

(40) VR技術を用いた橋梁目視点検支援システムにおけるひび割れ及び剥離の検出機能の追加

西田 彼方¹・江本 久雄²・高橋 順³・宮本 文穂⁴

¹学生会員 山口大学大学院 理工学研究科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

E-mail: s042vn@yamaguchi-u.ac.jp

²正会員 山口大学大学院助教 理工学研究科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

E-mail: emoto@yamaguchi-u.ac.jp

³正会員 電気化学工業株式会社 中央研究所 (〒194-8560 東京都町田市旭町3-5-1)

E-mail: jun-a-takahashi@denka.co.jp

⁴フェロー会員 山口大学大学院教授 理工学研究科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

E-mail: miya818@yamaguchi-u.ac.jp

本研究では、橋梁目視点検の支援を目的としてVirtual Reality技術の活用を試みる。目視点検では、専門技術者によってひび割れや剥離などの変状を記録する。また、目視点検は、定期的の実施されるが、その変状データを効率的に管理する仕組みはない。一方で、情報技術である人工現実感を表現できるVirtual Reality技術は、大量の視覚情報である3次元画像データや聴覚情報である音声データを処理することが可能となりつつある。まず、ひび割れに関しては、どのような画像データであれば、どの程度のひび割れが表現できるかどうかについて検討を行う。次に、剥離に関しては、その変状の性質上微妙な凹凸は画像データのみでは、それと識別できないので、打音(音声)データを追加することで、識別可能かどうかの検討した結果を述べる。

Key Words : visual inspection , virtual reality, crack, spalling damage, hammering sounds

1. 緒言

社会基盤構造物のひとつである橋梁は、戦後から50年余りの期間に全国各地で建設され、特に高度経済成長期には多く建設されてきた。しかしながら、現在それらの橋梁は、長い歳月が経ち、自然災害、大型車両の増加等の影響により、橋梁の耐久性・耐荷性が下がり、コンクリートのひび割れ、または剥落の危険性が指摘され維持管理の重要性に関心が集まっている。

橋梁の維持管理の流れとして、定期的に橋梁が所在する現場に出向き、専門家が目視で損傷の有無を判別、損傷状態の診断を行い、診断結果から補修・補強計画を立案・実施することであり、橋梁の損傷状態を確実に把握し、重大な損傷や事故を未然に防止するためである。しかしながら、我が国の橋梁の維持管理の実態に目を向けてみると、公共事業費の削減に伴い、点検、診断、補修・補強の信頼度が十分に確保されていない。また、市区町村において約9割の自治体が定期的な橋梁点検を実施していない等、橋梁点検に多くの不備が生じている¹⁾。

目視点検では、定期的に専門技術者によってひび割れ

や剥離などの変状を記録する。しかし、専門技術者といえども、変状の指摘箇所がばらつくことが分かっている。この低減には Virtual Reality²⁾(以下: VR)を利用した検討会(ヒアリング会)を実施することで、有効であることが分かっている^{3)~7)}。また、検討会で若手の専門技術者の育成にも活用が期待される。これは、現場研修とは異なり、天候・時間の制約がなくなり、また、交通の遮断の必要もなくなるため効率的に支援可能となる。また、専門技術者によって記録された変状データをVRに実装することによって、複数人で同時に同じ変状データを観ながら議論ができる。さらに、目視点検は定期的の実施されるため、時系列のデータベースとして活用が期待できる。しかしながら、VRデータのひび割れ幅⁸⁾の精度の検討や剥離の表現に関する課題がある。ひび割れ幅に関しては、どのような画像データであれば、どの程度のひび割れ幅が表現できるかどうか、剥離に関しては、その変状の性質上微妙な凹凸は画像データのみでは、それと識別できない、ということが挙げられる。

そこで、ひび割れ幅に関しては、撮影距離やカメラの仕様といった撮影環境などの条件を設定し、検討を行う。

剥離に関しては、専門技術者がフィールドでの打音検査を実施することからヒントを得て、人工現実感を表現できる VR 技術の聴覚情報として打音(音声)データを追加することで、識別可能かどうかの検討を行う。

最後に、これらの検討結果から、本システムに機能追加を行うことによって、ひび割れと剥離の変状をより現場で目視点検を行っているようなリアルな環境に再現できるシステムに改良し、橋梁目視点検のより有効な支援を試みる。

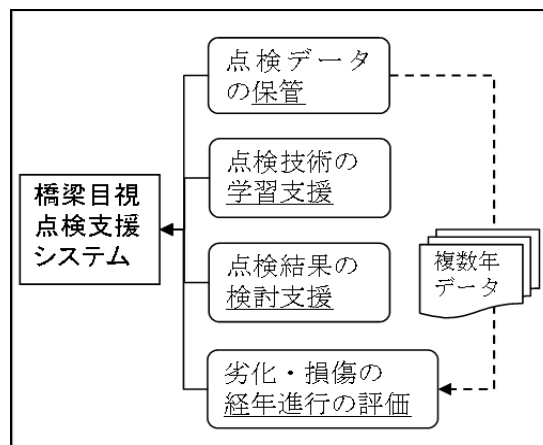


図-1 本システムの活用点

(1) 本システムの活用点

VR技術を用いた橋梁目視点検支援システムの活用法としては、図-1に示すように点検データの保管(データベース)、点検技術の学習支援(教育)、点検結果の検討支援、劣化・損傷の経年進行の評価(シミュレーション)があり、以下にその詳細を述べる。

まず、点検データの保管としての活用では、橋梁の3DCGモデルデータだけでなく、橋梁目視点検結果を併せ持つことにより実現可能である。橋梁目視点検結果としては、変状の種別や形状を付加することで、変状図と比較しながら橋梁の劣化・損傷の確認をすることが容易にできる。さらに、その結果を時系列データとして蓄えることが可能となる。

次に、点検技術の学習支援(教育)及び点検結果の検討支援について述べる。本システムの橋梁技術者の教育支援の対象としては、若手技術者だけではなく熟練技術者も対象としている。一般的に、若手技術者は橋梁の初歩的な勉強から始め、現場に出向いて熟練技術者の指導のもとに点検・診断などを行い、経験を重ねて能力を向上させる。一方、熟練技術者は、定期的な講習会や検討会を行うことで、経験を重ねるに連れて生じる技術者同士の差異を防ぐことができる。しかしながら、公共事業費の削減で維持管理の予算の減少が原因で、若手技術者と熟練技術者の教育が疎かになってきている。現場で教育を行うには多くの費用と時間が浪費されている。そこで本システムを用いることで現場に行かずして、橋梁点検の教育支援が行える。本システムを活用することで、交通の遮断、天候、時間の制約がなくなり、費用削減にも繋がる。

最後に、実物画像でのひび割れなどの外観から推定される劣化推定シミュレーションを導入できれば、さらに支援システムとしての有用性が広がると考えられる。

(2) 本システムの仕様とVRデータ作成の処理手順

本システムを実現するためには、VRを表示するシス

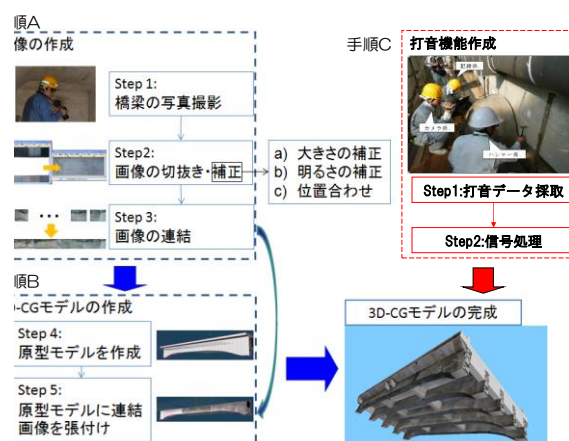


図-2 VRデータの作成手順

テム部及びVRデータが必要である。システム部では、3DCGモデルの取り扱いが容易なOpenGLを用いてVisual Studio C#にて構築している。本支援システムは、デスクトップ環境の使用を前提としており、UI環境や変状データなどを保持するためのDB環境に優れた開発環境としている。また、VRデータである3DCGモデルは、図-2に示すような手順で作成を行う。図中左側(青色点線枠)が3DCGモデル、図中右側(赤点線枠)が打音機能の作成手順である。

まず手順Aでは、橋梁の写真撮影を各部材ごとに行い、画像処理ソフトを用いて画像の大きさ・明るさ・位置を調整し、その画像を連結する。この画像が、3DCGモデルのテクスチャとなる。次に、手順Bとしては、モデル作成を行うMetasequoiaを用いて3DCG原型モデルの作成を行いテクスチャを貼り付ける。以上の作業で3DCGモデルが完成する。最後に、手順Cとして、橋梁の剥離がある場合と、そうでない場合(健全)の打音(音声)データを録音する。この録音した打音(音声)データから不要部分を削除して、データを作成している。この打音(音声)データを3DCGモデルの剥離の箇所または健全な箇所といったような適切な座標値を設定し、打音再生可能としている。

3. ひび割れ幅と撮影画像の精度に関して

本システムの3DCGモデルの元画像となる画像に対して、ひび割れを対象とし、対象物からの撮影距離により、どの程度のひび割れ幅が把握できるのか検証を行った。

(1) 検証方法

本検討では、撮影距離および撮影面積の変化に応じて、どの程度のひび割れ幅が把握できるかどうかを調べる。ひび割れ幅を把握するために、クラックゲージの目盛りを代用する。また、一般的にひび割れ幅が0.2mm以上⁹⁾で補修が必要とされているが、クラックゲージに記される0.04mmが、写真から確認できるかどうかの判断で検証を行った。実験の様子を図-3に示す。実験の方法は、広角とズームの切り替えを行い、撮影距離として、それぞれ30cm, 50cm, 1m, 2m, 3m, 5m, 6mのときの撮影範囲とひび割れ幅を求める。ここで、6mの条件は、望遠レンズでのズーム撮影の場合のみである。この際に用いたカメラは、2種類(SONY α300, Panasonic DMC-G2)で、そのうち一台(Panasonic DMC-G2)は、標準レンズと望遠レンズの二通りで実施する。

また、カメラのスペックは、SONY(α300): 1020万画素, 23.6×15.8 CCD, Panasonic(DMC-G2): 1210万画素, 4/3型 Live MOSであり、レンズは、SONY(α300): 3.5-5.6/18-70, Panasonic DMC-G2: 標準レンズ 3.5-5.6/14-42, 望遠レンズ 4-5.6/45-200である。

(2) 考察

表-1に検証結果をまとめる。表中の縦と横の数値は撮影画像のサイズを示しており、これらの数値から撮影面積を求めた。また、表中の青色(○)はひび割れ幅0.04mmまで確認でき、黄色(△)はひび割れ幅0.04mmがぼやけており、0.1mmまで確認でき、赤色(×)は0.04mmが確認できないことを示す。また、斜線が引かれている欄は、撮影が不可能の場合であり、記録なしを

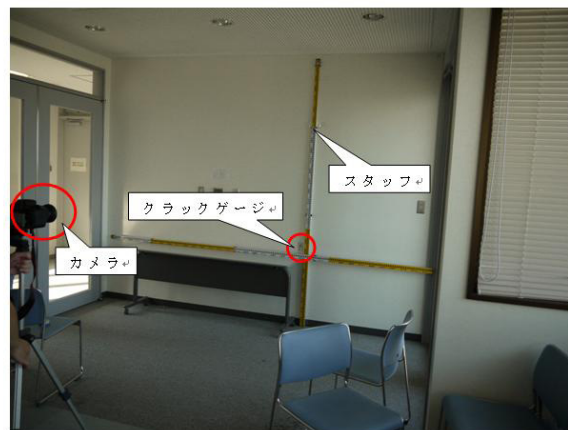


図-3 実験の様子

意味する。

この表から次のようなことが、分かった。

- 望遠レンズを付けずに広角撮影を行った場合、SONY α300, Panasonic DMC-G2のどちらとも対象物から50cmまでの距離での撮影であれば、青色(○)であり、0.04mmのひび割れが確認できる。ズーム撮影を行った場合、どちらとも対象物から1mまでの距離が青色(○)であり、0.04mmのひび割れが確認できる。また、対象物の距離が2mまでなら黄色(△)であり、0.1mmのひび割れを確認することができた。
- 望遠レンズを付けて広角撮影を行った場合、対象物から2mまでの距離まで青色(○)で0.04mmのひび割れが確認でき、ズーム撮影を行った場合、対象物から6m離れても青色(○)で0.04mmのひび割れが確認できた。
- 青色(○)で0.04mmのひび割れ幅を確認できる撮影精度で撮影した際、一枚あたりに撮影できる範囲はおおよそ横50cm・縦40cm程度であった。
- 黄色(△)で0.1mmのひび割れ幅を確認できる撮影精度で撮影した際、一枚あたりに撮影できる範囲はおおよそ横80cm・縦60cm程度であった。

表-1 撮影面積の検討1(白色の壁)の検証結果

		SONY α 300			Panasonic DMC-G2			Panasonic DMC-G2 (望遠レンズ付)		
		横(cm)	縦(cm)	面積(cm ²)	横(cm)	縦(cm)	面積(cm ²)	横(cm)	縦(cm)	面積(cm ²)
ズーム無 (SONY:18mm, Panasonic:14mm, 望遠レンズ:45mm)	30cm	○ 32	○ 23	○ 736	○ 23	○ 20	○ 460			
	50cm	○ 55	○ 42	○ 2,310	○ 46	○ 36	○ 1,656			
	1m	× 132	× 88	× 11,616	× 113	× 87	× 9,831	○ 37	○ 29	○ 1,073
	2m	× 267	× 172	× 45,924	× 236	× 178	× 42,008	○ 77	○ 58	○ 4,466
	3m	× 400	× 260	× 104,000	× 369	× 270	× 99,630	△ 113	△ 85	△ 9,605
	5m	× 675	× 450	× 303,750	× 650	× 475	× 308,750	× 189	× 142	× 26,838
ズーム有 (SONY:70mm, Panasonic:42mm, 望遠レンズ:200mm)	30cm	○ 13.5	○ 10	○ 135	○ 9.5	○ 8	○ 76			
	50cm	○ 17	○ 13	○ 221	○ 16	○ 13	○ 208			
	1m	○ 36	○ 25	○ 900	○ 40	○ 31	○ 1,240			
	2m	△ 69	△ 47	△ 3,243	△ 83	△ 63	△ 5,229	○ 18	○ 15	○ 270
	3m	× 103	× 70	× 7,210	× 126	× 96	× 12,096	○ 27	○ 21	○ 567
	5m	× 172	× 117	× 20,124	× 215	× 160	× 34,400	○ 45	○ 34	○ 1,530
	6m									

*青色(○): 0.04mmのひび割れ幅を確認できる。△(黄色): 0.04mmがぼやけており、0.1mmのひび割れ幅が確認できる。赤色(×): 0.04mmのひび割れ幅が確認できない

4. 打音機能を実装した VR システムの活用

(1) 目視点検支援システムの打音機能の概要

本システムは橋梁の 3DCG モデルを表示し、ウォークスルーによる「ひび割れ」の劣化・損傷の確認をすることができる。しかし、「剥離」といった変状は、平面画像のみでは、確認することは困難である。実際の目視点検では、点検ハンマーなどによる打音検査を行い、音による「剥離」の確認を行っているため¹⁰⁾、本システムでは、3DCG モデルをシステム上の点検ハンマーによりクリックすることによって打音を再生し、コンクリート剥離検出を行った。

(2) 打音再生機能の手順と活用効果

本システムのサブメニュー(図-4 中の左側)の中の「チェックハンマー」ボタンをクリックすると打音機能が ON の状態になり、ボタンの色が赤色に変化し、またマウスカーソルも打音用のカーソルに変更される。次に、モデル(図-4 中の右側)から、打音を再生したい「損傷箇所」にマウスカーソルを移動する。なお、打音再生する損傷箇所は、橋梁ごとの変状図をもとに、実際に録音した打音データを損傷の状態と適合する箇所に設定する。最後に、再生したい損傷箇所をクリックすることで、打音が再生できる。

本システムにおいて、打音再生機能を活用した際の活用効果としては、打音を再生することで、これまで把握しにくかった「剥離」の変状を検出でき(剥離検出機能)、「ひび割れ」の変状だけでなく、「剥離」も聴覚により再現することができるようになったので、点検技術者の学習支援に活用することができる(聴覚を活用した点検技術者の学習支援機能)などが挙げられる。

5. 結言

本研究では、橋梁目視点検を支援するために本システムで用いる撮影画像とひび割れ幅の精度の検証を行うとともに、本システムに、剥離を表現するために打音再生機能を実装し、コンクリート剥離検出を行った。以下に本研究で得られた結果をまとめる。

- ① 本システムの 3DCG モデルの元となる画像としては、確認したいひび割れ幅のサイズにより切り替えを行うなどして、適切に選択する必要がある。その際の撮影において、ひび割れ幅 0.04mm が確認したい場合は、撮影範囲は縦 50cm 横 40cm 程度となる。また 0.1mm~0.2mm が確認したい場合は、撮影範囲は縦 80cm 横 60cm 程度となる。しかしながら、この両者の場合、橋梁全体の撮影枚数は、膨大となり、多大な撮影時間を要する。

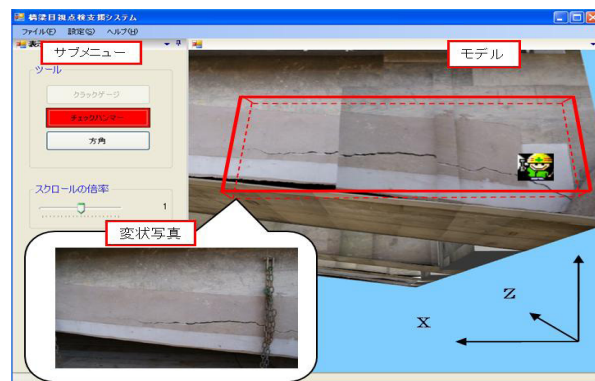


図-4 打音再生のモデル例と「剥離」の変状写真例

- ② 本システムに、打音再生機能を実装することで、剥離の箇所をクリックすると打音が再生され、コンクリート剥離を再現することが可能になった。
- ③ 変状データとして、「ひび割れ」のみでなく「剥離」も保存することができるようになったので、本システムを用いて、学習支援だけでなく、専門家でない人(住民)に対して説明する場合にも活用効果が期待できる(変状データの保存機能)。

参考文献

- 1) 「道路橋の予防保全に向けた提言」について—国土交通省、<http://www.mlit.go.jp/common/000015315.pdf>, (参照 2013.06.03)
- 2) 日本バーチャルリアリティ学会：バーチャルリアリティ学、(株)コロナ社、2010。
- 3) 宮本文穂、江本久雄、高橋順、平西邦裕：現地調査に基づく撤去橋梁の健康診断と余寿命推定およびその検証法、コンクリート工学論文集、pp.119-132, 2012
- 4) 江本久雄、高橋順、宮本文穂：老朽化橋梁の目視点検と診断結果の信頼性、第 54 回日本学術会議材料工学連合、pp.175-176, 2010
- 5) 内村俊二、高橋順、江本久雄、宮本文穂：橋梁目視点検支援システムの開発と活用効果、第 54 回日本学術会議材料工学連合、pp.177-178, 2010
- 6) 宮本文穂、江本久雄、高橋順：近接目視点検による撤去橋梁の健康診断と余寿命推定、第 11 回 コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、Vol.11, pp.431-438, 2011
- 7) 江本久雄、高橋順、宮本文穂：目視点検結果を利用した J-BMS によるコンクリート橋の健康診断および余寿命推定における学習効果、コンクリート工学年次論文集、2012。
- 8) 内村俊二、高橋順、江本久雄、宮本文穂：橋梁目視点検支援システムにおけるひび割れ幅認識の検討、日本実験力学会講演論文集、pp.264-269, 2010
- 9) 山口県土木建築部道路整備課：山口県橋梁点検要領(案)、2008。
- 10) 中国地方整備局、橋梁点検の着眼点と留意事項(案)、2011。