に向けて準備を行っていた。しかし, 16日未明に本震が発生し, 余震も多発していたことから, 派遣要請はいったん中止した。このような経緯で, 本震前に応急危険度判定調査は実施されなかった。しかし, もし仮に前震と本震との間に数日間(たとえば10日程度)の時間があれば, 本震発生前に応急危険度判定調査が実施されていた可能性は高い。

そこで本研究では、熊本地震を事例に、本震クラスの地震がある時間間隔において連続して発生するシナリオに対して、現行の応急危険度判定調査の有効性や改善点を検討することを目的とする。具体的には、本震前に応急危険度判定調査が実施されたと仮定し、この判定結果が住民の本震への対応に対して有効に機能したかどうか、すなわち、本震で倒壊した建物が、本震前の応急危険度判定調査においてどのような判定結果であったのかについて分析する。さらに、本震前の応急危険度判定調査で緑判定であったと推定される建物が本震によって倒壊した場合には、このようなシナリオにおける応急危険度判定調査の課題についても検討する。

2. 対象地域およびデータ作成

(1) 本研究の位置づけ

本研究では、まず本震発生前に応急危険度判定調査が実施されたと仮定し、その判定結果を推定する。熊本地震では、前述の通り本震前に応急危険度判定調査は実施されていない。したがって本震前の個々の建物の損傷状況に関する情報は、この間に被災地に入ることができた少数の研究者による断片的な調査記録のみである^{5),6),7),8)}。一方、国土地理院をはじめ各航測会社は、前震発生翌日の4月15日に被災地の航空写真を撮影しており、この写真に多くの建物の損傷状況が記録されている。そこで本研究では、本震発生前に撮影された航空写真の判読から個々の建物の損傷状況に関する情報を得ることを計画した。

このような航空写真や衛星画像を用いた建物被害の目視判読には、いくつかの先行事例がある。たとえば、長谷川らは⁹⁾、阪神淡路大震災による建物被害について、航空写真による目視判読と現地調査と比較し、判読精度を検討した。その結果、全壊・大破、半壊の損傷については判読することが可能であるが、軽微な損傷については判読が困難であると報告されている。また、矢野らは¹⁰⁾、木造建物の被害パターンを用いて、福岡県西方沖地震における玄界島の家屋被害把握を行った。この研究においてもその判読精度は、長谷川らとおおむね同様な傾向が見られると報告されている。

熊本地震においても同様な研究が行われている。たとえば、門馬らは¹¹⁾、熊本地震の震度分布を推定するとともに、前震および本震の建物被害の状況を明らかにし、本震前から本震後にかけての建物被害の変化、計測震度との関係、建築年との関連性について分析を行った。その結果、前震で損傷が認められた建物の多数が本震後に被害が拡大していた。また、旧耐震の建物は新耐震よりも被害が大きいと報告している。また、釜ヶ谷らは¹²⁾、熊本地震において本震前の建物被害について航空写真を用いて被害判読を行い、その結果と本震後の被害との関係について検討した。その結果、門馬らと同様に、前震で被害のあった建物の多数が本震後に被害が拡大していると報告されている。

これら先行研究によって、熊本地震における本震発生前の建物被害状況の全体的な傾向は明らかになったが、個々の建物の判定結果について、応急危険度判定調査との対応関係が明らかではない。さらに斜め航空写真の活用により、外壁損傷の把握などより精度の高い判定が可能と考えられるが、先行研究では判定精度の検討がなされていないなど、本研究での活用には課題が多いことが明らかになった。そこで本研究では、一つの建物の損傷

を複数の斜め航空写真から判読するなど、個々の建物の損傷状況をできるだけ高い精度で判定するとともに、その判定精度を確認した。

(2) 対象地域

本研究では、震度7を2回観測し甚大な被害が発生した益城町を対象地域とした。図1に益城町の対象範囲を示す。対象建物は、杉野らを参考に¹³⁾、国土地理院の基盤地図情報基本項目の建築物を使用し、このデータにおいて普通建物と分類されている建物とした。普通建物とは、3階未満の建物および3階以上の木造等で建築された建物のことである。益城町においては、対象建物の多くが木造住宅と考えられるが、軽量鉄骨造も含まれる可能性がある。このデータは、2015年4月1日に作成されたものであり、この日以降に解体・増設された建物も存在するため、航空写真を用いて、建物の変更が確認された建物は、GIS上で削除・追加を行った。さらに、普通建物と分類されているものには、納屋等も含まれており、航空写真から納屋等と判断できる建物についてもGIS上で削除した。

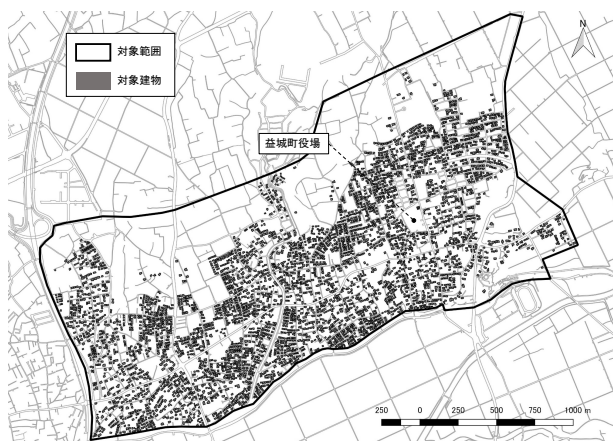


図1 本研究における対象地域

(3) 航空写真データ

熊本地震では、さまざまな機関によって本震前の4月15日から被災地の航空写真が撮影された。本研究では、国土地理院¹⁴⁾、アジア航測(株)¹⁵⁾、(株)パスコ¹⁶⁾の航空写真を利用して被災建物の損傷状況を判読した。航空写真は、建物の側面の被害も確認できる斜め航空写真を利用した。図2に本研究で使用した斜め航空写真の一例を示す。



図2 斜め航空写真の一例¹⁶⁾

これらの航空写真は、被災地の上空を旋回しながら数百枚撮影されており、各写真には撮影方向および撮影し

た位置情報が記されている。そこでこれらの情報をもとに、地図上で建物を一つ一つ同定し、図3のようにひとつの建物の全体が入るサイズで切り出した。一つの建物が複数の写真に写っている場合、同様な手順ですべて切り出し、各建物の複数面の損傷状況をデータベース化した。図3に4方向から確認できる建物の損傷状況の一例を示す。これまでの航空写真判読では、各建物は一つの方向から撮影された写真のみで判読されていたため、判読精度の低下が課題として挙げられていた³⁾。そこで、一つの建物被害を複数の方向から確認することで、1枚だけでは判読できなかった個々の建物の損傷状況が明らかになり、判読精度の向上が期待される。

図4および表1に1棟あたりに使用した航空写真の枚数を示す。対象地域において、1棟あたり4枚の航空写真を切り取ることができたのは全体の約35%、1棟あたりの航空写真が複数枚（2枚以上）であった建物は全体の約90%であった。以上より、本研究で目視判読した建物の9割が、複数方向から撮影された写真を使って実施された。



図3 4方向から見た建物被害の一例^{15), 16)}

表1 使用した斜め航空写真の枚数

航空写真枚数	1枚	2枚	3枚	4枚	合計
建物棟数	464(10)	1739(36)	925(19)	1661(35)	4789(100)

()内は、%表示

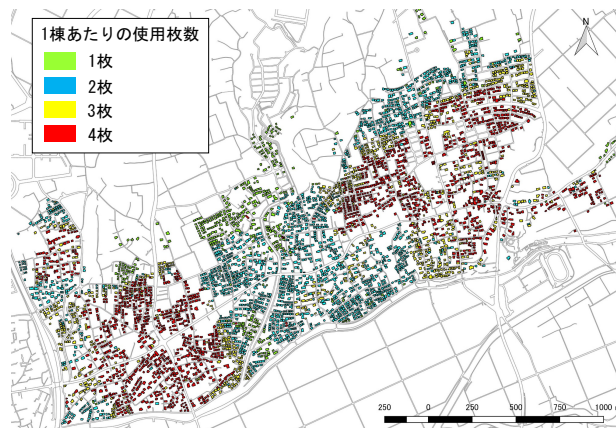


図4 1棟の判読に利用した航空写真の枚数

3. 判読方法および判読基準と判読結果

(1) 判読方法および判読基準

判読基準は、岡田らによる木造建築物の詳細破壊パターン¹⁷⁾（以下、破壊パターン）と応急危険度判定を用いた。この破壊パターンは、被害なしを表すD0から倒壊を表すD5までの6区分（以下、Damage Grade）で分類されており、これまでの先行研究^{9), 10)}においても、航空写真による被害判読に使用されていた。しかし、この破壊パターンは地上から被害把握をする視点で作成されており、航空写真が得意とする屋根の被害パターンが描かれていない。そこで、応急危険度判定の屋根の被害判定基準²⁾を参考に、屋根被害を取り込んだDamage Grade相当の被害チャート（以下、修正Damage Grade）を作成した¹⁸⁾（図5）。岡田らによる破壊パターンでは、屋根の被害はD2の記述しかされていないが、本研究では屋根の被害を2区分にできると考え、D1とD2に分けた。また、航空写真からでは躯体損傷が判断できないため、外壁の一部の剥落被害をD2、外壁が大幅に剥落し、躯体損傷の可能性が

被害区分	破壊パターン	本研究	航空写真の一例	Description
無被害 D0	調査済			航空写真から被害が確認されないもの
一部損壊 D1 D2	要注意			屋根瓦の一部がずれているもの、外壁にヒビが確認されるもの
				屋根瓦が全面的にずれているもの、外壁の一部が剥落しているもの
半壊 D3	危険			外壁が全面的に剥落しているもの
全壊 D4				建物が傾いているもの
倒壊 D5				建物が倒壊しているもの

図5 航空写真判読による被害判読チャート（岡田らによる木造建築物の詳細破壊パターンから一部抜粋¹⁷⁾）

あるものをD3と定義した。さらに応急危険度判定との対応関係もあきらかにした。航空写真判読を実施する際に、屋根がブルーシートで覆われている建物がある。この場合、屋根の一部にブルーシートがかかっているものはD1、屋根全体にブルーシートがかかっていたらD2と判定した。また、植栽や損傷建物で建物全体が見えない写真もある。その場合には、見えている建物部分のみから判読した。

応急危険度判定は、「調査済」、「要注意」、「危険」の3区分である。応急危険度判定は、構造躯体の危険度および落下転倒物の危険度の総合評価であるが、本研究では構造躯体の危険度の評価項目のみを採用した。

目視判読は4名で実施し、1棟あたり2分程度で計4789棟を判読した。1棟ごとに複数面の写真を比較し、その中で被害が一番大きいものを採用し、当該建物の損傷程度を判定した。

(2) 航空写真による目視判読結果

上記のような手順で判読された本震前の判定結果を表2、表3、図6、図7に示す。表2には修正Damage Gradeによる判読結果の被害の割合、図6には修正Damage Gradeによる目視判読の結果を示す。表3には応急危険度判定による判読結果の被害の割合、図7に応急危険度判定による判読結果を示す。表2より、対象地域の本震前の被害状況は、約43%の建物に被害が発生した。倒壊した建物は全体の1%であった。表3より、応急危険度判定では「黄判定」の建物は約38%、「赤判定」の建物は約5%であった。図6、図7より本震前の建物被害は、益城町役場周辺および県道より南側に被害が集中している。また、本震前に倒壊した建物は県道より南側に集中していることがわかる。

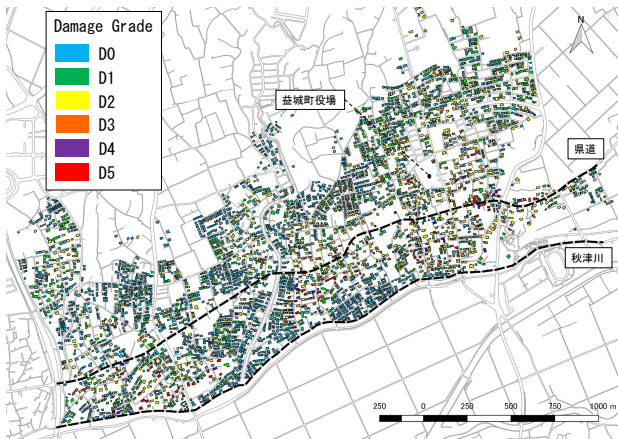


図6 本震前の修正Damage Gradeによる判読結果

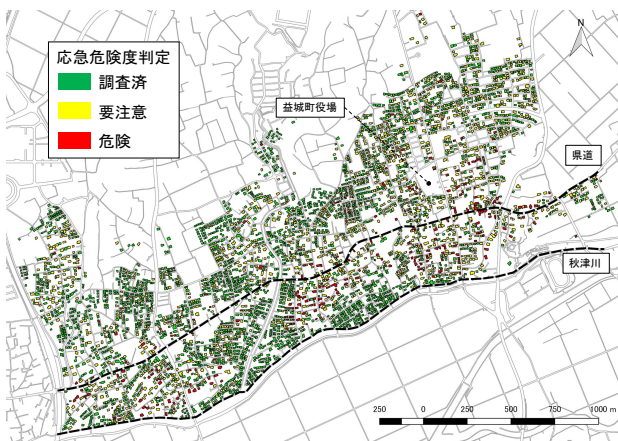


図7 本震前の応急危険度判定による判読結果

表2 本震前の修正Damage Gradeによる判読結果

D0	D1	D2	D3	D4	D5	合計(棟)
2718(57)	928(19)	877(18)	154(4)	44(1)	68(1)	4789(100)

()内は、%表示

表3 本震前の応急危険度判定による判読結果

調査済	要注意	危険	合計(棟)
2718(57)	1805(38)	266(5)	4789(100)

()内は、%表示

4. 判読精度の検証

(1) 本震前の地上被害写真の収集と専門家による被害判定

航空写真による被害判読の精度について検討するために、本震前に撮影された建物被害の地上写真を収集した。熊本地震では、前震と本震との間が28時間と短時間であったため、十分な情報がない。しかし、九州大学による現地調査⁵⁾⁻⁸⁾やYoutube⁽¹⁾、新聞各社等⁽²⁾⁻⁽⁷⁾が撮影した地上写真など、インターネット上に残されているものもある。そこで、著者らは、本震前に撮影された建物の地上写真をインターネット上から収集し、その中から木造住宅であり建物が全体的に確認することができた56棟を抽出した(図8)。

次に、この収集した56棟の被害判定を行った。この際、地上写真だけでは確認できない部分もあるため、斜め航空写真も同時に利用して判定した。この被害判定は、建築構造の専門家6名(内、応急危険度判定士3名)にご協力をいただいた。被害区分は、破壊パターンを参考に、修正Damage Gradeの6区分と応急危険度判定の3区分とした。地上写真による応急危険度判定についても、構造躯体の危険度のみを判定対象とした。表4と表5に現地写真と斜め航空写真を併用した建物被害の判定結果を示す。

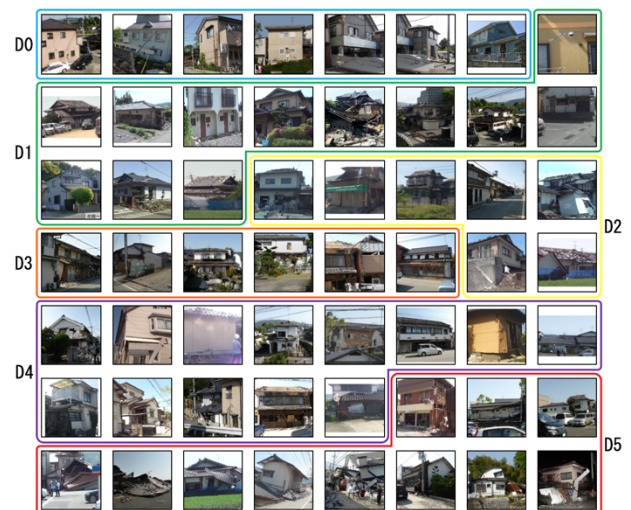


図8 本震前に撮影された地上写真⁵⁾⁻⁸⁾。(1)-(7) (56棟)

表4 地上写真による修正Damage Gradeの判定結果

D0	D1	D2	D3	D4	D5	合計(棟)
7	12	7	6	13	11	56

表5 地上写真による応急危険度判定の判定結果

調査済み	要注意	危険	合計(棟)
7	19	30	56

(2) 目視判読結果と地上写真との比較

この地上写真による判定結果をベンチマークとして、斜め航空写真による判定結果を比較し、航空写真による判定結果の精度を検討した。表6に斜め航空写真による目視判読と地上写真による判定結果を示す。図9に斜め航空写真による判定結果と地上写真による判定結果が一致した一例を、また図10に判定結果が一致しなかった一例を示す。D0からD1,D2の比較的被害が軽微な建物の判読は、高い判読精度を示す。これは、D1,D2の判定基準が主として屋根の被害となるため、航空写真判読が容易であることが要因としてあげられる。一方、D3,D4の判読精度はあまり高くない。D3については、判定基準が主として外壁の損傷となるため、複数の斜め航空写真から判読可能な建物もあるが、写真の枚数が少なくなるにつれて、判読が難しくなる。さらにD4については、判定基準が主として建物の傾斜であるため、航空写真からの判読が難しく、精度が低下したと考えられる。D5については、高い判読精度が得られた。D5は建物倒壊であり、写真の枚数が少なくても判断可能であることが要因としてあげられる。

この結果を応急危険度判定基準に適用した場合の判読精度を表7に示す。「調査済」は86%、「要注意」は90%、「危険」は70%という高い率で一致し、修正Damage Gradeと比較して、高い判読精度となった。

表6 斜め航空写真による目視判読と地上写真による被害判定結果 (修正Damage Grade)

地上写真 \ 航空写真	D0	D1	D2	D3	D4	D5	合計
D0	6(86)	1(8)	0	0	0	0	7
D1	1(14)	9(75)	0	0	1(8)	0	11
D2	0	2(17)	6(86)	2(33)	6(46)	0	16
D3	0	0	1(14)	4(67)	1(8)	0	6
D4	0	0	0	0	5(38)	0	5
D5	0	0	0	0	0	11(100)	11
合計	7	12	7	6	13	11	56

()内は、%表示

表7 斜め航空写真による目視判読と地上写真による被害判定結果 (応急危険度判定)

地上写真 \ 目視判読	調査済	要注意	危険	合計
調査済	6(86)	1(5)	0	7
要注意	1(14)	17(90)	9(30)	27
危険	0	1(5)	21(70)	22
合計	7	19	30	56

()内は、%表示

(3) 先行研究との判読精度の比較

次に先行研究^{11),12)}と本研究との判読結果を比較し、精度を検証した。これら先行研究の判読方法および判読基準は本研究と異なる。そこで、それぞれの判読基準について表9に整理した。門馬ら¹¹⁾は、斜め航空写真を用いて、レベル1からレベル4の4区分で判読した。釜ヶ谷ら¹²⁾は、主としてGoogle Earthによる画像(オルソ)を用い、さらに、斜め航空写真を用いて補足した。判読基準は、破壊パターンを参考にDamage Grade相当の被害区分を設定し、D0からD5の6区分で判読した。いずれの研究においても、本研究でベンチマークとした56棟は被害判定がなされていたため、この56棟について判定結果を読み取り、判定精度を比較した。比較にあたっては、判読結果の統合が容易な門馬らの判読基準をベースとして用いた。すなわち、本研究ではD2とD3を合わせたものをレベル3相当とし、D4とD5を合わせたものをレベル4相当として再集計

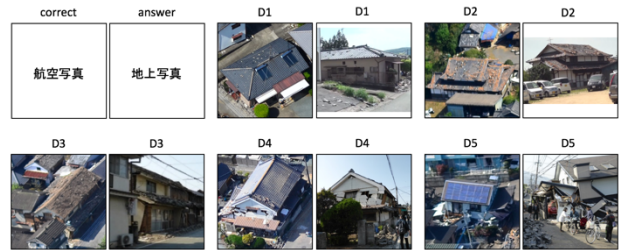


図9 判読結果が一致した一例

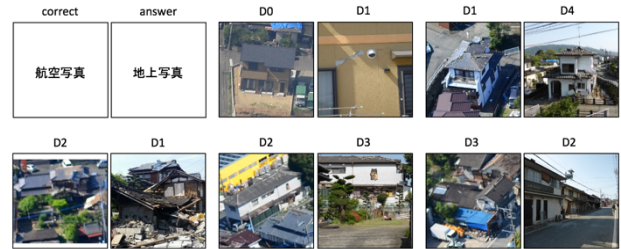


図10 判読結果が一致しなかった一例

した。同様に、釜ヶ谷らのD1とD2を合わせたものをレベル2相当とし、D3とD4を合わせたものをレベル3相当として再集計した。表10、表11にそれぞれの判読結果を示す。また、図11に判読精度の比較を示す。図11より、レベル1では、いずれも高い判読精度を保っているが、レベル2からレベル4では、各研究間の判読精度のばらつきが大きい。いずれの被害レベルにおいても、本研究の判読精度は先行研究より高いことが示されたが、これは複数の航空写真を使用した判読の成果であると考えられる。またレベル4の判読精度は全体的に低い値を示している。これは、レベル4はD4とD5を統合したカテゴリーであり、D4の主たる判定基準である建物の傾きが航空写真からの判読が難しいことが主たる要因として考えられる。一方、レベル1やレベル2の主たる判定基準は屋根の被害であり、航空写真が得意とする屋根の被害を確認できるため、精度が全体として高くなったと考えられる。

表9 判読基準の比較

	D0	D1	D2	D3	D4	D5
本研究	航空写真から被害が確認されないもの	屋根瓦の一部がずれているもの/外壁にひびがあるもの	屋根瓦が全面的にずれているもの/外壁が剥落しているもの	外壁が全面的に剥落しているもの	建物が傾いているもの	建物が倒壊しているもの
門馬ら ¹¹⁾	レベル1	レベル2		レベル3		レベル4
航空写真から被害が確認されないもの	屋根瓦の一部が落下しているもの/ブルーシートがかかっているもの	外形は残るが外壁が落下しているもの/屋根瓦の大半が落下しているもの	倒壊しているもの/1階や2階が押しつぶされているもの/建物の一部がずれていた/向きが変わっているもの			
釜ヶ谷ら ¹²⁾	D0	D1	D2	D3	D4	D5
建物外観に損傷が見られないもの	屋根瓦の一部がずれているもの	屋根瓦の一部が落下しているもの	屋根瓦のほとんどが落下しているもの	建物外形は残るが壁面が落下しているもの	建物が倒壊しているもの	

表10 門馬ら¹¹⁾の判読結果

地上写真 \ 目視判読	D0	D1	D2/D3	D4/D5	合計
レベル1	7(100)	5(42)	5(38)	4(17)	21
レベル2	0	4(33)	1(8)	4(17)	9
レベル3	0	3(25)	4(31)	6(25)	13
レベル4	0	0	1(8)	8(33)	9
不明*	0	0	2(15)	2(8)	4
合計	7	12	13	24	56

()内は、%表示

(*不明は判定結果が読み取れなかった建物)

表11 釜ヶ谷ら¹²⁾の判読結果

地上写真 目視判読	D0	D1	D2	D3	D4/D5	合計
D0	7(100)	1(8)	1(14)	1(17)	2(8)	12
D1/D2	0	10(85)	5(72)	4(66)	9(38)	28
D3	0	1(8)	0	0	5(21)	6
D4	0	0	0	0	4(17)	4
D5	0	0	1(14)	1(17)	3(13)	5
不明*	0	0	0	0	1(3)	1
合計	7	12	7	6	24	56

()内は, %表示

(*不明は判定結果が読み取れなかった建物)

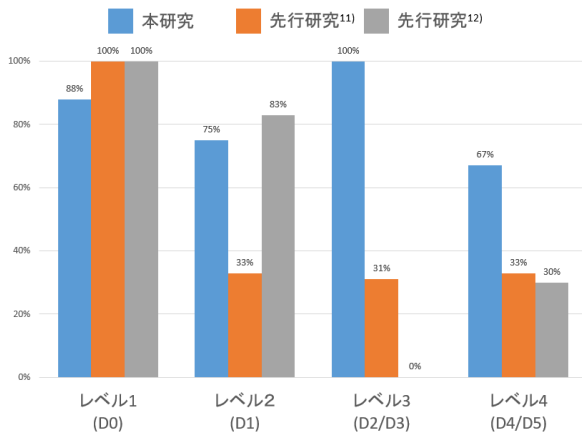


図11 判読精度の比較

5. 前震と本震との建物被害の関係

(1) 本震後の建物被害の収集

著者らは、本震後の建物被害状況把握のため、2回の現地調査（2016年4月23日-24日、5月1日-6日）を実施し、被災建物の写真を撮影した。また、本調査で確認できなかった建物については、2016年5月に撮影されたGoogleストリートビューの画像を収集した。図12に現地写真とGoogleストリートビューの画像の一例を示す。さらに、Google Earthで公開されている益城町周辺は、本震後の3Dモデル化された被災状況を確認することができる¹⁹⁾。そこで、3Dモデル化されたデータから、本震後に倒壊した建物を抽出した。図13にGoogle Earthの3Dモデルで見た建物を示す。このデータと現地調査のデータを統合し、本震後にはじめて倒壊したと判断された324棟を抽出した（図14）。



図12 現地調査写真（左）とGoogleストリートビューの画像（右）



図13 Google Earthによる3Dモデルから見た建物

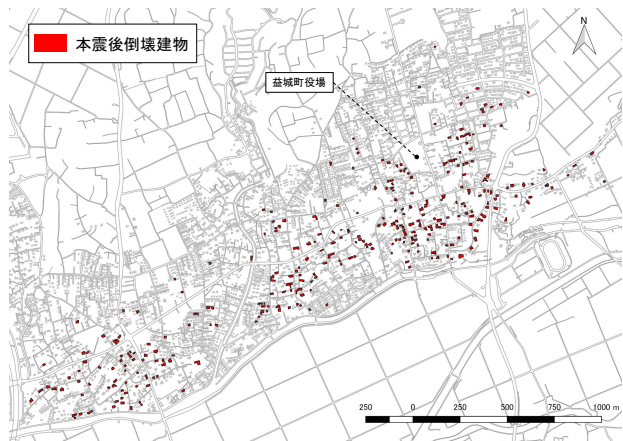


図14 本震によって初めて倒壊した建物

(2) 本震後に倒壊した建物と本震前の被害状況との関係

本震後にはじめて倒壊した建物が、本震前のどのような被害状況であったと推定されるのか、その内訳を示す。表12には修正Damage Gradeによる内訳を、表13には応急危険度判定による内訳を示す。修正Damage Gradeと応急危険度判定いずれも、前震によって大きな被害を受けた建物ほど本震によって倒壊した割合が高い。すなわち、本震で倒壊した建物のほとんどは、前震で何らかの損傷を受けており、さらにそれらの損傷は目視調査で確認可能であったことを意味する。そのため、本震前に応急危険度判定を実施していれば、その結果は本震の際の住民の対応に有効に機能した可能性が高いことが示唆される。

表12 本震後に倒壊した建物の内訳(修正Damage Grade)

前震	D0	D1	D2	D3	D4	合計
本震 倒壊	39(1.43)	74(7.97)	109(12.43)	64(41.56)	38(86.36)	324
倒壊せず	2679	854	768	90	6	4397
合計	2718	928	877	154	44	4721

()内は, %表示

表13 本震後に倒壊した建物の内訳(応急危険度判定)

前震	調査済	要注意	危険	合計
本震 倒壊	39(1.43)	183(10.14)	170(63.91)	392
倒壊せず	2679	1622	28	4329
合計	2718	1805	198	4721

()内は, %表示

(3) インタビュー調査

応急危険度判定調査の調査範囲は基本的に外観調査であるとされているが、緑判定の建物は原則として、黄判定の建物は必要に応じて内部調査の実施を求めている。また内部調査は、建物の使用者からのヒアリングによってでもよい、とされている²⁰⁾。しかし実際には大規模災害の場合には調査件数が多く内部に立ち入ることが時間的に難しいのみならず、調査時に建物の使用者が不在の場合も多く、内部調査はほとんど実施されていない。しかし居住者は、自分の建物内部の状況を観察する機会がある。そこで、本震前の建物内部の状況、本震前の建物外部の状況、本震発生時にいた場所およびその理由など、外観調査による応急危険度判定調査ではわからない建物の損傷状況を把握するために、2回の現地調査（2016年12月26日-12月28日、2017年3月5日-3月7日）を実施し、航空写真判読で被害が確認された家屋の住民にインタビュー調査を実施した。

表14にインタビュー調査の概要を示す。表14より、インタビュー調査対象27棟のうち、本震後に初めて倒壊した住宅が3棟ある（表14の色付き部分）。これらの本震前の航空写真判読による被害状況はいずれもD1かD2である。これらの住宅の被害状況の説明を聞くと、建物外部にはほとんど被害が見受けられないものの、建物内部では、「家の中が傾斜」、「1階の柱が2本折れていた」、「家の中に隙間が発生」など大きな損傷を居住者は確認していた。その際入手した、居住者が撮影した自宅の被害写真を図15に示す。このように居住者は建物内外の被害の発生を確認し、写真等で記録していることがわかる。そこでこのような住民の情報を生かした被害調査のしくみの検討も必要である。



図15 住民が撮影した前震後の被災建物（表14のB5建物）

さらに、本震発生時にいた場所について聞き取り調査をした結果、7棟の家族が本震時に自宅におり、その理由として、「2回も地震が発生するとは思わなかった」や「家が大丈夫そうだから」、「家の電気がついたから」、「早く休みたかったから」と述べられている。

したがって、もし住民自身が自宅の応急危険度判定調査を実施していれば、本震後の状況は変わっていた可能性があり、住民自身で実施可能な応急危険度判定調査キットなどの開発が望まれる。

(4) 倒壊建物と死傷者との関係

次に、熊本地震において本震後に倒壊した建物と死傷者との関係について分析した。本研究では、現地調査における聞き取り調査や新聞各社に掲載されている情報⁸⁾

¹¹⁾、警察庁の報告書¹⁾を参考に、死傷者が発生した建物を特定し、本研究の対象地域において7棟抽出した。表15に本震による倒壊建物における死傷者一覧を示す。表15に示す修正Damage Gradeおよび応急危険度判定は、本震前の航空写真による目視判読結果である。抽出した7棟のうち、6棟は本研究の推定では危険または要注意の判定であった。もし仮に前震後に応急危険度判定調査が実施されていれば、これら7棟には要注意もしくは危険判定が張られており、死傷者を減少させることができたのではないかと考えられる。

表15 本震による倒壊建物における死傷者

仮名	死傷者	本研究による修正Damage Grade	本研究による応急危険度判定	地区	自宅に帰った理由	参考文献
A	死亡	D2	危険	寺迫	もう大きい地震は起きないし、自分の家は大丈夫	住民き取り
B	死亡	D0	調査済	安永	建物に被害がなかった／14日は車で過ごした	毎日新聞 ⁸⁾
C	死亡	D1	要注意	木山	家に帰りたいかった／自宅隣の2階の納屋で寝ていた	産経WEST ⁹⁾
D	生存	D1	要注意	寺迫	電気がついたから自宅に戻った	住民き取り
E	生存	D3	危険	木山	娘たちは車／自分は自宅	毎日新聞 ¹⁰⁾
F	生存	D1	要注意	宮園	不明	毎日新聞 ¹¹⁾
G	生存	D1	要注意	寺迫	不明	警察庁 ¹⁾

6. まとめ

本研究では、2016年熊本地震の被災地において、複数枚の斜め航空写真を用いて被害状況の目視判読を行い、資料が少ない本震前の被災状況を推定した。さらにこの航空写真による判読精度について検討した。これらのデータをつかい、もし本震前に応急危険度判定調査が実施されたとした場合、住民の本震への対応に対して有効に機能したかどうかについて検討した。

航空写真判読による本震前の被災状況の推定では、複数枚の斜め航空写真を使用したことによって、先行研究と比較し、より高い精度の被災状況の推定結果が得られたことを確認した。さらにこの推定結果から、本震後に初めて倒壊した建物について、本震前の被災状況を確認したところ、大多数の建物がDamage Gradeと応急危険度判定いずれも、前震によって何らかの損傷が発生していた建物であることが確認された。熊本地震の地震動の分析から、本震一度だけでも多数の倒壊建物が発生した可能性があるとの見方もあるが、本研究の結果からは、ほとんどの建物の倒壊は、二度の連続する地震によって引き起こされたと考える方が妥当であるといえる。したがって、本震前に応急危険度判定を実施していれば、その結果は本震の際の住民の対応に有効に機能した可能性が高い、すなわち死傷者数の減少に寄与していた可能性が示唆される。

このような安全に関する判断基準がない場合には、インタビュー調査に見られる証言の通り、住民はさまざま

な理由で、最初の地震が落ち着くと家に戻ってしまう。しかし一方で、熊本地震のように、短期間で連続して発生した地震の場合、最初の地震の後に専門の調査員を派遣して応急危険度判定調査を実施する時間がない。そこで、住民自身が自宅の応急危険度判定調査を実施できる道具があれば、このような連続して発生する地震シナリオに対する対策としてきわめて有効であると考えられる。

さらに現行の応急危険度判定調査は、専門調査員がなるべく多くの建物を効率的に調査するという観点から、建物の外観の被害のみから判断する手順となっている。

確かに調査の実務上として、専門の調査員が一棟一棟家屋の内部の被害を調査する時間はない。しかしインタビュー調査であきらかになったように、居住者は自宅の内部の被害状況を観察する機会があり、その被害の写真等記録も作成している。そこでこのような居住者が得た建物内部の被害情報を外観調査の結果に統合する仕組みの構築ができれば、さらなる応急危険度判定調査の精度の向上が期待される。

表14 インタビュー調査の概要

対象建物	本震前		本震前の建物被害状況		本震後		本震発生時にいた場所とその理由	
	修正DG*	応急**	建物内部	建物外部	DG*	応急**		
B1	D0	調査済	被害なし/家具転倒	被害なし	D1	要注意	自宅	2回も地震がくると思わなかった
B2	D0	調査済	被害なし/家具転倒	被害なし	D1	要注意	自宅	2回も地震がくると思わなかった
B3	D0	調査済	1階の壁にひびが入った	被害なし	D2	危険	自宅	2回も地震がくると思わなかった
B4	D0	調査済	被害なし/家具転倒	被害なし	D0	調査済	熊本市内の息子の家	念のために避難した
B5	D1	要注意	家に隙間ができた/傾いた	瓦が落下した	D5	危険	自宅の駐車場(車の中)	N/A
B6	D2	要注意	玄関のガラスが割れた	屋根瓦がたくさん落下した	D2	危険	自宅の駐車場(車の中)	N/A
B7	D0	調査済	被害なし/家具転倒	被害なし	D0	要注意	自宅(2階)	建物に被害がなかったから(念のため2階にいた)
B8	D0	調査済	被害なし/家具転倒	被害なし	D0	要注意	熊本市内の事務所	N/A
B9	D0	調査済	被害なし/家具転倒	家の前の階段がくずれた	D4	危険	避難所(車の中)	N/A
B10	D2	要注意	被害なし/家具転倒	瓦が落下した	D2	危険	自宅	前震後に被害がなかったから
B11	D2	要注意	1階の柱が2本おれた	瓦が少し落下した	D5	危険	自宅の駐車場(車の中)	N/A
B12	D0	調査済	被害なし/家具転倒	ブロック塀や温水器が倒れた	D0	危険	総合体育館	N/A
B13	D0	調査済	被害なし/家具転倒	被害なし	D0	要注意	自宅	電気がついた/早く休みたかった
B14	D1	要注意	1階の壁にひびがたくさんあった	被害なし	不明	危険	鉄骨構造の道場	鉄筋は大丈夫と思ったから
B15	D0	調査済	被害なし/家具転倒	被害なし	D4	要注意	自宅	被害がなかったから
B16	D0	調査済	被害なし/家具転倒	被害なし	D1	調査済	体育館のテントの避難所	N/A
B17	D2	要注意	覚えていない	覚えていない	D4	危険	総合体育館	N/A
B18	D2	要注意	1階の壁にひびが入った	玄関が傾いた	D2	危険	隣の実家	被害がなかったから
B19	D2	要注意	1階の壁にひび/玄関先の天井が落下した	外壁にひび/玄関に隙間ができた	D2	危険	総合体育館	N/A
B20	D0	調査済	被害なし/家具転倒	被害なし	不明	要注意	自宅の駐車場(車の中)	N/A
B21	D2	要注意	1階の壁にひびが入った	瓦がほぼすべて落ちた/玄関がはずれた	D1	危険	娘の自宅(西原村)	被害がなかったから
B22	D0	調査済	覚えていない	覚えていない	D1	危険	職場(介護職)	N/A
B23	D0	調査済	被害なし/家具転倒	被害なし	不明	不明	N/A	N/A
B24	D0	調査済	壁にたくさんひびが入った	被害なし	D1	不明	総合体育館	N/A
B25	D2	要注意	家の中に隙間/玄関に隙間ができた	瓦が落下した	D5	危険	自宅の駐車所(車の中)	N/A
B26	D1	要注意	被害なし/家具転倒	被害なし	D4	危険	文化会館	N/A
B27	D0	調査済	被害なし/家具転倒	被害なし	D0	危険	公園(車の中)	N/A

*DGは、Damage Gradeの略 **応急は、応急危険度判定の略

本震前のDG・応急は航空写真より判定

本震後のDGは著者らの現地調査による地上写真より判定。本震後の応急は熊本地震で自治体によって実施された応急危険度判定調査の結果(落下危険物・転倒危険物に関する危険度の判定を含む)。

謝辞

本研究の作成にあたり熊本県上益城郡益城町のみなさ

まには、インタビュー調査および写真データ提供のご協力をいただいた。

本研究の一部は、文部科学省「都市の脆弱性が引き起

こす激甚災害の軽減化プロジェクト 都市災害における災害対応能力向上方策に関する調査・研究」の支援によるものである。

本研究で使用した航空写真の一部は、アジア航測(株)、(株)パスコよりご提供いただいたものである。航空写真からのデータ作成には、常葉大学社会環境学部生および大学院環境防災研究科生にご協力いただいた。また、損傷状況の写真判読には、建築専門家として、(株)イー・アール・エス 水越薫氏、中嶋洋介氏、鱒沢工学研究所 鱒沢曜氏、工学院大学 宮村正光教授、(株)大林組 諏訪仁氏、(株)武設計 武居由紀子のご協力を得た。さらに、データの分析にあたっては、東京工業大学 松岡昌志准教授、ならびに大学院生の釜ヶ谷悠馬氏に有益な助言をいただいた。ここに記して謝意を表す。

補注

- (1) Youtube : 「平成 28 年熊本地震」その①~その② M6.5 震度 7 Kumamoto M6.5 Earthquake 熊本県益城町, <https://www.youtube.com/watch?v=6-OfCvHVPmY>, 2016 年 5 月 1 日現在。
- (2) 読売オンライン : 平成 28 年熊本地震, <http://www.yomiuri.co.jp/feature/photo/etc/garticle.html?id=20160415-OYTISI50046&gr=CO020211>, 2018 年 1 月 10 日現在。
- (3) 日刊時事ニュース : <http://daily-news.jp/2016/04/15/rescue-baby-from-mashiki-collapse-housing/>, 2016 年 5 月 1 日現在。
- (4) 産経フォト : 【熊本震度 7】建物が倒壊、火災も発生, <http://www.sankei.com/photo/story/news/160414/styl1604140029-n1.html>, 2018 年 1 月 10 日現在。
- (5) AERA dot : 熊本地震 翌日の現場で記者が見たもの「地震対策ストッパーなんて役に立たない・・・」, https://dot.asahi.com/print_image/index.html?photo=2016041800081_1, 2018 年 1 月 10 日現在。
- (6) 世界を救うほどではないけど BLOG : 【熊本地震・益城町】写真で見る前震後と本震後の惨状, <http://is-factory.com/post-14555/>, 2018 年 1 月 10 日現在。
- (7) iza ニュース : 熊本を襲った震度 7・・・活断層“交差点”で被害甚大、文化財にも爪痕, <http://www.iza.ne.jp/topics/events/event-s-9420-m.html>, 2018 年 1 月 10 日現在。
- (8) 毎日新聞 : <https://mainichi.jp/articles/20170415/dde/040/019999c>, 2017 年 8 月 1 日現在。
- (9) 産経WEB : <http://www.sankei.com/west/news/160421/wst1604210032-n1.html>, 2017年8月1日現在。
- (10)毎日新聞 : 携帯の光たどり、倒壊家屋から脱出, 2016年4月17日付。
- (11)毎日新聞 : 熊本地震 前のは前震、今度は本震 被害が拡大の益城町, <http://mainichi.jp/articles/20160416/k00/00e/040/211000c>, 2018年1月10日現在。

参考文献

- 1) 警察庁 : 熊本地震における警察の救助活動に関する調査分析, 2016.
- 2) 被災建築物応急危険度判定研究会 : 被災建築物応急危険度判定マニュアル, 日本建築防災協会, 1998.

- 3) Final Report –Part Three (Volumes 5,6 and 7), Canterbury Earthquakes Royal Commission, 2012.
- 4) 全国被災建築物応急危険度判定協議会 : 平成28年(2016年)熊本県熊本地方を震源とする地震における被災建築物応急危険度判定の記録, 2017年3月31日.
- 5) 神野達夫, 重藤迪子 : 本震前後の建物被害の比較, 平成 28 年(2016 年) 熊本地震, <http://saigai.aij.or.jp/wiki.arch.ues.tmu.ac.jp/saigai/aafc33e281f0f3e7e22af5f629604b33.html>, 2018 年 1 月 10 日現在.
- 6) 佐藤利明 : 2016 年熊本地震 2016. 4. 15 午後時点, 益城町の被害状況, 平成 28 年(2016 年) 熊本地震, <http://saigai.aij.or.jp/wiki.arch.ues.tmu.ac.jp/saigai/aafc33e281f0f3e7e22af5f629604b33.html>, 2018 年 1 月 10 日現在.
- 7) 神野達夫 : 建築物の被害, 土木学会西部支部「2016 年熊本地震」地震被害調査報告会 ~緊急災害調査と応急復旧の取り組み~, <http://committees.jsce.or.jp/report/node/117>, 2018 年 1 月 10 日現在.
- 8) 松田泰治 : 平成 28 年度 土木学会全国大会特別セッション「熊本地震報告会」の開催について, 熊本県内の地震被害全般と熊本大学の取り組み : <http://committees.jsce.or.jp/ecc2/node/88>, 2018 年 1 月 10 日現在.
- 9) 長谷川弘忠, 山崎文雄, 松岡昌志 : 空撮ハイビジョン映像を用いた兵庫県南部地震による建物被害の目視判読, 土木学会論文集, No. 682 / I-56, pp. 257-265, 2001.
- 10) 矢野嘉久, 山崎文雄, 松岡昌志, 丸山喜久, 胡内健一 : 航空写真による福岡県西方沖地震での玄界島の家屋被害把握, 地震工学会, Vol. 28, pp. 225-226, 2005.
- 11) 門馬直一, 藤原広行, 中村洋光, 佐伯拓磨, 下村博之, 山田哲也, 藤澤誠二 : 平成 28 年熊本地震における益城町の震度分布と建物被害の関係, 日本地震工学会梗概集, pp. 1-9, 2016.
- 12) 釜ヶ谷悠馬, 松岡昌志, 小岩弘道, 望月貫一郎 : 空撮画像の目視判読による熊本地震前震および本震の益城町とその周辺の建物被害, 地域安全学会梗概集, No. 39, pp. 91-92, 2016.
- 13) 杉野末奈, 山室涼平, 小林素直, 村瀬詩織, 大村早紀, 林康裕 : 2016 年熊本地震における益城町の建物被害の分析, 日本地震工学会論文集, 第 16 巻, 第 10 号, pp. 69-85, 2016.
- 14) 国土地理院 : 斜め航空写真, <http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html>, 2017 年 9 月 1 日現在.
- 15) アジア航測株式会社 : 斜め航空写真, <http://www.ajiko.co.jp/article/detail/ID56EDF7EZH/>, 2017 年 9 月 1 日現在.
- 16) 株式会社パスコ : 斜め航空写真, http://www.pasco.co.jp/disaster_info/160415/, 2017 年 9 月 1 日現在.
- 17) 岡田成幸, 高井信雄 : 地震被害調査のための建物分類と破壊パターン, 日本建築学会構造系論文集, 第 254 号, pp. 65-72, 1999.
- 18) 上岡洋平, 原良栄, 田中聡 : 2016 年熊本地震における航空写真による建物被害の分析, 地域安全学会梗概集, No. 39, pp. 105-108, 2016.
- 19) Google Earth : <https://www.google.co.jp/intl/ja/earth/>, 2017 年 9 月 1 日現在.
- 20) 被災建築物応急危険度判定研究会 : 被災建築物応急危険度判定マニュアル, 日本建築防災協会, p.17, 1998.

(原稿受付 2017.9.9)

(登載決定 2018.1.20)