

回廊の耐震性能に関する実験的研究

その1 縮小模型を用いた振動実験

伝統的木造建築 回廊架構 耐震性能
振動実験 固有振動数 振動モード

正会員 ○松田昂大*¹ 同 宮本慎宏*³
同 西川英佑*² 同 榊井健*⁴

1. はじめに

回廊は基本架構が非剛床の屋根面で繋がり長大な全体架構となる特徴を持つ。近年、いくつかの回廊で耐震補強が進められているが、上記の構造的特徴から耐震性能評価が難しく、補強方法に関しては議論が続いている。

以上を踏まえ、本研究では模型実験を行い回廊の基本的な振動特性について明らかにするとともに、振幅増大や補強に伴う振動特性への影響について考察する。

2. 試験体概要

法隆寺東院廻廊（図 1、写真 1）の西廻廊部分を参考に、1/11 スケールの模型（図 2）を作成した。実験では加振を短手方向に行うため、この加振に対し実物回廊と同じ応答特性を再現できるように模型を設計した。このため、応答に直接関係しないと思われる長手部分の桁行方向の腰壁などは再現せず、柱足元をつなぐ腰長押のみを再現した。一方で短手部分の桁行方向には、隣接建物との接続や腰壁の抵抗などを考慮し、3 段の貫を挿入した。また、頭貫・側桁・棟桁には、実物回廊にも存在する継手を再現するため、2 スパン毎に簡略化したものを設けた。

本研究では、実物回廊が本瓦葺きであることを想定し、模型の相似則に基づいた鉛直荷重を加えて実験を行った。柱 1 本あたりで 0.27kN、全体で 11.20kN の錘を屋根面に積載した。なお錘には、屋根面の剛性に影響を及ぼさず、かつ変形に追従できるように、鋼板ではなく小さな鋼製ブロック（約 9.5N/個）を用いた。

軸部の補強は貫の挿入（写真 2）、屋根面の補強は簀子状の野地を面材に変更することで行った（写真 3,4）。補強の有無に応じて試験体の呼称を表 1 に示すように付けた。

3. 実験概要

振動実験では 0.2~10Hz の範囲で均等な強度を持つランダム波を入力するホワイトノイズ試験（微小変形時の振動特性）と、3 段階の加速度振幅の正弦波を入力する定常加振試験（大変形時の振動特性）、定常加振状態から自由振動させる自由振動試験（減衰性能）を行った。各部の変位をモーションキャプチャで、中央及び両端部の加速度を加速度計で測定した。セットアップ状況を図 3 に示す。

4. 振幅増大や補強に伴う振動特性の変化

4.1 微小変形時の振動特性

ホワイトノイズ試験で得られた模型中央の加速度波形を FFT 解析し、フーリエスペクトルを求めた。10 回の平

均から求めた加速度応答倍率を図 4 に、スペクトルから読み取った固有振動数を表 2 に示す。なお、短手方向に加振を行う本実験では両端が逆位相となる 2 次モードは確認できないと考え、1 次の次に現れるピークを 3 次としている。軸部の補強は 1 次の固有振動数に、屋根面の補強は 3 次の固有振動数に影響を与える傾向が確認できる。

4.2 固有振動数と振動モード

3 段階の加速度振幅（25gal / 50gal / 75gal）で振動数を変化させて加振し、固有振動数及び振動モードを特定した。

各次の固有振動数を表 3 に示す。変形増大に伴う剛性低下によって固有振動数は低くなり、微小変形時から最大 1Hz 程度の低下がみられた。模型の相似側を考慮すると、大変形時の固有振動数は実大スケールで 1 次が 0.5~1.0Hz、3 次が 1.7~1.9Hz となっており、地震時には 1 次だけでなく 3 次も共振する可能性がある。また、微小変形時と同様、軸部の補強は 1 次に、屋根面の補強は 3 次を与える影響が大きく、どちらも補強により振動数が増大した。

加速度振幅 25gal における各次の振動モードを図 5 に示す。1 次では全体が同位相で中央が凸になり、3 次では両端と中央が逆位相になる。振動モードは屋根面の補強による影響が大きい。1 次では、剛床の場合、長手部分の中央に加わる力が両端に伝達されることで、非剛床の場合と比べて長手部分の中央の変形が抑制され、また両端の短手部分が梁間方向に変形する。3 次では、非剛床では M 字型であった形状が剛床では V 字型となる。補強により剪断変形主体であった屋根面の変形が剪断変形と曲げ変形が組み合わさったものへ変化したと考えられる。

4.3 減衰定数

自由振動試験の結果から、指数関数を用いたカーブフィットによって減衰定数を算出した（表 4）。その 2 で示す基本架構模型では 5~6%程度であるのに対し、全体架構模型では最大 19%と大きくなっており、屋根面の変形に伴うエネルギー吸収が要因と考えられる。また、振幅の増大や屋根面の補強によって減衰定数が高くなる傾向も確認できた。

5. 結論

本研究により得られた知見を以下に示す。

- ・平面的に中央が凸になる 1 次モードと中央と両端で逆位相になる 3 次モードが確認された。変位の増大に伴い固有振動数は低下し、地震時には 1 次だけでなく、3 次も

共振する可能性がある。

- ・軸部の補強は固有振動数を上昇させ、特に1次の固有振動数において顕著である。屋根面の補強は振動モードの形状を変化させ、減衰性能を向上させる。

謝辞

振動実験は、科学研究費補助金 研究活動スタート支援 (22K20468, 代表 西川英佑) による補助を受けて実施された。また、実験の遂行にあたり元関西大学の長町一輝氏にご協力いただいた。ここに謹んで深甚なる謝意を表す。

参考文献

- 1) 法隆寺国宝保存事業部：法隆寺国宝保存工事報告書 第9冊 国宝建造物法隆寺夢殿及東院廻廊修理工事報告，1943.08
- 2) 宮本慎宏、他：伝統的木構造における廻廊架構の力学特性に関する実験的研究（その2 耐震性能評価）、日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）、2007.08
- 3) 文化庁：重要文化財（建造物）耐震基礎診断実施要領，pp.19-21，2012.06

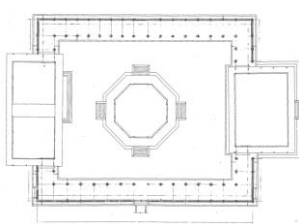
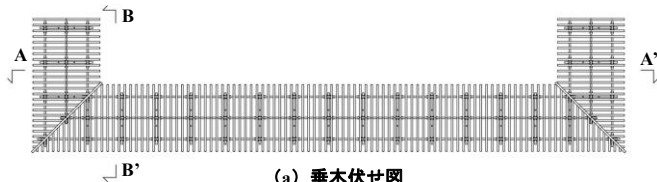


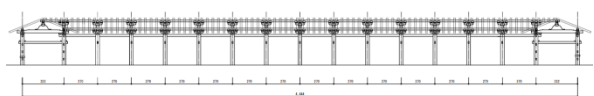
図1 法隆寺東院廻廊 平面図¹⁾



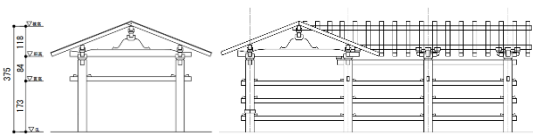
写真1 法隆寺東院廻廊



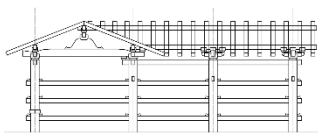
(a) 垂木伏せ図



(b) A-A'断面図



(c) 梁間断面図



(d) B-B'断面図



(e) 継手詳細図

図2 全体架構模型図面

表1 試験体名称

①	架構形式	BF	Basic Frame	基本架構
		MF	Multi Frames	全体架構
②	屋根面の仕様	R	Rigid floor	剛床
		F	Flexible floor	剛床
③	補強の有無	R	Reinforced condition	補強有り
		O	Original condition	補強無し

(例) BF-R-R

① ② ③



写真2 昭和修理前の補強¹⁾



写真3.4 屋根面の剛性の違い (左:非剛床 右:剛床)

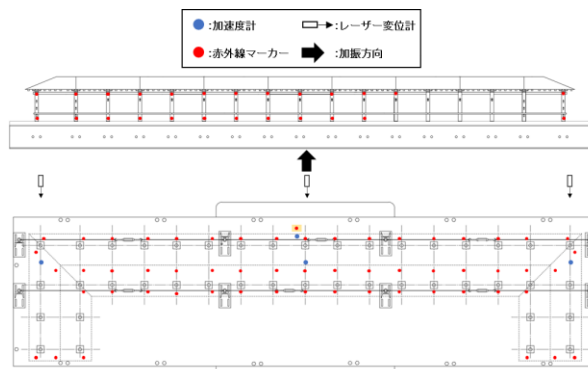


図3 全体架構セットアップ状況

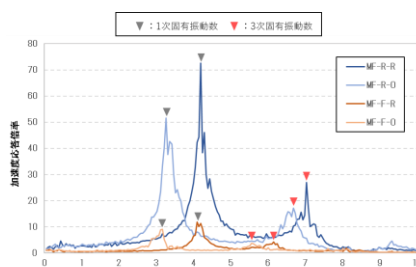


図4 加速度応答倍率

表2 微小変形時の固有振動数

	固有振動数(Hz)	
	1次	3次
MF-R-R	4.2	7.0
MF-R-O	3.3	6.7
MF-F-R	4.1	6.2
MF-F-O	3.2	5.6

表3 大変形時の固有振動数

固有振動数 (Hz)	全体架構					
	1次			3次		
	25gal	50gal	75gal	25gal	50gal	75gal
MF-R-R	3.3(1.0)	2.8(0.8)	2.5(0.8)	6.1(1.8)	5.8(1.7)	5.9(1.8)
MF-R-O	2.4(0.7)	1.7(0.5)		6.0(1.8)	5.5(1.7)	
MF-F-R	2.9(0.9)			6.4(1.9)		
MF-F-O	1.7(0.5)			5.8(1.7)		

※ 各試験体における最大振幅時の固有振動数 ※ ()は実大スケールでの固有振動数

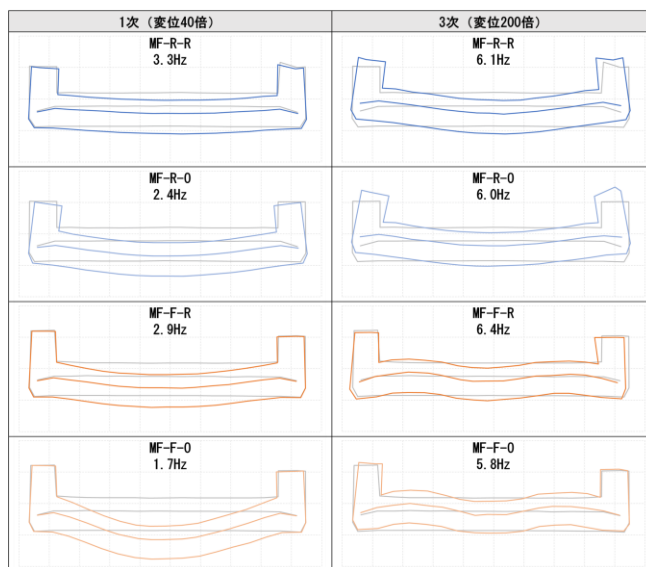


図5 各次の振動モード

表4 減衰定数

減衰定数	全体架構						基本架構
	1次			3次			
	25gal	50gal	75gal	25gal	50gal	75gal	
MF-R-R	17.0%	17.8%	17.2%	10.9%	8.8%	5.7%	6.3%
MF-R-O	12.5%	19.1%		9.2%	8.7%		4.7%
MF-F-R	9.1%			5.3%			5.8%
MF-F-O	14.5%			6.0%			5.2%

*1 関西大学大学院 理工学研究科 博士課程前期課程

*2 関西大学 環境都市工学部 助教・博 (工)

*3 香川大学 創造工学部 教授・博 (工)

*4 関西大学 環境都市工学部 教授・博 (工)

*1 Graduate Student, Graduate School of Science and Eng., Kansai Univ.

*2 Assistant Prof., Faculty of Environmental and Urban Eng., Kansai Univ., Dr. Eng.

*3 Prof., Faculty of Eng. and Design, Kagawa Univ., Dr. Eng.

*4 Prof., Faculty of Environmental and Urban Eng., Kansai Univ., Dr. Eng.