

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

A BASIC STUDY ON DIAGNOSTIC IMAGING TECHNOLOGY FOR BRIDGE INSPECTION USING SUPER HIGH RESOLUTION CAMERA

南 貴大¹・藤生 慎²・高山 純一³
須田 信也⁴・奥村 周也⁵・渡辺 一生⁶

¹ 修士 (工学) 金沢大学大学院 環境デザイン学専攻 (E-mail:taketaka0503@stu.kanazawa-u.ac.jp)

² 博士 (学際情報学) 金沢大学助教 地球社会基盤学系 (E-mail: fujiu@se.kanazawa-u.ac.jp)

³ 工学博士 金沢大学教授 地球社会基盤学系 (E-mail: takayama@staff.kanazawa-u.ac.jp)

⁴ 株式会社 WorldLink&Company SkyLink Japan (E-mail:s.suda@skylinkjapan.com)

⁵ 学士 (工学) 株式会社 WorldLink&Company SkyLink Japan (E-mail:s.okumura@skylinkjapan.com)

⁶ 博士 (農学) 京都大学連携准教授 環境共生研究部門 (E-mail:isseiw@cseas.kyoto-u.ac.jp)

高度経済成長期に建設された橋梁が一斉に老朽化する中、予防保全的維持管理を行うために近接目視により点検・診断が行われている。しかし近接目視を行うためには足場の設置や高所作業車・橋梁点検車の使用が必要であり、コスト・労力がかかる。財源・人材が不足している地方公共団体にとって今後現状の近接目視点検を継続的に行うことは困難である。そこで本研究では膨大な数の橋梁を効率的且つ継続的に実施するために超高解像度カメラを用いた画像診断技術を提案する。超高解像度カメラで撮影した1億画素の画像を用いることで、人が実際の点検現場で行う近接目視点検とほぼ同様の点検環境の構築を図る。橋梁点検経験者が実際に画像を用いて橋脚のひび割れの診断を実施し、有用性について検証を行った。

キーワード： 超高解像度カメラ, 橋梁点検, 予防保全的維持管理, 画像診断技術, ドローン, 財源不足, 人材不足

1. はじめに

日本では、橋長2m以上の橋梁が約73万橋あり、その多くが高度経済成長期に建設されている。今後高度経済成長期以降に建設された橋梁が一斉に老朽化し、Fig. 1に示すように、建設後50年以上経過する高齢橋の割合が、2013年3月の約18%から、10年後には約43%、20年後には約67%と加速度的に高くなることを見込まれている¹⁾。緊急的に整備された箇所や立地条件の厳しい橋梁では老朽化が顕在化し、Fig. 2に示すように地方公共団体管理橋梁で

は2015年で約2300橋が通行規制を行っており、2008年から7年間で約2.4倍に増加している²⁾。一斉に老朽化するインフラを戦略的に維持管理・更新することが喫緊の課題である。

このような中、重大な損傷が生じてから対策を講じる事後保全的な維持管理から損傷が軽微なうちに対策を講じて橋梁の健康寿命を延ばす予防保全的な維持管理に転換を図っている。予防的に対策を講じるためには定期的

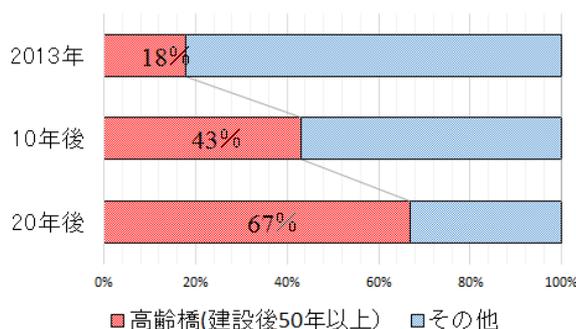


Fig. 1 日本における高齢橋の割合¹⁾

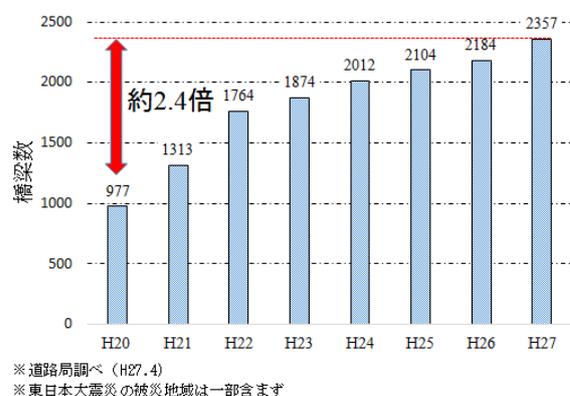


Fig. 2 地方公共団体管理橋梁の通行規制の推移 (2m以上)²⁾

Fig.3 橋梁点検車による橋脚の点検¹⁴⁾Fig.4 ボートを活用した近接目視による点検¹⁵⁾

に橋梁を点検・診断し、橋梁の健康状態を把握する必要がある。2014年には、国が定める統一的な基準により、5年に1度の頻度で近接目視による全数監視が道路管理者に義務づけられている。定期的な点検を行うことで、橋梁の最新の状態を把握するとともに、措置の必要性の判断を行う上で必要な情報を取得し、予防保全的維持管理を可能にしている。筆者らは橋梁の定期点検の結果を活用して、劣化に影響を与えている因子（環境条件・構造条件）を統計的に分析し、橋梁の補修の優先度決定手法の提案を行っている³⁾。また定期点検の結果から劣化予測モデルの構築を行っている研究も蓄積されている⁴⁾⁵⁾⁶⁾。これらのように定期点検の結果を蓄積し活用することで、維持管理計画をより効果的・効果的に行うことが可能になっている。

しかし地方公共団体では、管理する橋梁の数に対して人材が不足していること、維持管理にかけられる財源が不足していることから、定期的に近接目視点検を行っていない自治体が一定数存在する。地方公共団体を対象に行った5年に1度の近接目視点検の義務化に関するアンケート調査⁷⁾では、点検業務の課題として財源・人材不足

の課題が問題視されている。具体的な課題としては「職員・委託コンサル技術者の人数が、管理橋梁に対して圧倒的に少ない」ことや「点検費用が高いため、修繕にお金があてられない」ことなどが挙げられている。特に市区町村においては、橋梁保全業務に携わる土木技術者が少なく、また一橋梁当りにかけることができる点検業務費用についても都道府県などの規模の大きな自治体に比べて市町村では少ない。財源・人材の不足により、今後継続的に予防保全的に維持管理を行っていくことは困難である。

これらの課題を踏まえ、現状の近接目視点検に代替する新たな点検手法の提案を行う。現状の近接目視点検では、アクセスの困難な桁下の部材を近接で目視するために足場の建設や、高所作業車・橋梁点検車を使用している (Fig 3, Fig 4)。しかし、足場の建設、高所作業車・橋梁点検車の使用は高価である。また交通規制を伴うため経済損失の問題が生じる。既設の橋梁は構造形式や周辺環境も多様であり、近接目視が困難な橋梁・部材が存在している。そのためより経済的で且つ汎用性の高い近接目視点検手法の開発が求められている⁷⁾。本研究では、現状の近接目視点検に代替する手法の開発に向けて、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ついて検証することを目的とした。具体的には、近接目視点検と同等の精度が保証されているか (0.1mm のひびわれまで検出可能であるか)、複数人が同じ点検部位を画像で見た場合、診断結果にバラツキが生じるのかについて明らかにする。

2. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

近年、橋梁の近接目視点検の継続可能性について問題視されている中、近接目視点検に代替する新しい点検手法として遠隔撮影システムが期待されており、研究が蓄積され始めている。

今井ら⁸⁾は、繰り返し载荷中の桁試験体ならびに供用中の橋梁に対してフレームレート100fpsで動画を撮影し、フレームごとにデジタル画像相関法で得られる変位分布の時系列変化を基にたわみ量やひび割れ幅の変化を評価し、実用性の検証を行っている。その結果から、高速撮影動画を用いて重量車両通行時に生じる瞬間的な現象をとらえ、ひび割れ開閉挙動を基にしたひびわれ抽出の可能性について確認している。

西村ら⁹⁾は、長大橋梁のRC製の主塔に発生しているひび割れ取得の可能性検証を目的に、遠隔から計測が可能な3Dレーザー測量、自動撮影雲台を用いたギガピクセル画像撮影およびUAV搭載のカメラで撮影した画像で得られたデジタル情報を基に処理解析を行っている。

また点検が困難な場所の点検技術を開発する有用性や課題について検証している。

岡田ら¹⁰⁾は、橋梁の近接目視及び打音検査を代替し、ひび割れ、腐食、うき等を発見するための受動回転球殻を有するマルチコプタの開発を行い、実橋梁で模擬点検を実施し、第三者評価を得ることで点検性能の評価を行っている。床版の幅0.1mmの模擬ひびわれを撮影可能であることが認められたが、飛行時間などの制約があることなどの課題が挙げられた。

木本ら¹¹⁾は、斜張橋のコンクリート主桁を対象に UAV を用いて撮影した画像から、SfM 技術による 3D 化を行い、既存の点検結果と比較することで、提案した手法の有用性について検証している。大幅な省力化・ローコスト化できる手法として示唆されたが、ひびわれ幅の検出精度不足や接触調査が必要なうきなどが把握できないこと、UAV 撮影の安全性の確保などの課題が残っている。

以上のように、近接目視点検に代替する遠隔撮影システムの開発に向けて、点検部位の撮影可能性に関する研究や損傷の診断可能性に関する研究が蓄積されている。しかし、画像を用いたひびわれ検出の自動化の精度は高いとは言い難い。

そこで、本研究では、超高解像度カメラで撮影した 1 億画素の橋脚全景画像を用いることで、点検者が実際の点検現場で行う近接目視点検とほぼ同様の点検環境の構築を図る。橋梁点検経験者が画像による点検・診断実験を行うことで、近接目視点検と同等の精度を得ることができるのか、また複数人で同じ点検部位を画像で診断した場合、診断結果にバラツキが生じるのかについて検証を行った。

本研究で用いた超高解像度カメラ (Phase One¹²⁾) は、拡大縮小機能を活用することで 1 枚の橋脚全景写真から、詳細な損傷部位までを一元的に把握することが可能である。また撮影した画像の明度、彩度、コントラストなどを自由に調整することが可能であるため、光が入りにくく撮影が困難な桁下の撮影も容易である。またカメラ自体は比較的容易に扱うことができ且つ UAV への搭載も可能であるため、使用者・撮影箇所の制約が少ない。

3. 橋梁の定期点検の概要

道路管理者は管理橋梁を国が定める統一的な基準により 5 年に 1 度の頻度で近接目視によって全数点検することを義務付けられている。定期点検では近接目視によって損傷の程度を把握して、橋梁・部材単位で構造上の健全性の診断・評価を行っている¹³⁾。

(1) 橋梁の健全性評価

Table.1 ひびわれに関する損傷度評価基準¹³⁾

区分	最大ひびわれ幅に着目した程度	最小ひびわれ間隔に着目した程度
a	損傷なし	
b	小	小
c	中	大
d	大	小
e	大	大

Table.2 最大ひびわれ幅に着目した程度¹³⁾

程度	一般的状況
大	ひびわれ幅が大きい(RC構造物0.3mm以上, PC構造物0.2mm以上)
中	ひびわれ幅が中位(RC構造物0.2mm以上0.3mm未満, PC構造物0.1mm以上0.2mm未満)
小	ひびわれ幅が小さい(RC構造物0.2mm未満, PC構造物0.1mm未満)

Table.3 最小ひびわれ間隔に着目した程度¹³⁾

程度	一般的状況
大	ひびわれ間隔が小さい(最小ひびわれ間隔が概ね0.5mm未満)
小	ひびわれ間隔が大きい(最小ひびわれ間隔が概ね0.5mm以上)

橋梁毎の健全性の診断は橋梁単位で総合的な評価をつけるものであり、健全度の判定区分は I : 健全, II : 予防保全段階, III : 早期措置段階, IV : 緊急措置段階, の 4 段階で評価される。一般的に橋梁を構成する部材の健全度の合成値あるいは構造物の性能に影響を及ぼす主要な部材に着目してもっとも厳しい評価値で評価される。主要な部材として、主桁、床版、橋脚・橋台、基礎、支承部、伸縮装置などが挙げられ、各部材が橋梁全体に与える影響を加味した重み係数を設定することで橋梁単位の健全度を算出している。しかし部材単位の健全度が道路橋全体の健全度に及ぼす影響は、構造形式や、架橋環境条件、当該の重要度によって異なるため、各部材の重みは道路管理者によって異なっている。

(2) 部材の健全性評価

部材単位の健全性の診断は構造上の部材区分あるいは部位毎、損傷種類ごとに行うことを基本としており、健全度の判定区分は I : 健全, II : 予防保全段階, III : 早期措置段階, IV : 緊急措置段階, の 4 段階で評価される。損傷種類は部位・材料種別によって異なっており、例えば、鋼部材であると腐食、亀裂、ゆるみ・脱落、破断、防食機能の劣化などが、コンクリート部材であるとひびわれ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰、抜け落ち、床版ひびわれ、うきなどが評価する損傷種類として挙げられる。

本研究で対象としたコンクリート橋脚のひびわれの損傷程度の評価区分は Table 1 に示すように、最大ひびわれ幅に着目した程度と最小ひびわれ間隔に着目した程度の組み合わせによって評価される。最大ひびわれ幅に着目した程度の評価基準を Table 2 に示す。0.1mm のひびわれを検出することが可能であれば評価することが可能であることが分かる。また最小ひびわれ間隔に着目した程度



Fig. 5 超高解像度カメラ (iXU-RS 1000)



Fig. 6 UAVに搭載した超高解像度カメラ

の評価基準について Table 3 に示す。最小ひびわれ間隔は 0.5mm の検出を行い、且つ、他のひびわれとの位置関係を把握することが可能であれば、評価可能であるといえる。1 億画素の 1 枚の橋脚全景画像を用いているため、後者の最小ひびわれ間隔は可能である。そのため、本研究では、前者のひびわれ幅に着目して、人が画像を目視することだけで 0.1mm のひびわれを確認することが可能であるかについて検証する。

4. 超高解像度カメラを用いた写真撮影実験

4.1. 実験で使用した超高解像度カメラの概要

本研究では Phase One Industrial 社製の iXU-RS 1000 AERIAL CAMERAS を用いた (Fig. 5)。iXU-RS 1000 AERIAL CAMERAS は、ダイナミックレンジ:84db 以上、ピクセルサイズ:4.6 ミクロン、光感度:ISO:50~6400、シャッター速度:最大 1/1600 秒の諸要素を持つ超高解像度カメラで 100 メガピクセル (11,608×8708) の写真の撮影が可能である。この超高解像度カメラで撮影された写真画像データは、1 枚あたり約 600MB の容量となり、



Fig. 7 本研究で撮影対象とした橋梁



Fig. 8 写真撮影実験の様子

専用のソフトウェア (Capture ONE¹⁶⁾) を用いることで閲覧でき明度、彩度、コントラストなどを自由に調整することが可能である。超高解像度カメラの大きさは、97.4×93×170.5 mm、重さは、930 (g) であり持ち運びは容易で、UAV にも搭載することが可能であるため、橋梁点検車やボートでの点検が必要な点検員によるアプローチの難しい橋梁の写真も容易に撮影することが可能である (Fig. 6)。

4.2. 撮影対象橋梁

対象の橋梁は石川県羽咋市にかかる橋長 41.30m、全幅員 4.70m、2 径間の鋼溶接橋 I 桁 (非合成) の橋梁である (Fig. 7)。分析対象部材としては T 型橋脚 (RC) である。1967 年に架設され、2016 年 11 月には定期点検が行われ



Fig. 9 実験対象橋梁の全景の超高解像度写真
(UAVでの撮影)



Fig. 11 実験対象橋梁の上部工の超高解像度写真
(UAVでの撮影)



Fig. 10 実験対象橋梁の橋脚の超高解像度写真
(テーブル上での撮影)



Fig. 12 実験対象橋梁の床版の超高解像度写真
(テーブル上での撮影)

ており、対象部材である橋脚は判定区分Ⅱで評価され、ひび割れ、漏水・滞水が確認されている。路下条件が河川であるため 2016 年に行われた定期点検は通行規制を行い、橋梁点検車を利用している。

4.3. 写真撮影実験

写真撮影は平成 29 年 10 月 27 日（金）、12 時 30 分から 15 時の 2 時間 30 分で実施した。本研究で対象とした橋梁のすべての部位（上部工・下部工・支承部）を東西南北方向から撮影した。さらに、橋梁の全景写真および側面写真を撮影するために、超高解像度カメラを UAV に搭載し、河川上流方向・下流方向・橋梁直上の 3 方向から写真を撮影した。撮影実験時は河川敷が出水の後であったため足場が良くなかったため三脚ではなくテーブルを設置し、テーブルの上に超高解像度カメラを据え置き、画角を変えながら写真を撮影した（Fig. 8）。写真は、本研究で対象とした橋梁のすべての部位を網羅するために合計 182 枚の超高解像度写真を撮影した。

4.4. 写真撮影結果

Fig. 9 から Fig. 12 に超高解像度カメラを用いて撮影した対象橋梁の写真を示す。また、Fig. 13, Fig. 14 に通常のデジタルカメラ（1200 万画素）を用いて撮影した対象橋梁の写真を示す。Fig. 9 は超高解像度カメラを UAV に搭載し実験対象橋梁の全景を撮影した写真である。このように超高解像度カメラを UAV に搭載してすることで、アクセスが困難な桁・橋脚の側面を撮影することが可能となる。UAV に超高解像度カメラを搭載して撮影すると飛行時の振動等の影響により、地上での撮影と比較してブレが生じるが通常のデジタルカメラと比較しても非常に高画質な写真を取得可能である。後述するように、超高解像度カメラで撮影すると 12.5m 離れた箇所からであっても 0.1mm のひびわれが検出可能であるため、UAV と橋梁の接触を防ぐことができ、比較的安全に撮影することが可能である。Fig. 10 は実験対象橋梁の橋脚を 12.5 m の距離から撮影した写真であるが、肉眼やデジタルカメラで撮影した写真（Fig. 13）と比較すると、超高解像度カメラは多くの光の情報、つまりわずかな錆や腐食、



Fig. 13 デジタルカメラを用いて撮影した対象橋脚



Fig. 14 デジタルカメラを用いて撮影した桁・床版

コンクリート表面の汚れなどの詳細な情報も取得しているため多くの色情報を持った画像となる。さらに、多くの光情報を取得するため、通常は暗い橋の下の場所 (Fig.13) でも明るい画像を取得することが可能である。Fig. 11 と Fig. 12 は実験対象橋梁の主桁部分と床版を超高解像度カメラで撮影した画像である。主桁の色味は錆の部分を中心にやや濃く表現されていることや床版の施工時にできたと思われるコンクリート表面の様子が画像としてとらえられていることが確認できる。なお、超高解像度カメラで撮影された写真は、明度・彩度・コントラストなどを自由に調整することができるが、画質に影響を及ぼすことはないことを確認しており、超高解像度カメラで撮影された Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12 は読者がわかりやすいように明度・彩度・コントラストなどを調整済である。

4.5. 超高解像度カメラの精度

Fig. 15 に超高解像度カメラで12.5mの距離から撮影した橋脚と橋脚に生じているひびわれ・鋼材の腐食の一部を示す。赤の点線枠で囲まれた位置にひびわれや鋼材の腐食が生じている。橋脚の全景写真ではひびわれを確認す

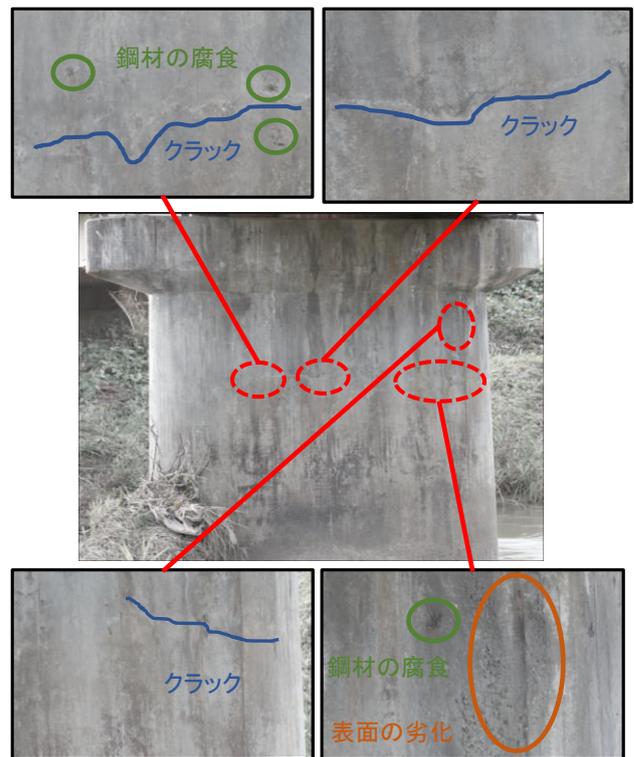


Fig. 15 超高解像度カメラで撮影したひびわれや腐食

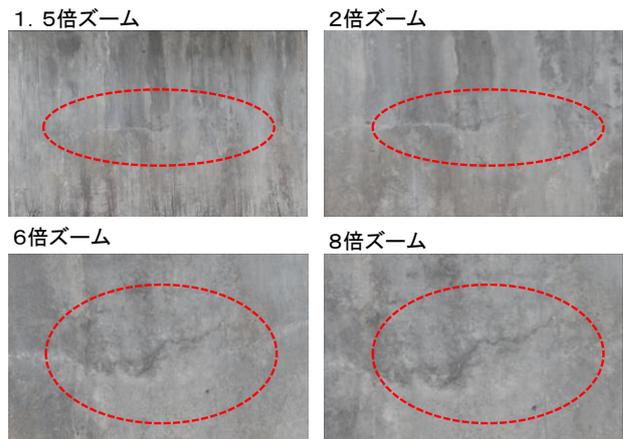


Fig. 16 ズームによるひびわれの検出精度

ることはできないが、クローズアップすることにより、幅 0.1mm のひびわれや鋼材の腐食を明確に確認することができる。超高解像度カメラで撮影した画像は、クローズアップしても画素が荒くならないため、ひびわれや鋼材の腐食を確認することが可能である。なお、Fig.15 は、前述した通り超高解像度カメラで撮影すると通常のデジタルカメラで撮影した画像や肉眼で見ると比較して情報量が多いため異なる見え方を生じる、そのため明度・彩度・コントラストを通常の見え方となるように調整している。

Fig. 16 に超高解像度カメラで撮影した画像に存在する1つのひびわれを例にクローズアップすることによるひびわれの検出精度を示す。拡大倍率を1.5倍, 2倍, 6倍,

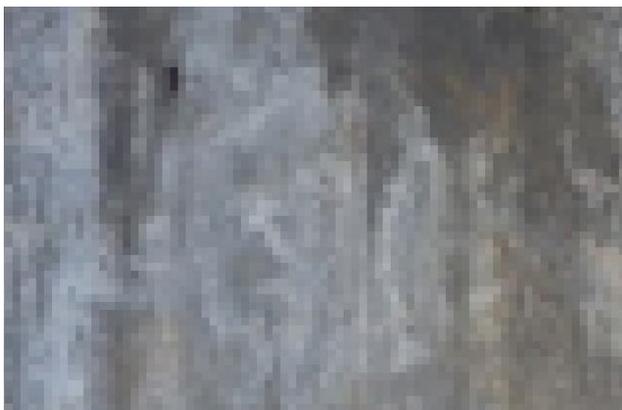


Fig. 17 通常のデジカメ画像のズームによる画質低下

8倍と大きくするにつれてひびわれをより正確に確認できることがわかる。12.5mの距離から通常のデジタルカメラ（1200万画素）で橋脚全体を含むように撮影した場合、一定倍率（6倍率）以上に拡大すると画素が荒いために、画像に写っているひびわれなどを確認することが難しくなる。Fig. 17にFig. 16と同一部位をクローズアップした写真を示すが、通常のデジタルカメラではズームによる画質の低下が生じ、ひびわれや腐食を検出することはできない。

5. 1億画素の画像を用いた診断実験

5.1. 診断実験環境の構築

52インチの4K解像度対応のモニターで専用のソフトウェア（Capture ONE¹⁶⁾を用いることでの超高解像度カメラで撮影された橋脚全景画像を閲覧できる環境を構築した（Fig. 18）。明度、彩度、コントラストなどを自由に調整することが可能であり、スムーズに拡大縮小の操作を行うことも可能である。本研究ではひびわれの診断結果の記録媒体として橋脚全景画像を印刷したA0用紙を用いた。

5.2. 画像によるひびわれ検出

診断実験環境において橋脚全景画像からひびわれの検出を点検未経験である土木工学の学位を有する者（A氏、B氏）が目視によって行った。ひび割れの検出方法としては、PC上で橋脚全景写真の拡大縮小を繰り返し行い、目視によってひび割れであると確認できたものに関して、橋脚全景画像を印刷したA0用紙に赤色でひび割れをなぞるように記入した。本研究ではひびわれの有無のみに着目しており、ひびわれ幅については記録を行っていない。4章において、ひびわれ幅0.1mmの検出が可能であることが示されているため、ひびわれ幅0.1mm以上のひびわれについて全て検出を行っている。

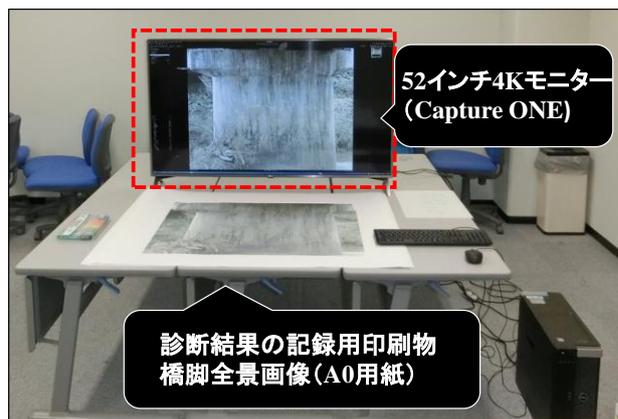


Fig. 18 画像診断の実験環境



Fig. 19 画像による診断の様子



Fig. 20 画像による診断の様子

5.3. 橋梁点検経験者による診断実験

画像によるひびわれの診断を実際に橋梁点検の経験者が行っても可能であるか診断実験を行い、検証を行った。橋梁点検経験者はC氏（羽咋市職員）とD氏（博士（工学）、技術士（建設部門/鋼構造及びコンクリート）、コンクリート診断士を有する者）に依頼し、PC上で橋脚全景写真の拡大縮小を繰り返し行い、目視によってひび割れであると確認できたものに関して、橋脚全景画像を印刷したA0用紙に赤色でひびわれをなぞるように記入して



Fig. 21 橋梁点検の未経験者 (A氏) による診断結果



Fig. 23 橋梁点検の経験者 (C氏) による診断結果



Fig. 22 橋梁点検の未経験者 (B氏) による診断結果



Fig. 24 橋梁点検の経験者 (D氏) による診断結果

いただいた。画像による診断の様子を Fig. 19, Fig. 20 に示す。

画像による診断可能性に関して診断者にヒアリングを行った結果、ほとんど近接目視による点検と同じ感覚でひびわれを検出することが可能であるという意見をいただいた。また実際に点検業務に取り入れることが可能になれば、点検費用の削減や複数人で画像を診断することで主観性を除いた診断結果を得ることができるといった有用性についても評価していただいた。しかし、建設時の型枠の跡や補修の跡など、ひびわれであるか判断が困難なものが混在していること、うきなどといった可視光画像だけでは診断が困難な損傷もあることが課題として残った。また記録方法について PC 上で行うことやメッシュが表示されることが可能であればよりスムーズに行うことができたといった、診断実験環境に関する課題も残った。

6. 高解像度カメラで撮影した画像を用いた診断可能性の分析

橋梁点検未経験者が橋脚全景画像を目視することによって、0.1mm 以上のひびわれ全ての検出を試みたものを Fig. 21, Fig. 22 に示す。網羅的に橋脚全体を目視することを試みたが、診断者によって、診断結果に多少差異が見られる。

次に、橋梁点検の経験者が画像によってひびわれの診断を行い、ひびわれの検出結果を記録した橋脚全景画像の印刷物を Fig. 23, Fig. 24 に示す。

各検出結果も橋脚中央の横方向のひびわれの検出を行っており、概ねひびわれの検出位置は類似している。しかし診断者によって検出結果に多少誤差が生じている。その理由として、橋梁点検の経験値によるものが考えられる。橋梁点検経験者に比べ、未経験者はひびわれと目地、型枠の跡などの区別を行う判断力が乏しい・または目地、型枠の跡の存在を認識していない可能性があるため、ひびわれでないにもかかわらず、ひびわれであると誤診断を行っている可能性がある。また橋梁点検の経験者はひびわれが生じやすい箇所を経験的に把握しており、損傷を見つけやすく、ひびわれの見逃しが少ないことも考えられる。

また 2016 年 11 月の橋梁の定期点検時に行われた近接

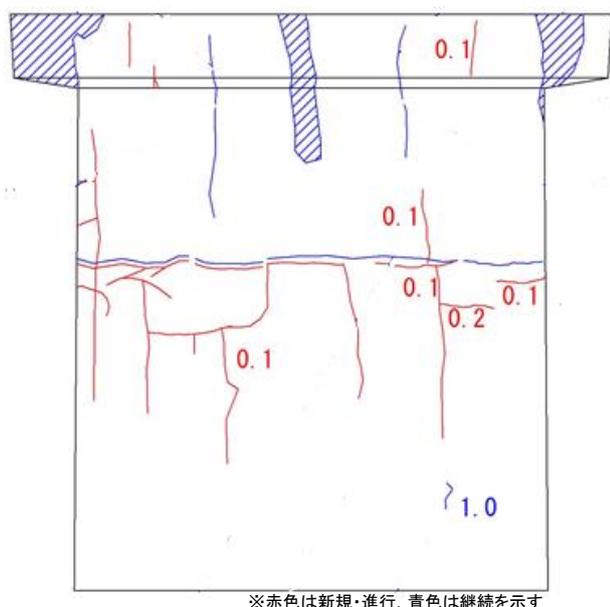


Fig. 25 近接目視点検時の損傷図
(2016年11月橋梁点検車使用)

目視点検の結果(損傷図)を Fig. 25 に示す。画像を用いた目視点検の結果と近接目視点検の結果を比較してみると、画像による目視点検においても 0.1mm 以上のひびわれについて、すべてではないが検出できていることが分かる。画像による目視点検で検出できなかったひびわれ箇所については、チョーキングの跡や漏水が発生しており、ひびわれを視認することが困難であったことが1つの要因として挙げられた。

7. まとめと今後の課題

本研究では、実橋梁を対象に高解像度カメラを用いた写真撮影実験を行った。超高解像度カメラで撮影された写真は、明度・彩度・コントラストなどを自由に調整す

ることが可能であるため、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分かった。また UAV に搭載可能であるため、通常撮影が困難な橋梁の側面の撮影も可能であることが分かった。搭載したカメラが高解像度であるため、UAV と橋梁との間の距離を確保することができる。UAV 撮影の短所である安全性を高解像度カメラで補完することが可能であるため、高解像度カメラと UAV の相性の良さも示唆された。

今後の課題として、様々な架橋環境下における撮影可能性の検証を行う必要がある。本研究で対象とした橋梁においても、出水の後で足場が不安定であったこと、草が生い茂っていたこともあり、桁下のアクセスが困難で

あった。既設橋梁は構造形式、交差物、架橋環境が多種多様であり、撮影の困難性も異なる。そのため今後、他の実橋梁においても撮影実験を行うことで、撮影困難な橋梁、部材の把握を行うことが必要である。

また高解像度カメラで撮影した画像を用いて、ひびわれの診断実験を行い、画像による診断可能性の検証を行った。その結果、診断者によって多少のひびわれの検出誤差は生じるものの、概ねひびわれの検出結果は類似していることが明らかになった。また診断者にヒアリングを行ったところ、現場での近接目視による点検と同じ感覚でひびわれの検出が可能であったという意見や実際に点検業務に取り入れることが可能になれば、点検費用の削減や複数人で画像を診断することで主観性を除いた診断結果を得ることが可能であるといった意見が挙げられ、高解像度カメラを用いて撮影した画像による橋梁診断の有用性が示唆された。

近接目視点検の結果(損傷図)と画像目視点検の結果(ひびわれトレース図)を比較した結果、画像目視点検においても 0.1mm のひびわれについて、すべてではないが検出できていることが分かった。

本研究では、画像による目視点検結果と近接目視点検結果を比較しているが、ひびわれの記録の方法がそれぞれ異なるため、正確なひびわれ箇所・長さの一致率については算出することが困難である。そのため、画像目視点検者によってひびわれの検出結果も異なることを把握することができたが、近接目視点検結果と同等のひびわれ検出結果を得るために必要な画像目視点検者の診断スキルの検証についてはできていない。今後の課題として、画像目視点検の精度の検証方法の検討が必要である。

今後の課題として、診断結果の記録方法の検討が必要である。現状では診断は PC 上、記録は紙面上に行っているため、作業の効率が悪い。そのため PC 上で診断・記録を同時に行うことが可能な診断実験環境の構築が必要である。

また本研究では、橋脚・ひびわれについてのみの検討を行ったが、他の部材・損傷についても診断可能性の検証を行い、画像では診断できない部材・損傷と診断可能な部材・損傷の分類を行う必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省『国土交通白書 H28 第Ⅱ部第2章第2節』, <http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h28/hakusho/h29/pdf/np202000.pdf> [2017, July 17].
- 2) 国土交通省『老朽化の現状・老朽化対策の課題』, <http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/torikumi.pdf> [2017, July 17].

- 3) 南貴大, 藤生慎, 中山晶一郎, 高山純一, 近田康夫(2016) 「環境要因が橋梁の健全度に与える影響の分析—石川県の橋梁定期点検データを用いて—」『土木学会論文集 D3』72(5), 251-260.
- 4) 貝戸清之, 小林潔司, 青木一也, 松岡弘大(2012) 「混合マルコフ劣化ハザードモデルの階層ベイズ推計」『土木学会論文集 D3』68(4), 255-271.
- 5) 津田尚胤, 貝戸清之, 山本浩司, 小林潔司(2006) 「ワイブル劣化ハザードモデルのベイズ推計法」『土木学会論文集 F』62(3), 473-491.
- 6) 小林潔司, 貝戸清之, 大井明, Nguyen Dinh THAO, 北浦直樹(2015) 「データ欠損を考慮した複合的隠れマルコフ舗装劣化モデルの推計」『土木学会論文集 E1』71(2), 63-80.
- 7) 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_tenk_en_Digest.pdf [2017, July 19].
- 8) 今井道男, 太田雅彦, 露木健一郎, 今井浩, 三浦悟, 村田一仁, 高田巡(2016) 「高速撮影動画を用いたデジタル画像相関法によるコンクリート構造物の動的挙動把握」『土木学会論文集 A1 (構造・地震工学)』72(1), 279-289.
- 9) 西村正三, 木本啓介, 松岡のどか, 大谷仁志, 緒方宇大, 松田浩(2013) 「橋梁維持管理における遠隔測定法の開発と評価」『応用測量論文集』24, 52-61.
- 10) 岡田佳都, 岡谷貴之(2016) 「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能評価」『日本ロボット学会誌』34(2), 119-122.
- 11) 木本啓介, 山口浩平, 奥松俊博, 河村太紀, 松田浩(2017) 「光学的計測手法による仮設足場を必要としない橋梁点検手法の開発」『長崎大学大学院工学研究科研究報告』47(89), 59-66
<http://hdl.handle.net/10069/37675>
- 12) Phase one industrial 『iXU-RS 1000』
http://industrial.phaseone.com/iXU_camera_system.aspx?c=ixurs1000 [2017, October 17].
- 13) 国土交通省道路局国道・防災課 『H26 橋梁定期点検要領』
http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/pdf/yobo3_1_6.pdf [2017, July 17].
- 14) 国土交通省 『建設施工・建設機械』
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_mn_000006.html [2017, October 17].
- 15) 七尾市 『定期点検実施状況』
<http://www.city.nanao.lg.jp/doboku/kurashi/sumai/machizukuri/eikitenken26-30.html> [2017, October 17].
- 16) Phase One 『Capture One Pro 10 Imaging Software』
<https://www.phaseone.com/ja-JP/Products/Software/Capture-One-Pro/Highlights.aspx> [2017, October 17].

A BASIC STUDY ON DIAGNOSTIC IMAGING TECHNOLOGY FOR BRIDGE INSPECTION USING SUPER HIGH RESOLUTION CAMERA

Takahiro MINAMI¹, Makoto FUJII², Junichi TAKAYAMA³,
Shinya SUDA⁴, Shuya OKUMURA⁵ and Kazuo WATANABE⁶

¹Master (Eng), Kanazawa university, Dept. of Environmental Design (E-mail: taketaka0503@stu.kanazawa-u.ac.jp)

²Ph.D., Assistant Professor, Kanazawa university, Geosciences and civil Engineering (E-mail: fujiu@se.kanazawa-u.ac.jp)

³Dr., Eng., Professor, Kanazawa university, Geosciences and civil Engineering (E-mail: takayama@staff.kanazawa-u.ac.jp)

⁴WorldLink&Company Co., Ltd SkyLink Japan (E-mail: s.suda@skylinkjapan.com)

⁵Bachelor(Eng.), WorldLink&Company Co., Ltd SkyLink Japan (E-mail: s.okumura@skylinkjapan.com)

⁶Dr., Agri, Affiliated Assistant Professor, Kyoto university, Environmental Coexistence (E-mail: isseiw@cseas.kyoto-u.ac.jp)

While bridges constructed during the period of high economic growth all aged at the same time, inspection and diagnosis are carried out by close visual inspection in order to preventive maintenance. However, in order to perform close visual inspection, it is necessary to install a scaffold or bridge inspection vehicle, which is costly and laborious. It is difficult for local public entities short of financial resources and human resources to continuously carry out the current inspection in the future. Therefore, in this research, we propose image diagnostic technology using super high resolution camera in order to efficiently and continuously carry out an enormous number of bridges. We will try to construct an inspection environment that is almost the same as a visual inspection conducted by a person at an actual inspection site.

Key Words: *Super high resolution camera, Bridge inspection, aggressive preventive maintenance, Diagnostic imaging technology, Drone, Lack of human and budget resources*