

# 施設管理者等による地震直後の建物安全確認と 使用継続判断に関する検討

Study on confirmation of building damage and decision making of continuous use  
of building by facility managers just after the earthquake.

○芝崎良美<sup>1</sup>, 杉内章浩<sup>1</sup>, 青井淳<sup>2</sup>, 吉澤睦博<sup>2</sup>  
Yoshimi SHIBASAKI<sup>1</sup>, Akihiro SUGIUCHI<sup>1</sup>, Atsushi AOI<sup>2</sup>,  
and Mutsuhiro YOSHIZAWA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(株)竹中工務店 エンジニアリング本部  
Engineering Department, TAKENAKA CORPORATION  
<sup>2</sup>(株)竹中工務店 技術研究所  
Research & Development Institute, TAKENAKA CORPORATION

Facility managers after the major earthquake should confirm the safety of the building promptly and decide whether to continue using the building immediately. However, there are many facility managers' work after the earthquake, such as facility function confirmation and safety confirmation. In addition, regarding the safety confirmation of the building structure requiring a high level of expertise, in particular, manuals are not developed in many cases. For this reason, we developed an information support system so that facility managers who are not structural experts can quickly and efficiently confirm the safety and continuity of buildings. We report on the outline of the system, operation method, and new problems raised in the demonstration experiment.

**Key words** : Earthquake Damage, Continuous Usability of Buildings, Post-Earthquake Inspection, Facility Managers

## 1. はじめに

近年、災害拠点など重要施設の機能維持やオフィスビル・集客施設等の帰宅困難者対策の観点から、大地震発生直後に建物を使用継続することが求められている。そのため、建物施設管理者等には、発災直後の建物点検による安全確認と迅速な使用継続可否判断が要求される。

しかし、発災直後の施設管理者の業務は、在館者の安全確認と負傷者等の救護、設備機能の機能確認と復旧など多岐に渡る。また、専門性が高い建築構造の点検内容については、マニュアルなどが具体的に整備されていないことが多い。そこで、筆者らは、建築構造の専門家であるとは限らない施設管理者等が建物の安全確認と使用継続判断を迅速・効率的に行うための情報支援システム（以下、開発システム）を開発した。<sup>1,2)</sup>

本報告では、開発システムの概要と運用方法、実証実験で浮かび上がった新たな課題について報告する。

## 2. 地震直後の建物点検による安全確認

施設の地震被害は、地盤や周辺建物から受ける被害と、建物基礎や建物本体（構造体、仕上げ等非構造部材）、設備機器・配管、家具・什器や使用機器等の被害、そのほか建物内外の上下水道、電気、ガスや、病院では医療ガスなどの各種ライフラインの被害などと多岐に渡り、施設の安全や使用継続に影響を与える。

建築士などの専門家による応急危険度判定<sup>3)</sup>は、大地震後の被災建物について、余震等における人命にかかわる災害を防止するための調査である。外観を中心とした短時間での調査で、非構造部材や什器については、崩落・転倒などの人命保護に関わるもののみを対象とし、設備やライフラインの機能調査などは行われず、長期の

使用継続性を保障するものではない。応急危険度判定は、図-1のように、概ね発災後1日以上後に開始されることが多い。<sup>4)</sup> 判定の主な対象は公共建築物などの災害拠点・重要施設や住宅であり、災害の規模や施設の立地によっては、調査時期がかなり遅くなることもある。

内閣府では、帰宅困難者対策の一環として、民間企業や一時滞在施設に対し「大規模地震発生直後における施設管理者等による建物の緊急点検に係る指針」<sup>5)</sup>（以下「指針」）で、チェックシート等を用いた自主点検による即時の安全確認を推奨している。指針は、建築構造の専門知識を持たない施設管理者等を対象に作成され、地震直後、“応急危険度判定士など建築の専門家が到着する前”に行う緊急点検として民間施設を含むすべての建物を対象としている。

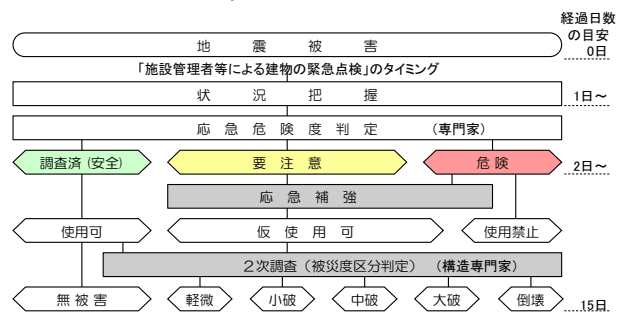


図-1 建物の地震後の被害調査・復旧フローの例

## 3. 開発システムの概要

### (1) 開発システムの位置づけ

内閣府の指針や応急危険度判定など、建物の安全確認のための調査では、余震時の危険性を、大きく分けて①

建物の傾斜や地盤等の著しい損傷など外見から一見してわかる危険性、②隣接建築物や周辺地盤の影響と柱・壁等の構造躯体の損傷、③天井・内外装や設備などの落下物の3点から調査している。

開発システムは、②のうち柱・壁等の構造的な被害について、RC・SRC造建物を対象に構造体の残存耐力を概略的に推定し、余震に対する危険性と建物の使用継続性を判断する。構造を専門としない施設管理者等にも、柱・壁などの耐震要素の損傷度をわかりやすく評価できるシステムを目指した。システムが対象とする評価の範囲を図-2に示す。免震建物の免震エキスパンションジョイント(EXP.J)は構造体ではないが、調査により免震層における設計限界を超える大変位の有無がチェックできるため、開発システムの調査対象範囲としている。

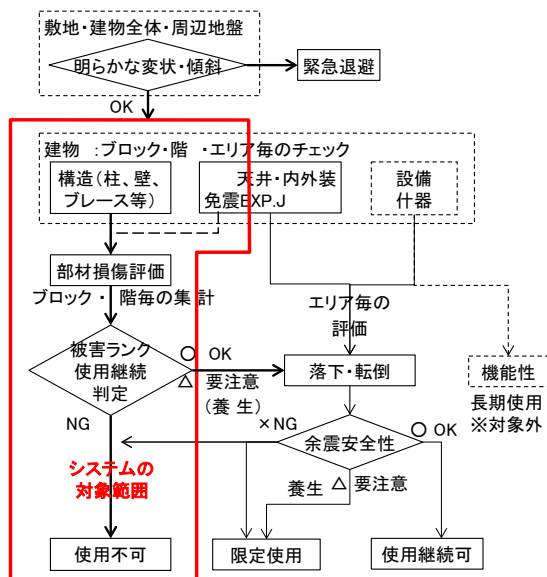


図-2 使用継続判断における開発システムの位置づけ

開発システムでは、部材損傷度を被害なし・○・△・×の4ランク、階の被災度を軽微・小破・中破・大破の4ランクとした。敷地の震度と被災度から使用継続をOK・要注意・NG、の3ランクで判定する。ここで要注意は「使用可だが要注意」の意である。応急危険度判定の建物被災度は、A(調査済み)・B(要注意)・C(危険)の3ランク評価であり、それと同等レベルの評価を目指した。非構造部材や設備等の落下等の危険性は別途評価する。施設により安全確認のマニュアルが整備されていたり、点検方法が決まっている場合もあるので、それらとの併用も考慮した。

開発システムは複数人が同時作業できるwebアプリケーションとした。作業の流れを図-3に示す。

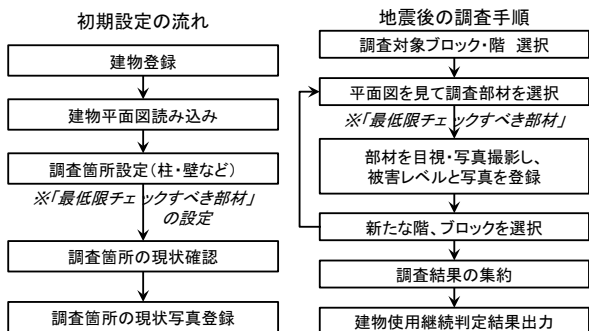


図-3 開発システムの作業の流れ

## (2) 事前準備と初期設定

開発システムでは、建物情報として建物の平面図を階ごとに登録する。ここで、建物がEXP.Jなどで構造的に複数棟(ブロック)に分かれているものは別ブロックとして扱う。あらかじめ、柱・壁・ブレースなどすべての耐震要素を調査対象箇所として抜き出し、平面図の上にマッピングする。RC雑壁や間仕切り壁などはフレーム内の耐震要素と分離し、調査対象から除く。地震時に多数のひび割れが生じた場合でも、耐震安全性に大きな影響を及ぼさない部位として、明確に区分する。

また、登録した調査対象部位の中から、「最低限調査すべき部位」を構造専門家が設定する。これは、全数調査が困難な場合でも使用継続を判定するため調査済み箇所を一定数確保するとともに、重要箇所の調査漏れを防ぐことを目的とした参考情報で、システム上には登録しない。実際の調査でこれらの部位が未調査であっても判定には影響しないようになっている。

事前に設定した調査箇所は、被害が生じたときに無被害の状態と比較するため、現地確認を行って、現況の写真を登録するよう推奨している。

## (3) 被災部材の情報登録

開発システムでは、被災度区分判定の考え方を援用し、地震外力に応じた判定を行うため、発災時の敷地周辺の震度情報を登録する。

次にシステム上で階ごとに調査箇所を確認しながら、被災状況の写真と損傷度の情報を登録する。

応急危険度判定では、構造部材は損傷度Ⅳ・Ⅴの柱部材の割合等からA・B・Cの3ランクで判定する。一方、長期的な使用継続、或いは恒久使用を判定する被災度区分判定<sup>6)</sup>では構造部材の損傷度をⅠ～Ⅴで評価し、その割合から耐震性能残存率を算出し、無被害・軽微・小破・中破・大破・倒壊の6ランクに判定している。

実際の被災状況は、損傷度Ⅰ～Ⅴが複雑に混在し、専門家以外には判断が難しいため、開発システムでは、情報を簡略化し、3ランクの応急危険度判定よりやや細かく、被害なし・○((軽微)小破; 損傷度Ⅰ～Ⅱ)・△(中破; Ⅲ～Ⅳ)・×(大破; 損傷度Ⅴ)の4ランクとした。

施設管理者は、調査箇所の部位に応じて示されるシステム上の被害イメージの中から、最も実被害にイメージが近いものを選択することで、損傷度情報を登録することとした。これにより調査者の判断のばらつきを小さくする効果が期待できる。なお、調査部位の写真は比較用兼記録として位置づけられる。画像記録が残ることで、評価の再確認と情報の修正を可能とした。図-4にRC柱部材の被害イメージ例を示す。

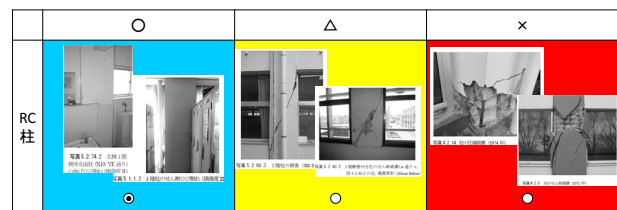


図-4 柱部材の比較用損傷度イメージ

## (4) 使用継続の判断

登録された部位ごとの損傷度を集計し、被災度区分判定の残存耐力の考え方をベースに、ブロック別・階毎の被災度を◎軽微・○小破・△中破・×大破の4ランクで判定する。

被災度区分判定では調査対象階の構造部材の全数のチ

チェックから耐震性能残存率を計算するが、開発システムでは、時間的制約や被災による通行不能などのため全数チェックが困難な場合を想定し、損傷度に応じて点数化した調査済み部材の平均値から、調査ブロック・階毎に被災度を判定する。柱と構造壁の評価は、壁付き柱は初期設定時に雑壁や耐震壁と分離している。安全側の判断として曲げ破壊とせん断破壊を区別せず、せん断柱の値を採用し、耐震壁もせん断壁の値を採用し、袖壁等は無視して簡略化した。表-1 に、損傷度に応じた部材の点数と階の被災度評価の点数を示す。

システム上で集計した調査ブロック・階の被災度と敷地の震度（外力）から、使用継続性を、OK・要注意・NG の 3 ランクに分けて判断する。震度と被災度レベルによる使用継続判断のチャートを表-2 に示す。要注意の判断では、ある程度の損傷が生じている。危険個所に立ち入らないよう、養生を行ったりアナウンスをする必要がある。使用可であっても、余震時に構造被害が進行した場合は NG として、即時使用中止とする。

実際の地震被害では、RC 部材にひび割れなどの構造的な被害が全体的に生じていても、軽微な損傷の場合は使用継続が可能なのも多い。一方、被害箇所が少なくとも大破部材が存在する場合は、部分崩壊などの危険が高く、早急に退避が必要など、構造的な知識を要する判断が求められることもある。開発システムでは、専門知識を有さなくとも、一定の被災度レベルの評価と使用継続の判断が得られるよう、被災度区分判定の考え方を参考に表-2 に示す階の損傷度と経験した震度によって使用継続判断を行う方法を提案した。

また、開発システムでは、余震で被害が進行した場合に備え、地震による部材の損傷情報を履歴として保持し、余震以降の地震時の調査情報を重ねて登録し、随時判断できるようにした。

表-1 損傷度・被災度評価と点数

構造部材（柱、壁）の損傷度と点数

被害なし	小破○	中破△	大破×
10	6	3	0
階の被災度レベルと点数（調査した部材の平均値）			
軽微◎	小破○	中破△	大破×
9.5以上	8以上9.5未満	6以上8未満	6未満

表-2 調査階の使用継続判断

	軽微◎	小破○	中破△	大破×
震度 5 弱以下	要注意	要注意	NG	NG
震度 5 強	OK	要注意	要注意	NG
震度 6 弱	OK	OK	要注意	NG
震度 6 強以上	OK	OK	OK	要注意

※大破部材が1つ以上ある場合は層の点数に寄らず NG

※※ 要注意 = 「使用可だが要注意」

#### (5) AR アプリケーションの開発と実証実験

開発システムの有効性を高めるには、習熟のための訓練を繰り返すことが望ましい。一般的な防災訓練では判定対象となる被害状況を創り出す必要から、配付資料や写真の掲示などが行われている。しかし、資料や写真では実際にその部位に生じる被害をイメージしづらく、損傷度評価が形式的な作業になってしまうケースが多い。

著者らは、開発システムによる部材の損傷度評価訓練を支援するため、AR マーカーによるひび割れ表示アプリケーション（以下、AR アプリ）を開発した。AR アプリは、RC 部材の部材実験などの実際の被害なし・○（小破）・△（中破）・×（大破）レベルのひび割れ分布状況を、

建物の実部材に貼った AR マーカーを用いてオーバーレイさせることで、部材に発生する被害と損傷度レベルの関係を学習させるとともに、訓練の臨場感を高め、訓練効果、参加意欲を向上させることを目的としている。

AR アプリを用い、開発システムの実証実験として、実建物での部材の調査・確認を主とした訓練を行った。（図-5,6）

部材の確認作業は、概ね短時間でスムーズ進み、AR アプリの有効性についても肯定的な意見が多かったが、損傷度レベルの判断は、「難しい、わかりにくい」との声が多かった。実際の評価も、図-6 に示すように、設定した被災度と異なるケースがあり、危険側の評価となる場合は要注意である。

調査対象箇所と、開発システム上の図面での位置の照合が難しいという意見もあった。実際に登録部材を間違えているものもあった。今後は、建物内の測位など位置情報を用いて、効率的に調査箇所を回る仕組みの導入など、アプリケーションとしての機能強化が必要である。

訓練を行うことで、部材の損傷度の評価精度の向上が期待される。AR アプリの訓練での活用は、建物の損傷度レベルと被害の様相をリアルに把握することができるため、訓練参加者にも好評であった。



図-5 AR アプリによる訓練の様子

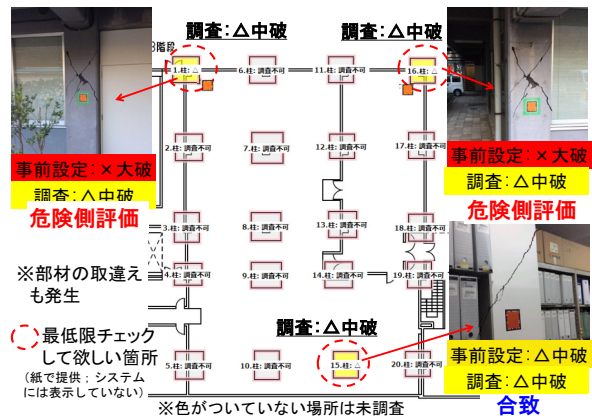


図-6 AR アプリによる損傷度判定

#### 4. 開発システムの運用における課題

実証実験などを通して浮かび上がった新たな課題について述べる。

##### (1) 災害時の確認・判定の課題

実証実験による訓練結果から、実際に建物の確認と判定を行う場合の課題が浮かび上がってきた。

一つは、結果が危険側の判定になる懸念である。

我々が設定した部材の損傷度レベルと、実証実験参加者が行った評価では、安全側・危険側の両側にブレが生じた。事前の想定では、専門家でない者は、小さな構造

部材のひび割れでも危険と考えると安全側の評価を行うと想定していたため、誤算であった。また、時間が限られる中で調査の効率化を図るため、事前に「最低限調査すべき部位」として調査の優先度を示したが、優先設定されていない部材に著しい損傷が発生した場合、調査対象として選択されないと判定結果への影響が大きい。訓練を重ねて、評価のブレを減らしたり、安全のためには損傷の著しい部材を積極的に調査・登録するよう指導するなど、調査・判定の習熟を図る必要がある。

もう一つの課題として、仕上げに覆われた部分など、構造部材の目視が困難な部位の調査がある。損傷度が低いと仕上げに覆われた部分の被害が明確に現れず、被災度の評価に反映されない。

今回の実証実験では、構造的に分割されたブロック（棟）ごとに階単位で評価を行っているが、ブロック同士が渡り廊下等で連絡している場合には、その部位を優先的に調査するなど、避難などの重要機能がある程度考慮するよう指導することが考えられる。

また、判定後の実践的対応を円滑に行うため、特に要注意の判定となった場合において、損傷部位の養生や危険エリアからの退避指示と立入禁止表示など、安全確保のための処置を行う災害対応訓練と組み合わせることで、調査－判定－必要な対処の一連の流れにより安全確認と使用継続の判断を下すような訓練も有効である。

なお、現時点の開発システムは web アプリケーションとして運用しているが、大地震時には、停電や情報通信インフラの遮断が生ずる可能性もある。現地の建物内でスタンドアロンに切り替えて運用が可能なシステム構成の検討も必要である。

## (2) 事前準備の重要性

内閣府の指針では、施設管理者が“建物設計者・構造設計者・建築施工業者・建築部門の職員”等の支援により、建物カルテの作成、“構造設計者・建築施工業者”等による構造的弱点の事前調査と被害予測、調査の順番（優先度）の検討、教育・訓練による習熟度の向上などが平常時の対応として要求されている。開発システムでも、同様の事前準備として、専門家の支援により“施設管理者”が調査対象箇所を設定し、現状確認や現況写真の登録などを行うこととしている。これらの作業は手間と時間が掛かるが、特に発災時に調査を行う立場である施設管理者にとって、自ら建物の現況確認や安全性・被害傾向を把握しておくことは、発災時における確認作業を円滑に行うことにつながる。

既存建物では、当初の設計者・施工者等が不明な場合もあり、その場合、建物への関与が薄い専門家に支援を依頼することになる。専門家は必ずしも図面等の資料のみで建物状況を把握できるとは限らず、建物の現状を熟知している施設管理者との協業によって初めて、確認すべき部材や実際の確認作業の可否を判断できる。

新築建物においては、専門家である設計者・施工者の関与が深い設計段階や竣工前に、同時に行われるのが作業内容の点からも効率的である。将来的には、竣工図書などの一環として整備が行われることが期待される。施設管理者においても、建物の維持管理記録の一環として業務に位置付けられることが理想である。

## (3) 専門家の関与について

前項で述べたように、事前準備としての調査対象箇所の設定等には、構造設計者など専門家の関与が重要な役割を占める。

調査対象箇所の選定においては、損傷発生部位の不確実性や被害率の把握の点から、基本的に耐震要素の全数が調査対象として指定されることが多い。しかし、施設管理者が調査に使える時間は限られるため、建物規模が大きい場合は対象箇所が膨大となり、全数チェックを前提とするとシステムが機能しない可能性が高い。専門家による“一番弱い階層や箇所”の確認や、“被害予測による調査の順番の検討”などが望まれるが、想定と異なる状況が発生した場合の責任が問題となりうる。そこで、開発システムの運用では専門家の支援により、一般的に建物の弱点となりうる可能性のある箇所（ピロティ周辺や隅柱など）や、建物規模が大きい場合は、各構面ごとに一定の数を確保できるよう妥当な調査箇所を抜粋した「最低限調査すべき部位」として、参考資料を作成することを推奨した。なお、実際に被害が大きいとみられる部位は優先して調査を行うものとする。

建物カルテ作成や開発システム初期登録のような事前準備作業や、継続的な事前情報の更新や訓練など、平時に行われる作業の分担や費用の負担、作業内容にかかわる責任の所在については、まだ十分議論されていない。人命保護に関わる重要な調査点検であるが、過度な責任が及ぶことで、施設管理者による点検体制の構築や専門家の協力を阻害することがないよう、点検の枠組み構築が望まれる。平時および災害時における施設管理者、専門家のみならず所有者も含めた関係者の役割について、災害時の重要性を鑑みて、議論を深めていく必要がある。

## 5. まとめ

建築構造の専門家ではない施設管理者等を対象として、構造部材を中心に確認、損傷度を評価し、残存する耐震性能をもとに建物の使用継続判断支援するシステムを開発した。実証実験として訓練を実施するなどの検証により、事前準備の重要性やその作業内容・費用に係る整理の必要性、訓練で生じた判定の誤差の改善の必要性、目視では困難な仕上げに覆われた部分の評価方法などの課題が洗い出された。

謝辞 本研究は、総合科学技術・イノベーション会議の SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「レジリエントな防災・減災機能の強化」（管理法人：JST）によって実施されました。

## 参考文献

- 1) 吉澤睦博, 芝崎良美, 青井淳, 池内淳子, 川野常夫: 地震後の建物使用継続判断の情報支援システムの開発 その 1～その 3, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, pp.463-468, 2017.7.
- 2) 青井淳, 吉澤睦博, 芝崎良美, 杉内章浩: 地震後の建物使用継続判断の情報支援システムの開発 その 4, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, pp.689-690, 2018.8
- 3) 日本建築防災協会・全国被災建築物応急危険度判定協議会: 被災建築物応急危険度判定マニュアル, 1997年
- 4) 日本建築防災協会・全国被災建築物応急危険度判定協議会: 応急危険度判定 過去の判定実績,  
<http://www.kenchiku-bosai.or.jp/nwcon017/wp-content/uploads/2018/08/987242e555da2a2c5579243a26a667f4.pdf>(参照 2018.9.28)
- 5) 内閣府（防災担当）: 大規模地震発生直後における施設管理者等による建物の緊急点検に係る指針, 平成 27年 2月
- 6) 国土技術政策総合研究所・建築研究所: 震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針 2015年改訂版, 2016年 3月