

常時微動計測及び自由振動実験に基づく文化財茶室・書院建築の振動特性に関する研究

名古屋大学 工学部 環境土木・建築学科
建築学コース 福和研究室 吉原明里

1. 研究の背景と目的

文化財保護法では、有形文化財の中でも重要なものが重要文化財、そのうち特に価値の高いものが国宝に指定されている。建造物では、令和2年1月1日時点、全国で重要文化財が2,509件(5,122棟)、国宝が227件(290棟)登録されている。¹⁾我が国は地震大国であり、耐震規定が定められているが、文化財建築物の多くは近世以前に建設されたものであり、耐震性能は十分とは言えない。また、伝統的木造建築物は貫や土壁など材料特性にばらつきが大きいため建物の振動特性を把握することも困難である。このため、これまで社寺建築の特性を評価することを目的として常時微動計測データを用いた研究が行われてきたが、組物を用いていない伝統的木造建築の研究は多くない。

そこで本研究は、17世紀に建てられた茶室及び書院を対象として常時微動計測と加振実験を行い、振動特性を把握する。

2. 対象建物の概要

対象建物は17世紀に建てられた伝統的構法による木造平屋建て建築である。図1に平面図を示す。基礎構造は鉄筋コンクリートのべた基礎で直径250mm、長さ6mの杭が打ち込まれている。茶室は柿葺きの片入母屋造、書院は銅板葺の入母屋造であるが、実験時は茶室及び書院の補修工事中であり、柿・銅板は葺き替えのため下ろされていた。茶室と書院は茶室の北西の柱と書院南東の柱を共有しているため、お互いが振動特性に影響を与える可能性がある。写真1に共有部分の取り合いについて示す。



図1 壁・柱の配置



写真1 共有部分

3. 計測の概要

対象建物の振動特性を把握するため、図2に示すように加速度計を地盤に1台、基礎に6台、床に7台、梁に6台設置した。計測時、屋根材は葺かれていなかったが、砂袋

のおもりを野地板の上に乗せ、屋根材が葺かれているときの質量(約1500kg)のおもりを乗せた場合、屋根材半分の質量(約750kg)のおもりを載せた場合、おもりを載せない場合の3つのケースに対して計測を行った。また、それぞれのケースで常時微動計測・自由振動実験を実施している。常時微動計測は31分間収録を行った。表1に自由振動実験の内容を示す。自由振動実験は柱に手を添えた状態で準備し、一斉に柱に力を加え瞬間的に離してインパルス加振を行うことで自由振動波形を得た。

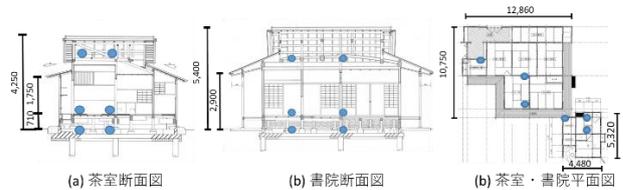


図2 計測機器配置

表1 加振スケジュール

	加振場所	加振方向	加振点数	加振人数
1	中から加振	南北	4	4
2		東西	3	3
3		ねじれ	4	4
4		茶室 南北	1	2
5		東西	1	2
6	共有柱	南北	1	2
7		東西	1	2
8	外から加振	南北	3	3
9		書院 東西	3	3
10		茶室 南北	3	3
11		東西	3	3

4. 分析結果

4.1. 常時微動計測に基づく分析

図3には梁の加速度フーリエスペクトルを示し、図4には基礎に対する梁の伝達関数を示す。また、RD波形からゼロクロッシング法及び対数減衰率を用いて算出した固有振動数・減衰定数を表2に示す。茶室と書院を比較すると茶室に壁が多く剛性が高いため茶室の固有振動数が高くなっている。既往の研究の伝統的構法による木造住宅²⁾と比較すると固有振動数が高くなっているが、茶室は住宅と比べて壁が多く、書院は茶室の北側の壁によって拘束され、揺れづらくなっていると考えられる。また、書院東西方向の固有振動数はねじれ振動の固有振動数とほぼ同じ値を示し、この振動数周辺ではねじれ振動を起こしやすいことが分かった。書院の剛心が北西側に偏っていることが原因と考えられる。しかしながら、書院の南側は壁が少なく揺れやすいが、壁が多い茶室が南側に連なっているため壁が多い北側とのバランスを改善していると考えられる。一次固有振動数から茶室は南北方向が強く、書院は南北方向が柔らかい構造だと推測されるが、これは全面壁の剛性を算出して得られた結果と一致している。また、地盤に対する基礎の伝達関数から基礎は一体として動いていることが分かった。一方、時刻歴波形や伝達関数から床は多くの木造建築と同様に剛床とは言えないことが分かった。

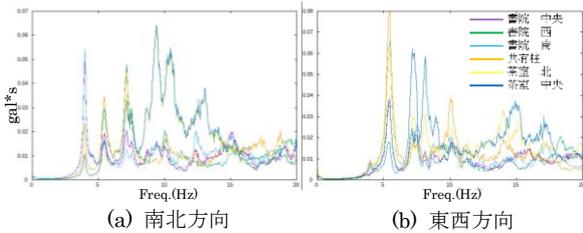


図3 加速度フーリエスペクトル

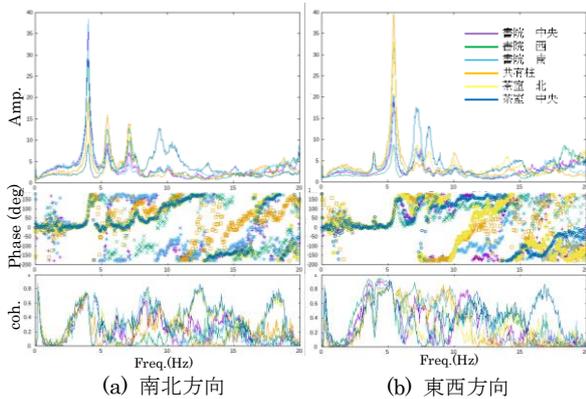


図4 基礎に対する梁の伝達関数

表2 微動時の固有振動数・減衰定数

		減衰定数(%)	振動数(Hz)
茶室	南北	1.1	9.4
		1.1	10.8
	東西	2.3	5.4
		1.7	7.1
		1.8	8.1
書院	南北	1.6	4.0
	東西	2.6	5.4

4.2. 自由振動実験に基づく分析

図5に自由振動実験の一例として書院を中から南北方向に加振した際の加速度波形及び極大値の絶対値の対数プロットを示す。表3・4には自由振動波形より求めた固有振動数・減衰定数を示す。加振実験の結果から東西方向が南北方向より茶室と書院が影響を及ぼし合いやすいことが分かった。書院東西方向の梁が茶室の壁に拘束されていることや、東西方向の梁のみが共有柱に直接支えられていること、固有振動数が近い値であることが要因だと推測される。また、書院を加振した際のフーリエスペクトルはピークが現れている振動数に計測点による差が見られず、茶室と共有柱を加振した場合は、書院は茶室の固有振動数ではなく書院の固有振動数が卓越しやすいことが分かった。これは、書院の質量が茶室の3倍以上であることで書院の振動は茶室へ影響しやすいが、茶室の振動の書院への影響は小さいためだと考えられる。減衰定数は計測点による差異は見られないため、建物によらず加振場所の加振方向における減衰があらわれることが分かった。また、書院を加振した際の減衰の方が茶室を加振した際の減衰より大きくなっている。これは常時微動計測に基づいて得られた減衰の特徴と一致する。共有柱を加振した場合は、南北加振は書院南北加振における減衰定数に近い値を示した。東西加振は茶室・書院・共有柱いずれも同程度の減衰定数であった。

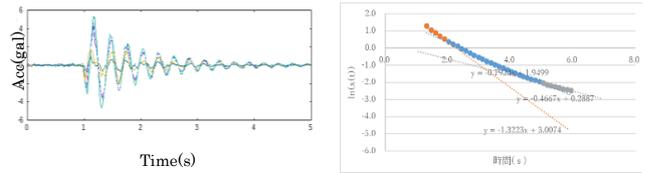


図5 加速度波形

表3 加振時の固有振動数

振動数 (Hz)	加振位置・方向	加振位置・方向						
		書院南北	書院東西	書院ねじれ	茶室南北	茶室東西	共有柱南北	共有柱東西
書院	南北	3.9	5.1	5.1	3.9	3.9	3.8	3.9
	東西	5.1	5.2	5.2	5.3	5.2	5.3	5.2
茶室	南北	3.8	5.1	5.1	9.2	5.2	9.3	9.2
	東西	5.1	5.2	5.2	7.0	7.1	6.9	5.2
共有柱	南北	3.8	5.1	5.1	3.7	5.2	3.7	5.2
	東西	5.1	5.2	5.2	5.3	5.2	5.2	5.2

表4 加振時の減衰定数

減衰定数 (%)	加振位置・方向	加振位置・方向						
		書院南北	書院東西	書院ねじれ	茶室南北	茶室東西	共有柱南北	共有柱東西
書院	南北	3.3	3.1	2.5	3.4	2.6	2.7	2.8
	東西	2.7	3.0	2.8	2.6	2.7	2.7	2.7
茶室	南北	3.2	3.1	2.5	3.8	2.7	2.7	2.7
	東西	2.7	3.3	7.1	2.7	2.7	2.7	2.7
共有柱	南北	3.3	3.0	2.3	6.1	2.7	2.7	2.7
	東西	2.7	3.0	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7

4.3. 微動時と加振時の比較

固有振動数は茶室・書院ともに両方向で加振実験時の値が微動時より数%低い値になった。減衰定数は書院東西方向を除き、加振時が微動時より約45%~60%大きい値になった。また、図5に示した加速度極大値の絶対値の対数プロットにおいて加振直後の部分についての減衰定数は3.5%、振幅が小さくなっている部分は1.8%、全体では3.3%となっている。以上から、対象建物は振幅依存性があることが確認された。

4.4. おもりの有無による変化

伝達関数では高振動数のピークが0.1 Hz程度変化しているが、おもりを変化させても微動時、加振時ともに固有振動数に大きな変化は見られなかった。柿の重さの合計が約500 kg、銅板の重さの合計が約1000 kgであるのに対し、建物全体の質量が茶室は6680 kg、書院は22640 kgとそれぞれ全体の7.4%、4.4%と全体に占める割合が小さいためだと考えられる。

5. まとめ

本研究の対象建物は茶室と書院が1本の柱を共有し、連なっていることが特徴であったが、茶室と書院は共有部分を通して互いに力を伝達し合い、振動特性に大きな影響を与えていることが明らかとなった。

加速度フーリエスペクトルにおいて書院東西方向固有振動数で南北方向にもピークが見られてため、振動の主軸が壁と並行ではない可能性があり今後検討が必要である。

参考文献

- 文化庁：文化財の紹介
- 前川秀幸，河合直人，内田昭人：伝統的木造建築物の振動特性 その9. 民家の荷重変形関係と固有振動数の推定，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.145-146，2000年