

令和 5 年 5 月 29 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02403

研究課題名（和文）厳冬期における地震津波複合災害による人的被害予測モデルの構築と減災戦略の策定

研究課題名（英文）Development of Casualty Prediction Model and Disaster Mitigation Strategies for Earthquake-Tsunami Combined Disasters in severe winter

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） 12,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、厳冬期の人的被害予測モデルの構築を目的とし、積雪荷重を地域ごとに加えることができる損傷度関数を構築した。また、 10°C 以下で低体温症や凍死が発生することを加味し、関連環境下における低体温症による行動不能や死亡に至る時間を考慮可能な低体温症に関する評価式を構築した。これらの式を用い、積雪量の異なる稚内商圏、札幌商圏、函館商圏、釧路商圏を対象とし、今年度構築した損傷度関数を用い、積雪を考慮した被害関数を適用することで、季節ごとの建物被害数、人的被害者数、閉じ込め者数の推定と要救助時間の算出を実施した。結果、建物被害数、人的被害数、閉じ込め者数などは厳冬期に大幅に増加することが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、これまでわが国では評価できなかった冬季の地震・津波の被害予測をはじめて可能としたことに学術的、社会的意義を有している。特に、低体温症に関する評価式は現在北海道において大きな問題となっている災害時の低体温症問題への減災対策を考えることが可能な式となっている。また、本研究で作成された評価式は北海道の被害想定においてすでに利用されており、本研究の重要性を示している一つの事例といえる。

研究成果の概要（英文）：This study constructed a damage degree function that can be applied to snow loads in different regions. In addition, taking into account that hypothermia and freezing to death occur at temperatures below 10°C , we constructed an evaluation equation for hypothermia that can take into account the time required for loss of action or death due to hypothermia under the relevant environment. The number of building damage, human casualties, and trapped persons and the time required for rescue were calculated by applying a damage function that takes snow accumulation into account to several districts in Hokkaido, Japan, where snow accumulation differs. As a result, it was found that the number of building damages, human casualties, and the number of people trapped in buildings increased significantly during the severe winter season.

研究分野：都市防災

キーワード：地震 津波 複合災害 人的被害 厳冬期 低体温症 耐震改修 避難ビル

1. 研究開始当初の背景

厳冬期の地震と津波の複合災害は、閉じ込め時の余命の低下、救助の困難さ、避難速度低下、室温の低下などにより甚大な被害につながる危険性がある。具体的には、夏なら助けられたのに厳冬期には助けられない命が多数存在する可能性がある。研究代表者らは、2018年北海道胆振東部地震の実態把握のため安平、むかわ、厚真における建物被害調査や全世帯を対象としたアンケート調査を実施した¹⁾。その中で、多くの回答者が厳冬期でなくてよかったとの回答を記していた。その回答の背景には、各世帯の暖房の生命線である灯油タンクが転倒し、暖房が停止することで室温が外気温と同じになるまでに低下する状況が冬季であった場合の危険性を各世帯が感じ取ったからである。このような状況下では、被害が皆無であっても外気温にさらされることになり多数の低体温症が発生する。この地域の外気温は日中でも0℃を下回るのである。現に、我が国では毎年1000人以上の人が日常的に凍死している実情がある²⁾。実際に東北地方太平洋沖地震では、門廻・今村(2018)³⁾が、検死結果をもちいてその要因分析を行っており、結果宮城県内で23名の死者が発生している。医学の観点からは、Furukawaら⁴⁾により宮城県内で91名の低体温症患者についての調査結果が報告されており、津波に被爆せずに自宅内で発症した低体温症患者も報告されている。これに対し、現在の地震被害想定における冬期の扱いは、主に暖房器具などの火器の使用と風速が強いことが多いことから、延焼等においてのみに限定されてきた。被災者からのアンケートの回答である冬でなくてよかったという声に対し、2018年北海道胆振東部地震が厳冬期に発生していたら、何が発生したのか、どの程度被害が増大したのかということは、被害予測式では推定できない。そのため、厳冬期の地震に向けて被害軽減方策を策定していくことは不可能である。厳冬期においては、積雪より、柱にかかる荷重も大きくなり、建物被害の拡大が危惧される。加えて、ブラックアウトの発生や、灯油タンクの転倒に伴い生活の生命線である暖房機器が使えない等が発生すれば、当然ながら住宅内においても低体温症患者の発生が危惧される。津波避難時には路面の凍結・積雪により避難速度が低下する。厳冬期における地震津波の複合災害において、建物倒壊から閉じ込め、救助・津波時の避難、避難所など、気温が氷点下の状況における各種被害の拡大を明らかにし、事前に減災施策を実行しておく必要がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、これまでに発生していない厳冬期における被害に関し因果関係を丁寧に検討していくことにより、厳冬期の死傷者発生メカニズムを明らかにし、減災対策を立案することである。現在の内閣府や世界において使用されている被害予測式は、全壊数×係数(死者0.0676、重傷者0.1)となっており、死者軽減効果を評価できる式ではない。閉じ込めや室内被害に伴う死傷は全壊数を指標とし間接的に評価されているのである。そのため、代表者らは建物被害、室内被害、津波被害の各フェーズを考慮した、地震動と津波の連続性を考慮した詳細な人的被害予測式を新たに構築し、この式を用い減災政策(耐震化・家具固定・閉じ込め者の救助時間・避難行動・避難ビルの設置など)を実施しその結果どの程度の死者、負傷者が軽減されるのかを定量的に評価してきている。しかし、この手法を用いても、積雪時における建物被害の増加、閉じ込め時の余命時間の短縮、冬季による避難速度の低下による地震・津波死傷者の増加などに関しては評価できていない。加えて、避難所や自宅待機者が冷気に曝露し低体温症の発症や凍死の問題には一切立ち入ることが出来ておらず、問題解決の重要度は高いが一つの分野で解決できる簡単な課題ではない。そこで、本研究は、これまで評価できなかった厳冬期の被害を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 現状の人的被害予測の問題点の洗い出しと厳冬期に対応した評価式の検討

研究代表者は、2018年北海道胆振東部地震において全世帯調査を実施し被害の実情を調査しており、このデータを用いる。加えて、低体温症の死者も出ている東北地方太平洋沖地震など冬季の地震や道内における各種災害について北海道庁協力の元データ収集を実施する。

(2) 厳冬期の人的被害予測モデルの検討

研究代表者は、これまでに人的被害に関する研究を継続してきており、地震と津波の複合災害を考慮可能な詳細な人的被害を構築してきており、この手法を基本モデルとして厳冬の人的被害評価手法の構築を目指す。このモデルは、地震が発生した後、建物損傷、室内被害が発生し閉じ込めが発生する。トラップされた居住者は外傷重症度スコア(ISS値)により余命が決定されるが、氷点下の環境により余命が短くなる。加えて、SAR活動が行われるが、積雪により救助時間が増加する。その後、津波避難時には路面凍結により避難速度が低下し、死傷の有無が決定される。加えて、低体温症発症の有無を評価すべく自宅・避難所の被害に伴う断熱性能の低下も考慮する。

(3) 評価関数の構築

木造・非木造損傷度関数であるが、耐震診断値分布を用い式が構成されており、積雪荷重を考慮したうえで被害関数を構築する。具体的には、耐震評点分布に積雪荷重を地域ごとに加え損傷度関数を構築する。また、閉じ込め時の余命であるが、10以下で低体温症や凍死が発生することを加味し、凍死の事例を収集し和藤らの医学的視点から余命曲線の再構築を試みる。一方、救助に必要な時間は人的資源量やがれき量で評価できるが、これに積雪量を加えることで、救助関数を構築する。

(4) 道内主要都市を用いた被害評価及び検証

北海道において、想定されている地震をもちいて被害評価を実施する。ハザード情報は、北海道が作成したものを利用予定である。また、地域情報に関しては、国勢調査データ、住宅土地統計データに加え、家屋単位の築年・構造種別の把握が可能な都市マスタープランデータを用いる。これらのデータを統合しコンフォートモデルで将来人口予測・建築年分布の予測を行い、積雪量などを加味し各種自治体の人的被害発生者数の推定を行う。

(5) 具体的対策による減災効果評価と減災目標の設定

構築手法は、立て替え・耐震改修・家具の固定・救助訓練など各種対策が考慮可能な評価モデルとなる。算出された被害評価結果を用い、各種減災戦略を実施した場合における被害軽減効果を算出する。対策は、自助・共助・公助に分けそれぞれの自治体ごとに人的被害軽減効果と軽減策を実施した後においても救うことのできない死者を浮き彫りにする。

4. 研究成果

(1) 厳冬期における人的被害予測式

本研究において、収集したデータ整理し厳冬期における災害や夜間に発生する地震・津波に関する被害予測を可能とする人的被害予測手法の構築を行った。建物被害評価においては、積雪荷重を考慮可能にした。積雪荷重によって変化する耐力分布は、竹内他⁵⁾による木質構造の耐力分布を用いる。また、積雪深による耐震評点の減少割合に関しては式(1)を掛け合わせることで算出した。

$$r = a / (a + b \times H) \quad (1)$$

ここで、 r は積雪深別耐震評点変化割合であり、積雪深ごとの木造住居の各耐震評点における低減率である。 H は積雪深、 a, b は、耐震診断時における耐震評点と積雪荷重の関係から定数 " $a=0.81$ "、" $b=0.33$ " と設定した。建物倒壊に伴う死傷者数は以下の式(2)(3)にて算出した。

$$M_{ISS}() = \sum_{x=0.6}^{1.0} \sum_{l=0}^{l=7.4} P_W(I, \Delta x) \cdot P_{\Delta x}() \quad (2)$$

$$P_D = \int_0^{75} M_{ISS}() \times d() \times E(y) \cdot d \quad (3)$$

ここで $M_{ISS}()$ は ISS 別負傷者数、 $P_W(I, \Delta x)$ は内部空間被災率 W 値を加味した木造住家の損傷度別損失空間人口、 $P_{\Delta x}()$ は住家の損傷度別で発生する負傷者の ISS 分布、 I は震度、 Δx は建物損傷度["0, 1.0"]、 ISS は ISS の値["0, 75"]を表す。また、式(2)を基に死者数 P_D を式(3)で算出した。死亡率関数 $E(y)$ は周辺全壊率 y より決まる様な値であり、 $d()$ は年齢別 ISS 別死亡率である。次に、室内被害評価に関しては、発生時間を考慮可能とした。室内被害の想定式は岡田・中嶋⁶⁾手法を用いる。式(4)において、 T が在宅率、 U が非避難行動率を表し、そのパラメータをもとに震度 I での世帯人数別負傷者の発生確率 $P[n, I, T, U]$ を求めた。式(5)で建物因被害を除去すべく、建物の各損傷度における空間残存率 $1 - W_{\Delta x}$ 値より、震度ごとに空間残存率の期待値 $W_e(I)$ を算出した。最後に、式(6)において、家具衝突時の人体損傷度別人数 $F_{I,T,U}(\vartheta)$ と $W_e(I)$ の積より合計を負傷者の総和 F とした。家具寸法は谷川・他⁷⁾より設計資料集成をもとに設定し、各世帯家具保有数は谷川・他⁷⁾同様、平成26年全国消費実態調査から北海道のデータを用いた。推定する人口は4.1同様、胆振東部全世帯アンケートでの震度曝露人口を用いたまた、未明の地震ということから、 U 値を1.0とし推定を行う。

$$P[n, I, T, U] = T \times U \times \sum_{k=1}^n P[k, n, I] \times k \quad (4)$$

$$W_e(I) = \sum_x^{1.0} (1 - W_{\Delta x}) \times P(I, \Delta x) \quad (5)$$

$$F = \iint_{1/6}^1 F_{I,T,U}(\vartheta) \times W_e(I) d\vartheta dI \quad (6)$$

また、厳冬期の津波避難推定のため冬季の避難速度を用い死者数の推定を行った。避難開始時間は釧路市津波避難計画より一律で10分とした。

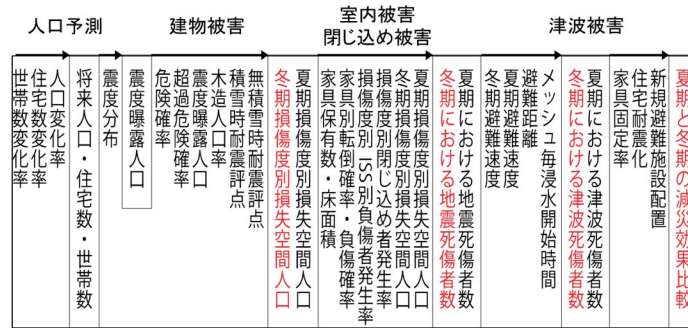


図1 厳冬の死傷者予測式

(2) 被害想定結果

季節変化に伴う人的被害の変化を推定する。まず、地震動による各商圏の死者数を推定する。ここでは、死者の大多数を占める札幌市(札幌商圏)の推定結果を図2に示す。夏季に比べ3倍程度になっているのがわかる。次に、津波にかんする被害推定として釧路市において、夏季と冬季の人的被害の比較を行った。結果夏季に比べ1.4倍程度になることが判明した。このように、積雪荷重の影響、津波避難時間の影響などにより夏季に比べ冬季は人的被害が多数発生することが明らかになった。

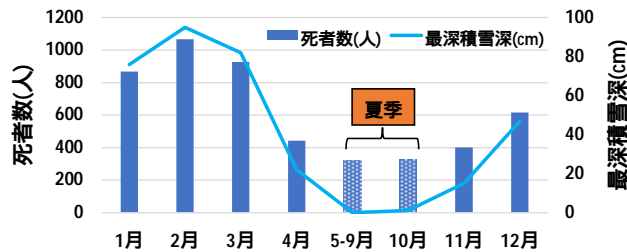


図2 札幌商圏における人的被害⁸⁾

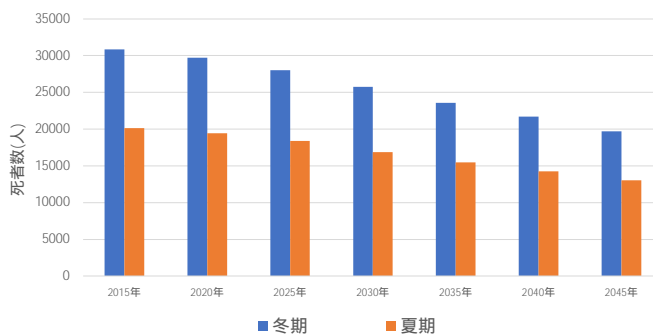


図3 釧路市における夏季・冬季の地震津波による死者数⁹⁾

(3) 低体温症の評価式の構築

人的被害想定的高度化及び防災計画策定に資する情報の提供を目指し、地震等で建物に閉じ込められた被災者や、屋外に避難したものの、暖をとることができない被災者について、国際規格のISO110792)において定義されている寒冷指標DLE (Duration Limited Exposure)を導入し、その服装や活動状況に応じた寒冷環境限界曝露時間を評価する手法を提案した。図4, 5に行動不能までの時間と死亡までの時間をしめす。服装により大きく異なることが分かる。

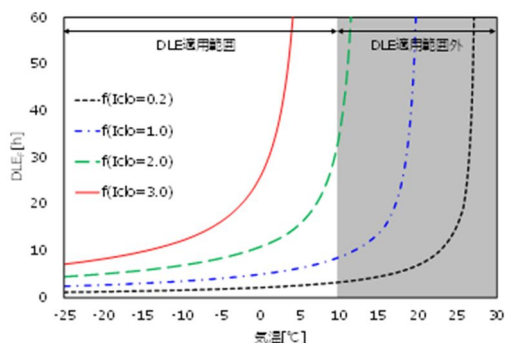


図4. 服装による行動不能までの時間¹⁰⁾

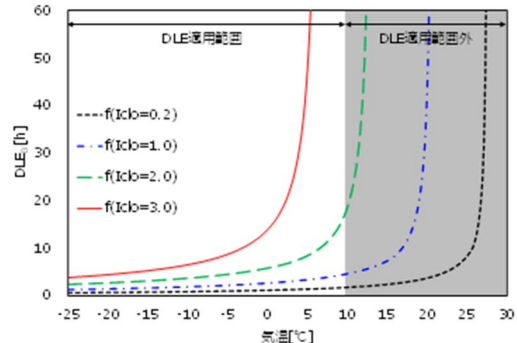


図5. 服装による死亡までの時間¹⁰⁾

(4) 防災政策

北海道等の寒冷地において冬季に発生した地震で閉じ込められれば、低体温症や凍死の可能性は著しく高くなり、一刻も早い救助が望まれる。そこで、積雪荷重を考慮し、死傷者数・閉じ込め者数の評価と救助にかかる時間の検討を行った結果、札幌市において月寒断層に伴う地震が発生した場合、積雪による影響により救助に当たる事が出来る人数が著しく不足することに加え、屋根に積雪した家屋からの救出はより救助に時間がかかるため、閉じ込め者が低体温症になる危険性が極めて高いことが明らかとなった。加えて、釧路市などの津波被災域においては、避難時においては、衣服の保温性能が一時避難場所等における低体温症の発生に極めて重要な意味を持つことが判明した。厳冬期における避難においては、保温性能の高い衣服を着衣して迅速に避難できるよう家具の転倒等の影響を受けることのない場所に保管しておくことが重要である。また、路面等の凍結および積雪により避難速度が著しく低下するため、夏季に比べ避難準備時間を可能な限り短くし迅速な避難が必要になる。室内から室内への安全な動線確保が重要になる。

(5) まとめ

本研究において、厳冬期における死傷者予測を可能としたことに加え、積雪荷重による建物被害の増加、低体温症による人的被害の増加、津波時の死者数の増加とそれらを減らすための耐震改修集、閉じ込めの余裕時間や避難時の服装、避難経路、避難ビルの問題など夏季、冬季における減殺戦略の検討が可能になった。また本研究の一部は北海道被害想定などで実際に利用されている。今後は、町の将来に焦点を当て様々なまちづくり施策の立案などを実施していくことが重要となろう。

参考文献

- 1) 中嶋唯貴, 岡田成幸: 2018年北海道胆振東部地震の被害調査 その3 安平町全世帯アンケート調査の基礎解析 日本建築学会大会学術講演梗概集・建築デザイン発表梗概集(CD-ROM) 2019ROMBUNNO.21184 2019年07月
- 2) 日本救急医学熱中症に関する委員会: 本邦における低体温症の実態 HypothermiaSTUDY2011 最終報告, 日救急医学会誌 2013, 24, 377-389
- 3) 門廻, 今村: 東日本大震災における宮城県での死因体系化の試み土木学会東北支部技術研究発表会, -1
- 4) Furukawa H, Kudo D, et al.: Hypothermia in victims of the great East Japan earthquake: a survey in Miyagi prefecture. Disaster Med Public Health Prep. 2014 Oct;8(5):379-89.
- 5) 竹内慎一・岡田成幸・中嶋唯貴: 地域性及び時代性を考慮した木造建築物の地域被害率関数構築法の提案~北海道を例とした耐震評点分布を利用する方法~, 日本建築学会構造系論文, 第83巻 第753号, 2018
- 6) 岡田成幸, 中嶋唯貴: 大規模地震に対する地域保健基盤整備実践研究 大地震に伴う人的被害の重症度指標別詳細評価法の提案~想定南海トラフ巨大地震による震動及び津波被害を例に試算~, 大規模地震に対する地域保健基盤整備実践研究 平成26年度 総括・分担研究報告書, 2015
- 7) 谷川真衣・中嶋唯貴・岡田成幸: 想定震源距離漸増による札幌市の災害対応限界室内及び建物の複合被害による負傷者推定に基づく患者搬送の限界評価 日本地震工学シンポジウム論文集 15th0601052018年
- 8) 村山凜成, 中嶋唯貴, 竹内慎一, 岡田成幸: 死者軽減を目的とした積雪荷重の季節変動性に伴う要耐震化木造住居の推定地域安全学会梗概集(CD-ROM) (50) 2022年
- 9) 林響太, 中嶋唯貴, 岡田成幸, 飯田彬斗: 積雪寒冷期における地震津波複合災害の人的被害に与える影響評価 日本建築学会大会学術講演梗概集・建築デザイン発表梗概集(CD-ROM) 2020年
- 10) 飯田彬斗, 中嶋唯貴, 岡田成幸: 災害時の寒冷曝露に起因した低体温症被害評価手法の構築、地域安全学会梗概集(CD-ROM) (50) 2022年

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 大久保 光、中嶋 唯貴、岡田 成幸	4. 巻 37
2. 論文標題 地震時室内状況把握のためのリアルタイム音情報解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 地域安全学会論文集	6. 最初と最後の頁 1~9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11314/jisss.37.1	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 S. Hayakawa, T. Nakashima, S. Okada	4. 巻 1
2. 論文標題 Regional Evaluation of the Risk Price of Apartment Reflecting Seismic Indoor Risk in Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 proceeding of 17th World Conference on Earthquake Engineering	6. 最初と最後の頁 7b-0003
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 無
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14件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 村山凜成 中嶋唯貴, 竹内慎一, 岡田成幸
2. 発表標題 死者軽減を目的とした積雪荷重の季節変動性に伴う 要耐震化木造住居の推定
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、小山真紀
2. 発表標題 効果的な救助員配置による閉じ込め者救助法の基礎的検討
3. 学会等名 地域安全学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 櫛部泰弘、中嶋唯貴
2. 発表標題 人口減少地域での被災による地域人口への影響と 地域の持続のための地震再発に備えた住宅復興戦略の研究
3. 学会等名 地域安全学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 飯田彬斗、中嶋唯貴、岡田成幸
2. 発表標題 災害時の寒冷曝露に起因した低体温症被害評価手法の構築
3. 学会等名 地域安全学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 四井早紀，片寄圭一郎，村上ひとみ，中嶋唯貴 ，小山真紀
2. 発表標題 1995 年兵庫県南部地震における住民の脱出・救出に関する分析
3. 学会等名 日本地震工学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 飯田彬斗，中嶋唯貴
2. 発表標題 地震時の潜在的凍死者救助にかかる必要救助活動参加者数の推定 -北海道札幌商圏・函館商圏・稚内商圏を対象として
3. 学会等名 日本地震工学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中嶋唯貴, 早川怜恵
2. 発表標題 賃貸住宅居住者の地震時室内リスク軽減を目的とした賃貸住宅選択手法
3. 学会等名 日本地震工学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹内 慎一、中嶋 唯貴、岡田 成幸、麻里 哲弘
2. 発表標題 北海道の積雪期に対応した建物リスク評価手法の基礎的検討 - その2 一般診断法による積雪を考慮した被害計算方法 -
3. 学会等名 日本建築学会北海道支部
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 河上 裕亮, 中嶋 唯貴
2. 発表標題 中古住宅購入がもたらす地震災害による資産及び死傷リスクに関するライフタイム評価
3. 学会等名 地域安全学会春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林 純平, 中嶋 唯貴, 岡田 成幸
2. 発表標題 夜間発生地震に対する人体損傷度関数の 適合性並びに応用拡張性の検討
3. 学会等名 地域安全学会春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹内慎一・岡田成幸・中嶋唯貴・森松信雄他
2. 発表標題 北海道胆振東部地震の被害を考慮した木造被害率関数の検討 - その1 地震被害情報による被害率関数のベイズ更新 -
3. 学会等名 日本建築学会北海道支部研究報告集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 響太・中嶋 唯貴・岡田 成幸・飯田 彬斗
2. 発表標題 積雪寒冷期における地震津波複合災害の人的被害に与える影響評価
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 飯田 彬斗・中嶋 唯貴・岡田 成幸
2. 発表標題 地震時災害救助の技術向上に資する深層学習を用いた人的被害程度推定システムの構築
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹内慎一・岡田成幸・中嶋唯貴
2. 発表標題 北海道の積雪期に対応した建物リスク評価手法の基礎的検討
3. 学会等名 日本建築学会北海道支部梗概集
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

北海道被害想定

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	竹内 慎一 (TATAKEUCHI SHINICHI) (30462344)	地方独立行政法人北海道立総合研究機構・建築研究本部 北方建築総合研究所・主査 (80122)	
研究分担者	小山 真紀(田原真紀) (KOYAMA MAKI) (70462942)	岐阜大学・流域圏科学研究センター・准教授 (13701)	
研究分担者	和藤 幸弘 (WATOU YUKIHIRO) (90211680)	金沢医科大学・医学部・教授 (33303)	
研究分担者	麻里 哲広 (ASARI TETHUHIRO) (90250472)	前橋工科大学・工学部・教授 (22303)	

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	林 響太 (HAYASHI KYOUTA)		
研究協力者	早川 怜恵 (HAYAKAWA SATOE)		
研究協力者	大久保 光 (OKUBO HIKARU)		
研究協力者	小林 純平 (KOBAYASHI JUNPEI)		
研究協力者	河上 祐介 (KAWAKAMI YUSUKE)		
研究協力者	櫛部 泰弘 (KUSHIBE YASHUHIRO)		
研究協力者	村山 凜成 (MURAYAMA RINNSEI)		

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