

画像を用いた橋梁の点検手法に関する 基礎的研究～超高解像度カメラを用いた検討～

浦田 渡¹・南 貴大²・福岡 知隆³・藤生 慎⁴・須田 信也⁵・高山 純一⁶

¹学生会員 金沢大学学部生 理工学域環境デザイン学類 (〒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

⁴正会員 金沢大学助教 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:fujii@se.kanazawa-u.ac.jp

⁵非会員 株式会社WorldLink&Company (〒603-8053 京都府京都市北区上賀茂岩ヶ垣内町98-2-2F)

E-mail:s.suda@skylinkjapan.com

⁶正会員 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

国土交通省が所管する膨大な数のインフラ構造物のうち、老朽化が急速に進んでいる橋梁に対する予防保全的な維持管理が重要視されている。維持管理に不可欠であるものの現行の手法では予算・人員の問題により効率化が見込めない定期点検に関し、その代替手法となる様々なシステムが研究されているが、本研究では、超高解像度のカメラを用いることで、視覚的に現行の近接目視点検と遜色ない環境を構築し、画像上で損傷の発見、診断を行うシステムを提案する。本システムを提案するにあたり、画像を目視して診断を行う際、診断結果に差が生まれる要素を把握することが重要である。今回は、画像を構成する属性に着目し、実験計画法を用いて分散分析を行った。

Key Words : super high-resolution camera, bridge inspection, maintenance, diagnostic imaging, lightness, chroma, contrast, experimental design, variance analysis

1. はじめに

現在、国土交通省は様々なインフラ構造物を所管しているが、その中で橋梁について着目すると、全国の橋梁数は約73万橋（平成25年道路局集計）の数がある。この73万橋のうち、建設後50年を経過した橋梁の割合は2013年の段階で全橋梁の約18%を占め、高齢化構造物として扱われているが、これらの高齢化構造物は図-1に示すように10年後には約43%、20年後には約67%と急激に増加していく¹⁾。

全体の半数以上が老朽化構造物となると予測されている状況で、安全上問題が発生する可能性のあるすべての橋梁に修繕や架け替えといった事後保全的な処置が適切に行えるとは考え難い。そこで国土交通省は予防保全的

な維持管理が重要であるとし、すべての橋梁に5年に1回の頻度で定期点検を行うことを義務付けている。

国土交通省は橋梁の点検手法として、近接目視点検を

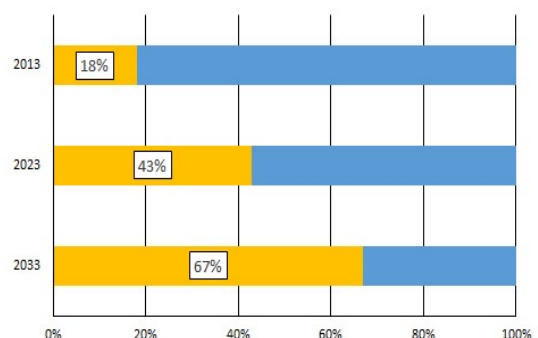


図-1 建設後50年を経過した橋梁の割合¹⁾

行うことを定めているが、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は全国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⁾が、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」などといった財源の問題と、「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、大きな課題であることが浮き彫りになった。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生じていることがわかった。このような課題があることから、今後これまでと同様の精度を担保した近接目視点検をすべての橋梁に対して継続的に行っていくことは非常に困難である。

本研究では、このような背景を踏まえ、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、超高解像度（1億画素）のカメラで撮影した橋梁の画像を橋梁点検者が目視することで、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、画像さえ撮影することができれ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、人員を確保するという面での負担が軽減される。

これまでに近接目視点検の代替手法及びコンクリート構造物のひび割れ検出に関する研究は数多くなされている³⁾⁴⁾が、いずれの研究もひび割れを含む損傷の検出精度が低いといった課題がある。

そのような課題がある中、南ら⁵⁾は、超高解像度カメラで撮影された点検部位前景の画像を用いて、人が0.1mmのひび割れを検出する画像目視点検環境の構築を行っている。画像目視点検でのひび割れ検出に関する課題としては、診断者のスキルによって検出結果が異なること、画像の属性によって検出しにくい箇所が存在することなどがあげられている。

本研究では画像の属性に着目し、ひび割れの検出精度にどのように影響を与えているかを把握することを目的とする。

2. 写真撮影実験

平成30年9月20日（木）10時30分から16時の5時間30分及び9月21日（金）10時から12時の2時間に、石川県羽咋市にて写真撮影実験を実施した。撮影した橋梁は7橋で、いずれも石川県羽咋市が管理を行っている。今回の実験



図-2 撮影実験風景

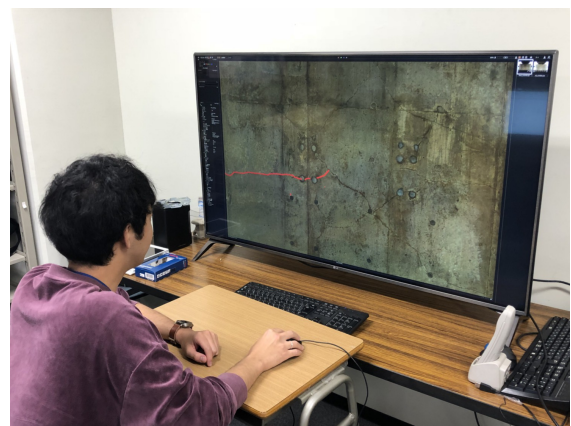


図-3 ひび割れ診断実験

では事前に羽咋市から提供していただい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。

3. 画像を用いた診断実験

(1) 実験の概要

画像目視点検の実現可能性を検証するにあたり、診断結果に差が生まれる要素を把握するために、本研究では、撮影した画像の属性（明るさ・コントラスト・彩度）がひび割れの検出精度に影響がどのような影響を及ぼすかについて分析を行う。既往研究で構築した画像診断の実

験環境でひび割れ診断実験を行った(図-3)。今回の実験では、撮影した橋脚の中で最もひび割れ箇所が多いコンクリート橋脚部の画像を用いた。回答者は橋梁点検の経験が全くない土木系学部 に所属する学生8人を対象とし、ディスプレイ上で拡大縮小をひび割れだと認識した箇所について画像上で赤線を引いていただいた(図-4)。実験パターンは、表-1に示すように、実験計画法の直交表 $L_{8}(2^3)$ に基づき、画像の明度、コントラスト、彩度の3要因を2つの水準で変化(表中のaを明度、bをコントラ



図-4 ひび割れ検出結果の一例



図-5 検出結果のメッシュ分割



図-6 近接目視点検結果から作成した解答データ

スト、cを彩度とし、水準1を「標準」、aの水準2を「暗い」、bの水準2を「大」、cの水準2を「小」と設定)させた8パターンの画像(1人1パターン)を回答していただいた。回答した画像をメッシュ(16×16)で分割して、ひび割れ(赤線)を含んでいるメッシュをひび割れありメッシュとし赤で色付けをした(図-5)。今回の実験の対象橋梁は平成29年に近接目視点検が行われていたため、羽咋市から提供していただいた橋梁点検データを基に解答データ(図-6)を作成し、同様にメッシュ分割を行い、色付けを行った。回答者のひび割れありメッシュを近接目視結果のひび割れありメッシュで除することで正答率を算出した。この実験結果を基に分散分析表を作成したものが表-3となった。

(2) 分析結果

分散分析の結果によると、彩度について優位性が見られ、ひび割れ検出正答率に影響を与えていることがわかる。彩度が水準1(標準)の場合、ひび割れ検出の正答率の平均値が約72.2%、水準2(小さい)の場合、約78.3%となり、彩度が小さい、つまり白黒に近い画像のほうがひび割れの検出精度が高くなることが分かった。

また、コントラスト、明度については単体では優位性は見られず正答率に影響が少ないことが明らかとなった。しかし、明度と彩度、彩度とコントラストが組み合わさった場合は、交互作用が発生していることがわかる。明度と彩度が組み合わさった場合の交互作用を図-7、彩度

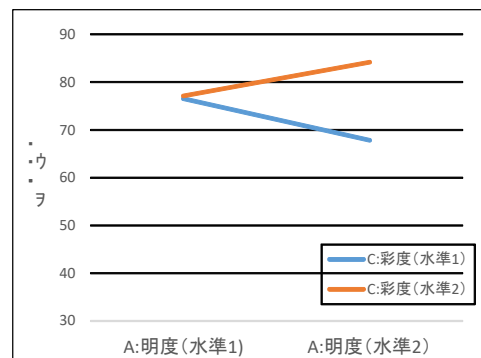


図-7 明度と彩度の変化による正答率の変化

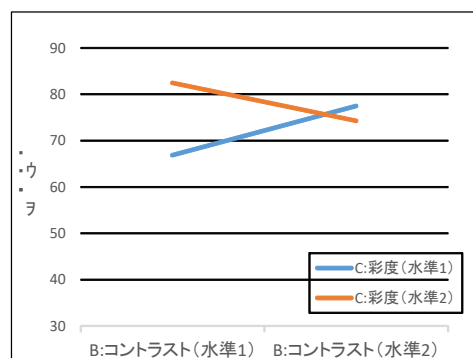


図-8 彩度とコントラストの変化による正答率の変化

表-1 実験計画法に基づいて作成した直交表

		1	2	3	4	5	6	7	正答率(%)
実験 組 み 合 わ せ 番 号	No.1	水準1	水準1	水準1	水準1	水準1	水準1	水準1	75.2
	No.2	水準1	水準1	水準1	水準2	水準2	水準2	水準2	78.2
	No.3	水準1	水準2	水準2	水準1	水準1	水準2	水準2	77.7
	No.4	水準1	水準2	水準2	水準2	水準2	水準1	水準1	66.8
	No.5	水準2	水準1	水準2	水準1	水準2	水準1	水準2	58.4
	No.6	水準2	水準1	水準2	水準2	水準1	水準2	水準1	86.6
	No.7	水準2	水準2	水準1	水準1	水準2	水準2	水準1	77.2
	No.8	水準2	水準2	水準1	水準2	水準1	水準1	水準2	81.7
成分	a	b	ab	c	ac	bc	abc		

表-2 分散分析表

	偏差平方和	自由度	不偏分散	分散比	P值	判定				
全体	S	544.1	f	7						
a	Sa	4.4	fa	1	Va	4.4	Fa	8.8	0.207	
b	Sb	3.1	fb	1	Vb	3.1	Fb	6.1	0.244	
ab	Sab	64.8	fab	1	Vab	64.8	Fab	129.6	0.056	*
c	Sc	76.6	fc	1	Vc	76.6	Fc	153.2	0.051	*
ac	Sac	206.0	fac	1	Vac	206.0	Fac	412.0	0.031	**
bc	Sbc	176.9	fbc	1	Vbc	176.9	Fbc	353.9	0.034	**
e	Se	12.3	fe	1	Ve	12.3	Fe	24.5		

(**は5%有意, *は10%有意として考える)

とコントラストが組み合わさった場合の交互作用を図-8に示す。図-7から、明度が水準2（暗い）である場合には彩度が検出精度に与える影響が大きいことがわかる。図-8から、コントラストが水準1（標準）の場合では彩度の検出精度に影響があることがわかり、コントラストが水準2（高い）の場合、彩度が検出精度に反対の影響があることがわかる、彩度が水準2（小さい）で明度が水準2（暗い）、コントラストが水準1（標準）の場合が最も正答率が高くなることを示している。これらの要因と水準の組み合わせを表-1に照らし合わせると、正答率が86.6%で最も高いNo.6がこの組み合わせの場合であることを示している。

4. まとめと今後の課題

本研究では画像を用いた橋梁点検手法のシステムを構

築するため、1億画素の超高解像度カメラで橋脚部の写真を撮影し、複数人にひび割れの検出実験を行った。今回は画像を構成する属性のうち3つを取り上げ、2水準に絞り、実験計画法に基づいて分散分析を行った。分析の結果、彩度がひび割れの検出精度に影響がある要因であることわかり、特に彩度が小さく（白黒に近い）明度は暗く、コントラストは標準である交互作用が働く場合に最もひび割れの検出精度が高いことが明らかとなった。また、実験計画法に基づいて行ったひび割れ診断実験の結果も同じ組み合わせの場合が最も正答率が高いことが示された。

今回は、診断結果に差が生まれる要素として画像の3つの属性について着目したが、今後実験を行っていく上では、様々なスキルの橋梁点検者にひび割れ検出実験を行い、橋梁点検の経験年数なども診断結果にどのような影響を与えるかを考慮して、研究を進めていく。

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) 藤田悠介, 田口岳志, 浜本義彦: コンクリート構造物の外観検査のための画像合成および半自動ひび割れ評価, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol74, No.1, pp.18-32, 2018
- 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 0

A BASIC STUDY ON CHECK TECHNIQUE OF THE BRIDGE USING THE IMAGE ~EXAMINATION USING SUPER HIGH RESOLUTION CAMERA~

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

Preventive maintenance for the aged bridge of the enormous infrastructure structures which Ministry of Land, Infrastructure and Transport possesses is regarded as important. Because there are problem of budget, the stuff, the present check is inefficient. Now, various systems of the substitute technique are studied. We build environment almost same as proximity visual checking with a super high-resolution camera and suggest a system which makes discovery of the damage, check on an image. It is necessary to grasp factor to make a difference for diagnosis result to suggest this system. We paid our attention to attribute to constitute an image and analyzed it using experimental design.