

地震動の繰り返しを考慮した地震動破壊力指標の提案と木造構造物被害予測に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/26896

氏 名	村田 晶
学 位 の 種 類	博士 (工学)
学 位 記 番 号	博乙第319号
学 位 授 与 の 日 付	平成19年9月28日
学 位 授 与 の 要 件	論文博士 (学位規則第4条第2項)
学 位 授 与 の 題 目	地震動の繰り返しを考慮した地震動破壊力指標の提案と木造構造物被害予測に関する研究
論文審査委員 (主査)	北浦 勝 (自然科学研究科・教授)
論文審査委員 (副査)	川上 光彦 (自然科学研究科・教授), 松本 樹典 (自然科学研究科・教授), 宮島 昌克 (自然科学研究科・教授), 小池 武 (武蔵工業大学・教授)

学位論文要旨

In general, seismic intensity, peak ground acceleration (PGA), peak ground velocity (PGV) and spectral intensity (SI) have been used as the indices of destructive power on earthquake motion. However, it is quite important to consider the number of earthquake response cycles in the vicinity of the maximum response and natural period of structures for predicting damage to structures. Especially, destruction of the wooden structure was expanded by aftershock after the main shock in 2004 Niigata-ken Chuetsu earthquake. In this study, the influence by accumulation of the earthquake motion on wooden structure destruction is considered. The fatigue response spectral intensity (FSI) of having taken the repetition of earthquake motion into consideration is applied, and a relation with wooden structure damage is considered. In addition, existing probability of natural period of wooden houses is taking into account in this index. In this study, It is predicted to the wooden structure damage using the FSI index in Kanazawa City. As a result, it was clarified that accumulation of an earthquake motion influences structure damage and the earthquake motion destructive power index proposed by this research that accumulation of the earthquake motion can be taken into consideration is effective.

日本列島は環太平洋造山帯に位置しているため、古来より活発な地震活動により多くの災害を被ってきた。20世紀には死者10万5,000人以上となった1923年関東地震(M7.9)、津波で多くの人的被害を出した1944年南海地震(M7.9)、1946年南海地震(M8.0)、木造家屋の倒壊により3,800人以上の死者を出した1948年福井地震(M7.1)などの大きな地震が挙げられる。さらに忘れてならないのは、1995年兵庫県南部地震である。

兵庫県南部地震は、1995年1月17日5時46分に発生した淡路島北端を震源としたM7.3の直下型地震である。この地震は都市直下型であったため、きわめて大きな被害をもたらした。この地震による死者は約6,400人、負傷者は43,000人以上にも達した。死者のうち9割は圧死によるものであり、このうちの大部分は木造構造物の下敷きになったものと推定される。兵庫県南部地震における主な市町の木造構造物被害は、神戸市だけで全壊棟数61,995棟、半壊棟数32,114棟で、全壊率は13.5%であった。さらに神戸市を含めた被害を受けた地域すべての全壊棟数は約10万棟にまで達した。また、火事により消失した木造構造物も多くあった。さらに木造構造物への被害が大きかった兵庫県南部地震以前の地震として、1948年の福井地震が挙げられる。この地震では大きな揺れによって多数の木造構造物が倒壊し多くの圧死者が出たが、その数は犠牲者約3,800人のほとんどすべてを占めた。このような木造構造物の破壊によって多数の死者が出たのは、福井地震以降阪神大震災まで無かったことであり、地震被害が大きかった新潟地震(1964)や宮城県沖地震(1978)では、液状化、斜面崩壊など地盤に起因する被害が主であったことから、木造構造物の倒壊などによる死者は新潟地震で26名、宮城県沖地震では死者28名(うちブロック塀倒壊の下敷きによる死者18名)と、圧死者は兵庫県南部地震に比べ少なかった。兵庫県南部地震以降も2000年鳥取県西部地震(M7.3)が発生し、幸いなことに地震による直接の死者はいなかったものの、木造構造物は全・半壊合わせて3,500棟以上の被害を受けた。

21世紀に入っても、2001年芸予地震(M6.7)、2004年新潟県中越地震(M6.8)、2005年福岡県西方沖地震(M7.0)、2007年能登半島地震(M6.9)などの大きな地震が続いている。これらの地震においても

木造家屋の被害は大きく、新潟県中越地震では2,000棟以上の家屋が全壊した。また、今世紀中にも東海～南海を震源としたマグニチュード8程度の大規模な地震が発生する恐れがあり、各自治体は対応を迫られている。この震源域でのかつての地震では、大津波で1,000人以上の死者を出したことがあり、広範囲で大規模な被害が予想されている。これらの予想される大規模な地震において被害を最小限に止めるためには、地震直後の救助活動を効率的に行う必要がある。そのためには、事前にどの程度の地震が発生し、どの程度の被害が出るのかを把握しておかなければならない。すなわち、被害の程度と相関を持つ破壊力指標が必要となる。また被害想定には、対象地域の構造物モデルと想定地震外力・地震応答の推定が不可欠である。

ところで構造物への影響をより定量的に評価するために、様々な地震動破壊力指標が提案され、被害（実被害、構造物最大応答）との検討に用いられている。一般に地震動の破壊力を示す指標として、入力を用いるものに計測震度、最大地動加速度（PGA）、最大地動速度（PGV）、応答を用いるものとしてスペクトル強度（SI）が挙げられる。周期0.5秒程度以下である短周期構造物の被害では最大地動加速度と相関が高く、周期2秒程度以上の長周期構造物では最大地動変位との相関が高い。また、中間的な周期の構造物では最大地動速度との相関が高い。実際の構造物では中間的な周期をもつものが多いことから、最大地動速度が地震動の強さの指標としてより一般的とも考えられている。しかしながら、地震動の特性は最大振幅だけでは表現できず、時間特性や振動数特性も重要な特性である。地震動の振動数特性を知るために一般的に用いられるものに、フーリエスペクトルと応答スペクトルがある。フーリエスペクトルは、時刻歴で表わされた波形に含まれる各種の振動数成分の振幅を示したものであり、応答スペクトルは、1質点系の応答の最大値を表わしたものであり、加速度、相対速度、相対変位の各種の応答スペクトルがある。フーリエスペクトルは、地震動そのものの振動数特性を表わすものであって、そこには構造物という概念はなんら介在していない。これに反して応答スペクトルは、地震波が1質点系によって代表される構造物に与える最大の影響を表現しているものである。ところが、これらの指標は地震動により構造物が何回揺らされるか、低サイクルの繰り返しによる劣化がどのくらい拡大されたかという点を考慮していない。揺らされた回数が多いほど構造物の被害は大きくなると考えられることから、実際の地震動による被害を表すためにはこの点を考慮する必要がある。例えば2004年新潟県中越地震のように本震と同等の地震力を有するような余震が引き続き発生する場合には、本震後の余震によって木造構造物の破壊が拡大したことが知られている。また、東海地震、東南海地震、南海地震のような地震動継続時間の長いプレート境界型地震では、木造構造物は地震動の繰り返しによる影響を大きく受けると考えられる。これらより木造構造物の破壊に対する地震応答の繰り返しによる影響のあることは多くの研究者が指摘している事柄だが、しかし、繰り返しの程度を定量的に明らかにした地震動破壊力指標は未だ提案されていないのが現状である。

この研究を進めるに当たっては、地震による被害予測を正確かつ迅速に行うための地震動破壊力指標が必要となること、木造構造物特性を十分に考慮した地震応答解析モデルを用い、木造構造物被害と高相関となるような被害関数の構築が必要であること、高精度で地震被害予測可能な地震動推定手法が必要であること、がある。地震動破壊力指標の算出には、実被害データを基に構築しようとする、被害構造物それぞれの特有な被害要因に影響される、ばらつきの多いデータから被害関数を構築することになるため、構造種別や建築年代などによる被害の差を取り込むことはできても、高精度な被害関数を構築することは難しい。さらに、建築されてから時間が経っているほど建築環境や維持管理状況のばらつきが大きく、被害に差が生じることは自明であるため、このことを考慮しないで詳細な被害予測を行うための指標を構築することは不可能である。そこで、地震動波形の繰り返しによる構造物の破壊を考慮した指標である疲労応答スペクトル強度（Fatigue response Spectrum Intensity : FSI）を提案し、その指標に木造構造物の建築年代構成を計算周期範囲と構造物存在割合として考慮することで、建築年代ごとの木造構造物被害との関係から指標値を評価する。

木造構造物に対する地震応答解析モデルの構築については、終局的な破壊に至る変形についての検討が不可欠である。すなわち破壊に至る過程において、構造物の部材への荷重と変形との関係は線形領域を超え非線形特性を示すようになるため、非線形特性を考慮した解析を行わなければならない。この弾

塑性振動の応答計算を行う場合、建物の水平力に対する弾塑性性状をモデル化する必要がある。さらに、地震時に建物は左右に繰り返し揺れるので、この繰り返しの挙動を表現できるモデル化が必要である。すなわちバネの復元力が、単に変形量に比例するというだけでなく、同じ変形量に対してそれ以前にどんな変形を経てきたかによって変わる。これらの復元力特性と履歴特性は荷重-変位曲線で表される。木造建造物の履歴特性についてはいくつかのモデルが示されているが、本研究では構造体要素試験との相関が良かった、ポリリニア型履歴特性とスリップ型履歴特性を足し合わせたモデルを用いる。これら方法により建築年代を考慮した解析モデル群を作成し、建築年代別の木造建造物被害関数の構築を行う。このとき兵庫県南部地震と新潟県中越地震の被災建造物データを用い、建物年代別の建造物地震耐力を耐力比 α として、地域別の地震耐力を求めた地域係数 β として、それぞれ導入し解析を行う。

以上による方法で構築した建造物被害関数を金沢市における森本・富樫断層が破壊した場合の木造建造物被害推定に適用し、検討・考察を行う。

本研究の成果を章ごとにまとめると以下のようである。

第2章では速度疲労応答スペクトル強度 (FSI_v) 値の算出方法を述べるとともに木造建造物建築年代を考慮した指標として前述の指標を拡張した指標 (FSI_v') 値を提案し考察した。さらに近年の地震波形から全壊率との相関を導き、 FSI_v' 値が被害を推定する指標として有効であることを示した。また、木造建造物建築年代を考慮する方法として、木造建造物の固有周期平均と標準偏差を用いる方法、木造建造物の経年劣化曲線を用いる方法、建築年代予測モデルを用いる方法、の3方法を用いて解析・検討を行ったが、結果より得られる被害との相関はいずれの方法でも大差なく、既往の地震動破壊力指標に比べ良好な相関結果が得られた。

第3章では兵庫県南部地震における宝塚市の被害データを参考にしたモデルから、耐力比 α 、地域係数 β を導入することにより建築年代ごとに耐力の異なるモデル群を作成し、兵庫県南部地震における被害と新潟県中越地震における被害との比較を行い、モデルの妥当性を検証した。また、検証されたモデルを用いて、既往の地震動を入力した地震応答解析を行うことで、被害との高い相関性を誇る木造建造物被害関数を作成することができた。耐力比 α については、1981年の建築基準法改正前後での違いが明確となり、1960年以前に建てられた建造物と1981年以降に建てられた建造物では約3倍の差が生じることを明らかにした。地域係数 β については太平洋側の例として神戸地域を、日本海側の例として新潟県中越地域を解析対象地域としたが、積雪に耐えられるような設計を施している新潟県中越地域の方が、およそ3割～6割地震耐力が高い結果となった。しかしながら、同じ新潟県中越地域でも地区を構成する木造建造物の構造種別（住家専用か商店などの兼用住宅か）の違いが地震耐力に影響することも明らかとなり、街道筋の商店兼用住宅の多い地区（川口町など）では、開口部が広いなどの構造的な弱点のあることなどにより、地震耐力があまり有されていないことを示した。

第4章では金沢市における想定地震断層（森本・富樫断層帯）を起震断層とする、木造建造物地震被害予測を行った。このとき、木造建造物モデル群と木造建造物被害関数は3章で提案したものをを用いた。その結果、被害には断層パラメータとアスペリティ位置と表層地盤特性の違いによる地震動増幅が大きく影響すること、が明らかとなった。また、木造建造物建築年代の違いによる地区間のばらつきも存在し、古い建造物が立ち並ぶ地区と、そうでない地区では概ね1.5倍～2倍程度の被害差が生じることを指摘した。

学位論文審査結果の要旨

研究歴と学力：村田氏は平成8年3月に金沢大学大学院工学研究科修士課程を修了後、同大学工学部助手（平成19年4月から助教）として、教育研究に従事している。平成19年6月8日に予備審査会を開催、面接審査を行った後、専門5科目に関して試問を行った。その結果、博士課程修了生と同等の研究歴と学力を有すると判断した。

審査結果：本学位論文に対し、平成19年7月31日の第1回審査会で論文の内容について検討し、審査方針を決定した。さらに平成19年8月6日に行われた口頭発表後に第2回審査会を開き、協議の結果、以下のように判定した。

1995年兵庫県南部地震では6,400人が亡くなったが、大部分は木造建造物の崩壊による圧死であった。被害を軽減するためには耐震補強と並んで、地震直後の救助活動の効率化が必要である。そのためには事前に、また直後に被害を把握できる破壊力指標の構築が欠かせない。一般に用いられる計測震度などは地震動による建造物の疲労を十分考慮していない。そこで本研究では速度疲労応答スペクトル強度を提案するとともに、建築年代や地域特性に注目して、震害との関係を明らかにしている。その結果、地震耐力は1981年の建築基準法改正前後での違いが大きいこと、地域特性に関しては神戸地域に比較して、積雪に耐えられる設計施工を施している中越地域の方が3割以上地震耐力が大きいことを明らかにしている。また金沢市における木造建造物地震被害予測を行い、古い建造物が立ち並ぶ地区と、そうでない地区では1.5倍以上の被害差が生じる可能性を指摘している。

以上の研究成果は地震防災計画・対策の充実に貢献しうるなど、工学上有用な知見を与えていることから、本申請者は博士（工学）の学位を受けるに値する、と判定した。