

木造建物実験

木造建物の耐震性能向上を目指して

兵庫耐震工学研究センター 主任研究員 中村 いずみ



はじめに

日本では1981年に建築基準法が改正され、この前後で建物の耐震性能は大きく異なっています。改正後の建築基準法に従って建てられた木造建物については、ある程度の耐震性能を有しており、1995年兵庫県南部地震でも被害は少なかったことがわかっています。その一方で、1980年以前の基準で建てられた木造建物には大きな被害が生じました。このような、古い基準で建てられた建物を「既存不適格」といいますが、国内にはまだ多くの既存不適格である木造建物が残っており、これから起こる地震で、これらの建物に大きな被害の発生することが懸念されています。木造建物の地震被害を軽減するためには、このような木造建物の耐震性能をよく理解し、どのような対策が効果的なのかを知ることが重要です。

大大特の一環で実施した木造建物実験では、既存木造建物の耐震性能向上を目的とし、E-ディフェンスにおける実大実験を中心とした広範な研究を行いました。平成14年度から平成16年度までの3年間は準備研究を、平成17年度、平成18年度の2年は、E-ディフェンスを使用した実大実験を実施しました。木造建物実験では主に既存不適格木造建物を対象としていますが、それらはさらに、1950年の建築基準法制定以前に建てられた建物と、1950年から1981年の建築基準法改正までに建てら

れた建物の2種類に分けられます。本研究では、その両方を対象とし、前者を「伝統構法木造建物」、後者を「在来構法木造建物」と称しています。E-ディフェンスで実施した実験には、1981年以降の基準に従って建てられた住宅で、免震装置を組み込んだものに対する振動実験も実施していますが、本稿では、平成17・18年度に実施した既存不適格建物を対象とした実験について紹介します。

在来構法木造建物の耐震性能向上に関する研究

木造住宅の地震被害を軽減するには、耐震補強を施すことにより既存不適格建物の耐震性能を向上させる必要があります。本研究では、実大実験によって在来構法木造建物の耐震性能を計測し、耐震診断結果と比較することにより、耐震診断法の妥当性と耐震補強効果を確認することを目的としました。

平成17年度には、既存不適格建物の耐震性能を調査することを目的として、1980年以前に建てられた、ほぼ同一の平面と軸組である2階建て木造建物2棟をE-ディフェンスに移築し試験体とした実験を実施しました。この2棟の建物を、以下A棟、B棟と称します。さらに、平成18年度には平成17年度に使用した試験体と同様の平面と軸組を有する建物を新築で再現した試験体を使用した実験を行いました。平成18年度の試験体は2棟製作しており、これら

を、以下C棟、D棟と称します。

平成17年度の実験で使用した2棟の建物は、マスコミ等の公募を通じ一般の方から提供を受けたものです。兵庫県明石市に1974年に建てられ、試験体として選定されるまで実際に住宅として使用されていました。選定した木造住宅は公道を運搬できる大きさに分割され、Eーディフェンスのある兵庫耐震工学研究センターに搬入後、試験体として再組立されました。耐震補強の有無による大地震時の挙動の違いを調査するために、A棟はそのまま、B棟には大地震でも倒壊しない程度の耐震補強を行いました。

C棟、D棟では、A棟、B棟と比較し、経年劣化の耐震性能に与える影響を把握すること、また、B棟に適用したものと異なる耐震補強の効果を調査することを目的としています。具体的には、C棟、D棟とも、A棟を新築で可能な限り再現し、その上で、C棟はそのまま、D棟には耐震補強を行って実験に使用しました。また、D棟では、地盤・基礎の影響を調査するため、発泡系プラスチック材料を用いた模擬地盤上にコンクリート基礎部分を再現しました。

表1に、A棟～D棟の試験体の特徴と、文献1)に基づいて実施した耐震診断の評点を示します。B棟、D棟の補強は、安価かつ一般的な工法を使用することとし、主に筋かい、構造用合板、接合金物を使用しました。B棟は、倒壊を防止するために必要とされる補強を全て実施した場合です。また、D棟は、耐震診断で必要とされる補強のうち、接合部の補強が不十分な場合となっています。これは、実際の耐震補強工事において、施工上の困難のため必要な耐力の補強金物を取り付けられない場合を想定したものです。

実験では、試験体倒壊時に試験体が震動台上に損傷を与えることを防止するために、震動台上に鋼製の防護架台を設置しました。A棟・B棟、C棟・D棟は2棟ずつ、防護架台上に並べて設置し、加振実験を行いました。試験では、兵庫県南部地震において、JR鷹取駅で記録された波形（以下、JR鷹取波）の3方向成分を使用

表1 平成17年度・平成18年度試験体一覧

試験体	特徴	評点*
A棟	移築・無補強	0.50
B棟	移築・補強①	1.84
C棟	新築・無補強	0.48
D棟	新築・補強②・基礎つき	1.57

* 文献1)の、精密耐震診断法1の診断結果

表2 在来構法木造建物実験での加振内容と試験結果

入力波*	各方向の最大入力加速度[Gal]**			試験結果			
	X	Y	Z	A棟	B棟	C棟	D棟
JR鷹取波100% #01	666 (EW)	642 (NS)	290 (UD)	倒壊	倒壊せず	倒壊せず	倒壊せず
JR鷹取波60%	340 (EW)	385 (NS)	174 (UD)	---	倒壊せず	倒壊せず	倒壊せず
JR鷹取波100% #02	666 (EW)	642 (NS)	290 (UD)	---	倒壊	倒壊	倒壊せず
JR鷹取波100% #03	666 (EW)	642 (NS)	290 (UD)	---	---	---	倒壊せず
JR鷹取波100% #04	666 (EW)	642 (NS)	290 (UD)	---	---	---	倒壊

* JR鷹取波60%以上の加振のみ記載。このほか、試験体の特性把握と中小地震における応答の取得を目的とし、ホワイトノイズ波、正弦波掃引試験、JR鷹取波5%レベルの加振を実施。

** X:張間方向、Y:桁行き方向、Z:上下方向。加速度の値は目標値。

しました。表2に、実験における入力と各試験体の結果概要を示します。実験の結果、A棟は100%入力（震度7相当）1回目で、1階から倒壊しました。一方、耐震補強を行ったB棟は、この加振では倒壊しませんでした。写真1に、A棟、B棟の、加振前後の状況を示します。B棟は、その後、最大余震を想定したJR鷹取波60%入力（震度6強相当）でも倒壊せず、再度入力した100%入力で倒壊しました。一方、A棟の軸組を新築で再現したC棟は、100%入力1回目

により、玄関側で1/6rad.程度変形し、1階の土壁が脱落するなどの大きな被害がありましたが、倒壊には至りませんでした。その後、60%入力でも倒壊に至らず、続いて実施した100%入力2回目で倒壊しました。一方、D棟は、C棟倒壊時でも大きな損傷は見られず、100%入力3回目を入力したところ、外壁の1階モルタルおよび内部土壁の崩落、筋かいの折損などの被害を生じ、続く100%入力4回目で倒壊に至りました。写真2に、C棟・D棟に対する、100%1回目加振終了後の試験体の状況を示します。

新築であるC棟の被害から、1981年以前の基準に沿って建てられた住宅に対する耐震補強の必要性が改めて示されました。また、A棟とC棟の実験結果から、ほぼ同一の仕様である建物の場合、経年変化により耐震性能がさらに低下する可能性があることがわかります。また、C棟とD棟の実験結果から、不十分であっても適切な評価に従い耐震補強を実施すれば、補強した分の耐震性能の向上が得られる可能性の高いことがわかりました。



(a) 加振前



(b) 加振後

写真1 JR鷹取波100%1回目加振前後のA棟、B棟



写真2 JR鷹取波100%1回目加振後のC棟、D棟

伝統構法木造建物の耐震性能向上に関する研究

伝統構法木造建物実験で対象としている建物は、1950年以前に建てられた住宅です。このような住宅は、現在でも伝統的建造物群保存地区などに多く残り、歴史的な景観の保存と耐震性能の確保を両立するため、伝統構法の特長を活かした耐震補強法や耐震設計法が求められます。平成17年度には、建物全体としての挙動を把握することを目的とし、伝統構法の特徴を有する実大試験体で振動特性、耐震性能、耐震補強の効果进行调查しました。平成18年度には、平成17年度の実験で明らかになった要検討点、不明点等を調査するため、基本的な形状で複数

のパラメータを効率よく調査できるような試験体を使用した実験を行いました。

平成17年度の実験では、京都市内から移築した既存京町家（以下移築試験体）、および、現行の耐震基準を満たす新しい設計法に基づき設計された新築京町家（以下新築試験体）の2体を試験体として使用しました。移築試験体は、京都市内の現地で部材単位に解体したあと、兵庫耐震工学研究センターで再組立を行いました。また、新築試験体も並行して実験準備棟内で製作しました。試験体製作後、2棟を並べて防護架台上に設置し（写真3）、実験を行いました。試験では、(財)日本建築センター模擬波を主に使用しましたが、一部兵庫県南部地震で記録されたJMA神戸波3成分100%も使用しました。その結果、移築試験体については、加振に伴い土壁のき裂や部分的な崩落、軸組のずれなどが生じましたが、はしご形フレームや荒壁



写真3 平成17年度の伝統構法木造建物試験体



写真4 平成18年度の伝統構法木造建物試験体
(屋根付き試験体)

パネルなどの耐震補強を施すことで、JMA神戸波100%にも倒壊しないことが確認されました。また、新築試験体は、全加振を通じ、軸組等に大きな損傷は生じませんでした。実大実験を通じ、提案されている耐震補強法、耐震設計法に基づき適切な耐震設計を行えば、伝統的な構法による木造住宅に十分な耐震性能を与えられることが確認できました。

平成18年度には、水平構面、偏心、柱脚仕様などの影響を調査する試験体（以下標準試験体）6体、屋根形状の影響を調査する試験体（以下屋根付き試験体）2体の、計8体を使用しました。これらの試験体も、2体ずつ震動台上に設置し、加振実験を実施しています。写真4に、平成18年度の試験状況を示します。これらの実験を通じ、屋根形式や床剛性が建物挙動へ与える影響を把握できるデータが得られました。

おわりに

平成17年度実験、平成18年度実験とも、主な加振は公開実験としました。また、実験の状況はテレビ、新聞等のマスコミにより広く一般に報道されました。このことにより、実感しにくい耐震補強の効果を視覚化し、耐震補強の重要性の啓発に役立てられることがわかりました。Eーディフェンスでの実験を通じ、建物全体としての耐震性能を確認するとともに、現行の耐震設計や耐震診断法、耐震補強法の妥当性の検証に有用なデータが得られました。今後、これらのデータを木造建物の耐震性能向上に活かすよう実験で取得したデータの分析、解析による評価検証を重ねていく予定です。

<参考文献>

- 1) (財)日本建築防災協会(2004)：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(改正版)