

五重塔は地震で倒壊の例がない

工学博士、一級建築士
元防災科学技術研究所シニアエキスパート

箕輪 親宏

経歴: 1971年 国立防災科学技術センター入所
1972年 耐震実験室勤務
1993年 流動研究員
1997年 建築研究所併任
2007年 防災科研シニアエキスパート

1. リズム感のある木造建築・五重塔

五重塔は法隆寺に見られるとおり1,000年以上前から存在し、現在でも、新たに建設されています。明治以前から現存し、国宝、重要文化財に指定されている五重塔は22基あります。最も高い五重塔は京都東寺の五重塔で54.8mです。五重塔は、高くなるに従い狭まる五重の屋根、骨組である塔身、屋根から突き出た相輪、中央の地盤から相輪まで延びる心柱からなり、リズム感のある木造の建築です。柱は外部に面した計12本の側柱、内部には中央の心柱を囲む4本の四天王柱があります。柱は一般の住宅より遥かに太く、20cm角以上であり、壁も厚板が使われています。一階には仏像が安置されるのが一般的です。

東大建築学科藤田准教授によれば五重塔の構造には、建物の上に建物を載せる重ね方式、各層の四天王柱が梁を介し繋がった長柱方式、四天王柱に加え側柱も下の層の梁に載った櫓方式の三種があります。どの方式でも、五重塔の骨組である塔身は心柱を別として16本の柱で支えられています。心柱は地盤から立っているもの、1階天井位置から立っているもの、塔身から吊られ地盤から僅かに浮いたものがあります。吊られた心柱は日光東照宮、千葉県市川市法華経寺に見られます。

2. 倒壊しない五重塔は人々を魅了してきた

幸田露伴の小説「五重塔」が読まれているように、五重塔は人々の興味を引いており、地震で倒壊した記述が見あたらないことから高層建築が出現する以前から学者の注目を引きました。1855年の江戸直下で起こった安政江戸地震では、谷中の五重塔の相輪は折れたが、倒壊したものはありません。この地震で、浅草寺の五重塔の相輪が曲がった絵が安政見聞録にあります。強風の五重塔被害

は1991年台風19号の弘前の最勝院で、傾斜し、扉等が吹き飛ばされた被害が起こっています。1934年9月21日の室戸台風では大阪四天王寺の高さ24間3尺五重塔が倒壊しています。このようなことから五重塔の構造特性を実験と観測から調べることを試みました。

(図1、図2)



■図1



■図2

3. 五重塔の構造特性の実験と観察から得られたこと

実験は、重ね方式の法隆寺の五重塔を摸した1/5の模型を、つくば市にある防災科学技術研究所の水平一方向振動台に設置し、心柱の有り、無などの各種条件で、記録地震波を模型実験用に加工した入力により実験を行い、五重塔の地震時の揺れを調べることを試みました。結果として、揺れ幅の増大に従い柔らかくなり、揺れの収まりが早くなる(減衰の増加)ことが見られました。心柱の有り無しによる塔身の明確な揺れの違いは分かりませんでした。心柱が僅かに剛性を高めるこ

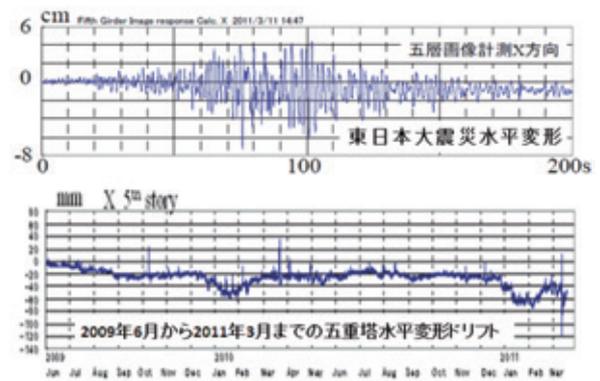


■図3

とが見られました。揺れについては高さが高くなるに従い揺れが大きくなる基本モードが見られ、蛇が這うような高次モードは揺れが細く加速度が大きい揺れに見られました。重ね方式に見られる特徴かも知れませんが、一層と二層の位相のずれ、重(屋根)間の浮き上がりも起こっています。(図3)

観測は、千葉縣市川市にある日蓮宗大本山法華経寺の1622年建立された重要文化財の五重塔で、振動計と画像計測を用い、2007年の中越沖地震から2011年3月の東日本大震災まで行われました。この五重塔は長柱方式で、心柱は吊られています。大きな修理は寛保(1741年頃)、明治(1900年頃)に行われています。東日本大震災では震度Vの揺れを受け、地動の最大速度は30cm/s近くでした。周辺の石灯籠、鉄柵には倒れたものもありました。五重塔の塔身、相輪に被害は無く、記録した五重塔の水平変形は上方になるに従い、大きくなるモードで、目撃談では3層から上が大きく揺れたとのことでした。2層と5層の間で最大7cm程度の水平変形で、変形角にして約1/200でした。

ここで特筆することは、1cm程度の残留水平変形があったことです。この水平変形は画像計測により観測されたもので、連続観測を2009年から行っていました。季節による水平変形のドリフトが見られ、夏と冬では3cmの差がありました。東日本大震災で生じた残留水平変形は3日後には日々のドリフトの中に隠れてしまいました。なお、1991年台風19号の最勝院五重塔でも被害直後に見られた傾斜が日にちの経過に従い、戻っているように見られたとの記載があります。(嶋田他、五重塔の風災害、日本風工学会誌第96号平成15年7月、18頁 弘前市建築指導課長水上氏の目撃談)(図4)



■図4

4.大切な記録を五重塔の内部に保管

既に述べたように、社寺建築では一般の住宅建築より、太く厚い木材が使われます。五重塔では3間角の壁で囲まれた空間に側柱、四天柱が併せて16本あります、しかも20cm角以上とみられます。他の建物に比べ材料の占める割合が大きいのと思われます。また、ガタやめり込みのある構造方式が揺れを押える減衰を高める効果があることは確かなことと考えます。

しかし、東日本大震災の記録にモデル計算結果を合わせようとした場合、減衰定数は5%から10%で、他の構造と大きく変わるものではないと思われます。また、心柱や相輪の塔身揺れを抑える効果については、安政江戸地震の被害の絵図等から判断すると、否定することはできないと考えます。しかし塔身の揺れを心柱・相輪が抑えるような条件を作り出すのはとても難しいと考えます。観測でも、塔身と心柱の揺れはほぼ同じで、心柱が塔身の揺れを抑える現象は見られていません。このようなことから推測するに、五重塔が地震で倒壊しないのは、太い柱、厚い板壁の多さ、推測ですが宗教施設であるため、地盤の良い所に立っており、手入れが良かったからではないかと考えられると思います。

なお、超高層ビルは解体されるが、重要文化財である五重塔は遠い未来まで残ります。こう考え、東日本大震災の観測記録を法華経寺五重塔内部に納め、将来に伝えることとしました。(図5)



■図5

■この「つくばのシニア人材紹介コーナー」は、つくば市が2008年度から推進している「つくば市OB人材活動支援事業」に登録されている研究者・教育者の方々より寄稿を受けて作成しています。現役を一旦引退されてもいつまでも社会発展の牽引力となって活躍をされている方々の研究実績や業務経験の一端をご紹介させていただくものです。