



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

拠点研究（一般推進）  
2021A-05

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4年5月

**May, 2022**

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：2021A-05）

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，地震災害研究部門，准教授  
研究期間 令和3年5月1日～令和4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
川瀬 博	地震リスク高度化・特定教授	地震工学	地震災害リスク分析
岩田 知孝	強震動・教授	応用地震学	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・助教	応用地震学	リアルタイム地震情報分析
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onitoring
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 33名（所外 20名，所内 13名）

・大学院生の参加状況 12名（修士 8名，博士 4名）（内数）

## 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。現行の緊急地震速報の震源決定精度向上のため、簡便なP波検知手法を開発した。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。

2018年北海道胆振東部地震時に群発した斜面崩壊地における微動計測と長期地震動観測を行い、現地から採取した試料を用いた地震時地すべり再現実験を実施した。その結果、厚真地区の斜面振動特性を明らかにした。また、地震時崩壊斜面における地震動は近くの地震観測点（K-NET：HKD125）で計測された地震動より強いことが推測される。また、靱性能が耐力に依存する非線形木造建物群モデルを設定して地震被害推定を行い、実際の被害データを精度良く説明できた。ま

た、実大実験データで耐力と靱性能の関係を確認した。

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。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

浅野晃太，後藤浩之，奥村与志弘，澤田純男：2018年大阪府北部の地震における高槻市・茨木市の建物被害分布に影響を与えた要因分析，令和3年度 京都大学防災研究所 研究発表講演会，2022/2/21-22.

浅野晃太，後藤浩之，奥村与志弘，澤田純男：2018年大阪府北部の地震における高槻市・茨木市の建物被害分布と要因に関する地理学的考察，土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol.77, No.4, pp.I\_638-I\_648, 2021.

大西正光：BCP（事業継続計画）のフレームワーク，都市地震リスク軽減に向けたデータ駆動型研究の最前線 2022年3月15日

王功輝：降下火砕物斜面における地震時地すべりの発生・運動機構について：日本で近年発生した土砂災害を例として，2021年度 土砂災害予測に関する研究集会，2021年11月10日．概要：2P，2021.

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），印刷中.

Hiroyuki Goto, Anirban Chakraborty: Uniform Uncertainty Mapping Application to Seismology and Earthquake Engineering Problems, AGU Fall meeting 2021, S15B-0251, 2021/12/13-17

Hiroyuki Goto, Anirban Chakraborty: Uncertainty projected mapping with application to regional seismic hazard analysis, 17th World Conference on Earthquake Engineering, No.1g-0002, 2021/9/27-10/2.

Hiroyuki Goto: Bayesian posterior mean velocity modeling as alternative to resolution guaranteed imaging, the 6th IASPEI/IAEE International Symposium: Effect of Surface Geology on Seismic Motion, 2021/8/30-9/1.

Anirban Chakraborty, Hiroyuki Goto: Visualizing data saturation in geospatial mapping with application to earthquake engineering, 17th World Conference on Earthquake Engineering, No.1d-0004, 2021/9/27-10/2.

Ryota Otake, Jun Kurima, Hiroyuki Goto, Sumio Sawada: Deep learning model to predict real-time seismic intensity, 17th World Conference on Earthquake Engineering, No.9c-0003, 2021/9/27-10/2.

ショーバック ジェイコブ英輔，後藤浩之，栗間淳，三上武子，吉田望，澤田純男：深層学習と物理モデルの組み合わせによる土の繰返しせん断特性の表現，令和3年度土木学会全国大会，2021/9/9-10.

染井・浅野・岩田：Development of a New Spectral Inversion Method Considering with Rupture Directivity, JpGU2022, SSS04-03.

Yamada, M. and J. Mori: P-wave picking for earthquake early warning: Refinement of a Tpd method, Geophysical Journal International, ggab349, 2021.08.

Yamada, M., K. Tamaribuchi, and S. Wu: IPFx: Extended integrated particle filter method for achieving high-performance earthquake early warning system. Bulletin of the Seismological Society of America, 111(3), pp.1263-1272.

## 2. 研究成果

### 2.1. 2018年大阪府北部の地震における高槻市・茨木市の被害要因分析

2018年6月18日午前7時58分、大阪府北部を震源とする  $M_j6.1$  の地震が発生し、最大震度6弱を大阪府大阪市北区、高槻市、枚方市、茨木市、箕面市で記録した。地震の被害について理解するために、被害の詳細を明らかにし、その要因を分析することは地域の地震防災対策上非常に重要である。本地震において、たとえば森・小林<sup>1)</sup>は、ブルーシート配布数や墓石転倒被害の調査によって茨木市内の詳細な被害分布を推定している。一方で、自治体から公表されている被害状況の報告書等では詳細な被害分布が明らかにされていない。そのため、本研究ではまず高槻市・茨木市の詳細な被害分布を推定する。その後、その被害分布に影響を与えた要因について考察する。その際、重回帰分析を用いた定量的な分析を試みた。

本研究では、両市の協力によって入手した町丁ごとの罹災証明書発行数データを分子とし、茨木市については建物棟数、高槻市については世帯数を分母として建物被害率分布を算出した。茨木市の建物被害率分布（棟数割合）を図-1に、高槻市の建物被害率分布（世帯割合）を図-2にそれぞれ示す。算出方法が異なるため両市を並べて比較することはできないが、両市の被害分布は一様ではなく、被害が局所的に集中している地域があることがわかる。

どのような要素が建物被害分布にどのように影響したのかについて定量的に評価するために重回帰分析を行った。分析に用いたデータを図-3に示す。目的変数を建物被害率とし、定量化できる様々な要素を説明変数として用いた。その後、統計的に有意なデータを絞り込み、最終的に図-4に示す4つの説明変数が残った。この4つの説明変数による解析の結果、茨木市の建物被害率に影響を与えた要素は影響度が高い順に標高、震源からの距離、 $V_s30$ 、高齢化率となり、いずれの説明変数も統計的に有意な結果を得たため、得られた回帰式をIBRモデルとして考察に用いる（図-5）。なお高槻市においても同様の重回帰分析を行ったが、決定係数が低かったため、考察には茨木市の解析結果を用いる。

茨木市の各町丁目について、IBRモデルによる被害率予測値を縦軸に、実際の被害率を横軸に取り、散布図を描いたものを図-6に示す。このうち、モデル予測値と実際の被害率に顕著な差がみられた（図-6中で赤色、青色に着色した）地域について考察した。その結果を図-7にまとめる。「総持寺」は地域形成過程が被害率に影響を与えたと考えられる。ほか3地域は地域形成過程では説明できないが、「阪急茨木市」「耳原・上郡」については墓石転倒率<sup>1)2)</sup>に着目することで、地震動の強さが被害率に影響を与えたと考えられる。「春日・中条」については提示した条件では説明できなかったため、例外地域として住宅地図等を用いた詳細な考察を行った。その結果、この地域に高度経済成長期に完成した建物は企業関連のものが多く、その多くが2000年ごろまでに建て替えられたことにより、多くの建物が地域の形成時期よりも新しく、耐震性の高い建物が多いために被害率が低くなったと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 森伸一郎，小林巧：2018年大阪北部の地震における茨木市内の震度と地盤卓越周期の関係，2020.
- 2) 土木学会：2018年北海道胆振東部地震・大阪北部の地震被害調査報告書，2019.

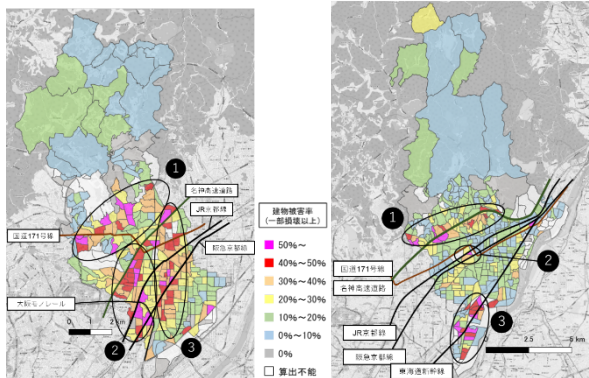


図-1 茨木市における建物被害率（棟数割合）の分布  
 図-2 高槻市における建物被害率（世帯割合）の分布

	用いたデータ
目的変数	建物被害率 (%)
説明変数	震央からの距離の逆数 (1/m)
	Vs30 (m/s)
	地盤増幅率
	標高 (m)
	傾斜度
	高齢化率 (%)
	人口密度 (/km <sup>2</sup> )

図-3 用いたデータ

	用いたデータ
目的変数	建物被害率 (%)
説明変数	震央からの距離の逆数 (1/m)
	Vs30 (m/s)
	標高 (m)
	高齢化率 (%)

図-4 統計的に有意な結果となったデータ

IBRモデル	回帰係数	
(1) 標高	-0.649	低いほど被害率が高くなる
(2) 震源からの距離の逆数	-0.297	遠いほど被害率が高くなる
(3) Vs30	0.332	大きいほど被害率が高くなる
(4) 高齢化率	0.238	高いほど被害率が高くなる

図-5 重回帰分析の結果

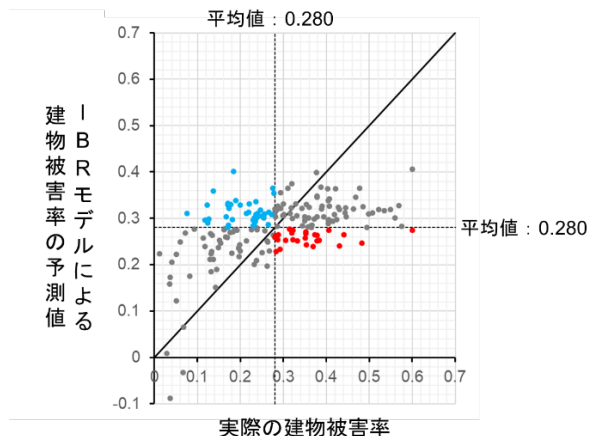


図-6 IBRモデルによる建物被害率予測値と実際の被害率の比較

	総持寺	阪急茨木市	耳原・上郡	春日・中条
散布図	●	●	●	●
実際の被害率	高	高	低	低
モデル予測値	低	低	高	高
地域形成時期	高度経済成長期	大正以前	高度経済成長期	高度経済成長期
高齢化率	中	中	中	中
Vs30	中	低	中	中
墓石転倒率 <sup>1(4)</sup>	データなし	高	低	データなし

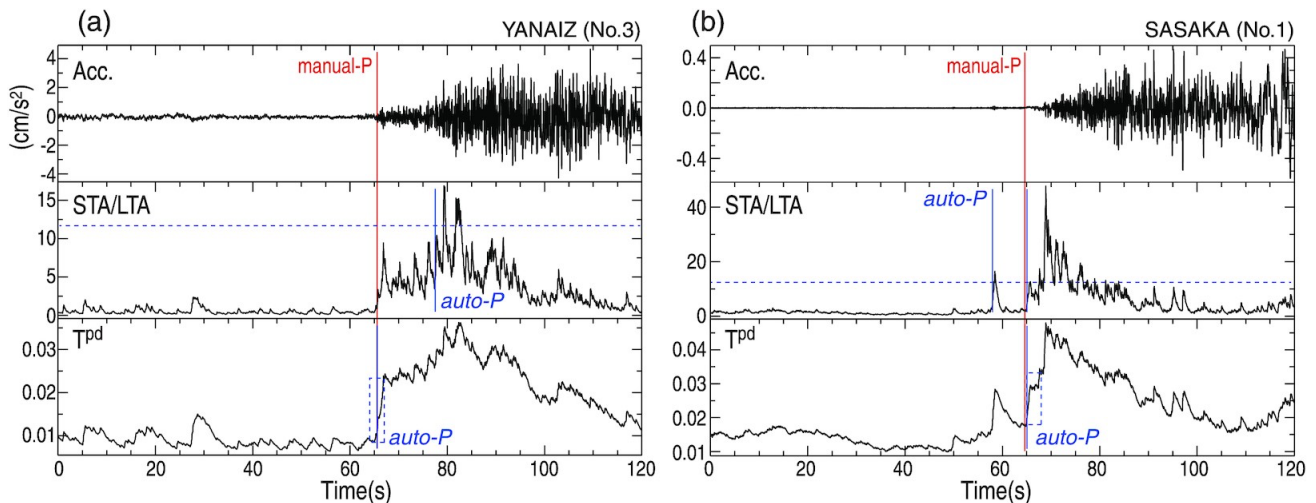
図-7 モデル予測値と実際の被害率に顕著な差がみられた地域の考察結果

## 2.2. $T^{pd}$ 法を利用した簡便なP波検知手法

$T^{pd}$ 法 (Hildyard et al., 2008) を改良して、計算負荷が低くて精度よくP波を検出できる手法を開発したので報告する。P波初動をできるだけ短い時間で精度良く検出することは、緊急地震速報にとって重要である。P波到達時刻の推定精度に加えて、ノイズに対するロバスト性や計算にかかるコストも緊急地震速報にとっては重要な要素である。従来のP波検知にはSTA/LTA法(Alle, 1978)が広く使われているが、本手法はほぼ同等の計算負荷でよりノイズに強くP波を検知しやすいという特徴がある。

$T^{pd}$ 法は、元々マグニチュードを推定するために地震波の周波数成分を推定するための指標として開発された(e.g., Allen and Kanamori, 2003; Lockman and Allen, 2005)。 $T^{pd}$ は加速度の二乗と速度の二乗の比として定義され、この指標は地震波の周波数成分と相関がある。Hildyard et al.(2008)は、地震波の到達前と後で $T^{pd}$ の値が大きく変化することに着目し、この指標をP波検出手法として利用することを提案した。彼らの非常に優れた点は、分母に小さな定数を加えることにより、ノイズ部分の $T^{pd}$ を極めて小さな値に抑えた点である。これによって、P波が到着した時に $T^{pd}$ の値が急激に増加し、検出をすることが可能となった。

本研究では、この $T^{pd}$ 法を緊急地震速報に使用するため、閾値の設定の仕方、到着時刻の精緻化、連続記録に利用するためのデトリガ・再トリガの方法を提案した。2011年に発生した東北地方太平洋沖地震の606個の余震記録を利用して、緊急地震速報の発表対象となる強震記録に対してパラメータのチューニングを行った。到着時刻の精緻化を行うことにより、P波到達時刻の誤差の中央値は0.15秒から0.04秒に減少し、見逃したP波の数はわずか3個であった。また $T^{pd}$ 法は、ノイズや前の地震の coda 波が存在する場合でも、STA/LTA法よりも対象となる地震のP波を検出するのに優れていた。 $T^{pd}$ 法は計算負荷が軽いため、緊急地震速報のP波検知手法として適している。



STA/LTA法と $T^{pd}$ 法の比較。STA/LTA法では閾値を一定に定めるとノイズとP波の区別が難しくなる。

[Reference] Masumi Yamada and Jim Mori (2021), P-wave picking for earthquake early warning: refinement of a  $T^{pd}$  method, *Geophysical Journal International*, 228(1), pp.387-395, <https://doi.org/10.1093/gji/ggab349>

### 2.3. スペクトルインバージョン法の高度化に関する研究

スペクトルインバージョン(例えば Iwata and Irikura, 1988)は、強震記録から、震源特性、地震波伝播特性、サイト増幅特性を推定する方法として広く適用されている。強震記録が震源特性、伝播特性、サイト増幅特性の線形システムにより生成している観測方程式を考えると、周波数領域で表現した観測方程式の対数をとることにより、これらの特性を未知数とする連立一次方程式を解くことができる。従来の方法では、震源特性は各イベントについてひとつ、サイト増幅特性は各観測点についてひとつ、地震波伝播特性としては対象領域の直達波に対する Q 値がひとつといったパラメータを設定しているが、強震観測網の充実により、多数のイベントー観測点ペアのデータが利用できるようになってきたため、例えば減衰構造について空間不均質を考慮したモデル化(例えば友澤・他, 2009)が組み込まれるといったことがなされてきた。

本研究では、従来のスペクトルインバージョン法で得られた震源特性、地震波伝播特性、サイト増幅特性に対して、観測スペクトルから、あるイベントの震源特性と地震波伝播特性、及び各観測点のサイト増幅特性を差し引いたもの(これを残差スペクトルと定義)をイベントと観測点の位置関係で整理したところ、残差スペクトルが方位依存性を持つことを見いだした。これはスペクトルインバージョン法の観測方程式として、震源特性はイベントに対してひとつと仮定しているものの、実際は有限断層が破壊していることから、破壊伝播により残差スペクトルが方位依存を持っていることによると解釈することができる。このことを踏まえて、観測方程式の震源特性に、破壊伝播による影響を含む項を加えた定式化を行って破壊伝播に関する影響を評価した。

いままでスペクトルインバージョン法の震源特性が各イベントについてひとつであるために、地震観測点のカバレッジが十分でないときには、破壊伝播の影響を含んだ震源特性を求めることになり、応力降下量といった震源特性を表すパラメータ推定に系統的なズレを生じさせる可能性もあったが、本定式化はこのことを軽減させると考えられる。

この方法を、2016年熊本地震の地震系列を対象として適用した。熊本地震の地震系列は、強震観測点が震源域を取り囲んでいること、自治体の震度計を含む多数点の波形データを取り込んでいることから、破壊伝播特性をうまく分離できると考えた。結果として、破壊伝播に関する項を推定することができた。強震観測点は地表に分布していることから、水平方向に伝播するイベントの破壊伝播は分離がうまくいくが、上または下方向に伝播するイベントの分離精度は高くはない。求められた破壊伝播様式が妥当かどうかは、M5クラスの比較的大きいイベントに対して EGF 法による波形モデリングによっても確認した。

M4~5クラスのイベントの破壊伝播特性を求めることができた。破壊伝播様式が推定できたことにより、震源メカニズム解のどちらの節面が破壊した可能性があるか、といったことを知る手がかりとなる。また、破壊伝播特性を得たことにより、破壊伝播効果を除いた震源スペクトルから応力降下量を推定することも可能となった。



## 2. 4. 微動観測記録に基づく 邑知潟平野周辺の地盤速度構造推定

邑知潟平野の地盤構造を推定するため、図1に示す石川県と富山県の県境の山地部の地点において常時微動観測を行った。2019年度および2020年度に邑知潟平野における微動観測記録を行い、平野内の地盤速度構造を推定したものの、平野南東部と山地部との境界の位置が不明確であったため、平野を含む邑知潟平野周辺の地盤速度構造モデルの構築ができなかった。そこで、南東側の山中で14地点の単点観測を行い、水平上下スペクトル比から平野と山地の地点の判別を行った。

防災科学技術研究所の強震観測網(K-NET)4のK-NET七尾(ISK007)とK-NET羽咋(ISK008)の土質データおよび地震ハザードステーション(J-SHIS)の深部地盤データを参考に全地点共通の層構造の物性値を定めた。次に、アレイ観測地点で観測されたMHVRと位相速度分散曲線に理論値が近づくように各層の層厚を合わせ、それを推定モデルとした。理論MHVRの計算には拡散波動場理論に基づき理論MHVRを計算し、理論位相速度分散曲線の計算には成層地盤におけるグリーン関数及び正規モード解を計算する公開プログラム(Hisada, 1995)を用いた。そして、アレイ地点での推定モデルを基準とし、単点微動観測点において理論MHVRが観測MHVRに近づくように層厚を決め、地盤構造を推定した。強震動シミュレーション用の地盤構造モデルは、推定した地盤構造における第4層～第10層の下面深さを補間することで、三次元地盤構造モデルを作成した。ただし、邑知潟平野の南東側では盆地端部から約10kmの範囲を最表層が $V_s=1100\text{m/s}$ の山地部と想定し、平野と山地部以外の地域はJ-SHIS深部地盤構造をそのまま用いた。

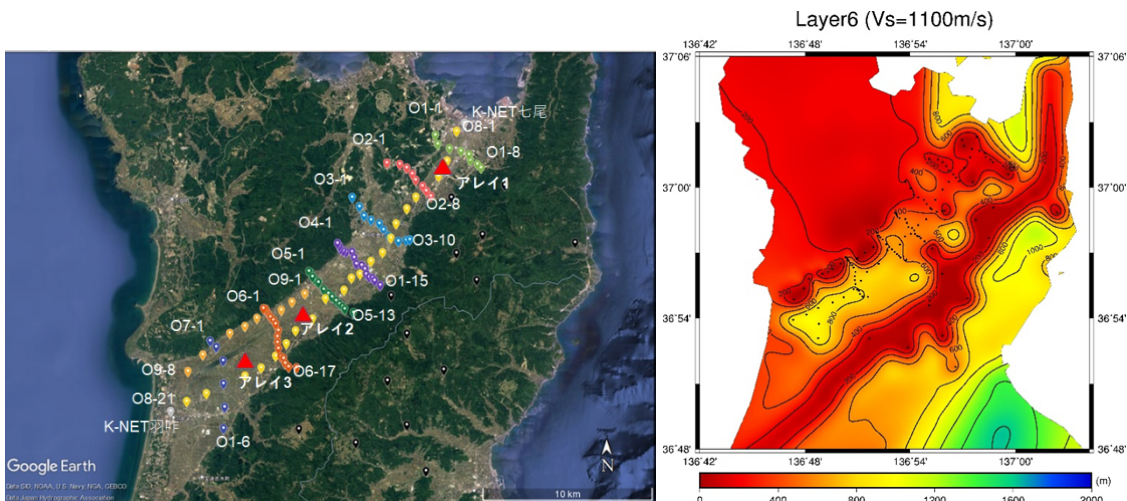


図1 微動観測点配置(Google Mapに加筆)

図2 推定地盤構造モデル  
( $V_s=1100\text{m/s}$ 上面深さ)

## 2.5. 地震被害推定を目的とした非線形木造建物群における耐力と靱性能の関係

### 2.5.1. はじめに

地震時の建物挙動を再現できる一自由度系モデルから構築された建物群によって、地震時の建物被害を推定する手法が提案されている<sup>1)</sup>。その中で、建物の応答変位がある一定値を超えたら全壊、即ち、靱性能は一定とされてきたが、実際は、壁量が増えれば、靱性能が低下することが考えられる。そこで、全壊時の靱性能が耐力に依存すると設定したときに、実際の建物被害を説明できるか検証する。

### 2.5.2. 耐力と靱性能が依存する建物群を用いた地震被害推定

建物群を構成する一自由度系の耐力分布は、全国の平均的なもの<sup>1)</sup>とし、復元力特性は、木造建物の非線形挙動を再現した修正Takeda-Slipモデル<sup>2)</sup>を用いた。モデルのパラメータは、除荷剛性低下指数 $\beta=0.15$ 、スリップ剛性低下指数 $\gamma=3.0$ 、スリップ剛性硬化係数 $\delta=1.0$ 、ひび割れ耐力 $Q_c$ /降伏耐力 $Q_y=0.3$ 、減衰定数 $=5\%$ とし、降伏点剛性低下率 $\alpha_y$ に関しては $0.15, 0.20, 0.25, 0.20, 0.35$ の5通りとした<sup>1)</sup>。そして、壁量が少なく耐力が小さくなると靱性能が大きくなると考えられることから、許容塑性率（全壊時の塑性率） $\mu$ を式(1)のように設定した。

$$\mu = \frac{a}{C_y^b} \quad (1)$$

ここで、 $C_y$ は降伏ベースシア係数、 $a$ 、 $b$ は、耐力と靱性能の関係を制御するパラメータである。この $a$ と $b$ を動かして推定した被害を、被害調査で得られた54の強震観測点周りの実際の被害<sup>1)</sup>と比較することでその精度を検証する。 $a$ を $0\sim 12$ 、 $b$ を $0.0\sim 1.2$ で動かしたときの解析精度を図1に示す。靱性能 $\mu$ 一定( $b=0$ )のときよりも、精度の高い点があれば青くなるように設定したところ、青の部分が現れ、靱性能が耐力に依存することで、推定精度が上がるケースがあることがわかる。

### 2.5.3. 実際の木造建物における耐力と靱性能の関係

そこで、実際の木造建物の耐力と靱性能の関係を見るために、実大実験<sup>3)~13)</sup>で得られた荷重変位関係から、変形角 $1/120\text{rad}$ のときのベースシア係数と、全壊程度までのデータが少なかったため、最大耐力時の塑性率を読み取り、非構造部材の座屈拘束による耐力壁の耐力上昇<sup>14)</sup>と非構造部材自体の耐力上昇<sup>15)</sup>を補正し、靱性能は座屈拘束による靱性能減少<sup>16)</sup>を補正して両者をプロットしたところ、耐力が小さくなるほど靱性能が大きくなっていることがわかった（図2）。この上に、推定精度が高かった図1の青い部分の耐力と靱性能の関係を重ねると、全体の傾向は対応しているが、データが曲線群の下側にあるのは、最大耐力点を読み取ったためだと考えられる。全壊については今後も検討が必要である。

### 2.5.4. まとめ

靱性能が耐力に依存する木造建物群モデルを設定して地震被害推定を行った結果、靱性能一定のときよりも被害調査データを精度良く説明できた。また、実大実験データで耐力と靱性能の関係を確認した。

参考文献：

- 1) 境有紀,飯塚裕暁：非線形地震応答解析による地震被害推定を目的とした平均的な木造建物群モデルの構築,日本地震工学会論文集,第9巻,第1号,2009 2)飯塚裕暁, 境有紀：木造建物における一自由度系地震応答解析のための復元力特性モデルの提案, 日本地震工学会論文集, 第9巻, 第1号, 2009 3) 綿引誠,町田健一,大橋好光,坂本功：実物大建物振動台実験に基づく木造軸組工法住宅の耐震性能に関する研究,日本建築学会構造系論文集,第599号,103-110,2006.1 4)林貴寛,清水秀丸,福田康彦,五十田博,森拓郎,小松幸平：E-ディフェンスを用いた実大木造住宅の耐震性能に関する実験,日本建築学会大会学術講演梗概集,2008 5)清水秀丸,森拓郎,村瀬

伸吾,立花和樹,五十田博,小松幸平,吉川盛一,福田康彦：新築木造住宅の重量算定：実大試験体を用いた重量計測(6)東田豊彦,加藤史郎,中澤祥二：実大振動台実験による非構造材を考慮した木造軸組2階建て住宅の構造特性に関する研究,日本建築学会構造工学論文集,Vol.54B,2008.3 7)橋本敏男,坂本功,大橋好光,河合直人,五十田博,腰原幹雄,川上修,高橋仁：実大木造住宅の振動台実験手法に関する研究その2,日本建築学会大会学術講演梗概集,2005.9 8)荒木康弘,坂本功,五十田博,腰原幹雄,槌本敬大,西山誕生：既存木造住宅耐震性向上に関する総合的研究 その26,日本建築学会大会学術講演梗概集,2004.8 9)大西健二,津田千尋,萩原慎太郎,小原勝彦,今西享,河本和義,福本満夫：外装サイディング材耐震補強実大供試体引き倒し実験,日本建築学会大会学術講演梗概集,2009.10)清水修丸,須田達,北原昭男,鈴木祥之,後藤正美：軸組構造2階建木造住宅の実大振動実験 一筋交い付き軸組試験体の結果一,日本建築学会大会学術講演梗概集,2001.9 11)河合直人,腰原幹雄,水沼祥一,五十田博：既存木造住宅耐震性向上に関する総合的研究 その10：実大振動台実験結果（多方向試験体における剛性の変化）,日本建築学会大会学術講演梗概集,2003.9 12)澤川北斗,松原独歩,阿川将樹,宮澤健二：軸組系面材耐力壁構造の限界変形性能に関する研究：その3,日本建築学会大会学術講演梗概集,2003.9 13)阿川将樹,花野克哉,宮澤健二：軸組系面材耐力壁構造の限界変形性能に関する研究：その6,日本建築学会大会学術講演梗概集,2004.8 14)尾内惇史,五十田博,金子洋文,松田晶洋,藤澤洋輔：面材や間柱による木造筋交いの座屈拘束効果が耐力壁性能に及ぼす影響 その2,日本建築学会大会学術講演梗概集,2016.8 15)齋藤拓歩,松田晶洋,五十田博：座屈拘束された筋交いをもつ壁構面の耐震性能,日本建築学会技術報告書,第21巻,第49号,1023-1026,2015.10 16)藤澤洋輔,五十田博,金子洋文,松田晶洋,尾内惇史：面材や間柱による木造筋交いの座屈拘束効果が耐力壁性能に及ぼす影響 その1,日本建築学会大会学術講演梗概集,2016.8

謝辞：強震記録は防災科学技術研究所，気象庁より提供して頂きました。ここに記して謝意を表します。

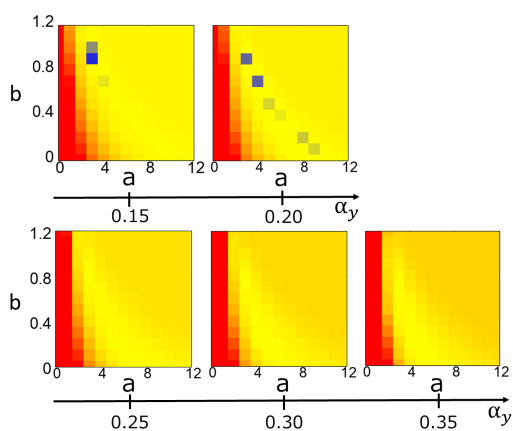


図1 解析結果

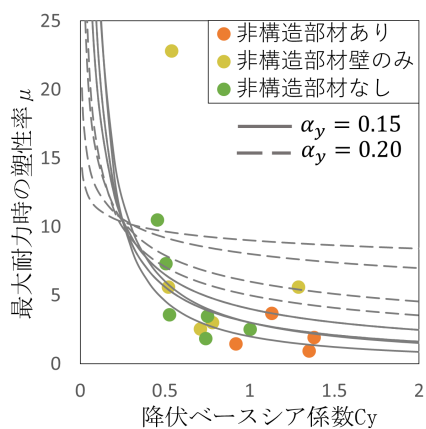


図2 実大試験体における降伏ベースシア係数—最大耐力時の塑性率の関係と解析結果

### 3. 研究集会

「都市地震リスク軽減に向けたデータ駆動型研究の最前線 - 拠点研究（一般推進）2021A-05」

日時：令和4年3月16日（水）13:00～18:00

会場：防災研究所 連携研究棟3階 301号室（会議室）およびオンライン配信

#### プログラム

開会挨拶：松島信一（京大防災研）

山田真澄 「Tpd法を利用した簡便なP波検知手法」

孫ジカイ 「動的破壊シミュレーションによる熊本地震の震源モデル」（英語発表）

染井一寛 「断層破壊指向性を考慮した新しいスペクトルインバージョン手法の開発」

縣亮一郎（JAMSTEC）「地下構造の不確かさを考慮したベイズマルチモデル断層すべり推定」

王功輝 「微動計測および長期地震動観測から推定される厚真地区の斜面振動特性」

境有紀 「地震被害推定を目的とした非線形木造建物群における耐力と靱性能の関係」

多幾山法子（東京都立大）「既存木造住宅のアラミド繊維シート補強法の開発と地震後の継続使用性簡易判定」

松本雄馬，糸井達哉（東京大）「データ駆動型地震工学のための地震動波形データベース構築に関する研究」

後藤浩之 「超高密地震観測による不確実性の認知とハザード表現への展開」

大西正光 「BCP（事業継続計画）のフレームワーク」

寅屋敷哲也（人と防災未来センター）「災害時の企業の事業継続に活用されるデータ」

閉会挨拶：岩田知孝（京大防災研）