

超高解像度カメラで撮影された画像を用いた 橋梁の健全度評価の実現可能性に関する研究

浦田 渡¹・南 貴大²・藤生 慎³・福岡 知隆⁴・高山 純一⁵

¹学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科環境デザイン学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail:superw7@stu.kanazawa-u.ac.jp

²学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科環境デザイン学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail:taketaka0503@stu.kanazawa-u.ac.jp

³正会員 金沢大学准教授 理工研究域地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail:fujju@se.kanazawa-u.ac.jp

⁴正会員 金沢大学研究員 理工研究域地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail:tfukuoka@se.kanazawa-u.ac.jp

⁵フェロー会員 金沢大学教授 理工研究域地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail:takayama@se.kanazawa-u.ac.jp

国内の橋梁の高齢化が急速に進んでいる。国土交通省は橋梁に対する予防保全的な維持管理を重要視し、全ての橋梁に対して定期点検を義務付けている。現在実施されている近接目視点検は予算・人員の問題により効率的でないことから、代替手法の様々なシステムが研究されているが、本研究では、超高解像度カメラを用いて視覚的に現在の点検と遜色ない環境を構築し、人が画像上で点検を行う「画像目視点検システム」を提案する。橋梁点検において、損傷を検出したのちに構造物の健全度評価が行われるが、主観や経験値などにより評価にばらつきが生じるといった課題が存在する。本研究では、画像上での健全度評価の可能性を検証するために、画像目視点検環境下で点検者が健全度を評価した結果から、画像上から健全度を評価する際に生じる課題を明らかにした。

Key Words : *super high-resolution camera, bridge inspection, maintenance, diagnostic imaging, soundness assessment, experience point, variation*

1. はじめに

我が国では高度経済成長期にインフラ構造物が集中的に整備され、今後急速に老朽化することが懸念されている。構造物には老朽化に伴い劣化が生じるため、全てのインフラ構造物に維持管理を目的とした定期点検が義務付けられている。特に橋梁は全国に約73万橋（平成25年道路局集計）存在し、国土交通省が所管している社会資本の中でも膨大な数を有している。建設後50年を経過した橋梁の割合は全橋梁の約18%を占め、10年後には約43%、20年後には約67%と加速度的に増加していく¹⁾ことから、今後安全上問題が発生する可能性があるすべての橋梁に修繕・架け替えといった事後保全的処置を適切に行うことは困難であると考えられる。こういった状況から、国土交通省は橋梁長寿命化修繕計画を制定し、大規模な修繕・架け替えや、劣化に伴う事故に至る前に、橋梁に発生した損傷の早期発見・対策を実施する予防保

全的な維持管理への転換及び橋梁の長寿命化並びに橋梁の修繕・架け替えにかかる費用の縮減を図っている。

現在、橋梁点検の手法として、点検者が橋梁に近づき目視で損傷を発見・診断する近接目視点検が行われている

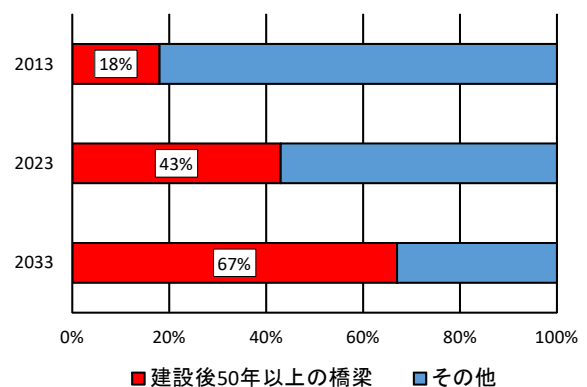


図-1 建設後 50 年を経過した橋梁の割合¹⁾

るが、この点検手法にはいくつかの課題が存在する。一般社団法人次世代センサ協議会が全国47都道府県や政令指定都市に対し、橋梁点検業務の運用状況と課題に関するアンケート調査をおこなった²⁾ところ、アンケート調査における点検業務の課題に関する設問では、「点検委託費が高価で予算確保が困難」、「大型点検車使用による費用の増大」などといった財政上の問題と、「技術者の数が管理する橋梁の数に対して圧倒的に少ない」、「業務内容を熟知している人材が少ない」などといった人員の問題が大半を占め、近接目視点検の大きな課題であることが明らかとなった。また、「点検診断結果にばらつきが生じている」、「点検者の主観による部分のばらつきがある」などの点検結果判定に関する課題も、アンケートから明らかとなり、損傷の診断だけでなく健全度を判定する際にも課題が存在した。

このような課題があることから、今後すべての橋梁に対して同様の精度を担保した近接目視点検を継続的に行うことは困難になると考えられる。

本研究では、これらの背景を踏まえ、現在行われている近接目視点検の代替的な点検手法として、画像目視点検を提案する。画像目視点検は、橋梁の点検部位を1億画素の超高解像度カメラで撮影し、撮影された画像を橋梁点検者が目視で点検することで点検対象物の損傷部分を診断する点検システムである。このシステムは、点検部位を撮影して画像を取得する作業さえ行えば現場での点検をする必要がなく遠隔地での診断が可能であるため、人員確保の負担が軽減される。また、本研究で使用する超高解像度カメラはドローンに搭載が可能であることから、橋梁点検車を使用しなければ点検が困難であった箇所に関しても、画像を撮影して点検することができ、点検車の使用に伴う高額な予算確保の負担も軽減されると考えられる。

2. 本研究の位置づけ

橋梁点検の代替手法に関する既往研究をまとめ、本研究の位置づけを行う。

岡田ら³⁾は、受動回転球殻を有するマルチコプタの開発と、その実橋梁における模擬点検を行った。マルチコプタには、橋梁のように複雑かつ狭隘な環境を安全に飛行するために、3軸ジンバルを介して接続された本体と球殻が独立に受動回転できる構造を採用した。また、これまでの実橋梁での第三者評価で、橋梁表面に受動回転球殻を接触させながら近接飛行することで、国交省点検要領で発見が必要とされる0.1[mm]のひび割れなどの損傷を撮影できることが認められている。

藤原ら⁴⁾は、橋桁の下面や支承部など近接目視が困難な箇所に対して、ポールユニットを用いて視準可能な位

置にカメラを据え付け、点検、測定、映像記録採取を行う装置を開発した。この装置を用いた点検方法としては、点検ロボットカメラに搭載しているレーザー距離計によりカメラから対象面までの距離を測定し、そのデータに基づいて対象面における大きさを認識し、操作端末(タブレットPC)画面にクラックスケール等の計測目盛を表示させることでひび割れ幅、ひび割れ長さ、塗装劣化の長さなどを測定する。現場検証の結果、腐食・剥離・鉄筋露出などの損傷評価は可能であるものの、ひび割れの検出に関しては精度が低く課題が残る結果となった。

南ら⁵⁾は、実橋梁を対象に超高解像度カメラを用いて写真撮影実験を行い、撮影された画像を用いてひび割れ診断実験を行った。写真撮影実験に関しては、専用ソフトウェア上で画像の属性(明度・彩度など)を自由に調整することができるため、通常のデジタルカメラで撮影した画像や肉眼で確認することが困難な桁下の部材の撮影が可能であることが明らかとなった。また、橋梁の点検部から十分に距離を取った状態で撮影が行われることから、安全性が懸念されるUAVとの相性の良さも示唆された。ひび割れ診断実験に関しては、診断者によって多少のひび割れの検出誤差が生じるものの概ねひび割れ検出結果は類似していることが明らかとなった。

いずれの研究も橋梁に生じる損傷の「検出」にのみ着目されているが、近接目視点検の代替手法であるためには点検部位の損傷を検出したのちに、検出結果から点検部位の健全度の判定までを行う必要がある。そこで、本研究では超高解像度カメラで撮影された画像を用いて、橋梁点検者がひび割れ検出を行うひび割れ検出実験と点検部位の健全度の評価を行う健全度評価実験の2種類の実験を行い、橋梁点検者が評価した点検部位の健全度の結果から、画像上から点検部位の健全度を評価する際に生じる課題を明らかにすることを目的とする。

3. 写真撮影実験

平成30年9月20日(木)から21日(金)、石川県羽咋市にて写真撮影実験を実施した。今回は石川県羽咋市が管理する7橋の撮影を行った。本実験では事前に羽咋市から提供を受けた橋梁定期点検データを基に、コンクリート橋脚にひび割れを有しており、かつ2径間以上の橋梁を対象として選定した。撮影実験を行った7橋のうち、平成28年に定期点検が完了している橋梁が3橋、平成29年に定期点検が完了している橋梁が2橋、平成30年に点検予定(未点検)の橋梁が2橋であった。撮影対象部材としては、いずれの橋梁もコンクリート橋脚を対象とし、撮影の際は超高解像度カメラを三脚に取り付け、橋梁の下部で橋脚の全景が撮影できる距離から撮影を行った(図-2)。また、撮影枚数は7橋の合計で454枚であった。



図-2 撮影実験風景



図-4 ひび割れ診断結果の一例



図-3 ひび割れ診断実験対象画像



図-5 ひび割れ検出実験

4. 画像目視によるひび割れ検出実験

本研究では、画像目視点検下でひび割れの検出から点検部位の健全度の評価までの作業を行い、評価の結果から、画像上から点検部位の健全度の評価をする際の課題を明らかにするために、超高解像度カメラで撮影された画像からひび割れの検出を行うひび割れ検出実験を実施した。ひび割れ検出実験を行うにあたり、写真撮影実験を行い、カメラの解像度と撮影距離の関係からひび割れ幅0.2mm以上のひび割れが視認でき、かつ部材に十分にひび割れを有している損傷部の画像を選定したところ、〇橋の橋脚部の画像（図-3）が条件を満たし、画像からひび割れの検出を行うひび割れ検出実験に適していたため、実験に用いる画像として使用した。

ひび割れ検出実験は被験者が52インチ4Kモニターのディスプレイ上に表示された対象画像（図-3）から拡大・縮小を繰り返すことでひび割れを目視で見つけ出し、ひび割れの上をなぞるように赤線を引くことでひび割れの検出を行う。（図-4）赤線を引く作業と拡大・縮小は

マウスで行い、すべての操作を超高解像度カメラ専用のソフトウェア上で行う。本実験は建設コンサルタント4社（石川・福井・富山）を訪問し、34名の橋梁点検者を対象として行った（図-5）。

5. 画像目視による健全度評価実験

(1) 実験の概要

ひび割れ検出実験を行った34名の橋梁点検者を対象に、それぞれのひび割れ検出結果から画像上の点検部材の健全度を評価する健全度評価実験を行った。本実験では、橋梁点検者が点検部位の画像から検出したひび割れ検出結果を基に、健全度、対策区分の評価を行う。また、各橋梁点検者を対象にひび割れ発生要因の推察と健全度を評価するうえで他に必要な情報に関するヒアリングも行った。健全度に関しては、国土交通省が定める橋梁定期点検要領に記載されている判定区分⁹⁾の1～4（表-1）で評価を行い、対策区分の評価に関しても、同様の橋梁定期点検要領に記載されている判定区分⁹⁾のA～S2（表-2）で評価を行った。

表-1 健全度の判定区分

区分		定義
I	健全	道路橋の機能に支障が生じていない状態
II	予防保全段階	道路橋の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態
III	早期措置段階	道路橋の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態
IV	緊急措置段階	道路橋の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態

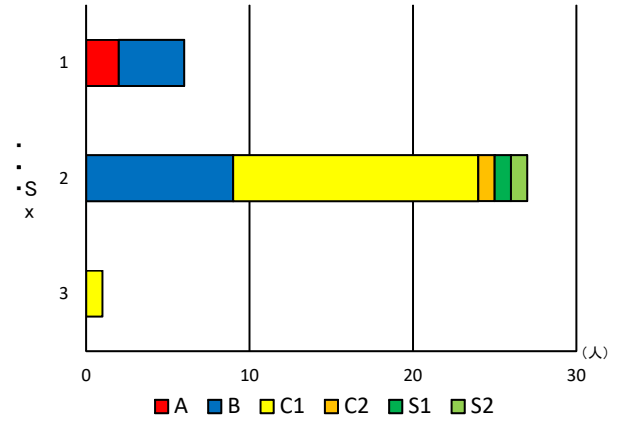


図-6 点検者が評価した健全度と対策区分

表-2 対策区分の判定区分

判定区分	判定の内容
A	損傷が認められないか、損傷が軽微で補修を行う必要がない
B	状況に応じて補修を行う必要がある
C1	予防保全の観点から、速やかに補修等を行う必要がある
C2	橋梁構造の安全性の観点から、速やかに補修等を行う必要がある
E1	橋梁構造の安全性の観点から、緊急対応の必要がある
E2	その他、緊急対応の必要がある
M	維持工事で対応する必要がある
S1	詳細調査の必要がある
S2	追跡調査の必要がある

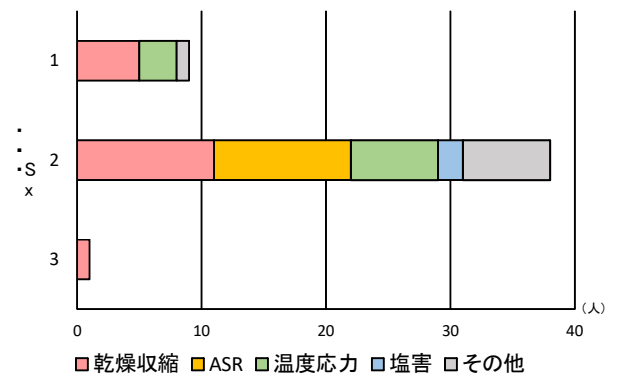


図-7 点検者が推察したひび割れの発生要因

(2) 実験結果

橋梁点検者が画像上からひび割れを検出し、点検部位の健全度と対策区分の評価を行った結果を図-6に示す。34名の点検者のうち、健全度を1と評価した被験者が6名、2と評価した被験者が27名、3と評価した被験者が1名であり、同じ橋梁の点検部位であるにも関わらず評価の結果にばらつきがみられた。また、健全度と対策区分の関係について、各健全度に評価した点検者が、対策区分をどの判定で評価したかの集計を行った。その結果、健全度を1と評価した被験者のうち、対策区分をAと評価した被験者が2名、Bと評価した被験者が4名、健全度を2と評価した被験者のうち、対策区分をBと評価した被験者が9名、C1と評価した被験者が15名、C2と評価した被験者が1名、S1と評価した被験者が1名、S2と評価した被験者が1名、健全度を3と評価した被験者のうち、対策区分をC1と評価した被験者が1名であり、健全度は同じ評価であっても対策区分の評価にはばらつきが生じていることも明らかとなった。

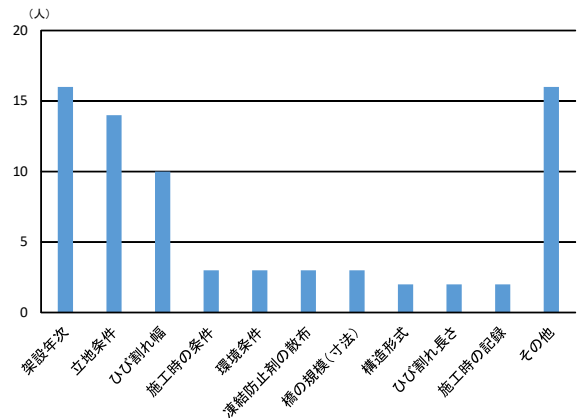


図-8 点検者が回答したひび割れ検出結果の他に健全度評価に必要な情報

(3) 橋梁点検者を対象としたヒアリング

本実験では、橋梁点検者を対象として健全度及び対策区分の評価を行うと同時に、損傷(ひび割れ)の発生要因の推察と健全度を評価するうえでひび割れ検出結果の他に必要な情報に関するヒアリングを実施した。なお、ヒアリングの回答は、複数回答可とした。

点検部位の健全度の評価とひび割れの発生要因の推察を行った結果を図-7に示す。健全度を1と評価した被験者のうち、発生要因を乾燥収縮と推察した被験者が5名、温度応力と推察した被験者が3名、その他と推察をした被験者が1名、健全度を2と評価した被験者のうち、発生要因を乾燥収縮と推察した被験者が11名、ASRと推察した被験者が11名、温度応力と推察した被験者が7名、塩害と推察した被験者が2名、その他と推察をした被験者が1名、健全度を3と評価した被験者のうち、発生要因を乾燥収縮と推察した被験者が1名であり、対策区分の評価の際と同様に健全度は同じ評価であっても健全度を決定する際に必要となるひび割れの発生要因の推察結果にはばらつきが生じていることが明らかとなった。

ひび割れ検出結果の他に、健全度評価に必要な情報の回答結果を図-8に示す。最も多かった回答はその橋梁の架設年次であり、続いて橋梁の立地条件、ひび割れ幅などの回答が多くみられた。ヒアリングの結果から、健全度を評価する際には梁の架設年次と立地条件など、点検部位の画像上だけでは得ることができない情報も重要であることが明らかとなった。

6. まとめと今後の課題

(1) まとめ

画像目視点検システム構築の際に必要な「画像目視点検環境下での点検部位の健全度評価の可能性」を検証するために健全度評価実験を実施し、画像上で健全度を評価する際に生じる課題を評価の結果から明らかにした。橋梁点検者34名を対象にひび割れ検出実験を行い、それぞれの被験者が検出結果から点検部位の健全度、対策区分の評価を行ったところ、健全度、対策区分ともにばらつきがみられ、同じ健全度の評価をしている被験者間でも対策区分の評価が異なることが明らかとなった。また、橋梁点検者を対象に検出を行ったひび割れの発生要因の推察と健全度を評価するうえでひび割れ検出結果の他に必要な情報に関するヒアリングを実施したところ、発生要因の推察に関しては、健全度、対策区分と同様に、ばらつきがみられ、同じ健全度の評価をしている被験者間でも発生要因の推察結果が異なることが明らかとなった。また、ヒアリングの結果から健全度を評価する際に

は梁の架設年次と立地条件など、点検部位の画像上だけでは得ることができない情報も重要であることが明らかとなった。

(2) 今後の課題

本研究では画像目視点検環境下で健全度を評価する際の課題の把握を行った。本研究では、被験者によって異なるひび割れ検出結果から健全度の評価を行ったが、既に別の被験者及びAIにより作成された、同一のひび割れ検出結果から異なる被験者が健全度の評価を行った際には、今回の結果とは異なる課題が生じる可能性があるため、同一のひび割れ検出結果から健全度の評価を行う追加実験を実施し、今回の結果との比較を行う必要がある。また、今回生じたばらつきの原因を明らかにするとともに、同一のひび割れ検出結果から健全度評価を行った際にばらつきが生じた場合、ばらつきが生じた原因を明らかにする必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省 インフラメンテナンス情報 社会資本の老朽化の現状と将来, http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_01.html
- 2) 一般社団法人次世代センサ協議会, 点検業務のIoTの利活用をめざして 自治体橋梁における橋梁点検業務実態調査報告書【課題・ニーズ調査編】, http://www.socialinfra.org/p_activity/questionnaire/Bridge_tenken_Digest.pdf
- 3) 岡田佳都, 岡谷貴之: 橋梁点検を代替するための受動回転球殻を有するマルチコプタの開発と実橋梁における点検性評価, 日本ロボット学会誌, Vol.34, No.2, pp.119-122, 2016
- 4) 藤原保久, 梅津健司, 丹野浩二, 千葉嘉隆: 橋梁等構造物の点検ロボットカメラ, 日本ロボット学会誌, Vol.34, No.9, pp.581-582, 2016
- 5) 南貴大, 藤生慎, 高山純一, 須田信也, 奥村周也, 渡辺一生: 超高解像度カメラで撮影された画像を用いた橋梁点検の実施可能性に関する基礎的検討, 社会技術論文集, Vol.15, pp.54-64, 2018
- 6) 国土交通省 橋梁定期点検要領, https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/yobo3_1_6.pdf

(2009.7.1 受付)

STUDY ON FEASIBILITY OF SOUNDNESS EVALUATION OF BRIDGES USING IMAGES TAKEN WITH ULTRA-HIGH RESOLUTION CAMERA

Wataru URATA, Takahiro MINAMI, Makoto FUJII, Tomotaka FUKUOKA,
and Junichi TAKAYAMA

Domestic aging of bridges is rapidly progressing. The Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism places importance on preventive maintenance for bridges and requires periodic inspections for

all bridges. Since proximity visual inspection currently being conducted is not efficient due to budget and personnel issues, various systems of alternative methods have been studied. In this research, the current An “image visual inspection system” is proposed in which an environment comparable to that of inspection is constructed, and human inspection is performed on images. In bridge inspection, structural integrity is evaluated after detecting damage, but there is a problem that the evaluation varies depending on subjectivity and experience. In this study, in order to verify the possibility of soundness evaluation on the image, the problems that arise when evaluating the soundness from the image based on the results of the evaluation of the soundness by the inspector in the visual visual inspection environment. Clarified.