

# レーザー計測に基づいた伝統木造建築物のCADデータ作成手法

Method for creating CAD data of historic wooden building based on laser measurement

下川雄一<sup>1</sup>・鈴木祥之<sup>2</sup>・須田達<sup>3</sup>

Yuichi Shimokawa, Yoshiyuki Suzuki and Tatsuru Suda

<sup>1</sup>金沢工業大学准教授 環境・建築学部建築学科 (〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘7-1)

Associate Professor, Kanazawa Insutitute of Technology, Dept. of Architecture

<sup>2</sup>立命館大学教授 グローバル・イノベーション研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, Ritsumeikan University, Ritsumeikan Global Innovation Research Organization

<sup>3</sup>立命館大学准教授 グローバル・イノベーション研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Associate Professor, Ritsumeikan University, Ritsumeikan Global Innovation Research Organization

The objectives of this study are to propose a practical method for creating CAD data of structural members based on 3-D laser measurement in order to put to available use for the renovation and conservation of historic wooden buildings. A series of renovation works is performed at *Amida-do* building at Higashi-Honganji temple. As part of seismic surveys of *Amida-do* building, 3-D laser measurements of the building are carried out. The technical points in the 3-D laser measurements and the method of creating those CAD data from point cloud data obtained by the measurements are described.

**Key Words :** *historic wooden building, repaire construction, laser measurement, 3-D CAD, point cloud data*

## 1. 研究の背景と目的

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。デジタルアーカイヴ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。中でも3次元のデジタルモデルは2次元の図面よりも立体形状や寸法といった点で再現性が高く、木造伝統建築のような複雑な立体構成を持つ対象物にとってはより多くの利用効果があると考えられる。また、単に資料を残すだけでなく、修復や改修の工事の際にも、耐震性の調査、設計図書の作成、工事の準備や実施、複数業者間での情報の共有等を円滑に進める上で3次元データは様々なメリットをもたらす可能性がある。

一方、近年の3次元レーザー計測（以降、レーザー計測と呼ぶ）技術の発達は目を見張るものがあり、徐々にその応用範囲は広がりつつある。その最大の利点は立体的な対象物の3次元形状データを短時間に高い精度で取得できる点にある。その利用目的は様々であり、地形や土木構造物、発掘遺跡<sup>1)</sup>、彫刻など、大きさに関わらず形状が複雑なものが計測対象となる場合が多い。これに対し、建築物は水平や垂直などの単純な幾何形状によって構成される場合が多いためか、レーザー計測の対象となるケースは少ない。しかし、木造伝統建築の中には不規則な形状の部材が使われている例や、長い歳月の経過とともに軸組構造が少しずつ変形してくる例も数多く見られ、建物の形状を正確に捉え、耐震性能等を検証する上でレーザー計測の利

用価値は高いと考えられる<sup>2)</sup>。

以上のことから、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基礎研究として、3次元レーザー計測に基づいた木造軸組のCADデータ作成手法のモデルを構築することである。ここでのCADデータとは、線分の集合体としての断面図・伏図などの2次元図面、およびポリゴンによって構成される3次元モデルを意味する。具体的には、現在改修工事のための調査段階にある東本願寺阿弥陀堂を対象事例として、その小屋組のレーザー計測と図化作業を進めている。ここでは、その事例に基づいてレーザー計測時の技術的要点、得られた点群データに基づいたCADデータ作成手法、およびその効果について述べる。

## 2. 阿弥陀堂小屋組のレーザー計測

阿弥陀堂は、その主要構造体である木造軸組で捉えた場合、桁行約40m、梁間約34m、高さ約26mの巨大な木造建造物である。それ故、小屋組内部も広く、相当数の梁、束、貫、桔梁（はねばり）などの部材が縦横無尽に組まれている（図1）。部材の太さは断面寸法が十数cm四方のものから、約1m四方のものまで様々である。小屋組内部は創建時から設置されているメンテナンス用通路、および改修工事のために架けられた足場板等を使って主要エリアを行き来することができる。阿弥陀堂小屋組のレーザー計測は外部民間業者の協力により2008年度中に計10日間（内、2日間は予備計測）で実施した。使用した計測器はニコン・トリンプル社のGS200である。汎用的なレーザー計測器として知られており、同業者ではこれと親和性の高い点群処理ソフトウェアRealWorksSurvey、および閲覧のみ可能なRealWorksViewerが使用されている。



(a) 小屋組最下層の土居・牛引・小屋梁



(b) 小屋組中央層の三重梁・束・貫

図1 阿弥陀堂小屋組

### (1) 予備計測について

本計測に先立って予備計測を実施した。目的は2つあり、1つは計測パラメータの違いによる精度と計測時間の変化を把握することである。予備計測では、パラメータを少しずつ変えながら計測を繰り返し、短時間に比較的高い精度で計測できるパラメータ値の特定を行った。もう1つの目的は小屋組内での計測器の設置可能箇所や必要な計測回数等を見積もることである。小屋組内でのレーザー計測では、手前の部材の影になって計測されない部材が多数出てくる。したがって、より多くの箇所から計測を行い、各計測で得られた点群データを合成する必要がある。阿弥陀堂では、小屋裏と呼ばれる天井板の直上で自由に行き来できる他、小屋梁レベルで北・西・南の三方に通路があるが、それ以上の高さでは中央に桁行方向の通路が2段あるのみであり、レーザー計測器を設置できる場所が少ないことは明らかであった。

### (2) 本計測について

本計測は計8日間の中で、小屋組最下層の中央部で82箇所、小屋組最下層の周辺部で42箇所、小屋梁レベ

表1 部材毎の点データ数

分類	部材名	点の数	
小屋組の主要構造材	土居・牛引	8,694,165	
	小屋梁	1,073,918	
	初重梁	746,833	
	二重梁	1,085,704	
	三重梁	372,698	
	四重梁	36,991	
	五重梁	7,381	
	貫	1,551,545	
	斜め材	桔梁・桔木	4,325,472
	垂直材	束	2,114,618
面材	壁	1,723,542	
	屋根	2,527,947	
	天井	4,239,426	
その他	階段	798,928	
	足場	698,802	
	ロープ	86,856	
合計		30,084,826	

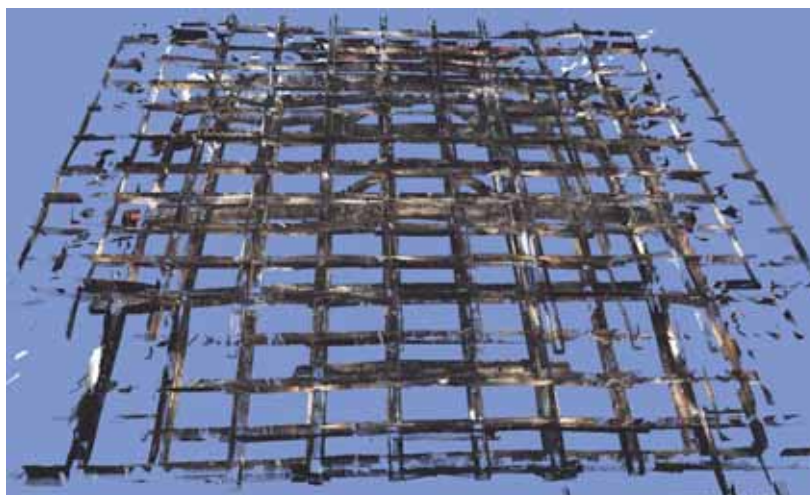


図2 点群データを色付きで表示した状態（土居・牛引と小屋梁）

ルで12箇所、二重梁レベルで13箇所の計149箇所で計測を実施した。計測時には合成用の球体もその都度計測されており<sup>注1)</sup>、その位置合わせによって全ての点群データが1つの座標空間上に合成される。点データは計3千万点以上となり、RealWorksSurvey上で種類毎にレイヤー分けして管理されている（表1）。

表1で土居・牛引の点データの数が多き理由として、それらが阿弥陀堂の中で最も太い部材の一つであり、且つ部材形状も不規則であること、並びに小屋組の最下層に位置するため計測器の設置が柔軟に行えたこと等が挙げられる。その他の水平材に関しては上層へいく程、点データが少なくなっていることが分かる。この原因としては上層部ほど計測箇所が少なく、部材の数が減り、部材が細くなっていること等が挙げられる。

### (3) 点群データの密度と観察結果

レーザー計測では計測密度を調整することができる。計測密度を高めれば、より高密度の点群データを得ることができるが、その分計測時間が長くなることから、計測箇所毎に主要な計測対象部材の点群密度が2cm間隔程度となるよう計測を進めた。

点群データはリアルタイムに視点を動かしながら立体的に観察できる。使用した計測器はデジカメ内蔵型で、その画像データの色情報が個々の点データにも反映されているため、点群データながらも臨場感があり、点群密度の高い部分では立体的に観察し易い。しかし、得られた点群データの観察からは以下のような問題も確認された。

#### a) 点群密度の不均一性

多数の計測地点で得られた点群データを全て合成しているため、1本の部材だけ見ても、数ミリ間隔という高密度の部分もあれば、全く点が存在しない部分もあるといった不均一な点群密度の部材が多数を占める。

#### b) 計測地点と点群密度の関係

小屋組の上層部の部材については二重梁レベルの中央通路から計測しただけであり、部材の下面と内側面に点群が集中している。また、周辺部の桔梁についても計測箇所がかなり限定され、基本的に下面の一部しか点群が存在しない。隅部については全く点群データが得られていない部材も多い。

#### c) 上面データの欠損

設置箇所の都合により、下方から上方に向けて計測されるケースが多く、全体的に部材上面の点群データが欠損している割合が高い。

## 3. 点群データからの3次元モデル作成

### (1) 3次元モデル作成の意図

阿弥陀堂の3次元モデルを作成するねらいとして次の3点を位置付けている。1点目はデジタルアーカイブの視点であり、文化財としての現時点での阿弥陀堂の状態を記録しておくことである。2点目は建設業務の視点であり、改修工事の計画や実施、および各種資料作成等のワークフローにおける3次元モデル活用の

有用性の検証である。3点目はサステナビリティの視点であり、改修工事で作成された各種情報の管理および維持管理作業における情報運用ツールのインターフェイスとしての活用性を探るという点である。これについて筆者らは既に阿弥陀堂に隣接する御影堂を事例として、その軸組3次元モデルを活用した部材情報管理システムを構築している<sup>3)</sup>。しかし、御影堂の事例では軸組3次元モデルの作成にレーザー計測は使用しておらず、モデリングも比較的簡便な手法で行われたため、上記の1点目や2点目のねらいに沿ったものではなかった。

## (2) 3次元モデリングの基本方針

点群データから3次元モデリング（以降、モデリングと呼ぶ）を行う方法を大別すると、①点群処理用ソフトウェアのモデリング機能に依存する方法、②CADもしくはCGソフトウェア上に点群データを読み込み、ソフト標準のモデリング機能を利用する方法、③点群ソフトの特徴や作成したい形状に合わせてモデリング（又はその一部）を自動化するプログラムを開発する方法、のおよそ3種類に分けられる。それぞれ一長一短であり、目的や精度、時間的制限やコストに応じて使い分けることが望ましい。尚、①の中には点群データの分布を解析して直方体や円柱などの基本立体をフィットさせてくれる機能もあるが、不規則な形状のモデリングには向かない。

検討の結果、阿弥陀堂小屋組のモデリングでは対象とする部材の形状や数量を考慮し、上記①～③を使い分けたり、組み合わせたりしてモデリングを進める方針とした。具体的には下記の通りである。

### a) 土居・牛引のモデリング

部材断面寸法が1辺約60cm～1mと部材が太く、湾曲しており、且つ断面形状が不均一のものが多い。特徴的な部材であり、力学的にも重要な役割を果たしているため、丁寧にモデリングする必要がある。詳細は後述するが、1本の部材のモデリングの過程で①～③を組み合わせる。

### b) 梁のモデリング

部材断面寸法が1辺約27～40cmであり、直方体に近い規則的な形状のものと、湾曲や断面形状の不均一が見られる部材とが混在している。土居・牛引と同じ方法でモデリングするが、作業時間を考慮して必要に応じて精度を作業を簡略化する。

### c) 桔梁のモデリング

部材断面寸法が1辺約40～50cmであり、ゆるやかに湾曲している。部材断面形状が長方形というより円に近い。土居・牛引と同じ方法でモデリングするが、計測器の設置場所の問題から点群データを取得できていない部分が多く、追加の現地調査や計測が適宜必要である。

### d) 束のモデリング

部材断面寸法が1辺約18～36cmであり、直方体に近い規則的な形状のものが多い。点群の密度が高い場合は①、点群の欠損が大きい場合には②の方法でモデリングする。

### e) 貫のモデリング

薄い板状の部材で、部材断面は縦長の長方形である。断面寸法は厚さ約4～7cm、高さ約12～20cmであり、束よりも更に直方体に近い規則的な形状である。束同様、点群の密度が高い場合は①、点群の欠損が大きい場合には②の方法でモデリングする。

## (3) 土居・牛引の3次元モデリング

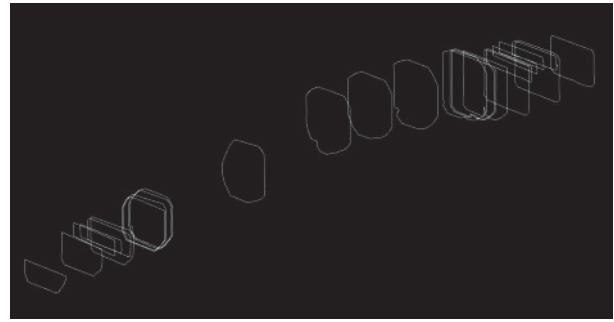
ここでは、今回のモデリングで最も特徴的な土居・牛引のモデリング手法について述べる。大まかな流れとしては、まず点群データを一定間隔で輪切り状態に取り出し、それを基に部材の断面線を作成し、作成された複数の断面線をCADやCGソフトのロフト機能で立体化する方法をとっている（図3）。作業環境としては、モデリング機能を持つ点群処理ソフトウェアであるNf-Designを主に使用し、Nf-Design用に委託開発した断面線作成機能やAutoCADのロフト機能を組み合わせることで、操作の簡便さ（作業時間の短縮）、モデル精度の定量化、データの品質向上等のメリットが得られるよう配慮した。以下に、モデリング工程に沿って具体的内容を示す。

### a) 点群データの輪切り

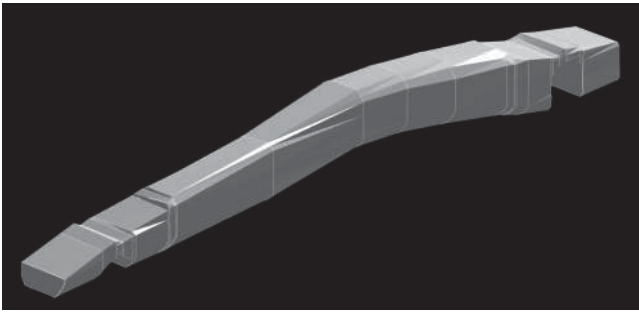
Nf-Design上で必要な部材の点群データだけを表示する（図3(a)）。一定間隔で、輪切り状に選択した点群データを別レイヤーに移していく。その際、土居・牛引の点群データは密度が高いため、輪切りの厚さは



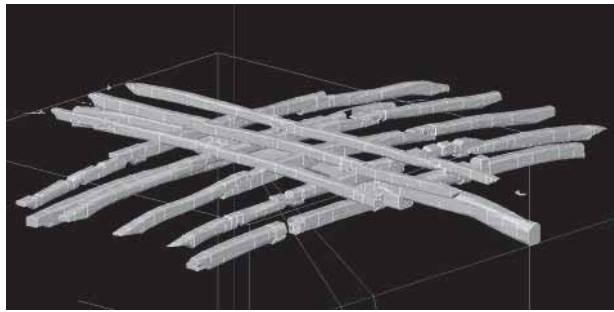
(a) 部材単位で点群データを表示



(b) 断面線作成機能でポリラインを生成し、適宜修正



(c) ロフト機能で一連の断面線から3次元モデルを作成



(d) 作成した3次元モデルを順次合成

図3 土居・牛引のモデリング作業プロセス

基本的に1~3cm程度で密度に合わせて調整する。輪切りの間隔は1mを基本とし、湾曲の激しい部分は間隔を狭めるなどの調整を行う。

#### b) 断面線の作成

輪切り状にした点群データに対して断面線作成機能を使用し、1箇所毎に断面線（ポリライン）を自動生成させる。誤差も頻繁に生じるため、問題がある箇所はポリラインの頂点を移動しながら修正する。同時に、点群が欠損している部分はポリラインが自動生成されないため、欠損部分の前後の部材の寸法や形状、および写真画像から判断し、類推しながら線分を補完し、閉じたポリラインとする（図3 (b)）。また、土居同士、牛引同士の接合部は台持ち継ぎが使われており、その形状を再現しなければならない。ロフト機能使用時にその形状が自然に仕上がるよう、部材端部では形状の変化に合わせて断面線を増やしておく必要がある。

#### c) ロフト機能による立体化

作成した断面線をDXFデータとして保存し、AutoCADに読み込み、標準のロフト機能を用いて立体化する（図3 (c)）。AutoCADに作業環境を移す理由は2つある。1つは他の幾つかのソフトウェアと比較してロフト機能が優れていること、もう1つはモデルがソリッドデータとして定義されるので、体積を求めることができ、部材の重量算定に応用可能なことである。

#### d) データの蓄積と管理

作成された3次元モデルは順次一つのAutoCADファイルに合成し、蓄積していく（図3 (d)）。尚、Nf-Design上の断面線データやAutoCADにデータ変換する際のDXFファイルも整理・保管しておき、作業のフィードバックに備える。

### (4) 作成した3次元モデルの精度検証

点群データ、および作成した3次元モデルの精度検証を2段階で行った。第1段階では土居と小屋梁の部材幅について24箇所、およびそれらの部材間距離について21箇所、点群データと別途レーザー距離計で実測した値との比較を行った。結果、最大でも20mm以内の誤差であった。第2段階では前項の手順で作成した土居・牛引のモデルについて、点群データと作成した3次元モデルとの誤差を確認した（表2）。方法としては、任意に選択した10本の部材（表2の「対象部材」）について、まず点群を輪切りにして断面線を作成した位置（断面部分）での点群データと3次元モデルのずれをそれぞれ4箇所ずつ（計40箇所）で確認した（表2 (a)）。次に、同じ10本の部材について、隣接する断面部分の中間位置（中間部分）での点群データと3次元モデルのずれをそれぞれ4箇所（計40箇所）で確認した（表2 (b)）。本来、断面部分では点群に忠

表2 点群データと3次元モデルの誤差（青は最大値、赤は最小値を表す）

(a) 断面部分での誤差

断面部分のズレ		単位: (mm)	
対象部材	対象部分	側面①	側面②
x5-1	断面-A	-1.26	2.87
	断面-B	-0.84	-6.19
x5-2	断面-A	1.23	1.19
	断面-B	0.40	1.52
x5-3	断面-A	3.33	<b>6.37</b>
	断面-B	-1.67	1.71
x6-2	断面-A	-2.86	-0.48
	断面-B	-0.23	-1.39
x7-2	断面-A	-0.75	-3.35
	断面-B	-3.25	2.05
y9-3	断面-A	1.36	-0.92
	断面-B	-0.40	-0.31
y10-3	断面-A	3.10	1.12
	断面-B	0.71	<b>0.00</b>
y10-11-1	断面-A	-2.91	2.62
	断面-B	-2.91	<b>0.00</b>
y10-11-2	断面-A	5.69	-3.10
	断面-B	-3.57	0.94
y10-11-3	断面-A	0.48	-3.33
	断面-B	0.59	-1.81
ズレの平均値			<b>-0.11</b>
標準偏差			<b>2.53</b>

(b) 中間部分での誤差

中間部分のズレ		単位: (mm)	
対象部材	対象部分	側面①	側面②
x5-1	中間-A	-4.48	-4.27
	中間-B	1.04	-3.33
x5-2	中間-A	<b>9.84</b>	1.68
	中間-B	-1.17	-1.80
x5-3	中間-A	-4.71	4.65
	中間-B	-5.61	-2.83
x6-2	中間-A	-2.56	4.04
	中間-B	-3.99	2.21
x7-2	中間-A	0.65	-3.65
	中間-B	-6.45	-0.35
y9-3	中間-A	2.20	3.75
	中間-B	6.02	1.85
y10-3	中間-A	-2.00	2.12
	中間-B	-2.17	-2.24
y10-11-1	中間-A	-3.57	-1.63
	中間-B	0.57	-7.24
y10-11-2	中間-A	2.46	-7.08
	中間-B	0.31	-5.81
y10-11-3	中間-A	-2.18	-1.90
	中間-B	-5.96	<b>0.00</b>
ズレの平均値			<b>-1.09</b>
標準偏差			<b>3.77</b>

実に断面線を作成してあるはずで、誤差があること自体がおかしいのであるが、点群にも厚みがあり断面線を引く位置の判断が難しいことから、後から確認すると微妙にずれていると判断される場合がある。表2 (a)はそのような状況を整理したものである。一方、断面線を作成した間隔は部材毎やその部分毎に異なるため、断面線の作成間隔が広いと、その中間部分で3次元モデルと点群データとのずれが大きくなるはずである。表2 (b)はそのような部分でどの程度の誤差が生じているかを検証した結果である。結果としては、予想通り中間部分での誤差が大きくなったものの、それでも4mm以内の標準偏差に収まっている。

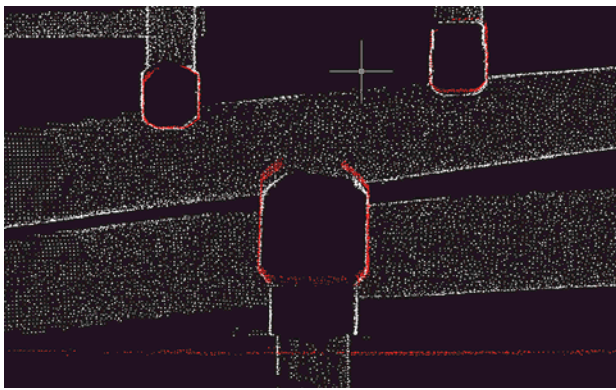
#### 4. 点群データからの2次元図面作成

##### (1) 2次元図面作成の概要

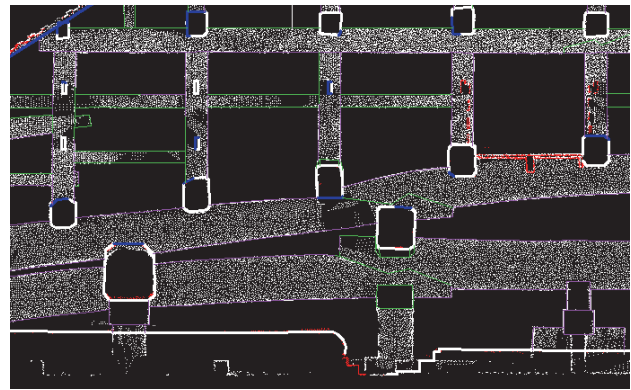
一般に、改修工事は調査→現状資料作成（2次元図面など）→工事計画の検討→計画図の作成→工事実施というような流れで進む。改修工事に関わらず、建設業ではまだ建物表現のほとんどが2次元図面であり、その意味でレーザー計測で得られた高精度の点群データも2次元図面という表現媒体に落とし込まなければ、現時点の建設業務ではほとんど意味を成さないというのが実情である。阿弥陀堂のケーススタディにおいては当初、3次元モデルを作成した後にその切断面を取り出すことで伏図や断面図を作成することを予定していた。しかし、点群データに基づいた3次元モデルの作成には多大な時間を要するため、実際の改修工事における各種作業との時間的同期が困難であるとの判断から、2次元図面も並行して作成することとした。その目的は従来通りの手法で描かれた、大工技術による尺寸モジュールや創建時の指図等をもとにした図面（以降、設計図と呼ぶ）との比較を行うことである。既に阿弥陀堂では民間の設計業者が主要な位置の断面図、伏図等の設計図を描いている。それらと、レーザー計測に基づいた建物の現状を正確に表す図面（以降、アズビルト図面と呼ぶ）の整合性が担保されれば、設計図の信頼性が高まるのは勿論、建物の力学的な状態が安定していると考えやすい。一方で、不整合な部分があれば建物の構造体の歪みとして理解し、その原因を探り、対策を立てていく際の判断材料となり得る。以上のことから、小屋組の部分のみであるが、梁間断面図、桁行断面図をそれぞれ作成した。図4は梁間断面図の一部を拡大したものである。

##### (2) アズビルト図面の作成方法

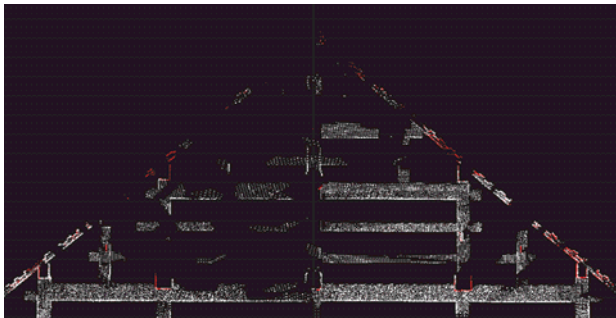
作成方法はシンプルであり、まず小屋組の点群データから断面図を描きたい部分（構造体の一構面）を輪



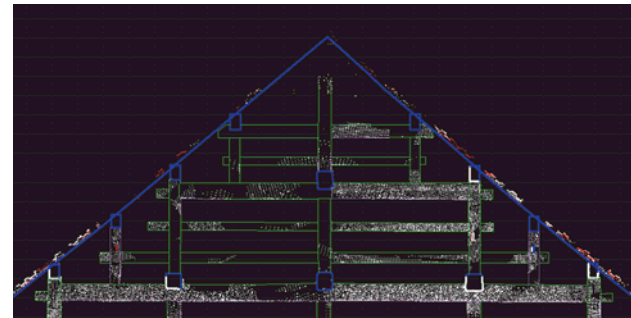
(a) 高密度な点群データ(赤い点は切断面を意味する)



(b) 断面図を描いた状態(白・紫は確定線、青・緑は推定線)



(c) 欠損もしくは低密度な点群データ



(d) 断面図を描いた状態(白・紫は確定線、青・緑は推定線)

図4 点群データを下敷きにして作成した梁間断面図

切りにして取り出し、次にその中から切断面となる部分の点群のみをさらに薄く輪切りにして別のレイヤーに移して色を変える。それら2種類の色の点群データを見ながら、切断線と奥に見える立面線を描き分けていくという方法である。

点群データの欠損や、密度の低い部分については、①周辺の点群密度が高い部分から関係性を読み取る、②設計図上の部材の絵姿や脇に記入された実測値を参考にする、③調査時に撮影した写真を見る、といった確認作業を組み合わせながら、図面作成を進めた。その際、点群データを基に確実に描けた線とそれ以外の線を色分けし、線の信頼度を確かめられるようにした。

### (3) 設計図とアズビルト図面の比較

今回作成したアズビルト図面(梁間断面図、桁行断面図を各1面)について、設計業者が描いた設計図と比較した。具体的には、設計図で設定されている通り芯(一定間隔)をアズビルト図面内に写し、垂直材である束との整合性を確認した。その結果、梁間断面図の方では設計図から写した通り芯がほぼ問題なく当て嵌まったのに対し、桁行断面図では設計図の通り芯が束の中心線と少しづつ(数cm)ではあるがずれており、束の間隔に乱れが確認された。このことから、小屋組には桁行方向で微妙な歪みが生じている可能性もあり、今後更に別の切断位置での梁間断面図、桁行断面図を作成しながら同様の比較を行っていくとともに、垂直に立っているはずの束の傾斜状況を分析していくことも重要と考えられる。

## 5. 考察

### (1) 3次元モデルの作成効率について

今回、阿弥陀堂の小屋組を対象に点群データから3次元モデルと2次元図面を作成したが、やはり3次元モデルの作成は2次元図面の作成に比べて多大な労力を要する。この原因としては、同様の作業に対するソフトウェア技術がまだ十分に発達していない点がまず第一に挙げられるが、同時に点群の密度が十分でなかった点も大きい。ソフトウェア技術の問題に関しては、今回はモデリング手法の開発やそのマニュアル作成に約半年の時間を費やしたが、それでもまだ尚、改良の余地は多く残されている。現在は新しいモデリング技術の情報収集を進める一方、作業効率向上のためのマクロ機能の開発を検討している。また、作業者の経

験値に依存しない定量的なモデリング手法の開発も進めていく必要があると考えられる。点群密度の問題に関しては、レーザー計測の回数を増やすことである程度の対応は可能であるが、その際に、特に上層部において計測器を設置する場所をいかに確保するかが一つの大きな課題である。

## (2) 点群データの利用価値について

点群データの密度が十分に高く、且つ色情報が付加されていれば、そのデータを自由な視点から動かしてみることで、十分な立体感と臨場感を得ることが可能である。また、ソフトウェアの距離計測機能を利用すれば、モデル各部の寸法を測ることもできる。今回も3次元モデルや2次元図面を作成する過程で、頻繁に点群データを閲覧し、階段や通路との位置関係を確認しながら部材相互の立体的な関係を確認していた。

## (3) 3次元モデルと2次元図面の作成効率について

今回のケースのように、3次元モデルと2次元図面の双方が求められる場合、その両者をいかに効率良く作成していくかというテーマは興味深い。単純にCADデータ作成のみの観点から見た時、3次元モデルを一度作成してしまえば断面図や平面図はそこから自由に取り出すことができるので、3次元モデルを先に作成した方が作業効率が良いように思われる。いわゆる3次元オブジェクトCADの考え方である。しかし、裏を返して、3次元モデルを作成する過程で断面線などの2次元図形を適宜作成していることを考えれば、2次元図面を先行して作成することが、3次元モデル作成の一助になる面も否めない。

一方、工事全体のワークフローという観点では、耐震調査や改修工事に関連する組織の中でその都度求められるものを順次作成していかざるを得ないケースもある。阿弥陀堂のケースはまさにその状況であり、先に3次元モデル作成を開始したが中座し、現在は2次元図面を作成している段階である。今後はその断面図の形状データをもとに、貫などの比較的シンプルな部材の3次元モデリングにフィードバックしていくことを検討している。つまり、3次元モデル先行でも2次元モデル先行でもなく同時並行作業のメリットを最大限活用するという考え方である。

## 6. 結論

本報では、阿弥陀堂の改修工事を事例に、レーザー計測による木造伝統建築の3次元モデルおよび2次元図面の作成手法、およびその有効性について述べた。具体的には、まず最初に阿弥陀堂で実施したレーザー計測の手順を示し、小屋組という特殊な状況におけるレーザー計測の状況や問題点を整理した。次に、小屋組を構成する部材の3次元モデリング手法として、点群データを部材単位で取り出し、適宜断面線を作成しながらロフト機能でモデリングしていく手法について、ソフトウェアの選定や断面線生成機能の開発、およびそれら機能やデータの連携方法を含めて報告した。また、その手法により不規則な形状の部材を高い精度でモデリング可能であることも示した。一方、点群データから2次元図面を作成する方法を示し、その方法で実際に作成したアズビルト図面の、改修工事における活用法の一端を明らかにした。更に、現時点での問題点や考えられる解決策等について考察を行った。今後は引き続き同事例のCADデータ作成を進めながら、改修工事における計画・実施、および各種資料作成等におけるそれらの活用性についてより詳細な検討を進めていきたい。

**謝辞：**本研究は、真宗大谷派（東本願寺）のもとに設置された東本願寺耐震調査研究委員会の調査研究の一環として実施したものである。

### 注釈

注1) 1箇所での計測につき原則4個以上の合成用球体（直径10cm）を適宜配置し、専用のスキャニング作業を行う必要がある。専用ソフト上にはこの球体データを基準に点群データを位置合わせする機能が用意されている。

### 参考文献

- 1) 大石岳史・池内克史・中川武：3Dで再現されたアンコール王朝の都，Newton 2007年6月号，pp14-29，2007.
- 2) 田中泉：唐招提寺金堂における奈良国立文化財研究所の試み，建築雑誌 2000年11号，pp.64-65，2000.
- 3) 下川雄一・奥田辰雄・須田達・鈴木祥之：木造軸組ヘルスマonitoringのための3次元部材情報管理システムー東本願寺御影堂における基本システムの開発ー，日本建築学会大会（関東）学術講演梗概集A-2分冊，p.483-484，2006.