

(23) MR-ヘッドマウントディスプレイを用いた 橋梁点検体験システムに関する研究

馬場 那仰¹・谷川 さくら²・江本 久雄³・中村 秀明⁴・河村 圭⁵

¹学生会員 福島工業高等専門学校 建設環境工学科 (〒970-8034 福島県いわき市平上荒川字長尾 30)

E-mail: 15631@fukushima.kosen-ac.jp

²学生会員 福島工業高等専門学校 建設環境工学科 (〒970-8034 福島県いわき市平上荒川字長尾 30)

E-mail: 15622@fukushima.kosen-ac.jp

³正会員 福島工業高等専門学校 都市システム工学科准教授 (〒970-8034 福島県いわき市平上荒川字長尾 30)

E-mail: emoto@fukushima-nct.ac.jp

⁴正会員 山口大学 工学部知能情報工学科教授 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2 丁目 16 番 1 号)

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

⁵正会員 山口大学 大学院創成科学研究科准教授 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2 丁目 16 番 1 号)

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

近年、わが国では、高度経済成長期に集中して建設された社会基盤構造物の一つである橋梁の多くが建設後 50 年を経過し、老朽化による損傷箇所が増えてきた。この状況を受け、国土交通省は 2014 年に道路法施行規則の一部を改正し、道路橋は近接目視により 5 年に 1 回の頻度で点検を行うこととなった。これにより、点検作業における業務量が増加し、点検業務を行う専門知識を備えた技術者の確保と点検作業の効率化を早急に行うことが求められている。

そこで著者らは、点検業務を行う若手技術者の教育と今後の維持管理計画への活用を目的として、VR 空間において点検作業を疑似体験できる MR ヘッドマウントディスプレイによる橋梁点検体験システム(以下「MR 橋梁点検支援システム」という)を開発した。

Key Words: visual inspection, hammering test, immersive reality, MR, HMD, 3D modeling

1. はじめに

社会基盤構造物は、高度経済成長期に集中的に建設されたため、建設後 50 年を経過した構造物が急増しており、老朽化による損傷箇所が随所に現れてきた。この状況を受け、2014 年に国土交通省は、橋梁およびトンネルの点検を 5 年に 1 回の頻度で、近接目視により実施することを道路管理者に対して義務付けた¹⁾。このように社会基盤構造物の維持管理および更新に関する法令化が進んでいるのに対し、道路管理者の主体である地方公共団体における維持管理および更新のための専門知識を備えた技術者の確保や推進体制の整備は未だ十分に進んでいない。人員上の制約がある中でも、地方公共団体は道路管理者として維持管理および更新を適切に行う責務があるため、点検業務を行うための専門知識を備えた技術者の育成や点検作業の効率化が急務となっている。

このような背景により、現在、社会基盤構造物の点検業務を行うための専門知識を備えた技術者を確保するために各地で数々の講習会が開かれている。そのほとんどで、実橋梁や保管されている過去の橋梁の一部を教材として現場研修が行われている²⁾³⁾。このように点検技術を学ぶ上で実際の構造物の損傷を見ることは重要なことであり、教材となる構造物を残すことも必要とされている。しかし、現存する構造物を長期にわたって使い続けるためには定期的に補強・補修していかなければならず、損傷をそのまま残しておくこともできない。また、廃棄される構造物を資料として残しておくためには、広い土地を要し、それらの資料を保管していくために多大な費用が必要となる。この他にも、安全上の観点で現場研修が実施できないような場合や交通規制をかけなければ実施できないような場合がある。そこで、このような課題を解決するための技術として、近年話題となっている

MixedReality（以下：MR）技術⁴があげられる。MRとは、日本語で複合現実と略され、現実空間と仮想空間を融合し新たな空間を構築する技術全般のことを示す。このMR技術を活用し、さらに実橋梁の3D-VRモデルを作成してVR空間にインポートすることで、仮想空間による点検作業の疑似体験を行うことができる。これにより、天候や時間の制約がなくなり、室内で作業体験ができるようになるため、容易にかつ安全に点検業務に関する専門的知識を身に着けることが可能になる。また、撤去する構造物の保存もMR上であれば容易に実現できる。本システムでは、点検作業の対象を橋梁、橋梁種別はコンクリート橋とし、MR技術を活用した橋梁点検支援システムの開発及び活用方法の検討を行った。

2. 本システムの概要

本システムの目的の1つは、橋梁点検技術の取得にあたり今まで実施してきた現場実習を室内で容易に行うことである。室内における点検の疑似体験を実装するためにVirtual-Reality（以下：VR）技術を活用し、図-1に示すMRヘッドマウントディスプレイ（ヘッドセット）を利用することで、VR空間での没入感のある作業体験を可能にする。その他、体験作業のリアリティを高めるため、実橋梁をもとに作成したVR-3DモデルをVR空間に実装し、打音検査の体験に用いる打音データも実橋梁から採取したものを採用する。図-2の構築フローに基づきシステムの構成と構築手順を以下に述べる。

(1) システムの構成と開発環境

本システムは、図-3に示すように「VRデータ」、
「ハードウェア」および「ソフトウェア」の3要素で構成される。「VRデータ」には、実橋梁の3D-VRモデル、クラックゲージのVRモデル、打音検査用ハンマーのVRモデル、および打音データ等が含まれる。次に「ハードウェア」については、Microsoft社が開発・提供しているVRプラットフォームであるWindows Mixed Realityが動作できる環境が必要であるため、図-3に示すPCの性能が最低限求められる。また、VRコンテンツを体験するために必要なMRヘッドマウントディスプレイについては、Dell社が開発・販売しているDell Visor with Controllers vrp100（図-1）を使用して開発を進めた。また、開発環境の要となる「ソフトウェア」については、システム本体を構成するソフトウェアとしてUnity社が開発・販売しているゲームエンジンのUnityを使用し、VR-3Dモデルを作成するソフトウェアとして株式会社テトラフェイス社が開発・販売しているMetasequoiaを使用した。



図-1 MRヘッドマウントディスプレイ
およびモーションコントローラー

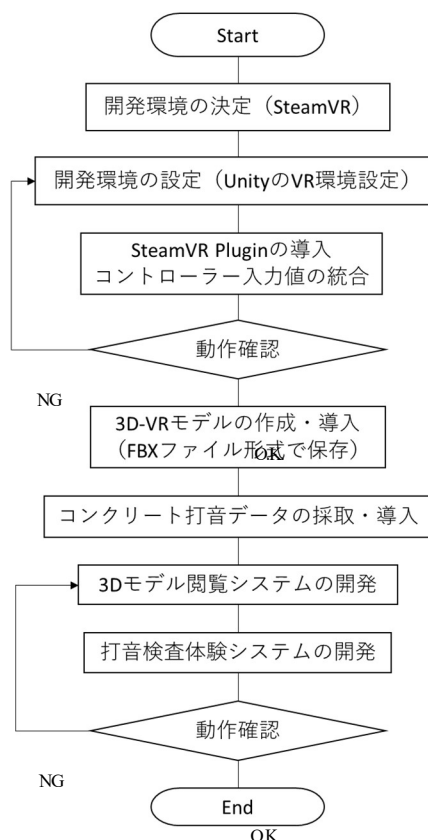


図-2 システムの構築フロー

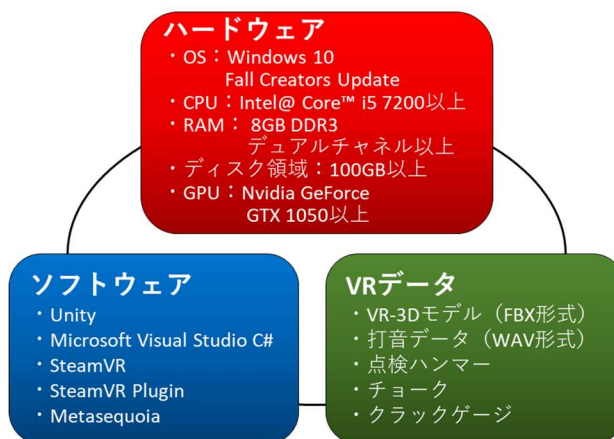


図-3 システムの構成

(2) 本システムの動作環境

本システムは、ヘッドセットおよびコントローラー間の差異を吸収し、互換性を高めるために、対応しているヘッドセットの種類が多く、各コントローラーの動作を統括することができる SteamVR 用のコンテンツとして開発を進めた。この SteamVR とは、コンピューター向けゲームの製作・運営を手掛ける企業 Valve 社が開発・運営しているゲーム配信プラットフォームであり、WindowsMR との互換性もある。そのため、幅広いハードウェアでの利用が可能になる。本研究では、WindowsMR の配下で SteamVR を起動し、その中でシステムを動作させている。

(3) Unity の環境設定

Unity を用いて VR コンテンツの開発を行うために、まず、Unity を VR に対応させる必要がある。そこで、Unity に標準で組み込まれている、Virtual Reality Supported を有効にし、Virtual Reality SDKs に必要な SDK を指定する。これにより、Unity が VR に対応し、ヘッドセットを自動的に認識できるようになる。また、本システムは SteamVR 用のコンテンツとして開発するため、SDK には OpenVR を選択する。

VR コンテンツの開発では、ヘッドセットおよびコントローラーの動作を容易に実装するために、SteamVR Plugin を導入した。SteamVR Plugin では、action という抽象的な単位でコントローラーの入力を扱うため、あらかじめ「物を持つ」「メニューを開く」といった action を登録しておき、各コントローラーのボタンに登録することで、全てのコントローラーに対応することが可能である。

(4) 3D-VR モデルの作成および導入

3D-VR モデルについては、過去に著者ら⁹⁾が作成してきた山口県の実橋梁モデルを使用した。また、Metasequoia で作成した 3D モデルを Unity に導入する際には、オブジェクトの外形を保持するポリゴンデータと橋梁のテクスチャとなる画像データとの関係性を保ったままインポートする必要がある。そのために、FBX ファイル形式 (.fbx) を採用した Unity へのインポートを行った。これは、Kaydara 社によって 3D データを異なるアプリケーション間でスムーズに受け渡しができるように設計・開発されたファイル形式であり、現在は Autodesk 社が所有している。

(5) Unity における点検の動作と打音検査やひび割れ測定の実装

本システムの対象としている点検作業の体験は、コンクリート橋の近接目視点検および打音検査である。近接

目視点検においては、VR 空間において自分自身が移動することにより、実橋梁モデルの目視点検を行う。この際の移動方法については、橋梁点検車での移動を想定し、VR 空間の絶対座標での移動方式（あらかじめ xyz 軸の移動方向が決まっている状態）を採用した。また、近接目視点検においてコンクリートのひび割れ幅を測定するツールであるクラックゲージも実装した。その他、打音検査の体験時に使用する点検ハンマーおよび剥離部のチョーキングに使用するチョークを実装した。打音検査の体験は、実際の打音検査と同様に VR 空間上で点検ハンマーを振り、壁を叩いて検査をするように実装した。また、正常箇所と異常箇所をあらかじめ設定し、ハンマーでたたいた時の打音をそれぞれ設定した。この時、打音データには、福島県いわき市内の天ノ川橋で録音した正常箇所の打音と異常箇所の打音をそれぞれ使用した。同時に異常箇所を任意で可視化できるようにし、打音検査体験後に検査結果を確認できるように実装した。

3. 本システムの特徴と活用方法

(1) 3D-VR モデルの閲覧

前章で述べている通り、本システムでは実橋梁をもとに作成した 3D-VR モデルを Unity 内に導入している。その為、3D-VR モデルを作成した際の橋梁の損傷状態がそのまま保持されており、MR ヘッドマウントディスプレイを通して、コンクリートのひびわれや剥離、鉄筋露出や鉄筋の腐食といった橋梁表面の損傷を確認することができる。点検作業前に橋梁のどのような箇所に、どのような損傷が表れやすいかを確認することができ、実際の点検作業時に速やかに作業を行えるようになると期待できる。MR ヘッドマウントディスプレイを通して、3D-VR モデルを閲覧している際の様子を図-4 に示す。

また MR では、体験者の顔の向きに合わせて視点が移動し、体験者の移動に合わせて MR 空間上でも移動することができるため、体験者の感覚で容易に操作し、橋梁サイトにいるかのように 3D-VR モデルを見て回ることができ、没入感のある体験ができる。また、この際 3D モデルの回転や拡大・縮小といった操作を伴わないため、橋梁の部材位置を把握しやすいという効果も期待できる。

(2) クラックゲージによるひび割れ幅の確認

本システムでは MR 上でクラックゲージを使用することができる。クラックゲージを使用して、コンクリートのひび割れ幅を測定している際の様子を図-5 に示す。クラックゲージそのものの寸法は実寸大で作成しているため、3D モデルを実寸大で作成すれば、実際のひび割れ幅を測定することが可能である。



図-4 3D-VR モデル閲覧時の様子



図-5 クラックゲージによるひび割れ幅の測定



図-6 打音検査体験時におけるチョーキングと異常箇所表示

(3) 打音検査の体験

現在、橋梁点検時に行われている打音検査は、技術者の音の感覚に基づく診断方法である。その為、異常箇所の判断に一律の基準がなく、技術者によって検査結果のばらつきが生じやすい、という課題があった。この技術者による検査結果のばらつきは、事前に同一資料で打音検査を体験しておくことで抑えられると考えられる。本システムでは、VR 空間において点検ハンマーを用いた打音検査の体験ができるため、同一の打音データを用いた均一な体験が可能である。また、本システムにおける打音検査の体験時には、図-6 に示すようにチョークを用いた異常箇所へのチョーキングと設定した異常箇所の可視化ができるため、体験時の点検結果が確認でき、より点検結果のばらつきを抑える効果が期待できる。

(4) 屋外作業の省力化

本システムを用いることにより、現場実習を行う際の前準備を省略し、天候の影響も無視することができる。本システムは屋内での使用を想定して開発しており、また、コントローラーの種類による影響も緩和しやすいように設計しているため、普及しやすく、点検の体験も容易に行うことができる。

(5) 過去の損傷データの保存・再現性・経過観察

老朽化により損傷が進行し、撤去する構造物の 3D-VR データを作成しておくことで、土地や維持費を必要とせずに損傷データを保存し、いつでも再現することができる。また、現存する構造物についても、一定期間ごとに 3D-VR モデルを作成しておくことで、構造物の老朽化による損傷の経過を観察することが期待できる。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- (i) MR ヘッドマウントディスプレイを用いた橋梁点検体験システムを開発し、点検技術を習得するための研修材料としての活用方法や、今後の維持管理計画への活用方法等を提案した。
- (ii) 本システムを活用することにより、室内における安全な点検業務の体験が可能になり、若手技術者の教育支援に役立つと期待できる。

今後は実用化に向けて、操作性の改善や 3D-VR モデルの作成方法の簡略化及び解像度の向上、そして日常点検業務を行っている技術者を対象としたフィードバックを実施する予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省：維持修繕に関する省令・告示の規定について、< <http://www.mlit.go.jp/common/001042579.pdf>>、(入手 2019.04.14)
- 2) 玉田和也：地方創生と学-地域を育む土木の「知」と「人」-地域のインフラを守る土木技術者を育成せよ-舞鶴工業高等専門学校社会基盤メンテナンス教育センターの挑戦-、土木学会誌、Vol.101 No.12、pp.26-27、2016。
- 3) 玉田和也、田村隆弘、鳩田知子；アクティブ・ラーニングを基軸とした橋梁メンテナンス技術者育成カリキュラムの開発、土木学会第 71 回年次学術講演会講演概要集(平成 28 年度)、CS1-006、pp.11-12、2016。
- 4) 舘暁、佐藤誠、廣瀬通孝：バーチャルリアリティ学、株式会社コロナ社、2011。
- 5) 江本久雄、宮本文穂、高橋順：ひび割れおよび剥離検出のための VR 技術を用いた橋梁目視点検支援システムの開発、山口大学工学部研究報告、第 66 巻第 2 号、pp.23-28、2016。