

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：24402
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2019～2021
課題番号：19K02334
研究課題名(和文) 被災度調査及び表層地盤リスク把握に基づく家屋単位の簡易な地震危険度評価手法開発

研究課題名(英文) Development of a Simple Earthquake Risk Assessment Method for Each House Based on the Damage Level Survey and the Grasp of Surface Ground Risk

研究代表者
宮野 道雄(MIYANO, Michio)
大阪市立大学・学長補佐

研究者番号：00183640
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、過去の地震における木造家屋被害調査結果及び地盤の微動観測結果に基づくリスク評価によって、木造住宅の家屋単位での簡易な被害予測システムの開発を目指した。検討対象としたのは、1974年伊豆半島沖地震(石廊崎、子浦、入間)、1995年兵庫県南部地震(神戸)、2016年熊本地震(益城)の3地震、5地区である。結果としては、集落単位での平均的な家屋被害及び地盤リスク評価結果の整合性はみられたが、家屋単位での評価では建築年代や構法の違いに基づく属性の差異や深層地盤の影響、断層運動による家屋被害や液状化の影響などが大きく、これらの条件設定をした上でのさらなる検討が必要であることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「地区防災計画」の策定の目的は、近隣スケールでの被害想定に基づき、コミュニティによる自助・共助の枠組みをあらかじめ立案しておくことにつながると考えている。このためには、木造住宅の家屋単位での地震時被害を簡易に予測できる手法が求められる。すなわち、事前に家屋単位の被害を想定することにより事前の対策や被災時の救助活動など直後の対応をあらかじめ検討することができる。この目的を達成するため、常時微動観測による簡易な地盤リスク評価システムの構築を目指した。結果によれば、対象である木造家屋や地盤そのものの特性のばらつきにより家屋単位での評価には検討の余地があるが、集落単位での評価に一定の効果を見出した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we aimed at the development of a simple damage prediction system for each wooden house by risk assessment based on the results of the damage of wooden houses in past earthquakes and the microtremor observation results of the ground. The three earthquakes and five districts of the Izu Peninsula Earthquake (Irozaki, Koura, and Iruma) in 1974, the Hyogoken-Nanbu Earthquake (Kobe) in 1995, and the Kumamoto Earthquake (Mashiki) in 2016 were considered.

As a result, the consistency of the average house damage and ground risk assessment results in each village was observed, but in the evaluation on a house-by-house basis, it was clarified that the difference in attributes based on differences in building age and construction method, the influence of deep ground, the effect of liquefaction and fault motion, etc. were large. Therefore, further examination after setting these conditions is necessary.

研究分野：地域防災学

キーワード：地区防災計画 被災度調査 木造家屋 地盤振動 地震時危険度評価 表層地盤リスク 微動計

1．研究開始当初の背景

災害対策基本法の改正に伴って、2014年4月に地区防災計画制度が新たに創設された。これは、市町村内の一定の地区の居住者および事業者などが行う自発的な防災活動に関する制度であり、各市町村の小学校区単位などの地域において地区防災計画の策定が行われている。

一方、従来の地域防災計画の基となる地震危険度評価は、例えば都道府県、市町村などの行政単位での地域危険度評価として行われるのが一般的であった。地区防災計画では、地域防災計画とは異なり、当該地区の人的及び物的な地域特性を踏まえた、自助・共助によるきめ細かい防災計画が可能となる。その前提となる地区内の地震危険度を把握するためには、家屋単位の危険度評価が求められる。このような木造家屋単位の地震危険度評価手法が確立できれば、地区防災計画の策定にあたり、地区内での家屋単位の危険度評価が事前に可能となり、耐震改修促進や地震直後の救助活動の指針が得られる。

2．研究の目的

従来の地域危険度評価手法では、その地区の平均的な危険度が把握できるだけであり、この課題を克服するためのGIS（地理情報システム）を用いた家屋単位の諸要素を反映した被害想定 の提案も敷地単位の地盤の振動性状を考慮したものとはなっていない。

そこで本研究では、簡易に地表面の応答加速度を計測できる微動計を用いて被災度推定を行うために、家屋近傍のオンサイトで地盤振動特性を評価し、家屋単位の被災度推定を行う手法を開発することを目的とした。本評価手法によれば、住宅所有者が微動計を用いた簡易な地盤振動特性評価結果から、個別に家屋の被災危険度を予測することが可能となる。このことは、地域住民による自助・共助の促進にもつながる。すなわち、住宅の耐震化工事を実施する判断基準を与え、地震時の地域における救助活動や事前復興対策を「地区防災計画」として立案するための実用的研究として発展する可能性を有している。

3．研究の方法

(1) 研究期間の初年度に、研究代表者らが有する豊富な過去の地震被害調査結果から被災度ランク（倒壊・全壊・半壊・一部損壊及び無被害）別に地盤振動特性を実測するモデル住宅の選定を行った。対象とした地震及び地点は、1974年伊豆半島沖地震の南伊豆町石廊崎・子浦・入間の各地区、1995年兵庫県南部地震の神戸市東灘区の一部地域、2016年熊本地震の益城町である。

また、初年度においては微動計（JU-410（白山工業社製））を用いた地盤振動計測の予備調査もかねて益城町で現地調査を行った。この調査では、観測手法として単点観測及びアレイ観測の両者を試行し、観測間隔や観測時間を決定した。さらに、2年目の本格的な現地観測に向けて初年度の試行結果の共有と意見交換のための研究会を実施した。

2年目には伊豆半島沖地震の石廊崎・子浦・入間の3地区及び兵庫県南部地震の神戸市東灘区における微動計測とその結果の解析を行い、成果を取りまとめた。最終年度の3年目には予備調査にとどまっていた熊本地震の益城町における補足調査を行い、最終成果をまとめた。

(2) 地盤振動特性の実測及び解析方法は以下の様である。まず、単点解析では、観測によって得られたNS、EW方向の波形データからH/Vスペクトル比を算出した。さらに、算出したH/Vスペクトル比のピークから卓越周期を得た。また、H/Vスペクトル比から得た卓越周期とH/Vスペクトルピーク値を乗じて、ハザード値を算出した。

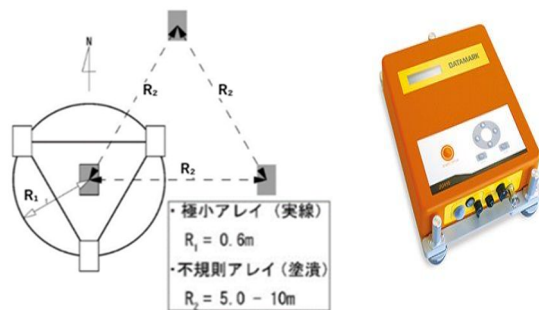


図1 アレイ配置図(左)及び微動計(右)

合わせてS波速度構造についても解析したが、これはアレイ観測された記録の相互相関関係から得られた分散曲線の逆解析により推定した。図1にアレイ配置と用いた微動計を示す。

4. 研究成果

(1) 1974年伊豆半島沖地震被災地の石廊崎・子浦・入間について

概要

伊豆半島沖地震の規模はM6.9、震源深さは10kmであった。石廊崎で最大震度5を記録し、静岡や横浜などでも震度4を記録している。発災直後に本研究代表者の宮野らによって墓石調査や家屋の被害調査が行われた。その結果、今回対象とした3地区の推定加速度と家屋被害率は、子浦で350gal、10.4%、入間で400gal、25.3%、石廊崎で400gal、25.4%であった。

微動のH/Vスペクトル比の特徴

常時微動観測は、各地区で建物被害分布などを考慮し100m程度の間隔で実施した。観測は、200Hzサンプリングで10分間とした。観測記録からフーリエ変換し、バンド幅0.3HzのParzen windowで平滑化し、水平2成分を相乗平均し上下成分で除してMHVRを求めた。MHVRは、子浦と入間では、地区内でも建物被害の大小で異なる特徴が確認できた。一方で、石廊崎は全地点で概ね同様な特徴を示した。

子浦はデータ数が少ないものの、被害が小さい地点では0.2s以下の短周期部が卓越し、被害が大きい地点では卓越周期が長く、入間はスペクトル形状は似ているが、被害が大きい地点ではMHVR(縦軸)が非常に大きくなった。石廊崎は、ピークがないフラットな形状を示した。石廊崎は集落全体で堆積物が薄く、浅部から岩盤が分布する。建物の被害率は高いが、過去の調査から主に断層活動に起因する被害と分析されていて、MHVRの特性とは整合的である。

簡易地盤ハザードによる分析

筆者らは、MHVRの卓越周期とその時のMHVRを乗じ、簡易地盤ハザードを評価する手法を提案している。入間は建物被害の大小でMHVRが異なる特徴を示した。石廊崎は、浅部から岩盤が確認されて地盤としては比較的良質である。簡易地盤ハザードも、ほぼ全域が0.4未満と小さく地盤の特性をとらえている。入間は、被害が大きい集落中心付近では簡易地盤ハザードは大きく、その周囲の被害が小さい地点では、簡易地盤ハザードも小さく、両者は整合的である。

(2) 1995年兵庫県南部地震被災地の神戸市東灘区について

概要

兵庫県南部地震における家屋被害は全体で全壊104,906棟、半壊144,274棟と報告されているが、特徴的に東西約20km、南北約2kmの带状地帯に被害が集中して分布し、その中でも東灘区では多くの被害が発生した。本報告では、発災後宮野らによって詳細な調査が実施された地区を対象とした。対象地区では北部に口 - ム台地、南部に沖積低地が存在するが、広くは扇状地で構成されている。

常時微動観測

地震で被害を受けた地域の家屋被害調査のデータを図2に被害別に整理し、選定家屋近傍で常時微動観測を実施して地盤震動特性を確認した。

常時微動観測は、微動計を1台用いて10分間の観測を行う単点観測と、微動計を6台用いて15分間の観測を行うアレイ観測の2種類の観測を行った。図2に示すように、東灘区の北側は甲南山手駅から南側は深江駅付近までの東西の幅約0.7kmの範囲において約100m間隔で、単点観測を59点、微動アレイ観測を13点で実施した。

観測結果

本報告では、被害大地区(A地区)と被害小地区(C地区)とその中間的な被害中地区(B地区)に区分して単点微動から得られたH/Vスペクトル比及びA~C地区のH/Vスペクトル比の平均スペクトル比を求めた。その結果、B地区とC地区は、ほぼ同様なH/Vスペクトル比の傾向を示すが、B地区でややH/V比が大きくなった。A地区は、短周期から長周期までの広い周期帯で大きな値が認められた。また、H/Vスペクトル比の卓越周期とピーク値を乗じたハザード評価値を算定した。ハザード評価値の分布に着目すると、A地区とC地区のハザード評価値は類似した分布となり、B地区では全体的にハザード評価値が大きくなっている。

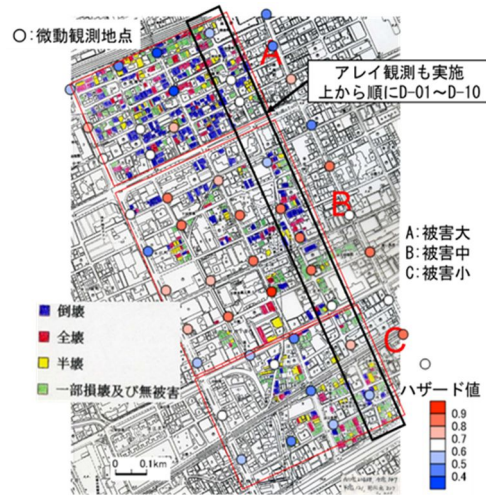


図2 建物被害と常時微動観測点

(3) 2016年熊本地震被災地の益城町について

概要

調査地域は、全体に段丘面が分布する。また、台地部を開析するように、西側と南側に秋津川とその支流が流れ、河川に沿って氾濫平野と旧河道が分布する。微動観測は、5地区を抽出し、概ね20m間隔程度で十字となるような道路上で実施した。また、建物被害調査は、約2700棟を対象に地震発生直後の2016年に外観目視で行い、被災度を4区分(倒壊、全壊、大規模半壊・半壊、一部損壊・無被害)とした。

常時微動観測

常時微動観測は、図3に示すA~Eの5つの地域を中心に実施した。観測は、それぞれの地点

で 10 分間実施し、水平 2 成分を相乗平均して H/V スペクトル比 (MHVR) を算出した。MHVR の卓越周期とピーク値の分布を図 3 に示す。図には (倒壊 + 全壊) / 調査建物とした大破率も重ねた。

C 地域の卓越周期は、概ね 0.5s 以下と調査地域内で相対的にやや短い、MHVR ピーク値は、3 以上と大きい。また、大破率は 50% 以上と高い。一方で、D 地域の卓越周期は全体に 0.5s 以上と長い、MHVR ピーク値は 2 以下と小さい地点が多い。大破率もほとんどが 0 となっている。

建物被害と微動観測結果の比較

建物被害と卓越周期の関係では、D 地域の卓越周期が最も長く 0.64s 程度であったが、大破率は 22%

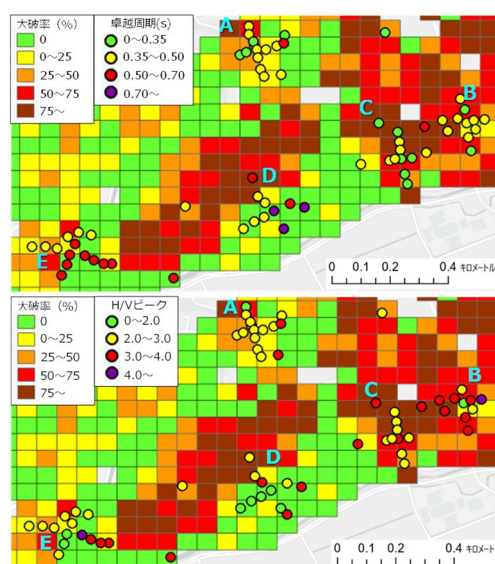


図 3 大破率、MHVR の卓越周期、ピーク値

と小さい。卓越周期が長いと大破率が小さい傾向は、地形区分毎の集計でも一致し、卓越周期が長い氾濫平野や旧河道で大破率が小さい傾向が確認された。一方、建物被害と MHVR のピーク値の関係ではその傾向は概ね逆転し、卓越周期が長い D 地域はピーク値が小さく被害率が小さい。地形区分でも、旧河道や氾濫平野は MHVR のピーク値が小さく、大破率も小さい。

(4)まとめ

本研究では、過去の地震における木造家屋被害調査結果及び地盤の微動観測結果に基づくりスク評価によって、木造住宅の家屋単位での簡易な被害予測システムの開発を目指した。検討対象としたのは、1974 年伊豆半島沖地震 (南伊豆町石廊崎、子浦、入間)、1995 年兵庫県南部地震 (神戸市東灘区)、2016 年熊本地震 (益城町) の 3 地震 5 地区であった。

伊豆半島沖地震の被災地では、振動被害を受けたと考えられる子浦と入間の大被害地点のスペクトル形状は類似しており、MHVR の値の違いが被害程度に対応していた。一方、地盤が硬質で断層運動に伴う被害が顕著であった石廊崎では、断層の上盤側と下盤側のハザード値は同程度であるにも拘わらず、被害程度には両者に大きな差異が見られ、振動被害に密接にかかわるハザード値では説明できない被害との関わりを具体的に示す結果が得られた。兵庫県南部地震の神戸市東灘区の対象地域では、木造家屋被害が最も大きかった A 地区のハザード値は必ずしも高くなく、むしろ被害中程度の B 地区の方が高いハザード値を示した。この結果は、A 地区での深部の地盤構造及び断層運動の影響を示唆している。熊本地震の益城町については、古くから集落が発達した自然堤防上の地区では MHVR のピーク値は長周期側にあり家屋被害も大きい、旧河道や氾濫平野では MHVR のピーク値は小さく、家屋の被害も小さいことが明らかとなった。

結果としては、集落単位での平均的な家屋被害及び地盤リスク評価結果の整合性は得られたが、家屋単位での評価では建築年代や構法の違いに基づく属性の違いに加えて、深層地盤の影響、断層運動による家屋被害や液状化の影響など、考慮すべき諸点が明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 T. Ochiai, T. Enomoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Analysis on Predominant Perriods Distributing by Microtremor Observations for Seismic Disaster Prevention in Yokohama, Japan Using GIS	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Geographic Information System	6. 最初と最後の頁 579,594
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 落合努、犬伏徹志、荏本孝久	4. 巻 19(5)
2. 論文標題 常時微動による地域特性を考慮したハザードマップの作成	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本地震工学論文集	6. 最初と最後の頁 136,145
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 T.Ochiai, T.Enomoto, Y.Oda, M.Miyano, E.Ikuta, M.Navarro	4. 巻 -
2. 論文標題 Comparison of House Damage and Microtremor Results in Past Earthquakes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 14th SEGJ International Symposium, 2021	6. 最初と最後の頁 -, -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1190/segj2021-077.1	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 該当する

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 落合努、荏本孝久
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ーその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ー
3. 学会等名 日本建築学会学術講演会（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 地域安全学会研究発表会
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

1. 発表者名 水谷圭佑、小田俊也
2. 発表標題 石巻市桃生町における表層地質による地震動の増幅に関する研究
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 水谷圭佑、小田義也
2. 発表標題 東北地方太平洋沖地震における石巻市桃生町の局所的な家屋被害と浅部 S 波速度構造の関係
3. 学会等名 物理探査学会第140回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荻本孝久、落合努、犬伏徹志
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
3. 学会等名 日本建築学会学術講演会（北陸）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 落合努、荻本孝久、宮野道雄、生田英輔
2. 発表標題 過去の地震による家屋被害と常時微動観測結果の比較 その1 1974年伊豆半島沖地震を対象として
3. 学会等名 日本建築学会学術講演会（東海）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 荻本孝久、落合努、宮野道雄、生田英輔
2. 発表標題 過去の地震による家屋被害と常時微動観測結果の比較 その2 1995年兵庫県南部地震を対象として
3. 学会等名 日本建築学会学術講演会（東海）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 落合努、荻本孝久、宮野道雄、生田英輔、小田義也
2. 発表標題 2016年熊本地震の益城町の建物被害調査と微動観測結果の比較
3. 学会等名 令和4年度 土木学会全国大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 宮野道雄、生田英輔他	4. 発行年 2019年
2. 出版社 大阪公立大学共同出版会	5. 総ページ数 137
3. 書名 地域変容に対応した避難行動要支援者のための地区共助計画	

〔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	小田 義也 (Oda Yoshiya) (30336523)	東京都立大学・都市環境科学研究科・教授 (22604)	
研究分担者	生田 英輔 (Ikuta Eisuke) (50419678)	大阪市立大学・大学院生活科学研究科・准教授 (24402)	
研究分担者	荻本 孝久 (Enomoto Takahia) (90112995)	神奈川大学・工学部・教授 (32702)	

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
研究協力者	落合 努 (Ochiai Tsutomu)		

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