

建設現場でのワイヤーロープ 点検システムの開発

藤田 雄一¹・ルイ笠原 純ユネス²・山下 淳³

¹非会員 鹿島建設株式会社 機械部 機械技術イノベーショングループ
(〒107-8477 東京都港区元赤坂1-3-8)

東京大学大学院共同研究員 工学系研究科総合研究機構 i-Constructionシステム学寄付講座
(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)
E-mail:fujityui@kajima.com

²非会員 東京大学大学院特任講師 工学系研究科総合研究機構 i-Constructionシステム学寄付講座
(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)
E-mail:louhi@robot.t.u-tokyo.ac.jp

³正会員 東京大学大学院教授 新領域創成科学研究科 (〒277-8563 千葉県柏市柏の葉5-1-5)
E-mail:yamashita@robot.t.u-tokyo.ac.jp

建設機械のワイヤーロープ点検は、そのほとんどが現場での目視点検にて実施されている。そのため、点検結果が点検者の技量や経験に左右されてしまうという課題がある。本研究では点検者の技量や経験、また現場条件や作業環境に依らない、ワイヤーロープ自動点検手法の開発を目的としており、ワイヤーロープ径計測作業について、画像センサを用いた計測手法を検討したので報告する。

Key Words : construction site, wire rope, automated inspection, image sensor, measurement

1. 背景と目的

ワイヤーロープは荷役および運搬用機械装置の主要構造として幅広く使用されており、建設現場で使用されるクレーンなどの建設機械も同様の構造を有している。これらの機械は非常に大型であり、ワイヤーロープの切断は吊荷の落下やクレーンの倒壊など、重大かつ大規模な災害につながる。このようにワイヤーロープは機械構成上、非常に重要な箇所に使用されている。一方で、消耗材であり他の機械構成部品に比べて寿命が短いという特徴がある。そのため、使用に際しては正しい知識を持って管理することが必要である¹⁾。

クレーンのワイヤーロープ点検作業を例に挙げると、一般社団法人日本クレーン協会が示すワイヤーロープ廃棄基準および簡易点検マニュアルに従って、目視で損傷の状況を確認する²⁾。点検項目としては「径変化」「摩耗」「腐食」「断線」などがある(図-1)。点検頻度については、始業前に簡易点検、月次・年次のタイミングで詳細点検を実施している。そして、これら点検の多くは現場にて実施している。これらのことから、現状の建設現場でのワイヤーロープ点検作業には次の課題がある

点検項目 (抜粋)		点検方法	点検頻度
 減径	 摩耗	・目視、ノギス計測  点検状況	・始業前 (簡易点検) ・月次、年次 (詳細点検)
 素線断線	 錆		

図-1 建設現場でのワイヤーロープ点検作業

と考えられる。使用するワイヤーロープの全長が長く目視点検作業に多くの時間を要する、ワイヤーロープの損傷発生をタイムリーに把握できない、機械の使用条件や作業環境が多様なためワイヤーロープの寿命の把握が困難である。このように建設機械のワイヤーロープ点検は非常に難しい作業であり、結果として点検結果が点検者の技量や経験に左右されてしまう。

本研究は、点検者の技量や作業環境に依らないワイヤーロープ点検の自動化を目的としており、ワイヤーロープ点検作業の一つである「径計測」を対象に、画像センサを用いた径計測手法について検討を行い、実験によってその計測精度を確認したので報告する。

2. 計測手法検討

(1) 計測対象

現在、様々なワイヤーロープの損傷検出手法が開発されている。磁気センサ方式やX線方式、渦電流方式、超音波方式などがあるが、いずれも装置が複雑かつ高価であることや、外部ノイズに敏感であることなどから、建設現場で広く使用されるは非常に困難である³⁾。

ワイヤーロープの径計測に着目した場合、最近では、画像センサを用いた径計測手法の開発が盛んに行われている。画像センサを用いるメリットとしては、センサが比較的安価で取り扱いが容易であること、非接触であり機械稼働中も計測が可能であることなどが挙げられ、現状の人によるノギス計測に代わる技術として期待されている。現在提案されている手法は、2台のラインセンサカメラを用いた手法⁴⁾、テレセントリックレンズを用いた手法⁵⁾などがあるが、いずれもエレベーター用ワイヤーロープを対象としており、建設機械を対象としていない。図-2に2つの機械構造の違いを示す。エレベーター用ワイヤーロープは機械の稼働に際して、その通過位置が変化しないことから、画像センサとワイヤーロープの位置姿勢関係に変化がない。一方、建設機械の多くはワイヤードラムを介したワイヤーロープの送出し/巻取りによって機械が動く構造であり、ワイヤーロープの通過位置が3次元的に変化するため、画像センサとワイヤーロープの位置姿勢関係が変化する。これについて、従来技術ではこの条件は想定されておらず、画像センサを用いた径計測における極めて重大な違いであり、建設機械への適用を困難にしている要因である。例として一般的な200tクローラクレーンの場合、ワイヤードラムは幅800mm程度あり、それをカバーする計測レンジが必要となる。また使用ワイヤーロープは公称径28mmで、廃棄基準として規定される「公称径7% : $28\text{ mm} \times 0.07 = 1.96\text{ mm}$ 」の減少量を捉える計測精度が必要となる。

(2) 提案手法

本研究では、ワイヤーロープの通過位置が大きく変化する状況でのワイヤーロープ径計測手法として、光切断法を用いた画像センサを提案する。コンセプトとしては、ワイヤーロープの3次元形状を計測し、径寸法を算出するというものである。画像センサによりワイヤーロープの断面形状を密に連続的に計測し、取得した断面形状からワイヤーロープ径を算出することで、ワイヤーロープ径計測の実現を目指す。提案手法のフローを図-3に示す。

a) ワイヤーロープ計測

提案手法ではまず、光切断法の原理を用いてワイヤーロープの断面形状を連続的に取得する。画像計測手法の

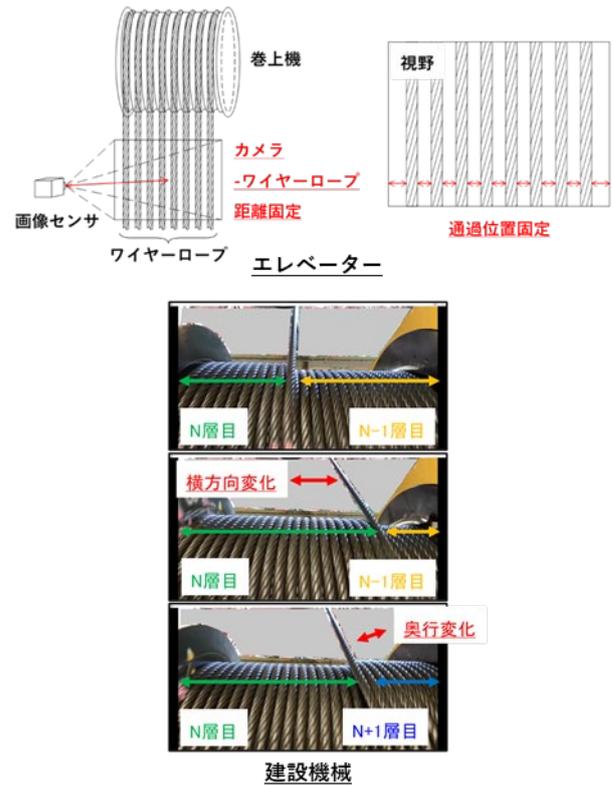


図-2 エレベーターと建設機械の構造の違い

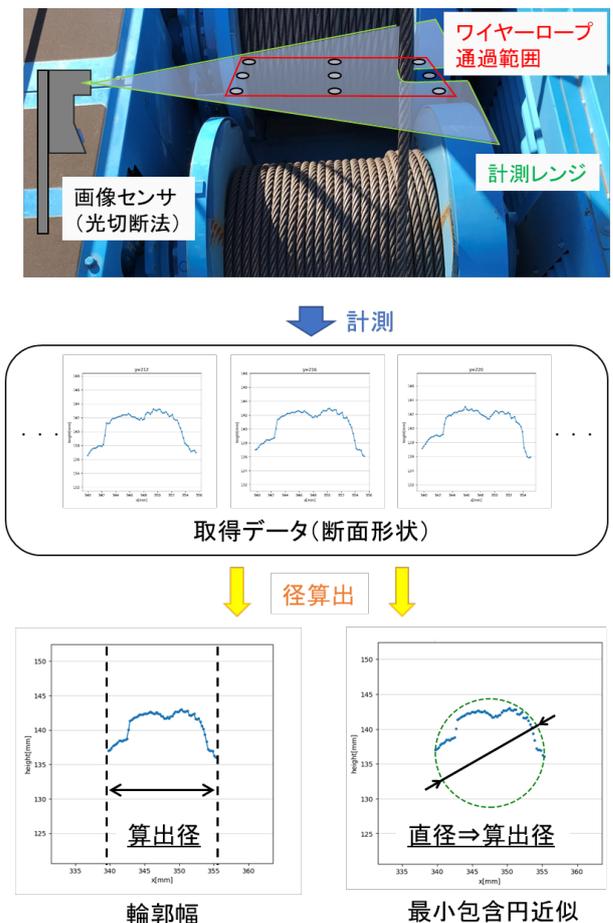


図-3 ワイヤーロープ径計測フロー

中でも光切断法の原理を採用した理由としては、広い測定レンジ（奥行1 m位置で幅0.5 m）、高い計測精度（奥行：数10 μm）、高い空間分解能（幅方向：サブmm）を有していることが挙げられ、2.(1)に示す必要計測レンジ／計測精度を満たす。計測結果としては、図-3中段のようなワイヤーロープ断面形状データが取得される。さらには、高いサンプリングレート（数100 Hz～数 kHz）での計測が可能であり、機械稼働時のワイヤーロープ速度（～2 m/s）でも、ワイヤーロープを数mm間隔で計測することができる。

b) ワイヤーロープ径算出

次に、取得した断面形状からワイヤーロープ径算出を行う。ここでは図-3下段に示す2種類の径算出手法を検討した。一つ目は取得した断面形状の端-端の幅をワイヤーロープ径とする手法。もう一つはワイヤーロープが全体として円形であることをふまえ、取得データを包含する最小円で近似し、その直径をワイヤーロープ径とする方法である。なお現在までの検討では、これら2つの径算出手法についての優位性は明らかになっていないため、次章の実験では「輪郭幅」による径算出結果について評価を行った。

3. 計測実験

(1) 静止状態での計測

ここでは、静止している円柱体の計測を実施した。撮影対象は表面が平滑な円柱体で、φ12, 16, 20, 27.5, 48 mmの5種類。本実験で使用した画像センサは、KEYENCE製 LJ-X8900⁴⁾、機器設定は計測レンジ：奥行1,380 mm、幅720 mm、プロファイルデータ間隔：0.225 μm、撮影距離：680, 980, 1,280mmの3ケースで計測を行った。

表-1では、計測結果－実測値の差分を示しており、いずれのケースも計測結果が実測値に比べて小さくなる結果となった。さらに、表-1の最下行にはワイヤーロープ廃棄に至る減少分（円柱サイズ × (-0.07)）を赤字で示しており、この減少分比べて計測結果－実測値の差は小さく収まっていることが確認できた。なお、計測結果が実測値に比べて小さくなる傾向については、当該計測原理で円柱体を計測する上では不可避であり、本実験によりその傾向を定量的に確認した。

(2) 稼働ワイヤーロープ計測

次に、稼働しているワイヤーロープの計測を行った。使用した実験装置を図-4に示す。使用センサおよび機器設定は3.(1)と同様、サンプリングレート：500 Hz、撮影距離：980 mm、使用したワイヤーロープは、公称径：

表-1 静止状態での差分（計測結果－実測値）

撮影距離	円柱サイズ				
	φ 12	φ 16	φ 20	φ 27.5	φ 48
680	-0.07	-0.04	-0.43	-0.49	-0.45
980(基準距離)	-0.07	-0.48	-0.43	-0.93	-1.20
1,280	-0.53	-0.55	-1.08	-0.73	-1.97
廃棄基準に至る減少分(-7%)	-0.84	-1.12	-1.40	-1.93	-3.36

[mm]

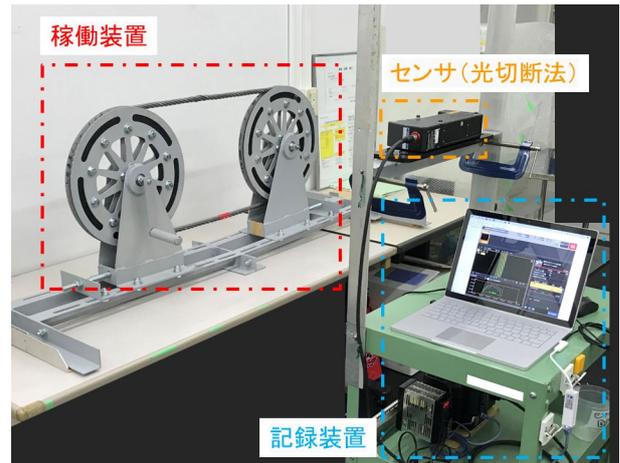


図-4 実験装置

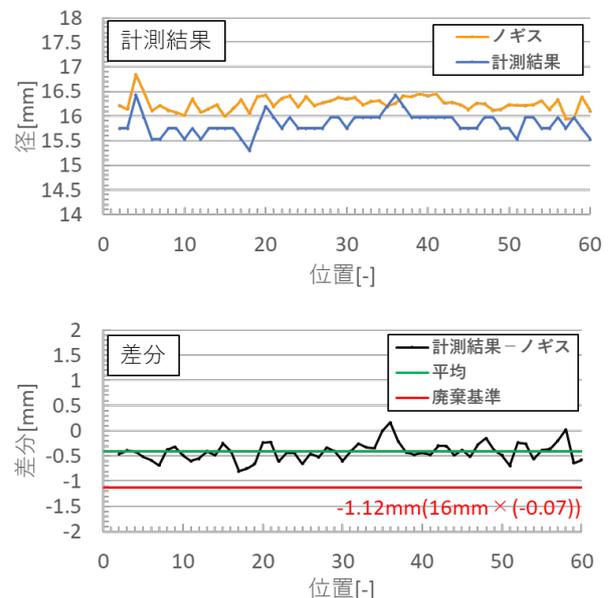


図-5 稼働ワイヤーロープ計測結果

表-2 稼働ワイヤーロープ計測時の差分（計測結果－実測値）

平均	標準偏差	最大	最小
-0.41	0.18	+0.16	-0.80

[mm]

16 mm, ワイヤロープ構成: 6*24 O/O. ワイヤロープ速度: 約1 m/sで計測を行った.

図-5上段では, ワイヤロープの各山位置における計測結果(青線)とノギス実測値(橙線)を示している.

図-5下段では, 計測結果とノギス実測値との差分(黒線), 差分の平均値(緑線)および公称径7%減少分(赤線)を示している. 3.(1)での結果と同様に, 計測結果が実測値に比べて小さくなる結果となった. また, 差分の平均値(-0.41 mm)は, 3.(1)の結果(ϕ 16 mm, 撮影距離 980 mm \rightarrow 差分: -0.48 mm)と同程度であった. さらに, 実測値との絶対誤差が最も大きい箇所(差分: -0.80 mm)においても, 廃棄基準(-1.16 mm)には至らない結果となった(表-2).

本実験で得られた計測結果の傾向を考慮した管理値設定をすることで, 提案手法がこれまでの人力で疎な計測作業の代替になり得ると考える. 今後は, ワイヤロープ全周を捉える機器配置の検討や径算出手法の改良を行い計測精度の向上を目指す.

4. まとめと今後の取り組み

本研究では, 建設機械のワイヤロープ径計測を現場で実施することを目的として, 画像センサを用いた建設機械のワイヤロープ径計測手法を提案し, 実験により計測結果の定量的な評価を実施した. ワイヤロープの通過位置が大きく変化するワイヤードラム箇所での計測を実現するため, 広い計測レンジ, 高い分解能を有する光切断法の原理による計測手法を提案した. そして, その際に生じる計測誤差を定量的に評価したことで, 従来の人力の点検作業の代替とな得る可能性を示した.

今後は, 損傷検出項目の拡充の一環として, ワイヤロープの極めて重大な損傷の一つである「素線切れ」の検出手法の開発に取り組む予定である. 現時点では, 画

像センサでの計測をベースに機械学習との組み合わせを検討しており, ワイヤロープ点検手法の高度化に努めたいと考えている.

謝辞: 本研究は, 東京大学「i-Constructionシステム学寄付講座」のもと, 東京大学と鹿島建設との共同研究により実施した. 関係者の皆様に感謝申し上げます.

参考文献

- 1) 一般社団法人日本クレーン協会, “クレーン等のワイヤロープの安全点検”, http://www.cranenet.or.jp/susume/susume07_08.html, (閲覧日 2023.05.08)
- 2) 一般社団法人日本クレーン協会, “ワイヤロープの簡易点検”, <http://www.cranenet.or.jp/tisiki/wire.html>, (閲覧日 2023.05.08)
- 3) Zehua Li, Zheng Chai, and Chunhui Zhao: “An Abrasion Detection Method for Elevator Traction Wire Rope based on Template Matching,” Proceedings of 2020 IEEE 9th Data Driven Control and Learning Systems Conference (DDCL'20), China, pp. 1452-1457, 2020.
- 4) 野田祥希, 庄司豊, 加藤充: “ビジュアルロープテストの開発,” 明電時報, 通巻 365 号, No. 4, 2019.
- 5) 東京製綱株式会社, “高精度センサを用いたエレベーターの定期検査に係る技術開発報告”, <https://www.nedo.go.jp/content/100940190.pdf>, 2021 (閲覧日 2023.05.08)
- 6) 株式会社島津製作所, “規制の精緻化に向けたデジタル技術の開発/高精度センサを用いたエレベーターの定期検査に係る技術開発”, <https://www.nedo.go.jp/content/100940189.pdf>, 2021 (閲覧日 2023.05.08)
- 7) KEYENCE LJ-X8900: https://www.keyence.co.jp/landing/req/measure/lj-x8000_2011_01.jsp, (閲覧日 2023.05.08)

(2023. ?? 受付)

DEVELOPMENT OF WIRE ROPE INSPECTION SYSTEM AT CONSTRUCTION SITES

Yuichi FUJITA, Jun Younes LOUHI KASAHARA and Atsushi YAMASHITA

Most wire rope inspections of construction machinery are carried out by visual inspection at construction sites. Therefore, there is a problem that the inspection result depends on the skill and experience of the inspector. The purpose of this study is to develop an automated wire rope inspection method that does not depend on the skill and experience of the inspector, or on-site conditions and work environment.