

令和 2 年 9 月 8 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H02990

研究課題名(和文) 超高密度観測記録に基づく地盤及び構造物の地震時挙動の確率論的同定手法の開発

研究課題名(英文) Development of stochastic identification method for ground and structural behavior during earthquakes based on ultra-high-density observation records

研究代表者

盛川 仁 (Morikawa, Hitoshi)

東京工業大学・環境・社会理工学院・教授

研究者番号：60273463

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：重力、微動、地震動の超高密度観測記録を用いて、観測記録の高度利用のための基礎的検討を行った上で、観測手法、データ処理の高効率化手法を開発した。従来、単なる統計量をもとに扱われていた地震動指標や構造物の動特性、それらをあわせて得られる被害推定に対して、現象の物理を取り入れた確率論的表現、すなわち場のスペクトルをモデル化する手法を提案し、実観測記録をもとにその妥当性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで単に統計的に扱われてきた地震動や構造物の応答、被害に関するパラメータは、母集団が明確ではない実現値が元になっており、便利ではあるがどのような現象を扱っているかははっきりしなかった。本研究によって現象の物理を確率論に取り入れることで合理的なモデル化を行う手法の確立への理論的道筋を得ることができた。また、確率という尺度を用いることで定量的な評価が可能となるため、防災上の重要な意思決定において合理的説明ができるようになり、その社会的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：Using ultra-high-density observation records of gravity, microtremors, and earthquake ground motions, we conducted a basic study for advanced use of observation records. Furthermore, we developed observation and data processing techniques to improve the efficiency and to reduce the cost of time and personals. We introduced physics of dynamic phenomena into stochastic modeling to represent ground motions, dynamic characteristics, and damage estimators, etc., which have been treated based on just statistics. The proposed methods were confirmed and verified through actual observation records.

研究分野：地震工学

キーワード：超高密度地震観測 地震応答 相関関数 伝達関数 パワースペクトル

1. 研究開始当初の背景

地震動による被害の分布が、狭い範囲であっても大きな違いが生じる場合があることは、近年の多くの地震による被害調査から明らかとなっている。このような現象の原因のひとつが地盤構造の不均質性に伴う地震波動場のゆらぎであることは容易に想像され、実際にこのような現象を説明できそうな観測事実も少なくない。

1995年兵庫県南部地震以降に本邦で整備された強震動観測網は、日本全体という比較的大きなスケールでは地震動の空間変動を詳細に知ることができるようになり、地震学的知見の進展に大きく貢献してきた。しかし、実際の地震被害を見ると同じような構造物であっても、小さな街のなかで場所によって被害程度に大きな違いが生じていることもしばしばである。そのため、地震防災という観点からは2~3km程度のごく狭い範囲内での地震動の空間変動を適切に知ることが不可欠である。また、「同じような構造物」とは何がどのくらい「同じようである」のかを示す定量的指標がなければ、被害の違いが構造物の地震応答の違いによるものか地震動の違いによるものかを議論することも困難である。ところが、このような狭い範囲における地震動のゆらぎを適切にモデル化してその物理的要因を特定し、さらにはその上にある「似たような」構造物の応答の違いまでも定量的に議論するには、現在の地震工学の知見は観測事例および理論の両者において遠く及んでいないと言わざるを得ない。

近年、従来では考えられなかったような超高密度観測が地盤、構造物のいずれにおいても現実のものとなってきたために、古典的な確率場のモデルから脱却して現象の物理を取り入れた確率論的手法に基づく地震波動場および構造物の地震応答のモデル化を実現する機が熟した、と考えるに至った。

2. 研究の目的

地震動の空間変動や構造物の地震応答特性を確率論的手法に基づいてモデル化するための理論的枠組みを構築することが本研究の目的である。従来の「確率論的手法」は実際には単なる記録の統計処理にすぎないものがほとんどであり、現象の物理をモデルとして内包するものではなかった。そこで、本研究では、波動伝播および構造物の地震応答の物理的性質を確率論的モデルのなかに取り込むという、まったく新しい手法を提案する。この問題の解決にあたって、

- (1) 種々の物理量の超高密度観測記録、
- (2) 記録の相関関数に基づく伝達関数の推定のための統一的手法の構築、
- (3) パワースペクトルによる物理モデルと確率論的モデルの関係づけ、

という3つの観点から研究を推進する。さらに、複数の異なる物理量の記録を併合処理することで実際に観測される現象を物理モデルに基づいてできる限り矛盾なく説明可能な確率論的モデルを構築しようとするものである。

3. 研究の方法

超高密度観測記録をもとに記録の相関特性を用いて物理特性を同定する、という手法を基本とする。地震動の不確定性を考慮した構造物の地震応答の確率論的予測を目標としているため、対象とする物理探査記録は、地震動との関係が深い物理量に関連する重力、微動、地震動である。大きく分けて以下に示す4つのサブテーマを設定して研究を推進した。

1) 高密度観測記録の高度利用

従前より整備を行ってきた地盤や構造物上における高密度観測記録の整理と従来から知られている手法を用いて基本的な動特性等の同定を行い、リファレンスデータとする。

2) 高密度観測のための観測、データ処理手法の効率化

特に、観測に多くの労力を要する微動観測を地盤上および構造物上で高密度に効率よく高精度に観測する手法・解析法の高度化を行う。また、微動に限らず、重力や地震動の記録も高密度観測の実施にともなって膨大となるため、効率的なデータの一次処理手法の開発を行う。

3) 波動場の確率論的モデル

確定論的な物理モデルでは説明困難なゆらぎは、適切な確率空間を仮定したうえで確率論的表現を与える。現象の物理と確率論は空間相関を含む多次元パワースペクトル(場の確率論的特性を規定する)によって関係付けられることに着目して、物理法則を反映した確率論的モデルを観測記録を元に構築するための理論的枠組みを構築する。

また、地盤情報の不確定性に基づく地盤震動特性の確率論的予測を行うにあたって、ごくわずかな数値計算によってモンテカルロ・シミュレーションによる擬似的な正解値に近い結果が得られるよう、従来から知られていた点推定法を改善する。

これらの手法を高密度観測の対象地域に適用して実記録に基づいてその妥当性を検証する。

4) 構造物の応答特性のモデル化

構造物の応答特性のモデル化にあたって、多くの不確定なパラメータが含まれるため、ある程度の統計的な記録に

基づいてパラメータを確率変数として扱い、応答の不確定性をごくわずかの数値計算から精度よくモデル化する手法を開発する。また、地盤-構造物の連成系を取り扱うことで被害を説明するための確率論的モデルを構築する。そのうえで、得られた手法を高密度観測の対象とした地域に適用し、実際の地震による被害と比較、さらには、従来から用いられてきたフラジリティ曲線を用いた統計的モデルによる被害予測手法と比較をする。

4. 研究成果

以下に本研究で得られた成果を「3. 研究の方法」で述べた項目ごとに整理して列挙する。なお、文章中の引用は本研究の業績リストに対応する。

4.1 高密度観測に関する研究

本研究課題に着手する以前より整備を続けていた地盤や構造物における高密度地震観測網のデータ収集および高速処理に基づいて、地盤構造および構造物の動特性の同定を伝統的な手法を用いて実施した。これにより、対象地域、対象構造物の基本的な物理特性を決定し、その後の確率論的モデルの構築のための基本情報とした。

地盤構造については、宮城県大崎市古川地区において2011年東北地方太平洋沖地震の発生後に整備を行ってきた観測網に加えて、微動の超高密度移動観測、微動のアレー観測をあわせて実施した。過去の物理探査記録とあわせて異なる物理量について整合性の高い地盤構造を同定した (Goto *et al.*, 2016)。

本研究課題の実施中に、2016年熊本地震、2018年北海道胆振東部が発生したため、急遽、検討対象域として熊本県益城町の市街地周辺、北海道厚真町周辺の広域を追加した。熊本県益城町では超高密度重力探査 (Araki *et al.*, 2018)、三角形および直線アレーによる微動観測 (飯田ほか, 2017)、定点における長期間の微動観測記録を用いた地震波干渉法に基づく地盤構造のモデル化 (宮本ほか, 2017) などを実施した。なかでも、直線アレーを用いた微動観測は本研究課題において新たに開発した手法であり (Zhang and Morikawa, 2015)、多くの場所での観測を効率よく実施して、高密度な記録を得ることができることを実記録から実証することができた。

また、構造物の高密度観測については、以前から鉄道橋において継続的に実施してきた連続観測の膨大な記録を用いて構造物の基本的な特性の同定を行って構造物のモデル化の基本とする成果を得た (坂井ほか, 2016)。

4.2 観測やデータ処理の効率化のための研究

高密度観測を行うことによって得られる記録の量は膨大になる。そのためには効率の高い観測技術やデータを効率的に扱う手法が必要となる。単点での微動観測の超高密度観測の手法は Goto *et al.* (2016) によって確立したが、アレー観測の効率化は必ずしも容易ではない。Zhang and Morikawa (2015) によって直線アレーによる微動記録の解析手法を確立したことで、観測時の制約が大きく緩和された。また、膨大なデータの自動処理のために深層学習を用いることで微動観測記録から解析区間を適切に抽出する手法を開発した (宮本ほか, 2017)。

また、地盤の振動特性を同定するために、従来は入出力関係を用いて伝達関数を求めるという極めて原始的な手法が用いられていた。しかし、そもそも微動観測では入力信号を知ることができないため本質的な限界があった。入力を必要とせずに構造物の振動特性を同定する手法として frequency domain decomposition (FDD) 法が広く知られているが、これが地盤震動に適用可能かを検討した。実観測と数値解析によって、基盤と堆積層の音響インピーダンス比が非常に大きく、かつ、微動が堆積層にトラップされるような極めて特殊な条件が成立する場合、従来の手法ではまったく合理的な結果を得られないにもかかわらず、FDD法は非常に有効に機能し、地盤構造の同定の可能性が示唆される結果が得られた (鈴木ほか, 2018; 石橋ほか, 2018)。このことから、ある一定の条件を満足すれば、FDD法は構造物だけでなく地盤振動による地盤構造の同定にも適用可能であることが明らかとなった。しかし、同時に、地盤の振動に特有の注意すべき点があることも指摘した。

4.3 波動場の確率論的モデル

高密度観測網で得られた多数の地震観測記録から、地震波動場の空間的変動を表現するモデルを地盤特性をもとに同定した。微動記録の上下動/水平動スペクトル比の空間変動をモデル化するとともに (後藤ほか, 2015)、地震動記録のコヒーレンスをサイトごとの伝達関数が確率変数であるとみなした新しいモデルを提案した (Kimura *et al.*, 2015)。さらに、ベイズの定理に基づいて観測記録が得られるサイトの不確定性を更新する手法を開発して大崎市古川における実記録を用いてサイト特性を確率論的に推定した (Chakraborty and Goto, 2018)。これらの成果はたんに観測記録に基づいた統計的モデルではなく、地盤増幅特性の物理を考慮した不確定性のモデル化となっている点が従来にない視点である。

一方、地盤の震動特性の不確定性を考慮した地盤の応答を確率論的に直接推定する手法についても検討を行った。地盤の特性を確率論的に与え、モンテカルロシミュレーションによって正解値を求めるとともに、それをごく僅かの解析で

精度よく推定可能な点推定法の理論式を誘導し、その推定結果の妥当性を確認した(飯山ほか, 2017; 飯山ほか, 2018; Iiyama *et al.*, 2018)。

4.4 構造物の応答特性のモデル化

構造物として、鉄道高架橋において超高密度微動観測を行うとともに、衝撃試験を実施して構造物の伝達関数を同定した。従来のFDD法では入力をホワイトノイズとすることで入力震動を用いなくて出力のみで構造物の動特性の同定を行っていた。しかし、新たに、衝撃試験のような単位衝撃入力の場合でもFDD法を適用可能であることを理論的に明らかにし、実際に微動観測と衝撃試験の結果が互いに矛盾しないことを示した。

また、しばしば地震によって大きな被害を受ける木造住家について、大崎市古川地区を対象として、建築年代を航空写真を用いて推定し(盛川ほか, 2017)、高密度地震観測から得られた地盤のモデルの非線形応答特性を考慮して地盤震動の空間分布を推定して木造住家の被害分布の限界解析を行った。被害を受けた木造住家の動特性を知ることは不可能であるため、建築年代をもとに確率変数として扱うことで応答の確率分布を求め、実際の被害分布と比較した。これによって、従来からしばしば用いられてきたフラジリティ曲線による被害予測に比べてよい精度で被害が推定されることを示した(飯山ほか, 2018)。

地盤と構造物の相互作用についてはよくわからない部分も多いため、これをそのまま構造物の応答の推定や耐震設計に用いることはできない。そのため、地震動の位相特性を確率変数として、地盤-基礎-構造物系の応答の確率分布を推定し、理論的モデルにもとづくフラジリティ曲線の決定法を提案した。

4.5 研究成果のまとめと今後の展開

従来、多くのデータが得られてもそれを統計的に取り扱うだけでその回帰式等には物理的背景が明確ではないものが少なくなかった。本研究ではその点を改善し、現象の物理を内包する確率論的モデルの構築のための基礎理論を確立することができた。その枠組みは地盤、構造物に適用され、さらに完全ではないものの地盤-基礎-構造物の相互作用への適用可能性も示した。

一方、高密度観測によって情報量が飛躍的に増えるとともに、その観測やデータ処理の負荷が無視できなくなっている。そのような問題を解消するために新しい観測技術やデータ処理技術を提案した。

これらの成果は従来の研究の確定論的な枠組みを超えるものであり、今後の耐震設計などにおいて確率論的な観点が採り入れられることになった場合に極めて重要な役割をもつ成果となることと考えられる。

なお、本研究は、最終年度前年度申請による応募が採用され、2019年度より19H02400に引き継がれた。多くの労力を投入して高密度観測を実施することの意義は本研究で十分に明らかとなったため、今後は、本研究で得たものと同等の推定の質を維持しながら大幅な省力化の実現可能性について具体的な検討を進める。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計29件（うち査読付論文 25件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Chakraborty Anirban, Goto Hiroyuki	4. 巻 214
2. 論文標題 A Bayesian model reflecting uncertainties on map resolutions with application to the study of site response variation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Geophysical Journal International	6. 最初と最後の頁 2264 ~ 2276
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1093/gji/ggy260	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 該当する
1. 著者名 Iiyama Kahori, Yoshiyuki Atsushi, Fujita Kohei, Ichimura Tsuyoshi, Morikawa Hitoshi, Hori Muneo	4. 巻 121
2. 論文標題 A point-estimate based method for soil amplification estimation using high resolution model under uncertainty of stratum boundary geometry	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Soil Dynamics and Earthquake Engineering	6. 最初と最後の頁 480 ~ 490
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.11.028	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 飯山かほり, 盛川仁, 市村強, 堀宗朗, 山崎義弘, 坂田弘安, 大野晋, 柴山明寛	4. 巻 Vol. 64B
2. 論文標題 都市の地震応答シミュレーションのための木造建物モデル設定に関する一検討	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 構造工学論文集	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 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 肥田剛典, 飯山かほり, 中村尚弘	4. 巻 Vol. 64B
2. 論文標題 時間領域および周波数領域のシステム同定法に基づく建物の地震時動特性評価 ARXモデルおよび部分空間法, CMIF法の同定精度の比較	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 構造工学論文集	6. 最初と最後の頁 1-9
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 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.	4. 巻 Vol.13, No.1
2. 論文標題 3-D Gravity Basement Structure around Mashiki, Kumamoto, Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Disaster Research	6. 最初と最後の頁 193-198
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jdr.2018.p0193	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 宮本崇, 古屋貴彦, 盛川仁	4. 巻 Vol.73, No.2
2. 論文標題 深層学習を用いた常時微動記録からの解析対象区間の自動抽出	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 土木学会論文集A2 (応用力学)	6. 最初と最後の頁 I_321-I_331
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2208/jscejam.73.I_321	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 和田一範, 坂井公俊, 室野剛隆	4. 巻 Vol.74, No.1
2. 論文標題 実測に基づく鉄道高架橋の減衰定数の特性把握と低減衰箇所の簡易抽出法	5. 発行年 2018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 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2208/jscejsee.74.1	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 坂井公俊, 井澤淳, 室野剛隆	4. 巻 Vol.73, No.2
2. 論文標題 地盤全体系の強度と固有周期を用いた耐震設計のための地盤分類法	5. 発行年 2017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 433-442
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2208/jscejsee.73.433	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 坂井 公俊、野上 雄太	4. 巻 Vol.73, No.4
2. 論文標題 地盤全体系の強度と入力地震動の最大値を考慮した表層地盤の地震増幅率の高精度化	5. 発行年 2017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 I_170 ~ I_179
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2208/jscejsee.73.I_170	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 田中浩平, 坂井公俊	4. 巻 Vol.21
2. 論文標題 地震基盤波形データベースを用いた設計地震動評価に関する検討	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 鉄道工学シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 45-50
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 荒木豪, 坂井公俊, 小島謙一	4. 巻 Vol.21
2. 論文標題 盛土体の地震時挙動特性に与える支持地盤の影響把握	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 鉄道工学シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 37-43
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 Goto, H., Mitsunaga, H., Inatani, M., Iiyama, K., Hada, K., Ikeda, T., Takaya, T., Kimura, S., Akiyama, R., Sawada, S., Morikawa, H.	4. 巻 Vol.48, No.1
2. 論文標題 Shallow subsurface structure estimated from dense aftershock records and microtremor observations in Furukawa district, Miyagi, Japan	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Exploration Geophysics	6. 最初と最後の頁 16-27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1071/EG16113	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 宮本崇・飯山かほり・後藤浩之・盛川仁	4. 巻 Vol.35, No.2
2. 論文標題 平成28年(2016年)熊本地震の概要と益城町周辺における余震・常時微動観測	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 自然災害科学	6. 最初と最後の頁 77-86
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 地元孝輔, 山中浩明, 佐藤浩一郎, 津野靖士, 飯山かほり	4. 巻 Vol.81, No.719
2. 論文標題 2014年長野県北部の地震の余震と微動観測による白馬村の地盤増幅特性の評価	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 51-59
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijs.81.51	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 Shusuke Oji, Sumio Sawada, and Hiroyuki Goto	4. 巻 Vol.107, No.1
2. 論文標題 Estimation of response spectra of earthquake ground motion based on an attenuation equation with detailed analysis of source and site effects	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Bulletin of the Seismological Society of America	6. 最初と最後の頁 292-307
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) 10.1785/0120150206	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 後藤浩之, 秦吉弥, 吉見雅行	4. 巻 Vol.87, No.2
2. 論文標題 益城町市街地の地盤増幅特性と2016年熊本地震における被害集中域との関係	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 岩波科学	6. 最初と最後の頁 186-191
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 Yoshiya Hata, Hiroyuki Goto, and Masayuki Yoshimi	4. 巻 Vol. 87, No. 5
2. 論文標題 Preliminary analysis of strong ground motions in the heavily damaged zone in Mashiki town, Kumamoto, Japan, during the main shock of the 2016 Kumamoto earthquake (Mw7.0) observed by a dense seismic array	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Seismological Research Letters	6. 最初と最後の頁 1044-1049
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1785/0220160107	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 秦吉弥, 後藤浩之, 吉見雅行	4. 巻 Vol. 86, No. 9
2. 論文標題 益城町の被害集中域における2016年熊本地震本震の地震動とその特徴	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 岩波科学	6. 最初と最後の頁 934-941
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 宮本崇, 本田利器	4. 巻 Vol. 72
2. 論文標題 JS divergenceに基づく地震動波形のクラスタリング手法による観測地震動記録群の分類	5. 発行年 2016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 I_810-I_820
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejseee.72.I_810	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 宮本崇, 入原涉, 鈴木猛康, 藤田航平, 市村強	4. 巻 Vol. 72
2. 論文標題 3次元非線形地盤地震動解析を用いた堆積層における地盤ひずみの集中効果の検証	5. 発行年 2016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 I_768-I_776
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejseee.72.I_768	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 Miyamoto, T. and Honda, R.	4. 巻 Vol.1
2. 論文標題 Synthesis of representative wave of spectrum-fitting input motions based on iterative learning procedure	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 International Journal of Earthquake and Impact Engineering	6. 最初と最後の頁 159-173
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1504/IJEIE.2016.10000978	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 細政貴・飯山かほり・石田孝徳・藤田航平・山崎義弘・市村強・Wijerathne Lalith・盛川仁・堀宗朗・山田哲・坂田弘安・山中浩明・廣瀬壮一	4. 巻 Vol. 15, No. 7
2. 論文標題 総合地震シミュレータ(IES)の仮想構築モデルに導入するMSSモデルに関する基礎研究	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 日本地震工学会論文集	6. 最初と最後の頁 7_295-7_305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5610/jaee.15.7_295	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 該当する

1. 著者名 Zhang, X.R. and Morikawa, H.	4. 巻 Vol.20, No.1
2. 論文標題 A new signigance on the vertical component ratio of the power spectra between two sites in the application of array methods	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Seismology	6. 最初と最後の頁 185-196
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10950-015-9519-7	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 該当する

1. 著者名 Iiyama, K., Morikawa, H., Sasano, S., Motoyui, S., Fujita, Y., and Mutoh, A.	4. 巻 Vol. 802
2. 論文標題 Identification of dynamic characteristics of a historical church in Armenia using microtremor survey technique	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Applied Mechanics and Materials	6. 最初と最後の頁 71-76
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/AMM.802.71	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 該当する

1. 著者名 後藤浩之, 羽田浩二, 澤田純男, 吉田望, 大内徹	4. 巻 Vol.16, No.1
2. 論文標題 常時微動観測と臨時余震観測による福島県浪江町市街地の地盤震動特性評価	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 日本地震工学会論文	6. 最初と最後の頁 309-321
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) org/10.5610/jaee.16.1_309	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 平井俊之, 堤杏紗, 大島昭彦, 新井瞬, 濱田晃之, 北田奈緒子, 後藤浩之, 河井克之, 中嶋勲雄	4. 巻 9999
2. 論文標題 大阪地域の表層地盤モデルを用いた揺れやすさマップの作成	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Kansai Geo-Symposium 2015 論文集	6. 最初と最後の頁 203-208
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 Sayaka Kimura, Hiroyuki Goto, Hitoshi Morikawa, and Sumio Sawada	4. 巻 No.378
2. 論文標題 Identification of incident and site-to-site factors for ground motion	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Proc. 6th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering	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 宮本崇, 本田利器	4. 巻 Vol.71
2. 論文標題 JS divergenceを用いた地震動波形のクラスタリング手法のスペクトル適合波への適用性	5. 発行年 2015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 I_799-I_806
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://doi.org/10.2208/jscejsee.71.I_799	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 宮本崇, 本田利器	4. 巻 Vol.16
2. 論文標題 Jensen-Shannon divergenceを用いた構造物の非線形応答値に基づく地震動波形の集合のクラスタリング	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 日本地震工学会論文集	6. 最初と最後の頁 3_41-3_52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://doi.org/10.5610/jaee.16.3_41	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 -

〔学会発表〕 計45件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Anirban Chakraborty, 後藤浩之
2. 発表標題 不確定性に依存した空間解像度を持つ地盤増幅度分布のベイズモデリング
3. 学会等名 日本地震工学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 後藤浩之, 平井俊之, 江口拓生, 中本幹大, Anirban Chakraborty, 山下大輝
2. 発表標題 2018年大阪府北部の地震における茨木市周辺の余震観測
3. 学会等名 日本地震学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 林穂高, 後藤浩之, 澤田純男
2. 発表標題 微動アレー観測に含まれるばらつきを考慮した地盤増幅特性の評価法に関する検討
3. 学会等名 日本地震学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 栗間淳, 後藤浩之, 澤田純男
2. 発表標題 深層学習を用いた周辺の観測波形に基づく震度分布推定の試み
3. 学会等名 日本地震学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮本崇
2. 発表標題 光学衛星画像の時空間畳み込みニューラルネットワークによる地震被害の判別
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会第64回学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮本崇
2. 発表標題 時空間畳み込みニューラルネットワークによる衛星画像からの地震時構造物被害の検出
3. 学会等名 土木学会第73回年次学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮本崇
2. 発表標題 震災前後の衛星撮影画像を入力とした深層学習モデルによる地震被害の判別
3. 学会等名 第9回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Miyamoto
2. 発表標題 Earthquake Building Damage Detection Using 3D Spatio-Temporal Convolutional Neural Network and Multi-Temporal Satellite Imagery
3. 学会等名 AAAI 2019 Artificial Intelligence for Natural Disasters Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯山かほり・盛川仁・本山紘希・掘宗朗
2. 発表標題 伝達関数に着目した入力パラメタに依存するモデル応答の統計的性質に関する検討
3. 学会等名 第15回日本地震工学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石橋利倫・荒木豪・飯山かほり・盛川仁・坂井公俊
2. 発表標題 不整形を有する基盤形状の推定における常時微動記録の適用性に関する一考察
3. 学会等名 第15回日本地震工学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木祐輔・飯山かほり・石橋利倫・荒木豪・坂井公俊・盛川仁
2. 発表標題 表層地盤の振動モードの同定におけるFDD法の適用性の検討
3. 学会等名 第15回日本地震工学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Anirban Chakraborty and Hiroyuki Goto
2. 発表標題 A Bayesian-based novel methodology to generate reliable site response mapping sensitive to data uncertainties
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Anirban Chakraborty and Hiroyuki Goto
2. 発表標題 A Bayesian-based novel methodology to generate reliable site response mapping sensitive to data uncertainties
3. 学会等名 日本地震学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 荒木俊, 野口竜也, 駒澤正夫, 有村翔也, 田村充宏, 中山圭, 盛川仁, 飯山かほり, 宮本崇, 秦吉弥, 吉見雅行, 香川敬生, 後藤浩之
2. 発表標題 重力探査を用いた熊本県益城町市街地周辺の三次元基盤構造の推定
3. 学会等名 断層帯近傍における地震動評価に関するシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 飯田剛史, 飯山かほり, 宮本崇, 盛川仁, 後藤浩之, 秦吉弥
2. 発表標題 2点同時微動観測を用いた益城町赤井地区における基盤傾斜の推定の試み
3. 学会等名 断層帯近傍における地震動評価に関するシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮本崇, 盛川仁, 飯山かほり, 後藤浩之, 秦吉弥
2. 発表標題 熊本県益城町における長期微動観測の実施と地震波干渉法の適用
3. 学会等名 断層帯近傍における地震動評価に関するシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 飯山かほり, 吉行淳, 藤田航平, 市村強, 盛川仁, 堀宗朗
2. 発表標題 高分解能モデルを利用した不整形地盤の局所的な地盤増幅の確率論的推定
3. 学会等名 第37回地震工学研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 飯山かほり, 宮本崇, 盛川仁, 飯田剛史, 後藤浩之, 秦吉弥
2. 発表標題 2点同時微動観測に基づく傾斜基盤構造推定の試み
3. 学会等名 日本地震学会秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 飯山かほり, 盛川仁, 大野晋, 柴山明寛
2. 発表標題 点推定を利用した木造建物の被害評価 - 実被害への適用
3. 学会等名 土木学会第72回年時学術講演会講演梗概集
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 盛川仁, 上野翔太, 飯山かほり
2. 発表標題 航空写真と建物閉領域情報を用いた建物の建築年代の推定方法の検討
3. 学会等名 土木学会第72回年時学術講演会講演梗概集
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田中浩平, 坂井公俊, 盛川仁, 飯山かほり
2. 発表標題 不整形地盤上における鉛直フーリエスペクトル比の変動に関する検討
3. 学会等名 土木学会第72回年時学術講演会講演梗概集
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 飯山かほり, 肥田剛典, 鹿嶋俊英, 中村尚弘, 佐武直紀
2. 発表標題 SRC造建物の動特性の経時変化に基づく動的モデルの同定
3. 学会等名 第64回理論応用力学講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 肥田剛典, 飯山かほり, 中村尚弘
2. 発表標題 建物の振動特性の同定法に関する比較検討
3. 学会等名 第64回理論応用力学講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田中浩平, 坂井公俊, 盛川仁, 飯山かほり
2. 発表標題 常時微動観測に基づく基盤傾斜角の簡易推定法の提案
3. 学会等名 地盤工学研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kahori Iiyama, Hitoshi Morikawa, Kohei Tanaka and Kimitoshi Sakai
2. 発表標題 Application of the simple technique to estimate subsurface structure with sloped engineering bedrock to microtremor array observation records
3. 学会等名 JPGU-AGU Joint meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Iiyama, K., Morikawa, H., and Hirose, S.
2. 発表標題 Unexpected fluctuation in seismic response accompanied by model uncertainty in numerical simulation
3. 学会等名 16th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Morikawa, H., Iiyama, K., Goto, H., and Inatani, M.
2. 発表標題 Spatial distribution of seismic response by shallow sediments in Furukawa district, Miyagi, Japan
3. 学会等名 5th IASPEI/IAEE Int'l Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Goto, H., Kimura, S., Morikawa, H., and Sawada, S.
2. 発表標題 Effect of subsurface irregularity on ground motion coherence
3. 学会等名 5th IASPEI/IAEE Int'l Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 盛川仁・飯山かほり・後藤浩之
2. 発表標題 大崎市古川地区における2011年東北地方太平洋沖地震の本震記録を用いた地震動分布の簡易推定
3. 学会等名 日本地震学会2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 盛川仁・満永仁志・飯山かほり
2. 発表標題 クロススペクトル比を用いたモード減衰定数の推定法に関する一考察
3. 学会等名 土木学会第71回年次学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 飯山かほり・盛川仁・廣瀬壮一・市村強
2. 発表標題 点推定を利用した構造物被害評価手法の精度検証
3. 学会等名 土木学会第71回年次学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 後藤浩之・満永仁志・稲谷昌之・飯山かほり・盛川仁
2. 発表標題 高密度余震観測と常時微動測定に基づいた大崎市古川地区の浅層地盤構造のモデル化
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2016 年大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 盛川仁・飯山かほり・後藤浩之・満永仁志・稲谷昌之
2. 発表標題 大崎市古川地区における表層盤の動的応答特性の空間分布の推定
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2016 年大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 飯山かほり・山崎義弘・後藤浩之・盛川仁・坂田弘安・廣瀬壮一
2. 発表標題 東北地方太平洋沖地震における被害状況に基づく大崎市古川地区内木造建造物のモデル化
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2016 年大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 高田明伸, 中村壮志, 中村尚弘, 吉田治雄, 小林喜久二, 東野雅彦, 酒井慎一, 中川茂樹, 阿部雅史, 飯山かほり
2. 発表標題 地盤-基礎-建物連成 3次元FEMモデルによる観測地震動シミュレーション - MeSO-netを活用した地盤-基礎-建物連成系の応答評価とモニタリング -
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Anirban Chakraborty and Hiroyuki Goto
2. 発表標題 A hierarchical Bayesian approach to spatial modelling of site amplification
3. 学会等名 the 29th KKHTCNN symposium on civil engineering (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hiroyuki Goto, Sayaka Kimura, Hitoshi Morikawa, and Sumio Sawada
2. 発表標題 Effect of subsurface irregularity on ground motion coherence
3. 学会等名 5th IASPEI/IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Takashi Miyamoto
2. 発表標題 Setting Design Ground Motion Reflecting Information of a set of Observed and Simulated Ground Motions based on Data-Driven Approach
3. 学会等名 16th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 盛川仁・満永仁志・飯山かほり・後藤浩之・稲谷昌之・羽田浩二・池田貴昭・高屋俊康・木村紗也佳・秋山良平・澤田純男
2. 発表標題 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
3. 学会等名 土木学会第70 回年次学術講演会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 飯山かほり・細政貴・盛川仁・廣瀬壮一・藤田航平・市村強
2. 発表標題 建物物性値の不確定性が応答に及ぼす影響の評価手法に関する研究
3. 学会等名 土木学会第70 回年次学術講演会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Hiroyuki Goto, Masayuki Inatani, Sayaka Kimura, Hitoshi Morikawa, and Sumio Sawada
2. 発表標題 Very dense seismic array observation in Furukawa, Japan: spatial variation of earthquake ground motion
3. 学会等名 the 28th KKHTCNN Symposium on Civil Engineering, 2015 (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 後藤浩之, 盛川仁, 飯山かほり
2. 発表標題 空間統計モデルを用いた微動H/Vスペクトル比ピーク周期のモデル化の試み
3. 学会等名 日本地震学会2015年秋季大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 後藤浩之, 稲谷昌之, 羽田浩二, 澤田純男, 盛川仁
2. 発表標題 大崎市古川地区の浅層地盤構造をターゲットとした超高密度常時微動観測
3. 学会等名 日本自然災害学会平成27年度年次講演会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 宮本崇
2. 発表標題 JS divergenceに基づく地震波クラスタリング手法の実観測記録への適用性の検証
3. 学会等名 第18回応用力学シンポジウム
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 入原渉, 鈴木猛康, 宮本崇
2. 発表標題 甲府盆地の3次元地盤構造モデルの構築と地盤震動解析
3. 学会等名 土木学会第70回年次学術講演会
4. 発表年 2015年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 改良地盤の改良効果の評価方法	発明者 坂井公俊・田中浩平・荒木豪・盛川仁・飯山かほり	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2019-003218	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

大崎市高密度地震観測プロジェクト http://sn.catfish.dpri.kyoto-u.ac.jp/

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	宮本 崇 (Miyamoto Takashi) (30637989)	山梨大学・大学院総合研究部・助教 (13501)	
研究 分担者	後藤 浩之 (Goto Hiroyuki) (70452323)	京都大学・防災研究所・准教授 (14301)	
研究 分担者	飯山 かほり (Iiyama Kahori) (90711870)	東京工業大学・環境・社会理工学院・研究員 (12608)	
連携 研究者	坂井 公俊 (Sakai Kimitoshi) (50450739)	公益財団法人鉄道総合技術研究所・999・24 (82658)	