

文化財建造物の振動特性

はじめに 1998年度から科研基盤研究(C)により、「伝統的木造建築の振動特性に関する研究」(代表者・内田昭人)として、建設省建築研究所・職業能力開発大学校と共同研究を行っている。これまでに、宮内省南殿(復原建物)2棟・法隆寺建物4棟・薬師寺建物3棟・東大寺建物1棟・清水寺仁王門・南禅寺三門を対象として常時微動測定を実施した。この測定方法の有効性について検討を進めるとともに、研究成果については逐次国内外の学会で発表してきた。本稿では1998年に「第5回木質構造世界会議(スイス)」で発表した論文の概要について報告する。

測定方法と解析方法 常時微動測定は振動技研MTKH-1C(水平方向微動計)およびMTKV-1C(鉛直方向微動計)を合計16台使用し、図1に示すような測定点に順次設置して約100秒間の速度波形記録を複数回、データレコーダーに収録する。得られた時間軸波形に対して、サンプリング周波数20Hzで7回の平均化を行うFFT処理を行ってフーリエ速度スペクトルを求め、上部の測定点と地動との間の伝達関数のピークから固有振動数を推定する。一方、各固有振動数における各測定点間の速度振幅の比および位相差から振動モード図を作成する。さらに、フーリエ速度スペクトルに対する $\sqrt{2}$ 分の1法またはカーブフィットにより減衰定数を求める。

測定結果と解析結果 測定対象建物および測定結果と解析結果を表に示す。一層の建物では、1次・2次の振動モードは、桁行方向または梁間方向の並進(全体が同じ方向に揺れている)振動であるが、宮内省南殿・薬師寺東院堂・法隆寺大講堂では、3次の振動モードにねじれ変形が見られた。これらの建物は、前面が大きく解放されているのと、土塗壁の配置に偏りがあるためである。

東大寺転害門では、梁間方向の位相が妻側と内側とで逆転する、弓なりの振動モードが現れた。これは、建物の中央の桁行方向のみに壁が配置されていることによる。宮内省南殿を除き、1次・2次の固有振動数はそれぞれ1.45~1.9Hzと1.9~2.15Hzであった。宮内省南殿は他の3つの建物と比較し、規模も小さく、現代的構法である筋かい入りラスモルタル壁を有するため、建物の剛性は高

く、固有振動数は最も高い値となっている。

二層の建物、法隆寺中門・法隆寺金堂では、建物の規模も似ていることから、1次・2次の振動モードも同じような形になっていることがわかる。多層、三重・五重塔では、いずれも1次の振動モードでは対角線方向に振動し、塔のある高さにおいて位相が逆転する、高さ方向の2次・3次モードを示した。1次固有振動数は0.85~1.05Hz、2次は2.05~2.5Hz、3次は3.5~4.0Hzである。東塔と西塔を比較すると、固有振動数の値は、いずれも西塔の方が1~2割高い値となっている。近年の再建である西塔は、創建架構を残す東塔と比較して、劣化しておらず、剛性が保たれているためであろう。3つの塔とも振動モードでは類似性が見られる。

振動モデルの適用 図2に示すような平面型振動モデルを仮定し、宮内省南殿建物に適用して測定値と計算値との照合を試みた。各部の剛性評価には、柱傾斜復元力、筋かい壁のせん断剛性、および屋根面などの水平構面剛性をパラメーターとして固有振動数および振動モードを求めた。図3でモード1、2、3、5は測定値と計算値は比較的良く一致している。モード4、6は測定値が得られていれば、計算値と近似していると推定される。

法隆寺五重塔・薬師寺西塔では、現在、高層ビルの設計に使われている串団子型振動モデルを適用し、測定値と計算値とを照合している。三(五)重塔全体を各層の質点とせん断ばねとからなる3(5)質点系にモデル化し、積算で求めた質量を用い、試行錯誤的に各層のせん断剛性を当てはめて、測定結果に近い固有振動数および振動モードが得られるような剛性の組合わせを求めた。図4に示すように、1次・2次モードでは測定値と計算値が比較的良く一致している。三重・五重塔では、このような質点系振動モデルを設定することにより、主要な振動モードを説明できることがわかった。

以上、これまで不明であった文化財建造物の固有振動数、振動モード、減衰定数などの振動特性が明らかになってきた。これらの数値は、微少な振幅で建物が揺れるときの、揺れるはやさ、揺れる形、揺れの収まり方を示すものであるが、同時に大地震動に対する建物の耐震性を考える上で不可欠の要素でもある。今後は得られた数値を、文化財建造物の耐震性能を向上させるための基礎資料として活用したい。(内田昭人/埋蔵文化財センター)

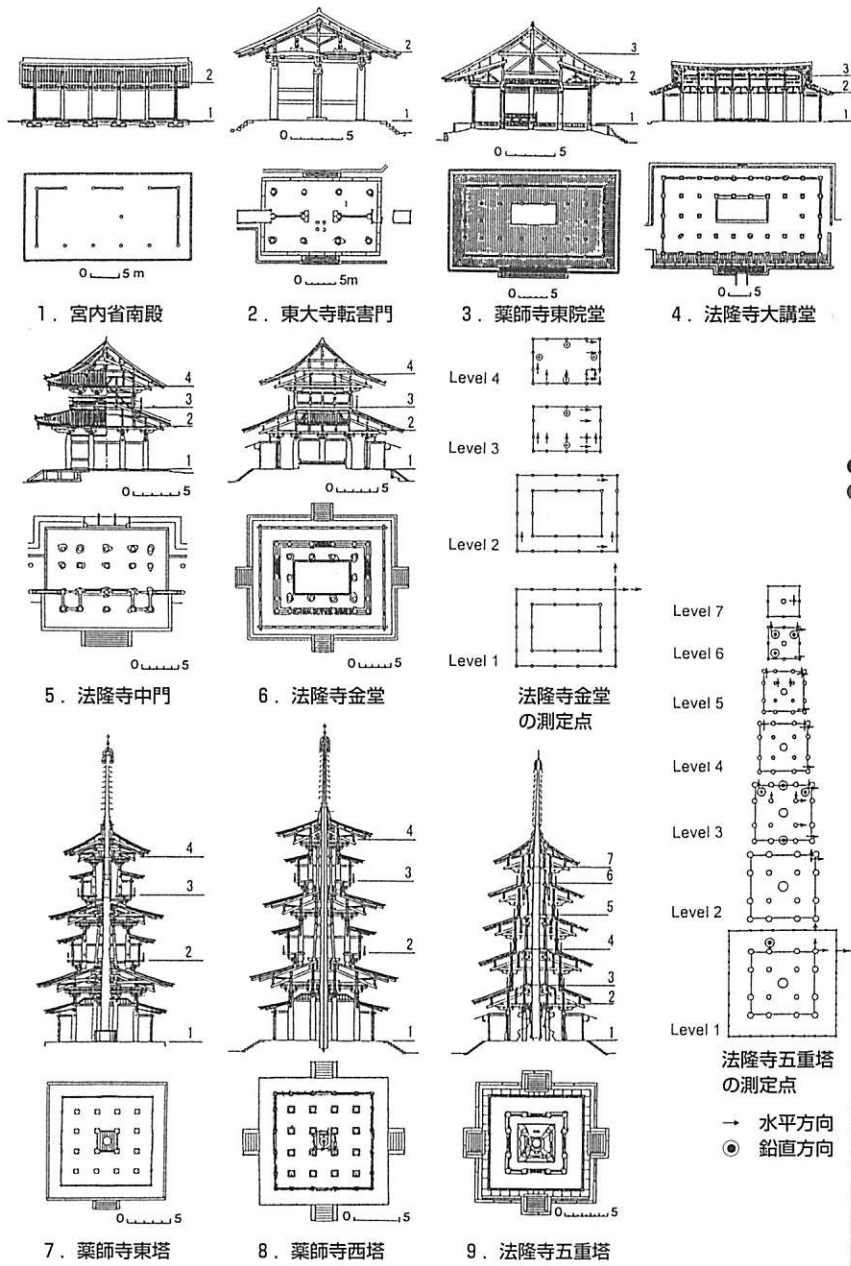


図1 測定対象建物と測定点

層	測定対象建物	固有振動数 (Hz)			減衰定数 (%)		振動モード		
		モード 1	モード 2	モード 3	モード 1	モード 2	モード 1	モード 2	モード 3
一層	1. 宮内省南殿	4.4	4.65	7.65	-	-	R	S	T
	2. 東大寺転害門	1.45	1.9	4.05	1.6	3.5	S	R	S2
	3. 薬師寺東院堂	1.9	2.15	2.65	2.6	1.0	S	R	T
	4. 法隆寺大講堂	1.7	2.1	2.50	2.5	1.9	S	R	T
二層	5. 法隆寺中門	1.55	1.8	-	4.4	2.6	S	R	-
	6. 法隆寺金堂	1.8	2.05	-	4.4	1.7	S	R	-
多層	7. 薬師寺東塔	0.85	2.05	3.4	3.8	-	D	H2	H3
	8. 薬師寺西塔	1.05	2.5	3.75	3.5	-	D	H2	H3
	9. 法隆寺五重塔	0.9	2.5	4.2	4.0	-	D	H2	H3

振動モード R: 桁行方向並進振動 S: 梁間方向並進振動 D: 対角線方向振動 T: ねじれ振動
 S2: 梁間方向で位相が逆転するモード H2, H3: 位相が逆転する、高さ方向の2次、3次モード

表 測定結果と解析結果

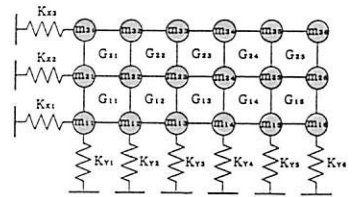


図2 平面型振動モデル

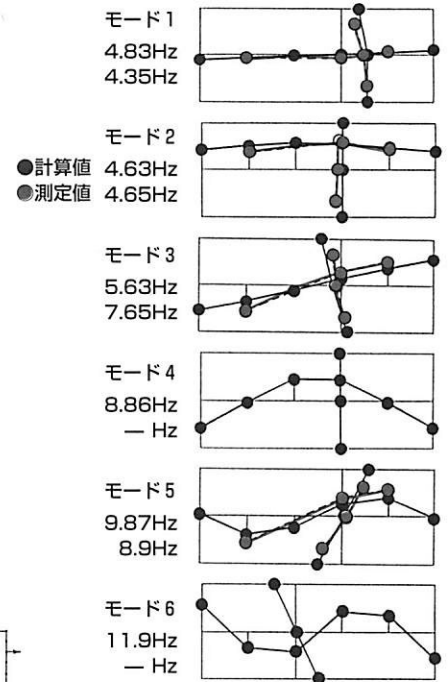


図3 測定値と計算値の比較 (宮内省南殿)

法隆寺五重塔の測定点
 → 水平方向
 ● 鉛直方向

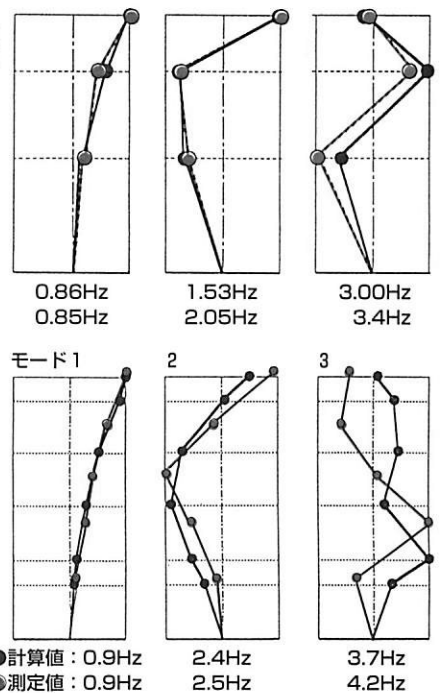


図4 測定値と計算値の比較 (薬師寺東塔・上) (法隆寺五重塔・下)