

建築系学生を対象とした労働災害体験型 VRシミュレータの試作

位 田 達 哉*

Prototype VR Simulator for Architecture Student to Experience Labor Accident

Tatsuya Inden *

Abstract: Building construction science is a discipline in which it is desirable to learn about construction sites experientially, but it has to be educated through classroom lectures. The author thought that VR could be applied to build an experiential class. In this paper, the prototype of a construction site VR simulator was developed to create a virtual construction site on VR (artificial reality), where students can virtually experience unsafe acts and industrial accidents that are impossible in reality. The summaries of the results are as follows;

- 1) It is thought that the virtual experience of occupational accidents allowed the participants to understand the dangers of construction sites experientially.
- 2) The use of the VR simulator may provide learning effects similar to those of experiential learning, in which students become aware of problems on their own.
- 3) The VR simulator developed in this study did not have any major problems, indicating that a certain educational effect can be expected.

Key words: Building Construction Education, Virtual Reality, Labor Accident, Construction Site Simulator

1. 緒 言

1.1 研究の背景

建築施工学とは集団で建築物を造り上げていく建設現場における経験工学であり、自らの身体を使って造り上げる満足感も相まって学生の興味を惹きやすい学問のひとつである。そもそも建築施工とは、設計図書に従って実際に建物を造る行為であるが、現状の建築系大学生の施工教育は、座学やビデオ視聴による単方向の指導が中心である。教育を中心に考えるならば、学生が工事中の建設現場を自由に歩き回って五感で体験し、また、人身事故の発生現場や品質のトラブルなどに立ち会い、その解決を考えることが本質的な建設現場の学修に繋がることに疑念はない。しかしながら、建設現場は経済活動の場であり、現場とは無関係な学生が大量に押し寄せ、見学や実習をすることには工事の進捗を遅らせるだけでなく、経費や機密保持の面からも現実的ではなく、また、実働中の建設現場を教育体験の場とするには常に危険が

伴うことから、学生や建設現場の双方の安全管理上、平易に実施できるものではない。ゆえに、やむを得ず教科書や動画教材を用いた座学を余儀なくされているのが全国の多くで実施されている建築施工教育の実体である。建築施工学では、現場管理の5大項目としてQ (Quality), C (Cost), D (Delivery), S (Safety), E (Environment)を挙げている。これらはいずれも欠かすことのできない要素であるが、大学において人命に関わる安全教育を実施するには問題がある。安全の意識は、教場で学べる類のものではなく、自身が体験しているか、もしくは現場の状況を事細かにイメージできなければその修得は極めて難しいからである。自動車免許の更新時に視聴する交通安全ビデオで安全の重要性を痛感するのは、免許保持者が多かれ少なかれ自動車の運転経験があり、ゆえにその危険性を想像し、理解できるからに他ならない。建設現場の未経験者に安全教育をしても、その大半は十分な理解が得られないものと考えられる。

建設現場は、今なお徒弟的な世界である。この現場教育に対し、大学における建築施工教育は座学が中心であり、“読む・聞く・見る”の間接的な学修となっている。そのため、建設現場で働く施工管理技術者の大半は、や

* 理工学部, 専任講師

Tel/fax : 03-5481-3284, E-mail : indent@kokushikan.ac.jp

むを得ず現場で改めて学び直し、自身の経験を通じて建設現場における施工管理能力を獲得している。近年では、総合建設業者の新入社員研修においてOJT (On the Job Training) を導入して知識と現場経験を結び付ける教育を施している。前述のように、大学教育におけるOJTの実施はその性質上難しく、建築士や施工管理技士の資格取得のための知識修得以上の学修にまで至っていないのが現状である。

医療業界や産業界では、COVID-19を契機にVR (Virtual Reality: 人工現実感) による仮想的な実習が実用化されつつある。しかしながら、建築分野へ適用される事例は多くなく、建築工事の仮想体験を授業に取り入れているような事例はほとんどない。

1.2 研究の目的および項目

建築施工学は、本来魅力的な体験型授業の可能性を秘めながら、その多くは単調な座学に甘んじている状況である。この現状の打破には、在学中にいかに密度の高い経験を積めるかが鍵であり、“経験を積むことで身に付ける行動特性” 修得のために、個人が主役となる“体験型授業” が極めて効果的であると考えられる。

そこで本研究では、VR上に仮想の建設現場を作成し、そこで現実には不可能な不安全行為や労働災害を仮想体験させることにより、若年世代である大学生に親和性のある従来なし得なかった革新的な体験型学修を目標とした建設現場VRシミュレータを試作した。建設現場での学びが不可欠であるにも関わらず、安全や業務上の事情で実施が困難である労働災害教育をVRシミュレータにより実現することを目指し、下記の項目に従って研究を進めた。

- 1) 建築施工教育のVR化に関する調査
- 2) VRでシミュレートする労働災害の選定
- 3) VRシミュレータの試作

2. 建築施工教育のVR化に関する調査

2.1 建築に関連するVRの動向

VRの技術はゲーム業界やエンターテインメント業界を中心に利用されている。2017年頃からは介護や医療の現場でも注目されはじめ、「現実」と「仮想現実」を繋ぐVRデバイスの開発は、産業の発展に大きく貢献するものとして脚光を浴びている。

建設業においては、インテリアの内覧会や家具購入のシミュレートなど、主にデザインの方面で使われている。着工前から完成した建物の内観外観を自由に確認できたり、インテリア選定のためのケーススタディができるなど、建築知識に乏しく要求を言語化できないエンドユーザーにとって、より良い選択肢を得る手段にもなっている。これらの基礎となる研究として、西名¹⁾による設計教育へのVR空間の活用、千葉²⁾によるVRの

設計プロセスへの適用、齋藤³⁾によるVR空間の心理的影響などの検討など、設計者目線での研究が積極的に進められている。その一方で、建築施工分野のVR研究は積極的ではなく、古くは嘉納⁴⁾による配筋検査に関する取り組みがあったが、これは現実と3次元CADのデータリンクに関する研究であり毛色が異なる。石田⁵⁾は建築工事における安全教育のためのゲームソフトを提案しているが、平面ディスプレイ上の疑似3D空間のものであり、HMD (Head Mounted Display: 頭部装着ディスプレイ) に対応した人工現実感を活用したものはほど遠い。このように、建築施工に関するVR研究事例はほぼない状況にある。

2.2 VRの教材デバイスとしての可能性

Alison Jane Martingano⁶⁾ は、VRで得られる利点をDREAM (Data collection, Realism, Experimental control, Adaptability, Mobility) という略語で説明している。

- ・Data collection (データの収集)

身体の動きの計測と記録ができる。この記録は、VTR計測による作業能率測定よりも正確かつ簡便である。

- ・Realism (現実感)

仮想空間において、現実を取る行動を引き出せる。

- ・Experimental control (実験条件の制御)

現実の被験では難しいとされている再現性を伴う実験ができる。

- ・Adaptability (適応性)

非現実な状況を再現できる。仮想空間では危険な状況であっても、現実には危険を伴うことがない。

- ・Mobility (携行性)

特別な実験施設を必要とせず、VR機材さえあれば実施することができる。遠隔地でもオンライン上で並行して実施することもできる。

本研究で対象とするVRシミュレータは、特に順応性や携行性の面でその真価を発揮するものであり、緒言で述べたような現場実習を巡る問題点を解決するものになると考えられる。

3. VRでシミュレートする労働災害の選定

3.1 調査の目的

建設現場における労働災害を可能性と重大性との観点で整理し、VRシミュレータの対象とする労働災害を選定した。

3.2 労働災害での事故数

厚生労働省が公開している労働災害原因要素の分析事故の型別死傷者数 (平成29年度)⁷⁾ を整理したものをFig.1に示す。全体6,355件のなかで、転落・墜落が

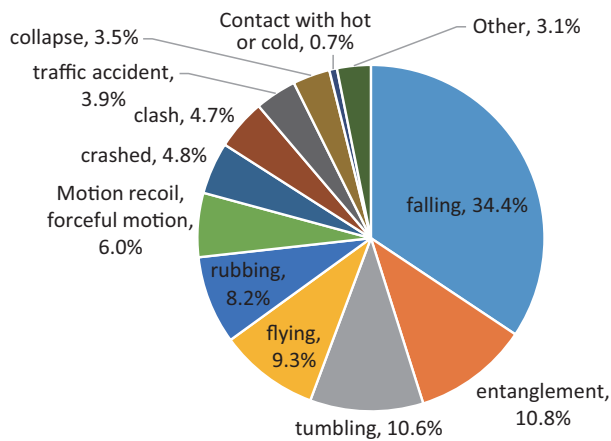


Fig.1 Percentage of labor accidents at construction sites

34.4%と1番多い。この転落・墜落をさらに詳細に調査すると、はしご等によるものが627件、足場によるものが305件であった。

この墜落・転落災害について、同庁が公開している死亡災害データベース⁸⁾を調査したところ、はしご等の死亡数は12件に対して足場の死亡数は32件であった。足場での転落・墜落の具体的な事例として、身体のバランスを崩すことや、足場の緊結を行っていないなどの確認を怠ったことによる事故が多く挙がっていた。

3.3 労働災害の選定

労働災害の危険度は、可能性（発生する頻度）と重大性（怪我の程度）の双方で評価されるべきものであり、単純に最頻度の労働災害だけをピックアップして重点項目として扱うことは望ましくない。発生の可能性だけで判断するならば、発生件数が最多のはしご等による転落・墜落となるが、これに重大性としての死亡を含む重傷事故を加味し、足場からの転落・墜落をVRシミュレータの題材として選定した。

4. VRシミュレータの試作

4.1 試作の目的

建設現場における労働災害のうち、重要視しなければならない項目のひとつに転落・墜落があり、そのなかでも足場からの転落における死亡は最優先で改善すべきもののひとつである。本章では、労働災害教育のため、仮設足場からの墜落を疑似体験できるVRシステムを試作した。

4.2 開発環境

4.2.1 ハードウェア

ワークステーションに接続したHMDを被験者が装着することでVRを視聴させた。HMDはF社製のOculus Rift (Ver.1.37.0.245188)とし、Oculus Touchコントローラを左右1組で用いた。また、使用したワークステーシ

ョンの主な仕様をTable1に示す。

4.2.2 ソフトウェア

開発プラットフォームはU社のUnity (Ver.2019.4.11f1)を用いた。Unityは2004年に開発されたゲームエンジンであり、3Dの計算や影の表示、サウンド、メニュー遷移など、ゲーム作りに必要な機能をまとめて一つにしたものである。Unityがほかのゲームエンジンと異なるのは、オブジェクトの配置や照明の設定、必要な機能の追加といった基本的なことをUnityエディタで視覚的に行えるように設計されていることである。つまり、Unityエディタからパラメータを変更するだけで簡単にゲーム内のオブジェクトの動きや見え方を変更することができる。これは、建築物の作図をする上で非常に重要な要素であり、本論文で試作するVR空間はUnity上で建築物とその付帯物のほか、VR表現に必要な資源をすべて作成した。

4.3 墜落体験のプロジェクトの作成

墜落体験のプロジェクト作成の流れをFig.3に示す。

まず、建設現場をモデリングした。再現する建設現場とそれに付随する仮設足場は、職場の安全サイト⁹⁾に掲載されている墜落災害を示したイラスト (Fig.2)を参考とし、木造一戸建てに外部足場を設けた一式の工事をモデリングした。これにスクリプトを入れ込み、外部足場に設置した足場板の一部を緊結していない状態を想定したVR空間を作成した。

VR内での移動方法は、落下および歩行が可能なジョイスティック移動を採用した。両手に持ったOculus Touchコントローラを操作することで、自分を仮想投影

Table1 Performance of workstation

Workstation	HP Elite 8300CMT
OS	Windows10Pro. 64bit (Build18363.535)
CPU	Intel®Core™ i7-3770@3.40GHz
RAM	16.0GB
GPU	NVIDIA GeForce RTX 2070

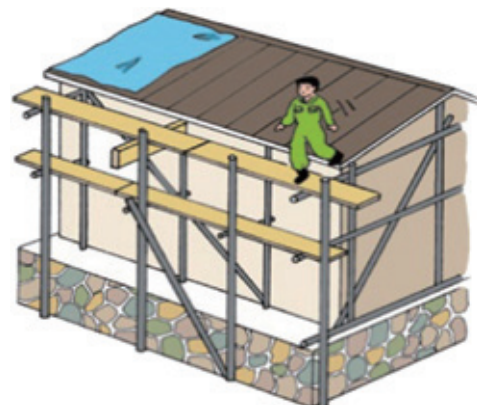


Fig.2 Illustration of a fall accident⁹⁾

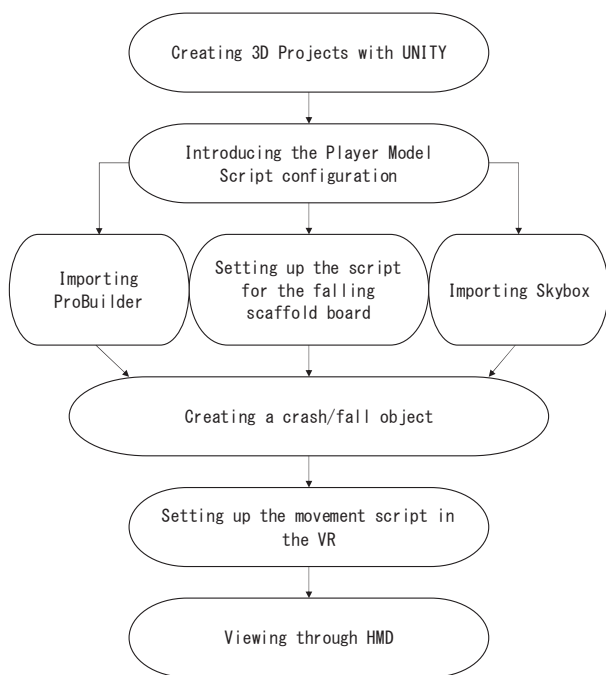


Fig.3 Flow of the project

したキャラクターを現実世界と同じ条件で動き回らせることができるようにした。

以上により、屋根の上から仮設足場に渡ることができ、緊結されていない足場に乗ることで足場が崩落し、墜落災害を仮想体験できるプロジェクトを試作した(Fig.4)。

4.4 VRシミュレータの検証

4.4.1 検証の手順

VR体験を2021年1月12・13日に実施した。調査対象は、国士大学建築学系の学生とし、同学系の選択必修科目である工事管理の履修者12名とし、参考として建築学系職員2名の計14名とした。これらの学生および職員は、建築系学生として一般的な建築施工教育を受講済みであるが、建設現場での就労経験はない者とした。

VR検証のための体験に際し、下記の要領でアンケート調査を実施した。

- 1) 座学を想定し、足場からの墜落に関する労働災害のイラスト (Fig.2) を閲覧させ、事前のアンケート (Table2) を実施した。
- 2) 前章で作製した労働災害のイラスト (Fig.2) を参考に作成したVRシミュレータを体験させ、事後アンケート (Table3) を実施した。

VR体験者に回答を依頼したアンケートは、事前知識の有無、建設現場における安全意識、VRシミュレータによる学修ツールの可能性を調査するため、5段階尺度法による評価 (1:肯定, 5:否定) のほか、自由記述による解答を設けた。

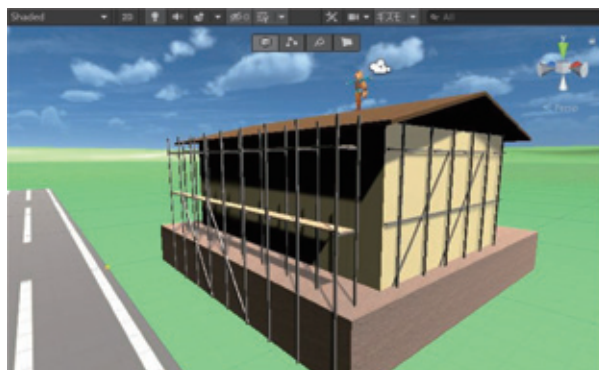


Fig.4 Labor accident VR Simulator

Table2 Pre-questionnaire and answers

Question content	Answer/Score
Have you ever visited a construction site?	Yes:14/No:0
Have you ever experienced VR?	Yes:9/No:5
Do you feel the fear of height when you look at the illustration?	2.36
Do you think you are in danger of falling off the roof?	1.57
Do you think it is safe to move from the roof to the scaffolding?	4.07
Do you think the scaffolding is safe to walk on?	4.00
Do you think the scaffolding has been designed to prevent crashes and falls?	Yes:1/No:13
If there are no measures in place to prevent crashes and falls, please indicate what measures are required.	handrails:7 protective net:4 safety belt:2 diagonal:1

Table3 Post-questionnaire and answers

Question content	Answer/Score
Did you feel more afraid of heights before the VR experience?	2.07
Were you in danger of falling off the roof?	2.57
Were you able to move the scaffolding from the roof safely?	4.64
Did you get across the scaffolding safely?	4.21
Were scaffolds provided with measures to prevent crashes and falls?	4.71
What do you think should have been done with the equipment to ensure a safe crossing?	Tensioning the scaffold:8 handrails:7 protective net:3 safety belt:1
Were you able to accurately determine the distance between the building and the scaffolding in the VR?	2.64
Was it easy to move around with the controller?	1.36
When the scaffolding collapsed, did you feel that you were falling within the VR?	1.86
Did you find VR useful in learning construction?	1.64

4.4.2 検証の結果および考察

Covid-19の影響もあり十分なVR体験者を募れなかったため十分な議論はできないが、いずれも学生も安全意識は高く、体験前でも直感的に現場の危険性を見出していた一方、現実の労働災害の原因となっている“足場の未緊結”による転落を想像できた体験者は0人であった。ところが、VRシミュレータの体験によって過半の体験者が、足場の緊結が重要であることに気づき、具体

的な落下対策の提案ができるようになった。すなわち、労働災害の仮想体験によって建設現場における危険性を体験的に理解できたものと考えられる。VRシミュレータの利用によって、自らが問題に気付く体験型学修に類する学修効果を得られる可能性が示唆される。

VRの体系的な検証としては、例えば、高さに関する認識が2.36から2.07と向上した。高さの恐怖感は絵で見るよりも仮想的に高所から見下ろすことで高まるものと考えられ、VRによって空間認識を高められる傾向を確認できた。また、空間認識(2.64)やコントローラによる移動(1.36)などの視認性や機動性なども概ね良好であったと判断できる。

4.5 現状の問題点と今後の課題

VRシミュレータのベースであるFig.2は、墜落災害を引き起こす原因となる外部足場の設置のほか、飛来物災害など、法令遵守を含めて安全面で不適切な例図である。学生検証後には問題点をすべて示し、適切な現場環境の改善点を指導することで、誤った知識とならないよう細心の注意を払った。しかしながら、VR視聴による印象が強すぎた場合には誤った知識を学修してしまう可能性もあり、体験後のアフターフォローは非常に重要な課題である。労働災害に関する正しい知識を学修するという視点が必要不可欠である。

本論文では被験者によるデータ収集は主目的ではないため簡易なアンケート調査による評価に留めたが、VRシミュレータの教材展開を図るためには、単なる仮想体験だけではなく、その学修効果の評価方法までを範囲とすべきである。被験者を伴う実験においては官能評価が主流であるが、VRの特性を生かした定量的な評価が可能ならばである。引き続き、被験者のリアルタイム情報から学修効果の定量的評価方法について検討したい。

5. 結 言

本論文では、現実には不可能な不安全行為や労働災害を仮想体験させることを目的としたVRシミュレータを試作し、その効果について検証した。その結果、以下の知見を得た。

- 1) 労働災害の仮想体験により、建設現場の危険性を体験的に理解できたものと考えられる。
- 2) VRシミュレータの利用によって、自らが問題に気付く体験型学修に類する学修効果を得られる可能性が示唆される。
- 3) 本研究で試作したVRシミュレータには大きな不具合は認められず、一定の教育的効果を期待できることがわかった。

謝 辞

本研究はJSPS科研費 挑戦的研究(萌芽)21K18526

の助成を受けた。VRプロジェクト作成にあたっては、当時卒論生の久保利哉氏、渡部拓己、水野谷駿の協力を得た。また、VR体験に協力いただいた学生各位に記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 侯寧, 西名大作, 杉田宗, 姜勲, 大石洋之, 金田一清香, 清水晶浩: 設計教育におけるVR空間の活用可能性に関する研究 その1スケール感の学習実験によるVR空間の有効性検証, 日本建築学会環境系論文集, 785, pp.1409-1419, 2021.05
- 2) 四宮駿介, 酒谷粹将, 田中義之, 千葉学: 設計空間としてのVRにおける状況との対話のプロセス, 日本建築学会計画系論文集, 783, pp.670-679, 2021.07
- 3) 横井梓, 齋藤美穂: VR空間における心理的影響の評価に関する検討 大型スクリーンを用いた居住空間シミュレーションにおけるVR空間の感性評価, 日本建築学会計画系論文集, 683, pp.1-7, 2013.01
- 4) 金炯垠, 嘉納成男, 蔡成浩: 建築工事における写真画像とVR画像を用いた進捗管理に関する研究 工事写真の撮影方法及び視点位置・方向の取得, 日本建築学会計画系論文集, 599, pp.119-126, 2006.01
- 5) 石田航星: 建築工事における安全教育のためのゲームソフトウェアの開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.345-346, 2017.07
- 6) Martingano, A. J., & Persky, S.: Virtual reality expands the toolkit for conducting health psychology research. *Personality and Social Psychology Compass*, 15, 2021.5
- 7) 厚生労働省: 労働災害原因要素の分析, <https://anzeninfo.mhlw.go.jp/user/anzen/tok/bnsk00.html> (2021.9.21閲覧)
- 8) 厚生労働省: 平成29年死亡災害データベース, https://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen_pg/SIB_FND.aspx (2021.9.21閲覧)
- 9) 厚生労働省: 職場の安全サイト, <https://anzeninfo.mhlw.go.jp/> (2021.9.21閲覧)