

洗浄機能を有したワイヤ移動式橋梁検査ロボットの設計

八戸工業大学 正会員 ○藤澤 隆介, 非会員 村中 彰, 非会員 永谷 直久,
正会員 長谷川 明, 正会員 金子 賢治, 正会員 橋詰 豊

1. 緒言

インフラの長寿命化の機運は、十数年前から急激に高まりを見せている。国土交通省により、5年に一度の目視による定期点検が義務化されたが、平成19年9月の時点での調査では財源および技術者の不足により、過去5年間調査を行われなかった道路橋は都道府県管理で約29%、市町村管理で約88%と試算されている[1]。このような財源および技術者の不足は地方でより顕著である。特に、寒冷地では凍害や凍結防止剤に起因する塩害との複合劣化により、他地域よりも劣化が速いことが知られており、点検頻度も5年よりも短い間隔で行なう必要があると考えられる。

一方で、近年のロボット技術の進歩は著しく、多くの分野においてロボットにより人間の作業を代替し人的・経済的効率化を図ることが進められてきている。橋梁点検作業をロボットに代替させることができれば、技術者や財源不足の課題を解決し、橋梁の長寿命化に資すると考えられるが、そのような橋梁点検ロボットは未だ実用化されていない。

そこで本研究では、目視代替検査および凍結防止剤等の除去を行うための洗浄機能を有した橋梁検査ロボットの開発を目的としている。本論文では、橋梁検査ロボットの開発において求められる機能的要件を明らかにし、ロボットの移動方式について検討する。次に、実際に製作したロボットの特徴と移動機構に関して述べる。

2. 橋梁検査ロボット移動方式の検討

橋梁においては、主桁・橋台・橋脚・支承部など多くの部位があり、これらを効率よく検査するロボットを開発するため、検査ロボットの移動方式に関して検討を行なう。

検査員に代わって橋梁検査の近接目視代替を行なうためには、検査ロボットには以下の要件が求められる。

- 1) 多様な橋梁構造への運用が可能であること
- 2) 外乱に対してロバストな検査能力を有すること

3) 打音検査等の二次タスクが行えること

まず、鋼橋やコンクリート橋のような構造部材が異なる橋梁だけではなく、様々主桁の構造に対しても検査可能な方式であることが必要である。また、強風や橋梁の揺れに対しても安定して検査ができることが求められる。さらに、目視代替検査だけでなく、打音検査や支障部等の検査部位の汚れを洗浄するなどの二次タスクが可能であることが質の高い検査を行なう上で有用である。以上の要件を鑑みて、実用性の高い4つの検査ロボット移動方式の候補を図1に示す。

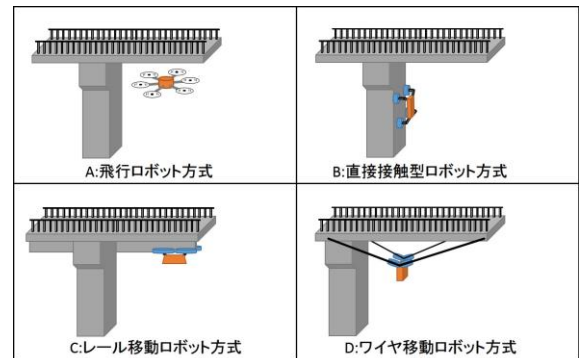


図1 橋梁検査ロボット移動方式

これら4つの移動方式のうち、B:磁力や負圧吸着による直接接触型ロボット方式とC:レール移動ロボット方式は検査可能な橋梁に限られるため候補から除外した。また、Aの飛行ロボット方式は、どのような橋梁構造でも検査が可能であるが、風が乱流となっている橋梁下近傍では安定して移動を行なうことが難しい。また、積載重量が少ないため二次タスクを行なうことを実装することが困難である。一方で、Dのワイヤ移動式ロボット方式は、飛行ロボットには劣るが複数のワイヤを張ることで橋桁下の3次元移動が可能であり、ワイヤの本数を増やすことでロボットの移動安定性を高くすることができる。

以上の検討から、どの橋梁構造に対しても運用が可能であり、安定して動作可能な点および洗浄機能を付加することを考えると、ワイヤ移動式の検査ロボットが他方式に比べて有用であると考えられる。

3. ワイヤ移動式検査ロボットの移動機構デザイン

複数のワイヤにより懸垂物を 3 次元空間内で移動させるワイヤ移動方式では、各ワイヤの取り付け点の相対位置やワイヤの本数により制御可能な動作範囲が規定される。

ワイヤ移動式の橋梁検査ロボットにおいては、ワイヤ固定部が現実的には主桁の側面や欄干部分になることを考えると、3 次元移動を行なうためには最低 4 本のワイヤを使用する必要がある。このような重力方向下向きの張力を発生することができないワイヤ懸垂系は部分拘束型機構と定義される[2]。Albus らは部分拘束型機構を用いた懸垂機構としてワイヤを 6 本使用した Robocrane を開発し、懸垂物の重量によって等価的に下方向へのワイヤの拘束がある懸垂系とみなして、安定した懸垂物の 3 次元移動を実現した[3]。

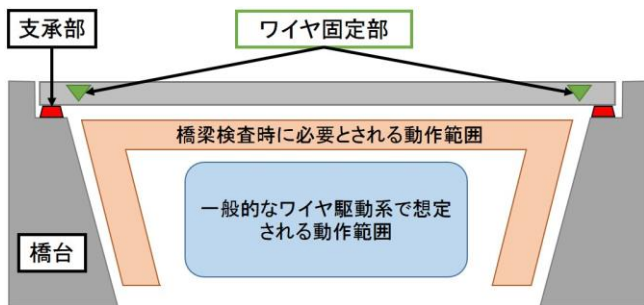


図 2 橋梁検査時に必要とされるロボット動作範囲

しかし、図 2 に示すように一般的なワイヤ懸垂駆動系で想定される動作範囲は各ワイヤ固定部から等距離のある一定の範囲内であり、橋梁ロボットに必要とされる動作範囲はそれよりも外側の空間である。また、ロボットに高圧洗浄水等による洗浄機能を付加することを考慮すると、その反力を補償するためのワイヤが必要となる。このため、ロボットが安定して検査範囲の 3 次元空間を移動し、かつ洗浄を行なうためには 4 本以上のワイヤが必要である。

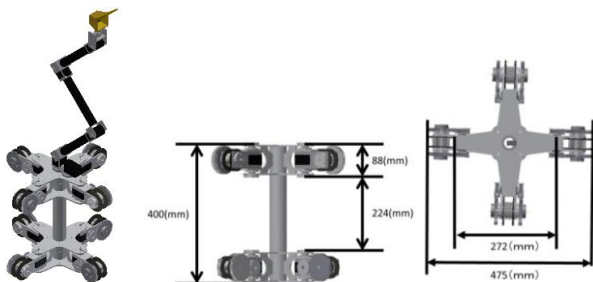


図 3 ワイヤ移動式ロボットの CAD 図

そこで、図 3 のようにロボットの機体構造を 2 層構造とし、計 8 個のワイヤ巻き取り装置（ウィンチ）を

4 方に配置した、合計 8 本のワイヤによるワイヤ懸垂系移動機構とした。

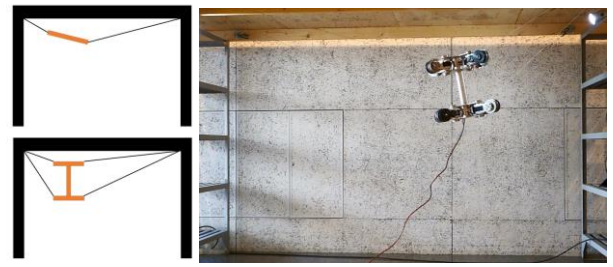


図 4 動作範囲の端部における姿勢

この結果、図 4 のような検査時に想定される範囲における機体の姿勢制御を行なうことができるようになった。また、このワイヤ本数を増やしたことにより、洗浄時にロボットアームの手先に生じる回転方向の反力の補償や一部のウィンチへの張力の集中を分散することができると考えている。

4. 結言

本研究では、橋梁の近接目視代替および長寿命化のために洗浄機能を有した橋梁検査ロボットの開発を行った。開発したロボットの特徴を以下に示す。

- 1) 様々な構造の橋梁に対して安定して検査が可能であり、支承部や検査部位の洗浄および凍結防止剤の除去などの二次タスクが行えるワイヤ移動方式を採用した。
- 2) 検査移動時における姿勢安定性を保ち、洗浄時における反力を補償するために、2 層構造を有した合計 8 本のワイヤからなる部分拘束型懸垂系の移動機構とした。

今後の実装計画として、まず、ロボットアームの実装。次に、より高い姿勢安定性を実現するための各ワイヤ巻き取り部の協調制御手法の確立と、ロボット自身に加速度センサやジャイロなどの内界センサを付け姿勢情報のフィードバックの実装を行なっていく予定である。また、実橋梁における試験を通して、検査作業員の使いやすい仕様や組み付けしやすい重量などを明らかにし、より実用的な機構に改良したいと考えている。

参考文献

- [1] “道路橋の予防保全に向けた有識者会議 第 1 回会議資料,” 国土交通省, 2007 年。
- [2] 山本 元司, 柳井 法貴, 毛利 彰, “非完全拘束型パラレルワイヤ懸垂機構の逆運動学解析と順運動学計算法,” 日本ロボット学会学会誌, Vol.20, No.1, pp107-115, 2002。
- [3] J. Albus, R. Bostelman and N. Dagalakis, “The NIST ROBOCRANE,” Journal of Robotic System, Vol.10, No.5, pp.709-724, 1993