

# つくば市西部における微動探査と 2011 年東北地方太平洋沖地震による建物被害との関係

協和設計(株) 正会員 ○川向藍子  
鳥取大学 正会員 香川敬生  
産業技術総合研究所 長 郁夫

鳥取大学 正会員 野口竜也  
鳥取大学 正会員 福田大地  
防災科学技術研究所 先名重樹  
東北大学 岡田真介

## 1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震により、茨城県つくば市では計測震度 6 弱を記録した。これにより屋根瓦落下等の被害が発生した。特に顕著な被害であった屋根瓦の被害率マップ<sup>1)</sup>(図 1)をもとに、瓦屋根被害の高い地域と低い地域とで微動探査を行った。微動探査により地下地盤構造を明らかにし、被害率の高い地域と低い地域とで違いがあるかを検討した。また、推定した地下地盤構造の応答計算を行うことで本研究観測地域の特性を検討した。

## 2. 観測

微動の 3 成分単点観測を 89 点とアレイ観測を 20 点行った。観測機器は加速度計 JU215 と JU310 を用い、各点 15 分間の観測時間とした。サンプリング周波数は 100Hz とし、アレイ配置は 4 台の地震計を用い中心に 1 台、他の 3 台を円周上に正三角形となるように配置した。

## 3. 解析

3 成分単点観測の観測波形をフーリエ解析し、NS・EW 成分を UD 成分でそれぞれ除したものを H/V スペクトルとして、2 つの卓越周期を読み取った。この際、基盤層までの堆積層によって成されたピークだと考えられる卓越周期帯を 1/4 波長則から算出し、0.6~1.3 秒のピークを読み取った(図 2 参照、網掛けの部分)。また、アレイ観測の観測データは、CCA 法<sup>2),3)</sup>と SPAC 法<sup>4)</sup>、ノイズ補正 CCA 法<sup>5)</sup>により位相速度分散曲線を求めた。この位相速度分散曲線から、6 層から成る地盤構造モデルをフォワードモデリングから推定した。この際、1・2 層目を観測より得られた位相速度分散曲線より求め、3~6 層目を既存の

モデル<sup>6)</sup>を参考にした。これにより得られた地盤構造モデルを用いて応答倍率計算と、K-net IBR011 の東北地方太平洋沖地震の際の地震波形から応答スペクトル計算を行い、この地域の地盤震動特性を検討した。

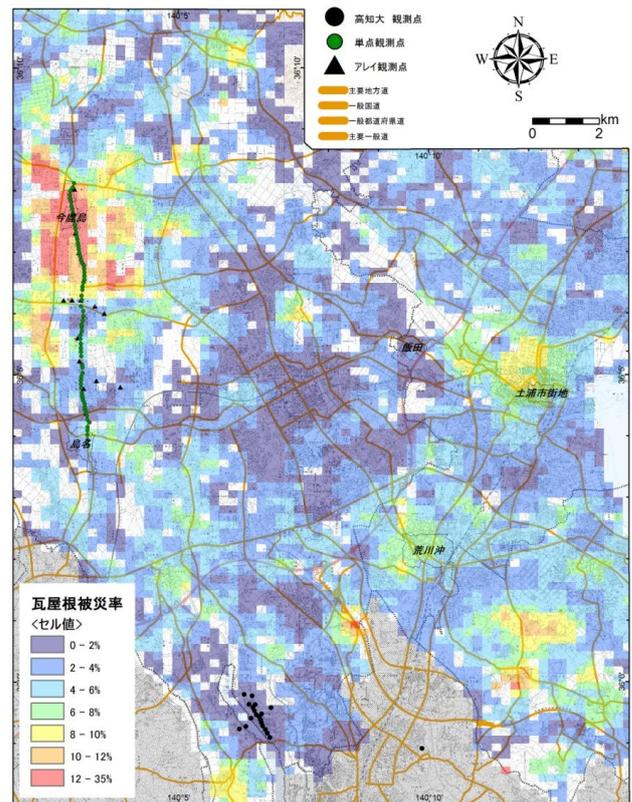


図 1 屋根瓦被災率と観測点

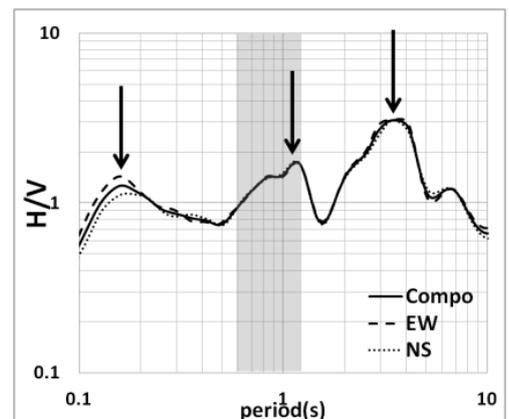


図 2 H/V スペクトルの例

#### 4. 結果および考察

H/V スペクトルの今鹿島 - 島名区間の卓越周期を分布で表したものを図 3 に示す。丸が塗りつぶされている点はピークが明瞭であった観測点である。これから、瓦屋根被害の少ない島名付近では瓦屋根被害の多い今鹿島付近に比べ卓越周期約 1.0 秒が多く分布しておりかつ明瞭な点が多いことがわかる。この 1.0 秒付近に卓越周期が現れるか、またはその明瞭さが瓦屋根被害率に関係したと考えられる。

アレイ観測より推定された地下地盤構造を柱状図にしたものを、南北のラインと東西のラインに分けて図 4 に示す。地表面下 10m において、既存のモデルでは存在しなかった層が現れ、詳しい地盤構造がわかる結果となった。また、基盤風化部(図 4 の最下層)に注目する。南北ラインの柱状図を見ると、被害率の高い AR4~1 より被害率の低い AR6~7 の方が基盤風化部に達する深度が深く、その上の堆積層が厚いことがわかる。この結果から堆積層が薄い方が、被害率が高い結果となった。これは、基盤層までの堆積物の層厚に関わる地盤の卓越周期と、建物の固有周期とが AR4~1 の方は近く、AR6~9 の地域は離れていたためと考えられる。つまり、AR4~1 では共振作用が強く働いた可能性がある。

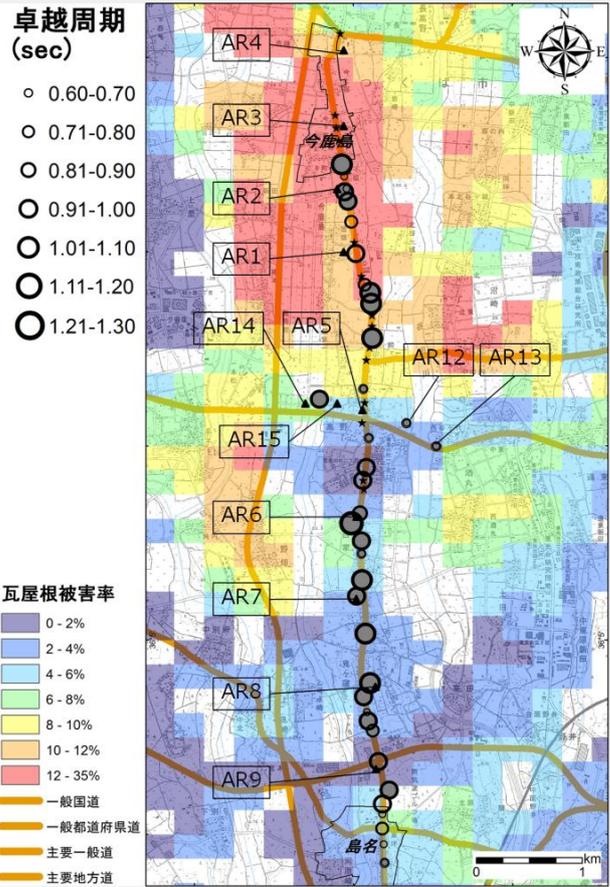


図 3 卓越周期分布

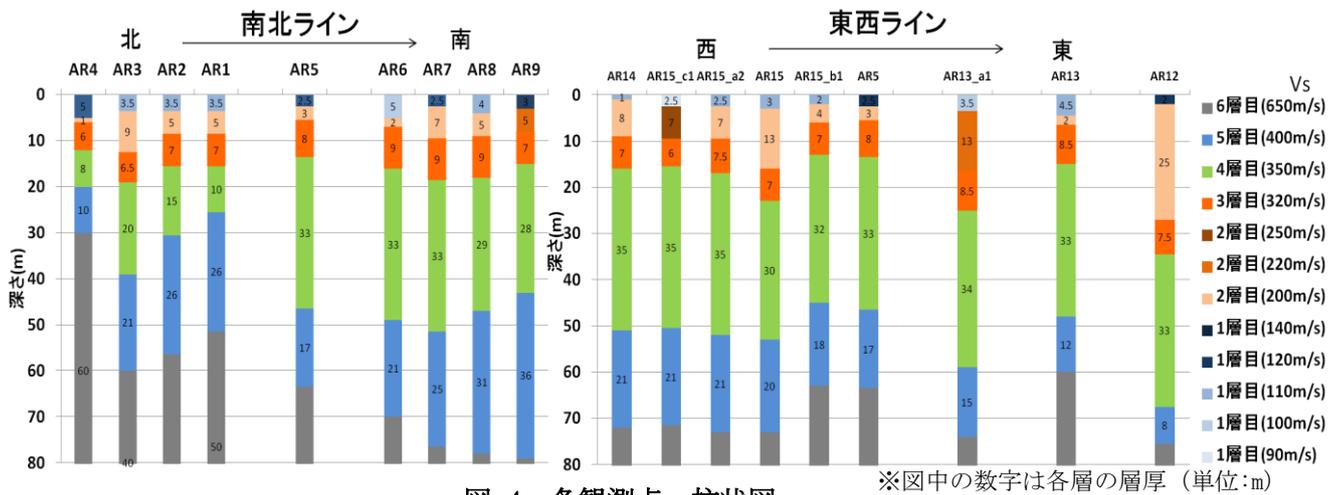


図 4 各観測点 柱状図

全点の応答倍率の基盤層までの堆積層によって成していると考えられるピーク値とその周波数成分を散布図にしたものを図 5 に示し、K-NET IBR011 東方地方太平洋沖地震の強震記録による加速度応答スペクトルを図 6 に示す。図 5 より周波数 1.7Hz 以上になると、被害率の高い地域での観測点となることが分かる。東北地方太平洋沖地震の加速度応答スペクトル(図 6)を見ると、2.0Hz 以上の周波数になると卓越していることがわかる。また、図 5 から応答倍率 6 付近に集結していることが分かる。

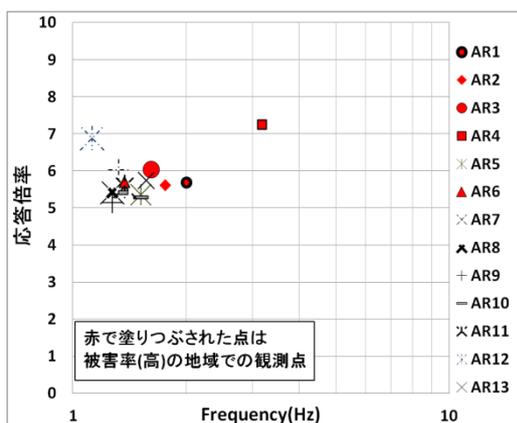


図 5 応答倍率のピーク値

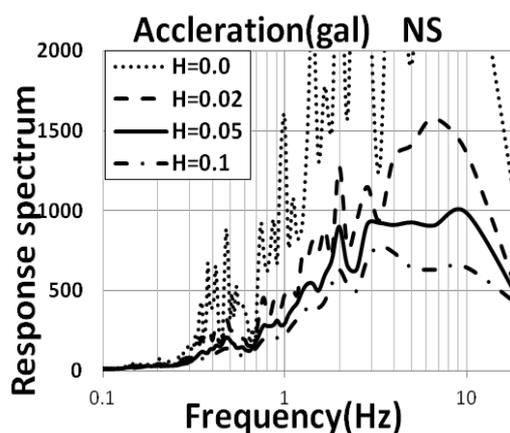


図 6 加速度応答スペクトル

## 5. まとめ

- アレイ観測によって得られた地盤構造推定より、地表面下 10m において、詳しい表層の地盤構造が明らかとなった。
- 瓦屋根被害率の高い地域(今鹿島)と低い地域(島名)とで次のような特性の違いがあることがわかった。
  - ① H/V スペクトル約 1.0 秒ピークが、今鹿島でははっきりと現れず、島名でははっきりと現れた。
  - ② アレイ観測による地盤構造推定を行い、堆積層が薄い方が被害の多い結果となった。
  - ③ アレイ観測で得られた地盤構造による応答計算により、図 6 の卓越している周波数帯に、図 5 の各点の値が近づくほど、被害の高い観測点となることが分かった。

以上の 3 つより、本研究の観測地域は東北地方太平洋沖地震の際の基盤までの地震動の特性は同じだったものの、今鹿島付近では堆積層により増幅され、さらに共振作用が起こり、瓦屋根の被害を増大させたと考えられる。

謝辞：防災科学技術研究所による K-NET IBR011 の地震と波形データを使用させて頂きました。

## 参考文献：

- 1) 岡田信介・小松原 琢・中澤 努・中村洋介・坂田健太郎・納谷友規； Google Earth を用いたつくば市および土浦市周辺における 2011 年東北地方太平洋沖地震による瓦屋根被害の分布調査,地震, Vol.64,No.4,pp257-264,2012
- 2) Cho, I., T. Tada, and Y. Shinozaki, 2004, A new method to determine phase velocities of Rayleigh waves from microseisms, Geophysics, 69, 1535-1551.
- 3) Cho, I., T. Tada, and Y. Shinozaki, 2006, Centerless circular array method: Inferring phase velocities of Rayleigh waves in broad wavelength ranges using microtremor records, J. Geophys. Res., 111, B09315, doi:10.1029/2005JB004235.
- 4) Aki, K.: Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol.35, pp.415-456, 1957.
- 5) Tada, T., I. Cho, and Y. Shinozaki, 2007, Beyond the SPAC method: exploiting the wealth of circular-array methods for microtremor exploration, Bull. Seism. Soc. Am., 97, 2080-2095, doi:10.1785/0120070058.
- 6) 宇野沢 昭・磯部一洋・遠藤秀典・田口雄作・永井茂・石井武政・相原輝雄・岡重文, 筑波研究学園都市及び周辺地域の環境地質図, 地質調査所, 1988.