

8. 小型メカナムホイール検査ロボットによる 天井ふところ内の目視検査

足利工業大学
戸田建設株式会社
戸田建設株式会社

○ 仁田 佳宏
渡壁 守正
稲井 慎介

1. はじめに

構造物の地震被害として、柱や梁、耐震壁などの構造部材とともに、天井部材や外壁、間仕切壁などの非構造部材の損傷についても、関心が高くなりつつある^{1),2)}。特に、天井部分については、地震被害だけではなく老朽化による天井部材や天井内設備の落下も相次ぎ、死傷者も生じていることから、安全確認の重要性や必要性が高まっている³⁾⁻⁴⁾。また、既存の天井や外壁などの非構造部材は、構造部材と比較して、耐震性能が低く、中小地震でも損傷が生じる可能性があるため、耐震改修が推奨されている。天井部分については、2013年に建築基準法の規定が改正され、2014年4月から施行されている⁵⁾。しかし、天井部分の点検は、(1)高所であり仮設足場などを必要とすること、(2)天井支持部材が大きな重量を支えられないことが多く内部に立入れないこと、(3)天井ふところ内は狭所であり立入が難しいこと、(4)構造部材ではないことなどから、損傷が視認されない限り、耐震診断や点検は頻繁に実施されていないのが現状である⁶⁾。また天井部分については、非構造部材であるため図面が保管されていない場合や天井ふところ内の配管や設備機器などのリニューアルに伴い保存されている図面と現状が異なっている場合なども多くみられる。このような現状を受け、文部科学省は常時は未成年者が利用し、災害時には避難所と成り得る文教施設を対象として、「地震による落下物や転倒物から子どもたちを守るために～学校施設の非構造部材の耐震化ガイドブック」⁷⁾を取り纏め、天井部材などの非構造部材の点検項目や点検手法などについて解説し、点検の実施や耐震化を推奨している。

建築・土木分野において、ICT化が進んでおり、BIM、CIM、無人化施工およびドローンによる測量などの新しい技術が活用されつつある。このような状況のもと、国土交通省および経済産業省は点検に多大なコストと労力を要する施設を対象に、「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討

会」を設置するとともに、次世代社会インフラ用ロボットシステムを公募し、2014年度より実証実験を開始している^{8),9)}。企業においても、マンションなどの外壁¹⁰⁾、住宅などの床下¹¹⁾、天井ふところ内の設備¹²⁾の老朽化などを点検する目的で、ロボットを使用しつつある。また、中部圏インフラ用ロボットコンソーシアム¹³⁾が立ち上がるなど、積極的な活用を目指して、産官学一体となった取り組みも増えつつある。

本研究では、天井ふところ内の部材や設備の点検を効率よく簡便に行うことを目的として、Wi-Fiカメラ搭載小型メカナムホイール検査ロボットによる目視検査を提案し、小型メカナムホイール検査ロボットを試作する。試作したWi-Fiカメラ搭載小型メカナムホイール検査ロボットの有用性は、大学構内の雨漏りのある天井ふところ内の目視検査に適用することで確認する。

2. 小型メカナムホイール検査ロボット

天井ふところ内の部材や設備を効率よく目視検査するために、Wi-Fiカメラ搭載小型検査ロボットを試作する。試作した小型検査ロボットをFig.1に示す。試作した小型メカナムホイール検査ロボットの寸法は、車長約280mm、車幅約260mm、車高約140mmで、重量は約2200gである。天井ふところ内は野縁と野縁受けが格子状に組み立てられており、障害物の多い狭所となることから、小型検査ロボットは、全方向に移動可能なように外径103mmのメカナムホイールを採用している。メカナムホイールは、車輪の表面が複数個のバレルで覆われた特殊な形状をしており、個々の車輪の回転方向を個別に制御することで、前後、左右および旋回と全方向に移動可能となる。また、天井ふところ内では、高さ約60mm、幅約10mmの野縁受けを乗り越えられる必要がある。一般的な車輪の場合、車輪直径の1/4が、乗り越えられる段差の限界の高さであり、試作した小型メカナムホイール検査ロボットは、メカナムホイールの外径が103mmであるた

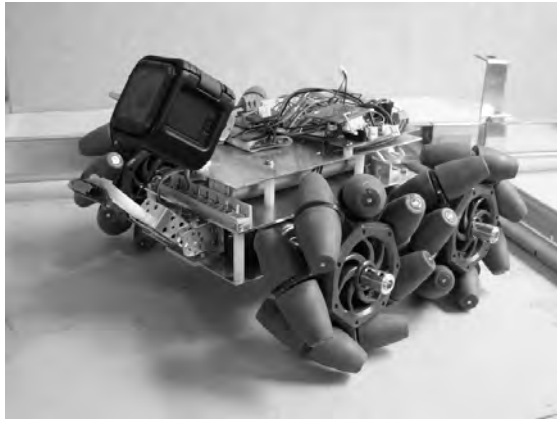


Fig.1 小型メカナムホイール検査ロボット

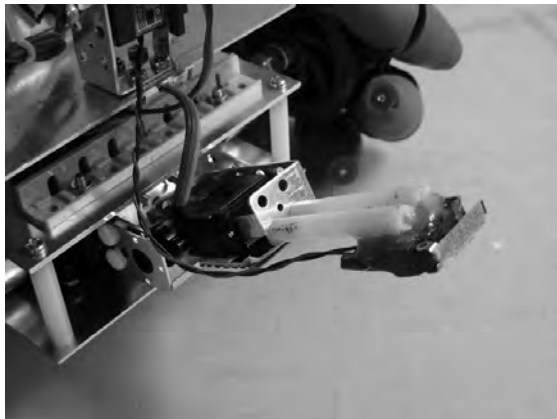


Fig.2 簡易なアーム



Fig.3 小型検査ロボットに搭載した Wi-Fi カメラ

め、車輻と見なせば、高さ 26mm 程度までが乗越えられる高さとなる。そこで、Fig.2 に示すように車体前方に、野縁受けを乗越えるための補助機構として簡易なアームを装備する。野縁受けを乗越える際には、装備した簡易なアームを野縁受けに引っ掛けることで、車体を持ち上げて乗越える。また、自動的に野縁受けを乗越えられるようにするため、野縁受けとの接触の判断用にマイクロスイッチを簡易アームに装備している。試作した小

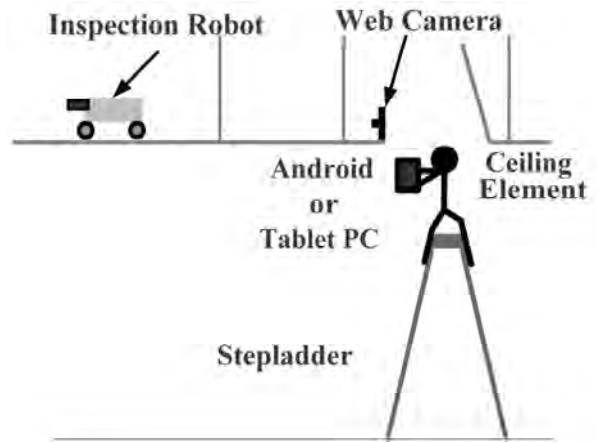


Fig.4 目視検査システムの概念図

型メカナムホイール検査ロボットは、最大で約 65mm の高さまでは乗越えられることを確認している。

搭載する Wi-Fi カメラは利便性を考慮して、スマートフォンなどで確認できるように、ウェアラブルカメラを用いる。試作した小型検査ロボットは、Fig.3 に示すように GoPro Hero4 Session を搭載している。GoPro Hero4 Session は、最大 800 万画素の静止画および Full-HD の動画を約 1 時間半撮影でき、重量は約 90g である。Wi-Fi カメラの角度については、上下方向はカメラを設置したサーボモーターを制御し、左右方向は小型検査ロボットを旋回することで行う。また暗所でも鮮明な画像を撮影できるように、100 ルーメンの高輝度 LED を Wi-Fi カメラの側面に装備する。

試作した Wi-Fi カメラ搭載小型メカナムホイール検査ロボットの操作は、Bluetooth 通信により、タブレット PC もしくは Android 端末を用いて基本的にはマニュアル操作で行う。

天井ふところ内の目視検査は、点検口から Wi-Fi カメラ搭載小型メカナムホイール検査ロボットを挿入し、点検口においた Web カメラにより検査ロボットの位置を把握する。Wi-Fi カメラ搭載小型メカナムホイール検査ロボットを用いた天井ふところ内の目視検査の模式図を Fig.4 に示す。

3. 野縁受け自動乗越えアルゴリズム

Wi-Fi カメラ搭載小型検査ロボットが野縁受けを乗越える際には、補助機構として装備した簡易なアームを利用して乗越える必要がある。マニュアル操作で野縁受けを乗越えるためには、小型検査ロボットの状況が確認できる必要があり、点検口から離れた場所では小型検査ロボットの状況が把握できず、野縁受けを乗越えることが困難となる場合も考えられる。そのため、操縦者が小型検査ロボットの状況を確認できなくても野縁受けを乗越えられるよう、自動乗越えアルゴリズムを小

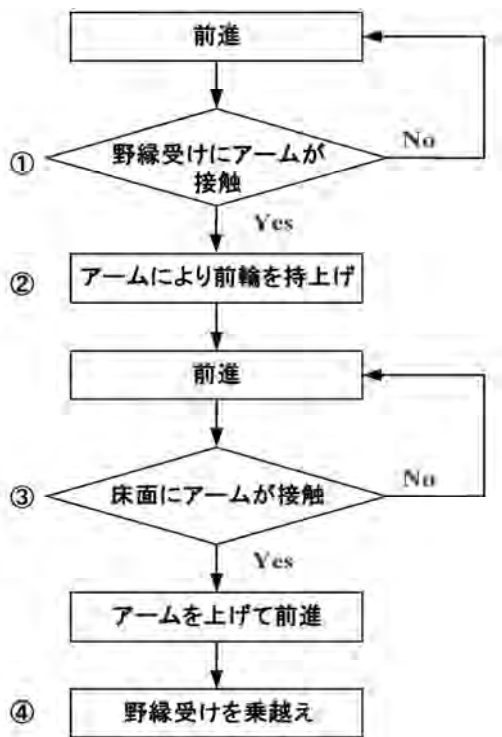


Fig.5 自動野縁受けアルゴリズム

型検査ロボットに実装する。野縁受けの乗り越えでは、野縁受けとの接触の判別が重要となる。そこで、アーム先端に、ロボット掃除機の接触センサーに用いられているマイクロスイッチを設置し、野縁受けと小型検査ロボットの接触の判別に用いることとする。乗り越えアルゴリズムでは、野縁受けに接触後、アームを野縁受けに引っ掛けながら押し下げることで前輪を持ち上げ、野縁を乗り越える。その際、下げたアームが床面に接触した時点でアームを上げる必要があるが、床面との接触判定についてもマイクロスイッチを用いている。野縁受けを乗り越えるためのアルゴリズムのフローチャートを Fig.5 に示す。

実装したアルゴリズムによる野縁受けの乗り越えを確認する目的で、天井ふところ内を模擬した試験体を用いて検証実験を行う。検証実験における小型メカナムホイール検査ロボットの様子を Fig.6 に示す。ただし、Fig.6 中に示した番号は、Fig.5 のフローチャートに記した番号の状態を表す。Fig.6 より、実装したアルゴリズムにより、野縁受けを自動的に乗り越えられることが確認できる。

4. 老朽化した天井への適用

Wi-Fi カメラ搭載小型メカナムホイール検査ロボットによる目視検査の有用性を検証する目的で、老朽化と東日本大震災の影響により雨漏りが生じている実天井の目視検査に適用する。検査対象部分の室内からの外観を Fig.7 に示す。室内からの目

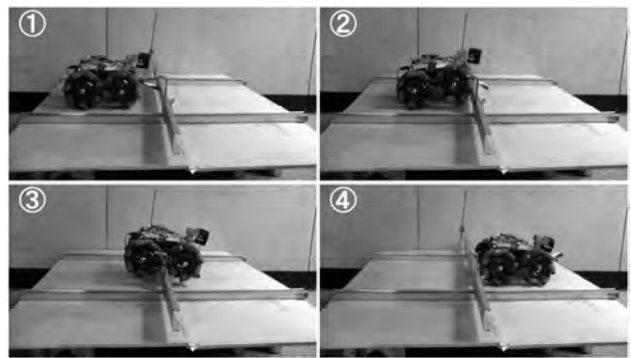


Fig.6 野縁受けの乗り越え



(a) 天井全体 (b) 損傷部詳細

Fig.7 対象とした雨漏りのある天井

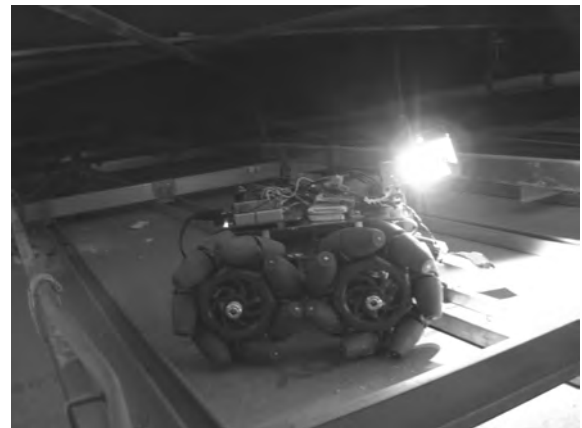


Fig.8 天井ふところ内での走行の様子

視からも天井板の損傷は明確に把握できるが、室内からでは天井ふところ内の状況や屋根の内側部分の状況把握は難しい。目視検査は、点検口がないため Fig.7(a)に示す天井板を外した箇所から Wi-Fi カメラ搭載小型メカナムホイール検査ロボットを挿入して実施する。小型メカナムホイール検査ロボットの位置については、脚立上からの視認により行う。天井ふところ内の小型メカナムホイール検査ロボットの走行の様子を Fig.8 に示す。小型メカナムホイール検査ロボットに搭載し



(a) 屋根面



(b) 天井板

Fig.9 天井ふところ内の損傷

た Wi-Fi カメラで撮影した屋根面および天井板の画像を Fig.9 に示す。Fig.9 から、室内からでは把握が難しい天井ふところ内の様子や屋根部分の損傷状況が、簡便にかつ詳細に把握できることが確認できる。また小型メカナムホイール検査ロボットは、補助アームの使用により、野縁受けを自在に乗越えられることも確認している。

以上の実天井に対する適用から、Wi-Fi カメラ搭載小型メカナムホイール検査ロボットにより、効率よく簡便に天井ふところ内の目視検査が可能となることが確認できる。

5. まとめ

本研究では、効率よく簡便に天井ふところ内の部材や設備の点検を行うために、Wi-Fi カメラ搭載小型メカナムホイール検査ロボットによる目視検査を提案し、小型メカナムホイール検査ロボットを試作した。試作した Wi-Fi カメラ搭載小型メカナムホイール検査ロボットの有用性は、雨漏りのある実天井を対象とした目視検査を行い、室内からでは、状況の把握が難しい天井ふところ内の状況を、簡便かつ詳細に把握できることを実証した。実証実験から、試作した Wi-Fi カメラ搭載小型メ

カナムホイール検査ロボットを用いた目視検査は、可搬式足場のみで天井ふところ内の点検を行えることから、実用性の高い方法と成り得ると考えられる。

今後の研究課題としては、天井ふところ内での検査ロボットの位置情報と損傷の位置情報を自動的に把握できるシステムの開発があげられる。

謝辞

本研究の一部は科学研究費基盤研究 (C) (課題番号 15K06304) の援助を受けました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 日経アーキテクチャ(編集): 東日本大震災の教訓 都市・建築編 覆る建築の常識, 日経BP社, 2011
- 2) 川口健一・大場康史・中楚洋介: 2011年東北地方太平洋沖地震による空港ターミナルビル内天井落下及び天井衝撃力の推定, 日本建築学会技術報告集, Vol.39, pp.789-793, 2012
- 3) 国土交通省: 中央自動車笹子トンネル天井板落下事故関連情報, http://www.mlit.go.jp/road/road_tkl_000033.html, 2012
- 4) 国土交通省: 報道発表資料 トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会 報告書について, http://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_000363.html, 2013
- 5) 国土交通省 国土技術政策総合研究所・(独) 建築研究所: 建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説, 国土技術政策総合研究所資料 No.751, 建築研究資料 No.146, 2013
- 6) 仁田佳宏・西谷章・渡壁守正・稲井慎介・岩崎充実: ワイヤレスカメラを用いた天井ふところ内の損傷目視検査, 計測自動制御学会論文集, Vol.49, No.7, pp.733-735, 2013
- 7) 文部科学省: 地震による落下物や転倒物から子供たちを守るために, ~学校施設の非構造部材の耐震化ガイドブック, 2010
- 8) 清水亨: 次世代社会インフラ用ロボットの開発と導入, 土木施工, Vol.55, No.8, pp.138-140, 2014
- 9) 稲垣孝: 次世代社会インフラ用ロボットの現場検証委員会と公募, 土木施工, Vol.55, No.8, pp.141-142, 2014
- 10) 土井暁, 井上文宏: 超高層集合住宅対応外壁検査システム「スカイクライマー™」, 大林組技術研究所報, Vol.76, CD-ROM, 2012
- 11) 竹内愛・村井孝司・北村禎章・南川達浩: 住宅の床下点検ロボットの開発, 第14回建設ロボットシンポジウム論文集, pp.183-188, 2014
- 12) 田中幸悦: What's New モニタリングロボット, 建築設備士, Vol. 43, No.2, pp.44-46, 2013
- 13) <http://www.cbr.mlit.go.jp/kensetsu-ict/robot/>