

即時建物被害予測技術の高度化 Development of the quick damage prediction/estimation technique

○楠 浩一・中村有紀子・松岡昌志・毎田悠承・丸山喜久・前田匡樹・倉田真宏・中島唯貴
○Koiochi KUSUNOKI, Yukiko NAKAMURA, Yusuke MAIDA, Yoshihisa MARUYAMA, Masaki MAEDA,
Masahiro KURATA, Tadayoshi NAKASHIMA

The damage distribution and its level in the earthquake-affected area need to be comprehended soon after an earthquake. Fragility functions are usually used for that when PGA/PGV is available. Quick inspection, which is based on visual observation, is also conducted to classify the damage level of the buildings. It is revealed during the past earthquakes that the quick inspection took a long time. In this research, the current situation of the fragility function development is overviewed. New techniques to overcome the problem of the current quick inspection method, such as satellite/UAV image utilization, structural health monitoring with sensors, are also investigated. (101 words).

1. はじめに

巨大地震発生時に早期に災害対応を実施し、二次被害を軽減するためには、迅速な被害把握が不可欠である。今日では、依然として被害把握には「応急危険度判定」や「被災度区分判定」といった、技術者の目視に依る方法を用いている。これらの方法は、非常に時間がかかり、またそもそも仕上げなどにより構造体が見えな、超高層建物などで目視調査が現実的ではない、といった問題がある。

これらの問題を解決するため、今日では、①衛星画像を用いた超広域被害把握、②ドローンなどの飛行体を用いた広域被害把握、③構造物に設置したセンサーを用いた被害把握、等の方法が精力的に開発されつつある。

そこで本研究では、目視調査に代わる新たな方法として、上記①～③の手法に着目し、その概要と実現可能性について調査を行う。災害対応策として採用するためには、その精度評価が重要となるため、特に精度に関する情報の整理を行う。

地面での最大加速度や最大速度といった地震動の指標値を予測または計測し、経験的に求めたその指標値と被害率の関係を用いて被害程度を推定する方法はこれまでも広く用いられてきた。この指標値と被害率の関係は「 fragility 曲線」と呼ばれ、一般的にはこれまでの地震被害における実建物の被害程度と予測・観測された最大地動加速度 (PGA) や最大地動速度 (PGV) の関係から経

験則として求められてきた。最近でも 2016 年熊本地震や 2011 年東北地方太平洋沖地震での被害を参考に、木造建物の fragility 曲線は更新されてきた。一方、近年の巨大地震では構造被害が限定的となりつつある鉄筋コンクリート造建物では、同様の手法で fragility 曲線をステイすることは困難となりつつある。

そこで本研究では、近年の fragility 曲線の検討例とともに、地震被害ではなく、非線形地震応答解析を援用した fragility 曲線の作成方法の開発についても、その可能性を検討する。

2. 衛星画像を用いた超広域被害把握

人工衛星搭載の合成開口レーダ (SAR) を用いて熊本地震の全壊判定の建物の詳細被害 (層破壊、傾斜、壁・屋根被害) の検出可能性について検討を行い、地震前後の位相情報の干渉性から、ある程度被害程度を分離できる可能性があることを明らかにした。

3. ドローンを用いた被害把握技術

ドローンを用いた建築物の地震時動変位計測の有効性確認を目的として、ドローンを活用した振動台実験の光学的動変位計測を行った。実大木質架構振動台実験の加振時にドローンにより動画を撮影し、試験体の応答変位を計測した。変位計による計測結果と比較すると、大きな差異はなく、ドローンで撮影した動画による応答変位計測の有

効性が確認された。試験体にターゲットを設置せずとも、応答変位を概ね捉えられたため、実建築物でターゲットがない場合でも問題はないと考えられる。撮影途中でドローンが動いてしまい変位計による計測値と差異が生じるケースもあったため、より精度良く計測するための手法構築が今後の検討課題である。

4. 構造物に設置したセンサーを用いた被害把握

建物の被災度は、現状では目視調査による被災度区分判定を実施して、建物の被災度を無被害・軽微・小破・中破・大破・倒壊に分類する。建物の各階に1個程度の加速度計を配して地震時の加速度を計測し、等価線形化法を援用して建物全体の被災度を原稿の被災度区分判定方法と同様に分類する手法について、検討を行った。また、同システムを東京大学の建物および文化財である五重塔に設置し、観測を開始した。

インフラ設備については、2016年熊本地震の熊本市および益城町、2011年東北地方太平洋沖地震の仙台市と福島県いわき市、2007年新潟県中越沖地震の新潟県柏崎市の上水道管路の被害データを用いて、現行の被害予測式との比較を行った。具体的には、上水道管路の被害率に対する様々な要因の影響度を明らかにするために、これらの上水道管路被害データを用いて、管路被害率を目的変数とした数量化理論Ⅰ類による回帰分析を行った。その結果、PGVの影響度が最も大きく、次いで管種、液状化の影響度が大きいという結果になった。微地形、微地形境界条件の影響度はほぼ同程度で、あまり大きくなかった。

5. フラジリティ曲線の高度化

阪神・淡路大震災以降、多くの建物フラジリティ関数が作られてきているが、被害認定調査の被害程度の定義が変わってきていることや、高密度の強震観測により信頼性の高い地震動情報が得られるようになってきていることを受けて、より実効性の高い建物フラジリティ関数の構築が喫緊の課題になっている。そこで、2016(平成28)年熊本地震の益城町と宇城市の被害認定調査(罹災証明)データを用いて、PGVおよび計測震度に対する構造別(木造・S造・LS造)、木造については建築年代別の建物フラジリティ関数(全壊率・大規模半壊以上・半壊以上)を構築し、既往の関数と比較した。さらに、人的被害の推計を目的に、益城

町の罹災証明データに基づき層破壊建物を判定する深層学習モデルを構築し、大量の現地写真から層破壊建物を特定して被害分析を行うとともに、PGVおよび計測震度に対する木造建物の層破壊のフラジリティ関数を構築した。

鉄筋コンクリート造については、木造建物と比較すると地震被害を受けた建物棟数が少なく、その多くが甚大な被害をもたらした兵庫県南部地震による被害であり、被害関数はこの被害に適合するように作成されていることがほとんどである。そこで、一質点系モデルの地震応答解析による被害関数の構築手法に関して検討をおこなった。RC建物モデルとしてTAKEDAモデルを用いた。建物モデルの弾性周期と降伏時ベースシア係数のばらつきは、建物階数別の棟数統計データ・既往文献をもとにそのばらつきを確率密度関数として仮定し、これらの分布に沿うような一質点系モデルを一万通り作成した。入力地震動としては観測点周りの建物被害率が求められている53か所の強震観測記録を、建物弾性周期の4倍の周期分布で重みづけした速度応答値で基準化して使用した。地震応答解析による最大応答値が閾値(ここでは塑性率4)を超えるものを大破と判定することとして、解析ケースの半数が大破となる時被害率50%であるとして被害関数を構築し、既往の被害率関数に概ね対応した結果が得られた。

6. まとめ

巨大地震災害発生時に有効な対策を迅速に実施するためには、建物やインフラ施設の被害程度とその場所を即時に把握する必要がある。その手法としては、これまでは震前対策としての地震被害予測、震御対策としての応急危険度判定・被災度区分判定がある。

前者は地震と各地点での揺れの大きさを正確に予測すること、および各地点での揺れに対する被害程度を正確に予測するフラジリティ曲線の開発が必須である。後者については、これまでの目視による調査では時間がかかりすぎる問題がある。

そこで本研究では、フラジリティ曲線の高度化と、地震被害発生時に即座に建物・インフラ施設の被災度を判定する技術の概要を調査した。来るべき都市直下での地震や東海・東南海・南海地震への備えとして、継続して研究を実施し、災害対応力を高めておく必要がある