

木造伝統構法による 五重塔の構造設計

—中山寺五重塔の再建—

横田 友行

株式会社 能勢建築構造研究所 代表取締役

横田 友行

昭和31年4月25日生

大阪工業大学卒。昭和54年4月能勢建築構造研究所入社。平成13年5月取締役就任。

平成23年5月より現職

はじめに

当社は昭和44年2月に設立以来、非木造建築物の構造設計や耐震診断・耐震補強設計に携わってきた。平成15年7月に(一社)日本建築構造技術者協会・関西支部から豊田市の民家(写真1)の耐震診断・耐震補強設計を受託して以降、木造建築物にも関わるようになり、社寺建築や幼稚園(写真2)などの耐震補強設計や、新築の駅舎(写真3)や多目的ホール(写真4)などの構造設計に協力してきた。

これらの経験から得た技術を活かすことで、平成23年9月から中山寺の木造伝統構法による五重塔の構造設計に携ることができた。

中山寺五重塔は約400年ぶりの再建である。

(写真5)



写真1 築約90年の民家



写真2 大阪市立幼稚園



写真3 JR郡家駅舎



写真4 綾部市里山交流研修センター
「森もりホール」



写真5 再建された中山寺五重塔

五重塔の概要

構造計算は限界耐力計算を用いて、建築確認は工作物として宝塚市へ申請し、(一財)日本建築総合試験所にて安全審査を受けた。

- ・建築面積：161.5㎡
- ・高さ：28.27m
- ・設計者：株式会社MIKI建築設計事務所
：株式会社能勢建築構造研究所
- ・施工者：大成建設株式会社
- ・木工事：有限会社團上工務店
- ・竣工：平成29年1月

五重塔の塔身の構法は、古代以来の積重ね構法(法隆寺等)、近世以降の長柱構法(教王護国寺等)と柱と貫でラーメンを形成した檣構法(日光東照宮等)の3つに分けられるが、中山寺五重塔は長柱構法を採用した。また、初重に裳階(もこし)が取り付けのも特徴である。

構造設計概要

五重塔は4本の四天柱、12本の側柱と1本の心柱から構成される。四天柱と側柱は隣り合う柱と相互に貫で接合され、また柱間には落とし込み板壁を配置して各重の水平耐力を確保した。なお、初重の柱は傾斜復元力を水平抵抗要素として考慮した。

各重の水平構面は、4段の繋ぎ肘木と通肘木を合せて「囿」の字形状に組まれ、強固に構成される(写真6)。

心柱は礎石立ちとし、3段に継ぎ足して相輪を支持する。塔身との繋ぎは無く、露盤付近にて水平方向に接触するのみである。

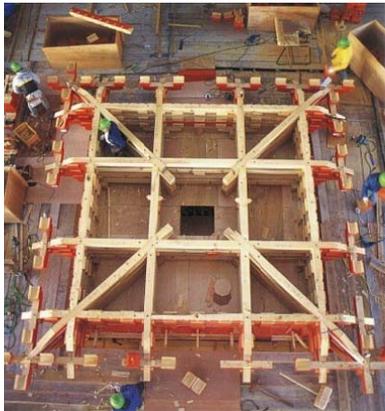
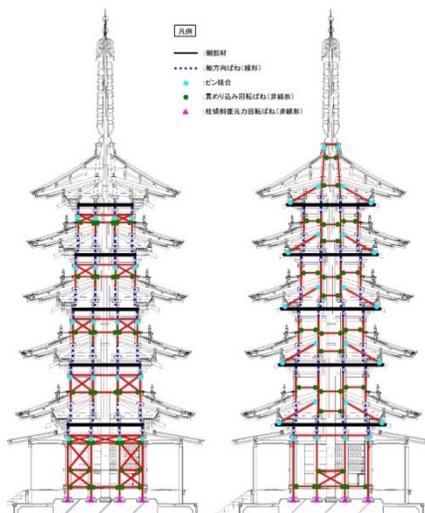


写真6 繋ぎ肘木と通肘木

解析モデルは、四天柱及び側柱の鉛直部材とこれを繋げる通し貫、通肘木と繋肘木の水平剛部材、板壁および四天柱を拘束する尾垂木のいずれの部材も線材に置換し、平面並列骨組みモデルとした(図1)。



【側柱通り】 【四天柱通り】
図1 解析モデル

耐震設計ルートは限界耐力計算を採用したが、五重塔の被害は2次モードの影響も大きいと言われているため、質点系モデルによる時刻歴応答解析を行ない、各種応答値が設計クライテリア(層間変形角:安全限界レベル1/30以内、損傷限界レベル1/120以内)を満足するかどうか検討した。また、モデルは塔身のみと心柱を塔身に付加した2ケースを作成し、心柱が塔身の応答に与える影響を確認した。心柱を塔身のみモデルに付加することにより、建物の応答と変形は全体的に小さくなる事が確認できた。

基礎の構造

工学的基盤に相当する神戸層群の風化砂岩~礫岩(図2■)、PS検層:Vs=402m/s)を支持層とするが、約20°傾斜しているため、基礎底全面が支持層に到達するように高さ10mの鉄筋コンクリート造(Fc30)の直接基礎とした。

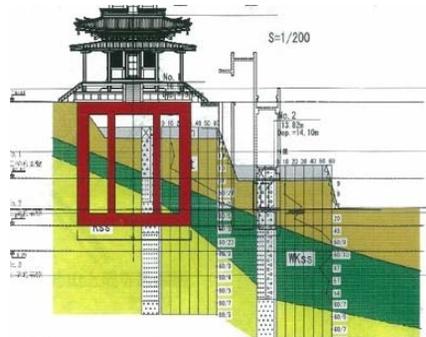


図2 地震断面図

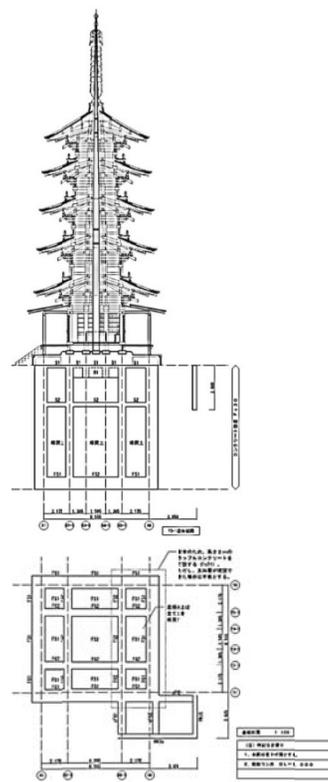


図3 断面図・基礎状図

地盤増幅率

工学的基盤の傾斜による影響を考慮した地盤増幅率を検討した。1次元等価線形解析(SHAKE)(図4)と2次元FEM解析(図5)により地表面の加速度波形を算出し、工学的基盤位置の加速度応答スペクトルに対する地表面の加速度応答スペクトルの比率を地盤増幅率と考える。

検討の結果、地盤増幅率はSHAKEで1.03、FEM解析で1.04となったが、告示で定められている下限値の安全限界レベル1.23、損傷限界レベル1.35を採用した。

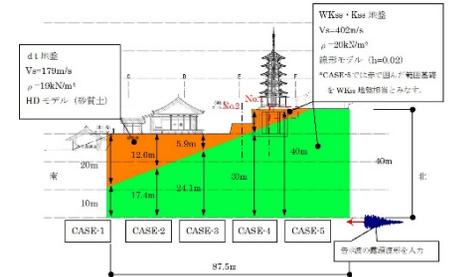


図4 SHAKEによる検討図

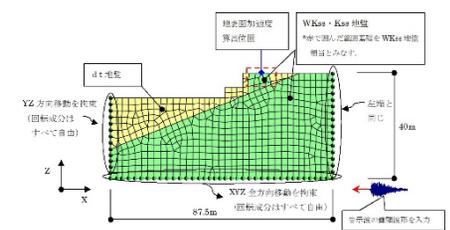


図5 2次元FEMによる検討図

おわりに

建築基準法が制定される前から用いられてきた伝統的軸組構法は、平成12年の建築基準法改正で導入された限界耐力計算を用いることで、合法的に構造設計が出来るようになっている。そこで、伝統的軸組構法の特長である大きな変形性能を活かすことができる新しい耐震要素が多く開発されることを望む。

現在、木造建築物としては辰野金吾設計の奈良ホテル(写真7:明治42年10月竣工)の耐震補強設計(設計者:ジェイアール西日本コンサルタンツ)に協力している。



写真7 奈良ホテル

最後に、当社の創業者である故能勢善樹が生前五重塔の耐震性能に関心を持っていたので、当社が中山寺五重塔の構造設計に協力できたことを喜んでくれていると思う。

(よこた ともゆき)