

濃尾・各務原地名文化研究会

平成 28 年度 6 月定期講演会“五重塔の歴史と耐震性”

平成 28 年 6 月 18 日(土)

立命館大学名誉教授

早川 清

◆エピローグ：

★なぜ五重塔に興味を持ったのか？

- ①日本の塔状建築物には、五重塔以外にも三重塔、二重塔（多宝塔と呼ばれています）があり、最も高い物には十三重塔も存在していました。
- ②塔の階数は全てが奇数階ですが、これは中国の陰陽学（五行思想）に由来しています。
- ③五重塔は、どうして地震に強いのか？過去の被害事例では、室戸台風で倒壊した四天王寺の例がありますが、ほとんどのものは部分的な被害に留まっています。

◆具体的な講演内容

1. 仏塔の歴史

1.1 仏塔の意味

日本語の「塔」の語源は、「stupa : ストウパー」に由来しています。この用語は、サンスクリット語で“積み上げる”を意味します。インドでは饅頭型に盛り上げた土の塚のことを指していましたが、仏教には「卒塔婆（そうとうば）」の意味で取り入れました。ストウパーは中国で「卒塔婆」と音写漢訳され、やがて卒の字が脱落して「塔婆」となりました。

初期仏教では、釈迦や聖者にゆかりの品、遺体の一部（遺骨（舍利）、遺髪、歯など）などの遺品・遺物を土中に埋め、盛り土をした上で日干し煉瓦で周りを囲う建造物として始められました。釈迦が入滅した後に、10のストウパーが、「仏舍利塔」として各地に建てられました。

仏教はインドから中国へと伝わり、サンガラーマは僧伽藍摩（そうぎやらんま）、後に「伽藍」または「寺」と名を変えました。やがて、インド式のストウパーを中国式の木造建築の上に乗せ、「楼閣」という高層建築で作るようになりました。

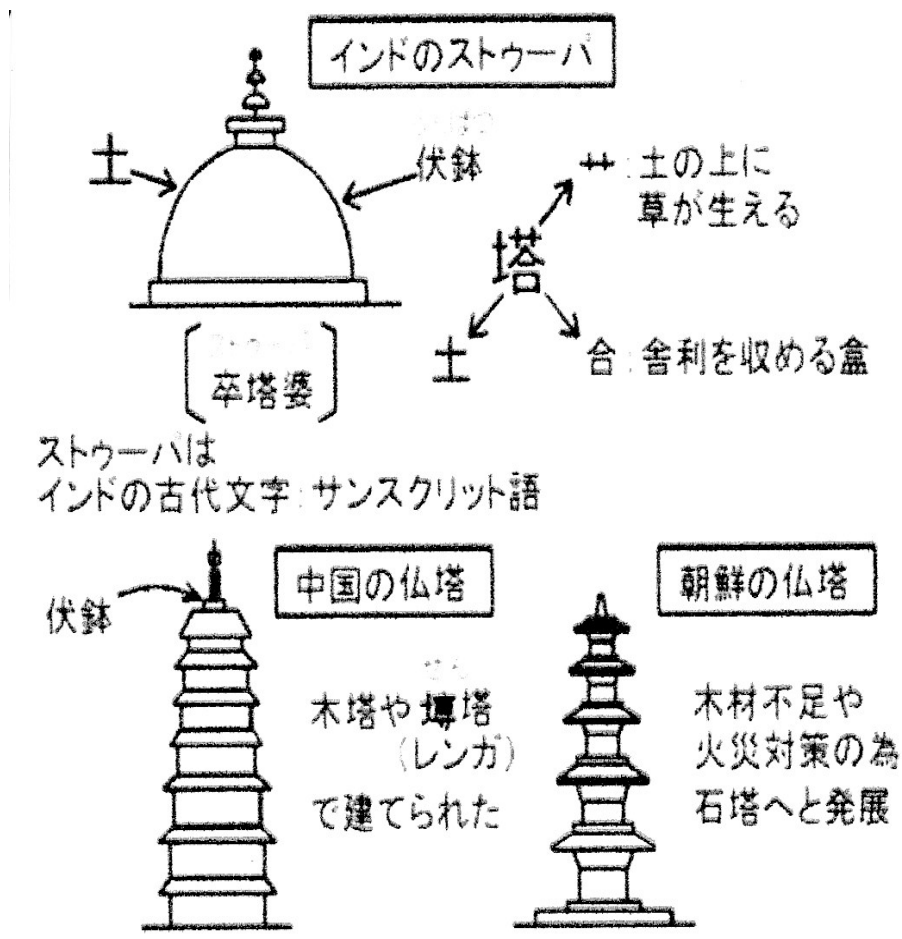
シルクロードから中国に仏教が伝わる間に、ストウパーは中国の楼閣建築と融合し、寺院の塔の上に乗って仏塔となりました。その構造は、中国で土から木造やレンガ造に変化され、吊前も漢字に置き換えられました。その後朝鮮半島に渡り、木造やレンガ造に加えて石造が考案され、スマートな形へと変化し、日本には洗練された木造と石造が伝えられました。

塔は閣建築や風水の展望塔を意識した仏塔へと発展され、空洞には各層に仏像が安置されていました。外見はずんぐりとした形で、構造も最下部の土壁の上に筋交い（ブレース）

が入った積層構造でありました。

朝鮮半島に入ると、御柱あるいは天柱信仰が加わり、塔の中心に心柱が登場します。最終的に日本には組上げ工法が入り、その後よりスリムな形と軒の出が強調され、日本独特の三手先斗拱が考案されました。

木塔は、聖徳太子に象徴される、法隆寺五重塔以降に国家的な事業に発展されました。初期の頃に未発展だった組上工法は、平安時代後期になり工法の完成を見ました。鎌倉時代以降になると、国家的事業から地方へも広がり、工期の短縮や様々な工法改良の試みがあり、江戸時代の頃になり櫓工法が完成されました。



五重塔の変遷

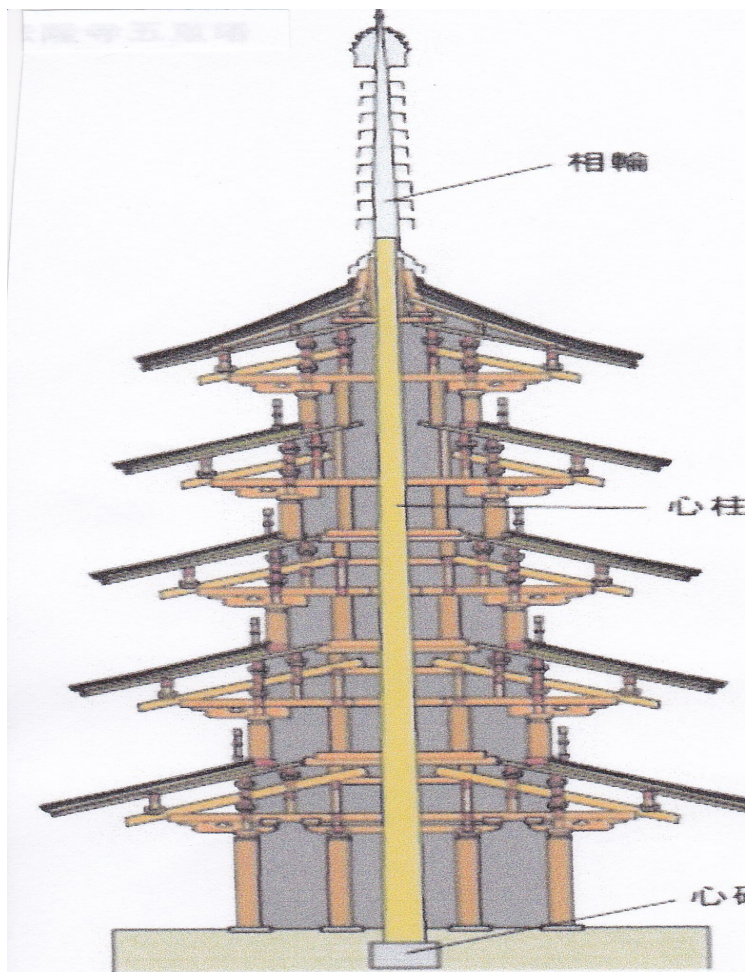
1.2 五重塔の構造的特徴

独立した5層が下から積み上げられた構造で、各層が庇(ひさし)の長い大きな屋根を有しており、塔身の幅が上層ほど少しずつ狭くなっています。中央を心柱が貫通していて、5層の頂部でのみ接しています。5層の頂部に長い相輪が取り付けられ、心柱の先端に被せられています。

最上層の屋根の上に乗る金属製の部分、「相輪（そうりん）」は、最初にインドで作られたストウパーに相当する部分になります。ストウパーにおける半球型の塚の部分は、根元の「伏鉢（せばち）」となり、その上にストウパーと同様に宝輪を付けたポールが伸びています。

相輪の下の木造建築部分、「塔身（とうしん）」は、中国で付加された楼閣建築を起源とする部分であり、楼閣建築そのものではありません。楼閣建築は人が内部に上がり眺望を楽しむものでありましたが、釈迦の墓標である塔にそのような用途はなくなりました。外観は5層でも内部には木組みが密集しており、ほとんど人間が動き廻れる空間はありません。

塔の中心には、「心柱（しんぼしら）」と呼ばれる太く長い柱が1本通っており、相輪と釈迦の遺骨を納めた地中の「心礎（しんそ）」とを繋いでいます。心柱は各層を構成する部材と全く切り離されており、塔を支えることには全く関与していません。心柱の起源は、朝鮮半島で加わったものと考えられています。



五重塔の構造

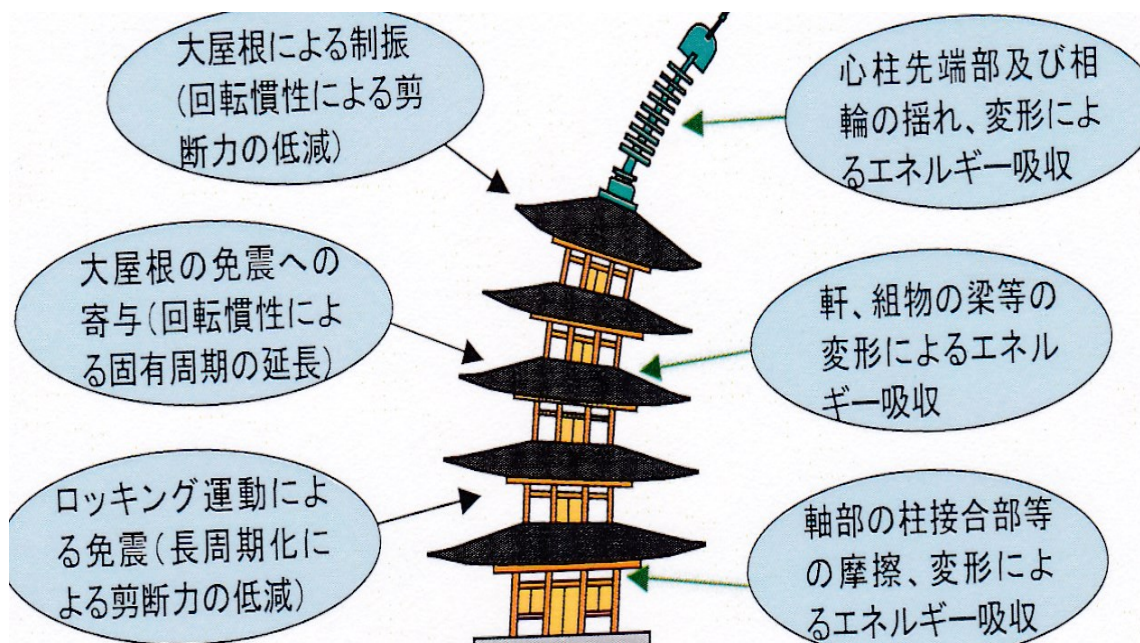
2.五重塔は、どうして地震に強いのか？

2.1 五重塔の耐震性の秘密

1層では胴部（軸部）のせん断変形が、2層以上では曲げ変形が主体である。曲げ変形は屋根部（軒・組物部）の鉛直方向の変形による。各層は下層の屋根部を回転ばねとしてロッキング運動をしています。大屋根は軒が長く重量があるので、回転慣性が大きく、ロッキング運動の振動周期を長くします。質点系モデルによる地震応答解析では、1層では並進（胴部の変形による）のみ、2層以上では並進（同）と回転（屋根部の変形による）によるモデルで示されています。

塔の塔身と心柱は連成振動を行ない、塔身が主体の振動では、5つの振動モードが生じます。つまり、①1層はせん断系、②2層以上は曲げ系となります。2次以上の振動モードで共振領域に入ると、ロッキング運動が激しくなり、片側で浮き上がりを生じます。2次の振動モードで共振すると、3層から4層にかけての曲げモーメントが大きくなり、4層あたりで浮き上がりを生じます。

以上の考察をまとめますと、①ロッキング運動による免震によって柔構造となること。②大屋根による制振によって水平方向のせん断力が低減されること。③層の浮き上がりによって柱のほぞ抜けが防止されること。④心柱によって過度の浮き上がりが抑止されること。⑤以上の挙動により、倒壊、崩壊、転倒、落下が防がれる。



五重塔の振動挙動のまとめ

2.2 五重塔に関する研究の現況

- ①常時微動の観測事例
- ②石田博士による研究（心柱を科学する）
- ③鹿島建設による研究

3. 現代の建造物における制振技術

- 3.1 東京スカイツリーにおける制振技術
- 3.2 あべのハルクスにおける制振技術

4. まとめ

1. 約 1400 年前に考案された五重塔の制振技術が、現代の高層建築物にも活かされていることは、先人の洞察力のすごさを感じざるを得ません。
2. 心柱を塔構造物に導入する技術は、仏塔の思想がインドから中国、朝鮮に伝わる過程で（特に朝鮮で）考案されたと思われませんが、明確には分かりません。
3. 五重塔の耐震挙動は、現在の多くの研究によって解明されつつありますが、全体的な構造によるものか心柱によるものかが今後の課題です。
4. 以上に述べたことから、五重塔の耐震挙動は動的設計の教科書とも言えます。

★次回以降の講演が可能な題目です。ご要望があればいつでもお応え出来ます。

- ①滋賀県の地形・地質と活断層
- ②仁徳天皇陵の意味するところ
- ③豊臣秀吉の土木技術
- ④豪雨による河川堤防の被害
- ⑤南海トラフの巨大地震が起これば？
- ⑥ジオパークとは？
- ⑦大坂城の歴史と石垣の建設技術