



京都大学防災研究所
Disaster Prevention Research Institute
Kyoto University

拠点研究（一般推進）
2022A-02

地震動データおよび被災データの逐次変化
に基づく都市地震リスク軽減に向けた先進
的フレームワークの構築に関する研究
**Research on the Development of Advanced
Framework for Urban Earthquake Risk
Reduction Based on Sequential Changes in
Earthquake Ground Motion and Damage Data**

令和5年5月

May, 2023

研究代表者 後藤 浩之

Principal Investigator Hiroyuki GOTO

拠点研究（一般推進）（課題番号：2022A-02）

地震動データおよび被災データの逐次変化に基づく
都市地震リスク軽減に向けた先進的フレームワークの構築に関する研究

研究代表者 後藤浩之，地震防災研究部門，准教授
研究期間 令和4年4月1日～令和5年3月31日

研究組織

氏名（所内）	研究分野領域名・職名	現在の専門	研究の役割分担
後藤 浩之※	耐震基礎・准教授	地震工学	研究総括・動的災害データ分析
岩田 知孝	強震動・教授	強震動地震学	断層近傍地震動特性分析
澤田 純男	耐震基礎・教授	耐震工学	インフラ施設被害メカニズム分析
境 有紀	都市空間安全制御・教授	建築地震工学	建築被害メカニズム分析
松島 信一	構造物震害・教授	地盤震動工学	地盤構造分析
王 功輝	山地災害環境・教授	地すべり学	斜面災害リスク分析
関口 春子	都市防災計画・准教授	応用地震学	強震動予測手法
浅野 公之	強震動・准教授	強震動地震学	震源メカニズム特性分析
大西 正光	巨大災害過程・准教授	社会マネジメント学	社会資本整備マネジメント分析
山田 真澄	地震発生機構・准教授	応用地震学	リアルタイム地震情報分析
伊藤 恵理	地震リスク高度化・特定助教	地震工学	地震災害リスク分析
SUN Jikai	地震リスク高度化・特定研究員	地震工学	地震災害リスク分析
氏名（所外）	所属・職名	現在の専門	研究の役割分担
吉田 望	関東学院大学・教授	地震地盤工学	非線形地盤応答評価
高橋 良和	京大工学研究科・教授	土木工学	危機耐性評価
一井 康二	関西大学・教授	地盤工学	地盤物性評価
上林 宏敏	京大複合原子力研・准教授	建築工学	構造物ヘルスマモニタリング
鋏田 泰子	神戸大学・准教授	地震工学	ライフライン被害調査
中嶋 唯貴	北海道大学・准教授	建築工学	建築被害分析
奥村 与志弘	関西大学・准教授	防災学	災害事例分析
金子 善宏	京大理学研究科・准教授	地震学	震源物理メカニズム分析
平野 史朗	立命館大学・助教	地震学	数理モデル構築
染井 一寛	地域地盤環境研究所・研究員	地震学	震源特性と強震動特性関係把握
青地 秀雄	BRGM・Senior Research Scientist	地震学	震源特性と強震動の関係
Matthew Gerstenberger	GNS Science・Researcher	地震学	地震ハザード分析
Vinod Sadashiva	GNS Science・Researcher	土木工学	ライフライン被害予測

共同研究参加者数 25名（所外 13名，所内 12名）

1. 研究報告

1.1 研究目的・趣旨

近年、2018年大阪府北部の地震では、壊滅的な地震被害には至らないものの都市直下で発生するような地震に関する地震動データと引き起こされた被害データが得られた。また、2016年熊本地震や2018年胆振東部の地震、2019年リッジレスト地震のように断層近傍での特徴的な地震動データや地盤データも収集されるようになってきた。このような地震に関するデータはこれまでシミュレーション技術の高度化やモデルの精緻化等に貢献をしてきたと言えるが、データの質や量が時々刻々と変化するプロセスを意識した手法やモデルは少ない。自治体や企業の発災後のオペレーションは時々刻々と変化する情報に基づいた意思決定が本質であるため、データに応じた動的な方法論に対する需要は高いと言える。本研究は、データの質や量が逐次変化するような状況を想定し、理学・工学の最新の知見を踏まえることによりどのような先進的な技術が可能になるかを検討するものである。そしてこれらを統合し、最新の知見とデータに基づく都市地震リスク軽減に向けた適応型の先進的フレームワークについて、昨年度の研究に引き続き検討するものである。

1.2 研究経過

本研究では上に掲げた研究目的を達成するため、所内・所外研究分担者と密に連携を取りながら、以下の3項目について研究を進めた。1)各研究分野における最新の知見の集約：断層近傍の地震動特性、不確実情報下での予測提示法、危機耐性を考慮した新しい構造形式など、地震学、建築学、土木工学、地盤工学、経済学、防災学における現在の最新到達点を確認して分野間で共通認識を持つ。2)利用可能なデータフローの整理とモデリング手法の再考：物理的、社会的制約によりデータは時間とともに質・量ともに変化する。このようなデータフローを把握し、現在利用可能なデータ群に対する共通認識を持つ。また、機械学習を取り入れること等によって新たに実現可能となる先進的な技術について検討する。その上で、データ群を都市システムと有機的に連携させる方法や先進的な技術を実現するために必要なデータについて改めて整理する。3)社会実装に向けた課題抽出 データが不確実性を持ちながら時々刻々と変化する中で、小さなPDCAサイクルをシークエンスとして実装させることで、新しいフレームワークとして実現できる可能性を検討し、その課題を抽出する。

1.3 研究成果の概要

震源近傍の地震動データに基づき、破壊伝播項を入れることで、破壊伝播様式の推定と震源特性（応力降下量）の安定した推定方法を提案した。台湾気象局や中国地震局の研究者と協力して、緊急地震速報システムの改良および海外の地震観測網への展開に取り組んだ。高密度で都市部に展開された地震計ネットワークによるデータを分析することにより、地震動データ及び地盤震動特性そのものの本質的なばらつきがその評価に一定の影響を与えることを明らかにした。また、広く地震動データを収集して深層学習モデルを訓練させることにより、即時的に地震動分布をシミュレーションする方法論の研究を進めている。

地盤構造モデルの作成や改良には、多数、多種類のデータが用いられるが、距離の近い地点間のデータに齟齬がある場合がある。事例研究により、問題の評価、対処の方法について検討した。2016年に発生した熊本地震に関して、有効応力解析により大被害を受けた益城町中心部における地盤の液状化が強震動に与える影響について検討を行った。解析により得られた液状化地区の分布は現地調査や航空写真による分布とよく一致した。また、それらの液状化地区では液状化により地震動の

最大加速度・最大速度が大きく減少することが分かった。地震による大規模岩盤地すべりの発生・運動機構を解明するために、2018年北海道胆振東部地震により厚真町幌内地区において発生した大規模岩盤地すべり地における稠密地震観測を行うとともに、すべり面付近の土層から土試料を採取し、地すべり地の振動特性およびすべり面土層のせん断特性などを調べた。周期が2秒よりやや長く繰り返し回数が多い危険な地震動の発生条件について過去の強震記録から検討した結果、表層が軟弱で、等価1次周期が1秒程度であれば、工学的基盤の地動最大加速度30cm/s²程度で発生することがわかった。

地震動/被災データの空間特性をモデル化するため、データに含まれるばらつき（不確実性）を考慮できる表現法の理論的枠組みを整理し、いくつかの事例について実際に評価を行った。また、光ファイバー分布型音響センシング（DAS）技術を活用した、稠密かつ大量の歪データを用いた新たなインフラセンシング技術の研究に取り組んだ。事業継続計画（BCP）の枠組みを整理することによって、事前に収集可能なデータの利活用及びシミュレーションの利活用に関する方向性を示した。

1.4. 研究成果の公表

Gonghui Wang (2022): Some Recent Coseismic Landslides, *Coseismic Landslides: Phenomena, Long-Term Effects and Mitigation* (eds: Towhata, Wang, Xu, Massey), Springer, 1, 169-203, ISBN: 978-981-19-6597-5

王功輝・巫昇山・古谷元・部直喜 (2023): 2018年北海道胆振東部地震時に発生した大規模岩盤地すべりについて、京都大学防災研究所年次講演研究発表会, D209

Yoshihiro Kaneko and Hiroyuki Goto: The origin of large, long-period near-fault ground velocities during surface-breaking strike-slip earthquakes, *Geophysical Research Letters*, Vol.49, e2022GL098029, 2022.

後藤浩之, Anirban Chakraborty : 隣接値の有意差を反映した空間確率場の表示法, 土木学会論文集A1 (構造・地震工学), Vol.78, No.4, pp.I_79-I_86, 2022.

後藤浩之, 宮澤理稔, 鋤田泰子: 既設光ファイバーケーブルのDAS観測データを用いた交通量カウンターの試行, 令和4年度京都大学防災研究所研究発表講演会講演概要, 2022.

Sun, J., Kawase, H., Fukutake, K. et al. Simulation of soil liquefaction distribution in downtown Mashiki during 2016 Kumamoto earthquake using nonlinear site response. *Bull Earthquake Eng* 20, 5633–5675 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10518-022-01426-8>

Yomi Harada, Hiroyuki Goto, and Sumio Sawada: Initiation process of tension cracks in soil embankment on liquefied sandy ground investigated from centrifuge model test, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol.161, 107444, 2022.

藤田雄大, 境有紀, 周期2秒程度で揺れの数が多い危険な地震動の発生条件に関する検討, 日本地震工学会第17回年次大会梗概集, 2022

Yamada, M. and D.-Y. Chen (2022). Automatic Hypocenter Determination with the IPFx method for the 2018 Hualien earthquake sequence. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 33:18. <https://doi.org/10.1007/s44195-022-00018-y> 2022.06.

Xiao, Y. and M. Yamada (2022). XYtracker: a new approach to estimate fault rupture extent in real-time for large earthquakes. *Earth Planets Space*, 74, 77, <https://doi.org/10.1186/s40623-022-01650-1> 2022.05.

2. 研究成果

2.1. 既設光ファイバーケーブルのDAS観測データを用いた交通量カウントの試行

道路は、都市や集落・施設間を車両交通によって連絡する主要な土木施設であり、その安全管理のため道路行政には様々な道路管理が求められる。逆走、過積載車両の通行等の日常管理や、豪雪災害により車両が立ち往生する事例のような防災対策において、交通量をリアルタイムに把握することは重要であるが、総延長23890km（直轄国道のみ）に及ぶ巨大道路ネットワークを稠密かつリアルタイムに状況把握することは困難である。

近年、物理探査や地震学の分野において、光ファイバーケーブルを用いた歪みの測定技術である Distributed Acoustic Sensing (DAS)が注目されている。DASはリアルタイムかつ高サンプリングレートでケーブル側線上の歪みを稠密に測定できることから、断層帯の特定 (Lindsey et al., 2019)、浅部構造モデリング (Dou et al., 2017)、微小地震の特定 (Hudson et al., 2021) 等、様々な応用事例がある。また、既設の光ファイバーケーブルも活用できるため、インフラ施設に敷設されている既設のケーブルを活用した観測が期待できる。現在、河川や道路等の公共施設管理用の光ファイバーがネットワーク上に展開されており、道路敷設の光ファイバーを利用したDAS観測により、交通量の把握することができる可能性がある。

本研究では、京都国道事務所管内の国道9号に敷設された光ファイバーケーブルによるDAS観測データを用いる。観測期間は2022年9月1日から10月20日まで、測線長は京都国道事務所を起点とする約50kmである。DAS観測データには、ケーブル軸線方向の約5m間（ゲージ長）の伸縮が約5m間隔（チャンネル間距離）で測定されている。図1に一例として21チャンネル分の5分間の記録を示すが、車両の通行に対応すると思われる波群が明瞭に確認できることがわかる。図中の右下方向に移動する波群が上り車線の交通振動、右上方向に移動する波群が下り車線の交通振動に対応し、上り車線の方がシグナルは明瞭であるが、両車線の交通振動をそれぞれ捉えられていることがわかる。

DAS観測データに比較的明瞭に見られる大型車両を対象として交通量カウントを試みた。まず、歪みデータをチャンネル毎に離散ウェーブレット変換し、大型車両の交通振動に対応すると考えられる周波数スケールの信号（係数列）に変換する。この係数列のエンベロープからピークを抽出し、これを1台の車両による交通振動と仮定する。続いて、抽出された交通振動が認められる時刻を前後のチャンネルで比較し、上り方面に移動する車両か下り方面に移動する車両かを判別する。

本研究による交通量の推定値と、国道9号における実際の大型車両の交通量を比較する。実測値は1日毎のデータであるため、24時間分のDAS観測データについて交通振動を数え上げることで比較する。図2はある一週間のデータについて両者を比較した結果を示したものである。合計台数および上下線の推定値が実測値と非常に良い相関を示していることがわかる。しかし、推定値全体にバイアスがかかることや、下り車線で過小評価する傾向にある。より正確な交通量カウントのために検討を進めたい。

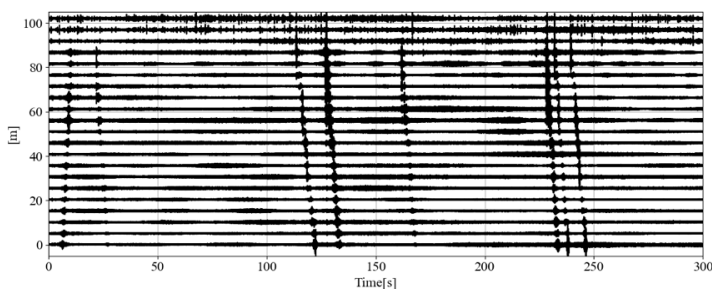


図1 DAS観測による歪みデータの例（5分間）

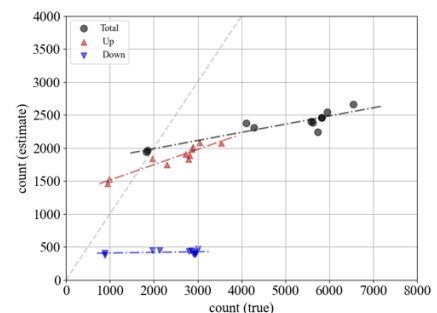


図2 交通量カウント値の実測値との比較

2.2. 台湾の緊急地震速報システムとIPFx法の適用

拡張IPF法(IPFx法)は、日本の緊急地震速報システムのために設計された自動震源決定アルゴリズムである。これまで、日本の地震観測記録を利用して精度の検証を行ってきたが、地震多発時(大地震直後の余震多発時や群発地震の発生時)における精度を向上させるため、2018年に台湾で発生した群発地震(花蓮地震)のデータを利用してIPFx法の試験を行った。台湾の地震観測網は、日本のデータよりもノイズが多く、ノイズの多い環境でも本手法が適用可能かどうか検証を行った。

既存のIPFx法をそのまま2018年2月から1か月間の連続データに適用すると、多くの誤決定イベントが発生し、うまく震源決定できなかった。IPFx法は、近傍観測点で複数のトリガが検知されると震源決定を開始するため、地震発生時に震源近傍でノイズが混入すると、最初の震源決定を大きく誤ってしまう。そこで、ノイズの影響を受けにくくするため、震源決定に加わるデータのフィルタを調整して、ノイズが震源決定に参加しないように工夫した。その結果、1か月に震度4以上を記録した129の地震のうち、105個のイベントを検知し、うち103個は震源決定の誤差が30km以下と精度よく決められることが分かった。

現在、台湾の緊急地震速報の震源決定には、Effective epicenter methodというトリガした観測点の位置の重心を震源とする手法が利用されている。この手法では、沖合で発生した地震の震源を精度良く特定することは困難である。また、深さも固定されているため、深い地震では震度推定の誤差が大きくなる。Effective epicenter methodには最低6点のトリガ情報が必要となるが、IPFx法では3観測点がトリガされたときに最初の予測を行うため、台湾の緊急地震速報システムのスピードと精度を向上させることが予想される。

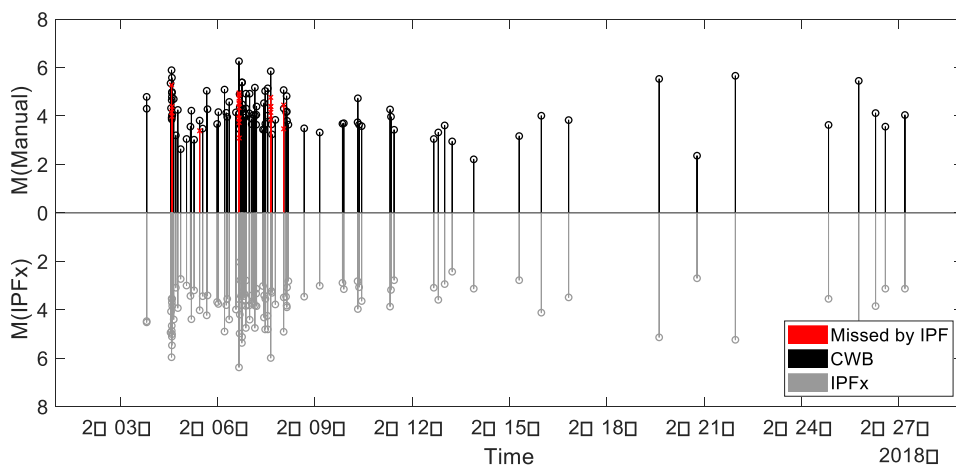


図1 2018年花蓮で発生した群発地震のカタログ(上)とIPFx法で検知したマグニチュード

[Reference] Yamada, M. and D.-Y. Chen (2022). Automatic Hypocenter Determination with the IPFx method for the 2018 Hualien earthquake sequence. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 33:18.

<https://doi.org/10.1007/s44195-022-00018-y> 2022.06.

2.3. 木造建物に大きな被害を引き起こす周期2秒程度で揺れの数が多い地震動の発生条件

2.3.1. はじめに

木造建物に大きな被害を引き起こす周期2秒程度で揺れの数が多い地震動は、30mまでの平均せん断波速度（以下、 V_{s30} ）が小さい軟弱地盤で発生していることが分かっている¹⁾。ただ、軟弱地盤であることは必要条件でしかなく、軟弱地盤であっても問題の地震動は発生していないことも多い。そのため、さらなる条件について検討した。

2.3.2. 表層地盤の一次周期

まず、該当の地震動が2秒程度の周期ということで、地盤を工学的基盤と表層地盤の2層に置換して、(1)式で表す等価一次周期について検討した。

$$T = 4H/V_{se} \quad (1)$$

$$V_{se} = (\sum V_{si}d_i)/H \quad (2)$$

すべてのKiK-netの観測点に加えて、新潟県柏崎市のS波構造の推定結果²⁾から、該当する地震動が発生したK-NET柏崎に近い3つの観測点の地盤を加えた地盤の等価一次周期を表した図を図1に示す。赤色の点が該当地震動が発生したKiK-net厚真で、紫色の点がK-NET柏崎のS波構造の推定結果である。この結果から、周期2秒程度で揺れの数が多い地震動は、地盤の等価一次周期が1~1.5秒付近で起こっている。地震動の周期と一致しないのは、地盤の非線形化によるものだと考えられる。

ただ、図1から、KiK-net厚真とK-NET柏崎の他にも V_s が小さく、等価一次周期が1~1.5秒付近の観測点が存在することが分かる。そこで、表層地盤全体の等価せん断波速度が250m/s以下で、等価一次周期が1~1.5秒付近の7つの観測点を対象として、さらなる条件の絞り込みを行う。その対象観測点を表1に示す。

この7つの観測点において、厚真でのみ周期2秒程度の揺れの数の多い地震動が起こっているかどうかを確かめる。1996年6月~2023年2月の中で震度4以上の地震動を対象として、周期と揺れの数を計算した。その結果を図2に示す。2003年十勝沖地震のKiK-net厚真での地震動を赤色の点で示している。この図より、該当する地震動は厚真でのみ起こっていることが分かる。

2.3.2. 基盤動のPGAと V_{s30} の検討

このように、同じような条件の地盤でも該当の地震動は起こっておらず、原因として、工学的基盤での地震動（以下、基盤動）の振幅が足りないことが考えられる。そこで、前章で対象とした地震動の V_{s30} と地中のPGAの関係を示す（図3）。

K-NET柏崎では、地中の記録はないが、同地震でK-NET柏崎と震央距離が最も近いKiK-net長岡の地中記録を用いた。そして、 V_{s30} は2章で用いた3種類のS波構造の推定結果を用いた。

まず、赤い丸で囲んだKiK-net厚真の点から、基盤動のPGAは30cm/sを上回る必要があることが分かる。しかし、緑の丸で囲んだKiK-net中標津と、橙の丸で囲んだKiK-net豊頃においては、それを上回る基盤動でも該当の地震動は発生していない。そのため、豊頃の $V_{s30}=140\text{m/s}$ よりも小さいという条件も必要であることが分かる。 V_{s30} によって基盤動の必要なPGAは変動する可能性があるが、ここでは固定と考えている。

謝辞 強震記録は、防災科学技術研究所より提供して頂きました。記して感謝いたします。

参考文献1) 藤田雄大, 境有紀: 周期2秒程度で揺れの数が多い地震動の発生条件に関する検討, 日本地震工学会第17回年次大会梗概集, 2022, 12

2) 元木健太郎, 山中浩明: 2007年中越沖地震の余震観測と微動探査による新潟県柏崎市における表層地盤の震動特性に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第75巻, 第648号, 309-315, 2010, 2

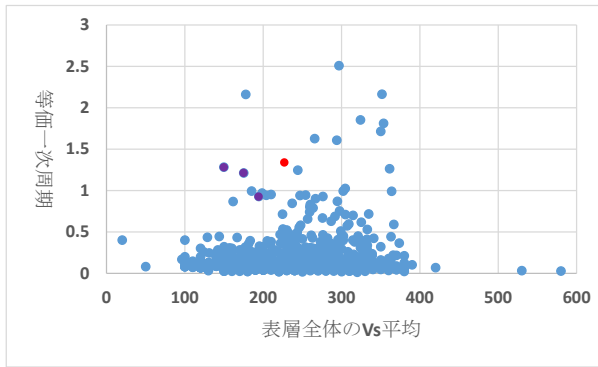


図1 表層地盤全体のVs平均と一次周期の関係

表1 対象のKiK-net観測点

観測点名	Vs平均[m/s]	一次周期[s]	都道府県
幡豆	198.3	0.96	愛知県
厚真	227.1	1.33	北海道
仙台	210	0.95	宮城県
中標津	244.2	1.24	北海道
赤井川	246.9	0.93	北海道
猿払南	185.2	0.99	北海道
豊頃	203.7	0.94	北海道

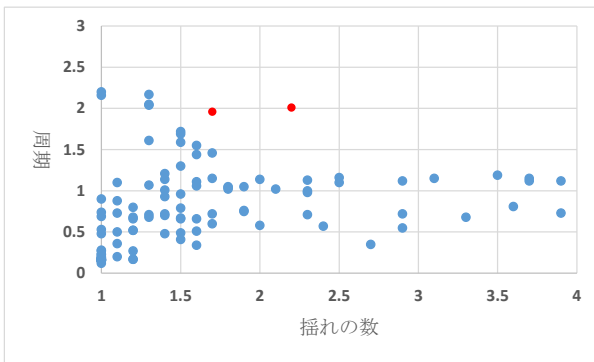


図2 対象の7観測点での地震動の周期と揺れの数

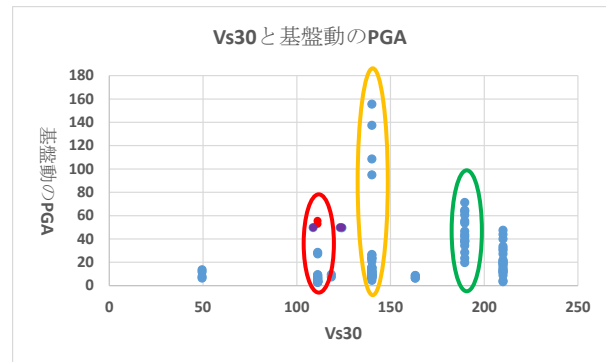


図3 対象の7観測点での地震動のVs30と基盤動のPGA

2. 4. 非線形解析手法による2016年熊本地震における益城町の液状化分布シミュレーション

平成28年熊本地震の本震では、益城町において秋津川の北側やごく近辺の建物には大被害がなかったのに対し、秋津川から少し離れた地域では大被害が確認された。また、国道28号線と秋津川の間位置する数か所の地域では、本震の際に液状化現象が発生したことが確認されている。我々は、この益城町の被害に関して、観測地震動および微動から換算した擬似地震動の水平上下スペクトル比 (EHVR・pEHVR) から同定された速度構造に基づき、益城町市街地の強震動に対するサイト特性の影響を等価線形解析 (ELA) 法により検討している (Sun et al., 2020)。その結果、益城町の木造住宅の建物被害率は最大速度 (PGV) と密接な関係があること、計算被害率の分布は上記の観測被害率の分布とよく対応することが既に分かっている。

そこで次なる課題としては、建物被害が比較的軽微だった秋津川に極めて近い地域において、液状化により強震動の建物破壊力は減少したか否かを検証することが挙げられる。また、既に顕在化している液状化エリアと地下で液状化が発生していた地域の分布を推定することも必要である。

上述した課題解決のため、非線形動的応答法の一つである有効応力解析 (ESA) 法を適用した。なお、解析においては、Sun et al. (2020)の益城町の3次元地下構造、拡散波動場理論に基づいて推定する手法 (Nagashima et al., 2017) で得られた地震基盤 ($V_s=3.4\text{km/s}$) 上の強震動入射波を用いた。

解析においてはESA法により解析が可能なソフトウェアSoilPlusを使用した。SoilPlusのESA法は、Ramberg-Osgood (RO) 関係とOwanモデル (Fukutake and Kiriyama, 2020) を組み合わせたものとなっている。このOwanモデルを用いて、土壌のせん断ひずみと累積せん断ひずみ、および過剰間隙水圧を解析する。面的な液状化解析のため益城町全域の地下水位分布についても分析し、北東から南西に進むに従って14mから0mに減少するものと推定した。さらに、4つのボアホール地点の浅い層の地盤非線形特性を、公開されている実験報告書 (Arai et al., 2017等) から得た。

その後、これら4つのボアホール地点について、ROモデルおよびOwanモデルのパラメータを各層の土質種別ごとに決定した。その後、本震時の強震動分布を推定するため、益城町の地震基盤と地表の間の592地点 (47×47m格子) において、一次元動的な非線形有効応力解析を実施した。

解析の結果、ESAによる推定強震動はELAによる推定強震動に近く、いずれもKiK-net 観測地点KMMH16で記録された地震動は再現できることが判明した。液状化地点の推定結果は、調査結果とほぼ同じであったが、益城町の北部と中部に顕在化していない液状化地点があったことが推定された。また、益城町の北部や秋津川に近い地域では、液状化によって地震動が弱まることわかった。これらの河川に近い場所での建物被害率は、ELAによる結果と比べて有意に低かった。これらの結果は論文 (Sun et al., 2022) にて発表された。

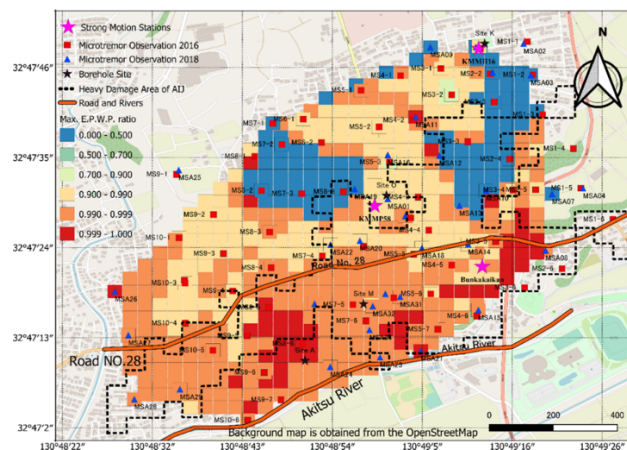


図1. 益城町内592地点の最大過剰間隙水圧比の分布図。赤色で示す地点で液状化が生じていたものと推察される。

Reference

- Arai, H., 2017, Influence of ground characteristics in the center of Mashiki-cho on strong ground motion in the 2016 Kumamoto earthquake, BRI-H29 lecture.
- Fukutake, K., and T. Kiriya, 2020, LEAP-2017 Centrifuge Test Simulation Using HiPER, in *Model Tests and Numerical Simulations of Liquefaction and Lateral Spreading* B. L. Kutter, M. T. Manzari, and M. Zeghal (Editors) Cham, Springer International Publishing, 461–479.
- Nagashima, F., H. Kawase, and S. Matsushima, 2017, Estimation of horizontal seismic bedrock motion from vertical surface motion based on Horizontal-to-Vertical Spectral ratios of earthquake motions, in Santiago Chile, 16th World Conference on Earthquake.
- Sun, J., H. Kawase, K. Fukutake, F. Nagashima, and S. Matsushima, 2022, Simulation of soil liquefaction distribution in downtown Mashiki during 2016 Kumamoto earthquake using nonlinear site response, *Bulletin of Earthquake Engineering*, doi: 10.1007/s10518-022-01426-8.
- Sun, J., F. Nagashima, H. Kawase, and S. Matsushima, 2020, Site Effects Analysis of Shallow Subsurface Structures at Mashiki Town, Kumamoto, Based on Microtremor Horizontal-to-Vertical Spectral Ratios, *Bulletin of the Seismological Society of America*, doi: 10.1785/0120190318.

2.5. 奈良盆地における3次元速度構造モデルの作成手法の再検討

地盤構造モデルの作成には多数かつ多種類のデータが用いられる。距離の近い地点間のデータに齟齬がある（もしくは、あるように見える）場合がある。地盤構造のモデル化の手順によっては、正しいデータが軽視されたり両者を満足させるために構造モデルに人工的なエラーが発生したりする可能性がある。

令和元～3年度の文部科学省科学技術基礎調査等委託事業「奈良盆地東縁断層帯における重点的な調査観測（代表：岩田知孝）」（以下、重点調査観測）（文部科学省研究開発局・国立大学法人京都大学防災研究所，2022）では、重点調査観測で実施されたものも含め多種多様な観測・探査データを総合して、堆積地盤の3次元速度構造モデルが作成された。この際に取られた手順では、（1）基盤岩上面と堆積層内のいくつかの鍵層面の深度分布の初期モデルを作成し、（2）堆積年代と深さを地震波速度や密度に変換する物性値変換式を作成し、（3）これらを組み合わせて3次元速度構造モデルを作り、（4）微動H/Vスペクトル比のピーク周波数データと（3）のモデルの理論値を比較して深度データを修正して最終モデルとする。（1）の段階において、基盤岩深度の初期モデルは、重力異常による基盤岩深度モデルを、表層地質データ、岩着ボーリングや反射法地震探査の基盤岩深度、微動H/Vスペクトルの卓越周波数を用いて修正する形で作成した。しかし、重点調査観測で奈良県天理市において実施されたP波反射法地震探査（天理測線）沿いでは、反射法探査の基盤深度に比べ微動H/Vスペクトル比を経験式で変換した深度が4割ほど小さく、基盤岩上面の傾斜方向が逆になっており（反射法によるものは東傾斜）データに齟齬があるかにみられた。しかし、反射法探査の速度解析で得られたP波速度構造を奈良盆地内のPS検層で適用性が確認された経験式で変換したS波速度構造は、測線沿いのH/Vスペクトル比のピーク周波数の値と空間変化はおおよそ説明できる。H/Vスペクトル比のピーク周波数が東に向かうほど高くなるのは、地震波速度が東ほど大きいことで生じている。また、このS波速度構造は、測線の西端の南方約700mで実施された微動アレイ探査のS波速度構造と比べても大きく外れていない。つまり、P波反射法探査の結果と測線沿いのH/Vスペクトル比のピークおよび周辺の微動アレイ探査の速度構造の間に大きな矛盾はない。一方、重点調査観測で作成された3次元速度構造モデルの天理測線近傍部分は、盆地の平均的な速度構造とずれていることにより、基盤岩上面深度、鍵層深度、地震波速度におおきなひずみが生じていることが推測される。

上述の事例に鑑み、3次元速度構造モデルの作成手順の修正を検討した。平均的な速度構造からのずれを考慮していなかったことが問題であったため、最初にそれ（具体的には、堆積年代・深さと地震波速度の関係式の空間変化）をデータから可能な限り抽出し、適用空間範囲を設定して、基盤岩上面深度、鍵層深度、地震波速度への変換に用いるべきである。堆積年代・深さと地震波速度の関係式を求めるには、本来は鍵層深度と地震波速度の深度分布の両方が同一地点でそろっている必要があるが、奈良盆地内にそのような地点は1地点しかない。しかし、例えば鍵層深度とH/Vスペクトル比、または、P波速度構造のみしかない場合も、他の条件を内挿・外挿などで仮定することによって、関係式を推定することはでき、データとモデルパラメータ（深度、関係式）の間に齟齬が無いようにすることができる。今後、このような方針で奈良盆地の3次元速度構造モデルの修正を行いたい。

文部科学省研究開発局・国立大学法人京都大学防災研究所（2022）、奈良盆地東縁断層帯における重点的な調査観測 令和元～3年度 成果報告書、

https://www.jishin.go.jp/database/project_report/nara_juten/nara_juten-r03/