

京都大学大学院 学生会員 ○市村 智, 宗 哲仁  
 京都大学大学院 正会員 三村 衛  
 京都大学大学院 正会員 肥後 陽介

1. はじめに

2016年4月14日及び16日にかけて発生した平成28年熊本地震は熊本県益城町に甚大な被害を及ぼした。しかしながら、益城町内の近接した地点間で建築物被害程度に明確な差が生じていることが確認された。本研究では家屋倒壊の非常に激しかった地区とほぼ無被害であった地区からそれぞれ1地点ずつ選定し、ボーリング調査と上部粘性土層の乱さない試料採取を行った。その採取試料を対象とした一連の土質試験によって動的パラメータを求め、ボーリング結果から得られた地盤構造モデルに対し、有限要素による一次元動的解析を実施した。解析により被害に明確な差が生じた2地点の地盤震動特性を求めた。

2. 試料の詳細と実験内容

熊本県益城町安永地区の2地点〈安永古川第二公園 (MS1)、安永第二団地公園 (MS2)〉で工学的基盤までのボーリング調査と上部粘性土層の試料採取を行い、その粘土試料を対象に物理試験、力学試験を実施した。MS1は建物被害がほとんどない地区にあるのに対し、約200m離れたMS2を含む地区では大部分の建物が倒壊や傾斜、ひび割れなどの甚大な被害を被っている。実験で得られた結果より、一次元動的解析に用いる土質定数を求めるとともに、力学試験の非排水繰返し三軸試験、動的変形試験より2地点の粘土試料の動的特性を求めた。

3. 一次元動的解析と地盤モデル

有限要素法による一次元動的解析には、液状化解析法LIQCA2D16<sup>1)</sup>を用いた。2地点のボーリング調査、KIK-net益城におけるPS検層、GS-MSK-2<sup>2)</sup>におけるPS検層をもとに作成した一次元地盤モデルを図1に示す。実験を実施した粘土層は構成式としてR-Oモデル(地盤工学会ハンドブック,1999;土木学会編,1989;Ishihara,1996)を使用する。パラメータは実験結果から得た土質定数と動的変形試験を用いた要素シミュレーションによるフィッティングで決定した。

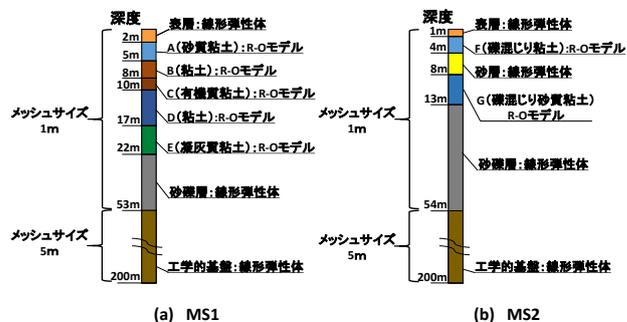


図1 一次元地盤モデル

4. 熊本地震の地震挙動

入力地震動は2016年4月16日KiK-net益城観測地震動<sup>3)</sup>を用い、工学的基盤GL-200mに入力した。図2に観測地震動波形とフーリエスペクトルを示す。フーリエスペクトルより観測地震動は1s付近の周期帯に大きなエネルギーを有する地震波であることが分かった。

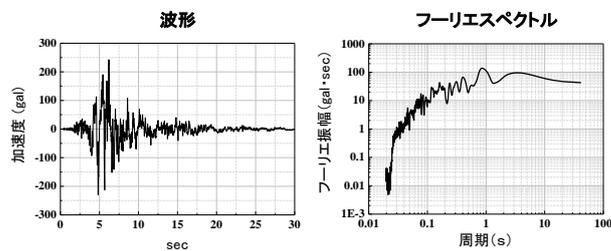


図2 観測地震動波形・フーリエスペクトル

表1に観測地震動と2地点の地表面の最大加速度値を示す。また図3、図4に観測地震動入力時の最大加速度深度分布と各地点の地表面フーリエスペクトルを観測地震動のフーリエスペクトルで除した伝達関数を示す。伝達関数は各周期帯の波の増幅率を示し、増幅率が大きい周期帯はその地盤の卓越周期を表している。表1を見ると、地表面における最大加速度値は、MS1地点よりもMS2地点で大きい事がわかる。また図3より、粘土層から地表面まで単調に加速度値が増幅するMS2地盤に対して、MS1地盤では粘土層中央部で加速度値の大きな減衰が生じていることが分かる。図4の伝達関数を見ると、MS1地盤は1.4s付近に、MS2地

盤は 1.0s と 1.8s 付近に卓越周期を持つことが分かる. よって MS2 地点は地盤の卓越周期(1.0s)と観測地震動の卓越する周期帯(1.0s)が一致したために MS1 地点よりも地表面応答が大きくなり, 甚大な建物被害につながったものと考えられる.

表 1 最大加速度値

	最大加速度(gal)
KiK-net 益城観測地震動	242.71
MS1 地表面	700.97
MS2 地表面	1198.53

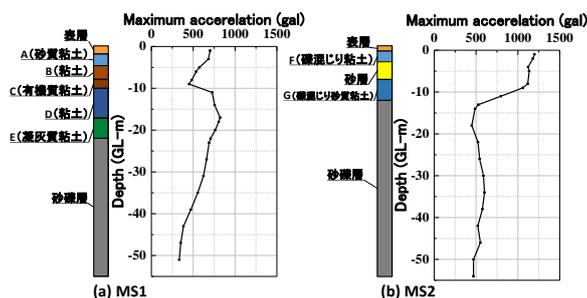


図 3 最大加速度深度分布

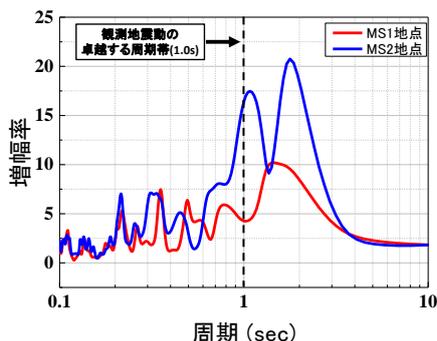


図 4 伝達関数

### 5. 2 地点の地盤の卓越周期

前述した図 4 の伝達関数より得られた地盤の卓越周期に従い, MS1, MS2 両地盤に周期 1.0s (周波数 1.0Hz), 1.4s (0.7Hz), 2.0s (0.5Hz) の sin 波を入力しその挙動を比較検討した. sin 波の加速度振幅は 100gal とした. 表 2 に地表面最大加速度値, 図 5 に最大加速度深度分布を示す. 地表面最大加速度値を見ると伝達関数の概形の通り, MS1 地盤は周期 1.4s, MS2 地盤は周期 1.0s, 2.0s の sin 波入力時に極めて大きい応答を示していることがわかる. また赤線で示す周期 1.0s の sin 波入力時の最大加速度深度分布を見ると, 図 3 の観測地震動のものに近い概形を示していることが分かる. これは観測地震動が 1s 付近の周期帯に大きなエネルギーを有する地震波であったことが要因であると考えら

れる. 以上の結果より, 同じ地点でも, 地盤の卓越周期と入力する地震動の卓越する周期帯の関係性によって地震挙動が大きく異なることが分かった. よって, 将来的に起こりうる地震動の性質によっては今回の熊本地震による益城町の地震被害とは異なった挙動が生じる可能性があると考えられる.

表 2 sin 波最大加速度値

入力波形	地表面最大加速度(gal)		
	MS1	MS2	
KiK-net 益城観測地震動	700.97	1198.53	
sin 波	T=2.0sec(0.5Hz)	710.53	2508.65
	T=1.4sec(0.7Hz)	1306.40	879.01
	T=1.0sec(1.0Hz)	604.03	1458.12

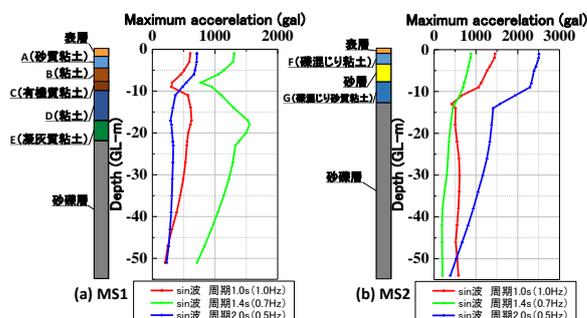


図 5 sin 波最大加速度深度分布

### 6. 結論

益城町内の 2 地点から採取された試料を対象に実験を行い, 得られた土質定数をもとに一次元的解析を実施した結果, 今回の熊本地震は建物被害の非常に大きかった地点 (MS2) が揺れやすい周期帯に大きなエネルギーを持つ地震波であることが分かった. また 2 地点に異なる周期の sin 波を入力した結果, 両地点の地表面応答が大きく変化したことから, 同じ地点でも地盤の卓越周期と入力する地震動の卓越する周期帯に関係性によって地震挙動が大きく異なることが分かった. よって, 将来的に起こりうる地震動の性質によっては今回の熊本地震による益城町の地震被害とは異なった挙動が生じる可能性があると考えられる.

### 参考文献

- 1) 一般社団法人 LIQCA 液状化地盤研究所:LIQCA2D16・LIQCA3D15(2016 年公開版資料), 2016
- 2) 吉見雅行, 後藤浩之, 秦吉弥, 吉田望: 益城町市街地の 2016 年熊本地震被害集中域における非線形地盤応答特性, 平成 28 年度京都大学防災研究所研究発表講演会
- 3) 防災科学技術研究所, 強震動観測網, KiK-net, データダウンロード, (2017,11,29) ([http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/docs/kyoshin\\_index.html](http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/docs/kyoshin_index.html))