

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

藤生 慎¹・大原 美保²・中山晶一朗³・高山純一⁴

¹正会員 金沢大学 理工研究域 環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: fujju@se.kanazawa-u.ac.jp

²正会員 独立行政法人 土木研究所 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

E-mail: oohara@icharm.org

³正会員 金沢大学 理工研究域 環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: nakayama@staff.kanazawa-u.ac.jp

⁴正会員 金沢大学 理工研究域 環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: takayama@staff.kanazawa-u.ac.jp

大規模地震災害時に発生しうる莫大な数の建物被害認定調査を効率的かつ迅速に実施するための遠隔建物被害認定システムのうちスマートフォンを用いた建物被害認定の学習アプリを作成した。アプリの作成にあたり、いくつかの被災住宅を3Dモデル化し、地震動による被害を自動で生成できる建物被害生成システムを開発した。建物被害生成システムの結果をムービーとして出力し、iphoneやipadなどのモバイル端末で建物被害認定調査の学習ができるアプリを開発した。

Key Words : *building damage assessment, large-scale earthquake disaster, smart phone application*

1. はじめに

我が国では、近い将来、首都直下地震、東海地震、東南海地震、南海地震など大規模な地震の発生が想定されており、莫大な数の建物被害の発生が予想される。地震発生後には、建物被害認定調査に基づいて罹災証明書が発行され、各種の生活再建が行われる。建物被害認定調査で採用されてきた従来手法には内閣府による方法¹⁾、DATS²⁾、自己診断³⁾などがあり、DATSや自己診断は、2007年に発生した能登半島地震、新潟県中越沖地震の際に、輪島市と柏崎市で実践されている。しかし、大規模地震後は調査が必要となる建物数が莫大であるため、これらの現場での悉皆調査には限界がある。迅速かつ効率的に建物被害認定調査を行い被災者の生活再建を実現するためには、新たな解決策の提案が必要である。

そこで筆者らは、過去の建物被害認定に関して指摘されている問題点を解決し、迅速性、効率性、正確性、客観性、公平性を担保した建物被害認定を行うために、遠隔地にいる専門家を有効活用する遠隔建物被害認定システムを提案・開発している⁴⁾。このシステムは、現場から建物被害認定に必要な適切な写真を瞬時にアップロードできるシステム、遠隔地から写真により被害認定を行うシステム、建物被害認定の方法を学習することができ

るe-learningシステム、さらに被災地とのインタラクティブな関係の中で被害認定精度を高めるWeb・GISクラウドサーバーシステムの4つで構成される。

筆者らは、システムのプロトタイプを開発するとともに、東北地方太平洋沖地震後の被災地で携帯電話の通信速度を計測し、遠隔建物被害認定システムへの写真のアップロードの可能性の評価も行った。しかし、遠隔の判定員が写真と現場から提供される情報をもとにして正確に判定を実施できるか否かについては検証がなされていなかった。実際の建物被害写真により遠隔地から判定を行える状況を構築し、提案・開発したシステムが十分な判定精度を担保することが可能であるかを検証する必要がある。そこで、本研究では、提案・開発した遠隔建物被害認定システムのうち、スマートフォンを活用した建物被害認定調査学習システムの開発を行った。

2. 遠隔建物被害認定システムの概要

(1) 建物被害認定調査

建物被害認定作業の調査方法・判定方法は、内閣府により建物被害認定作業の実施指針(「災害に係る住家の被害認定基準運用指針」¹⁾、以下、運用指針)が示され

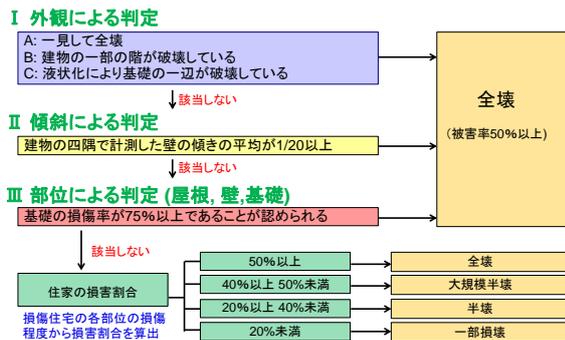


図-1 地震災害時の1次判定の判定フロー¹⁾

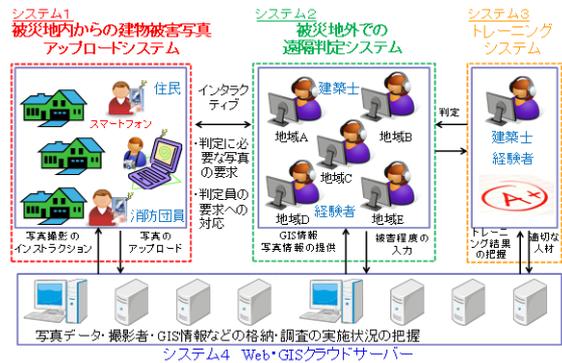


図-2 遠隔建物被害認定システムのコンセプト⁴⁾

ている。運用指針は2001年に初めて作成され、その後、2009年に改訂され、運用されている。図-1に、地震災害時の1次調査の判定フローを示す。罹災程度の種類は、4種類あり、「全壊」・「大規模半壊」・「半壊」・「一部損壊」であり、不服があった場合には、住民が調査結果に合意するまで再調査を実施し、いずれかの調査結果が確定することになる。調査は、外観・傾斜のうちいずれかが、基準値以上であれば、「全壊」と判断され、いずれにも該当しない場合には、各部位の損傷の程度などから損害割合を算出し、罹災程度が決定される仕組みである。各部位の被害程度も屋根・壁・基礎の住家を構成する3つの主要要素に対して細かく基準が設けられている。

(2) 遠隔建物被害認定システムのコンセプト

筆者らは、ITを用いて被災地内と被災地外とを有機的に結合し、迅速性・効率性・正確性・客観性・公平性を担保した建物被害認定を実施することができる「遠隔建物被害認定システム」を提案・開発してきた⁴⁾(図-2)。ここで、迅速性とは、災害の発生から長期間経過することなく判定が完了できることを示す。効率性とは、莫大な数の調査員を被災地内に投入することなく調査が可能であることを示す。正確性とは、被災程度が内閣府の判定指針通りに判定されていることを示す。客観性とは、調査員のスキルに依存することなく調査が実施可能であることを示す。公平性とは、被災自治体間で調査方法や調査結果に違いが生じないことを示す。本システムは「被災地内から建物被害写真をアップロードするシステム(システム1)」、「被災地外での遠隔判定システム(システム2)」、「建物被害認定トレーニングシステム(システム3)」、「Web・GISクラウドサーバー(システム4)」という4つのシステムから構成される。

システム1: 被災地内から建物被害写真をアップロードするシステムは、消防団員や被災住宅の住民などの被災地内の人材が、スマートフォンを用いて被災住宅の写真を専用サーバーにアップロードするシステムである。

アップロードされた被災住宅の写真データには、住所情報(GPS情報を含む)、写真撮影時刻、撮影者などの情報が付与され、GISデータベースとリンクされた形で格納される。

システム2: 被災地外での遠隔判定システムは、被災地外の建築士や建物被害認定の経験者などの応援職員が写真を見ながら被災住宅の被災程度を判定できるWebシステムである。本システムは、Web環境が整っていれば、場所を問わず判定が可能であり、被災地から写真がアップロードされていれば、悪天候時や夜間でも判定ができるなどのメリットがある。また、ダブルチェック、トリプルチェックができる仕組みも備えている。

システム3: 建物被害認定トレーニングシステムは、発災前や発災後に建築士や建物被害認定調査に従事する可能性のある自治体職員を対象として建物被害認定のトレーニングするシステムである。このシステムは、Web環境が整っていれば、場所を問わず建物被害認定のトレーニングが可能である点が従来のトレーニング方法と異なる。

システム4: Web・GISクラウドサーバーは、クラウド環境に構築されたサーバーである。本サーバーは、GISデータベース、課税台帳・住民基本台帳システムとの連結、被災住宅の写真、判定員情報、判定結果の提供、罹災証明書の発行支援など、遠隔建物被害認定システムを一括管理する機能を有する。つまり、システム1、システム2、システム3のデータはすべてWeb・GISクラウドサーバーで管理される。

3. 建物被害生成システムの開発

(1) 3Dモデルの必要性と開発の方向性

これまで、建物被害認定調査に従事する人材育成に用いられてきたトレーニング教材は現在、内閣府が発行している「災害に係る住家の被害認定基準運用指針 参考資料」³⁾、「災害に係る住家の被害認定基準運用指針 参



a)新潟県中越沖地震で被害を受けた住宅

→
3Dモデル化



b)東北地方太平洋沖地震で被害を受けた住宅

→
3Dモデル化



図1 地震で被害を受けた住宅の3Dモデル化

考資料（損傷程度の例示）」³⁾、「建物被害認定トレーニング 木造建物の外観目視調査（DVD）」⁴⁾などに加え、大学教員や建築士による講習会がある。しかしこれらは、被害の例示の確認やDVDによる調査方法の視聴に留まっており、調査員自らが判定を行い、その正誤を確認する仕組みではない。そのため、建物被害認定調査について理解を深めるためには有効であるが、被災地内で活躍する人材を育成するという観点では不足していると考えられる。さらに、トレーニングを行う機会が少ないことや地震により被害を受けた建物写真を用いたトレーニングを行うことも可能であるが、写真枚数や肖像権等の制約が生じるため、地震によって生じた実際の被害を確認しながらリアルなトレーニングを行うことは難しい。まず被災地内で実際に調査を行っている状況を誰もが容易に体験できる環境を整えることができれば、建物被害認定調査に関わる人材の育成を行える可能性がある。前述した通り従来、建物被害認定作業のトレーニングは、紙媒体を中心として行われてきた¹⁾。しかし、IT技術が発展した昨今、紙媒体に頼らないトレーニングシステムの構築が可能である。これらを実現する手法の1つとして、e-learningシステムにVR（Virtual Reality）の技術を活用する方法がある⁵⁾。そこで本研究では、Web上で調査員自らが建物被害認定調査を仮想的に経験できるシステムの開発を目指して、まずは地震により被害を受けた

建物の3Dモデル化、地震により建物に生じる被害の表現方法の検討を行った。更に、これらの表現方法に基づき、自動的に多様な被害パターンの建物モデルを生成可能なシステムの開発を行った。これにより、既存の災害の建物被害写真の制約やトレーニングを行う被害パターンの制約にとらわれずに、無限に多様な被害パターンを有した建物被害に関して事前のトレーニングが可能になり、より効率的な建物被害認定調査のトレーニングにつながると思われる。

(2) 地震被害を受けた建物の3Dモデル化

①被災住宅の3Dモデル

まずは、実際の地震被害を受けた建物の外観写真・間取り等に基づき、これらの3Dモデル化に着手した。ここでは、新潟県中越沖地震と東北地方太平洋沖地震においてそれぞれ全壊と半壊の被害を受けた被害建物の3Dモデル化を行った。図1a)に新潟県中越沖地震で全壊被害を受けた建物の写真と3Dモデル化した住宅を示す。図1b)に東北地方太平洋沖地震で半壊被害を受けた建物の写真と3Dモデル化した建物を示す。建物の3次元空間上への表現には、「VectorWorks2012」を用いた。本ソフトウェアのウォークスルー機能を使えば、被災住宅の周囲を仮想的に歩きながら、屋根、壁、基礎に生じた被害の詳細を確認することが可能である。



図2 実際の屋根被害（瓦のズレ）

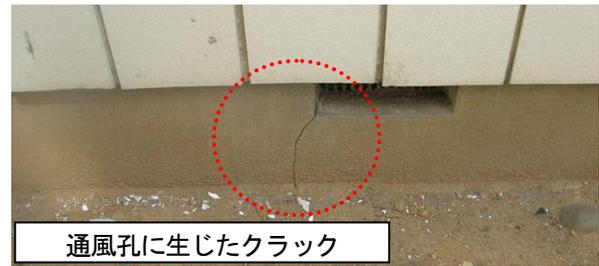


図4 実際の基礎被害（クラック）

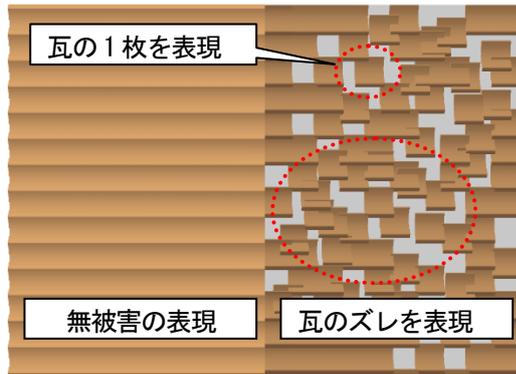


図3 屋根の被害の表現

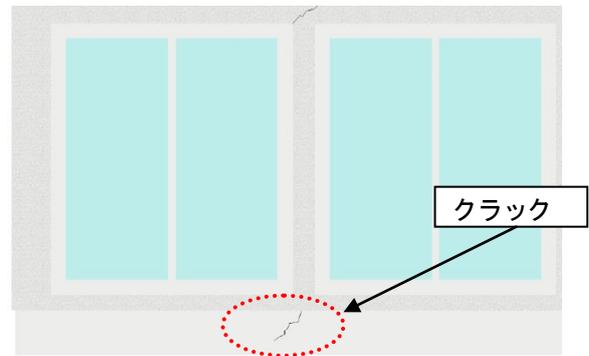


図5 実際の基礎被害（クラック）



a) 仕上げ材の剥落



b) 外壁に生じたクラック



c) 外壁のクラックと剥落の表現

図6 外壁に生じる被害と3D住宅モデルでの再現

②建物被害の表現方法の工夫

地震により被災した住宅には屋根瓦のズレや剥落、壁の剥落・クラック、基礎のクラックなど被害が生じる。3Dモデル上に被災住宅に生じうる被害を表現する検討を行った。地震災害時に屋根に生じうる被害は屋根瓦のズレや落下である（図2）。屋根瓦は瓦を一枚ごとに構成要素として作成し、被害程度に合わせてズレや落下が表現できるように工夫した（図3）。

地震により被災した住宅の基礎に生じうる被害は主としてクラックである（図4）。現場において基礎に生じたクラックは目視により見つけづらい。しかし、トレーニングを行う際には基礎にクラックが生じていることを確認してカウントできることが重要である。建物の表示サイズによって、基礎に生じたクラックを認識できるよう、クラックを描画する際の太さの調整を行った（図

5）。地震により被災した建物のほとんどに壁面の被害が生じる。被災住宅に生じうる壁面の被害は主として仕上げ材の剥落（図6a）とクラックである（図6b）。

クラックは窓の四隅から生じることが多い。一方、剥落は、剥落が単独で生じたりクラックとともに生じることがある。剥落を3Dモデルに表現する際には、剥落前の壁面と比較してくぼみ（35mm）をつけることでよりリアルに壁の剥落を表現することが可能となった（図6c）。

VectorWorksはBuilding Information Model(BIM)のシステムに基づいており、例えば、壁は外側のモルタル壁・内側の下地材等がセットになったものとして再現されている。被害時の仕上げ材が剥落した際のくぼみは、このシステムによりリアルに再現することが可能となった。

(3) 3次元建物被害生成システム

トレーニングするには1棟の建物を対象とするのではなく、多くの被害パターンを用いてトレーニングすることが望ましい。また、実際の被害建物の写真を用いて1棟ごとにモデル化を行うことは大変な労力を要し現実的ではない。そこで、本研究では多くの被害建物を簡単に生成し3Dモデル化するアルゴリズムを開発し、実際に表示できる仕組みを構築した。

①生成システムの設計

地震で住宅に生じる被害を住宅の3D上に自動的に表示するアルゴリズムを開発した。図7に内閣府の指針3)に基づき開発したアルゴリズムのフローを示す。壁面に生じる被害は図8に示す通り各壁面を分割して各分割面に被害が生じるようにした。

本研究で開発したアルゴリズムでは、初めに被害程度（全壊・大規模半壊・半壊・一部損壊）を選択する。次に、被害表示表を読み取り各分割面にランダムに被害が生じる。実際に生じた建物被害状況を鑑みて、各分割面に生じる被害として、24の被害パターンをあらかじめ作成し、その発生割合を被害表示表に反映させた。各部位（屋根・壁・基礎）の被害表示内容の決定までのプロセスを以下に述べる。

屋根ははじめに損傷箇所を決定し、次に損傷程度を決定する。基礎は、各面ごとにクラックの入る本数を設定し、各面の基礎上にランダムにクラックは生じる。壁は、はじめに被害発生面を決定し、次に、被害箇所と被害程度を決定するプロセスとした。しかし、ある分割面が全て剥がれている場合には、隣接する分割面との被害の整合を取る必要がある。住宅に発生しうるクラックや剥落の被害と発生箇所にはある程度のパターンがある。そこで、壁面の全面剥がれの面に隣接する被害の表示も隣接被害表示表を作成し隣接する壁面に不自然な被害が生じないように制御することとした。

屋根、壁、基礎について被害箇所と被害程度が決定されると、3次元住宅モデルに被害箇所と被害程度が反映され、表示される仕組みである。その後、部位別・被害程度別の損傷面積が計算され、損害程度が算出され、最初に入力された被害程度となっていれば終了する。もし、最初に入力した被害程度の被害が生じていない場合には、その被害程度に達するまで壁の被害を増やしていくことになる。

②生成システムによる表示結果

図9に本研究で開発した被害表示アルゴリズムを用いて被害を表示した一例を示す。窓枠付近からのクラックや壁（仕上材）の剥落などの表示は、実際に地震で被災した住宅に生じる被害に近い形で表現することができていることが見て取れる。

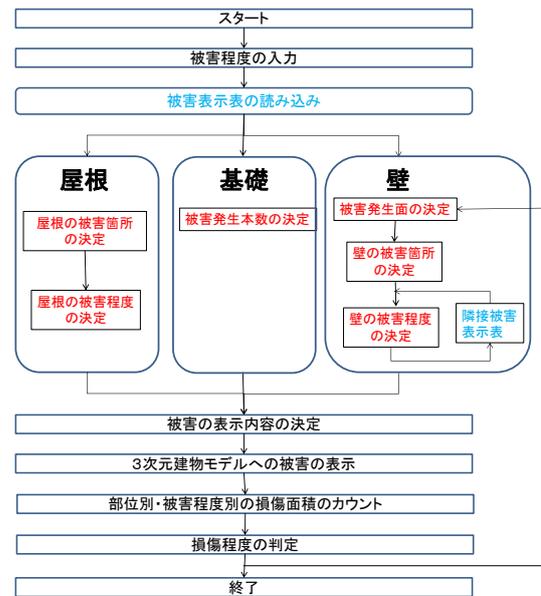


図7 被害生成アルゴリズム

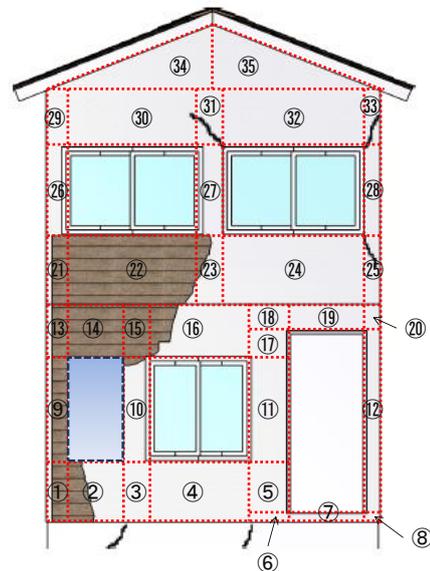


図8 壁面の各構面の切り方

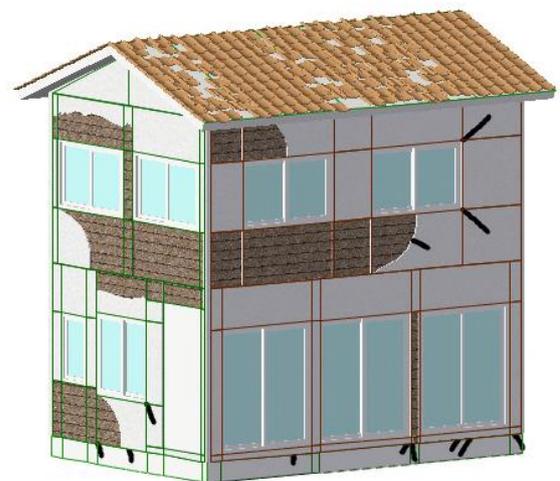


図9 開発したアルゴリズムを用いた被害表示結果

③複数の建物への被害表示

WEB上で仮想的に建物被害認定調査のトレーニングを実施する際には、被災した1棟だけを対象としてトレーニングをするのではなく、実際に被災した街区を歩きながら調査を実施できる環境を構築することにより、よりリアルに建物被害認定調査のトレーニングを実施可能であると考えられる。そこで本研究では図10に示す通り複数の建物に対して地震による被害を発生できる環境を構築した。



図10 複数建物への被害表示

(4) 学習教材開発のまとめ

本章では、webやアプリ上で建物被害認定調査を仮想的に経験できるシステムの開発を目指して、地震被害を受けた建物の3Dモデル化および多様な建物被害パターンを自動的に生成できる表示システムの開発を行った。建物被害の表示方法に関しては、屋根瓦は瓦1枚を1つの構成要素とし、壁の剥落はくぼみをつけることでリアルに表現できることが明らかとなった。また、複数の建物に一度に被害を表示させることが可能なアルゴリズムを開発し、3Dモデル住宅上での表示を行った。また、複数の建物に対して地震による被害を発生できる環境を構築した。次章では、開発した学習教材をアプリに実装した結果を示す。

4. 建物被害調査学習アプリの開発

本章では前章で開発した3Dモデルを用いた建物被害認定調査学習アプリについて述べる。本学習アプリの特徴は、膨大なパターンの建物被害を学習することができる点であるとともに、ipadやiphoneなどのモバイル端末で容易に建物被害認定調査の学習をすることが可能な点である。

(1) 学習問題の選択

建物被害認定調査学習アプリには複数の問題が準備されており、学習回数と前回学習時の正答率が表示される。学習者は複数の問題の中から問題と選択して学習する

(図7)。しかし、学習者が選択する問題が難易度の低い問題に偏ると、学習効果が薄れることが想定されるため、提案・開発したアプリでは、リコメンデーション機能を有しており過去の学習履歴をもとにして、学習者にとって効果的と思われる問題を出题する機能も有している。



図11 学習アプリの問題選択画面

(2) 学習画面

学習者が問題を選択するとweb上から問題がダウンロードされ画面に表示される。本研究で構築したアプリでは、被害住宅の3Dモデルはムービーデータとしてweb上にストックされている。学習者はスライドバーを移動しながら視点が移動し、被害状況の判定を行う。判定項目は、屋根・壁・基礎の各面の損傷度と損傷面積である。最終的な判定結果については、入力結果から自動で算出される。



図12 学習画面

(3) 回答結果の確認画面

学習者は屋根・壁・基礎の各4面の判定が終わると回答結果確認画面に移動する。回答結果は2種類の閲覧方法があり、建物の3Dモデルに「○」「×」を合わせて表示する形式(図6a))と詳細な判定結果と「○」「×」を合わせて表示する方法(図6b))である。前者は被害を直観的につかむ際に有用であり、後者はより詳細な被害割合を算出するトレーニングに有用である。



a) 解答表示1 b) 解答表示2
図6 正解確認画面

6. まとめと今後の課題

本研究では、大規模地震災害時に活用する遠隔建物被害認定システムの開発を目指し建物被害認定調査のトレーニングシステムの開発を行った。はじめに、建物被害認定調査の学習教材作成するための建物被害生成システムを開発した。その結果、従来の紙やDVDなどの研修で使用している建物被害事例と比較して格段に多くの建物被害を表現することが可能となった。

次に建物被害生成システムで構築した被害建物の3Dモデルをipad・iphone向けのアプリとして開発した。モバイル端末上で学習アプリを開発することで、学習する

必要のある方々は場所にとらわれずに学習を進めることが可能な環境を構築した。

今後は、実際に開発したアプリを自治体職員等を対象にトライアルを実施し、モバイル端末を利用した学習効果の検証を行いたい。さらに、本研究で開発したシステムを遠隔建物被害認定システムと連結させ一連のシステムとして稼働させる予定である。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金基盤研究B「災害後の住宅再建に資するスマートインスペクション技術の開発」(研究代表者:富士常葉大学田中聡教授,平成25-27年度)の一環として実施した。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 災害に係る住家の被害認定基準運用指針, 内閣府.
- 2) 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:小千谷市のり災証明書発行業務への適用:地域安全学会論文集(7), pp.123-132, 2005.
- 3) 田中聡:2007年新潟県中越沖地震における建物被害認定調査プロセスに関する考察:柏崎市における再調査の事例, 地域安全学会梗概集, (22), pp.35-38 2008.
- 4) 藤生慎, 大原美保, 目黒公郎:大規模地震災害時における遠隔建物被害認定システムの開発と評価, 日本地震工学会論文集第12巻第7号, pp.19-37, 2012.
- 5) 藤生慎, 大原美保, 目黒公郎:大規模地震災害時における遠隔建物被害認定システムの開発と評価, 日本地震工学会論文集第12巻第7号, pp.19-37, 2012.
- 6) 重川希志依, 田中聡, 堀江啓, 林春男:重川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), pp.133-140, 2005.
- 7) 建物被害認定ビデオ製作委員会, 建物被害認定トレーニング 木造建物の外観目視調査

DEVELOPMENT OF SMART PHONE LESSENING APPLICATION FOR BUILDING DAMAGE ASSESSMENT

Makoto FUJIIU, Miho OHARA, Shoichiro NAKAYAMA and Jyunichi TAKAYAMA

In this research, new remote assessment system for building damage assessment was developed and conducted operation test. The prototype system of remote building damage assessment system was developed based on the data of damaged houses due to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, and conducted operation test for local government staffs which experienced building damage assessment. As a result of operation test and questionnaire survey, it become clear that building damage suffered from earthquake can assess using developed system and this system has many advantage point than present procedures.