

機関番号： 33302

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760490

研究課題名 (和文)

伝統木造建築物の改修工事に適した3次元モデルの構築・活用に関する研究

研究課題名 (英文)

Study on making and application of 3D models which suit renovation works for historic wooden buildings

研究代表者

下川雄一 (SHIMOKAWA YUICHI)

金沢工業大学・環境・建築学部・准教授

研究者番号：90308586

研究成果の概要 (和文)： 木造伝統建築に使用されている不規則な部材形状を高精度にモデリングするため、レーザースキャナーで取得した点群データを用いて3次元モデリングを効率的に実施するソフトウェア機能の開発を実施した。また、点群データを用いて柱の傾斜分析を行う方法について、ケーススタディを行いながらその手順や課題をまとめた。さらにケーススタディ事例の改修工事に携わる設計事務所や伝統構法技術者へのヒアリングを行い、点群データの利用効果や今後の可能性を整理した。

研究成果の概要 (英文)： The author developed software function which supports point cloud based 3D modeling for irregular forms of wooden members efficiently, that has used in historic wooden building. And then, the process and notes about method of analyzing inclination for building columns was put in order through case studies. Moreover, efficiency and future possibilities about applying point cloud for renovation project were made clear from interviewing technical experts of design office or carpentry expert for traditional wooden buildings involved in case study project.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・都市計画・建築計画

キーワード：木造、改修、レーザ計測、点群データ、CAD

1. 研究開始当初の背景

我が国の文化遺産である木造伝統建築を後世に継承することは重要な課題であり、その保全に関わる様々な活動が実施されている。木造伝統建築単体の保全活動は主として耐震補強や修復・改修が中心であるが、その過程では調査や建築物の資料作成が行われる。デジタルアーカイブという言葉に代表されるように、近年は文化財の形態や色彩情報の記録にデジタルメディアの活用が試みられるようになり、保全活動の一つとして新しい記録手法の開発が模索されつつある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、木造伝統建築の保全活動を円滑に進めるための、3次元デジタルモデルの活用をベースとした調査や資料作成・活用の手法を提案することである。具体的には、3次元レーザ計測技術の活用を前提とした木造伝統建築の3次元形状モデルの構築手法、および実際の改修工事現場におけるその活用可能性を明らかにすることである。

3. 研究の方法

耐震改修工事の準備が進められている東本願寺阿弥陀堂を事例として、レーザ計測

(点群データ)に基づいた①円滑な3次元モデリング手法、②建物の傾斜の可視化手法、③改修工事における点群データや3次元モデルの活用手法、の3点についてそれぞれ検討し、整理した。

①については、阿弥陀堂内の主要構造部材を例として、外部ソフトウェア会社に委託し、ソフトウェア機能の開発・検証を実施した。

②については、当初①と同様に外部ソフトウェア会社への委託開発する予定であったが、点群データから傾斜を分析する手法自体の検討に時間を要したため、汎用の点群処理ソフトを用いた傾斜分析の方法や知見を整理した。

③については、上記の成果の提示と合わせ、阿弥陀堂の耐震改修設計を請け負う設計事務所にヒアリングし、評価や今後の可能性について整理した。

4. 研究成果

(1) 3次元モデリング機能の開発

点群データの処理ソフトを開発している外部業者へ委託し、湾曲した木材等不規則な形状のモデリングを円滑に行うための機能開発を行った。当該業者は NfDesign という点群処理に対応したCADソフトウェアを開発しており、そのソフト上で稼働する機能開発を実施した。開発した機能は、木材の点群データを指定した間隔で輪切りにし、輪切りにされた点群データから自動的に近似した多角形を自動生成する機能である。この機能を使って生成された一定間隔の多角形を標準装備のロフト機能で立体化することで不規則な形状の部材モデリングを短時間に実施することが可能となる(図1)。しかし、自動生成された多角形は不要な頂点も多く含み、修正が必要な事も多かった。この問題を解決するための検討も実施したが、本研究の期間内では解決には至らなかった。

一方、点群データの輪切り機能は多くの点群処理ソフトウェアに実装されているが、XYZ座標軸に沿った方向での輪切りしかサポートされておらず、今回任意の部材軸での輪切りをサポートできるようになったことも成果の1つといえる。

(2) 建物傾斜の可視化手法

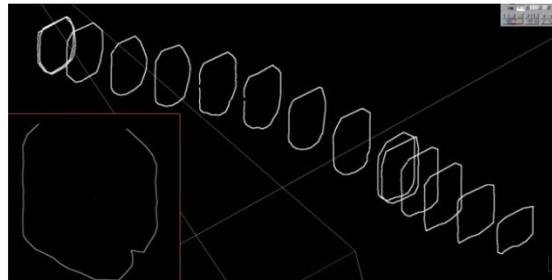
建物の傾斜や不陸を確認する従来の方法としては下げ振りやトータルステーション(TS)等の利用が考えられるが、ここではレーザー計測の利用価値を向上させることを目的として、点群データからの建物傾斜の可視化手法について検討を実施した。この可視化機能については立体的な形状を形成する点群データから傾斜や不陸を分析したい任意の位置で点群をスライスして抽出し、2次元の直線や曲線で図化する方法を想定し



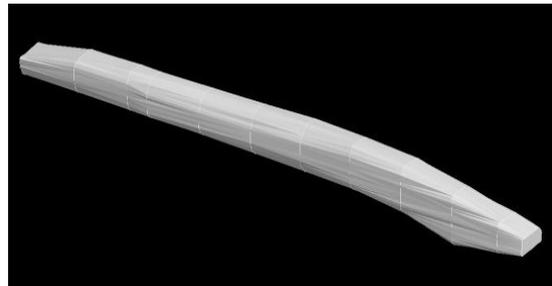
①点群データを部材1本単位で表示



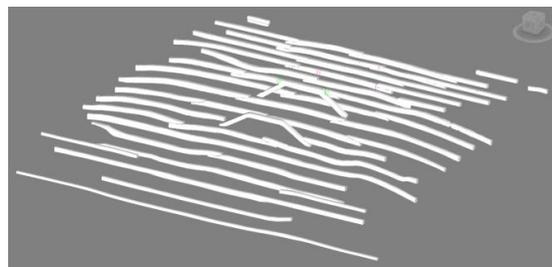
②点群データを輪切りにする



③点群データから断面形状を多角形で作成
(自動生成後、手作業で修正)



④多角形をロフト機能で立体化



⑤他の横架材にも適用した状態

図1 点群データによる3次元モデリング

た。当初、最小二乗法による機能開発を計画していたが、開発前のケーススタディ（阿弥陀堂参詣席の丸柱、図2）を実施する中で幾つかの問題点や課題が抽出できた。その結果、特定のソフトウェア上でのニッチな機能開発よりも傾斜分析のためのレーザー計測（点群データ取得）時の留意点や効果的な作業プロセスを整理した方が有効であると考えた。それらに関して得られた知見を以下に示す。

①法線方向からのレーザー計測

傾斜分析する（柱や壁の）面に対して、できる限り法線方向に近い角度でレーザー計測を行うことで、分析に必要な高密度の点群データが取得できる。

②2段階の計測

分析の対象箇所が事前に限定されている場合はその箇所を丁寧に（密度や精度を上げて）レーザー計測することが望ましいが、そうでない場合は2段階で計測することが望ましい。すなわち、1回目の計測では広範囲を粗く計測し、そのデータを簡易に分析することで傾斜が著しい箇所や関連箇所を抽出し、2回目の計測でその形状特性に合わせてより詳細に計測する。精度面を踏まえ、2回目の計測はTSの選択も考慮する（図2は参詣席丸柱のみを対象とした2回目のレーザー計測の点群データによる）。

③一器械点データの使用

複数の器械点による点群データが結合されているとズレが生じている可能性が多分にあり、傾斜分析に大きな影響を及ぼす。したがって、分析対象となる1つの面（1つの平面もしくは円筒面）を構成する点群データは必ず一器械点で取得したデータのみを使用して実施する。

④断面形状の参照

点群データをもとに傾斜等を分析する場合、必要な箇所の点群データを適宜取り出し、側面から見た状態で姿図を描く必要がある。柱や梁等の部材の特性やレーザー計測の方法にもよるが、側面から点群データを観察する際、はっきりと立体形状を認識できないケースもある。また点群データには計測誤差による厚みもあることから、断面形状を常に参照しながら輪切りの範囲を調整し、表示状態を最適化した後に、姿図を描きながら傾斜分析を行うことが望ましい。

⑤複数箇所の分析

通常角柱で全周から計測が可能ならば、分析対象面は4面存在し、各面での傾斜分析が可能である。また丸柱の場合は任意の位置での分析が可能である。点群データには計測誤差による厚みがあるため、傾斜分析において柱表面の線を描く際には迷いも生じやすい。よって、1つの材でも複数箇所での傾斜分析を行い、それらに関連付けて評価する必要がある。材の断面寸法（壁厚や柱の断面寸

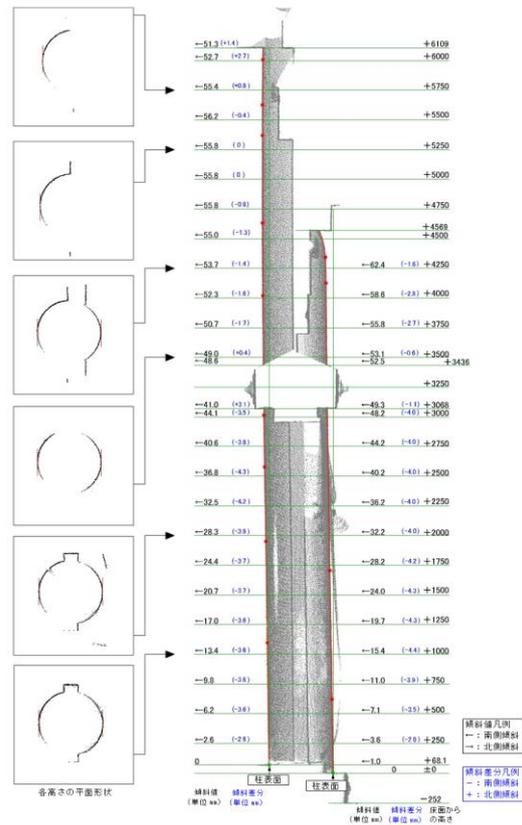


図2 点群データによる柱の傾斜分析図

法) がどの位置でも一定であれば、対面する2面の傾斜状況は一致するはずであるため、点群データの誤差による曖昧さを取り除く判断材料にもなり得る。但し、異なる面の傾斜を照合する場合、それらが同一器械点による点群データならよいが、そうでなければズレが生じている可能性もあるため注意が必要である。

⑥傾斜分析の精度と効果

一般にレーザー計測の精度は $\pm 3 \sim 6 \text{mm}$ と言われる。つまり、平滑な板面を高精度で計測した場合、点群データの厚みはおおよそ $6 \sim 8 \text{mm}$ となり、その他の条件等で 10mm 近くの厚みになるケースもある。この誤差の値を大きいと考えるか小さいと考えるかは、計測対象物の規模によると考えられる。今回ケーススタディとして実施した阿弥陀堂は規模が大きいため、はっきりとした柱傾斜の傾向を見出すことができた（計28本の丸柱の傾斜を分析）。より規模が小さい場合に関しては、傾斜の度合いによって効果に違いが出ると考えられる。

(3) 改修工事での点群データ活用法

阿弥陀堂の耐震改修設計を請け負っている設計事務所と点群データを共有した上で、その効果や可能性についてヒアリングを実施した。その概要を以下に示す。

「現在の計測精度ではやはり図面を起したりするのは困難である。点群をある位置で取りだしても厚みがあるため線を引くのに迷いが生じる。そこから正確で綺麗な線を描くには一種のセンスが必要であるが、そういうものを訓練するのも難しい。最小二乗法等で定量的に線を引けて、客観性のあるデータを作れるなら可能性は十分ある。精度がもう少し上がれば有効な手段であることは間違いない。現時点では、実測を基に描いた基本図と点群を重ね合わせて検証に使う方が意味があると思う。実測を基に描いた図面が設計図だとすると、レーザー計測で得られた図は破損図なので、その両者の違いを比較することには意味があると思う。一方で、妻飾りなどの曲線を含む装飾的な部分を図化したり、そこから工事に必要な材料の面積や体積を出したりする時には非常に役立つと思う。」

また、社寺建築を専門とする伝統技術保持者の方にもヒアリングを実施した。以下にその概要を示す。

「我々は社寺建築の調査や図化作業の中で最も重要なのは基準寸法を見つけるだと考えている。例えば阿弥陀堂では9寸が基本となっている。それさえ分かれば様々な材の寸法や間隔の取り方など設計寸法が綺麗に出せる。点群データは点であって線画ではないし、むしろ野帳に近いスケッチのようなものと考えられる。また、レーザー計測は表面のデータしかとれないが、その後の部材の芯を出すことが重要である。」

以上のように、レーザー計測の現時点での精度の甘さ故に、必ずしも設計サイドの実務者達には効果的なツールとして認識されていないようであった。同様に、点群データを基にした3次元モデルについても、少なくとも自分達の現在の業務範囲の中ではそれ程必要性はないとのことであった。繰り返しの調査や耐震設計の試案を繰り返す中で、頭の中では十分な軸組の立体構造がイメージされていることが推察される。また、今回ヒアリングしたのは耐震設計と意匠設計を担当する設計事務所であるため、ケーススタディを実施した阿弥陀堂はまだ設計段階であるため、今後施工段階でゼネコン等にもデータ提示やヒアリング等を実施することを予定している。

(4) まとめ

木造伝統建築を対象として、レーザー計測の活用価値を高める手法について研究を進めた。具体的には、3次元モデルの作成効率化を図る手法、および建物の傾斜や不陸を分析するための手法について、東本願寺阿弥陀堂をケーススタディとして実施し、そこから得られた知見を整理した。

現時点では、レーザー計測は精度面での不

十分さ故に、実務者による満足は得られてないことが分かった。一方で、後工程のソフトウェア上での処理技術を高度化することによって利用価値は高まると認識されていることも明らかとなった。

測定の精度から言えばレーザー計測はTSとは比較にならないが、測量以外に様々な活用が可能であることは既に様々な実例でも示されている。調査、情報共有、図化(ケースに応じて)、シミュレーション、プレゼンテーションなど、プロジェクト全体の中で点群データの活用シーンを予め想定し、戦略的に実施していくことが重要と考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① 下川雄一、山崎幹泰、竺覚暁、川崎寧史、土田義郎、レーザー計測による伝統的町家群の連続立面図作成に関する研究、日本建築学会技術報告集、査読有、第35号、2011、pp. 383-388
- ② 下川雄一、鈴木祥之、須田達、レーザー計測に基づいた伝統木造建築のCADデータ作成手法、歴史都市防災論文集、査読有、第3号、2009、pp. 83~90

[学会発表] (計1件)

- ① 下川雄一、木造伝統建造物の保全におけるレーザー計測技術の活用、文化遺産のデジタルドキュメンテーションと利活用に関するワークショップ、2010.9.21 パシフィコ横浜会議センター

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

下川雄一 (SHIMOKAWA YUICHI)

金沢工業大学・環境・建築学部・准教授

研究者番号：90308586

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし