

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18757

研究課題名（和文）構造・平面構成・住まい方の制御による世帯目線の土砂災害死者軽減方策の構築

研究課題名（英文）Construction of Measures to Mitigate Landslide Damage by Controlling the Structure and Plan Configuration of Housing and the Way of Living

研究代表者

中嶋 唯貴（NAKASHIMA, TADAYOSHI）

北海道大学・工学研究院・准教授

研究者番号：60557841

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、住宅の構造や居室等の平面構成に加え、住まい方までを考慮した建物の倒壊シミュレーションを実施し倒壊過程を明らかにすることで新たな減災施策の立案を行うものである。具体的には、斜面地を対象とした住宅に居住する世帯を対象としたアンケート調査で住宅や世帯の実情を把握した。また、調査により得られた住宅の平面図やドローン空撮による測量結果による斜面の情報を活用し個別用法を適用することで、斜面部や住宅を3Dモデル化を行うとともに土砂を住宅に衝突させることで倒壊メカニズムの検討を行った。加えて、倒壊メカニズムを参考に人的被害発生リスクの軽減手法の検討を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、国民の約5%が居住している土砂災害の危険を有する地域において、人的被害発生リスクを軽減させる施策を立案すべく、建物倒壊過程を明らかにした。また、この結果を用い建物の倒壊時における人的被害発生危険性の高い居室を明らかにするとともに、住宅を含む既存の建物のリスク軽減や新設時において有益な情報となる斜面近傍の建物において土砂災害による人的被害発生リスクを軽減するための住まい方について提案を行った。

研究成果の概要（英文）：This study aims to formulate new disaster mitigation measures by conducting building collapse simulations that take into account not only the structure of the house and the planar arrangement of rooms, etc., but also the way in which the house is lived, and by clarifying the collapse process. Specifically, the first is a questionnaire survey was conducted on households living in houses on slopes to understand the actual conditions of the houses and households. Second, a 3D model of the slopes and houses was constructed using the plan view of the houses obtained from the questionnaire survey and the slope information obtained from the results of the drone aerial photography survey. Third, the discrete element method was used to collide the houses with earth and sand, and the collapse mechanism of the houses was clarified. Finally, methods to reduce the risk of human casualties were studied with reference to the collapse mechanism.

研究分野：都市防災

キーワード：土砂災害 個別要素法 ドローン 点群データ アンケート調査 倒壊 減災戦略 人的被害

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

2018年北海道胆振東部地震において建物被害悉皆調査や人的被害調査を実施してきた。特に、厚真町・むかわ町・安平町において、全世帯を対象にアンケートや土砂災害被災家屋の悉皆調査を実施しており、その結果、土砂被災世帯の家族特性や築年等の家屋の状況が明らかになった。この中でも注目すべきは、厚真町において発生した死者37名のうち、土砂災害によるものが36名であり、1階に比べ2階は死亡率が低い事である。これには、建物の倒壊パターンに起因すると考えられる。しかしながら、住宅にどの程度の速さの土砂が厚さどの程度でぶつかれば各部屋がどのような壊れ方をするのか、特に、土砂の室内への流入や構造部材の落下による各部屋の内部空間損失量定量的に評価した研究は十分ではない。

### 2. 研究の目的

土砂災害に伴う人命損失は毎年発生している。対策は急務であり人口の5%もの住民が土砂災害警戒区域に住居がある。しかしながら、斜面改良など多額の費用が掛かる対策を全エリアに実施するのは不可能であり、新たな対策の検討が急務である。そのヒントとなるのが2018年北海道胆振東部地震において得られた。厚真町において、土砂災害による死者36名のうち10名の死者発生世帯から回答を得ており、1階と2階に11名と9名とほぼ同数の在宅者がいたにもかかわらず、回答者世帯の中では2階では死亡者が発生しておらず、明らかに2階在室者の死亡率が低くなっている。加えて、土砂災害被災家屋において1階でも死者の発生していない家屋も存在する。これには、土砂災害に伴う建物倒壊メカニズムが関係していると考えられる。そこで、本研究では死者発生の可否を、建築系計画・建築構造・防災計画の視点から、平面計画、住まい方、構造様式を加味した、建物倒壊パターンを各種検討し、住居内の生存空間残存率の最大限大きくすることで、土砂災害による人的被害軽減のためのこれまでにない世帯を対象とした減災戦略策定する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 令和2年の研究方法

初年度は、土砂災害における人的被害発生家屋の倒壊状況の把握と土砂による住居内における生存可能な空間の損失率の調査と評価を実施する。土砂災害に伴う被災建物の実態を2004年新潟県中越地震、2018年北海道胆振東部地震、令和元年台風19号、令和2年九州豪雨における資料の掘り起こし並びに調査を実施する。特に、建物の平面計画、倒壊パターンと土砂災害による内部損失率の関係を調査する。上記、調査より得られた土砂災害の被害写真やインタビューにおける調査結果から部屋ごとの生存空間の残存率を評価する。具体的には、生存空間の残存率には、内部空間損失量W値における立面損失を用い検討することとする。

#### (2) 令和3年4年の研究方法

個別要素法で建物倒壊メカニズムを明らかにするため、斜面近傍地を対象にアンケート調査を実施する。斜面の角度や高さ、住宅の平面構成や斜面からの距離などをアンケートにより調査し、個別要素法を用いた住宅・土砂モデルを作成する。作成したモデルを用い、間取りや柱・梁・壁や開口部の位置などを変化させ、倒壊シミュレーションを実施する。この結果を用いて、土砂災害発生規模と建物形状から破壊パターンの関係性を導き出し、破壊パターンを制御することで世帯の土砂災害対策を提案する。

### 4. 研究成果

#### (1) 土砂災害の実態調査<sup>1)</sup>

2018年北海道胆振東部地震、2004年新潟県中越地震、2018年北海道胆振東部地震、令和元年台風19号、令和2年九州豪雨などを対象に被害調査結果の再整理をおこなった。加えて令和5年令奥能登地震、令和6年能登半島地震においては新たに調査を実施した。

#### (2) 斜面近傍地における実態調査<sup>2)</sup>

斜面近傍地の住宅特性を明らかにすべく、住宅の建てられ方や各部屋の配置、土砂災害への対策等に関するアンケート調査を実施した。アンケートの配布地域は国土数値情報7)より土砂災害警戒区域・土砂災害特別警戒区域のシェープファイル形式のデータとe-Stat8)より小地域区分のデータから、土砂災害危険区域の曝露人口を作成し、土砂災害警戒区域内に居住する市民が一定数存在する室蘭市内の幕西町・港南町1丁目・港南町2丁目・母恋南町2丁目・母恋南町4丁目を対象とした。各地域の配布枚数と回収率を表1に示す。アンケートは、エリア指定郵便を用いて対象地域1451世帯に配布し回収率は16%であった。アンケートは2部構成となっており、1部は住宅の特徴、斜面との関係や土砂災害対策の有無等に関する35設問、2部は回答者の土砂災害経験の有無、被災した場合の建物の補修や建て替えに関する10設問からなる。

表 1 アンケートの配布枚数と回収率

配布枚数	配布件数	回収数	回収率
幕西町	182	235	16%
港南町1丁目	300		
港南町2丁目	348		
母恋南町2丁目	450		
母恋南町4丁目	171		

配置図兼平面図と斜面の関係をもちい、明らかになった斜面と居室の特徴は、1階部には、寝室、浴室、キッチンが多い。(図1)また、2階部には寝室や子供部屋が多数を占めている。(図2)また、斜面地からの距離が長くなるとリビングと子供部屋の割合が上昇する傾向が若干あるもののそれ以外の部屋については距離による変化はほとんどない。次に、玄関の向きと斜面の距離の関係を見ると、距離が近いほど斜面の反対側に玄関のある家が多い。つまり斜面と住宅の距離に応じて建物の表裏面を意識してはいるが、斜面からの距離は室内空間の構成を大幅に変えるほどの影響はないことがわかる。

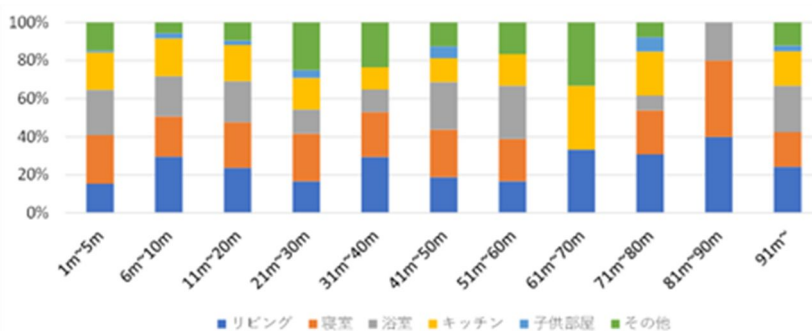


図1 斜面側の部屋構成 (1階)

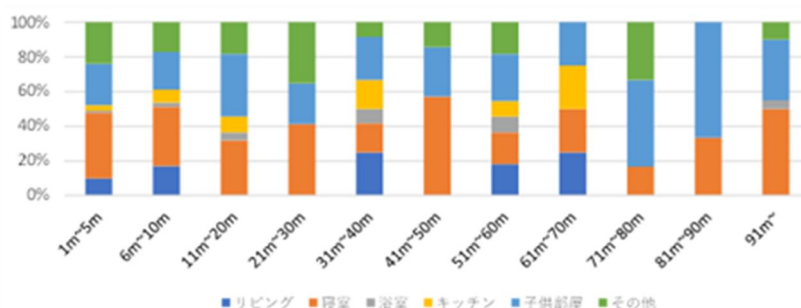


図2 斜面側の部屋構成 (2階)

住宅における土砂災害警戒区域又は土砂災害特別警戒区域の指定の有無と土砂災害対策の関係を図3に示す。土砂災害危険区域に内の住宅においも対策実施率は25%以下であり、土砂災害危険区域に含まれているか否かに関わらず、災害対策を講じていない。住宅建設時における土砂災害危険区域指定の有無による対策実施率をみると、指定有21%指定なしで20%と対策実施率に違いはない。

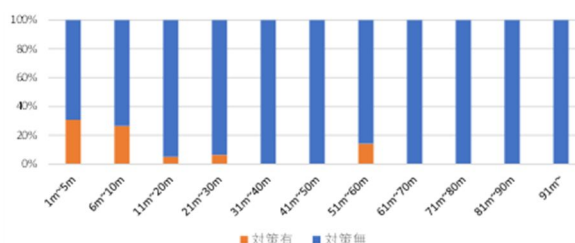


図3 斜面の距離と災害対策の有無

### (3) 斜面と住宅のモデル化

#### 斜面のモデル化

土砂モデルを作成する。斜面の角度と土砂の先端角度の関係を仮定し、アンケートの回答で最も多かった斜面角45°とし、土砂の先端角度を23°とした<sup>3)</sup>。また土砂密度は2.5 g/m<sup>3</sup>、土砂粒は15 cm四方での細分化を行った。加えて、傾斜等を正確にモデル化できるようにドローン撮影による3Dモデルの構築を試みた<sup>5)</sup>。構築した土砂モデルを図4に、ドローン撮影による3Dモデルを図5に示す。

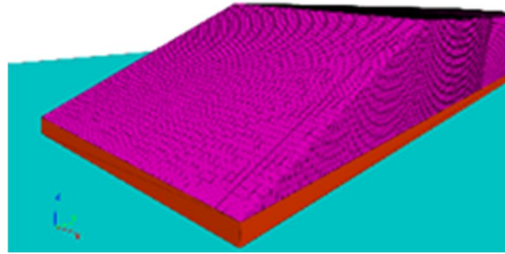


図4 土砂モデル



図5 ドローンを用いた3Dモデル

#### 建物の3Dモデル

建物のモデルを図6に示す。1部屋当たり縦横1.8 m×1.8 m、建物最高高さ6.1 mと仮定した木造建物モデルを作成した。建物密度は松本ら<sup>7)</sup>を参考に柱・壁を0.38 g/cm<sup>3</sup>、天井スラブには屋根等の重量が加算されているとして1.0 g/cm<sup>3</sup>とした。また梁は設けずスラブに臍を設けることで倒壊時の粘りを再現した。また、開口部については、一棟ごとに建物施工時の図面を用いモデル化すべきであるが、本論においては、倒壊過程を検討するためのシミュレーションが目的であることから、回答者の作成した簡易図面を用いて建物のモデル化をおこなった。そのため、開口部の位置に関しては簡易図面を参考に設定しているが、大きさ高さに関してはすべての開口部で同じ大きさのものを用いている。

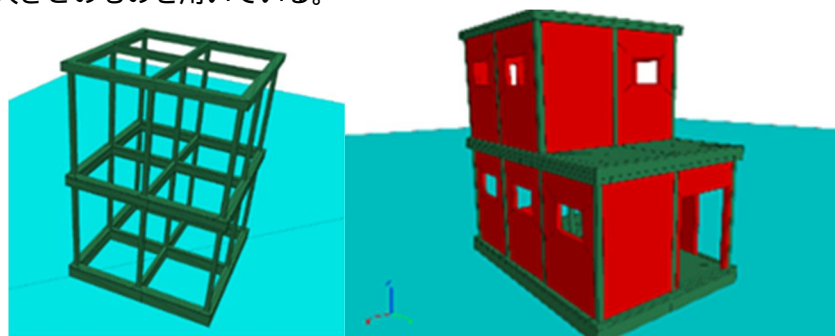


図6 建物モデル<sup>2)5)</sup>

#### (4) 倒壊シミュレーションと減災施策の立案

##### 倒壊シミュレーション

図4の土砂モデルと図6の建物モデルを衝突させることにより倒壊過程の検討を行った。土砂が左右方向共に1部屋目に流入した場合は土砂の高さに関係なく、2階部が落下せず残存し、1階部の壁が倒れる被害のみで倒壊は発生しなかった。2部屋目まで土砂が流入した場合、一階部の柱・壁が破壊され2階部が落下しすべて倒壊する結果となった。すなわち、建物の中心の位置の柱が破壊するか否かが建物崩壊に影響する。落下した際に既に土砂により破壊されている1階部の壁との衝突の衝撃で2階部の接合部が破壊し、2階部は崩壊した。2階部が落下した際に剛体として設定している壁部材に衝突すると接合部のばね係数が大きいいため、衝突力が大きくなり、接合部が破壊され2階部が完全に倒壊する結果となった。

土砂が通過した場合には、土砂の高さ・速度により2階部の倒壊状況が異なる。土砂高さが1.0mの場合土砂の向きによる室内残存空間の差異が見られ、右向きの場合は2階部が傾いて土砂に落ちた衝撃で2階部が倒壊しているが、左向きの場合は、土砂落下地点から遠い部屋が残存をした。土砂の高さが2.6 mの場合、土砂速度による倒壊の違いが見られ、右・左向き共に10 km/hでは2階部が傾き土砂斜面部に衝突し土砂手前の部屋から土砂が流入し倒壊した。30 km/h

の場合は2階部が傾く前に土砂が通過し2階部が土砂に乗ることで室内全ての空間が残存した。土砂高さが3.4mの場合、2階床スラブよりも高いため、速度・向きに関係なく2階部に土砂が流入し時間経過によって室内が崩壊した。また、倒壊までの時間を表2に示す。土砂速度が遅く土砂が低ければ倒壊までの時間は延びるものの最長でも7秒ほどであり、多くが1秒から4秒までの間であり倒壊時には避難行動などはとれないことが分かる。災害発生時に滞在している居室が残存するかどうか人が被害発生に大きく影響することが分かる。

表2 倒壊までの時間

向き	速度	高さ	time(s)
右	10km/h	1.0m	7.2
		2.6m	4.0
		3.4m	3.8
	30km/h	1.0m	3.1
		2.6m	2.2
		3.4m	2.1
左	10km/h	1.0m	3.7
		2.6m	3.2
		3.4m	3.1
	30km/h	1.0m	3.5
		2.6m	2.6
		3.4m	1.8
正面	10km/h	1.0m	5.1
		2.6m	3.9
		3.4m	2.9
	30km/h	1.0m	3.5
		2.6m	1.6
		3.4m	1.0

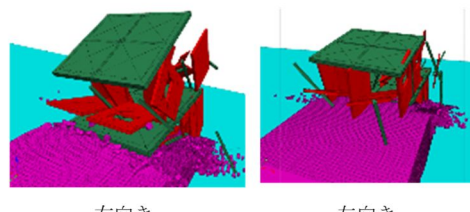


図7 倒壊過程  
(土砂高さ 2.6m 10 km/h)

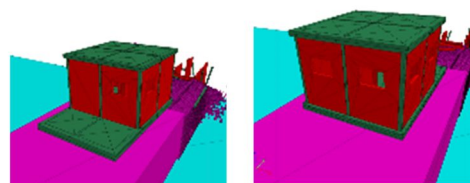


図8 倒壊過程  
(土砂高さ 2.6m 10 km/h)

#### 減災戦略

土砂災害時の建物倒壊シミュレーションの結果、2階部の居室空間の残存には、土砂速度、土砂厚さ、2階部の耐力が影響していることが明らかとなった。また、倒壊までの時間は、4秒以下と短く土砂の高さが上がれば1秒ほどになるため、土砂災害発生後の避難は難しいことが分かる。加えて、土砂災害発生危険性の高い地域では、移住の検討や降雨量が多く予想される場合の早期避難等が重要であるが、地震に起因する発生時期の予測が難しい土砂災害等その対応ができない場合は、滞在時間の長い寝室や子供部屋、リビング等を住宅内の衝突する土砂が2階床よりも低いケースにおいては、2階の方に設置することで人的被害の発生率を低く抑えることが出来る。また、2階部においては、2階部の重心の位置を考慮し落下距離の低くなる位置に配置することが有効である。

#### 参考文献

- 1) 西嘉山純一郎, 中嶋唯貴, 岡田成幸, 寺西祐平: 2018年北海道胆振東部地震の被害調査一厚真町全世帯アンケート調査の基礎解析 -, 地域安全学会論文梗概集研究発表要旨, 2019.
- 2) 中嶋唯貴, 小篠隆生, 小林純平: 斜面近傍地の住宅特性の調査と建物倒壊シミュレーション, 自然災害, -5-2, 2023
- 3) 岩井明彦, 鶴飼恵三, 清水義彦, 長田健吾: がけ崩れによる土砂到達範囲のDEMシミュレーションと簡易予測法の提案, Journal of the Japan Landslide Society Vol.40 No.5, pp.366-376, 2004.
- 4) 松本直樹, 和田孝志, 中谷加奈, 里深好文, 水山高久粒系変化を考慮した土石流氾濫手法に関する研究, 砂防学会誌, Vol.65, No.3, p.3-11, 2012
- 5) 中田健斗, 中嶋唯貴, 小篠隆生: 人口密度に追従する街区内建築物量が街区へ与える影響評価, 地域施設計画研究, 41, 147-156, 2023.
- 6) 小林純平, 中嶋唯貴, 小松陸歩: 個別要素法を用いた土砂災害による木造家屋倒壊メカニズムの基礎的検討, 地域安全学会論文梗概集 Vol150, ROMBUNNO.A-7, 2022.
- 7) 松本将武, 岡田成幸, 中嶋唯貴, 田守伸一郎: 地震時の木造建物崩壊過程における人的被害発生機構の推定, 地域安全学会論文集(CD-ROM) Vol133, pp.259 - 266, 2018

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 ISHII Akira, NAKASHIMA Tadayoshi	4. 巻 89
2. 論文標題 HOUSING RECONSTRUCTION PROCESS AND DEMOGRAPHIC DYNAMICS AFTER THE 2018 HOKKAIDO EASTERN IBURI EARTHQUAKE	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Architecture and Planning (Transactions of AIJ)	6. 最初と最後の頁 320 ~ 329
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aija.89.320	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 OSASA Kota, KATO Keisuke, TAKASE Yuya, NAKASHIMA Tadayoshi	4. 巻 30
2. 論文標題 BUILDING DAMAGE ASSESSMENT MODEL USING AI AND DAMAGE RATE EVALUATION BY VIDEO FROM VEHICLE MOUNTED CAMERA	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 AIJ Journal of Technology and Design	6. 最初と最後の頁 548 ~ 552
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijt.30.548	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 中田健斗、中嶋唯貴、小篠隆生	4. 巻 41
2. 論文標題 人口密度に追従する街区内建築物量が街区へ与える影響評価	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 第41回地域施設計画研究シンポジウム発表論文集『地域施設計画研究 41』	6. 最初と最後の頁 147 ~ 155
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 中嶋唯貴、小林純平、小篠隆生	4. 巻 42
2. 論文標題 斜面近傍地域の住宅特性の調査と建物倒壊シミュレーションによる 減災戦略の検討	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 地域施設計画研究	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) 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 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小林純平, 中嶋唯貴, 小松陸歩
2. 発表標題 個別要素法を用いた土砂災害による木造家屋倒壊メカニズムの基礎的検討
3. 学会等名 地域安全学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中嶋唯貴 , 小篠隆生 , 小林純平
2. 発表標題 斜面近傍地の住宅特性の調査と土砂災害に伴う建物倒壊シミュレーションの試み
3. 学会等名 自然災害学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 富永佳吾 , 中嶋唯貴 , 西嶋一欽 , 友清衣利子
2. 発表標題 高精度位置・角度情報を用いた被写建造物の被災部位判定
3. 学会等名 地域安全学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 富永佳吾, 中嶋唯貴
2. 発表標題 サイバー空間における被災都市データベース構築の試み
3. 学会等名 日本地震工学会
4. 発表年 2022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	小篠 隆生 (OZASA TAKAO)  (00250473)	北海道大学・工学研究院・准教授  (10101)	
研究分担者	植松 武是 (UEMATHU TAKENORI)  (60462347)	北海学園大学・工学部・教授  (30107)	

	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	小林 純平 (KOBAYASHI ZYUNPEI)		
研究協力者	中田 健斗 (NAKATA KENTO)		
研究協力者	富永 佳吾 (TOMINAGA KEIGO)		

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
---------	---------