

三次元点群を用いた建物の損傷調査 VR システムにおける 調査支援機能の検討

三島直也¹ 宋聞博¹ 碓崎賢一² 向井智久³ 荒木俊輔²

概要: 地震発生後に行われる損傷調査の問題から、我々は損傷した建物の三次元点群を対象にシステム開発を行っているが、PC 操作に不慣れな人が利用することは困難である。本稿では VR により現場の調査員が直感的に調査を行えるようにし、より効率的かつ詳細に調査を行う支援機能を検討した。まず、調査効率向上のため異なる 2 種類の移動方法を提案し、即座に損傷箇所へ移動して調査することを可能にした。さらに、損傷を詳細に調査するため壁面の一部を取り出す機能を提案し、損傷断面の観察や損傷比較を可能にした。また、VR 利用者と周囲が共同調査を行う状況を考慮し、指示が可能な独立視点を利用することで、互いが示す損傷を理解させることができた。

キーワード: 三次元点群データ, Virtual Reality, 損傷調査

A Study on Damage Investigation VR System for Earthquake-Damaged Buildings Using 3D Point Cloud

Naoya MISHIMA^{†1} Wenbo SONG^{†1}
Ken'ichi KAKIZAKI^{†2} Tomohisa MUKAI^{†3}
Shunsuke ARAKI^{†2}

Abstract: In order to solve the problem of damage investigation after earthquake, we are developing systems for damaged buildings using 3D point clouds. However, it is difficult for people unfamiliar with PC operation to use it. In this paper, we investigated the support feature that enables the investigator to intuitively investigate by VR, and to conduct the investigation more efficiently and in detail. First, we proposed two different moving methods to improve the efficiency. This feature allows user to move and investigate immediately. In addition, we proposed a feature of extracting a part of the wall surface to investigate the damage in detail. This function enables observation of the cross section of the damage and comparison of the damage. In addition, considering the situation where VR user and the surroundings conduct joint investigation, we thought using an independent viewpoint that can give instructions. This feature allowed them to understand each other's damaged parts.

Keywords: 3D Point Cloud, Virtual Reality, Damage Investigation

1. はじめに

近年、日本では膨大な量の建築物に被害を与える大地震が多発している。このような地震が起こった際、余震等による二次災害の防止や建築物の修復などを行うために、建物の損傷状況を把握する調査が行われる。しかしながら、この調査では多くの建築物が対象となるため、人手や時間がかかる。また、建築物に近づく必要があるため、危険も伴う。さらに、高所等の人の手の届かない場所に存在する損傷の調査は、非常に困難である。この問題を解決するために、我々はレーザー計測によって得られる三次元点群を利用した調査や分析に関する研究を行っているが、PC 操作に不慣れな人がシステムを利用することは困難である。

したがって本稿では、三次元点群データを利用することで現在の損傷調査の問題を解決し、VR を利用することで、現場の調査員が直感的に調査を行えるようにし、現実では不可能な方法でより効率的かつ詳細に調査を行えるシステムの開発を目的として、建物の損傷調査 VR システムにおける支援機能を提案した。

2. 建物の損傷調査

2.1 現在の損傷調査の方法

現在の建物の損傷調査において、目視による近接調査が主な調査手段である。具体的な調査方法は、対象の建物の中に近づく、もしくは内部に立ち入って全ての壁面や柱等の建築部材に発生した損傷を観察し、メモやデジタルカメラを用いて損傷の位置や大きさ等を記録する。高所では高所作業車、ゴンドラ、双眼鏡などを用いて調査を行う。図 1 に示しているのは目視調査の様子である。図 1 に示しているように、建物に近づいて損傷を一つ一つ目視で確認する方法で、特別な機材を必要とせず最も簡便であるが、こ

1 九州工業大学 大学院 情報工学府
Graduate School of Computer Science and Systems Engineering,
Kyushu Institute of Technology.
2 九州工業大学 大学院 情報工学府
Faculty of Computer Science and Systems Engineering,
Kyushu Institute of Technology.
3 国立研究開発法人 建築研究所
Building Research Institute.

れには調査員の専門的な知識や、経験等が求められる[1].



図 1 目視調査の様子

2.2 建物の損傷調査の問題点

2.2.1 目視による近接調査の問題

2.1 節で述べたように、現在の建物の損傷調査では、様々な道具を使用して建物のあらゆる箇所に存在する損傷を網羅的に調査する必要がある。そのため、この現在の目視による調査方法には以下の問題があると考えられる。

- 損傷調査に多くの人手と時間がかかる
- 建物に近づく、もしくは内部に立ち入って調査することは危険である
- 高所や手の届かない箇所の損傷の計測は困難である

2.2.2 損傷を観察する時の問題

地震により被災した鉄筋コンクリート造建築物には様々な損傷が発生する。それらの損傷は、大きく分けると局所的な損傷と残留変形の 2 種類に分類される。

(1) 局所的な損傷

局所的な損傷とは、壁面等の変形に伴い発生するコンクリートの剥落、ひび割れといった損傷である。この剥落とは、地震などにより建物壁面のコンクリートの一部が少し盛り上がり、その部分が落下することにより引き起こされる損傷のことである。剥落は建物の最も明白な損傷であり、図 2 の青枠で示すように、目視で剥落を確認できる。また、ひび割れとは地震などにより建物の壁面が変形し、その壁面に細かい線状のひびが入る損傷である。ひび割れは目視で確認可能な比較的大きく深いものから、目視では確認しづらい小さく浅いものまであり、図 2 の赤枠で示す部分は建物に発生した比較的大きなひび割れの例である。



図 2 建物壁面の剥落(赤枠)、ひび割れ(青枠)の一例[2]

(2) 残留変形

残留変形とは、地震により建築物が力を受けたことにより元の形に戻らず、地震後にも一部形状の変化が残ってしまう現象のことである。この残留変形によって建物に傾斜や、壁面の歪みが生じる。

(1), (2) のような損傷を網羅的に調査しなければならないが、図 2 の局所的な損傷の一例のように、目視で確認できる損傷であれば、調査を行うことはできる。しかしながら、目視で確認できない、微小な損傷や壁面の歪みを調査することは現実では困難である。さらに、建物の損傷はあらゆる箇所に存在しているため、それらを迅速に特定する必要がある。このような損傷を目視で一つ一つ確認し、詳細に観察した上で損傷の位置や大きさ等を記録しなければならない。したがって、以下の問題が挙げられる。

- 建物に存在する多くの損傷を迅速に特定しなければならない
- 目視で正面から調査するだけでは、壁面のゆがみや小さな損傷などを詳細に確認することが困難である。
- 詳細に観察するために壁面の断面を観察しようと考えても、現実では断面を観察できない

上記の問題点に加えて、損傷調査を行えるシステムを開発する上で、複数人が共同で調査を行うこと考慮する必要がある。したがって、本節で述べた問題を解決するために、我々は対象の建築物から離れて短時間で計測が可能なレーザープロファイラによって得られる三次元点群データと現実に近い環境を再現できる VR 技術に着目した。

3. 三次元点群データと VR 技術の利用

3.1 三次元点群データ利用の利点

2.2 節の問題点から、我々はレーザー計測によって得られる三次元点群を利用した損傷の調査や分析について研究を行っている[3][4]。レーザー計測は計測対象の三次元形状を稠密に取得でき、図 3 に示すように、図 2 の実際の建物に発生した剥落やひび割れといった壁面の表面性状などを再現しているため、目視で確認することができる。以下に、建物の損傷調査に対して三次元点群データ利用の利点を示す。

- レーザー計測は計測対象に対して非接触かつ短時間で行われるため、調査員の危険性や負担を軽減することが出来る
- 広範囲にレーザーを照射することで、高所等の人の手の届かないような位置の損傷を網羅的に取得できる

したがって、三次元点群データを利用することで、前節で述べた現在の損傷調査の問題を解決できる。



図 3 建物壁面の三次元点群データ

図 3 のような三次元点群を利用することで、剥落やひび割れといった損傷を目視でも確認することができるため、2.2.1 項で述べた目視近接調査の問題を解決することはできるが、2.2.2 項で述べた問題を解決するために、この点群データを用いてより効率的かつ詳細に調査を行えるようにする必要がある。さらに、現場で損傷調査を行っている調査員がディスプレイ上の損傷した建物の三次元点群を操作して調査する場合、必ずしも PC の操作に慣れているとは限らないため、我々が想定しているように、操作してもらえないかわからない。そこで、VR 技術を利用することで、直感的な調査方法で、現実に近い環境で現実ではできないような損傷の調査を行うことを考えた。

3.2 VR 技術利用の利点

VR(Virtual reality)とは、「みかけや形は原物そのものではないが、本質的あるいは効果としては現実であり原物であること」である[5]。つまり、現物・実物ではないが機能としての本質は同じであるような環境を再現する技術である。以下に、建物の損傷調査に対して VR 技術を利用することの利点を示す。

- 三次元点群を利用し、VR で損傷した建物を再現することで、現実と同じような調査環境を作成できる
- 一度三次元点群を取得すれば、時間帯や場所を問わず何度でも調査を行うことができる
- 現実の動作と似た動作を行える VR を利用することで、直感的に操作を行えるようになる
- VR を利用することで、現実ではできないような損傷の調査を行うことができるため、損傷をより効率的かつ詳細に観察できる

4. VR 利用における支援機能の実現

4.1 建物の損傷調査 VR システムに対する要求

3 章までに述べたことより、建物損傷調査の VR システムに対する要求は、まず、建物に存在する損傷全てを CAD やその他の図面制作ソフトウェア等を使用して正確に復元することが困難なため、広範囲の損傷の形状を正確に再現

できるデータを使用する必要がある。また、PC 操作や VR システムの操作に不慣れな人でも直感的に操作を行えるようにする必要がある。さらに、広範囲を移動しながら目視で一つ一つ損傷を特定し調査することは、手間や時間がかかるため、効率的に調査を行えるようにする必要がある。加えて、損傷をより詳細に調査できるようにするために、現実ではできないような損傷の観察方法を検討する必要がある。また、必ずしも一人で調査を行うとは限らず、損傷について複数人が共同で調査する状況を考慮する必要がある。以上のことから、我々は以下の解決策を提案した。

- 三次元点群データにより、建物自体や、壁面等に発生した損傷の形状を正確に再現する
- 建物全体から損傷箇所を迅速に発見し、その箇所に即座に移動した上で、その損傷を詳細に観察する
- 損傷箇所のみを壁面から取り出して断面を観察することや損傷の比較を可能にするといった現実ではできないような調査方法をシステムに反映させる
- 複数人で共同調査することを考慮して、コミュニケーションが取れるようにする

4.2 移動方法の効率化の提案

建物の損傷調査では、建物の周囲を移動しながら、損傷箇所を特定し調査する。VR で一般的に利用される移動方法は現実の空間を実際に歩き回ることであるが、現在の VR 機器は、ケーブルの長さ、またはセンサーの有効範囲の制限により、図 4 に示すように移動範囲が室内の一部に限定される。建物の大きさを考慮すると、より広い範囲を移動できるようにする必要がある。したがって、我々は建物の損傷調査を行えるようにするため、建物のような広い範囲を移動できるような仕組みが必要であると考えた。本節では異なる 2 種類の移動方法を提案する。

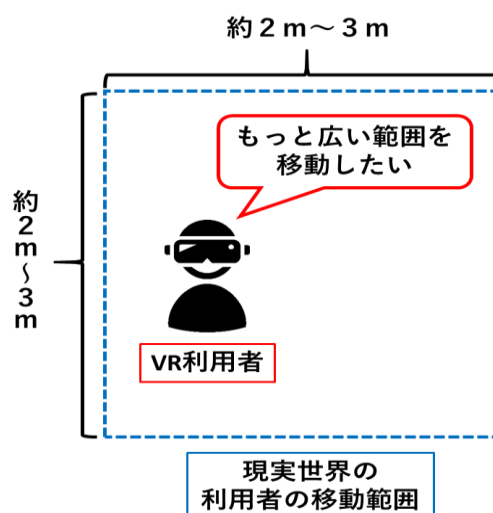


図 4 移動範囲の制限のイメージ

4.2.1 視線方向への移動

VR で損傷調査を行う上で、建物全体を詳細に調査する必要があるため、実際に歩いて移動するよりも広範囲を移

動できる機能が必要であると考えた。

(1) 水平方向の移動

そこで我々はまず、建物全体を移動できるようにするために、注視した方向に水平移動する方法を提案した。これにより、実際に歩くよりも、広い範囲を移動できるため、調査を効率化させることができると考えた。しかしながら、水平方向のみの移動では、高所に存在する損傷を調査することができない。

(2) 垂直方向の移動

ここで、通常人が移動する時、自身の視線の方向に向かって移動すると考えられる。VR 世界で上に移動したいと考えた場合、上を向いて移動しようとするはずである。これを利用し、水平方向の移動を一般化することで、垂直方向の視線の角度に応じて、一定以上の角度であれば上下に移動するといった方法を提案した。これにより、見ている方向に上下の移動をすることができるため、高所に存在する損傷を簡単に調査することができると考えた。

以上により、VR 世界において、利用者が見ているすべての方向へ自由に移動することができ、人の行動に基づいているため、直感的に移動操作を行えると考えられる。また、これらの実現には、HMD から利用者の視線の方向を取得し、コントローラーのボタンを用いて移動を実現した。

4.2.2 建物の裏側や高所に対する視点の移動

図 5 に示すように、VR 利用者に見えない建物の裏側や高所にある損傷箇所への移動を考えた場合、前項の移動方法のみでは、あらゆる箇所にある損傷に対して、効率が良いとは言えない。したがって、建物に対して損傷を網羅的かつ効率的に調査することを考慮すると、即座に移動できる方法が必要である。そこで、まず損傷を可視化することで利用者が損傷箇所を特定できるようにし、その後、特定した任意の損傷箇所へ移動する方法を考えた。

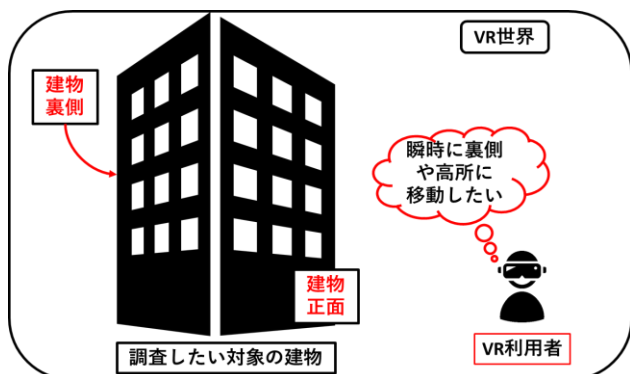


図 5 建物の裏側や高所に対する移動のイメージ

(1) 損傷箇所の可視化による損傷特定

効率的に損傷を観察するためには、まず損傷箇所を迅速に特定しなければならない。しかしながら、図 6 に示すように色のないそのままの三次元点群では、赤い丸で示している比較的大きな剥落などは多少確認できるものの、壁面

の歪みや傾き、微小な損傷を確認することが困難である。

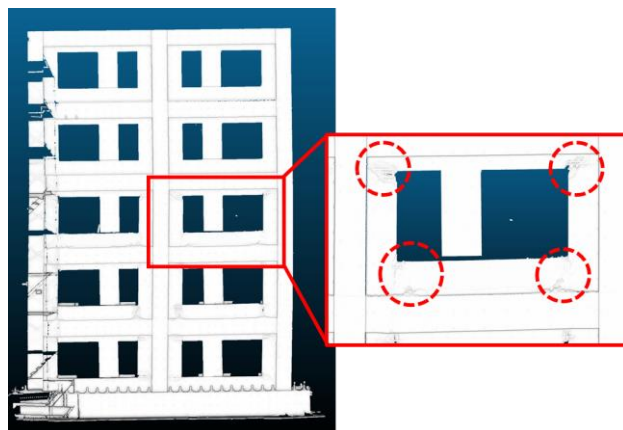


図 6 三次元点群における損傷の見え方

そこで、三次元点群の奥行方向の変位量に応じた色付けや、損傷箇所の点の粗さを利用した色付けをすることで、損傷箇所を可視化することを考えた。その例を図 7, 8 に示す。図 7 のように色付けをすることで建物全体の傾きや壁面のわずかな歪みを確認することができ、また、図 8 のように色付けをすることで図 7 よりも剥落した箇所を強調することができるため、これらを使い分けることで損傷箇所の迅速な特定につながると考えられる。したがって、図 7, 8 のような三次元点群の可視化結果を VR 世界で利用者が任意に切り替えることで、損傷を迅速に特定できると考えた。

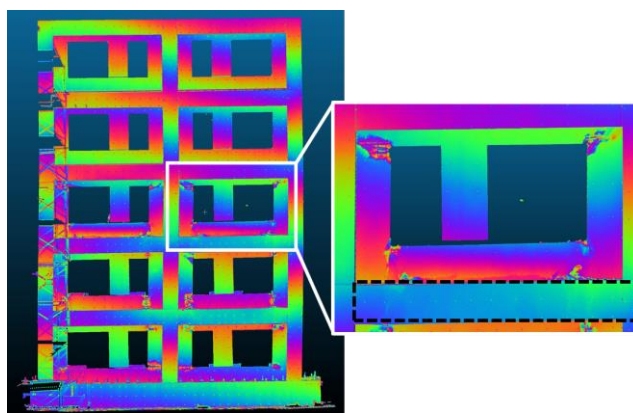


図 7 損傷の可視化結果の例 1

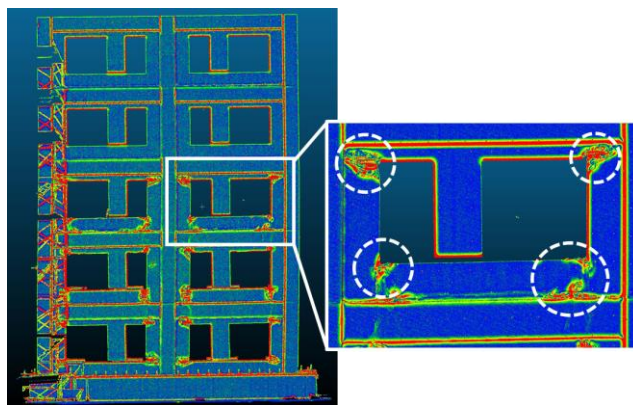


図 8 損傷の可視化結果の例 2

(2) 損傷箇所への移動

(1)で示した損傷箇所へより効率的に移動できるようにするために、図9に示すように損傷した建物自体を縮小してVR利用者の正面に表示することで、簡単に建物全体を見ることができるようにし、どこに損傷が存在するのかわかを示した。さらに、図10に示すように、あらかじめ損傷の存在する位置を強調して表示しておき、その位置を利用者が選択することで、図11に示すように、即座に選択した損傷箇所へ視点を移動して調査できるようにした。なお、図9、10ではわかりやすくするために損傷箇所のみを赤色にし、それ以外を白色で表現することで、損傷箇所を強調した。

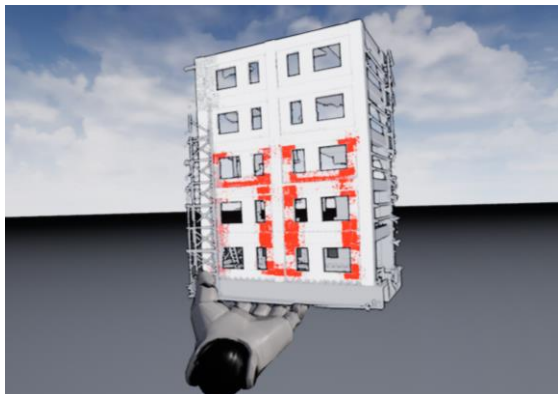


図9 建物の縮小表示

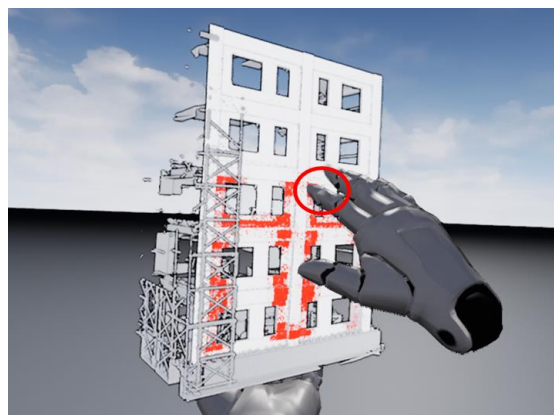


図10 損傷箇所の選択



図11 損傷箇所へ移動後

この方法により、移動操作をすることなく利用者の視点を動かすことで、その場から直接確認することができないような建物の裏側や高所にある損傷に対して、損傷箇所を迅速に特定し即座に損傷に触れて調査できると考えられる。

4.3 損傷の詳細調査の支援機能の提案

4.3.1 損傷の詳細な調査に対する要求

現実の損傷調査で、調査員が損傷を観察する時、対象に近づいて頭部を動かす、あるいは対象の周囲を移動しながら正面から観察する。しかしながら、高所等は足場を組むことや高所作業車等を用いて調査を行うため、不安定な足場で動くことは危険であり、また、自由に動くことは困難である。これらはVRを用いて解決できるが、以下の要求が挙げられる。

(1) 様々な損傷に対する詳細な観察

VRにおいても、目視で正面から観察するだけでは、損傷の形状や大きさ等を正確に確認することが困難である。このような損傷に対して、近づけたり、回転させたりすることで、より詳細に観察できる機能を考慮する必要がある。

(2) 損傷の断面の観察

点群を利用することでVR世界に建物を再現しているため、壁をすり抜けて様々な方向から移動しながら壁面の断面等を観察することで損傷を詳細に観察できる。しかしながら、壁面全体から観察したい損傷箇所のみに注目することは困難である。したがって、詳細に損傷を観察できるようにするために、損傷箇所のみに注目して断面を観察することでより詳細に観察できる仕組みが必要であると考えた。

(3) 損傷の比較

損傷調査では一つ一つの損傷に対して、調査を行い損傷の位置や大きさ等を記録する。この時、現実とVR世界の両方において、図12のように複数の損傷の形状や大きさ等を近づけて比較したいという要求がある。しかしながら、現実の損傷調査では、物理的に壁面にある損傷を動かして比較することが困難である。実際の調査で損傷を比較することを考えた場合、写真を利用することで、損傷の比較を行うことはできるが、三次元的に損傷の形状を把握できない。さらに、点群データにおいても既存の点群処理ソフトウェアを利用すると、損傷を三次元的に確認できるが、PCの操作に慣れていない人は、ソフトウェアの機能を上手く利用することができず、点群を利用して損傷を詳細に調査することが困難となる。したがって、建物の損傷を簡単に比較できるような仕組みを考慮に入れる必要がある。

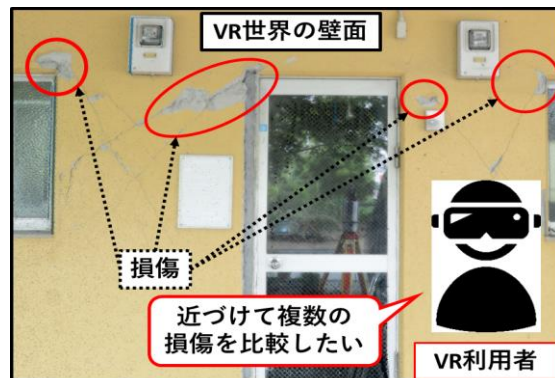


図12 損傷の比較イメージ

以上のことから、目視による損傷調査を、VR を用いて支援する際の要求をまとめる。

- 損傷のみに注目して様々な角度から観察したい
- 壁面の断面を見ることで損傷を詳細に観察したい
- 複数の損傷を比較して観察したい

これらの要求は PC 操作に不慣れな人でも現実に近い動きで直感的に操作を行えるようにする必要がある。したがって、目視調査を詳細に行うために、現実では困難な損傷箇所を様々な角度から調査することや、損傷の断面の観察、及び損傷の比較を行うための支援機能を次項で述べる。

4.3.2 壁面の一部切り出しによる損傷観察

前項の要求から、近づけたり、回転させたりすることでより詳細に損傷を調査できるようにするために、図 13 に示すように、手で損傷箇所の点群データを掴み、利用者が自由に回転させる方法を考えた。この方法により、現実では困難な損傷箇所のみを様々な角度から自由に見ることができ、より詳細に損傷を観察できる。



図 13 壁面の一部切り出し機能

さらに、図 14 に示すように、現実では不可能な損傷の断面を見ることができ、損傷の断面を見ることにより、どの程度の深さの損傷かを一目で確認することができる。

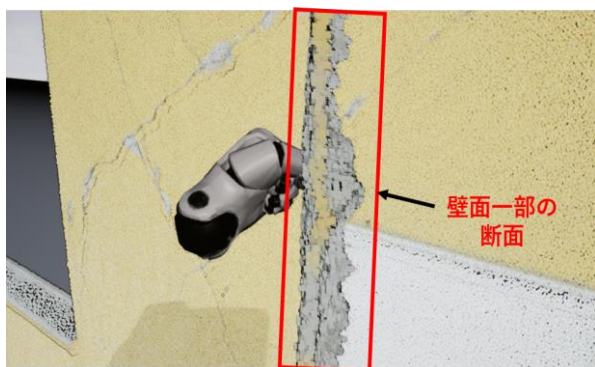


図 14 損傷の断面の確認

また、図 15 に示しているように、この機能を用いることで、片手で損傷箇所を掴み、もう一方の手で別の箇所の損傷を掴むことで、現実では困難な任意の損傷の比較が行える。本稿の VR システムでは、コントローラーのボタンを押すことで、手で掴む動きを再現している。そのため、VR システムの操作に不慣れな人でも、直感的に操作を行えると考えられる。

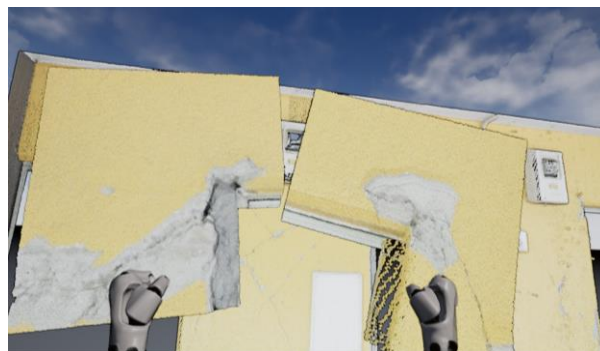


図 15 損傷の比較

4.4 VR 世界内外の共同調査支援機能の提案

4.4.1 VR におけるコミュニケーションに対する要求

通常、建物の損傷調査は複数人が共同で損傷の調査を行っているが、本稿で想定している建物の損傷調査 VR システムでは、VR 機器は 1 セットのみで、1 人の調査員が HMD を利用するため、他の調査員は VR 世界の状況を把握することができない。

(1) HMD の視点をディスプレイ等に表示

そこで、HMD の視点をディスプレイやプロジェクター等に表示することで、周りの調査員が VR 利用者の視点を通して損傷を観察することを考えた。しかしながら、ディスプレイ等を用いて VR 世界を見ている他の調査員が特定の箇所の損傷を VR 利用者と共同で調査する場合、図 16 のように VR を利用していない調査員の示す位置を VR 利用者が把握することは非常に困難である。

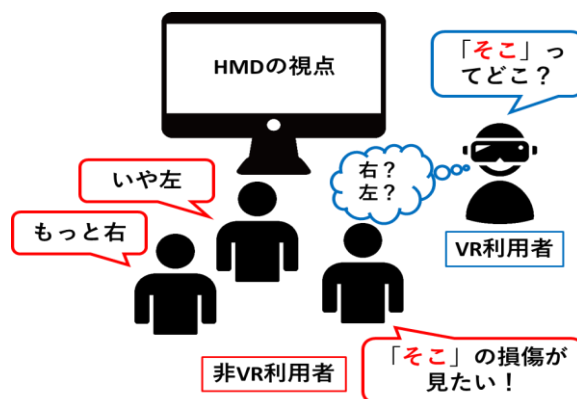


図 16 VR を利用した時の共同調査の状況

(2) VR 利用者の視線を利用した指示機能の実装

(1)の問題から、VR 利用者が注視している方向にレーザーポインタを発射することで周りの人に指示ができるようにすることを考えた。しかしながら、VR 利用者が頭部を動かすことで視点が絶えず移動するため、周りで見ている人は VR 利用者がどこの損傷を示しているか理解しづらい。

このように VR 利用を想定した場合、HMD を利用している人と HMD を利用していない調査員の両者が示す箇所をお互いに理解することが困難なため、VR 世界内外のコミュニケーションが困難であると考えられる。したがって、

損傷調査を VR で行う上で以下の要求が挙げられる。

- VR 利用者とは非 VR 利用者の両方が VR 世界の状況を把握し損傷を観察できる必要がある
- VR 利用者とは非 VR 利用者が相互に指示できる仕組みが必要である
- 非 VR 利用者も様々な角度から損傷を観察したい

これらの要求から、非 VR 利用者に対して操作可能な独立視点を用意し、相互に指示できる機能を考えた。

4.4.2 独立視点を利用した方法

前項の要求から、ディスプレイに HMD の視点を表示するのではなく、図 17 に示すように、HMD とは別のカメラを用意して独立した視点を表示する方法を考えた。この機能を利用することで、周りで見ている人は、HMD を利用している人の視点を確認しながら、VR 世界の状況を見ることができる。また、周りで見ている人が独立の視点で損傷を観察できるようにするために、マウスとキーボードで独立視点のカメラを移動できるようにした。これにより、VR 利用者の頭部の動きに関係なく、周りの人が VR 世界で移動しながら一つの損傷に対して VR 利用者と一緒に様々な角度から観察することができる。



図 17 独立視点のディスプレイ表示

しかしながら、この機能においても、非 VR 利用者は、VR 利用者に対して、VR 世界の特定の場所を指し示すことができない。さらに、図 18 のように独立視点自体を自由に移動できるようにしたことにより、VR 世界の中で独立視点のカメラと VR 利用者の距離が離れてしまう状況が発生するため、VR 利用者が周りの人に対して損傷箇所を示すことが困難になる。

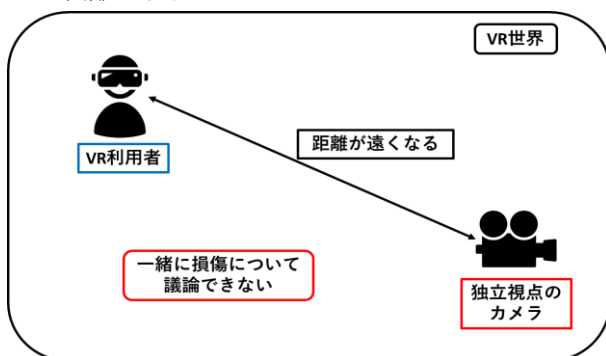


図 18 VR 利用者と独立視点のカメラが離れる場合

4.4.3 独立視点を利用した指示機能

(1) 非 VR 利用者から VR 利用者への指示

前項から、独立視点のカメラから、VR 利用者には伝えたい位置を示せるようにする必要がある。そこで、図 19 や図 20 に示すように、独立視点からレーザーポインタを発射することで、VR 世界に指示できるようにすることを考えた。これにより、VR 利用者に対して視覚的に伝えたい箇所を示すことができるため、理解しやすいと考えられる。本稿の VR システムでは、このレーザーポインタは調査の邪魔にならないようにするために、キーボード操作により、必要に応じてオン・オフの切り替えを行えるようにしている。



図 19 レーザーポインタによる指示機能
(周りの人の視界)



図 20 レーザーポインタによる指示機能
(HMD 視点の視界)

(2) VR 利用者から非 VR 利用者への指示

前項の図 18 のように、VR 利用者と独立視点のカメラの距離が離れている状況を考慮して、VR 利用者が独立視点のカメラを操作することで、独立視点のカメラを VR 利用者の HMD の位置に瞬時に移動できるようにした。さらに、VR 利用者が示したい損傷を伝えることができるようにするために、図 21 に示すように、独立視点のカメラを手で掴んで操作できるようにした。これにより、非 VR 利用者がキーボードとマウスを利用して、遠くにいる VR 利用者の位置に移動する操作をしなくても、即座に損傷について共同で調査することができ、VR 利用者が示したい損傷を非 VR 利用者へ伝えることができる。



図 21 独立視点のカメラによる指示機能
(HMD 視点の視界)

4.5 損傷の計測支援機能の検討

4.5.1 損傷の計測に対する要求

建物を再現した三次元点群と VR を利用することで、利用者は詳細に損傷を観察することができる。しかしながら、実際に損傷調査を行う時は、目視による観察を行うだけではなく、損傷を計測し、数値として損傷の大きさを記録する必要がある。具体的にはまず、剥落に対しては、剥落の面積を計測する必要がある。次に、ひび割れに対しては、ひび割れの幅や長さを計測する必要がある。最後に建物の傾斜に対しては、傾斜の角度を計測する必要がある。なお、建物が沈下していた場合はどの程度沈下していたかを数値として記録する必要がある。このような損傷を VR 利用者が計測できるようにする、もしくは利用者に損傷の計測結果を示せるようにする必要があると考えた。

したがって、損傷の計測を、VR を用いて支援する上で、以下の要求がある。

- 現実の調査方法と同等の精度で計測できる必要がある
- VR において、効率よく計測が行える必要がある
- VR において、損傷の計測結果を効果的に提示する必要がある

4.5.2 損傷の計測方法の提案

現在の損傷の計測方法を、三次元点群を利用してただ VR 世界で再現するだけでは、損傷の調査に手間がかかり、効率が悪いという問題を解決したとは言えない。

そこで、我々が開発した一定の成果を上げているコンクリート表面の剥落の面積や体積を求める手法や、建物の壁面や床面の傾斜を算出する手法といった損傷の分析手法を VR 世界で行えるようにすることで、損傷の計測を実現できると考えた。さらに、損傷の分析手法を用いて、損傷の位置や損傷の大きさ等の数値を記録しておき、VR 世界で確認できるようにすることで、効率的かつ網羅的に調査を行えると考えた。これらの実装を今後の課題とする。

5. まとめ

本稿では、建物の三次元点群を対象にして、VR を利用

した建物の損傷調査システムに関して検討した。

従来の損傷調査では、多くの人手や時間がかかり、高所等に足場を組んで調査することや二次災害の危険性のある建物に近づいて調査を行わなければならなかったが、本稿では、三次元点群や VR を利用することでそれらの問題を解決した。

さらに VR を利用することで、現場の調査員が直感的に調査を行えるようにし、現実では不可能な方法でより効率的かつ詳細に調査を行う支援機能を提案した。まず、異なる 2 種類の移動方法を提案し調査効率を上げた。さらに、損傷を詳細に調査するために、壁面の一部を取り出す機能を提案し損傷断面の観察や損傷比較を可能にした。また、VR 利用者と周囲が共同調査する状況を考慮し、移動や指示が可能な独立視点を利用することで互いが示す損傷を理解させることができた。

今後の展望として、現在は目視による調査支援として、VR 世界における効率的な移動方法や、損傷を掴むことで自由に観察する機能に着目したが、今後は実際の調査同様、損傷の計測を行うことや、損傷の位置、大きさ等の情報を提示する方法について検討したい。また、本稿の建物の損傷調査 VR システムでは、VR 機器は 1 セットのみで、1 人の調査員が VR を利用して、他の調査員はディスプレイやプロジェクター等を通して損傷調査を行うようにしたが、今後は、ネットワーク環境を整えて、VR を利用して複数人で損傷調査を行えるように、どこでも誰とでも繋がるシステム環境の開発を行っていきたい。

謝辞

本研究は、建築研究所との共同研究「3 次元点群データを用いた地震後の損傷評価手法の構築に関する基礎的検討」に基づき実施した。なおここで使用したデータは建築研究所指定研究課題「既存建築物の地震後継続使用のための耐震性評価技術の開発」により得られたものである。関係各位に謝意を表します。

参考文献

- [1] 株式会社 第一検査工業, “躯体のひび割れ,” <https://www.d-k-k.co.jp/k4>. 最終アクセス日 2020/02/24.
- [2] 国土交通省 国土技術政策総合研究所, 国立研究開発法人 建築研究所 “平成 28 年熊本地震建築物被害調査報告 (速報),” 2016.
- [3] 平河, 曾, 荒木, 碓崎, 向井, 石井, “大地震により損傷した鉄筋コンクリート造建築物の三次元点群データによる壁面損傷性状評価手法に関する研究,” 第 26 回 GISA 学術研究発表大会, pp.B-5-3, 2017.
- [4] 三島, 碓崎, 荒木, 向井, 三次元点群を用いたコンクリートの表面性状分析手法による被災した建物の損傷分析,” 2019 年度電気・情報関係学会九州支部連合大会, p196-197, 06-1P-04, 2019.
- [5] 日本バーチャルリアリティ学会, “バーチャルリアリティとは,” <https://vrsj.org/about/virtualreality/>. 最終アクセス日 2020/02/24.