

国宝薬師寺東塔の地震被害の履歴について

－文化財建造物の地震被害履歴に対する構造学的な一考察－

THE HISTORY OF EARTHQUAKE DAMAGE OF THE EAST PAGODA IN YAKUSHI-JI TEMPLE

－ A structural study on the history of earthquake damages of cultural properties －

西川 英佑*, 山内 淳子**, 藤岡 洋保***, 西澤 英和****

*Eisuke NISHIKAWA, Junko YAMAUCHI, Hiroyasu FUJIOKA
and Hidekazu NISHIZAWA*

In this study, we treated the history of earthquake damage of the east pagoda in the Yakushi-ji temple, built about 1300 years ago. We estimated the peak ground acceleration at the Yakushi-ji temple of historical earthquakes which have damaged this building, and compare this result with old documents about earthquake damage of this building. The east pagoda has damaged several times not only by crustal earthquakes with short source distance, but also by inter-plate earthquakes with long source distance, and especially Shin-hashira, which is pillar built in the center of this pagoda, was damaged frequently.

We examined about the damage by Ansei Nara earthquake (1854) and the restoration by reading the diary written by secretary of the Yakushi-ji temple. At this earthquake, Shin-hashira as well as the upper story of this pagoda inclined due to the lack of maintenance.

Keywords : *Three storied pagoda, Earthquake damage, cultural properties, Yakushi-ji temple, East pagoda*

三重塔, 地震被害, 文化財建造物, 薬師寺, 東塔

1. 緒言

日本の文化財建造物は、ほぼ例外なく大規模な地震や風水害などの災害を経験し、それらの記録が数多く残されている。このような建物の被害を構造学的に解明することには以下の意義がある。

- ・過去の被災記録を実物構造実験と捉え、被害の様相とその原因の検討を通して対象建物および類似の歴史的建造物の構造性能を具体的に把握するとともに、将来の被害予測や被害軽減措置に役立てることができる。
- ・歴史的建造物の修理やその際の構造や技法の改変の履歴は歴史的価値の重要な一側面であり、地震等の自然災害がその契機となっていることが多い。被災の状況や原因を明らかにすれば、修理内容に対する理解を深めることができる。
- ・歴史的建造物群の被災記録を系統的に収集し災害規模との関係を検討することで、過去に起こった地震や風水害の様相や規模を推定評価する基礎資料を得ることができる。

従来建築史学の立場から、被災履歴について検討されることはあったが、構造力学や耐震工学的な視点からの検討はあまり行われていない。ところで、近年古地震学や地震考古学の分野での研究蓄積が充実し、歴史的な地震の規模や震源などの推定精度が向上しつつあるので、建築史的な記録を古地震学的な知見とあわせて、構造

学的に検討するというアプローチが展開できるようになった。

本研究では以上の観点より、国宝薬師寺東塔（以下、“東塔”）の地震被害の履歴について検討した。東塔は創建以来、幾多の大地震に見舞われているが、古代や中世の地震被害の記録は比較的乏しい。しかしながら薬師寺には『公文所日記』と称する日々の記録が残されており、その中には幕末の嘉永七年（1854）に伊賀・伊勢・奈良に大被害を与えた地震（以下、安政奈良地震と呼ぶ）の被害状況や構造復旧の過程などが克明に記録されている。また最近、明治 31 年から同 33 年の修理（以下、明治修理と呼ぶ）の前に行われた実測調査の記録が見つかり、この記録の一部からは安政奈良地震の被害の痕跡を知ることができる可能性が高い。これらの記録は大規模な地震に対する被害の具体的な内容を知る貴重な手掛かりであるだけでなく、その被害の原因や建物の構造特性について考察をするためにも重要な資料である。東塔はこのような資料が豊富に残る事例であると言えよう。本研究では主として上記の資料をもとに安政奈良地震による東塔の地震被害を中心に考察する。

2. 東塔の被災履歴と歴史地震の推定地震動

東塔の創建以降、薬師寺に被害を与えたと考えられる地震および台風と、東塔を中心とした薬師寺での修理記録を表 1 にまとめた^{1)~6)}。

* 東京工業大学大学院理工学研究科 博士後期課程・工修
** 奈良市役所 工修
*** 東京工業大学大学院理工学研究科 教授・工博
**** 関西大学都市環境工学部 准教授・工博

Graduate School, Tokyo Institute of Technology, M. Eng.
Nara City Hall, M. Eng.
Prof., Tokyo Institute of Technology, Ph. D.
Assistant Prof., Kansai University, Ph. D.

薬師寺の建物の位置関係を確認するために、寛政2年(1790)頃の伽藍配置を図1に示す。東塔以外に現存する建立年代の古い建物として、弘安年間(1278-1288)に建立された東院堂と慶長8年(1603)に建立された八幡社の位置を示した。また現存しないが被害記録にでてくる建物として旧金堂、文殊堂、西院の位置も示した。

東塔の地震被害の記録は天平2年(730)建立後から今日に至るまでの約1300年間に7回確認することができる。この中には、塔が倒壊したという記録は無いが、塔の傾斜(5回)や相輪の損傷及び傾斜(5回)という被害記録がある。薬師寺の被害記録が残っている地震(地震①~⑧)について、震源位置を図2に示した。

上述の地震を含む、今日までの1300年間に近畿圏に被害を与えた43回の地震について、薬師寺位置での地震動を推定した⁴⁾。各地震の震源距離とマグニチュードを用いて⁵⁾、各地震の際の薬師寺位置での最大地動加速度を距離減衰式で算定した。図3に推定最大地動加速度を示す。図中では、内陸直下型地震については黒色、海洋

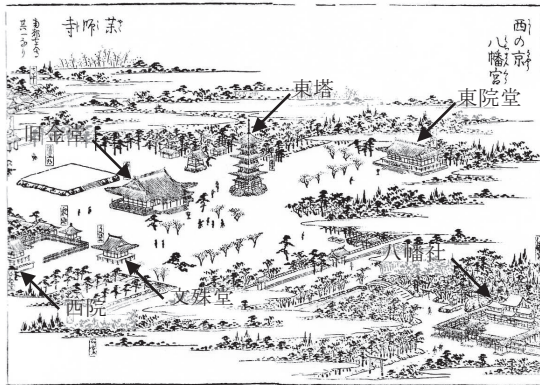


図1 薬師寺伽藍(寛政2年頃) 『大和名所圖會 三』に筆者加筆

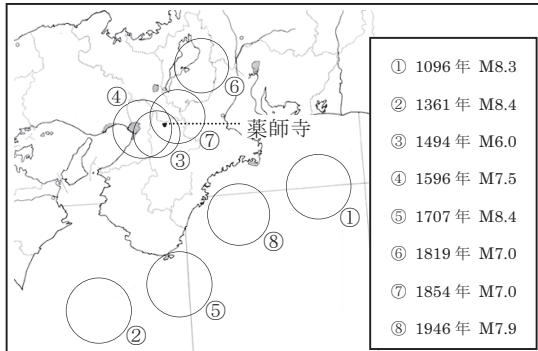


図2 薬師寺に被害を与えた地震の震源位置

『日本被害地震総覧』を参照し作成、円の大きさはマグニチュード

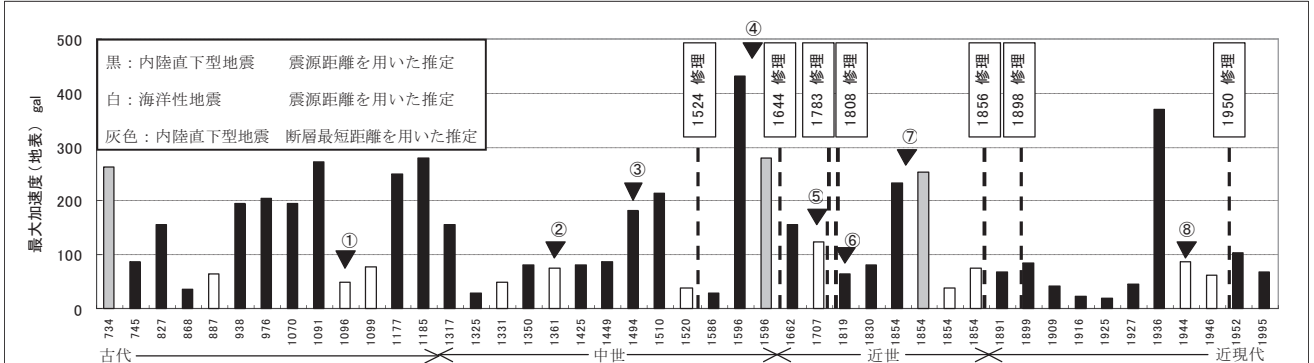


図3 各地震における薬師寺位置での最大地表加速度

『新編日本被害地震総覧 増補改訂版』を参照し、司・翠川の提案する距離減衰式で地震動を推定

性地震については白色で示した。

これに加え、震央位置について諸説ある天平6年(734)の天平地震、慶長元年(1596)の慶長地震、嘉永7年(1854)の安政奈良地震については、推定されている活動断層をもとに断層最短距離を求め⁶⁾、断層最短距離とマグニチュードから最大地動加速度を算定した。これについては図3中に灰色で示した。また、地震と修理の関連性を検証するため、東塔の修理が行われた年を図3に点線で示した。

表1 薬師寺の被災と修復の歴史

和暦	西暦	種類	俗称	薬師寺での被害・修理内容	奈良周辺の他の寺の被害内容
天平2年	730			東塔建立 ^{*1,2}	
天延元年	973	火災		金堂・西塔を残し焼失 ^{*1,2}	
永祚元年	989	大風		金堂上層吹き落される ^{*1,2,3,4}	東大寺・興福寺・法隆寺被害 ^{*4}
永長元年	1096	地震①		廻廊転倒 ^{*1,2,3,4}	東大寺鐘落ち、東寺塔九輪落下 ^{*3,4}
建仁元年 ~仁治3年	1201 ~1242	修理		この頃、金堂や東塔の修造 ^{*2}	
建治3年	1277	落雷		西塔落雷、消火で焼失せず ^{*1}	
正平16年	1361	地震②		金堂二階傾き、両塔のうち一基は九輪が落ち、一基はゆがみ、中門、廻廊、西院は倒壊 ^{*1,2,4}	興福寺金堂・南円堂破損、唐招提寺塔九輪大破・廻廊転倒 ^{*3}
文安2年	1445	大風		金堂・南大門倒壊 ^{*1,2}	東寺塔高欄損傷、広隆寺塔九輪落下 ^{*4}
明応3年	1494	地震③		薬師寺破損 ^{*1,3,4}	東大寺・興福寺・法花寺・西大寺破損 ^{*1,2,3,4}
大永4年	1524	修理計画		東塔は望像・相輪等が損傷している状態 ^{*1,2}	
享禄元年	1528	火災		放火で金堂・講堂・中門・西塔・僧房焼失、東塔残る ^{*1,2}	
天文8年	1539	大風		東塔が大風で被害を受け、修理 ^{*2}	
天文23年	1554	地震		東塔が九輪・塔身ともに東南に歪んだが元に戻る ^{*1}	
慶長元年	1596	地震④	慶長伏見地震	八幡宮、西院堂、東西両門倒壊、おそらく塔にも被害 ^{3,2}	唐招提寺戒壇・僧堂倒壊、同金堂・講堂、東塔破壊、法華寺金堂・海竜王寺・興福寺破壊。般若寺十三重塔の上二重落ちる ^{*2}
慶長2年 ~寛永17年	1597 ~1640	修理		北大門・金堂・八幡宮等を建立・修理 ^{*1}	
寛永20年	1643	修理計画		東塔は北東に2.3尺傾斜した状態 ^{*1,2}	
正保元年 ~正保3年	1644 ~1646	修理	正保修理	東塔修理、初層望像を取り須弥壇を作成、軒を切詰め ²⁾ ^{*1,2}	
宝永4年	1707	地震⑤	宝永地震	八幡宮楼門の「石層」が5~8寸程落ち、御廊破損。塔九輪折れ、金堂等損傷 ^{*1,2}	興福寺廻廊、法華寺塔倒れる ^{*4}
享保18年 ~安永6年	1733 ~1777	修理		東院堂・八幡宮楼門廻廊・金堂を修理 ^{*1}	
天明3年	1783	修理	天明修理	東塔修理 ^{*1,2}	
文化4年	1807	修理計画		相輪の修理、三層屋根の組替修理、初層柱の根柢 ^{*1,2}	
文化5年	1808	修理		露盤修理 ^{*1,2}	
文化7年	1810			幕府に修繕費を要請 ^{*1,2}	
文政2年	1819	地震⑥		東塔九輪少し破損 ^{*1}	春日の石燈籠倒壊 ^{*4}
嘉永7年	1854	地震⑦	安政奈良地震	被害と修理の内容については第3章に記載	
安政3年	1856	修理			
明治24年	1891	地震	濃尾地震		春日大社の石燈籠倒れ、東大寺南大門傾斜 ³⁾
明治31年 ~同33年	1898 ~1900	修理	明治修理	解体修理 ^{*1,2}	
昭和11年	1936	地震	河内大和地震	土蔵の壁落ち、土堀一部崩壊 ^{*4}	法隆寺や唐招提寺で土壁・基台に損傷 ^{*3,4}
昭和19年	1944	地震⑧	東南海地震	金堂・講堂・東塔が傾斜、東大門・南大門が倒壊。塔頭地藏院大破 ^{*1}	
昭和25年 ~同27年	1950 ~1952	修理	昭和修理	部分修理 ^{*1,2}	
昭和27年	1952	地震	吉野地震	講堂の仏像が傾き、石燈電が六基倒壊、東塔は修理中 ^{*4}	春日の石燈籠約1600のうち650が倒壊 ^{*3,4}
平成7年	1995	地震	兵庫県南部地震	塔身が若干傾斜。	
平成10年	1998	大風	台風7号	相輪が傾斜。	倒木により室生寺五重塔被災。

*1 安田映胤・大橋一章『薬師寺』(里文出版、1990年)、*2 『奈良六大寺大観 補訂版 第六巻 薬

師寺 全』(岩波書店、2000年)、*3 宇佐美龍夫編『新編日本被害地震総覧 増補改訂版』(東大

出版会、1996年)、*4 青木滋一『奈良縣災害史』(養徳社、1956) 註1)~3)を参照し作成。

推定地震動と被害記録を対比すると、東塔の被害記録のある地震(地震②,⑤,⑥,⑦,⑧)のうち3回は海洋性地震である。東西両塔の内一基は相輪が落ち、一基は大きく歪む被害を出した正平16年(1361)の地震②は南海沖を震源とした地震で、薬師寺での地動最大加速度の推定値が約70galとなった。また、東塔の相輪が折れた宝永4年(1707)の地震⑤は、東海沖と南海沖を震源とする地震が連動して活動した可能性が高く、約130galである。東塔の塔身が傾斜した昭和19年(1944)の地震⑧は東海道沖を震源としたもので約90galである。また、薬師寺の廻廊が倒壊した記録のある永長元年(1096)の地震①は東海沖を震源としたもので約50galである。

これに対し、東塔の被害記録のある内陸直下型地震は2回で、相輪が少し破損した文政2年(1819)の地震⑥は三重を中心とした地震で約60gal、後述するように薬師寺全体に大被害を与えた嘉永7年(1854)の地震⑦は伊賀・伊勢・奈良を中心とした地震で約250galである。また東塔の被害記録はないが、薬師寺で被害があった明応3年(1494)の地震③は奈良を震源とした地震で約180galである。同じく記録は無いが、伽藍内の建物や周辺寺院の被害記録からおそらく東塔にも被害があったと考えられる慶長元年(1596)の地震④は、震源について諸説あるが、約430galと最も大きい⁷⁾。

以上より、地震①～⑧の最大地表加速度の平均は約160gal、そのうち海洋性地震4回の平均は約80galとなる。震源が遠く比較的推定地震動が小さい海洋性地震でも被害が出ていることが注目され、これは海洋性地震の地震動に含まれる長周期成分の影響が示唆される。

また、周辺建物と東塔の被害履歴を比較すると、慶長元年(1596)の地震④、宝永4年(1707)の地震⑤、嘉永7年(1854)の地震⑦など、東塔に被害を与えたと推定される地震で、八幡宮の被害が連動していることも注目される。

次に近世以降の東塔の修理と上記の地震の関係について見てみると、正保修理(1644～1647頃)は慶長伏見地震(1596)の約50年後に当たるが、この地震の直後から始まった北大門や金堂の建立、八幡宮の造営・修理に続いて行われていることから、慶長伏見地震の被害復旧であった可能性が示唆される。

同様に、天明修理(1783頃)は宝永地震(1707)の約80年後に行われたが、地震後の東院堂・八幡宮楼門廻廊・金堂の修理に続いて行われているから、この地震の被害復旧であったとも考えられる。また、後述するように文化4年(1807)には東塔の大規模な修理計画を行っているが、これは被災と修復を繰り返すことで損傷が進行していただけでなく、修理後わずか20年で大規模修理が必要な状態になっていることから、天明修理が適切かつ十分なものでなかったためと推定できる。

3. 安政奈良地震による被害と復旧修理

3.1. 安政奈良地震前の状況

ここでは安政奈良地震による東塔の被害を詳細に分析し、この被害の原因等について考察する。まず安政奈良地震前の東塔の状態は、文化4年(1807)に作られた『願書』⁸⁾の中にある修理計画より知ることができ、以下にその内容を要約する。なお、この『願書』や後出する『公文所日記』では各層に付いた裳階を独立した層とし、東塔を六層とみなしている。

- ・相輪が傾いているので心柱を「五重」(三層の裳階)で切り継ぐ。
- ・露盤受けの組台が破損し露盤が4～5寸落ち入っているため、ここから雨漏りし、心柱の根石まで雨水が流れ下がる状態である。露盤が6尺四方もあるので持ち上げる方法がない。また軒の切り縮めにより三層が風雨にさらされ傷んでいる。以上より「最上六層目」(三層の屋根)は解体修理する。
- ・「二重目四重目」(初層・二層の屋根)は、垂木を打ち替え裏板を打ち足し、隅木の下に支柱を入れる。
- ・「初重三重五重」(各層の裳階の屋根)は裏板を打ち足し、瓦葺きを修復する。
- ・初重柱37本の内16本は、2～3尺まで切り上げて根継ぎする。

19世紀の初め頃、構造的な損傷は塔全体に及んでいたが、特に三層の損傷は深刻で、かつ心柱は相輪部分が傾斜し露盤から雨漏りしている状態であったことが分かる。しかしながら表1に示した通り、その後に露盤の修理(1808)は行われたものの、大規模な修理はなかったと推定される。そして文政2年(1819)の地震でさらに相輪が損傷し、嘉永7年(1854)の安政奈良地震に遭遇した。このように安政奈良地震の直前には東塔がすでに損傷状態であったことが推定される。

3.2. 被害状況

『公文所日記』嘉永7年6月14日の条⁹⁾によると、薬師寺では嘉永7年(1854)6月13日に5度の小震、同14日の夜中と15日未明には大震があり¹⁰⁾、北東方向から地鳴りがしていた。さらに同年の11月14日、15日には東海地震および南海地震が連動した¹¹⁾。6月15日の地震では奈良での被害が大きく、興福寺・元興寺・春日大社などで被害記録が残っている¹²⁾。薬師寺の被害状況については公文所日記に日を追っての詳しい記述がある。以下、東塔の被害状況を検討する。

同日記の6月15日の条¹³⁾には、薬師寺で以下のような被害を生じたと記されている。

- ・八幡社の楼門と南北の廻廊が西側に転倒¹⁴⁾、瑞垣と中門が同じく西へ傾き、「かり屋」は北東にゆがむ。
- ・東院堂では所々壁落ち、厨子の東側の柱が二本抜け上がり、観音様が厨子の後側へもれかかる状態。
- ・文殊堂¹⁵⁾では4本の柱から大斗が外れ、壁が大破¹⁶⁾。

さらに東塔では、

- ・「四重目」(二層屋根)より上が相輪と共に南東に相当傾斜。
- ・相輪はもともと南東に傾斜していたが、今回で更に大きく傾斜。

とある。この地震前にすでに相輪が南東方向に傾斜していたことがここでも確認され、今回の地震で相輪のみならず塔身三層がともに傾斜した事が分かる。おおむね相輪と塔身上層の揺れは塔身下層の揺れと逆位相になることが多いので、塔身下層は北西方向に強く揺れたと考えられ、上述の八幡社や東院堂の傾斜方向と合わせると、北東にゆがんだ建物も1棟あるが、伽藍内のだいたいの建物は西ないし北西の方向に強く揺れたと推定される。

3.3. 地震後の復旧修理

地震後ほぼ2年を経た安政3年(1856)には東塔の復旧修理が行われている。この修理の中で注目されるのは、下記の要領でなされた建て直しである。『公文所日記』安政3年5月9日の条¹⁷⁾には、

- ・南東に傾斜した塔に対し、まず九輪に2本の綱を掛け、そのうち

1 本を旧金堂¹⁸⁾の「御拝」(向拝)の柱に取り付けた「シャチ」(滑車)に掛け、北西に引き起こした後、もう 1 本で北に引き起こした。

この記述より、綱は地面から引かれるため、塔は斜め下向きに力が加わったことが分かる。北西に引いた綱は旧金堂との位置関係から図 4 のような角度であったと考えられ、このため相輪は水平方向の力の約 8 割の大きさで下方にも引っ張られる事となり、相輪下部や三層小屋組の北西隅には大きな鉛直力がかかったと推定される。

ちなみに木造層塔の心柱は地震により相輪根元部分で折損することが多いが、この部分に対する修理の記録が残されていないことと、相輪に綱を掛けて引いていることを合わせて考えれば、心柱はこの部分で折損していなかった可能性が高い。

同日の日記には心柱の継手の修理について以下の記述がある。

- ・九輪を元の通り真直ぐに起こしたところ、心柱の継手¹⁹⁾が「いも次」(芋継ぎ: 突き付け、もしくはこれに簡単な柄を付ける継手)になっていたので、四方より桧材 6 寸角長さ 2 間の添木 4 丁を四方より取り付け、上下を「ワク」(帯鉄)にて締め、その間に四方より「四七寸」(4 寸×7 寸)の「松割物」を取り付けた。

地震後に心柱が相輪根元部分で折損していないにも関わらず相輪が傾斜しているのは、心柱が継手位置で屈曲したためであると推定される。また心柱の継手は地震前から芋継ぎのような簡単な作りであったことが分かり、地震前から相輪が傾斜していたのも、おそらく継手が損傷して、心柱が継手位置で屈曲していたためであろう。

他にも破損部の修理に関して以下の記述がある。

- ・水煙の所が腰折れしていたので直した。
- ・露盤の内に有る「ワク」(井桁)が地震でくれたため、新しいものを入れた。
- ・露盤上側の「四角ノ板」(蓋板)も傷があったので、鋳掛屋に修理させた。

相輪頂部の水煙や、相輪と塔身の接合部に当る露盤に損傷があった事が分かり、相輪部分の揺れが大きかったと推定される。地震前から心柱の継手が簡単な作りで、しかも損傷していたことが相輪の揺れを大きくする原因となった可能性が高い。さらに露盤の枠や蓋板の損傷は建て起しの際、相輪に加わった鉛直力によってできた可能性もある。以上、被災内容を構造的な観点からまとめると図 5 のようになる。

ただし、明治修理(1898~1900)の前の東塔は以下の点で現在と構造形式に異なる点があったと考えられる²⁰⁾。すなわち、①明治修理で入れられた三層の桔木や初層・二層・三層の丸桁桔が明治修理前に入っていない。②露盤を支える左義長柱の土台が、明治修理後は桔木尻の上に載っているが、明治修理前は力肘木の上に組まれた櫓の上に載っている。③明治修理前は各層の尾垂木下に支柱が入っていたが、これが安政奈良地震時にも入っていたかは不明である。

4. 心柱継手の技法の変遷過程

上述の内容より、安政奈良地震後に心柱の継手は図 6-A のように修理されたと推定される。記録にあった松割物の断面寸法(四七寸 12cm×21cm)が添木①をしめる帯鉄②の隙間に入れる楔③とよく一致することから、帯鉄をまわしそれを楔で締める形式であったと考えられる。図 6-B は明治修理後の状況(現状もこのまま)を示す

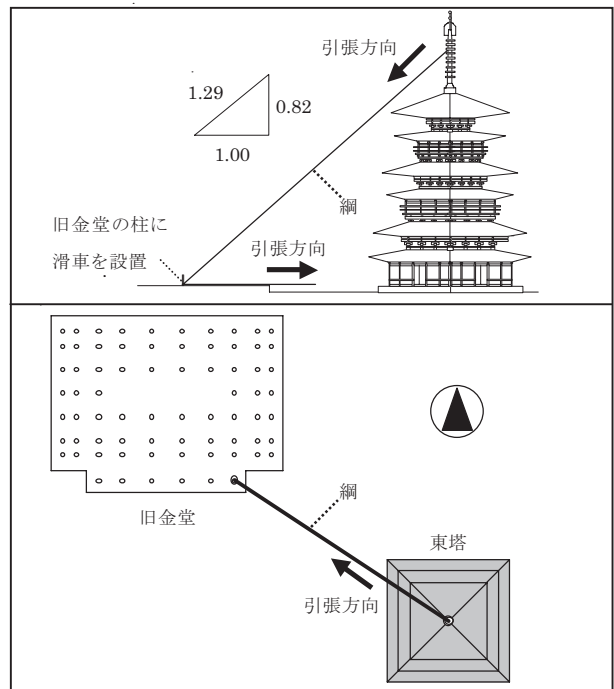


図 4 安政奈良地震後の北西方向への建て起し推定図

上：南西から見た立面図 下：平面図

『公文所日記』をもとに作成。下図は大岡実『南都七大寺の研究』p.106 の図に筆者加筆。

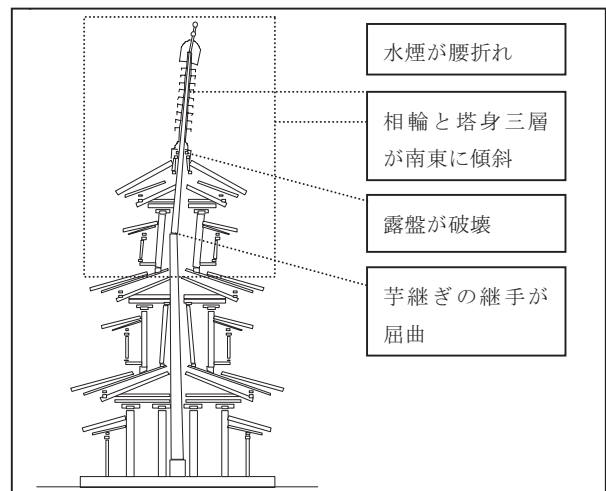


図 5 安政奈良地震による被災状況推定図

南側から断面図 『公文所日記』をもとに作成

21)。添木④を心柱に貫通するボルト⑤でとめる形式となっている。現在の心柱は上材・下材ともに当初材であると推定されるが²²⁾、古い時期の心柱の材が残る法隆寺五重塔や法起寺三重塔にも心柱の継手に芋継ぎのような継手(以下、芋継ぎと呼ぶ)や貝の口が使われていることから²³⁾、東塔の心柱の継手が建立当初から現在の状態のように芋継ぎといった簡単な仕事であったとは思えず、当初は二材を芋継ぎや貝の口のような継手で繋いでいたと考えられる。

この当初の心柱の継手では、露盤からの雨漏りや地震・台風による被災を繰り返す中で損傷が進行していき、これに対し繰り返し修理が行われてきたと考えられる。前述の通り、安政奈良地震の時期には継手が芋継ぎとなっていたことが分かるが、これは当初の継手が損傷と修理を繰り返すうちに、芋継ぎに近い形式へと行っていったと推定される^{24) 25) 26)}。

現在、心柱の継手は写真 1・図 7 に示すように、上材と下材で柱径が異なり、割れを止めるための帯鉄や転用材のような矧ぎ木が多く見られる。この矧ぎ木は特に上材に多く、心柱の内部にまで詰められていることが確認できる。今後詳しい調査をしなければならないが、継手部分の損傷箇所を補強するためや旧継手の欠き込み部分を埋めるために、矧ぎ木を取り付けるような応急修理が繰り返されてきた可能性がある。

以上より、心柱の継手の技法は以下のような変遷過程を経てきたと推察される。

- ① 建立当初は芋継ぎなどの継手であった。しかし、継手部分の腐朽や損傷が進み、これに対し矧ぎ木などを付ける応急的な修理が繰り返された。
- ② 嘉永 7 年（1854）の安政奈良地震以前に芋継ぎとなっていた。
- ③ 安政奈良地震では継手部分が損傷したが、地震前にすでに心柱が継手位置で屈曲するような状態であった。
- ④ 安政奈良地震による被災後、芋継ぎに添え木を付けこれを帯鉄で締める形式で修理された（図 6-A）。
- ⑤ 明治 31 年（1898）から同 33 年に行われた明治修理で、芋継ぎのまま添木を新しくしボルトでとめる形式とした（図 6-B）。
- ⑥ 昭和 25 年（1950）から始まる昭和修理では心柱の修理は行っていないが、伏鉢が彎曲していたために補強をほどこした新しいものに取替えた²⁷⁾。

しかしながら、現状では添木をとめつけるボルトが弛緩し、心柱が継手位置で大きく折れ曲がるような振動特性を示すことが判明している^{28) 29)}。

5. 明治修理前の状態

平成 17 年(2005)3 月に薬師寺出入りの大工であった佐脇直次郎、子三郎父子³⁰⁾が作成した古社寺修理に関する図面（以下、『佐脇図』）が遺族により保存されていることが判明した。詳細な分析は今後の課題であるが、資料は図面を中心に 127 点あり、その内に東塔の明治修理の際に作成された野帳と思われる図が 30 点確認された。

この中に、図 8 に示すように「薬師寺東塔三重寸法 台輪上場ヨリ一通り肘木肘木上場迄／一通り肘木肘木上場ヨリ二通り肘木肘木上場迄／二通り肘木肘木上場ヨリ丸桁上場迄／台輪上場ヨリ尾垂木下場迄」と記された表があり、初重についても同様の表が作成されている。この表は明治修理に先立って行われた実測調査（以下、明治修理前調査と呼ぶ）により作成されたものと考えられ、安政奈良地震後の斗棋組の変形状態を推定することができる。

図 8 に示されている各高さは図 9 に示す位置であると考えられ³¹⁾、東西南北各面の柱位置で実測されている。しかし、各面の測定寸法が建物の内側・外側のどちらから見た順で表記されているかは判断し難い³²⁾。

仮に外側から見た順で書かれたものとして、各面の斗棋積上高さを再整理して図化すると、図 10～12 のようになる。また、図 11, 12 に示す寸法のうち、台輪から肘木 2 までの高さについては、昭和 56 年（1981）に浅野清氏により同様の実測調査（以下、昭和調査と呼ぶ）が行われているので³³⁾、明治修理前調査と昭和調査の結果を図 13, 14 で比較した。図中の黒丸が明治修理前調査、白丸が昭和調査の結果を示す。

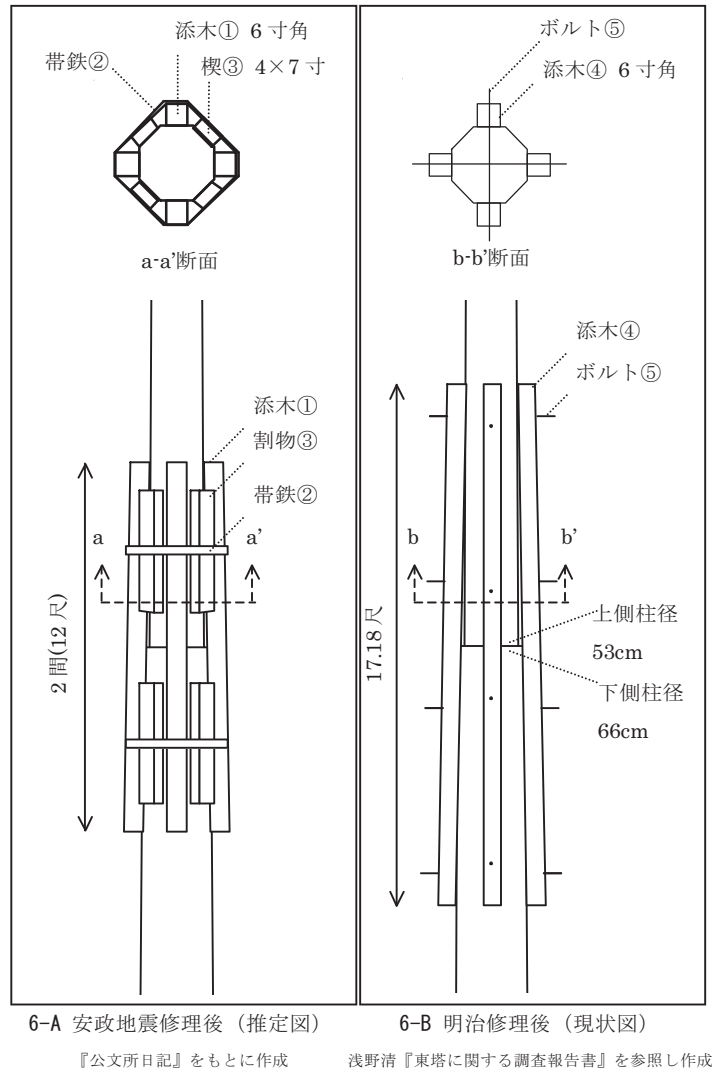


図 6 心柱の継手の変遷

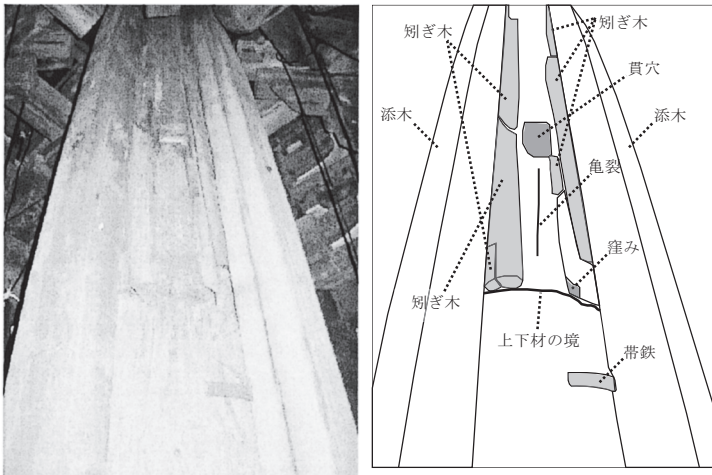


写真 1 心柱継手（北東面）
三層装階より見上げ

図 7 心柱継手（北東面）
同左

以上より、

- ・初層の不陸は小さく昭和調査の結果とさほど変わらない。台輪から肘木2までの高さの平均は昭和調査の時よりも14mm低い。
- ・三層の不陸は大きく昭和調査の結果との差も歴然としている。台輪から肘木2までの高さの平均は昭和調査の時よりも37mm高い。
- ・三層では西1（北西隅）の沈下が大きく、北1（北東隅）がやや上がっている。

このように明治修理前の三層の斗拱高さの不陸が大きい原因として、安政奈良地震での被災や地震後の復旧修理の影響が考えられる。すなわち、三層小屋組の北西隅の沈下が著しいのは、安政奈良地震で塔が北西―南東方向に強く揺れたことで北西隅や南東隅に大きな負担が加わったことや、地震後の歪み直しで北西方向に綱で引いた際に小屋組の北西隅に下向きの力が加わったことが原因となった可能性がある。

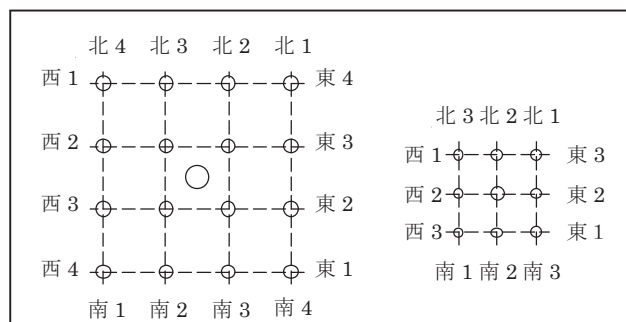


図10 初層（左図）・三層（右図）の実測箇所

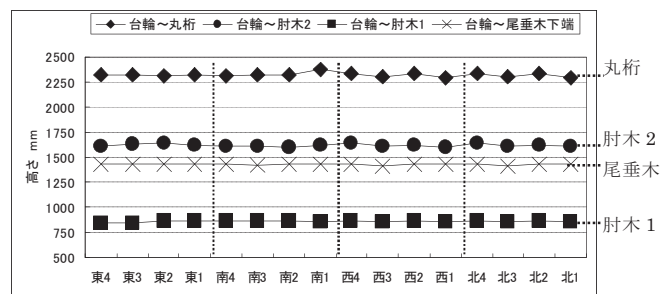


図11 初層斗拱積上高さ（明治修理前調査）

『佐脇図』をもとに作成

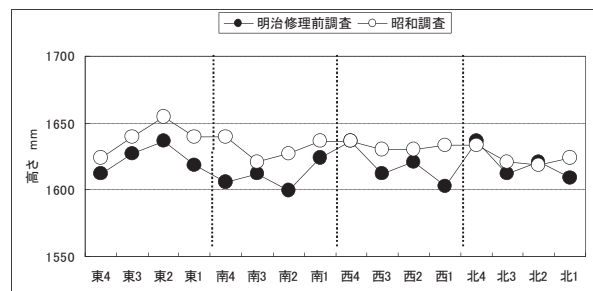


図13 明治修理前調査と昭和調査の比較

初層台輪から肘木2までの高さ

『佐脇図』『東塔に関する調査報告書』もとに作成

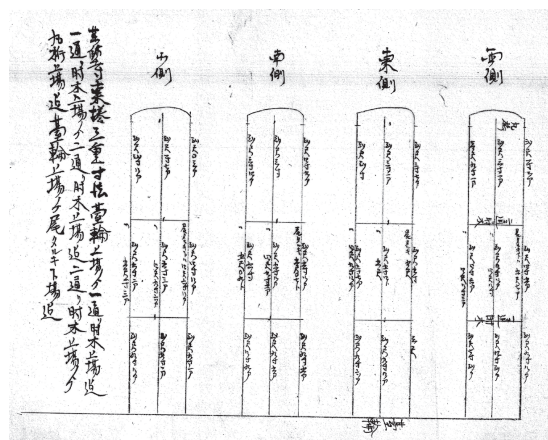


図8 明治修理前の三層斗拱積上高さ

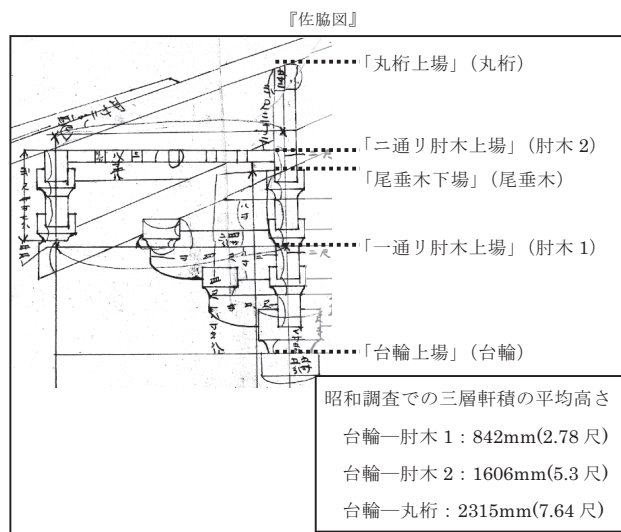


図9 測定箇所と各高さ（三層）

『佐脇図』三層小屋組実測図に筆者が加筆

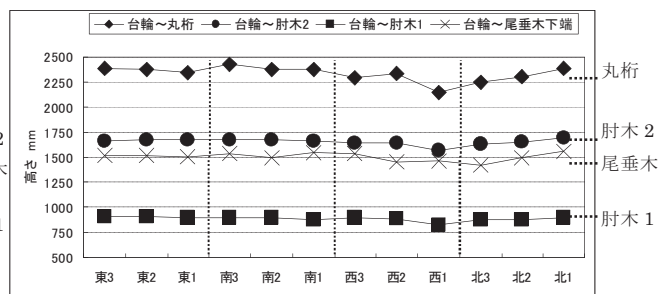


図12 三層斗拱積上高さ（明治修理前調査）

『佐脇図』をもとに作成

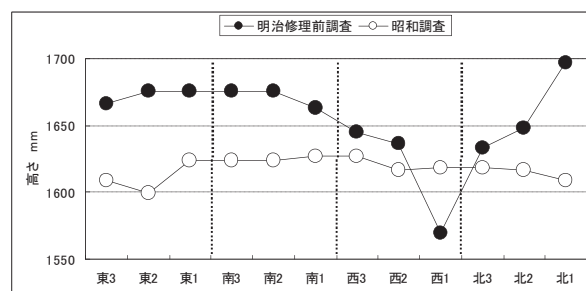


図14 明治修理前調査と昭和調査の比較

三層台輪から肘木2までの高さ

『佐脇図』『東塔に関する調査報告書』もとに作成

6. まとめ

本研究では東塔の地震被害の履歴を、各地震の薬師寺位置での推定地震動と比較しながら検討した。また東塔の被害状況や復旧修理に関する記録が多く残る安政奈良地震について、東塔の地震被害を詳細に把握し、その被害の原因や地震時の東塔の挙動について考察した。これらより以下のことを明らかにした。

- ・内陸直下型地震のみならず震源の遠い海洋性地震においても、塔身が傾いたり相輪が損傷及び傾斜する被害を繰り返し生じてきた。
- ・内陸直下型の大地震であった安政奈良地震では心柱と共に塔身三層にも被害が及んだが、この地震前に塔はすでに損傷状態にあり特に三層と心柱は傷んでいた。地震被害を大きくした原因は、地震動が大きかっただけではなく、維持修理不足であったと考えられる。
- ・同地震では東塔の露盤や水煙に損傷があったことから相輪の揺れが大きかったと推定できるが、心柱の継手が地震前から芋継ぎとなっており、心柱が継手位置で屈曲状態であったため、これが相輪の揺れを大きくする原因となった可能性がある。
- ・被災と修復を繰り返す中で、心柱の継手の技法が変化してきた。
- ・明治修理以前、三層の斗拱組が著しく歪んでいたことが分かり、これは地震被害や復旧修理の痕跡であった可能性がある。

筆者らが行った薬師寺東塔の振動観測を行い復元西塔の観測結果としたところ、心柱の継手の損傷が塔の振動特性に大きな影響を及ぼしていることが判明した。今後、上記の知見をもとに心柱の損傷が塔の地震被害に及ぼす影響について構造的な検討を進める予定である。

注

- 1) 『八幡宮御遷宮日記』（薬師寺文書函 29-15-3） 甲寅（天文廿三年）六月廿日巳之時、大地振付シテ、東塔九輪殊立法立正之殊ヲ辰巳之方（南東）ヘユカミタルヲ直ユリナオス、其外塔婆同方ヘユカムヲモ正直ニユリナオス
- 2) 浅野清『薬師寺東塔に関する調査報告書』（薬師寺、1981）p.81「更に慶長元年（1596）の地震には八幡宮、西院堂、東西両門が倒壊しているが、塔も被害を受けたことであろう」
- 3) 『大阪朝日新聞』（明治 24 年 10 月 30 日）
「○奈良（中略）春日神社の石燈籠二百十三基、其他社寺の石燈籠三十餘いづれも顛倒し、大佛仁王門の柱三基東方に傾斜する事九寸餘、（中略）猿澤池畔の五重塔が東にユラリ西にユラリと舞ひ、・・・」
- 4) 地震動の推定には『震源断層を特定した地震予測手法』（地震調査研究推進本部ホームページ）（以下、『地震予測レシピ』）と司宏俊・翠川三郎「断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式」『日本建築学会構造系論文集』第 523 号 pp.63-70 を参照した。地動は震源距離とマグニチュード、地震の分類を距離減衰式に代入することによって推定できる。距離減衰式には震源距離として等価震源距離を用いる式と断層最短距離を用いる式が提案されている。
- 5) 宇佐美龍夫編『新編日本被害地震総覧 増補改訂版』（東大出版会、1996 年）で推定されている各地震の震源位置とマグニチュードを用いた。震源距離を求めるためには震源深さと震央距離が必要である。震央距離は震央と薬師寺の経度緯度から算出した。震源深さは、本研究で対象とした地震の殆どについて不明であるため、その場合は内陸直下型地震 15km、海洋性地震 50km であると仮定した。
- 6) 萩原尊禮編者『古地震』（東大出版会、1992 年）pp.231-287、『続古地震』（東大出版会、1989 年）pp.111-146、『古地震探求』（東大出版会、1995 年）pp.97-159 を参照し、天平地震では生駒断層系、慶長伏見地震では黄檗 - 井手断層、安政奈良地震では木津断層が活動したと仮定した。また、『日本の活断層』（東京大学出版会、1980 年）で各断層の薬師寺から

の最短距離を求め、『地震予測レシピ』に基づき断層長さからマグニチュードを求めた。

- 7) 河内大和地震（1936）も慶長伏見地震（1596）に次いで推定地震動が大きい、薬師寺や周辺の寺院の被害が小さいことから実際の地震動はこれより小さかったと考えられる。
- 8) 『奈良六大寺大観 補訂版 第六巻 薬師寺 全』（岩波書店、2000 年）p.29 註一五 『願書』文化 4 年 12 月 17 日惣代法輪院行遍 一。大塔。五間四尺四面。大層三重。小層三重。（中略）一。九輪銅柱傾危仕候ニ付。五重之内より真中之大柱切継。九輪正直ニ相成り候様仕。円形之雨留メト露盤ト之間より雨漏相廻り不申候様修復仕度候。一。露盤受之組台朽損。露盤四、五寸計落入。其側より雨漏相廻り。真中之柱之根石迄雨漏り流下り候付。最上六重目之大層ハ組替修復仕度候。露盤之亘り六尺四方御座候へハ。落入候処繰揚ケ之方便無御座候。且又前件之辺屋根行切縮メ有之。風雨吹付ケ総痛ミ相成り候間。寺以最上六層目之一層組替修復仕度候。一。二重目四重目之大層ニ蓋。惣垂木打替裏板茂打足シ。角木之下江助ケ柱を丈夫ニ入修復仕度候。一。初重三重五重之小層者。裏板斗リ打添。瓦葺修復仕度候。一。初重柱数三十拾七本之内拾六本。式尺三尺宛切り上根継仕度候。
- 9) 宇佐美龍夫編『「日本の歴史地震史料」拾遺三』（日本電気協会、2005 年） pp.389-390
『公文所日記』嘉永 7 年 6 月 14 日の条（奈良薬師寺文書 函 29-14-3）
一、昨十三日九ツ前少々大なる地震有之猶亦ハツ過以前ニ少々小地震有之此日昼九ツ前より夕迄ニ不相覚様之小地震都合五度震ひ申候事 一、今夜九ツ過ハツ頃大地震（中略）夫より夜明迄始終ゆらゆらいたしゆり通して或ハ西戌亥之方より鳴り来るとかいへと実は丑寅之方より大筒ノ鉄砲を打如く初二どんと鳴と否哉ごうごうと大鳴いたし候と思へばゆり申候（後略）
- 10) 萩原尊禮編者『古地震』（東大出版会、1992 年）p.245 によればこの地震はおおむね下記の三つの地震が連動した。
 - ・ 6 月 15 日午前二時に上野盆地地域で木津川断層系による本震 M7.2
 - ・ 同日午前二時前後に四日市地域で桑名・四日市断層による地震 M6.7
 - ・ 同日午前七時ないし八時に笠置山地および奈良盆地を含む地域で花ノ木断層による余震 M6.8
- 11) 宇佐美龍夫編『新編日本被害地震総覧 増補改訂版』（東大出版会、1996 年） pp.120-122
- 12) 興福寺で土塀や南円堂の石垣・敷石などが全部崩れ、客殿・書院が倒壊し、元興寺五重塔の五重の屋根が落ち、春日社の燈籠が 21 基を残しすべて倒れた。『奈良縣氣象災害史』 pp.271-278
- 13) 註 9)に同じ。 pp.390-391
『公文所日記』嘉永 7 年 6 月 15 日の条（奈良薬師寺文書 函 29-14-3）
十五日 未明又候大地震 夜ハツ時之地震とは少し小なるよし（中略）伽藍寺院顛倒或ハ破損所左ニ 一 八幡宮楼門 南之御廊 北之御廊 西へ顛倒 （中略）一、御本社は御無事 一、同所瑞籬中門共西へ大半傾き候へど地ニ付不申候事 一、莊厳かり屋丑寅之方へゆがみ申候 同門は転倒梁行老間半桁行式間、一、塔四重目より九輪共東南へ余程傾き申候 但九輪は元より辰巳之方へ少しゆがみ有之候処此度大ニゆがむ 一、東禅院堂所々壁落厨子中之東之柱式木ぬけり観音様ハ御厨子之うしろへもたれ給ふ
- 14) 現在の八幡社には本殿・脇殿と北御廊・南御廊が残っている（写真 2）。当時は各廊がさらに西に延び直角に折れ曲がり楼門に繋がっていた。図 15 は『公文所日記』嘉永 7 年 6 月 15 日の条の八幡宮の地震被害の状況である。図より楼門が西側に倒壊し、それに引張られ各廊が引きちぎれ、各廊の西側部分が西側に倒壊したと推定される。
- 15) 文殊堂は万治 3 年（1660）に西塔跡に移築された三間堂で、昭和 9 年（1934）に解体され現存しない。註 8）に同じ。 p.18
- 16) 文殊堂の被害については以下に記述がある。註 9)に同じ。 p.394
『公文所引付安政五年』（奈良薬師寺文書 函 29-9-8）（一月十日の条）
一、文殊堂近年大地震ニ角柱四本共大斗はづれ壁等及大破候ニ付致修復候間南都北袋町手伝かてき平八呼ニ遣し為相積候所左ニ（後略）
- 17) 註 9)に同じ。 p.393。下線部は伏せ字箇所を筆者が原文を見て加筆。
『公文所日記』安政 3 年 5 月 9 日の条（奈良薬師寺文書 函 29-9-7）
一、東塔九輪今日大綱式筋を以如元ゆがみおこし直申候九輪三ツ目江大綱ヲ掛ケ金堂御拝之柱江シャチヲ仕込乾に向引起し又北より同断引起候無難真直ニ相成申候然ルニ水煙之所より少し腰折有之候ニ付手伝平八ニ申付候処（中略）又翌十一日如元相直し申候十三日ニ足場被拂申候ニ付酒三升ニ

豆ふ四十祝ニ一献遣し候事 一、九輪如元真直ニおこし候処第四重目之処ニ而真柱いも次ニ致有之候間大工へ申付四方より桧木忒間六寸角四丁四方よりだかし上下ワクニテメサセ其間又四方より四七寸之松割物ニ而だかし申候然ルニ露盤之内ニワク有之候右は地震ワク摧ケ候依之ワク入口致候露盤之上ニ四角ノ板有之是もいたみきず有之候ニ付鑄かけや呼寄取繕ひ候也（後略）

- 18) 当時建っていた金堂（旧金堂）は弘治 3 年（1557）頃に建立された建物で、現在、興福寺に仮金堂として移築改造されている。註 8）に同じ。p.14
- 19) 公文所日記に心柱の継手が「四重目」（二層目屋根）にあると書いてあるが、継手の位置は現在と変わらないと考えられるので、これは誤記で正しくは「五層目」（三層裳階）と判断。
- 20) 清水重敏「解体修理の誕生—関野貞による古社寺修理手法の開拓」『関野貞アジア踏査』（東京大学総合研究博物館、2005 年）pp.49-60
- 21) 浅野清『薬師寺東塔に関する調査報告書』（薬師寺、1981）pp.137-138
- 22) 『薬師寺東塔及び南門修理工事報告書』（奈良県教育委員会、1962）p.14「・・・（心柱は古材）現在心柱下部には、・・・」と心柱を古材と指摘しており、木肌の様子（写真 1）からも上下材ともに当初材であると推定した。
- 23) 法隆寺五重塔は心柱二本継ぎで上下材とも当初材で、その継手は図 16 に示すように竿継ぎのような継手で、継手長さは柱径の約 4 倍である（『法隆寺五重塔修理工事報告書』（法隆寺国宝保存委員会、1955）p.243）。法起寺三重塔の心柱は三本継ぎで、上材が弘長修理（1262）の材、中間が明治修理（1897～1898）の材、下部が当初材となっており、二箇所の継手は貝の口であった。この弘長修理の材と当初材の継手が一致することから、継手の形式を変更することなく明治修理の材を中間に挿入したことが報告されている（『国宝法起寺三重塔修理報告書』（奈良県教育委員会、1975）pp.41-42）。つまり、この貝の口は遅くとも弘長修理で作られた継手で、それ以前にされた可能性も残る。この継手の長さは柱径とほぼ同じである。ちなみに昭和 54 年に再建された西塔でも心柱の継手に貝の口が使われており、継手長さは柱径の約 1.7 倍である。以上より古代の層塔の心柱の継手に竿継ぎや貝の口が使われていた可能性を示唆できる。
- 24) 当初の心柱の継手が竿継ぎや貝の口であったとして、これを竿継ぎに変更した方法であるが、当初の継手部分を切り取り上下材を突き付けて竿継ぎとしたという見方もできる。しかし、この場合には心柱全長が短くなるため、継手分の長さを上材もしくは下材で調節しなければならない。しかし下材が殆どその位置を変えていないことや²⁶⁾、上材にも継ぎ木がなさそうなことから²⁶⁾、長さ調節は行われておらず継手部分の切り取りは行われていないと考えられる。それよりも損傷した当初の継手を矧ぎ木等で補強していったことで、竿継ぎに近い状態となっていた可能性が高い。
- 25) 現在、初重天井上には格天井を取り付けるための当初の釘穴が残っており、この釘の位置より心柱の下材が当初の位置より約 4 寸持上げられたこととなる。これは明治修理の際に根継ぎ石と心柱の間に板を挿入することで調節したことが分かっている。
- 26) 註 22)に同じ、写真 13～15。心柱の相輪部分の写真を見る限り、上部に継ぎ木は無いと推定される。
- 27) 註 22)に同じ。pp.18-21
- 28) 西川英佑・西澤英和：「国宝薬師寺東塔及び復元薬師寺西塔の振動性状の差異について その 1 現地観測の概要と観測結果」『日本建築学会構造系論文集』、第 601 号、pp.121-128
- 29) 平成 18 年（2006）には心柱の基部の亀裂が大きく進展して剥がれる危険性が指摘されたため、基部を帯鉄で箍をはめるとともに、応急的に三層付近で心柱をワイヤーで吊り下げている。
- 30) 昭和修理の際に発見された明治修理の棟札に佐脇直治郎・小三郎の名が見ることできる。註 22）に同じ。p.25
- 31) 図 9 中の丸桁は本来丸桁では無いが、表に記載された寸法から考えるとこの部材を丸桁と表記したと考えられる。
- 32) 台輪から丸桁上場までの寸法の測定は、軒天井があるため建物内側からしか行うことができず、測定は建物内側より行っていると考えられる。
- 33) 註 21)に同じ。pp.66-67



図 15 安政奈良地震での八幡社倒壊状況

淡色で書かれた部分が倒壊



写真 2 八幡社 左：北御廊 右：本殿・脇殿

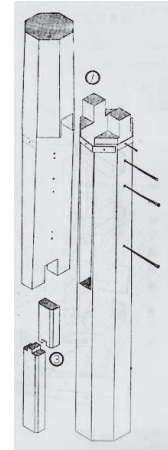


図 16 法隆寺五重塔心柱継手

『法隆寺五重塔修理工事報告書』p.243

（2009年5月9日原稿受理，2009年9月30日採用決定）