

1943年鳥取地震の鹿野・吉岡断層における稠密微動観測に基づく地盤震動特性の把握

野口 竜也¹・小林 和生²・西村 武³・香川 敬生⁴

¹ 正会員 鳥取大学助教 学術研究院工学系部門 (〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南4-101)
E-mail: noguchit@tottori-u.ac.jp

² 学生会員 鳥取大学大学院生 持続性社会創生科学研究科 (〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南 4-101)
E-mail: M19J6013Y@edu.tottori-u.ac.jp

³ 学生会員 鳥取大学大学院生 工学研究科 (〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南 4-101)
E-mail: D20T4002H@edu.tottori-u.ac.jp

⁴ 正会員 鳥取大学教授 学術研究院工学系部門 (〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南4-101)
E-mail: kagawa@tottori-u.ac.jp

1943年鳥取地震により地震断層として鹿野・吉岡断層が生じた。両断層について、トレンチ調査や踏査、証言に基づく調査により断層変位箇所、微動探査や重力探査による地盤構造が行われている。また、断層変位箇所やその近傍において稠密な微動観測が行われている。ただし、断層の存在による地盤震動特性の違いについては十分な検討がなされていない。そこで本研究では、断層変位箇所やその近傍の稠密微動観測の結果を用いて、断層のごく近傍における地盤震動特性を把握した。地表変位箇所を境に前後でH/Vの形状や水平動の方向よる違いがみられ、断層運動に伴う地表変位箇所や地下の断裂箇所での地盤震動特性が異なることがわかった。

Key Words: *microtremor, characteristic of ground motion, Shikano and Yoshioka fault, 1943 Tottori Earthquake*

1. はじめに

1943年の鳥取地震により鹿野・吉岡断層が生じた。この断層は西方では相対的に北側が最大50cm沈下、北側が東に最大150cm水平移動、また断層の東方では南側が最大50cm沈下とわずかな水平移動、断層形態としては断層西方では正断層、東方では逆断層であったとされる^{1,2}。特に鹿野断層では、断層のごく近傍では地震動による倒壊が免れた建物がある一方、断層からやや離れた市街地では建物の倒壊率が高いなど、断層近傍での地震動の特徴が建物被害に影響した可能性がある。断層変位箇所の調査としては、トレンチ調査、踏査および聞き取りによる調査^{1,2}がなされており、この結果をもとに変動地形的な考察がなされている。また、断層とその周辺の地下構造を調べるために、重力探査や微動探査の実施により地盤構造の推定が行われており³、地盤構造が地震動に影響した可能性が示唆されている。ただし、断層の存在による地盤震動特性の違いについては十分な検討がなされていない。

そこで筆者らは、鹿野・吉岡断層の地表断裂部の直上において稠密な微動観測^{4,5,6}を実施、鹿野断層では地中レーダー探査⁶も実施し、断層による地盤構造の違いや地盤震動特性の変化を調べている。本研究では、それらの結果を集約し、両断層のごく近傍における地盤震動特性を調べた。

2. 観測

(1) 対象地域の概要

表層地質図(図-1)⁷より、鹿野地域の基盤をなす周囲の山地では、新第三紀の安山岩、古第三紀の流紋岩、花崗岩が露頭している。鹿野断層はほぼ東西方向に横切るように存在し、この断層から北東部に5km程離れて吉岡断層が雁行している。両断層とも花崗岩が露頭する地域を横切っている。吉岡断層の一部が沖積層の谷や鳥取平野まで断層が延びたとされる^{1,2}。鳥取地震により、建物倒壊がみられた鳥取市鹿野町の市街地は鹿野断層か



図-1 表層地質図⁷⁾と吉岡・鹿野断層における微動観測地域の位置^{4),5),6)}

ら北西に2km程離れた地域であり、東西方向の谷筋に街が形成されている。

(2) 観測方法

対象地域としては、鹿野・吉岡断層の地表変位箇所が保存されている地域とした。図-1の表層地質図上に観測地域を示す。

微動観測に用いた機器は3成分の加速度型微動計(白山工業製:JU410)であり、チェーンアレイでは8~12台用いて、GPSクロックにより同期させて同時観測を行った。サンプリング周波数は100Hzもしくは200Hz、観測時間はアレイ1セットで10~15分間程度とした。なお、チェーンアレイの頂点でも3成分の微動記録が得られるため、後述する3成分記録の解析に用いている。

各断層の地表変位箇所の地域で、微動の単点3成分観測を面的に20~50m間隔、その周辺を50~130m間隔で実施している^{4),5)}。観測点数について、吉岡断層では⁴⁾、鳥取市吉岡温泉新町地区が34点、野坂地区が75点、菖蒲地区が54点、鹿野断層では⁵⁾、鹿野町法楽寺地区が31点である。

また、各断層の地表地震断層上もしくは断層が存在すると思われる箇所では、断層線上を跨ぐように道路の端を頂点とする辺長2~4mの正三角形の微動のチェーンアレイ観測を実施している^{4),5),6)}。吉岡断層⁴⁾では吉岡温泉新町地区で1測線、野坂地区で2測線、鹿野断層^{5),6)}では、法楽寺地区で4測線、水谷地区で1測線の観測が実施されている。

地中レーダーの探査は、チェーンアレイの微動観測とほぼ同じ箇所で実施し、探査機器にはSIR-3000と400MHzアンテナ(GSSI)を用いている。反射画像図を基に距離補正、ノイズ除去処理、振幅調整等の処理を行い、反射パターンに基づき、深さ2mまでの断層による

地質の断裂構造の判定を行っている。

3. 解析

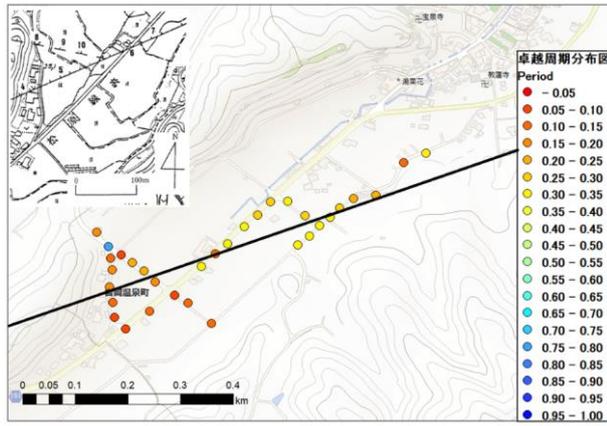
微動の3成分の記録については、交通振動などの非定常な波形が含まれない安定した20.48秒間の区間を目測により5区間以上選定し、FFTにより各成分のフーリエスペクトルを求め、平均スペクトルを求めた。スペクトルの平滑化には係数20のLogウィンドウ⁹⁾を用いた。得られた3成分のフーリエスペクトルから水平動(南北成分:NS,東西成分:EW,水平2成分を相乗平均で合成したもの:COMP)と上下動(UD)のスペクトル比(以下、H/Vスペクトルと称す)を求め、卓越周期を読み取った。

微動のアレイ観測の同時記録については解析パッケージツールBIDO Ver.2.0⁹⁾を用いることにより、CCA法¹⁰⁾に基づき位相速度を推定した。解析の設定条件として、セグメント長を10.24秒として微動記録のRMS値を用い、10区間以上を自動抽出により選択し、それらの区間のパワースペクトルをバンド幅0.3Hzのパーゼンウィンドウで平滑化したのち平均し、位相速度を求めた。

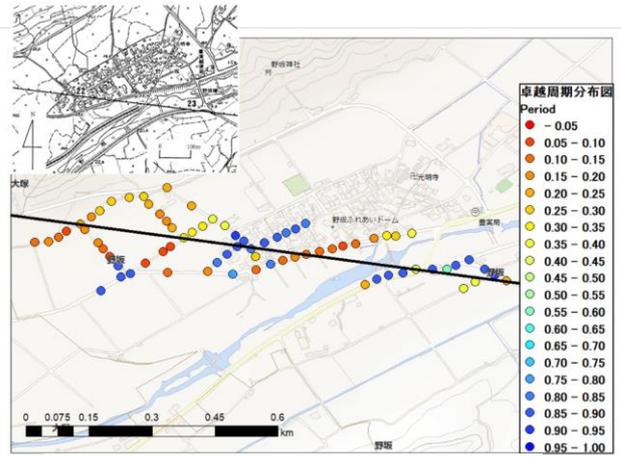
4. 結果

(1) H/Vスペクトル

H/Vスペクトルの卓越周期について、断層近傍の面的な分布としては、吉岡断層⁵⁾(吉岡温泉新町地区:図-2(a)、野坂地区:図-2(b))、鹿野断層^{6),7)}(図-3)とも、谷地形の基盤形状や堆積環境による地盤構造の違いが反映されており、地表地震断層の位置に対応するような明



(a) 吉岡温泉新町地区 (左上図：断層位置²⁾)



(b) 野坂地区 (左上図：断層位置²⁾)

図-2 吉岡断層における卓越周期分布⁵⁾と断層位置²⁾

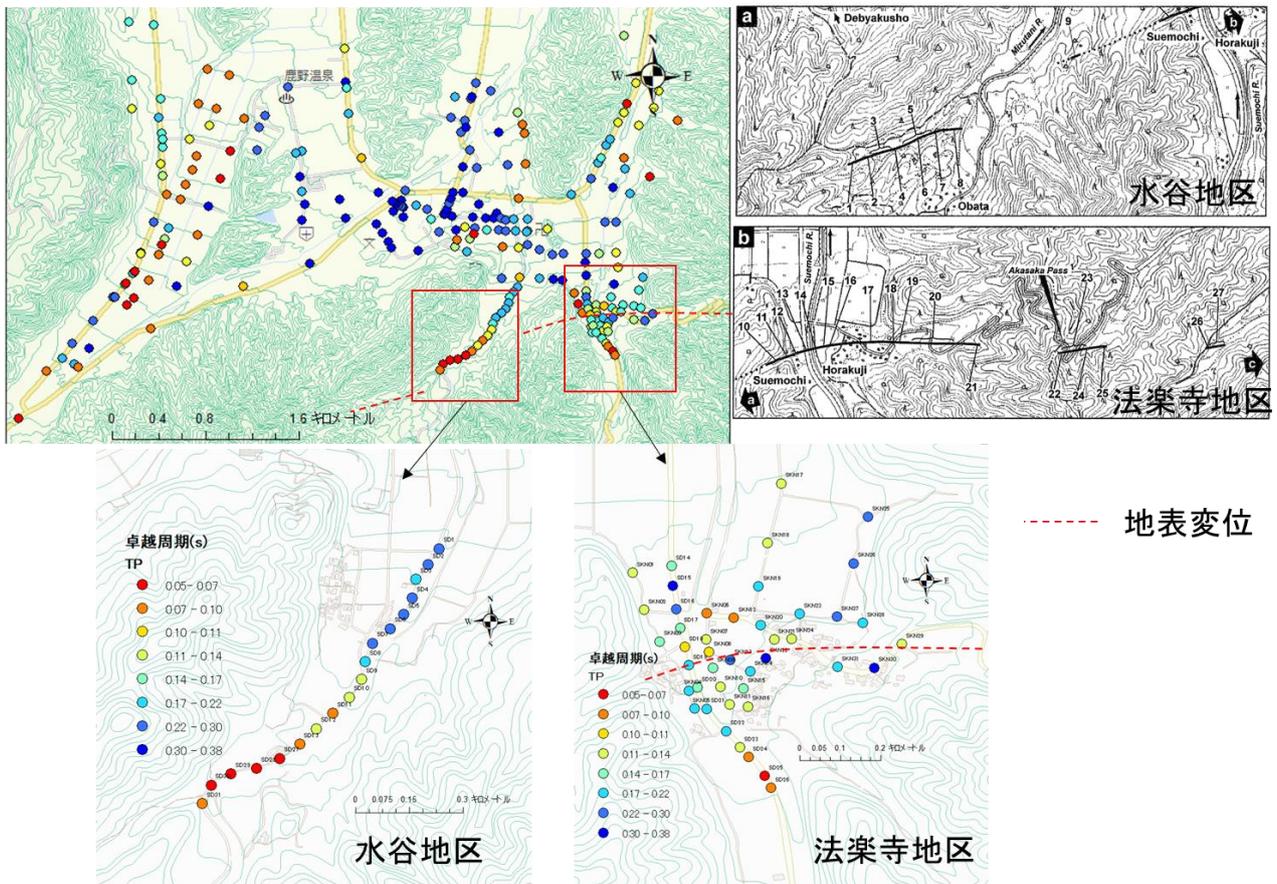


図-3 鹿野断層における卓越周期分布 (左下：水谷地区，右下：法楽寺地区)^{3),5)}と断層位置 (右上図)²⁾

瞭な変化はみられていない。

H/V スペクトルについて、地表地震断層のごく近傍のチェーンアレイで得られた結果を詳細にみていく。鹿野断層の法楽寺地区 (図-4：SFH3 TU2)，水谷地区 (図-5：SFM1 130) の結果からは、地中レーダーによる断層変位とみられる箇所、ピークが不明瞭になる現象がみられた。このときの観測データより、H/V スペクトルの時間的な変動を調べると、ピークが不明瞭になる地点は両隣の地点に比べ、ばらつきが大きく、結果的にその平

均のH/V スペクトルのピークが不明瞭となることがわかった。このような現象は、2016年熊本地震で生じた地表地震断層上での微動観測結果¹¹⁾でも捉えられている。一方、同地区で異なる時期に観測された結果 (DS1 ライン) では (図-6)，1 地点のみでピークが不明瞭になるのではなく、断層を境に南東側の地点で、0.09 秒付近の短周期側のピークが連続して不明瞭になる現象がみられている。他のラインでも、このように形状が断層変位箇所の前後で変化の様子が見受けられた。吉岡温泉新町地区

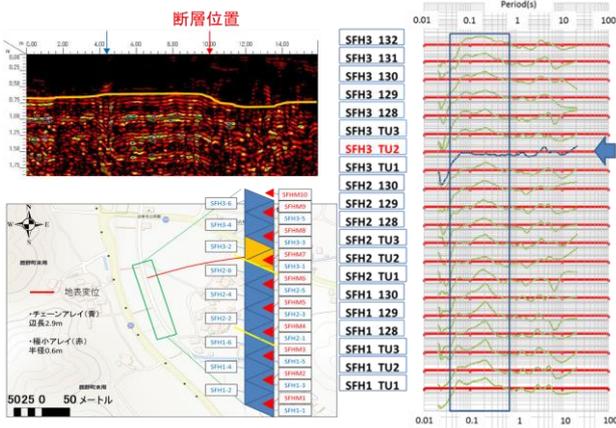


図-4 鹿野断層（法楽寺地区）における H/V スペクトルと地中レーダーの反射断面⁶⁾

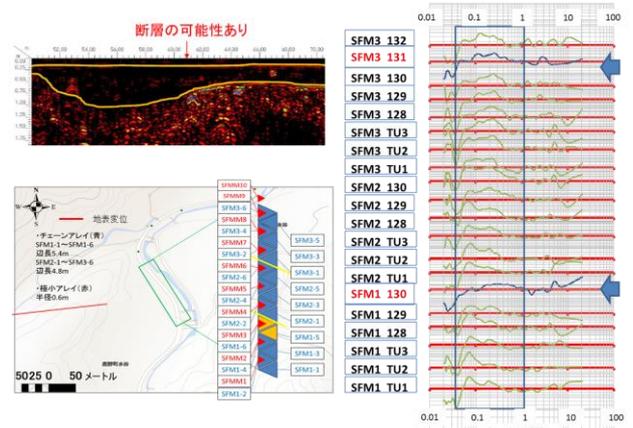


図-5 鹿野断層（水谷地区）における H/V スペクトルと地中レーダーの反射断面⁶⁾

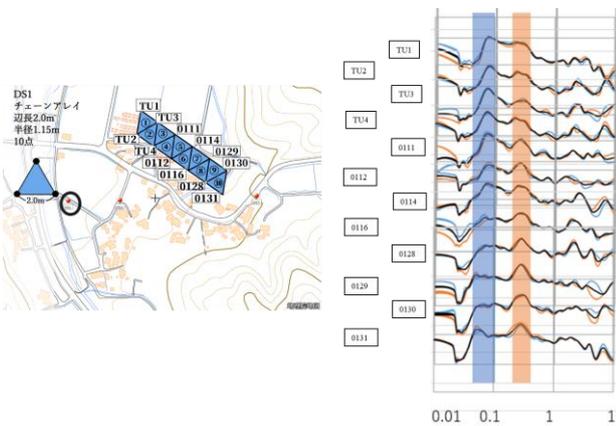


図-6 鹿野断層(法楽寺地区, DS1 ライン)における H/V スペクトル⁵⁾

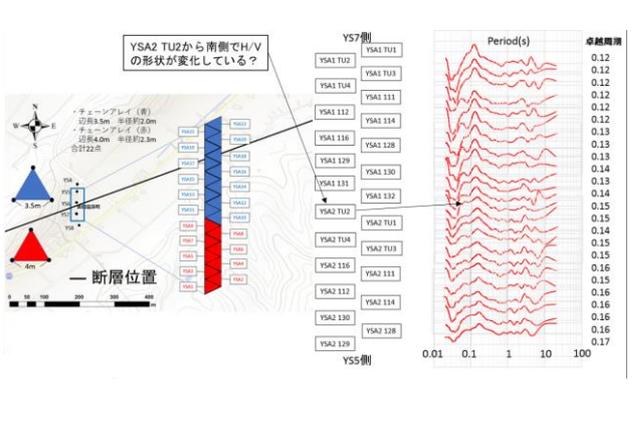


図-7 吉岡断層(吉岡温泉新町地区)における H/V スペクトル⁴⁾

(図-7) では、0.12 秒付近のピークが断層を境に南側で小さくなるとなっており、両側でタイプが2つに分かれている。野坂地区では明瞭な違いはみられなかったが、ある地点を境に形状が徐々に変化する現象はみられているが、断層位置との対応は不明確であった。野坂地区の結果は地盤構造の変化を捉えている可能性が高い。

(2) 位相速度分散曲線

位相速度分散曲線(図-8)の特徴としては、分散始める周波数が①のアレイは 22Hz 付近だが、南に行くにつれ徐々に低周波になっていき、⑩のアレイでは 12Hz 付近である。このことから、この周波数帯に対応する地盤に対して、ごく表層部の堆積層が南に行くにつれ厚くなっていると判断される。これは、ごく表層部の軟弱な水田の盛り土の特徴を反映している可能性がある。この観測による結果より、位相速度分散曲線は地盤の堆積環境を反映しており、断層上もしくはその前後で大きく変化するという状況は見受けられない。この状況は鹿野断層の他の測線、吉岡断層での結果でも同様であった。

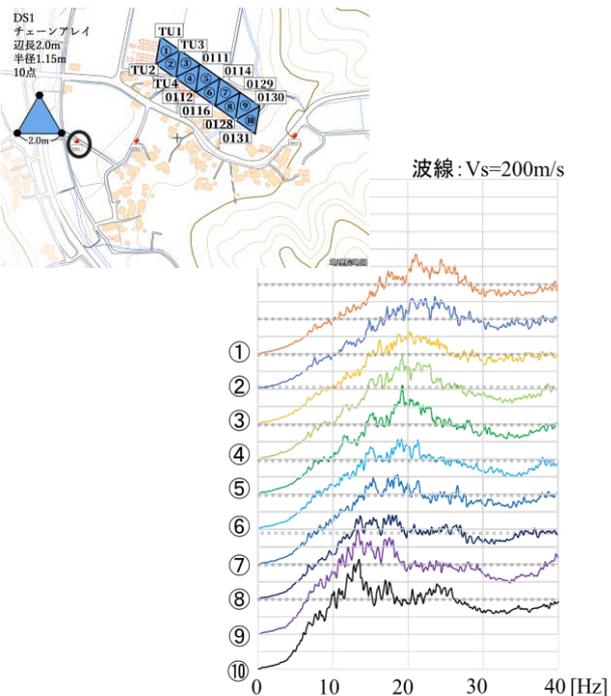


図-8 鹿野断層(法楽寺地区, DS1 ライン)における位相速度分散曲線⁴⁾

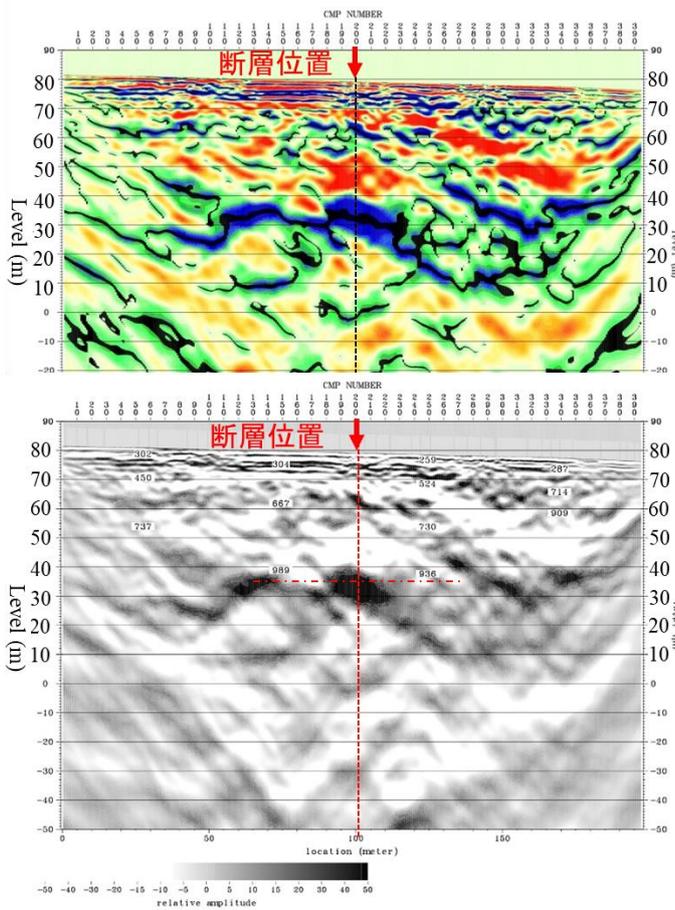


表-1 微動卓越周期に対応する地盤モデル

	短周期側ピーク	長周期側ピーク
卓越周期	0.09s	0.3s
S波速度	300m/s	600m/s
層厚	6.75m	45m

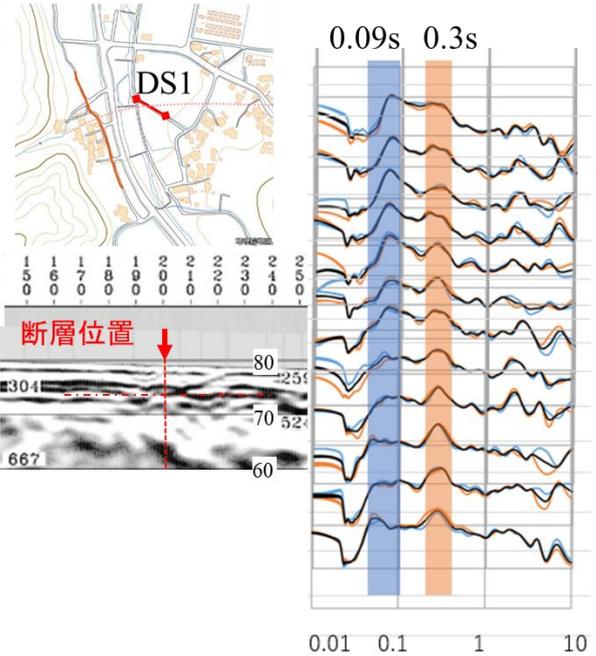


図-9 鹿野断層(法楽寺地区)におけるS波反射断面¹²⁾(左図)とH/Vスペクトル⁵⁾(右図)(破線:断層位置,一点鎖線:卓越周期による層厚の境界)

(3) H/V スペクトルとS波反射断面との対応

H/V スペクトルの卓越周期がどの深さの地盤構造を反映しているか検討する。S波反射断面¹²⁾では、断層位置での明確な段差や破碎帯を伴うような構造の変化は見られないが、その周辺で地層境界が不連続になっているように見える。S波反射断面とH/Vスペクトルと比較すると(図-9)、S波速度から1/4波長則より層厚を計算すると、0.09秒付近のピークが深さ7mの反射面、0.3秒付近のピークが、深さ45mの反射面に対応していることがわかった。よって、吉岡・鹿野断層でみられるH/Vスペクトルの0.1秒付近のピークは、深さ10m以下のごく表層部の地盤構造を反映していると考えられる。今後S波反射法探査の詳細な解析により、断層に伴う地層境界の不連続や破碎帯の存在が明らかになれば、その地層境界に応じた分析をする必要がある。また、この探査の際に実施した3成分観測(JU410使用)の記録より、人工震源の波形を解析して、より詳細な検討をする予定である。

5. 結論

1943年鳥取地震により地震断層として生じた鹿野・吉

岡断層のごく近傍において実施された微動観測の結果を用いて、微動の特性を整理することで、断層のごく近傍における地盤震動特性の把握を試みた。

- 1) 断層近傍におけるH/Vスペクトルの卓越周期分布の特徴としては、谷地形による堆積環境を反映した状況が見受けられるが、断層位置に対応するような分布の変化はみられなかった。
- 2) 断層変位箇所のチェーンレイ観測の結果より、H/Vスペクトルが地表地震断層の変位箇所では不明瞭になる現象が捉えられたが、同地区の別の時期に測定した結果では見られない例もあった。また、吉岡断層では、地表変位を挟んで両側でH/Vスペクトルの形状が変化する現象もみられている。位相速度分散曲線は、ごく表層部の堆積層の状況を反映しており、断層に対応する変化ではないと思われる。
- 3) 鹿野断層のS波反射断面では、断層とその周辺で不連続な地層境界がみられた。地盤構造との対応として、H/Vスペクトルの0.1秒、0.3秒付近の卓越周期は、それぞれ深さ7mと50m程度の地層境界に対応しており、各断層における0.1秒付近の卓越周期は深さ10mの付近以下のごく表層

部の地盤を反映していることがわかった。

これらの結果を踏まえると、微動の特にH/Vスペクトルの形状に違いがみられる原因としては、断層の破碎帯による地盤構造の違いというより、破碎帯を微動が通過する際に、波動場に何らかの乱れが生じた結果である可能性が考えられる。今後S波反射法探査による人工震源の波形の分析などにより、これらの現象についてより詳細な検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 西田良平, 黒川泰, 赤木三郎: 1943年鳥取地震に伴う吉岡・鹿野断層とその周辺部の地変について, 鳥取大学教養部紀要, 27, pp.187-226, 1993.
- 2) 金田平太郎, 岡田篤正: 1943年鳥取地震の地表地震断層既存資料の整理とその変動地形学的解釈, 活断層研究, Vol.2002, No.21, p.73-91, 2002.
- 3) 野口竜也, 上野太士, 西川隼人, 吉田昌平, 香川敬生: 鳥取県鹿野地域の地盤構造および地盤震動特性, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) Vol.73, No. 4, [特]地震工学論文集, Vol.36, 2017.
- 4) 野口竜也, 香川敬生, 福田優平, 吉田昌平, 西田良平: 1943年鳥取地震の吉岡断層における稠密微動観測, 日本活断層学会 2018年度秋季学術大会, P12, 2018.
- 5) 小林和生, 岡野三里, 西村武, 野口竜也, 香川敬生: 稠密微動探査による鹿野断層ごく近傍の地盤震動特性の把握, 令和2年度土木学会第75回年次学術講演会, 講演概要, 2020.
- 6) 野口竜也, 上野太士, 香川敬生, 吉田昌平, 西田良平: 1943年鳥取地震の鹿野断層における微動および地中レーダー探査に基づく断層調査, 断層帯近傍における地震動評価に関するシンポジウム論文集, 2017.
- 7) 地質調査所: 20万分の1地質図幅「鳥取」, 1974.
- 8) 紺野克昭, 大町達夫: 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, 1995.
- 9) 長郁夫, 多田卓, 篠崎祐三: 一般理論が切り開く微動アレイの可能性: 解析ツールBIDOの公開, 日本地震学会講演予稿集, 2009.
- 10) Cho, I., Tada T. and Shinozaki Y.: Centerless circular array method: Inferring phase velocities of Rayleigh waves in broad wavelength ranges using microtremor records, *J. Geophys. Res.*, 111, B09315, 2006.
- 11) 香川敬生, 吉田昌平, 上野太士: 2016年熊本地震で生じた地表地震断層ごく近傍の強震動について, 土木学会論文集A1, 73, 4, pp.1841-1846, 2017.
- 12) 香川敬生, 野口竜也, 山田浩二, 竹本哲也: 1943年鳥取地震で出現した鹿野断層におけるS波反射法地震探査, 地球惑星科学連合2020年大会概要, S-SS16 P04, 2020.

FAULT SURVEY BASED ON MICROTREMOR OBSERVATION IN THE SHIKANO AND YOSHIOKA FAULT OF THE 1943 TOTTORI EARTHQUAKE, JAPAN

Tatsuya NOGUCHI, Kazuki KOBAYASHI, Isamu NISHIMURA
and Takao KAGAWA

The Shikano and Yoshioka fault occurred by the 1943 Tottori earthquake. Several houses at immediate vicinity area were not collapsed by this earthquake. On the other hand, the collapse rate of the building was high in an urban area distant from the fault. It is possible that the characteristics of strong ground motion in the near site of the fault might have influenced houses damage. A geological structure was considered based on previous studies from trench surveys, field surveys, and questionnaire surveys. In this study, we conducted geophysical surveys, mainly microtremor surveys to estimate a subsurface structure and to understand strong ground motion characteristics in closely area of faults. As a result, it was found that the H/V shape was different on both sides of the fault surface displacement point, and that it was different in the direction of the horizontal component.