

# 木造建物の耐震性能の力学的評価に関する研究

村 山 明  
要 旨

1995年の兵庫県南部地震における多数の木造建物の倒壊・損傷、それによる甚大な人的被害を契機に、我が国の建築物の過半を占める木造建物の耐震性能確保の重要性が再認識されることになった。2000年の建築基準法・同施行令の改定によって、限界耐力計算法による耐震性能評価が導入されたが、木造建物の耐震性能評価方法としては、適用可能な構法が限定される一般診断法や精密診断法、保有限界エネルギー診断法が多用されているのが現状である。木造建物は小規模なものが多い反面、建設年代や構法が多様で、柔軟に耐震性能評価が可能な限界耐力計算法の適用が望まれる。しかし、木造建物のための限界耐力計算法(以下では、木造限界耐力計算法と呼ぶ)は、変形モードの使用による簡略化の影響が不明確であることや、剛床仮定の導入により建物の立体挙動を評価できないなどの課題を含んでおり、力学的特性が曖昧である。

そこで本論文では、木造限界耐力計算法を対象として、耐震性能評価方法の力学的な特性について解析的に検討する。力学的特性をより一般的に明らかにするために、解析モデルを用いて検討する。

本論文は6章で構成されており、以下に本論文の構成ならびに研究成果の概要を示している。

第1章は「序論」であり、本論文の背景と目的および論文の構成を述べている。

第2章は「既往の研究」であり、物理実験や解析などの手法による木造建物の耐震性能評価方法の現状、解析的手法による木造建物の耐震性能評価の各種の方法の特性を整理している。さらに、木造限界耐力計算法の特徴と課題を明らかにしている。

木造建物の耐震性能に関する研究では、実大実験、耐震要素の性能実験、地震被害の調査などによるアプローチが主流であり、これは耐震要素の耐震性能に関する研究であると言える。木造建物の耐震性能評価方法に関する研究が少ないため、木造建物の耐震性能評価の合理化はできていない。

また、限界耐力計算法に関する研究についてみると、RC造、S造を対象にした一般的な限界耐力計算法に対するものは多くされているが、木造建物を対象にした木造限界耐力計算法に関する研究はほとんどされていない。木造限界耐力計算法と一般的な限界耐力計算法では、縮約とねじれ挙

---

学位記番号と学位：博第46号，博士（工学）

授与年月日：平成21年3月19日

授与時の所属：大学院工学研究科建築工学専攻博士後期課程

動の無視が行われている。さらに、木造限界耐力計算法の縮約手法では、固有モードの代わりに変形モードの使用による簡便化を行っている。

第3章「耐震性能評価における縮約の影響」では、木造限界耐力計算法に適用されている変形モードによる耐震性能の簡易評価の特性について検討している。この検討では、2自由度および3自由度のモデルと両モデルの縮約した縮約モデルを用いている。

2自由度モデルの検討より、本来適用すべき固有モードの代わりに変形モードを使用すると、建物の剛性低下の進行により変形モードが不正確になること、変形モードの変化が構造特性で3つのパターンに分類できその内の1つのパターンで危険側の耐震性能評価結果を与えることを明らかにしている。

また、3自由度に拡張した検討により、モデルの自由度が増加すると変形モードと固有モードの相違がより顕著になることを明らかにしている。

これらの知見をもとに、2自由度および3自由度の両モデルについて、危険側の耐震性能評価となる場合を判定するダイアグラムを提案している。2自由度に対する判定ダイアグラムは、剛性と固有モードの関係より判定しており、判定指標を固有モードとしている。3自由度に対する判定ダイアグラムは、各層の剛性の関係により判定している。既存木造建物の調査データにより判定ダイアグラムの実構造物への適用有効性を確認している。

第4章「偏心を有する1層モデルの耐震性能に関する検討」では、偏心を有する建物における立体的な挙動である「ねじれ挙動」の力学的な特性を分析し、現在主流である平面解析では捉えられない立体挙動の影響を明らかにしている。この検討では、1層2軸偏心モデルを用いている。

偏心を有する1層建物では、ねじれが生じることで1方向に加わった地震力が直交方向にも分配されること、その結果偏心を考慮すると建物の負担する地震力が偏心を考慮しない場合よりも小さくなることなどが明らかになっている。

さらに、ねじれの効果が耐震性能評価に及ぼす影響について検討すると、偏心を考慮して建物の復元力特性を評価するとねじれの効果により、大きく変形が生じる各耐震要素が順次降伏して、建物の剪断力が低下する。また、剪断力が低下した範囲で耐震性能評価すると、建物の固有周期によっては危険側の耐震性能評価を与える場合や、耐震性能を評価できない場合があることが明らかになっている。

よって、偏心を無視する現行の木造限界耐力計算法では、建物の耐震性能を過大評価する場合や、建物の固有周期によっては耐震性能評価が本来不可能であるにも関わらず有意に見える結果が得られる場合があることを明らかにしている。また、性能評価が危険側になる場合の判定ダイアグラムを提案している。

第5章「偏心を有する2層モデルの耐震性能に関する検討」では、偏心を有する2層建物におけるねじれの影響について明らかにしている。

2層2軸偏心モデルによる検討により、各層の平面的なねじれにとどまらず、上下層間の剛心のズレによりモーメント力が追加されること、その結果多層建物では偏心による耐震性能の評価結果の誤差がより大きくなる場合があることを明らかにしている。

第6章は「結論」を述べており、本研究により得られた知見をまとめている。

変形モードによる耐震性能の簡易評価は、危険側の耐震性能評価を与える場合があることが明らかになっている。さらに、モデルの自由度の増加によって、危険側の耐震性能評価を与える場合が増えることが明らかになっている。また、現行の方法ではねじれの効果を評価しておらず、建物の耐震性能を過大評価する場合や、建物の固有周期によって耐震性能評価ができない場合があることが明らかになっている。

以上の知見より、2自由度に対する変形モードによる耐震性能の簡易評価、3自由度に対する変形モードによる耐震性能の簡易評価、1層建物のねじれの効果、それぞれの耐震性能評価が危険側になる場合を判定するためのダイアグラムを提案している。2自由度に対する判定ダイアグラムは、既存木造建物の調査データより判定ダイアグラムの適用有効性を確認している。

今後の課題として、より実構造物に近いパラメータを設定した場合や、スパンが増加した場合について、木造建物の耐震性能評価に及ぼす影響をさらに検討する必要がある。

主指導教員 滝田 貢

## Study on Seismic Performance of Wooden Structure by Mechanical Evaluation Doctor Course in Architectural Engineering

Akira MURAYAMA

### Abstract

The serious human damage occurred by collapse and an injury of a lot of wooden structure in the South Hyogo earthquake in 1995. With this earthquake, significance of the seismic performance security of wooden structure occupying the majority of the building of Japan will be realized again. Building Standards Act and the revision of the Enforcement Ordinance of Construction Standard Law introduced seismic performance evaluation by the limit proof calculation in 2000. But, for seismic performance evaluation method of the wooden structure, it is the present conditions that general diagnostics and precision diagnostics, possession marginal energy diagnostics how the construction method that it can apply is limited to be used many. There are many small things, but on the other hand, as for the wooden structure, construction generation and construction method are various, and application of the limit proof calculation that seismic performance evaluation is possible is expected flexibly. However, the theme of the limit proof calculation for wooden structure is not to be able to evaluate solid behavior of the structure by introduction of the rigid floor assumption when influence of the simplification by the use of the deformation mode do not be clear, and dynamic characteristics is vague.

In this paper, it intends for limit proof calculation for wooden structure and studies the mechanical property of the seismic performance evaluation method analytically. It studies with an analytic model to generally clarify dynamic characteristics.

This paper has consisted of it in Chapter 6 and has displayed below the configuration of this paper and the brief description of results of research.

Chapter 1 is introduction and has described the background of this paper and purpose and configuration of the thesis.

Chapter 2 is study of the past and has arranged the present conditions of the seismic performance evaluation method of the wooden structure by techniques such as physics experiment or the analysis and a property of various methods of the seismic performance evaluation of the wooden structure by the technique of the analysis. Furthermore, it has clarified a characteristic and a theme of the limit proof calculation for wooden structure.

By the study about the seismic performance of the wooden structure, approach by full scale experiment, performance experiment of the earthquake resisting element, the research of the seismic damage is the mainstream, and this is study about the seismic performance of the earthquake resisting element. Because there is little study on the seismic performance evaluation method of the wooden structure, there is not rationalization of the seismic performance evaluation of the wooden structure.

In addition, it is increased for limit proof calculation of the public for reinforced concrete construction and the steel structure when it looks about study on the limit proof calculation, but it is not almost studied study about the limit proof calculation for wooden structure for the wooden structure. In limit proof calculation for wooden structure and the general limit proof calculation, a contraction and disregard of the torsion behavior is performed. Furthermore, the contraction technique of the limit proof calculation for wooden structure has performed simpleness and easiness by the use of the deformation mode in substitution for natural mode.

Chapter 3 has studied a property of the brevity evaluation of the seismic performance by the deformation mode applied to limit proof calculation for wooden structure. This study has used a 2 D.O.F. model and a 3 D.O.F. model and contraction model.

A deformation mode becomes incorrect by progress of the reduction of rigidity of the structure as a result that the 2 D.O.F. model studied when it originally uses a deformation mode in substitution for the natural mode which you should apply. In addition, it can classify the variations of the deformation mode in three patterns with a structure property. It has clarified that it gives seismic performance evaluation result of the risk side in one pattern of those.

In addition, a deformation mode and the diversity of the natural mode depend and have clarified a thing becoming remarkable when the D.O.F. of the model increases as a result that the 3 D.O.F. model studied.

Based on this knowledge, it has suggested a diagram judging seismic performance evaluation of the dangerous side and the case that it is it about a 2 D.O.F. model and a 3 D.O.F. model. It has judged the judgment diagram for the 2 D.O.F. than stiffness and the relation of the natural mode, and natural mode has judgment fiducially marks. It has judged the judgment diagram for the 3 D.O.F. by relation of the stiffness of each story. It has confirmed effectiveness of the application to the existing structure of the judgment diagram by survey data of the existing wooden structure.

Chapter 4 analyzes a mechanical property of "the torsion behavior" that is three-dimensional behavior in the structure having the eccentricity. As a result, it has clarified influence of the solid behavior that is not arrested by the plane analysis that is the mainstream now more. This

study has used one level of two shaft eccentricity models.

As for one level of structure having the eccentricity, the earthquake load that one direction increased because torsion arises is distributed between the orthogonal directions. As a result, when it considers eccentricity, it has become clear to shrink than the case that earthquake load to bear does not consider eccentricity of the structure.

Furthermore, it studies the influence that effect of the torsion gives to seismic performance evaluation. As a result, it is big, and each earthquake resisting element that deformation arises surrenders by effect of the torsion sequentially when it evaluates restoring force characteristics of the structure in consideration of eccentricity, and shear force of the structure deteriorates. In addition, it evaluates seismic performance in the range where shear force deteriorated. As a result, it has become clear that there is the case that cannot evaluate case and seismic performance giving seismic performance evaluation of the risk side depending on natural period of the structure.

Therefore, the limit proof calculation for current wooden structure in defiance of eccentricity has clarified that there is case overestimating seismic performance of the structure. In addition, result to be seen significantly has clarified that there is provided case depending on natural period of the structure though seismic performance evaluation is originally impossible. It has suggested judgment block diagram when it is the risk side performance evaluation.

Chapter 5 has clarified it about influence of the torsion in two levels of structure having the eccentricity.

By two levels of two shaft eccentricity models moment force has clarified what is added by a gap of the center of rigidity between the stories without as a result of having studied, remaining in superficial torsion of each story. As a result, the multistory structure has clarified that there is the case that an error of the evaluation result of the seismic performance by the eccentricity depends, and grow big.

Chapter 6 has described conclusions and has compiled a knowledge provided by this study.

Professor(Chairperson) Mitsugu TAKITA