

令和 6 年 5 月 29 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04353

研究課題名（和文）空中超音波を利用した防火木材の防火性能の非接触・非破壊評価法の確立

研究課題名（英文）Development of nondestructive evaluation method for fire performance of fire-retardant treated wood using air-coupled ultrasonic

研究代表者

長谷川 益己（Hasegawa, Masumi）

九州大学・農学研究院・助教

研究者番号：00372756

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）：本研究は空中超音波による防火木材の防火性能の新しい非接触・非破壊評価法の確立を目指している。空中超音波および発熱性試験による防火性能との関係を解明することを目的として検討を行ったところ、空中超音波は有効な非破壊ツールになりうる可能性が示された。さらにX線CTを使用することで詳細な解析も出来ることが明らかになった。今後は更なる詳細な検討を続けることで、所定の防火性能を持つ安心・安全な製品の開発・製造することに貢献できるであろう。

研究成果の学術的意義や社会的意義

木材は建築材料として利用することで、長期間、二酸化炭素を貯蔵するため、木質化は地球温暖化を緩和する非常に有効な取組の一つである。本研究課題の成果に更なる検討を加えることで、所定の防火性能を持つ安心・安全な製品の開発・製造が可能となると同時に、安心・安全な木造住宅も建設することができ、森林資源の循環利用を促進して木材利用の拡大に導く。以上のことから本研究課題の成果は学術的意義や社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：This study aims to establish a new non-contact and non-destructive evaluation method for the fire performance of fire-retardant treated wood using air-coupled ultrasonic waves. Through investigations aimed at elucidating the relationship between fire performance and air-coupled ultrasonic waves and fire performance tests, it was found that air-coupled ultrasonic waves could be effective non-destructive tools. Furthermore, it was revealed that detailed analysis could be achieved using X-ray CT. Moving forward, continued detailed investigations will contribute to the development and production of safe and reliable products with the prescribed fire performance.

研究分野：木材工学

キーワード：防火木材 空中超音波 X線CT 難燃処理

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

大規模の木造公共建築物では、初期火災の拡大を防止し、消火活動開始までに避難する時間を確保するために防火木材を使用する内装制限がかけられている。しかし、2011年6月の国土交通省報道発表において、不燃木材の抜き取り検査の発熱性試験で、必要な防火性能を有さないものの販売が明らかになった。防火木材内は薬剤量の偏りが生じており全体の薬剤量から所定の防火性能を示すかは判断が難しい。所定の防火性能を持つ安心・安全な製品を開発・製造するためには薬剤量分布の非破壊評価法の開発が求められている。

2. 研究の目的

空中超音波を用いて可視化した難燃処理木材中の薬剤量分布と防火性能との関係を解明して、空中超音波による防火性能の非接触・非破壊評価の可能性を探る。

3. 研究の方法

(1) 超音波の測定

木材試験体の板厚方向に空中超音波を伝搬させた。測定は市販の空中超音波探触子、パルスレーザ、プリアンプ、パソコンを用いた。伝搬時間は観察された受信波形から決定し、木材中の伝搬速度を計算した。図1に概略図を示す。

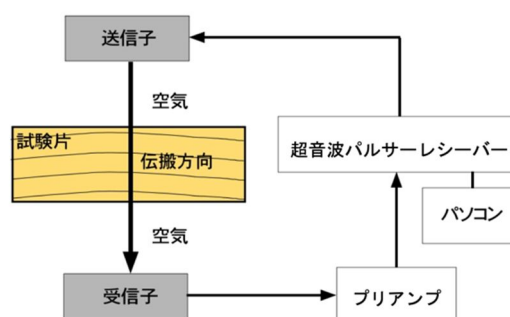


図1. 超音波測定の概略図

検量線の作成

難燃処理前後で試験体の伝搬速度を測定し、速度変化率を算出した。薬剤量との関係を算出して検量線を作成した。

薬剤量分布の推定

難燃処理した板材の伝搬速度の速度変化率を算出した。作成した検量線を利用して、薬剤量分布を推定した。また、重量変化より算出した薬剤量の実測値と比較した。

(2) X線CT装置による測定

マイクロフォーカスX線CT装置を用いて撮影を行った。3次元形状データから書き出したスライス画像を使用し、難燃処理前後の輝度値の変化量を算出した。

(3) 難燃処理

薬剤注入は市販の難燃剤を用いた。各薬剤濃度で減圧・加圧注入し、風乾の後、恒温乾燥機で恒量に達するまで乾燥させた。

(4) 発熱性試験

コーンカロリメータを使用し、ISO5660-1に準じて発熱性試験を行った。発熱性試験で得られた総発熱量と発熱速度、さらに燃焼後の試験体の防火上有害な亀裂・穴の有無により防火性能の評価を行い、不燃木材、準不燃木材、難燃木材の判別を試みた。また、超音波測定およびX線CT測定により得られた結果から判別した結果と比較した。

4. 研究成果

(1) 超音波の測定

難燃処理木材中の薬剤量を推定するために必要な検量線の作成を試みた。超音波伝搬速度は難燃処理後に大きくなり、また薬剤濃度が高くなるにつれて変化量は大きくなった。難燃処理前後の超音波伝搬速度の変化率を算出したところ、薬剤量の増加とともに増加し、両者は有意な正の相関関係を示した。これは既往の研究と同様の結果を示した。すなわち、難燃処理前後の伝搬速度を測定することで難燃処理木材中の薬剤量が推定できることが確認できた。

次に作成した検量線を利用して伝搬速度変化率から難燃処理した板材の薬剤量の推定を試みた。難燃処理した板材の薬剤量を重量変化より算出した。薬剤量は十分に不燃材料相当と判断できるものとなった。超音波伝搬速度変化率から推定した薬剤量は重量変化から算出した全体の薬剤量と概ね一致した。難燃処理材内の薬剤量の分布は変動を示し、また試験体の条件により薬剤量の分布が異なることが示された。以上より、超音波を利用することで、薬剤量推定の可能性が示唆された。

(2) X線CT装置による測定

難燃処理前後の輝度値の変化量と薬剤量は1%水準で有意な正の相関関係を示した。すなわち、難燃処理前後の輝度値を計算することで難燃処理木材中の薬剤量が推定できることを示した。また、難燃処理木材の板厚方向の輝度値の変化量を詳細に可視化することができた。それらの変化量は防火性能と関連性があることも明らかになった。以上より、X線CT装置を利用することで、難燃処理木材中の薬剤量推定の可能性が示唆された。

(3) 発熱性試験

超音波の測定試験体の総発熱量は試験開始20分後に8 MJ/m²を越えないものと越えるものがあった。これらの試験体は不燃材料および準不燃材と判断できた。図2に発熱性試験後の試験体の写真を、図3に発熱性試験の結果の一例を示す。この試験体の総発熱量は約4 MJ/m²となったため、不燃材料と判断できる。発熱性試験の結果は試験体の部位により異なった。また、超音波の測定により推定した防火性能がと発熱性試験による結果と一致しない場合もあったため、X線CT解析を行った。X線CTの測定用の試験体の板厚方向の薬剤量分布とコーンカロリメータによる発熱性試験の結果と比較したところ、板厚方向の薬剤量分布と防火性能は関連性がある可能性を示した。

以上のことから、空中超音波やX線CTは薬剤量分布の可視化を可能とし、難燃処理材の重量変化による全体の薬剤量では判別できない問題を解決する非破壊ツールになりうる可能性が示された。今後は更なる詳細な検討を続けることで、所定の防火性能を持つ安心・安全な製品の開発・製造することに貢献できるであろう。



図2．発熱性試験後の試験体

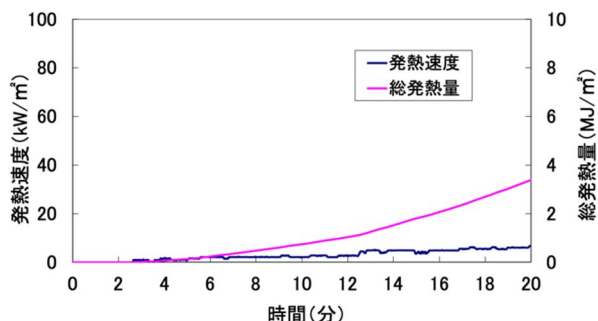


図3．発熱性試験の結果

< 引用文献 >

ISO 5660-1. Reaction-to-fire tests -- Heat release, smoke production and mass loss rate -- Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) and smoke production rate (dynamic measurement), International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2015.

Hasegawa M, Kumamoto T, Okamura H, Takeuchi K, Asakura R, Matsumura J, Relationship between chemical retention and velocity of air-coupled ultrasonic waves in fire-retardant-treated wood. *Bioresources* 12, 2017, 3387-3395

Hasegawa M, Okamura H, Hano Y, Nondestructive prediction of fire performance in fire retardant-treated wood using X-ray computed tomography. *Bioresources* 17, 2022, 6900-6909

長谷川益己、超音波による非破壊検査・材料評価技術の進展、“空中音波による難燃処理木材の防火性能の非破壊評価法”、シーエムシー出版、東京、2024、213-223

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 Hasegawa M, Okamura H, Hano Y	4. 巻 17
2. 論文標題 Nondestructive prediction of fire performance in fire retardant-treated wood using X-ray computed tomography	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bioreources	6. 最初と最後の頁 6900-6909
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.15376/biores.17.4.6900-6909	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5件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 長谷川益己, 作本董玲, 岡村博幸, 羽野泰史
2. 発表標題 難燃処理木材の板厚方向の薬剤量分布と防火性能の関係
3. 学会等名 第73回日本木材学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 長谷川益己
2. 発表標題 非破壊的手法による難燃処理木材中の薬剤量分布の測定
3. 学会等名 木材の化学加工研究会オンライン特別シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤将太, 長谷川益己, 岡村博幸, 羽野泰史
2. 発表標題 X線CT解析により推定した難燃処理木材の薬剤量分布と防火性能の関係
3. 学会等名 第74回日本木材学会大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 長谷川益己, 作本董玲, 岡村博幸, 羽野泰史
2. 発表標題 難燃処理したスギ材の防火性能に与える薬剤量分布の影響
3. 学会等名 第19回日本非破壊検査協会九州支部研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masumi Hasegawa, Hiroyuki Okamura, Sumire Sakumoto, Yasushi Hano, Chun-Won Kang
2. 発表標題 Effect of chemical distribution along thickness direction of fire retardant-treated wood analyzed by X-ray CT on fire performance
3. 学会等名 2024 Annual Meeting of The Korean Society of Wood Science & Technology (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 長谷川益己 (分担)	4. 発行年 2024年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 356
3. 書名 超音波による非破壊検査・材料評価技術の進展	

〔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	岡村 博幸 (Okamura Hiroyuki) (80502244)	福岡県工業技術センター・その他部局等・研究員 (87104)	

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