

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 22 日現在

機関番号：32201

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26289206

研究課題名(和文)環境条件を考慮した木造躯体の劣化メカニズム解明に関する研究

研究課題名(英文) Study on degradation mechanism for wooden structures in consideration of hygrothermal conditions

研究代表者

齋藤 宏昭 (Hiroaki, Saito)

足利工業大学・工学部・准教授

研究者番号：20597827

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 6,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、木造躯体の劣化プロセス解明のため、実際の住宅を想定した環境下での腐朽進行を定量的に把握するとともに、既往の腐朽進行予測モデルを検証した。はじめに建物木部の劣化事例を調査し、木材の腐朽が躯体への浸入雨水に含まれる菌類によって生じると仮定し、これらのプロセスを再現した実験から腐朽度の推移を測定し、予測モデルの結果と比較した。本検討から、建物内では腐朽菌が目視できない状況でも複数の菌が共存した状態で腐朽が進行する可能性があることや、雑菌が混入しても条件によっては単離培養による腐朽試験と同等の進行速度となること、予測モデルが腐朽リスク評価に適用しうることを確認された。

研究成果の概要(英文)：In this study, in order to clarify wood degradation process in actual building environment, wood decay tests under nonsterile conditions and validation of a prediction model were performed. The wood decay tests using rain water for infection with decay fungi showed that dispersion for decay rate occurred by contamination such as mold fungi. However the results indicated a possibility that maximum decay rates of wood in nonsterile conditions are equivalent to those of wood samples inoculated with pure-cultured decaying fungus under the sterile condition. Additionally the prediction model using measured hygrothermal conditions could approximately simulate the maximum decay rates. It was confirmed that the prediction model can be adapted to durability assessment for building envelope in actual construction site.

研究分野：建築環境工学

キーワード：木材腐朽 熱水分同時移動 劣化 木造 住宅 外皮

### 1. 研究開始当初の背景

建築物の省エネ化の流れに伴い、従来、乾燥性能の高かった木造住宅の断熱・気密化は不可避な状況となっている。しかし、乾燥性能の低い外皮内に水分が侵入した場合、木部に水分が滞留し腐朽に至ることが懸念される。実際に、近年の屋根や外壁の漏水による不具合物件では、築数年で構造躯体が腐朽に至る事例が散見され、外皮の層構成や納まりに対するリスク評価手法の開発は重要な課題となっている。

このような状況の中、躯体内部の水分挙動と木部の腐朽進行を予測する数理モデルが開発されており、建物外皮の断面構成や立地に伴う気象条件から躯体が長期に亘って腐朽するプロセスの予測・評価への貢献が期待されている。しかし、これらの腐朽進行予測モデルは、一般に促進試験に分類される単離培養の実験結果から構築されており、温度変動や雑菌混入が生ずる実際の建物内部における検証は未着手となっている。

### 2. 研究の目的

本研究では、雑菌混入や年周期の温度変動が生じる実際の住宅躯体内の環境下における腐朽進行プロセスを定量的に把握し、既往の腐朽進行予測モデルに対しどの程度の乖離が生じるか確認し、モデルの有用性と課題を明らかにすることが最終目的である。

そのため、建物木部の劣化事例の分析から、どのようなプロセスで水分が滞留し腐朽に至るケースが多いか調査し、調査結果に基づいた環境を再現した際の、木材腐朽進行の速度、雑菌混入の影響、付着菌の種類等を検討する。さらに、暴露環境の温湿度データを使用した腐朽進行のシミュレーション計算結果と比較することにより、予測モデルの有用性と腐朽リスク評価に適用する際の位置付けを明示する。

### 3. 研究の方法

研究は、劣化事例の熱水分環境に関する調査、劣化事例の暴露環境を再現した腐朽実験、腐朽進行モデルの予測結果との比較による腐朽プロセスの考察とモデルの有用性の検討、によって構成した。

近年の断熱化された木造住宅において腐朽が生じる部位、熱水分環境について、過去の実態調査結果からの把握を試みた。実態調査については住宅検査機関のデータを利用した既往研究を精査した。特に腐朽が生じた不具合物件の水分浸入の経路や層構成、納まりなどを精査することにより、後述する腐朽実験の条件を決定した。

調査結果から決定した湿潤方法と熱水分環境を再現した腐朽実験を行い、雑菌混入が生じる条件における腐朽速度のデータを収集した。

本実験では、外皮内への浸入雨水に様々な菌類が含まれ木部が腐朽に至ると仮定し、屋

根模型から捕集した雨水の散布による接種を試みた。雨水の捕集は、足利工業大学（栃木県足利市大前町）、京都大学桂キャンパス（京都府京都市西京区）の2ヶ所とし、オートクレーブ滅菌したアカマツ辺材（25×25×5mm）に捕集した雨水を噴霧器により散布した（写真1左上、右上）。これらの試料を、湿潤環境となる密閉容器内に入れ（写真1左下）、インキュベータ（20℃）及び屋外実験棟の小屋裏と床下空間に設置し暴露した（写真1右下）。また、コントロールとして、シャーレ内で培養した *Fomitopsis palustris* を接種した試料も準備した。試料は、一定期間暴露した後、腐朽度に相当する質量減少率を算出した。また、一部の菌糸を単離培養した後、DNA配列をデータベース検索し、付着菌の種を同定した。

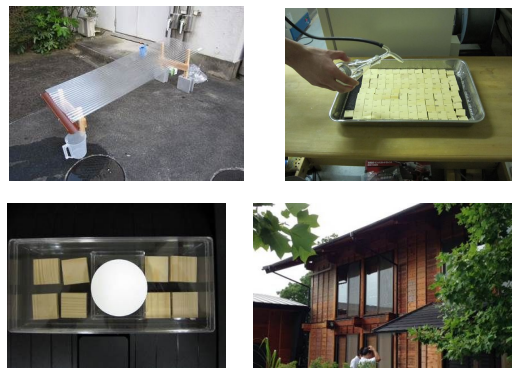


写真1 腐朽実験の実施状況

（左上：雨水捕集のための屋根モデル、右上：試料への雨水散布[接種]状況、左下：試料の暴露状況、実験棟外観）

前述した腐朽試験で得られた温湿度データを用いたシミュレーション計算を行い、質量減少率に関する計算値と測定値を比較し、その要因について検討した。

### 4. 研究成果

#### (1)劣化事例の熱水分環境に関する調査

住宅検査機関のデータを利用した既往研究によれば、近年の不具合物件の多くは外皮周りからの雨水浸入によって木部の腐朽に至る事例の多いことが判明した。これらは、多能工化に起因する不適切施工が原因であり、主に2次防水層の形成や排水機能の不備によって生じていた。水分の浸入経路は、図1示す屋根・開口部・笠木の取合い部からが多く、外壁通気層が設けられていない断熱化された物件の被害が顕著であった。また、築年数が経過した物件に多く見られる浴室周りの木部の劣化は、浴室のユニット化によって減少しており、近年の物件では雨水の浸入と乾燥性能の低下に起因した長期的な湿潤によって腐朽に至ることが示唆された。

#### (2)劣化事例の暴露環境を再現した腐朽実験

前述の調査結果で示された、雨水浸入、木部湿潤、腐朽進行といった躯体の劣化プロセス

スを勘案し、「捕集した雨水散布による接種」、「湿潤した実験棟非居住空間での暴露」を再現した腐朽実験を行った。得られた結果を以下に示す。

屋根などを経由した雨水は木材腐朽菌やカビなど多くの菌類が混入しており、躯体内への雨水浸入は水分と共に木材を腐朽に至らす菌糸や胞子も搬送する。試料の付着菌のDNA配列をデータベース検索から同定したところ、*Gloeophyllum sepiarium*、*Phlebia tremellosa*、*Antredia sinuosa*等の木材腐朽菌が検出された。カビについては地域にかかわらず *Trichoderma* 属が多く見られた。質量減少率のバラツキは、試料への木材腐朽菌定着の有無、定着時間の遅れ、カビ等の雑菌による拮抗作用によって生じた。また、容器内の腐朽菌の活力が高い試料から、徐々に他の試料へ感染した際に生じたタイムラグの影響も見られた(図2の240日付近の5~20%のプロット[Type2]が写真2左側の試料、25%以上が写真右側の試料であり、容器右側の試料に腐朽菌が定着した後、左側試料が感染しタイムラグが生じた)。試料表面にカビが蔓延した試料の一部は、5%以上の質量減少が生じていた(図2[Type1])。これらの試料断面の顕微鏡観察では、写真3のように菌糸やピット周辺組織の破壊が確認されており、腐朽菌が目視できない場合でも複数の菌が共存した状態でゆっくりと木材分解が進行していた。

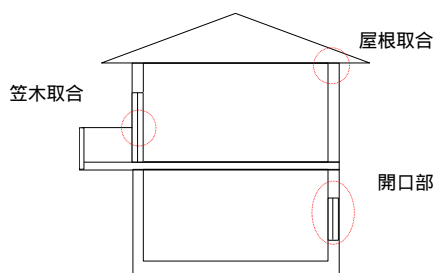


図1 雨水浸入が生じる事例が多い部位



写真2 雨水散布による腐朽進行状況

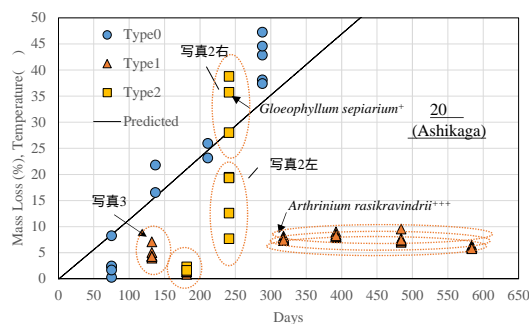


図2 質量減少率の変化(20一定、足利)

(Type0: *Fomitopsis palustris* を接種した試料、Type1: 雨水散布し腐朽菌が目視できる試料、Type2: 雨水散布し腐朽菌が目視できない試料、斜体英字は検出された付着菌)

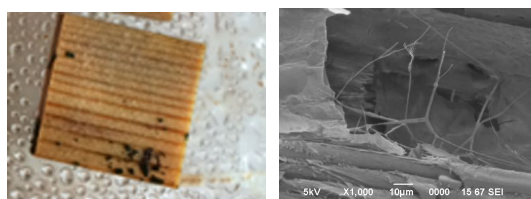


写真3 腐朽菌が目視できない試料の外観と仮道管内菌糸

(3)腐朽進行モデルによる予測結果との比較  
試料の付着菌を単離培養し、無菌的な環境下で腐朽速度である反応速度定数を求めたところ、*Gloeophyllum sepiarium* は予測モデルで用いた *Fomitopsis palustris* と同等で、*Phlebia tremellosa* は若干低い値であった(図3)。

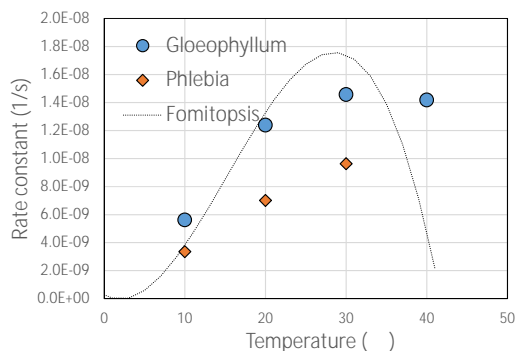


図3 付着菌の反応速度定数と温度の関係

*Fomitopsis palustris* の反応速度定数を用いた予測モデルの結果は、*Gloeophyllum sepiarium* が検出された試料の質量減少率の最大値に比べ若干低い程度であった(図2、図4の と実線の比較)。この結果から、実際の建物のように雑菌が侵入する系においても、雑菌の干渉が少ない場合は、単離培養による腐朽試験と同等の進行速度になること、非定常的な温度変動条件下でもモデルによる予測が可能であることが確認された。  
*Phlebia tremellosa* が検出された図5の試料は、*Fomitopsis palustris* の反応速度定

数を用いた予測結果に比べやや値が低く、図3に示す反応速度定数の大小関係を再現していた。この結果は、適切な反応速度定数を用いることにより、モデルの予測精度向上が見込めることを示唆している。

無菌的な環境下で得た反応速度定数を用いた予測結果は、実環境における最大値程度であることから、安全率を見込むことにより水分蓄積による腐朽リスク評価へ適用しうる可能性が示された。

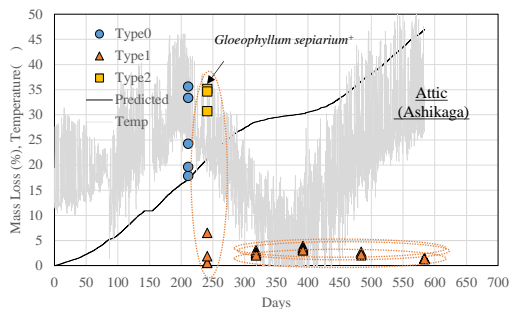


図4 温度及び質量減少率の変化(小屋裏、足利)

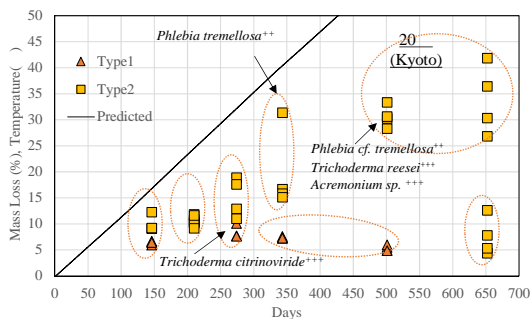


図5 質量減少率の変化(20一定、京都)

## 5. 主な発表論文等

[学会発表](計7件)

Hiroaki Saito, Daisuke Ogura, Takuro Mori, Sakae Horisawa, Makiko Nakajima, Shuichi Doi: Prediction of Wood Decay Progress with Natural Infection under Fluctuated Temperature within Building Envelopes, "Proceedings of the Central European Symposium on Building Physics and BauSIM 2016", pp.99-103, Dresden Germany, 14-16 September, 2016 (査読あり)

野口皓平、齋藤宏昭、森拓郎、小椋大輔、中嶋麻起子：雨水散布による木材腐朽試験の誤差要因に関する考察、日本建築学会大会学術講演会、広島工業大学、2017年8月31日

澁澤孝嶺、齋藤宏昭：二酸化炭素濃度が木材腐朽進行に及ぼす影響、日本建築学会大会学術講演会、広島工業大学、2017年8月31日

齋藤宏昭：建物の物理的な環境に基づく木材腐朽メカニズムを理解する、日本木

材学会 生物劣化研究会2017春季講演会、九州大学、2017年3月19日

齋藤宏昭、土居修一、小椋大輔、中嶋麻起子、堀澤栄、森拓郎：住宅における雨水浸入を想定した木材腐朽菌の定着及び進行速度の検討、第341回生存圏シンポジウム、京都大学生存圏研究所、2017年3月14日

齋藤宏昭、森拓郎、小椋大輔、中嶋麻起子：外皮における菌類の遷移を伴う木材腐朽菌の定着及び進行速度の検討、日本建築学会大会学術講演会、福岡大学、2016年8月24日

齋藤宏昭、森拓郎、小椋大輔、堀澤栄、土居修一、中嶋麻起子：住宅躯体内への雨水浸入を想定した腐朽プロセスに関する研究、日本木材学会、名古屋大学、2016年3月28日

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

齋藤宏昭 (Saito Hiroaki)

足利工業大学・工学部創生工学科・准教授  
研究者番号：20597827

### (2) 研究分担者

森 拓郎 (Mori Takuro)

京都大学・生存圏研究所・助教

研究者番号：00335225

堀澤栄 (Horisawa Sakae)

高知工科大学・環境理工学部・准教授

研究者番号：20368856

小椋大輔 (Ogura Daisuke)

京都大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：60283868

中嶋麻起子 (Nakajima Makiko)

神戸大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：40773221

### (3) 連携研究者

なし

### (4) 研究協力者

土居修一 (Doi Shuichi)

元筑波大学大学院・生命環境科学研究科・教授

宮村雅史 (Miyamura Masashi)

国土技術政策総合研究所・主任研究官

大場喜和 (Oba Yoshikazu)

株式会社住宅検査保証協会・代表取締役