

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04341

研究課題名(和文) CLTの蟻害に対する劣化抵抗性評価と補修・補強方法の確立

研究課題名(英文) Repair and restoration of termite damaged CLT

研究代表者

今本 啓一 (Imamoto, Kei-ichi)

東京理科大学・工学部建築学科・教授

研究者番号：60337300

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：CLTとはCross Laminated Timberの略称であり、近年、中高層建築への適用が期待されている。本研究は蟻害を受けたCLTの評価方法を検討するものである。

本研究で得られた知見を以下に示す。1) 劣化したCLTの内部では独立した食痕が発生していることを確認できた。2) 既存の劣化診断方法としての超音波伝播速度試験と穿孔抵抗試験では、測定値と質量食害率との間に相関性が見られ、CLT部材の損傷の診断方法としての利用の可能性が示された。3) 蟻害を受けたCLTの強度は、無垢材と同程度の耐力低下を示すことが確認された。この低下は樹脂による補強も改善されることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

中・高層建築物への適用が進められているCLTの耐久性評価を行うことを目的としている。木材そのものの劣化(主に腐朽や蟻害)に関する研究はこれまでも多数あるが、このような木質建材の蟻害などを対象とする耐久性に着目した研究はほぼ皆無であり、その意味で学術的な価値と実用性を有し、さらに今後の普及が期待される新しい建築材料において不可欠な耐久性評価を行うという点において独自性と創造的な価値を持つと考えられる。本研究を通して、より資源循環性の高い、環境負荷低減に資する社会の構築に資することができると思える。

研究成果の概要(英文)：CLT is an abbreviation for Cross Laminated Timber, and in recent years it has been expected to be applied to mid-to-high-rise buildings. This study examines the evaluation method of CLT damaged by ants.

The findings obtained in this study are shown below. 1) It was confirmed that independent eating scars were generated inside the deteriorated CLT. 2) In the existing methods of diagnosing deterioration, such as ultrasonic propagation velocity tests and perforation resistance tests, there is a correlation between the measured values and the mass corrosion rate, suggesting that they may be used as methods for diagnosing damage to CLT members. Shown. 3) It was confirmed that the strength of CLT damaged by ants showed a decrease in yield strength comparable to that of solid wood. This reduction was reinforced by resin injection.

研究分野：建築構造および材料関連

キーワード：CLT 蟻害 X線 非・微破壊診断 樹脂 補強

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年の利用が増えている木質材料の中でも、木材の挽き板(ラミナ)の繊維方向を直交させるように積層した CLT(Cross Laminated Timber)という木質材料が注目されている。しかし、CLT では耐久性に関する研究はほとんどなされていないのが現状である。

2. 研究の目的

上記を踏まえ、本研究では、生物劣化の 1 つである蟻害に着目し、CLT の蟻害劣化状況の把握を行うこととした。

3. 研究の方法

(1) 試験概要

CLT は木口面の向きが層ごとに直交しているため、木口面が外部に晒されている面が無垢材の 2 面に対して、4 面の全側面に存在している。食害の進行は木口面から起こりやすいため、4 面に木口面を持つ CLT は食痕(食害による木材内部の欠損)の形状が複雑化することが懸念される。そのため本試験では、CLT を食害暴露させることによって、実際の食痕の形状を把握することとした。

イエシロアリのいる試験地にて食害暴露を行った試験体の一覧を表 1 に示す。3 層 CLT は CLT パネル(スギ材、強度等級 Mx60A3 層 3 プライ)を用いて 90×90×180mm にカットした試験体を屋内試験場にて食害暴露を行った。暴露期間を変えることで食害率が異なる試験体を用いて比較する。5 層模擬 CLT では、蟻害劣化において接着剤が劣化に与える影響が不明であることや、イエシロアリがマツ材を好むことから、挽き板にベイ松材を用い、各層の接着方法に両面テープを用いた 105×105×105mm の 5 層模擬 CLT を作製し、屋外試験場にて食害暴露を行った。なお、暴露前後の質量差を暴露前の質量で除した食害率(質量法, 以下質量食害率)を表中に示している。

表 1 試験体一覧

試験体	接着方法	暴露期間	食害率
3層CLT (材種:スギ)	CLT用接着剤	6か月	3%
		12か月	13%
5層模擬CLT (材種:マツ)	両面テープ	5か月	15%

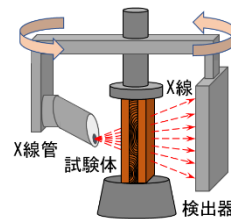


図 1 X線 CT 概要図

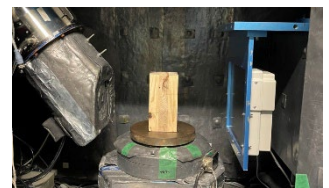


写真 1 X線 CT 撮影写真

(2) X線 CT による内部状況の確認

蟻害によって劣化した CLT の内部の食痕を確認する手法として、X線 CT による撮影を行った。撮影概要図を図 1 に示す。本撮影では、撮影する試験体に合わせて機器を 360° 回転させることで、全方位から均一に X線 を当て内部の状態を詳細に確認した。

既往の研究¹⁾から CLT における蟻害劣化では、層を跨ぐような食害の進行は発生せず、各層ごとに食痕が独立することが示唆された。そのため本研究では、各層の食害率を比較することで、CLT 全体の食痕の不連続性を検証する。

図 2 に X線 CT より得られた各層ごとの食痕の容積から食害率(容積法, 以下容積食害率)を算出した結果を示す。この結果から、どの試験体においても層ごとの食害率に大きな差が存在することが確認できる。これは食害の進行が CLT 全体に満遍なく及んでいではなく、各層でそれぞれ異なる食害の進行が発生しているためだと推察できる。食痕の形状は木材の密度や節の有無、年輪幅などの影響により差が生じることがある。そして CLT は接着しているとはいえ、各層は別々

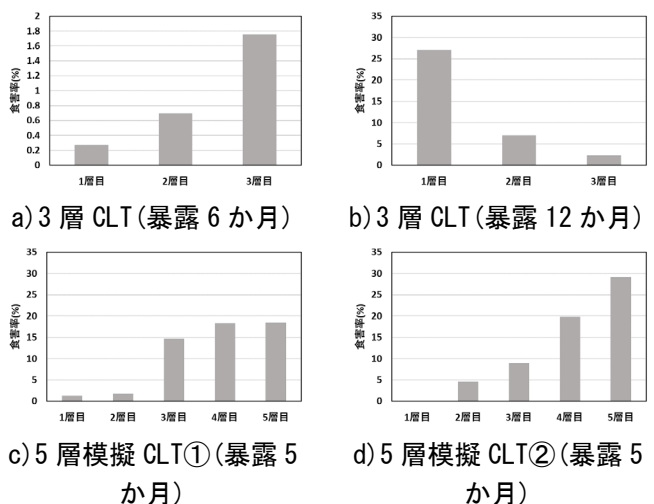


図 2 各層の食害率比較

の木材を利用しているため、食害率も各層で異なる結果になりやすいと考えられる。また、本研究の結果では各層の食害率が一方に向かって単調増加している傾向が見られた。この要因としては屋外暴露での設置位置つまり蟻道に近い箇所から食害が顕著に発生したものと考えられる。従って、4面の木口面を有する CLT は、無垢材と比較すると蟻道に近い層が他の層に比べて著しく食害が激しくなることが想定される。そのため、CLT の食痕の形状の把握は今後も重要な課題である。

(3) CLT の蟻害劣化診断方法

一般に木材の劣化の調査を行う際に用いられる手法は複数存在する。一次診断・二次診断・三次診断の3つの工程を踏まえ、各工程でその場に適した劣化診断手法を用いて診断を行う。しかし、これらの手法は従来の無垢材を用いた木造建築を診断することを想定しているため、CLT でも適切な診断結果が得られるとは限らない。そこで本稿では、既存の劣化診断方法を CLT で実施し、無垢材の結果と比較することで、その有用性を検討した。

本稿で取り扱う劣化診断方法は、超音波伝播速度試験、穿孔抵抗試験である。対象とした試験体一覧を表2、試験体写真を写真2に示す。本実験では前項で示したものと同様の食害暴露を行った 105×105×1000mm の模擬 CLT と無垢材をそれぞれ 105×105×105mm に切断し、測定を行った。

超音波伝播速度試験

超音波伝播速度試験は、写真2の超音波試験装置を用いて、各層の超音波伝播速度を図3に示すように5か所の平均値として求め、各層の測定結果の平均値を各試験体の超音波伝播速度とした。質量食害率と超音波伝播速度の関係を図4に示す。この結果から、無垢材と同様に模擬 CLT の超音波伝播速度が遅くなるほど、食害率が大きくなっている。また、模擬 CLT の層数による違いはあまり見られていない。そこで、ここでは CLT の層の数は影響しないと仮定し、質量食害率の算出式として式(3.1)を提案する。

$$\text{質量食害率}[\%] = -0.030 \times v + 64.1 \quad (1)$$

v : 超音波伝播速度[m/s]

また、食害率 10%~30%の間で無垢材の超音波伝播速度が低下している傾向が確認できる。写真2および図2に示すように模擬 CLT は各層によって食害の程度が異なり、本実験では層ごとに超音波伝播速度を計測しているため、その影響が顕著に現れたものと考えられる。実構造物を想定した場合、本試験で行ったように CLT を各層に分けて測定することは不可能であるため、測定方法の確立については今後の課題としたい。

表2 試験体概要

試験体種類	暴露期間	質量食害率	切り出した個数	
5層模擬 CLT	5C-a	14か月	53.9%	5個
	5C-b	5か月	15.3%	8個
	5C-c	11か月	9.8%	7個
	5C-d	14か月	19.8%	9個
	5C-e	0か月	0%	10個
3層模擬 CLT	3C-a	14か月	14.9%	10個
	3C-b	14か月	2.8%	10個
	3C-c	0か月	0%	10個
無垢材	N-a	14か月	5.6%	9個
	N-b	11か月	33.4%	9個
	N-c	0か月	0%	9個

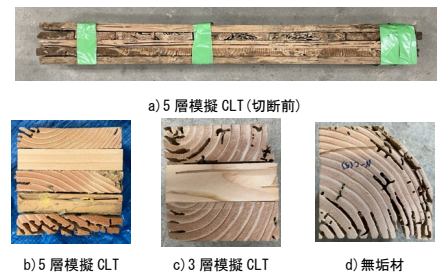


写真2 試験体写真

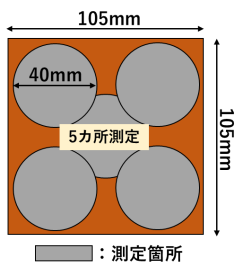


図3 測定概要図
(超音波伝播速度試験)



写真3 超音波伝播測定試験機

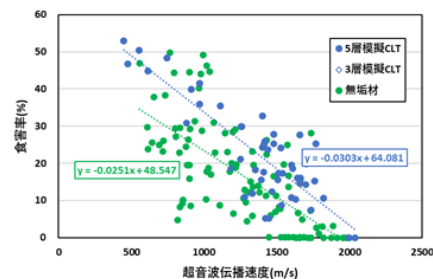


図4 食害率-超音波伝播速度

穿孔抵抗試験

穿孔抵抗試験は写真4に示す装置を用い、図5のように先端径3mmの歯錐を回転させながら一定の送り速度で前進させ、これによって木材を穿孔した時の穿孔抵抗（トルク）を測定するものである。穿孔時に一定のドリル速度を維持するために生じる電気的な抵抗値が穿孔抵抗値と定義される。本試験では、穿孔深さは10cm、穿孔時のfeed速度を25cm/min、drill速度を1500r/minと設定し、1つの試験体に対し3カ所の測定を行った。そして、測定結果から0.1mmごとの穿孔抵抗値の平均値を総合的な穿孔抵抗値とした。

試験結果より、質量食害率と穿孔抵抗値の関係を図6に示す。この結果から、模擬CLTの3層と5層で相関に差が見られないため、穿孔抵抗試験ではCLTの層の数による影響は無く測定することが確認できる。無垢材の結果と比較すると、質量食害率が低い範囲では模擬CLTと無垢材に大きな差は無いが、質量食害率が上昇するにつれて、無垢材に比べて模擬CLTの穿孔抵抗値が低くなっていることが確認できる。この要因は、無垢材の蟻害試験体は写真2d)に示すように質量食害率が大きくなるにつれて断面欠損を生じることが多いことが考えられる。穿孔抵抗試験の測定は、木材表面に穿孔抵抗機を押し当てる必要がある。そのため、断面欠損を生じた箇所では測定することができず、高い食害率の無垢材では穿孔抵抗値が大きくなったと推察される。

強度試験

CLTは従来の木材よりも耐力が高いことが大きな特徴である。しかし、蟻害劣化が発生した場合、どの程度まで耐力が低下するのかは未だ不明瞭であり、重要な検討課題である。そこで、本実験では前項で示したもの(表2, 写真2)と同様の食害暴露試験体を用いて105×105×1000mmの模擬CLTと無垢材をそれぞれ105×105×105mmに切断し、各試験体の全面横圧縮試験を行った。

荷重結果

本試験では強度の基準を既往の研究²⁾を参考に、「2002年 枠組壁工法建築物構造計算指針」(発行：(社)日本ツーバイフォー建築協会)に従い、めり込み強度で評価した。めり込み強度は、試験体の圧縮量が加力方向の木材寸法の5%に達した時の荷重値を、試験体における荷重の作用面積で除して求めた。本実験での材長5%は105mm×0.05=5.25mmである。

試験結果より、質量食害率と材長5%時の強度の関係を図7に示す。この結果から、模擬CLTと無垢材、そして模擬CLTの層の数による違い、どちらの場合でも強度低下の割合に大きな差が無いことが確認できる。しかし、どの試験体においても食害率0%~20%にかけて強度の急激な低下が確認できる。既往の研究³⁾において、蟻害劣化は無垢材のホワイトウッド、ヒバ、スギ、ベイマツなどの木材の材種が異なっても、指数関数的に強度が低下していることが確認されており、本実験と同様結果を示している。

(4) 初期挙動の検証

蟻害劣化した模擬CLTの圧縮試験では、図8b)のように、荷重開始から荷重の上昇が始まるまで、しばらく荷重が上昇しないという挙動を示した。これは図8a)に示すように食害による空隙がある状態では荷重直後の変形

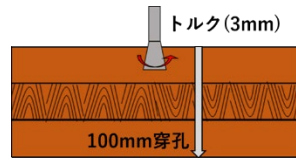


図5 測定概要図
(穿孔抵抗試験)



写真4 穿孔抵抗試験機

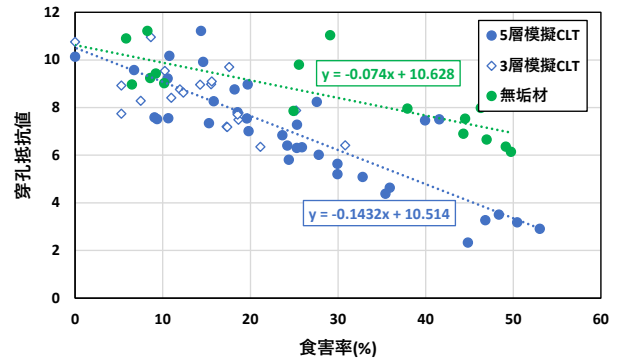


図6 質量食害率-穿孔抵抗値

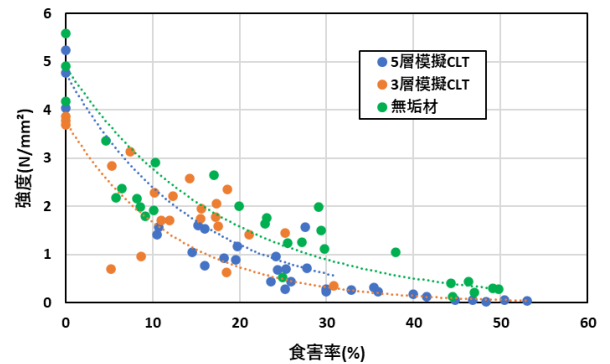
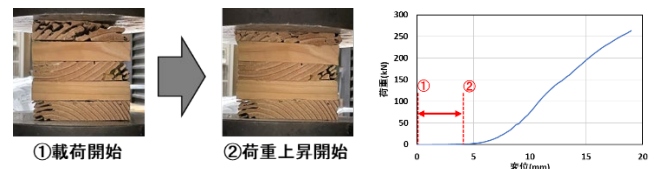


図7 質量食害率-材長5%時の強度



a) 外観変化

b) 荷重-変位曲線

図8 初期挙動概要図

量が大きくなる。そこで、上記の挙動が発生した変位量と質量食害率の関係について検証する。

検証結果を図9に示す。この結果から、模擬 CLT では5層と3層で相関はほぼ一致しており、無垢材に比べて模擬 CLT の初期変位量の上昇が大きい。これは前項で示した通り、模擬 CLT において食害率が極端に高い層が発生するためであると推察される。また、どの試験体も食害率 20%~30%までの範囲では、値のばらつきが少ないものの、それ以上の食害率となるとばらつきが大きくなる傾向が確認できる。この要因は、食痕の形状によるものだと考えられる。食害試験体の特徴として、食害率が高くなるほど木材内部の食痕の形状が複雑化する傾向がある。そして、食痕が複雑化すると、食痕の形状に依存する事柄は、試験体ごとの誤差が大きくなることが考えられる。そのため、本実験で検証している挙動は食害率よりも食痕の形状に依存することが推察される。

図10に示すようにO点を支点とし柱幅105mmの場合、接合部回転角 $\gamma = 1/120$ の他端の梁および床部材へのめり込み量は0.875mmとなる。図10に示すように蟻害劣化を生じたCLT部材を梁および床部材として利用した場合、食害率15%で0.9mmめり込む計算となる。これらの結果より、4面に木口面があるCLT部材は、層毎に食害率が大きく異なることから、無垢材と同じ食害率でも接合部のめり込み量が大きくなり、耐力や剛性が大幅に低下することが予測される。そのため今後はCLT部材で蟻害劣化が生じた箇所の補

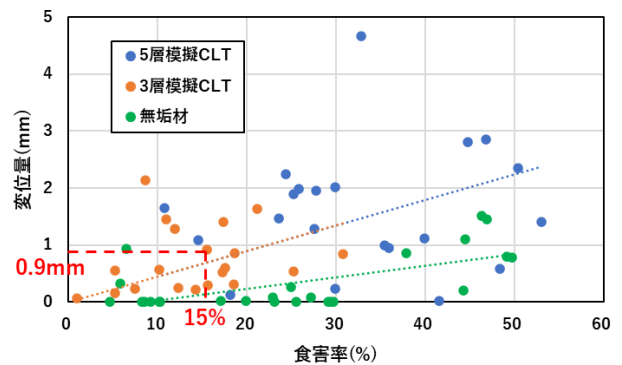


図9 食害率-初期挙動の変位量

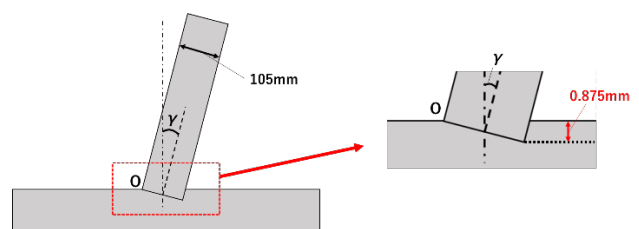


図10 めり込み量イメージ図

4. 研究成果

本研究では、CLTの蟻害劣化に着目し、実際に蟻害劣化が発生した模擬CLTを用い、内部の食痕形状の具体的な把握や劣化診断方法の検討、蟻害劣化を受けたCLTの耐力低下について実験データの収集を行った。本稿で得られた知見を以下に示す。

- 1) 食害劣化したCLTの内部の食痕の形状を確認するために、X線CTを用いた撮影を行った。CLTの各層で独立した食痕が発生しており、食害率が片方に寄るという特徴的な結果を確認できた。
- 2) 既存の劣化診断方法として、超音波伝播速度試験、穿孔抵抗試験を行った。いずれの診断方法においても層数の違いによらず、質量食害率との相関性が見られ、CLT部材の診断方法としての利用の可能性を示唆した。
- 3) 食害劣化したCLTの耐力低下を検討するために全面横圧縮試験を行った。材長5%時の強度は、無垢材と同程度の耐力低下が確認された。また、初期挙動ではCLT特有の挙動を示しており、実構造物を想定すると重要な課題であることを示唆した。

これらのことから、蟻害劣化したCLT部材の補強方法の確立と、食害率より食痕の形状に依存することが示唆されたため、CLT部材の食痕の形状に関する検討をより深める必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3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 浜崎 岳, 今本 啓一, 清原 千鶴, 飯澤 尚哉, 中嶋 亮介, 大塚 亜希子, 箕浦 るん	4. 巻 93
2. 論文標題 模擬CLT 試験体による蟻害劣化特性に関する実験的研究	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本建築学会関東支部研究報告	6. 最初と最後の頁 65-68
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 -

1. 著者名 浜崎 岳, 今本 啓一, 清原 千鶴, 大塚 亜希子, 箕浦 るん, 寺崎 慎一	4. 巻 2022
2. 論文標題 CLTの蟻害劣化特性に関する基礎的研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 457-458
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 -

1. 著者名 Gaku Hamasaki, Kei-ichi Imamoto, Chizuru Kiyohara	4. 巻 -
2. 論文標題 Fundamental Study on Deterioration Characteristics of CLTs due to Termite Damage	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 76th RILEM Annual Week and International Conference on Regeneration and Conservation of Structures (ICRCS 2022)	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 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8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 橋本聖矢, 今本啓一, 清原千鶴, エルドンオチル
2. 発表標題 3Dプリンターによる蟻害劣化を受けたCLTへの樹脂充填方法の検討
3. 学会等名 日本建築学会関東支部研究報告会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 浜崎 岳
2. 発表標題 模擬CLT 試験体による蟻害劣化特性に関する実験的研究
3. 学会等名 日本建築学会関東支部研究報告会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 浜崎 岳
2. 発表標題 CLTの蟻害劣化特性に関する基礎的研究
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Gaku Hamasaki
2. 発表標題 Fundamental Study on Deterioration Characteristics of CLTs due to Termite Damage
3. 学会等名 76th RILEM Annual Week and International Conference on Regeneration and Conservation of Structures (ICRCS 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢島卓, 今本啓一, 清原千鶴, 大塚亜希子
2. 発表標題 X線CTによる蟻害を受けた木部材内部における食痕の分析
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢島卓, 今本啓一, 清原千鶴, 大塚亜希子
2. 発表標題 3Dプリンターによる蟻害劣化を受けた木材に対する樹脂充填方法の検討
3. 学会等名 2021年度日本建築学会関東支部研究報告集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浜崎岳, 今本啓一, 清原千鶴, 大塚亜希子
2. 発表標題 CLTの劣化特性に関する基礎的研究
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浜崎岳, 今本啓一, 清原千鶴, 大塚亜希子
2. 発表標題 CLTの蟻害劣化特性に関する基礎的研究
3. 学会等名 2021年度日本建築学会関東支部研究報告集
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>今本研究室 蟻害を受けた木造建築物の補修・補強 https://www.rs.kagu.tus.ac.jp/imamoto/entry38.html</p>

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	清原 千鶴 (Kiyohara Chizuru) (00284787)	東京理科大学・工学部建築学科・客員研究員 (32660)	
研究 分 担 者	大塚 亜希子 (Ohtsuka Akiko) (00825101)	秋田県立大学・システム科学技術学部・助教 (21401)	

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