

現存する建物内外の損傷度判定訓練のためのAR技術の開発¹

Development of AR Technology for Training of Damage Level Judgment inside and outside an Existing Building

川野常夫² 摂南大学工学部 機械工学科
池内淳子 摂南大学工学部 建築学科
三宅達也 一般社団法人 近畿建設協会

KAWANO, Tsuneo Department of Mechanical Engineering,
Faculty of Science and Engineering, Setsunan University
IKEUCHI, Junko Department of Architecture,
Faculty of Science and Engineering, Setsunan University
MIYAKE, Tatsuya Kinki Construction Association

Abstract

The purpose of this study is to develop an AR technology for training of damage level judgment inside and outside an existing building assuming a disaster. AR is an abbreviation of "Augmented Reality". It is the integration of digital information with the existing environment. In this paper we describe original methods to display the earthquake damage images superimposed upon the existing pillar, wall, and others on a tablet PC. In order to verify the effect of the developed AR images, some of them and the corresponding paper photographs are evaluated by 24 male students. As a result, it is found that the developed AR damage images are better than the damage photographs from the viewpoint of realistic sensation and grasp of a scale of the suffering.

キーワード: AR技術, 震災画像, 現存建築, 損傷度判定

Keywords : AR technology, earthquake damage images, existing building, damage level judgment

1. はじめに

大地震が発生した場合, 被災構造物の被災度の診断には発災後の時期や目的の違いによ

¹【原稿受付】2019年9月27日, 【掲載決定】2019年12月25日

²【主著者連絡先】川野 常夫 摂南大学, 特任教授 e-mail: kawano@mec.setsunan.ac.jp
〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町17-8, 摂南大学工学部 機械工学科

って、①被災建築物応急危険度判定、②被災度区分判定、③建物被害認定調査がある。

①の被災建築物応急危険度判定（以後、応急危険度判定と表記）は、発災直後の時期に余震等による 2 次災害の防止を目的として、資格をもった応急危険度判定士が被害状況から危険の程度を判定することによって被災建築物への立ち入りを禁止するなどの対応措置を講ずるものである⁽¹⁾。

②の被災度区分判定は、やや混乱の落ち着いた時期に、建築構造技術者がその建築物の内部に立ち入り、当該建築物の沈下、傾斜および構造躯体などの損傷状況を調査することにより、その被災の程度を軽微、小破、中破、大破などと区分するとともに、継続使用のための復旧の要否を判定するものである⁽²⁾。

③の建物被害認定調査は、被災者が提出した「罹災届」に基づいて「罹災証明」として認定するために、その市町村の職員が建物の資産価値的な視点から調査を行うもので、一部損壊、半壊、全壊といった判定を行う。これは応急危険度判定と同時期に行われる⁽³⁾。

これらの判定は外観の目視によっていくつかの観点から行われるが、判断基準のひとつに損傷度がある。損傷度は例えば鉄筋コンクリート構造では、柱や耐力壁のひびや、コンクリートの剥落、鉄筋の露出、変形などの程度によって区分されている。これらを正確に判別するには専門的な知識と熟練が必要となる。

建物被害認定調査については、建物の専門的知識を持たない一般の自治体職員が研修を受けて行っているのが実情⁽³⁾であり、住民が判定結果に不満を持ったり再調査依頼が殺到したりする問題があった⁽⁴⁾。このような問題に対して非専門家による建物被災度判定訓練の方法⁽⁵⁾やスマートフォンによる建物被害認定調査学習アプリ⁽⁶⁾などが開発され、被害認定調査の迅速性と公正性を支援しようとする動きがある。しかしながらこれらは被災写真や CG に基づいており、媒体サイズの制限から被害の全貌が把握できない、現実空間との関係性が読み取りにくいといった問題が残されている。

本研究では、現実空間と仮想空間を重ね合わせる AR（Augmented Reality、拡張現実）の技術を用いて、現存の建物に仮想の損傷イメージを重ねて眺めることによって、被害の大きさを把握しやすくし、損傷度の判定訓練のために有効に活用できるような基本技術を開発する。特に仮想イメージのサイズを自在に調整することができ、現実空間のサイズに正確に合わせて、損傷の大きさを設計したりすることのできる新しい方法を提案する。

2. AR による損傷イメージの表示方法

2.1 AR 技術⁽⁷⁾

近年コンピュータビジョンの技術が発展し、仮想現実(VR)、複合現実(MR)、拡張現実(AR)などの人工ビジョンが広く浸透してきている⁽⁸⁾。

本研究では、建物という現実空間に仮想の損傷イメージを重ねる拡張現実(AR)の技術を取り上げる。AR は現実の建物が見えるため損傷の大きさがわかりやすく、震災による現実の損傷とは違って、仮想の損傷イメージは無数のパターンを用意できることから、損傷度判定訓練にとって有利であることが期待される。

AR の基本原理を図 1 に示す。この原理図は AR マーカーを用いる場合を示している。AR マーカーとは、特徴点を多く含む画像や図形のことで、通常は紙に印刷される。通常、異なる画像パターンや図形パターンの AR マーカーを複数用意して使用する。各マーカーには予

め仮想画像を紐づけしておき、コンピュータがカメラを通して現実空間に貼りつけられた AR マーカーを認識すると、そのマーカーに紐づけされた仮想画像がディスプレイ上に浮かび上がる。このとき AR マーカーに定義された座標系と仮想画像の座標系が一致するように合成される。

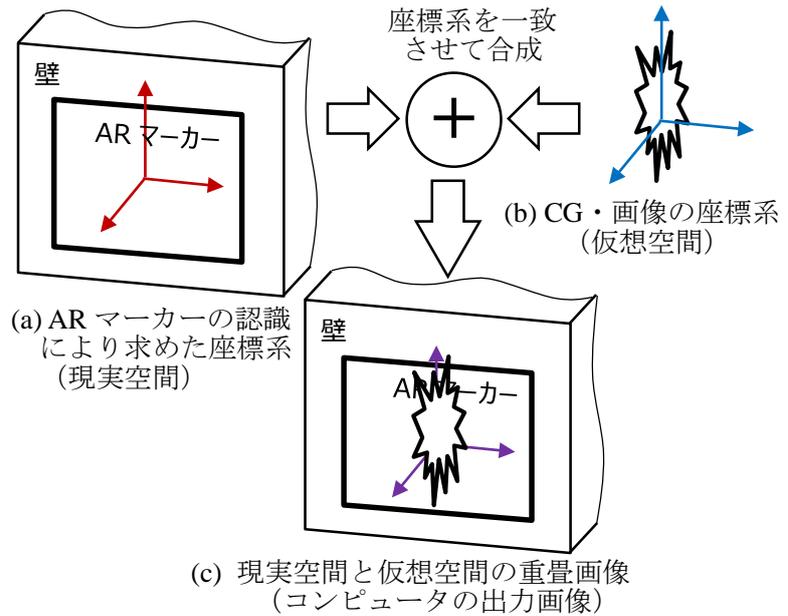


図1 AR の基本原理⁽⁸⁾

2.2 開発環境

本研究におけるアプリケーションソフトウェアは、ゲーム開発用エンジンである

Unity (Unity Technologies 社)と、それに組み込んだ AR コンテンツ作成用のライブラリである Vuforia (PTC 社)を用いて Windows PC 上で C#言語を使用して開発を行った。

2.3 AR マーカーと損傷イメージ

Vuforia では任意の画像を AR マーカー (イメージターゲット) に設定することができる。本研究で独自に作成した白煙模様の AR マーカー (サイズ 15×15cm) の 1 例を図 2 に示す。図のような白線の交差点や濃淡の変化など画像の特徴点を検出することによって AR マーカーとしての役目を果たす。マーカーを白煙模様とすることで、特徴点が飛躍的に増え、マーカーの認識率が上昇するという優位性がある。この画像マーカーはカメラとの距離が約 1m に近づいて認識し、最長約 5m まで離れても認識が継続される。



図2 AR マーカーの 1 例 (15×15cm)

本研究では、図 2 のような AR マーカーの画像パターンを変えて数種類を用意した。各 AR マーカーと壁のひびや剥落、鉄筋の露出など種々の損傷イメージとを 1 対 1 に対応させる。

図 3 に損傷イメージの 1 例を示す。図は実際の被災建築を撮影したものを画像データとした。

図 4 に壁のひび割れ (亀裂) のイメージ例を示す。ひび割れについては、ビジュアルデザインのためのプログラミング言語である Processing を用いて描画したものを画像データとした。



図3 損傷イメージの 1 例

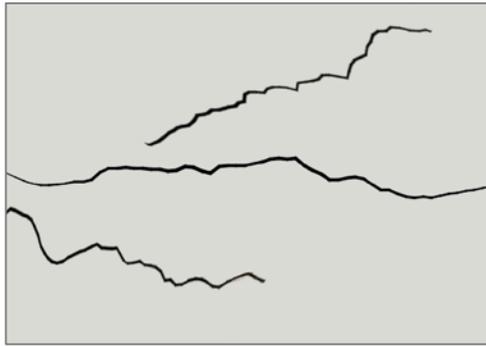


図4 ひび割れ(亀裂)のイメージ例



図5 タブレット PC に表示された
仮想の損傷イメージの例
(実際の壁と仮想イメージが重畳)

本研究ではタブレット PC (ASUS ZenPad10, 10.1inch) を用いて, そのディスプレイ上で現実空間と仮想空間を重ね合わせる. まずタブレット PC の内蔵カメラによって現実空間,

すなわち建物の外壁や内部の柱などがディスプレイ上に映り, 次に内蔵カメラが AR マーカーを捉えると, そのマーカーに対応した損傷イメージが現実空間に重なって映し出される.

図5にタブレット PC に表示された損傷イメージの例を示す. これは実際の壁に貼り付けられた AR マーカーを内蔵カメラが認識し, そのマーカーに対応する損傷イメージが壁に重なって表示されている例である. このように現実の建物に仮想のイメージが重なり, あたかも実際の損傷が発生したかのように見える. タブレット PC を保持している人は実際の建物の中, または外に立っていて, 肉眼では壁全体や建物の構造が見えているため, 損傷の大きさがどの程度であるかがわかる. また, タブレット PC を壁から遠ざけていくと, ディスプレイを通して壁全体や建物の構造を見ることができる.

2.4 仮想イメージサイズの調整方法

1つの AR マーカーには, 1つのイメージしか対応させられないため, 例えば現実の柱に対して損傷イメージが小さすぎたり, 逆に柱からはみ出たりする問題がある. そこで現実空間のいろいろなサイズにあわせるためには, いろいろなサイズのイメージとそれに対応する AR マーカーを何組も用意する必要があり手間が大きい. たとえ何組ものイメージと AR マーカーを作成したとしても, 現実と仮想イメージが微妙にずれることがよく起こる.

そこで本研究では, イメージ用の AR マーカーのほかに, イメージのスケールを変更するための AR マーカーを用意し, 2枚の AR マーカーで1つの損傷イメージを表現することとした. 図6にイメージ用マーカーとスケール用マーカーの例を示す. 図のようにスケール用マーカーを回転させて貼り付け, その回転角に応じてイ

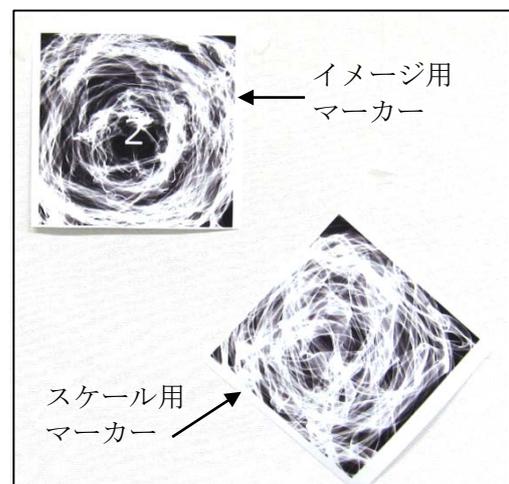


図6 イメージ用マーカーと
スケール用マーカーの例

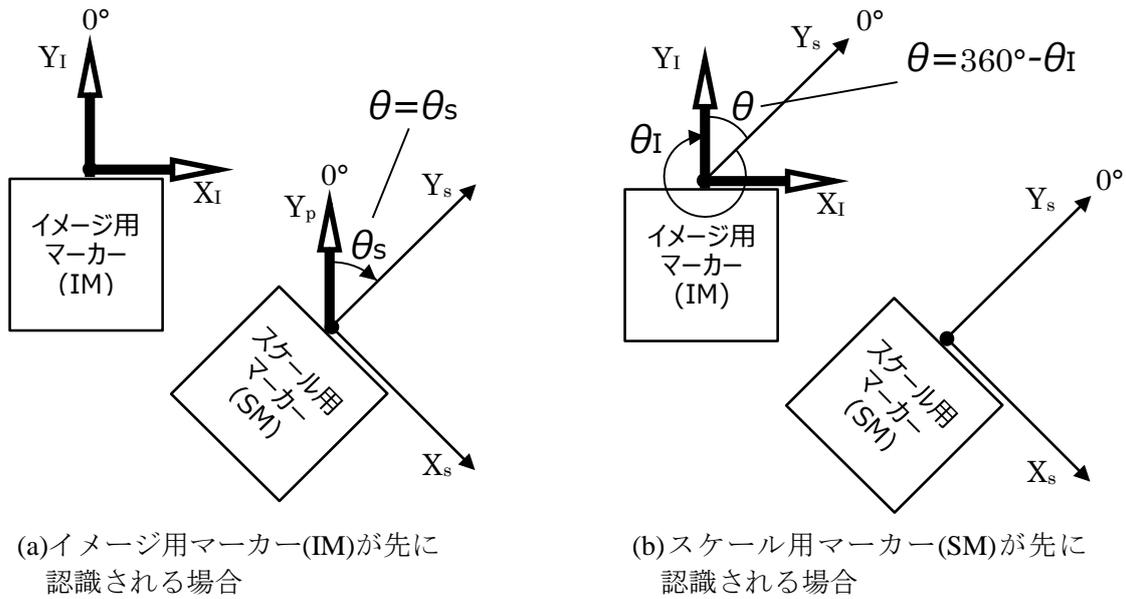


図7 スケール用マーカー(SM)の回転角 θ の求め方

メージの大きさを決定する。すなわち回転角が小さいときは小さいサイズのイメージを、大きいときは大きいサイズのイメージを表示するようにした。こうすることによって、スケール用マーカーの回転角を変更することによって、実際の壁や柱の大きさに応じて損傷イメージの大きさを決定することができる。あるいは、被災の規模に応じた大きさに設定することができる。

図7にスケール用マーカー(SM)の回転角 θ の求め方を示す。AR マーカーが近くに2つ存在すると、カメラを向けるタイミングによっていずれか一方のAR マーカーが先に認識されて座標系が決まるようになっている。図(a)はイメージ用マーカー(IM)が先に認識される場合を示しており、IM の座標系によって SM の回転角 θ_s が決まる。このとき SM の回転角 θ は θ_s となる。一方、図(b)はスケール用マーカーが先に認識される場合を示しており、SM の座標系によって IM の回転角 θ_I が決まる。このとき SM の回転角 θ は、

$$\theta = 360^\circ - \theta_I \tag{1}$$

となる。SM の回転角 θ に対して仮想イメージのサイズ S を、

$$S = S_0 \times (1 + k \theta) \tag{2}$$

で求める。ここで、 S_0 は初期設定サイズ、 k は定数である。すなわち、回転角 θ が大きくなるとイメージのサイズ S は大きくなる。

図8にスケール用マーカーの回転角に応じて仮想イメージのサイズが変化する例を示す。図からスケール用マーカーの回転によって、仮想イメージサイズが変化していることがわかる。この方式によって仮想イメージサイズの微調整も可能であり、現実の建物の大きさ



図8 仮想イメージサイズの調整例

に仮想の損傷イメージのサイズを合わせることができる。

3. AR と写真の損傷イメージの比較評価

本研究で開発した AR による損傷イメージの効果を検討するため、紙に印刷した写真との比較評価を行った。評価者は 24 人（男性、 22.5 ± 2.3 歳）とした。図 9 に比較対象とした写真 4 枚を示す。この 4 枚に対応する AR イメージを用意し、それぞれ写真と AR の比較を行って、次の 3 つの質問に回答してもらった。

- (1)写真と AR ではどちらの方が損傷のサイズ感が分かり易いですか？
- (2)写真と AR とではどちらの方が被害を身近に感じますか（臨場感）？
- (3)写真と AR とではどちらが損傷度判定の訓練に適していると感じますか？

質問に対する回答は、図 10 に示す回答スケールを用いて、写真と AR それぞれ 2 点満点とした。「損傷度」の定義⁹⁾については鉄筋コンクリート造の損傷度の区分を、予め評価者に図を用いて説明を行った。



(a)損傷イメージ 1

(b)損傷イメージ 2

(c)損傷イメージ 3

(d)損傷イメージ 4

図 9 AR と写真の比較評価に用いた写真

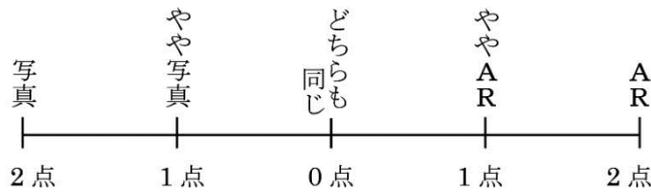


図10 ARと写真の比較における回答スケール

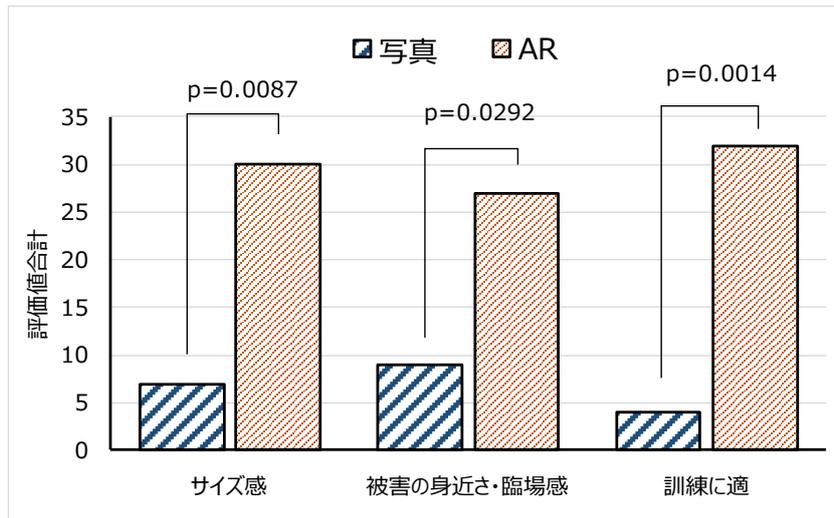


図11 ARと写真の評価結果

図11にARと写真の評価結果を示す。図は評価者がARと写真について回答したそれぞれの得点を合計して示している。横軸の「サイズ感」は大きさの感覚がわかるかどうかを、「被害の身近さ・臨場感」は被害が目の前で起こっている感覚やその場にいる感覚を、「訓練に適」は、損傷度判定の訓練に適していると思われることを意味しており、いずれの感覚においても、ARの方に大きな評価値が与えられた。写真とARの2群間においてWilcoxon符号順位検定を行った結果、いずれの感覚においても写真とARの間に有意差が認められた（それぞれ、 $p=0.0087$ 、 $p=0.0292$ 、 $p=0.0014$ ）。以上の結果からARによる損傷イメージは写真に比べて、大きさの感覚がわかりやすく、被害を身近に感じる感覚や、その場にいる感覚があり、損傷度判定の訓練に適していると結論づけられる。

4. おわりに

本研究では、大地震が発生した場合を想定して、被災建造物の損傷度の判定訓練に有効に活用できるものとして、現存の建物に仮想の損傷イメージを重ねて眺めるARの基本技術を開発した。その主な成果は以下のとおりである。

- (1)白煙模様の画像マーカーを独自に作成しARマーカーとして活用した。カメラによる認識範囲は約1~5mで、現存する建物の損傷度判定訓練にとってふさわしい条件であった。
- (2)損傷イメージとして、被災建築の写真画像データにしたもの、デザインソフトにより作成して画像データにしたものを用いた。いずれも実物と遜色のない画質が得られた。

- (3) 損傷イメージのサイズが実際の建物のサイズにちょうど合うようにするため、イメージ用の AR マーカーのほかに、イメージのスケールを変更するためのスケール用マーカーを用意し、2 枚 1 組で損傷イメージを表現する方法を開発した。この方法ではサイズはスケール用マーカーを回転することで変更できる。これによって損傷イメージのサイズの微調整が可能となり、損傷度判定の訓練会場のセッティングが極めて容易となった。
- (4) 従来の訓練で用いられていた写真による損傷イメージと本研究で開発した AR による損傷イメージの比較評価を行った結果、AR による損傷イメージは写真に比べて、大きさの感覚がわかりやすく、被害を身近に感じる感覚や、その場にいる感覚があり、損傷度判定の訓練に適しているということがわかった。

なお、現実の被災建築では、損傷個所が複数に及んだり、また複数の損傷が複雑に組み合わさったりすることがある。このようなケースについては損傷パターンの AR マーカーを多数作成することによって再現可能であり、訓練をさらに現実的なものに近づけることが可能である。

謝辞

本研究は以下の助成を受けて実施した。

SIP 戦略的イノベーション創造プログラム (2014-2019) 「レジリエントな防災・減災機能の強化」
(プログラムディレクター：堀宗朗)，課題④「ICT を活用した情報共有システム及び災害対応機関における利活用技術の研究開発」(研究責任者：臼田裕一郎)

参考文献

- (1) 一般社団法人 日本建築防災協会，「第 1 編 被災建築物応急危険度判定 要綱，2019 年 5 月 31 日改正」，<http://www.kenchiku-bosai.or.jp/nwcon017/wp-content/uploads/2018/07/100youkou.pdf>，(2019 年 8 月 24 日閲覧)。
- (2) 野村昌弘，「東日本大震災による RC 建築物の被災度区分判定調査」，京都大学工学研究科技術部報告集，12(2015)，pp.52-55。
- (3) 堀江啓，重川希志依，牧紀男，田中聡，林春男，「新潟県中越地震における被害認定調査・訓練システムの実践的検証」，地域安全学会論文集，7(2005)，pp.123-132。
- (4) 重川希志依，田中聡，堀江啓，林春男，「新潟県中越地震における建物被害認定調査の現状と課題」，地域安全学会論文集，7(2005)，pp.133-140。
- (5) 堀江啓，重川希志依，牧紀男，田中聡，林春男，「非専門家に対する建物被災度判定訓練の効果検証」，地域安全学会論文集，6(2004)，pp.373-382。
- (6) 藤生慎，大原美保，中山晶一郎，高山純一，「3 次元建物モデルを用いた建物被害認定調査学習アプリの開発」，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，71-4(2015)，pp.I_865-I_872。
- (7) 加藤博一，「特集 拡張現実 (AR)」，情報処理，51-4(2010)，pp.366-434。
- (8) 株式会社マイナビ，「コンピュータビジョンのセカイ - 今そこにあるミライ，第 6 回拡張現実感「AR」(2)-」，https://news.mynavi.jp/article/computer_vision-6/ (2019 年 9 月 1 日閲覧)。
- (9) 東洋構造コンサルタント，「RC 造の損傷度分類の基準」，<http://www.toyokozo.com/rc.pdf> (2019 年 1 月 15 日閲覧)。