

表層地盤特性と地震被害記録に基づく木造住宅の地震被害に関する基礎的研究

矢 澤 一 樹

要 旨

保有住宅数の6割強を占める木造住宅に対する地震防災対策は、我が国の重要な防災課題のひとつである。特に1981年に施行された、新耐震基準以前に建築された木造住宅については、早急な耐震診断と耐震補強が求められている。平成15年度の総務省統計によれば、1980年以前に建築された木造戸建住宅は約1千2百万戸である。この膨大な戸数の木造住宅の耐震化を進めるに当たり、優先地域あるいは重点地域を定めるための研究を進める事の社会的意義は大きい。

本研究では、始めに既存木造住宅の耐震性能を把握するために、建築調査資料（平面構成、屋根及び外壁の構成材料）に基づく耐震診断を行い、壁率（存在壁量/必要壁量；壁充足率）偏心率と合わせて耐震性能を検討している。さらに、地震時の振動応答を知る手がかりとして、木造住宅の固有周期の測定・解析手法の開発を行い、その手法を用いて、青森県の実存木造住宅の、固有周期の実態を検討している。次に、木造住宅における地震被害と表層地盤特性に注目し、いくつかの地域の地震被害記録に基づく木造住宅の地震被害と表層地盤特性の関係について検討を行っている。

本研究は、これらの手順を踏まえ、木造住宅の耐震化の計画的実施に当たり求められる優先地域あるいは重点地域の判定に関連する基礎的知見を明らかにすることを目的としている。

以下に本論文の構成ならびに研究成果の概要を示す。

第1章「序論」では、研究の背景と目的、並びに既往の関連研究について述べている。

第2章「東北地方6都市の木造住宅の耐震性能」では、東北地方6都市、各都市60戸前後、合計350戸の在来木造住宅についての実地調査資料（平面構成、屋根及び外壁の構成材料）に基づき耐震性能の評価を行っている。なお、調査住宅のほとんどは、1975年代以前に建築された住宅で、古いもので明治、大正のものがある。耐震診断の方法は、簡易な診断である「わが家の耐震性能と補強方法」及び、やや精密な診断である「密集市街地における防災街区の整備促進に関する法律における既存木造住宅の耐震診断基準の解説」の診断法を採用し、壁率（存在壁量/必要壁量；壁充足率）、偏心率と合わせて耐震性能を検討した。これより以下の知見を明らかにしている。

東北地方6都市における木造住宅の耐震性は、「簡易診断」では耐震性に疑いのあるものが約45%ある。また、「密集法」による分析により、中規模地震で2%、大規模地震で20%が倒壊の恐れがあることを明らかにしている。さらに、偏心が大きい住宅が約30%にのぼること、建築基準法に定める必要壁量を満たさない住宅が約60%を占めることを明らかにしている。

全体的に見ると、約半数の住宅で耐震性能が疑われる結果となった。

第3章「実存木造住宅の固有周期の実測」では、建物の地震時の応答特性を知る上で重要な手が

学位記番号と学位：第28号、博士（工学）

授与年月日：平成17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

かりの一つとなる住宅の固有周期を常時微動より測定・解析する手法を提案している。この手法による、青森県内の実存木造住宅 39 棟を対象とする実測調査から、北東北における木造住宅の固有周期について以下の知見を得ている。

青森県内における実存住宅の固有周期は、平均が約 0.14 秒（最小 0.08 秒，最大 0.24 秒）である。

第 4 章「一部損壊被害記録と表層地盤特性の関係－1994 年三陸はるか沖地震と 1993 年釧路沖地震－」では、木造住宅の地震被害の調査資料を用いて、一部損壊被害を主とした被害と軟弱地盤層厚と地盤の卓越周期の関係に注目して検討している。

なお、本論文における「軟弱地盤層厚」の定義は、地盤ボーリングデータの支持層に成りうる程度の N 値（およそ 30～40 程度以上で理想的には 50 以上）分布となるまでの軟らかい地層の厚さとしている。

軟弱地盤層厚を知るために用いたボーリング資料は八戸の場合は 240 本、釧路では 237 本のデータを用いている。卓越周期は八戸市では 430 地点、釧路市は 32 地点で実測したデータを用いている。二つの地震における各地域の木造住宅被害と表層地盤特性との関係は、以下の結果としてまとめられる。

1. 軟弱地盤層厚は約 10 m から 20 m の地域で一部損壊被害率が高い地域がある。
2. 卓越周期はおよそ 0.3 秒から 0.4 秒の地域で一部損壊被害率が高い地域がある。
3. 主に台地部で一部損壊被害率が高い地域がある。

なお、用いた被害は主に一部損壊データであり、被害内容はかなり幅があるが、これらの分析より、表層地盤特性は地震防災のための重要な基礎情報となると考えられる。

第 5 章「全壊被害記録と表層地盤特性の関係－1944 年東南海地震と 1995 年兵庫県南部地震－」では、全壊率 $[(\text{全壊戸数}/\text{全戸数}) \times 100]$ データを基に被害と軟弱地盤層厚と地盤の卓越周期の関係を検討している。「1944 年東南海地震」の事例分析では、「昭和 19 年東南海地震の記録」の町内集落被害統計資料内のデータを基に被害と軟弱地盤層厚と地盤の卓越周期の関係を検討している。検討範囲内の被害データ数は、477 点である。軟弱地盤層厚を知るために用いたボーリングデータは、1,486 本を用いた。卓越周期は袋井市周辺 51 地点、磐田市周辺 42 地点の計 93 地点において実測したデータを用いている。

海岸に面した磐田市周辺では、軟弱地盤層厚 10 m の地域で全壊率が高い地域がある。

卓越周期 0.4 秒の地域で全壊率が高い地域がある。

河川流域の台地に囲まれた袋井市周辺の沖積低地での被害は、低地中央に向かって全壊率が大きくなる傾向がある。軟弱地盤層厚 10 m から 30 m 程度の地域で全壊率が高い地域がある。卓越周期 0.6 から 0.8 秒の地域で全壊率が高い地域があることを明らかにした。

「1995 年兵庫県南部地震」の事例分析では、「平成 7 年兵庫県南部地震被害最終報告書」の被害分布図と、ボーリングデータ 1,506 本を用いて被害と軟弱地盤層厚、伝達関数の 1 次周期の関係を検討している。

神戸市の中でも平均的な被害が見られた兵庫区と住宅被害が最も多かった東灘区を中心に、文献資料をもとに、被害と表層地盤特性との関係を検討した。

軟弱地盤層厚約 0 m から 16 m 付近の範囲内にある地域では、被害率が高い地域がある。

1 次周期が約 0.06 秒から 0.45 秒付近の範囲内で、軟弱地盤層厚が約 20 m 以下の地域に、被害率が高い地域があることを明らかにしている。

第 6 章「結論」では、本研究の結論と、今後の課題について述べている。

結論を要約すると次のようになる。八戸，釧路，磐田及び神戸を事例とする低平地の地形では住宅被害と表層地盤特性との関係は，以下のような共通点があった。

1. 被害率が大きくなる地域の軟弱地盤層厚は，約 10 m から 20 m である。
2. 被害率が大きくなる地域の卓越周期は，およそ 0.3 秒から 0.4 秒である。
3. 被害率が大きくなる地域の地形的特徴は，主に台地の地形である。

なお，袋井地域のように低地が台地で拘束されている地形（盆地）では低地の中心で全壊率が高い。このような例外について今後検討していく必要がある。

以上の結果は，木造住宅の耐震化の計画的実施に当たり優先あるいは重点地域の判定に役立つものと考えられる。

主指導教員 渡邊正朋

A Fundamental Study on Seismic Damage in Timbered House Based on Surface Subsoil Characteristic and Seismic Damage Record

Kazuki YAZAWA

Abstract

The seismic criterion of the building was revised one by one based on the experience of the seismic damage in recent years. “New seismic criterion” revised in 1981 is a present standard. In a word, the timbered house in about 13 million households constructed before 1981 is made the building of an existing, suitable case about the seismic criterion. Therefore, an immediate diagnosis of antiseismic performance and the seismic retrofit are requested to be executed in premeditation in the municipality. The aspect of the earthquake risk management is necessary to execute the diagnosis of antiseismic performance and the seismic retrofit to the timbered house of these huge number of houses in premeditation. That is, the region where making to earthquake-proof is assumed to be priority or an emphasis is judged, and the diagnosis of antiseismic performance and the seismic retrofit are advanced.

The purpose of this research is in the proposal of a basic technique of the judgment of the priority region needed to execute the diagnosis of antiseismic performance and the seismic retrofit in the timbered house that our country has. The characteristic of the subsurface layer has been given as a factor to expand the earthquake damage of the building. In this research, it pays attention to a specific subsurface layer that becomes the expansion element of the earthquake damage. It aims to propose the judgment technique in the priority region or the emphasized region by clarifying the relation between the damage record of the timbered house in a large earthquake in recent years and characteristics of the subsurface layer.

The composition of this thesis and the outline of the result of the research are shown as follows.

Chapter 1 describes the background, the purpose of the research, and the research in the past.

Chapter 2 describes the investigation done to understand the realities of an earthquake-proof performance of an existing timbered house. The proper period was investigated about the timbered house in the Tohoku region city. The proper period of the timbered house was investigated by using a measurement and an analytical technique by the microtremor. The mean value of the proper period measured in the real existence house in Aomori Prefecture was about 0.15 seconds. It was 0.08 seconds in minimum value and 0.24 seconds in the maximum value. 0.25 seconds are not exceeded though the proper period tends to become long when an

architectural year becomes old.

Chapter 3 the timbered house in the Tohoku region city was earthquake-proof diagnosed. It simply diagnosed it in six cities of Tohoku Oconatsu of a building conventional and timber construction houses in 349 houses. About 45% of the building where result, was investigated turned out and it turned out that the earthquake-resistant was doubtful. In addition, the diagnosis of antiseismic performance of 139 houses by 'Overcrowdedness method' was done. It has been understood that the building of 2% might collapse as a result by the moderate earthquake. Moreover, it has been understood that the building of 20% might collapse by the large earthquake. The building of about 60% doesn't fill the amount of a necessary wall from the result of the amount of the wall. There were about 30% building with a big eccentricity wall of 0.15 or more. Moreover, there were about 30% building where the earthquake-resistant caused by imperfection of shape in the vertical direction was considerably inferior, too.

Chapter 4 examined the relation among damage that centered on the partial failure damage, the thickness of surface layers, and the predominant period of the ground about the earthquake damage in the timbered house of the 1994 Far-off-Sanriku Earthquake and the 1993 Kushiro-Oki earthquake.

Chapter 5 examined the relation among damage that centered on the percentage of total collapse, the thickness of surface layers, and the predominant period of the ground about the earthquake damage in the timbered house of the 1944 Tounankai Earthquake and of the 1995 Hyogoken-nambu Prefecture Earthquake.

It is brought together as the following results though the relation between the house damage and the surface subsoil characteristic also has some different points in the detail in geographical features in Hachinohe, Kushiro, and Iwata.

1. The poor ground thickness in the region where the damage rate was large was from about 10 to 20 meters.
2. The predominant period in the region where the damage rate was large was 0.4 seconds from almost 0.3 seconds.
3. The region where the damage rate was large was chiefly caused in the plateau part.

It is thought whether this result should be considered that a general rule possibility of the seismic damage is high because it characterizes if it thinks in the rule of thumb. First of all, the cause is looked for to the input seismic motion if it thinks about this cause in the vibration theory. The building to stand in the region as a result is thought to be a shake widely, and an occurrence of damage by having the characteristic in which the amplification of the ground motion with the predominant period of about 0.3 seconds in the characteristic of the ground input seismic motion and Kuni are made to be excited easily. The damage is different ..more seriously.. if the vibration characteristic of the ground and the building is near a sympathetic vibration relation. Especially, the proper period of the timbered house is about 0.4 seconds from 0.2 seconds. This is causes of being easy to enter the state of the sympathetic vibration. The rigidity by the large deformation decreases by the timbered house's resonating. The state of the sympathetic vibration continues and damage will progress more if there is a periodic

component at the long period or more in the quake or surface subsoil when inputting it. The earthquake performance in the timbered house has a regional characteristic. It is thought that the conclusion here can be mentioned in the Japanese whole country because it is thought that the proper period of the timbered house is almost in the above-mentioned period belt if it thinks in the vibration theory. Moreover, the damage used for this thesis is the partial failure chiefly data. The thing that is thought becoming important basic information for the earthquake disaster prevention in the region by analyzing this, and used importantly and effectively might be necessary for the content of damage though there is considerably width.

Professor (Chairperson) Mastomo WATANABE