

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：32702
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2020～2022
課題番号：20K04689
研究課題名（和文）常時微動とボーリングデータを組合せた高精度な三次元グリッドモデル作成手法の構築

研究課題名（英文）Construction of a highly accurate 3D grid model creation method combining microtremors and boring data

研究代表者
落合 努 (Ochiai, Tsutomu)
神奈川大学・建築学部・助手

研究者番号：70867829

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）：ボーリングデータが少ない地方都市を対象とした高精度な地盤モデルの作成手法の構築は重要であると考えます。そこで本研究では、常時微動観測によるデータをボーリングデータと同等程度の情報を持つとして地盤モデルの作成を試みました。3次元グリッドモデルの作成は、ボーリングデータのみを用いた場合と微動とボーリングデータを組合せた場合の2ケースについて実施した。ボーリングデータのみではモデルの作成が困難であったエリアに対し、常時微動データを加えることでモデルの作成が可能となった。今後は作成したモデルの妥当性検証や、他エリアへの展開を進めていきたい。

研究成果の学術的意義や社会的意義
地震防災などを検討する場合に、その地域の詳細な地盤モデルを把握することは重要となる。近年、ボーリングデータのデータベース化されオープンデータとして公開され始めている。しかし、詳細なモデル化などを進めるのに十分なデータ公開がなされているのは、限られた都市部のみである。一方で、常時微動の研究が進展し観測や解析の簡便化や短時間が進められ、効率的に地盤構造（S波速度構造など）の推定が可能となりつつある。そこで、ボーリングデータと常時微動データを組合せた高精度な地盤モデル作成手法の構築を試みた。今回提案した手法を用いることで、日本各地の地方として高精度な地盤モデルの作成が可能となると考えている。

研究成果の概要（英文）：We believe that it is important to develop a highly accurate ground modeling method for local cities where borehole data is scarce. Therefore, in this study, we attempted to create a ground model using data from microtremors observations, which have the same level of information as borehole data. The 3D grid model was created for two cases: one using only borehole data and the other combining microtremors and borehole data. In the case of using only borehole data, it was difficult to create a model, but by adding microtremors data, it was possible to create a model for the areas where it was difficult to create a model. In the future, we would like to verify the validity of the model and expand it to other areas.

研究分野：地盤工学

キーワード：三次元グリッドモデル ボーリングデータ 常時微動観測 庄内平野

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現在、地震被害想定などある程度広域の地盤構造を推定する場合、ボーリングデータを参考にして地形分類などでグループ化を行い、グループの代表的なボーリングデータを用いた地盤構造としてしまうことが一般的である。一方で、近年ボーリングデータ解析による三次元地盤モデル作成手法の研究も進められている¹⁾。これらの手法は、ボーリングデータが豊富な都市部では精度が高いモデルが作成可能であるが、ボーリングデータが少ない地方ではその精度が低くなるのが問題である。ボーリングデータを活用しようと、現在国や学会などが主導となってデータベース化も進められている。また、先進的な自治体では、独自にデータベース化を進め、インターネットなどによるデータ提供も進められている。しかし、建築確認申請などに代表される民間建物のためのボーリングデータは、なかなか表には出てこない。今後も、徐々にボーリングのデータベースは充実していくと思われるが、特に地方都市では詳細な地盤モデル構築のための十分なデータが整備されるには相当な時間を有すると思われる。

一方、古くから地盤の常時微動結果から地盤振動特性が推定可能であることが知られている。特に近年、常時微動の研究が進出し観測や解析の簡便化や短時間が進められ、効率的に地盤構造(S波速度構造など)の推定が可能となりつつある²⁾。ただし、常時微動観測のみでは、土質構成の推定は難しく、詳細な地震被害想定などを行うための直接的なデータとして利用することは難しい。

2. 研究の目的

上記背景から、ボーリングデータが少ない地方都市を対象とした高精度な地盤モデルの作成手法の構築は重要であると考える。そこで本研究では、常時微動観測結果とボーリングデータを組合せた三次元グリッドモデル作成手法の構築を目的とする。一般的に広域な地盤モデルの作成は、ボーリングデータをメインのデータとし、常時微動を含めたその他のデータを参考としながら作成される。しかし、前述した通り近年は常時微動データの利活用が進んでおり、ボーリングデータと同等程度の情報を持つとして地盤モデルの作成を試みた(図1参照)。

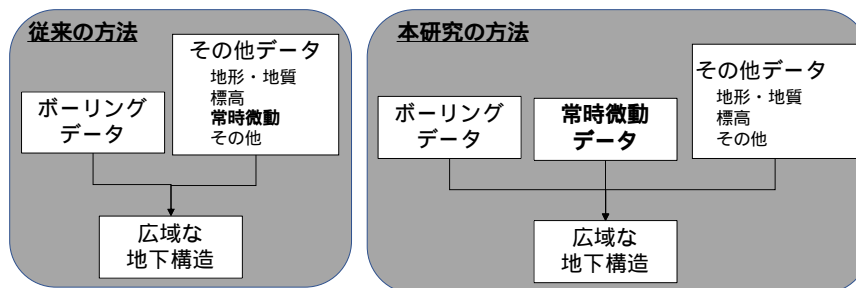


図1 広域な地下構造モデル作成手順の概要(従来と本研究)

研究対象は、山形県の日本海沿岸部に広がる庄内平野を対象とした(図2)。庄内平野は、1894年の庄内地震(M7.0)(酒田地震)が発生し、平野の中央付近の酒田市を中心に局所的ではあるが大きな被害が生じている。2019年6月18日に発生した山形県沖地震でも平野の南部では大きな揺れが発生し、多数の被害が確認されている。この地震の震源は、山形県と新潟県の境界付近であった。今後は、北側の庄内平野に近い海域での地震発生も否定できない。しかし、これまでに庄内平野の詳細な地盤構造に着目した既往研究は少ない^{例えば 3), 4)}。

庄内平野は、南北延長55km、東西の幅は最北端で3km、南下するにしたがってその幅は増し最大25kmとなる。中心には最上川が流れており、今回の対象領域はその下流域を中心とした。

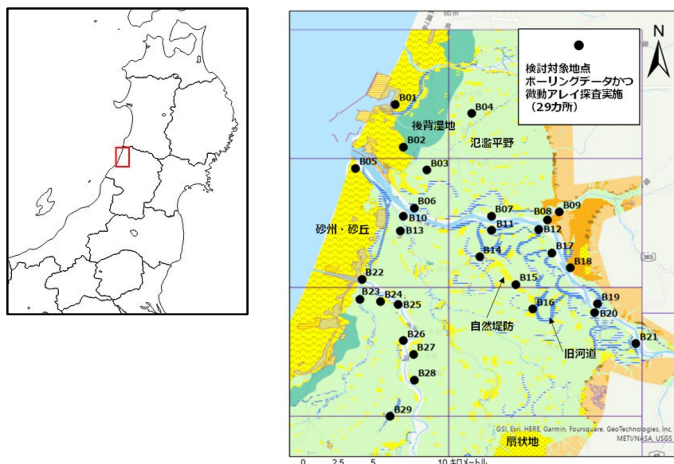


図2 研究対象とした山形平野の位置と地形概要

3. 研究の方法

(1) 研究方法の概要

研究は、以下の手順で実施した。

ボーリングデータの収集と整理（電子化）
地盤情報が既知な地点での常時微動測定
対象区域を 1km 間隔のグリッドに区切った常時微動測定
三次元グリッドモデルの作成

(2) ボーリングデータの収集と整理

ボーリングデータは、防災科学技術研究所が構築・提供している「Geo-Station」⁵⁾と地盤工学会東北支部と東北建設協会とが共同開発・公開している「みちのく GIDAS」⁶⁾を用いて収集を行った。Geo-Station は、基本的にデジタルデータがそのまま利用可能な XML 形式での入手が可能である。一方で、みちのく GIDAS は XML 形式とボーリング柱状図の画像データである PDF 形式が混在している。PDF 形式のデータは、必要に応じて手作業で XML データへの入力を実施した。

収集したデータは 412 本となる。その分布を図 3 に示す。図からもわかる通り、主に河川に沿う形で分布している。これは、オープンデータが河川堤防に伴う調査結果が主であることに起因している。背景でも述べたが、地方都市ではこのようにオープンとなっているボーリングデータは、公共機関の調査データが主となることから、データの分布密度に大きく差が出るのが一般的である。

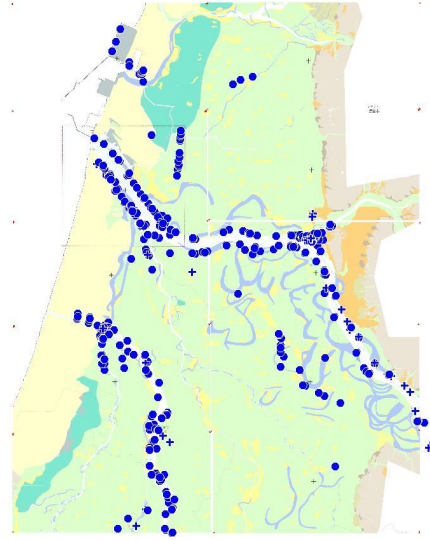


図 3 収集したボーリングデータの分布

(3) 地盤情報が既知な地点での常時微動測定⁷⁾

前記したボーリングデータが得られる地点の中で、地形状況などを勘案して 29 地点で常時微動観測を実施して比較を行った。比較は、ボーリングの N 値から換算した S は構造と、微動アレイ探査から推定した S 波構造を用いている。比較結果の一例と全体の評価を図 4 に示す。

両者を比較すると、その対応が「良い」と「概ね良い」を合わせると 69%、「悪い」が 31% となった。この結果から、微動観測データの 7 割程度は活用可能であることが確認できた。一方で結果が悪い地点は、最上川上流部の旧河道や後背湿地が混在しているエリアである。結果に違いが出た要因として、ボーリングデータの不均質性(N 値から S 波構造を推定する際の誤差など)、対象の違い(ボーリングは点としてのデータなのであるのに対し微動はある程度広がりを持ったエリアでの地盤特性を反映)、微動アレイ探査の不均質性などいくつかの要素が考えられる。ただ、これらの点を考慮しても、概ね 7 割程度の地点で精度良く地盤を評価できていると解釈できる。

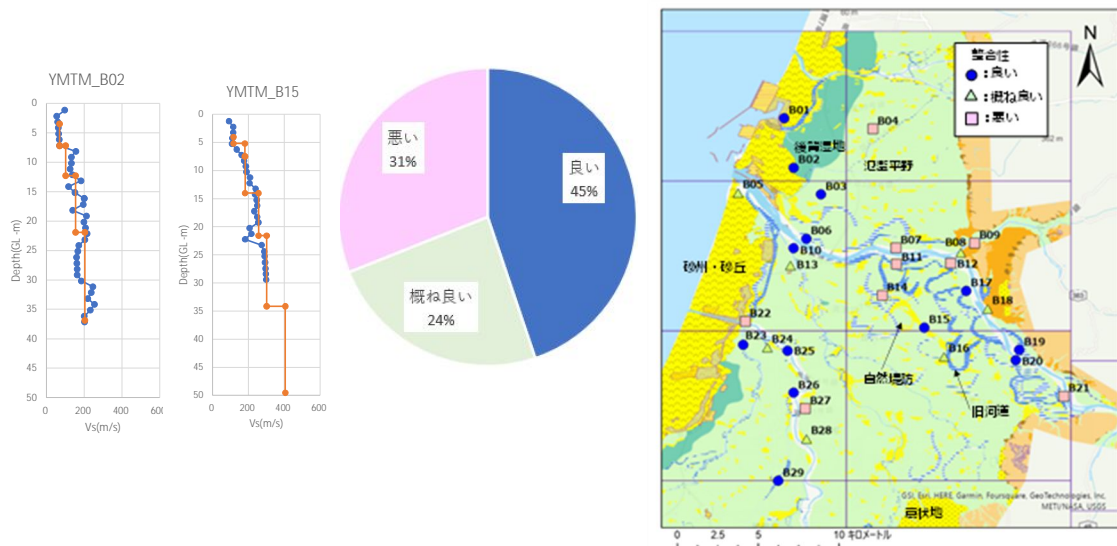


図 4 地盤情報が既知な地点でのボーリングデータと微動結果の比較
(左：比較例、中：全体の割合、右：比較地点の分布)

(4) 対象区域を 1km 間隔のグリッドに区切った常時微動測定

前述したように、常時微動の適用性は概ね確認できた。3次元グリッドモデルでは、離散的な点を補完処理して面モデルを作成することを前提としている。ある領域内で等間隔のデータを用いることが、精度よく補完処理を行うことが可能となる。そこで、対象領域を 1km グリッドに分割し、その交点付近で再度常時微動の観測を行った。等間隔で実施した微動観測地点とボーリングデータの分布を図 5 に示す。

最終的に、図 5 右側のデータを用いて 3次元グリッドモデルの作成を試みた。

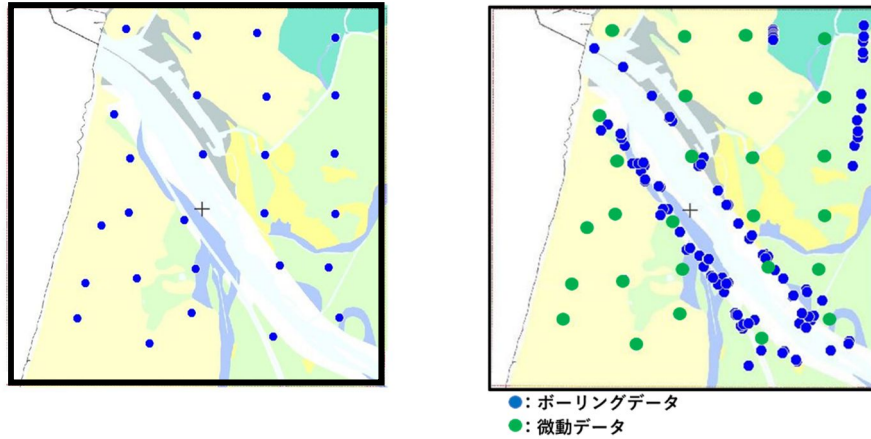


図 5 等間隔で実施した微動観測データとボーリングデータの分布

4. 研究成果

3次元グリッドモデルの作成は、ボーリングデータのみを用いた場合と微動とボーリングデータを組合せた場合の 2 ケースについて実施した。作成した地盤モデルの南北方向で切った断面図の例（下流側、上流側）を図 6、7 に示す。図の左は土質モデル、右は N 値モデルとなる。

図 6 の下流側のモデルでは、ボーリングデータが北部の河川沿いのみしか存在しない。よって微動無しモデルでは、北側（モデルでは左側）のみが作成でき、南側は空白域となっている。一方で、微動データを加えると、南側にも地盤データが追加されるためモデルも作成されている。また、土質や N 値の連続性も概ね違和感がない。図 7 の上流側も概ね同様な傾向が確認できる。

また、モデルの妥当性の確認のために、作成したモデルの地盤増幅特性を次元重複反射理論で確認をした。結果の比較を図 8 に示す。3つの地形面のみであるが、一般的に比較的硬質となる砂丘で固有周期が短く増幅率が大きいものに対し、軟弱な氾濫平野や後背湿地は固有周期が長い傾向が確認できている。

今回作成した 3次元グリッドモデルは、GL-30~40m 程度までである（ボーリングの調査深度や微動アレイでの推定深度に対応）。一方で、文献などによるとこの地域の工学的基盤の深さは 50m 以上の部分もあり、推定した地盤モデルの深さでは不足している。現在、アレイサイズを大きくした微動観測も実施済み⁸⁾であり、今後これらのデータを取り込んだ地盤モデルの作成を進める予定としている。また、一部モデルの検証も不十分であり同様に今後進めていく予定である。

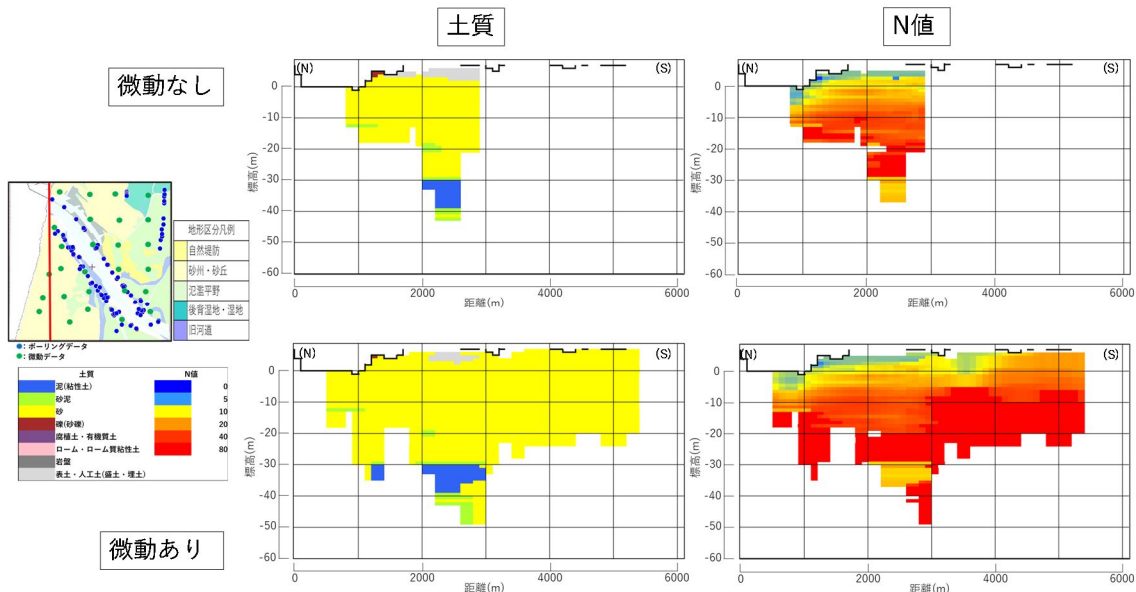


図 6 作成した 3次元グリッドモデルの比較（下流側）

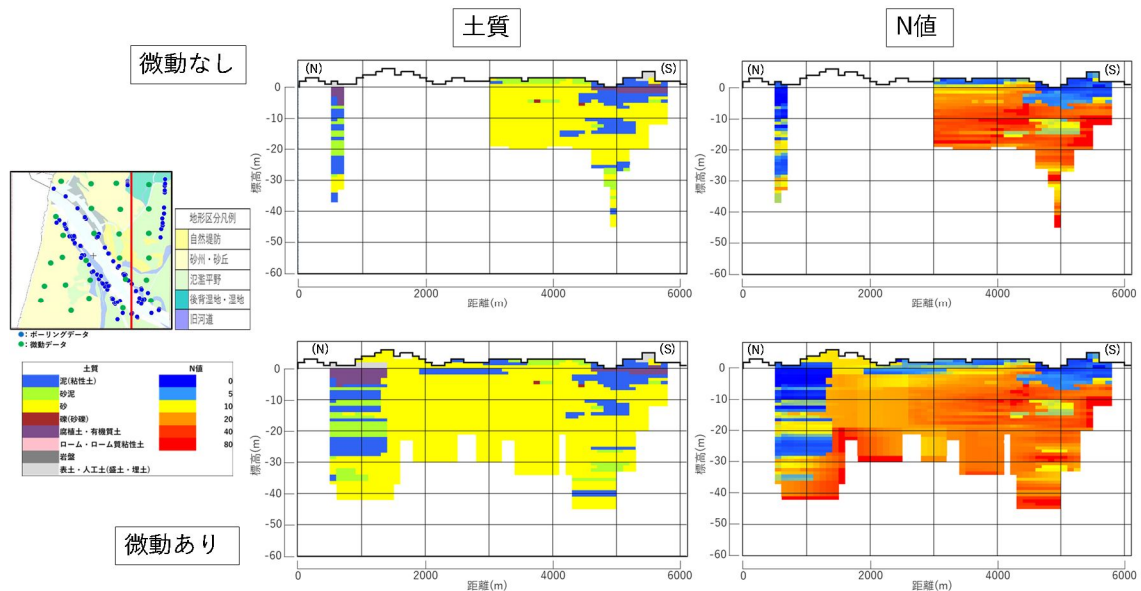


図7 作成した3次元グリッドモデルの比較(上流側)

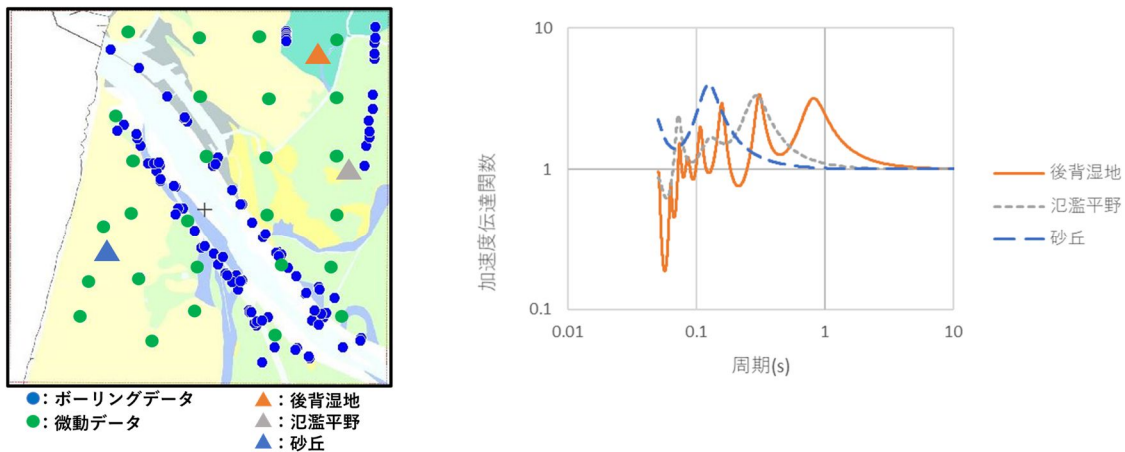


図8 モデルの妥当性確認

【参考文献】

- 1) 木村克己、石原与四郎、花島裕樹、根本達也：沖積層の三次元グリッドモデルとその作成手法 (概要) -東京低地北部から中川低地南部の例-、地質調査総合センター研究資料集、no.539、2011
- 2) 長郁夫、先名重樹：極小微動アレイによる浅部構造探査システム -大量データの蓄積と利活用に向けて-、Synthesiology Vol.9 No.2、2016
- 3) 佐藤浩章、山中浩明、東貞成、佐藤清隆、芝良昭、元木健太郎、水田俊彦：長周期地震動評価のための新潟平野および庄内平野における深部S波速度構造の推定、地震第2輯、第61巻、191-205、2009
- 4) 有賀友子：庄内平野の地形発達、東北地理、36-1、1984
- 5) 防災科学技術研究所：ジオ・ステーション、<https://www.geo-stn.bosai.go.jp/index.html>
- 6) 地盤工学会東北支部：みちのくGIDAS、<https://www.michinoku-gidas.jp/>
- 7) 落合努、荏本孝久、小田義也、太田光、三辻和弥、先名重樹：庄内平野を対象としたボーリングデータと微動アレイ探査の比較、物理探査学会 第147回(2022年度秋季)学術講演会、2022
- 8) 太田光、小田義也、落合努、荏本孝久、東宏幸、三辻和弥、先名重樹：微動アレイ探査を用いた庄内平野における工学的基盤形状の推定、物理探査学会 第146回(2022年度春季)学術講演会、2022

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2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 0件）

1. 著者名 落合努、荻本孝久、松田磐余	4. 巻 21
2. 論文標題 地形発達史が異なる地形区の常時微動H/Vスペクトル比と堆積層厚の関係 ハザードマップに常時微動を適用するための一考察	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本地震工学会論文集	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） 10.5610/jaee.21.5_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 Tsutomu Ochiai, Takahisa Enomoto, Iware Matsuda	4. 巻 22
2. 論文標題 RELATION BETWEEN H/V SPECTRUM RATIO OF MICROTREMOR AND THICKNESS OF SEDIMENTARY LAYER WITH DIFFERENT LANDFORM EVOLUTION: A STUDY FOR APPLYING MICROTREMOR TO HAZARD MAPS	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Japan Association for Earthquake Engineering	6. 最初と最後の頁 58,74
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5610/jaee.22.3_58	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12件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 朱牟田善治、落合努
2. 発表標題 福島地域の地震動スペクトルの再現性
3. 学会等名 第13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 2022年～2023年

1. 発表者名 落合努、荻本孝久、小田義也、太田光、三辻和弥、先名重樹
2. 発表標題 庄内平野を対象としたボーリングデータと微動アレイ探査の比較
3. 学会等名 物理探査学会 第147回（2022年度秋季）学術講演会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 落合努、荻本孝久、先名重樹、大井昌弘、王寺秀介
2. 発表標題 盛土造成地を対象とした微動観測による地盤構造の推定
3. 学会等名 地盤工学研究発表会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 太田光, 小田義也, 落合努, 荻本孝久, 東宏幸, 三辻和弥, 先名重樹
2. 発表標題 微動アレイ探査を用いた庄内平野における工学的基盤形状の推定
3. 学会等名 物理探査学会 第146回(2022年度春季) 学術講演会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 落合努、荻本孝久、木村克己
2. 発表標題 横浜市東部低地を対象とした三次元グリッドモデルの作成と常時微動結果の比較
3. 学会等名 第56回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 落合努、荻本孝久、小田義也、三辻和弥、先名重樹
2. 発表標題 庄内平野を対象とした常時微動による地盤特性と1894年庄内地震の住家被害の比較
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～2022年

1. 発表者名 先名 重樹, 若井 淳, 谷田貝 淳, 佐藤 将, 松山 尚典, 藤原 広行
2. 発表標題 山梨地方における浅部・深部統合地盤構造モデルの構築
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 Tsutomu Ochiai, Takahisa Enomoto, Shigeki Senna
2. 発表標題 Study of ground amplification characteristics by strong motion and microtremor observations - A simple study on ground nonlinearity by equivalent linear analysis -
3. 学会等名 1CroCEE (Croatian Conference on Earthquake Engineering) (国際学会)
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 落合努、荻本孝久
2. 発表標題 2019年6月山形県沖の地震の被災地域における地盤振動特性の検討
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会（関東）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 荻本孝久、落合努、栗山利男
2. 発表標題 応答スペクトルによる表層地盤のハザード評価法に関する基礎的研究 -その2. 規則的な多層地盤および不規則な実地盤モデルによる検討-
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会（関東）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 落合努、荻本孝久、先名重樹
2. 発表標題 微動観測による房総半島低地部の地盤ハザード評価
3. 学会等名 第47回地域安全学会研究発表会（秋季）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 落合努、荻本孝久、木村克己
2. 発表標題 帷子川下流部低地周辺を対象とした地盤構造の詳細分析と三次元グリッドモデル作成
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020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	荻本 孝久 (Enomoto Takahisa) (90112995)	神奈川大学・工学部・教授 (32702)	
研究分担者	小田 義也 (Yoshiya Oda) (30336523)	東京都立大学・都市環境科学研究科・教授 (22604)	
研究分担者	三辻 和弥 (Kazuya Mitsuji) (90292250)	山形大学・工学部・教授 (11501)	

6. 研究組織（つづき）

	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	先名 重樹 (Senna Shigeki) (90500447)	国立研究開発法人防災科学技術研究所・マルチハザードリス ク評価研究部門・主幹研究員 (82102)	

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