

當麻寺東塔の明治修理における三層屋根の重量の変化について

Changes of Roof Weight in Meiji-repair of Taimadera-temple East Pagoda

中嶋裕典¹

Yusuke Nakajima

¹関西大学大学院博士課程後期課程 理工学研究科総合理工学専攻 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)

Doctoral Program, Graduate School of Kansai University, Science and Engineering, Integrated Science and Engineering Major

Wooden pagodas have suffered many damages from the earthquake. A lot of repairs are done in that. However, there are few replacements of the members of the shaft and eaves. The turning points is the repair of pagodas in the Meiji era. The structure was modified by the repair at this time. Since it was considered that the eaves could not be supported by the previous structure, a Hanegi was introduced as a reinforcement. Since it was considered that the eaves could not be supported by the previous structure, a Hanegi was introduced as a reinforcement. In this study, we examined the changes in structure and weight due to the introduction of Hanegi.

Keywords: taimadera east pagoda, roof frame, hanegi, roof board, roofing soil, weight

1. 研究目的

本研究において対象とするのは奈良時代～平安初期の木造層塔である。これらは創建後千数百年間に多数の小修理と数度の大地震での被害を経験しているにも関わらず、一般に軸部と軒組の構造改変や部材の取換えは少ない。これとは対照的に最上層をはじめ各層の小屋組の構造改変が著しいが、奈良の古社寺の多くは明治修理前までは桔木を用いない古代的な構造形態を留めていたが、古社寺保存法以降の解体修理に際して、各層の深い軒を支持するために桔木を多数設置したために、近世社寺の木組みに変化したといえる。明治修理前後の當麻寺東塔における小屋組みの変化とそれに伴う屋根架構重量の変化について考察する。

2. 當麻寺東塔の明治修理時の桔木設置に伴う層塔の構造改変について

明治修理時の桔木の追加設置に伴い、明治以前まで保存されてきた古代形式の層塔は①外観形状②屋根荷重の2つの点で大幅な改変を余儀なくされたと推定される。

(1) 外観形状の変化

基本的に野屋根を有しない古代形式の小屋組に桔木を入れるにはどうしても各層の小屋内に野屋根に相当する空間を確保する必要が生じる。その結果、屋根勾配や屋根の厚みなどの変化は避けがたい。事例として當麻寺東塔について考察する。

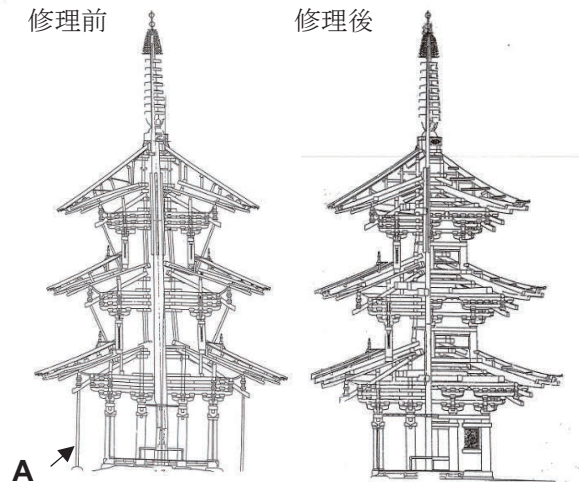
本塔は明治35年1月15日から修理が始まり翌年9月30日まで奈良県監督技師として土屋純一の下、吉田次郎吉が主任技師として行っている。⁶⁾明治35年の解体修理前後の状況を写真1に示す。また、全体の断面図を図1、三層部の詳細断面図を図2に示す。同塔は嘉永7年(1854)6月12日ごろより、伊賀・伊勢・大和および隣国にて前震があり15日に上野・奈良を中心に大地震が起こっている。⁷⁾その時、大被害を受けた可能性が考えられる。

図1より左の修理前の東塔は塔身が大きく屈曲し、心柱が塔と接触しているのが見てとれる。各層の軒支柱Aを設置して変形を防止していたが、軸部は修理前後で変化はなく柱頭Bで位置において頭貫と台輪のみで拘束されているのみで木組はまばらである。図2に示すように、各層とも地垂木Cが塔身内部まで伸びており、井桁Dを地垂木上に載せ左義長柱を置いて野屋根を構築している。また、飛燕垂木Eの地垂木側への控えは大きく屋根内に設置された登梁状の小断面材Fは当初の屋根面に位置すると考えられる。修理前の瓦屋根は茅負Gの上に横材Hを這わせて嵩上げた後、若干勾配を強くし化粧屋根Iを設置したため、各層の柱高さの中間付近Jまで屋根があがっている。



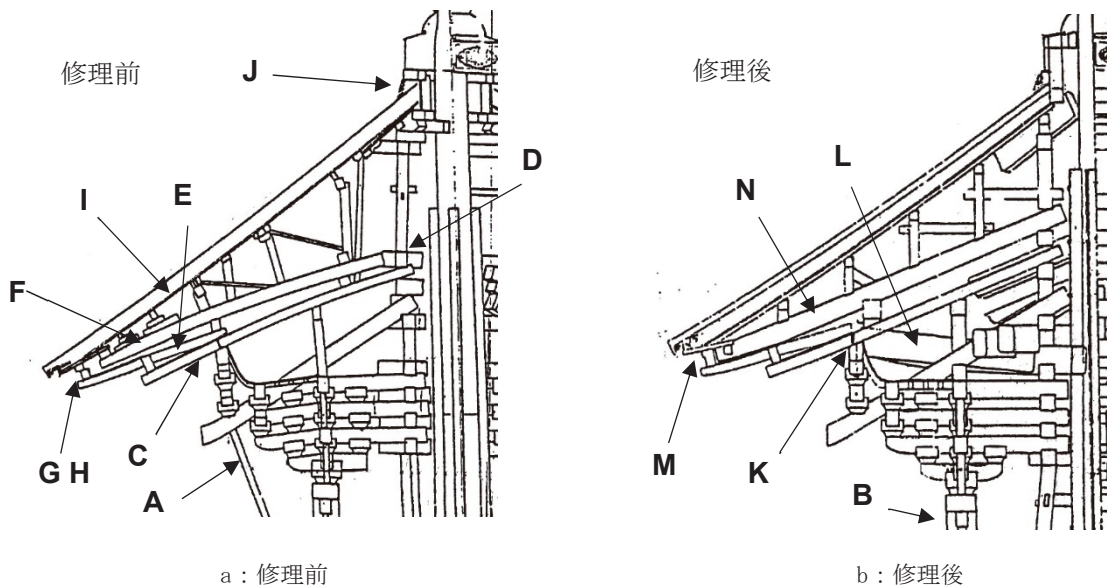
a: 修理前 b: 修理後

写真1 當麻寺東塔²⁾³⁾



a: 修理前 b: 修理後

図1 當麻寺東塔断面³⁾



a: 修理前 b: 修理後

図2 當麻寺東塔最上層断面図

一方、図3は明治修理で設置された二層の桔木の伏図である。桔木は三層と同様二種類あり、一つは丸桁Kにまで伸びる丸桁桔木L、もう一つは野屋根内部の茅負Mにまで伸びる桔木Nである。図3より丸桁桔木は各面に中央2丁、端2丁の計4丁の一層あたり16丁である。また、小屋内にある桔木は各面とも隅木に沿うもの2丁、中央4丁の計6丁であり各層24丁に達すると考えられる。図1は中央で切断した断面のため、当初と同じく地垂木Cは塔身内部まで入り込んでいるように表記されているが、実際には丸桁Kと丸桁桔木Lが当初の地垂木とほぼ同じレベルにあるため、ほとんどの地垂木は後補材の丸桁桔木Lにて切断せざるを得ないと考えられる。

したがって、井桁Dは創建時のような地垂木列で支持されるのではなく、桔木M上にて支持せざるを得ないため、軸部や軒組は当初の意匠を保ちうるが、重要な古代からの構造形式は近世社寺形式に改変され、当初材は完全に偽構造化したといえ、これに伴い軒部の厚さや軒支輪の形態も大きく変化している。

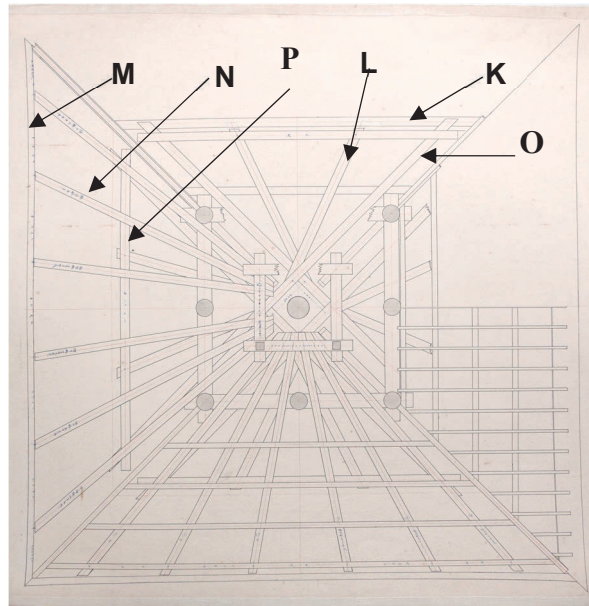


図3 當麻寺東塔標準桔木伏せ⁴⁾

次に、地垂木の有効本数を試算してみる。図3より地垂木が三層部の内部まで到達している本数は10本ほどあると図面より算出できる。そのうち丸桁桔木により切断されると考えられる地垂木は4本ほどあり上層の柱盤まで到達しているのは中央部分の6本ほどと思われ、丸桁桔木および隅桔木をいれることにより機能している地垂木は本来の60%ほどになっていると考えられる。しかしながら、他の地垂木も切断されており隅木にすら到達していないものもあると想定され、本来の構造は機能していないものと推測できる。

當麻寺東塔については明治時代図面からでしか推測することしかできないが、丸桁桔木と隅桔木を導入したことによって当初の構造形式は大きく変化した。

(2) 屋根荷重の増加について

次に明治修理による屋根荷重の変化について検討する。屋根荷重を支えるために入れられる補強材としての丸桁桔木と野屋根内において軒桔木を追加設置するとともに、桔木の支点反力を支持するために、当初は存在しなかった部材を小屋組み内部に付加している。その為に追加の木材重量はかなりの量に達すると考えられる。

図1、図2より各部材の断面および長さ、本数を求め計算する。木材の単位体積重量は建築学ポケットブック⁵⁾より用い、登り梁・桔木の樹種を松材とし 540kg/m^3 、小屋組みの樹種を桧材とし 440kg/m^3 と仮定し、図面より算出した体積に乗じて重量の算定を行う。

図面より求めた寸法に上記の樹種の単位重量で求めた修理前の木部重量を表1と表2に示し、修理後の木部重量を表3と4に示す。図4から7の円グラフは修理前後の小屋組みと補強材の重量比をそれぞれ示している。

a) 明治修理前の重量

表1は修理前の小屋内補強材の重量であり、本数は多いが部材の断面が小さいために総重量は登り梁で0.93t、梁の枕に使われている横架材で0.35tの計1.28tとなった。

次に、小屋組重量は垂木から上部を小屋組みとして算出した。その結果、野屋根の野地板で1.44tついで地垂木の1.23tとなった。全体では計6.59tと小屋組み内部の補強材と比較すると図4に示すように84%が小屋組重量であることが言える。さらに、表2より屋根を構成する垂木・飛檐垂木、木負・茅負に隅木や野地の重量が小屋組みの約半分の3.37tであることが判明した。また、野屋根の部材にあたる野隅木・母屋・野地・裏甲の重量は2.66tと0.71tの差であった。

表1 修理前の小屋内部登り梁重量

部材	幅(m)	成・厚(m)	長さ(m)	体積(m ³ /本)	数量	体積(m ³)	重量(t)
登り梁F	0.16	0.13	3.3	0.07	4	0.28	0.15
	0.16	0.13	3.9	0.08	8	0.64	0.35
	0.16	0.13	4.6	0.1	8	0.8	0.43
枕	0.16	0.16	6.3	0.16	4	0.64	0.35
合計							1.28

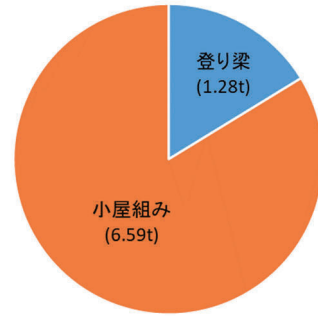


図4 修理前重量比率

表2 修理前小屋組み部材重量

部材	幅(m)	成・厚(m)	長さ(m)	体積(m ³ /本)	数量	体積(m ³)	重量(t)
裏甲	0.58	0.03	10.1	0.18	4	0.72	0.32
野地板	4.77	0.03	5.75	0.82	4	3.28	1.44
野垂木	-	-	-	-	-	-	-
野隅木	0.16	0.21	6.21	0.21	4	0.84	0.37
母屋	0.09	0.1	5.38	0.05	24	1.2	0.53
井桁	0.16	0.16	7.80	0.2	2	0.4	0.18
左義長柱	0.1	0.1	1.20	0.01	4	0.04	0.02
束	0.14	0.14	1	0.02	12	0.24	0.11
	0.14	0.14	0.7	0.01	24	0.24	0.11
	0.14	0.14	0.5	0.01	24	0.24	0.11
	0.14	0.14	0.16	0.003	24	0.072	0.03
茅負	0.16	0.08	10.1	0.13	4	0.52	0.23
化粧野地	0.66	0.01	9.1	0.06	4	0.24	0.11
	1	0.01	6.9	0.07	4	0.28	0.12
飛檐垂木	0.05	0.08	1.9	0.01	144	1.44	0.63
木負	0.12	0.16	8.1	0.16	4	0.64	0.28
垂木	0.1	0.15	3.4	0.05	56	2.8	1.23
隅木	0.16	0.4	6.9	0.44	4	1.76	0.77
合計							6.59

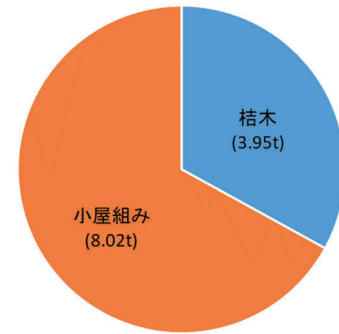


図5 修理前重量比率

表3 修理後の枯木重量

部材	幅(m)	成・厚(m)	長さ(m)	体積(m ³ /本)	数量	体積(m ³)	重量(t)
丸桁枯L	0.19	0.32	2.47	0.15	8	1.2	0.65
隅枯O	0.19	0.32	4.25	0.26	4	1.04	0.56
軒枯N	0.19	0.21	4.48	0.18	4	0.72	0.39
	0.19	0.21	4.85	0.19	8	1.52	0.82
	0.19	0.21	5.75	0.23	8	1.84	0.99
枯木枕P	0.23	0.23	4.71	0.25	4	1	0.54
合計							3.95

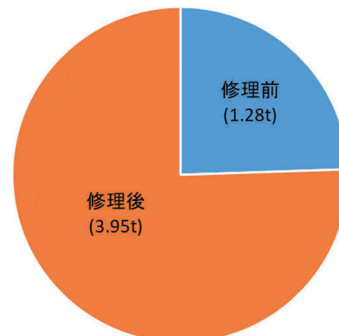


図6 補強材重量の修理前後の比率

表4 修理後小屋組み部材重量

部材	幅(m)	成・厚(m)	長さ(m)	体積(m ³ /本)	数量	体積(m ³)	重量
裏甲	0.58	0.05	9.43	0.27	4	1.08	0.48
野地板	2.23	0.03	9.19	0.61	4	2.44	1.07
野垂木	0.06	0.06	4.79	0.02	44	0.88	0.39
野隅木	0.12	0.19	6.82	0.16	4	0.64	0.28
母屋	0.14	0.14	20.44	0.4	4	1.6	0.7
井桁	0.16	0.16	1.68	0.04	12	0.48	0.21
左義長柱	0.16	0.16	0.58	0.01	4	0.04	0.02
束	0.12	0.12	0.72	0.01	12	0.12	0.05
	0.12	0.12	0.49	0.01	20	0.2	0.09
	0.12	0.12	0.3	0.004	20	0.08	0.04
	0.12	0.12	0.12	0.002	20	0.04	0.02
茅負	0.21	0.14	9.19	0.27	4	1.08	0.48
化粧野地	0.7	0.02	8.17	0.11	4	0.44	0.19
	1.03	0.02	6.3	0.13	4	0.52	0.23
飛檐垂木	0.08	0.11	1.9	0.02	144	2.88	1.27
木負	0.12	0.21	7.33	0.18	4	0.72	0.32
垂木	0.09	0.12	4.67	0.05	56	2.8	1.23
隅木	0.18	0.42	7.1	0.54	4	2.16	0.95
合計							8.02

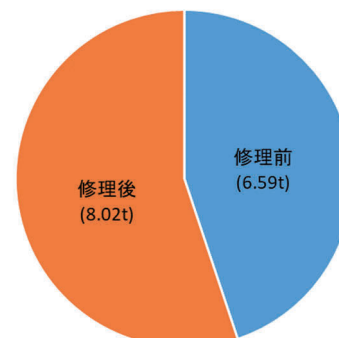


図7 修理前後小屋組み重量比率

表5 修理前後小屋組み重量比率 (土: 1.5t/m³、瓦: 0.25t/m²)

		露盤幅(m)	軒長(m)	屋根勾配長(m)	野地厚(m)	体積(m ³ /面)	面積(m ² /面)	体積(m ³)	面積(m ²)	重量(t)	合計重量(t)
修理前	野地土	1.15	10.2	5.44	0.07	2.16	-	8.64	-	12.9	43.6
	瓦				-	-	30.8	-	123	30.7	
修理後	野地土	1.05	9.95	5.27	0.07	2.03	-	8.12	-	12.1	41.1
	瓦				-	-	28.9	-	116	29	

b)明治修理後の重量

表3には修理時に設置された枯木の各部材ごとの重量、表4には修理後の小屋組みの部材重量を示す。

修理前には小屋内部に枯木らしき登り梁の存在が確認されるが、断面が小さいのと塔身内部まで入りこんでいないために跳ね上げる効果がなかったと考えられる。しかし、明治修理後には小屋内部に断面の大きい部材を導入し、内部左義長柱まで枯木尻を伸ばしており丸桁枯木も導入され強固な造りに変更されている。

そのために、枯木による重量が計3.95tに増加し、修理前と比較すると図6に示すように約3倍もの重量造となっている。さらに、小屋組みの重量も図7に示すように計8.02tと修理前と比較すると1.43tの増加となっている。

次に、図7の修理前後の小屋重量のみの比較をおこなうと1.43tの増加であったのに対して、図6の小屋内部の補強材の修理前の登り梁重量と修理後の枯木の重量の比較をすると修理後において2.67t増加しており、修理前後での重量の変化が小屋組み1.2倍、補強材重量は2.1倍と補強材の重量の増加が大きいことである。増加の要因は、本数に変更はないが枯木の断面が大きくなったのに加え、修理前よりも長い材に変更されたことによる増加が1.46t、以前には存在しなかった丸桁を支える為に設置された丸桁枯木の1.21tの増加が挙げられる。また、修理前では図4の小屋内部の登り梁の重量が全体の16%程度だったものが、図5の修理後では補強材として導入された枯木重量が全体の33%と修理前後で重量比で2倍の増加となっている。さらに、表3より修理後における枯木重量の内55%を占めているのが野屋根内部に設置されている軒枯木であることが判明した。

明治修理における小屋組の重量と新たな枯木の設置による重量の増加が指摘される當麻寺東塔であるが、次に屋根の重量について考察する。表5に野地土と瓦重量を屋根面積より計算した値を示す。野地土は古来、板の製材が困難であった時代における野地の一つであると考えられる葺き土と野地が一体となった野地葺きの重量を算出したものである。^{補1)} 葺き土の厚さは70mmとし屋根面積に乗じて体積を求めた。修理前では野地土が12.9tで瓦30.7tの計43.6tであったのに対して、修理後では野地土12.1tで瓦29tの計41.1tであった。修理前後での重量の変化としては2.5tの減という結果となった。

結果として、明治修理における枯木の導入によって小屋内補強材による重量の増加は2.67tとなったが、屋根面積の縮小によって屋根重量が2.5tの減少していた。その為、枯木による重量の増加は屋根重量の減少によって0.17tの増加に抑えられていた。また、小屋組みの増加分は1.43tであるから先ほどの0.17tと合わせると全体で1.6tの増加であることが判明した。

當麻寺東塔は明治修理時において材の取替えや材の追加で小屋組みの重量は増えてしまっているが、枯木の設置による重量の増加分は屋根重量を変化させることによって全体重量を調整したと考えられる。

3. 結論

當麻寺東塔の明治修理前後の最上層における小屋組みの変化について検討を行った結果以下の知見を得た。

- ①明治修理において導入された枯木によって屋根の構造形態は大きく変化した。
- ②丸桁枯木によって本来屋根を支える地垂木が途中で切断された可能性が示唆される。
- ③修理前後での補強材の重量が3倍に増加。
- ④修理後の小屋組み重量に対して枯木重量が33%を占めている。
- ⑤枯木の導入によって小屋内重量が2.7t増加した。
- ⑥屋根の面積は減少しており修理後では瓦と土の重量が2.5t減少。
- ⑦枯木による重量増を屋根で調整した可能性が示唆される。
- ⑧修理後の重量増は1.6tに抑えられていた。

謝辞：本研究を遂行するにあたって、関西大学大学院理工学研究科高度化研究費の助成を得た。

補足

補1) 元興寺極楽坊の野地土について

室町期に大陸から二人曳の縦曳鋸(大鋸)が導入されるまでわが国では、柱目に沿って楔を打ち込んで木材を割り裂く「打割り法」しかなかったと考えられている。従って古代には野地板のような幅の広い薄板を製材することは困難であったと考えられる。そのために、打ち割の木小舞下地が用いられていた可能性が示唆される。

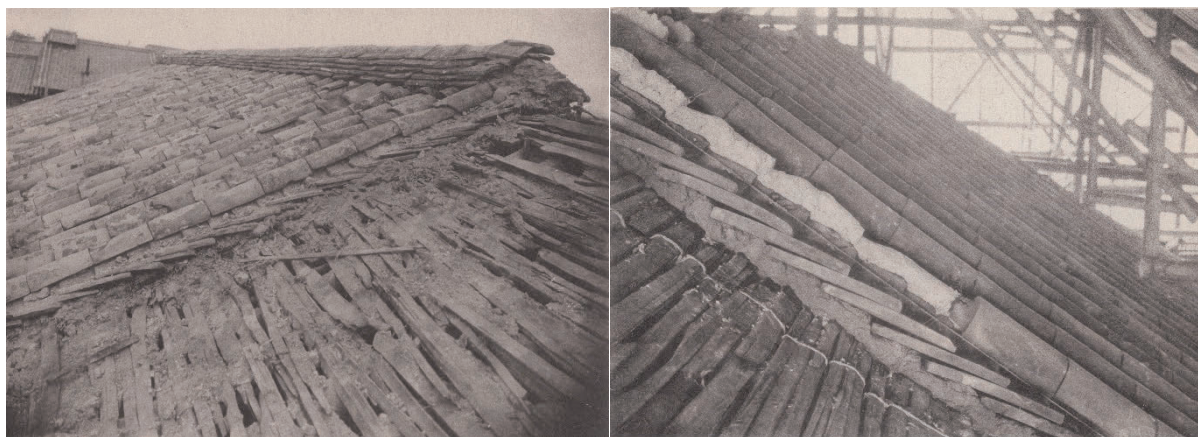
古代の瓦下地は後年の修理でほとんどが野地板・釘打ちに改変されているが、稀に古建築の保存修理に際して雨漏れの影響を受けにくい化粧屋根などに古式の技法が発見されることがある。

写真2は奈良市元興寺の屋根下地の事例である。元興寺には飛鳥時代の古材や行基葺きの古瓦が遺存しているが、昭和18年からの国宝禅室、同26年からの国宝本堂、同31年からの重文東門の解体修理を通して古代の屋根下地の状況が明らかになっている。

写真2aは禅室屋根の瓦を部分的に撤去して葺土を降ろした状況、写真2bは国宝本堂の下地の状況である。禅室と本堂の技法はほぼ同じで、以下の特徴が列記される。

- ① 六枝ほど垂木間を渡せる長さの割材の木小舞を敷き並べているが、断面形状や材長は不揃いである。
- ② 木小舞は同一の垂木上で継ぎ目が芋にならないように配っている。
- ③ 垂木と木小舞間には縄や釘等で結束した痕跡は認められない。
- ④ 木小舞は打割時に発生した端材を転用した可能性がある。
- ⑤ 垂木の断面寸法や垂木間隔のバラツキは大きい。現場合わせでほぼ均等に間配った可能性がある。

本堂と禅室において現在の野地板とは違った屋根の施工が行われていた事例が存在しており最初期の塔の屋根も同様であった可能性が考えられる。



a : 修理前

b : 修理後

写真2 元興寺極楽坊禅室屋根施工⁸⁾

参考文献

- 1) 西澤英和・田淵敦士・西川英佑：伝統的木造文化財建造物の土壁の痕跡調査に基づく地震被害の検討 重要文化財寶塔寺本堂の土壁被害について『日本建築学会計画系論文集』,Vol.647,pp.263-270,2010.
- 2) 内務省宗教局：特別保護建造物及国宝帖.第1特別保護建造物第1-176図，審美書院，1910.
- 3) 大田博太郎：『日本建築史基礎資料集成十一 塔婆Ⅰ』，中央公論美術出版，1984.7
- 4) 奈良国立文化財研究所：当麻寺東塔 當麻寺東塔二重小屋伏修繕落成図，奈良県所蔵建造物図面，1434.
- 5) 建築学ポケットブック編集委員会：『新編 建築学ポケットブック』，オーム社，1984.11
- 6) 清水重敦：明治後期の古社寺修理にかかわる技術者の出自について，『日本建築学会計画系論文集』,Vol.558,pp.259-264,2002.
- 7) 宇佐美龍夫：新編 日本被害地震総覧[増補改訂版]，東京大学出版会，1999，第5刷
- 8) 奈良県教育委員会文化財保護課：元興寺極楽坊本堂、禅室及び東門修理工事報告書，昭和三十二年三月