

建築物の震災復旧支援システムの開発

宮城県の公共施設の地震直後における被害予測手法の検討 リハビリテーション工学研究室 菅原 裕太

1. はじめに

応急危険度判定は 1995 年兵庫県南部地震を契機に全国的に判定士組織が整備され、近年の地震災害（2003 年宮城県北部連続地震、2004 年新潟中越地震など）においても一定の成果が挙げられている。しかし、その目的が余震などによる二次被害を防止することにあるため余震活動が活発な数日間のうちに判定を完了させることが望まれるが、活動開始までの情報収集・伝達等に時間を要し地震発生後の 2、3 日後から本格化しているのが現状である。特に被災者が収容される避難所や病院、警察・消防などの防災拠点施設は早急に使用の可否を判断し、被災した施設は速やかに復旧を行う必要があるが、これらの施設の中には危険度判定が行われないまま使用されている事例もあり問題となっている。

そこで、本研究では建築物の判定活動および復旧活動の迅速化を目的としたシステムの開発・研究の一環として、建築物の被害予測についての検討を行った。

2. 復旧支援システムの概要

建築物の震災復旧支援システムは、地震直後に得られる情報をあらかじめデータベース化しておいた建物情報(所在地、構造、建築年、Is 値等)と合わせることで建築物の被害程度の予測を行い、その予測結果と実被害などの情報を集約・発信することを通して、被害調査および復旧活動の効率化を支援することを目的としている。システムの動作フローは図 1 のようになる。

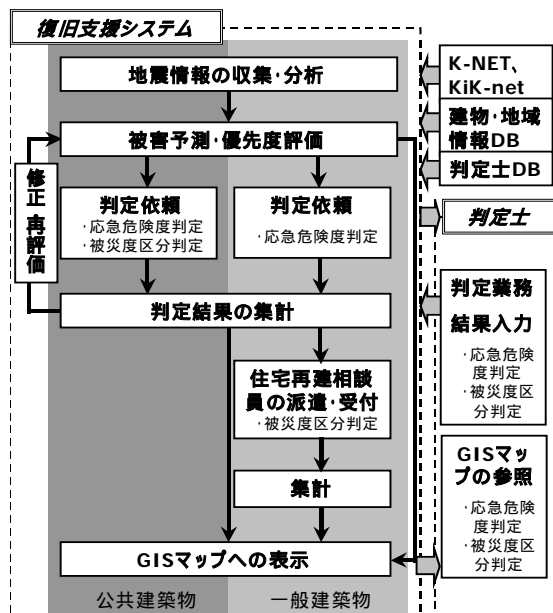


図 1 システムのフローチャート

震災復旧支援システムは次の機能を持つものとする。

(1) データベースによる情報管理

建築物データベースとして、施設名、施設の住所、緯度・経度、構造種別、階数、建設年、Is 値、C_TS_D 値、発災時の用途（避難所、医療施設、災害対策本部など）

応急危険度判定・被災度区分判定の結果等を集約する。また、判定依頼のための判定士データベースとして、氏名、連絡先、勤務地等を登録し、地区ごとの人口密度、地盤情報、建物の棟数や建設年代の構成割合などを地域情報のデータベースとして登録する。

(2) 地震情報の収集・分析

震源、マグニチュード、計測震度、観測波形(K-NET、KiK-net)などを収集し、観測点以外の地点の補間計算や応答スペクトル計算といった分析を行う。

(3) 建築物の被害予測

計測震度と建物 Is 値を用いた被害率曲線(フラジリティカーブ)による予測と、応答スペクトルと Is 値・C_TS_D 値を用いた限界耐力計算による被害予測を行う。

(4) 判定活動にあたっての優先度評価

優先度の評価は、施設の予測被害や周辺の被害程度(需要)、施設の重要度などの要素をいくつかのランクに分け、道路の寸断状況やその他の地形的制約を含めた視覚的検討ができるよう、GIS マップ上に色分け表示する。

(5) 判定士への情報伝達

優先度の高い建物から順に判定士を判定士データベースから選び、担当建物の情報と判定結果入力フォームの URL を合わせて判定依頼メールを送信する。

(6) GIS を用いた判定結果の集計・表示

Web 上の入力フォームから入力・送信された判定結果やその他の被害情報は、建築物データベースに登録された GIS マップ上に即時表示され、被災範囲や判定活動の進捗状況をリアルタイムに把握することができる。

3. 建築物の被害予測

被害予測は以下の二段階に分けて行うものとする。

第一段階：被害率曲線による予測

地震発生直後に発表される計測震度を使った予測として、被害率曲線による被害予測を行う。被害率曲線は既往の研究⁴⁾で提案されている現行の震度階級に従った、Is 値別被害率曲線を用いる。予測にあたり必要となる各地点の震度は、観測点の震度を補間することによりもとめる。補間の概要を図 2 に示す。まず、観測値を観測点ごとに表層地盤の増幅率で除し工学的基盤まで落とす。このとき、表層地盤の増幅率は防災技研が公開している 500m メッシュの地形分類データ²⁾(最大速度増幅率)を用い、その使用にあたって(1)に示す翠川他(1999)の式¹⁾により計測震度 I を最大速度 V_{max} に変換する。

$$V_{\max} = 0.02766 \times 10^{0.581} \text{ [Kine]} \quad (1)$$

次に、もとの最大速度を表層地盤の最大速度増幅率²⁾で除し工学的基盤まで落とし、基盤上で線形補間³⁾する。補間後、その地点における最大速度増幅率を掛け合わせることで各地点の地表における最大速度をもとめ、式(1)により再び計測震度に変換する。以上の手順により

震度を補間した後、図3に示す被害率曲線⁴⁾を用いて加速度 a と構造耐震指標 Is 値から被害確率(大破以上、中破以上、小破以上)をもとめる。このとき加速度 a は計測震度 I の定義式の変形である式(2)からもとめられる。

$$a = \sqrt{10^{(I-0.94)}} \text{ [gal]} \quad (2)$$

建物の被災度は、軽微以下、小破、中破、大破の確率に1、2、3、4のウエイトをそれぞれ付与し平均したものを被災度指数(表1)と定義し、その値によって推定する。

表1 被災度指数

	軽微・無被害	小破	中破	大破・倒壊
被災度指数	~ 1.5	1.5 ~ 2.5	2.5 ~ 3.5	3.5 ~

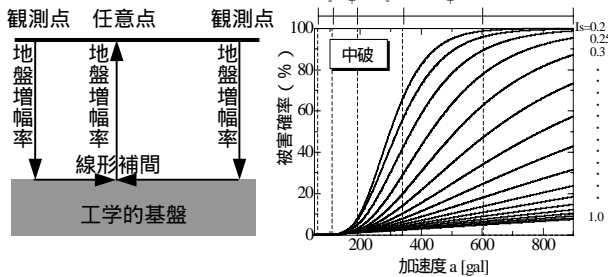


図2 補間手法概要

図3 被害率曲線

第二段階：限界耐力計算による被害予測

時刻歴波形を用いた被害予測として、限界耐力計算による被害予測を行う。予測には各地点の応答スペクトルが必要となるが、これも第一段階と同様、表層地盤の剥ぎ取りと基盤上での線形補間によってもとめる。限界耐力計算にあたっては、まず予測対象となる建物の耐力曲線を最小Is値とCrSd値から図4のようにモデル化する。塑性率に対応する被災度は京都市の地震被害想定⁵⁾や被災度区分判定の技術指針⁶⁾を参考にした。

次に、加速度応答(Sa)スペクトルと変位応答(Sd)スペクトルを同じ減衰定数で周期を変化させ値をプロットすることで得られるSa-Sd曲線と建物の耐力曲線を重ね合わせ(図5)その交点から被災度を推定する。尚、重ね合わせの際は被災度区分判定の技術指針⁶⁾などを参考に第一折点が1/150になるよう横軸を揃えるものとする。

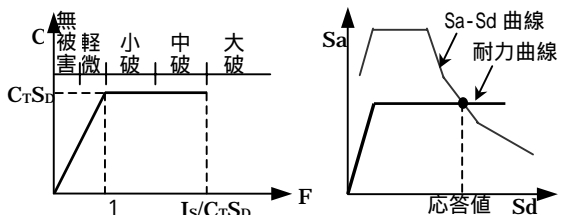


図4 耐力曲線

図5 応答スペクトル法

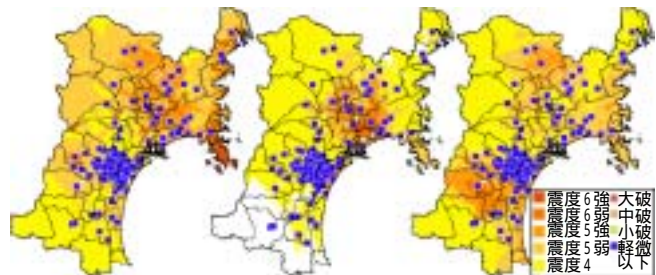
4. 過去の地震を用いたシミュレーション

前節で提案した被害予測手法を用いて、第一段階の予測については宮城県内の RC 造公共建築物 480 施設を、第二段階では 16 施設を対象に過去の地震災害(2003 年宮城県北部連続地震、2005 年宮城県沖の地震)を想定したシミュレーションを行った。第一段階の予測では実被害と概ね一致する結果となったが(図6)、このうち RC 造公共建築物にも被害が多く見られた 2003 年 7 月 26 日の地震を想定した場合については、矢本町や鳴瀬町に被

害が予測され、これは実際の被災地域とも一致する。また個々の建物についても実被害に概ね一致する結果(表2)が得られたが、Is 値の比較的高かった北村小が大破しているなど必ずしも一致しない部分も見られた。これについては、表層地盤の影響等で局地的に大きな地震動が生じた可能性や前震・余震の影響などが考えられるが、現段階の予測手法においてこのようなケースを考慮するのは難しいことから、ある程度広い範囲(町・地区レベル)でその分布を見るような使用方法であれば一定の信頼度が得られるのではないかと考えられる。

表2 被害予測結果(2003年7月26日の場合)

建物	Is値	推計震度	予測被災度(被災度指数)	実際の被害
矢本町民体育館	0.23	6.19	中破(2.94)	RC壁の割裂
矢本高等学校	0.29	6.20	中破(2.64)	中破
小野小	0.25	5.93	小破(2.31)	小破
矢本第一中	0.38	6.22	小破(2.09)	小破
南郷高等学校	0.34	5.93	小破(1.72)	被害報告なし
北村小	0.45	5.99	軽微以下(1.41)	大破
鹿島台小	0.39	5.85	軽微以下(1.39)	小破
矢本東小	0.64	6.20	軽微以下(1.27)	軽微
...			(以下軽微以下で実被害と一致)	



03年5月宮城県沖 03年7月宮城県北部 05年8月宮城県沖

図6 被害予測シミュレーション結果

第二段階の予測については、地盤データの都合上 K-NET 観測点付近の限られた地点における実際には被害を受けていない建物 16 施設についてのシミュレーションとなったが、結果としてはいずれも軽微以下と予測され実被害に即したものが得られた。

5. まとめ

過去の地震を想定したシミュレーションを通して、提案した予測手法について一定の精度を確認することができた。このことから、応急危険度判定のための予備情報として当システムの被害予測機能に有用性が認められると考えられる。また、データベースについては被害予測に直接関わってくることから、今後システムを運用していく上で一層の充実化が必要と考えられる。

参考文献

- 1) 翠川三郎, 藤本一雄, 村松郁栄: 計測震度と旧気象庁震度および地震動強さの指標との関係(地域安全学会論文集, No.1, pp.51-56, 1999)
- 2) 翠川三郎, 松岡昌志: 国土数値情報を利用した地震ハザードの総合的評価(物理探査, Vol.48, No.6, pp.519-529, 1995)
- 3) 川名清三, 柴山明寛: 広域な面的震度情報を対象とした関東におけるリアルタイム地震情報システムに関する研究(日本建築学会大会学術講演梗概集 2000, p.65 ~ p.68)
- 4) 四十万智博: 宮城県公共施設における耐震改修と地震リスクの評価(平成十六年度東北大学修士論文)
- 5) 京都市: 京都市第3次被害想定
- 6) 日本建築防災協会: 震災建築物の被災度判定基準および復旧技術指針(2001)
- 7) 日本建築学会: 2003年5月26日宮城県北部の地震災害報告 2003年7月26日宮城県北部の地震災害報告