# 振動測定による木造住宅の耐震補強効果の評価

西川隼人<sup>1</sup>·高谷富也<sup>2</sup>

要旨:本稿では、ACM ブレース工法による木造住宅の耐震補強効果を調べるために、起振機を用いたスイープ加振 実験と常時微動測定を実施し、木造住宅の伝達関数や減衰定数を評価した.スイープ加振によって得られた伝達関数 から共振振動数を求めることにより、耐震補強前後の共振振動数を比較した.その結果、常時微動の伝達関数の卓越 振動数と木造住宅の共振振動数は概ね対応していることが分かった.また、共振振動数による定常状態からの減衰自 由振動波形から木造住宅の減衰定数を評価したところ、木造住宅の一般的な値と対応していることが明らかとなった. キーワード:木造住宅、耐震補強、起振機、スイープ加振、常時微動、共振振動数、減衰定数

## 1. はじめに

近年,木造建築物の耐震性を評価するために起振 機による振動や常時微動測定から求めた建築物の共 振振動数による耐震性評価手法が広く用いられてい る<sup>例えば 1), 2)</sup>.木造住宅の固有振動数は一般的に 2~ 10Hz の範囲にあり<sup>3)</sup>,その値が高い木造住宅ほど, 耐力が高い.著者らは平成 23 年に ACM ブレース工 法<sup>4)</sup>による耐震補強工事を実施した木造住宅におい て補強前後で起振機による振動や常時微動を測定し, 耐震補強効果の程度を調べた.ACM ブレース工法 は,著者の一人が RC 造建築物の耐震補強工法とし て開発したもので,炭素繊維材料を骨組構造の筋交 として用い,せん耐力を増加させる補強工法である. その後,木造住宅の耐震補強用として内壁や外壁用 ACM ブレース工法を開発している.

本稿では起振機による強制振動の際に得られた 振動波形から木造住宅の共振振動数を評価し,耐震 補強の前後での共振振動数の変化を調べた.また, 常時微動測定で得られた波形から木造住宅の伝達関 数を評価し,その卓越振動数と起振機によって求め た共振振動数を比較検討した.さらに,起振機によ る共振振動数での定常状態から求めた減衰自由振動 波形から木造住宅の減衰特性を評価し,耐震補強前 後での減衰特性の変化を調べた.

## 2. 測定概要

#### 2.1 測定内容

振動実験の測定システムは Fig.1 に示す概略図の ように計測部(Photo.1),解析部などから成っている. 測定は,まず,Photo.2 に示す起振機(サンエス社製, 永久磁石起振機 SSV-125,最大加振力:490N,振動

- 1 舞鶴工業高等専門学校 教育研究支援センター 技術職員
- 2 舞鶴工業高等専門学校 建設システム工学科 教授

数範囲 0.1~100Hz)によって固有振動数 3~10Hz の スイープ波加振を 360 秒間実施するとともに, Photo.3 に示すサーボ型加速度計(ミツトヨ社製, V405-BR, 測定範囲:±30m/s<sup>2</sup>, 振動数範囲:DC~ 400Hz)によって振動波形を記録する.起振機と加速 度計で得られた波形から求めたスペクトルの比(伝 達関数)から木造住宅の共振振動数を求める.続いて,



Fig.1 System schematic



Photo.1 Measurement system



Photo.2 Oscillator system





Fig.2 Sweep vibration wave(g:gravitational acceleration)



Fig.3 Damping free vibration wave



Fig.4 Microtremor wave

求めた共振振動数を固有振動数とする正弦波加振に よって木造住宅を振動させ、定常時に起振機を急停 止させて得られた減衰自由振動波形から木造住宅の 減衰定数を評価する.また、常時微動を測定して得 られた波形から伝達関数を求め、起振機による振動 で得られたものと比較する.なお、起振機による振動 で得られたものと比較する.なお、起振機による振 動と常時微動の測定は桁行と梁間方向に対して行っ た.Fig.2,3および4に共振振動数を探索する際に 加速度計で得られた波形、減衰自由振動波形および 常時微動波形の一例を示す.

## 2.2 対象建物と測定箇所

今回,振動測定の対象とした木造家屋は ACM ブレース工法による耐震補強を実施した兵庫県豊岡市内のW邸とT邸であり、それぞれ築 50年と47年である.Fig.5にW邸,Fig.6にT邸の耐震補強前後の平面図および起振機と加速度計の配置を示す.W邸ではACMブレースの他に、火打ち金物、耐震壁、T邸ではACMブレースや火打ち金物、構造格子によって補強を行っている.振動測定はW邸では2011年10月と11月に、T邸では11月と12月に補強前後で実施した.

#### 3. 木造住宅の共振振動数の評価

## 3.1 ₩邸

₩ 邸では2階の重心位置に起振機を設置し,加速 度計は1階と2階に設置した.スイープ加振の他に 常時微動測定を実施したが,耐震補強前は行わなか ったので以下ではスイープ加振による共振振動数探 索の解析結果のみ示す.木造住宅の共振振動数はス イープ加振の際に得られた起振機と加速度計の振動 波形から求めた次式で求められる伝達関数から評価 した.

$$H(f) = \frac{F_1(f)}{F_2(f)}$$
(1)

ここで H(f)は伝達関数, F<sub>1</sub>(f)は加速度計の波形, F<sub>2</sub> (f)は起振機の波形から求めたフーリエスペクトルで ある. Fig.7 に桁行方向の伝達関数, Fig.8 に梁間方 向の伝達関数, Table 1 に伝達関数から求めた共振振 動数を示す. 桁行方向の伝達関数を見ると, いずれ にも 1 次と 2 次のピークが明瞭に見られ, 振幅の違 いがあるものの, CH1~CH3 の伝達関数の特徴はよ く似ていることがわかる. 一方, 梁間方向の伝達関 数は CH1 では 1 次と 2 次のピークがはっきり現れて いるが, CH2, CH3 では 2 次のピークが不明瞭であ る. Table 1 の共振振動数を見ると, いずれも耐震補 強後に振動数が高くなっており, 補強の効果がうか がえる.



(a) Before seismic retrofit

(b) After seismic retrofit

Fig.5 Location of sensors (open triangle) and an oscillator (solid triangle) at W-house



Fig.6 Location of sensors (open triangle) and an oscillator (solid triangle) at T-house



(b) After seismic retrofit Fig.7 Transfer function at W-house (Ridge direction)

(b) After seismic retrofit



Table 1 Resonance frequencies before/after seismic retrofit of W-house (unit: Hz)

-							
	Ridge direction			Span direction			
	CH1	CH2	CH3	CH1	CH2	CH3	
Before	4.22	4.22	4.22	5.16	5.16	5.16	
After	4.69	4.69	4.69	5.94	5.94	5.78	

## 3.2 T邸

T邸でもW邸同様2階に起振機,1階と2階に加速度計を設置した.起振機による共振振動数探索の後には,自由地盤上(GL)と1階(1F),2階(2F)に設置した加速度計によって常時微動を測定し,それらの加速度計の波形から求めた伝達関数から卓越振動数を評価した.Fig.9および10に起振機による加振によって求めた伝達関数,Fig.11および12に常時微動から求めた伝達関数を示す.Fig.9および10から分かるように桁行方向の伝達関数は3チャンネルとも類似した傾向を示しているが,梁間方向ではCH3の伝達関数が他の2チャンネルのものと大きく異なっている.CH3を設置している箇所は数年後で増築した部分であり,梁間方向の測定の際に伝達関数に振動特性の違いが現れたものと考えられる.

一方, Fig.11 および 12 に示す常時微動から求めた 伝達関数を, Fig.9 および 10 に示す起振機によるも のと比べると、細部は異なるが両者は似たような傾向を示している. Table 2 に示す起振機による伝達関数から求めた共振振動数と Table 3 に示す常時微動の伝達関数の卓越振動数を比較すると、卓越振動数がやや大きい傾向にあるが、それほど違いはない. 補強前後の共振振動数と卓越振動数を見ると、桁行方向の卓越振動数(2F/GL)を除くと、補強後に振動数 が高くなっており、T 邸においても耐震補強の効果が見られることが分かる.

## 4. 木造住宅の減衰特性の評価

起振機を用いて共振振動数によって建物を加振 し、定常振動になった際に起振機を急停止させて得 られた自由振動波形から建物の減衰定数を評価した. 減衰定数は式(2)の減衰率と減衰自由振動波形の振 幅との関係式から求めた.



(b) After seismic retrofit Fig.9 Transfer function at T-house (Ridge direction)











(a) Before seismic retrofit



(b) After seismic retrofit Fig.10 Transfer function at T-house (Span direction)







(b) 2F/GL



Table 2 Resonance frequencies before/after seisine reubint of 1-house (unit. 112)							
	Ridge direction			Span direction			
	CH1	CH2	CH3	CH1	CH2	CH3	
Before	5.31	5.47	5.31	5.00	5.00	5.00	
After	5.78	5.78	5.78	5.47	5.47	5.63	

Table 2 Resonance frequencies before/after seismic retrofit of T-house (unit: Hz)

Table 3 Predominant frequencies before/after seismic retrofit of T-house (unit: Hz)

	Ridge d	irection	Span direction		
	2F/1F	2F/GL	2F/1F	2F/GL	
Before	5.78	5.63	5.47	5.39	
After	6.25	5.55	5.78	5.47	

Table 4 Damping coefficients before/after seismic retrofit of W-house (unit: %)

	Ridge direction			Span direction		
	CH1	CH2	CH3	CH1	CH2	CH3
Before	3.3	3.4	4.8	4.9	3.6	2.2
After	3.1	3.4	4.9	3.5	5.2	4.1

Table 5 Damping coefficients before/after seismic retrofit of T-house (unit: %)

	Ridge direction			Span direction		
	CH1	CH2	CH3	CH1	CH2	CH3
Before	2.3	4.1	6.0	8.6	9.5	5.6
After	5.3	7.4	5.0	5.2	6.3	6.3

$$\delta = \ln \frac{A_n}{A_{n+1}} = \frac{2\pi h}{\sqrt{1-h^2}}$$
(2)

ここで $\delta$ は対数減衰率,  $A_n$ ,  $A_{n+1}$ は減衰自由振動波 形の n 番目, n+1 番目のピーク振幅, h は減衰定数 である.

Table 4 に W 邸, Table 5 に T 邸を対象に評価した 減衰定数を示す.減衰定数を見ると,5%前後の範囲 にあり,木造住宅における一般的な値と対応してい る.また,振動方向について見ると,両邸とも梁間 方向の方が減衰定数が大きい傾向にあるが,耐震補 強前後で比較すると,一定の傾向は見られなかった.

## 5. まとめ

本稿では ACM ブレース工法による耐震補強工事 を実施した木造住宅において補強前後で振動測定を 実施し,伝達関数,減衰定数および常時微動の観点 より耐震補強効果の程度を評価した.本稿で行った 計測結果をまとめると以下のようになる.

- (1) 起振機によるスイープ加振の際に得られた振動波形から伝達関数を求め、木造住宅の共振振動数を評価した.耐震補強前後で共振振動数を比較したところ、補強後の方が振動数が高くなり、補強の効果が確認できた.
- (2) 常時微動測定で得られた波形から木造住宅の

伝達関数を評価し、その卓越振動数と起振機に よって求めた共振振動数を比較した.その結果、 卓越振動数が共振振動数よりも少し高くなっ たが、伝達関数は類似した形状を示した.また、 卓越振動数は補強後の方が高い傾向にあった.

(3) 起振機によって発生させた減衰自由振動波形から木造住宅の減衰定数を評価したところ、木造住宅の一般的な値であった.振動方向について減衰定数の特徴を見たところ、梁間方向の方が桁行方向に比べ減衰定数が大きい傾向にあったが、耐震補強前後で比較すると、一定の傾向は見られなかった.

謝辞:実験対象の木造住宅の方々には調査に快くご 協力頂きました.株式会社 川嶋建設の方々には調査 において様々な便宜を図って頂きました.また,本 校の西村良平技術職員には振動測定の際にご助力頂 きました.ここに,紙面を借りて謝意を表すもので ある.

## 参考文献:

- 年縄 巧:起震器を用いた木造構造物の振動特性の評価,日本建築学会大会学術講演梗概集,pp.275-276, 2006.
- 2) 今岡克也,石黒俊朗:水平起振実験による木造軸組2

階建住宅の振動特性と耐震補強効果に関する研究,豊田工業高等専門学校研究紀要,41号,pp.101-112,2008.

- 境 有紀,神野達夫,纐纈一起:震度の高低によって 地震動の周期帯を変化させた震度算定法の提案,日本 建築学会構造系論文集,No.585, pp.71-76, 2004.
- 小野紘一,高谷富也,久部修弘:ACM ブレース工法 による RC 建屋の耐震補強,日本地震工学会大会概要 集,pp.168-169,2008.

(2012.1.10 受付)

## EVALUATION OF SEISMIC PERFORMANCE EFFECT OF RETROFITTED WOODEN HOUSE BY VIBRATION MEASUREMENT

## Hayato NISHIKAWA and Tomiya TAKATANI

**ABSTRACT**: In this paper, both the sweep vibration measurement using an oscillator-sensor system and the microtremor observation were carried out in order to investigate the effect of seismic retrofit of wooden house using ACM bracing method. Transfer function and damping coefficient of wooden house were evaluated in the vibration measurements. Resonance frequencies before and after the seismic retrofit of wooden house were compared in this paper. Consequently, it was found that the predominant frequencies estimated from a transfer function of microtremor are almost the same as the resonance frequencies of wooden house. It should be noted that damping coefficient obtained from damping free vibration wave corresponds to a general value of wooden house.

*Key Words : Wooden house, Seismic retrofit, Oscillator, Microtremor, Resonance frequency, Damping coefficient*