

現地調査結果と観測強震動の分析に基づく益城町役場周辺の被害集中の原因に関する考察

京都大学防災研究所 川瀬博・松島信一・宝音図

京都大学工学研究科 長嶋史明・仲野健一

1. 調査・分析の概要

今回の熊本地震における被害の発生要因を理解するため、我々は4月29日から5月1日にかけて、益城町および西原村において、被害状況の観察と微動調査、および余震観測点の敷設を行った。微動調査結果の詳細、および余震観測データの分析については今後の作業となるが、とりあえず益城町役場周辺の被害集中の原因に関して推察することができるだけの情報を抽出したので、それらの結果をもとに仮説の構築を行った。

具体的には被害集中域における踏査、微動観測と地震観測データの分析、観測強震動の構造物破壊能の計算である。以下その概要を報告する。

今回の報告は現時点で入手した情報に基づいて行うもので、将来さらなる情報の入手により結論が変わる可能性は否定できない。しかしもしその仮説が正しいのであれば、より定量的な理解のために必要な今後の調査項目にそれを反映していただきたいと思い、ここにとりまとめた次第である。

2. 益城町(宮園・木山)での被害集中の特徴

すでに報道も含め多くの調査結果が報告されているので、益城町中心部の被害集中そのものについては多くを言及しない。益城町の町役場・文化会館を中心とした被害は、東西方向は国道443号線の西から始まり県道235号線の東まで(約1.5km~2km)、南北方向は県道28号線の両側、幅約±300mの領域に広がっている。南側は秋津川で明瞭に区画されているが(南側には水田地帯が広がりそもそも被害の出ようがない)、北側および西側の境界はそれほど明瞭ではない。現地踏査の結果、その被害の様相は以下のようにまとめられる。

- 1) 被害が集中している領域においては、旧耐震の構造物だけでなく、新耐震の構造物も被害を受けている事例がある。耐震補強を施した建物も多く被害を受けたとの報道もある(写真1)。
- 2) 一方、旧耐震の構造物でも外見上大きな被害が見られず生き残っている建物も多数存在している(写真2)。
- 3) 微細なスケール(50mオーダー)での被害域は東西方向に帯状に分布し、南北方向にはまだら模様となっている一方で、東西方向にはある程度連続している傾向にある。上記1)はその帯状被害集中域内についての記載である。
- 4) 一方、上記2)の記載はその帯の外側に位置する建物に関する記載である。すなわち微細スケールの被害分布がまだら模様となっているのはランダムになっているわけではない。

- 5) 倒壊した建物の倒壊方向は高い確率で東西方向となっている。転倒した墓石もほぼ東西方向（断層並行方向）に転倒している（写真1、写真3～6）。
- 6) 被害集中域の東西ラインを横切る南北方向の舗装道路においては必ず顕著な地盤変状（舗装の割裂、盛土や擁壁の東西方向への崩壊、段差の生成）が見られる。これは被害の集中が地殻変動を主因としていることを裏付ける傍証である（写真7～8）。なお秋津川近傍の平坦部では液状化によると思われる堤体の亀裂やマンホールの上昇（10~20cm 程度）等が見られているが、上記の東西方向に分布する地盤変状は緩傾斜地のもので、それとは異なる。



写真1 新しいアパートの被害（東西方向）



写真2 古い建物で生き残った事例



写真3 東西方向に傾いた店舗



写真4 東西方向に傾いた鉄骨住宅



写真5 東西に大破した寺の本堂(RC、新耐震) 写真6 東西方向に転倒した墓石



写真7・写真8 地盤変状の表出とそれに隣接する大破・倒壊建物（道は南北方向）

3. 益城町被害集中域での微動特性

益城町の被害集中域において、可搬型微動計 SMAR-6A3P を 10 台用いて、約 100m 間隔で格子状に 700m×1km の領域で微動計測を行った。詳細は今後報告するが、益城町役場を中心とする県道 235 号線沿いの、益城中央病院から秋津川に掛けての北端・中央・南端の 3 地点での水平上下比(MHVR)を比較したのが図 1 である。観測された MHVR は 2~3Hz 付近にピークを持ち、そのピークレベルは約 4~5 倍であり、地下構造にはそれなりのインピーダンスコントラストがあることを示唆しているが、3 地点での MHVR の違いはわずかであり、それをもたらしている表層地盤の空間的差異が被害集中の原因とは考えられない。

なお被害集中域の北側の外縁部に位置する辻の城に防災科学技術研究所の KiK-net 益城 (KMMH16)が設置されており、本震も得られているが、その本震以前に観測された弱震動の平均水平上下比 EHVR を用いた分析結果については別途 (<http://zeisei5.dpri.kyoto-u.ac.jp/naga/20160418-KMMH16-obs&theoryHVR-v2.pdf>) 報告しているので参照されたい。ちなみに EHVR のピークは同じく 3Hz で、ピークレベルは 6 倍、そのピーク振動数はボーリング調査で明らかになっている 20~24m 地表面下にある凝灰岩層との速度コントラストで生じているものと推察される。なおこの防災科学技術研究所実施のボーリング調査結果から求めた表層 30m の平均 S 波速度 Vs30 は 265m/s であり、日本の基準からは決して軟弱地盤ではない。

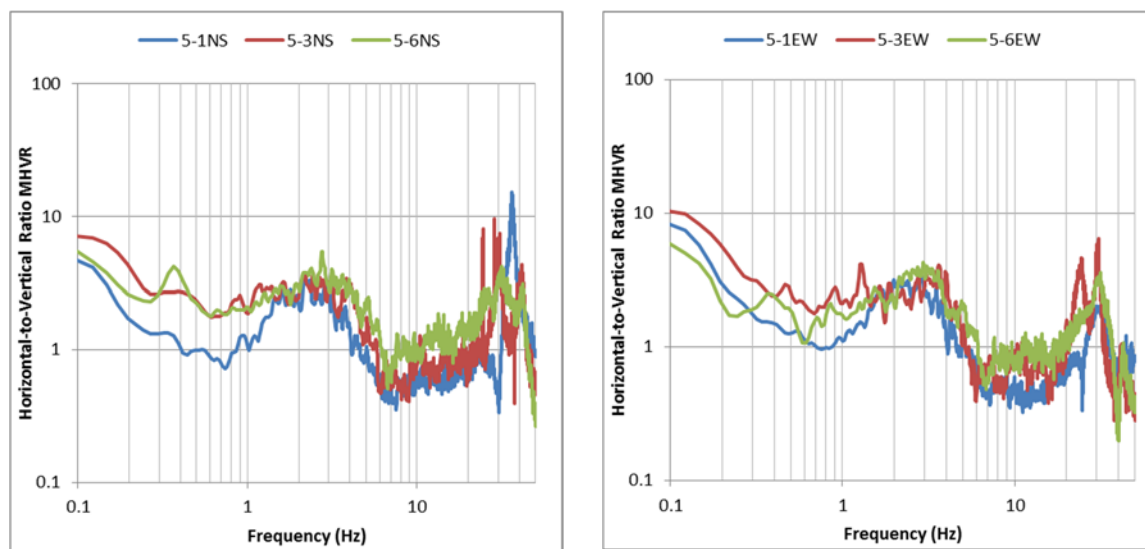


図 1 益城町役場を通る南北測線の北端・中央・南端での観測微動の水平・上下比 MHVR

4. 益城町での観測強震動の特徴とその構造物破壊能

益城町役場に置かれていた自治体震度計の前震および本震の気象庁震度が震度 7 であったことはすでに報道されている通りである。しかし、兵庫県南部地震以降、速報性を重視して導入された気象庁の計測震度が震度 5 強以上で想定されているよりも小さな被害しか生じないケースが多々あることが報告されており、2011 年の東北地方太平洋沖地震においても唯一震度 7 となった K-NET 築館の観測点の周辺でも大破・倒壊といった大被害は生じなかったことが知られている。しかし、今回の益城町役場における観測強震動波形はすでに気象庁によって公開されており、その結果を分析した筑波大学の境有紀教授のサイトでは、今回の地震動は周期 1～2 秒の応答スペクトルを指標に計算する「境」震度においても震度 7 と見なせると報告されている (<http://www.kz.tsukuba.ac.jp/~sakai/s1605s.htm>)。従ってその破壊力は震度 7 クラスといってもよいとも思われるが、前述のように被害集中域を踏査すると域内での被害は決して一様ではなく、旧耐震の一見脆弱に見える構造物が大きな被害を免れている事例がある一方、新耐震と思われる構造物に大きな被害が生じている事例も見られる。このような構造物の特性によって大破・倒壊を免れて生き残れる構造物が生じていること自体、今回の益城町中心部での強震動が兵庫県南部地震の神戸市内の「震災の帯」の中のそのまた中心部における大破以上率 100%の強震動のレベルとは同等のものではないことを示唆している。

実際、京都大学防災研究所の岩田知孝教授は、益城町役場に置かれていた自治体震度計の本震波形を積分し、170cm/s を超える最大速度を得ているが (<http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/topics/masiki-nishihara0428ver2.pdf>)、それは断層平行成分に近い EW 成分で得られており、同じくさらに積分して得た変位波形ではその最大速度パルス後の 2 秒間で EW 方向に 1m ずれ動いた（永久変位として地殻変動が残った）ことを報告している。横ずれ成分が卓越していた今回の熊本地震の震源直上では、普通なら兵庫県南部地震の神戸市域で見られたように(松島・川瀬、2000、建築学会論文集)、永久変位を伴わない断層直交成分におけるアスペリティパルス（いわゆる「キラーパルス」）が被害の主要原因となるはずであるが、益城町役場の波形の断層直交成分に近い NS 成分には明瞭なアスペリティパルスが見られていない。また、上述のように、大破・倒壊建物の大変形の発生方向は東西方向に著しく片寄っている。従って、益城町中心部の被害の生成は、東西方向に卓越した永久変形を生成する際の地殻変動が主因であった可能性が指摘できる。

そこで、兵庫県南部地震の際の神戸市域における再現地動(松島・川瀬、2000、前出)と町丁目別に悉皆調査された木造建物の被害率統計を用いて、木造 2 階建の非線形応答解析モデルの終局耐力の確率密度関数を、観測被害率を再現できるように構築した長戸・川瀬モデル(長戸・川瀬、2002、JEES)に益城町役場の観測強震動を入力して、神戸市東灘区に立っていた木造家屋（年代区分なし）と同等の木造家屋が益城町にも平均的に分布していたものとして推定被害率を計算した。その結果、以下の表 1 に示すように前震・本震いずれも EW 成分に対してより大きな被害が発生するという結果が得られた。またその計算被害率は最大

の被害率が計算された本震の EW 成分に対しても高々30%程度に収まり、今回の地震動の構造物破壊能が兵庫県南部地震の神戸市域の大破・倒壊率 100%の領域の強震動に比して決して大きいとは言えないことを裏付ける結果となった。

表1 計算された方向別の推定大破・倒壊率

地震	地震動成分	最大加速度	計算被害率
4/14 21:26 前震	EW	732cm/s ²	0.145
	NS	565cm/s ²	0.065
4/16 01:24 本震	EW	757cm/s ²	0.291
	NS	747cm/s ²	0.065

5. 考えられる益城町被害集中の原因

以上の調査結果、および本震の発震点の位置、さらに産総研 GSJ がまとめた活断層マップと InSAR の地殻変動の分布図(<https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/kumamoto2016/index.html>)を参照すると、今回の益城町中心部における被害集中は、観測された強震動そのものが原因というよりも、強震動とそれに伴って発生した地殻変動およびそれによる地盤変状の発生が主たる原因で生じたものではないかと推察される。もちろんこれは純粋に振動により壊れた建物がなかったと主張するものではない。その論理をまとめると以下の通りである。

- 1) 地震動の分析からは、確かに強烈な地震動ではあるが、観測されているほどの被害を出すレベルの地震動ではない。
- 2) 地震動を用いた推定からも被害の実相からも、断層平行成分に近い東西方向の被害が卓越していたと推測される。
- 3) 被害の帯は東西方向に連続し、南北方向には連続していない。連続する東西方向の被害帯を横切る道路には高い確率で地盤変状が見られた。
- 4) 上記被害帯の内側では新耐震の建物も壊れているケースがある一方、その外側では旧耐震の脆弱そうな建物でも軽微な被害に留まっているケースが多く見られる。これら相反する情報は益城町中心部での被害が単純な「地震動によって建物に生じた震動被害」ではないことを示唆している。
- 5) 被害集中域の北端・南端と中心部の地盤構造に大きな違いがある可能性は低い。
- 6) 地盤の非線形化を考慮しても、表層が浅く基盤も浅いと考えられる今回の被害集中域において、神戸の場合に出現したエッジ効果(Kawase, 1996)のような特異な地盤増幅現象があった可能性は低い。

- 7) GSJ の活断層マップでは県道 28 号線沿いに布田川断層主要部から分岐した小断層（地震本部の長期評価部会の報告 http://www.jishin.go.jp/main/chousa/02may_futagawa/f02.htm では木山断層）が引かれている。その西縁は国道 443 号線までで、それよりも西には引かれていない。これは国道 443 号線を挟んで東側では明瞭な 1 本の線上に地震断層としての地殻変動が集中してきたのに対して、西側では今回の被害集中域の幅にその変動が分布してきたためではないかと推察される。実際秋津川に來たから流れ込む支流は 500m くらいの幅で北東から南西に斜めに流れ込んでおり、過去発生した地震による地表断層変位が分散して出現してきたことを示唆している。InSAR の変動分布も木山断層までは明瞭な線が見いだせるが、その西側では幅 1km、長さ 2km にわたって変動が明瞭でない領域が形成されている。これらはこの領域において分散して地殻変動が表出した可能性を示唆している。
- 8) 今回の本震の発震点は、布田川断層主部ではなく、上記分岐断層の延長線上にあり、少なくとも発震点から東側に直線状に延長し布田川断層主部に合流するまでの分岐セグメントが断層運動に伴う地表変位の北端であったことは InSAR の地殻変動を表した縞模様が示唆するところである。

これらの情報を総合的に判断すると、今回の益城町中心部における被害の集中は、前震一本震による 2 度の揺れを受けたことが主因ではなく、この地域の地盤が特に揺れやすいためでもなく、今回の地震が特にこの場所に大きな揺れを生み出したわけでもなく、古い建物がここに集中していたためでもない。本震の断層運動に伴う地殻変動が表層の地盤変状となって表れ、その永久変位を形成するプロセスの地震動とそれに伴って生じた地盤変状の相乗効果で大きな被害が生じたものと推察される。なお、西原村南部の被害集中域もまた断層変位の表出した地点の近傍であり、やはり周辺に地盤変状が多く観察される集落で生じている。一方、日本の記録史上、最大の地動速度 260cm/s を記録した（岩田知孝、前出）西原村役場は事実上無被害であった。

最後に、このような引張応力場において発生した正断層型の地震における被害が、もっぱら断層近傍の断層運動に伴って生じたものに限られた事例は今回が初めてではなく、東北地方太平洋沖地震の誘発地震として発生した福島県浜通り地震でも指摘されていた（久田・他、2012、日本地震工学会論文集）。

6. まとめ

以上、我々の調査によれば今回の益城町中心部における被害集中は、地殻変動を伴った強震動およびそれによる地盤変状の発生が主たる原因で生じたものと推察される。従って今後の調査においては

- 1) 被害建物の被害程度別詳細な空間分布の把握
- 2) 被害建物の分布と地盤変状の分布の相関関係の把握
- 3) 被害建物の倒壊方向、最大変形方向の把握

4) 被害集中域における詳細な地殻変動量の空間分布把握

5) 被害集中域とその周辺における基盤に至るまでの地下構造の把握

が必要であり、是非本仮説を検証もしくは否定するに足る定量的情報を関係者と協力して収集したいと考えているし、そのために役立つ情報提供をお願いしたい。

なお、本仮説が正しかった場合には、「活断層近傍の被害は防げないのだから日本にも『活断層法』（活断層上の建築を制限する法）が必要だ」と主張される一部専門家を後押しすることになりかねないが、逆に今回の事例は「活断層法」が今回のような分散した断層地変には無力であることを示したものであることから、その教訓を正しく解釈していただき、活断層法の導入を考えるよりも、大きな一方向変位入力に対しても倒壊しない木造耐震補強法をより一層展開していくべきだと考えている。

謝辞

本報告には科学研究費補助金、特別推進研究費「2016年熊本地震と関連する活動に関する総合調査」（代表者：清水洋）によるサポートを受けました。微動調査には川瀬研究室・松島研究室の学生諸君の協力を得ました。記して感謝の意を表します。