

8. ロボットを利用した建物被害認定

奥川雅之・山本義幸

1. はじめに

大規模な地震が発生した際、被災者の生活再建が重要となる。日本では、1995年に発生した阪神・淡路大震災をきっかけに被災者の生活再建を支援する目的で、「被災者生活再建支援法¹⁾」が制定された。この法律により、被災者の生活再建を促すため、さまざまな支援策が実施されている。例えば、公的支援として税の減免や期限延長、各種手数料・公共料金等の免除または軽減、復興資金の公的補助または公的融資、その他支援サービス等である。被災者が公的支援を受ける際、自治体から罹災証明書の提出を求められる。具体的な被災者への支援内容は、この罹災証明書に記されている被害程度を根拠に決定される。その被害程度は、建物の被害を認定する建物被害認定調査によって決定される。しかし、建物被害認定に対して、様々な問題点が指摘されている。例えば、建物被害認定調査を行う自治体によって、建物被害認定の判定基準の相違が見られ、被災者が受けられる支援内容に格差が生じている^{2) 3)}。また、事前に知識を習得し実践訓練を積んだ調査員でなければ、調査の質が保証できないことなどが挙げられる。特に、製造業の多い中部地区では、震災後、早期の生産再開が望まれるため、迅速な調査および認定作業が望まれている⁴⁾。東京大学の藤生らは、調査現場でリアルタイムに撮影した画像をサーバにアップロードし、それらの写真を判定員が建物被害認定を行う遠隔被害判定システムを提案している⁵⁾。

そこで本研究では、認定調査の公平性と調査および被害認定作業の効率化を目的とし、建物被害認定調査作業に対してロボット技術を利用した作業支援を目指している。ロボット技術の導入により、調査の自動化及び定量的な判定が期待される。本論文では、被害建物の被害度や危険度調査や判定に関する文献調査結果について述べる。今回は、柱及び外壁、基礎等の傾斜測定に注目し、ロボットに搭載されるカメラより取得可能な画像を想定し、画像処理による傾斜測定を試みる。2種類の画像処理手法の解析結果を比較検討する。

2. 震災時における建物被災度調査

震災後、避難所で生活する被災者の多くは、避難所生活から解放されたいであろうし、製造業の多くは、すぐに生産を再開したいため、製造業の経営者は、損壊した生産設備の補修や復旧を速やかに行いたい。しかし、地震が起きた後の建物に立ち入り、壊れた生産設備に不用意に近づくことは危険である。余震の発生、生産設備の損壊や漏電、建造物や配管の崩落といった2次災害の危険性が高いためである。災害発生後、被災した建物の状態を調査するものとして、応急危険度判定と建物被害認定調査がある。

「応急危険度判定」とは、地震後、余震等による建築物の倒壊や落下物、転倒物による二次災害を防止するため、できる限り早く、短時間で建築物の被災状況を調査し、当面の使用の可否について判定するものである。主に、応急危険度判定士として都道府県に登録された耐震診断士や建築士などが、ボランティア活動として行っている。そのため、判定作業は、ボランティアの人材確保、余震の収束を待ち、発災後、しばらく経ってから行われる。調査結果は、危険（赤紙）、要注意（黄紙）、調査済（緑紙）で表示される⁶⁾。

一方、「建物被害認定調査」とは、地震や風水害等の災害により被災した住家の被害程度（全壊、半壊等）を認定することをいい、市町村が実施するものである。この被害認定により、災害の規模、被害の全体像の把握がなされるとともに、被災者に対する「罹災証明書」の発行が行われることとなる⁷⁾。

建物被害認定調査に関する具体的な調査方法について述べる。まず、一次調査が行われる。被災建物の「外観」・

「傾斜」・「部位（屋根・外壁・基礎の3つに区分する）」の順に調査し、被災程度として損害割合を算出し、損害割合が50%以上ならば「全壊」、40%以上50%未満ならば「大規模半壊」、20%以上40%未満ならば「半壊」、20%未満ならば「半壊に至らない」と判定する。被災者から申請があった場合、二次調査を行う。そして、被害が大きく判定された調査の判定を、被災した建物の被害として認定する。第2次調査では、外観目視調査及び内部立入調査により、外観の損傷状況の目視による把握、住家の傾斜の計測、部位ごとの損傷程度等の目視による把握が行われる。今回取り上げる「傾斜」による判定は、建物の柱、外壁および基礎の傾斜を測定し、判定するものである。現状は、図1に示すように、下げ振りという器具を用いて、下げ振りの垂直長さに対する水平寸法の割合によって傾斜を求め、損害割合を算出している。傾斜の場合は、傾斜1/20以上の場合、損害割合50%、1/60から1/20の間の場合、15%とし、部位による判定を行う。1/60以下の場合、傾斜の判定ではなく部位による判定を行う。



図1 下げ振りによる傾斜測定

2.1 ロボット技術の適用

現状における被害度調査の問題点として、以下のようなものが挙げられる。

- (1) 調査方法や判定基準等が十分に統一されておらず、そのことに対する住民の不公平感が募るとともに、判定結果に不満を持つ住民が多数生じ、更にその結果、自治体に問い合わせが殺到し判定が確定する妨げとなる。しかし、ロボット技術を適用することにより、調査方法や判定基準等の統一が容易になるため、被災した地域に左右されない調査の実現が期待できる。
- (2) 調査員が一棟ごとに建物を訪問し被害調査を行う現行の調査手法は、大規模災害時には、調査員の人的制約、調査期間の時間的制約などの制約から、事実上実施は困難である。しかし、ロボット技術を適用することにより、ロボットによる被害調査の代行が可能となるので、被害調査による人的制約の軽減が期待できる。また、夜間も調査を続行することが可能となるので、調査期間の短縮も期待できる。
- (3) 事前に建物被害についての知識・技能を習得していなければ、認定調査の迅速性・公平性・適格性を満たすことは難しい。

ロボット技術を適用することにより、被害調査を機械的および定量的に行うことになるので、調査の迅速性・適格性を確保する他、公平性の保証も期待できる。今回は、その基礎的な研究として、ロボットに搭載されるカメラにより取得される画像を用いた画像解析による「傾斜」の測定を試みた。

3. 実験

3.1 実験目的

本報告における実験目的は、測定手法ごとにカメラと測定対象との位置関係（建物とロボットの姿勢や位置との関係に相当）が傾斜の測定結果にどのような影響を及ぼすかを調べることである。

具体的には以下の位置関係の条件による影響の調査を目的とした。

[実験1] カメラと測定対象との距離

[実験2] カメラと測定対象の水平方向の角度

[実験3] カメラと測定対象の垂直方向の角度

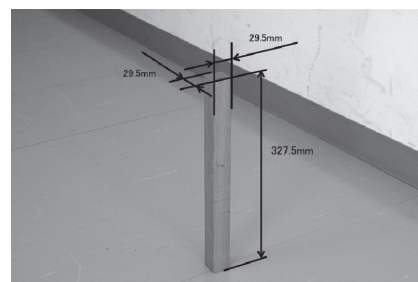


図2 測定対象

3.2 実験方法

測定対象として、建物の柱を想定した図2に示す木材（角柱、一辺29.5mm、高さ327.5mm）を使用した。傾斜の測定には、ロボットに搭載されるカメラを想定し、画像処理を用いた。解析手法として、ハフ変換を用いた方法（ハフ変換）と輪郭線を四角形近似した方法（四角形近似）について比較検討を行った。

床からの高さ h [mm]、水平寸法 d [mm]、傾斜角度 θ_i [°]、木材を傾き高さ L [mm]とする。厚紙（厚さ0.3mm）を用い、傾斜を擬似的に再現した（図3）。建物被害認定調査における傾斜による被害の判定基準を解析結果により得られた結果と真値にそれぞれ適用した。その際、傾斜が1/20以上であれば「危険」、1/60以上1/20未満であれば「注意」、1/60未満であれば「安全」とし、測定結果と真値の判定結果を比較した。

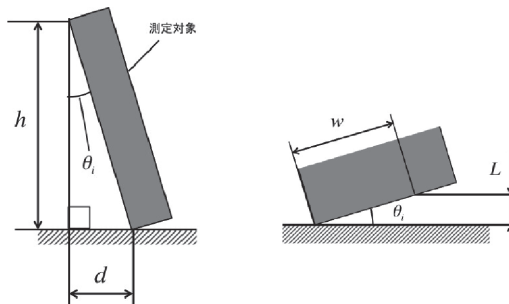


図3 測定対象の寸法定義

3.3 実験結果および考察

図4および5に、実験結果の一部を示す。図4は、距離に関する結果であり、図5は、水平方向の角度に関する結果を示す。共通して、ハフ変換を用いた方法の方が近似した四角形を利用する方法よりも、真値に近い測定結果が得られた。近似四角形の場合、少しでも四角形として近似できない場合、精度が劣化する傾向が見られた。四角形近似では、画像内から四角形を1つ抽出し、傾斜を求めているのに対し、ハフ変換では、画像内から複数の直線を抽出し、傾斜を求めているため、ハフ変換の方が精度の高い測定が可能であったと考える。

距離の影響に関しては、撮影距離が700mm以内であれば、良好な判定結果を得ることができた。撮影距離が離れることにより、測定誤差が大きくなり、判定ができない場合があった。角度（水平、垂直）の影響については、一部の結果に関して、「注意」の判定に誤判断が生じた。撮影角度が大きくなると、測定誤差が大きくなる傾向が見受けられた。

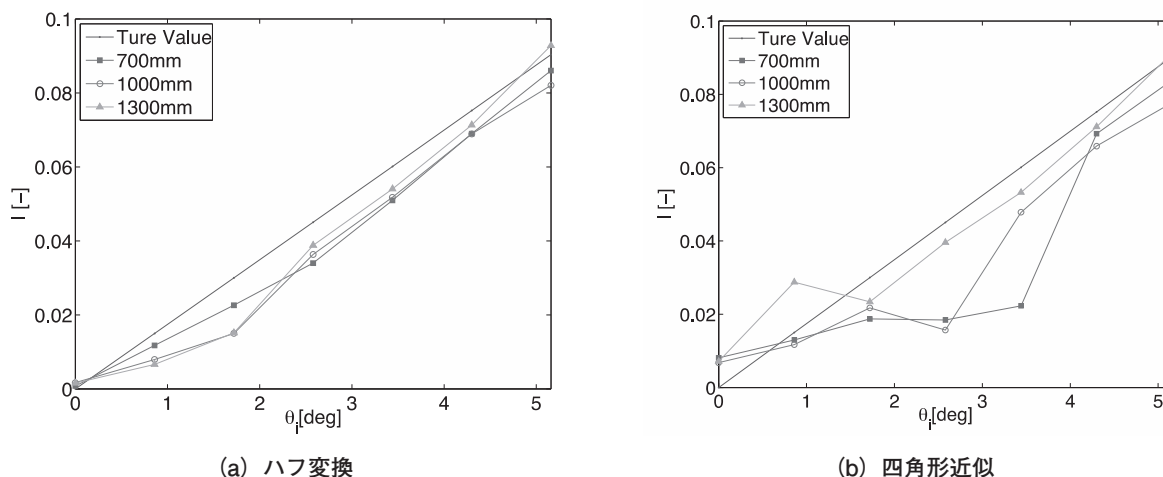


図4 実験結果（距離の影響）

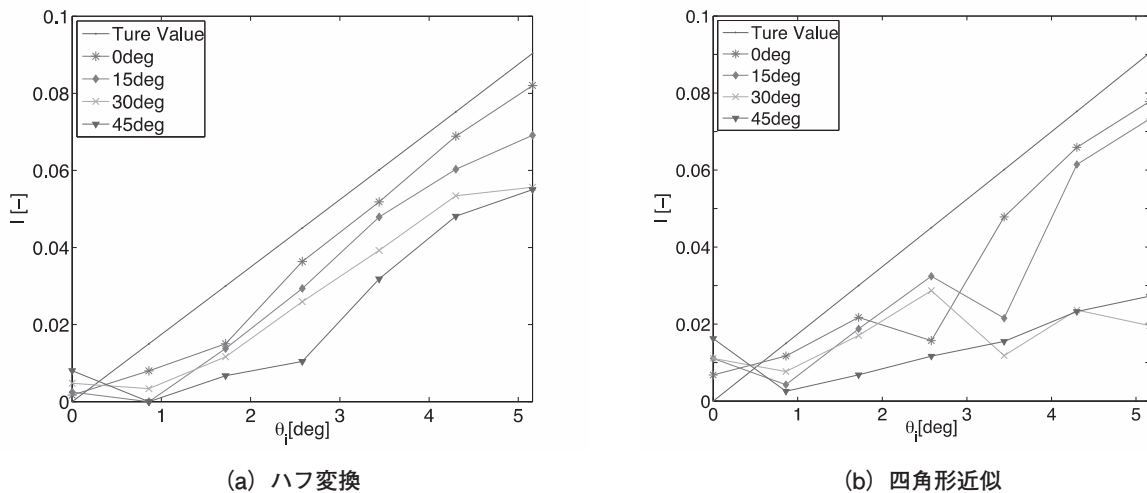


図5 実験結果 (水平方向角度の影響)

4. まとめ

本報告では、ロボットを利用した建物被害認定を目的とし、画像処理を用いた柱又は外壁の傾斜の測定方法を検討した。建物被害認定についての概要、認定方法、現状における問題点について述べ、ロボット搭載カメラ取得画像を想定した画像解析を用いた傾斜の測定方法について述べた。また、ハフ変換を用いた方法と近似した画像から四角形を検出し、その四角形から傾斜を測定する方法との比較方法について述べた。実験結果より、カメラと測定対象との距離、水平方向又は垂直方向の角度が測定結果に及ぼす影響を確認した。また、近似四角形よりハフ変換を用いた方が有効であることを確認した。

今後の課題として、単純な環境でしか実験を行っていないため、実際の建物の画像など画像に写る背景が多い複雑な環境下で取得した画像による実験を行う必要がある。また、本報告で検討した測定方法は、災害現場で活動するロボットにより運用されることを考えているため、足場が悪い場所や暗い場所などの撮影環境も考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 内閣府：被災者生活再建支援法, <http://www.bousai.go.jp/taisaku/seikatsusaiken/shiensya.html>, (最終閲覧日：2014年2月8日)。
- 2) 重川希志依, 田中聡, 堀江啓, 林春男：新潟中越地震における建物被害認定調査の現状と課題, 地域安全学会論文集, pp. 133-140, 2005.
- 3) 田中聡：建物被害認定自己診断システムの提案—自己診断—自己申告モデルの構築にむけて—, 地域安全学会論文集, pp. 233-242, 2008.
- 4) 奥川雅之：中部地方における災害と対応について—中京工業地帯における地震災害と風水害—, 日本ロボット学会第30回記念学術講演会予稿集, 2A1-4, 2012.
- 5) 藤生慎, 大原美保, 目黒公郎：大規模地震災害時における遠隔建物被害認定システムの開発と評価, 日本地震工学会論文集, 12(7), pp. 19-37, 2012.
- 6) 全国被災建築物応急危険度判定協議会：被災建築物応急危険度判定必携, 2010.
- 7) 内閣府：災害に係る住家の被害認定基準運用指針, 2013.