

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 5 月 21 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K07870

研究課題名(和文) 腐朽分布を有する釘およびボルト接合部のせん断力変形挙動とその力学的解析

研究課題名(英文) Mechanical analysis of shear behavior of mechanical joints with decayed wood

研究代表者

澤田 圭 (Sawata, Kei)

北海道大学・農学研究院・講師

研究者番号：10433145

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：木造住宅の中で構造性能上重要な箇所は接合部であるため、腐朽による住宅の構造性能の変化を理解するためには、腐朽と接合性能の関係を把握することが必要となる。腐朽は木材内部で偏在して進行することも多い。そこで、木材内部の腐朽分布と接合部のせん断挙動を調べた。釘頭近傍が腐朽した場合と釘先端付近が腐朽した場合を調べると、釘頭近傍が腐朽した方が荷重低下は大きい。降伏理論に基づき腐朽部と健全部が混在する釘接合の降伏耐力を計算した結果、計算値と実験値は近い値を示した。鋼板挿入接合部に対して非線形解析を行った結果、鋼板近くの木材が腐朽している方が、初期剛性、降伏耐力ともに小さな値となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では木材内の腐朽部の位置や、腐朽の範囲が接合部の性能に及ぼす影響を調べた。その結果、腐朽分布を有する接合部のせん断挙動を、降伏理論および非線形解析を用いて定性的に評価することができた。これにより、腐朽発生時における接合部のせん断抵抗メカニズムが明らかとなり、学術的に意義深い。またこの成果は木造住宅の劣化診断として社会還元できる。今までの木造住宅の劣化診断は腐朽の有無によって判断していた。しかし本研究の成果を活用すれば、劣化診断時に腐朽部位や腐朽範囲の情報から接合部の残存性能が推測できるため、工学的論拠に立った木造住宅の保全計画が実施できる。

研究成果の概要(英文)：Timber joints are important for structural performance of wooden house. Structural performance of wooden house is change by decay. Accordingly, it is important to obtain relations between decay and performance of timber joints. Decay often is not uniform in cross section of wood. Relations between decay distribution of wood and shear behavior of mechanical joints were investigated. When neighborhood of nail head was decayed, the strength of joints was lower than the joints which had decay near nail tip. The yield strength of nailed joints with both of sound and decay parts was calculated based on European yield theory. The calculated values were close to the experimental results. Non-linear analysis was conducted on mechanical joints with slotted-in steel plate. When wood near steel plate was decayed, the joints were showed the small initial stiffness and yield strength.

研究分野：木質構造

キーワード：降伏理論 非線形解析 降伏耐力 初期剛性

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

多くの建築用部材は使用年数が長くなるほど劣化していく。そのため建築物を保全するためには、部材の残存性能が必要性能を下回る前に補修や補強を行い、低下した性能を回復させることが必要となる。木材は他の建築部材と異なり、経年劣化は極めて緩やかに進行するが、湿度条件によって物性は大きく変化し、高湿度環境が維持されると生物劣化が進行しやすいといった、特徴的な劣化挙動を示す。そのため、長寿命な木造住宅を実現するためには、生物劣化に対する木材科学的な視点と、住宅の構造安全性に対する工学的な視点に立った保全計画が不可欠である。

木材の物性を変化させる主要な生物劣化に腐朽がある。木材は腐朽様式に応じて異なる強度変化を示す。しかしどの腐朽菌も木材の細胞壁を分解するため、腐朽が進行すると、木材強度が大きく低下する点は同じである。そのため木造住宅の部材に顕著な腐朽が発生すると、構造性能や使用性能を大きく低下させる危険性がある。

腐朽は住生活の安全性に直結する問題であるため、腐朽材の強度に関する研究はこれまで多く行われてきた。それらの研究から樹種の耐朽性が分類できるようになり、強度の種類毎の低下率が明らかとなった。しかし、それで木造住宅の構造部材に腐朽が生じたときの残存耐力が分かるようになったかと言えば、そうした安全性評価を行える段階になるまでには、まだ課題が残っている。

2. 研究の目的

木造住宅に外力が作用すると、住宅を構成する各部材にはそれぞれ異なる応力が発生する。そのため腐朽が発生する位置によっては、木造住宅の構造性能にほとんど影響を与えない場合もあれば、致命的な影響を与える場合もある。またある部材の強度が低下することで、他の部材の応力負担が増加し、初期設計では想定していない破壊を引き起こす場合も考えられる。腐朽が木造住宅の構造性能に及ぼす影響を調べるためには、腐朽した箇所が構造性能上どのぐらいの重要性を有しているか把握することが求められる。

一般的に木造住宅の中で構造性能上最も重要な箇所は接合部となる。接合部はその性能が住宅の構造性能を左右するほど大きな役割を果たしている。つまり、腐朽によって木造住宅の構造性能がどのように変化するのかを理解するためには、腐朽と接合部性能との関係を把握することが必要となる。そのため、腐朽による接合部の性能低下に関する研究が近年になって報告されるようになってきた。腐朽の程度に応じて接合性能は低下し、その低下量は接合性能の種類によって異なることは明らかになっており、今後腐朽度と接合性能の低下量との関係に力学的な解釈を加えることができれば、木造住宅の劣化診断および保全計画に信頼性を付与することになると考えられる。

3. 研究の方法

木造住宅に対して適切な保全を行うためには、木造住宅の中で主要な接合部である釘接合部やボルト接合部といった機械的接合部の荷重変形挙動を把握することが重要となる。既往の研究より、機械的接合部は腐朽によって大きく性能が変化すること、その荷重変形挙動は木材内部の腐朽分布によって異なることが確認されている。本研究では、腐朽発生時の木造住宅の残存性能予測に資するため、腐朽範囲によって機械的接合部の荷重変位挙動がどのように変化するのかを定性的に解明する。そして、次の2点の方法から腐朽による接合性能の劣化を明らかにする。

第1は、強制腐朽した機械的接合部のせん断加力実験である。これまでは腐朽度を木材表面から検査機器等により評価していたが、接合具の変形挙動を考えるならば、木材内部の腐朽範囲を調べることで、より高い精度で腐朽度と接合性能の低下を関係付けることができる。そこで、機械的接合部に対してせん断試験を行い、腐朽分布と接合性能の変化との関係を明らかにする。

第2は、様々な腐朽分布を想定して行う機械的接合部の解析である。腐朽は木材内部で一様に広がるのではなく、部分的に進行している場合もよく見られる。そこで、部分腐朽した機械的接合部の劣化モデルを作り、接合部に対して解析を行えば、せん断特性値や定性的な荷重変形挙動を得ることができる。これより、腐朽が生じた機械的接合部の抵抗メカニズムの変化を明らかにする。

4. 研究成果

平成29年度は機械的接合部を構成する材料の応力 - 変形挙動を調べた。機械的接合部にせん断力が作用すると、はじめは主材と側材の境界で木材のめり込みが生じ、その後接合具に曲げ降伏が生じる。これまでの研究より、腐朽部を有する接合部試験でも接合具には曲げ降伏が見られることが確認されている。そこで住宅に一般的に使われている太め鉄丸釘を用いて曲げ試験を行い、曲げモーメント - 変形角関係を得た。

木材のめり込み応力 - 変形挙動は、腐朽処理を施した木材のめり込み試験より得た。腐朽処理を施した木材は、建築構造材料として使われることが多く、耐朽性が低いモミ属の樹種であるトドマツ製材である。供試菌は、JISの耐朽性試験用標準菌株である褐色腐朽菌オオウズラタケである。試験体の腐朽の様子も観察し、様々な腐朽の程度と、それに応じためり込み応力

- 変形挙動を得ることができた。

こうした材料の応力 - 変形挙動を把握することは接合部のせん断挙動を推定するのに役立つと考えられる。そこで、木材が部分的に腐朽している釘接合部のせん断耐力の推定を試みた。推定はヨーロッパ型降伏理論に基づいて行った。これは木材と接合具の強度から接合部の耐力を推定するものである。健全材に対してはその理論が有効であることが認識されている。部分的な腐朽を有する木材という要素を加えて理論式を構築した。実験より得られた降伏耐力と、降伏理論から得られた計算値の比較を図1に示す。理論値と実験値は近い値となり、構築した推定式の有効性を示すことができた。

平成30年度は構造用木ねじを用いて接合部せん断試験を行った。これまでの研究より、腐朽によって木材のめり込み強度および釘の引き抜き強度が低下すると、釘接合部のせん断力 - 変形挙動にどのような影響が生じるのかを確認した。しかし、木ねじのような引き抜き抵抗が期待できる接合具を用いると、腐朽部を有する接合部はどのようなせん断力 - 変形挙動を示すのか不明であるため、木ねじ接合の試験を行った。

腐朽処理を施した木材および供試菌は、平成29年度の研究と同じく、それぞれトドマツ製材と褐色腐朽菌オオウズラタケである。試験体の腐朽の様子も観察し、様々な腐朽の程度とせん断力 - 変形挙動、接合具の破壊形態の差を得ることができた。

釘のような引き抜き抵抗が小さな接合具を用いた場合、主材と側材の境界部に腐朽が生じるとせん断力 - 変形挙動は大きく低下したが、木ねじのような引き抜き抵抗が大きな接合具を用いた場合は、多少腐朽が生じてせん断力 - 変形挙動に変化はなく、境界部から5mm程度腐朽が進んだあたりでせん断力 - 変形挙動に低下がみられ始めた。

令和元年度はせん断力を受ける機械的接合部の非線形解析を行った。機械的接合部を弾性床上の梁理論に基づいたモデルに置き換え、一つの接合部内に健全部と腐朽部を配した。健全部および腐朽部のめり込み応力 - 変位関係と、接合具の曲げモーメント - 変形角関係はマルチリニアモデルとした。腐朽位置や大きさを変化させたモデルを作製し、腐朽パターン毎に荷重変形挙動を調べた。

図2は非線形解析より得られた、鋼板挿入型接合部の荷重 - 変位曲線である。側材と接していない方から腐朽した場合、腐朽範囲が小さいときは接合性能の変化は小さく、健全材と比較して、腐朽範囲10mm時に初期剛性は約10%低下し、降伏耐力はほとんど変化がなかった。腐朽範囲が20mmになると初期剛性、降伏耐力ともに低下した。側材と接している方から10mm腐朽した場合、初期剛性は20%以上低下しており、側材と接していない方から腐朽した場合よりも大きな接合性能の低下が見られた。機械的接合部の初期剛性および降伏耐力は木材内の腐朽範囲だけでなく、腐朽の位置によっても変化することが明らかとなった。これにより機械的接合部を劣化診断するとき、腐朽の発生位置と腐朽の進行程度を確認することで、接合部の残存性能を推定できることを示すことができた。

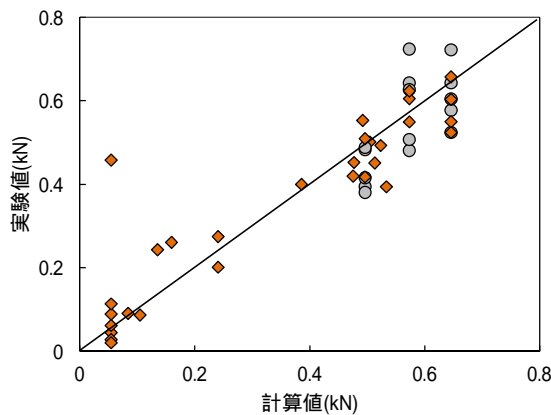


図1 実験値と計算値の比較
○:コントロール、◇:腐朽処理材

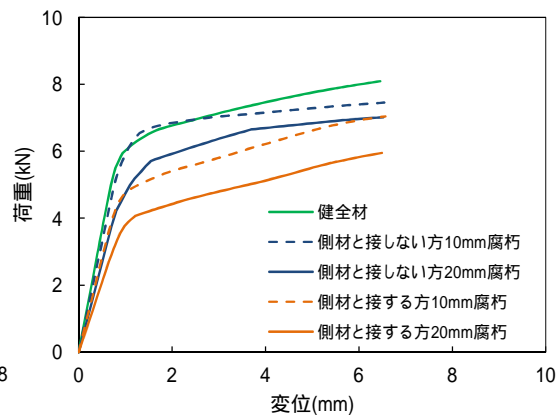


図2 非線形解析より得られた
荷重 - 変位曲線

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1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 Kei Sawata, Yoshihisa Sasaki	4. 巻 64
2. 論文標題 Lateral strength of nailed timber connections with decay	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Wood Science	6. 最初と最後の頁 601-611
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10086-018-1734-8	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 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Rintaro Ueda, Kei Sawata, Takanobu Sasaki, Yoshihisa Sasaki
2. 発表標題 Effects of wood decay on the deformation mechanism and shear performance of screwed and nailed joints
3. 学会等名 International convention of society of wood science and technology（国際学会）
4. 発表年 2020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
研究協力者	上田 麟太郎 (Ueda Rintaro)	北海道大学・農学院・大学院生 (10101)	