

令和 2 年 9 月 7 日現在

機関番号：82629

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01317

研究課題名(和文)余震による木造建築物の倒壊危険性に屋根の重量が及ぼす影響に関する研究

研究課題名(英文) Study on influence of the roof weight to collapse risk in wooden house by aftershocks.

研究代表者

高梨 成次 (Seiji, Takanashi)

独立行政法人労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所・建設安全研究グループ・部長代理

研究者番号：60358421

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：木造建築物が余震によって倒壊する危険性が懸念されている。日本の伝統的家屋では屋根に重量が大きい瓦が使われることが多いため、本震では倒壊しなかった建物でも余震によって倒壊する危険性がある。そのため、三種類の試験体を二体作成し、それぞれに異なる錘を載せた実験を実施して、錘が建築物の力学的特性に及ぼす影響を調べた。さらにその結果を基に数値解析用のモデルを構築して、複数の地震波による地震応答解析を実施した。その結果、建物の屋根が重い程、余震によって建物が倒壊する危険性が高いことを示した。ただし、屋根の重量が小さくなると、最大耐力が小さくなる場合があるため注意が必要であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

屋根に重量物が積載されていることによって本震では倒壊しなかった木造建築物が余震で倒壊する危険性があることを示した。そのことにより、本震で損傷を受けた木造建築物から瓦等の重量物を撤去することによって余震による倒壊危険性が低減することが分かった。また耐震改修の手段の一つとして、重量物である瓦を軽量なスレート等に置換する方法が提案されているが、旧基準で設計・施工された木造住宅の中には、柱の引き抜き耐力で建物の耐力が規定される例がある。このような建物の場合、屋根重量が大きい方が耐震安全性が高い場合がある。そのため屋根を軽量化する場合には柱の引き抜き対策を同時に実施することが重要であることを示した。

研究成果の概要(英文)：There is concern that wooden buildings may collapse due to the aftershocks. Traditional Japanese houses often use heavy tiles for their roofs, so even buildings that did not collapse in the main shock may collapse in the aftershocks. To investigate the effect of the weights on the mechanical properties of the building, two test pieces of three types of test pieces were constructed, and experiments were carried out with different weights on each piece. Based on the results, a numerical model was constructed and the seismic response analysis were carried out. Various seismic waves were input in the analysis. The results showed that the heavier the roof of the building, the greater the risk of the building collapsing due to aftershocks. However, it was shown that caution should be exercised because the maximum strength of buildings may be reduced when the weight of the roof is reduced.

研究分野：耐震

キーワード：耐震 木造建築 余震

1. 研究開始当初の背景

研究代表者らは、東日本大震災後のように震度階5を超えるような大きな余震が複数回発生することによって、本震で受けた損傷が進行し、倒壊する危険性があることを木造建築物を対象として示してきた。特に、本震によって既に最大耐力を発揮した木造建築物は物余震によって損傷が進行し易いことを示した。これらの余震によって倒壊する危険性に建築物の屋根の重さや積載荷重の大きさが影響することが予想されるが、それらを工学的に調べたいという背景・動機があった。

2. 研究の目的

近年、大型地震の発生が危惧されており、それに伴い多くの建築物が被害を受けることが予測されている。その損傷が比較的軽微な建築物は、補修、改修することによって継続的に使用される。損傷が重篤であった場合には、解体工事が必要になる。一般に、これらの工事は緊急性が求められることが多いため、安全性の確認が十分にされる前に工事が着手されることがある。それらの工事を行っている最中に大きな余震が複数回発生することによって、当該建築物が倒壊する危険性があり、そのことによって改修工事等に従事している作業者が2次災害に巻き込まれることが懸念される。平成28年に発生した熊本地震では、数棟の木造家屋が前震とされた一回目の地震では倒壊しなかったが、本震とされた二回目の地震によって倒壊した。それら木造家屋の特徴は屋根材に重たい瓦が使用されていたことにある。このことから、建物に積載された重量の差が木造建築物の力学的特性、特に最大強度を発揮した後の特性に着目した実験を実施する。それらを基に数値解析用モデルを構築し地震応答解析を実施することによって、建物に積載された重量の差による余震等の第二波目以降の地震に対する耐震安全性の違いを明らかにすることを本研究の目的とした。

3. 研究の方法

研究の対象とした建築物は、現行の基準で設計・施工された木造建築物とした。それらを基に同一試験体を複数体作製し、それらの積載する重量を変動因子として従来から行われている純静的な正負漸増繰り返し加力方法による実験を行い、積載荷重が木造建築物の力学的特性に及ぼす影響を調べた。本研究では木造建築物の倒壊危険性に着目したので、試験装置が許容できる範囲で大変形までの加力を実施した。

純静的実験の具体的な目的は、地震応答解析を行うための解析モデルを構築するための荷重と変形の関係を得ることとした。

同実験で得られた解析モデルを基に地震応答解析用のモデルを構築し、地震応答解析を実施し、余震によって損傷が進行する危険性が高いかを検討した。

4. 研究成果

実験で使用した試験体のプロトタイプは木造2階建て住宅とし、その1階部分の一部を取り出した物とした。実験に供した試験体を図1～図3に示す。図1は旧基準で設計された筋かいとキズリを主な耐震要素とした枠組み工法試験体である。以降試験体Aと称す。

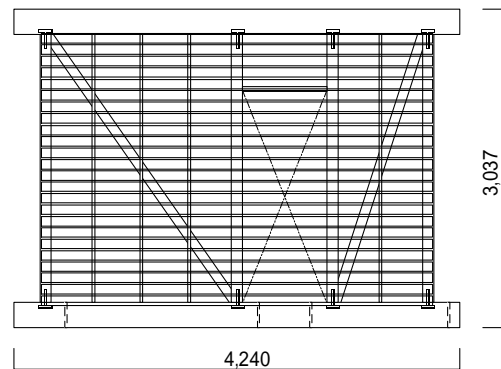


図1 枠組み工法試験体 (試験体 A)

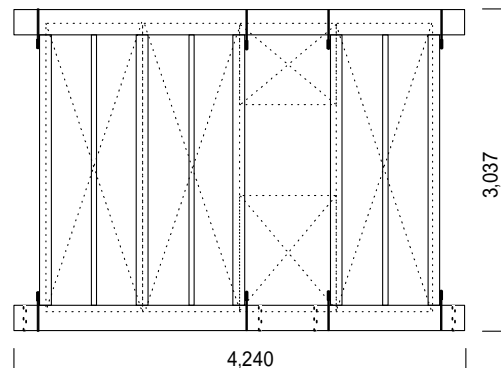


図2 構造用合板試験体 (試験体 B)

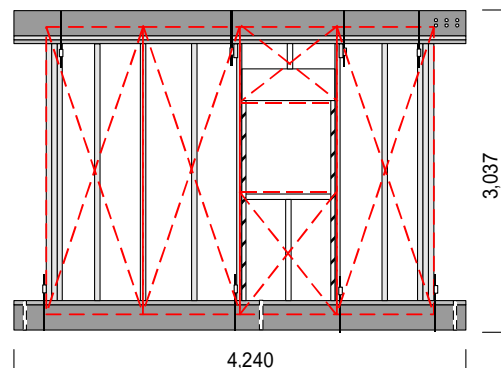


図3 2x4 試験体 (試験体 C)

図2は耐震要素を構造用合板とし柱の上下をホールダウン金物によって桁と土台に固定された試験体である。構造用合板は厚さ9mmとし、外周および間柱位置でN50くぎピッチ150で固定した。以降試験体Bと称す。

図3は2x4工法による試験体とした。本試験体も試験体Bと同様に耐震要素を構造用合板とし柱の上下をホールダウン金物によって桁と土台に固定された試験体である。構造用合板は厚さ9mmとし、CN50くぎで、構造用合板の外周部はピッチ100で、中通はピッチ200で固定した。また、釘位置は端部柱の最外端と下枠および上枠位置とした。以降試験体Cと称す。いずれの試験体も幅約3.6m、高さ約2.7mとした。

初めに、図1に示した試験体を供した実験を実施した。実験では同一試験体を2体作成し、1体には試験体上部に6tの錘を積載し、他の試験体には錘を積載しなかった。それぞれの実験で得られた荷重-変形角関係を図4に示す。本実験においては単純に上部に積載した荷重の大きさの影響を調べることが困難な結果となった。その原因は錘を0tとした試験体の最大強度は、柱の引き抜き耐力に影響を受けた。一方、錘を6tとした試験体では柱の引き抜き耐力による影響は限定的であった。そこで、理論的なP-効果の影響を考慮し、図4(b)に示した錘を6tとした場合の荷重-変形角関係を修正し、錘を2tとした場合の荷重-変形角関係を作成した。錘を2tと仮定した場合の荷重-変形角関係を基に地震応答解析用モデルを構築し、地震応答解析を実施した。入力地震波は1995年に発生した兵庫県南部地震の際に観測されたJR鷹取のNS成分とした。本震は、観測波の60%の振幅とし、その後続く余震は本震で想定した振幅の80%に縮小した。解析で得られた変形角の時刻歴波形を図5に示す。解析結果より、本震に関する応答では錘の影響を小さかったことが分かるが余震である2波目以降の応答では錘が大きい程変形角が大きくなり、余震によって倒壊する危険性が増すことが分かった。そのため、屋根の仕上げを重い瓦等をスレート等の軽量の素材に改修するべきであると考え、旧基準で建てられた木造建築物では柱の引き抜きに対する措置が不十分である場合が多いので、屋根の改修と同時に柱の引き抜き対策を事前に行っておくことが望ましいことが分かった。

試験体Bにおいても同様の実験および解析的検討を行った。実験では同一試験体を2体作成し、1体には試験体上部に7tの錘を積載し、他の試験体には錘を積載しなかった。それぞれの実験で得られた荷重-変形角関係を図6に示す。本実験における破壊性状は、試験体上部に積載した荷重の大きさの影響が限定的であった。錘を0tとした場合には本試験機の最大ストロークに相当する 250×10^{-3} radianまで10kNを保持していることが分かる。一方、錘を7tとした場合には 150×10^{-3} radian程度で耐力がゼロにな

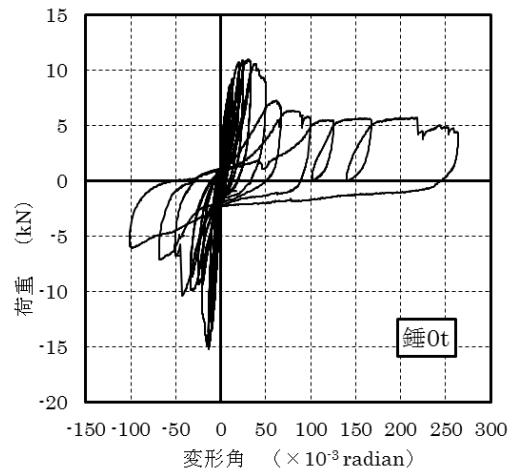


図4(a) 荷重-変形角関係
(試験体A 錘0t)

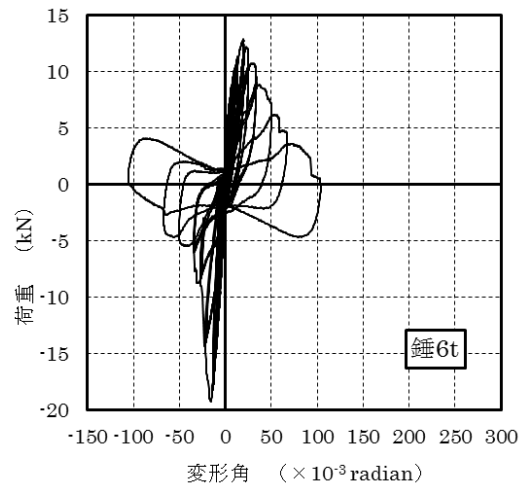


図4(b) 荷重-変形角関係
(試験体A 錘6t)

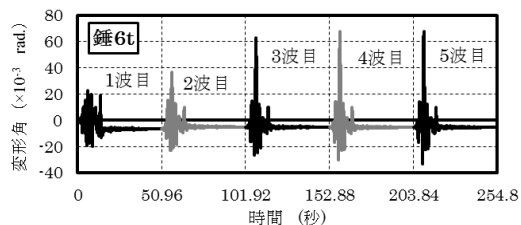
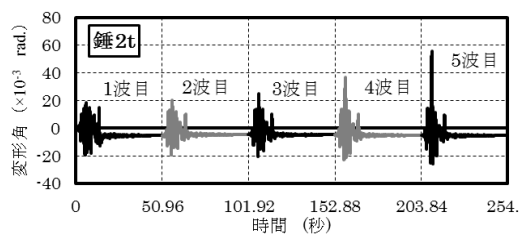


図5 応答変形角の時刻歴波形

った。これは試験体が自立できずに倒壊することを意味する。このように積載荷重が大きくなることによって倒壊する危険性が増すことが分かった。これらの荷重-変形角関係を基に地震応答解析用モデルを構築し、地震応答解析を実施した。入力地震波は2016年に発生した熊本地震とした。初めに、前震として観測された地震波を入力し、その後に本震として観測された地震波を2回入力した。前震、本震とも益城町で観測された地震波とした。解析で得られた変形角の時刻歴波形を図7に示す。前震と1回目の本震が入力された時の応答変形角には錘の大きさの影響は軽微であったものの、2回目の本震が入力された時の応答変形角には顕著な差が確認された。1回目の本震では水平変形角は 20×10^{-3} radian 程度に納まったが、図5で明らかのように、その変形角を超える領域において錘の大きさの影響が顕著になっており、錘0tでは耐力を保持しているが、錘7tでは変形角の進行に伴って耐力が低下している。この力学的特性の違いにより地震応答解析結果も錘の大きさの影響を強く受けたものと考えられる。そのため、初めの地震入力によって、大きな被害を受けた建築物からは瓦等の重量物を速やかに建築物の上部から撤去することによって、倒壊する危険性を低減できるものと考えられる。ただし、現時点では余震の発生時期を予測することが困難であるため、これらの作業を行う際に屋根等に昇降しての作業は避けるべきであるとする。

試験体Cにおいても同様の実験および解析的検討を行った。実験では同一試験体を2体作成し、1体には試験体上部に6tの錘を積載し、他の試験体には錘を積載しなかった。それぞれの試験体で得られた荷重-変形角関係を図8に示す。積載6t試験体においては一部のホールダウン金物の施工に不備があったため、正側の最大強度が小さくなった。負側においては適正な強度を発揮したものと判断した。負側の最大強度に及ばず錘の大きさの影響は軽微であった。また、最大荷重を発揮した変形角は、積載荷重の大きさおよび荷重方向に関係なく 25×10^{-3} radian 時であった。そのため、最大荷重を発揮するまでは最大強度およびそれを発生させる変形角に対する錘の大きさの影響は小さかったと判断できる。最大荷重を発揮した変形角以上の変形角においては、両試験ともに急激に強度が低下した。錘6tでは載荷中に変形角が約 100×10^{-3} radian に達した時に荷重がゼロになったため倒壊したものと判断し、実験を中止した。一方、積載0tでは変形角が約 100×10^{-3} radian に達してから試験機の最大ストロークに相当する 250×10^{-3} radian まで約8kNを保持したため、少なくとも同変形角までは倒壊しないことが分かった。これらを基に地震応答解析用モデルを構築し、地震応答解析を実施した。入力地震波は1995年に発生した兵庫県南部地震の際に観測されたJMA波のNS成分とし、本震の後に余震を

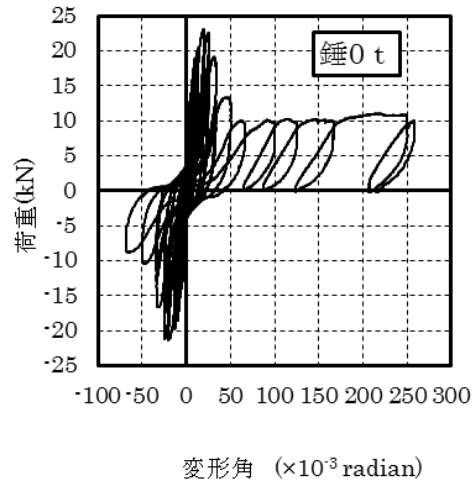


図6(a) 荷重-変形角関係
(試験体B -錘0t)

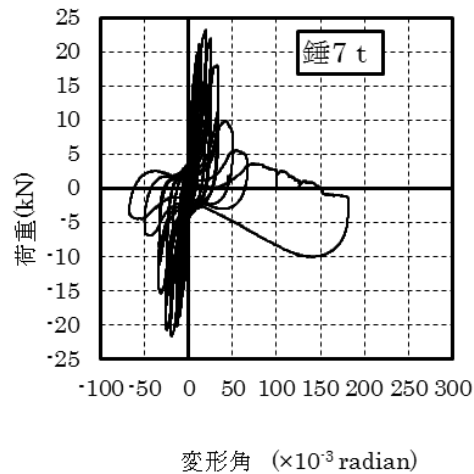


図6(b) 荷重-変形角関係
(試験体B 錘7t)

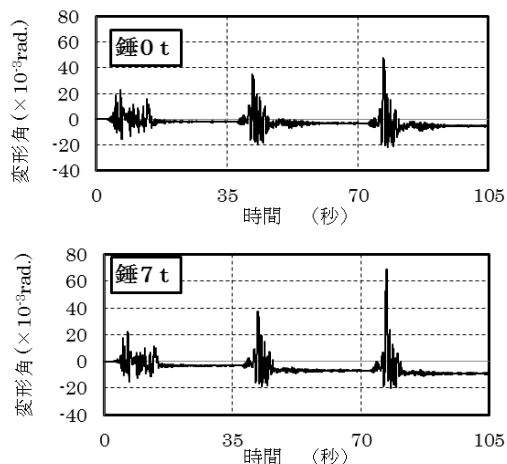


図7 応答変形角の時刻歴波形

2 回入力した。本震の大きさは、応答変形角が最大強度を発揮する 25×10^{-3} radian になるように基準化した。余震の大きさは、2 波目を本震の 70%、3 波目を 2 波目の 70% の大きさにした。解析で得られた変形角の時刻歴波形を図 9 に示す。1 波目の本震では積載の大きさによる応答変形角の差異は微小であったが、2 波目においては積載の大きさの影響が顕著に発生し、3 波目では倒壊判定とした変形角 100×10^{-3} radian に達したため計算を打ち切った。

3 種類の試験体を作成し、それぞれ試験の上部に積載する錘の大きさを変動因子とした実験と地震応答解析を行った。いずれの試験体においても、積載荷重が重い場合には余震によって倒壊危険性が増すことが分かった。ただし、旧基準に基づいて建設された木造建築物の中には、積載荷重が大きいため、柱の抜出しが抑制され最大耐力が大きくなることが同時に分かった。また、これらの検討の結果、本震によって最大耐力を発揮する程度の応答があった場合には、本震の 70% 程度以上の大きさの余震によって損傷が進行し、倒壊する危険性が高まることが分かった。ただし、それらの地震波が繰り返し入力されたとしても変形角が大きくなっていかない特性を有する地震波が多くあることも同時に分かった。

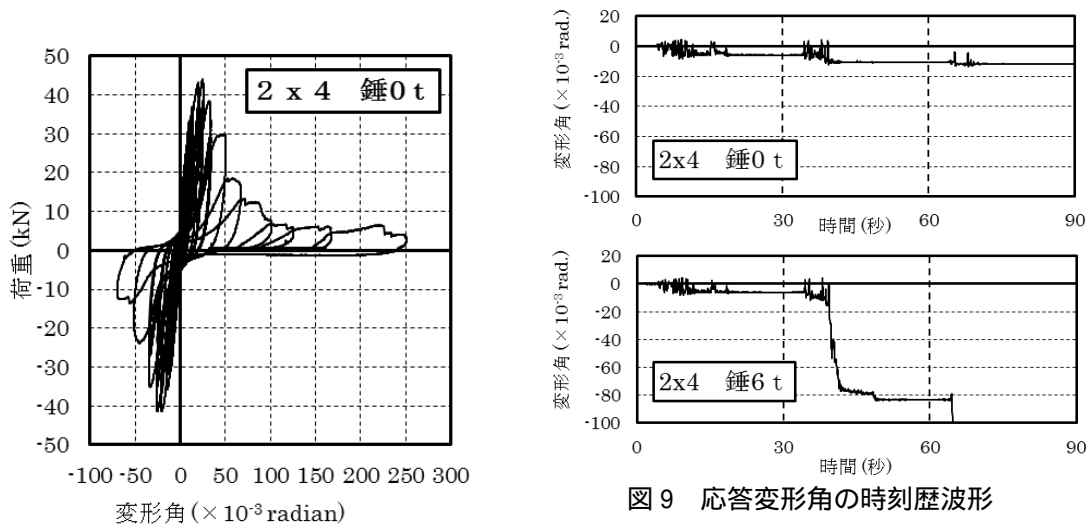


図 9 応答変形角の時刻歴波形

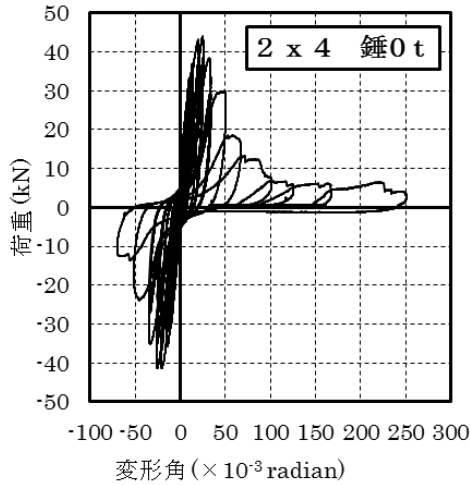


図 8(a) 荷重-変形角関係
(試験体 C 錘 0t)

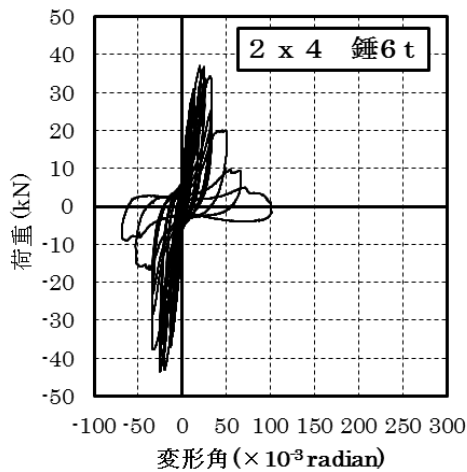


図 8(b) 荷重-変形角関係
(試験体 B 錘 7t)

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 高梨成次、大幢勝利、高橋弘樹	4. 巻 1
2. 論文標題 木造住宅の余震による倒壊危険性に関する実験的研究	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 建設業安全衛生年鑑	6. 最初と最後の頁 58-58
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9件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Seiji TAKANASHI, Katsutoshi OHDO, Hiroki TAKAHASHI, Nobuyoshi MICHIBA and Yoshimitsu OHASHI
2. 発表標題 STUDY ON COLLAPSE RISK OF WOODEN HOUSE BY AFTERSHOCKS
3. 学会等名 World Conference on Timber Engineering（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高梨成次
2. 発表標題 木造住宅の倒壊危険性に及ぼす建物質量の影響（その1 仕上げを伴わない試験体における静的加力実験の概要）
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 所義登
2. 発表標題 木造住宅の余震による倒壊危険性に関する研究（その2 仕上げ無し試験体の実験結果）
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 道場信義
2. 発表標題 木造住宅の倒壊危険性に及ぼす建物質量の影響 (その3 比較結果)
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高梨成次
2. 発表標題 木造家屋建築物の倒壊危険性に及ぼす床荷重の影響に関する研究
3. 学会等名 第51回安全工学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宇山善博
2. 発表標題 木造住宅の余震による倒壊危険性に関する研究 (その1 試験体概要)
3. 学会等名 日本建築学会学術講演梗概集
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高梨成次
2. 発表標題 木造住宅の余震による倒壊危険性に関する研究 (その2 実験概要および実験結果)
3. 学会等名 日本建築学会学術講演梗概集
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 所義登
2. 発表標題 木造住宅の余震による倒壊危険性に関する研究 (その3 損傷度の評価)
3. 学会等名 日本建築学会学術講演梗概集
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高梨成次
2. 発表標題 木造建築物の倒壊に関わる履歴性状に及ぼす屋根荷重の影響
3. 学会等名 第52回安全工学研究発表会
4. 発表年 2019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	大幢 勝利 (Ohdo Katsutoshi) (50358420)	独立行政法人労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所・研究推進・国際センター・センター長 (82629)	
研究分担者	高橋 弘樹 (Takahashi Hiroki) (90342617)	独立行政法人労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所・建設安全研究グループ・上席研究員 (82629)	