

1. はじめに

木造住宅の耐震診断は、多くの自治体で助成制度を設けていることもあり、年々実施棟数が増えてきている。十分な耐震データが集まれば建物群の耐震性能の分布を把握することが可能となり、これを用いた被害関数により被害想定などの精度を向上することが期待できる。

また建物モデルを仮定し、応答スペクトル法や地震応答解析などによって建物の応答変形を計算し、そこから被害関数を構築する方法¹⁾により建物の構造特性やさまざまな地震動特性を考慮できる。

そこで本研究では、耐震診断の結果より建築年代別の耐震性能を考慮し、限界耐力計算による応答推定から被害推定を行い、木造住宅被害関数を提案する。

2. 木造住宅耐震診断結果と分析

本研究では平成 17 年度宮城県木造住宅耐震診断助成事業の実績²⁾より、上部構造評点や建築年代などデータがそろっている 760 件を使用した。結果の分析を行うにあたり、耐震基準改正による影響を考慮し、1950 年以前、1951 年以降 1970 年以前、1971 年以降 1981 年（旧建築基準）以前に建設された住宅の 3 つに区分した。

耐震診断結果を分析し、年代別に上部構造評点の頻度分布および対数正規分布をモデルに頻度分布近似曲線、累積密度関数を推定した（図 1）。

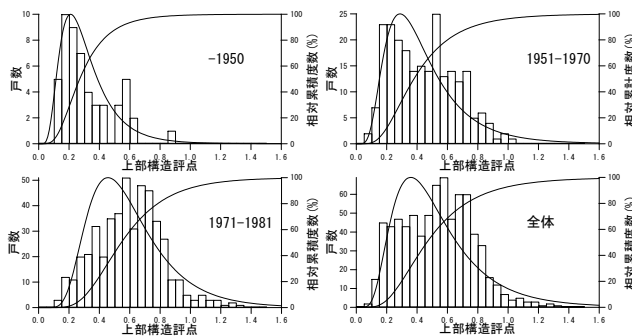


図 1 頻度分布、近似曲線、累積密度関数

このデータから耐震補強を必要とする上部構造評点 1.0 未満の耐震性に不安のある住宅の割合がどの年代でも 9 割近くあり、耐震補強の緊急性の高い上部構造評点 0.7 未満の住宅も 7 割～9 割存在し、早急な地震対策が必要である。またこの結果は、耐震改修促進法に基づく平成 17 年度から行われた新耐震診断基準で、耐震診断基準の遷移に伴い評価項目が増えたことにより診断基準が旧耐震診断基準に比べ厳しくなったと考えられる。

3. 木造住宅被害関数の構築手法の提案

本研究では、耐震診断の結果から建築年代別の耐震性能を考慮し限界耐力計算による応答推定から被害推定を行い、木造住宅被害関数を提案する。概要について図 2 に示し、構築手法について以下に詳しく述べる。

① 木造住宅の復元力特性のモデル化

年代別に建物を構成する耐力壁要素を設定した。耐力壁要素の復元力特性は、「木造住宅の耐震診断と補強方法」³⁾の一般的要素評価の標準骨格曲線データを用いた。このデータは安全率を確保し実験の最小値をとっており、当研究室で行われた木造耐力壁の振動実験結果を考慮して荷重・変形ともに 1.2 倍してモデル化した（図 3）。

建物全体の復元力特性は、上部構造評点を基に建物を構成する耐力壁の割合を設定し、モデル化した耐力壁要

素の足し合わせを行った後、建物全体としての変形等を考慮して最大耐力の 50%に達したところで耐力が一定になると仮定しモデル化した（図 4）。

② Sa-Sd 曲線と復元力特性との重ね合わせによる被災度と地震動強さの関係

限界耐力計算法で与えられる告示のスペクトル（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、建物全体の復元力特性の重ね合わせによって交点を求め、入力倍率を 1%刻みに 200%まで変化させることで、被災度と地震動強さ（最大速度=PGV）の関係を求める。ここで最大化速度（PGA）は周期 T=0 のときの Sa と考えた。また減衰定数は、木造住宅に用いられている壁の等価粘性減衰定数が変形角による差が小さいことがわかっている³⁾ことから一律 15%とした。被災度区分は木造住宅の被災度区分判定基準⁴⁾や小樽山、山崎らの研究⁵⁾を参考に、建物の変形角（等価質点系の代表変位）で図 5 のように設定した。

③ 被害関数の提案

②で求めた被災度と地震動強さの関係と 2 章でモデル化した頻度分布の累積密度関数より、年代に被害率と地震動強さの関係を求め、兵庫県南部地震の木造住宅被害関数に関する研究⁶⁾と比較するため対数正規分布の累積密度関数で近似することで被害関数を求める。

本研究では PGA を PGA と PGV の比 PGA/PGV を設定することで PGV に変換する。これは PGA/PGV が地震動のおよその卓越周期等が把握できるからである。今回は地震応答解析等でよく用いられる代表的な地震の Elcentro. NS, Taft. EW, Hatinoh. EW, Kobe. NS の PGA/PGV を求め平均して 8.97 と設定した。

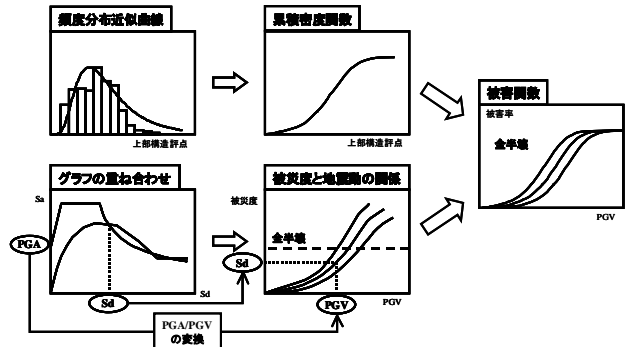


図 2 木造住宅被害関数の構築概要

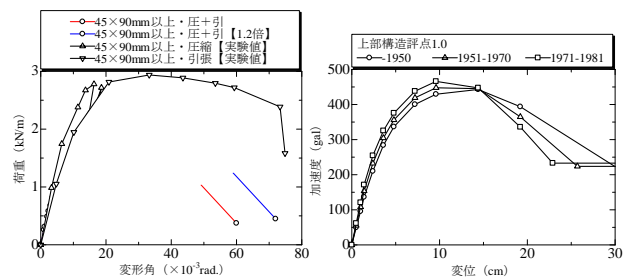


図 3 耐力壁の復元力特性

図 4 建物の復元力特性

| | | | | |
|-------|------|------|------|------|
| 1/120 | 1/60 | 1/45 | 1/30 | 1/15 |
| 無被害 | 被害軽微 | 小破 | 中破 | 大破 |
| | | 一部損壊 | 半壊 | 倒壊 |
| | | | | 全壊 |

図 5 最大応答変形角と被災度区分の関係

4. 被害関数の評価

4.1. 兵庫県南部地震との比較

提案手法により作成した被害関数と兵庫県南部地震での木造住宅被害関数との比較を行う。提案手法による被害関数は他の地震被害の実例に比べて、被害率をかなり大きめに評価する傾向が見られたので、以下に被害関数の修正を行う。

4.2. 被害関数の修正

(1) 分布モデルの修正

本研究で用いた耐震診断結果は、住宅所有者の申し込みにより実施されたものであるため、住宅の老朽化など耐震性に不安がある建物の割合が比較的高いと考えられる。図1で上部構造評点1.0未満の建物の割合が9割以上というのは、過去の地震被害や他の統計データを考えてもかなり低い分布となっている。また木造の耐震診断は公共建築の耐震診断などに比べ図面と実際の状況など異なることが多く、床下や小屋裏から可能な範囲での調査を行うため、未確認の耐震要素の耐力が含まれず、実際の性能より低めの耐力となっている可能性がある。耐震診断結果を用いて実際の建物全体の耐力を求める際には修正が必要であると考えられ、分布モデルの修正として上部構造評点を1.5倍したモデルを考えることとする(図6)。

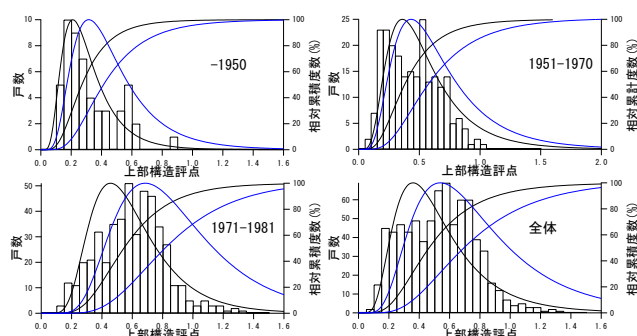


図6 頻度分布、近似曲線、累積密度関数の修正

(2) PGA/PGV の修正

PGA/PGV に関しては、震源(内陸浅発地震、プレート境界地震、スラブ内地震等)や表層地盤の特性(山地境界、丘陵地、埋立地等)などによりばらつきが考えられる。建物への影響が大きいと考えられるのはPGA/PGVが5~10の範囲に多いと考えられているが、実際にここ数年で起きた代表的な被害地震の記録を調べたところ、PGA/PGVは2~40以上(液状化した地点を含む)であった。そこでばらつきをおさえることと、本研究で使用している告示のスペクトルに適応させるため、告示のスペクトルから模擬地震動を作成し⁷⁾PGA/PGVを求め平均して7.0と設定する。

4.3. 考察

提案手法による被害関数を、兵庫県南部地震の木造住宅被害関数とともに被災度別に図7に示す。被害関数を修正したことにより、PGVに対する被害率は過去の地震被害での傾向に近づいたと考えられるが、兵庫県南部地震の被害関数とはまだ大きく異なっている。この原因のひとつにはSa-Sd曲線を告示のスペクトルに基づいていることが考えられる。また、全壊の被害関数の場合に、-1950曲線と1951-1970曲線とが交差する結果となっており、被害関数の作成手法に検討の余地が残されている。

検討項目のひとつとして、建物全体の復元力特性設定の際に耐力壁要素だけで復元力特性を決定し、建物全体としての変形等を考慮し最大耐力の50%に達したところ

で耐力が一定になると仮定してモデル化したところが挙げられる。しかし部材や耐力壁要素の挙動と実際の建物の挙動を考えたときに終局状態、すなわち倒壊する変形角での評価は、実際の建物でもばらつきが大きく、モデル化することが一般的に難しい。

他にも建物の復元力特性を設定時にはその他の耐力壁要素以外の要素を考えた設定が必要である点や減衰を一律15%と設定した点なども考えられる。また4.2で修正した、耐震診断結果の分布モデルと実際の建物の耐力分布との関係の再検討や震源や表層地盤の特性別のPGA/PGVの設定も必要であると考えられる。

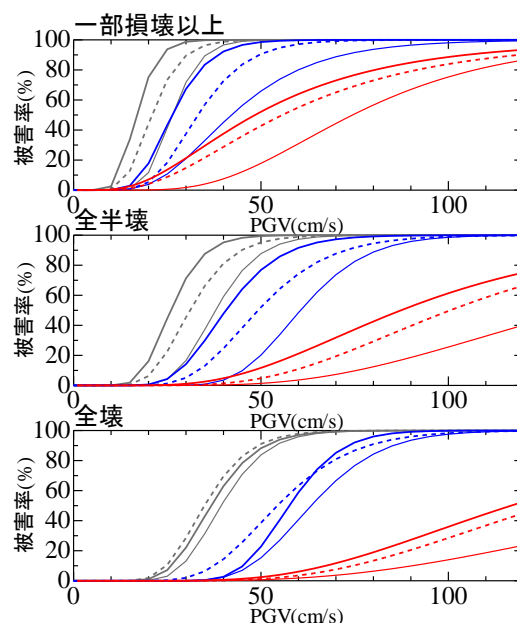
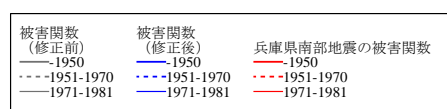


図7 被害関数の比較

5. まとめと今後の課題

本研究では耐震診断の結果から建築年代別の耐震性能を考慮し、限界耐力計算による応答推定から被害推定を行い、木造住宅被害関数を提案した。今後、地震被害想定や耐震診断結果などを評価する際、ひとつの指標として活用することが可能となると考えられる。

今後の課題としては、建物全体の復元力特性設定や減衰を考慮した限界耐力計算、耐震診断結果と建物の耐力分布との関係の再検討、PGA/PGVの設定などの問題も残されており検討していく予定である。

参考文献

- 1) 山口直也、山崎文雄：地震応答解析に基づく建物被害関数の構築，生産研究，p341-344，52巻8号
- 2) 社団法人 宮城県事務所協会：平成17年度 木造住宅耐震診断助成事業実績一覧
- 3) 財団法人 日本建築防災協会：木造住宅の耐震診断と補強方法 木造住宅の耐震精密診断と補強方法(改訂版)
- 4) 財団法人 日本建築防災協会：震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針
- 5) 小檜山雅之、山崎文雄：耐震診断データに基づく木造建物の被害関数，日本建築学会構造系論文集，第570号，p137-144，2003年8月
- 6) 村尾修、山崎文雄：自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数：日本建築学会構造系論文集，第527号，p189-196，2000年1月
- 7) 大崎順彦：新・地震動スペクトル解析入門，鹿島出版会