

回廊の耐震性能に関する実験的研究
その2 立体フレームモデルを用いた固有値解析結果

回廊架構	耐震性能	静的載荷実験	正会員	〇宮本 慎宏* ¹	正会員	松田 昂大* ²
立体フレームモデル	固有振動数	振動モード	同	西川 英佑* ³	同	榊井 健* ⁴

1. はじめに

本稿その2では、その1で示した全体架構模型の長手方向2スパン分を切り出した基本架構模型を作製して静的載荷実験と自由振動実験を行い、基本的な力学特性や振動特性を把握する。また、これらの実験結果を踏まえて全体架構模型の立体フレームモデルを構築して固有値解析を行い、固有振動数や振動モードを比較する。

2. 基本架構模型の静的載荷実験と自由振動実験

その1の全体架構模型から切り出した基本架構模型（図1）に対し、各耐震要素の復元力特性を把握するための静的載荷実験、減衰定数を把握するための自由振動実験を実施した。静的載荷試験では、電動ジャッキを用いてワイヤーで柱頭を水平方向に引っ張り、ジャッキ1を用いて中央の構面を1方向に層間変形角1/120rad、1/60rad、1/30rad、1/15radにおいて1回ずつの繰り返し載荷を行う1点静的載荷実験、ジャッキ1を用いて中央の構面を引きながらジャッキ2,3を用いて両端の構面の変形角を0に固定し、屋根構面を1/120radまでせん断変形させる3点静的載荷実験をそれぞれ実施した（図2）。柱1本あたりの鉛直荷重は全体架構模型と同じになるように錘を載せた。

1点静的載荷実験結果（図3）より、貫無試験体（BF-R-O・BF-F-O）は柱傾斜復元力が抵抗要素となるため、荷重変位関係は上に凸の曲線となった。柱傾斜復元力の文化庁の設計式¹⁾と最大荷重を比較すると、BF-R-Oで文化庁式の0.71倍、BF-F-Oで0.75倍となった。貫有試験体（BF-R-R・BF-F-R）は柱傾斜復元力と貫接合部が抵抗要素となるため、終局まで荷重が増加し続けた。なお、屋根面の仕様は荷重変位関係に影響を及ぼさなかった。3点静的載荷実験結果（図4）より、頭貫の面外方向の曲げ抵抗を減じて屋根構面のせん断変形角1/120rad時の割線剛性を算出した結果、剛床（BF-R-R）は191N/mm、非剛床（BF-F-R）は107N/mmとなり、剛床は非剛床の約1.8倍となった。

自由振動試験はワイヤーの代わりにPPロープを用い、層間変形角1/15radまで載荷した後にPPロープを切断することで試験体を自由振動させた。自由振動実験から減衰定数を算出した結果、貫有試験体（BF-R-R・BF-F-R）は約6%、貫無試験体（BF-R-O・BF-F-O）は約5%となった（表1）。

3. 立体フレームモデルの構築

2章の実験結果を踏まえ、全体架構模型を再現した立体

解析フレームモデルを構築する。貫接合部は回転バネで置換し、1点静的載荷実験結果の貫有試験体から貫無試験体を減じた実験結果を回帰した平均値を用いてバイリニアモデルとした。柱-頭貫接合部は回転バネで置換し、既往の推定式²⁾を用いてバイリニアモデルとした。柱傾斜復元力は水平バネで置換し、1点静的載荷実験結果の貫無試験体の1mm時、最大荷重時、終局変位時の3点の平均値から負勾配領域を有する3線形モデルとした。屋根構面はブレース置換でモデル化し、初期剛性は3点静的載荷実験結果から算出した1/120rad時の割線剛性、二次剛性0のバイリニアモデルとした。柱脚はピン支持、虹梁の端部はピン接合、頭貫の面外方向は剛接合、継手箇所のみピン接合とした。各材料定数はヒノキの無等級材の値³⁾を用いた。

4. 固有値解析結果の比較

その1で示した振動実験（ホワイトノイズ入力）結果において、モーションキャプチャーで計測した変位波形をFFT解析することで全体架構模型の固有振動数および振動モードを推定し、立体フレームモデルの固有値解析結果と比較する。ただし、振動モードは短手方向の振幅のみ考慮した。表1より計測結果よりも解析結果の方が固有振動数は小さい傾向にある。これは振動実験では同じ試験体を繰り返し使用したため、初期剛性が低下したことが要因として考えられる。また、1次振動モードは形状が概ね一致したが（図5）、3次振動モードは特に直交する回廊が接続する端部で異なる形状を示した（図6）。今後、屋根構面のモデル化や直交する回廊の面外方向の変形を詳細に検討する必要がある。

5. まとめ

本稿その2では、基本架構模型の静的載荷実験と自由振動実験を実施するとともに、全体架構模型の基本的な振動特性を再現可能な立体フレームモデルを構築した。

謝辞

静的載荷実験は、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、立体フレームモデルの構築には元香川大学大学院の網島芽吹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

- 文化庁：重要文化財（建造物）耐震基礎診断実施要領，pp.19-21，2012.6.
- 網島芽吹，宮本慎宏，宇都宮直樹：社寺建築物における鉛直軸力の影響を考慮した柱-頭貫接合部の耐震性能評価に関する研究，構造工学論文集，Vol.70B，2024.4.（掲載予定）
- 一般社団法人日本建築学会：木質構造設計規準・同解説，pp.374-375，pp.399-401，2006.12.

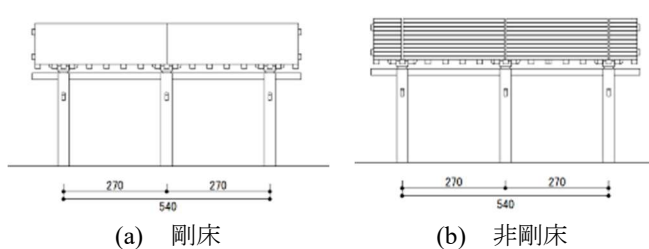


図1 基本架構模型立面図



表1 自由振動実験結果

試験体	振動数 [Hz]	減衰定数 [%]
BF-R-R	2.0	6.3
BF-R-O	1.6	4.7
BF-F-R	2.2	5.8
BF-F-O	1.7	5.2

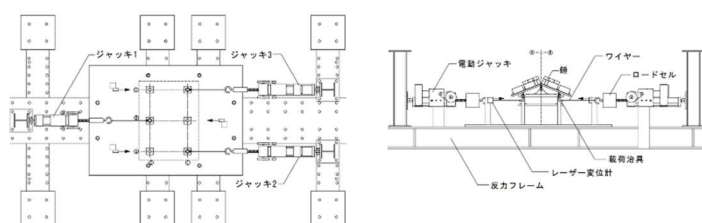


図2 静的載荷実験装置

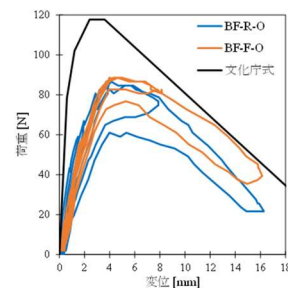
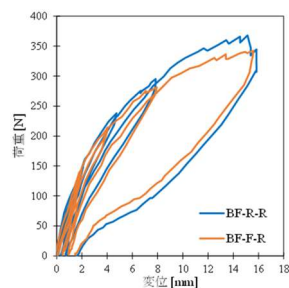


図3 1点静的載荷実験結果

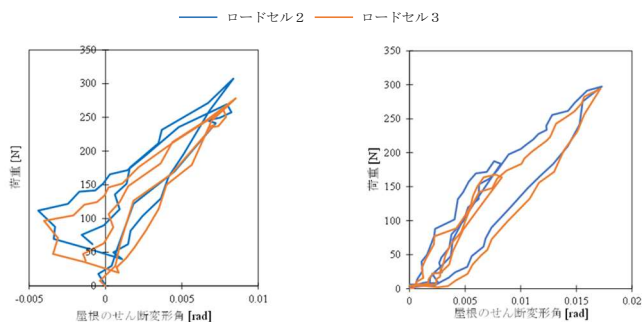


図4 3点静的載荷実験結果

表2 固有振動数の比較

	試験体	1次固有振動数	3次固有振動数
		[Hz]	[Hz]
解析	MF-R-R	3.5	5.0
	MF-R-O	2.9	4.8
	MF-F-R	3.4	4.7
	MF-F-O	2.8	4.3
計測	MF-R-R	4.3	6.9
	MF-R-O	3.1	6.6
	MF-F-R	4.1	5.9
	MF-F-O	3.0	6.0

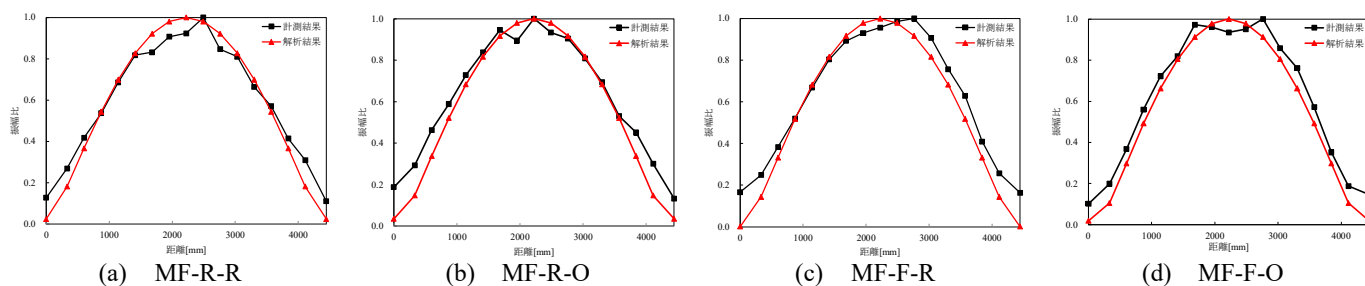


図5 1次振動モードの比較

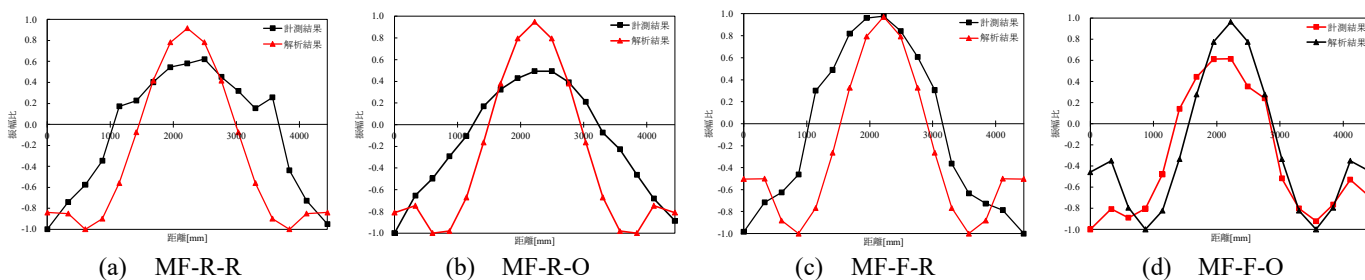


図6 3次振動モードの比較

*1 香川大学 創造工学部 教授・博士 (工学)

*2 関西大学大学院 理工学研究科 博士課程前期課程

*3 関西大学 環境都市工学部 助教・博士 (工学)

*4 関西大学 環境都市工学部 教授・博士 (工学)

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

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

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

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