

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05028

研究課題名（和文）地震地すべりを事前把握するための地盤モデル構築に向けた微動探査3次元拡張の試み

研究課題名（英文）A study of 3-dimensional extension of microtremor exploration for determination of ground model to grasp earthquake landslide in advance

研究代表者

野口 竜也（Tatsuya, Noguchi）

鳥取大学・工学研究科・准教授

研究者番号：20379655

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、地震地すべりを事前に把握するために、微動探査技術を発展的に活用して効率的に地盤構造と地盤震動特性を調査する方法を提案し、地盤構造モデルの構築と地盤震動特性の把握を行った。探査技術としては、微動探査に加え、人工震源の波形を用いることで、地盤構造の推定精度が向上することがわかった。複数の地すべり地域での適用により、微動の特徴の変化が、地形や地盤構造の急変箇所と対応していること、地すべり地域内の地震記録より地震動の特性の把握と深部地盤構造の推定ができた。また、地震地すべりの事前予測の指標として、Arias Intensityが微動探査の結果の組み合わせ可能であることを示せた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地震地すべりの発生個所の多くでは、傾斜や凹凸のある基盤岩層の山体の上に火山噴出物が堆積する環境であり、それに関わる地盤の物理的特性等の情報が必要である。このような地域で、地震動の増幅特性を求めるには、特にS波速度構造の情報が必要不可欠であるが、その情報を得るためには、地質学的な考察、数力所のサンプリングの土質試験等の結果に頼らざるを得ない。そこで本研究では、微動探査をベースに、3次元的な傾斜地や不整形地盤構造での地盤構造調査法を検討し、地震動評価のための地盤構造モデルの構築と地盤震動特性の把握を行う。この研究成果は、地震地すべり地域での地震動評価と斜面崩壊の事前把握に繋がる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we proposed an efficient method to investigate the ground structure and strong ground motion characteristics by utilizing the microtremor exploration technique in an advanced way to construct a subsurface structure model and to determine the strong ground motion characteristics to understand seismic landslides in advance. In addition to microtremor surveys, the use of artificial source waveforms as an exploration technique was found to improve the accuracy of subsurface structure estimation. The application of this technique to several landslide areas revealed that changes in microtremor characteristics corresponded to the locations of sudden changes in topography and ground structure, and that the seismic characteristics and deep subsurface structure could be estimated from seismic records in the landslide area. We also showed that Arias Intensity can be used in combination with microtremor survey results as an indicator for the advance prediction of seismic landslides.

研究分野：地震工学

キーワード：微動探査 地震地すべり 事前把握 地盤構造 地盤震動特性

1. 研究開始当初の背景

地震地すべりの発生個所として、過去の地すべりによる崖錐堆積物や火山噴出物が堆積した地域で大規模な斜面崩壊が発生している事例がみられる。これらの地域の多くでは、傾斜や凹凸のある基盤岩層の山体の上に崖錐堆積物や火山噴出物が堆積する環境であり、これらの地質構成が地震地すべりの発生と密接に関係している。ただし、地すべりのトリガーとなる地震動を評価するためには、それに関わる地盤の層厚や地質層序、物理的特性等の情報が必要である。このような地盤条件において、地震動の増幅特性を求めるには、特に S 波速度構造の情報が必要不可欠である。その情報を得るためには、表層地質分布や露頭断面による地質学的な考察、数カ所ボーリングによるサンプル資料での土質試験等の結果に頼らざるを得ないのが現状である。

そこで、地震地すべり地において微動探査をベースに、3 次元的な傾斜地や不整形地盤構造を考慮した地盤構造調査法を検討し、地震動評価のための高精度な地盤構造モデルの構築と地盤震動特性の把握を目指す。また、この成果は、地震地すべり地域での地震動評価と斜面崩壊の事前把握に繋がる。

2. 研究の目的

本研究では、地震地すべりを事前に把握するために、微動探査技術を発展的に活用して効率的に地盤構造と地盤震動特性を調査する方法を提案し、その適用により地震動評価のための地盤構造モデルの構築と地盤震動特性の把握を目的とする。

3. 研究の方法

地震地すべり地において、微動探査システムを 3 次元的に拡張することで、高精度かつ効率的な地盤構造と地盤震動特性の調査法を検討、それを複数の対象地点に適用して 3 次元的に地盤構造モデルの構築と地盤震動特性の把握を行う。また、地震地すべりの発生予測に持ち込まれている Arias Intensity という指標を求め、地盤の増幅度やサイト増幅特性などの地盤震動特性や S 波速度構造との対応を調べ、その有効性を検証した。

微動探査としては、地盤の卓越周期や増幅特性を面的に把握するための 3 成分単点観測と S 波速度構造を推定するためのアレイ観測を実施した。探査手法の改良としてアレイ観測で人工震源の波形を解析に用いると位相速度の推定精度が良くなり、地盤構造の推定精度の向上に繋がることがわかった。この方法を、北海道勇払郡厚真町、北海道紋別郡遠軽町生田原、鳥取県の 4 地区（北栄町北条島、鳥取市楠城、雨滝、佐治地区）の地すべり地域を対象に適用させた。

4. 研究成果

4.1 微動探査及び地震動による解析

微動の水平動・上下動スペクトル比 (H/V スペクトル) を求め、その卓越周期や形状が地盤構造の違いを反映していること、地形や地質、基盤の傾斜部で水平動の方向による形状の違いを確認した。また、アレイ観測による位相速度分散曲線より地すべりの移動体の浅部の地盤構造を推定した。さらに、地すべり地域内に設けた地震観測点の地震記録を用いて、地すべりの深部までの地盤構造モデルを推定した。以下、各地域における成果をまとめる。

4.1.1 北海道厚真町

北海道厚真町では 2018 年北海道胆振東部地震により地震地すべりが発生した。火山灰の表層

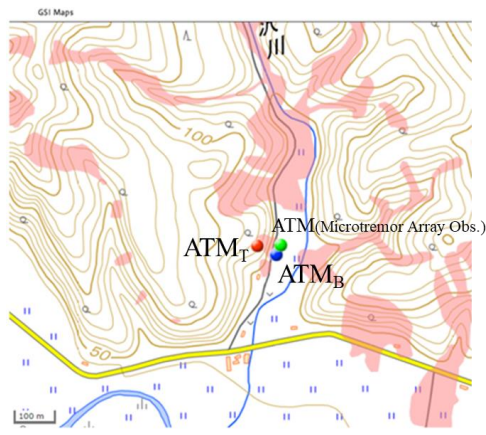


図 1 厚真町の地すべり地域の微動観測地点

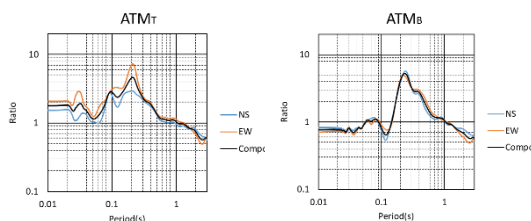


図 2 微動 H/V スペクトル (厚真町)

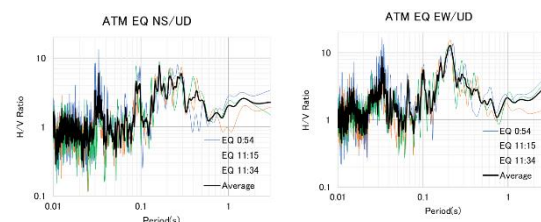


図 3 地震動 H/V スペクトル (厚真町)

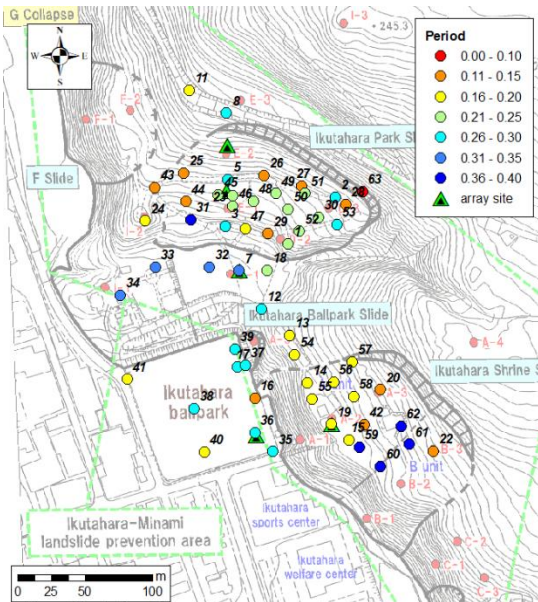


図4 卓越周期分布 (生田原)

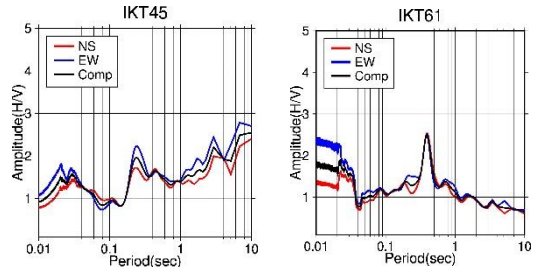


図5 H/V スペクトル (生田原)

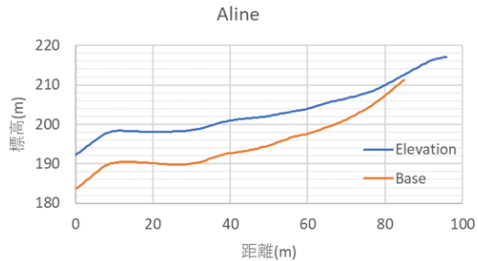


図6 層厚推定断面 (生田原)

で地すべりが発生した地点において微動探査および臨時地震観測を行った²⁾。その結果は以下の通りである。

- ・ 厚真町の地すべり地では微動 H/V の卓越周期が 0.25 秒であり、表層には $V_s=75-80\text{m/s}$ の火山灰層が存在していた。この付近の斜面でこの層が崩落した可能性がある。
- ・ 地すべり地の微動と地震動の特徴として、EW 成分の地震動の振幅は山麓より山側で大きいことがわかった。加えて微動では 0.25 秒以下の周期域で H/V が大きく、地震動では 0.2 秒のピーク付近で EW 成分の H/V が NS 成分より大きいことが分かった。

4.1.2 北海道生田原地区

古期地すべり地形である北海道紋別郡遠軽町の生田原南地すべり地域にて微動探査を実施した。その結果、微動の卓越周期分布およびピーク値分布、地盤構造モデル、地すべり移動体の層厚分布を得ることができた。その結果は以下の通りである。

- ・ H/V スペクトルの卓越周期は地すべり移動体中央部に向かうにつれて長周期になり、ピーク値も大きくなる傾向がみられた。
- ・ アレイ観測に基づく地盤構造モデルより、地すべり移動体の S 波速度は $130\text{m/s}-200\text{m/s}$ 、層厚は 7-11m と推定された。またより上部の観測点で地すべり堆積物が厚く推定され、既往研究による現地調査の結果と対応した。
- ・ 推定された S 波速度構造モデルと H/V スペクトルの卓越周期から、1/4 波長則を用いて表層の厚さを算出し分布図を作成した。その結果、地すべり移動体の中心部で表層の厚さが増加する傾向にあることがわかった。
- ・ 基盤の不整形性の影響を考慮するために、微動 H/V スペクトルの水平動成分の異方性を指標化したところ、地すべり移動体の外縁部でその値が大きい領域がみられた。

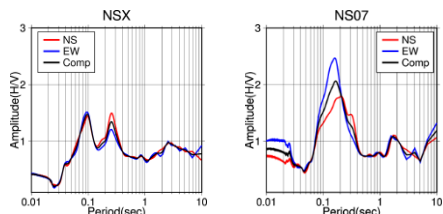


図7 H/V スペクトル (楠城)

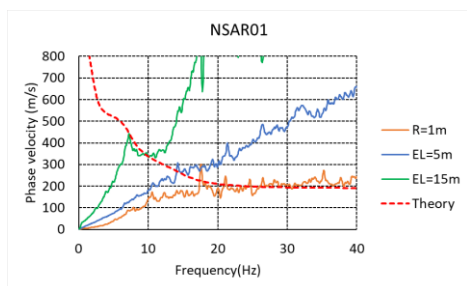


図8 位相速度分散曲線 (楠城)

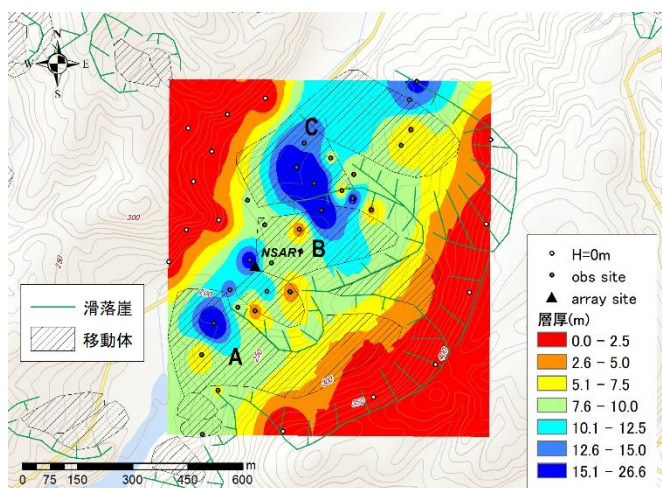


図9 層厚分布 (楠城)

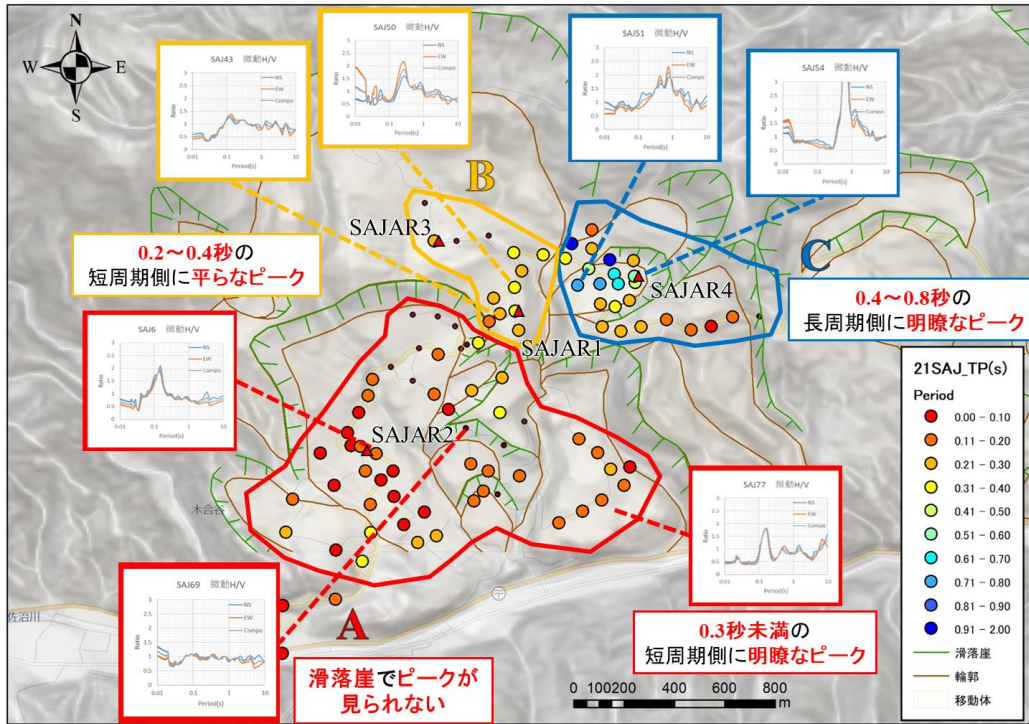


図 10 卓越周期分布 (佐治)

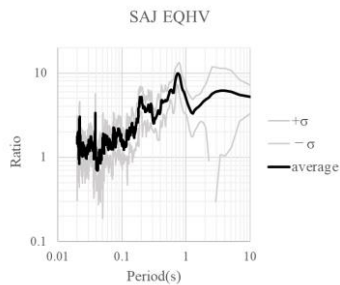


図 11 地震動 H/V スペクトル (佐治)

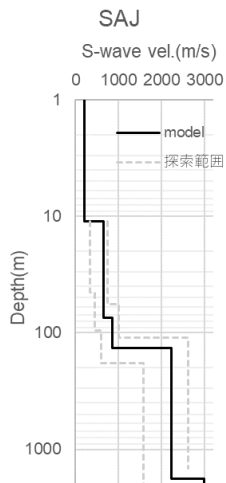


図 12 地震動による S 波速度構造 (佐治)

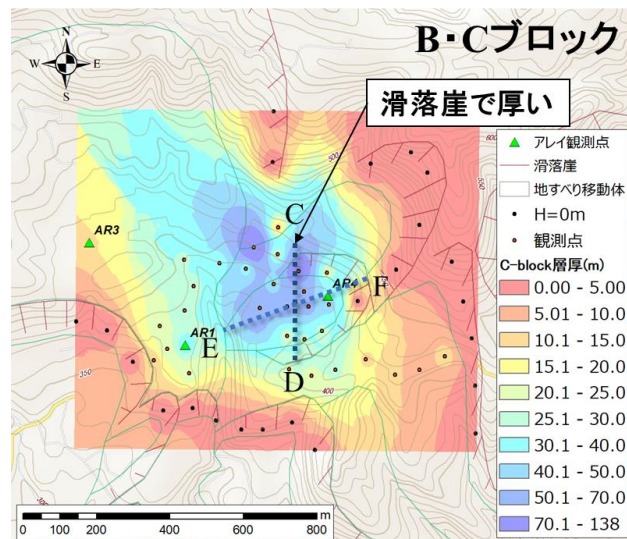


図 13 層厚分布 (佐治)

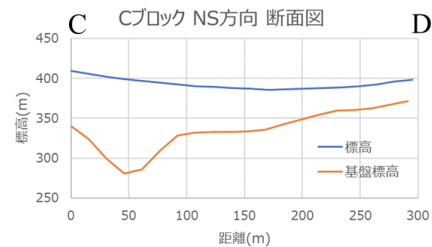


図 14 層厚推定断面 (佐治)

4.1.3 鳥取県 (北条島, 楠城, 雨滝地区)

地すべり地形分布図に基づき、地すべり地形と判断された鳥取市国府町の 2 地域で微動調査を実施した³⁾。その結果、各地域における微動の卓越周期分布、地盤構造モデル、地すべり移動体の層厚分布を得ることができた。その結果は以下の通りである。

- 各地域において、H/V スペクトルの卓越周期は 0.1 秒から 0.35 秒の範囲であった。
- 地すべりの地形分類や地質によって、H/V スペクトルの形状が局所的に変化し、複数のピークが確認されることがわかった。
- アレイ観測に基づく各地域の地盤構造モデルから、地すべり移動体の表層 S 波速度は 130m/s-350m/s、楠城で 21m、雨滝で 13m と推定された。

- ・ 推定された S 波速度構造モデルと H/V スペクトルの卓越周期から、1/4 波長則を用いて表層の厚さを算出し分布図を作成した。その結果、地すべり移動体の中心部で表層の厚さが増加する傾向にあることがわかった。
- ・ 標高から地表面の傾斜角分布を作成した結果、傾斜角は地すべり移動体の外縁で急になり、移動体内部では徐々に緩やかになることが判明した。

4.1.4 鳥取県佐治地区

地すべり地形分布図に基づき、鳥取市佐治地区において、微動観測および地震観測を実施し、地盤震動特性の把握及び地盤構造の推定を行った⁴⁾。その結果、微動の単点観測より H/V とその卓越周期分布、微動のアレイ観測より移動体の S 波速度構造が得られた。

- ・ 微動の卓越周期分布については、地形的な滑落崖や崖錐堆積物（移動体）の領域にあまり関係なく分布している。大まかに 3 つのブロックで H/V スペクトルの傾向が異なり、A: 0.3 秒未満で短周期、B: 0.2~0.4 秒でやや長周期、C: 0.4 秒以上の長周期の地点がみられる、といった特徴がみられた。分布の状況としては、A と B ブロックではあまり変化がなく、C ブロックでは変化が大きい。
- ・ 層厚分布としては移動体の中央付近で厚くなっており、最大で 50m であることがわかった。
- ・ 地震観測記録より、地震動の H/V が得られ、崖錐堆積物下部の深部構造についても地盤構造が推定できた。

4.2 地震地すべり発生予測指標について

中国地方の研究機関による地震記録を用いて、斜面崩壊等の地震被害予測に用いられている Arias Intensity という指標の有効性について再評価し、地盤増幅度とサイト増幅特性、地盤 S 波速度構造との関連付けが可能であることを確認した⁵⁾。今後、地震地すべりの発生予測の指標として Arias Intensity を 3 次元地盤構造モデルや地質、地形を組み入れることで面的に展開することで、地すべり地域の地震防災に貢献できることが期待される。

〈参考文献〉

1. 廣瀬亘・川上源太郎・加瀬善洋・石丸聡・興水健一・小安浩理・高橋良：平成 30 年北海道胆振東部地震に伴う厚真町およびその周辺地域での斜面崩壊調査（速報）、北海道地質研究所報告、第 90 号、pp. 33-44, 2018.
2. Tatsuya Noguchi, Isamu Nishimura, Yusuke Ono and Masanori Kohno: Estimation of subsurface structure based on microtremor and seismic observation in area damaged by 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake, Hokkaido, Japan, International Journal of GEOMATE, May., 2021, Vol. 20, Issue 81, pp. 8-15
3. Tatsuya Noguchi, Isamu Nishimura and Takao Kagawa: Estimation of Subsurface Structure of Landslide Area Based on Microtremor Observation in the Hojoshima, Nawashiro and Amedaki Area, Tottori, Japan, International Journal of GEOMATE, Dec. 2021, Vol. 21, Issue 88, pp. 48-53, ISSN: 2186-2982 (P), 2186-2990 (O), Japan, 2021.
4. Tatsuya Noguchi, Isamu Nishimura and Takao Kagawa: Estimation of subsurface structure of landslide area based on microtremor and seismic observation in the Saji area, Tottori, Japan, 12th Int. Conf. on Geotechnique, Construction Materials & Environment, Bangkok, Thailand, 22-24 November 2022, ISBN: 978-4-909106087 C3051, g12145, 2022.
5. 西川隼人, 野口竜也, 池本敏和, 宮島昌克: Arias Intensity の地盤増幅度とサイト増幅特性の関係に基づく地盤増幅度予測式の検討, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) Vol. 78, No. 4, [特]地震工学論文集, Vol. 41, p. I_601-I_612, 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Tatsuya Noguchi, Isamu Nishimura and Takao Kagawa	4. 巻 21
2. 論文標題 ESTIMATION OF SUBSURFACE STRUCTURE OF LANDSLIDE AREA BASED ON MICROTREMOR OBSERVATION IN THE HOJOSHIMA, NAWASHIRO AND AMEDAKI AREA, TOTTORI, JAPAN	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE	6. 最初と最後の頁 48, 53
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21660/2021.88.gxi279	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 西川隼人, 野口竜也	4. 巻 Vol.77, No.4
2. 論文標題 2018年北海道胆振東部地震を対象としたサイト特性の評価と地盤条件との対応	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集A1 (構造・地震工学)	6. 最初と最後の頁 _446, _456
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 西川隼人, 野口竜也, 池本敏和, 宮島昌克	4. 巻 D14-2348
2. 論文標題 Arias Intensityの地盤増幅度とサイト増幅特性の関係	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第41回土木学会地震工学研究発表会論文集	6. 最初と最後の頁 1, 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 西川隼人, 野口竜也	4. 巻 D12-1654
2. 論文標題 2018年北海道胆振東部地震を対象としたスペクトルインバージョンとサイト増幅特性の分析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第40回土木学会地震工学研究発表会論文集	6. 最初と最後の頁 1,7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 野口竜也, 島田敦史, 西村武, 香川敬生
2. 発表標題 微動探査に基づく鳥取県内の地すべり地域における地盤震動特性および地盤構造
3. 学会等名 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野口竜也, 西村武, 佐々木梨乃, 香川敬生
2. 発表標題 地すべり地域 - 鳥取市佐治地区 - における微動および地震観測に基づく地盤構造推定
3. 学会等名 日本地震工学会・大会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tatsuya Noguchi, Isamu Nishimura, Takao Kagawa
2. 発表標題 ESTIMATION OF SUBSURFACE STRUCTURE OF LANDSLIDE AREA BASED ON MICROTREMOR OBSERVATION IN THE HOJOJIMA, NAWASHIRO AND AMEDAKI AREA, TOTTORI, JAPAN
3. 学会等名 11th Int. Conf. on Geotechnique, Construction Materials & Environment (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西川隼人, 野口竜也
2. 発表標題 2018年北海道胆振東部地震を対象としたスペクトルインバージョンとサイト増幅特性の分析
3. 学会等名 第40回土木学会地震工学研究発表会, D12-1654
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野口竜也, 島田敦史, 西村武, 香川敬生
2. 発表標題 微動探査に基づく鳥取県内の地すべり地域における地盤震動特性および地盤構造
3. 学会等名 令和3年度土木学会全国大会年次学術講演会, CS10-4
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tatsuya Noguchi, Isamu Nishimura and Takao Kagawa
2. 発表標題 Estimation of subsurface structure of landslide area based on microtremor observation in the Hojojima, Nawashiro and Amedaki area, Tottori, Japan
3. 学会等名 GEOMATE (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	小野 祐輔 (Ono Yusuke) (00346082)	鳥取大学・工学研究科・教授 (15101)	
研究分担者	河野 勝宣 (Kohno Masanori) (60640901)	鳥取大学・工学研究科・准教授 (15101)	
研究分担者	西川 隼人 (Nishikawa Hayato) (60769371)	福井工業大学・工学部・教授 (33401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------