

微動のアレー観測記録を用いた大崎市古川地区における表層地盤構造の推定

東京工業大学	正会員	○ 盛川 仁・満永 仁志・飯山 かほり
京都大学	正会員	後藤 浩之・稲谷 昌之
(株) ニュージェック	正会員	羽田 浩二
京都大学	正会員	池田貴昭・高屋俊康・木村紗也佳・秋山良平・澤田 純男

1. はじめに 2011年東北地方太平洋沖地震(以下、たんに本震と呼ぶ)によって、地震動や津波による被害が多く発生したが、宮城県大崎市古川地区は地震動による被害が特に顕著な地域の一つであった[1]。さらに、古川地区に限ってもわずかに3km四方程度の非常に狭い範囲においてもその被害は非常に局所的であり、図1に示すように市街地を東西に走る陸羽東線の北側において被害が集中している[2]。このような被害の局所性は、新耐震基準の施行前に建てられた古い建造物が比較的多い街区があったこともその要因の一つであるが、地盤の違いによる地震動の局所的な違いも大きな影響を及ぼしたと考えられる。

これまで筆者らは、古川地区において、超高密度地震観測網を構築し東北地方太平洋沖地震の余震を多く記録することで、地盤の地震動特性について種々の検討を行ってきた[3,4]。しかし、表層の速度構造の違いが地震動の違いに影響していることが示唆される結果が得られているものの、速度構造を精確に決定するまでにはいたっていない。そこで、本研究では、微動のアレー観測を行って速度構造の推定を試みた。

2. 観測 観測は2014年12月13日から16日にかけて行った。図1の薄茶色のプロットで示す3ヶ所で半径2.9~45mの正三角形のアレーを構成した。図中の緑色のプロットは本震時に設置されていた強震観測点を表わしている。微動アレー観測地点MMKは気象庁の古川観測点に隣接している。固有周期が0.5秒の動コイル型速度計4台でアレーを構成する観測を基本として周囲の環境にあわせて地震計を適宜追加してアレーを構成した。地震計の出力は、200Hzのサンプリングレートでデジタルデータロガーに記録した。これらの記録の同時性はGPS時計によって1ms程度の精度で確保している。

3. 解析結果と議論 得られた記録から空間自己相関(SPAC)法[5]を用いて位相速度を推定した。その結果を図2に示す。この図より、いずれの観測点においても表層のせん断波速度は100m/s程度の非常に軟弱な地盤であることがわかる。また、位相速度は北の観測点の方が遅く、一番南側で被害の多かった地域に位置するMMKがもっとも位相速度は速い。北側のF4Sは江合川に近く、そのため河川の氾濫原で表層が軟かい堆積物に覆われていると考えられ、この傾向は定性的に理解しやすい。

各観測点における水平動/上下動スペクトル比(以下ではH/Vと呼ぶ)を図3に示す。いずれの地点でも1Hzよりも低周波数側の領域における山も谷もその周波数はほぼ同じであり、深い構造はこれらの地点に共通の速度構造であるものと考えられる。0.2Hz付近の山は地震基盤上面での速度コントラストに対応し、1.5Hz付近の山は工学的基盤上面でのそれに対応するものと推察される。したがって、工学的基盤面より深い構造はH/Vの形状を用いた大雑把な推定ではあまり細かな構造の違いを議論することはできない。一方、観測記録から得られたH/Vの観測点ごとの違いは3~5Hzに見られる谷の周波数に見られ、北側の2地点(F4SとSXZ)はおよそ3Hz、MMKでは4.2Hzである。このことは、工学的基盤面よりも表層部分に速度構造の違いがあることを示唆している。

微動記録から推定された位相速度とH/Vを説明するような地盤の速度構造モデルを試行錯誤によって探索して決定した結果を図4に示す。得られた地盤モデルから理論的に得られるRayleigh波の分散曲線と楕円率はそれぞれ図2および3に重ねて示している。上記の考察により、工学的基盤に相当すると考えられるせん断波600m/sよりも深

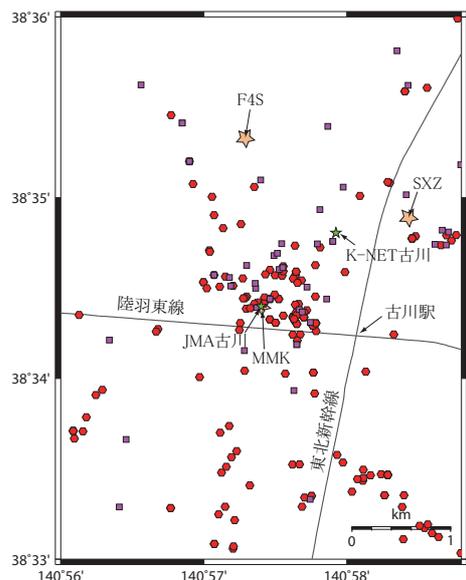


図1: 古川地区における大規模半壊以上の被害建物のおよその分布。本震時の強震観測点(緑色)、微動アレー観測点(薄茶色)をあわせて示す。

キーワード: 微動アレー探査, 位相速度, 速度構造, 基盤深さ, 宮城県大崎市古川
 連絡先: 〒226-8502 横浜市緑区長津田町4259-G3-7, 東京工業大学大学院 総合理工学研究科 人間環境システム専攻
 電話: 045-924-5607, Fax: 045-924-5601

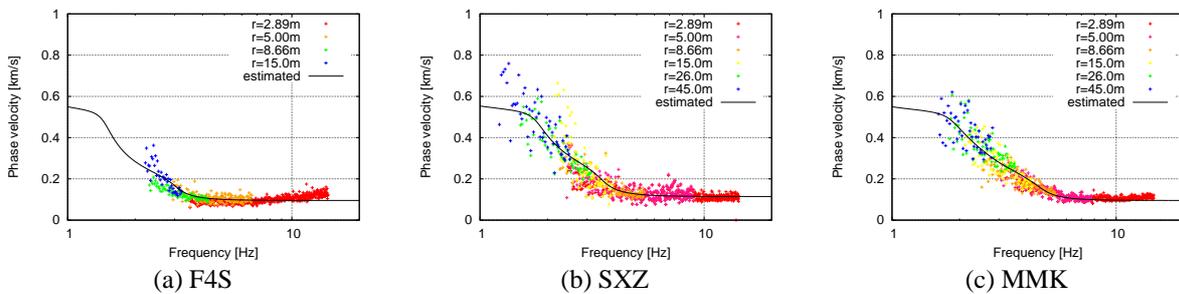


図 2: 微動のアレー観測記録から推定された位相速度とモデル地盤の Rayleigh 波の理論分散曲線 (実線)。

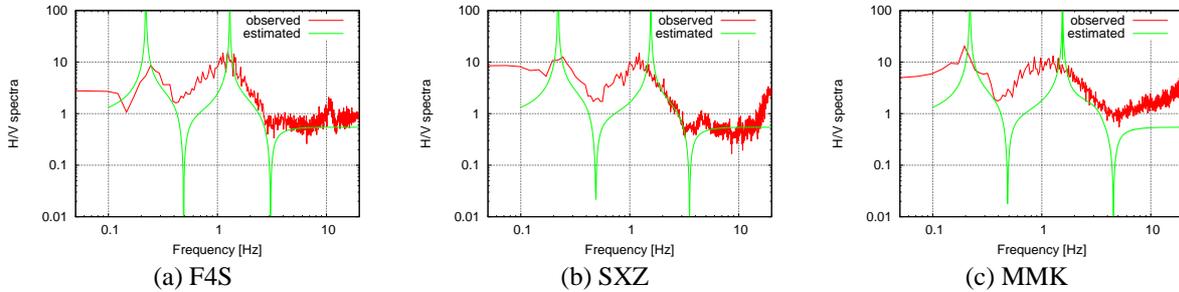


図 3: 微動の水平動/上下動スペクトル比 (赤線) とモデル地盤の Rayleigh 波の理論楕円率 (緑線)。

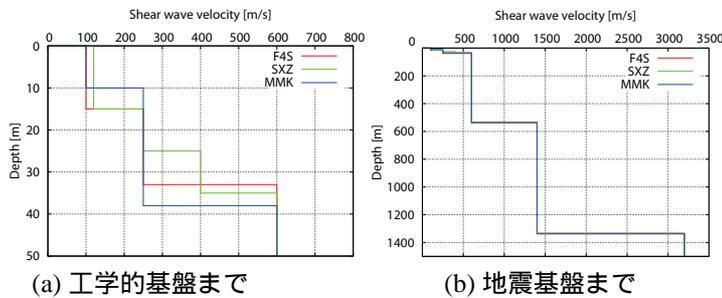


図 4: 各観測点の速度構造モデル。

い構造は 3 地点で共通の構造を仮定して理論楕円率の山と谷が観測された H/V とあうようなパラメータを探索した。また、工学的基盤で浅の表層部分は観測記録から推定された位相速度と理論分散曲線があうようにパラメータを決めたうえで H/V と理論楕円率を比較してパラメータの妥当性を確認した。

これらの図を見ると、工学的基盤面より表層の地盤はいずれの観測点においてもせん断波速度が 100 ~ 150 m/s の軟弱な層が表層に 10 ~ 15 m ほど堆積していることがわかる。北側の 2 つの観測点のほうが表層の軟弱層はやや厚いが、その下の工学的基盤の上面との間の中間層の厚さは逆に南側の観測点のほうが厚い。この中間層には SXZ のみ 400 m/s の層を追加したほうが観測から得られた位相速度をよりよく説明できるため、それを加えている。したがって、位相速度は SXZ の方が F4S よりも速いが、それは層厚の違いではなく、せん断波速度の違いによるものと考えられる。MMK は位相速度は他の 2 地点に比べて速く、H/V の谷の周波数が他よりも高いが、これは中間層が他に比べて厚いことに起因していると考えられる。また、この層が地震動の空間変動、すなわち地震動による被害の違いに寄与したものと推察される。

H/V はそのピークを与える周波数は 3 つの観測点においてほとんど違いが見られず、深い構造も最表層部分もほとんど同じ構造である。構造の違いは最表層直下から工学

的基盤までの 30 m 足らずの中間層に見られた。このことは、これまで様々なフィールドにおいてしばしば行われてきたように、H/V のピークを与える周波数だけを見ても、工学的基盤面より上の浅い部分の速度構造の違いを的確に推定することは難しいことを示している。このような場合、谷の周波数や山と谷の周波数の比または差などを用いた評価が必要となるであろう。

4. まとめ 2011 年東北地方太平洋沖地震で地震動によって大きな被害を受けた宮城県大崎市古川地区において微動のアレー観測を行い、地盤の速度構造を推定した。その結果、地震動の空間変動が工学的基盤と最表層の間の中間層の違いに影響を受けている可能性が示唆された。また、H/V のピークを与える周波数の違いだけでは、このような浅層部分の局所的な違いを十分に説明できない場合があることが明らかとなった。今後は、H/V の谷に対応する周波数などこれまであまり利用されていなかった情報を積極的に活用する手法の開発につなげていきたい。

参考文献

- [1] Goto, H. and Morikawa, H., "Ground motion characteristics during the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, *Soils and Foundations*, **52**(5), 2012, 769-779.
- [2] Goto, H., Hata Y., Kuwata, Y., Yamamoto, H., Morikawa H., and Kataoka, S., "Earthquake source and ground motion characteristics in eastern Japan during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake," *Journal of JSCE, Division A, Structural Engineering/Earthquake Engineering & Applied Mechanics*, **1**(1), 2013, 329-342.
- [3] Goto, H., Morikawa, H., Inatani, M., Ogura, Y., Tokue, S., Zhang, X.-R., Iwasaki, M., Araki, M., Sawada, S., and Zerva, A., "Very dense array observation in Furukawa district, Japan," *Seismological Research Letters*, **83**(5), 2012, 765-774.
- [4] Goto, H., Inatani, M., Sawada, S., Morikawa, H., Ogura, Y., Tokue, S., Zhang, X.-R., Iwasaki, M., Araki, M., and Zerva, A., "Site amplification based on very dense seismic array observations in Furukawa district, Japan," *Safety, Reliability and Life-Cycle Performance of Structures & Infrastructures*, CRC Press/Balkema - Engineering, Water and Earth Sciences, Taylor & Francis Group, London, 2014, 1415-1421.
- [5] Aki, K., "Space and time spectra of stationary stochastic waves with special reference to microtremors," *Bulletin of Earthquake Research Institute, University of Tokyo*, **35**, 1957, 415-456.