

令和 2 年 6 月 12 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01191

研究課題名(和文)木材の音速異方性を考慮した建造物探査用超音波CTシステムの開発

研究課題名(英文) Development of Ultrasonic Time-of-Flight Computed Tomography for a Hard Wood with Anisotropic Acoustic Property

研究代表者

柳田 裕隆 (yanagida, hirotaka)

山形大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：80323179

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)：木柱断面内の欠陥を超音波CTによって計測すると、実物とCT像で位置が異なることが分かっていました。この原因を木材内部の音波の伝播に異方性があることと考え、音速異方性を考慮に入れたCT像再生アルゴリズムを考案することが研究の目的であった。コンピュータシミュレーションを繰り返すことで、木柱の表面を横波が伝播しており内部を伝搬する縦波と混在していた。CTの像再生では縦波の音速だけをターゲットにしていたのだが、横波を計測している音速パスがある事から、この横波の排除をおこない、欠陥の位置精度を向上させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

木造建築物のなかでも重要文化財等は修復の際、建造当時の姿を出来る限り残すことが求められるため、傷んだ箇所を正確に把握する必要がある。そのための技術として考案したものが超音波CT計測システムである。木柱内部の欠陥を発見することができることはシステム構築直後からわかっていたが、その位置がずれることも分かっていた。正確に位置が把握できなければ、修復箇所に余裕を持たせて修復しなければならないため、正確に把握し、修復を最小限にとどめることが求められる。歴史的な建造物以外のコンクリート建造物なども同様のニーズがあり、注目を集める技術である。

研究成果の概要(英文)：When wood was measured by ultrasound CT system, the image of the decay area was observed different from real position. We think that it was caused by anisotropic property of sound propagation in wood. Many data were obtained by computer simulation. We found that the shear wave was propagated in wood. We remove the shear wave data from the CT data. The image quality was improved.

研究分野：超音波工学

キーワード：超音波CT 非破壊検査

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

木材に限らず、コンクリートにおいても建造物の非破壊検査はハンマリング探傷法が用いられることがほとんどで、定量的な評価は行われていない。これは日本だけでなく、木造建築が多くみられる韓国や中国でも同様であり、コンクリートの検査に関しても世界を見渡しても定量的な検査を行っている例はほとんどない。私はこれまで超音波による非破壊検査システムを医療用や建築物用に構築してきた。研究室内で準備したテストピースでは欠陥の有無の確認を CT 像から判断できるところまで開発が進んだため、奈良文化財研究所等の協力のもと日光輪王寺、出雲大社素戔鳴の社および鳥居の木柱の健全度の調査を行ってきた。いずれの場合も木柱内に空洞があり、根継による修復が行われることになり、欠損部の特定に本研究の CT 像が有効に利用された。しかしながら、実際に修復するために切り出した木柱と CT 像を較べると欠損の位置が断面内でずれており、実際よりも CT 像が示す欠損部位は外側にずれていることが判明している。この原因は、木材の超音波計測で問題となる木材のもつ音速の異方性であると考えていた。

2. 研究の目的

木造の建造物は、金属や石材などと比べ、害虫や風雨による経年的な損傷を受けやすい。建造物は数世紀を経て相当の被害を受けている。このような損傷をいかにして建造当時の姿を保ちながら修復するかが、これらの文化財を保存する上で最大の問題の一つである。貴重な文化財を保護、継承するためには、文化財を傷つけることなく調査するための探査技術が大変重要である。従来のハンマリング探傷法では損傷の程度を数値化することが難しく、定量的な評価が行えていない。本研究では超音波非破壊検査の一種である音速 CT 計測 (Computed Tomography) を木造の建築物や文化遺産を対象として行い、損傷の正確な位置の特定と損傷度合いの定量的な評価を可能にしたい。

3. 研究の方法

本研究で行うことは研究目的に示した次の2点である。

木材に見られる音速異方性を直接補正する。

音速異方性によって発生する音線 (音の進む方向) の曲がりの補正

いずれも計測した時点では異方性による影響を受けているため、 θ が改善できれば θ も改善できるとは限らず、それぞれ関連はあるものの別の問題として発生していると考えている。これらの発生を、有限要素法を用いた音波伝播シミュレーションで再現する。再現できたら、提案する補正が有効に働くかどうかを確認し、杉、松、ヒノキを想定したモデルを作成する。それぞれのモデルについて解析が終わり次第、実測に移行する。

事象が有限要素法を用いた音波伝搬シミュレーションで再現できるかどうかを確認する。要素ごとに円周の接線方向と直行方向で音速の異方性を持たせたモデルを考えている。この比をかえることによってさまざまな種の木材をモデル化していく。含水率の変化や、直径の大きさなどにも対応できるモデルを作成する。異方性についてのパラメータは文献値を参照することを基本とするが、実測によってもデータを蓄積していく。このシミュレーションモデルの構築によって、音速異方性の補正ができれば、本研究に現れているリング

状のアーチファクトの発生を抑制することが期待できる。これにより、種々の木材に対して適応可能になり、さらに異常部の発見が簡単に行うことが可能になる。

本研究の目的は音速 CT における音速異方性の影響をメカニズム的に明らかにすることであるが、正しい解析を行うためには正しいデータ計測が必要である。過去の実測で問題となっている次の点についても改善を試みる。

外周部分の計測では音圧の大きい表面波が計測されてしまうことがあり、除去するか正しいバルク波を計測する方法が必要である。また、CT 像再生方法として FBP 法を用いているが、ML - EM 法が医療分野では積極的に用いられるようになっているため本研究でも ML - EM 法を導入する。FBP に変わり医療分野で積極的に用いられつつあるのは、FBP とは異なり画素に負の値を与えず、画素値に定量的な意味を持たせることが可能である点や屈折や吸収などの物理的な補正を入れやすい点などの利点があるため、本研究の目的である音線の曲がりの補正効果を入れることが容易になることが期待できる。ML - EM 法は本研究で用いる木柱用の音速 CT にも試験的に導入をしているが、計算時間が長いことや計測するパスの数が少なすぎるなどが問題として発生しており、これらの問題を解決し、本研究の目的である音速異方性を考慮に入れた CT システムの像再生アルゴリズムとして導入できるようにする。

4 . 研究成果

超音波シミュレーションに k-WaveToolkit を用いることで高速に TOF データを取得することが可能なことを確認した。

ニューラルネットワークを用いて受信波形から TOF を推定する方法を提案した。本研究では超音波シミュレーションを行い、音圧波形と TOF データを取得することができた。そして受信波形を CNN に入力することで TOF を推定することができた。

今後は CNN のカーネル寸法、レイヤ数などの最適地の検討を行い、CNN の精度向上を目指す。また、実測データを使った検証も行う。

本研究では 1 次元の CNN で TOF 推定を行ったが、2 次元の CNN への拡張も検討する。さらに、実際の CT 像復元に向け、NN を用いた CT 像復元についても検討を行う。

FBP の表示方式を音速の絶対値画像の表示に変更した。このことにより、対象物体の状態の定量的評価が可能になった。

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 0件）

1. 著者名 柳田裕隆	4. 巻 723
2. 論文標題 フィールドワーク用超音波CTシステムの画像表示法の開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 考古学ジャーナル	6. 最初と最後の頁 34-37
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11501/6051611	査読の有無 有
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2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 青田 拳弥, 田代 康平, 田村 安孝, 柳田 裕隆
2. 発表標題 SDD 法によるエッジ接続型 2次元アレイスピーカの PWM 駆動
3. 学会等名 日本音響学会2017秋季研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 塩田 智広, 大井 一希, 田村 安孝, 柳田 裕隆
2. 発表標題 2次元 変調を用いたアレイスピーカ駆動システム
3. 学会等名 日本音響学会2017秋季研究発表会
4. 発表年 2017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
---------------------------	-----------------------	----