

令和 元年 9 月 9 日現在

機関番号：31103

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H03138

研究課題名(和文) 橋梁長寿命化のためのワイヤ移動式汎用点検ロボットの開発

研究課題名(英文) Development of a wired robot for inspection of old bridges

研究代表者

長谷川 明 (Hasegawa, Akira)

八戸工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20105547

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：橋梁を始めとしてインフラの維持管理・長寿命化は社会的に大きな課題の一つである。近年、橋梁点検の仕組みが確立され実行に移されているが、「技術者および財源の不足」が将来にわたり大きな課題であり、橋梁の長寿命化のためには効率的かつ経済的な点検・維持管理作業が不可欠である。本研究では、これらの課題を解決するために、橋梁点検作業を行うワイヤ移動式橋梁点検ロボットの開発研究を行った。本システムは、ワイヤでロボットを懸架し、ワイヤ長さを制御することで、ロボットが移動するプラットフォームであり、それにカメラや打音装置等を搭載して実証試験を行った。その結果、将来的な実用化に向けて貴重な成果が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

橋梁を始めとしてインフラの維持管理・長寿命化は社会的に大きな課題の一つである。近年、橋梁点検の仕組みが確立され実行に移されているが、「技術者および財源の不足」が将来にわたり大きな課題であり、橋梁の長寿命化のためには効率的かつ経済的な点検・維持管理作業が不可欠である。本研究では、これらの課題を解決するために、橋梁点検作業を行うワイヤ移動式橋梁点検ロボットの開発研究を行った。本システムは、ワイヤでロボットを懸架し、ワイヤ長さを制御することで、ロボットが移動するプラットフォームであり、それにカメラや打音装置等を搭載して実証試験を行った。その結果、将来的な実用化に向けて貴重な成果が得られた。

研究成果の概要(英文)：This study addresses the development of a robot for inspection of old bridges. By suspending the robot with a wire and controlling the wire length, the movement of the robot is realized. The robot mounts a high-definition camera and aims to detect cracks on the concrete surface of the bridge using this camera. An inspection method using an unmanned aerial vehicle (UAV) has been proposed. Compared to the method using an unmanned aerial vehicle, the wire-suspended robot system has the advantage of insensitivity to wind and ability to carry heavy equipment. This makes it possible to install a high-definition camera and a cleaning function to find cracks that are difficult to detect due to dirt.

研究分野：構造工学

キーワード：診断・維持管理 ロボティクス インフラ長寿命化

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

橋梁の老朽化が進むことで崩落事故の危険が高まるため、点検および補修工事が必要である。点検は橋の異常の早期発見につながるため、定期的に行うことが望ましい。橋梁点検は現在、多くの場合人の手によって作業を行っている。しかし、現在の点検法には、現在および将来において、以下の課題がある。

- 1) 点検作業員の橋からの転落の危険
- 2) 人間の近接目視による点検では作業効率が悪く、点検コストが高い
- 3) 将来的な人口減社会における人手不足

これらの社会的課題に対して、ロボットを用いて点検を行うための開発研究が行われており、UAV、吸着型、レール型などの多くの提案がある。しかし、コストが掛かりすぎることや、動作の安定性が不足していることなど、その多くが一長一短である。

2. 研究の目的

本研究では、上記の課題を解決するために、ワイヤ移動式の橋梁点検ロボットの開発を目的とした。ワイヤ移動式点検ロボットは大きな可積載重量が確保できるため複数センサを用いた点検を行うことができること、安全性が確保されていることが特徴である。

3. 研究の方法

本研究の内容は大きく以下の3点に分類される。

- 1) 移動体（プラットフォーム）の設計・開発・実証試験
- 2) 移動体に積載するセンサ類（点検用具）の検討・開発
- 3) 2)を1)に登載した実証試験

4. 研究成果

(1)開発したロボットの概要

開発したロボット動作イメージを図1に示す。ここでは橋梁の中でも橋桁を支える橋脚の点検を目的としたものを示している。図1のように、ロボットは4本のワイヤにより懸架される。この4つワイヤの巻き取りを制御・繰り返すことで橋脚面の移動を行う。また、2)で検討した画像取得のためのカメラ及びカメラを動作させる運台を取り付けている。このカメラにより橋脚面にあるクラックを撮影する。

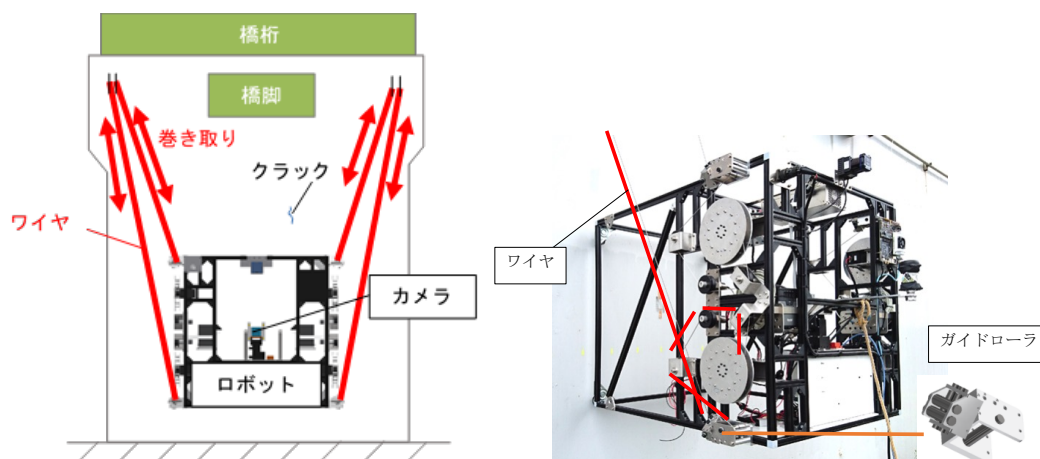


図1 ワイヤ移動式（橋脚点検用）ロボットの概要

このシステムの構成を図2に示す。各デバイス間をつなぐ赤線は電源供給線、黒線は通信線を示す。ロボットに搭載されているロードセルやウィンチのモータ、PC、カメラ、カメラの運台は直流電圧駆動である。ロードセル及びウィンチの電力は、バッテリーからの交流電圧をAC/DCにより直流電圧に変換し供給する。これにより、遠隔操作駆動でもウィンチの駆動電力を賄うことを可能にした。ロボットは搭載された小型のPCと張力ロードセルにより、ウィンチの巻き取り量を制御し動作する。そのため、ロボットの緊急停止時や復帰時を考慮すると、小型PCとウィンチの供給電源は別々のほうが好ましい。このため、PCやカメラ、カメラの運台の電力は、ロボットに搭載した2つのモバイルバッテリーによる供給を採用した。ロボットには姿勢制御のためにジャイロセンサを搭載し、位置情報取得のためにLRFを搭載した。ロボットの寸法は、カメラの画角の確保や、ロボットからの橋脚面に向かう力の考慮、洗浄機能や打音検査機能などの搭載を考慮し決定した。

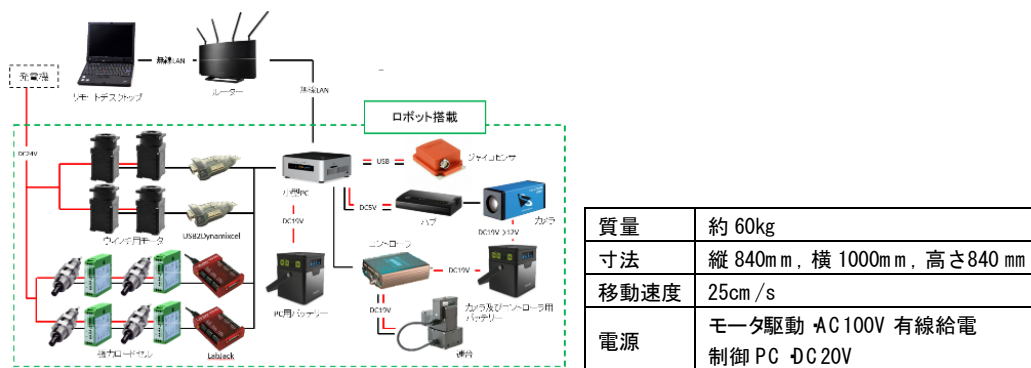


図2 システム構成および諸元

ロボットはワイヤの巻き取りと送り出しにより移動し、姿勢を変える。Z方向、X方向位置、Y軸周りの姿勢の3つをワイヤ4本の伸縮で制御する。たるみと破断の防止のため、各ワイヤの張力はセンサによって計測される。ワイヤの巻き取り速度は、次の4つの制御の線形和で決定することとした。

- 移動制御：X正方向に移動する場合にはワイヤ1と2を巻き取り、3と4を送り出す。Z正方向に移動する場合には全てのワイヤを巻き取る。
 - 姿勢制御：Y軸反時計周りに姿勢が傾いた場合、ワイヤ1と3を巻き取り、2と4を送り出す。姿勢の傾きの線形フィードバックとして、巻き取り量を決定する。
 - 張力制御：ワイヤの張力が大きすぎる場合には破断の危険がある。また、たるみが発生するとプーリーからワイヤが外れるトラブルが起こり得る。そのため、最大設定張力が設定され、最大張力を超えた量をフィードバックし巻き取り量を決定する。
 - X軸周りの回転防止制御：上部のワイヤ1、4の張力が相対的に2、3より弱い場合、ロボットがX軸周りに回転する危険がある。よって、4と比べ3の張力が小さい場合にはその差に応じて4を巻き取り、3を送り出す。
- a)およびb)では、ワイヤの伸縮は起こらないことを想定している。そのため、ワイヤ長が長い場合には制御系の不安定化や、大きな振動が起こる可能性がある。

(2) 実橋動作実験の概要

開発したロボットの有効性を確認するために実橋梁を使用し、動作実験を行った。実験は青森県八戸市にある八戸大橋で行った(図3)。本実験で使用する橋脚は、高さ25.5m、横幅が最大で20mである。本実験を行うにあたって、ワイヤを橋脚に取り付けるための治具は実験前に

あらかじめ取り付けけた。固定冶具へのワイヤ取り付けはクレーン車を用いて行った。固定冶具は2箇所あり、橋脚の左右に取り付けられている。1箇所につき2つのワイヤを取り付け、計4本のワイヤを取り付けた。ワイヤを1本ずつ巻き取りながらロボットを橋脚面に設置させた。点検員がコントローラ及びGUIを用いて橋脚のクラックの撮影点検を行った。



図3 点検を行った橋脚

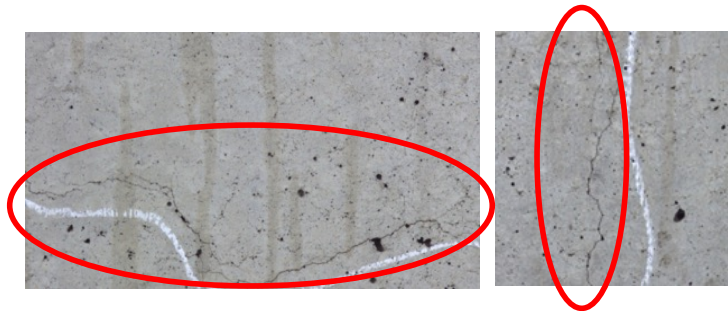


図4 撮影したクラック

本実験により、以下の事を示した。

- 1) ワイヤ駆動による安定した点検が可能
- 2) 開発したロボットを操作し橋脚面に存在したクラックを撮影
- 3) 移動の面の課題は小さな段差を乗り越えることができなかったことであるが移動速度や姿勢制御など、実用に耐えうる性能であることを確認

また、洗浄機能や打音検査機能等のさらなる付加機能については、それぞれの基礎的検討を実施して、本プラットフォームに搭載することを目指した。今後、これらを搭載した点検ロボットに拡張することが課題となる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

藤澤 隆介、梅本 和希、田中 基康、佐藤 徳孝、永谷 直久、勝山 真規：ワイヤ移動式橋梁点検ロボットシステム ARANEUS の開発と運用，土木学会論文集F 4（建設マネジメント），Vol.73，pp.26-37，2017.

〔学会発表〕(計0件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年：

国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：山崎 公俊
ローマ字氏名：Yamazaki Kimitoshi
所属研究機関名：信州大学
部局名：・学術研究院工学系
職名：准教授
研究者番号（8桁）：00521254

研究分担者氏名：梅本 和希
ローマ字氏名：Umemoto Kazuki
所属研究機関名：長岡技術科学大学
部局名：工学研究科
職名：助教
研究者番号（8桁）：10734428

研究分担者氏名：金子賢治
ローマ字氏名：Kaneko Kenji
所属研究機関名：八戸工業大学
部局名：大学院工学研究科
職名：教授
研究者番号（8桁）：30333834

研究分担者氏名：安部信行
ローマ字氏名：Abe Nobuyuki
所属研究機関名：八戸工業大学
部局名：感性デザイン学部
職名：准教授
研究者番号（8桁）：30433478

研究分担者氏名：迫井裕樹
ローマ字氏名：Sakoi Yuki
所属研究機関名：八戸工業大学
部局名：大学院工学研究科
職名：准教授
研究者番号（8桁）：30453294

研究分担者氏名：藤澤隆介
ローマ字氏名：Fujisawa Ryusuke
所属研究機関名：九州工業大学
部局名：情報工学部
職名：准教授
研究者番号（8桁）：40550554

研究分担者氏名：田中 基康
ローマ字氏名：Tanaka Motoyasu
所属研究機関名：電気通信大学
部局名：大学院情報理工学研究科
職名：准教授
研究者番号（8桁）：50633442

研究分担者氏名：佐藤 徳孝
ローマ字氏名：Satoh Noritaka
所属研究機関名：名古屋工業大学
部局名：工学研究科
職名：助教
研究者番号（8桁）：60574374

(2) 研究協力者
研究協力者氏名：
ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。