

平成27年度 研究助成者一覧

No.	氏名	所属研究機関・職名	研究課題	ページ
1	北野 信彦	独立行政法人国立文化財機構・東京文化財研究所・保存修復科学センター・室長 (龍谷大学 教授 2016.7現在)	桃山建築における装飾木彫の保存・修理・活用に関する基礎研究	1~5
2	後藤 治	工学院大学 教授	新潟県佐渡市長谷寺観音堂・五智堂の調査研究	6~9
3	杉野 未奈	京都大学 助教	非破壊試験に基づいた大径木材の材料強度推定法の構築	10~11
4	中治 弘行	公立鳥取環境大学 教授	山陰地方の大規模木造建物における土塗り小壁付大断面木造軸組の耐震性能評価実験	12~15
5	花里 利一	三重大学 教授	重要文化財五重塔の風観測とそのシュミレーション解析に基づく耐風性能に関する研究	16~20
6	藤田 香織	東京大学 准教授	三豊市指定文化財本山寺五重塔の部分解体調査と構造性能評価	21~24
7	山崎 幹泰	金沢工業大学 准教授	遺構と設計図面に基づく金沢煙草製造所レンガ造工場の復元的研究	25~26

※原則、所属研究機関・職名は申込時を記載。50音順

平成 27 年度公益財団法人 松井角平記念財団研究助成

「桃山建築における装飾木彫の保存・
修理・活用に関する基礎研究」

研究成果報告書ダイジェスト

龍谷大学・文学部・歴史学科（文化遺産学）教授

博士（学術）（史学） 北野 信彦

1、本研究の目的と方法

文化財建造物の装飾木彫は、中世社寺の小規模な墓股部材などに初源が求められる。桃山文化期の建造物では、豪壮な金碧障壁画とともに大規模な城郭御殿や社寺建造物などを荘厳する建造物部材として華開き、その頂点は日光東照宮などの霊廟装飾である。桃山文化期の金碧障壁画の研究は、美術史分野の先行研究も多く、装こう技術による保存修理の施工や資料活用としての復元模写事業などもすでに確立した感がある。ところがこれと対を為す装飾木彫の保存修復科学的な研究は極めて低調である。その理由は、装飾木彫は凹凸が複雑な三次元表現であるとともに、建物外面に存在することが多いため、二次元表現の金碧障壁画に比較して埃・汚れ・塗装彩色の退色や劣化が著しく、当初の状況が確認しづらいこと、さらには作製工房に関する情報が少ないことが根底にある。また、過去の彩色痕跡に関する十分な検証も為されずに旧塗装彩色の掻き落とし・新規塗り直し修理が優先される事例も多いため、塗装彩色材料や技術、さらには図様の比較検討に注目した先行研究の蓄積もほとんど無い。本研究はこの点を考慮に入れ、①桃山文化期の御殿建造物を特徴付けるにもかかわらず、取り扱うには課題点が多い装飾木彫を正面から取り上げ、①保存修理に関する基礎調査、②材料分析や三次元計測による図様データの蓄積などの基礎研究を行い、最終的には資料活用に資する方法を検討することを目的とする。このような希少であるにもかかわらず劣化が著しいため早晩、基礎調査自体が困難となることが懸念される桃山建築の装飾木彫の調査・修理・活用方法の構築を行うための基礎研究は急務であるとともに、これらの保存・活用を進める上で極めて意義が深いと考える。

装飾木彫に関する研究は、墓股部材の形態の編年研究に付随して図様について断片的に記述される事例はあるが、図様そのものに特化して行った研究は決して多くない。その一方で、装飾木彫における塗装彩色の目視観察は、日光東照宮をはじめとする霊廟建造物の装飾木彫塗り直し修理に伴い、伝統的に実施されてきた。なかでも平成 15 年～23 年の歎喜院聖天堂彩色修理では、立体的な装飾木彫の図様をオルソ画像で修正して二次元の彩色見取図作成に役立てる、旧彩色の上に和紙を貼り新規彩色を施すなど新しい試みもある。申請者らも、幾つかの塗装彩色修理の案件に協力して調査成果を施工に反映させてきた。また国外事例では、韓国で近年の南大門復元修理を発端として、日本と同様の手法で塗装彩色の基礎研究が開始されている。

本研究では、主に桃山文化期の装飾欄間の保存と資料活用に関する調査として、材質・技法に関する新たな分析手法の確立、資料保管方法の策定、三次元計測データからの光造形樹脂レプリカを作成して彩色復元する方法の開発を実施し、さらにこれと並行して、劣化した装飾木彫の部材保護を目的とした出土木材や仏像修復の伝統技術を応用した基礎実験を行い施工に反映させることは、建造物部材の保存と活用に有用となる。本研究では、瑞巖寺本堂内や宝巖寺観音堂の装飾欄間を例として取り上げ、保存と資料活用方法の構築を完成させることができた。

2、調査対象資料

本研究では、桃山建築の装飾木彫の多くは当時の主要な城郭殿舎を荘厳したと考えられるが、

その多くは灰塵に帰し、移築された、部材が残存したものは少ない。本研究では、所有者や関係行政機関の了承を得て調査する機会に恵まれた装飾木彫を調査対象資料とした。具体的には、桃山文化期に造営された文化財建造物の内、創建期の状況が良く残されるとともに基礎調査を行う機会を得た滋賀県琵琶湖の竹生島に所在する①(国宝)都久夫須麻神社本殿、②(国宝)宝厳寺唐門および(重要文化財)宝厳寺観音堂(いずれも豊臣期大坂城極楽門→豊国社極楽門から慶長期に移築された建造物)、宮城県の松島に所在する③(国宝)瑞巖寺本堂部材(慶長期欄間作成→元和期彩色)である装飾木彫の彩色材料である。また来歴は伝承ではあるものの、桃山文化期を代表する城郭御殿建造物であった伏見城御殿の欄間の一部であったと考えられる④詩仙堂所蔵彩色欄間部材についても同様の基礎調査を行った。

なお本研究では主に桃山文化期の御殿建造物の装飾木彫の保存・修理・資料活用を主眼としたが、若干年代観は下るものの、徳川家光縁の寛永期造営の建造物である滋賀県の比叡山に所在する⑤(国宝)延暦寺根本中堂の外部に取り付けられた装飾木彫である墓股の彩色、および⑥石清水八幡宮の装飾木彫に関する基礎調査も併せて実施した。

3、本研究の成果

本研究の調査は、金箔や極彩色・漆塗装などで荘厳した豪放な桃山建築を特徴付けるにもかかわらず、汚損や劣化や著しい場合が多い欄間や墓股、軸部貼り付け木彫などの装飾木彫を調査対象とし、幾つかの現在調査可能な桃山建築の装飾木彫の材料分析や三次元計測による図様データの蓄積を行った。その方法、(1) 彩色材料の観察と科学分析(蛍光X線分析・X線回折分析・塗膜分析・顔料粒子の状態の拡大観察など)、(2) 木彫形状の三次元計測(遮蔽領域が支配的な対象の三次元計測実施・測定データの処理など)、(3)光造形樹脂によるレプリカ作成(点群データ修正・造形方向及び造形パラメーターの最適化など)、(4)上記(1)を基に作成した鳳凰図柄の復元模写図の情報を(2)、(3)で作成した光造形レプリカへ復元着彩、による一連の調査の結果、三次元レーザ計測と計測データを基にした光造形樹脂レプリカの作製、目視観察および分析の検討結果を踏まえた復原模写の成果をコラボさせることで、新たな文化財資料の保存と資料活用が図れる可能性が理解された。

平成 30 年度には文化財保護法改定が行われる予定であり、我国の文化財保護の目的の一つに、文化財資料を単に保存するのみではなく、地域資源として積極的・有効的に資料活用する素力が求められる点が掲げられている。このような資料活用場としては、近年の国策の一つともいわれる地域の観光資源の開拓も掲げられており、主に文化財建造物の修理現場の一般公開などはかなり定着してきた。一例は、近年の姫路城や日光東照宮陽明修理現場の公開などである。

本研究で実施した三次元計測データ自体は、すでに文化財資料の造営当初の状況を復元した二次元画像コンテンツの作製に役だっている。本研究では実在に即したデータ収集とともに、サイズが異なる複数の三次元レプリカ作製も可能である。オリジナル資料自体は現状維持保存とする一方、これを公開展示する有効活用が今後期待される。さらに、この上に当時の材質・技法を用いた復原彩色を行うことは、伝統材料の生産拡大や伝統技術者育成の場を提供できると考える。

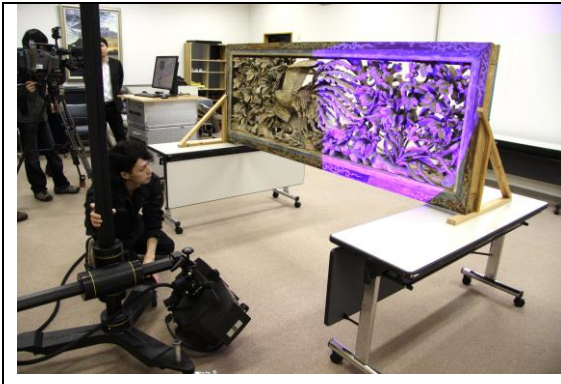


図 1-1:瑞巖寺本堂彩色欄間の三次元レーザ計測風景



図 1-2:同 計測データの画像状況(降臨鳳凰の顔部分)



図 1-3:彩色欄間の材質・技法に関する現地調査



図 1-4:三次元計測の光造形樹脂レプリカへの着色作業風景

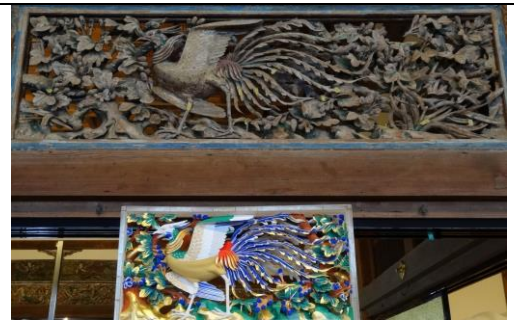


図 1-5:瑞巖寺本堂内の降臨および飛翔鳳凰の彩色欄間と三次元計測レプリカの復原彩色終了後資料の比較



図 1-6:複数作製可能な光造形樹脂レプリカの実例

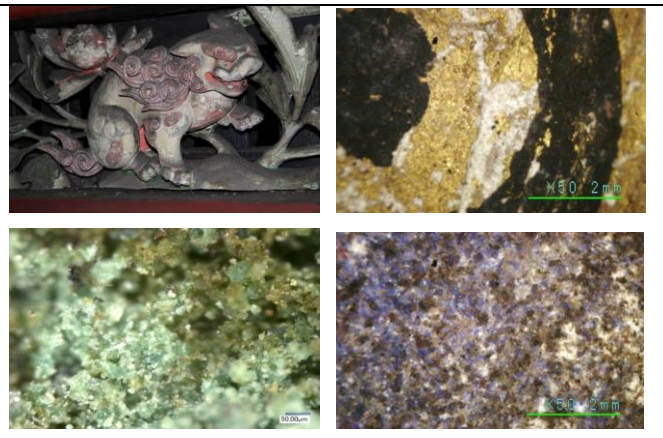


図 2:比叡山根本中堂内の木彫彩色の調査例



図 3-1:宝厳寺観音堂内の欄間木彫の彩色材料調査と三次元レーザ計測作業風景

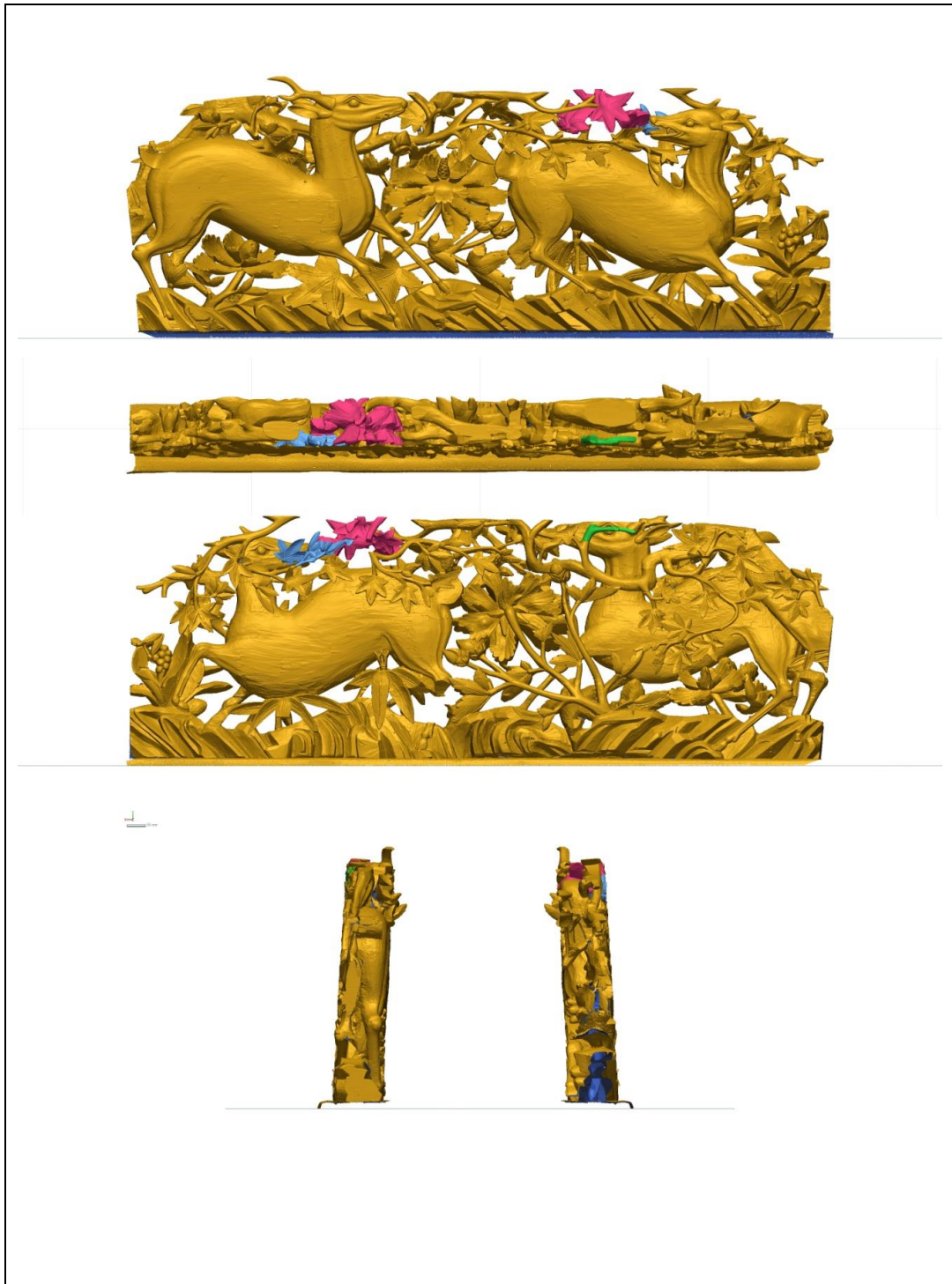


図 3-2:同 彩色欄間(狩野派による朝鮮鹿と紅葉図)の三次元レーザ計測完成図

平成 27 年度

長谷寺観音堂・五智堂の研究【概要・要旨】

1. 研究の目的と概要

現在に至るまで佐渡における社寺建築の本格的な調査研究は少なく、また金銀山によって繁栄したとの認識から寺社建築にはあまり注目されてこなかった。しかし本研究に於いて対象とする佐渡長谷寺は、近世社寺建築の中でも特徴的な建物を有している。本研究ではこれらの建物について価値を再確認するため、建物に関わる変遷だけでなく真言宗豊山派の時代的、政治経済的な影響を踏まえた上で民衆や職人などの流れを明確にし、佐渡島における寺社建築の基礎的研究となることを目的としている。

2. 佐渡長谷寺と観音堂について

(1) 佐渡長谷寺について

佐渡長谷寺は新潟県佐渡市長谷 13 に所在する、真言宗豊山派寺院で、佐渡島中央部南側の旧畑野町地域にある小倉山の麓に位置している。寺伝文書である『佐渡豊山自性院長谷寺略記』によれば、弘法大師により大同二年（807 年）開創されたと伝わる。また、『宝暦寺社帳』には大和国小池坊末（豊山派）に改めたのは元禄十一年（1698 年）であり、それまでは越後国西津の吉祥寺末（新義真言宗）であった旨が記載されている。

長谷寺の境内は、仁王門を入口として南北に石段が続く。石段中腹東側には内門を有し、更に東奥に宝蔵、本堂、表玄関、庫裡、中之蔵、米蔵、寺務所、味噌蔵が並ぶ。また、中腹より北側には本堂と接続する形で護摩堂、鐘堂、廻廊、札所が続き、石段上段突当りには観音堂が南面して建つ。また、同段西側には水屋、地藏堂、経蔵が並び、更に上段には五智堂が南面して建つ。五智堂より更に西へ上がると奥ノ院が建つ。五智堂が新潟県指定文化財の他、境内の建物は何れも国登録有形文化財に登録されている。

(2) 観音堂について

観音堂は佐渡長谷寺石段の突当り上段に南面して建つ、桁行五間、梁間四間、一重入母屋造、棧瓦葺の仏堂である（図 1、写真 1-a）。手前一間を外陣とし、内外陣境には中央三間に格子戸、両脇に板戸を設け明確に区別する。手前二間を内陣とし、更に奥の間を内々陣として中央三間それぞれに檀を造り宮殿を納める。側柱は全て大面取りで粽付の角柱で、入側柱は丸柱である。足固貫、内法貫、頭貫、及び切目長押、内法長押を用い軸部を固め、台輪を廻す。組物は和様で、側周りを拳鼻実肘木付の平三斗とし中備には簀束を立て、内陣は出組を用い中備に本墓股を設ける。軒は二軒繁垂木で、堂内は四周一間を化粧屋根裏として繁垂木間の一本を間引いた疎垂木である。しかし外陣側は側柱と入側柱の梁間方向に虹梁を架け、その上に墓股、拳鼻付斗拱を用いて桁、及び化粧隅木を受けている。背面側は桁行方向に虹梁を架け、その上に大瓶束を乗せて桁、及び化粧隅木を受けている。ま

た、外陣側は桁と入側柱芯の間に小天井を設けている（写真 1-b,c）。寺に残された古文書の中には観音堂建立に至るまでの寄附を募る勸進帳の他、棟札類、手紙等が多く確認できた。

元禄二年の勸進帳には柱及び垂木材は手に入っているものの、化粧材等が手配できていない旨が書かれている古文書の他、材木の受け取り証書や材木の払下げ願等も見受けられることから、元禄期に建立されたという事は間違いないと考えられる。また、元禄五年の棟札写が確認でき、宝暦期の寺社取調帳には元禄四年が建立年として記載されていることも確認できた。現在写の元となった棟札は紛失しているものの、棟札としての体裁は整っており年号等誤字も見られずに確かであることから、建立年は元禄五年であると判断した。

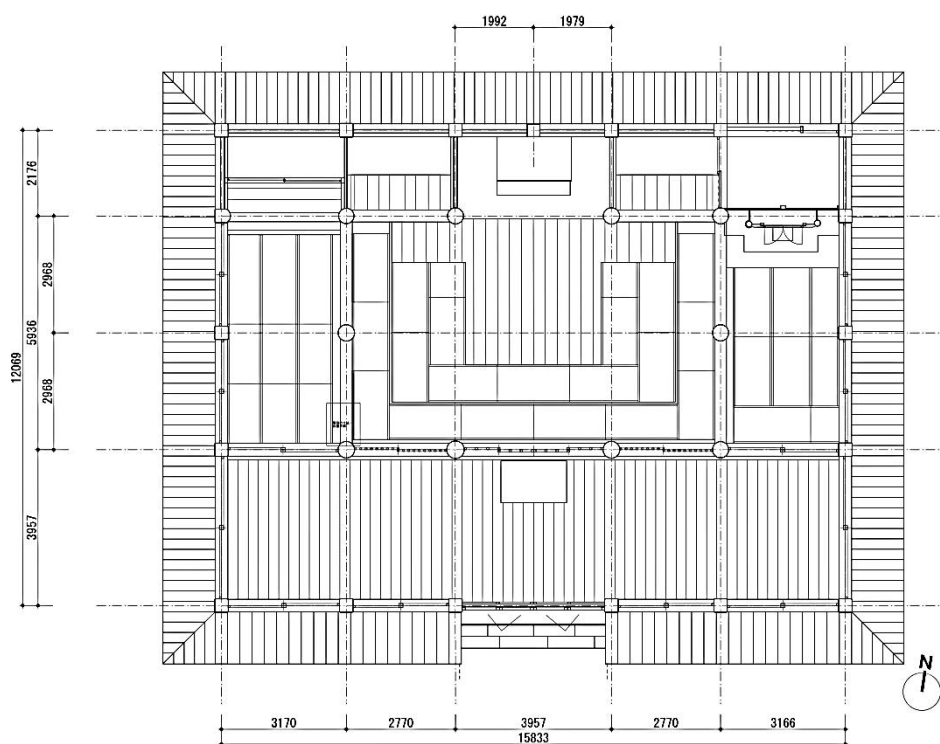
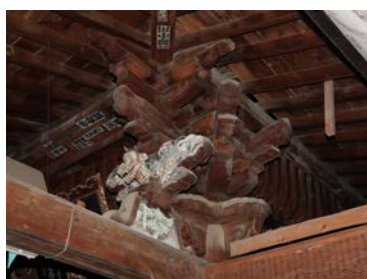


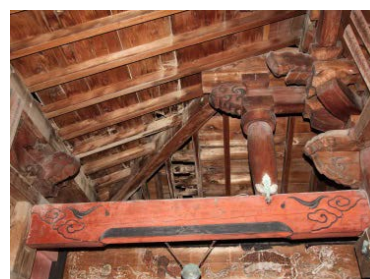
図 1 佐渡長谷寺観音堂平面図 (S=1/200)



a 外観全景



b 外陣隅架構



c 背面側架構

写真 1 佐渡長谷寺観音堂各部写真

3. 五智堂の建築について



写真 2 五智堂東面写真

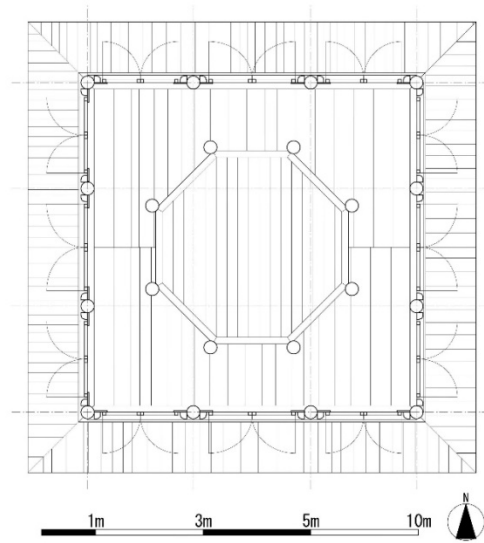


図 2 五智堂平面図

五智堂は、桁行三間梁間三間、総朱塗り、柿型銅板葺の、円形平面を包括する多宝塔である。内部は全て板敷で中央に八角形の須弥壇を有す（図 2）。堂内には、五智如来が安置され、鏡天井部には天女が描かれる。初重は四方全てを両開きの棧唐戸とし、柱は全て丸柱で粽を付け、上層は十二本の柱を円形に並べ、各面中央間に一尺四方程度の両開きの板戸を設けている。芯柱は上層から伸び、初層天井上に組んだ梁の中央に柄差しをする。軸組は初重上層共に、切目長押、内法貫、内法長押、頭貫で固め、台輪を廻す。初重組物は側柱上に和様の組物を入れ、蛇腹支輪付二手先として拳鼻を付けている。上層組物は三手先で通肘木を通し、小屋組内部で井桁状に組んだ梁に挟み込んでいる。本塔において彫刻の華やかさには目を見張るものがある。各層琵琶板や扉には草木や雲を模った彫刻が嵌められ、初重木鼻は籠彫りが施されている。上層肘木は素朴な龍の腹部からの彫刻が施されており、全てが異なる表情を持っている。上層隅木には浮彫りが施されており、より高い装飾性が伺える。尾垂木は一切用いられず、かわりに尾垂木状に造出した肘木が乗せられている。以上より、長谷寺五智堂は江戸中期頃の意匠を持つ多宝塔であることが分かる。

正徳四年の絵図には五仏堂として一重宝形造の堂が描かれているが、寛政十二年の絵図では上層が円形とも見られる正面三間の二重塔が確認される。しかし正保四年棟札には五智一字とのみ記されているのみである。貞享四年棟札には五間四間五智堂壹宇とあるが、現五智堂とは規模が異なるため同様の建物とは考えにくい。一方で、延享二年棟札には造立三間半四方二重塔とある。現五智堂の柱間は三間であるが、軸部最長寸法（切目長押寸法）実測値は $6472\text{mm} \div 3 \text{ 間半} + 3 \text{ 分} 6 \text{ 厘}$ であり、若干の誤差はあるが概ね寸法が合うと言えるであろう。以上のことと彫刻の意匠より判断して、延享 2 年の棟札が現五智堂の棟札であるといえる。

4. 五智堂内安置仏について



図3 長谷寺多宝塔内 伝五智如来坐像 附番対応図

本調査対象である伝五智如来坐像は半丈六の坐像であり、実測値より像高、髪際高を基準として制作された可能性を示す。ただし底板など後世の修理が入り、法量も変化している可能性があるため安易に分類はできない。五軀の彫刻表現においては、いずれも手先や衣文などの表現に一見して江戸時代の簡略化された表現が観て取れるが、仮に江戸時代修理の手としてそれらを差し引くと、各像の特徴として以下が挙げられる。

《菩薩形坐像①》面相部は、一見地方作例に見受けられる素朴な面貌ではあるが、両耳にわたる幅広い鬢髪や両頬・三道などの肉取り、また角張った連珠（現状では列弁に見えるが後世に上段の紐の表現が削り取られている）で表される天冠台は10世紀頃の作例に見受けられるそれと似ており、宝冠や髻を共木で彫出する点なども含め、古様を示している

《如来形坐像③・④》半丈六を越す巨像でありながら、全体とすれば厚みの薄い体軀の印象を与える側面観は、平安時代後期の作例を想起させる。また、やや造形的破綻はあるが、頭部側面の印象にも、定朝様を当地の仏師が摂取した結果として見られなくもない。

《如来形坐像②・⑤》典型的な江戸時代の造形的特徴（面長でやや角張った頬、細い目、四角い耳朵の表現など）を示す像である。他像では違和感のある面相部と体幹部の造形が、これら二軀には感じられない。

しかしながら、江戸時代の作例には平安・鎌倉風の復古的な要素を含んだものも存在する。よって本像の制作年代に関する詳細は、今後の修復報告および調査研究に委ねたい。

研究課題：非破壊試験に基づいた大径木材の材料強度推定法の構築

代表者： 京都大学 杉野未奈

共同研究者： 京都大学 林 康裕

1. はじめに

本研究では、衝撃弾性波を用いた木材の非破壊試験から木材のヤング係数や曲げ強度を推定することを目指している。本報では、まず既報¹⁾の試験と衝撃弾性波を用いた伝播速度の計測法（以下、衝撃弾性波法）の結果との比較を通じて、衝撃弾性波法の精度検証を行う。その後、大径木材で既報²⁾の試験と衝撃弾性波法を実施し、試験結果の対応関係を分析する。

2. 伝播速度の計測法の提案

図 1 に衝撃弾性波法の試験方法を、図 2 に衝撃弾性波法の受信波形の一例を示す。本報ではコンクリートの非破壊試験に用いられる衝撃弾性波法を改良し、木材中の衝撃弾性波の伝播速度を計測する。試験方法は、直径 5mm の球を先端につけたハンマで、試験体に密着させたステンレス製の打撃用治具を打撃し、試験体に衝撃弾性波を発生させる。発生した衝撃弾性波は、2 つの圧電型加速度センサを介して記録される。衝撃弾性波の伝播時間 T (μs) は、図 2 に示す CH1 の受信時刻 T_1 (μs) から CH2 の受信時刻 T_2 (μs) までの時間とした。式 (1) により、センサ間距離 L (mm) と伝播時間 T (μs) から、伝播速度 v (mm/ μs) を算出する。

$$v = L/T \quad (1)$$

3. 精度検証

3.1 試験体

表 1 にスギ材の諸元を示す。試験体は既報¹⁾に用いたスギ材のうち、A1・K1・O1 の 3 体である。試験体の寸法は 120mm × 120mm × 3000mm であり、背割りはない。

3.2 計測方法

各試験体に対して、超音波法・衝撃弾性波法・打撃音法を行った。超音波法と打撃音法は、既報²⁾と同様の試験方法で行った。超音波法と衝撃弾性波法は、試験体の各表面を材軸直交方向に 6 等分し、各区間の中心で材中央部の材軸方向の伝播速度を計測した。センサ間距離は 600mm とした。

3.3 計測結果

図 3 に超音波法・衝撃弾性波法・打撃音法から算出した伝播速度を示す。同図より、超音波と衝撃弾性波の伝播速度は、概ね同程度の値と傾向を示した。また衝撃弾性波の伝播速度は、打撃音法から算出する伝播速度と同程度か、より速くなる傾向があった。

4. 大径木材の伝播速度

4.1 試験体

表 2 に大径木材の諸元を、写真 1 に大径木材の木口

面を示す。試験体は 2 体のヒノキ材であり、木口が円形で、直径は 300mm 程度である。背割りの無い試験体を H、背割りのある試験体を Hs とする。試験体のひび割れ状況を示す例として、図 4 に試験体 H のひび割れを描いた展開図を示す。

4.2 計測方法

各試験体に対して、応力波伝播法・衝撃弾性波法・打撃音法を行った。応力波伝播法は既報²⁾を参考に、センサを試験体に差し込む計測方法を用いた。図 5 に計測位置と名称を示す。伝播速度の計測は、試験体の表面を円周方向に 32 等分し、各測線で行った。計測区間は、応力波伝播法では AB・AC・AD・CD の 4 区間で計測を行い、衝撃弾性波法では AB・CD の 2 区間で計測を行った。

4.3 計測結果

図 6 に試験体 H の伝播速度（応力波伝播法）を示す。同図の「勾配」は、センサ間距離と伝播時間の関係について、AB・AC・AD の 3 区間の試験結果から描いた、最小二乗回帰法による回帰直線の傾きである。同図より、「勾配」は他の区間よりも速くなる傾向があった。

図 7 に大径木材の伝播速度の表面分布を示す。同図より、打撃音法と衝撃弾性波法は 3 章と同じ対応関係の傾向を示した。また衝撃弾性波の伝播速度は、センサ間にひび割れがある場合の計測でもほとんど変化せず、円周で最大 1.4 mm/ μs 程度変化した。応力波伝播法と衝撃弾性波法から算出する伝播速度は、概ね同程度の値となった。

5. まとめ

本報では、衝撃弾性波を用いた木材の伝播速度の計測法を提案した。

- 1) 衝撃弾性波の伝播速度は、超音波の伝播速度と概ね同程度であった。
- 2) 衝撃弾性波の伝播速度は、円形の大径木材でも計測でき、円周で最大 1.4 mm/ μs 程度変化した。

参考文献

- 1) 速水紀文, 小林素直, 杉野未奈, 林康裕: 超音波を用いた木材の伝播速度, 日本建築学会技術報告集, 第 23 巻, 第 54 号, pp.469-474, 2017.6.
- 2) 浪江和隆, 焦鍵, 杉野未奈, 多幾山法子, 林康裕: 応力波伝播法に基づく木材の完全非破壊型ヤング係数推定法の提案, 日本建築学会構造系論文集, 第 78 巻, No.686, pp.833-838, 2013.4.

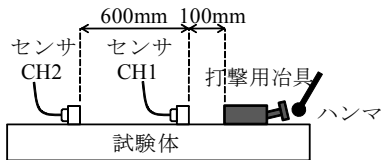


図1 衝撃弾性波法の試験方法

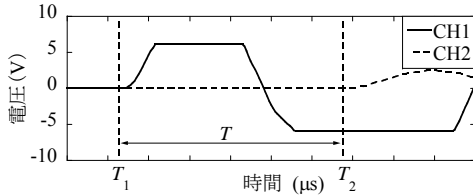


図2 衝撃弾性波の受信波形(A1の1番)

表1 スギ材の諸元

試験体	産地	心持ち材/ 心去り材	密度 (t/m ³)	含水率 (%)
A1	秋田	心去り材	0.35	13.9 ^{※1}
K1	北山	心持ち材	0.45	10.6 ^{※1}
O1	飢肥	心持ち材	0.41	9.9 ^{※1}

※1: 高周波容量式木材水分計により算出

表2 大径木材の諸元

試験体	背割り	材長 L(mm)	密度 (t/m ³)	含水率 (%)
H	なし	3262	0.47	15.8 ^{※1} 15.4 ^{※2}
Hs	あり	2951	0.45	15.2 ^{※1} 15.9 ^{※2}

※1: 高周波容量式木材水分計により算出

※2: 全乾密度より算出

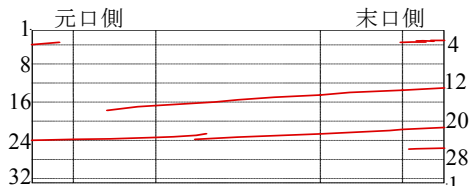


図4 試験体Hのひび割れを描いた展開図

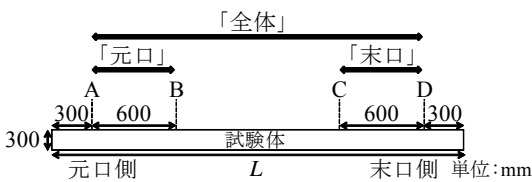


図5 計測位置と名称

● 超音波法 □ 衝撃弾性波法 -- 打撃音法

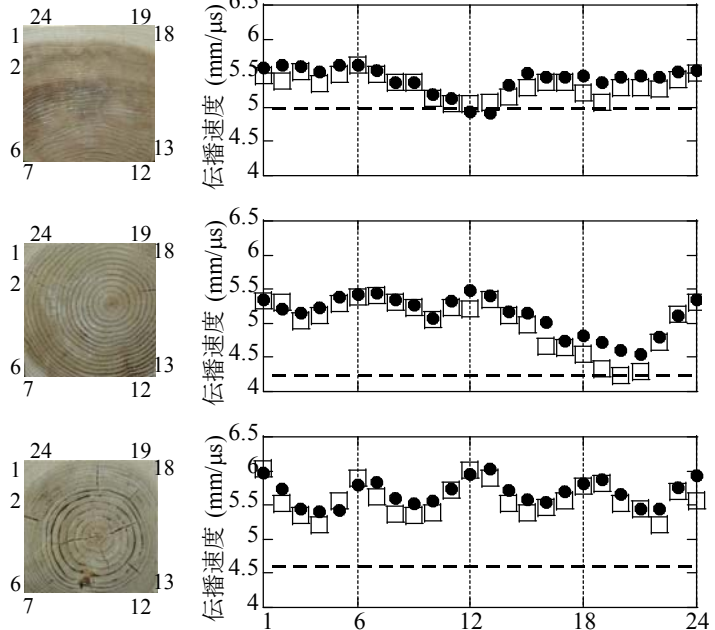


図3 スギ材の伝播速度の表面分布

(上:心去り材(A1)・中:心持ち材(K1)・下:心持ち材(O1))

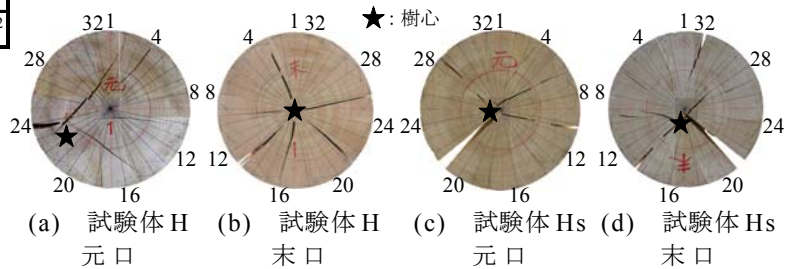


写真1 大径木材の木口面

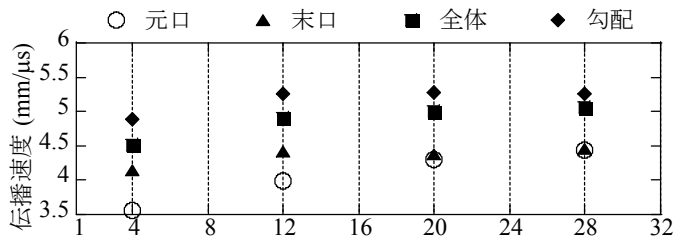
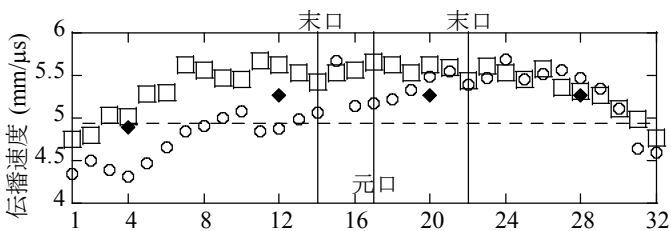
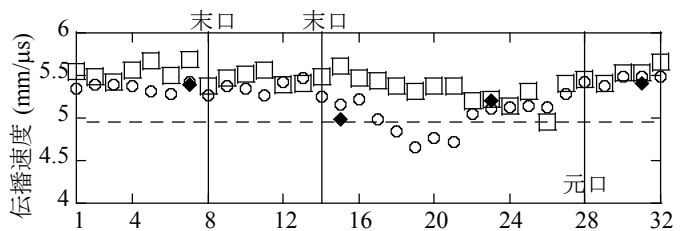


図6 試験体Hの伝播速度(応力波伝播法)

○ 衝撃弾性波法(元口) □ 衝撃弾性波法(末口) ◆ 応力波伝播法 -- 打撃音法 — センサ間にひび割れ



(a) 試験体H



(b) 試験体Hs

図7 大径木材の伝播速度の表面分布

公益財団法人松井角平記念財団助成金 研究成果報告書

平成29年 3月31日現在

研究課題名 遺構と設計図面に基づく金沢煙草製造所レンガ造工場の復元的研究

研究代表者 山崎 幹泰
金沢工業大学・環境・建築学部・准教授

研究期間：平成28年4月1日 ～ 平成29年3月31日

研究成果の概要：

旧金沢煙草製造所は、金沢市玉川町において、大正2年（1913）に竣工したレンガ造の工場建築である。昭和48年から建物の取り壊しが開始され、工場の敷地と建物の一部を金沢市が譲り受けた。昭和53年（1978）、工場跡地に建築家・谷口吉郎の監修により金沢市立図書館が竣工。レンガ造工場は補強・改修を施し、現在は金沢市立玉川図書館別館（旧専売公社C-1号工場）として金沢市指定保存建造物、国有形登録文化財となっている。この建物の当初設計時のものと見られる図面について、その内容分析を行い、図面の内容と設計寸法の特徴および遺構との比較により、その特徴について明らかにした。

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	700,000円	0円	700,000円

1. 研究開始当初の背景

旧金沢煙草製造所は、金沢市玉川町において、大正2年（1913）に竣工したレンガ造の工場建築である。昭和48年から建物の取り壊しが開始され、工場の敷地と建物の一部を金沢市が譲り受けた。昭和53年（1978）、工場跡地に建築家・谷口吉郎の監修により金沢市立図書館が竣工。レンガ造工場は補強・改修を施し、現在は金沢市立玉川図書館別館（旧専売公社C-1号工場）として金沢市指定保存建造物、国有形登録文化財となっている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、大蔵省臨時建築部が手がけたレンガ造の煙草工場で、唯一現存する金沢煙草製造所を対象に、現存する遺構と設計図面をもとに、レンガ造工場の復元的考察を行い、その技術的特徴と意匠的特徴を明らかにすることである。また、レンガ造建築の文化財保存のあり方についても考察を行う。

3. 研究の方法

平成27年（2015）2月、この金沢煙草製造所の設計当初の図面と見られる青焼き図面32枚が確認された。この図面は昭和59年（1984）に、日本専売公社金沢地方局から金沢市へ寄贈された。その後、金沢くらしの博物館（旧・金沢市民俗文化財展示館）に保管

されていたが、公開される機会がなかった。「金沢煙草製造所新営工事設計図」と記された青焼き図面32枚の内訳は、敷地図2枚、平面図3枚、立面図1枚、伏図5枚、矩計・詳細図21枚からなる。大型スキャナを用いて32枚の図面をデジタル画像化し、主要な図面についてCAD図面として描き起こした。作成したのは、一階・二階平面図、正面・背面・東側・西側立面図である。また、階下、階上平面には部屋名が書かれていなかったことから、『金沢専売支局一覧』中の工場平面図に基づき、室名を記入した。この図を元に、研究を行った。

4. 研究成果

旧金沢煙草製造所の平面は、レンガ造の躯体をコの字形に配置し、中庭に面して木造廊下を設ける。中庭に向かって二棟のレンガ造建物が平行に建つ。コの字の開口を塞ぐように木造建物が建ち、廊下でレンガ造建物と結ぶことにより、中庭を取り囲む。中庭へのアクセスを確保するため、木造建物は一階のみ中央に「大通路」を設ける。木造建物は倉庫で、レンガ造建物は一・二階とも複数の部屋に仕切られる。以下、煙草製造の工程に沿って各部屋を紹介する。

①葉組工場（一階南西）：倉庫から受け入れ

た葉煙草を、品質に応じて選別、配合する。

②霧吹工場（一階北西）：原料に水分を与えて、適度な湿度を保つ。

③砂掃工場（二階南西・西中央・北西）：機械により葉煙草に付着した砂塵を除去する。

④葉揃・葉巻・除骨工場（二階北面中央西寄り）：原料の乾湿加減を手入れする。原料を配合しつつ、所定の型に巻き上げる。葉煙草の中骨を除去する。

⑤積葉工場（二階北面中央東寄り）除骨した葉を配合して積み上げる。

⑥裁断工場（中庭の東側の棟の二階）積葉を終えたものを所定の幅に裁断する。

⑦裁刻工場（二階北東・東中央・南東および一階北面中央二室・北東）葉巻もしくは裁断が済んだものを刻み上げる。

⑧装置工場（一階東中央）刻み上げた葉を規定の分量で袋詰めし、封をする。

⑨捺印・包裹貼工場（一階南東）袋紙の一端にゴム印を捺す。五匁、二十匁、四十匁入りの袋を作る。

すなわち、一階南西から時計回りに進み、途中二階での作業を経て、一階南東へ進むよう各工程が配されている。各部屋境には開口が設けられ、北西角、北東角には階段が設けられるなど、動線の工夫が行われている。また、倉庫の木造建物は西側が原材料の保管、東側が製品の保管であったと考えられる。

さて、平面図に記入された寸法は「96.415」「96.61」（北面西寄り二室の長手寸法）などがあり、それぞれ96尺4寸1分5厘、96尺6寸1分を示している。レンガ造では施工上困難と思われる寸法精度が要求されていることに、特徴が見られる。この点について、旧醸造試験所酒類醸造工場（東京・明治36年）の設計寸法に関する先行研究を参考に分析を行った。

階下平面から読み取れる壁厚は「2.7」「2.31」「1.92」尺の三種類がある。明治時代に普及した東京形と呼ばれるレンガは、長手×小口×厚が0.75×0.36×0.2（尺）である。また、縦目地幅は3分（0.03尺）が標準とされる。このことから壁厚は、レンガの長手枚数を m として、

壁厚= $m(0.75+0.03)-0.03=0.78m-0.03$ で表される。長手3枚半積み壁（ $m=3.5$ ）では2.7尺、長手3枚積み壁（ $m=3$ ）では2.31尺、長手2枚半積み壁（ $m=2.5$ ）では1.92尺となり、図面の壁厚と数値が一致する。このことから、レンガ寸法は長手0.75尺、小口0.36尺、目地幅は0.03尺として、設計していることが推定される。

次に、階下北東隅の裁刻工場を対象に分析を行う。梁間方向については、レンガ壁内法で42.0尺とし、二本の柱列は壁内面・柱心間を12.0尺、柱心々間を18.0尺、また壁際では三枚の窓の中心線を通り芯として、壁内

面・通り芯間を8.0尺、通り芯間を13.0尺で割り付ける。いずれも尺の整数で計画されていると考えられる。

一方、桁行方向については、壁芯間を96.61尺、壁内法を94.3尺とし、柱心々間と窓心々間をともに13.7尺とする。端部においても、6.85、12.9、6.05といった数値が見られる。数値が整数でないことから、壁厚と同様にレンガ寸法をもとにした数値と考えられる。壁厚と異なり、通り芯間の寸法は端部の目地幅を差し引く必要がないことから、

$$\text{長手積み} : m(0.75+0.03) = 0.78m$$

$$\text{小口積み} : n(0.36+0.03) = 0.39n$$

で表される。 m 、 n にレンガ枚数を代入すると、

$$[\text{東端}] \quad 6.85 : 0.39 \times 17.5 = 6.845、\text{小口} \quad 17 \text{枚半（長手} 8.75 \text{枚）}$$

$$[\text{窓心々} \times 5] \quad 13.7 : 0.39 \times 35 = 13.65、\text{小口} \quad 35 \text{枚（長手} 17.5 \text{枚）}$$

$$[\text{窓心々} \times 1] \quad 12.9 : 0.39 \times 33 = 12.87、\text{小口} \quad 33 \text{枚（長手} 16.5 \text{枚）}$$

$$[\text{西端}] \quad 6.05 : 0.39 \times 15.5 = 6.045、\text{小口} \quad 15 \text{枚半（長手} 7.75 \text{枚）}$$

としたとき、最も近似する値となった。このことから、長手の段と小口の段を交互に積み、長手の段の端部に七五（4分の3の長さ）のレンガを用いるオランダ積みで計画していると考えられる。

さらに、西隣の裁刻工場では、正面入口に近い西端部に、13.985、6.565という「5厘」の寸法が記されている。この寸法は、13.985と6.565の和（20.55）と、先述の北東隅の裁刻工場の東端部の寸法、6.85と13.7の和（20.55）が等しく、一方でこの西端部では東端と異なり窓を挟んで二本の柱形があり、二本の柱形の中央に窓を置きたいこと（窓中心から東柱形中心まで13.985-13.7/2=7.135、窓中心から西柱形中心まで6.565+1.92-2.7/2=7.135で等しい）から決められた数値と見られる。

以上の結果から、梁間桁行とも壁内法制で、梁間方向では尺の整数値を優先、桁行方向はレンガ寸法を優先し、一部では柱形と窓の位置関係で調整を行う、とする、設計寸法を用いていると考えられる。

これらの分析は、遺構と比較することで、より詳しく当時の設計手法や建築技術を解明することが期待でき、図面と遺構がともに後世に伝えられることが重要であると言える。

5. 主な発表論文等

〔論文・発表〕（計2件）

・山崎幹泰、「「金沢煙草製造所新営工事設計図」について」、日本建築学会北陸支部研究報告集 第60号、2017年7月（掲載予定）

・渡邊 優『旧金沢煙草製造所レンガ造工場の変遷と建築図面に関する研究』金沢工業大学建築学専攻修士論文、2017年2月

研究成果報告書 概要

研究代表者	花里利一(三重大学工学研究科)
共同研究者	新津靖(東京電機大学環境情報学部) 森井順之(東京文化財研究所保存科学研究センター) 近藤典夫(日本大学理工学研究科)
研究課題	重要文化財五重塔の風観測といそのシミュレーション解析に基づく耐風性能に関する研究
研究期間	平成 28 年 4 月 1 日～平成 30 年 3 月 31 日

1. 研究の経緯・方法と目的

重要文化財法華経寺五重塔(千葉県市川市,1622 年建立, 写真 1-1 参照)において、風向風速および五重塔の動的変位観測を第 2 次観測として再開した。観測では、近傍の防災無線柱に設置した風向風速計により風向風速データを得る(図 1-1 参照)。さらに、五重塔の構造骨組および心柱の動的変位を測定するために、五重塔内部に設置した連続撮影用の高速度高解像度カメラを用い、各重の骨組と心柱に設置した LED マーカの動きを連続的に記録する。2008 年からの第 1 次観測期間内の台風による瞬間最大風速は約 27m/s であり、耐風性能を評価するためには、さらに強い暴風による記録が望まれていた。観測は一旦中断していたが、風観測システムは再開可能な状態にあり、本研究



写真 1-1 法華経寺五重塔

において再開した。本研究では、第 1 次の観測システムで用いたカメラをより高性能のものに交換し、精度を高めて記録する。風向風速計および画像計測による動的変位の信号は、収録機器(PC)に送り、PC 内で AD 変換した後に、デジタルデータを保存する。3 次元数値風洞によるシミュレーション解析では、五重塔の外形をモデル化し、3 次元数値風洞を用いた風解析を行う。この数値風洞は、五重塔模型を用いた風洞実験の代わりに、五重塔に作用する動的風圧を求めるものである。本研究では、3 次元数値風洞によるシミュレーション解析を行い、五重塔の風応答に関する動的な風圧係数等を求める。本研究ではさらに、塔身に新たに長期ヘルスマニタリングを目的として開発した MEMS 型加速度度を設置し、振動モニタリングを実施し、強風時および地震時の五重塔の長期にわたる実挙動を把握する。

2. 五重塔の風観測

本研究期間において、2017 年台風 18 号、同年台風 21 号の記録を得ることができた。これらの記録のうち、2017 年台風 18 号の記録を示す。台風 18 号による最大瞬間風速は 25m/s であった。法華経寺(市川市)に最も近づいたと推定される時間帯は 9 月 18 日午前 3

時から5時であった。

2017年台風18号による風応答最大変位時刻を含む1分間の風向風速記録を図2-1に示す。同時間帯における各重の変位時刻歴を図2-2に示す。図2-1より台風18号の最大瞬間風速は24.6m/sで1分間の平均風速は10.9m/s、最大風速の風向はほぼ南南西であった。また、五重の最大変位は18.9mmであった。

図2-3に五重の変位軌跡を示す。

図に示すように、風向と変位方向はおおむね一致しており、いわゆる

Flutter現象は生じていない。表2-1に五重最大変形時の層間変形角を示す(最大変形方向)。表2-1に示すように、これらの台風による最大変形角は伝統木造建築物の弾性限界とされる1/120に比べて十分に小さく、五重塔の挙動は線形レベルであったと推定される。

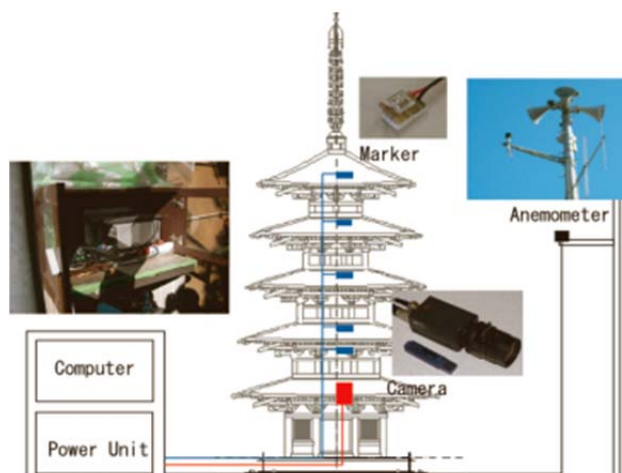
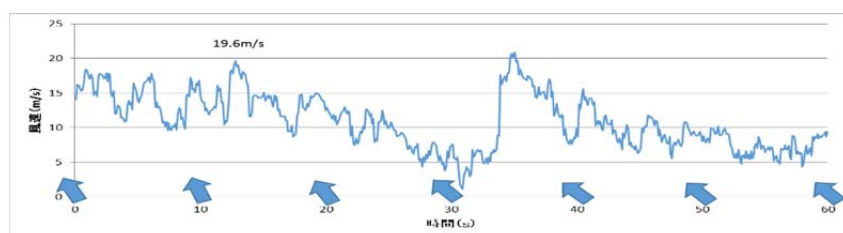
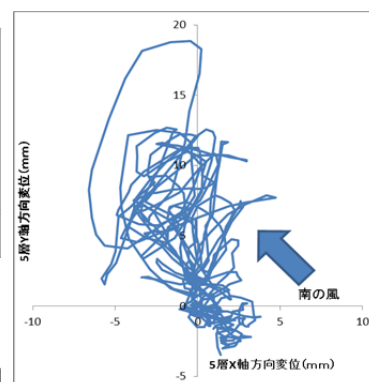


図1-1 風応答観測システム



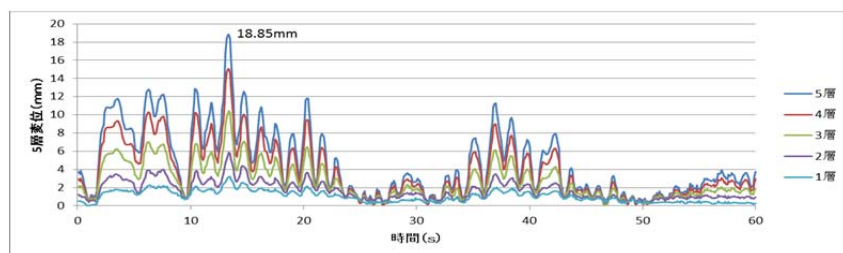
2017年9月18日 4時28分0秒～60秒

図2-1 台風18号による風速・風向(最大瞬間風速時付近)



2017年9月18日 4時28分0秒～60秒

図2-3 台風18号による五重の変位軌跡



2017年9月18日 4時28分0秒～60秒

図2-2 台風18号による応答変位(最大瞬間風速時付近)

表2-1 最大層間変形角

3.五重塔の風解析

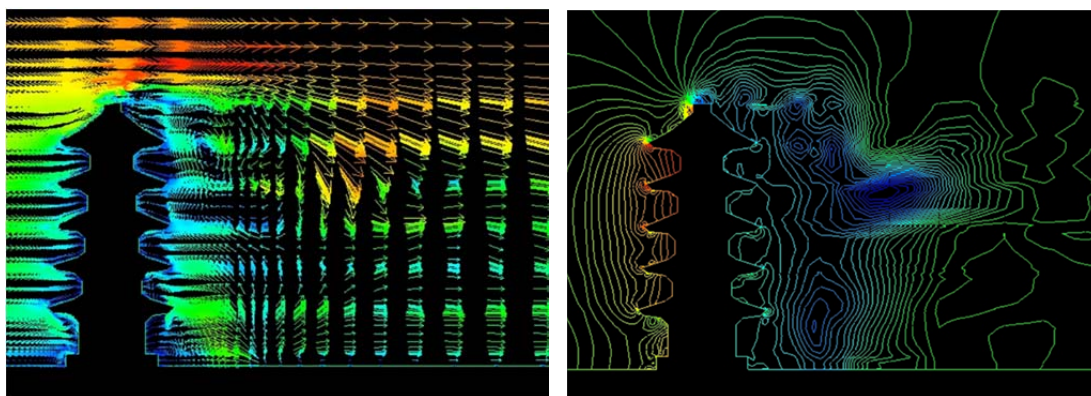
実際の五重塔は組物など複雑な形状であり、詳細に表現は困難なため、平面の集合体で再現した五重塔の3次元モデルを作成した。

図3-1は時刻t=100秒での風の流速ベクトルと風圧分布である。それぞれ青色から赤色に変わるに従い流れが早く又は圧力が高くなっていくことを示す。図3-2は五重塔全体

層	層間変形角	
	2017年台風18号	2017年台風21号
5層	1/1720	1/3210
4層	1/1130	1/2160
3層	1/800	1/1060
2層	1/750	1/1050
1層	1/950	1/1290

に作用する無次元風圧分布 p を上流側，下流側及び塔直上から見た鳥瞰図である。

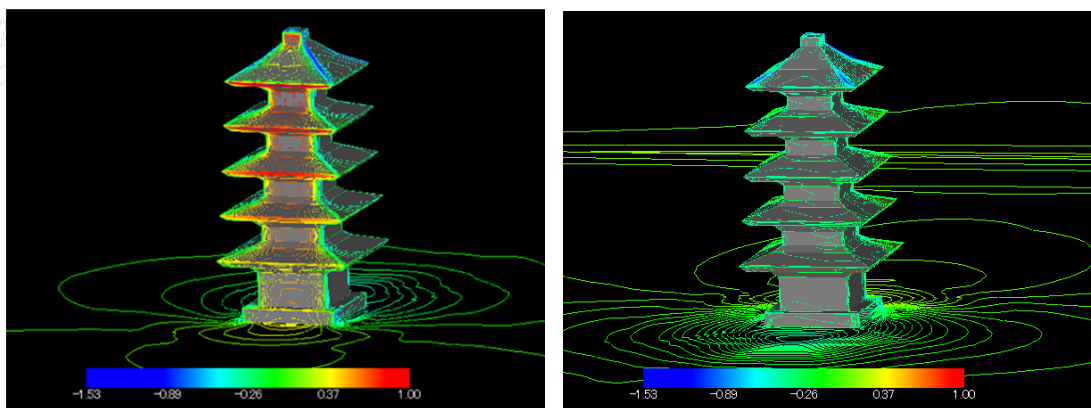
$t=100\sim 410$ での風の流速ベクトルと風圧分布によれば、塔最上部で圧力の値が急激に変化している。また塔上部付近から渦が発生し、下流に行くに従い大きな渦へと変化している。この渦の発生場所は本来であれば相輪の存在する場所である。解析結果によれば、風向き上流側の初重から五重塔の屋根にいくにしたがい圧力が大きくなっている。しかし、側面と下流側では全て負圧になっている。五重塔は全体的に複雑な形状のため、作用圧力も各部位で異なっていると考えられる。五重塔に作用する圧力分布は初重近辺よりも五重近辺にいくにしたがって各壁面の正圧又は、負圧の値が増大した結果となったが、これは与えた風の条件による所が大きいと考えられる。



流线ベクトル

風圧分布

図 3-1 風の流れと圧力分布



(2) 上流側

(1) 下流側

図 3-2 五重塔に作用する風圧力

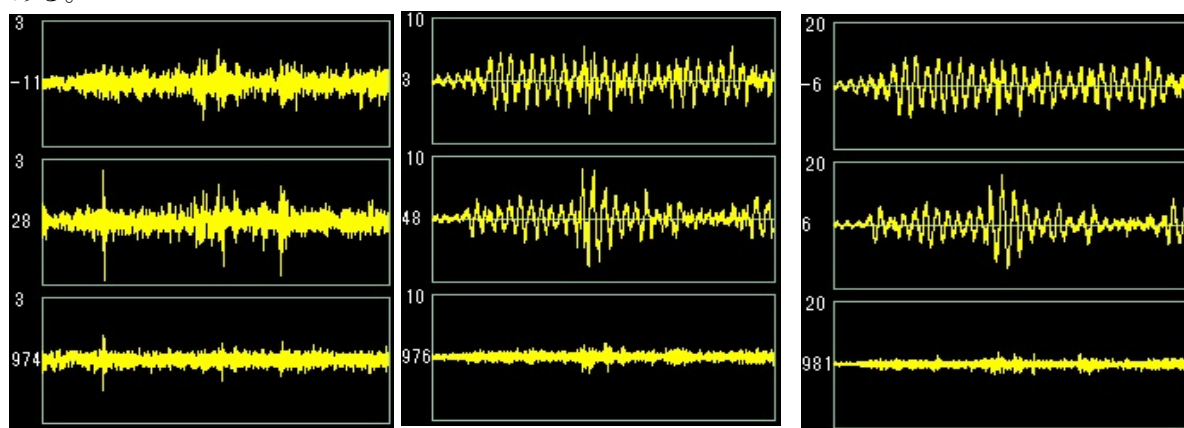
4 MEMS 型加速度計による風応答観測

設置した加速度計は建造物の動的挙動をモニタリングすることを目的に共同研究者が新たに開発した 3 軸加速度計である。約 1 年間、精度よく加速度を計測し続け、データを内部のメモリに蓄えることができる。本研究では、この加速度計を初重、三重、五重に設置した。

2017 年 10 月 23 日午前 3 時に台風 21 号では、法華経寺の風速も大きな数値を示していた。午前 1 時の後半から風が強くなりはじめ、午前 3 時には瞬間風速で 25m/s を超える風速を記録した。この間の加速度計の計測結果は、常時五重塔が揺れている状態を示していた。図 4-1

に、午前 3 時 19 分の 40 秒間の 3 台の加速度計の結果を示す。横軸は時間で 40 秒間を表している。上から X 方向、Y 方向、Z(上下)方向の加速度を示している。Z 方向加速度は小さいことがわかる。五重位置の加速度が三重位置の加速度のほぼ倍である。位相もほぼ等しく、風により同じ方向に変形していることがわかった。五重の加速度波パワースペクトルによれば、X 方向および Y 方向ともに、0.80Hz にピークが表れている。三重位置の加速度記録でも 0.80Hz に同様のピークがみられた。(微動測定による固有振動数は 0.84Hz=1.19s であり、変位依存性が確認された)

観測期間において、地震記録も得られており、風応答と地震応答特性の比較も今後の課題である。



初重位置の加速度波形 (b) 三重位置の加速度波形 (c) 五重位置の加速度波形

4-1 MEMS 加速度計による風応答記録

5. まとめと今後の課題

重要文化財法華経寺五重塔において、風向風速観測および LED を用いた画像計測技術を用いた塔身の動的変位観測を再開した。2017 年には、台風 18 号と台風 21 号が関東地方に接近し、これらの台風による風向風速および塔身の動的変位を記録した。最大瞬間風速は台風 18 号が 24.6m/s、台風 21 号が 26.8m/s、10 分間平均風速の最大値は、台風 18 号、台風 21 号はほぼ等しく約 9.9m/s であった。これらの風速は、本研究の先行研究で得た観測記録とだいたい同じレベルであった。また、塔身の最大変位は、最大瞬間風速時刻ではない時刻に生じ、台風 18 号が約 19mm、台風 21 号が約 13mm であった。層間変位角は最大でも約 1/750 であり、伝統木造建築物の弾性限界(損傷限界)とされている約 1/120 に比べて十分に小さく、応答は線形レベルであったと判断される。本研究では、風速 25m/s を超え、先行研究期間より風速が大きな台風を期待して、観測を再開しているが、現時点(平成 30 年 3 月)では、そのような大きな風速を伴う台風による記録は得られていない。最大瞬間風速 30m/s を超える暴風による塔身の応答を得るために、今後も計測を継続する予定である。

3 次元数値風洞を用いた風シミュレーション解析を行い、五重塔周りの風の流れおよび塔身生じる風圧力および風圧係数を求めた。解析では、実際の五重塔の複雑な形状のモデル化は困難であり、平面の集合体として五重塔の 3 次元モデルを作成したものであるが、

五重塔のまわりの複雑な風の流れが得られるとともに、風圧係数を解析的に求めることができた。この動的風力による五重塔の動的応答解析は今後の課題である。

本研究では、さらに、ヘルスマニタリング用に、共同研究者(新津)が研究開発した MEMS 型加速度計を塔身に設置して、加速度モニタリングを実施した。観測期間において、台風および地震の記録を得ることができた。この MEMS 型加速度計は、構造物の長期のヘルスマニタリングを目的として開発したものであり、今後も長期のモニタリングを続けていく予定である。

謝辞 本研究は、宗教法人法華経寺殿の許可を得て観測機器を設置して観測を行っています。新井日湛貫主ほか法華経寺の皆様には感謝いたします。

1. 研究の概要

本研究は香川県三豊市にある、三豊市指定文化財本山寺五重塔を対象とした研究である。2013年10月に現地調査が行われた結果、上部構造に経年等による変形とそれに伴う損傷が発生していることが確認された。これを受けて、2014年に本山寺五重塔整備委員会が組織され、同五重塔の構造的・歴史的な検討を行った。

本山寺五重塔は、明治29年に斧初めを行ったと伝えられ、棟札により明治43(1910)年に再建されたものである。昭和33年(1958年)の屋根修理を含め、小修理は何度かおこなれているものの、本格的な修理は未だ行われていない。平成25年(2013年)1月に市指定有形文化財にされ、同塔の劣化調査(2015年10月)の結果、雨漏り・虫害だけでなく、組物および軸組の各部分で変形が認められている。

同建物は部分解体工事が行われ、構造解析、構造補強方針が検討された。本研究はこの一連の研究のうち、1) 文献調査および実測調査に基づく伝統木造五重塔(24棟)の形状分析とこれによる本山寺五重塔の位置づけの検討、2) 常時微動測定および人力加振試験の結果の精査をまとめたものである。



図1 本山寺五重塔の外観
(南側, 2015.11月, 撮影)

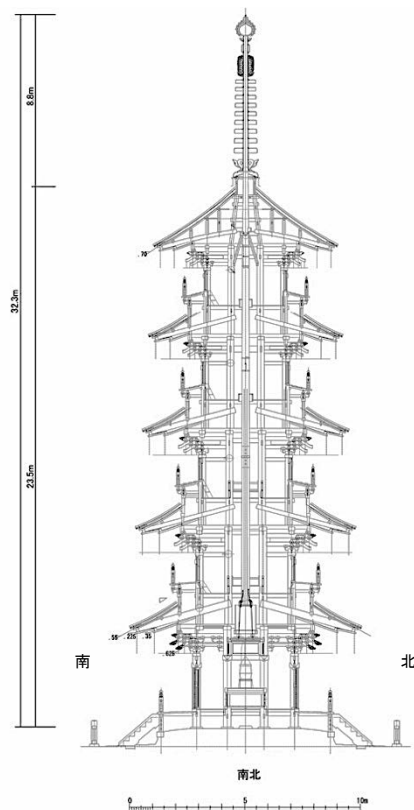


図2 本山寺五重塔の南北断面図
(多田善昭建築設計事務所から提供)

2. 伝統木造五重塔の構法・寸法計画と本山寺五重塔の位置づけ

五重塔の寸法計画と構法に着目し、本山寺五重塔を日本に現存する他の伝統木造五重塔と比較し、その位置付けの分析を行った。五重塔の軸部構法は積重ね・長柱・檜構法の3種類があり、本山寺五重塔は檜構法である。なお、同時期・同地域に建設された善通寺五重塔も同様に檜構法である。

現存する伝統木造五重塔の形状、寸法体系に関して文献および実測調査をもとに分析を行い、本山寺五重塔の位置付けを考察した。考察は、塔身高さ、細長比(塔身幅/高さ)、逓減率、軒の出、部材寸法などであるが、ここではその一部を紹介する(なお詳細は本文参照)。

・**塔身高さ**：図 3 に建設年と塔身高さの関係を示す。ここで塔身は基壇上から総輪下端までの高さとする。室生寺と海住山寺（10～15m）、興福寺と教王護国寺（35～40m）の間（20～30m）に約 8 割の塔が分布している。本山寺は 24m と平均的である。構法（積み重ね・長柱・櫓各構法）および建設年による傾向は認められない。

・**塔身の細長比**：図 4 に塔身幅（初層幅）と塔身高さの関係を示す。近似直線に示すとおり、塔身高さは塔身幅の 3.5～5.5 倍に分布している。本山寺の高さは平均的（24m）であるが高さに比して初層の塔身幅が狭く 4.3m である。

塔身の細長比（初層の塔身幅／塔身高さ）と建設年の関係を図 5 に示す。前述のとおり細長比は 3.5～5.5 に分布しているが、建設年が新しくなるほど概して細長比は大きくなる（細長くなる）。積み重ね構法で細長比が大きいのは室生寺（4.7）であり、高さも著しく低い塔である。更に、細長比 5.0 以上の塔はいずれも櫓構法である。本山寺は 5.5 と文献調査した中では最大の細長比（最も細長い）を示している。

・**塔身の逡減率**：塔身の幅の上層と下層の差を逡減率という。図 6 に塔身の逡減率（五層の塔身幅／初層の塔身幅）と建設年の関係を示す。塔身の逡減率は、0.5～0.8 に分布している。全体の傾向として、建設年が新しくなるほど逡減率は大きくなる（逡減しなくなる、上層と下層の幅が近くなる）。本山寺の塔身の逡減率は 0.8 であり最も大きい値を示している（五層の幅と初層の幅の差が小さい）。

以上より、本山寺五重塔は高さは比較的的平均的であるものの、細長比、逡減率ともに調査した五重塔の中で最大である。つまり、高さに対して塔身幅の狭い、細長い形状で上層と下層の幅はあまり変わらない形状をしている。重心位置は高く剛性は低いことが想定される。更に、図に示していないが部材寸法も他の塔と比較して木細い傾向が認められた。

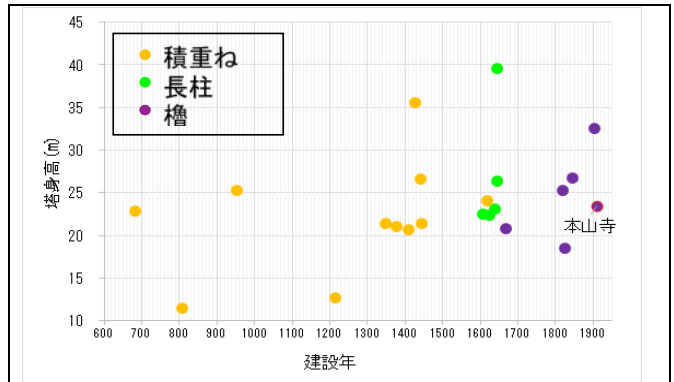


図 3 建設年と塔身高さの関係

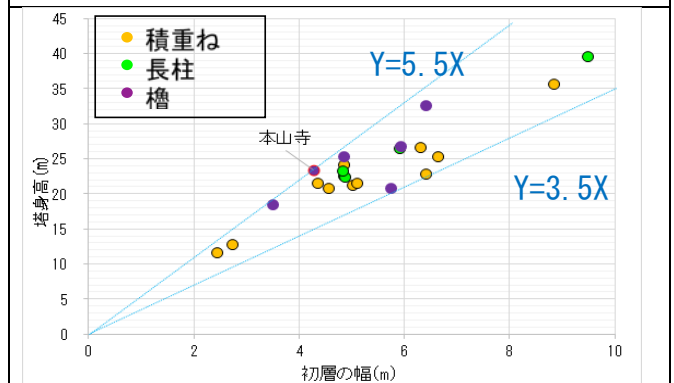


図 4 塔身幅と塔身高さ（細長比）の関係

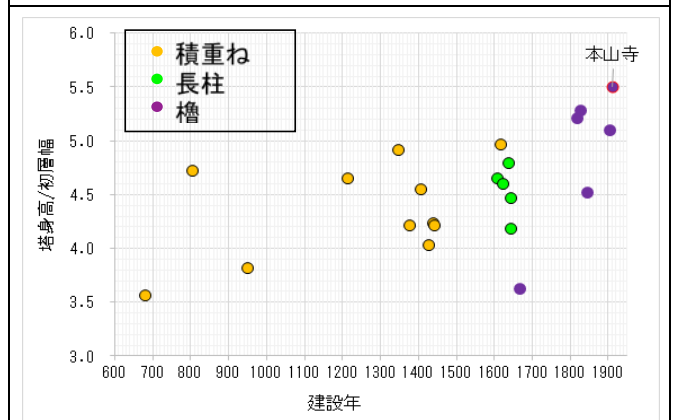


図 5 建設年と塔身の細長比の関係

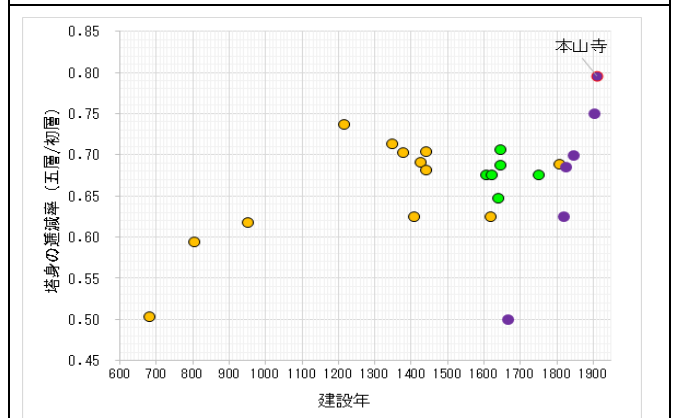


図 6 建設年と塔身の逡減率の関係

3. 本山寺五重塔の微動測定の結果

・測定概要

日時：2015年11月2日 14:30～18:00，11月3日 9:00～21:00

使用機器：携帯用常時微動測定器 SPC-35，サーボ型速度計 VSE-15D（東京測振）6台

本山寺五重塔の修理前の振動特性を記録することを目的として、当五重塔を対象に、常時微動測定および人力加振試験を実施した。本測定は、塔の基礎的な振動特性を把握することを目的としている。具体的には、塔の卓越振動数とそれに対応する振動モード、および減衰定数を同定した。本山寺五重塔に対する常時微動測定および人力加振試験から以下の結論を得た。

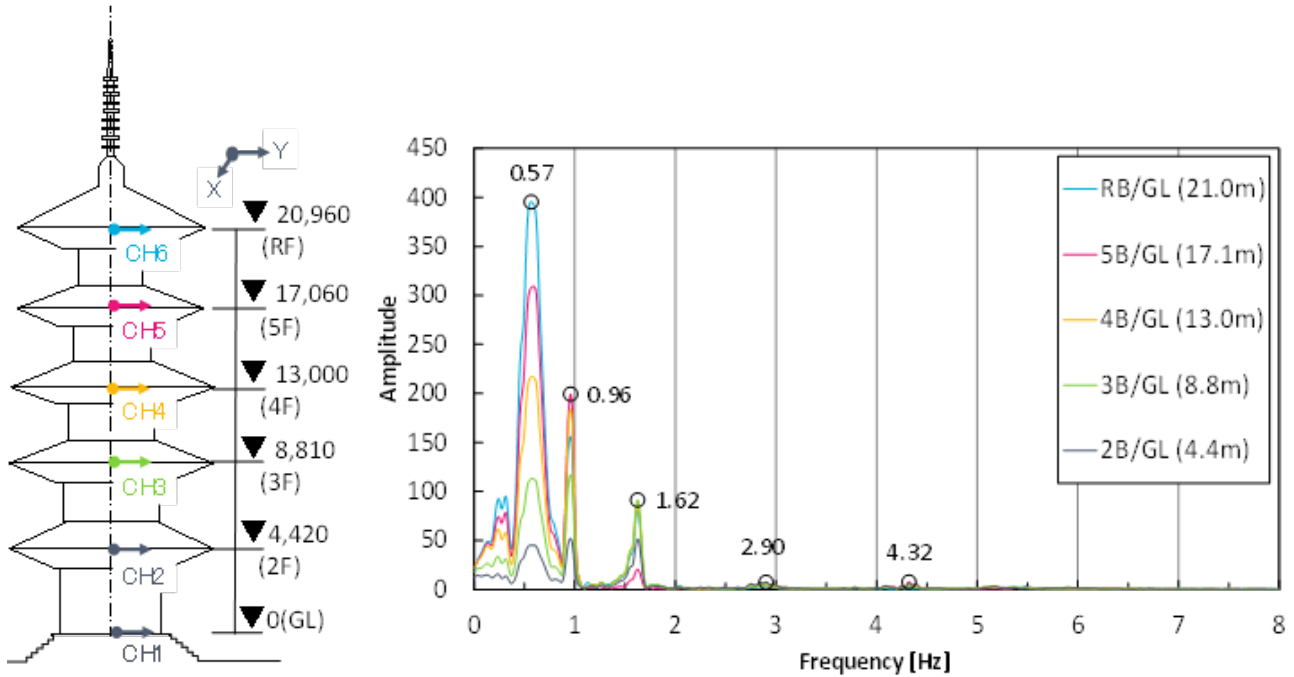


図7 地盤に対する各階の伝達関数 全体図 0～8Hz (Y方向 配置1-Y)

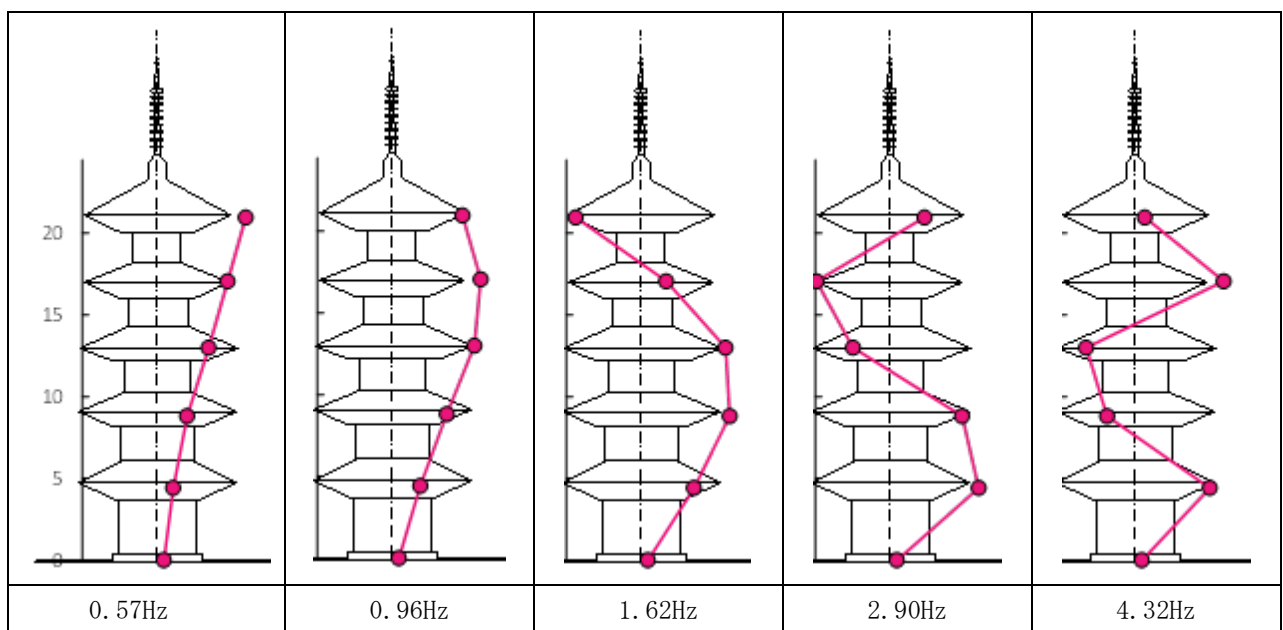


図8 各卓越振動数における振動モード

表 1 微動測定・人力加振試験結果まとめ

常時微動測定 卓越振動数					
	1 次 (Hz)	2 次 (Hz)	心柱 1 次 (Hz)	ねじれ (Hz)	3 次 (Hz)
X 方向	0.56	1.56	2.02		2.81
Y 方向	0.56	1.61	2.02	2.21	2.88
人力加振試験 卓越振動数と減衰定数					
	1 次卓越振動数 (Hz)	1 次減衰定数 (%)			
X 方向	0.52	4.93			
Y 方向	0.55	2.31			

X 方向, Y 方向はほぼ等しい振動性状を示した。これは平面形状が対称であるためである。1 次卓越振動数は 0.55Hz 程度である。1 次卓越振動数における減衰定数は, RD 法では 1%程度, 人力加振試験からは 2%程度と算出された。X 方向の人力加振試験から, 南側と北側の振動性状が非対称であり, 南側の振動数が北側より高く, 減衰が大きいことが確認された。これは塔の並進振動にねじれが加わった形状になっているためである。このような現象が生じる原因としては, X 方向の南北での構造要素の差, もしくは塔の傾斜等による重量分配の不均一さなどが考えられる。建物の鉛直方向の振動数が 5.2Hz に観測された。心柱の 1 次卓越振動数は X 方向で 2.4Hz, Y 方向で 2.0Hz である。ただし振幅が大きくなるとこれらの振動数は大きく低下することも確認された。0.9Hz 付近にも, 2 次モードとは異なる卓越振動数が観測された。これは心柱の曲げ戻しを含む振動モードであると推察される。

過去に行われた伝統木造五重塔の微動測定の結果から得られた一次固有周期と塔身高さの関係に、本山寺五重塔の微動測定結果を加筆したものを図 9 に示す。本山寺五重塔の塔身高さは 23.1m, 一時固有振動数は 0.56Hz であるため、固有周期に換算すると 1.79s となる。これより、同高さの瓦ぶきの五重塔と比較して相対的に固有周期が長いことが分かる。これは、第 2 章で示したとおり、本山寺五重塔は比較的細長い形状をしており、更に塔全体の減衰率も小さいため重心位置が比較的高いところにある。更に、貫などの構造材の断面は小さく、柱の細長比も大きいとため全体的に剛性が低いためであることが分かる。

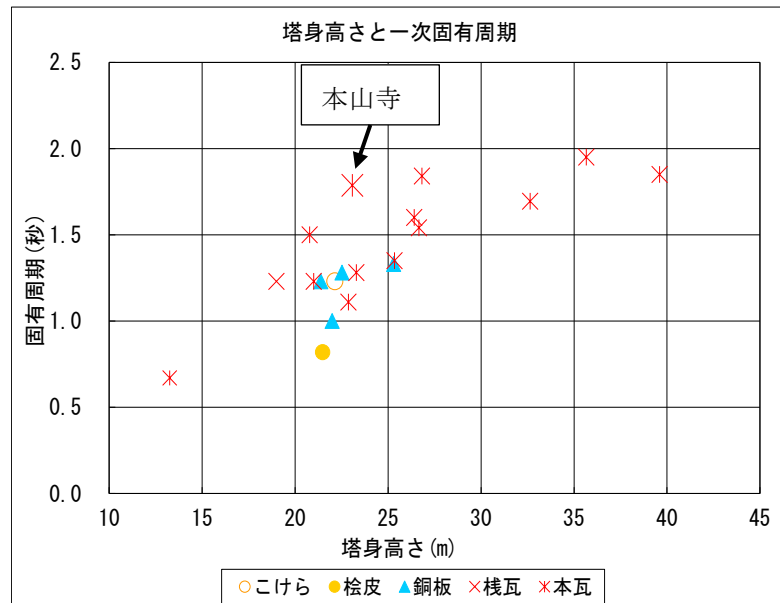


図 9 伝統木造五重塔の塔身高さ一次固有周期の関係 (文 1 をもとに作成)

(報告書作成：東京大学大学院工学系研究科藤田研究室 藤田香織, 鄭志允 (博士課程), 豊田堯博 (博士課程))

文 1 藤田香織他, 伝統的木造五重塔の振動特性に関する研究, 第 11 回日本地震工学シンポジウム, 2002. 11

公益財団法人松井角平記念財団助成金 研究成果報告書

平成29年 3月31日現在

研究課題名 遺構と設計図面に基づく金沢煙草製造所レンガ造工場の復元的研究

研究代表者 山崎 幹泰
金沢工業大学・環境・建築学部・准教授

研究期間：平成28年4月1日 ～ 平成29年3月31日

研究成果の概要：

旧金沢煙草製造所は、金沢市玉川町において、大正2年（1913）に竣工したレンガ造の工場建築である。昭和48年から建物の取り壊しが開始され、工場の敷地と建物の一部を金沢市が譲り受けた。昭和53年（1978）、工場跡地に建築家・谷口吉郎の監修により金沢市立図書館が竣工。レンガ造工場は補強・改修を施し、現在は金沢市立玉川図書館別館（旧専売公社C-1号工場）として金沢市指定保存建造物、国有形登録文化財となっている。この建物の当初設計時のものと見られる図面について、その内容分析を行い、図面の内容と設計寸法の特徴および遺構との比較により、その特徴について明らかにした。

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	700,000円	0円	700,000円

1. 研究開始当初の背景

旧金沢煙草製造所は、金沢市玉川町において、大正2年（1913）に竣工したレンガ造の工場建築である。昭和48年から建物の取り壊しが開始され、工場の敷地と建物の一部を金沢市が譲り受けた。昭和53年（1978）、工場跡地に建築家・谷口吉郎の監修により金沢市立図書館が竣工。レンガ造工場は補強・改修を施し、現在は金沢市立玉川図書館別館（旧専売公社C-1号工場）として金沢市指定保存建造物、国有形登録文化財となっている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、大蔵省臨時建築部が手がけたレンガ造の煙草工場で、唯一現存する金沢煙草製造所を対象に、現存する遺構と設計図面をもとに、レンガ造工場の復元的考察を行い、その技術的特徴と意匠的特徴を明らかにすることである。また、レンガ造建築の文化財保存のあり方についても考察を行う。

3. 研究の方法

平成27年（2015）2月、この金沢煙草製造所の設計当初の図面と見られる青焼き図面32枚が確認された。この図面は昭和59年（1984）に、日本専売公社金沢地方局から金沢市へ寄贈された。その後、金沢くらしの博物館（旧・金沢市民俗文化財展示館）に保管

されていたが、公開される機会がなかった。「金沢煙草製造所新営工事設計図」と記された青焼き図面32枚の内訳は、敷地図2枚、平面図3枚、立面図1枚、伏図5枚、矩計・詳細図21枚からなる。大型スキャナを用いて32枚の図面をデジタル画像化し、主要な図面についてCAD図面として描き起こした。作成したのは、一階・二階平面図、正面・背面・東側・西側立面図である。また、階下、階上平面には部屋名が書かれていなかったことから、『金沢専売支局一覧』中の工場平面図に基づき、室名を記入した。この図を元に、研究を行った。

4. 研究成果

旧金沢煙草製造所の平面は、レンガ造の躯体をコの字形に配置し、中庭に面して木造廊下を設ける。中庭に向かって二棟のレンガ造建物が平行に建つ。コの字の開口を塞ぐように木造建物が建ち、廊下でレンガ造建物と結ぶことにより、中庭を取り囲む。中庭へのアクセスを確保するため、木造建物は一階のみ中央に「大通路」を設ける。木造建物は倉庫で、レンガ造建物は一・二階とも複数の部屋に仕切られる。以下、煙草製造の工程に沿って各部屋を紹介する。

①葉組工場（一階南西）：倉庫から受け入れ

た葉煙草を、品質に応じて選別、配合する。

②霧吹工場（一階北西）：原料に水分を与えて、適度な湿度を保つ。

③砂掃工場（二階南西・西中央・北西）：機械により葉煙草に付着した砂塵を除去する。

④葉揃・葉巻・除骨工場（二階北面中央西寄り）：原料の乾湿加減を手入れする。原料を配合しつつ、所定の型に巻き上げる。葉煙草の中骨を除去する。

⑤積葉工場（二階北面中央東寄り）除骨した葉を配合して積み上げる。

⑥裁断工場（中庭の東側の棟の二階）積葉を終えたものを所定の幅で裁断する。

⑦裁刻工場（二階北東・東中央・南東および一階北面中央二室・北東）葉巻もしくは裁断が済んだものを刻み上げる。

⑧装置工場（一階東中央）刻み上げた葉を規定の分量で袋詰めし、封をする。

⑨捺印・包裹貼工場（一階南東）袋紙の一端にゴム印を捺す。五匁、二十匁、四十匁入りの袋を作る。

すなわち、一階南西から時計回りに進み、途中二階での作業を経て、一階南東へ進むよう各工程が配されている。各部屋境には開口が設けられ、北西角、北東角には階段が設けられるなど、動線の工夫が行われている。また、倉庫の木造建物は西側が原材料の保管、東側が製品の保管であったと考えられる。

さて、平面図に記入された寸法は「96.415」「96.61」（北面西寄り二室の長手寸法）などがあり、それぞれ96尺4寸1分5厘、96尺6寸1分を示している。レンガ造では施工上困難と思われる寸法精度が要求されていることに、特徴が見られる。この点について、旧醸造試験所酒類醸造工場（東京・明治36年）の設計寸法に関する先行研究を参考に分析を行った。

階下平面から読み取れる壁厚は「2.7」「2.31」「1.92」尺の三種類がある。明治時代に普及した東京形と呼ばれるレンガは、長手×小口×厚が0.75×0.36×0.2（尺）である。また、縦目地幅は3分（0.03尺）が標準とされる。このことから壁厚は、レンガの長手枚数を m として、

壁厚 $=m(0.75+0.03)-0.03=0.78m-0.03$ で表される。長手3枚半積み壁（ $m=3.5$ ）では2.7尺、長手3枚積み壁（ $m=3$ ）では2.31尺、長手2枚半積み壁（ $m=2.5$ ）では1.92尺となり、図面の壁厚と数値が一致する。このことから、レンガ寸法は長手0.75尺、小口0.36尺、目地幅は0.03尺として、設計していることが推定される。

次に、階下北東隅の裁刻工場を対象に分析を行う。梁間方向については、レンガ壁内法で42.0尺とし、二本の柱列は壁内面・柱心間を12.0尺、柱心々間を18.0尺、また壁際では三枚の窓の中心線を通り芯として、壁内

面・通り芯間を8.0尺、通り芯間を13.0尺で割り付ける。いずれも尺の整数で計画されていると考えられる。

一方、桁行方向については、壁芯間を96.61尺、壁内法を94.3尺とし、柱心々間と窓心々間をともに13.7尺とする。端部においても、6.85、12.9、6.05といった数値が見られる。数値が整数でないことから、壁厚と同様にレンガ寸法をもとにした数値と考えられる。壁厚と異なり、通り芯間の寸法は端部の目地幅を差し引く必要がないことから、

$$\text{長手積み} : m(0.75+0.03) = 0.78m$$

$$\text{小口積み} : n(0.36+0.03) = 0.39n$$

で表される。 m 、 n にレンガ枚数を代入すると、

$$[\text{東端}] \quad 6.85 : 0.39 \times 17.5 = 6.845、\text{小口} \quad 17 \text{枚半（長手} 8.75 \text{枚）}$$

$$[\text{窓心々} \times 5] \quad 13.7 : 0.39 \times 35 = 13.65、\text{小口} \quad 35 \text{枚（長手} 17.5 \text{枚）}$$

$$[\text{窓心々} \times 1] \quad 12.9 : 0.39 \times 33 = 12.87、\text{小口} \quad 33 \text{枚（長手} 16.5 \text{枚）}$$

$$[\text{西端}] \quad 6.05 : 0.39 \times 15.5 = 6.045、\text{小口} \quad 15 \text{枚半（長手} 7.75 \text{枚）}$$

としたとき、最も近似する値となった。このことから、長手の段と小口の段を交互に積み、長手の段の端部に七五（4分の3の長さ）のレンガを用いるオランダ積みで計画していると考えられる。

さらに、西隣の裁刻工場では、正面入口に近い西端部に、13.985、6.565という「5厘」の寸法が記されている。この寸法は、13.985と6.565の和（20.55）と、先述の北東隅の裁刻工場の東端部の寸法、6.85と13.7の和

（20.55）が等しく、一方でこの西端部では東端と異なり窓を挟んで二本の柱形があり、二本の柱形の中央に窓を置きたいこと（窓中心から東柱形中心まで13.985-13.7/2=7.135、窓中心から西柱形中心まで6.565+1.92-2.7/2=7.135で等しい）から決められた数値と見られる。

以上の結果から、梁間桁行とも壁内法制で、梁間方向では尺の整数値を優先、桁行方向はレンガ寸法を優先し、一部では柱形と窓の位置関係で調整を行う、とする、設計寸法を用いていると考えられる。

これらの分析は、遺構と比較することで、より詳しく当時の設計手法や建築技術を解明することが期待でき、図面と遺構がともに後世に伝えられることが重要であると言える。

5. 主な発表論文等

〔論文・発表〕（計2件）

・山崎幹泰、「『金沢煙草製造所新営工事設計図』について」、日本建築学会北陸支部研究報告集 第60号、2017年7月（掲載予定）

・渡邊 優『旧金沢煙草製造所レンガ造工場の変遷と建築図面に関する研究』金沢工業大学建築学専攻修士論文、2017年2月