

第7章 地表地震断層近傍の地盤震動特性と地下構造

本章では、地表地震断層近傍における地盤震動特性について、主に常時微動を用いた検討について紹介する。

7.1 2018年熊本地震による地表地震断層の観測

2016年熊本地震で生じた地表地震断層での微動および重力観測の事例について述べる。この地震で生じた地表地震断層近傍において被害が大きかった益城町において微動観測を実施しており、その結果に基づき断層近傍での微動特性が調べられている¹⁾。また、南阿蘇村においても微動観測がなされ²⁾、その結果に基づき地盤構造の推定と地盤震動性の把握がなされており³⁾、単点3成分の観測記録より、水平動と上下動のスペクトル比(H/Vスペクトル)を求め、その特徴を調べている。また、益城町では重力探査³⁾も行われており、その結果に基づく地震動評価⁴⁾より、基盤の急変部で地震動が増大し、被害が拡大した可能性が示唆されている。

7.1.1 熊本地震における地表地震断層上のH/Vスペクトル

益城町の上陣、下陣、田原地区(図7.1-1)において、地表地震断層上ではピークが不明瞭である特徴(MSK006)がみられた(図7.1-2)。強震動で被害が集中した益城町中心部(図7.1-3)でも、断層変位がみられた地点でピークが不明瞭(MSK013)になり、その前後でピーク周期も変動することがわかった(図7.1-4)。



図 7.1-1 益城町上陣、下陣、田原地区での微動観測点¹⁾

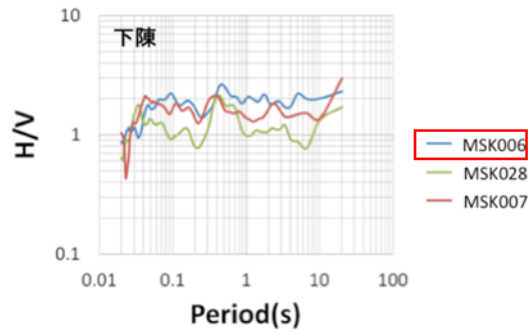


図 7.1-2 下陳の地表地震断層上における微動 H/V スペクトルの比較¹⁾

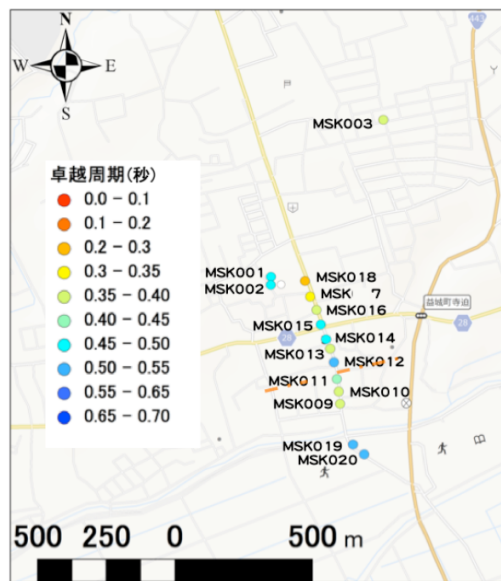


図 7.1-3 益城町中心部の微動観測点と H/V スペクトルの卓越周期¹⁾

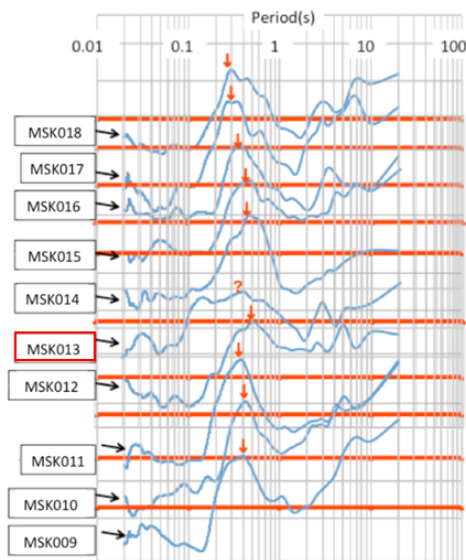


図 7.1-4 益城町中心部の微動観測点と H/V スペクトルの卓越周期¹⁾

南阿蘇村の黒川地区(図 7.1-5)においては、地表地震断層上でやはりピークが不明瞭になる地点(MA40A)もみられている(図 7.1-6)。ただし、必ずしもそのような状況になるわけではなく(図 7.1-7)、大きな変化がみられない箇所(LINE 1, LINE 3)もあることがわかった。図 7.1-7の LINE2 のように、断層の両側で形状が変化し、さらに水平動の方向によっても形状が異なるような例もみられた。

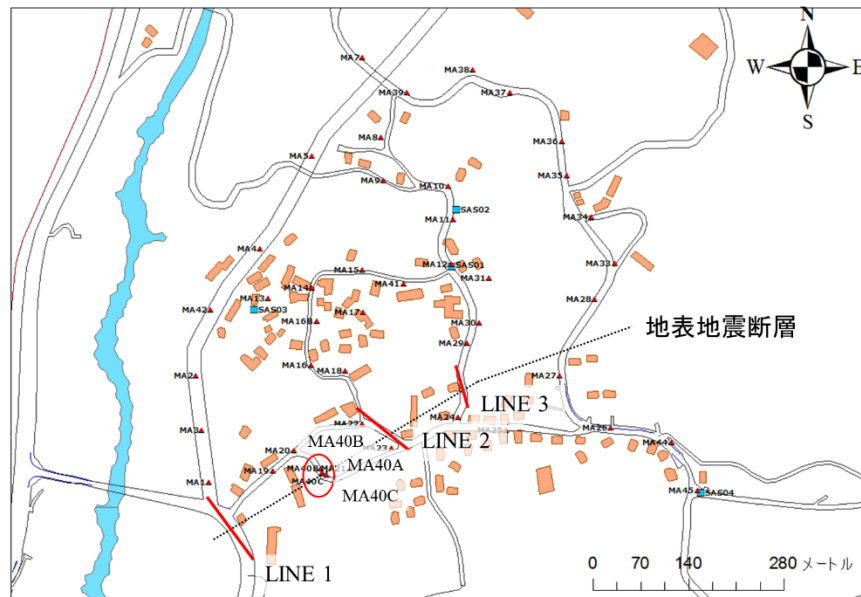


図 7.1-5 南阿蘇村黒川地区の微動観測箇所と断層位置²⁾

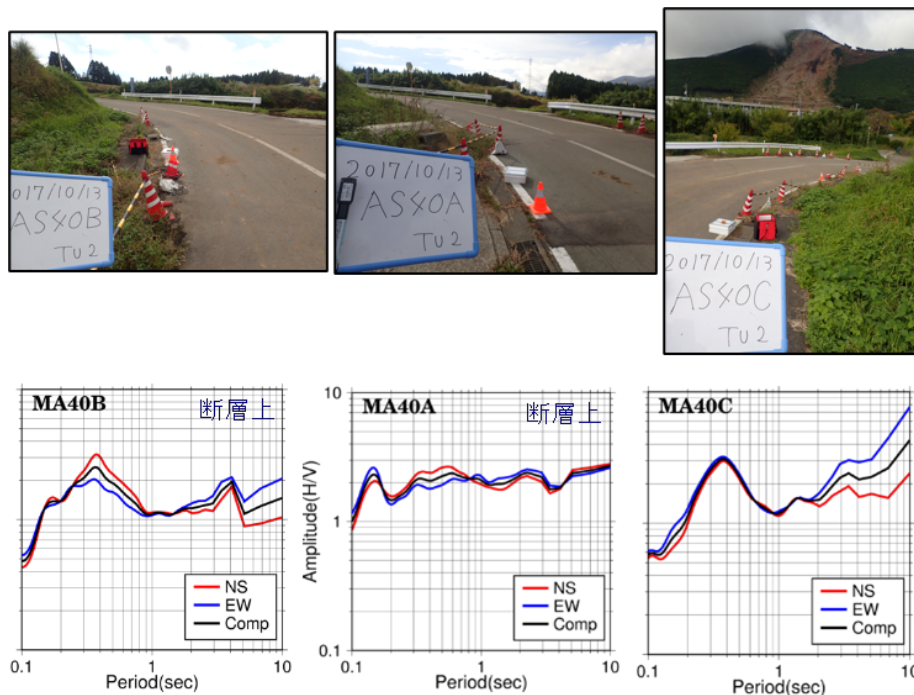


図 7.1-6 南阿蘇村黒川地区における地表地震断層上での H/V スペクトル (MA40A, B, C)²⁾

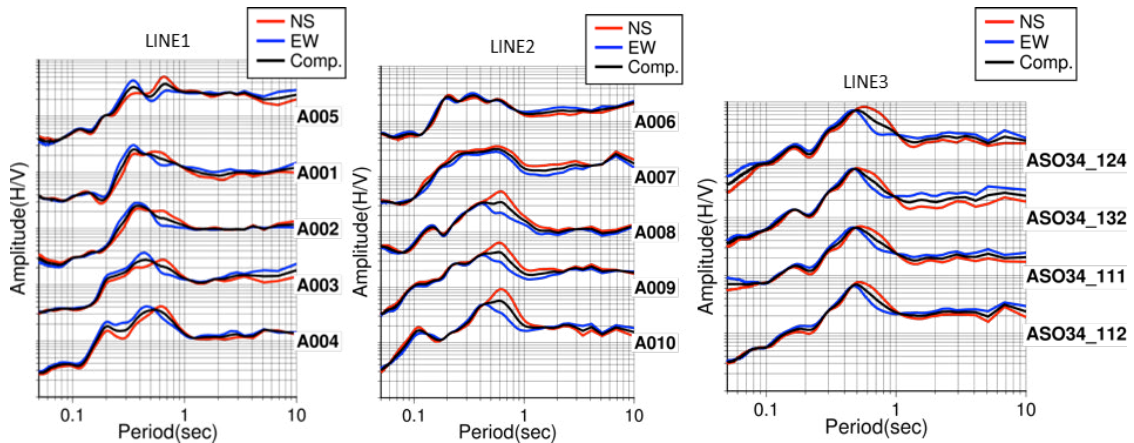


図 7.1-7 南阿蘇村黒川地区における地表地震断層上での H/V スペクトル (LINE1, 2, 3) ²⁾

地表地震断層上での H/V スペクトルの特性としては、地表変位のごく近傍でピークが不明瞭になる現象が複数の箇所で見られた。ただ、ほとんど変化がみられない箇所も存在し、地盤構造の堆積環境の違いをより強く反映している可能性もある。

7.1.2 益城町中心部の重力基盤による地震動評価

益城町中心部とその周辺で重力探査により重力異常が得られている ³⁾。その重力異常を用いて、余震観測と微動観測に基づく深部地盤モデル ⁵⁾を参考に、地震基盤を想定した 2 層均質の密度構造モデルによる重力基盤を推定した。この重力基盤の基盤境界と、KiK-net 益城の PS 検層や J-SHIS の深部地盤構造の速度構造を基に、地盤構造モデルを構築し、3 次元有限差分法を用いた地震動評価が行われている ⁴⁾。益城町中心部で基盤の落ち込みがみられ、北東-南西方向に延びる谷地形のような基盤形状となっており、地震波のフォーカシングが起こることが指摘されている ³⁾。

図 7.1-8 に地震基盤 ($V_s=2700\text{m/s}$ 層上面) の基盤深度分布 ⁴⁾を示す。図 7.1-9 に 2 つの余震の震源について、KiK-net 益城の情報を基に構築された地盤モデルによる計算結果 ⁴⁾を示す。4/15 の地震 (左) は益城町中心部の南側、4/20 の地震 (右) は北側に震源がある場合である。4/15 の地震 (南側の震源) では中心部を含む北側の領域、4/20 の地震 (北側の震源) では、中心部から離れた南東部の領域で振幅が大きくなっている。本震の震源域はこの地域に対して南側に位置しているため、4/15 の地震に近い状況で増幅した可能性が考えられる。このように、断層近傍における深部地盤構造の影響も少なからず、地震動に影響したと考えられる。

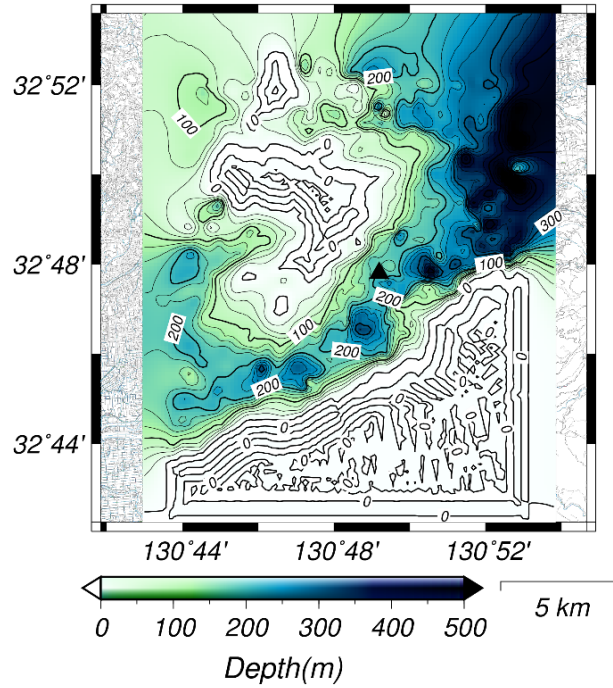


図 7.1-8 地震基盤 ($V_s=2700\text{m/s}$ 上面) 深度分布⁴⁾

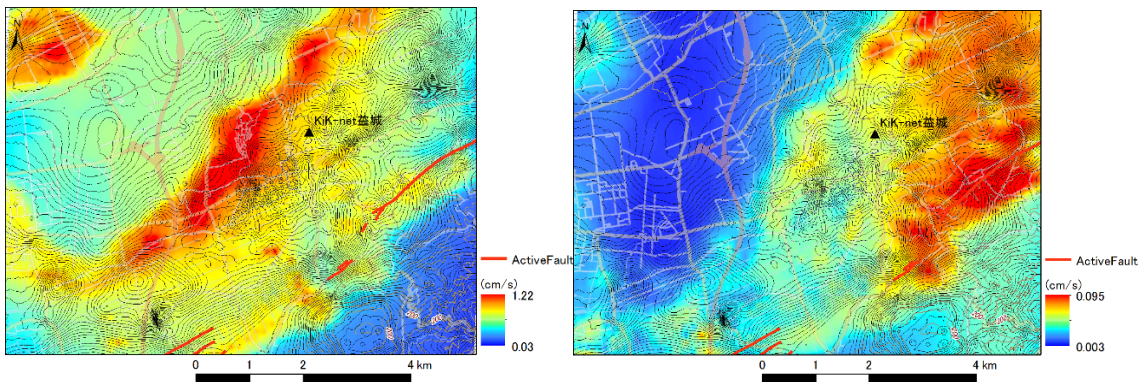


図 7.1-9 益城町中心部の地震動評価による PGV の分布図⁴⁾ : 2016/4/15 5:10:36 の地震(左), 2016/4/20 16:01:32 の地震(右)の震源情報を用いた計算結果

7.2 1943 年鳥取地震による地表地震断層の観測

1943 年鳥取地震で生じた地表地震断層である吉岡・鹿野断層での微動観測事例について述べる。この地震により地表地震断層の鹿野・吉岡断層が生じた。鹿野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の程度に影響した可能性がある。

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（図 7.1-10）⁷⁾。断層の調査としては，トレンチ調査，踏査および聞き取りによる断層構造の調査^{7),8)}により，変動地形的な考察がなされている。表層地質としては，断層のほとんどが花崗岩の地域であり⁹⁾（図 7.1-11），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^{7),8)}。

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¹⁰⁾，断層構造に関わる深部地盤構造の変化や微動の卓越周期の特徴が得られている。さらに，断層ごく近傍での地盤震動特性を把握するために，過去の断層調査^{7),8)}で地表変位がみられた箇所について稠密微動観測が実施されている^{11),12),13)}。

各断層について，面的に単点 3 成分観測が行われている。吉岡断層については¹⁰⁾，鳥取市吉岡温泉町新町地区を 34 点，野坂地区を 75 点，菖蒲地区を 54 点で，3 地区の地表変位箇所とその周辺を 20～50m 間隔，鹿野断層については¹²⁾，鹿野法楽寺地区を 31 点で，地表変位箇所の地域で 50m，その周辺を 50～130m 間隔で観測が実施されている（図 7.1-11）。単点 3 成分観測記録より，H/V スペクトルを求め，卓越周期分布の作成，形状などの特徴の把握がなされている。

また，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について，チェーンアレイ観測を実施している。吉岡断層¹¹⁾では吉岡温泉長新町で 1 測線，野坂地区で 2 測線，鹿野断層^{12),13)}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。単点 3 成分観測と同じ微動計を使用しており，各機器の 3 成分記録から H/V スペクトル，3 台の機器の同時記録（上下動成分）から位相速度分散曲線を求め，その特徴が調べられている。

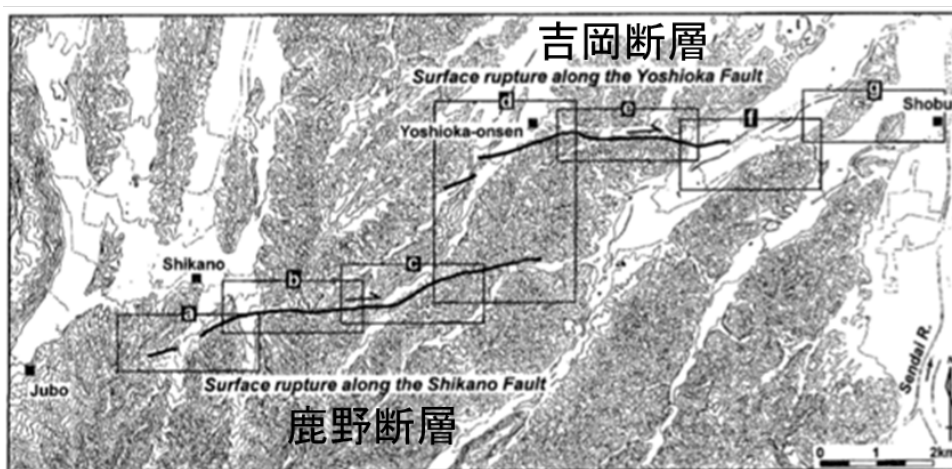


図 7.1-10 吉岡・鹿野断層の断層位置⁸⁾

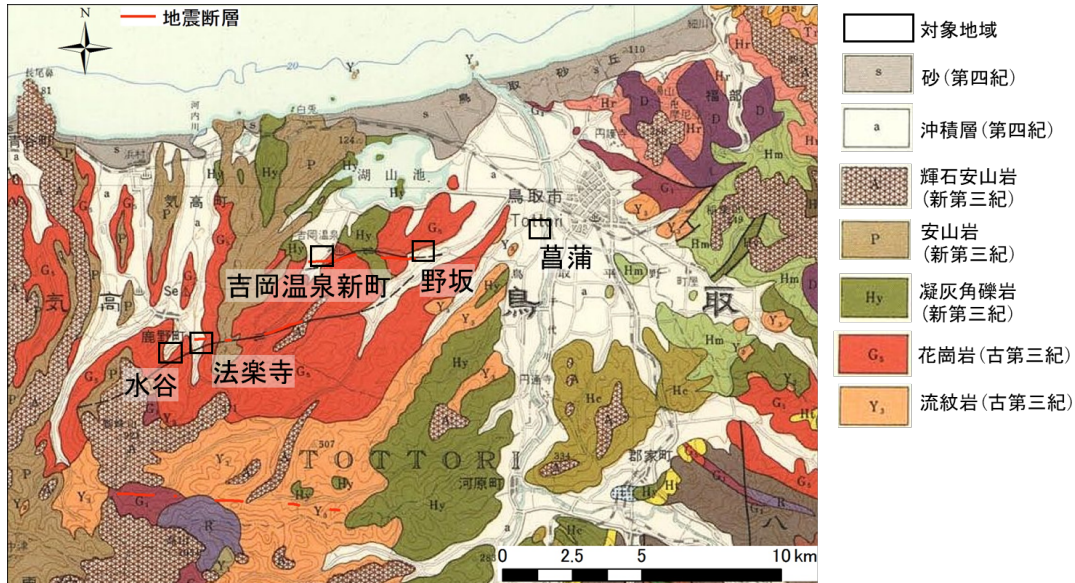


図 7.1-11 表層地質図⁹⁾と吉岡・鹿野断層における微動観測地域の位置^{11) 12) 13)}

7.2.1 鳥取地震における地表地震断層上の H/V スペクトル

断層近傍の面的な卓越周期分布について、吉岡断層¹¹⁾ (吉岡温泉新町地区：図 7.1-12, 野坂地区：図 7.1-13), 鹿野断層^{12), 13)} (図 7.1-14) とともに、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、地表地震断層に伴う明瞭な変化はみられていない。

H/V スペクトルの形状について、地表地震断層のごく近傍のチェーンアレイによる結果を詳細にみると、鹿野断層の法楽寺地区 (図 7.1-15 : SFH3 TU2), 水谷地区 (図 7.1-16 : 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では、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 (図 7.1-17)。同地区での異なる箇所の結果では (図 7.1-18), 断層上の 1 地点のみが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が連続で 0.09 秒付近の短周期側のピークが不明瞭になる現象がみられている。これは、吉岡温泉新町地区 (図 7.1-19) でも同様の現象がみられ、0.12 秒付近のピークが断層を境に南側で小さくなだらかとなっている。

位相速度分散曲線については、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かった。よって、微動の H/V スペクトルの形状に違いがみられる原因としては、断層の破砕帯による地盤構造の違いというより、破砕帯を微動が通過する際に、波動場に何らかの乱れが生じ、結果として H/V スペクトルの形状に変化が生じたと考えられる。

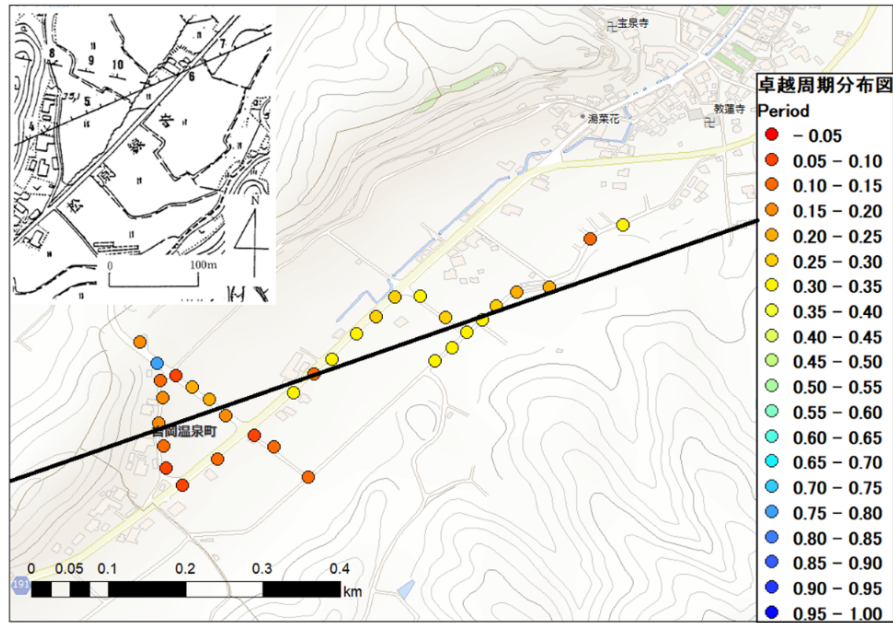


図 7.1-12 吉岡断層（吉岡温泉新町地区）における卓越周期分布¹¹⁾

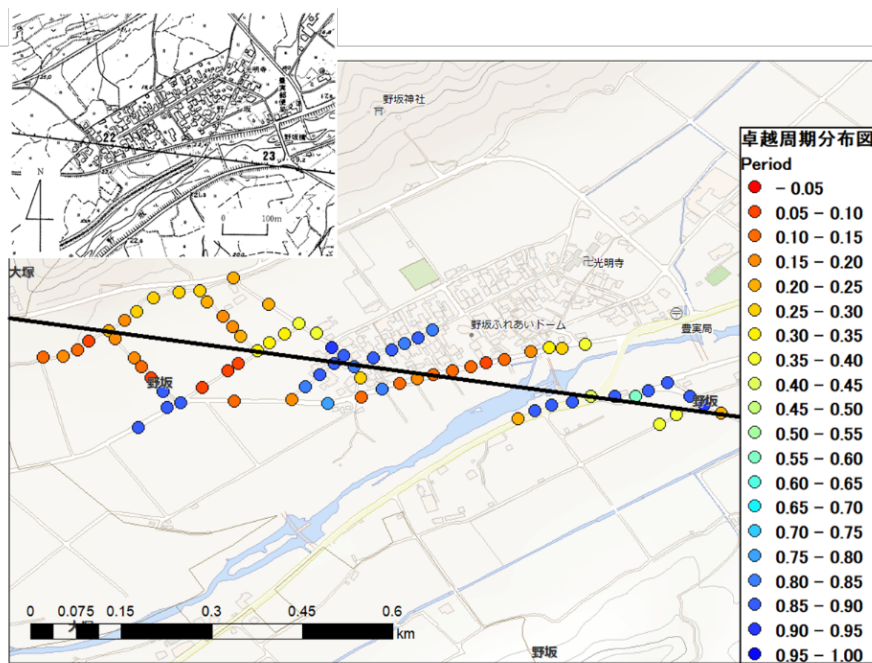


図 7.1-13 吉岡断層（野坂地区）における卓越周期分布¹¹⁾と断層位置⁷⁾

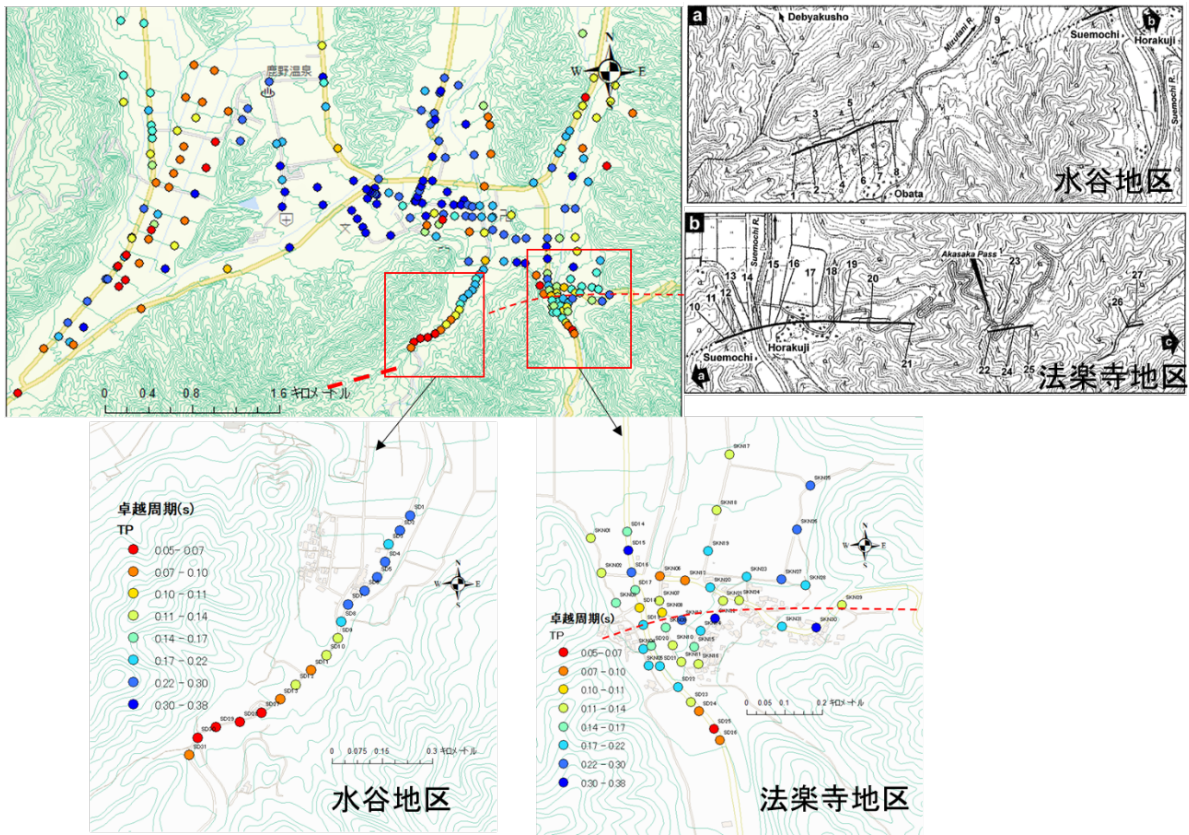


図 7.1-14 鹿野断層における卓越周期分布 (左下：水谷地区，右下：法楽寺地区)¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾ と断層位置⁸⁾

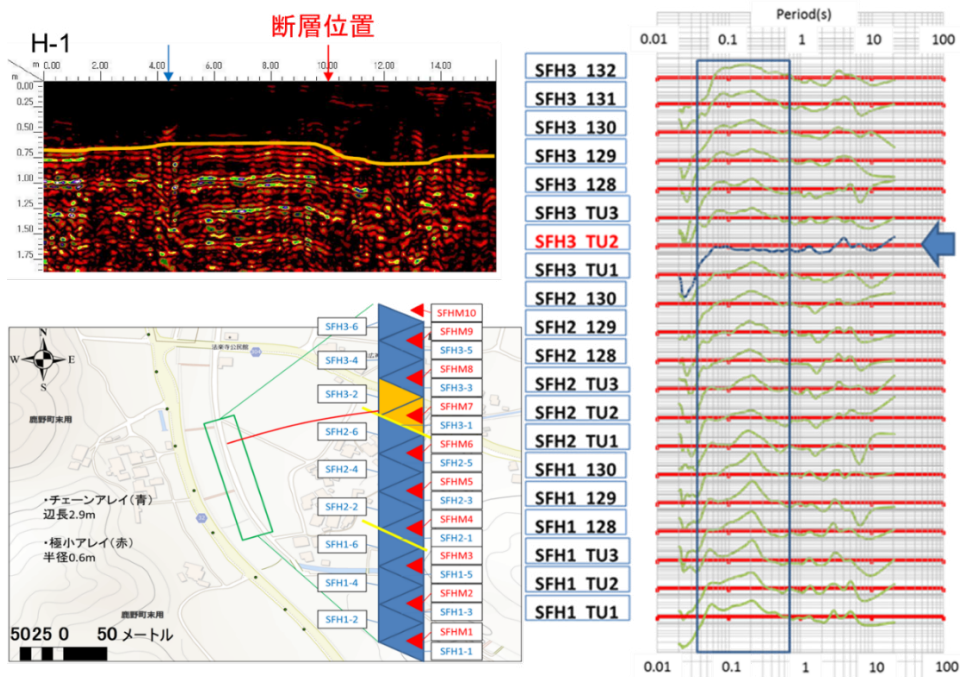


図 7.1-15 鹿野断層(法楽寺地区)における H/V スペクトルと地中レーダーによる断層位置¹²⁾

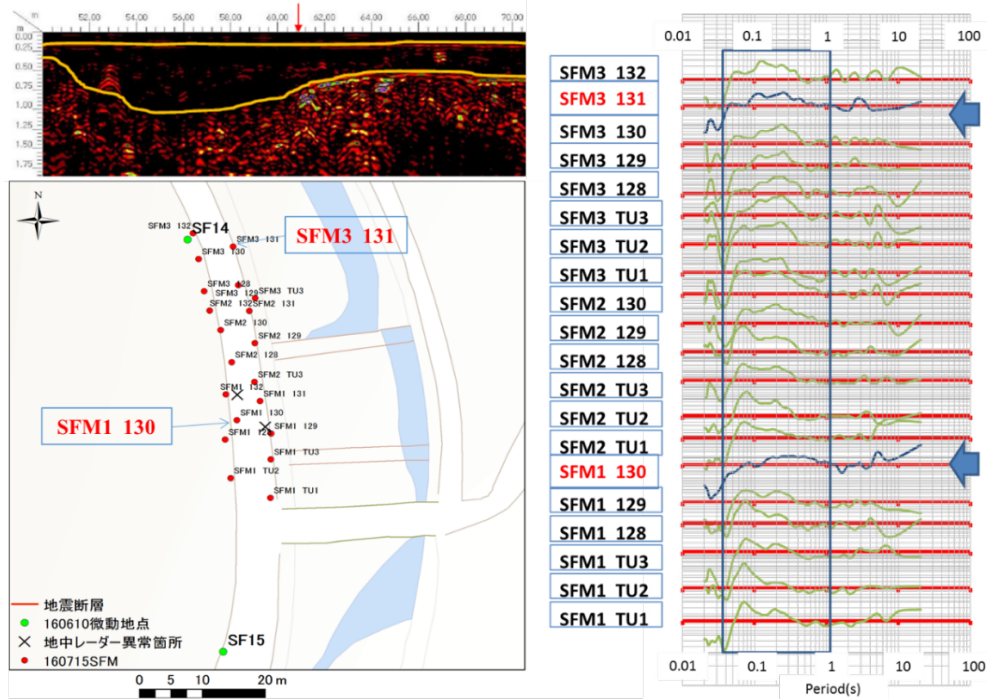


図 7.1-16 鹿野断層(水谷地区)における H/V スペクトルと地中レーダーによる断層位置¹²⁾

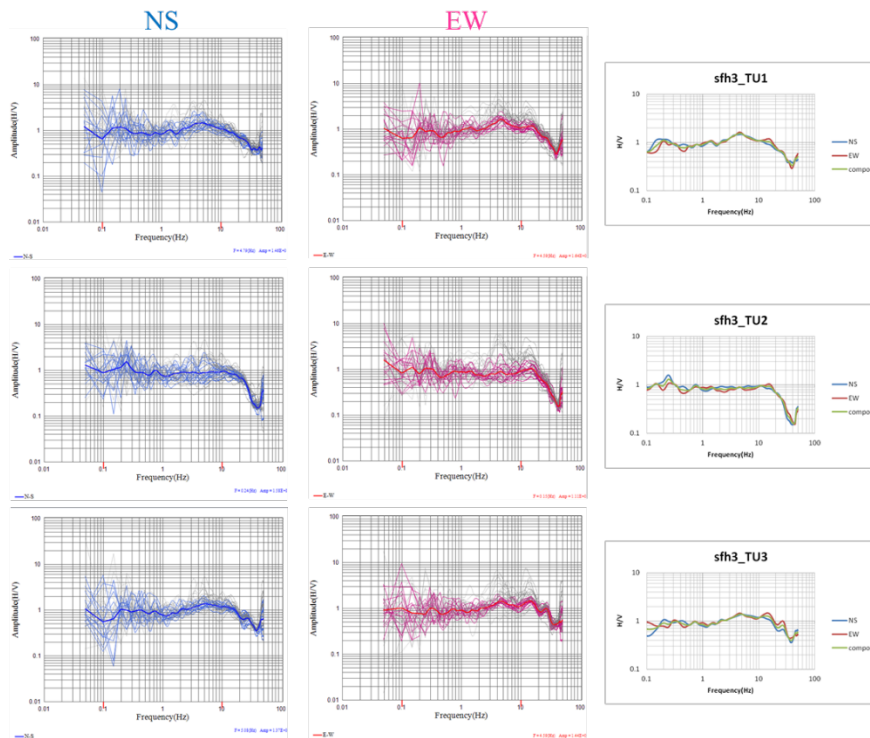


図 7.1-17 鹿野断層上における H/V スペクトルのばらつき¹²⁾

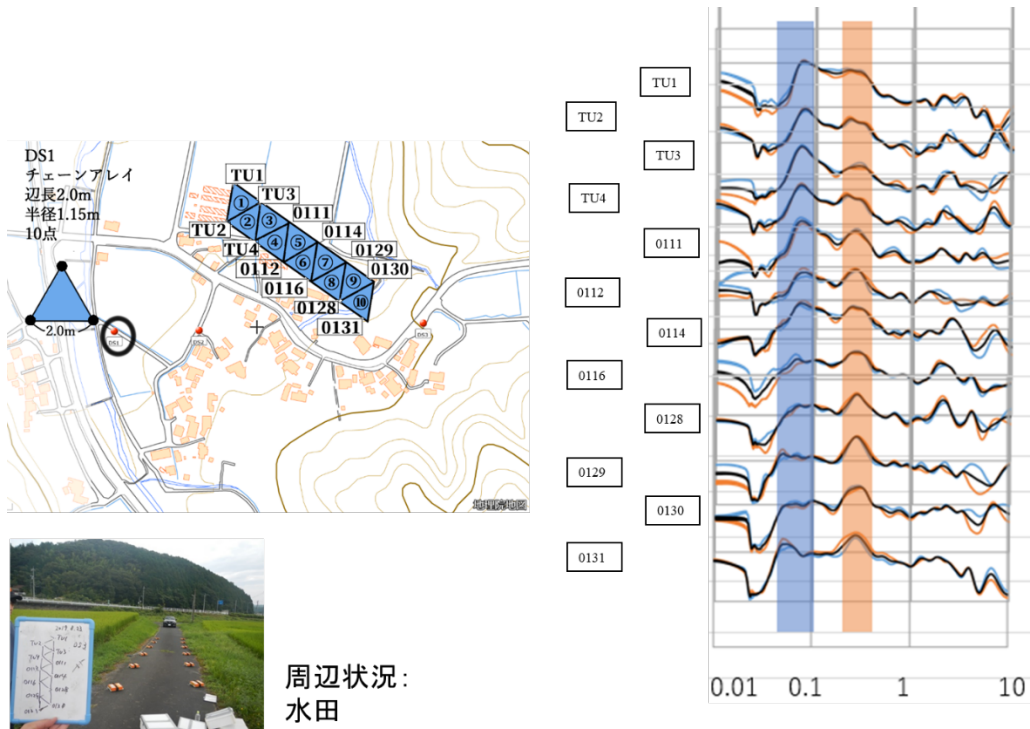


図 7.1-18 鹿野断層（法楽寺地区，DS1 ライン）における H/V スペクトル¹³⁾

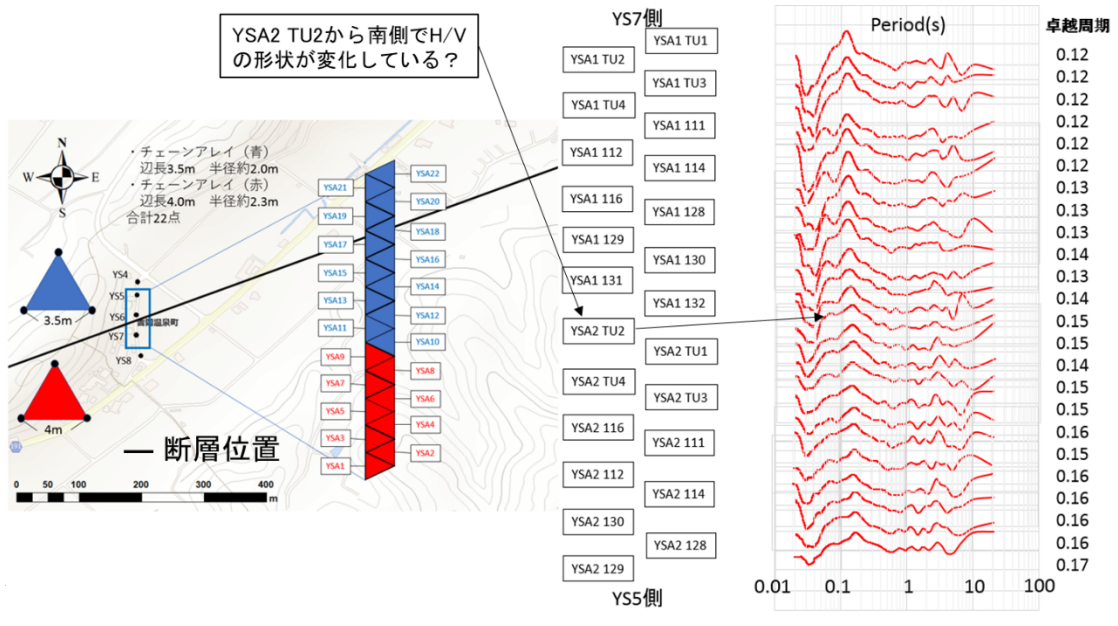


図 7.1-19 吉岡断層（吉岡温泉新町地区）における H/V スペクトル¹³⁾

最後に、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 波反射法探査の結果と H/V スペクトルと比較すると（図 7.1-20）、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

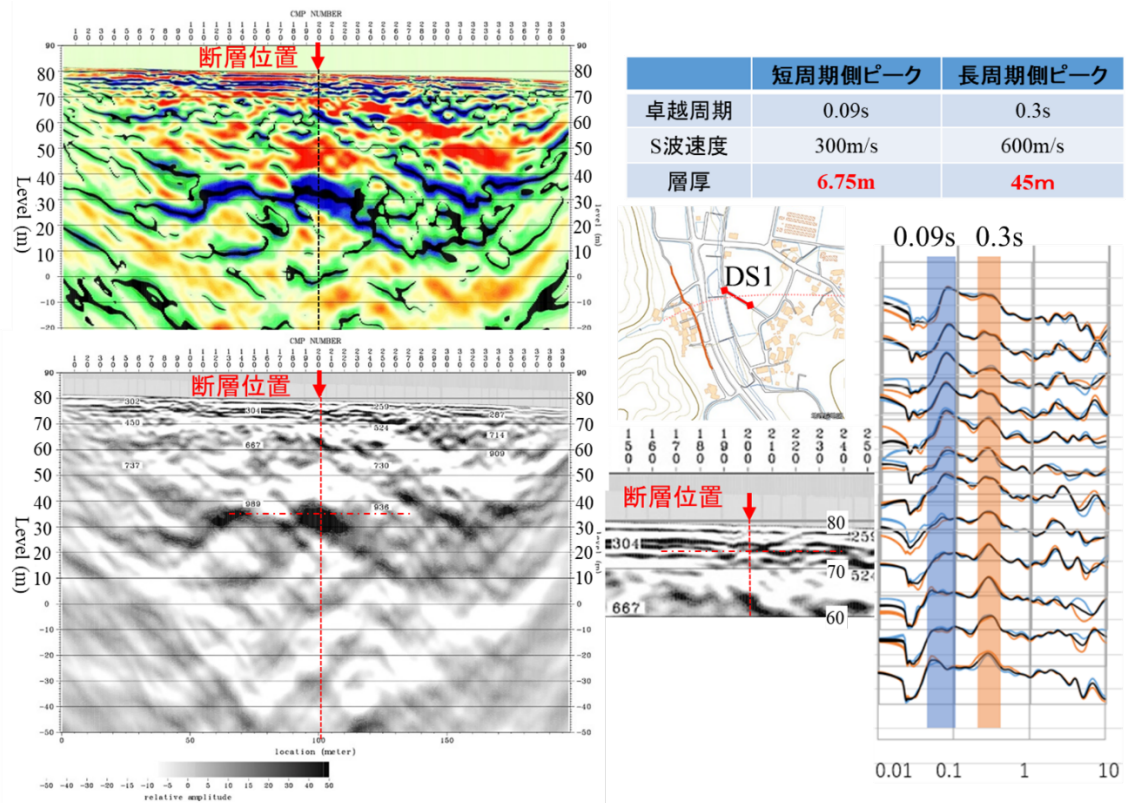


図 7.1-20 鹿野断層（法楽寺地区，DS1）における H/V スペクトル¹³⁾と S 波反射法探査断面¹⁴⁾

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・鹿野断層で得られる 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もしくは地盤震動特性を反映していると考えられる.

参考文献

- 1) 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. I_841_I_846，2017.
- 2) 吉田昌平，野口竜也，香川敬生：南阿蘇村黒川地区における地盤震動特性の把握と地盤構造の推定，地球惑星科学連合2018年大会，SSS14-P08，2018.
- 3) Araki, S., Noguchi, T., Komazawa, M., Arimura, S., Tamura, M., Nakayama, K., Morikawa, H., Miyamoto, T., Iiyama, K., Hata, Y., Yoshimi, M., Kagawa, T., and Goto, H.: Gravity Basement Structure around Mashiki, Kumamoto, Japan, Journal of Disaster Research, 2018.

- 4) 野口竜也, 有村翔也, 吉田昌平, 香川敬生, 駒澤正夫, 盛川仁: 熊本県益城町における3次元重力基盤構造に基づく地震動評価, 地球惑星科学連合2018年大会, SSS14-P07, 2018.
- 5) Hayashida, T., Yamada, M., Yamada, M., Hada, K., Mori, J., Fujino, Y., Hiromu Sakaue, H., Fukatsu, S., Nishihara, E., Ouchi, T., and Fujii, A. : Subsurface velocity structure and site amplification characteristics in Mashiki Town, Kumamoto Prefecture, Japan, inferred from microtremor and aftershock recordings of the 2016 Kumamoto earthquakes, Earth, Planets and Space, <https://doi.org/10.1186/s40623-018-0889-2>, 2018.
- 6) 吉田昌平, 野口竜也, 香川敬生: 南阿蘇村河陽黒川地区における建物被害の空間分布と常時微動探査を用いた地盤震動特性の把握, 日本地震工学会論文集, 19, 6, pp. 6_55-6_67, 2019.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 地質調査所: 20万分の1地質図幅「鳥取」, 1974.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) 野口竜也, 小林和生, 岡野三里, 西村武, 香川敬生: 1943年鳥取地震の鹿野断層における稠密微動観測, 地球惑星科学連合2020年大会, S-SS16 P08, 2020.
- 14) 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, S-SS16 P04, 2020.

