

# 既存木造住宅の部材形状と構法の三次元情報化フローの検討

構法計画研究室 磯野 信

## 1. 序論

### 1-1. 研究の背景

木造建築を解体・修理・移築する際、解体前後での部材の整合性を保つために建物の実測調査や部材の番付が行われる。実測は解体前と解体中にまたがり、小屋組、軸組、造作時の番付に加えて、平面、断面、不陸などのあらゆる側面を野帳で記録する<sup>1)</sup>。さらに文化財建造物については、解体された部材ごとの名称・寸法・樹種痕跡等の情報を一覧できる構成部材調書の作成が文化庁の手引き<sup>2)</sup>で推奨されている。また、増改築の変遷や部材の品質を調査する際にも建物および部材の形状や状態の詳細な記録が重要となるが、手作業による実測では膨大な時間が必要となる。

一方で近年では三次元レーザースキャナーを用いた実測が普及し始めており、コストはかかるものの建物の寸法を高い精度で取得できる。また複数の写真の視差から三次元モデルを生成するフォトグラメトリも活用され始めており、精度はレーザースキャンに劣るもののスキャン範囲に制約がなく、過去の写真からもモデル生成が可能であるという利点もある。こうした測量技術を用いれば部材が組み立っている状態を比較的容易に三次元情報化できるが、接合部や隠蔽部の情報が取得できないこと、部材の詳細な形状や組み立て情報を記録できないことが課題である。部材そのものの形状に関しては、木造軸組構法の柱梁のように直線的で形態に特徴の少ない部材の場合、スキャナーに絶対位置を認識させるためにロボットアーム等の高価な機材を用いる必要がある。スキャン対象に逐一マーカーを貼付ければより安価なスキャンが可能となるが、大量の建築部材に対する作業は現実的ではない。

### 1-2. 既往の研究と取り組み

大塚らによる構成部材調書に関する新書式の提案<sup>3)</sup>では、部材調書に品質の項目を盛り込む事で古材の需要予測や資料価値の向上が可能であることが提唱されているが、部材の表面情報の読み取りは現場の手作業が想定されている。

建物やその部材を三次元情報化する研究として、木造建物の三次元測量データからモデルを作成する研究<sup>4)</sup>や、BIMソフトを用いて資料や雛形に基づく構法モデルを作成する研究<sup>5)</sup>があるが、構成部材の個別の形状を測量データから作成した事例はない。部材となる曲り木を3Dスキャンして建築に活用した事例<sup>注1)</sup>では部材の3Dスキャンと情報管理が行われているが、誤差を部材の加工と取り方で吸収する前提のためスキャンは形状のみを荒く取得するだけに留まっている。

### 1-3. 研究の目的

本研究ではこのようにデジタル技術が一般化している状況において、木造在来軸組構法の構造材ひとつひとつの詳細な立体形状を組立情報やテクスチャとともに記録する汎用的方法を検討することと、作成した部材の3Dモデルを総覧できるデータベースのあり方、及びこれらの作成フローを示すことを目的とする。

### 1-4. 研究の対象

東京都世田谷区経堂に立地する木造二階建て住宅の解体に際して、解体した部材を展覧会<sup>注2)</sup>で再組み立てするために行った部材スキャンと部材データベース作成作業について報告する。

対象とした住宅は1954年の新築当初は平屋だったが、累計4回の増改築を経て図1の状態に変化した。平屋南側部分に二階を増築した棟をオモヤ、平屋北側部分に二階を増築した棟をベツムネ、東側の余地に1982年に増築された離れをシンタクと呼称する。

いずれの棟も主体構法は木造在来軸組構法で、一部の屋根梁に丸太とたいていこ材が使われている以外はほぼ製材された角材で構成されている。また一部の箇所には金物での接合や鋼製梁なども見られる。本研究ではこれらの構造部材だけでなく下地や仕上げ材などの非構造部材のうち一部の保存価値の高いものも記録・スキャンの対象とする。

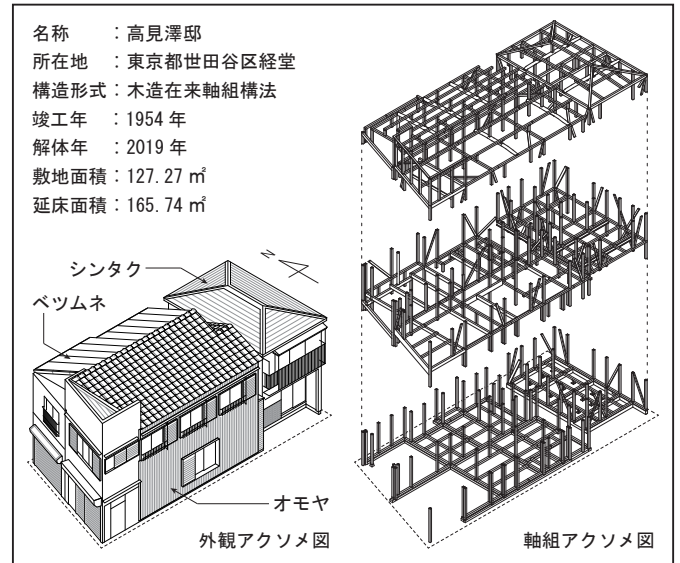


図1 対象住宅の概要

### 1-5. 本論の構成

本研究は全5章で構成される。ここまでの第1章では典型的な部材の情報化手法と今日のデジタル技術を用いた建築物と部材の三次元情報化について整理した上で、研究の目的を明らかにした。第2章では本研究で提案する技術的要素3項目について説明した上、ワークフロー全体の中での位置づけを明らかにする。第3章では各項目に付帯する作業の詳細について述べる。第4章では各項目と一連のワークフローについて評価・考察を加え、その改善策を示す。最後に第5章では結論として本研究の成果を述べ、今後の展望を述べる。

## 2. 研究の手法

### 2-1. 部材データベース作成ワークフロー

今回の調査では解体の工程や居住者の引越しの都合で解体前実測に充てられる期間が2日間に限られていたため、複雑な増改築を経て立体的に入り組んだ多数の部材を番付と野帳で記録することが困難だと予想された。そこで以下の図2のフローにしたがい解体前・解体中・解体後の3つのフェーズで建物や部材の情報を記録した。

解体前の作業として、実測した簡単な平面図からモデリングを行って構法を推定し、個別の部材に仮のIDを発行した。解体中の作業として、目視によって明らかとなった実際の構法とすり合わせながらIDとモデリングデータを修正することで、解体と並行して組立情報を遡及的に記録した。解体後の作業として、スキャンした部材の3Dモデルと確定したIDを紐付け、部材データベースを作成した。

実際に行われた一連の作業を詳細なワークフローとしてまとめると図3のようになる。なお図中で縦軸は、扱う情報に従って「建物の実体」「文字情報」「画像情報」「立体情報」に設定しており、横軸は時系列に沿って解体前・解体中・解体後に設定している。情報が複合していたり、複数の時間に横断して項目の作成作業が行われた場合は列や行を跨って項目を示している。

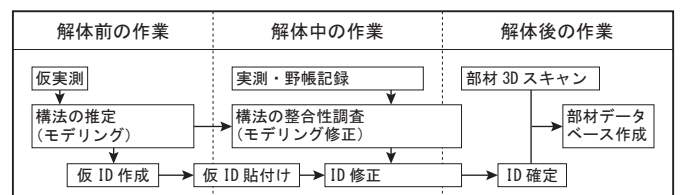


図2 想定したワークフロー

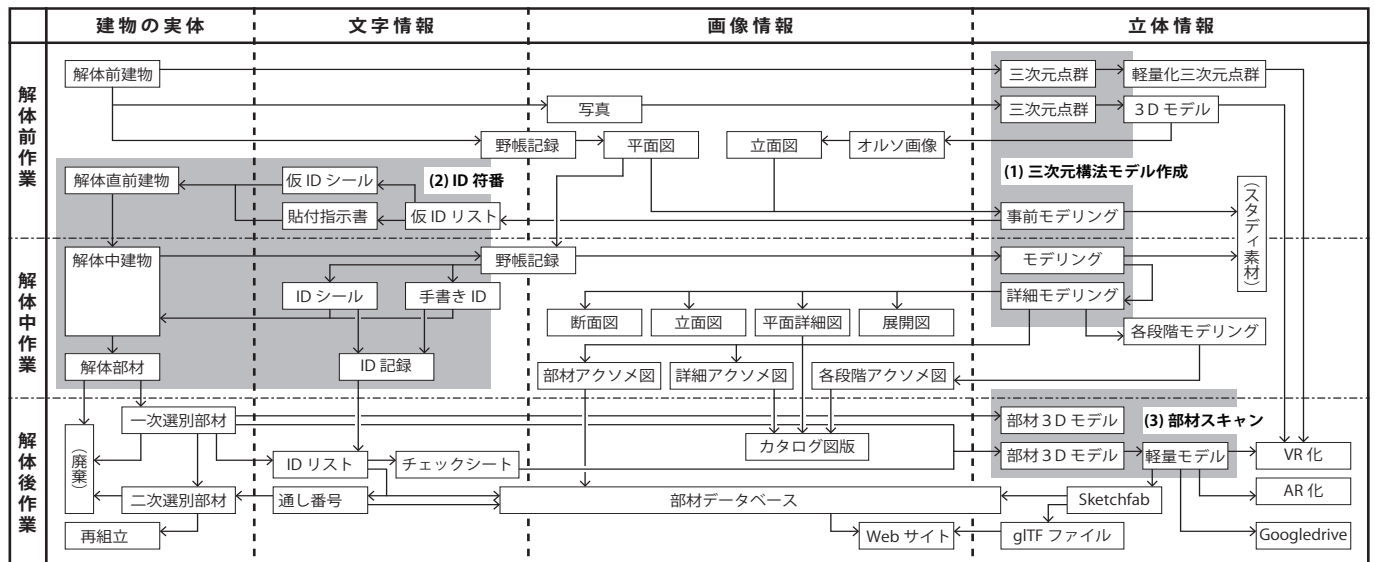


図3 実際のワークフロー

## 2-2. 技術的要素の3分類

本研究における建物の三次元情報化のフローの核となる技術は、以下に示す3項目である。図3中に各技術と対応する項目を示す。

- (1) 全ての部材の組立情報を保持した三次元構法モデルの作成技術
- (2) 隠蔽部分の構法が不明な状況下でのIDの符番技術
- (3) 形態的特徴の少ない建築部材の3Dスキャン技術

## 3. 各作業の詳細

### 3-1. 三次元構法モデルの作成方法の検討

対象とした建物は度重なる増改築を繰り返して当初の図面の状態から大きく変貌しており、部材も複雑に入り組んでいた為に野帳による記録では構法の再現が困難であることが予測された。

そこで解体前の測量や実測野帳から作成した仮モデリングをもとに部材の組立情報を解体と並行して反映させる事で、正確な三次元構法モデルを遡及的に作成する方法を採用した。

#### 3-1-1. 建物の解体前の状態の記録

解体される前の建物の状態を正確に記録し後のモデリングに反映させるため、三次元レーザースキャナーによる建物の内外観の点群測量を行った(図4)。使用した機材はFaroFOCUS360Plusで、測定誤差は0.6mm@10Mである。

また、解体前の写真撮影による記録と並行してフォトグラメトリによる建物の3Dモデル生成も行った(図5)。ソフトは3DFZephyrを使用した。足場のかかっていない状態で立面上の寸法を素早く取得するため、モデルから立面オルソ画像を生成し、それを下書きに用いて立面図を作成した。

#### 3-1-2. 事前モデリング

建物の全容把握と部材総数の概算のため、解体前にSketchupを用いて仮のモデリングデータを作成した。床下や天井裏などの隠蔽部の部材についても、実測に基づいて作図した平面図と高さ関係の情報をもとに解体前の状態から推測できる範囲で全てモデリングし、各棟・各階・各部材ごとにクラス分けした。

#### 3-1-3. 解体野帳記録とモデリング更新

解体中に存在が判明した新たな部材や、事前のモデリングで位置や個数が間違っていた部材については、野帳に記録した上で解体と並行してモデリングに随時反映した。筋交いの位置や間柱の断面寸法などは微調整を重ねて実状に近づけていけたが、小屋組みと一部の壁体の層構成は調査の結果当初想定していたものと大きく異なっていたため、微調整の範疇を超え、通り芯の再設定を要するなど大きな手戻りがあった。

特に図6のオモヤとベツムネの境界について、当初は独立した棟だと想定していたが、増改築履歴の調査の結果平屋が片側ずつオカグラ<sup>注3)</sup>されていた事が判明し、各階で壁体の層構成が異なっていた。



図4 レーザースキャナーで測定された点群



図5 フォトグラメトリで測定された点群と立面オルソ画像

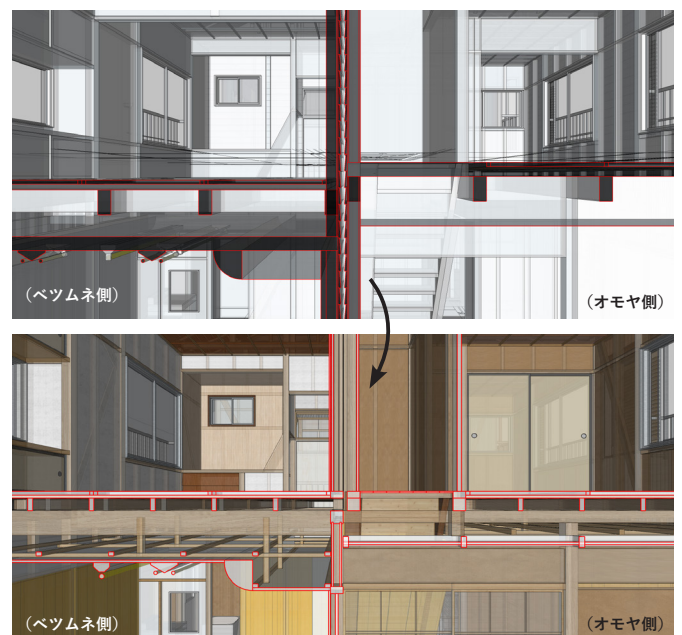


図6 オモヤとベツムネの境界の修正前後のモデリング



### 3-1-4. 各データの統合

修正を経て、全ての部材の相対的な位置を特定したモデルが完成した。このモデルを Rhinoceros に移行し、測定した点群などと重ね合わせ、部材の位置関係の寸法も調整し正確な三次元構法モデルを作成した(図7)。後述の部材 ID も一部の部材にインスタンス名として登録することで部材位置を検索可能にするなど、個別の部材に付随する属性情報を付加することも試みた。

### 3-2.ID 符番方法の検討

#### 3-2-1. ID の作成

解体時の部材の遺失などに柔軟に対応するため、各部材の位置情報が部材個別の名前と紐づく独自の ID を発行した。ID はデータベースの情報構造を持ち、「棟の種類・方角・部材の大別・小別・通し番号」の以下5つの情報から成る。  
①棟の種類：対象住宅は大きく三つの棟から構成されているので、「オモヤ」は M (Main)、「ベツムネ」は B (Branch)、「シntax」は A (Annex) とした。3棟それぞれについて、一階を1、二階を2、屋根を R と表記し、 $3 \times 3 = 9$  パターンの分類を設けた。

②方位：部材の位置を大まかに把握できるように、各棟の中心を基準に部材が位置する方位を N、S、E、W で表記した。ふたつの方位の中間方向に位置する部材は適宜 NE (北東) などと表記した。また、床や天井などの方位で分類できない部材は X と表記した。

③・④部材の大分類と小分類：解体後に部材単体でも種類を容易に識別できるように、大分類と小分類を設定した。三棟とも木造在来軸組構法のため分類は共通とし、PL (柱) や FS (梁桁) など10種類の大分類を設けた上、小分類は部材の名称を英語表記した。

⑤通し番号：同じカテゴリに分類された部材に対して、さらに1つずつを認識できるようにするため通し番号を表記した。長手方向の通り芯のみを表記し、通り芯をアルファベットに対応させ、通り芯上の部材には通し番号を振ることで、ID 数の増減に柔軟に対応できるようにした。

例えば、「M2\_X\_PI\_pillar\_c-2」はオモヤ2階・方位無指定・柱カテゴリ・柱・c列2番目の部材であることを示している。

#### 3-2-2. シール貼り付け指示書の作成

解体に先立って後述の ID シールを作成し、その貼り付けのために事前モデリングを利用して全部材に対して72項目からなる指示書を作成した(図8)。ID シールは解体工事と並行して貼り付ける必要があるため、作業性を考慮しつつ貼り付け位置も記載し、ID の付与された部材がどの方角にどの面を向けて組み立っていたかを参照できるようにした。

#### 3-2-3. 部材 ID シールの作成と貼り付け

番付の記録は一般的に番札と釘によって行われるが、今回の ID の記録は発行と交換が容易で部材を傷めないシール(図9)の貼り付けにより行った。シールのデザインについてはグラフィックデザイナー<sup>注4)</sup>と協議し、文字の大きさ、シール形状、部材に対するシール位置などを視認性の観点からも検証した。部材と部材情報を情報空間上でも紐付けられるようにするため、各シールに対応する個別の QR コードを併せて記載した。

解体前から露出している真壁柱や床板および天井板、内装の造作材や建具は事前モデリングの段階で正確に個数や位置を把握できていたため、おおむね指示書で指定された箇所に貼り付けることができた。

#### 3-2-4. 野帳記録と ID 更新

大壁造りの柱や間柱、下地や小屋組など、隠蔽されている部材は随時野帳に位置を記録し、事前モデリングとの差異をモデルに反映した。事前モデリングの段階で存在を予見できておらずシールを用意できなかった部材については、図5のようにマスキングテープ等にその場で手書きして ID を貼り付けた。

また、部材の汚れが取れないため粘着できない、部材表面が平滑でない、部材が小さすぎる、高所にあるなどの要因で ID が貼り付けづらい部材もあった。加えて、手書きで ID を貼り付けたものの、解体工事の事情で野帳に記録できなかった部材もあり、これらはその後のモデリングの修正やデータベース作成の際の情報の照合が困難であった。

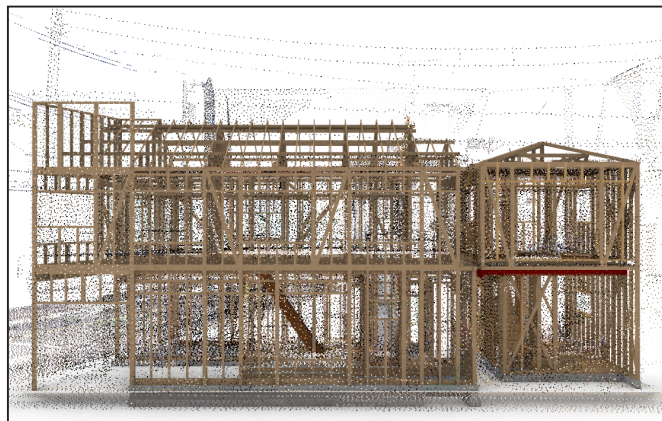


図7 三次元構法モデルと点群の重ね合わせ

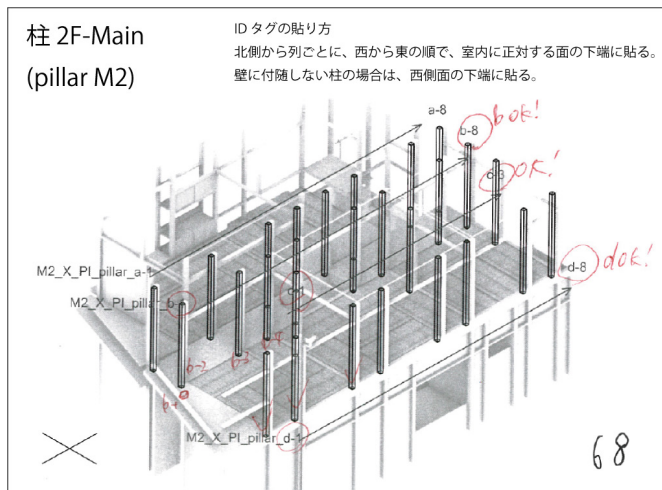


図8 現場用 ID 資料の一例 (オモヤ2階柱)



図9 原寸大 ID シールと解体前の貼り付けの様子



図10 解体中の ID テープと貼り付けの様子



### 3-3. 部材の 3D スキャン

#### 3-3-1. スキャン機器の概要

解体した部材は随時倉庫へと移動し、倉庫にて 3D スキャンを行った。機材は EinScanPro2XPLUS と EinScanPro2X の 2 台にカラーモジュール<sup>注5)</sup>を装着して使用し、付帯ソフト ExScanPro のハンディ Rapid 高速スキャンモードで読み取った点群データをメッシュ化した。

#### 3-3-2. スキャン用治具の作成

スキャンにあたっては 3 メートル程度の柱材や畳大の面材を手持ち型 3D スキャナーでスキャンしやすい位置に保持する必要があるため、図 11 に示す軸組材スキャン用治具と図 12 に示す面材スキャン用治具を作製した<sup>注6)</sup>。スキャン対象物は治具のワイヤーもしくは横棧に載せて浮かせ、裏面や底面も測定できるようにした。ここでは、マーカー付き透明フィルムを治具の全周にランダムに張り巡らせることで、形態的特徴の少ない部材の周囲に新たな特徴点を作り出した。これにより、マーカーを部材に直接貼り付けることなくスキャナーに座標空間を読み取らせることが可能となった(図 13)。

#### 3-3-3. 部材の 3D スキャンと調整

最終的に延べ 4 名で累計 286 時間の作業を行い、スキャンできた部材数は面材が 94 枚、軸組材が 303 本であった。取得した点群データは 1 部材あたり平均 17GB となり、メッシュ化したデータは 1 部材あたり 18.9MB となった。

結果的には、図 14 に示すように木造在来軸組構法の建物の様々な形状の部材の立体形状をテクスチャと共に取得することができた<sup>注7)</sup>。

一方、通し柱のように 4 メートルを超える部材は治具に収まり切らず、また 2 人でようやく持てる重量の大梁などはワイヤーで空中に保持できなかったため、スキャンできなかった。面材は表面の凹凸は細かくスキャンできたものの、面の裏表を回り込んでスキャンすることが困難なため厚みを正確に測定できず、面が自己交差してしまい閉じたメッシュを生成できないものが多かった。

マーカー付き透明フィルムの帯は部材の出し入れの際に破損・位置ずれが発生しやすく、生成される 3D モデルに多くの袋穴<sup>注8)</sup>が生じた。付帯ソフトの機能を用いれば、袋穴だけを選択・削除しモデルに空いた穴の周囲のメッシュをもとに穴を埋めて修正できる。しかし袋穴が部材の角に跨っていたり、ほぞ穴等と干渉している場合は、修正の際に形状が崩れてしまう事もあった。

#### 3-3-4. 部材のフォトグラメトリ

手持ち型 3D スキャナーは治具が必要な上に機材も高額なため、効率や精度の比較のためにフォトグラメトリによる部材スキャンも試行した。

軸材のように黒く細長い物体や面材のように薄い物体は視差の情報が取りづらく、単体でのフォトグラメトリに向いていないため、色紙を用いて壁面の特徴量を増やした部屋で、部材の全周を照らす照明を設置して試行した。

しかし、手持ち型 3D スキャナーではマーカーが張り巡らされた測定範囲以遠の物体はスキャンの基準とされないのに対して、フォトグラメトリでは部屋全体と部材を同時にアライメント<sup>注9)</sup>する必要がある。したがって、後者の場合はスキャン対象ではない部屋を各部材ごとに毎回スキャンする手間がかかる。そこでフォトグラメトリは治具に入らない大きな部材や重い部材を別途スキャンするためのみに用いることとした。

### 4. 考察

以上の結果を踏まえ、要素作業と作業フロー全体の改良について考察する。

#### 4-1. 要素作業の改良

##### 4-1-1. 三次元構法モデルの作成について

解体される建築物の構法を正確に記録するためには事前調査に時間をかける事が重要だと考えられるが、今回のように事前の実測作業が時間的に限られる場合には、寸法と位置が確定している部材を優先して事前モデリングに反映させるべきであると考えられる。野帳による記録の場合は測定する項目ごとの寸法の正確さが問われ各野帳どうしの寸法の整合は別途行われるが、ひとつの三次元構法モデルを遡及的に作成する過程では整合が取れていなかったり寸法が不明な部材も暫定的に立体化する局面が数多くあり、どの部材のどの寸法が未確定であるかを管理し共有できるようにする必要があると考えられる。

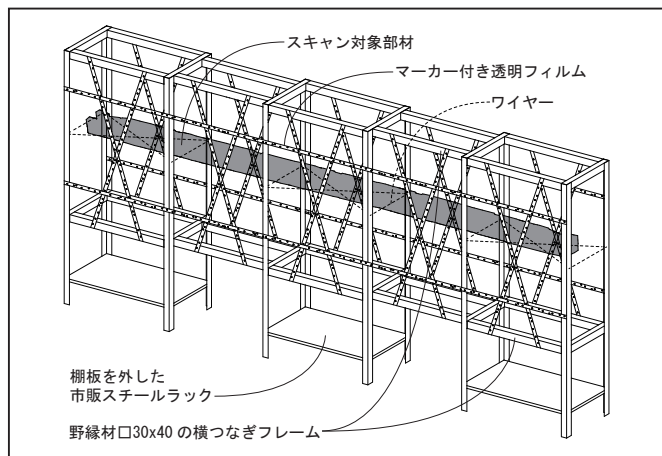


図 11 軸組材スキャン用治具

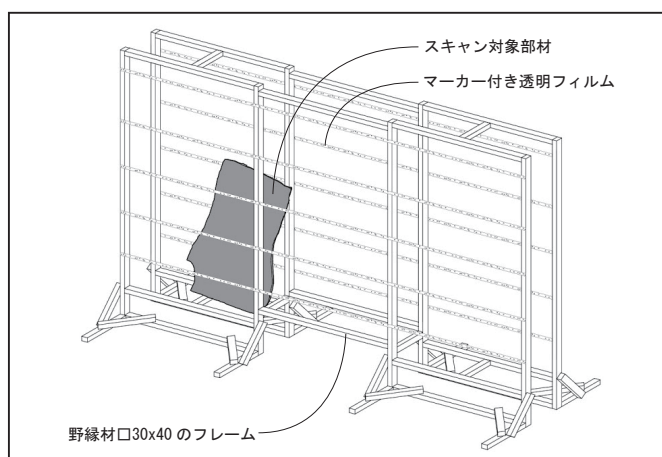


図 12 面材スキャン用治具

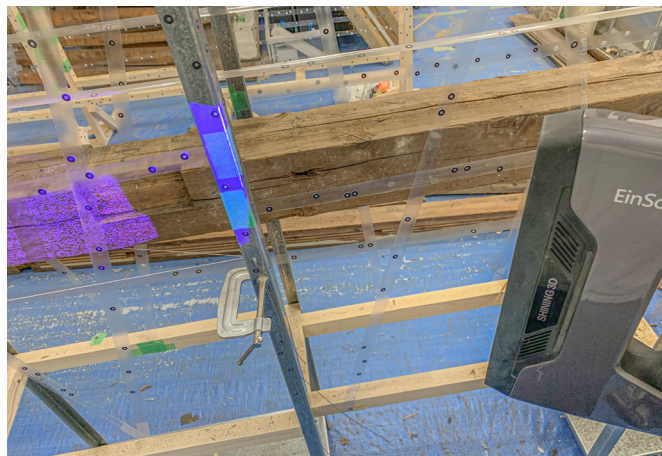


図 13 治具とマーカー越しのスキャンの様子

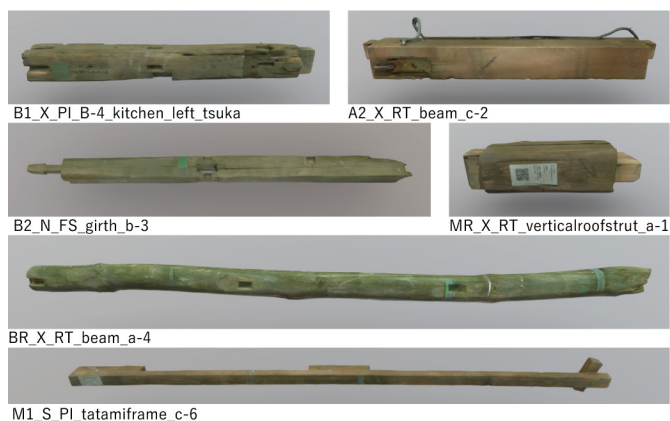


図 14 生成された部材 3D モデルの一例

4-1-2. ID の符番について

一般的な番付では、いろは順のかなが振られた列と数字が振られた行からなるグリッドを建物に敷いた上で部材の相対的な位置を厳密に規定するが、今回考案した ID の符番の方法は、部材の種類と大まかな個数だけをあらかじめ設定しておけば現場である程度の調整が可能のため、今回対象としたような複雑な建物を測定する場合には有効だと考えられる。

ただし、今回対象とした住宅は各棟とも二層で平面がほぼ矩形だったため、部材の大まかな位置を階数や方位を用いて表現することができたが、断面構成が複雑な建物や平面が矩形ではない建物にも通用可能な ID の符番方法を考案する余地がある。

ID 表記にはアルファベットと数字を用いたため、シールがない場合にその場で手書きにより発行・管理する手間が大きかった。その改善策として、スタンプによる押印などの方法も検討する必要がある。

4-1-3.3D スキャンについて

今回はスキャン対象の全周に位置をずらせないマーカーを張り巡らせる必要があったが、これは治具に部材を出し入れしにくくなる要因にもなったため、ローラー等で部材を出し入れしやすい機構を治具に付加するなどの改良を加える余地があると考えられる。

3D スキャンされた部材はその詳細な形状に加えてテクスチャも記録されているため、部材の品質を解体後に追って検証できるという利点がある。ただし、今回のスキャンで取得したテクスチャの色味は実状に完全に即しているとは言えず、資料としての正確性を高めるためにはスキャンを行う場所の光環境を一定に保つ必要がある。一方でマーカー、フィルム、ワイヤーがテクスチャに写り込んでしまうという問題もあるため、フォトグラメトリ等マーカーを用いないスキャン方法を再検討する必要がある。またスキャンは白色 LED の点滅を伴うので、光が透明フィルムに反射しマーカーの認識に不利に働いていた可能性もあり、確認が必要である。

今回はデータ量の削減や外見の調整を目的に袋穴の修正などデータに微調整を加えたが、スキャンした 3D モデルから形状を観察したり、寸法を測定する際の信頼性を担保するためには、データのどの部分に加工が施されたかを峻別できるようにする必要もある。また今回は軽量化の際に部材表面の微細な凹凸情報は失われてしまったが、技術的には法線マップ画像として記録し、ディティールを保ったまま軽量化することも可能である。

4-2. ワークフローの改良

今回策定したワークフローでは、各作業で得られた情報どうしを紐付けていく中で、情報間の齟齬の修正の効率が悪いことが問題となることが多かった。これを改善するためには、実物の解体部材、部材の 3D モデル、建物の 3D モデル、ID をはじめとする各種の属性データ、以上の情報を紐付けるにあたって、最初に部材に付した ID が工程の最後まで変更されない事が重要だと考えられる。

以上を踏まえて改良した部材データベース作成のワークフローを図 15 に示す。解体前の作業は、短時間の実測で作図した平面図を元に、隠蔽されていない部分の構法を簡易的なモデリングで推定するにとどめる。解体中は部材の名称や位置と関係なく発行される簡易的な通し番号を部材にスタンプで押印し、写真撮影した上で位置を野帳に記録する。この野帳と写真を元にモデリングの解像度を上げていくことで、解体と並行しながら手戻りの少ない工程で正確な建物の 3D モデルを作成できる。その後、部材に詳細な ID を別途割り振ることも考えられるが、各種のデータと新たに発行した ID を紐付ける際、最初に発行した簡易 ID を正とすることで、情報間の齟齬が発生する事態を防げると考えられる。

5. 結論と展望

本研究では、木造在来軸組構法の既存住宅の部材に関して、解体前のモデリングをもとに番付に代わる ID を発行することで、部材ひとつひとつをユニークに管理する事を可能とした。その後、手持ち型 3D スキャナーを用いて部材の立体形状を取得する事を考察し、ID と紐付く部材データベースを作成する事ができた。

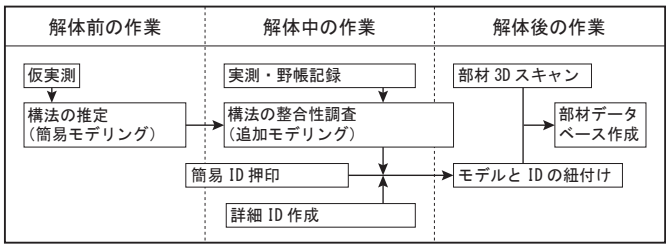


図 15 改良したワークフロー

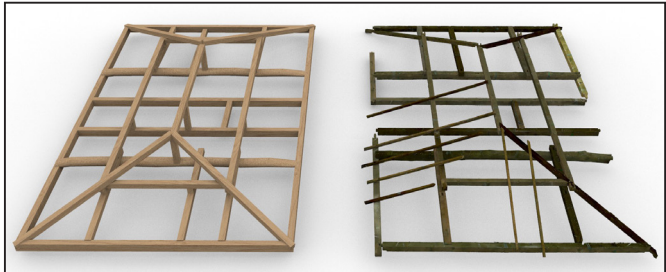


図 16 シンタク小屋組みの 3D モデルとスキャン部材の再組み立て

作業時間については、分別解体と実測・野帳記録を 1 ヶ月半の工期のうち同時に進め、実情に即した建物の 3D モデルを遡及的に作成することができた。部材の 3D スキャンは 1 ヶ月で約 400 部材が完了した。コストについては、スキャナーは 100 万円程度と高額だが、治具の制作費とスキャンの人工代 286 時間分の合計は 40 万円以内に収まった。

以上より、本研究が建築解体プロセスの中に組み込める汎用的な技術となる可能性を示すことができた。

ID と部材の 3D モデルがデータベース上で紐付けられることで検索性は担保されたが、更にデータベースと建物の 3D モデルを紐付ける事で部材の立体的な位置を詳細な形状と共に視覚的に把握できる三次元構法モデルの作成が期待できる。図 16 は今回の調査でスキャンできたシンタク小屋組みの部材の 3D を実測からモデリングした建物の 3D モデルに沿って再配置した様子である。

これまでの部材調査は部材の情報を紙面で人が読み取れる状態へと落とし込んだ資料だが、データベースのようにコンピュータのみ読める情報、形状や痕跡のような人が読める情報、ID のようなどちらにも読める情報を組み合わせることで新たな構法表現に展開することも今後試みていきたい。

謝辞

本研究の実測・ID の記録は明治大学構法計画研究室の伊藤公人氏、アソシエイツ株式会社の門脇章子氏に多大なる協力を賜った。また ID の発案と 3D スキャン方法の開発は sunayamastudio の砂山太一氏、元スタッフ奥泉理佐子氏の様々な試行錯誤の上に実現した。日本 3D プリンター株式会社様には部材 3D スキャンの機材一式を、アンダーデザイン株式会社様には解体部材のスキャンと整理のための倉庫スペースを貸与頂いた。調査に協力頂いた関係各位に感謝の意を表したい。

注釈

- 注 1) <http://hookeparkaaschool.ac.uk/biomass-boiler-house/>
- 注 2) 調査対象とした高見澤邸は、第 17 回ヴェネチア・ビエンナーレ国際建築展日本館展示(主催:国際交流基金、キュレーター:門脇耕三)にて展示予定である。文献 6 参照。
- 注 3) 一階から二階を増築する際に通し柱を用いず管柱のみで増築する方法。
- 注 4) ID シリアルデザイン: village®
- 注 5) テクスチャを生成するためにスキャン対象の写真を記録するパーツのこと。
- 注 6) 設計: sunayamastudio, 奥泉理佐子
- 注 7) 本研究で作成した部材の 3D モデルは sketchfab の sunayamastudio のページから全て閲覧・ダウンロード可能である。 <https://sketchfab.com/tsnym/models>
- 注 8) 計測物に存在しないスパイク状の穴。二重にスキャンされてしまった面と組み合わせるとつづれた壺型の穴になる。
- 注 9) フォトグラメトリの処理の中でも写真の撮影位置を解析する工程のこと。

参考文献

- 1) 木村英彦: 古建築の実測調査 木工技能者としての仕事, 創栄社 / 三省堂書店, 2017
- 2) 文化庁文化財部建造物課編: 文化財建造物保存修理補助事業実務の手引き, 2003
- 3) 大塚哲也, 後藤治, 二村 悟: 文化財建造物の修理時に作成する構成部材調査に関する提案, 日本建築学会技術報告集, 16 巻 33 号, pp775-778, 2010.6
- 4) 徳永勇人, 本間見, 両角光男, 大西康伸, 村上祐治: 3次元レーザー測量及び写真測量による木造建築物のモデル作成に関する研究, 日本建築学会九州支部研究報告, 第 51 号, pp129-132, 2012.3
- 5) 加戸啓太, 平沢岳人: 伝統木造建築物のデジタルアーカイブ化における部品雛形と部品に関する研究, 日本建築学会計画論文集, 76 巻 662 号, pp877-886, 2011.4
- 6) 門脇耕三ほか: ふるまいの連鎖: エレメントの軌跡, TOTO 出版, 2020
- 7) 磯野 信, 門脇耕三, 砂山太一: 木造住宅の解体古材の 3D データベース化に関する基礎的研究, 日本建築学会北海道支部研究報告集 (93)pp.267-268, 2020.6