

超高層建築における ICT を活用した地震被害の早期把握に関する研究 STUDY ON EARLY DAMAGE DETECTION IN HIGH-RISE BUILDINGS USING INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

飯塚章仁
Akihito IIZUKA

After the 2011 Tohoku earthquake, many people escaped from high-rise buildings, because of their larger shaking; that caused extremely crowded situation in the Tokyo metropolitan area. Since then, the building managers have been enquiring to estimate the building damage quickly after earthquakes. To detect and collect the damage information effectively, we developed an ICT system combining iPad, Intranet and an information server, and confirmed its effectiveness through an earthquake drill in the Shinjuku station area in 2012.

Keywords : High-rise buildings, ICT, Building damage confirmation, Earthquake disaster drill, Nonstructural components, Information aggregation

超高層建築, ICT, 建物被害確認, 地震防災訓練, 非構造部材, 情報集約

1. はじめに

超高層ビル街において、地震災害発生後速やかに建物の被害を確認し継続使用性を判定することは、多数の在館者への対応等を判断する上で大変重要なことである。2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では東京都内で多数の帰宅困難者が発生した。それを受け東京都では平成 25 年 4 月に東京都帰宅困難者対策条例を施行し、事業者施設に施設の安全を確認した上で従業員等の一斉帰宅の抑制を求めている。また大規模災害時には、応急危険度判定調査員となる建築専門家が不足する恐れがあり、自社ビルを非専門家が調査し危険度を判定する取り組みも行われており¹⁾、新宿駅西口地域では、新宿駅周辺防災対策協議会の行う訓練で高層ビル街における防災訓練を行ってきた。昨年度の訓練では建物被害チェックリストを作成し、高層ビルを想定したテナントでの被害確認と、被害情報を防災センターに集約する建物被害対応訓練を行った。しかし、多数のテナントが入居する超高層オフィスビル等では、被害情報の集約にも多くの時間と労力を要するといった問題が挙げられている。

そこで超高層オフィスビル内において ICT を活用したシステムを構築し、地震災害時における建物被害の把握を即時化・効率化するための手段とすることを目的とする。本研究では、大規模地震災害時に自社の建物に関する予備知識のないテナント事業者等の自衛消防隊員が調査者となることを想定し、紙に記入するタイプと電子タブレットに記入するタイプの 2 通りの簡便なチェックリストおよびその結果をフロア等で集約するフォーマットおよび災害対応にあたるための活動フローチャートの開発し、平成 25 年 11 月 7 日に新宿駅西口エリアで実施された地震防災訓練および事前に行われた図上演習に適用して、ICT システムおよび 2 タイプのチェックリストの有効性を検証する。

2. 建物被害確認システム

建物被害確認システムのイメージを図 1 に示す。一つのフロアに複数のテナントが入る高層ビルを想定している。平成 24 年度の訓練

においては建物に被害が発生する地震災害の際、消防法によりテナントごとに設置を義務付けられている自衛消防組織が事前に割り振られたエリアの被害確認を行う。各フロアで、ある一つのテナント自衛消防隊はフロアの被害情報をまとめるフロア地区隊を担う。集められた各テナント被害を集計したものをフロア被害とし、防災センターに集約するという仕組みである。ICT を活用した場合、各テナント地区隊が電子タブレットを用い担当エリアの被害を確認する。入力した情報は建物内の無線 LAN を経由しサーバーに集約される。防災センターはサーバーのデータを見ることで建物内の被害を把握する仕組みである。

しかし一般的にテナント自衛消防組織に限らず建物被害確認を被災時に行う決まりはない。平成 24 年度の訓練では、自衛消防組織に建物被害確認を行う班を作成したが、通常のテナントにない班であるため現実的でないと指摘があった。そこで被害確認は自衛消防組織の一般的な班の中で最も役割に近い安全防護班が行うものとし、円滑に作業を進められるよう、各班について火災および地震災害における基本的な装備、対応の方法、手順を記した活動フローチャートを作成した³⁾。安全防護班活動フローチャートを図 2 に示す。

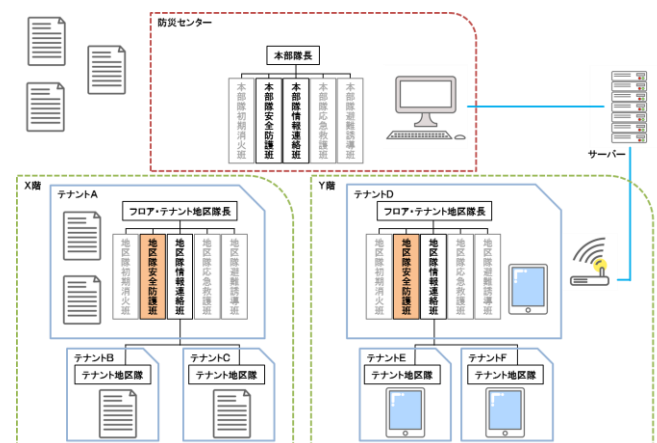


図 1 建物被害確認システムのイメージ

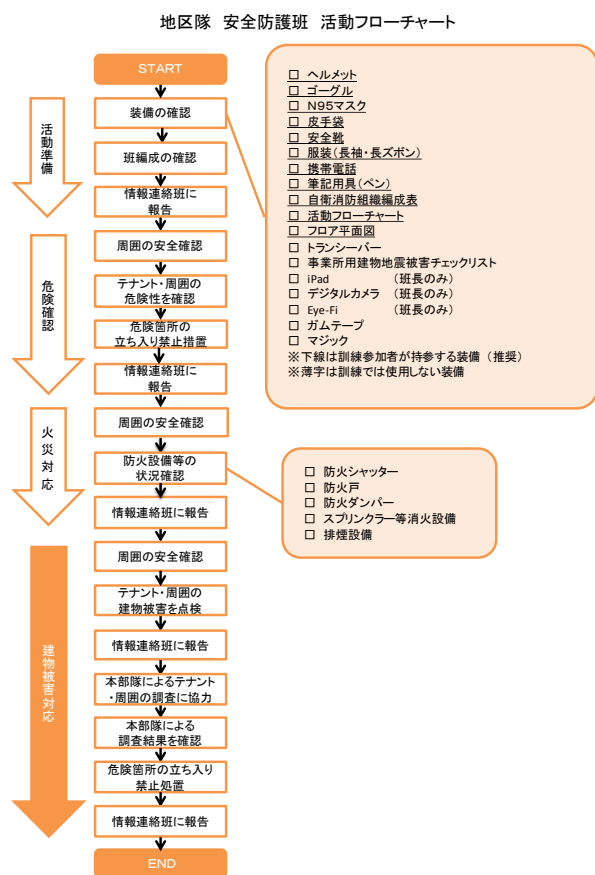


図2 地区隊安全防護班活動フローチャート

3. 第3回セミナー「建物被害確認」

3.1 建物被害の確認・集計方法

平成24年度新宿駅西口地域防災訓練で使用された建物被害チェックリストを修正し、図上演習で使用したものを図3に示す。主な変更点は専門用語を一般的な語句に修正とチェックする被害状況などである。建物被害チェックリストは、建築の専門知識のないテナント従業員でも記入可能なようにチェック対象を居室内から確認することのできる家具・什器を含む非構造部材に限定している。チェック項目は各部材の被害の有無または不明に加え脱落、傾き、変形、ひび割れ、その他の被害状況をチェックし、特記事項に詳細を記入する形式とした。チェック対象は壁や柱など層間変形による影響の大きい被害をⅠ、天井や家具など床応答加速度による影響の大きい被害をⅡ、漏水などその他の被害をⅢとカテゴリー分けし、被害をありとした項目の数をカテゴリーごとに集計する。カテゴリーⅠとⅡの設定に際しては文献2等を参考にした。一つのフロアに複数のテナントが入る場合は、フロア内の一つのテナントが他のテナントの集計した建物被害チェックリストを見て、各カテゴリーの集計をフロアごとにも行い、最終的にフロアの被害として集計されたものが防災センターに手渡しで集約される。

紙ベースのチェックリストに従い、電子タブレット用アプリケーションを開発する。本研究では国内でのシェアと認知度の高いiPadについてアプリ開発を進める。アプリはxcodeというソフトを用いてiPadにおいても同様の入力形式のアプリケーションを開発した。アプリにおける被害情報の入力画面を図4に示す。

建物地震被害チェックリスト(事業所用) (1/1)

記入者名: _____
 点検日・時刻: _____
 建物・施設名: _____
 階: _____ 場所: _____

《チェックリスト記入方法》
 ・被害が見られる場合: 点検結果「有」に○→被害状況に○→特記事項の記入
 ・被害が見られない場合: 点検結果「無」に○
 ・被害かどうか判断がつかない場合: 点検結果「不明」に○→特記事項の記入

番号	確認項目	被害の有無 ※該当に○	被害状況 ※該当欄に○				特記事項 (具体的な被害箇所・程度等)
			脱落	傾き	変形	ひび割れ	
I							
I-1	壁 壁に変形、ひび割れ等の被害が見られるか。	有・無・不明					
I-2	柱 柱に変形、ひび割れ等の被害が見られるか。	有・無・不明					
I-3	扉 扉に変形(ゆがみ)、開閉障害等の被害が見られるか。	有・無・不明					
I-4	窓・ガラス 窓枠の脱落、変形(ゆがみ)、ひび割れ等の被害が見られるか。	有・無・不明					
I 集計		「有」の数=					
II							
II-1	天井 天井材(天井仕上げボード)に脱落、変形等の被害が見られるか。	有・無・不明					
II-2	照明器具 天井照明器具に脱落、変形等の被害が見られるか。	有・無・不明					
II-3	設備機器 天井設置機器の脱落等の被害が見られるか。	有・無・不明					
II-4	家具 書棚、ロッカーなどに傾き等の被害が見られるか。	有・無・不明					
II 集計		「有」の数=					
III							
III-1	漏水 水漏れや燃料漏れ等の被害が見られるか。	有・無・不明					
III-2	その他() その他の被害が見られるか。	有・無・不明					
III-3	その他() その他の被害が見られるか。	有・無・不明					
III-4	その他() その他の被害が見られるか。	有・無・不明					
III 集計		「有」の数=					

MERC04_130903_1

図3 建物被害チェックリスト(事業所用)

確認項目(占有部) 壁 記入方法

確認内容: 壁に変形、ひび割れ等の被害が見られるか。

被害の有無 有 無 不明

※該当するものを選択

被害状況 有 無 不明

※該当するものにチェック

脱落 傾き 変形 ひび割れ その他

特記事項 (具体的な被害箇所・程度等)

図4 iPad版建物被害チェックリスト

3.2 図上演習の概要

平成25年9月、工学院大学新宿キャンパス28階で周辺ビルの防災担当者など参加者28名のもと新宿駅西口地域防災訓練に向けた建物被害対応と情報集約訓練の図上演習を行った。本演習に適用したのは2タイプの建物被害チェックリストである。演習は4班に分け、テナント自衛消防隊(地区隊)と防災センター自衛消防隊(本部隊)それぞれ2班ずつに分かれて30分間行った後、役割を交代し

3.3 図上演習の結果

4. 新宿駅西口地域防災訓練

4. 1 建物被害の確認・集計方法の改善

本訓練に向けて富士常葉大学の田中教授の協力のもと改善を行った iPad 版チェックシートを図 6 に示す。iPad 版チェックシートの記入方法は紙ベースのものとは大きく異なり、被害部位を写真撮影し写真上に特記事項等を記入でき、カテゴリーごとの有の数の集計は自動で行われる。撮影はデジタルカメラを用い、無線 LAN 機能を内蔵したデジタルカメラ用 SD カードにより、撮影データを iPad に転送することで iPad 内蔵カメラより鮮明な画像を使用できる。また、iPad 側が無線 LAN に接続可能かつ防災センターのパソコンがネットワークに接続できる状態であれば、接続先を SD カードから無線 LAN に切り替えただけで送信ボタンを押すことで、その場で防災センターでの集約が可能である。iPad の被害情報の閲覧方法はインターネットブラウザで表示サイトにアクセスする。本訓練では平面図上の被害箇所と集計結果を確認する事が可能である。

4. 2 防災訓練の概要

害の写真を示す。訓練は 11 階で全体ブリーフィングを行った後、建物被害対応訓練参加者は 2 階と地下 1 階の仮想テナントに、防災センター訓練参加者は 1 階アトリウムにそれぞれ移動。

建物被害対応訓練は発災後、テナントで地区隊を立ち上げ、フローチャートに則り活動する。地区隊安全防護班は2タイプの建物被害チェックシートを用い、壁やパーティションに貼られた被害写真を見て被害の場所と部位を判断し記入を行う。紙に記入したテナント被害情報は地区隊情報連絡班が受け取り、そこにダミーテナントの被害情報が加わりフロアの被害として集計され、防災センターに運ばれる。iPadでは入力したテナント被害情報を大学内の無線LANを通じて送信する。防災センターではインターネットブラウザ上で平面図上の被害箇所と集計結果を確認する。活動終了を地区隊長に報告して訓練を終了した。写真3に建物被害対応訓練の様子を示す。

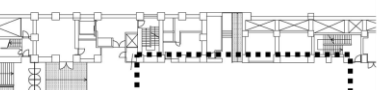
建物地震被害チェックシート(事業所用)		(1/1)																																																																	
 (テナント用)テナントで建物被害状況を記録し、707号地区図表に報告後、経済特区区域で保管していただく 《チェックシートの記入方法》 1. 右上の項に基本情報を記入 2. 下部の撮影地図を参照 3. 下図に被害の箇所を記入 4. 下図に被害の部位番号を記入(右表参照) 5. 下図に被害状況を記入(右表参照) 6. および他の被害箇所の部位の名称を記入 7. 右表に被害の有無を記入		記入者名 登録日・時刻 建物・施設名 階 テナント名 登記住所 年 月 日 時 分 前野タワービル B1F 西口不動産																																																																	
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>部位番号</th> <th>部位名称</th> <th>被害の有無</th> <th>被害状況 (被害箇所の記入)</th> <th>被害状況 (被害箇所の記入)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①</td> <td>壁</td> <td>有・無</td> <td>崩落、傾斜、変形、ひび割れ</td> <td></td> </tr> <tr> <td>②</td> <td>柱</td> <td>有・無</td> <td>傾斜、変形、ひび割れ</td> <td></td> </tr> <tr> <td>③</td> <td>扉</td> <td>有・無</td> <td>変形、開閉障害</td> <td></td> </tr> <tr> <td>④</td> <td>窓・ガラス</td> <td>有・無</td> <td>崩落、変形、ひび割れ</td> <td></td> </tr> <tr> <td>⑤</td> <td>天井</td> <td>有・無</td> <td>崩落、傾斜、変形、ひび割れ、漏洩</td> <td></td> </tr> <tr> <td>⑥</td> <td>照明器具</td> <td>有・無</td> <td>崩落、傾斜、変形</td> <td></td> </tr> <tr> <td>⑦</td> <td>設備機器</td> <td>有・無</td> <td>崩落、傾斜、変形、漏洩</td> <td></td> </tr> <tr> <td>⑧</td> <td>家具</td> <td>有・無</td> <td>傾斜、変形</td> <td></td> </tr> <tr> <td>⑨</td> <td>他の部位</td> <td>有・無</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>⑩</td> <td>他の部位</td> <td>有・無</td> <td></td> <td>(別紙に記入した被害状況を記入)</td> </tr> <tr> <td>⑪</td> <td>他の部位</td> <td>有・無</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>⑫</td> <td>他の部位</td> <td>有・無</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	部位番号	部位名称	被害の有無	被害状況 (被害箇所の記入)	被害状況 (被害箇所の記入)	①	壁	有・無	崩落、傾斜、変形、ひび割れ		②	柱	有・無	傾斜、変形、ひび割れ		③	扉	有・無	変形、開閉障害		④	窓・ガラス	有・無	崩落、変形、ひび割れ		⑤	天井	有・無	崩落、傾斜、変形、ひび割れ、漏洩		⑥	照明器具	有・無	崩落、傾斜、変形		⑦	設備機器	有・無	崩落、傾斜、変形、漏洩		⑧	家具	有・無	傾斜、変形		⑨	他の部位	有・無			⑩	他の部位	有・無		(別紙に記入した被害状況を記入)	⑪	他の部位	有・無			⑫	他の部位	有・無		
部位番号	部位名称	被害の有無	被害状況 (被害箇所の記入)	被害状況 (被害箇所の記入)																																																															
①	壁	有・無	崩落、傾斜、変形、ひび割れ																																																																
②	柱	有・無	傾斜、変形、ひび割れ																																																																
③	扉	有・無	変形、開閉障害																																																																
④	窓・ガラス	有・無	崩落、変形、ひび割れ																																																																
⑤	天井	有・無	崩落、傾斜、変形、ひび割れ、漏洩																																																																
⑥	照明器具	有・無	崩落、傾斜、変形																																																																
⑦	設備機器	有・無	崩落、傾斜、変形、漏洩																																																																
⑧	家具	有・無	傾斜、変形																																																																
⑨	他の部位	有・無																																																																	
⑩	他の部位	有・無		(別紙に記入した被害状況を記入)																																																															
⑪	他の部位	有・無																																																																	
⑫	他の部位	有・無																																																																	

図5 建物被害チェックシート（事業所用）

iPad 18:54 場所の登録

デバイスID : Nishiguchi

☐ エリアの定義 ☒ X 削除

記入者名

点検日時時刻 2013.11.7 14:05

建物名 新宿タワービル

階 B1F

テナント名 西口不動産

追加 削除 1階

I	壁	☒ オン
	柱	☐ オフ
	扉	☐ オフ
	窓・ガラス	☒ オン
	天井	☒ オン
II	照明器具	☐ オフ
	設備機器	☒ オン
	家具	☒ オン
III	その他 1	☐ オフ
	その他 2	☐ オフ
	その他 3	☐ オフ
	その他 4	☐ オフ

図6 iPad版建物被害チェックシート

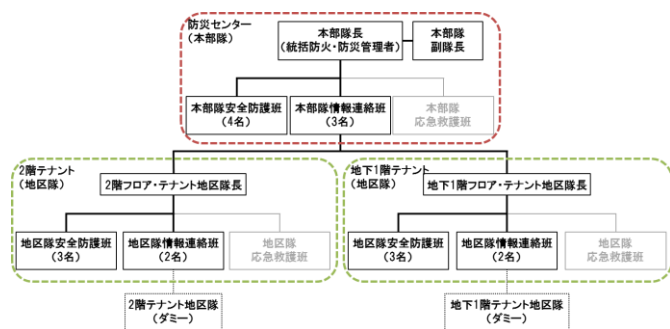


図7 訓練の組織編成

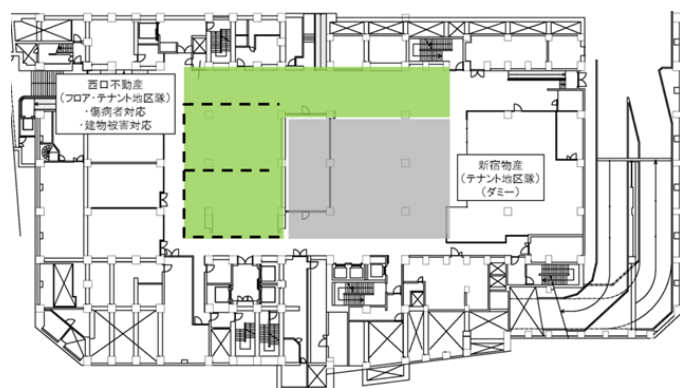


図8 建物被害対応訓練会場のレイアウト（地下1階）



写真2 訓練に使用した建物被害状況写真の一部

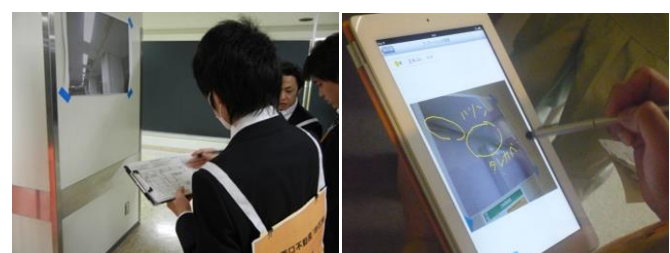


写真3 建物被害対応訓練の様子

4. 3 防災訓練の結果と考察

チェックシートを改善したことで、建物被害情報の質が大きく向上した。iPad では記入できる範囲の制限が小さいため、より詳細かつ閲覧しやすい情報の入力が可能となった。参加者からは社内でもiPad などのツールを活用したいという声があった。

訓練開始直前から学内 LAN のアクセス不良が発生したが、テナント内の被害を全て見終わる頃に復旧したため、送信方法を改めて説明した上で使用者が送信を行った。iPad に関して撮影した写真上に被害状況を書き込む時の反応が遅かったが、慣れれば問題ない様子であった。iPad で入力されたデータをサーバーに送信するには送信ボタンを押す必要があり、情報の追加や修正を行う際にボタンの押し忘れによって情報に誤差が生じた。データを送信するためには、

SD カードから無線 LAN につなぎなおす必要があるため、iPad と Wi-Fi 内蔵SDカードの仕様を理解していなければ接続が困難となる場合がある。防災センターでは iPad からの情報が防災センターのパソコンに表示されたが、平面図上の被害箇所が実際の入力と比べて全体的に下方向にずれが生じていた。図9に防災センターで表示された地下1階の建物被害箇所を示す。

iPad による被害確認は建物被害確認システムの観点から見ると集約までに大きな問題は見られず、被害の確認から集約までを行う事ができた。アプリを改善することで無線 LAN 環境のある事業所では実用化も可能だと考えられる。

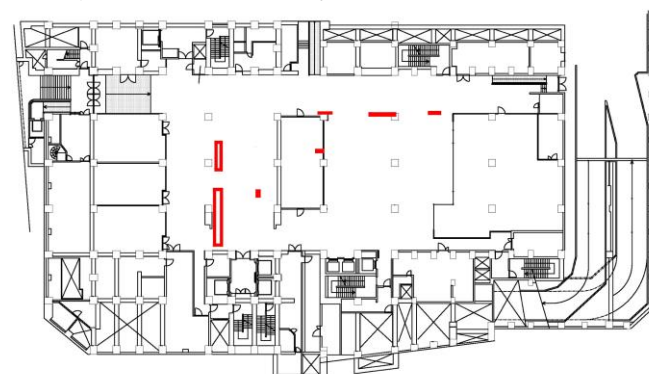


図9 防災センターで表示された建物被害箇所（地下1階）

5. おわりに

紙ベースとiPad の2タイプの建物地震被害チェックシートおよび活動フローチャートを作成し、平成25年度の図上演習と防災訓練に初めて適用し、その有効性の比較と検証を行った。結果、iPad を活用した ICT システムは改善すべき多くの課題を得る事ができた。一方で、訓練を情報の量と質、集約速度いずれにおいても紙ベースのチェックシートと比較し、それを上回る効果を期待できることが確認できた。

現在のアプリでは建物被害確認から集約までステップが数多くあるため、人による操作の手間をできるだけ減らし、ヒューマンエラー対策を施すことが重要である。また、今後はこのシステムを平常時においてどのように活用するか、実際にテナントで使ってもらうにはどうすべきかを検討していくことが課題である。

参考文献

- 1) 和田浩之、杉本靖夫、前田耕司、服部紘枝、飛田潤：自社建物使用者（非専門家）向け地震災害時建物危険度判定手法の開発、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅱ、pp.677-678、2007.8
- 2) FEMA: HAZUS-MH MR1 ADVANCED ENGINEERING BUILDING MODULE TECHNICAL and USER'S MANUAL, Federal Emergency Management Agency, 2003
- 3) 東京防災指導協会 防災管理の知識、2009

謝辞

本研究は文部科学省 都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト 都市災害における災害対応能力向上方策に関する調査・研究の一環で実施しています。また、新宿駅周辺防災対策協議会と工学院大学総合研究所都市減災研究センターの協力を頂いています。iPad アプリを作成するにあたり、富士常葉大学の田中聡教授からご協力を賜りました。ここに感謝の意を表します。