

2016 年熊本地震における益城町の建物被害と地盤の振動特性の関係

愛媛大学 学生会員 ○西山 優輔

愛媛大学 フェロー 森 伸一郎

1. はじめに

2016 年 4 月 16 日 1 時 25 分に発生した熊本地震の本震 ($M_{jma}=7.3$) は、同月 14 日 21 時 26 分に発生した前震 ($M_{jma}=6.6$) に続き、熊本県益城町、西原村で最大の震度 7 を記録した。益城町では住宅や商店に甚大な被害が生じたが、益城町の中でも被害が特定の地域に集中した。この被害の集中したのに対して、耐震性の低い建物の割合、地盤の固有周期や増幅特性の違い、地表地震断層からの距離の違いなど様々な原因が考えられる。

先に、益城町の被害集中域とその周辺で実施した微動観測の結果、地盤の卓越周期として 2.5 秒の弱い卓越、0.5~0.8 秒の卓越が見られたことを報告した¹⁾。本論文では、地形との関連に着目して議論する。

2. 益城町の建物被害の状況

著者らは、地震直後 4 回に分けて徒歩による被害調査を行った。益城町の中心部の被害集中域での建物被害の大多数は、激烈な振動による被害が特徴的であり、断層変位、液状化や基礎地盤変状、土留め擁壁変状などによる建物被害はあったが一部である。

図-1 に益城町の全壊・倒壊被害の集中領域 (着色領域) を示す。集中域は、門馬ら²⁾ が空中写真判読により描いた一軒一軒の被害分布に基づき、大破が連続して分布している領域を著者らが図化したものである。県道と秋津川に挟まれた領域と益城町役場の東西の領域に被害が集中しているのが明瞭である。また、県道と秋津川に挟まれた領域では道路や地盤の変状が目立った。

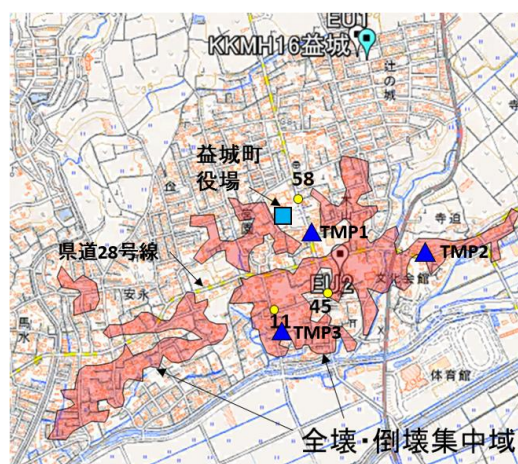


図-1 益城町の全壊・倒壊被害の集中領域と地震観測点

3. 本震での地震動

益城町役場と防災科研の Kik-Net 益城 (KKMH16) では、それぞれ計測震度が 6.7, 6.4, 最大加速度で 825, 1157 cm/s^2 , 最大速度で 177, 129 cm/s (いずれも EW 成分) を記録し、応答スペクトルはそれぞれ 1.0~1.5 秒にピークがあり、益城町役場ではそれが上回った。

Hata ら³⁾ は前震の後の余震観測で本震の観測に成功し、3 地点 (TMP1, TMP2, TMP3) での記録を報告した。

図-2 に示す Hata らが作成した益城町の観測地震動の減衰定数 5% の加速度応答スペクトル³⁾によれば、益城町役場 (MTO) では、卓越が 1.0-1.2 秒で最大応答が 30 m/s^2 であるのに対して、被害の大きい TMP2, TMP3 では卓越が 0.8-1.2 秒で最大応答が 56 m/s^2 に達している。被害集中域の南側に比べて相対的に被害の程度の低い Kik-Net 益城 (KIK) や MTO に近い TMP1 では一次卓越が 0.8-1.0 秒にありながら最大応答は 30 m/s^2 前後にとどまった。

0.8~1.2 秒の成分は木造家屋の被害に感度が高い。したがって、被害集中域でこの周期領域での振動成分が大きくなった原因を知ることが重要である。

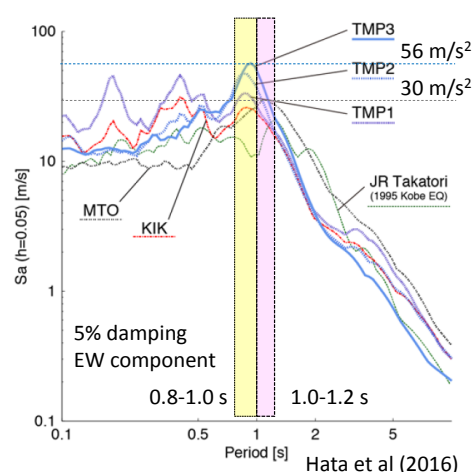


図-2 Hata³⁾らが作成した益城町の観測地震動の減衰定数 5% の加速度応答スペクトル

4. 微動観測による卓越周期と地質・地形との関係

益城町の被害集中領域の内外の 69 点で微動観測を行った¹⁾ (図-1 の参照). 図-3 に地点 11 (被害集中域) と地点 58 (被害の相対的に軽度な領域) における微動の水平上下スペクトル比 (HVR)²⁾ を示す. 11 の地点は, 1.3Hz (0.8 秒), 58 の地点は 2.3 Hz (0.4 秒) であり, 表層地盤の卓越を反映したものと考えられる. 強震時の地盤の非線形化を考慮すれば, それぞれ長周期化が見込まれる. 非線形化は土質に大きく依存する.

被害集中域の北側はおおむね 0.5 秒以下であるが, 全体では 0.4~0.8 秒の卓越する箇所が多いが, 卓越周期分布は被害の有無を規定するような明瞭な差は見られなかった²⁾. そこで, 表層地質図と地形 (標高) の観点から卓越周期分布を検討した. 図-4 に微動観測点分布と表層地質⁴⁾ を示す. 県道より北側は火山砕屑物, 南側は段丘堆積物より構成されている. この領域で秋津川と直交する断面 1~4 を設けた.

図-5 に断面 1~4 での表層地質⁴⁾ と標高と卓越周期分布を示す. 段丘堆積物の領域 (断面 1~3) では, ばらつきが大きいものの全体として卓越周期の変化と標高変化が比例的によく対応している (断面 4 にプロットした測定点は微地形として谷底もしくは谷底平野に相当する). 一方, 火山砕屑物の領域 (データのある断面 1~2) は標高変化に関わらず卓越周期は概ね一定である. 前者が相対的に軟質な表層を持つ 2 層系地盤と見なされるような地盤構成であるのに対して, 後者は標高に関係せず鉛直方向に連続するような地盤構成と推察される.

強震動が作用した際の非線形挙動は 2 層系地盤の方が著しいことが予想されるので, 段丘堆積物に分類される県道より南側の方が非線形化の影響が大きいと思われる. 地下水位が秋津川よりそれほど高くはないことが予想されるので, 段丘堆積物と火山砕屑物のいずれの地盤でも不飽和であると考えられる. したがって, 非線形化が進んでも, 塑性硬化の状態を保ち続けることが予想され, 非線形化が進んでも減衰の極端な増大は起こらず, そのため被害集中域で 0.8-1.0 秒の成分が増幅したものと推察される.

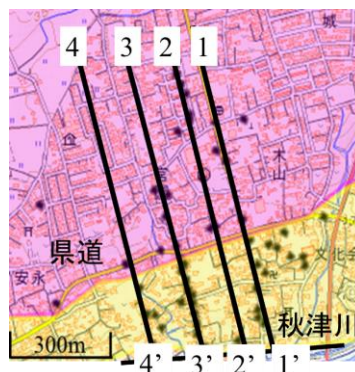


図-4 微動観測点分布と表層地質

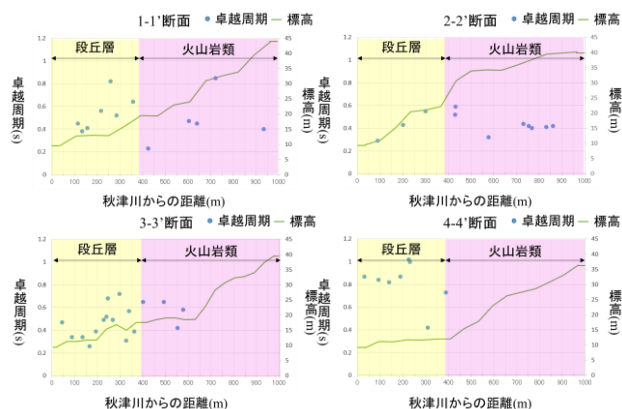


図-5 断面 1~4 での表層地質と標高と卓越周期分布

5. 結 論

益城町被害集中域周辺では, 地盤の卓越周期は共通して 0.5~0.8 秒であったが, 段丘堆積物地盤では不飽和状態の表層の非線形化によって長周期化と増幅のため被害集中域で 0.8~1.0 秒の成分が増幅した可能性がある.

参考文献:

- 1) 門馬 直一: 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・大会-2016 梗概集
- 2) 西山 優輔, 森 伸一郎: 2016 年熊本地震で被害の集中した益城町での微動観測, 地盤工学会四国支部研究発表会, 2016.11.
- 3) Yoshiya Hata, Hiroyuki Goto, and Masayuki Yoshimi: Preliminary Analysis of Strong Ground Motions in the Heavily Damaged Zone in Mashiki Town, Kumamoto, Japan, during the Mainshock of the 2016 Kumamoto Earthquake (Mw 7.0) Observed by a Dense Seismic Array, Seismological Research Letters, Vol.87, No. 5, 2016, pp.1-6
- 4) 国土交通省: 5 万分の 1 都道府県土地分類基本調査 (御船)