

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：33801

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25282121

研究課題名(和文) 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

研究課題名(英文) Development of the Smart Inspection Systems for Building Damage Evaluation

## 研究代表者

田中 聡 (Tanaka, Satoshi)

常葉大学・環境学研究科・教授

研究者番号：90273523

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、災害発生後の建物被害調査について、調査の透明性・公平性を確保するために必要な調査技術「スマート・インスペクション技術」を開発した。調査の透明性や公平性を確保するには、誰が調査してもおなじ結果が得られるしくみが重要である。本研究で開発したシステムでは、被害箇所にマーカーをプロットするだけで自動的に結果が得られるため、透明性や公平性が確保されたと考えている。さらに、調査結果はすべてデジタル化されたため、ネットワークを通しての流通が可能となり、被災地内外の専門家の支援を得ることも可能であることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：This paper presents the development of the smart inspection systems for building damage evaluation. After the earthquake, several building damage inspections are carried out. Although intensive efforts have been carried out, the inspection data has not been sharing. In addition, due to lack of inspectors, the damage inspection is always delayed in case of disaster. The authors designed the data sharing protocol and developed the application systems utilizing tablet PC for visual damage inspection. With this system, the inspection procedure becomes quite simple; an inspector identifies the damage location and plots the damage marker on the floor plan. The building damage level is automatically calculated by the system. A prototype system were tested in several damage inspection exercises, and showed a good performance.

研究分野：地震防災

キーワード：建物被害調査 復旧・復興工学 インスペクション タブレット型調査ツール 調査トレーニング

#### 1. 研究開始当初の背景

災害発生後には、多くの建物の被害調査が実施される。中でも自治体が実施する建物被害認定調査は、被災者の住宅再建のみならず生活再建全般にわたる支援を受ける指標となるため、調査・判定の公平性を担保することはきわめて重要な課題である。この課題を解決するために、被害認定調査の実態を調査・分析し、その課題を明らかにすると共に、改善方法の提案をおこなう調査研究が行われてきた。その結果、調査基準や調査票の標準化、あるいは調査手順の各種ガイドラインの作成など種々の改善が実現したが、調査現場における被害程度と被害量の判断が、調査員の能力と経験に大きく依存するアナログ的な判断であるため、誰が調査しても同じ判定結果を得られるという再現性が確保されないという点に根本的な原因が存在する。そこで本研究では、被害調査から建物の復旧に至るプロセスをデジタル化することにより、これら課題を解決する手法を着想した。

#### 2. 研究の目的

本研究では、災害発生後の建物被害調査について、調査の透明性・公平性を確保するために必要な調査技術「スマート・インスペクション技術」の開発をおこなう。開発する技術は、

1) 建物被害調査から建物復旧に至るプロセスのデジタル化手法

2) インターネットでの情報の共有による多様な人的資源の活用手法  
の2つである。これらの技術を統合することによって、被害の調査から建物の復旧に至るプロセスをデジタル化することが可能となり、インターネットを利用した情報共有によって被災者一人ひとりに最適な情報を提供する仕組みを構築しようとするものである。

#### 3. 研究の方法

本研究では、地震災害および洪水災害を対象として、まず調査方法プロセスのデジタル化手法を開発した。具体的には、被害調査判定・補修の各プロセスにおける調査員の情報処理過程を解明するとともに、図面を共通のプロトコルとして、被災者自身による自己診断にも活用可能なシステムを開発する。さらに調査データの蓄積・管理方法を検討し、サーバーを構築する。最後に、これらサーバーに蓄積されたデータをネットで閲覧可能な仕組みを構築し、ネットでの情報共有による多様な人的資源の活用手法について検討する。開発したシステムは、各種訓練や研修会、さらに実際の災害において試行し、システムの有効性を確認する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 被害調査における情報処理過程の分析とシステムの設計

建物被害調査では、いずれも専門の調査員による調査と評価が一体となった調査システムであるため、調査員の不足が調査の効率の低下に影響していた。本研究では、これら調査と評価の作業を分離することによって、より効率的なシステムとすることを基本とした。

被害調査は、建物のどこにどのような被害が発生したのかを記録する作業と定義した。この記録作業には、写真と図面が必要となる。被害の記入には、平面図と立面図が必要となる。一般の住民では平面図の作成は容易であるが、立面図の作成は困難であることが明らかになったため、立面図は建物の立面写真で代用し、立面写真に被害を記入することとした。そこで、スマートフォンなどの携帯情報端末を用いて、建物の外観写真と平面図に被害を入力する仕組みを設計した。

被害評価は、被害調査結果から被害量を算出する作業である。この作業は損傷した柱の本数や床の面積などを算出する必要があるため、訓練が必要であると同時に、専門家であっても間違いが発生しやすいことが明らかになった。そこで、携帯情報端末に入力された調査結果から被害量を自動計算することにより、誰でも同じ評価結果を得ることができる仕組みを設計した。

##### (2) システム構築

###### 地震災害による建物被害調査システム

地震災害における建物被害調査システムは、建物に関する専門知識がない人でも使用することができる調査ツールとして、携帯情報端末上で効率的な建物被害確認と情報集約が可能となる建物被害調査システムを構築した。

まず、被害が発生した建物の部位を選択し、その位置を携帯情報端末に取り込んだ平面図上にマーカーをプロットする。次に、被害箇所の写真を撮影して携帯情報端末に取り込み、写真の上に被害の範囲や被害状況を手書きで記入する。この被害写真と平面図上の被害マーカーをリンクすることにより、携帯情報端末上で被害情報を一元化する。被害の評価は、このマーカーの数や面積を自動計算することによって集計され、被害程度が評価される(図1)。さらに、調査された被害情報は、無線あるいは有線でサーバーに送信する。サーバーでは、被害情報を集計するとともに、インターネットを介して各端末で被害状況を参照することができる(図2)。

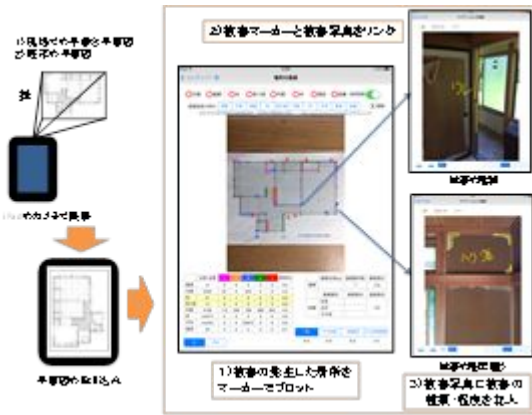


図1 建物被害調査システム

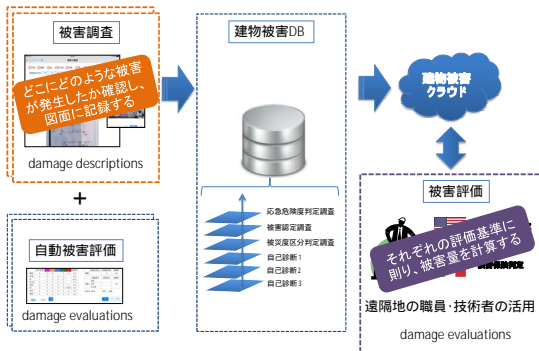


図2 ネットワークを活用した被害の調査と評価の分離

### 水害による建物被害調査システム

水害による建物被害調査については、スマートフォン(iphone)向けアプリケーションのプロトタイプを作成した。図3の画面遷移例の通り、まず初めに画面で世帯主名と調査者名を入力した後、画面では「正面・側面・内壁・床・設備」の写真登録する。画面中の「追加」というボタンをタップすると、各写真を新規に撮影するか、既存の写真フォルダーからアップロードすることができる。屋外の直射日光下でも画面が見やすいよう、背景色は黒色を基調として開発した。画面の各写真をタップすると、画面に遷移し、浸水深さ(cm単位)を入力できる。清掃活動や日射、植栽、隣棟間隔等の条件により浸水痕跡が見づらい場合にコメントを入力できる機能を付加した。更に画面上で写真をタップすると、画面に遷移し、写真上に浸水線を手書きで描画できる。特に室内では、実際に浸水した線と、そこからの水のしみ上がり線という2本線が生じうる。よって画面上では、ボタンの切り替えで2種類の線を描画できるようにした。最後に、画面で、第一次調査の運用指針に基づく被害程度の判定結果を表示するとともに、調査対象住宅の情報(郵便番号、住所)を入力する。画面の末尾の「送信」ボタンを押すと、全ての写真及びデータがサーバーに送信される。サーバー側では住家ごとのフォルダーが作成さ

れ、その中にこれらのデータが格納されるとともに、データベースが更新される。



図3 水害による建物被害調査システム

### (3) 開発したシステムの試行と検証 水害調査システムの試行と検証

2015年9月12日~13日にかけて、関東・東北豪雨時の鬼怒川堤防の決壊により浸水した常総市内の浸水地域において、プロトタイプ版アプリケーションを試用した。対象建物は8棟(木造5棟、非木造3棟)である。アプリケーションの操作性・迅速性に関しては、直射日光下でも文字・数字等を迅速に実施することができた。正確性の観点からは、日光や壁色によっては、泥や植物等による浸水痕跡が見えづらく、図4のような浸水マークやメジャーの併用が有用と考えられた。これらの併用により曖昧性を排除し、客観性と公平性の向上にもつながると考えられた。



図4 水害調査システム試行の様子

### 地震被害調査システムを用いた研修

地震被害の建物調査システムを活用して、小千谷市に現存する被災住宅を使い、自治体職員の建物被害調査研修を実施した。参加者ほぼ全員、建物被害調査が初めての職員であった。研修では、各班(二人一組)にタブレット端末1台を配布し、一人はタブレット端末を用いた調査、もう一人は従来実施されている紙の図面を用いた調査をおこなった。はじめに、被害調査の概要の説明の後、ビデオ学習、さらに練習問題に取り組んだ後、被災建物において実際の調査を実施した(図5)、タブレット端末による自治体職員の調査結果の一例と正解を図6に示す。



図5 建物被害調査研修の様子

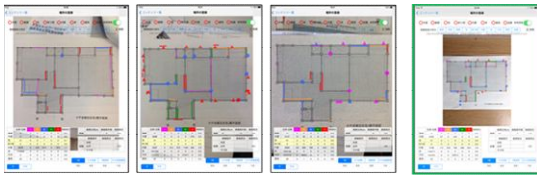


図6 自治体職員による建物被害調査結果の例(左3枚)と正解(右端)

次に調査システムを高層建物の建物被害調査訓練に適用した。訓練は新宿駅西口地域地震防災訓練 自衛消防訓練として工学院大学新宿校舎を利用して実施した。図7に調査結果の一例を示す。調査員は、新宿駅周辺の高層建物のテナント従業員、全員建築の専門家ではない。調査は、あらかじめ各階に掲示された建物被災写真をみて、その場所と被害の程度を報告する。

調査結果はサーバーに送信され、被害情報を集計・蓄積する。次に、建物の災害対策本部や各階の責任者は、インターネットを通してサーバーにアクセスし、建物各階の被災状況を確認するとともに、構造専門家が詳細調査に行く必要な階を判断した(図7)。さらにこのしくみによって、建物内外のすべての関係者がおなじ調査結果を共有することが可能となり、建物の状態に関する関係者間の状況認識統一のツールとして機能することが確認された。

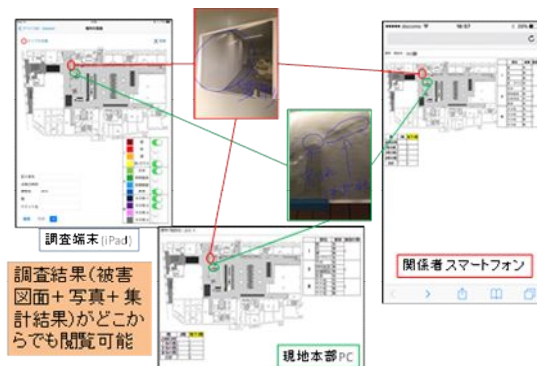


図7 高層建物の被害調査訓練結果の例

本研究では、災害発生後の建物被害調査について、調査の透明性・公平性を確保するために必要な調査技術「スマート・インスペクション技術」を開発した。調査の透明性や公平性を確保するには、誰が調査してもおなじ結果が得られるしくみが重要である。本研究で開発したシステムでは、被害箇所にマーカーをプロットするだけで自動的に結果が得られるため、透明性や公平性が確保されたと考えている。さらに、調査結果はすべてデジタル化されたため、ネットワークを通しての流通が可能となり、被災地内外の専門家の支援を得ることも可能であることが明らかになった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 12 件)

本橋直之、鱒沢曜、田中聡、久田嘉章、水越熏、中嶋洋介、宮村正光、諏訪仁、超高層テナントビルにおける地震後の建物被害確認と情報集約手法の検討、日本地震工学会論文集、査読有、第16巻、第5号、2016、pp.139-158

[http://doi.org/10.5610/jaee.16.5\\_139](http://doi.org/10.5610/jaee.16.5_139)

南雲直子、大原美保、澤野久弥、河本尋子、田中聡、平成27年9月に茨城県常総市で発生した洪水氾濫の地理的特徴、地域安全学会梗概集、査読無、No.37、2015、pp.69-72

大原美保・藤生慎・澤野久弥・重川希志依・田中聡、水害向け建物被害認定アプリケーションの開発～平成27年9月関東・東北豪雨の浸水地域での試用～、地域安全学会梗概集、査読無、No.37、2015、pp.61-64

本橋直之、鱒沢曜、田中聡、久田嘉章、宮村正光、諏訪仁、超高層テナントビルを想定した震災対応訓練と建物被害調査に関する研究 その2: 建物被害確認・情報集約手法の改善と訓練での検証、日本建築学会学術講演梗概集、査読無、CD-ROM、2015、pp.1013-1014

田中聡、鱒沢曜、水越熏、中嶋洋介、久田嘉章、超高層テナントビルを想定した震災対応訓練と建物被害調査に関する研究 その3: 携帯情報端末を活用した建物被害調査システムの改善と訓練での検証、日本建築学会学術講演梗概集、査読無、CD-ROM、2015、pp.1015-1016

本橋直之、鱒沢曜、田中聡、久田嘉章、宮村正光、諏訪仁、超高層ビル街における地震後の建物被害確認と即時使用性判定に関する研究 その1: テナント入居者による建物被害確認と情報集約、日本建築学会学術講演梗概集、査読無、CD-ROM、2014、pp.125-126

田中聡、鱒沢曜、水越熏、中嶋洋介、久田嘉章、超高層ビル街における地震後の建物被害確認と即時使用性判定に関する研究 その2: 携帯情報端末を活用した建物被害調査システム、日本建築学会学術講演梗概集、査読無、CD-ROM、2014、pp.127-128

湯澤伸伍、宮村正光、諏訪仁、久田嘉章、鱒沢曜、田中聡、超高層ビル街における地震後の建物被害確認と即時使用性判定に関する研究 その3: 建物管理者による即時使用性判定法の提案と訓練での検証、日本建築学会学術講演梗概集、査読無、CD-ROM、2014、pp.129-130

Satoshi Tanaka and Kishie Shigekawa, Development of Training System for

Building Damage Assessment Using Actual Buildings, Journal of Disaster Research, Vol. 9, No. 2, 2014, pp. 188-197

藤生慎、大原美保、目黒公郎、大規模地震災害向け遠隔建物被害認定システムの適用可能性の検討 - 写真アップロードシステムに着目して -、社会技術研究論文集、査読有、Vol. 11, 2014, pp. 12-21

藤生慎、代田里織、木村謙、大原美保、3次元建物モデルを用いた建物被害生成システムの開発、地域安全学会梗概集、査読無、No. 33, 2013, pp. 47-50

Makoto FUJIIU, Miho OHARA and Kimiro MEGURO, Study on applicability of remote building damage assessment system for large-scale earthquake disaster -Focused on the photo upload system-、Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia, 査読無、CD-ROM, 2013, 10pages

〔学会発表〕(計 10 件)

大原美保、水害向け建物被害認定アプリケーションの開発～平成 27 年 9 月関東・東北豪雨の浸水地域での試用～、第 37 回(2015 年度)地域安全学会研究発表会(秋季) 2015 年 11 月 13 日～2015 年 11 月 14 日、静岡県地震防災センター(静岡県静岡市)

南雲直子、平成 27 年 9 月に茨城県常総市で発生した洪水氾濫の地理的特徴、第 37 回(2015 年度)地域安全学会研究発表会(秋季) 2015 年 11 月 13 日～2015 年 11 月 14 日、静岡県地震防災センター(静岡県静岡市)

田中聡、超高層テナントビルを想定した震災対応訓練と建物被害調査に関する研究 その 3: 携帯情報端末を活用した建物被害調査システムの改善と訓練での検証、日本建築学会 2015 年度大会(関東) 2015 年 9 月 4 日～2015 年 9 月 6 日、東海大学湘南キャンパス(神奈川県平塚市)

本橋直之、超高層テナントビルを想定した震災対応訓練と建物被害調査に関する研究 その 2: 建物被害確認・情報集約手法の改善と訓練での検証、日本建築学会 2015 年度大会(関東) 2015 年 9 月 4 日～2015 年 9 月 6 日、東海大学湘南キャンパス(神奈川県平塚市)

田中聡、建物被害調査における Visual Monitoring System 構築に向けたデータ共有システムの開発、第 14 回日本地震工学シンポジウム、2014 年 12 月 4 日～2014 年 12 月 6 日、幕張メッセ(千葉県千葉市)

本橋直之、超高層ビル街における地震後の建物被害確認と情報集約手法の検討、第 14 回日本地震工学シンポジウム、2014 年 12 月 4 日～2014 年 12 月 6 日、幕張メッセ(千葉県千葉市)

本橋直之、超高層ビル街における建物被害確認と即時使用性判定に関する研究 その 1: テナント入居者による建物被害確認と情報集約、2014 年度日本建築学会大会(近畿) 2014 年 9 月 12 日～2014 年 9 月 14 日、神戸大学(兵庫県神戸市)

田中聡、超高層ビル街における建物被害確認と即時使用性判定に関する研究 その 2: 携帯情報端末を活用した建物被害調査システム、2014 年 9 月 12 日～2014 年 9 月 14 日、神戸大学(兵庫県神戸市)

湯澤伸伍、超高層ビル街における建物被害確認と即時使用性判定に関する研究 その 3: 建物管理者による即時使用性判定法の提案と訓練での検証、2014 年 9 月 12 日～2014 年 9 月 14 日、神戸大学(兵庫県神戸市)

藤生慎、3次元建物モデルを用いた建物被害生成システムの開発、地域安全学会 2013 年度 第 33 回研究発表会(秋季) 2013 年 11 月 15 日～2013 年 11 月 16 日、静岡県地震防災センター(静岡県静岡市)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
なし

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://ddm.fj.tokoha-u.ac.jp/higainintei/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 聡(TANAKA, Satoshi)  
常葉大学・大学院環境防災研究科・教授  
研究者番号: 9 0 2 7 3 5 2 3

(2) 研究分担者

重川 希志依(SHIGEKAWA, Kishie)  
常葉大学・大学院環境防災研究科・教授  
研究者番号: 1 0 3 2 9 5 7 6

大原 美保(OHARA, Miho)  
国立研究開発法人土木研究所・水災害研究グループ・主任研究員  
研究者番号: 7 0 3 6 1 6 4 9

河本 尋子(KOUMOTO, Hiroko)  
常葉大学・社会環境学部・准教授  
研究者番号: 1 0 6 1 2 4 8 4

藤生 慎 (FUJIU, Makoto)  
金沢大学・環境デザイン学系・助教  
研究者番号：90708124

(3)連携研究者  
なし

(4)研究協力者  
鱒沢 曜 (MASUZAWA, Yoe)