

(55) VR および AR の活用による 橋梁点検者教育支援システムの研究

江本 久雄¹・佐藤 華苗子²・村越 美紀³

¹正会員 福島工業高等専門学校 准教授 都市システム工学科 (〒970-8034 福島県いわき市平上荒川字長尾 30)

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

²学生会員 長岡技術科学大学 環境社会基盤工学課程 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)

E-mail: s213254@stn.nagaokaut.ac.jp

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

E-mail: 17638@fukushima.kosen-ac.jp

わが国では、高度経済成長期に集中的に社会基盤構造物のひとつである橋梁を建設し、現在、これらの橋梁の老朽化が持続可能な社会を維持していくために課題となっている。橋梁を補修・補強していくためには、適切な目視点検結果・評価が重要である。しかし、少子高齢化による労働人口の減少による点検技術者不足が問題となっている。さらに、働き方改革や i-Construction による業務の効率化が求められている。そこで、点検技術者不足を補う方法としては各団体による講習会や e-Learning などが実施されている。このような学習に対して近年の ICT である VR および AR の活用による教育支援システムを研究開発しているので報告する。VR に関しては、そのデータを MR-HMD を通して体験することで没入感のある体験ができるので、実地講習のような体験が可能である。

Key Words: bridge inspectors, education support system, Augmented reality, Virtuality reality, MR-HMD

1. はじめに

わが国では、戦後 1955 年から 1973 年の約 20 年にわたり社会基盤構造物の橋やトンネルなどを建設し、日本の至る所に道路ネットワーク網を構築した。現在、高度に開発してきた橋梁をはじめとする社会基盤構造物を持続していくために維持管理¹⁾が重要となっている。橋梁を維持管理していくためには、日々の近接目視点検結果から適切な補修・補強を計画的に実施する必要がある。このことから計画を作成するための基本データとなる目視点検結果は、非常に重要であることが分かる。しかしながら、橋梁点検を実施する技術者は、少子高齢化による労働人口の減少や「きつい・汚い・危険」いわゆる「3K」という印象から若者ばなれによる技術者不足も問題となっている。さらに、地方の建設会社やコンサルタント会社の人財不足は深刻で土木系学科出身者のみでは人手は足りず、専門学科以外の人財の採用も行われている。このような問題解決のために「働き方改革」や「i-Construction」といった取り組みが実施されている。これらは、業務の効率化や ICT を活用した効率化・定量

化、リモートコンストラクションといった試み^{2,4)}である。また、わが国が目指すべき未来社会の姿として、Society5.0 が提唱されている⁵⁾。Society5.0 は内閣府が第 5 期科学技術基本計画においてサイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより経済発展と社会的課題の解決を両立する人間中心の社会とされる。Society5.0 時代に向けて、リカレント教育の実現が望まれている。

以上から、橋梁点検技術者を育成するために各地で講習会が開催されている。その講習内容としては、座学や実地講習による勉強会や e-Learning 教材による学習が頻繁に実施されている⁶⁾。このように実橋梁を用いた研修は、実際の損傷を自分の目で見たり手で触ったりと実体験に基づくことで、理解が深まるため非常に重要である。しかし、現存している構造物を長期にわたり教材として使用し続けたり損傷をそのまま残しておくこともできない。ひとつの試みとして撤去橋梁を教材として切り出し保管することで利用している。しかし、これらを設置し維持していくためには、広大な敷地と費用が必要となる。このほかには、安全面の視点から現場実習ができ

ないような場合や交通規制をかけなければならない場合がある。そこで、情報技術である VR(Virtual Reality)や AR(Augmented Reality)技術を活用して橋梁点検技術者教育支援を試みる。VR 技術では、3 次元 CG モデルを作成し、基礎的な部材名称をはじめ内部の见えない部分を可視化することで、その構造を理解し点検の留意点の理解を深める補助を目的とする。次に、AR 技術では実際の橋梁の情報を表示し理解を深める。最後に実橋梁を 3 次元 VR モデル化することで天候や安全対策を考慮せずに室内での体験ができるモデルを構築した。可能な限り実体験に近づけるために MR-HMD も利用できる。

2. 点検技術者のための VR と AR 技術の概要

本章では、VR および AR の概要について述べ、橋梁点検者教育支援における観点での活用点について述べる。

(1) VR について

VR とは、人間の感覚（視覚、聴覚、触覚等）に対して、コンピュータなどによって合成した情報を示すことで、その情報を直感的に理解したり、実感できる形で体験できるようにする技術である⁹⁾。VR は四つの要素：1) 対象者が体験できる「仮想世界」、2) 感覚への働きかけで得られる物理的・心理的「没入感」、3) 対象者の位置や動作に対する「感覚へのフィードバック」、4) 対象者が仮想世界に働きかけることができる「対話性」からなる。この実現には CG(Computer Graphics)技術や HMD(Head mounted display)とコンテンツが必要である。視覚情報や聴覚情報、触覚情報などの感覚を再現する機器に立体視が可能なヘッドマウントディスプレイ (HMD) が普及している。

(2) AR について

AR 技術⁹⁾とは、直訳で拡張現実と訳され、Reality (現実感) の表現方法のひとつである。VR 技術が仮想空間に入り込んだかのような体験ができる技術なのに対し、AR 技術は現実世界に視覚情報を重ねて表示させる技術である。AR は技術的な特性からロケーションベース AR とビジョンベース AR の 2 種類に分けることができる。ロケーションベース AR とは、GPS などによって取得した位置情報に紐づけて情報を表示するものである。GPS による位置情報だけでなく加速度センサや磁気センサを併用し方向や傾きも取得することで、情報表示の精度を向上させることが可能である。ビジョンベース AR は画像認識や空間認識に関する技術を利用して目の前の環境を解析し情報提示を行うものである。本研究では、ビジョンベース AR を主に用いる。

表-1 学習のポイント

No.	学習項目	学習方法
1	部材名称・機能	図書, VR, AR, 実橋梁の見学
2	構造形式, 構造材料/力学, 設計図書	図書, VR, AR, 実橋梁の見学
3	劣化の変状, 要因	図書, VR, AR, 実橋梁の見学
4	劣化の予測	図書, 実験, VR, AR
5	橋梁全体系での予測	図書, 論文
6	橋梁群での予測と維持管理計画	図書, 論文
7	補修・補強計画	図書, 論文
8	補修・補強後の再評価	図書, 論文

(3) 教育支援のための VR と AR の活用点

橋梁点検（近接目視点検）を実施するために必要な知識の学習としては、表-1 に示すような項目が挙げられる。ここで、点検者のレベルとしては土木系知識を不問とし、これから点検技術者を目指す方を対象とする。ただし、最終的な目標としては熟練の点検技術者を目指す。それぞれの学習項目において、基本的には図書（e-Learning を含む）による座学での学習は共通していると考えるが、それらの理解を助けるために、表-1 中の No.1 から No.4 においては、VR や AR といった ICT ツールを活用することで深めることができると考える。また、No.1 から No.3 では、実教材をみるといった視点から実橋梁の見学はとて有効である。さらに、No.4 では実験（シミュレーションを含む）による検討も必要である。No.5 以上は図書のみでなく最新の研究成果も含めて勉強する必要がある。

3. 標準設計に基づく VR モデルの構築

先に、VR は仮想空間で現実を体験することであることを述べたが、その空間に表示するコンテンツとしては、3次元 CG を用いる。実体験をするためには、3次元 CG モデルを現実のものとして表現できるように作成することに注視されやすいが、現実ではありえない中身が透けて見えるモデルの構築も可能である。この特徴から構造物の内部を表現することで、設計をしたことがない点検技術者でも特徴を理解し、内部部材の損傷による劣化の理解を補助できると考える。

ここでは、図-1 に示す PC-T 桁のシース管のグラウト未充填箇所塩化物イオンが浸入し鋼材が錆びることを想定し、シース管の配置位置が分かるように図-2 に示すモデル事例を作成した。このモデルの作成には、「一般社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会」発行の「プレストレストコンクリート道路橋「PC バルブ T げた橋」設計資料」を参考に作成した。作成手順としては、設計図面の標準寸法からモデリングツールで作成した。部材が異なることが分かるようにテクスチャー



図-1 VRによるPCバルブTげた橋の3次元モデル

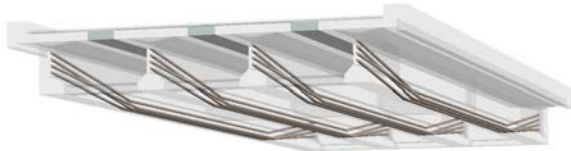


図-2 シース管の表示例

の色を変更したり、内部を透過するために枠(線)のみ表示をすることで理解を助けるようにした。

4. 福島 RTF に設置した教材による学習支援

(1) 教材の概要

橋梁点検技術者養成のために舞鶴高専を主幹校とした高専 REIM プロジェクト¹⁰⁾が実施されており、福島高専は連携校として参画している。本校では、撤去橋梁や部材を教材として福島ロボットテストフィールド(福島 RTF)に設置し、高専 REIM プロジェクトでのリカレント教育に活用することはもとよりロボットテストフィールドでの活用を考えている。教材の種類として、RC-T 桁や鋼桁、トラス橋の格点、RC 床版、線支承である。教材の全景を図-3 に示す。なお、教材としては、運べる程度の劣化箇所のあるものを切り出し運搬設置したものである。劣化教材であるため教材そのものの現状維持を維持することも課題である。

(2) VR によるモデル化

福島 RTF に設置した教材のうち RC-T 桁に関して図-4 の概略図から図-5 に示す 3 次元 VR モデルを作成した。福島 RTF は福島高専から車で 1 時間 30 分という場所にあることや撤去教材はいずれは朽ちてしまうことが想定できる。学習をする際に、一度実地で確認して、その後、どこでも確認するという学習ステップを想定し VR モデルがあることで効率的に確認できることが期待できる。

(3) AR による教材の説明表示

福島 RTF は南相馬市の沿岸部に位置し非常に風が強いエリアである。また、教材説明用の看板を設置すると維持更新費用がかかる。そこで、図-6 に示すような構成



図-3 福島 RTF に設置してある教材の全景

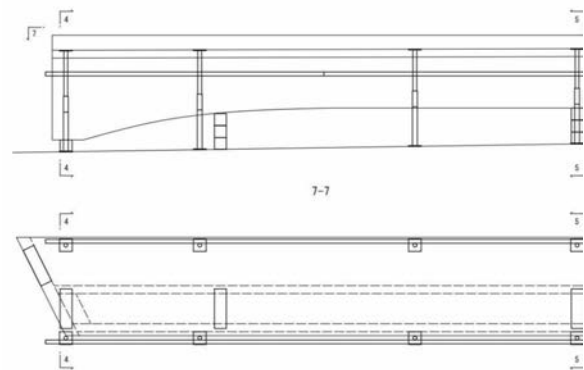


図-4 RC-T 桁の側面図と平面図



図-5 RC-T 桁の VR モデル

でタブレットかざすことで教材の情報が表示できるようなシステムを構築した。その他の教材の説明事例を図-7 に示す。

5. 供用中の橋梁モデル

(1) 対象橋梁

供用中の橋梁モデルの対象としては、いわき市上荒川にある五郎内橋である。本橋梁は 1976 年に仮設され、平成 30 年の点検において橋梁全体の判断がⅡ¹¹⁾とされた。判定区分Ⅱは予防保全段階、構造物の機能に支障が生じないが予防の観点から措置を講ずることが望ましい¹²⁾とされる橋梁である。



図-6 ARによる教材の情報表示の内容

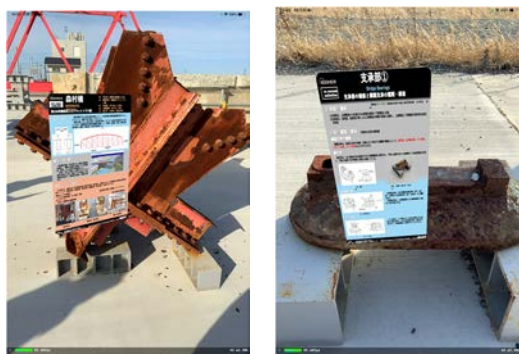


図-7 格点、支承の説明表示の例

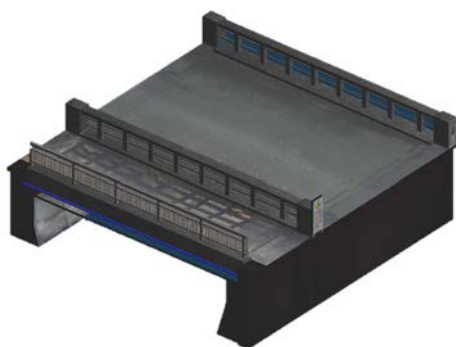


図-8 いわき市に実在する供用中の VR モデル

(2)モデルの構築の概要

本橋梁は、一般図のみであったため現地にて計測し一般図を作成し、その後モデリングツールによって作成した。そのモデルを図-8 に示す。実橋梁をモデリングすることで現地での実習を室内で実習することができ、交通安全に関すること高所の作業、天候などを考慮せずに実施できる。また、現実に近い体験を経験するために、MR-HMDを利用することも可能である。

6. まとめ

本研究は、橋梁点検者育成支援を目的として ICT である VR および AR の活用法について述べた。本論文では、その作成例および活用方法について具体例をのべた。

VR および AR での作成過程における課題および活用における課題についてもわかった。今後、不足する点検技術者を補うためにも、このような教育支援が重要と考える。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、高専 REIM プロジェクト、公益財団法人高橋産業経済研究財団、一般財団法人橋梁調査会 研究開発助成、福島イノベーション構想機構との連携協定、いわき市土木部道路管理課の皆様のもとに実施できましたことに、感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 宮川豊章, 保田敬一, 岩城一郎, 横田弘, 服部篤志: 土木技術者のためのアセットマネジメント-コンクリート構造物を中心として-, 土木学会論文集 F, Vol.64, No.1, pp.24-43, 2008.
- 2) 阿部雅人, 阿部允, 藤野陽三: 我国の維持管理の展開とその特徴—橋梁を中心として—, 土木学会論文集 F, Vol.63, No.2, pp.190-199, 2007.
- 3) 建山和由: i-Construction と CIM, JACIC 情報, Vol.114, pp.5-8, 2016.
- 4) 全邦釘: 土木工学分野における人工知能技術活用のために解決すべき課題と進めるべき研究開発, AI・データサイエンス論文集, Vol.1, No.11, pp.9-15, 2020
- 5) 内閣府: society5.0とは,
https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html, 2020年9月28日
- 6) 田中徹政, 松田浩, 牧角龍憲, 高橋和雄: 九州・山口地域における自治体のインフラ維持管理業務に関するニーズ調査, 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), Vol.73, No.4, pp.112-119, 2017.
- 7) 玉田和也, 田村隆弘, 嶋田知子; 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, CS1-006, pp.11-12, 2016.
- 8) Sherman W.R & Craig A.B.: Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design. San Francisco: Morgan Kaufmann. 2003.
- 9) Paul Milgram, Fumio Kishino: A taxonomy mixed reality visual displays, IEICE Transactions on Information System, Vol.E77-D, No.12, 1994.
- 10) 玉田和也, 毛利聡, 嶋田知子: 地域の建設技術者のためのコンクリート工事教育カリキュラムの開発, コンクリート工学, 特集/コンクリートの明日を支える技術者の育成/1. 建設技術者の育成と技術伝承, Vol.59, No.1, 2021
- 11) いわき市: 平成 30 年定期点検・診断結果,
<http://www.city.iwaki.lg.jp/www/contents/1480931874626/files/H30tenkenken-sindank-ekka.pdf> (入手 2021.02.20)
- 12) 国土交通省: 東北地方整備局: 福島県の道路メンテナンス概要
<https://www.thr.mlit.go.jp/fukushima/antenna/pdf/douromonte.pdf> (入手 2021.02.20)