

フォトグラメトリにより作成した4D建物モデルの活用に関する研究 (その2 変形前後の3Dモデルからの残留変形量推定)

正会員 ○辻 聖晃* 同 北澤誠男*
同 飯島憲一* 同 永野康行**

フォトグラメトリ 3Dモデル 残留変形量推定
損傷度推定

1. 序

研究全体の目的と背景ならびに謝辞については、(その1)に記す。

地震時の建物の損傷度を直接的に推定するには、地震時に建物に生じた最大変形量や累積塑性変形量を測定することが有用である。しかしながら、これらの量を直接計測することは、モニタリング装置などを予め設置しておかない限り不可能である。

地震後の残留変形も、建物の損傷度を推定するための重要な指標である¹⁾。地震前の柱に傾斜がないことが確認できていれば、地震後の柱の傾斜から地震によって生じた残留変形量を推定することは可能である。しかしながら、伝統的工法による寺社建築や老朽化した木造建物では、地震前から意図的あるいは経年変化によって柱に傾斜が存在する場合があります。地震後の柱の傾斜から推定した残留変形量には、地震前からの柱の傾斜量が相当に含まれている可能性がある。

そこで本稿では、地震前と地震後のそれぞれで撮影した画像を用いたフォトグラメトリにより構築した3Dモデルから、地震により生じた残留変形量が推定できるかどうかについての検討を行った事例を示す。地震前後に撮影した写真から、建物の損傷度を判断するための十分な精度での残留変形の推定ができれば、地震直後の早期の建物の損傷度推定に極めて有用である。

2. フォトグラメトリによる3Dモデルからの変位抽出

2-1 対象物

残留変形量推定の対象物として、法隆寺五重塔の木製構造模型を用いた。その写真を図1に示す。基壇を含めた高さは620mm(相輪部は除く)、最下層の屋根は500mm四方であり、実物の1/40スケールである。市販の素材キットを手作業で組み立てたため、各部の直角度や平行度は高くはない。

この模型は、最下層を除く各層柱の柱脚部とその下層最上部の柱盤を固定していないため、各層に自由に水平方向の変形を与えることが可能である。このことを利用して、第2層～第5層にそれぞれ最大で数mm程度の層間変形を与え、これを残留変形と考えて、実測による値

と、変形前後の2つの3Dモデルから推定した値を比較し、フォトグラメトリによる残留変形量推定の有効性を検証する。



図1 対象物の写真



図2 3Dモデル

2-2 撮影方法と3Dモデル化手法

自動飛行可能な大型ドローンの使用を想定して、台上に固定した対象物を手持ちのデジタルカメラで撮影した静止画群をフォトグラメトリに用いた。撮影経路は螺旋状とし、3つの異なる高さで撮影した。使用した静止画像は、変形前が66枚、変形後が52枚である。

静止画像群からの3Dモデル構築は、(その1)と同じ方法を用いたため、詳細は省略する。構築された3Dモデル(変形前のもの)を図2に示す。

2-3 残留変形量の測定方法(実測)

柱盤上の上部層柱位置に方眼用紙を添付し、変形を与える前と与えた後にそれぞれクローズアップ撮影した柱盤と上部層柱の接触状況の違いから、目視により上部層柱のずれ量を計測した。なお、ずれ量の測定刻みは0.5mmとした。残留変形量測定の様式図を図3に、クローズアップ撮影した写真の一例を図4に示す。図4に示した写真における左右方向を便宜上「東西方向」、上下方向を同じく「南北方向」と呼ぶこととする。図3の例では、西方向に1mm、南方向に1.5mmのずれ(層間変形)が生じていると測定した。

第2層～第5層の隅柱において、東西・南北両方向のずれ量を測定し、これを第2層から順次合計したものを、各層柱脚位置における地表面からの残留変形量とした。

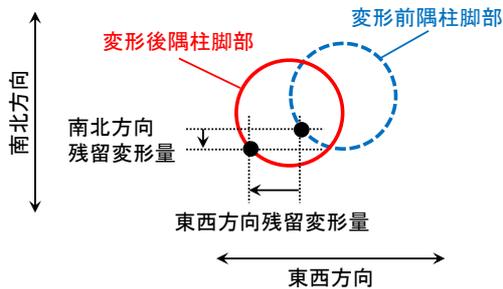


図3 残留変形量測定の様式図



(a) 変形を与える前 (b) 変形を与えた後

図4 柱盤と上部層柱の接触状況

3. 3Dモデルからの残留変形量の推定方法

使用したフォトグラメトリソフトウェアには、3Dモデル構築時に使用した写真の対象物上に折れ線を描くことで、3Dモデル上に折れ線を描く機能が実装されている。この機能を用いて、変形前、変形後のそれぞれの3Dモデル上に折れ線を描き、これを3次元CADデータとして出力して、位置・回転とスケールを調整した上で、変形前後の形状を比較することにより、残留変形量を推定した。

残留変形量の実測は2-3で示したように隅柱脚部位置で行ったので、3Dモデルからの残留変形量推定時にも、隅柱脚部の円周上の1点を層方向に結ぶ折れ線を描いた。図5に、3Dモデル上に描かれた折れ線を写真上に投影したものの一例を示す。折れ線描画時には、折れ線が投影された複数の写真を参照しながら、折れ点がモデル上の正しい位置に設定されるように微調整を行った。

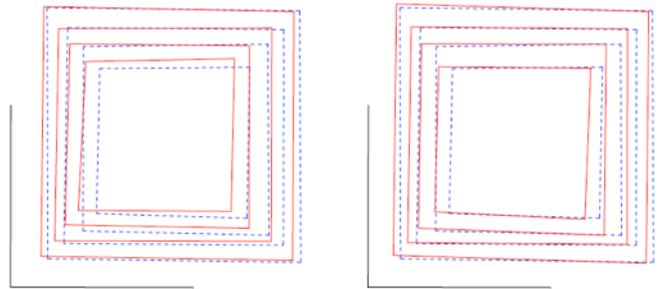


図5 3Dモデル上に描かれた折れ線の写真への投影

4. 実測と3Dモデルからの推定の比較

図6に、変形前と変形後のそれぞれについて、3Dモデルから推定した各層の隅柱脚部上の点を結んだ四角形を示す。点線が変形前、実線が変形後を示しており、両者の差が地表面からの残留変形量となる。なお、各図の左下に示したL字型の各辺の長さは200mmである。図6より、東西方向の残留変位は、3Dモデルからの推定と実測とで概ね対応していることがわかる。一方、南北方向の残留変位は、両者にやや差がみられることがわかる。

各層の隅柱位置4箇所計測した地表面からの残留変形量のうちの各層での最大値を、3Dモデルからの推定値と実測値のそれぞれについて表1に示す。東方向および北方向への変形を正としている。各層の階高は90～95mmであるので、残留層間変形角としては東西方向では1/100～1/20程度が生じている。表1より、東西方向については最大で30%程度の誤差で残留変形量が推定できていることがわかる。一方、南北方向については誤差が大きく、推定ができているとは言い難い。この原因については現在検討中である。



(a) 3Dモデルからの推定

(b) 実測

図6 各層柱の変形前位置(点線)と変形後位置(実線)

表1 各層の地表面からの残留変形量の最大値

	東西方向		南北方向	
	推定値	実測値	推定値	実測値
第2層	-3.6mm	-4mm	+1.8mm	+2mm
第3層	-6.8mm	-5mm	+2.0mm	+0.5mm
第4層	-10.7mm	-9.5mm	+3.9mm	+1.5mm
第5層	-10.1mm	-8mm	+5.4mm	+1mm

5. 結論

地震前後に撮影した画像から構築した3Dモデルを用いて、地震によって生じた残留変形を推定できることを示した。ただし、推定精度については問題があり、推定結果の信頼性向上が今後の課題である。

文献 1)鈴木有：1995年兵庫県南部地震一木造建物の被害一、日本建築学会近畿支部、1995

*大阪電気通信大学工学部建築学科

**兵庫県立大学大学院情報科学研究科

*Dept. Architecture, Osaka Electro-Communication University

**Grad. Sch. Info. Sci., Univ. of Hyogo