

微動探査法を用いた倉吉市関金地区の地盤震動特性及び地下構造の把握

鳥取大学	学生会員	○小林	和生
鳥取大学	学生会員	西村	武
鳥取大学	正会員	野口	竜也
鳥取大学	正会員	香川	敬生

1. はじめに

2016年10月21日の鳥取県中部の地震(Mj6.6)では、鳥取県中部の関金町では屋根瓦のずれや壁の損傷など、目立った住宅の被害は報告されていない。ただ、この地震に伴う余震活動は活発で、その震源がこの地域の直下にまで広がっており、今後M6~7クラスの地震が引き続き起こる可能性もあり、軟弱の地盤上では甚大な被害が生じることが予想される。よって、この地域で地震動評価を行うことは、地震防災上重要であり、そのためには地盤震動特性や地盤構造の情報が必要不可欠である。

そこで本研究では微動探査法を用いて、地盤震動特性の把握および地盤構造の推定を行う。

2. 観測概要

微動の3成分単点観測について、平成30年9月12日に関金町市街地及びその周辺地域において96点の3成分単点観測を行った。市街地では100m間隔ほどで観測を行い、その周辺地域は300~600m間隔で観測点を設置した。観測機器は、3成分加速度型地震計JU410(白山工業)を使用し、観測時間は10分間とした。機器の設定について、測定の方法はNS成分、EW成分、UD成分の3成分とし、アンプ倍率:100、サンプリング周波数:100Hzとした。

微動のアレイ観測について、平成30年11月14日に、大山池の南部(DI)、倉吉市立鴨川中学校(SKGJ)、倉吉西(KYA)(単点観測点のKY43付近)の3地点で微動のアレイ観測を行った。地震計の配置は円の中心に1台、円周上に他の3台を等間隔になるように設置した。アレイ半径は、DIでは1m, 5m, 10m, 30m, 60m, 100m, SKGJでは10m, 30m, KYAではアレイ半径1m, 5m, 10m, 30mとした。1m, 5m, 10m, 30mでは10分間60m, 100mでは15分間の観測時間を設けた。観測機器は3成分単点観測と同様にJU410を使用し、サンプリング周波数は200Hz、GPSクロックにより同期させた。

3. 解析

3成分単点観測からは観測で得られた波形に含まれる車や人の振動などの定常的な部分を1区間20.48秒として5区間以上選択し、高速フーリエ変換(FFT)を行い、3成分のフーリエスペクトルを算出し、平均スペクトルを求めた。その際に、対数ウィンドウ¹⁾の係数bを20として平滑化している。水平成分のフーリエスペクトルは相乗平均で合成し、水平動と上下動のフーリエスペクトルの比(H/V)を求めた。得られたH/Vのピークを目視で読み取り、その周期を卓越周期とした。

アレイ観測記録からは、微動記録の10.24秒の区間のセグメントについて平均自乗根RMSを求め、全波形についてのRMSと比較することで自動的に波形を選択した。選択した波形について、FFTによりフーリエスペクトルを求め、パーゼンウィンドウ0.3Hzで平滑化し、CCA法²⁾、V法³⁾を用いてアレイ半径毎の位相分散曲線を求めた。得られた位相速度分散曲線およびアレイ中心点のH/Vを用いて、レイリー波の基本モードの理論値によるフォワードモデリングにより地盤構造モデルを推定した。

キーワード 2016年鳥取県中部地震 H/Vスペクトル 地下構造モデル

連絡先 〒680-8550 鳥取市湖山町南4-101 鳥取大学 工学部 社会システム土木系学科

野口 竜也 TEL: 0857-31-6097

4. H/V の卓越周期分布

図 1 に対象地域全域、図 2 に関金市街地の H/V の卓越周期分布図を示す。なお、観測地点コードは関金市街地にある観測点は SKG、関金市街地の周辺地域は KY としている。小鴨川より南方には花崗岩類が広がっており、関金市街地には火山砕屑物が薄く堆積している⁴⁾ため、関金市街地では卓越周期 0.05~0.15 秒の領域が広く分布していると考えられる。しかし、SKG21, 28, 29 は卓越周期 0.25~0.35 秒と他の地点より卓越周期が長くなっている。関金市街地には古い木造住宅が多く、建物の老朽化により耐震性が低いこと、地盤の卓越周期が建物固有周期に近く共振の可能性があるため、地震被害の危険性が高いと思われる。

また、小鴨川より北方の台地には大山の火山砕屑物が厚く堆積しており、それに対応して KY11~KY16 は関金市街地よりも長い卓越周期 0.30~0.50 秒となっていると考えられる。KY10 は KY11~KY16 の近傍に位置するが卓越周期 0.085 秒と短くなっているが、これは KY11~KY16 より表層の S 波速度が速い、または表層が薄いためと考えられる。KY39, 41, 43, 44, 45, 46, 47 の卓越周期 0.05~0.15 秒となる原因は後述する地盤構造モデルより、礫混じり砂、砂混じりシルトの層がそれぞれ 1m と薄く堆積しているためと考えられる。

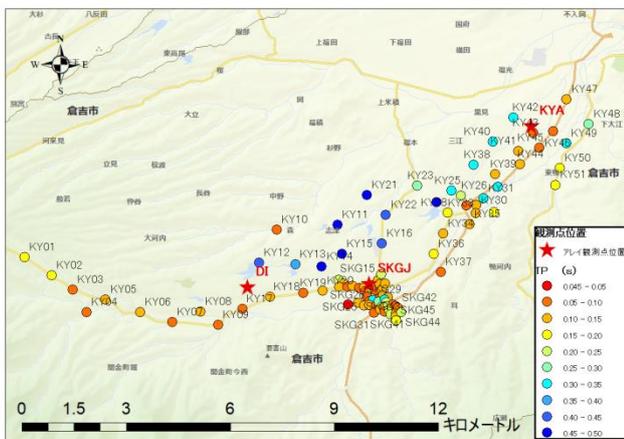


図 1 対象地域全域の卓越周期分布

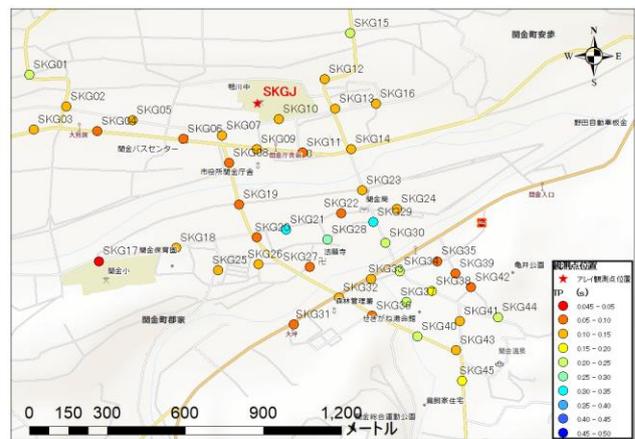


図 2 関金市街地の卓越周期分布

5. 関金町市街地およびその周辺地域の地盤構造モデル

SKGJ 地点でのアレイ観測から得られた結果から、位相速度分散曲線、アレイ半径 10m の中心点の H/V スペクトルをそれぞれ図 3、図 4 に、推定地盤構造モデルを表 1 に示す。なお、図 3、図 4 には観測で得られた位相速度分散曲線、H/V と、表 1 の地盤モデルによるレイリー波基本モードの位相分散曲線、H/V を重ねて示している。また、DI 地点および KYA 地点の推定地盤構造モデルを表 2、表 3 に示す。

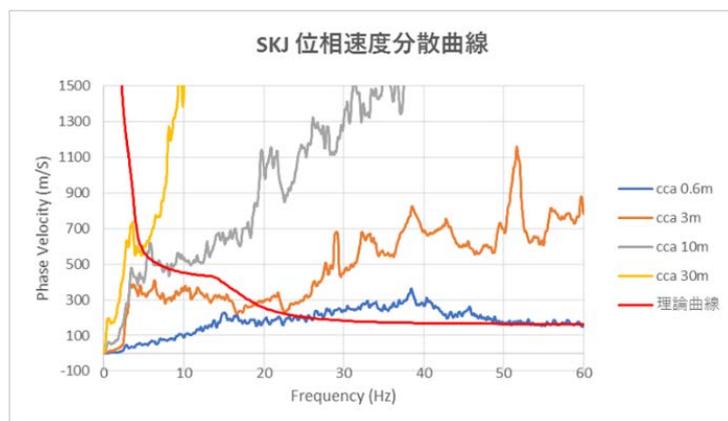


図 3 鴨川中学校 位相速度分散曲線

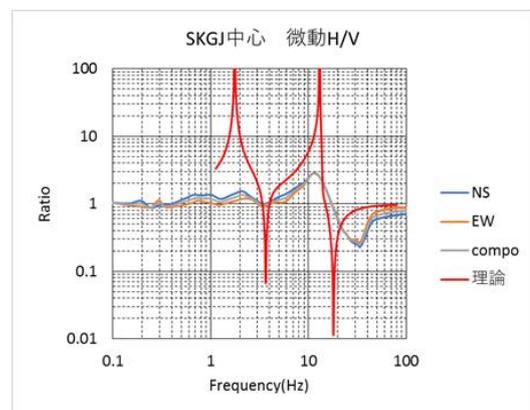


図 4 鴨川中学校 中心点の H/V スペクトル

表1 鴨川中学校(SKGJ)の地盤構造モデル

層厚(m)	密度(t/m ³)	P波速度(m/s)	S波速度(m/s)
3	1.6	1480	170
2	1.65	1565	250
2	1.7	1620	300
25	1.8	1845	500
50	2.1	1950	600
9	2.3	2960	1500
∞	2.5	3950	2400

表2 大山池の南部(DI)の地盤構造モデル

層厚(m)	密度(t/m ³)	P波速度(m/s)	S波速度(m/s)
19	1.7	1480	170
10	1.8	1623	300
10	1.9	1730	400
250	2.2	2178	800
∞	2.4	3288	1800

表3 倉吉西(KYA)の地盤構造モデル

層厚(m)	密度(t/m ³)	P波速度(m/s)	S波速度(m/s)
2	1.7	1410	100
22	1.8	1550	230
5	1.9	1730	400
120	2.1	3050	1600
∞	2.4	3270	1800

近傍のボーリングデータ⁵⁾との対比により、各層の地質は以下の通りであった。

① SKGJの地下構造について(表1)

$V_s=170\text{m/s}$ の層は礫混じり砂、 $V_s=250\text{m/s}$ の層は玉石、 $V_s=300, 500\text{m/s}$ の層は風化質花崗岩であると考え考えられる。

② DIの地下構造について(表2)

$V_s=170\text{m/s}$ の層が風化した火山灰と降下軽石、 $V_s=300\text{m/s}$ の層は風化凝灰角礫岩であると考えられる。

③ KYAの地下構造について(表3)

$V_s=100\text{m/s}$ の層は礫混じり砂と砂混じりシルト、 $V_s=230\text{m/s}$ の層は礫、 $V_s=400\text{m/s}$ の層は風化質花崗岩、 $V_s=1600\text{m/s}$ の層が深部にあると考え考えられる。

$V_s=200\text{m/s}$ 以下の軟弱層は、SKGJは3m、DIは19m、KYAは2mであり、アレイ観測地点周辺の卓越周期分布を見ると、SKGJ近傍は卓越周期0.1~0.15秒、DI近傍は卓越周期0.4~0.5秒、KYA近傍は卓越周期0.05~0.1秒となっており、軟弱層の厚さに卓越周期の分布が対応していることが分かる。そこで、軟弱層の層厚をアレイ観測で求めたS波速度と観測地点ごとの卓越周期を用い、図5のような地盤を仮定し、4分の1波長則によって求めることが可能である。

$$H = (V_s \times T) / 4 \quad H: \text{層厚(m)} \quad V_s: \text{均質2層モデルの表層のS波速度(m/s)} \quad T: \text{卓越周期(s)}$$

この式によれば、軟弱層の層厚はSKGJ周辺は4.3m~6.4m、DI周辺は17m~21m、KYA周辺は1.3m~2.5mとなる。

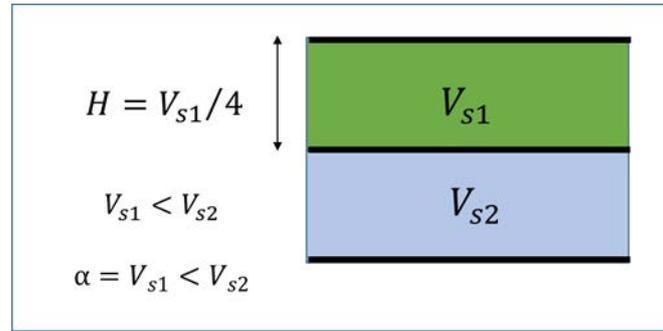


図5 2層地盤モデル

7. まとめ

- a). 観測地域の西方には大山があり、小鴨川に沿った地域にその火山碎屑物が薄く堆積したため卓越周期が0.05~0.15秒の地点が多く見られる。小鴨川より北方の台地には小鴨川に沿った地域と比べて大山の火山碎屑物が厚く堆積しており、その影響で卓越周期が0.35~0.5秒と長くなっている。
- b). アレイ観測から推定した地盤構造モデルより、地盤増幅に大きく影響する軟弱地盤については以下の通りである。鴨川中学校においては $V_s=170\text{m/s}$ の層が3m、 $V_s=250\text{m/s}$ の層が2mと表層が薄く、大山池南部では $V_s=170\text{m/s}$ の層が19mと表層が厚く、倉吉西では $V_s=100\text{m/s}$ の層が2mと薄い、 $V_s=230\text{m/s}$ の層が22mと厚いことがわかった。

参考文献

- 1). 紺野克昭, 大町達夫 (1995) : 常時微動の水平/上下スペクトル比を用いる増幅倍率の推定に適した平滑化とその適用例, 土木学会論文集, No. 525/I-33, pp. 247~259
- 2). 多田卓, 澤入雅弘, 篠崎祐三 (2007) : 極小微動アレイ観測による表面波位相速度の推定その1 CCA法, ノイズ補正CCA法, CCA円位相法, 日本建築学会大会学術講演概要集, pp265~266
- 3). I. Cho, T. Tada, and Y. Shinozaki (2007) : Beyond the SPAC Method : Exploiting the Wealth of Circular - Array Methods for Microtremor Exploration
- 4). 鳥取県 (1989. 3) : 温泉保全調査報告書 (5) 関金温泉, pp1, 9
- 5). ジオ・ステーション (閲覧日 2019. 3. 28) https://www.geo-stn.bosai.go.jp/mapping_page.html